令和３年度燃料安定供給対策に関する調査事業
（カーボンニュートラル社会に向けた石油コンビナートへの変革・連携強化に関する分析調査）
報告書

令和４年３月

石油コンビナート高度統合運営技術研究組合
Research Association of Refinery Integration for Group-Operation (RING)

はじめに

本報告書は、経済産業省資源エネルギー庁より委託を受けた「令和３年度燃料安定供給対策に関する調査事業（カーボンニュートラル社会に向けた石油コンビナートへの変革・連携強化に関する分析調査）」について、石油コンビナート高度統合運営技術研究組合（RING）が調査を行い、取りまとめたものである。

近年、世界的な環境保全活動は高まりを見せており、2020 年 10 月には日本政府より「2050 年カーボンニュートラル宣言」がなされ、また同年 12 月には「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定された。さらに 2021 年 4 月には、2030 年度の温室効果ガス排出量を 13 年度比で 46%削減する目標も掲げられ、温暖化対応を経済成長の制約やコストとする考えから、国際的にも成長の機会と捉える流れに向かって動き始めている。

こうした脱炭素の流れは、再生可能エネルギーへの転換や省エネルギーの進展を加速させ、人口減少という社会構造の変化と相まって、日本の化石燃料需要は今後益々減少していくものと見込まれる。これに加え、中国を始めとする新興国等による最新の技術を採用した大型で高効率な設備から生産される競争力のある石油・化学製品の輸出により、アジア市場はかつてない競争に晒されつつある。

このように世界のエネルギー需給環境が大きく変化する中、製造業の集結する日本のコンビナートには、新たな経済成長とエネルギー・素材の継続的な確保に向けて産官学総動員で「グリーン成長戦略」を具体的な形で推進することが期待されている。

本調査では、石油精製、石油化学、化学、鉄鋼、その他製造業が集積する日本の石油コンビナートが、カーボンリサイクル技術やグリーン化技術などの最新技術を取入れることによって、脱炭素時代にふさわしいコンビナートへ持続的に変革して国際競争に対応していくための連携事業を創出・促進する政策立案に役立てることを目的として実施するものである。

調査の実施にあたっては、当組合が長年行ってきた石油コンビナートの企業間連携の実施推進、及び内外の石油産業・石化産業の直面する課題や展開等に関する専門情報に加え、種々の解析ツールを活用するとともに、業界関係者や専門家等による知見等を効果的に組込んだ。

また、海外の環境変化や産業動向の調査にあたっては、関係者による海外現地調査をリモート環境を活用して実施し、結果を解析して実態を明らかにした。このような活動にご尽力、ご協力をいただいた多くの方々に深く感謝の意を表する次第である。

本報告書が、日本の石油コンビナートにおける競争力強化に関わる政策立案に役立つことになれば幸いである。

令和４年３月

石油コンビナート高度統合運営技術研究組合
（RING）

目　次

Ⅰ　本調査の目的 1

Ⅱ　調査内容 3

１．調査の視点と環境認識..... 3
１．１ 調査の視点 4
１．１．１　海外石油コンビナートの設備戦略調査..... 4
１．１．２　国内石油コンビナートの国際競争力評価・分析..... 8
１．１．３　石油・石化製品の需給バランスに関する分析調査..... 8
１．１．４　国内石油コンビナートのカーボンニュートラルに向けた分析調査..... 8
１．２ 環境認識 10
１．２．１　2050 年の世界をかたち作る６つのメガトレンド 10
１．２．２　ESG ロードマップ構築に向けた脱炭素社会のシナリオ・プランニング 16
１．２．３　世界各国、各企業のカーボンニュートラル宣言..... 18
１．２．４　IEA による 2050 年脱炭素化（NZE）ロードマップと現実的な想定 20
１．２．５　2050 年カーボンニュートラルに対する慎重な意見 22
１．２．６　コロナ禍前後の北海ブレンド原油価格の推移と予想..... 24
１．２．７　世界の自動車産業の EV 化..... 26

２．国内石油コンビナートの国際競争力評価・分析..... 28
２．１ 競争力評価の目的..... 28
２．２ 競争力評価の考え方..... 28
２．２．１　想定について..... 28
２．２．２　評価手法..... 29
２．２．３　評価手法の要件..... 29
２．３ 評価結果 34
２．３．１　2021 年石油コンビナート国際競争力評価 34
２．３．２　2025 年石油コンビナート国際競争力評価 35
２．４ アジアとの競争力比較分析..... 38
２．４．１　アジアトップレベルとの比較..... 38
２．４．２　競争力強化の方向性と具体策..... 38
２．４．３　競争力強化のための具体策..... 40

３．海外石油コンビナートの設備戦略調査－アジア圏主要コンビナート..... 41
３．１ アジア圏新興コンビナートの実態調査の目的と調査対象の選定..... 41
３．１．１　調査の背景と目的、視点..... 41
３．１．２　アジア圏コンビナートの調査先選定..... 41
３．１．３　日本及びアジア圏諸国の一次エネルギー消費量..... 43
３．１．４　日本、アジア諸国の経済指標..... 44
３．２ 中国の 2020 年経済構造、石油・石油化学の投資及び輸出実績と見通し..... 44

３．２．１　中国経済の基本的な構造..... 44
３．２．２　中国の 2020 年の原油処理量、エチレン他生産実績..... 46
３．２．３　中国政府による石油製品の輸出割当て量推移と 2020 年実績..... 48
３．２．４　中国輸入品の日本への影響..... 49
３．２．５　中国の石油・天然ガスプロジェクトの多くを石油化学が占有..... 50
３．３ 第 14 次 5 カ年計画の概要、及び環境問題と脱炭素化..... 51
３．３．１　第 14 次 5 カ年計画の石油・石油化学産業の発展の新たな特徴..... 51
３．３．２　中国 CPCIF による第 14 次 5 カ年計画における化学分野の発展指針.. 54
３．３．３　中国カーボンニュートラルの実態、2060 年脱炭素化の真偽 57
３．３．４　中国石油・化学産業の巨大化と環境問題、日本の進路..... 59
３．４ 大連長興島恒力石化パラキシレン、エチレンチェーン調査..... 60
３．４．１　長興島恒力石化第 2 期工事エチレンチェーン調査の背景と目的..... 60
３．４．２　恒力石化第１期工事パラキシレンチェーンの概要..... 61
３．４．３　第 2 期工事エチレン装置の特徴..... 70
３．５ 浙江石化１期操業、２期工事の内容と進捗状況..... 75
３．５．１　浙江省舟山基地の位置..... 75
３．５．２　第１期：馬目油庫-魚山原油パイプラインプロジェクト..... 75
３．５．３　浙江石化の概要..... 77
３．５．４　浙江石化の石油精製ユニットと主要石油製品、石油精製フロー..... 78
３．５．５　浙江石化の石油化学主要製品と生産能力、石化フロー..... 79
３．５．６　浙江石化の稼働状況..... 82
３．５．７　浙江石化 1 期及び 2 期の投資金額と採算性..... 82
３．６ ベトナムニソン製油所コンプレックスのアジア進出、日本との新エネ協業.. 83
３．６．１　ニソン製油所コンプレックス調査の背景と目的..... 83
３．６．２　ベトナム経済とエネルギー事情、石油製品の需給バランス..... 84
３．６．３　ベトナムにおける製油所新設計画、グリーン事業の進展..... 89
３．６．４　ニソン製油所コンプレックスの概要..... 95
３．６．５　ニソンコンプレックスの国際競争力評価(白油化指数＋石化シフト率) 98
３．７ サダラケミカル、中東の再生可能エネルギー開発..... 98
３．７．１　Sadara コンビナートの概要 98
３．７．２　Sadara ケミカルに供給される原料と燃料の種類と数量..... 101
３．７．３　Sadara の製品、生産能力、ライセンス技術など..... 102
３．７．４　Sadara プロセス、製品フロー、エタン原料からのコスト競争力.... 103
３．７．５　Sadara の原料、中間化学品、製品の数量バランス..... 104
３．７．６　PlasChem Park に進出した企業、事業内容、必要とする原材料の例. 105
３．７．７　水素・アンモニアプロジェクト（NEOM プロジェクト） 106
３．７．８　サウジアラビア、UAE の水素エネルギーへの取組と日本参入状況 ... 107
３．７．９　中東の化石燃料と再生可能エネルギー資源開発戦略と日本参入..... 108
３．８ 豪州における製油所閉鎖、資源政策の変化..... 109
３．８．１　豪州の GDP と一次エネルギー、石油製品の消費・生産・輸出入推移. 109
３．８．２　豪州の製油所能力、稼働実績と製油所の閉鎖などの状況..... 112

３．８．３　豪州石油化学の実態..... 115
３．８．４　日本の水素など新エネルギー海外輸入基地の可能性調査と検討..... 116
３．９ アジア調査の考察..... 124

４．海外石油コンビナートの設備戦略調査－米国新政権下の戦略..... 125
４．１ 調査の背景と目的、視点、コロナ禍における調査方法..... 125
４．１．１　調査の背景と目的..... 125
４．１．２　調査視点、調査方法と主な調査先..... 125
４．２ 米国経済回復とエネルギー消費量変化、石油及び石油化学産業の復帰..... 125
４．２．１　米国コロナ禍ショックの実態とエネルギー消費量回復トレンド..... 125
４．２．２　米国エネルギー関連の CO2 排出量は 2020 年に 11%減少 129
４．２．３　米国経済回復による燃料油消費量の増加トレンド..... 131
４．２．４　米国一次エネルギー生産と消費量の推移と長期予測..... 133
４．２．５　PADD3 製油所における処理原油の変化 134
４．２．６　米国石油化学産業のコロナショックからの復帰..... 140
４．３ 米国シェールガス油サプライチェーンの中長期生産見通し..... 141
４．３．１　石油メジャー再編の歴史、シェール革命..... 141
４．３．２　米国の主要なエネルギー関連企業..... 148
４．３．３　コロナ禍 2020 年前後の WTI 価格推移、急騰..... 152
４．３．４　米国シェールガス油サプライチェーン主要企業の変化..... 153
４．３．５　米国シェールオイルの産地別生産量推移と長期生産量予測..... 162
４．３．６　米国シェールガスの産地別生産量推移と長期予測..... 167
４．３．７　世界の LNG 開発と米国 LNG 増強..... 172
４．３．８　米国天然ガス液（NGL）の生産と輸出、長期生産予測..... 173
４．３．９　米国石油化学製品の生産と輸出..... 176
４．４ 中流最大手エンタープライズ社の石油化学展開への事業モデル..... 182
４．４．１　EPD 社の保有設備、コロナ禍前後の安定した収益、事業投資 183
４．４．２　EPD 社の中期事業戦略 186
４．４．３　EPD 社の石油化学中流モデル、化成品のオープンアクセスハブ 190
４．５ エクソンモービル社、シェブロン社の事業戦略と ESG 投資への取り組み... 198
４．５．１　エクソンモービルとシェブロンの既存生産設備と投資計画..... 198
４．５．２　エクソンモービルとシェブロンの設備及び開発投資戦略..... 201
４．５．３　エクソンモービルとシェブロンの ESG 投資..... 201
４．６ 米国の環境政策、低炭素・循環型、水素社会に向けた取り組み..... 204
４．６．１　米国の CO2 排出量見通しと再生可能エネルギーの普及..... 204
４．６．２　米国の環境エネ政策とカーボンプライシング議論..... 209
４．６．３　米国における EV 導入実績と見通し、課題..... 218
４．６．４　米国における再生可能エネルギー、バイオ燃料、水素の取り組み... 226
４．６．５　米国における廃棄プラリサイクルなど廃棄物の資源化への取り組み. 238
４．６．６　米国における CCS とカーボンリサイクルの取り組み..... 243
４．７ 米国新政権下のカーボンニュートラル調査結果の考察..... 250

４．７．１　コロナ禍ショック後のシェール革命第２波調査要約..... 250
４．７．２　米国調査からの日本のコンビナートへの示唆..... 251

５．海外石油コンビナートの設備戦略調査－欧州カーボンニュートラル戦略..... 253
５．１ 欧州における 2050 年カーボンニュートラル宣言加速の背景と実態..... 253
５．１．１　欧州の経済、エネルギー事情、各国の CO2 排出量..... 253
５．１．２　G20、欧米メジャーの 2050 年カーボンニュートラル宣言..... 258
５．１．３　西欧諸国の長期エネルギー基本計画と GHG 排出削減計画との整合性. 264
５．１．４　「IEA NetZero by 2050」に対する EU、欧州諸国の関心と反応 265
５．１．５　ESG 評価機関による世界企業の ESG 評価 267
５．１．６　欧州の製油所再編の歴史と今後の再編予測..... 269
５．１．７　欧州による国境炭素税導入の背景と進捗実態..... 272
５．２ EU、欧州諸国間によるカーボンニュートラル関連プロジェクト..... 273
５．２．１　「Next Generation EU」の進捗状況..... 273
５．２．２　欧州における 2050 年までの水素需要と供給..... 275
５．２．３　欧州におけるアンモニア直接利用・燃料化計画..... 293
５．２．４　欧州における EV 化に対する企業の意見、水素内燃機関への関心.... 298
５．２．５　欧州における CCS 及びカーボンリサイクルの取り組み..... 300
５．２．６　欧州におけるバイオエネルギー..... 306
５．２．７　欧州における廃プラの再利用..... 309
５．３ 欧州における石油、石油化学、化学、鉄鋼、その他製造業との産業間連携. 313
５．３．１　Carbon2Chem プロジェクト 313
５．３．２　Linde の大規模グリーン水素プラント計画（ドイツ） 315
５．３．３　BASF と RWE による化学産業向けのグリーン水素プロジェクト 317
５．３．４　HyNet North West プロジェクト 318
５．３．５　Shell のグリーン水素プラント計画（ドイツ・オランダ） 321
５．３．６　Equinor などによる英国 Humber Side における取り組み 323
５．４ 欧州メジャーの収支回復状況とカーボンニュートラル戦略..... 327
５．４．１　Shell の「Powering Progress」戦略と収益状況 328
５．４．２　BP のカーボンニュートラル戦略 334
５．４．３　TotalEnergies のカーボンニュートラル戦略 339
５．４．４　Eni のカーボンニュートラル戦略 346
５．４．５　Equinor の収支回復状況とカーボンニュートラル戦略 352
５．４．６　Repsol の収支回復状況とカーボンニュートラル戦略 362
５．４．７　OMV のカーボンニュートラル戦略 370
５．４．８　欧州石油メジャー7 社のカーボンニュートラル戦略まとめ 374
５．５ 欧州石油メジャー7 社以外の既存製油所の転換事例 376
５．５．１　GALP（ポルトガル） 376
５．５．２　Neste（フィンランド） 380
５．６ 金融機関によるダイベストメントの動き..... 383
５．７ 欧州調査から見た日本のコンビナート低炭素化への提言..... 385

６．石油・石化製品の需給バランスに関する分析調査..... 389
６．１ 近年のガソリン輸入の急増トレンド、輸出競争の激化..... 389
６．２ 2025 年度全国及び地域別石精 LP モデル及び石化モデルの設定 390
６．２．１　全国石油精製 LP モデルの設計と作成..... 390
６．２．２　全国石化バランスモデルの設計と作成..... 394
６．３ 2025 年度全国石精 LP 及び石化モデル需給試算結果 398
６．３．１　全国石精 LP モデルと石化バランスモデルの試算手順..... 398
６．３．２　要生産量と生産量の定義、石油製品の要生産量の設定方法..... 399
６．３．３　2025 年度の全国石油製品の需要想定と要生産量の算出 400
６．３．４　2025 年度全国石油製品要生産量の算出 407
６．３．５　2025 年度全国精製 LP モデルによる試算結果と考察 415
６．３．６　2025 年度全国石化バランスモデルによる試算結果 426
６．４ 地域別石油精製 LP 及び石油化学バランス統合モデルの構成と需給試算結果 433
６．４．１　2025 年度 3 地域別石精 LP 及び石化バランス統合モデル 433
６．４．２　2025 年度関東地域石精 LP モデルによる試算結果、輸出量と考察 ... 437
６．４．３　2025 年度中部地域石精 LP モデルによる試算結果、輸出量と考察 ... 444
６．４．４　2025 年度瀬戸内地域石精 LP モデルによる試算結果、輸出量と考察 . 449
６．４．５　石化 3 地域バランスモデルの構築、同定及び 2025 年度試算結果.... 455

７．国内石油コンビナートのカーボンニュートラルに向けた分析調査..... 460
７．１ 国際競争力強化、カーボンニュートラルに関わる先進技術調査..... 460
７．１．１　国際競争力強化に関わる先進技術調査..... 460
７．１．２　カーボンニュートラルに関わる先進技術調査..... 469
７．２ カーボンニュートラル社会に向けてコンビナートに期待される役割..... 493
７．３ カーボンニュートラルコンビナートの目指す姿..... 498

Ⅲ　本調査のまとめ 508

８．令和３年度委託調査の要旨..... 508
８．１ 海外石油コンビナートの設備戦略調査..... 508
８．１．１　アジア圏コンビナート調査結果の総括と考察..... 508
８．１．２　米国コンビナート調査結果の総括と考察..... 510
８．１．３　欧州コンビナート調査結果の総括と考察..... 512
８．２ 国内石油コンビナートの国際競争力評価・分析..... 516
８．３ 石油・石化製品の需給バランスに関する分析調査..... 517
８．３．２　2025 年度全国試算結果 517
８．３．３　2025 年度地域別試算結果 517
８．４ 国内石油コンビナートのカーボンニュートラルに向けた分析調査..... 518

Ⅰ　本調査の目的

近年、世界的な環境保全活動は高まりを見せており、2020 年 10 月には日本政府より「2050 年カーボンニュートラル宣言」がなされ、また同年 12 月には「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定された。さらに 2021 年 4 月には、2030 年度の温室効果ガス排出量を 13 年度比で 46%削減する目標も掲げられ、温暖化対応を経済成長の制約やコストとする考えから、国際的にも成長の機会と捉える流れに向かって動き始めている。

こうした脱炭素の流れは、再生可能エネルギーへの転換や省エネルギーの進展を加速させ、人口減少という社会構造の変化と相まって、日本の化石燃料需要は今後益々減少していくものと見込まれる。これに加え、中国を始めとする新興国等による最新の技術を採用した大型で高効率な設備から生産される競争力のある石油・化学製品の輸出により、アジア市場はかつてない競争にさらされつつある。

このように世界のエネルギー需給環境が大きく変化する中、製造業の集結する日本のコンビナートには、新たな経済成長とエネルギー・素材の継続的な確保に向けて産官学総動員で「グリーン成長戦略」を具体的な形で推進することが期待されている。

本調査では、石油精製、石油化学、化学、鉄鋼、その他製造業が集積する日本の石油コンビナートが、カーボンリサイクル技術やグリーン化技術などの最新技術を取り入れることによって、脱炭素時代にふさわしいコンビナートへ持続的に変革して国際競争に対応していくための連携事業を創出・促進する政策立案に役立てることを目的として実施するものである。

本調査の具体的な内容については、以下のとおりである。

（1）海外石油コンビナートの設備戦略調査

輸出入において競合相手となる中国、ベトナム等アジア各国や、豪州、さらに米国のコンビナート設備投資動向及び戦略等の調査に加え、長期的な観点から脱炭素社会に向けた各国コンビナートの取り組みや技術開発の状況を調査する。（例年２月頃に発表される海外企業の事業報告、決算報告も調査の対象とする。）これらの調査をもとに、今後日本の市場に与える影響を分析するとともに、日本の石油コンビナートの取るべき対応策について検討する。

調査に当たっては、必要に応じて国内外の石油精製事業者及び石油化学事業者等へのヒアリング等を実施する。

（2）国内石油コンビナートの国際競争力評価・分析

石油・石化製品市場における他国企業との今後の競合を見据え、資源エネルギー庁資源・燃料部石油精製備蓄課（以下、「石油精製備蓄課」という。）が指定する国内の石油コンビナートと海外の主要石油コンビナート（２０ヶ所以上）を対象に、製品の製造能力や収益性などの指標（石油精製備蓄課より提示）を用いた競争力の比較分析・総合評価を行い、国内石油コンビナートの立ち位置と国際競争力強化に向けた課題を抽出・整理する。

（3）石油・石化製品の需給バランスに関する分析調査

国内石油コンビナート間の連携事案創出に向けた基礎資料として、日本の地域別の石油・石化製品等の需給バランスを調査する。

具体的には、石油製品需要想定検討会から令和3年4月6日に提示されている「2021～2025石油製品需給見通し（案)」を踏まえ、全国及び地域別（関東・中部・瀬戸内）の石油・石化製品の需給バランス及び製油所の稼働率等の試算を行う。

これにより、今後国内で余剰又は不足が見込まれる製品を特定し、各地域での需給インバランスを定量的に把握するとともに、定量化したインバランスの解析によって、コンビナートの連携事案の創出に役立てる。

（4）国内石油コンビナートのカーボンニュートラルに向けた分析調査

それぞれのコンビナートに期待される役割や課題が、従来とは変化してきていることを踏まえて、（1）～（3）の調査結果をもとに、各地区の現状調査と今後の課題・目指す姿を調査する。また、連携・統合促進の課題を見直し、さらにカーボンニュートラル社会に向けた今後の展開に役立てるものとなるようにする。さらに、こうした今後の展開に必要な技さらにプロセス、触媒、ＤＸ等）についても調査する。

調査に当たっては、必要に応じコンビナート地区に立地する石油精製事業者及び石油化学事業者等へのヒアリング等を実施する。

RING組合では、これまで日本のコンビナートの目指す姿として、「地域内コンビナート全体最適化の推進」を提案し、国際競争力強化のための活動を行ってきた。本調査結果は、この具体化を行うのに、大いに役立つものである。今後のグローバルな競争環境の激化や環境保全の高まりを受けて、石油コンビナートの持続的発展のための全体最適化の推進や再生に向けた取り組みが急務と受け止め、引き続き政策立案の一助となるよう調査・分析を実施していく。

Ⅱ　調査内容

１．調査の視点と環境認識

近年、日本の石油精製・石油化学業界を取巻く事業環境は、国内需要の減退、国際的な競争の激化、環境保全の世界的な高まりなどの様々な要因に加えて、新型コロナ感染症の収束も見込めず、先行き不透明な状況が継続している。

その中でも特に、世界的な脱炭素社会に向けた動きは急激に進んでおり、2021 年 5 月現在、120 を超える国と地域が 2050 年カーボンニュートラルを表明している。

日本においても、2020 年 10 月に「2050 年カーボンニュートラル」が宣言され、同年 12 月には「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が提示された。

従来、温暖化への対応は経済成長の制約やコストであると考えられてきたが、現在では持続可能な社会への貢献と経済成長を両立できる機会と捉える流れに向かいつつある。さらに、世界の ESG 投資額は年々拡大傾向にあり、特に欧州ではコロナ禍後の経済復興投資の多くの部分を環境ビジネスが占めており、企業にとって ESG 投資への配慮が重要な課題になってきている。日本の産業界も今までの事業戦略を変えていく時期に来ており、特に製造業の集結するコンビナートは、新たな経済成長とエネルギー・素材の安全保障確保に向けて、産官学総動員で「グリーン成長戦略」を具体的な形で推進することが期待されている。

このような環境下、欧州ではメジャーを中心として事業ポートフォリオの組換えが加速しており、限られた資産の中で次世代事業創出のために中核コンビナートへの最先端技術を導入し、社会実装を推進している。

一方、残存者利益を追求する米国石油メジャーはシェール資源活用の可能性を放棄しておらず、アジア圏への輸出の影響にも注視が必要である。さらには、5 カ年計画により成長を続ける中国では第 14 次 5 カ年計画（2021～2025 年）において、環境保全への対応を考慮する必要が生じ、グリーン投資を新たな成長戦略として一帯一路政策にも取り込み始めた。

このように世界の資源エネルギー・素材産業は、不確定要素を含みつつも節目の年となる 2030 年に向けて、次世代へ生き残りをかけた戦略を展開している。

こうした動きを受け、日本のコンビナートも 2030 年需給バランスを想定しつつ、次世代への進化に向けて内需の確保と独自の成長戦略を同時進行して生き残りを図る必要がある。そして、多様な差別化された次世代事業戦略をコンビナートに導入するために、複数のアプローチで、「目指すべき姿」や「ロードマップ」、「その達成のための投資戦略」を策定し、関係省庁、関係団体、異業種との連携及び各種助成を活用して総動員で取り組まなければならない。

カーボンニュートラルは個社単独での取り組む課題ではなく、コンビナートにおける更なる企業連携が不可欠である。その中核となるのは、多くの製造業が集積近接立地しているコンビナートである。

幸いにも、日本の省エネ・環境技術は世界のフロントランナーであり、水素製造基盤を始めとして、カーボンニュートラルに向けて、脱炭素燃料及び技術面でもメインプレーヤーになれる優位な条件を数多く有している。

このようなことから、2030 年に向けて新たな連携の推進等による国際競争力の強化と

世界標準となるカーボンニュートラルコンビナートの構築を同時に進めていくことが急務であるとの認識のもと、本調査を実施する。

１．１ 調査の視点

１．１．１　海外石油コンビナートの設備戦略調査

国際競争環境調査（短中期＆長期戦略）においては、調査先への直接の訪問が困難な状況下においても、よりリアルな実態を把握するために、可能な限りリモート環境等を活用して現地関係者との直接の情報交換による調査を行う。

そして、一連の調査を通して、日本のコンビナートが目指すべき方向性を確認する。

また、グリーンディールの進展と国境炭素税導入の可能性等、それらが引き起こす様々な課題を考慮して、日本のコンビナートが備えるべき課題を検討する。

（１） 短中期戦略調査

2050 年カーボンニュートラル宣言が相次ぐ中、2030 年を節目と考える各国及びメジャー企業の戦略は画一ではない。

環境保護を重視するバイデン大統領は 1 月、連邦政府の管理地や海洋での石油・天然ガスの開発を規制する大統領令に署名した。影響は米国の石油・天然ガス生産の 2 割弱に及び、トランプ政権下で 4 割近く増加した生産拡大にブレーキがかかっている。

一方、Shell や BP など欧州メジャーは新型コロナ危機などを契機に事業モデルを転換、かつ、2050 年カーボンニュートラル宣言のもと、化石燃料の開発抑制と再生可能エネルギーへの投資拡大を表明した。

また、第 14 次 5 カ年計画をスタートした中国では、化学産業は産業構造転換、環境保護政策、企業の管理水準向上を強力に推し進め、化学大国から強国への転換を加速させたい考えだが、産業規模の拡大を続けた石油精製能力の余剰問題は未解決のままであり、輸出拡大による急増で、日本においてもガソリンの輸入が顕著に増加している。石油化学製品の多くも、25 年末には飽和するという見通しも出ている。

さらに、コロナ禍で経済発展への打撃の大きかったアジア圏コンビナートでは、石油・石化製品の内製化はかなり進行し、アジア圏における輸出競争はかつてない過激さが想定される。

このような中、日本の石油製品・石化製品の内需減退は止まらない。精製設備高度化法でスリムになったものの、中国の安価なガソリンの輸入増加、JET 燃料需要の不振等により、原油処理量も上げられない状況である。どのようにして、次世代への進化に向けるための利益を確保（≒内需を死守）していくかは喫緊の課題である。

そこで、中国を始めとするアジア諸国の生産能力拡大、米国シェールのアジア圏への輸出拡大等による厳しい輸出環境、新たな競争への対処等、世界で現在進んでいる国際競争力強化と次世代への対応の調査を通して、日本の石油コンビナートの次世代への進化に向けた独自の戦略策定に資する調査を行う。

①米国新政権下におけるシェール革命第２波の影響、次世代戦略投資調査

・コロナ渦の財務立て直し、シェール革命第２波と環境投資調査

米国メジャー、準メジャーの 2020 年収支は大きなダメージを受けたが、2021 年において

は立て直しが進行している。エクソンモービル、シェブロン他、米国資源企業は、コロナ禍においても強力な国際競争力を背景に残存者利益を追求する姿勢が根強く、バイデン政権の環境保全優遇策､資源エネルギー産業への冷遇及びESG投資家の思惑等に反して、容易にはカーボンニュートラル宣言を発しない。

こうした競争力の高い広域のシェールチェーンを簡単に手放すことは米国エネルギー・素材の安全保障の視点からも構造転換を加速するとは想定しにくく、米国14州がバイデン大統領の新規鉱区探鉱の停止令に対して訴訟を起こしている。

このような米国資源関連企業における足元の財政立て直しと、一方では粛々と進めている次世代環境保全投資の実態を把握して整理する。

・米国環境政策の概要とグリーンリカバリー事業投資の実態調査

環境政策を重視するバイデン政権は、1期目の4年間で2兆ドルを環境インフラに投じることを発表している。コロナ禍の経済復興とカーボンニュートラル実現の両立を狙った政策「グリーンリカバリー」によるDOEの水素戦略の進展、CCUSへの助成による加速、バイオ製油所への助成等、米国新政権の動向を調査する。

・米国の国境炭素税（CBAM）への協調の可能性とコンビナートへの影響調査

国境炭素税（CBAM）は、日本のコンビナートの存続に関わる課題である。欧州委員会は、環境規制の緩い国からの輸入品に対し、事実上の関税を課す国境炭素税導入の検討を進めている。

一方、バイデン大統領は選挙時に温暖化対策の国際的枠組み「パリ協定」の合意を満たせない国からの製品に炭素調整料を課すと公約している。こうした動きは炭素貿易戦争（カーボン・トレード・ウォー）を招くと考える専門家も多く、米国や中国に出遅れれば日本がルール作りで不利になり、輸出製品に新たな負担が課せられて国際競争力を失う可能性もある。

米国のCBAM決断は世界の貿易に重大な影響を与える。このような動向を追跡し、日本のコンビナートへのインパクトを調査する。

②アジア圏における新興コンビナートの競争力強化、環境保全への対応調査

②の１．中国第14次5カ年計画と環境保全への対応調査

中国は、原子力、風力発電を行いながら、その何倍もの石炭火力の建設計画を着々と進めている。内陸部における石炭化学への積極的投資も含めて、むしろ、CO2 排出量は毎年、増加している。環境保全を自国の経済戦略の中核に位置付けているものの、安全保障のために石炭生産や天然ガス・原油の使用を減らしてはいない。その詳細を把握し、性急な低炭素化への転換について、妥当性を確証する。

中国政府は排出量を30年までにピークアウトさせ、60年までにカーボンニュートラルの実現を目指す方針を打ち出している。1月に中国石油・化学工業カーボンピークアウト・カーボンニュートラル宣言を発したCPCIFや中国石化を始め中国石油(CNPC)、恒力石化、上海化学工業区（SCIP)、恵州大亜湾経済技術開発区などがGHG排出削減の取り組みに署名するなど石油・化学産業も政府の施策に呼応し、積極的な協力姿勢を示している。

一方で、中国の2060年ネット・ゼロ達成には6.4兆ドルの投資が必要（Wood Mac.）と試算されており、「中国は大規模な重工業と機械部門を有しており、残る排出量を相殺するためにCCSと森林吸収源の利用を拡大することが重要で、それなしでは、中国のカーボン

ニュートラル化の公約はほぼ不可能である。」とも言われている。今後の実態を、民間事業を通して調査確認する。参考まで、日本のネット・ゼロ達成には 50 年までに 165 兆円の投資が必要であると言われている。

13 次 5 カ年計画の課題である中国の精製設備能力余剰問題は未解決であり、輸出も急増しており、足元では、韓国品よりも中国からのガソリンが日本に流入する量が急増している。現在も山東省独立系の TOP 能力削減は進んでおらず、中央政府の輸出政策を追跡調査して、日本の石油コンビナートの短中期需給試算ケースへ反映する。

欧米の CBAM に対する準備も含めて、排出権取引管理弁法が施行された。まずは、温室効果ガスの年間排出量が CO2 換算で 2 万 6000 トンに達する発電事業者（2,225 社）が対象だが、第 14 次 5 カ年計画期間には対象業界も化学品や石油化学、鉄鋼、建材、石炭、非鉄金属などのエネルギー消費産業に拡大すると想定されている。対象は 1 万社、排出量は 50 億トンに拡大すると予想されている。しかし、欧州の 4,000 円/t－CO2 に対して、800 円/t－CO2 と比較的安価のため、支払って従来操業を継続する方が多いという見方もあり、実態を調査する。

②の２．ベトナムニソン製油所の状況と環境保全への対応

中国の余剰ガソリン・軽油等の輸出による日本国内の精製業の収益悪化及び、エネルギー安全保障との兼ね合いに加えて、新エネルギーの安全保障確立のために信頼できる海外拠点を確保しておく意義は大きく、こうした拠点の一つであるベトナムニソン製油所の実態を調査する。

ベトナムニソン製油所は、超重質原油のボトムを原料とする大型 RH－RFCC－石化スキームで、石化シフトも可能な重油高分解スキームで、パラキシレンチェーンも有している日本コンビナートの拡張版である。

豪州と同様に、近い次世代の信頼できる新エネルギー輸入基地としての可能性等も検討する。

②の３．中東諸国の脱石油資源化の流れに対する環境保全事業への対応調査

2050 年カーボンニュートラル宣言により脱化石資源の動きが進んでも、石油や天然ガス資源が全くなくなることは想定されていない。

こうした中、中東産油国は原油依存の国家収入から石油化学シフト、太陽光等の再生可能エネルギー、大油田への CO2 活用 EOR 等の多様なミックス事業戦略を開始している。カタールは CO2 負荷の少ない天然ガス生産へ数兆円の大型投資を決断した。こうした中東の事業戦略とアジア圏輸出環境への影響を調査する。

②の４．豪州における製油所閉鎖、水素等新エネルギー輸出への取り組み調査

豪州では、BP やエクソンモービルは、中国・中東からの割安な石油製品流入による不採算を理由に製油所撤退を決めた。残る製油所は現地企業の２製油所のみとなり、2021 年の石油製品の輸入依存度は８割近くに高まる見通しである。

一方、豊富な資源だけでなく、クリーンエネルギー資源にも恵まれた豪州は新エネルギー開発への活路も開きつつある。日本企業も太陽光発電によるグリーン及び CCS によるブルー水素の新たなエネルギー輸入の共同投資先として開発を開始している。そこで、新エ

ネルギー安定供給の観点から、豪州におけるこのような実態を調査把握し、次世代カーボンニュートラルコンビナートスキームに、水素等の新エネルギー輸入基地化の可能性を調査検討する。

（2） 長期戦略調査

欧州はコロナ禍においても、経済復興を目指して、グリーンディールを具体化し、次世代の新しい国際競争環境を形作ろうとしつつある。そして、社会実装に向けて技術開発の加速と、資金源となる炭素税等の諸制度の準備も進展している。

米国もバイデン政権交代後、環境保全を重視する政策に変更して、企業へのグリーン投資戦略を支援している。

ただし、米国メジャーと欧州企業の環境保全への取り組みは異なる。優良シェール鉱区を有する米国メジャーと異なり、資源保有力に劣る欧州企業は環境保全事業を新たな国際競争事業、成長ポートフォリオに位置付けて、有望なスタートアップ企業の買収、水素社会を目指したコンビナートへの社会実装等、次世代事業戦略が具体的な形で顕在化しつつある。

さらに、欧州発の国境炭素税は米国新政権との足並みも合う可能性を秘めている。

日本との自動車内燃機関技術競争に後塵を拝した欧州勢は、EV 車で世界覇権復活を目指す。製造業に最も影響力のある自動車産業のこのような事業戦略転換は、中長期エネルギー、素材の需要構造のパラダイムシフトに大きなインパクトを与える。

このようなカーボンニュートラル及び資源循環型社会に向けた各国政策、メジャーの事業戦略、各国コンビナートの状況等の動きを把握して、日本において脱炭素化の現場であるコンビナートのカーボンニュートラル、多様なミックスシステム構築に資する調査とする。

①国内外の最先端のカーボンニュートラル関連技術開発状況の調査

カーボンニュートラルコンビナート構築に関わる、国内外の最先端技術の進展を把握して整理する。

特に、CO2 回収技術、グリーン及びブルー水素製造技術とデリバリーシステム、既設 SMR 転用によるドライリフォーミング技術、各種カーボンリサイクル技術を中心に最先端技術を抽出する。

②欧州におけるカーボンニュートラル戦略とコンビナートの変革調査

・欧州メジャー、準メジャーの環境保全への取り組み

国家政策、パリ協定の捉え方、環境保護団体、ESG 投資家圧力、資源保有量及び広域石精・石化チェーンの保有等による国際競争力の差等の分析による事業戦略を調査する。

合わせて、次世代転換に向けた資金調達（政府支援含む）、新たなポートフォリオの状況を把握し、日本のコンビナートにおける戦略を検討する。

・水素、バイオ燃料、CCUS、廃プラリサイクル等の先進技術開発調査

欧州で開発中の水素エネルギー、アンモニア燃料、e-fuel、バイオエネルギー、廃棄物処理、廃プラスチック再生利用、バイオプラスチック技術開発及び社会実装状況を調査・分析する。

・欧州コンビナートにおけるカーボンリサイクルシステム社会実装化調査と検討
最も社会実装に近いメタネーション、合成ガス活用、メタノールの直接合成、e-fuel（ジェット燃料、ディーゼル、ガソリン）等の社会実装拠点を選定して調査する。また、その調査結果を元に、日本のコンビナートにおける社会実装の可能性検討に資するものとする。
・カーボンニュートラルに関わる各国の政策調査
カーボンニュートラル、グリーン戦略に関わるEU、各国（ドイツを主とする）政府、メジャーの事業戦略の進展、主要コンビナートの社会実装の進展状況を把握し、コンビナートの転換に資するものとする。
特に、異業種間や国家間での代表的なカーボンニュートラル、グリーン化プロジェクトの実態を調査する。

１．１．２　国内石油コンビナートの国際競争力評価・分析
地球温暖化に対する地球環境保全への対応及び、燃料油から石化への大規模シフトスキームによる国際競争力強化等の国内外のコンビナートを取巻く環境変化に力点を置いて、階層化意思決定法に基づいた評価分析を行う。

１．１．３　石油・石化製品の需給バランスに関する分析調査
LP構築及び試算結果分析と解析の実務経験を踏まえて、全国及び3地域別石精石化インテグLPモデルによる石精･石化製品の中長期需給バランス試算結果を解析する。
需要想定委員会による2025年度の石油製品需要想定と素材産業課より提示される石化製品需要想定に基づき、2025年度の全国と地域別の需給バランスを算出する。
一方、2030年度目標の「13年度比CO2/46%削減」を想定したガソリン急減シナリオも試算することで、ガソリン生産中心の日本の石油精製スキームの歪をシミュレーションし、備えておくべき課題を摘出する。

１．１．４　国内石油コンビナートのカーボンニュートラルに向けた分析調査
（１）　次世代型スキームの調査検討
・カーボンニュートラルコンビナートへの変革に向けた実態調査、検討
全国９地区コンビナートの実態を調査し、世界に対する強みの抽出と次世代への絵姿等を明確にする。
特に、各地区の目指す姿の策定においては、全国共通の目指す姿を元に、各地区が持てる固有の設備、インフラ等を踏まえて、既設を最大活用する多様なミックスシステムを提案する。
・海外の異業種連携、JV、コンソーシアム等による次世代型プロジェクト事例の調査
異業種産業との連携、国境を跨いだ JV、コンソーシアム等の社会実装を目指した取り組みを参考にカーボンニュートラルコンビナートに反映する。

（２）　上記に関わるプロセス・触媒、DX（IoT、AI等）の最新技術調査
短中期の国際競争力強化ための新技術、及びカーボンニュートラルコンビナートの実現に向けた、先進技術の調査を行う。

１．２ 環境認識

気候変動・社会の高齢化・技術の進化・地政学リスクなどの本質的な要素は、コロナ禍に関係なく元から内在、進行しているもので、将来に向けて対応していかなければならない重要な課題である。これらのメガトレンドを認識し、理解することがコンビナートの持続可能な発展に向けた解決策を講じるためにも重要である。

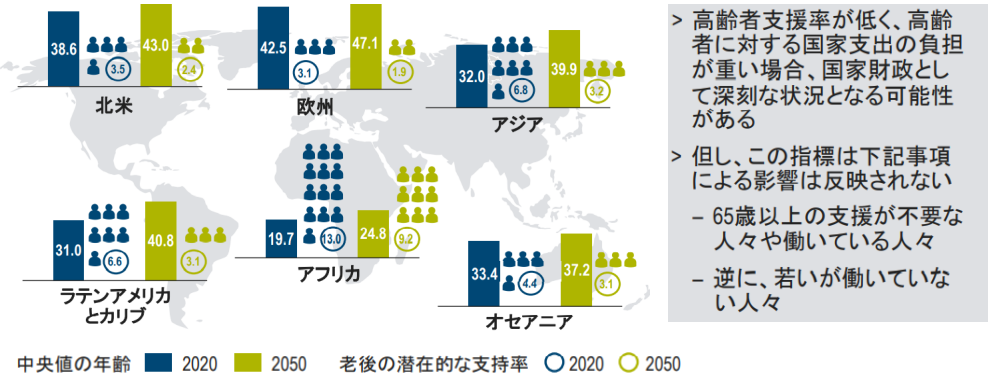
１．２．１　2050 年の世界をかたち作る６つのメガトレンド

Roland Berger 社は「現在から 2050 年までの間に世界を形成する最も重要なメガトレンド解説（2020 年 12 月）」において、以下の６つのメガトレンドを示している。

（１） 人と社会

全ての地域で高齢化が進み、現役世代はより多くの高齢者を支えなければならなくなっていく。また、大陸間の差は大きい（図表 1.2.1 参照）。

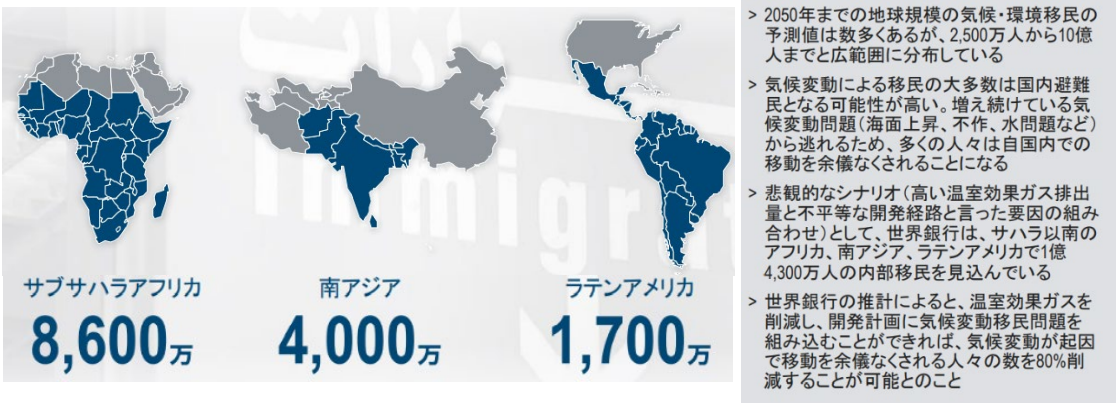
図表 1.2.1　地域別の年齢中央値[年]と老年潜在支援率
2020 年 vs. 2050 年［20～64 歳の人/65 歳以上の人］



（出所）国連経済社会局人口部、2020 年 12 月

気候変動問題を放置した場合、サハラ以南のアフリカ・南アジア・ラテンアメリカでの気候変動起因の内部移民者数は 2050 年に 1 億 4,300 万人になる（図表 1.2.2 参照）。

図表 1.2.2　2050 年の特定地域における気候変動による内部移民（悲観的なシナリオ）



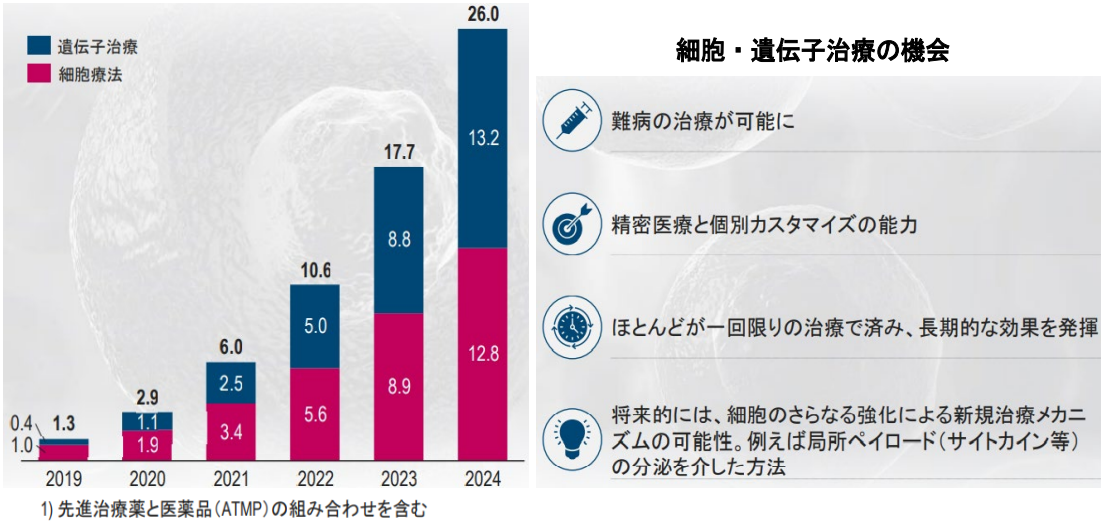
（出所）世界銀行、IOM、2020 年 12 月

（2） ヘルスケア

細胞、遺伝子治療は、生体機能の回復や難病の治療を可能にする最も有望なイノベーションの一つである。細胞治療や遺伝子治療は、現在、多くの製薬会社によって熱心な研究と投資が行われている。その目的は、希少疾患の治療法を提供し、癌や心不全などのより広範な疾患に対する新たな治療法を可能にするためにある。

具体的には、遺伝子操作された細胞の使用や、患者の細胞内における欠陥や欠落した遺伝子の置換え等の治療法がある（図表 1.2.3 参照）。

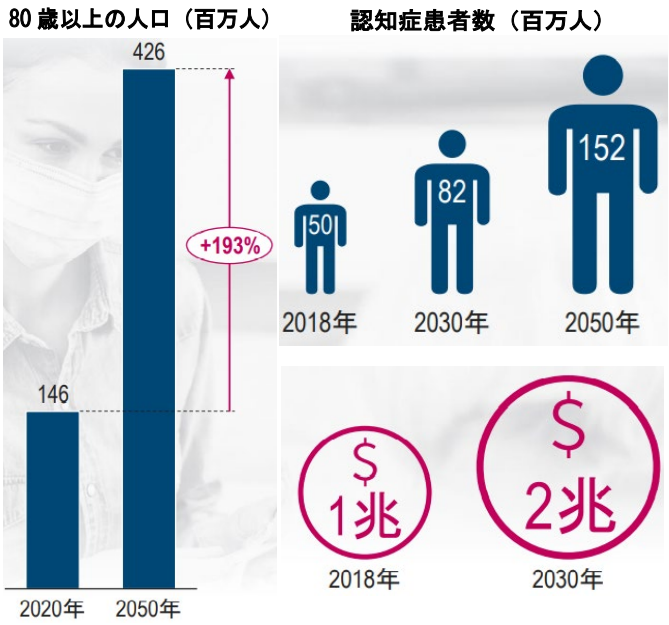
図表 1.2.3　2019～2024 年 細胞・遺伝子 治療の売上高[EURO bn]



（出所）EvaluatePharma

また、認知症のように高齢化と関連する疾患の増加傾向は、コストのかかる介護の必要性が高まっていることを示唆している。80 歳以上の人口 は 2020 年の 1 億 4,600 万人から、2050 年には 4 億 2,600 万人に 193%増加する（図表 1.2.4 参照）。

図表 1.2.4　世界の 80 歳以上人口、認知症患者数と世界的コスト（US$ tr）



- 世界の高齢者人口は増え続けている
- 世界的には、80歳以上の高齢者の数は2020年から2050年までに3倍近い4億2600万人になると予測されている
- 多くの高齢者は元気になるが、そうでない高齢者も多く、特定の、より集中的なケアを必要とする高齢者の割合は増加している
- このような高齢者の介護が必要な病気の重要な例として、認知症がある。初期の臨床症状としては、会話や名前、出来事を思い出すことが困難になるほか、無気力や抑うつなどが挙げられる。後には、コミュニケーション障害、見当識障害や混乱、行動の変化、最終的には会話、嚥下、歩行が困難になるなどの症状が現れる
- 認知症は、患者の身体的・心理的・社会的・経済的な影響を与えるだけでなく、ケア・システムを担う医師・介護者・家族・社会全体にも影響を与えてしまう
- 現在、世界では約5,000万人が認知症と共存している。この数は2050年までに3倍の1億5,200万人になると予想されている
- 2030年には、認知症が約3,000万人増加することにより、コストが現在の1兆ドルから2兆ドルへと倍増することになる

（出所）国連経済社会局人口部、WHO、Alzheimer’s Association 、Bertelsmann Foundation

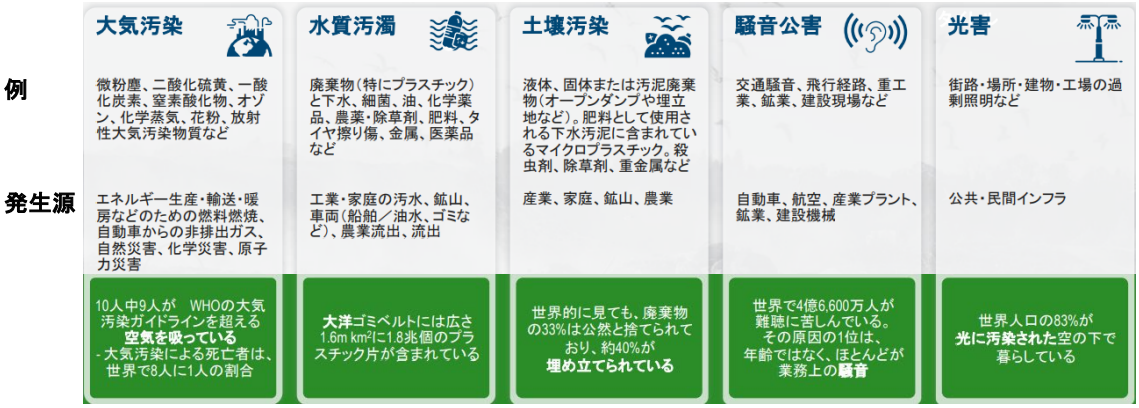
（３）　環境及び資源問題

・環境汚染

温室効果ガスだけでなく、自然環境や人々の健康を脅かしている汚染は多数存在する。（図表 1.2.5 参照）

2050 年に向けて水と食料の需要が大幅に増加すると予想されている。

図表 1.2.5　汚染公害



（出所）LiveScience、WHO、WWF、Ocean Cleanup 、世界銀行、ナショナルジオグラフィック、International Journal of Science and Research

・世界の水需要

2015 年 対 2050 年　：2015 年 4,135km3→2050 年 5,467 km3（＋32%）

2015 年　灌漑 54%、電気 20%、製造業 13%、国内 12%、家畜 1%

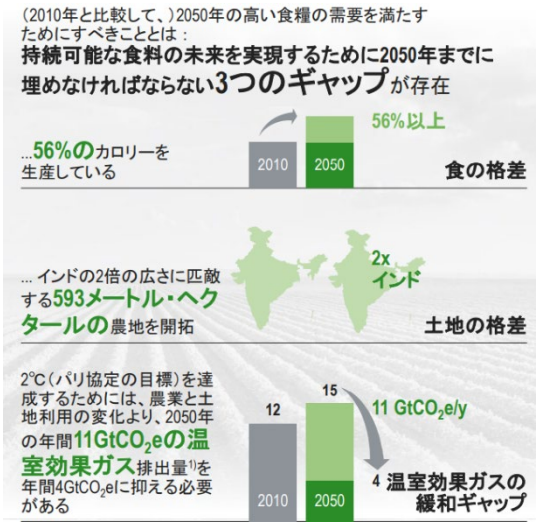
2050 年　灌漑 38%、電気 25%、製造業 22%、国内 14%、家畜 1%

水需要の主な牽引要素は人口増加、GDP 成長、更なる繁栄、都市化、セクター別変化などであり、持続可能な水資源管理のための主な手段としては、水の利用効率を高める、貯水への革新的な投資、水の配分の仕組みの再考、水災害軽減排水処理の改善・流出量の削減、開発途上国における水の供給と衛生の促進、水のガバナンスを向上させ一貫性を持たせる、などが考えられる。

・世界の食料需要（図表 1.2.6 参照）

食品需要の主な牽引役は人口増加、食生活の変化を引起こす経済成長などである。

図表 1.2.6　世界の食料需要 2010 年 対 2050 年（km3）



食品ギャップを埋める主な手段

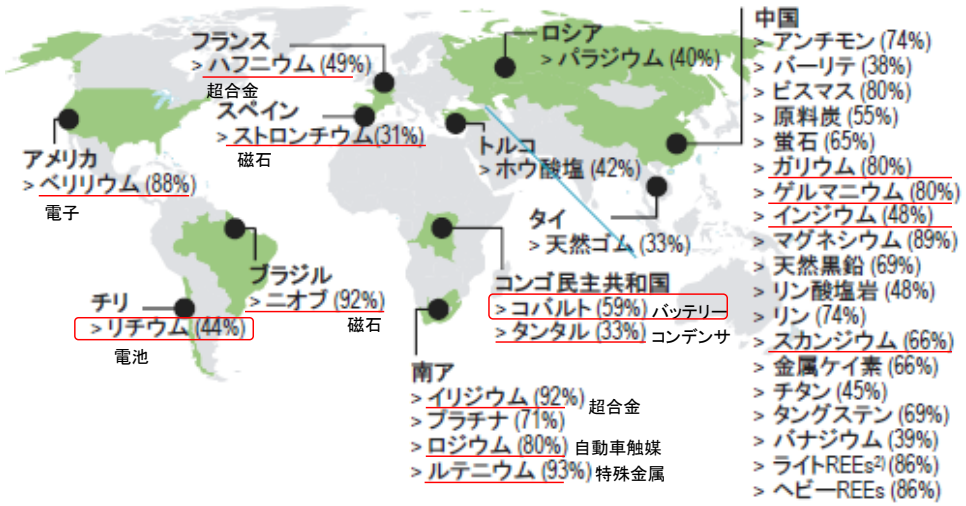
- 生産性の向上
- 需要の管理
- 農業の強化と自然生態系の保護の紐づけ
- 反芻動物の肉消費量の抑制
- 森林再生・泥炭地再生
- 生産関連の気候緩和対策の導入
- 技術革新の加速

（出所）OECD、世界資源研究所

・重要な原材料の状況（図表 1.2.7 参照）。

2011 年以降、EU は世界の原材料供給に関する報告書を発行しており、現在、30 の原材料又は原材料グループを重要なものとして特定している。

図表 1.2.7　重要原材料(CRM)の分析内容：世界供給で最大シェアを占める国 2020[1)]



1）比率は、欧州委員会調査「EU のための重要な原材料に関する報告書」（2020 年）を参考

2）REEs．レアアース元素

（出所）欧州委員会資料

電気自動車（EV）やデジタル技術、風力発電機などに使用される永久磁石の原材料である希土類（レアアース）の需要は、2050 年までに 10 倍に増加する可能性がある。2050 年までに、EU は電子モビリティに不可欠なリチウムを約 60 倍、EV のバッテリーに使用されるコバルトを約 15 倍必要とする。

一方、2020 年度の中国のレアアース生産量は酸化物換算で 14 万トン、世界の約 6 割を生産しており、チリ（リチウム）、コンゴ（コバルト）のレアメタルは EV 覇権を狙う中国に既に抑えられている。

（4）　経済とビジネス

経済力は新興国へとシフトしており、2050 年には、世界の経済プレイヤー上位 5 ヵ国のうち 3 ヵ国が新興国からの進出となることが想定されている。（図表 1.2.8 参照）

図表 1.2.8　2019 年と 2050 年の名目 GDP ベースの上位 10 カ国

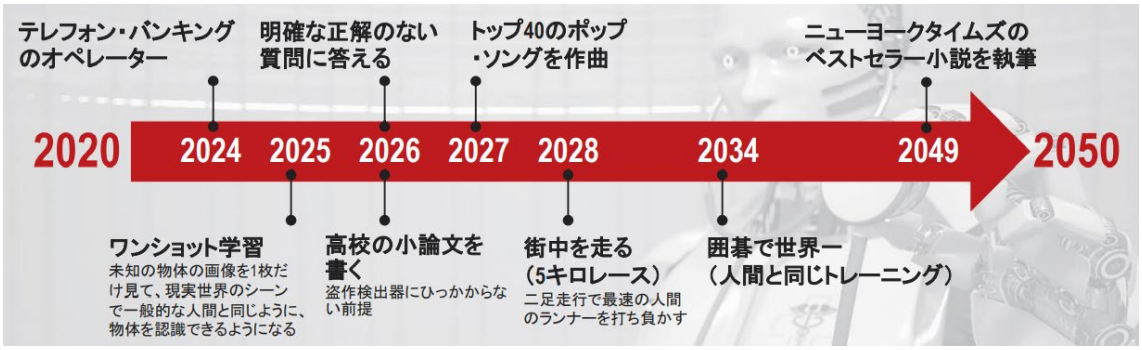


（出所）Oxford Economics、 UN; Carnegie Endowment

（５） 技術とイノベーション

AI 進化により、あらゆる仕事が置き換えられることが想定される。（図表 1.2.9 参照）。

図表 1.2.9　AI が人間のパフォーマンスを 50%の確率で達成するタイムライン

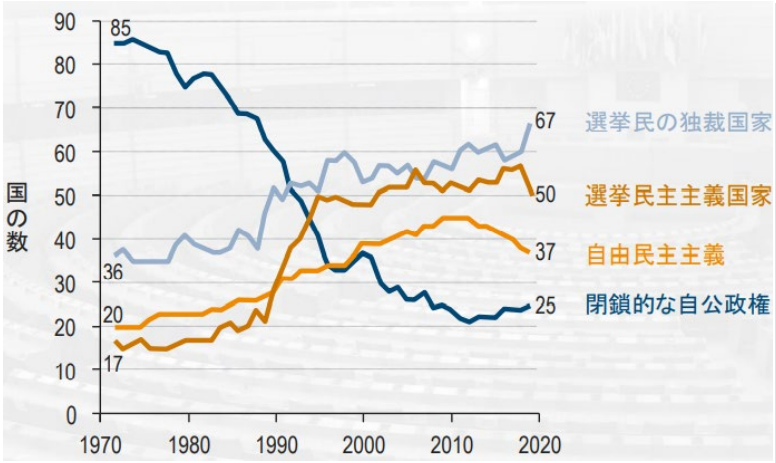


（出所） Journal of Artificial Intelligence Research

（６） 政治とガバナンス

未来の民主主義が脅かされており、独裁化の傾向は過去 10 年で急増している（図表 1.2.10 参照）。

図表 1.2.10　独裁化は世界的に加速する：民主主義的特徴の衰退

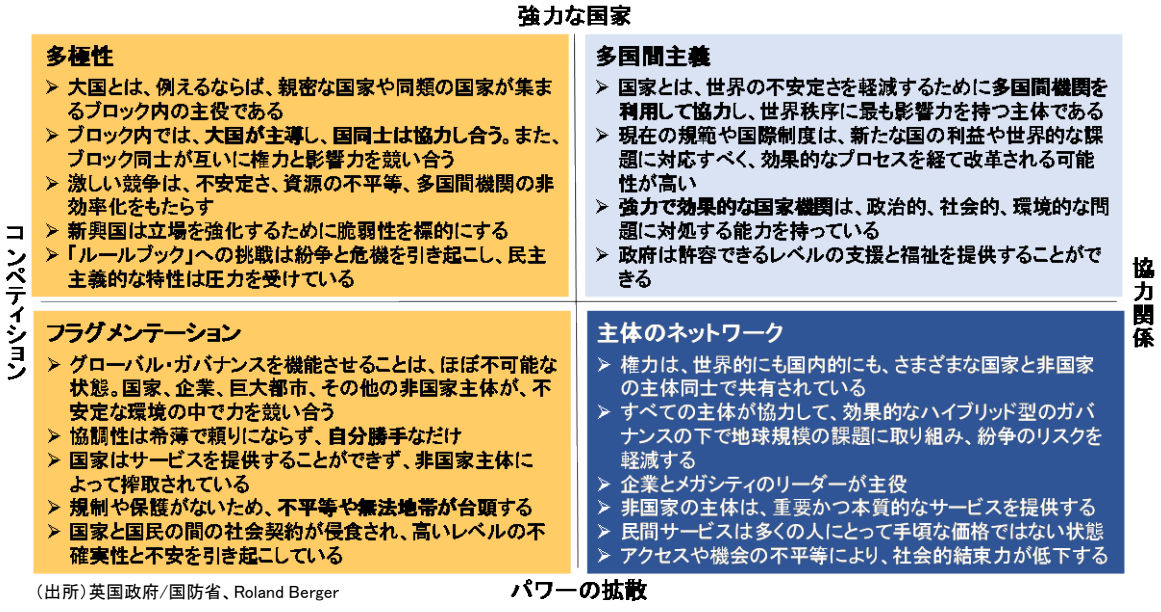


> 2001年以来初めて、独裁国家が世界の過半数を占めた（世界人口の54%を占める92カ国）。一方、選挙制民主主義国と自由民主主義国は、世界人口の46%を占める87カ国で構成
> 国際的には、ハンガリーが例として挙げられており、現在ではEU史上初の権威主義体制の加盟国に分類。独裁化は、軍事的・政治的に大きな影響力を持つ主要な人口を抱えるブラジル、インド、トルコに影響を与えている
> 民主主義の特筆すべき特徴である表現の自由は、過去10年間で最も多くの国で減少。現在31カ国が、表現の自由とメディアの自由に対する攻撃による影響を受けている。10年前の「アラブの春」で初めて見られたように、親民主主義の市民抗議を目的としたソーシャル・メディア・ツールの大量採用もまた、国内外の反民主主義勢力による悪用（フェイク・ニュースや陰謀論の流布など）を引き起こしている

（出所）ヨーテボリ大学/V-DEM 研究所

また、グローバル・ガバナンスの未来は、流動的な状態にあるように見える。国際的な権力は地政学的な同盟と競争によって形成されていく（図表 1.2.11 参照）。

図表 1.2.11　グローバル・ガバナンスの 4 つの未来



（出所）英国政府/国防省、Roland Berger

⇒「グローバリズムは終焉を迎えつつある！」 中国の台頭、米国の対中姿勢の明確化、中国包囲網と中国の合従連衡、韓信の股くぐり（常套手段）による一国づつ切り崩し、中国経済成長の頭打ち兆し。⇒日本企業の戦略転換、国家と企業のつながり（企業にも祖国あり！）
楽天の楽天的な認識の甘さ（テンセント問題）、多極化の中で本能的に安全保障優先、日本との繋がりが強い国との「価値観」の共有
（出所）中西輝政、2021-7月　致知

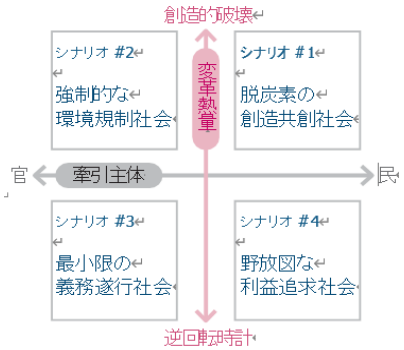
1．2．2　ESG ロードマップ構築に向けた脱炭素社会のシナリオ・プランニング

（1）　2050 年の未来シナリオ

確実な未来予測は存在しないが、戦略に焦点を当てた未来シナリオは有用である。そこで、Roland Berger 社の「シナリオ・プランニングのアプローチ（2021 年 1 月）」を引用して考察する。

2050 年の未来社会を脱炭素化の観点から見通すに当たり、シナリオを左右する軸は牽引主体と変革熱量である（図表 1.2.12 参照）。

図表 1.2.12　2050 年の未来シナリオ



シナリオ #1：脱炭素の創造競争社会
第一象限は、「民」主体の創造的破壊シナリオ。2020 年半ば、アフリカと南欧を干ばつが襲い、多くの気候変動移民が発生。その他地域にも異常気象が多発。修復不可能な環境破壊を目の当たりにして、いよいよ社会が目を覚ます。持続可能な生活様式が定着、消費者は購買行動を通じて企業に行動変容を迫る。ESG（環境・社会・ガバナンス）思考が企業活動の隅々にまで浸透。サステナビリティは企業戦略と密接不可分に、「社会への還元」こそが企業の存在意義 となる。

シナリオ #2：強制的な環境規制社会
第二象限は、「官」主体の創造的破壊シナリオ。各国がパリ協定遵守を強力に主導。温暖化は 1.5℃未満に、貧困の拡大にも歯止めがかかる。2050年カーボンニュートラルでは不十分とされ、企業にはカーボンネガティブ規制が適用される。企業間の自由競争は弱まり、政府の指導の下、企業収益の一定割合をグリーン新技術開発に投下。脱炭素化のみならず、国連 SDGs17目標達成に向け、企業業績は政府が配分した予算（CO2 排出量、水使用量など）の達成度で測られる。

シナリオ #3：最小限の義務遂行社会
第三象限は、「官」主体の逆回転時計シナリオ。政府は変革の必要性を認識するも強制力不足。企業は上辺だけの環境施策(“greenwashing”)で体裁を取り繕い、従前の経済活動を遂行。一部地域で EV や FCV の普及は進むものの、地域横展開は限定的。グローバル化は後退、ナショナリズムが進行、あらゆるグリーン新技術は自国のためにのみ活用される。環境税が導入されるも、タックスヘイブン活用などで骨抜きに。結果、温暖化が進行、国連連SDGs17目標も達成されない。

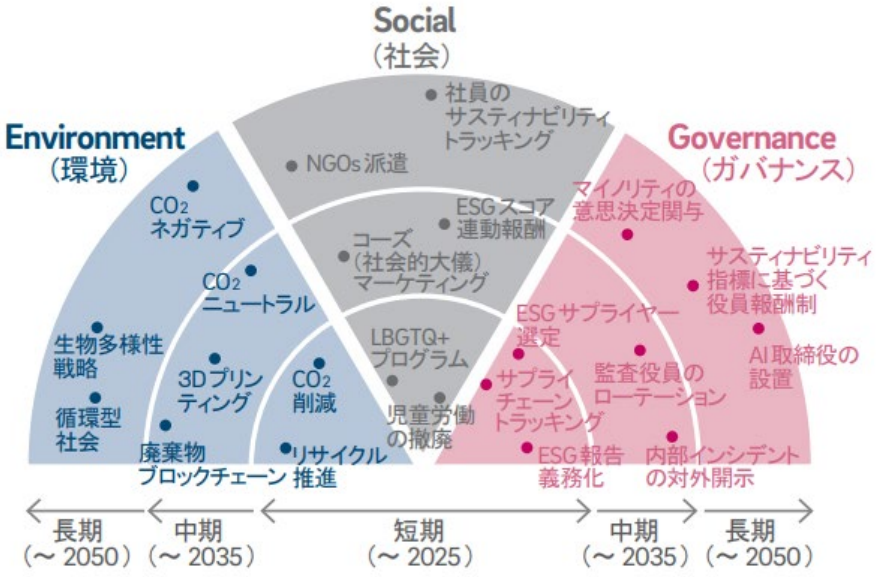
シナリオ #4：野放図な利益追求社会
第四象限は、「民」主体の逆回転時計シナリオ。2020 年代の各国の取り組みは霧散霧消し、環境問題は消費者や企業に任される。企業は短期利益最大化を追求、消費者は持続可能な社会の必要性を理解するも、従前の生活様式の変更には否定的。石化燃料依存が続き、CO2 排出量は拡大の一途。企業間取引の最優先事項は価格となり、循環型社会は夢のまた夢。結果、修復不可能なまでに環境破壊が進行。国家間格差は更に拡大し、途上国の童労働や児童労働問題も解消しない。

「牽引主体」とは、持続可能な社会のけん引役のことである。消費者の行動変容が企業の行動変容をもたらすものが「民」主体。厳格かつ詳細な規制が消費者や企業の行動変容をもたらすものが「官」主体となる。
「変革熱量」とはすなわち、持続可能な社会の背景にあるマインドセットである。既存の仕組みを再構築し創造的破壊に向かう意思があるのか、環境を犠牲にして現在の社会を継続するのか、この２軸の掛合せから４つの未来シナリオを導出している。

（２）　包括的な ESG ロードマップ

望ましい未来シナリオは、「シナリオ#1：脱炭素の創造競争社会」であることは当然である。生産年齢人口における Z 世代（1990 年代後半～2000 年代生まれ）の存在感が増すにつれ、消費者の購買行動や企業活動の変化は加速するとみられる。
例えば、英スタートアップの Yayzy（イェイジー）は、購入品ごとの二酸化炭素排出量を自動計算、地球への影響をすぐに確認できるスマホアプリを開発した。排出される CO2 を相殺するための情報も提供する。 CoGo（ニュージーランド）、Doconomy（スウェーデン）など、類似サービスを提供する企業も少なくない。
今を脱炭素化の機会と捉え、2050 年を見据えた包括的な ESG ロードマップを元に、変わるべきか否かではなく、いかに早く変わるかが重要である。（図表 1.2.13 参照）

図表 1.2.13　包括的な ESG ロードマップ



（出所）RB 社　田村誠一「脱炭素社会をシナリオ・プランニングする」（2021 年 1 月 15 日）

１．２．３　世界各国、各企業のカーボンニュートラル宣言

（１）　G20 によるカーボンニュートラル宣言

2019 年 9 月の国連気候行動サミットで発足した「Climate Ambition Alliance」には、2050 年 CO2 ネットゼロ・エミッションの達成に向けて EU 及び 121 カ国が加盟（2020 年 12 月現在）している。

G20 は、G7（米国、日本、ドイツ、英国、フランス、イタリア、カナダ）、アルゼンチン、オーストラリア、ブラジル、中国、インド、インドネシア、韓国、メキシコ、ロシア、サウジアラビア、南アフリカ、トルコ、欧州連合・欧州中央銀行を加えた 20 か国及び地域で、カーボンニュートラル宣言を行った（図表 1.2.14 参照）。

また、米国新政権の「パリ協定」復帰によって、欧米による実質的な脱炭素化への動きがスタートしている。

図表 1.2.14　G20 のカーボンニュートラル宣言国の概要

国名	カーボンニュートラル宣言の概要・中期目標の引上げ状況
EU	**2050年カーボンニュートラル**（2020年9月欧州気候法案） **2030年の削減目標を少なくとも55%（1990年比）に引上げ** （2020年12月NDC改定版）
ドイツ	2050年カーボンニュートラル（2019年9月メルケル首相発言） EUと同様のNDC改定版を提出（2020年12月） ※同様の国内目標を法定化済（2019年12月気候保護法）
フランス	2050年カーボンニュートラル（2019年11月ｴﾈﾙｷﾞｰ・気候法） EUと同様のNDC改定版を提出（2020年12月）
イタリア	2050年カーボンニュートラル（Climate Ambition Alliance加盟） EUと同様のNDC改定版を提出（2020年12月）
英国	**2050年カーボンニュートラル**（2019年6月気候変動法） **2030年の削減目標を少なくとも68%（1990年比）に引上げ** （2020年12月NDC改定版）
米国	**2050年カーボンニュートラル**（2020年7月バイデン候補（当時）政策ビジョン、2020年8月民主党政策綱領） 4年間で2兆ドルの環境インフラ投資、**「パリ協定」復帰20210301**
カナダ	**2050年カーボンニュートラル**（2020年11月カナダネットゼロ排出量責任法案）、2021年11月までにより野心的なNDCを提出予定（2020年12月カナダ政府）

国名	カーボンニュートラル宣言の概要・中期目標の引上げ状況
日本	**2050年カーボンニュートラル宣言**（2020年10月26日菅総理大臣所信表明演説） 2050年カーボンニュートラルに伴う**グリーン成長戦略**により、成長が期待される産業（14分野）で政策を総動員する
中国	**2060年ｶｰﾎﾞﾝﾆｭｰﾄﾗﾙ**（2020年9月習近平主席発言） **2030年のGDP当たりCO2排出量を65%削減（2005年比）に引上げ**（2020年12月習近平国家主席発言）
韓国	**2050年ｶｰﾎﾞﾝﾆｭｰﾄﾗﾙ**（2020年10月文在寅大統領発言） 2030年の削減目標の上方修正に努める（2020年12月文在寅大統領発言）
南アフリカ	2050年カーボンニュートラル（2020年9月長期戦略）
メキシコ	2050年カーボンニュートラル（Climate Ambition Alliance加盟）
ブラジル	**2060年ｶｰﾎﾞﾝﾆｭｰﾄﾗﾙ**（2020年12月NDC改定版） ※上記目標は、パリ協定の市場メカニズムの機能次第で、修正される可能性がある 2025年の削減目標37%、2030年削減目標43%（いずれも2005年比）は据え置き（2020年12月NDC改定版）
ｱﾙｾﾞﾝﾁﾝ	2050年ｶｰﾎﾞﾝﾆｭｰﾄﾗﾙ（Climate Ambition Alliance加盟）

（出所）各国政府資料より環境省作成を一部改訂

（2）　金融業界による企業への脱炭素化働きかけ

脱炭素目標を主流に押上げた要因に金融業界の動向がある。環境・社会・企業統治の情報から企業を選ぶ ESG 投資は世界全体で 30 兆ドル（≒3,150 兆円）規模に拡大している。20 年 10 月、仏アクサグループや日興アセットマネジメントなど 137 機関は、世界の巨大企業 1800 社に 2050 年ゼロ目標を設定するよう要求した。対象となった企業の年間排出量の合計は、世界全体の 25%（≒83 億トン）に相当する。金融機関は頻発する自然災害が経済危機を招くと危惧し、企業に対策を働きかけている。

また、企業の本気度を評価する英シンクタンクも登場しており、ESG 投資の対象となる企業は投資家からの厳しい視線に晒される。温暖化対策を訴えてきた気候変動イニシアチブの末吉代表は「将来を考えず判断を先送りする経営者がいる企業は市場から消える」とし、脱炭素への早期の移行を訴えている。

（3）　米石油メジャーエクソンモービルとシェブロンの脱炭素動向

米石油メジャーのエクソンモービルとシェブロンは米南部のシェール鉱区やメキシコ湾の資源開発を競ってきたが、足元では環境対策という共通の課題を抱えている。

環境保護を重視するバイデン大統領は、連邦政府の管理地や海洋での石油・天然ガスの開発を規制する大統領令に署名した。影響は米国の石油・天然ガス生産の 2 割弱に及び、トランプ政権下で 4 割近く増加した生産拡大にブレーキがかかっている。

Shell や BP など欧州メジャーは新型コロナ危機などを契機に事業モデルを転換し、化石燃料の開発抑制と再生可能エネルギーへの投資拡大を表明し、両社は 50 年までにカーボンニュートラルを目指すことを宣言した。米アモコとの合併（1998 年）により米国事業の比率が高い BP は、30 年までに化石燃料の開発を 4 割減らす方針を打出している。

このような欧州勢の動きに対し、米メジャーは対応の遅れが目立っていたが、シェブロンは 2021 年 10 月に、エクソンモービルは 2022 年 1 月に 2050 年カーボンニュートラルを発表した。これにより、カーボンニュートラルに向けた世界の動きは一層加速することが

予想される。

（4） 米国「パリ協定」復帰で新たな競争時代の始まり

バイデン大統領は2050年までに温室効果ガスの排出を実質ゼロにすることを示した。大統領令は環境保護団体から歓迎される一方、産業団体や保守派からは批判の声が挙がっている。

特に米国の主要な石油・ガス業界団体である米石油協会（API）は、キーストーンXLパイプラインの建設許可取消しは「後戻り」だと指摘しており、「この見当違いの動きは米国経済の回復を妨げ、北米のエネルギー安全保障を損ね、米国最大の同盟国（カナダ）の１つとの関係を悪化させる」としている。

また、米国のパリ協定復帰を歓迎する国際社会や環境活動家の間でも、米国が権力を維持できるか、こうした内政の混乱を克服できるかどうか、懐疑的な見方が出ている。

バイデン大統領の公約には「温室効果ガスの排出削減策を十分にとっていない国からの輸入に対して国境で税をかける」というものもあり、バイデン政権のもとでは日本を含む各国の排出削減目標の引上げへの圧力が、高まってくるとみられる。

１．２．４ IEAによる2050年脱炭素化（NZE）ロードマップと現実的な想定

（1） IEAによる2050年CO2ネットゼロエミッション（NZE）の要約

①ロードマップは、IEAのエネルギーモデリングツールと専門知識に基づいて、2050年までにネット・ゼロへ導くための400以上のマイルストーンを設定している。

これには、新しい化石燃料供給プロジェクトへの投資は含まれていない。また、2035年までに新しい内燃エンジン乗用車の販売はなくなり、2040年までに世界の電力部門は既にネット・ゼロ排出量に達するとしている。

さらに、この経路では2030年までに太陽光発電を年間630GW（63,000万KW）追加し、風力発電を390GW（39,000万KW）追加する必要がある。合計すると2020年に設定されたレベルの4倍である。太陽光発電の場合、これは世界最大のソーラー・パークをほぼ毎日設置することに相当する。

エネルギー効率を高めるための主要な推進力もこれらの取り組みの重要な部分であり、2030年までの世界のエネルギー効率の改善率は年平均4%で過去20年間の平均の約3倍である。

②2050年までに、世界のエネルギー構成は完全に異なる様相になることが想定されている。

世界のエネルギー需要は現在よりも約8%少なくなるが、経済規模は２倍以上になり、人口は20億人増えている。

発電量のほぼ90%は再生可能エネルギー源に由来し、太陽光は世界で最大のエネルギー供給源となり、風力と太陽光発電を合わせてほぼ70%を占める。残りのほとんどは原子力発電になる。

化石燃料は、現在のエネルギー供給割合である5分の4から5分の1強にまで減少する。

残っている化石燃料は、プラスチックなどの製品に炭素が含まれる商品、炭素回収装置を備えた施設、及び低排出技術の選択肢が不足している分野で使用される。

（2） NZEに対する現実的な石油需要推移想定（IHS Markit、EIA Energy Outlook 2021）

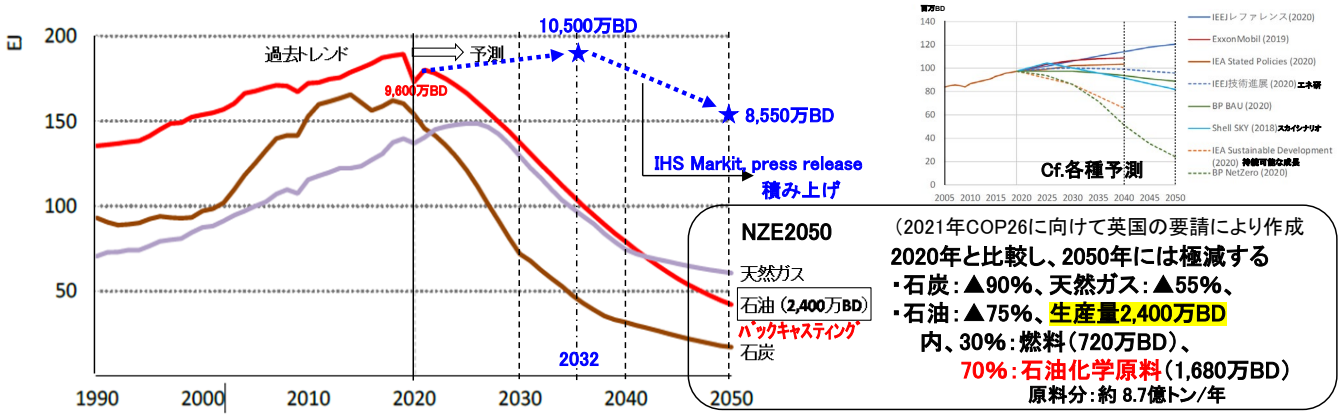
前出の IEA の NZE ロードマップに対し、現実的なエネルギー推移、特に一次エネルギーの石油製品需要想定が IHS Markit 及び米国 EIA より公表されている。その要約と NZE との比較を以下に示す。

①IHS Markit の需要想定

IHS Markit ベースケースシナリオでは、2050 年の世界の総需要が 2019 年のレベルよりも低くなると予想しているものの、より劇的なシナリオ（化石燃料需要が石油化学原料以外の燃料としてほとんどなくなること）は想定されていない。

石油需要は 2036 年まで緩やかに増加、その後減少に転じて 2050 年までに 8,550 万 BPD になることが見込まれている。また、2050 年には船舶燃料の石油シェアは 60%以下、ジェット燃料の 15%はバイオ燃料となる。道路輸送では、より厳しい燃費基準の影響を受けるだけでなく、2050 年までにプラグイン電気自動車の普及率が、現在の 1%未満から 44%を超えるまでに増加する。

図表 1.2.15　NZE2050 マイルストーンと IHS ベースシナリオとの比較



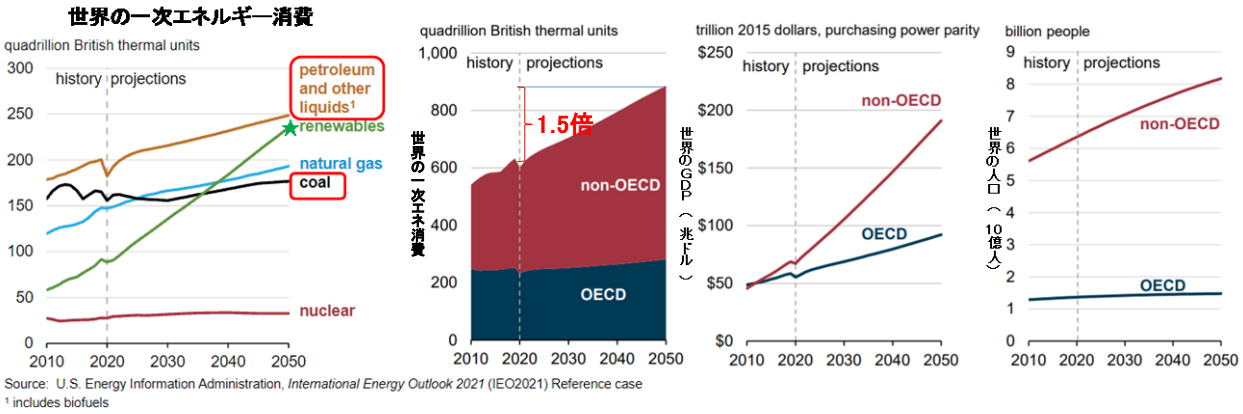
（出所）2021 年 9 月 13 日、IHS Markit, press release、IEA Net Zero by 2050 Scenario

②米国 EIA による 2050 年までの需要想定

米国エネルギー情報局（EIA）は、2021 年 10 月に公表した International Energy Outlook 2021 で現状の政策や技術に重要な変更がない限り、世界のエネルギー消費量/エネルギー関連 CO2 排出量は 2050 年約 50%まで増加し続けるとしている。

発電部門では再生エネルギーが主流となるものの、引き続き、天然ガス、石炭が利用される。石油・天然ガスの生産量は、アジアの発展途上国を中心とする需要増を賄うため引続き増加する。石油及び液体燃料は Non-OECD 諸国で消費が増加するため、世界全体では 2050 年まで増加し続ける絵になっている（図表 1.2.16 参照）。

図表 1.2.16　世界エネルギー消費量、CO2 排出量は 2050 年約 50%まで増加



（出所）IEA、2021 年 10 月 7 日、International Energy Outlook 2021

１．２．５　2050 年カーボンニュートラルに対する慎重な意見

各国が 2050 年カーボンニュートラル宣言する中、脱炭素化が容易ではないこと、化石資源は残らざるを得ないことを上げる現実的な意見もある。

（１）　英国調査会社 IHS Marcket のダニエル・ヤーギン副会長のコメント

各国政府は重い腰を上げた。脱炭素はどの国にとっても大きな課題だ。石炭への依存度が大きい中国にとっては特に難易度が高く、世界の経済を数十年で作り替えるような大変な作業だ。複雑な供給網を見直さなくてはならないが、その難しさに人々は気づいていない。

ほとんどの産油国は経済の多角化を実現できていない。非石油部門の発展で大きな成功を収めたアラブ首長国連邦（UAR）は 07 年に改革を始めたが、小国で人材と改革への決意などの条件が揃っていた。（大国の）サウジアラビアは人口の 7 割が 35 歳以下で、雇用創出の点から歳入の脱石油依存が切実だ。あるサウジの政策顧問は『(公式に掲げた）多角化の目標の半分でも達成できれば上出来だ』と語っていた。

石油会社は、気候変動問題をめぐる懸念と株式のパフォーマンス悪化という二つの点から、市場で不人気となった。米シェール企業は、手厚い還元をしなくては投資家をつなぎ留められないことを理解している。ただ、世界で現在 14 億台の自動車は 50 年には 20 億台に増える。3 分の 1 が電気や水素燃料に置換わるとしても、残り 3 分の 2 は石油を必要とする。

（２）　ベーカーヒューズ社ロレンツォ・シモーネリ最高経営責任者

「石油・ガス資源は消えない」と同氏は 2021 年 2 月の同社の年次総会の基調講演で次のように述べている。

エネルギー変換を認め、歓迎するが、再生可能エネルギー100%を達成することは不可能だ。多くの環境保護主義者の希望と野望は、人間の活動が電気だけで駆動され、太陽エネルギー、風力、水力発電などの再生可能エネルギーのみを使用して発電される世界を想定している。しかし、そのような世界は非現実的である。

例えば、ドイツは、再生可能エネルギーの生産能力が最も多い欧州連合(EU)加盟国の一つ

であるが、年初から太陽光発電は一切稼働していない。理由は冬だからである。確かに風力エネルギーの膨大な量で電気を生産しているが、最も軽蔑的な化石燃料である石炭でも発電している。

また、再生可能エネルギーの確立が排出問題の万能薬ではない。実際、十分なストレージ容量を確保する前に構築すると、逆効果になる可能性がある。クロアチアの変電所の最近の小さな問題は、ヨーロッパ全土で大規模な停電を引起こした。デンマークでも火力発電所は、任意のグリッドが正常に動作するために必要な基本的な負荷を確保するので、停電のリスクを低減させることが認識されている。

（3） 日本エネルギー経済研究所　川上恭章主任研究員

①石油需要 80%減の衝撃

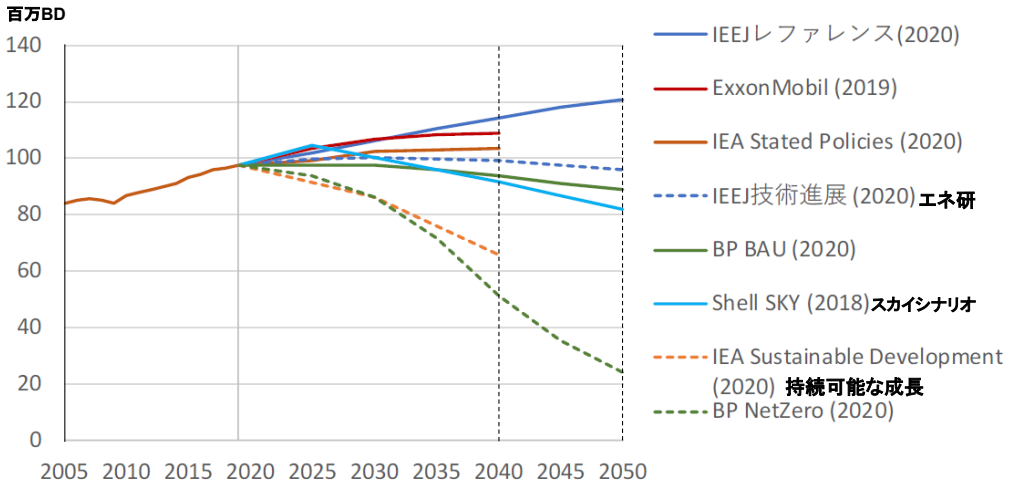
2020 年 9 月に英石油ガス大手の BP が発表した将来の石油需要見通しは、世界中で大きな驚きをもって報じられた。

世界の石油需要は新型コロナウイルス感染症が拡大する前の水準を回復することはなく、2050 年には 2018 年比で約 80%減少するというシナリオが示された。

②80%減は目標からのバックキャスティング

しかし、80%減という数字には要注意である。この脱石油シナリオは、BP により示された複数のシナリオのうちの一つに過ぎず、この他にも複数の研究機関や企業によって、様々な将来の石油需要シナリオが発表されている（図表 1.2.20）。

図表 1.2.20　各機関や企業の石油需要シナリオ



（出所）IEA World Energy Outlook 2020、IEEJ Outlook 2021、Shell Sky Scenario、BP Energy Outlook 2020、ExxonMobil Outlook for Energy

需要想定シナリオは、大まかに 2 タイプに分類することができる。

・石油需要は 2030 年代前半頃にピークを迎えるが、2050 年の需要は現在から大きくは減らない。或いはピークは遅れて到来

・石油需要はすでにピークを過ぎた。2050 年の需要は現在と比較して半減ないしそれ以上に減少

ここで注目すべき点は、後者のシナリオ群は脱炭素すべき未来から逆算する、という考え方に立っていることである。

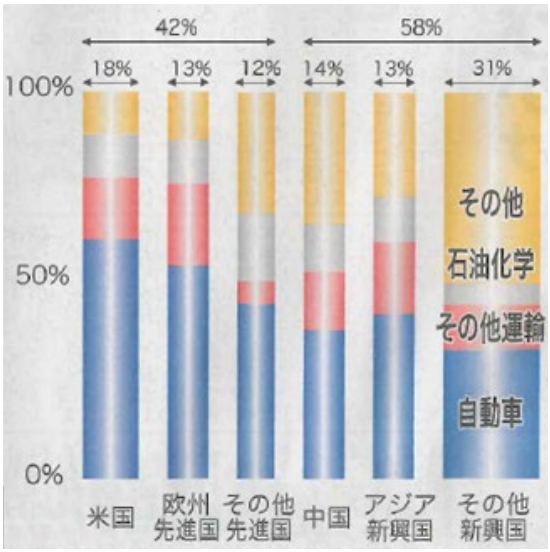
冒頭の BP のシナリオ（ネットゼロ）は、2050 年には先進国でトン当たり 250 ドル、新興国で、同 175 ドルの CO2 価格が課されていると仮定している。

250 ドルの CO2 価格は、ガソリン換算でリットル約 60 円の価格増加である。新興国を含めた全世界でこのような高額な CO2 価格が課される状況が現実になるかという点は、多くが疑問を持つ。

③需要の中心はアジア太平洋地域

現時点の石油の需要構造をみてみると、脱化石燃料を主張している欧州先進国は、世界の石油需要の 10%強を占めるに過ぎない（図表 1.2.21 参照）。

図表 1.2.21 世界の石油需要構造－2018 年－



需要の中心は新興国、とりわけアジア太平洋地域にシフトすると考えられている。

欧州での脱化石燃料の取り組みが注目されているが、将来の石油需要を決定づける大きな影響力を持っているのは、欧州ではなく、アジア太平洋地域を中心とする新興国である。

地球温暖化対策は重要であるが、安価なエネルギーへのアクセスを制限して急激な脱化石燃料を目指す政策は、多くの人に経済的負担を強いる。化石燃料を使用しながら着実に低炭素化や低環境負荷を目指す方が、現実的な CO2 削減への道であると考えられる。

１．２．６　コロナ禍前後の北海ブレンド原油価格の推移と予想

（１）　北海ブレンド原油価格の推移と予想

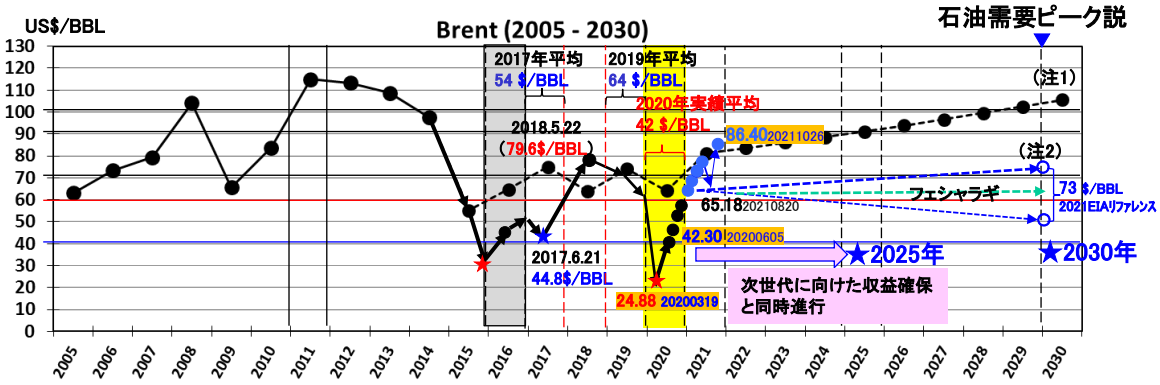
2019 年からの”米中貿易摩擦”で世界的な石油需要の減速が強まっていたところに、新型コロナウイルスの感染拡大により、2020 年に世界の原油価格は暴落した。

主要原油の先物価格（$/bbl）は、買い手がつかなかったことでマイナス価格にまで下落した。WTI 終値(5 限月)は-37.63（前日比で-55.90)、Brent 終値(6 限月)は 25.57、Dubai は 21.60 で、1983 年の NYMEX 取引開始以来、初めて WTI 先物はマイナスとなった。

こうした新型コロナウイルスの影響は石油の時代の終焉を早めるかもしれないといわれ

たが、原油価格はやがて安定し、石油精製業にとって良いマージンが確保できるようになるという見方もある（図表 1.2.22 参照）。

図表 1.2.22　Brent 価格推移と予測



（注 1）JCCP, 2015.1.21, FGE に基づき作成

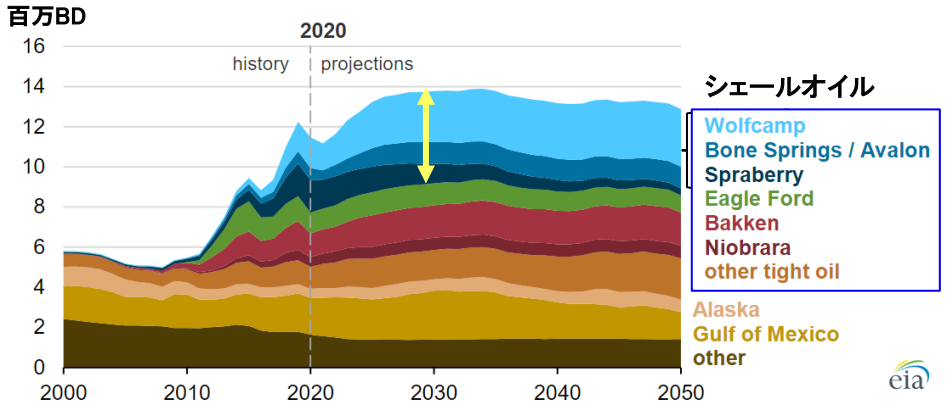
（注 2）米国エネルギー情報局（EIA）の年次エネルギー見通し 2021 リファレンスケース

（２）　米国原油の生産量予測、米シェール油のインパクト

・米国の地域別原油生産量（リファレンスケース）

シェールオイルの生産量が伸びる。シェールオイルの多くはパーミアン盆地（Wolfcamp、Bone Spring、Spraberry 他）やバッケンで生産される　（図表 1.2.23 参照）。

図表 1.2.23　米国の原油生産推移と予測

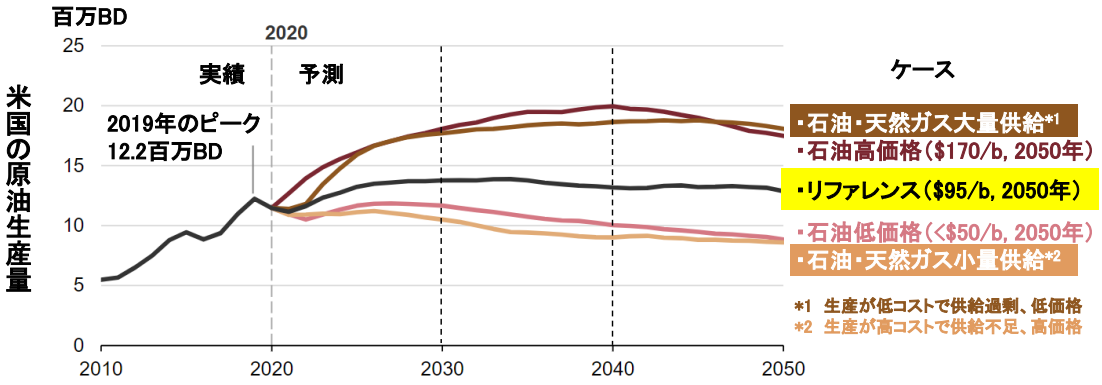


（出所）米国 EIA

リファレンスケースの原油生産量は、2023 年までに 2019 年の水準を回復。2030～2050 年に 13～14 百万 BD で横ばいになる（図表 1.2.24 参照）。

一方、石油低価格ケース、石油高価格ケースなど様々な想定がされており、生産量の予測は極めて不確かである。

図表 1.2.24　米国の原油生産量予測



（出所）米国 EIA　Annual Energy Outlook 2021

１．２．７　世界の自動車産業の EV 化

自動車産業は経済に与える影響が高く、且つ、関連産業が多いため、EV 化への移行で失敗すると関連産業の崩壊に繋がり、日本経済が失速するリスクを含んでいる。

また、EV 化に必須のレアメタルは中国の生産量割合が高く、自動車メーカーにとって資源確保が最大の経営課題である。各社は、各国・地域の環境規制を睨み、EV やハイブリッド車（HV）、プラグインハイブリッド車（PHV）の拡充に動いている（図表 1.2.25）。

2050 年のカーボンニュートラル（温室効果ガス排出量実質ゼロ）の実現に向け、各国・地域は 2035 年を規制強化の節目と位置付けている。

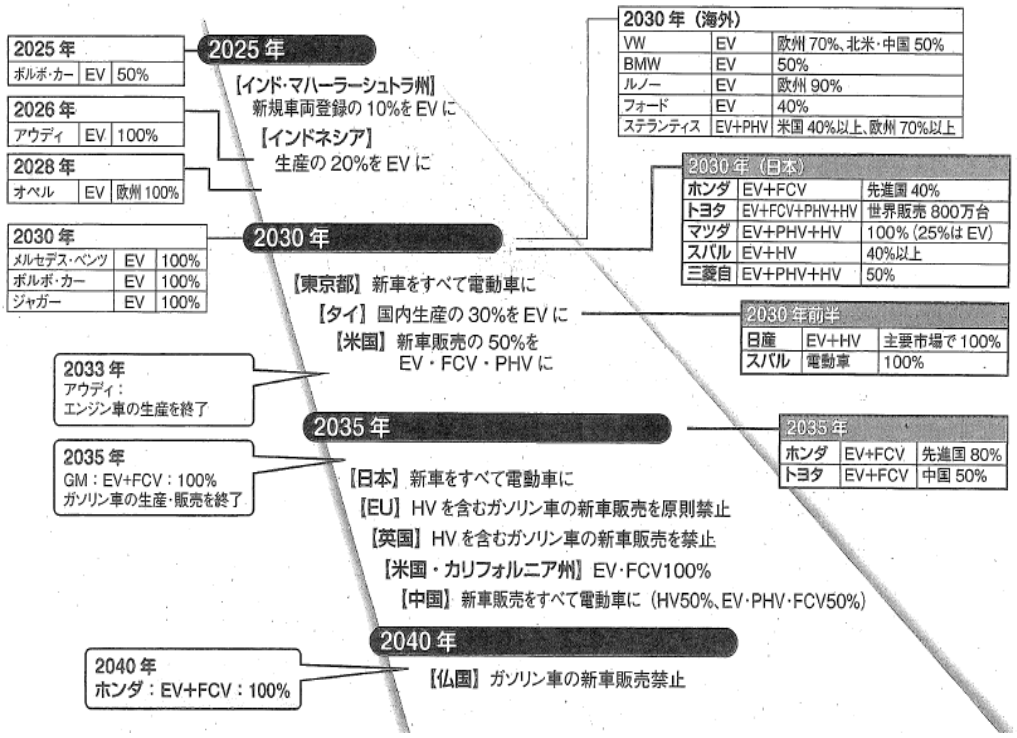
欧州委員会は 7 月、35 年にエンジン車の新車販売を事実上禁止する包括案を示した。禁止対象には HV も含まれ、特定技術の禁止に反発の声も挙がっている。

一方、HV が普及する日本では、政府が 35 年までに乗用車の新車販売を全て（HV を含む）電動車に切替える目標を打出した。

中国では自動車エンジニア学会が 35 年までに新車の 50%を EV や燃料電池車（FCV）などの新エネルギー車に、残りの 50%をエンジン車から HV に切替える計画を発表、中国政府の政策を支える重要材料になるとされている。

米国ではバイデン大統領が、30 年に新車販売の 5 割を EV など電動車とする大統領令に署名し、電動化を加速する姿勢を示した。

図表 1.2.25　各国・地域及び各社・ブランドの自動車電動化ロードマップ



（出所）2021 年 8 月 10 日　日刊工業新聞

こうした各国の規制に対応するため、自動車各社は 30 年を一つの基準に電動化戦略を加速する。

トヨタ自動車は 30 年に電動車の世界販売を 800 万台程度とする新たな目標を 5 月に発表した。内訳は EV と FCV が約 200 万台、HV や PHV が約 600 万台である。以前は、25 年ごろに電動車販売を 550 万台以上にする目標だった。

欧米勢では独フォルクスワーゲン（VW）が 30 年までに欧州で新車販売に占める EV の比率を 70%、仏ルノーも同年までに同比率を 90%、独 BMW は 30 年までに世界で同比率を 50%に高める目標を掲げた。

仏グループ PSA と欧米フィアット・クライスラー・オートモービルズ（FCA）が統合した欧州ステランティスは、2030 年までに EV と PHV の新車販売比率を欧州で 70%以上、米国で 40%以上に引上げる計画である。

米フォード・モーターは同年までに世界で販売する新車の 40%が EV になると予想する。高級車ブランドはブランド力向上を狙い特に電動化に積極的である。

独アウディは 26 年に、独メルセデス・ベンツ、スウェーデンのボルボ・カー、英ジャガーは 30 年に新車の全てを EV に切替える計画を打出した。

２．国内石油コンビナートの国際競争力評価・分析

２．１ 競争力評価の目的

近年、世界的に地球温暖化対策としてカーボンニュートラルに向けて、多くの国や企業が2050年の目標と対策を公表し、コストを負担しながら、その推進に積極的に取組んでいる。また、日本の石油・石油化学産業は、海外における大規模かつ最新鋭の製油所の新増設、新興国を中心とした世界的な石油需要の増加に伴う資源獲得競争等のグローバル競争に直面している。一方、日本の石油製品の需要は、近年の地球環境問題、省エネ・燃料転換の進展等により、急激なスピードで減少している。今後も構造的な需要減少が続いていく見込みであり、C重油の減少に加え、ガソリン、灯油の需要も減少している。このような環境下において、日本のエネルギーセキュリティ確保の観点からも、国際的にもアジア各国に対抗できる製造拠点となり得る石油コンビナートの果たす役割と重要性は益々大きくなっている。

このような状況下、製油所や企業の枠組みを越えた、石油精製同士や石油精製と石油化学、異業種との連携や一体運営による全体最適の推進が益々重要な課題になってきた。特に、地球環境問題への対応を行いつつ、高付加価値生産構造と生産効率の更なる向上により、日本のコンビナートがアジアトップレベルに向けた競争力を確保し、製造業の中枢としての役割を最大限発揮していく事が必要と考える。

本調査では、日本の各石油コンビナートにおける競争力強化に向けた取組みの現状と将来構想について把握するとともに、海外のコンビナートの動向を調査し、日本との競争力比較等を踏まえ、地球温暖化対策、新たな統合運営・連携による供給構造改善・高効率化、高付加価値設備の増強・集約化等に関わる課題と対応策を探索する。

２．２ 競争力評価の考え方

２．２．１　想定について

（１） 評価時点の考え方

本調査では、評価時点を2021年、2025年の2時点とする。2025年について、公表された将来の設備増強計画及び現在の社会経済環境を基に予測し得る最も現実的な将来を想定して評価を行った。

各評価時点の考え方（状況）はおおむね以下のとおりである。

①2021年（現在）

世界的な地球温暖化対策が推進されている状態。RINGⅠⅡⅢ事業における取組とともに、コンビナート連携石油安定供給対策事業、石油産業構造改善事業等による連携・高度統合が行われた状態。

②2025年

世界的な地球温暖化対策が進んだ状態。コンビナートの企業間連携が着実にかつ強力に進められ、より一層のコンビナートの統合運営・広域連携が着手された状態。

現在の社会経済環境や地球温暖化対策及び問題設備増強計画等に鑑み、現時点で予測し得る現実的な将来。

（2） 評価時点の環境想定

現在の 2021 年から 2025 年にわたり、石油産業と石化産業が、国内市場のみならずアジア等への海外市場展開が積極的にできる強靭な攻めの産業体質に転換する方向での環境を想定している。具体的には、今後も拡大が見込まれる中国を始めとしたアジア等のマーケットをターゲットとした競争環境を指している。本調査における 2025 年の具体的な主要環境想定を、図表 2.2.1 に整理する。

図表 2.2.1　2025 年の主要環境想定

No	区分	内容
1.	アジア成長率	
	・中国成長率	大きな潜在市場に伴う経済成長が鈍化
	・国内成長率	低位の成長が継続
2.	アジア石油・石化製品需要	
	・原油・ナフサ需給バランス	中国の原油･ナフサの消費量は経済の成長とともに増加し、アジア地域における原油･ナフサの調達は現在より厳しくなる
3.	国内石油・石化製品需要	
	・ガソリン、灯油、軽油等の燃料油需要	低燃費車、人口の減少、省エネ等からガソリン・灯油は減少傾向。軽油は産業資材などの輸送が活発で需要は堅調。重油は大幅な減少傾向。
	・石化製品の需要	汎用品は減少傾向、高付加価値誘導品は増加傾向
4.	環境対応	
	・地球温暖化対策	主要国と一部の企業が 2030 年、2050 年の脱炭素レベルの目標を表明している

２．２．２　評価手法評価手法の要件

前述の目的を達成するためには、評価手法として、以下の要件を満たす必要がある。

・競争力評価の評価軸は極めて多岐にわたるため、それらを総合的に評価できること
・各評価軸の重みは、将来の環境変化によって変わることからその変化を考慮できること
・最終的なアウトプットは分かりやすいものであること
・各コンビナートの特性を考慮できるものであること
・海外を含めた国際的な評価ができるものであること　等

（1） 評価手法の適用

①AHP の概要

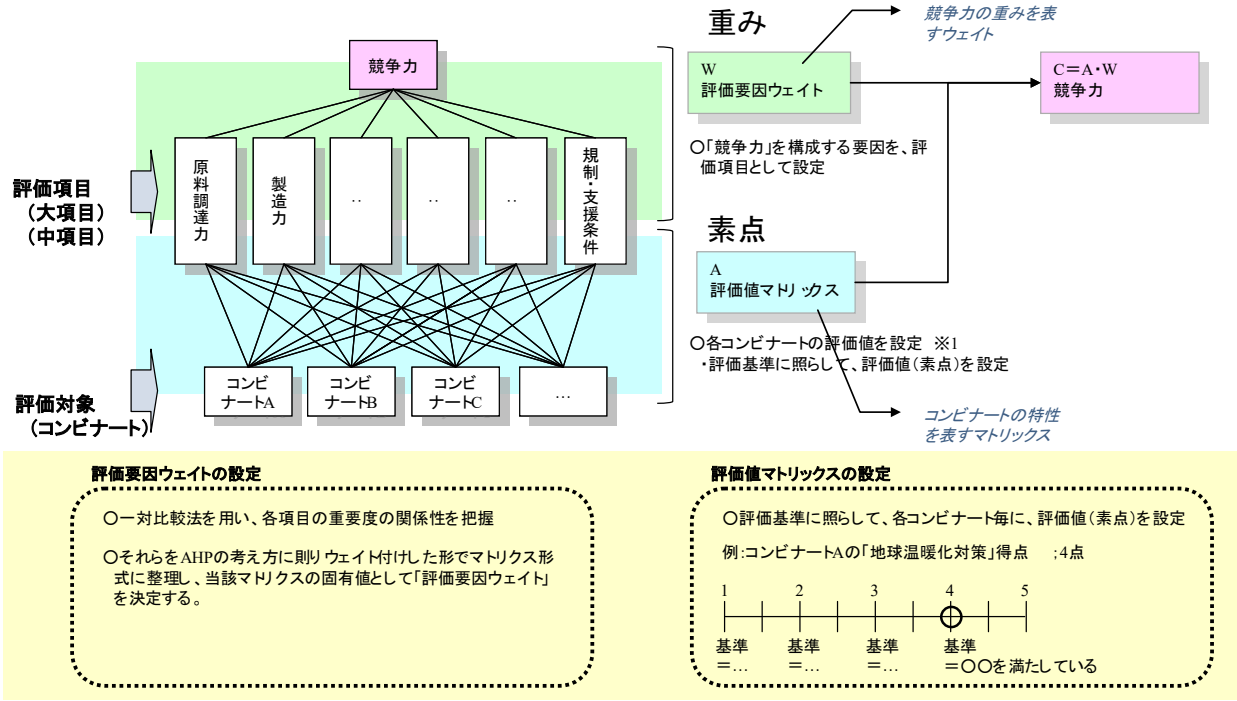
前述の要件を満たす評価手法として、AHP（Analytic Hierarchy Process；階層化意志決定法）があり、本調査では同手法を用いて競争力評価を行うこととする。

階層化意志決定法（AHP）は、1970 年代に米 Thomas L. Saaty 教授（ピッツバーグ大学）

によって開発された手法である。複雑に絡合った多様な要素のバランスを考慮しながら、簡便に意志決定を行うことが可能な手法として知られている。首都機能移転候補地選定などの国レベルの政策決定から、人事評価・商品開発などの企業経営上の意思決定まで、幅広く利用されており、手法自体の妥当性は既に認知されている。

AHP の概念図及び基本式を、図表 2.2.2、図表 2.2.3 に示す。

図表 2.2.2　AHP の概念



図表 2.2.3　AHP の基本式

C＝A・W

C　：AHP により算出された選択候補の選考ベクトル（今回のケースでは競争力に相当）

A　：選択候補の評価要因に関する評価値マトリックス

（構成要素 aij は、選択候補 i の評価要因 j に関する評価値）

W　：評価要因のウェイトベクトル

$$\begin{pmatrix} c1 \\ c2 \\ c3 \\ \vdots \\ \vdots \\ cm \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a11 & \cdots & a1n \\ a21 & \cdots & a2n \\ a31 & \cdots & a3n \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ am1 & \cdots & amn \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w1 \\ w2 \\ w3 \\ \vdots \\ \vdots \\ wm \end{pmatrix}$$

W
評価要因ウェイト

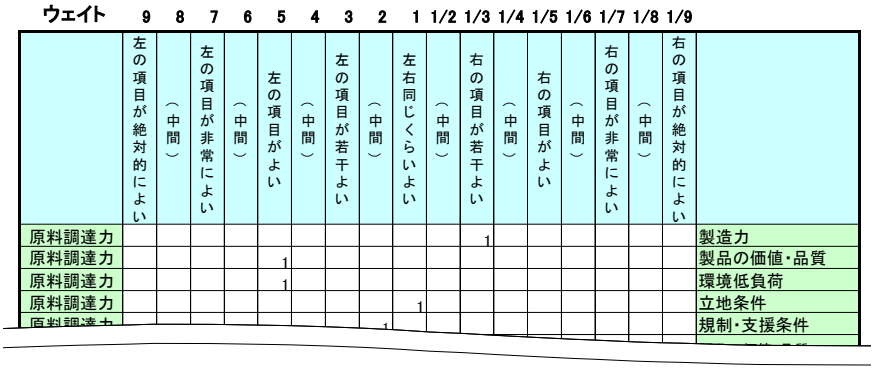
A
評価値マトリックス

②評価要因ウェイト

図表 2.2.3 における評価要因ウェイト（「競争力」を構成する各評価項目の重み）の計算方法イメージを図表 2.2.4、図表 2.2.5 に示す。

評価要因ウェイトは、まず、図表 2.2.4 に示す一対比較法にて各項目間の重要度の関係性を把握し、それらを図表 2.2.5 に示すマトリックス形式に整理する。それらから当該マトリックスの固有値として「評価要因ウェイト」を決定する。

図表 2.2.4　一対比較（イメージ）



図表 2.2.5　評価要因ウェイトの計算方法（イメージ）

	原料調達力	製造力	製品の価値・品質	環境低負荷	立地条件	規制・支援条件
原料調達力	1	1/3	5	5	1	2
製造力						
製品の価値・品質						
環境低負荷						
立地条件						
規制・支援条件						

⇒

評価要因ウェイト
○○%
100%

なお、後述するとおり本調査では、評価項目を「大項目」と「中項目」によって階層化する。この時、評価要因ウェイトは図表 2.2.6 に示すとおり、「大項目」「中項目」毎に全体が 100%となるように規格化し、競争力を大項目、中項目のいずれでも表現できるようにする。

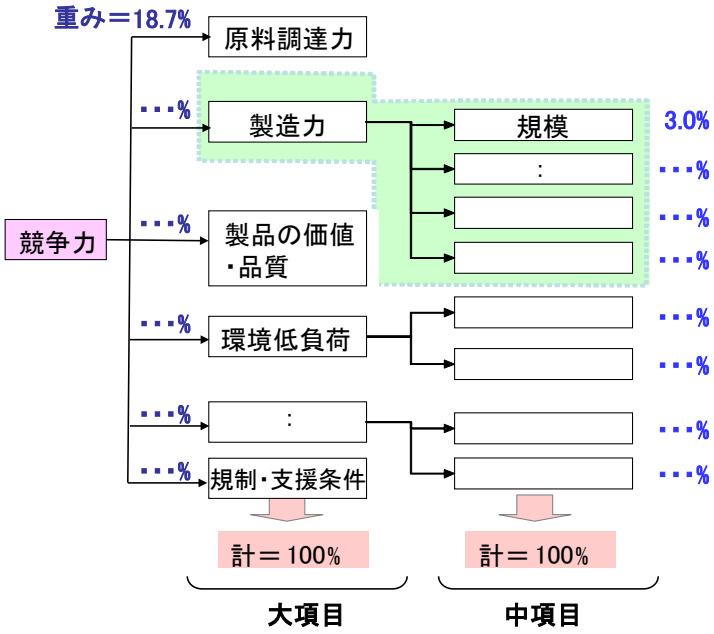
ウェイトの決め方（手順）は、おおむね以下のとおりとなる。

１．前述の一対比較法を用いて、「大項目」のウェイトを決定する。

２．各「大項目」毎に、一対比較法を用いて「中項目」のウェイトを決定する。

「大項目」のウェイトを決定する際には、各大項目に含まれる中項目の数が異なることから、それら項目数の違いに配慮した上で、大項目のウェイトを決定する必要がある。

図表 2.2.6　評価要因ウェイトの全体構成（イメージ）



③評価値マトリックス

評価値マトリックスについては、中項目毎に「評価の視点」と「標準」を明確化した上で、評価値（素点）の設定を行っている。評価値マトリックスの設定のイメージは表 2.2.2 に示したとおりである。

（2）　評価対象

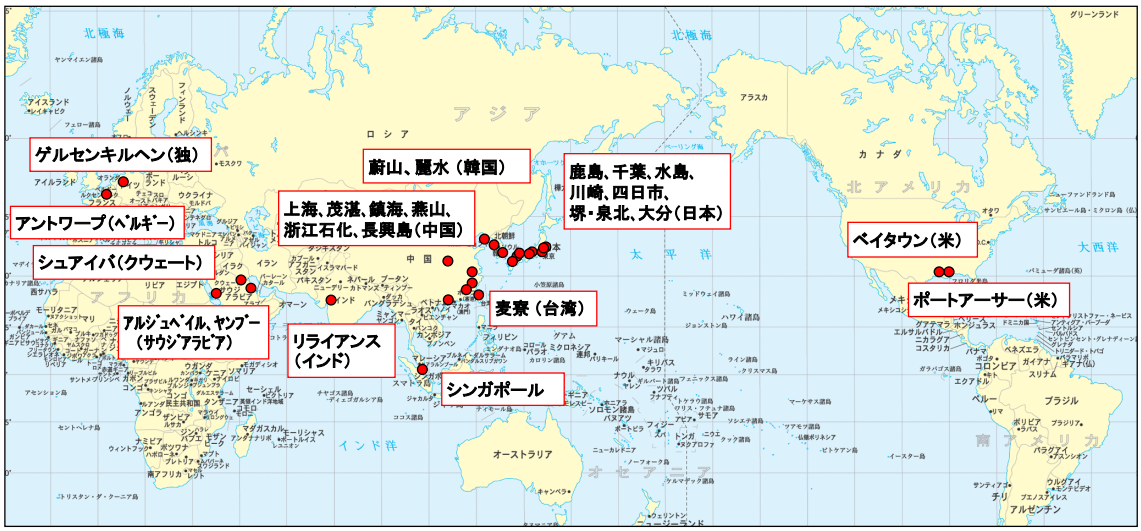
日本については、鹿島、千葉、水島、川崎、四日市、堺泉北、大分の 7 地区を対象とした。図表 2.2.7 に評価対象コンビナートを示す。海外は 18 地区を対象とした。中国泉港の代わりに中国浙江石化を評価対象とした。同地区では浙江石化がパラキシレン製造（800 万ｔ/年）を目的とした製油所を 2019 年から稼働させている。また、同年にナフサ分解炉（280 万ｔ/年）を稼働させた。

海外のコンビナートについては、いずれも種々の情報入手とともに RING 組合が web 会議を行って調査・解析したものである。

図表 2.2.7　評価対象コンビナート

国名	地区
日本	7 地区（A～G）
韓国	韓国蔚山
	韓国麗水
台湾	台湾麦寮
中国	中国上海
	中国茂湛
	中国鎮海
	中国燕山
	中国浙江石化
	中国長興島
シンガポール	シンガポール
インド	リライアンス
欧州	ベルギー（アントワープ）
	ドイツ（ゲルセンキルヘン）
米国	ベイタウン
	ポートアーサー
中東	サウジアラビア（アルジュベイル）
	サウジアラビア（ヤンブー）
	クウェート（シュアイバ）

図表 2.2.8　評価対象コンビナート



本調査では、中国を始めとしたアジア等のマーケットをターゲットとした競争環境を想定している。そのため、欧州（ベルギー・アントワープ、ドイツ・ゲルセンキルヘン）や米国（ベイタウン、ポートアーサー）、中東（サウジアラビア、クウェート）等については、日本とは直接的な競争関係とはならないと考えることもできるが、競争力評価の源泉を分

析する上で有効な視点を提供し得るものとして評価対象としている。

（3） 評価項目

本調査では、全体の競争力を以下の 6 区分の大項目で構築する。大項目の下に合計 32 区分の中項目がある。本年度は、脱炭素による事業環境の変化を受けて評価ウェイトを見直した。

		中項目
○原料調達力	; Input 部分の競争力	原料多様化等
○製造力	; Process 部分の競争力	規模等 15 項目
○製品の価値・品質	; Output 部分の競争力	脱硫能力等
○環境低負荷	; 環境低負荷面での競争力	地球温暖化対策等 4 項目
○立地条件	; 環境、立地等の競争力	インフラ等 8 項目
○規制・支援条件	; 規制緩和等の面での競争力	規制等

（4） 手法の特徴と留意点等の再整理

①手法の特徴

本競争力評価に当たっては、コンビナートの国際競争力を、総合的な観点から評価することに主眼をおいている。現実には定性的にしか評価できない項目が存在したり、収集可能な情報レベルが各コンビナートで異なる中で、コンビナート全体としての評価を可能な限り定量的観点から試みようとしている。

②留意点等

今回用いた手法は、現時点では最善のものであるものの、以下の「留意点・限界点」が存在することに留意する必要がある。

中項目について、必ずしも全てが定量化できる項目ではない。

海外コンビナートをはじめ、収集できる情報に限界がある（各コンビナートで情報収集レベルが異なる）。

特に海外における将来計画については、その実現可能性等の信頼性等に幅がある。

国内コンビナートについても、将来における素点設定については、基本的に将来計画に基づいて設定を行っている。

本調査では、石油-石化の連携度合いや、設備の充実度等に主眼をおいた競争力を想定している。

２．３ 評価結果

2021 年における評価結果をグラフにしたものを図表 2.3.1 に示す。

２．３．１ 2021 年石油コンビナート国際競争力評価

図表 2.3.1 に 2021 年の評価結果を示す。「ベイタウン（米）」がトップである。シェールによって国産原油比率が 60%を超え、エタンを原料とするエチレン分解炉新増設によって「原料調達力」が高い。また、規模、重油分解能力、石化原料供給力などの「製造力」にも競争力を持つ。

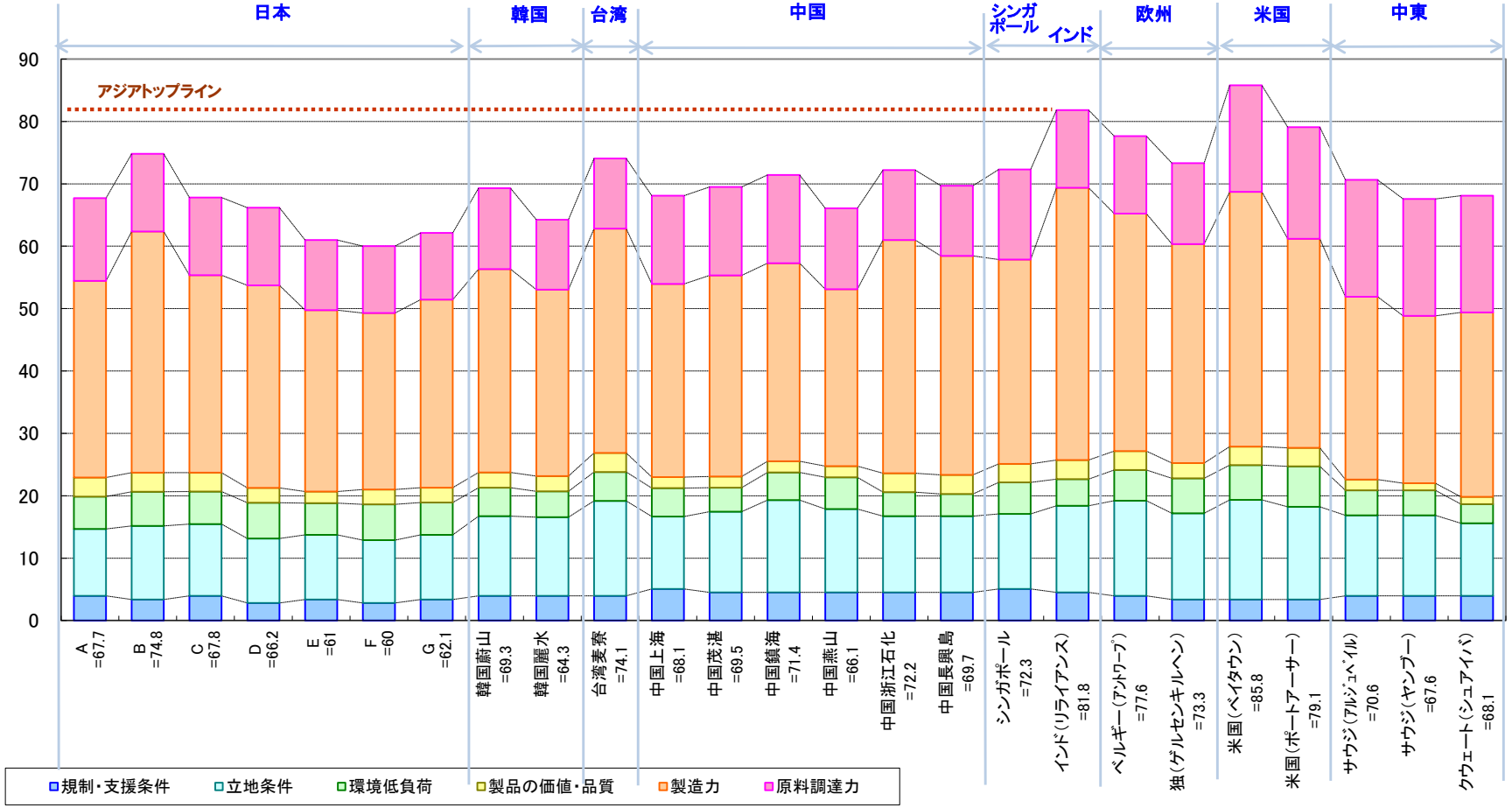
アジア地域で高評価となっているのは、「インド（リライアンス）」、「日本 B」、「台湾麦寮」、である。概して、ウェイトの高い「製造力」「立地条件」での素点が高く、高評価となっている。中項目で見ると、いずれも「重油分解能力」が高く、「石化原料供給力」に強みを有している。

２．３．２　2025 年石油コンビナート国際競争力評価

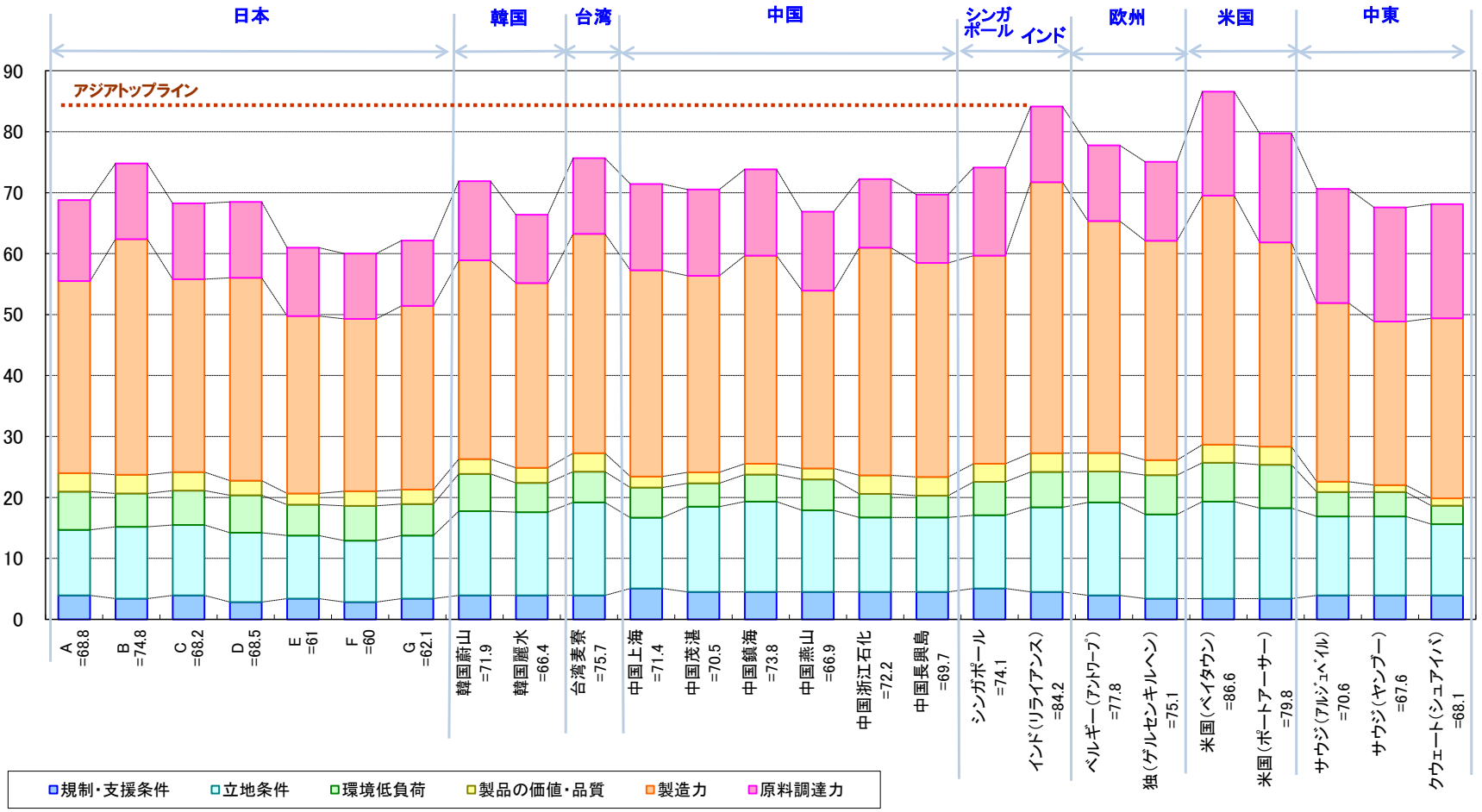
図表 2.3.2 に 2025 年の評価結果を示す。「ベイタウン（米）」がトップである。「原料調達力」が高いことに加えて、安価なシェール由来の天然ガスによって CO2 とエネルギーコストを低減している点及び先進的な廃プラリサイクルプラントの稼働によって「地球温暖化対策」の評価が高い。2 位は「インド（リライアンス）」であり、「規模」「重油分解能力」等により「製造力」を高めている。

アジアでは「インド（リライアンス）」、「台湾麦寮」、「日本 B」、「シンガポール」が高評価となった。2 位の「台湾麦寮」は「製造力」が高く、中でもウェイトが高い中項目「規模」、「重油分解能力」、「石化原料供給力」の評価が高い。

図表 2.3.1　2021 年石油コンビナート国際競争力評価



図表 2.3.2　2025 年石油コンビナート国際競争力評価



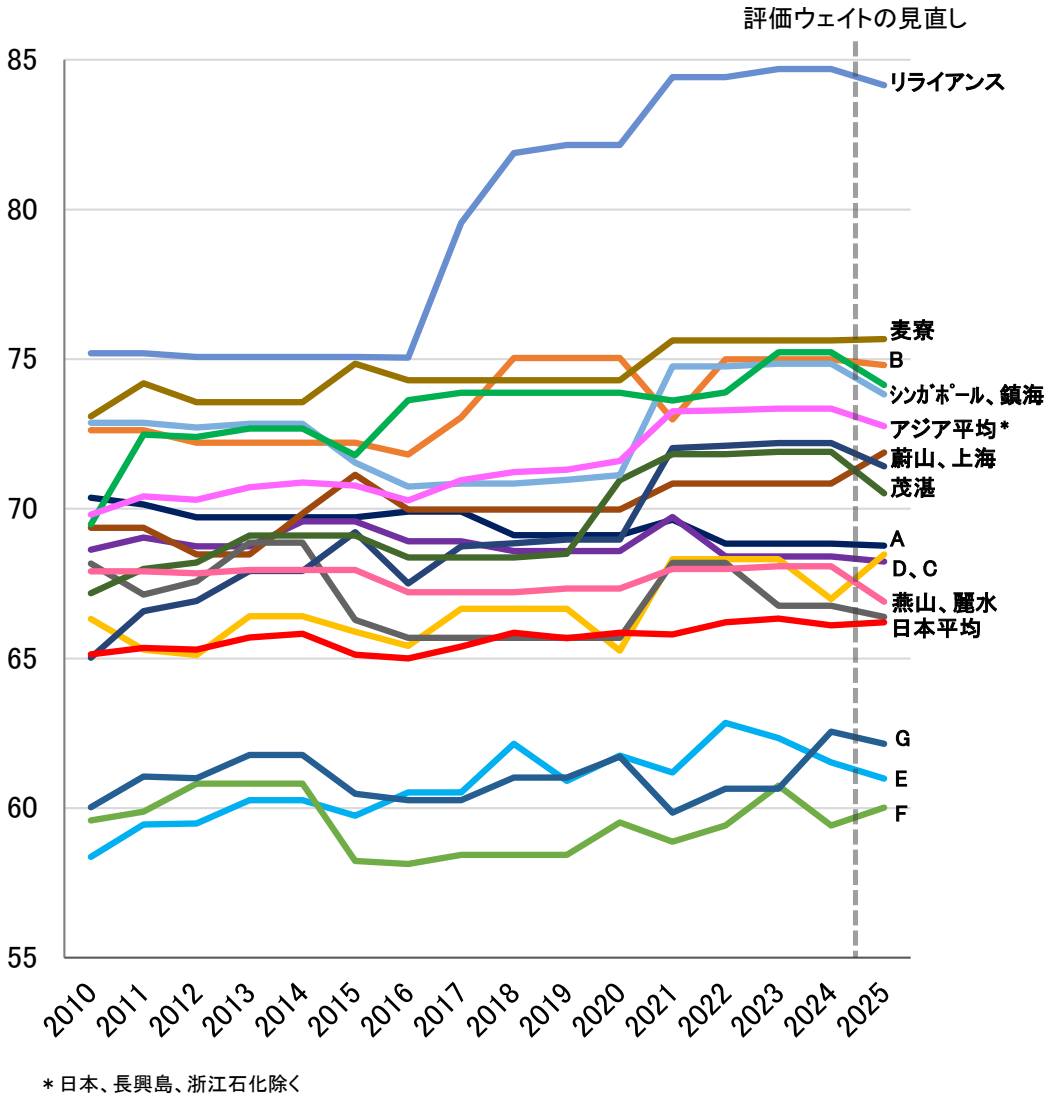
２．４ アジアとの競争力比較分析

２．４．１　アジアトップレベルとの比較

日本のコンビナートとアジアトップレベルとを比較分析し、日本のコンビナートの競争力を強化する上での課題を抽出し、具体的な方策を検討する。

アジアのコンビナートの 2010 年から 2025 年までの競争力の推移（2010 年～2021 年は実績）を図表 2.4.1 に示す。インド（リライアンス）は、旺盛な設備投資によりトップレベルから更に競争力を伸ばしている。日本平均でみると徐々に向上しているが、アジア平均の伸びを下回っている。

図表 2.4.1　2010 年から 2025 年までの競争力推移



＊日本、長興島、浙江石化除く

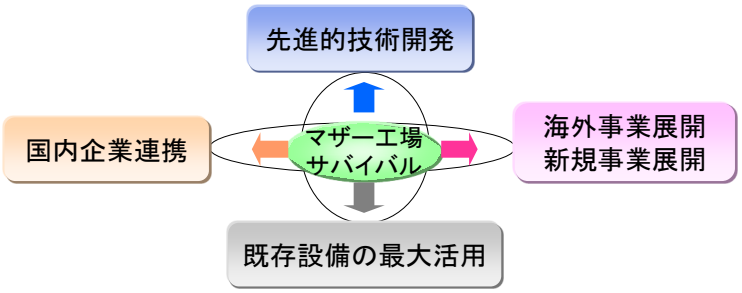
２．４．２　競争力強化の方向性と具体策

（１）　競争力強化の方向性

日本の石油石化業界における国際競争力強化の方向性を図表 2.4.2 に示す。本調査にお

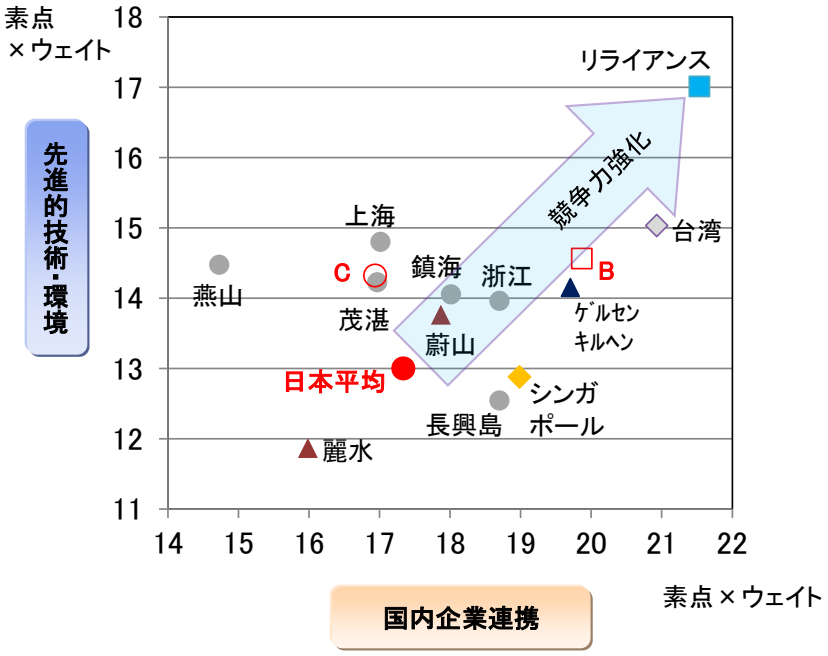
いては、「国内企業連携」及び「先進的技術開発」に関連する中項目にウェイトが置かれていることから、この 2 つを評価軸として国際競争力の評価を行う。「国内企業連携」に関連する中項目は、原料多様化（NGL、灯軽油活用等）、石化留分の活用、石化原料供給力、コンビナート共同用役化等である。「先進的技術開発」に関連する中項目は、重油分解能力、エチレン分解炉のエネルギー原単位、再生可能燃料の活用、石化高付加価値製品、研究設備充実等である。

図表 2.4.2　国際競争力強化の方向性



「国内企業連携」と「先進的技術開発」関わる中項目の素点×ウェイトを各々合計する。2 つの合計値を評価軸として各コンビナートをマッピングしたものが図表 2.4.3 である。2025 年を対象とした。日本のトップクラスである B は、リライアンスと台湾に続いて「国内企業連携」と「先進的技術開発」の評価が高いが、日本平均は両指標においてやや低いレベルにある。

図表 2.4.3　日本とアジアの競争力マップ（2025 年）

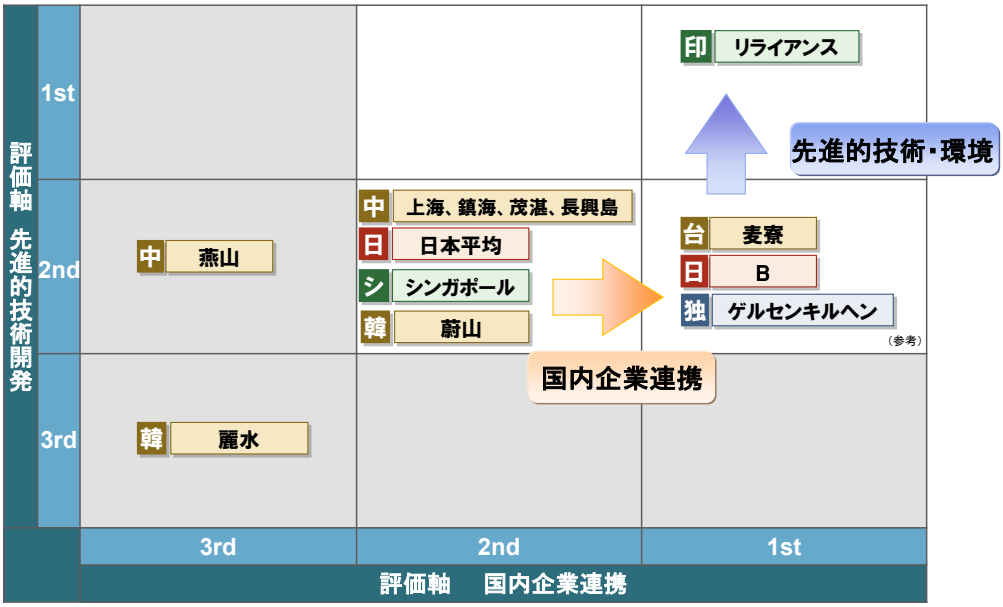


この競争力マップを分かり易くするために、評価軸毎に 1 位群(1st)、2 位群(2nd)、3 位群(3rd)に分けて整理したものが図表 2.4.4 である。日本は中央のマスに位置し、その右の

国内企業連携に優れたグループには台湾麦寮やゲルセンキルヘンが位置する。両評価軸の最高位にはリライアンスが位置する。日本トップのBは、国内企業連携の評価を向上させ、競争力強化の方向性に沿って投資を行っていることが分かる。

日本は、比較的即効性のある「国内企業連携」の強化を推進し、更に中長期的に「先進的技術開発」を進めることで競争力強化を図ることが必要である。

図表 2.4.4　競争力強化の方向性（2024 年）



２．４．３　競争力強化のための具体策

日本のコンビナートは、アジアの競争力向上に対して、マザー工場として更なる競争力強化を早急に実行する必要がある。統合運営・広域連携による供給構造を改善する必要があり、高効率、高付加価値設備の有効活用や増強等による設備最適化によって競争力強化を実現していくことが肝要である。競争力強化のための具体策を図表 2.4.5 に示す。

図表 2.4.5　競争力強化のための具体策

中項目	競争力強化の主な具体策
原料多様化（NGL・灯軽油活用）	・エチレン分解炉のエタン、LPGの原料化
重油分解能力	・TOP集約・統合運営・JVによる分解装置の相対的能力向上 ・重油分解装置の高効率化・デボトルネッキング
石化原料供給力（プロピレン、BTX供給）	・高温分解型FCCによるオレフィン生産、BTX回収 ・オンパーパスプロセスによる統合生産
コンビナート共同用役化	・IOT/DXを活用した用役共同運営による集約化・高効率化
再生可能燃料の活用	・バイオジェット・ディーゼルの製造
地球温暖化対策	・廃プラリサイクル、CO2回収、メタノール化共同運営、CCS
グリーン・ブルー水素	・グリーン・ブルー水素の生産・輸入
インフラ整備	・大型共同輸出基地による輸出効率化、物流改革

３．海外石油コンビナートの設備戦略調査－アジア圏主要コンビナート

３．１ アジア圏新興コンビナートの実態調査の目的と調査対象の選定

３．１．１　調査の背景と目的、視点

・調査の背景と目的

中国を始めとするアジア諸国の生産能力拡大、米国シェール革命第２波によるアジア圏への輸出拡大などで益々厳しくなる輸出環境、新たな環境保全ビジネス競争への対処など、世界で進行中の国際競争力強化と次世代戦略の実態調査を行う。

そして、日本の石油コンビナートからの輸出を含む次世代への進化に向けた残存利益の確保（内需の死守）及び、規模は小さくても発展が可能な独自戦略の同時進行設備投資戦略において、コンビナートに備えるべき具体策を抽出検討する。

また、アジア圏コンビナートの実態調査から石油コンビナートが日本のエネルギー・素材安定供給のメインプレーヤーとならざるを得ないことも確認する。

・調査の視点

資源に乏しい日本が、エネルギー・素材の安全保障が懸念される状況にならないために、輸出競合相手となるアジア圏の設備投資動向、今後の環境保全対応の実態調査を行う。

調査を通して、これまで蓄積してきた日本の石油コンビナートの強みを再確認し、次世代に向けた課題を具体的に抽出する。

そして、欧米の脱炭素化政策に対し、アジア圏における環境政策とコンビナートの対応状況を具体的に調査して、効率化・環境保全などのビジネスチャンスの可能性を探る。

３．１．２　アジア圏コンビナートの調査先選定

（１） アジア圏の代表的な大規模新興石精石化コンビナート

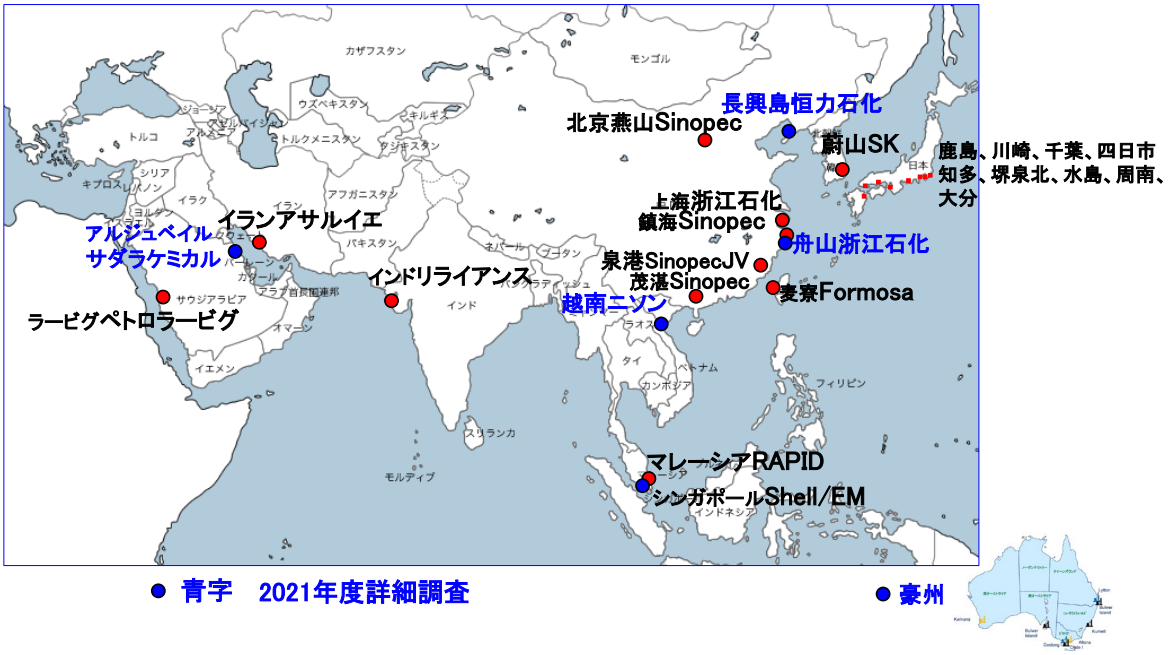
図表 3.1.1 に、日本の輸出に影響力のあるアジア圏各国の代表的な大規模新興石精石化コンビナートの所在位置を示す。

中国及び中東を始めとするアジア諸国の生産能力拡大、米国シェール革命第２波によるアジア圏への輸出拡大などによって、日本のコンビナートからのアジア圏への輸出は極めて厳しい環境になる見通しにある。

このような事業環境の中にあって、世界的な環境規制の加速や環境ビジネスの創生、それに呼応する投資家圧力による ESG 投資の拡大などで、日本は、先進国コンビナートとしてのこれからの対応が期待されている。国内では政府の「2050 年カーボンニュートラル宣言」、及び「グリーン成長戦略」に対するコンビナートとしての備えをしておく必要がある。

そこで、アジア圏の競争相手となる大規模新興コンビナートを選択し、実態調査し、日本のコンビナートの強みを確認し、次世代型構築に資する。

図表 3.1.1　アジア圏各国の代表的な新興石精石化コンビナート



（2）　2021 年度のアジア圏新興コンビナートの調査先と調査ポイント

・大連長興島恒力石化コンビナートー2 期プロジェクトのスキームと操業状況

中国の大型バックインテグレーションによる巨大規模のパラキシレンチェーンの計画と短い工期による稼働開始には目を見張るものがある。パラキシレンは、日本からの輸出も多く、かつ、石化シフトの主要課題である。恒力石化は中間留分のほとんどをパラキシ原料にできる。コロナ禍で JET 燃料が大幅に減少したために、日本の製油所が中間留分のインバランスを解消できず、ガソリンを輸入してまでも原油処理量をダウンせざるを得なかったが、恒力石化は、中間留分の全量をパラキシレン原料である HN に水素化分解できる柔軟なスキームを有しているので、操業開始直後からフル稼働を継続している。

また、中間留分の水素化分解は同時に、LN も併産する。この LN も原料として、エチレン収率が 40%を超えると推定される大型のエチレン装置も 2 期工事で操業開始した。同じナフサを原料としているのに、何故、これほどにエチレン収率が高いのかを中心に詳細調査、検討する。

大連長興島恒力石化と共に、中国第 13 次 5 カ年計画の総仕上げともいえる大規模プロジェクトの１つである浙江石化の１期及び 2 期工事の内容と工事進捗状況、１期の稼働状況を調査する。第 2 期工事完了後の中国におけるパラキシレン輸入減少を想定する。また、環境汚染対応、脱炭素の可能性を合せて調査する。

・ベトナムニソン製油所コンプレックス

同コンプレックスは、日本モデルの海外展開であり、クウェート原油残油を 100%原料として、世界最大規模の RH－RFCC と石化コンプレックスのスキームは、現地人材育成の賜物といえる。脱化石燃料、脱炭素化が進めている中、このような海外進出の将来性を調査検討する。

・サウジアラビア･サダラケミカル大規模コンビナートの新たな構造
潤沢な原油輸出資金を背景に、サウジアラビアでは総仕上げとなる世界最大規模であるサダラケミカルチェーンがフル操業に入った。
石化シフトの大規模新興コンビナートの代表であるサダラケミカルコンビナートの建設経緯、スキーム、稼働状況などを調査し、中東を代表するサウジアラビアの原油を原料とするコンビナートの国際競争力強化に向けた現状と脱炭素化に向けた政策を調査する。

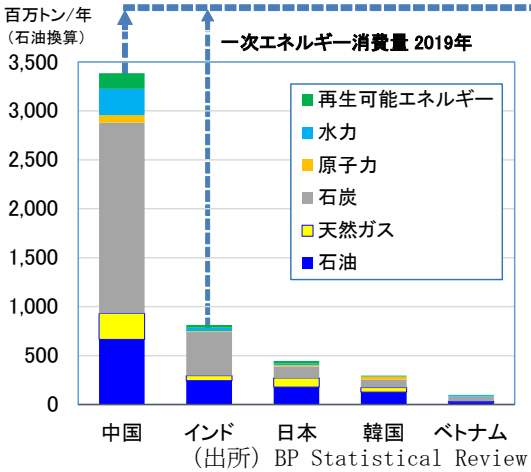
・製油所の廃止に歯止めのかからない豪州製油所運営の実態
中国、中東のコスト競争力を有す大規模製油所からの輸出で、豪州の小規模製油所は、全て“風前の灯”状態であるが、資源輸出大国であることを踏まえて、エネルギー安全保障、新エネルギーの輸出事業転換などの実態を調査する。
また、日本からの輸出基地化などの新規需要先の可能性を調査検討する。
特に、資源豊富な豪州企業による次世代エネルギーである水素チェーン構築に向けた日本企業とのスタートアップを調査し、日本のコンビナートの次世代戦略に構築に資する。

３．１．３　日本及びアジア圏諸国の一次エネルギー消費量

図表 3.1.2 に、日本、中国、インド、韓国、ベトナムの一次エネルギー消費量（2019 年）を示す。2020 年は、コロナ禍の直撃で世界全体がリセッションによるエネルギー消費の急減で、比較参考には向かないことから、コロナ禍直前の 2019 年データで比較する。

・中国一次エネルギー消費は、減少する日本と異なり、年 3.4%増加している。
・中国は、日本の約 8 倍の一次エネルギーを消費しているが、石炭の消費割合が圧倒的に大きい。「パリ協定」に同調の姿勢を PR し、天然ガス、再生可能エネルギーの導入を増やしつつも、2019 年の石炭消費は 58%を占める。
・中国の石油消費は日本の 3.7 倍に急増している。
・ベトナムのエネルギー消費は年 11%と急速に増加しているが、石炭・石油が主である。
・インドも、当分の間、石炭依存の後進国型エネルギー消費構造である。

図表 3.1.2　日本、アジア諸国の一次エネルギー消費量比較（2019 年）



百万トン/年＊

	日本			中国			インド		
	2015	2017	2019	2015	2017	2019	2015	2017	2019
石油	189	188	180	562	608	666	196	227	245
天然ガス	102	101	93	175	207	264	41	46	51
石炭	120	121	117	1,914	1,893	1,951	397	416	445
原子力	1	7	14	39	56	74	9	8	10
水力	19	18	16	252	262	270	30	31	34
再生可能エネルギー	15	22	26	64	107	158	13	22	29
合計	446	456	446	3,006	3,132	3,384	685	750	813

（出所）BP Statistical Review of World Energy 2020 を基に作成

３．１．４　日本、アジア諸国の経済指標

図表 3.1.3 に、コロナ禍リセッション前の日本、中国、アジア諸国の経済指標と石油製品構成比率を示す。

・中国の人口は、日本の約 11 倍、GDP は約 2.8 倍（世界 2 位）である。
・中国の原油処理能力は、世界 2 位（16.2 百万 BD）で、日本の約 5 倍である。
・中国のエチレン生産能力は、世界 2 位（29.3 百万 t/年）で、日本の約 6 倍である。
・ベトナムの原油処理能力は日本の 11%であり、エチレン装置はまだ無い。

ベトナムの人口は 96 百万人で日本の 76%である。一人当たりの GDP・エネルギー消費量はインド並みに低く、これから発展する国である。

図表 3.1.3　日本及びアジア諸国の経済指標と石油製品構成（2019 年）

		日本		中国		インド		ベトナム		マレーシア		シンガポール		サウジアラビア		イラン	
人口（百万人）（2019年）[1]		126		1,398		1,366		96		32		5.7		34		83	
GDP（兆円）（2019年）[1]		559		1,578		316		29		40		41		87		49	
一人あたりGDP（百万円/人）[1]		4.4		1.1		0.2		0.3		1.3		7.2		2.6		0.6	
一次エネルギー石油換算（百万トン）		446		3,384		813		98		102		86		264		295	
一人あたりエネルギー消費量（トン/人）		3.5		2.4		0.6		1.0		3.2		15.1		7.8		3.6	
一次エネルギー石油依存度（%）[2]		40		20		30		26		37		86		63		32	
石油製品消費・生産量（百万トン/年）[3]（2017年）		消費	生産	消費	生産	消費	生産	消費	生産	消費	生産	消費	生産	消費	生産	消費	生産
	ガソリン	36.9	39.2	124.6	134.9	26.2	37.8	6.2	2.6	12.8	7.9	0.7	9.1	24.4	23.9	21.7	17.6
	ジェット・灯油	24.0	24.3	39.7	42.5	11.5	18.9	1.6	0.4	3.1	3.2	7.8	12.1	4.6	11.6	5.0	4.4
	ディーゼル、ガスオイル[注1]	37.5	45.6	171.1	182.4	73.3	108.5	9.2	2.5	9.7	9.7	4.0	11.0	17.1	52.8	21.6	28.3
	重油（C重油）	9.0	15.3	29.3	19.6	8.0	9.0	0.4	0.1	0.9	1.7	48.9	5.4	25.8	25.5	2.3	22.0
	ガソリン/ディーゼル自動車消費量ベース[注2]	62/38		50/50		31/69		43/57		66/34		34/66		63/37		58/42	
原油処理能力（百万BD）2019年 [2]		3.3		16.2		5.0		0.4		0.6		1.4		2.8		2.4	
エチレン装置能力（百万トン）2019年		6.16 [4]		29.3 [5] [注3]		8.4 [5]		0 [5]		1.8 [5]		4.0 [5]		17.5 [5]		7.7 [6]	

（出所）1）世界銀行 $1＝110円で換算 イランは2017年、2)BP Statistics（カレンダーディ･ベース）、 3)IEA Oil Information、4)石油化学工業会
5）世界の主要石油化学プラント METI、6）Financial Tribune 2019年3月3日
注1）日本はA重油、注2)自動車用のみ、注3）中国エチレン能力はCTO/MTOを含む。

３．２ 中国の 2020 年経済構造、石油・石油化学の投資及び輸出実績と見通し

2020 年、コロナ禍において世界の主要国が軒並みマイナス成長の中、中国ではプラスの成長率を達成したという。

これには、不動産開発投資と輸出に並んで中国経済を支えるもう一つの分野のインフラ投資が寄与している。石油・石油化学分野においても、国営のみならず、大手民営への大規模資金流入や採算面では資本主義では考えられない大型設備投資が続いている。実態調査に基づき、日本への輸出の影響を考察する。

３．２．１　中国経済の基本的な構造

・2020 年の消費小売り総額と不動産投資

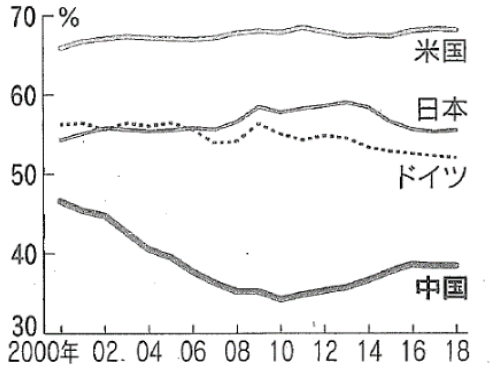
2020 年には中国全土の消費小売り総額（小売売上高）がかなり落込み、2019 年度と比べて 3.9%減ったことを示す。ところが、中国全体の不動産投資は前年比で 7.0%増、経済全体成長率の約 3 倍の伸び率となっている。国民消費が落込む中で不動産投資を大幅に伸ばして成長を何とか維持できたという構図である。

・中国における個人消費の慢性的低迷

図表 3.2.1 に示すとおり、個人消費の低迷は過去数十年間と、中国経済を悩ませてきた大

きな問題の一つである。

図表 3.2.1　個人消費の GDP 比推移



（出所）世界銀行

・個人消費の世界比較による中国経済の問題点、深刻な貧富の格差

日本は常に 60%前後（民間最終支出 2011、2012 年 61%、2018 年 GDP 比 56%）、米国は 70%前後（2011、2012 年 72%、2018 年 GDP 比 68%）であるが、中国はこの 20 年間の個人消費は常に 37%前後、2019 年は 36.5%であった。世界各国の中で最下位レベルである。（図表 3.2.2 参照）。

中国経済に占める 14 億人が消費する分が全体の 4 割未満という異常事態が起きている。社会保障システムの不備による。都市部の貧困層や農村地域では、年金と医療保障に加入していない人々が多数おり、その様な人たちはあまり消費をせず、いざとなった時に備えて貯蓄に励むといわれている。だから中国では消費率の低さに比べると貯蓄率が高い。

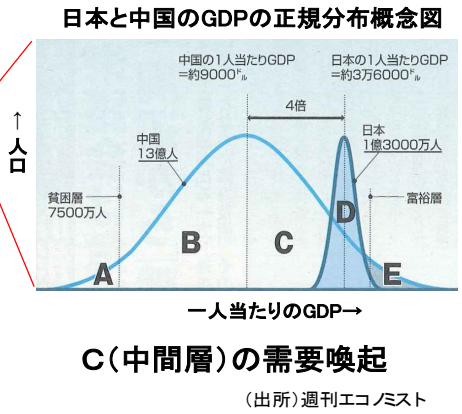
さらに消費の足を引っ張っているのが深刻な貧富の格差である。沿岸部と内陸部の格差、同じ地域における階層的格差など、中国の経済格差の深刻さは資本主義国家の日本やアメリカの比ではない。

中国国内でもたびたび引用される数字の一つに、総人口のわずか 5%の富裕層（正規分布図参照）で民間の富の 70%が占められているという。5%といっても人口の数では 7 千万に上る。この 5%が日本に来て「爆買い」をしたのだが、これと引換えに、95%の民には民間の富の 30%しか残されてないという現実が問題になっている。

このことが、中国の個人消費が常に 4 割未満の低水準にあることに起因する。

図表 3.2.2　国別 GDP と個人消費、ひとり当たりの個人消費、中国の GDP 正規分布

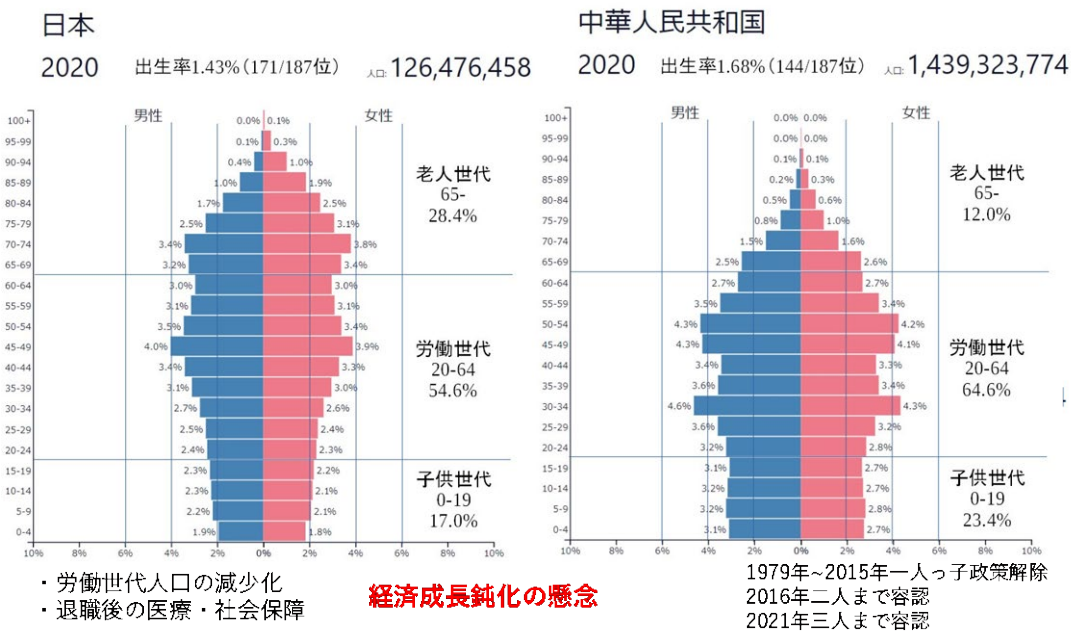
	人口	GDP	個人消費	一人当たりの個人消費	個人消費対GDP
	百万人	兆ドル	兆ドル	千ドル/人	%
1 米国	327	20.6	14.0	42.8	68%
2 中国	1395	13.4	5.3	3.8	39%
3 日本	127	5.0	2.8	★ 21.8	56%
4 ドイツ	83	4.0	2.1	24.8	52%
5 イギリス	66	2.8	1.9	28.3	66%
6 フランス	65	2.8	1.5	23.0	54%
7 インド	1334	2.7	1.7	1.2	61%
8 イタリア	60	2.1	1.3	21.0	61%
9 ブラジル	209	1.9	1.2	5.8	64%
10 韓国	52	1.7	0.8	15.9	48%
11 カナダ	37	1.7	1.0	26.9	58%
12 ロシア	147	1.7	0.8	5.6	49%
13 スペイン	46	1.4	0.8	18.0	58%
14 オーストラリア	25	1.4	0.8	32.3	57%
15 メキシコ	125	1.2	0.8	6.3	65%
16 インドネシア	264	1.0	0.6	2.2	58%
17 オランダ	17	0.9	0.4	23.7	44%
18 サウジアラビア	33	0.8	0.3	9.0	38%
19 トルコ	82	0.8	0.4	5.3	57%
20 スイス	8	0.7	0.4	46.9	53%



（出所）2019 年度 RING 報告書、国連データを基に作成

残りの 6 割を支える一つがインフラ投資と不動産投資である。このような投資依存型の経済は、石油・石油化学事業分野にも、生産能力余剰という問題を拡大しつつある。

図表 3.2.3　2020 年における中国の労働者構成



３．２．２　中国の 2020 年の原油処理量、エチレン他生産実績

中国の 2020 年の国内総生産（GDP）成長率は物価変動の影響を除く実質で 2.3%のプラスを確保したということで、文化大革命が起きた 1976 年以来の低さとはいえ、主要国で唯一のプラス成長を誇っている。

GDP は 20 年第 4 四半期（10～12 月）に限っては前年同期比 6.5%増えた。政府による政

策効果が経済回復を後押し、不動産やインフラ投資の伸びが顕著。上期にマイナスの工場やオフィスビルの建設など固定資産投資は 20 年通年で 2.9%増えた。

2020 年の中国貿易黒字は 5350 億ドル（≒57 兆円）の＋27%増で、トランプ以前の 2015 年に次ぐ。

・主要製品の生産量（2020 年 1 月～12 月）

原油処理量：前年比 3.0%増の 6 億 7,441 万トン(1,349 万 BD)
エチレン　：前年比 4.9%増の 2,160 万トン
カ性ソーダ：前年比 5.7%増の 3,643 万トン
化学繊維　：前年比 3.4%増の 6,168 万トン

化学関連の 2020 年の産業付加価値額、ゴム・プラスチック製品は 1.8%増、医薬製造業は 5.9%増とプラスを確保した。

2020 年中国の原油処理量は＋7%の 1080 万 BD 過去最高の処理量を記録し、一時、米国の原油処理量を上回った。コロナ禍初期 Brent 原油価格が 40 ドル/BBL を下回った時の製品価格の 40 ドル/BBL 据置きインセンティブと安価な原油買いだめ原油増処理で、石油精製の収益は絶好調で、国内余剰を輸出増加とした。引続く 5 カ年計画の拡大路線で、精製能力大余剰問題の付けはガソリンなどの輸出放出で、鉄鋼と同じく石油及び化学製品市場の価格崩壊が懸念される。

石油、化学産業の構造転換を進めている山東省は、200 万トン以下（4 万 BD 以下）の原油処理能力の石油精製企業の淘汰状況を公表した。しかし、2020 年 11 月末時点で、山東広悦化工有限公司（150 万トン）や山東源潤石油化工有限公司（50 万トン）など 13 社が稼働を停止したものの削減能力はわずか 396 万トン（≒8 万 BD）である。第 14 次 5 カ年計画期間も、引続き競争力のない設備の停止、淘汰を進めていく方針というが、全く改善される方向にない。一方、民営大手の恒力石化は稼働率 108%を維持している。

・中国の原油精製量が増加

中国では 2020 年初めに、コロナ禍の影響で石油製品需要が大幅に縮小し、製油所の原油処理量が減少した。しかし、中国は新型コロナ感染拡大が収束に向かったことから、原油処理量は増加ペースに戻った。

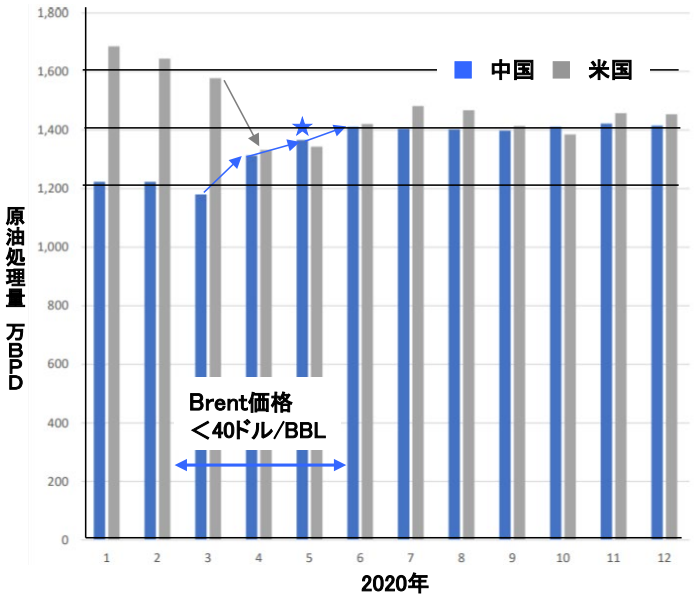
米国エネルギー情報局(EIA)は 2 月下旬のショートレポートで、中国の原油処理量を米国の製油所の処理量と比較している。このレポートでは、米国の製油所の総原油処理量として、EIA の“Petroleum Supply Monthly”データを、中国の処理量は、中国統計局のデータを使用している。

米国の製油所の原油処理量(ネット処理量)は、長年に亘って世界最大であったが、2020 年 5 月に中国が初めて米国を上回った。米国では 4 月に一月間を通じて新型コロナ感染拡大抑制策が講じられたことを受けて、燃料(ガソリン、軽油、ジェット燃料)の需要量が激減した。その結果、米国の原油処理量は、過去最大の減少幅を示した。

一方、中国ではコロナ感染拡大による原油処理量の減少から、回復に転じたのが 4 月であった。Brent 原油価格は 2020 年 3 月から 6 月にかけて 40 ドル/BBL を割込んでいたが中国では 2016 年から Brent 原油価格が 40 ドル/BBL を下回った場合、製品価格を 40 ドル/BBL 固定する制度が施行されていることから、精製会社が原油処理量を増やすインセン

ティブになったと EIA はみている。
したがって、6 月の中国の原油処理量は 1,410 万 BPD、11 月には 1,450 万 BPD にまで増加した。これに対して、米国の製油所稼働率は、2020 年 3 月の水準まで回復していない。さらに、8 月から 9 月にハリケーン Laura、Sally が、10 月にはハリケーン Delta と Zeta が接近・上陸したことから、メキシコ湾岸の製油所の稼働率が低下した。2020 年末までには、製油所の稼働は上昇したものの 2020 年通年では、米国の製油所の稼働率は低水準にとどまった（図表 3.2.4 参照）。

図表 3.2.4 中国と米国の月間原油処理量の推移－2020 年－



（出所）JPEC 世界製油所最新情報、2021 年 4 月号に基づき RING 編集

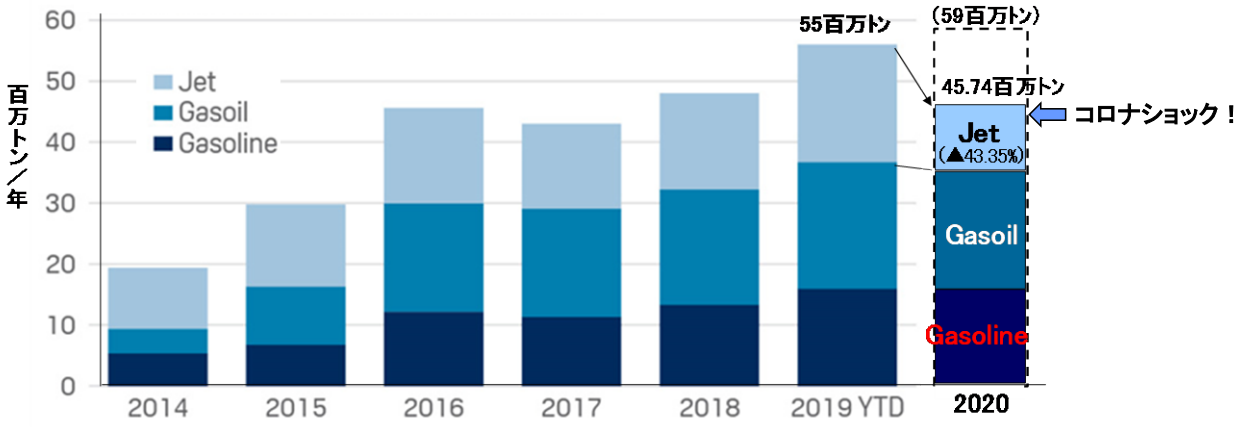
・外需も化学産業の成長を下支え
輸出（ドル建て）は巣ごもり関連の需要増からパソコンなどの出荷が伸び、輸出額は前年から 3.6%増（過去最高）、自動車生産台数も通年では▲1.4%となったが、月を追うごとに回復し 12 月は 6.5%増の 280 万台。新エネルギー車（NEV）の生産も通年では 17%増の好調を記録した。

３．２．３　中国政府による石油製品の輸出割当て量推移と 2020 年実績

中国政府は、原油輸入や石油製品輸出の急激な変化を避けるために、輸出権を使って石油製品輸出量を調整しており、複数回に分けて輸出権が割当てられる。2017 年は 5 回、2019 年は 3 回であった。

商務部は、2020 年は合計 5,903 万トン（内、国営 5 大石油会社に 5,798 万トン）の輸出枠を与えた。これに対し、2020 年の輸出実績は、ガソリン 1,600.13 万トン（前年同期比▲2.26%）、Gas Oil 1,976.52 万トン（同▲7.6%）、JET 997.64 万トン（▲43.35%）の合計 4,574.29 万トンだった（図表 3.2.5 参照）。

図表 3.2.5　中国政府石油製品の輸出割当て量推移と 2020 年実績



2020 年の民間精製会社への割当ては 105 万トンで、山東省の小規模で内陸立地の会社よりも、恒力石化や浙江石化のような大規模で輸出能力を有する会社に優先的に割当てられた。中国政府は、これとは別に 2020 年 4 月に、LSFO（Low Sulfur Fuel Oil）の輸出権 10 百万トンを国有 4 社（Sinopec 4.29 百万トン、CNPC 2.95 百万トン、CNOOC 0.86 百万トン、Sinochem 0.9 百万トン）と、民間では初めて浙江石化（1 百万トン）に割当てた。

これは、長年の懸案である精製設備第余剰問題の国内解決が困難なことから国外大放出の始まりと懸念されている。

・2020 年の輸出割当てと実績

日本の 2019 年度燃料油輸出合計は、32,832 千 KL（TOP 能力 67 万 BD に相当）に対し中国の 2020 年の燃料油輸出割当量合計は、59 百万トン（118 万 BD：TOP 換算 139 万 BD）である。これに対し、2020 年の中国の（ガソリン＋Gas Oil＋JET）輸出実績は、45.74 百万トン（92 万 BD：TOP 換算 108 万 BD）であった。

３．２．４　中国輸入品の日本への影響

・日本の石化シフト率の低さに起因するガソリン輸入

日本では足元で JET を販売、生産できないために、ガソリン内需があるにも関わらず、原油処理量を落さざるを得ないバランスにある。そこに商社などにより、中国や韓国からの安価なガソリンが輸入され、増加の一途である。

日本の製油所の構造が中間留分の石化シフト率が低い生産構造となっていることが原因の一つとして考えられる。

・国内外燃料油価格差の拡大

韓国のガソリンの輸入価格は 1 キロリットル約 3 万 8000 円と国内のスポット（業者間転売）品より 7,000 円（16%）ほど安い（リム情報開発）。

輸入相手国の顔ぶれも変わりつつある。韓国からの 2020 年 7 月の輸入量は約 25 万 8 千 KL だったが、全輸入量に占めるシェアは 58%と 1 年前から 22 ポイント低下した。

代わりに存在感を高めたのが中国である。2020 年 7 月の輸入量は約 14 万 2 千 KL。国別シェアは前年比 13 倍の 32%に達した。

2016 年以降、山東省などの地方製油所が原油処理能力を高めた。コロナ禍で、2020 年春、

原油価格が急落した局面で中国は原油輸入を増やしており、これがガソリンとなって日本などに流れている。

３．２．５　中国の石油・天然ガスプロジェクトの多くを石油化学が占有

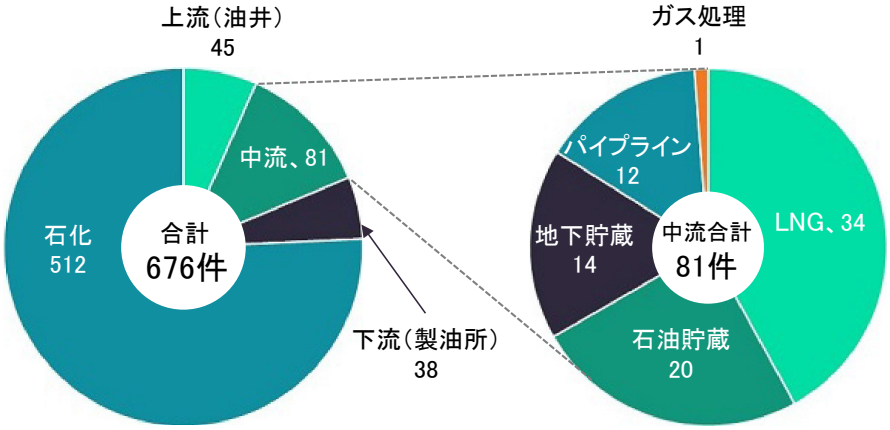
中国の石油・天然ガスプロジェクト数（2021～2025 年）を図表 3.2.6 に示す。
GlobalData の分析によると 2021～25 年に中国で 676 件の石油・天然ガスプロジェクトが稼働すると予測している。

その内 512 件（76%）は石油化学である。その内 90%以上が新設であり、残りが増強である。近年、益々増加する需要を満たすために国内外の投資家が中国の石油化学産業に巨大な投資をしている。
石油化学の需要が増加している分野はパッケージ、耐久消費財、自動車である。
最近の石油化学プロジェクトでは、浙江石油化学 Daishan（岱山）キシレンプラントの 2,480 万トン/年である。新設プラントの建設費は 45 億ドルであり 2022 年までに稼働すると見られる。

上流部門では 2025 年までに 45 のプロジェクトが稼働すると見られる。注目すべきプロジェクトは浅瀬の従来型油井 Kenli　6-1 であり、2021 年に稼働すると見られる。四川省の Weirong（伟荣）フェーズ 2 は、シェールガス田の拡張工事である。天然ガス生産を増やすために中国が注力する非在来型天然ガス開発の一部である。

中流部門の 81 件のプロジェクトは全体の 12%を占めており、その多くが LNG 再ガス化設備である。最大のプロジェクトの一つは 487bcf の能力を持つ煙台ターミナル拡張(山東省)である。
建設費は 11 億ドルであり 2025 年からの稼働が承認された。パイプラインにおいては、3,371km の Power of Siberia 1 ガスパイプラインが現在建設中であり、2025 年に稼働を予定し、建設費は 93 億ドルである。

図表 3.2.6　中国の石油・天然ガスプロジェクト数　2021-2025 年



（出所）GlobalData、2021 年 3 月 30 日

３．３　第 14 次 5 カ年計画の概要、及び環境問題と脱炭素化

３．３．１　第 14 次 5 カ年計画の石油・石油化学産業の発展の新たな特徴

（１）　第 14 次 5 カ年計画の概要

（以下、2021 年 1 月 5 日、シノペック経済研究所発表に基づき RING 邦訳）

第 13 次 5 カ年計画の期間中、政府は、石油・ガス制度を改革し、輸入原油の使用権を自由化し、石油製品の卸売・小売資格の審査・承認を緩和したことによって、石精石化は急速に発展し、大型化、基地化、統合化した。

現在、中国の石油精製・エチレン能力は世界第 2 位であり、PX 生産能力は世界第 1 位になった。数十万 BD 級の製油所が増加し、渤海湾、長江デルタ、珠江デルタ（華南）の経済圏に石精石化チェーンが形成されている（図表 3.3.1 参照）。

図表 3.3.1　中国石精石化の急速な発展



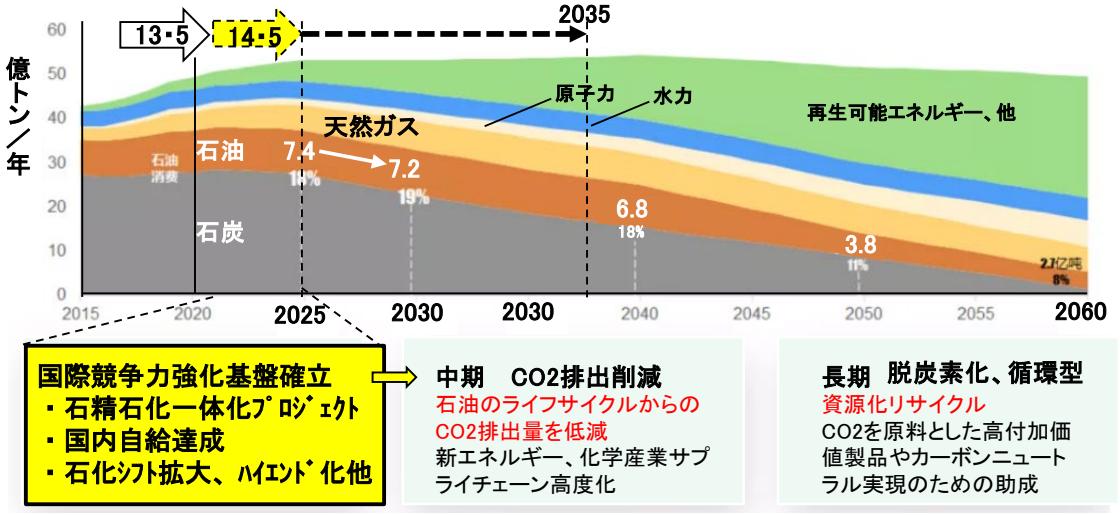
石油製品の品質は、国 V から VI へのアップグレードし、省エネルギーと CO2 排出削減は顕著である。2020 年は新型コロナの流行により、国内の石油製品需要は初めて 2%減少したが、化学製品の需要は急速に回復し、エチレン消費量は 9%増加し市況は世界の他地域よりも良好である。

（２）　カーボンニュートラルに関する項目

カーボンニュートラルは、自動車保有、燃費、代替エネルギーに加え、石油消費に影響を与える第 4 の要因となる。カーボンニュートラルは、2020～2030 年の国内石油需要のピークを押下げる。環境保護の厳格化は石精石化の生産能力拡大に対して大きく影響する。

図表 3.3.2 に、第 14 次 5 カ年計画、2035 年目標と 2060 年カーボンニュートラル状況と一次エネルギー推移との関係を示す。

図表 3.3.2　中国一次エネルギー中長期推移と 35 年目標、2060 年カーボンニュートラル



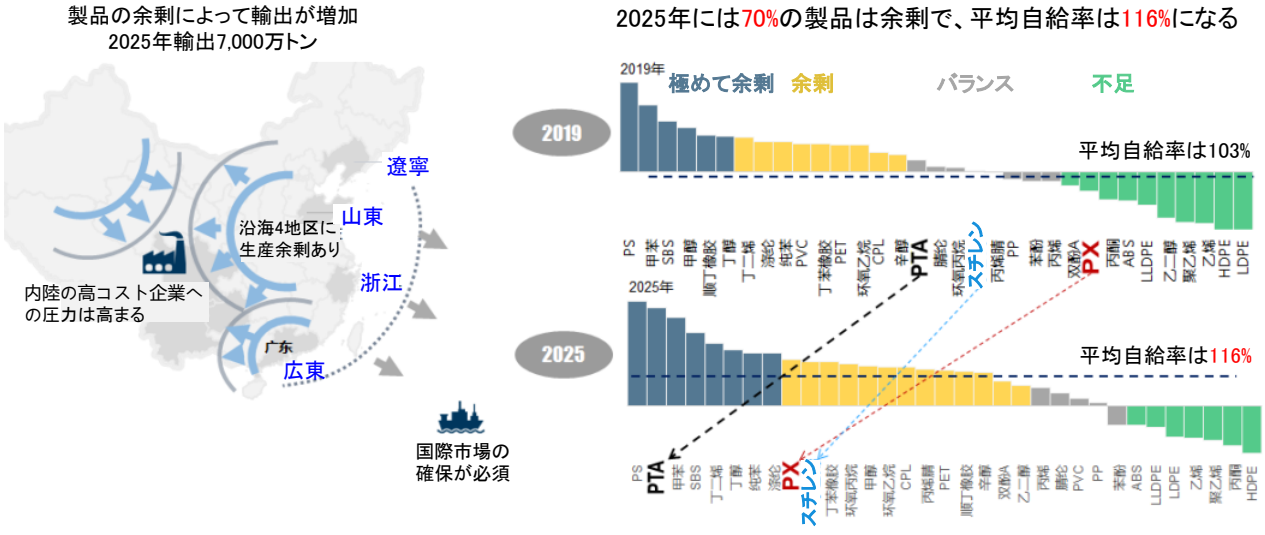
（出所）2021 年 1 月 5 日、シノペック経済研究所発表に基づき RING 編集

（3）　石油、化学製品需要

第 14 次 5 カ年計画期間中、新エネルギー車の開発により石油製品需要は減少するが、化学品の需要は比較的堅調に推移する。同期間は、中国の新設生産能力の 40～50%を占める精製・化学産業における投資のピークである。両産業の生産能力は 2025 年までに世界第 1 位に躍り出る可能性がある。

地域別に見ると、石油製品の供給が過剰である地域では、沿岸部からの石油製品が中部において扇状に拡大し沿岸製油所からの輸出が増加している（図表 3.3.3 参照。）

図表 3.3.3　石油・石化製品の供給と自給率



一方、米国の余剰石油製品による輸出圧力は、中国の石油製品輸出を圧迫し、競争は激化している。内陸部の高コスト企業への圧力は高まる。

化学製品の自給率は年々高くなり、現在、一部の製品の需給は基本的にバランスが取れているか、需要はやや不足している。第 14 次 5 カ年計画の終わりまでに PX、スチレン、PTA な

どの生産能力は深刻な過剰に転じる可能性がある。

（4） 第14次5カ年計画における石油・石油化学産業の発展の9つの特徴

①中央政府が提案する「双流（デュアルサイクル）」開発とは、国内経済サイクルを主とし、国内経済と国際経済（輸出）の二重のサイクルが相互に促進し合う新しい経済成長パターンである。デュアルサイクルの開発を通じて、国内市場は大きな成長の潜在能力を持つ。一方、国際市場は、一帯一路によって導かれ、一帯一路諸国との協力によって、経済成長と産業発展の新しい機会を得る。石油・石油化学企業のデュアルサイクルを効果的に運用するには、国内と国際の相互促進を妨げる制度的障壁を打破ることと、産業の革新と開発に焦点を当てることが必要である。

②RCEP（地域的な包括的経済連携協定）は、石油・石油化学産業のバリューチェーンの統合と高度化を促進する。中国は、川下製品の従来からの優位性を強化できると同時に、海外へローエンド石油化学生産が流出してしまうことや、ハイエンド製品の輸入増加といった課題に直面することになる。

③中国のハイエンド製品・材料は、自動車、電子化学品、建築材料、その他材料としてPOE、EVOH、高強度炭素繊維、LCP、光学PVAフィルムなどである。第14次5カ年計画期間中のハイエンド材料の需要は、ローエンド化学品の需要の伸び率よりも高い平均年率7.5%以上で伸びると予想される。市場での優位性は技術革新にかかっており、生産技術の問題を克服する必要がある。

④石油・石油化学産業の収益性は低下傾向にあり、第13次5カ年計画の水準への回復は困難であると見られる。供給過剰となり、同産業は合併や再編の圧力に直面する。効率の悪い小規模の統合されていない企業の生産能力は、国内の総生産能力の約 10%～12%を占める。

⑤構造調整、転換、開発は、第14次5カ年計画における石油・石油化学産業の唯一の方法である。新旧の生産能力の入替えによって、製品の選択は市場と調和しながら実行する必要がある。2025 年の市場需要、精製の規模、世界の平均稼働率に基づくと、新設と廃棄容量の交換比率は 1：0.9 であり、統合された石油と石油化学の生産能力の比率は 55～60%に制御する必要がある。

⑥統合の意味合いは、企業間統合、地域間統合、業界間統合のように拡大される。そして石油転換に基づく統合は、第14次5カ年の新しい特徴になる。多様化した生産ルートと組合わされたプロセスは、統合開発を促進する。

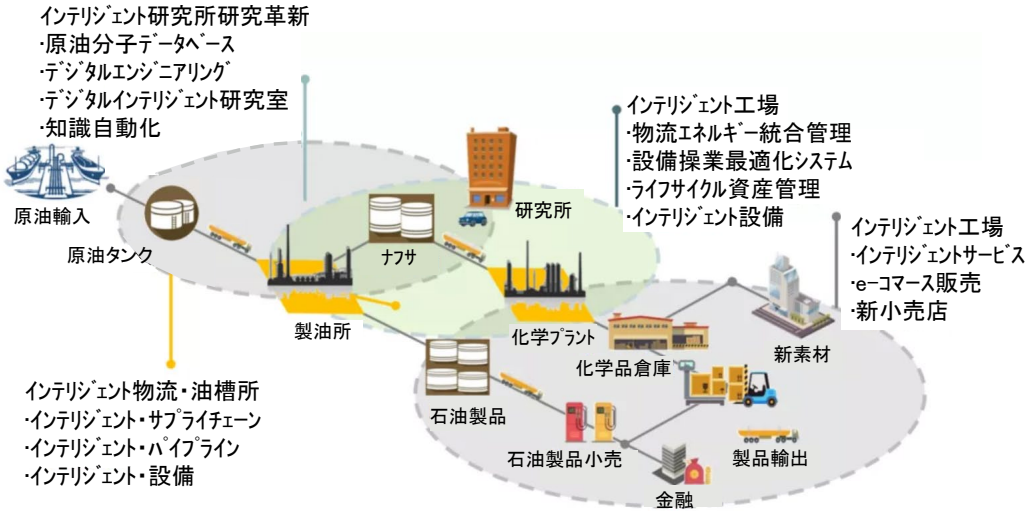
⑦新エネルギー車の開発は、石油・石油化学産業に大きな課題をもたらすが、変革の機会ももたらす。新エネルギー車の増加は石油需要を減少させるが、石油・石油化学会社は、新エネルギー産業チェーンの主役になる可能性がある。

⑧中国は世界最大のプラスチックの生産・消費国として、2020 年以来プラスチック規制政策を採用し、国内のリサイクル及び生分解性プラスチック業界もそれに続いている。メーカーから最終消費者まで、プラスチックの軽量化、薄さ、シンプル化の追求がなされ、リサイクル材料の割合を増やし、再生可能材料の研究開発と生産を行っている。
石油化学産業は、製品開発、用途拡大、標準化、リサイクルシステム構築を主導し、グリーン化を産業発展と統合させる。

⑨デジタル化とインテリジェント（知能）な開発を加速することは、石油・石油化学産業が

高品質な発展を遂げるために必須である。デジタル化は、原油分子情報データベース、スマートサプライチェーン、ロジスティクスエネルギー管理、機器操作最適化システム及びスマートサービスステーションに適用される（図表 3.3.4 参照）。
デジタル化は、石油・石油化学産業の最適化と高度化を促進し、業界のコア競争力を強化する。

図表 3.3.4　シノペックのスマートサプライチェーン



３．３．２　中国 CPCIF による第 14 次 5 カ年計画における化学分野の発展指針

中国石油・化学工業連合会（CPCIF）は第 14 次 5 カ年計画期間における石油・化学産業の発展指針をまとめた（図表 3.3.5 参照）。
新型コロナウイルスの蔓延や保護貿易主義の台頭など世界が 100 年に一度の激動期を迎えるなか、今後の経済・社会発展や課題解決に新材料やファインケミカルが不可欠と認識し、2025 年までに新材料自給率を 75%に引上げるなどの目標を盛込んだ。
また、35 年に世界の石化強国の主たる地位を築くとの長期ビジョンも描いている。

図表 3.3.5　CPCIF 第 14 次 5 カ年計画期間の目標や見通し要約

原油、主要化学品の需要はそれぞれ**年率3%、3%～5%の成長**を継ぐ
エチレン（換算）需要は**年率5.5%伸び、年7500万トン規模**
原油一次加工能力は**年9.5億トン（1,900万BD）以内に抑制**
高付加価値石化製品の輸出比率40%目標
産業全体の売上高**研究開発費率を1.5%超**
付加価値額1万元当りの**エネルギー消費、CO2排出量、水使用量**を第13次5カ年計画末（**2021年）比10%低減**
重点業種のVOC排出量30%削減。固体廃棄物総合利用率80%以上、**危険廃棄物安全処理率100%**
25年の**化工新材料の自給率75%**、化学産業に占める比率10%以上
企業の管理水準高め、**国際的影響力あるリーディング企業、専門分野で突出した「小さな巨人」企業、単一分野のトップ企業を形成。産業全体の売上高利益率6%以上**達成
カ性ソーダなど**伝統化学の稼働率を80%超**に向上。企業数を削減し、平均生産能力を10%向上。上位10社の総能力比を平均5ポイント以上向上
5Gやビックデータなど**次世代情報技術と石化生産を融合**し、デジタル化・スマート化製造サービスプラットフォームを構築
70の一流化工園区を形成し、**50のスマート化工園区モデルを構築、**石化産業の基盤として**危険化学品生産の園区への集約を加速**

（出所）中国石油・化学工業連合会（CPCIF）、2021 年 2 月 1 日、化工日報他

（1）　石油・化学工業〝十四五〟発展指南及び 35 年長期目標

14・5 及び 35 年長期目標は、CPCIF が管轄する石油開発や石油精製、化学工業に対する今後 5 年の産業政策の指針となる。

2020 年までの第 13 次 5 カ年計画では産業構造調整を進める一方で高付加価値製品の開発、製造に舵を切り、世界の石油・化学産業でのプレゼンスを一定程度高めたとの自負がある。

2016～20 年 11 月末までの業界全体の収益は大手企業（売上高 2000 万元以上）の付加価値額、売上高、利益総額の平均伸び率が 4.4%、4.2%、6.0%を確保した。

欧州化学工業連盟の統計も引合いに、2018 年の中国の化学品販売額は日米欧 3 極の合算になどしい 1 兆 1980 億ユーロ（約 150 兆円）に達したと胸を張る。

中国の化工市場は世界の 4 割を占めるに至り、2030 年のそれは 5 割に達する。

ただし、CPCIF は長年抱えてきたローエンドの過剰、ハイエンドの不足という構造矛盾は依然として残り、研究開発やイノベーション能力は脆弱なままだとも指摘している。

無秩序に乱立する企業数を削減し、デジタルトランスフォーメーション（DX）などの導入で、国際水準の経営能力を有する高収益型企業の育成を急ぐ必要性を説く。

また、相次ぐ事故や北部を中心に深刻な大気汚染を受け、安全環境管理能力の欠如を課題としている。

（2）　国内大循環・内外双循環、石油及び化学製品の需要予測

第 14 次 5 カ年計画における石油・化学産業の目指すべき方向として重視するのが、国内大循環・内外双循環である。内外の経済間循環を意味し、消費中心に内需を一段と強化し、外部環境の影響を受けにくい経済体質を構築するというものである。

中国では新型工業、情報化、都市化、農村の現代化が進展し、新基建（新型インフラ建設）に代表される社会基盤・公共サービス体系の建設は原材料やエネルギー産業に巨大な需要をもたらす。
「自動車や鉄道、航空宇宙、情報・電子、省エネ・環境、医療などの産業の高度化需要は新材料やスペシャリティケミカルの発展の原動力となる」（CPCIF）。

指針では、第 14 次 5 カ年期中の国内需要は原油が 3%、主要化学品が 3～5%と安定成長を見通す。ただし、原油の一次加工能力を 9.5 億トン（1,900 万 BD）以内に抑制する。エチレン（換算）需要は 2025 年に 7,500 万トンとする（図表 3.3.6 参照）。
2025 年までに業界の供給レベルを飛躍的に向上させ、イノベーション能力を底上げる。全産業の売上高研究開発費は 1.5%超を確保したい考えである。そして、高付加価値品の輸出比率を 40%超に高める。

図表 3.3.6　第 14 次 5 カ年計画末の主な石油及び化学製品の需要予測（万トン/年）

	15年	19年	25年（予測）
エチレン（換算）	4,030	5,436	7,500(5.5)
プロピレン（換算）	3,181	4,230	6,100(6.3)
SM	894	1,278	1,776(5.6)
PX	2,103	2,964	3,900(4.7)
PTA	3,110	4,498	5,900(4.6)
EG	1,337	1,808	2,120(2.7)
メタノール	5,257	8,070	9,600(2.9)
EO	163	370	465(3.9)
PE	2,345	3,383	4,428(4.6)
PP	2,009	2,663	3,500(4.7)
PVC	1,614	2,027	2,333(2.4)
PS	346	399	443(1.8)
ABS	471	594	700(2.8)
カ性ソーダ	2,965	3,357	4,000(3.0)
ガソリン	11,531	12,517	12,340(▲0.2)

（注）カッコ内は 2019～25 年の平均伸び率、CPCIF 予測 2021 年 2 月

（3）産業のグリーン化、低炭素化、デジタル化

生産効率の向上、省エネを喫緊の課題とし、付加価値額 1 万元当たりのエネルギー消費や CO2 排出量、水使用量を 13･5 末比 10%低減する。
重要製品のエネルギー消費も削減する。重点業種の VOC（揮発性有機化合物）排出量は 30%減らす。重大事故（重大・特大安全事故）の防止にも心血を注ぐ。
5G（第 5 世代通信）やビッグデータ、クラウド、人工知能（AI）、工業インターネットなど情報通信技術と産業の融合も深耕する。そして、石化産業全体でスマート製造の発展体系の基盤を確立する。

（4）過剰能力の解消

石油精製、化学肥料・クロール・アルカリなどの総量規制を促し、旧式設備の廃棄・非効率設備の撤退を加速する。そして、ハイエンド製品、新材料、ファインへのシフトに努め、

新材料の輸入依存を打破、産業に占める比率を 10%超に引上げる。

3．3．3　中国カーボンニュートラルの実態、2060 年脱炭素化の真偽

（1）　第 14 次 5 カ年計画におけるカーボンニュートラル政策

図表 3.3.7 に、2060 年のカーボンニュートラル実現に向けた取組指標の要約を示す。経済は成長しても、CO2 は増えない社会の実現を掲げている。

図表 3.3.7　カーボンニュートラルの実現への段階的目標、北京政府の試算など

	2020年	2025年	2030年	2035年	2060年
CO2排出量	30年までにピーク、以降減少				カーボンニュートラルを実現
単位GDP当たりCO2排出量（五ヵ年規画目標）	18%低減（15年比）	18%低減（20年比）			
単位GDP当たりエネルギー消費量（五ヵ年規画目標）	15%低減（15年比）	13.5%低減（20年比）			
非化石エネルギー（一次エネルギー消費構成比）	15.9%		25%前後		
風力・太陽光発電の設備用量	5.3億kw.		12億kw.		
再生エネルギー発電設備（発電設備総量構成比）	41%	50%以上			
新エネルギー自動車販売（新車販売台数構成比）		20%前後	40%前後	50%前後	

（資料）中国政府公表に基づき戦略調査室作成

（出所）MUFG 銀行中国有限公司、中国情勢の現状と展望、2021 年 6 月

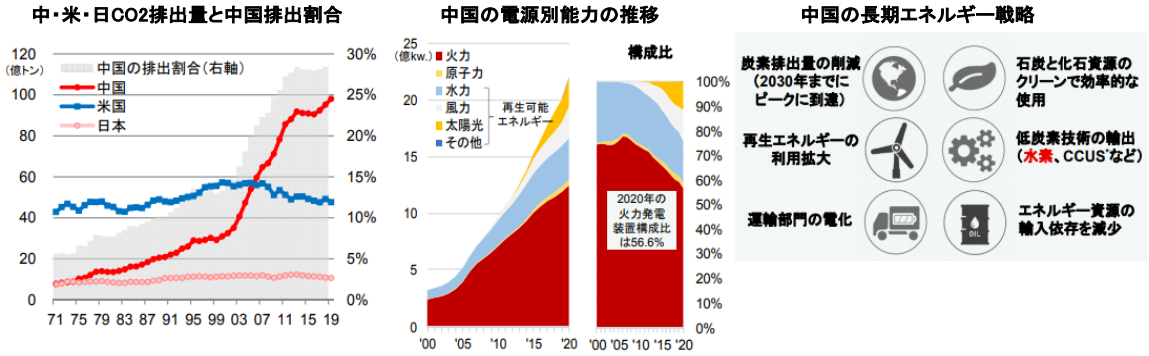
（2）　中国の石炭火力依存と CO2 排出量の急増と長期エネルギー戦略

石炭火力発電を減らす国が増えるなか、中国では新設が続いている。2020 年は原子力発電所 30 基分が増えた。

図表 3.3.8 に示すとおり、2019 年における中国の CO2 排出割合は、日米が減少する中、2003 年以降急増している。そして、2019 年は世界の総排出量の 25%にもなった。

EV 増加の反面、石炭火力も再生可能エネルギーも急増し、CO2 排出量は結局、減少していない。

図表 3.3.8　中国 CO2 排出推移、石炭火力の急増と長期エネルギー戦略



（出所）MUFG 銀行中国有限公司、中国情勢の現状と展望、2021 年 6 月

（3） 石炭を主とする火力発電は増加の一途、石炭火力業界団体の海外進出

米シンクタンクのグローバル・エナジー・モニターによると、中国の石炭火力発電所は 20 年に 3,840 万 KW 増えた（2020 年の電源別能力は 56.6%）。

廃止は 860 万キロワットで、差引きで約 3,000 万 KW 増えた。中国内陸部の甘粛省では 2019 年 11 月、常楽発電所 2 号機が商業稼働に入った。国有発電設備大手のハルビン電気集団が開発した最新鋭の発電機である。二酸化硫黄などの排出量を大幅に引下げた。

産炭地で発電することで、石炭輸送にかかる温暖化ガスの排出を減らす効果もあるとしている。環境負荷が大きい旧型を廃棄して新型に置換える。

再生可能エネルギーは発電量が安定しにくいことから、増え続ける電力需要に応えるためにも、国内でも産出する石炭の活用は不可欠だとの判断である。

中国の電力需要は新型コロナウイルスの影響で経済活動が一時低迷した 20 年も前年比 3%増えた。

石炭火力を手掛ける企業は、旺盛な国内需要で培った技術力とコスト競争力を武器に海外進出も進める。ハルビン電気はアラブ首長国連邦（UAE）のドバイに建設した石炭火力発電所の 1 号機が 20 年に稼働した。23 年をめどに 4 基を稼働する計画である。

中国東方電気集団や上海電気集団も国外で火力発電所の建設を進めている。

（4） 中国における再生可能エネルギー及び原子力の急増

「2030 年までに二酸化炭素（CO2）の排出量をピークアウトさせ、2060 年までに実質ゼロにする。」目標を実現するため、中国政府は風力や太陽光、原子力の発電を大幅に増やす方針を掲げる。

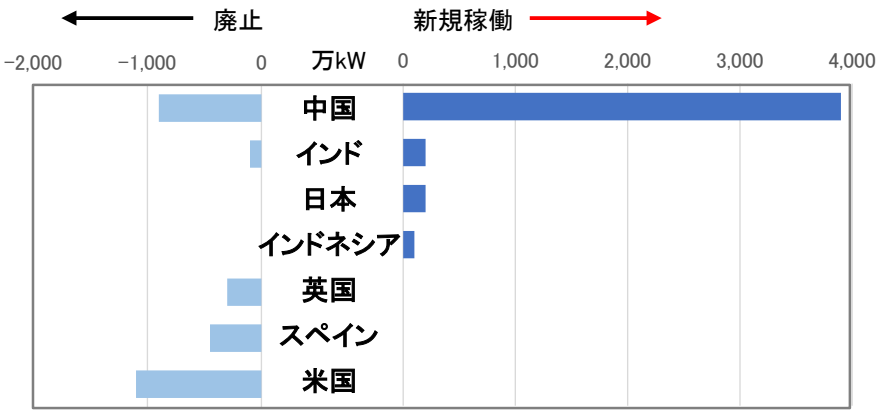
発電能力全体は 2020 年に 1 億 9 千万 KW 増やした。このうち風力が 7,160 万 KW、太陽光が 4,820 万 KW 増えており、石炭火力の増加分を上回った。

中国の専門機関の予測によると、30 年の風力、太陽光、原子力の合計発電能力は 20 年の 3 倍強に増え、全体に占める比率は 27%から 47%まで上昇するが、火力もなお 41%を占め主力の一角を占める。

（5） 欧米では廃止が優勢、中国以外は 1700 万 KW 減

世界では脱石炭が鮮明である。グローバル・エナジー・モニターによると、中国以外では石炭火力の廃止が新規稼働を上回り、発電能力は約 1700 万 KW 減少した。図表 3.3.9 に、石炭火力の新規稼働・廃止の多い国を示す。

図表 3.3.9　石炭火力の新規稼働・廃止の多い国



（出所）グローバル・エナジー・モニター、2020 年

参考として GEIDCO が取りまとめた 2030 年、2050 年、2060 年時点での電源別発電設備容量の予測を図表 3.3.10 に示す。これによると、2060 年時点での化石燃料による発電設備容量は全体の 4%を占めるのみで、カーボンニュートラルにとって現実的な数字となっている。

図表 3.3.10　2030～2060 年中国電源別発電設備容量予測

単位：億kW

	太陽光	太陽熱	風力	在来水力	揚水発電	原子力	バイオマス他	石炭火力	ガス火力	水素	合計
2030年	10.0	0.3	8.0	4.4	1.1	1.1	0.8	10.5	1.9	0.0	38.0
2050年	32.7	1.8	22.0	5.7	1.7	2.0	1.7	3.0	3.3	1.0	74.9
2060年	35.5	2.5	25.0	5.8	1.8	2.5	1.8	0.0	3.2	2.0	80.1

(出所)Global Energy Interconnection Development and Cooperation Organization , GEIDCO

３．３．４　中国石油・化学産業の巨大化と環境問題、日本の進路

上記までの調査結果を整理して、日本のコンビナートの進路を考察する。

（１）　中国石油・化学産業の巨大化

化学業界を化学製品で分類すると、石油化学製品、合成樹脂、粘着素材、肥料、農薬、火薬、医薬中間体、合成繊維、化粧品、油脂、合成ゴム、電子材料、塗料・インキ、接着剤、酸化チタンなどの広範囲にわたる。

2019 年の化学業界の市場規模は 2019 年の 3.94 兆ドル（≒415 兆円）、2018 年の化学業界の市場規模は 3.34 兆ユーロ（≒438 兆円、131 円/€）である（図表 3.3.11 参照）。

一方、世界の化学産業は効率化を狙って、巨大化、再編の動きがある。

化学メーカーの世界 1 位は中国の SINOPEC（中国石油化工集団）、2 位で長年 1 位を維持してきたドイツの BASF を上回っている。

ダウとデュポンの統合会社の売上高の単純合計は、シノペックや BASF の売上高を上回っていたが、ダウ、デュポン、コバレントへと再分割され、規模は小さくなった。

4 位にはサウジアラビアのサビック、5 位には石油化学メーカーであるライオンデルバセル、6 位は三菱ケミカル。14 位の Linde と 26 位の Praxair が合併して世界最大の産業ガス会社になる。

2018 年のランキングでは日本の 4 社（三菱化学、住友化学、旭化成、東レ）がトップ 50 にランクインした。

BASF とダウの 2 強に対して、徐々にシノペックや SABIC の順位のランキングが上がってきている。

2021 年、中国で国有化学大手 2 社（中国中化集団シノケム：樹脂などに強い総合化学＋中国化工集団ケムチャイナ：石油大手で肥料・農薬にも強い）が合併予定で、売上高は 17 兆円で 2 位を大きく引離す。

図表 3.3.11　2019 年化学企業の売上げランキング

企業名	売上高	兆円(%)	2019年世界化学市場規模：3.94兆ドル（≒425兆円、為替レート：108円/米ﾄﾞﾙ）
1位 シノペック	(1.8%)	7.65	中国国営の総合ｴﾈﾙｷﾞｰ会社で、CNPC、CNOOCと並ぶ国有石油開発会社の一角、投資拡大
2位 BASF	(1.6%)	6.80	1865年に設立された世界最大級の独化学ﾒｰｶｰ、ﾊﾞｲｴﾙ、ﾍｷｽﾄと並ぶ独三大化学、ﾊｰﾊﾞｰ・ﾎﾞｯｼｭ法、石油化学品、高性能製品、機能性材料、農薬関連、石油・ガスの輸送で事業を展開
3位 ダウ	(1.1%)	4.68	米国に本拠を置く世界最大級総合化学ﾒｰｶｰ、2019年生ダウ、デュポン、ｺﾙﾃﾊﾞｱｸﾞﾘｻｲｴﾝｽ
4位 サビック	(1.0%)	4.25	ｻｳｼﾞｱﾗﾑｺ傘下の大手化学、産油地との一体運営で石化や製鉄、肥料の基礎化学分野で拡大
5位 ライオンデルバセル	(0.9%)	3.83	ﾗｲｵﾝﾃﾞﾙがBasell社を買収・設立の総合化学会社、石化に特化、規模拡大戦略
6位 三菱ケミカル	(0.8%)	3.40	利益率は芳しくない
7位 エクソン・モービル	(0.8%)	3.40	米に本拠を置く石油メジャー、1999年にエッソとモービルが合併して誕生、石化事業も規模大
8位 LG化学	(0.6%)	2.55	韓国財閥LGｸﾞﾙｰﾌﾟ（電機事業、化学事業、通信事業）の傘下、ｼﾘｺﾝ、偏光板、ﾘﾁｳﾑｲｵﾝ電池他
9位 デュポン	(0.5%)	2.12	2015年ﾀﾞｳケミカルと経営統合し多賀、特殊産業材事業が分社化され新生デュポン
10位 INEOS	(0.4%)	1.70	スイス本拠、BPの石油化学事業が分離誕生、石化事業に特化し、規模拡大戦略

（出所）最新業界別売上高世界ランキング第 2 巻 Kindle 版に基づき RING 編集

（2）　日本総合化学メーカーの進路

エチレンなどの石油化学や汎用化学の分野において、中国の化学メーカーや米国オイルメジャー系化学メーカーのようにスケールメリットを追うか、それとも、ダウとデュポンの経営統合・分社化や欧州系化学メーカーのように機能性化学分野へ集中していくか、それとも第三の道を開くかである。

今更、化石資源型の従来構造大型化の追求はありえない。日本の石油コンビナートの構造、地の利は今後の再構築の強みでもあり、かつ、石油精製とのケミカルチェーンを再構築するには有利である。

そして、売上高を追求するよりも、独自の付加価値の高い製品生産をケミカルチェーンに組込んで、利益率を上げていくことが有効である。

既に、それを実証して、次世代構造に向かって利益率を上げつつあるのが旭化成である。

また、３．４項の石油精製と完全連動する大連長興島恒力石化パラキシ及びエチレンチェーンは世界の当面のひな型になる。

今後、日本の環境産業のアジア圏進出、環境保全新製品の世界進出は大いに期待できる。

そして、益々、技術流出保護、サイバー攻撃に対する防備が欠かせない。

３．４　大連長興島恒力石化パラキシレン、エチレンチェーン調査

３．４．１　長興島恒力石化第 2 期工事エチレンチェーン調査の背景と目的

大方の製油所はコロナ禍で、JET 燃料の需要が急減した歪で、原油処理を落とさざるを得なかった。しかし、中国の石化シフト率の石精石化コンプレックス内の製油所は、中間留分

を石化原料とするスキームが奏功し、原油処理量をあげている。
そして、余剰のガソリンの日本への輸出も増加した。特に、中間留分の全量を石化原料に転換することが可能で、中国で最も高度に統合されたサイトの 1 つである恒力石化は、精製業界の大半が大きな損失を抱えていた 2020 年第 1 四半期から第 3 四半期にかけて、14 億米ドル以上（1,470 億円以上）の純利益を計上したという。
2019 年度に 1 期工事を完成し、2020 年には 2 期工事のエチレンチェーンも稼働を始め、先に示した Wood Mackenzie 社の REM-Chemicals ツールによると、原油処理量あたり約 10 米$/BBL（1,050 円/BBL＝6,600 円/KL）と推定される収益を上げ、世界トップレベルのパフォーマンスを発揮するサイトになったとされる。
EV 化の進展で、ガソリンなどの燃料需要が縮小していくことが予想される中、中東諸国のコンプレックスも原油から石油化学製品収率の向上に躍起になっている。
そこで、中国でフル稼働しているコンプレックスの中で最も高い収益力を持つといわれる長興島恒力石化の 2 期工事後の操業及び、政府の環境保全に対する認識を実態調査する。これを通して、日本への輸入阻止及び次世代への備えに資する。

（1） 調査の視点

・恒力石化コンビナートのノルマル系精製留分原料供給によるエチレン収率最大化
中国の石油精製能力大余剰問題を抱えながら、政府はパラキシレン原料供給を条件に 40 万 BD の原油処理能力を許可した。
2019 年 12 月稼働を開始したこの大型パラキシレンチェーンは、大量の重質ナフサ（HN）の安定供給を保証する。コンビナートの中で自己完結することを目指して設計されたポリエステル特化スキームである。
また、分解炉のライセンサーはテクニップ社（仏）である。既に、2015 年、インドリライアンス社ジャムナガール製油所コンプレックスの精製オフガス＋LPG を原料とするクラッカー(ROGC: Refinery Off-Gas Cracker)、エチレン能力 136 万 t/年の稼働に成功している。テクニップ社 SMK®分解炉技術を導入している。

３．４．２ 恒力石化第１期工事パラキシレンチェーンの概要

（1） 恒力集団股份有限公司（Hengli Group)の概要（図表 3.4.1 参照）
1994 年創立で、総社員数は 6 万人、総売上げは 3,079 億元（約 5.5 兆円）で、2019 年上半期純利益 40.37 億元（約 605 億円）である。
また、恒力集団の売上高は中国トップ 500 社中第 46 位、中国製造業トップ 500 社中第 13 位、PTA などのポリエステル紡織、石油化学、不動産の 4 事業を中心に、コジェネ、機械、金融、ホテルなどの事業を行う中国有数のコングロマリットに成長した。

・石油精製能力　　：2019 年　40 万 BD（2000 万トン/年）
・PTA の生産能力 ：2018 年　480 万トン/年、2019 年 730 万トン/年＋250
・エチレン生産能力　：2020 年　150 万トン/年

図表 3.4.1　恒力集団股份有限公司グループの概要

社名	恒力集団股份 有限公司	恒力石化股份 有限公司	恒力石化（大連） 煉化有限公司	恒力石化（大連） 有限公司	江蘇恒力化学繊維 股份有限公司
設立	1994年	1999年 恒力集団の子会社	2014年 恒力石化の子会社	2014年 恒力石化の子会社	2002年 恒力石化の子会社
売上高 2019年	8.8兆円	1.5兆円			
純利益 2019年	605億円（上半期）	1,500億円			
事業	石油精製、石化、ポリエステル、化学繊維、不動産、コジェネ、機械、金融、ホテル他	石油精製、石化、ポリエステル、化学繊維、他	パラキシレン、PTA, 石油製品	エチレン、プロピレン	化学繊維
従業員	10万人				
他	恒力石化株式の30.1%を持つ	恒力集団の中心的会社。2016年株式上場			

（2）　江蘇恒力化学繊維有限公司によるポリエステル生産

・ポリエステル製品生産能力：2018 年 245 万トン/年、2019 年 305 万トン/年

呉江、宿迁、南通、営口の 4 拠点で、各種ポリエステル製品を生産している。

（3）　恒力石化（大連）（恒力石化有限公司子会社）のエチレンチェーン

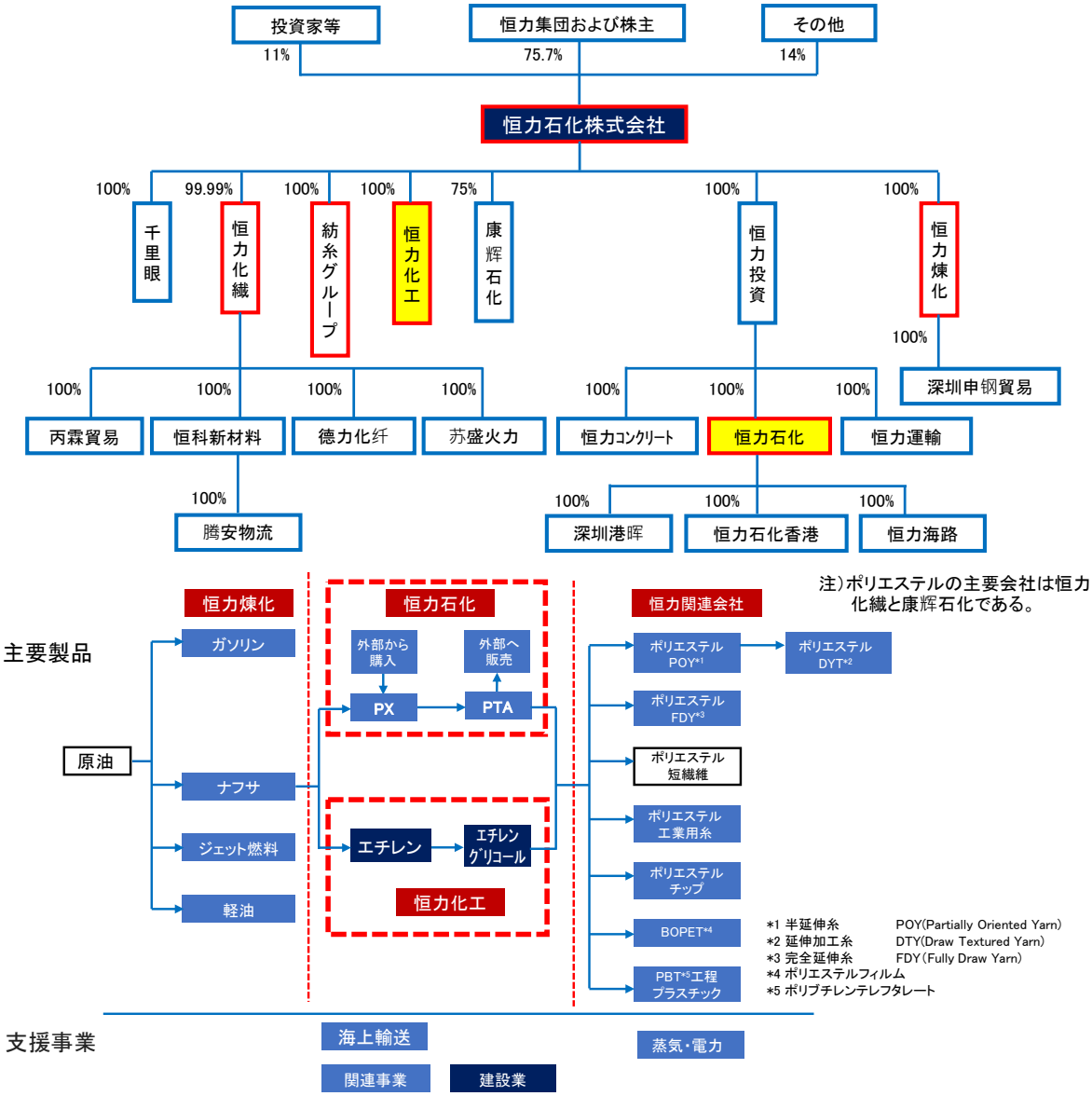
・エチレン装置能力：150 万トン/年

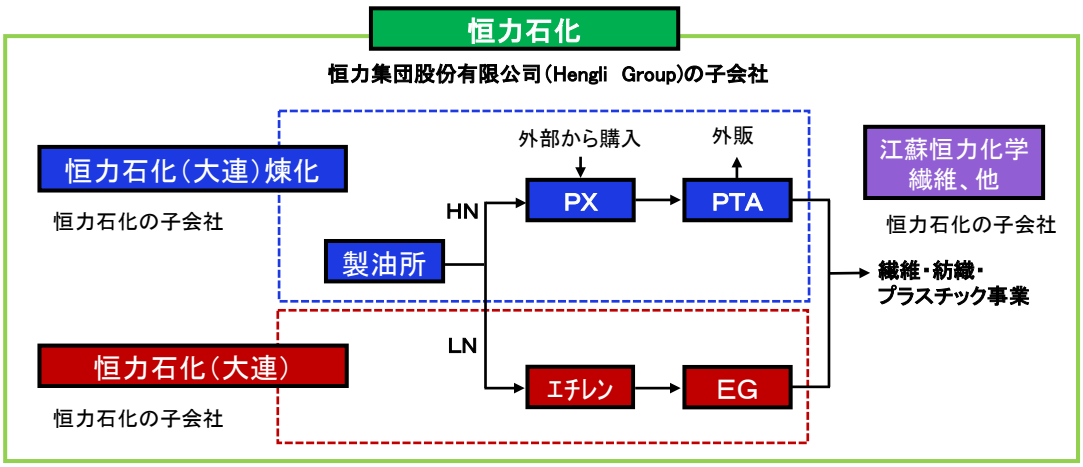
既存のポリエステル繊維・PET のチェーンの自己完結（図表 3.4.2 参照)。

下流の石化プラント群も、2020 年中に稼働予定である。パラキシレンチェーンにおいて、併産されるナフサ留分他全量を分解炉にチャージしてエチレンを生産する。

さらに、エチレン全量を主に、エチレングリコール（EG)、HDPE、SM に転換する。

図表 3.4.2　恒力集団股份有限公司グループにおける構成とサプライチェーン





（出所）SWS リサーチに基づき 2020 年度作成

（４） 恒力石化大連煉化の長興島プロジェクト沿革

・2013 年 12 月 投資協定に署名
・2014 年 3 月 江蘇恒力集団有限公司傘下の恒力石化有限公司を設立（PJ の実施企業）
・2014 年 5 月 AXENS 社とライセンス契約締結
・2015 年 8 月 遼寧省環境保護庁が環境影響調査報告を認可、
国家発展改革委員会許可取得
・2015 年 12 月 起工式
・2016 年 12 月 恒力石化有限公司が恒力石化（大連）有限公司を設立(石化 PJ 第 2 期工事)
・2017 年 12 月 証券監督委員会より最大 230 億元（約 4,140 億円）の増資可決承認に 1 年を費やす
・2018 年 2 月 Sinochem、PetroChina と原油購買、石油製品販売などに関する MOU 締結
・2018 年 12 月 TOP に原油通油、PX チェーン稼働開始
・2019 年 5 月 恒力石化製油所がフル稼働（全面操業セレモニー開催）
・2020 年 1 月 第 4 PTA 稼働開始
・2020 年 6 月 第 5 PTA 稼働開始、1～5 系列の世界最大の PTA プラント

（５） 恒力石化大連煉化の長興島プロジェクトの概要

・立地 ：遼寧省大連市長興島経済区（Changing Island）
・面積 ：645 ヘクタール（6.45km2）
・総投資額 ：562 億元（約 1 兆 2,000 億円）
・主要生産品：PX 430 万トン/年、ベンゼン 97 万トン/年
・資本金 ：115 億元（約 2,000 億円）
・基本設計 ：UOP と Chevron Lummus Technology（CLG)、最大限国内ライセンスと材料を活用する条件つきである。

・大規模製油所建設の背景と立地選定理由

既にポリエステル繊維のトップメーカーで、下流に大きなユーザーを有している。急速な需要伸長で、原料のパラキシレンが不足、高騰して安定供給懸念とコスト高になりつつある。また、販売拡大を目指して、大型投資を決断した。

PX430 万トン/年に見合う重質ナフサを長期的､安定的に供給可能な製油所規模を 40 万 BD とし、LGO も水素化分解し、HN を確保した。ただし、PX よりも軽油のマージンが高い場合は、PX or MX を外部購入して、LGO 水素化分解を停止し、軽油を増産出来るフレキシブルな精製スキームである。

中央政府の安全環境対策、投資規模など、諸々誘致の認可条件に準拠した。恒力石化は山を削った土砂で埋立てを行い、その土地に製油所を建設した。また、既に、PTA3 号機までここで建設稼働していた。

中国の７大基地構想は､全て島が立地になっている｡以下に､大連長興恒力石化石油精製･石油化学コンプレックスの主要装置能力、製品生産量、プロット、製油所全景、計器室を図表 3.4.3、図表 3.4.4、図表 3.4.5、図表 3.4.6 に示す。

図表 3.4.3　大連長興島恒力石化コンビナートの設備能力及び製品

設備	生産能力(万トン)	技術
常圧蒸留装置	2,000	国内技術
LPG回収装置	450	国内技術
灯油水素化脱硫装置	200	SINOPEC
軽油水素化分解装置	600	Axens
重油水素化分解装置	1,150	Axens (H-OIL)
潤滑油脱ろう装置	60	CLG+SINOPEC
芳香族装置	450	Axens+GTC+SINOPEC
異性化装置	50	GTC
プロパン/イソブタン脱水素装置	100	Lummus
ポリプロピレン	30	Ineos
MTBE	82	Axens
PSA	730,000 Nm3/h	国内技術
石炭ガス化装置(水素製造)	500,000 Nm3/h	Linde+国内技術

主要製品	生産能力(万トン)
パラキシレン	434
ベンゼン	97
軽質ナフサ	163
ガソリンRON95	255
ガソリンRON92	206
軽油	161
ジェット/灯油	371
LPG	65
PP	44
潤滑油	54
酢酸	35
重質アロマ	13
硫黄	52

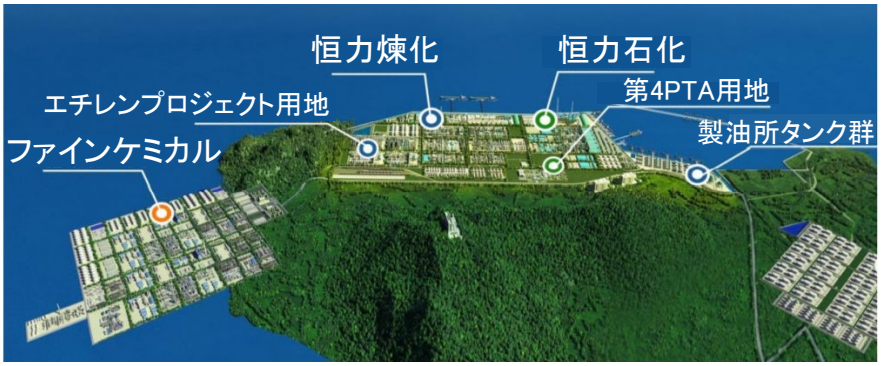
恒力石化は、大連の長興島石油化学産業基地に PTA 生産ラインを 3 系列合計 660 万トン/年を稼働させた。2020 年には 250 万トン/年を 2 系列追加し、合計 1,160 万トン/年となる。世界最大の PTA 生産能力によってスケールメリットを享受している。

エネルギー消費も非常に低い。1 トンの PTA 生産に通常、石炭 80kg、水 2.6 トン必要だが、恒力は石炭 67kg、水 1.8 トンしか消費しない。新しい PTA ラインは既設ラインとユーティリティーを共有するのでランニングコストが低減される。PTA プラントでは製油所の水素を利用してコスト削減している。また、52 万 kW の自家発電所によって電力と蒸気コストを大幅に削減した。

製油所（40 万 BD）と石化は 2019 年にパイプラインで統合され、世界最大の芳香族・PTA 生産基地になった。統合により物流・貯蔵・関税などのコスト 150 億円/年を削減できる。専用ドックにより直接船舶に入出荷できるため輸送コストが低廉。製油所用に 30 万トンの原油桟橋を 2 つ、合計 320 万 KL の原油タンクがある。製品・半製品タンクは 365 万 KL でフレキシブルな操業が可能である。

長興島国家石油化学産業基地は、中国東北部で唯一の国家レベルの石油化学産業基地である。国内外とタンカーで接続し地理的条件が優れている。長興島は海岸線 30km、水深は深く、波は小さい。高品質の原料供給によって、下流のファインケミカルメーカーを引付けることが期待されている。

図表 3.4.4　大連長興恒力石化 石油精製・石油化学コンプレックスのプロット



（出所）SWS リサーチ　2019 年 6 月 4 日

the industrial park of the Hengli Petrochemical (Dalian) Refining Co., Ltd. on the Changxing Island in Dalian City, northeast China's Liaoning Province.



図表 3.4.5　Dalian 製油所(40 万 BPD)・石油化学コンプレックスの全景



（出所）XINHUANET

図表 3.4.6　Dalian 製油所・石油化学コンプレックスの計器室の写真



（出所）XINHUANET

（６）　石油精製フロー及び精製設備、用役設備、桟橋他の概要

・石油精製パラキシレンチェーンの主要設備構成

TOP 能力 40 万 BD　サウジアラビアの中質･重質原油とカタール原油を処理する。

水素化分解設備やパラキシレン（PX）生産に最適化された二次処理設備は、いずれも中国最大である。

大型のナフサ水添脱硫（Axens）、灯油脱硫（Sinopec）、LGO・HGO、RC、VGO の水素化分解設備群（Axens）、H-OIL 導入によって VR からも HN 生産できる。

石炭ガス化（Linde & 国内技術）によって、500KNm3/H の水素を製造し、供給する。

LGO、VGO、RC（H-OIL）の水素化分解に必要な大量の水素消費を充足する。

統合パラキシレンスキーム（Axens）

CCRU 6.4 万 BD× 3 系列＋芳香族抽出設備（Axens）＋MX 異性化(50 万トン/年)

PX 430 万トン/年、BZ 97 万トン/年生産

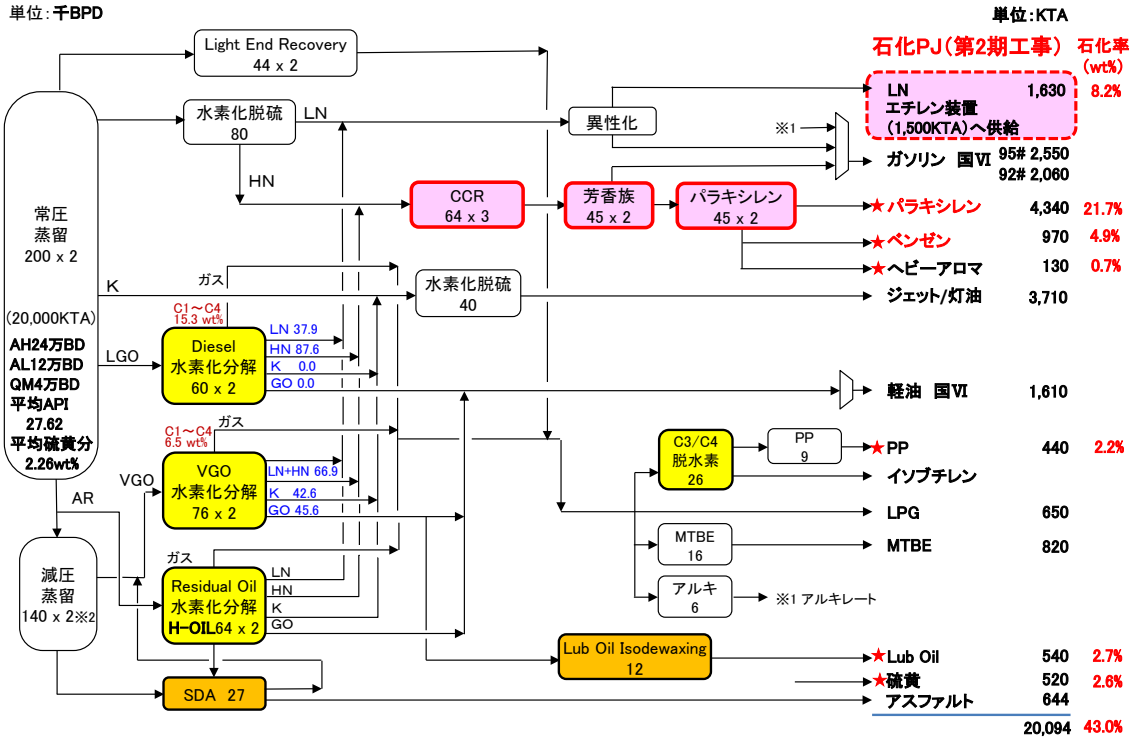
・潤滑油基油製造：54 万トン/年

溶剤脱瀝設備（Axens）×2、潤滑油基油異性化脱設備（CLG/Sinopec Isodewaxing＋Isofinishing ）68.3 万トン/年、溶剤脱瀝油水添処理
グループⅡ・Ⅲオイルを生産すると共に、高付加価値のホワイトオイル（流動パラフィン）の生産も行う。

・PDH（BDH）は、 Catofin 技術（CB&I）を採用（1 系列では、世界最大脱水素プラント） プロパン 30 万トン/年＋イソブタン＝ 60 万トン/年フィードで、プロピレン＋イソブチレンを 44 万トン/年生産する。
・MTBE 設備（Axens）：82 万トン/年

図表3.4.7に、大連長興島恒力石化の石油精製パラキシレンスキームを示す。

図表 3.4.7　大連長興島恒力石化の原油パラキシレンフロー



・石炭ボイラー発電：120MW（12 万 KW）、100%自家発電が認可されている。
・海水淡水化装置：40 百万トン/日の淡水化能力
・ヤード設備
原油埠頭：30 万トン級×2＋石油製品埠頭×6 桟橋
原油タンク：原油貯蔵能力 10 万 KL×30 基
製品タンク：ガソリン×8 基、JET×8 基、軽油×4 基、芳香族×9 基、LPG×18 基、潤滑油基油×10 基
・ナフサバース、液化エチレンタンク、液化エチレンバース他
・環境対策
Callidusフレア、低Noxバーナー（Honeywell）他
排煙脱硫・脱窒素装置、排水処理（仏Degremontの技術）

・石油及び石化製品販売とPTA及びPXバランス
国五規格対応のガソリンや軽油、ジェット燃料は外販
長興島PTAの増強計画でも、PXはなお不足のバランスが続く
・PTA 増産計画：PTA 増設も隣接に計画。PTA　No.4 系列 250 万トン/年、 No.5 系列 250 万トン/年。

（7） 第 4PTA(高純度テレフタル酸)プラント稼働（図表 3.4.8 参照）
INVISTA パフォーマンス・テクノロジーズ（IPT*）による恒力石化の第 4PTA(高純度テレフタル酸)プラントが 6 月 5 日、性能保証試験に合格した。
遼寧省大連長興島の恒力石化内に建設された PTA(高純度テレフタル酸)の生産能力は 250 万トン/年であり、INVISTA の P8 PTA 技術が採用されている。
P8 PTA 技術は、変動費が低く、かつ、生産性が高く環境性能に優れている。
IPT は PTA のリーディングカンパニーであり、ライセンスした PTA 生産能力は世界で合計 43 百万トン/年以上である。ポリエステル、ポリウレタン、ナイロンのバリューチェーンに関する技術・ノウハウも提供している。
2020 年 1 月 8 日に稼働開始した後、3 月 9 日にフル稼働し、6 月 5 日に性能保証試験に合格した。このプラントは INVISTA の R^2R 技術を使い安息香酸も併産している。
2018 年 3 月初旬のプロジェクトのキックオフからスタートアップまでたった 22 か月という、他の PTA プロジェクトより大幅に短い記録的な期間で達成した。(INVISTA 2020 年 6 月 5 日、INVISTA,Newsroom)。
恒力石化は同サイトで更に 3 つの PTA ラインを運営しており、それぞれのラインの生産能力は 220 万トン/年で、INVISTA の P7 PTA 技術を採用している。

図表 3.4.8　大連長興島恒力石化 PTA プラント



（出所）INVISTA 2020 年 3 月 9 日、2020 年 6 月 5 日

（8） 第 5PTA(高純度テレフタル酸)プラント稼働、世界最大の PTA プラント
INVISTA のテクノロジー・ライセンシング部門である INVISTA Performance Technologies（IPT）と、恒力石化は、5th PTA ラインがスタートアップしたことを発表した（INVISTA Press Release 2020 年 8 月 3 日)。
この 250 万トン/年の 5th PTA ラインは、INVISTA の P8 技術を採用しており、2020 年 6 月 29 日に稼働を開始した。恒力石化は、大連市長興島の同一サイトで INVISATA の PTA 技術による別の 4 つの PTA ラインを稼働しており、合計能力は 1,160 万トン/年で世界最大の PTA サイトである。

スケールメリットとインテグレーションされた設備と変動費の優位性から、恒力石化のPTA製品は市場において競争力がある。

（9） パラキシレンチェーン完成後のPTA需給バランス

No. 4 PTAプラント稼働後も相変わらずPX不足が発生する。長興島恒力石化大連練化コンビナートのPTAプラント能力は世界最大の1,160万トン/年長興島に、先に親会社が建設した2012年完工のNo.１，２ PTAプラント及び2015年完工のNo.3プラントの合計能力は、660万t/y（220万t/y×3基：PX換算435万トン/年）である。今回のパラキシレン生産能力は、434 万トン/年であるから、パラキシレン生産開始時点でちょうど内製化完了であった。

2020年に、No4、5のPTAプラント（250万トン/年×2＝500万トン/年（PX換算330万トン/年）が稼働を開始したことにより、大連長興島のPTAの生産能力は、世界最大1,160万トン/年（PX換算765万トン/年）で、再び、331万トン/年ものパラキシレンが不足することになる（図表3.4.9参照）。

図表3.4.9 PTAへのパラキシレン供給バランス

単位：万t/y

	PTA プラント	PTA 生産能力	PX需要 ①	PX生産 ②	PXバランス ②－①
2019/03	No. 1-3	660	440	0	▲ 440
				450	10
2020/01	No. 1-4	910	608		▲ 158
2020/08	No. 1-5	1,160	775		▲ 325

PTA No. 1-3はINVISTA P7 PTA Technologyでそれぞれ220万t/y
PTA No. 4-5はINVISTA P8 PTA Technologyでそれぞれ250万t/y

（出所）INVESTA社発表能力に基づき、2020年度RING試算

３．４．３ 第2期工事エチレン装置の特徴

（1） 恒力石化による大連長興島プロジェクト（第2期工事）の概要

石化プロジェクトに関しては、2016年12月に恒力石化（大連）有限公司が実施企業として設立され、製油所は、2019年5月17日フル稼働した。

エチレン他の建設費は、先の総投資額562億元（約1兆2,000億円）の外数で、合弁外資導入を一切行わずグループ内でかため、シンジケートローンを組んだ。

エチレン、及びその川下製品プラントの総投資額は240億元（約3,600億円）と発表されている。

したがって、石油精製パラキシレンチェーン＋エチレン＋下流の総投資額は、80億元（約１兆5,600）もの巨額投資になる。

・恒力グループにおけるナフサ分解炉の役割

2020年1月29日 エチレン装置150万トン/年が稼働を開始した。

下流の石化プラント群も、2020年中に稼働予定である。パラキシレン生産において、併産されるナフサ留分他全量を分解炉にチャージしてエチレンを生産する。エチレン

を原料に、エチレングリコール（EG)、HDPE、SM に転換するもので、既存ポリエステル繊維・PET のチェーンの自己完結を目指したものである。

・エチレンプラントと石油化学チェーンの概要
エチレン生産能力と自己完結型石油化学スキーム
エチレン：　150 万トン/年、プロピレン：40.4 万トン/年、ブタジエン抽出：15 万トン/年、PYGAS 水素化精製設備　：35 万トン/年
エチレンオキサイド（EO）　：90 万トン/年×2　（2019 年 12 月、2020 年 3 月稼働）
エチレングリコール（EG）　：90 万トン/年×2　（2019 年 12 月、2020 年 3 月稼働）
スチレンモノマー（SM）　：72 万トン/年　（2020 年 3 月稼働）
高密度ポリエチレン（HDPE）：40 万トン/年（2020 年 3 月稼働）
ポリプロピレン（PP）　：40 万トン/年（20 万トン/年×2 基）（2019 年 11 月稼働）

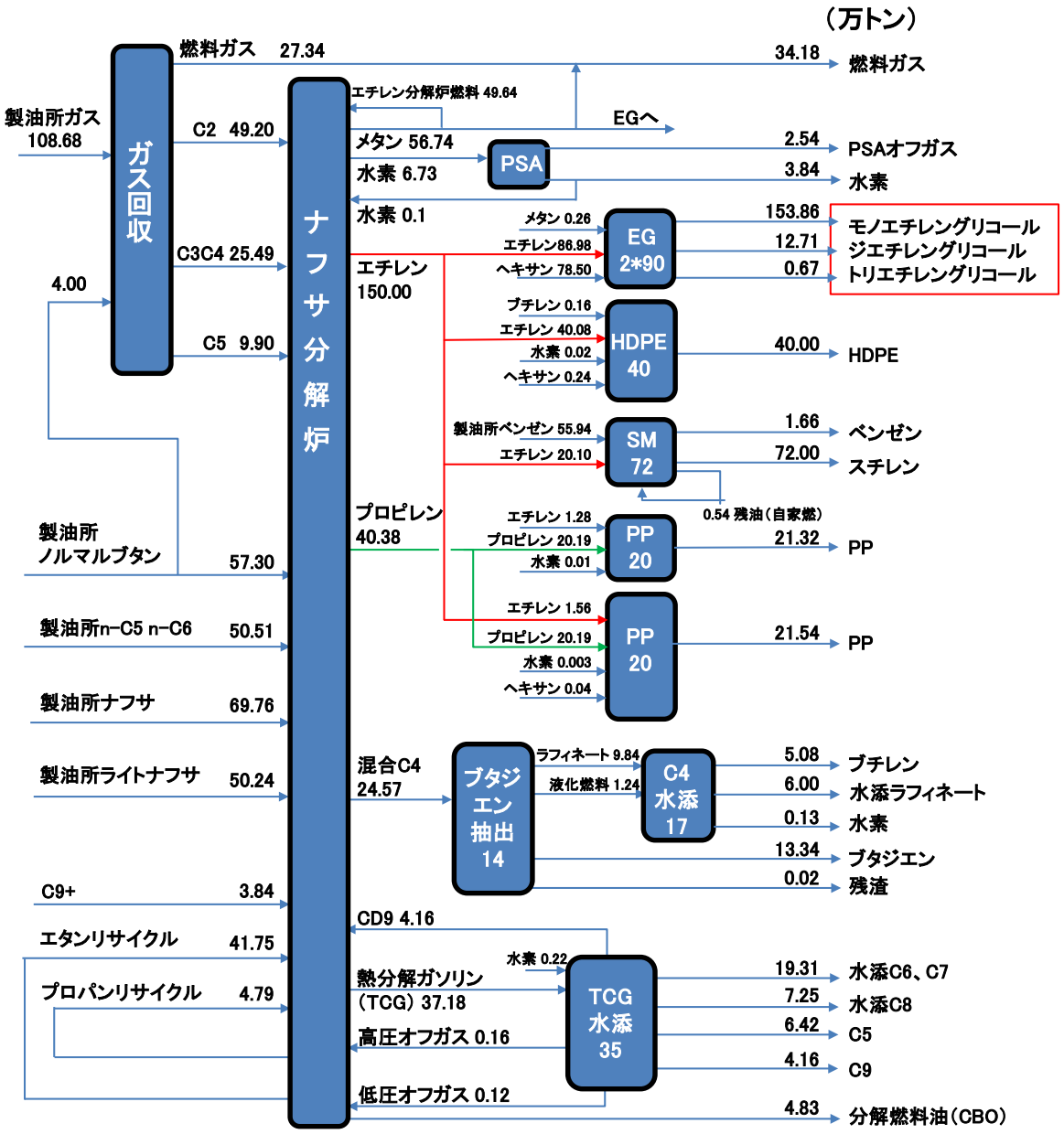
エチレンは、エチレンオキサイド、エチレングリコール（モノ、ジ、トリ)、HDPE の最終製品及びスチレンモノマーの原料として全量消費される。ベンゼンは、エチレンを添加して、スチレンモノマーとして全量自己消費される。プロピレンは、ポリプロピレン（PP）として全量自己消費される。

・プロセスライセンス
エチレン：Technip の S&W USC プロセス、ブタジエン抽出：SEG は SD の酸素法と水和法、SM：Badger、HDPE：LyondellBasell の Hostalen 技術、PP：日本ポリプロの気相 HORIZON 法と SEG 技術
2017 年 6 月、W.R. Grace と UNIPOL 法 PP 技術のライセンス契約を結んだ。
SHAC Ziegler Natta 触媒とともに 30 万トン/年のプラントに導入し、2019 年からホモポリマー、ランダムコポリマー、インパクトコポリマーを生産する。

（2）　40 万 BD の石油精製から 150 万トンのエチレンプラント原料の自己完結
日本の既存の石油コンビナートで 150 万トン級のエチレン装置の原料（ナフサ＋LPG 他）を自己調達するとすれば、少なくとも 80 万 BD 以上の原油処理能力を必要とする。
千葉地区の製油所群を合わせても不足する原料事情である。

何故、40 万 BD（原油処理 2,000 万トン/年）で、年産 150 万トンものエチレンを生産できるほどの原料調達が可能であるかを解析する。図表 3.4.10 に、エチレン装置の詳細マテリアルバランスを示す。恒力石化グループにおけるナフサ分解炉の原料は全て長興島内で完結している。

図表 3.4.10　恒力石化 PJ のエチレン装置フローとマテリアルバランス



このフローは、日本の石油コンビナートにおける石油精製からのエチレン原料供給改善余地、及び石油化学サイトを含めた資本の壁を越えた全体最適化による競争力強化の余地があることを示すものである。

・恒力石化 PJ ナフサ分解炉の原料と分解後のマテリアルバランス解析

図表 3.4.11 に、先のフローに基づき、年産エチレン 150 万トン分解炉の原料と分解後の留分バランスを解析した結果を示す。

図表 3.4.11　恒力石化 PJ ナフサ分解炉の原料と分解後のマテリアルバランス

（万トン）

入力			出力		
C2	49.20	15%	水素	6.73	2%
C3、C4	25.49	8%	C1	56.74	18%
C5	9.90	3%	エチレン	150.00	47%
n-C4	57.30	18%	プロピレン	40.38	13%
n-C5、n-C6	50.51	16%	混合C4	24.57	8%
ナフサ	69.76	22%	分解ガソリン	37.18	12%
ライトナフサ	50.24	16%	分解燃料油	4.83	2%
C9+	3.84	1%			
CD9	4.16	1%			
合計	320.40	100%		320.43	100%

注)%は対入力

原料に対するエチレンの得率 47%は非常に高い。エチレン原料は、316.24＋4.16（CD9）＝320.4 万トン/年、分解後留分は、水素 6.74＋メタン 56.74＋エチレン 150＋プロピレン 40.38＋混合 C4　24.57＋分解ガソリン（PYGAS）37.18＋分解燃料油（CBO）4.83＝320.43 万トン/年

フィード量 320.4 万トンに対し、エチレン得率が 150 万トンであるから、ナフサ分解炉では、現時点でリライアンスジャムナガール ROGC（Refinery Off-Gas Cracker）＋ナフサ分解炉を上回るエチレン得率であることが推測される。その理由は、原料全体が軽質でかつ、ノルマル系 C4、C5、C6 成分の比率が大きいことによる。

・C5 イソプレンを分離せず水素化

一般の分解後の処理では、イソプレンを含む熱分解ガソリン（以下、PYGAS）を部分水添後、蒸留によって C5 留分（CD5F）を分離し、スルフォランでイソプレンを抽出し、ゴムの基材とする。そして、抽出残りの C5 留分（CD5 ラフィネート）を更に有効活用する。
恒力石化 PJ では、PYGAS を石炭由来の安価な水素を使って徹底的に水素化し、ガソリン基材としているようである。
全量水添しているのは、近隣にゴム会社が存在しないことと、小規模のゴムプラントを建設するよりも分解炉原料にする方がここでは適しているためと考えられる。

PYGAS 留分は、C5、C6、C7、C8 留分と若干の水素化 CD9（カーボンディスティレート９）留分に分離されている。
水素化 CD9 はそのまま分解炉に混合チャージされていることから、水素化度合が深く日本のイメージする CD9 とは性状が異なることが推測される。

これに対して、C9+（3.84 万トン）は、CCR からパラキシレンを抜いた後の、また、不均化後の残りであるから、二重結合はない。したがって、分解炉に投入しても、エチレン収

率は悪いが、CD9 ほどコーキングは発生しないので分解炉に投入している。

分解燃料油というのは、熱分解残渣油である。対チャージ比 1.5%（4.83/320.43）は日本の 4～6%と比較すると極めて少ない。硫黄分が少なく、中国ではタイヤの増量剤として使用価値があるが、長興島内自己完結の必要性から、低硫黄自家用燃料であると考えられる。

・中国国内の燃料油余剰を背景にした特異なパラキシレンスキーム
中国エチレン内需のタイトが続くこと、燃料油が大余剰であることを鑑みれば、このような設計になる。
さらに、このコンビナートは孤島立地であるから、自給自足を余儀なくされる。かつ徹底的に、ポリエステル繊維、PET 原料の調達自己完結によるコスト削減・収益を上げるという目標のためのスキームである。製油所と石化との連携技術の多くが使用されている。

・石油精製の石化シフトの観点からの本スキームの評価
現段階では世界一で、ジャムナガールよりも石化シフトは上である。パラキシレンチェーンに特化した世界最高の原油高転換スキームである。
一方、インドリライアンス・ジャムナガール製油所は、MCC 導入で更に、石化シフトと下流のチェーンの裾野を広げていく計画で、ハイドロカーボン高付加価値化スキームとして進化を目指している。

（3） 推定石化率 43wt%以上、エチレン装置建設理由と国際競争力評価
40 万 BD の軽油水素化分解２系列運転とするスキームでは、石化率は世界トップである。
推算内訳：(LN＋PP＋BZ＋PX＋S＋L/O＋重質アロマ）/2000 トン原油
＝（163＋44＋97＋434＋52+54＋13）/2000=43%

LN の石化率は、約 8%でエチレン製造装置（150 万トン建設中）の原料となる。
エチレン原料は、LN 以外にも、LPG、精製ガスなどを原料とし、エチレンの得率は 40%以上の高い収率であり、全量基地内調達であり、外部からの原料供給はない。
なお、 PP＋BZ＋PX＋S＋L/O だけでは 34%となるが、LN 以外の留分も分解炉フィードされるので石化率は 50%に近くなる。酢酸は、石炭ガス化の合成ガスからメタノールを経由して生産されるので、石化率には加味されない。

・恒力石化 PJ の採算面の評価
長興島コンビナートの水素化分解石化 PJ は、軽油をエチレンなどに付加価値アップしたということではなく、原油からエチレンまで、あるいは、パラキシレンまでの最終製品チェーンで評価すべきである。
安価な原油を石炭由来の安価な水素で分解したことになるため、LGO 水素化分解装置などの設備コストは別にして、ランニングコスト面では、ナフサ相当の国際競争力を有していると言える。

３．５ 浙江石化１期操業、２期工事の内容と進捗状況

浙江石油化工は 2015 年 6 月 18 日に設立された。株主は、浙江榮盛控股集團 (60%)のほか、浙江桐昆控股集團有限公司（Tongkun Group）と国有企業である巨化集團公司（Juhua Group、国有の建設会社の舟山海洋綜合開発投資（Zhoushan Ocean Comprehensive Development Investment Co.）で、私企業と国有企業の JV である。

大連長興島恒力石化と共に、中国第 13 次 5 カ年計画の総仕上げともいえる大規模プロジェクトの１つである浙江石化の１期及び 2 期工事の内容と工事進捗状況、１期の稼働状況を調査する。また、第 2 期工事完了後の中国におけるパラキシレン輸入減少を想定し、このサイトにおける環境汚染対応、脱炭素の可能性を合わせて調査する。

３．５．１　浙江省舟山基地の位置

浙江石化は、杭州湾内にある魚山島（大魚山島と小魚山島）を含む火山列島を埋立て一つの 41 ㎢の大きい島（千葉地区コンビナートの約 3 倍、アントワープ相当）に造成した緑色石化基地にある。シンガポールのジュロンコンビナートと同じく、埋立地である。

同じ埋立て対岸には鎮海煉化、浙江逸盛、中金石化などの寧波石化基地がある。図表 3.5.1 に浙江石化のある浙江省舟山基地の位置、図表 3.5.2 には、舟山基地の配置計画を示す。

図表 3.5.1　浙江石化のある浙江省舟山基地の位置



３．５．２　第１期：馬目油庫-魚山原油パイプラインプロジェクト

（１）　浙江石油化工有限公司、4000 万トン/年、精練・化工一体化プロジェクトの原油貯蔵・運輸システムの内容（図表 3.5.1 の赤いラインで示された内容）

・始点　　：舟山市定海区岑港街道馬目～終点：岱山県魚山島
　建設内容　　：新規で 2 本の DN800 原油パイプラインと、1 本の光通信ケーブル。
　全長　　：約 29.16 km（海中は約 16.66 km、定海区の陸部分は約 7.0 km、魚山島の

陸部分は約 5.5 km）

・年間輸送能力　：4000 万トン/年、総投資金額：7.70 億元（約 138 億円）

・建設完了　　：2020 年 12 月 28 日

（2）　沿革

2017 年 7 月に、浙江石油化工有限公司（原油貯蔵・運輸システム（第一期）：馬目油庫-魚山原油パイプラインプロジェクト）の環境アセスメント書類審査を決定した。

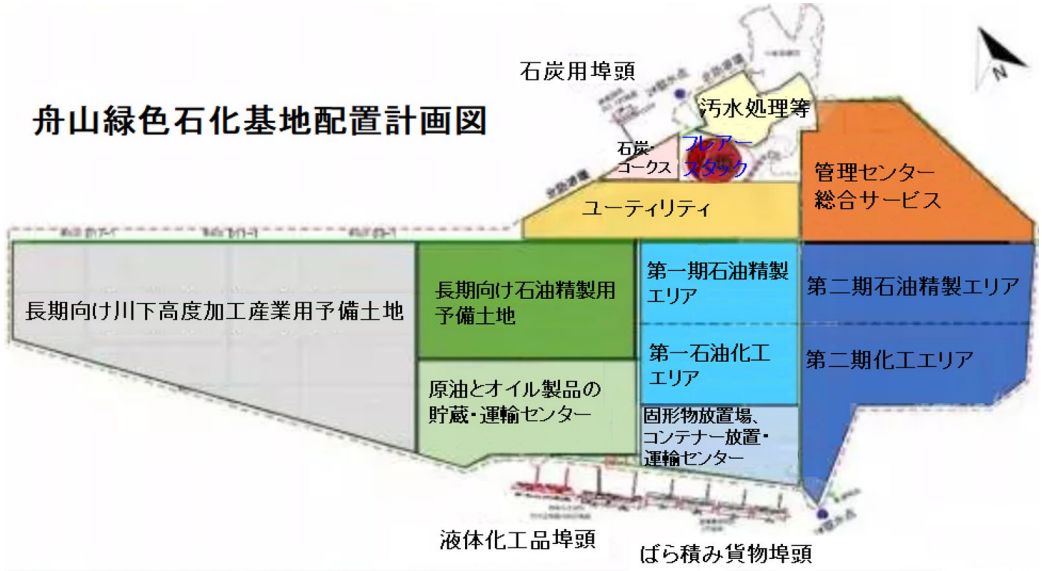
2018 年 3 月、中国最大直径の海底パイプライン設置完了。(2 本の 32 インチ 16.8 kmの海底原油パイプライン、1 本の 20 インチ 16.8 kmの LNG 海底パイプラインと、1 本の光通信ケーブル)。

2021 年 2 月、浙江石化の馬目油庫及び関連の馬目～魚山原油パイプラインは建設完了、利用開始した。300 万㎥の馬目油庫は 250 万トンの原油を貯蔵し、浙江石化一期生産 45 日間の原油処理量に相当する。

図表 3.5.2　舟山基地の配置計画



出典：毎日経済新聞／浙江自由貿易区が画像提供。http://youqi.nengyuanjie.net/2017/xingyedongtai_1218/134747.html



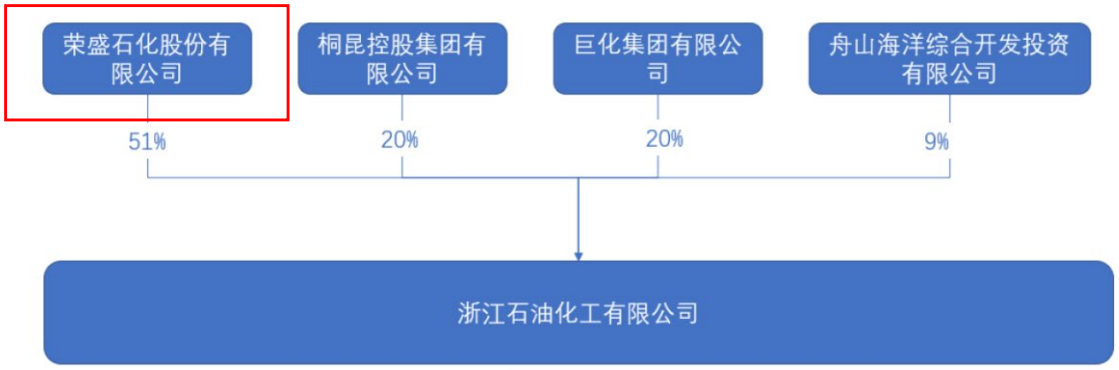
出典：PROSESS化工網。http://zeyuan.vogel.com.cn/hg/c/2017-12-25/510537.shtml

３．５．３　浙江石化の概要

・設立　　：2015 年 6 月 18 日
・筆頭株主　：浙江栄盛控股集団有限公司（Zhejiang Rongsheng Holding Group Co.,Ltd）51%、浙江桐昆控股集団有限公司 20%、巨化集団公司（国営）20%、山海洋綜合開発投資有限公司 9%
・資本　　：200 億元（約 3,570 億円）
・建設地　　：浙江省の舟山泰山漁山島の舟山緑色石化基地

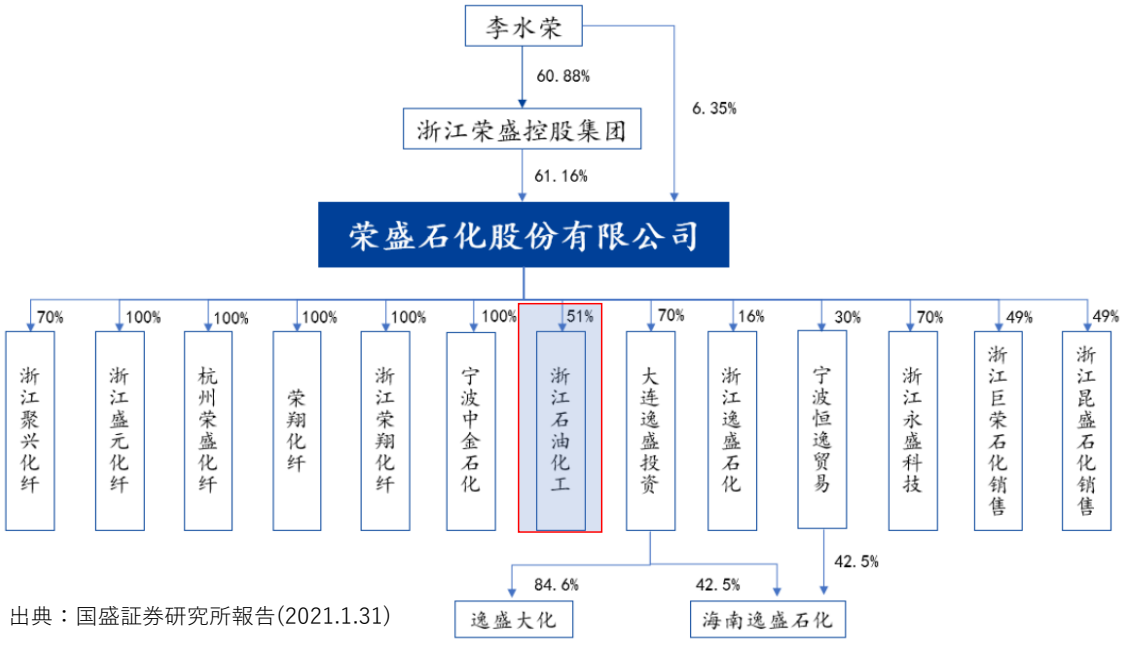
図表 3.5.3 に浙江石化の株主構成、図表 3.5.4 に筆頭株主である浙江栄盛控股集団グループの組織を示す。

図表 3.5.3　浙江石化の株主構成



出典：国盛証券研究所報告(2021.1.31)

図表 3.5.4 浙江栄盛控股集団グループの組織



出典：国盛証券研究所報告(2021.1.31)

2 期に分け 2021 年全面完成を目指し、PX 生産（800 万 t/y）を重点におく石油精製 4,000 万 t/y（80 万 BPD）の製油所と 280 万 t/y のエチレン・コンプレックスを建設する。総投資額は約 1,730 億元（約 3 兆円）である。

民間繊維大手の浙江省栄盛石化はポリエステル民間大手で、PTA の年間生産能力は 1,000 万トン超の下流の大企業である。原油処理能力 2 期計 4,000 万 t/y 製油所の、1 期分にあたる 2,000 万 t/y 製油所の 1 部ユニットが 2018 年末に完成し、常減圧蒸留装置といくつかの精製ユニットのテスト運転を開始した。

・ナフサ及びパラキシレン生産の最適化

重質軽油や残油の有効利用を図る大型製油所で、二次処理設備の構成も、重質軽油、常減圧残油を大型の水素化分解設備と残油流動接触分解設備（RFCC）で分解し、HN（重質ナフサ）を連続触媒再生式接触改質（CCR）設備－芳香族抽出－PX チェーンで生産する。

・石油化学スキーム

エチレン誘導品（EO/EG、HDPE、LLDPE、LDPE、EVA、SM)及びプロピレン誘導品（PP、フェノール/アセトン、BPA 、PC、MMA)を下流において、ナフサ分解で生産されるエチレン・プロピレンを徹底的に付加価値アップする。

３．５．４　浙江石化の石油精製ユニットと主要石油製品、石油精製フロー

図表 3.5.5 に、浙江石化、石油精製ユニットの装置及び主要石油製品を示す。

1 期、2 期ともほとんど同じプロセスフローである。PX 製造能力は 1 期、2 期それぞれ年 400 万トンで総計年 800 万トンと報じられてきたが、最近 1 期、2 期合計で年 880 万トンに調整したとのことである。

（１）　石油精製設備及びスキームの特徴

浙江石化の石精石化一体化計画は PTA 原料である PX を製造することを目的としており、PX の生産能力は 1 期当たりに対して、400 万 t/y と処理原油の 20%を占める（Crude Oil to PX）。

軽質ナフサをガソリンの製造に使用せず Steam Cracker 原料にしている。オレフィン(エチレン、プロピレン及びブタジエン)と芳香族（ベンゼン及びパラキシレン）を合せた製造能力は 957 万 t/y で処理原油に対して 48%である。

・石油精製設備の特徴

軽質軽油、重質軽油、減圧残油の水素化分解によって、PX 原料（HN）及びクラッカー原料（LN）の増加を図っている。

ナフサ及び PX 生産の最適化と重質軽油や残油の有効利用を図るために、2 次処理設備の構成も、軽油、重質軽油、常減圧残油を大型の水素化精製/分解設備で処理し、生産された軽質ナフサ（LN）は、エチレン原料、重質ナフサ（HN）は、CCR から芳香族抽出を経て PX を生産に充当するスキームである。

また、減圧残渣処理にシビアリティの高い EST プロセス（Eni の水素化熱分解プロセス）を採用し、重質油からの回収率を向上している。

原油から PX 製造用及びエチレン用ナフサ、石油製品として国Ⅴ、国Ⅵ規格のガソリンと軽油を中心にジェット燃料や LPG も生産する。

精製設備のうち、常減圧蒸留設備、CCR、軽油水素化分解設備、芳香族抽出設備、PX 製造設備は各 2 基構成である。

（2） 原油処理油種の内訳

サウジアラビアの中質原油 500 万トン、イランの軽質原油 500 万トン、重質原油 700 万トン、ブラジルの Frade 原油 300 万トンの計 2,000 万トンを処理する。

図表 3.5.5　石油精製ユニットの装置及び主要石油製品

序号	装置名称	1 期規模(万トン/年)	2 期規模(万トン/年)
石油精製			
1	常圧・減圧蒸留装置	2000	2000
2	軽質炭化水素回収装置	300	360
3	コークス化ユニット	300	(1期次第)
4	残渣水素化脱硫装置	500	500
5	ワックス油水素化分解	380	380
6	ディーゼル油水素化分解装置	800	800
7	重油接触分解装置	420	420
8	触媒ガソリン水素化装置	200	200
9	軽質ガソリンエーテル化装置	45	45
10	航空燃料精製装置	150	150
11	ナフサ水素化装置	320	320
12	連続改質装置	800	800
13	芳香族製造装置	520	520
14	ガス分別装置	90	90
15	C3/C4分離装置	110	110
16	MTBE装置	18	18
17	アルキル化装置	45	60
18	C5異性体分離装置(N/Iso)	150	180
19	C1/C2分離装置（不飽和/飽和）	30/60	20/60
20	双脱联合装置	40/140	40/140
21	石炭チャーガス製造装置	80万Nm3/h	80万Nm3/h
22	硫黄回収装置	48	60

出典：浙石化炼化一体化项目环境影响报告书，国盛证券研究所 资料その他よりMCR作成

序号	主要製品	1 期規模(万トン/年)	2 期規模(万トン/年)
石油精製			
1	プロピレン	27.65	32.76
2	プロパン	47.93	49.66
3	国Ⅵガソリン	378.85	378.42
4	ジェット燃料	284.41	290.46
5	国Ⅵディーゼル	172.81	155
6	ベンゼン	151.91	129.46
7	PX	401.2	398.77
8	エチレン原料	383.26	403.21
9	硫黄	38.8	46.7
小計		1898.31	1889.03

出典：浙石化炼化一体化项目环境影响报告书，国盛证券研究所 資料その他よりMCR作成

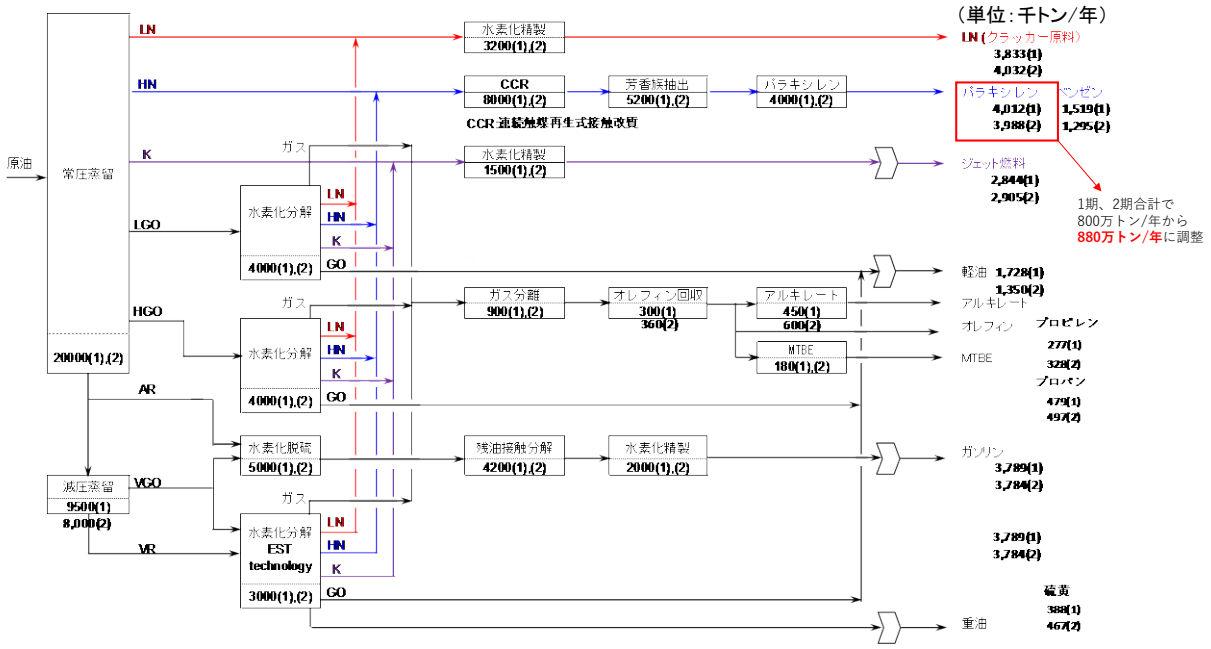
注）最新情報によれば、CDU 4000万トン/年でPXの能力を
1期、2期合計で800万トン/年から880万トン/年に調整
2021-02-18 10:49
http://www.sohu.com/a/451218489_120116438

3．5．5　浙江石化の石油化学主要製品と生産能力、石化フロー

原油の蒸留及び水素化処理後の軽質ナフサはスチームクラッキング処理されエチレン・プロピレンなどが製造され、これらは徹底的に利用され各種の石油化学誘導品が製造されている。

1 期、2 期で誘導品の種類や生産能力が若干異なるが本質的に大きな変化や差はない。図表 3.5.6 に、浙江石化の石精・石化一体化（COTC）石油精製ユニットのプロセスフローを示す。

図表 3.5.6　浙江石化の石精・石化一体化（COTC）の石油精製ユニットのプロセスフロー



（1）　1 期、2 期のエチレン及びプロピレン誘導品

（エチレン誘導品）O/EG、HDPE、LLDPE、LDPE、EVA、SM など（プロピレン誘導品）PP、フェノール/アセトン、BPA 、PC、MMA

・1 期の主要製品　（単位：万 t/y）

エチレン 140（210 へ調整*）、EG 80（DEG, TEG 含む）、LLDPE 23, HDPE 26, プロピレン 70、プロピレン(PDH) 60、フェノール 21、アセトン 14、ビスフェノール A（BPA）23、PP 90、AN 27、MMA 9、ポリカーボネート(PC) 26、ブテン-1 2.4 、BD 22, MTBE 10, PX 401*、SM 120 など

・2 期の主要製品　（単位：万 t/y）

エチレン 140（210 へ調整*）、EO 5、EG 71、LLDPE 21、EVA 10、LDPE 27、プロピレン 70、プロピレン(PDH) 60、PP 90、ポリカーボネート（PC）26、BD 23、MTBE 10、PX 399*、SM 60、ヘキセン-1 5 など

（*PX は石油精製ユニットから生産されるが、ここでは石油化学製品として記載した）

（2）　石油化学ユニットの装置及び主要石油化学製品、石化フロー

図表 3.5.7 に、浙江石化の石油化学ユニットの装置及び主要石油化学製品を、図表 3.5.8 には浙江石化の石精・石化一体化（COTC）の石油化学品製造ユニットのプロセスフローを示す。

なお、エチレンの製造能力に関して、最近の発表では 1 期、2 期とも年 140 万トンから年 210 万トン（したがって 1 期＋2 期合計で年 420 万トン）に調整したということである。

図表 3.5.7　浙江石化、石油化学ユニットの装置及び主要石油製品

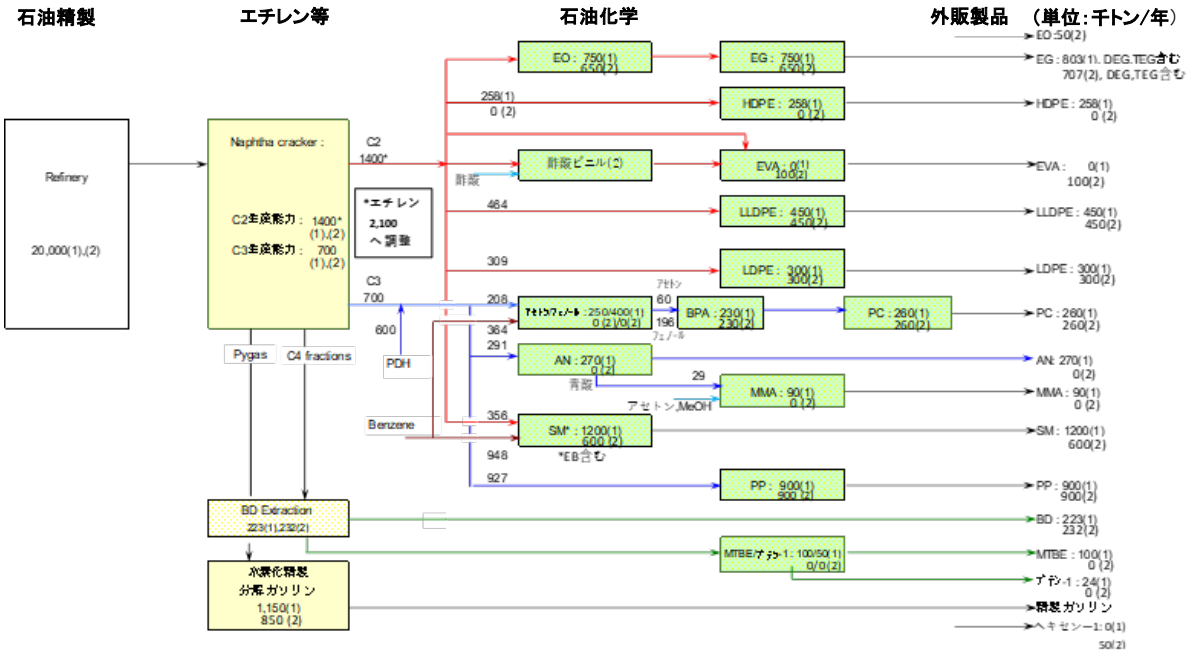
序号	装置名称	1期規模(万トン/年)	2期規模(万トン/年)
石油化学			
1	エチレン装置*	140	140
2	プロパン脱水素装置	60	60
3	ヘキセン-1	/	5
4	LLDPE装置	45	45
5	HDPE装置	30	/
6	EO/EG装置	5/75	10/65
7	EVA/LDPE	/	10/30
8	SM（EBを含む）装置	120	60
9	PN装置	90	90
10	ブタジエン抽出装置	20	20
11	MTBE/ブテン-1装置	10/5	/
12	熱分解ガソリン水素化装置	115(含ベンゼン抽出装置)	85
13	フェノール/アセトン	40/25	/
14	BPA	23	23
15	PC	26	26
16	ACN	26	
17	MMA	9	
	*エチレンは合計280万トン/年から420万トン/年へ調整とのこと		

出典：浙石化炼化一体化项目环境影响报告书，国盛证券研究所 资料その他よりMCR作成

序号	主要製品	1期規模（万トン/年）	2期規模（万トン/年）
石油化学			
1	MEG	73.87	65
2	TEG ？	6.1	5.39
3	DEG	0.35	0.31
4	EO		5
5	LLDPE	23	21.2
6	HDPE	25.8	
7	ホモPN	54	54
8	共重合PN	8.42	9
9	PN	27	27
10	EG	6.6	6.6
11	PC	26	26
12	フェノール	20.69	
13	アセトン	13.64	
14	MMA	9	
15	アクリロニトリル	27.04	
16	ブテン−1	2.39	
17	ブタジエン	22.34	23.18
18	スチレン	120	60
19	EVA		10
20	LDPE		27.1
21	ヘキセン−1		5

出典：浙石化炼化一体化项目环境影响报告书，国盛证券研究所 资料その他よりMCR作成

図表 3.5.8　浙江石化の石精・石化一体化（COTC）の石油化学品製造ユニットのプロセス

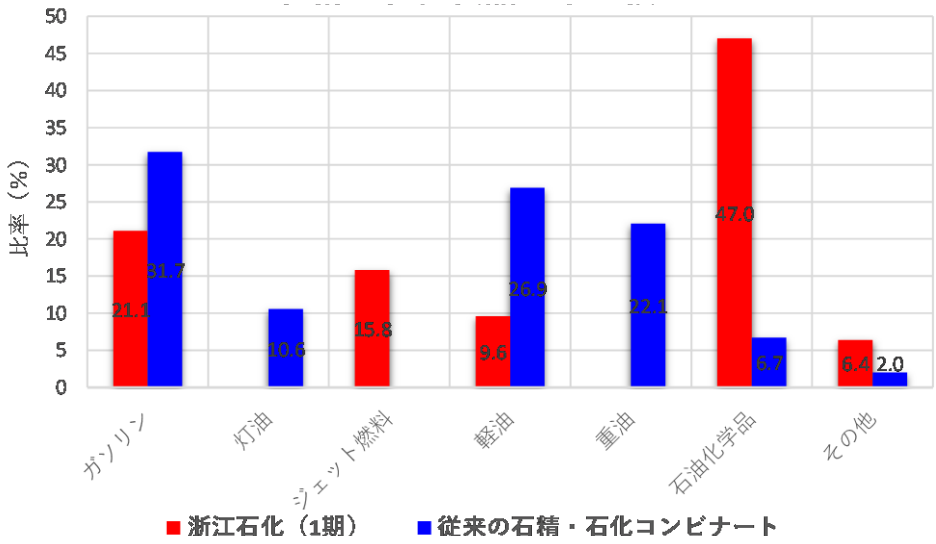


（3）　世界コンプレックスとの石化シフト率の比較

図表 3.5.9 に、COTC による石油化学品の製品比率を従来の石精ー石化コンプレックスと比較した。従来の石精ー石化コンプレックスにおける原油からの石化率は 7%程度であったが、浙江石化のような COTC では 47%と高比率である。LGO の水素化分解が寄与しているが、世界標準では、依然としてディーゼル燃料としての価値が高いこと、パラキシレンの需要が大きくないことから、軽油留分を水素化分解する選択肢はない。

なお、日本製油所の平均石化シフト率は、13%で、コンビナート内の代表的な製油所は近接するエチレンセンターとのインテグレーションで 15%である。

図表 3.5.9　浙江石化(COTC)による石油製品と石油化学品の製品比率



３．５．６　浙江石化の稼働状況

1 期は 2019 年 5 月試運転開始し，2019 年 12 月本格生産開始、2 期は 2020 年末にオイルイン、2021 年上半期（第一四半期）に本格生産開始の予定である。

2 期本格生産は、海底パイプライン工事の遅れで 2022 年になると予測されていたが、2021 年 2 月、馬目～魚山原油海底パイプラインは建設完了、運用を開始した。

300 万㎥の馬目油庫は 250 万トンの原油を貯蔵し、浙江石化一期生産 45 日間の原油処理量に相当する。また、2021 年 1 月 24 日宁波舟山港主要道路が貫通した。2021 年末までに運用開始予定である。

３．５．７　浙江石化 1 期及び 2 期の投資金額と採算性

（1）　投資金額(1 期，2 期)と損益(2020 年度)

投資金額は 1 期が 901.56 億元、2 期が 829.29 億元、総額 1730.35 億元（約 3 兆円、17 円/元)、営業収入は 2020 年通期で 1.2 兆円、損益は 2020 年 1stQ で 256 億円との発表されている。

（2）　浙江石化の業績状況と同業他社との比較

図表 3.5.10 に浙江石化の業績と親会社の栄盛石化及び恒力石化との業績比較を示す。

図表 3.5.10　浙江石化、栄盛石化及び恒力石化の業績

浙江石化（親会社：荣盛石化）、恒力石化（比較）の業績状況　（元から円への換算：円/元=16.0とした）

	2018年	2019年	2020年	2021年
浙江石化				
営業収入			748億元(1.20兆円)*4　通期	272.1億元(4354億円)*4(1stQ)
純利益		6.7億元(107.2億円)*1　通期	16.0億元(256億円)*1(1stQ)	
荣盛石化				
営業収入	914億元(1.46兆円)＊1　通期	825億元(1.32兆円)*1　通期	1238.5億元(1.98兆円)*3（通期予測）	1656.6億元(2.65兆円)*3（通期予測）
純利益	16.1億元(257.6億円)*1　通期	22.1億元(354億円)*1　通期	76.1億元(1218億円)*3　（通期予測）	121.6億元(1946億円)*3（通期予測）
純利益				65.7億元(1051億円)*2　上半期
恒力石化				
営業収入	600.7億元(9611億円)*5　通期	1007.8億元(1.612兆円)*5 通期	1523.7億元(2.438兆円)*5　通期	1045.7億元(1.673兆円)*5　上半期
純利益	27.9億元(446億円)*5　通期	60.3億元(965億円)*1　通期	128.7億元(2059億円)*5　通期	82.7億元(1323億円)*5　上半期
純利益		92.8億元(1485億円)*5　通期		85.0億元(1360億円)*2　上半期

*1 中国光大証券(2020.7.7),　*2 日本化学繊維協会(2021.7.30)　*3 中国国盛証券(2021.1.31)
*4 https://www.ctef.net/210618.html　*5 http://data.eastmoney.com/notices/stock/600346.html

・栄盛石化

2021 年上半期に子会社浙江石油化工の年産 4,000 万ﾄﾝ石油精製化学工業一体化プロジェクトが操業を開始した。

その後、各種プラントの生産は順調で、稼働率は着実に上昇、高い収益効果となった。

一方、同社の製品の一部の原料と製品の価格差レベルが大きく広がり収益に貢献した。

・恒力石化

石油価格上昇の後押し、内外需要の回復、供給のひっ迫などにより、化学製品の価格は上昇した。

同社の年産 2,000 万ﾄﾝの石油精製化学工業プラント、同 150 万トンのエチレンプラント及び関連石炭化学工業プラントはフル稼働による安定操業を実現、石油精製化学工業＋石油化学のシナジー効果が大きく現れたことで 2021 年上半期の収益力は大幅に増加した。

川下の消費は引続き回復、業界の景気指数は着実に上昇し、紡織用糸、工業用糸などの収益力は次第に回復し、特にポリエステルフィルムと生分解性プラスチックなどの需要は旺盛であり、供給がひっ迫した。このような製品は原料と製品の高い価格差（高スプレッド）を維持できた。

３．６ ベトナムニソン製油所コンプレックスのアジア進出、日本との新エネ協業

人口増加が見込まれ、アジアのフロンティアとして、日本の元売りが唯一海外進出を果たしたベトナムの経済現状と化石及び新エネルギーの今後の見通しを調査し、日本の新エネルギー海外拠点の再生可能エネルギーとコンビナートとの繋がりを調査検討する。

３．６．１　ニソン製油所コンプレックス調査の背景と目的

ベトナムニソン製油所コンプレックスは、日本の石油元売りによる初の海外進出で、成長が見込まれるベトナムにおける燃料油の製造販売一貫体制の構築を目指し、2018 年 12 月に操業を開始した。

発案から稼働開始までおよそ 10 年の期間を費やし、2019 年 10 月には初めての定修を経験した。ニソンコンプレックスは、超重質原油のボトムを原料とする大型 RH－RFCC－石化スキームで、パラキシレンチェーンも有す。IMO 対応も可能で日本コンビナートの拡張版である。

このようなベトナムニソン製油所コンプレックスの実態を把握し、将来の石油需要構造を予測した海外進出の要諦と国家支援の必要性を探る。

３．６．２　ベトナム経済とエネルギー事情、石油製品の需給バランス

（１）　日本とベトナムの経済指標（2019 年）比較

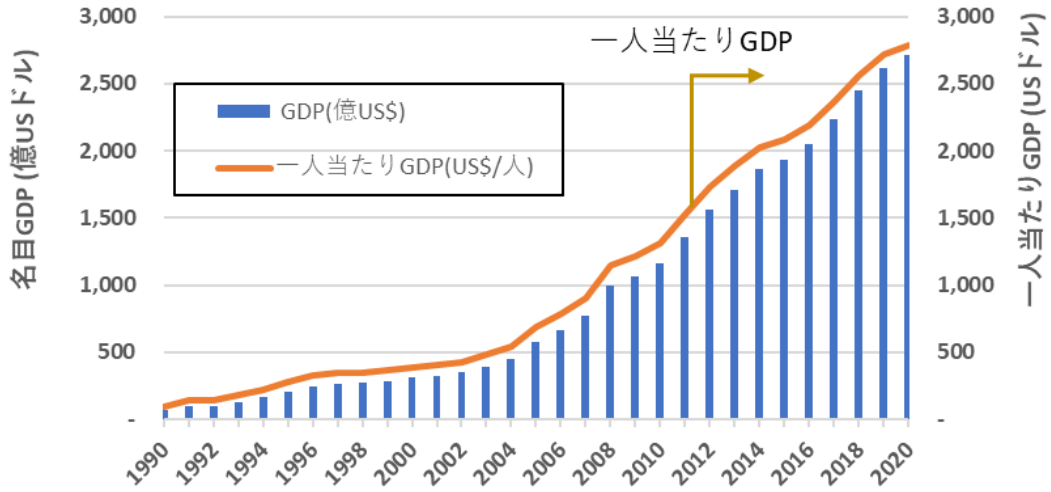
国土面積は 33.2 万㎢で日本の 37.8 ㎢とほぼ同じである。ベトナムの人口は、96 百万人で日本の 76%であるが若い世代が多い。

2019 年の GDP は、日本の 5%（29/559 兆円）で、一人当たりの GDP は、日本の 7%（0.3/4.4 百万円）、エネルギー消費量は日本の 22%（98/445 百万トン石油換算）で、インド並に低く、これから発展する国である。

図表 3.6.1 に示すとおり、東南アジア域内の主要国経済が伸び悩む中、近年、GDP6.5%前後の高い伸びを示している。

足元、2020 年 4－6 期のコロナ禍 GDP は＋0.36%に急減した。ちなみに、成長を続けてきたアジア圏各国は、21 年ぶりのマイナス成長であった。

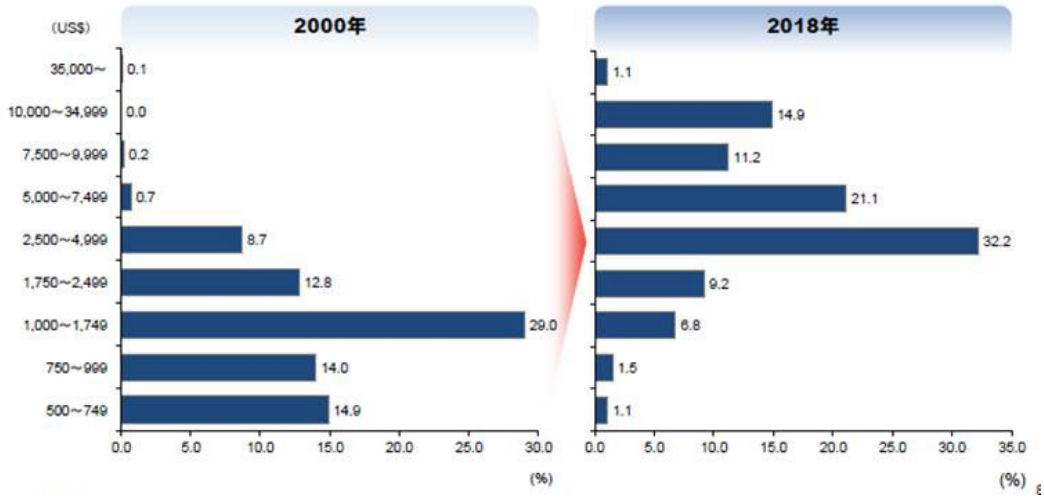
図表 3.6.１　ベトナムの名目 GDP と一人当たりの GDP 推移



（出所）世界銀行データを基に作成

ベトナムの中間所得層（世帯所得 5,000～34,999US$）の割合は、2000 年の 0.9%から 2018 年には、約 47.2%にまで上昇した（図表 3.6.2 参照）特に、上位の中間所得層（10,000～34,999 US$）の割合が増加している。

図表 3.6.2　ベトナムの世帯所得分布



（出所）医療国際展開カントリーレポート　新興国などのヘルスケア市場環境に関する基本

（２）　ベトナムのエネルギー事情

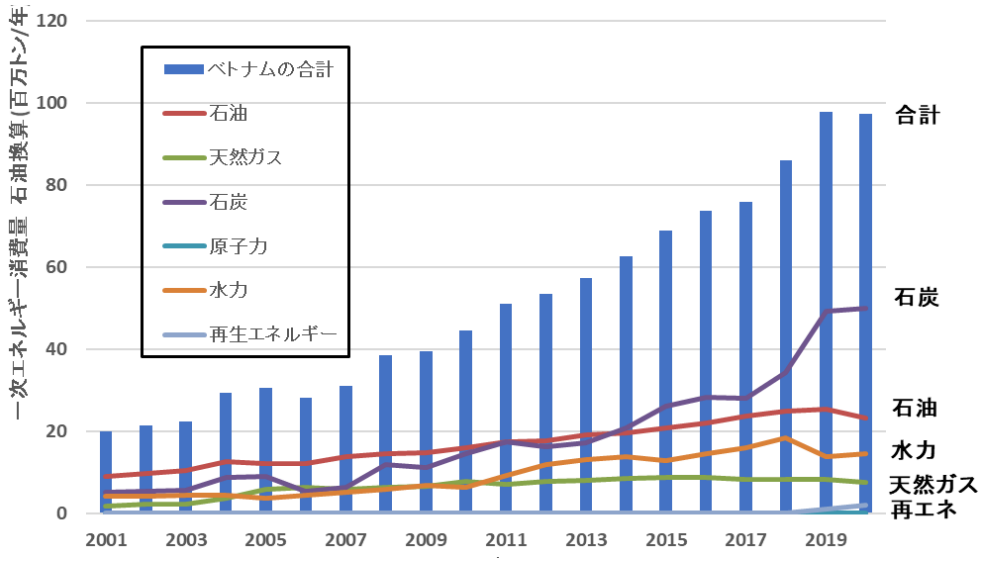
GDP の上昇に伴い、一次エネルギーの消費量もコロナ禍の 2020 年を除き、年 9%と急速に増加している。しかし、石炭の伸びが大きく、石油、水力も漸増している。

ただし、GHG 排出の元凶とされる石炭の比率が 2017 年以降急増している（図表 3.6.3 参照）。2020 年は 51%となり過去最大である。

一方、石油の消費量は漸増しているが、2020 年の比率は 24%で過去最低である。

原油処理能力は日本の 11%（0.4/3.3 百万 BD）であり、エチレン装置はまだ無い。

図表 3.6.3　ベトナムの一次エネルギー消費量の推移と内訳



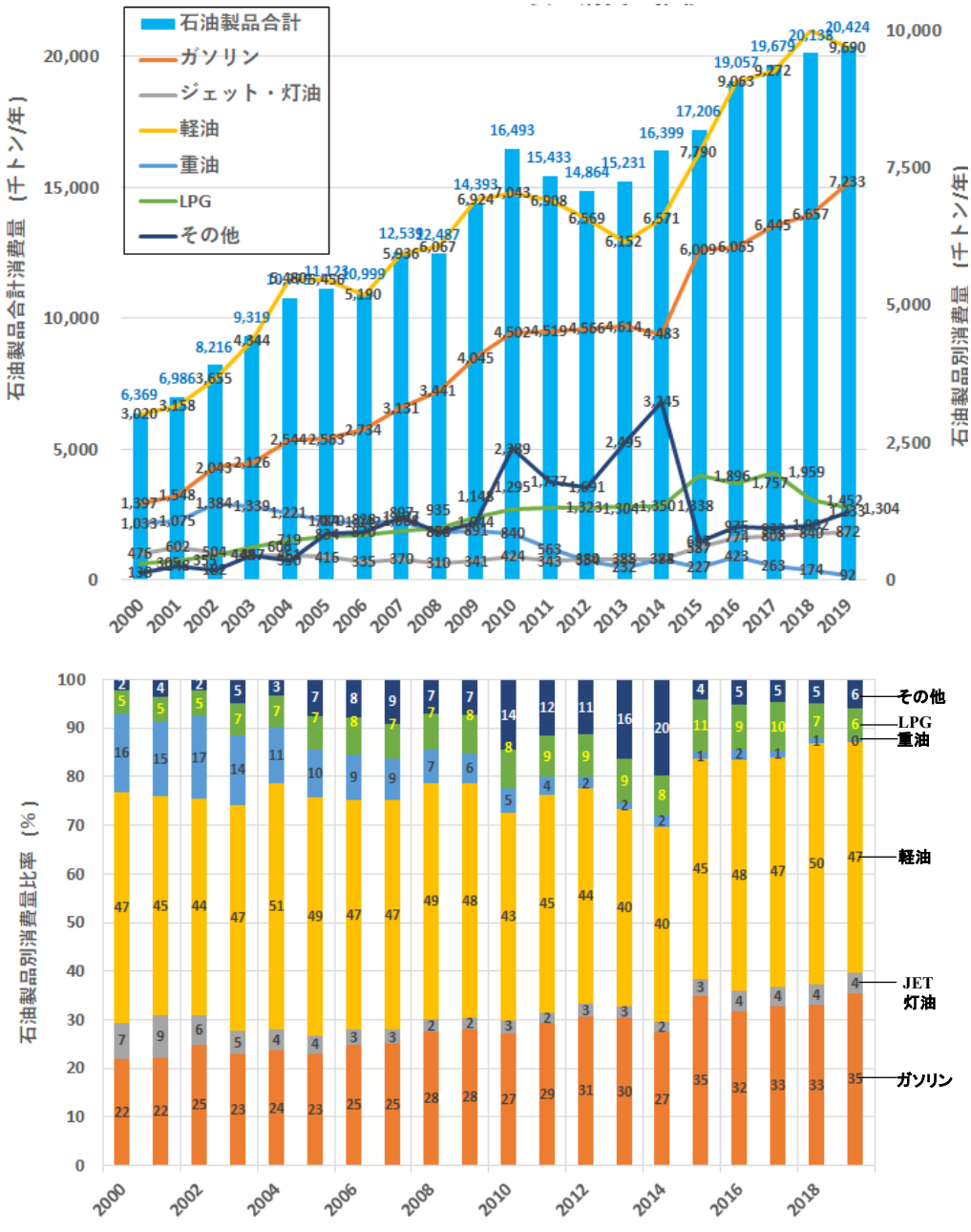
（出所）BP 統計 2021 年に基づき作成

（３）　ベトナムの石油製品需要及びニソンコンプレックス後の生産輸入需給バランス推移

二輪車保有台数 3900 万台のベトナムは二輪車を中心とするモータリゼーションが加速し、

新車販売市場自体は、まだ小さいとはいえ増加の一途を辿り、軽油とガソリン需要の伸びが著しい。一方、重油の比率が著しく低下している（図表 3.6.4 参照）。
四輪車への移行が加速すると期待されている中、交通渋滞、排ガス問題から、電動バイクへの転換が進んでいる。

図表 3.6.4　ベトナムの石油製品需要量、石油製品比率の推移 o

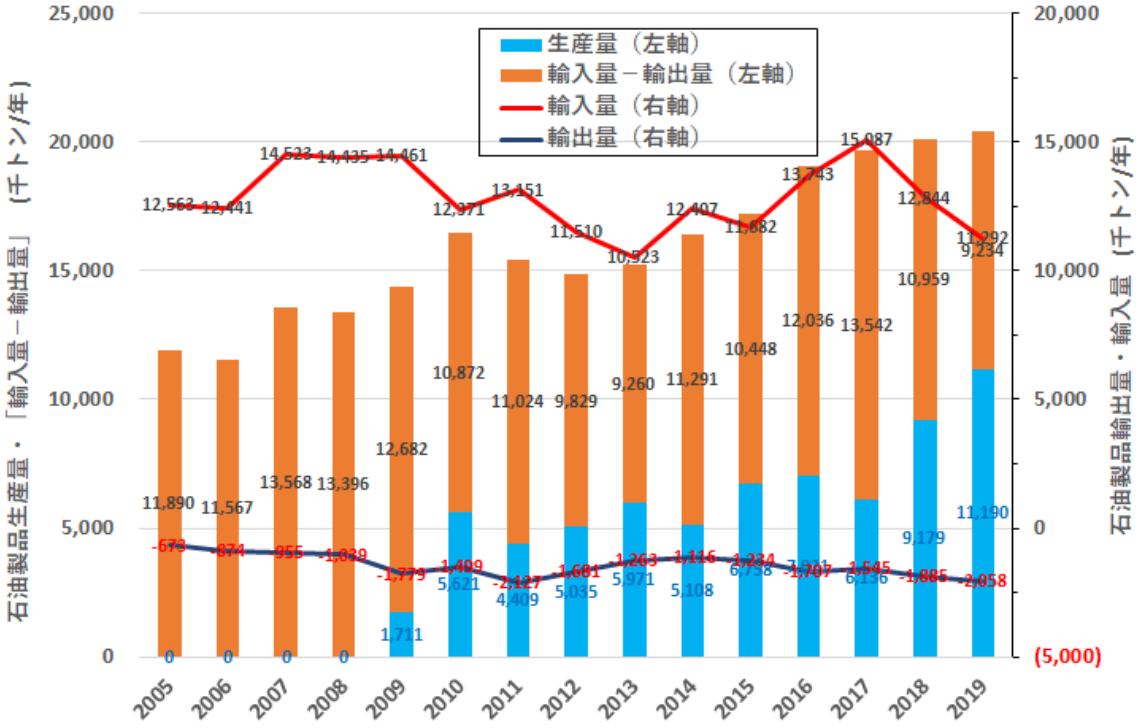


（出所）IEA 2021 年データを基に作成

図表 3.6.5 に、石油製品の国内生産量とネット輸入量（輸入量－輸出量）の推移を示す。
また、図表 3.6.6 に、ベトナムの製油所能力と稼働実績推移を示す。
ベトナム国内に 2009 年ベトナム初のズンクワット製油所(15 万 BD)が稼働開始、2018 年

末、20 万 BD のニソンが稼働後、生産量は急増しているがフル稼働には至ってない。

図表 3.6.5　ベトナムの石油製品の生産量と輸出入量の推移



（出所）IEA データ、2021 年を基に作成

・ニソン製油所フル稼働後のベトナムの生産と輸入割合を推算

ベトナムの 2019 年のナフサを含む全石油製品需要実績は 20 百万トン弱である。

一方、ニソン製油所 20 万 BD（1,000 万トン/年）の稼働率を 90%、燃料油の得率を 0.93%とすると、ニソン製油所の燃料油生産量は、約 840 万トンとなる。

ズンクワットの製油所能力は、14.8 万 BD（740 万トン）≒740×0.9×0.93≒620 万トンとすると、2 つの製油所がフル稼働の生産量は、1,460 万トン（840＋620）になる。

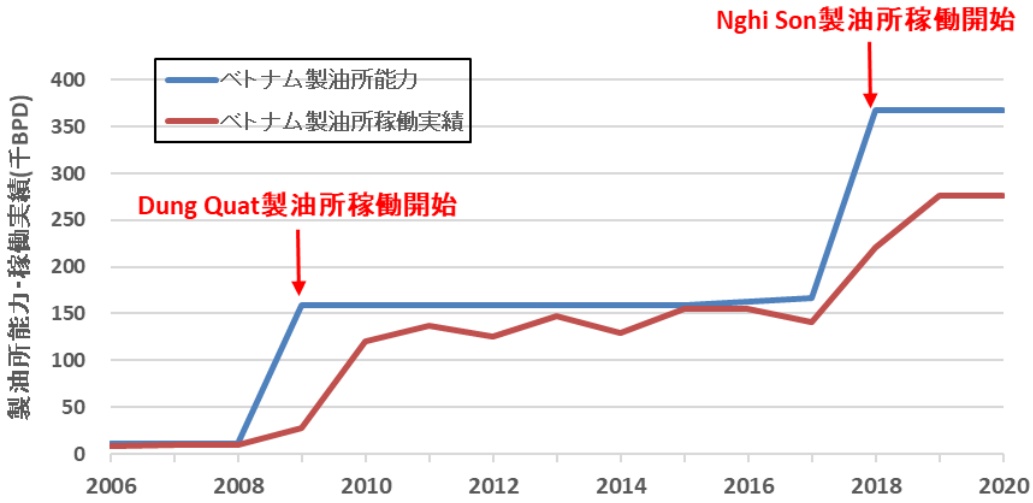
したがって、内需率は 1,460/2,000≒73%で、相変わらず輸入（27%）が続くことになる。

2019 年度の石油製品の国内生産量は 1,100 万トンで、フル稼働に至ってない。

・域内に近接するシンガポール市況との競争

巨大なシンガポール市場が存在することから、生産コストは常に、輸入価格との競争に晒されている。中国の精製能力の大余剰に起因する安価なガソリン放出が急増していることから、シンガポールスポット価格は軟弱で、域内の競争は激化している。

図表 3.6.6　ベトナム製油所能力と稼働実績推移



（出所）BP 統計データに基づき作成

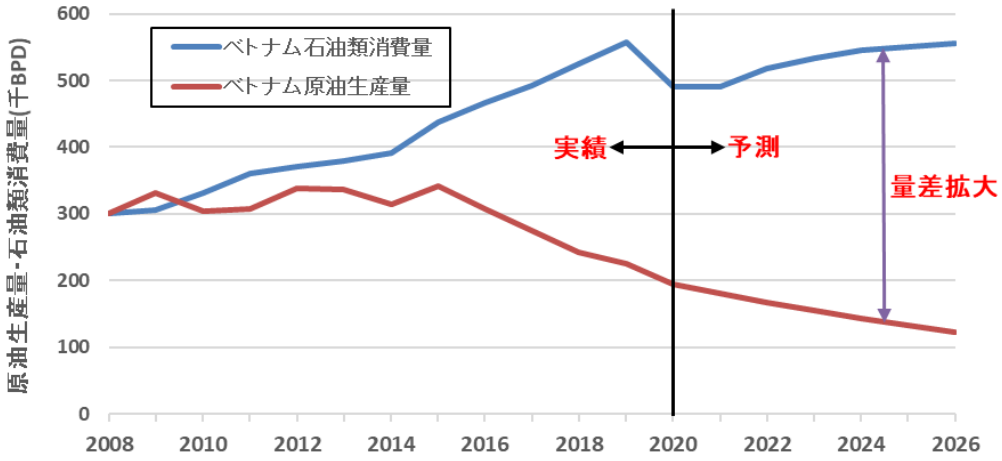
ベトナム最大のニソンコンプレックスもポリエステルチェーン拡充や、ナフサクラッカーの導入、各種石化チェーンの展開も見込まれる。

（4）　ベトナムの原油生産と石油製品消費の推移と予測

ベトナムの原油の生産量と石油類需要量の推移及び予測を、図表 3.6.7 に示す。

2021 年以降の需要量は、IEA の世界石油需要予測を参考にして予測した。2015 年以降、原油生産量が縮小し続ける一方、石油製品需要量が上昇して、量差が拡大することから、原油輸入と既存の国内精製能力はフル稼働の状態になることが予想される。

図表 3.6.7　ベトナムの原油生産量と石油製品内需の推移と予測



（出所）BP、IEA データ 2021 年を基に予測

脱炭素化の潮流の中、電動バイクの普及が拡大することを鑑みると、石油需要が伸び続けるかは疑問である。一方、先に示した一次エネルギーの伸びを考慮すると、電源エネルギーとして、石炭比率を伸ばし続けることも COP26 共同宣言採択（2021 年 11 月 12 日）か

らは考えにくい。電動バイクの伸び、GHG 排出削減対策で再生可能エネルギーの導入を国家政策で加速している。

３．６．３　ベトナムにおける製油所新設計画、グリーン事業の進展

（１）　石油精製・石油化学コンプレックス型の状況

世界で石油・石油化学への投資に不透明感が増している。ベトナムでも、カーボンニュートラルへの動きで EV シフトによるガソリン需要の低下が予想され、製油所・石化投資計画の見直しが出てきている。

長らく原油を輸出して石油製品を輸入していたベトナムは、2009 年には国内初のズンクワット製油所が稼働し、2018 年には国内初の石精石化コンプレックスが稼働した。その後も石油精製・石油化学コンプレックス型の製油所が計画されてきた。

しかし、ベトナム国内のガソリンなどの石油製品は供給過剰の恐れがあるなどの理由から、製油所の計画は中止もしくは進展がなく、Long Song 石精製石化コンプレックスでは、石油化学部門のみがタイ Siam Cement Group(SCG)の単独事業となったところもある。

なお、世界の石油精製は石化シフトに拍車がかかっており、ベトナムにおける石精石化コンプレックスにおいても、CCS 適用などカーボンニュートラル対応を加えながら発展する潜在力がある。

そのためにも、ベトナムで不足しているプラントの建設技術、管理技術及び運転技術の向上及び資材などのサプライチェーンの充実などにおいて、ベトナムと長年に亘り良い関係のある日本からの更なる支援も必要である。

また、日本の非常事態時及びグリーンエネルギー安定輸入先として、石油精製に続く国家間連携の展開が望まれる。

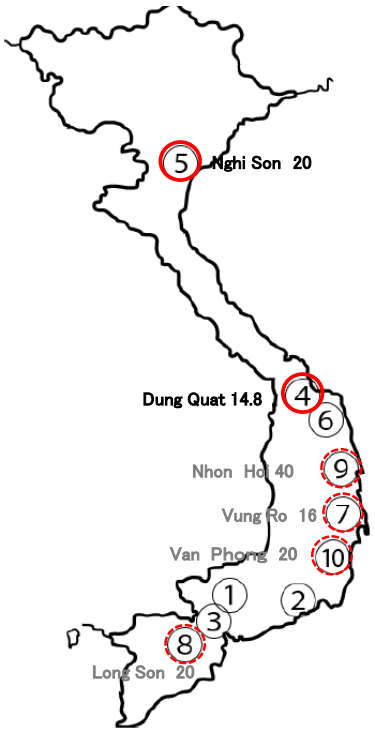
・複数の製油所建設プロジェクト延期

ASEAN 加盟国間の輸入関税が撤廃されて以降、ディーゼル、ジェット燃料が輸入価格と厳しい攻防になって、アジア圏への石油・石化関連投資には先行き不透明感が増している。しかも、脱炭素化による EV シフト、急速なモータリゼーションが起因する大気汚染問題などで、東南アジア諸国では製油所投資計画の見直し、棚上が増えている。

ベトナムでは複数提案されている製油所建設プロジェクトの投資は、インセンティブの問題にも直面して延期になっている（図表 3.6.8 参照)。

ビンディン省のタイ PTT による Nhon Hoi 製油所プロジェクトは 2016 年 6 月に投資認可が下りる予定であったが実現していない。Long Son Chemical と Oil Ltd Company による Southern Petrochemical 製油所プロジェクトも同様の状況にある。

図表 3.6.8　ベトナムの石油精製と建設計画の延期



	精製設備	能力 万BPD	稼動年	投資額	オーナー	原　油	
1	Cat Lai（コンデンセート処理）	0.7	1992		Saigon Petro 100%	Nam Con Son、Rong Doi（コンデンセート）	
2	Phu My（コンデンセート処理）	0.7	2004		PV Oil 100%	Bach Hoおよびタイ（コンデンセート）	
3	Nam Viet Oil（コンデンセート処理）	0.5	2007		BIDV 9%, Vinacapital 36.7%, その他 54.3%	Nam Con Son、Rong Doi および輸入（コンデンセート）	
4	Dung Quat製油所	14.8	2009	$3.1bn	Petrovietnam 100%	国内および中東	
5	Nghi Son製油所	20	2017	$7.5bn	KPC 35.1%, 出光興産 35.1%, Petrovietnam 25.1%, 三井化学 4.7%	クウェート	
6	Dung Quat製油所増強	4.4	2020	$2-3bn	PetroVietnam, Gazprom Neftは撤退	中東、ロシア	2022年に延期
7	Hoa Tam/Vung Ro製油所	16	2021	$3.2bn	Techno Star management	中東	詳細不明
8	Long Son製油所	20	2021	$6bn	PetroVietnam 29%, AOC 35.5%, Total 35.5%（検討）	中東（Arabian Light）	先行き不透明
9	Nhon Hoi/Binh Dinh製油所	40	2022	$22bn	PTT Group（Thailand） Saudi Aramco	サウジアラビア	2015.6の予定延期
10	Van Phong製油所	20	2024	$4.8bn	Petrolimex JXエネルギー	中東	先行き不透明

（出所）PVNI, VPBS 他に基づき RING 編集

（２）　石油化学の状況

ベトナムには、エチレン製造装置が現時点では無い。タイ Siam Cement Group（SCG）が主導する Long Son 石油化学コンプレックス（LSP）計画が、予定通りに完成すれば、ベトナム初のエチレンセンターとなる。2018 年には、エチレンクラッカーをはじめポリエチレンやポリプロピレンなどの誘導品設備の EPC 業務の契約が締結されており、2023 年の稼働に向けた動きが本格化している。

韓国暁星が推進しているプロパン脱水素（PDH）からのポリプロピレン計画は、第 1 期が 30 万 ton/y の試運転に移行、第 2 期にも着工しており、2021 年の商業運転開始を目指している。新興バイオプラスチックメーカーである Phu My Plastics Production（PMP）の PDH+PP 計画などの進展によって、石油化学製品の自給化への期待が高まっている。

（３）　ベトナムにおけるグリーン事業の進展

・バイオエタノールガソリン E5 の普及

ベトナム政府は、2014 年 12 月からハノイ・ホーチミンなどの 7 省市でのエタノール 5%含有のガソリン（E5）使用を義務付けた。それにより、バイオエタノールの生産が始まった。しかし、売上減少での負債増大、E5 ガソリン使用の法制化遅れ、及びベトナム自動車工業会（VAMA）の E5 ガソリン普及計画反対のため、一時は生産停止した事業者があった。その後、2018 年にレギュラーガソリン全てに E5 の義務付けられて、運転を中止していたバイオエタノール製造装置は再稼働している（図表 3.6.9 参照）

図表 3.6.9　ベトナムのバイオエタノール生産

バイオエタノール製造事業者	所在地	能力 千BPD	稼働年	投資額	出資者	原料	備考
①Dong Xanh JSC	クアンナム省 Dai Loc (ベトナム中部)	バイオエタノール 10万トン/年 (12万kl/年)	2009年稼働開始		ダット・ザン・グループ	キャッサバ (30万トン/年)	2007年「2015-2025年バイオ燃料開発プログラム」に準じて設立 ベトナム初のバイオエタノール生産。 ガソリンにブレンド。
② PetroVietnam Bio-Ethanol JSC	フート省 TamNong郡 (ベトナム北部)	バイオエタノール (10万kl/年)	2007年設立 1012年建設		Petro Vietnam(PV)及び東南アジア商業銀行(SeA Bank)	キャッサバ シュガーコーン	PV初のエタノールプラント
③ Vietnam Central Bio-fuels JSC（BSR-BF）	クアンガン省Dung Quat地区 (ベトナム中部)	バイオエタノール (10万kl/年)	2012年生産開始	$8,000万	Binh Son Refiningand Petrochemical(BSR), Petrovietnam Finance(PVFC), Petroleum Servicesand Tourism(Petrosetco)	キャッサバ	2016年：売上減少での負債増大により生産中止 2018年：E5ガソリン義務化により生産再開
④ Orient Bio-Fuels JSC（OBF）	ビンフォック省 (ベトナム南部)	バイオエタノール (10万kl/年)	2013年 商業運転開始		PV Oil：51% 伊藤忠：49%		E5ガソリン使用の法制化遅れ、及びベトナム自動車工業会（VAMA）のE5ガソリン普及計画反対のため、一時は生産停止したが、 現在は使用義務が確定し、再稼働。

地球温暖化ガス（GHG）排出削減のために、エタノール含有 10%ガソリン(E10)の普及を進めることから、バイオ燃料需要は増大していくと考えられる。

・国が決定する貢献 NDC の制定と改訂

ベトナム政府は 2012 年にグリーン成長戦略を定め、今後の行動計画を提示した。

さらに、国際的な枠組みへの参加に向けて、2015 年 9 月には気候変動へのベトナムの努力目標をまとめた約束草案（INDC：Intended Nationally Determined Contribution）を作り、同年 12 月の気候変動枠組み条約第 21 回締約国会議(COP21)でのパリ協定の採択、及びベトナムの 2016 年の協定署名を経て、INDC はベトナムの国が決定する貢献（NDC：Nationally Determined Contribution）として制定された。

この NDC では、気候変動対策の不実施と比べて、2030 年までの温室効果ガスを国内の自助努力で 8%削減するとの目標を設定した。併せて、2 国間クレジット制度（JCM）を含む国際支援を加えた削減目標を 25%に定めた。NDC は 5 年ごとの見直しが必要で、ベトナムは 2020 年 7 月に NDC を改定した(図表 3.6.10 参照)。

図表 3.6.10　ベトナム NDC 改訂前後の 2030 年までの GHG 排出削減目標の比較

項目	国内努力		国際支援を含む	
	削減率 %	削減量 100万トンCO2相当	削減率 %	削減量 100万トンCO2相当
NDC（2015年9月決定）	8.0	62.7	25.0	198.2
改定NDC（2020年7月決定）	9.0	83.9	27.0	250.8
改定での削減増加(上方修正)	1.0	21.2	2.0	52.6

NDC：Nationally Determined Contribution（国の決定した貢献事項）

（出所）ベトナム改訂 NDC

改定 NDC では、温室効果ガスの削減目標を上方修正して、2030 年までに国内の自助努力で 9%削減する目標を定めた。これは、8,390 万トンの温室効果ガス削減に相当する。

国際援助を加えると、削減率は 27%で、2 億 5,080 万トンの削減を目標とする。

・ベトナムの政治局決議 55 号の発出

GHG 排出削減のためにベトナムで開発が増大しているのが、再生可能エネルギーである。ベトナム政府は 2017 年から固定価格買取り制度（FIT）を適用することで、国内外の投資家の関心を集めてきた。

2020 年 2 月には、政治局決議 55 号（55-NQ/TW）「2030 年までの国家エネルギー発展戦略と 2045 年までのビジョン」を発出し、再生可能エネルギーや温室効果ガス削減の目標値を定めた(図表 3.6.11 参照)。

図表 3.6.11　政治局決議 55 号における環境関連目標（抜粋）

項目	2030年	2045年
一次エネルギー総供給量に対する 再生可能エネルギーの比率	約15～20%	約25～30%
エネルギー分野で排出される温室効果ガスの削減率 （通常の発展シナリオとの比較）	15%	20%

（出所）政治局決議 55 号（55－NQ/TW）

・第 8 次国家電力マスタープラン(PDP8)

前期の政治局決議 55 号を踏まえ、ベトナム商工省は現在、第 8 次国家電力マスタープラン（PDP8）の公布に向けて準備を進めている。

2021 年 2 月に公表した PDP8 では、2030 年までに太陽光発電容量の増加を増やさず、その結果、構成比を 13.5%（2020 年は 24.0%）に減らす。

一方、風力発電容量を増加して構成比を 13.1%（同 0.9%）に上げ、バイオマス発電の構成比を 2.3%（同 0.8%）とする。総じて再生可能エネルギーを 30%近くまで高める計画を示している。さらに、2045 年には 40%以上まで高める計画である。

ベトナムは海岸線が長く、東南アジアの中では風力発電の適地が比較的多い。ベトナム政府は 2018 年 11 月から風力発電の買取り価格を引上げて導入を後押ししている。

タイの石炭最大手バンプーは石炭と再生可能エネを組合わせて、最大利益と社会的ニーズの達成を目指す。その第 1 弾として、ベトナム南部ソクチャン省で 2021 年までに 8 万 KW の風力発電所を建設する。投資額は 130 億バーツ（455 億円）を見込む。

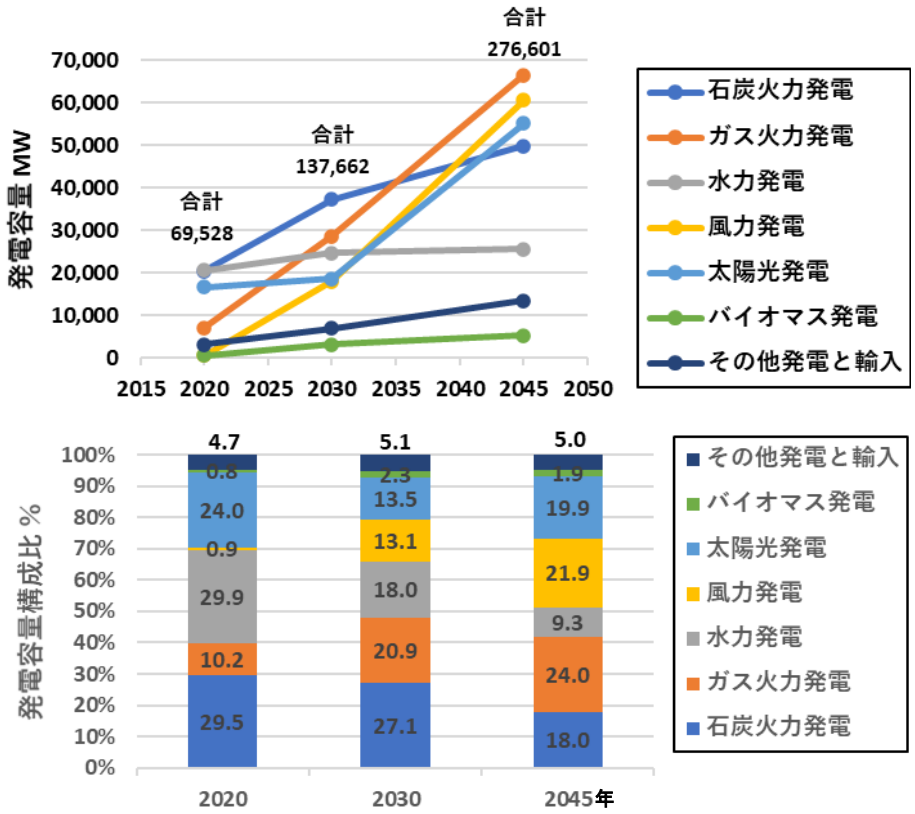
PDP8 における 2030 年の発電容量は、直近の 2016 年に改定された第 7 次国家電力マスタープラン（改定 PDP7）と比べて、風力発電が約 3 倍、太陽光発電が 2 倍弱の値に設定されており、再生可能エネルギー増大の方針が強まっている。

一方、化石燃料の火力発電は、増大する電力需要のベース電力として位置づけられるが、石炭火力の上昇をなるべく抑えて温室効果ガス排出の少ない天然ガス火力に移行する。

原子力発電は、ニントゥアン原子力発電所(2021 年完成目標)のプロジェクト(パートナ

ー：日本)が進んでいたが、ベトナム政府は財政難と住民の反対を理由に、建設計画の中止を 2016 年 11 月に決めた。
当面は原子力発電は無い模様であるが、PDP8 の原子力発電関連のシナリオによると、2035 年以降に建設し 2040 年に出力 1000MW、2045 年までに出力 5000MW に引上げるとしている。

図表 3.6.12　ベトナムの PDP8 での電源別発電容量の基本シナリオ

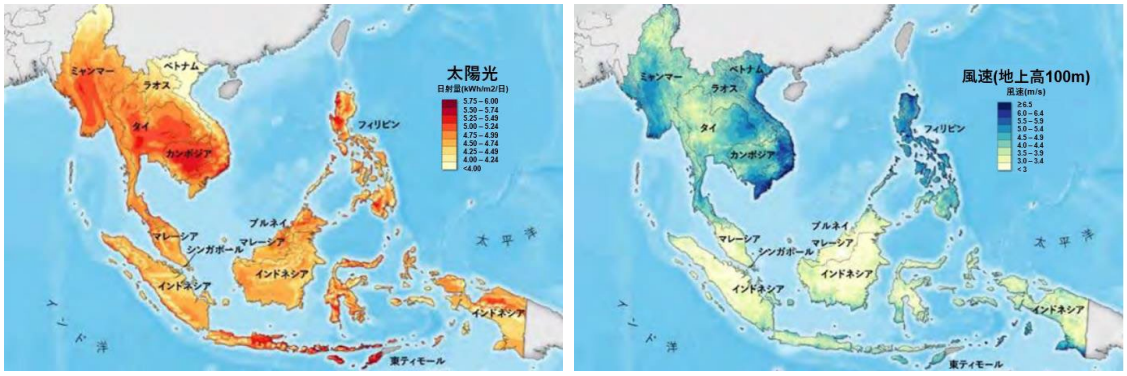


・太陽光発電と風力発電
ベトナムでは経済発展に伴い国内の電力需要が年率＋10%程度で増加する一方、GHG 排出量の多い石炭火力発電設備の増強の抑制などから、電力不足が懸念されている。

その解決策として、ベトナム政府は再生可能エネルギー発電設備の建設に着手し、世界の海外投資家の関心が高まった。2020 年に、風力発電と太陽光発電分野の案件に 74 億ドル（約 8,200 億円）の資金が投じられ、世界の再生可能エネルギー投資額ランキングで 8 位になり、ドイツなどを超える上位となった。ベトナムは、太陽光、風力、バイオマスエネルギーの分野において、今後再生可能エネルギー大国になる可能性の評価を受けている。

ベトナムは、再生可能エネルギーに必要な天然の資源が豊富である。南部の日間日射量として 1 平方メートル当たり 4～5 キロワット/時の日照に恵まれており、かつ、秒速 5.5～7.3 メートルの風が吹く 3,000 キロメートルの海岸線もあり東南アジアで最大級の風力発電所を有している（図表 3.6.13 参照）。

図表 3.6.13　ベトナム及び東南アジア諸国の太陽光及び風力資源ポテンシャル



（出所）米国国際開発庁（USAID ）及び国立再生可能エネルギー研究所 NREL

近年、技術の進歩により太陽光及び風力発電建設の投資コストは大幅に減少している。ベトナム政府は再生可能エネルギー源への投資を促進するため、魅力的な固定価格買取り制度（FIT、Feed-in-Tariff）を導入した。これにより、太陽光発電と風力発電のプロジェクトを積極的に推進して、商工省によれば 2020 年末に太陽光発電設備容量は約 16,640MW、風力発電設備容量が約 630MW、バイオマス発電設備容量などは 570MW に達した。なお、ベトナムの風力発電は太陽光発電に比べ遅れている。

通常、風力発電所は太陽光発電所よりも規模が大きいため建設の物流管理が難しく、また風力関連の規制が太陽光に比べて適切でないものがある。

そこで、2018 年にベトナム政府は風力発電の強力な支援をはじめ、多くの投資を引込むために諸政策を実施した。その結果、急成長をして、2020 年末には風力発電の総設備容量は 630MW に達した。2020 年 12 月の時点で、国家電力マスタープランを補完する承認済の風力発電の総容量は約 12,000MW で、2021 年から 2025 年の期間に稼働する予定である。

・日本とベトナムの再生可能エネルギーの協業

ベトナムの天然資源環境省及び日本の環境省との間での第 6 回日越環境政策対話が 2020 年 8 月 24 日及び 25 日にオンラインで実施され、気候変動、廃棄物管理と海洋プラごみ、大気汚染、排水処理と水環境の国際協力、環境マネジメントのための制度などについて議論された。

両省は 気候変動に関し、ベトナムにおける脱炭素化への移行を、政策、政策実施手段、能力構築、低炭素及び脱炭素化技術の導入や普及、アップデイトを通じて前進させるための包括的協力に合意した。

・出光興産のメガソーラー発電所の完成

出光興産は、ベトナム に大規模太陽光発電所の開発、運営を手がけている。ベトナム政府も再生可能エネルギーの普及に注力しており、積極的な事業展開で貢献していく。

出光興産グループ会社の昭石オーバーシーズ＆インベストメント(SOI)が 2019 年 5 月、ベトナム南中部カインホア省カムラン市に大規模太陽光発電所メガソーラーを完成した。約 60 ヘクタールの土地に、最大出力 49.5MW（約 5 万 KW）の太陽光発電所を設置した。出光興産として東南アジア初の太陽光発電所の開発案件である（図表 3.6.14 参照）。

年間発電量は約 7 万 8,600MWH で、発電した電力はベトナムの固定価格買取り制度 FIT に基づき国営電力会社ベトナム電力公社に 20 年間売電する。

図表 3.6.14　出光メガソーラー発電所



３．６．４　ニソン製油所コンプレックスの概要

（１）　ニソン製油所石化コンプレックス PJ 沿革

・2004 年（事業検討開始）～2007 年 FS
・2008 年 4 月 7 日　JVA サイン、4 月 14 日 NSRP 設立
・2009 年　FEED 完了
・2010 年（ITB）～2013 年 EPC
・2013 年　Finance Agreement サイン
・2013 年 7 月 22 日 着工（10 月 23 日起工式）
・2017 年 4 月 30 日 完工
・2018 年 11 月 14 日　商業運転開始

（２）　NSRP（Nghi Son Refinery and Petrochemical Limited Liability Company）の概要

・JV 資本割合：出光興産 IKC（35.1%）、クウェート国際石油 KPI（35.1%）、ペトロベトナム PVN（25.1%）、三井化学（4.7%）
・事業総額：約 90 億ドル
　このうち 50 億ドルはプロジェクトファイナンスが組成され、JBIC、NEXI、KEXIM、EU-ECA 他 40 世界の銀行融資

（３）　NSRP ニソン製油所石化コンプレックスの立地

・立地：Tinh Gia District, Thanh Hoa Province、ハノイ南 200km
・敷地面積：5.7km2（570 ヘクタール）、1.5km×3.8km（図表 3.6.15 参照）
　大連長興恒力石化コンビナート面積 6.45km2（645 ヘクタール）

図表 3.6.15　ニソンコンビナート Nghi Son Refinery and Petrochemical Complex

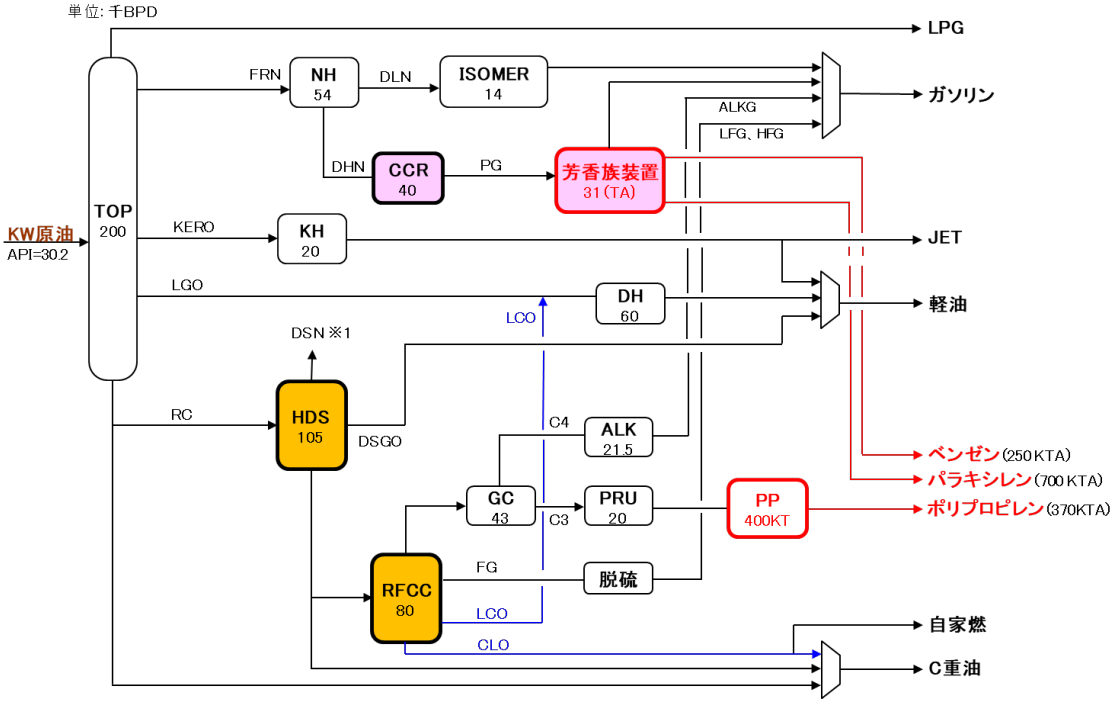


（出所）月刊出光 2019 年 1 月号他に基づき作成

（４）　石油及び石油化学主要設備構成とコンプレックスフロー（図表 3.6.16 参照）

・TOP：20 万 BD（1,000 万トン/年）、KW 原油（API30.2）100%（KPI がクウェート原油を 70 年間する供給契約）

図表 3.6.16　ベトナムニソン製油所石化コンプレックスのフロー



（出所）公表情報に基づき作成

直脱：10.5 万 BD（Chevron Lummus）、KW-RC（S 4.29wt%）
脱硫重油 DSRC の硫黄分 0.4wt%で、IMO2020 の VLSFO バンカー燃料にも対応可能

RFCC：8 万 BD（Axenes）：100%重質 RC チャージでは世界最大能力
KW-RC を全量チャージし、分解重油 CLO は全量自家燃料向けである。
IMO2020 バンカー燃料 VLSFO 基材としても活用可能、ボトムレス
RFCC の高温分解モード運転で、石化シフトも可能
ガソリン MAX、プロピレン MAX のフレキシブルな運転モードを有す。

ポリプロピレン：40 万トン/年（RFCC 高温分解運転モード）
アルキレーション：1 万 BD（UOP）、LN 異性化：1.4 万 BD
NH：5.4 万 BD、CCR：4 万 BD、芳香族設備：3.1 万 BD＋不均化スキム＋MXYL 異性化ベンゼン：25 万トン/年、パラキシレン：70 万トン/年

原油受入れ設備は沖合 35 キロメートルに設置、海岸付近は、水深 12m 浚渫し、化学品の出荷などに対応、ジェッティは 7 基設置
ボイラー：1200t/H、発電機：35 万 KWH、冷却水：7 万 t/日、二次廃水処理は 700t/H、排煙脱硫装置：115 万 Nm3/H、VOC 回収設備：海上 1 万 Nm3/H、陸上 1500Nm3/H
タンク：原油用が 8 基、LPG 用が 20 基など合計 80 基
石油製品(プロピレン max モード)
　ガソリン（95RON＋92RON）　320 万 KL/年
　JET/KERO　75 万 KL/年

ディーゼル（プレミアム＋レギュラー）　435 万 KL/年
重油　0 万 KL/年
硫黄（S）　40 万トン/年

・IMO の船舶硫黄分規制強化への対応力が高い
直脱分解軽油（DSGO）は、セタン指数 42 で、硫黄分も低いので DGO との混合で全量軽油生産基材として活用可能
RFCC-分解軽油（LCO)は、硫黄分は低いが、セタン指数は 27 前後なので TOP 未洗軽油＋GO-HDS 混合チャージで全量軽油生産
CLO（硫黄分 1.0w%）は、全量自家用燃料化であるが、RFCC 分解重油との混合で IMO2020 バンカー重油燃料対応可能

３．６．５　ニソンコンプレックスの国際競争力評価(白油化指数＋石化シフト率)

ニソン製油所石化コンプレックスの白油化指数（重油分解指数）は 57%である。
長興島恒力石化の 52.8%（TOP 能力 40 万 BD）を超え、20 万 BD の TOP 能力に対して、RH（10.5 万 BD）＋RFCC（8 万 BD）と世界最大の重油分解能力を有する。

・NSRP のニソン製油所石化コンプレックスの石化率
世界最高は、軽油留分も水素化分解してパラキシレン、エチレン分解原料とする大連長興島恒力石化コンビナートのパラキシレン、エチレンチェーンである（42～43%）が、
現時点でもニソンコンプレックスの石化率は、高いレベルにある。
[ナフサ（異性化）＋プロピレン＋ベンゼン＋パラキシレン＋S]/1000⇒（55＋37＋25＋70＋40）/1000⇒22.7%

３．７ サダラケミカル、中東の再生可能エネルギー開発

今から 20 年前、中東を調査した時は、原油からタイヤ工場を作るのに 100 年はかかるといわれていた。しかし、わずかの期間で、その潤沢な原油輸出資金を背景に、サウジアラビアでは総仕上げとなる、産油国としては世界最大規模であるサダラケミカルチェーンがフル操業に入った。

石化シフト大規模新興コンビナートの代表であるサダラ（以下 Sadara と称す）ケミカルコンビナートの建設経緯、スキーム、稼働状況などを調査し、中東を代表するサウジアラビアの原油を原料とするコンビナートの国際競争力強化に向けた現状と、脱炭素化に向けた政策を調査し、日本のコンビナートの再生可能エネルギー開発同時進行策に資する。

３．７．１　Sadara コンビナートの概要

（１） Sadara という名前は、アラビア語で“最新鋭”“際立っている”という意味である。
図表 3.7.1 に、Sadara の概要を示す。

図表 3.7.1　Sadara の概要

会社名称	Sadara Chemical Company 〔Sadara〕* * "Sadara"とは、アラビア語で ″in the lead", "forefront", あるいは ″out in front" という意味を持つ。	
設立年月日	２０１１年１０月３０日	
立地	Jubail Industrial City II	
住所	P.O. Box 11811 Jubail Industrial City 31961, Kingdom of Saudi Arabia	
	Tel: +966-50-192-2155 (mobile)	
	E-mail: Sami.Amin@Sadara.com	Website: www.sadara.com
	[Headquarters] P.O. Box 39777 Dhahran 31942, Kingdom of Saudi Arabia	
	Tel: +966-13-813-5999	E-mail: info@sadara.com
資本金	SR24,187,500,000 ($6.45 billion)	
株主	Saudi Arabian Oil Co. (Saudi Aramco)	62.5%
	Dow Saudi Arabia Holding B.V. (Netherland)*1	37.5%
敷地面積	600 ha (6 km^2)	
事業内容	類、ポリエチレン類、オレフィン系エラストマー類、プロピレングリコール類の7分野２６種）の製造。 最終製品である化学品ならびに樹脂の年間生産量は３００万トン。	
従業員数	4,100人以上	
原料	天然ガス、エタン、ナフサ、燃料油、ベンゼン／トルエンの一部はSaudi Aramcoから供給される。	
	ブタノールはSaudi Butanol Co.（SABUCO） で委託生産したものを引き取る。	
	過酸化水素は、Saudi Hydrogen Peroxide Co.（Solvayとの合弁会社。能力：30 kt/y）から供給される。	
	水素、一酸化炭素およびアンモニアは、Sadara Complex 敷地内にドイツのLinde社によって設立されたガス会社から供給される。	

*1: A wholly owned subsidiary of the Dow Inc., USA.

（２） Sadara 設立の経緯と内容及び特長

Sadara は 2011 年 10 月 Saudi Aramco と Dow Chemical の合弁会社として設立された。

Saudi Aramco はサウジアラビア経済を多角化し工業国へと変貌するという政府方針に沿って、Petro Rabigh 社と同様の構想の下に、東のアラビア湾（ペルシャ湾）沿いの Ras Tanura 製油所（原油処理能力 55 万 b/d）の高度化と石油化学との連携強化を、かねてから検討していた。

2007 年 5 月 Saudi Aramco と Dow Chemical は、Ras Tanura 地区に世界最大規模の石油化学品製造工場建設の共同推進の基本合意を手交した。

2010 年 8 月、工場を新たな工業用地造成が進んでいた Jubail 工業都市に建設することが決定された。この立地変更理由は Ras Tanura 地区の用地造成費用が予想以上に高額、かつ工場完成後、予想される一層の混雑の回避と報じられた。

・2011 年 7 月作成の新計画

エタンとナフサを基礎原料とし、基本的な石油化学品のエチレン、プロピレン、ベンゼン及びトルエンなど 26 種（そのうちの 14 種はサウジアラビア国内で初生産される製品）の石油化学品生産年間 300 万トン、総額 200 億ドル（約 2.3 兆円）の壮大な計画が決定された。強調された特長は、以下のとおりである。

・一か所で同時に建設される工場群としては世界最大規模であること。

・石油精製設備から生産される自社ナフサを原料とする石油化学プラントとして、サウジアラビア国内初である。
・多くの雇用を創出する。
・年間売上額 100 億ドル（約 1 兆円以上）の規模となる。

工場群には、Sadara へ供給する原料を製造の関連会社 3 社の設備も含有される。
2016 年 8 月にエタン/ナフサ熱分解プラント*の運転が開始され、年末までにフル生産レベルに到達、誘導品プラントも徐々に稼働をはじめ、2018 年末までに全プラントが稼働した。
*分解炉 12 基、内 7 基はエタン専用、2 基がナフサ専用、3 基がエタン/ナフサ兼用業態は石油化学専業で石油精製・石油化学一体型（COTC）ではない。

（3） サウジアラビアの石油精製・石油化学基地と Sadara の位置及び概要
・サウジアラビアの石油精製・石油化学基地、Sadara の位置
図表 3.7.2 に、サウジアラビアの石油精製・石油化学基地と Sadara の位置を、図表 3.7.3 には Sadara コンビナートの位置（Jubail 2）を、図表 3.7.4 には、SATORF（Amiral；石油精製の位置をそれぞれ示す。

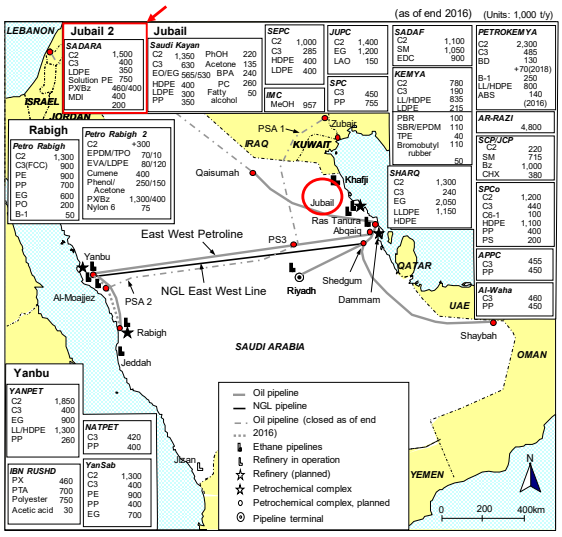
・Sadara コンビナートの位置（Jubail 2）
SATORF（Amiral；石油精製）の位置：Sadara の隣接地
Sadara ケミカルは、サウジアラビアの東側のペルシャ湾岸の Jubail 地区の Jubail 2 にある。敷地面積が約 6Km2 あり、隣接する SATORF（Amiral；石油精製、Location）から原料ナフサなどが供給される。

図表 3.7.2 サウジアラビアの石油精製・石油化学基地と Sadara の位置



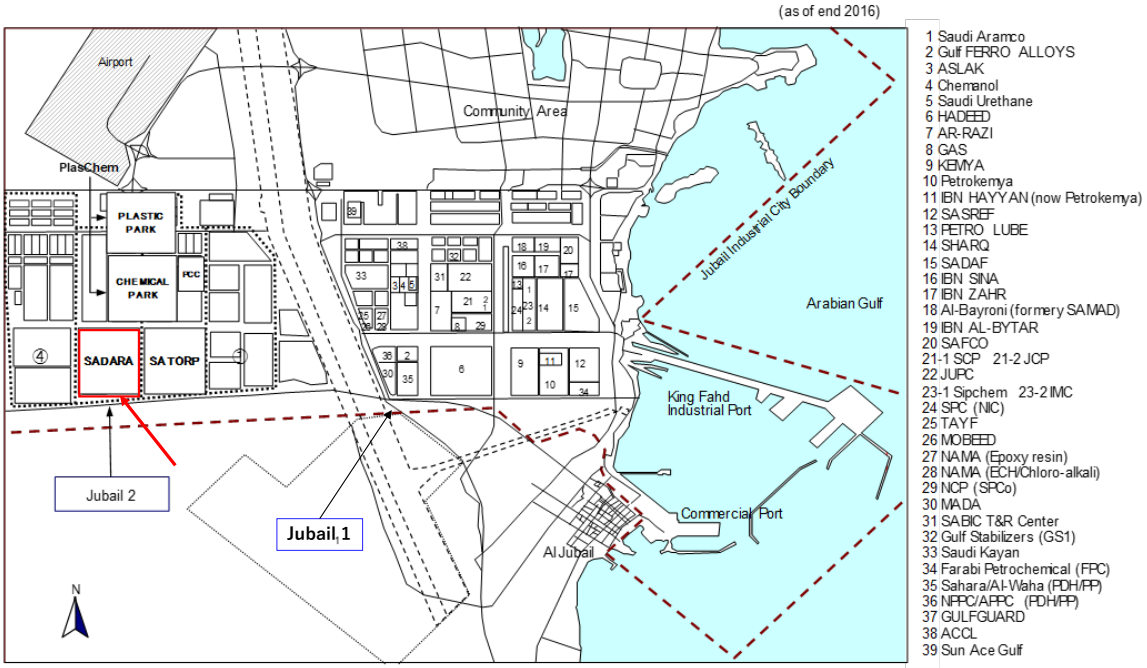
出典：各種資料を基にMCR作成

図表(4)-③.2 サウジアラビアの石油精製・石油化学基地とSadaraのLocation



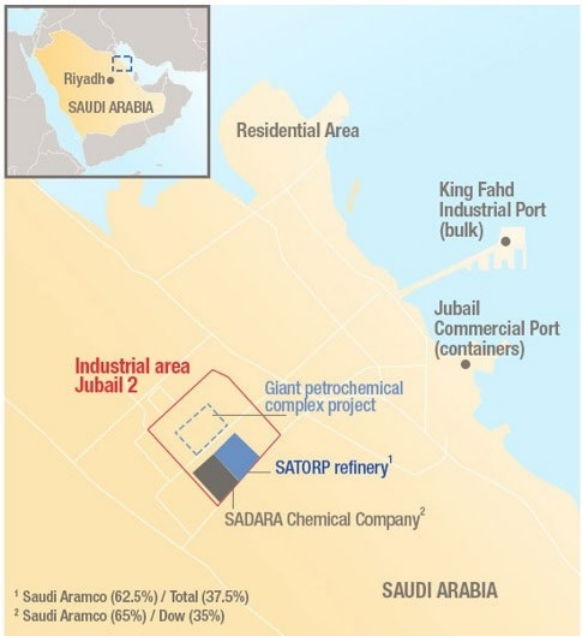
出典：各種資料を基にMCR作成

図表 3.7.3　Sadara コンビナートの位置（Jubail 2）



Source: Mitsubishi Chemical Techno-Research Corp. (based on information from Royal Commission for Jubail and Yanbu, SABIC, and field studies)

図表 3.7.4　SATORF(Amiral；石油精製)の位置



３．７．２　Sadara ケミカルに供給される原料と燃料の種類と数量

Sadara 社の業態は石油化学専業であり、原料のナフサは隣接する Saudi Aramco Total Refining and Petrochemical Company (SATORP)から供給され、エタンは Saudi Aramco 社から直接供給される。ベンゼンとトルエンは自社生産されるものの十分な数量を確保できないので Saudi Aramco 社が他の石油精製会社から供給する仕組みとなっている。
Sadara 社は石油精製業と統合された事業体(COTC)ではない（図表 3.7.5 参照）。

図表 3.7.5　Sadara に供給される原料と燃料の種類と数量

	原料名	供給元	供給量（契約量）
原料と供給量	エタン	Saudi Aramco	up to 85 million scfd (ca. 1,180 kt/y*5)／20年間
	ナフサ	Saudi Aramco (SATORP*6)	up to 53,000 b/d (ca. 2,150 kt/y*5)／30年間
	ベンゼン	自社＋Saudi Aramco	Saudi Aramcoから、up to 139 kt/y ／30年間
	トルエン	自社＋Saudi Aramco	Saudi Aramcoから、up to 6.9 kt/y／30年間
	天然ガス	Saudi Aramco	up to 70 million scfd (ca. 518 kt/y)／20年間
	ブタノール	Saudi Butanol Co.*7	委託生産したものを引き取る
	CO/H_2	Local gases company*8	契約により、必要量が Linde社より供給される
	アンモニア	Local gases company*8	同上
	過酸化水素	Saudi Hydrogen Peroxide Co. *9	契約により、必要量がSHPC社より供給される
燃料	燃料油	Saudi Aramco	up to 16,500 b/d (830 kt/y)

Note: *5: 年間供給量は1年間の稼働日を365日として計算した。

*6: SATORP: Saudi Aramco Total Refining and Petrochemical Co.

*7 Saudi Butanol Co. (SABUCO): ブタノールを生産するための合弁会社。
Sadara, Saudi Kayan Petrochemical Co. (Saudi KAYAN)、Saudi Acrylic Acid Co. (SAAC)が均等に出資。

*8: ドイツのLinde社が、Sadara社の隣接地に設立した工業ガス製造会社。
一酸化炭素 (CO)、水素 (H_2) およびアンモニア (NH_3)を生産する。

*9: Sadara社とベルギーのSolvay社が設立した過酸化水素製造会社。

石油化学原料の基本となるエタン、ナフサ、天然ガスについて、エタンは 20 年、それ以外は 30 年間の長期契約。ベンゼン、トルエンは自社生産されるものの不足分も 30 年間の長期供給契約を結んでいる。価格は原料によって決め方は異なるが、市価ないしは、それ以下の優位性のある単価設定を設けている。
ブタノールは自社のプロピレンを持込み委託加工、過酸化水素は Sadara の JV 会社から、アンモニア・CO・H2 は Sadara コンプレックス内の工業ガス会社 (Linde) から供給される。

３．７．３　Sadara の製品、生産能力、ライセンス技術など

図表 3.7.6 に、Sadara ケミカルの製品、生産能力、導入技術・ライセンスなどを示す。

Sadara では、生産設備群と製品を 4 グループ（オレフィン類、化学品Ⅰ、化学品Ⅱ、化学品Ⅲに分割している。サウジアラビアで初めて工業生産された製品は 14 種で、以下に示した化学品ラインアップである。
LLDPE (C4-, C6-, C8-, 溶液法 LLDPE)、ポリオレフィン系エラストマー 、塩酸変換(HCl to Cl2)、ホルマリン、DNT (Dinitrobenzene)、MNB (Mononitrobenzene)、TDA (Tolylene diamine)、TDI (Tolylene diisocyanate)、PMDI (Polymeric MDI)、アニリン、PG (Propylene glycol)、ポリエーテルポリオール、BGE (Butoxyglycol ethers)、EA(Ethylene amines)
なお、エチレンの生産規模は年 150 万トンである。

Sadara は、サウジアラビア国内と中東地域で製品販売する独占的権利を有し、Dow Saudi Arabia Product Marketing B.V.がサウジアラビア国外と Sadara が販売しなかった中東地域での製品引取り/販売権を有する。

図表 3.7.6　Sadara の製品、生産能力、技術ライセンス

製品／生産能力／技術等	中間化学品＆石油化学品	生産能力 (1,000 t/y)	稼働開始	技術／設計施工
	〔オレフィン類〕			
	エチレン	1,500*1	2016	Technip / Daelim Industrial (South Korea)
	プロピレン	400*1	2016	Technip / Daelim Industrial (South Korea)
	ベンゼン（Chemical grade）	280	2017	GTC Technology / JGC Gulf
	トルエン（Chemical grade	134	2017	GTC Technology / JGC Gulf
	LDPE（高圧法LDPE）	350	2017	Dow Chemical / Jacobs Engineering
	LLDPE（溶液法LLDPE)(2系列	750	2016	Dow Chemical / Jacobs Engineering
	ポリオレフィン系エラストマー	220 or 250	2017	Dow Chemical / Jacobs Engineering
		（注）メタロセン触媒の場合は220 kt/y、Ziegler-Natta触媒の場合は250 kt/y		
	Crude C_4s	280	2016	
	C_{8+} raffinates	60	2016	
	燃料油	90	2016	
	〔化学品 I〕			
	クロール・アルカリ	115	2017	Dow Chemical / Jacobs Engineering
	塩素変換（HCl to Cl_2）	458	2017	ThyssenKrupp Uhde /
	〔化学品 II〕			
	ホルマリン	132	2017	Johnson Matthey (Formox^{TM}) / Daelim Industrial
	MNB (Mononitrobenzene)	416	2017	Noram / Daelim Industrial
	DNT (Dinitrobenzene)	250	2017	Josef Meissner / Daelim Industrial
	TDA (Tolylene diamine)	153	2017	Dow Chemical / Daelim Industrial
	TDI (Tolylene diisocyanate)	200	2017	Dow Chemical / Daelim Industrial
	PMDI (Polymeric MDI*2)	400	2017	Dow Chemical / Daelim Industrial
	アニリン	316	2017	KBR / Daelim Industrial
	硝酸	400	2017	Espanola Technology /
	〔化学品 III〕			
	酸化エチレン（EO）	360	2017	Dow (METEOR^{TM}) / Tecnicas Reunidas
	酸化プロピレン（PO）	390	2017	Dow & BASF / Foster Wheeler
	プロピレングリコール（PG）	70	2017	Dow Chemical / Foster Wheeler
	エタノールアミン類（EOA）	210	2017	Dow Chemical / Tecnicas Reunidas
	EAE (2-Ethylaminoethanol)	45	2017	Dow Chemical / Tecnicas Reunidas
	BGE (Butoxyglycol ether)*4	200	2017	Dow Chemical / Tecnicas Reunidas

Note: *1: エチレンとプロピレンはMixed feed cracker (MFC) によって生産される。MFCには分解炉が12炉設置されており、7炉がエタン分解用、2炉がナフサ分解用で3炉がエタン／ナフサ両用分解炉である。

*2: MDI: 4,4'-Diphenylmethane diisocyanate.

*3: Monoethanol amine (MEA), Diethanol amine (DEA), Triethanol amine (TEA)

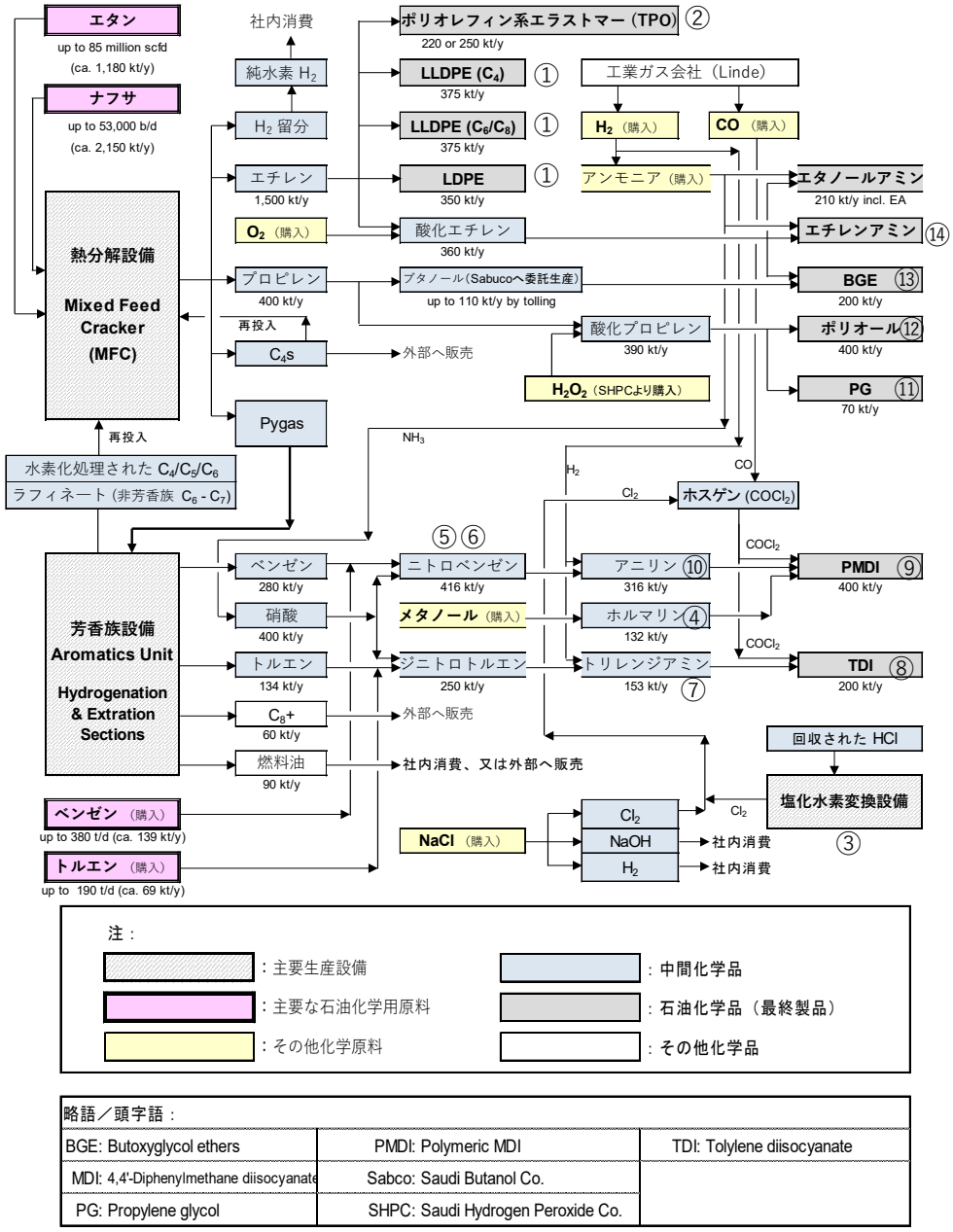
*4: Ethylene glycol monobutyl ether (Butyl Cellosolve), Diethylene glycol monobutyl ether (Butyl Carbinol)

３．７．４　Sadara プロセス、製品フロー、エタン原料からのコスト競争力

図表 3.7.7 に、Sadara の製造プロセス及び製品フローを示す。

化学品の製造法には特段の特徴も見出すことはできない。エチレン製造の主要原料であるエタン価格がサウジアラビア国内の取引価格である 1.75$/MMBtu であるから、原料ナフサとの使用割合如何では C2 誘導品の競争力は極めて高いことが推測される。

図表 3.7.7　Sadara の製造プロセス及び製品フロー



略語／頭字語：		
BGE: Butoxyglycol ethers	PMDI: Polymeric MDI	TDI: Tolylene diisocyanate
MDI: 4,4'-Diphenylmethane diisocyanate	Sabco: Saudi Butanol Co.	
PG: Propylene glycol	SHPC: Saudi Hydrogen Peroxide Co.	

３．７．５　Sadara の原料、中間化学品、製品の数量バランス

図表 3.7.8 に、Sadara の原料、中間化学品、製品の数量バランスについて試算結果を示す。原料及び誘導品の供給量と製品製造原単位から生産量/供給量と消費量のバランスを試算すると、プロピレン生産量と消費量において大きな振れではないがマイナスとなった。

図表 3.7.8　Sadara の原料、中間化学品、製品の数量バランス試算結果

				中間化学品とそれらの生産量／供給量（kt/y）			
中間化学品の生産／供給	プロセス等	原料＆投入量 ＼ 中間化学品		エチレン	プロピレン	ベンゼン	トルエン
	熱分解設備 Mixed Feed Cracker (MFC)	エタン	85 million scfd (ca. 1,180 kt/y)	1,500	400	-	-
		ナフサ	53,000 b/d (ca. 2,150 kt/y)				
	芳香族設備	Pygas (MFCより)	数量不詳	-	-	280	134
	購入	ベンゼン	最大 139 kt/y	-	-	139	-
		トルエン	最大 69 kt/y	-	-	-	69
	中間化学品供給量合計 [A]			1,500	400	419	203

				中間化学品の消費量（kt/y）				
	石油化学品	生産量 (kt/y)	原料　原単位	エチレン	プロピレン	ベンゼン	トルエン	
石油化学品／中間化学品の生産量	LDPE	350	1.05	368	-	-	-	
	LLDPE	750	0.94	705	-	-	-	
	TPO	220	E: 0.5 P: 0.5	110	110	-	-	
	酸化エチレン	360	0.75	270	-	-	-	→ EA & EOA 210
	ブタノール	max. 110	0.63	-	69	-	-	→ BGE 200
	酸化プロピレン	390	0.76	-	296	-	-	→ ポリオール 400 PG 70
	アニリン	316	0.88	-	-	278	-	→ PMDI 400
	トリレンジアミン	153	0.79	-	-	-	121	→ TDI 200
	中間化学品消費量合計〔B〕			1,453	476	278	121	
	中間化学品の生産／消費バランス〔A〕－〔B〕			48	-76	141	82	

BGE: Butoxyglycol ethers	PG: Propylene glycol
EA: Ethylene amines	PMDI: Polymeric MDI
EOA: Ethanol amines	TDI: Tolylene diisocyanate
MDI: 4,4'-Diphenylmethane diisocyanate	

３．７．６　PlasChem Park に進出した企業、事業内容、必要とする原材料の例

サウジアラビア政府が経済活動の更なる多角化を目指し、高付加価値産業とサービス産業の育成に力を入れていることを踏まえ、ジュベール・ヤンブー王立委員会と協力して、Sadara に近接して、造成コンビナート（面積 1,200 ha）:PlasChem Park を建設した。図表 3.7.9 には PlasChem Park に進出した企業、事業内容、必要とする原材料の例をそれぞれ示す。

図表 3.7.9　PlasChem Park に進出した企業、事業内容、必要とする原材料の例

Tenants	Business	Required raw material
Energy Chemical Sources Co. (ECSC) (A joint venture between Halliburton and TAQA[*1])	Production of specialty chemicals for oil & gas industry	EO & PO
Surfactant's Detergent Co. (SDC)[*2] (A Saudi/South Korean consortium)	Production of detergents	EO & PO
E.A. Juffali & Brothers (1)	Production of polyurethanes for industries, such as construction, furniture, flooring and electrical appliances	MDI[*3]
(2)	Production of auto brake fluids and other	BTG[*4]
Dow Water & Process Solutions (DW&P	Production of RO[*5] membranes, "FILMTEC™ RO Elements"	
Saudi National Automobiles Manufacturing Company (SNAM) and its related parts manufacturers	Manufacturing automobiles parts	Specialty chemicals and plastics materials
Rufayah Chemicals Company (RCC) (a Saudi company established for utilization of Pygas[*6] and Pyoil[*7])	Manufacturing hydrocarbon resin, isoprene, pure DCPD[*8], aromatic solvents, premium wash oils, etc.	Aromatic Concentrates (Pygas) and Pyoil, from naphtha cracker.

[Note] *1: TAQA: Industrialization & Energy Service Co. An affiliate company of Saudi Aramco.
*2: SDC is comprised of SFC Ltd., a Korean technology provider, and Ahmad K. Al-Amoudi Ltd. (AKA) and Maydan Industry for Industrial developments & Investment Ltd. (Maydan
*3: MDI: 4,4'-Diphenylmethane diisocyanate
*4: BTG: butyl triglycol ehter
*5: RO: reverse osmosis
*6: Pygas: pyrolysis gasoline
*7: Pyoil: pyrolysis oil
*8: DCPD: dicyclopentadiene

サウジアラビア国内のプラスチック加工産業や化学製品製造業を育成するためのもので、2 万人の雇用が創出される見込みである。
期待される分野は炭化水素系樹脂分野、EO/PO 誘導品分野、ポリウレタン樹脂分野、プラスチックス加工分野などで、パイプラインで原料が供給される。

2017 年 2 月に、Sadara は Saudi National Automobiles Manufacturing Company (SNAM) との間で、SNAM 及びその傘下の複数の自動車部品製造会社などを誘致育成するための協力契約を締結した。

また、Sadara が製造する特殊化学品や合成樹脂材料を使用予定の複数の自動車部品製造会社が同社に隣接する 100 ha の敷地（Auto Cluster）に設立された。さらに、その隣に、サウジアラビア政府の長年の念願であった自動車分野への進出のために、同規模の広さで個々の部品製造会社が配置される予定である。
PlasChem Park に進出した各企業は Sadara との供給/購入契約を締結している。

３．７．７　水素・アンモニアプロジェクト（NEOM プロジェクト）

（１）　グリーン水素製造設備の建設計画

米 Air Products 社、サウジアラビアの ACWA Power 社、NEOM 社は、グリーン水素製造設備を建設する計画である。4GW 規模の太陽光発電所と風力発電所からの再生可能エネルギーを使って、日量 650 トンの水素を製造し、グリーンアンモニアとして年間 120 万トンを輸出するもので、総額 50 億ドル規模（約 5,700 億円）の計画であり、2025 年稼働を目標としている。

（２） NEOMプロジェクト

NEOM プロジェクトは、サウジアラビアが発表した、エジプト・ヨルダンに隣接する紅海沿岸に大規模スマートシティを建設するプロジェクトである。

皇太子Mohammad bin Salman Al Saud氏が2017年10月に開催された投資フォーラムで明らかにしたもので、紅海に浮かぶティーラーン島やサナーフィール島を含む砂漠・山岳地帯の2万6500km2の広大な土地に全く新しく人工都市を建設する。

100%再生可能エネルギーでエネルギーを賄い、モビリティは自動運転車やドローンを活用して自動化を徹底するなど、新技術満載の計画を立てている。

NEOMプロジェクトは、サウジアラビアが策定した2030年までの経済改革計画ビジョンの一環である。

同計画は、化石燃料に依存したこれまでの経済構造から脱却し、先進技術分野への投資を拡大して、製造業、物流、観光など経済の多角化を目指す。これにより、新たな雇用を創出し、国民の生活水準を向上させることを目的としている。

３．７．８　サウジアラビア、UAEの水素エネルギーへの取組と日本参入状況

（１） サウジアラビアの水素、アンモニア事業計画

2020年9月にサウジアラムコと日本エネルギー経済研究所が共同で、サウジアラビアで製造したブルーアンモニアを日本へ輸送する実証実験を行っている。

運ばれたブルーアンモニアは、IHIでガスタービン燃料としての混焼実験が行われた。

サウジアラビアは、2021年3月ENEOSと水素及びアンモニアのサプライチェーン構築に向けた協業検討に関する覚書を締結した。また、同国は、ドイツ及びアジア各国と、水素・アンモニアに関する協議を進めて　いる。同国は、韓国の現代重工業と、水素及びアンモニア関連業務協約に関する覚書を締結した。

中国開発フォーラムでは、サウジアラムコのナセルCEOは、ブルー水素及びブルーアンモニア、合成燃料、CCUSといった分野で、同社は中国と協力する予定だと述べた。

NEOMのナドミ・ナセルCEOはグリーン水素の輸出について「アジア向け水素の主要供給者になる」と述べ、またアブドゥルアジーズ・エネルギー大臣は2月、「グリーン水素を欧州にパイプラインで輸送することさえ可能」と発言した。

一方、サウジアラビアでは、現在稼働している水素・アンモニアプロジェクトはない。

欧米メジャーの化石燃料投資からの撤退で、従来のエネルギー分野への深刻な投資不足でエネルギー価格の安定化が図れない懸念を示し、サウジアラムコは、2027年までに生産能力を現在の1,200万BDから1,700BD万（＋500万BD）に引上げる計画を進める。

サウジアラムコは2050年までにGHG排出ゼロを発表した。2022年第2四半期で公表するサステナビリティレポートで詳細を示す。サウジアラビア政府は、カーボンニュートラル2060を掲げており、これに貢献する。

（２） UAEのグリーン水素、アンモニア事業計画

ドバイの電気・水庁（DEWA）、Expo 2020 Dubai、Siemens Energyによって Mohammed bin Rashid Al Maktoum Solar Parkで作られた電気を用いた、中東地域では初のグリーン水

素製造のパイロットプラントが、2021 年 5 月から稼働開始した。

政府系投資会社 Mubadala Investment、ADNOC 及びアブダビ政府系持ち株会社 ADQ の 3 社が、アブダビ水素同盟の発足に向けて覚書を締結した。
2021 年 1 月に ADNOC と日本の METI は、燃料アンモニア及びカーボンリサイクルに関する協力覚書を締結した。
2021 年 4 月に METI と水素協力に関する覚書に署名し、2021 年 7 月に ADNOC は INPEX、JERA などとクリーンアンモニア生産事業の事業化可能性共同調査の契約を締結した。

ADNOC は、2021 年 5 月にブルーアンモニア生産設備プロジェクトの着手を発表した。
操業開始は 2025 年を目標として年間約 100 万トンの生産を予定している。
ADNOC 以外には、2021 年 5 月にアブダビ港湾局配下の Khalifa Industrial Zone Abu Dhabi（KIZAD）は、KIZAD 内に設置される 800MW の太陽光発電所を電源として、4 万トンのグリーン水素から 20 万トンのグリーンアンモニアを製造する、グリーンアンモニア製造施設の建設を発表した。

３．７．９　中東の化石燃料と再生可能エネルギー資源開発戦略と日本参入

（１）　脱資源化の流れに対する環境事業に関わる社会実装の動き

低コストの炭化水素資源と低コストの再生可能エネルギー資源を有する中東産油国は、1)再生可能エネルギー発電事業、2)水素製造事業、3) 炭化水素事業と全面展開が可能な位置にあり、エネルギー転換の時代に引き続きエネルギー供給の中核になる目標を持っている。
実際、中東産油国はエネルギー転換への投資（太陽光、風力、水素など）とともに、従来の炭化水素資源への投資（石精設備の増強、石化へのシフト、天然ガス開発など）も拡大している。すなわち、化石燃料と再生可能エネルギーのミックス戦略をとっている。

中東産油国は、資金力があるうちに原油依存の国家収入から石油化学シフト、太陽光などの再生可能エネルギー、大油田への CO2 活用 EOR などの多様なミックス事業戦略をスタートしている。

（２）　日本による中東グリーン事業への参画状況

・カタールの CO2 低負荷 LNG 輸出設備投資決定

カタールは、CO2 負荷の少ない天然ガス輸出の世界一奪還を狙って、数兆円の大型投資を決断した。サウジアラビアも豊かな炭化水素を活用し、ブルー水素事業（アンモニア）への参画を目指している。これらの炭化水素から排出される CO2 はいずれも大油田や大ガス田への EOR としての需要が見込まれ、環境面からも GHG 削減手法としても効果的である。
このような背景の中、中東産油国、特にサウジアラビアやカタールはアジア圏、特に中国への石化事業への進出や天然ガス販売事業に力を注いでいる。
アジア市場にとって天然ガスやエタンは、増加するエネルギーや石化原料としての価格優位性があると同時に、環境負荷が低いため、そのインパクトは大きい。

日本は、フランスの TotalEnergies とともにカタールへの大規模な天然ガス事業へ参画し、CCS 設備も含む EPC 契約を行った。これが成功すれば、中国への輸出と並行して日本への今後の輸出にも大きなインパクトとなる。

また、日本は、サウジアラビアで製造したブルーアンモニアを日本へ輸送する実証実験を行っている。運ばれたブルーアンモニアは、ガスタービン燃料としての混焼実験が行われ、実験は成功裏に終わっている。

今後再生可能エネルギーの一角として日本の戦略には大きなインパクトとなると考えられる。さらに、これまでの日系石化企業のサウジアラビアにおける事業の実績は絶大であり、同国での石化は今後日本にとっても非常に重要な産業となる。

３．８ 豪州における製油所閉鎖、資源政策の変化

豪州では、BP やエクソンモービルが、中国・中東の大規模輸出型製油所からの割安な石油製品流入による不採算を理由に、製油所撤退を決めた。残る製油所は現地企業の 2 製油所のみとなり、将来的にはその閉鎖も検討されている。2021 年の石油製品の輸入依存度は 8 割近くに高まる見通しで、かつ、中国からの輸入比率は急増中である。

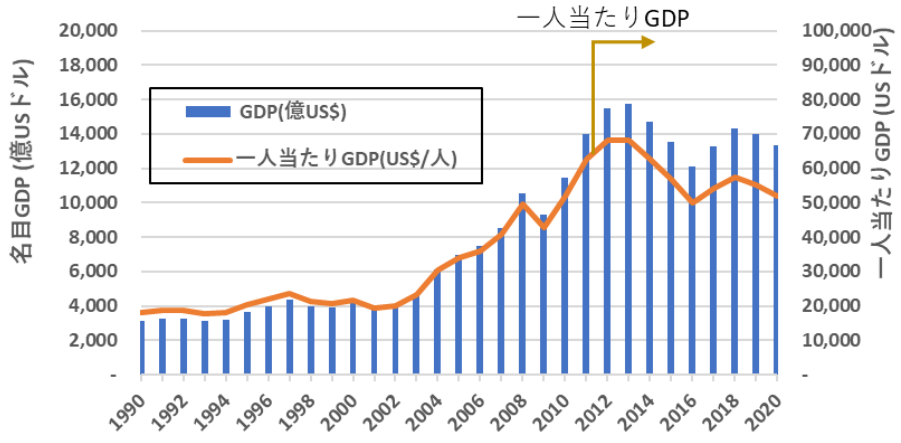
豪州の製油所は、日本と違って規模も小さくかつ機能も高くなかった。日本のエネルギー安定供給のために、豪州のエネルギー政策の変化と日本との連携の可能性を具体的に調査検討する。

３．８．１　豪州の GDP と一次エネルギー、石油製品の消費・生産・輸出入推移

（１） 豪州の GDP 及び一人当たりの GDP

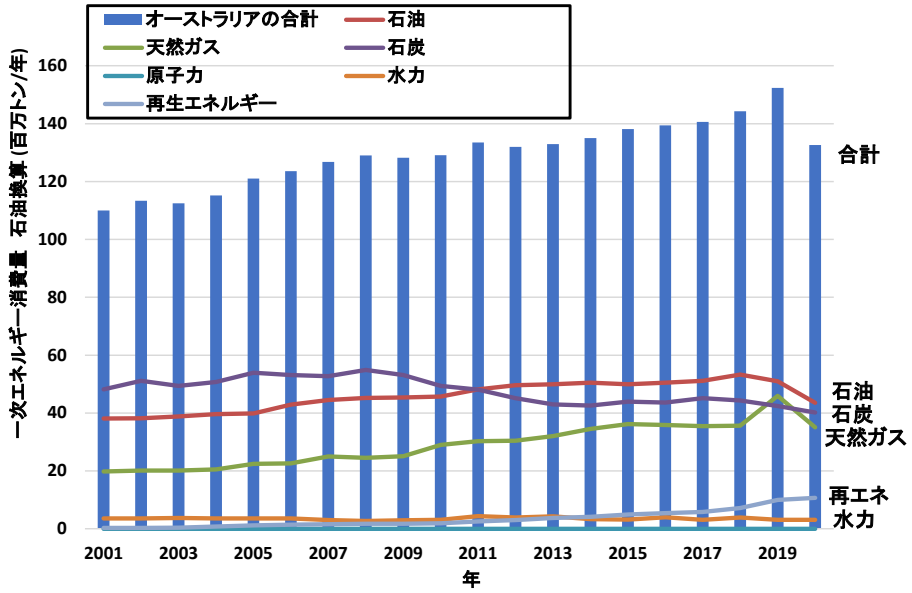
豪州の GDP は 2013 年以降に下降気味である（図表 3.8.1 参照）。一次エネルギーの合計消費量は漸増しているが、石炭の消費は 2008 年以降から減少している。2020 年の一次エネルギーの合計消費量は、コロナ禍の影響で前年に比べ下がっている（図表 3.8.2 参照）。

図表 3.8.1　豪州の名目 GDP と一人当たり GDP 推移



（出所）世界銀行データを基に作成

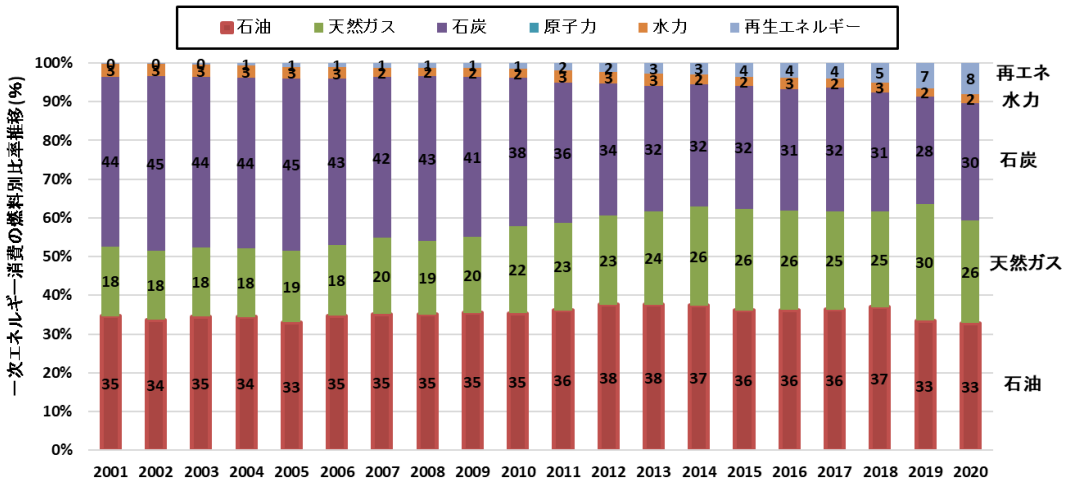
図表 3.8.2　豪州の一次エネルギー消費の推移



（出所）BP エネルギー統計 2021 を基に作成

豪州の一次エネルギー消費の燃料別比率では、石炭及び石油が下がり、天然ガス及び再生可能エネルギーが上がってきている。ただし、天然ガスについては、2013 年頃から上げ止まりの傾向である（図表 3.8.3 参照）。

図表 3.8.3　豪州の一次エネルギー消費燃料別比率の推移

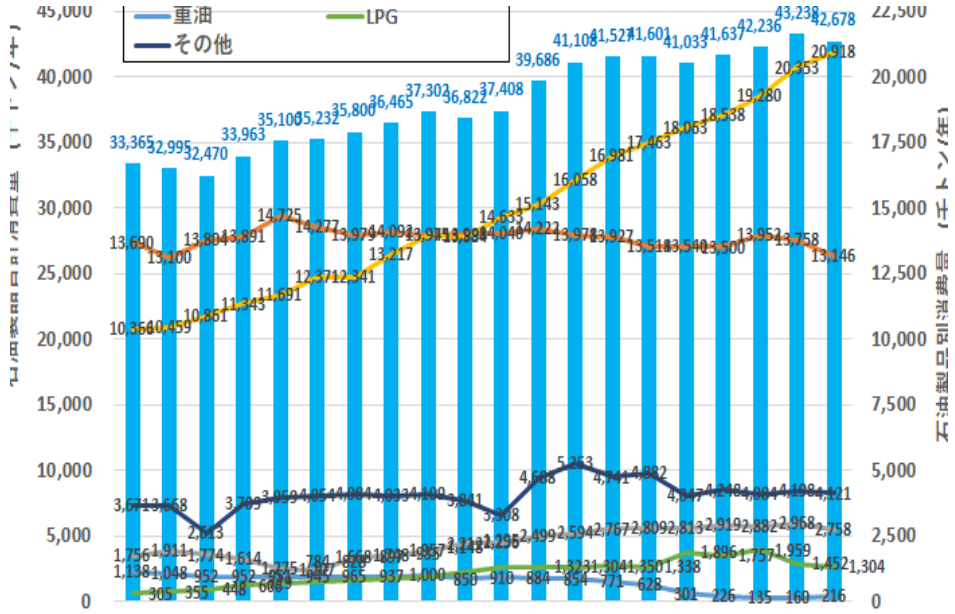


（出所）BP エネルギー統計 2021 を基に作成

（２）　石油製品消費量推移

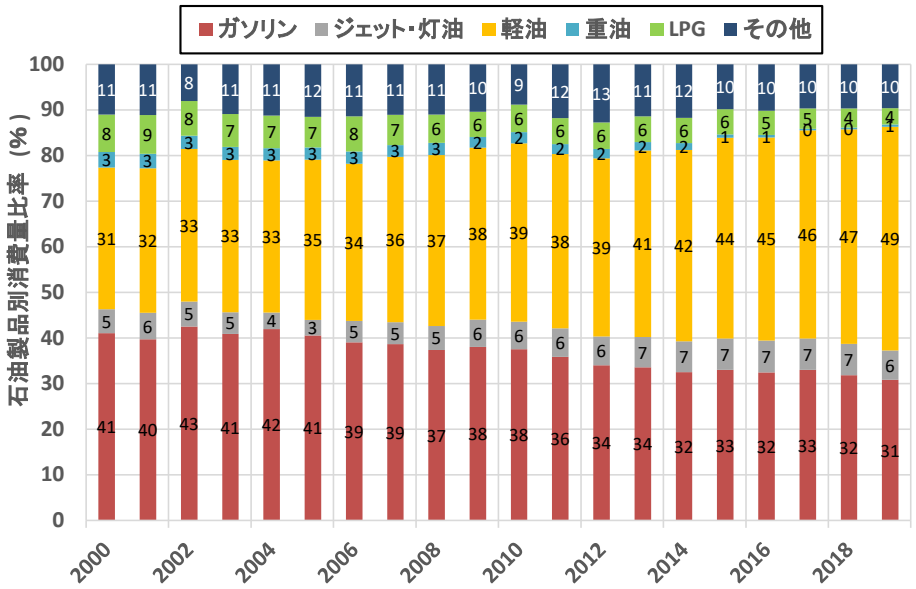
豪州の石油製品の合計消費量は、漸増している。中でも、軽油の伸びが堅調であるのに対し、他の石油製品の消費量の増減は微少である（図表 3.8.4 参照）。軽油の比率が増え、2019 年では 49%で、軽油/ガソリン比は 1.6 で欧州型である。ガソリンの比率は年々減少している（図表 3.8.5 参照）。

図表 3.8.4　豪州の石油製品消費量推移



（出所）IEA 石油情報 2021 を基に作成

図表 3.8.5　豪州の石油製品消費量比率の推移



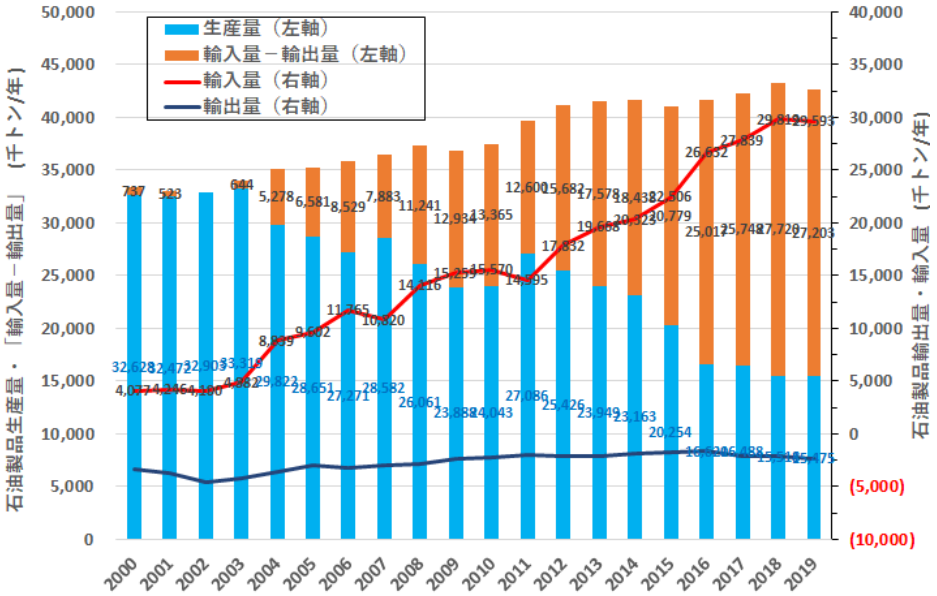
（出所）IEA 石油情報 2021 を基に作成

（3）　石油製品の生産量と輸入量推移

豪州の石油製品の生産量と「輸入量－輸出量」（ネット輸入量）の合計は、石油製品合計の消費量に相当する。豪州の石油製品の合計消費量は漸増しているが、2004 年以降は国内生産量が減少したために、ネット輸入量が増加している（図表 3.8.6 参照）。2019 年では、国内生産量は消費量の 36%（輸入依存度 64%）まで落ちており、その分、石油製品の輸入依存度が高くなっている。さらに、2021 年度以降は 2 製油所が稼働停止して輸入依

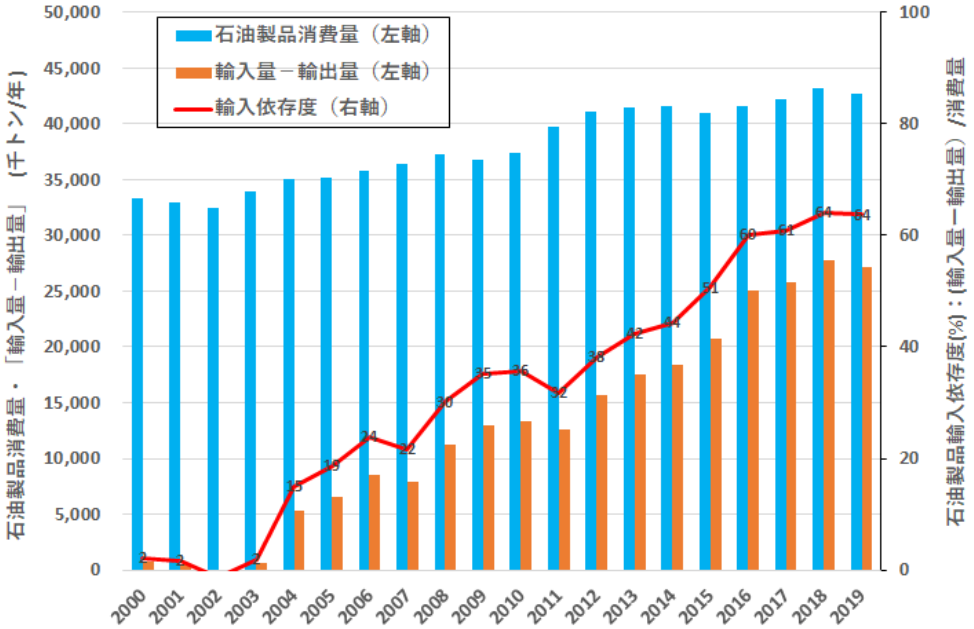
存度は 8 割近くに高まる見通しである（図表 3.8.7 参照）。

図表 3.8.6　豪州の石油製品の輸入量・輸出量・生産量推移



（出所）IEA 石油情報 2021 を基に作成

図表 3.8.7　豪州石油製品の輸入依存度推移



（出所）IEA 石油情報 2021 を基に作成

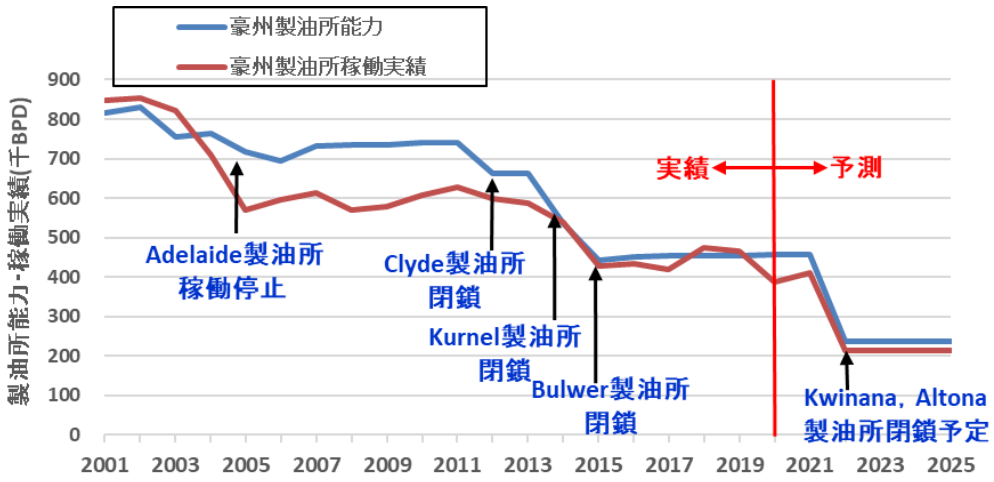
３．８．２　豪州の製油所能力、稼働実績と製油所の閉鎖などの状況

（１）　豪州の製油所能力、稼働実績

製油所の稼働停止/閉鎖に伴い、豪州の製油所の能力及び稼働実績が 2003 年以降減少している。2005 年～2011 年の変化はなかったが、2011 年～2015 年は減少して 2015 年以降

は落ち着いている。
過去最大 80 万 BPD（2000 年頃）に比べ、2020 年現在は 50%の 40 万 BPD 程度まで落ちてきている。2021 年以降は 2 製油所になり 23 万 BPD になる予定である（図表 3.8.8 参照）。

図表 3.8.8　豪州の製油所の能力と稼働実績推移



（出所）BP 統計データに基づき作成

（２）　豪州製油所の閉鎖経緯と各製油所の概要

豪州の製油所は、規模が小さく設備も旧式であるために、シンガポール、中国、韓国などのアジアの輸出型の新鋭製油所に比べて石油製品の製造コストが高く競争力で劣っている。2020 年にはコロナ禍の抑制策で、交通、輸送が制約され燃料需要量が大幅に減少し、早期復旧が見込めず、脱炭素化が加速する中で製油所の事業環境は益々厳しさを増してきた。

豪州は、シンガポールなどのアジア市場に近く、石油製品の調達も容易で、国内でメジャー系も含めた大手石油販売会社が操業していることから、現時点では深刻な供給不安はない状況にある。
2021 年 5 月に、豪州政府は、燃料保障政策「LOCKING IN AUSTRALIA’s FUEL SECURITY」を発表した。内容は、操業支援から石油製品品質基準の改訂、水素などの次世代燃料供給、関連インフラ工事など広範囲に及ぶ。
豪州政府は、精製事業の将来を踏まえて、長期間の燃料供給を保障するために、自国の精製能力を維持するという上記の基本方針を明確に示した。
これにより豪州政府は、コロナ禍の危機対応で疲弊した石油精製会社を支援し、燃料備蓄、雇用の維持、燃料価格の抑制達成の政策を進める。
具体的にはクイーンズランド州にある Ampol の Lytton 製油所、及びビクトリア州にある Viva Energy の Geelong 製油所の稼働継続を支援する。

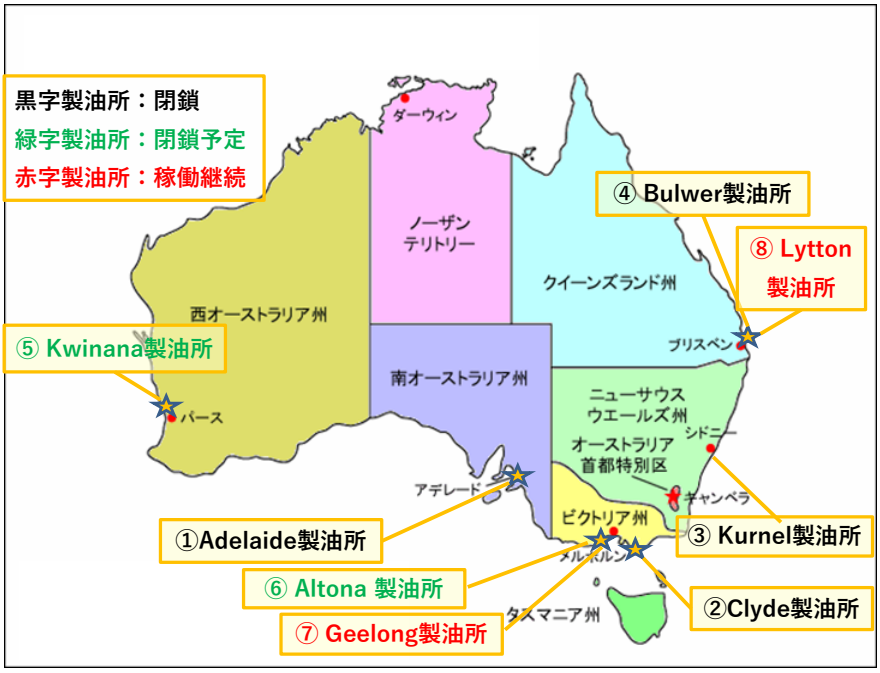
以上の各製油所の経緯と現時点の状態を図表 3.8.9 にまとめる。

図表 3.8.9　豪州製油所の廃棄、転換、稼働続行状況（2021 時点）

製油所	企業	所在地	精製能力 万 BPD	稼働状況	備考(閉鎖の理由など)
① Adelaide 製油所	ExxonMobil	南オーストラリア州 (豪州中央南部)	6.6	2003 年操業停止 2014 年解体開始	サイトの修復工事
② Clyde 製油所	Shell	ビクトリア州 (豪州南東部)	9.0	2012 年閉鎖	閉鎖後、輸入ターミナル化
③ Kurnel 製油所	Valtex	ニューサウスウェールズ州 (豪州東南部)	10.1	2014 年閉鎖	閉鎖後、輸入ターミナル化
④ Bulwer 製油所	bp	クイーンズランド州 (豪州北東部)	10.2	2015 年閉鎖	・アジアの製油所の競争激化及び豪ドル高の影響で閉鎖。 ・閉鎖後、輸入ターミナル化
⑤ Kwinana 製油所	bp	西オーストラリア州 (豪州西南部)	14.6	稼働停止(2021 年予定)を 2020 年 10 月に発表	・1955 年稼働開始。2016 年に州政府と 2050 年まで稼働延長の契約をした。 ・地域の石油製品供給過剰と慢性的な低精製マージンにより、クイナナ製油所の経済的な稼働は困難で稼働停止を決定。閉鎖後は輸入ターミナルへの転換予定。
⑥ Altona 製油所	ExxonMobil	ビクトリア州 (豪州南東部)	9.0	稼働停止予定を 2021 年 2 月に発表	・1949 年稼働開始。 ・豪州への石油製品の競争力のある供給、国内の原油生産の減少、将来の設備投資、及びこれらの要因が営業利益に及ぼす影響を踏まえ、Altona 製油所の経済的な稼働は困難と判断して稼働停止を決定。 閉鎖後は輸入ターミナルへの転換予定。
⑦ Geelong 製油所	Viva Energy	ビクトリア州 (豪州南東部)	12.8	2027 年まで稼働継続	・Shell が 1954 年に稼働 ・2014 年に Shell が大手国際エネルギー企業 Vitol (Viva Energy は Vitol の傘下)に売却 ・2020 年は、新型コロナウイルス感染拡大に伴う需要の落ち込みを受けて、Geelong 製油所の閉鎖を検討。 ・2021 年 5 月、豪政府の支援を受けて 2027 年までは稼働継続合意,支援は 2030 年までの権利取得
⑧ Lytton 製油所	Ampol	クイーンズランド州 (豪州北東部)	10.9	2027 年まで稼働継続	・1965 年操業開始 ・2020 年は、新型コロナウイルス感染拡大に伴う需要の落ち込みを受けて、年初からの赤字額は1億4100万豪ドルに達した。そこで、Ampol は Lytton 製油所の閉鎖を検討。 ・2021 年 5 月、豪政府の支援を受けて 2027 年までは稼働継続合意,支援は 2030 年までの権利取得

9 製油所中、2 製油所は稼働続行、6 製油所は輸入ニューターミナルに転換、1 製油所は解体となっている。各製油所の立地場所を図表 3.8.10 に示す。豪州の製油所は南部と東部に位置する。今後とも稼働する製油所は、南部に 1 か所、東部に 1 か所のみである。

図表 3.8.10　豪州各製油所の立地場所と閉鎖、稼働状況



３．８．３　豪州石油化学の実態

豪州の石油化学コンプレックスは 1960 年に稼働した。ビクトリア州メルボルン近郊のアルトナとニューサウスシドニー近郊のボタニーに 2 つのコンプレックスがある。
しかし、近年は競争力の低い小規模な石化装置の稼働停止が多い。また、石化関連の投資計画は、豪州の石化製品需要が小さいことから全て白紙撤回されている。

天然ガス利用のメタノール製造 PJ は全て中止になった。三菱ガス化学、日揮、三菱重工業、伊藤忠が豪州ダンビアで進めていたメタノール由来の DME 製造 PJ も中止となった。

1997 年頃から石油化学会社の統廃合も進んでおり、ケムコアやオリカはキノスになり、このキノスは 2006 年に中国藍星集団 China Bluestar（中国化工集団 Chem China の傘下）の 100%出資企業となった（図表 3.8.11 参照）。

豪州の石油化学の立地場所は、製油所と同じで南部と東部である（図表 3.8.12 参照）。中国資本による石油化学の寡占体制は、今後、石油化学素材の安定供給に懸念を残す。

図表 3.8.11　豪州の主要石油化学装置と稼働状況

石化製品	事業会社	所在地	能力	稼働年など	備考
エチレン	キノス	ビクトリア州 アルトナ(メルボルン近郊)	22.5 万 ton/y	稼働中	旧ケムコア
	キノス	ニューサウスウェールズ州 ボタニー(シドニー近郊)	26.5 万 ton/y	稼働中	旧オリカ
	ハンツマン・ケミカル	ビクトリア州 フッツクレイ(メルボルン近郊)	3.5 万 ton/y	2009 年停止	
プロピレン	ビトール	ビクトリア州 ジーロング(メルボルン南西)	12.5 万 ton/y	稼働中	旧シェル
	Shell	ビクトリア州 クライド(メルボルン南東)	6.5 万 ton/y	2013 年閉鎖	
	キノス	ニューサウスウェールズ州 ボタニー(シドニー近郊)	11.0 万 ton/y	1996 年原料 転換で停止	旧オリカ
ブタジエン	キノス	ニューサウスウェールズ州 ボタニー(シドニー近郊)	0.9 万 ton/y	1996 年原料 転換で停止	旧オリカ
LD/LL	キノス	ビクトリア州 アルトナ(メルボルン近郊)	5.5 万 ton/y	稼働中	旧ケムコア
LDPE	キノス	ニューサウスウェールズ州 ボタニー(シドニー近郊)	10.0 万 ton/y	稼働中	旧オリカ
LL/HD	キノス	ニューサウスウェールズ州 ボタニー(シドニー近郊)	9.0 万 ton/y	稼働中	旧オリカ
HDPE	キノス	ビクトリア州 アルトナ(メルボルン近郊)	14.5 万 ton/y	稼働中	旧ケムコア
ポリプロピレン	ライオンデルバセル	ビクトリア州 ジーロング(メルボルン南西)	13.0 万 ton/y	稼働中	2006 年 7 万 ton/y 増強
	ライオンデルバセル	ビクトリア州 クライド(メルボルン南東)	17.0 万 ton/y	2013 年閉鎖	
	キノス	ニューサウスウェールズ州 ボタニー(シドニー近郊)	11.0 万 ton/y	停止中	旧オリカ

図表 3.8.12　豪州石油化学設備の立地場所と閉鎖、稼働状況



3．8．4　日本の水素など新エネルギー海外輸入基地の可能性調査と検討

豪州は、クリーンエネルギー資源にも恵まれているため、新エネルギー輸出国への活路を目指している。日本企業も太陽光発電によるグリーン水素及び CCS によるブルー水素の

エネルギー輸入の共同投資先として開発を進めている。そこで、主にエネルギー安全保障問題の観点から、豪州における動向を調査把握し、日本へのグリーン、ブルー水素などの新エネルギー安定輸入に向けた海外拠点化の可能性を調査検討する。

（1） 豪州のカーボンニュートラル政策

COP26 前の 2021 年 2 月にモリソン連邦政府首相は 2050 年の CO2 排出実質ゼロの実現の目標を明示した。そして、排出削減関連の技術に課税せず、新技術を積極的に推進する姿勢を示している。

新たなエネルギー源として、水素の活用が CO2 排出実質ゼロの目標を達成する上で重要と位置付けている。既存の化石燃料に代わり世界をリードする新たな輸出産業を創出するため、2019 年には国家水素戦略（National Hydrogen Strategy）を発表した。官民双方でさまざまな施策を打ち出している。

豪州は、太陽光発電から得られる電力を使用した電解水素(グリーン水素)製造に優位性がある。水素が既存のエネルギー代替品として普及するために、グリーン水素の製造コストを 2 豪ドル/kg-H2 まで下げる「H2 under 2」を目標としている。

（2） 豪州の日本を含む海外との協業

豪州での水素開発は各国政府からの支持と関心を集めており、連邦政府は国益に反しない限り、積極的に二国間協定を通じたパートナーシップを締結する方針である。

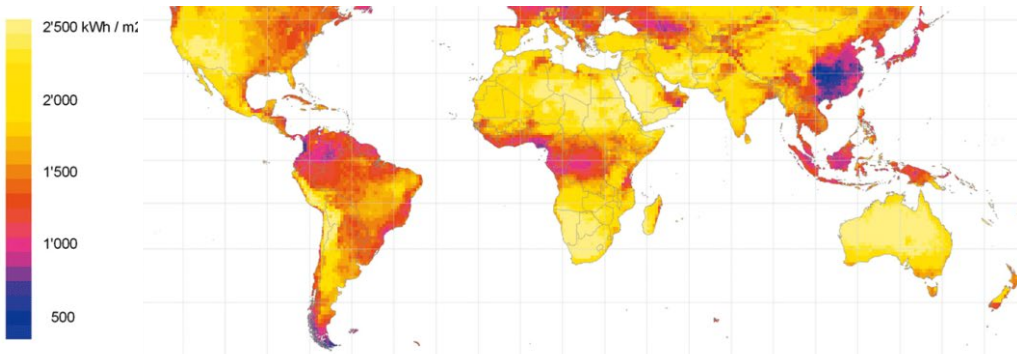
現在、日本、韓国、シンガポール、ドイツ、カナダとのパートナーシップに署名しており、また民間レベルでも欧州・アジアを中心に多くの企業が参画・提携している。

（3） 豪州での太陽光発電の優位性

太陽熱発電には、一般的に年間 2,000kWh/m2 以上の年間直達日射量が得られる、湿気や粉塵の少ない地域が適地とされている。

具体的には，アフリカでは中央アフリカを除く北及び南アフリカ、中東、インド北西部、米国南西部、メキシコ、ペルー、チリ、中国西部と豪州西部などが太陽光発電に優位性が高い（図表 3.8.13 参照)。

図表 3.8.13 世界の年間直達日射量マップ（KWh/㎡/y）



（出所）meteonorm HP

（4） 日本の豪州における再生可能水素事業

日本と豪州は 2020 年 1 月に水素や燃料電池分野の普及や日豪褐炭水素サプライチェーンプロジェクトへの両国の協力に関する共同声明に署名した。民間レベルでは、川崎重工業らが進める日本への液化水素輸出プロジェクト（HESC）をはじめ、多くの日系企業が参画している（図表 3.8.14 参照）。

日本と豪州は、長年にわたり相互補完的な経済関係を築いており、両国は特別な信頼関係を持っている。経済関係の更なる活性化と両国間の関係強化を目標として、2015 年には日豪州経済連携協定（日豪 EPA）が発効された。また、アジア太平洋地域での戦略的パートナーである両国は、環太平洋パートナーシップに関する包括的かつ先進的な協定（CPTPP、いわゆる TPP11）や地域的な包括的経済連携（RCEP）協定においても地域間での協力を深めてきた。
このように経済的な結付きの深い両国にとって、エネルギー及び資源の貿易における長年の歴史に基づき、水素分野の深い協力が期待される。

日本は、太陽光発電などの発電、電解水素製造、アンモニア合成などの多様な技術提供、及び水素受入れ、消費地の確保、運営そして投資などで豪州と Win-Win の関係での大きなビジネスが期待できる。

図表 3.8.14　日本の豪州での再生可能水素事業

事業者，事業名	参加企業	補助金，委託，PJ 費など	事業内容	事業拠点	進捗状況	備考
①日豪水素サプライチェーン構築実証事業 Hydrogen Energy Supply Chain(HESC) ・技術研究組合 CO2 フリー水素サプライチェーン推進機構（HySTRA）と豪州側のコンソーシアムが参画	・HySTRA：J-Power、岩谷産業、川崎重工業、シェルジャパン、丸紅、ENEOS、川崎汽船の 7 社 ・豪州側コンソーシアム：J-Power、岩谷産業、川崎重工業、丸紅、住友商事、AGL Energy の 6 社	・NEDO 及び豪州政府/ビクトリア州政府の補助金 ・総予算：5 千万豪ドル	・豪州 Victoria 州の褐炭から水素を製造・貯蔵・輸送し、日本国内における水素エネルギー利用のサプライチェーンを構築する技術開発と実証。	・ビクトリア州 Latrobe Valley において水素製造（豪州南東部）	・2018 年：日豪官民連携で PJ 開始 ・2021 年：水素製造実証設備が竣工し、褐炭ガス化による水素製造を開始 ・今後、Victoria 州 Hastings 港にて水素液化及び液化水素運搬船への積荷を行い、神戸空港島の液化水素受入基地まで海上輸送の実施。	・水素製造時の副生 CO2 は、豪州連邦政府・Victoria 州政府が進めている CO2 回収・貯留（CCS）プロジェクトと連携し、地下貯留を行う計画
②人工光合成化学プロセス技術研究組合（ARPChem）	・国際石油開発帝石（INPEX）	・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託	・再生可能エネルギーである太陽光と光触媒によって、水から CO2 フリー水素を生成	準州 Northern Territory の州都ダーウィン Darwin（豪州北部）	・2012 年：ARPChem 発足 ・2020 年 12 月：にソーラー水素パネルを、国内よ り日射量が豊富な Darwin に設置完了、有効性の検証を開始。 ・同プロジェクトは 2021 年 12 月まで継続予定。 ・成果は今後の実用化のスケールアップに貢献。	・ARPChem 及び東京大学の触媒開発チームがソーラー水素パネルを開発
③ Kogan 水素実証プロジェクト	IHI と CS Energy(豪州 Queensland 州営電力会社)との共同		・太陽光発電・蓄電池・水電解装置・燃料電池を有する実証プラントによって、太陽光の再エネ電力からカーボンフリー水素を製造・販売するとともに、余剰の再エネを電力市場に販売することを目指す	クイーンズランド州（豪州北東部）	・2021 年：事業化に向けた検討（FS）を開始 ・FS：エネルギーマネジメントシステム設計、水素市場の検証にて、プロジェクトの事業性を評価。 ・事業性評価後に実証プラント建設及び運用の予定。	・IHI は、2001 年運転開始した CS Energy 社の石炭火力発電所（420MW×2 基）を納入 ・IHI は、福島県相馬市 2018 年開設の「そうま IHI グリーンエネルギーセンター」で、Kogan 水素実証プロジェクトと同様設備で構成する地産地消型エネルギーマネジメントシステムを開発・運用の実績あり
④ Toyota Ecopark Hydrogen Demonstration トヨタ・オーストラリア水素センター	トヨタ		・同水素センターでの、太陽光発電の水素製造設備は、200kW の電解槽によって 1 日当たり 80 kgを生産。電解槽の電力は 87kW のソーラーアレイ、100kW の蓄電池設備を持つ。	豪州ビクトリア州アルトナ(Melbourne 近郊)（豪州南東部）	・2021 年 3 月：燃料電池車（FCV）用の水素生産プラントと充填施設の稼働開始。水素は太陽光発電の電力を使用して水を電気分解して生産し、日量最大 80kg の生産能力。	

事業者，事業名	参加企業	補助金，委託，PJ 費など	事業内容	事業拠点	進捗状況	備考
⑤グリーンアンモニア製造輸出事業	IHI と丸紅及び豪州 Woodside Energy 社		・タスマニアの豊富な水力資源を活用した再生可能エネルギー由来のアンモニア（グリーンアンモニア）製造・輸出の事業	豪州タスマニア州（豪州本土南東部の南方海上）	・2021 年 5 月：事業性を検討・調査する覚書を 3 社締結 ・3 社は、タスマニア州 Bell Bay でグリーンアンモニア生産を検討中。 ・水素の製造に使用する水電解装置容量は、当初小規模で開始し、最終的には 250MW まで拡張することによりアンモニア製造量を増やす計画。 ・サプライチェーンに関連する技術及び日本・アジア市場における需要などの検討・ 調査を進める。	・当該 3 社と JERA(東京電力と中部電力の合弁会社)は 2020 年 3 月、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託事業「アンモニア混焼火力発電技術の先導研究」について、実施内容として追加された火力発電所におけるアンモニア混焼に向けたフィージビリティスタディを共同で受託、適用可能性評価を実施した。
⑥大規模太陽光発電事業 Edenvale Solar Park	ENEOS 及び双日		・現在開発中の台湾洋上風力発電事業のパートナーでもある双日とともに 2019 年から開発を進めてきた ENEOS にとって初の豪州における太陽光発電所開発案件。	豪州クイーンズランド州（豪州北東部）	・2021 年 6 月：太陽光発電所建設開始 ・発電容量は、ENEOS 太陽光発電所として最大の 204MW で、発電電力のうち 70%は現地の電力小売会社に固定電力価格で販売する予定。 ・同州政府は 2050 年ゼロエミッションターゲットを掲げており、 今後も再生可能エネルギーの更なる拡大が見込まれる。ENEOS は豪州において CO2 フリー水素サプライチェーン構築に向けた取り組みを進めている。	・事業用地は、ブリスベンから西方約 300km に位置し、 年間を通して日射量が豊富。

事業者，事業名	参加企業	補助金，委託，PJ 費など	事業内容	事業拠点	進捗状況	備考
⑦水素/アンモニアプロジェクト Gladstone Energy and Ammonia Project(GEAP)	豪州の Australian Future Energy（AFE）及び伊藤忠商事		・GEAP は、10 億豪ドル規模の豪州最大かつ最先端のクリーンな水素製造プロジェクト ・主要設備は、石炭供給システムや石炭ガス化プラント、ガス処理プラント、アンモニアプラント、コンバインドサイクルガス発電プラントなどで構成	豪州クイーンズランド州グラッドストン（豪州北東部）	・2021 年 7 月：伊藤忠と AFE は GEAP 支援の覚書に調印 ・今後、基本設計（FEED）が開始予定。伊藤忠は、アンモニアの購入検討及び AFE/GEAP への投資可能性などの検討。 ・フェーズ-1 でアンモニア及び合成天然ガス（SNG）として年間 9 万 1,000 トンに相当する水素を生産	・使用の石炭は、輸出用石炭と競合しない年間 150 万トンの低品質炭で、年間 100 万トン程度の CO2 が排出されるが、すでに Mineral Carbonation International(MCi)などへの販売に基本合意しており、建材製造業向けや炭酸水など食品関連企業にも販売する。 ・MCi は、製鉄所のスラグや火力発電所の石炭灰などのカルシウム/マグネシウムを含む物質に CO2 を吸収して半永久的な CO2 固定化技術を保有。炭酸カルシウムなどの製造でセメントや建材の原料としてリサイクルする。 ・伊藤忠は 2012 年 5 月に、MCi と CO2 固定化技術を活用する事業に向けた協業契約を締結。
⑧Green Liquid Hydrogen Export Project 水素輸出事業	エネルギー大手 Origin Energy と川崎重工業との共同		・再生可能エネルギーでの電解水素の輸出事業	豪州クイーンズランド州 Townsville（豪州北東部）	・現在は実現可能性調査を行っており、2021 年中に水素輸出プラントの基本設計(Front End Engineering Design：FEED)を開始。 ・初期段階として 30kw 規模の電気分解施設を立ち上げ、年間 3 万 6,000 トンの水素を生産し、輸出または豪州国内に供給する計画。	
⑨Stanwell Renewable Hydrogen Production 大規模水素電解プラントの開発と輸出に関するプロジェクト	QLD 州営発電会社 Stanwell と岩谷産業の協業		・太陽光や風力などの再生可能エネルギーにて水素を生産し、液化した上で、大型の水素船で日本に輸入する 計画。最終目標は商業化。	豪州クイーンズランド州 （豪州北東部）	・2020 年 11 月に協業発表。大規模水素サプライチェーンの構築に向け、グリーン水素の製造・液化・輸出事業化の計画を発表。 ・事業に必要な機能の精査、協賛パートナー探し、事業性の精査などの実施。その後具体的な商業化への検討。	・Stanwell：クイーンズランド州の電力の約 3 分の 1 を生産する州営発電会社 ・岩谷産業：日本において水素市場シェアの 70%を持つ

事業者，事業名	参加企業	補助金，委託，PJ 費など	事業内容	事業拠点	進捗状況	備考
⑩水素製造プラント事業	住友商事と日揮グローバル		・太陽光発電を利用したグリーン水素製造プラントの建設計画。プラント設置後の初期段階では、年間 250～300 トンの水素を製造。 ・本 PJ は、グラッドストンにおいて、太陽光由来の電力を主電源として、水の電気分解装置から水素を製造、現地で販売し、地産地消型の水素コミュニティの構築を検討するもの。	豪州クイーンズランド州グラッドストン（豪州北東部）	・2021 年 1 月発表：事業化検討は住商単独で行い、水素製造プラントの基本設計役務を日揮に委託する。 ・2023 年：稼働予定	・グラッドストンは水素製造・販売事業の適地であり、晴天率が高く日照時間が長いので太陽光発電の適地でもある。
⑪H2U Eyre Peninsula Gateway Project	・豪州の Hydrogen Utility（H2U）社が主体 ・三菱重工業が技術協力（2020 年より）	（第 1 段階） ・PJ 費：2 億 4 千万豪ドル ・SA 州の再生可能技術基金：470 万豪ドルの助成金と 750 万豪ドルの融資 ・SA 州 Bonython 港の改修(水素・アンモニア輸出向け）の 3,700 万豪ドルの SA 州補助金	・再生可能エネルギーを利用して水素キャリアとしてのアンモニアを生産するグリーンアンモニア事業	南オーストラリア州 Eyre 半島（豪州中央南部）	・2022 年完工予定(第 1 段階)：電気分解施設(75MW 規模)＋世界最大級のアンモニア生産工場(年間 4 万トン)を Eyre 半島に建設。H2U のプラントは、再生可能エネルギー発電所由来の電力を利用。製造した水素やアンモニアは SA 州内やその他国内に供給。 ・2025 年(第 2 段階)：電気分解施設の規模を 1.5GW 、アンモニア生産を年間 80 万トンに拡大。日本や東南アジア諸国への輸出開始。	・三菱重工業は、豪州のグリーンアンモニア事業に最初の協力。エンジニアリングの協業や、水素ガスタービン、水素コンプレッサの供給などプラントの設計仕様検討段階からの参画。
⑫有機ハイドライド電解合成法の開発	・東京大学主催の水素サプライチェーン構築を目指す社会連携研究 ・ENEOS，千代田化工建設 ・東京大学，豪州クイーンズランド工科大学		・水とトルエンから直接 MCH を製造する「有機ハイドライド電解合成法」と呼ばれる製法を用いて、従来に比べ工程を大幅に簡略化。	豪州及び日本	・2019 年：パイロット段階成功 ・今後、本製法による「CO2 フリー水素」製造技術の社会実装に向けた開発	＜技術検証の工程と役割＞ 豪州地区：高効率の追尾型太陽光発電(クイーンズランド工科大学）⇒有機ハイドライド MCH 電解合成(ENEOS) MCH 輸送：豪州⇒日本 日本国内：MCH から水素取り出し（千代田化工）

事業者，事業名	参加企業	補助金，委託，PJ 費など	事業内容	事業拠点	進捗状況	備考
⑬グリーンアンモニア供給事業	・商船三井（MOL）及び Origin Energy（豪州大手エネルギー企業）		・再生可能エネルギー由来アンモニア（グリーンアンモニア）のサプライチェーン構築に向けて共同検討	豪州タスマニア州（豪州本土南東部の南方海上）	・Origin Energy の FS：2026 年の輸出開始を目指してタスマニア州 Bell Bay でグリーンアンモニア輸出プロジェクトの FS 実施済み、500MW の水力発電所で水素製造し、年間 50 万トンのアンモニアを生産する計画。 ・2021 年 8 月：2 社の共同検討の覚書調印 ・2021 年 12 月目途：グリーンアンモニア海上輸送方法探索及び日本/アジアの需要調査により、サプライチェーン構築の課題を 2 社共同で検討。	
⑭グリーン水素製造とサプライチェーン構築の FS	・伊藤忠商事 ・DBHex Management（豪州 Dalrymple Bay Infrastructure（DBI）傘下） ・豪州 North Queensland Bulk Ports（NQBP）政府企業 ・豪州 Brookfield Infrastructure Group（カナダ Brookfield Asset Management（Brookfield）傘下）	クイーンズランド州政府が所有する Dalrymple BayTerminal（DBT）の遊休地を活用してグリーン水素の製造と貯蔵、及び輸出港湾港の利用	・豪州でのグリーン水素製造及び貯蔵、及び豪州からのグリーン水素輸出を含めたサプライチェーン構築に関する事業化調査	豪州クイーンズランド州（豪州北東部）	・2021 年 8 月：事業化調査 FS の合同実施の合意 ・2021 年中：第 1 段階の事業化調査開始。商業生産に向けて段階的に調査を実施。 ・伊藤忠：脱炭素社会を見据えた将来的な日本への供給を含めたグリーン水素サプライチェーンの構築を目指す。	・DBT：Queensland 州政府が指定する再生可能エネルギーの開発地帯である Renewable Energy Zone の中心に位置。有望なグリーン水素生産拠点。 ・DBT が含まれている Hay Point エリア：Queensland 州政府から持続可能な開発に適切な港湾として指定。既存輸出設備の改修や拡大により水素の輸出体制整備に適した港湾であり、グリーン水素サプライチェーン構築に最適なロケーションの 1 つ。

３．９ アジア調査の考察

（１） 中国の石化民営大手企業は、繊維産業から石油化学へのバックインテグレーションにより、中間留分から石油製品と石化原料を選択できるようになった。日本のコンビナートも燃料需要急減に柔軟に対応できる製造を含めた輸出入体制構築に取込むべきである。石油化学の存続なくして石精石化の融合も異業種との連携も不可ということを念頭に日本の石化シフト、次世代の姿を用意すべきである。

（２） 日本と豪州は、太陽光・風力などの発電、電解水素製造、アンモニア合成などの多様な技術提供、水素受入れ、消費地の確保、運営、投資などにおいて Win-Win の関係を結ぶことで、大きなビジネスが期待される。

（３） 日本は、世界の新エネ、公害防止フロントランナーとして、アジア圏新興国に省エネ、環境汚染防止先端技術・設備の輸出を進めていくために、コンビナート現場における究極の技術開発を続けていく必要がある。

（４） 当面の間、石油は日本のエネルギー・素材安定供給のメインプレーヤーである。2050年のカーボンニュートラルへの長い道のりを考慮すると、災害に強靭な石油エネルギー供給を保証していく必要がある。同時に、再生可能エネルギーやカーボンリサイクル技術をコンビナートに社会実装していくために、化石燃料に加えて、水素、アンモニア、バイオ・合成燃料などの脱炭素燃料供給の両立を図るべきである。

（５） 環境保全に関わる政策、思惑などを総括すると、コンビナートの性急な脱炭素化は、アジア圏における日本の競争力を大きく損なうリスクがある。アジア新興国のカーボンニュートラル政策と企業との信頼ある協業は不可欠である。今後とも、アジア圏の諸国の環境・経済政策と、既存の代表的コンビナートの追跡調査を継続する必要がある。

（６） 日本において、高機能設備、大型入出荷桟橋及び貯蔵設備の余力が今後とも発生する石油精製がメインプレーヤーとなって石化製品比率が高く、かつカーボンニュートラルなミックスシステムを段階的に築き上げていくことが現実的なロードマップである。

４．海外石油コンビナートの設備戦略調査－米国新政権下の戦略

４．１ 調査の背景と目的、視点、コロナ禍における調査方法

４．１．１　調査の背景と目的

「気候変動は実在する国家安全保障上の脅威だ。野心的な計画で立ち向かう」と、バイデン新大統領は環境政策を重視する。2050 年までに温室効果ガスの排出を実質ゼロにすることを掲げ、パリ協定にも復帰した。米国の動きは、シェール革命はじめ、世界の地政学はもとより、世界の石油・化学産業他に大きなインパクトを与え続けてきた。特に、井戸元から輸出基地までの広域一貫のシェールチェーンを構築し、世界最強の国際競争力を有すPADD3 が低炭素化に向けてどのような戦略を繰り出してくるか、競争力の源であるチェーンの分断を如何に回避するか、日本のコンビナートにとって参考にすべき点が多い。米国の急変動向を上位の政策からエネルギー・素材、環境分野へと段階的に調査し、日本のコンビナートの足元、エネルギー転換期、長期の設備戦略構築に資するものとする。

４．１．２　調査視点、調査方法と主な調査先

・調査の視点

世界の資源エネルギー進路に大きな影響を及ぼす米国企業の事業戦略を正確に把握し、予測するには、その上位の国家政策にも触れる必要がある。その上で新型コロナ後を見据えた米国企業の事業展開の考え方及び戦略、環境保全事業への取り組み方を調査・検討することにした。

・調査方法

引き続くコロナ禍で、現地調査が不可能な状況において、リアルな調査とするために、調査対象企業の事業戦略を反映する株主向け限定資料等、可能な限り現地に近い情報収集と分析を目指す。

・主な調査先

世界の三大産油産ガス資源国の一つである米国にあって、エクソンモービル社の存在は大きい。「米国の中のもう一つの国」「大統領は変わるがエクソンはエクソンであり続ける」と豪語してきた世界大メジャーのシェール革命第２波及びバイデン政権が掲げる環境政策への今後の事業戦略は、世界のグリーンディールの進展に極めて重要なインパクトを与える。また、米国シェール革命の立役者でもある中流企業の元気の良さには、コロナ禍にあっても、米国のアニマルスピリットを感じる。中でも、中流の雄であるエンタープライズプロダクツ（EPD 社）のシェール革命第２波への投資及び化学事業への進出モデル、CO2 低負荷への取り組みの把握は、今後の米国エネルギー変革を予測する上で重要である。

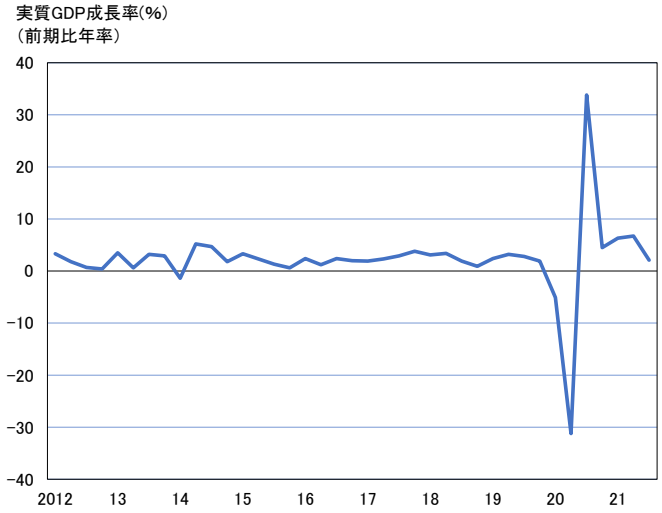
４．２　米国経済回復とエネルギー消費量変化、石油及び石油化学産業の復帰

４．２．１　米国コロナ禍ショックの実態とエネルギー消費量回復トレンド

（１） 米国景気の回復ペースが加速

世界経済の回復は、米中が牽引しており偏極化している。米国の直近の 2021 年 7-9 月期 GDP 成長率は前期比年率 2.1％と前期 4-6 月期（6.7％）から鈍化しているが、5 期連続のプラス成長であり、コロナ禍からの回復は続いている（図表 4.2.1 参照）。

図表 4.2.1　米国の景気回復ペース



（出所）米国商務省 GDP 統計 2021 年

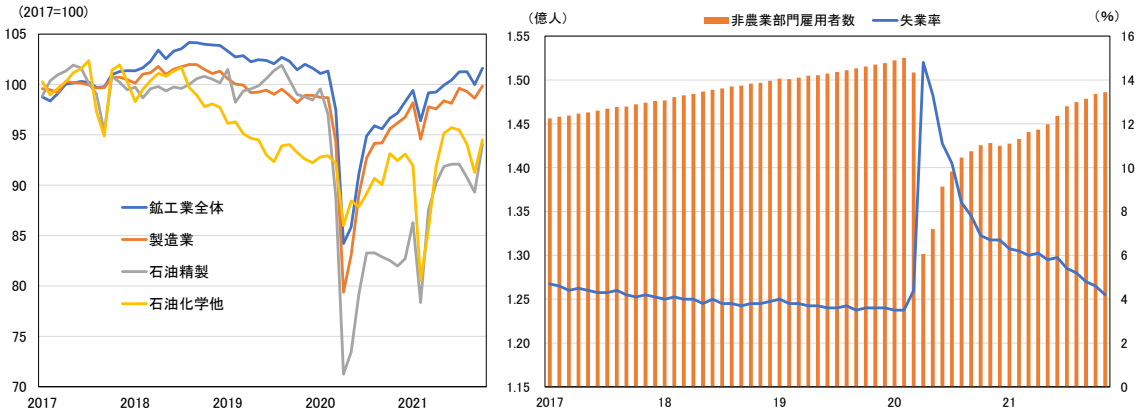
今後について個人消費を中心に回復が持続するとみられる。11 月に議会で可決・署名された総額 1 兆ドルのインフラ投資法の施行や議会で審議されている「Build Back Better」法案の成立は景気回復をさらに後押しするだろう。今後の懸念材料は、米国景気の急速な回復に伴うインフレ圧力の高まりと金融政策変更による金融市場の混乱などが挙げられる。IMF による米国経済の見通し（2021 年 10 月時点）は、2021 年 6.0%、2022 年 5.2%としている。米国は、1-3 月期の実質 GDP 成長率（改定値）は、前期比年率＋6.4%と、前期（4.3%）から加速した

（２）　米国生産は増加、雇用の増勢は鈍化

図表 4.2.2 に、コロナ禍ショック後の米国鉱工業生産指数を示す。

鉱工業生産はコロナ禍の 2020 年 4 月に 2020 年初から 17%、製造業は同 20%下落したが、その後は回復に転じている。21 年 2 月に生産の落ち込みがあったが、これは南部での大寒波襲来による生産活動の停止が影響している。また 9 月にも少し落ち込んでいるが、半導体不足による自動車等での生産制約の影響が出てきている。

図表 4.2.2　コロナ禍ショック後の米国鉱工業生産指数と雇用状況



（出所）米国連邦準備理事会「鉱工業生産」、米国労働省「雇用統計」、2021 年

石油精製についてはコロナ禍の 2020 年 4 月、大寒波の 21 年 2 月、半導体不足の 9 月いずれも生産の落ち込みが鉱工業生産全体と比べても顕著に見られた。
一方、石油化学についてはコロナ禍での落ち込みは鉱工業全体よりも限定的であったが、大寒波と半導体不足の時はかなり低下した。コロナ禍についていえば巣ごもり需要に伴う電子商取引(EC)の活発化で包装材料需要が高まり、関連石油化学の生産活動が旺盛となり、コロナ禍の影響を一部相殺したことがある。

（3）　米国のエネルギー消費量は 2020 年に記録的な 7%減少

米国エネルギー情報局（EIA）の Monthly Energy Review によると、2020 年の米国のエネルギー消費量は 2019 年の 101.393 から 95.893 兆英国熱量単位（クワッド）に、2019 年から 7%減少した。
2020 年は、1949 年以来、米国のエネルギー消費量及び割合（%）の両方で最大の年間減少を記録した。2020 年のエネルギー使用量の減少の多くは、ひとえに、2020 年の春に米国で始まった新型コロナパンデミックへの経済ショックに起因する。

2020 年以前、米国のエネルギー消費量に記録された最大の年間減少は、2008 年から 2009 年の間に発生し、景気後退の間に消費量が 5%減少した。
米国のエネルギー消費のその他の大幅な年間減少は、1980 年代初頭と 2001 年の景気後退の間に発生した。

（4）　2020 年の分野別エネルギー消費実態

図表 4.2.3 に、1950～2020 年における米国の分野別エネルギー消費量推移を示す。
①のとおり、一次エネルギー消費は 2020 年に、前年比で過去最大の下落を記録した。
2020 年における各分野別のエネルギー消費実態を下記する。

・産業部門

2020 年、米国の産業部門のエネルギー消費量は 5%減少して 31 クワッドになった。
2020 年に多くの製品に対する米国の需要が減少したため、エネルギー集約型の産業部門

は、原油と天然ガスの生産量が少なくなり、したがって、これらの製品の生産、精製、及び処理に消費するエネルギーも少なくなった。米国産業による全ての主要なエネルギー源の消費量は減少した。石炭の使用量は 16%減少し、石油は 4%減少し、天然ガスは 2%減少した。産業への電力の小売売上高は 8%減少した。

・運輸部門

2020 年、米国の運輸部門のエネルギー消費量は 15%減少して 24 クワッドになった。

これは、ほぼ完全に旅行用の石油使用量の減少に起因する。米国では 2020 年に多くの旅行制限が制定され、一部の制限が緩和された後も、石油需要は以前のレベルよりも低いままであった。

2020 年の感謝祭の週の米国のジェット燃料の使用量は 2019 年の量の約半分だった。全体として、米国の運輸部門によるジェット燃料の消費量は 38%減少し、ガソリンは 13%減少、ディーゼルは 7%減少した。

・住宅部門

2020 年、米国の住宅部門のエネルギー消費量は 1%減少し、21 クワッド未満になった。

2020 年のさまざまな外出禁止令により、人々が自宅で過ごす時間が増えたため、米国の住宅部門への電力販売は 2%増加した。しかし、2020 年は比較的温暖な年であり、家庭用暖房のエネルギー消費量は減少した。

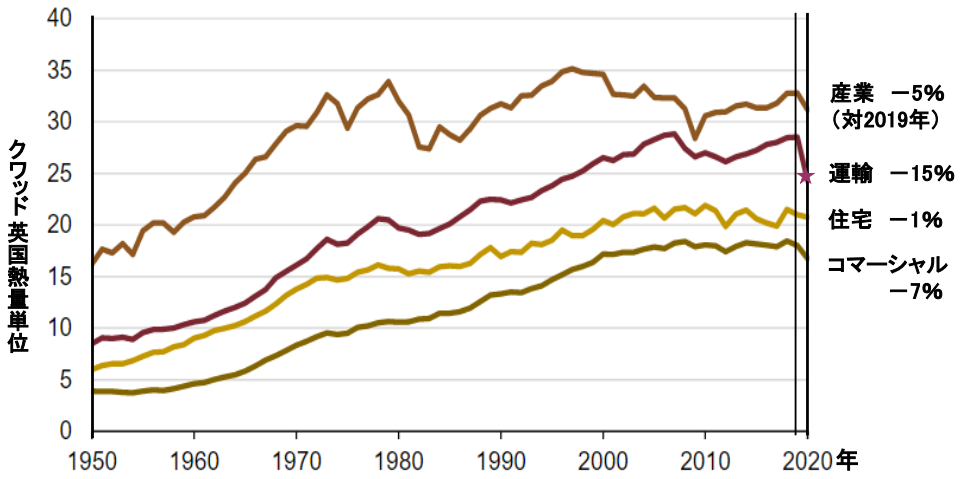
米国のバイオマス（主に木材）の住宅消費量は 16%減少し、石油は 11%減少し、天然ガスは 7%減少した。

・コマーシャル部門

2020 年、米国経済のコマーシャル部門によるエネルギー消費量は 7%減少して、17 クワッド未満になった。

閉鎖されたオフィスや企業、在宅勤務の注文、及び比較的暖かい冬の天候は、商業エネルギー消費の削減につながった。米国の商業用天然ガス消費量は 11%減少し、商業部門への電力小売売上高は 6%減少した。

図表 4.2.3　米国の分野別エネルギー消費量推移（1950 - 2020 年）



（出所）EIA　Monthly Energy Review, 2021 年 4 月 5 日

（５） 各エネルギー生産実態（2019 年対比）

米国の石炭生産量は、2019 年から 2020 年の間に 25%減少して 11 クワッド未満になり、過去最大の年間減少率を記録した。2020 年の米国の石炭生産量は、1998 年のピーク時の半分以下で、天然ガスと再生可能エネルギー資源が長年にわたって発電構成のシェアを増やし石炭に取って代わったためである。

米国の原油生産は、2019 年に過去最高を記録した後、2020 年に 8%減少した。新型コロナウイルスへの世界的な対応の結果として 2020 年 3 月に石油需要が急減したため、原油事業者は生産を減少させた。

米国の気体天然ガス生産は、過去 9 年間のうち 8 年間で増加、2019 年に過去最高を記録したが、2020 年には 0.6 クワッド、2%減少した。一方、LNG の生産量は、2020 年に 7%増加した。

米国の再生可能エネルギー生産は、主に風力と太陽光からの発電量の増加により、2019 年から 2020 年の間に 2%増加し、2020 年には過去最高の 11.8 クワッドになった。2019 年、米国の再生可能エネルギー生産は初めて米国の石炭生産を上回った。米国の風力エネルギー生産は 14%増加して 3 クワッドになり、米国の太陽エネルギー生産は 23%増加して 1.2 クワッドになった。米国の水力発電と地熱エネルギーの生産は横ばいだったが、バイオ燃料と木材を含むバイオマス生産は 8%減少した。

４．２．２ 米国エネルギー関連の CO2 排出量は 2020 年に 11%減少

（１） 米国のエネルギー関連からの CO2 排出量推移

・世界のエネルギー関連 CO2 排出量推移

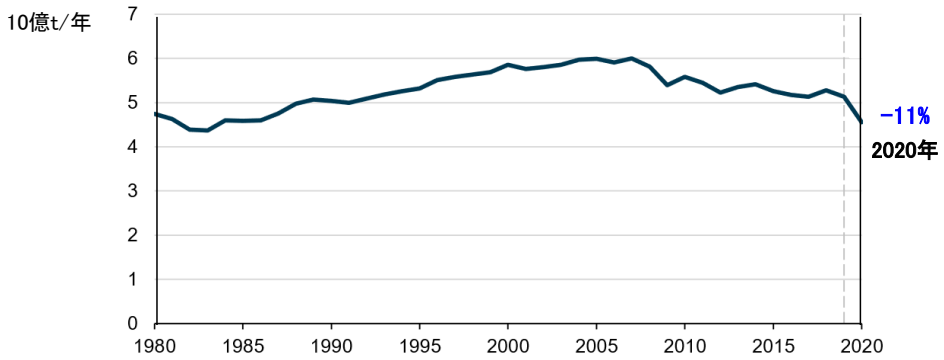
2020 年の CO2 排出量は、26 億トン減少するとされているが、1900 年以来、最大の削減量かつ、最大の削減割合となった。2019 年比の減少量は、日本の年間 CO2 排出量の 2 倍もの量が減少することになった。

・2020 年の米国のエネルギー由来 CO2 排出量

米国エネルギー情報局（EIA）の Monthly Energy Review によると、新型コロナパンデミックに関連する制限によって、2020 年の米国のエネルギー由来の CO2 排出量は前年比で 11%減少した（図表 4.2.4 参照）。CO2 排出量減少量、減少率とも EIA がデータを取り始めた 1949 年以降で、最大となる。2012 年以降で初めて全部門で排出量が前年比で減少した。

発電部門では、石炭火力発電からの CO2 排出量は前年比-19%、天然ガス火力発電は-3%となった。なお、化石エネルギー発電量は減少したが、2020 年に風力・ソーラー発電量は対前年比 17%増加した。米国での再生可能エネルギー源へのシフトは、発電量あたりの炭素排出量（炭素強度）の削減にも寄与した。

図表 4.2.4　米国のエネルギー関連 CO2 排出量の推移（1980 - 2020 年）

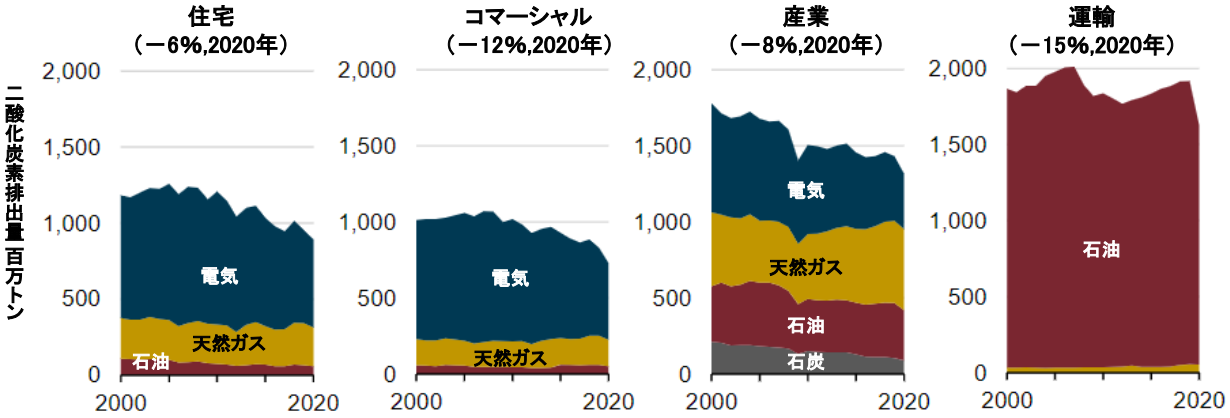


（出所）　Short-Term Energy Outlook, May 2020 、EIA

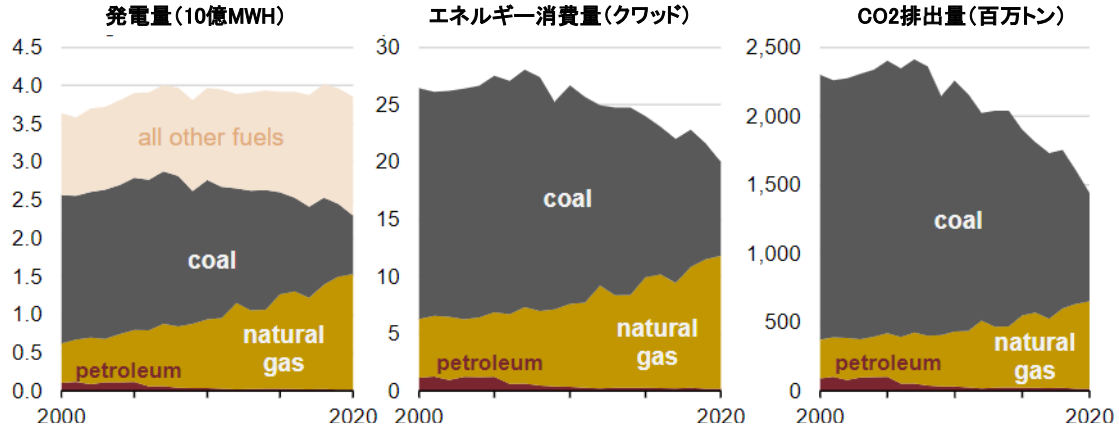
（２）　米国消費部門における各エネルギー由来別の CO2 排出量推移

図表 4.2.5 と図表 4.2.6 に、米国のエネルギー消費部門別の燃料由来別の CO2 排出量推移と、発電量に対する各燃料消費量内訳と各燃料それぞれからの CO2 排出量を示す。

図表 4.2.5　米国消費部門における各エネルギー由来別の CO2 排出量推移（2000 - 2020）



図表 4.2.6　各燃料由来の発電量、エネ消費、CO2 排出量の推移（2000 - 2020 年）



（出所）EIA　MonthlyEnergy Review, 2021 年 4 月 12 日

・住宅部門からの CO2 排出量

住宅部門のエネルギー使用に関連する CO2 排出量は 2020 年に 6%減少した。

住宅からの CO2 排出量の減少の多くは、エネルギー消費量の減少ではなく、電力部門の炭素強度の減少に起因している。パンデミックの間、在宅勤務者の数は増加したが、2020 年も比較的穏やかな冬の天候だった。

これらの相反する消費効果は、住宅のエネルギー消費のわずか 1%の減少につながった。

その結果、住宅用の石油排出量は 11%、天然ガスは 7%、電気は 5%減少した。

・コマーシャル部門からの CO2 排出量

エネルギー使用に関連する CO2 排出量は、2020 年にコマーシャル部門で 12%減少した。この排出量の減少の一部は、パンデミックの制限によるものである。

商用電力使用に起因する CO2 排出量は 13%減少した。商業用石油と天然ガスの排出量は、それぞれ 13%と 11%減少した。

・産業部門からの CO2 排出量

エネルギー関連の CO 2 排出量は、2020 年に産業部門で 8%減少した。この減少の殆どは、新型コロナへの対応に起因する製造業の減速によるものである。

石炭からの排出量は 15%、電気からの排出量は 15%、石油からの排出量は 8%、天然ガスからの排出量は 2%減少した。

・運輸部門からの CO2 排出量

エネルギー関連の CO 2 排出量は、主に旅行の減少で 2020 年に運輸部門で 15%減少した。パンデミックの制限により、在宅勤務やオンライン会議が通勤や対面の会議に取って代わることが増えた。国内及び海外の空の旅も同様に減少した。

石油は通常、運輸部門の CO2 排出量の大部分を占めており、2019 年と比較して 15%の排出量の減少が見られた。輸送に使用される天然ガスからの排出量は 1%減少した。

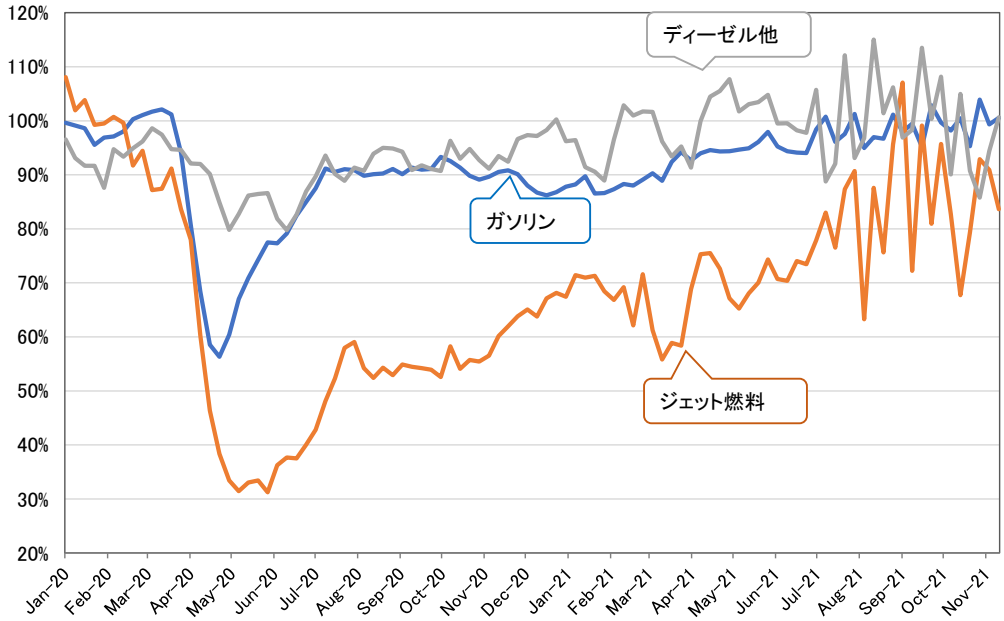
・各燃料由来の発電量

発電量は、2005 年頃から 2020 年にかけて概ね石炭が減少し、その減少分以上に天然ガスが増加を続けている。

４．２．３　米国経済回復による燃料油消費量の増加トレンド

図表 4.2.7 のコロナ禍前後の燃料油消費推移によれば、ガソリンとジェット燃料の消費が昨春急落した。その後、これらの消費は回復に転じたが、ガソリン需要は経済活動の再開と同時に移動も活発となったことで 2021 年夏にほぼ 2019 年の消費水準まで戻った。

図表 4.2.7　米国の燃料油消費推移（2021 年の 2019 年度月比：4 週間移動平均）



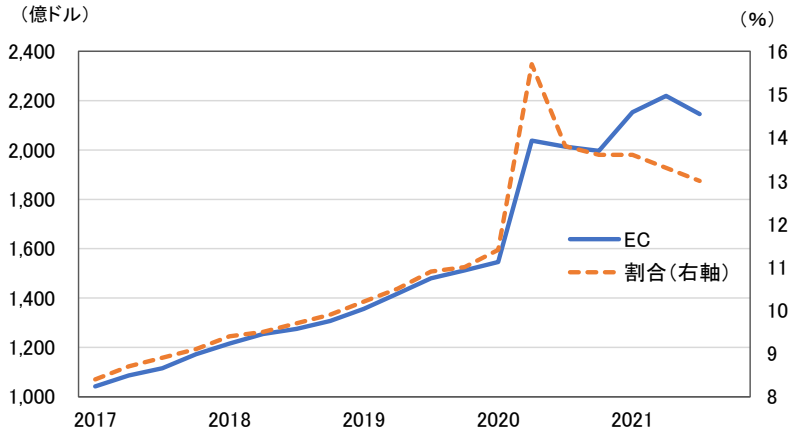
（注）凡例の%は、2020 年、21 年の当該週（4 週間移動平均）と 2019 年の当該週（同）との割合を指す。

（出所）米国 EIA, "Weekly Petroleum Status Report" 各週号

一方、ジェット燃料について国内線はともかく国際線が依然として利用が低水準なため、同燃料需要は戻っていない。IATA（International Air Transport Association：国際航空運送協会）によると、実際、2021 年 10 月の米国の国内線需要は 2019 年のコロナ前の 9 割近くまで戻ってきているが、国際線需要は 2019 年の同期時の半分以下の状況である（IATA、2021 年 10 月）。ジェット燃料需要は直近 2021 年 11 月時点で 2019 年の 8 割程度であり、また同消費の変動も激しい。

対照的に、ディーゼルはガソリンやジェット燃料に比べるとコロナ禍による落ち込みは限定的であった。巣ごもり需要の増大とそれに伴う電子商取引（EC）需要の発生・増加によるところが大きい。2020 年 4－6 月期には EC は前期の 1,546 億ドルから急上昇して 2,000 億ドルを突破し、その後も高水準で推移した（図表 4.2.8 参照）。そのため、これらの商品を運ぶためのトラック等による輸送が活発となり、関連燃料需要が生じた。

図表 4.2.8　米国の電子商取引（EC）と個人消費全体に占める割合の推移



（出所）Department of Commerce, "Latest Quarterly E-Commerce Report"

４．２．４　米国一次エネルギー生産と消費量の推移と長期予測

米国の一次エネルギー生産量と産業別エネルギー消費の推移と、EIA による 2050 年までの予測を示す。なお、予測ではコロナ禍による短期的な影響は含まれてない。また、リファレンスケースの経済成長率は、1.9%である。

（１）　米国のエネルギーの生産量と消費量

図表 4.2.9 に米国のエネルギーの生産と消費の推移と長期見通しを示す。

・米国の 2020 年一次エネルギー生産量

一次エネルギーの生産量は、9.6 京英国熱量単位（British Thermal Unit ： BTU）となり、2019 年から 5.5%低下した。

エネルギー別に見ると天然ガスが 3.5 京 BTU と最大の生産量であるが、前年からやや減少した。最大の減少幅を記録したのは石炭であった（1.1 京 BTU と前年から 0.3 京 BTU 減少）。

・米国の一次エネルギー長期生産量予測

米国エネルギー見通し 2021 年版（Annual Energy Outlook 2021:AEO2021）によると、一次エネルギー生産量は年率 0.6%で増加して 2050 年には 11.7 京 BTU に達する。

昨年の米国エネルギー見通し 2020 年版と比較しても大きく変わっていない(11.8 京 BTU)。

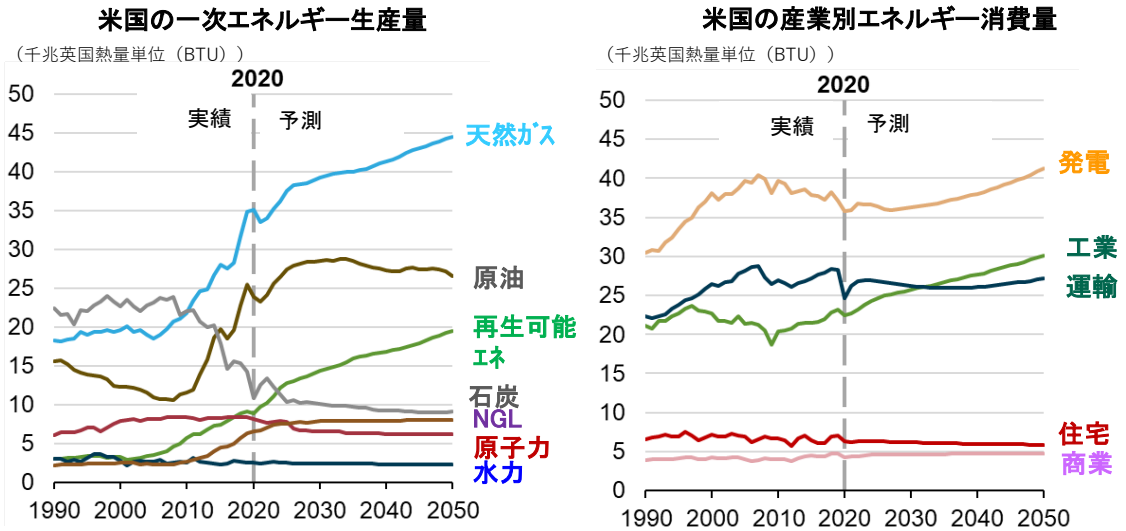
内訳を見ると、天然ガスと再生エネルギーが 2005 年頃から継続的に増加している。それぞれ年率 0.8%、3.9%で増加してそれぞれ 4.5 京、2.0 京 BTU まで増加する。

・米国の 2020 年一次エネルギー消費量

一次エネルギー消費量は、9.3 京 BTU と前年から 7.3%低下した。産業別では、発電によるエネルギー消費が 3.6 京 BTU と多かったが、前年からは若干減少した。

大きく減少したのは輸送である（2.4 京 BTU と前年から 0.4 京 BTU 減少）。

図表 4.2.9　米国の一次エネルギー生産と消費量推移と長期予測



（出所）米国 EIA, "Annual Energy Outlook 2021" February 2021

・米国の一次エネルギーの長期消費予測

AEO2021 によると、一次エネルギー消費量は年率 0.5%で増加して 2050 年には 10.9 京 BTU に達する。こちらも昨年の米国エネルギー見通し 2020 年版と比較して大きく変わっていない（11.0 京 BTU）。

内訳を見ると、発電によるものが相変わらず多いが、次に産業による消費（3.0 京 BTU）が輸送による消費（2.7 京 BTU）を超える見通しとなっている。

４．２．５　PADD3 製油所における処理原油の変化

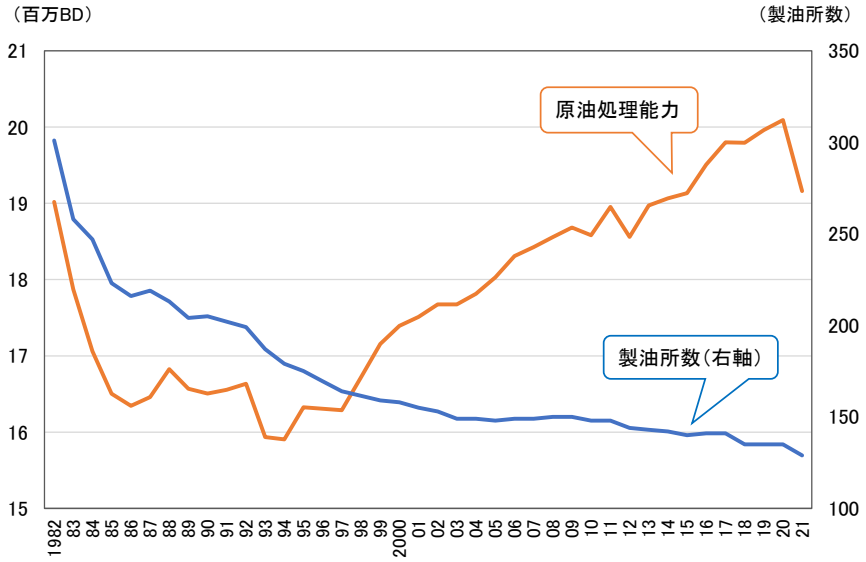
（１）　米国の製油所数と処理能力推移（1982-2021 年）

・コロナ禍の米国の製油所数と原油処理能力に及ぼした影響

米国の製油所数は 1982 年の 250 から 2019 年には 132 箇所に減少したが、処理能力は 2019 年に過去最大の 20 百万 BPSD まで増加した。

したがって、製油所における平均処理能力は 1982 年から 2.2 倍（76 千→150 千 BPSD）に上昇し、日本の 1 製油所当たりの平均処理能力と全く同じになった。しかし、コロナ禍で製油所数は更に減少を続け、2020 年には 129 カ所となった。米国全体の原油処理能力は増加基調で推移していたが、2020 年については新型コロナの影響で急落した（図表 4.2.10 参照）。

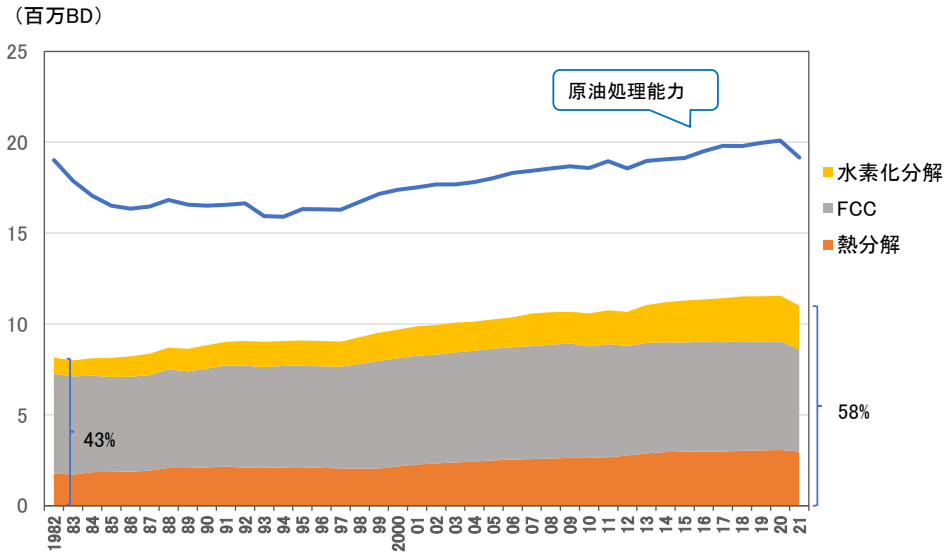
図表 4.2.10　米国における原油処理能力



（出所）米国 EIA

2020 年は熱分解、流動接触分解（FCC）、水素化分解あわせて処理能力の 58%を占めており、シェアについては 2019 年と変わらない水準である（図表 4.2.11 参照）。その後、処理能力が回復していくか注視する必要がある。

図表 4.2.11　米国における分解装置能力の増加



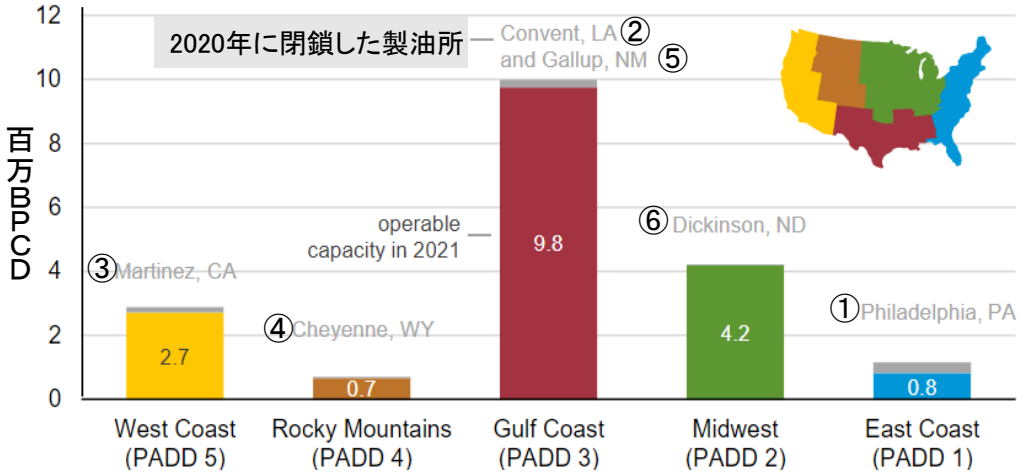
（出所）米国 EIA

（2）　コロナ禍直撃、再生可能燃料導入の高まりによる事故製油所、小規模製油所の淘汰

2020 年春のコロナ禍で以降、燃料油の需要は記録的に下落し、製油所のマージンは極端に悪化した。厳しい市場環境に加えて、再生可能なディーゼル生産への市場の関心の高ま

りも加わり、製油所の縮小または既存の計画再構築で、米国製油所が 6 箇所閉鎖された（図表 4.2.12 参照）。米国の TOP 能力は、4.5%減少し 2021 年の初めには 1,810 万 BPCD になった。（図表 4.2.13 参照）

図表 4.2.12　米国の PADD 別精製能力と閉鎖製油所（2021 年）



①ペンシルベニア州**フィラデルフィア**のフィラデルフィア　　BPCD
エネルギーソリューション製油所　：335,000
②ルイジアナ州**コンベント**のシェル製油所　：211,146
③カリフォルニア州**マルチネス**のテソロ（マラソン）製油所　：161,000
④ワイオミング州**シャイアン**のHollyFrontier製油所　：48,000
⑤ニューメキシコ州**ギャラップ**のWestern Refining製油所　：27,000
⑥ノースダコタ州**ディキンソン**のダコタプレーリー製油所　：19,000
（①～⑥閉鎖製油所合計能力　80.1146万BPCD）

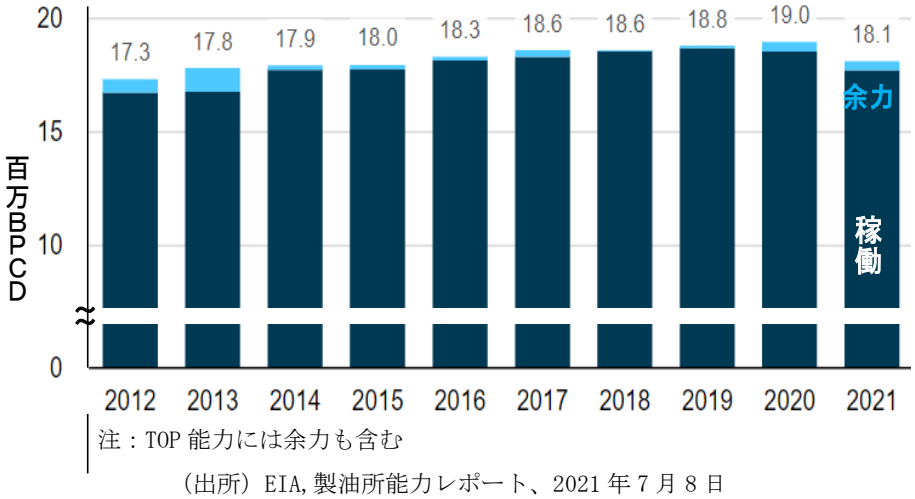
注：2020 年の製油所能力レポートには存在したが、2021 では削除された製油所能力を反映

（出所）EIA，製油所能力レポート、2021 年 7 月 8 日に基づき作成

2021 年の年次製油所能力レポートに基づくと、米国の精製能力は 2021 年中に拡大することはない。

重大事故で再稼働に多くの投資を伴う製油所、小規模で収益力の弱い製油所は淘汰の対象になった。特に、2019 年、ペンシルベニア州フィラデルフィアにある 33.5 万 BPCD の大規模能力のフィラデルフィアエネルギーソリューション（PES）製油所は大規模な製油所事故が発生して以来、操業を再開していない。2021 年 1 月 1 日の時点で、この製油所は完全に閉鎖されていると見なされた。

図表 4.2.13　米国 TOP 能力推移（2012－2021 年）



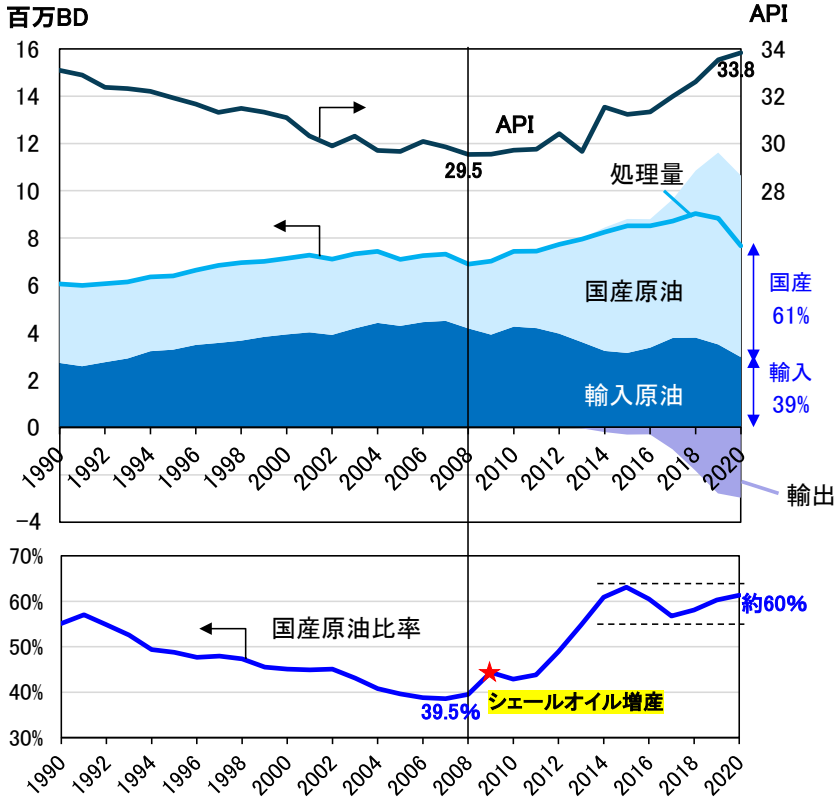
注：TOP 能力には余力も含む

（出所）EIA, 製油所能力レポート、2021 年 7 月 8 日

・PADD3 湾岸地域製油所における国産原油量増加と軽質化トレンド

シェールオイルの増産に伴って、国産原油処理比率がアップすることで、原油処理油種が軽質化した。米国の 60%以上を占める PADD3 では、大幅に軽質化のトレンドを辿っている（図表 4.2.14 参照）。

図表 4.2.14　PADD3（湾岸地域）の製油所における原油処理内訳



（出所）EIA データから作成、2021 年 9 月

PADD3（湾岸地域）における国産原油の生産量はシェールオイルの増産によって2009年頃から増加している。原油輸出禁止措置が 2015 年 12 月に解除された後、さらに国産原油が増産され、輸出量は2020年に297万BDに達した。中国、オランダ、インド、韓国などを中心に輸出されている。

PADD3 の製油所における国産原油の処理比率も 2008 年の 39.5%から上昇し、2014 年以降は60%程度を推移している。PADD3 における処理原油の API も 2008 年の 29.5 から上昇を続け、2020 年には 33.8 まで軽質化した。

・FCC 分解型からハイドロスキミング型に構造転換試行の経営判断（シェブロン社）

米国では、シェールオイル田に近接する製油所は、シェールオイルが身近に手に入れることができることから、安価な超軽質のシェールオイルを専ら、蒸留精製するだけで高品質の石油製品が生産できる。

したがって、シェブロンは、プラントの再構成の可能性の一環として、テキサス州パサデナの製油所（112,229BPD）にある FCC を完全に閉鎖することを検討している。FCC は、6月 1 日に、誤動作によりシャットダウンされたことをきっかけに、FCC を修理することが理にかなっているのかどうか調査している。この FCC 稼働可否の決定は、ヒューストンに関するシップチャンネルの製油所をより単純なハイドロスキミング構成に変換することになる大きな構造転換である。

全て原油輸入に依存し、少しでも安価な重質原油を分解して、高品質の石油製品を生産供給する日本の石油精製とは事情が大きく異なる。

（3） 米国の原油生産及び輸入の推移

図表 4.2.15 に米国の原油輸出入推移を、図表 4.2.16 に原油輸出先を示す。

・米国の原油生産

2020 年春からのコロナ禍の影響を受けて落ち込んだが、その後、生産は回復に転じる。しかし、回復ペースは緩やかである。2021 年 2 月にも原油生産が急落したが、これは米国南部での大寒波の襲来による原油生産の活動停止が大きい。原油輸入も生産と同様の動きとなっている。

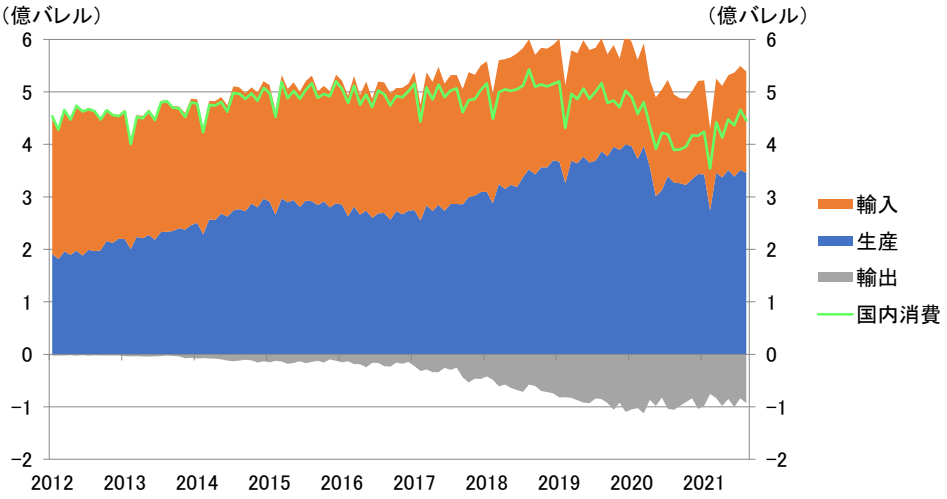
・米国原油の輸出

2020 年以降の原油輸出は、日量 200 万バレル台後半から 300 万バレルまでての横ばい、もしくはやや低下して推移している。

輸出先別では、中国や韓国などのアジア地域向けが伸ばしており、輸出全体の 4 割以上を占めている。とりわけ中国向けが伸びており、2020 年には日量 57 万バレルとカナダを抜いてトップとなった。これは 2019 年に締結した米中貿易協定第一段階合意の影響が大きい。

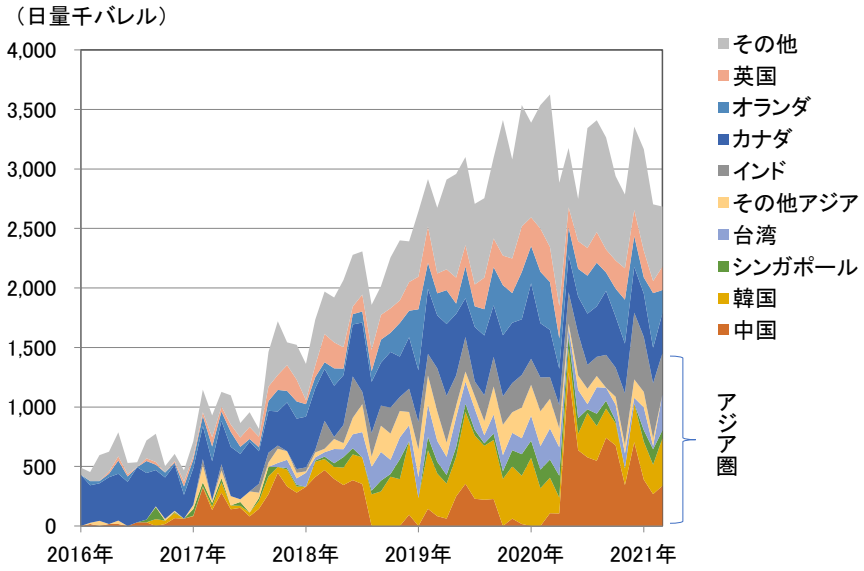
今後について米国 EIA の短期エネルギー見通し 2021 年 12 月号によると、21 年 11 月時点の日量 1,167 万バレルから 22 年末にかけて同 1,220 万バレルと 50 万バレル超増えるにすぎないとしている。その背景には、米国原油生産の主力を担うシェールオイル事業の損益分岐点の上昇が関係する。

図表 4.2.15　原油生産・輸出入の推移



（出所）EIA

図表 4.2.16　原油輸出の国別推移

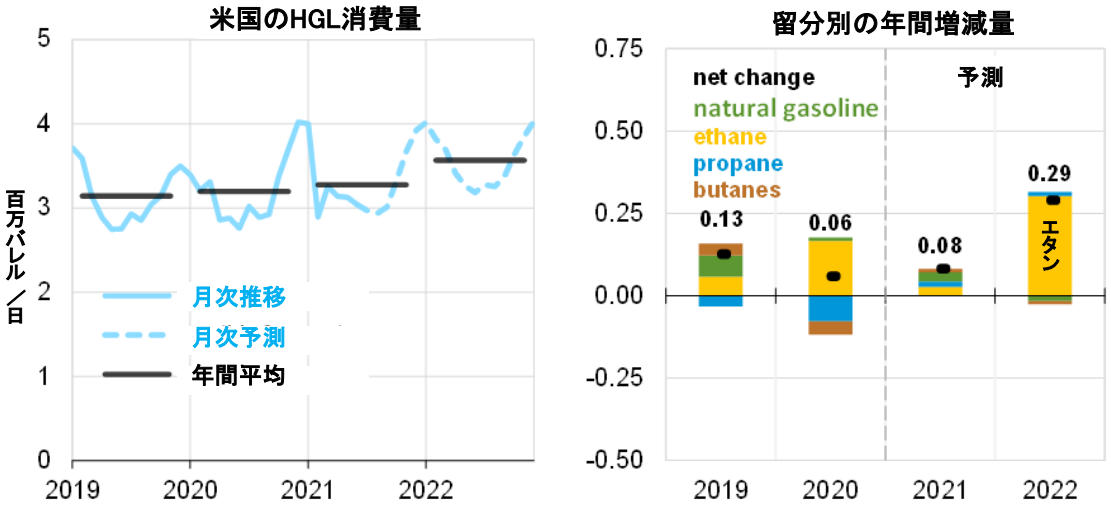


（出所）EIA

（４）　炭化水素ガス液の供給

HGL（Hydrocarbon Gas Liquid）の天然ガスプラント生産は 2021 年に 10 万バレル/日増加し、2022 年にはほぼ 30 万バレル/日増加すると予測している。HGL 生産の増加は、主にエタン生産の増加によるものである（図表 4.2.17 参照）。

図表 4.2.17　米国のコロナ禍前後の HGL 生産量



（出所）EIA エネルギー短観、2021 年 7 月 1 日

2021 年と 2022 年の両方で、米国及び海外の石油化学原料としてのエタンの需要の高まりに対応するため、天然ガス処理プラントでのエタン回収率が高くなると予測される。

2019 年の米国の原油生産量は、過去最高の 1,223 万 BPD を記録した。米国では、水平掘削・水圧破砕法によるタイト埋蔵層の開発が進んだことで、原油の増産が続いた。2020 年春のコロナ禍で急減したが、原油生産量はシェール油井からのタイトオイルの増産に伴い 2022 年には 14 百万 BD に達し、2045 年まで同レベルであると予測されている。

米国のシェールオイルの生産回復も鈍いままである。ベーカーヒューズによると、開発動向を示す掘削装置（リグ）の稼働数は 6 月 18 日時点 373 基で、油価上昇を受けて徐々に増えているものの、19 年末比ではまだ 45%少ない。脱炭素の潮流を受けてシェール開発会社が設備投資をしにくいことが推察される。

4．2．6　米国石油化学産業のコロナショックからの復帰

米国化学工業協会（ACC）は、世界経済 GDP を 2021 年に同 6.1%増、2022 年に同 4.4%増を見込む。複数のサプライチェーンの混乱にもかかわらず、商品の需要が生産に拍車をかけ、工業生産は 2021 年に同 7.2%増、22 年には同 4.6%増加すると予想している（2021 年 7 月 1 日時点の予測）。

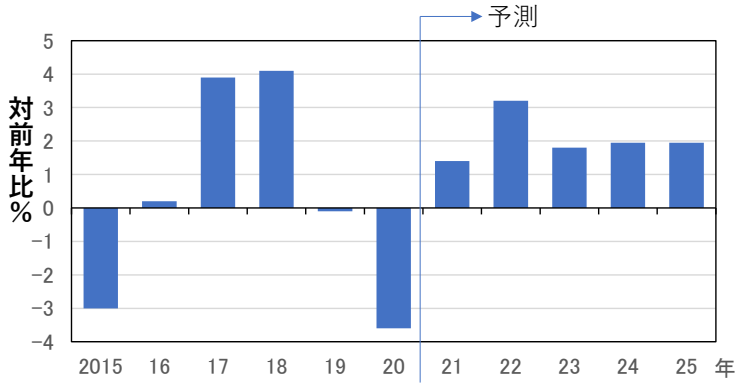
ACC は、2021 年の米国の医薬品を除く化学品生産が前年比 1.4%増加、2022 年は同 3.2%増加するとの見通しを示した（図表 4.2.18 参照）。出荷額は 2021 年に同 8.1%増の 5,260 億ドル、2022 年に同 8.2%増の 5,690 億ドルを見込む。主要な最終用途市場や輸出先が回復するにつれ、米国産化学品の数量も拡大すると予想されている。

石油と天然ガスの価格比は均衡しており、天然ガスを基盤とする米国は、石油化学製品製造のための競争力のある場所であり続けるとみている。競争力に富むシェールガスや NGL（天然ガス液）が今後も米国化学産業の優位性を支える。

輸出は 2020 年に前年比 7.6%減少した後、2021 年には同 5.8%増、22 年に同 13.8%増となり、コロナ禍以前の水準への回復を見込む。

一方、輸入は 2020 年に前年比 5.1%減少した後、2021 年には同 1.6%増、22 年には同 13.7%増加するが、純輸出国の地位を維持し、25 年に純輸出額は 405 億ドルとなる見通し。

図表 4.2.18　米国化学製品生産の推移（対前年比%）



（出所）米国化学工業協会

４．３ 米国シェールガス油サプライチェーンの中長期生産見通し

米国は 2010 年代のシェール資源の発見と開発によって、世界に今世紀最大のエネルギー革命をもたらした。そして、世界三大産ガス油国の 1 つだけでなく、一躍、世界の石油及び石油化学事業の覇者としての地位を確立した。

しかし、米国の主要なエネルギー関連産業は、2020 年春のコロナ禍ショックで、米国経済発展のリセッションによる需要急落によって、史上最悪の赤字収支となった。

それに加えて、エネルギー関連企業は、政権交代による環境推進政策及び ESG 投資家の資源投資に対する抑圧を最も受けることとなった。しかし、石油ガス資源開発、とりわけ、シェール関連事業は国家のエネルギー安全保障に関わることから、新政権による抑制政策は、米国内でも一枚岩ではなく容易に崩すことはできないようである。

さらに、イラン政権交代によるイラン原油輸出解禁の可能性が遠のき、また、ワクチン接種による世界経済復帰による石油ガス需要の回復を見込んで、WTI 原油は想定を超えて早くも 70＄/BBL を突破した（2021 年 6 月時点）。米国内の大多数のシェール田開発は採算がとれる良好な事業環境になった。

米国のシェールガス油を源とする石精製石化広域サプライチェーンが息を吹き返し、世界最強の競争力で、国内生産余剰分が近隣諸国のみならず、アジア圏への流入が加速する兆がある。

以下に、広域チェーンに関わる企業群のコロナ禍 2020 年とその後の復帰実実態を把握し、コロナ禍後シェール革命第２波のアジア圏輸出市場へのインパクトを探る。

４．３．１　石油メジャー再編の歴史、シェール革命

石油が世界の主要エネルギーとなるまでの過程と、戦火、疫病、経済ショックを得て、石油メジャーが再編を繰り返し、現在のエクソンモービル、シェブロン、Shell、BP の 4 大ス

ーパーメジャーと TotalEnergies の準スーパーメジャー、新セブンシスターズの形になった変遷をまとめる（図表 4.3.1 参照）。このことから、米国のシェール革命が脱炭素化政策で容易に姿を消すことはないこと、シェール革命第２波の影響を備えておく必要があることを強調する。

（１） 石油産業の始まり

石油と言えば中東というイメージが強いが、石油産業はアメリカで始まった。

1850 年代、日本ではペリー来航で江戸幕府が右往左往していた時代、アメリカでは既に、鯨油を用いたランプ灯が使われ始めていた。当時、江戸近郊に出没するアメリカ船も鯨油獲得のための捕鯨目的だったと言われている。

1858 年、日本で日米修好通商条約が締結されたこの年、アメリカ東部ペンシルバニア州で、弁護士エベレス、事業家ビゼル、その他富裕層投資家によってセネカ・オイル社という企業が設立された。

この会社が狙ったものは当時、アメリカで存在が噂されはじめていた地下に眠る石油の採掘だった。この企業に一人の男が偶然、出資者の一員、かつ採掘責任者として採用される。それがエドウィン・ドレークである。彼は、後に「世界で初めて石油を発掘した男」と呼ばれることになる。

ドレークはペンシルバニア州タイタスビルで採掘を開始した。当時タイタスビルは地表上に石油が滲みでる場所があり、そこから採取された石油がランプ油として使用できると判断されていたからである。

世界で初めてとなる地下石油の採掘には困難に直面した。岩塩採掘機などを改造して作ったドリルは、ある程度は掘削を進めることができたが、固い岩盤にぶつかってからは掘削速度がダウン、時が過ぎ資金は枯渇、ついにセネカ・オイルの出資者たちは音を上げて事業から手を引いてしまった。

ドレークは知人などから資金をかき集め自力で採掘を続けた。彼の執念は実を結び、1859 年、ついに石油が掘削パイプから湧出、地下石油の採掘に成功した。

このドレークの成功にニューヨーク・ウォール街は即飛びついた。

当時の欧米経済の中心といえばロンドンである。ロンドンには数多の証券会社が集積しヨーロッパ中の資金が集まってきていた。

そして、そのロンドンにとって、発展著しい新大陸アメリカは格好の投資先で、資金がロンドンからウォール街へと流れ込んでいった。

ドレークの成功から数年、アメリカでは空前の石油投資ブームが沸き起こる。

タイタスビル周辺だけでなく全米各地で新規参入者が次から次へと地下を掘り進め、産油量は一気に増加し、オイルラッシュ時代に突入した結果、オイルバブルは崩壊した。

石油需要がランプ灯に限られている中で産油量ばかりが増加した結果、原油価格が崩落、当初 1 バレル当たり 20 米ドルついていたものが、1861 年には 10 セントにまで下がったと言われている。

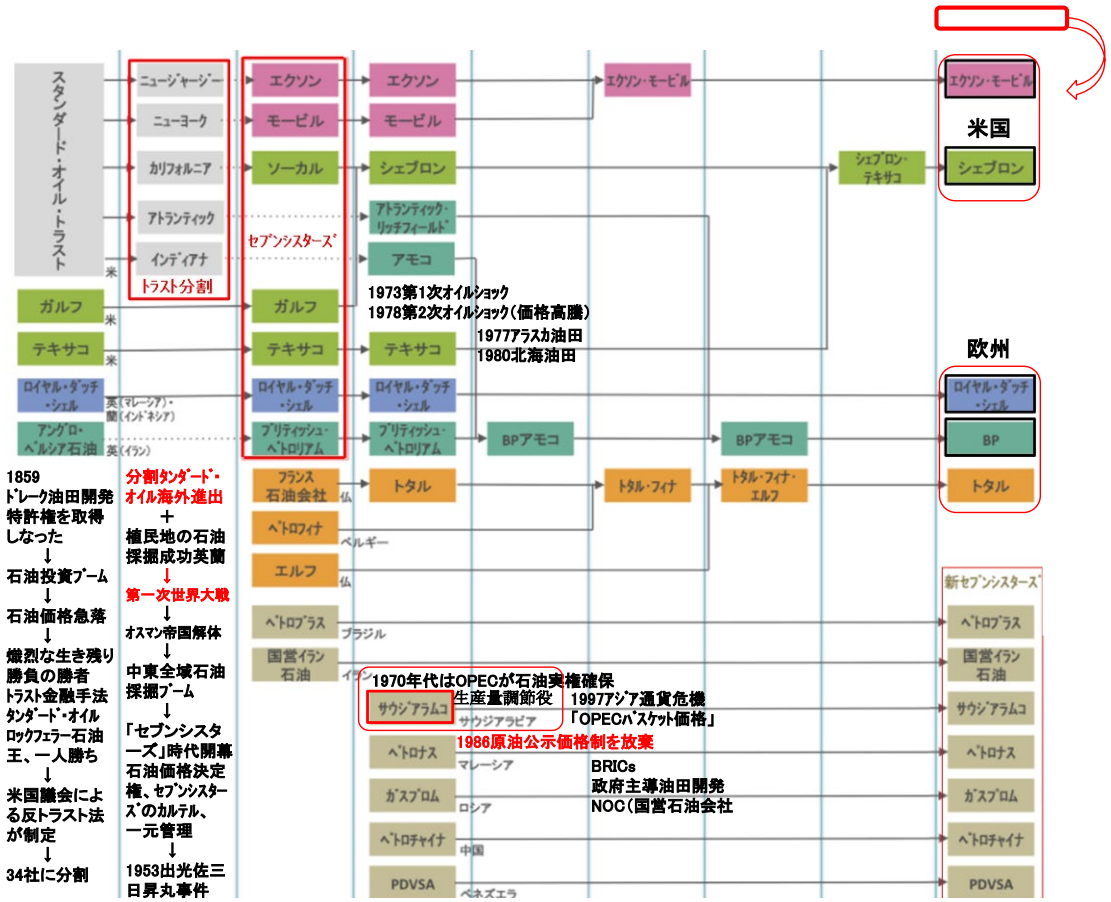
石油価格の急落に直面した事業家たちは、産油量の自主規制による価格保護という手を

打ち、価格は数ドル程度まで回復した。
石油の海外輸出網が整備されるなど、全米の産油量は増加していった。やがて生き残りをかけた事業者の統合の時代が到来することになった。この熾烈な生き残り勝負を勝ち抜いたのが、ジョン・ロックフェラー率いるスタンダード・オイルである。
ロックフェラーは、1882 年までにペンシルバニア州の油田の多くを手中に収め、さらにテキサス、カリフォルニアなど全米各地で石油採掘事業を手がけていった。

20 世紀に入り、1908 年にはフォードの T 型生産方式が確立するなど、石油はガソリンとして、またストーブ燃料としても活用されはじめた。この石油需要の急増を追い風に、スタンダード・オイルは石油生産シェアの 90%を誇る巨大企業に成長していった。
同社の独占による弊害を防ぐため、アメリカ連邦議会が動いた。1911 年、反トラスト法が制定、同社は地域ごとの 34 社への分割解体を余儀なくされ。

その後、石油産業はセブンシスターズの時代へと変遷していった。
分割解体されたスタンダード・オイル各社は、海外に目をつけた。1910 年代は第一次世界大戦が勃発し、軍需としての石油需要が増えるだけでなく、第一次世界大戦敗戦国となったオスマン帝国が解体したことで、新生トルコ、またオスマン帝国の支配下にあったイラクなどにイギリスの息が及ぶようになり、中東全域での石油採掘ブームを巻き起こした。
そして地域の各政府と交渉を重ね石油採掘権を握っていったのが、スタンダード・オイルの生き残り各社と、植民地での石油採掘に成功していたイギリス、オランダの企業である。
このようにして、世界の石油採掘は、スタンダード・オイルを前身とするエクソン、モービル、ソーカル、20 世紀初頭テキサス石油ブームで力をつけたガルフ、テキサコ、植民地での石油採掘をはじめていたロイヤル・ダッチ・シェル、ブリティッシュ・ペトロリアムの 7 社が支配するセブンシスターズ時代が開幕する。

図表 4.3.1　石油メジャー再編の歴史

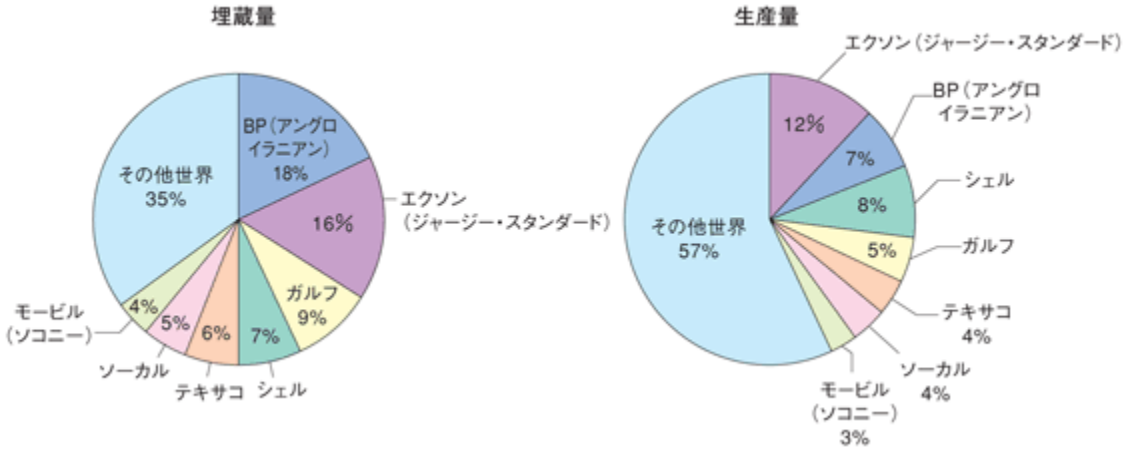


（出所）各種資料に基づき RING 編集

勢いに乗るセブンシスターズは産油についてのデファクトスタンダードを築いていった。その集大成となったのが、1928 年にスタンダード・オイルニュージャージー（後のエクソン）、ロイヤル・ダッチ・シェル、アングロ・イラニアン石油（後のブリティッシュ・ペトロリアム）の 3 社で締結された赤線協定とアクナキャリ協定だと言われている。
これは旧オスマン帝国領土内の石油の単独開発を禁じ、アメリカ及びソ連領土内の石油販売シェアを固定したものだと言われている。
その結果、セブンシスターズ時代には世界の石油価格決定権はセブンシスターズのカルテルによって一元的に管理され、その方式は「ガルフ・プラス方式」「中東プラス方式」と呼ばれていた。

セブンシスターズの時代はその後 1970 年代まで続く。第二次世界大戦後の 1949 年当時でも、セブンシスターズは世界の産油量の 65%、埋蔵量の 43%の利権を手にし、石油産業を完全に支配していた（図表 4.3.2 参照）。

図表 4.3.2　セブンシスターズの埋蔵量と生産量シェア（1949 年時点）



（出所）米国連邦取引委員会　石油カルテル、オイルレポート社 1998 年、括弧内は当時の社名

（２）　OPEC（石油輸出国機構）の創設

この状況に一矢を報いたのが、中東諸国を中心に結成された OPEC の創設である。
産油国は、国家財政の大半をセブンシスターズからの収益分配金で担っているのに、その石油の価格決定権をセブンシスターズに握られてしまっている、この状況を打破しようと考えた。
1960 年設立当初のメンバーは、イラン、イラク、サウジアラビア、クウェート、ベネズエラである。その後 10 年の間に、カタール、インドネシア、リビア、アラブ首長国連邦、アルジェリア、ナイジェリアなどが加盟、産油国がセブンシスターズから石油利権を取り返す攻勢を繰り出した。

OPEC 諸国が狙ったのは石油利権の奪還と石油価格決定権の確保である。石油利権の奪還では、OPEC 創設より前の 1951 年に、イラン政府がアングロ・イラニアン石油（後のブリティッシュ・ペトロリアム）が持つイラン石油利権を国有化、1960 年にインドネシア、1967 年にアルジェリア、1970 年にはリビア、1972 年イラク、1973 年サウジアラビア、1976 年カタールとクウェート、UAE アブダビ、ベネズエラ、1979 年にナイジェリアで、セブンシスターズが持つ石油資源会社の国有化が実施された。
こうして、OPEC 諸国で産油地を失い、産油国政府から石油採掘工事を受託するサービス業者へと転換したセブンシスターズは、その権勢の旗を降ろしてく。

価格決定権の確保では、当時セブンシスターズが決めていた公示価格を 1971 年テヘラン協定、トリポリ協定で段階的に引き上げさせ、そして 1973 年の第四次中東戦争を機に OPEC がセブンシスターズへの相談なく立て続けに、70%の価格引き上げ（10 月 16 日）、イスラエル支援国への石油禁輸（10 月 17 日）、130%の価格引き上げ（12 月）を実施するという第一次オイルショックを経て、セブンシスターズは価格決定権を完全に喪失した。
このことは、セブンシスターズによる石油価格安定の時代の終わりも意味していた。

（3） OPECの一時的な衰退

1973年の第一次オイルショック、そして1978年のイラン革命による第二次オイルショックが勃発し、1970年代はOPECが石油の実権を確保した時代であった。

OPECは石油価格を高く維持することに成功し、同時に石油利権そのものを国有化して懐を富ませていく。

OPEC の中でも特に活躍を見せたのが、産油量が大きいサウジアラビアで、自らが産油量のスイングプロデューサー（生産量の調節役）となることで需給を調整し、世界の石油価格をコントロールしていった。特に、1978 年にイラン革命が起こり、一方の地域の盟主的存在であったイランが欧米から制裁を受け、他のスンナ派中東諸国から警戒されることで、サウジアラビアの存在感は増していった。

しかしながら、OPECの支配、そしてサウジアラビアの支配は長くは続かなかった。

中東諸国への依存に怯えた欧米諸国とセブンシスターズは新たな油田開発に挑んだ。

オイルショックで石油価格が高騰していたこともセブンシスターズにとって資源開発投資の強い追い風になった。1977 年にはアラスカのプルドーベイ油田が操業を開始、1980年代には北海油田の開発が本格化した。

その結果、1985 年から 1986 年の間に原油価格は大暴落、サウジアラビアはついに 1986年原油の公示価格制を放棄し、OPEC の価格統制力は一時的に弱まり、価格は低迷していった。その後、ソ連崩壊、湾岸戦争などがあり、旧ソ連諸国の市場経済化の影響もあって、石油価格は比較的安定していった。しかし2000年に入る頃から石油業界の構造は大きな転換点を迎えていく。

（4） 2000年代のアメリカ・OPEC・BRICs

2000年代には、最も老舗の産油大国であるアメリカ、マーケットシェア40%を握るOPEC、そして、BRICsという新興国の台頭が産油マーケット全体に大きな嵐を呼び起こしていく。

まず、アメリカが、1970 年代からのアラスカ油田で一度は産油量を回復させたアメリカも、1987年をピークに産油量を年々減少させていく。

資源大国アメリカも国内の油田が劣化していった。北海油田についても同じで、イギリス、ノルウェー政府も安穏とはしていられない状況になっていった。

一方、OPECは、1997年のアジア通貨危機を機に急落した原油価格を持ち上げようと、1999年にOPEC加盟国が集い、久々に全加盟国が減産に合意、価格引き上げに成功する。

世界中のどの他の地域よりも経済を石油に依存している中東OPEC諸国は、世界の国々の中でも最も価格に敏感にならなければいけない必然があった。その後、OPECは、OPEC主要油田の原油価格を加重平均したOPECバスケット価格というインデックスを創設してこれを政策決定のベンチマーク指標としていく。

今まで、資源開発投資にも積極的になれなかったBRICs（中国、ロシア、ブラジル）が急速に石油採掘に力を入れ始めた。

彼らはNOC（National Oil Company：国営石油会社）というスタイルを取り、政府主導での油田開発を実施していった。その結果、中国では国有企業のペトロチャイナ（中国石油天然ガス集団）、シノペック（中国石油化工集団）やCNOOC（中国海洋石油総公司）、ロシ

アでは国有企業のガスプロム、ブラジルでは国有企業ペトロブラスが急速に世界の中でのプレゼンスを高めていった。
これらの企業はセブンシスターズでもOPECでもない第三極を構成してきている。ペトロチャイナ、ガスプロム、ペトロブラスに、サウジアラビアのサウジアラムコ、ベネズエラのPDVSA、マレーシアのペトロナス、国営イラン石油を加えた7社は、新セブンシスターズと呼ばれるようになった。
こうしてマーケット環境の急激な変化の中で、セブンシスターズは自らの経営基盤を強化する必要性を感じ統合を繰り返し、国際石油メジャーと呼ばれる企業は、現在はやや格下であった仏TotalEnergiesを含めた5社にまで絞りこまれている。国際石油メジャーは、旧来から保有していたアメリカをはじめとする先進国国内の油田産油量が減少する中、周辺領域の海底油田やアフリカ、中南米の途上国での新たな資源開発に活路を見出そうとした。

（5） シェールオイルという新たな担い手

2005年頃にシェール革命によるシェールオイルが登場する。通常の石油より奥深いシェール層に埋まっているシェールオイルは、2010年頃から急速にアメリカで採掘が広がり、衰退していたアメリカの石油業界が息を吹き返した。
シェールオイル採掘の担い手は、当初は、国際石油メジャーではなく多くが投機的とでも言えるようなスタートアップ企業だった。シェールオイルの採掘が始まり2013年頃からアメリカの産油量は上昇に転じた。産油量増加にはメキシコ湾等の海底油田からの産油も大きく後押ししている。
コロナ禍を境に、最近では資金が潤沢な国際石油メジャーが優良鉱区を買い占め、上流から下流までのシェールチェーンを拡大している。
シェールガスとシェールオイルの分布は似ており、シェールオイルの埋蔵量も中国が最も多いことが確認されている。しかし、まだアメリカ及びカナダ以外の地域でのシェールオイル開発は活発化してない。特に中国のシェールオイルは地層の非常に深いところにあり、採掘コストがまだ投資対効果に見合わなかったが、最近は、採掘技術の発達で中国も開発成果をあげつつある。

（6） 価格調整メカニズムの行方、OPECプラス

国際石油メジャーが価格統制力を失い、第三極のNOCが台頭してきている中、2014年11月27日ウィーンで開催されたOPEC総会は世界中の注目を集めた。減産に踏み切らなかったことが石油価格の下落基調を特徴づけた。OPECが現状維持を貫く背景には、米国のシェールガスやシェールオイルが市場に出てくる中、マーケットシェアを死守するために価格破壊を容認してまでも販売量にこだわっていることによる。
2014年以降、シェール革命でアメリカが世界最大の産油国に復活し、サウジアラビアやロシアを上回るまでになった。OPEC諸国は現段階で確認埋蔵量に対して抑制的に産油を行っているが、アメリカやカナダは積極的に産油を行ってきた。さらに、アメリカ連邦政府は1975年に発動した国内産石油輸出禁止を解禁した。この輸出解禁は、世界最大量を誇るアメリカ産原油が国内に過剰流通することで国内石油価格を押し下げており、シェール関連投資への冷え込みを懸念してのことである。比較的産油が容易で産油コストの

低い OPEC の石油に対するアメリカのシェールオイル温存策である。
政争の具として使われてきた石油だが、OPEC 加盟国だけで結束を築くことは難しくなっている。現在はサウジアラビアが価格維持のために OPEC＋に働きかけ減産を導く構図になっている。

４．３．２　米国の主要なエネルギー関連企業

米国のエネルギー企業には、エクソンモービルやシェブロンのように探鉱・開発・生産の上流部門から、精製・輸送・販売の中下流部門まで、一貫して世界的な規模で事業展開するスーパーメジャーが存在する。また、上流部門や中下流部門に特化して事業展開を行う企業、そして、これらの企業に調査・評価・開発支援や掘削機器・サービスなどの提供を行う企業が存在し、米国で厚みの持ったエネルギー産業を形成している。

これらのエネルギー企業の売上推移を図表 4.3.3 にまとめた。2020 年はコロナ禍による経済活動の制限で多数のエネルギー企業で売上の減少がみられている。

図表 4.3.3　米国の主要なエネルギー関連企業の売上げ推移

企業	業態	売上高（百万ドル）		
		2018年	19年	20年
エクソンモービル	スーパーメジャー	281,060	255,797	181,502
シェブロン	スーパーメジャー	158,902	139,865	94,692
EOGリソーシズ	上流	17,266	17,076	11,032
APA	上流	7,555	6,354	4,308
パイオニア・ナチュラル・リソーシズ	上流	9,384	9,676	6,685
コノコフィリップス	上流・中流	37,491	33,346	19,256
デボン・エナジー	上流・中流	8,439	6,423	4,828
オキシデンタル石油	上流・中流	17,824	20,911	16,261
チェサピーク・エナジー	上流・中流	10,030	8,595	5,296
キンダー・モルガン	中流	14,144	13,209	11,700
オネオク	中流	12,593	10,164	8,542
エンタープライズ・プロダクツ・パートナーズ	中流	36,534	32,789	27,200
フィリップス66	中流・下流	111,492	107,336	64,171
バレロ・エナジー	中流・下流	111,407	102,279	60,115
マラソン石油	中流・下流	86,284	111,275	69,896
ホーリーフロンティア	下流	17,714	17,486	11,183
シュルンベルジェ	調査・評価・支援	32,815	32,917	23,601
ハリバートン	調査・評価・支援	23,995	22,408	14,445
ベーカーヒューズ	機器・サービス	22,877	23,838	20,705
テクニップエフエムシー	機器・サービス、海洋掘削	12,552	13,409	13,050
ナショナル・オイルウェル・バーコ	掘削機器	8,453	8,479	6,090
ヘルマリック・アンド・ペイン	海洋掘削	2,487	2,798	1,774
ダイヤモンド・オフショア・ドリリング	海洋掘削	1,083	935	693

（出所）東洋経済新報社　米国会社四季報 2021 年秋冬号 2021 年 10 月、各社 IR 資料他を基に作成

（1） エクソンモービル

エネルギーの世界は、1970 年代までセブンシスターズと呼ばれた石油メジャー7 社が石油生産をほぼ独占してきた。この 7 社のうち 5 社がアメリカ企業であり、その後、合併などにより現在は 4 社（アメリカ企業は 2 社）に統合されている。

その 2 社がエクソンモービルとシェブロンである。ともに石油やガスの探査、生産という上流部分から、輸送・保管などの中流、さらには精製や製品の販売といった下流まで一貫した垂直統合型の展開を行っている。

エクソンモービルは、1999 年にともにセブンシスターズの一員だったエクソンとモービルが合併して誕生した。アメリカ国内のほか、カナダやブラジル、中東や中央アジア、アフリカなど世界各地に多数の拠点をもち、2017 年の原油生産量は日量 228 万バレル、天然ガスは同 102 億立方フィートと世界トップクラスを誇っている。

会社の公表資料によれば、2017 年末時点の原油埋蔵量は 75 億バレル、天然ガスの埋蔵量は 33.6 兆立方フィートと報告されている。

同社は、アメリカでの中心拠点であるテキサス州・パーミアン盆地での増産やメキシコ湾岸エリアでの下流部門に今後 5 年間で約 350 億ドルを投じる方針を表明している。

（2） シェブロン

創業は 1879 年と老舗で、1984 年にセブンシスターズの一員だったスタンダードオイル・オブ・カリフォルニアとガルフ石油が合併、さらに 2001 年に同じくセブンシスターズの一員だったテキサコと合併し、現在に至っている。

シェブロンもアメリカ国内だけではなく、アジア・オセアニア地域から中東、中央アジア、アフリカ、北海地域などほぼ全世界に広がる拠点で事業を展開している。2017 年の原油生産量は日量 172 万バレル、天然ガスは同 60 億立方フィート、また 2017 年末時点の原油埋蔵量は 65 億バレル、天然ガスの埋蔵量は 30.7 兆立方フィートと公表されている。

アメリカ国内の拠点としては、北東部のアパラチア山脈エリアとメキシコ湾の深海油田が代表的で、2018 年 1 月、そのメキシコ湾鉱区で新たな油田を発見したことが報じられた。

（3） Shell、BP

4 社に統合されたかつてのセブンシスターズの残る 2 社は、オランダに本拠を持つロイヤル・ダッチ・シェルと英国ロンドンに本社を構える BP。前者はオランダのロイヤル・ダッチと英国のシェルが 1907 年からアライアンスを組んだ状態にあったが、2005 年についに合併して単一の企業となった。2021 年から英国に拠点を移し社名を Shell に変更した。

後者は 1990 年代後半の米アモコを皮切りに、アルコ、カストロールを相次いで買収した。また 2010 年のメキシコ湾での原油流出事故では総額 600 億ドルに及ぶ巨額の賠償金を支払っている。両社ともにアメリカ企業ではないが、ニューヨーク証券取引所に上場しており、アメリカ株と同様の取引をすることができる。

（4） 上流専業（石油ガス開発）

・EOG リソーシズ

油田・ガス田などの探査開発を行い採掘・生産を行う上流部門の企業で、テキサス州イー

グルフォードを主力拠点とする。2016 年にシェールオイル・ガスの主力エリアであるパーミアン盆地に特化して事業展開していたイェーツ石油を買収し、同エリアでの権益拡大を果たした。

・アパッチ

同じく上流部門を専業師、パーミアン盆地とメキシコ湾を中心とするアメリカ国内のほか、イギリス・北海エリアとエジプトで事業を展開している。生産量では天然ガスの比率が高く、エジプトと北海では新井戸による増産を図っている。

（5） 上流（資源開発） - 中流兼業

北アメリカ大陸の内陸部で採掘された原油や天然ガスは、精製施設が集中するメキシコ湾岸などに輸送される必要があるが、ここで必要となるのがパイプラインである。上流部門を手掛ける企業も、下流部門を手掛ける企業もどちらも中流部門と合わせて展開しているケースが多い。

・コノコフィリップス

2002 年にコノコとフィリップス石油が合併して誕生した当時は上流から下流まで展開する。かつてのメジャーに次ぐ地位にある。

総合企業だったが、2012 年に下流部門をフィリップス 66 として分離し、上・中流分野に特化している。アメリカ国内のほか、南米、中国、東南アジア、欧州、アフリカなど世界 17 カ国で事業を行っており、直近では BP からアラスカの権益を取得している。

・デボン・エナジー

アメリカ国内とカナダを主戦場とする。アメリカ国内はテキサス州で原油と天然ガスを、オクラホマやロッキー山地とカナダで原油を探査・開発・生産し、併せてガス処理プラントとパイプラインを展開している。

・オクシデンタル石油

パーミアン盆地と中東（オマーン、カタール、UAE)、南米（コロンビア、ボリビア）で上・中流部門の事業を行っている。子会社のオキシケムは、苛性カリ（水酸化カリウム）や塩化カルシウムの生産で世界トップである。

（6） 中流 - 下流（石油精製と販売）兼業

・フィリップス 66

前述のコノコフィリップスから分離し、13 の製油所と 8.7 万マイルのパイプラインを持ち、傘下の MLP（マスター・リミテッド・パートナーシップ）により輸送・貯蔵事業を行っている。また全米 48 州で 7500 店以上の小売店網を持ち、ガソリン、ディーゼル燃料、航空燃料などを販売している。

さらに、シェブロンとの合弁の石油化学事業は、さまざまな産業向けに各種の化学製品を提供している。

・バレロ・エナジー

中、下流でフィリップス 66 と双璧をなすのが、石油精製企業としては世界でもトップクラスで、アメリカ国内とカナダ、イギリスに 15 の製油所をもち、処理能力は日量 310 万バレルを誇る。これは日本全体の処理能力（同 314 万バレル）に匹敵する。
また、アメリカ国内に 11 のエタノールプラントを所有しているほか、バレロをはじめとする複数ブランドの小売店約 7400 店を展開している。

・マラソン石油
1887 年に創業し、一時はスタンダード・オイルの一部となり、また 1982～2002 年まで US スチールの傘下にあったマラソン・オイルから 2011 年に下流部門が分離して誕生した。石油精製、輸送・貯蔵、小売と幅広く手掛けており、小売は東部 20 州でマラソンブランドのガソリンスタンドと、全米 2 位のガソリンスタンド併設コンビニエンスストアーチェーンスピードウェイを展開している。
2018 年 4 月に同業のアンデバーを 233 億ドルで買収すると発表し、10 月に統合が完了した。石油精製能力ではマラソン石油の日量 188 万バレルにアンデバー10 製油所の日量 115 万バレルが加わり、一気にトップクラスに浮上した。小売でも、中西部及び南部 18 州で展開する約 3300 店のガソリンスタンドが仲間入りし、ほぼ全域をカバーする格好となった。

（7） 上流部門の探査、開発支援
・シュルンベルジェ
裾野の大きなアメリカのエネルギー産業だけに、周辺分野にも多くの企業が関わっている。上流部門の探査や開発には、油田やガス田の地層の評価や調査、試掘などさまざまな調査や支援が行われる。この分野でトップクラスの地位にある。
フランスで創業したがすぐにアメリカに進出、現在はテキサス州ヒューストンとパリに本社を構えている。世界 85 カ国に拠点や研究所を持ち、探査、採掘、検層、試掘、評価など幅広い事業を展開している。
2015 年のキャメロンをはじめ、同業や関連分野の企業を買収しながら拡大してきた。

・ハリバートン
シュルンベルジェに次ぐ企業で、探査や試掘など掘削に関する支援から、セメント処理やパイプラインサービスなど幅広いサービスを世界規模で展開しており、中東地域を中心に、アメリカから見た地球の裏半分を管轄するため、ドバイにも第 2 本社を置いている。掘削機器やサービスを提供する同業のベーカーヒューズとの合併を図ったがアメリカ司法省の反対で断念に追い込まれた。

（8） 中流専業
・エンタープライズ、キンダー・モルガン、ONEOK
パイプライン網を中心に輸送・貯蔵など専ら、中流部門を担うエネルギーインフラ企業としては、エンタープライズ、キンダー・モルガンと ONEOK は代表的な存在である。
特に、EPD 社はテキサスヒューストン PADD3 を中心に、広大な NGL 設備を拡大しており米国中流の雄としてコロナ禍においても健在である。

キンダー・モルガンは 8.4 万マイルのパイプラインで原油や天然ガス、ガソリンなどを輸送、また 152 のターミナルで各種石油製品を貯蔵している。ONEOK は中西部を中心に、天然ガスを主体とする 3.8 万マイルのパイプラインと加工工場、貯蔵施設などを保有している。

・ベーカーヒューズ

前述のハリバートンとの合併が破談になったベーカーヒューズは、その後 2017 年に GE に買収される。GE の石油・ガス関連部門と統合され誕生したのがベーカーヒューズ・GE カンパニーで、上流から下流までフルストリームでサービスを提供する唯一の企業ということがアピールポイントである。

上流部門では掘削・生産機器やサービスを、中流部門ではパイプラインのデータ分析などを、下流部門では精製設備やメンテナンスなどのサービスを手掛けている。

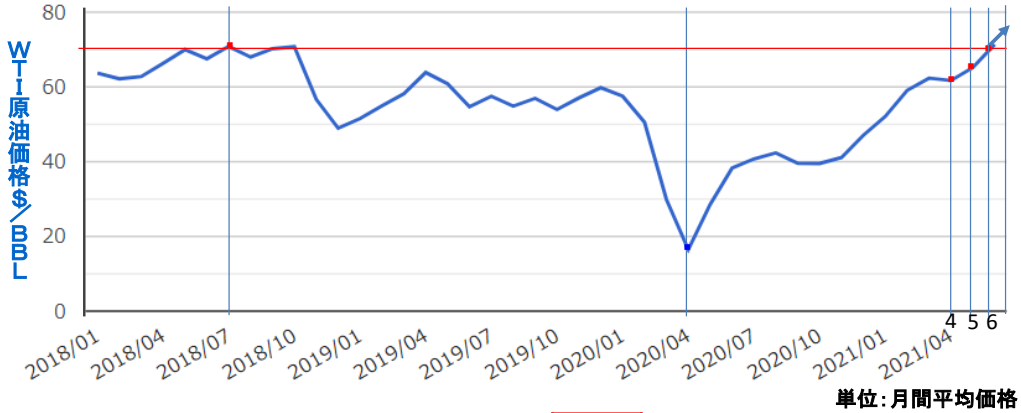
4．3．3　コロナ禍 2020 年前後の WTI 価格推移、急騰

（1） WTI 原油価格トレンド

図表 4.3.4 に、2020 年コロナ禍前後の WTI 原油価格トレンドを示す。

WTI 原油価格の足元、2021 年 6 月の平均価格 71.38 $/BBL（円換算: 49.43 円/リットル）で、直近の 7 月 1 日は 75.23 $/BBL の高値を付けた。その後も続伸の兆しである。

図表 4.3.4　WTI 原油価格の月次推移 2018 年 1 月 - 2021 年 6 月



単位:月間平均価格 $/BBL

年月	2018/01	2018/02	2018/03	2018/04	2018/05	2018/06	2018/07	2018/08	2018/09	2018/10	2018/11	2018/12
WTI	63.67	62.17	62.76	66.32	69.98	67.52	70.84	67.99	70.21	70.75	56.67	48.95
年月	2019/01	2019/02	2019/03	2019/04	2019/05	2019/06	2019/07	2019/08	2019/09	2019/10	2019/11	2019/12
WTI	51.52	54.95	58.15	63.87	60.84	54.68	57.52	54.84	56.95	53.98	57.06	59.80
年月	2020/01	2020/02	2020/03	2020/04	2020/05	2020/06	2020/07	2020/08	2020/09	2020/10	2020/11	2020/12
WTI	57.52	50.53	29.88	16.52	28.56	38.30	40.75	42.36	39.60	39.53	41.10	47.05
年月	2021/01	2021/02	2021/03	2021/04	2021/05	2021/06						
WTI	52.10	59.06	62.35	61.71	65.18	71.38						

（出所）EIA

2019 年からの米中貿易摩擦で世界的な石油需要の減速が強まっていたところに、新型コロナウイルスの感染拡大が追い打ちをかけ世界の原油価格は暴落し、2020 年 4 月 20 日の先物　WTI　終値　（5 限月）: -37.63 :（前日比　-55.90）、Brent 終値　（6 限月）: 25.57、Dubai : 21.60 と、1983 年の NYMEX 取引開始以来、初めて WTI 先物はマイナスを記録した。

東部時間午後 2:30 には、－40.32$/BBL をつけ、取引終了までマイナスが続いた。WTI 先物取引では、期限に実際に Cushing で原油を引き取ることが求められるが、期限前に契約が売買されることが多い。4 月 20-21 日には買い手がつかなかったことでマイナス価格にまで下落した。新型コロナ感染拡大による需要量の低迷で、原油貯蔵先が限られ貯蔵コストが上昇したことが背景にあった。

コロナ直後の 2020 年 4 月平均価格は、16.52$/BBL と記録的な下落となった。
2021 年 6 月平均価格は 71.38$/BBL と、輸出増とコロナ禍の回復で、コロナ禍前の 2018 年 7 月平均価格 70.84/BBL を超えた。

４．３．４　米国シェールガス油サプライチェーン主要企業の変化

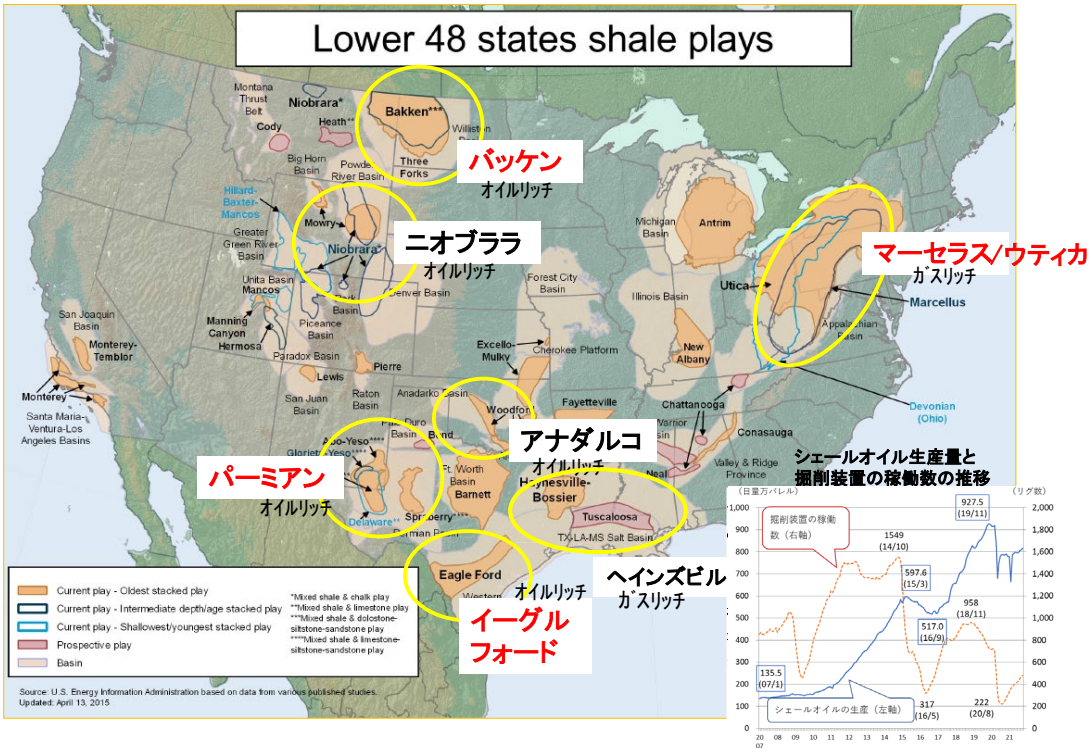
（１）　米国シェール革命の経緯と分布、特徴

・シェールガス革命の経緯とコロナ禍によるメジャーへの集約加速

シェールガスは、20 世紀にすでに掘り出せないガスとしてその存在は確認されていたが、立志伝中の人物となったミッチェル・エナジー・アンド・ディベロップメント（米テキサス州）の創業者、ジョージ・ミッチェル氏ら中堅の独立系石油・天然ガス開発会社が、四半世紀にわたり地道な努力を続け、その採掘に成功した。米国のフロンティア精神が実を結んだものである。
その後、米デュポン・エナジー、米 XTO エナジー、米チェサピーク・エナジーなどがテキサス州バーネットシェールガス田で、低コスト商業化採掘に成功して以来、爆発的に、短期間で米国本土に広がっていった。
急速に米国全土に拡大したシェールガス革命によって、米国は現在世界最大の天然ガス生産国になった。さらに、シェール層からのオイル回収技術の向上で、サウジアラビア、ロシアを抜いて、現在は世界最大の原油類（原油＋NGL）の産油国となった。

米国シェール革命成功の技術に加えて、枯渇した陸上田のロジスティクス、ガスオイル集積場及びスプリッター立地を有効活用して、新増設の開発を進めていった。2010 年前後から開発が急速に進み、現在のシェールガスとオイルの産地を形成した（図表 4.3.5 参照)。

図表 4.3.5　米国シェールガス・オイル田の分布



（出所）EIA を基に RING 編集、米国 EIA. Drilling Productivity Report、2021 年

なお、シェール開発で産出される原油の正式名称はタイトオイルであるが、本報告書ではシェールオイルという名称で統一する。

主に、シェールガスが産出する地域としてマーセラス/ウティカ（ニューヨーク州、ペンシルベニア州、オハイオ州、ウェストバージニア州）、ヘインズビル（テキサス州、ルイジアナ州）がある。
マーセラスとウティカはほぼ同じ地域に存在するが、ウティカはマーセラス頁岩が形成されたデボン紀より古いオルドビス紀の頁岩であるため、マーセラスよりも深い地層に存在する。マーセラス、ウティカではシェールオイルはほとんど産出されない。

主に、シェールオイルが産出する地域として、パーミアン（テキサス州、ニューメキシコ州）、イーグルフォード（テキサス州）、バッケン（ノースダコタ州、モンタナ州）、アナダルコ（オクラホマ州、テキサス州）、ニオブララ（ワイオミング州、コロラド州）がある。

パーミアンは主としてシェールオイルが産出する米国内の最優良地域で、シェールガスも随伴している。その産出規模はヘインズビルをも上回っている。
しかも、パーミアンの原油埋蔵量はサウジアラビア最大の油田であるガワール油田に匹敵するとされている（パイオニアナチュラルリソーシズ）。
パーミアンはテキサス州西部からニューメキシコ州にかけて広がる原油含有砂岩と炭酸塩と頁岩で構成される堆積盆地である。パーミアンでは原油が採掘されるものの、その大

半は堆積盆地の中のミッドランド盆地とデラウェア盆地に集中している。
パーミアンが他のシェールの産地と比べて異なる点はその地層とロケーションにある。
パーミアンの地層は他のシェールの産地の地層と異なり、原油などが含まれる頁岩層がミルフィーユ状に重なっている。
そのため、場所を変えることなく深度を変えるだけでシェールオイルの生産を増やすことができる。例えばデラウェア盆地では Wolfcamp 地層と Bone Spring 地層は商業生産が可能であることが証明されており、その他の地層についても有望性が指摘されている。

・パーミアンは PADD3 に位置する優位なロケーション
WTI 原油の受け渡し地でもあるクッシングのような石油精製拠点及び、ヒューストンやコーパス・クリスティなどの輸出拠点などに近い。また、当地とパイプラインで直接結ばれているためパーミアンから生産されるシェールオイルは他の産地のシェールオイルと比べて輸送などの点で地理的に優位性である。
パーミアンでシェール事業を営む企業は、産出量と地理的メリットを享受したことで、財務体質が比較的健全である。この地では、200 社以上がシェールオイルの開発を行っている。実際、パーミアンで事業活動を行う企業の収益に対する債務の割合や信用与信枠（クレジットライン）の使用割合はバッケンやイーグルフォードの企業のそれよりも低い。
このようなパーミアンの財務面での優位性は金融市場においても評価され、借入制約が比較的低くなり、また証券市場においても記載や新株発行が容易であった。
パーミアンで開発活動を行う企業が高い流動性を確保できたことは他のシェール産地と比べて掘削や生産を継続しやすくした要因の一つといえる。

・シェールオイル田における生産性向上
生産性の指標である 1 リグ当たり新規原油生産量は、2017 年を除いて増加している。
開発段階別に見た場合、水圧フラッキングをかけて原油回収する段階での生産性改善が続いており、2016 年から 2019 年にかけて年率 7～13%程度改善している。
シェール層の水圧破砕によって SRV（Stimulated Reservoir Volume)、いわゆる人工的に作った液だめの容量をどれくらい拡大できるかがその油ガス田の生産量を左右する。
水平坑井の距離を延長して、水圧破砕をかける坑井の穴を多く設けて、実際の水圧破砕時には多くのプロパントを注入することでシェールオイルの原油回収量を年々増やすことに成功している。

（2） 米国シェール開発企業の動き（上流）
・現在の主な米国のシェール開発企業を図表 4.3.6 に示す。米国でのシェール開発は主として中堅企業が担ってきた。

図表 4.3.6　上流部門の米国企業の 2020 年の収益状況

（百万ドル、日量千バレル）

企業	資本金	売上	営業利益	米国内原油生産	主なシェール権益
ExxonMobil	157,150	181,502	(28,883)	685	Permian、Bakken
Chevron	131,688	94,692	(7,453)	790	Permian、Niobrara、Eagleford
ConocoPhillips	29,849	19,256	(3,140)	394	Eagleford、Bakken、Permian
EOG Resources	20,302	11,032	(544)	408	Eagleford、Permian、Niobrara
Occidental Petroleum	18,573	16,261	(15,652)	1,037	Permian、Niobrara
Pioneer Natural Resources	11,569	6,685	(261)	211	Permian
Continental Resources	6,056	2,586	(554)	161	Bakken、Anadarko
Hess	5,366	4,804	(2,050)	145	Bakken
Devon Energy	2,885	4,828	(309)	155	Permian、Anadarko、Eagleford、Niobrara
APA Corporation	(1,639)	4,308	(4,840)	88	Permian

（注）2019 年 8 月に Occidental Petroleum は Anadarko を買収、2020 年 10 月にはシェブロンは Noble Energy を買収した。また 21 年 1 月には ConocoPhillips は Concho Resource を買収した。

（出所）各社 IR 資料を基に作成

表中の 10 社は軒並み大幅の営業赤字を記録している。Occidental Petroleum は売上に比較すると過大な営業赤字を記録しているが、Anadarko 買収による債務増加で株式など資産価値が大幅に目減りしたことが影響した。

なお、これらの企業で米国内での原油生産を大きく減らしているところは少なく、むしろ表中の過半の企業が油価下落に伴う売上減少を補うこともあって 2019 年よりも原油生産を増やしていたことがわかる。またコロナ禍の期間においてもパーミアンなどシェール権益の売買も盛んであった。

同期間において油価下落が生じて権益価格が低下し、割安感が生じたことで鉱区として有望なパーミアンを中心に権益獲得に動く企業が多く存在しており、シェール権益の集約が進んでいる。

・ESG 評価、ダイベストメント、メジャーによる上流のシェール資本集約

シェール事業は、原油価格に最も影響され掘削コストが回収できなければ、採算が悪化する。実際、資金繰りの難しさからコロナ禍以前からも、多くのシェール中小企業の倒産、新規参入が発生していた。特に、近年、ステークホルダーの ESG 評価の高まり、ダイベストメントに加えて、コロナ禍による原油価格安で有力なシェール企業までが業績不振、倒産に陥っている。特に、2020 年のコロナ禍に伴う原油需要の低下を受けて中堅企業の業績は悪化した。シェール革命を先導した Chesapeake Energy 社は、コロナ禍の煽りを受け

て 2020 年 6 月に破産申請した。石油メジャー及び、資金のある他の中堅のシェール開発企業は、これらの苦境に陥った企業のシェール権益の獲得に動いている。2009 年に XTO Energy 社を買収したエクソンモービル社は 2017 年にパーミアンでシェール権益を 66 億ドルで買収した。
同じく、シェブロン社は 2020 年 10 月、中堅の Noble Energy 社を買収した。10 月には ConocoPhillips 社が中堅の Concho Resources 社の買収を発表している。
2020 年 9 月にはシェール開発では老舗の Devon Energy 社が WPX Energy の買収を発表しており、こうしたシェール権益をめぐる企業の動きはシェール企業の再編を進めると同時に、シェール開発における石油メジャーの存在感を高めつつある。

・パーミアンにおける活発なシェール権益売買の状況
パーミアンの有望性は 2021 年現在に至るまで関係者の間で共有されており、パーミアンに関連する石油開発企業の買収や権益の購入はコロナ禍 2020 年前後、2021 年も依然として活発である。
2017 年以降のパーミアンをめぐる主な企業買収や権益購入を図表 4.3.7 にまとめる。
中堅の開発企業だけでなく、石油メジャーも参戦している。

図表 4.3.7　パーミアンをめぐる企業買収・権益購入の動き

（億ドル）

取引完了月	買収企業	取引相手	買収金額
2017年2月	ExxonMobil	Bass	66.0
2018年7月	Concho Resources	RSP Permian	95.0
2018年10月	BP	BHP Billiton	105.0
2018年11月	Diamondback Energy	Energen	92.0
2019年12月	Callon Petroleum	Carrizo Oil & Gas	32.0
2020年3月	WPX Energy	Felix Energy	25.0
2020年8月	Occidental Petroleum	Anadarko	380.0
2020年10月	Chevron	Noble Energy	50.0
2021年1月	ConocoPhillips	Concho Resources	97.0
2021年1月	Pioneer Natural Resources	Parsley Energy	45.0
2021年1月	Devon Energy	WPX Energy	25.6
2021年3月	Diamondback Energy	QEP Resources、Guidon Operating	14.2
2021年5月	Pioneer Natural Resources	DoublePoint Energy	64.0
2021年6月	Vitol Group	Hunt Oil	10.0
2021年6月	Private buyer	Oasis Petroleum	4.8
2021年9月＊	ConocoPhillips	Shell	95.0
2021年9月	Lime Rock Resources	Private Seller	5.1
2021年10月	Callon Petroleum	Primexx Energy Partners	7.9
2021年10月	Oasis Petroleum	Diamondback Energy	5.1
2021年10月＊	Northern Oil & Gas	Veritas Energy, LLC	4.1
2021年11月＊	Continental Resources	Pioneer Natural Resources	32.5

（注）＊は取引発表日。企業買収や権益購入には、パーミアン以外の権益も含む。
（出所）各社ウェブサイトを基に作成

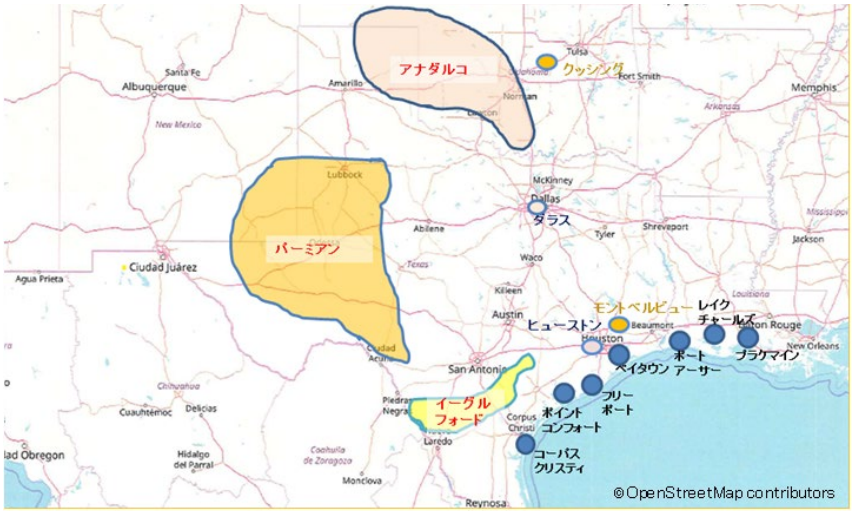
石油メジャーは中堅企業に比べて財務構造が健全であり、M&A や権益購入を仕掛けやすい。

2020 年 8 月に完了した Occidental petroleum 社の Anadarko 社買収は石油メジャーのシェブロン社も狙っていた案件であった。
M&A や権益売買の増大には、売り側にとって競争激化や資金繰り困難等による業績悪化や投資制約で、企業そのものや関連権益を売却せざるを得ないという事情もあるが、買い手、特に石油メジャーにとってシェール開発は従来の石油開発と異なって採掘から回収まで比較的短期間でサイクルを回すことができ、事業見通しが立てやすいことも影響している。
世界の温暖化防止の潮流において長期的な石油開発投資が不透明な環境では、このようなショートサイクルのシェール開発は魅力的といえる。

・上流同士の合併統合による収益改善と資金調達強化による生き残り
キャボット、シマレックスが全株式合併を合意した（2021 年 5 月 24 日）。キャボットはマーセラス頁岩で約 173,000 エーカーを占め、シマレックスはペルム紀とアナダルコ盆地で約 560,000 エーカーを占めている。2021 年第 1 四半期の合計生産量は 60 万 BOE /日だった。シマレックスは、テキサス、ニューメキシコ、オクラホマで事業を展開する大手の探鉱及び生産会社である。石油と液体が豊富な天然ガス井からの高い収益率に牽引されて、2020 年にペルム紀と中部大陸地域に 5 億 7700 万ドル（≒626 億円）を投資した。シマレックス の確認埋蔵量は 2020 年 12 月 31 日時点で合計 531 百万 BBL、2020 年の 1 日あたりの平均石油換算は 252.5 千 BBL で、42%が天然ガス、30%が石油、28%が天然ガス液である。
両社は、閉鎖後 18 か月から 2 年以内に開始する、年間の一般管理費削減相乗効果目標を 1 億ドル（≒185 億円）としている。

・アナダルコの将来性と開発状況
米国シェール田の中で、パーミアン以外で注目を集めているのは、オクラホマ州のアナダルコである（図表 4.3.8 参照）。

図表 4.3.8　イーグルフォード、パーミアン、アナダルコ、周辺の立地条件



ダラス連銀の「Dallas Fed Energy Survey」によれば、損益分岐点が新規油井 47$/BBL、既存油井 27$/BBL とパーミアンのミッドランドに次いで低い。また、アナダルコがあるオクラホマ州には WTI 原油の受け渡し地として有名なクッシングがあり、パイプライン網が充実している。
立地に恵まれ、アナダルコからのシェールオイルの輸送コスト等が安価であることからも、アナダルコのシェール開発企業は利益を上げやすい環境にある。

（3） シェール中流企業の動き（中流）

採掘されたシェールオイルやシェールガス、NGL はパイプラインなどで輸送されて、分留、保管されたのち製油所等に運ばれる。米国ではこのような機能を担う中流企業が存在感を増している。
中流部門の企業業績について上流部門と比較するとコロナ禍による収益悪化は限定的となっており、営業黒字を維持する企業が多い（図表 4.3.9 参照）。中流部門の企業は、主に原油・ガス・石油製品のパイプライン・貯蔵・製造設備の通過料金を取るだけのフィー・ビジネスであり、原油・ガス価格の影響を受けないからである。

図表 4.3.9　中流部門の米国企業の 2020 年の収益状況

（百万ドル）

企業	資本金	売上	営業利益	ガス精製能力（日量百万立方フィート）	NGL分留能力（日量百万バレル）	NGLパイプライン（マイル）	原油パイプライン（マイル）	天然ガスパイプライン（マイル）
Enterprise Products	25,767	27,200	5,035	9,615	1,327	19,909	5,900	19,519
DCP Midstream	5,834	6,302	(447)	4,558	400	4,520	—	52,070
Oneok	6,042	8,542	1,361	1,783	1,084	13,480	—	25,500
Targa Resources	2,654	8,260	(1,304)	4,398	529	—	—	28,700
Kinder Morgan	31,436	11,700	1,560	—	—	1,115	9,481	71,000
Energy Transfer	18,529	38,954	2,980	8,650	1,133	8,023	10,852	28,530
Williams	11,769	7,719	2,202	—	721	—	382	14,778
Plains All American Pipeline	9,593	23,290	(2,375)	—	—	1,635	16,735	—
Spectra Energy (Enbridge(加))	61,367	39,087	7,957	—	—	—	3,810	77,445

（注）天然ガスパイプラインは gathering system や processing system でのパイプラインも含む。また 2018 年 12 月に Spectra Energy はカナダの Enbridge に買収された。

（出所）各社 IR 資料に基づき作成

なお、直近 2021 年 1-9 月期の中流部門の企業収益について 2020 年の同期と比較しても著しく改善していることがわかる（図表 4.3.10 参照）。

図表 4.3.10　中流部門の米国企業の収益比較（2021 年 1-9 月期と 2020 年 1-9 月期）

（百万ドル）

企業	21年1－9月期		20年1－9月期	
	売上	営業利益	売上	営業利益
Enterprise Products	29,437	4,700	20,156	4,327
DCP Midstream	7,230	(87)	4,517	(492)
Oneok	11,120	1,944	5,972	823
Targa Resources	11,508	956	5,688	(1,569)
Kinder Morgan	12,185	1,966	8,585	580
Energy Transfer	48,760	7,103	28,920	1,641
Williams	7,370	1,694	5,627	1,684
Plains All American Pipeline	29,089	252	17,327	(2,310)
Spectra Energy (Enbridge（加）)	34,551	5,702	29,079	5,706

（出所）各社 IR 資料に基づき作成

近年は、カーボンニュートラルの潮流で、石油製品よりも高付加価値で収益力の高い石油化学製品の生産を指向するユーザーが増えている。そこで、EPD 社の石化事業モデルのように、カーボンニュートラルの潮流に乗って、エタン、プロパン、ブタン等の NGL をハンドリングする中流企業がオンパーパス装置を新増設して、プロピレン、ブテン等の石化製品製造を請け負う事業をはじめている。

さらに、副生する大量の水素を有効活用し、水素エネルギーとして販売することも視野に入れている。

（4）　米国石油ガスメジャーの動き（下流）

図表 4.3.11 に、石油メジャー企業と 2020 年のコロナ禍直撃後の収益結果を示す。

今世紀最大のエネルギー革命といわれた米国シェール革命によって、米国石油メジャーは、シェール田を起点とする石油・化学チェーンを築き、シェール革命第 2 波で更に強化拡大中の矢先に、2020 年春のコロナ禍は、米国石油、化学メジャーの順風満帆の収益を直撃した。

エクソンモービルが 2 月 2 日発表した 2020 年 12 月期決算は最終損益が 224 億ドル（約 2 兆 3500 億円）の赤字となった。しかも、新型コロナショックに加え、環境規制を強化する新政権の発足など逆風下で苦境に立たされている。

同じく、シェブロンも 2020 年 12 月期決算で最終損益が 55 億ドルの赤字と、通期として 4 年ぶりの最終赤字に転落した。新型コロナ危機で巨額赤字に陥った両社の統合構想が浮上している。経営環境の悪化が大再編の引き金になるか関心を集めている。

図表 4.3.11　2020 年の石油メジャーの動向

	生産量		石油精製能力（日量千バレル）	エチレン生産能力（トン）	売上高（百万ドル）	当期純利益（百万ドル）	純資産（百万ドル）	時価総額（百万ドル）	従業員（千人）
	石油（千BD）	天然ガス（日量百万立方フィート）							
ExxonMobil	2,349	8,471	4,770	1,080	179,784	▲ 22,400	157,150	174,484	72
Chevron	1,868	7,290	1,804	654	94,471	▲ 5,543	131,688	162,582	48
Royal Dutch Shell	1,803	9,181	2,750	650	180,543	▲ 21,680	155,310	140,157	87
BP	2,106	7,929	1,909	—	180,366	▲ 20,305	83,326	70,113	64
TotalEnergies	1,543	7,246	1,967	244*	140,685	▲ 7,242	103,702	113,988	105

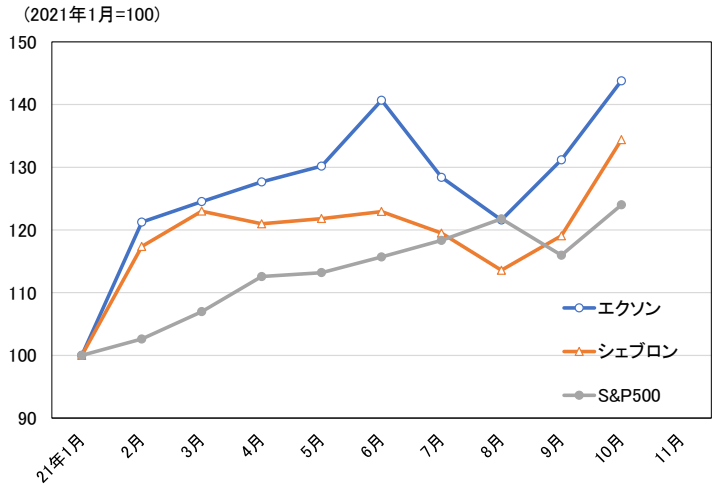
（注）TotalEnergies はポリエチレン生産量。エチレン生産量は明らかにしていないが、オレフィンモノマーとして 552 万トン生産している。

（出所）各社 IR 資料を基に作成

2021 年に入って米国など世界で経済活動の再開が進み、原油需要が高まることで石油メジャーの業績も回復している。両社の株価の推移も概ね好調に推移している（図表 4.3.12 参照）。

英 Shell や英 BP など欧州メジャーは新型コロナ危機などを契機に事業モデルを転換し、化石燃料の開発抑制と再生可能エネルギーへの投資拡大を表明した。両社は 50 年までに事業活動による温暖化ガス排出量を実質ゼロにするカーボンニュートラルを目指すと宣言した。続いてエクソンモービルとシェブロンも 2022 年に入ってから、2050 年までにカーボンニュートラルを達成すると宣言した。

図表 4.3.12　エクソンモービル、シェブロン、S&P500 の株価推移



（出所）報道資料を基に作成

エクソンモービルとシェブロンは、豊富で優良なシェール田を起点とする広域シェール

チェーンの完結を目指しており、独立系の中堅石油企業だけでなく、石油メジャー中心に積極的にシェール権益を獲得して開発を進めている。
中でも、エクソンモービルは投資計画である「Growing the Gulf イニシアチブ」を発表してシェール開発に取り組んできた。
「Growing the Gulf イニシアチブ」とは、米国内のシェール資源を利用するために、テキサスやルイジアナの湾岸において 2013 年から 22 年にかけて 200 億ドルの巨額な投資によって、14 点の石油化学、石油精製、潤滑油、液化天然ガス設備を建設するプロジェクトである。

シェブロンも潤沢な資金を背景に、コロナ禍にありながら、パーミアンの優良シェール田を買収したばかりである。シェール田を起点とするタイトオイルの処理を拡大して、メキシコ湾沿いの小売店に供給する低コスト石油精製事業の再構築を模索している。

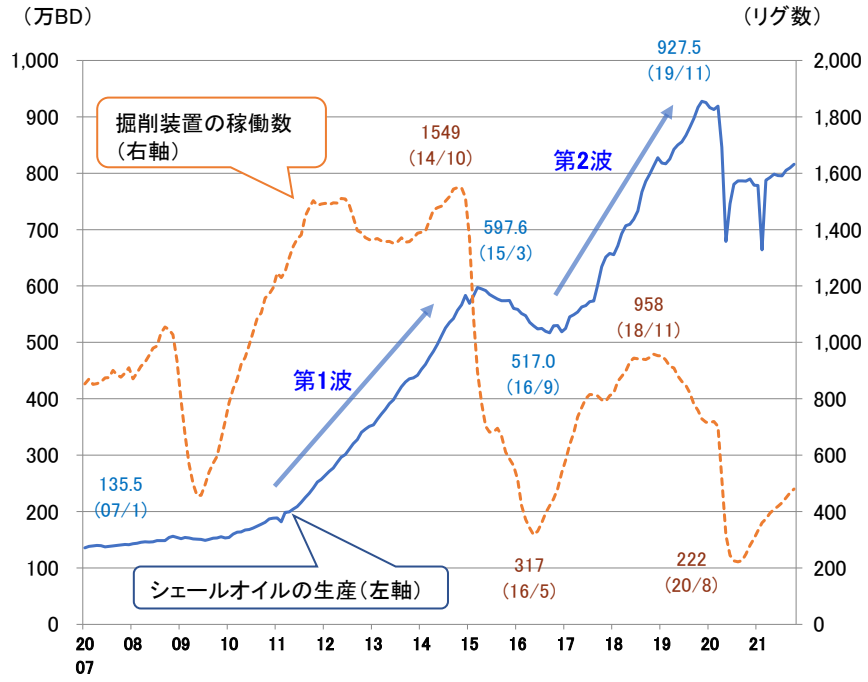
世界最大の資産運用会社、米ブラックロックは 1 月、全ての投資先に対しカーボンニュートラルのための事業戦略を示すよう求めている。

４．３．５　米国シェールオイルの産地別生産量推移と長期生産量予測

（1）　米国シェールオイルの生産動向

米国原油生産の一翼を担うシェールオイルの生産は 2011 年頃から急増の第 1 波が始まり、2017 年頃から第２波が始まった。2020 年春のコロナ禍で急落し、一時、同生産が日量 700 万バレルを割った。さらに、2021 年 2 月の米国南部での大寒波襲来でパーミアンなどでの原油生産活動を止めざるを得ず、原油生産が急落した。その後の生産回復は緩やかであり、日量 800 万バレルを超えたところでとどまっている（図表 4.3.13 参照）。

図表 4.3.13　シェールオイルの生産とリグ（掘削装置）の稼働数



（出所）米国 EIA, “Drilling Productivity Report”各月号

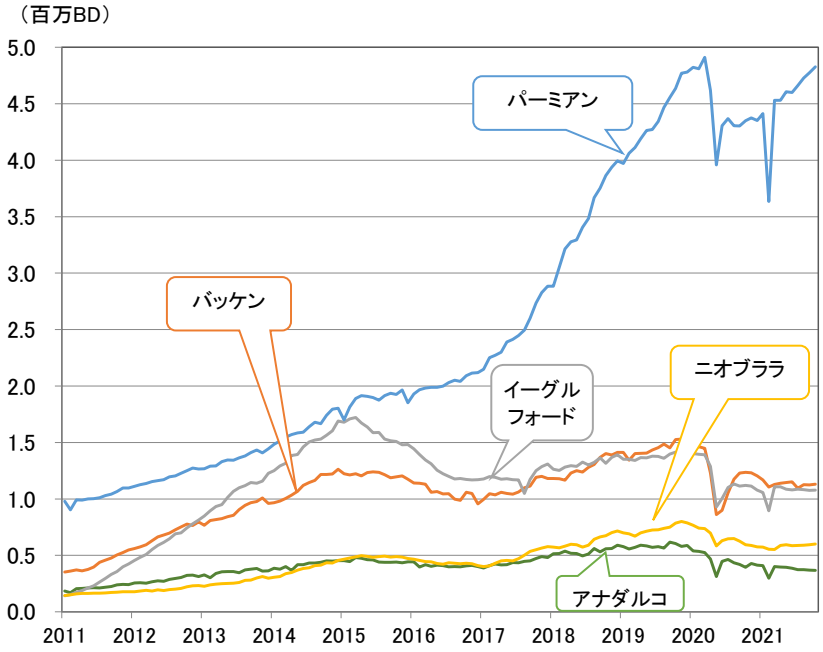
（２）　産地別シェールオイル生産動向

産地別に見ると、産地によって生産の様相が異なる（図表 4.3.14 参照）。

パーミアンでは 2 月の大寒波襲来後、回復を続けており、コロナ前の生産ピークの直前まで戻っている。2021 年 11 月時点で日量 489 万バレルであり、22 年 1 月には同 500 万バレル超と既往ピーク（2020 年 3 月同 491 万バレル）を超える。

一方、パーミアン以外の 4 産地では最近においても生産増加する気配がない。これは、シェールオイル事業者が、比較的高収益を上げやすく、埋蔵量も多いという理由で他の産地からパーミアンに開発の重心をシフトさせていることが大きい。

図表 4.3.14　産地別シェールオイルの生産量の推移



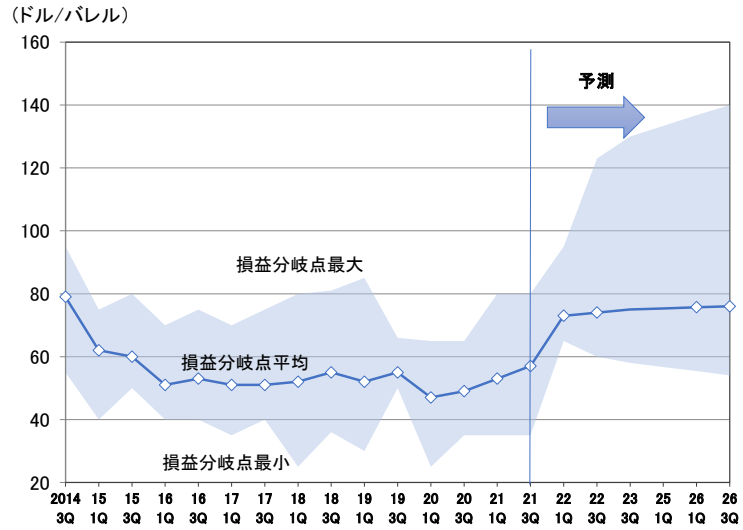
（出所）米国 EIA, “Drilling Productivity Report”

（3）　シェールオイル開発の損益分岐点推移

掘削装置の稼働数は 2020 年 8 月の 222 基を底にして上昇しているもののシェールオイルの生産全体は伸びていない。

その理由として、シェールオイル事業の生産性の改善は今も続いているが、損益分岐点が上昇していることがある。最近のカンザスシティ連銀の事業者アンケート調査によると直近の損益分岐点は 1 バレル 57 ドルであったが、半年後には 73 ドルまで上昇しており、今後 5 年にわたって 70 ドル台前半で推移する（図表 4.3.15 参照）。

図表 4.3.15 シェールオイル事業の損益分岐点の推移と見通し

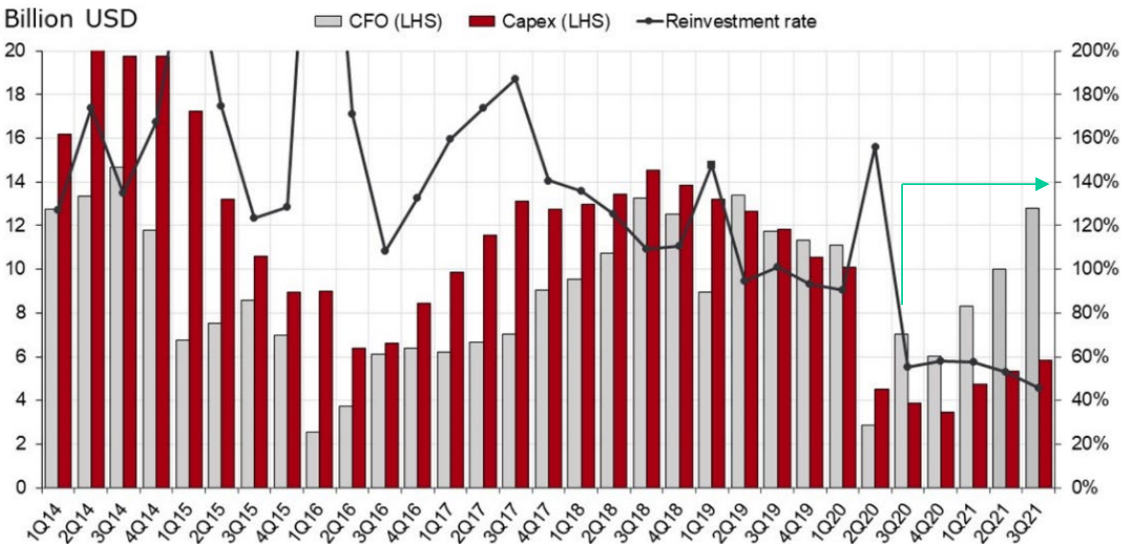


（出所）カンザスシティ連銀 Energy Survey 各号

脱炭素化の流れを背景として金融機関はシェールオイル事業者に対して事業の効率性だけでなく、環境配慮を求めている。そのため、事業者は高油価にもかかわらずシェール開発を最優先できていない。

実際、シェールオイル事業者のキャッシュフローと開発投資の推移を見ても、このところの高油価で事業者のキャッシュフローは増えているものの、開発投資は抑えられている（図表 4.3.16 参照）。

図表 4.3.16　シェールオイル企業の操業キャッシュフローと開発投資の推移



（出所）Rystad Energy プレスリリース、2021 年 11 月 22 日

（4） 米国の原油生産の長期見通し

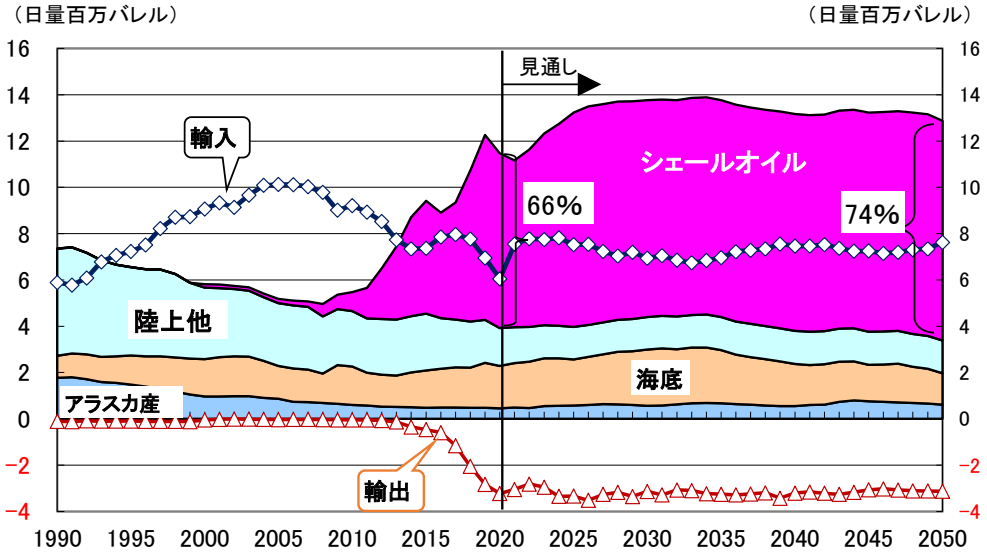
EIA の AEO2021 によると、コロナ禍の影響を脱して原油生産は増加を続けて 2034 年頃に

日量 1,388 万バレルに達するとしている。
その後は緩やかに低下して 2050 年時点では同 1,287 万バレルの生産となる見込みである。1 年前の 2020 年見通しと比較すると、ピーク時生産（2032 年同 1,446 万バレル）は日量 50 万バレル程度低下したが、生産が抑えられた分、2020 年見通し（2050 年時点で同 1,197 万バレル）より 90 万バレル程度多い状況となっている（図表 4.3.17 参照）。

・長期原油生産見通しの内訳
生産の 6 割から 7 割をシェールオイルが担う構造であり、これについては 2020 年見通しとも変わらない。他にもメキシコ湾などの海底油田からの生産が 2030 年前半にかけて日量数十万バレル程度増えることを見込んでいる。なお、原油輸出について日量 300 万バレルを超えたところで横ばい推移する見通しとしている。2020 年見通しと異なり、2050 年時点でも減少せず日量 313 万バレルの原油を輸出するとしている。

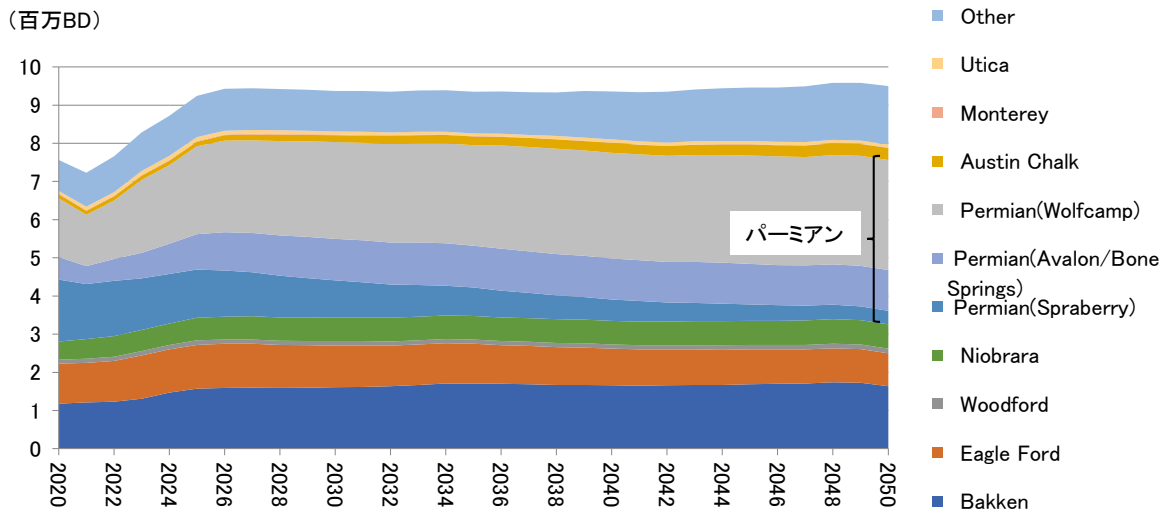
・シェールオイルの産地別長期生産見通し
パーミアンからの原油生産がシェールオイル全体の 4～5 割を占めて推移する見通しである。他の産地のシェアも大きく変わるとは考えられていない。
ただし、パーミアンの中では、Spraberry のシェアが低下してより深いところに位置する Wolfcamp のシェアが高まるとしており、パーミアンからの原油生産は増えていく予想となっている（図表 4.3.18 参照）。
なお、AEO2021 は 2021 年 2 月に発表されたものであり、その後に発表された米国の 2050 年カーボンニュートラル（温室効果ガス排出量と吸収量のバランスをとり、実質的に差し引きゼロにすること）目標の宣言や関連政策の発表について考慮されていない。

図表 4.3.17　米国原油の生産及び輸入の見通し



（出所）米国 EIA, "Annual Energy Outlook 2021" February 2021

図表 4.3.18 産地別シェールオイルの長期生産見通し



（出所）米国 EIA, "Annual Energy Outlook 2021" February 2021

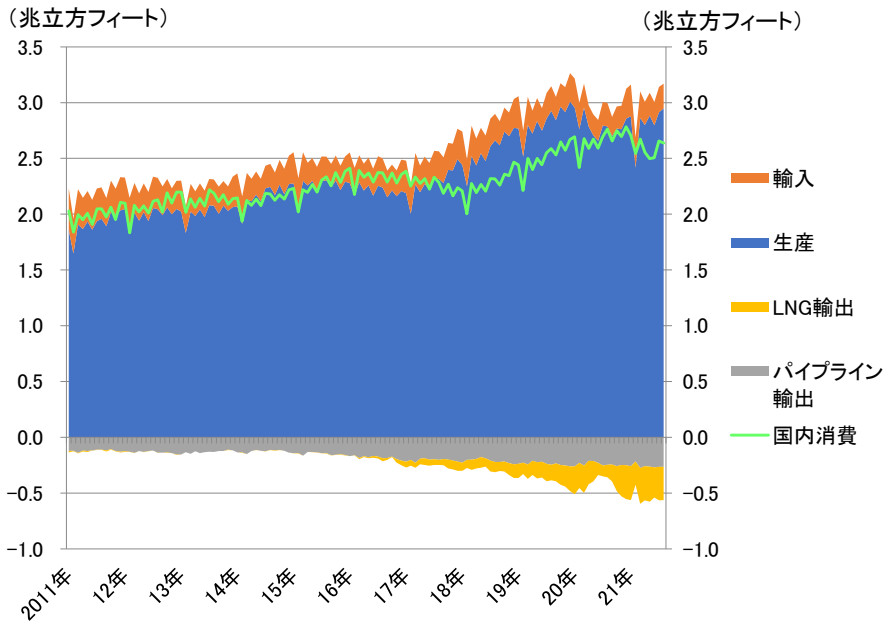
４．３．６　米国シェールガスの産地別生産量推移と長期予測

（１）　米国の天然ガス生産・輸出入の推移

米国内の天然ガスは 2020 年春のコロナ禍で生産が低下し、一時、月間で 2.7 兆立方フィートを切った。

その後は回復したが、2021 年 2 月の米国南部での大寒波襲来で生産を止めざるを得ず、2 月には同 2.4 兆立方フィート台まで急落した。その後は順調に回復しており、2021 年 10 月時点では同 3.0 兆立方フィートとコロナ前の生産水準にほぼ戻っている（図表 4.3.19 参照）。

図表 4.3.19　天然ガス生産・輸出・輸入の推移



（出所）米国 EIA

（２） 産地別シェールガス生産量推移

シェールガスの生産量はシェールオイルと同様に 2017 年頃から第２波の急増が始まっている（図表 4.3.20 参照）。

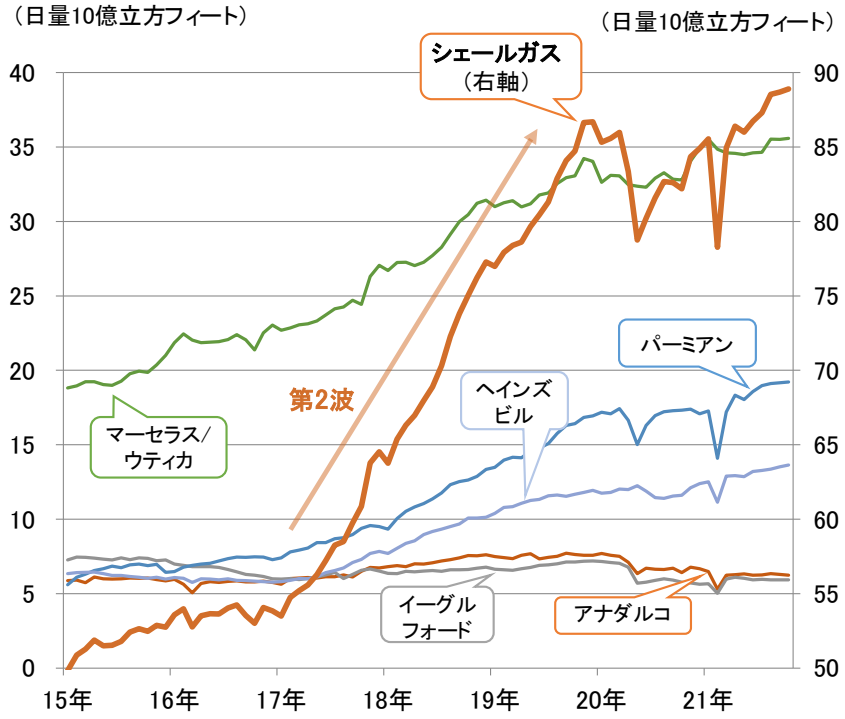
産地別では、原油随伴ガスのため、原油減産の影響を受ける産地（パーミアン）では、2020 年春のコロナ禍による原油減産でガス生産が減少し、南部に立地する産地（パーミアン、ヘインズビル、イーグルフォード、アナダルコ）では、2021 年 2 月の大寒波襲来によるガス開発活動の停止で生産が減少した。

一方、マーセラス/ウティカではガス生産が主な産地であり、米国の北東部に位置するため、上の二つの影響を大きく受けなかった。同産地は 2015 年から増強されてきたガスパイプラインを使っての中西部や南東部への輸送拡大が可能となったことでシェールガスの生産増加が促されてきた。

ただし、最近ではパイプライン輸送の制約もあって同産地の生産の伸びが抑えられている。なお、リグ数は増えているが、コロナ前の水準には戻っていない。

2021 年春以降についてはヘインズビル等でもシェールガスの生産が増加している。これは、液化天然ガス（LNG）輸出の増加に伴う天然ガス需要の高まりと関連パイプラインの整備で液化施設に近い同産地からの生産が増加していることが大きい。

図表 4.3.20　シェールガス及び産地別生産量の推移



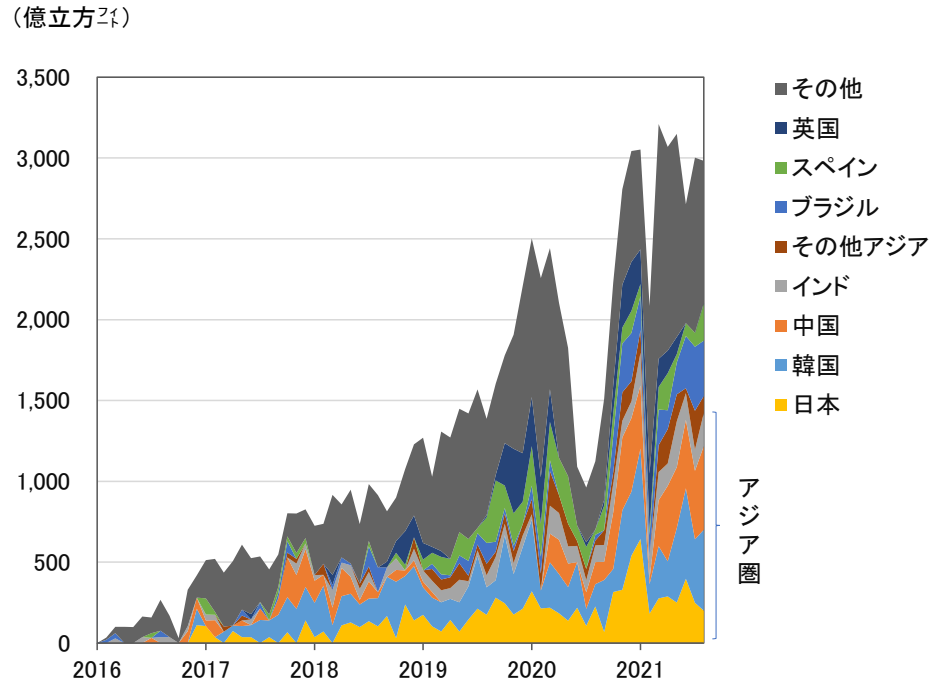
（出所）米国 EIA, “Drilling Productivity Report”各月号

（３） 米国産 LNG の国別推移

天然ガス輸出はパイプライン輸出と LNG 輸出に分かれるが、カナダとメキシコ向けのパ

イプライン輸出は月間 0.2 兆立方フィート台で堅調に推移している。
LNG 輸出はコロナ禍や大寒波襲来の影響を受けながらも世界的なガス需要の増大を受けて同 0.3 兆立方フィート台まで増やしており、月によってはパイプライン輸出を上回っている。LNG 輸出の内訳を見ると、日本、韓国、中国などアジア地域向けが半分程度を占めている（図表 4.3.21 参照）。

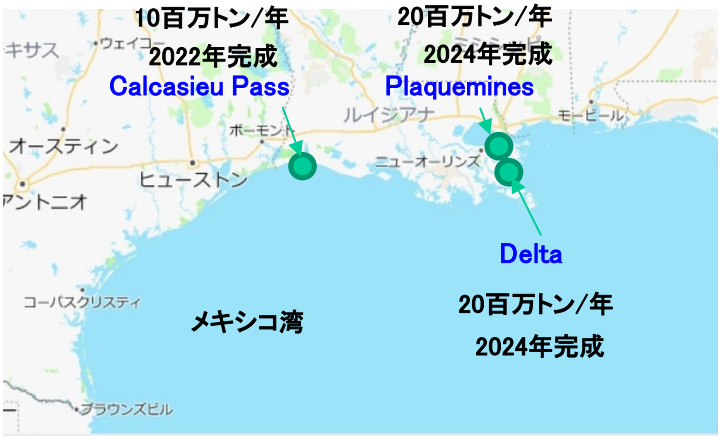
図表 4.3.21　米国産 LNG の国別推移



（出所）米国 EIA

・Venture Global の計画
LNG 開発計画の中で有名なものは Venture Global の計画である。ルイジアナ州に世界最大能力（50 百万トン/年）の Plaquemines ターミナルを 2024 年までの完成を目指して建設中（図表 4.3.22 参照）であり、ポーランドの PGNiG、中国シノペックと長期売買契約を締結した。
Calcasieu Pass の能力は 10 百万トン/年（2022 年完工）、Plaquemines 50 百万トン/年（2024 年完工）、Delta20 百万トン/年（2024 年完工）の天然ガス液化施設を建設中である。これまでに 8.6 億ドルの資金を調達した。主に欧州に輸出する。
さらに、12 月、同州の Cameron Parish に 4 番目の LNG 生産施設を建設することを発表した。20 百万トン/年の LNG 施設であり、完成時期は 2020 年代半ばになるとみられる。

図表 4.3.22　Venture Global の建設中 LNG 基地



・米国から欧州への LNG 輸出が拡大

ベラルーシとウクライナは、ロシアから輸入している天然ガスを米国産の LNG に置き換える検討を真剣に進めている。

2020 年に入ってから、ロシアの政治的意図も加わって、ベラルーシへの原油・天然ガスの供給を削減したため、ベラルーシはノルウェーからの LNG 輸入をはじめている。

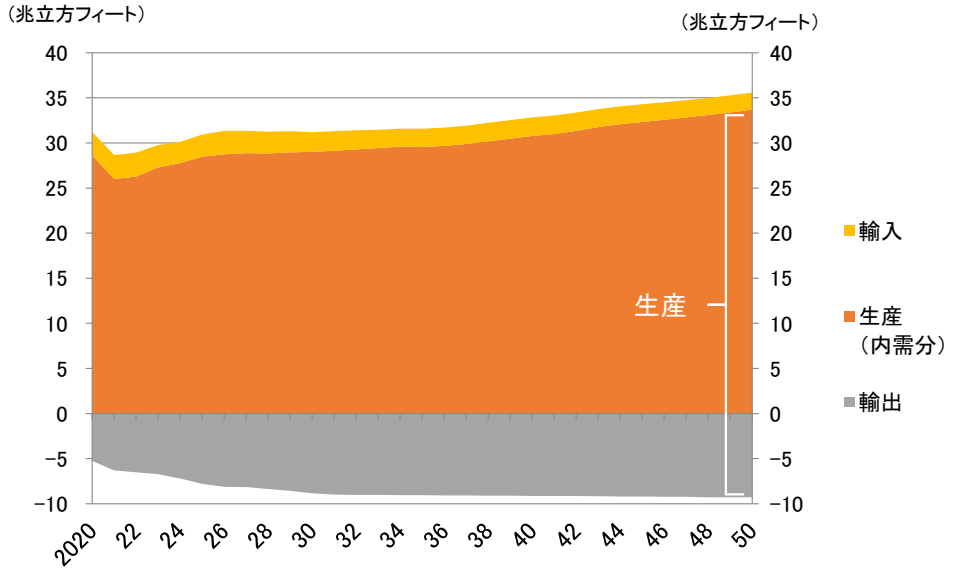
ロシアは、ウクライナを迂回して、ヨーロッパに天然ガスを供給するバルト海経由の Nord Stream 2 天然ガスパイプラインと黒海経由の Turk Stream 天然ガスパイプラインの建設を急いでいる。2 本のパイプラインが完成すると、ウクライナは、パイプラインで年間約 28 億 USD（GDP の約 3%に相当）の収入を失い、天然ガス供給ハブとしての役割も低下することになる。

一方、米国産 LNG とパイプライン輸送されるロシア産天然ガスの欧州における価格を比較すると、ロシア産が 2.00～3.00USD/MMBtu で、米国から輸入する LNG 価格は約 2 倍の 5.00～6.00USD/MMBtu と見られている。

（4）　米国産天然ガス生産・輸出入の長期見通し

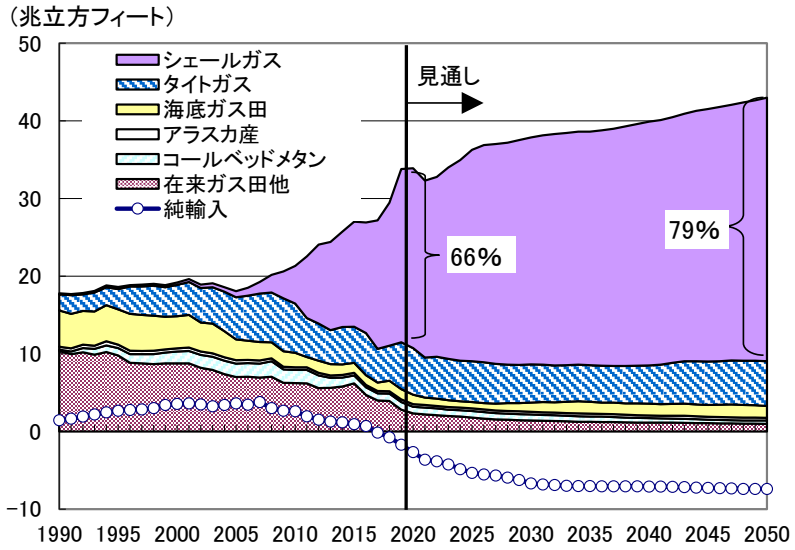
図表 4.3.23 に米国天然ガスの生産と輸入見通しを示す。世界の気候変動対策を背景に米国の天然ガス生産量は伸び続ける。その主役は、シェールガスで、2019 年時点では 66%であったが、2050 年には 79%になる予測である（図表 4.3.24 参照）。

図表 4.3.23　米国天然ガス生産・輸出入の長期見通し



（出所）米国 EIA, "Annual Energy Outlook 2021" February 2021

図表 4.3.24　種類別の米国天然ガス生産の推移と長期見通し



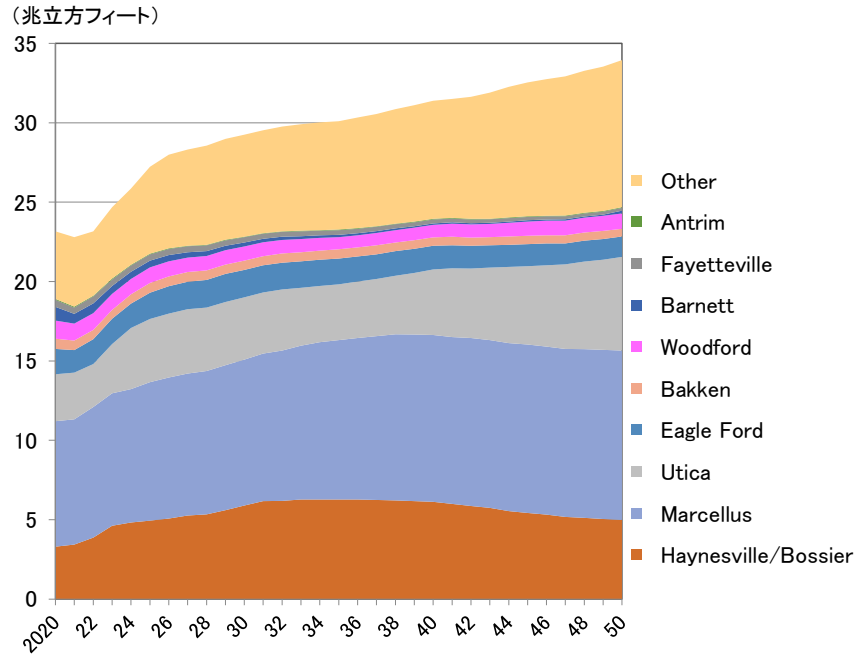
（注）タイトガスは、砂岩層に貯留した非在来型天然ガス、コールベッドメタンは石炭層に貯留する非在来型天然ガス

（出所）米国 EIA, "Annual Energy Outlook 2021" February 2021

・産地別シェールガスの長期生産見通し

米国シェールガスの生産量は 2050 年には、2020 年の 1.5 倍になる予測である。特に、マーセラス/ウティカのシェールガス生産量は、2020 年時点では 48%を占めている。増産を持続し 2050 年も 49%を占める（図表 4.3.25 参照）。

図表 4.3.25　米国産地別シェールガス生産の長期見通し



（出所）米国 EIA, "Annual Energy Outlook 2021" February 2021

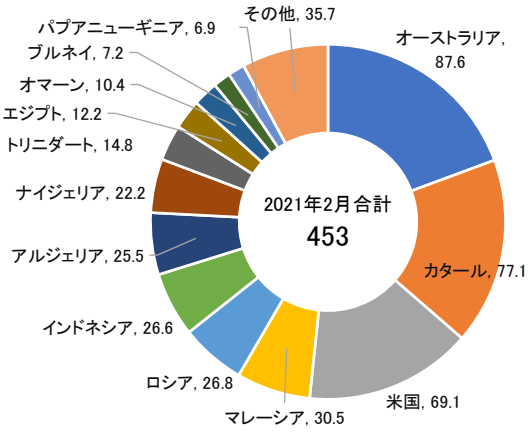
４．３．７　世界の LNG 開発と米国 LNG 増強

（１）　世界の LNG 液化能力と再ガス化能力

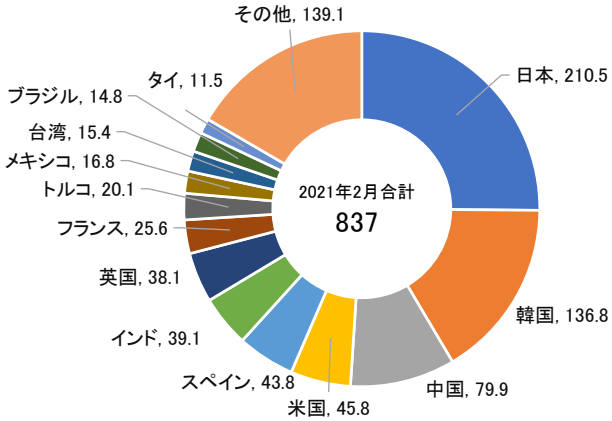
世界における LNG 液化能力は 2021 年 2 月時点で 4.5 億トン/年に達する。2019 年末（4.3 億トン/年）から 5.2%増加した。

図表 4.3.26　世界の国別液化能力と再ガス化能力（百万トン/年）

世界の国別液化能力



世界の国別再ガス化能力



（出所）IGU, "World LNG Report 2021"June 2021

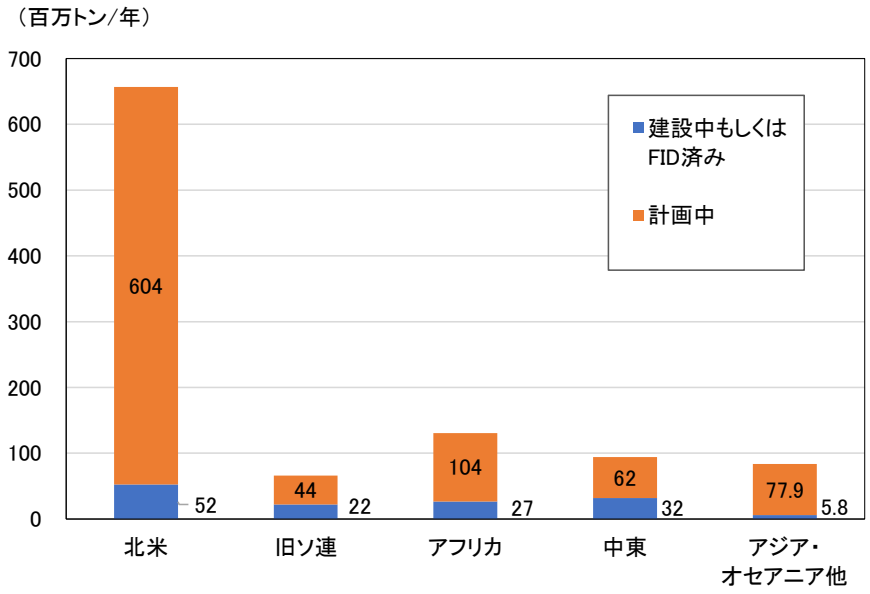
国別では、オーストラリアが 0.88 億トン/年、カタールが 0.77 億トン/年、米国が 0.69 億トン/年の液化能力を持つ。

再ガス化能力については 2021 年 2 月時点で 8.4 億トンとなる。2019 年末（8.2 億トン）から 1.9%の増加となった。
国別では、日本が 2.1 億トン、韓国が 1.4 億トン、中国が 0.8 億トンの再ガス化能力を有す。再ガス化は需要地に近いところで行われるため、天然ガス需要が旺盛で、天然ガス資源に乏しいアジア地域で再ガス化能力が増強されていくとみられる(図表 4.3.26 参照)。

（2） 今後の液化能力増強分

2021 年 2 月時点で建設中、もしくは最終投資決定（FID）済みのものは世界合計 1.4 億トンとなる。地域別には北米が 0.5 億トンを超え、次いで中東が 0.3 億トンとなっており、北米での増強が進む。FID されていない計画中のものを含めると、世界合計で 10.3 億トンを超え、そのうち 6.5 億トンが北米である（図表 4.3.27 参照)。
今後、シェールガスの増産が見込まれる中で、北米を中心に LNG 開発が進んでいく見通しである。

図表 4.3.27　地域別 LNG 液化能力増強分



（出所）IGU, "World LNG Report 2021"June 2021

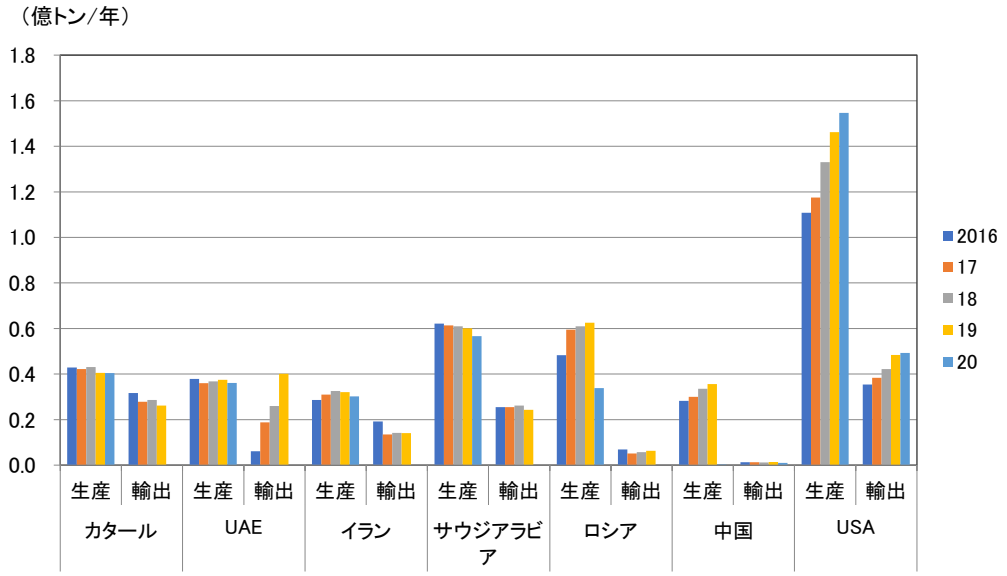
4．3．8　米国天然ガス液（NGL）の生産と輸出、長期生産予測

（1） 世界各国の液化石油ガス（LPG）の生産と輸出

・産油ガス主要国におけるプロパン等の生産

米国が圧倒的な地位を占めている。2010 年代において右肩上がりで生産量を伸ばし、2020 年時点で 1.5 億トンに達する。シェールオイルやシェールガスの随伴で生産が増えてきていることによる（図表 4.3.28 参照)。

図表 4.3.28　産油ガス主要国の LPG 等の生産と輸出量の推移

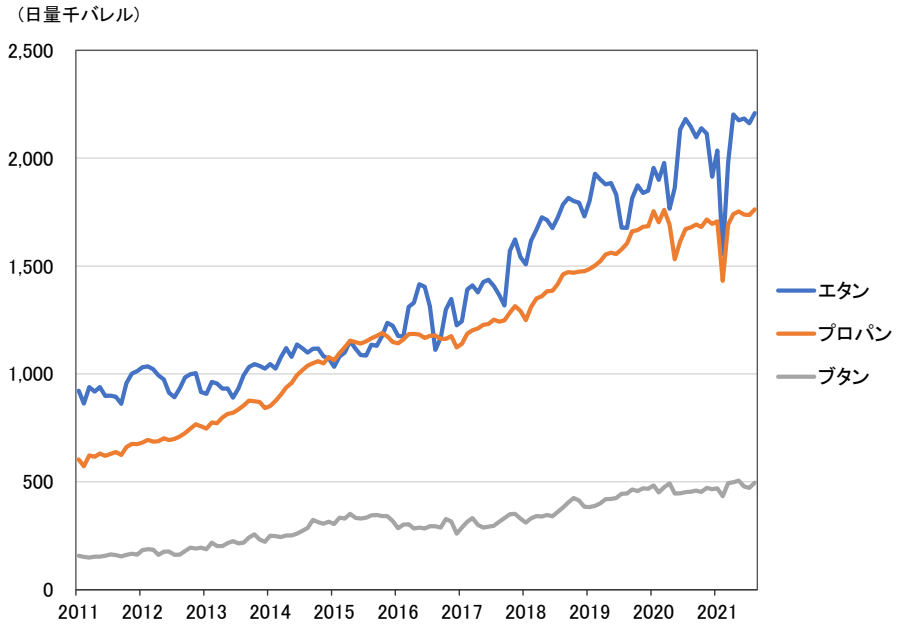


（注）NGL と LPG の両カテゴリーを合算して算出。国によってはダブルカウントしている恐れに注意

（出所）IEA, "World Energy Statistics"各年版

輸出についても米国が増やしていて、既に世界最大の輸出国となっており、2020 年時点では 0.5 億トンの輸出を記録している。米国の統計で確認するとプロパンの生産の伸びが顕著である。また、LPG ではないが石油化学原料として使用されるエタンの生産も伸びている。直近 2021 年 8 月時点ではプロパンが日量 176 万バレル、エタンが同 221 万バレルまで生産を伸ばしている（図表 4.3.29 参照）。

図表 4.3.29　米国における天然ガス液プラントからの生産量の推移



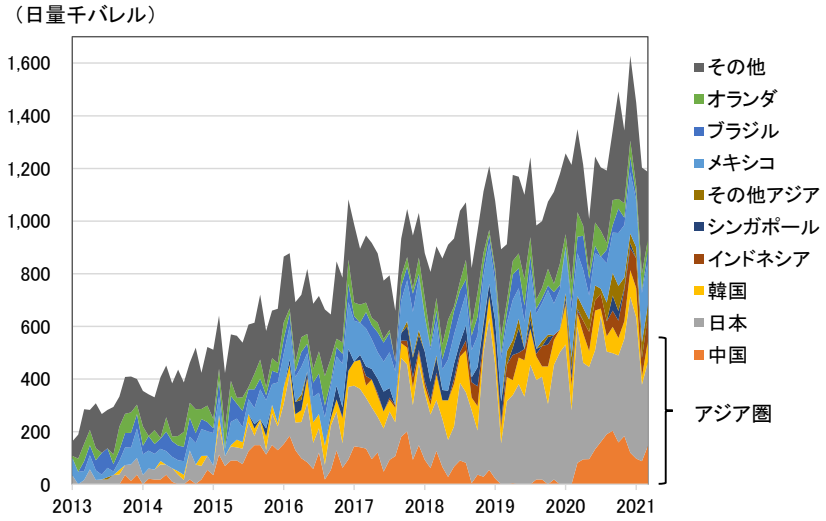
（出所）米国 EIA

・米国プロパンの国別輸出量

2020 年のプロパン輸出は前年比 14%増の日量 128 万バレルとなっており、日本、韓国、中国などアジア向けが全体の過半を占めている。

中東等の他のプロパン輸出国は、原油減産で生産量を確保することができず、輸出を減らしたことで、代わって米国が輸出を伸ばしたとみられる（図表 4.3.30 参照）。

図表 4.3.30　米国プロパンの国別輸出量の推移



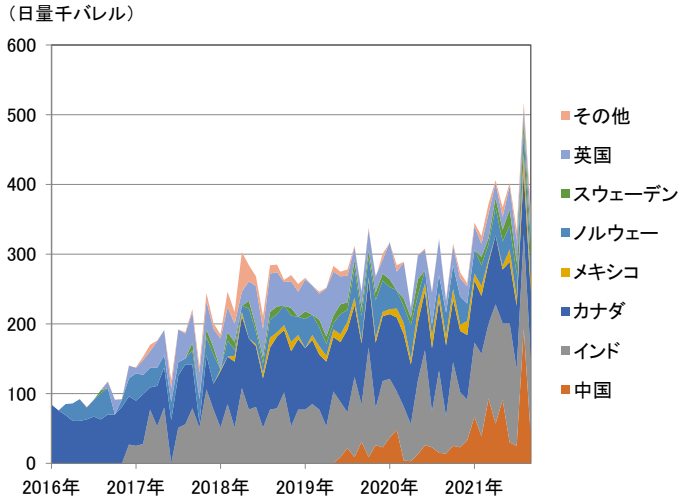
（出所）米国 EIA

・米国エタンの国別輸出量

2020 年のエタン輸出は日量 28 万バレルとほぼ横ばいであった。エタンの場合は、テキサス州の 2 カ所、ペンシルベニア州の 1 カ所の輸出基地から、米国産エタンを受け入れ可能な数カ国向けに輸出している。

その中で、中国やインド向けが全体の 4～6 割を占める（図表 4.3.31 参照）。

図表 4.3.31　米国エタンの国別輸出の推移

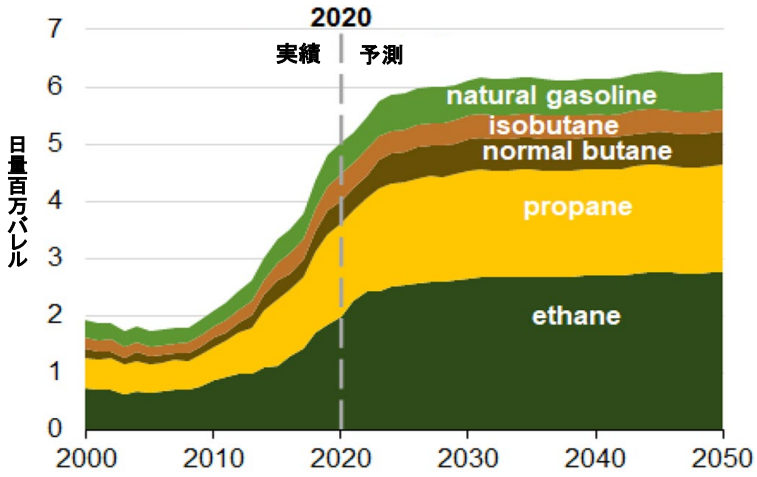


（出所）米国 EIA

（２）　米国 NGL 生産量の長期見通し

・シェールオイルの増産に伴って、2025 年頃までは、エタン、プロパン、ブタン、天然ガソリンはともに同じ増加率で増産し、以降は合計日量 6 百万バレル程度で横ばいになると予測されている。(図表 4.3.32 参照)。

図表 4.3.32　米国 NGL 生産量の見通し



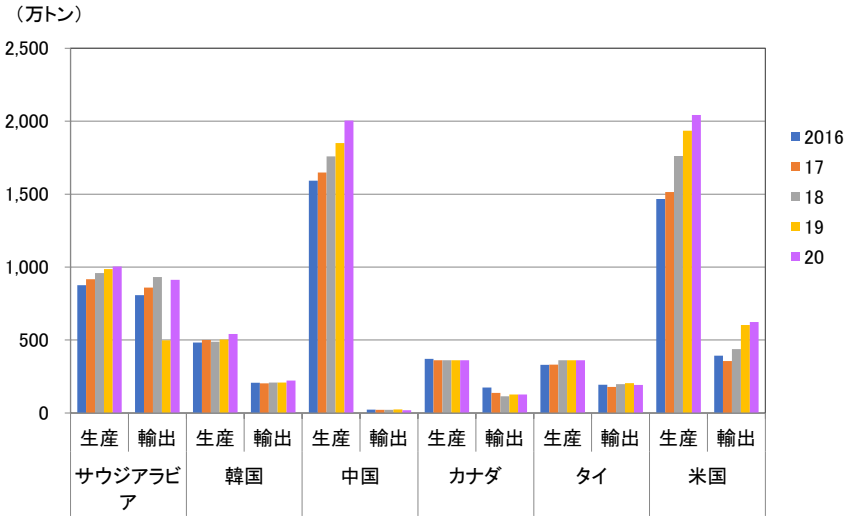
（出所）米国 EIA, "Annual Energy Outlook 2021" February 2021

４．３．９　米国石油化学製品の生産と輸出

（１）　世界各国のポリエチレン生産と輸出量の推移

世界のポリエチレン生産量は米中が 2 大大国である。それぞれ、2020 年時点では 2,000 万トン/年を超える。輸出についてはサウジアラビアが 2020 年時点で 900 万トンを超える輸出を記録しており、世界最大輸出国であるが、米国も 600 万トンを超える輸出大国となった（図表 4.3.33 参照)。

図表 4.3.33　産油ガス主要国のポリエチレンの生産と輸出量の推移



（注）高密度ポリエチレン、低密度ポリエチレンの合計。なお、2018 年、19 年、20 年の生産は予測
（出所）経済産業省世界の石油化学製品の需給動向 2019 年 10 月、UN COMTRADE Database 他

なお、生産統計は経済産業省が 2019 年 10 月に発表したものが最新で、その後はコロナ禍もあって中断している。

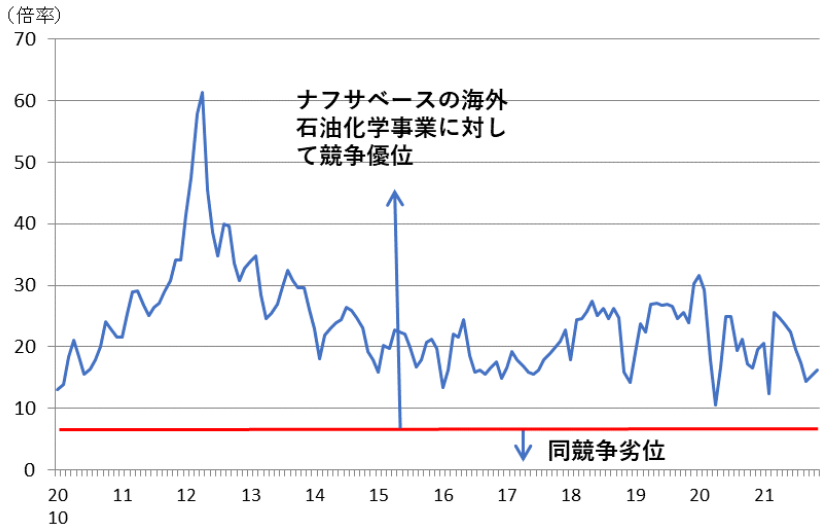
中国は高い経済成長によって、石油化学製品の需要増が急増し、生産は急拡大した。
一方、最近ではシェール革命第２波で、米国のエチレン及び関連誘導品を中心とした石油化学製品の生産と輸出が急増している点が世界の石油化学製品の生産と輸出の特徴である。

（２）　米国の石油化学競争力

米国の石油化学製品、とりわけエチレン及び関連誘導品の生産と輸出が拡大する背景には、安価な原料をベースとする高い価格競争力がある。
米国のエチレン関連の石油化学製品の原料はエタンであり、天然ガス随伴で生産されている。そのため、天然ガス価格に連動することが多く、原油価格連動のナフサを原料とする石油化学製品と生産コスト構造が異なる。

熱量換算して北海ブレント価格を米国天然ガス価格（ヘンリーハブ）で除して算出した倍率の推移を表したものを図表 4.3.34 に示す。
経験則的では原油価格が米国天然ガス価格の 7～8 倍を超えると、天然ガス由来のエタンが割安となって米国エチレン関連製品の価格競争力が高くなるとされる。
図中、2010 年代において一時的に低下した時期があったが、同倍率は 10～20 倍で推移しており、米国エチレン関連の石油化学製品の価格競争力が高いことが伺える。

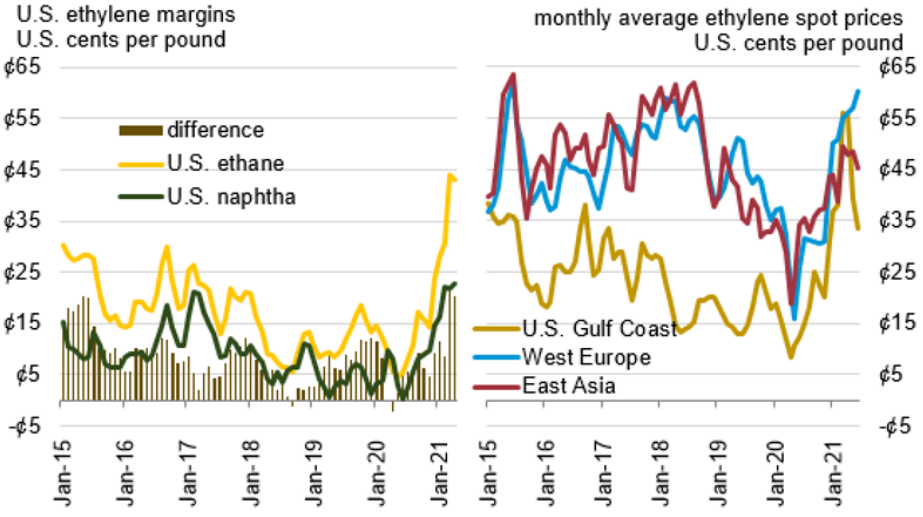
図表 4.3.34　米国石油化学事業のコスト競争力の推移
（北海ブレント価格を米国天然ガス価格で除した倍率）



（出所）米国 EIA ウェブサイトから作成

米国エチレンの原料によるマージン差を見てもエタン由来の石油化学製品のマージンの高さが見て取れる。
さらに、欧米アジアのエチレン価格の推移をそれぞれ見ても、基本的に米国エチレン価格が比較的安価に推移しており、米国産エチレン及び関連誘導品の価格競争力の高さを伺うことができる（図表 4.3.35 参照）。

図表 4.3.35　米国エチレンの原料によるマージン差と欧米アジアのエチレン価格推移



（出所）米国 EIA, "This Week in Petroleum" 2021 年 6 月 16 日号

（３）　米国における石油化学プラント建設計画

2021 年以降の米国のエチレン及び関連誘導品などの石油化学プラントの建設・建設計画を図表 4.3.36 に示す。

2021 年以降のエチレンプラント（エタンクラッカー）建設計画について、2024 年までに FID 未済分を含めれば、900 万トンが新設・増設される予定であるが、コロナ禍の影響で生産開始が遅れたり FID が延期されたりしている。プロパン脱水素（PDH）プロジェクトについてはカナダのプロジェクトの 1 件の FID が無期限延期となった。

2021 年、22 年のエチレンプラント建設プロジェクトは新型コロナの収束によって完成に向かうとみられるが、23 年以降のプロジェクトについては不透明感が漂う。
中国や中東等の地域で石油化学製品が増産されて競争が激化して石化価格が低下すると予想されているだけでなく、脱炭素化の進展で化石原料への忌避感が高まっており、サーキュラーエコノミーの進展が世界的に進めば、従来の石油化学製品への需要に影響を与える恐れがある。今後、世界各国で炭素税や排出権取引など環境関連政策の導入が進むことにも注意が必要である。

図表 4.3.36　2021 年以降の米国エチレン等のプラント建設及び建設計画の一覧

企業	立地先	立地州	生産能力（万トン）	生産開始年	ＦＩＤ	備考
Total/Borealis	Port Arthur	テキサス	100	2021年6月	済	Borstar PE(62.5万トン、2022年)
ExxonMobil & SABIC	Corpus Christi	テキサス	180	2021年4Q	済	ポリエチレン（二基、130万トン）、MEG（110万トン）など
Shell	Monaca	ペンシルベニア	150	2022	建設再開	高密度ポリエチレン（50万トン、2020年代初頭）、直鎖状低密度ポリエチレン（55万トン×2、2020年代初頭）
Formosa Petrochemical	St. James Parish	ルイジアナ	120	2022	延期	HDPE（40万トン、2022年）、LLDPE（40万トン、2022年）、EG（90万トン、2022年）
PTT GC	Belmont County	オハイオ	100	未定	延期	高密度ポリエチレン（35万トン×2）、EG(80万トン)
Lotte	Lake Charles	ルイジアナ	50	～2023	計画中	
CP Chem & Qatar Petroleum	湾岸		200	2024	延期	高密度ポリエチレン（200万トン、2024年）
Formosa Plastics	Point Comfort	テキサス	60	2022	済	PDH、建設中（遅延）
Enterprise Products Partners	Mont Belvieu	テキサス	75	2023年H1	済	PDH
ペトロロジスティクスⅡ	湾岸		50		計画中	PDH
BASF	Freeport	テキサス	48		保留	PDH

（注）SASOL のルイジアナ州の石化コンプレックスは 2020 年 12 月に LyondellBasell との合弁事業となった。まだ同社は INEOS との HDPE 合弁についても売却した。信越化学工業はルイジアナ州での塩ビ一環系列を増強して 23 年末で PVC67 万トン増産する。PDH についてはカナダで 2 件建設計画が存在しているが、Pembina のプロジェクトは無期限延期となった。

（出所）報道資料から作成

（4） 米国の石油化学製品の輸出の推移

米国内で生産されたポリエチレンなどエチレン誘導品は国内だけでなく、アジアなど海外に輸出されている。

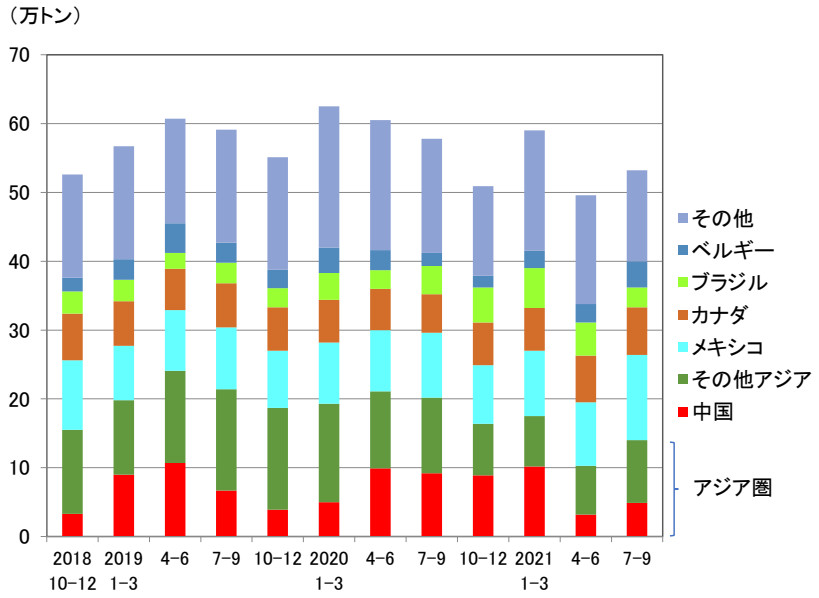
・低密度ポリエチレンの輸出

2020 年輸出は 232 万トンを記録した。前年から 0.3 万トンしか増えておらず、微増であった。輸出国別では、輸出主要国は横ばいないし低下する中で、コロナ禍からの回復が早かった中国向けが前年差 28 万トンと伸びている（図表 4.3.37 参照）。

・高密度ポリエチレン輸出

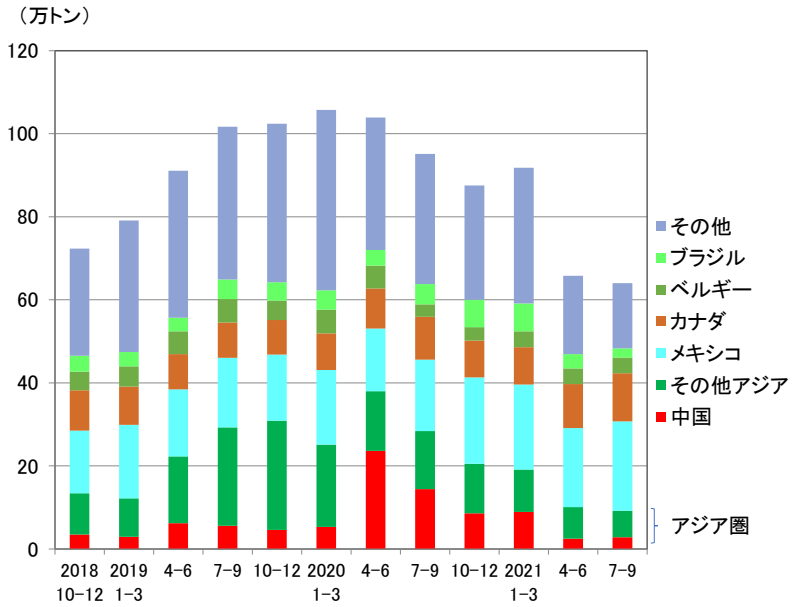
2020 年輸出は 392 万トンと前年から 17 万トンの増加となった。中国向けが 52 万トンと前年から 32 万トン伸びている。これは、これまで対米関税が適用されていた同製品が除外されたことが大きい（図表 4.3.38 参照）。

図表 4.3.37　米国からの低密度ポリエチレンの輸出量推移



（出所）IHS Markit, "Global Trade Atlas Database"

図表 4.3.38　米国からの高密度ポリエチレンの輸出量推移



（出所）IHS Markit, "Global Trade Atlas Database"

・直鎖状低密度ポリエチレンを含むエチレン-αオレフィン共重合体の輸出

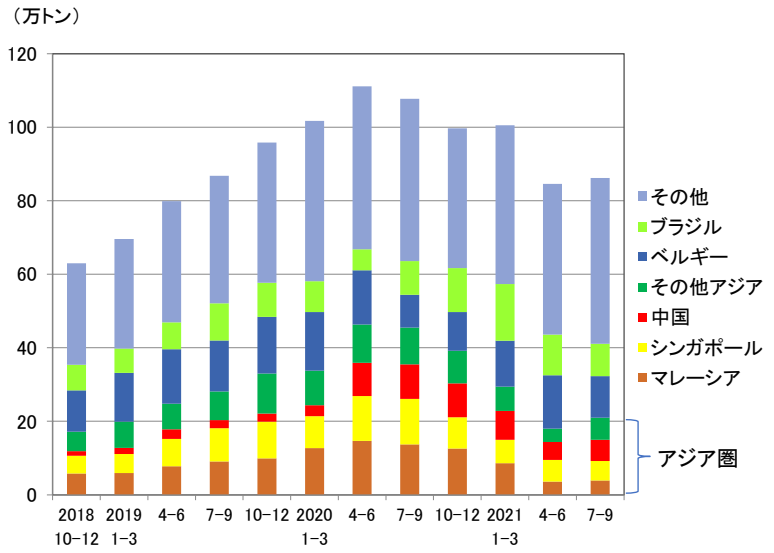
2020 年輸出は 420 万トンと前年から 88 万トン増加した。中国向けが 31 万トンと前年から 22 万トンの増加、その他アジア向けが 135 万トンと前年から 37 万トン増えている。中国向けに関してはこれまで適用されていた対米関税が除外となったことも影響している（図表 4.3.39 参照）。

・エチレングリコールの輸出

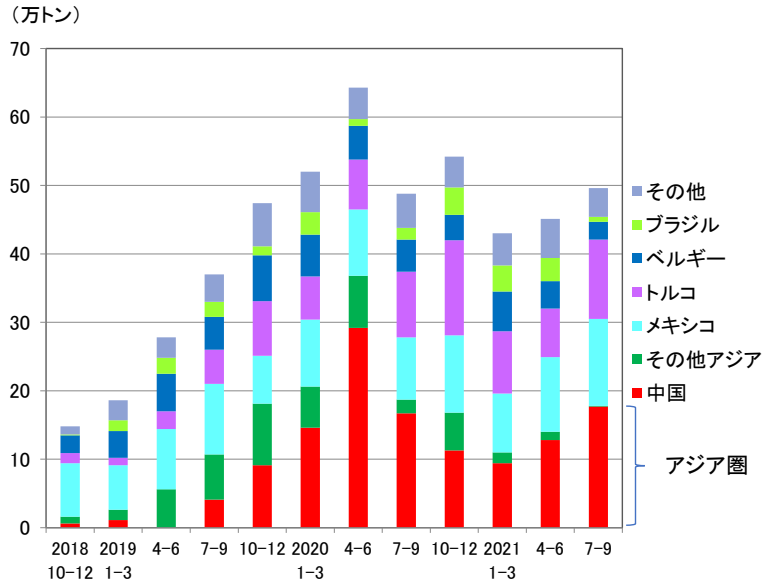
2020 年輸出は 219 万トンと前年から 89 万トン増えた。中国向けが 72 万トンと前年から 48 万トン増えている。

なお、2021 年に入ってから輸出が低下しているが、米国経済がコロナ禍から回復していて、これらの製品が内需に振り向けられていることに加えて、サプライチェーンの混乱や国際海運の混雑で米国からの輸出にブレーキがかかっていることも影響している（図表 4.3.40 参照）。

図表 4.3.39　米国からのエチレン-αオレフィン共重合体の輸出量推移



図表 4.3.40　米国からのエチレングリコールの輸出量推移



（出所）IHS Markit, "Global Trade Atlas Database"

４．４　中流最大手エンタープライズ社の石油化学展開への事業モデル

米国の中流の雄であるエンタープライズプロダクツ（EPD 社）によるシェール革命第２波に関わるインフラ投資拡大、及び中流の化学事業進出モデルは次世代に向けた中流の石化シフト事業戦略として注目される。

中流が取り扱う製品は、原油、LPG、石油化学原料となる NGL、軽質原油である。また、環境負荷の小さい天然ガスも扱うため、CO2 排出削減への取り組みへも容易にシフトできる構造を有している。

シェールチェーンの分断を回避するための中流の事業戦略は、カーボンニュートラルを

公約した米国の今後の広域シェールガス油チェーンの変容を予測する上で重要である。特に、アジア圏への主な輸出元である EPD 社の事業戦略を中心に、EPD 社の株主向け最新情報他に基づき、調査・分析した結果を示す。

４．４．１　EPD 社の保有設備、コロナ禍前後の安定した収益、事業投資

（１）　EPD 社の概要

ヒューストンで 1999 年に設立された中流のエネルギー会社である。創始者のダンカン氏は、トラック１台から始め、シェール・ミッドストリーム（中流企業）の中で、群を抜いた巨大な企業に成長する礎を築いた。

モントベルビューでの岩塩層の発見は偶然であった。もとは原油を発掘していたところに、たまたま岩塩層に当たった。原油採掘を断念し貯蔵設備として巨大岩塩層を持ち続けたお蔭で、モンテベルビューが現在、メキシコ湾岸での重要なハブとなりえた。ダンカン氏の先見の明である。

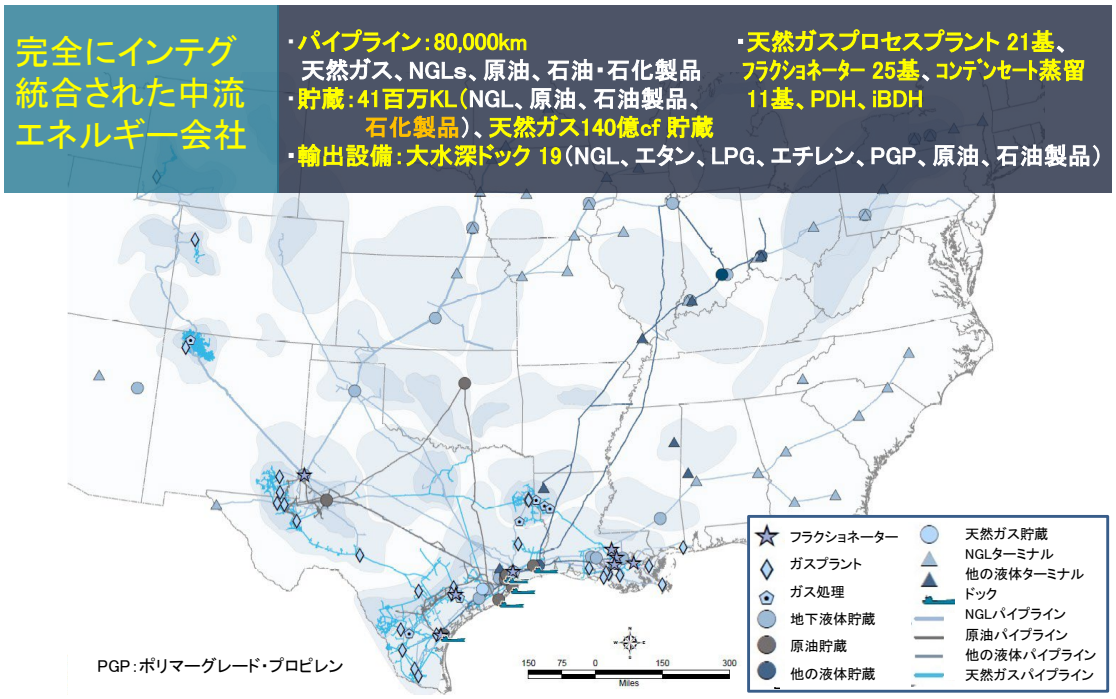
モントベルビューはパーミアン、イーグルフォードの優良鉱区、米国最大石精石化コンビナート群（PADD3）に近接している。パイプライン、貯蔵設備、需要家が集積していたことで、EPD 社はシェール革命を推し進める原動力となりえた。

（２）　EPD 社の 2020 年保有設備

EPD 社は、P/L、プラント、貯蔵、港湾出荷を運営する米国中流のリーディングカンパニーで、米国内の上流から下流までの広大なシェールチェーンを担う。

2021 年 5 月現在の保有設備とその接続性を図表 4.4.1 に示す。

図表 4.4.1　　EPD 社の保有資産と接続性



（出所）ENTERPRISE PRODUCTS PARTNERS L.P. May, 2021, INVESTOR DECK 資料を編集

（３） 広範囲にわたる接続性

EPD 社所有の設備は、国内の主要シェール田（上流）と国内の殆どのエチレン装置及びロッキー山脈東側の製油所の 90%及び 26 のメキシコ湾岸 PGP*とを接続（下流）し、米国内の広大なシェールチェーンを形成している。(*ポリマーグレード・プロピレン)

また、原油、各種製品を大量に貯蔵することができ、国内外へ大型出荷及び輸出できる入出荷設備を備えている。

（４） EPD 社のコロナ禍前後の安定した売り上げ総利益

フィーサービス（通油量に課金する業態）が主であるため原油・天然ガス価格に関わらず取り扱い量が変わらなければ安定した収益を得ることができる。

2020 年通年のグロス・オペレーティング・マージン（売上総利益）は、84 億ドルであり、2020 年春の新型コロナショックにかかわらず、2019 年の 83 億ドルとほぼ同じである。

EPD 社のビジネスモデルは MLP（Master Limited Partnership）であり、米国に於ける資源開発用インフラでは、一般的に見られる。中流として必要な、パイプライン（油田からフラクショネーターまで、各製品のタンクからユーザーまで)、フラクショネーター、ソルトドームストレージ設備投資の資金を株主から公募する。

利益の大半を株主に還元されるため、納税義務は株主に発生するが EPD 社には発生しない。ユーザーとの契約は、「Take - or - Pay Contract」(注1) になっている。

(注１）買い手が商品、あるいは、サービスを引き取らない場合でも一定金額の支払義務が生じる。

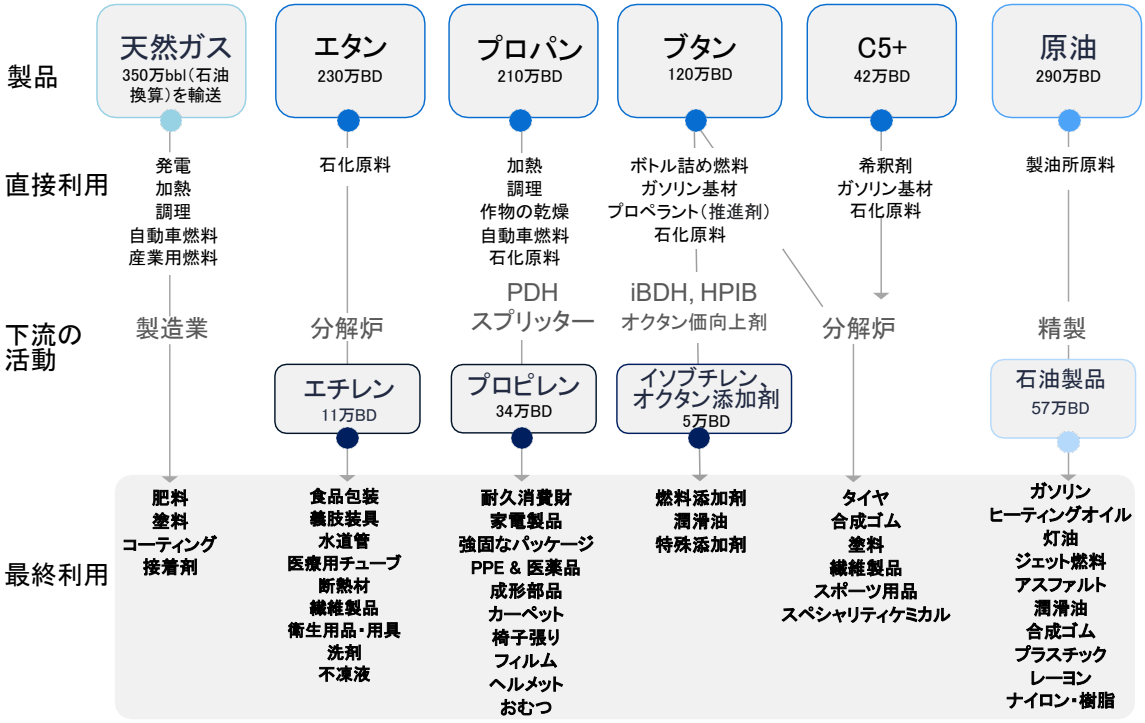
出荷量に応じて、費やしたコストを料金として、ユーザーから受け取る。パイプライン、ストレージ等の設備投資を伴うので、(投資設備の償却のため）契約期間は長期となる。したがって、ユーザーと出荷量、ストレージ量等を長期契約する。ユーザーが契約の最低量を下回った場合にはペナルティが発生する。このように、EPD 社には損失が発生しないようになっている。

ただし、EPD 社には、プラントのトラブル等による停止によるリスクは存在する。利益は株主に還元するしくみである。MLP の性格上、リスク的な要素は全体の 10%以下にする必要がある。

（５） EPD 社の安定した稼働と収益確保

EPD 社が取り扱う製品は下流が化成品につながっている。日用品に不可欠な原材料の輸送で収入を得ているから、ここでも安定した収益が期待できる（図表 4.4.2 参照)。

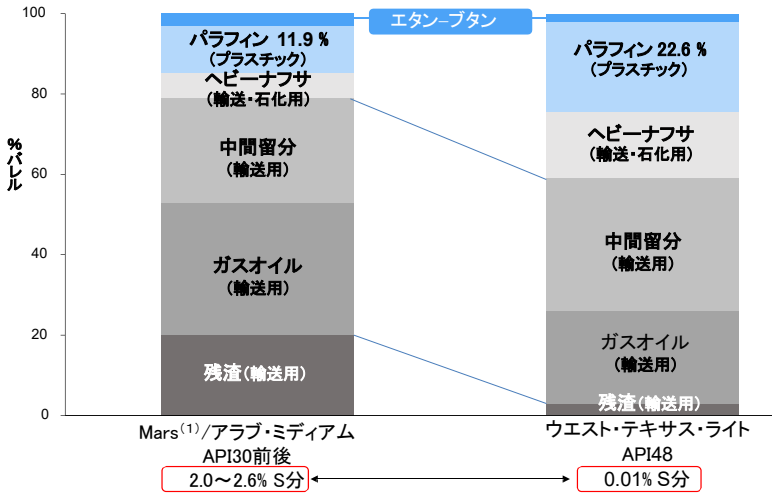
図表 4.4.2　EPD 社から下流への原材料の供給



（出所）EPD

シェールオイルのエタン～ヘビーナフサ留分の得率は、アラブメディアム、MARS 原油の約 2 倍である。かつ、残油の得率は極めて少なく、全ての留分は低硫黄である。ナフサの硫黄分は殆ど無いので、脱硫コストも少ない（図表 4.4.3 参照）。
しかも、軽質ナフサ留分得率も約 2 倍であり、且つ、パラフィン成分が多いのでエチレン収率が高い。シェールオイルを扱う EPD 社は石化とインテグし付加価値アップを実現している。

図表 4.4.3　シェールオイルと一般原油との比較



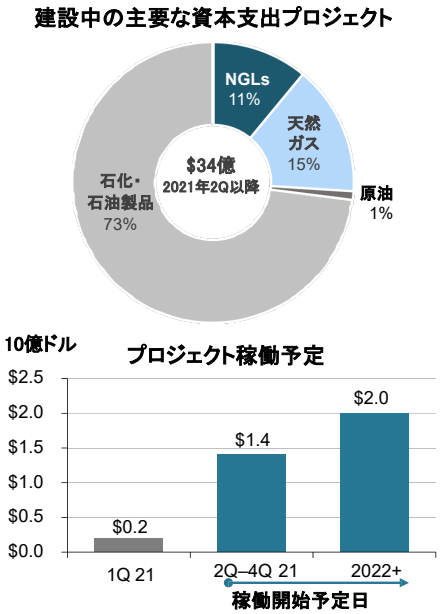
（出所）EPD　　（注１）メキシコ湾海底油田 Mars

（６） 建設中の主要な資本支出プロジェクト

図表 4.4.4 に、4 分野（NGL、天然ガス、原油、石化・石油製品）で、現在進行中のプロジェクトを示す。なお、投資 34 億ドルには、検討中のスポット輸出ターミナル建設プロジェクトは除く。

図表 4.4.4　EPD 社の進行中プロジェクト

	主要な資本支出プロジェクト 2021年以降	稼働時期
NGL	モントベルビューからバーモントまでのエタンのパイプライン延長	2Q 2021
	C5ハイドロトリーター	2H 2021
天然ガス	ギリスラテラルとアカディアン・ヘーネスビル拡張	4Q 2021
	パーミアン収集と残渣ライン	4Q 2021
原油	ミッドランドとECHOタンク拡張(M2E3補助)	稼働中
石化・石油製品	エチレン輸出ターミナル、貯蔵、パイプライン	2Q–3Q 2021
	PDH 2設備	2Q 2023
	その他プロジェクト	2Q–3Q 2021 & 2022



（出所）EPD

EPD 社は、優良鉱区のパーミアンを起点に、広域シェールチェーンを強化拡大し、化成品の輸出インフラを増強している。シェール革命第２波も加わり、アジア圏への輸出増大が予想される。EPD 社は、優良顧客と長期契約を結んで、2023 年中には全てのプロジェクトが稼働開始する予定である。

４．４．２　EPD 社の中期事業戦略

（１） 2021-2022 年のマクロ・エネルギー見通し

①供給サイト

OPEC プラスは、米国のシェールを注意深く見ながら世界の石油市場のバランスを注視している。

一方、米国の石油開発は高い収益性を得ているが規律は保たれており、年間成長率は 5%で、株主への配当を厚くしている。

最善の資本投下と地理条件を持つ米国は、現在の環境でも優位性を保っている。

パーミアン鉱区は、最高の ROIC（投下資本利益率）を得ており、他の盆地に比べ 3 倍の DUC（未仕上げ油井）数を誇る。開発業者は自社の油井同士の競争をして、多数の合併が生じている。

世界経済は回復を続け、全ての指標が強い復調を示している。全てのコモディティに近年に無いプレミアムが付けられている。

②需要サイト

エチレンやプロピレンなどの石化製品については、医療用の個人用防護具や専用保存容器などを含めて、その需要は依然として強い。プロピレンの需要は、経済が回復し在庫の積み上げが始まったので、耐久性プラスチック向けに増加している。エチレン、プロピレンの成長率は 3%の GDP 成長率を上回る 3.3%である。

米国のエチレンクラッカーの能力は、冬の嵐とハリケーンの長引く被害で低下してきたが、依然として高いマージンによって稼働率は着実に回復している。

製油所の稼働率は 2 月に 65%の底を打ち 86%まで回復した。回復が遅いジェット燃料以外は、順調に回復した。LPG 輸出は世界的に住宅用と石化用需要に支えられている。

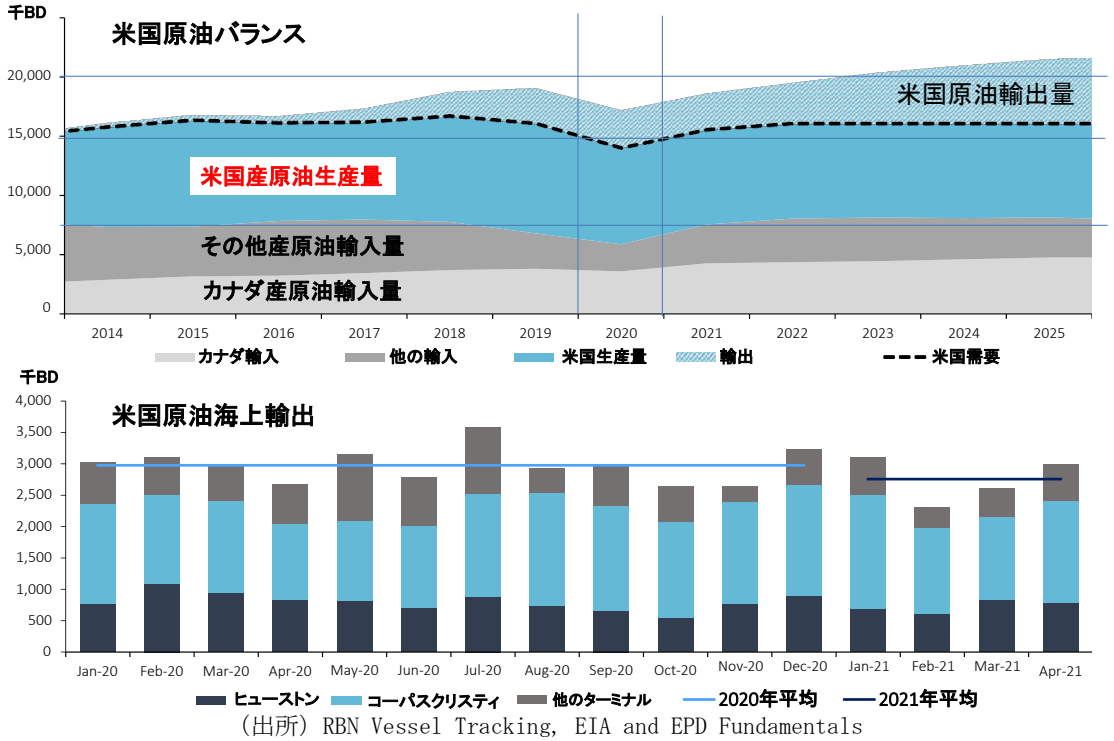
（２） 米国の原油需給バランス推移と予測（2014－2025 年）

EIA の予測 1,320 万 BD の原油供給量に対して、内需は 2014 年からほぼ横ばいの約 1,500～1,650 万 BD レベルである（図表 4.4.5 参照）。

一方、カナダ及びその他国からの輸入は、2014 年以降も約 750 万 BD 一定である。

2025 年の総原油供給量、約 2,175 万 BD に対して、内需は約 1,650 万 BD であるから、2025 年には、米国からの原油輸出は約 500 万 BD に到達する見通しにある。

図表 4.4.5 米国の原油需給バランス推移と予測 2014－2025 年



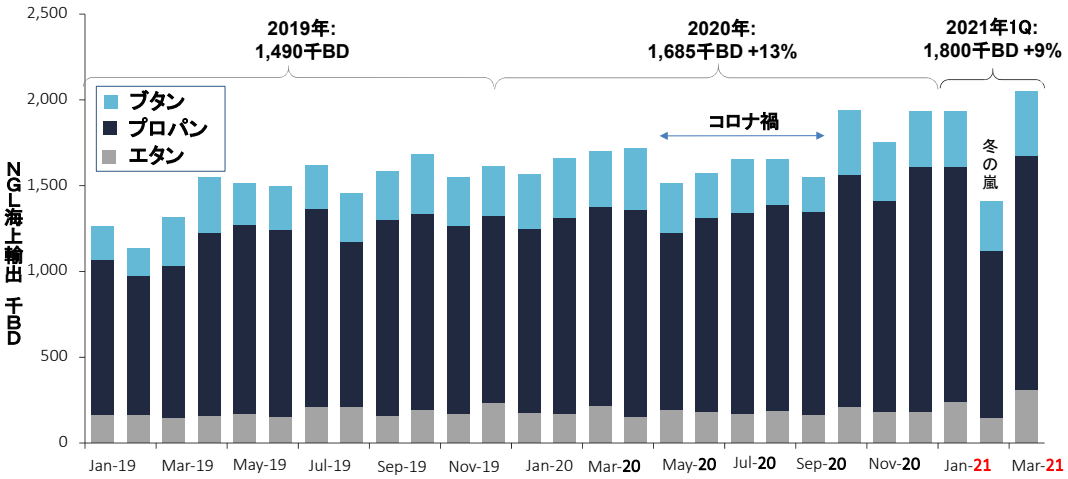
（出所）RBN Vessel Tracking, EIA and EPD Fundamentals

2015 年 12 月に原油輸出解禁法が成立し、米国原油は世界に輸出できるようになったが、経済的要因の他に、米国産原油の世界への供給で地政学上のリスクを抑制する意味合いもある。米国が産油国としての輸出拡大で、OPEC プラスの価格調整力は先行き不透明になり、世界の原油価格は不安定になることが懸念される。

（３） 米国 NGL の輸出推移（2019－2021 年 3 月）

2019 年の NGL（エタン、プロパン、ブタン）の輸出量は、1,490 千 BD、コロナ禍を含む 2020 年でも 1,685 千 BD、2021 年 1Q も冬の嵐にもかかわらず米国 NGL の輸出量は増加して続けている。世界経済の回復過程では NGL 需要の強さが目立つ（図表 4.4.6 参照）。

図表 4.4.6　米国の NGL 海上輸出量推移

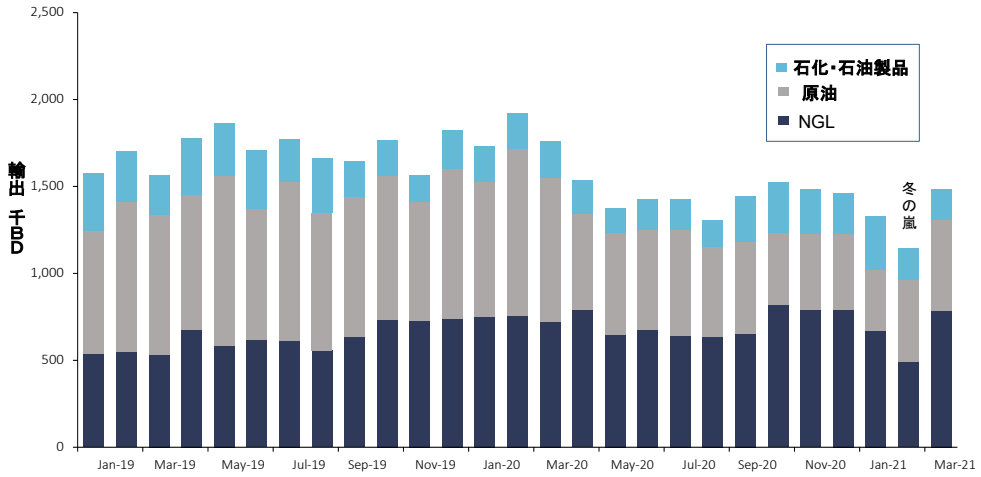


（出所） IHS Waterborne

（４） EPD 社からの NGL、原油、石化・石油製品輸出量トレンド（2019－2021 年 1Q）

EPD 社設備からの NGL、原油、石化・石油製品の輸出は回復力がある（図表 4.4.7 参照）。

図表 4.4.7　EPD 社からの 3 製品輸出量トレンド（2019－2021 年 1Q）

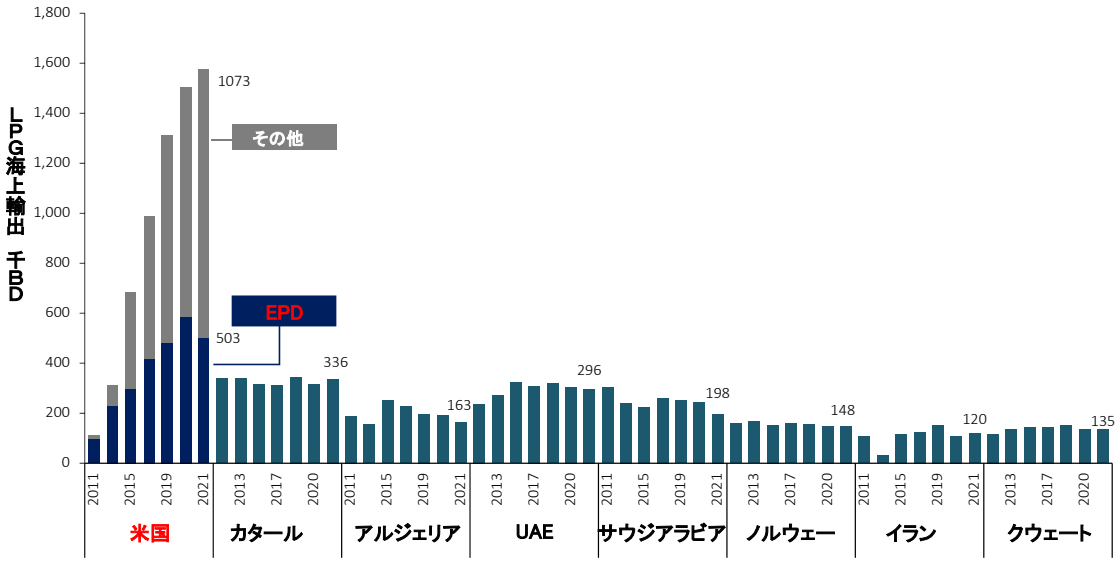


（出所） EPD, Waterborne and RBN Energy

（５） EPD 社設備からの LPG 輸出量は突出

米国は世界第 1 位の LPG 輸出国である。LPG は石炭やバイオマス（木材など）に入れ替わっている。世界の LPG 需要の 70%以上を占める住宅市場で消費が増加し、成長促進されている。特に、EPD 社だけでも世界の一国の輸出量を凌駕している（図表 4.4.8 参照）。

図表 4.4.8　世界の LPG の輸出量推移



（出所）EPD 社、2021 年 1Q におけるデータに基づき作成

（6）　EPD 社のエネルギー革新における役割

EPD 社は、世界の人口は増加し続けることを踏まえて、図表 4.4.9 に示す 4 つの事業分野を通して、サステナブルな事業発展を目指している。

環境課題に対しても、新しい取り組みで視点を広げて、2021 年に革新的技術導入のために新チームを結成し、炭素回収、水素、リサイクル、再生可能エネルギー燃料他の事業のチャンスを検討評価する。

（EPD 会長談）

我々は、排出ガスであれ漏洩や廃棄であれ環境への影響を限定し、減少させるためにエネルギーをより効率的に使う責任がある。よりクリーンで手ごろな価格のエネルギーを使えることが寿命や生活水準、教育、経済的繁栄という意味で世界中の人類の発展を進める。国連のデータもそう示している。風力や太陽光が CO2 排出量を削減するために重要な役割を持つ。我々は、CO2 排出量が少ない天然ガス、NGL、低硫黄原油が世界へのエネルギー供給、効率、便利さ、現代的生活を提供する上で、重要かつ長期的な役割を果たすと考える。

図表 4.4.9　中流 EPD 社の事業の強みにつながる 4 つの事業分野

日用品	乗り物関係	医療	再エネ、他
携帯電話、PCの部品 食品パッケージ 衣服、靴 織物、カーペット、家具 脱臭剤、化粧品 医薬品 洗剤 おむつ スポーツ用品	• 小型乗り物の外装：車、飛行機、ボート • タイヤの合成ゴム • 燃料添加剤 • エンジン冷却剤 • インテリアパネル、シート、カーペット • コーティング • 絶縁・断熱材 • 塗料	• 滅菌包装（使い捨て）：IVバッグ、注射器、薬瓶、ライナー • エチルアルコール/手指消毒剤 • 機器：人工呼吸器、心拍数モニター、吸引機、除細動器、酸素マスク • 個人用保護具（PPE）：手袋、ガウン、フェイスカバー • 部屋の利便性：ベッドとテキスタイル	• 風車とソーラーパネルの部品 • バッテリーコンテナと部品 • コーティング • 絶縁・断熱材 • 塗料 • 割れないガラス • 農薬

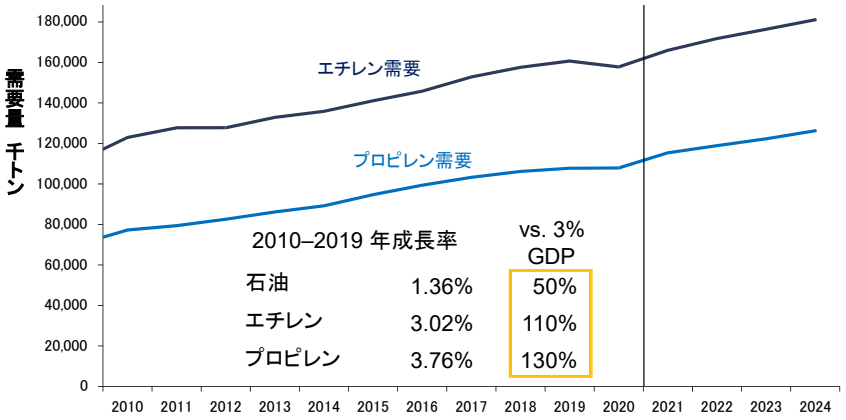
（出所）EPD

４．４．３　EPD 社の石油化学中流モデル、化成品のオープンアクセスハブ

（１）　石化市場の成長潜在性と EPD 社の役割と差別化

EPD 社は、今後の石化市場の流れに沿った投資によって中流事業のスケールメリットとコストベネフィットを享受している。今後、新興国市場の生活の質の向上によって基礎化学品とインフラの需要が高まることから石油化学分野への投資は、リスクが少なく、成長が期待できる（図表 4.4.10 参照）。

図表 4.4.10　エチレンとプロピレンの成長トレンド

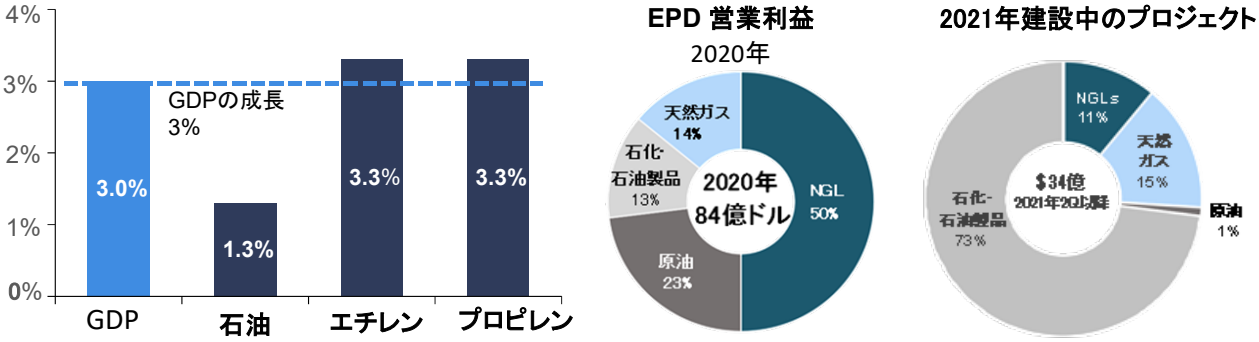


石化の石油需要	2019	2030	2040
IEA方針（ベースケース）	11 百万BPD	14 百万BPD	17 百万BPD
成長		+3 百万BPD（石油の成長率の60%）	+4.5 百万BPD（石油の成長率の75%）
プロジェクト廃棄への強い規制シナリオ		+2.6百万BPD	N/A
持続可能開発シナリオ		+2.1百万BPD	N/A

（出所）IEA WEO 2020, Bloomberg and EPD Fundamentals

EPD 社は、石油より大きく成長が見込まれる石化事業に投資を増やしている。(図表 4.4.11 参照)。化成品製造設備を含む世界的規模を誇る設備は、1978 年から安全安定の操業を続けている。

図表 4.4.11　世界の成長率（2015-2019 年 平均)、EPD 社の営業利益と建設中 PJ



（出所）Nexant World Bank、RING 編集

（2） 中流モデルの適用による石油化学市場取引の変革

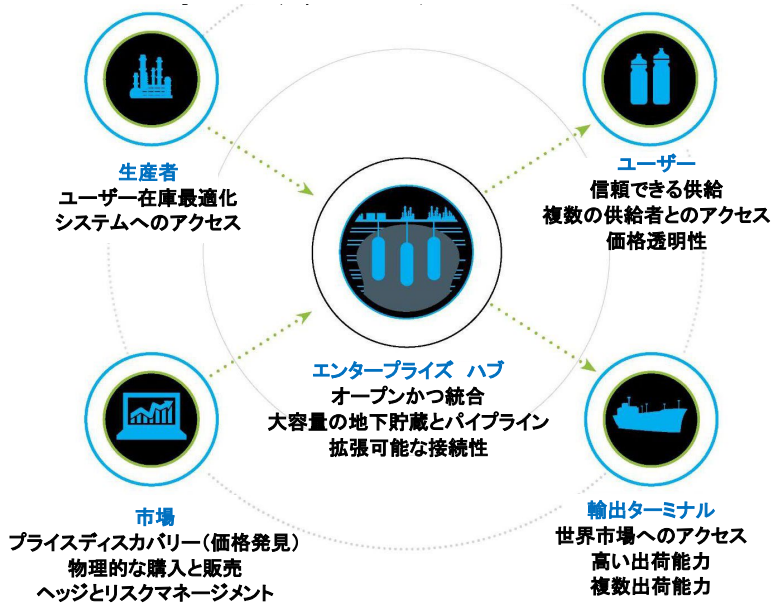
・バリューチェーンに完全統合できる規模とその経済性を提供

EPD 社は、世界規模の統合ロジスティクスとプロセスサービスを下流の顧客に提供することでバリューチェーンに完全に統合される。フィーベース事業なので着実に成長する。過剰投資はしない。EPD 社のスケール、信頼性、柔軟性を提供することで、顧客は下流における独自の優位性に集中できる。

・世界的石化市場取引を変革する中流のオープンアクセスシステム（図表 4.4.12 参照）

EPD 社は、世界で最もリンクし易く、アクセスできる石化市場で最もコスト競争力がある地域の中心にあり、安定的に石化製品を生産できる。

図表 4.4.12 オープンアクセス・エチレン・プロピレンハブ



（出所）EPD

保有するオープンアクセス・エチレン・プロピレンハブによって、中流企業として、広範囲のサービスを支援し、北米の石化産業を世界市場と結ぶ。また、透明な価格と信頼できる指標によって石化製品のコモディティ市場を創出する。

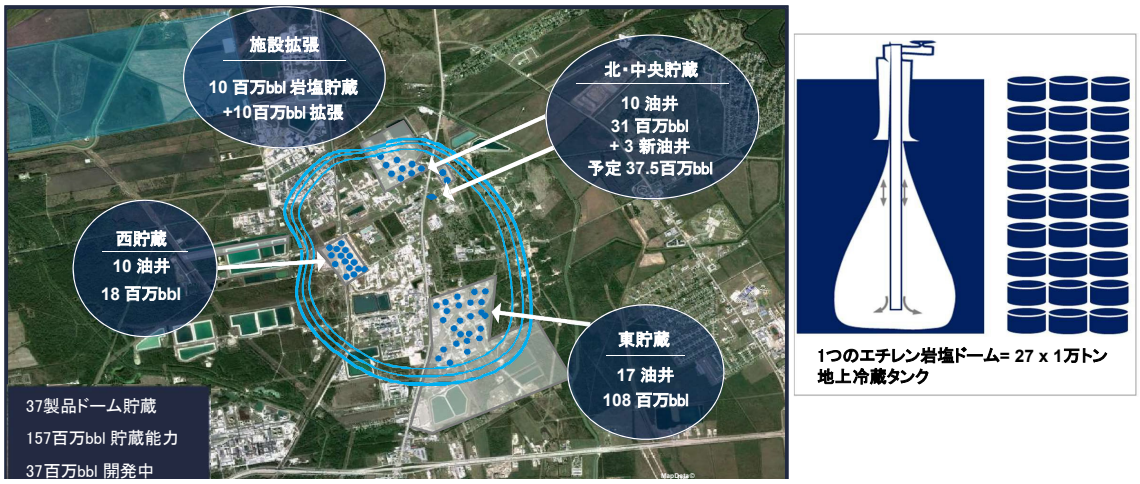
（3） EPD 社のモントベルビュー岩塩ドーム貯蔵

・世界で最も有利な石化製品貯蔵場所

モントベルビューの岩塩ドームは一般的な地上タンクに比べ大きなスケールメリットを生むことから、米国メキシコ湾岸は世界の基礎化学品倉庫になっている（図表 4.4.13 参照）。

全ての主要な米国の生産者とユーザーは互いに直接・間接的にアクセスできる。かつ、国際的需要に対しては、EPD 社の大規模輸出ターミナルを通してアクセスできる。従来から基礎化学品のための世界的なコモディティ市場を開拓してきた。

図表 4.4.13　EPD 社 モントベルビュー岩塩ドーム



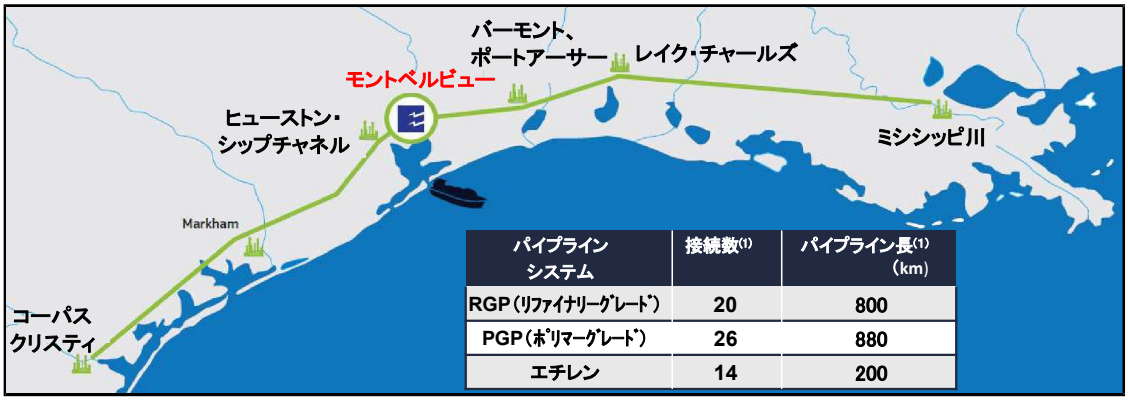
（出所）EPD

（4）　EPD 社の石化パイプラインシステム

米国のエチレン、プロピレンのパイプラインと貯蔵システムからなる従来のインフラは、多くは小さく、接続性が十分ではなかった。米国化学工業協会によれば、今迄約 2,000 億ドルが生産や消費サイトのインフラに投資されてきたが、ロジスティクスには、殆ど投資されなかった。

このギャップを埋めるために EPD 社は、メキシコ湾岸にエチレン、プロピレンの最初のオープンアクセス・パイプラインネットワークを建設中で、2021 年末に完工予定である（図表 4.4.14 参照）。岩塩ドームとパイプラインの組み合わせで、米国は強力な国際競争力とグローバルな優位性を有すことになった。

図表 4.4.14　EPD エチレン、プロピレンオープンアクセス・パイプラインネットワーク



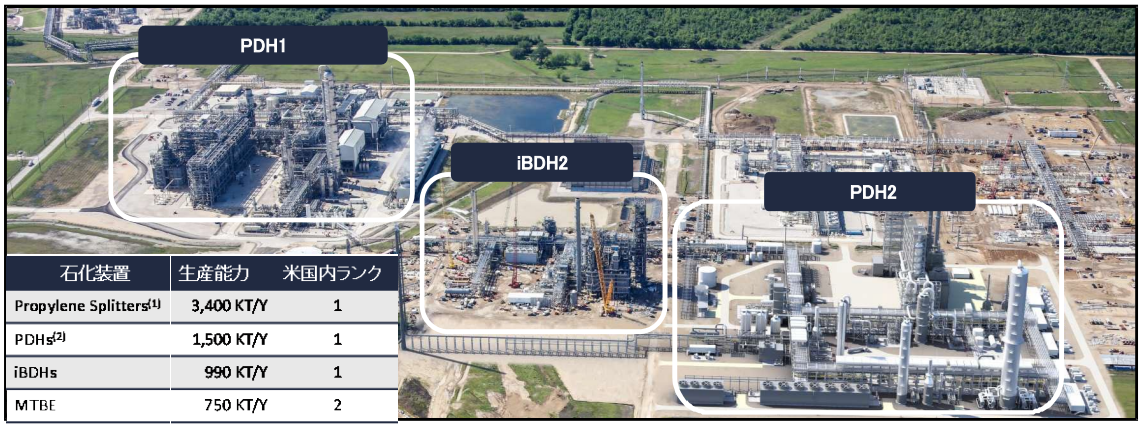
（出所）EPD 社　（注 1）2021 年末完工

（5）　EPD 社の石油化学プロセスと生産

EPD 社の石化モデルでは、原料を優位に生産設備へ供給ができる。ユーザーは、中流モデルの効率化によって、下流事業の設備過剰リスクを低下し、持続可能な石化産業を成長させることができる。

EPD 社は既存のプロピレンスプリッターと PDH1 及び増強中の PDH2 によって、ポリマーグレードプロピレン（PGP）の世界最大の供給者になる。C4 においても、iBDH1、iBDH2、HPIB によって EPD 社は強力なポジションを有す。

図表 4.4.15　建設中の EPD 社プロピレン、イソブチレン装置



石化装置	生産能力	米国内ランク
Propylene Splitters(1)	3,400 KT/Y	1
PDHs(2)	1,500 KT/Y	1
iBDHs	990 KT/Y	1
MTBE	750 KT/Y	2

（注 1）Includes operational capacity、（注 2）Includes PDH2 (2023)

（６）　EPD 社のエチレン、プロピレン輸出（図表 4.4.16 参照）

液体のエチレン、プロピレンは、欧州、中東、中国はじめアジア圏にも大規模受け入れターミナルが建設されているので、大規模ロットで輸出できる（図表 4.4.20 参照）。EPD 社はユーザーに対し効率的に供給できるため、世界市場にコスト優位で輸出することができる。

図表 4.4.16　国際的なエチレン、プロピレン受入れターミナル



（出所）EPD 社

①大規模輸出（PGP とエタン）

PGP とエタンについては、世界最大の輸出港を有し、大規模輸出が可能である。

②輸出量確保の信頼性

岩塩ドームから輸出ターミナルに直接つながる大容量のパイプラインを有す。EPD 社輸出ターミナルは、メキシコ湾岸全域からの製品を供給することができるので、信頼度が高い。

③製品輸出における柔軟性

4 万トン以上の船に LPG と PGP を同時に積める能力及び、4 万トン以上の船にエタンとエチレンを同時に積むことができる。

④競争力のある経済性

スケールメリットによって、液体のエチレンとプロピレン輸送コストはプラスチックペレットと同じレベルの競争力を持つ。

図表 4.4.17　EPD 社モーガンポイントのエタン、エチレン輸出ターミナル



（出所）EPD 社

（7）　プロピレンのバリューチェーン

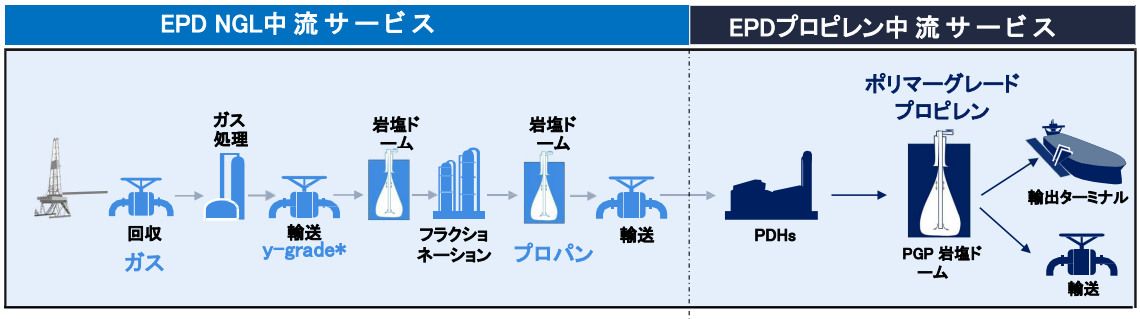
①米国の石精石化に対してリファイナリーグレード・プロピレン（RGP）を下記の設備を介して供給。

・560km 以上の専用回収パイプライン
・ルイジアナからコーパス・クリスティまで伸びたパイプラインシステム
・100 車両/日以上の積み下ろし能力
・5 基の RGP 専用岩塩ドーム貯蔵能力 140 万 kL

②同様に、ポリマーグレード・プロピレン（PGP）を下記の世界最大のポリマーグレード・プロピレンシステムを介して供給。

・PDH1、2 は 495 万トン/年の生産能力
・880km の配送パイプライン
・26 本の PGP パイプライン接続
・容量 45 万トンの PGP 岩塩ドームは業界のハブ
・PGP160 万トン/年の容量を持つ輸出ターミナル

図表 4.4.18　EPD 社の PGP バリューチェーン

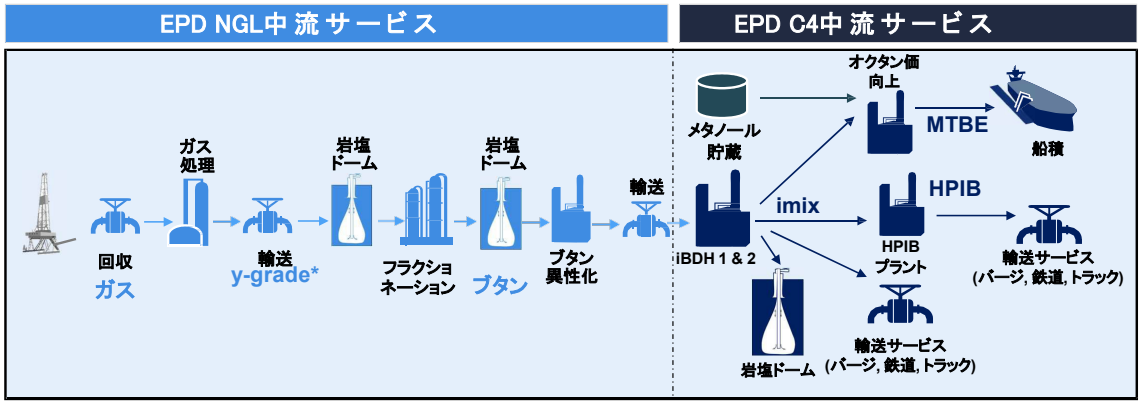


（出所）EPD 社　＊ フィールドでガス処理されたが、NGL フラクショネーションされていない NGL

（８）　イソブチレンのバリューチェーン

①C4 石化ビジネスにおいては、下記の設備を介して、ブタンを価値の高いイソブチレンや MTBE（高オクタン価基材）にアップグレードする（図表 4.4.19 参照）。

図表 4.4.19　　EPD 社のイソブチレンバリューチェーン



（出所）EPD 社

・2 基の脱水素装置で 100 万トン/年のイソブチレン生産
・イソブチレンミックスを高純度イソブチレン（HPIB）と MTBE にアップグレードする下流の装置
・イソブチレンミックスは潤滑油や燃料市場で販売

②下記の設備を介して多様な市場へのアクセスを提供
・複数の湾岸製油所にアクセスできる広域のパイプラインネットワーク
・19 万 KL 以上のイソブチレンミックスの貯蔵
・トラック、鉄道、バージ、船舶ロジスティクス
・メタノールと MTBE のパイプライン、貯蔵、船積ロジスティクス

（９）　エチレンのバリューチェーン（図表 4.4.20 参照）

①貯蔵と接続
・2021 年末までに、湾岸の生産者のパイプラインの 80%以上に接続する。
・27 万トン/年岩塩ドーム貯蔵能力

EPD 社所有のモントベルビューの岩塩ドームは、エチレン貯蔵ハブの拡大に追加できる。

②パイプライン

・2021 年末までに、200km の大容量の新規パイプラインが稼働する。

・新規パイプラインによって、モントベルビュー岩塩ドームと輸出ターミナルや湾岸の消費サイト及び生産サイト直接結ぶことで、中流事業の接続性が高まる。

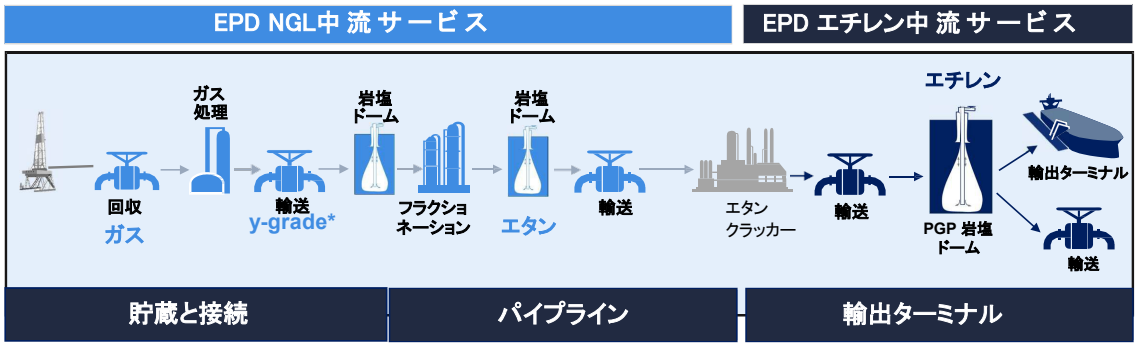
③輸出ターミナル

・220 万トン/年の輸出システム能力

・冷凍貯蔵から 2,200 トン/時間のオンサイト冷凍積み込み

・積み荷用複数ドック

図表 4.4.20　EPD 社のエチレンバリューチェーン



（出所）EPD 社

（１０）EPD 社が NOVA Chemicals のテキサスエチレン貯蔵、取引ハブを買収

EPD 社は、テキサス州モントベルビューにある NOVA Chemicals Corp.の 3 億 800 万ポンドの地下エチレン貯蔵洞窟及び取引ハブ（NOVA ハブ）を購入した（2021 年 7 月 1 日）。ここは、米国湾岸でのスポットエチレン取引の主要な取引ポイントである。

NOVA ハブの買収は、この地域で既存の独自のエチレンネットワークを拡大するという EPD 社戦略の一環である。

統合された「NOVA ハブ」システムは、物理的な接続性の向上、市場の流動性の向上、価格の透明性など、生産者、消費者、トレーダーに複数のメリットをもたらす。

また、輸出ターミナルや EPD 社のエチレン中流サービスへのアクセスも改善される。

所有権の移動後も NOVA Chemicals は EPD 社の長期貯蔵の顧客であり続ける。

（１１）米国のエタン輸出量が急増、輸出インフラの整備及びエタン大型タンカー建造

米国のエタン輸出量は、2021 年 3 月に過去最高の 37 万 BPD を記録した。

その内、タンカーによる輸出量は 28 万 BPD を占めた。EIA は 6 月の短期見通し(STEO)で、米国の年間エタン輸出量は、2020 年の 28.1 万 BPD に対して 2021 年は 37.4 万 BPD、2022 年は 44.7 万 BPD に増えると予測している（図表 4.4.21 参照）。

米国では、エタン輸出向けにパイプライン、海上輸出ターミナルの整備、エタンタンカー船建造が進んでいる。

図表 4.4.21　米国のエタン輸出量推移（2014 年 1 月 - 2021 年 3 月）



（出所）2021 年 6 月 24 日、EIA, Today in Energy

・米国のエタン需要全体に占める輸出割合が増加

米国からのエタン輸出は、2013 年のゼロから 2020 年は、国内のエタン生産量の約 16%に達した。

米国は､2018 年までに極低温冷却エタンを輸入するインフラを備えた 6 か国に輸出した。各沿岸ターミナルはエタンクラッカーに接続されている。

現在、カナダ、中国、インド、英国、ノルウェー、スウェーデン、メキシコ、ブラジルの 8 か国がエタンを受け入れることができる。

エタンはエタンクラッカーにフィードされ、1,450° F（788℃）～1,600° F（871℃）の温度に加熱、脱水素でエチレンを生成する。° F＝1.8℃＋32

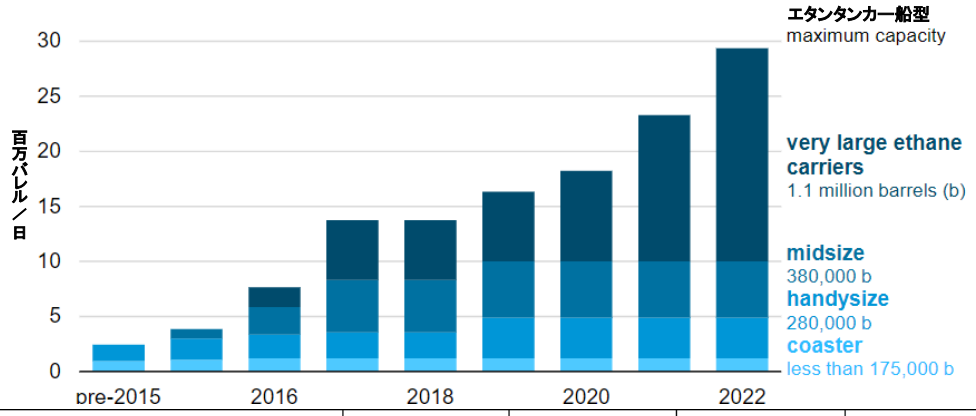
・米国のエタンの輸出の経緯

米国からのエタン輸出は 2014 年に始まった。最初のエタン輸出パイプラインは、カナダの石油化学プラントに輸送するために 2014 年に完成した。海上エタンの輸出は 2016 年に、2 つの海上輸出ターミナル（1 つはペンシルベニア州マーカスフック、もう 1 つはテキサス州モーガンズポイント）が操業を開始した。

海上輸出ターミナルの生産能力は、2016 年の 27.5 万バレル/日から 2019 年には 30.5 万バレル/日に拡大した。2021 年 1 月、3 番目の輸出ターミナルがテキサス州ネダーランドで操業を開始した。

新しい輸出能力に加えて、エタンを出荷する能力も急速に成長した。特別に作られたタンカーは、液体として輸送できるように-128° F（-89℃）の極低温に冷却されたエタンを運ぶ。タンカーは、エタンまたはエチレンを短距離で運ぶコースターから、大陸間ルートで最大 100 万バレルを運ぶように設計された非常に大きなエタンキャリア（VLEC）まで様々である。2020 年後半まで、8 つの VLEC が稼働しており、すべて米国のターミナルにサービスを提供していた。2020 年末と 2021 年の初め、6 つの新しい VLECs が完成し、2021 年の終わりにエタン出荷を開始する（図表 4.4.22 参照）。

図表 4.4.22　液体エタンタンカーの船腹量推移（船型サイズ別）



船型			2016年		2018年		2020年		2022年	
呼称	サイズ		船腹量		船腹量		船腹量		船腹量	
	千bbl	千m3	百万bbl	隻	百万bbl	隻	百万bbl	隻	百万bbl	隻
VLEC	1,100	175	1.6	1.5	5.3	4.8	8.1	7.4	19.2	17.5
Midsize	380	60	2.5	6.5	4.7	12.3	5.0	13.2	5.0	13.2
Handysize	280	45	2.2	7.8	2.3	8.4	3.8	13.4	4.0	14.3
Coaster	175	28	1.2	7.0	1.2	7.0	1.2	7.0	1.2	7.0

（出所）EIA を基に、2021 年 7 月 24 日作成

４．５ エクソンモービル社、シェブロン社の事業戦略と ESG 投資への取り組み

エクソンモービル社及びシェブロンの今後の事業戦略は、米国シェール革命第２波だけでなく、世界の環境政策に大きなインパクトを与える。日本は、米国のシェール革命の国際競争力の強靭さ、脱炭素化政策で容易にその強靭な広域シェールチェーンが分断されないこと、シェール革命第２波に対して備えておく必要がある。また、米国広域シェールチェーンへの環境政策導入の可能性を考察し、日本のコンビナートのカーボンニュートラル導入の参考とする。

４．５．１　エクソンモービルとシェブロンの既存生産設備と投資計画

（１）　エクソンモービルの米国内における原油処理能力、エチレン能力、事業戦略の進捗

2020 年末のエクソンモービルの米国内における原油処理能力は、日量 175 万バレルである。全米の原油処理能力（1,782 万バレル）の 9.8%を占める。米国内のエクソンモービルの製油所は、テキサス州の Baytown 製油所が同 56 万 BPSD（世界精製能力ランキング第 11 位、図表 4.5.1 参照）、同じく Beaumont 製油所が同 37 万 BPSD、ルイジアナ州の Baton Rouge 製油所が同 52 万 BPSD（同 15 位）、イリノイ州の Joliet 製油所が同 25 万 BPSD、モンタナ州の Billings 製油所が同 6 万 BPSD である。

図表 4.5.1　世界の石油処理能力ランキング（2020 年）

	精製能力（千BPD）	企業名	製油所所在地	国
1	940	Paraguana	Falcon	ヴェネズエラ
2	840	SK	蔚山	韓国
3	817	Abu Dhabi Oil Refining	Ruwais	UAE
4	785	GS Caltex	麗水	韓国
5	669	S-Oil	温山	韓国
6	663	Reliance	Jamnagar	インド
7	608	Motiva	テキサス	米国
8	593	ExxonMobil	シンガポール	シンガポール
8	593	Marathon Petroleum	テキサス	米国
10	578	Marathon Petroleum	ルイジアナ	米国
11	555	ExxonMobil	テキサス	米国
12	550	Saudi Aramco	Ras Tanura	サウジアラビア
13	542	Reliance	SEZ Jamnagar	インド
14	540	Formosa Petrochemical	Mailiao	台湾
15	513	ExxonMobil	ルイジアナ	米国

（出所）Oil & Gas Journal, ″2020 OGJ Databook″ March 2021

・エクソンモービルの米国内におけるエチレン生産能力

2020 年末のエクソンモービルの米国内でのエチレン生産能力は 620 万トン/年である。米国のエチレン生産量 4,331 万トン/年（経済産業省 2019 年推計）の 14%程度を占めると推測される。

・エクソンモービルの長期投資計画「Growing the gulf イニシアチブ」

2021 年 6 月、Baton Rouge 製油所の処理能力拡張、競争力強化、そして VOC 排出量の削減を目的とした改造投資（2.4 億ドル）の FID を行った。7 月にはテキサス州の Corpus Christi でポリエチレンや MEG の生産設備が完工している。近隣の Portland のエチレンプラント（22 年第 3 四半期完工予定）から原料であるエチレンを調達する予定である（図表 4.5.2 参照）。

図表 4.5.2　「Growing the Gulf イニシアチブ」の進捗状況

州	立地	プロジェクト	製品	生産規模（千トン）	事業開始年	資金規模（百万ドル）
テキサス	Beaumont	Refining	原油精製	250	2022	1,500
		Refining	超低硫黄燃料	日量4万バレル	2018	640
		Refining	原油精製	日量2万バレル	2017	125
		Chemicals	ポリエチレン	1700	2019	1,800
	Baytown	Chemicals	ポリアルファオレフィン	350	2014	393
		Refining	潤滑油	-	2016	270
		Chemicals	エチレン	1,500	2017	11,000
		Chemicals	高性能ポリマー	400	2022	2,000
		Chemicals	線形アルファオレフィン	350	2022	
	Portland Corpus Christi	Chemicals	エチレン	1,800	2022	10,000
			PE	1,300	2021	
			MEG	1,100	2021	
	Sabine Pass	Golden Pass Products	LNG輸出	15,600	2024	10,000
ルイジアナ	Baton Rouge	Refining	航空燃料	-	2016	330
		Refining	原油精製	-	2016	426
		Refining	原油精製	-	2022～	210
		Chemicals	ポリプロピレン	450	2021	5

（出所）エクソンモービル社、各社報道資料

・米国外での同社の動き

ノルウェーやオーストラリアで需要が縮小した製油所を閉鎖して輸入ターミナルに切り替える動きがある。また 2019 年に公表したシンガポール製油所の拡張計画の進捗について現時点では目立った報道はされていない。

（2）　シェブロンの米国内における原油処理能力、エチレン能力、事業戦略の進捗

2020 年末のシェブロンの米国内における原油処理能力は 108 万 BPSD である。全米の原油処理能力の 6.1%を占める。

米国内の製油所は、カリフォルニア州の El Segundo 製油所が 29 万 BPSD、Richmond 製油所が 26 万 BPSD、テキサス州の Pasadena 製油所が 11 万 BPSD、ミシシッピ州の Pascagoula 製油所が 37 万 BPSD、ユタ州の Salt Lake City 製油所が 6 万 BPSD である。また、2020 年末のシェブロンの米国内でのエチレン生産能力は 541 万トンである。

最近のシェブロンの大規模投資で特筆されるのは 2020 年 10 月に完了した独立系開発企業の Noble Energy の 50 億ドルでの買収である。

同社はコロラド州のデンバー・ジュレスバーグ（DJ）やパーミアンに権益をもっており、同地域で権益を拡大したいというシェブロンの思惑と一致した。また、同地域での原油輸送に弱みを持つシェブロンは、2021 年 5 月、パーミアン地域の輸送などを手掛ける Noble Energy 傘下の Noble Midstream Partners も 13 億ドルで買収した。

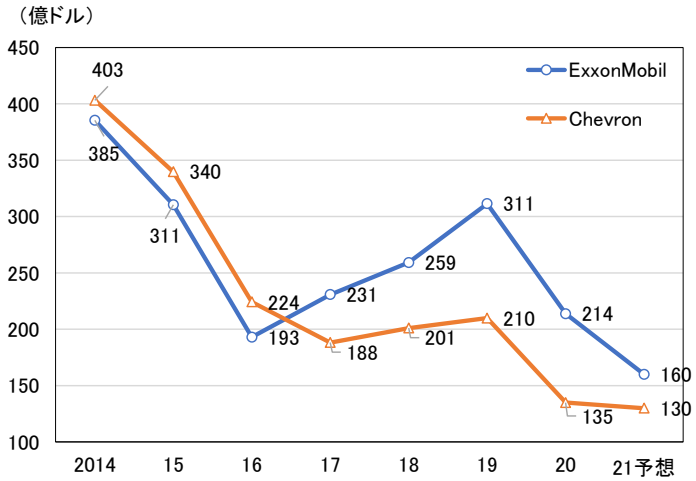
４．５．２　エクソンモービルとシェブロンの設備及び開発投資戦略

エクソンモービル、シェブロン両社の設備・開発投資額は 2010 年代半ばから低下基調で推移している（図表 4.5.3 参照）。

2021 年の予想総投資額について原油需要の回復が期待されるものの、エクソンモービルは 160 億ドル、シェブロンは 130 億ドルと前年より低下させている。

今後についてエクソンモービルは年間 200-250 億ドル、シェブロンは同 140-160 億ドルの設備・開発投資を確保するとしているが、それでも 2010 年代半ばに比べると低水準であり、投資家や金融機関等からの投資規律の高まりが影響している。

図表 4.5.3　エクソンモービル、シェブロンの設備・開発投資の推移



（出所）エクソンモービル、シェブロン社の IR 資料

４．５．３　エクソンモービルとシェブロンの ESG 投資

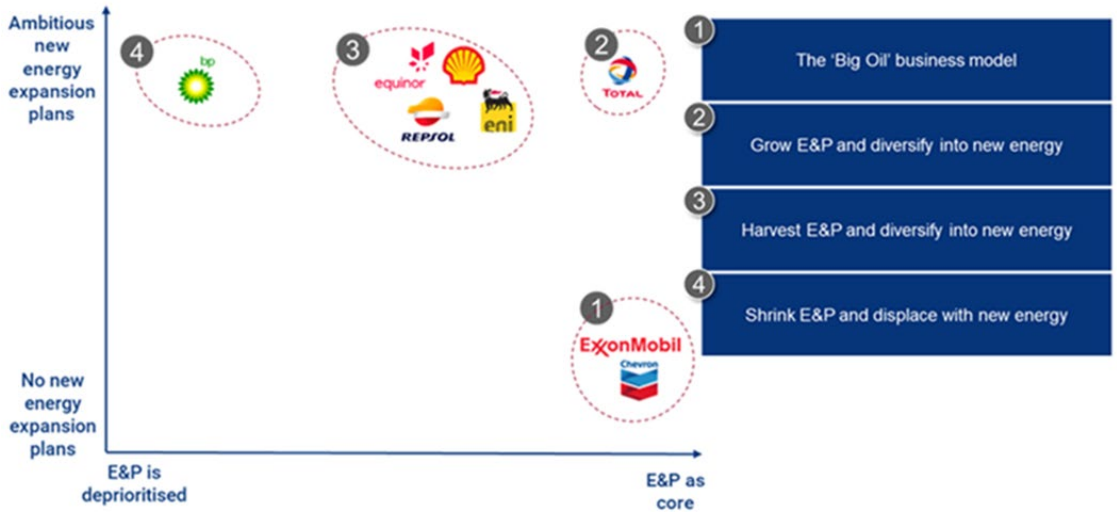
（１）　環境関連投資やエネルギー転換に関わる投資

中でも関連投資やエネルギー転換に関わる投資について欧州石油メジャーとは姿勢が異なっている（図表 4.5.4 参照）。

欧州石油メジャーは条件付きながら 2050 年カーボンニュートラルを唱えており、化石燃料等の開発よりも太陽光や風力など再生可能エネルギーへの投資に力点を置いている。

エクソンモービルとシェブロンはスコープ１とスコープ２の 2050 年カーボンニュートラルを宣言している。

図表 4.5.4　世界の石油メジャー5 社のエネルギー転換姿勢



（出所）Simon Flowers ″Did the oil and gas industry change forever last week″ June 4 2021, Wood Mackenzie

（2）　エクソンモービル社の具体的な低炭素ソリューション事業

・二酸化炭素回収、貯留（CCS）事業

エクソンモービルは、CCS について同社は 30 年以上に及ぶ CCS 事業経験と世界で 20 を超える CCS プロジェクトに関係しており、現在、米国内（テキサス、ワイオミング）だけでなく、豪州、カタールで実施している。

さらに、関連プロジェクトをオランダ、ベルギー、英国等でもコミットしている。東南アジアでもインドネシアやマレーシアで地場企業と関連調査を開始した。25 年にかけて 30 億ドル以上の投資を予定している。

米国内では、2021 年 4 月にヒューストン運河一帯において総額 1,000 億ドル超の CCS 事業構想発表しており、2040 年には同市近隣の石油化学・発電・製油施設から排出される CO2 年間 1 億トンを回収・輸送・海底貯留するとしている。

9 月には、ダウ、シェブロン、フィリップス 66、カルパインなど 11 社が同構想について議論を開始することに同意している。

・二酸化炭素回収利用（CCU）技術開発

2019 年から Fuel Cell Energy と CO2 からの炭酸塩燃料電池の共同開発を行っている。

・CO2 回収、DAC（直接空気回収）技術

2020 年から TDA Research と新しい CO2 吸着プロセスの共同開発を実施している。

また、大気から直接 CO2 を回収する DAC（直接空気回収）技術についても 2020 年から Global Thermostat と共同研究を開始した。

低炭素燃料の開発では、カナダで再生可能ディーゼルの生産を行う計画がある。

さらに、2018 年から Viridos と California Advanced Algal Facility との間で微細藻類からのバイオ燃料生産の実証プロジェクトを開始しており、2025 年までに 1 日あたり 1 万バレルの生産能力保有が目標である。

ポルシェとバイオ燃料及び e-fuel（水素と CO2 から生成される合成燃料）についての共同研究も実施中である。

・ケミカルリサイクルのプラント建設
エクソンモービルは 2021 年 10 月、テキサス州 Baytown にケミカルリサイクルのプラント建設を発表した。22 年末までに完工して当初は年間 3 万トンの処理能力で稼働する。26 年には世界で 50 万トンの処理能力を持つプラントを稼働させる予定としている。これらのリサイクル製品は ISCC-plus と呼ばれる業界認証を受けている。

（3） シェブロンの低炭素目標と具体的な低炭素ソリューション事業
シェブロンは、2021 年 10 月にスコープ 1、2 での 2050 年カーボンニュートラルを打ち出した。さらに、スコープ 1 から 3 まで 2028 年までに 2016 年のレベルから 5%を超える炭素排出原単位削減目標を設定している。
2028 年までに 100 億ドルの低炭素プロジェクトを実行し、2030 年までに再生可能燃料を日量 10 万バレル、水素を年間 15 万トンそれぞれ生産し、そして CCS を年間 2,500 万トン行うことを掲げている。

・CCUS 事業
2021 年 1 月、サンノゼの CCU スタートアップ Blue Planet に出資した。3 月には、マイクロソフトと Schlumberger と CCS 付きバイオ燃料発電プロジェクト（BECCS）の合弁事業を発表している。そして 9 月には EPD 社と CCUS に関する事業提携を行った。

・水素事業
2021 年 4 月、トヨタ米国現地法人との水素事業に関する戦略的提携をしており、8 月には、Raven SR とグリーン水素生成事業に着手するとした。
9 月にはグリーン水素生成・貯蔵・輸送について Mitsubishi Power と Magnum Development の合弁事業 Advanced Clean Energy Storage project(ACES)に参画し、同じくキャタピラーと輸送燃料としての水素開発について合意した。

・バイオ燃料（液体）事業
再生可能ディーゼルと持続可能なジェット燃料（SAF）について 22 年に日量 1 万バレル、2030 年には同 10 万バレルの生産を目標としている。
9 月に、Bunge 子会社と大豆由来バイオ燃料事業を行うとしている。Bunge が原料を供給して 24 年には現在の 0.7 万トンから 1.4 万トンと倍増させる予定である。さらに、Gevo と SAF の合弁事業に乗り出す。
またデルタ航空やグーグルと協力して SAF 排出量のデータ分析事業に乗り出す。

・バイオ燃料（気体）について 2021 年 8 月にカリフォルニアの Adopt-a-port プロジェクト（再生可能ガスをトラックに供給）に資金支援するとしており、また Brightmark、California Bioenergy、そして Mercuria Energy Trading とバイオメタン事業について提携した。

・再生可能エネルギー事業

エクソンモービルと違って洋上風力事業にもコミットしており、2021 年 4 月、Ocergy 社の浮体式洋上風力事業に投資している。

・ケミカルリサイクル

シェブロンは関係会社のシェブロン Phillips Chemical が 2021 年 1 月に Nexus から供給された熱分解油を使って業界認証を受けたリサイクル製品を供給する。

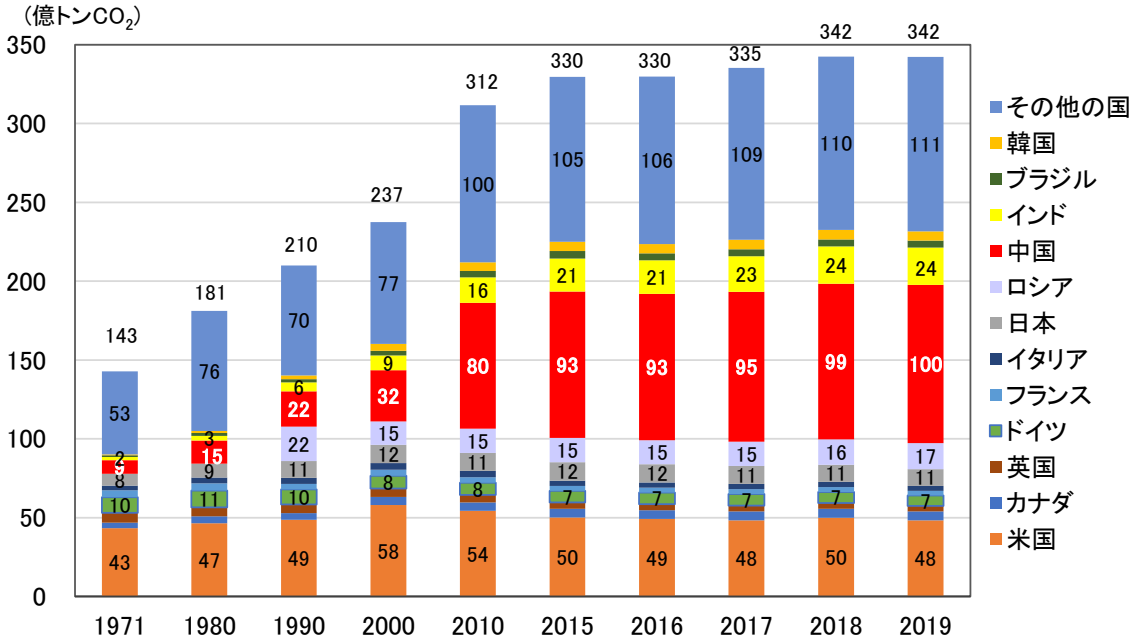
4．6 米国の環境政策、低炭素・循環型、水素社会に向けた取り組み

4．6．1 米国の CO2 排出量見通しと再生可能エネルギーの普及

（1） 世界の CO2 排出量の推移

IEA によると、1971 年から 2010 年にかけて 143 億トンから 312 億トンと一本調子で増加しており、年率 2%で増えている（図表 4.6.1 参照）。

図表 4.6.1 世界各国の CO2 排出量の推移



（出所）IEA, "Greenhouse Gas Emissions from Energy, Highlights" October 2021

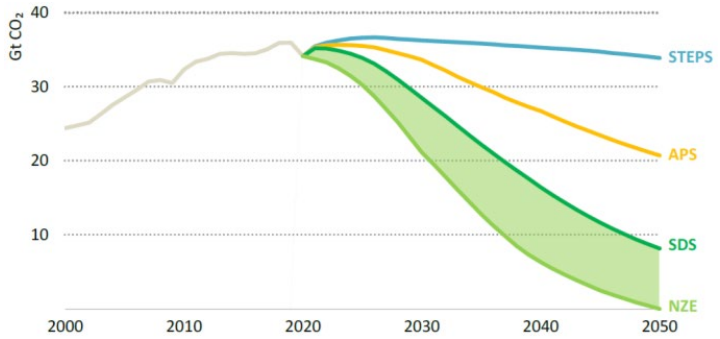
とりわけ、2000 年代の 10 年間は中国など新興国の高成長もあって 75 億トン増加している。しかし、2010 年代は 30 億トンの増加と年率 1%程度にとどまった。2019 年は 342 億トンとわずかだが前年から減少している。日本は、11 億トンで既にピークアウトしている。

その後の世界の CO2 排出量について IEA の Global Energy Review 2021 によると、2020 年はコロナ禍による経済活動の制限で前年から 5.8%減少し、2021 年はコロナ禍からの経済回復で同 4.9%の増加になるという見通しを示している。

・IEA 長期的 CO2 排出見通し

今後の世界の CO2 排出量の見通しについては IEA の世界エネルギー見通しではシナリオによって異なる(図表 4.6.2 参照)。具体的には、2019 年の 360 億トンから、2050 年には 339 億トン（公表政策シナリオ STEPS)、207 億トン（誓約シナリオ APS)、82 億トン（持続可能発展シナリオ SDS)、ゼロ（ネットゼロシナリオ NZE）となる。ネットゼロシナリオ NZE は、予測では無く 2050 年にゼロにするためには各年でここまで CO2 を削減しなければならないことを示している。

図表 4.6.2　IEA による世界の CO2 排出量の見通し

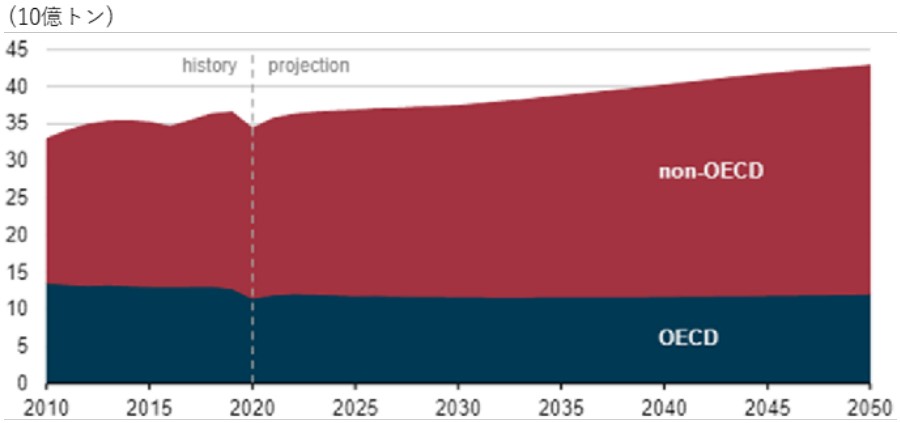


（出所）IEA, "Workd Energy Outlook 2021" October 2021

・EIA 長期的 CO2 排出見通し

なお、米国 EIA も国際エネルギー見通しで 2050 年予測を発表しており、今後 30 年間 2.1%の成長率で推移し、現行の法律や規制が続く（さらなる環境規制がない）とするリファレンスシナリオでは、2020 年の 343 億トンから 2050 年には 428 億トンまで増えていくとしている(図表 4.6.3 参照)。

図表 4.6.3 米国 EIA による世界の CO2 排出量の見通し



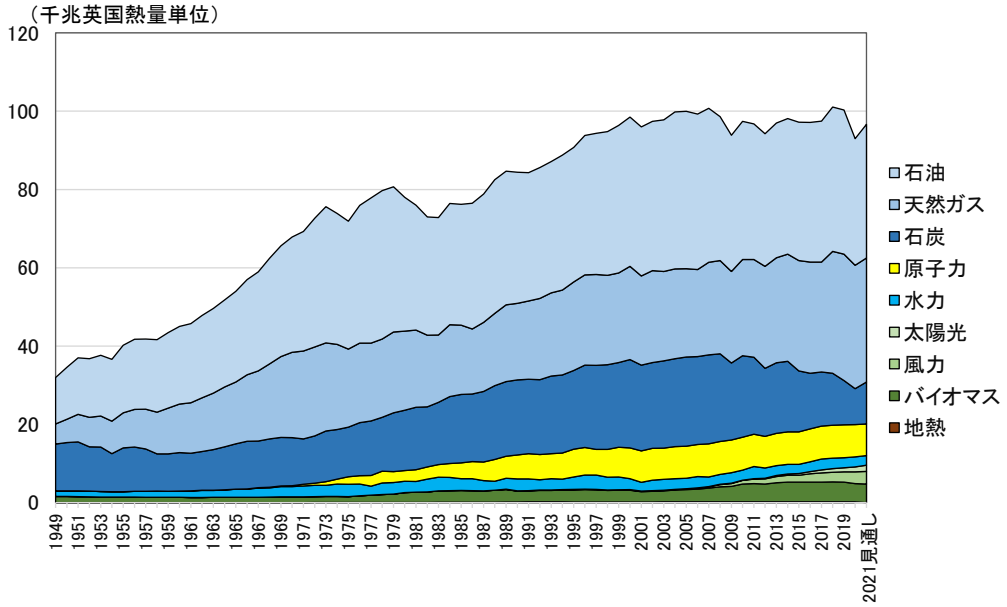
(出所)米国 EIA, "International Energy Outlook 2021" October 2021

（２）　米国の一次エネルギー消費の推移

米国の CO2 排出をもたらす一次エネルギー消費の推移を見ると、1970 年代の二度のオイ

ルショックの時期を除くと 2000 年代に入るまで右肩上がりで増加してきた(図表 4.6.4 参照)。2000 年代以降は振幅を伴いながらも 10 京英国熱量単位(British Thermal Unit:BTU)弱でおおむね横ばいで推移してきたといってよい。なお、ピークは 2018 年の 10.1 京 BTU であり、その後は経済減速やコロナ禍もあって低下しており、2020 年は前年比 7.3%低下の 9.3 京 BTU であった。

図表 4.6.4　米国の一次エネルギー消費と非化石エネルギー比率の推移



（出所）米国 EIA, "Monthly Energy Review" October 2021

2021 年はコロナ禍からの経済回復で一次エネルギー消費は増加する見込みである。
EIA の試算では前年から 4.1%増加の 9.7 京 BTU に達する見込みであるが、10 京 BTU まで増加することは考えにくい。その理由は、近年、米国内においてエネルギー消費効率の改善が進んでいることによる。

米国の一次エネルギー消費について燃料別推移では、1980 年代以降、それまで 9 割であった化石燃料のシェアが低減しており、2020 年現在では 8 割前後の水準となっている。
一方、2000 年に入るまで数パーセントにすぎなかった再生可能エネルギーのシェアは緩やかに増加しており、2020 年には 12%台まで上昇している。
米国における再生可能エネルギーのシェア増大は CO2 排出量の低下に貢献している。

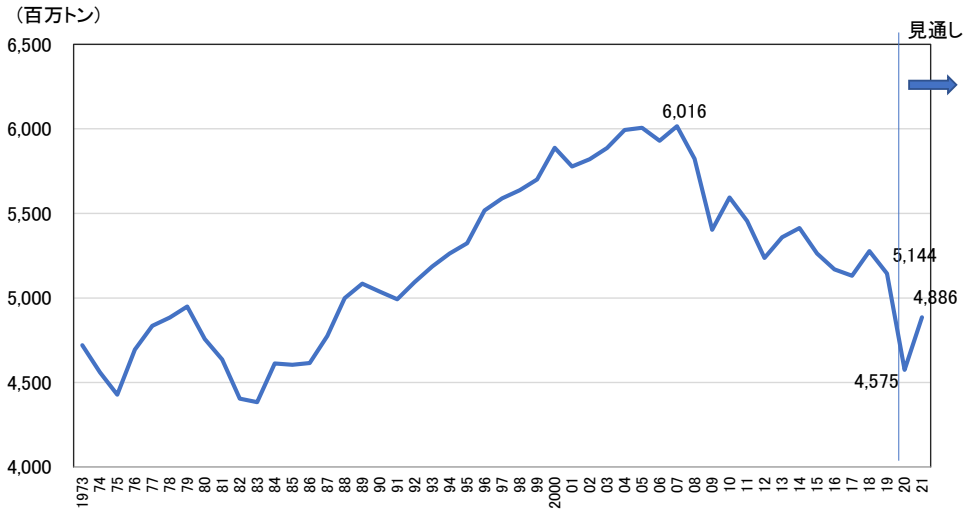
（3）　米国の CO2 排出量の推移と見通し

近年の米国の一次エネルギーの消費は横ばいとなっている。
エネルギー消費に伴って生じる CO2 排出量は、2007 年の 60 億トン超をピークに振幅を伴いながら低下している（図表 4.6.5 参照)。既に、CO2 排出はピークアウトしている。電力部門と産業部門における石炭から天然ガスへの燃料シフト、再生可能エネルギーの普及、そして住宅部門における暖房や給湯の熱源の効率的利用によるところが大きい。

直近 2020 年の CO2 排出量は 46 億トンと前年から 11%減少した。
これはコロナ禍による経済活動の制限による。燃料別に見ると、石炭が 19%減の 9 億トンと大きく、石油が 14%減の 20 億トン、天然ガスが 2.2%減の 17 億トンとなっている。
2021 年については米国 EIA の 2021 年 11 月の短期エネルギー見通しによると、コロナ禍からの経済回復を受けて前年比 6.8%増加の 49 億トンに達すると見込まれており、燃料別には石炭や石油の消費によるものが大きく、天然ガスについては高いガス価格のため、若干ではあるが低下を続けるとみられている。

なお、石炭から天然ガスへの燃料シフトや再生可能エネルギーの普及などの動きは構造的なものであり、引き続きコロナ禍からの回復における米国での CO2 排出量増加にブレーキをかける可能性がある。

図表 4.6.5　米国の CO2 排出量の推移

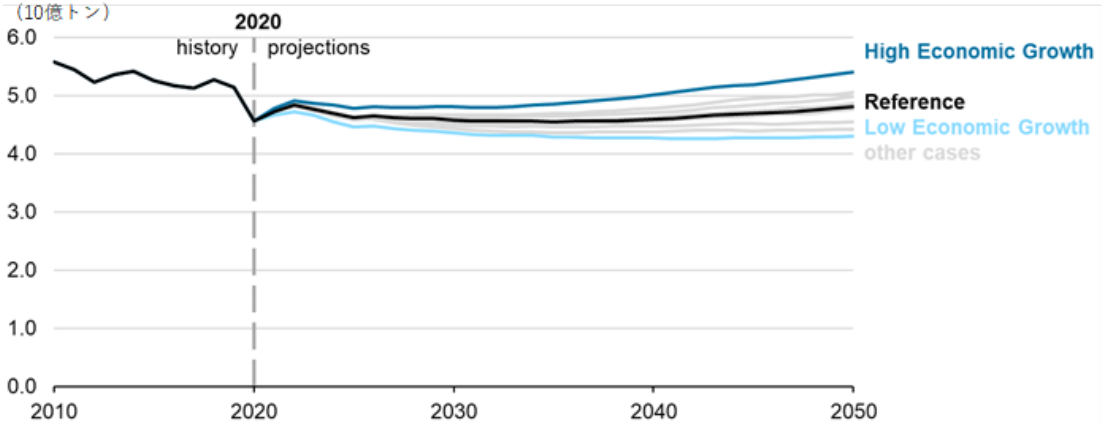


（出所）米国 EIA, "Monthly Energy Review" 各月号

（4）　米国エネルギー情報局（EIA）による CO2 排出量の長期見通し

EIA が公表した Annual Energy Outlook 2021（AEO2021）のメインシナリオであるリファレンスシナリオでは、コロナ禍の影響から脱した 2022 年から 2035 年にかけて低下基調で推移するとしている（2035 年時点で 46 億トン、図表 4.6.6 参照）。石炭から天然ガスや再生可能エネルギーへの燃料シフトの影響による。
なお、2020 年のリファレンスシナリオに比べると、1.2 億トン分低下している。その後は人口増加と経済成長によりじわじわと増加し、2050 年時点では 48 億トンに達するとする（2020 年シナリオに比べて 1.1 億トン分低下）。

図表 4.6.6　米国の CO2 排出量の見通し



（出所）米国 EIA, "Annual Energy Outlook 2021" February 2021

AEO2021 では経済成長のペースによって CO2 排出量が増加または低下するケースも考えられている。2020 年から 50 年にかけて年率 2.6%で成長する高成長率シナリオでは、2050 年時点で 54 億トン、同期間で年率 1.6%の成長にとどまる低成長シナリオでは、同 43 億トンとなる。ただし、高成長シナリオでも、2007 年ピーク時水準までいかないとしている。

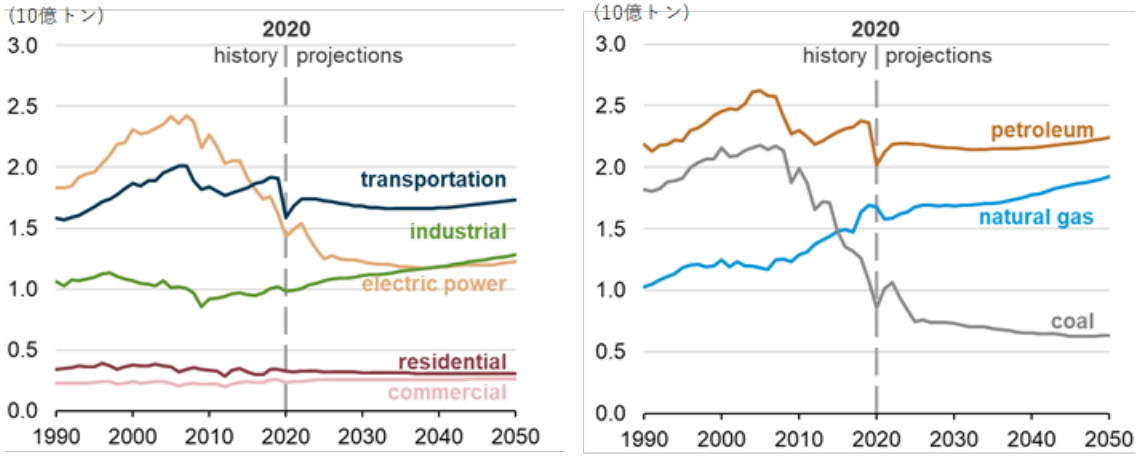
・部門別 CO2 排出量

産業部門が右肩上がりで推移する一方、発電部門は低下・横ばいで推移する。輸送部門も緩やかに低下するものの、燃費改善効果が薄れ、経済成長による輸送拡大もあって 2040 年前後からじわじわと増えるとしている。

・燃料別 CO2 排出量

燃料シフトで石炭は低迷し、石油も輸送部門の動きと連動して低下してその後緩やかに増加する。天然ガスについては産業熱源、電力燃料、そして石化原料として使われることで増加すると見込んでいる(図表 4.6.7 参照)。

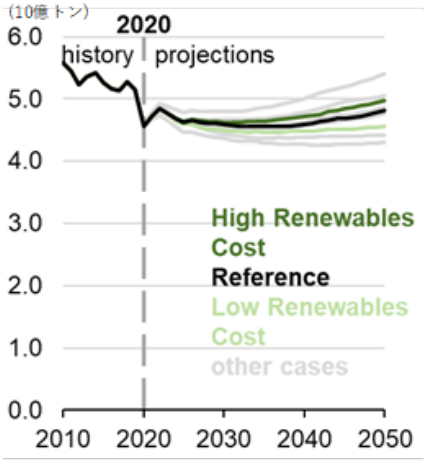
図表 4.6.7　部門別・燃料別 CO2 排出量の見通しと推移



（出所）米国 EIA, "Annual Energy Outlook 2021" February 2021

・再生可能エネルギーのコスト削減シナリオ：
再生可能エネルギー高コストシナリオ(再生可能エネルギーのコスト削減が進捗しない)では、2050 年の CO2 排出量は、50 億トンとリファレンスシナリオより 1.7 億トン上振れすることとなる（図表 4.6.8 参照)。

図表 4.6.8　再生可能エネルギーコストで見た CO2 排出量の見通し



（出所）米国 EIA, "Annual Energy Outlook 2021" February 2021

一方、再生可能エネルギー低コストシナリオ(2050 年の再生可能エネルギーによる発電コストの低減が進み、2020 年水準の 4 割程度となる)では、2050 年の CO_2 排出量は、46 億トンとリファレンスシナリオより 2.5 億トン下振れすることとなる。

4．6．2　米国の環境エネ政策とカーボンプライシング議論

（1）　米国の環境エネルギー政策

トランプ政権の 4 年間、米国はパリ協定から離脱するなど気候変動の国際的な枠組みからは距離を置いていたが、バイデン大統領は、就任当日パリ協定への再加入に関する大統

領令に署名した。

2021 年 4 月には米国主催で開かれた気候変動リーダーズサミットで、米国の新たな温室効果ガス（以下、GHG）排出量削減目標（新 NDC：Nationally Determined Contribution）を発表した（2030 年までに 2005 年比で GHG50～52%削減、図表 4.6.9 参照）。
米国の 2019 年の GHG 純排出量は 57 億 7,000 万トンであることから、2030 年までに対 2005 年比で 50%削減するという目標を達成するには、2019 年の排出量から 24 億 5,000 万トン削減しなければならない。

図表 4.6.9　米国 GHG 純排出量の推移と目標削減量



（出所）米国環境保護庁 HP から JETRO 作成

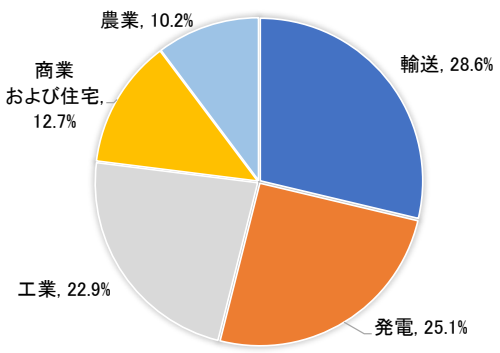
新目標を達成するための政府部門ごとの主な方針と関連施策は、図表 4.6.10 の通りである。米国内での GHG の排出源を経済分野別にみると、輸送部門が 29%で最も高いシェアを占め、電力部門 25%、産業部門 23%が続く（図表 4.6.11 参照）。

図表 4.6.10　米国の政府部門別の方針や目標

部門	大統領選時の公約や新目標（新NDC: Nationally Determined Contribution）
電力	2035年までにCO_2排出ゼロ（新NDC）
輸送	新燃費基準による中小型車の100%EV化(公約) 50万か所のEV充電施設設置(公約) 2030年までに販売される新車（乗用車と小型トラック）の50%以上を電気自動車（EV）と燃料電池車（FCV）とする(大統領令) 再生可能燃料へのシフト（新NDC）
住宅・商業	商業施設400万棟の省エネ化、住宅200万戸の耐震性向上(公約)
産業	炭素除去技術と水素エネルギーの開発支援（新NDC）
研究開発	蓄電技術、水素エネルギーなどの開発（公約）

（出所）ホワイトハウス資料などから作成

図表 4.6.11 米国の経済分野別 GHG 排出比率（2019 年）



（出所）米国環境保護庁

各部門のうち、具体的にある程度削減の道筋が見えているのは、主要電力会社が 2030 年までの排出量 80%削減に向けて現政権に協力する意向を示している電力部門だけである。米国の経済分野別 GHG 排出比率で、発電の GHG 排出割合が 2019 年の 25%から変動しないと仮定した場合、2030 年に同部門の排出量が 80%削減されると、米国全体で約 2 割の GHG 削減を実現することとなり、新目標達成に大きく寄与することになる。

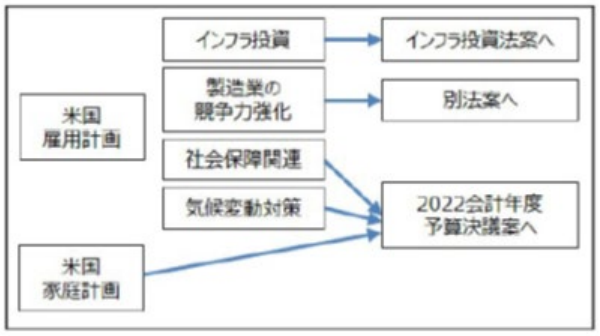
自動車による GHG 排出割合が 8 割強を占める輸送部門では、2021 年 8 月、2030 年までに販売される新車（乗用車と小型トラック）の 50%以上を電気自動車（EV）と燃料電池車（FCV）とする大統領令が発令されたが、大統領令には拘束力がない。
この目標を達成すれば、2030 年に販売される新車からの GHG 排出量を 2020 年比で 60%以上削減できるが、現時点で新車販売台数の EV 比率は約 3%にすぎず、2030 年に 50%という目標達成は容易ではない。
以上から鑑みて、現状、電力部門以外は努力目標にとどまっていると言わざるを得ない。

（２） 米国の環境問題への取り組み姿勢の特徴

米国は、環境問題を外交政策の中心に据えて環境分野で世界のリーダーシップを握る、同時に米国の経済復興と格差是正を達成する手段とすることを狙っている。2021 年 11 月、5 年間で総額 1 兆ドル規模を投資するインフラ投資法が成立した（図表 4.6.12 参照）。

図表 4.6.12　米国の大型経済対策

米国の大型経済対策と法案の関係



インフラ投資法（新規支出分の概要）

道路・橋梁整備	1,100
鉄道整備	660
公共交通整備	390
空港整備	250
EVインフラ、低排出車整備	150
非輸送部門インフラ整備	
水道	550
ブロードバンド	650
電気グリッド網	650
サイバーセキュリティー	500

（出所）三井住友 DS アセットマネジメント　（出所）ホワイトハウス資料等を基に JETRO 作成

同法は、2021 年 3 月に発表された米国雇用計画と同年 4 月に発表された米国家族計画のうち、超党派法案として成立させるために、共和党との折衝や議論を経て組み替えられたものである。

エネルギー業界は、エネルギーインフラへの多額の投資が含まれていることから賛同している。

米国で最大の電力業界団体、エジソン電気協会（Edison ElectricInstitute：EEI）は、同法案はクリーンエネルギーへの移行に必要なエネルギーインフラ、脱炭素化技術の研究開発、実証、導入への投資を促すものとして歓迎した。特に、EV 充電ステーションやスクールバスの EV 化への投資を評価している。

米国で最大の石油業界団体、米国石油協会（American Petroleum Institute：API）も同法案を支持している。API は「同法案は、エネルギーインフラ拡充の重要性に対する米国民や企業の理解を向上させる。特に、炭素回収技術や水素など、重要となる革新的技術の開発支援を評価する」と述べた。

2021 年 11 月、「Build Back Better」法案が下院で可決された（図表 4.6.13 参照）。同法案は、子育て・教育支援や気候変動対策に 10 年間で約 2 兆ドルを投じる。

図表 4.6.13　図表 Build Back Better の主要歳出科目

	（単位：億ドル）
気候変動対策（クリーンエネルギー投資控除等）	5,700
幼児教育無償化および子育て費用補助	5,850
ヘルスケア（メディケイド、メディケアの強化等）	3,300
住宅購入補助等	3,350

（出所）Committee for a Responsible Federal Budget 資料等から作成

当初の規模（3.5 兆ドル）から大幅に規模が縮小しているが、中道派民主党議員が反対を表明しており、法案成立には不透明感が漂っている。同法案には EV 購入の際の税額控除、クリーンエネルギーのサプライチェーン構築にあたっての投資控除等、米国史上最大と

なる 5,700 億ドルの気候変動対策費が盛り込まれている。

（3） 世界各国のカーボンプライシングの議論の進捗状況

CO2 排出削減のための政策ツールとして、カーボンプライシングを導入する国・地域が拡大している。カーボンプライシングとは排出を抑制する仕組みで、CO2 排出に対して政府などが価格付けを行う価格アプローチと、排出枠の需給バランスにより市場が価格を決める数量アプローチの 2 パターンに大別される。

価格アプローチの代表例に炭素税、数量アプローチの代表例に排出量取引制度（ETS, Emission Trading Scheme）がある（図表 4.6.14 参照）。

図表 4.6.14　カーボンプライシングの分類と概要

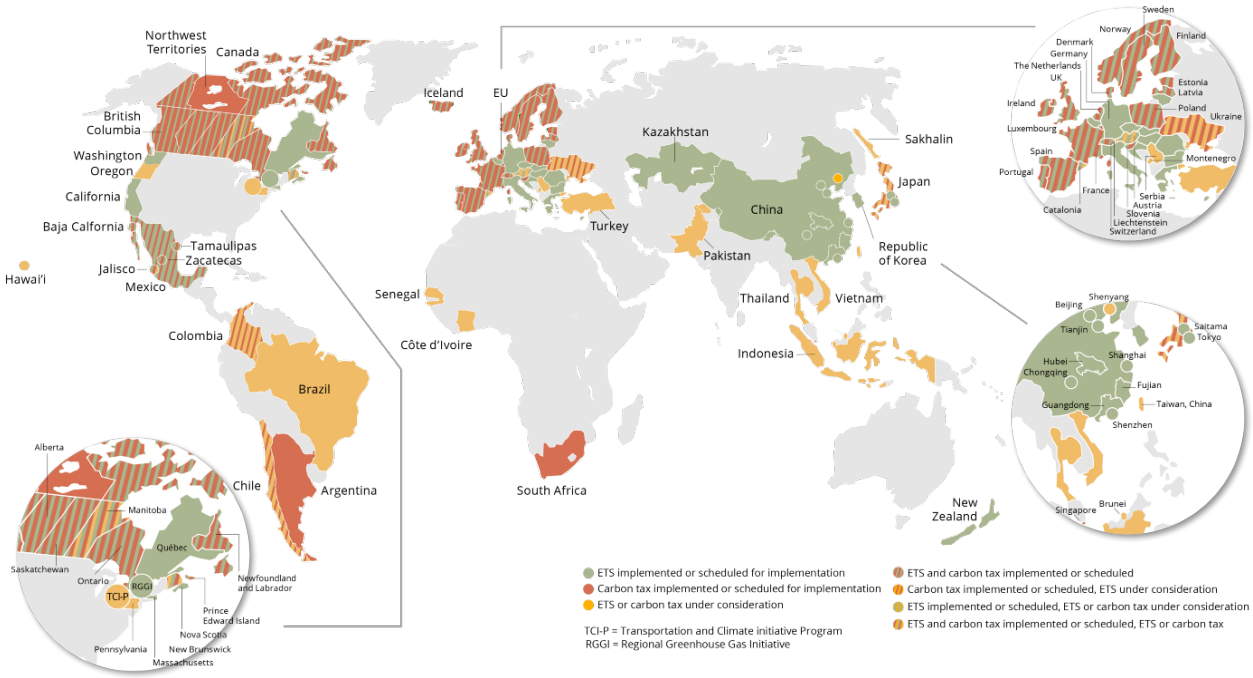
	炭素税	排出量取引制度
アプローチ	価格アプローチ（政府が価格決定）	数量アプローチ（需給で価格決定）
価格付け	政府が決定	排出枠の需給で価格が決まり、排出枠は各主体に分配される
排出量の決まり方	政府が決めた税額水準を踏まえて各排出主体が主体的に行動し、排出量が決まる	政府が全排出量を設定。各排出主体は、市場価格を見ながら排出量と排出枠売買量を決める
特徴	価格は固定され、排出量も不確実	排出総量は固定され、排出枠価格は変動
主な導入国・地域	スウェーデン、フランス、カナダ、イギリス、日本	EU、カナダ、韓国、中国、東京都、カリフォルニア州、ワシントン州
産業界・企業の反応	カーボンプライシングを導入すると、コストが上昇するうえ、導入していない競合に比べて不利な立場に置かれることから、否定的な立場をとる産業界・企業は少なくない。ただ、世界的な環境意識の高まりでESG投資が盛んになるなか、脱炭素・低炭素の姿勢をアピールして資金調達へ結び付けようとする企業も増えている。	

（注）2021 年 11 月時点　（出所）環境省、世界銀行資料、経済産業省資料等から作成

炭素税、排出量取引制度にはそれぞれメリット、デメリットがある。
炭素税の場合は、政府が税率を決めるので価格が明確で、既存の徴税制度を活かせば、行政コストも抑えられ、税収も得られる。反面、どれだけ排出量を削減できるのか予測が難しい。
一方、排出量取引制度では政府が排出枠を設けるため、排出削減量が確実に見通せるが、価格が安定しない。排出枠の割り当てやオークションの実施など制度設計が複雑で、行政コストが大きい点もデメリットとして挙げられる。

2021 年 11 月現在、世界の国・地域で合計 65 のカーボンプライシングが導入され、世界の GHG 排出量の 22%がカバーされている（世界銀行調査、図表 4.6.15 参照）。
2010 年時点での導入数は 19 だったので、過去 10 年で 3 倍以上に増加したことになるが、課税や取引制度の対象は国・地域によりバラバラな上、対象免除も多いことから、比較には留意が必要である。

図表 4.6.15　世界のカーボンプライシングの実施状況

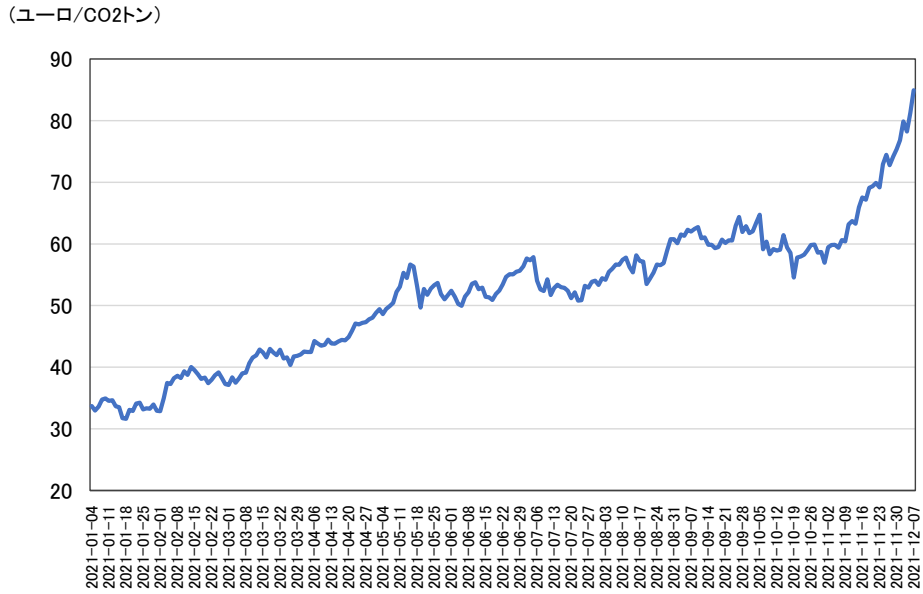


（出所）世界銀行 State and Trends of Carbon Pricing　2021

炭素税は 1990 年にフィンランド、ポーランドで導入されたのを皮切りに欧州を中心に導入が進んだ。日本でも 2012 年に地球温暖化対策税として導入されている。
一方、排出量取引制度（ETS）は 2005 年に EU で最初に導入された。EU の排出量取引制度、EU-ETS は、EU 域内（EU 加盟国及びアイスランド、リヒテンシュタイン、ノルウェー）の対象企業（発電や石油精製、製鉄、セメントなどエネルギー多消費産業、航空セクター）に対し、排出量上限を割り当て、その過不足分を市場で取引する制度である。EU が 2030 年の GHG 排出削減量の目標を 55%に引き上げたことに伴い、2021 年 7 月に発表した改正案では海運、道路、輸送、建物分野も対象に加えている。

EU-ETS 価格は、EU が GHG 削減目標を引き上げた 2020 年 12 月以降、上昇傾向にある（図表 4.6.16 参照）。EU-ETS 価格の上昇に対して、2021 年 5 月、欧州鉄鋼連盟は「欧州の鉄鋼業界は、炭素排出に関する制約がない他国の競合相手に対して不利な状況に置かれ、低炭素関連の新技術への投資が困難になる」と声明を出している。

図表 4.6.16　EU-ETS の先物取引価格推移



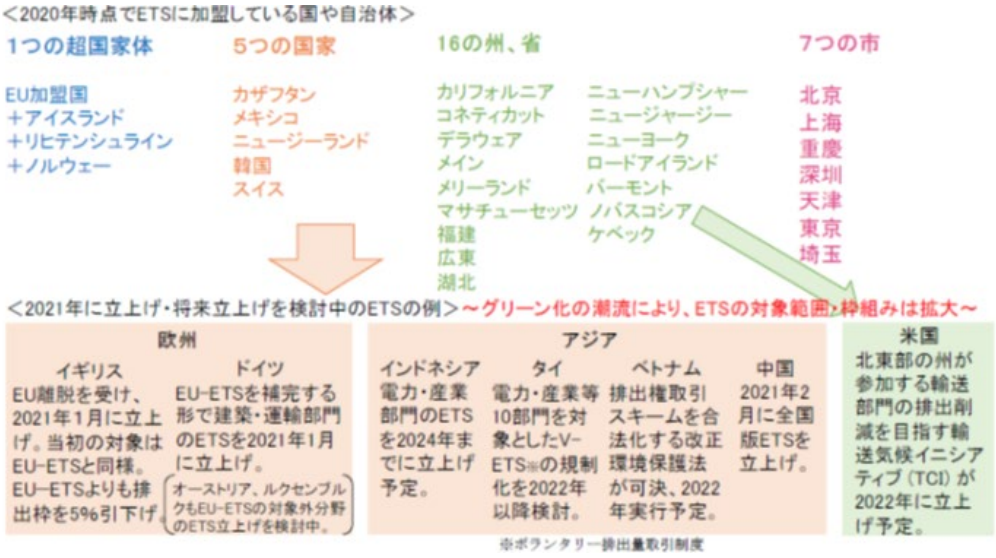
（出所）EMBER 資料から作成

米国では連邦レベルでは ETS は導入されていないが、州レベルでは導入している所もある。2013 年から ETS を導入したカリフォルニア州では、年間 GHG 排出量が 2 万 5,000 トン（CO2 換算）以上の発電事業者、大規模産業（製油所、セメント製造施設、石油ガス生産施設、ガラス製造施設、食品加工工場など）、燃料供給事業者（天然ガス、プロパン、輸送燃料）など約 450 社を対象にしている。対象事業者が同州排出量の約 85%を占めるなど、カバー率は高い。

2021 年 2 月、GHG 排出量最大の中国でも ETS が導入された。2013 年から 7 省・市でパイロット事業として導入され、その後、福建省、四川省の 2 省を加えた 9 省・市で発電事業等の産業を対象に排出量取引制度が順次実施され、全国に拡大された。
当初は CO2 排出量 2 万 6,000 トン以上の発電事業者 2,225 社を対象に実施され、今後、石油化学、建材、鉄鋼などにも適用していくとしている。

ETS は韓国、ニュージーランド、スイスなどでも実施されている。日本でも東京都と埼玉県でそれぞれ 2010 年、2011 年から導入されている。インドネシア、ベトナムの新興国でも ETS 導入を検討する動きが出ている（図表 4.6.17 参照）。

図表 4.6.17　各国の ETS 導入・検討状況



（出所）伊藤忠総研

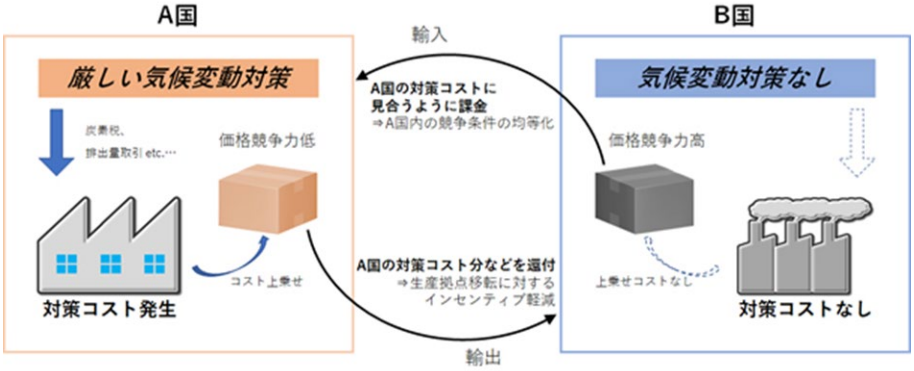
民間セクターの自主的な取り組みとして、自社の炭素の排出量に独自に価格付けを行い、投資判断に反映させるインターナルカーボンプライシングを脱炭素経営の事業戦略として導入する企業も増加している。
世界銀行によると、2020 年時点で 853 社が導入し、1,159 社が今後 2 年以内に導入する意向を示している。

その一方で、否定的な立場をとる産業界・企業も少なくない。
カーボンプライシングを導入するとコストが上昇する上、導入していない競合に比べて不利な立場に置かれるためである。
日本でも、日本商工会議所の三村明夫会頭は「企業はすでに国際的にみても割高なエネルギーコストを負担し、高止まりする電力料金が経営に影響を及ぼす」として明確に反対の立場を表明。経済同友会の桜田謙悟代表幹事も「カーボンプライシングを社会が受容するかには、大きなハードルがある」と語り、制度化は難しいとの考えを示す。

（4） 国境炭素税（CBAM）

カーボンプライシング導入による競争力低下という問題を解決するため、欧米諸国では炭素国境調整措置（Carbon Border Adjustment：CBAM）の議論が始まっている。
カーボンプライシングを一部の国・地域だけが導入すると、導入していない国の製品のコスト競争力が高まる。規制の厳しい国は緩い国からの輸入が増える上、緩い国への生産拠点の流出が進みかねない。こうした状況に陥るのを避けるため構想されたのが炭素国境調整措置（国境炭素税）であり、気候変動対策をとる国が、対策の不十分な国からの輸入品に対して課税などの追加負担を課すというものである。自国からの輸出に対しては水際で炭素コスト分の還付を行う場合もある（図表 4.6.18 参照）。

図表 4.6.18　炭素国境調整措置のイメージ



（出所）各種資料から JETRO 作成

2021 年 7 月、EU は世界初の CBAM 設計案を打ち出した。
同案は CBAM と EU-ETS をリンクさせた制度で、セメント、肥料、鉄鋼、アルミニウム、電力の輸入品を対象としている。対象とされる CO2 の排出は製造に関わる直接排出のみで、排出量は個々の輸入品の輸入者が申告する。信頼できるデータが入手できない場合は、EU の既定値を適用するとしている。
EU は国境炭素税を新たな財源として位置づけており、7,500 億ユーロの復興パッケージ次世代のための EU の財源の 1 つにあてる。事実上の関税である国境炭素税の導入により、EU 製品の優位性を保つことで域外への工場移転を防ぎ、域内産業を保護する狙いもある。
EU は、今後、他国・地域の反応も踏まえて議論を進め、2023 年 1 月から予備段階として課金の生じない報告制度を開始し、2026 年 1 月から本格導入したいとしている。
EU は同案をたたき台に米国と議論を進めたい考えだが、米国には CBAM 案とリンクさせるべき連邦レベルのカーボンプライシング制度がない。炭素国境調整措置の課題と各国・地域の反応を図表 4.6.19 に示す。

図表 4.6.19　炭素国境調整措置の課題と各国・地域の反応

炭素国境措置の課題	各国・地域の反応
・開発途上国への配慮	・EU：世界初のCBAM案を作成するなど前向き
・対象（エネルギー多消費産業に限定するのか、全輸入品か）	・米国：連邦レベルのカーボンプライシング制度もなく模索中
・サプライチェーンも含めるか否か	・BASIC（ブラジル、南ア、インド、中国）閣僚会議：EUのCBAMは差別的な貿易障壁とけん制
・排出量の計算方法	・ロシア：産業商業省次官が同国鉄鋼業界の負担増に言及
・調整額算定のための炭素価格をどう設定するか	・日本：国際的な貿易上の悪影響を回避しつつ、新興国を含む世界各国が実効性のある気候変動対策に取り組む誘因とするべき （経産省　世界全体でのカーボンニュートラル実現のための経済的手法等のあり方に関する研究会　中間整理）

（出所）JETRO 資料、経済産業省世界全体でのカーボンニュートラル実現のための経済的手法等のあり方に関する研究会　中間整理（2021 年 8 月）から作成

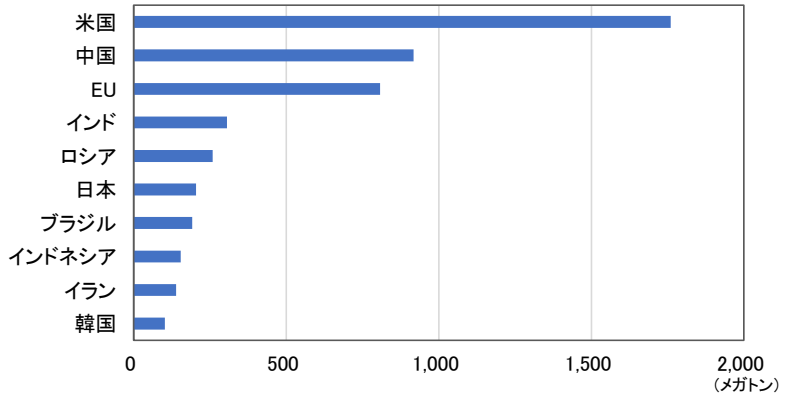
カーボンプライシングの課題は、①世界共通の制度構築が困難であり、ただ乗りする国・地域・企業が出てくる恐れがあること、②当面、企業や消費者にとってはコスト増となること、③特に炭素国境調整の場合、実際の適用には WTO との整合性、偽装された保護主義や報復措置の連鎖による貿易戦争の可能性、炭素含有量を計算することの技術的困難性があること、等である。現状、EU が ETS や炭素国境調整の制度設計で先行しているが、議論は緒に就いたばかりである。

４．６．３　米国における EV 導入実績と見通し、課題

（１）　米国の自動車市場 EV 化政策と EV 市場の現況

世界の交通・輸送部門から排出される温室効果ガス（GHG、2018 年）の国・地域別排出量を見ると、米国が 2 位の中国を大きく引き離して最大である（図表 4.6.20 参照）。

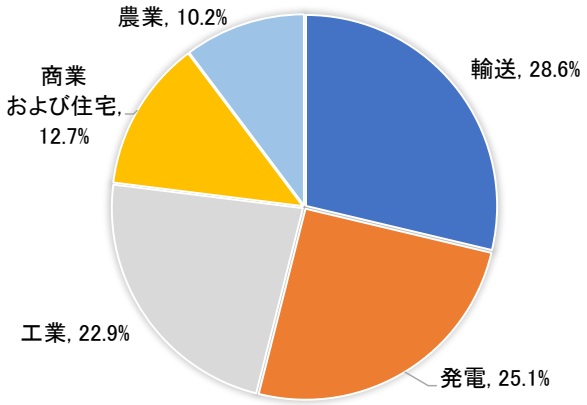
図表 4.6.20　交通・輸送部門における国・地域別 GHG 排出量（2018 年）



（出所）Climate Watch

2019 年の米国の経済分野別 GHG 排出源は、輸送部門が 29%で最も高いシェアを占め、その中で自動車による GHG 排出割合が 8 割強を占めることから、GHG 排出量を削減するには電気自動車（EV）化が重要となる。

図表 4.6.21　米国の経済分野別 GHG 排出比率（2019 年）【再掲】

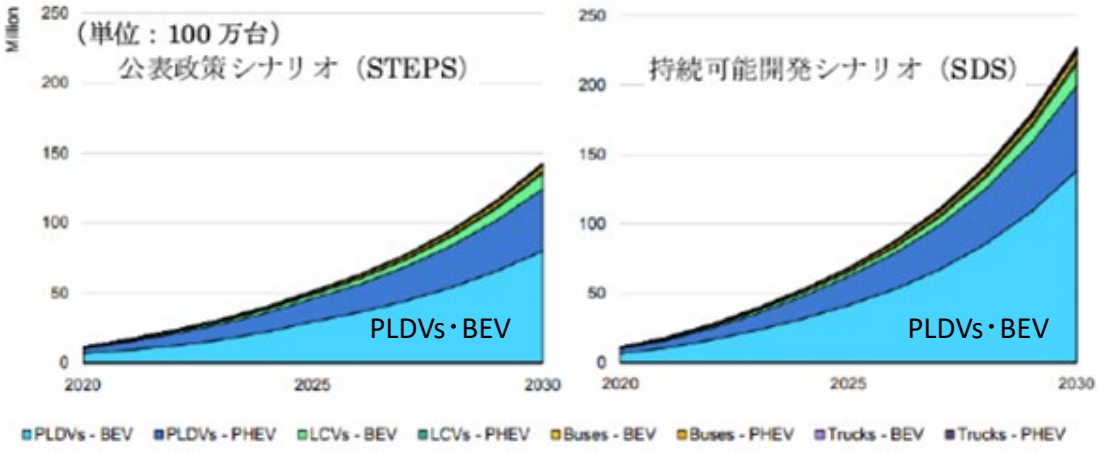


（出所）米国環境保護庁

米国は、2030 年までに GHG ネット排出量を 2005 年比で 50～52%削減するという目標を示す。2021 年 8 月、2030 年までに販売される新車（乗用車と小型トラック）の 50%以上を電気自動車（EV）と燃料電池車（FCV）とする大統領令を発令した。この目標を達成すれば、2030 年に販売される新車からの GHG 排出量を 2020 年比で 60%以上削減できる。米国の EV 市場はまだ揺籃期で原油価格や政策に左右される面が大きく先行きは不透明である。

世界の EV 市場については、IEA が、現在公表されている政策をベースとした公表政策シナリオ（STEPS）と、クリーンエネルギー政策や投資が大規模に展開される持続開発可能開発シナリオ（SDS）の 2 パターンについて予測している（図表 4.6.22 参照）。

図表 4.6.22　世界の EV 市場の予測

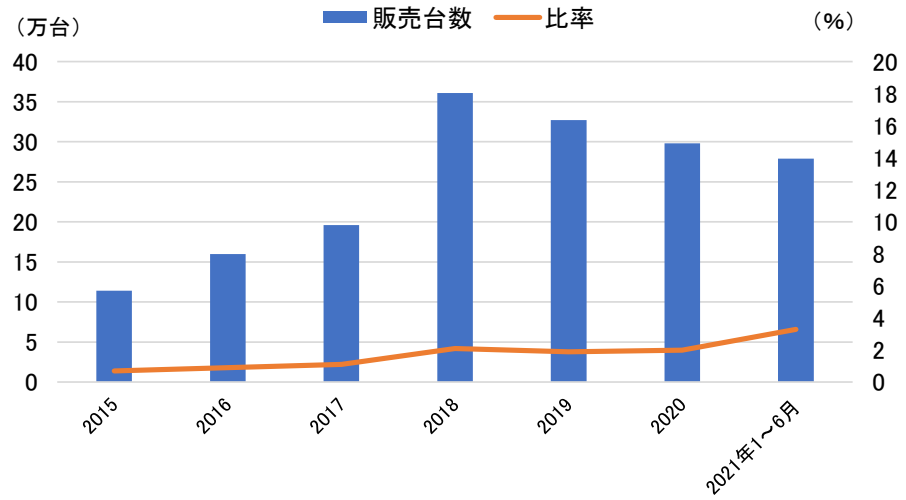


（出所）IEA

STEPS の場合、EV 市場は 2020 年の 1020 万台から年率 30%の割合で成長し約 1.5 億台に、SDS の場合、2030 年には 2020 年の 20 倍超の約 2.5 億台に伸びると見ている。

マッキンゼーは、米国 EV 市場の長期的な成長ペースは中国や欧州よりも遅く、2030 年までの米国内 PEV（EV とプラグインハイブリッド車の合計）のシェアは約 15～35%になると予測している。原油価格が低迷した場合、さらに 5%程度 PEV シェアが小さくなる可能性もあると見ている。
米国 EV 市場の長期的な傾向については、原油価格とインセンティブ政策に大きく依存することから、不確実な要素が大きいとしている。
米国自動車市場では、EV は長らく新車販売台数の 1～2%しか占めてこなかったが、政策の後押しや米国で人気の高い SUV で新モデルが投入されたことなどにより、2021 年 1～6 月の米国の EV 新車販売台数は約 28 万台で自動車全体の 3%と、徐々に拡大の傾向である（図表 4.6.23 参照）。

図表 4.6.23　米国の EV 販売台数推移



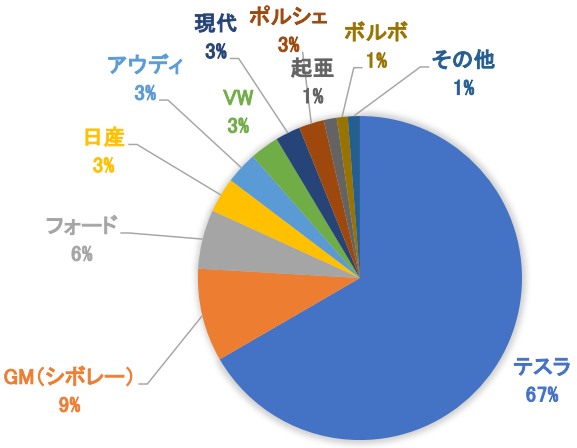
（注）EV は完全電気自動車（BEV）とプラグインハイブリッド車（PHEV）の合計
（出所）米国エネルギー省資料から作成

EV の約 8 割を占める BEV では、テスラが約 7 割を占め、GM、フォードがこれに続いている。2021 年 1～6 月の世界の新車販売台数（ガソリン車、ディーゼル車、EV 等全車種合計）で、米国は中国に次ぎ世界第 2 位の市場であるが、BEV 普及率では欧州、中国の後塵を拝している（図表 4.6.24、図表 4.6.25 参照）。

米国政府の EV 導入目標に対して、GM、フォード、ステランティス（旧フィアット・クライスラー・オートモービルズ）など米国自動車メーカーは、おおむね支持の姿勢を見せている。
一方、自動車ディーラー業界からは、反発の動きも出ている。重要な収益源だった従来型エンジン整備作業が減少する恐れがあるためだ。自動車の労働組合も、転換が急速に進むと雇用喪失につながるのではないかと大きな不安を示している。

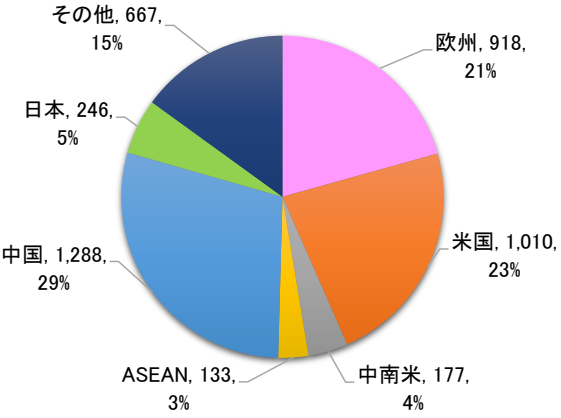
図表 4.6.24　米国の EV 導入状況、世界比較

米国のメーカー別 BEV 販売台数比率



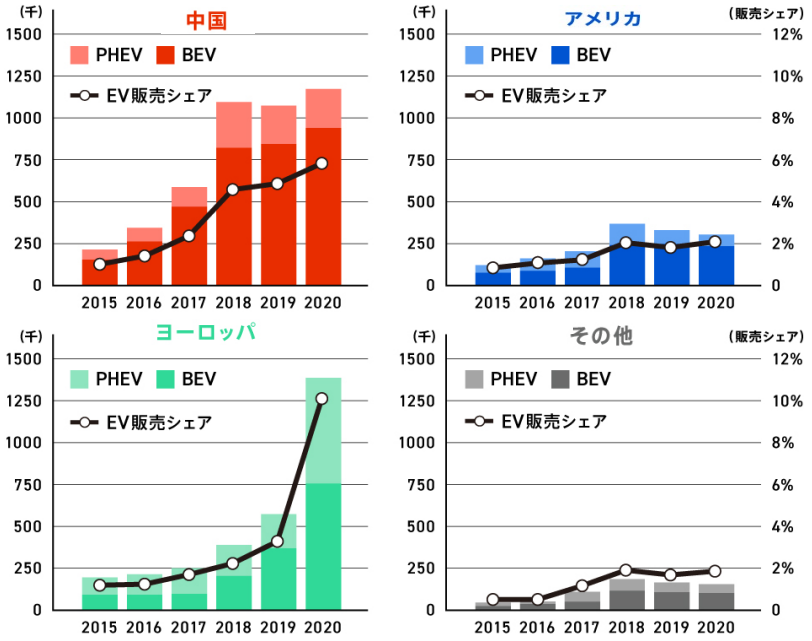
（注）2021 年 1～6 月の数字
（出所）モーターインテリジェンス

国・地域別新車販売台数（2021 年 1～6 月）



（注）単位は万台、%。全世界の新車販売台数は 4,440 万台
（出所）OICA（国際自動車工業連合会）

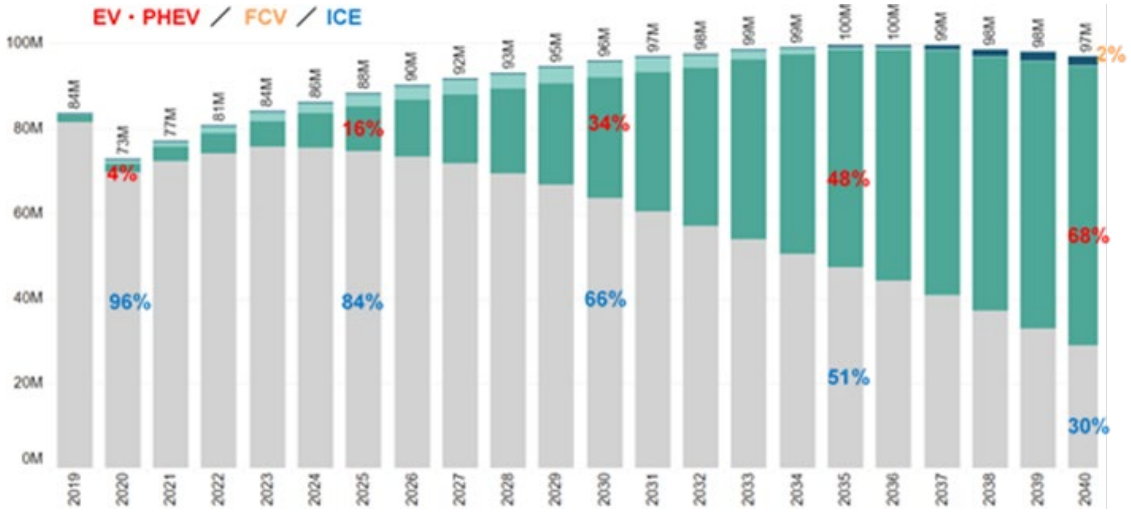
図表 4.6.25　世界主要国・地域別 BEV、PHEV の新車登録台数とシェアの推移



（出所）東京電力エナジーパートナー

Bloomberg New Energy Finance（BNEF）による 2040 年までの世界の乗用車販売台数の展望を図表 4.6.26 に示す。
BNEF によると、2020 年時点の世界の乗用車販売台数の 96%をガソリン車が占め、EV・PHEV は 4%である。2040 年に向けて欧州、中国が先導する形で EV 市場が拡大すると見ている。

図表 4.6.26　経済移行シナリオにおける世界の乗用車販売台数



（注）経済移行シナリオとは、新たな政策や規制の導入がない事を前提に、技術や経済要因からの影響を加味したもの

（出所）Bloomberg New Energy Finance（BNEF）

（２）　EV 化の課題

米国の新車販売に占める EV の割合が現状約 3%にすぎないのに、2030 年までに 50%へ引き上げるという政権目標は現実から乖離しているという見方もある。

EV 化の課題は、①EV がいまだ高価格帯に集中していること、②充電施設の不足や短い航続距離に対する不安感、③レアメタルなどのバッテリー原材料調達問題（レアアースの枯渇懸念等）がある。

これまで米連邦政府は、EV 普及促進策として、①EV 購入時に最大 7,500 ドルの税額控除、充電インフラ購入の際、事業用は設置費用の 30%（上限 3 万ドル）、家庭用は最大 1,000 ドルの税額控除、等の施策を打ってきた。EV 価格もバッテリー価格低下に伴い徐々に下落すると見られる（図表 4.6.27 参照）。

充電施設の拡充に関しては、2021 年 11 月、米国で 1 兆ドル規模のインフラ投資法が成立した。道路や橋の改修に 1,100 億ドル、バスなど公共交通機関の刷新に 390 億ドル、高速通信網や電力網の整備にそれぞれ 650 億ドルをあてる。EV 普及に関しては、75 億ドルをかけて EV 充電設備を全国に 50 万カ所設けるとしている。

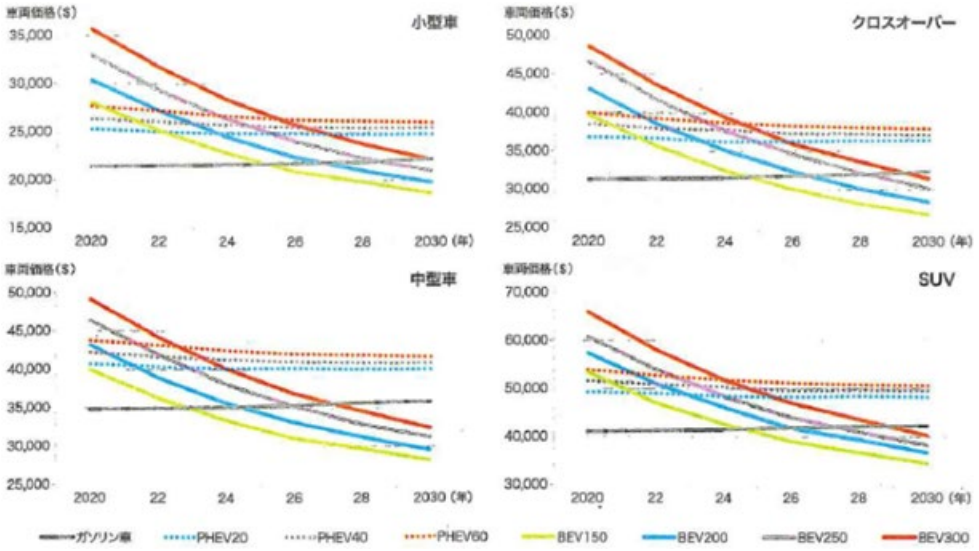
高額な EV 購入を後押しするための税額控除額については、1 台当たり現在の 7,500 ドルから、最大 1 万 2,500 ドルまで引き上げる法案が、現在議会で審議されている。

だが、同法案が、1 台当たりの基本控除額 4,000 ドルと、バッテリー容量に応じた 3,500 ドルに加え、労働組合を持つ拠点で組み立てた車両の購入に対してさらに 4,500 ドルの控除を定めていることから、デトロイト 3 以外のメーカーから不満の声が上がっている。

2021 年 9 月、トヨタなど自動車メーカー12 社は、現在議会で審議されている EV 購入時の税額控除額引き上げに関する法案に対し見直しを求めている。今回の税額控除額引き

上げ案は、米国の自動車労働者を差別し、消費者の選択肢を狭め、米国内の EV 普及と気候変動目標の達成を遅らせることになると訴えている。同 12 社のほか、主に外国メーカーの車両販売店を代表する米国国際ディーラー協会も「この政策は、米国の労働者を互いに対立させ、消費者の選択を制限する」と反対している。

図表 4.6.27 BEV、PHEV、ガソリン車の価格比較見通し



（注）凡例の数字は航続距離を表す

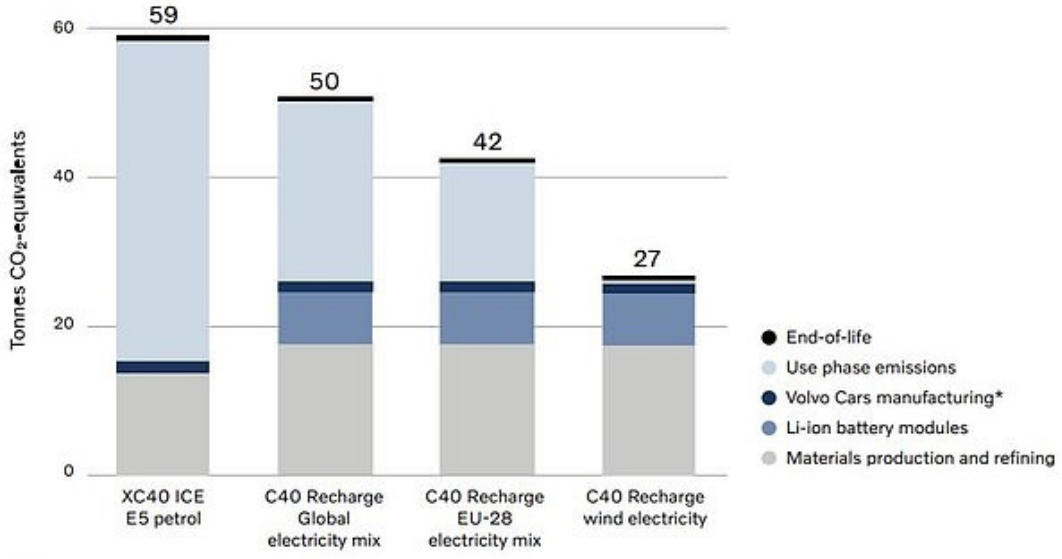
（出所）The National Academies of Sciences, Engineering and Medicine「Assessment of Technologies for improving Light-Duty Vehicle Fuel Economy 2025-2035

（３） EV は本当に環境にやさしいのか

2021 年 11 月、ボルボはレポート「Carbon footprint report Volvo C40 Recharge」を発表した。C40 は、ボルボ初の BEV のクロスオーバーで、同レポートは C40 のライフサイクル CO2 排量を詳細に分析している。ライフサイクル CO2 排出量とは、自動車の製造時から運転、廃棄時までを含めて計算した CO2 排出量のことである。

図表 4.6.28 は 20 万キロ走行時の内燃機関車（ICE）と BEV「C40」のライフサイクル CO2 排量を比較したものである。一番左の棒グラフが内燃機関車、残りは C40 だが、走行時の電源構成により結果が異なる。左から 2 番目が世界平均電源構成(Global electricity mix)、同 3 番目が EU 平均電源構成(EU electricity mix)、同 4 番目が全て風力 (wind electricity) で賄った場合である。

図表 4.6.28　ボルボ車の 20 万キロ走行時の CO2 排出量比較

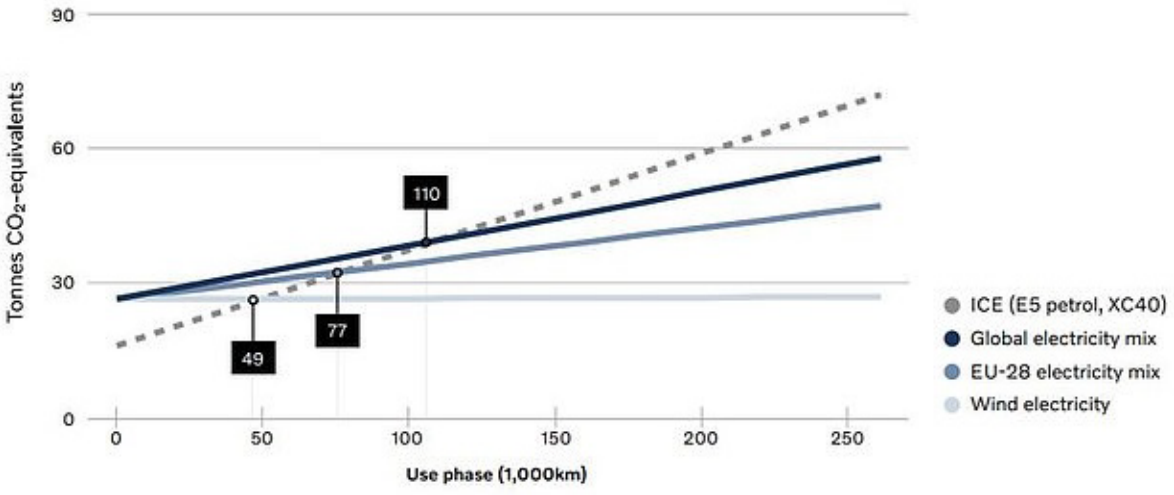


（出所）Volvo「Carbon footprint report Volvo C40 Recharge」

注目すべきは、①BEV は製造時(原材料の生産・精製とリチウムイオン電池の合計)の CO2 排出量が内燃機関車より 70%も多いこと、②BEV は走行時の CO2 は少ないが製造時の CO2 が多いので、ライフサイクル CO2 でガソリン車を逆転するにはかなりの距離を走らないといけないということである。C40 の場合、風力発電で 49,000 キロ、EU 平均電源構成で 77,000 キロ、世界平均電源構成では 110,000 キロ走らないと、内燃機関車より CO2 多く排出してしまう（図表 4.6.29 参照)。

充電施設が十分でない状況を鑑みて、BEV は近距離を走るのに向いているとする論考もあるが、このレポートを読む限り、現時点ではかなり走行しないとガソリン車よりトータルで CO2 排出量が多かったということになる。

図表 4.6.29　ボルボ車の走行距離と CO2 排出量の関係



（出所）Volvo「Carbon footprint report Volvo C40 Recharge」

ものづくり研究で著名な藤本隆宏早大教授も、日本経済新聞「経済教室」への寄稿（2021年1月7日）で「EV礼賛論は地球温暖化防止という大目的に対し目的と手段を混同している。現世代リチウムイオン電池のエネルギー密度の限界、発火・劣化・充電時間などの弱点、材料調達・コスト問題、各国政府の政治的思惑などをすべて勘案しないと全体解は見えない。現在のEVは発電～製造段階でCO2を出すことも無視できない」と指摘している。

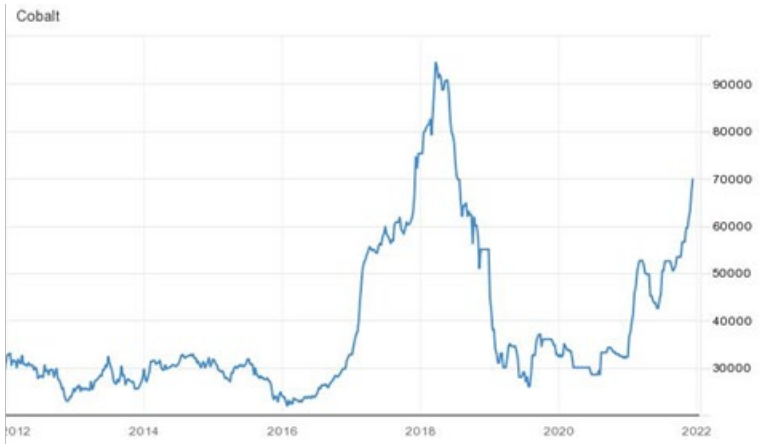
（4） レアメタル枯渇という問題

EV推進の背景には、ガソリン車やハイブリッド車(HV)では日本メーカーに勝てないので、EV でゲームチェンジを図ろうという欧米政府・メーカーの政治的思惑も透けて見える。加えて、EV推進にはレアメタルの枯渇懸念という問題もある。

EV 用で主流のリチウムイオン電池の主要部材の一つである正極材には、コバルトやリチウム、ニッケルなどのレアメタルを使う。EV 向け需要増加により価格は上昇基調が続いている（図表4.6.30参照）。

図表4.6.30　コバルト価格の推移

（ドル/トン）



（出所）Trading Economics

EVsmartブログの池田篤史氏は、コバルトを例にあげてレアメタルの枯渇懸念を論じている。池田氏によると、2019年にEVの電池に使われたコバルトの総量は19,000トンで、1台あたり平均9kgのコバルトが必要だった計算になる。1台9kgで10億台（現在の自動車保有台数の推計）のEVを作ると900万トンのコバルトが必要になるが、世界のコバルト合計埋蔵量は710万トンしかない。

他の産業でも毎年10万トンほど利用される金属のため、このままでは枯渇するのが目に見えている。これに対して、コバルトの使用比率を低下させた電池や、コバルトを使用しない電池の開発が進められているが、枯渇以前にレアメタルには、①生産・精製の際の水質・土壌汚染といった環境破壊、②採掘地における児童労働などの人権問題もある。コバルトの場合、生産量でコンゴ民主共和国のシェアが約7割、加工量で中国が6割に達す

るとされる。

（５） 米国の車載電池リサイクルの現状

①EV 用車載電池の寿命は、一般的に 8 年あるいは走行距離 10 万マイル（約 16.1 万キロ）とされている。

2019 年の米国の使用済み EV 用電池は 28 万台超だった。2025 年には約 53 万台、2030 年には 100 万台以上の EV 用電池が使用済みになると見込まれている。

EV 用電池の再活用の方法には、リサイクルとリユース（再利用）がある。リサイクルでは、EV 用電池を解体して亜鉛、リチウム、マンガン、銅、アルミニウム、鉄、コバルトなどの金属、ポリプロピレンや PET などのプラスチック、グラファイトカーボン、硫酸などの電解液、ガラス繊維、冷却材／電池管理システムを回収する。

②米国では、電池リサイクルは緒に就いたばかりである。欧米と異なり、電池リサイクルのインセンティブもないため、リサイクル業者はスケールメリットを生かすのに十分な量の使用済み電池を確保できない。リサイクルコストは高止まりしており、収益化も困難となっている。EV に使用されている電池の種類、サイズ、電極、構造などがばらばらであることもリサイクルを困難にしている。リサイクルを推進するには、EV 用電池の仕様を標準化することが必要である。

③このような状況下、米国では車載電池のリユースが注目されている。EV 用電池は、使用済みとなっても、充電の容量は 70～80%程度残っていることが多く、解体せずに電池としてリユースできる。リサイクルに比べて低コストな上、CO2 排出量も少ない。リユース品の用途には以下が挙げられる。

・EV への再利用
・EV 以外の製品（ドローンや車椅子など）への再利用
・エネルギー貯蔵用途（住宅用、商業用、工業用、電力網用）
・バックアップ電源

④主要自動車メーカーのリユースへの取り組みとしては、2019 年、ホンダがオハイオ州の電力会社のアメリカン・エレクトリック・パワーと共同で、使用済み EV 用電池を AEP の電力システムネットワークに活用するプロジェクトを発表した。BMW も電力会社と提携して蓄電池システムへの活用を探っているほか、GM もデータセンター向け蓄電池として利用する取り組みを進めている。

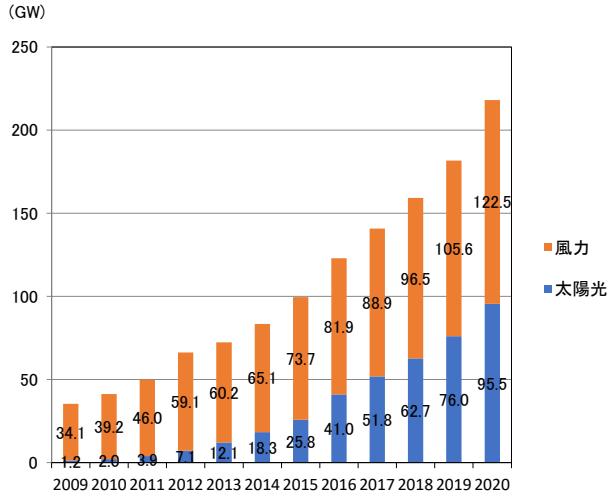
４．６．４ 米国における再生可能エネルギー、バイオ燃料、水素の取り組み

（１） 再生可能エネルギーの取り組み動向

①太陽光発電と風力発電の推移と展望

米国の太陽光発電と風力発電の累積設備容量を図表 4.6.31 に示す。

図表 4.6.31　太陽光発電、風力発電の累積設備容量の推移

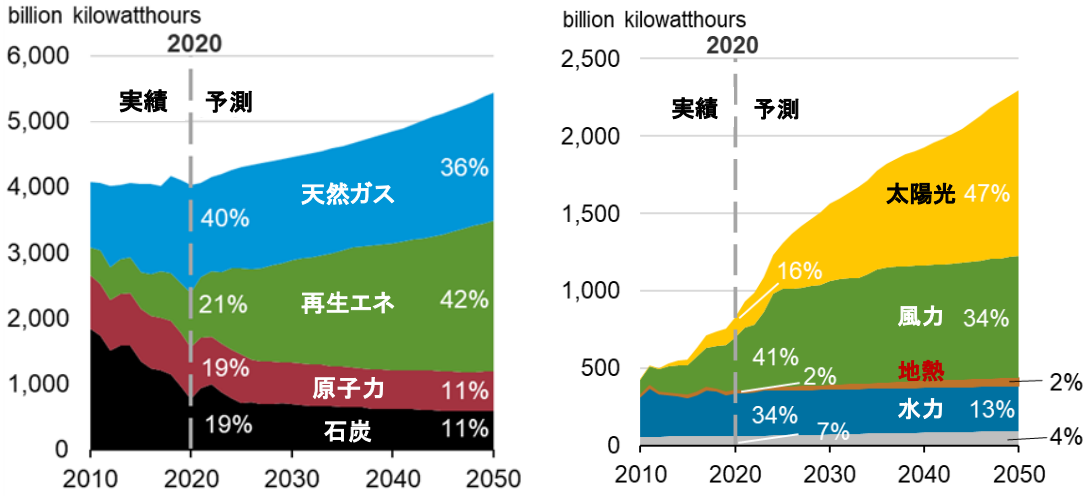


（出所）REN21 "Renewables 2021 Global Status Report"

米国の太陽光、風力発電の設備容量は 2020 年時点で合わせて 200GW を超えており、この 10 年間で 5 倍以上の増加となった。2020 年においても太陽光発電は前年から 26%容量を増やしており、96GW の累積設備容量となっている。風力発電も同 16%増やし 123GW の累積設備容量である。

米国エネルギー見通し 2021 年版（AEO2021）出は、2020 年の米国発電全体（4.06 兆 kWh）に占める再生可能電力は 0.83 兆 kWh と 21%を占める。
水力 0.28 兆 kWh（7%）、太陽光 0.13 兆 kWh（3%）、風力 0.34 兆 kWh（8%）である。
米国の電力需要は 2050 年にかけて年率 1%で伸び、5.46 兆 kWh に達する。その中での再生可能電力は 2.3 兆 kWh と米国の電力全体の 42%まで拡大する。水力は 0.29 兆 kWh(5%)と殆ど変わらないが、太陽光は 1.07 兆 kWh（20%）、風力は 0.79 兆 kWh（14%）と各々拡大する。今後の米国の再生可能電力の主役は風力から太陽光に交代することとなる（図表 4.6.32 参照）。

図表 4.6.32　米国発電に占める再生可能エネルギーの推移と見通し



（出所）米国 EIA, "Annual Energy Outlook 2021" February 2021

今後の導入見通しについては、AEO2021 でいくつかのシナリオに分けてシミュレーションしている（図表 4.6.33 参照）。

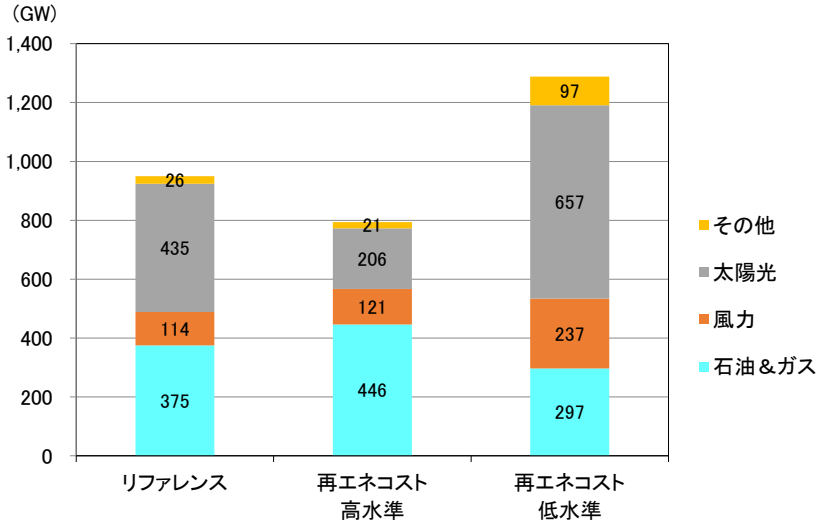
リファレンスシナリオでは 2021 年から 50 年にかけて発電設備が 950GW 増強されるとしているが、そのうち、化石燃料による発電設備は 375GW と 4 割弱にすぎない一方で、風力が 114GW、太陽光が 435GW となり、合わせると発電設備増強分全体の 6 割近くを占めるとする。

次に、再生可能エネルギーコストの低減が進まず、2020 年時点と同コストが変わらないシナリオ（再生可能エネルギーコスト高水準シナリオ）では、発電設備の増強は 794GW とリファレンスシナリオに比

べて 100GW 以上低下する。増強分の内訳を見ると、その過半が化石燃料による発電設備となっている。太陽光が 206GW とリファレンスシナリオの半分以下にとどまる。

一方、再生可能エネルギーコストの低減が進み、2020 年時点の同コストの 4 割程度となるシナリオ（再生可能エネルギーコスト低水準シナリオ）では、今後 30 年間で 1,288GW の増分とリファレンスシナリオから 300GW 以上も増えることになる。中でも、風力はリファレンスシナリオの 2 倍強である 237GW、太陽光は同 1.5 倍である 657GW 増えるとする。一方、化石燃料による発電設備は 297GW の増分となりリファレンスシナリオに比べて 8 割程度に抑えられてしまうことになる。

図表 4.6.33　2021 年から 2050 年にかけての累積設備容量の見込み



（出所）米国 EIA, "Annual Energy Outlook 2021" February 2021

②加速する再生可能エネルギー導入

新政権は、2035 年までに電力部門の脱炭素化を達成することなど、再生可能エネルギーの利用拡大に力を入れている。例えば、2021 年 3 月には、内務省やエネルギー省、商務省などと共同で、2030 年までに 30GW の洋上風力発電能力を整備する方針を発表した。また、2021 年 11 月に可決したインフラ投資法においても、学校への再生可能発電装置の導入、クリーンエネルギー導入プロジェクトの支援、さらに再生可能エネルギー導入拡大に当たって障害となっている送電網の改修・整備に資金を投じるとしている。

③再生可能エネルギー導入の加速を担う民間セクター

米国において、再生可能エネルギーの利用に積極的なのが IT 企業である。これは、使用されるエネルギーの大半が電力であり、かねてよりエネルギー使用量の膨大さから環境団体より批判されてきたが、再生可能エネルギーを利用することで事業の拡大と気候変動対策の両立が可能となる。また、導入にかかるコストが年々低下しており、自社で建設・運営したほうが割安になっていることも、こうした IT 企業をはじめとする米国企業の再生可能エネルギー導入を後押ししている。

図表 4.6.34 に再生可能エネルギーの上位購入企業を示す。アマゾンやメタ（旧フェイスブック）、マイクロソフトといった大手 IT 企業、ベライゾンや AT&T といった大手通信企業、さらにはゼネラルモーターズやダウ・ケミカルといった製造業が名を連ねている。また、同図表にはないものの、グーグルは事業拡大に合わせて再生可能エネルギーに投資することで、2017 年以降は使用する電力をすべて再生可能エネルギーで賄っている。

図表 4.6.34　大口再生可能エネルギー購入企業（世界上位 10 位、2020 年）

（単位：メガワット）

	太陽光発電	風力発電
アマゾン（米国）	3,092	2,000
トタル（フランス）	3,000	
TSMC（台湾）		1,200
ベライゾン（米国）	721	290
メタ（旧フェイスブック、米国）	692	199
ゼネラルモーターズ（米国）	797	
AT&T（米国）	650	
マイクロソフト（米国）	650	
ダウ・ケミカル（米国）	558	
アングロ・アメリカン（英国）	330	195

（出所）BloombergNEF “1H 2021 Corporate Energy Market Outlook” 2021 年 1 月

（２） バイオ燃料の取り組み動向

①バイオ燃料の概要と取り組み動向

バイオ燃料は、大きくバイオエタノールとバイオディーゼルに分かれる。

バイオエタノールには、糖質系、澱粉系、セルロース系があり、ブラジルではサトウキビ、米国ではトウモロコシ、欧州ではビートが原料として利用されている。

バイオディーゼルは、従来型のナタネ、ヒマワリ、大豆からの食用油などをメチルエステル化した脂肪酸メチルエステル（FAME）と、パーム油や廃食油について水素化処理をすることで、燃料インフラやエンジンの改修無しで既存の燃料の代替や混合が可能な燃料、いわゆる drop-in 燃料である HVO（Hydrotreated Vegetable Oil）に分かれる。

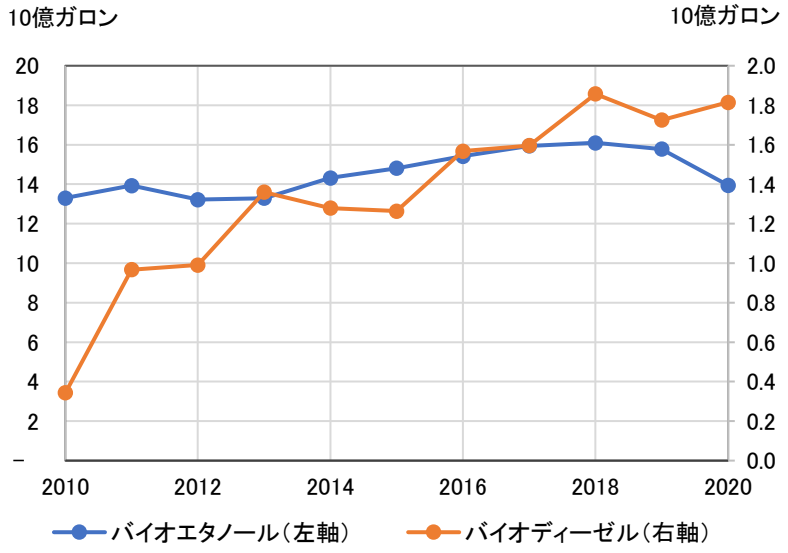
HVO については低温特性改善等の処理をすれば、持続可能なジェット燃料（SAF）として利用することができる。

また、HVO に近いバイオ燃料として、植物油や廃食油だけでなく動物性油脂も原材料として利用する再生可能ディーゼル（renewable diesel）がある。

米国のバイオエタノール、バイオディーゼルの生産推移は図表 4.6.35 の通りである。

主要なバイオ精製プラントを図表 4.6.36 に示す。

図表 4.6.35　米国のバイオエタノール、バイオディーゼルの生産推移



（出所）米国農務省

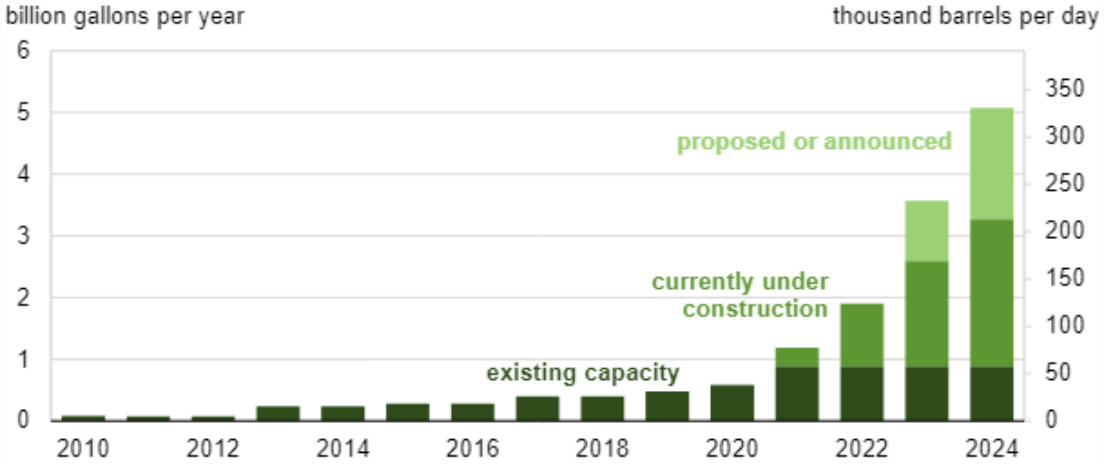
図表 4.6.36　主要なバイオ精製プラント

プロジェクト段階	企業、精製所名	所在地	精製能力（百万ガロン／年）	稼働（予定）年	主な製品	備考
稼働中	Marathon Petroleum Dickinson Refinery	Dickinson, ND	184	2020年	再生可能ディーゼル、再生可能ナフサ	既存の製油所を転換した施設
	RBF Port Neches, LLC	PortNeches, TX	180	2008年	バイオディーゼル	
	REG Grays Harbor LLC	Hoquiam, WA	100	2007年	バイオディーゼル、メチルエステル、グリセリン	
	Marathon Petroleum Cincinnati Refinery	Cincinnati, OH	91	2014年	バイオディーゼル	
	World Energy Houston	GalenaPark, TX	90	2006年	バイオディーゼル、グリセリン	
	Louis Dreyfus Agricultural Industries LLC	Claypool, IN	88	2008年	バイオディーゼル、グリセリン	食料コングロマリット傘下
	Archer Daniels Midland Co. – Velva	Velva, ND	75	2007年	バイオディーゼル	食料コングロマリット傘下
	Duonix LLC (Marathon)	Beatrice, NE	50	2016年	バイオディーゼル	既存の製油所を転換
建設・拡張中	Marathon Petroleum Martinez Refinery	Martinez, CA	730	2022年	再生可能ディーゼル、その他再生可能燃料	既存の製油所を転換
	Diamond Green Diesel Norco	Norco, LA	290→400（拡張後）	2021年	再生可能ディーゼル	既存プラントを拡張中
	REG Geismar LLC	Geismar, LA	90→340（拡張後）	2023年	再生可能ディーゼル、再生可能プロパン、再生可能ナフサ	既存プラントを拡張中
	World Energy – Paramount	Paramount, CA	330	2023年	再生可能ディーゼル、SAF、再生可能ガソリン、再生可能プロパン	既存の製油所を転換
	Alon Bakersfield Refinery	Bakersfield, CA	230	2022年	再生可能ディーゼル、その他再生可能燃料	エクソンモービルとの間で供給契約を締結済み
	CVR Energy Inc. – Wynnewood	Wynnewood, OK	100	2022年	再生可能ディーゼル、その他再生可能燃料	既存の製油所を転換
	HollyFrontier Corp. – Artesia	Artesia, NM	110	2022年	再生可能ディーゼル、その他再生可能燃料	
	HollyFronteir Corp. – Cheyenne	Cheyenne, WY	90	2022年	再生可能ディーゼル、その他再生可能燃料	既存の製油所を転換
プロポーザル段階	Grön Fuels LLC	Baton Rouge, LA	900	2024年	再生可能ディーゼル	
	Phillips 66 – Rodeo	Rodeo, CA	680	2024年	再生可能ディーゼル、SAF	
	Next Renewable Fuels	Port Westward, OR	575	2022年	再生可能ディーゼル	
	Diamond Green Diesel – Port Arthur	PortArthur, TX	470	2023年	再生可能ディーゼル	
	CVR Energy Inc. – Coffeyville	Coffeyville, KS	175	未定	再生可能ディーゼル、SAF	既存の製油所を転換

（出所）各種情報を基に東レ経営研究所作成

バイオ精製には、食品コングロマリットやバイオ燃料の専業メーカーだけでなく、Marathon Petroleum のような石油精製業者もみられる。Marathon Petroleum では、脱炭素化が加速する環境における次世代事業戦略として、2030 年までに 2014 年比で 30%の温室効果ガスの排出量削減の目標を掲げ、CCUS にも取り組むなど事業における気候変動対策を進めており、足元では再生可能燃料の生産量を年産 3 億ガロンから 2025 年には同 12 億ガロンにまで引き上げるべく、製油所の転換などの施策を講じている。
なお、脱炭素化の動きが加速するとして、再生可能ディーゼルプラントを新設・増強したり、既存の石油精製プラントを転換するなどして、今後も精製能力が大きく伸びるとみられている（図表 4.6.37 参照）。

図表 4.6.37　再生可能ディーゼル精製能力の推移と予測



（出所）米国 EIA “U.S. renewable diesel capacity could increase due to announced and developing projects”2021 年 7 月

建設中（currently under constructiｏn）、計画中（proposed or announced）の案件が全て稼働開始したと仮定した場合、再生可能ディーゼルの精製量は、2020 年時点で 3.8 万バレル／日・6 億ガロン／年（約 22.7 億リットル）から 2024 年には 33 万バレル／日・51 億ガロン／年（約 231.9 億リットル）にまで拡張する。ただし、ここまで拡張しても全米の精製能力の 5%程度を占めるにとどまる。

②バイオ燃料の利用を後押しする再生可能燃料基準（RFS）の概要

米国では、ガソリンや軽油へのバイオ燃料調合の義務化を進めてきた。

2005 年の包括エネルギー法において、再生可能燃料基準（Renewable Fuel Standard）RFS が策定され、燃料供給事業者の輸送用ガソリン、ディーゼル販売量に対して一定比率の再生可能燃料の販売を義務付けられた。

さらに、2007 年に制定したエネルギー自立・安全保障法（EISA）では、2009 年から 2022 年までの導入目標量（RFS2）を定めた。

なお、目標は計画立案時の当初目標と、普及動向や供給体制などを勘案した確定目標の 2 つに分かれ、後者は年ごとに策定される。

RFS2 においては、バイオ燃料の生産量に応じて RIN（Renewable Identification Number）と呼ばれる売買可能なクレジットが発行され、ガソリンまたはディーゼル燃料の燃料供給業者は、目標達成のために必要量の RIN を調達するか、自社でバイオ燃料を混合することが求められる。

なお、RFS2 の目標量はバイオ燃料値の合計だけでなく、先進型バイオ燃料、セルロース系、バイオマス由来のディーゼル（再生可能ディーゼルなど）についてもそれぞれ定められている（図表 4.6.38 参照）。

図表 4.6.38　RFS2 の目標

年次		2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
再生可能燃料総計（バイオ燃料）	当初目標	165.5	181.5	205	222.5	240	260	280	300	330	360
	確定目標	165.5	162.8	169.3	181.1	192.8	192.9	199.2	171.3	185.2	207.7
先進型バイオ燃料総計	当初目標	27.5	37.5	55	72.5	90	110	130	150	180	210
	確定目標	27.5	26.7	28.8	36.1	42.8	42.9	49.2	46.3	52	57.7
うちセルロース系バイオ燃料	当初目標	10	17.5	30	42.5	55	70	85	105	135	160
	確定目標	0.008	0.33	1.23	2.3	3.11	2.88	4.18	5.1	6.2	7.7
うちバイオディーゼル	当初目標	≧10(注)									
	確定目標	12.8	16.3	17.3	19	20	21	21	24.3	24.3	27.6

注:法令では最低１０億ガロンが設定されているが、EPAが導入量を引き上げることがある。

（出所）米国エネルギー省

足元では、2020 年にガソリン需要が激減して打撃を受けた燃料供給業者に対する支援に加え、2021 年は原油高やエタノール価格高に伴ってガソリン価格が高騰し、国民経済にも大きな影響を与えていることを受け、2021 年 12 月になって政府は混合義務量を、2021 年は 185.2 億ガロンとし、2020 年についても当初目標の 200.9 億ガロンから遡及して 171.3 億ガロンに引き下げた。

ただし、2022 年については過去最大となる 207.7 億ガロンに引き上げる予定である。

義務量の引き下げにより、ガソリン生産の直接的（エタノール調達費用など）、間接的（RIN 購入費用）コストの上昇を抑えてガソリン価格の高騰を緩和できるとともに、過去の RIN の義務購入量を削減して精製業者の経営を支援しようとしている。

他方、バイオ燃料関係者や環境保護活動家などからは、気候変動対策の後退であるとして反発を招いている。

③バイオディーゼル導入拡大に向けた動き

バイオディーゼルの業界団体である National Biodiesel Board は、2020 年 2 月から 2021 年 7 月にかけ、100%バイオディーゼルの燃料（B100 燃料）のみで運航された 5 台の Class8 長距離トラックが合計で 62.4 万マイル（約 100.4 万キロメートル）を走行したと 2021 年 12 月に発表した。

これは、既存ディーゼル車を燃料タンクなど最低限の改造で B100 燃料に対応させることができる Optimus の「VectorSystem」を搭載する形で長距離トラックを改造し、食品メーカーの Archer Daniels Midland（ADM)が B100 燃料を供給する枠組みで行われたものである。

VectorSystem は、すでにゴミ収集車など短距離トラックでは利用実績があったが、EV 化が難しい大型で長距離を走るトラックでもトラブルなく運航できたことで、National Biodiesel Board では既存ディーゼル車からバイオディーゼル車の転換が進み、バイオディーゼルの需要が拡大するものとみている。

④航空燃料の転換、SAF への取り組み

2021 年 9 月にオンラインで行われた SAF に関する官民会議において、政府は 2050 年までに航空部門（軍事・非軍事双方を含む）で使用される燃料を全て SAF に置き換える目標を発表した。

航空部門の温室効果ガス（GHG）排出量は、輸送部門の11%を占めているが、対応しなければこの比率が上昇していく可能性があり、持続可能な航空部門の活動を実現していくために、企業などと協力してGHG排出量の削減に取り組んでいくとしている。
目標達成に向けて、まず2030年までに年間30億ガロンのSAFの生産・供給を目指す。SAFの生産は年間450万ガロンにとどまっているため、大幅な増加となる。

米国におけるSAFの有力供給者として、World Energyが挙げられる。
同社は、設立当初から約20年にわたってバイオ燃料の精製・販売業者として活動しており、前述の官民会議にも同社CEO（最高経営責任者）で創業者のGebolys氏が出席、発言するなど、一目おかれている存在である。
同社がカリフォルニア州パラマウントに設置したプラントではSAFや再生可能ディーゼルなど、多様なバイオ燃料を精製しており、米国有数のハブ空港であるロサンゼルス国際空港の近隣であることを生かし、同空港に乗り入れている航空会社に対してSAFを供給している。

SAFの需要が拡大するとして、石油精製・流通を手掛けるPhillips 66や、大手食料商社のArcher Daniels Midland（ADM）も、自社のプラントを改修するなどして市場参入を進めている。
Phillips 66では、2021年4月にSAFの利用拡大に関する研究開発などを米国大手航空会社のサウスウェスト航空と提携して行うと発表したほか、2021年12月には英国の大手航空会社であるブリティッシュエアウェイズにSAFを供給することを発表するなど、次世代事業戦略として積極的に取り組んでいる。

他社と異なる独自手法でSAFに取り組んでいるのが、カリフォルニア州に本拠を置くWasteFuelである。
同社は、社名の通り都市ゴミや農畜産廃棄物を生物学的に処理してグリーンメタノールやSAFを生成するスタートアップ企業である。2021年2月にはプライベートジェットの運航代行などを手掛けるNetJetsと資本提携を締結するとともに、WasteFuelがフィリピンのマニラで2025年から稼働予定のプラントで生成し、ロサンゼルスまで輸送するSAFを、10年にわたって最低1億ガロンを購入する契約を締結した。
また、2021年9月には、船舶燃料としてメタノールの活用を進めるデンマークの海運会社であるAPモラー・マースクから出資を受け入れ、研究開発やプラントの立ち上げに向けた取り組み強化を図っている。

⑤米国におけるバイオマスなどを原料とする再生可能天然ガス（RNG）の取り組み
畜産業が盛んな米国では、温室効果ガスの一種で、家畜糞尿などから発生するバイオガスが大気中に放出されることが気候変動対策を進める上で問題となっている。

カリフォルニア州に本拠を置くMerced Pipelineは州内の牧畜業者と提携し、家畜糞尿から発生するバイオガスが大気中に放出される前に回収してメタンガスに精製し、天然ガスのパイプラインを介してRNGとして供給する事業を行っている。

2021 年 7 月には、RNG の改質による水素製造事業を立ち上げるべく、豊田通商と資本提携している。

（3） 水素社会構築への動き

①政府による水素社会構築への取り組み

政府は、2021 年 6 月に再生可能エネルギーや原子力発電など、クリーンな電力で生産した水素（クリーン水素）の価格を、1kg 当たり 5 ドルから、10 年間で 80%引き下げ、1kg 当たり 1 ドルとする目標「Hydrogen Shot」を打ち出した。

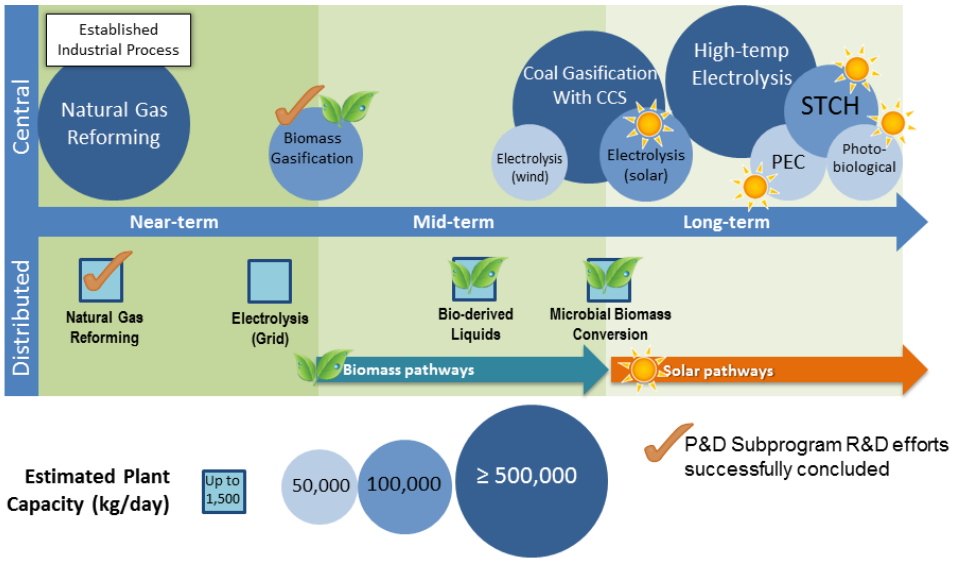
エネルギー省では、Hydrogen Shot を通じてクリーン水素の価格が 1 キロ当たり 1 ドルまで低下した場合、2050 年の二酸化炭素排出量を 16%削減でき、2030 年時点で 1,400 億ドルの市場と 70 万人の雇用が創出されるとしている。

また、インフラ基本計画では水素関連の技術開発に 15 億ドルを 5 年間かけて投じ、エネルギー省などが展開している支援プログラムとの連携を進めることで、水素社会の構築スピードを速めようとしている。

②米国における水素社会への取り組み

生成方法別にみた米国における研究開発度合い、実用化状況と生成規模を図表 4.6.39 に示す。

図表 4.6.39 米国における水素生成方法の研究開発度合い、実用化状況と生成規模



（出所）米国 EIA”Hydrogen explained：Production of hydrogen”，2021 年 1 月改定

天然ガス改質による生成は日量 50 万 kg 以上を達成し、バイオマスのガス化による生成も日量 10 万 kg 規模を達成している。

他方、水電解、CCS 併用の石炭ガス化、高温水電解、太陽光の利用による反応などは技術開発途上ではあるものの、天然ガス改質などの既に確立された生成方法クラスの規模に期待がかかっている。

③北米地域における水素社会への取り組み

米国は、もともと航空宇宙分野でロケット燃料や、宇宙船における電力・水供給手段である燃料電池のエネルギー源として水素が利用され、そこから民需へと広がった歴史がある。

2010 年代から取り組みが盛んだった据置型燃料電池や FC フォークリフトに加え、燃料電池船・機関車、石炭火力・天然ガス火力と混焼など、さまざまな分野で取り組みが進んでおり、日本企業が参画するケースもみられるようになった（図表 4.6.40 参照）。

図表 4.6.40　北米地域における水素社会への取り組み事例（2021 年発表分）

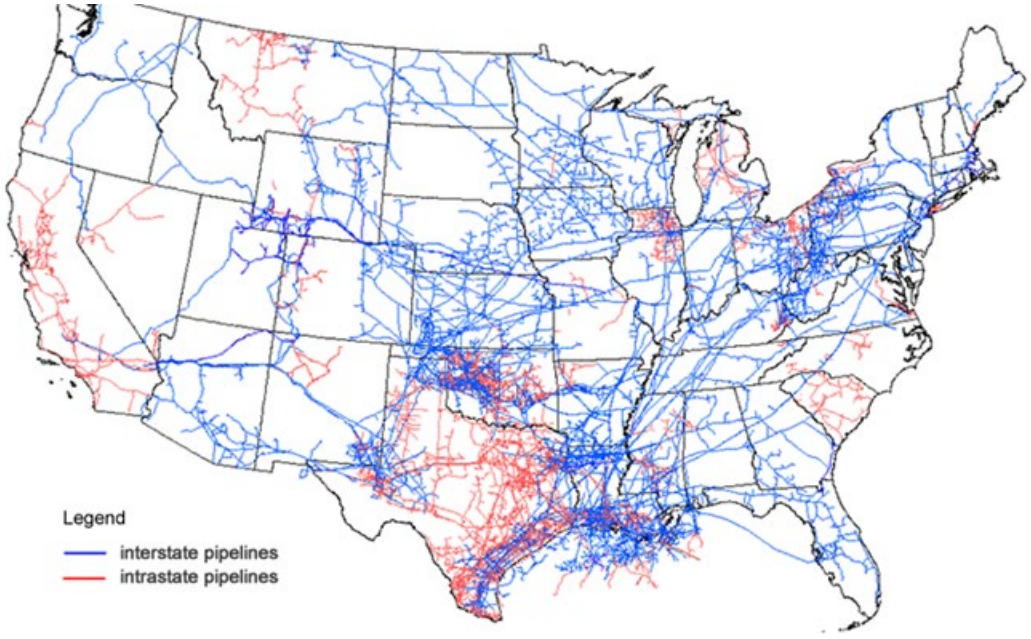
分野	事業者	取り組み内容
産業	Greenfield Nitrogen	米国におけるグリーンアンモニア生成の先駆け的存在で、2021年9月にはイタリアの石油関連企業であるMaire Tecnimont社と提携し、日産275トンのグリーンアンモニアを2025年に稼働させると発表
	Raven SR	比較的扱いが難しかった都市ゴミを原料とする再生可能水素の生成・販売を目指しており、2021年8月には伊藤忠商事やシェブロンなどから出資を受けた
	シェブロン	2021年4月にトヨタグループと、同年7月にはエンジンメーカーのカミンズと、輸送分野を中心とする水素関連ビジネスの促進を目的に提携した。脱炭素化の圧力に対応するためのもので、貯蔵・供給体制の整備、政府への働きかけなどを行う予定
	JERA（日本）	2022年までにニュージャージー州リンデンに所在する火力発電所のガスタービン1基を水素混焼できるように改造中。水素は、隣接するPhillips 66の石油精製所より供給される予定
	カナディアン・パシフィック鉄道（カナダ）	既存の大型ディーゼル機関車の電動化を図るため、ディーゼル機関や燃料タンクなどを燃料電池やバッテリーなどからなるコンポーネントに載せ替える「レトロフィッティング」に2020年から取り組んでいる。2021年11月には燃料電池由来の電気で駆動する実験走行に北米地域としては初めて成功
その他	Clean Hydrogen Future Coalition（CHFC）	2021年3月に結成された有志連合で、クリーン水素のサプライチェーン構築や国際的な競争力の獲得に向けた政策提言を行っている。シェブロンやBPといったエネルギー関連企業、研究機関、労働組合、NGOなど約20の企業・機関・団体などが参画

（出所）各種情報を基に作成

④適地の偏りへの対処が今後の課題

米国における水素のメイン市場は、北東部や西部など産業が多く集積し、人口が多い地域である一方、グリーン水素の生成適地は中部に偏っており、輸送手段が今後の供給拡大に向けた制約要因になりうる。パイプラインであれば比較的容易に輸送しうるが、新たな投資は巨額になる。既存の米国天然ガスパイプライン網を示す（図表 4.6.41 参照）。

図表 4.6.41　米国の天然ガスパイプライン網



（出所）米国 EIA

注目されている水素輸送方法として、既存の天然ガスパイプラインに水素を混合し、輸送する方法が挙げられる。
特にテキサス州からオクラホマ州周辺にはパイプライン網の結節点がある一方で、グリーン水素の生成にも適しているため、既存の天然ガスパイプラインを活用したり、一部を水素専用に転用等で、グリーン水素の生成拡大を後押しできる可能性がある。

４．６．５　米国における廃棄プラリサイクルなど廃棄物の資源化への取り組み

（１）　米国におけるプラスチックごみの現状

2021 年 12 月に米国政府に提出された報告書「Reckoning with the U.S. Role in Global Ocean Plastic Waste」によると、米国の 2016 年のプラスチックごみは約 4,200 万トンで世界最多となった。

報告書によると、世界のプラスチック生産量は年々増加しており、2019 年の生産量は 3 億 6,800 万トンであった。
このうち、米国での生産量は 7,000 万トンを占めるとされる。生産量の増加に伴いプラスチック廃棄物の量も増加しており、2016 年の米国の廃プラスチック量は 4,200 万トンで、3 位の中国 2,200 万トン、EU 全体の約 3,000 万トンを大きく上回るとされる。
また、米国の国民一人当たりの廃プラスチックの年間排出量は 130kg と、世界最多となっている。
報告書においては、深刻化する海洋プラスチックごみ問題対策としてプラスチック生産削減などの必要性を訴えている。

（2） 連邦及び政府によるプラスチック関連規制

米国では、廃プラ処理に関する連邦規制が進まない中、州レベルでの取り組みが先行してきた。

2020年時点で独自に対策を進めているのはニューヨーク州、カリフォルニア州など35州、プラスチック汚染対策関連の法律は230以上施行されている。ただし、リサイクル促進に積極的な州がある一方、フロリダ州、ミズーリ州、アイダホ州、アリゾナ州、ウィスコンシン州、インディアナ州等16州では、プラスチック業界団体からの働きかけにより州政府が自治体に対し、プラスチック容器包装に規制を敷くことを禁じている。

こうした状況を受け、2020年2月、民主党連邦議員らが連邦法案「プラスチック汚染からの脱却法（Break Free From Plastic Pollution Act)」を提出した。

法案には、リサイクルできない使い捨てプラの使用禁止、拡大生産者責任の適用、飲料容器デポジット制度の連邦適用、容器包装のリサイクル原料含有率の設定、リサイクル・堆肥化表示の標準化、リサイクル施設設置への投資、バージンプラスチック生産施設の規制等が盛り込まれた。

多くの環境団体がこの法案を支持する一方、米国プラスチック産業協会（PLASTICS）など業界団体は批判的であり、結果的にこの法案は廃案となった。

2021年3月には新たな「The Break Free From Plastic Pollution act of 2021」が上程され審議されているが、化学業界は「バージンプラスチック製造設備の一時停止はケミカルリサイクルへの業界投資を停滞させかねない」として反論している。

米国環境保護庁（EPA）は、2020年11月に「2030年までに固形廃棄物のリサイクル率を50%に高める」とする国家リサイクル目標を発表した。さらに、約1年後の21年11月15日、リサイクル目標を達成するための国家リサイクル戦略を発表した。

EPAによると、米国のリサイクル率は32%程度とされ、特に環境負荷が高いとされるプラスチックのリサイクル率は9%程度にとどまるとしている。

同戦略は、再生材市場の確立、原材料の選別によるリサイクル可能な製品の増加、リサイクル過程から生じる環境汚染の減少、循環性向上のための政策強化、データ収集の強化と標準化という5つの目標を掲げている。

現時点では詳細な規制などは設けられていないが、今後数カ月の間に、州・地方政府や民間企業など利害関係者と調整して、同戦略を実装していくための行動計画を策定するとしている。業界団体である米国化学工業協会(American Chemistry Council:ACC)は同法案に賛成の姿勢を示している一方、反対の声も上がっており、具体的な行動戦略の策定には時間を要するものと見られる。

米国政府による支援としては、2020年10月に米国エネルギー省（DOE）が先進プラスチックリサイクル技術の開発と、リサイクル可能な新しいプラスチックの設計開発を支援するために、12のプロジェクトに2,700万ドル以上の資金を提供することを発表した。さらに、2021年2月にはプラスチック廃棄物再利用技術の基礎研究に2,500万ドルを投資することを発表している。

投資対象としてポリマーを効率的に分解・再構築するプロセスであるアップサイクリン

グに焦点を当てている。また、2021 年 11 月に成立したインフラ投資法には、固形廃棄物とリサイクル助成に 3 億 5,000 万ドルが計上されている。

（3） 業界団体の動向

U.S. Plastics Pact とは、英国エレンマッカーサー財団のグローバルプラスチック協定ネットワークとして 2020 年 8 月に発足したプラスチックの官民合同のコンソーシアムである。

米国環境 NGO の Recycling Partnership 及び世界自然保護基金（WWF）が主導し、60 社以上の食品・消費財・小売大手等の企業が加盟している。2021 年 6 月、U.S. Plastics Pact は 2025 年までにすべてのプラスチック製パッケージ製品を再利用可能、リサイクル可能、または堆肥化可能なものにするための戦略として「Roadmap 2025」を発表した。

この戦略では、2025 年までにプラスチック製パッケージ製品を 100%リサイクル可能にする、または堆肥化可能にする、2025 までにバイオベース比率を 30%まで引き上げることなどプラスチック廃棄物の対処に関する目標を掲げて、プラスチックを作って廃棄するビジネスモデルから、プラスチックが廃棄物とならない循環型のビジネスモデルへの移行を加速させるとしている。

これに対し、ACC はこのロードマップに関して、特定の種類のプラスチックや禁止の排除はプラスチックのリサイクルを増加させないと主張している。

（4） 米国企業の廃プラスチック資源化への取り組み事例

このような状況下、米国においても大手の石油や化学メーカーのケミカルリサイクルへの参入を中心に廃プラスチック資源化への取り組みがみられ始めた(図表 4.6.42 参照)。

図表 4.6.42　米国企業及び米国におけるケミカルリサイクルへの取り組み状況

企業	実施場所	技術企業	中間原料	最終製品	状況	備考
Dow（米）	英国	Mura Technology（英）	熱分解油	再生プラスチック	2023年生産開始予定	21年4月、英国のMura Technologiesとケミカルリサイクル技術に関するパートナーシップを発表。MuraTechnologiesは英国ティーズサイドにて年間2万トンの廃プラ処理能力をもつ工場建設中。
Dow（米）	オランダ	Funeix Ecogy（オランダ）	熱分解油	再生プラスチック	2022年生産開始予定	2019年、両社は廃プラ熱分解油を原料とするケミカルリサイクル事業を発表。Dowは2025 年までにEUで1万トンの再生プラスチックを供給する。21年10月、2基目となる熱分解油（年間2万トンの廃プラ処理能力）の建設を発表。最低9割ポリオレフィンを含む廃プラベールを原料とするとみられる。
Dow（米）	米国	New Hope Energy(米）	熱分解油	再生プラスチック	2022年生産開始予定	2021年10月、複数年の供給契約を締結。
ExxonMobil（米）	米国	ー	熱分解油	再生プラスチック	2022年末生産開始予定	21年10月、テキサス州ベイタウンにケミカルリサイクル工場の建設を発表。2022年末までに操業開始予定であり、3万トン／年の廃プラリサイクル能力を持ち再生プラスチックや原料を生産する。
ExxonMobil（米）	フランス	Plastic Energy（英）	熱分解油	再生プラスチック	2023年生産開始予定	21年3月、EMとPlastic Energyはフランスのルアーブル近郊に廃プラスチックの高度なケミカルリサイクル工場建設に関する提携を発表。2023年の操業開始時には2.5万トン／年の廃プラをリサイクルし、将来的には3.3万トン／年へ能力拡大。
Brightmark（米）	米国	ー	熱分解油	燃料、ワックス	2021年生産開始予定	インディアナ州に1拠点目の工場（年間10万トンの廃プラ処理能力）を設立し、21年に稼働開始予定。さらにジョージア州に2拠点目（年間40万トンの廃プラ処理能力）を設立予定。
Royal Dutch Shell（蘭）	米国	Nexus Fuel（米）	熱分解油	再生プラスチック	2020年11月生産開始（50トン／日）	熱分解油はジョージア州のNexus Fuelプラントからルイジアナ州のShellプラントまで600kmをタンクローリーで輸送される。Shellは2025年までに全世界で100万トン／年の廃プラ処理を目標とする。20年11月には原料供給のスケールアップを発表。
Total（仏）	米国	Plastic Energy（英）	熱分解油	再生プラスチック	2024年までに生産開始予定	21年10月、ジョージア州に年間3.3万トンの廃プラリサイクル施設を建設すると発表。廃プラをTACOILと呼ばれるリサイクル原料に変換しTotalが食品グレードに利用可能な再生プラを製造。
BP(英）	英国	Brightmark（米）	熱分解油	未定	未定	候補地はドイツ、オランダ、ベルギー。年間最大40万トンの廃プラ処理能力。
SK Chemicals（韓）	韓国	Brightmark（米）	熱分解油	燃料、再生プラスチック	2024年	SK Chemicalは2025年迄に5億2200万ドルを投資し、韓国ウルサンに工場を建設予定。年間処理能力は10万トン以上。

（出所）各種報道資料より作成

その背景には、ESG 投資の潮流を受けた企業価値向上というサステナビリティ戦略がある。大手化学メーカーの Dow はプラスチック資源循環への取り組みを加速させている。2021 年 4 月には英国の Mura Technologies とケミカルリサイクル技術に関するパートナーシップを発表した。

Mura Technologies は廃プラスチックから化学製品や燃料油の原料を製造する独自の技術 Hydro RPS™を急速に拡大させている。同技術を活用した初の工場は英国ティーズサイ

ドにおいて建設中で、2023 年には年間 2 万トンの生産ラインが稼働開始予定である。
その後のライン稼働により廃プラスチックの処理量は年間最大 8 万トンに拡大し、その一部の熱分解油が Dow へ供給される予定となっている。
Mura Technologies は 2025 年までに米国、ドイツ、アジアなど世界で 100 万トンのリサイクル能力を展開させることを目指すとしている。

2021 年 5 月には Dow、LyondellBasell(オランダ)、NOVA Chemicals(カナダ)の 3 社でプラスチックリサイクル技術を加速させるための基金を設立した。
初期投資額は 2,500 万ドルとされており、さらに、米国及びカナダでのプラスチックの回収とリサイクルの推進に向け、プラスチックのバリューチェーン全体の企業に参加を呼びかけている。

さらに、2021 年 10 月には、Dow は熱分解油メーカーと連携して米国及び欧州において、ケミカルリサイクルを主とした高度リサイクル施設の建設を発表した。
オランダでは Fuenix Ecogy（オランダ）との初期契約を拡大し、2 基目となる熱分解油（年間 20,000 トンの廃プラ処理能力）を建設する。
廃プラスチック由来熱分解油の精製は Gunvor Petroleum Rotterdam で行われる。一方、米国においてはテキサス州を拠点とする New Hope Energy（米）と廃プラスチック由来熱分解油に関する複数年の供給契約を締結した。これらの取り組みにより、Dow は 2022 年から廃プラスチック由来の再生プラスチックを世界的に供給することが可能になるとしている。

2021 年 10 月、エクソンモービルはテキサス州ベイタウンにケミカルリサイクル工場を設立することを発表した。2022 年末までに操業開始予定であり、3 万トン／年の廃プラスチックリサイクル能力を持ち再生プラスチックや原料を生産する予定である。
廃プラスチックの収集と選別は、2021 年 1 月に設立したエクソンモービルとノルウェーの Agilyx との合弁会社である Cyclyx International が手掛ける。
Agilyx は、既に、米国オレゴン州タイガードに工場を保有しており、熱分解を利用して廃ポリスチレン（PS）をスチレンオイルに変換している。
さらに、エクソンモービルは Plastic Energy（英）と共同でフランスにケミカルリサイクル工場を建設中であり、2023 年の操業開始時には 2.5 万トン/年の廃プラをリサイクルし、将来的には 3.3 万トン／年へ能力を拡大させる計画である。
エクソンモービルは世界の複数拠点で 2026 年末までに最大 50 万トン/年のリサイクル能力を追加する計画としており、オランダ、米国のガルフコースト、カナダ、シンガポールなど複数の拠点で投資評価等を行っている。

石油大手の欧州勢による米国におけるケミカルリサイクルへの参入も見られ始めた。
2021 年 10 月、フランスの TotalEnergies は、英国の Plastic Energy と共同で米国ジョージア州に年間 33,000 トンの処理能力を持つケミカルリサイクル施設を建設する計画を発表した。Plastic Energy が廃プラスチックから TACOIL と呼ばれるリサイクル原料に変換し、TotalEnergies が食品グレードにも利用可能な再生プラスチックを製造する計画で、

2024 年までに稼働開始を目指すとしている。
なお、TotalEnergies と Plastic Energy はフランスのグランピュイにおいてもケミカルリサイクルの設備を共同で建設中であり、2023 年初に生産開始予定となっている。

米国の廃棄物リサイクル業者による独自の取り組みも進んでいる。
サンフランシスコに拠点を置く廃棄物リサイクル企業の Brightmark は、2.6 億ドルを投じてインディアナ州の Ashley に廃プラスチックから燃料へのリサイクルを実現する米国初の商業施設を建設し、2021 年に稼働開始予定となっている。
年間 10 万トンの廃プラスチックを超低硫黄軽油 (ULSD)、ナフサ及びワックスとして再資源化する。
さらに、同社は 2021 年 6 月、ジョージア州に 6.8 億ドルを投じて 2 拠点目の廃プラリサイクル設備を建設することを発表した。新設備での廃プラ処理能力は年間 40 万トンで、6,400 万ガロンの超低硫黄軽油 (ULSD) とナフサ、及び 2,000 万ガロンのワックスに変換する。
Brightmark は今後 5 年間で年間 840 万トンの廃プラスチックの再資源化を目指すとしており、2021 年 1 月には韓国 SK と韓国における廃プラスチックケミカルリサイクルの MoU を締結したほか、21 年 9 月には英国の BP とドイツ、ベルギー、オランダにおける廃プラスチックのケミカルリサイクルの評価に関する MoU を締結するなど、海外大手企業との連携を加速させている。

このように、今後米国においては石油化学企業を中心にケミカルリサイクルによる廃プラスチックの資源化が進むとみられる。
一方、米国環境保護庁 (EPA) は 2021 年 9 月、連邦大気浄化法の下で廃プラスチックの熱分解とガス化に対する規制強化を検討していることを正式に発表している。米国化学工業協会 (ACC) はこの新規制案に反対しているが、今後の規制動向には注意が必要である。

４．６．６　米国における CCS とカーボンリサイクルの取り組み

（１）　米国における CCS の取り組み状況

米国では 14 件の CCS プロジェクトが操業中であるが、その内、2 件については操業停止が昨年以降も継続している（図表 4.6.43 参照)。
また、開発中の CCS プロジェクトについては 56 件と、前年から 37 件の大幅増となった（図表 4.6.44 参照)。
新規案件についてはエタノール製造時における発生 CO2 の純粋地層貯留で、最大回収能力も 0.5MPa 以下の小規模案件が大半を占める。

図表 4.6.43　米国で操業中の CCS プロジェクト

連番	施設名	状況	操業年	産業	最大回収能力（Mtpa）	貯留タイプ	2020～2021年にかけての変化
1	Terrel Natural Gas Processing Plant	操業中	1972	天然ガス処理	0.5	EOR	—
2	Enid Fertilizer	操業中	1982	肥料製造	0.2	EOR	—
3	Shute Creek Gas Processing Plant	操業中	1986	天然ガス処理	7.0	EOR	—
4	Great Plains Synfuels Plant and Weyburn-Midale	操業中	2000	合成天然ガス	3.0	EOR	—
5	Core Energy CO_2-EOR	操業中	2003	天然ガス処理	0.35	EOR	—
6	Arkalon CO_2 Compression Facility	操業中	2009	エタノール製造	0.29	EOR	—
7	Century Plant	操業中	2010	天然ガス処理	5.0	EOR	EOR＋地下貯留→EORのみ
8	Bonanza BioEnergy CCUS EOR	操業中	2012	エタノール製造	0.1	EOR	—
9	Coffeyville Gasification Plant	操業中	2013	肥料製造	0.9	EOR	—
10	Air Products Steam Methane Reformer	操業中	2013	水素製造	1.0	EOR	—
11	Lost Cabin Gas Plant	操業停止	2013	天然ガス処理	0.7	EOR	操業停止が継続
12	PCS Nitrogen	操業中	2013	肥料製造	0.3	EOR	—
13	Illinois Industrial CCS	操業中	2017	エタノール製造	1.0	純粋地層貯留	—
14	Petra Nova Carbon Capture	操業停止	2017	発電	1.4	EOR	操業停止が継続

（出所）Global CCS Institute「Global Status of CCS 2020」「Global Status of CCS 2021」

図表 4.6.44　米国で開発中の CCS プロジェクト

連番	国名	施設名	状況	操業予定	産業	最大回収能力（Mtpa）	貯留タイプ	2020～2021年にかけての変化
1	米国	The ZERO Projebt	建設中	2023	発電	1.5	EOR	2020年代後半→2023
2	米国	Project Interseqt-Hereford Ethanol Plant	開発後期	2022	エタノール製造	0.35	純粋地層貯留	開発初期→開発後期、2021→2022
3	米国	Project Interseqt-Plainview Ethanol Plant	開発後期	2022	エタノール製造	0.35	純粋地層貯留	開発初期→開発後期、2021→2022
4	米国	Wabash CO2 Sequestration	開発後期	2022	肥料製造	1.75	純粋地層貯留	ー
5	米国	San Juan Gererating Station Carbon Capture	開発後期	2023	発電	6.0	評価中	EOR→評価中
6	米国	Atkinson Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.16	純粋地層貯留	新規
7	米国	Fairmont Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.33	純粋地層貯留	新規
8	米国	Otter Tall Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.16	純粋地層貯留	新規
9	米国	Shenandoah Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.23	純粋地層貯留	新規
10	米国	Superior Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.17	純粋地層貯留	新規
11	米国	Wood River Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.34	純粋地層貯留	新規
12	米国	York Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.14	純粋地層貯留	新規
13	米国	Central Bity Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.33	純粋地層貯留	新規
14	米国	Aberdeen Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.14	純粋地層貯留	新規
15	米国	Casselton Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.50	純粋地層貯留	新規
16	米国	Galva Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.11	純粋地層貯留	新規
17	米国	Goldfield Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.22	純粋地層貯留	新規
18	米国	Grand Junction Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.34	純粋地層貯留	新規
19	米国	Granite Falls Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.18	純粋地層貯留	新規
20	米国	Herron Lake Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.19	純粋地層貯留	新規
21	米国	Huron Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.09	純粋地層貯留	新規
22	米国	Lamberton Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.16	純粋地層貯留	新規
23	米国	Lawier Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.57	純粋地層貯留	新規
24	米国	Marcus Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.46	純粋地層貯留	新規
25	米国	Mason City Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.34	純粋地層貯留	新規
26	米国	Merrill Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.16	純粋地層貯留	新規
27	米国	Mina Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.40	純粋地層貯留	新規
28	米国	Nevada Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.26	純粋地層貯留	新規
29	米国	Norfolk Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.15	純粋地層貯留	新規
30	米国	Onida Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.23	純粋地層貯留	新規
31	米国	Plainview Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.32	純粋地層貯留	新規
32	米国	Redfield Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.17	純粋地層貯留	新規
33	米国	Sioux Center Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.19	純粋地層貯留	新規
34	米国	Wtreamboat Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.23	純粋地層貯留	新規
35	米国	Watertown Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.37	純粋地層貯留	新規
36	米国	Wentworth Biorefinery CCS	開発後期	2024	エタノール製造	0.26	純粋地層貯留	新規
37	米国	Coyote Clean Power Project	開発後期	2025	発電	0.86	評価中	新規
38	米国	Lake Charles Methanol	開発後期	2025	化学品製造	4.0	純粋地層貯留	ー
39	米国	One Earth Energy Facility Carbon Capture	開発後期	2025	エタノール製造	0.5	純粋地層貯留	新規
40	米国	Project Tundra	開発後期	2025-2026	発電	3.60	複数検討	純粋地層貯留→複数検討
41	米国	OXY and Carbon Engineering DAC and EOR Facility	開発後期	2020年代半ば	DAC	1.0	純粋地層貯留	EOR→純粋地層貯留
42	米国	Mustang Station of Golden Spread Electric Cooperative Carbon Capture	開発後期	2020年代半ば	発電	1.5	評価中	ー
43	米国	Plant Daniel Carbon Capture	開発後期	2020年代半ば	発電	1.8	純粋地層貯留	ー
44	米国	Gerald State Generating Station Carbon Capture	開発後期	2020年代半ば	発電	4.3	評価中	3.8→4.3
45	米国	Prairle State Generating Station Carbon Capture	開発後期	2020年代半ば	発電	6.0	純粋地層貯留	ー
46	米国	Cal Capture	開発後期	2020年代半ば	発電	1.4	EOR	2024→2020年代半ば
47	米国	Midwest AgEnergy Blue Filnt ethanol CCS	開発初期	2022	エタノール製造	0.18	純粋地層貯留	新規
48	米国	Velocy's Bayou Fuels Negative Emission Project	開発初期	2025	化学品製造	0.5	純粋地層貯留	2024→2025
49	米国	Red Trail Energy BECCS Project	開発初期	2025	エタノール製造	0.18	純粋地層貯留	ー
50	米国	Clean Energy Systems Carbon Negative Energy Plant- Central Valley	開発初期	2025	発電・水素製造	0.32	純粋地層貯留	発電→発電・水素製造、評価中→純粋地層貯留
51	米国	G2 Net-Zero LNG	開発初期	2027	天然ガス処理	4.0	評価中	新規
52	米国	Dave Johnston Plant Carbon Capture	開発初期	2020年代	発電	6.0	EOR	新規
53	米国	NextDecade Rio Grande LNG CCS	開発初期	2020年代	天然ガス処理	5.0	評価中	新規
54	米国	Dry Fork Integrated Commercial CCS	開発初期	2025	発電	3.0	純粋地層貯留	ー
55	米国	The Illinois Clean Fuels Project	開発初期	2026	化学品製造	8.1	純粋地層貯留	2025→2026、2.7→8.1
56	米国	LafargeHolcim Cement Carbon capture	開発初期	2020年代半ば	セメント製造	2.0	評価中	0.72→2.0

（出所）Global CCS Institute「Global Status of CCS 2020」「Global Status of CCS 2021」

（2） エクソンモービルのメキシコ湾「Houston Ship Channel CCS hub」プロジェクト

エクソンモービルは、2021 年 4 月ヒューストン地域の石油化学工場や発電所、重工業などから排出される CO2 を回収し、メキシコ湾の海底に貯蔵する官民共同事業である「Houston Ship Channel CCS hub」プロジェクトを提案した。同社の計画では、CO2 回収量を 2030 年までに 5,000 万トン、2040 年までに 1 億トンを目指すとしている。

さらに、2021 年 9 月には、同プロジェクトにシェブロン、Calpine、Dow、INEOS、Linde、LyondellBasell、Marathon Petroleum、NRG Energy、Phillips 66、Valero の 11 社が提携を表明していることを発表した。
11 社が共同で CCS 技術を発電設備で使用し、製油所や石油化学プラントで生じた CO2 を回収することを検討している。

米国エネルギー省の 2018 年調査結果によると、米国メキシコ湾岸には 5,000 億トンの CO2 貯留能力があると見積もられている。
これは米国の産業及び発電の総排出量の 130 年以上に相当する。一方で本プロジェクトの実現に向けては、企業や政府機関から 1,000 億ドル以上の資金支援が必要としている。エクソンモービルの具体的な投資額は公開されていない。
各社は今後、この大規模 CCS プロジェクト実現に向けた資金調達を進めるとみられる。
なお、エクソンモービルでは本プロジェクトに必要な炭素価格を 100 ドル/トン CO2 と見積もっているが、プロジェクトごとに異なる可能性にも言及している。
このハブ構想については、CCS の事業規模や採算性の面から課題が指摘されている一方、気候変動対策の前進と新型コロナで打撃を受けたエネルギー生産地域での雇用創出という政権の優先課題解決に寄与するものとして支持されているものとみられる。

また、2021 年 10 月にはエクソンモービルはこのメキシコ湾の大規模 CCS プロジェクトと同様の CCS ハブを東南アジアに構築するため、シンガポールなど複数の国と協議を開始したことを発表した。
候補地として、エクソンモービルが生産施設を保有するシンガポール、インドネシア、マレーシア、オーストラリアなどが挙げられる。
2021 年 11 月にはエクソンモービルとインドネシア国有石油会社である Pertamina が、インドネシアにおける CCS の大規模開発の可能性を評価するため、了解覚書（MoU）を締結した。さらに、同月、エクソンモービルとマレーシアの国営エネルギー会社である Petronas が、マレーシアで可能性のある CCS プロジェクトを共同で調査するための了解覚書（MoU）に署名した。
エクソンモービルは東南アジアにおける地下貯留サイトや CO2 輸送の実現可能性に関する評価を進めることとしている。

（3） 米国のカーボンリサイクルへの取り組み状況

米国におけるカーボンリサイクルの技術開発への取り組みはベンチャー企業が中心となっているが、連邦政府による補助金制度や税額控除制度が CCUS へも適用されることから、事業化検討が進められている。

特に CO2 を用いて油分などを生産する微細藻類の栽培や、無機物に CO2 を反応させて建築や土木分野などで使用される製品の開発の他、化学品ではポリマーや飼料用タンパク質への変換に関する技術開発が進められている（図表 4.6.45 参照）。

図表 4.6.45　米国企業のカーボンリサイクルへの取り組み状況

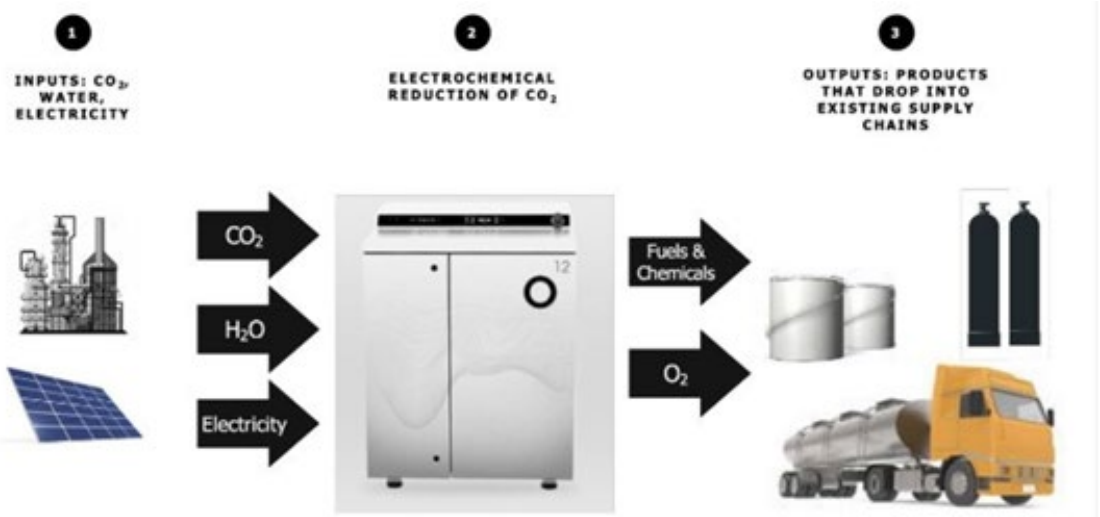
用途	企業・組織名	設立	製品	開発段階
燃料	Twelve（旧Opus 12）	2015	メタン、エタン、エタノール	実証
	Lanza Tech	2005	エタノール	商用化
	Cellana	2004	藻類油	実証
	Phytonix	2009	藻類油（バイオブタノール）	実証
	Global Algae Innovations	2013	藻類油	実証
	University of Kentucky Center for Applied Energy Research & Duke Energy	2013	バイオメタン（藻類）	実証
鉱物	Solidia Technologies	2009	CO_2吸収コンクリート	商用化
	Fortera	2019	CO_2吸収コンクリート	商用化
	Carbonfree Chemicals	2016	炭酸水素ナトリウム	商用化
	Calera	2007	炭酸塩	実証
	Blue Planet	2012	炭酸塩	実証
化学品	Newlight Technologies	2003	ポリマー（生体触媒を活用）	商用化
	Empower Materials	2001	脂肪族ポリカーボネート	商用化
	Nuvo Nutrients	2010	タンパク質（飼料）	実証

（出所）各種資料より作成

2016 年設立の Carbonfree Chemicals は、セメント工場からの排ガスから重曹を製造し、世界 60 カ国で 68 件の特許を取得している。同社設備はモジュラー型のため、CO2 を運ぶための大規模インフラ投資の必要がないことが特徴である。

2015 年設立の Twelve（旧 Opus 12）は CO2 を電気化学的に分解してメタン、エタン、エタノールなどの低炭素化合物に変換後、燃料やさまざまなケミカル製品の合成原料として用いることを検討している（図表 4.6.46 参照）。
2018 年には DOE からの助成を受け、Shell とも提携して研究開発が進められている。
さらに、2021 年 9 月には Twelve は米国のバイオ技術企業である LanzaTech と連携し CO2 を汎用樹脂のポリプロピレン（PP）に転換する技術開発を進めることを発表した。
米国の調査会社によると、同社のプロセスで製造したエチレンのコストは既存プロセスに比べてまだ 2 倍以上と試算されているが、今後のコストダウン技術開発や高付加価値用途への活用について注視する必要がある。

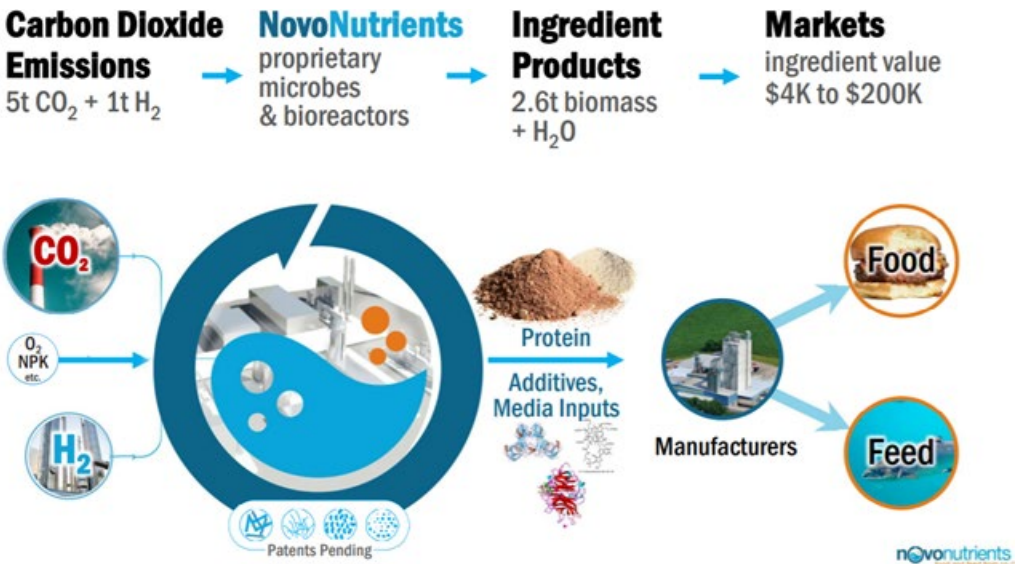
図表 4.6.46　Twelve（旧 Opus 12）の CO2 由来燃料化スキーム



（出所）Twelve（旧 Opus 12）ABLC Global Meeting 資料

2010 年設立のベンチャー企業である NovoNutrients は、工場などから排出された CO2 と水素から、同社独自の微生物細菌技術を活用したバイオリアクター経由で CO2 を取り入れた微生物からタンパク質を工業的に製造する技術開発に取り組んでいる。
得られたタンパク質から低コストで栄養バランスに優れた動物や魚向けの代替飼料を製造する（図表 4.6.47 参照）。
理論的にはこのプロセスでは 5 トンの CO2 と 1 トンの水素から 2.6 トンの原料タンパク質が製造可能としている。2021 年 8 月には 20,000 リットル規模の産業用パイロットプラント設立のため民間企業から 900 万ドルを調達し、商用化に向け技術開発を進めている。

図表 4.6.47　NovoNutrients の CO2 由来タンパク質合成スキーム



（出所）Novo Nutrients

（４） 米国政府の支援

米国政府が 2008 年に EOR と CCS を対象に創設した連邦税制優遇制度（以下「45Q」）は、2018 年に大幅に拡充された。

CO2 地下貯留による税額控除を CO21 トンあたり 20 ドルから最大 50 ドルへ引き上げ、EOR 及び CO2 利用に対しては 10 ドルから最大 35 ドルへと引き上げた。

期間は CO2 回収設備の操業開始後 12 年となっており、2024 年までに施設の建設を開始する必要がある。45Q は CCUS 事業の採算性を向上させるとともに、CO2 分離回収技術の実装と CCUS 促進に向けた大きな駆動力となっている。

CCUS の研究開発は主に米国エネルギー省（DOE）化石エネルギーカーボンマネジメント局（FECM）が支援しており、研究開発の焦点は従来の CCS に加えて CCUS に拡大している。

また、国立エネルギー技術研究所（FETL）が FECM の CCUS に関する研究全体を監督し、各研究プログラムをマネジメントしている。

FECM による CCUS 関連プログラムには、①Carbon Capture Program、②Carbon Utilization Program、③Carbon Storage Program の 3 つがある。

①Carbon Capture Program

CO2 回収コストを大幅に削減できる革新的なガス分離技術に関する燃焼前・燃焼後回収の初期段階の研究開発に焦点を当てたものである。

②Carbon Utilization Program

化石エネルギー資源の新たな市場を開拓する初期段階の CO2 利用技術に焦点を当てたものである。

具体的には触媒による化学物質やポリマーへの変換、鉱物からコンクリート・セメントなど建築資材への変換、生物学的プロセスによる高付加価値製品への変換（栄養補助食品、バイオプラスチック、動物飼料など）である。

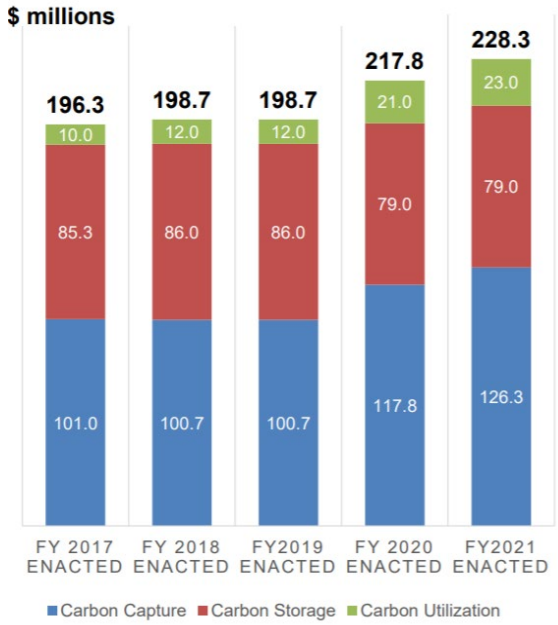
③Carbon Storage Program

さまざまなモニタリングツールの開発やリアルタイムの意思決定につながる機械学習などの高度な計算プラットフォームの活用に注力するとしている。

・FECM による CCUS 関連予算の内訳

近年では CO2 市場の利用開発を奨励するため、回収と利用への予算を拡大させている。2021 年予算は①Carbon Capture Program が最も多く 1 億 2,630 万ドルと前年から 850 万ドル増、続いて③Carbon Storage Program が 790 万ドルと前年比横ばい、②Carbon Utilization Program が 2,300 万ドルと前年比 200 万ドル増となっている（図表 4.6.48 参照）。

図表 4.6.48　FECM による CCUS プログラム予算



（出所）米国エネルギー省（DOE）「CCUS and Hydrogen Efforts in the United States」

2021 年 11 月に成立した 5 年間で総額 1 兆ドル規模を投じるインフラ投資法においては、CCUS 関連として約 120 億ドルが織り込まれている。
具体的には、CO2 利用プログラムに 3.1 億ドル、CO2 回収技術プログラムに 1 億ドル、CO2 輸送インフラ整備支援に 21 億ドル、CCS 実証プロジェクトに 25 億ドル、米国内に 4 つの地域 DAC（Direct Air Capture）ハブを設立するプロジェクトに 35 億ドル、CO2 回収大規模パイロットプロジェクトに 9.4 億ドル、CO2 回収実証プロジェクトに 25 億ドル、DAC 技術コンペに 1.2 億ドルとなっている。

４．７　米国新政権下のカーボンニュートラル調査結果の考察

４．７．１　コロナ禍ショック後のシェール革命第２波調査要約

（１）　米国の CO2 排出量は、2007 年の 60 億トン超をピークに低下している。理由としては、シェール革命によって天然ガス生産量が 2010 年頃から急増し、2017 年頃からシェールガス急増の第２波によって、電力・産業部門において石炭から天然ガスへ燃料がシフトしたことによる。加えて、再生可能エネルギーが普及・拡大したこと、住宅部門における熱の効率的利用による。

（２）　米国のシェールチェーンは、コロナ禍直撃に対しても強靭であった。石油精製稼働率はコロナ禍ショックから回復した。シェールガス急増の第２波と共にシェールエタンをはじめとするシェール由来 LPG や石化原料、石油化学製品の生産量及び輸出量もコロナ禍直後から V 字回復した。世界の石油化学製品の需要伸長に伴って今後も、世界トップの生産量と輸出を増強拡大していくことが予想される。

（３）　2020 年春のコロナショックを機に、世界最大の石油精製規模を誇る米国においても、

スケールメリットを追求して小規模製油所の淘汰が始まっている。小規模製油所や事故を起こした製油所の休止、コストがかかる重質原油精製スキームから軽質スイートなシェールオイル処理への改造、バイオ製油所への転換へと既設の製油所設備を有効活用して収益確保と次世代に備えるサイトが増えつつある。

（4） 米国中流は、特異なビジネスモデルによって安定的な収益力を持つ。特にEPD社は、脱炭素事業にも適応可能なフレキシブルなシステムと設備群を保有している。課題はコストであるが、国境炭素税、炭素税が世界共通になれば、このチェーンはブルー、グリーン化に発展することが容易で、サステナブルに国際競争力を維持していくだろう。また、EPD 社の化学事業モデル等は、顧客のニーズに対し低コストで変容拡大できる潜在能力を示している。同社は広範囲のパイプラインや巨大な貯蔵・出荷設備によって大ロット輸出のスケールメリットを享受している。

（5） 米国のカーボンニュートラルへの取り組みにおいて、政府と企業は、再生可能エネルギーとしてエタノールに加えバイオディーゼルの生産を増加させており、今後はバイオジェット燃料（SAF）を大幅に伸ばす計画である。また、太陽光、風力発電の設備容量は2020年に合わせて200GWを超え、発電全体に占める太陽光の割合は3%、風力は8%である。2050年には太陽光は20%、風力は14%まで伸びるとEIAは予測している。一方、水素社会の構築のために政府、メジャー、中流企業、自動車を含む産業、ベンチャー企業等が北米のインフラ、石油・天然ガス資源を生かした取り組みを行っている。

（6） 米国の広域シェールチェーンからの廉価なエタンを原料とする石油化学のコスト競争力は、石油精製ナフサを原料とするエチレンセンターよりも確実に優位である。中でも、米国主力PADD3の中核、エクソンモービル・ベイタウン石精石化コンプレックスは、石油化学を強化していることから最も強靭で将来性がある。「Growing the Gulf イニシアチブ」の完成で益々、世界のその力を発揮することが予想される。

４．７．２　米国調査からの日本のコンビナートへの示唆

（1） コンビナートにおける製油所と石油化学・異業種とのインテグレーションは次世代においても、国際競争力の源である。シェールオイルにはナフサ留分が多く且つパラフィンリッチであるためにエチレンの収率が高い。米国中流はそのナフサを活用して石化とインテグすることで収益アップを実現している。日本のコンビナートも現在の石精石化インテグチェーン、異業種連携をフレキシブルに継続発展する必要がある。

（2） 米国でも、淘汰された小規模製油所の精製設備を廃棄しているサイトは少ない。少量生産のバイオ製油所への転換に利活用している。日本も精製設備高度化のために安易に設備能力を縮小したり、廃棄したりすべきではない。

（3） 石油化学事業拡大

米国では、石油製品販売に特化する事業戦略よりも、エクソンモービルのように石油化学事業拡大を目指す方が収益力も将来性もある。EPD社もプロパン脱水素（PDH）やブタ

ン脱水素（iBDH）等を建設しているように石油より大きく成長が見込まれる石化事業に投資を増やしている。日本も需要が減少する石油製品から石化製品へのシフトを検討すべきである。

（4） 精製規模の集約によるスケールメリットの追求と韓国、中国品輸入阻止

日本のコンビナート内の製油所も原料供給、次世代原料・燃料供給基地として、スケールメリットを得るために、規模が大きく操業コストの低いサイトに統合していかなければ、韓国、中国からの輸入を阻止できない。

５．海外石油コンビナートの設備戦略調査－欧州カーボンニュートラル戦略

欧州のカーボンニュートラル政策は、2020 年春のコロナショック以降も、加速している。7 月には、2050 年カーボンニュートラルを実現すべく、EU が国境炭素税（国境炭素調整メカニズム：CBAM）の概要を発表し、2026 年導入と世界標準化を目指していると言われている。11 月には国連気候変動枠組条約第 26 回締約国会議(COP26)も開催され、足並み合わないものの、地球温暖化防止は世界必至の課題となっている。

さらには、気候変動による金融危機を回避すべく、機関投資家や金融機関の危機意識も急速に高まり、ESG 投融資の圧力に加え、グリーンローンやグリーンボンド、サステナビリティ・リンク・ローン（SLL）など、新たな資金調達手段も考案・導入されている。

その結果、EU 及び西欧各国はいち早く 2050 年カーボンニュートラルを宣言したものの、更なる目標前倒しを迫られている。

日本でも EU 及び欧州各国や米国バイデン新政権の環境政策に触発され、2050 年カーボンニュートラルが宣言（2020 年 10 月 26 日）された。これを受けて、カーボンニュートラルに向けたグリーンイノベーション（GI）基金などが設立され、国内全産業、中でも製造業が集約するコンビナートに直接関連する政策や予算も矢継ぎ早に用意されつつある。

企業レベルでは、2020 年のコロナ禍では、石油創成期から世界を牽引してきた 7 シスターズを源とする米国のエクソンモービル、シェブロン及び、欧州の Shell、BP、トタールのスーパーメジャーも、史上最悪の決算を記録したが、2021 年上期は好決算、中でも米国メジャーは、V 字回復中である。

欧州メジャーは、機関投資家や金融機関、環境 NGO からの圧力に加え、国境炭素税対応、2035 年のガソリン車新車販売禁止をはじめ、企業存続に関わる重要課題が山積しており、短期採算性の厳しい環境投資強化が避けられない状況にあり、各社とも、スタートアップ企業の買収や資本参加なども梃にした事業ポートフォリオの見直しを進めている。また、再生可能水素、バイオ燃料、廃プラスチック再生利用に加え、鉄鋼産業のカーボンオフセットや化学産業のカーボンリサイクルとの連携など、カーボンニュートラル関連の社会実装プロジェクトも加速している。

欧州石精石化コンビナートは日本のコンビナートと類似する点が多いが、日本よりはるかに厳しい国際競争環境に晒されてきており、早くから中小製油所は淘汰・再編を繰り返しながら、石精同士及び石化・化学事業との連携や統合、ケミカルパーク・イノベーションモデルを世界に発信するなど、持続的成長を遂げてきた。今後のカーボンニュートラル・イノベーションの成り行きは注目に値する。

現時点では採算性に課題があると考えられるカーボンニュートラル製品の供給力が、今後、新たな国際競争力として想定される。その一方で、足元の国際競争力の足かせになるかも知れないカーボンニュートラル・ESG 投資を、いかに進めていくか、日本のカーボンニュートラルコンビナートへの変革をいかに進めていくか、移行期や次世代に向けての戦略策定に資するべく欧州調査を実施した。

５．１ 欧州における 2050 年カーボンニュートラル宣言加速の背景と実態

５．１．１　欧州の経済、エネルギー事情、各国の CO2 排出量

（１） 2020 年春のコロナショックからの経済回復軌道

2020 年春のコロナショックを受け、2020 年の欧州全体の経済は GDP ベースで 6.5%減少し

た。その後、ウイルスの封じ込めやワクチン接種の進展によって、観光も含めた消費や生産の回復が始まっており、2021 年は欧州経済全体で 4.8%の成長が見込まれる（2021 年 7 月時点、図表 5.1.1 参照）。

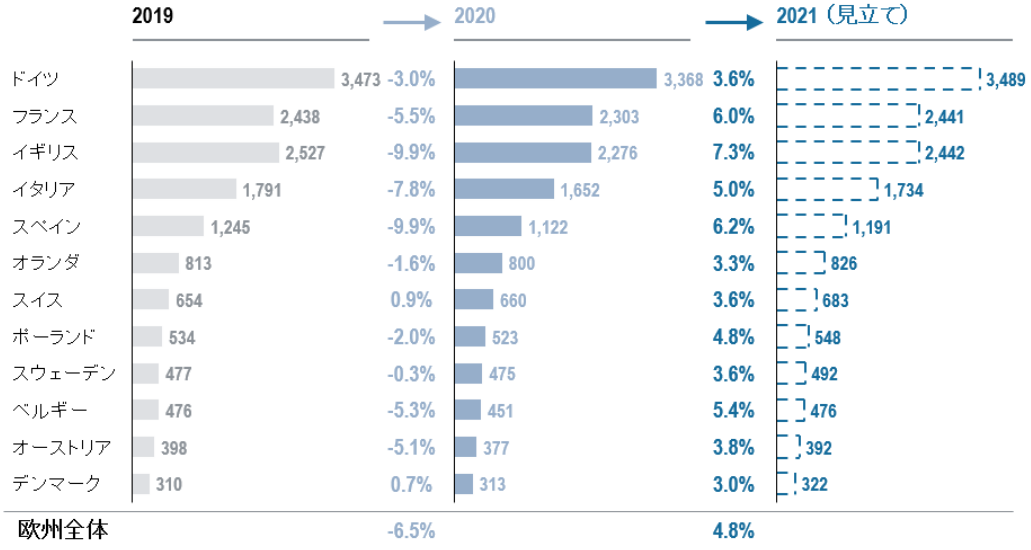
・ドイツの 2021 年 GDP は 3.6%成長見込み

春以降ワクチン投与のペースが加速し、感染率が低下した（2021 年 7 月時点）。継続的な政策支援を受け、家計所得が増加し、個人消費の回復が予想される他、復興支援策と好調な内外需要により、民間及び公共投資の増加が期待されている。

・フランスの 2021 年 GDP は 6.0%成長見込み。

ワクチンの接種が進み、予想より早く制限が緩和された（2021 年 7 月時点）。国民のサービス消費増に加え、海外からの観光客、航空市場など、近隣諸国の経済回復の恩恵も受けることが期待されている。

図表 5.1.1　欧州各国の GDP 推移［10 億ユーロ］



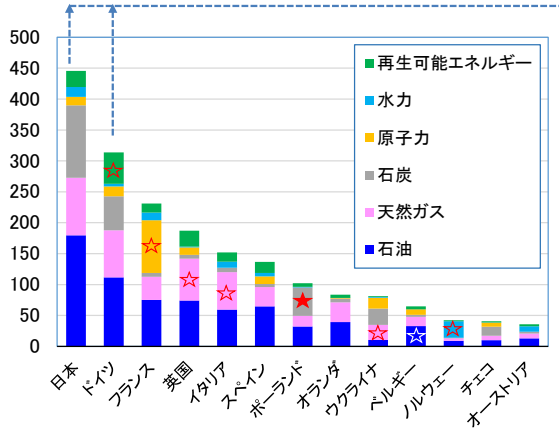
（出所）European Commission, Eurostat, 各国発表

（２）　欧州諸国の一次エネルギー構造と特徴

図表 5.1.2 に、日本、ドイツ、フランス、イギリス、イタリア他の一次エネルギー構成比率、消費量の比較を示す。

ドイツでは、2010 年時点で原子力の占める割合が一次エネルギー全体消費量の 10%、再生可能エネルギーが 6%だったのに対し、2018 年では原子力の占める割合は半減し、再生可能エネルギーは 15%に拡大している。この背景には、Energiewende として知られるドイツのエネルギー転換政策の影響がある。Energiewende は元々オイルショックが契機となり広がった考え方であり、当初の目的は、石油への依存度を弱め、エネルギー安全保障を確保するというものであった。その後、チェルノブイリ原子力発電所事故や福島第一原発事故などの影響を受け、原子力からの脱却という目的が加わった。それらの代替エネルギーとして、ドイツでは再生可能エネルギーに注力しており、2022 年までに原子力からの完全脱却を目指している。

図表 5.1.2　欧州各国一次エネルギー消費の特徴



	日本			ドイツ		
	2015	2017	2019	2015	2017	2019
石油	189	188	180	110	120	112
天然ガス	102	101	93	67	78	76
石炭	120	121	117	78	71	55
原子力	1	7	14	21	17	16
水力	19	18	16	4	4	4
再生可能エネルギー	15	22	26	40	45	51
合計	446	456	446	321	335	314

・ドイツ　：2011.3.11震災後は、原子力が縮小、再生可能エネが上回る。石炭消費大。
・フランス　：原子力の依存度大、石炭小
・英国　：天然ガスと石油主力で、原子力、再生可能エネ増
・イタリア　：天然ガスと石油主力、再生エネ多い
・スペイン　：石油主力、・ポーランド：石炭主力、・オランダ：石油とガス主力、
・ウクライナ：天然ガスと石炭主力
・ベルギー　：石油主力、・ノルウェー：水力主力

Cf. 日本　：2011.3.11震災後は、原子力が極端に減少し、天然ガス・石炭の化石燃料増加。

（出所）BP 統計 2020 年を基に作成

（３）　2020 年の欧州全体の一次エネルギー構成割合

GHG を排出する石油・天然ガス・石炭が一次エネルギーに占める割合は 71%、水力を除く再生可能エネルギーは 12%であり、2050 年のカーボンニュートラル実現に向けて大きくエネルギー転換を進めなければならない（図表 5.1.3 参照）。

ドイツは、再生エネルギー先進国として、再生可能エネルギーの導入を大きく進めており、水力以外の再生可能エネルギー（風力・太陽光など）が 18%を占める。

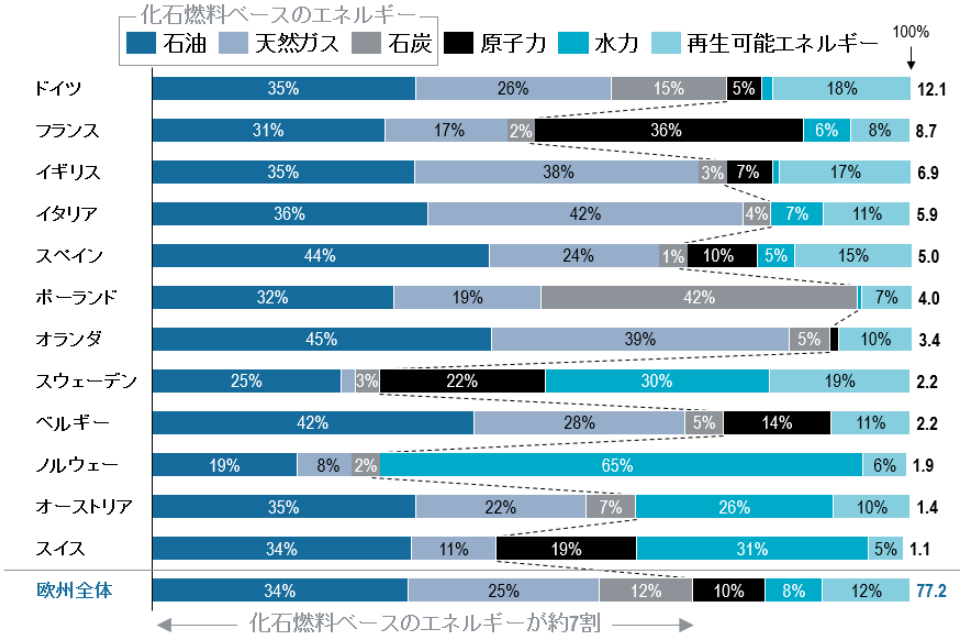
フランスは、原子力の割合が大きく、近年導入を進める再生可能エネルギーが一次エネルギーに占める割合は 8%にとどまる。

イギリスやスウェーデンは、特に風力発電に適した土地・海洋に恵まれているため、一次エネルギーに占める再生可能エネルギーの割合が 17～19%と他国に比べて高い。

イタリア、スペイン、オランダなどもそれぞれの国に合った再生エネルギー導入を進めており、再生可能エネルギーの割合が 10～15%と高まってきている。

ノルウェーは、欧州最大の石油資源国でありながら、豊富な水資源による水力発電が一次エネルギーの太宗を占めており、脱炭素化に最も近い国である。

図表 5.1.3　欧州各国の一次エネルギー構成比（2020 年）［百万 toe[1]］



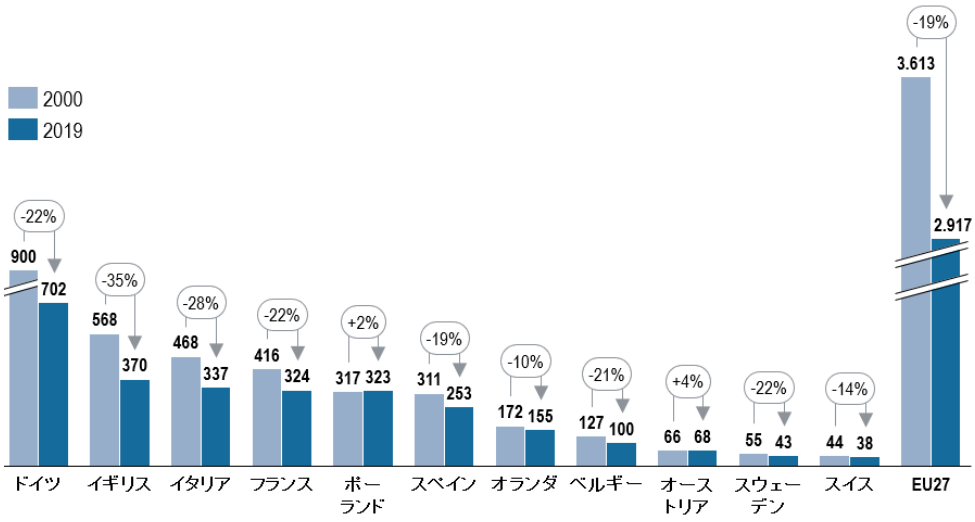
[1)] tonne of oil equivalent

（出所）BP（Statistical Review of World Energy 2021）

（4）　欧州各国の CO2 排出量

EU27 ケ国ベースの CO2 排出量は、コロナ影響を受けていない 2019 年時点では、2000 年比で 19%減少し約 29 億トンである（図表 5.1.4 参照）。

図表 5.1.4　欧州各国の CO2 排出量の変化［百万トン］

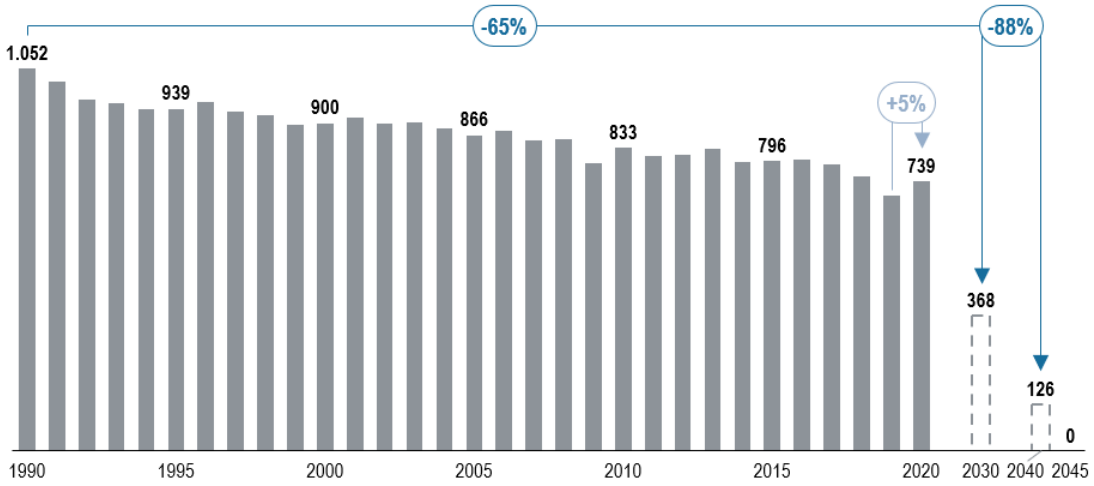


（出所）Global Carbon Project

国別に見ると、製造業の盛んなドイツが突出して排出量が多く、2019 年時点で約 7 億トンを排出（EU　27 ヵ国の 24%）している。石炭資源の豊富なポーランドを除き、2 億トン以上の CO2 を排出するドイツ、イギリス、イタリア、フランス、スペインは 2000 年比で

約 20～30%排出量を削減している。
2011 年 3 月の東京電力福島第 1 原子力発電所の事故を受け、2022 年までの原子力発電所の廃止を宣言したドイツは、2021 年 7 月時点で、17 基中 11 基の原子力発電所を停止させており、2019 年から 2020 年にかけては排出量が若干増加している。しかし、ドイツ政府は 2021 年 5 月に今後の排出量削減目標を高める方針を固めたことを発表した。
1990 年比での 2030 年の従来削減目標 55%に対し、65%削減に引き上げ、2040 年には 88%削減し、GHG 排出実質ゼロとする時期を 2050 年から 2045 年に前倒しする目標を掲げた。排出量削減にいち早く取り組むことで、環境技術で優位に立ちたいとの政府思惑があり、その実現に向けた支援策が期待されている。

図表 5.1.5　ドイツの CO2 排出量の変化［百万トン］



（出所）Global Carbon Project，環境・自然保護・原子力安全省（BMU）

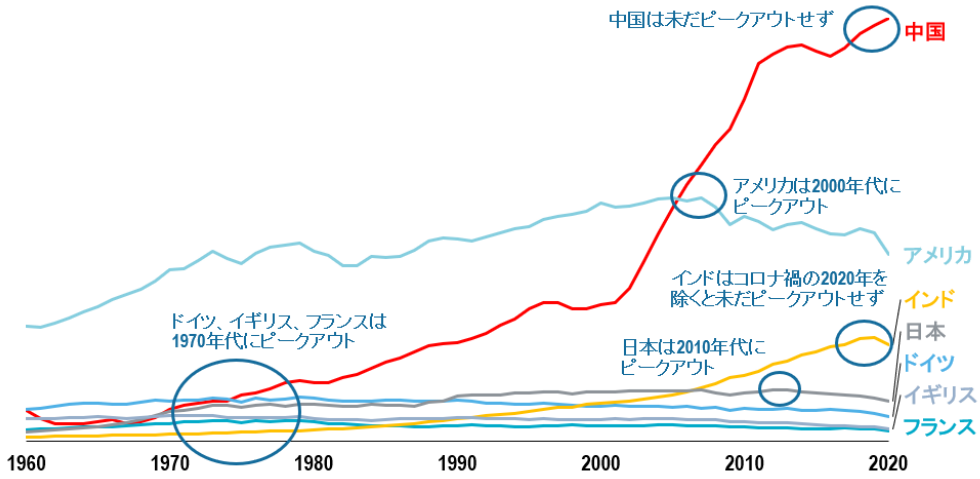
カーボンニュートラル実現に向けた GHG 排出量のピークからの時間的猶予を世界の主要国で比較すると、欧州の主要国としてドイツ、イギリス、フランスを例にとると、いずれの国も 1970 年代に GHG 排出量のピークを迎えており、カーボンニュートラルの実現までに 70～80 年の猶予があったことが分かる（図表 5.1.6 参照）。
参考までに日本、アメリカはそれぞれ 2010 年代、2000 年代にピークを迎えており、時間的猶予は 40～50 年ということになる。
他方、新興国はコロナの影響の大きかった 2020 年を除くと、中国、インドいずれもピークを迎えていない。中国は 2030 年のピークアウト、2060 年のカーボンニュートラルを目指していることから、時間的猶予は 30 年である。困難多き中国のカーボンニュートラルの道のりであるが、清華大学は 30 年間のグリーン投資 138 兆元（2,350 兆円、73 兆円/年）で達成できるとしている。全球能源互聯網発展合作組織（GEIDCO 注 1）は必要額を 122 兆元（2,074 兆円）としており、カーボンニュートラルに向けたエネルギー及び関連の対策に必要な投資は莫大な金額であるが、中国の経済成長にとって極めて大きな貢献につながるとしている。

（注 1）全球能源互聯網発展合作組織(Global Energy Interconnection Development and Cooperation Organization: GEIDCO)

インドは 2040 年にピークを迎えると言われており、2070 年のカーボンニュートラルを目

指していることから時間的猶予は同じく 30 年である。
欧州主要国が 1970 年代から脱炭素に向けて本格的に取り組みを進めてきたわけではないが、エネルギー利用の効率化など、GHG 排出量削減にも貢献し得る技術開発を進めることにより得られた時間的猶予で比較してみると、欧州が自らに有利なタイムラインを引いたと捉えることもできる。
他方、中国やインドはピークからの時間的猶予が短く、引き続き新興国としての経済成長を優先的に追求する中で、低炭素ソリューションの開発が遅れると、今後、欧州を始めとする先進国から排出権を購入しなければならないことになる可能性もある。

図表 5.1.6　主要国の GHG 排出量推移［ton/年］



（出所）Global Carbon Project

５．１．２　G20、欧米メジャーの 2050 年カーボンニュートラル宣言
（１）　大規模抗議活動（経緯と実態、政府・企業へのインパクト）
気候変動に関する抗議活動は、政策充実を要求するものと、規制強化に反対するものの大きく二つが存在する（図表 5.1.7 参照）。
政策充実を要求する抗議活動のうち、欧州で著名なものに Fridays For Future (FFF)や Extinction Rebellion (XR)が挙げられる。
FFF は、スウェーデンの環境活動家であるトゥンベリ氏が、スウェーデン政府に対しパリ協定に従った CO2 排出削減を要求し、学校をストライキしてスウェーデン議会前に座り込み活動を行うことが起点となって開始された。彼女の活動は世界中から注目され、世界中の学生が気候変動に関する抗議活動を行うようになり、計 1,400 万人を動かす大きなうねりとなっている。
XR は、イギリスを中心にした気候変動の危機を訴える抗議活動で、派手なパフォーマンスで注目を集めることで知られる。ロンドンの議会の傍聴席で半裸になって背中に書いたスローガンを見せたり、デモの中で血に見立てた赤い液体を噴射したり、ロンドンの主要道路をバリケード封鎖し交通をマヒさせたりしている。組織の思想として、一般的なデモ行進で得られる効果は薄いと考えており、意図的に多数の逮捕者を出している。特に 2019 年春のデモでは、1,000 人以上が逮捕されている。

これら抗議活動は政府・企業に大きな影響を与えており、政府や企業のカーボンニュートラル宣言、或いはその前倒しにも繋がっている。
イギリスでは気候変動政策立案に民意を取り入れる市民会議を発足させ、人口構成に合わせ無作為に市民 108 人をワーキングメンバーとして抽出し、専門家の見解も聞いたうえで、脱炭素政策の議論を重ねて作成された最終報告書が首相宛に提出されている。

図表 5.1.7　気候変動に対する政策充実を要求する抗議活動（例）

	時期	場所	規模	経緯	行動
Fridays For Future 	2018年～	全世界 > 欧州 > 北米 > アジア・オセアニア	1400万人～	> スウェーデンの環境活動家グレタ・トゥーンベリ氏が活動を開始 > 彼女の活動が世界の注目を集め、世界中の学生がストライキ	> 学校への出席をストライキし、気候変動に対する政策の充実を要求 – スウェーデン議会前への座り込み 等
Extinction Rebellion 	2018年～	> イギリス > アメリカ > カナダ > オーストラリア	NA 40万~ (Facebookのlike数)	> 気候変動に対する有効な政策の欠如に抗議 > イギリスの科学者94名の活動支持署名と共に活動組織を設立	> 派手なパフォーマンスで注目を集め、2025年までのGHG排出ゼロ等、気候変動関連の政策を要求 > 不服従活動も、効果の指標として逮捕者を出すことを推奨 – 2019年春のロンドンデモでは1,130人の参加者が逮捕

（出所）Futures For Friday, Extinction Rebellion

その他、欧州内の特定の国においても、政策充実を要求する様々な抗議活動が起こっている（図表 5.1.8 参照）。
例えば、フランスの環境 NGO である ANV-COP21(Action Non-Violence)は、フランス政府が掲げた年間 CO2 排出量の目標を 125 日で超過したこと、優れた気候変動対策に関する国際演説に実行が伴っていないことに抗議し、2019 年 2 月から各地の市役所などに掲げられているマクロン大統領の肖像写真を窃盗した後「気候、社会正義、マクロンはどこ？」と書いた紙を代わりに貼り付ける「Sortons Macron! （マクロンを外そう）」運動を開始した。2019 年末までに 100 枚の肖像写真が盗まれ、逆さまにしたマクロン大統領の肖像写真を掲げ、彼の二重表現を非難する抗議活動を行った。窃盗においては数十名の逮捕者を出したが、非暴力を掲げた団体でもあり、市庁舎の警備員との話し合いで肖像写真を元に戻したケースもある。ANV-COP21 は、黄色いベストを着用しているが、規制強化に反対するフランスの黄色いベスト運動とは関係が無い（2015 年の NGO 創設以来着用しているもの）。
ドイツでは、GHG 排出量の多い石炭に対する抗議活動も多い。ドイツの炭鉱を占拠する運動として、Ende Gelände（here and no further: これで終わり）がある（NGO ではなく、ボランティア組織）。Ende Gelände は、2015 年から毎年各地の石炭鉱山を占拠してきた。2019 年には、石炭採掘からの即時撤退を要求し、ノルトライン・ヴェストファーレン州にある RWE のガルツヴァイラー炭鉱を占拠した。数千人が同鉱山までデモ行進を行い、白

い防護服とマスクを着用した内数百人が、到着を待つ警察官を押しのけ、鉱山の敷地内に侵入した。本占拠によって、ガルツヴァイラー炭鉱は 45 時間も操業を停止している。

図表 5.1.8　気候変動に対する政策充実を要求する各国の抗議活動

	時期	場所	規模	デモ活動例
ANV-COP21 	2015年～	フランス	2,000人～	**Sortons Macron!（マクロンを外そう）** > フランス政府が掲げた年間CO2排出目標を125日で超過する等、マクロン大統領の優れた気候変動演説に実行が伴っていないことに抗議 > 各地の市役所にあるマクロン大統領の肖像写真を窃盗し、「気候、社会正義、マクロンはどこ？」と書いた紙を代わりに掲示したり、盗んだ肖像写真を逆さまに掲げたデモを実施 > 窃盗に対する逮捕者を出すも、非暴力がポリシー
Ende Gelände 	2015年～	ドイツ	5,000人～	**RWEのカルツヴァイラー石炭鉱山の占拠** > 石炭採掘からの即時撤退を要求 > 2019年6月には、RWEが所有するカルツヴァイラー炭鉱に数千人がデモ行進を行い、白い防護服を着た数百人が警官を押しのけ同炭鉱を占拠 > 結果、同炭鉱は45時間稼働を停止

（出所）ANV-COP21, Ende Gelände

一方、規制強化に反対する抗議活動のうち、欧州で著名なものに黄色いベスト運動やトラクターデモが挙げられる（図表 5.1.9 参照）。

黄色いベスト運動は、フランス政府が気候変動対策として打ち出した燃料税の値上げをきっかけに、生活の苦しい低所得層を中心に行われた抗議活動である。改正を定めた当初は大きな運動にはならなかったものの、2018 年 10 月にかけ原油価格が高騰し、2019 年 1 月から予定されていた増税にも世間の関心が高まった。運転時に義務付けられている黄色いベストを着用し毎週土曜日にデモを実施、略奪や放火なども発生した。抗議活動に対する世論の支持は 7 割程度と高く、最終的に政府側が燃料税の値上げを撤回した。トラクターデモは、気候変動への関心が高まる中、農業がその原因として指摘されることや、農業部門への規制強化・支援予算の削減に対する抗議活動である。ドイツ、フランス、オランダ、アイルランドなどの都市部にそれぞれトラクターが 100～5,000 台ほど集結し、幹線道路の封鎖などを行った。アイルランドでは、デモに参加した農家の代表者と農業大臣の面会が実現した。これら抗議活動は政府の規制強化に大きな影響を与えている。2021 年 7 月、2030 年の GHG55%削減の新目標達成に向けた政策パッケージ（Fit for 55）の一環で、排出量取引制度（ETS）の改正案として、適用分野を海運、道路輸送、建物に拡大することが発表された際、フランスから「政治的自殺行為」「黄色いベスト運動の二の舞を避けるべき」との懸念が示された。排出枠の確保が義務付けられるのは燃料供給事業者」だが、そのコストは最終的に消費者に転嫁されるため、低所得者を中心に強い反対運動が予想される。当然、欧州委員会も「簡単にできるものは何もない。血のにじむような厳しさになるのは分かっている」との認識で、低所得者や小規模事業者への補助金（EU 予算として 7 年間で 722 億ユーロ）を検討している。しかし、フランス以外の国からも難色が示されており、今後も欧州委員会と加盟国の間で激しい議論が継続される見通しである。

図表 5.1.9　気候変動対策としての規制強化に対する抗議活動

	時期	場所	規模	経緯	行動
黄色いベスト運動 	2018年～	フランス	約30万人	> フランス政府が気候変動対策として打ち出した燃料税の引き上げが起点 > 生活の苦しい低所得者層を中心に抗議活動を開始	> 運転時に携帯を義務付けられた黄色ベストを着用して抗議 > 毎週土曜日にフランス全土でデモが行われ、一部は暴徒化
トラクターデモ 	2019年～	> フランス > ドイツ > オランダ > アイルランド	4万～	> 農業が気候変動の原因として指摘されることに対する不満が蓄積 – 家畜のゲップに含まれるGHG – 水の大量使用 – 農薬・肥料の悪影響等 > 各地の農家が結集し、抗議活動を開始	> 各地の首都に全土からトラクターを集結させ、道路を占拠

（出所）Forbes, Reuters

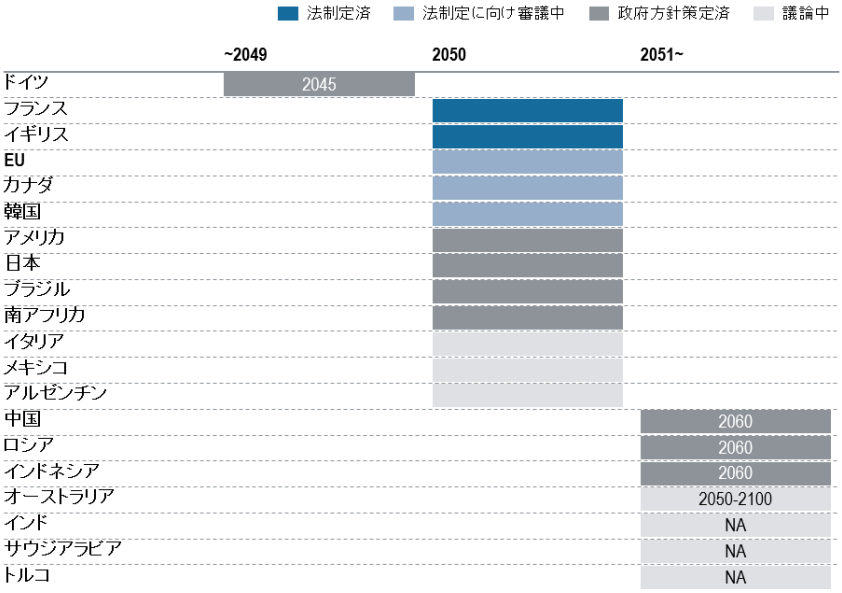
（２） G20 諸国の 2050 年カーボンニュートラル宣言

気候変動による危機の高まりを受け、2019 年 9 月に開催された国連気候サミットにおいて、先進国を中心とした 77 ヵ国が 2050 年のカーボンニュートラルを約束した。

同サミットにおいては、FFF を立ち上げたスウェーデンの環境活動家トゥンベリ氏も演説を行っており、抗議活動が大きく注目された。その後アメリカが 2021 年 1 月の政権交代時に表明するなど、カーボンニュートラルを宣言する国が増え、現在 G20 においてはインド、ロシア、サウジアラビア、トルコを除く 16 ケ国がカーボンニュートラルを宣言している（2021 年 8 月現在、図表 5.1.10 参照）。

G20 において、実際に法制化まで進められている国はフランスとイギリスのみである。ドイツは、2021 年 5 月にカーボンニュートラル達成目標を 2045 年に前倒ししている。これは 2021 年 4 月に連邦憲法裁判所が、GHG の削減目標を定めた気候保護法を「31 年以降の削減措置が十分盛り込まれていないとして一部違憲」と判断したことを受け、対応されたものである。政府を相手に温暖化対策を求める訴訟が各国で相次いでおり、裁判所が抗議活動や環境団体の駆け込み寺のようになっている。

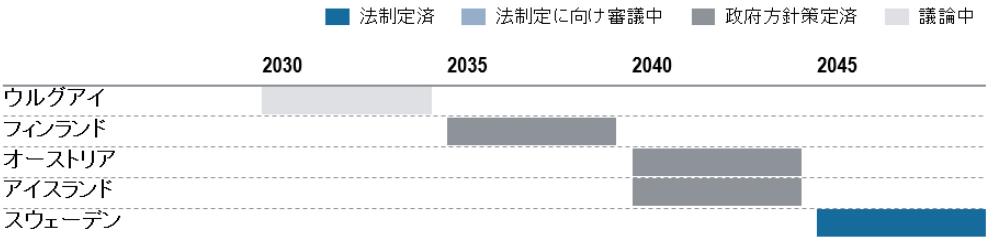
図表 5.1.10　G20 諸国のカーボンニュートラル宣言状況



（出所）National Public Utilities Council，各国政府発表

なお、G20 以外には、以下の国々がカーボンニュートラルの目標を前倒ししている。

図表 5.1.11　G20 以外のカーボンニュートラル宣言の前倒し状況



（出所）National Public Utilities Council，各国政府発表

（3）　欧米メジャーのカーボンニュートラル宣言

欧州メジャーは何れも 2050 年のカーボンニュートラルを目標に掲げているのに対し、米国メジャーはカーボンニュートラルの目標設定に慎重であったが、2022 年に入って 2050 年のカーボンニュートラルを表明した（図表 5.1.12 参照）。

欧州各国の政府が 2019 年時点でカーボンニュートラルを宣言し、その実現に向け、欧州メジャーは政府から目標設定と実行プランを求められてきた。

米国では、2021 年 1 月のバイデン大統領への政権交代後、カーボンニュートラル宣言を含め、急速に環境政策の充実が進められる中、米国メジャーもその動きに呼応した形となった。

欧州メジャーは、2050 年のカーボンニュートラルを宣言しており、スコープ 1+2（自社での燃料消費による GHG 直接排出＋購入エネルギーによる GHG 間接排出）に加え、スコープ 3（販売と購入した製品に伴う GHG 排出量）に関しても各社何かしらの目標を設定している。

例えば Total は、スコープ 1+2 では全世界ベースで、スコープ 3 では欧州ベースでの 2050 年カーボンニュートラルを目標に掲げている。しかし、その目標実現に向けた計画に対するより厳しい要求や、実効性に対する疑念の声も存在する。

図表 5.1.12　欧米メジャーのカーボンニュートラル宣言（2021 年時点）

	会社名	CN 宣言	地域 Global / Local	Scope 1+2+3 / 1+2	指標 排出量 / GHG強度	基準年	削減率 [%] 2025	2030	2035	2040	2045	2050
欧州	Shell	○				2016		20	45			100
	BP					2019	20	30-35				100
						2019	5	15				50
	Total					2015	15	40				100
			欧州			2015		30				100
						2015		20		35		60
	Eni					2018				100		
						2018		25		65		100
						2018		15		40		100
	Repsol					2016	15	28		55		100
						2016		55				
						2016		30				
	Equinor		ノルウェー			2019		40		70		100
						2019		20	40			100
米国	EM	×				2016	15-20					
	Chevron					2016		35 (2028)				
	ConocoPhillips	○				2016		35-45				100

（出所）各社 IR を基に作成

Shell は、2021 年 5 月の株主総会でカーボンニュートラルに向けた GHG 排出量削減計画（GHG 排出量は 2016 年比で 2030 年▲20%，2035 年▲45%）の承認を得たが、2021 年 6 月、環境団体からの訴訟に対するハーグ裁判所の判決で 2030 年までに 2019 年比で 45%削減という、より早期の GHG 削減が命じられた。Shell は判決を「残念だ」とし控訴する方針だが、「気候変動には緊急の行動が必要で、我々は 50 年までに実質ゼロ排出のエネルギー企業になるよう努力を加速している」とのコメントも発し、GHG 排出削減に注力していくことを強調している。本判決は他企業にも衝撃を与え、「そもそもパリ協定に調印したのは各国政府であり、個々の企業ではない」「地球温暖化の専門家でもなく、技術革新も知らない裁判所がなぜ削減幅に言及するのか」「次は自社が標的にされるのではないか」といった懸念が広がっている。

BP は、2019 年比の GHG 削減目標を 2025 年 20%、2030 年 30～35%、2050 年 100%と設定しているが、これはスコープ 1+2 であり、スコープ 3 の販売 / 購入した製品に伴う GHG 排出量は含まれていない。他方、スコープ 3 の目標における指標として設定しているのは GHG 強度（供給する一次エネルギー当たりの GHG 排出量）であり、これは GHG 排出量の絶対値を下げることをコミットしているものではない。従い、BP は採掘などの自社のオペレーションや製品使用時の GHG 排出率さえ減らせば石油・ガスの生産を増やしても目標を達成できる状況にあり、実際、今後 10 年で石油・ガス生産量を 20%増加させるという従来の計画を取り下げていない。また、BP はドナルドトランプ氏の就任式に 50 万ドルを

寄付し、ホワイトハウスに環境規制の削減を促すなど、気候変動政策に関するロビー活動に積極的であった経緯もあり、本気でカーボンニュートラル実現に注力していくのか、環境団体は懐疑的に注視している。

2021 年 10 月には、GHG 強度を指標とすることに対する批判や Fit for 55 への対応姿勢を示すため、Repsol が新たに絶対量ベースでの 2030 年目標を策定している。今後、他の欧州メジャーにおいても同様に目標がアップデートされる可能性がある。

米国メジャー大手の ExxonMobil や Chevron は、2022 年に入って 2050 年までのカーボンニュートラル達成を表明した。ExxonMobil はそれまで、「2050 年までに排出量ネット・ゼロを達成するという社会目標を尊重し、支持する。しかし、費用対効果の高い、市場に基づいた気候変動リスクへの対応策を追求し続ける」と述べるに留め、Chevron も「排出量ネット・ゼロに向かいつつある。ただし、実現のためには GHG 排出権取引市場や技術的ブレークスルーと、政策の変更が必要である」との説明に留めていたが、気候変動対策を求める声が強まる中、欧州メジャー同様にカーボンニュートラルの目標を設定することとなった。

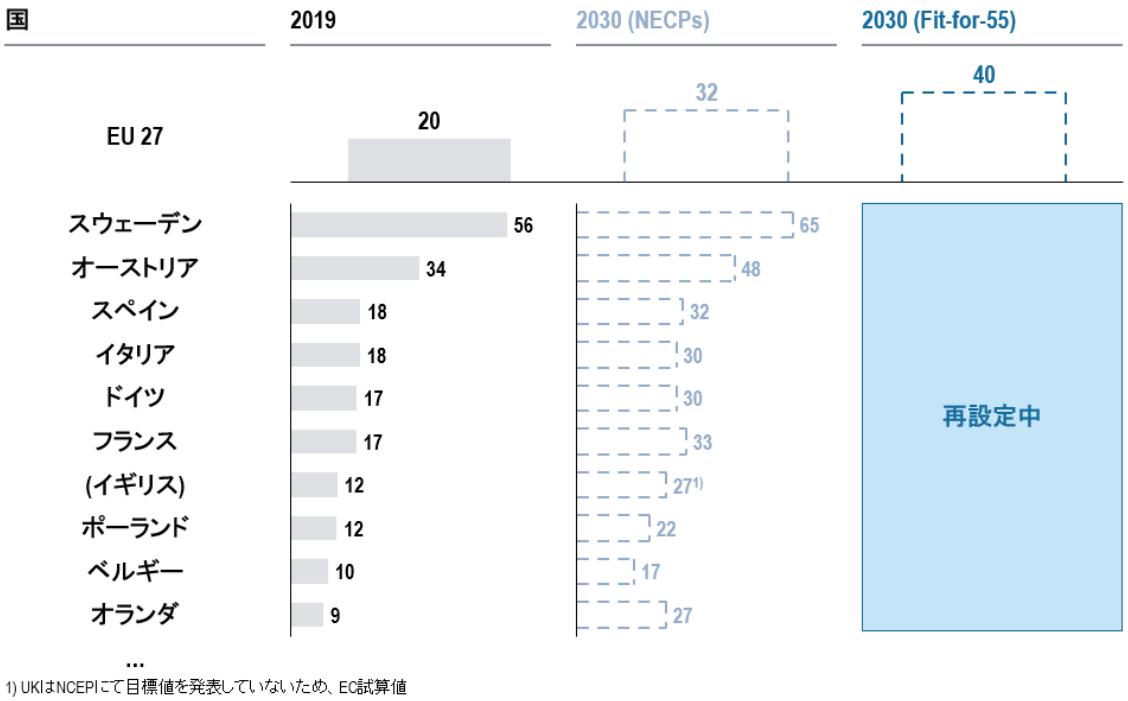
５．１．３　西欧諸国の長期エネルギー基本計画と GHG 排出削減計画との整合性

EU 諸国は、2019 年末に NECPs（National energy climate plans: 国家エネルギー気候計画）の中で、一次エネルギーに占める再生エネルギーの導入割合の目標を設定した。しかし、その後 2020 年 12 月に 2030 年時点の GHG 削減目標を従来の 40%から 55%以上に修正した文書を国連気候変動枠組条約（UNFCCC）事務局に送付したため、NECPs における再生可能エネルギー導入目標との整合が取れなくなっている状態である（NECPs は GHG 削減目標 40%の実現に向け EU 全体で再生可能エネルギー導入割合 32%を目標としていた）。

欧州委員会は、2021 年 7 月に 2030 年までの GHG 55%削減を実現するための政策パッケージ「Fit-for-55」を発表し、その中で一次エネルギーに占める再生エネルギーの導入割合目標を、従来の 32%から 40%に引き上げた。現在、この 40%を実現する各国目標が議論されている（図表 5.1.13 参照）。

目標を改定した EC は「2030 年の再生可能エネルギー導入目標を 40%に引き上げることで、よりクリーンで安価なエネルギーを促進しつつ、雇用を含めた経済成長を実現できる」と考えている。業界関係者は同目標を条件付きで実現可能と考えている。欧州では、風力発電所による騒音や景観破壊が問題となっており、住民や環境団体の反対運動により新規発電所建設の許認可が遅れるケースが相次いでいるため、このボトルネックの解消が目標実現のポイントになると見られている。風力発電の業界団体である WindEurope は、「Fit-for-55 は消費者と投資家に対する強いメッセージとなり、目標実現に向け再生可能エネルギー導入が進む。テクノロジーと財務の観点からは可能だが、風力発電所の許認可手続きを大幅に改善する必要がある」とコメントしている。再生可能エネルギーに注力するスペインの電力会社である Iberdrola は「2030 年 40%の目標は野心的だが、達成可能。ただし、欧州全ての国において、再生可能エネルギー発電所の許認可が遅延しないことが肝要である」と述べている。

図表 5.1.13　一次エネルギーに占める再生エネルギー比率［%］



（出所）EC，UK 政府発表

日本では、2021 年 10 月 31 日英国グラスゴーで開催の COP26 に向けて、2030 年の GHG 排出量削減目標を 2013 年度対比 39%から、急遽 46%に積み増した。産業界からは政府を忖度した賛否両論の意見がよせられている。39%は積み上げによる第 5 次長期エネルギー基本計画との整合性が図られていた。しかし、新目標（46%）と 39%の差の上積みの差し引きの 7%分は、第 6 次長期エネルギー基本計画では、原子力 22～20%を据え置き、太陽光発電の大量導入、省エネルギー量の深掘り、及び粗鋼の生産量 1.2 億トン下方修正により達成するとしているが、実現性には疑問が残る。

同様に、例えばドイツにおいても、2020 年 6 月に承認された NECP においては、2030 年の GHG 排出量削減目標は 1990 年比で 55%と設定されていたが、2021 年 5 月には 65%に引き上げた。背景には、気候変動への危機感の高まりと 2020 年 12 月に EU としての削減目標が従来の 40%から 55%に引き上げられたことに加え、総選挙を控える中で環境政党である緑の党の支持率が高まっているため、気候変動対策に積極的な姿勢を示す必要があった。NECP 55%は産業界との議論を重ねながら策定されたものであるが、65%はトップダウンで決定された目標である。差分の 10%については、更なる再生エネルギーの導入と省エネルギーや効率化の推進により実現する方針であるが、政治主導の環境政策の前倒し、GHG 排出量削減の積み増しに、企業との足並みがあっている状況ではない。

５．１．４　「IEA NetZero by 2050」に対する EU、欧州諸国の関心と反応

2021 年 5 月、IEA は「Net Zero by 2050」と題した低炭素化ロードマップを公表した。カーボンニュートラル実現に向けた 400 以上のマイルストーンを記載した本報告書は、2021 年 10 月 31 日にイギリスで開催される COP26（Climent Change Conference）に向け、イギ

リス政府の要請で作成された。

イギリス以外の政府関係者も前向きに内容を受け止めている。例えば、IEA によるプレゼンテーションの場に出席したドイツエネルギー省は「Net Zero by 2050 は、カーボンニュートラルがチャレンジングな目標であっても達成可能であること、また同時に国際社会が協力して一生懸命取り組まなければならない。本報告書は COP26 での議論に重要な貢献をする」と述べている。他方、Net Zero by 2050 には、「2050 年にカーボンニュートラルを実現するには、新たな石油及びガスプロジェクトは承認されるべきではない。採掘は停止されるべき」との記載があり、業界団体や欧州メジャーが程度の差こそあれ、「過激すぎるのでは」との反応を見せている。以下に、関係機関の意見を示す。

（1） イギリスの業界団体である OGUK （Oil & Gas UK）

OGUK は、「再生可能エネルギー、CCUS、水素の投資と開発を急速に拡大する必要があり、輸入などの高排出オプションよりも国内生産からの低排出石油とガスを優先するという国際エネルギー機関の勧告に強く同意する。しかし、イギリスでは、石油・ガス業界は独特の状況にあり、パリ協定に沿って活動し、ネット・ゼロへの道を切り開き、エネルギー生産における脱炭素化を目指す North Sea Transition Deal を通じて政府と協力しながら、国内資源から必要な石油とガスを提供している。2050 年に向けたエネルギー需要を満たすだけでなく、イギリスの雇用、経済、自国のエネルギー転換を支えるために、我々自身の資源を使い、ローカルに投資することが適切である。地元での採掘を停止することは、進行中のエネルギー転換の大きな障害となる。イギリスのレジリエンスを低下させ、我々が GHG 排出をコントロールできない環境規制が少ない国からの輸入への依存度を高めるだけである」としている。

その後、OGUK は 9 月に発効した年次報告書の中でも同様の主張を行い、イギリス政府に対し、18 の新しいプロジェクト推進を主張している。

（2） BP、Shell、Equinor 社の意見

BP の OGUK の業界会議での発言では、「エネルギー転換を実現するには、石油とガス、特にガスが重要な役割を果たす。GHG 排出量の多い石炭を燃やさない場合、何か他のものを燃やさねばならず、GHG 排出の少ないガスが重要である。社会がまだ製品を必要としている間にサイトを閉鎖し、供給を止めることはひどく無責任である」と述べている。

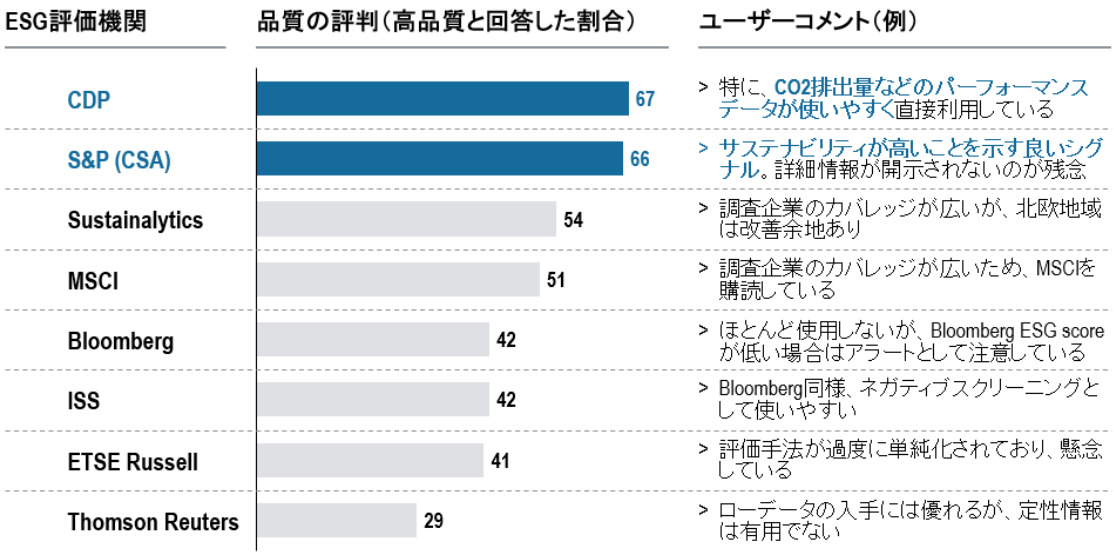
Shell は、株主総会及びアップストリーム戦略カンファレンスで、「カーボンニュートラルの実現に向け、前例のない政策や規制面での国際協調が必要となること、需要側の行動変容も起こさねばならないこと、そのためには多額の資本が必要になること、といった″Net Zero by 2050″の指摘には強く同意する。我々も最善を尽くすが、我々は社会に対して先走り過ぎるのではなく、最新の注意を払い新たな社会に足を踏み入れる準備をしていく必要がある。我々は 2025 年以降、新たなサイトでの採掘は行わないが、既存のサイトを維持・収量効率化を図るための、例えば、我々が熟知しているメキシコ湾などの既存サイトの掘削は続けていく」としている。

Equinor は、アニュアルレポート中で、「最も楽観的なシナリオに沿ってエネルギー転換が進む場合は、2050 年時点で、世界で 46 百万バレル / 日の石油需要が存在し、その需要を満たすためには新たな石油、ガス供給への投資が必要である」としている。

５．１．５　ESG 評価機関による世界企業の ESG 評価

金融機関によるサステナビリティ銘柄への投資が進む中、企業の ESG 評価が注目されている（図表 5.1.14 参照）。

図表 5.1.14　ESG 評価機関の品質に対する評判



（出所）SustainAbility

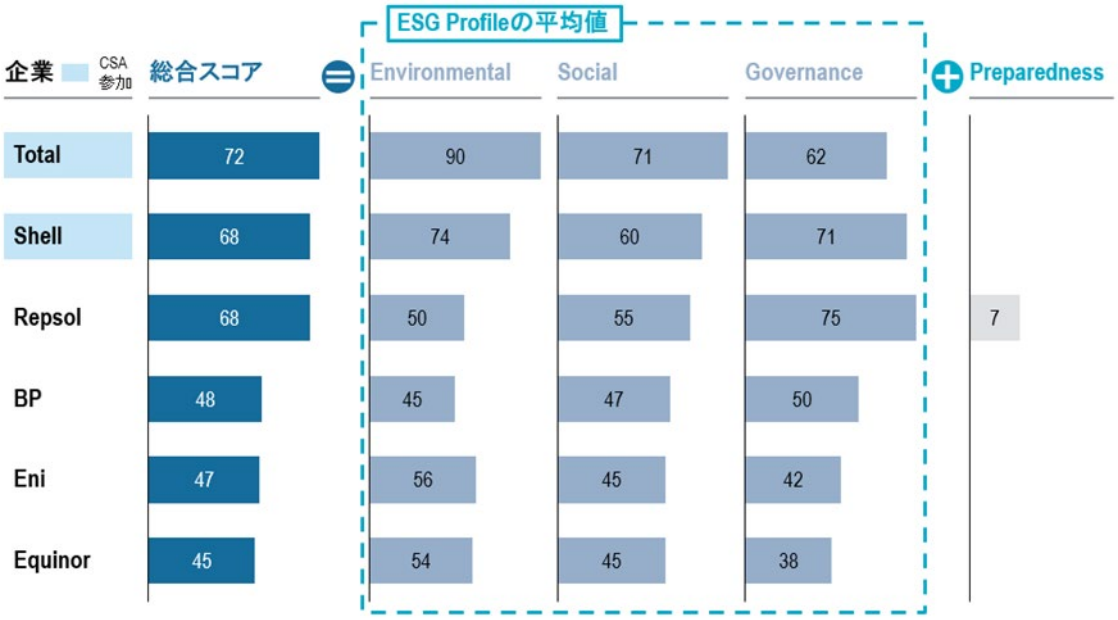
現在、CDP（非営利団体）、S&P Global、Bloomberg など複数の団体が ESG 評価を行っているが、中でも CDP と S&P Global が 2019 年 11 月に Robeco SAM から買収した SAM Corporate Sustainability Assessment は投資家から優れた評判を得ている。

（１）　欧州メジャーの CSA 評価

SAM Corporate Sustainability Assessment では、様々な形態の資本が財務パフォーマンスにどのような影響を与えるか、各業界の専門知識も踏まえながら評価方法の開発を続けている。例えば、資源系の企業に対しては、(1) Environmental / 環境側面として廃棄物管理、水関連リスク、生物多様性を、(2) Social / 社会側面として資産閉鎖に伴う処理・管理、コミュニティへの影響、ステークスホルダーエンゲージメントを、(3) Governance / ガバナンス側面として支払いの透明性などを業界特有のクライテリアとして採用している。図表 5.1.15 に欧州メジャーの ESG 評価を示した。

EGS 評価の総合スコアは、(1) Environmental, (2) Social, (3) Governance の各スコアの平均値に、将来の変化や成長に対する組織の準備状況を評価する Preparedness スコアを加えて算出される。基本的には、アニュアルレポートやサステナビリティ報告書、企業ウェブサイトなどの公開情報をベースにスコアリングされる。また自主的に Corporate Sustainability Assessment (CSA)に参加し、S&P からの質問リストに回答することで、追加情報をインプットすることもできる。さらに、S&P Global に個別評価を依頼するとアンケートやインタビューに基づく(1)～(3)と Preparedness の評価が得られる。

図表 5.1.15　S&P Global による欧州メジャーの ESG 評価



（出所）S&P Global

また、公開情報ベースのスコアと個別評価でのスコアは大きく異なる場合がある。

例えば、欧州メジャーでは Repsol が個別評価を行っているが、公開情報ベースだと 38 ポイント、個別評価した総合スコアは 68 ポイントである。個別評価では公開情報からでは取得できない情報がアンケートなどを通じて抽出できることに加え、公開情報ベースでは評価されない Preparedness も丁寧に評価・加算できることが背景にある。欧州メジャーでは、CSA に参加しスコープ 3 を含めた排出量での 2050 年カーボンニュートラルを表明した Total や Shell に加え、個別評価を行った Repsol が 70 ポイント前後の高いスコアを得ている。Eni もスコープ 3 を含めた排出量での 2050 年カーボンニュートラルを目標に掲げているが、2021 年に設定されたため、2020 年 11 月の更新時点では反映されていない。

（2）　日本、韓国の CSA 評価

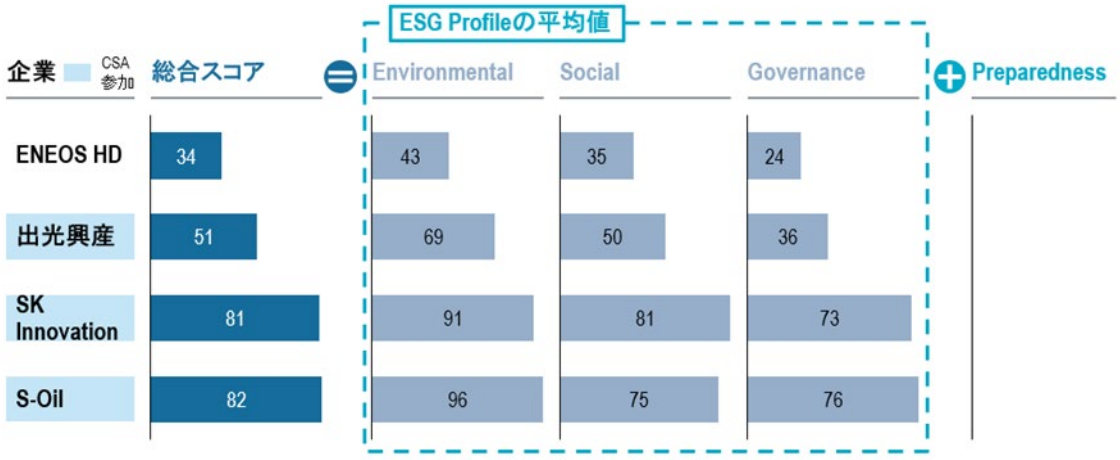
日系石油プレイヤーでは ENEOS HD と出光興産がスコアリングされている。

自主的に CSA に参加している出光興産の方が全般的に高いスコアを獲得している。それでも、欧州のメジャーに比べればスコアは低い。一方、韓国の同じ石油プレイヤーの S-Oil や SK Innovation は、S&P Global による ESG 評価が 81 と高い。これも CSA への自主参加に伴うものである（図表 5.1.16 参照）。

例えば SK Innovation は、CSA に参加する 2017 年までは 25 と低スコアであった。CSA を通じた評価で特にスコアリングが高いのは、Climate Strategy で、業界平均の 67 点に対して満点の 100 点を取得しており、Environmental の高いスコアに貢献している。個別企業評価についてのこれ以上の開示はないが、EV 化を支えるリチウムイオン電池に注力する方針が加点された。前出の図表 5.1.14（評価機関の評判）にもある通り、スコアの背景にある情報にアクセスできないため、ロジックをクリアに理解できないことが課題である。

なお、コスモエネルギーHDは、ESGに関する公開情報が限られるためスコアリングされていない。

図表 5.1.16　S&P Globalによる日系、韓国系石油プレイヤーのESG評価



（出所）S&P Global

日本企業への特記対策事項として、短期的にはCSAに参加する、或いはS&Pに個別評価を依頼することで、正しく公開できていない部分も含め実体に即した(1) Environmental, (2) Social, (3) Governanceのスコアを知り、Preparednessの評価も加えて、ESG評価の総合スコアを公表するのが好ましい。中長期的には、その個別評価での FB を踏まえ、ESG経営に必要なモニタリングや施策を実行していくことで、次回の総合スコアを高めていくことが望ましい。

例えば、(1) Environmental側面では、中間のマイルストーンも含め、カーボンニュートラルの目標を設定したり、エネルギーミックスを変えたり、GHG強度の高い高付加価値製品の割合を増やしたり、(2) Social側面では、従業員の多様性確保の観点から女性社員・管理職の割合を高めたり、途上国での契約において人権条項を盛り込んだり、(3) Governance 側面では、カーボンニュートラルの目標達成に向けその実行に向け役員報酬体系にその削減達成状況を組み込んだり、取り組み状況を外部に正しく開示する仕組み作りなどが考えられる。

世界の石油精製競争力比較では、ソロモンサーベイが定着しているが、今後、このようなESG評価指標の充実が図られ、企業評価にインパクトを与えることが推測される。

５．１．６　欧州の製油所再編の歴史と今後の再編予測

欧州の脱炭素に向けた動きに伴い、化石燃料の需要は徐々に低下していくことが想定されている。特にEV化の影響を大きく受けるモビリティ向け燃料は減少が著しく、2030年までにガソリンは40～50%、軽油は20～30%減少すると予想されている。

欧州の製油所も競争力のないところから淘汰が進んでいくことが想定されるが、具体的にどのくらいの製油所が淘汰の危機にあるのか、データベースに基づき簡易分析を行った。具体的には、欧州域内の82の製油所を対象に、製油所の競争力を反映した3つの指標での優劣をランキングし、製油所毎の淘汰リスクとして評価する。

(1) Equivalent Distillation Capacity

必要人員数の基準として算出され、製油所の効率性を表す（図表 5.1.17 参照）。

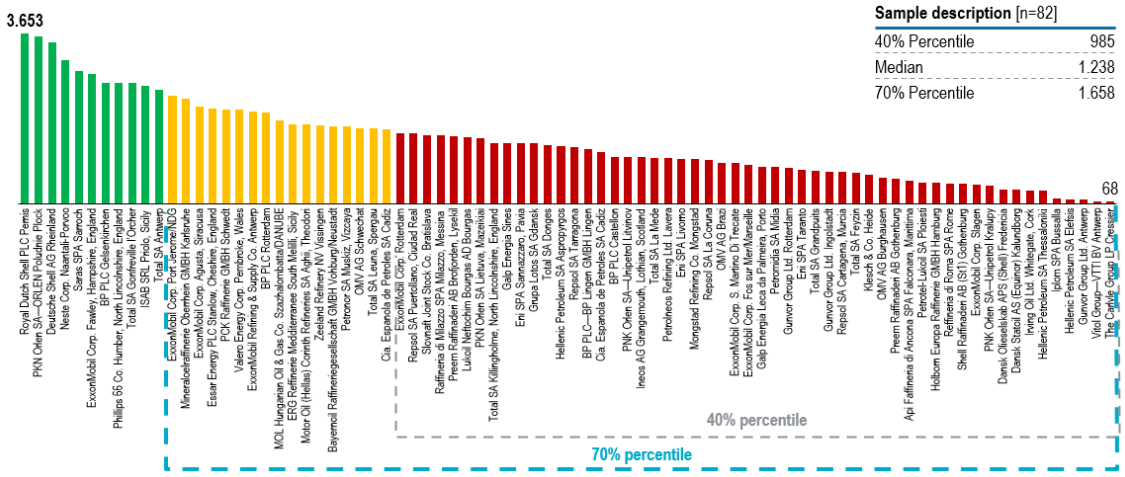
(2) Nelson Complexity Index

製油所能力毎の相対的な建設コスト指標で、製油所の複雑性を表す(図表 5.1.18 参照)。製油所の複雑性が高い方が競争力は高い。

(3) Bottom of the Barrel Index

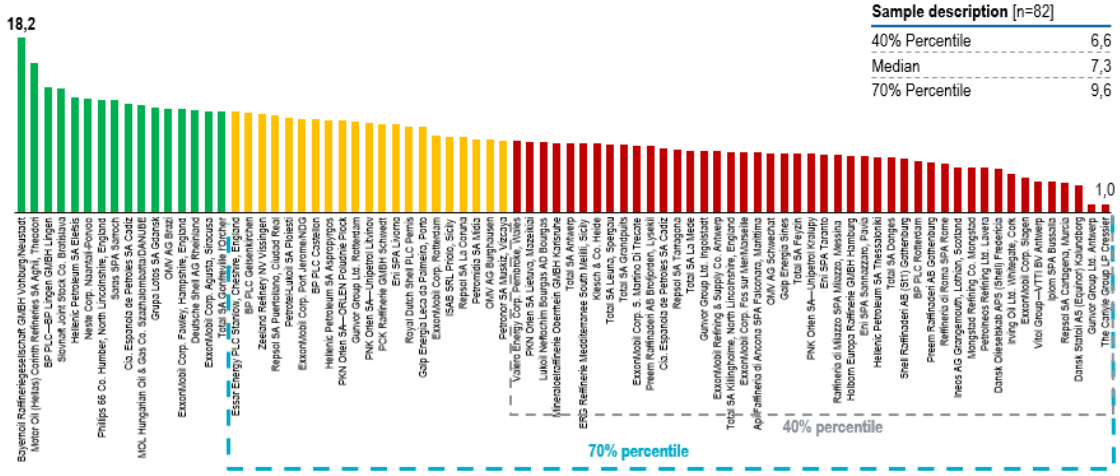
重油原油を処理してプレミアム製品を生産するための処理能力で、製油所の総合力を表す（図表 5.1.19 参照）。

図表 5.1.17　Equivalent Distillation Capacity に基づく競争力評価



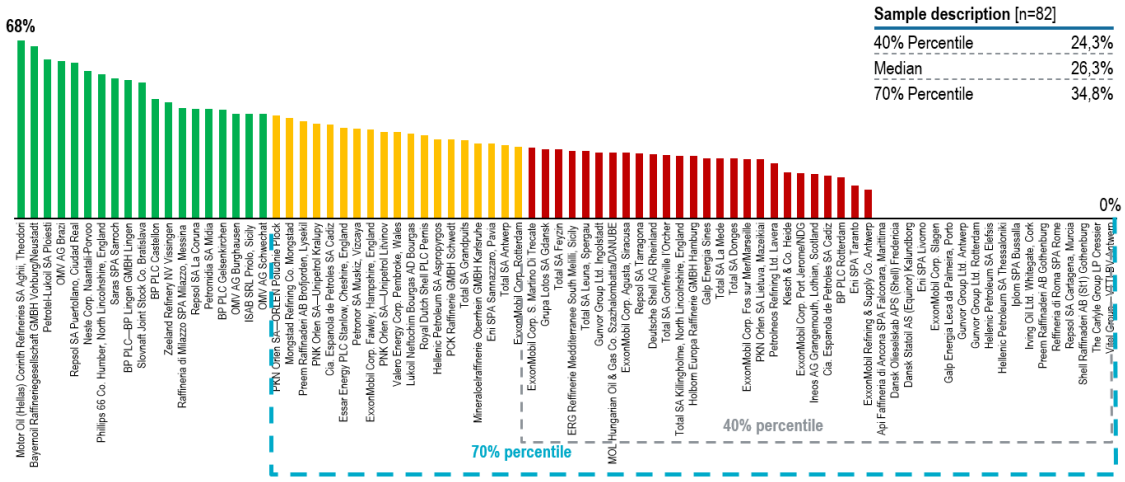
（出所）Worldwide Refining Survey OGJ, Roland Berger

図表 5.1.18　Nelson Complexity Index に基づく競争力評価



（出所）Worldwide Refining Survey OGJ, Roland Berger

図表 5.1.19　Bottom of the Barrel Index に基づく競争力評価



（出所）Worldwide Refining Survey OGJ, Roland Berger

これらの分析の結果、何れの分析においても上位 30%に位置し、淘汰リスクが低いと想定される製油所は 5%未満であった。約 25%はいずれか一つのランキングで下位 40%のレッドゾーンに入っている。約 30%の製油所はいずれのランキングにおいても下位 40%に入っており、操業停止リスクが高いと想定される。

図表 5.1.20　近年の欧州製油所閉鎖及び削減事例

企業名	閉鎖・能力削減時期	国　地域	旧精製能力 [kb/d]	閉鎖時コメント
NESTE	2021年3月	ナーンタリ	55 閉鎖	Covid-19のパンデミックにより、石油製品の需要減退が加速しており、以前のレベルに回復することは期待できない
galp	2021年1月	マトシンホス	110 閉鎖	COVID-19パンデミックの影響と規制環境を理由に完全に停止する
petroineos REFINING AND TRADING	2021年1月	グランジマウス	210 30%削減	COVIDパンデミックの間、国内外の燃料需要が大幅に減少したために精製能力を削減した
GUNVOR	2020年11-12月	アントワープ	110 閉鎖	COVID-19パンデミックによって悪化した地政学的およびマクロ経済的事象により、製油所が非常に困難な経済状況に置かれている

（出所）S&P Global Platts, Oil & Gas Journal, 各社 HP

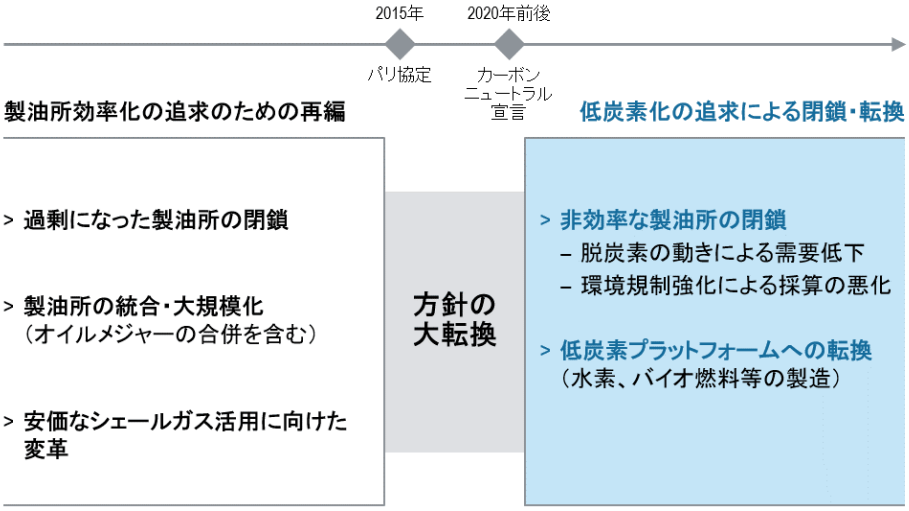
実際、欧州では製油所の閉鎖が進んでいる。最近では Neste（スウェーデン）、Galp（ポルトガル）、Petroineos（イギリス）、Gunvor（ベルギー）がそれぞれ保有する製油所を閉鎖、或いは能力の削減を行っているが、閉鎖時のコメントから、今後の化石燃料需要の低下が見込まれる中、コロナ禍による一次停止をきっかけとして、閉鎖や能力削減が決定されたケー

スが多い（図表 5.1.20 参照）。

これまでも製油所の閉鎖や統合などの再編は行われてきたが、2015 年のパリ協定や、2020 年前後のカーボンニュートラル宣言を経て、今後は単純な閉鎖に加え、低炭素製品を生産するプラットフォームへの転換が進む見込みで、その背景となる企業の方針は従来のものと大きく異なっている。

これまでは、主にキャッシュ創出に向け、製油所の効率化を追求する中で再編が進められてきた。1980 年代には過剰になった精製能力の調整で製油所が閉鎖され、1990 年代以降はオイルメジャーの合併も含め、競争力を強化するために、製油所の統合や大規模化が進められた。2010 年代にはシェール革命が始まり、安価なシェールガスを使用するための製油所の変革が進められてきた。しかし、今後は社会や企業が低炭素化を追求することを背景に、製油所の閉鎖や転換が進んでいく。脱炭素の動きによって化石燃料の需要が低下する、或いは炭素価格を始めとする環境規制の強化により製油所の採算が悪化するために、非効率な製油所の閉鎖、或いは低炭素プラットフォームへの転換が進む見込みである。具体的にどのように製油所の転換が進められるかについては、５．４節と５．５節で事例を紹介する。

図表 5.1.21　過去の製油所再編と今後の脱炭素に向けた閉鎖・転換



（出所）Roland Berger

５．１．７　欧州による国境炭素税導入の背景と進捗実態

欧州では、2050 年のカーボンニュートラル実現に向け国境炭素税（「国境炭素調整措置：CBAM（シーバム）」とも呼ばれる）の導入が決まっている。これはカーボンニュートラルに取り組む欧州企業の欧州域内外での競争力を維持するための施策であり、欧州への輸入品に対しては国境炭素税を徴収することで、環境規制の緩い海外から安価な製品が入ってくることを防ぐ。また、欧州からの輸出品に対しては炭素税を還元することで、環境コストの高い欧州内で製造した製品も海外での競争力を維持できるという考えに基づく。国境炭素税の狙い、進捗状況及び各国の反響は以下のとおりである。

環境対策が十分でない国からの事実上の輸入関税を引き上げるのが狙いで、①欧州域外

の温暖化対策を促進させる、②域外への炭素リーケージを防止する、③EU 内の産業を保護するのが狙いである。得られた収入は、2021 年以降の中期予算及び復興基金の財源の一部として活用される予定である。

この中で、「公正な移行メカニズム」（EU 域内で脱炭素化に向けた進捗状況に差がある状況で、炭素集約型の経済活動に依存している地域への資金支援などを行う）の強化に活用することも検討されている。

2021 年 7 月に欧州委員会が国境炭素税の導入を発表し、2023 年から欧州域内の輸入業者に報告を義務付け、2026 年から国境炭素税の徴収が開始される予定であるが、現時点での課税対象としては、GHG 排出量の多い鉄鋼、セメント、肥料、アルミニウム、電力の 5 品目が設定されている。

GHG 排出量のスコープを製品製造時（スコープ 1、2）にとどめるか、製品使用時（スコープ 3）まで広げるかは検討され移行期間内に決定される。

国境炭素税は、当然貿易に大きな影響を与えるため、特に、中国、ロシア、日本など EU に向けた輸出国からは反対意見があがっており、輸入品への課税は実質関税にあたることから、WTO の規則違反であるという観点からの議論も起こっている。中国政府は、2019 年 12 月の第 25 回国連気候変動枠組み条約締約国会議（COP25）で「国際交渉に悪影響を与えかねない」と表明した。

また、2020 年 7 月 14 日、バイデン候補（当時）は米国大統領選挙に際して、政策ビジョンである「クリーンエネルギー革命と環境正義計画」の中で、十分な気候・環境対策を実施していない国からの炭素集約型製品に対し、炭素調整料金または割当（carbon adjustment fees or quotas）を課すことに言及している。現時点でも、アメリカは「国境炭素税はいろいろな意味でチャンスと捉えることができ、独自の国際炭素税を検討中」としているものの、与野党が対立・拮抗している状況のため実現時期は未定である。バイデン政権は気候変動対策も含め、欧州との関係修復に力を入れるが、欧州の国際炭素税実施までに足並みを揃えることは難しいと思われる。

５．２ EU、欧州諸国間によるカーボンニュートラル関連プロジェクト

５．２．１　「Next Generation EU」の進捗状況

（１） Next Generation EU の概要

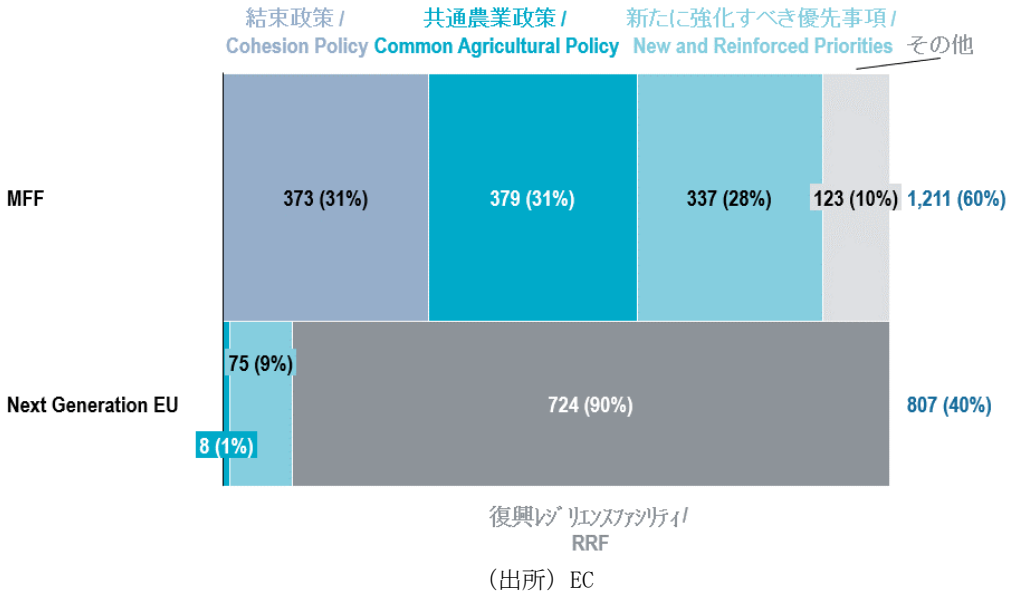
2020 年のコロナ禍で、EU は通常の MFF（Multiannual Financial Framework: 中期予算計画）に加え、Next Generation EU と称したコロナからの復興基金を設立した。本復興基金は欧州委員会が EU 名義で債権を発行し資金を調達するもので、規模としては 8,070 億ユーロ（2020 年時点でのインフレ率を加味）と前例のない金額である。2058 年までに順次返済の義務がある。これらが毎年の予算に組み込まれ、3,380 億ユーロが返済義務のない補助金、3,858 億ユーロがローンとなり、コロナ影響の緩和や回復を目的に RRF（Recovery and Resilience Facility: 復興レジリエンスファシリティ）として各国政府がアクセス可能になる。なお、差額の 831 億ユーロは他プロジェクトの財源として充てられる（図表 5.2.1 参照）。

今回策定された MFF + Next Generation EU の課題としては大きく 2 点挙げられる。

一つ目は、 MFF がほぼ現状維持となってしまい、「新たに増やすべき優先事項 / New and Reinforced Priorities」(気候変動対策の研究開発やイノベーション投資など) の割合が増やせていないことである。Next Generation EU から一部補填しているものの、これは一時的な基金であり持続性はない。

二つ目は、RRF がタイムリーに受給できないリスクを有することである。過去に緊縮財政を強いられたギリシャやスペインがタイムリーに予算を受給できるプロセスを求めた一方、オランダなどの西欧の倹約国は各国別に受給条件を設定するなど、より厳格なプロセスを主張した。その折衷案として、予算計画は特定多数決承認され、受給プロセスは 1 ヵ国でも反対すると受給を遅らせられる仕組みが定められた。時期、MFF 策定に向け、加盟国間で本来優先すべき事項の共通認識を醸成しつつ、Next Generation EU / RRF の運用においてはその承認・受給がリーズナブル、タイムリーに実行されるか注視していく必要がある。

図表 5.2.1 MFF + Next Generation EU の予算 [10 億ユーロ]



(出所) EC

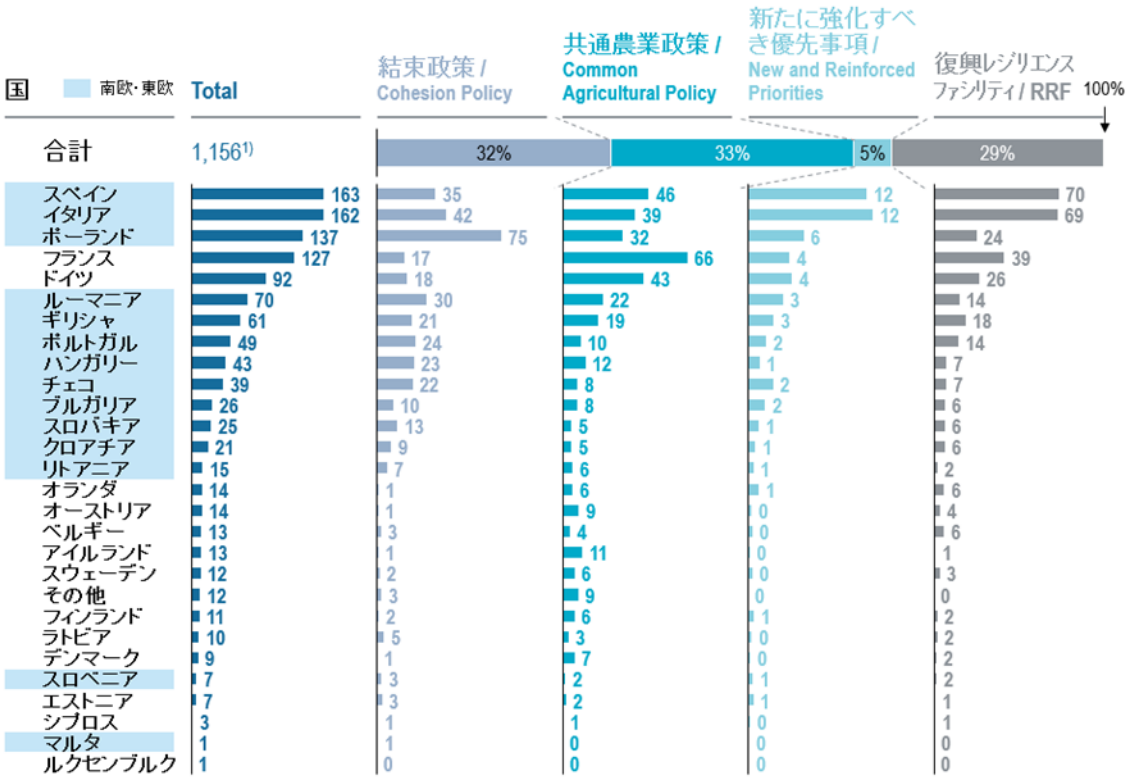
(2) 2021 年から 2027 年 MFF 予算編成と Next Generation EU

今回の MFF は 2021 年から 2027 年を対象にしたもので、2020 年に予算編成の議論がなされたため、コロナからの復興に向けた Next Generation EU の議論とタイミングが重なった。

MFF に関しては、結果的には現状維持に近く、前回の MFF から大きく変わっていない。従来 EU 予算の約 1 割を負担していたイギリスが EU から離脱したため、本来予算規模は縮小されるべきであるが、既得権益を維持したい EU 予算の純受益国である東欧・南欧加盟国から強い反発を受けた。EU の歳入となる加盟国拠出金は国の富裕度に応じて設定されるため平等である一方、EU 予算の恩恵は加盟国間で平等ではない。そもそも EU 域内の経済格差是正を目的にした結束政策 (Cohesion Policy) に予算の約 3 割が配分される上、農家の補助となる共通農業政策 (Common Agricultural Policy) も予算の約 3 割を占める。その結果、経済発展が比較的遅れた国、或いは農業中心の国が厚めに恩恵を受けてい

る。お金の流れとしては西欧から東欧・南欧に向かう構図になり、これが議論の対立を生んでいる。2020 年の議論においても、現状維持を望む東欧・南欧加盟国と、予算削減を望む西欧加盟国（特に倹約国として知られるオーストリア、オランダ、スウェーデン、デンマーク）の間で強い対立が生じた。EU をリードするドイツ、フランスは中立的な立場を取ったものの、対立は根強く 2020 年 2 月の特別欧州理事会は進展が無いまま終了した。そのような中、コロナの感染拡大が進み、ドイツ・フランスが Next Generation EU の設立を提案し、2021 年からの MFF 案と合わせて再度議論された。加盟国の反応を踏まえた修正や 2020 年 7 月 17 日から 21 日までの 5 日間にわたる長時間の議論の末、合意に達した。その後、2021 年 4 月に加盟国が Next Generation EU の RRF の使用計画を策定し、欧州委員会が内容を精査した後、2021 年 6 月に復興基金としての債権を発行し、200 億ユーロの資金調達に成功している（募集の 7 倍である 1,420 億ユーロの注文を集めた）。2021 年 7 月には、EU 16 ヵ国（オーストリア、ベルギー、デンマーク、フランス、ドイツ、ギリシャ、イタリア、ラトビア、ルクセンブルグ、ポルトガル、スロバキア、スペイン、クロアチア、キプロス、リトアニア、スロベニア）の RRF 使用計画が欧州理事会から承認された（図表 5.2.2 参照）。

図表 5.2.2　MFF + Next Generation EU の国別予算配分［10 億ユーロ］



（出所）EC

５．２．２　欧州における 2050 年までの水素需要と供給

（１）　水素経済に対する業界の注目度の高さ

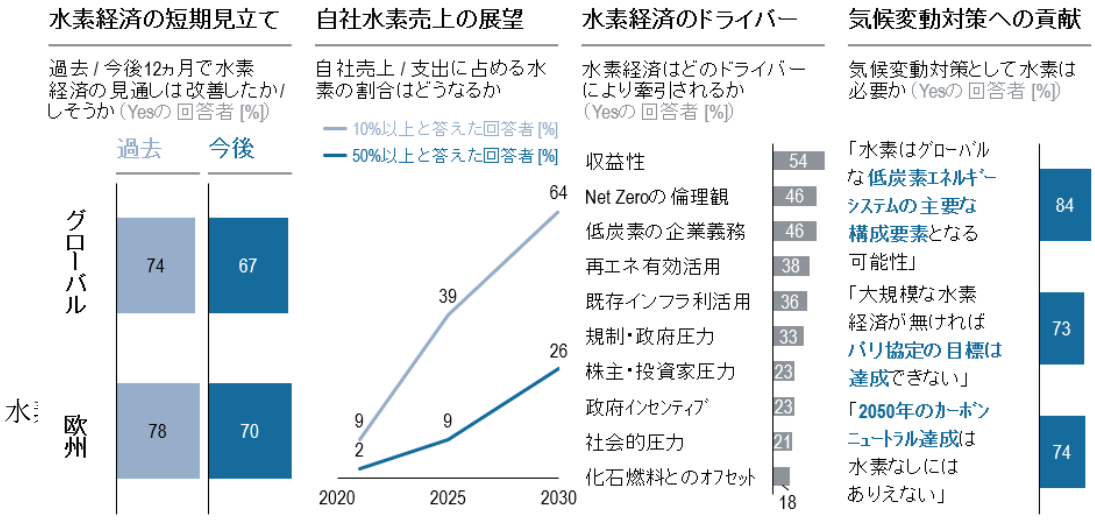
ここ 3 年ほどで水素経済に対する注目度が非常に高まっている。これまではエネルギー転換の話題の一つという位置づけであったが、欧州各国が 2050 年のカーボンニュートラ

ルの目標を設定し、その実現に向けたプランを策定していく中で、今後増大する再生可能エネルギーを有効活用し、石油燃料に代わる新たなエネルギー源として実現必須という見方が強まっている。

ノルウェーの環境に関する第三者認証機関 DNV は、2021 年 7 月に世界の水素経済に対する期待値を調査した「Rising to the Challenge of a Hydrogen Economy」を公表した。本レポートは、水素事業に関わる業界専門家 1,100 名に対するアンケート調査と複数の業界幹部へのインタビューに基づき作成されており、水素経済に対する現時点での現場の期待値が示されている（図表 5.2.3 参照）。

水素経済の短期見立てについては、約 7～8 割の専門家が、「過去 /今後 12 ヵ月で見立てが改善した/ しそう」と回答しており、足元で活発な水素経済の議論を反映している。また、アンケートに回答した専門家が属する企業の売上における水素事業が占める割合も 2030 年時点で 10%以上と考える専門家が約 6 割存在し、具体的な事業計画が一定規模で存在すると考えられる。低炭素規制などの圧力に加え、収益性が水素経済のドライバーになると考えている専門家が約半数おり、経済的に持続可能な形での事業が想定されている。パリ協定や 2050 年のカーボンニュートラル実現には、水素が必須と考える専門家も 7 割以上で、水素の重要性の共通認識化が進んでいる。

図表 5.2.3　水素経済に対する期待値

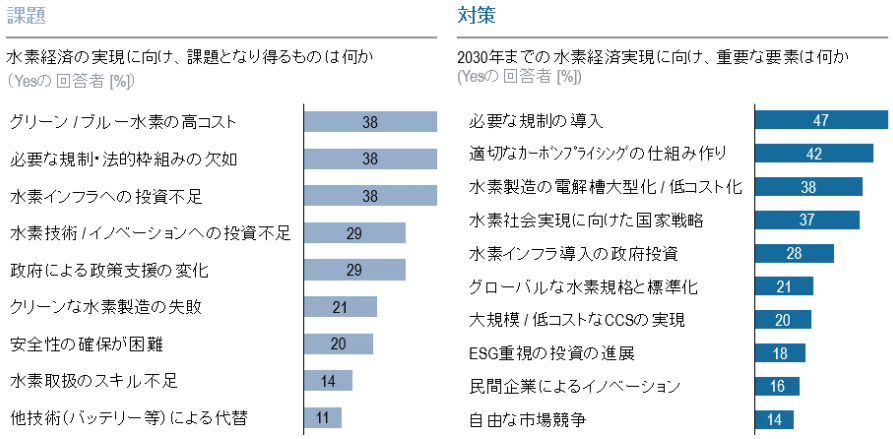


（出所）DNV "Rising to the Challenge of a Hydrogen Economy"

（2）　水素経済実現に向けた課題

グリーン及び ブルー水素の高コストや、足元の法的枠組みの欠如、水素インフラへの投資不足が強く認識されている。コストの削減に向けては、水素経済がスケールアップしていくことが大前提であるが、スムーズなコスト削減のためには需要と供給が同じ速度で拡大していく必要がある。必要な法的枠組みの中で需要側を成熟させていくことになるが、そのためには大規模なインフラ投資を実施していかなければならない（図表 5.2.4 参照）。

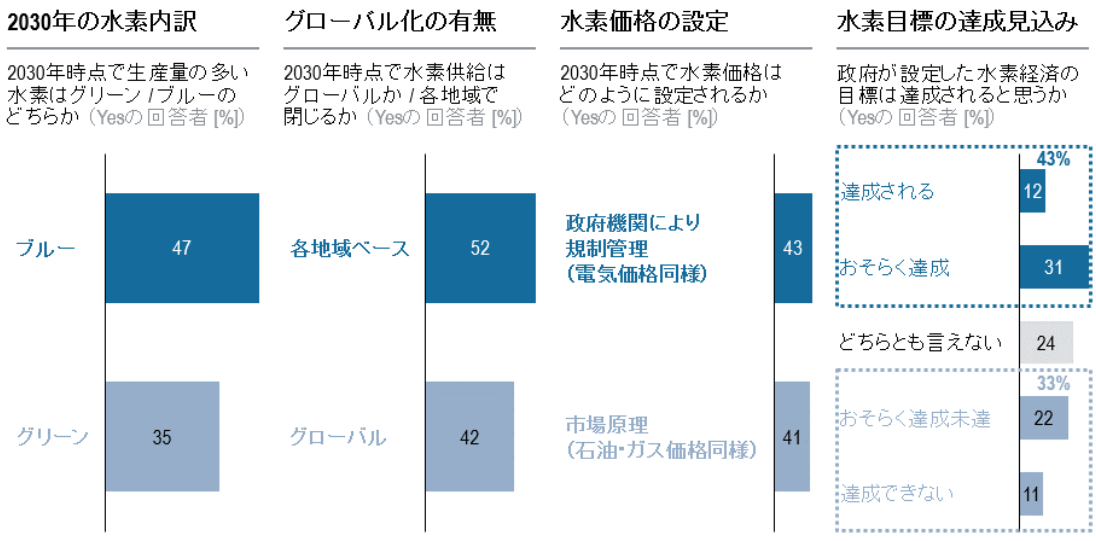
図表 5.2.4　水素経済実現に向けた課題と対策



（出所）DNV "Rising to the Challenge of a Hydrogen Economy"

実際の水素経済実現に向けた道筋としては、未だ見立てが大きく割れている状態であり、技術の発展や水素活用の枠組みが流動的であることを映している(図表 5.2.5 参照)。2030 年の水素内訳としては、ブルー水素の割合が多いと想定する専門家が若干多い。これは、ブルー水素が成熟すれば、グリーン水素よりも生産量が多くなるとの見立てに基づく。「水素の供給はグローバル・各地域ベースに行われるか、水素の価格設定は管理されるか、市場原理に基づくか」という点に関しては、専門家の間でもおよそ半々で意見が割れている。そんな中、政府が設定している水素経済の目標に関しては、約 4 割の専門家が達成可能と想定している。かなりチャレンジングな目標であるにも関わらず、前向きな捉え方が比較的多く、業界全体で水素経済を推進していく意思の表れと見ることができる。

図表 5.2.5　水素社会実現の道筋



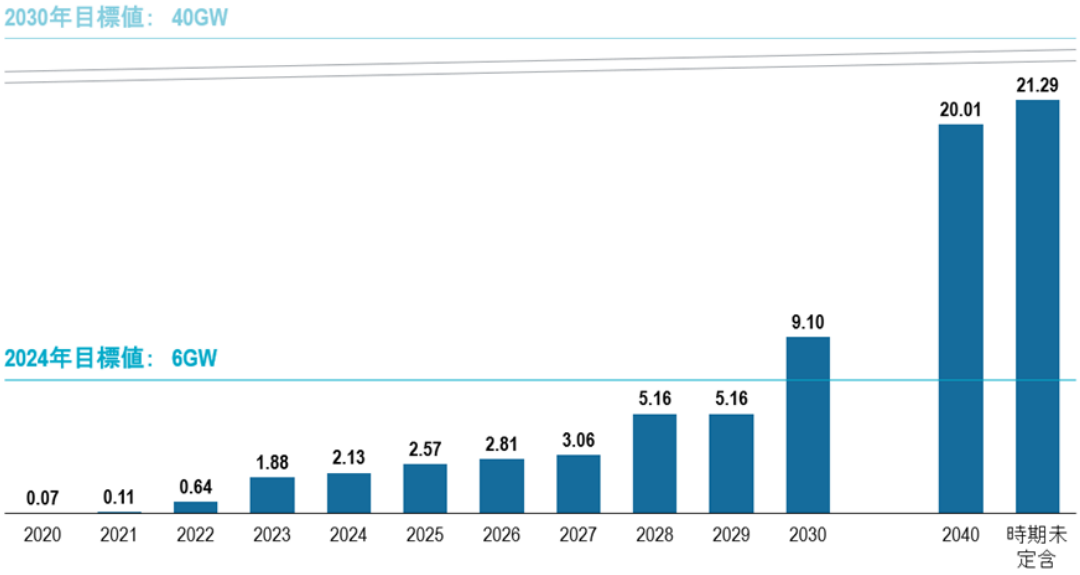
（出所）DNV "Rising to the Challenge of a Hydrogen Economy"

（３）　現在進行中、計画中のグリーン、ブルー水素プロジェクト

現在進行中のグリーン水素、PtH (Power to Hydrogen) プロジェクトは容量ベースで 70MW

と、2024 年目標の 6GW に対して 1%程度と非常に小さい。足元の PtH プロジェクトはグリッド接続されているものもあり、グリーンでないものも含まれるが、今後グリーンを見据えたプロジェクトであるためグリーン水素プロジェクトとしてカウントしている（図表 5.2.6 参照）。

図表 5.2.6　グリーン水素と PtH プロジェクト（累計）［GW］



（出所）Hydrogen Europe

図表 5.2.7　グリーン水素と PtH プロジェクト（各年）

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031以降	時期未定
稼働容量[MW]	70	45	523	1,241	252	434	248	248	2,100	0	3,940	10,910	1,278
PJ件数	11	21	16	22	9	9	1	2	5	0	5	5	45
平均容量[MW/件]	6	2	33	56	28	48	248	124	420	NA	788	2,182	28

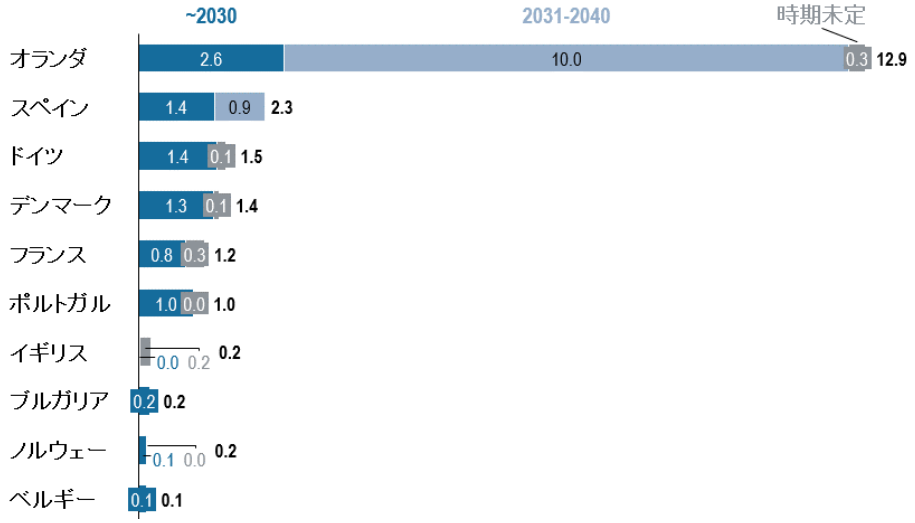
（出所）Hydrogen Europe

計画中のプロジェクトも、2030 年の目標値 40GW には程遠い。足元において、水素経済の国家戦略が組まれたばかりで、その実行に向けた実証試験レベルでのプロジェクトが遂行されている状況であり、そこでの技術確立やインフラ投資の動向を見極めつつ、大型プロジェクトを含めた将来計画が立案される見込みである（図表 5.2.7 参照）

国別のグリーン水素と PtH プロジェクトでは、オランダの 12.9GW（1,290 万 KW）が突出して多く、次いでスペイン、ドイツ、デンマーク、フランス、ポルトガルが約 1～2GW 程度のプロジェクトを打ち出している（図表 5.2.8 参照）。エネルギーソースの内訳を図表 5.2.9 に示す。

オランダは天然ガスのバリューチェーンの始点としてのポジションを確立しており、そのアセットを活かして水素チェーンでも強固なポジションを築くことを狙っている。2019 年時点で、総額 28 億ユーロ（約 3,640 億円）を投資して 2030 年までにグリーン・ブルー水素を商業生産する計画を打ち出し、2020 年 4 月にはドイツと並びクリーン水素戦略を発表し、水素経済の主導国となる方針を示している。
2021 年 6 月に発表した水素ネットワーク構築に関する調査報告書「HyWay27」では、既存の天然ガスパイプラインを水素用に転換することは安全面で問題なく、技術的に実現可能であることを結論付けるなど、他国に先んじて計画を進めている。

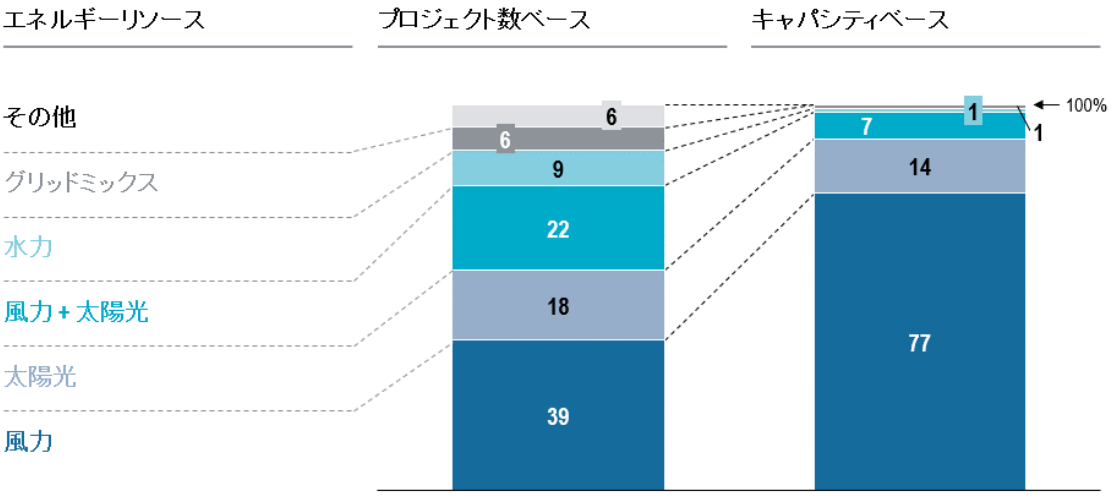
図表 5.2.8　グリーン水素 / PtH プロジェクト［MW］（国別）



（出所）Hydrogen Europe

電解槽のキャパシティベースでは風力発電が圧倒的に多いものの、プロジェクト数では風力に加え、太陽光や水力、グリッドミックスのものも多い（エネルギーソースを公表している約半数のプロジェクトに基づく）。これは、将来の大規模プロジェクトでは現状風力を中心に計画されているのに対し、足元ではキャパシティの小さな実証試験ベースのプロジェクトで多様なエネルギーソースにトライしていることが反映されている。

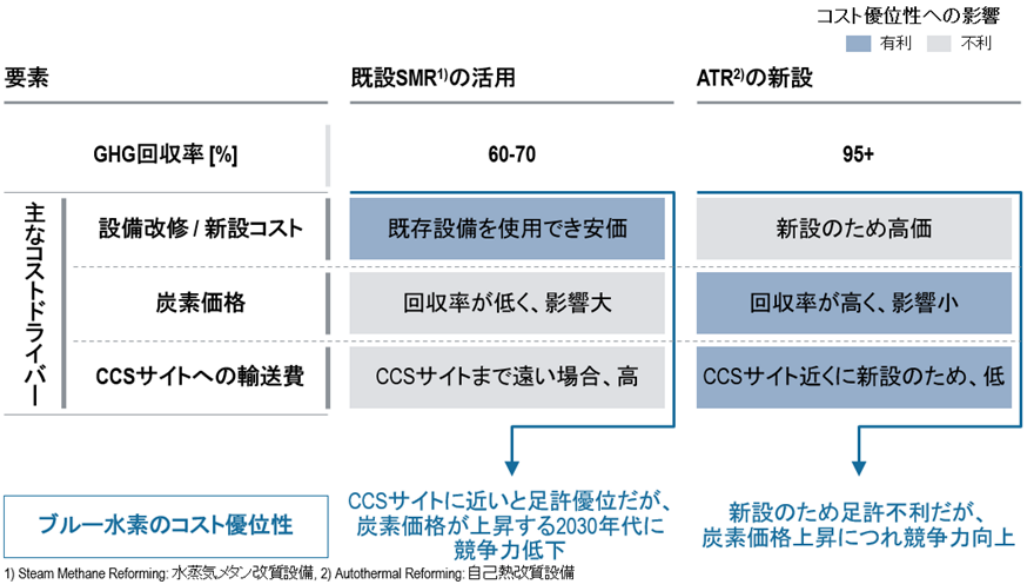
図表 5.2.9　グリーン水素プロジェクトのエネルギーソース内訳［%］



（出所）Hydrogen Europe

ブルー水素の製造は、既存の水蒸気メタン改質（SMR: Stream Methane Reforming）の　設備に CCS を追加し、GHG を 60～70%回収する「ブラウンフィールド」と、新設の自己熱改質（ATR: Autothermal Reforming）の設備で GHG を 95%以上回収する「グリーンフィールド」に分けられる（図表 5.2.10 参照）。

図表 5.2.10　ブルー水素のタイプ別コスト優位性

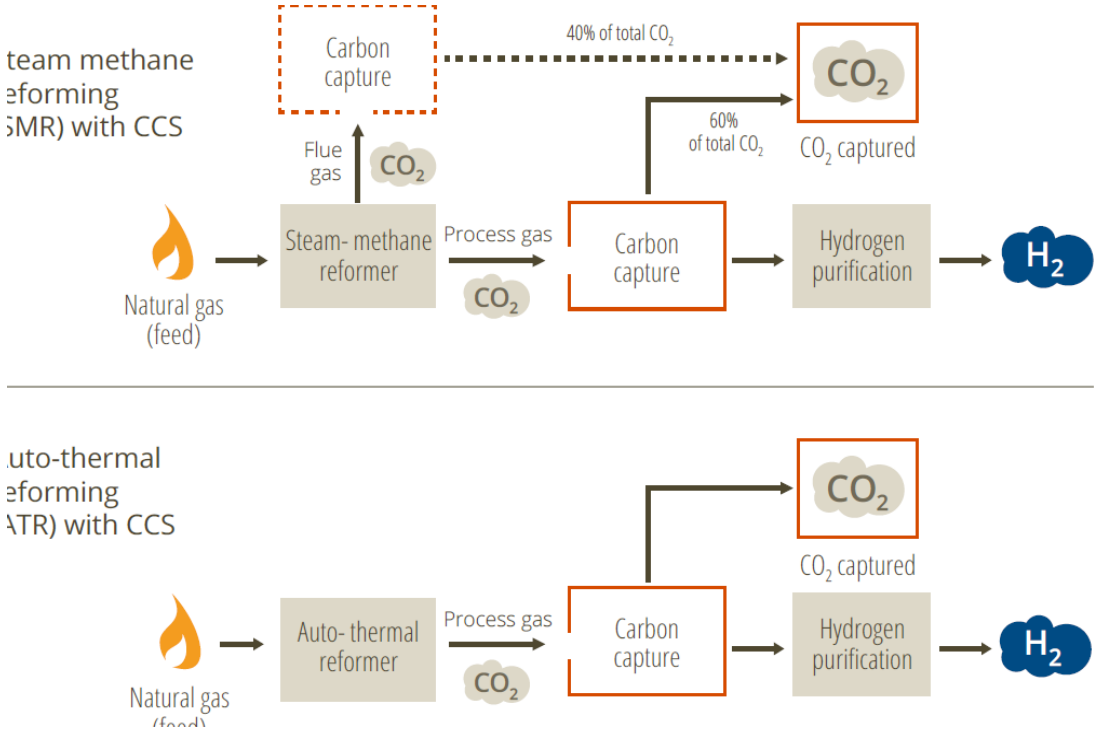


（出所）Gas for Climate

GHG の回収率の差は、SMR と ATR のプロセスの差に由来する。SMR におけるプロセスガス中に含まれる炭素は全体の約 60%で、残り 40%は炭素濃度の低い排ガスとして放出される。現在稼働している SMR プラントではこの排ガスに含まれる炭素を回収していないため、GHG 回収率が低い。他方、ATR における炭素はプロセスガス中にほぼ全て含まれており、

濃度も高い。従い、SMR で回収率を高めるよりも低いコストで回収率を高めることができる（図表 5.2.11 参照）。

図表 5.2.11　ブルー水素製造における炭素回収プロセスの違い



（出所）Pembina Institute

足許でコスト優位なブラウンフィールドでの導入も進むが、炭素価格が上昇する中長期を見据えてグリーンフィールドでのブルー水素製造が主流となることが想定されている。ブラウンフィールドの足元のコスト優位性の背景には、既存設備を使用可能なことがある。ただし、必ずしも CCS サイトに近いわけではないため GHG の輸送費が発生する場合もある他、GHG 回収率が低いため将来的に炭素価格が上がると優位性は低下する。

Gas For Climate の試算では、足許 270TWh/年の既存設備の内、約半数がブラウンフィールドとして使用されると仮定している。その他は、技術的には改修可能だが CCS サイトとの距離の問題でコスト優位性無し、と仮定した。

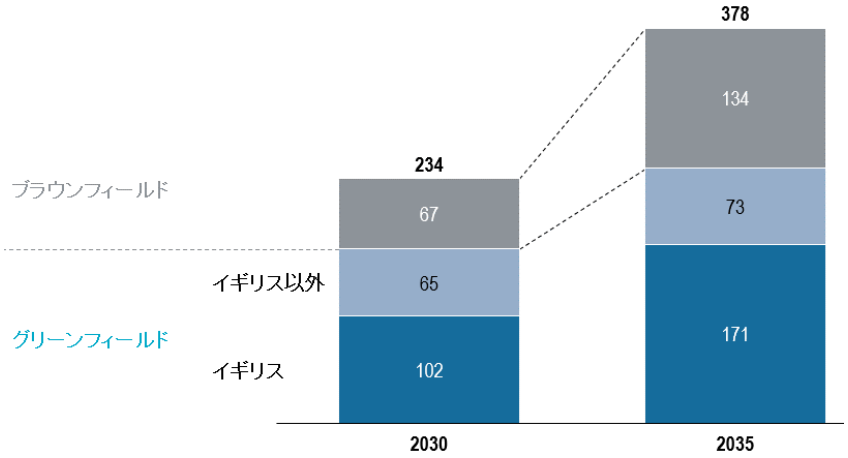
グリーンフィールドは、その逆で新設に伴う初期の設備投資は必要になるが、CCS サイト近くに新設することで GHG の輸送費が抑えられる他、GHG 回収率が高いため炭素価格上昇の影響が小さい。グリーンフィールドのサイトの例としては、海底 GHG サイトに近いオランダのロッテルダム港やイギリスのティーサイド港などへの新設が想定されている。将来的にコスト優位なグリーンフィールドによるブルー水素の現時点で計画されているプロジェクトの殆どがイギリスにある（図表 5.2.12 参照）。

イギリスは独自にカーボンニュートラル達成を目指している中で、CCS を使ったブルー水素を重要な要素と位置付けているのに対し、その他 EU では現時点でブルー水素の技術的、また規制上の位置づけが明確でないため、少数のプロジェクト計画にとどまる。

2030 年までに、イギリスでは 102TWh/年が計画されているのに対し、オランダでは 33TWh/

年、イタリアでは 23TWh/年、ドイツでは 9TWh/年のみで、その他の国では容量の発表がなされていない。今後の EU や各国の方針次第で内訳は大きく変わり得る。

図表 5.2.12　欧州におけるブルー水素プロジェクトの内訳［TWh/年］

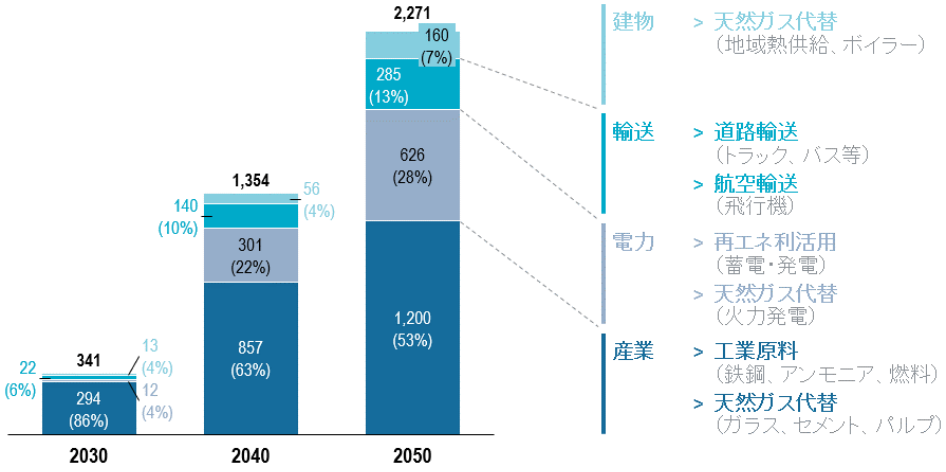


（出所）Gas for Climate

（４）　欧州全体のグリーン/ブルー水素需要見通し

欧州全体のグリーン/ブルー水素需要は 2030 年に約 300 TWh/年、2040 年に約 1,400 TWh/年、2050 年に約 2,300TWh/年が見込まれている。2030 年時点では既にグレー水素が使用されている約 9 割が産業用途だが、電力、輸送、建物向けの用途も徐々に拡大し、2050 年時点では産業が約 50%、電力が約 30%、輸送と建物が各々10%を占める見込みである（図表 5.2.13 参照）。

図表 5.2.13　欧州におけるグリーン/ブルー水素需要内訳[TWh/年]

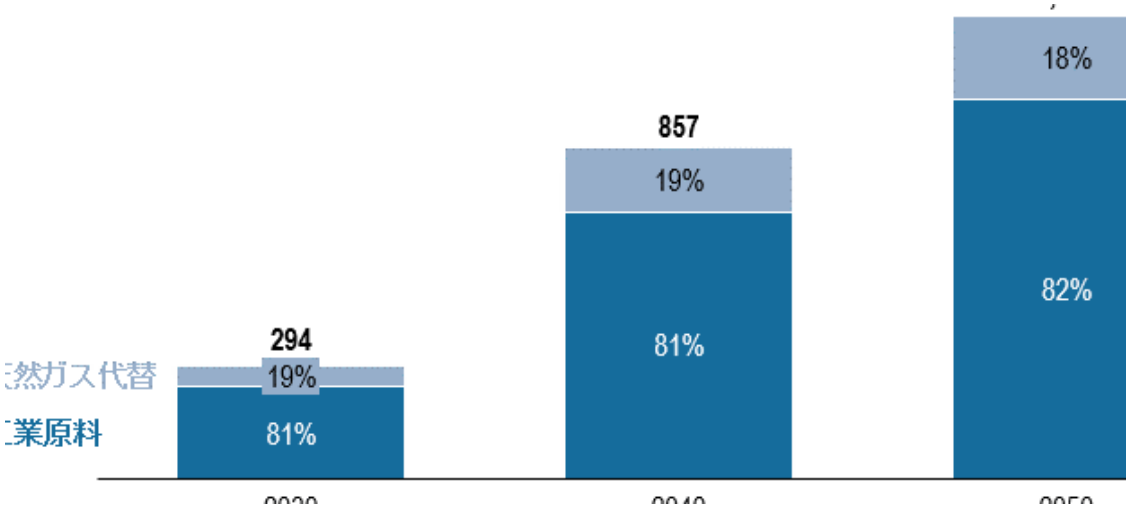


（出所）EHB

産業用途では、主に工業原料や製造における熱プロセスで使用される天然ガス代替としての需要が見込まれる（図表 5.2.14 参照）。

工業原料として、既に鉄鋼やアンモニア、燃料製造においてグレー水素が使用されており、今後も産業用途の需要の約 8 割を占める。天然ガス代替としては、ガラスやセメント、パルプなどの中高温を必要とする熱プロセスにおける使用が期待されており、需要の約 2 割を占める見込みである。

図表 5.2.14　欧州の産業セクターにおけるグリーン・ブルー水素需要内訳［TWh/年］

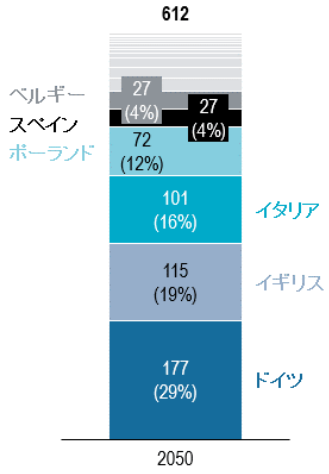


（出所）EHB

電力用途では、今後成長する再生可能エネルギーの発電の変動を吸収することや、火力発電における天然ガス代替としての需要が見込まれる。再生可能エネルギーの調整としては、電力が供給過剰となるタイミングでは水素としてエネルギーを貯蔵することが期待され、中長期的には燃料電池として水素による発電の可能性もある。
天然ガス代替としては、ガス焚きの火力発電所において使用されている天然ガスの一部、あるいは 100%を水素に代替することが検討されている。既存アセットを有効活用することができるため、ガス発電の多いドイツ、イギリス、イタリア、ポーランド、スペイン、ベルギーで特に多くの需要が見込まれる（図表 5.2.15 参照）。

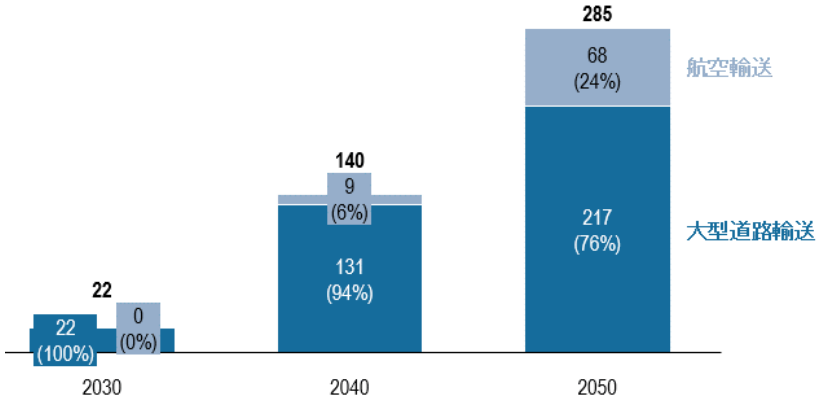
輸送用途では、主にトラックやバスなどの大型道路輸送と航空輸送の燃料としての使用が期待されている（図表 5.2.16 参照）。
道路輸送においては、その目的に応じて必要なエネルギー密度が水素化の有無を分けると考えられており、荷物が軽く移動距離も短いために多くのエネルギーを必要としない乗用車や小型車は電動化により比較的容易に脱炭素化が進められる一方、荷物が重く移動距離も長いトラックやバスはエネルギー密度が高くチャージ時間も短い水素による脱炭素化が進む見込みである。
航空輸送においては、短距離用で直接水素を消費する航空機が開発される可能性があるが、足元開発中の技術であり、実用化は 2035 年以降である。
2050 年時点で航空用エネルギー需要の約 10%を占めることが期待されている。航空輸送の脱炭素化は主にバイオ燃料や合成燃料など、燃料のサステナブル化で実現される見込みであるが、これらは産業用途の工業原料及び燃料に含まれる。

図表 5.2.15　欧州の電力セクターにおけるグリーン / ブルー水素の国別需要［TWh/年］



（出所）EHB

図表 5.2.16　欧州の輸送セクターにおけるグリーン・ブルー水素需要内訳［TWh/年］

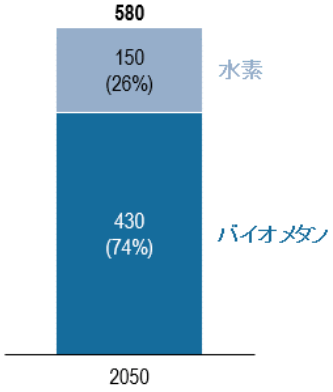


（出所）Gas for Climate

船舶用途においては、現時点では水素の直接使用は余り検討されていない。内航船などの移動距離の短い船は主に電動化による脱炭素化が、長距離・大型船はバイオ LNG などの燃料のサステナブル化による脱炭素化が計画の中心である。しかし、今後研究開発が進む中で水素のエネルギー密度がフィットする用途が登場する可能性もある。

建物用途として、地域熱供給やボイラーにおける天然ガス代替としての水素利用が検討されている。しかし、本用途は既存のガス管、メーターなどをそのまま活用可能であるために、バイオメタンが有望とされており、水素が占める割合は少ない。現時点ではバイオメタンが得られない地域などでの水素利用が検討されている（図表 5.2.17 参照）。

図表 5.2.17　欧州の建物セクターにおける再生エネルギーガス需要内訳［TWh/年］



（出所）EHB

（５）　「European Hydrogen Backbone(EHB)」の最新の進捗状況

Gas for Climate は、2020 年 7 月に欧州の水素パイプラインネットワークである European Hydrogen Backbone（EHB）構想を発表、その後、2021 年 4 月にそのアップデート版が提示された。主なアップデートポイントは大きく 3 つである（図表 5.2.18 参照）。

一つ目は地域スコープである。2020 年版が 10 ヵ国（EU 9 ヵ国 + スイス）で検討されたのに対し、2021 年版では 23 ヵ国（EU21 ヵ国 + イギリス、スイス）に拡張されている。追加された国は、イギリス、アイルランド、フィンランド、エストニア、中央・東欧諸国である。これに伴い EHB に加盟したガスインフラ企業も 11 から 23 社に増加している。

二つ目は EHB 構想においてビジョンとして示された 2040 年時点の総パイプライン距離である。地域スコープが増大したことに主に起因するが、2020 年版で 23,000km を想定していたのに対し、2021 年版では 39,700km とほぼ倍に拡張されている。

三つ目はそのビジョン実現に向けて必要な初期投資や運用コストの試算である。2020 年版では初期投資 270～640 億ユーロと想定されていたのに対し、2021 年版では 430～810 億ユーロ（約 11 兆円）と、総パイプライン距離が倍増した割に投資額はそれほど大きくなっていない。それに伴い、1km 当たりの投資額は減少すると見込まれている。これは、2020 年版ではパイプライン直径を全て 48 インチと仮定していたのに対し、2021 年版では初期投資が相対的に安価な 24～36 インチのパイプラインも検討したためである。運用コスト（輸送コスト）は、水素 1kg を 1,000km 運ぶのに 2020 年版では 0.09～0.17 ユーロと見積もられていたのが、2021 年版では 0.11～0.21 ユーロに微増している。これもパイプライン直径の前提が変更となったことに起因する。

図表 5.2.18　EHB の主なアップデートポイント

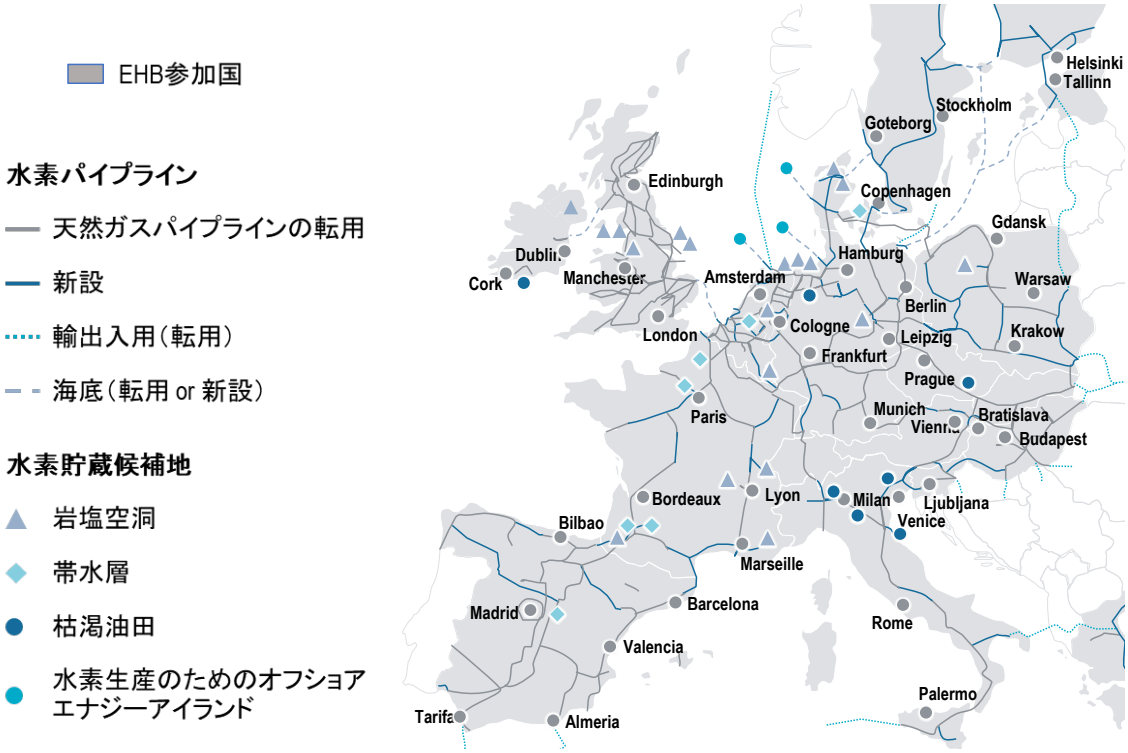
項目		2020	2021
地域スコープ	国	10	21
	加盟ガス会社	11	23
ビジョン	総パイプライン距離 [km @ 2040]	23,000	39,700
必要投資・運用コスト	2040年までの投資総額 [EUR b]	27-64	43-81
	1km当たり投資 [EUR m]	1.2-2.8	1.1-2.0
	天然ガスパイプのリユース率 [%]	75	69
	1kg当たり1,000km輸送コスト [EUR]	0.09-0.17	0.11-0.21

（出所）European Hydrogen Backbone

2040 年時点では北欧、イギリス・アイルランドを含む西欧から南欧、東欧と欧州全体がパイプラインで繋がり、再生可能エネルギーの生産地から需要地への効率的な輸送が可能になる（図表 5.2.19 参照）。
これは欧州域内での水素の融通に加え、欧州周辺国、あるいは他大陸からの輸入した水素を欧州全域に広めることを可能にする。例えば、スペインとフランスの間は 2 つのパイプラインで接続されており、再生可能エネルギー資源の豊富なスペインや北アフリカからの大規模な水素の流通が想定されている。欧州全体における水素調達及び供給安定性の確立は、水素経済の実現に大きく貢献する。

拡張された EHB 構想として、2030～2040 年の水素インフラのビジョンが示されたことに加え、一部地域で具体的な連携の議論が始まっている。例えば、デンマーク、ドイツ、オランダの電力とガスの TSO（Transmission Service Operator：送配電事業者）が、オフショアでの国際ハブアンドスポークとなる水素インフラ構築に向けた議論を開始している。さらに、オランダ・ドイツの TSO である Gasunie は、RWE や Shell, Equinor と共同で北海の海上に 300MW の電解槽を建設し、洋上風力発電から水素を生産する計画のフィージビリティスタディを開始している。生産した水素はパイプラインを通じてドイツのヘリゴランド諸島に輸送される計画で、2028 年までに供給開始の予定である。今後、EU 加盟国だけでなく、イギリス、スイス、その他周辺国とも緊密に連携しながら、より具体的なタイムラインやインフラ構築の計画を策定し、その実行に向けた政策支援や規制の枠組みの構築と企業連携を進めていく。

図表 5.2.19　2040 年の水素パイプラインの広がり



（出所）European Hydrogen Backbone

（6）　ドイツ政府による国家水素戦略の骨子と海外水素ハブ構築、予算

ドイツは、2020 年 6 月に「国家水素戦略」を発表した。世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べ 2 度より十分低い 1.5 度以内に抑えることを目指し、GHG 削減に貢献する再生可能エネルギー由来のグリーン水素を工業や交通、その他分野で活かしていくというものである。グリーン水素経済への移行に向けては CCS によるブルー水素も重要な役割を果たすと見ており、それらの生産から輸送・利用のためのインフラ整備、需要の創出まで水素バリューチェーン全体を支援していく。水素を本格的に普及させるには規模拡大による経済性の確立が肝であるため、地域で足並みをそろえて需要と供給を拡大していく必要があり、そのための欧州域内での国際連携も戦略に含まれている。

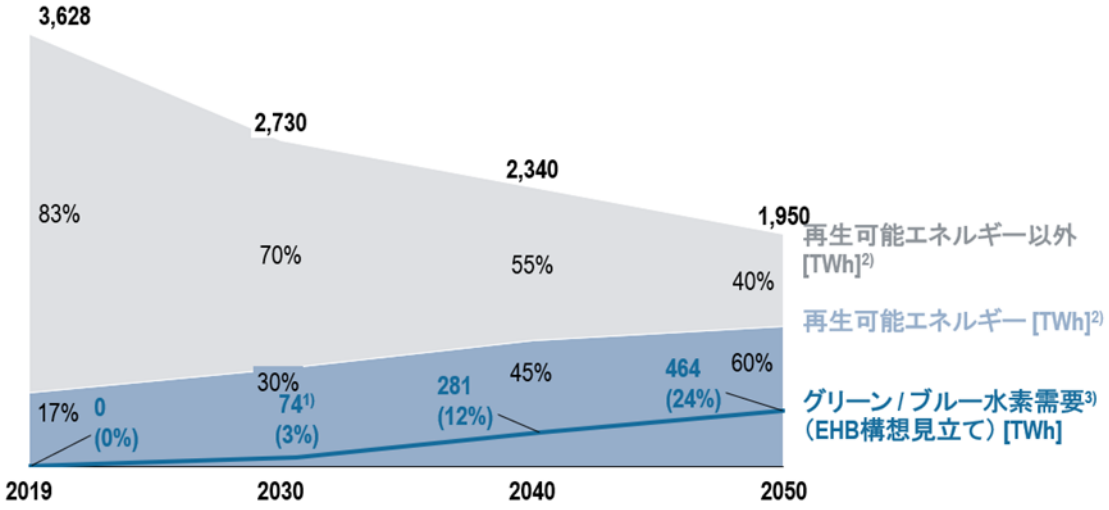
また、実際水素需要が拡大するとドイツ・欧州域内では十分なグリーン及びブルー水素が供給できないと見立てており、北アフリカを始めとする他大陸との連携も進めていく計画である。

ドイツの国家水素戦略における具体的なグリーン・ブルー水素需要の見込みは、2030 年の 90～100TWh までしか記載されていない。2030 年時点の一次エネルギー消費量に対して約 3%の量となる見込みである。他方、EHB 構想におけるドイツのグリーン・ブルー水素需要予測では、2030 年約 70TWh，2040 年約 280TWh，2050 年約 460TWh と想定されており、それぞれ一次エネルギー消費量に対し、3%、12%、24%の量であり、中長期的に水素が極めて重要な役割を果たすことが理解できる（図表 5.2.20 参照）。

本試算の留意点として、一次エネルギー消費削減率・再生可能エネルギー導入シェアは、2050 年のカーボンニュートラルを目標としていた 2020 年の NCEP 承認時の計画に基づいているため、今後 2045 年のカーボンニュートラル実現に向け、エネルギー消費削減率が

引き上げられると値が変わってくる。

図表 5.2.20　ドイツの一次エネルギー消費に対するグリーン・ブルー水素の割合



1)ドイツ国家水素戦略による試算では90-100TWh, 2) 2020年のNCEP承認時の目標値, 3) 試算した一次エネルギー消費量全体に対する割合

（出所）National Hydrogen Strategy, EHB, BMWi, BP

ドイツの国家水素戦略実行に向けた予算は、現時点で総額 120 億ユーロ以上（約 1.6 兆円）であり非常に手厚い（図表 5.2.21 参照）。

図表 5.2.21　ドイツの水素関連予算

ドイツの国家水素戦略に伴う予算

プロジェクト名	資金提供の狙い	予算 [EUR m]	期間
Package for the future	ドイツにおける水素技術を活用した製品ローンチのスピードアップ支援	7,000	未定
	水素調達に向けた国際パートナーシップの醸成支援	2,000	未定
National Innovation Programme on Hydrogen and Fuel Cell Technology	水素や燃料電池の市場創発に向けた開発や実行支援	1,400	2016-2026
Germany's decarbonisation programme	産業における製造プロセスでの脱炭素化に向けた水素使用の促進とその技術投資	1,000	2020-2023
Regulatory Sandboxes for the Energy Transition	特に水素ソリューションに対するラボスケール技術の市場での実用化スピードアップ支援	600	2020-2023
Energy Research Programme	グリーン水素の実用化に向けた基礎研究の強化支援	310	2020-2023
	水素技術の実用化に向けたエネルギー研究の強化支援	200	2020-2023
	合計	12,510	

（出所）The National Hydrogen Strategy

2020 年 6 月のドイツ国家水素戦略と同時に"Package for future"として発表された合計 90 億ユーロが約 8 割を占め、ドイツの本気度が伺える。この 90 億ユーロの内、20 億ユーロが国際パートナーシップの醸成支援として充てられており、将来のグリーン水素需要

に対し、国内で生産できない分を欧州域外も含めた海外から調達していく体制を構築していく計画である。

図表 5.2.22　ドイツ各州個別の水素戦略策定状況

州	GDPシェア[1] [%]	強い産業	目指すポジション	政策支援
ノルトライン＝ヴェストファーレン	20.8	> 機械・エンジニアリング > 鉄鋼、化学、セメント	**水素経済における設備・部品のリーディングポジション**	> 水素・燃料電池の開発・製品化支援 > 産業のGHG排出減に向けた実証支援
バイエルン	18.5	> 自動車 / 部品 > 情報通信 > ガス・エンジニアリング	**脱炭素化した自動車産業における**リーディングポジション	> 水素充填インフラ開発の助成 > 燃料電池・モーター等の開発支援
バーデン＝ヴュルテンベルク	15.1	> 自動車 > 自動車部品	**水素経済における設備・部品の**リーディングポジション	> グリーン水素モデル地域創設の助成 > 燃料電池開発支援 > FCV実証試験支援
ニーダーザクセン[2]	8.7	> 物流（海運等）	水素経済における**生産 / 輸入・貯蔵・各地への輸送拠点**	> グリーン水素技術の実証試験支援
ヘッセン	8.6 上位5州で約7割	> 化学・医薬品 > 自動車 / 部品 > 機械・エンジニアリング	（州独自の水素戦略は**未策定**）	> 水素・燃料電池のR&Dネットワーク支援 > 水素モビリティ（商用車・鉄道・航空）の実証試験支援

1) 2018年, 2) 北部5州共同で独自の水素戦略を策定（ハンブルク、シュレスヴィヒ・ホルシュタイン、メクレンブルグ・フォアポンメルン、ブレーメン）

（出所）州政府発表資料，JETRO

これら国家水素戦略を踏まえ、一部の州政府は独自の水素戦略を策定している（図表 5.2.22 参照）。ドイツの GDP の約 7 割を占める上位 5 州の内、ヘッセン州以外は独自の水素戦略を発表している（ニーダーザクセン州は北部 5 州共同で水素戦略を発表）。各々の州の強い産業を活かし、今後水素経済が発展していく中での目指すポジションを定め、その実現に向けた政策支援を用意していることが読み取れる。

例えば、機械・エンジニアリング産業が盛んなノルトライン＝ヴェストファーレン州では、直接的な水素の生産というよりは、圧力タンクやコンプレッサー、ガスタービンなどの設備や部品でのリーディングポジションを目指し、その開発・製品化や広い産業を対象にした実証試験を支援している。

自動車産業の盛んなバイエルン州では、脱炭素化した自動車産業でのリーディングポジションを目指し、燃料電池やモーターの開発支援や、水素充填インフラ開発の支援を進めている。

他方、ニーダーザクセン州は、製造業というよりは海に面した地の利を活かし、水素経済における生産＋輸入とその貯蔵から輸送までの水素ロジスティクス拠点としてのポジションを目指し、一連の実証試験を支援する。

ヘッセン州も独自の水素戦略こそ策定していないが、2002 年から先進的に水素・燃料電池の R&D ネットワークを支援してきた他、商用車や鉄道、航空の水素モビリティ実証試験の支援を行っており、州の方針としては国家水素戦略に沿っていると述べている。

国家水素戦略の具現化のための実証試験支援も兼ね、2019 年にドイツ連邦経済エネルギ

一省（BMWi）がエネルギー転換のための第一回アイデアコンテスト"Reallabore der Energiewende"を実施し、90 の応募の中から 20 のプロジェクトを選定した（図表 5.2.23 参照）。

図表 5.2.23　ドイツ各地で進められる実証試験の概要

地域熱供給とエネルギー利用の最適化
水素生産とセクターカップリング

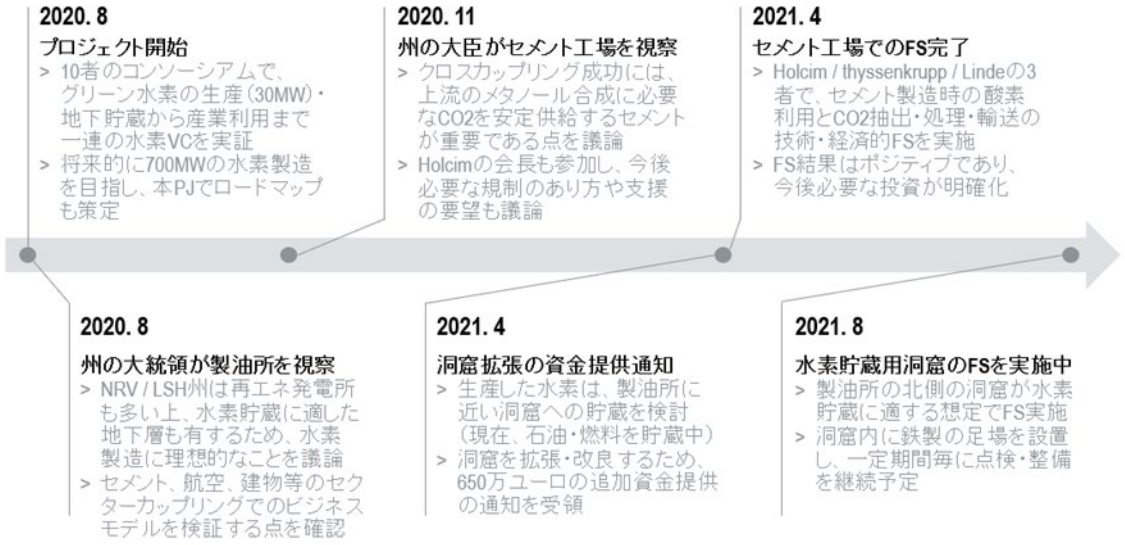
プロジェクト名	期間	予算 [EUR m]	リード組織	実証スコープ	実証内容
Norddeutsches Reallabor	2021/4-2026/3	52	CC4E		> 水素 / 他工場の副産熱の暖房利用 > 天然ガスと水素の混合利用 等
Energiepark BadLauchstädt	2021/9-2026/8	34	VNG AG		> 陸上風力による電解（30MW）、貯蔵 > 天然ガスインフラ活用 等
DELTA	2021/5-2026/4	33	ダルムシュタット工科大学と産業パートナー	大都市	> 工業・商業・住宅と電気・熱・ガス・通信・交通等連携による需給最適化
Westküste 100	2020/8-2025/7	30	Raffinerie Heide GmbH		> 洋上風力による電解（30MW）、貯蔵 > 副産熱の暖房利用、e-fuel製造 等
Reallabor GWP	2021/4-2026/3	21	TAGFW-ProjektGmbH-（AGFWの会社）	中～大都市	> 経済・規制の枠組み検討 > 大規模ヒートポンプによる地域熱供給
SmartQuart	2020/1-2024/12	20	innogy SE	農村・小～大都市	> 冷暖房やモビリティとグリーン水素 / 電力連携による需給最適化
TransUrban.NRW	2020/5-2025-4	17	E.ON Energy Solutions GmbH	中～大都市	> 地域熱供給・モビリティと住宅太陽光を含む電力連携による需給最適化
H2-Wyhlen	2021/1-2025/12	14	Energiedienst AG		> 水力による電解（10MW） > 副産熱活用、産業での水素利用 等
IW3	2020/8-2024/7	12	Hamburg Energie GmbH	大都市	> 地熱発電を含む電気・熱とモビリティをVPP経由連携させ需給最適化

（出所）BMWi

その内 9 のプロジェクトは既に開始されており、水素生産とセクターカップリングに関する実証試験は 2020 年 8 月に第一プロジェクトとして開始された Westküste100 を含め、4 つが動き出している。いずれも水素の生産から利用までのバリューチェーン全体を限られたスケール・地域で実証していくものである。

Westküste100 は、プロジェクト開始から約 1 年が経過し、セクターカップリングや水素貯蔵に関する FS が進んでいる（図表 5.2.24 参照）。Holcim のセメント工場における製造時の酸素利用（水素生産の副産物有効活用）や、大規模に排出される CO2 の（メタノール合成のための）効率的抽出・処理・輸送に関する FS は、いずれも良好な結果が得られており、更なる検証・実装に向けた必要投資を議論するフェーズにある。水素貯蔵に関しては、2021 年 4 月に洞窟拡張のための追加資金 650 万ユーロが認められ、現在石油・燃料を貯蔵しているハイデ製油所の北側の洞窟が貯蔵の候補として FS を継続している。

図表 5.2.24　Westküste （西海岸）100 プロジェクトの進捗状況



（出所）Westküste100

水素火力発電に関しては、ライプツィヒ・シュタットベルゲが SIEMENS の水素併用可能なガスタービンの導入を決めている他、Uniper のウィルヘルムスハーフェン発電所が同所での石炭火力発電停止後に水素火力への改修を決めている（図表 5.2.25 参照）。ライプツィヒは、北部に化学産業を有し、ドイツで最大の水素消費地域の一つである。したがって、カーボンニュートラル施策の中でも特に水素に注力し、LHyVE（Leipzig Hydrogen Value chain for Europe)というセクターカップリングの構想を立ち上げ、IPCEI （Important Projects of Common European Interest)の対象の最終候補にノミネートされている。2020 年にはライプツィヒ・シュタットベルゲが新設を予定している地域熱供給の発電所に SIEMENS 製の水素併用可能なガスタービンの導入を決定した。2022 年の第一四半期に納入され、同年第四四半期に商業運転を開始する予定である。当初は天然ガスで運転を開始するも、徐々に水素の混合割合を増やしていき、長期的には 100%グリーン水素での運転を目指している。

ウィルヘルムスハーフェンは、ドイツ北部の海上輸送に適したロケーションで、Uniper は同所にある石炭火力発電所の敷地内に LNG の輸入ターミナル建設を検討していた。しかし、ドイツがカーボンニュートラルに向けた動きを強める中、将来的に十分な LNG 需要が見込めないと判断し、SIEMENS や GE と Uniper が保有する発電所の脱炭素化の検討を進め、輸入水素が活用し易い、かつ同エリアでの電力需要が見込めるウィルヘルムスハーフェンが水素火力発電に適した場所と評価した。2022 年の石炭火力発電所停止後に、水素火力発電への改修を計画している。

なお、SIEMENS と GE 以外の水素火力発電タービンのメジャーサプライヤーとして、三菱パワー（旧三菱日立パワーシステムズ）や Ansaldo Energia が挙げられるが、いずれも公開している範囲ではドイツでの水素火力発電は見られない。一方、オランダ、アメリカなどの他国では展開している。ただし、SIEMENS と GE も含め、公開されていない案件も多数存在することが公言されており、経験・実績は積んでいると考えられる。

図表 5.2.25　ドイツでの水素火力発電導入事例

	ライプツィヒ・シュタットヴェルゲ	Uniper
導入発電所	地域熱供給発電所	ウィルヘルムスハーフェン発電所
ガスタービンメーカー	SIEMENS	未定（SIEMENS・GEと協議中）
導入経緯・進捗	> ライプツィヒは、石油精製 / 化学の工場を有し、ドイツ最大の水素消費地域の1つ > カーボンニュートラルの取り組みの中、特に水素に注力し、地域熱供給の発電所に水素併用可能なガスタービン導入を決定 > 2022年後半から天然ガスで運転を開始し、徐々に水素の混合割合を増やしていき、長期的には100%グリーン水素での運転を目指す	> Uniperは、従来北部地域で海の便の良い同所にLNG輸入ターミナル建設を検討 > 2020年10月FSにおいて長期的なLNG需要が見込めないと判断し、他用途を検討 > SIEMENSやGEと水素火力発電の検討を進める中、輸入水素が活用可能 / 地場での電力需要も見込める同所が水素火力に適した場所と評価 > 2022年の石炭火力発電停止後、水素火力発電への改修を計画中

（出所）SIEMENS, GE, Leipzig (LHyVE), Uniper

将来的に水素経済が立ち上がってくると、ドイツ国内と欧州域内では実際の水素需要に対して十分なグリーン・ブルー水素の供給が難しいため、ドイツは他大陸からの調達を検討している。そのための国際的なパートナーシップ確立に向けた協議を既に開始しており、5ヵ国以上の政府と覚書を締結している（図表 5.2.26 参照）。

図表 5.2.26　ドイツによる欧州域外からのグリーン水素調達に向けた動き

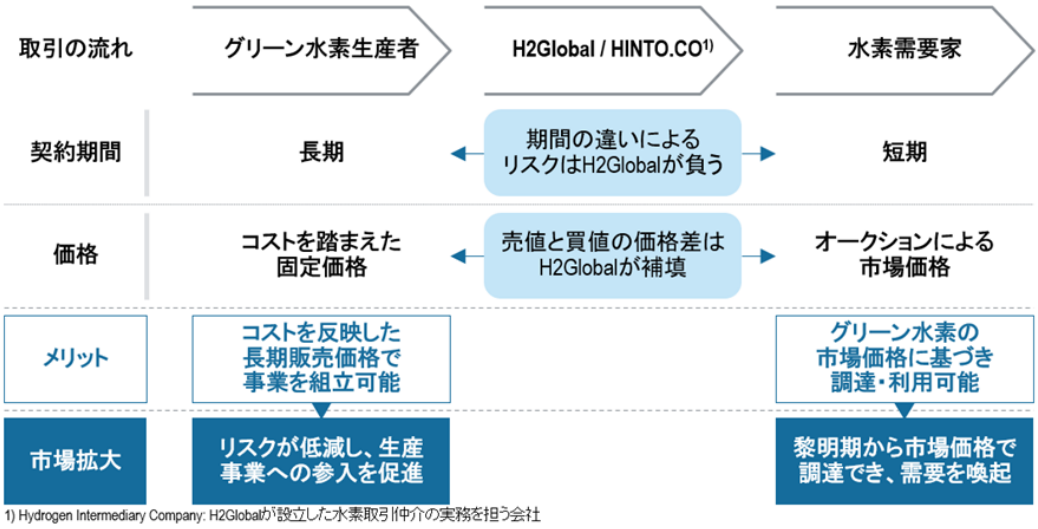
交渉の経緯	国	調達に向けたステータス	ドイツによる支援
2020年6月：覚書締結 2021年5月：覚書停止	モロッコ	西サハラ問題で、米国と異なり従来姿勢のドイツに対抗し水素協定停止	グリーン水素製造の実証試験支援と現地への知識移転・スキル向上
2020年9月：覚書締結 2021年6月：覚書更新	オーストラリア	共同でのFSを終え、"Hydrogen Hub"として共同研究や実証試験を計画	パートナーシップのため、最大5,000万ユーロ支援
2021年3月：覚書締結	サウジアラビア	4GWの再エネで水素を製造（NEOM）を含む実証試験を計画	水素技術・運用や規制に関する知識移転
2021年3月：覚書締結	カナダ	パートナーシップでの具体的な協力内容は協議中 （G20の国際エネルギーフォーラムでの協力方針確認のみ）	
2021年6月：覚書締結	チリ	グリーン水素の作業部会の中で投資・提携・プロジェクト機会特定中	実証試験プロジェクトにドイツ政府がSIEMENSを通じ800万ユーロ出資
2021年8月：覚書締結	ナミビア	実行可能性調査の後、実証試験プロジェクトや現地水素専門家を育成	パートナーシップのため、最大4,000万ユーロ支援

（出所）Reuters, 政府発表

現時点では覚書を締結したばかりであり、各国でのグリーン水素生産・貯蔵・輸送に関す

る FS や実証試験の支援を行っているフェーズである。必要に応じて"Package for the future"の国際パートナーシップ醸成支援の予算が活用される。
モロッコに関しては、2021 年 5 月に覚書は停止となっている。これは、西サハラ問題において、2020 年 12 月に米国が西サハラ地域に対するモロッコの主権を認めたのに対し、ドイツが国連と足並みを揃えて従来同様「同地域の住民投票によって決定すべき」とのスタンスを維持していることに、モロッコ政府が反発したものである。
オーストラリアからの調達では、ドイツのグリーン水素市場の立ち上げ支援プログラムである H2Global の活用も検討されている。H2Global は、水素市場の黎明期において、グリーン水素生産者と需要家の間に入り、双方にとって有利になるような契約期間や価格スキームを提供するものである。契約期間については、生産者と H2Global 間では長期で、H2Global と需要家間では短期で締結する（図表 5.2.27）。

図表 5.2.27　H2Global のスキーム



（出所）H2Global

価格については、生産者と H2Global 間ではコストを踏まえた長期価格で、H2Global と需要家間ではオークションによる市場価格で販売する。なお、契約期間の違いによるリスクや、売値と買値の価格差については H2Global がカバーする。
このようなスキームを組むことで、グリーン水素の生産者にとっては、コストを反映した長期販売価格を基に事業計画を立てられるというメリットが生じる。結果、販売時の価格リスクが低減するためグリーン水素の生産事業への参入を促すことができ、水素の需要家にとっては、黎明期から、初期コストが織り込まれた高値でなく、オークションによる市場価格で調達できるというメリットが生じる。その結果、需要を喚起することに繋がり、需要と供給の両面からグリーン水素市場の立ち上がりをサポートしている。

５．２．３　欧州におけるアンモニア直接利用・燃料化計画

（１）　欧州におけるアンモニア利用への期待

カーボンニュートラルの実現に向け、アンモニアは 2 つの点での貢献が期待されている。一つは水素経済における水素キャリアとしての利用、もう一つは再生可能エネルギーで

生産したグリーンアンモニアの直接利用である。
アンモニアは、水素分子に比べてより高密度に水素原子を有していることから、再生可能エネルギーで生産したグリーン水素を空気中の窒素と反応させたグリーンアンモニアとすることで、よりコンパクトに、効率的に輸送することが可能になる。ただし、近距離輸送の場合、水素のまま運ぶ方が総コストは安価な場合もあり、特に再生可能エネ及びグリーン水素の生産地と需要地が離れている場合の適用が想定されている。
他方、水素へ再分解しなくていいため、エネルギーロスを抑えられるグリーンアンモニアの直接利用も大きく注目されている。しかし、以下に示す通り、総じて、需要側の技術がほぼ確立している肥料や発電（ボイラー／石炭混焼）のプレイヤーは、現在、グリーンアンモニアの生産やその需要を支える輸送インフラの開発に注力しており、未だ使用時の技術が確立していない輸送のプレイヤーは、e-fuel の一つとしてグリーンアンモニアを燃料とした大小船型の開発を進めている（図表 5.2.28 参照）。

図表 5.2.28　欧州でのアンモニア直接利用に向けた状況と取り組み

直接利用の用途			用途開発状況	需要家が注力する取り組み
肥料			長年使用中で需要技術は成熟 （現在のアンモニア需要の8割）	グリーンアンモニアの生産 /輸送インフラの開発
燃料	発電	ボイラー （石炭混焼）	実証試験で大きな設備投資無く、 CO2を削減できる技術を確立済	
		ガスタービン	実証試験で新たな燃焼器開発 が必要と判断され、難易度高	優先度低 （多くの開発リソース必要なため）
	輸送 （船舶）	燃料電池	必要なエネルギー密度が大きく、 石油燃料に依存し、脱炭素に 向けた電動化等も未進展	（e-fuelの一つとして） グリーンアンモニアを燃料とした 大-小型船の開発
		直接燃焼		
	産業	工業炉	様々なタイプが存在しそれぞれ 個別に技術開発が必要	優先度低 （個別開発が必要なため）

（出所）Ammonia Energy Association,「カーボンニュートラル実行戦略」

直接利用の用途は、肥料と燃料の大きく二つである。
肥料用途は、既存のアンモニア需要の約 8 割を占める。現在の製法では天然ガスから得られる水素と空気中の窒素を反応させ、最終的に CO2 が排出されるため、再生可能エネルギーで生産したグリーン水素を活用したグリーンアンモニアとすることによる脱炭素化が検討されている。
燃料用途は、現在用途開発中で足元で需要は顕在化していない。開発中の用途は、発電、輸送、産業の大きく 3 つある。
発電用途は、既存の石炭火力発電所において石炭と混ぜて燃焼させる方法と、アンモニアガスを燃焼させてガスタービンを回す方法の二つが存在する。
石炭との混焼については、実証試験を通じて既に技術がほぼ確立してきており、短期的に GHG 排出量を削減する手段として有望視されている。大きな設備投資も必要なく、既存設備を有効活用できる点もメリットで、日本の JERA も 2024 年度の実用化に向け検討を進めている。

ガスタービンアンモニアガス燃焼については、日本と欧州でスタンスが割れている。日本は東北大学での研究を先頭にアンモニアガス燃焼を有望な発電手段と見なし、三菱パワー（旧三菱日立パワーシステムズ）が専用のガスタービンの開発に注力している。他方、欧州ではアンモニアガスを燃焼させた際に生じる NOx を低減するために特別な燃焼プロセス及び燃焼器を開発する必要があるとしており、研究開発の優先度を下げている。ただし、イギリスは本領域でリードする同国のカーディフ大学を支持しており、工学・物理科学研究評議会（Engineering and Physical Sciences Research Council）が約 220 万ユーロを助成し、アンモニア燃焼やガスタービンの開発を支援している。

輸送用途は、足元では脱炭素化が進んでいない船舶業界でのアンモニア活用に向けた研究が進められている。活用方法としては、アンモニアを燃料とした燃料電池と、アンモニアをエンジンで燃焼させる二つが検討されている。いずれも技術的には実現可能と見られており、2025 年前後の実現を目指し、具体的なエンジン開発や実証試験が進められている。また、アンモニア燃料使用に必要なバンカリング・ターミナルなどのインフラ開発も合わせて進められている。

産業用途では、例えば鋼板製造ラインの前処理プロセスにおけるガス燃焼など、様々な使い方が想定されるが、それぞれにおいて個別の工業炉における技術開発が必要となるため、全体としての優先度は低い。

（2） 欧州で進行中のグリーンアンモニアの生産・輸送インフラ開発プロジェクト

①グリーンアンモニア燃料による船舶のインフラ開発

肥料大手 Yara International が、ノルウェーのポルシュグルン工場でグリーンアンモニアを 2026～28 年頃に商業生産することを見据え、その生産を支えるために電解プラントの立ち上げ、肥料をグリーン燃料で運ぶための輸送方法の開発、肥料以外の用途開発として、アンモニア燃料による船舶のインフラ開発を進めている。Yara International は、グリーンアンモニアの世界的リーダーとなるべく、自社でのグリーンアンモニア生産に加え、原料となるグリーン水素の生産や、グリーンアンモニアを燃料として活用するためバンカリング・ターミナル設置の実証試験にも参画している。

このような Yara International を中心にしたグリーンアンモニア実現の潮流を捉え、洋上風力の Ørsted を中心に、数多くの大小のタンカーが航行するデンマークのボーンホルム島をグリーンアンモニア燃料の供給基地にしようとする動きや、足元で高コストなアンモニア燃料船を高稼働で運行させるため、現地海運の Navigare Logistics、Amon Maritime、Mosvolds Rederi が共同で設立したゼロエミッション海運の Viridis Bulk Carriers が中心となり養殖や食品などによる海運需要を取りまとめるプロジェクトも存在している（図表 5.2.29 参照）。

図表 5.2.29　欧州でのグリーンアンモニアの生産・輸送インフラ開発プロジェクト例

時期				
実現	発表	国 / 場所	企業群	プロジェクト内容
2023	2021	ノルウェー	> Azane Fuel Solutions (建設) > Yara International (肥料) > Viridis Bulk Carriers (海運) 他[1]	> 世界発のアンモニア燃料供給試験と、バンカリング・ターミナルの設置 > ノルウェーのGreen Platform Initiativeが8,900万ユーロ助成
2024-2025	2020	オランダ	> Orsted (電力) > Yara International (肥料)	> 風力発電による電解プラント(100MW)を共同開発 > 将来的にYaraのスリスキル工場でのグリーンアンモニア製造を目指し、OrstedのBorssele洋上風力発電所を活用
2024-2025	2021	ノルウェー	> Viridis Bulk Carriers (海運) > BioMar (養殖) > Vestkorn (食品) 他[2]	> アンモニア燃料による船舶での貨物ネットワークの構築 > 複数需要家と長期的に様々な種類の貨物を運ぶ契約を締結することで稼働率を向上
2026-2028	2021	ノルウェー / ポルシュグルン	> Yara International (肥料) > Statkraft (電力) > Aker Horizons (金融)	> Yaraの既存工場を改修し、再エネ電力とグリーン水素を利用したグリーンアンモニア工場を構築 > 将来的にはノルウェー北部の工場にも横展開を検討
NA	2021	デンマーク / ボーンホルム島	> Ørsted (電力) > Haldor Topsoe (化学) > Port of Roenne (港湾局) 他[3]	> ボーンホルムを通過する年6万隻以上の船舶に対するグリーンマリン燃料の供給基地構築に向けたFS > グリーンアンモニアの地場生産 / 輸入も検討

1) 計10者, 2) 計6者, 3) 計8者

（出所）Ammonia Energy Association, 各社プレスリリース

②グリーンアンモニア大小型船の開発プロジェクト

ノルウェーを中心にグリーンアンモニアを燃料とした燃料電池やエンジンによる船舶の開発が進行中で、2025 年前後の実現を目指している（図表 5.2.30 参照）。

図表 5.2.30　欧州でのグリーンアンモニアを燃料とした大 - 小型船の開発プロジェクト

時期				
実現	発表	国	企業群	プロジェクト内容
2023	2020	ノルウェー	> NCE Maritime Clean Tech (海自業界ハブ) > Equinor (資源) 他[1]	> 世界初のグリーンアンモニア燃料電池の実現に向け、Equinorが契約する船舶"Viking Energy"に2MWの電池搭載 > EUのHorizon 2020が1,000万ユーロを助成
2023	2021	ベルギー	> Euronav (海運) > Hyundai (重工業) > DNV (認証) 他[2]	> Euronav保有の船舶更新に際し、アンモニア燃料とのデュアルフューエル船を共同開発 > 段階的にアンモニア燃料にシフトすることで、経済性を保ちながらの持続可能性実現を目指す
2024	2020	ドイツ	> MAN ES (機械) > ミュンヘン大学 > Neptun Ship Design (規制) 他[3]	> アンモニアとディーゼルのデュアル燃料によるエンジン製造に向けた工程の定義 > ドイツ連邦経済エネルギー省(BMWi)が支援
2024	2020	ノルウェー	> Wärtsilä (機械) > Grieg Maritime (海運)	> 世界初のグリーンアンモニアを燃料とするタンカー製造と燃料需要家(フェリー、漁船等)への供給網構築 > ノルウェー政府が440万ユーロを助成
NA (数年以内)	2020	ノルウェー	> Wärtsilä (機械) > Repsol (資源) > Sustainable Energy Catapult Center (研究所) 他[4]	> アンモニア焚きエンジンの開発に向けた長期且つフルスケールでの燃焼試験実施 > ノルウェー政府のDEMO 2020[5]から200万ユーロを助成

1) 計14者, 2) 計4者, 3) 計5者, 4) 計4者, 5) ノルウェー政府による石油・ガス産業の長期的競争力強化に向けた支援プログラム

（出所）Ammonia Energy Association, 各社プレスリリース

欧州メジャーの Equinor もプロジェクトに参加しているが、彼らの役割は同社が石油・ガ

ス製品の輸送に利用する船舶の供給にとどまる。また、ベルギーやドイツは、将来的にはグリーンアンモニア使用を目指すも、経済合理性のある間はディーゼルも併用できるようデュアルフューエルでのエンジン開発を進めている。

（参考）日本におけるグリーンアンモニア燃料化

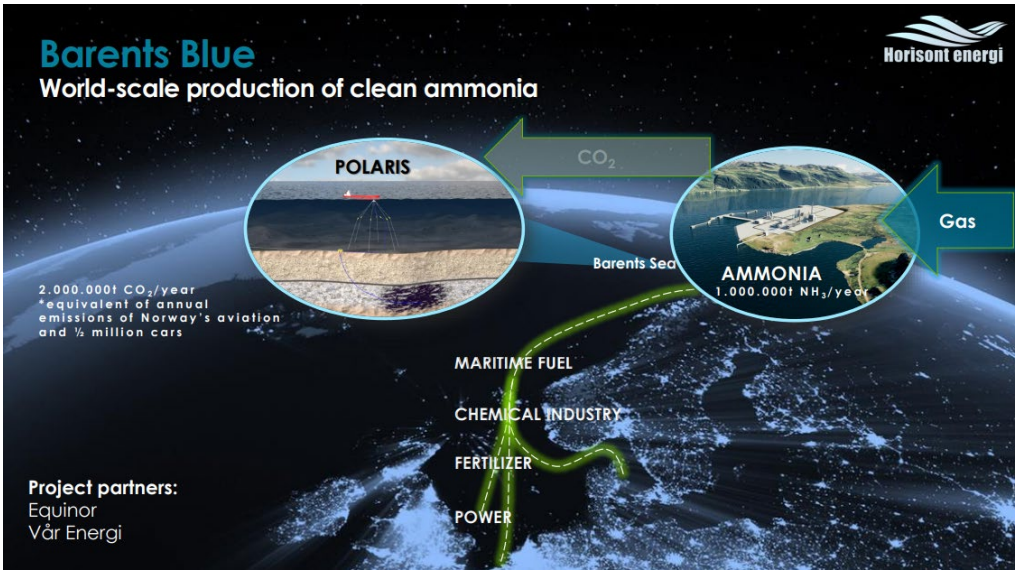
日本国内においては、肥料需要やアンモニアの生産量は非常に限られるため、グリーンアンモニアを輸入しての発電・輸送用途が中心になると想定される。発電におけるガスタービン開発は東北大学や三菱パワーを中心に世界をリードするポジションにある一方、グリーンアンモニアを燃料とした船舶の開発は伊藤忠商事を中心とした協議会を通じ、業界の足並みを揃えた検討が進められている。欧州同様、グリーンアンモニアによる燃料電池、アンモニアを燃料としたエンジン、ディーゼル併用のエンジンなど、複数の動力源オプションの開発を同時に進めつつ、業界における需要を取り纏めながら必要なバンカリング・ターミナルなどのインフラを開発・実証していく必要がある。

（３） 欧州のブルーアンモニアプロジェクト

グリーンアンモニアの他に、ブルーアンモニアのプロジェクトも存在する。

2021 年 9 月、ノルウェーの欧州メジャーである Equinor、CCS 技術を有する Horisont Energi、独立系石油・天然ガス E&P 事業を手掛ける Vår Energi の 3 社は、欧州初のブルーアンモニア大規模製造施設を開発する Barents Blue プロジェクトでの協力協定を締結した（図表 5.2.31 参照）。本プロジェクトにおいては、Equinor と Vår Energi が原料となる天然ガスを供給し、アンモニアを製造する。アンモニア製造時に生じる CO2 は回収され、パイプラインでノルウェー北部沖のポラリス貯留層に移送・貯蔵される計画である。年間 100 万トンのブルーアンモニアの製造に伴い生じる、年間 200 万トンの CO2 を貯蔵することが予定されている。

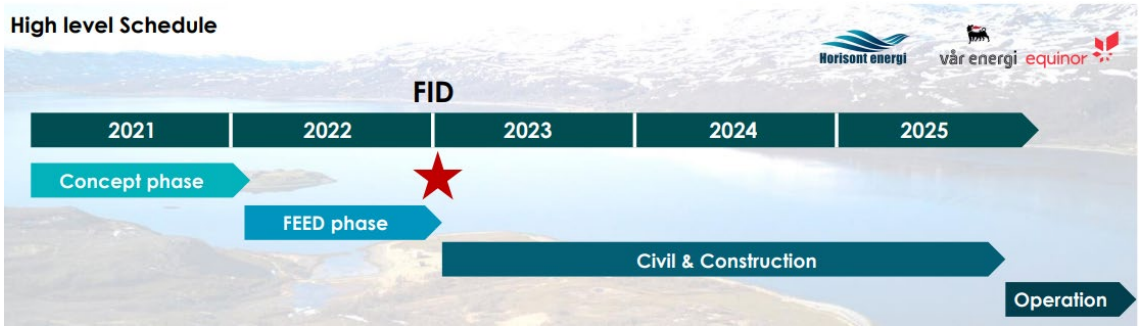
図表 5.2.31　Barents Blue プロジェクトのコンセプトイメージ



（出所）Horisont Energi

本プロジェクトは Feasibility Study の最終フェーズにあり、ポラリスの CCS プロジェクトと合わせて 2022 年末に最終投資意思決定がなされる見込みである。操業開始は 2025 年を予定している（図表 5.2.32 参照）。

図表 5.2.32　Barents Blue プロジェクトのスケジュール



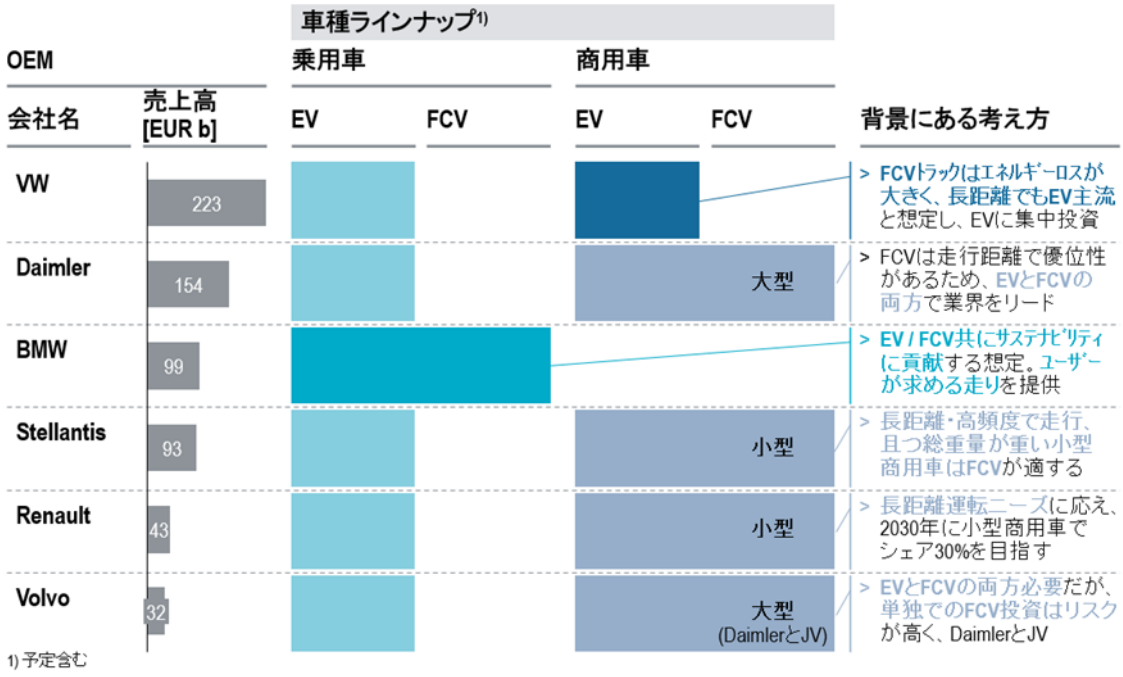
５．２．４　欧州における EV 化に対する企業の意見、水素内燃機関への関心

（１）　欧州主要 OEM の FCV 車種ラインナップに対する考え方

・EV と FCV の棲み分け

カーボンニュートラル宣言やその実現に向けた欧州やドイツなどの水素戦略が策定されたことで、欧州 OEM における FCV（Fuel Cell Vehicle：燃料電池自動車）への風向きが変わってきており、多くの OEM や部品サプライヤーが燃料電池向けの技術・製品を公表し始めている（図表 5.2.33 参照）。

図表 5.2.33　欧州主要 OEM の FCV 車種ラインナップに対する考え方



（出所）Marklines，各社 IR

ただし、欧州の中ではEVとFCVを棲み分けて使用するという考えた方が主流である。基本的には、移動距離が短い・重量も軽い乗用車はEVで移動需要を満たし、移動距離が長く重量も重い商用車は、EV バッテリーのエネルギー密度不足と走行可能距離では移動需要を上手く満たすことができないため、よりエネルギー密度の高い燃料電池を使用したFCVが必要になるとしている。しかし、この考え方は完全に統一されているわけではなく、OEMによって異なる場合もある。

（2） OEMにおけるFCV車種ラインナップと課題

BMWは、乗用車においてもFCVをラインナップする方針で、同社SAV「X5」をベースにしたFCV「iX5 ハイドロジェン」を2022年に上市する予定である。BMWは過去に自社でのFCV開発に失敗した経緯があり、燃料電池技術はトヨタから提供されている（2013年から製品開発協力開始）。BMWがあえて乗用車でのFCV販売に取り組む背景として、「FCVがEVと共に持続可能なモビリティに多大な貢献を果たす」と想定する中、「顧客が将来求める駆動力、技術に対し、最大限に気候を保護しながらその要求を実現したい」という考えを持っている。

VWは、商用車においては多くのOEMが多かれ少なかれFCV開発に取り組む中、EVに注力している。また、「水素エネルギーの3/4は生産（電解）から輸送までのプロセスで失われ、1/4だけしか駆動に使われないため効率が悪く、長距離でもEVが主流である」という考えが根底にある。VW 傘下でスカニアブランドを展開するトレイトン・グループは、2025年までの5年間で16億ユーロ（約2,080億円）をEVの研究開発に投資する。

OEM によって FCV 車種ラインナップの考え方は若干異なるものの、FCV が普及するには水素充填のインフラが整備され、水素価格と車両価格が下がることが前提という認識では一致しており、各国政府や欧州委員会に対し水素インフラの拡充の要請が行われている。

（3） 欧州における内燃機関への見解

政策として過剰にEVを重視する実態に対し、業界からは懸念の声も上がっている（図表5.2.34参照）。

ドイツの自動車工業会は、検討されている自動車規制の中に「ほとんど全ての走行条件でゼロエミッション」といった文言が盛り込まれている点を指摘し、走行だけを切り取った規制によるオーバーエンジニアリングの懸念を示し、エネルギーのライフサイクル全体で考えるべきで、走行時に CO2 を排出するバイオ燃料も、原料が CO2 を取り込んでいるため、全体では低炭素ソリューションの一つであるとしている。

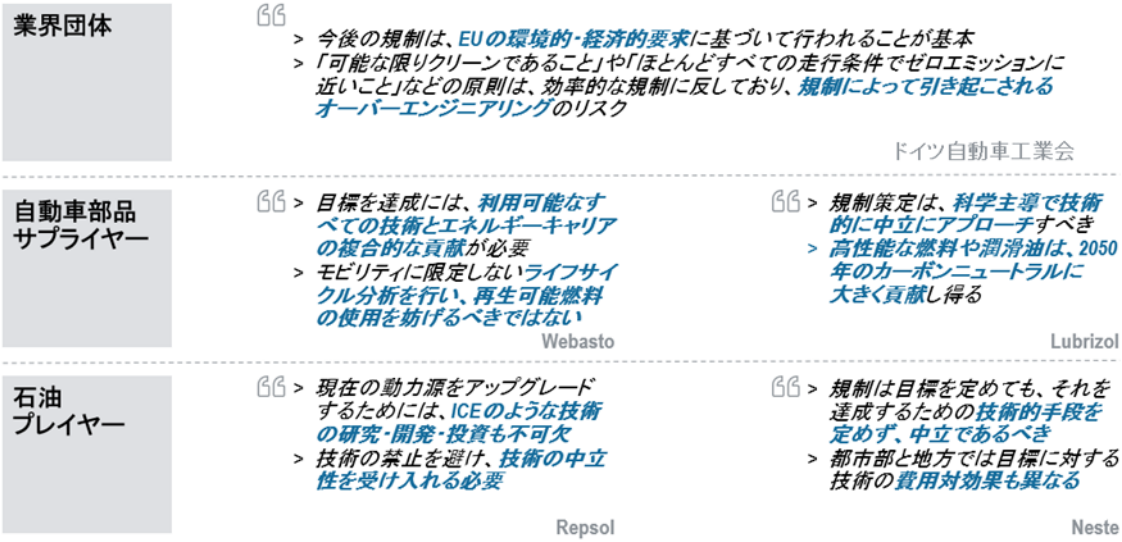
自動車の空調システムサプライヤーであるWebastoは、電力のみに依存するのではなく、複合的なエネルギー源を持つべきだと主張し、モビリティのエネルギー源が電力だけでは、エアコンや暖房といった空調システムにかなりの電力を使ってしまうため、走行距離が短くなり効率が悪いという点で、バイオ燃料などとのハイブリッドも視野に入れ検討していくべきであるとしている。

潤滑油サプライヤーのLubrizolは、GHG削減目標の実現手段に関し、技術的には中立であるべきと主張し、高性能な潤滑油もエネルギー効率を改善し、結果GHG削減に貢献するため、実現手段については制限すべきではないとしている。

欧州メジャーの Repsol は、今後のモビリティの発展を見据え、従来培ってきたベース技術である ICE（内燃機関）の技術も残すべきであると主張し、Repsol が開発を進めるバイオ燃料も、将来のモビリティを支え得る有望な低炭素ソリューションであるとしている。同じくエネルギー企業でバイオ燃料を製造する Neste も、GHG 削減目標の実現における技術的な中立性を主張している。人口密度が高く充電ステーションの投資回収が容易、かつ移動距離が短い都市部は EV との相性が良いかも知れないが、地方だとその逆で、人口密度が低く充電ステーションの投資回収が困難なためネットワークが広がりにくい、かつ移動距離も相対的に長いため、内燃機関とバイオ燃料の組み合わせの方が、より合理的な低炭素ソリューションとなり得ると主張している。

欧州の大きなトレンドとしては ICE 廃止の方向に動いてしまっているが、EV に偏ることを危惧する声は強い。グローバルのトレンドに抗うことは困難だが、日本政府も産業界もただ国際社会に同調するのではなく、科学や実態をベースに EV 一本槍では合理的でないことを訴え、バイオ燃料なども視野に入れて、長期を見据えたトランスフォーメーションに導いていく必要がある。

図表 5.2.34　過度な EV 化に対する懸念



（出所）EC

５．２．５　欧州における CCS 及びカーボンリサイクルの取り組み

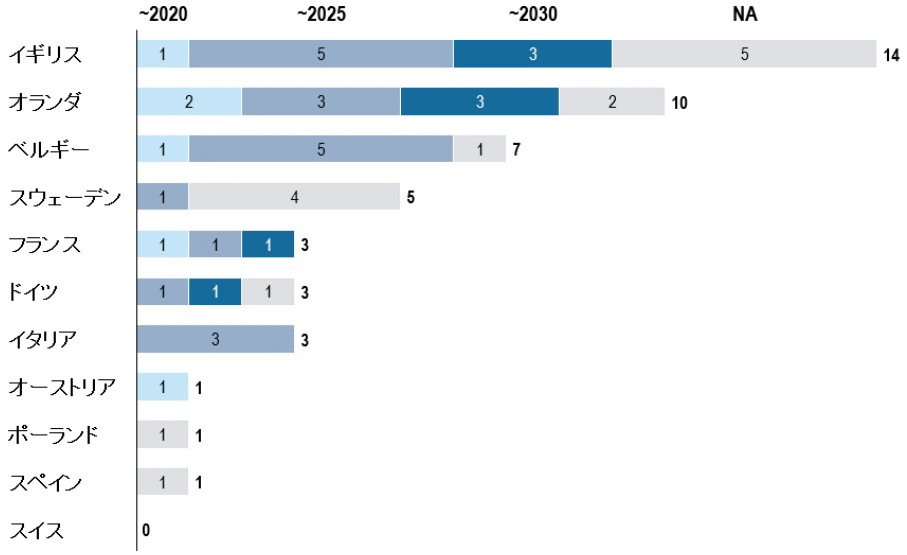
（１）　欧州における CCUS の位置づけ

EC のシナリオ分析においても、2050 年のカーボンニュートラル実現に向け CCUS は不可欠と認識されており、"Horizon Europe"や"Innovation Fund", "Connecting Europe Facility"といった助成金が CCUS の開発プロジェクトに適用される方針である。

欧州主要国における CCUS プロジェクト数を俯瞰すると、イギリスや 14 件と最も多い。これは国としてブルー水素を重視する方針を明確にしている中、その生産に伴う CCS のプロジェクト数が多いためである。次いでオランダ、ベルギーもそれぞれ 10 件程度あり、比較的多い。オランダは北海において CCS に適している可能性のある枯渇ガス田を多く

有し、ベルギーはアントワープ港に産業が集積しており比較的CO2を集めやすいためCCUSプロジェクトが多い（図表5.2.35参照）。

図表5.2.35　欧州で実行及び計画中のCCUSプロジェクト件数



（出所）International Association of Oil & Gas Associations

（２）　欧州のCCUSプロジェクト

・イギリスにおけるCCSプロジェクト

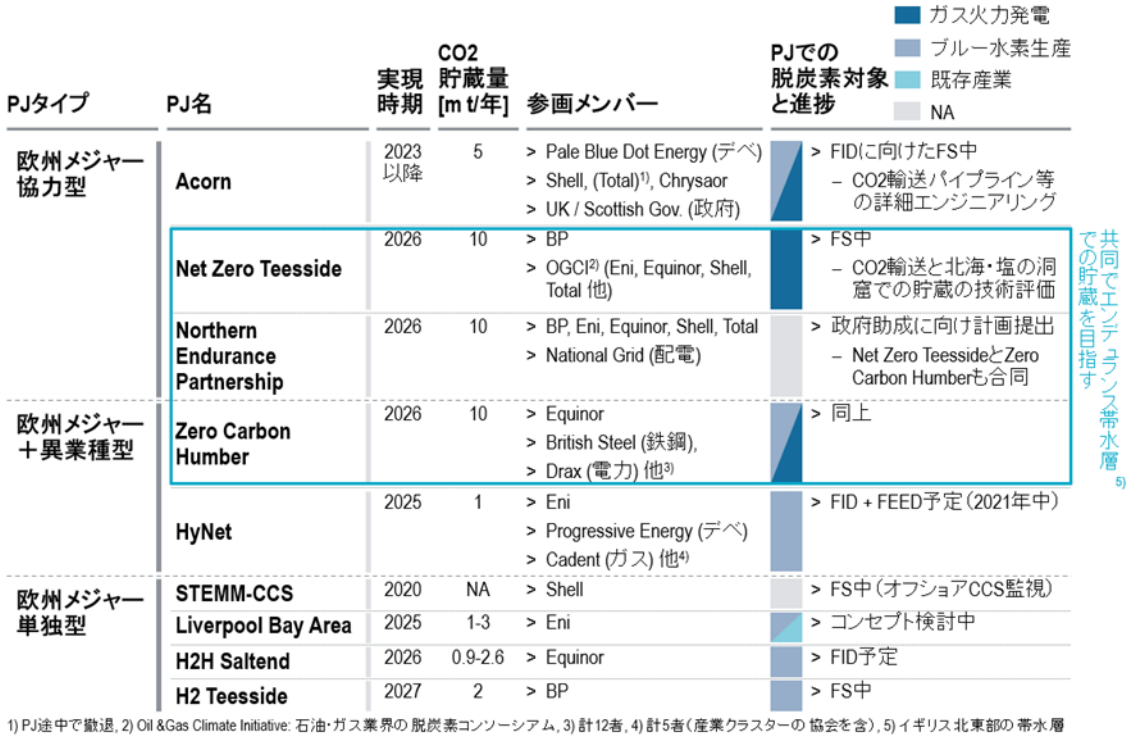
最も多くのCCSプロジェクトを有するイギリスにおける欧州メジャーが関与するプロジェクトでは、欧州メジャーが単独で行っているものと、他の欧州メジャー、或いは異業種と協力して進めているものがあり、協力型の方が炭素貯蔵の規模が比較的大きい（図表5.2.36参照）。

例えば、スコットランド沖のCCSプロジェクトであるAcornは、元々Shell、TotalやE&P(Exploration & Production)のChrysaorが協力して開発を始めたもので、2023年以降の稼働が計画されている。なお、Totalは同社の事業ポートフォリオ見直しの一環でプロジェクトから撤退したが、Shellは2021年6月に同プロジェクトの技術開発者として指名され、引き続き開発を続け2030年に年間500万トン以上のCO2貯蔵を目指している。

同じく、CCSプロジェクトのNet Zero TeessideやZero Carbon Humberは元々独立して進行していたが、2020年にBPやShellなどの欧州メジャーを中心に組織されたNorthern Endurance Partnershipのもと、共同でエンデュランス帯水層の開発（図表5.2.36）を進めている。同帯水層での開発の殆どがNet Zero Teeside、若しくはZero Carbon Humberのプロジェクトである。英国政府の助成（"Industrial Strategy Challenge Fund"の一部である"Industrial Decarbonisation Challenge"）を得るための計画も、3プロジェクト連名で提出されている。最終的に年間1,000万トンのCO2貯蔵を目指す。

他方、BPなどの欧州メジャー単独でもCCSの開発が進められるが、CO2貯蔵の規模は年間100-300万トン程度と、協力型のプロジェクトと比べ小さい。

図表 5.2.36　イギリスで実行及び計画中の CCS プロジェクト

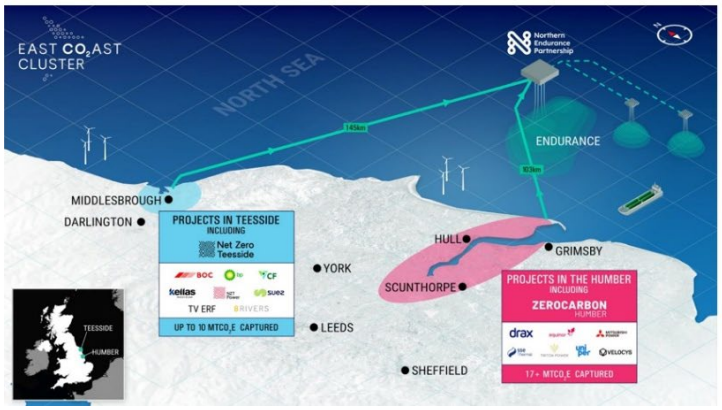


PJタイプ	PJ名	実現時期	CO2 貯蔵量 [m t/年]	参画メンバー	PJでの脱炭素対象と進捗
欧州メジャー協力型	Acorn	2023以降	5	> Pale Blue Dot Energy (デベ) > Shell, (Total)[1], Chrysaor > UK / Scottish Gov. (政府)	> FIDに向けたFS中 – CO2輸送パイプライン等の詳細エンジニアリング
	Net Zero Teesside	2026	10	> BP > OGCI[2] (Eni, Equinor, Shell, Total 他)	> FS中 – CO2輸送と北海・塩の洞窟での貯蔵の技術評価
	Northern Endurance Partnership	2026	10	> BP, Eni, Equinor, Shell, Total > National Grid (配電)	> 政府助成に向け計画提出 – Net Zero TeessideとZero Carbon Humberも合同
欧州メジャー＋異業種型	Zero Carbon Humber	2026	10	> Equinor > British Steel (鉄鋼), > Drax (電力) 他[3]	> 同上
	HyNet	2025	1	> Eni > Progressive Energy (デベ) > Cadent (ガス) 他[4]	> FID + FEED予定（2021年中）
欧州メジャー単独型	STEMM-CCS	2020	NA	> Shell	> FS中（オフショアCCS監視）
	Liverpool Bay Area	2025	1-3	> Eni	> コンセプト検討中
	H2H Saltend	2026	0.9-2.6	> Equinor	> FID予定
	H2 Teesside	2027	2	> BP	> FS中

1) PJ途中で撤退, 2) Oil &Gas Climate Initiative: 石油・ガス業界の脱炭素コンソーシアム, 3) 計12者, 4) 計5者（産業クラスターの協会を含）, 5) イギリス北東部の帯水層

（出所）International Association of Oil & Gas Associations, 各プロジェクト HP

図表 5.2.37　エンデュランス帯水層概要



> イギリス北東部の帯水層でハンバーやティーズサイド地域のCO2を貯蔵予定

> BPやShell等の欧州メジャーを中心に組織されたNorthern Endurance Partnershipが開発

> 最終的に年間1,000万トンのCO2貯蔵を目指す

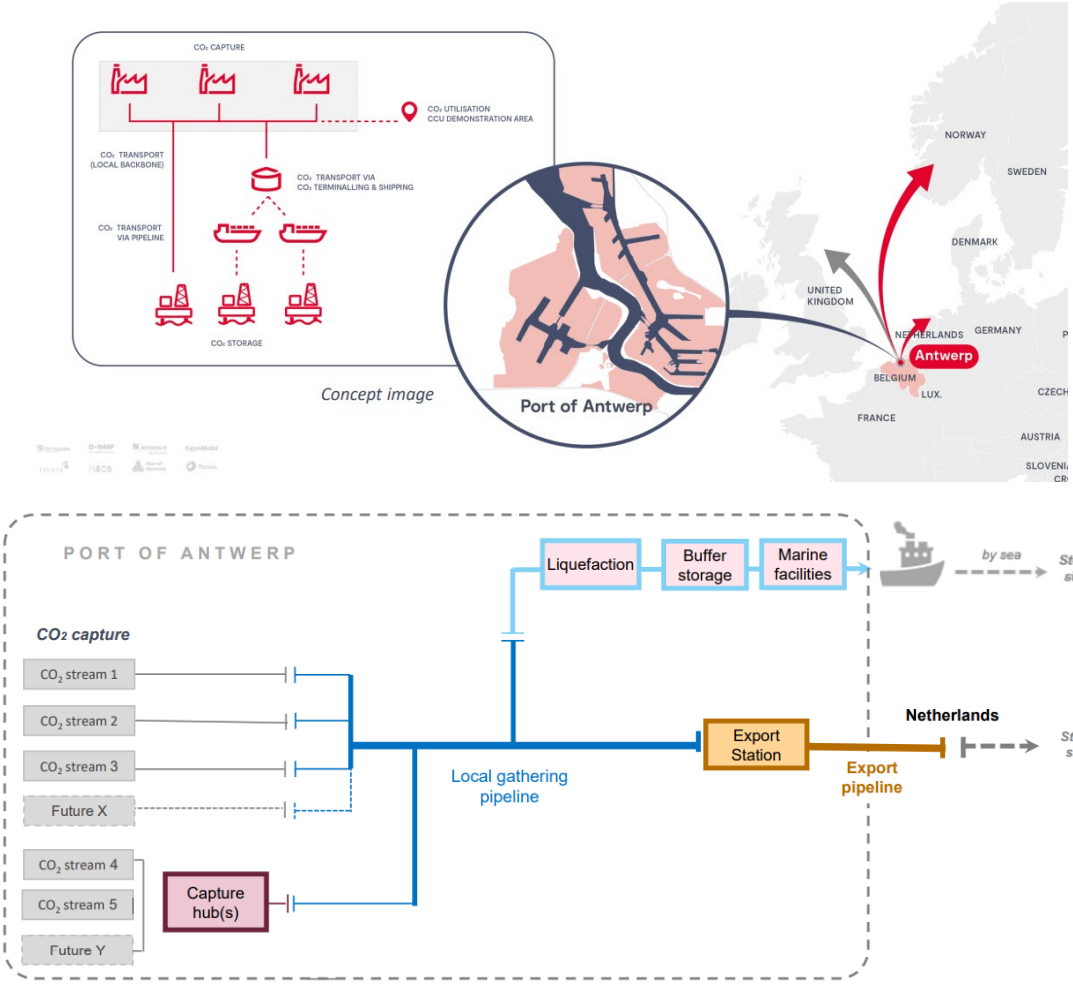
（出所）Net Zero Teesside

・アントワープ CCS プロジェクト

また、石油化学工業の集積地、という観点でベルギーのアントワープ CCS プロジェクト（Antwerp@C）は日本の参考になり得る。Antwerp@C では、アントワープ港周辺の工場から CO2 を回収し、パイプラインや船で炭素貯蔵サイトであるオランダのロッテルダムやノルウェーに CO2 を輸送するプロジェクトである。本プロジェクトには BASF、Borealis、ExxonMobil、INEOS、TotalEnergies、Air Liquide、fluxys の 7 社が参画しており、アントワープ港から排出される年間 1,800 万トンの CO2 排出量を、2030 年までに 2017 年比

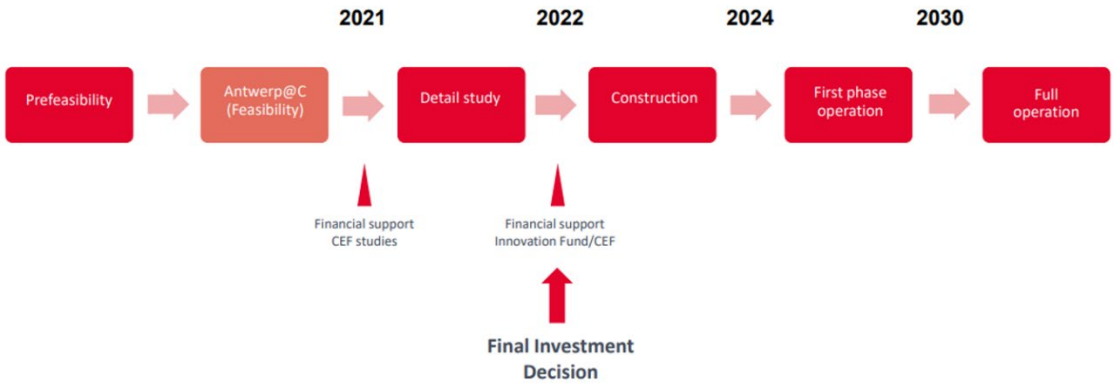
で 50%削減することを目標としている。本プロジェクトに対しては、EU 基金の Connecting Europe Facility(CEF)が、900 万ユーロ（約 11 億円）を助成している。現在、詳細な Feasibility Study が行われているフェーズであり、来年 2022 年に最終的な投資意思決定がなされる予定である。その後建設を開始し、2024 年から第一段階の操業を開始、その後規模を拡大し 2030 年までに 2017 年比での CO2 排出量半減を目指している。
スヘルデ川岸の工場から CO2 をパイプラインでアントワープ港に集積するが、地域の地層は CCS に適さないため、ここからオランダのロッテルダムへパイプラインで、または、液化してノルウェー西岸へ船で CO2 を輸送し貯留する（図表 5.2.38、5.2.39 参照）。

図表 5.2.38　Antwerp@C プロジェクトのコンセプトイメージ



（出所）Antwerp@C

図表 5.2.39　Antwerp@C のタイムライン（ベストケースシナリオ）

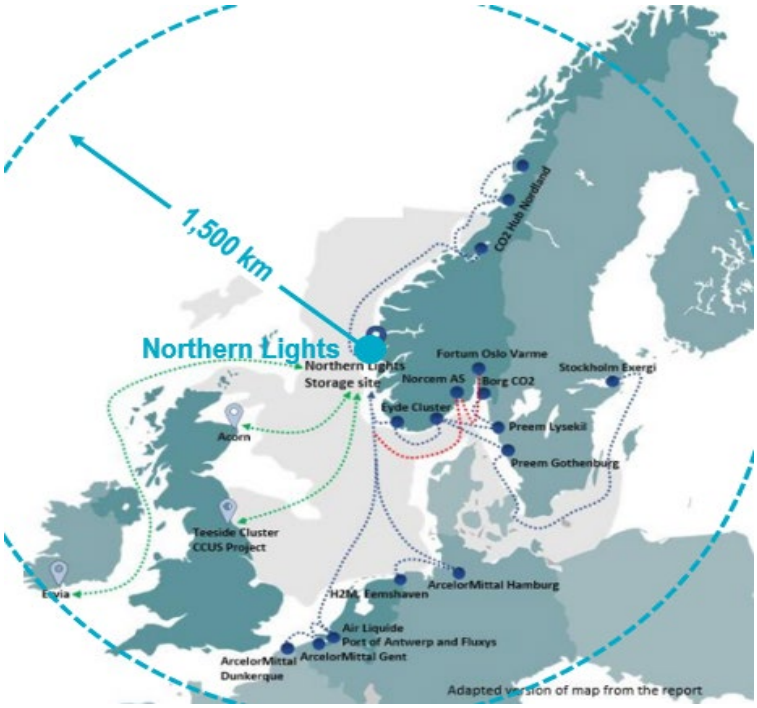


（出所）Antwerp@C

・Northern Lights プロジェクト

Antwerp@C で回収した CO2 の貯蔵先の一つであるノルウェーの Northern Lights は、CCS をサービスとして提供する先進的なプロジェクトであり、地下への貯蔵拠点である Northern Lights から 1,500km 圏内に位置する、イギリス、ドイツ、フランス、オランダ、ベルギーなどの周辺各国の産業地域から排出される CO2 を回収し、貯蔵拠点まで船で輸送することを検討している（図表 5.2.40 参照）。

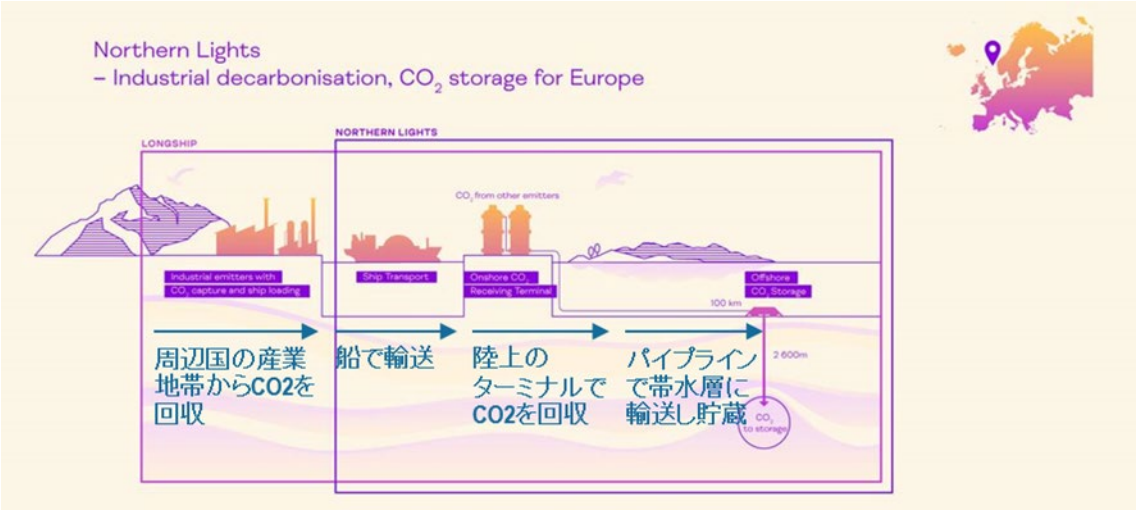
図表 5.2.40　Northern Lights での CCS サービス提供先候補イメージ



（出所）Northern Lights

船で輸送された CO2 は、陸上ターミナルで回収され、そこからノルウェー沖 100km までパイプラインで CO2 を輸送し、海底から 2,600m 地下に位置する帯水層へと貯蔵される。

図表 5.2.41　Northern Lights CCS ネットワークのイメージ



（出所）Northern Lights

第一段階の投資額は約 7 億ユーロ（69 億ノルウェー・クローネ）であり、2024 年から CO2 貯蔵能力年間 150 万トンで操業を開始する。その後、CO2 貯蔵能力を年間 500 万トンまで拡張する。本プロジェクトはノルウェーの Equinor が主導しているが、Shell や TotalEnergies もパートナーとして参画している。Equinor にとっては、前述の Northern Endurance プロジェクト（Zero Carbon Humber にて活用する CCS）と並ぶ 2 大 CCS プロジェクトである。

CCS をサービスとして提供する事業としての先進性に加え、CO2 貯蔵先が日本のコンビナート周辺にも豊富に存在する帯水層であることから、日本での CCS 開発のベンチマークとして参考にできるプロジェクトと思われる。

・ドイツにおける CCS プロジェクトと環境団体の強い反対

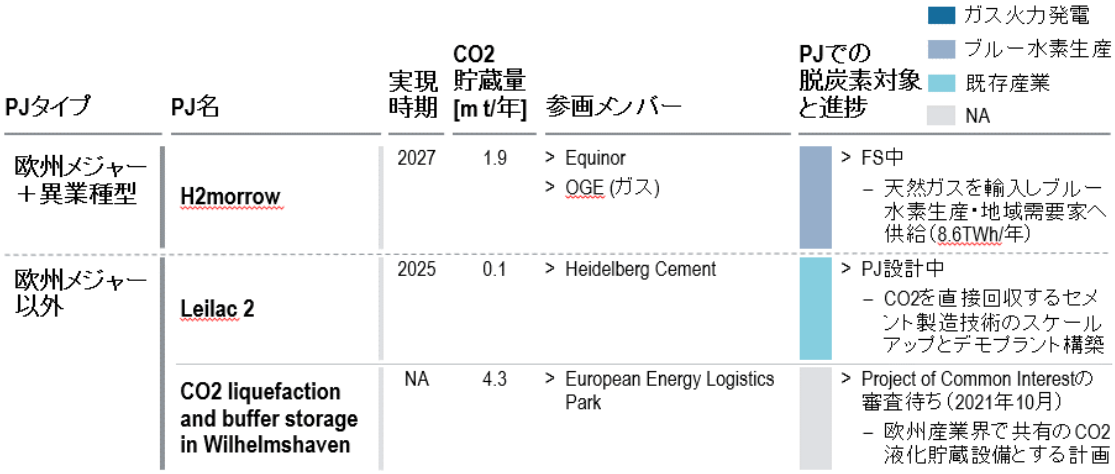
ドイツも 2050 年のカーボンニュートラル実現に向け CCUS は不可欠と認識しており、ドイツ連邦経済エネルギー省（BMWi）は「CCUS が産業界の CO2 排出削減の重要な選択肢である」と述べている。しかし、同国では環境保護団体が CO2 漏洩リスクと陸上貯留での農業・畜産業への悪影響を主張しており、CCS プロジェクトに強く反対しているため、現時点でのプロジェクト数は比較的少ない（図表 5.2.42 参照）。

・欧州メジャーの CCS への取り組み

Equinor がブルー水素生産に伴う CCS の FS を実施している。その他産業プレイヤーでは、Heidelberg Cement がセメント製造プロセスにおける CO2 の直接回収技術の確立を目指している。しかし、いずれも CO2 貯蔵量は年間 10～200 万トン程度と小規模である。規模の大きなものとしては、ウィルヘルムスハーフェンに新たに建設される European Energy Logistics Park の一部として CO2 液化貯蔵が可能な設備を建設し、年間 430 万トンの CO2 輸出を目指すプロジェクトも存在する。

この設備をデモプラントとして CO2 貯蔵・輸送のネットワークをオランダなどの他の EU 諸国に拡張していくことが期待されている。

図表 5.2.42　ドイツで実行及び計画中の CCUS プロジェクト



PJタイプ	PJ名	実現時期	CO2貯蔵量[m t/年]	参画メンバー	PJでの脱炭素対象と進捗
欧州メジャー＋異業種型	H2morrow	2027	1.9	> Equinor > OGE (ガス)	> FS中 – 天然ガスを輸入しブルー水素生産・地域需要家へ供給(8.6TWh/年)
欧州メジャー以外	Leilac 2	2025	0.1	> Heidelberg Cement	> PJ設計中 – CO2を直接回収するセメント製造技術のスケールアップとデモプラント構築
	CO2 liquefaction and buffer storage in Wilhelmshaven	NA	4.3	> European Energy Logistics Park	> Project of Common Interestの審査待ち(2021年10月) – 欧州産業界で共有のCO2液化貯蔵設備とする計画

（出所）International Association of Oil & Gas Associations

５．２．６　欧州におけるバイオエネルギー

（１）　欧州で稼働及び計画中のバイオエネルギープラント

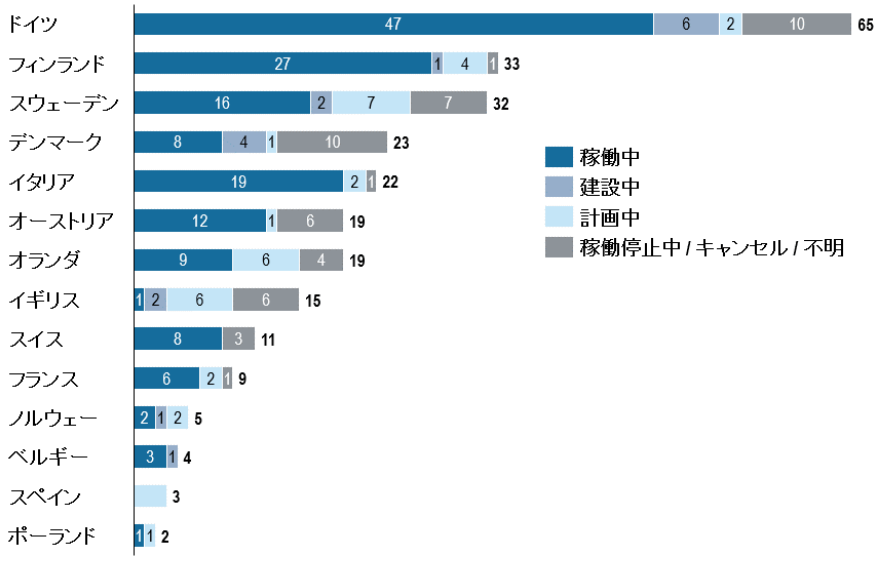
欧州では、多くのバイオエネルギープラントが存在する。European Technology and Innovation Platform が統合した情報によると欧州全域で、稼働中のプラントが 150 以上ある他、建設中、或いは計画中のプラントも 50 以上存在（図表 5.2.42 参照）し、その殆どがバイオ資源を直接的エネルギーに変える発電用途である。例えば最もバイオエネルギープラントの多いドイツにある 47 の稼働中のプラントの内、約 8 割にあたる 36 のプラントは発電所として稼働している。

その他用途のプラント例としては、カールスルー工科大学（KIT）が農業・林業・造園などの副産物や残渣からディーゼルやガソリンを生産する bioliq プロジェクトが挙げられる。既にパイロットプラントが建設されており、エンジニアリングによる最適化などの研究が進められている。本プロジェクトはドイツ連邦食料・農業省（BMEL）や再生可能資源庁（FNR）、EU の"Investment into the Future"の助成を受けており、KIT の関係研究所や Air Liquide（エンジニアリング）、Calida Cleantech（ろ過システム）、Chemieanlagenbau Chemnitz（産業機械）、MUT Advanced Heating（熱エンジニアリング）、BAUER（環境エンジニアリング）、MAT（機械保守・運用）がパートナーとして協力している。

また、バイオディーゼルの開発が進められている。例えば、スウェーデンのベンチャーの SunPine はパルプ工場の残渣物であるトールオイルを原料にバイオディーゼルを生産している。SunPine は、Lawter（化学）、Sveaskog（森林所有），Södra skogsägarna（パルプ），Preem（燃料卸）の 4 社がそれぞれ 25%ずつ出資し、バイオ製品のコンセプト設計から原料供給・最終製品製造までをそれぞれ支援している。Neste（石油精製・化学）は、植物油や様々な廃棄物・残渣などの有機バイオマスから再生可能ディーゼルを製造し、"Neste MY"ブランドで販売している。2017 年に TOP TIER ディーゼル燃料の認証を受け、VW、GE、フォードなど、多くのエンジンメーカーが承認している。

フランスでもバイオジェット燃料開発が進められている。BioTfueL コンソーシアムとして、Total、Avril（農・畜産業）、ThyssenKrupp（製鉄）、Axens（エンジニアリング）、IFP Energies Nouvelles（研究機関）、CEA（研究機関）の 5 社が協力し、農業副産物、森林廃棄物などのリグノセルロース系バイオマスからバイオディーゼルに加え、バイオジェット燃料の生産プロセス開発が行われており、2021 年中の実証試験が目標とされている。

図表 5.2.43　欧州で実行及び計画中のバイオエネルギープラント



（出所）European Technology and Innovation Platform

（２）　欧州各国、メジャーの輸送用バイオ燃料生産及び計画

・輸送部門のバイオ燃料導入経緯

欧州では 2000 年代初頭からバイオ燃料、特にバイオディーゼルを GHG 排出量削減の有望な技術として開発・導入を進めてきた。

2003 年にはバイオ燃料指令を制定し、輸送用燃料の総販売量に占めるバイオ燃料比率の努力目標を 2005 年に 2%、2010 年に 5.75%に設定した。

その後 2009 年には再生可能エネルギー指令（Renewable Energy Directive: RED）を出し、輸送部門におけるバイオ燃料比率の目標値を 2020 年時点で 10%以上と定めた。2018 年には RED が改正され、2030 年時点で輸送用燃料の 14%を再生可能エネルギーから供給することを目標としている。

2018 年前後には、バイオ燃料比率は 7～8%程度に到達していたものの、食用バイオマスを主な原料としていたことから、食料確保とコンフリクトが起きてしまい、EC として原料を非食用バイオマスに転換することを促すため、2030 年時点での目標の 14%に占める食物由来のバイオ燃料の上限を 7%、油脂由来バイオ燃料の上限を 1.7%と定めた。また、非食物由来のバイオ燃料の内、家庭や産業からの廃棄物を原料としたものを先進型バイオ燃料として、2030 年時点で 3.5%以上導入することを義務目標に定めた。

さらに、2020 年に欧州の GHG 排出量削減目標が、2030 年時点で、1990 年比 55%に引き上げられたことを受け、RED の更なる改正案が出されており、従来 3.5%であった先進型バイオ燃料の目標値は 2.2%となった一方、新たに水素を含む非バイオ由来の再生可能燃料を

2.6%以上導入することが定められた。

・SAF の混合義務化導入方針

航空燃料においては、欧州グリーンディールの一環として EU 域内での SAF 生産と普及を目指すため 2020 年に立ち上げられた ReFuelEU Aviation が、Fit for 55 の一環として 2021 年 7 月に提案した規制案の中で、EU の空港で供給される航空燃料に持続可能な航空燃料（Sustainable Aviation Fuel: SAF）を一定割合含める義務付けを提案している。2025 年から 2%、2030 年以降は 5%、2035 年以降は 20%、2040 年には 32%、2045 年には 38%、2050 年には 63%以上の SAF を導入する方針である。本導入義務は、航空燃料の供給会社に対して課されるため、EU で燃料供給を受ける全ての商用飛行機が対象になり（軍用や災害支援などの飛行機は除く）、EU の空港を離陸する 95%以上の航空機をカバーするものと想定されている。また本規制が施行されることで、EU の航空燃料需要が域外に流出することを防ぐ（航空燃料が安価な EU 域外の空港での過剰な燃料供給を防ぐ）ため、EU の空港で引き取る航空燃料は、EU 発の便が必要とする量の 9 割以上（年換算ベース）とする義務を航空会社に対して課すことが予定されている。

・欧州におけるバイオディーゼル、SAF 導入の加速

このような状況下、非食物由来のバイオディーゼルや SAF の開発が注目されている（図表 5.2.44、5.2.45 参照）。

Repsol は、有機残渣や廃棄物からバイオディーゼル・SAF・ナフサ・プロパンなどの先進型バイオ燃料を 2023 年から年間 25 万トン製造することを計画している。

欧州メジャー以外では、特にスウェーデンやフィンランドといった北欧諸国が自国の森林資源を活かした製紙産業の副産油分であるトール油を活用するプロジェクトが多く進められている。スウェーデンに製油所を有する Preem は、既に年間 80 万トンの先進型バイオ燃料工場を稼働させている他、さらに年間 33 万トンの生産能力を拡張する計画である。

検討されている規制から、近い将来の需要が具体的に見えているため、欧州メジャーは従来の化石燃料と同様、或いはそれ以上の投資回収を期待して SAF の製造を積極的に検討している（図表 5.2.44 参照）。Shell は 2025 年時点で 200 万トンの SAF 生産を計画しており、最大の SAF 供給者となる見込みである。また、TotalEnergies は 2024 年から SAF を 17 万トン、Repsol は 2023 年から他のバイオ燃料と合わせ 25 万トンの製造を計画している。Neste は、2010 年前後から先進的に SAF の製造に取り組んできたものの、規制の見立てがクリアになってくる中で、欧州メジャー最大手の Shell が本格製造に乗り出したことで、リーディングポジションを一気に奪われてしまう可能性がある。

・日本への SAF 商用プラント導入

現在検討されている欧州の規制は、欧州発のフライトを対象にするものであるが、今後、規制が世界に広がることを見据え、また欧州メジャーが SAF に積極投資している事実も踏まえ、日本もできるだけ早期に SAF の製造を進めることが必要である。

図表 5.2.44　欧州における先進型バイオ燃料（ディーゼル）工場

稼働中
建設･計画中

オーナー企業	ステータス	製造能力 [k ton/y]	主原料	国	投資額 [EUR m]
Preem	2015	800	トール油	スウェーデン	NA (30万トンの拡張にEUR 30m)
	2021	330	トール油他	スウェーデン	NA
UPM Biofuels	2015	130	トール油	フィンランド	175
	NA	500	トール油他	フィンランド	NA
Repsol	2023	250 (ディーゼル、SAF、ナフサ、プロパン合計)	有機残渣･廃棄物	スペイン	188
SCA, St 1	2023	200	トール油他	スウェーデン	250
SunPine	2021	77	トール油	スウェーデン	35
	2021	39	トール油 (製紙工場由来)	スウェーデン	25
Greenergy	2025	NA	タイヤ (非バイオ廃棄物)	イギリス	NA
KEW Technolgogies	2021	NA (一部発電に使用)	混合廃棄物	イギリス	NA (助成EUR 750m (650万ポンド))

（出所）European Technology and Innovation Platform, 各社 IR

図表 5.2.45　欧州における SAF 工場

稼働中
建設･計画中

オーナー企業	ステータス	製造能力 [k ton/y]	主原料	国	投資額 [EUR m]
Shell	2025	2,000	NA	オランダ、ドイツ他	NA
Neste	2007	NA (ディーゼル工場で生産検討)	パーム油、菜種油、動物性油脂	フィンランド	NA
	2011	NA (ディーゼル工場で生産検討)	植物油、動物性油脂他	オランダ	NA
	2023	500	NA	オランダ	190
Repsol	2023	250 (ディーゼル、SAF、ナフサ、プロパン合計)	有機残渣･廃棄物	スペイン	188
TotalEnergies	2019	NA (ディーゼル工場で生産を検討)	植物油、廃食油、動物油脂他	フランス	275
	2024	170	動物性油脂、廃食油、植物油	フランス	500
SkyNRG	2024	100	NA	オランダ	NA
Eni	2019	NA (ディーゼル工場で生産を検討)	動物性油脂、廃食油他	イタリア	NA
Preem	2021	NA (ディーゼル工場で生産検討)	トール油他	スウェーデン	NA

５．２．７　欧州における廃プラの再利用

（１）　廃プラリサイクルの現状

2020 年 3 月、欧州委員会は欧州グリーンディールの一環として、Circular Economy Action Plan（循環型経済行動計画）を発表した。これは 2015 年 12 月に策定した Circular Economy

Package における行動計画の更新版で、プラスチックに関しては、再利用プラスチックの含有率や包装材などの主要製品における廃棄物削減手段に関する義務要件を定める方針を打ち出している。具体的には、包装材及び包装廃棄物に関する指令の見直しの内容が2021 年中に発表される予定である。欧州のプラスチック業界団体である Plastic Europe は、同発表に先立ち、2021 年 9 月に「過剰な包装や包装廃棄物を防止・削減するという目的を支持し、包装材及び包装廃棄物に関する指令の見直しを歓迎する」というコメントを発表し、2030 年までにプラスチック包装における再利用プラスチック率を 30%に義務付けるべきであると提言している。実際、Plastic Europe の参加企業は既にこの目標に向けて数十億ユーロの投資を行い、ソリューション開発を始めている。再利用率 30%の目標達成には、特にケミカルリサイクルの強化が必須とされている。

欧州の廃プラスチック再利用率は約 10%であるが、その殆どは粉砕や洗浄、再造粒などの機械的プロセスによるメカニカルリサイクルであるが、そのプロセスでポリマー鎖が部分的に分解されてしまい、強度や粘度が低下するため、加工が困難になる、或いは質が低下してしまうという課題がある。また、リサイクルの度に劣化するため、リサイクルできる回数に限りがある。

その課題に対する解決策として、近年ケミカルリサイクルが注目されている。それでは回収した使用済プラスチック（ポリマー）を熱分解して、元の原料であるモノマーの状態に戻すことで、改めて品質の高いバージンプラスチックを製造することができる、或いは炭化水素の油として他の化学製品の原料に使用することができる。ケミカルリサイクルであれば、その質を維持しながら、何度もリサイクルしていくことが可能である。

（2） 欧州メジャーによるケミカルリサイクルプロジェクト

実際、多くの欧州メジャーや石油化学プレイヤーがケミカルリサイクルに取り組んでいる。そして、欧州では、図表 5.2.46、5.2.47 に示す通り、メジャーもベンチャー企業の優れた技術を活用する動きが多い。

Shell は、2050 年までに年間 100 万トンのプラスチック廃棄物再利用を目指す中、2021 年 9 月にケミカルリサイクル技術を有する BlueAlp に出資（21.25%）した。BlueAlp は既に商業規模で技術を確立しているが、同技術をスケールアップすることを目指している。具体的には、Shell と BlueAlp はオランダに JV を設立し、年間 3 万トンのプラスチック廃棄物をリサイクルするプラントを立ち上げ、2023 年までに稼働を開始する計画である。生成した熱分解オイルは、Shell のラインラントやムールダイク工場において活用される。

BP は、今後 5 年間で 840 万トンのプラスチック廃棄物再利用を目指す中、2021 年 9 月にケミカルリサイクル技術を有する Brightmark と、ドイツ、オランダ、ベルギーでのプラスチックリサイクル工場の FS に関する覚書を締結した。具体的な計画は検討中であるが、BP は Brightmark がアメリカのリサイクル工場で生産する熱分解油を購入し、利用方法の開発を進めている。

Total は、2030 年まで生産するプラスチックの 30%をリサイクル原料とすることを目指す中、2020 年 10 月にケミカルリサイクル技術を有する Plastic Energy と、共同出資（Total 60%、Plastic Energy 40%）でフランスにおけるプラスチックリサイクル工場の立ち上げに向けた覚書を締結した。生産能力は 15,000 トンで、2023 年の稼働開始を目指している。Total は、既に Plastic Energy がスペイン工場で商業生産している熱分解オイル（ブラ

ンド名：TACOIL）を購入し、利用方法の開発を進めており、バージンポリマーと同じ特性が得られることから、食品用途での使用も可能であることを確認している。
Eni の子会社である Versalis は、欧州の Circular Plastic Alliance に参加し、2025 年までに EU で 1,000 万トンのプラスチックリサイクルを実現する一翼を担うことを目指している。2020 年 9 月には、ケミカルリサイクル技術を有する Servizi di Ricerche e Sviluppo （SRS)と、プラスチックリサイクル工場の立ち上げに向けた共同開発契約を締結した。まずは、イタリアに年間 6,000 トンの生産能力を持つパイロットプラントを建設する予定で、現在その設計と投資検討が進められている。
Repsol は、2030 年までに同社が生産するプラスチックの 20%相当のリサイクルを目指す中、2021 年 6 月にケミカルリサイクルの技術を有する Axens とフランス石油研究所(IFPEN)と共同で、ケミカルリサイクルを通じて生成した熱分解オイルから不純物を取り除くプロセスを開発した。シリコン、塩素、金属などの不純物を十分除去可能で、食品用途での使用が有望視されている。既にパイロットでの試験は終えており、Repsol の既存工場への導入を検討している。

図表 5.2.46　ベンチャー企業のケミカルリサイクル技術

廃プラのケミカルリサイクルプロセス

会社名	原料	処理	生成物	プラント状況	パートナー
Mura Technology	あらゆる種類のプラスチック > 廃棄物付、腐敗、混合、色付　等	高圧化での超高温水による熱分解	液体炭化水素 > ナフサ > 形質・重質ガス > ワックス残渣	商業プラントを建設中（イギリス）	> KBR (エンジニアリング)
Recycling Technologies	ほとんどの種類のプラスチック > フィルム、多層ラミ、トレー　等	無酸素状態での熱分解	液体炭化水素 > バージンプラスチックの原料	商業プラントとパイロットプラントが稼働中（イギリス）	> Neste (資源) > Ineos, Trinseo, Kerax (素材) > BINN (産廃) > mirova, Ecosurety (金融)
Plastic Energy	HDPE, LDPE, PP, PS	無酸素状態でのプラスチック溶解	炭化水素蒸気 > ディーゼル > 軽油 > 合成ガス	2つの商業プラントが稼働中（スペイン）	> SIEMENS (機械) > ラフバラ大学 (研究)
Arkema	PMMA（ポリマー）	鉛フリーの解重合	MMA（モノマー）	パイロットプラントが100kg/時間で長期安定稼働中	> The Japan Steel Works (機械) > ゲント大学（研究）　他

（出所）各社 HP, MMAtwo, New Plastics Economy, BBC

図表 5.2.47　廃プラスチックのケミカルリサイクルプロジェクト

出資・M&A
業務提携

石油・化学企業	パートナー	資本関係	稼働予定	生産能力 [トン]	国	検討状況
Shell	BlueAlp	21%	2023~	30,000	オランダ	BlueAlp技術のスケールアップを検討中
BP	Brightmark		NA	NA	ドイツ、オランダ、ベルギー、	工場検討と並行し、既存の熱分解オイルで利用方法開発中
TotalEnergies	Plastic Energy		2023~	15,000	フランス	工場検討と並行し、既存の熱分解オイルで利用方法開発中
Eni (Versalis)	Servizi di Ricerche e Sviluppo (SRS)		NA	6,000 パイロット	イタリア	工場の設計は完了し、投資の最終検討中
Repsol	Axens, French Institute of Petroleu (IFPEN)		NA	NA	スペイン	3社共同でプロセスは開発済みで、Repsol工場への導入を検討中

（出所）各社プレスリリース

（３）　PMMA のケミカルリサイクル

また、大型のコンソーシアムを組んでポリオレフィン以外のプラスチックのリサイクルを進める動きも存在する。2018 年から PMMA 大手の PMMA[1] 大手の Arkema[2] を中心にプラスチックの中でも透明性や耐衝撃性に優れる PMMA のケミカルリサイクル実現に向けたプロジェクト（MMAtwo）が進められている。

1）Polymenthyl methacrylate：アクリル樹脂。雑貨や自動車のライトカバーなどに使用される。

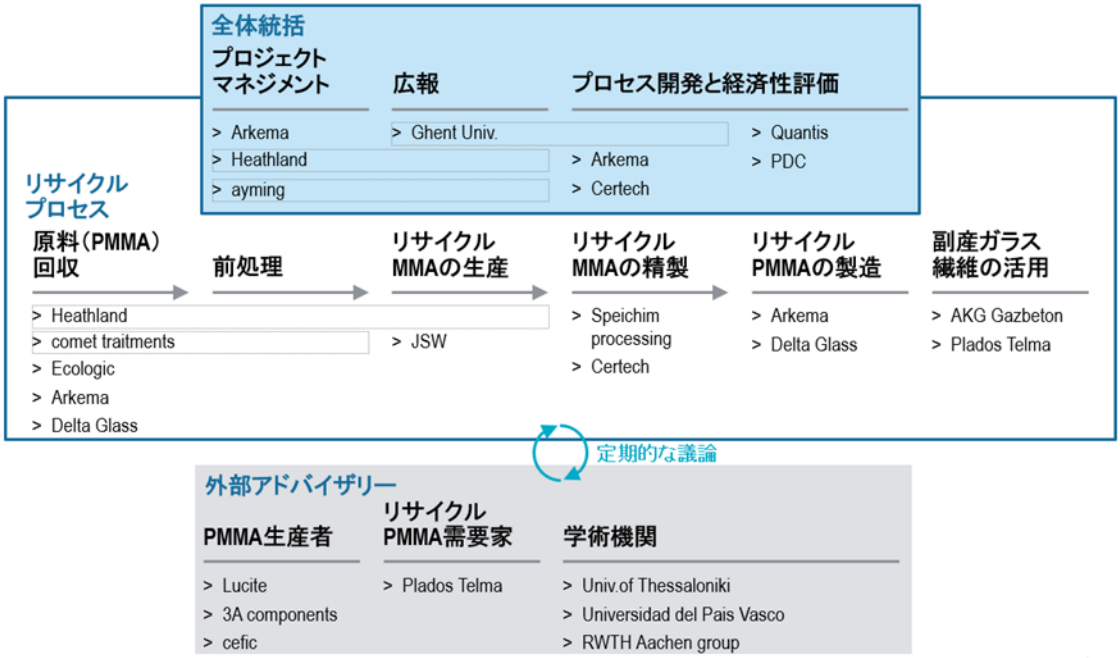
2）2021 年 5 月に PMMA 事業を合成ゴム大手の米 Trinseo に売却した。しかし、プロジェクト自体は引き続き Arkema がリードしている。

従来、PMMA のリサイクルは、製造工程で発生する端材のみを対象としており、自動車のライトカバーなど、使用済製品の回収・再処理は行われていなかった。したがって PMMA のリサイクル率は 10%にとどまっていたが、MMAtwo では回収の対象を使用済み製品にまで広げることでリサイクル率が 20%となることを目指している。さらに、現在の鉛を利用した再処理プロセスでは使用済・低品質の PMMA がリサイクルできないという課題もあるため、新たな鉛フリーの再処理プロセスも開発されている。その後、解重合にて MMA を生産し、精製した MMA からまた新たな PMMA を製造していく。また、原料として回収した PMMA には強度付与のためガラス繊維などが添加されている場合もあり、リサイクルプロセスから回収された副産ガラスの利活用もプロジェクトに組み込まれている。2021 年 7 月時点では、パイロットプラントで 100kg/時間の安定生産を実現している。

MMAtwo は PMMA 大手の Arkema がプロジェクトマネジメントを担うが、大型の業界コンソーシアムが組織され、PMMA 処理のバリューチェーン毎のエキスパートが参画している（図表 5.2.48 参照）。例えば、使用済 PMMA の回収は現地産業廃棄物処理業者の Ecologic が担い、プロセス処理の最適化はゲント大学の学術知見を活用している。日本からは JSW（日本製鋼所）が参画しており、解重合技術を提供している。また、プロジェクト体制とは別に、グローバルな PMMA 業界関係者（サプライヤー、エンドユーザー、学術専門家）から

なる MMA Advisory Board が設置されており、助言や意見交換のための定期的な会合を持つことで、MMAtwo の推進と成功を支えている。
MMAtwo は欧州の Horizon 2020 から 660 万ユーロ（約 9 億円）の助成を受けており、2022 年 9 月のプロジェクト終了時までに、PMMA 回収からケミカルリサイクルまでのバリューチェーン実証を行う。実証で得られたケミカルリサイクルプロセス（鉛フリーの解重合）は、プロジェクト終了後すぐに商業生産が可能になっていることが期待されている。

図表 5.2.48　MMAtwo のプロジェクト体制



（出所）MMAtwo

（４）　廃プラケミカルリサイクルの課題
いずれのケミカルリサイクルにおいても、経済的な課題が存在する。使用済の廃プラスチックを回収・選別・熱分解することは、新たに石油原料からプラスチックを製造するよりもコストがかかる。技術開発を進めると同時に石油からのプラスチック生産者にリサイクルを義務付け、その資金を負担させるなど、政策・規制面での枠組み作りも求められている。

５．３ 欧州における石油、石油化学、化学、鉄鋼、その他製造業との産業間連携
５．３．１　Carbon2Chem プロジェクト
Carbon2Chem プロジェクトは、製鉄所から副産物として排出される CO（一酸化炭素）や CO2、CH4（メタン）を、化学製品の基礎原料として使用することで GHG 削減を目指している。鉄鋼メーカーの thyssenkrupp を中心に研究機関や化学メーカーなど、多くのパートナーが参画して進められている（図表 5.3.1 参照）。
（１）　フェーズ 1：2016 年～2020 年まで実施

ドイツ教育研究省（BMBF）から 6,000 万ユーロ（84 億円）の助成を受け、主に副産ガス利用のプロセス開発が行われ、実際にパイロットプラントでアンモニア、メタノール、高級アルコールの製造に成功した。

（2） フェーズ 2：2020 年～2024 年までの計画

7,500 万ユーロの助成（105 億円）を受け、フェーズ 1 で開発したプロセスのスケールアップと、鉄鋼同様に CO2 を大量に排出するセメント工場や廃棄物焼却場などの異業種への展開が検討される。具体的には、フェーズ 2 は 7 つのサブプロジェクトから構成されている。

サブプロジェクト L-0 として、原料となる副産ガスの調整から各種化学製品の加工までを統合し、全体シミュレーションを行った上でサブプロジェクト間の調整を行うことで全体プロセスの最適化を図る。また、全体プロセスにおける経済性や持続可能性も L-0 で評価する。L-0 のプロジェクトパートナーは、thyssenkrupp、フラウンホーファー研究機構、マックスプランク研究所、Siemens Energy の 4 社である。

サブプロジェクト L-3 では、その後の化学製品の原料となる副産ガスの抽出・加工精　製を行う。フェーズ 1 において CO や H2、N2 などを含む副産ガスを利用できることがモデルガスベース、あるいはパイロットプラントベースで示された。これをスケールアップしたシミュレーションや具体的なプロセス開発を行う。L-3 のプロジェクトパートナーは、thyssenkrupp、フラウンホーファー研究機構、ルール大学ボーフム、Linde、Clariant Produkte の 5 社である。

サブプロジェクト L-2 では、副産 CO や H2 を活用したメタノール合成が行われる。副産ガスを原料としたメタノールの製法確立が焦点で、フェーズ 2 では、主にフェーズ 1 で検討した製法の長期安定性の試験が行われる。L-2 のプロジェクトパートナーは、thyssenkrupp、フラウンホーファー研究機構、ルール大学ボーフム、Nouryon Industrial Chemicals、Clariant Produkte の 5 社である。

サブプロジェクト L-4 では、副産ガスを活用したアルコール、オレフィン、合成燃料製造が行われる。各化学製品の製造プロセスにおける触媒開発が焦点で、触媒や設備の設計とパイロットプラントの立ち上げが行われる。L-4 のプロジェクトパートナーは、thyssenkrupp、フラウンホーファー研究機構、ルール大学ボーフム、アーヘン工科大学、Evonik Operations の 5 社である。

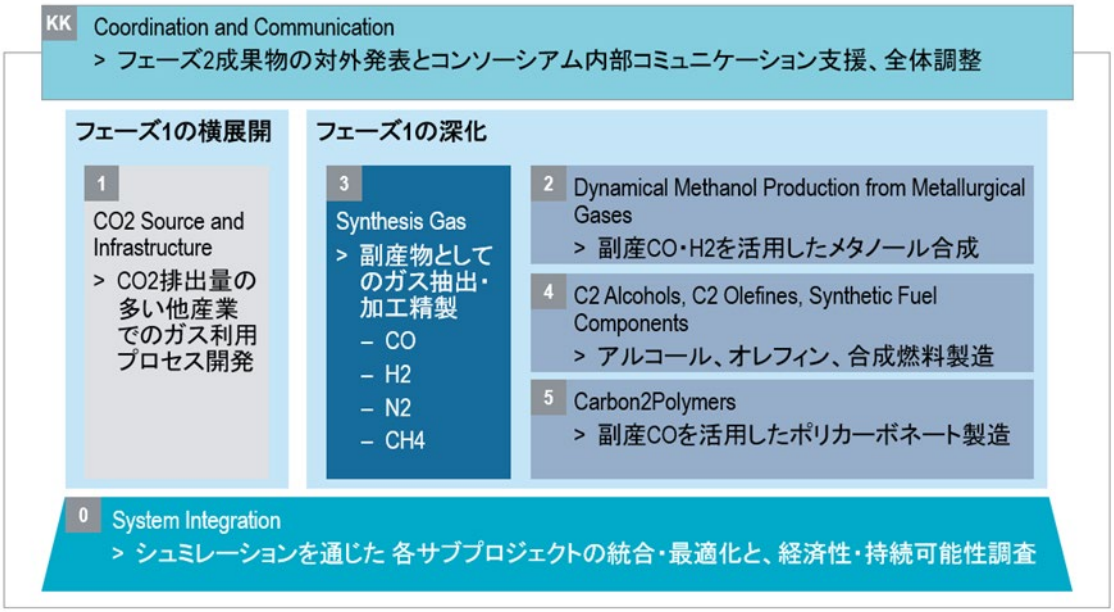
サブプロジェクト L-5 では、それぞれ副産 CO を活用したポリカーボネート製造が行われる。ポリカーボネート製造における触媒開発が焦点で、触媒を正常に機能させるための原料ガスの精製、反応器のコンセプト策定と、収益性分析が行われる。L-5 のプロジェクトパートナーは、マックスプランク研究所、アーヘン工科大学、Covestro の 3 社である。

サブプロジェクト L-1 では、フェーズ 1 で開発された副産ガスの活用プロセスコンセ　プトを CO2 排出量の多い他業種への展開が検討される。具体的には、石灰工業に展開するための技術適応に向けた理論評価やパイロットプラントの開発が行われる。L-1 のプロジェクトパートナーは、thyssenkrupp、フラウンホーファー研究機構、Lhoist Germany Rheinkalk、REMONDIS Asset & Services の 4 社である。

サブプロジェクト L-KK では、フェーズ 2 における成果物の対外発表やコンソーシアム内部のコミュニケーション支援と各種全体調整が行われる。様々な会議体や幅広い聴衆

を想定した技術ワークショップの設定を担う。L-KK のプロジェクトパートナーは、thyssenkrupp、フラウンホーファー研究機構、マックスプランク研究所の 3 社である。

図表 5.3.1　Carbon2Chem のプロジェクト構成（フェーズ 2）



（出所）thyssenkrupp，フラウンホーファー研究機構

（3）　Carbon2Chem プロジェクトの課題

本プロジェクトの難しいポイントとしては、従来確立されている化学製品の製造プロセスの前提条件が大きく変わってしまうことである。製鉄所の排ガスの抽出や化学製品の製造は、基本的に再生可能エネルギーを利用して行わる。しかも、これらの製造には自然条件の変化による再生可能エネルギーの供給のブレのバッファー（調整可能な電力デマンド）としての役割が期待されているため、従来の製造プロセスの前提である「24 時間 365 日稼働」ではないオペレーションが必要になる。

その実現のためには、再生可能エネルギーの状況に合わせて稼働したり止まったりという操業の変動や結果としての温度・圧力変化に耐えうる設備や製造プロセスが求められる。製造プロセスの中で使用される触媒は、特に温度・圧力変化に敏感であるため、新たな製造プロセスにフィットする触媒の開発も必要である。

このフェーズ 2 を経て製鉄所排ガスからの化学品製造プロセスを確立・実証し、10～15 年以内に Carbon2Chem の技術を普及させることを目指している。ただし、普及の前提として再生可能エネルギーや水素価格が劇的に低下する必要がある他、欧州以外の市場でグリーンケミカルの規制が引き続きない場合、資金面での支援の仕組みなどが必要になってくる。

5．3．2　Linde の大規模グリーン水素プラント計画（ドイツ）

2021 年 1 月、Linde はドイツのロイナケミカルコンプレックス内に 24MW（2.4 万 KW）の PEM（Proton Exchange Membrane)による電気分解工場の建設を発表した。PEM 技術によるプ

ラントとしては世界最大級のものであり、2022 年後半からの稼働を目指している。当初はグリッドに接続された認証再生可能エネルギーを使用するが、最終的には地域の再生可能エネルギー発電所からの電力を使用する計画である。

ここで生産されたグリーン水素は、既存のパイプラインを通じ、主に現在 Linde がグレー水素を供給する産業顧客に対して、プレミアム価格で販売することが計画されている。また、地域の需要家以外に、ノルウェーのフェリー会社である Norled に対して、液体水素を供給する契約を締結している。Norled は、水素燃料電池によるフェリーの運航を目指しており、その燃料としてのグリーン水素と関連インフラの供給を Linde が担う。

ドイツからノルウェーへの液体水素輸送は、液体水素タンカー船が検討されており、週に 1 回で、4.5～5 トン程度の水素を供給することが計画されている。このタンカー輸送は、グリーン水素による燃料電池フェリーの実現を重視した初期的な手段であり、将来的にはノルウェーでグリーン水素を製造することも検討されている。

Linde は、脱炭素関連に 10 億ドル以上を投資し、2028 年までにブルー水素を含むグリーン水素の生産量を 3 倍にすることを計画し、ロイナケミカルコンプレックスでの本プロジェクトはその一環である。

現時点で最も成熟したグリーン水素製造技術は ALK (alkaline)であるが、停止から稼働するまでの立ち上げ時間が短いという点で、PEM 技術が注目されている。動力源となる再生可能エネルギーの発電量のブレを吸収するバッファー 、調整負荷として、発電量が多い、余剰電力が発生する時間帯に稼働し、そうでない時間帯は停止するというオペレーションが想定されるため、立ち上げ時間の短さは非常に重要である（図表 5.3.2 参照)。

PEM は ALK よりも高価でエネルギー効率が低い点が現時点での課題であるが、その解決のため欧州で多数のプロジェクトが進められている（図表 5.3.3 参照)。

Shell、Linde、スナム、BASF は、欧州でグリーン水素を製造する固体高分子膜（PEM）型水電解装置の大型化が進展している。

Shell はドイツのヴェッセリングにある製油所に 2MW のモジュールを 5 つ組み合わせた 10MW の PEM 型水電解装置を導入した。ノルウェーで稼働中の 9 MW のアルカリ水電解装置を上回り、欧州最大の水電解装置となる。2 期計画として 100 MW を追加する。2022 年には Linde がドイツのロイナケミカルコンプレックスに ITM パワーの 24MW 電解槽設備の稼働開始を予定している。スナムは、イタリアに 30 年までに 10 GW を導入するシルバーフロッグ計画の中核企業で、第 1 弾として 100 MW を ITM パワーから調達する。

ITM パワーは 2001 年に設立され、過去 10 年間で、貴金属の使用量を 80%削減し、19 年に貴金属コストで欧州連合は 30 年の目標としていた 1 ワット当たり 0.4 ミリグラムを達成した。2021 年、年産 1GW（100 万 KW）の大型工場を立ち上げたのを機に、モジュールを 2 MW から 5 MW に移行。大型化と量産効果によりさらなるコスト削減が期待されている。ITM パワーには Linde と、イタリアのスナムが出資している。

ジーメンスは 200MWPEM 型水電解装置を建設するエア・リキードとも協力していて、H2V によるノルマンディー・プロジェクトで具体化の機会を探っている。BASF はジーメンスとドイツのルートヴィッヒスハーフェンにある本社工場で 50 MW の PEM 型電解装置の導入を

検討している。アルカリ水電解に比べ PEM 型は材料費が高く大型プロジェクトには不向きとされていたが、技術開発と量産効果により、この壁を越えようとしている。アルカリ型が高効率で低コストである一方、PEM 型は小型化しやすく負荷追従性が高いため、出力変動が大きい再生可能エネルギーとの相性がいい。ただ PEM 型は触媒に貴金属を使用するため設備費が高いことが課題とされ、大型プロジェクトには適さないとされていた。

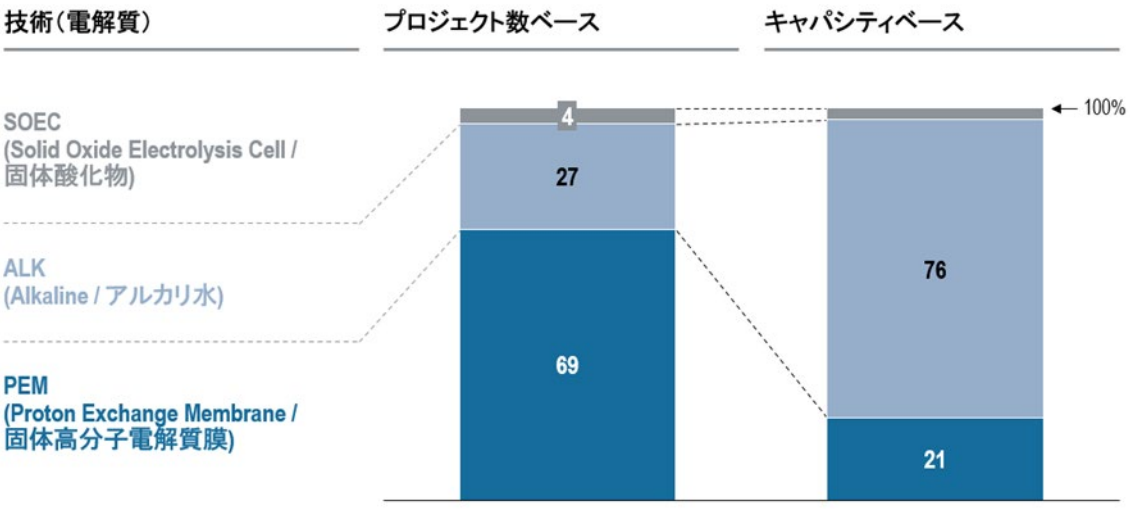
図表 5.3.2　電解技術毎の主要パラメータ

現時点で優位
現時点で劣後

技術（電解質）	技術の成熟度	エネルギー効率 [%]	効率劣化速度 [%/千時間]	触媒使用量 [mg/W]	立ち上げ時間 [秒]	必要面積 [m²/MW]
ALK (Alkaline / アルカリ水)	商業ベースで稼働中	67	0.12	0.6	60	100
PEM (Proton Exchange Membrane / 固体高分子電解質膜)	スケールアップが必要	61	0.19	2.7	2	60
SOEC (Solid Oxide Electrolysis Cell / 固体酸化物)	スケールアップが必要	83	1.9	NA	600	150

（出所）Gas For Climate

図表 5.3.3　欧州での電解プロジェクトの内訳［%］



（出所）Gas For Climate

５．３．３　BASF と RWE による化学産業向けのグリーン水素プロジェクト

2021 年 5 月 21 日、BASF と RWE は、世界最大級の 2GW（200 万 kw）の容量を持つ洋上風力発電所をドイツ北海に建設する計画を発表した。同所で見込まれる 7,500 万 GWh の 80%を

BASF が引き取り、ドイツのルートヴィッヒハーフェンにある本社工場を始め、アントワープなどの各地域の工場で使用する予定で、現状化石燃料に依存する化学品製造のエネルギーをグリーン電力化していく計画である。残りの 20%の電力は RWE が引き取り、新設される 300MW の電解設備でグリーン水素製造に充てられる。

洋上風力発電所と電解設備の建設には、総額 40 億ユーロ以上（約 5,600 億円）が必要と見込まれている。BASF は洋上風力発電所の株式の 49%を取得する予定である。本プロジェクトは 2030 年の操業開始が目標とされており、BASF はそれを見据えた製造プロセスの電動化を進めている。本社工場では、SABIC や Linde と共同でエチレン生産用のスチームクラッカーの電熱化を検討しており、2023 年の操業開始を目指している。

本プロジェクトの最大の課題は、未だ洋上風力発電所の用地が確保できていないことである。政府が用意した 2030 年までに合計 20GW 分の洋上風力発電を建設できる用地は既に入札を終えているため、新たな用地を政府から許可してもらう必要がある。

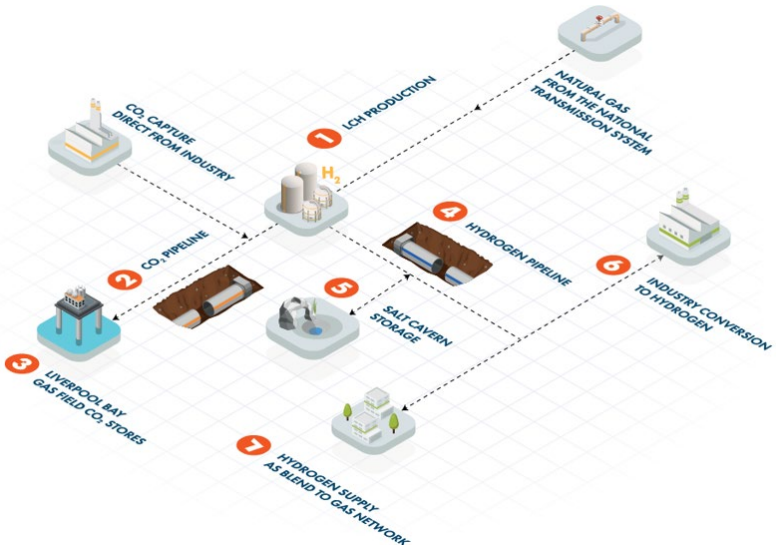
BASF と RWE は、洋上風力発電所は既に採算が確保できているため建設に対する公的な資金援助は不要としており、用地確保が争点となっている。また RWE は、用地・送電網の計画策定から入札募集、発電所開発、グリッド接続までの開発プロセスは最低 7 年かかると考えており、2030 年の操業開始に向け、政府に迅速な対応を求めている。

５．３．４　HyNet North West プロジェクト

マンチェスターやリバプールを有するイングランド北西部は、同国最大の産業エリアの一つであるため、イギリスがカーボンニュートラルを目指す中で、同地域の脱炭素化は重要視されている。

2016 年から検討が始まった HyNet North West プロジェクトは、同地域でブルー水素を生産・貯蔵し、既存の天然ガスパイプラインを活用しながら、産業や輸送、建物暖房における水素活用を進めていくものである（図表 5.3.4 参照）

図表 5.3.4　HyNet North West プロジェクトのコンセプト



（出所）HyNet North West

足元で優先的に実証が進められているのは、ブルー水素の生産とそれに伴うCCSの開発、それから特に産業界の一部における水素利用であり、プロジェクトディベロッパーのProgressive EnergyがHynet全体のプロジェクトマネジメントを担っている。

ブルー水素の生産においては、Essar Oilのスタンロー製油所（18万BD）の設備が活用（図表5.3.5参照）され、生産プロセスの開発やエンジニアリングに関し、それぞれJohnson MattheyとSNC-Lavalinがパートナーとして支援している。現在、設備設計も含めたFSが行われており、2023年に最終の投資意思決定がなされた後、建設が開始され、2025年の操業開始（生産量：3TWh/年）を目標としている。

ブルー水素生産のプロジェクトに対しては、英国政府から約800万ユーロ（750万ポンド、約11億円）が補助されている。産業における水素の利活用においては、同地域に工場を有するUnileverやPilkington、Essar Oilが参画している（図表5.3.6参照）。

Uniliverは2030年までのカーボンニュートラル（スコープ1&2）を目指しており、その実現に向けた取り組みの一環として、ホームケアやパーソナル製品を製造するポートサンライト工場において商業ボイラーにおける天然ガス代替としての水素利用を実証していく。商業規模では世界初の実証試験となる。Pilkingtonも、親会社のNSG（日本板硝子）が2030年までにGHG排出量を21%削減（2018年対比）することを目標としている。

ヘントセレンズ工場でのガラス製造における脱炭素化のため、製造炉の加熱時に天然ガス代替として水素利用を実証していく。ガラス製造での水素利用は世界で初めての試みである。Essar Oilもブルー水素を生産するスタンロー製油所において、水素100%によるガスタービンでの熱電併給システムを実証する。

これら水素の産業での利活用のプロジェクトに対しては、英国政府から約600万ユーロ（520万ポンド、約8.5億円）が補助されている。

図表 5.3.5　Essar Oil のスタンロー製油所



（出所）PUBLICITY PIC

図表 5.3.6　HyNet North West プロジェクトの参画企業例と役割



（出所）HyNet North West、各社プレスリリース

足元、実証中の企業以外にも、HyNet North West プロジェクトには、化学品や食品、自動車など多くの業界から合計約 40 社の民間企業がパートナーとして参画しており、水素利用可能性を検討している（図表 5.3.7 参照）。

図表 5.3.7　HyNet North West プロジェクトのパートナー企業（約 40 社）



（出所）HyNet North West

（参加企業）Eni, Essar oil, Progressive Energy, Cadent, InterGen, CF Fertilisers, Hanson UK, inovyn, University of Chester, Encirc, Pilkington, Unilever, Johnson Matthey, Viridor, Ingevity, Cargill, Bioenergy Infrastructure Group, Ibstock Brick, Heineken, Peel L&P, Essity, Solvay, Kellogg's, ESB Group, Nynas, CPW, Novelis, Carlton Power, Uniper, Jaguar, Fulcrum BioEnergy, Kent, Glass Futures, Saica Group, Pepsico, Prinovis, Kraft Heinz, Tata Chemicals, Advanced Biofuel Solutions: ABSL）

また、ガスインフラの Cadent は水素流通のためのパイプライン拡大の検討をリードしている。なお、既存パイプラインを活用した水素による建物暖房の実現目標時期は 2030 年代とされている。HyNet North West での知見や成功モデルは、他地域にも展開され、イギリス全体での脱炭素化に貢献していくと考えられる。

５．３．５　Shell のグリーン水素プラント計画（ドイツ・オランダ）

Shell は GHG 排出ゼロに向けた事業転換を進める中、欧州で水素サプライヤーとしてのポジション構築を目指している。

中長期の目標として、NortH2 プロジェクト（オランダ）において 2030 年までに合計 4GW、2040 年までに 10GW の容量を有する大規模水素ハブの一翼を担うことを計画している。欧州全体のグリーン水素製造に向けた電解設備の導入目標が 2030 年時点で 40GW であるため、NortH2 は欧州全体の需要の約 1 割をカバーする規模である。中長期での目標実現に向けたファーストステップとして、足元ではドイツ・オランダで実証試験レベルや中規模のグリーン水素プラント立ち上げを計画・実行している。

2021 年 7 月には、Refhyne プロジェクトがドイツの Shell ラインランド工場でグリーン水素の生産を開始した。電解容量は 10MW と実証試験レベルで、PEM（Proton Exchange Membrane）技術による再生可能エネルギーの調整負荷としての役割を見据えた取り組みである。生産されたグリーン水素は、Shell ラインランド工場で主に低炭素燃料の生産に使用

される。本プロジェクトのパートナーとして、ITM Power が電解設備を供給し、SINTEF が研究開発と実証を支援し、Element Energy と Shera がそれぞれ低炭素の技術や認証関連のアドバイスを行っている。工場への導入を含めたプロジェクトの総投資額は約 2,000 万ユーロで、その内 1,000 万ユーロ（約 14 億円）を FCH JU（The Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking)が助成している。

Refhyne プロジェクトは、将来的に電解容量 100MW まで拡大することが検討されている。この拡大を見据え、2021 年 7 月に Shell は Uniper と水素パイプラインの共同開発検討を開始した。具体的にはオランダのロッテルダム港と、ドイツのウィルヘルムスハーフェン港から、ドイツの産業地域であるノルトライン・ヴェストファーレン州を結ぶインフラとなり、水素の生産、貯蔵、輸送のフルバリューチェーンを前提とした FS が進められている。

さらに、Refhyne プロジェクトは Shell の SAF（Sustainable Aviation Fuel: 持続可能な航空燃料)の生産計画とも連動している。Shell は 2021 年 9 月、2025 年までに 200 万トンの SAF を製造する意向を発表している。これは現時点でのグローバルでの SAF 需要の 10 倍に相当する。現時点では、Refhyne と同じラインランド工場において、2024 年から使用済み食用油や産業・農業残渣物などを原料に年間 82 万トンのバイオ燃料を生産しその半分を SAF とする計画である。バイオマスから炭化水素ガスを取り出し、それに水素化処理を行うことでジェット燃料化される。

その他、実証試験レベルのグリーン水素生産プロジェクトとして、Shell は GZI Next に参画している。これは NAM のガス精製工場（GZI）跡地に、既存設備を活用したエネルギーハブを構築するもので、太陽光発電からグリーン水素を生産する計画である。Shell は水素の生産と水素燃料電池を利用したバス向けの水素ステーション建設を担っている。電解容量の規模としては 10MW 程度だが、GZI での既存インフラを活用したエネルギーハブモデルを他地域に展開することでの規模拡大を目指す。

中規模プロジェクトとして、Shell はオランダで 200MW のグリーン水素生産を検討している。これは Shell が Eneco と共同で入札し、2023 年までに操業開始が予定されている 759MW の洋上風力発電を活用するもので、生産した水素は主にオランダの Shell ペルニス工場のオペレーションに使用される他、大型商用車の燃料としての使用も検討されている。エンジニアリングサービスを提供する Worley とは、既にペルニス工場との統合を含む水素プラント建設の契約を締結しているが、最終的な投資の意思決定は 2021 年末までに行われる予定である。実現すれば、世界最大級のグリーン水素プラントとなる。Shell のグリーン水素計画の状況については、図表 5.3.8 参照。

図表 5.3.8　欧州における Shell のグリーン水素プロジェクト

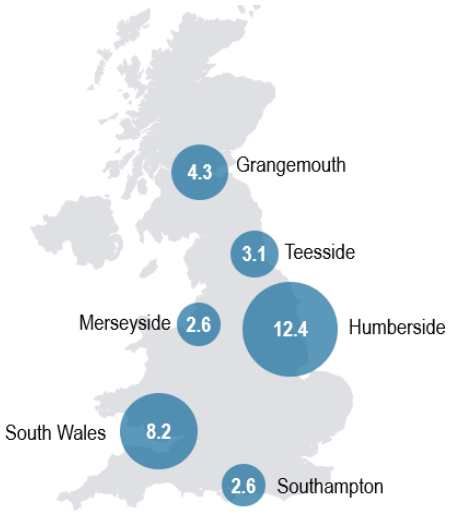
稼働時期	プロジェクト	再エネ容量 [MW]	電解容量 [MW]	パートナー	水素用途	将来計画	プロジェクトステータス
2021	Refhyne / ドイツ	NA	10	> ITM Power (機械) > Element Energy, Sphera (コンサル) > SINTEF (研究)	Shellラインランド工場での低炭素燃料生産	Refhyne IIとして100MWへの拡大を検討中	稼働中（2021年7月~）
2022	GZI Next / オランダ	太陽光 12	10	> NAM (ガス) > Gasunie (インフラ) > EBN (認証) > Emmtec (工業団地)	モビリティ（水素バス）	他地域へのエネルギーハブモデル横展開を検討	太陽光発電所は完成済で、水素関連設備を建設中
2023	Holland Hydrogen I / オランダ	洋上風力 759	200	> Worley (機械) > SIEMENS (機械) > Eneco (電力)	Shellペルニス製油所の運用とモビリティ（大型輸送機関）	NA	2021年中に投資意思決定
2030	NortH2 / オランダ	洋上風力 3,000-4,000	4,000	> RWE (電力) > Gasunie (インフラ) > Equinor (資源) > Groningen港	大規模水素ハブとして多用途活用	2040年に10GWへ拡大の計画	FS中（2030年以降を焦点とした第2フェーズ）

（出所）Shell IR，各プロジェクト HP

５．３．６　Equinor などによる英国 Humber Side における取り組み

ハンバーサイドは、イギリスの主要な 6 つの産業地域で GHG 排出量が群を抜いて大きく、カーボンニュートラルの実現に向け、最も重要な地域である（図表 5.3.9 参照）。2019 年から検討が始まった Zero Carbon Humber プロジェクトは、港から北西約 80～90km に位置する炭素貯蔵に適した大型のエンデュランス帯水層を最大限活用したブルー水素の生産と、産業・電力・建物などの脱炭素化を図るものである。地域の脱炭素化においては水素の活用方法を見出すことも検討されるが、それが難しい場合も CO2 パイプラインを通じてエンデュランス帯水層に貯蔵（CCS）することで脱炭素化を実現することができる。

図表 5.3.9　産業地域毎の CO2 排出量（産業由来のみ）



（出所）Zero Carbon Humber

Zero Carbon Humber は、二つのフェーズに分かれており、2027 年までのフェーズⅠでは主に重要インフラ導入と技術実証が行われ、2028～2040 年頃までのフェーズⅡでは周辺地域への展開を含む、実証技術や水素生産・需要のスケールアップが計画されている。

フェーズⅠでの主要なプロジェクトは大きく 5 つあり、1) ブルー水素の生産、2) エンデュランス帯水層への炭素貯蔵、3) バイオマス発電所の CCS 導入、4) 天然ガス発電所の CCS 導入、5) 製鉄所での水素利用、に関する実証が行われる（図表 5.3.10 参照）。

図表 5.3.10　Zero Carbon Humber（フェーズⅠ）の主要プロジェクト



（出所）Zero Carbon Humber

ブルー水素の生産は、H2H Saltend プロジェクトとして、Air Products や BP、Ineos、日本合成などのグローバルな化学・エネルギー企業が集うソルトエンド工業地域で行われる。Equinor が本プロジェクトを主導しており、ガスインフラの Centrica、工業地域オーナの PX、港湾オペレーターの ABP、関連機械の三菱パワー、水素の将来需要家となる BP や Triton Power がパートナーとしてサポートする。現在 FS 中で、2023 年までに投資の最終意思決定がなされ、2026 年までの操業開始が目標とされている。世界初の商業ベースのブルー水素プラントとなる見込み。なお、Uniper も別途イミンガムでブルー水素生産を検討しているが、タイムラインとしては H2H Saltend の後となる。

エンデュランス帯水層への炭素貯蔵は、BP、Eni、Equinor、National Grid、Shell、Total による NEP (Northern Endurance Partnership)の元、隣接するティーズサイドのプロジェクトである Net Zero Teesside と共同で行われる。ハンバー東部のイージントンから約 80-90km に位置する帯水層まで CO2 を輸送・貯蔵するため、Net Zero Teesside と共通のインフラ開発が検討されている。ブルー水素生産と合わせ 2026 年までの操業開始を目指している。また、将来的にはエンデュランス帯水層周辺のサイトでの炭素貯蔵も視野に入れ、調査が進められている。

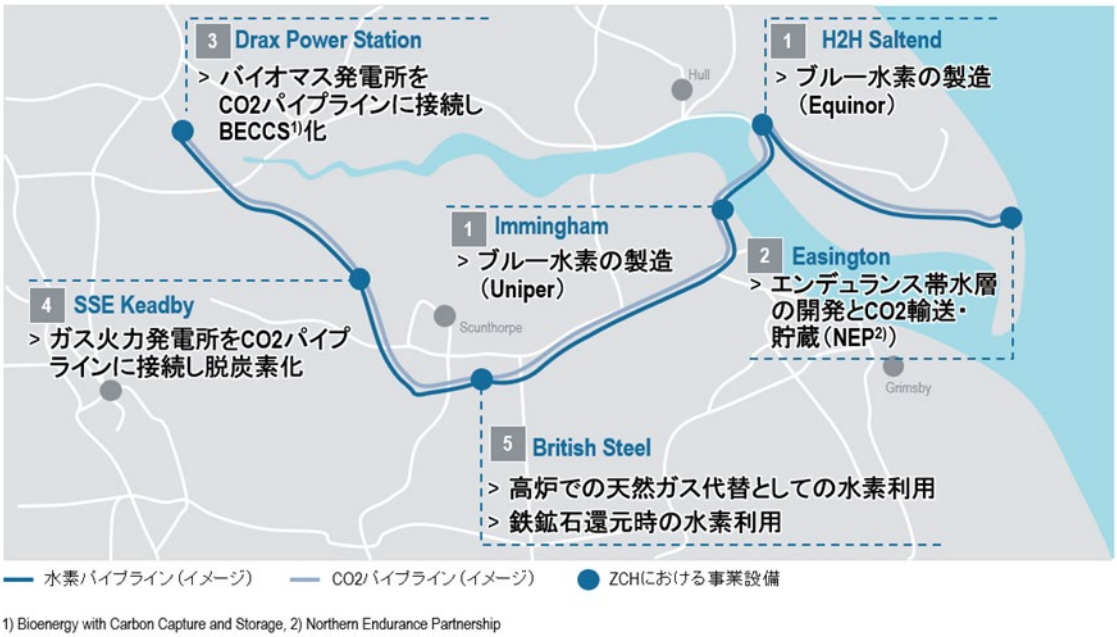
バイオマス発電所への CCS 導入は Drax が主導している。Drax は 4 つのバイオマス発電所

を保有しており、これらに CO2 パイプラインを接続し、発電に伴う CO2 を回収することで、カーボンネガティブな BECCS（Bioenergy with Carbon Capture and Storage）となる。現在、パイロットスケールでの CO2 回収試験が進められており、2027 年までに少なくとも 1 ユニットを BECCS 化することを目指している。2028-2035 年の間に全てのユニットを BECCS 化し、最大 1,600 万トン/年のカーボンネガティブとする計画である。この量は現在のハンバー地域における産業由来の GHG 総排出量に相当する。

ガス火力発電所への CCS 導入は SSE が主導する。現在、キードビーにイギリス初の CO2 パイプラインを接続したガス火力発電所を開発しており、2020 年代半ばまでに操業を開始する計画である。将来的には、100%水素を燃料とした水素火力発電も検討されている。先進的な水素用ガスタービンを有する三菱パワーがパートナーとして支援している。

製鉄所での水素利用は British Steel が主導する。製鉄における水素の利用方法は大きく二つあり、一つは高炉の加熱における天然ガス代替としての水素利用で、もう一つは鉄鉱石（酸化鉄）を還元し、鉄を製造する際の石炭（コークス）代替としての水素利用である。特に後者は高度なプロセス技術開発が必要になることもあり、Zero Carbon Humber での明確なタイムラインは示されていないが、イギリス政府の独立アドバイザリー機関である"The Climate Change Committee"は、「鉄鋼生産は 2035 年までに GHG 排出をほぼゼロにすべき」と提言しており、それを一つの目安に開発と実装が進められると想定される。図表 5.3.11 に、Zero Carbon Humber（フェーズ I）の主要プロジェクト位置を示す。

図表 5.3.11　Zero Carbon Humber（フェーズ I）の主要プロジェクト



1) Bioenergy with Carbon Capture and Storage, 2) Northern Endurance Partnership

（出所）Zero Carbon Humber

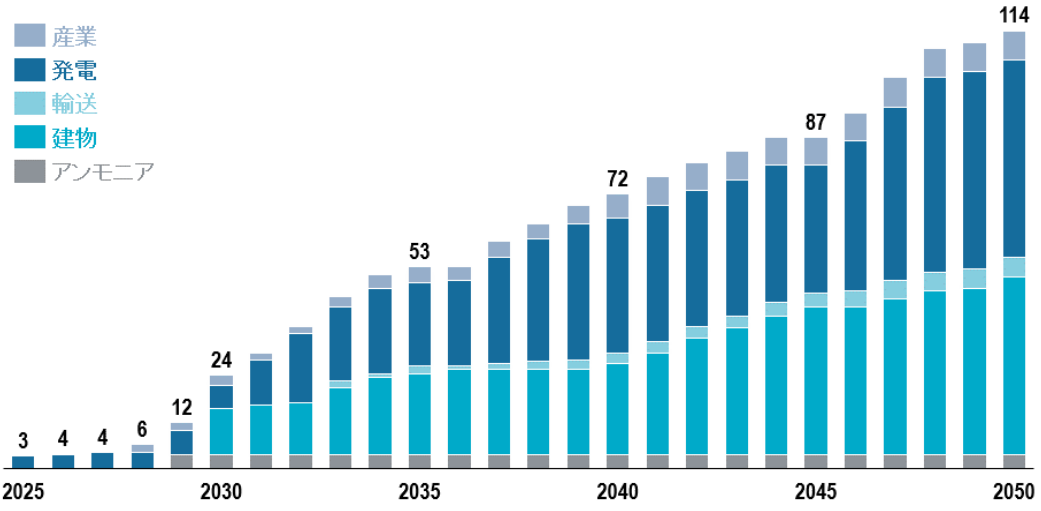
Zero Carbon Humber パートナーシップは、Equinor、Associated British Ports、British Steel、Centrica Storage Ltd、Drax Group、三菱パワー（三菱重工子会社）、National Grid

Ventures、px Group、SSE Thermal、Saltend Cogeneration Company Limited、Uniper、Sheffield 大学の先進製造センター（AMRC）など約 40 社が参画する壮大なプロジェクトである。

ブルー水素の製造能力に関して、Zero Carbon Humber からは公式な発表はなされていないが、エネルギー調査会社の Element Energy の分析によると Zero Carbon Humber 周辺地域での水素需要は、2025 年から 2027 年にかけて約 5TWh/年、2040 年に約 70TWh/年、2050 年に約 110TWh/年程度と見立てられている。これに見合った水素が生産されると想定される（図表 5.3.12 参照）。

中長期的にはグリーン水素が優位になってくる可能性があるが、Zero Carbon Humber のフェーズⅠ期間である 2027 年まではブルー水素が中心である。本分析では、水素による発電や既存の天然ガスインフラを活用した水素による建物暖房が普及し、大きなシェアを占めると想定されている（図表 5.3.12 参照）。

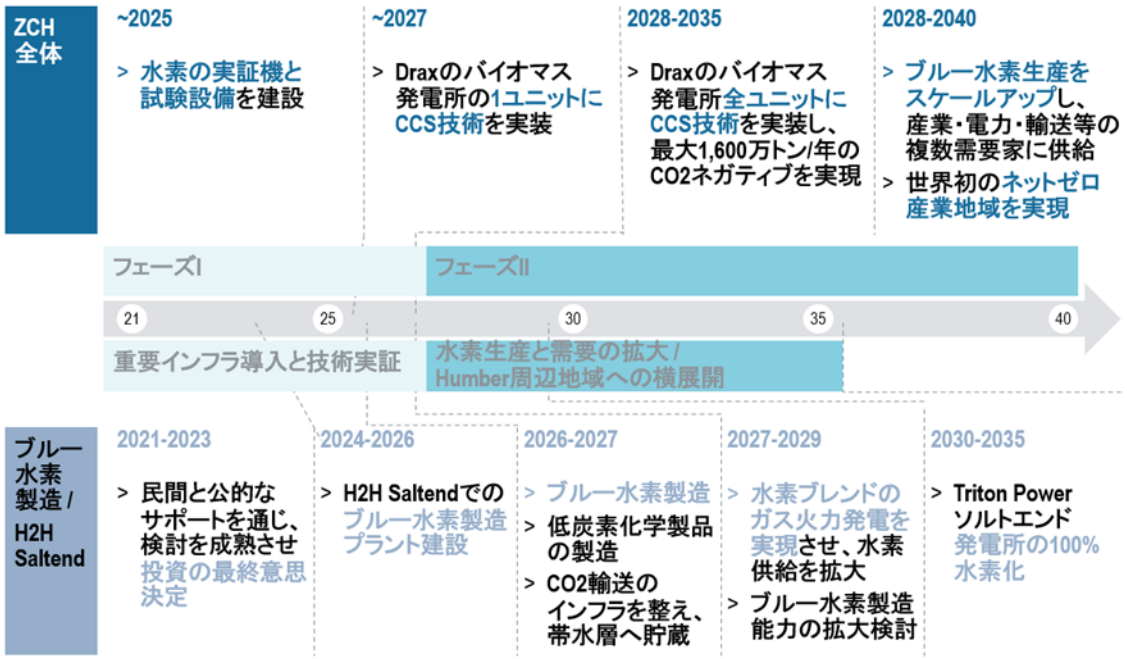
図表 5.3.12　Zero Carbon Humber 周辺地域（ヨークシャー＋ハンバー）の水素需要見立て［TWh/年］



（出所）Element Energy

ハンバーサイドは Zero Carbon Humber を通じ、2040 年までに世界初のネット・ゼロ産業地域となることを目指している（図表 5.3.13 参照）。実現に向けては、各種技術開発やインフラ整備などの膨大な投資や環境規制面の仕組み作りが必要となる中、2021 年 3 月、イギリス政府は Zero Carbon Humber に対し、約 8,500 万ユーロ（7,500 万ポンド、約 119 億円）の資金を提供することを決定している。これとは別にエンデュランス帯水層とインフラ開発のための資金として、NEP が約 2 億 6,000 万ユーロ（2 億 2,900 万ポンド、約 364 億円）を確保している。

図表 5.3.13　Zero Carbon Humber のプロジェクトタイムライン



（出所）Zero Carbon Humber

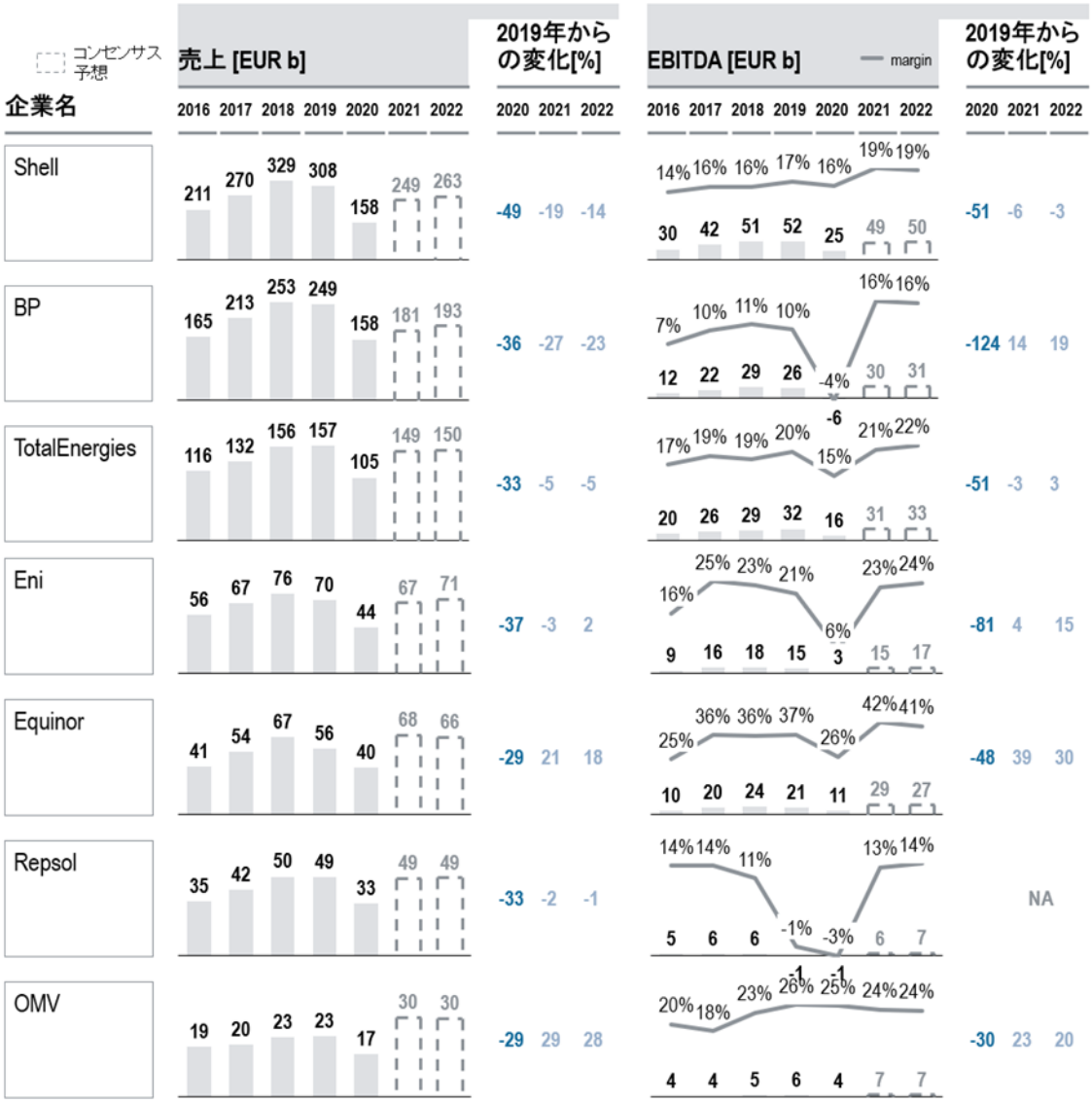
５．４ 欧州メジャーの収支回復状況とカーボンニュートラル戦略

新型コロナウイルスは、世界中のサプライチェーンに影響を及ぼし、石油製品需要を停滞させ、欧州メジャーの収益にも大きな影響を与えた。欧州メジャーの 2020 年売上は、2019 年比でマイナス 30～50%となり、全ての会社が赤字決算となっている。

しかし、その後 2021 年に向けてはワクチンの効果もあり、堅調な石油製品需要に支えられ、各社の売上は回復傾向にある。これは各社が個別にコスト削減などの施策を行ったというよりも、マクロ要因による全社一様の V 字回復である。本調査では、大手欧州メジャーとして Shell を、準大手欧州メジャーとして Equinor を例に詳細な収益分析を行ったが、いずれも需要と原油価格の回復による売上増のインパクトが最も大きかった。

コンセンサス予想では、Equinor と OMV は 2019 年売上を 2～3 割上回る程に回復し、TotalEnergies、Eni、Repsol は 2019 年売上に近い水準（-5～-2%）まで回復する見込みである。Shell と BP の 2021 年売上見込みは、2019 年比で 2～3 割マイナスにとどまるが、EBITDA は、いずれも 2019 年に近い水準となることが予想されている。なお、全体比較においては、国や会計基準などの違いを取り除いたキャッシュの創出力を比較するため、EBITDA (Earnings Before Interest, Depreciation and Amortization)を指標としている。EBITDA は、「税引き前利益」＋「支払利息」－「受取利息」＋「減価償却費」、或いは簡易的に「営業利益」＋「減価償却費」で計算され、国ごとに異なる「税金」「金利」や、採用する会計基準と企業の年度ごとに大きく異なり得る「減価償却費」の影響を取り除いたものである（図表 5.4.1 参照）。

図表 5.4.1　欧州メジャーの収益推移



（出所）SPEEDA

５．４．１　Shell の「Powering Progress」戦略と収益状況

Shell（2019 年売上：EUR 308 b、約 43 兆円）は、欧州最大手の業界リーダーとして、「脱炭素に向け、業界に道を示す」と低炭素の動きも引っ張っていくという強い気概を有するが、社会のエネルギー需要を冷静に見極めて必要なエネルギーを供給していくことをコミットしている。一方、ハーグ裁判所が「カーボンニュートラルに向けた 2030 年の中間目標は低すぎる」と判決を下したことに対しては控訴する方針で、「やれることはやる。ただし、社会における変化よりも早く進むことはできない。できる限りの速さで進める」との考えである。

ネット・ゼロに向けた Powering Progress 戦略も、Shell が独断的にタイムラインを引けるビジネスプランではなく、「変化は、顧客や社会がどこに価値を見出すかで決まる」としている。実際、低炭素への移行期には LNG が必須と考えており、供給計画を策定・推進している。低炭素の時代においても引き続き業界のリーダーであるべく、豊富な資金力を活用し、

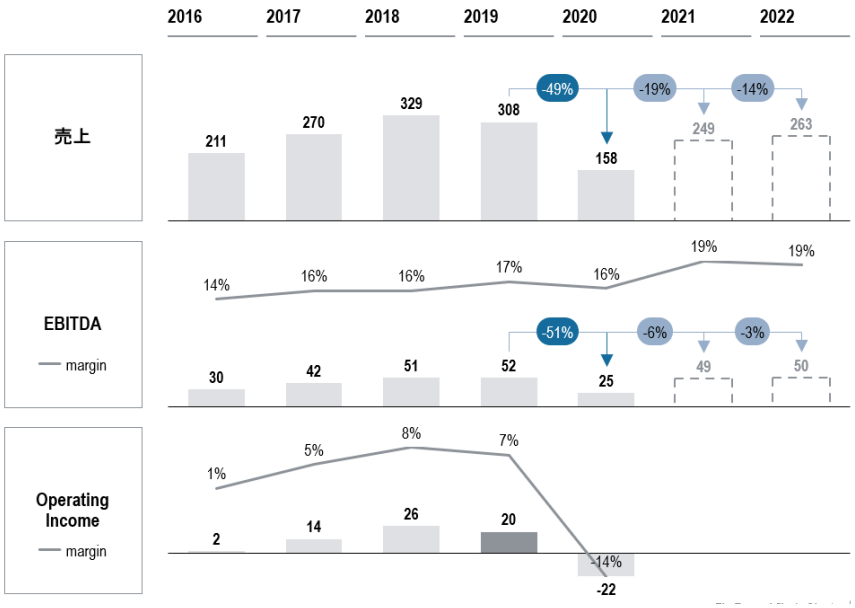
総合デパートのようにあらゆる低炭素ソリューションに対して投資している。

保有する製油所はグローバルで 5 つに集約し、「エネルギー・ケミカルパーク」に転換していく。例えば、ロッテルダムの旧ペルニス製油所では SAF などのバイオ燃料生産を検討中である。

（1） 需要回復や原油価格上昇により収益回復

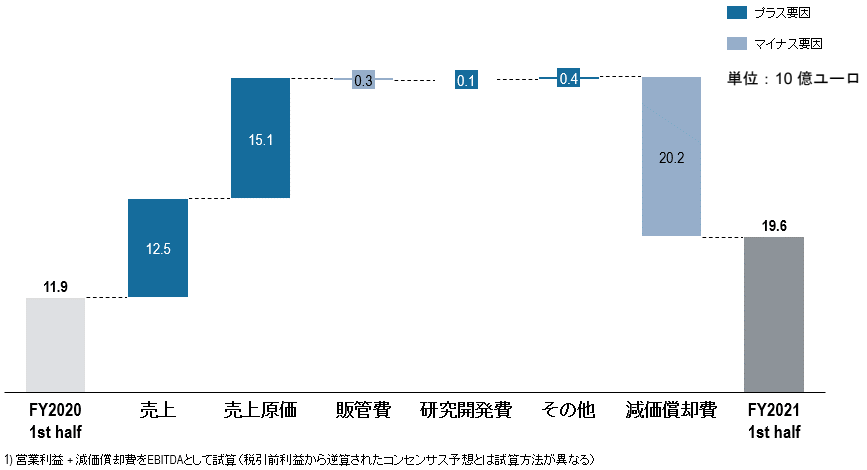
2020 年に売上・EBITDA 共に、前年比マイナス 50%程度に落ち込んだが、コンセンサス予想ベースでは 2021 年にかけて回復傾向にある。売上は 2019 年比で依然と、－20%レベルであるが、EBITDA ベースでは－6%程度まで戻ると予想されている（図表 5.4.2 参照）。

図表 5.4.2　Shell の収益推移［EUR b］



（出所）SPEEDA

図表 5.4.3　Shell の EBITDA[1)]変化のブレークダウン（2020 上-2021 上）



1) 営業利益＋減価償却費をEBITDAとして試算（税引前利益から逆算されたコンセンサス予想とは試算方法が異なる）

（出所）SPEEDA

主要因は、需要や原油価格の回復であり、アメリカの 2 つの製油所を売却用として分類したため、2020 年 2Q に大きな償却を計上した分 2021 年 2Q の減価償却費が小さくなっているが、これは売上原価にも含まれるため、影響は相殺されている。採掘費用を含む、その他費用も若干削減されているが、EBITDA ベースでの収益回復におけるインパクトは小さい。（図表 5.4.3 参照）。

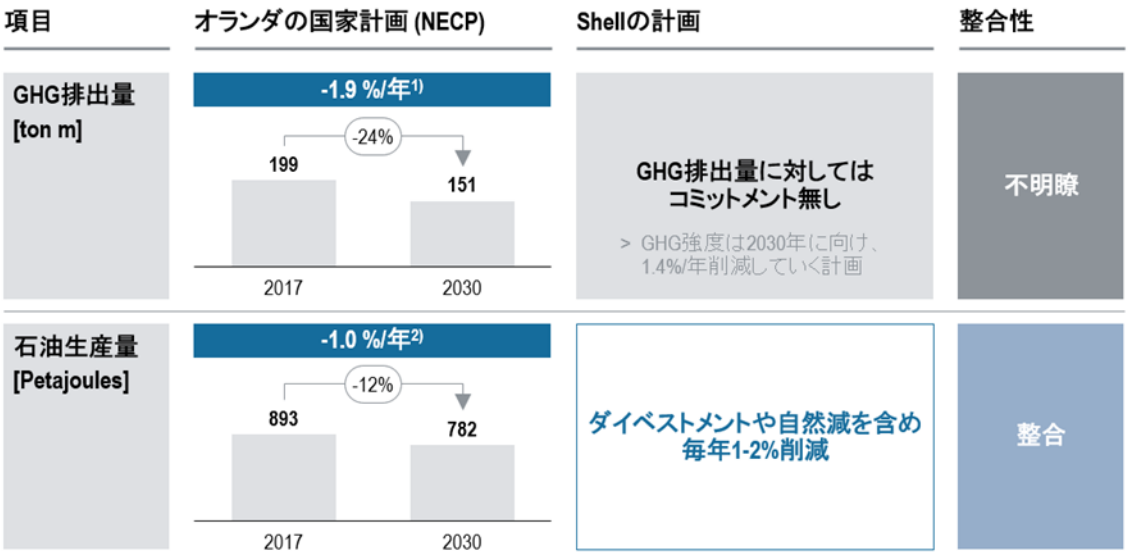
（２） Shell の中長期目標とオランダ国家計画との整合性

収益は回復傾向にあることから、コロナ禍による中長期的な狙いを修正していない。

Shell は 2050 年に GHG 強度ベースでのカーボンニュートラルを目指している。中間目標として、2030 年に 2016 年比－20%、2035 年に－45%を設定している。ただし、この目標は低すぎるとの訴訟を受け、2021 年 6 月にはハーグ裁判所から「2030 年までに 2019 年比で 45%削減すべき」との判決があった。Shell は判決を「残念だ」とし控訴する方針である。2021 年 7 月の株主総会の中で「判決を受け、やれることはやっていかなければならない」と歩み寄りの姿勢を見せつつも、「本当にその目標が達成できるかどうか、そのためには何が必要か、日々研究・検討を続けている。しかし、社会における変化よりも早く進むことはできない。社会にとっては不都合かも知れないが、これも事実である。できる限りの速さで進めていきたい」と発言しており、環境団体が要求する過激な目標に振り回されるのではなく、社会のエネルギー需要を冷静に分析しながら、慎重にエネルギー転換を進める方針を示している。

実際に Shell の本社があるオランダの国家エネルギー気候計画（NECP）と、Shell の計画を比較してみると、GHG 排出量に関しては、Shell は絶対量の目標を設定してないために、国家計画との整合性は不明瞭である（図表 5.4.4 参照）。

図表 5.4.4　オランダ国家計画と Shell 計画との整合性



（出所）EC NECP, Shell

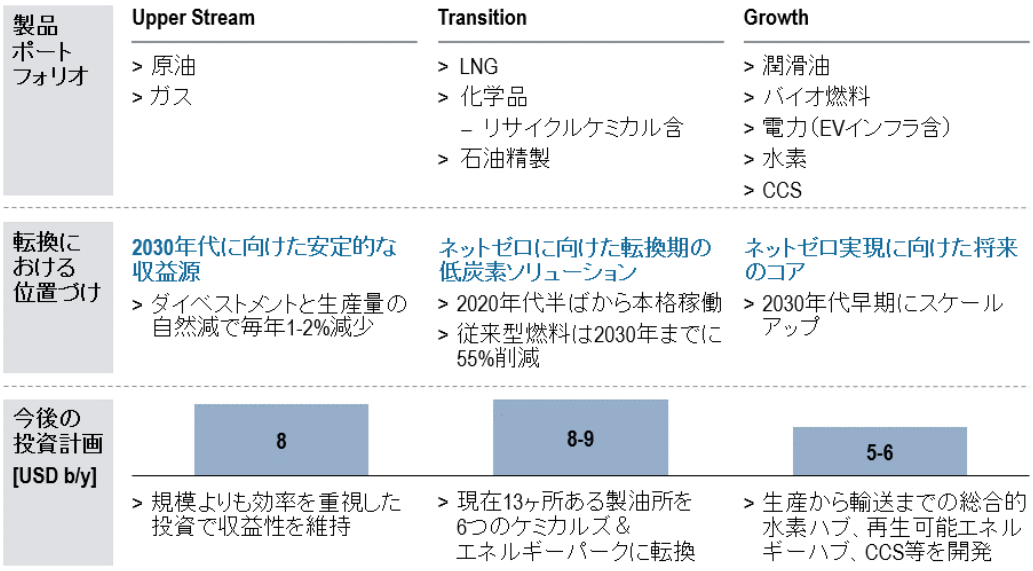
Shell は、CCS のプロジェクトにも多数参画しており、絶対量が削減される可能性も十分

ある一方、ガスを含め化石燃料の生産が減らず、排出量削減率は国家計画の年間 1.9%を下回る可能性も大いにある。
石油生産量に関しては、国家の一次エネルギー計画における石油需要量の減少がおよそ年間 1%であるのに対し、Shell の計画においてもダイベストメントや自然減を通じ年間 1～2%の削減を目指しており、概ね整合していると言える。ただし、この NECP は 2030 年時点の EU における GHG 削減目標が 1990 年比 40%であることを前提に策定されたものである。2030 年時点での目標は 55%に更新されており、それに準じた NECP の更新版が 2023 年に提出される予定である。

（3） Shell の 2050 年のカーボンニュートラルに向けた基本的な考え方

Shell は多方面の低炭素ソリューションに手を伸ばしており、それぞれのソリューションが各地のエネルギー・ケミカルパークの構想に関与し、統合されていくと思われる。Powering Progress は 2021 年から 3 年おきに更新される。更新された計画と毎年の進捗は、株主に諮問され、承認を得る仕組みを取っている。
Shell の 2050 年のカーボンニュートラルに向けた基本的な考え方としては、足元では祖業の上流で稼ぎつつ、LNG や石油化学の事業で事業転換期の収益を稼いだ後、長期的にはバイオ燃料や潤滑油、再生可能エネルギー由来の電力や水素を収益の柱にしていくというものである。この戦略は、「Powering Progress」と名付けられ、それぞれのフェーズにおけるポートフォリオを「Upper Stream」「Transition」「Growth」と定義し、社会の変化に合わせた投資やダイベストメントを行っていく（図表 5.4.5 参照）。

図表 5.4.5 Shell の NZE ビジネスへの移行に向けた Powering Progress 戦略



（出所）Shell

Powering Progress において着目すべきは、「社会の変化に合わせた」ポートフォリオ転換としている点である。目標設定に関しても「社会における変化よりも早く進むことはできない」と述べていたが、Powering Progress に関しても「顧客や社会が NZE を目指す中

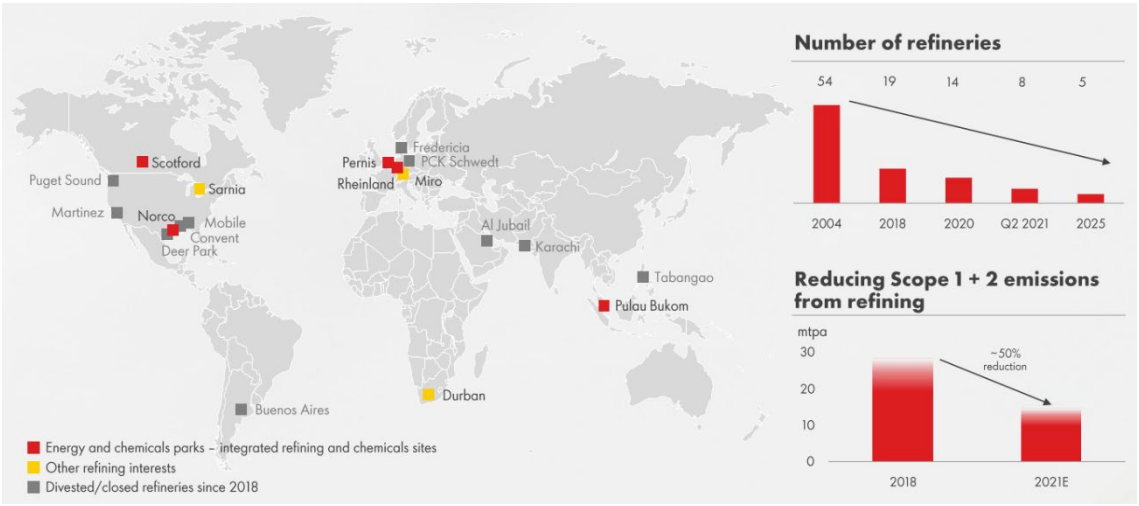
で、どこにビジネスバリューを見出すことができるかによって、変化が決まる」と発言しており、本戦略はShellが独断的にタイムラインを引くことができる「ビジネスプランではない」ことを明確に示している。
もちろん、Shell は業界のリーディングプレイヤーとして、「何ができるのかを理解し、業界に対して道を示す」べく、多様なセクターの顧客と連携し、脱炭素に向けた取り組みを行っていくことは強くコミットしている。

例えば、Shellは持続可能な航空ジェット燃料（Sustainable Aviation Fuel）の開発に向け、主要な航空会社、空港、航空機、エンジンメーカーと燃料供給会社の連合体であるMission Possible Partnershipに参加し、2030年までに世界の航空ジェット燃料の5～10%をSAFとして供給するための必要なステップ、原材料、製法に関するレポートを共同で発表している。
また、SAFの開発で先行するNesteやSkyNRG、Red Rock、World EnergyとSAF協業し、生産のスケールアップやShell Aviationの信頼性とネットワークを活用したディストリビューションも行っており、World Energyと共同開発したSAFをAmazon Airに年間最大600万ガロンを提供する契約を締結した。さらに、中長期的な視点の開発として、Rolls-Royceと共同で 100%SAF によるエンジン動作のテストを行っている。こうした取り組みも踏まえ、Shellは2025年までに年間200万トンのSAFを生産する方針を打ち出している。

なお、Shellはグリーン水素の検討を進める一方、2030年時点ではブルー水素の生産コストはグリーン水素の約半分になると想定しており、当時グリーン水素のみを認めようとしていたEUの水素戦略に対し、ブルー水素の重要性を説く意見書を提出している。

さらにShellは、Powering Progressの中で、2020年に14ヶ所で保有していた既存の製油所数を2025年までに5ヶ所に絞り、その残す製油所も低炭素事業も行うエネルギー・ケミカルパークに転換していく計画である。2021年9月時点では、集約先の5ヶ所は、オランダのペルニス製油所（ロッテルダム)、ドイツのラインランド製油所、アメリカのノルコ製油所、カナダのスコットフォード製油所、シンガポールのプラウブコム製油所である（図表5.4.6参照)。
これら製油所は化学製品と統合され、将来的にバイオ燃料、水素、合成燃料などの低炭素燃料との統合が進められていく。統合はグローバルで同一モデルとなるのではなく、各地のアセットやニーズに応じて変わってくると想定されている。2021年2月の戦略説明会でShellは「それぞれのパークには独自の変革と価値提供の方法があり、ブコムとペルニスは異なるし、ペルニスはスコットフォードと異なるものになるだろう」と述べている。
なお、5ヶ所以外の製油所については売却されるか、ターミナルへの転換、閉鎖が検討されている。

図表 5.4.6　Shell 製油所の 5 つをエネルギー・ケミカルパークに転換



（出所）Shell

計画されている 5 つのエネルギー・ケミカルパークの内、欧州のラインランド、ロッテルダムではそれぞれ具体的な転換の計画が発表されている（図表 5.4.7 参照）。

図表 5.4.7　Shell の欧州製油所の転換事例

		ラインランド （旧ラインランド製油所: 325 kbpd）	ロッテルダム （旧ペルニス製油所: 405 kbpd）
操業開始時期		2021年7月～（操業中）	2024年
低炭素事業	原料	再生可能エネルギーによる電力、水	廃棄食用油・油脂、他産業・農業残渣物 > 菜種等の植物油（パーム油除く）も原料供給体制が整うまで一時的に使用予定
	製品	グリーン水素	> バイオディーゼル > SAF[1]
	生産能力	年間1,300トン （PEM 電解槽容量：10MW）	年間82万トン > 半分以上はSAF（混合比率は調整可能）
投資額		NA	建設期間中、毎年数億ドル
ネクストステップ		> 電解槽容量を100MWへ拡大 > その他、SAFやbio-LNGの製造を検討中	2022年に製造時のCO2回収に関するPorthosプロジェクト[2]の最終投資意思決定

1) Sustainable Aviation Fuel: 持続可能な航空燃料, 2) Port of Rotterdam, Gasunie, EBNが主導する北海の枯渇ガス田へのCCSプロジェクト

（出所）Shell

・ドイツのラインランド

2021 年 7 月からグリーン水素の生産が開始された。再生可能エネルギー発電にボラタリティがある中で、停止した状態から稼働するまでの起動時間が短い PEM 技術が使用されており、まずは 10MW の電解槽から実証的に操業を始め、将来的には 100MW の電解槽の導入が検討されている。

製造したグリーン水素は、まずはラインランド製油所にて使用されているグレー水素代替として使用される。また、具体的には開示されていないが将来的にSAFの製造も検討されており、その水素化処理においてもこのグリーン水素が使用されることが考えられる。外部へのグリーン水素販売は、将来的な産業やモビリティなどでの水素需要の高まりに合わせ、徐々に進められる予定である。

・オランダのロッテルダム（旧ペルニス）

バイオディーゼルやSAFといったバイオ燃料を製造する計画が2021年9月に発表された。既に最終の投資意思決定済みで、2024年から年間82万トンのバイオ燃料が製造される。82万トンの内、半分以上がSAFとなる想定であるが、比率については調整可能な仕様になっている。

製造時に発生したCO2は回収され、オランダにて北海の枯渇ガス田へのCCSが検討されている。このCCSはPorthosプロジェクトとしてPort of Rotterdam、Gasunie、EBNが主導しているが2021年に最終の投資意思決定がなされる。

また、エネルギー・ケミカルパークへの転換計画にも関連してくる取り組みとして、プラスチック廃棄物のリサイクルがある。Shellは、2050年までに年間100万トンのプラスチック廃棄物リサイクルを目指しており、オランダに年間3万トンのケミカルリサイクルが可能なプラントを建設する予定である。ここで製造された熱分解油はShellのラインランドに持ち込み、クラッキング後、化学製品の持続可能な原料として使用される。

５．４．２　BPのカーボンニュートラル戦略

イギリスのBP（2019年売上：EUR 249 b、約35兆円）は、Shellに次ぐ欧州最大手の石油・ガスプレイヤーであるがゆえに、気候変動への関心・危機感が高まる中、GHG削減を強烈に進める金融機関団体であるClimate Action 100+（運用資産合計：約5,900兆円）のターゲットになってしまい、2020年に2050年のカーボンニュートラルを宣言した。

基本的にはShell同様、豊富な資金力を活かして再生可能エネルギー、水素、バイオ燃料など、全方位的に低炭素ソリューションを展開していく方針である。しかし、現時点では自社の製油所を低炭素に転換するというよりは、まずは基盤となるような大型投資を実行し、そこで先進的ノウハウを獲得した上で、自社の製油所を徐々に転換していくというアプローチを取っている。例えば、水素に関しては、2021年3月にイギリスのティーサイドで1GWのブルー水素生産を検討していることを発表（2027年 500MWで操業開始）した。自社の製油所の水素を徐々にブルー化するのではなく、BPも開発に参画するイギリス最大のCCSサイトを活用して、一気に大規模に進めることで、2030年の市場シェア10%を目指す。

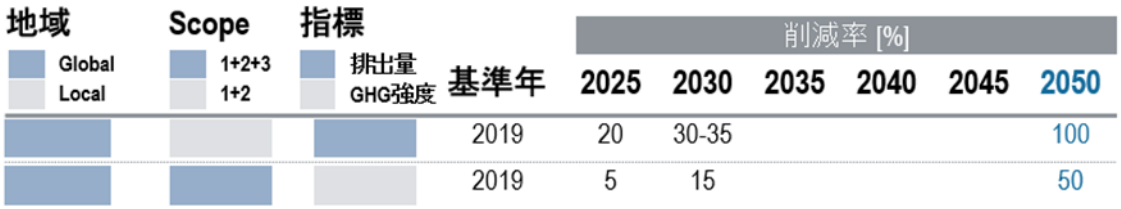
（１） GHG強度ベースでのカーボンニュートラル目標と国家計画との整合性

BPは、2020年の2月に2050年のカーボンニュートラル目標を宣言した。

スコープ1+2でのGHG排出量の絶対量を指標としており、中間目標としては2019年を基準に2030年に30-35%削減、2025年に20%削減を目指している。Shellに次ぐ、欧州最大手のメジャーとして宣言を行った背景の一つには金融機関の圧力がある。特に影響が大きかったと想定されるのが、2017年に発足し、2021年現在500を超える年金基金、保険

会社、運用会社が加盟し、その運用資産総額は 54 兆ドル(約 5,900 億円)超となる Climate Action 100+である。Climate Action 100+は、GHG 排出量の多いグローバルリーディング企業に対し、2050 年のカーボンニュートラルを実現するよう、株主権限を行使して圧力をかけており、BP もその影響を受けたとされている（図表 5.4.8 参照)。

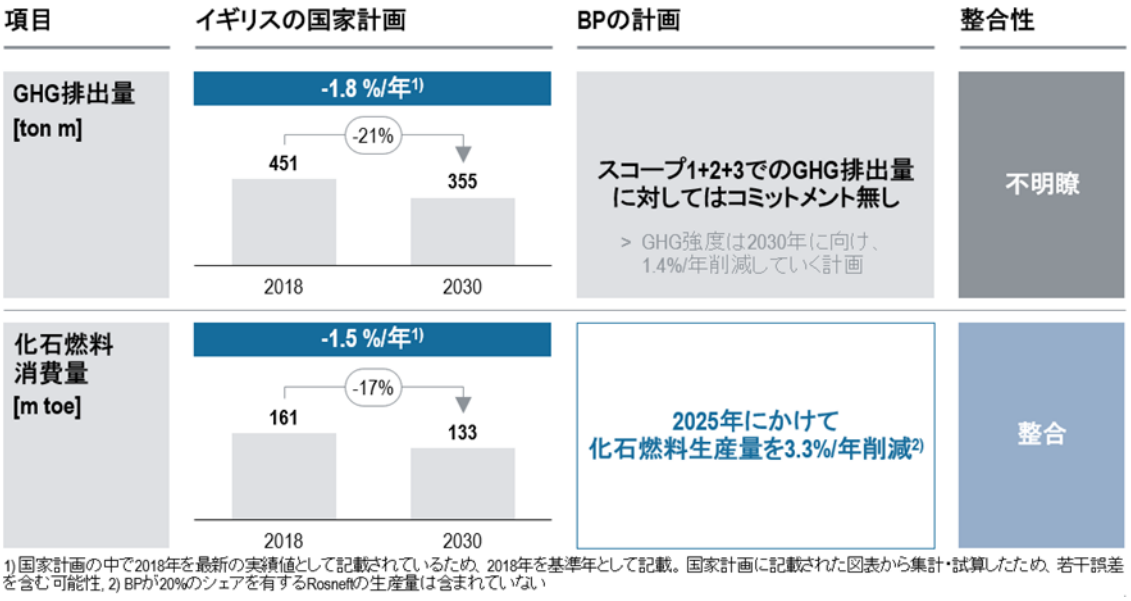
図表 5.4.8　BP のカーボンニュートラル目標



（出所）BP

BP は、スコープ 1+2+3 での GHG 排出の絶対量の目標を設定していないため、イギリスの国家計画における GHG 削減量の見立てとの整合性は不明瞭である。GHG 強度としては年間 1.4%削減していく計画を立てているものの、GHG 排出の絶対量としては増加し得ることから、環境団体から目標に対して強く非難される一つの要素となっている。
イギリスの国家計画における化石燃料の消費量と BP の生産計画は整合している（図表 5.4.9 参照)。

図表 5.4.9　イギリスの国家計画と BP の計画の整合性



（出所）Department for Business, Energy & Industrial Strategy, BP

Department for Business, Energy & Industrial Strategy が 2030 年に向け年間約 1.5%の削減を見込んでいるのに対し、BP は 2020 年に日量 2.4 百万バレルであった原油処理量を、2025 年に 2.0 百万バレルとし、年間 3.3%の生産量減を計画している。ただし、この

数値にはBPが株式を20%保有するロシアのRosneftによる原油処理量は含まれていないため、留意が必要である。2021年5月の年次株主総会で、ある株主からこの点が指摘されたが、「これまでも、そして現在もRosneftの排出量を報告に含めていない。重要なのは、そのことを透明に伝えていることである」「世界で最もコスト競争力のある生産者の一つであるRosneftとの戦略的関係は、今後も石油・ガスを使い続ける社会において、株主にとって価値あるもので、その配当金はBPの変革を後押しする」と述べている。BPの低炭素シフトの方針と、ロシアの国有企業が欧州を始めとする国際社会と足並みを揃えるか不透明さが残り、20%のシェアで生産量をコントロールできないRosneft株式保有との整合性は、BPとしても難しいものと想定される。

（2） BP社の2050年のカーボンニュートラルに向けた基本的な考え方

BPは、カーボンニュートラルの実現に向け2020年の8月にfrom IOC to IEC（from International Oil Company to Integrated Energy Company）戦略を発表した。基本的には、Shell同様に原油、ガス、石油精製を含むResilient hydrocarbonsをベースのエネルギー源としてキャッシュを稼ぎつつ、低炭素ポートフォリオの再生可能エネルギー、LNG、バイオ燃料、CCUS、水素を含むLow carbon electricity and energyやEV充電ステーションやモビリティ向け水素などを含むConvenience and mobilityにシフトしていく方針である。2019年実績ではLow carbon electricity and energyとConvenience and mobilityには15%弱しか投資していなかったが、2025年には投資の約45%を配分していく。

from IOC to IEC戦略の長期的な前提として、3パターンのシナリオが考えられている。一つ目は、「ネット・ゼロ」シナリオで1.5度の気温上昇シナリオに沿って2050年までにGHG排出量が2018年比95%削減されるもの。

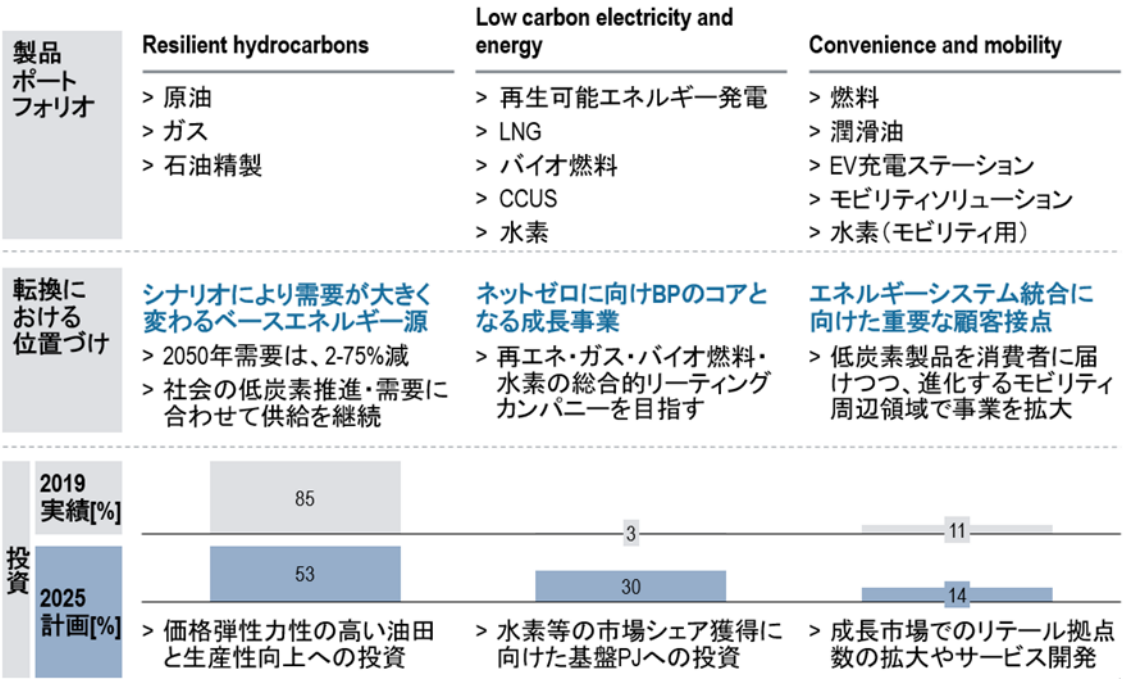
二つ目は、「ラピッド」シナリオで2度上昇のシナリオに沿って2050年までにGHG排出量が70%削減されるもの。

三つ目は、「通常通り」シナリオで2050年までのGHG排出量は10%削減に留まるものである。

BPとしては、大きく異なるこの3つのシナリオから、「可能性の高い1つのシナリオに絞ることは不可能」と述べており、社会の変化に不確実性が残る中、from IOC to IEC戦略はいずれのシナリオにも対応できることを目指していく。

Shellと言い回しこそ異なるものの、長期的には「社会が変わらないと石油・ガス企業も変われない」という考え方及び主張はBPも共通である（図表5.4.10参照）。

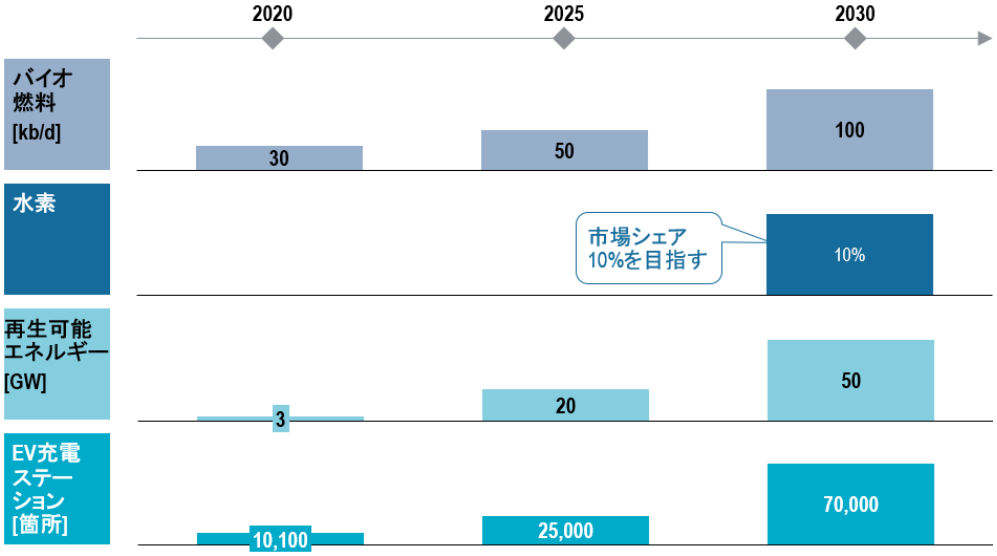
図表 5.4.10　BP のネット・ゼロ実現に向けた"from IOC to IEC"戦略
(from International Oil Company to Integrated Energy Company)



(出所)BP

BP も Shell 同様に、豊富な資金力を活用し、全方位的に低炭素ソリューションを伸ばしていく方針である。具体的な目標として、バイオ燃料は「航空、船舶、大型車など、電動化による化石燃料需要の衰退が起こりづらい分野では代替手段（バイオエネルギー）が必要になる」との考えに基づき、2030 年までに日量 10 万バレル相当の生産を目指す。
水素に関しては、「世界がネット・ゼロを達成するために不可欠」と考えており、2030 年時点でシェア 10%の獲得を目指す。ブルー、グリーン両方の水素の開発を進めており、ブルー水素はイギリスの Net Zero Teesside プロジェクトに参画し、グリーン水素はオーストラリアからの輸出を検討している。
再生可能エネルギーに関しては、売電先の顧客ポートフォリオを拡大させながら、2020 年時点で 3GW の導入実績に対し、2030 年までに太陽光・風力合わせて 50GW の導入を目指している。
EV 充電ステーションに関しては、EV 化のトレンドに合わせ 2030 年までに 70,000 箇所以上の充電ステーションを導入することを目指す。充電ステーションを含むリテールでは、消費者とのタッチポイントを活かした小売やモビリティサービスなどのビジネスモデルも開発・拡大していく計画である（図表 5.4.11 参照）。

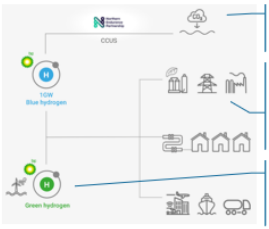
図表 5.4.11 BP の主要な低炭素事業の目標



(出所)BP

こうした目標の実現に向け、BP は小規模な実証・導入を積み重ねていくというよりは、基盤となるような大型投資を実行し、そこで先進的ノウハウを獲得した上で、自社の製油所を徐々に転換していくというアプローチを取っている（図表 5.4.12 参照)。

図表 5.4.12　BP の大型投資による低炭素事業への参入

	バイオ燃料	ブルー水素
時期	2019年	操業開始予定:2027年(計画発表:2021年)
国	ブラジル	イギリス(ティーズサイド)
投資額	USD 75 m	NA
投資内容	> 現地穀物油脂大手のBungeとJV(BP Bunge)を設立し、バイオエタノール(1.8 bl)を生産  > ブラジル全土に11工場 > 原料のサトウキビ処理能力は3,200万トン/年 > 廃棄物を活用し、バイオマス発電(1,300GWh)	> 500MWのブルー水素プラントを新設  CO2はエンデュランス帯水層に貯蔵 製造した水素はパイプラインを通じ、現地産業や一般家庭で消費 将来的にはBPのグリーン水素も統合予定
Next Step	BP Bungeでの成功モデルを他地域で展開	2030年までに1GWまで拡張予定

(出所)BP

バイオ燃料では、2019 年に 75 億円を投じてブラジルの穀物油脂大手の Bunge と JV （BP Bunge)を設立し､サトウキビ由来のバイオエタノール年間生産能力 18 億リットルを得た。BP Bunge における成功モデルを他地域でも再現しながら、コスト優位に BP の製油所や第三者施設でバイオ燃料を生産することを目指している。

水素では、2021 年 3 月にイギリスのティーズサイドで 1GW のブルー水素生産を検討して

いることを発表した（2027 年　500MW で操業開始し、2030 年に 1GW に拡大予定）。自社の製油所の水素を徐々にブルー化、或いはグリーン化していく他社のアプローチとは異なり、BP も開発に参画するイギリス最大の CCS サイトを活用して、一気に大規模に進める点がユニークである。ティーズサイドのプロジェクトでは将来的にグリーン水素も統合され、現地産業や一般家庭に供給される。ここで獲得・蓄積した一連のノウハウを他地域でも展開し、BP として水素のリーディングポジションを築く。

BP の from IOC to IEC 戦略は、現状 2025 年と 2030 年までの目標が示されているが、前提となるシナリオに対する見立ての変化に合わせ、適宜アップデートが行われる。

５．４．３　TotalEnergies のカーボンニュートラル戦略

TotalEnergies（2019 年売上：EUR 157 b、約 22 兆円）は、フランスの大手欧州メジャーで、2021 年 5 月に株主総会での承認を経て社名を Total から TotalEnergies に変更したことにも表れているが、マルチエネルギー企業となることを目指している。

カーボンニュートラルの目標実現に向けては、再生可能エネルギーに強く注力する方針を示しており、2030 年までに 100GW を導入し、世界でトップ 5 の再生可能エネルギー企業となる計画である。現在の地理的ポートフォリオは、フランス国内、欧州のシェアは 15%であり、その他はインドが約半数を占め、アジア・オセアニア、北米、南米、中東、アフリカにも手広く展開しており、今後グローバルでの再生可能エネルギー需要を獲得する。再生可能エネルギー電力のリテール販売やグリーン水素生産での活用を競争力の源泉にする狙いがある。

再生可能エネルギーと比べると相対的に力に入れようは低いものの、大手欧州メジャーとしてバイオ燃料や水素、CCS にも取り組んでいる。既に稼働中のラメドに加え、グランピュイ製油所をバイオリファイナリーに転換予定である。

水素は、まずは自社の欧州製油所で消費する水素をブルー・グリーン化する計画である。また、低炭素技術に手広く関与するため CVC を立ち上げ、2008 年から累計 USD 160 m 以上投資した。

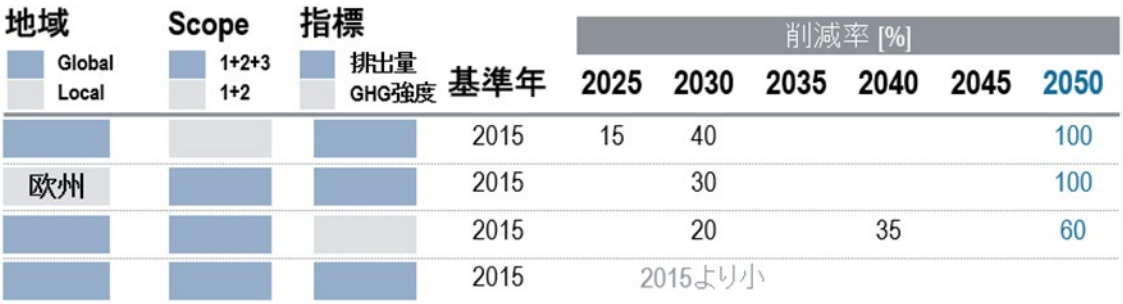
（１）　フランス国家計画との整合性

TotalEnergies は、2020 年 5 月に 2050 年のカーボンニュートラルを目指すことを宣言した。

排出量に関しては、2015 年を基準年とし、グローバルではスコープ 1+2 で、2030 年に－40%、欧州ではスコープ 1+2+3 で 2030 年に－30%とすることを目標としている。グローバルでの排出量に関するスコープ 1+2+3 の削減目標は設定していないが、2015 年よりは少なくすることをコミットしている。

また、GHG 強度に関してはグローバルで、スコープ 1+2+3 で 2030 年に－20%を目指している（図表 5.4.13 参照）。

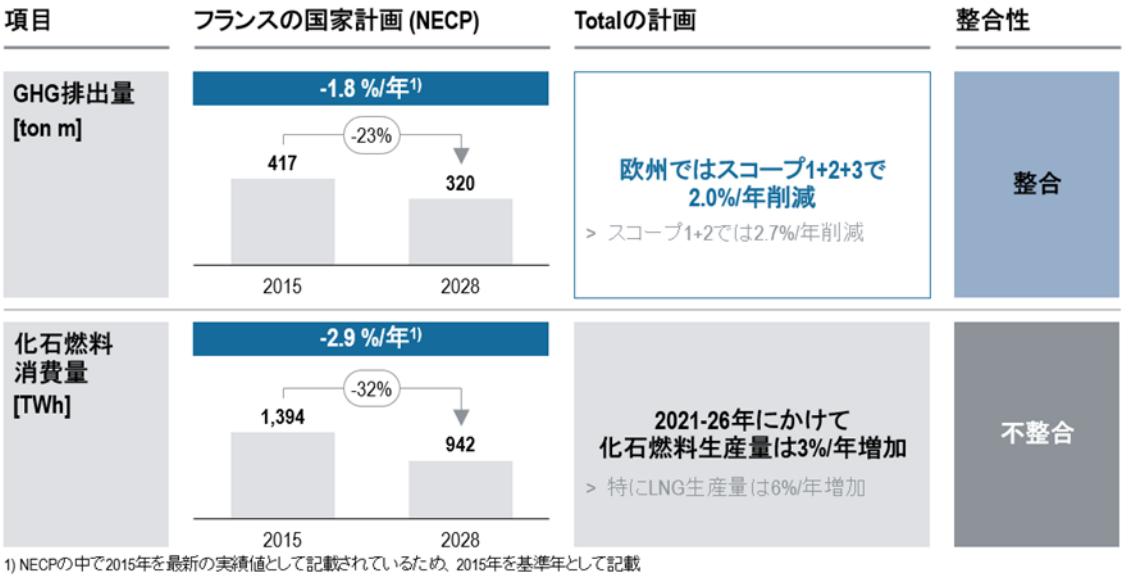
図表 5.4.13　TotalEnergies のカーボンニュートラル目標



（出所）TotalEnergies

TotalEnergies が 2020 年 5 月に定めた GHG 排出量の削減目標は、フランスの方針と整合している（図表 5.4.14 参照）。NECP では、策定当時最新の確定実績値であった 2015 年の排出量から 2028 年に 23%（年平均 1.8%）削減する計画であるのに対し、TotalEnergies は欧州地域においては 2015 年を基準に 2030 年に 30%（年平均 2.0%）削減する目標である。他方、化石燃料の生産量については、TotalEnergies の計画はフランス国家計画と整合していない。NCEP では、2015 年から 2028 年にかけて化石燃料の消費を 32%（年平均 2.9%）削減する計画であるのに対し、TotalEnergies は「TotalEnergies の石油生産量はこの 10 年間でピークに達し、その後、市場の変化に合わせて徐々に減少していく。」としながらも、「2026 年までは化石燃料の上流の生産量が年 3%増加する予定」としている。特に、LNG の生産量の伸びが年 6%と大きく、10 年後には 2 倍に増やす計画である。

図表 5.4.14　フランス国家計画と TotalEnergies 計画との整合性



（出所）EC NECP, TotalEnergies

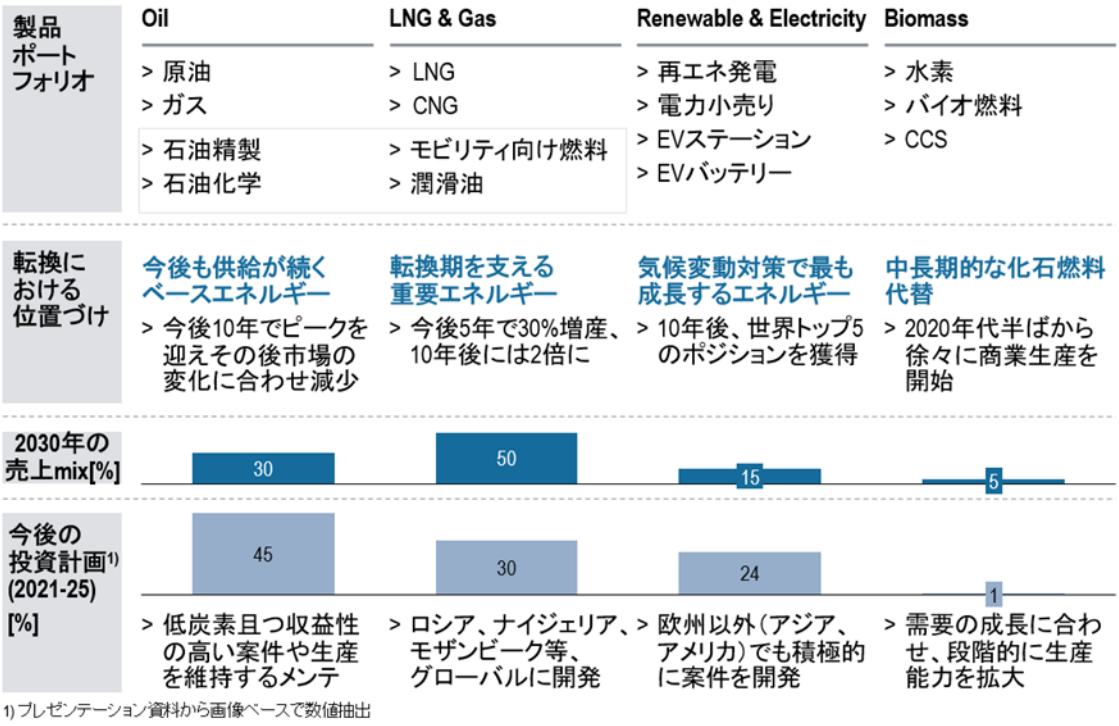
（２）　マルチエネルギー企業戦略

TotalEnergies は、中長期的にマルチエネルギー企業へ変革していく方針を示している。

2021 年 5 月の株主総会においては、Total から TotalEnergies への社名変更が承認されたが、この背景には「Total としての誇り高い歴史に、複数形の Energies を付けることで、マルチなエネルギーの生産者になり、エネルギー転換における世界トップクラスのプレイヤーになる」といった意思が込められている。

TotalEnergies の大きな考え方としては、エネルギー転換期の需要を炭素強度の低い LNG で満たしつつ、脱炭素の取り組みで最も大きな恩恵を受ける再生可能エネルギーや電力が 2030 年にかけて成長し、その後、水素やバイオ燃料などの先進的な低炭素燃料の普及を進めていく、というものである（図表 5.4.15 参照）。

図表 5.4.15　TotalEnergies のエネルギー転換に向けた戦略



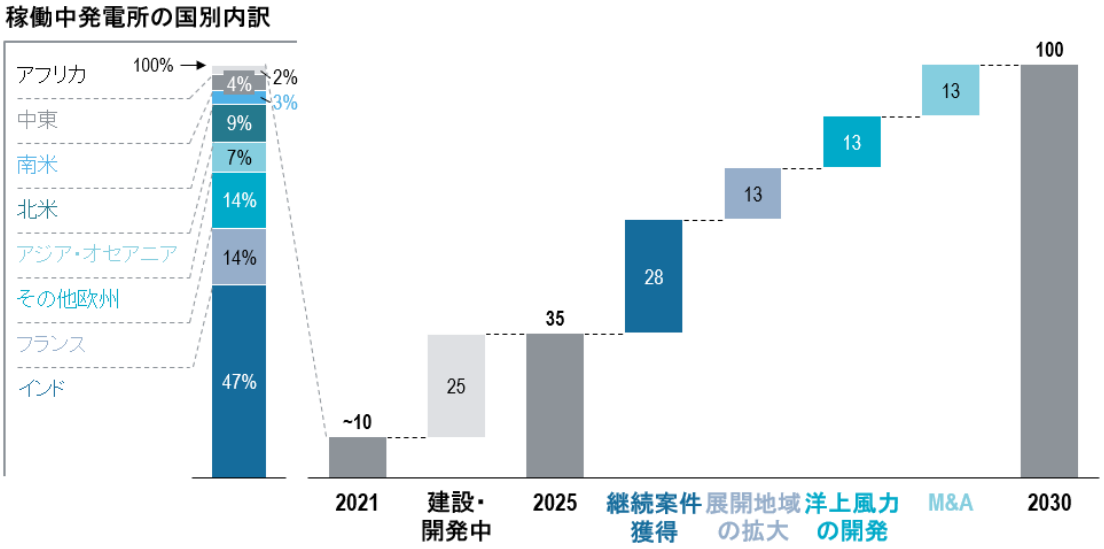
（出所）TotalEnergies

石油については、ベースのエネルギー源として今後 10 年でピークを迎え、その後市場の変化に合わせて減少していくと想定している。IEA のネットゼロシナリオにおいて「10 年後に石油需要を 30%削減しなければならない」と主張していることに対しては、「根拠が理解できない。10 年後に石油需要を 30%減らす程の需要の変化をもたらす技術とは何なのか。TotalEnergies は 10 年後に 10%程度減少し得ると想定している。そして 10%程度しか減らないのであれば、その生産維持のためにいくつかの石油開発プロジェクトに投資を続ける必要がある。低炭素、かつ低コスト案件に選択的に投資していく」と述べており、2025 年までは設備投資予算の 45%を配分していく計画である。
LNG については、エネルギー転換期を支える低炭素な重要エネルギー源として需要が増加することを想定しており、今後 5 年で 30%、10 年で 2 倍に増産していく計画である。2021 年 9 月の投資家説明会では、「エネルギー転換におけるガスの役割について議論があるこ

とは承知しているが、私たちは、ガスはエネルギー転換において重要な役割を担っているという強い信念を持っている」「ガスは石炭に比べ発電時の GHG 排出量が 1/2 で、再生可能エネルギーのボラタリティを緩和する最も効率的な方法である」と述べており、フランスの計画と整合せずとも、LNG を増産する正当性を主張している。ロシア、ナイジェリア、メキシコ、モザンビークなど、グローバルに開発を進め 2025 年までは設備投資予算の 30%を配分していく計画である。
再生可能エネルギーについては、「気候変動との戦いから最も恩恵を受けるエネルギー形態」として積極的に投資を進め、10 年後に世界でトップ 5 のポジションを獲得すべく、2025 年まで設備投資予算の約 25%を配分していく計画である。
水素・バイオ燃料・CCS などについては、中長期的に化石を代替していくエネルギー源として、2020 年代から徐々に商業生産を開始して、需要に合わせて生産能力を拡大していく。ただし、他社との共同プロジェクトとして進めている案件も多く、2025 年までの設備投資予算からの配分は 1%程度である。

TotalEnergies が特に注力する再生可能エネルギーの具体的な導入目標としては、足許 10GW 未満であるのに対し、2025 年に 35GW、2030 年に 100GW を目指している（図表 5.4.16 参照）。

図表 5.4.16　TotalEnergies の再生可能エネルギー100GW 実現の道筋［単位 GW］



（出所）TotalEnergies

2025 年までは現在建設や開発が進められている案件で目標が達成される見込みである。2030 年に向けては、既存の周辺案件の継続獲得により約 30GW、展開地域の拡大、洋上風力への参入、有望案件の M&A によりそれぞれ約 10GW を積み上げていく計画である。本計画の達成は、フランス・欧州だけでは不可であるため、グローバルな展開が想定される。現在稼働している発電所の国別内訳を見ても、フランス・欧州内では、はそれぞれ 15%程度にとどまる。その他はインドが約半数を占め、アジア・オセアニア、北米、南米、中東、アフリカにも手広く広げており、今後グローバルでの再生可能エネルギー需要を獲得し

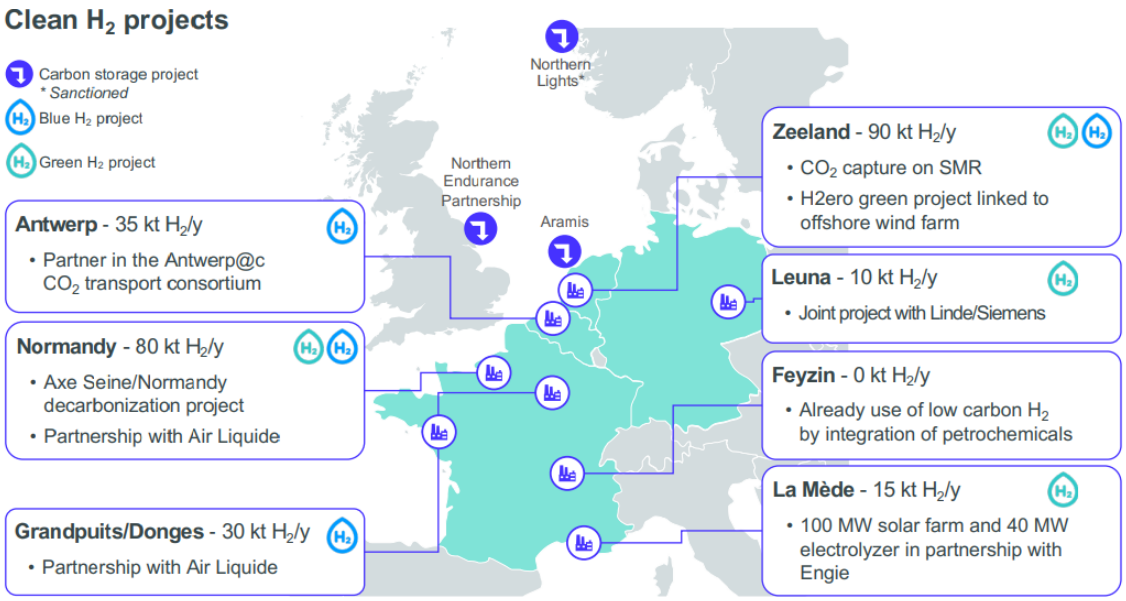
ていくことを狙っている。

（3） 既存アセットの低炭素ビジネスへの転換

再生可能エネルギー以外にも、TotalEnergies はより中長期を見据え、既存製油所を始めとするアセットを低炭素ビジネス向けに転換していく、同時進行戦略を進めている。

欧州（フランス、ドイツ、オランダ、ベルギー）に有する全製油所（8 箇所）でグレー、ブルー・グリーン水素の製造検討を進めており、ブルー・グリーンを合わせた製造能力は年間 26 万トンとなる。まずは、製油所で主に脱硫に使用しているグレー水素を置き換え、GHG 排出量・強度を削減していく方針である。グレー水素 1 トンの製造に伴い 10 トンの CO2 が排出されるため、2030 年までに約 30 万トンのグレー水素を脱炭素化することで約 300 万トンの CO2 を削減できることになる（図表 5.4.17 参照）。

図表 5.4.17　TotalEnergies の既存製油所を活用した水素生産計画



（出所）TotalEnergies

また、ブルー水素の製造に伴い回収した CO2 は、Shell や EBN、Gasunie と開発を進めるアラミスプロジェクトの CCS（枯渇ガス田）や、Shell や Equinor と開発を進める Northern lights プロジェクトの CCS（帯水層）、Shell や BP、Eni、Equinor などと開発を進める Northern Endurance Partnership の CCS（帯水層）へ貯蔵することが検討されている。TotalEnergies はこれら 3 つ全ての CCS 開発に参画している。

将来的に水素の用途開発が進み、水素需要が本格化すると水素の大量生産が必要になるが、TotalEnergies は、コスト競争力の高いガスと、膨大な CO2 貯蔵能力を持つロシアで天然ガス生産者の Novatek と提携し、ブルー水素とアンモニアのプロジェクトも検討している。

グリーン水素についても、「電解槽の稼働を高めるため、太陽光と風力の両方から大量に電力を生産できる国を探し、再生可能エネルギー電源を確保する必要があるが、これは TotalEnergies が注力する再生可能エネルギー事業と相乗効果が期待できる」としている。

既存の製油所をバイオ燃料の生産基地として転換することにもチャレンジしている。2020 年 9 月には、フランスのグランピュイ製油所に 5 億ユーロ以上（650 億円）を投じ、原油ゼロのバイオ燃料プラットフォームに転換する計画を発表している。背景には、エネルギー転換の方針と共に、設備修復の投資回収が見込めなかったこともある。2019 年にル・アーブル港からグランピュイ製油所まで原油を運ぶ 260km イル・ド・フランス・パイプライン（PLIF）で漏出問題が発生し、5 ヵ月以上の操業停止の後、PLIF の最大使用圧力を下げるため、稼働率を 7 割に抑えて操業していた。7 割の稼働では採算が厳しいため、設備修復が検討されたが、その費用が 6 億ユーロ（780 億円）と試算されたため、TotalEnergies のエネルギー転換の方針も踏まえ、「原油ゼロプラットフォーム計画」が策定された。

具体的には、バイオディーゼル 12 万トン/年、SAF 17 万トン/年、バイオナフサ 5 万トン/年といったバイオ燃料（2024 年操業開始）に加え、砂糖を原料とした植物由来のプラスチック（PLA: ポリ乳酸）10 万トン/年の生産と、プラスチック廃棄物からのケミカルリサイクル（処理量 1.5 万トン/年）が検討されている（図表 5.4.18 参照）。

図表 5.4.18　グランピュイ製油所（101 千 BD）の転換計画

場所	グランピュイ、フランス（北部）	投資額	5億ユーロ以上	
稼働予定	2024年～ （2019年のパイプライン漏洩で一時停止。修復の投資効率が悪く、停止・転換を決定）			
生産活動	原料	生産能力 [ton/年]	用途	パートナー
バイオディーゼル	> 動物性油脂 > 植物性油脂（パーム油除く） > 使用済食用油	120,000	車両燃料	NA
SAF[1)]		170,000	航空燃料	
バイオナフサ		50,000	化学製品原料	
PLA[2)]	砂糖	100,000	プラスチック原料（フィルム、包装材）	Corbin (50%出資)
熱分解油 ケミカルリサイクル	プラスチック廃棄物	（15,000トンの廃棄物を処理）	プラスチック原料（食品用途可）	Plastic Energy (40%出資)
再生可能エネルギー	28 MW			

1) Sustainable Aviation Fuel: 持続可能な航空燃料, 2) Poly-Lactic Acid: 植物由来のプラスチック素材(ポリ乳酸)

（出所）TotalEnergies

TotalEnergies は、2021 年 9 月の投資説明会の中で、「我々は現時点では製油所を単に閉鎖するのではなく、転換するモデルを選択している。バイオ燃料は製油所と非常に相性の良い事業と考えているが、我々にとって新しい分野でもあるため、この転換モデルが機能するかどうかを見極めながら、他の製油所のあり方を検討していく」と述べている。

2019 年には、フランスのラメド製油所がバイオリファイナリーとしての操業を開始して

いる。こちらも採算上の問題から 2016 年末に原油処理を停止させ、バイオ燃料の生産を決めた。投資総額は約 2 億ユーロ（260 億円）で、バイオディーゼルと SAF で年間 50 万トンの生産能力を有している（図表 5.4.19 参照）。

図表 5.4.19　ラメド製油所 163 千 bd のバイオリファイナリーへの転換

場所		ラメド、フランス（南部）
操業開始		2019年7月 （2016年末に原油処理[1]の稼働停止）
バイオ燃料	原料	植物油、使用済食用油、 動物性脂肪
	製品	バイオディーゼル、SAF （年間50万トン）
バイオ燃料以外		AdBlue（NOx削減の添加剤） Avgas（航空燃料）
その他開発中の技術		> 海上輸送の炭化水素残留物からの燃料生産（Ecoslops） > バイオ燃料向け微細藻類の生産
再生可能エネルギー		太陽光発電 8MW
投資額		EUR 200 m

1) 旧処理能力：153 kbpd





（出所）TotalEnergies

しかし、これら低炭素ビジネスに向けての技術は発展途上であり、様々な企業が技術開発やビジネス構築にチャレンジしている。TotalEnergies としては、今後同社の低炭素ビジネスの取り組みに貢献し得る企業に手広く関与しておくことが重要と考え、2008 年に Total Energy Ventures（現 TotalEnergies Ventures）というコーポレート・ベンチャー・キャピタルを立ち上げた。

設立以降、欧州、北米、アジア、アフリカとグローバルに 35 者以上のスタートアップに対し、累計 1 億 6,000 万ドル以上の投資を実行している。投資対象は、TotalEnergies が注力する再生可能エネルギー発電や電力、モビリティ、バイオ燃料・水素などとも親和性が見込める 7 分野（New Mobility, Smart Energy, Enabling Technologies, CO2&Hydrogen, Circular Economy, Logistics, Storage）である。

現時点で TotalEnergies との特筆すべき協業実績があるわけではないが、Chargetrip のスマートナビゲーションでは、EV を TotalEnergies が提供する充電ステーションに誘導したり、TotalEnergies が再生可能エネルギーを拡大したりする中で EV のアグリゲーションサービスを活用するなどの協業が考えられる。実際、TotalEnergies の Patrick Pouyanné CEO は、「TotalEnergies Ventures ファンドは、責任あるエネルギーメジャーになるという TotalEnergies の野望を全面的にサポートする。このファンドにより、低炭素ビジネスは、国境を越えて拡大できる」と述べている。こうした低炭素技術への投資が評価され、2017 年にはサンフランシスコのイノベーション調査会社である Cleantech が優れたクリーン技術の会社を表彰する Global Cleantech 100 Program の中で、Corporate

Investor of the Year を受賞している。今後、投資は更に加速され 2024 年末までに累計投資額は 4 億ドル以上となる予定である。(図表 5.4.20 参照)。

なお、TotalEnergies のマルチエネルギー企業を目指す本戦略は、2021 年の株主総会において 92%の株主に支持された。

図表 5.4.20　TotalEnergies Ventures の欧州スタートアップポートフォリオ

	企業名	提供技術・サービス
New Mobility	Chargetrip	EV向けスマートナビゲーション(ルート、充電)
	Heetch	ライドヘイリングサービス(フランス、ベルギー、アフリカ)
	ONTO	EVの月額利用サービス(個人・法人)
	xee	コネクテッドデバイスによる保険・整備・車両管理会社への車両情報提供
Smart Energy	E6	再エネ発電事業者向けの電力アグリゲーションサービス
	GridBeyond	商業及び産業顧客が電力デマンドレスポンスに参加するためのソフトウェア
	tado	リアルタイムな人の動きに合わせたスマートサーモスタット(住宅・オフィス)
Enabling Technologies	Cosmotech	複雑なシステムのモデリング・シミュレーションのソフトウェアプラットフォーム
	OpenField	オイル＆ガス業界向けの超小型、低消費電力、高性能、低コストのセンサー
	sigfox	物理的なデバイスをクラウドに接続するIoT(Internet of Things)サービス
CO2 & Hydrogen	Deep Branch	微生物を活用した、CO2からタンパク質等の生成
	Sunfire	再生可能エネルギーをエネルギー源とする高効率電気分解槽
Circular Economy	Circulor	材料調達におけるCO2フットプリントやその他指標の検証
Logistics	OnTruck	物流の見える化、ルート最適化に向けたオンライン貨物プラットフォーム
Storage	otonohm	高エネルギー密度・低コスト実現に向けた先進のインテリジェントBMS

(出所) TotalEnergies

５．４．４　Eni のカーボンニュートラル戦略

Eni (2019 年売上：EUR 70 b、約 10 兆円) は、イタリアの準大手欧州メジャーとして、カーボンニュートラルを目指す中、他の欧州メジャーに先んじてバイオ燃料を進めていた点が特徴的で、低炭素ソリューションの中でも特に注力している。

2014 年からベニス製油所をバイオリファイナリーに転換、2019 年にはシチリアのゲラ製油所をバイオリファイナリーに転換、バイオ燃料の原料として、第二世代と呼ばれる持続性のある廃棄物にフォーカスしている。この中で、2023 年から食料とコンフリクトするパーム油は使用しない方針をとり、その代替として、アフリカでヒマシ油の栽培にも取り組んでいる。2030 年までに、SAF やバイオディーゼルを中心に年間 200 万トンのバイオ燃料生産を目指す。これらバイオ燃料は、別途 2030 年までに 15GW の導入を目指す再生可能エネルギー電力と合わせ、自社のリテールを通じて販売され、生産からリテールまでの一貫体制を競争優位の源泉とする考えである。

（1） Eni のカーボンニュートラル目標とイタリア国家計画

Eni のカーボンニュートラル目標として、スコープ 1+2 の絶対量では 2040 年にネット・ゼロに、スコープ 1+2+3 では 2050 年のネット・ゼロを目指している。中間目標としては 2018 年を基準に、スコープ 1+2+3 の絶対量で 2030 年に-25%、2040 年に-65%、GHG 強度で 2030 年に-15%、2040 年に-40%を設定している。

図表 5.4.21　Eni のカーボンニュートラル目標

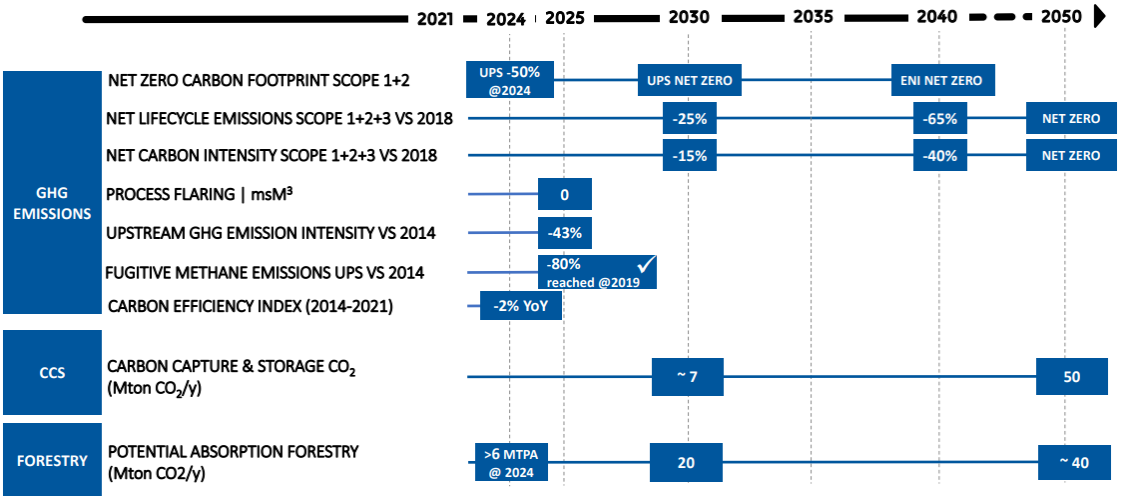
地域	Scope	指標	基準年	削減率 [%]					
				2025	2030	2035	2040	2045	2050
Global	1+2+3	排出量	2018				100		
Global	1+2+3	GHG強度	2018		25		65		100
Local	1+2	GHG強度	2018		15		40		100

（出所）Eni

その他の脱炭素関連の目標として、他社同様に上流でのフレアリング時の GHG 漏洩防止の目標なども設定しており、パイプラインなどからの漏洩である Fugitive methane emissions を 2014 年比 80%削減するという目標は 2019 年時点で既に達成している。

CCS による CO2 貯蔵は、2030 年に 700 万トン、2050 年に 5,000 万トンという目標を、植林による CO2 貯蔵では 2030 年に 200 万トン、2050 年に 4,000 万トンという目標を設定している。

図表 5.4.22　Eni の脱炭素関連のその他目標

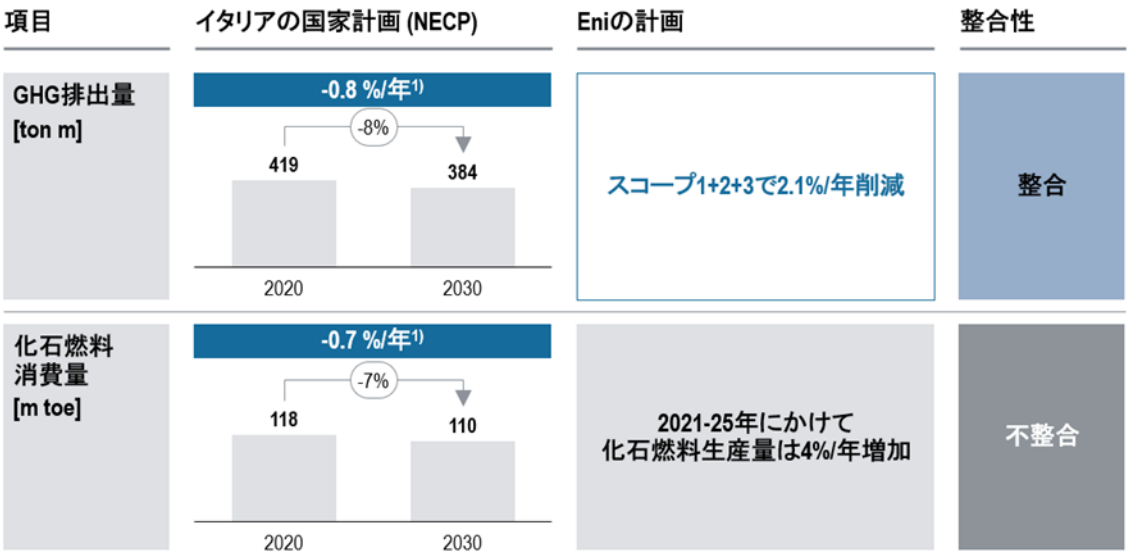


（出所）Eni

Eni が設定した GHG 排出量削減目標は、イタリアの国家計画と合致している（図表 5.4.23）。NECP では、策定当時に確度の高い見込みとして記載されていた 2020 年の排出量から 2030 年に 8%（年平均 0.8%）削減する計画であるのに対し、Eni は 2018 年を基準に 2030 年に 25%（年平均 2.1%）削減する目標である。国家目標より少し高めではあるが、TotalEnergies

やRepsolといった他の欧州メジャーと同等の目標である。
他方、化石燃料の生産量についてはEniの計画はイタリアと整合していない。NECPでは2020年から2030年にかけて7%（年平均0.7%）削減する計画であるのに対し、Eniは2025年にかけて年平均4%増加させていく計画である。2021年2月の株主総会での質疑応答の中で「2025年の生産量は日量210万バレルとなる予定」と述べており、2020年の生産量が日量173万バレルであったことを考慮すると20%（年平均4%）増となる。増産はするものの、コロナ前の時点では2030年に日量230万バレルを計画していた経緯があり、カーボンニュートラル目標を掲げる中、GHG排出量削減に向けて、化石燃料生産計画を努力して調整している様子が伺える。

図表5.4.23　イタリアの国家計画とEniの計画の整合性

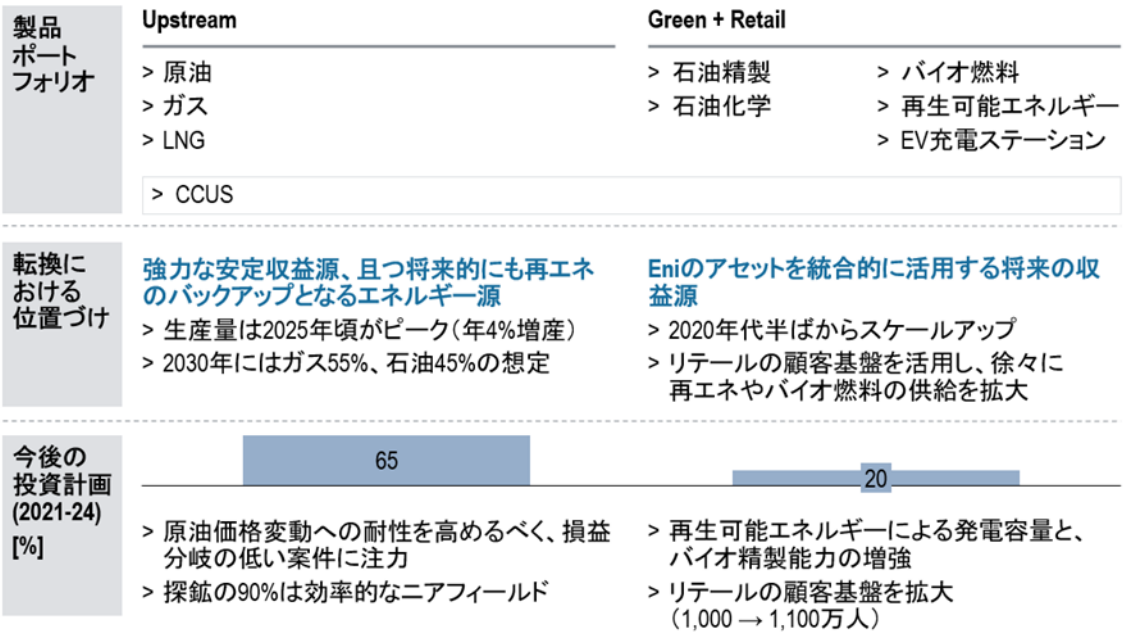


（出所）EC NECP, Eni

（２）　Eniの2050年カーボンニュートラルに向けた戦略
Eniは、カーボンニュートラル目標の実現に向けたトランスフォーメーションの考え方として、製品群を原油、ガス、LNGを含むUpstreamと、石油精製、石油化学、バイオ燃料、再生可能エネルギー、EV充電ステーションなどを含むGreen + Retailに分け、Upstreamを強力な収益源、かつ再生可能エネルギーのバックアップとして活用しながら、徐々にGreen + Retailにシフトしていく方針である。
Upstreamではガスの比率を高めることで、GHG排出量を下げていく計画で、2030年まではEniが生産する化石燃料のうちガスが55%、石油が45%程度だが、長期的には「Upstreamでの生産量の90%をガスが占め、エネルギーの移行を支えていく。CCSを組み合わせ更に脱炭素化していく」としている。2024年に向けては投資予算の約65%がUpstreamに配分される計画である。
Green + Retailには石油精製や石油化学といった従来型の事業も含まれている。社会のニーズに合わせ、リテールでの提供製品をバイオ燃料や再生可能エネルギー由来の電気に変えていくことを計画している。そして、リテールというバリューチェーンの川下まで

押さえていることこそが「競争の激しい再生可能エネルギーにおいて優位に戦うための重要要素」と考えている。したがって、グリーンな製品として提供していくバイオ燃料の精製能力や再生可能エネルギーの発電容量に対する投資はもちろん、リテールでの顧客を現在の 1,000 万人から 2024 年までに 1,100 万人、2030 年までに 1,500 万人まで拡大するための投資も行っていく。2024 年に向けては投資予算の約 20%が Green + Retail に配分される計画である。

図表 5.4.24　Eni のカーボンニュートラル戦略

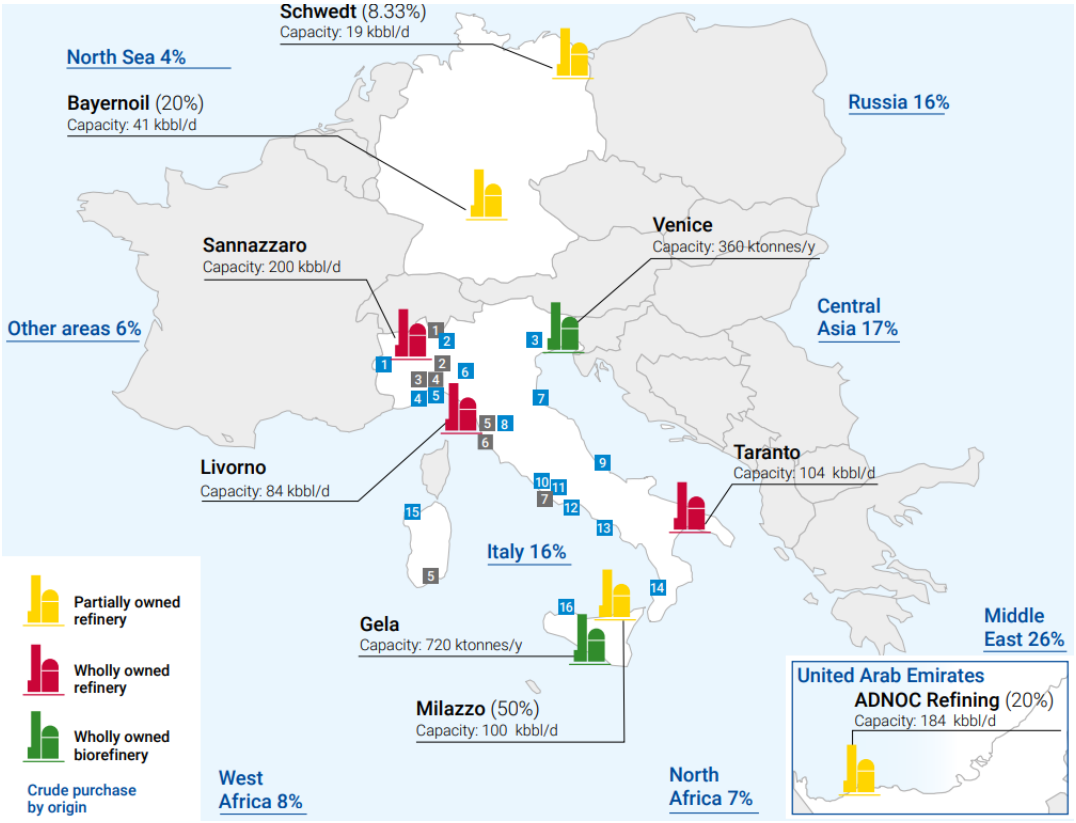


（出所）Eni

低炭素ビジネスにおいて Eni が最も注力しているのがバイオ燃料である。Eni は、欧州メジャーの中でも先駆的に 2014 年からベニス製油所（旧処理能力：8 万バレル/日）でバイオ燃料の生産を開始している。また、2019 年にはシチリアのゲラ製油所（旧処理能力：10 万バレル/日）でもバイオ燃料の生産を開始した（図表 5.4.25 参照）。

ベニスとゲラのバイオリファイナリーで特に注力されているのが原料シフトである。バイオ燃料の消費拡大に伴い、その原料となるパーム油、菜種などの消費も増えてしまい、食糧確保の観点とコンフリクトしてしまうことから、再生可能エネルギー指令（Renewable Energy Directive: RED）で 2030 年のバイオ燃料導入比率目標である 14%の内、食物由来のバイオ燃料の上限は 7%、油脂由来のバイオ燃料の上限は 1.7%と定められている。Eni では、その対応として 2023 年以降、バイオ燃料の原料からパーム油を除外する方針を打ち出し、その代替としてアフリカのチュニジアやイタリアでヒマシ油の栽培テストを行っている。また、廃棄物や残渣を原料とする比率を現在の 20%から 2024 年までに 80%に引き上げることを目指している。

図表 5.4.25　Eni の製油所立地とバイオリファイナリーへの転換



	ベニス製油所 （旧処理能力：80 kbpd）	ゲラ製油所 （旧処理能力：105 kbpd）	
操業開始	2014	2019年8月	2018年12月
投資額[1)] [EUR m]	500	360 ~	3 ~
原料	> 使用済食用油、動物性油脂 > パーム油　等	> 使用済植物油、油脂、藻類 > ヒマシ油　等	> 有機廃棄物（食品廃棄物）
製品	> バイオディーゼル	> バイオディーゼル、SAF > バイオナフサ、バイオLPG	> バイオオイル、バイオメタン
処理/ 製造能力	年間36万トン / NA	年間75万トン / NA	NA（パイロットプラント）
ネクスト ステップ	> 2023年以降、原料からパーム油を除外 > 2024年に処理 / 製造能力を 56 / 42万トンまで拡張予定		> 他地域での商業展開を 検討中

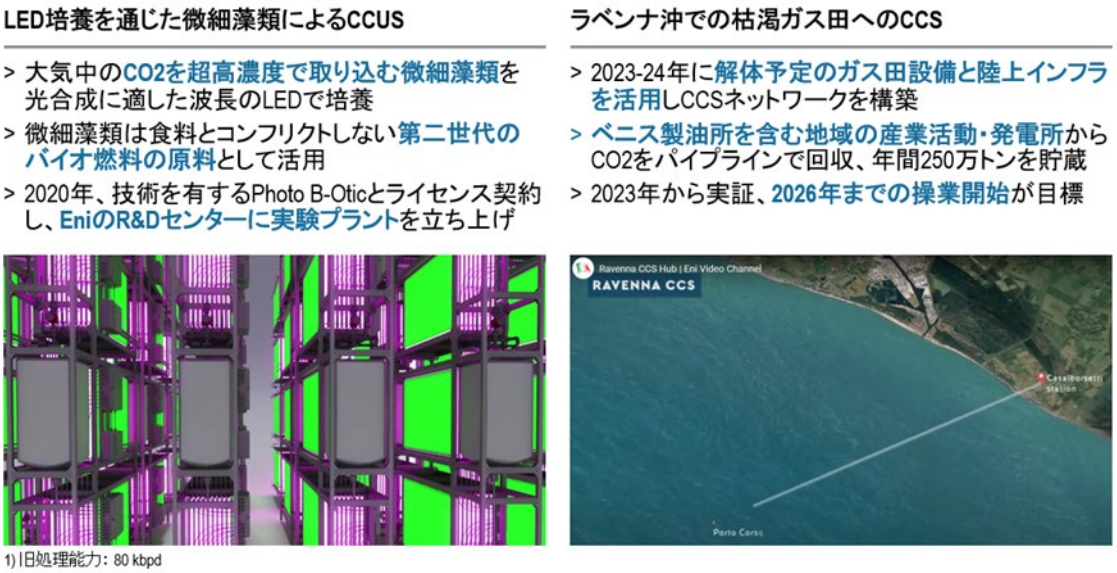
1) 研究開発費等も含めた総額

（出所）Eni

Eni は現在ベニス製油所で年間 36 万トン、ゲラ製油所で年間 75 万トン、合計約 110 万トンのバイオ精製能力を有しているが、2024 年には年間 200 万トンまで拡大することを目指している。

先んじてバイオ燃料の生産を始めたベニス製油所では、先駆的に新たな技術との掛け合わせが試されようとしている（図表 5.4.26 参照）。

図表 5.4.26　ベニス製油所（0 kbpd[1)]）に統合予定の新たな技術



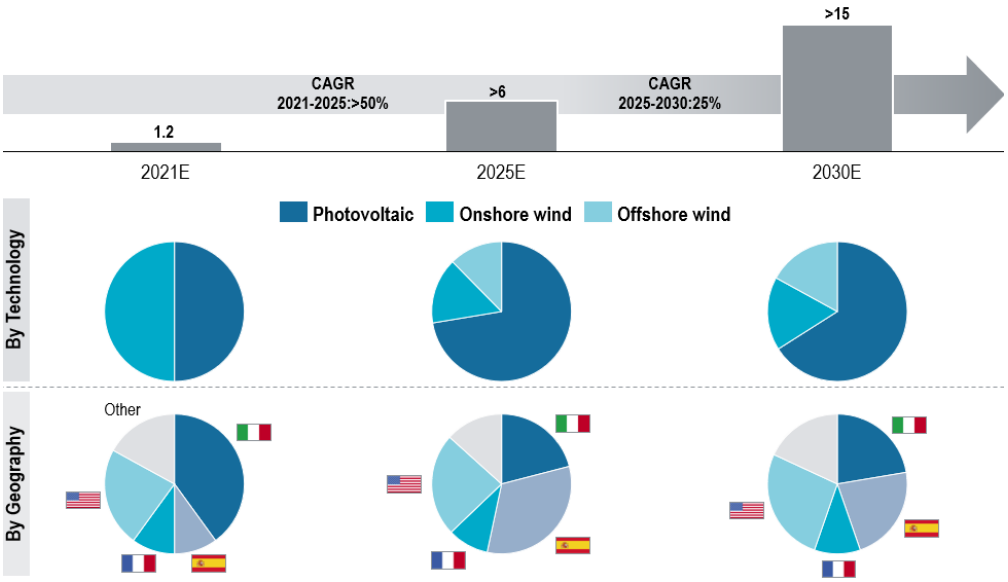
1) 旧処理能力：80 kbpd

（出所）Eni

原料の確保が難しくなる中、バイオ燃料の原料として人工的に培養した微細藻類を活用する試みがその一つである。大気中の CO2 を超高濃度で取り込む微細藻類を LED で培養し、食料とコンフリクトしない第二世代のバイオ燃料原料として活用する計画で、2020 年に培養技術を有するイタリアの Photo B-Otic とライセンス契約を締結し、Eni の R&D センターに実験プラントを立ち上げて研究が進められている。
もう一つは、ベニス製油所のオペレーションにおいて生じる CO2 をパイプラインで回収し、枯渇ガス田に貯蔵する CCS が検討されている。ガス田の設備は 2023～24 年に解体予定であり、海上・陸上のガス関連設備をそのまま利用可能であることから、比較的低コストに地域の発電所や産業から排出される CO2 を回収できることが期待されている。2023 年から実証が行われ、2026 年までの本格操業開始が目標である。

これら製油所で製造されたバイオ燃料は Eni のリテールを通じて販売されるが、前述のように電力も合わせて販売が計画されている中、再生可能エネルギーの導入も進められる。既に、1.2GW（120 万 KW）が導入済で、2025 年には 5～6GW、2030 年には 15GW の導入が目標とされている（図表 5.4.27 参照）。導入地域は、今はイタリアが中心だが、数量が多くなるにつれ、隣国スペインやフランス、今後成長が期待される米国での導入も増えていく見込みである。本戦略は一旦 2024 年までを区切りとしており、その後新たな戦略や計画が策定されていく。

図表 5.4.27　Eni の再生可能エネルギー導入目標の内訳



（出所）Eni

５．４．５　Equinor の収支回復状況とカーボンニュートラル戦略

Equinor（2019 年売上：EUR　56b、約 8 兆円）は、株式の 7 割を国が保有するノルウェーの準大手欧州メジャーであり、国と密に連携しながら経営されているため、GHG 削減、化石燃料生産のいずれの目標も国の計画と合致している（2026 年までの化石燃料増産を明言、顧客の欧州に合わせてカーボンニュートラルを宣言）。なお、一つの経営リスクとして、国民の環境意識の高まりを受けた過激な環境政党の躍進があったが、2021 年 9 月の選挙では同環境政党との連立政権は回避できた。

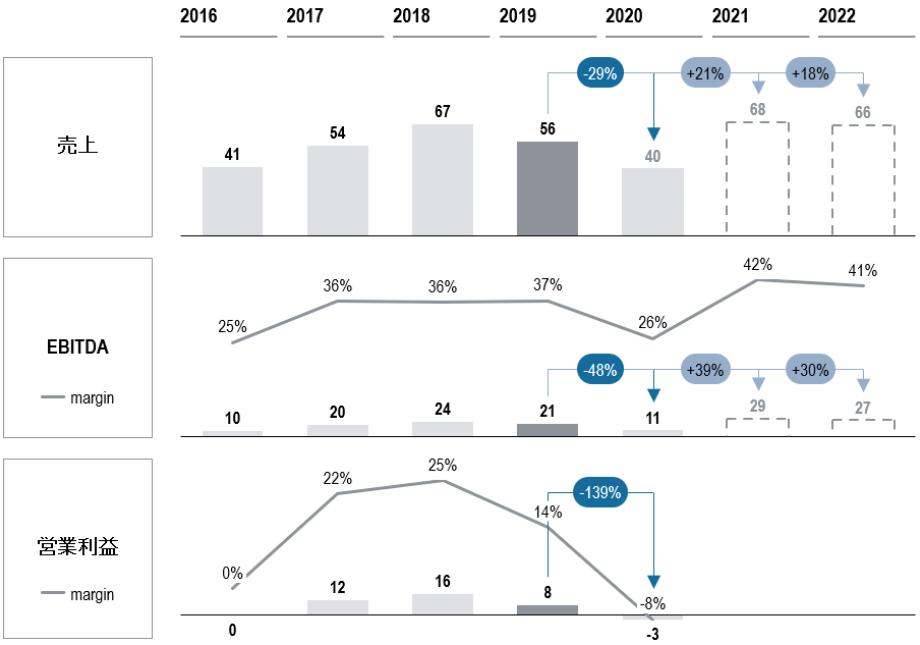
目標実現に向けた低炭素ソリューションのうち、注力するのは Equinor がオフショアでのプロジェクト開発に強みを発揮できる洋上風力発電と CCS である。洋上風力発電は 2030 年までに 12-16GW の導入を目指す。既に 700MW が稼働中である。CCS では 2035 年までに 1,500～3,000 万トンの CO2 貯蔵を目指す。これは、欧州シェア 25%に相当する CCS へは、英国と同様に、国家戦略として注力している。

低炭素事業が本格的に商業化するのは 2030 年以降と想定しており、その準備として各種実証プロジェクトには多数参画するも、自社の製油所を転換していく動きは遅い。

（１）　需要や原油価格アップによる収益回復

Equinor は、2020 年に前年比で売上マイナス 30%程度、EBITDA ベースでマイナス 50%程度に落ち込んだが、2021 年にかけて回復傾向にあり、売上・EBITDA 共に、2019 年よりも大きくなると予想されている（図表 5.4.28 参照）。

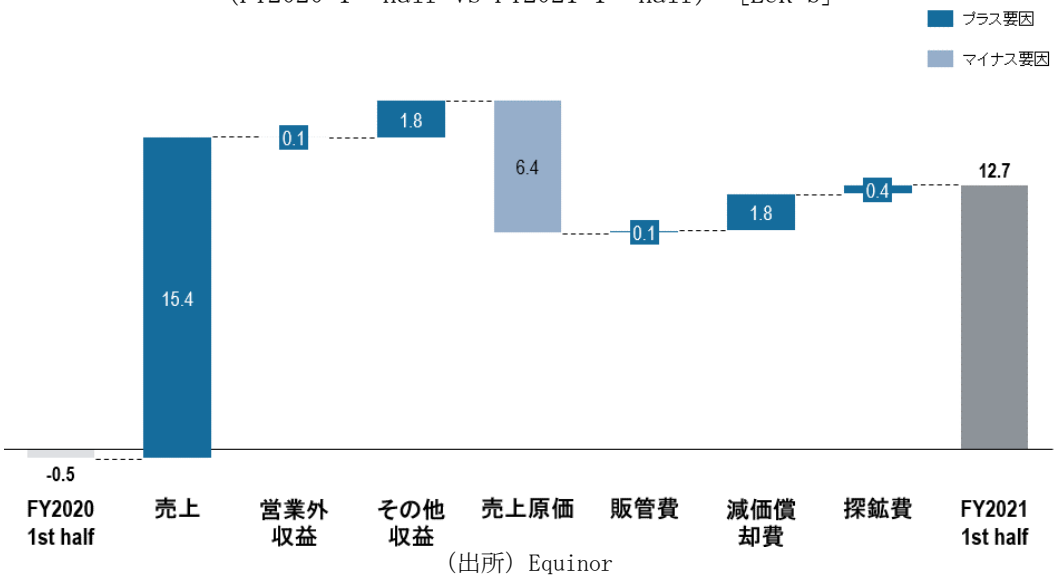
図表 5.4.28　Equinor の収益推移［EUR b］



（出所）SPEEDA

他社同様、需要や原油価格の回復がメインであるが、Operating Income に関し、2021 年 2Q 時点でそれ以外にプラスに働いた要因としては、その他収益として 18 億ユーロ増加していること、減価償却費が約 18 億ユーロ減少している点が挙げられる。それぞれ、主に米国の風力発電所資産を BP に売却した特別利益（10 億ユーロ）と、2020 年に使用価値（Value in use）への見直し（減損テスト）による減損（その結果、2021 年の減価償却費は相対的に減少による）である（図表 5.4.29 参照）。

図表 5.4.29　Equinor の Operating Income 変化のブレークダウン
（FY2020 1st half vs FY2021 1st half）［EUR b］



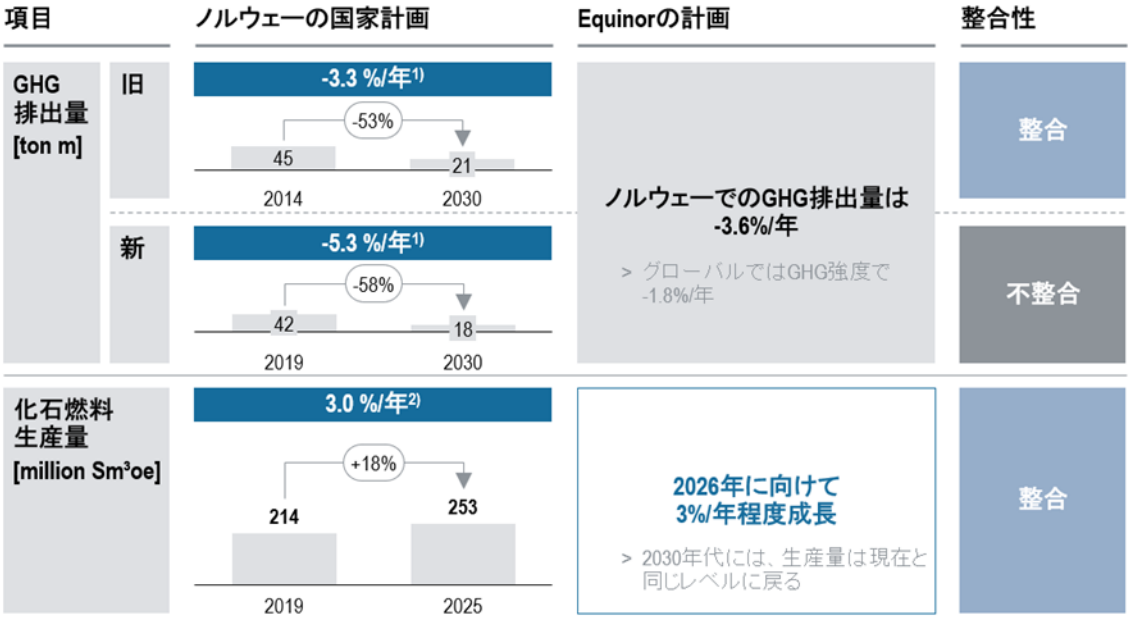
（出所）Equinor

なお、日本の「営業利益」は、営業外収益や特別損益を含まないが、IFRS では Income に売上と営業外収益、その他収益として加え、Operating Income として使用している。

（2） カーボンニュートラル目標とノルウェー国家計画

Equinor は 2050 年のカーボンニュートラルを目指している。ノルウェーではスコープ 1+2 で絶対量を、グローバルではスコープ 1+2+3 の GHG 強度がベースであり、削減における中間目標として、2030 年に－40%、2040 年に－70%を設定している。この目標は、ノルウェー政府が 2015 年に発表した旧目標（2030 年に 1990 年比で－40%）に整合しているが、EU の新目標（2030 年に－55%）を受け、2021 年に発表された新目標（2030 年に－50%以上）には整合していない（図表 5.4.30 参照）。

図表 5.4.30 ノルウェーの国家計画と Equinor の計画の整合性



（出所）Government.no, NPD, Equinor, Global Carbon Project

Equinor がカーボンニュートラルを目指すことを宣言したのは 2020 年末なので、新目標への不整合は当然であるが、旧目標と整合していたことは、67%を保有する最大株主のノルウェー政府との関係性を重視する方針を反映したものと想定される。

また、化石燃料生産に対する計画も、ノルウェー政府と Equinor の間で整合している。ノルウェーの石油・エネルギー省（Norwegian Ministry of Petroleum and Energy）の下部組織であるノルウェー石油管理局（Norwegian Petroleum Directorate: NPD）による、石油やガスなどの化石燃料生産の見通しは 2025 年時点で石油換算 2 億 5300 万 m^3であり、これは 2019 年比+18%（平均 3.0%/年）の増産である。他方、Equinor も新たな油田の開発によって 2026 年にかけて年間 3%程度の増産を計画しており、概ね整合していると言える。

（3） Equinor のカーボンニュートラル戦略

ノルウェーは、西欧最大の産油国である一方、新車販売の 75%が EV を占めるなど、国民の環境意識が高まってきており、過激な環境政党である緑の党が支持を高めている。同政党は、石油の新規開発の即時停止と、2035 年までの生産停止を訴えており、大きなリスクとなっていたが、2021 年 9 月の議会選において最大野党の労働党が中道、左派系の政党と合わせて過半数を取得できたため、緑の党との連立は回避できた。

労働党は与党の保守党と同じく、石油業界を支持する立場だが、「供給を断つのではなく、長期的な石油産業の見通しをしぼませたい」「明らかに移行の動きは遅い。このペースは残された時間と合わない」として、エネルギートランジションに向け、Equinor に介入していくことが予想される。しかし、議会選後に提出された政策要綱の中では「石油・ガス部門は解体するのではなく発展させる。二酸化炭素排出量の削減に努める一方で、収益性の高い石油・ガス産業の成長を目指す。気候政策は道徳的なものであってはならず、公正なものでなければならない」と述べられており、ノルウェーの GDP の 14%、輸出の 40%を占める貴重な収入源である石油・ガス産業に対し協調的な立場である。

保守党はより強く石油業界を支持する立場を示しており、2020 年にはコロナにより需要と原油価格が低減したことで収益が大きく低下した Equinor を支援するため暫定的に税制を変更した。これは収益が低下した中でも Equinor による新規探鉱を支援するためのもので、2000 年、2021 年に行われる上流投資と、開発・設置・操業、何れかの計画が 2022 年中に提案され 2023 年中に承認された上流投資に対して税額控除がなされるものである。

また、2021 年 6 月に今後のエネルギー計画や、気候変動目標の達成の道筋を示した白書「ノルウェーのエネルギー資源からの長期的価値の創造（White Paper on long term value creation from Norway’s energy resources)」を発表した際、石油・エネルギー省の大臣は「我々は、気候政策の枠組みの中で、低排出量での生産が可能な、未来志向のノルウェーの石油・ガス産業を促進する」として気候変動対策に理解を示す一方、「石油・ガス分野の専門知識や技術を維持することは、CO2 の回収・貯留、洋上風力発電、水素などの新しい産業や技術の開発に欠かせない」としてノルウェーの石油・ガス産業の重要性を述べている。2030 年の GHG 排出 50%削減については、「陸上からオフショアへの電力供給が無ければ達成できない」として、野党である労働党が求める洋上風力発電の活用については「2030 年より前には不可能」との見解を示している。

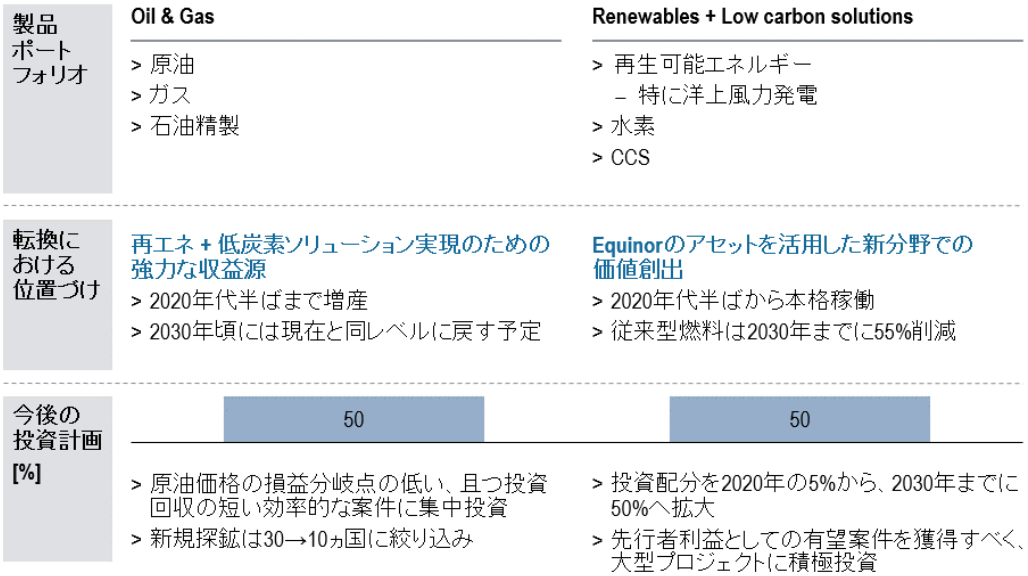
Equinor は、このエネルギー白書に関して「ノルウェーの大陸棚における将来のエネルギー機会を総合的に捉えたもので、私たちはこれを歓迎する」と述べており、その実現に向け政府と協力しながらネット・ゼロ実現に向け取り組んでいく姿勢を示している。

Equinor のネット・ゼロ実現に向けた中長期的な考え方としては、再生可能エネルギーや低炭素ビジネスを支える資金的・技術的基盤として石油・ガス事業は必須であり、まずはその収益力を高めるための投資を行いつつ、徐々に Equinor のアセット・強みを活かした低炭素ビジネスへの投資比率を高めていくというものである（図表 5.4.28 参照)。

具体的には、コロナによる原油価格下落に伴い赤字となってしまった反省を踏まえ、原油価格の変動に対する事業の耐性を高めるべく、例えば 1 バレル当たり 15 ドルでも赤字とならないような生産性の高い油田の開発を進め、2026 年にかけては生産量を毎年 3%程度増産していく。生産量は一旦増加するものの、2030 年頃には現在と同レベルに戻る見込

みである。探鉱対象国は、2017 年時点で 30 ヵ国まで広げていたが、より知見の深い 10 ヵ国程度（ノルウェー、イギリス、カナダ、アメリカ、ブラジル、アルジェリア、ロシアなど）まで絞っている。
再生可能エネルギーと低炭素ビジネスへの取り組みについては、Equinor のアセット・強みが活きる洋上風力発電と水素、CCS に注力していく方針で、全体の投資に占める割合を、2020 年の 5%以下から 2030 年までに約 50%に拡大していく計画である。
国家としては水力資源が豊富であるが、水力発電は Equinor の強みが活かせるわけではないため、生業にはしないとしている。

図表 5.4.31　Equinor のネット・ゼロ実現に向けた戦略



（出所）Equinor

Equinor のネット・ゼロに向けた戦略でユニークなのは、ノルウェー政府と共に EU の低炭素目標に歩み寄る姿勢も見せつつ、今後 5 年は割り切って新規探鉱や増産を堂々と進めている点である。
Equinor CEO の Anders Opedal 氏は、2021 年 6 月の戦略説明会の冒頭で「キャッシュとリターンを増やしながら、事業転換を加速させていく」と述べており、石油・ガス事業ありきの姿勢を明確に示している。他方で、「エネルギーシステムが、かつて経験したことのない転換期にある。石油・ガスの役割はやがて小さくなる」ことは当然認識しており、「Equinor のアセットを起点に洋上風力発電、水素・CCS などの新しい分野でも価値を創出していく」との方針を述べている。

（4） Equinor のアセットを起点にした次世代事業への展開
洋上風力発電は、Equinor のオフショアでのプロジェクト開発能力が最大限活かせる領域だと考えており、2030 年までに 12～16GW の導入を目指している。その内、Equinor のシェアは 10GW 未満である。Equinor は洋上風力に早期から参入しており、既に約 700MW の発電所を稼働させている。今後とも欧州、アメリカ、アジアで多くの開発ポートフォリオ

を有している。ユニークなのはポーランドや韓国など、比較的ニッチな国に先進的に展開しておりリーディングポジションの獲得を狙っていることと、浮体式風力発電にも力を入れている点である。洋上風力資源の 8 割は水深 60 メートル以上の場所にあるとされており、Equinor はその資源を有効活用していくためには、浮体式風力発電が必須と考えている。2009 年から浮体式風力発電に着手し、フロントランナーとして 2017 年にイギリスの Hywind Scotland 浮体式風力発電所を稼働させている。
本実証を踏まえ、各地でスケールアップしたプロジェクトの獲得を目指している（図表 5.4.32 参照）。

図表 5.4.32　Equinor の洋上風力発電プロジェクトリスト

稼働中　契約済　計画中　着床式　浮体式

ステータス	発電所名	技術	国	発電所容量 [MW]	Equinor シェア [%]	Equinor容量 [MW]
2011	Sheringham Shoal	着床式	イギリス	317	40	127
2017	Dudgeon Offshore WInd Farm	着床式		402	35	141
2017	Hywind Scotland	浮体式		30	75	23
2019	Arkona	着床式	ドイツ	385	25	96
2022~	Hywind Tampen	浮体式	ノルウェー	88	41	36
2024~	Dgger Bank A	着床式	イギリス	1,200	40	480
2025~	Dgger Bank B	着床式		1,200	40	480
2026~	Dgger Bank C	着床式		1,200	50	600
	Empire WInd 1	着床式	アメリカ	816	50	408
	Empire Wind 2	着床式		1,260	50	630
	Beacon Wind 1	着床式		1,230	50	615
	Beacon Wind Remaining	着床式		1,200	50	600
	MFW Baltyk II & III	着床式	ポーランド	1,440	50	720
	MFW Baltyk I	着床式		1,560	50	780
	Sheringham Shoal and Dudgeon Extension(SEP&DEP)	着床式	イギリス	719	NA	NA
	Donghae	浮体式	韓国	200	35	70
	Firefly	浮体式		800	100	800
			合計	14,047		6,605

（出所）Equinor

水素&CCS 分野は、Equinor が有するガス処理プラントやパイプライン、ノルウェー大陸棚の CO2 貯蔵ポテンシャルを活かすことができる有望な事業と考えられている。
CCS に関しては 2035 年までに年間 1,500～3,000 万トンの CO2 貯蔵を目指しており、これは欧州で 25%のシェアを占める規模と想定されている。一般的に「CCS は商業的に成り立たない」という意見もある中で、Equinor は CO2 1 トン当たりの回収・貯蔵・輸送コストを「100 ユーロ（約 13,000 円）を下回る水準まで低下している」として、欧州での多様な産業間連携プロジェクトに参画している。
また、ネット・ゼロ実現のキーとなる水素に関しては、2035 年までに 3-5 の産業クラスターに水素を供給し、欧州市場で 10%のシェアを獲得することを目標にしている。「コスト面ではブルー水素が圧倒的に優位であり、グリーン水素が普及してきた後も、ブルー水素に取って代わるのではなく、ブルー水素の上にグリーン水素が追加されていく」との明

確なスタンスを取っている。なお、2030 年時点の想定コストは、ブルー水素 2 ユーロ弱/kg に対し、洋上風力によるグリーン水素 3 ユーロ前後/kg である。Equinor は洋上風力発電にも注力していることからグリーン・ブルー水素の両方を手掛けるユニークなポジションにあり、技術やコストを独自に分析しながら開発を進めていく方針で、多様な産業間プロジェクトに参画している（図表 5.4.33 参照）。

図表 5.4.33　Equinor の水素・アンモニア、CCS プロジェクトリスト

プロジェクト主目的	プロジェクト事例	国	脱炭素の対象 Industry	Power	Heat	Transport
CCSインフラ開発	Northern Endurance	イギリス	■	■	■	■
	Northern Lights	ノルウェー	■			
CCGT[1] + CCS	Net Zero Teesside	イギリス		■		
	Keadby3	イギリス		■		
	Peterhead	イギリス		■		
H2燃料利用	H2H Saltend	イギリス	■	■	■	■
	Keadby Hydrogen	イギリス		■		
	H21	イギリス	■		■	
	H2M Magnum	オランダ		■		
	Clean Hydrogen to Europe	ノルウェー	■	■	■	■
	H2morrow Steel	デンマーク	■			
ブルーアンモニア生産	Barents Blue	ノルウェー	■			■
グリーン水素生産	NortH2	オランダ	■			■
	Liquid Hydrogen Maritime	ノルウェー				■

1) Combined Cycle Gas Turbine: ガスタービン・コンバインドサイクル発電（ガスタービンによる発電に加え、その排熱で蒸気タービンによる発電も行う複合発電）

（出所）Equinor

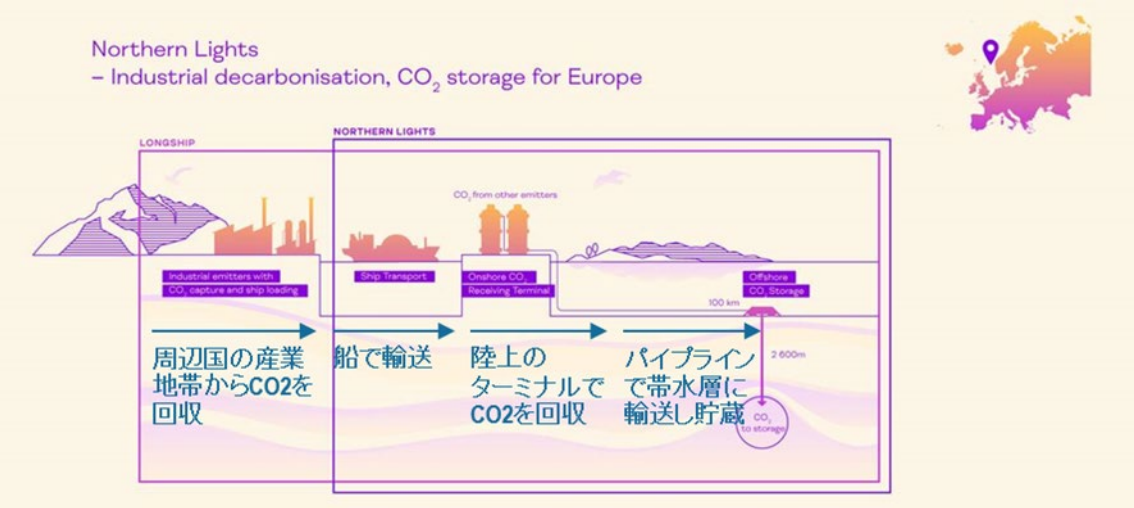
多くの水素・CCS プロジェクトに参画しているが、目標としているタイムラインが 2035 年と少し先であることもあり、現時点では同時進行戦略として既存製油所の転換を大きく進めているわけではない。2021 年 6 月の投資家説明会では、「SMR によるブルー水素製造がはるかにコスト効率の良い方法であると確信しているが、現時点で積極的にプロジェクトを進めている状況ではない」と述べている。当面は上記プロジェクトにもあるような水素の発電用燃料としての利用や、アンモニアも含め船舶燃料としての利用を見据えて開発していく方針である。
バイオ燃料に関しても同様で、2020 年の投資家説明会で「ネット・ゼロに向けてはバイオエネルギーも重要」と低炭素ソリューションの一つとして言及はしているものの、2021 年の説明会においても具体的なプロジェクトは発表されていない。

Equinor は、ネット・ゼロ実現に向けた戦略を、労働党が与党となる新たなノルウェー政府と議論しながら、修正していくものと想定される。

（5） Equinor がリードする Northern Lights プロジェクト
ノルウェーは、石油及びガス部門の独自の地質条件と専門知識を備えており、CCS においてはパイオニアである。ノルウェー政府の「ロングシップ」プロジェクトへの取り組みの重要な目標は、CCS が持続可能であることを実証することで、ノルウェーのプロジェクト

は、ヨーロッパへの CCS 投資を誘発することを目的としている。
ヨーロッパ市場が CCS に前向きな方向に進んでいることで、「ロングシップ」の柱の一つである Northern Lights への期待が高まっている。特に、Equinor 社は CCS 事業化に向けて、20 年以上前から CCS 技術開発に取り組んでおり、その要素技術の蓄積は豊富である。
今回の 2 大 CCS プロジェクトである Northern Lights(CO2 貯蔵能力 150～500 万トン/年)や Northern Endurance（CO2 貯蔵能力：1,000 万トン/年）は、いずれも構造性帯水層への CO2 貯蔵である。
Northern Lights は、世界初のオープンソース CO2 輸送及び貯蔵インフラストラクチャーを開発中で、Equinor 社は、CO2 の安全で永続的な貯蔵オプションを提供（カーボンストレージサービス）する新規事業を目指している。

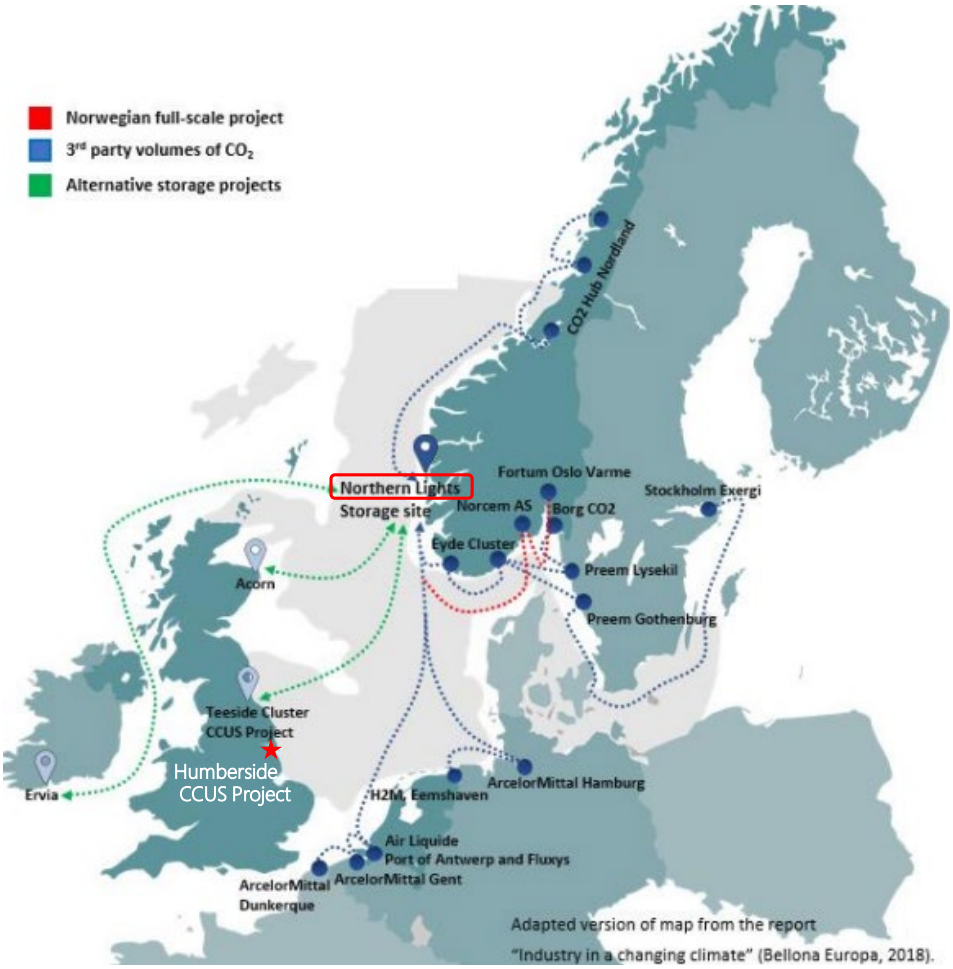
図表 5.4.34　Northern Lights CCS ネットワーク



（出所）Northern Lights

・場所：ノルウェー沖（深さ：2,600km）
・参加者：Equinor、Shell、TotalEnergies　(Northern Lights JV DA)
・Equinor の中での位置づけ：
Northern Endurance（「Zero Carbon Humber」にて活用）と並ぶ 2 大 CCS プロジェクト　。
ノルウェー周辺で CO2 を排出する産業に、CCS をサービスとして販売する。
・貯蔵能力：年間 150 万トンから開始し、年間 500 万トンまで拡張する計画もある。
・操業開始予定：2024 年
・「Northern Lights project」の位置：図表 5.4.35 参照

図表 5.4.35　欧州 CCUS 2 大プロジェクトとネットワーク



（出所）Belllona Europa, 2018

（参考）日本沿岸の非構造性帯水層分布と潜在貯蔵能力

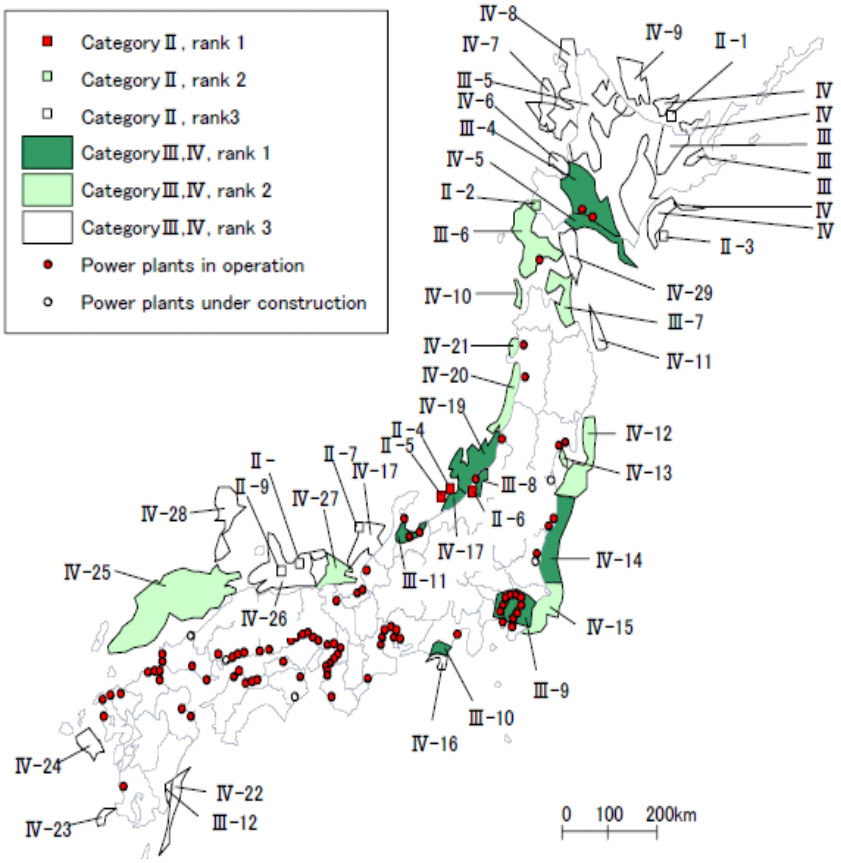
日本での地中貯留に関して、RITE は日本全体で 69 の CO2 貯留サイトと 113 の火力発電所について試算（2005 年）を行い、貯留サイトの近くに排出源があり、巨大な貯留ポテンシャルがあることを示している（図表 5.4.36 参照）。

帯水層の貯留可能量は、概算で約 900 億トンと推定されており、日本の年間 CO2 排出量の約 10 億トン（2019 年）に比べ規模的には余裕がある（図表 5.4.37 参照）。

日本の地層構造の特徴は、構造性（キャップロック）地層は少なく、非構造性地層（砂岩層・泥岩層）が殆どである。東京湾、新潟、苫小牧付近に良好な非構造性帯水層が集中的に存在する。

日本の CO2 地中処分可能量は 900 億トン（900/10≒90 年分貯蔵潜在）で、その内構造　性は僅か 4%しかない。東京湾沿岸コンビナート地区の真下、近傍には良質な非構造性滞水層が集積している。

図表 5.4.36　日本沿岸の非構造性帯水層分布



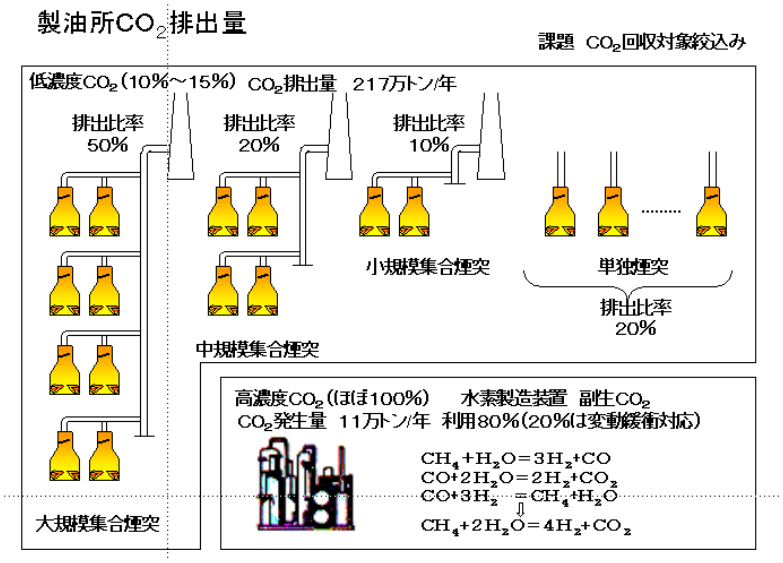
図表 5.4.37　日本国内における推定二酸化炭素地中貯留可能量

カテゴリー	対象層	推定貯留可能量（億 t CO_2）	評価地点数
Ⅰ	大規模な構造性の油・ガス層	19.3	13
Ⅱ	陸域の構造性帯水層	3.5	16
	海域の構造性帯水層	16.4	13
Ⅲ	陸域の背斜構造を伴わない帯水層	158.5	3
Ⅳ	海域の背斜構造を伴わない帯水層	720.4	16
	合計	918.7	61

日本での CCS 活用想定例として、千葉地区コンビナートにおける製油所からの CO2 を回収・貯留することによるブルー水素生産、CO2 削減が考えられる。CO2 発生源は、水素製造装置（CO2 濃度 100%）と加熱炉排ガス（CO2 濃度 10%～15%）で、水素製造装置の高濃度 CO2（ほぼ 100%）は、現状では、近接の炭酸液化メーカーが有効な原料としてほぼ

活用しきっている（図表 5.4.38 参照）。ただし、水素製造装置の稼働余力は大きく、この活用によりブルー水素の生産は可能である。

図表 5.4.38　千葉地区コンビナートからの CO2 排出イメージ



製油所燃焼排ガス例

	排ガス比率	温度	SOX	NOX	煤塵
	%	℃	ppm	ppm	g/Nm3
大規模集合煙突	50	180	125	108	0.03
中規模集合煙突	20	170	182	157	0.07
小規模集合煙突	10	240	41	129	0.04

（出所）平成 17 年度調査事業成果発表会、出光興産、東芝

欧州 2 大プロジェクトの調査を踏まえると、千葉地区水素製造装置の大幅な余力と RING Ⅲで構築した水素ネットワークを拡大活用して、隣接する LNG 輸入基地の天然ガスを原料とする、「グレー水素＋CCS→ブルー水素の大型基地化」の潜在的可能性は十分ある。欧州２大プロジェクトの CCS コストと比較すると、近接であること、深度も 1,500m以内であることから、低コストになることが期待される。ただし、CCS の安全基準などの法制化の必要があることや、地震多発地区であることから住民の理解という課題もある。

５．４．６　Repsol の収支回復状況とカーボンニュートラル戦略

スペインの Repsol（2019 年売上：EUR 33b、約 5 兆円）は、準大手欧州メジャーとして、環境に対し先進的な考えを持つ会社で、2019 年に石油・ガス業界で初めて 2050 年のカーボンニュートラル宣言を行った。1997 年の京都議定書も業界で最初に採択した。

低炭素事業に積極的にアクセルを踏んでおり、投資の前提となる社内での想定炭素価格（ICP）を引き上げている。従来 2025 年に 40 ドルと想定していたが、70 ドルと 1.8 倍に引上げ、30 年には 100 ドルを想定している。「どの低炭素ソリューションが伸びるか現時点では見立てが難しい」という考えのもと、資産、売り上げ規模の割に、多様な低炭素事業・技術に対する投資を進めているのが特徴である。

再生可能エネルギーは、太陽光・風力・水力と技術面での分散に加え、地理的にも欧州・北米・南米に分散している。

水素は、グリーン・ブルー水素の検討はもちろん、バイオメタンから水素を生成する方法や光触媒を活用し自然エネルギーから直接水素を生産する方法も検討中である。

バイオ燃料は、バイオメタン、バイオディーゼル、バイオナフサ等々、多様なアウトプットを想定して検討している。

廃プラスチックでは、ケミカルリサイクルの中でも一般的な熱分解油へのリサイクルの他にポリオールなどの他のアウトプットも視野に広く検討している。

（1） Repsol のカーボンニュートラル目標とスペインの国家計画

Repsol は、パリ協定と国連の持続可能な開発目標に沿って 2019 年 3 月に石油・ガス企業で初めて 2050 年のカーボンニュートラル宣言を行った。当時からスコープ 3 を含めた目標設定を行い、かなり先進的であったが、その後 2020 年、2021 年と毎年目標を引き上げている。2021 年には、「Repsol は GHG 強度を指標にすることで絶対的な排出量の増加を隠しているわけではない」として、2030 年までではあるものの新たに排出量（絶対値）ベースの目標も定めている（図表 5.4.39 参照）。

Repsol は 1997 年の COP3 にて採択された京都議定書に対しても、石油・ガス業界で初めて支持を表明しており、気候変動に対し一貫して先進的に支持する方針を貫いてきた。

図表 5.4.39　Repsol のカーボンニュートラル目標

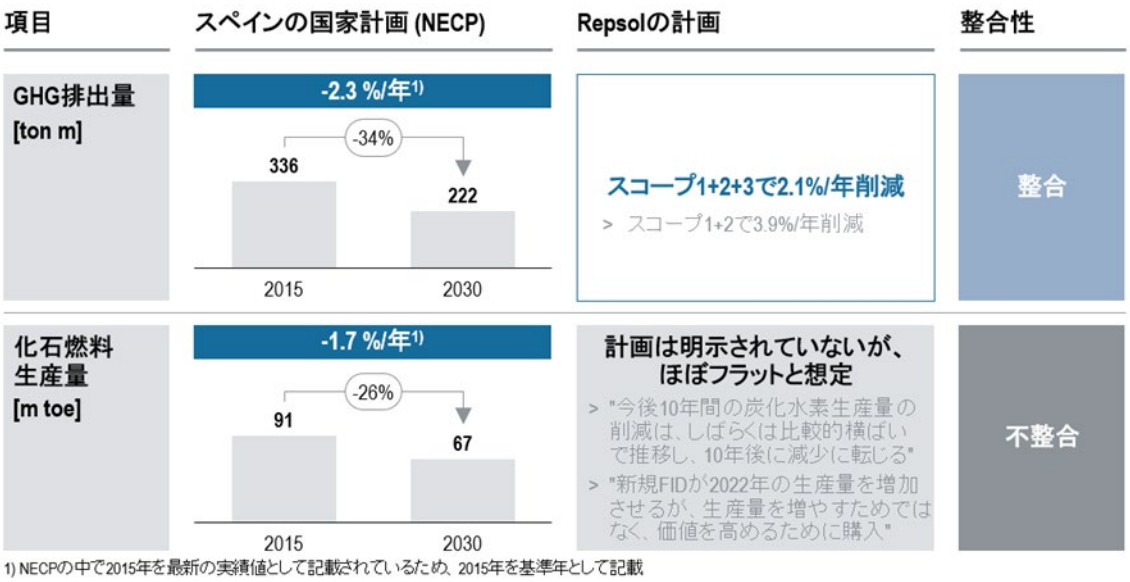
発表時期	地域 Global / Local	Scope 1+2+3 / 1+2	指標 排出量 / GHG強度	基準年	削減率 [%] 2025	2030	2035	2040	2045	2050
2019年9月	■	■		2016	10	20		40		100
2020年11月	■	■		2016	12	25		50		100
2021年10月	■	■		2016	15	28		55		100
	■		■	2016		55				
	■	■	■	2016		30				

（出所）Repsol

Repsol が、2021 年 10 月に定めた最新の GHG 排出量の削減目標は、スペインの方針と整合している。NECP では、策定当時の最新の確定実績値であった 2015 年の排出量から 2030 年に 34%（年平均 2.3%）削減する計画であるのに対し、Repsol は 2016 年を基準に 2030 年に 30%（年平均 2.1%）削減する目標である。

他方、化石燃料の生産量については、Repsol の計画はスペインと整合していない。NECP では 2015 年から 2030 年にかけて 26%(年平均 1.7%)削減する計画であるのに対し、Repsol は生産量の計画の明示を避けているが、今後 10 年はほぼフラットで推移していくと想定される（図表 5.4.40 参照）。

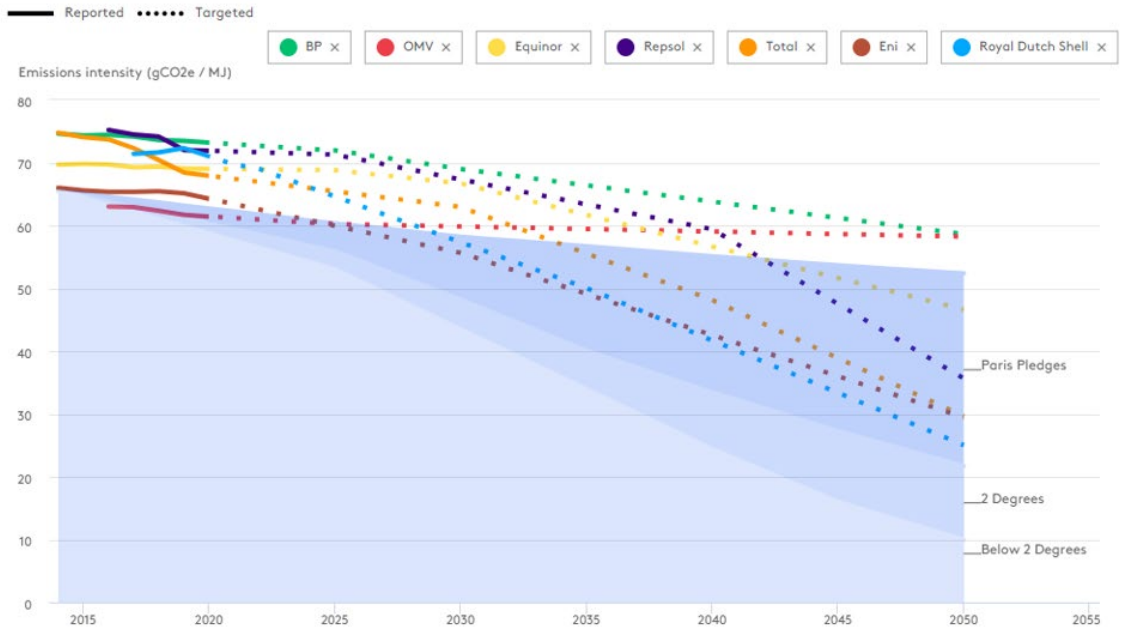
図表 5.4.40　スペインの国家計画と Repsol の計画の整合性



（出所）EC NECP, Repsol

Repsol は、主に投資家向けに低炭素経済に向けた企業の準備状況を評価する Transition Pathway Initiative（TPI)が「会社の目標とパリ協定が整合している」と評価した石油・ガス業界企業 5 社の内の 1 社である（図表 5.4.41　参照)。

図表 5.4.41　欧州メジャーのカーボンニュートラル目標とパリ協定順守状況



（出所）Transition Pathway Initiative

他方、欧州メジャー7 社はいずれも 2050 年のカーボンニュートラルを宣言しているにも関わらず、TPI の試算ではいずれの会社も 2050 年の炭素強度が 0 になっていない。この

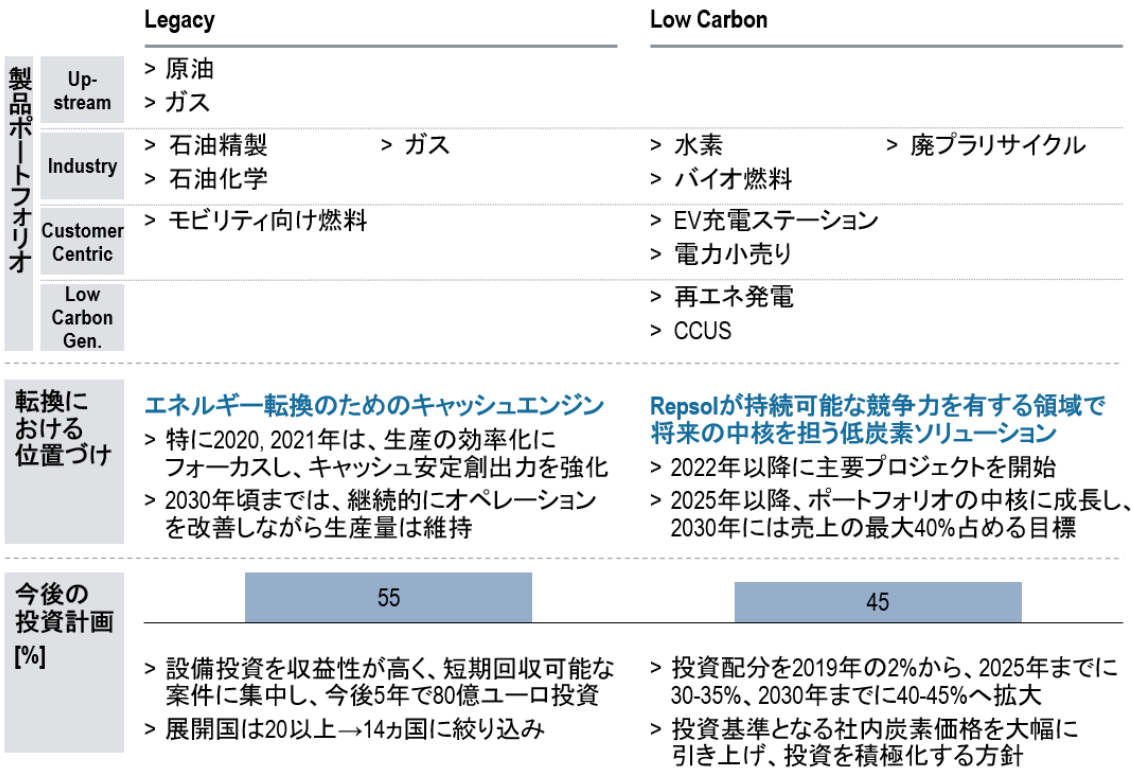
ギャップは、TPI の厳しめの主観が反映されたものである。TPI の試算ロジックの中に、方法論が明確化されていない定性的、かつ主観的な判断が含まれている。ロジックの一部がブラックボックス化されているため、数値の背景を詳細に読み解くことはできないが、将来目標がパリ協定に整合すると評価された 5 社(Shell, TotalEnergies, Eni, Equinor, Repsol）は、いずれもスコープ 3 のカーボンニュートラル目標を定めている。他方、不整合と評価された BP と OMV は定めていない。

（2） Repsol のカーボンニュートラル戦略の考え方

Repsol は「目標は定めてもその方法は制限すべきでない」というスタンスをとっているが、これは、EV 規制に対しての Repsol のスタンス「現在の動力源をアップグレードするためには、ICE のような技術の研究・開発・投資も不可欠であり、技術の禁止を避け、技術の中立性を受け入れる必要がある」とする「目標に対し幅広いオプションから有望な技術を選んで開発していく」同社の基本的な考え方を反映している。

Repsol は、資源価格の変動により 2019 年から収益性が低下していた中、コロナで追い打ちをかけられたため、2020 年から 2021 年の期間をコロナからの回復期と定め、調達・運転資本の最適化、販管費や設備投資の削減を行っている。2022 年から低炭素プロジェクトを本格化させていくが、他社と同様に、アップストリームを始めとする既存のレガシービジネスを安定的キャッシュエンジンとして低炭素ビジネスを拡大していく考えである（図表 5.4.42 参照)。

図表 5.4.42　Repsol の脱炭素化戦略



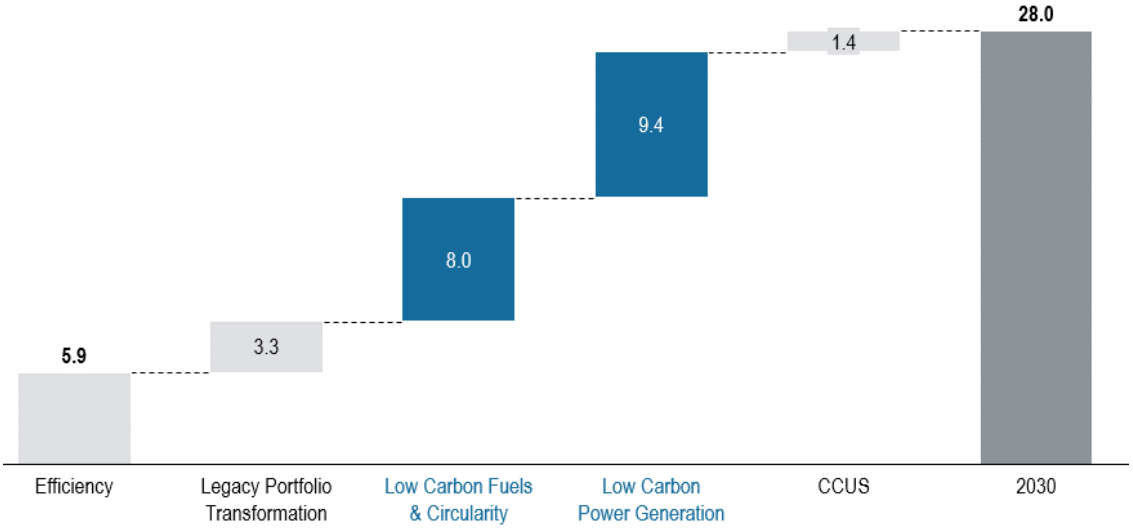
（出所）Repsol

具体的には、製品ポートフォリオを、Upstream, Industry, Customer Centric, Low Carbon Generation の 4 つに分け、Industry ではレガシーである「石油精製・石油化学・ガス」から低炭素の「水素・バイオ燃料・廃プラスチックリサイクル」へ、Customer Centric ではレガシーである「モビリティ向け化石燃料」から低炭素の「EV 電力ステーション・電力小売り」へビジネスをシフトさせていく考えである。

低炭素ビジネスへの投資においては、投資の前提となる社内での想定炭素価格（ICP）を引き上げることで投資を促進させていく。具体的には、従来 CO2 の 1 トン当たりの価格を 2025 年に 40 ドルとしていたものを、2025 年に 70 ドルと約 1.8 倍にし、2030 年には 100 ドルを想定している。現時点で設備投資を意思決定する際、稼働を開始する 2025 年/2030 年に炭素削減が可能であれば、投資回収試算において「削減炭素量」×「炭素価格」をマイナスしている。

また、Repsol は、2030 年の GHG 排出削減目標実現に向け、具体的にどの手段でどのくらい下げるかの計画を開示している。GHG 強度は 28%削減する計画だが、その中で最も貢献度が大きいのは Low Carbon Power Generation（再生可能エネルギーによる発電）の 9.4%と、Low Carbon Fuels & Circularity（バイオ燃料や水素など）の 8.0%である（図表 5.4.43 参照）。

図表 5.4.43　GHG 排出削減目標の実現に向けた手段毎のブレークダウン



（出所）Repsol

（３）　Repsol の低炭素ビジネスにおける技術的、地理的分散投資

いずれの低炭素ビジネスにおいても、現時点では多くの選択肢を確保し、低炭素を実現する方法に柔軟性を持たせておくことが重要であると考えている。

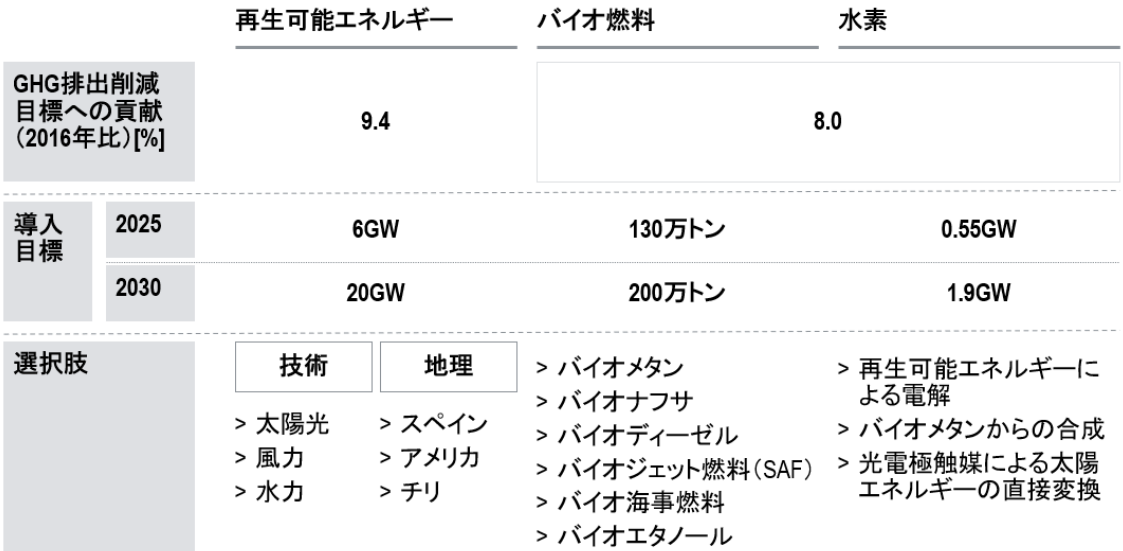
再生可能エネルギーによる発電では、技術的、地理的分散を図り、そのタイミングで最も優位なプロジェクトを選択することで高いリターンの確保を目指している。技術的には太陽光、風力、水力のいずれも検討を進めており、2021 年現時点ではそれぞれ 27%、31%、42%に分散させている。

地理的には現在はスペインが 9 割以上であるが、今後更なる成長が期待されるアメリカ、チリへの展開を検討している。2020 年 7 月にはチリに多くの開発パイプラインを有するスペインの再生可能エネルギーデベロッパーである GrupoIbereólicaRenovables と 50%出資の JV 設立を決め、2021 年 6 月にはアメリカの太陽光発電デベロッパーである Hectate Energy に 40%出資を実行し、2030 年時点ではアメリカ・チリの割合が 50%以上とスペインを越える規模を計画している。

再生可能エネルギーの導入目標は 2025 年には 6GW、2030 年には 20GW である。
バイオ燃料では、バイオメタン、バイオナフサ、バイオディーゼル、バイオジェット燃料（SAF）、バイオ船舶燃料、バイオエタノールなど、多様な最終製品を念頭に開発を進めている。例えば、食糧確保とのコンフリクトのため、菜種油やパーム油といった食品・油脂由来のバイオ燃料に使用の上限が課されるなど、規制は変化しているが多くの選択肢を有し、その変化に対応しながら開発していく。バイオ燃料については、2025 年には年間 130 万トン、2030 年には年間 200 万トンを生産する目標である。

水素に関しては、再生可能エネルギーを活用した電解に加え、バイオメタンから水素を合成することも有力な選択肢として検討している。さらに、光電極触媒を使って太陽エネルギーを直接水素に変換する先進技術（SUNRGYZE：サンラグイズ）の開発も進めている。電気を介した水素生産では、3GW の電力から 1GW の水素しか生産できず、6～7 割の大きなエネルギーロスがある中、生産効率を大幅に上昇させ、現在の水素コストの 75%を占める製造コストを下げることを狙う。2021 年からラボでの試験設備を稼働させており、2024 年にプエルトラーノ製油所内にデモプラントを設置し、2030 年までに実用化に向けスケールアップすることを目指している。なお、水素については 2025 年には 0.55GW 相当、2030 年には 1.9GW 相当の再生可能な水素生産の容量を確保する目標である（図表 5.4.44 参照）。

図表 5.4.44　Repsol の低炭素ビジネスの目標と多様な選択肢



（出所）Repsol

（4） 既存製油所の活用を追求した低炭素ビジネス

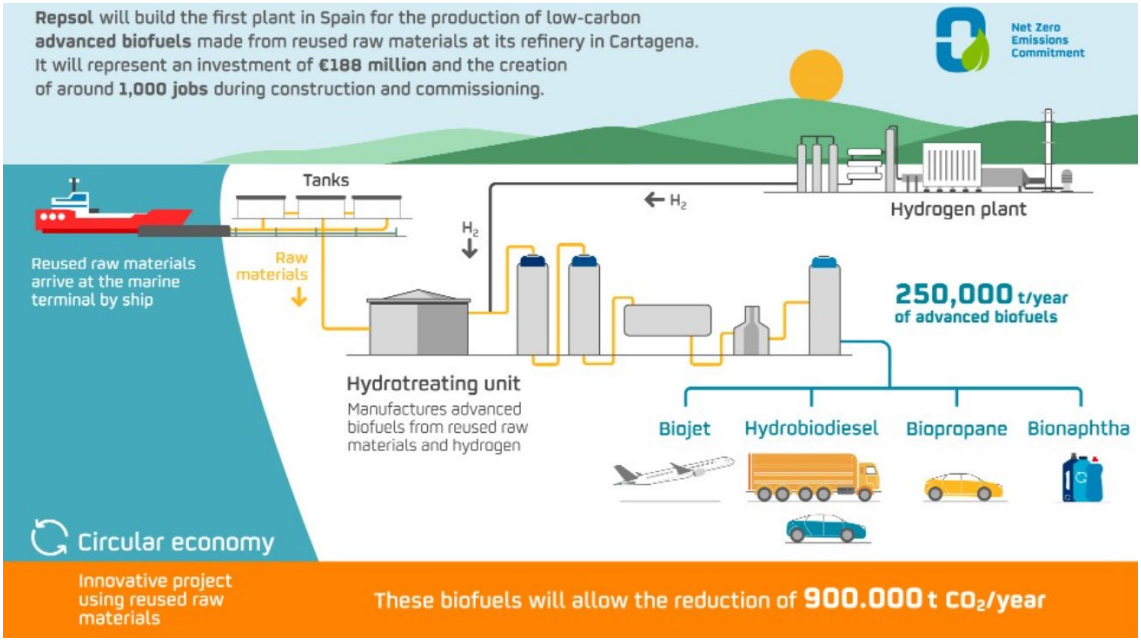
Repsol は、既存製油所を活用して低炭素ビジネスを追求する戦略も、積極的に進めている。脱炭素化説明会では、「戦略における目的の一つは、既に保有する資産から利益を得ること。全ての製油所で低炭素燃料を生産することは非常に重要」と述べている。

バイオ燃料生産への転換で特に注力されているのはカルタヘナ製油所である。年間 30 万トンの廃棄物や残渣を処理し、水素化処理や異性化を行うことで、年間 25 万トンの HVO や SAF を生産する計画である。これらバイオ燃料の生産により、年間 90 万トンの CO2 削減が見込まれる。2023 年第一四半期の稼働を目指し、1 億 8,800 万ユーロが投資される（図表 5.4.45 参照）。

また、カルタヘナ製油所で使用される水素は、都市の固形廃棄物から得られたバイオメタンを原料とすることが検討されている。2021 年 10 月には、欧州企業では初めての廃棄物由来のバイオメタン 500MWh から 10 トンの再生可能な水素を製造することに成功した。

さらに、カルタヘナには 100MW の電解槽建設で、再生可能エネルギーによる水素生産を行う計画があり、自社の既存製油所を中心に廃棄物やその他の再生可能な原材料を GHG 排出の少ない、或いはゼロ、若しくはマイナスとなる製品に変換するマルチエネルギーハブとなることを目指している。

図表 5.4.45 カルタヘナ製油所（220 千 BD）でのバイオ燃料生産イメージ



（出所）Repsol

プラスチックから得た熱分解油を既存製油所で蒸留して用途ごとに成分を分けたり、分けた成分をそのまま原料としてプラスチックなどの化学製品の原料としたりすることで、他のプレイヤーが独自にリサイクルに取り組むよりも、輸送・製造コストを抑えたリサイクルシステムができる。

Repsol は、2021 年 10 月の戦略説明会の中で「各事業所との統合により、リサイクルに関して非常に有利な立場にある」と述べている。なお、Repsol 全体で、2025 年までにポリオレフィン生産量の 10%相当を、2030 年までに 20%相当をリサイクルすることを目標としている。そのためには、2020 年に 6,000 トンであった年間リサイクル量を、2030 年に 36 万トンまで引き上げる必要がある。

具体的なプロジェクトとしては、大きく 4 つ検討されている（図表 5.4.46 参照）。
Reciclex では、回収したプラスチック廃棄物を粉砕し、バージン材と混合するメカニカルリサイクルを行う。リサイクル率が 10-70%と異なる 20 以上のグレードを開発しており、ニーズに合わせた製品を提供していく（食品用途には使用不可）。現地で廃棄物回収を行う Acteco と協力し、原料となる廃棄物確保からのリサイクルのバリューチェーンの構築を目指す。Repsol のスペイン（タラゴナ製油所、プエルトラーノ製油所、モンズ化学工場）、ポルトガル（シネス化学工場）の事業所に、それぞれリサイクルプラスチックをコンパウンドする工場を併設させ、2030 年には 10 万トンのプラスチックをリサイクルし、リサイクルプラスチックの平均含有率を 50%にすることを目指している。
Reciclex circular では、回収したプラスチック廃棄物を熱分解し、バージン材と同等の性質で再利用するケミカルリサイクルを行う（食品用途にも使用可能）。スペインで既に熱分解プラントを稼働させているプレイヤーから供給される熱分解油には不純物が含まれており、品質が低いため、まずは技術を有する Axcens と協力し、新たなプロセスを開発している。同時に、リサイクルプラスチックのマーケティングも開始しており、特に食品包装用途の顧客と必要数量などの議論も進めている。本プロジェクトでは、Repsol のスペイン（タラゴナ製油所・化学工場、プエルトラーノ製油所・化学工場）、ポルトガル（シネス化学工場）に設備が導入され、22 万 5000 トンのプラスチックリサイクルを目指している。
RECPUR では、産業廃棄物、或いは一般消費者が使用したマットレスなどに含まれるポリウレタンを回収し、再びポリウレタンの原料となるポリオールを製造するケミカルリサイクルを行う。技術を有するドイツの RAMPF と協力し、2022 年にスペインのプエルトラーノ製油所に最初の工場を建設し、その後、タラゴナ製油所やドイツに工場を新設し、2030 年にポリオール販売量の 15%をリサイクルポリオールで賄うことを目指している。
Ecoplanta では、有機廃棄物やプラスチック廃棄物の混合廃棄物を回収し、メタノールを製造するケミカルリサイクルを行う。カナダの Enerkem が 10 年以上に亘って実証・スケールアップを進めてきた先進のガス化技術が使用され、Repsol のタラゴナ製油所に工場を建設し、年間 39 万トンの混合廃棄物から 22 万トンのメタノールを製造する計画である。製造したメタノールは、ポリオレフィンやバイオ燃料の原料として使用される。将来的にはプエルトラーノ製油所やシネス化学工場にも Ecoplanta の工場建設が検討されている。
なお、これらプロジェクトには総額 14 億ユーロの投資が必要になるが、上記パートナーと共同で実施することで Repsol からの出資は約 6 億 6000 万ユーロに抑えられている。

図表 5.4.46　Repsol のプラスチックリサイクルプロジェクト

■ 製油所[1]+化学工場
■ 化学工場

プロジェクト	インプット	プロセス	アウトプット	目標数量	場所	主要パートナー
Reciclex	プラスチック廃棄物	メカニカルリサイクル	再生プラスチック	2030年までに10万トンをリサイクル（リサイクル品の平均含有率50%に）	> タラゴナ > プエルトラーノ > シネス > モンズ	Acteco（廃棄物回収）
Reciclex circular	プラスチック廃棄物	ケミカルリサイクル（熱分解）	熱分解油	2030年までに22.5万トンをリサイクル	> タラゴナ > プエルトラーノ > シネス	Axcens(技術)
RECPUR	ポリウレタン	ケミカルリサイクル（酸分解）	ポリオール	2028年までにポリオール販売量の15%をリサイクルポリオールで賄う	> プエルトラーノ > その後、タラゴナ、ドイツに展開	RAMPF(技術)
Ecoplanta	有機廃棄物＋プラスチック廃棄物	ケミカルリサイクル（ガス化）	メタノール	2025年までに40万トンをリサイクルし、22万トンのメタノールを生産	> タラゴナ	Enerchem(技術)

1) 製油所処理能力 [kbpd]：タラゴナ 186, プエルトラーノ 150

（出所）Repsol

本目標と戦略は 2022 年の株主総会において諮問にかけられ、株主の承認を得ることが予定されている。

５．４．７　OMV のカーボンニュートラル戦略

オーストリアの OMV（2019 年売上：EUR 23b、約 3 兆円）は、石油精製プレイヤーとしては、Shell を始めとする欧州の大手メジャーと比較して規模が小さいため、低炭素化に向けた事業転換にかけられるリソースは相対的に限られる。そのため、ニッチな廃プラスチックリサイクルに狙いを定め、当該市場でのリーディングプレイヤーとなることを目指している。

具体的には、2020 年にプラスチック大手の Borealis（オーストリア）への出資比率を 36%→75%に増資し、OMV として川下の石油化学領域へバリューチェーンの展開を強化、そうすることで川下領域での顧客接点が増え、廃プラスチックの回収や製品としての再利用の観点から、メカニカルリサイクルやケミカルリサイクルが展開し易い枠組みの構築を目指している。現在はパイロットプラントであるが、2022 年には規模を拡大したデモプラントを設立し、2025 年には商業ベースでの工場を立ち上げる計画である。

（１）　カーボンニュートラル目標と国家計画との整合性

OMV は、カーボンニュートラルの目標として、スコープ 1+2 の GHG 強度で 2050 年のネット・ゼロを目指しており、中間目標として 2010 年を基準に 30%削減を設定している。カーボンニュートラルの目標とは異なるが、OMV は 2010 年から GHG 削減の取り組みを始め、2019 年時点で GHG 強度を 19%削減、製品ポートフォリオの GHG 強度を 4%削減しており、大胆な目標こそ立てていないものの、着実に GHG 排出量削減の取り組みを進めている（図表 5.4.47 参照）。

図表 5.4.47　OMV のカーボンニュートラル目標 [1)]

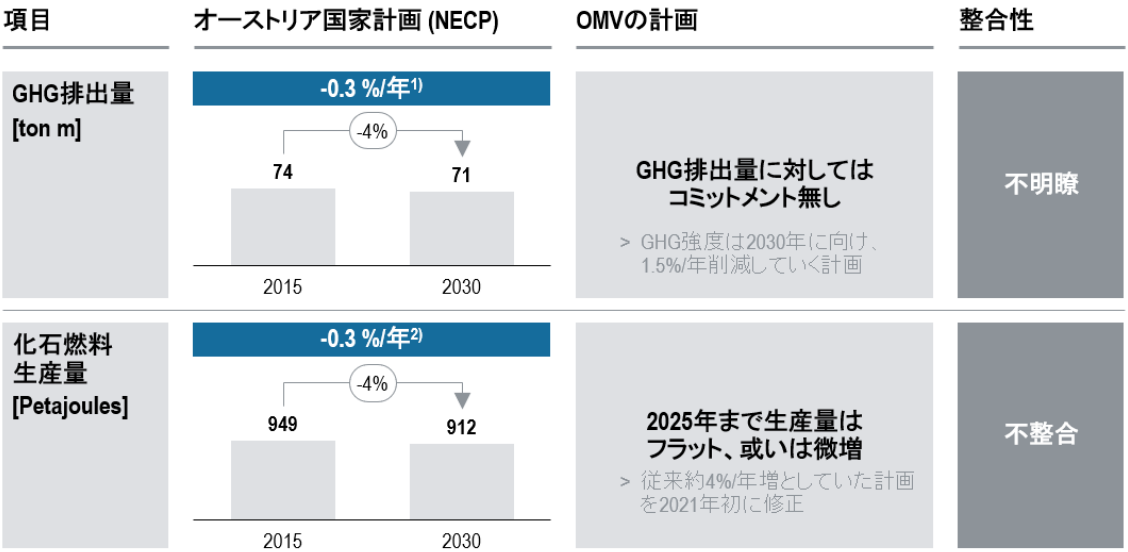


1) Borealis を除くグループ全体での GHG 排出

（出所）OMV

OMV は絶対量での GHG 排出量の目標を設定しておらず、オーストリアの国家計画との合致状況は不明瞭である。なお、オーストリアとしての 2030 年に向けた GHG 排出量削減の見立てが 2015 年比で 4%と小さすぎるため、NECP の中でも国としての施策の不足が指摘されている（図表 5.4.48 参照）。

図表 5.4.48　オーストリアの国家計画と OMV の計画の整合性



1) NECPの中で2015年を最新の実績値として記載されているため、2015年を基準年として記載, 2) NECPに記載された図表から集計・試算したため、若干誤差を含む可能性

（出所）EC NECP, OMV

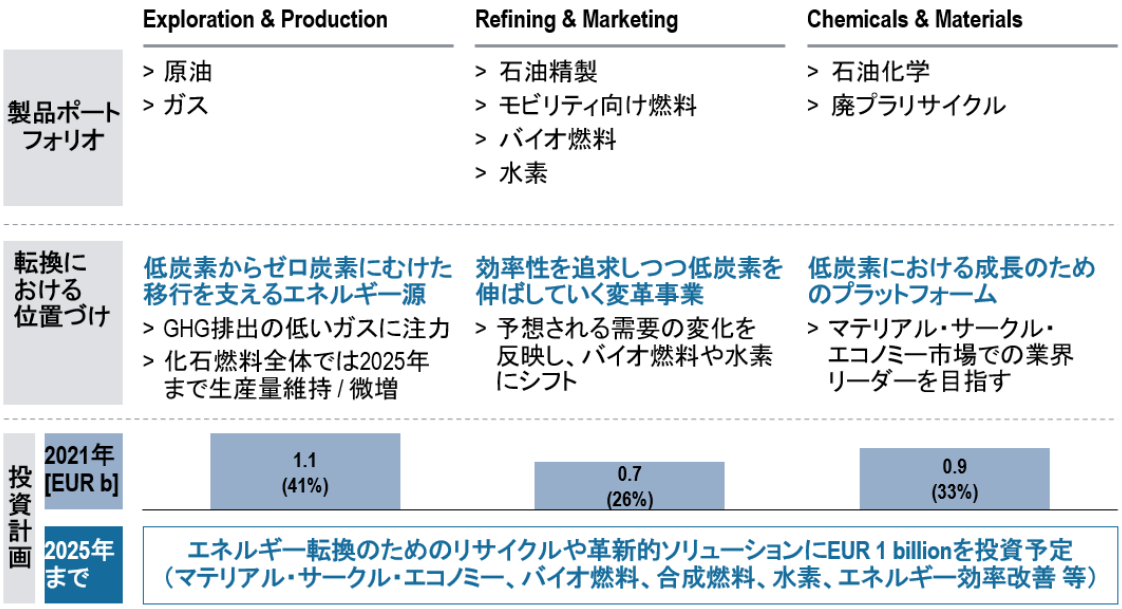
化石燃料の目標については、OMV の計画はオーストリアと整合していない。NECP では 2015 年から 2030 年にかけて 4%（年平均 0.3%）削減する計画であるのに対し、OMV の生産量はフラット、或いは微増としていく計画である。元々は 2025 年に向け年間 4%増を計画していたが、2021 年初めに同生産量の計画を修正している。2021 年 2 月の 2020 年第 4 四半期報告会では、「以前に発表した 2025 年の目標である日量 60 万バレルの生産量（2019 年から年間 4%増に相当）を修正する。生産量の増加を追求することはもうない。2025 年までに日量約 45 万～50 万バレル（2019 年からフラット、或いは微増）を安定的に維持することを見込む」と述べている。

低炭素化の動きを受け、増産の計画は控えたものの、オーストリア内のエネルギー実需を考慮すると減産するとまでは言い切れない難しい立場であると想定される。

（２） 低炭素化に向けた事業転換の考え方

OMV は、カーボンニュートラル目標実現に向けた低炭素への事業転換の考え方として、製品群を原油、ガスを含む Exploration & Production と石油精製、モビリティ向け燃料、バイオ燃料、水素を含む Refining & Marketing、石油化学、廃プラスチックリサイクルを含む Chemicals & Materials に分け、Exploration & Production を収益・エネルギーの基盤としながら、徐々に革新的なエネルギーソリューションにシフトしていく方針である。

図表 5.4.49 OMV の低炭素化に向けた事業転換



（出所）OMV

具体的な配分比率は示されていないものの、2025 年までにエネルギー転換のためのリサイクルや革新的ソリューションへの 10 億ユーロの投資が計画されている。

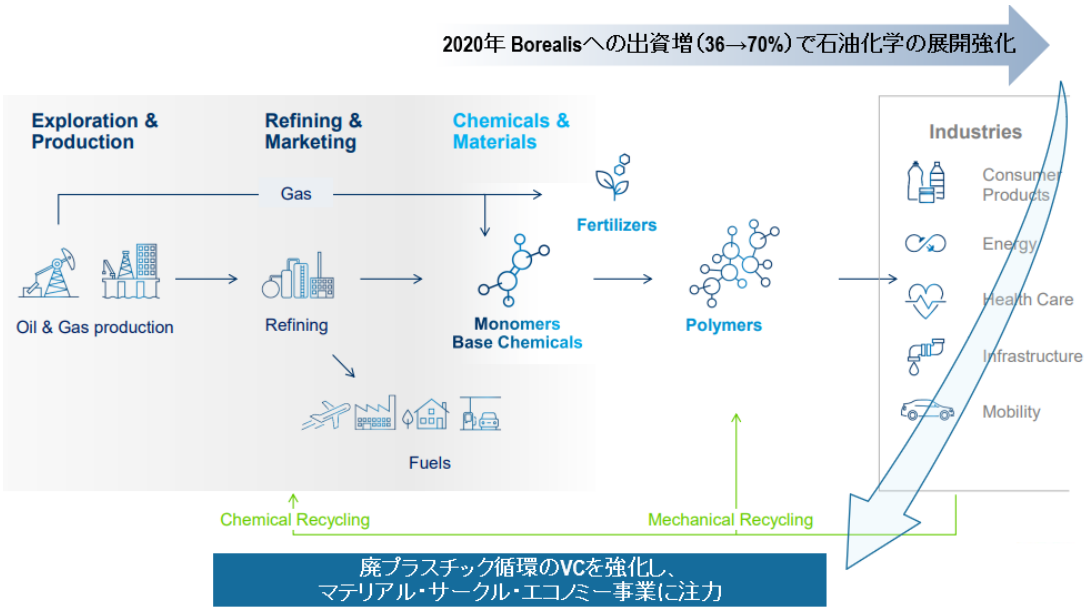
Exploration & Production では、特に GHG 強度の低いガスに注力していく。2020 年時点で、ドイツにおけるガス市場のシェア 7%を獲得しており、今後同国のシェア 10%獲得を目標に販売を拡大する。2021 年 2 月の第 4 四半期報告会の中では「ガスの販売量を 50%増加させ、北西ヨーロッパから南東ヨーロッパでの、総合的なガス供給のリーディングカンパニーになりたい」と述べている。

Refining & Marketing では、足許では製油所のコストやオペレーション効率化に注力してオーストリアでの業界リーダーのポジションを維持しつつ、需要の変化に合わせバイオ燃料や水素などの低炭素燃料の供給にシフトしていく。

Chemicals & Materials は、今後の低炭素時代に OMV を支えるプラットフォームとなる事業である。OMV は、グローバルプラスチックメーカーである Borealis の保有シェアを 75%に引き上げたが、Borealis というプラットフォームを獲得することで、OMV の川下領域のバリューチェーンを強化し、比較的ニッチな分野である廃プラスチックリサイクル領域

においてマテリアル・サークル・エコノミーのリーディングプレイヤーとなることを目指している。OMV は、ReOil というブランド名で廃プラスチックのケミカルリサイクルを展開しており、これに Borealis が有するエンドユーザーとの顧客接点を組み合わせることで、回収の仕組み作りや再利用に向けた製品開発・販売が行いやすい枠組みが構築される。一例として、Borealis の顧客である Nesle は、Reoil による再生ポリオレフィンを製品パッケージに使用することを決定した。
今後の具体的な目標として、2025 年までにリサイクルポリオレフィンの生産量を年間 35 万トンとすることを目指している（図表 5.4.50 参照）。

図表 5.4.50　OMV のマテリアル・サークル・エコノミーへの注力



（出所）OMV

（3）　シュベヒャト製油所における廃プラリサイクル、バイオ燃料への転換戦略

OMV のシュベヒャト製油所（20 万バレル/日）では、事業転換に向け、廃プラスチックリサイクルやバイオ燃料などの革新的ソリューションの導入が進められている。廃プラスチックリサイクルについては、2019 年からパイロットプラントの操業を開始しており、回収された使用済プラスチックから毎時 100kg の合成原油（製品名：ReOil）の製造に成功している。今後、2022 年までに処理能力を 1.6-2 万トンに拡大し、2025 年には処理能力 20 万トンの商業規模の工場を設立する計画である。
また、バイオ燃料については、バイオディーゼル、バイオアルコールの製造を計画している。バイオディーゼルについては、年間 16 万トンの植物油や廃棄物を処理し、バイオマス燃料と化石燃料のコプロセッシングが行われる予定で、約 2 億ユーロが投資される。バイオアルコールは、洗剤や石鹸の製造時に副産されるグリセリン[1)]を原料に年間 125 万リットルのプロパノールが製造される予定で、約 3,000 万ユーロが投資される。長期的に、年間 1 億 2,500 万リットルのバイオプロパノールを製造することを目標としている。

1) グリセリンは RED（Renewable Energy Directive）において先進的なバイオマス原料に指定されている。

図表 5.4.51　シュベヒャト製油所（200 千 BD）の低炭素化転換戦略

	廃プラリサイクル（ケミカルリサイクル）	バイオ燃料	
		バイオディーゼル	バイオアルコール
操業開始	2019	2023	2023
投資額 [EUR m]	NA	200	30
原料	> 廃プラスチック	> 使用済食用油、植物油　等	> グリセリン（先進的原料） – 洗剤・石鹸の製造で発生する副産物
製品	> 合成原油（製品名：ReOil）	> バイオディーゼル	> バイオプロパノール – ガソリンのバイオ添加剤 / 化学品原料
処理 / 製造能力	NA / 毎時100 kg（パイロットプラント）	年間16万トン / NA	NA / 年間125万リットル（パイロットプラント）
ネクストステップ	> 2022年に処理能力を1.6-2万トンに引き上げ > 2025年に処理能力が20万トン規模の商業工場設立	> NA	> 長期的には、年間1億2,500万リットルまで生産能力を拡大予定

（出所）OMV

本戦略は 2025 年に向けたものとして発表されており、適宜戦略や計画の見直しが行われていくと想定される。

５．４．８　欧州石油メジャー7 社のカーボンニュートラル戦略まとめ

（１）　レガシー事業ポートフォリオの転換

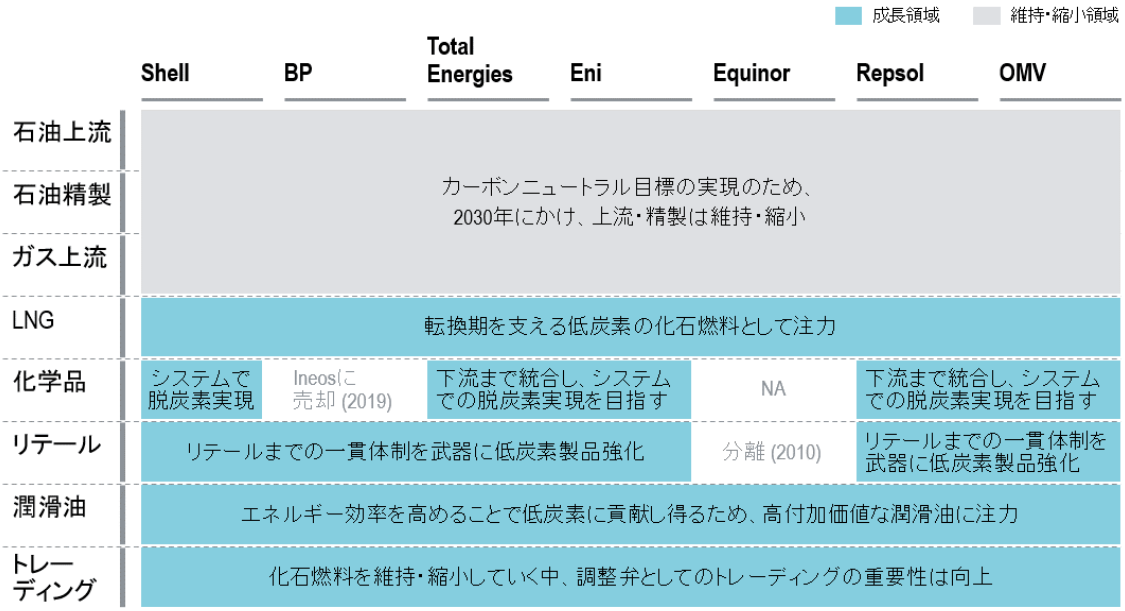
カーボンニュートラルの実現に向けた各社のポートフォリオ転換に関する考え方を、レガシー事業と低炭素事業に分けて整理する。

レガシー事業におけるポートフォリオ転換についての大きな考え方は、各社共通している（図表 5.4.52 参照）。

・石油・ガス上流及び石油精製
　重要な収益源でありエネルギー源でありつつも、2030 年に向けて維持、縮小
・LNG
　エネルギーの転換期を支える重要な低炭素エネルギー源として、いずれの会社も注力
・化学品
　基本的には下流への展開を強化することでバリューチェーン全体での脱炭素を指向。ただし、そもそも化学品を有しない Equinor や化学品事業を Ineos に売却した BP は対象外
・リテール
　再生可能エネルギーによる発電からサービスステーションまでの一貫体制を電力事業の差別化要素として、或いはバイオ燃料や水素の展開手段として、各社注力

・潤滑油
エネルギー効率を高めることで低炭素に貢献し得るため、各社共に高付加価値品の展開を強化
・トレーディング
各社化石燃料の生産量を維持・縮小していく中で、調整弁としての重要性が高まり、各社注力

図表 5.4.52　欧州石油 7 社のポートフォリオ転換（レガシー事業）



（出所）各社 IR 資料

（2） 低炭素事業ポートフォリオへの転換

低炭素事業におけるポートフォリオ転換については、会社により注力度合いの濃淡が異なる。ここで整理する注力度合いは定量的な CAPEX の配分とは異なり、どの分野で強みを発揮していくかという会社の方針を示したものである。低炭素ソリューション毎に、技術や市場の成熟度が異なるため、必ずしも将来的に強みを発揮したい分野に対して足元の CAPEX 配分が最大となるわけではない。

Shell や BP は豊富な資金力を活かし、全方位でリーダーポジションの獲得を目指している。

TotalEnergies は、2030 年までに再生可能エネルギーを 100GW 導入し、世界トップ 5 に入る計画である。

Eni は、2014 年に業界に先んじてベニス製油所をバイオリファイナリーに転換しており、バイオ燃料に注力している。

Equinor は、オフショアの開発能力を活かせる CCS や洋上風力発電でのリーディングポジションを目指す。

Repsol は、Shell や BP と比べると相対的に規模は小さいものの、黎明期である低炭素ソリューション全方位に注力している。

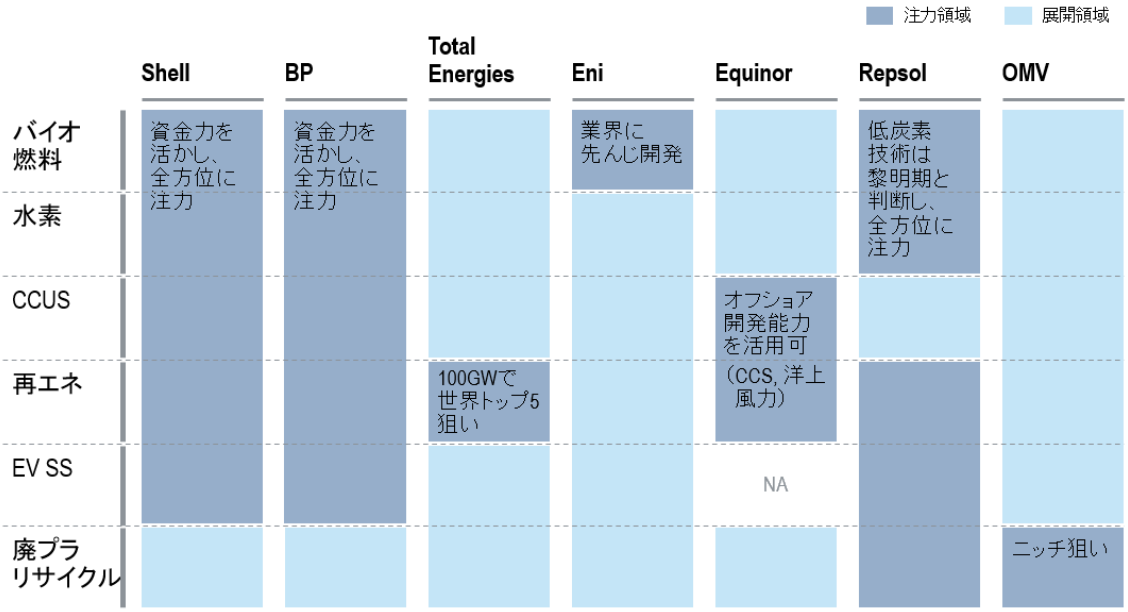
更に規模が小さい OMV は、ニッチ領域である廃プラスチックのリサイクルにおけるリー

ディングポジションを目指し、プラスチック大手の Borealis に対する出資比率を 36%から 75%に引き上げた。

総じて、技術的・市場的に成熟しているレガシー事業のポートフォリオ転換については、各社同様の考え方を有する一方、今後大きく成長していくことが想定される低炭素事業は、どこの領域に注力して強みを発揮していくかの考え方に差がある(図表 5.4.53 参照)。

日本のコンビナートも、産業間で連携しながら、それぞれの特徴にフィットした低炭素ソリューションの優先順位に基づき、導入を進めていく必要がある。

図表 5.4.53　欧州石油 7 社のポートフォリオ転換（低炭素事業）



（出所）各社 IR

５．５ 欧州石油メジャー7 社以外の既存製油所の転換事例

５．５．１　GALP（ポルトガル）

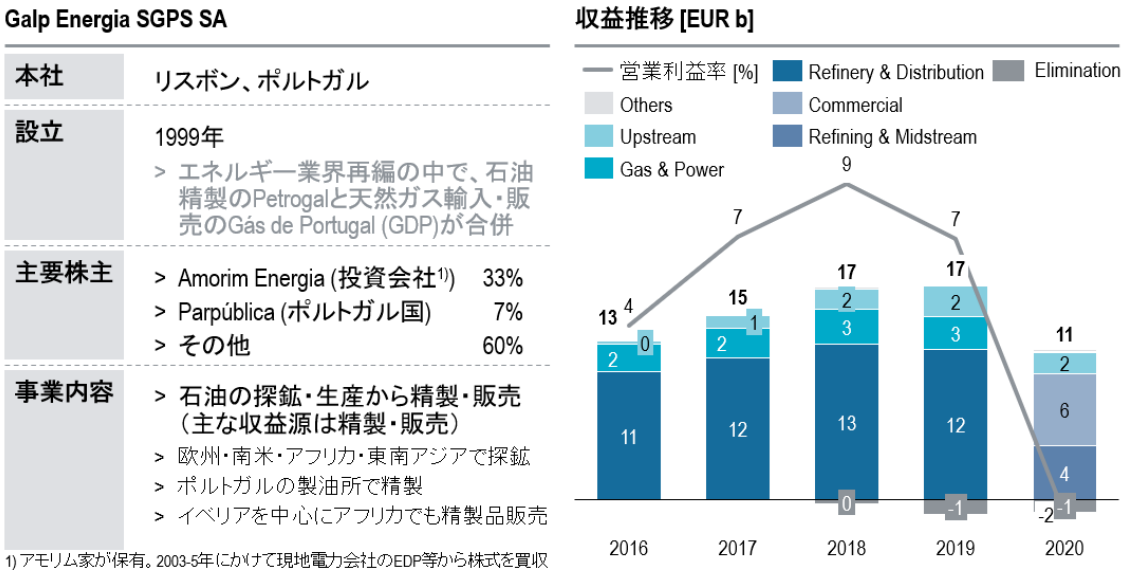
GALP は、エネルギー業界の再編が行われる中で、当時石油精製を行っていた Petrogal と天然ガスの輸入・販売を行っていた Gás de Portugal (GDP)グループが合併して誕生したポルトガルで唯一の石油精製会社である。ポルトガルが国の投資機関である Parpública を通じて約 7%のシェアを有している他、家族経営の投資会社である Amorim Energia が 33%の株式を有している。

事業内容は、石油の探鉱・生産から精製・販売まで一貫して行っているが、主な収益源は精製と販売である。探鉱は欧州・南米・アフリカ・東南アジアで広く行うものの精製はポルトガルの製油所で行い、ポルトガル・イベリア半島を中心に製品販売を行う。一部、アフリカへも輸出販売している（図表 5.4.52 参照）。2017 年の売上高は、152 億 400 万ユーロ(約 2.1 兆円、）であった。

GALP も欧州の脱炭素の動きを受け、スコープ 1+2+3 での 2050 年のカーボンニュートラル

を目指し、2030 年の中間目標として、2017 年比でスコープ 1+2 の排出量（絶対量）ベースで－40%、スコープ 1+2+3 の GHG 強度ベースで－20%とすることを目指している。

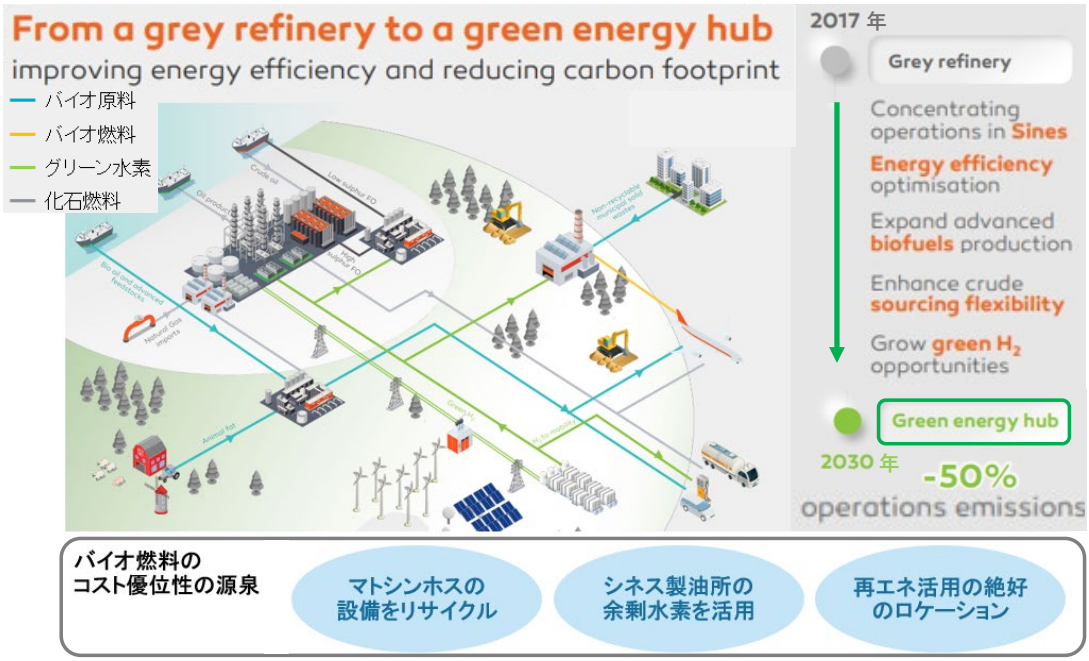
図表 5.5.1　GALP の会社概要



（出所）GALP, SPEEDA

その実現に向けた具体的な脱炭素施策として、GALP のシネス製油所をグリーンエナジーハブに転換することを検討している（図表 5.5.2 参照）。

図表 5.5.2　シネス製油所のグリーンエナジーハブへの転換イメージ



（出所）GALP 資料

地の利を生かしてシネス製油所に原油処理を集約し、エネルギー効率の最適化、バイオ燃

料の導入、原油ソース多様化、グリーン水素の導入などのミックスシステムを段階的に構築することを目指している。動物性油脂や使用済み食用油などの廃棄物を原料に、年間 27 万トンの HVO や SAF の製造が行われる計画である。

2021 年 4 月に閉鎖したマトシンホス製油所の設備を移設し、シネス製油所の余剰水素を活用することで、総投資額は 2 億ユーロ以下（約 260 億円）となる見通しで、2022 年中に最終的な投資の意思決定がなされる。グリーンエナジーハブへの転換は先進的な取り組みであり、2021 年 6 月の投資家説明会の中でも「転換は慎重に、段階的に進めていく。シネスの脱炭素化を進める一方で、製油所のマージンを改善し、低炭素製品の割合を拡大していく」と述べている。

また、水素については、現在シネス製油所で使用しているグレー水素を、地域の豊富な再生エネルギー資源を活用したグリーン水素に置き換えることを検討しており、2020 年代前半を目途に、100MW の電解槽が導入される予定である。2030 年までに 600MW の電解槽を導入し、6 万トンの水素を生産することも視野に入れている。まずはシネス製油所のグレー水素を置換えつつ、周辺のガスネットワークと連携し、地域のモビリティや産業用に提供していく方針である。

・シネス製油所の概要

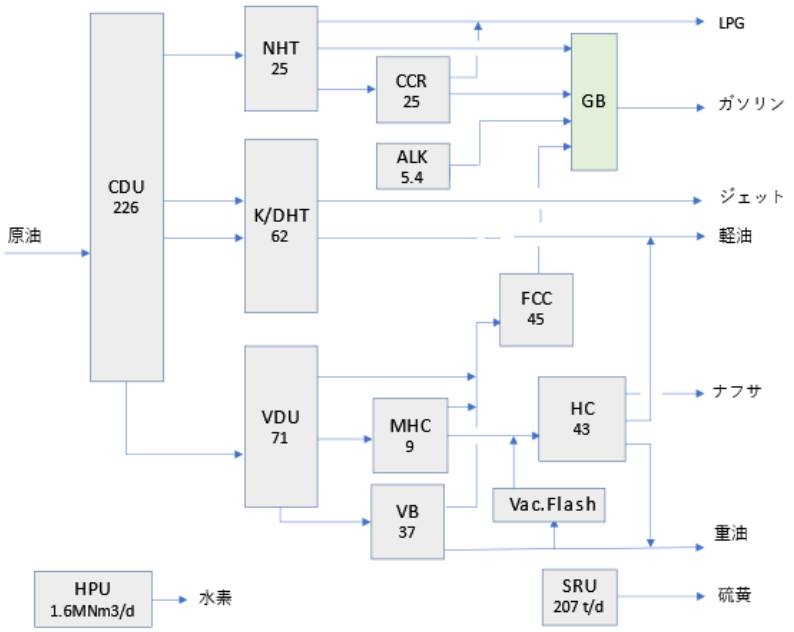
1978 年に操業を開始したシネス製油所は、2013 年のアップグレードプロジェクトを経て、水素化分解装置と流動接触分解装置を備えている。蒸留能力は約 226 千 BPD で、ポルトガルで唯一稼働している製油所であり、イベリア半島でも最大級の規模を誇っている。43 千 BPD の水素化分解装置（HYC）は 99%の転換率を達成しており、ディーゼル燃料とジェット燃料が最も重要な製品であるが、ナフサと LPG も生産している。シネス製油所は沿岸部に位置し、港のインフラも整っているため、原油の調達と製品の輸出の両面で有利な条件を備えている。

ガルプは、2030 年までにシネスコンビナートをグリーン・エネルギー・ハブにすることを目指し、エネルギー効率を高め、二酸化炭素排出量を削減する。最終的にガルプは、2030 年に精製活動（スコープ 1＋2）からの業務上の絶対的な排出量を 50%削減することを目指している（2017 年比）。

・シネス製油所の装置能力（単位：千 BPCD）

CDU:213 千 BPCD　VAC:71　VB:37　FCC:41　CCR:25　HC:43　NH:25　GH：24 K/DH:62
VH:9　ALK:5.4　HPU:約 160 万 Nm3/d　SRU:207 ton/d

図表 5.5.3　GALP　Sines 製油所フロー（単位：千 BD）



図表 5.5.4　マトシンホスとシネス製油所の立地



・マトシンホス・サイトの概要

マトシンホスは、ポルトガル北西部の海岸に位置し、1969 年に製油所として操業を開始した。同工場は、タンカーターミナル（レイショース港）と約 2km にわたる複数のパイプ

ラインで結ばれている。シネス製油所とは 400Km 程度離れているので、２製油所間のパイプラインによるインテグレーションは困難である（図表 5.5.4 参照）。
潤滑油工場もこの敷地内にあり、年間 8 万トンの生産能力を持っている。マトシンホスでの精製事業(Palmeira refinery)を 2021 年以降停止することを決定したことを受けて、当社はマトシンホスの海上ターミナル、貯蔵施設、流通施設のアクセスを維持しながら、地域市場への供給を継続し、現在、同コンプレックスの代替的な利用方法を検討している。

・マトシンホス製油所のプロセスと残った設備（下線）：単位千 BD
CDU：91/VAC:16/CCR:25/NH:42/DHT:31/Aroma：17/Lube：80 千トン/年
HPU：0.86MNm3/d SRU：45t/d （下線以外は 2021 年 1 月停止）（出所：OGJ2019 年 12 月）

５．５．２ Neste（フィンランド）

Neste は、再生可能な原料を使った製品の重要性が高まる中、2015 年に社名を Neste Oil から Neste に変更した。当時の広報ディレクターは「Neste は、化石燃料の使用を代替し、GHG 排出量を削減することを可能にするソリューション、例えば廃棄物や残渣からの再生可能な燃料の生産者として成長を目指す」と述べており、低炭素ソリューションに注力する方針を示した。実際、その方針に沿って製油所の転換が進められている。

図表 5.5.5 Neste 製油所の転換・閉鎖

		シンガポール	オランダ	ノルウェー	
			ロッテルダム	ポルヴォー	ナーンタリ
現状	石油精製能力 [kb/d]	（バイオ特化）		206	（2021年3月閉鎖）
	バイオ燃料生産能力 [kilo ton/y]	1,300~（SAF: 100含）	1,000~（バイオディーゼル）	（バイオディーゼル少量生産中）	（活用法検討中）
今後	設備投資計画 [EUR m]	1,500	190	2030年に原料の10%を再生可能型とすべく、FS中	
	追加バイオ生産能力 [kilo ton/y]	約3,200（SAF: 1,000含）（2023~）	SAF: 500（2023~）		

（出所）Neste

シンガポールでは、2010 年からバイオ燃料の製造を開始し、製品を欧米に輸出している。現在の年間製造能力は、SAF 10 万トンを含む 130 万トンだが、2018 年に能力拡大に向け 15 億ユーロの投資を決定した。拡張が完了する 2023 年時点でのバイオ燃料の年間生産能力は、SAF 100 万トンを含む約 450 万トンとなる計画である。

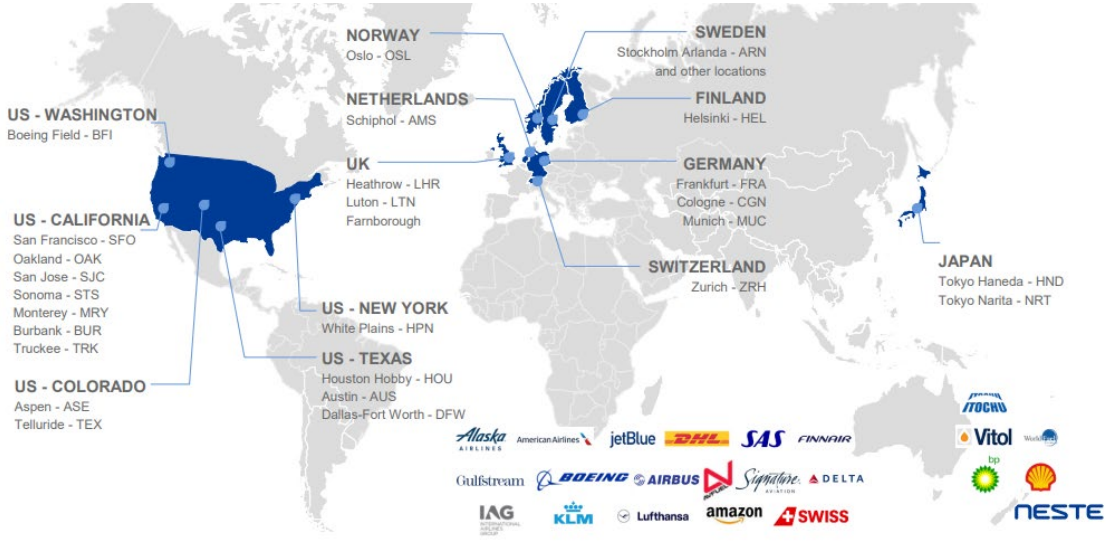
ロッテルダムでは、2011 年にバイオディーゼルを中心としたバイオ燃料の製造を開始し、現在の年間製造能力は 100 万トンである。化学などの産業が多く立地し、製品・原材料の物流ハブとして地の利があることから、更なるバイオ燃料の生産拠点とする方針で、2023 年までに約 2 億ユーロを投資し SAF 生産能力を年間 50 万トン確保する計画である。

他方、石油の精製事業を行っていたフィンランドのナーンタリ製油所（精製能力：55 千 BD）は、コロナ禍で石油製品の需要が低下し、脱炭素トレンドで以前のような需要が期待できない中、2021 年 3 月に閉鎖された。引き続き、輸送用燃料のターミナルとして活用されているが、低炭素ソリューションの生産基地とすることを含めた今後の活用オプションは、引き続き検討中である。

同じく主に石油の精製事業を行う、フィンランドのポルヴォー製油所（精製能力：206kb/d）は、北欧最大の化学工業地帯に位置する基幹製油所として化石燃料と低炭素ソリューション製品を併産していく方針である。バイオディーゼルの製造ユニットを有し、現在もバイオ燃料の生産を行っているが、2030 年に向けては原料の 10%を再生可能型とすべく、Feasibility Study が行われている。

Neste は、SAF の世界リーディングカンパニーとして、シンガポール他で製造した SAF を、欧米を中心とした 30 以上の需要家に販売している（図表 5.5.6 参照）。既に、毎年 80 億円以上の収益をあげており、バイオ燃料の生産販売は、Neste 社事業ポートフォリオの中核に位置づけている。

図表 5.5.6　Neste の SAF 販売ネットワーク



（出所）Neste

バイオ原料については、現時点で 400 社以上のサプライヤーから安定的に供給されているが、多くの企業がバイオ燃料を強化し、原料確保の競争が想定される中、Neste は更なるサプライチェーン強化に向け各種施策を講じている。まず、上流強化のため廃棄物・残渣の回収プレイヤーを買収しており、2020 年には米国で使用済み食品油の回収・リサイクルを行う Mahoney Environment を買収し、北米の原料サプライチェーンの基盤を獲得した。また、2021 年には米国で動物性油脂、使用済み食用油、コーンオイルなどの様々な廃棄物・残渣取引業者である Agri Trading を買収し、Mahoney Environment の原料基盤を強化した。さらに、廃棄物・残渣の管理強化のため、グローバルに物流拠点を新設している。2020 年

にはヨーロッパ、アジア、北米で新たに 10 ヶ所のターミナルを開設した。

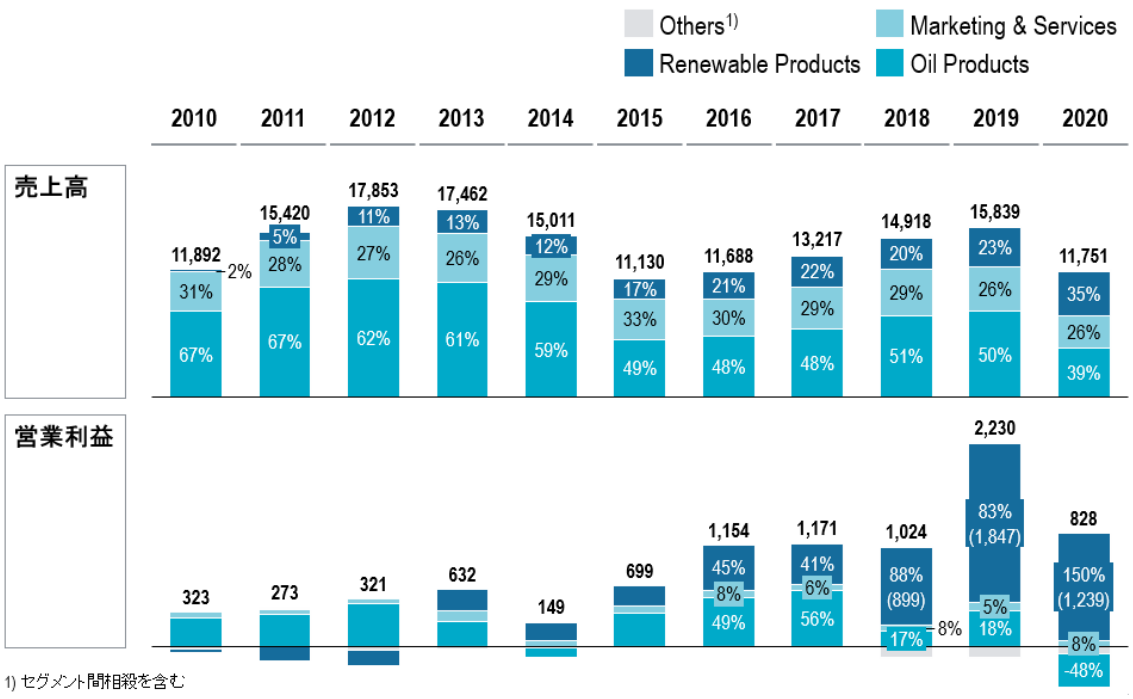
また、持続可能な新たな植物油の開発にも注力している。食料と競合しないことを前提に、劣化した土地で栽培可能な環境負荷が非常に低い植物由来の油で、現時点では大量入手は難しいものの、長期的に成長が期待できる原料として開発を進めている。

さらに、先進的な技術を有するベンチャー企業とも提携し、革新的なバイオマス原料の開発も狙っている。グローバルに 30 以上の企業と提携し、藻類やリグノセルロースなどの開発を進めている。特に、藻類は Neste が有するリサイクル技術と相性が良く、ラボでの試験は順調に進んでおり、実証試験へのスケールアップが検討されている。2030 年までに、検討中の革新的バイオマス原料のうち、少なくとも一つを商業ベースに繋げることを目標にしている。

これら施策により、今後も安定的にバイオマス原料を確保していく他、2020 年時点で Neste のバイオマス原料の 7%を占めるパーム油のシェアを、2023 年末までにゼロにすることを目指している。

Neste 社の収益構造は、コロナ影響のない 2019 年ベースで Renewable Products セグメントが売上の 2 割、営業利益の 8 割を占め、既に収益の中心がバイオ燃料を中心とした再生可能燃料になっていると言える。

図表 5.5.7　Neste の収益構成推移（2010-2020）［EUR m］



1) セグメント間相殺を含む

（出所）Speeda

また、2018 年以降の Renewable Products セグメントの営業利益率は 30%程度と非常に高い。なお、2019 年の表面的な営業利益率は 50%だが、同年の営業利益には、米国で 2018 年まで遡及した税制控除効果が含まれており、実態以上に利益が押し上げられている。この高

利益率の背景には、Neste としてバイオ燃料領域での経験を積むにつれ、原料調達のサプライチェーンの最適化が図られてきたことと、GHG 排出削減ニーズが高まる中で販売価格を高められたことがある。

2017 年にはトン当たり 350 ドル（約 39,550 円）であった販売マージンが、2020 年にはトン当たり 700 ドル（約 79,100 円）を越えている。Neste としては 600～700 ドルを健全な水準と考えており、その維持に努めている。2020 年の第 4 四半期には、760 ドルを越えたが、「再現は難しい」と述べている。

５．６ 金融機関によるダイベストメントの動き

GHG 排出量の多い化石燃料を取り扱う上場企業の株式から金融機関が資金を引き揚げるダイベストメントの動きが盛んになっている。このダイベストメントの背景には、気候変動による金融崩壊の危機感や、環境倫理、或いは環境団体による反対運動・社会的レピュテーションに対する懸念と、これら上場銘柄のパフォーマンスの低さがある。

フランスの世界最大手の保険会社 Axa の CEO が、2015 年に「気温が 4℃上昇すると保険はかけられなくなる」と発言しているように、気温上昇による気候変動で災害が多発すると、加入者に対して支払う保険金が莫大となってしまうため、保険ビジネスが成り立たなくなる。保険が無いと、企業は事業のリスクヘッジができなくなってしまうため、設備投資を始めとする活動が停滞し、経済や金融が崩壊する。その崩壊の元となる気温上昇を防ぐため、金融機関は株主、或いは融資元という立場から企業に対して GHG 排出量削減の圧力をかけている。

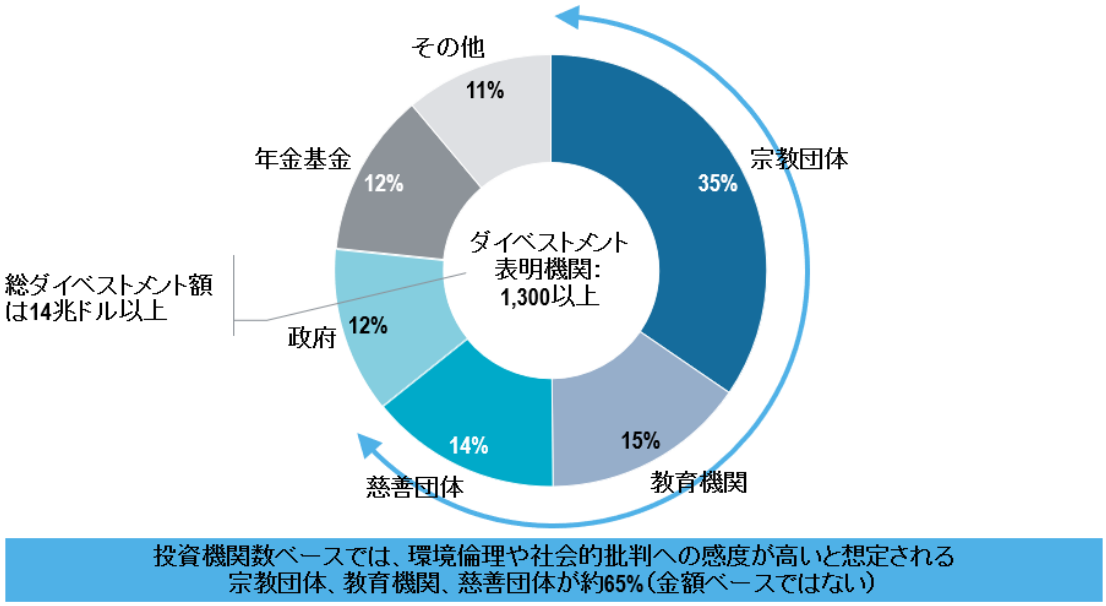
例えば、2017 年に発足した Climate Action 100 +には 2021 年 4 月の時点で 575 の年金基金、保険会社、運用会社が加盟しており、その運用資産は 54 兆ドルに達する。

この Climate Action 100+がカーボンニュートラルを要求すべく、狙いを定めた GHG 排出量の多い企業 167 社の中には Shell や BP、TotalEnergies などの欧州メジャーも含まれており、2020 年に彼らが相次いでカーボンニュートラル宣言をした背景には Climate Action 100+の圧力もあったと想定される。

純粋な環境倫理や、環境団体による反対運動の盛り上がりもあり、社会的なレピュテーションの懸念によるダイベストメントも大きい。化石燃料消費量の多い企業からのダイベストメントを訴えるキャンペーンの Fossil Free が公表している情報によると、2020 年までにダイベストメントを決めた投資機関の数は 1300 を越える。その内訳としては、宗教団体や教育機関、慈善団体といった、環境倫理が高く、社会的レピュテーションも重視すると想定される投資機関が多い。保有資産は当然年金基金が圧倒的に多いため、これは投資機関毎のインパクトの強さではない。

なお、これら投資機関によるダイベストメントの総額は 14 兆ドルに達する。

図表 5.6.1　ダイベストメントを決めた世界の投資機関数の内訳

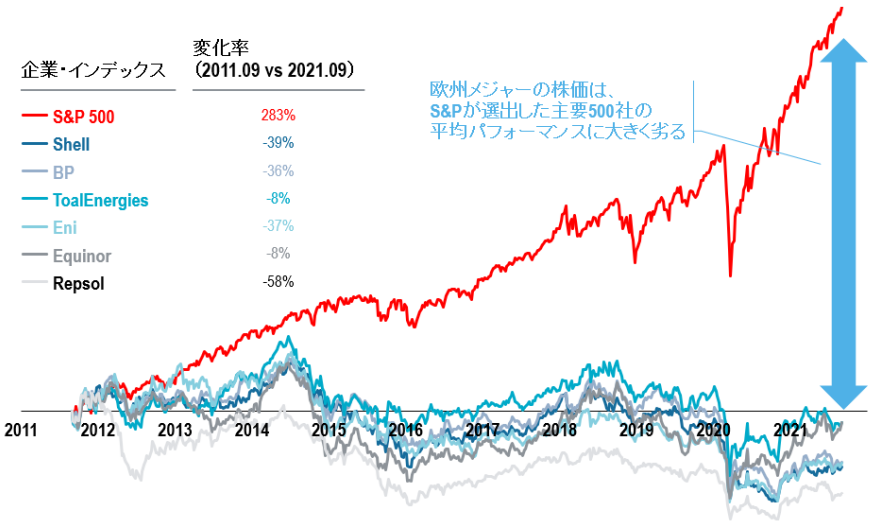


（出所）Fossil Free

気候変動への危機感の高まりを受け、そもそも GHG 排出量の多い上場企業の株価パフォーマンスが良くないということも、ダイベストメントの理由の一つである。アメリカの代表的な株価指数である S&P500 と欧州メジャーの株価の推移を比較してみると、S&P500 が 2011 年 9 月から 2021 年 9 月までの 10 年間で約 280%増となっているのに対し、Shell, BP を始めとする欧州メジャーの株価は－10～－60%と相対的にパフォーマンスが優れない（図表 5.6.2 参照）。

値上がり益が相対的に期待できない、或いは値下がりリスクの大きい銘柄は、投資家にとって魅力が低くなるため、更なるダイベストメントに繋がっている。

図表 5.6.2　欧州メジャーの株価変化（2011 年 9 月-2021 年 9 月）



（出所）Yahoo.com Finance

５．７ 欧州調査から見た日本のコンビナート低炭素化への提言

欧州調査の結果から、日本の石油コンビナートにおける脱炭素化に向けたあり方や日本にフィットする低炭素ソリューションに関する提案、課題を整理して、以下にまとめた。

（１） ミックスシステムが現実的、社会のニーズに合わせた段階的な低炭素化

様々な低炭素ソリューションの進捗や実証プロジェクトを調査した中で、最も重要なポイントは、「社会の変化に合わせたスピードでエネルギー転換を進めていくこと」である。脱炭素化は喫緊のニーズ課題ではあるが、化石エネルギー需要が突然ゼロになるわけではない。必要なエネルギーを、安定的に供給しながら、低炭素燃料を供給していく「ミックスシステム」が現実解と考えられる。

早期に化石燃料の開発・生産中止を要求するような、過激な環境団体や環境政党のパフォーマンスに振り回されないようにすべきである。欧州メジャー最大手の Shell は、環境団体からの訴訟を通じた裁判所による環境目標への介入に苦しみながらも、社会が必要とするエネルギーの供給に強い責任を持つと同時に、世界エネルギーのリーディングカンパニーとして脱炭素に向けた道を業界に示し、社会の変化に合わせたエネルギー転換を進めていく方針を示している。決して自社の利益追求だけを目的に会社を発展させようとしているのではなく、世界のリーディングカンパニーとして、1 世紀以上続けてきたエネルギー供給の役割を、同じく、新エネルギーにおいても供給責任を果たそうとしていることも理解しておかなければならない。

（２） エネルギー安定供給・安全保障と低炭素ソリューション導入

現実解を踏まえた上で、日本としては、グローバルに規制の検討が進む低炭素ソリューションを優先しつつ、日本独自に有すべきものも含めて幅広いオプションを有していくべきである。極東の島国である日本独自の地政学から、近隣諸国からのエネルギー融通は受けられないため、エネルギー安全保障の観点から新しいエネルギー供給の枠組みを作り上げていく必要がある。

日本において、まず優先的に開発を進めていくべき低炭素ソリューションは SAF（Sustainable Aviation Fuel: 持続可能な航空燃料）である。欧州は、航空会社に対し SAF の使用を義務付け、その割合を段階的に増やしていく規制を具体的に検討しており、欧州メジャー各社は SAF の開発を積極的に進めている。現時点での規制の対象は欧州の空港を離陸する便が対象だが、気候変動対策がグローバルに進められる中、環境先進的な欧州の規制を参考に、同様の枠組みが日本を含めて世界中に広がる可能性は十分ある。また、航空機の動力源は今後も液体が主流であり、現時点では乗用車と異なり電動化の可能性も限られる。日本においても SAF の開発・実装はできる限り早期に進めていくべきである。

他方で、日本としては多様な低炭素ソリューションのオプションを広く持ちつつ、各地のコンビナートで周辺産業と連携しながらその導入を進めていく必要がある。カーボンニュートラル目標の実現に向け、様々なものを原料として検討し、それらを有効活用することで GHG 削減を進めていくことになるが、原料確保、活用、いずれの観点からも産業間連携によるネットワークが重要になる。日本のコンビナートは産業が隣接しており連携に優位であるが、産業構成は地域毎に異なるため、各地域の特徴に合わせた低炭素ソリュー

ションを導入していく必要がある。したがって、日本全体としては多様なオプションを有しておかなければならない。Repsol は、最大手の Shell や BP と比べるとリソースは限られるが、脱炭素に向けては、低炭素ソリューションの組み合わせこそが重要という考えを有しており、再生可能エネルギー、水素、バイオ燃料、廃プラスチックリサイクルなど、全方位的なオプションを持っている。もちろん、全てのオプションに均等に投資しているわけではなく、規制や市場の進化の状況を見ながら投資配分を調整する方針だが、その考え方は日本の低炭素ソリューションの参考となろう。

多様な低炭素オプションの中には、当然、自動車用ガソリンの代替となるバイオ燃料や e-fuel、水素などの再生可能な液体燃料も含まれるが、航空燃料と大きく異なる点として、自動車用液体燃料は電動化との激しい競争が存在する。EV がどれだけ普及するか、液体燃料を使用する内燃機関がどれだけ残るかという点については政府の規制や施策に大きく依存し、その枠組みが不明瞭な段階では、企業として再生可能な液体燃料への大型投資は難しい。
欧州も同様に、EV を前提に検討を進める EU 政府と、再生可能な液体燃料をオプションとして残したい企業の間で考え方のギャップがあり、企業によるロビー活動も含め意見交換がなされている。日本においても政府と規制に関し意見交換することが最優先事項であるが、その様な難しい状況下でやれることとして、まずは需要が確かな SAF への投資を進め、規制や市場の動向に応じて SAF やバイオディーゼルの生産比率を調整することも考えられる。ただし、製法にもよるが SAF の製造時も一定量のバイオディーゼルは生産しなければならないことと、バイオディーゼルのマージンが SAF のマージンよりも高くなり得るか検証が必要である。

（3） CCS に対する日本の取り組み
一般に、地理的な構造から、日本での CCS 開発は難易度が高いとされている。しかし、CCS のオプションも除外すべきではない。欧州では CO2 を海底に埋めることに対する住民の反対や、海洋環境負荷の議論もあったが、現在では、CCS はカーボンニュートラルの実現に必須のソリューションと認識されている。特に、Equinor が主導する Northern Lights プロジェクトは先進的であり、ノルウェー周辺に位置するイギリス、ドイツ、オランダ、ベルギーなどの国々の産業に対し、CCS をサービスとして提供する事業である。
CO2 貯蔵を行う場所は、日本のコンビナート周辺にも豊富に存在する非構造性帯水層である。日本も、主力コンビナート（川崎、千葉他）及び工場群が隣接する東京湾岸から千葉県に広がる非構造性帯水層への CCS を有望な低炭素ソリューションのオプションとして検討していくべきである。
その実現性の調査として、まずは実際に開発を進めて多くの技術研究のイウハウを有する Northern Lights などに参画（投資）して技術を習得したり、例えば、東京湾岸の CCS に対するアプローチの知見を深めたりすることは早道であると考えられる。

（4） アンモニア、バイオマスペレットなど、日本固有の低炭素ソリューション
欧州では主流でない低炭素ソリューションも日本にはフィットする場合もあり、それは日本独自に開発や実装を進めていくべきである。例えば、クリーンアンモニアや椰子殻を

原料にしたバイオマスペレットが該当する。
日本は東北大震災で原子力発電所を停止している影響で、アジア新興国と同じく、石炭火力発電所に依存せざるを得ない状況にある。中長期的には GHG 排出量の多い石炭の廃止が見込まれるものの、移行期に石炭とアンモニアを混焼することは、有効な低炭素ソリューションであるし、将来的に燃焼時のアンモニアの比率を高められる可能性もある。また、日本ではアンモニアガスを燃焼させる技術において世界をリードしている。

また、アンモニアの他に椰子殻などを原料にしたペレットを燃焼することも、石炭火力発電のアセットを有効活用する一つのオプションである。ただし、バイオマス発電のために椰子殻などのニーズが高まり過ぎてしまうと、供給と需要のバランスが壊れて、本来はパーム油の副産物である椰子殻を目的生産物とした森林破壊を伴う開発が進められてしまい、環境規制の対象になるリスクが存在する。したがって、バイオマスの供給上限を意識した事業運営が必要である。
なお、欧州においては、アンモニアは水素キャリアとしての利用がメインであり、バイオマスは地産地消（移動輸送に伴う C2 提言）が基本の考え方であることから椰子殻などのバイオマスペレットは余り利用されていない。

（5） 連携する企業間における CO2 削減分配ルール作り
また、これら低炭素ソリューションを実際に導入していく際には、その運用を背後で支えるルールや、石油・ガス需要が減る中で稼働が低下する製油所アセットの最大活用を検討していく必要がある。
まず、低炭素ソリューションをコンビナートと周辺産業で開発、導入していく際には、企業間で事前に GHG 削減量のルール決めをしておくことが重要である。今回調査した「Carbon2Chem プロジェクト」のように、鉄鋼の製造プロセスから出た副産ガス（CO＋CO2＋H2）を化学品の原料（メタノール他）として利活用していくような産業間連携があり得るが、どの企業がどれだけ GHG を削減したかというのは、炭素価格の導入に伴い、利益配分と同様に重みをもつポイントになるので、分配ルールを決めておく必要がある。

（6） 既存アセットの最大活用
社会の脱炭素シフトに伴い、石油・ガス需要は徐々に、確実に減少していくことが想定されるが、単に製油所を閉鎖・設備を廃棄するのではなく、保有するアセットを低炭素ソリューション開発のために最大限活用し、社会循環型コンビナートに転換することが重要である。水素やバイオ燃料などの生産には、必ず、製油所の設備が必要であるし、既存のアセットを活用するのは資本回収を軽減するうえで当然のことである。
また、日本の製油所やコンビナート全体を俯瞰し、どこの製油所をどう転換するのが最も合理的か検討する必要がある。欧州では Eni や TotalEnergies が所有する一部の既存製油所を、低炭素燃料を生産するプラットフォームに転換している。また、完全に低炭素燃料に特化せずとも、欧州各社は既存製油所の一部を水素やバイオ燃料生産のために活用している。

（7） 政府による合理的かつクリアな規制の枠組みの必要性

企業による脱炭素の動きを活性化させるには、政府による合理的かつクリアな規制の枠組みが必須である。企業にとって新しい局面といえる、気候変動対策の緊急度が増した事業環境において、そのルールが定まっていない中で、企業が低炭素ソリューションに本格投資していくことは不可能である。また、黎明期には大きな初期投資が必要となるため、補助金などで企業の意思決定・動きを促進することが有効である。
実際、欧州メジャーは今後の規制がクリアになってきている SAF などから検討を進め、その他の低炭素ソリューションは EU・各国政府による規制の枠組みを注視しながら開発を進めている状況である。そして、こうした開発には EU のイノベーションファンドを始め、多くの補助金が活用されている。EU 政府による EV 前提の考え方に対する懸念の声があるように、政府が全てトップダウンで決めれば良いわけではなく、長期の産業のあり方も考えた合理的な規制の枠組みや補助金などのインセンティブを、産業界と連携して進めていくことが重要であると考えられる。

６．石油・石化製品の需給バランスに関する分析調査

日本は、2021 年 4 月の気候変動サミットで、「2030 年度に向けた温室効果ガスの削減目標について、13 年度対比で 46%削減する」ことを表明した。また、近年中国のガソリン・軽油のアジア圏放出により、ガソリンの輸入も急増しており、日本のガソリン増産スキーム型の精製設備構成による大幅なインバランスを無視できなくなりつつある。これらの国内外の２つの出来事は、石油コンビナートが今後とも、国家エネルギー・素材安定供給の責務を全うしていく上で大きな課題となることが予想される。

化石燃料は、「エネルギー密度が高い」、「安定供給・経済効率性・災害時のエネルギー源」であることから、カーボンニュートラル移行期間においても引続き重要なエネルギー源と位置付けされつつも、内需量は急速に減少の方向にあり、安定供給が危惧される。

このような状況を踏まえ、従来の燃料油需要想定に基づく試算に加え、輸送部門の GHG 排出削減によりガソリン要生産量の減少に拍車がかかったケースを想定して備えておくべき課題を抽出するために、以下の２つの設定でスタディーする。

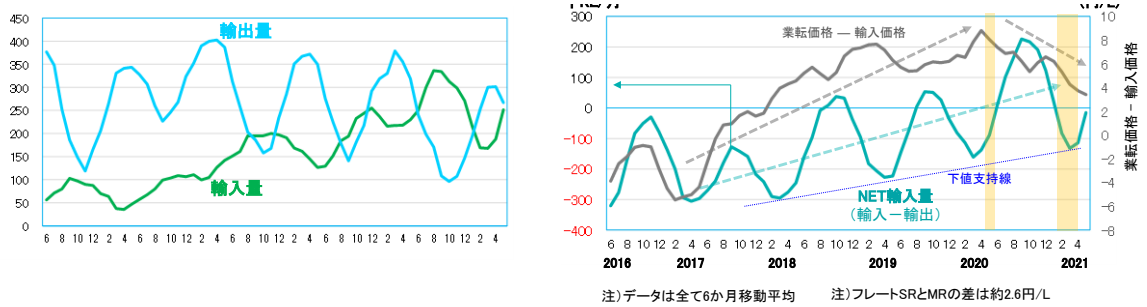
・21 年度の燃料油需要想に基づく「2025 年度燃料油要生産量相応の原油処理」（要生産量相応ケース）
・政府 GHG 排出削減 46%の「2025 年度ガソリン要生産量急減」（ガソリン急減ケース）

６．１ 近年のガソリン輸入の急増トレンド、輸出競争の激化

コロナ禍で、2020 年 4 月、原油価格が急落した局面で中国は原油輸入を増やしており、これがガソリンとなって日本などに流れている。しかも、ガソリンの輸入量は、年々増加している。2016 年から 2021 年 4 月までの 6 ケ月移動平均トレンドでも輸出量は変わっていないが、輸入量は確実に増加のトレンドである（図表 6.1.1 参照）。

最近の中国によるパラキシレンの石化原料供給のために、40 万 BD クラスの新設からの余剰ガソリン留分の国外放出が原因である。このような、中国の精製余剰問題は、結局は鉄鋼、セメントと同じく、安価な価格で国外放出という流れが加速の方向にある。今後、日本の石油業は輸出の困難さ、安価なガソリン輸入攻勢に晒されることを前提に、中期需給バランスを組む必要がある。

図表 6.1.1　近年のガソリン輸入の急増トレンド、輸出競争の激化



（出所）業転価格：海上 RIM、輸入価格：MOPS+SR 船ﾌﾚｰﾄﾍﾞｰｽ、輸出入量： METI 資源・エネ統計年報

６．２ 2025 年度全国及び地域別石精 LP モデル及び石化モデルの設定

６．２．１　全国石油精製 LP モデルの設計と作成

（１）石精モデル LP マトリックス表の作成

①B、C、D タイプ石精モデルフローの確立

石精モデルは、B タイプ（TOP-VAC-VH-FCC）、C タイプ（TOP-RH-RFCC）、D タイプ（TOP-VAC-COKER-FCC）に分けられる。

B タイプ及び C、D タイプの各全国石精モデルを LP マトリックスソルバー化して、各タイプ別に一括ソルバーで最適解を試算した。

②B、C、D タイプ石精モデル別の全体最適解の算出と B、C、D 間の留分転送

B、C、D を全て転送モデルで連結した全国モデルにすると、「見える化」が難しくなる。また、最適解が得られにくくなり、どこが原因で演算が停止したのかに、困難さを伴う。そこで、B、C、D 別の解と実績を照合しつつ、転送表でチェーニングすることとした。

③条件式群とマトリックス作成

エクセルソルバーの最適化エンジンが読取れるように、原油処理から二次装置による半製品生産、最適混合生産、各装置の自家用燃料消費などの全ての留分の流れとガソリン、軽油、重油混合の関連条件式をエクセルソルバー用の LP マトリックス表にまとめている。式名及び変数名の命名規約以外は、ほとんど、MPS/X のマトリックス表と同じである。

・目的関数の設定

Σ（各製品単価）×（各製品生産量）－Σ（各種原油価格）×（各種原油処理量）－Σ（燃料代）→MAX　が基本であるが、Σ（各製品単価）×（各製品生産量）－Σ（各種原油価格）×（各種原油処理量）→MAX　に簡略化した。

・自家用燃料代の設定の必要性（今後の検討課題に応じた改善）

今後の詳細検討のために各装置別の自家用燃料コストを、ΣLSC 重油価格×（各装置稼働量）×（各置単位）詳細に式化した方がいいが、現時点はそれほどの最適化精度を要求していない。

各社が使用するモデルでは、各装置で消費するガス＋C 重油などの直接燃料の他に、電力、蒸気などの間接燃料は直接燃料換算して、各装置の稼働量と関連付けして、目的関数に連結する。精製ガスはカロリーなど価標準 C 重油換算（FOE 換算）する。また、ガス発生消費と総燃料消費バランスの関係式も組込まれている。

・条件式の設定

原油輸入、他地区からの製品半製品受入れ、装置能力制約、TOP 留分留出式、TOP スウィング、製品混合式、製品混合制約（品質規格式）などを一次式に表現して、これに関連する全ての変数が目的関数と連結している。

市販汎用モデルは、各ベンダーが用意したエクセル表に、前提条件の全てを入力するベンダーのマトリックスジェネレータが、シンプレックス演算できるようにマトリックス表を自動作成することができる。

全国石精モデルは単一モデルであり、かつ、条件式も多くないことと、ソリューションの不具合や改善点を「見える化」できる利点もあるので、手入力とした。

（２）石精 LP モデル上の設備、処理原油、石油製品の定義

①製油所設備のモデル化

実際の精製設備は、それぞれの製油所で特徴を持っているが、ワンリファイナリーモデルとして、本モデル上では同一装置名として分類した装置は全て同一性能を有するものとした。各装置の得率は毎年チェックすることにしている。

②処理原油の分類とモデル化

日本で処理されている原油は、中東をはじめ東南アジア、中南米、豪州、アフリカなど世界各国から輸入されており、100 種以上になる。実務モデルではないので、また、ランニング速度が著しく遅くなるので、原油選択に対する特徴を比重、硫黄分などの性状に基づき、原油種を 16 タイプに分類統合してモデル化した。

③石油製品の設定と品質規格

日本の製油所で生産されている石油製品は、LPG、ナフサから重油、アスファルト、潤滑油である。また、同じ石油製品においても、需要家ごとに様々な規格が設定されている。これらの製品及び規格を全て本モデルに組込むことは、現実的でないので特に、C 重油、A 重油のように硫黄分毎の製品種類が多いものは 2～3 品種に平均硫黄分で分類し、IMO による C 重油硫黄分規制強化や高品質化などの主要課題を抽出できるように品質規格を式化した。

④原油 API の定義化と上下限制約の設定、原油選択フリー

石油製品間の需給不均衡（インバランス）を解消するために最も簡単な方策は、処理原油の種類を変更することである。また、石油業界の最適原油選択は、最大のコスト低減である事から、多種類原油購入が可能な数量範囲及び原油価格を設定し、需給不均衡（インバランス）が発生しないよう精製装置の留分抜出し制約、触媒寿命などの範囲内でプロフィットマックスとなる原油選択を行うような LP 構造と上下限を設けている。

本モデルはタイプ別の製油所を 1 製油所として取扱っているため、課題検討以外で、自由な原油選択を行うと現実から乖離する。そこで、モデルチューニングデータと同一比率の原油を処理することを制約に入れて試算することとした。

ただし、需要構造が大きく変化しているので、ケーススタディーの場合は、原油選択を自由に変えられるように改造した。

⑤石油製品のプロフィットマックス生産の価格設定

本モデルの製品ブレンドモデルにおいては、エクセルのソルバー機能を使用して、プロフィットマックスを試算するために、各製品の価格差を重要視して価格設定した。

原油価格は中長期的に、低価格で持続する見通しにあることから、原油価格に連動する製品価格のスプレッドを考慮して、価格を改定することとする。

（３）石精 LP モデルフローの確立、精製装置運転条件と得率、混合基材性状の更新

①B･C･D タイプ・ワンリファイナリーモデルを全国モデルと定義づけした。

原油種を 16 タイプに分類統合しているのに合せて、常圧残油も 16 種類に、減圧残油を 7 種類に分類統合した。

常圧蒸留装置から留出する軽質ナフサ、重質ナフサ、灯油、軽質軽油、重質軽油の各留分間に「スウィング」と呼ばれるカラムを用意し、LP による自在な得量調整を可能とした。

②各精製装置の得率、原単位

石油精製プロセス（石油学会編）、JPEC 各種報告書などの文献及び製油所実績データを参考に初期設定し、最新年度の生産実績データでチューニングし、モデルを確定することとした。装置別の得率などの詳細は本項には記載せず、構造などの内容を以下に示す。

・常圧蒸留装置

常圧蒸留装置で処理する原油は、先述のとおり 16 油種にグループ化されている。各原油油種に対する用役消費量は、原油に関わらず一定と想定した。

・減圧蒸留装置

減圧蒸留装置で処理する原料油は、常圧蒸留装置の残油であり、常圧蒸留装置と同様に、原油種の分類にしたがって 16 油種に区分した。用役消費量は、原料油に関わらず一定と想定した。

・ナフサ及び灯軽油脱硫装置

最新実績を踏まえて、軽油深度脱硫装置へのフィードの硫黄分は、0.7wt%とした。また、L-H S（LGO と HGO のスウィング）、HGO、DSLGO（直脱間脱 LGO）、LCO、HGO、LVGO の各々の硫黄分も同様に、一律 0.9、0.2、0.2、1.0、1.0 wt%とした。そして、各留分の仕上がり LGO の硫黄分は、10ppm とした。

・重質油脱硫、水素化分解装置措置得率の設定

最新実績を踏まえて、留分得率、性状などを設定した。

・接触改質装置（リフォーマー）

リフォーマーは、反応塔の構造により触媒固定床設備と、連続触媒再生式（CCR）の設備に大別される。これらの設備は、それぞれ生成物の得率や用役消費量が異なるため、別の装置として取扱うこととした。

また運転条件は、各製油所で様々に設定されているが、モデル上は固定床リフォーマーのリフォーメート（PG）のオクタン価の目安を 95、連続触媒再生式リフォーマーのリフォーメートのオクタン価の目安を 103 とし、それぞれ条件を設定した。

この設定がガソリンの生産量だけでなく、BTX の生産量にも影響するためチューニングの段階で整合性が取れるよう石化モデルも含めた調整を実施した。

・接触分解装置（VGO－FCC）、残油接触分解装置（RFCC）の得率設定

最新実績を踏まえて、留分得率、性状などを設定した。

・アルキレーション装置、ライトナフサ異性化装置の得率設定
最新実績を踏まえて、留分得率、性状などを設定した。

・熱分解装置
熱分解装置には、ディレードコーカー、フレキシコーカーなどがあり、留分得率なども多少異なるが、モデル上は同一装置として設定した。
なお、H-OIL は VGO 脱硫装置運転相当とした。

③混合基材の性状、各製品の品質規格値
本モデルで使用している各基材の性状については、精製装置の運転条件と同様に、石油精製プロセス（石油学会編）、JPEC 各種報告書などの文献及び製油所実績データを参考に、設定した。

・軽油混合基材の未洗い軽油の硫黄分は、一律、1.2wt％とした。
・重油混合に供する各重油基材の RC（残油）、VR（減圧残油）の硫黄分は、重質、中質、HP（低硫黄原油）の 3 種類に分類し、硫黄分も各々設定した。
・IMO 船舶燃料低硫黄化検討を詳細に行うためには、アフリカ産軽質原油、シェールオイル、コンデンセートなどの軽質及び超軽質原油の残油や、減圧残油の硫黄分を追加する必要があるが、本モデルに詳細には盛込まれてないので、軽質原油分類とする。
・最新実績のもとに、FCC、RFCC の LCO、及び CLO の硫黄分を一律、LCO は 0.3、CLO を 1.08 とした。2020 年 1 月 1 日から IMO 船舶燃料の硫黄規制強化が開始されたことや、LCO 及び CLO の硫黄分は、A・C 重油の硫黄分仕上がり精度に影響する。また、近年は(R)FCC 分解留分の硫黄分は低下しているので、モデルのチューニングで改良した。
・各製品の品質規格値は、JIS 規格以外に、精製各社、及び需要家ごとに多岐にわたり設定されているが、本モデルのチューニング及び将来ケースの試算においては主な品質規格に限って設定した。

（4）各タイプ製油所間の転送概念と各石精 LP モデル転送式の追加の是非と対応
①石油会社の生産計画の LP 目的関数は、「製品生産－原油購入－用役消費－半製品転送費－製品物流費」で利益最大となる最適解に基づいて生産活動を行っている。
一方、RING 組合の B、C、D タイプの石精 LP モデルは、各タイプ製油所の計算シートは個別に独立しており、各タイプ製油所間の転送費が LP の試算（プロフィットマックス）に反映されない。
各タイプ製油所モデルの留分モデル間に転送ルートを設けることで、現実の国内石油製品需給バランスをより反映した試算を行うことができる。
しかし、転送を LP エンジンの下に自動化すると、B、C、D タイプの独立したワンリファイナリーモデルを連結することになり、モデル野規模が大きくなることと、解の分析が複雑になる。

②BCD 間の半製品転送モデル式を組込むことの懸念

全国も石精モデルを BCD 統合 LP モデルとすると、本来の「見える化」の基本的考えから乖離することになる。また、各 B、C、D 製油所の各精製留分相互に半製品の転送モデル式を設定しなければならないが、転送モデルの影響が極めて敏感になり、かつ、現実と最適解が乖離することもある。

③地域別間の B、C、D 各ワンリファイナリーモデル間の実務経験者による転送表を策定

そこで、別途に、B、C、D タイプ製油所間の転送表を設定し、転送表を実務担当者と毎年更新し、実務経験値と照合しつつ手入力で解を修正する試行錯誤を行うこととした。転送ルートの設定は、以下の例の様な構造を加味して実績照合して策定した。

日本の製油所は、重油分解能力の低い B タイプ製油所に、パラキシレン製造装置や石化連携が多く、重油分解能力の高い C タイプ、D タイプ製油所は当該連携が少ない。また、CD タイプは原油が重質で、PL 原料の HN などが不足バランスである。さらに、リフォーメートは C･D タイプ製油所から B タイプ製油所へ、分解原料である重油留分は B タイプ製油所から C･D タイプ製油所へ転送が行われている。

（５）全国石精モデルの現実解と精度の確認（LP モデルのチューニング）

①LP モデルの同定（チューニング）

LP 化のもとになった全国石精モデルは 2014 年度の原油処理、二次装置稼働、石油製品生産実績で、全ての項目に対しほぼ±3%以内で同定できている。この様に実績照合（チューニング）された LP モデルを諸々の検討に活用できる。

②同定操作

ワンリファイナリーモデルでは、原油処理から製品生産までの一連の連産品の流れを利益マックスの目的関数のもとに最適化演算した。最適解(OPTIMAL)、不能解(INFEASIBLE)、発散解（NUMERICAL）の確認と現実離れのスーパーソリューションになってないかを確認する必要がある。

そこで、昨年度チューニングしたモデルで確認することとした。各式の条件式値の入力（RHS 値)、各変数の上下限（BOUNDS）を入力して、最適化に係らない変数から上下限を設定して、若干の縛りを入れた。この操作を試行錯誤して、目的関数に基づくソリューションの状態（STATUS）を現実の状態に近いものにした。

石精サイトからも石化留分は生産供給されるが、石化製品の需給バランスを主に、石化モデルから試算する。その試算精度を向上させるため、石精モデル同様に、2020 年度は、2019 年実績データに基づき、チューニングを完了した全国モデルを使用した。

なお、石油精製からの石化製品生産量は増加しているので、石精モデルのチューニングに合せて石化モデルとの授受量を正確に反映する必要があり、石精モデルの精度アップ手順に合せて、全国石化モデルも試行錯誤で精度を上げた。

６．２．２　全国石化バランスモデルの設計と作成

（１）石化バランスモデルの作成

RING 石化モデルは、エチレンセンターを模擬的に表現するもので、中期における石化製品の需給インバランスを評価する。
石化モデルは、国内 8 ヵ所のエチレンセンターを１エチレンセンターと見なして「ワンエチレンセンター」にモデル化しており、全国石化モデルで計算されるエチレン生産量が、日本のエチレン生産量に相当する。
ワンエチレンセンターモデルは、ナフサなどの原料からエチレン、プロピレン、BTX などの製品が生産される物の流れを表現する方法として、原料性状や装置得率に応じて各製品の生産量を計算する。石精モデルと違い、製品ブレンドがないため、ブレンドモデルは搭載しておらず、エクセル上に原料を入力するだけで物量バランスを詳細に試算できる。

（２）石化バランスモデル上での装置、原料、石化製品の定義

①石化モデルで対象とした装置

石油化学の上流に位置するエチレンセンターの装置構成に基づき、基礎化成品の主要装置をモデル化の対象とした。それぞれの石化工場における実際の装置や装置構成にはそれぞれ特徴があるが、本モデルでは装置構成は代表的なものを同一として分類した設備は同一性能を有するものとして、エチレン製造装置、C4 系、C5 系、BTX 系、OCT 系、脱アルキル系の各装置をモデル化した。

②石化モデルで対象とした原料分類

エチレン製造装置の主原料であり、世界各地域から調達する輸入ナフサは、それぞれ性状が異なり装置の製品得率に影響する。
また、エチレンセンターによって、原料選択や運転条件などに関する考え方も異なる。
これら全てを本石化モデルに組込むことは現実的でないため、原油の分類と同様に、代表的な製品得率を用いてモデル化を行うこととした。
エチレン製造装置の分解炉原料として、海外からの輸入原料（ナフサ、LPG)、石精からの持込み原料（ナフサ、LPG、灯軽油）及び、装置留出品を再度原料として使用するリサイクル原料を含め、13 種類の原料（C2、C3、3 種類の C4、輸入 LN、輸入 FRN、国産ナフサ、C5、ラフィネート、C9、灯油、軽油）をモデル化の対象として分類した。

③石化製品の設定

日本のエチレンセンターで生産される石化製品は、オレフィン類（エチレン、プロピレンなど)、C4、C5 オレフィン類、BTX などであるが、需要家毎に様々な製品規格が設定されている場合が多い。これらを全て石化モデルに組込むことは現実的でないため、以下に示す製品に分類してモデル化を行った。
なお、石精 LP モデルからも生産されるプロピレンや BTX などは、本調査で課題とする需給不均衡に対し、石精及び石化の連携による対応策を考える上で要となる留分であるから、石精 LP モデルとの連結を明確にして試算を実施している。

（３）石化バランスモデルのフロー、各装置の運転条件と得率

①エチレン製造装置

エチレンセンターの中核であるエチレン製造装置をエクセルシート上にモデル化してお

り、各原料の分解得率に応じて各留出量を計算する。
日本のエチレン原料は、ナフサ比率が 9 割以上と高い。その内訳は製油所からの国産ナフサや、世界各地からの輸入ナフサである。そのため、製品はエチレン、プロピレンだけでなく、C4 オレフィン（ブタジエンを主とするミックス C4)、炭素数 C5 以上の熱分解ガソリンが高い得率で含まれる。
エチレン製造装置における 13 種類の原料（C2、C3、C4、C4＝、輸入 C4、国産 LN、輸入 LN、C5、ラフィネート、FRN、C9、灯油、軽油）の得率を設定した。

②C4 処理系
C4 処理系では、エチレン製造装置から留出した C4 類からブタジエンを抽出し、残りの C4 ラフィネートを成分毎に分離し、OCT 装置などの下流の装置群に引渡す役割を持たせた。
C4 処理系での得率について、石精からの持込み FCC ブテン（FCC 装置のブテン類を多く含む留分）も含める。
なお、OCT を有する石化工場では、C4 ラフィネートや FCC ブテン中の n-ブテンとエチレンとを反応させてプロピレンを製造しているので、このプロピレン生産量を反映できるようモデルに OCT を追加している。

③BTX 系
BTX 系ではエチレン分解炉からの分解ガソリン及び接触改質装置からの改質ガソリンや、石炭系からの粗ベンゼンを原料にして、スルフォラン装置により BTX を抽出･分離回収する装置として定義する。ただし、石炭系のベンゼン生産実績に対しては、昨年に引続き信頼できる公表値を使用した。
本モデルでは分解ガソリン及び改質ガソリンの BTX の得率はプールして PG1 として表している。BTX 系での得率も設定した。
その他、脱アルキル反応によるベンゼン製造をモデルに反映し、BTX 生産量を計算するスキームとした。

（4）2021 年度試算用の全国石化バランスモデルの精度確認（チューニング）
①全国石化バランスモデルの 2019 年実績による精度確認
石化モデルには、2020 年はコロナ禍で通常の需給状態でないことから、2019 年度実績データを基にした。したがって、昨年度実施した精度確認を採用した。
モデルにはエチレン生産最大化を選択した。
なお、石化バランスモデルは、エチレン最大モード、プロピレン最大モードが調整可能なモデルになっており、例年試算年の需要に応じた使分けを行う。主要な石化製品生産量を、精度よく把握できるかにポイントを置いて整備を進める必要があり、今年度試算も、新規装置の導入などはないため、石化バランスモデルの構造は変更していない。

②目的生産量に対する合せこみ
エチレン、プロピレンの生産量を目的生産量として、2019 年の生産量実績を初期値とし、調整し合せこむ。なお、プロピレンは石精モデルからの生産も加える。

・エチレン原料用ナフサの確認

2019 年のエチレン用原料ナフサ実績及び輸入ナフサ通関実績を基に、国産ナフサ、輸入ナフサ量を算定し、エチレン･プロピレン生産量との合せこみを行った。その結果、この石化モデルによる原料評価の試算を精度よく実施できることを確認した（図表 6.2.3 参照)。

・エチレンの合せこみ

初期値を入力した状態より、エチレン生産実に合うように調整を実施した。

今回のチューニングでは、微調整で精度よく合せこみできている（図表 6.2.3 参照)。

・プロピレンの合せこみ

エチレンと同様に入力データを調整し、エチレン生産量を維持しつつプロピレン生産量の合せこみを実施した。

まず、エチレンセンター（FCC プロピレンのセンターへの持込みは除く）からの 2019 年の生産実績 4,300 千トンに対し、4,121 千トンと良好にプロピレン生産量を合致できた。

石油精製側でのプロピレン生産量については、昨年同様石化品ベースの数量に見合う様に純度補正係数で調整する方式とした。

③主要石化製品の試算精度の確認結果

エチレン、プロピレンの合せこみを完了したモデルにより、その他の主要石化製品に　ついても試算に問題はないか、ベンゼン、キシレン、ブタジエンの検証を実施した。

トルエンについては、石化での留出量が少ないこと及び石精でのガソリンブレンドなどのわずかな誤差によっても、精度が大きく変化することから、ここでは検証を割愛した。

・ベンゼン需要と生産量バランスの確認

2019 年度全国ベンゼン生産実績に対して、石化側のベンゼン生産量は全体の 3 分の 1 程度であり、石精からの生産量がはるかに大きくなっている。2019 年実績では、エチレンセンターからのベンゼン生産量は、1,357 千トンであり、石化バランスモデル試算の 1,357 千トンとほぼ同などの結果となった。石精側のベンゼン生産量を加えても生産実績に対し、誤差 3.2%（123 千トン）とほぼ問題ない精度を確認できた（図表 6.2.1 参照)。

・キシレンの需要と生産量バランスの確認

ミックスキシレンの需要は、パラキシレン生産用がほとんどである。

エチレン製造装置から留出するキシレンは、スチレンやエチルベンゼン比率が高いためパラキシレン原料には不向きであるからまず使用されない。また、生産量もわずかであるため、石化バランスモデルのキシレン生産への影響は非常に小さい。

・ブタジエンの需要と生産量バランスの確認

ブタジエンはエチレン製造装置からの留出する C4 類から抽出することで製造される。

2016 年度に C4 類中のブタジエン収率の見直しをし、過剰生産量の調整を行った。

今年度は、2019 年の生産実績 888 千トンに対し、石化バランスモデルでは、894 千トンで

あり、誤差 0.7%と精度良く試算できている（図表 6.2.3 参照）。

図表 6.2.1　2019 年度実績による石化バランスモデルの精度確認結果

	2019年			
	実績 千ﾄﾝ	モデル 千ﾄﾝ	対比 %	留出装置
エチレン	6,418	6,418	100.0	クラッカー
プロピレン	4,300 (5,504)	4,121 (5,325)	95.8 (96.7)	クラッカー、OCT (FCC含)
ブタジエン	888	894	100.7	クラッカー
ベンゼン	※1,357 (3,855)	1,357 (3,978)	100.0 (103.2)	クラッカー (リフォーマー、不均化、異性化、石炭含)
キシレン	※208 (6,640)	208 (6,640)	100.0 (100.0)	クラッカー (リフォーマー、不均化含)
原料ナフサ	20,273	20,273	100.0	クラッカー

※ベンゼン、キシレンの実績はエチレン製造装置原料実績データからの推算値

６．３ 2025 年度全国石精 LP 及び石化モデル需給試算結果

６．３．１　全国石精 LP モデルと石化バランスモデルの試算手順

（１）今年度の試算ケース、石精及び石化モデルの要生産量設定方法

①今年度の試算ケース

A. 要生産量相応ケース

21 年度の燃料油需要想に基づく「2025 年度燃料油要生産量相応の原油処理量」

B. ガソリン急減ケース

政府による 13 年対比 2030 年 GHG 排出削減 46%削減の時の「2025 年度ガソリン要生産量」を 2030 年度に内挿した時の 2025 年度のガソリン要生産量設定

②石精及び石化モデルの要生産量設定

石油製品及び石化製品の 2025 年度における需給バランスは、製油所の B･C･D タイプと石化の計 4 つのシングル LP モデルを使って試算を行う。

需要側では、2025 年度の燃料油や石化製品の需要想定に基づき、「それぞれの製品の要生産量」を設定する。

③全国石精 LP モデル試算手順

供給側は石精 LP モデルにより、稼働率に応じて C･D タイプ製油所での生産量を優先して算出する。そして、全国の要生産量から C･D タイプ製油所の生産量を差引いた残りを、B タイプ製油所の要生産量として設定する。次に、製油所の稼働量に比例して石化製品の要生産量などを分配する。

（２）石油化学バランスモデルの試算と石精－石化間の留分相互授受量の設定方法

・エチレン装置の稼働量設定

石油化学の装置は、石化製品の要生産量に対し、そのまま得率に相応して石化装置の稼働

量を決定することで、エチレン製造装置のナフサなどのチャージ量を決定する。
以上により、2025 年度の燃料油、石化製品の要生産量に対する過不足や、二次装置の余力が算出される。

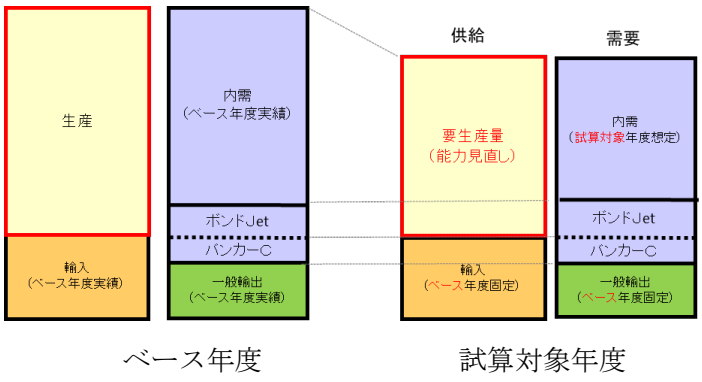
・石精－石化間の留分相互授受量のモデル設定
石精、石化の 2 つのモデル間では、相互授受する留分量を決定し、その量を石化モデルの入力条件にも反映させ、調整して連携を図る。
例えば、製油所で留出するライトナフサは、ガソリン基材混合後の残りが全てエチレン製造装置原料として使用される。FCC 装置から留出する FCC-C4 の一部は OCT 装置などの原料となる。これら留分の授受によって、石化製品の生産量が変化する。
一方で、エチレン製造装置などからの留分の一部もガソリン基材などに使用する。石精側も混合試算調整を繰返して最終解に収束する。
したがって、需要の減少により製油所の稼働が変化すると、石化装置の稼働にもその影響が及ぶことになる。

6．3．2　要生産量と生産量の定義、石油製品の要生産量の設定方法

（1）要生産量と生産量の定義

・要生産量：需要想定量と供給をバランスさせるため、製油所で生産が必要な量
・生産量　：製油所で生産可能な量、之は、本モデル試算からの解である。
図表 6.3.1 の模式図のとおり、輸入量及び輸出量を固定する。

図表 6.3.1　石油製品の需要と供給がバランス状態の模式図



（2）石油製品の要生産量の設定方法

需要と供給の量について、ベースとなる年度と試算検討対象年度とでは、内需や輸出入などの量が異なるため、それぞれに設定する必要がある。ここで、需要を構成するものは、内需、ボンド JET、バンカーC 重油、一般輸出であり、その需要を満たすための供給手段は、生産と輸入である。需要と供給をバランスさせるために製油所で生産が必要な量を要生産量と定義すると、図 6.3.2 に示す式により各製品の要生産量が導かれる。
　要生産量の計算式の右辺は、内需の項以外は輸出入の項であり、2 種類の輸出入を定義したジェット燃料と C 重油については、それぞれ以下のように区別して扱っている。

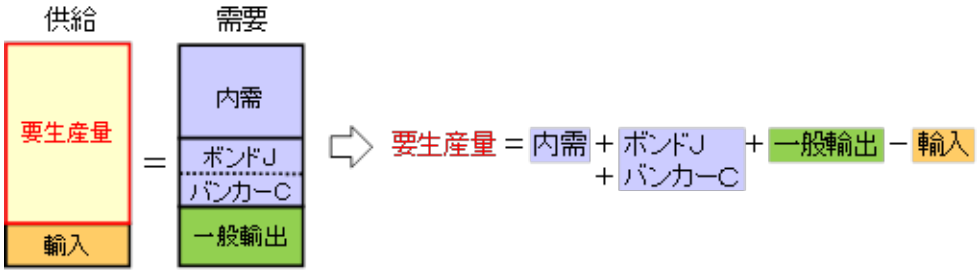
①ボンド JET、バンカーC 重油

所定量の確保を前提とする製品で、日本で給油が行われる国際線･航空機用のボンド JET、国際船舶用のバンカーC 重油の 2 製品を対象とした。いずれも、日本国内の基地で給油されるので、確実な内需相当として扱われる。ただし、いずれも国外への給油である。2020 年以降は、IMO 船舶燃料硫黄分が 0.5 以下になるため、低硫黄製品の供給可能規模及び価格によっては、需要量が増加する可能性もある。

②一般輸出、輸入

所定量の確保を前提としない製品で、需給バランスにより余剰又は不足となる場合には、量の減少又は増加といった調整代になり得る、主に 10ppm 軽油及びガソリンを対象とする。

図表 6.3.2　石油製品の要生産量の計算式



６．３．３　2025 年度の全国石油製品の需要想定と要生産量の算出

（１）2025 年度の全国石油製品の需要想定

2025 年度想定の前提条件の要旨を以下に示す。石油製品の内需は、METI 石油製品需要想定検討会報告に基づき想定した（図表 6.3.3 参照）。なお、需要想定に記載のない電力向け C 重油は、燃料転換の進展はあるものの一定程度の石油火力は存続するとして、2025 年度の一般と電力向けを合せた内需を 5.7 百万 kL/年と RING にて想定した。

2020 年度から 2025 年度の各製品の減少量を右端に示す。ガソリンは 2.8 百万 KL、灯油は、1.8 百万 KL と減少するが、コロナ禍の影響を受けて、2020 年度の需要が大きく下がったジェットや軽油は反動で一旦持直すことから、増加が認められる。

燃料油全体では、5.5 百万 KL の減少（145.7－151.2 百万 KL）で、TOP 適正稼働量：330 日/365 日＝90.4%、TOP の石油製品得率（ナフサ含む）＝93.2%とすると、TOP 適正稼働率換算で、▲11.2 万 BD の減少になる。2020 年度 3 月末 TOP 能力は 340.4 万 BD であり、概算では 2025 年度の TOP 適性稼働量は 390 万 BD となる。今年度試算で詳細バランスと課題を抽出する。

図表 6.3.3　2021～2025 年度石油需要見通し

［単位 百万kL］

	実績(見込)	見通し					年率	2020年度
	R2	R3	R4	R5	R6	R7		
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	(%/年)	2025年度対比
ガソリン	44.9	46.4	45.3	44.4	43.2	42.1	▲ 2.4	(−2.8)
ナフサ	40.2	40.6	40.3	40.0	39.6	39.2	▲ 0.8	(−0.9)
ジェット	2.9	4.3	4.7	5.0	5.0	5.0	4.2	(2.1)
灯油	14.6	14.0	13.7	13.4	13.1	12.7	▲ 2.3	(−1.8)
軽油	31.7	32.6	32.6	32.6	32.3	32.1	▲ 0.4	(0.4)
A重油	10.2	10.0	9.7	9.5	9.1	8.8	▲ 3.1	(−1.4)
C重油	6.7	6.6	6.3	6.1	5.9	5.7	▲ 3.6	(−1.0)
一般用	4.8	4.7	4.4	4.2	4.0	3.8	▲ 5.1	(−1.0)
電力用	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	0.0	(0.0)
燃料油計	151.2	154.4	152.6	150.8	148.2	145.7	▲ 1.4	(−5.5)

（出所）経済産業省　総合資源エネルギー調査会　資源・燃料分科会　石油・天然ガス小委員会　石油市場動向調査ワーキンググループによる「2021～2025 年度石油製品需要見通し燃料油編」を基に作成。
電力用Ｃ重油は、RING 想定値。

（２）各燃料油の内需実績及び想定推移

図表 6.3.4 に、各燃料油の内需実績及び想定推移を示す。

①ガソリン

乗用車走行距離の減少及び燃費改善などのトレンドが継続し、年率▲2.2%の減少となる。なお、EV・PHV など次世代乗用車については政府のグリーン成長戦略などに基づいた販売台数想定からガソリン需要減少要因として考慮されている。

②ナフサ

エチレンについては経済成長に伴い内需は増加する一方、中国新規プラントの稼働や米国からアジア市場への流入により、日本からの輸出が減少し、エチレン生産全体として減少する見込みである。

BTX については、海外需要は引続き堅調であるものの、中国の大規模プラント建設などに伴うアジア市場の需給緩和によって、日本からの輸出の伸びは抑制され、生産は微減で推移する見込みである。

これらより、ナフサ需要全体として年率▲0.8%の減少となる見込みである。

③ジェット

航空需要は穏やかな機材小型化が進む中、経済成長に伴い引続き微増が見込まれる。民航消費量については、省エネ機材への更新による燃費改善の進展が見込まれ、COVID19 影響の反動による増加要因により年率 4.2%と大きく増加に転じるものの完全回復には至らない見込みである。

④灯油

生産活動に関しては堅調な推移が見込まれ、各産業における燃料転換や効率改善の進展により産業用需要は減少見通し、民生用については、気温推移は例年並みを見込んでいるが、暖房・給湯エネルギー源の転換が継続することにより減少見通しで、全体で年率

▲2.3%の減少となる。

⑤軽油

堅調な経済成長に下支えされ、貨物輸送量はほぼ横ばいで推移すると想定される。トラック燃費の着実な改善や小型 EV トラックの導入が見込まれ、年率▲0.4%で推移する見通し。

⑥A 重油

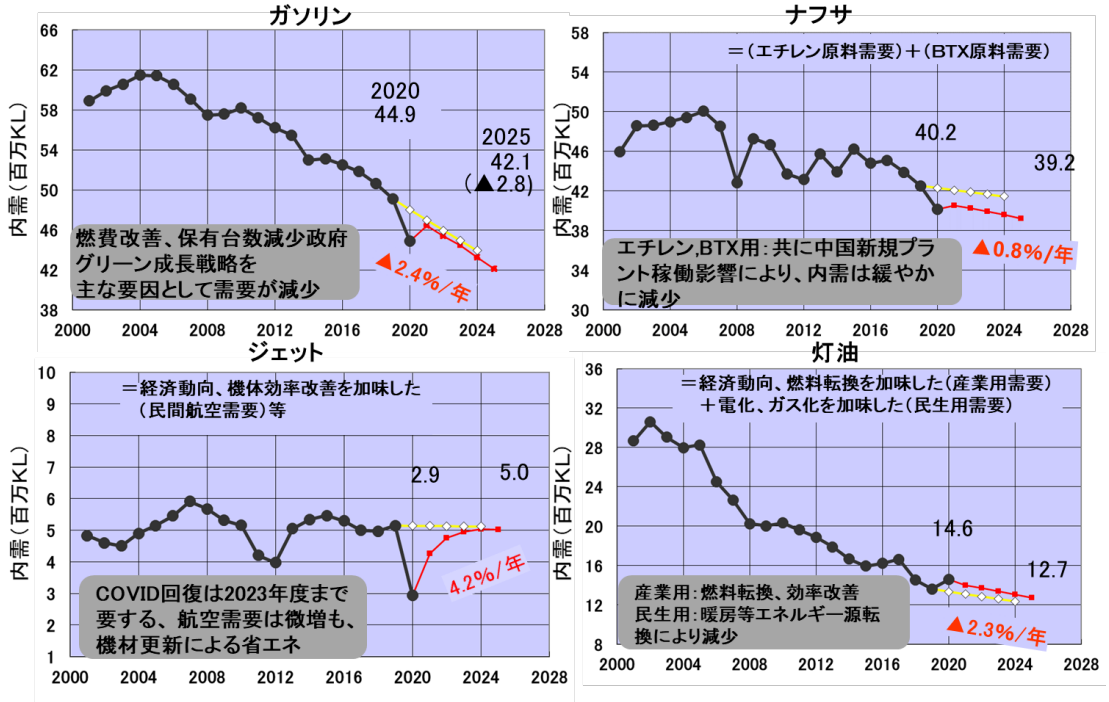
鉱工業における燃料転換や省エネは継続進展し、農林水産業での高齢化の進行や就業人口の減少に伴う生産活動の低下、水運における内航船の大型化や船員の減少などによる隻数の減少の要因により、全体として年率▲3.1%の減少となる。

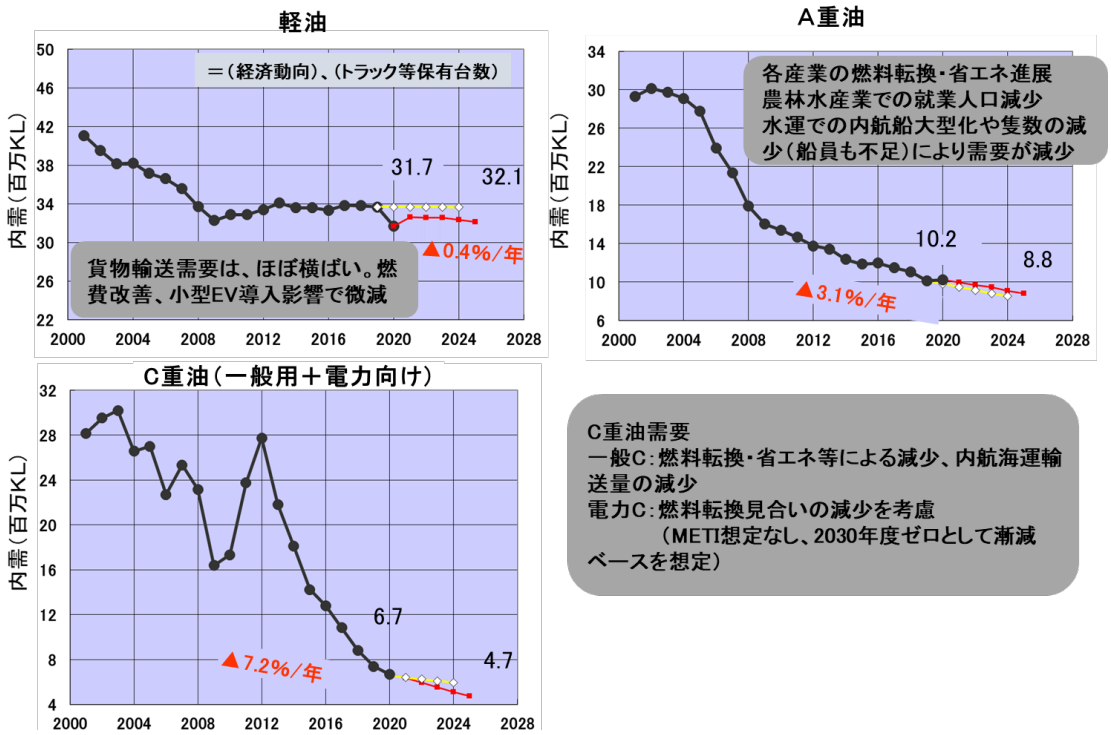
⑦C 重油

一般 C 重油においては、鉱工業における燃料転換や省エネ進展、水運では内航海運輸送量の減少により、年率▲5.1%の減少となる。

電力 C 重油の需要想定はなされてないので、電力各社の火力発電計画及び第 6 次エネルギー基本計画を元に、RING にて需要想定を行った。石油火力は新設及びリプレースの計画は全くないものの災害時などの最後の砦として必要最小限の存続を期待されていることから年率 0.0%の横ばいとした。C 重油トータルでは年率▲3.6%の減少となる。

図表 6.3.4 各燃料油の内需実績及び想定推移





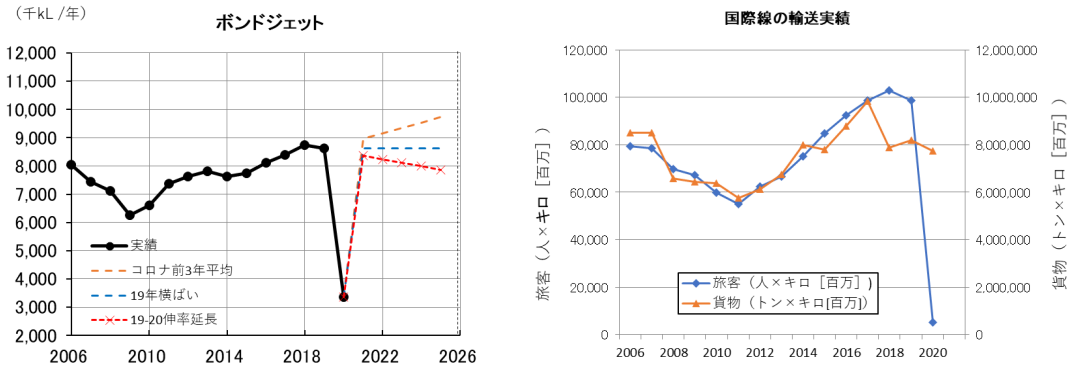
（３）石油製品の輸出量想定

日本での給油は、国際線（旅客・貨物）と国際船舶に限られる。

①ボンドジェット燃料

国際線輸送実績では、貨物輸送量が旅客と乖離傾向が認められ、2019 年度終盤からコロナ禍の影響が顕著となった。2020 年度実績は特異状況下の結果であり、2019 年度実績横ばいと想定し、2025 年度は 8,617 千 KL とした（図表 6.3.5 参照）。

図表 6.3.5　ボンドジェット燃料の需要実績及び想定推移



（出所）国土交通省航空輸送統計年報

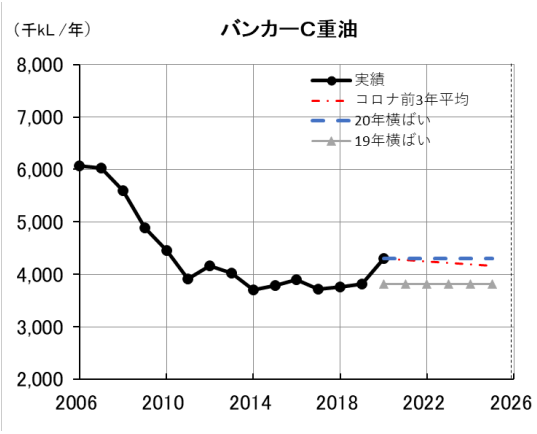
②ボンド C 重油

こちらもコロナ禍の影響により 2020 年度は国際物流が特異状況であったことから、2019 年度実績が当面継続することとし、2025 年度は 3,819 千 KL とした（図表 6.3.6 参照）。

IMO 船舶燃料油の硫黄分規制が 2020 年 1 月 1 日実施され、バンカーC 重油の硫黄分は、

3.5wt%から 0.5wt%に、1.0wt%から 0.5 wt%にそれぞれ低硫黄化した。

図表 6.3.6　バンカーC 重油の需要実績及び想定推移



（出所）2021 年石連統計資料及び資源・エネルギー統計資料

③一般輸出及び輸入

公表されている需要想定はないこと及び 2020 年度は特異状況あったことから、2019 年度実績で横ばいとした。ただし、ガソリンにおいては６．１（２）項「近年のガソリン輸入の急増トレンド、輸出競争の激化」で示した様に、輸入量は年々増加、輸出量は年々減少するトレンドとなっていることから、以下の 3 ケースの 2025 年度のガソリン NET 輸入量を想定し、試算ケースを調整することとする。

図表 6.3.7 にガソリン油種入量の実績トレンドと 2025 年度想定を加えたグラフを示す。

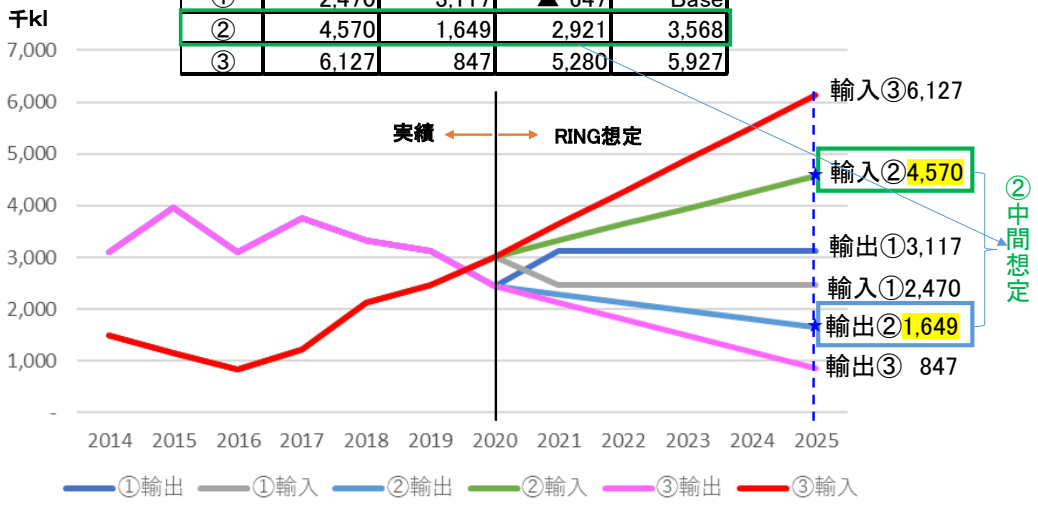
①従来想定：2019 年度輸出入実績数量で固定したケース（楽観）

②中間想定：①と③の中間値で想定したケース（中間）

③トレンド維持想定：過去の輸出入量トレンドが継続すると仮定したケース（悲観）

図表 6.3.7　ガソリン輸出入量の実績トレンドと 2025 年度 NET 輸入量の想定

	輸入 千kl/年	輸出 千kl/年	NET輸入 千kl/年	差
①	2,470	3,117	▲ 647	Base
②	4,570	1,649	2,921	3,568
③	6,127	847	5,280	5,927



（出所）　石油連盟資料に基づき RING で想定

他の石油製品と合せた①ケースは従来想定として参考ケースとし、②の中間ケースの NET 輸入量（2,921 千 KL）をメインケースとして設定し試算することとする。

（4）2025 年度の全国石油製品の要生産量設定

図表 6.3.8 に、内需想定かつ 2019 年度輸出入を一定とした場合の要生産量＝内需―輸入＋輸出で設定した（従来想定ケース）及び、前項で示した②の中間ケースのガソリン NET 輸入量に入替えたケース（中間想定ケース）を今年度の燃料油需要想に基づく「2025 年度燃料油要生産量相応の原油処理」（要生産量相応ケース）として示す。

図表 6.3.8　2025 年度の内需想定

2025 年度の全国石油製品の内需想定と要生産量（従来想定ケース）

	2019年度実績（千KL）				2025年度想定（千KL）			
	内需	輸入	輸出	生産量	内需	輸入	輸出	要生産量
揮発油高級 揮発油並級	49,107	2,470	3,117	49,755	42,104	2,470	3,117	42,752
ナフサ	42,525	26,416	3	16,112	39,231	26,416	3	12,818
ジェット （ボンド）	5,146	210	1,991 (8,617)	15,545	5,015	210	1,991 (8,617)	15,413
灯油	13,621	1,561	996	13,057	12,743	1,561	996	12,178
軽油	33,657	797	9,102	41,962	32,114	797	9,102	40,419
LSA重油 MSA重油	10,156	123	1,776	11,809	8,821	123	1,776	10,474
LSC重油 MSC重油 HSC重油 （バンカー）	7,394 一般＋電力	457	4,165 (3,819)	14,921	5,665 一般＋電力	457	4,165 (3,819)	13,192
合計	161,607	32,033	33,586	163,160	145,693	32,033	33,586	147,246
参照	2019年度実績				想定値	2019年度横ばい		計算値

2025 年度の全国石油製品の内需想定と要生産量（中間想定ケース＝要生産量相応ケース）

	2019年度実績（千KL）				2025年度想定（千KL）			
	内需	輸入	輸出	生産量	内需	輸入	輸出	要生産量
揮発油高級 揮発油並級	49,107	2,470	3,117	49,755	42,104	**4,570**	**1,649**	39,183
ナフサ	42,525	26,416	3	16,112	39,231	26,416	3	12,818
ジェット （ボンド）	5,146	210	1,991 (8,617)	15,545	5,015	210	1,991 **(8,617)**	15,413
灯油	13,621	1,561	996	13,057	12,743	1,561	996	12,178
軽油	33,657	797	9,102	41,962	32,114	797	9,102	40,419
LSA重油 MSA重油	10,156	123	1,776	11,809	8,821	123	1,776	10,474
LSC重油 MSC重油 HSC重油 （バンカー）	7,394 一般＋電力	457	4,165 (3,819)	14,921	5,665 一般＋電力	457	4,165 **(3,819)**	13,192
合計	161,607	32,033	33,586	163,160	145,693	34,134	32,118	143,677
参照	2019年度実績				想定値	2019年度横ばい		計算値

（出所）METI 石油製品需要想定、石連統計などより作成

（５）エネルギー供給構造高度化法後の TOP 原油処理能力

①エネルギー供給構造高度化法 2 次告示対応後の 2020 年 4 月時点で集計した製油所の各タイプの装置構成、分類した製油所名、主要装置の能力を図表 6.3.9 に示す。

なお、製油所名のカッコは、現在、TOP を停止して、二次装置稼働あり製油所を示す。

ENEOS 根岸熱分解は控除、REF には異性化装置を含めてない。

図表 6.3.9　製油所のタイプ別製油所名と主要装置能力（2020 年度実績）

タイプ	設備構成	製油所名	CDU（千BD）	FCC（千BD）	REF（千BD）	COKER（千BD）
Bタイプ	VGO-FCC	ENEOS鹿島、(知多)、堺、和歌山 コスモ千葉、四日市 西部山口 出光千葉、(徳山)	1,033	265	227	0
Cタイプ	RFCC	ENEOS仙台、千葉、根岸、大分 昭和四日市 太陽四国 出光北海道、愛知	1,383	361	280	0
Dタイプ	熱分解装置	ENEOS川崎、水島、麻里布 コスモ堺、東亜京浜 富士袖ヶ浦	988	325	180	141
合計			3,404	951	686	141

②2025 年度試算用のタイプ別製油所主要装置の能力

2025 年度需給試算前提では 2020 年 4 月時点の主要装置能力から、根岸製油所（ENEOS）の一部装置能力を削減した（図表 6.3.10 参照）。

図表 6.3.10　製油所のタイプ別製油所名と主要装置能力（2025 年度試算用）

タイプ	設備構成	製油所名	CDU（千BD）	FCC（千BD）	REF（千BD）	COKER（千BD）
Bタイプ	VGO-FCC	ENEOS鹿島、(知多)、堺、和歌山 コスモ千葉、四日市 西部山口 出光千葉、(徳山)	1,033	265	227	0
Cタイプ	RFCC	ENEOS仙台、千葉、根岸、大分 昭和四日市 太陽四国 出光北海道、愛知	1,263	323	260	0
Dタイプ	熱分解装置	ENEOS川崎、水島、麻里布 コスモ堺、東亜京浜 富士袖ヶ浦	988	325	180	141
合計			3,284	913	667	141

６．３．４　2025 年度全国石油製品要生産量の算出

「2030 年のエネルギー需給見通し（CO2、46%削減）参考資料」にある運輸部門 CO2 排出をベースに、2030 年のガソリンの需要量を推定する。この 2030 年の需要推定量から 2025 年の需要を内挿して、2025 年度ガソリン急減ケースの LP 試算の内需量前提条件とする。

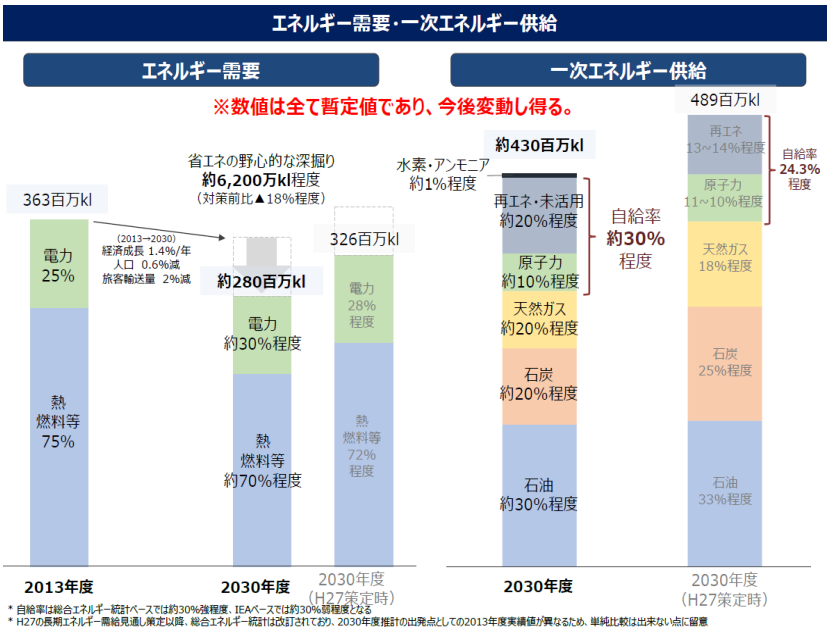
2013 年度の輸送燃料（ガソリン+ジェット+軽油）と CO2 排出量及び 2030 年度の CO2 排出想定量から、2030 年度の輸送燃料（ガソリン+ジェット+軽油）を算出し、CO2 の排出量配分を、①ガソリン＋ジェット＋軽油に一律に分配ケース、②ガソリンにしわ寄せケースの２ケースを算出する。②の前提を最小する。

（１）　CO2 排出削減積増しにおける 2030 年度、2025 年度の内需量想定

①2021 年 8 月時点の「2030 年のエネルギー需給見通し参考資料」

最終エネルギー需要を石油換算約 280 百万 KL とし、そのための一次エネルギー供給量を約 430 百万 KL と見積もり、一次エネルギー供給のうち石油の占める割合を約 30%程度としている（図表 6.3.11 参照）。

図表 6.3.11　第 6 次長期エネルギー基本計画中の石油エネルギー割合



（出所）第 48 回総合エネルギー調査会基本政策分科会「2030 年のエネルギー需給の見通し参考資料

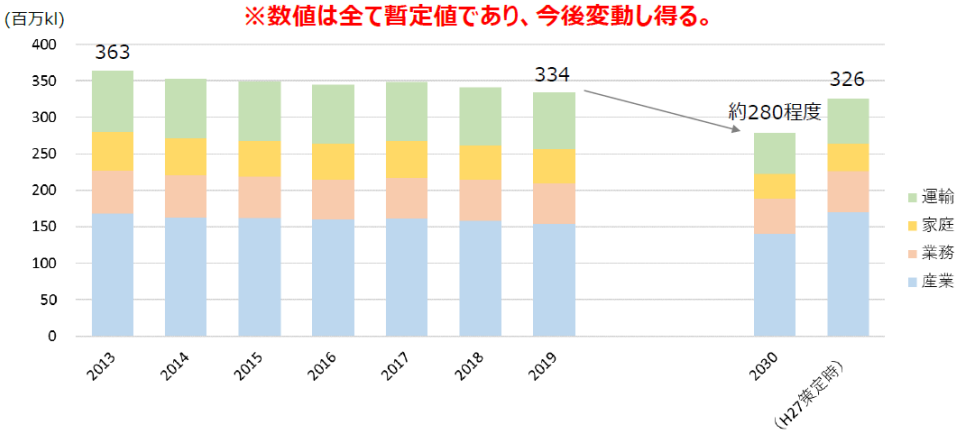
部門別の最終エネルギー消費のうち、運輸部門のエネルギー消費を約 20%程度、石油換算 60 百万 KL としている。

このエネルギー量の中には、海上輸送、航空輸送部門における EV・鉄道による電気エネルギー、バイオ燃料、燃料電池車の水素エネルギーなども含まれる（図表 6.3.12、図表 6.3.13 参照）。

図表 6.3.12　2030 年度 CO2 排出 46%削減の運輸部門のエネルギー消費

最終エネルギー消費

[百万kl]	2013年度		2030年度（省エネ前）		2030年度（省エネ後）	
産業	168	46%	約150程度	約50%程度	約140程度	約50%程度
業務	59	16%	約70程度	約20%程度	約50程度	約20%程度
家庭	53	15%	約50程度	約10%程度	約30程度	約10%程度
運輸	83	23%	約80程度	約20%程度	約60程度	約20%程度
合計	363	100%	約350程度	100%	約280程度	100%



（出所）第 48 回総合エネ調査会基本政策分科会「2030 年のエネルギー需給の見通し参考資料」

図表 6.3.13　2030 年におけるエネルギー需給見通し

		産業	業務	家庭	運輸	合計
最終エネルギー	%	50	18	11	21	100
	百万kℓ	140	50	30	**60**	280

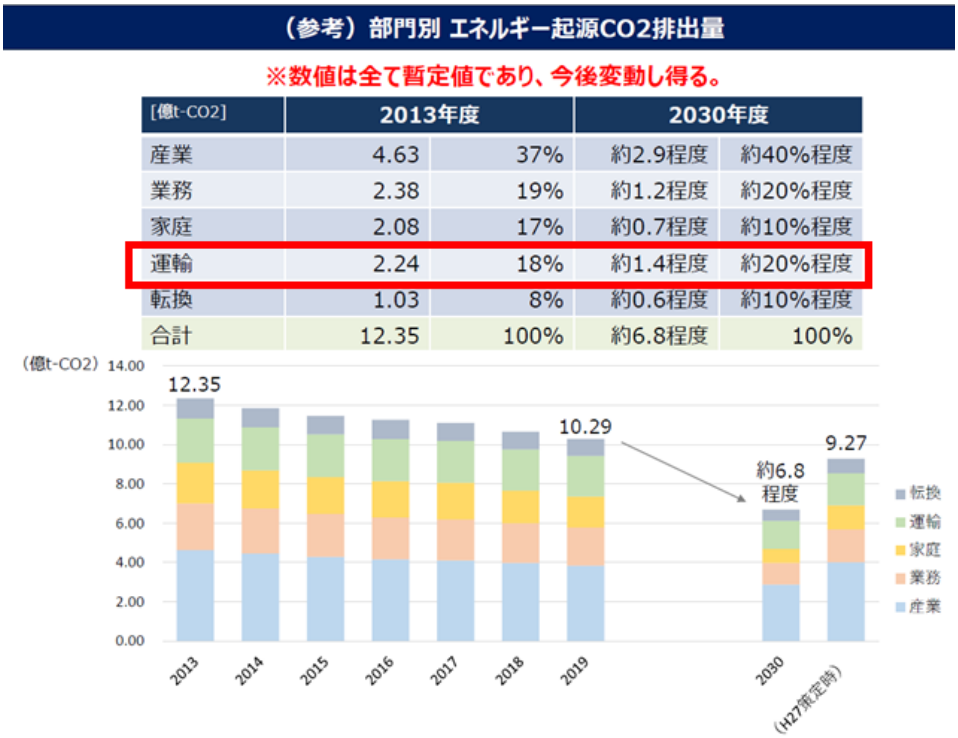
運輸部門の最終エネルギーには、EV･FCV（計17%）分が含まれ、原油換算量としてのエネルギー量なので、燃料油のkℓを示すものではない。

		石油	再エネ	天然ガス	石炭	原子力	H2/NH3	合計
一次エネルギー	%	30	20	20	20	10	1	100
	百万kℓ	**127**	84	86	86	43	4	430

（出所）第 48 回総合エネ調査会基本政策分科会、「2030 年のエネルギー需給の見通し参考資料」に基づき作成

したがって、化石燃料由来の輸送燃料需要を推定するには、運輸部門の CO2 排出量から計算するほうが妥当であるとして、燃料油需要量を推算した。
その前提として、運輸部門における CO2 排出量は、図表 6.3.14 に示された通り、2013 年の 2 億 2 千 4 百万トンから 2030 年には、1 億 4 千万トンに減少（▲37.5%）するものとした。

図表 6.3.14　2030 年度における部門別 CO2 排出量



（出所）第 48 回総合エネルギー調査会基本政策分科会「2030 年のエネルギー需給の見通し参考資料」

②2030 年、2025 年における輸送用燃料（ガソリン＋ジェット＋軽油）の内需量推算

図表 6.3.15、図表 6.3.16 に輸送用燃料の内需算出方法を示す。

・2030 年度の輸送用燃料（ガソリン＋ジェット＋軽油）の内需量算出

2013 年度の輸送用燃料内需実績量＝94,553 千 KL 及び 2013 年と 2030 年の CO2 排出量、2013 年度＝2.24 億トン（実績）、2030 年度＝1.4 億トン（2030 年 CO2 排出目標値 1.4÷2.24＝0.625）から、2030 年の輸送用燃料（ガソリン＋ジェット＋軽油）内需を推算すると 59,096 千 KL（94,553 千 KL×0.625）となる。

・2025 年度の輸送用燃料からの CO2 排出量算出

2025 年度の輸送用燃料内需量は、79,233 千 KL（2021 年度需要想定委員会）であるから、1.88 億トン（2.24 億トン×79,233/94,553 千 KL）となる。

・2017 年度、2019 年度の CO2 排出量算出

同様に、2017 年度の CO2 排出量は、2.15 億トン（2.24 億トン×90,655/94,553 千 KL）、2019 年度の CO2 排出量は、2.08 億トン（2.24 億トン×87,910/94,553 千 KL）となる。

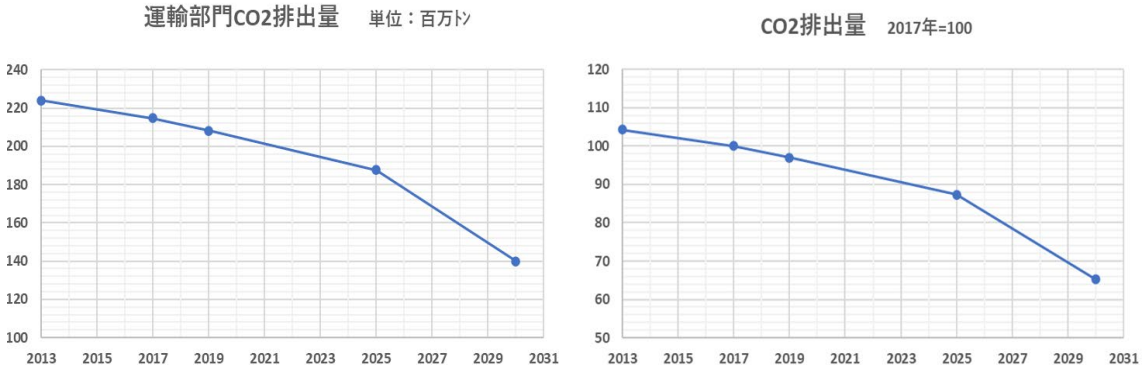
図表 6.3.15　輸送用燃料内需量のトレンドと推算

茶色字は計算値

運輸部門CO2排出（環境省・経産省目標）					
	2013実績	2017計算値	2019計算値	2025年想定	2030目標
排出量 百万トン	224	215	208	188	140
2013対比 %	100	95.9	93.0	83.8	62.5
2017対比 %		100	97.0	87.4	65.2
2019対比 %			100	90.1	67.2
対2013削減率%	0		7.0	16.2	37.5
ガソリン、ジェット、軽油の合計内需					
内需量 千kℓ	94,553	90,655	87,910	79,233	59,096

※2025年はMETI需要想定検討会提示値

図表 6.3.16　運輸部門の CO2 排出量トレンドと目標



（２）　CO2 排出削減積増しにおける 2030 年度、2025 年度のガソリン内需量想定

輸送用燃料内需量の合計値を、ガソリン、ジェット、軽油に分配するために、２ケースを設定、試算した。

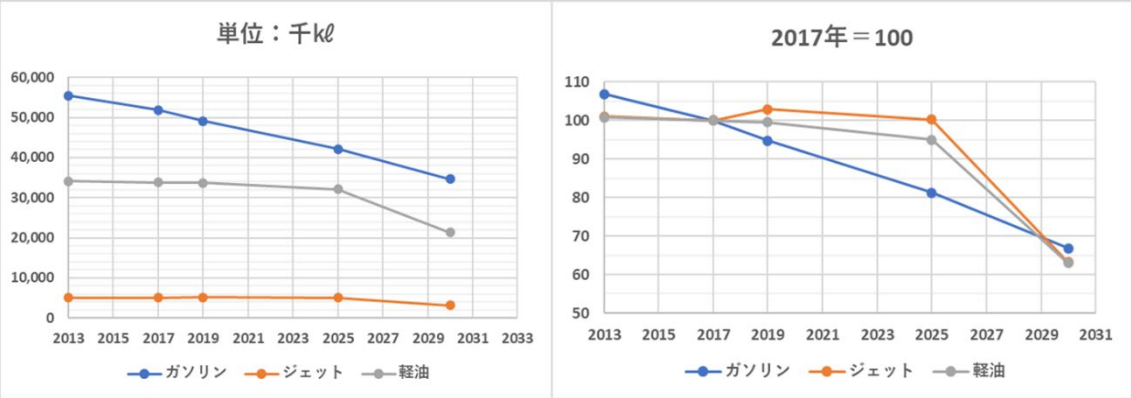
①ガソリン、ジェット、軽油が 2013 年度対比で均などに減少するケース

図表 6.3.17 に、このケースの算出結果をまとめる。全ての輸送用燃料が CO2 を均などに排出するとした場合、ガソリン、ジェット、軽油の各々の燃料油から排出される CO2 排出量は、2030 年度では 62.5%（2030 年 CO2 排出目標値 1.4÷2.24＝0.625）、2025 年度では 83.8%（1.88÷2.24）となる。したがって、2030 年度のガソリン、ジェット、軽油の内需量は、各々、34,637 千 KL（55,419×0.625）、3159 千 KL（5,055×0.625）、21,299 千 KL（34,079×0.625）となる。

この算出方法では、ジェット、軽油はガソリンよりも減少幅が大きく、それぞれ 2017 年対比、36.8%、37.0%の減少となる。2030 年ガソリン車の EV 化を加速する現施策を踏まえると、ジェットと軽油の減少幅は過大である。現時点における需要想定では、大型陸運、空輸の需要量は引続き堅調で、ガソリン車が EV に置換わるとの見方が大勢であることから、このケースは不採用とした。

図表 6.3.17　①ガソリン、ジェット、軽油内需減少量を一律に分配ケース

2030年の内需概算（2013対比で、ガソリン、ジェット、軽油が均等に減少するとしたケース）						
	ジェット+軽油+ガソリン合計					
	2013	2017	2019	2025年想定	2030概算	
合計内需量　千kℓ	94,553	90,655	87,910	79,233	59,096	
2013対比　%	100	95.9	93.0	83.8	62.5	
2017対比　%		100	97.0	87.4	65.2	
2019対比　%			100.0	90.1	67.2	
対2013削減率%	0		7.0	16.2	37.5	
単位：千kℓ	2013年実績	2017年実績	2019年実績	2025年想定	2030年概算	2017年対比削減(%)
ガソリン	55,419	51,833	49,107	42,104	34,637	33.2
ジェット	5,055	5,002	5,146	5,015	3,159	36.8
軽油	34,079	33,820	33,657	32,114	21,299	37.0



②ジェット、軽油の減少率を現状並みとし、全部ガソリンでしわ寄せ調整したケース

2021 年度需要想では、国内の旅客需要、貨物需要見通しは、2013 年に比してもそれほど低下しないとしていることや、バイオジェット、バイオディーゼルの少量の導入を考慮し、ジェット、軽油は現状並みの減少幅と想定した。

一方、先に示したとおり、ガソリンは EV などのエコカーに転換されるとして、2030 年度における輸送用燃料からの CO2 排出量削減を全て、ガソリンの内需減にしわ寄せした場合（ガソリン急減ケース）のガソリン、ジェット、軽油の内需量は以下のように算出される（図表 6.3.18 参照）。

・2030 年度のジェット内需量算出

2019 年度から 2025 年度の 6 年間の年間当たり内需減少量がそのまま、2025 年度から 2030 年度の 5 年間続くとすると 2030 年度には▲109 千 KL（(5,146－5,015 千 KL）÷6×5）減少する。したがって、2030 年度のジェット燃料内需量は 4,906 千 KL（5,015－109）となる。

・2030 年度の軽油内需量算出

軽油の場合も同様に、2019 年度から 2025 年度の 6 年間の年間当たり内需減少量がそのま

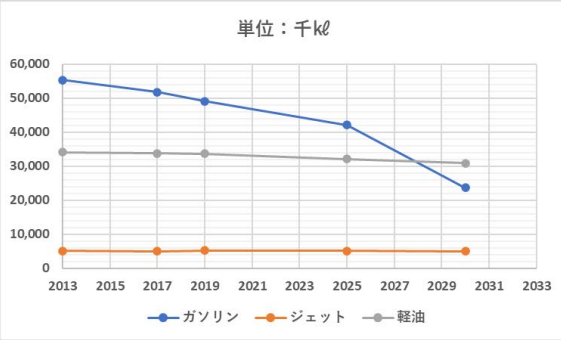
ま、2025 年度から 2030 年度の 5 年間続くとすると 2030 年度には▲1,286 千 KL（(33,657－32,155 千 KL）÷6×5）減少する。したがって、2030 年度の軽油内需量は 30,828 千 KL（32,114－1,286）となる。

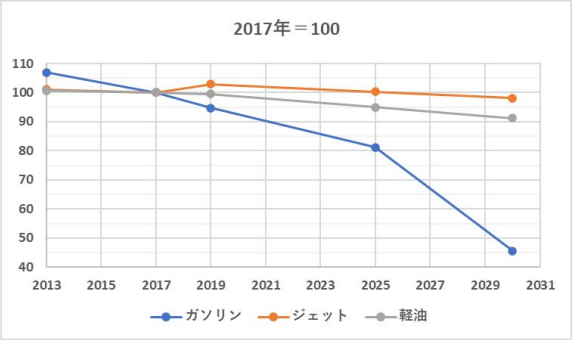
・2030 年度のガソリン需量算出

その結果、2030 年度のガソリン内需は、23,362 千 KL（59,096－4,906－30,828)、2017 年対比 54.9%の大幅な減少量となった。

図表 6.3.18　②ガソリンにしわ寄せケース

2025年の追加内需想定（ジェット、軽油の減少率を現状想定並みとし、ガソリンをバランスとしたケース）						
	ジェット+軽油+ガソリン合計					
	2013	2017	2019	2025年追加想定	2030想定	
合計内需量　千kℓ	94,553	90,655	87,910	72,193	59,096	
2013対比　%	100	95.9	93.0	76.4	65.2	
2017対比　%		100	97.0	79.6	65.2	
2019対比　%			100.0	82.1	67.2	
削減率%	0		7.0	23.6	34.81261376	
内需　単位：千kℓ	2013年実績	2017年実績	2019年実績	2025年追加想定	2030年概算	2017年対比削減(%)
ガソリン	55,419	51,833	49,107	35,064	23,362	54.9
ジェット	5,055	5,002	5,146	5,015	4,906	1.9
軽油	34,079	33,820	33,657	32,114	30,828	8.8





③2025 年度石精 LP モデル試算（ガソリン急減ケース）の揮発油、JET、軽油内需量設定

前項②ケースの 2030 年の内需推定結果に基づき、2025 年度のガソリンの内需量想定を行った（図表 6.3.19 参照)。2025 年度のジェット、軽油は当初想定と同一（2021 年度需要想）である。

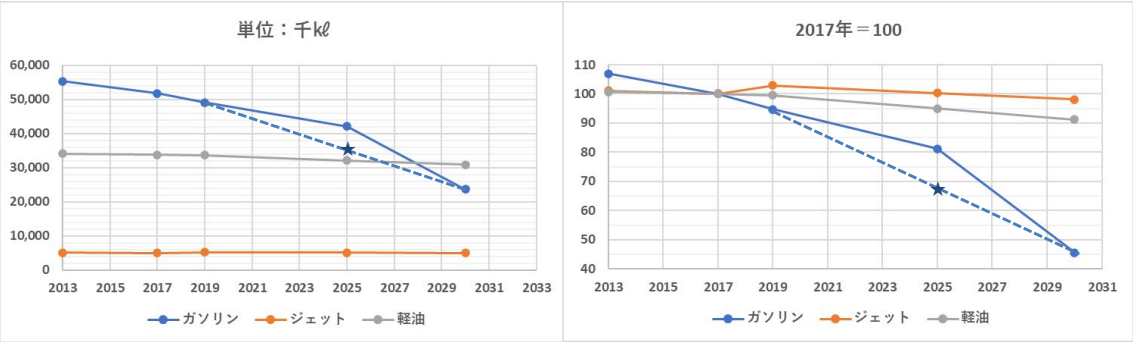
ただし、ガソリンは、2019 年度（49,107 千 KL）から 2030 年度（23,362 千 KL）まで、直線的に下落するものとした。その結果、2025 年度ガソリン急減ケース内需量は、35,064 千 KL（2025－2030 年度内挿値★）となり、2017 年対比 32.4%の減少となった。

2025 年度石精 LP モデルによるガソリン急減ケース試算では、この量に更に、ネット輸入量（輸出－輸入）による生産減を加味しなければならないことから、2025 年度のガソリン要生産量は更に減少することになる。

B タイプ製油所へのガソリン要生産量が分配されなくなることが懸念される。C タイプ RFCC の稼働低下までに波及することが懸念される。そうなると、「13 年対比 2030 年度の CO2 排出 46%削減」は、現在進めている「エネルギー供給構造高度化法 3 次告示」との間に齟齬が生じる可能性がある。以降の試算にて詳細検討する。

図表 6.3.19　2025 年度 RING 石精 LP モデル試算用のガソリン急減ケース内需量設定

2025年の追加内需想定（ジェット、軽油の減少率を現状想定並みとし、ガソリンをバランスとしたケース）						
	ジェット+軽油+ガソリン合計					
	2013	2017	2019	2025年追加想定		2030想定
合計内需量　千kℓ	94,553	90,655	87,910	72,193		59,096
2013対比　%	100	95.9	93.0	76.4		65.2
2017対比　%		100	97.0	79.6		65.2
2019対比　%			100.0	82.1		67.2
2013対比削減率%	0		7.0	23.6		34.8
内需　単位：千kℓ	2013年実績	2017年実績	2019年実績	2025年追加想定	2017年対比(%)	2030年概算
ガソリン	55,419	51,833	49,107	35,064	▲ 32.4	23,362
ジェット	5,055	5,002	5,146	5,015	0.3	4,906
軽油	34,079	33,820	33,657	32,114	▲ 5.0	30,828



2025 年度ガソリン急減ケース試算は、ガソリンを除いた各油種内需想定量は燃料油要生産量相応ケースのとおりとして、これに、前項の各油種の正味ネット輸入量で調整し、要生産量を算出し、全国石精 LP モデルにて試算する。（図表 6.3.20 参照）

図表 6.3.20　2025 年度の内需想定（CO2 排出削減積み増し想定）

2025 年度の全国石油製品の内需想定と要生産量（ガソリン急減ケース）

	2019年度実績（千KL）				2025年度悲観想定（千KL）			
	内需	輸入	輸出	生産量	内需	輸入	輸出	要生産量
揮発油高級 揮発油並級	49,107	2,470	3,117	49,755	**35,064**	4,570	1,649	32,143
ナフサ	42,525	26,416	3	16,112	39,231	26,416	3	12,818
ジェット （ボンド）	5,146	210	1,991 (8,617)	15,545	5,015	210	1,991 **(8,617)**	15,413
灯油	13,621	1,561	996	13,057	12,743	1,561	996	12,178
軽油	33,657	797	9,102	41,962	32,114	797	9,102	40,419
LSA重油 MSA重油	10,156	123	1,776	11,809	8,821	123	1,776	10,474
LSC重油 MSC重油 HSC重油 （バンカー）	7,394 一般＋電力	457	4,165 (3,819)	14,921	5,665 一般＋電力	457	4,165 **(3,819)**	13,192
合計	161,607	32,033	33,586	163,160	138,653	34,134	32,118	136,637
参照	2019年度実績				想定値	2019年度横ばい		計算値

（出所）　METI 石油製品需要想定、石連統計などより作成

６．３．５　2025 年度全国精製 LP モデルによる試算結果と考察

2025 年度全国石精モデルによる今年度の燃料油需要想に基づく「2025 年度燃料油要生産量相応の原油処理」（要生産量相応ケース）及び RING 想定に基づく CO2 排出減積増し「2025 年度のガソリン要生産急減ケース」（ガソリン急減ケース）の試算結果と解析を、以下に示す。ここで、設備の適正稼働率、及び装置余力の単位前提は下記のとおりとする。

・COKER、RDS の年間適正稼働日数：310 日とした。365 日ベースでは、85%となる。
・COKER、RDS を除く全ての装置の年間適正稼働日数：330 日とした。365 日ベースでは、90%となる。
・330 日ベースの稼働率：実稼働量（BBL）を公称能力（BD）×330 日で除した値
・装置能力余力：公称能力（BD）×（１－330 日ベースの稼働率）

（１）　2025 年度の B、C、D タイプ製油所の主要装置稼働率

①B、C、D 各タイプ製油所における主要装置の稼働量、稼働率を、図表 6.3.21 にまとめる。

②要生産量相応ケースとガソリン急減ケースによる主要装置稼働率の比較

原油処理量は、2019 年度の得率実績 93.2%に見合う様に、燃料油要生産量合計量から逆算して算定した。ガソリン急減ケースでも同様とした。いずれのケースも原油種については 2019 年度実績割合で維持するものとして試算した。

要生産量相応ケースの常圧蒸留装置稼働は、D タイプ、C タイプはフル稼働、B タイプは算定原油処理量になるようにバランスさせるという調整方法で行った。

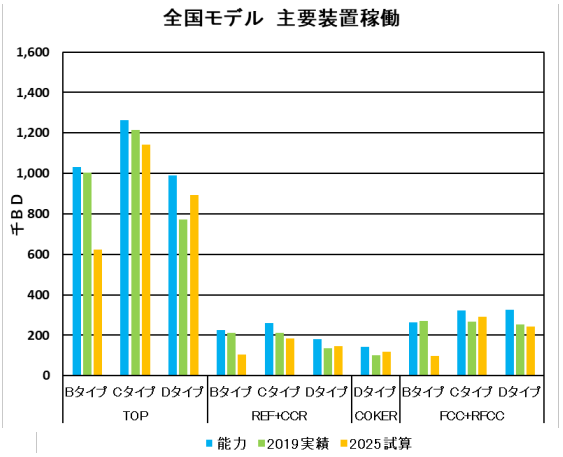
一方、ガソリン急減ケースでは、D タイプは 2019 年度実績、C タイプは 2019 年度実績の

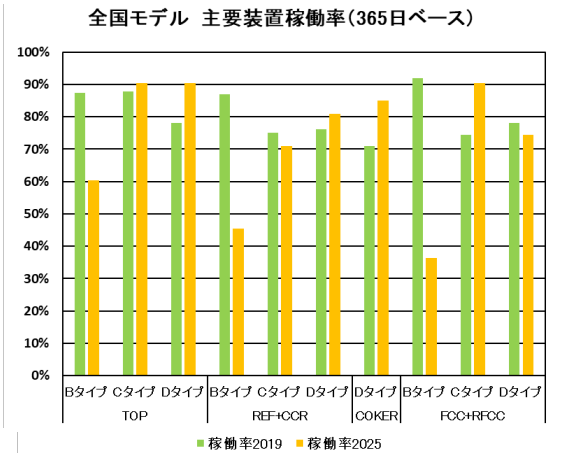
85%（燃料油要生産量相応の原油処理量設定に相当）の原油処理量にして、B タイプは算定原油処理量になるようにバランスさせるという調整方法で行った。
詳細は、次項の生産バランスで比較分析する。

図表 6.3.21　2024 年度全国石精製 LP モデルの試算結果
要生産量相応ケース設定－B, C, D タイプ製油所の主要装置稼働率

（千BD）

	TOP			REF			COKER	FCC		
	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ	Dタイプ	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ
能力	1,033	1,263	988	227	260	180	141	265	323	325
2025試算	622	1,142	893	103	184	145	120	96	292	242
稼働率(365日)	60%	90%	90%	45%	71%	81%	85%	36%	90%	74%

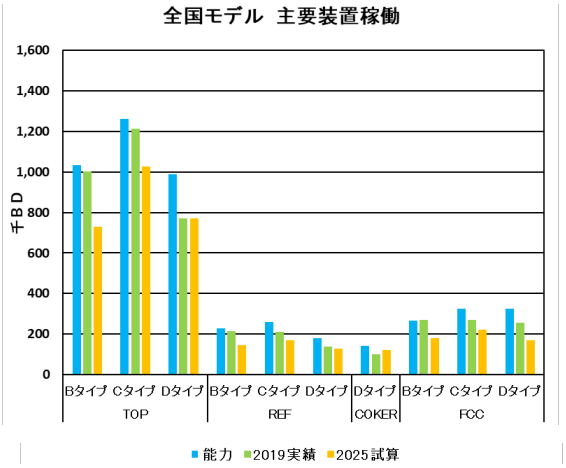


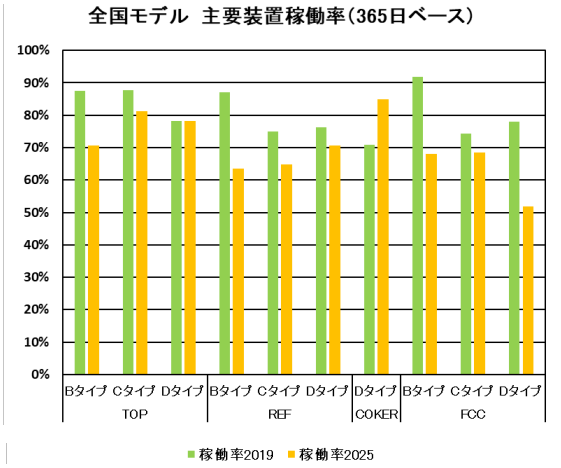


ガソリン急減ケース設定－B, C, D タイプ製油所の主要装置稼働率

（千BD）

	TOP			REF			COKER	FCC		
	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ	Dタイプ	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ
能力	1,033	1,263	988	227	260	180	141	265	323	325
2025試算	729	1,026	772	144	169	127	120	180	221	169
稼働率(365日)	71%	81%	78%	63%	65%	71%	85%	68%	68%	52%





（2） 各タイプ別製油所の石油製品生産量と主要装置稼働率

①B タイプ製油所の製品生産量と装置稼働率

B タイプ製油所の各製品の生産量と各装置の稼働率を、図表 6.3.22 に示す。常圧蒸留装置（TOP）は、2025 年度に想定される 103.3 万 BPD の原油処理能力に対し、67%稼働（330 日ベース）になる。揮発油の要生産量減少により、330 日ベースで FCC は 40%、REF は 50%の稼働率となった。

一方、ガソリン急減ケースの 2025 年度試算結果では、C、D タイプの稼働を抑えた影響により、年間 330 日ベースの稼働率は、TOP78%、FCC75%、70%となった。

要生産量相応ケースは B タイプを最小稼働にする関係上、B タイプのみの比較ではこちらの方が高稼働に見える結果になる。

図表 6.3.22　2025 年度の試算結果　B タイプ製油所の生産量と主要装置稼働率

2025 年度 B タイプ試算結果：要生産量相応ケース　　〃　　：ガソリン急減ケース

			2019年度実績		2025年度試算結果	
			生産量（千KL）	比率	生産量（千KL）	比率
原油処理量			58,247	100%	36,112	100%
生産量	揮発油		16,342	28%	5,504	15%
	ナフサ		6,181	11%	9,519	26%
	灯油	JET	6,007		3,378	
		灯油	4,249		3,068	
		小計	10,256	18%	6,446	18%
	軽油	軽油	13,329		10,360	
		A重油	3,428		541	
		小計	16,757	29%	10,901	30%
	C重油		5,355	9%	5,080	14%
	燃料油計		54,892	94%	37,449	104%
	LPG、副製品		4,528	8%	3,190	9%
	自家燃、損耗、転送等		▲1,173	▲2%	▲4,527	▲13%
	総計		58,247	100%	36,112	100%
稼働率	TOP		97%（330日）	87%（365日）	67%（330日）	60%（365日）
	FCC		102%（330日）	92%（365日）	40%（330日）	36%（365日）
	REF		96%（330日）	87%（365日）	50%（330日）	45%（365日）

			2019年度実績		2025年度試算結果	
			生産量（千KL）	比率	生産量（千KL）	比率
原油処理量			58,247	100%	42,301	100%
生産量	揮発油		16,342	28%	10,729	25%
	ナフサ		6,181	11%	7,922	19%
	灯油	JET	6,007		3,549	
		灯油	4,249		4,111	
		小計	10,256	18%	7,660	18%
	軽油	軽油	13,329		10,487	
		A重油	3,428		3,408	
		小計	16,757	29%	13,895	33%
	C重油		5,355	9%	2,586	6%
	燃料油計		54,892	94%	42,791	101%
	LPG、副製品		4,528	8%	4,124	10%
	自家燃、損耗、転送等		▲1,173	▲2%	▲4,614	▲11%
	総計		58,247	100%	42,301	100%
稼働率	TOP		97%（330日）	87%（365日）	78%（330日）	71%（365日）
	FCC		102%（330日）	92%（365日）	75%（330日）	68%（365日）
	REF		96%（330日）	87%（365日）	70%（330日）	63%（365日）

②C タイプ製油所の製品生産量と装置稼動率

C タイプ製油所の各製品の生産量と各装置の稼働率を、図表 6.3.23 に示す。常圧蒸留装置（TOP）は、2025 年度に想定される 126.3 万 BPD の原油処理能力フルで試算した。

TOP 以外の C タイプの主要装置は、330 日ベースで、RFCC は 100%、 REF は 78%と高稼働率を維持することになる。

DSAR（直脱 LSC 重油）は RFCC フィードに 7,664 千 kl、FCC に 0 千 kl、LSC 重油混合基材として 2,625 千 KL 使用されている。

CLO の全量を LSC 重油として製品化している。LSC 重油の硫黄分は上限（0.5wt%）に張り付くが、粘度は 74.8cst で下限の 20cst には至らない。CLO だけでは硫黄分を調整することができないために、本来 RFCC の原料である DSAR を LSC 重油の混合基材とせざるを得ない結果となっている。

図表 6.3.23　2025 年度の試算結果　C タイプ製油所の生産量と主要装置稼働率

2025 年度 C タイプ試算結果：要生産量相応ケース　〃：ガソリン急減ケース揮発油量設定

			2019年度実績		2025年度試算結果	
			生産量（千KL）	比率	生産量（千KL）	比率
原油処理量			70,475	100%	66,270	100%
生産量	揮発油		18,758	27%	17,639	27%
	ナフサ		6,084	9%	7,705	12%
	灯油	JET	5,132		4,825	
		灯油	5,962		5,606	
		小計	11,094	16%	10,432	16%
	軽油	軽油	17,458		18,721	
		A重油	4,603		2,438	
		小計	22,062	31%	21,159	32%
	C重油		6,040	9%	5,174	8%
	燃料油計		64,037	91%	62,109	94%
	LPG、副製品		4,864	7%	5,310	8%
	自家燃、損耗、転送等		1,574	2%	▲1,150	▲2%
	総計		70,475	100%	66,270	100%
稼働率		TOP	97%（330日）	88%（365日）	100%（330日）	90%（365日）
		FCC	82%（330日）	74%（365日）	100%（330日）	90%（365日）
		REF	83%（330日）	75%（365日）	78%（330日）	71%（365日）

			2019年度実績		2025年度試算結果	
			生産量（千KL）	比率	生産量（千KL）	比率
原油処理量			70,475	100%	59,570	100%
生産量	揮発油		18,758	27%	12,315	21%
	ナフサ		6,084	9%	8,852	15%
	灯油	JET	5,132		4,338	
		灯油	5,962		5,039	
		小計	11,094	16%	9,377	16%
	軽油	軽油	17,458		18,243	
		A重油	4,603		995	
		小計	22,062	31%	19,238	32%
	C重油		6,040	9%	5,807	10%
	燃料油計		64,037	91%	55,589	93%
	LPG、副製品		4,864	7%	5,037	8%
	自家燃、損耗、転送等		1,574	2%	▲1,056	▲2%
	総計		70,475	100%	59,570	100%
稼働率		TOP	97%（330日）	88%（365日）	90%（330日）	81%（365日）
		FCC	82%（330日）	74%（365日）	76%（330日）	68%（365日）
		REF	83%（330日）	75%（365日）	72%（330日）	65%（365日）

③D タイプ製油所の製品生産量と装置稼動率

D タイプ製油所の各製品の生産量と各装置の稼働率を、図表 6.3.24 に示す。常圧蒸留装置（TOP）は、2025 年度に想定される 98.8 万 BPD の原油処理能力に対し、年間 330 日ベースの稼働率は 100%となる。

熱分解装置（COKER）の稼働率は、310 日ベースで 100%とフル稼働になる。ただし、ガソリン基材を生産する FCC の稼働率が 330 日ベースで 82%、REF も 90%とフル稼働には至らない。

図表 6.3.24　2025 年度の試算結果　D タイプ製油所の生産量と主要装置稼働率

2025 年度 D タイプ試算結果：要生産量相応ケース　〃：ガソリン急減ケース

			2019年度実績		2025年度試算結果	
			生産量（千KL）	比率	生産量（千KL）	比率
原油処理量			44,804	100%	51,851	100%
生産量	揮発油		13,860	31%	16,040	31%
	ナフサ		4,881	11%	4,003	8%
	灯油	JET	4,480		5,185	
		灯油	3,028		3,504	
		小計	7,508	17%	8,689	17%
	軽油	軽油	10,403		11,577	
		A重油	3,281		3,235	
		小計	13,684	31%	14,811	29%
	C重油		2,788	6%	2,944	6%
	燃料油計		42,721	95%	46,488	90%
	LPG、副製品		3,782	8%	6,210	12%
	自家燃、損耗、転送等		▲1,699	▲4%	▲847	▲2%
	総計		44,804	100%	51,851	100%
稼働率		TOP	86%（330日）	78%（365日）	100%（330日）	90%（365日）
		FCC	86%（330日）	78%（365日）	82%（330日）	74%（365日）
		COKER	84%（310日）	71%（365日）	100%（310日）	85%（365日）
		REF	84%（330日）	76%（365日）	90%（330日）	81%（365日）

			2019年度実績		2025年度試算結果	
			生産量（千KL）	比率	生産量（千KL）	比率
原油処理量			44,804	100%	44,804	100%
生産量	揮発油		13,860	31%	9,099	20%
	ナフサ		4,881	11%	6,532	15%
	灯油	JET	4,480		4,026	
		灯油	3,028		3,028	
		小計	7,508	17%	7,054	16%
	軽油	軽油	10,403		14,114	
		A重油	3,281		1,081	
		小計	13,684	31%	15,195	34%
	C重油		2,788	6%	2,001	4%
	燃料油計		42,721	95%	39,881	89%
	LPG、副製品		3,782	8%	5,441	12%
	自家燃、損耗、転送等		▲1,699	▲4%	▲518	▲1%
	総計		44,804	100%	44,804	100%
稼働率		TOP	86%（330日）	78%（365日）	86%（330日）	78%（365日）
		FCC	86%（330日）	78%（365日）	57%（330日）	52%（365日）
		COKER	84%（310日）	71%（365日）	100%（310日）	85%（365日）
		REF	84%（330日）	76%（365日）	78%（330日）	71%（365日）

④2025 年度の B＋C＋D の製品生産量と主要装置稼働率

以上の B、C、D タイプ製油所の 2025 年度製品生産量の合計と主要装置稼働率を、図表 6.3.25 に示す。

図表 6.3.25　2025 年度の試算結果　B＋C＋D タイプ製油所の生産量と主要装置稼働率

2025 年度　合計試算結果：要生産量相応ケース

			2019年度実績		2025年度試算結果	
			生産量（千KL）	比率	生産量（千KL）	比率
原油処理量			173,526	100%	154,232	100%
生産量	揮発油		48,960	28%	39,183	25%
	ナフサ		17,146	10%	21,227	14%
	灯油	JET	15,619		13,388	
		灯油	13,240		12,178	
		小計	28,858	17%	25,567	17%
	軽油	軽油	41,190		40,658	
		A重油	11,313		6,213	
		小計	52,503	30%	46,871	30%
	C重油		14,183	8%	13,198	9%
	燃料油計		161,651	93%	146,046	95%
	LPG、副製品		13,173	8%	14,710	10%
	自家燃、損耗、転送等		▲1,297	▲1%	▲6,523	▲4%
	総計		173,526	100%	154,232	100%
稼働率		TOP	94%（330日）	85%（365日）	90%（330日）	81%（365日）
		FCC	89%（330日）	81%（365日）	76%（330日）	69%（365日）
		COKER	84%（310日）	71%（365日）	100%（310日）	85%（365日）
		REF	88%（330日）	79%（365日）	72%（330日）	65%（365日）

合計試算結果：ガソリン急減ケース

			2019年度実績		2025年度試算結果	
			生産量（千KL）	比率	生産量（千KL）	比率
原油処理量			173,526	100%	146,675	100%
生産量	揮発油		48,960	28%	32,143	22%
	ナフサ		17,146	10%	23,306	16%
	灯油	JET	15,619		11,913	
		灯油	13,240		12,178	
		小計	28,858	17%	24,091	16%
	軽油	軽油	41,190		42,844	
		A重油	11,313		5,484	
		小計	52,503	30%	48,328	33%
	C重油		14,183	8%	10,393	7%
	燃料油計		161,651	93%	138,261	94%
	LPG、副製品		13,173	8%	14,602	10%
	自家燃、損耗、転送等		▲1,297	▲1%	▲6,188	▲4%
	総計		173,526	100%	146,675	100%
稼働率		TOP	94%（330日）	85%（365日）	85%（330日）	77%（365日）
		FCC	89%（330日）	81%（365日）	69%（330日）	62%（365日）
		COKER	84%（310日）	71%（365日）	100%（310日）	85%（365日）
		REF	88%（330日）	79%（365日）	73%（330日）	66%（365日）

（３）　2025 年度全国石精 LP モデル試算による製品混合内訳の分析

図表 6.3.26 に、全国石精 LP モデルの要生産量相応ケースによる 2025 年度の軽油、A 重油、C 重油の混合内訳と LCO と CLO 留分の行先をまとめる。

①軽油深度脱硫装置への LCO 混合フィードの比率向上

LCO の軽油深度脱硫装置へのフィード比率の向上は、LCO 余剰解消及び高付加価値化に向けた最重要課題である。従前は、全国平均で 5%が上限であったが、毎年改善されており、比較的堅調な軽油需要に鑑みて今後比率上昇する必要性も高いことから昨年度から 15%上限で設定し、軽油増産化に則した傾向となっている。

②軽油、LSA－03、LSC－05、MSC－20、HSC-35 混合内訳

軽油：軽油の全生産量 40,658 千 KL の内、脱硫灯油（DK）の混合比率は、15%、脱硫軽油は 75%である。先に示したとおり、脱硫軽油には軽油深度脱硫装置のフィードに LCO の 4,352 千 Kl、が改善投入されているので、製品軽油対比では、約 10%の LCO が混合され、付加価値アップになっている。

LSA－03（硫黄分 0.3wt%）：全生産量 6,213 千 KL の内、製品品質規格を満足するために脱硫軽油（DGO）が 49%、LCO が 45%混合されている。IMO 対応のマリンディーゼル用途への LCO の新規用途が期待される。

図表 6.3.26　軽油、A 重油、C 重油混合内訳及び LCO と CLO 留分の行先

全国モデル　　軽油、A重油、C重油　混合内訳

製油所タイプ	B	C	D	合計
軽油　ブレンド				
製品	10,360	18,721	11,577	40,658
DK	1,554	3,183	1,444	6,181
HC_K	0	0	331	331
DGO	8,436	14,258	7,916	30,610
HC_LGO	370	1,280	1,887	3,537
LSA-03　ブレンド				
製品	541	2,438	3,235	6,213
K	27	122	162	311
DK	0	0	0	0
DGO	266	1,201	1,591	3,058
DSLGO	0	0	0	0
HC_LGO	0	0	0	0
LCO	245	1,103	1,468	2,816
Lt AR	3	12	14	28

製油所タイプ	B	C	D	合計
LSC-05 ブレンド				
製品	5,462	5,566	3,435	14,464
DSLGO	0	521	0	521
LCO	0	0	537	537
LS HP	23	673	16	711
DSAR	5,096	2,625	1,998	9,719
CLO	344	1,748	884	2,975
LGO	0	0	0	0
MSC-20　フレンド				
製品	0	0	0	0
LGO	0	0	0	0
DSLGO	0	0	0	0
LCO	0	0	0	0
Lt AR	0	0	0	0
LS HP	0	0	0	0
DSAR	0	0	0	0
CLO	0	0	0	0
Lt VR	0	0	0	0
ML VR	0	0	0	0
Md VR	0	0	0	0
HSC-35　ブレンド				
製品	0	1	33	34
LGO	0	0	0	0
LCO	0	0	5	5
Lt AR	0	0	0	0
Hy AR	0	1	26	27
DSAR	0	0	0	0
CLO	0	0	0	0
Lt VR	0	0	0	0
ML VR	0	0	0	0
Md VR	0	0	0	0
Hy VR	0	0	0	0
LS HP	0	0	3	3

LCOとCLOの留分の行先

千KL

製油所タイプ	B	C	D	合計
FCC稼働				
FCC	5,591	0	14,040	19,631
RFCC	0	16,948	0	16,948
合計	5,591	16,948	14,040	36,579
軽油深脱稼働				
DDS能力	270	315	349	933
DDS能力最大稼働(90%)	14,151	16,502	18,312	48,965
DDS通油量	7,287	12,636	9,090	29,013
DDS LCO比率	15.0%	15.0%	15.0%	15.0%
LCO⇒軽油深脱				
LCO⇒軽油深脱	1,093	1,895	1,364	4,352
製品生産量				
軽油	10,360	18,721	11,577	40,658
LSA	541	2,438	3,235	6,213
HSA	0	0	0	0
LSC	5,462	5,566	3,435	14,464
MSC	0	0	0	0
HSC	0	1	33	34
LCO使用先				
軽油深脱	1,093	1,895	1,364	4,352
LSA	245	1,103	1,468	2,816
HSA	0	0	0	0
LSC	0	0	537	537
MSC	0	0	0	0
HSC	0	0	5	5
合計	1,338	2,999	3,374	7,711
CLO使用先				
LSC	344	1,748	884	2,975
MSC	0	0	0	0
HSC	0	0	0	0
合計	344	1,748	884	2,976

LSC－05（硫黄分 0.5wt%）：全生産量 14,464 千 KL の内、CLO(硫黄分 1.05 wt%)が、21%混合されている。ただし、硫黄分調整のために、LCO（硫黄分 0.3 wt%）が 4%、DSAR（脱硫重油硫黄分 0.3 wt%）が 67%混合されているが、CLO、LCO ともに軽油相当の低粘度で

あるから、製品 LSC－05 の粘度はきわめて低くなる。
なお、今回の全国石精製 LP モデルの CLO 硫黄分は、FCC＋RFCC の CLO の平均値である。近年は、FCC、RFCC ともに CLO の硫黄分は、低下傾向である。今後の C 重油混合の精度を向上するために、FCC の CLO(硫黄分約 0.3 wt%)、RFCC の CLO（硫黄分約 1.5 wt%）を基材別に混合するモデル改良が必要である。

③LCO、CLO の行先と石精 LP モデルの混合精度アップの必要
要生産量相応ケースの全国石精 LP モデル（B、C、D タイプ）では分解軽油（LCO）が A 重油、C 重油に高い割合でブレンドできている。LCO の全生産量は、7,711 千 KL で、行先は軽油 4,352 千 KL（56.4%）、LSA 2,816 千 KL（36.5%）、LSC 537 千 KL（7.0%）、MSC 0 千 KL、HSC 5 千 KL（0.1%）である。CLO の全生産量は、2,976 千 KL で、全量 LSC に消費されている。
混合内訳で、一部述べたとおり、LP モデルでは、硫黄分、粘度、セタン指数を連立式化している。しかし、実際は、LSA、LSC の製品品質に適合するための混合基材の CLO 中の灰分（FCC＋RFCC 触媒触媒混入）などの他の実用品質を詳細に検討する必要があるので、今回の試算結果は、傾向参考値として取扱う。

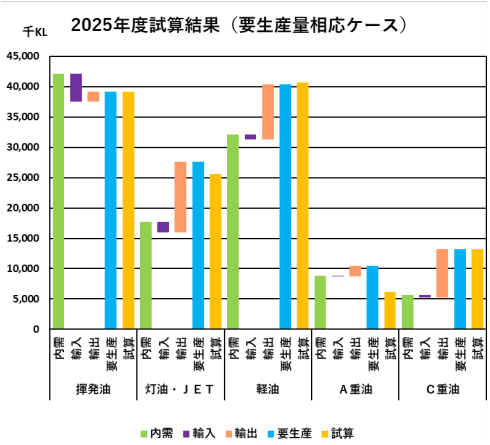
（4） 2025 年度の各石油製品別の需給バランスの考察
2025 年度全国石精製 LP モデルの試算で、全く同じ前提条件の下、「要生産量相応ケース」と「ガソリン急減ケース」による全国の石油製品需給バランスの試算結果を図表 6.3.27 にまとめ、比較分析する。

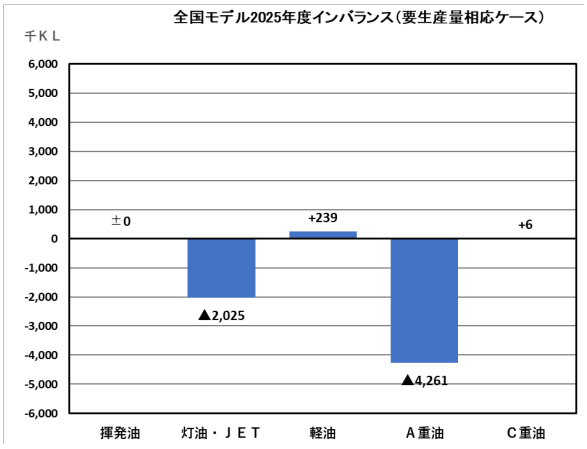
①2025 年度の石精全国 LP モデル需給試算結果

図表 6.3.27　2025 年度試算結果のまとめ　全国石油製品合計（B＋C＋D）の需給バランス

2025 年度の試算結果（要生産量相応ケース）

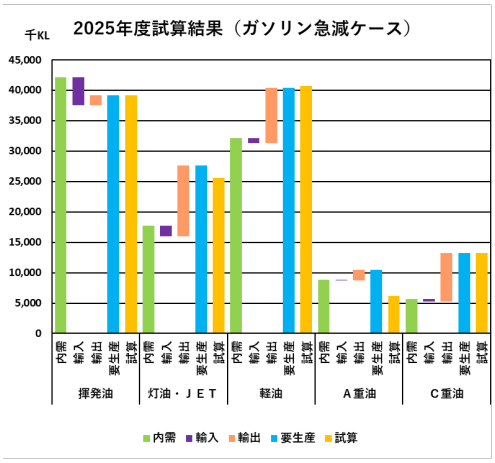
			2019年度実績	2025年度要生産					2025年度試算結果	増減（インバランス）	総輸出量
				内需	輸入	輸出	要生産	実績対比			
原油処理	量	千KL	173,526						154,232	▲ 19,294	
製品生産量	揮発油	千KL	48,960	42,104	4,570	1,649	39,183	▲ 9,778	39,183	±0	1,649
	ナフサ	千KL	17,146	39,231	26,416	3	12,818	▲ 4,328	21,227	＋8,409	8,412
	JET、灯油	千KL	28,858	17,758	1,770	11,604	27,592	▲ 1,267	25,567	▲ 2,025	9,579
	軽油	千KL	41,190	32,114	797	9,102	40,419	▲ 771	40,658	＋239	9,341
	A重油	千KL	11,313	8,821	123	1,776	10,474	▲ 839	6,213	▲ 4,261	▲ 2,485
	B･C重油	千KL	14,183	5,665	457	7,984	13,192	▲ 991	13,198	＋6	7,990
	燃料油計	千KL	161,651	145,693	34,134	32,118	143,677	▲ 17,974	146,046	＋2,369	34,487

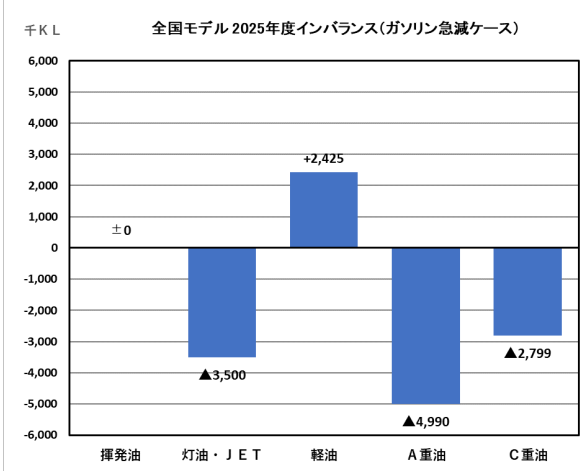




2025 年度の試算結果（ガソリン急減ケース）

			2019年度実績	2025年度要生産					2025年度試算結果	増減（インバランス）	総輸出量
				内需	輸入	輸出	要生産	実績対比			
原油処理	量	千KL	173,526						146,675	▲ 26,851	
製品生産量	揮発油	千KL	48,960	35,064	4,570	1,649	32,143	▲ 16,818	32,143	±0	1,649
	ナフサ	千KL	17,146	39,231	26,416	3	12,818	▲ 4,328	23,306	＋10,488	10,491
	JET、灯油	千KL	28,858	17,758	1,770	11,604	27,592	▲ 1,267	24,091	▲ 3,500	8,104
	軽油	千KL	41,190	32,114	797	9,102	40,419	▲ 771	42,844	＋2,425	11,527
	A重油	千KL	11,313	8,821	123	1,776	10,474	▲ 839	5,484	▲ 4,990	▲ 3,214
	B･C重油	千KL	14,183	5,665	457	7,984	13,192	▲ 991	10,393	▲ 2,799	5,185
	燃料油計	千KL	161,651	138,653	34,134	32,118	136,637	▲ 25,014	138,261	＋1,624	33,742





②要生産量相応ケースとガソリン急減ケース（2030 年 13 年比 46%GHG 排出削減）の試算結果の差異と最大輸出量の想定及び対応策検討

図表 6.3.28 に、要生産量相応ケースとガソリン急減ケース 2025 年度需給インバランスを一覧表にまとめる。

図表 6.3.28　要生産量相応ケースとガソリン急減ケースによるインバランス

	①要生産量相応ケース			②ガソリン急減ケース			①－②
輸出量（千KL）	2019年度輸出実績	2025年度LP試算追加	計	2019年度輸出実績	2025年度LP試算追加	計	計
揮発油	3,117	▲1,468	1,649	3,117	▲1,468	1,649	0
JET、灯油	11,604	▲2,025	9,579	11,604	▲3,500	8,104	1,475
軽油	9,102	239	9,341	9,102	2,425	11,527	▲2,186
A重油	1,776	▲4,261	▲2,485	1,776	▲4,990	▲3,214	729
B・C重油	7,984	6	7,990	7,984	▲2,799	5,185	2,805
合計（千KL）	33,583	▲7,508	26,075	33,583	▲10,333	23,250	2,824
〃（千BD）	687	−154	533	687	−211	476	＋58
TOP公称能力換算輸出比率	19.5%	−4.4%	15.2%	19.5%	−6.0%	13.5%	＋1.6%

（注1）TOP能力換算（千BD）＝輸出量合計（千KL）/365日/0.159/90.4%（最大稼働率）/92.5%（燃料油得率）

（注2）TOP公称能力：2019年度末の公称能力　3,519千BD

③要生産量相応ケースの 2025 年度試算結果の解析要旨

・2025 年度 TOP 能力（3,284 千 BPSP）に対する余力：344 千 BD

2020 年 4 月の TOP 能力から ENEOS 根岸製油所の一部 TOP を停止した後の、全国 TOP 能力は 3,284 千 BD である。一方、2025 年度の TOP 適正稼働量は 2,940 千 BD（154,232 千 KL/365×6.29/0.904）であるから、344 千 BD（3,284－2,940）の余力が発生する。1 製油所の平均が 150 千 BD であるから、2 か所程度の原油処理機能停止に相当する。

・2019 年度実績と比較して、TOP 能力 154 千 BD 相当の輸出が減少する。

生産減少量は、7,508 千 KL（TOP 能力 154 千 BD に相当）で、2019 年度の輸出実績 33,583 千 KL（TOP 能力 687 千 BD に相当）と合せると、総輸出量は 26,075 千 KL（TOP 能力 533 千 BD 相当）の輸出となる。

・石油需要減の加速、脱炭素化ソリューション導入のミックスシステム検討

温暖化ガス削減目標の上積みが表明された場合は、石油製品の需要減から原油処理量の減速も免れず、製油所の能力削減、休止・転換が不可欠な状況が必至となっていることを示している。石油留分の石化シフト、軽油留分の増産（LCO への軽油深度脱硫装置へのフィード最大化など）の対応策を講じながら、サバイバルと、脱炭素化ソリューションの導入による脱原油処理を伴うミックスシステムを模索していく必要が迫られている。

・全国 TOP 軽油最大運転モード
軽油不足インバランス是正のために、TOP の HN～KERO のスウィングを中間留分最大カットとする。本モデルでは、揮発油価格が軽油よりも若干高いので、極解（スーパーソリューション）の傾向が出ている。したがって、輸出のし易さを考慮すると、最大限、KERO（灯油中間留分）カットに振り替えることで、揮発油と中間留分の輸出量がバランスしやすくなる。

・LCO の軽油深度脱硫装置チャージの増加
従来に比べ、軽油深度脱硫触媒の開発などで、LCO の混合チャージ率は著しく向上しているが、地域でばらつきがあるので、全国的な混合率向上の余地がある。

・揮発油留分の石化シフト
固定床 REF が多いので、コンビナート内で極力 CCR の稼働率を上げる。そして、C8 留分を最大限抽出する他、C7,C9 留分の不均化を促進する余地もある。従前に比し、かなり回収率は上がっているが、全国的には、C8 回収の余地はある。

④ガソリン急減（13 年比 GHG46%削減）ケースによる 2025 年度試算結果の解析要旨
・2025 年度 TOP 能力（3,284 千 BPSD）に対する余力：488 千 BD
2025 年度揮発油要生産量が上限制約になって、原油処理量は更に減少することになる。2025 年度の TOP 適正稼働量は 2,796 千 BD(146,675 千 KL/365×6.29/0.904)であるから、488 千 BD（3,284－2,796）の余力が発生する。1 製油所の平均が 150 千 BD であるから、3 か所ほどの原油処理機能停止に相当する。

・2019 年度実績と比較して、TOP 能力 155 千 BD 相当の輸出が減少する。
要生産量相応ケースに比べて、ガソリン急減ケースでは、2025 年度の全国原油処理量は 7,557 千 KL（146,675－154,232 千 KL；ナフサ生産を含む TOP 能力換算 155 千 BD）低い。およそ、2019 年度からの 2025 年度までの内需減少量に相当する。したがって、ナフサを除くと、2025 年度は、TOP 能力換算では 211 千 BD 程度輸出減で 532 千 BD（687－211）となり、TOP 能力との比較では、16%（(687＋155）/2940）と輸出比は更に少なくなる。

・原油処理量減により A 重油＋C 重油生産抑制
ガソリン急減ケースでは、原油処理量が低いので、要生産量相応ケースよりも重油生産量が A 重油で 729 千 KL、C 重油で 2,805 千 KL 少ない。
C 重油の生産量は、ガソリン急減ケースで 2025 年度の要生産量に対し 2,799 千 KL の不足するインバランスになっている。昨年以降 LCO 深脱による軽油混合向上（最大 15%）を試算に加えたことから軽油生産増加の影響も加わっている。

・揮発油の生産量低下、揮発油留分の石化シフト対応加速
日本の石油精製は、米国と同じく、揮発油生産型構造であるから、揮発油のみが極端に減少すると原油処理まで低下することになるから中間留分も連動して大幅に減産することになる。原油を軽質化することも可能であるが、原油コストが上昇することと、重油分解

型の意味をなさなくなる。したがって、現状の原油種 API を維持しようとすれば、水素化分解装置能力が乏しいので、中間留分の生産減、輸出減という好ましくない試算結果となる。

ただし、今回の試算では、揮発油価格が軽油より若干高めに設定しているので、HN～KERO スウィングが HN 最大となっているので改善は可能である。揮発油よりも軽油の方が輸出し易いことを鑑みると、2025 年度は軽油価格の方が高いと想定すると、HN～KERO スウィングは揮発油から中間留分側への生産振替も可能である。

・揮発油留分の石化シフト

揮発油留分を付加価値の高い BTX 生産へ「石化シフト」することの並行の対策を備えておく必要がある。

⑤ナフサ留分のインバランス対応

・要生産量相応ケース

原油処理量は減少するものの揮発油生産量に規定されるため、ナフサ留分については余剰バランスとなり＋8,409 千 KL の生産増となった。もともと、26,416 千 KL のナフサを輸入しているので、輸入量減で対応すると想定される。

・ガソリン急減ケース

2025 年度のナフサの要生産量に対し＋10,488 千 KL 増となる。もともと、輸入依存なので、輸入量減で対応すると想定される。

⑥中間留分（JET＋灯油＋軽油）バランスと高度化法 3 次告示への対応、IMO 規制の影響

・要生産量相応ケース

原油処理量は減少しているものの LCO の深脱混合比率向上効果により軽油増産が＋239 千 KL あり、2025 年度の JET＋灯油＋軽油の総輸出量は、9,579 千 KL（JET＋灯油）＋9,341 千 KL（軽油）の 18,920 千 KL となる。

・ガソリン急減ケース

JET＋灯油＋軽油留分は、要生産量に対して、1,075 千 KL の不足であり、A 重油にも軽油留分が混合されているので、中間留分（JET＋灯油＋軽油＋A 重油）総計としては 6,065 千 KL 不足となる。

⑦A 重油生産減少ランスと軽油深度脱硫設備による LCO の軽油化比率アップ

ガソリン急減ケースでは、原油処理量が大幅に減少、揮発油生産量を固定にしているので、2025 年度の A 重油要生産量に対して、4,990 千 KL の生産減となる。

要生産量相応ケースでは、LCO の軽油混合増による影響などにより、239 千 KL の生産増となった。日本の精製設備フローが、プレトリーティング（前処理）で、FCC、RFCC にフィードされる原料が海外に比べて、非常に硫黄分が低く、IMO 規制対応に有利である。したがって、分解留分の製品硫黄分も低い。2020 年以降の IMO 船舶燃料硫黄分規制強化の環境下では、輸出競争力は高いと考えられる。ただし、極めて低粘度の品質である。また、

一部は CLO 中の廃触媒分離が必要な場合がある。

⑧C 重油インバランス、IMO 規制強化、高度化法 3 次告示への対応

C 重油も、A 重油と同様に、一般向けの内需は減退が加速している。特に石油火力発電所向けの需要は、設備の老朽化などにより減少が目立っている。ただし、災害時などの最後の砦として必要最小限の存続を期待されていることから一定数量は維持されることになる。

要生産量相応ケースでは、原油の処理量を 2019 年度実績に維持したこと及び LCO の軽油混合向上設定による増産の影響で 2025 年度の C 重油の要生産量に対しほとんどバランスとなった。

ガソリン急減ケースでは、原油処理量の減少で、C 重油の要生産量に対し、2,799 千 KL の生産不足となった。

⑨VR 留分の分解

潤滑油を生産する過程で VR 留分は副産物として、留出せざるを得ない。また、日本では、原油処理量の減少下、AR は、VAC で VGO をほとんど搾取っているので、余剰重質油は、VR と考えてよい。したがって、VR 留分の高分解（高度化法 3 次告示）への対応は進めておかなければならない。

6．3．6　2025 年度全国石化バランスモデルによる試算結果

（1）　石化製品の需要想定の前提と要生産量の設定

輸出競争力の有無や輸出の必要性などに応じた要生産量設定の前提を図表 6.3.29 に示す。

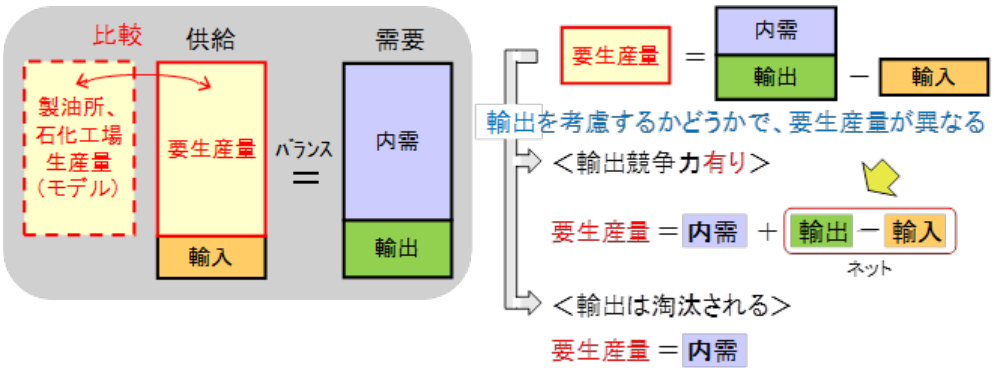
・内需

石化製品の内需は、METI 素材産業課及び芳香族工業会報告に基づき想定した。また、重化学工業通信社のデータなども考慮し、基準となるデータの正当性を確認した。

・輸出入

METI 素材産業課報告及び芳香族工業会報告に基づき想定した。また、貿易統計データなども考慮し、より詳細な想定を実施した。

図表 6.3.29　輸出の考慮の有無で異なる要生産量



・石化製品の要生産量設定

次に、2025 年試算のために、各石化製品の要生産量を需要想定から算出した結果について図表 6.3.30 にまとめる。

日本芳香族工業会は長期需給動向を従来どおり示したものの、METI 素材産業課「世界の石油化学製品の今後の需給動向」は本年も発表されなかった。そこで、エチレン、プロピレンにおいては関係情報を元に RING 独自で想定した。総合的にコロナ禍以前の水準(2017～2019 の 3 年平均並み）に回復していく想定として予測した。

以下に、各石油化学製品の需要想定を示す（図表 6.3.31、図表 6.3.32 参照)。

図表 6.3.30　石油化学製品要生産量の想定結果

石化製品	'19年実績（千ﾄﾝ）	'20年度試算用 '24年想定（千ﾄﾝ）	'21年度試算用 '25年想定（千ﾄﾝ）	誘導品内需	誘導品輸出	モノマー輸出	備考
エチレン	6,418	6,034	6,142	4,729	858	555	コロナ禍以前の水準(2017-19の実績平均)まで回復して横ばい傾向で推移するとして策定
プロピレン	5,504	5,342	5,469	4,689	(66)	713	コロナ禍以前の水準(2017-19の実績平均)まで回復して横ばい傾向で推移するとして策定
ベンゼン	3,855	3,801	3,737	3,117		620	芳香族工業会データの想定に基づく
キシレン	6,640	6,740	6,640	4,840		1,800	芳香族工業会データの想定に基づく

・エチレン

中国のエチレン不足は引続き拡大すると予測される。アジア全体ではエチレン不足はやや縮小するものの、需給タイトの継続が見込まれる。シェール関連プラントの新増設計画が進み 2017 年時点で北中南米の生産能力が世界全体の 25%を占めることになる。

一方、中国も新設計画があり能力拡大が継続する見込みである。また、中東における供給超過幅は拡大を続け、アジアと欧州の需要増加分を上回ると見込まれている。

これらの影響で輸出環境としてはやや厳しさが増してくる状況は、コロナ禍終息後も継続するものの、日本におけるエチレン系誘導品需要は当面は横ばいに近いコロナ禍以前の平均レベルで推移すると想定した。

・プロピレン

プロピレン系誘導品の需要は、エチレンと同様に世界の経済成長に応じて、アジアが需要の伸びを牽引し、こちらも中国のシェアが拡大する見込みである。

日本における需要はエチレン同様、コロナ禍以前の平均水準程度に落着くと推定した。

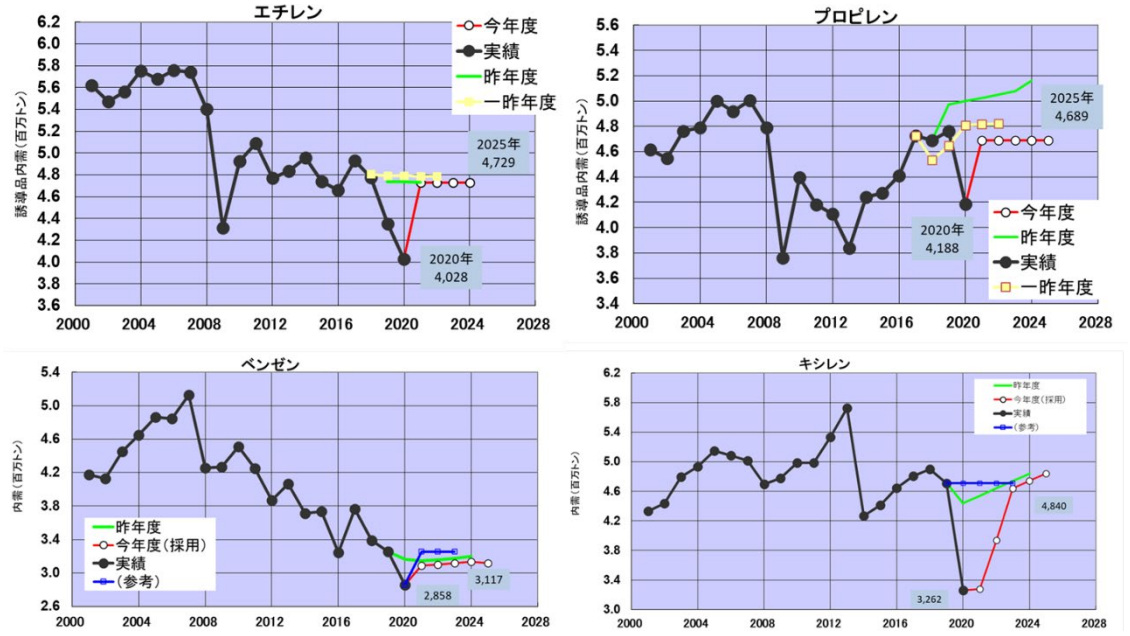
・ベンゼン

国内生産能力の調整は完了しており、誘導品輸出も大幅に低下している。正味の国内需要は安定しているため、2025 年までの想定もやはりコロナ禍直前の水準程度に戻る見込み

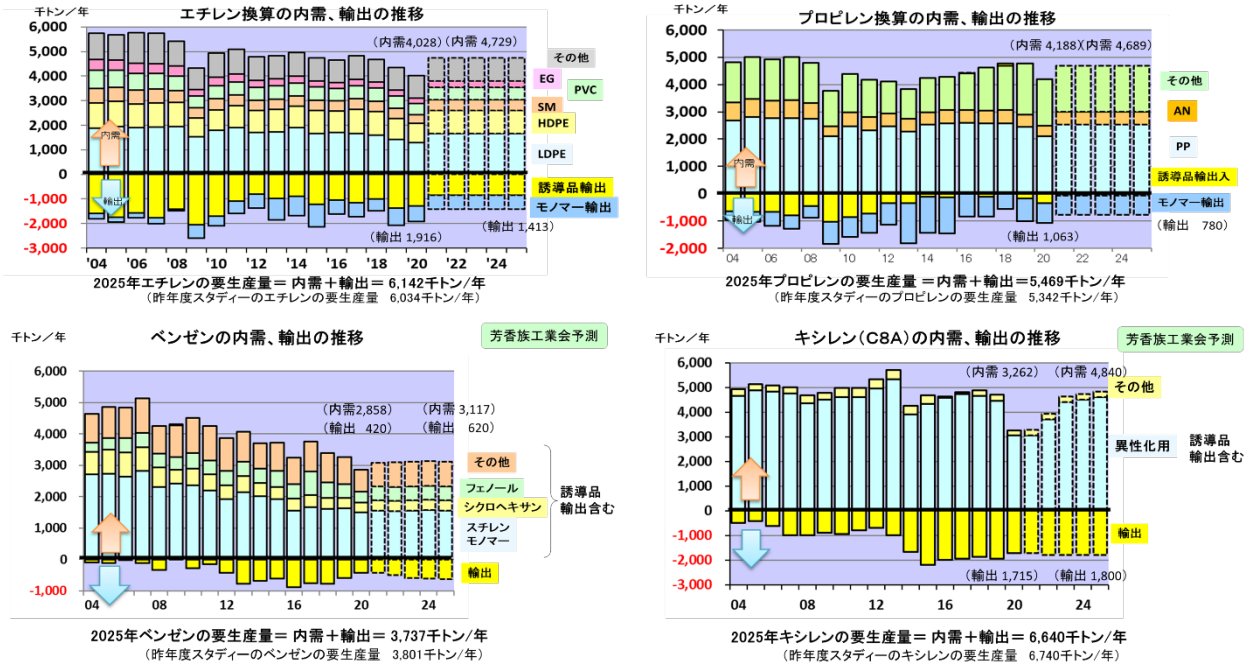
となっている。
世界的に需要は、中国を中心に増加が見込まれるが、シェール開発影響により、原料軽質化が進むと想定され、北米での需要超過傾向が強くなると見込まれる。

・キシレン
世界の PTA 生産量、需要はその半分以上を中国が占め、年々その割合を拡大させている。その原料であるパラキシレンは中国での需要が強く、生産能力の増加が相対的に乏しく、需給タイトの状態は 2025 年も継続する見込みであり、やはりコロナ終息後は以前の水準に戻る想定である。ミックスキシレンの韓国への輸出も、その先は中国のパラキシレンに関連しており、中国のパラキシレンの需要次第である。

図表 6.3.31　石油化学主要製品の内需実績と推移



図表 6.3.32　主要化学製品換算の内需、輸出量の推移



（2）　石化製品の試算方法

近年の石化製品においては、石精での生産量が増えてきており、その影響は大きい。

石化バランスモデルでは、エチレンセンターを中心とした石化生産量しか把握できないので、モデルのチューニングにおいては、石精 LP モデルも調整を実施し、石精側と石化側の合計生産量が実績に合うまで試行錯誤の演算を繰返した。

石精（R）FCC から生産されるプロピレンは、石精側としては副生産物であり、（R）FCC の稼働により、生産量が変動する。石油製品の需要減少動向から今後は石化シフト化する傾向が認められるため、石精からのプロピレンは供給側に働く要素が高いと推定される。

このことから、石化モデルの生産ターゲットはエチレン優先として試算を実施した。

（3）　2025 年度各石化製品試算結果

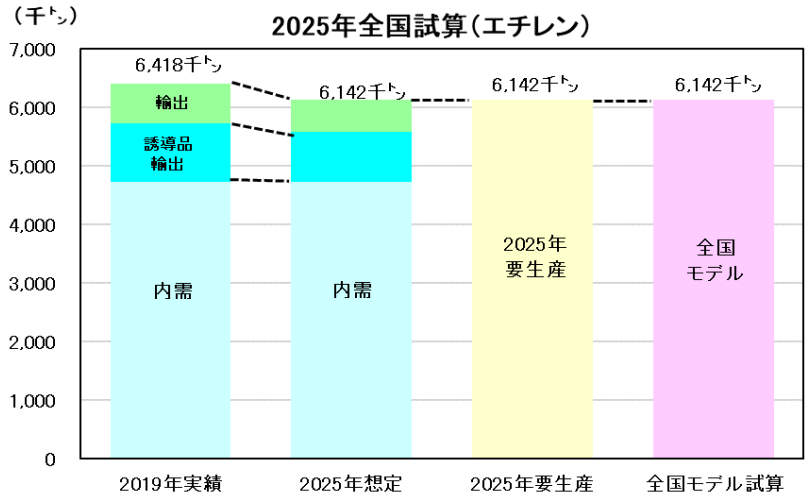
2025 年度想定の全国石化製品バランス試算結果を述べる。

・エチレン

一昨年度までは、エチレンは中東などからの安価な輸出品の影響で、輸出、誘導品輸出とも厳しくなる想定としていたが、昨今の好調なエチレン需要を踏まえ、輸出、誘導品輸出を含めて要生産を設定した。そのため、2025 年要生産は 2019 年実績 6,418 千トンに対し、内需、輸出の減少を考慮した 6,142 千トンとなっている。

石化モデルは、このエチレン要生産量を主ターゲットとして試算した。試算結果を図表 6.3.33 に示す。

図表 6.3.33　全国石化バランスモデルによるエチレンの 2025 年度試算

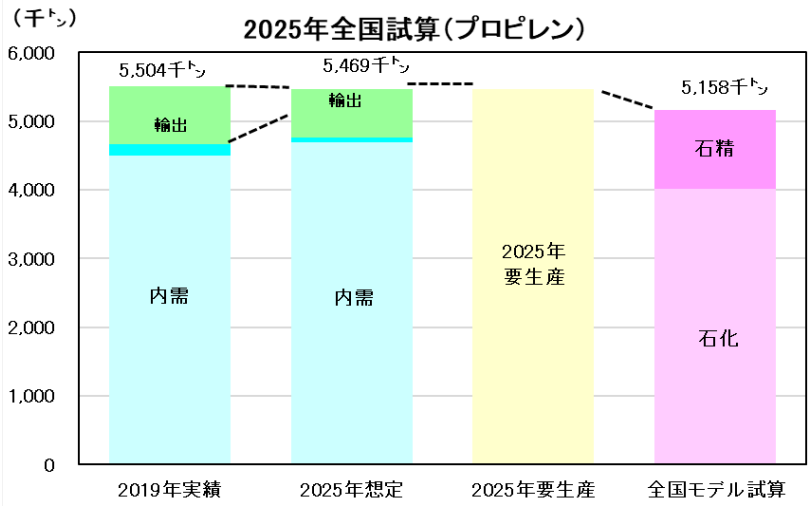


・プロピレン

プロピレンは、中国、サウジアラビア、アセアンで生産能力の増加が続き、供給過剰の状況が見込まれる。日本からのモノマー輸出は減少するものの維持される見込みであるが、誘導品輸出はもともと少ないことから、様々な要素により振れる可能性もある。

試算ではエチレン要生産量減の影響により、石精サイドからのプロピレン生産は一定の量はあるものの、2025 年は要生産量 5,469 千トンに対し 311 千トン不足する結果となった。試算結果を図表 6.3.34 に示す。

図表 6.3.34　全国石化バランスモデルによるプロピレンの 2025 年度試算



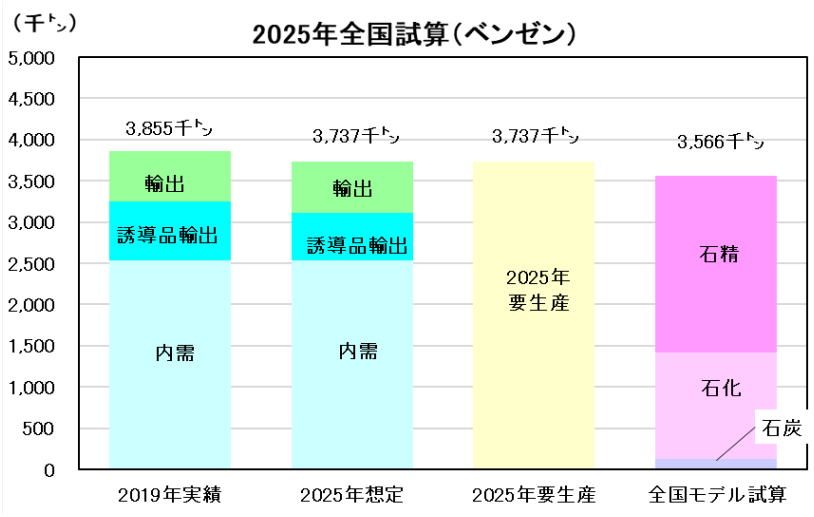
・ベンゼン

2025 年度の想定は、内需、輸出、誘導品輸出と全てコロナ禍以前の水準にほぼ戻る見込みとなっている。2019 年度の RING 試算での要生産の設定も輸出を含めて設定している。

試算では、石油精製サイドのベンゼン生産量への影響はガソリン生産量の減少程は大きくないが、それでも原油処理量などが減少することから、ベンゼン要生産量に対し、2025 年は年間 171 千トンと不足になった。

試算結果を図表 6.3.35 に示す。

図表 6.3.35　全国石化バランスモデルによるベンゼンの 2025 年度試算



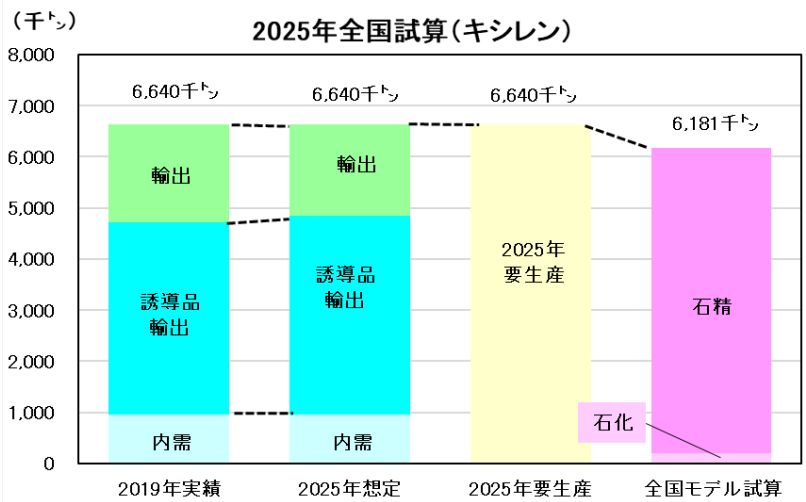
・キシレン

キシレンの 2025 年度想定も、ベンゼン同様、内需、輸出ともコロナ以前の水準に大体戻る見込みとなっている。

中国 PTA の原料としての PX（パラキシレン）需要は引続き堅調であり、中国の自給率向上を図る新設計画はあるものの、計画どおりに実行されるかどうか不確定要素も大きいので、注意が必要である。

キシレン回収や不均化装置の増強で生産能力を向上させる可能性はあるものの、原油処理量減少の影響を受け、キシレン要生産量の 6,640 千トンに対して、459 千トンの不足バランスとなる。試算結果を図表 6.3.36 に示す。

図表 6.3.36　全国石化バランスモデルによるキシレンの 2025 年度試算



・ブタジエン

ブタジエンもエチレンセンターからの生産のみであるが、エチレン生産量の減少が小さ

ければ、影響は小さく、2019 年実績の 888 千トンに対し、2025 年度試算は 848 千トンとなる。
しかし、クラッカーフィードをナフサからエタンにシフトすると大きく影響を受け、生産量は激減することになる。

（4） 2025 年度全国石化モデルによる石化製品試算結果のまとめ
2025 年需要想定（図表 6.3.37 参照）では主要石化製品の内需は、2019 年から若干減少する。国内の石化製品の需要構造が変化しておらず、新陳代謝がないことが一つの要因である。
一方で、石油需要減少により、原油処理量の減少と主に PL＋(R)FCC の稼働減から石精由来の石化製品（プロピレン、ベンゼン、キシレン）も減少する結果となった。ガソリン需要減速による前処理装置を含む関連二次設備の余力の活用、需給の歪による中間留分、化成品生産減の対応策を用意しておかなければならない。

・GHG 排出削減影響による需給のインバランスを石精石化連携で対処
今後、石油精製は、EV 普及などによるガソリン内需減及び、諸々の CO2 排出抑制の影響を受ける。特に、プロピレンはエチレン装置の稼働減だけでなく、ガソリン需要減による(R)FCC 稼働減の影響で、生産量の見通しが難しくなりつつある。
GHG 排出削減の影響を、石精石化連携によって解決していかなければならない。

・石油精製ベンゼン、パラキシレンの生産量減とその対応策
ガソリンの大幅な需要減少で、原油処理量の減少による HN 不足と PL の稼働が落ちることからベンゼン生産量の減少も大きく、不足バランスとなる。
一方、グローバルでは、米国の大規模エタンクラッカーの新増設によりベンゼンは減産傾向となるため、世界のベンゼン需給はタイト感が増すことが予想される。Aromax のようなベンゼンオンパーパス装置をフル稼働できる対策などのベンゼン増産改善が必要になってくる。
2025 年のパラキシレンの需要増加は、ほとんどが中国 PTA の原料需要によるものである。。中国国内での PTA 需要増によるキシレン需要は堅調で、超大型設備が稼働開始しても、需給タイトである。中国の経済動向などを注視しながら、国内のキシレン増産を見極める必要がある。今回の試算ではベンゼン同様に生産減で、輸出量は減少する。

図表 6.3.37　2025 年度想定　石油化学製品バランス試算結果

			2019年	2024年試算（@2020年度）			2025年試算			インバランス（対要生産量）
			実績	需要想定（公表値）	要生産量	モデル値	需要想定（公表値）	要生産量	モデル値	
エチレン生産量（千トン）		C	6,418	6,034	6,034	6,034	6,142	6,142	6,034	
分解原料（千トン）	国産ナフサ		6,719			7,276			9,217	
	輸入ナフサ		13,554			11,795			10,218	
	その他		821			772			785	
	合計		21,094			19,843			20,220	
製品生産量（千トン）	エチレン（要生産対比）	C	6,418	6,034	6,034	6,034	6,142	6,142	6,034	生産目標
	プロピレン（要生産対比）	C	5,504	5,342	5,342	3,905	5,469	5,469	4,005	311千ﾄﾝ不足
		R				1,299			1,153	
	ブタジエン	C	888			836			848	要生産データなし
	イソプレン	C				117			119	〃
	ベンゼン	C	3,855	3,801	3,801	1,392	3,737	3,737	1,421	171千ﾄﾝ不足
		R				2,375			2,145	
	キシレン	C	6,640	6,740	6,740	196	6,640	6,640	199	459千ﾄﾝ不足
		R				6,783			5,982	
運転（千トン）	C2リサイクル		ー			382			389	
	ﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ/ｴﾁﾚﾝ比		ー			0.647			0.652	OCT込

６．４ 地域別石油精製 LP 及び石油化学バランス統合モデルの構成と需給試算結果

国内各社は、各地域に分散する自社系列の地域生産拠点から連産する製品･半製品をバランスさせるために、自社生産拠点同士で相互授受を行う。

灯油のような季節商品を、冬場需要に備えて、夏場に各地域の生産拠点で備蓄することを除いて、日々、需給バランス調整のために、転送コストが費やされている。このような不必要なコストは、近隣地域内での連携融通ができないために発生する。

近年は、再編と石油元売り間の地域間バーターによって、従来に比べて、各社の転送コストはかなり低減されているが、輸出競争力を高めていくためには、半製品、製品の転送は最大限削減しなければならない。

一方、全国石精石化統合モデルは、日本全体の各タイプの製油所と石化工場が一箇所に立地し、タイプ別の製油所間の製品･半製品の転送も発生しないという「ムダの徹底排除」と留分のノーブルユースを目指した理想解である。

地域別需給試算では、全国を関東、中部、瀬戸内に 3 分割し、各地域間で過不足のための融通や転送を行わない条件で試算し、各地域の製品及び半製品の地域別インバランスをピックアップして、地域別の課題を抽出する。

６．４．１　2025 年度 3 地域別石精 LP 及び石化バランス統合モデル

（１） 3 地域別石精石化統合モデルの構築

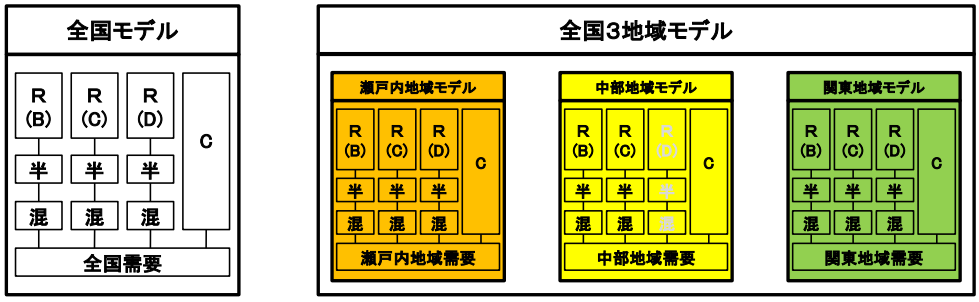
①地域別石精 LP モデルの構築

関東、中部、瀬戸内地域に立地する各社の製油所を B タイプ、C タイプ、D タイプ別に集約する。

図表 6.4.1 の概念図に示すとおり、関東地域モデルは B･C･D タイプの 3 製油所と 1 石油化学を統合したモデルであり、中部地域は B･C タイプの 2 製油所と 1 石油化学を、瀬戸内地域は B･C･D タイプの 3 製油所と 1 石油化学を統合したモデルである。

一方、全国モデルは、B･C･D タイプの 3 製油所と 1 石油化学を統合したモデルである。

図表 6.4.1　全国モデル及び地域別モデルの概念図



R(B)：B タイプ製油所、R(C)：C タイプ製油所（RFCC あり）、R(D)：D タイプ製油所（熱分解あり）、C：石油化学工場、半：半製品、混：混合

関東、中部、瀬戸内 3 地域は、各地区別に、B、C、D タイプの石精 LP モデルと石化バランスモデルを内包する。地域内での B、C、D タイプ製油所間の転送は可能としたうえで、地域需要を満たすように稼働を決定する。

前述のモデル構造に基づき、地域別に主要装置能力を図表 6.4.2 にまとめた。地域別石精 LP モデルの B･C･D タイプの製油所の構造と全国モデルの構造は同じである。
したがって、VAC、ナフサ･灯油脱硫装置、軽油深度脱硫装置、VGO 脱硫装置、重油直接脱硫装置他のプロセス能力も設備一覧に基づき、また各得率入力も全国モデルを転用した。
なお、製油所名のカッコは、現在、TOP を停止して、二次装置を稼働している製油所を示す。
2025 年度試算で削除した装置：根岸（ENEOS）120,000BD（CDU）、38,000BD（FCC）、20,000BD（REF）

図表 6.4.2　各地域別のタイプ別製油所の主要精製能力

2020 年度実績

（千BD）

地域	タイプ	製油所名	CDU	FCC	REF	COKER
関東	B	ENEOS鹿島、出光千葉、コスモ千葉	564	121	76	0
	C	ENEOS仙台、千葉、根岸、出光北海道	694	190	132	0
	D	ENEOS川崎、東亜京浜、富士袖ケ浦	448	176	98	60
	計		1,706	487	305	60
中部	B	ENEOS(知多)コスモ四日市	86	31	45	0
	C	出光愛知、昭和四日市	415	111	81	0
	計		501	142	126	0
瀬戸内	B	ENEOS堺、和歌山、西部山口、出光(徳山)	383	113	107	0
	C	ENEOS大分、太陽四国	274	60	67	0
	D	ENEOS水島、麻里布、コスモ堺	540	149	82	81
	計		1,197	322	255	81
合計			3,404	951	686	141

2025 年度試算

（千BD）

地域	タイプ	製油所名	CDU	FCC	REF	COKER
関東	B	ENEOS鹿島、出光千葉、コスモ千葉	564	121	76	0
	C	ENEOS仙台、千葉、根岸、出光北海道	574	152	112	0
	D	ENEOS川崎、東亜京浜、富士袖ケ浦	448	176	98	60
	計		1,586	449	285	60
中部	B	ENEOS(知多)コスモ四日市	86	31	45	0
	C	出光愛知、昭和四日市	415	111	81	0
	計		501	142	126	0
瀬戸内	B	ENEOS堺、和歌山、西部山口、出光(徳山)	383	113	107	0
	C	ENEOS大分、太陽四国	274	60	67	0
	D	ENEOS水島、麻里布、コスモ堺	540	149	82	81
	計		1,197	322	255	81
合計			3,284	913	666	141

②地域別石化バランスモデルの設計と作成

国内 8 ヵ所のエチレンセンターを 1 つのエチレンセンターと見なしてモデル化した全国モデルに対し、3 地域別石化モデルでは、国内を関東、中部、瀬戸内の 3 地域に分けた。
地域モデルのエチレン生産の 3 地域合計は、全国のエチレン生産量に相当する。
地域別石化バランスモデルは、石精モデルと異なり、製品ブレンドをともなわないので、LP 化せず、表計算ソフトのスプレッドシート上にエチレンセンターからの留分の流れを構築しており、ナフサなどの原料別に、エチレン、プロピレン、BTX などの製品の得率をセットして、原料別の得率に応じて各製品の生産量を計算している。
そのため、地域別石化バランスモデルの作成も、全国石化モデルに準じて確立した。

（2） 地域別石精モデルと地域別石化モデルの精度確認

①地域別石精モデルの同定と精度確認

地域別石精 LP モデルも、全国石精 LP モデルと同じく、2014 年度実績で同定した地域別 LP モデルを今回のモデルのベースとした。

②地域別石化バランスモデルの精度確認

地域別石化（エチレン、プロピレンなど）バランスの調整は、分解炉の各種ナフサ、ブタンなどの原料を変えることによって実施し、各装置の得率変更にはよらなかった。

チューニング（実績値によるモデルの同定）では、全国の製品の集計と地域の集計値が合致することをもって収束したとみなす。エチレン及びプロピレンは代表生産物であるため、全国及び各地域別にも生産量が公表されている。
一方、エチレンセンターの生産得率に最も影響を及ぼす各種ナフサ、ブタンなどの原料比率は、RING 調査によっておおむね、全国の比率と各地域の合計比率を合致させた。
エチレン、プロピレン、ブタジエン、イソプレン、ベンゼン、キシレン、CBO の得率は、各種ナフサ及びブタンなどの原料によって代表値を設定している。
そこで、最初に、エチレンとプロピレンの各地域の試算値と実績値を照合し、差分がなくなるように原料を入替えていった。エチレンとプロピレンが合ったところで、ブタジエン以下各製品の地域別集計値と全国値が合致するよう調整した。このような一巡の試算トライでは収束しないため、主に原料を調整しながら全ての製品が収束するように試算を繰返した。その結果、全国値と地域別の試算合計値を±3%以内に合せこむことができた。

③3 地域別石精 LP モデルと 3 地域別石化バランスモデルの統合

おおむね±3%の精度で確立した 3 地域別石精 LP モデル及び石化バランスモデルを統合して、2025 年度の 3 地域別試算を行うこととした。

（3） 3 地域別石精 LP モデルの前提条件

①石油製品の 3 地域別要生産量

・要生産量設定の考え方は、全国モデルと同様である。
要生産量＝内需想定－輸入量想定＋輸出量想定
・内需、輸入、輸出のそれぞれについて、下記のように 3 地域に按分した。

内需：2019 年度地域別石油製品別販売量比率×2025 年度全国石油製品別需要想定量
輸入：2019 年度地域別石油製品別輸入量比率×2025 年度全国石油製品別輸入想定量
輸出：2019 年度地域別石油製品別輸出量比率×2025 年度全国石油製品別輸出想定量

・ボンドジェット、バンカーC 重油の出荷量は、統計データがないため、下記のように 3 地域に按分した。
ボンドジェット：2019 年度地域別出入国者比率×2025 年度想定量
バンカーC 重油：2019 年度地域別港湾貨物輸出量比率×2025 年度想定量

・なお、それぞれの地域別比率を算出するため、下記の地域区分（図表 6.4.3 参照）にしたがい、都道府県別などのデータを 3 地域に集約し用いた。

図表 6.4.3　地域区分

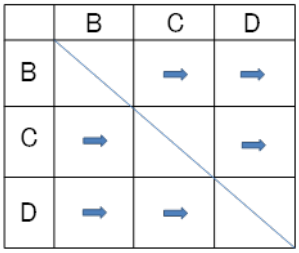
地域	都道府県
関東	北海道、青森、岩手、宮城、秋田、山形、福島、茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉、東京、神奈川、山梨、新潟、静岡 1/2
中部	長野、静岡 1/2、愛知、三重、岐阜、滋賀、奈良
瀬戸内	富山、石川、福井、京都、大阪、兵庫、和歌山、岡山、広島、山口、鳥取、島根、徳島、香川、愛媛、高知、福岡、佐賀、長崎、熊本、大分、宮崎、鹿児島、沖縄

②3 地域の B･C･D 各タイプ製油所にフィードする原油の種類
アドバンスト LP は、諸々の前提条件をセットしたうえで、数ある原油種から目的関数の利益最大又はコスト最小になるような最適原油の種類選択と量を決定する。
しかし、原油選択及び改善策を包括した最適化を行うと、現実と乖離した解（スーパーソリューション）になったことを確認しにくく、解の解析に多大な労力を費やす。
また、全ての改善策が包含されているため、一つ一つの改善策の効果が見えない。特に、原油を変更した場合は、詳細な効果の解析は更に困難になる。
そこで、2025 年度の試算に用いる原油の油種比率は、先ずは、2019 年度の地域別･タイプ別の実績油種比率と同じとした。2019 年度の原油処理油種比率の状態でインバランスなどを確認し、次回検討で、改善策の一つとして、原油種を変化させることとする。

③装置得率、混合基材の性状、ガソリン、軽油、A 重油、C 重油の品質規格値
全国石精 LP モデルの前提条件と同一である。

（4）　地域内 B･C･D タイプ製油所間の転送ルート
①基本的考え方
同一地域の B･C･D タイプ製油所間で、半製品の転送が可能であるとして、転送ルートを図表 6.4.4 のとおり設定した。払出しパスは B⇒C、B⇒D、C⇒B、C⇒D、D⇒B、D⇒C である。

図表 6.4.4　地域内タイプ別製油所間の半製品転送ルート



②2025 年地域別石精 LP モデルの地域製油所間転送

図表 6.4.5 に、今年度の試算に設定した地域内の製油所間転送量をまとめる。

地域別のモデルを解くうえで、タイプ別製油所間の半製品の転送量設定は、需給経験を最も必要とされる部分である。

図表 6.4.5　地域内の半製品相互転送量の設定

転送量　　＋：持ち込み、　－：持ち出し

		関東	関東	関東	中部	中部	中部	瀬戸内	瀬戸内	瀬戸内	関東	中部	瀬戸内	合計	合計	合計	総合計
		B	C	D	B	C	D	B	C	D	合計	合計	合計	B	C	D	
		関東B	関東C	関東D	中部B	中部C	中部D	瀬戸内B	瀬戸内C	瀬戸内D				全国B	全国C	全国D	
輸入	LN	76	0	133	427	200	0	2,105	267	0	209	627	2,372	2,608	467	133	3,208
輸入	HN	681	0	267	1,014	400	0	716	533	170	947	1,414	1,420	2,411	933	437	3,781
転送	DSVGO	210	-600	390	211	-211	0	656	0	-656	0	0	0	1,077	-811	-266	0
転送	HGO	-400	0	400	600	-600	0	-280	0	280	0	0	0	-80	-600	680	0
転送	LCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
転送	HN	0	0	0	0	0	0	-310	740	-430	0	0	0	-310	740	-430	0
輸入	DK		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
転送	AR	-200	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-200	0	200	0
転送	DGO	200	900	-1,100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	900	-1,100	0
転送	DSAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
転送	VR				-400			-640		1,040	0	-400	400	-1,040	0	1,040	0

③2025 年度地域別石精 LP モデルの試算方法

要生産量相当の原油処理（要生産量相応ケース）

ほぼ従来の方法で、揮発油の要生産量を設定し、燃料油要生産量合計量に見合う原油処理量で試算する。

C、D タイプはフル稼働、B タイプでバランスとした。揮発油生産は、ほとんどの二次精製装置に関わるために、従来法では揮発油の生産量設定が上限となって、TOP 稼働量も制約を受けるため、今回はそれを緩和する目的で燃料油要生産量合計量見合いの原油処理量を先に、逆算して競ってした。

④設備の適正稼働率、及び装置余力の単位前提は下記のとおりとする。

COKER、RDS の年間適正稼働日数：310 日とした。365 日ベースでは、85%となる。

COKER、RDS を除く全ての装置の年間適正稼働日数：330 日とした。365 日ベースでは、90%となる。

・330 日ベースの稼働率：実稼働量（BBL）を公称能力（BD）×330 日で除した値

・装置能力余力：公称能力（BD）×（１－330 日ベースの稼働率）

６．４．２　2025 年度関東地域石精 LP モデルによる試算結果、輸出量と考察

2025 年度地域別石精モデルによる関東地域の試算結果と解析を以下に述べる。

全国モデルと同様に、要生産量相当の原油処理（要生産量相応ケース）として、揮発油要生産量を設定して、燃料油要生産量合計量に見合う原油処理量で試算した。
2025 年度の試算結果考察では、輸出量などの違いと今後の対応を検討した。

（１） 関東地域の B、C、D タイプ製油所の主要装置稼働率

①B、C、D 各タイプ製油所における主要装置の稼働量、稼働率を、図表 6.4.6 にまとめる。

②要生産量相応ケースによる主要装置稼働率

今年度の試算では、C タイプ、D タイプはフル稼働としたが、C タイプの能力減少（根岸 120 千 BD 減）の影響の結果、B タイプの TOP 稼働もフル稼働となった。

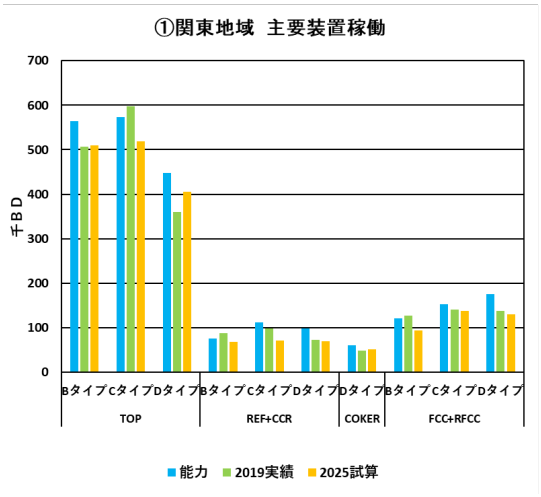
B タイプ製油所の FCC は 78%、REF はフル稼働となった。B タイプにキシレン抽出が偏っていることによると思われる。

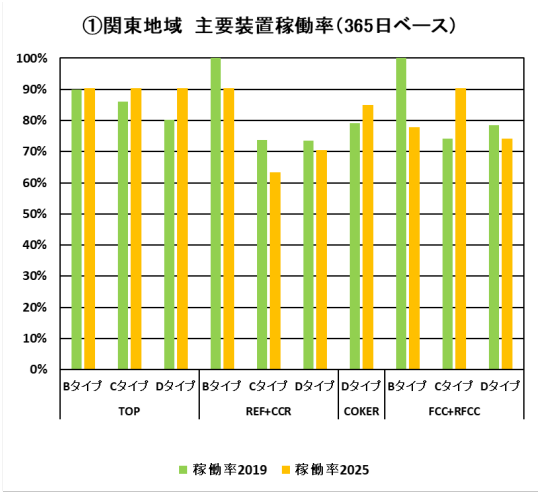
関東地域は、唯一、不均化装置が一基もないことで、アロマ留分のキシレン、ベンゼン転換のルートが小さいので、REF の稼働率が低い。また、低効率の旧式固定床 REF が多い。

図表 6.4.6　2025 年度の関東地地域石精 LP モデルの試算結果
関東地域　B,C,D タイプ製油所の主要装置稼働率

（千BD）

	TOP			REF			COKER	FCC		
	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ	Dタイプ	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ
能力	564	574	448	76	112	98	60	121	152	176
2025試算	510	519	405	68	71	69	51	94	137	130
稼働率(365日)	90%	90%	90%	90%	63%	70%	85%	78%	90%	74%





（２） 関東地域の各タイプ別製油所の石油製品生産量と主要装置稼働率

①関東地域 B、C タイプ製油所の製品生産量と装置稼働率

B、C タイプ製油所の各製品の生産量と各装置の稼働率を、図表 6.4.7 に示す。

図表 6.4.7　2025 年度の試算結果　B、C タイプ製油所の生産量と主要装置稼働率

関東地域 B タイプ試算結果

			2019年度実績		2025年度試算結果	
			生産量（千KL）	比率	生産量（千KL）	比率
原油処理量			29,433	100%	29,598	100%
生産量	揮発油		6,571	22%	4,401	15%
	ナフサ		3,910	13%	4,948	17%
	灯油	JET	3,548		1,499	
		灯油	2,124		3,698	
		小計	5,672	19%	5,197	18%
	軽油	軽油	6,609		8,121	
		A重油	1,648		1,319	
		小計	8,257	28%	9,439	32%
	C重油		2,513	9%	3,474	12%
	燃料油計		26,922	91%	27,460	93%
	LPG、副製品		1,967	7%	2,521	9%
	自家燃、損耗、転送等		544	2%	▲384	▲1%
	総計		29,433	100%	29,598	100%
稼働率		TOP	99%（330日）	90%（365日）	100%（330日）	90%（365日）
		FCC	117%（330日）	106%（365日）	86%（330日）	78%（365日）
		REF	128%（330日）	116%（365日）	100%（330日）	90%（365日）

関東地域 C タイプ試算結果

			2019年度実績		2025年度試算結果	
			生産量（千KL）	比率	生産量（千KL）	比率
原油処理量			34,674	100%	30,118	100%
生産量	揮発油		8,786	25%	7,631	25%
	ナフサ		1,600	5%	3,034	10%
	灯油	JET	2,615		2,271	
		灯油	2,667		2,316	
		小計	5,281	15%	4,587	15%
	軽油	軽油	8,898		8,910	
		A重油	2,297		1,383	
		小計	11,195	32%	10,293	34%
	C重油		3,813	11%	2,106	7%
	燃料油計		30,675	88%	27,652	92%
	LPG、副製品		2,092	6%	2,539	8%
	自家燃、損耗、転送等		1,908	6%	▲72	▲0%
	総計		34,674	100%	30,118	100%
稼働率		TOP	95%（330日）	86%（365日）	100%（330日）	90%（365日）
		FCC	82%（330日）	74%（365日）	100%（330日）	90%（365日）
		REF	82%（330日）	74%（365日）	70%（330日）	63%（365日）

B タイプ製油所の常圧蒸留装置（TOP）では、56.4 万 BPD の原油処理能力に対し、330 日ベースで 100%となった。C タイプ能力減の影響を受けて、この時点で関東での TOP がほぼバランスするところにあることを確認した。
REF はフル稼働となったが、FCC はフル稼働とならなかった。

C タイプ製油所の常圧蒸留装置（TOP）では、製油所縮小による能力減で、57.4 万 BPD の原油処理能力に対し、年間 330 日ベースの稼働率は 100%稼働に設定した。
FCC はフル稼働となったものの、REF は 70%稼働となり B タイプとは異なる動きが認められた。不均化装置がないので、アロマ留分への転換が少ないことによる。
また、LSC－05 の混合内訳に示すように、LSC 重油の粘度及び硫黄分規格を調整するために、DSAR が中心基材となっている。
揮発油の価格が LSC 重油に比べて、相対的に高い場合は、利益最大化にむけて FCC の稼働をフルにするが、揮発油内需減の環境では、RFCC の稼働を低下し、LCO＋CLO の生産量も減じる方向に動く。実際の生産計画にもこのような状況が発生している。

D タイプ製油所の常圧蒸留装置（TOP）では、2025 年度に想定される 44.8 万 BPD の原油処理能力に対し、年間 330 日ベースの稼働率は 100%とフル稼働になる。COKER もフル稼働となるが、FCC 及び REF はフル稼働に届かない（図表 6.4.8）。

図表 6.4.8　D タイプ、B＋C＋D 製油所の生産量と主要装置稼働率

関東地域 D タイプ試算結果

			2019年度実績		2025年度試算結果	
			生産量（千KL）	比率	生産量（千KL）	比率
原油処理量			20,846	100%	23,507	100%
生産量	揮発油		7,663	37%	8,641	37%
	ナフサ		1,587	8%	1,456	6%
	灯油	JET	1,817		2,049	
		灯油	1,290		1,455	
		小計	3,107	15%	3,504	15%
	軽油	軽油	4,707		4,085	
		A重油	1,054		2,691	
		小計	5,761	28%	6,777	29%
	C重油		1,025	5%	1,012	4%
	燃料油計		19,143	92%	21,389	91%
	LPG、副製品		1,327	6%	2,825	12%
	自家燃、損耗、転送等		375	2%	▲708	▲3%
	総計		20,846	100%	23,507	100%
稼働率	TOP		89%（330日）	80%（365日）	100%（330日）	90%（365日）
	FCC		87%（330日）	78%（365日）	82%（330日）	74%（365日）
	COKER		93%（310日）	79%（365日）	100%（310日）	85%（365日）
	REF		81%（330日）	73%（365日）	78%（330日）	70%（365日）

B＋C＋D タイプ製油所試算結果

			2019年度実績		2025年度試算結果	
			生産量（千KL）	比率	生産量（千KL）	比率
原油処理量			84,953	100%	83,222	100%
生産量	揮発油		23,020	27%	20,674	25%
	ナフサ		7,097	8%	9,437	11%
	灯油	JET	7,980		5,820	
		灯油	6,080		7,469	
		小計	14,060	17%	13,289	16%
	軽油	軽油	20,214		21,116	
		A重油	4,999		5,393	
		小計	25,213	30%	26,509	32%
	C重油		7,350	9%	6,592	8%
	燃料油計		76,740	90%	76,501	92%
	LPG、副製品		5,386	6%	7,885	9%
	自家燃、損耗、転送等		2,827	3%	▲1,164	▲1%
	総計		84,953	100%	83,222	100%
稼働率	TOP		95%（330日）	86%（365日）	100%（330日）	90%（365日）
	FCC		92%（330日）	84%（365日）	89%（330日）	81%（365日）
	COKER		93%（310日）	79%（365日）	100%（310日）	85%（365日）
	REF		93%（330日）	84%（365日）	81%（330日）	73%（365日）

（３）　2025 年度関東地域石精 LP モデル試算による製品混合内訳の分析

①図表 6.4.9 に、関東地域石精 LP モデルによる 2025 年度の軽油、A 重油、C 重油の混合内訳と LCO と CLO 留分の行先をまとめる。

②HSA-05（高硫黄 A 重油）は全く生産せず、HSC-35（高硫黄 C 重油）も低生産にとどまっている。本 LP 解は、利益最大を目指すスーパーソリューションの傾向がある。

③軽油、LSA－03、LSC－05、MSC－20 混合内訳

・軽油：

軽油の全生産量 21,116 千 KL の内、脱硫灯油（DK）の混合比率は、19%、脱硫軽油（HC 分解軽油を含む）は 73%である。

軽油深度脱硫装置への LCO 混合チャージ上限 15%に設定

軽油需要想定は他製品に比較して安定基調にあるので、実勢に合せて LCO 基材の活用条件を緩和したところ、脱硫軽油には軽油深度脱硫装置のフィードに、2,341 千 KL と上限の 15%の LCO が投入されている。

・LSA－03（硫黄分 0.3wt%）：

全生産量 5,393 千 KL の内、製品品質規格を満足するために脱硫軽油（DGO）が 49%、LCO が 45%、混合されている。

IMO 対応において、脱硫軽油は、船舶用低硫黄ディーゼル用途への増加が期待される。

・LSC－05（硫黄分 0.5wt%）：

全生産量 6,068 千 KL の内、CLO(硫黄分 1.05 wt%)が、21%混合されている。

ただし、硫黄分調整のために、DSLGO（硫黄分 0.001 wt%）が 11%、DSAR（直脱重油硫黄分 0.3 wt%）が 68%も混合されている。CLO、DSLGO ともに軽油相当の低粘度であるから、

製品 LSC－05 の粘度は低くなる。
LSC－05 生産量の上限を設定していないので、DSAR が、LSC の混合に優先して利用される。RFCC 原料を奪う解となり、FCC 装置がフル稼働に至らない要因となっている。

全国石精 LP モデル前提の CLO は、FCC＋RFCC で同一基材とし、平均値の硫黄分 1.05wt%として処理している。
近年 CLO の硫黄分は、低下傾向にあるので、今後の C 重油混合の精度を向上するために、FCC の CLO(硫黄分約 0.3 wt%)、RFCC の CLO（硫黄分約 1.5 wt%）を基材別に混合するモデル改良が必要になってくる。

・MSC－20（硫黄分 2.0wt%）:
VR（減圧残渣油）475 千 KL を主に CLO＋LCO で粘度調整して、硫黄分 2.0wt%の MSC が、1,087 千 KL 生産される。
IMO 規制強化後の B タイプ製油所 VR 処理の対応
MSC の生産量の上限を設定していないので、VR を処理するために、必要以上に MSC を生産することになった。IMO 規制以降の利用先の確保が喫緊の課題である。

④LCO、CLO の行先と石精 LP モデルの混合精度アップの必要
・関東地域石精 LP モデル（B、C、D タイプ）では、LCO＋CLO が A 重油、C 重油に高い割合でブレンドできている。

・LCO の全生産量は、4,860 千 KL で、行先は軽油 2,341 千 KL（48%）、LSA に 2,448 千 KL（50%）、LSC 0 千 KL（0%）、MSC 69（1%）である。

・CLO の全生産量は、1,830 千 KL で、行先は LSC に 1,259 千 KL（69%）、MSC に 544 千 KL（30%）消費されている。

・石精 LP モデルの品質は、硫黄分、粘度、セタン指数を簡略に連立式化している。
しかし、実際は、LSA、LSC の製品品質に適合するための混合基材の CLO 中の灰分（FCC＋RFCC 触媒触媒混入）などの他の実用品質を詳細に検討する必要があるので、今回の試算結果は、傾向参考値として取扱う。

図表 6.4.9　軽油、A 重油、C 重油混合内訳及び LCO と CLO 留分の行先

関東　　軽油、A重油、C重油　混合内訳　　LCOとCLOの留分の行先　　千KL

製油所タイプ	B	C	D	合計
軽油　ブレンド				
製品	8,121	8,910	4,085	21,116
DK	1,218	1,549	1,199	3,966
HC_K	0	0	0	0
DGO	6,685	6,552	2,214	15,451
HC_LGO	217	809	673	1,699
LSA-03　ブレンド				
製品	1,319	1,383	2,691	5,393
K	66	69	135	270
DK	0	0	0	0
DGO	649	678	1,326	2,653
DSLGO	0	0	0	0
HC_LGO	0	0	0	0
LCO	597	634	1,218	2,448
Lt AR	7	2	13	22

製油所タイプ	B	C	D	合計
LSC-05 ブレンド				
製品	3,816	2,252	0	6,068
DSLGO	0	651	0	651
LCO	0	0	0	0
LS HP	33	0	0	33
DSAR	3,352	774	0	4,126
CLO	431	827	0	1,259
LGO	0	0	0	0
MSC-20　ブレンド				
製品	0	0	1,087	1,087
LGO	0	0	0	0
DSLGO	0	0	0	0
LCO	0	0	69	69
Lt AR	0	0	0	0
LS HP	0	0	0	0
DSAR	0	0	0	0
CLO	0	0	544	544
Lt VR	0	0	475	475
ML VR	0	0	0	0
Md VR	0	0	0	0
HSC-35　ブレンド				
製品	0	2	55	56
LGO	0	0	0	0
LCO	0	0	2	2
Lt AR	0	0	0	0
Hy AR	0	1	25	26
DSAR	0	0	0	0
CLO	0	1	27	28
Lt VR	0	0	0	0
ML VR	0	0	0	0
Md VR	0	0	0	0
Hy VR	0	0	0	0
LS HP	0	0	0	0

製油所タイプ	B	C	D	合計
FCC稼働				
FCC	5,446	0	7,565	13,011
RFCC	0	7,975	0	7,975
合計	5,446	7,975	7,565	20,986
軽油深脱稼働				
DDS能力	147	173	195	515
DDS能力最大稼働(90%)	7,713	9,051	10,232	26,996
DDS通油量	6,197	5,418	3,988	15,603
DDS LCO比率	15.0%	15.0%	15.0%	15.0%
LCO⇒軽油深脱				
LCO⇒軽油深脱	930	813	598	2,341
製品生産量				
軽油	8,121	8,910	4,085	21,116
LSA	1,319	1,383	2,691	5,393
HSA	0	0	0	0
LSC	3,816	2,252	0	6,068
MSC	0	0	1,087	1,087
HSC	0	2	55	56
LCO使用先				
軽油深脱	930	813	598	2,341
LSA	597	634	1,218	2,448
HSA	0	0	0	0
LSC	0	0	0	0
MSC	0	0	69	69
HSC	0	0	2	2
合計	1,526	1,447	1,887	4,860
CLO使用先				
LSC	431	827	0	1,259
MSC	0	0	544	544
HSC	0	1	27	28
合計	431	828	571	1,830

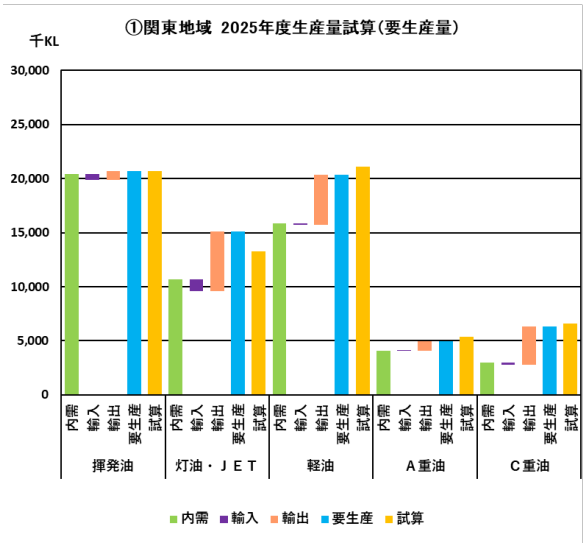
（４） 2025 年度関東地域の各石油製品別の需給バランス、必要輸出量の考察

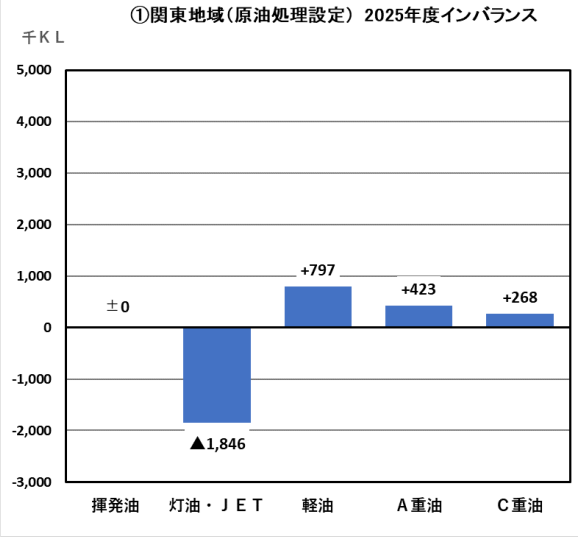
関東地域の石油製品需給バランスの結果を図表 6.4.10 にまとめる。

図表 6.4.10　2025 年度試算結果のまとめ　関東地域（B＋C＋D）の需給バランス

2025 年度の試算結果

			2019年度実績	2025年度要生産					2025年度試算結果	増減（インバランス）	総輸出量
				内需	輸入	輸出	要生産	実績対比			
原油処理	量	千KL	84,953						83,222	▲ 1,731	
製品生産量	揮発油	千KL	23,020	20,391	512	795	20,674	▲ 2,346	20,674	±0	795
	ナフサ	千KL	7,097	21,779	12,930	2	8,851	1,753	9,437	＋587	589
	JET、灯油	千KL	14,060	10,680	1,087	5,542	15,134	1,074	13,289	▲ 1,846	3,696
	軽油	千KL	20,214	15,839	151	4,631	20,319	105	21,116	＋797	5,428
	A重油	千KL	4,999	4,093	4	881	4,970	▲ 28	5,393	＋423	1,304
	B･C重油	千KL	7,350	2,967	222	3,578	6,324	▲ 1,026	6,592	＋268	3,846
	燃料油計	千KL	76,740	75,749	14,906	15,428	76,272	▲ 468	76,501	＋229	15,658





①原油処理量

・2025 年度 TOP 能力（1,586 千 BPSD）に対する余力：0 千 BD

2020 年 4 月の TOP 能力から ENEOS 根岸製油所の一部 TOP（120 千 BD）を停止した後の関東地域の TOP 能力は 1,586 千 BD である。これによって、ガソリン要生産量減少に伴う原油処理量も減少したものの適正稼働量を 16 千 BD（814 千 KL）オーバーすることになった。そこで、この原油処理量分の割当てを削減して、余力無しとした。

したがって、2025 年度の TOP 適正稼働量は 1,586 千 BD（83,222 千 KL/365×6.29/0.904）であるから、丁度バランス（1,586－1,586）の状態になる。

（注）中部地域の C タイプ TOP で、25 千 BD の余力が発生するので、16 千 BD を関東から中部に振りかえれば、中部地域もほぼバランスする。

②揮発油内需減少対応、開発油留分の石化シフト加速

先の、図表 6.3.7 ガソリン輸出入量の実績トレンドと 2025 年度 NET 輸入量の想定に示すとおり、ガソリンの輸入増加＋輸出減少で、全国の揮発油ネット輸出量は 2019 年度より

も 3,568 千 KL 減少すると想定した。試算では、揮発油需要見合いで原油処理量を減少しバランスさせているので、全国並みに関東地域の原油処理量も減少する。ガソリンが、輸出優位な状況であれば原油処理増により、燃料油全体の生産増につながる。ガソリン大型輸出に向けて、共同輸出体制による輸出競争力強化が必要であるが、このような投資よりも、　揮発油留分の石化シフトへの投資の方が、将来性がある。揮発油留分を、より付加価値の高い BTX 生産へ「石化シフト」することが益々重要になっている。
特に、関東地域で最大規模の千葉地区は不均化設備がなく、他地区より不利な状況にあるので、増強などの改造が必要である。

③中間留分（JET＋灯油＋軽油＋A 重油）バランス
JET＋灯油＋軽油＋A 重油は、原油処理量減少の影響で、626 千 KL の不足となる。
　ガソリン要生産減による原油処理減に起因するものであるが、ほぼバランスとみてよい。

④VR カットバックで MSC 重油余剰、VR の分解対策（約 1 万 BD の VR 分解能力増）
229 千 KL の C 重油が余剰となった。C 重油の生産内訳は、LSC 生産量 6,068 千 KL で、MSC 生産量 1,087 千 KL で、HSC 生産量は 56 千 KL だった。先に分析したとおり、LSC は粘度規格に対して、大幅なロス（粘度ギブアウェイ）を引起こしている。
IMO 規制、今後の脱炭素化を鑑みると、MSC－20 生産量を低減させる早急な対応が必須である。
VR475 千 KL が残ることが原因である。希釈による直脱へのフィード増、ユリカ及びコーカーの約 1 万 BD の重油分解能力アップが必要である。

　VR 留分の分解の重要性（エネルギー供給構造高度化法 3 次告示対応）
FCC－VGO フィード確保、潤滑油を生産する過程で VR 留分は副産物として、留出せざるを得ない。特に、原油処理量の減少下、FCC フィード確保のために、AR は、VAC で VGO をほとんど搾取っている。
したがって、余剰重質油は、VR である。VR のカットバックで余儀なく生産される MSC＋HSC の余剰を抑制するために、今後とも、VR 留分の高分解（エネルギー供給構造高度化法 3 次告示）への対応は進めておかなければならない。

⑤FCC 余力活用による高分解型運転促進
ガソリンの要生産量が減少したことで、TOP の稼働低下、HN タイトで REF は 73%（365 日ベース）、(R) FCC は 81%（365 日ベース）にダウンする、余力を活用した分解触媒量増加による高温分解運転などによるプロピレン増産が有効になってくる。2025 年度の石化モデル試算では、プロピレンの生産量が減じている。

６．４．３　2025 年度中部地域石精 LP モデルによる試算結果、輸出量と考察
2025 年度地域別石精モデルによる中部地域の試算結果と解析を以下に述べる。
全国モデルと同様に、要生産量相当の原油処理（要生産量相応ケース）として、揮発油要生産量を設定して、燃料油要生産量合計量に見合う原油処理量で試算した。

（１）　中部地域の B,C タイプ製油所の主要装置稼働率

①C タイプ製油所における主要装置の稼働量、稼働率を、図表 6.4.11 にまとめる。

要生産量が少ないので、中部地域では B タイプ製油所の稼働はなしとし、C タイプのみで試算した。

②要生産量相応ケースによる主要装置稼働率働率

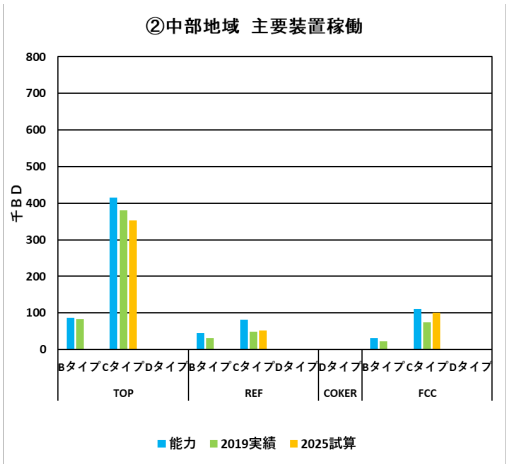
今年度の試算では、C タイプのみであるが、TOP はそれでもフル稼働にはならなかった。また、RFCC はフル稼働であるが、REF は低稼動である。

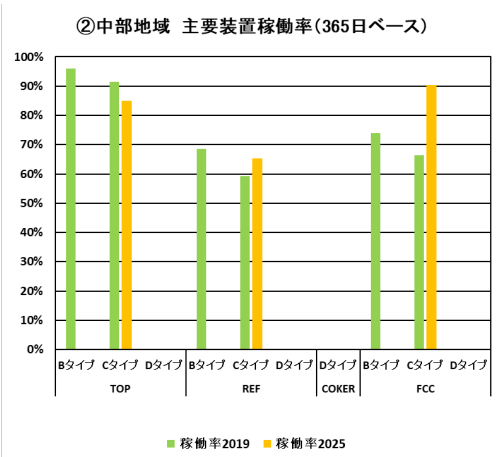
図表 6.4.11　2025 年度の中部地域　B,C タイプ製油所の主要装置稼働率

中部地域　B,C タイプ製油所の主要装置稼働率

（千BD）

	TOP			REF			COKER	FCC		
	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ	Dタイプ	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ
能力	86	415	0	45	81	0	0	31	111	0
2025試算	0	353	0	0	53	0	0	0	100	0
稼働率(365日)	0%	85%	0%	0%	65%	0%	0%	0%	90%	0%





（２）　中部地域の各タイプ別製油所の石油製品生産量と主要装置稼働率

①中部 C タイプ製油所の製品生産量と装置稼動率

C タイプ製油所の各製品の生産量と各装置の稼働率を、図表 6.4.12 に示す。

図表 6.4.12　中部地域 C タイプ試算結果

			2019年度実績		2025年度試算結果	
			生産量（千KL）	比率	生産量（千KL）	比率
原油処理量			22,044	100%	20,476	100%
生産量	揮発油		6,273	28%	6,486	32%
	ナフサ		725	3%	1,533	7%
	灯油	JET	1,796		1,668	
		灯油	1,761		1,342	
		小計	3,557	16%	3,010	15%
	軽油	軽油	5,280		4,928	
		A重油	1,214		1,062	
		小計	6,494	29%	5,990	29%
	C重油		1,382	6%	1,378	7%
	燃料油計		18,431	84%	18,397	90%
	LPG、副製品		1,485	7%	1,808	9%
	自家燃、損耗、転送等		2,128	10%	271	1%
	総計		22,044	100%	20,476	100%
稼働率		TOP	101%（330日）	92%（365日）	94%（330日）	85%（365日）
		FCC	73%（330日）	66%（365日）	100%（330日）	90%（365日）
		REF	65%（330日）	59%（365日）	72%（330日）	65%（365日）

（３）　2025 年度中部地域石精 LP モデル試算による製品混合内訳の分析

図表 6.4.13 に、中部地域石精 LP モデルによる 2025 年度の軽油、A 重油、C 重油の混合内訳と LCO と CLO 留分の行先をまとめる。

①軽油、LSA－03、LSC－05 内訳、（MSC－20、HSC－35 は生産ゼロ）

・軽油：

軽油の全生産量 4,928 千 KL の内、脱硫灯油（DK）の混合比率は、23%、脱硫軽油＋未洗い LGO が 77%である。

軽油深度脱硫装置への LCO 混合チャージ上限 15%に設定

軽油需要想定は他製品に比較して安定基調にあるので、実勢に合わせて LCO 基材の活用条件を緩和したところ、脱硫軽油には軽油深度脱硫装置のフィード 3,719 千 KL に対し、558 千 KL と上限の 15%の LCO が投入されている。

・LSA－03（硫黄分 0.3wt%）：

全生産量 1,062 千 KL の内、製品品質規格を満足するために脱硫軽油（DGO）が 49%、LCO が 46%、混合されている。

・LSC－05（硫黄分 0.5wt%）：硫黄分調整のために粘度ロス（脱硫軽油不足の要因）

全生産量 1,540 千 KL の内、CLO(硫黄分 1.05 wt%)が、39%混合されている。

ただし、硫黄分調整のために、DSLGO（硫黄分 0.001 wt%）が 33%、DSAR（直脱重油硫黄分 0.3 wt%）が 23%も混合されている。CLO、DSLGO ともに軽油相当の低粘度であるから、製品 LSC－05 の粘度は低くなる。CLO 余剰によるものである。

LSC－05 生産量の上限を設定していないが、DSAR は、RFCC フィード量を確保した後、優先して LSC 混合基材となる。RFCC をほぼフル稼働するために、LCO＋CLO を LSC 基材とし、硫黄分、粘度の品質調整のために DSAR がバランス投入される。

RFCC 稼働と LSC 重油生産量は、LCO＋CLO を LSC 基材とし、硫黄分、粘度の品質調整のために DSAR がバランス投入される。

LCO＋CLO の行先を確保するために LP 試算では、DSAR を微妙にバランス調整している。

②LCO、CLO の行先と石精 LP モデルの混合精度アップの必要、CLO 余剰対策の必要

LCO の全生産量は、1,064 千 KL で、軽油 558 千 KL（52%）、LSA 490 千 KL（46%）、に混合されている。

CLO の全生産量は、601 千 KL で、行先は LSC に 601 千 KL（100%）で、全てが、LSC 生産に利用されている。

石精 LP モデルの品質は、硫黄分、粘度、セタン指数を簡略に連立式化している。

しかし、実際は、LSA、LSC の製品品質に適合するための混合基材の CLO 中の灰分（FCC＋RFCC 触媒触媒混入）などの他の実用品質を詳細に検討する必要があるので、今回の試算結果は、傾向参考値として取扱う。

図表 6.4.13　軽油、A 重油、C 重油混合内訳及び LCO と CLO 留分の行先

中部　　千KL

製油所タイプ	C	合計
軽油 ブレンド		
製品	4,928	4,928
DK	1,114	1,114
HC_K	0	0
DGO	3,772	3,772
HC_LGO	43	43
LSA-03 ブレンド		
製品	1,062	1,062
K	53	53
DK	0	0
DGO	519	519
DSLGO	0	0
HC_LGO	0	0
LCO	490	490
Lt AR	0	0

製油所タイプ	C	C
LSC-05 ブレンド		
製品	1,540	1,540
DSLGO	508	508
LCO	16	16
LS HP	62	62
DSAR	352	352
CLO	601	601
LGO	0	0

製油所タイプ	C	合計
FCC稼働		
FCC	0	0
RFCC	5,824	5,824
合計	5,824	5,824
軽油深脱稼働		
DDS能力	82	82
DDS能力最大稼働(90%)	4,303	4,303
DDS通油量	3,719	3,719
DDS LCO比率	15.0%	15.0%
LCO⇒軽油深脱		
LCO⇒軽油深脱	558	558
製品生産量		
軽油	4,928	4,928
LSA	1,062	1,062
HSA	0	0
LSC	1,540	1,540
MSC	0	0
HSC	0	0
LCO使用先		
軽油深脱	558	558
LSA	490	490
HSA	0	0
LSC	16	16
MSC	0	0
HSC	0	0
合計	1,064	1,064
CLO使用先		
LSC	601	601
MSC	0	0
HSC	0	0
合計	601	601

（4） 2025 年度中部地域の各石油製品別の需給バランス、必要輸出量の考察

中部地域の石油製品需給バランスの結果を図表 6.4.14 にまとめる。

①原油処理量

2025 年度 TOP 能力（501 千 BPSD）に対する余力：111 千 BD

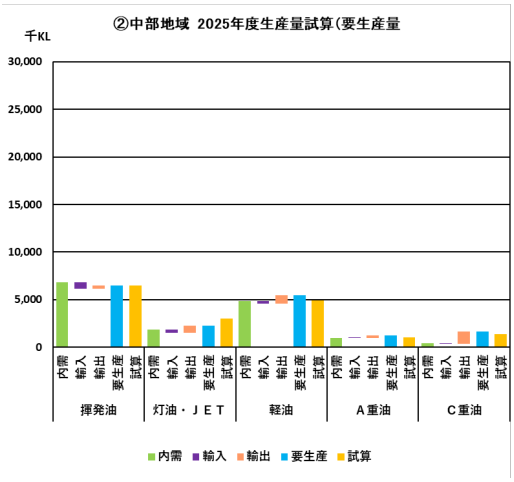
中部地域の TOP 能力は 501 千 BD、2025 年度の TOP 適正稼働量は 390 千 BD（20,476 千 KL/365×6.29/0.904）であるから、111 千 bd の余力が発生する。B タイプ 86 千 BD を休止しても若干（25 千 BD）の余力が生じる。

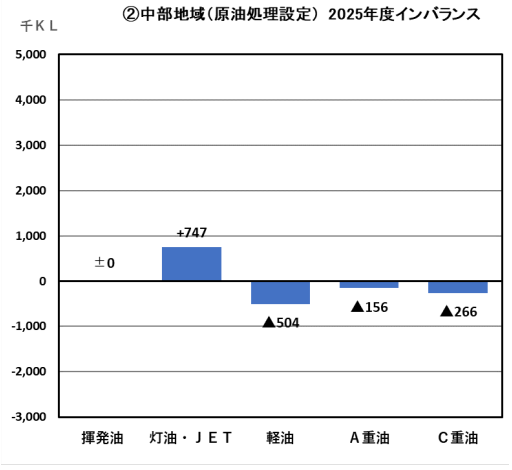
（注）関東地域の原油処理量 814 千 KL（16 千 BD、330 日ベース）削減分中部に振り替え C タイプの TOP の余力が発生することになる。しかし、今回の関東地域試算では、330 日 TOP 適正稼働でフル稼働を超えることから、16 千 BD 相当（原油処理量 814 千 KL）を削減した。その分を、中部地域の C タイプ TOP 原油処理に、増加割振ることで、中部地区は、B タイプ製油所休止でほぼバランスすることになる。

図表 6.4.14　2025 年度試算結果のまとめ　中部地域（C）の需給バランス

2025 年度の試算結果

			2019年度実績	2025年度要生産					2025年度試算結果	増減（インバランス）	総輸出量
				内需	輸入	輸出	要生産	実績対比			
原油処理	量	千KL	26,838						20,476	▲ 6,362	
製品生産量	揮発油	千KL	8,025	6,834	716	369	6,486	▲ 1,539	6,486	±0	369
	ナフサ	千KL	1,014	3,199	2,627	0	572	▲ 442	1,533	+961	961
	JET、灯油	千KL	4,292	1,855	326	734	2,263	▲ 2,028	3,010	+747	1,481
	軽油	千KL	6,458	4,823	240	850	5,433	▲ 1,025	4,928	▲ 504	346
	A重油	千KL	1,530	958	13	272	1,217	▲ 312	1,062	▲ 156	116
	B・C重油	千KL	1,770	414	35	1,264	1,644	▲ 126	1,378	▲ 266	998
	燃料油計	千KL	23,088	18,083	3,957	3,490	17,615	▲ 5,473	18,397	+782	4,271





②中部地域のガソリン内需は比較的小さいので減退の影響はそれほど大きくない。

③中間留分（JET＋灯油＋軽油＋A 重油）バランス

原油処理量が減るものの JET＋灯油＋軽油＋A 重油は、輸出を含む要生産量に対して、87 千 KL の余剰（ほぼバランス）となっている。

④C 重油インバランス

266 千 KL の C 重油が不足である。C 重油の生産内訳は、LSC 生産量 1,540 千 KL で、MSC、HSC の生産は無かった。

⑤中部地域は、今回の試算の様に B タイプ製油所の原油処理を全面停止すること、関東地域の余剰分 16 千 BD を C タイプ TOP 原油処理に振替えることで、全油種とも全てが、需給の歪みなくバランスする。

６．４．４　2025 年度瀬戸内地域石精 LP モデルによる試算結果、輸出量と考察

2025 年度地域別石精モデルによる瀬戸内地域の試算結果と解析を以下に述べる。

全国モデルと同様に、要生産量相当の原油処理（要生産量相応ケース）として、揮発油要生産量を設定して、燃料油要生産量合計量に見合う原油処理量で試算した。2025 年度の試算結果考察では、輸出量などの違いと今後の対応を検討した。

（１）　瀬戸内地域の B、C、D タイプ製油所の主要装置稼働率

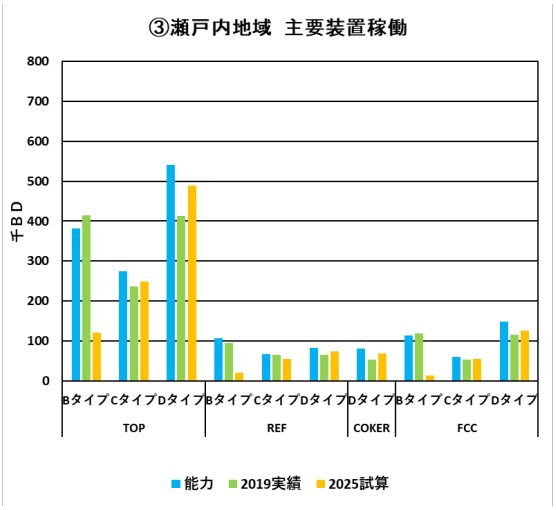
①B、C、D 各タイプ製油所における主要装置の稼働量、稼働率を、図表 6.4.15 にまとめる。

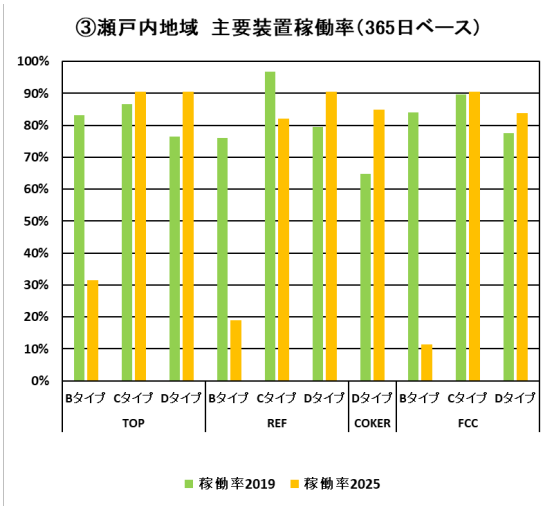
図表 6.4.15　2025 年度の瀬戸内地域　B,C,D タイプ製油所の主要装置稼働率

瀬戸内地域　B,C,D タイプ製油所の主要装置稼働率

（千BD）

	TOP			REF			COKER	FCC		
	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ	Dタイプ	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ
能力	383	274	540	107	67	82	81	113	60	149
2025試算	121	248	488	20	55	74	69	13	54	125
稼働率（365日）	32%	90%	90%	19%	82%	90%	85%	11%	90%	84%





②要生産量相応ケースによる主要装置稼働率

今年度の試算では、C タイプ、D タイプはフル稼働としたが、B タイプの TOP 稼働は 32%と大きく低稼働となった。C タイプ製油所の FCC はフル稼働であったが、REF は 82%に留まった。TOP 稼働の低下した B タイプでは REF,FCC とも大きく低稼働となった。

瀬戸内地域は、全国で最も設備余剰が発生している地域であり、今後も停止が必要な設備

が増加は避けられない状況となる見込みである。

（2） 瀬戸内地域の各タイプ別製油所の石油製品生産量と主要装置稼働率

①瀬戸内地域 B、C タイプ製油所の製品生産量と装置稼働率

B、C タイプ製油所の各製品の生産量と各装置の稼働率を、図表 6.4.16 に示す。

B タイプの常圧蒸留装置（TOP）は、原油処理能力 38.3 万 BPD で、稼働率 35%、REF は 21%、FCC も 13%と著しい低稼働となった。

C タイプの常圧蒸留装置（TOP）は、227.4 万 BPD の原油処理能力に対し、フル稼働で設定した。RFCC はフル稼働であるが、REF は 91%とフル稼働にならなかった。

図表 6.4.16　2025 年度の試算結果　B、C タイプ製油所の生産量と主要装置稼働率

瀬戸内 B タイプ試算結果

			2019年度実績		2025年度試算結果	
			生産量（千KL）	比率	生産量（千KL）	比率
原油処理量			24,020	100%	6,999	100%
生産量	揮発油		8,019	33%	826	12%
	ナフサ		1,983	8%	3,402	49%
	灯油	JET	2,347		1,287	
		灯油	1,503		0	
		小計	3,850	16%	1,287	18%
	軽油	軽油	5,542		1,978	
		A重油	1,465		0	
		小計	7,006	29%	1,978	28%
	C重油		2,455	10%	1,739	25%
	燃料油計		23,313	97%	9,232	132%
	LPG、副製品		1,834	8%	629	9%
	自家燃、損耗、転送等		▲1,127	▲5%	▲2,861	▲41%
	総計		24,020	100%	6,999	100%
稼働率		TOP	92%（330日）	83%（365日）	35%（330日）	32%（365日）
		FCC	93%（330日）	84%（365日）	13%（330日）	11%（365日）
		REF	84%（330日）	76%（365日）	21%（330日）	19%（365日）

瀬戸内 C タイプ試算結果

			2019年度実績		2025年度試算結果	
			生産量（千KL）	比率	生産量（千KL）	比率
原油処理量			13,757	100%	14,377	100%
生産量	揮発油		3,699	27%	3,866	27%
	ナフサ		3,758	27%	2,149	15%
	灯油	JET	721		754	
		灯油	1,535		1,311	
		小計	2,256	16%	2,065	14%
	軽油	軽油	3,281		4,075	
		A重油	1,092		143	
		小計	4,373	32%	4,219	29%
	C重油		845	6%	2,061	14%
	燃料油計		14,931	109%	14,359	100%
	LPG、副製品		1,287	9%	1,420	10%
	自家燃、損耗、転送等		▲2,461	▲18%	▲1,402	▲10%
	総計		13,757	100%	14,377	100%
稼働率		TOP	96%（330日）	87%（365日）	100%（330日）	90%（365日）
		FCC	99%（330日）	90%（365日）	100%（330日）	90%（365日）
		REF	107%（330日）	97%（365日）	91%（330日）	82%（365日）

②瀬戸内地域 D タイプ製油所と合計の製品生産量と装置稼働率（図表 6.4.17 参照）

D タイプの常圧蒸留装置（TOP）は、54 万 BPD の原油処理能力に対し、フル稼働で設定した。COKER 及び REF もフル稼働となるが、FCC の稼働率は、93%でフル稼働には達していない。

図表 6.4.17　2025 年度の試算結果 D タイプ製油所の各製品の生産量と各装置の稼働率

瀬戸内 D タイプ試算結果

			2019年度実績		2025年度試算結果	
			生産量（千KL）	比率	生産量（千KL）	比率
原油処理量			23,959	100%	28,344	100%
生産量	揮発油		6,197	26%	7,331	26%
	ナフサ		3,294	14%	2,590	9%
	灯油	JET	2,663		2,491	
		灯油	1,738		2,056	
		小計	4,401	18%	4,548	16%
	軽油	軽油	5,696		7,839	
		A重油	2,228		1,117	
		小計	7,923	33%	8,956	32%
	C重油		1,763	7%	1,538	5%
	燃料油計		23,578	98%	24,963	88%
	LPG、副製品		2,455	10%	3,474	12%
	自家燃、損耗、転送等		▲2,074	▲9%	▲92	▲0%
	総計		23,959	100%	28,344	100%
稼働率		TOP	85%（330日）	76%（365日）	100%（330日）	90%（365日）
		FCC	86%（330日）	78%（365日）	93%（330日）	84%（365日）
		COKER	76%（310日）	65%（365日）	100%（310日）	85%（365日）
		REF	88%（330日）	79%（365日）	100%（330日）	90%（365日）

瀬戸内 B＋C＋D タイプ試算結果

			2019年度実績		2025年度試算結果	
			生産量（千KL）	比率	生産量（千KL）	比率
原油処理量			61,736	100%	49,720	100%
生産量	揮発油		17,915	29%	12,023	24%
	ナフサ		9,035	15%	8,141	16%
	灯油	JET	5,730		4,532	
		灯油	4,776		3,368	
		小計	10,506	17%	7,899	16%
	軽油	軽油	14,518		13,893	
		A重油	4,784		1,260	
		小計	19,303	31%	15,153	30%
	C重油		5,063	8%	5,338	11%
	燃料油計		61,822	100%	48,554	98%
	LPG、副製品		5,575	9%	5,522	11%
	自家燃、損耗、転送等		▲5,662	▲9%	▲4,356	▲9%
	総計		61,736	100%	49,720	100%
稼働率		TOP	90%（330日）	81%（365日）	79%（330日）	72%（365日）
		FCC	91%（330日）	82%（365日）	66%（330日）	60%（365日）
		COKER	76%（310日）	65%（365日）	100%（310日）	85%（365日）
		REF	91%（330日）	82%（365日）	65%（330日）	58%（365日）

（３）　2025 年度瀬戸内地域石精 LP モデル試算による製品混合内訳の分析

図表 6.4.18 に、関東地域石精 LP モデルによる 2025 年度の軽油、A 重油、C 重油の混合内訳と LCO と CLO 留分の行先をまとめる。

①HSA-05（高硫黄 A 重油）及び HSC-35（高硫黄 C 重油）は全く生産しない。本 LP 解は、利益最大化スーパーソリューションの傾向がある。

②軽油、LSA－03、LSC－05、MSC－20 混合内訳

・軽油：

軽油の全生産量 13,893 千 KL の内、脱硫灯油（DK＋分解 DK）の混合比率は、18%、脱硫軽油（HC 分解軽油を含む）は 82%である。

軽油深度脱硫装置への LCO 混合チャージ上限 15%に、ほぼ張り付いている。

軽油需要想定は他製品に比較して安定基調にあるので、実勢に合せて LCO 基材の活用条件を緩和したところ、脱硫軽油には軽油深度脱硫装置のフィード 9,325 千 KL に対し、1,362 千 KL と上限の 15%の LCO が投入されている。

・LSA－03（硫黄分 0.3wt%）：

全生産量 1,260 千 KL の内、製品品質規格を満足するために脱硫軽油（DGO＋未洗 K）が 49%、LCO が 46%、混合されている。セタン指数を満足させるために、DGO の混合が多くなる。

・LSC－05（硫黄分 0.5wt%）：

全生産量 4,679 千 KL の内、CLO(硫黄分 1.05 wt%)が、19%混合されている。

さらに、硫黄分調整のために、DSAR（直脱重油硫黄分 0.3 wt%）が 55%も混合されている。

・MSC－20（硫黄分 2.0wt％）：
全生産量 1,176 千 KL の内、粘度調整カットバックのために、LCO(硫黄分 0.3 wt％)が、3％混合されている。MSC－20 は、C タイプ製油所でのみ生産している。

・HSC－35（硫黄分 3.5wt％）：生産しない。

③LCO、CLO の行先と石精 LP モデルの混合精度アップの必要
瀬戸内地域石精 LP モデル（B、C、D タイプ）では、LCO＋CLO が A 重油、C 重油に高い割合でブレンドされている。

LCO の全生産量は、2,532 千 KL で、行先は主に、LSA に 580 千 KL（23％）、軽油には 1,362 千 KL（54％）、LSC に 555 千 KL（22％）、MSC に 35 千 KL（1％）である。
CLO の全生産量は、870 千 KL で、全て LSC－03 に消費されている。

石精 LP モデルの品質は、硫黄分、粘度、セタン指数を簡略に連立式化している。
しかし、実際は、LSA、LSC の製品品質に適合するための混合基材の CLO 中の灰分（FCC＋RFCC 触媒触媒混入）などの他の実用品質を詳細に検討する必要があるので、今回の試算結果は、傾向参考値として取扱う。

図表 6.4.18　軽油、A 重油、C 重油混合内訳及び LCO と CLO 留分の行先

瀬戸内　　軽油、A重油、C重油　混合内訳

製油所タイプ	B	C	D	合計
軽油　ブレンド				
製品	1,978	4,075	7,839	13,893
DK	297	1,028	849	2,175
HC_K	0	0	326	326
DGO	1,676	2,864	5,435	9,975
HC_LGO	5	182	1,229	1,417
LSA-03　ブレンド				
製品	0	143	1,117	1,260
K	0	7	56	63
DK	0	0	0	0
DGO	0	71	546	617
DSLGO	0	0	0	0
HC_LGO	0	0	0	0
LCO	0	65	515	580
Lt AR	0	1	0	1

製油所タイプ	B	C	D	合計
LSC-05 ブレンド				
製品	1,780	961	1,937	4,679
DSLGO	0	0	0	0
LCO	0	0	555	555
LS HP	1	639	19	658
DSAR	1,732	0	864	2,596
CLO	47	323	500	870
LGO	0	0	0	0
MSC-20　ブレンド				
製品	0	1,176	0	1,176
LGO	0	0	0	0
DSLGO	0	0	0	0
LCO	0	35	0	35
Lt AR	0	1,102	0	1,102
LS HP	0	39	0	39
DSAR	0	0	0	0
CLO	0	0	0	0
Lt VR	0	0	0	0
ML VR	0	0	0	0
Md VR	0	0	0	0

LCOとCLOの留分の行先　　千KL

製油所タイプ	B	C	D	合計
FCC稼働				
FCC	751	0	7,246	7,997
RFCC	0	3,148	0	3,148
合計	751	3,148	7,246	11,145
軽油深脱稼働				
DDS能力	93	60	154	307
DDS能力最大稼働(90%)	4,864	3,148	8,080	16,093
DDS通油量	1,451	2,756	5,117	9,325
DDS LCO比率	12.5%	15.0%	15.0%	14.6%
LCO⇒軽油深脱				
LCO⇒軽油深脱	181	413	768	1,362
製品生産量				
軽油	1,978	4,075	7,839	13,893
LSA	0	143	1,117	1,260
HSA	0	0	0	0
LSC	1,780	961	1,937	4,679
MSC	0	1,176	0	1,176
HSC	0	0	0	0
LCO使用先				
軽油深脱	181	413	768	1,362
LSA	0	65	515	580
HSA	0	0	0	0
LSC	0	0	555	555
MSC	0	35	0	35
HSC	0	0	0	0
合計	181	514	1,837	2,532
CLO使用先				
LSC	47	323	500	870
MSC	0	0	0	0
HSC	0	0	0	0
合計	47	323	500	870

（4）　2025 年度瀬戸内地域の各石油製品別の需給バランス、必要輸出量の考察

瀬戸内地域の石油製品需給バランスの結果を図表 6.4.19 にまとめる。

①原油処理量

2025 年度 TOP 能力（948 千 BPSD）に対する余力：249 千 BD（330 日ベース）

瀬戸内地域の TOP 能力は 1,197 千 BD、2025 年度の TOP 適正稼働量は 948 千 BD（49,720 千 KL/365×6.29/0.904）であるから、249 千 BD の余力が発生する。

特に、B タイプ製油所の稼働低下が顕著である。B タイプ（TOP 能力 383 千 BD）は、C、D タイプがフル稼働になることで、B タイプは 31%（121 千 BD）しか稼働しない。

②揮発油内需減少対応、揮発油留分の石化シフト、FCC の高分解運転促進

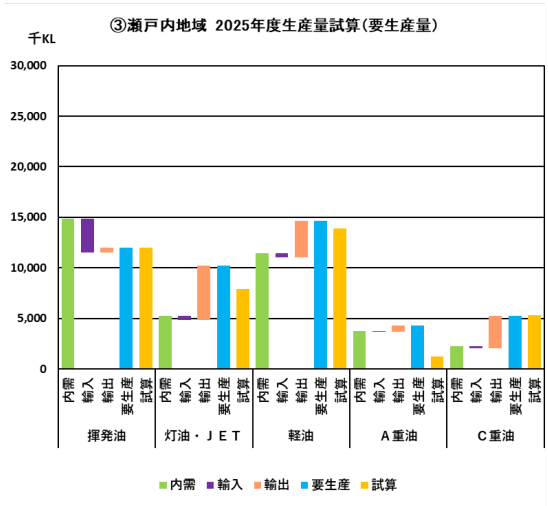
今回の試算では、揮発油要生産量の減少は、揮発油ネックの構造として堅調に表れている。B タイプの原油処理量の減少によって FCC は 13%、REF は 21%しか稼働しない。これによって、ベンゼン、パラキシレンの生産量が大幅に減少する。

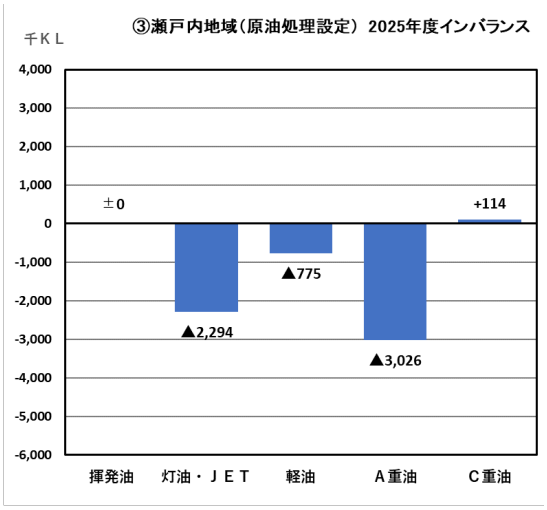
2019 年度並みの揮発油のネット輸出量を維持することは期待ができない見通しであることから、揮発油留分の石化シフト、不均化設備の増強他を短期間に推進する必要がある。関東地域に比して、不均化設備を有するので、増強などの改造が期待される。

図表 6.4.19　2025 年度試算結果のまとめ　瀬戸内地域（B＋C＋D）の需給バランス

2025 年度の試算結果

		2019年度実績	2025年度要生産					2025年度試算結果	増減（インバランス）	総輸出量
			内需	輸入	輸出	要生産	実績対比			
原油処理	量　千KL	61,736						49,720	▲ 12,015	
製品生産量	揮発油　千KL	17,915	14,879	3,342	486	12,023	▲ 5,893	12,023	±0	486
	ナフサ　千KL	9,035	14,253	10,859	1	3,395	▲ 5,640	8,141	＋4,746	4,747
	JET、灯油　千KL	10,506	5,223	358	5,328	10,194	▲ 313	7,899	▲ 2,294	3,033
	軽油　千KL	14,518	11,452	405	3,621	14,667	149	13,893	▲ 775	2,846
	A重油　千KL	4,784	3,770	107	623	4,286	▲ 498	1,260	▲ 3,026	▲ 2,404
	B･C重油　千KL	5,063	2,284	200	3,141	5,225	161	5,338	＋114	3,255
	燃料油計　千KL	61,822	51,861	15,271	13,200	49,790	▲ 12,032	48,554	▲ 1,236	11,964





③中間留分（JET＋灯油＋軽油＋A 重油）バランス

JET＋灯油＋軽油＋A 重油は、原油処理量が減るので輸出を含む要生産量に対して、6,095 千 KL　の不足となっている。揮発油の要生産量減少によって、中間留分も生産減となり、輸出が減少する。

④C 重油インバランス

原油処理量の減少で、若干の C 重油余剰（114 千 KL）で、ほぼバランスとなった。

C 重油の生産内訳は、LSC 生産量 4,679 千 KL で、MSC 生産量 1,176 千 KL で、HSC の生産は無かった。

先に分析したとおり、LSC は粘度規格に対して、大幅なロス（粘度ギブアウェイ）を引起こしている。今後、脱炭素化、IMO 規制を考慮すると、MSC－20 生産量を低減させる早急

な対応が必須である。

⑤VR＋AR 留分の分解（エネルギー供給構造高度化法 3 次告示対応）

瀬戸内地域は、関東地域と異なり、揮発油生産減章の影響を大きく受けて、VH の稼働もダウンする、AR が余剰となる。VAC 余力で、AR を搾り取った後の VGO の VH によるマイルドハイドロクラッキングによる中間留分増産＋VR の直脱脱硫が有効である。MSC＋HSC の余剰を抑制するために、今後とも、VR 留分の高分解（エネルギー供給構造高度化法 3 次告示）への対応は進めておかなければならない。

６．４．５　石化 3 地域バランスモデルの構築、同定及び 2025 年度試算結果

（１）　地域別石化バランスモデル試算用データの設定

全国モデルの製品別生産量実績データなどの収集は容易に入手できるが、地域別の製品別生産実績のデータなどは入手困難である。したがって、チューニング段階で全国と地域の集計値が合致するように、各種の試行錯誤の試算を数多く加えて、ほぼ全国と一致するような構成にモデルを整備した。

（２）　2025 年度の各石化製品要生産の設定

2025 年の石化製品の地域のインバランスを検討するためには、2025 年の各地域の要生産を設定する必要がある。全国需要想定については、METI 素材産業課や芳香族工業会が 2025 年まで（ただし、METI は 2023 年まで）の需要想定を実施しているが、地域別の需要想定は実施されていない。

そのため、2019 年各地域実績や全国需要想定を参考に、2025 年の地域別需要想定を以下のとおり実施した。石化製品の 2025 年各地域需要想定は図表 6.4.20、全国と地域合計の要生産量の対比を図表 6.4.21 に示す。

図表 6.4.20　2020 年度石化製品の各地域需要量想定

＜関東実績＞

石化製品	2019年実績	2019年実績			2025年想定	2025年想定			備考
		誘導品内需	誘導品輸出	モノマー輸出		誘導品内需	誘導品輸出	モノマー輸出	
エチレン	3,621	2,532	556	532	3,465	2,555	483	427	全国同様輸出を考慮する想定
プロピレン	3,037	2,288	106	643	3,017	2,434	42	541	全国同様輸出を考慮する想定
ベンゼン	1,796	1,457	31	308	1,741	1,457	-34	318	誘導品輸出はキュメンが大半
キシレン	2,279	327	1,529	423	2,279	327	1,558	395	誘導品輸出は全国の伸びを参照して設定

＜中部実績＞

石化製品	2019年実績	2019年実績			2025年想定	2025年想定			備考
		誘導品内需	誘導品輸出	モノマー輸出		誘導品内需	誘導品輸出	モノマー輸出	
エチレン	491	377	113	0	469	371	98	0	全国同様輸出を考慮する想定
プロピレン	437	348	51	38	434	382	20	32	全国同様輸出を考慮する想定
ベンゼン	532	75	201	256	516	75	176	265	誘導品輸出はキュメンが大半
キシレン	1,135	163	295	677	1,135	163	341	631	輸出は全国の伸びを参照して設定

＜瀬戸内実績＞

石化製品	2019年実績	2019年実績			2025年想定	2025年想定			備考
		誘導品内需	誘導品輸出	モノマー輸出		誘導品内需	誘導品輸出	モノマー輸出	
エチレン	2,307	1,324	823	160	2,207	1,365	715	128	全国同様輸出を考慮する想定
プロピレン	2,030	1,831	33	167	2,017	1,864	13	140	全国同様輸出を考慮する想定
ベンゼン	1,527	1,000	490	36	1,480	1,000	443	37	SM輸出の多い瀬戸内からのみ誘導品輸出を減少
キシレン	3,226	462	1,933	831	3,226	462	1,989	775	輸出は全国の伸びを参照して設定

図表 6.4.21　全国と地域合計の要生産量対比

石化製品	地域	2019年実績	2019年実績			2025年想定	2025年想定		
			誘導品内需	誘導品輸出	モノマー輸出		誘導品内需	誘導品輸出	モノマー輸出
エチレン	全国	6,418	4,738	988	692	6,142	4,729	858	555
	3地域合計	6,418	4,233	1,493	692	6,142	4,291	1,296	555
プロピレン	全国	5,504	4,489	168	847	5,469	4,689	66	713
	3地域合計	5,504	4,467	190	848	5,469	4,680	75	714
ベンゼン	全国	3,855	2,532	723	600	3,737	2,532	585	620
	3地域合計	3,855	2,532	723	600	3,737	2,532	585	620
キシレン	全国	6,640	952	3,757	1,931	6,640	952	3,888	1,800
	3地域合計	6,640	952	3,757	1,931	6,640	952	3,888	1,800

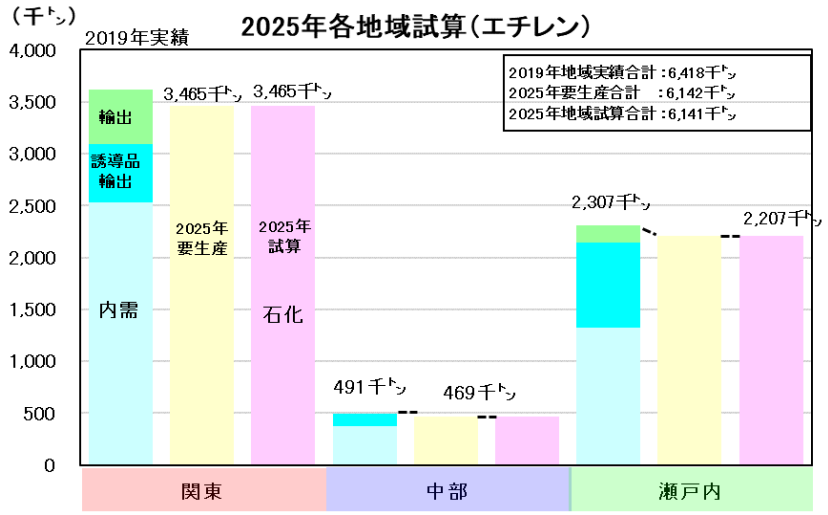
（3）　2025 年度地域別石化試算結果及び考察

各地域の製品別試算結果と考察を以下に述べる。

①エチレン

関東地域ではモノマー輸出、瀬戸内地域では誘導品輸出が多いため、輸出が難しい環境になると、大幅に減産する必要がでてくる。一方で、中部地域に関しては、輸出がほとんどないため、輸出環境に影響を受けない（図表 6.4.22 参照）。

図表 6.4.22　エチレンの各地域試算結果

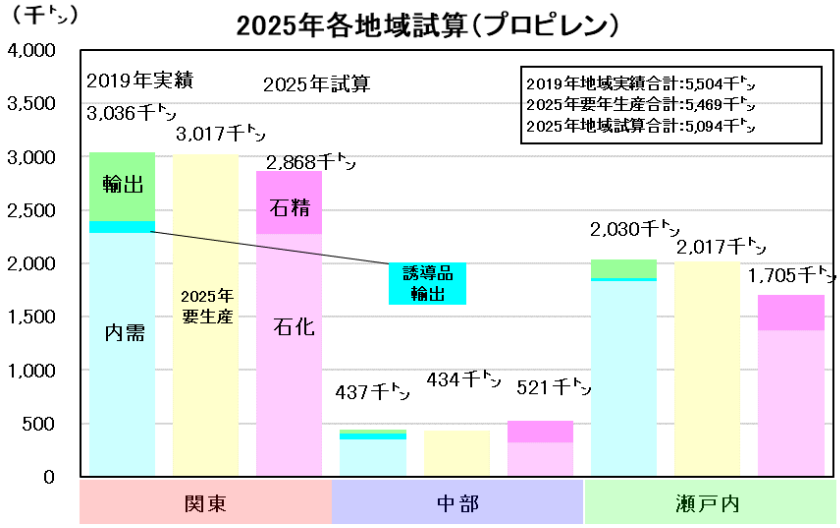


②プロピレン

関東、瀬戸内で要生産量に対し、不足バランスとなっている。エチレン生産量が減少していることが関係している。また、FCC 稼働減少による石製側からのプロピレン生産減も要因である。石精の石化シフトによる生産増を期待できる。

仮に関東のモノマー輸出が制限される環境になると瀬戸内地域への転送の必要も考えられる。中部地域に関しては、エチレン同様に輸出がほとんどないため、輸出環境に影響を受けにくいが、若干の余剰バランスとなる（図 6.4.23 参照）。

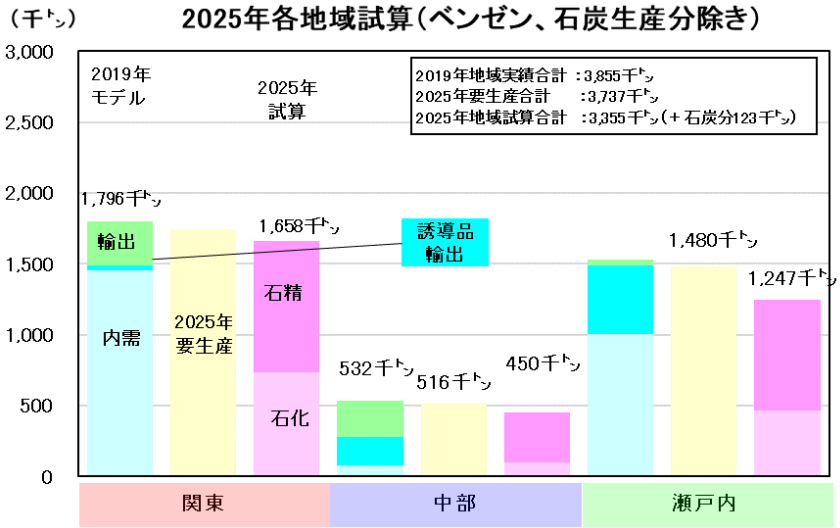
図表 6.4.23　プロピレンの各地域試算結果



③ベンゼン

関東、中部、瀬戸内全てで不足する結果となっている（図表 6.4.24 参照）。石油精製での揮発油の要生産量の減少に伴う、原油処理量減少による大幅な REF の稼働減少が要因である。ガソリン生産量とベンゼン生産量は同調するので、今後のガソリンの輸出動向がベンゼン生産に影響を与える。石精側生産量に応じ、各地域のベンゼン単体での輸出量の確保が必要になる。

図表 6.4.24　ベンゼンの各地域試算結果

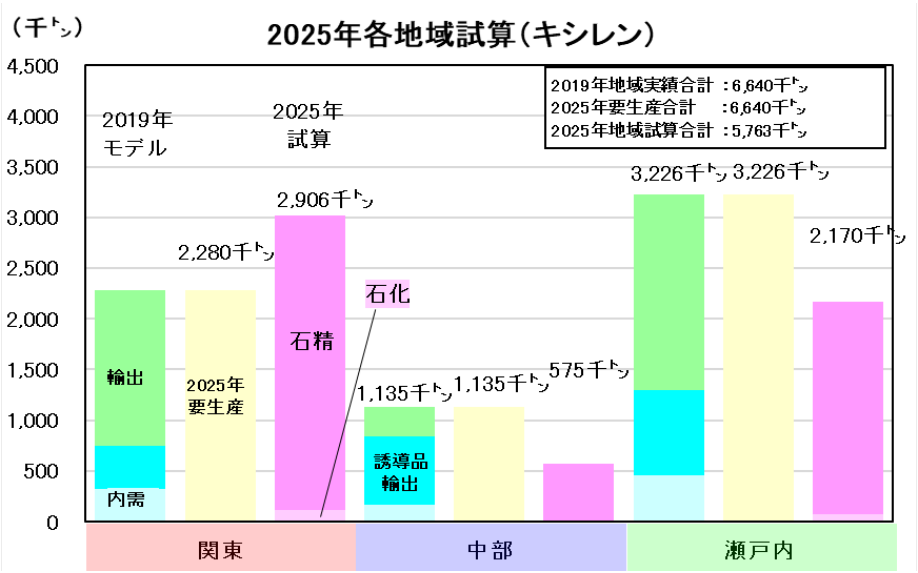


④キシレン

キシレン生産の大半は石精側で生産される。2025 年も中国 PTA 原料需要が引続き堅調と想定される。ガソリンにブレンドされているキシレン留分がまだ残っている。今後、キシレン回収増強をどう見込むかで状況は大きく変わる。関東で余剰バランスとなるが、中部、瀬戸内では REF の大幅な稼働減少で、大きく不足バランスとなった。（図表 6.4.25 参照）。そのため輸出元の調整や輸出量を確保することが必要となる。

なお、キシレンは内需がほとんどなく、中国への輸出に依存（誘導品である PX は韓国経由で中国に輸出）しているため、輸出環境によって生産のフレキシビリティを持っておく必要がある。

図表 6.4.25　キシレンの各地域試算結果



（4）　2025 年度地域別石化モデル試算結果の分析と課題

石油、石化ともに先行きの内需は減少傾向であるが、石精から石化へのシフト圧力は更に高まってくる。このままでは稼働率は低下し続けるジリ貧傾向となるので、カーボンリサイクルを活用しながら、稼働低下を抑制することを石精･石化一体となって進めていく必要がある。

各地域の 2025 年度に向けた石油化学の課題を示す。また、図表 6.4.26 に各地域の製品別の過不足試算結果をまとめる。

①関東地域

エチレン、プロピレンとも輸出が多いので、その影響を大きく受けることになる。石油も石化も全体的に需要が落ちていく中で、輸出競争力を堅持し、石精側、石化側各々にフレキシブル対応が可能となるような設備対応が必要となってくる。

キシレンは余剰傾向にあるものの、ベンゼンは若干不足となった。いずれもガソリン生産量動向及び原油処理量の影響を受ける。特にキシレンはガソリンにブレンドされている部分もあり、増産ポテンシャルを秘めている。不足傾向にある瀬戸内地域とのバランス調整で転送強化する検討の余地がある。また、内需減少傾向は今後も変わらないので、生産量を維持していくためには、揮発油要生産の確保、REF の原料となる HN の確保として、輸入 FRN からの HN 分留と LN のエチレン装置送液増が効果的である。

②中部地域

エチレン、プロピレンの輸出は少なく、ほぼバランスしている。

ベンゼンもほぼバランスしているが、若干不足となりキシレンが不足となった。石精サイ

ドの変化の影響を受けやすいので、余剰となる設備を活用したカーボンリサイクル転用を視野にいれた検討が必要である。

③瀬戸内地域

エチレンはほぼバランスするもののプロピレンは不足バランスとなる。

ガソリン減少、REF の稼働ダウンで、ベンゼンもキシレンも不足傾向である。キシレンについては今後ガソリン留分からの回収を増強することも検討の余地がある。また、REF 原料である HN の安定確保が必要になってくる。中部地域同様カーボンリサイクルへの設備転用を視野にいれた検討が必要である。

図表 6.4.26　2025 年地域別石化バランスモデル試算結果のまとめ

	関東		中部		瀬戸内		補足
エチレン生産量	2019年	2025年	2019年	2025年	2019年	2025年	各地域とも若干の内需減、輸出減 中部はもともと輸出少ない
	3,621千ﾄﾝ	3,469千ﾄﾝ	491千ﾄﾝ	469千ﾄﾝ	2,307千ﾄﾝ	2,208千ﾄﾝ	
インバランス							
プロピレン	149千ﾄﾝ不足		87千ﾄﾝ余剰		312千ﾄﾝ不足		関東、瀬戸内で不足するバランス
ベンゼン	83千ﾄﾝ不足		66千ﾄﾝ不足		233千ﾄﾝ不足		関東、中部、瀬戸内とも不足するバランス
キシレン	738千ﾄﾝ余剰		560千ﾄﾝ不足		1,056千ﾄﾝ不足		中部、瀬戸内で不足、関東で余剰のバランス
試算前提	・エチレンは需要好調のため、クラッカーではエチレン優先生産 ・要生産は、METI等の全国需要想定の増減をベースとして、地域別実績比率で配分した設定 （2019年と2025年の需要変化は小さい）						

７．国内石油コンビナートのカーボンニュートラルに向けた分析調査

2020 年 10 月に、「2050 年カーボンニュートラル」が宣言され、これを踏まえて、「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が提示された。特に基幹産業が集積する石油コンビナートは、成長が期待される 14 の重要分野のうち、水素・燃料アンモニア産業やカーボンリサイクル・マテリアル産業など多くの分野とかかわりがあり、エネルギー・素材の安定供給と新たな経済成長に向けて、グリーン成長戦略を具体的な形で取り込まなければならない。

そこで、それぞれのコンビナートに期待される役割や課題が、従来とは変化してきていることを踏まえて、国内石油コンビナートの国際競争力評価・分析（第 2 章）や海外石油コンビナートの設備戦略調査（第 3 章～第 5 章）、石油・石化製品の需給バランスに関する分析調査（第 6 章）に加えて、これまでコンビナートで蓄積してきたインフラや仕組みを生かしながら、足元では国際競争力強化を図りつつ 2050 年に向けてカーボンニュートラルなコンビナートに作り替えるために必要な先進技術の調査を行い（第 7 章第 1 節～第 2 節）、これらの調査結果を基に、コンビナート 9 地区の今後の課題、目指す姿を調査した。

調査に当たっては、コンビナート地区ごとに、事業所が立地する石油精製事業者及び石油化学事業者からなるワーキンググループを組成し、ヒアリング等を実施しながら調査を取りまとめた。

７．１ 国際競争力強化、カーボンニュートラルに関わる先進技術調査

７．１．１　国際競争力強化に関わる先進技術調査

国内の石油製品の中期需要見通しでは、特にガソリン、重油の内需減退が大きく、引き続きボトムレス化や石化シフトといった課題への取組みが重要である。さらに、中長期的な石油製品の需給動向は下記に挙げる事項によって影響を受けるといわれており、国内の石油製品の需要構造が大きく変化する中、国内各石油会社は各製油所における原油処理量の縮小もさることながら、石油製品需要に見合った生産計画を強いられることとなる。このような環境では既設設備を最大限有効活用しながら市場に応じて石油製品生産量を調整できる技術が求められる。

・カーボンニュートラル

2050 年のカーボンニュートラルの実現に向け、各分野で電化や脱炭素化が進展する。電動車は、2020 年末に策定されたグリーン成長戦略では、「遅くとも 2030 年代半ばまでに、乗用車新車販売で電動車（※FCV,HV,PHV を含む）100％を実現できるよう、包括的な措置を講じる。商用車についても、乗用車に準じて 2021 年夏までに検討を進める。」とされている。

水素やアンモニアなどの新燃料についても、自動車、製鉄、電力業界などでの活用が更に推進される見通しである。

・IMO（国際海事機関）による硫黄分規制の強化

2020 年 1 月より導入されている硫黄分規制強化を踏まえ、内航海運・旅客船などにおいても①高硫黄 C 重油から低硫黄油種への切替え、②高硫黄 C 重油を使いつつ、脱硫装置（スクラバー）を使用、③LNG などの代替燃料への切替え、のいずれかの対応が求められ

る。
中長期的には、LNG・LPG を動力とした船舶の導入も一定程度進むことが予想される。

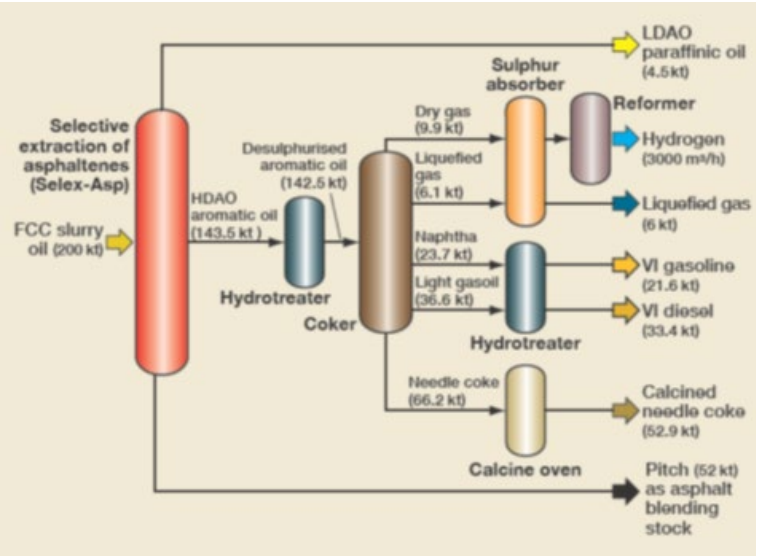
・物流構造の変化（物流合理化・モーダルシフト など）
貨物輸送需要は堅調に推移する一方、小型トラック保有台数は減少傾向、普通トラックは微増傾向で推移しており、物流合理化の進展が一部顕在化している。現時点の輸送量全体に占める鉄道・航空輸送の分担率は合計約１％程度であるが、今後の鉄道及び航空輸送への転換を指すモーダルシフトの動向は注視し続ける必要がある。
・海洋プラスチック問題の影響
マイクロプラスチックによる海洋汚染問題などを背景に、外食産業などを中心に、プラスチック製品を廃止するなどの「脱プラスチック」に向けた動きが見られる。現状ではプラスチック製品全体に占める割合は少ないことから、現時点においてナフサ需要への影響は限定的である。

・ジェット燃料の国際線需要
2020 年に実施された羽田空港の発着枠拡大や、コロナ禍影響の反動などを背景に、国際線の発着回数、利用客数は全国的に増加する見通しである。発着枠拡大などに伴い、ジェット燃料の国際線需要は増加が見通されることから、国内と国際線合計としてのジェット燃料需要は今後も増加傾向で推移する見通しである。

（１） ボトムレス化に関わる先進技術調査
①ニードルコークス原料としての CLO の活用
重質燃料油の需要低下で、FCC 残さ油（Clarified Oil; CLO）は、その扱いが課題となっている。
そこで注目されているのが、ニードルコークス原料としての CLO の利用である。ニードルコークスの主な用途は、電気製鋼用黒鉛電極の骨材である。鉄鋼の生産は、鉄鉱石を原料にした高炉法と鉄スクラップを原料にした電炉法に大別される。電炉法は、黒鉛電極に通電して、電極先端でアーク放電を行い、鉄スクラップを溶融することで鉄鋼を生産する方法で、高炉法に比べ、二酸化炭素排出量が少なく、エネルギー消費量が少ないという利点に加え、資源の再利用という観点から世界的に増加する方向である。特に、環境問題が大きい国では、高炉法から電炉法へのシフトが期待されている。
また、地球環境問題への対応から電気自動車の普及が期待され、リチウムイオン二次電池の増産が期待されているが、電池材料の不足、特に負極材の不足が懸念されている。負極材は、主に天然黒鉛などが使用されているが、ニードルコークスを高温処理した人造黒鉛の生産が負極材不足を補い、電気自動車の普及に貢献することが期待されている。
そこで、ニードルコークス生産に関連する CLO 処理技術を調査した。
ディレードコーカーで生産される石油系のニードルコークスの主原料は CLO である。しかしながら、CLO には高分子物質（アスファルテンやレジン）が含まれており、これらはコーク成長が早く、均一のコークスを作るにはあらかじめ除去しておいた方が良い。
下記の例は、CLO をカナダの Well Resources 社が有する Selex-Asp プロセスにチャージして、アスファルテンを除去し、Light Deasphalted Oil（LDAO）と Heavy Deasphalted

Oil（HDAO）を生産するものである。
触媒粉が多い（3000ppm）と、コーカーでの炭素の結晶の発達が阻害される。
Selex-Asp プロセスには触媒紛を除去するための工程はないが、溶剤抽出の段階でそれらは抽出されず、ボトムに移行するため、一定の触媒粉の低減は期待できる。CLO、LDAO、HDAO の性状を図表 7.1.1 に示す。
硫黄分が多いと、黒鉛電極製造時に不可逆膨張（Puffing）を起こし、製品電極の中央が膨れ、場合によっては割れが入ることがある。そのため、この場合、HDAO は水素化処理して、硫黄分を除去した後、コーカーでニードルコークスを生産している。

図表 7.1.1　Selex-Asp プロセスを用いたニードルコークス生産フロー



FCC Slurry と DAO の性状

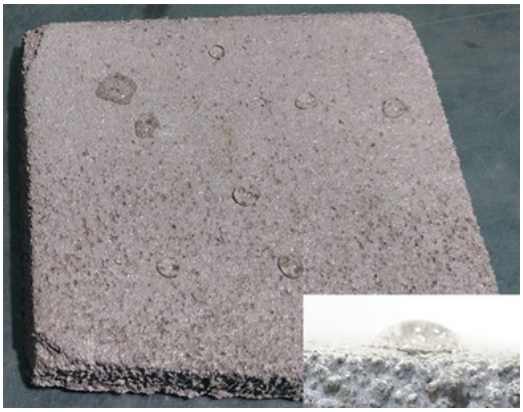
Properties of FCC slurry oil and its sub-fractions

	FCC slurry oil	LDAO	HDAO
Yield, wt%	100.00	2.25	72.75
Density, kg/m³ @20°C	1.032	0.975	0.985
Kinematic viscosity, mm²/s			
50°C	1462	200	330
100°C	43	15	21
Concarbon residue, wt%	15.14	1.00	4.05
Ash, wt%	0.36	0.00	0.00
Elemental analysis, wt%			
Carbon	88.10	87.8	88.32
Hydrogen	10.72	11.3	10.83
Hydrogen/carbon ratio	1.46	1.54	1.47
Sulphur	0.3	0.3	0.3
Nitrogen	0.72	<0.3	<0.3
Solubility class species, wt%			
Saturates	34.5	56.5	50.9
Aromatics	47.6	39.0	42.7
Resins	14.6	4.5	6.4
Asphaltenes	3.4	0.0	0.0
Simulated distillation, °C			
IBP	232.6	204.6	248.4
10	371.2	373.0	370.8
20	397.4	401.4	397.4
30	419.0	422.0	418.0
40	438.0	441.0	436.0
50	457.6	460.4	454.0
60	479.2	481.0	473.8
70	503.8	503.6	495.8
80	535.4	530.6	522.8
90	585.6	568.4	562.8
FBP	733.4	671.8	702.8

（出所）PTQ（Petroleum Technology Quarterly）Q3 2018

一方、Selex-Asp プロセスから分離されたアスファルテンを少量セメントに混ぜることで、セメントにはっ水性を持たせる活用例がある（図表 7.1.2）。アスファルテンを燃料油に用いれば二酸化炭素の排出につながるが、このような活用例はセメントに固定化され環境負荷を下げる。この活用例で使用するアスファルトは少量であるが、燃焼させない活用方法は今後も期待される。

図表 7.1.2　アスファルトを添加したはっ水性を有するセメント

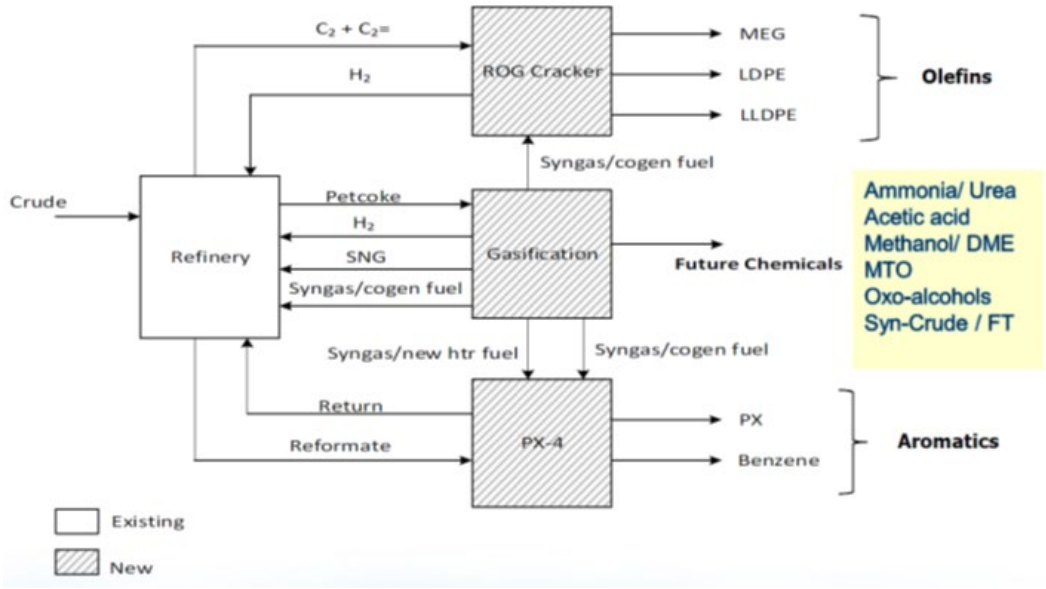


（出所）“Asphaltene removal technology produces novel cement waterproofing additive”、
Hydrocarbon Processing、 September 2021

②化学原料としての石油コークスの活用

CLO はコーカーの原料となるが、インド リライアンス社ジャムナガールでは、その石油コークスをガス化し、製造される合成ガスを原料としてメタノールやアンモニアなどの化学製品を生産するスキームを構築しつつある。

図表 7.1.3　ガス化を取り込んだジャムナガール製油所の生産スキーム

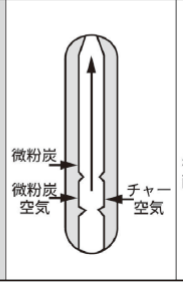
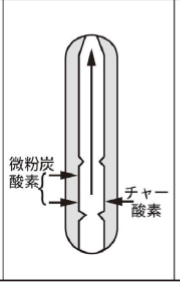
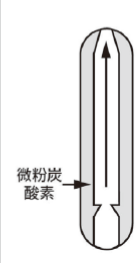
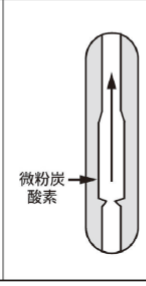
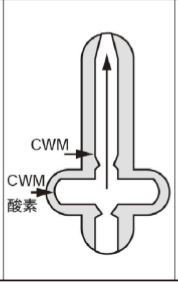
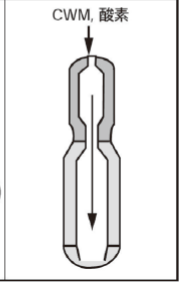


（出所）“Update on Jamnagar Gasification Project” Gasification India 2016
(https://missionenergy.org/Gasification2016/presentation/ril.pdf)

ジャムナガール製油所では石化製品・原料の得率を更に高めるべく、2017 年にコークスガス化装置を建設し、運転に入っている。大規模なコーカー(32 万バレル/日)は大量のコークスを生産する。このコークスは主に、製油所内外向け電力の生産用燃料として活用されていた。リライアンス社は、従来電力不足のインド市場向けに、比較的付加価値の高い

商品としての電力も、大量に販売してきた。しかし、シェール革命時代に入りガス価格が割安化し、またインド国内電力需給も緩和しつつ有る中で、リライアンス社は、「新コークスガス化装置の建設」へ踏み切った。
ガス化装置は合わせて 10 装置あり、フル稼働した場合、月間コーク消費量は 50 万トンとみられる。現在のコーク消費量は約 33 万トン/月であるため、フル稼働には至っていないようである（2019 年当時)。
ジャムナガールガス化プロジェクト拡張工事の計画では CO リッチな合成ガスからメタノール、酢酸、無水酢酸、酢酸エチル、酢酸ビニル、エチレン酢酸ビニル、DME、アンモニア、尿素などを作る計画がある。
ガス化の生成物である合成ガスは、熱、電気、水素の供給源となるばかりでなく、C1 化学体系の起点にもなる。このように、ガス化は将来の炭素資源利用システムを構築できる可能性があり、余剰となる石油残さ（石油コークス）の活用方法として検討に値する。
ガス化技術の歴史は古く、化学工業におけるアンモニアやメタノール、合成油などの製造プロセスの原料製造のため、各種ガス化炉が開発された。ガス化炉は気固反応装置であり、気体と固体の接触方式によって固定層、流動層、噴流床と呼ばれる三種の形式に分類される。
このうち噴流床ガス化炉は大容量化に適しており、加圧することによりコンパクト化を図ることが可能である。また、高温で運転できるため炭素転換率（原料中の炭素がガスへ転換する割合）が高く、そのため、エネルギー転換効率が高いというメリットがあり、近年開発されている発電用の大規模なガス化炉のほとんどで、噴流床方式が採用されている。
噴流床ガス化炉（entrained-flow gasifier）にも多くの種類があり、図表 7.1.4 に、国内外の 噴流床ガス化炉の特徴を示す。まず、ガス化炉に投入するガス化剤により空気吹きと酸素吹きに分類される。次に、加圧の炉内へ微粉炭を供給する給炭方式でも分類される。石炭と水のスラリー（CWM）をポンプで送る簡素な湿式給炭（スラリーフィード）方式に対して、気流搬送で送るため複雑になるが熱効率面で有利な乾式給炭（ドライフィード）方式がある。

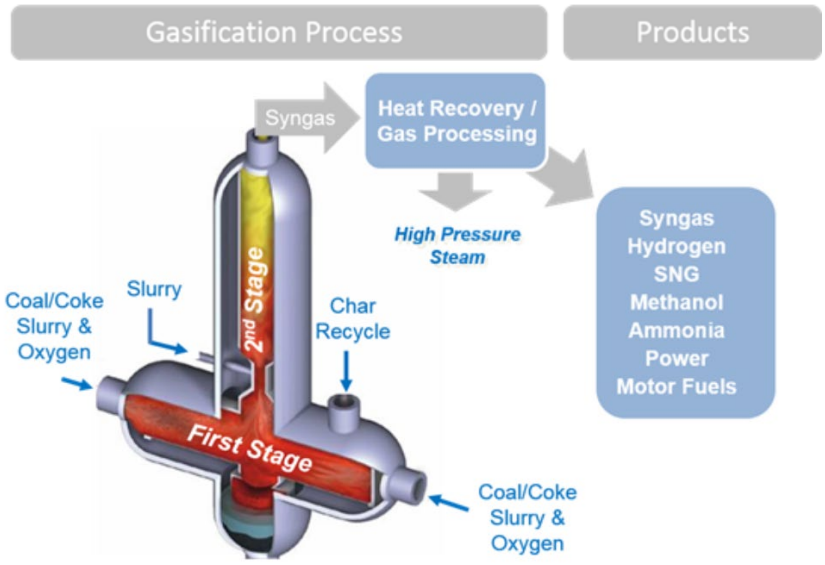
図表 7.1.4　主な噴流床ガス化技術

	CCP炉（勿来発電所）	EAGLE炉（大崎発電所）	シェル炉	プレンフロー炉	E-Gas炉	GE炉
型　式	二室二段	一室二段	一室一段	一室一段	二室二段	一室一段
ガス流れ	上昇流	上昇流	上昇流	上昇流	上昇流	下降流
石炭供給	ドライ	ドライ	ドライ	ドライ	スラリー	スラリー
ガス化剤	酸素富化空気	酸素	酸素	酸素	酸素	酸素
概念図						

（出所）加圧噴流床石炭ガス化炉における反応モデリング、日本燃焼学会誌 第 56 巻 175 号（2014 年）

ジャムナガールで採用されているガス化炉はMcDermott社のE-Gas™ガス化炉である（図表7.1.5参照）。E-Gas™ガス化炉はDow Chemical Companyが1978年に開発したスラリー供給アップフロータイプの加圧噴流式ガス化炉である。1999年にGlobal Energy社がこのガス化技術を買収し、E-Gasガス化技術へ名前を変更した。2003年にConoco Phillips社がこの技術ライセンス権を買収し、現在はMcDermott社（LUMMUS）がライセンス権を所有している。
原料の石油コークス（又は石炭）は原料前処理ユニットにおいて粉砕され、水と混ぜてスラリー化され、ガス化炉に供給される。スラリーフィードの場合、ドライフィードに比べて原料ハンドリングが容易であることと、原料フィードポンプによって原料を加圧することができるため、ガス化炉圧力を高くすることができる（400～420 psig）。また、水が加わることにより、H2/CO比を高くすることができるため、合成ガスからアンモニアなど水素を多く必要とする化学物質を合成する場合、有利である。

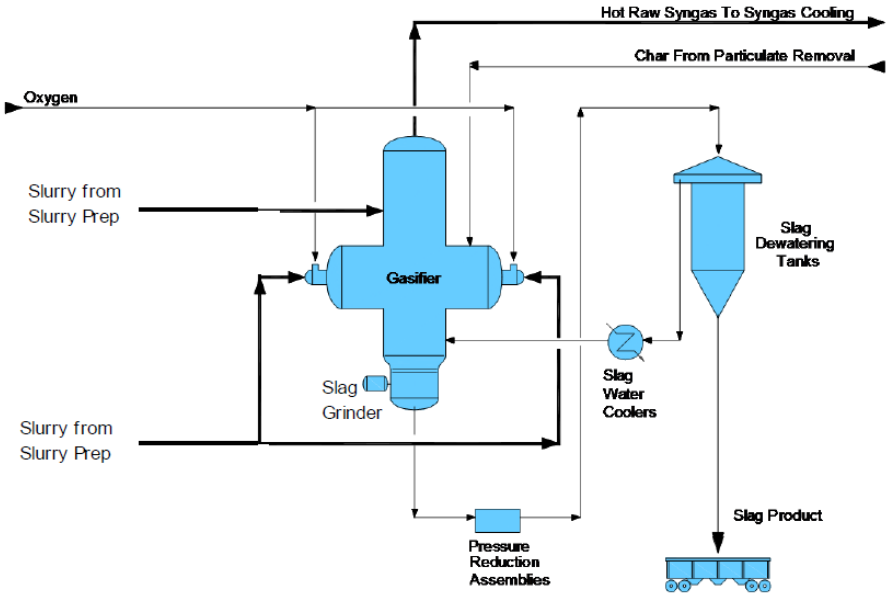
図表7.1.5　E-Gas™ガス化炉概念図



（出所）McDermott社ホームページ（ https://www.lummustechnology.com/Process-Technologies/Gasification/E-Gas-Technology-for-Coal-Petcoke-Conversion）

スラリーの濃度は一般的に50-70 wt%であり、原料中の水分によって決められる。E-Gas™ガス化炉は二室二段のガス化炉であり、原料の75%が一段目（下段）に供給される。一段目のガス化炉は横型のベッセルであり、左右に配置されたミキサーノズルで酸素と混合される。一段目は1,430℃（2,600 oF）で運転され、部分酸化反応によりH2とCOを主成分とする合成ガスが生成され、上部の二段目のガス化炉に送られる。二段目は縦型のベッセルで、残りのスラリーが供給される。二段目では一段目で生成した高温の合成ガスとスラリーが酸素のない雰囲気で反応し、合成ガスを新たに生成する。二段目の反応は吸熱反応であるため、二段目のガス化炉出口の温度は1,030℃（1,900 度F）程度に低下する（図表7.1.6参照）。

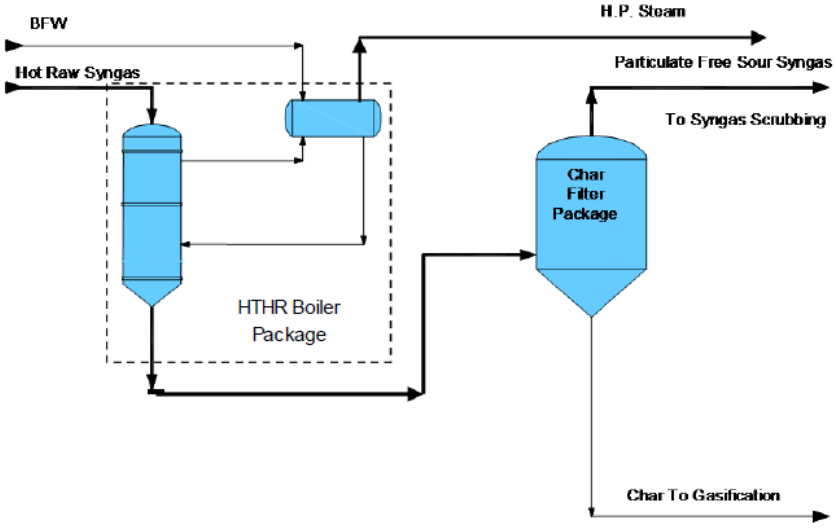
図表 7.1.6　E-Gas™ガス化炉廻りフロー図



（出所）Wabash Valley Integrated Gasification Combined Cycle、 Coal to Fischer Tropsch Jet Fuel Conversion Study、 Lummus Technology Inc., June 2016

ガス化炉を出た合成ガスは熱回収装置（High Temperature Heat Recovery、 HTHR）で蒸気を発生し、自身は 370℃（700℃度 F）まで冷却され、その後、チャーフィルターに送られる。フィルターエレメントが充てんされたチャーフィルターでチャーが捕捉される。フィルターエレメントは定期的に合成ガスで逆洗され、たまったチャーは再びガス化炉に圧送される。リサイクルされたチャーはガス化炉でガス化され、石炭転換率の上昇に寄与する（図表 7.1.7 参照）。

図表 7.1.7　E-Gas™ガス化炉出口フロー図



（出所）Wabash Valley Integrated Gasification Combined Cycle、 Coal to Fischer Tropsch Jet Fuel Conversion Study、 Lummus Technology Inc., June 2016

チャーが除去された合成ガスには COS や H2S が含まれており、これらはガス精製ユニットで除去される。また、合成ガスの一部はシフト反応器に送られ、そこで合成ガスに含まれる CO は水とのシフト反応により水素と CO2 に変換され、更に多くの水素を得る（図表 7.1.8 参照）。

図表 7.1.8　ジャムナガールガス化プロジェクト合成ガスの構成（1 期工事）

Syngas	mmscmd,NG eq	%	Consumption
Cogen fuel	12.0	52	Power & steam
H_2	5.4	23	Refinery clean fuels
SNG	4.1	18	Existing process heaters
Heater fuel	1.7	7	New process heaters
Total	**23.2**	**100**	

（出所）“Update on Jamnagar Gasification Project” Gasification India 2016
(https://missionenergy.org/Gasification2016/presentation/ril.pdf)

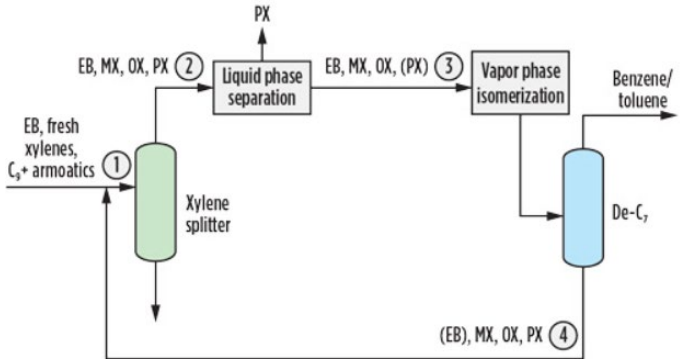
（２） 石化シフトに関わる先進技術調査

①液相異性化プロセス（LPI）

キシレンの異性体は、オルト、メタ、パラの各キシレンとエチルベンゼンであるが、需要の大部分はパラキシレンであることから、他の異性体をパラキシレンに変える異性化技術が開発され、発展を遂げている。異性化プロセスは平衡反応であり、パラキシレン分離プロセスと組み合わせることにより、全てのキシレン異性体をパラキシレンに転換することが可能となる。

キシレン異性化プロセスは UOP の Isomer や ExxonMobil の XyMax などの気相反応プロセス（Vapor Phase Isomerization, VPI）が一般的である（図表 7.1.9 参照）。この VPI では C9、C10 アロマが副成するためキシレン塔を経由することとなる。すなわち、気相異性化反応プロセスを採用した場合、キシレン異性体はキシレンループにおいて 4 度の相変化（キシレン塔内での蒸発、キシレン塔塔頂での凝縮、キシレン異性化反応塔前での蒸発、キシレン異性化装置デヘプタナイザーでの凝縮）を伴うことからエネルギーを大量に消費することになる。

図表 7.1.9　キシレンループ内のキシレン異性体の相変化



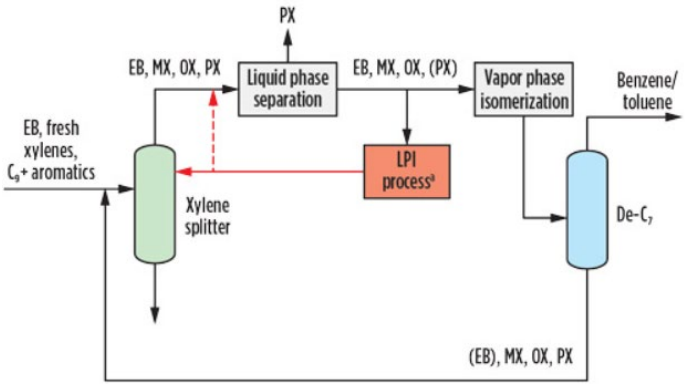
（出所）ExxonMobil, A New Liquid Phase Isomerization Process for Xylene Loop Debottleneck and Energy Savings, Hydrocarbon Processing, Jan 2020

液相異性化プロセス（Liquid Phase Isomerization, LPI）は 1980 年代から商業化されているが､触媒再生のために頻繁にシャットダウンしなければならないなどの理由で VPI の方が普及した。しかし、触媒とプロセスの改良に伴い、また、近年のパラキシレン（PX）の増産と省エネの要請もあって、LPI に再び注目が集まってきている。

PX 分離プロセスの増強を考える場合、下流の異性化装置の増強を考える必要がある。LPI は VPI に置き換わるわけではなく、異性化セクションに増強が必要な場合、その追加が必要な処理量の一部を新たに、LPI 装置を建てて、増産分は LPI 装置で処理することが可能となる。LPI は装置構成もシンプルで（加熱炉やリサイクルコンプレッサーが不要)、同処理量の VPI に比べると建設費、運転費共に低コストである。PX 装置増強における付随設備への投資を最小化する提案の一つとして位置付けられている（図表 7.1.10 参照)。

VPI 単独の増強の場合は、下流のデヘプタナイザーやキシレンカラムの増強も視野に入れる必要があるが、LPI の場合は異性化機能のみに特化しているので、キシレンロスが少なく、かつ重質分の生成が少ないためデヘプタナイザーやキシレンカラムをバイパスできる可能性がある。

図表 7.1.10　LPI の追設スキーム



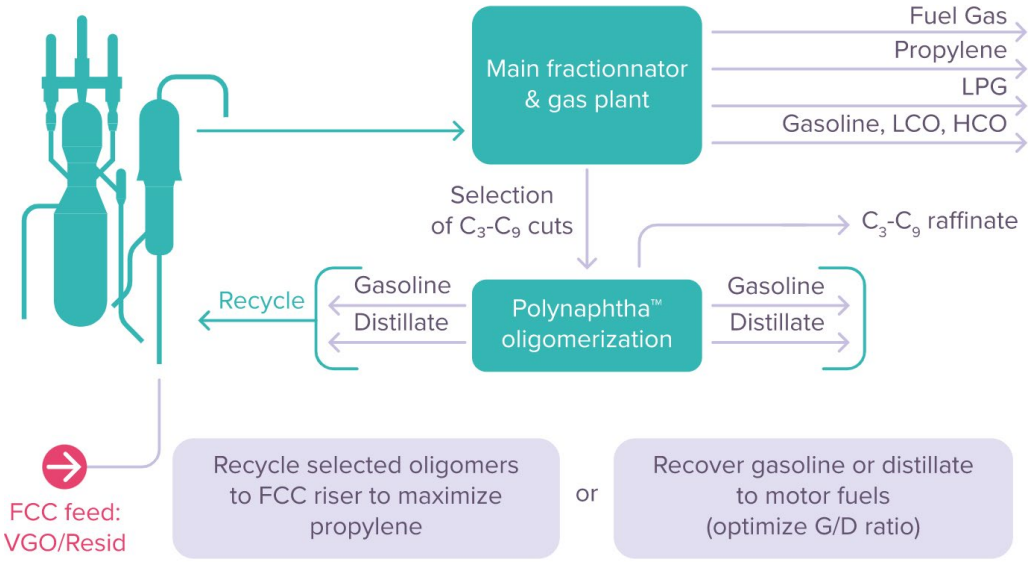
（出所）ExxonMobil, A New Liquid Phase Isomerization Process for Xylene Loop Debottleneck and Energy Savings, Hydrocarbon Processing, Jan 2020

②C3-C9 留分の有効利用

国内の石油製品の需要構造が大きく変化する中、石油需要に見合った生産計画を強いられることとなる。このような環境では既設設備を最大限有効活用しながら市場に応じて石油製品生産量を調整できる技術が求められ、そのうちの一つとして、既設分解装置とオリゴマリゼーション技術を組み合わせた Axens の FlexEne™ が有効である。

Axens は FCC とオリゴマリゼーション（Polynaphtha™）を組み合わせる FlexEne™ というサービスを提案している（図表 7.1.11 参照）。FCC から生産される余剰留分をオリゴマリゼーションし、それを再び FCC にかけることにより、ガソリンの減産に対応しながら、プロピレン、ディーゼルの増産に対応することが可能となる。

図表 7.1.11　Axens の FlexEne™ フロースキーム



（出所）Axens, https://www.axens.net/markets/oil-refining/oligomerization

7．1．2　カーボンニュートラルに関わる先進技術調査

「2050 年のカーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」では、“石油化学コンビナートの脱炭素化”を推進することが明記されている。

＜現状と課題＞

国内の臨海部に立地している石油化学コンビナートは、石油化学、石油精製、鉄鋼、電力、ガス等の基幹産業が集積し、素材・エネルギーの供給拠点として、日本経済や国民生活を支えている。こうした石油化学コンビナートを構成している石油化学プラントや製油所においては、製造プロセスで多くの CO2 が排出されている。これまで高効率熱交換器の導入など省エネ対策に取り組んできたところであるが、製造プロセスへの脱炭素燃料の導入や脱炭素技術の活用など一層の取組が求められる。

＜今後の取組＞

石油化学コンビナートにおいて、製造プロセスへの脱炭素燃料の導入など一層の脱炭素化を図るため、石油化学プラントにおいては、水素やアンモニア等の燃料特性に合わ

せたナフサ分解炉の技術開発を行う。製油所においては、石油精製プロセスにおける CO2 フリー水素の活用、トッパーや分解装置におけるボイラーの脱炭素燃料の活用など、製油所の脱炭素化に向けた実証や設備投資を促進する。また、石油化学コンビナート内の企業間で熱を融通するなど企業間連携を促進し、石油化学コンビナート全体の脱炭素化の取組を行う。さらに、石油化学コンビナートが、水素や合成燃料など新たな燃料供給の拠点となる取組を後押しすることで、引き続き石油化学コンビナートがエネルギー供給の中心的な役割を果たしていくことを目指す。

そこで、コンビナートにおける製造プロセスへの脱炭素燃料の導入など一層の脱炭素化を図るため、特に、石油精製設備などコンビナート設備と連携可能な廃プラスチックなどの廃棄物の再資源化技術を中心に、エンジニアリングの観点から 2030～35 年までの社会実装が有力な先進技術を調査した。

（1） 接触改質装置を活用した水素製造技術（LOHC）

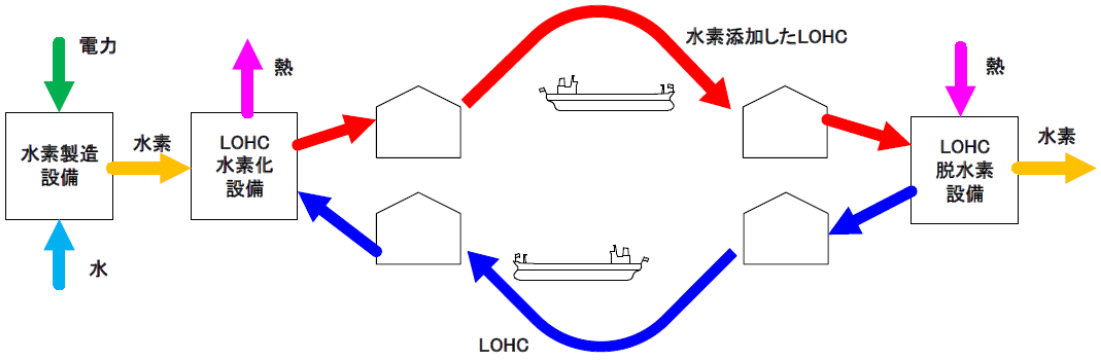
日本国内においては中長期的スパンにおいて、省エネ及び低炭素化の流れで燃料油、なかでもガソリンの内需減退が続いて、接触改質装置や FCC 装置などのガソリン生産装置に余力が発生することが、RING による LP 試算でも明らかになった。

そこで、既設接触改質装置を有効活用しながら水素エネルギー導入を可能にするなかでも LOHC（Liquid Organic Hydrogen Carrier）について、その技術的ポイント、導入に向けた課題などについて調査した。

①LOHC とは

LOHC とは Liquid Organic Hydrogen Carrier(有機ハイドライド)の略で、ハイドロカーボンを輸送媒体として水素導入を図る仕組みである（図表 7.1.12 参照）。

図表 7.1.12　LOHC 全体フロー図



（出所）JGC

LOHC を導入するうえで主要な設備となるのは水素製造設備、LOHC 水素化設備、LOHC 脱水素設備である。日本国内では再生可能エネルギー由来の安価な電力に限りがあることから、安価な電力が得られる海外で水素を製造し、その水素を水素化設備にて LOHC を水添

し、LOHC を船で輸送、国内で脱水素して水素を取り出し、脱水素された LOHC をまた船で海外の水素化設備に輸送する、というスキームである。
このような LOHC となる物質としては 10 種類ほどあるが、なかでも以下の 2 種類が有力である。
①メチルシクロヘキサン(MCH)⇔トルエン
②パーハイドロジベンジルトルエン⇔ジベンジルトルエン

上記 2 種類の LOHC の物性、反応性などの比較を図表 7.1.13 示す。

図表 7.1.13　LOHC 物性比較表

Property		Dibenzyltoluene–perhydro-dibenzyltoluene (DBT-H18-DBT)	N-Ethyl-Carbazole-dodecahydro–N-ethylcarbazole (NEC-H12-NEC)	Toluene–Methylcyclohexane (TOL–MCH)
Storage density		2.05 MWh/Nm³	2.01 MWh/Nm³	1.58 MWh/Nm³
Melting point / boiling point	Loaded	-39 °C / 390 °C	69.1 °C / 348 °C	-95 °C / 111 °C
	Unloaded		/ 280 °C	-127 °C / 101 °C
Typical Reaction conditions Hydrogenation	Pressure	30–50 bar	70 bar	10–50 bar
	Temperature	150 °C	150 °C	50–100 °C
	Reaction enthalpy	-65 kJ/mol H_2 (27% of H_2 LHV)	-53 kJ/mol H_2 (22% of H_2 LHV)	-68.3 kJ/mol H_2 (28% of H_2 LHV)
Typical Reaction conditions Dehydrogenation	Pressure	1 bar	1 bar	3 bar
	Temperature	320 °C	220 °C	350 °C
	Reaction enthalpy	65 kJ/mol H_2 (27% of H_2 LHV)	53 kJ/mol H_2 (22% of hydrogen LHV)	68.3 kJ/mol H_2 (28% of hydrogen LHV)
Toxicity		-		
Flammability		Low	Low	High
Price		<4 €/kg	>$40 /kg	<1€/kg

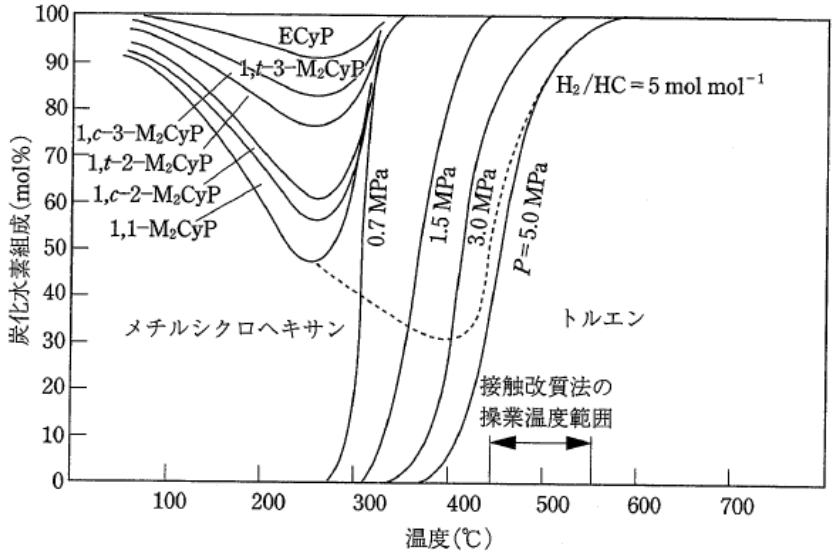
（出所）VTT Technical Research Centre of Finland, Liquid organic hydrogen carriers (LOHC): Concept evaluation and techno-economics, 02/12/2019

どちらも常温常圧下では液体として存在し、LOHC としての水素輸送能力は含まれるベンゼン環の数で決まる。1 モルのベンゼン環で 3 モルの水素分子を輸送できるため、ベンゼン環を 3 つ有するジベンジルトルエンはトルエンに比べ 3 倍の水素保持能力を有している。ジベンジルトルエンはトランスの絶縁油などに用いられ、無毒、低燃焼性の安定した物質である。一方のメチルシクロヘキサンはガソリン留分に含まれる物質であり、トルエンは製油所からの芳香族製品の一つであるため、製油所装置と極めて親和性が高い物質である。製油所既存設備の有効活用という観点から考えると、メチルシクロヘキサン-トルエンを LOHC として導入することが望ましい。
以下においては、メチルシクロヘキサン-トルエンをベースに検討することとする。

②反応機構
ヘビーナフサを原料とした接触改質装置においては、パラフィンの異性化、パラフィンの異性化脱水素、5 員環ナフテンの異性化脱水素、6 員環ナフテンの脱水素、各種炭化水素の分解という様々な反応が複合的に起こっているが、メチルシクロヘキサンのみを接触改質装置にかける場合には 6 員環ナフテンの脱水素反応のみとなる。この反応は図表 7.1.13 に示すように多くの熱を必要とする吸熱反応であり、また異性化、環化反応と比

較すると、反応速度が極めて速い。

図表 7.1.14　C7 ナフテン-トルエン-水素系の接触改質条件下における平衡関係



（出所）石油精製プロセス 公益社団法人石油学会編 講談社

図表 7.1.14 に C7 ナフテンとトルエンの平衡関係を示す。この関係から C7 ナフテンをトルエンに転化させるためには、反応温度が高く、反応圧力が低いことが分かる。またコークスの生成を抑制するため、ある程度の水素分圧下(水素循環比を高くする)で反応させることが望ましい。脱水素反応は反応速度が極めて速いため、触媒床の入り口での急激な反応の進行と共に温度が低下することにより反応速度が低下する。反応器を出た流体は加熱炉によって昇温されることにより次の反応器で脱水素反応が進行する、というように反応器の段数分だけの逐次反応により脱水素反応が進行していく。

ナフテンの脱水素反応は温度、圧力などのパラメータによって以下のようになる。

・反応温度が高いほど脱水素反応が進行する。
・反応圧力が低いほど脱水素反応が進行する。
・水素比が高いほど脱水素反応が進行する。

③既設接触改質装置への適用

上記 C7 ナフテンとトルエンの平衡関係(脱水素性)を踏まえ、ここでは既設接触改質装置への適用について検討する。これまでの接触改質装置は基本的に水素化脱硫したヘビーナフサをフィードしている場合が多い。ヘビーナフサを接触改質装置にかける場合には脱水素の他にも環化、異性化、分解など様々な反応が複合的に起こることにより高オクタン価のリフォーメートを生産している。これまでのヘビーナフサのフィードから全て、又は一部をメチルシクロヘキサンに置き換えることにより、以下の 6 点に留意する必要がある。

A) 反応系の熱バランスの変化
B) 脱水素反応に適した触媒の開発、触媒再生
C) リサイクルガス分子量の低下への対応

D) 製品水素系統の検討
E) 精留、分留系統の検討
F) 前処理設備の検討

A) 反応系の熱バランスの変化

従来のヘビーナフサフィードからメチルシクロヘキサンフィードへの転換ないしはヘビーナフサにメチルシクロヘキサンを混合して接触改質装置にフィードする場合、反応機構及び熱バランスが大きく異なってくる。ヘビーナフサをフィードしていた場合には脱水素以外にも環化、異性化、分解などの様々な反応が複合的に起こっており、それぞれ異なる熱バランス、反応速度などを持っている。反応器(触媒)及び反応器入口のチャージヒーター、インターヒーターもそれに合わせて設計されている。フィード中のメチルシクロヘキサンの割合を上げる、又は、メチルシクロヘキサンのみにした場合、これに合わせた設備仕様、運転条件にしていく必要がある。

脱水素反応は急激な吸熱反応であり、かつ温度が高いほど反応が進行するため、ナフテンの脱水素反応のみ、あるいは脱水素反応の割合が増えることにより、チャージヒーター及びインターヒーターについては、可能な限り設計の上限まで温度を上げて反応器にフィードを供給することにより、脱水素率を上げる必要がある。既設加熱炉の伝熱管の伝面が不足する場合には、増強することも検討しなければならない。また既設加熱炉の増強が難しい場合には、メチルシクロヘキサンのフィード量を下げる、ないしはメチルシクロヘキサンを混合させる割合を下げることも検討しなければならない。ヘビーナフサをフィードする場合には様々な反応が複合的に起こるため、加熱炉管の伝面も同じではなく、チャージヒーターが最も大きく、No.1, No.2インターヒーターと、下流にいくにしたがって伝面は少なく設計されている。一方、ナフテンの脱水素反応は平衡反応であるため、特にメチルシクロヘキサンのみをフィードする場合には、反応率を上げるために下流のインターヒーターにも負荷が掛かることになり、インターヒーターの増強が必要となることが多い。

B) 脱水素反応に適した触媒の開発、触媒再生

既設接触改質装置の触媒は当然のことながらナフテンの脱水素のみに特化した触媒ではないため、そのまま用いると反応転化率、反応選択性ともに低いものとなってしまう。まだメチルシクロヘキサンの脱水素プロセスに特化した触媒は市場には出ていないが、今後検討するにあたり、プロセスライセンサー及び触媒メーカーと協力しながら触媒を開発する必要がある。

また、脱水素反応は平衡反応であるため、大きな改造が伴うものの反応器の基数を増やすことも転化率の上昇に貢献すると考えられる。

触媒再生については、セミリージェンタイプとCCRタイプで分けて考える必要がある。全てメチルシクロヘキサンフィードとする場合と、ヘビーナフサの一部をメチルシクロヘキサンに置き換える場合いずれも、ヘビーナフサ処理と比較して脱水素反応の占める割合が増加するため、反応の過酷度としては下がる傾向にある。したがって、セミリージェンタイプの場合には触媒再生が必要になるまでの期間が長くなることが期待される。CCRタイプの場合にも触媒循環量を少なくできる可能性がある。いずれの場合も、プロセスラ

イセンサー、触媒メーカーと協議しながら検討を進める必要がある。

C) リサイクルガス分子量の低下への対応

一般的な接触改質装置におけるリサイクルガスの分子量は 10 前後であるが、フィード中のメチルシクロヘキサンの割合を上げる、ないしは 100%メチルシクロヘキサンフィードとした場合、脱水素反応の割合が増える、ないしは主たる反応が脱水素のみとなるため、発生するリアクタエフルエント中の水素の割合が高くなることによりリサイクルガスの分子量が低下し、そのためリサイクルガスコンプレッサーの能力不足となる。脱水素反応は水素比を上げるほど反応が進むものの容易にリサイクルガス中の水素比を下げられないことから、フィード上限量はリサイクルガスコンプレッサーの能力（リアクター系の圧力バランス）で決まる。

反応に必要な水素比にもよるが、既設のリサイクルガスコンプレッサーを流用する場合、100%メチルシクロヘキサンフィードでは、既設におけるヘビーナフサ通油量の 50%程度までしか通油できないことも想定される。

D) 製品水素系統の検討、コンプレッサーの増強

セミリージェンタイプの接触改質装置の場合には、反応圧力が 2MPaG 程度、対して CCR タイプの接触改質装置の場合には反応圧力が 0.3MPaG 程度なので、製品水素系統の設備仕様も大きく異なってくる。

セミリージェンタイプの場合は反応圧力も高いため、製品水素系統用のコンプレッサーを設置せず、リサイクルガスコンプレッサーで押し出している場合が多い。この場合には、水素ユーザー側での必要圧力が低ければ、機器として新設は必要なく配管系統の増強で対応できる場合が多い。ユーザー側での必要圧力が高い場合には、製品水素用のコンプレッサーを新設する必要がある。

一方の CCR タイプの場合は反応圧力が低いため、リサイクルガスコンプレッサーの吐出に製品水素用のコンプレッサーが設置されている場合がほとんどである。フィード中のメチルシクロヘキサンが高い場合には製品水素量も多くなり、既設のコンプレッサーでは賄うことができず、往復圧縮機の場合には既設機器のチャンバーを増強する、ないしは既設機器にパラで設置する、などの対策が必要となってくる。

E) 精留、分留系統の検討

リサイクルループ中のセパレーターからのリフォーメートを処理する設備構成は、接触改質装置からの製品により異なる。改質ガソリンのみを生産する目的であれば、セパレーターの下流はスタビライザー（デブタナイザー）のみとなり、ここでリフォーメート中に含まれる水素ガス、LPG 留分を除去し、製品リフォーメートとなる。

さらに、芳香族製品、例えばキシレンを製品とするのであれば、スタビライザー（デブタナイザー）の下流に、リフォーメートスプリッター、ベンゼンスプリッター、キシレンスプリッターといった分留系統が設置されることになる。

一方、メチルシクロヘキサンのみをフィードする場合と、ヘビーナフサに混ぜてメチルシクロヘキサンを接触改質装置にかける場合には、必要となる精留、分留装置も異なってくるので、各々について検討する。

・メチルシクロヘキサンのみを接触改質装置にかける場合

この場合には触媒性能にも依るが、ほぼナフテンの脱水素反応のみのため、得られる製品は水素と、脱水素してできたトルエン、未反応のメチルシクロヘキサン、それと分解してできたベンゼン、シクロヘキサン、開環してしまったC7パラフィンなどである。

通常のヘビーナフサをフィードとした場合に副生していた LPG 留分はほとんどない。このため、既設のスタビライザー（デブタナイザー）は、リフォーメートに同伴する水素を主成分とする軽質ガス分を分離する用途とすることが効果的である。LPG などの軽質の液留分はほとんどないため、スタビライザー（デブタナイザー）ではなく、ストリッパー的な運転へと転換する必要がある。軽質液留分も少なく、塔内液ロードが既設運転と比較して著しく低下することから、塔内のトレイを交換することを検討する必要がある。

スタビライザー（デブタナイザー）ボトムにおいて、トルエンの水添反応に必要なトルエンフィードの条件を満たすと考えられるが、更にトルエン純度のアップを志向するのであれば、下流にある（ないしは新設の）リフォーメートスプリッターを用いて、僅かに副生するベンゼン、シクロヘキサン、C7 パラフィン、未反応のメチルシクロヘキサンなどを除去することになる。既設のリフォーメートスプリッターを用いる場合には、既設運転と比較して塔内液ロードが少なくなることから、トレイ交換が必要となることがある。

・ヘビーナフサにメチルシクロヘキサンを混ぜてフィードする場合

精留、分留系統については基本的に既設と同じであるが、異なる点としては、メチルシクロヘキサンを混ぜていることにより、既設のヘビーナフサと比較してリフォーメート中のC7留分が多いこと、水添用のフィードとするためのトルエンをある程度の純度まで上げる必要があることである。C7 留分が多くなってもスタビライザー（デブタナイザー）においては大きな変化はないが、リフォーメートスプリッターでキシレンを製品としている場合にはその製品純度を守る必要があるため、塔径不足となるおそれがある。またリフォーメートスプリッターのコンデンサー、リボイラーにおいても負荷が上昇する傾向にあるので、これらの設備での大幅な増強が難しい場合には、既設リフォーメートスプリッター能力をボトルネックとして、メチルシクロヘキサンフィードの割合を決めなければならないことも想定される。

リフォーメートスプリッター下流のベンゼンスプリッターについては、蒸留塔の負荷はさほど大きくはならないものの、非芳香族のC7留分が多く含まれる場合には、製品トルエンの純度を上げるため必要に応じて溶剤抽出などの設備を検討する必要がある。

・製品トルエンの純度

LOHCとしてのトルエンについては純度についての規定はない。LOHCとしてトルエンの水添、メチルシクロヘキサンの脱水素プロセスを検討する場合において重要なのは、水素の生産量、即ちメチルシクロヘキサンフィードと等モル量のトルエンを生産することである。トルエン水添プロセスは 99%以上の反応率であるが、脱水素プロセスの方は転化率、選択性ともに 100%とはならず、若干の副反応及び未反応のメチルシクロヘキサンが残る。これによりメチルシクロヘキサンフィードと等量の製品トルエンは

得られないため、メークアップ設備を設置するなどして、水添用フィードとして等モル量のトルエン製品を確保する必要がある。製品トルエン純度については高ければ高いほど良いが、水添-脱水素の全体ループのなかで経済的に最適化されるものであると考えられる。

F）前処理設備の検討

LOHC による日本国内での水素利用ということを考えると、海外でのトルエン水添設備により水添されたメチルシクロヘキサンを船で日本に輸送し、タンク貯蔵後に脱水素設備にかける、という流れになる。接触改質装置においては、フィード中の過剰な水分は触媒中のハロゲンを加水分解して流出させるので、5～10 wtppm 程度に抑える必要がある。また、フィードにオレフィンが含まれる場合、オレフィン分と酸素が結合して含酸素化合物を形成することにより、反応器でのコーク生成が助長される。この LOHC のプロセスにおいては輸送中及びタンク貯蔵中に空気に触れる可能性があるため、脱水素設備にかける前に前処理として酸素ストリッパーにてメチルシクロヘキサンフィードに含まれる水分、酸素を除去する必要がある。

メチルシクロヘキサンのみをフィードする場合、これまでのヘビーナフサフィードの時の水素化脱硫装置は遊休となる。この水素化脱硫装置の一部であるナフサスタビライザーをメチルシクロヘキサンの酸素ストリッパーとして転用できる可能性もある。

既設のヘビーナフサフィードの一部をメチルシクロヘキサンに置き換える場合には、メチルシクロヘキサン用の酸素ストリッパーを設置し、水素化脱硫装置からのヘビーナフサと混合して、接触改質装置にかけるというスキームが考えられる。

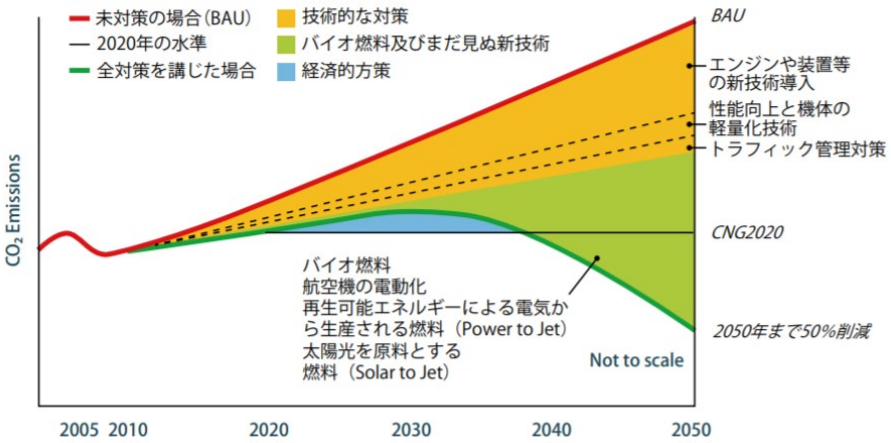
（2） バイオジェット燃料製造技術

航空業界における地球温暖化対策では、国際航空運送協会（IATA: International Aviation Transport Association）が、2050 年に CO2 を 2005 年比で 50%削減する目標を掲げている。国際線旅客数の増加と CO2 排出量の半減を両立させるためには、運用改善や燃費向上のみでは削減目標の達成が困難であるとともに、電動化などの革新的な機体改善の実現は不確実であることから、バイオ燃料の開発と普及は不可欠である。

また、国際民間航空機関（ICAO: International Civil Aviation Organization）は、市場メカニズムを活用した温室効果ガス排出削減制度を設定した。この制度は、バイオジェット導入及びクレジット購入による CO2 排出削減策として、2021 年から自主規制、2027 年から義務化される見通しとなっている。

ただし、ベースラインは、コロナ禍により、2020 年の排出量が大幅に落ち込むことから、2020 年を異常値として排除し、2021 年～23 年について、2019 年単年をベースラインに使用することを、2020 年 6 月 30 日の ICAO 理事会で決定した（図表 7.1.15 参照）。

図表 7.1.15　航空業界における CO2 排出削減ロードマップ



（出所）NEDO TSC Foresight vol.37、 2020 年 7 月

バイオジェット燃料が航空機に搭載されるためには、代替航空燃料の認証制度である ASTM International D7566 で既に認証されているプロセスに該当する必要がある。国内外で商業化あるいは、商業化手前にあるバイオジェット燃料はこの ASTM D7566 に認証されているプロセスによる燃料がほとんどである。

ASTM D7566 において、代替燃料の原料と製造方法の組合せにより Annex に分類され、Annex 毎に従来燃料との混合上限比率が規定されている。混合比率、及び混合後のスペックが D7566 の規定に合致すれば、ASTM D1655（航空機燃料の国際規格）に適合したと見なされ、D1655 燃料として流通可能となる。図表 7.1.16 に、各 Annex と従来の燃料との混合上限を示す。

図表 7.1.16　各 Annex と従来の燃料との混合上限

ASTM D7566	製造技術	従来の燃料との混合上限	原料
Annex1	Fischer-Tropsch 法により精製される合成パラフィンケロシン（FT-SPK）	50%	有機物全般
Annex2	植物油等の水素処理により精製される合成パラフィンケロシン（Bio-SPK 又は HEFA）	50%	生物系油脂
Annex3	発酵水素化処理糖類由来のイソ・パラフィン(SIP)	10%	バイオマス糖
Annex4	非化石資源由来の芳香族をアルキル化した合成ケロシン(SPK/A)	50%	有機物全般
Annex5	アルコール・ジェット由来の合成パラフィンケロシン(ATJ-SPK)	50%	バイオマス糖 紙ごみ
Annex 6	Catalytic Hydrothermolysis Jet (CHJ)	50%	生物系油脂
Annex 7	Hydrocarbon-HEFA (HC-HEFA)	10%	微細藻類

（出所）航空機運航分野における CO2 削減に関する検討会第 1 回（令和 3 年 3 月 22 日）

長期的には航空燃料の需要は拡大が見込まれる。CO2 排出削減による地球温暖化抑止対策は国際民間航空機関（ICAO）をはじめとした航空業界における喫緊の課題となっている中、

それらの対応策として、今後、以下の取組を柱として推進するとしている。

A) 国産 SAF の研究開発（グリーンイノベーション基金などの活用）

B) 輸入 SAF（混合・ニート）のサプライチェーン構築

C) 国際標準化などに向けた取組（国産 SAF の CORSIA 適格燃料化、SAF 混合率の上限引上げ、ASTM の国内検査体制の構築）

D) 空港の再生可能エネルギーを活用した SAF の地産地消

①国産廃食用油を原料とするバイオジェット燃料製造サプライチェーンモデルの構築

国産バイオジェット燃料の導入は、必要不可欠な手段の一つとして位置付けられている。想定する将来の製造規模を技術的に実現し得るバイオジェット製造技術を軸に、将来の事業化を見据えた規模でのバイオジェット燃料製造及び供給に関わる空港納入までのサプライチェーンモデルを構築する実証事業を実施し、バイオジェット燃料のサプライチェーンの早期確立を図り、2030 年頃までの確実な事業化を実現するために、国産廃食用油を原料とするバイオジェット燃料製造サプライチェーンモデルの構築が検討されている。

日揮ホールディングス、レボインターナショナル、JAPEX 及びコスモ石油の 4 社にて、現在、国内における SAF の製造体制の確立とサプライチェーンの構築に向けて、原料となる使用済み食用油の調達計画、欧米などで商業実績のある技術を適用した製造プロセスの導入、製造設備のコスト積算、製品輸送・販売スキームなどを中心に検討を進めている。4 社はこれらの取組を通じて最終的には、2025 年頃を目標とする SAF 製造設備の稼働及び本格商業化に向けた事業計画を具現化させていくとしている。将来的には、SAF 製造設備を全国展開し、製造コストを低減させ、国内の SAF マーケット確立に寄与するため、製造設備設計においても既設製油所所内に SAF 製造設備を建設することを想定した装置・プロセス設計を実施して、純国産資源を用いた地産地消モデルを構築する狙いである（図表 7.1.17 参照）。同 SAF 製造プロセスには 2016 年から、Eni 社のベニスバイオ製油所などで商業実績のある UOP Ecofining™が採用されている。

図表 7.1.17　SAF の製造体制の確立とサプライチェーンの構築の取組例



（出所）日揮ホールディングス、プレスリリース「使用済み食用油を原料とした次世代航空機燃料の事業化検討を加速」、2021/1/29、https://www.jgc.com/jp/news/assets/pdf/20210129.pdf

②セルロース系バイオマスを原料とする次世代バイオ燃料製造技術

セルロース系バイオマスを原料とする次世代バイオ燃料の製造には、従来型バイオ燃料（バイオエタノール及びバイオディーゼル）製造よりも多くのプロセスが必要となる場合が多いため、総じてエネルギー収支や二酸化炭素排出削減効果及び経済性の観点などから課題を有する。
一方で、食料と競合しない原料であること、化石燃料由来の燃料との混合比率に制限がなく、既存のインフラ設備とより親和性の高いということから、その製造技術開発状況に注目が集まっている。本項では次世代バイオ燃料の定義を明らかにし、その開発動向、並びに技術的課題について調査した。

・次世代バイオ燃料の定義と特徴
バイオマスは、再生可能なエネルギー資源として利用することが可能であるとともに、燃焼時に排出する二酸化炭素と等量の二酸化炭素を成長時に吸収していることから、利用時の二酸化炭素排出量をゼロとみなすことができるため、低炭素なエネルギー資源として、導入が進められている。　NEDO の調査レポートでは、バイオ燃料を第 1 世代、第 2 世代及び次世代の 3 つに区分している。それぞれの特徴を図表 7.1.18 に示す。
第 1 世代バイオ燃料は、特に砂糖やデンプン、植物油などのバイオマスの可食部を原料として製造されたバイオエタノールやバイオディーゼル（脂肪酸メチルエステル：FAME）を指し、ガソリンや軽油の代替燃料として既に世界各国で導入が進められている。また第 2 世代は、バイオマスの非可食部であるセルロースなどを原料としたセルロース系バイオエタノールなどを指し、各国で商用化に向けた技術開発及び実証事業などが進められている。
第 1 世代及び第 2 世代のバイオ燃料（以後、「従来型バイオ燃料」という）は、既存インフラ設備（既存のガソリン車やジェット機などの運輸機器、その燃料供給のための各種インフラ設備）をそのまま活用する場合、ガソリンなどの化石燃料に混合して利用するが、その混合比率に制限がある。また、ジェット燃料は要求される品質規格が厳しく、従来型バイオ燃料を混ぜることは認められていない。
これらに対して、既存のインフラ設備とより親和性の高い炭化水素系のバイオ燃料を「次世代バイオ燃料」と定義している。次世代バイオ燃料は酸素を含まない炭化水素系の燃料であるため、適切に精製することで化石燃料由来の燃料とほぼ同じ燃焼特性を実現でき、また、ジェット燃料にも混合できることが最大の特徴である。

図表 7.1.18　次世代バイオ燃料の定義と位置付け

区分	食料との競合の観点から見た社会受容性	ガソリン・軽油の代替	ジェット燃料の代替	国内外の開発動向
第1世代バイオ燃料（可食部由来バイオエタノール/ディーゼル）	×	○（混入比率注）に制限有り）	×	商用化
第2世代バイオ燃料（セルロース系バイオエタノール等）	○	○（混入比率注）に制限有り）	×	R&D ～実証
次世代バイオ燃料（炭化水素系バイオ燃料）	○（食料と競合しない原料の選択が必要）	○（混入比率注）の制限を克服可能）	○	R&D

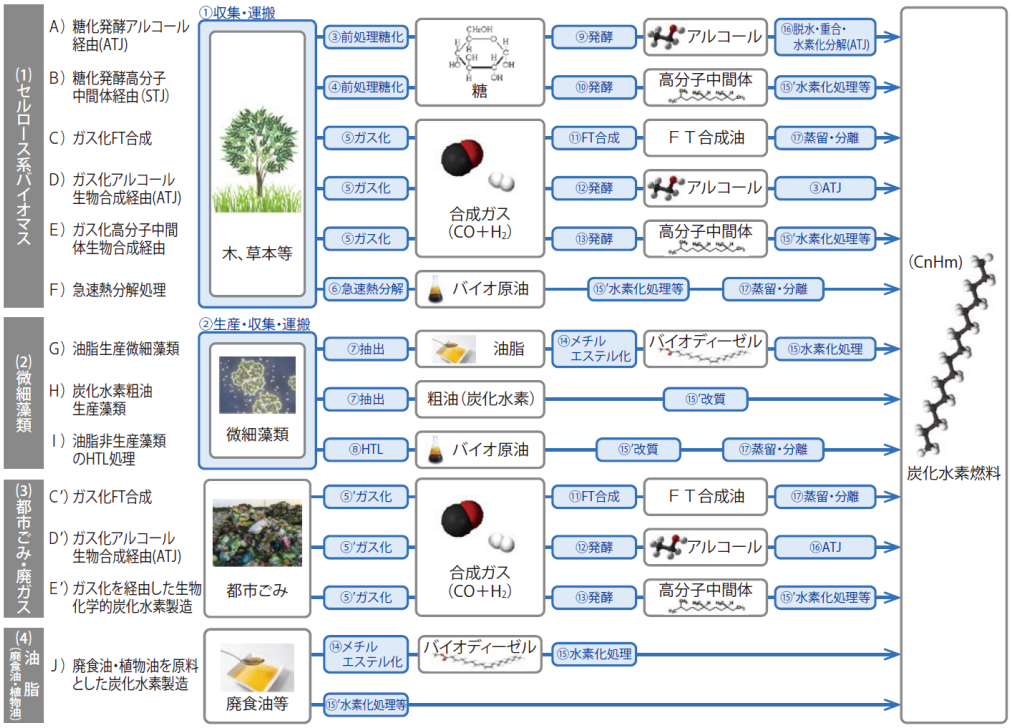
注）既存インフラ設備（自動車を含む）を利用する場合の化石燃料由来の燃料へのバイオ燃料の混合比率

（出所）NEDO TSC Foresight vol.37、 2020 年 7 月

・セルロース系バイオマスを原料とした次世代バイオ燃料製造技術

次世代バイオ燃料は、様々な原料と燃料変換プロセスの組合せによって製造される。

図表 7.1.19　次世代バイオ燃料製造プロセス一覧



（出所）NEDO TSC Foresight vol.37、 2020 年 7 月

木質、草本などのセルロース系バイオマスを原料とした製造プロセスで、主に糖化発酵を介するプロセス（図表 7.1.19A・B）と合成ガス（水素、一酸化炭素などの混合ガス）を介するプロセス（図表 7.1.19C～E）、及び急速熱分解などを用いてバイオ原油にした上で、これを精製するプロセス（図表 7.1.19F）の 3 種類が存在する。

A）糖化発酵アルコール経由次世代バイオ燃料製造技術（ATJ）

本プロセスでは、糖化発酵によりエタノールやブタノールを生産し、それをエチレンなどに転換、重合させ、炭化水素燃料を製造する。・糖化発酵技術自体は現在実用化しつつある技術であり、その利用が可能である。その後の炭化水素燃料への変換技術（エタノールからエチレンへの転換及びエチレンの重合）は、既存の化学工業で実用化している技術の適用が可能である。

セルロース系バイオマスを原料としたエタノールなどのアルコール製造技術に立脚していることから、まずはこれらのアルコールを経済的に製造する技術が必要となる。また、これらの設備に、アルコールを炭化水素燃料に変換するための設備（高分子の炭化水素燃料に重合するための設備など）が追加されるため、安価なアルコール製造及びアルコールから炭化水素燃料への変換技術が必要となる。

エタノールの脱水によりエチレンを製造する技術は、Axens/Total/IFPEN による Atol

技術、Technip による Hummingbird 技術他、複数社により開発されている。
KBR と Petron Scientech Inc. (PSI)は、PSI の Alcohol Dehydration 技術(K-SEET℠)に関するライセンスアグリーメントを締結したと発表している。K-SEET℠は過去 30 年間で 12 ラインセンスを提供してきている運転実績のあるプロセスである。K-SEET℠は多段反応器で構成されており、リサイクルすることなしでエタノール転嫁率は 99%となっている。

B) 糖化発酵高分子中間体経由次世代バイオ燃料製造技術（STJ）
本プロセスでは、糖化発酵により高分子中間体（ファルネセンなど）を生産し、水素化分解などの処理を経て炭化水素燃料を製造する。米国の Amyris 社などが開発を進めているが、国内では研究開発段階にあり、実証段階にはない。
これまで、セルロース系バイオマスの発酵技術は、エタノールなどの低分子のアルコール発酵に関する技術がほとんどを占めており、高分子中間体を代謝する発酵技術については取組例が比較的少ない。そのため、有効な代謝経路を持つ微生物の探索などが重要となる。

C) ガス化 FT 合成による次世代バイオ燃料製造技術
本プロセスでは、ガス化炉を用いてバイオマスをガス化し、それを FT 合成することで炭化水素燃料を製造する。FT 合成技術は石炭や天然ガスからの液体燃料製造技術（CTL：Coal to Liquid、GTL：Gas to Liquid）として既に実用化しているが、非常に大規模な設備を想定した技術のため、バイオマスの規模感に合わせた設備は商用化されていない。FT 合成は化学触媒を用いた反応のため、高速かつ安定的に燃料を製造できる反面、炭素数の異なる炭化水素の混合物として FT 合成油が製造されるため、単一の燃料（例えばジェット燃料のみ）の収率は低い。
バイオマス原料に合わせたガス化技術及び触媒などの最適化による FT 合成収率の向上などが既に進められてきており、今後は一貫プロセスでの収率及び経済性の向上などが重要となるとともに、バイオマスに合わせた規模（GTL などの数十分の１以下）でのシステムの開発が必要となる。

D) ガス化アルコール生物合成経由による次世代バイオ燃料製造技術
本プロセスでは、ガス化炉で製造した合成ガスを発酵槽に投入し、微生物を使ってこれを アルコールなどに代謝させる。FT 合成に比べ、比較的高い選択性で、目標とする生成物（アルコール）を生成でき収率を上げられるといったメリットがある。その後のアルコールから炭化水素燃料を製造するプロセスは、前述した ATJ プロセスと同様である。アルコールを製造するまでの技術については、米国の Lanzatech 社、Ineos 社などが、それぞれ廃ガス（合成ガス）やセルロース系バイオマスを原料としたプレ商用プラントを稼働させている。A) のプロセスと同様に、エタノールなどのアルコール製造技術に立脚していることから、安価なアルコール製造及び炭化水素燃料への変換技術が必要となる。

E) ガス化高分子中間体生物合成経由次世代バイオ燃料製造技術

本プロセスでは、ガス化炉で製造したガスを基に微生物を使って高分子中間体を生産し、水素化分解などの処理を経て炭化水素燃料を製造する。現時点では当該プロセスは実用化されておらず、技術シーズも少ない。
本プロセスは研究例が少なく、有効な代謝経路を持つ微生物の探索などが重要となる。

F）急速熱分解処理による次世代バイオ燃料製造技術

本プロセスでは、高温高圧の急速な熱分解処理によりバイオ原油を生産し、更に水素化処理を施すことで炭化水素燃料を製造する。バイオマスを無酸素下で、毎秒 100℃以上で高速加熱（450～600℃）の後、熱分解蒸気を急速凝縮すると、熱分解油を 60～75%の収率で得られる。熱分解油は、従来の熱及び発電用途（ボイラー、炉、タービンなどの固定ユニット）が一般的であったが、新たに、低炭素の輸送用液体バイオ燃料の製造原料となるバイオ原油としての利活用が検討されている。
高温高圧に耐えうる設備の運用管理が課題であるとともに、急速熱分解処理によって様々な成分（炭素数）を含むバイオ原油となるため、単一の燃料の収率は低い。本プロセスは、急速熱分解による生成物の制御が難しく、目的とした生成物の収率を高めるための技術などが重要となる。
バイオ原油と鉱油との co-processing では、水素化精製処理装置を利用した場合は軽油留分、FCC を利用した場合はガソリン留分やバイオ LPG が主に生成される。熱分解法プロセスの開発は、石油精製プロセスをライセンスしているエンジニアリング会社をパートナーとして事業化を推進している（図表 7.1.20 参照）。

図表 7.1.20　熱分解法プロセスラインサー

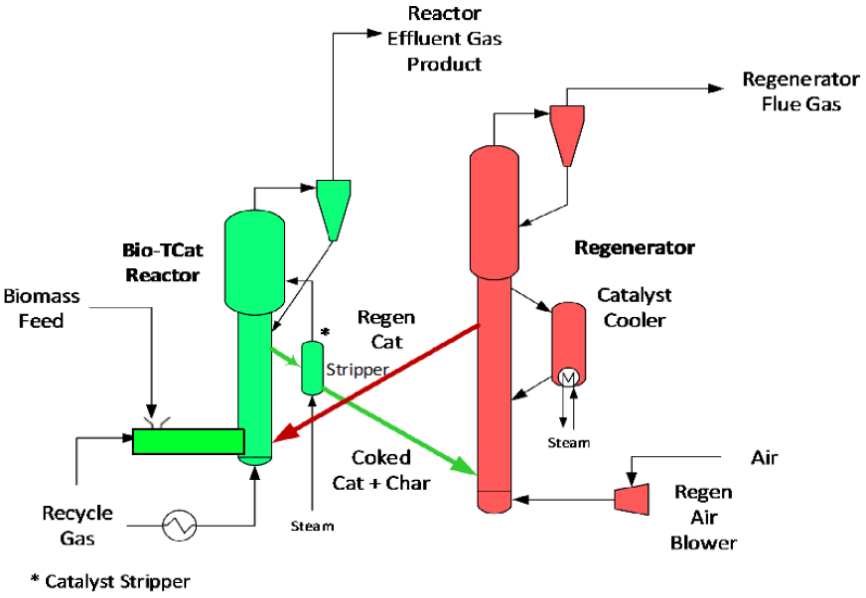
ライセンサー	パートナー	プロセス
Ensyn Technologies（カナダ）	UOP（米国）	急速熱分解
Anellotech（米国）	Axens（フランス）	触媒熱分解
GTI（米国）	Shell Catalysts & Technologies（英国）	IH2 プロセス（水素化熱分解/水素転換統合型）
BTG（オランダ）	TechnipFMC（英国）	急速熱分解

（出所）JPEC レポート　NO. 201004 欧米での製油所を活用したバイオ燃料製造の取り組み動向

表中の Anellotech 社は Bio-TCat™というプロセスを推進している。
米国バイオ科学ベンチャーである Anellotech 社は 2008 年の創業で、価格競争力のある再生可能化学品及び燃料を非可食バイオマスから生産することをミッションとしており、米国南部テキサス州のパイロットプラントにて実証中である。数か月に渡る試験を行い、商用レベルに耐えうる収率、安定性、一貫性、安全性が示されたとのことで、商用プラントのための準備を進めている。
Anellotech 社の中核技術である Bio-TCat™は、Thermal Catalytic Biomass Conversion を略した商標で、熱分解方式と触媒による接触分解方式の両方の性格を持っていることが示唆されている（図表 7.1.21 参照）。
一般的な油化技術では、①熱分解により炭化水素の混合物を生成②その炭化水素の混

合物から必要な炭化水素を抽出する、という 2 段階のプロセスを経るが、Bio-TCat™では 1 つの触媒流動床反応炉の中で炭化水素混合物を生成し、触媒再生で発生する熱を反応に用いるため、CO2 排出量とエネルギー必要量の抑制、及び低コスト化による価格競争力を実現している。
生成物は、BTX（ベンゼン・トルエン・キシレンの芳香族炭化水素）を 90%以上含むナフサ同等物、中量と重量炭化水素混合物、一酸化炭素を多く含むガスである。

図表 7.1.21　Bio-TCat™ Reactor フロースキーム



（出所）Anellotech 社ホームページ
(https://anellotech.com/sites/default/files/Anellotech%20Overview%20and%20Plas-TCat%20Update%20-%20Feb%2027%202020.pdf)

（3）　社会廃棄資源の処理及びリサイクル技術

近年、SDG s の観点から持続可能で食料との競合がない資源として、木質系バイオマスからの燃料生産が注目され、NEDO や環境省の支援の下で研究が促進された。その結果、「木・竹類」の「アルコール発酵」が適用可能になった（図表 7.1.22 参照）。そこで、このセルロース系バイオマスの廃棄物を含め、今年度の技術調査では、社会廃棄物に関して、下記のリサイクル技術を取り上げた。

・セルロース系バイオマスのアルコール発酵
・合成繊維リサイクル
・廃タイヤリサイクル

これらは、石油精製と同等の処理を必要となるものや、化石燃料由来の炭化水素原料と混合して、精製処理が可能となるものが含まれる。また、廃棄物を単独処理するにしても、ユーティリティー設備やオフサイト設備は必要となり、この点からも既存の石油精製設備を有効活用できる可能性がある。

図表 7.1.22　産廃及び一般廃棄物のコンビナート利用の要素技術関連マトリックス

		汚泥	廃プラスチック	木・竹類	畜産/魚類残滓
直接燃焼	ストーカ炉	○	○	○	○/○
	キルン炉	○	○	○	○/○
	流動床炉	○	○	○	○/○
	高炉吹込み	×	○	△	×
	リバーニング	×	○	○	×
炭化	加熱脱塩素化	×	○	×	×
	炭化燃料化	○	○	○	×
ガス化溶融	ガス化・精製	×	○	○	×
	溶融	○	△	△	×
	ガス化・溶融	×	○	△	×
バイオ	メタン発酵	○	×	×	○/×
	コンポスト	○	×	△	○/×
	アルコール発酵	×	×	○	×
ケミカルリサイクル	油化	△	○	×	×
	ポリマーのモノマー化	×	○	×	×
	超臨界プロセス	△	○	×	×
前処理	破砕	×	○	○	×
	粉砕	×	○	○	×
	分級	×	○	○	×
	素材別分離	×	○	×	×
その他	排ガス処理	○	○	△	○
	排水処理	○	△	△	○

（注）　○印：適用可能、△印：必要あれば可能、×印：適用なし

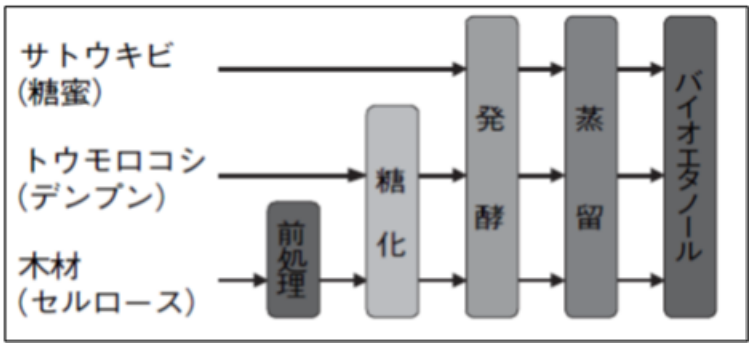
（出所）RING

①木質バイオマスのアルコール発酵

A）バイオマス原料からのアルコール製造

バイオマス原料からのアルコール製造の流れを以下に示す（図表 7.1.23 参照）。

図表 7.1.23　種々のバイオエタノール生産形態



（出所）坂 志郎 わが国における木質系バイオ燃料の現状と将来展望 グリーン・エージ 35(2)、 4-8、2008-02

原料として糖蜜を使用する場合は直接、トウモロコシなどのデンプンを使用する場合、アミラーゼという酵素によりデンプンを加水分解し、容易に単糖を得ることができる。

B) 木材を原料とするアルコール製造

一方、木材を使用する場合、主成分であるリグノセルロースは主にセルロースとヘミセルロースとリグニンなどが複雑な三次元構造を持っていて、そのままでは加水分解（糖化）することは困難である。そこで、前処理というリグノセルロースの構造を破壊し、セルロース、ヘミセルロース、リグニンに分解し、発酵原料として使用できず、糖化や発酵の阻害物質であるリグニンを除く工程が必要となる。

次の糖化工程もデンプンの糖化のように容易ではない。前処理と糖化を一工程で行うことができる、硫酸などの強酸を用いた処理がよく知られているが、環境負荷が高いことなどから、現在では適度に前処理をした残さを酵素により糖化する方法が主流となっている。しかし、セルロースを分解するセルラーゼという酵素は分解効率が低く、大量に使用する必要があることから、コストを引き上げる大きな原因となっていた。

さらに、セルロースを糖化すると全て C6 糖となるが、ヘミセルロースは C5 糖を含むが、この C5 糖は微生物に利用されにくく、これを従来の微生物で発酵させると、セルロース由来の C6 糖だけエタノールに変換され C5 糖はそのまま残ってしまう。

このように、木材のアルコール発酵への利用に関しては、前処理工程・糖化工程・発酵工程それぞれに技術的課題があり、生産性が低く、製造コストが高くなるため実用化が困難であった。しかし、近年、SDGｓの観点から持続可能で食料との競合がない資源として、木質系バイオマスからの燃料生産が注目され、NEDO や環境省の支援の下で研究が促進された。

これらの研究の中で、アルカリ蒸解法・希硫酸法・水爆法・水熱処理・アンモニア爆砕法・超臨界水法など種々の方法で高効率・低環境負荷の前処理技術、ビックデータや AI を活用した遺伝子組換え技術によるオンサイトでのセルロースの生産菌株や C5 糖・C6 糖を同時かつ高効率にアルコールに変換できる菌株の取得、及びその生産性の向上、膜技術による発酵阻害物質の除去や酵素の再利といった糖化・発酵の効率化技術が開発された。このことにより、製造コストの大幅に削減された。

②合成繊維リサイクル

脱炭素社会の実現に向け、世界中で温室効果ガス（GHG）の排出削減に向けた動きが活発化する中、資源循環への注目も高まっている。身近な所ではペットボトルの再資源化が挙げられ、日本では国内で販売されるペットボトルの約 86%が再びペットボトルや食品トレー、繊維として再資源化されている。

ペットボトルの主成分は PET（ポリエチレンテレフタレート）で、我々が衣服の生地として目にすることが多いポリエステル繊維の主成分もまたペットボトルと同じ PET である。繊維は大きく天然繊維と合成（化学）繊維に大別されるが、合成繊維のひとつであるポリエステル繊維は 2017 年において全繊維生産量の 57%を占めており、世界的な生産量は年々増加傾向にある。ポリエステル繊維は耐久性や速乾性など機能性の面で優れている他、工業的に大量生産が可能な点などから、衣服以外にもカーペットやカーテン、クッション材など身の回りの様々なものに使用されている。

ポリエステル繊維は近年、世界中で大量に生産、使用されるようになった一方、廃ポリエステル繊維のリサイクルはまだまだ進んでいない。日本総合研究所の調査結果によると、2020 年時点で、日本国内で手放される衣類のうち約 65%が廃棄されている。

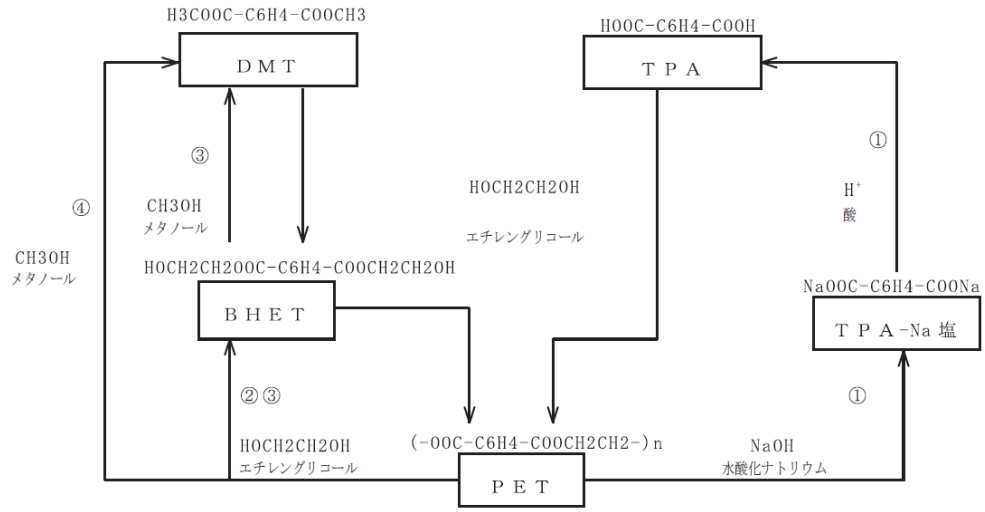
廃ポリエステル繊維はその主成分がペットボトルと同じ PET であるにもかかわらず、リサイクルがなかなか進まない要因として以下の様な点が考えられる。

・ほぼ PET 単一で構成されているペットボトルとは異なり、衣服などの繊維製品はポリエステルと綿やレーヨンなどとの混紡繊維品や、裏地などに異なる合繊を使用した製品も多く、リサイクルには繊維の分別（分離）が必要となること。
・衣服にはジッパーやボタンなど、生地（繊維）以外の異物も含まれており、それらの除去が必要となること。
・繊維製品にはファッション性や機能性向上の観点から染料や光沢剤、はっ水剤、難燃剤など、リサイクルの視点からは好ましくない混入物が多く、リサイクル収率や製品品質に対する影響が懸念されること。
・上記のような繊維の分別や異物、混入物の除去には複雑な工程が必要となり、リサイクル装置の大型化・複雑化が必然となり投資コストも膨らむこと。
・ペットボトルの様に自治体や回収業者による回収システムが確立しておらず、長期的なリサイクル原料確保の視点から事業を成立させるためにはハードルが高いこと。

上述のように、例え綿やレーヨンといった混紡品を取り除いたとしても廃ポリエステル繊維には染料や機能性向上剤などの不純物が多く含有されていることから、水平リサイクル（石油由来バージン品と同等品質のポリエステル繊維へのリサイクル）にはペットボトルのリサイクル方法の主流であるマテリアルリサイクル（溶融後、再成形化）を適用することは現実的ではなく、ケミカルリサイクル（原料をモノマー化後、精製し再重合）が必要となる。

図表 7.1.24 に PET を分解してモノマーに戻す主なケミカルリサイクルスキームを示す。PET をアルカリ分解して TPA-Na 塩とし、酸析して TPA（テレフタル酸）を得るルート①、PET にメタノールを加えて BHET（ビスヒドロキシエチルテレフタレート）として回収するルート②、BHET に更にメタノールを加えて DMT（テレフタル酸ジメチル）を得るルート③、PET にメタノールを加えて DMT を得るルート④がある。

図表 7.1.24　PET の合成・分解反応スキーム



（出所）繊維学会ファイバ 10 月号－向井

廃ポリエステル繊維の水平リサイクルを実現させるためには、上記ルートを経る過程で原料中に含まれる夾雑物を取り除き、石油由来バージン品と同等品質のモノマーを得る必要があり、技術的なハードルは高い。

これまでも様々な繊維会社や化学会社により上記ケミカルリサイクル技術は研究されてきたが、商業規模で廃ポリエステル繊維のケミカルリサイクル実績のある技術はほとんどない。その中で帝人は 1962 年より自社内で発生する工程屑を対象とした廃ポリエステル再生技術の研究を開始、EG（エチレングリコール）分解/メタノール分解法（図表 7.1.24 中の②→③）をベースに繊維製品に含まれる他素材や加工剤、更にはゴミ・砂塵なども効率的、経済的に分離除去して高純度 DMT と EG を回収する技術を開発し、2000 年代には国内 2 か所の事業所にてペットボトル、及びポリエステル繊維のリサイクルプラントを数年間にわたり商業規模で操業した実績（松山事業所：年産 1 万トン規模、徳山事業所：年産 5 万トン規模）がある。その後、2015 年には中国で年産 2 万トン規模のポリエステル繊維リサイクル工場を運営するなど、世界に先駆けて再生ポリエステル繊維の商業生産を行った。

帝人のポリエステルリサイクル技術は前処理、解重合、再重合の 3 つのセクションで構成されている。前処理セクションでは原料を後工程に適した形態に加工し、また原料品質によっては異物の分離除去なども行っている。解重合セクションではポリエステルの解重合反応による BHET 生成、異物分離、BHET 濃縮、エステル交換反応による BHET→DMT の生成、及び DMT 分離精製工程により再生 DMT を生産している。また工程中に使用した溶剤の再生・回収設備も備えている。重合セクションは解重合セクションで得られた再生 DMT から再び重合反応により再生 PET チップを生産している。

現在、帝人は日揮、伊藤忠商事と共同協議書を締結し、帝人が開発してきたポリエステルリサイクル技術を 3 社共同でライセンス供与する検討を開始している。また、日本国内では他に日本環境設計も BHET 法（図表 7.1.24 中の②）をベースとしたポリエステルリサイ

クルプラント（年産 2 千トン規模）を擁しており、近年はポリエステル製の古着の再生にもその技術を応用している。

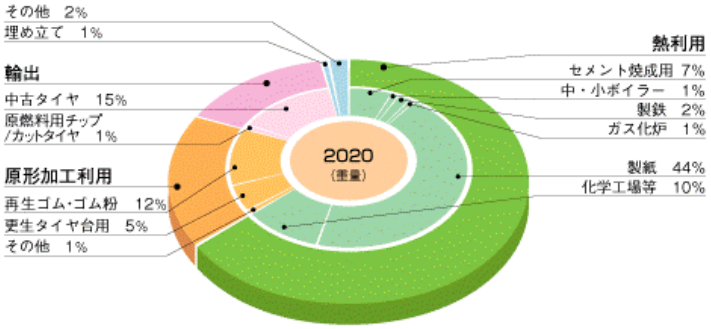
近年の世界的な環境意識の高まりから資源循環への注目も非常に高まっており、古着のリサイクルはアパレル・繊維業界を挙げての喫緊の課題となっている。そのリサイクル技術は現在も世界中で研究が継続されており、一方で古着のリサイクルを促進するための社会の仕組み作りを目指し、国内でも業界や政府との共同ワークショップ（例：JSFA（ジャパンサステナブルファッションアライアンス）、環境省「ファッションと環境」タスクフォース）が立ち上げられ検討が開始されている。このようなリサイクル社会の仕組みを作る取組みと技術的な研究開発とが両輪となり、近い将来資源循環としての廃繊維リサイクルが世の中に浸透していくものと考えられる。

③廃タイヤリサイクル

日本国内における 2020 年の廃タイヤ（使用済みタイヤ）の発生量は、合計で 8,600 万本、重量で 93 万 7,000 トンと報告されている。世界的には、2020 年のタイヤ生産量は 1,507 万トンあり、数年後には役割を終え廃タイヤとなる。国内ではほぼ 100%が回収、リサイクルされているが、海外ではリサイクルされず野積みや不法投棄され、悪臭や蚊の発生、水質、土壌の汚染源となっている（図表 7.1.25 参照）。

日本国内での廃タイヤのリサイクル方法は、主にマテリアルリサイクル、リユースリサイクルとサーマルリサイクルである。

図表 7.1.25　タイヤリサイクルの状況－2020 年



（出所）日本自動車タイヤ協会 JATMA ホームページ

・タイヤのマテリアルリサイクル、サーマルリサイクル

タイヤを裁断、チップ化し、成形ゴムシートや歩道舗装材、緩衝材、建材などとして製品化するものである。リユースリサイクルは程度の良い廃タイヤの表面に新しいトレッドゴムを貼りつけ硫化し再利用するもの（再生タイヤと呼ばれる）である。

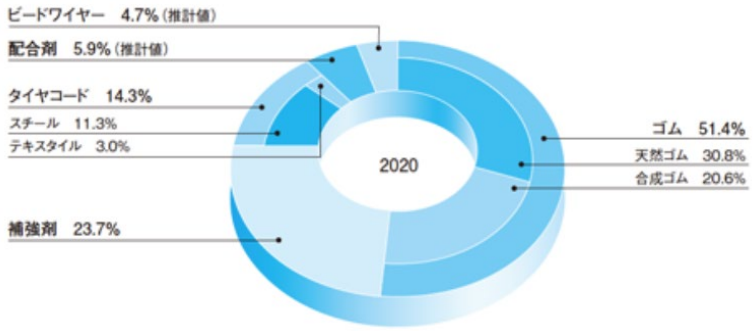
サーマルリサイクルは、タイヤを熱源として利用するものでセメント工場、製鉄工場、製紙工場など大規模工場のキルン、高炉、ボイラーなどで燃焼材、補助燃料として利用されている。今後、廃棄物を多く受け入れているセメント工場が熱エネルギーの代替として廃タイヤの利用が期待されている。

一方で、日本製鉄は瀬戸内製鉄所で年間 6 万トンの廃タイヤを熱分解により、軽質油、重質油、燃料ガス、炭化物、鉄を製造し、燃料や加炭材として製鉄所で利用してきたが、溶

解炉の停止に伴い、2020 年に設備を休止している。
国内産業の停滞、構造変換に伴い、サーマルリサイクルの伸びは期待できず、また炭素循環社会の実現のためにも高度化したケミカルリサイクル技術が求められている。

・廃タイヤのケミカルリサイクル
タイヤは天然ゴム、合成ゴムなどの”ゴム”、カーボンブラックが主成分の”補強材”、タイヤの骨組み製造に使用するスチールや繊維糸などの”タイヤコード”、硫化剤、硫化促進剤などの”配合剤”、スチールワイヤーの束で出来た車輪のリムにタイヤをはめる部分の”ビードワイヤー”などからなる複合材料である。
図表 7.1.26 はタイヤの重量割合を示す。この内、カーボンブラックはタイヤ中に 20～30%含まれ、廃タイヤから回収されたカーボンブラックがリサイクルできればマテリアル循環が実現できるため、注目されている。

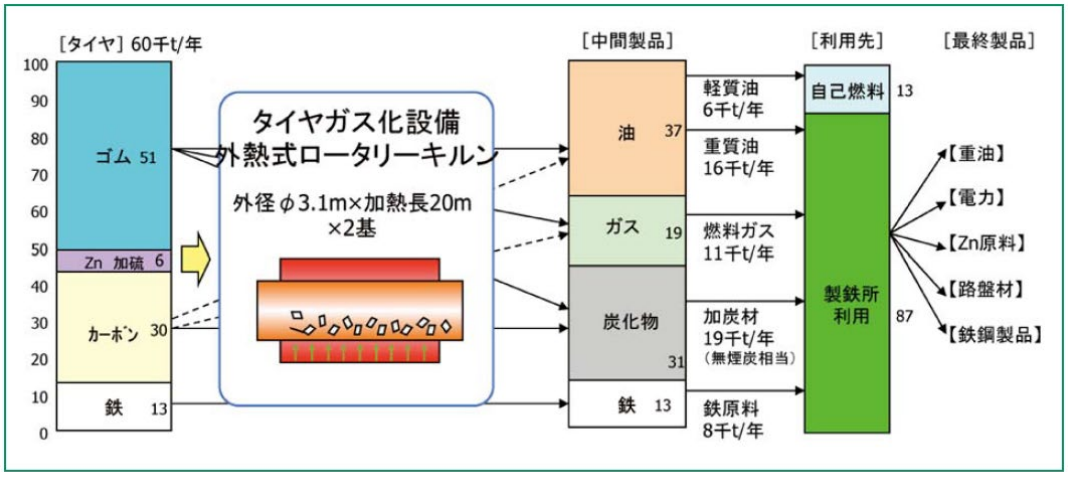
図表 7.1.26　タイヤ原材料重量構成比



（出所）日本自動車タイヤ協会 JATMA ホームページ

A）日本製鉄のタイヤリサイクル事業
廃タイヤのケミカルリサイクルでは、破砕したタイヤチップを無酸素下で加熱することにより、軽質ガス、分解油、カーボンブラック（リカバードカーボンブラック、rCB と称される）、スチールを生成する熱分解プロセスである。
世界には、数 10 社の主にベンチャー企業が廃タイヤの熱分解技術を開発している。
国内では、1970 年代からタイヤチップの熱分解技術が研究されており、商業規模のプラントは、日本製鉄のリサイクル事業が代表的である（図表 7.1.27 参照）。

図表 7.1.27　日本製鉄のタイヤリサイクル事業のフローと物質収支



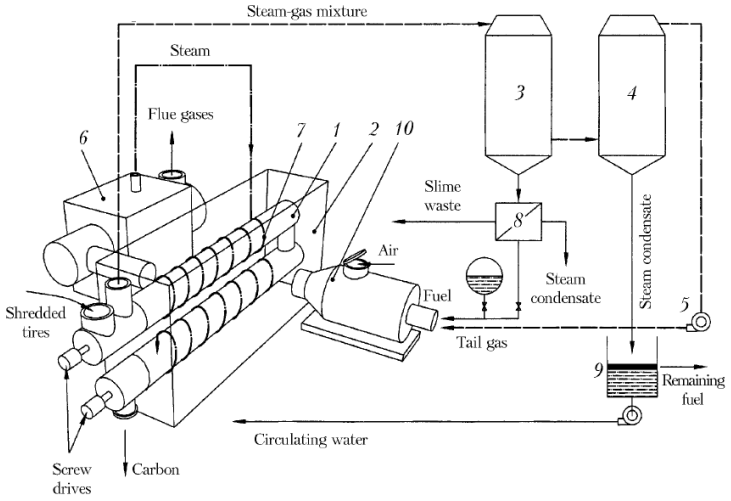
（出所）関西経済連合会ホームページ

海外では、フランスのタイヤメーカー、ミシュランがチリ国で処理量 3 万トン/年の廃タイヤの熱分解設備を建設することを発表した。また、ミシュランは 2050 年までに 100%再生可能な原材料によるタイヤ生産を目指している。

B) 廃タイヤの熱分解プロセス

熱分解プロセスは、①前処理 : タイヤの破砕、スチールの除去 (除去しない場合もある)、②熱分解、③分解ガスの凝縮・分留、④生成カーボンの粉砕、造粒からなる（図表 7.1.28 参照)。

図表 7.1.28　廃タイヤ熱分解装置

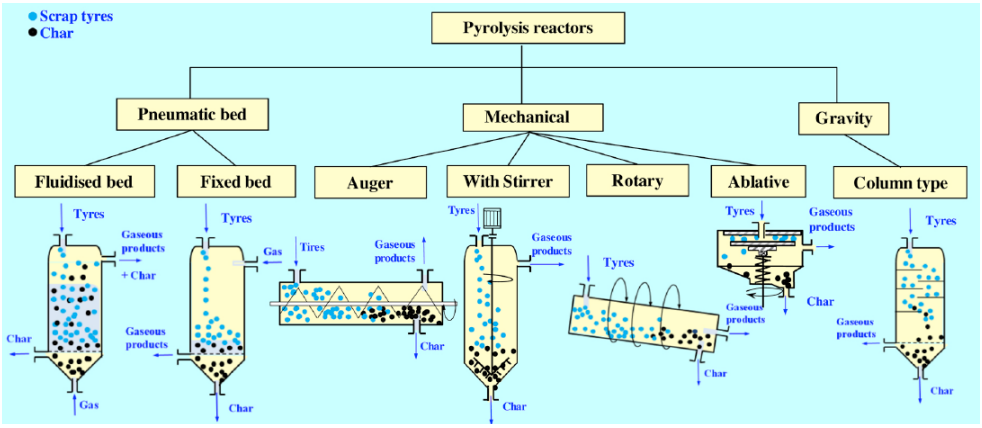


（出所）STEAM THERMOLYSIS OF DISCARDED TIRES: TESTING AND ANALYSIS OF THE SPECIFIC FUEL CONSUMPTION WITH TAIL GAS BURNING、 STEAM GENERATION、 AND SECONDARY WASTE SLIME PROCESSING Journal of Engineering Physics and Thermophysics、 Vol. 82、 No. 2、 2009

熱分解条件は、得たい生成物の収率や性状、蒸気などの添加物や触媒の有無によって異な

るが、温度 400～800℃、圧力は減圧から微加圧程度である。
分解によりモル数が増加することから、平衡上は減圧の方が有利である。生成物の収率は、スチールを除いた重量比で分解ガスが 15%程度、分解油が 50%程度、カーボンが 35%程度である。
各社の開発のターゲットは得られたカーボンブラックをタイヤ製造の補強材として使用できるレベルに高品質、高付加価値化することであり、熱分解の仕上げ加熱や造粒時に添加物を混合するなどの工夫がみられる。
軽質ガスは熱分解の熱源として利用され、熱バランス上、外部から助燃料を加える必要はない。
分解油は軽油から重油相当の燃料油としての利用が行われており、その他の用途として芳香族が多く含まれる特徴から化学製品の原料、芳香剤 Limonene やベンゼンの抽出、バージンカーボンブラックの原料、オレフィン製造原料としての利用が検討されている。ドイツの化学会社 BASF は廃タイヤの熱分解油を年間 10 万トン引き取り、化学製品（一例としてポリアミド 6）の原料とすると発表している。
また、カーボンブラックはタイヤの補強材以外にプラスチック用着色剤や機能性を付与するマスターバッチや塗料剤として利用されている。
反応器の形式は、ロータリーキルン、横型スクリュー式（オーガ―炉）、縦型流動床式などがあり、各社の技術によって異なる。主な反応器形式を図表 7.1.29 に示す。
設計因子は、原料チップの流動、伝熱、滞留時間、発生ガスの分離回収などである。

図表 7.1.29　熱分解炉の反応器形式



（出所）Efficiency and proportions of waste tyre pyrolysis products depending on thereactor type-A review、 Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 140 (2019) 25-53

反応炉形式はバックミキシングの少ない横型オーガ―炉が主流となっている（図表 7.1.30 参照）。
エネルギー消費の観点からは、低温での熱分解が有利であり、また今後、大規模な商業機へのスケールアップを考えると電気加熱よりもオフガス燃焼による直接加熱が有利と考えられる。また、タイヤの補強材としてのカーボンブラックの要求品質は非常に厳しく、運転条件やカーボンの後処理工程の開発はタイヤメーカーと共同開発が不可欠と考えられる。

図表 7.1.30　廃タイヤリサイクルプロセス

ライセンサー名	Enrestec	Pyrum	Bolder Industries	WF Recycling-Tech
国	台湾	ドイツ	アメリカ	UK
分解炉形式	横型オーガー炉（外部燃焼炉加熱）、過熱蒸気を導入	直下型連続式（電気加熱）、オフガスによる発電	横型オーガー炉（外部燃焼炉加熱）、スチールは前処理で分離	2 軸押出機による予熱+横型オーガー炉（電気加熱）
運転実績	分解油、rCB など 36,000 ton/y を生産	廃タイヤ 5,000 ton/y	廃タイヤ 200 万本/y	ベンチスケール
特許	US7951289	EP2427533B1、EP2661475B1	US20200181501A1	WO2019243818A1

（出所）JGC

C）石油精製設備との連携

上記のように、廃タイヤの熱分解プロセスは高温、低圧下の反応であり、軽質～重質炭化水素とカーボンブラックが生成する。炭化水素分は、凝縮、分留、用途に応じて脱硫などの後処理が必要となる。

また、ユーティリティーとして、燃料、冷却水、空気、窒素、オフサイトとして原料チップやカーボンブラックの貯蔵施設、分解油タンク、排水処理、排気ガス除害設備が必要となる。これらは石油精製設備と共通するものであり、特にユーティリティーとオフサイトは石油精製設備との一体運営が効率的と考えられる。

また、分解油を接触分解装置やオレフィン製造装置の原料として利用するなど、分解油の有効利用も考えられる。

D）今後の見通し

廃タイヤのケミカルリサイクル技術は黎明期にあり、世界的に実証機、商業機が建設、運転され始めている。

国内では、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）によるグリーンイノベーション基金事業が始まった。テーマの一つである、「CO2 等を用いたプラスチック原料製造技術開発」で廃ゴムのプラスチック原料化が取り上げられている。

開発の目標として“2030 年までに、廃プラスチックや廃ゴムなどからエチレンやプロピレン、ブタジエンなどの基礎化学品を収率 60～80%で製造し、製造時に排出される CO2 をそれぞれ 0.8，1.2kg-CO2/kg-オレフィン以下にする技術を確立“とあり、廃タイヤの熱分解技術はこの目標の基礎技術に位置付けられる。

現在、回収したカーボンブラックの品質は各社で評価しているが、ASTM はカーボンブラックの業界関係者によるコミッティーを組織し、rCB の分析法、品質についての標準化を進めており、rCB の製品としての認知、使用拡大につながると期待される。

また、2020 年 11 月にオランダで世界の廃タイヤリサイクル関係者（ライセンサー、タイ

ヤメーカー、化学会社、カーボンブラックユーザー）が一堂に会した国際会議（Recovered Carbon Black Conference）が行われ、カーボンブラックリサイクルの現状、最新技術、今後の見通し、標準化などについて話し合われた。
今後、10 年程度で廃タイヤのケミカルリサイクルの実証、商業化が行われ、ライセンス技術の向上、石油精製、石油化学との連携、幅広い用途開発が行われると予想される。

７．２ カーボンニュートラル社会に向けてコンビナートに期待される役割

（１） カーボンニュートラルコンビナートの実現に向けた要点

①社会の変化に合わせたエネルギー転換

脱炭素化は世界の潮流ではあるが、気候変動対応を進めながらも、必要なエネルギーを安定的に供給しなければならない。早期に化石燃料の開発と生産中止を要求するような、過激な環境団体や環境政党のパフォーマンスに振り回されることがないように留意が必要である。
欧州メジャー最大手の Shell は、環境団体からの訴訟を通じた裁判所による環境目標への介入に苦しみながらも、社会が必要とするエネルギーの供給に強い責任を持つと同時に、エネルギーのリーディングカンパニーとして脱炭素に向けた道を業界に示し、社会の変化に合わせたエネルギー転換を進めていく方針を示している。決して自社の利益追求だけを目的に会社を発展させようとしているのではなく、世界のリーディングカンパニーとして新しいエネルギーの供給責任を果たそうとしている。日本の石油・石油化学業界も留意すべき点である。
また、今世紀のエネルギー革命といわれた米国シェール革命は、シェール田から製品輸出までの広域一貫生産チェーンを生み出し、世界有数のコスト競争力を顕現した。そして、この強力なチェーンの要所においては、集約化、効率化を加えて、環境変化にも強靭な構造に進化するべく、石化シフト、CCS、再生可能エネルギー資源、水素エネルギー他を導入する環境低負荷構造への変容も静かに進んでいる。日本のコンビナートも石油化学とのインテグレーション、異業種連携を分断しないことが、持続的な発展を遂げるために必要不可欠である。

②欧米企業の同時戦略

欧米企業では、世界の多方面に目配りしながら同時進行で投資が行われている。例えば、SAF を供給するためのバイオ製油所化や製油所への電解槽設置などは、欧米企業の投資判断では、従来の投資判断と同じ感覚で意思決定しており、株主もそれを許容している。
欧州準メジャーの Repsol は、最大手の Shell や BP と比べるとリソースは限られるが、脱炭素に向けては、再生可能エネルギー、水素、バイオ燃料、廃プラスチックリサイクルなど、全方位的なオプションを有する。ただし、全てのオプションに均等に投資しているわけではなく、規制や市場の進化の状況を見ながら投資配分を調整する方針である。この考え方は、日本における低炭素化ソリューションの持ち方の参考になる。
また、石油産業は、規模によるメリットが大きい装置産業であり、事業開始当初から大規模生産のアプローチを取る傾向があるため、投資額が高額になり、事業が進展しないことが懸念される。欧州では、小規模モジュールを導入して徐々に、モジュールを増やしていく攻め方をしている。日本でもこのように、小規模生産からスタートして大規模化してい

くアプローチが現実的であると思われる。

③既存設備の最大活用

石油製品の内需が減少するなかで、単に製油所・工場を閉鎖するのではなく、稼働が低下する石油精製設備の最大活用を検討していく。日本の製油所やコンビナート全体を俯瞰し、どの設備をどう転換するのが最も合理的か検討する。

欧州では、Eni や TotalEnergies が一部の製油所を、低炭素燃料を生産するプラットフォームに転換している他、完全に低炭素燃料に特化せずとも、欧州メジャー各社は既存製油所の一部を水素やバイオ燃料生産のために活用している。

④石油化学、化学の役割と変革、事業ポートフォリオの高付加価値化、低炭素化

根本的には大量生産を脱却した「適量生産」を実用化しなければカーボンニュートラルは到底実現できない。エネルギー消費が少なく、高付加価値の製品にシフトする動きも出始めた。コンビナート内にこのようなポートフォリオを組み込むことで更に、環境負荷は低減される。

例えば、株式会社ダイセルは、「農水産廃棄物を含め、木本類や草本類などをまるごと有効利用したい」と強調し、コアテクノロジーとするセルロース生成・加工技術、将来的にはセルロース誘導体などを「バイオ化学品」として幅広く創出生産する構想を描いている。最終目標は適地・適時・適量生産（ダイセルの描く機能化学品生産の将来像）である。2030 年から 50 年にかけて、「個別オーダー生産」への移行を構想し、適量生産を実現する。今後は単一製品のライフサイクルが短くなっていかざるを得ないとして、この消費者ニーズにこたえるために、プロセスのダウンサイジング生産技術として、「マイクロ流路・マイクロリアクター」を開発している。

また、株式会社トクヤマは、主力をセメントなど製造時の環境負荷が高い事業から、電子材料や医療関連などに移そうとしている（2026 年 3 月期までに営業利益を 3 割増やす計画）。

ユーザー密着の「サステナブル」な事業を実現していく観点から、「多品種少量・適量」「only one」は、日本の企業の最も得意とする戦略的方向である。コンビナートの最下流に多くの「only one」を繋げることで一段と強固なチェーンが創出される。

⑤コンビナート内連携拡大、産業間連携による GHG 排出削減

欧米に限らず、石油コンビナート内、及び異業種とのインテグレーションは、国際競争力だけでなく、低炭素化においても、最大のシナジー効果を生み出す源である。上流の原料の調達から、加工、貯蔵、出荷、輸出の中流、下流チェーンを強化していくことが重要である。移動量が少ないこと、留分や用役を相互融通することは、CO2 削減にとっても非常に有効である。

半製品の転送は、コスト増だけでなく輸送に伴う GHG 排出が伴うことから、コンビナート内でのパイプライン輸送を充実する必要がある。また、従前に増して、製品の相互融通（バーター取引）を促進すべきである。

課題として、化学産業は、下流製品の品種が多く、ナフサを原料とするエチレンセンターは、多品種の市況変動による需給バランスの歪を得率変更で対応することは不可能であ

り、ユーザー需要に合わせるために、不必要な製品も生産せざるを得ないことがある。各品種の市況変動のボラティリティをいかに小さくできるかが事業存続の鍵であり、そのためには川下のポートフォリオ改革で必要ある。

⑥コンビナートの IT、AI 活用、DX 化

ユーザー密着型の環境低負荷による少量多品種生産を可能にするには、ハード対応だけでは事足りない。ユーザー情報に対する生産現場の迅速なレスポンスが求められる。また、素材開発、スマート工場化だけでなく、生産・販売品のグリーン度、GHG 排出量など、環境対応状況の提示も重みを増してくるため、IT・AI 活用、DX 化は不可欠になる。DX を制するものが競争優位性を発揮する時代が本格化する。

また、強靭で効率的なものづくりに向けて工場のスマート化だけでなく、新たな國際競争力にむけて成長を牽引する研究開発に優先的に資金を振り向け、AI を駆使した素材開発競争「マテリアルズ・インフォマティクス（MI)」を強化する。また、専門人材をいかに育成するかが課題となっている。

⑦地域との共生による一般廃棄物のコンビナートへの組み込みによる資源循環

今後、コンビナートはカーボニュートラルと共に、地域共生による廃棄物の資源循環をコンビナートに取り込むことも重要視される。

石油コンビナートにおける製品半製品は、ポリマー樹脂を除いて、そのほとんどが、ガス・液体である。セメントや鉄鋼のような固体処理を得意とする異業種との連携で、カーボニュートラルだけでなく、各地区固有の資源循環型コンビナートの構築も期待できる。

⑧CCS の必要性

地理的な構造から、日本での CCS は難易度が高いとされているが、現時点では CCS のオプションも除外すべきではない。

欧州でも CO2 を海底に貯留することに対する議論があったが、現在では CCS はカーボンニュートラルの実現に必須のソリューションと認識されている。特に、Equinor が主導する Northern Lights プロジェクトは先進的であり、CO2 貯蔵を行う先は、日本のコンビナート周辺にも豊富に存在する非構造性帯水層である。

CCS を有望な低炭素化ソリューションのオプションとして維持し、その実現性の深堀調査として、まずは実際に開発を進めている Northern Lights などに参画し、CCS に対するアプローチの知見を深めるといったやり方が、迅速な展開に資するものと思われる。

⑨政府支援、インセンティブの最大活用

企業による低炭素化の動きを活性化させるには、政府による合理的かつクリアな規制の枠組みや補助金などのインセンティブの付与が極めて有効と考えられる。

企業にとって新しい局面と言える、気候変動対策の緊急度が増した事業環境において、そのルールが定まっていない中で、企業が低炭素化ソリューションに本格的に投資していくことは、リスクが大きく不可能である。また、生産設備には大きな初期投資が必要となるため、補助金などで企業の意思決定を助長することが有効である。

欧州メジャーは今後の規制がクリアになってきている SAF などから検討を進め、その他

の低炭素化ソリューションはEUと各国政府による規制の枠組みを注視しながら開発を進めている。そして、このような開発にはEUのイノベーションファンドを始め、多くの補助金が活用されている。
また、EUによるEV前提の考え方に対する懸念の声があるように、政府が全てトップダウンで決めれば良いわけではなく、長期の産業のあり方も考えた合理的な規制の枠組みや補助金などのインセンティブを、産業界と連携して進めていくのが現実的である。
また、企業、生産現場の脱炭素化に向けた技術導入を容易にするため、国、特に地方自治体の法体系がカーボンニュートラル用にできていない。実業を通して、民間の方からも働きかける。

⑩コンビナート内でのGHG削減量分配のルール作り
低炭素化ソリューションをコンビナートと周辺産業で開発、導入していく際には、企業間で事前にGHG削減量の取り扱いについてルールを決めておく。ドイツのCarbon2Chemプロジェクトのように、鉄鋼プロセスから出た副生ガスを化学品の原料として利活用していくような産業間連携があり得るが、どの企業がどれだけGHGを削減したかというのは、炭素価格の導入に伴い、利益配分と同様に重みをもつ。

（２） 2030年度における石油精製設備余力
RING組合は、令和2度燃料安定供給対策に関する調査事業（持続可能な石油コンビナートへの変革・連携強化に関する分析調査）において、線形計画（Linear Programming＝LP）モデルを用いて、2030年度の石油製品の需給バランスを解析した。解析結果の概要を以下にまとめる。
石油製品の内需が減少を続けるなかで、余剰となる石油精製設備は、バイオ燃料や合成燃料などの脱炭素燃料や、カーボンリサイクル製品の製造に転用し、有効活用することが期待される。そこで、コンビナートの目指す姿を描くうえで、これらの解析結果を参考にした。

・原油処理量が減少して、常圧蒸留装置（TOP）は615千BD（製油所3～4か所に相当）の余力が発生する。
・ガソリン要生産量の減少で、流動接触分解装置（FCC）は、43%もの余力が発生する。特に、瀬戸内B、DタイプのFCCは50%前後の大幅な余力が発生する。
・FCC余力発生で、FCC前処理装置である減圧軽油水素化脱硫装置（間接脱硫装置、VHDS）も61%もの大幅余力が発生する。
・軽油深度脱硫装置の余力が46%と著しい。
・分解軽油生産量減少のため、LSA重油基材が不足し、直留軽油（DGO）の混合比が増える。
・重油直接脱硫装置（RDS）は、RFCC原料を確保した残りは、全てLSC重油を生産するためにフル稼働になる。

図表 7.2.1　2030 年度における地域別製油所タイプ別石油精製設備余力の試算結果

千BD

		関東				中部			瀬戸内				合計	合計	合計	合計
		B	C	D	計	B	C	計	B	C	D	計	B	C	D	合計
TOP（330日）	①公称能力	564	694	448	1,706	86	415	501	383	274	540	1,197	1,033	1,383	988	3,404
	②適正稼働能力	510	627	405	1,543	78	375	453	346	248	488	1,082	934	1,250	893	3,077
	③LP結果	431	533	359	1,323	0	314	314	260	211	413	884	691	1,058	772	2,521
	④差(②-③)	79	94	46	219	78	61	139	86	37	76	198	242	192	121	556
	⑤余力	88	104	51	242	86	68	154	95	41	84	219	268	213	134	615
VHDS（330日）	①公称能力	99	161	215	475	24	40	64	110	44	185	339	233	245	400	878
	②適正稼働能力	90	146	194	430	22	36	58	100	40	167	307	211	222	362	794
	③LP結果	45	20	117	183	0	22	22	44	40	25	108	89	82	141	313
	④差(②-③)	44	125	78	247	22	14	36	56	0	143	198	121	139	220	481
	⑤余力	49	138	86	273	24	16	40	61	0	158	219	134	154	244	532
RHDS（310日）	①公称能力	142	129		271		105	105	52	0	45	97	194	234	45	473
	②適正稼働能力	121	110	0	230	0	89	89	44	0	38	82	164	199	38	401
	③LP結果	99	110	0	208	0	89	89	44	0	38	82	142	199	38	379
	④差(②-③)	22	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	22
	⑤余力	26	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	26
RFCC（330日）	①公称能力		152		152		111	111		60		60	0	323	0	323
	②適正稼働能力	0	137	0	137	0	100	100	0	54	0	54	0	292	0	292
	③LP結果	0	122	0	122	0	95	95	0	54	0	54	0	271	0	271
	④差(②-③)	0	16	0	16	0	5	5	0	0	0	0	0	21	0	21
	⑤余力	0	17	0	17	0	6	6	0	0	0	0	0	23	0	23
FCC（330日）	①公称能力	121	38	176	335	31		31	113	0	149	262	265	38	325	628
	②適正稼働能力	109	34	159	302	28	0	28	102	0	135	237	239	34	294	567
	③LP結果	84	1	106	191	0	0	0	52	0	83	135	135	1	190	326
	④差(②-③)	25	33	53	111	28	0	28	50	0	51	102	104	33	104	241
	⑤余力	28	37	58	123	31	0	31	56	0	57	112	115	37	115	267
ｺｰｶｰ（310日）	①公称能力			60	60			0			81	81	0	0	141	141
	②適正稼働能力	0	0	51	51	0	0	0	0	0	69	69	0	0	120	120
	③LP結果	0	0	51	51	0	0	0	0	0	69	69	0	0	120	120
	④差(②-③)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	⑤余力	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
REF+CCR（330日）	①公称能力	76	132	98	305	45	81	126	107	67	82	255	227	280	180	686
	②適正稼働能力	68	119	89	276	41	73	114	96	61	74	231	205	253	162	621
	③LP結果	63	76	62	202	0	48	48	39	46	64	149	102	170	126	398
	④差(②-③)	5	43	26	74	41	26	66	58	14	10	82	103	83	36	222
	⑤余力	5	48	29	82	45	28	73	64	16	11	91	114	92	40	246
軽油深脱（330日）	①公称能力	147	173	195	515	30	82	112	93	60	154	307	270	315	349	933
	②適正稼働能力	133	156	176	465	27	74	101	84	54	139	277	244	284	316	844
	③LP結果	90	109	48	248	0	58	58	53	43	57	153	143	210	105	459
	④差(②-③)	42	47	128	217	27	16	43	31	12	82	124	100	74	210	385
	⑤余力	47	52	142	240	30	18	48	34	13	91	138	111	82	233	426

（出所）RING 組合、令和 2 度燃料安定供給対策に関する調査事業（持続可能な石油コンビナートへの変革・連携強化に関する分析調査）

（3）　石油精製設備と低炭素化ソリューションとの親和性

・持続可能な航空燃料（Sustainable Aviation Fuel＝SAF）

欧州委員会は、航空業界の CO2 排出量を削減するための規制導入を進めており、ジェット燃料への SAF は混合規制が普及されることが見えている。優先的に開発を進めていくべき低炭素化ソリューションは SAF である。

多様な低炭素オプションの中には、自動車用ガソリンの代替となるバイオ燃料や e-fuel、水素などの再生可能な液体燃料も含まれるが、航空燃料と大きく異なる点として、自動車用液体燃料は電動化との激しい競争が存在する。EV がどれだけ普及するか、液体燃料を使用する内燃機関がどれだけ残るかという点については政府の規制や施策に大きく依存し、その枠組みが不明瞭な段階では、企業として再生可能な液体燃料への大型投資は難し

い。その様な難しい状況下でやれることとして、まずは需要が確かな SAF への投資を進め、規制や市場の動向に応じて SAF やバイオディーゼルの生産比率を調整することも考えられる。

・地域廃食用油回収システム及びバイオ燃料チェーンの早期構築
廃食用油は有限である。特に日本の廃食用油は品質がよく SAF の得率が高いといわれており、海外の回収業者による買い占めの標的になるのは必至である。地域の廃棄資源を海外資本に買い占められてしまうと、e-fuel しか手立てはない。また、バイオ燃料は、e-fuel よりも安価で、ハンドリングも用意である。反応塔の活用などで、設備投資を抑制できる可能性がある。

・船舶用燃料の低炭素化
船舶も硫黄分規制に続いて、ジェット燃料に遅れて、同様な混合規制が施行される可能性が極めて高い。

・石炭ボイラー発電の、アンモニア、水素及びバイオマス燃料との混焼
日本は、電力業界に限らず、石炭ボイラー発電が多いことから、アンモニア、水素などとの混焼を進め、低炭素化していくことが優先される。
また、バイオマス燃料工場をアジア圏に建設して、石炭との混焼、さらには専焼を、段階的に進める方法はリスクが少なく、既存ボイラーの改造投資が少なくてすむ。椰子殻、椰子古木などの定期的に廃棄される東南アジアの廃棄資源を活用して現地でブラックペレットなどの加工工場を建設し、国内への販売チェーンを築くことも有効である。

7．3 カーボンニュートラルコンビナートの目指す姿

（1） 各地区コンビナートの目指す姿

今年度の調査結果に基づき、ワーキンググループで検討した各地区コンビナートにおける目指す姿をまとめた。

①鹿島地区
・今後の課題と具体策
－連携基盤
⇒鹿島北共同発電（エネルギーセンター)、鹿島共同再資源化センター
⇒鹿島コンプレックス有限責任事業組合（ENEOS 株式会社 50%、三菱ケミカル株式会社 50%)
－再生可能エネルギー基盤
⇒鹿島製油所内風力発電設備(ENEOS)、洋上風力発電所(株式会社ウィンド・パワー等)、風力発電所（コスモエコパワー株式会社)、MCH 水素導入（将来)
－エチレンセンターの CO2 排出低減
⇒廃プラやバイオ由来原料への転換
－地域廃プラのリサイクル
⇒超臨界水での廃プラ熱分解、熱分解油を石油精製設備及びナフサクラッカーにおい

て原料として使用

－鹿島地区における SAF（バイオ、合成燃料）の生産

⇒成田空港に近く、有望

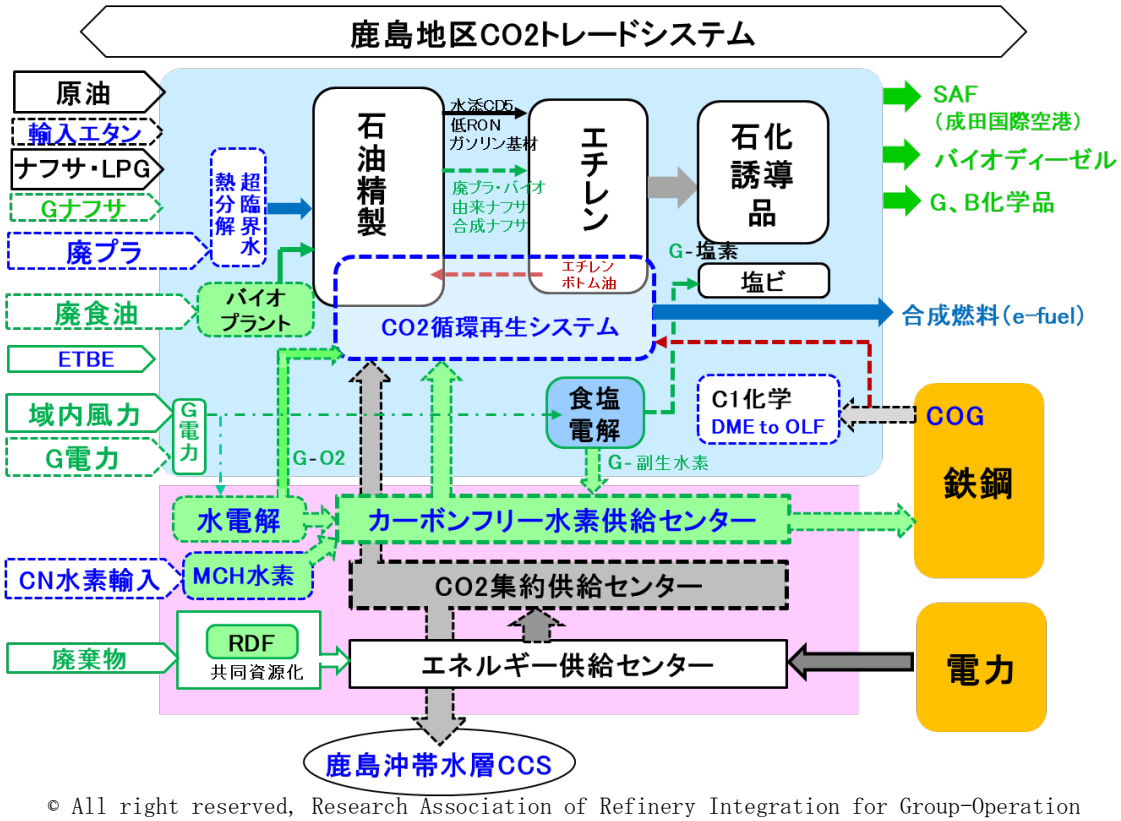
－鉄鋼 COG による C1 化学

⇒コンビナート建設当初は鉄鋼との連携構想（架橋計画）

－CCUS 構築

⇒ C1（CO,CO2）からメタノール、オレフィン生産 （DME またはメタノールからプロピレンを製造する技術を保有）、鹿島沖滞水層 CCS

図表 7.3.1　鹿島地区の目指す姿



© All right reserved, Research Association of Refinery Integration for Group-Operation

②千葉地区

・今後の課題と具体策

－エチレン装置からの CO2 削減

⇒分解炉の燃料転換（エチレン分解ボトムから LNG、水素、アンモニアに燃転）

⇒エチレン装置の原料軽質多様化(LNG 回収由来エタン、精製及び輸入 LPG 増、米国輸入エタン)、輸入ナフサ削減

⇒エチレンセンター分解炉の機能分担（軽質系原料処理分解炉、重質系原料分解炉他）

－エチレン分解ボトムの削減とカーボンサーキュレーション

⇒軽質原料の比率アップ、エチレン分解ボトムを石油精製分解

－石油精製と石油化学の機能分担によるカーボンニュートラル価値観でインテグレーション見直し

⇒廃プラ分解ナフサ、バイオナフサ、合成ナフサ、石化 RAF などのガソリン基材石化留分の水添による石化原料化、石精軽質留分のエチレン原料化（エタン、LPG、ナフサ、低オクタンガソリン基材他）

⇒LNG からのエタン分離、コンビナートガス留分の価値見直し（メタン to HY 他）

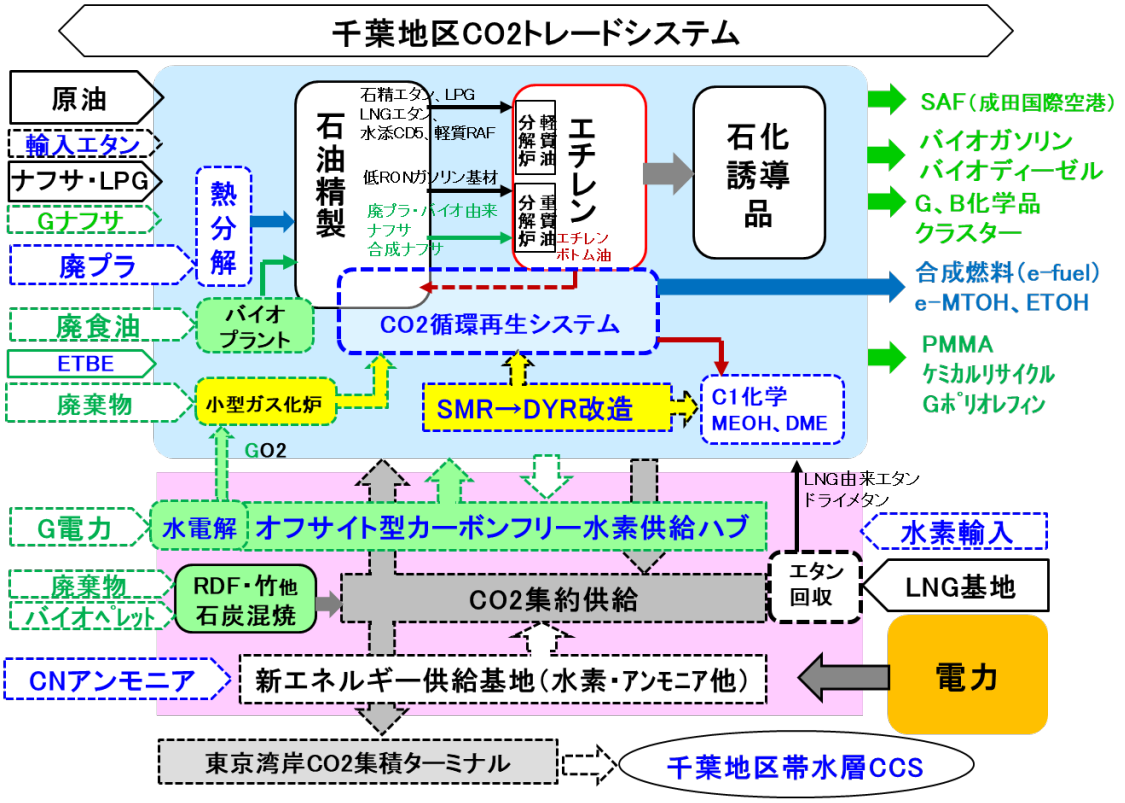
⇒RINGⅢ水素ネットワークの増強、オフサイト型大規模水素供給基地化、SMR 余力活用によるドライリフォーミング転換

－首都圏廃食用油・廃プラ収集とバイオ燃料、廃プラ熱分解

⇒SAF（成田空港専用配管活用）、バイオディーゼル、オレフィン生産

－資本の壁を越えたカーボンニュートラル全体最適化インテグレーション

図表 7.3.2　千葉地区の目指す姿



© All right reserved, Research Association of Refinery Integration for Group-Operation

③川崎地区

・今後の課題と具体策

－（ありたい姿）都市とタイトに繋がったコンビナート

⇒都市における水素自動車や EV のエネルギーをコンビナートから供給、廃棄物浮島処理（セ）、廃プラリサイクルとのコラボ

⇒都市密着によるカーボンニュートラル水素の利活用

－コンビナートに炭素サーキュレーション構築（CO＋CO2＋H2 を原料）

－首都圏廃食用油、廃プラ収集によるバイオ燃料、SAF（羽田空港近距離）、バイオディーゼル、廃プラ熱分解油を生産

⇒小規模東亜石油のバイオリファイナリー指向変容（例:TotalEnergies グランピュイ製油所の転換、原油処理停止）

－川崎天然ガス発電との連携によるメタネーションエネルギー循環システム構築

－既設の廃プラ熱分解プラント、アンモニアプラント増強

⇒廃プラ収集増強は自治体の協力必須

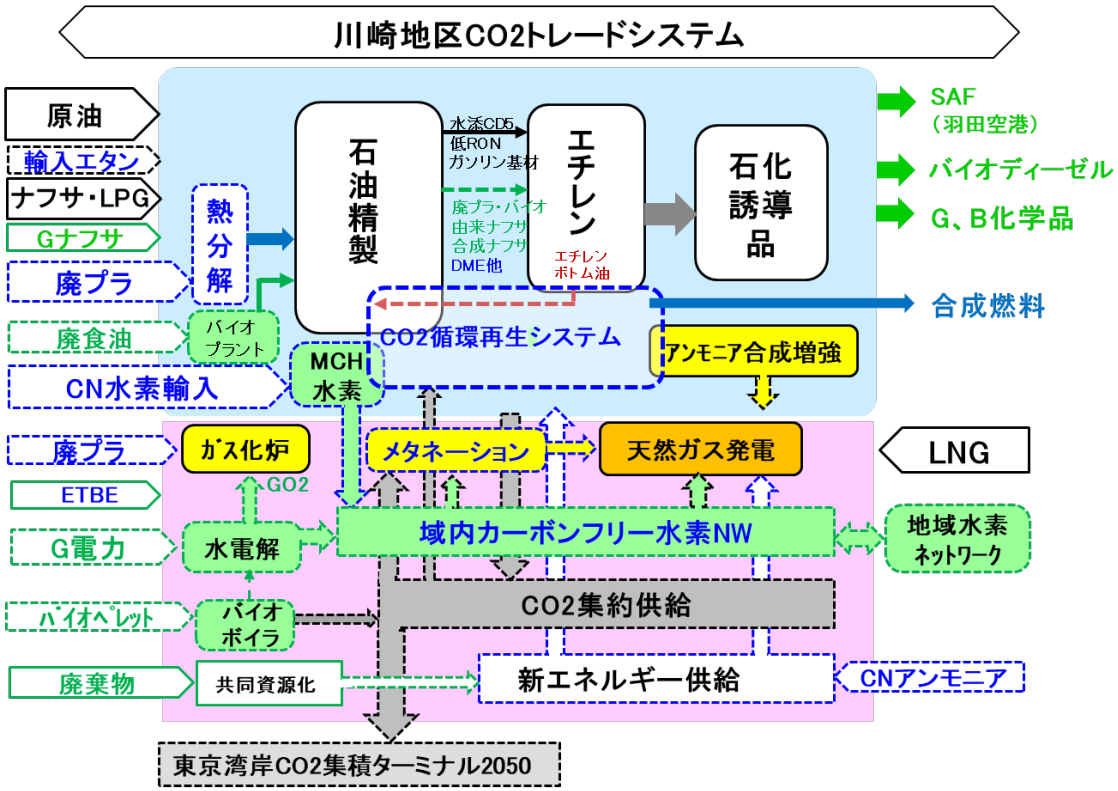
－エチレンの低炭素化、段階的な原料多様化、石油精製からの石化原料供給増

⇒廃プラ分解油由来ナフサ、バイオ由来ナフサ、合成燃料由来ナフサ（e‐fuel 含む）のエチレンチャージ

－資本の壁を越えたカーボンニュートラル全体最適化インテグレーションの重要性

⇒トランジション期の在り方と最終目標、ロードマップ策定

図表 7.3.3　川崎地区の目指す姿



© All right reserved, Research Association of Refinery Integration for Group-Operation

④知多、四日市地区

・今後の課題と具体策

－知多＋四日市地区のカーボンニュートラルコンビナートへの連携開始

⇒RING 活動によるこの地区の更に具体的な展開、カーボンニュートラル価値観に基づく新コンビナート変革の活動スタート

－ピッチ＋コークス混焼ボイラーの低炭素化

⇒カーボンフリー水素、アンモニアの混焼、バイオマス燃料の混焼

－小規模製油所存続の危機感、バイオリファイナリーへの転換

⇒次世代型カーボンニュートラルグリーン製油所に転換、中京圏の廃食油からバイオ

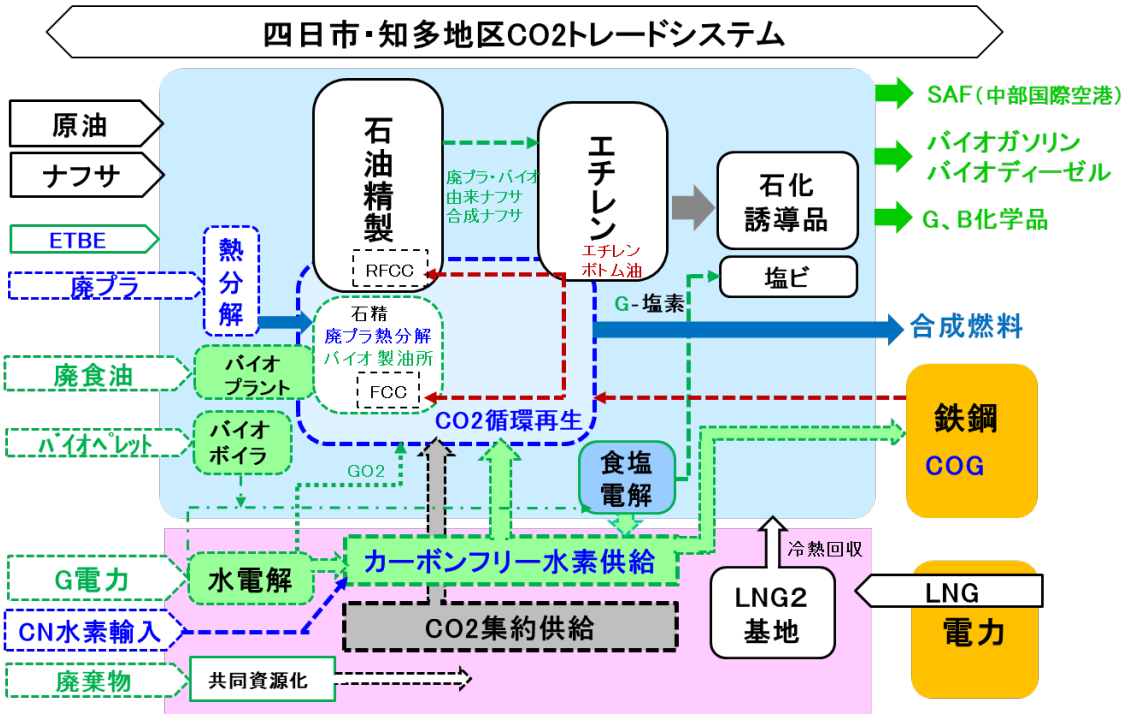
燃料（SAF、バイオナフサ、バイオディーゼル）生産、SAF は中部国際空港出荷

－重油分解などを核とする炭素循環システム構築

⇒RFCC の CO＋CO2＋水素、鉄鋼 COG＋水素を原料とする合成燃料生産（e-SAF、ナフサ、ディーゼル）

－中京圏の一般廃棄物と産業廃棄物の処理センターのコラボレーション

図表 7.3.4　知多、四日市地区の目指す姿



© All right reserved, Research Association of Refinery Integration for Group-Operation

⑥堺・泉北地区

・今後の課題と具体策

－2 製油所インテグレーションで高効率、低炭素化製油所集約

⇒ENEOS 上流高効率フロー＋コスモコーカー＋バイオ・廃プラ熱分解＋２製油所間インテグ配管

⇒コスモサイト上流のバイオ＋廃プラ熱分解油製油所への変革

⇒コーカー低硫黄コークスのガス化（三井化学アンモニアプラント増強想定で副生酸素活用）

－２製油所統合とエチレン装置との新インテグレーション

⇒エチレン分解ボトムを原料とするコーカー熱分解ドラム追加、低硫黄低窒素の高品質電極材料ニードルコークス生産

⇒エチレンメタンのコスモ HY 原料化、炭素循環システム、バイオ燃料生産に向けた水素製造能力増強

⇒SMR からの高純度 CO2 回収利活用

－カーボン循環スキーム構築

⇒CO＋CO2＋H2 を原料⇒休止 FCC の CO ボイラー活用（エチレン分解ボトムから CO、CO2）

－エチレン装置の燃料低炭素化、原料多様化

⇒アンモニア燃料化、エチレン分解ボトム→天然ガスへ燃料転換（三井化学アンモニアプラント増強、NH3 タンク新増設）

⇒低 RON 石精石化留分（コスモサイト上流設備活用）、バイオナフサ、廃プラ分解ナフサのエチレン原料化

－エチレンのインバランス解消

⇒エチレン＋CO2＋CO のカーボンニュートラル高付加価値製品（SAP 等）の導入など

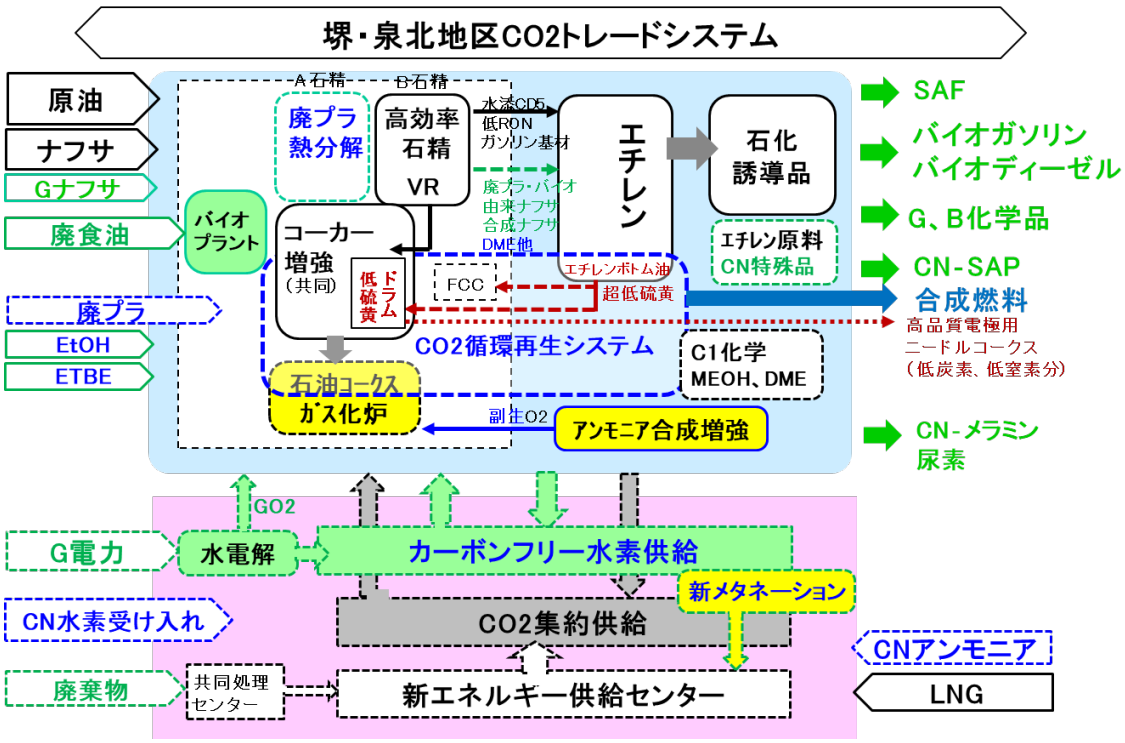
－関西圏からの廃食油、廃プラ、廃棄物収集による地域共生循環システム構築

⇒関西空港 SAF 基材生産

－新メタネーション技術モジュールの実装（SOEC：水と再生可能エネルギー由来電力）

－カーボンニュートラル価値観に基づくインテグレーション見直し

図表 7.3.5　堺・泉北地区の目指す姿



© All right reserved, Research Association of Refinery Integration for Group-Operation

⑦水島地区

・今後の課題と具体策

－水島地区に各社主力工場が立地するが再生可能エネルギーがない

⇒ENEOS の MCH 水素導入を足掛かりに、コンビナート CO2 回収（エチレン統合、ピッチボイラ、石炭ボイラ）とでカーボンニュートラル推進

⇒水島地区炭素サーキュレーションシステム構築、コーカー２基の活用

－JFE スチールの COG インテグレーションによるメタノール C1 化学展開

⇒主に、JFE の COG（シンガス）を原料とする合成メタノールからオレフィン製造
⇒合成メタノール原料で既設のカーボンフリーポリアセタール樹脂合成（既設原料の脱炭素化）
⇒旭化成のカーボンニュートラル先進技術（アルカリ水電解システム、CO2 原料ポリカーボネート技術など）の活用

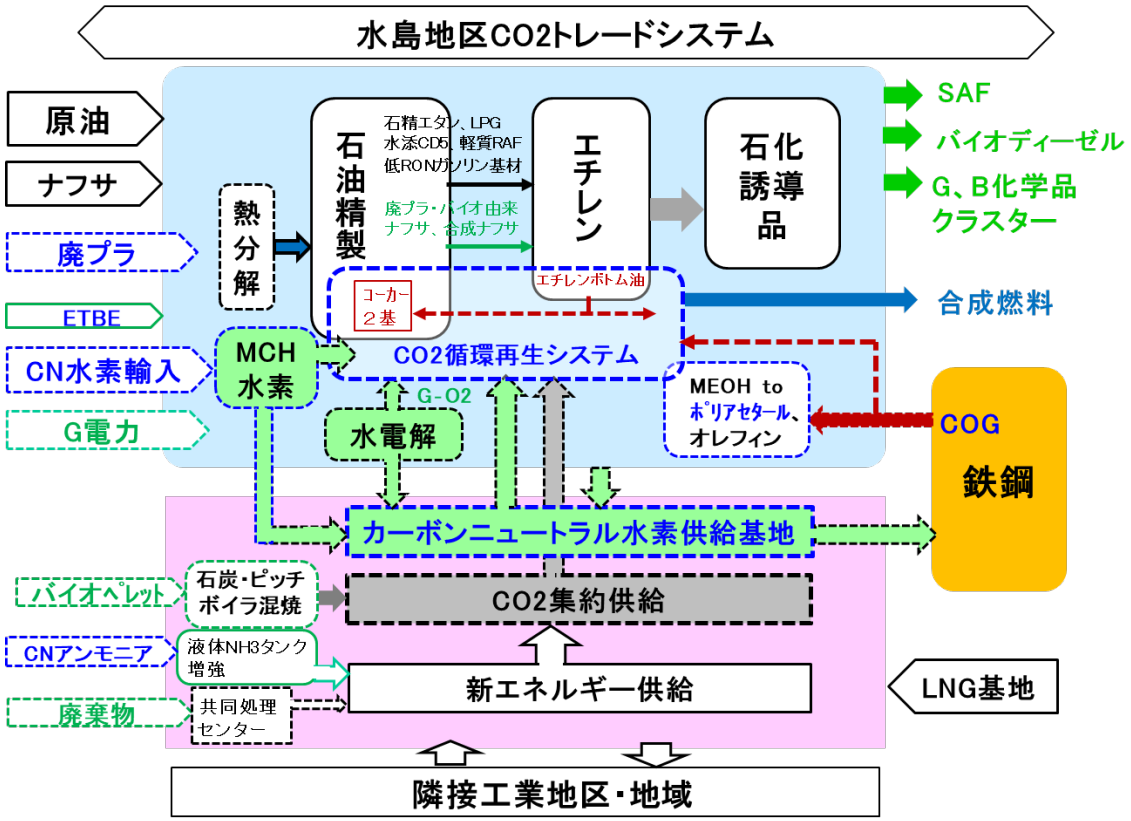
－廃油、廃プラを原料とするバイオ燃料、廃プラ熱分解油活用
⇒バイオナフサ、廃プラ熱分解ナフサをエチレン原料化

－ピッチボイラ、石炭ボイラー及びエチレン装置の低炭素化（CCS は地質的にも場所的にも困難）
⇒ピッチボイラ（旭化成・三菱ケミカル）、石炭ボイラ（三菱商事）への水素、アンモニア混焼
⇒三菱ケミカル＋旭化成エチレン装置への MCH 水素、アンモニア、天然ガス燃料転換

－低温大型アンモニアタンク（既設アクリルニトリルの原料）の増強、NH3 輸入、大量に余るメタンの有効活用⇒SMR 原料

－コンビナート共同廃棄物処理センター化

図表 7.3.6　水島地区の目指す姿



© All right reserved, Research Association of Refinery Integration for Group-Operation

⑧周南地区

・今後の課題と具体策

－周南地区は石炭ボイラーからの CO2 排出が大半

⇒石炭ボイラーCO2 排出量 400 万のトン内半分削減当面の目標、石炭とバイオマス、アンモニア混焼によって石炭火力からの CO2 排出量削減を加速化

－エチレンセンターからの CO2 排出も多い

⇒エチレン原料の多様化（LPG、グリーンナフサ等）、輸入及び合成エタノールを原料とするエタノール脱水炉追加

－アンモニア輸入基地の実現に向けて、スピードアップ（優先的取組課題）

⇒供給のための地区内共通配管整備（エチレンアミンの原料としてのアンモニアは全量外部購入）

－塩ビ産業チェーンの低炭素化（付加価値は高いが CO2 排出量が多い）

⇒CO2＋副生水素から、メタノール、DME、エタノールをはじめとする化学品へカーボンリサイクル、セメント、ソーダ灰などへの利用

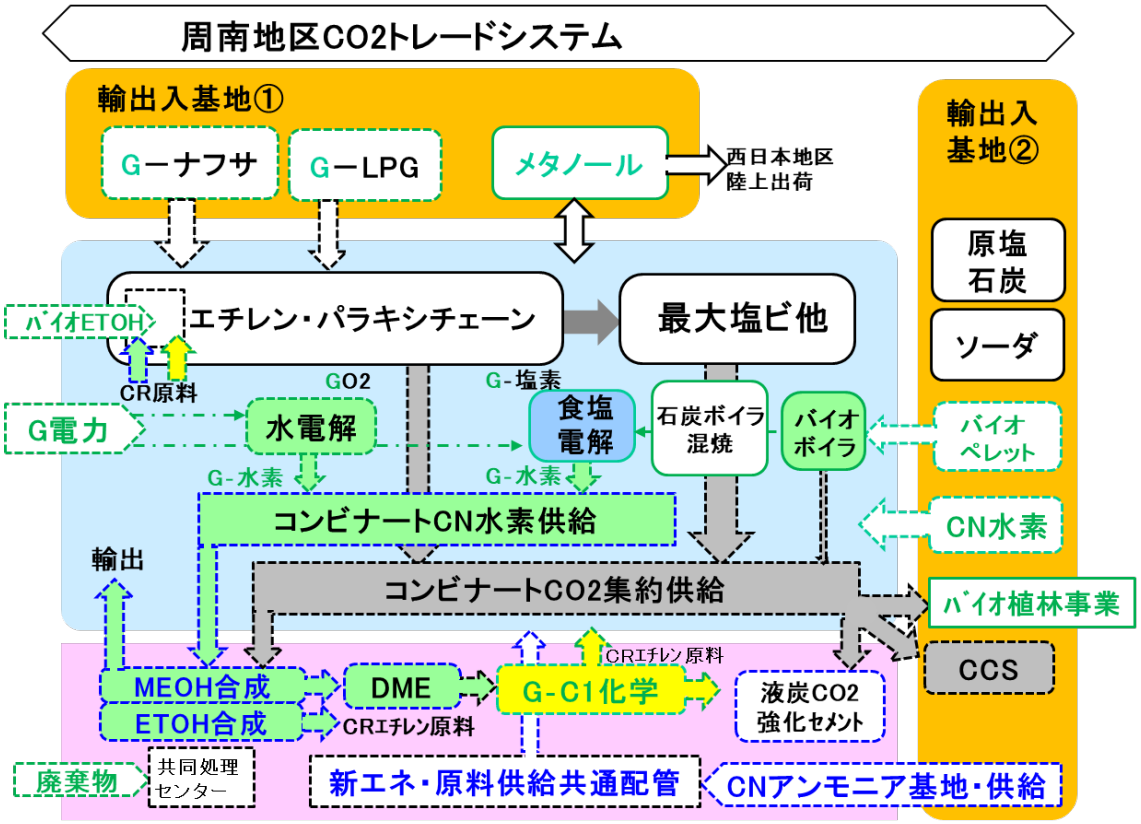
⇒電力をグリーン化による製品のグリーン化、製品の新たなカーボンニュートラル付加価値アップ（マスバランス方式の確立）

－「緑山バイオマス材生産モデル事業」を開始、地区内 CO2 トレード仕組みの準備、廃棄物共同処理センター

－周南地区カーボンニュートラル移行ロードマップ

⇒優先順位を付けた取り組み（欧州の動きに流されることなく、横目で見ながら徐々にモデファイ）

図表 7.3.7　周南地区の目指す姿



© All right reserved, Research Association of Refinery Integration for Group-Operation

⑨大分地区

・今後の課題と具体策

－大分地区用役センターをスタートにカーボンニュートラルコンビナートへの展開活動

⇒用役センターでの CO2 の集約回収、近接企業の低温スチームの CO2 回収利用、電力スチームバランスの改善

－大分地区のカーボンフリー水素基地

⇒大分製油所サイトに MCH 水素供給センター、補填用水電解（PEM）設置

－エチレン装置の低炭素化

⇒用役最適化、天然ガスなどの低炭素燃料への転換

－エチレン原料の多様化

⇒廃プラ由来ナフサ、グリーンナフサ、低 RON ガソリン基材他

－グリーン電力の活用

⇒グリーン電力の受け入れを可能とするグリッド構築

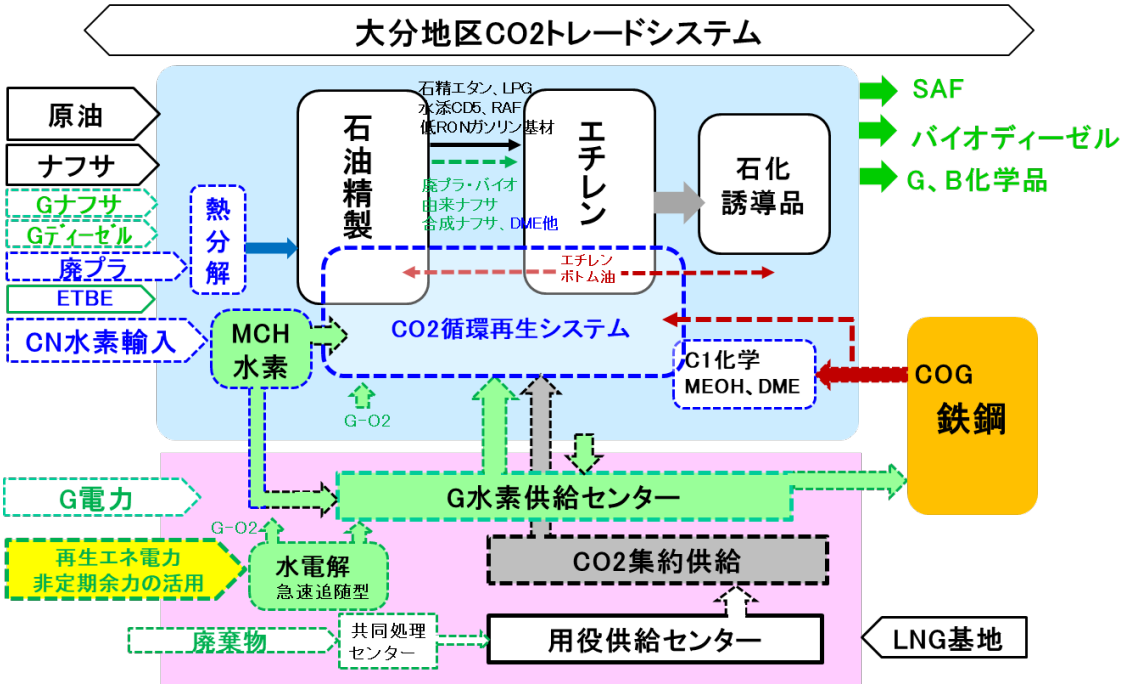
⇒変動に対して迅速に追随可能な PEM 小型モジュールの設置（例：用役センター内）

－鉄鋼地区の COG 受け入れによる炭素循環システム構築

⇒鉄鋼との公平な CO2 トレード契約の確立、鉄鋼地区への相当の水素返送

⇒COG＋MCH 水素を主とする炭素循環システムの構築

図表 7.3.8　大分地区の目指す姿



© All right reserved, Research Association of Refinery Integration for Group-Operation

（2）　各地区カーボンニュートラルコンビナート構築に向けた特徴と要約

策定した 9 地区のカーボンニュートラルコンビナートの特徴を図表 7.3.9 のとおり一覧表とした。また、9 地区の要約を、図表 7.3.10 にまとめた。

図表 7.3.9　各地区コンビナートの目指す姿の特徴一覧

	鹿島	千葉	川崎	知多/四日市	堺・泉北	水島	周南	大分
再エネ電力(風力等)	◎							○
バイオ燃料電力		○	◎				◎	
CO2フリー水素(MCH等)	○		◎	◎		◎		○
CO2フリーNH3		◎	○(NH3)	◎	○(NH3)	◎(NH3)	◎	
電解槽(食塩)	◎			◎			◎	
バイオSAF	○	○	○	○	◎			
エチレンボトム活用	○	○	○	○	○	○		○
廃プラ熱分解	◎	○	◎		○	○		
廃棄物処理	○	○	○	○			○	
鉄鋼連携(COG)	○					◎		○
メタネーション			○		◎		○	○
MeOH、ETOH、C1化学	○	○				○	○	
地域連携	◎(RDF)	◎(竹 他)	◎(水素)		○		◎(植林)	
CCS	○	○	○				○	

© All right reserved, Research Association of Refinery Integration for Group-Operation

図表 7.3.10　各地区コンビナートの目指す姿要約

地区	特徴、カーボンニュートラル(CN)に向けた目指す姿
鹿島	• 企業と行政の協働とR-Cインテグレーションの進展で競争力確保 • 風力を始めとする再生可能電力と外部水素導入によりCNコンビナートの実現を図る
千葉	• 大規模消費地である首都圏立地を活かした地域連携 • 国内最大のエネルギー・素材産業集積を活かした、機能分担・インテグレーションによるCN実現
川崎	• エネルギーと素材を循環し、都市とタイトに繋がったコンビナートとして地域の中核となるイノベーションの創出 • 異業種の高密度集積を利用した水素・機能材生産基地化
知多	• 「重質油分解リファイナリー」+「石化リファイナリー」⇒先進的高効率連携統合運営 • 異業種(自動車等)、自治体(CNP等)との連携によるCO2フリー水素を活用したCNコンビナートへの変革
四日市	• 小規模製油所のバイオリファイナリー化 • コンビナート内連携拡大と川下分野の高付加価値化による競争力確保
堺・泉北	• 堺・泉北ベイエリアの産業集積地の中核としての基盤強化 • 石油-石油のハイブリッド化、エチレンボトム有効活用による超高効率石油コンビナートの構築 • グリーン水素・グリーンアンモニアの活用によるカーボンニュートラルコンビナートへの変革
水島	• 世界トップの誘導品製造技術の確立と工場間統合によるアジアNo.1コンビナートの創出 • 異業種との連携、およびCO2フリー水素拠点を融合したC1化学を中心としたコンビナートのCN化促進
周南	• 脱炭素燃料サプライチェーン構築による石炭火力のCO2排出量削減 • カーボンリサイクルによるC1化学への展開、バイオマス燃料やグリーン原料の導入によるCN化
大分	• 九州唯一、アジア最近接の立地を活かした個性派コンビナートの構築 • 石油・石油化学・鉄鋼・LNG電力の連携によるカーボンニュートラルコンビナート構築

© All right reserved, Research Association of Refinery Integration for Group-Operation

Ⅲ　本調査のまとめ

８．令和３年度委託調査の要旨

近年、世界的な環境保全活動は高まりを見せており、2020 年 10 月には日本政府より「2050 年カーボンニュートラル宣言」がなされ、また同年 12 月には「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定された。さらに 2021 年 4 月には、2030 年度の温室効果ガス排出量を 13 年度比で 46%削減する目標も掲げられ、温暖化対応を経済成長の制約やコストとする考えから、国際的にも成長の機会と捉える流れに向かって動き始めている。

こうした脱炭素の流れは、再生可能エネルギーへの転換や省エネルギーの進展を加速させ、人口減少という社会構造の変化と相まって、日本の化石燃料需要は今後益々減少していくものと見込まれる。これに加え、中国を始めとする新興国等による最新の技術を採用した大型で高効率な設備から生産される競争力のある石油・化学製品の輸出により、アジア市場はかってない競争に晒されつつある。

このように世界のエネルギー需給環境が大きく変化する中、製造業の集結する日本のコンビナートには、新たな経済成長とエネルギー・素材の継続的な確保にむけて産官学総動員で「グリーン成長戦略」を具体的な形で推進することが期待されている。

本調査では、石油精製、石油化学、化学、鉄鋼、その他製造業が集積する日本の石油コンビナートが、カーボンリサイクル技術やグリーン化技術などの最新技術を取り入れることによって、脱炭素時代にふさわしいコンビナートへ持続的に変革して国際競争に対応していくための連携事業を創出・促進する政策立案に役立てることを目的として調査を行った。

本調査で得られた知見と、そこから導かれる今後の石油コンビナートの競争力強化に向けた要点について以下に示す。

８．１ 海外石油コンビナートの設備戦略調査

８．１．１　アジア圏コンビナート調査結果の総括と考察

（１）　中国調査：第 14 次 5 カ年計画により継続する石油精製、石油化学の増強

第 13 次 5 カ年計画の総仕上げともいえる大規模プロジェクトの１つである浙江石化の１期及び２期工事が完了しフル稼働に向かっている。このようなパラキシレンを中心とした超大型プラントの稼働により、中国のパラキシレンは 2023 年頃には需要と生産能力がほぼ同じレベルになると予測されており、第 14 次 5 カ年計画の期末(2025 年)までにパラキシレン、スチレン、PTA など製品では重度の供給過剰に転じる可能性がある。

こうした余剰の化学製品及び、石油製品の輸出により、アジア市場が混乱することが懸念される。

中国は、国際的なカーボンニュートラルへの監視を気にしながらも、プロパガンダに近い対応が主で、国際社会が求める脱炭素化には向かってない。また、環境課題では国土の環境汚染改善及び環境遵守に対する啓蒙教育というプリミティブな段階にある。

ただし、体制存続に関わる局面では、環境保全対策にも政府主導で迅速な動きを見せている。しかし、こうした中央政府の対応の実態は掛け声のみであり、実質的な環境保全に対する動きは見られない。

中国は石炭の世界最大消費国であることから、再生可能エネルギーの開発も進めている

が、国家全体の CO2 排出削減には至っていない。いまだに排出量は増加傾向にあり、先進国が既にピークアウトに達しているのに対し、中国のピークアウトは 2030 年以降とされている。

（2） ベトナム：世界の再生可能エネルギー投資額ランキングの上昇

ベトナム経済は、コロナ禍で 2020 年こそ成長が鈍化したものの、若い人口層の増加で、今後ともアジア圏の経済発展のフロンティアである。

2019 年のナフサを含む全石油製品需要実績は 20 百万トン弱である。一方、ニソン製油所（20 万 BD）とズンクワット製油所（14.8 万 BD）の能力、稼働率などから内需率は 70%程度と推定され、相変わらず輸入が続くことが想定される。

ただし、近接する巨大なシンガポール市場により、生産コストは常に輸入価格との競争に晒されている。中国の精製能力余剰に起因する安価なガソリンの流出により、シンガポールスポット価格は弱含みで、域内の競争力は激化している。

ベトナムでは経済発展に伴い国内の電力需要が年率＋10%程度で増加する一方、GHG 排出量の多い石炭火力発電設備の増強の抑制などから、電力不足が懸念されている。

その解決策として、ベトナム政府は再生可能エネルギー発電設備の建設に着手した。この対応に世界の海外投資家の関心が高まり、2020 年に風力発電と太陽光発電分野の案件に 74 億ドル（約 8,200 億円）の資金が投じられ、世界の再生可能エネルギー投資額ランキングで 8 位になり、ドイツなどを超える上位となった。

ベトナムは太陽光、風力、バイオマスエネルギーの分野において今後、再生可能エネルギー大国になる可能性があるとの評価を受けている。再生可能エネルギーに必要な天然の資源が豊富にあり、南部の日間日射量として 1 平方メートル当たり 4～5 キロワット/時の日照に恵まれており、かつ、秒速 5.5～7.3 メートルの風が吹く 3,000 キロメートルの海岸線もあり東南アジアで最大級の風力発電所を有している。

日本とベトナムはベトナムにおける脱炭素化への移行を、政策、実施手段、低炭素・脱炭素化技術の導入や普及及びアップデートを通じて前進させるための包括的協力に合意した。出光ニソンコンプレックス建設による信頼関係から、再生可能エネルギー投資も始まっている。

（3） サウジアラビア、UAE：資源温存とグリーン事業の同時進行

サウジアラビアでは、今から 20 年前、原油からタイヤ 1 本を自国で生産するのには 100 年はかかるといわれていた。しかし、わずか 20 年でその潤沢な原油輸出収入を背景に、産油国としては世界最大規模である石油化学チェーンがフル操業に入った。自国生産の化学品も 14 品目となった。

また、低コストの化石資源と再生可能エネルギー資源を有する中東産油国は、1)再生可能エネルギー発電事業、2)水素製造事業、3）炭化水素事業と全面展開が可能なポジションにあり、エネルギー転換の時代に、引続きエネルギー供給の中核になる目論みを持っている。

実際、中東産油国はエネルギー転換への投資（太陽光、風力、水素など）と共に、従来の炭化水素資源への投資（石精設備の増強、石化へのシフト、天然ガス開発など）も拡大し

ているように、「化石燃料と再生可能エネルギーのミックス戦略」をとっている。
一方で、欧米メジャーの化石燃料投資からの撤退により、従来のエネルギー分野への深刻な投資不足でエネルギー価格の安定化が図れない懸念を理由に、サウジアラムコは 2027 年までに生産能力を現在の 1,200 万 BD から 1,700 万 BD（＋500 万 BD）に引上げる計画を進めつつ、2050 年までに GHG 排出ゼロを発表した。さらにサウジアラビア政府は 2060 年カーボンニュートラルを示した。

（4） 豪州：石油、石化事業の衰退と新エネ事業への展開に対する日本の協業

豪州の製油所精製能力は 20 年前には 8 製油所で合計 80 万 BPD あったが、2020 年には 4 製油所に減り合計 40 万 BPD になり、2021 年以降は 2 製油所になり 23 万 BPD となる予定である。輸入依存度は 8 割近くに高まる見通しである。
豪州の石油化学コンプレックスは 1960 年に稼働したが、現在、2 つのコンプレックスを残すのみで、近年は競争力の低い小規模な石化装置の稼働停止が多い。また、石化関連の投資計画は、石化製品需要が小さいことから全て撤回されている。1997 年頃から石油化学会社の統廃合も進んでおり、従来の親中政策の影響で、中国資本による主要石油化学装置の 6 割が寡占状態で、石油化学素材の安定供給に懸念を残す。

豪州連邦政府は、COP26 を前に 2021 年 2 月にモリソン連邦政府首相が 2050 年の CO2 排出実質ゼロの実現の目標を示した。そして、排出削減関連の技術に課税せず、新技術を積極的に推進する姿勢を示した。そして、コロナ禍で打撃を受けた経済の再生手段として水素産業に注目した。
豪州は、世界有数の化石資源だけでなく、再生可能エネルギー資源が豊富である。化石燃料に代わり世界をリードする新たな輸出産業を創出するため、2019 年には国家水素戦略（National Hydrogen Strategy）を発表した。
日本は、太陽光発電、電解水素製造、アンモニア合成などの多様な技術提供、及び水素受入れ、消費地の確保、運営そして投資などで豪州と Win-Win の関係での大きなビジネスが期待できる。

８．１．２　米国コンビナート調査結果の総括と考察

（1） 米国の資源開発と低炭素・循環型経済、水素社会構築に向けた取り組み

米国の CO2 排出量は、2007 年の 60 億トン超をピークに低下している。理由としては、シェール革命によって天然ガス生産量が 2010 年頃から急増し、2017 年頃からシェールガス急増の第２波によって、電力・産業部門において石炭から豊富で安価な天然ガスへ燃料がシフトしたことによる。加えて、再生可能エネルギーが普及・拡大したこと、住宅部門における熱の効率的利用による。
米国のシェールチェーンは、コロナ禍直撃に対しても強靭であった。石油精製稼働率はコロナ禍ショックから回復した。シェールガス生産急増の第２波と共にシェールガスからのエタンをはじめとするシェール由来 LPG や石化原料、石油化学製品の生産量及び輸出量もコロナ禍直後から V 字回復した。世界の石油化学製品の需要伸長に伴って今後も、安価なエタンと天然ガスを原料及び燃料とした世界トップの生産量と輸出を増強拡大していくことが予想される。

2020 年春のコロナショックを機に、世界最大の石油精製規模を誇る米国においても、スケールメリットを追求して小規模製油所の淘汰が始まっている。小規模製油所や事故を起こした製油所の休止、コストがかかる重質原油精製スキームから軽質スイートなシェールオイル処理への改造、バイオ製油所への転換へと既設の製油所設備を有効活用して収益確保と次世代に備えるサイトが増えつつある。
米国中流企業は、通油量で課金するビジネスモデルによって安定的な収益力を持つ。特にエンタープライズ社は、脱炭素事業にも適応可能なフレキシブルなシステムと設備群を保有している。課題はコストであるが、国境炭素税、炭素税が世界共通になれば、このチェーンはブルー、グリーン化に発展することが容易で、サステナブルに国際競争力を維持していくだろう。また、同社の化学事業モデル等は、顧客のニーズに対し低コストで変容拡大できる潜在能力を示している。同社は広範囲のパイプラインや巨大な貯蔵・出荷設備によって大ロット輸出のスケールメリットを享受している。
米国の広域シェールチェーンからの廉価なエタンを原料とする石油化学のコスト競争力は、石油精製ナフサを原料とするエチレンセンターよりも確実に優位である。中でも、米国主力 PADD3 の中核、エクソンモービル・ベイタウン石精石化コンプレックスは、石油化学を強化していることから最も強靭で将来性がある。2040 年までに 1 億トンの CCS を目指す「Growing the Gulf イニシアチブ」の完成後は益々、世界のその力を発揮することが予想される。

米国のカーボンニュートラルへの取り組みにおいて、政府と企業は、再生可能エネルギーとしてエタノールに加えバイオディーゼルの生産を増加させており、今後はバイオジェット燃料（SAF）を大幅に伸ばす計画である。また、微細藻類の栽培、CO2 由来コンクリート製品の生産、ポリマーや飼料用タンパク質への変換に関する技術開発がベンチャー企業を中心に進められており、こうした動きを支援するため、連邦税制優遇制度の他、米国エネルギー省（DOE）による研究開発支援予算がある。また、太陽光、風力発電の設備容量は 2020 年に合わせて 200GW を超え、発電全体に占める太陽光の割合は 3%、風力は 8%である。2050 年には太陽光は 20%、風力は 14%まで伸びると EIA は予測している。一方、水素社会の構築のために政府、メジャー、中流企業、自動車を含む産業、ベンチャー企業等が北米の巨大なインフラ、石油・天然ガス資源を生かした取り組みを行っている。
これまで米国での廃プラ規制は州レベルでの取り組みが先行してきたが、連邦レベルでも米国環境保護庁が 20 年に「2030 年までに固形廃棄物のリサイクル率を 50%に高める」とする国家リサイクル目標を、21 年には「国家リサイクル戦略」を発表した。連邦議会でも使い捨てプラスチックの使用禁止などの法制化が審議されている。企業の動きとしてはエクソンモービルやダウなどがケミカルリサイクルへの参入を中心に、廃プラスチック資源化への取り組みを始めている。

米国政府は、21 年に 2030 年までに販売される新車の 50%以上を電気自動車（EV）と燃料電池車（FCV）とすると決定したが、米国の新車販売に占める EV の割合は現状約 3%にすぎない。米国は EV を普及させるために、EV 購入時の税額控除や充電インフラ購入時の税額控除などの施策を打ってきたが、EV はその高額さ、充電施設の不足、短い航続距離、レアメタルなどのバッテリー原材料調達などの課題を抱えている。また EV は製造時の CO2

排出量が内燃機関車より 70%も多いことから、ライフサイクル CO2 排出量で内燃機関車を逆転するには 77,000 キロ（世界平均電源時の試算）を走らないといけない。EV 導入による CO2 排出削減効果について慎重に判断する必要がある。

（2） 米国コンビナート動向の考察

コンビナートにおける製油所と石油化学・異業種とのインテグレーションは次世代においても、国際競争力の源である。シェールオイルにはナフサ留分が多く且つパラフィンリッチであるためにエチレンの収率が高い。中流企業はそのナフサを活用して石化とインテグすることで収益アップを実現している。日本のコンビナートも現在の石精石化インテグチェーン、異業種連携をフレキシブルに継続発展する必要がある。

米国でも、淘汰された小規模製油所の精製設備を廃棄しているサイトは少ない。少量生産のバイオ製油所への転換に利活用している。日本も精製設備高度化のために横並びの設備能力縮小など、簡単に設備廃棄すべきではない。

米国では、石油製品販売に特化する事業戦略よりも、エクソンモービルのように石油化学事業拡大を目指す方が収益力も将来性もある。中流企業もプロパン脱水素（PDH）やブタン脱水素（iBDH）等を建設しているように石油より大きく成長が見込まれる石化事業に投資を増やしている。日本も需要が減少する石油製品から石化製品へのシフトを検討すべきである。

日本のコンビナート内の製油所も原料供給、次世代原料・燃料供給基地として、スケールメリットを得るために、規模が大きく操業コストの低いサイトに統合していかなければ、韓国、中国からの輸入を阻止できない。

８．１．３ 欧州コンビナート調査結果の総括と考察

（1） 欧州のカーボンニュートラル政策は加速と前倒し

2020 年春のコロナ禍以降も、欧州のカーボンニュートラル政策は加速している。

2021 年 7 月には、EU が国境炭素税（国境炭素調整措置）の概要を発表した。2050 年カーボンニュートラルを実現すべく、2026 年の導入、世界標準化を目指している。

地球温暖化防止の気運は定常的なものとなりつつある。加えて、気候変動による金融危機を回避すべく、機関投資家や金融機関の危機意識も急速に高まり、ESG 投融資の隆盛に加え、グリーンローンやグリーンボンド、サステナビリティ・リンク・ローン（SLL）など、新たな資金調達手段も考案、導入されている。

その結果、EU・西欧各国は、いち早く 2050 年カーボンニュートラルを宣言したものの、更なる目標前倒しを迫られている。

（2） 欧州メジャー、準メジャー企業のコロナ禍後の業績とカーボンニュートラルに向けた事業戦略

米国のエクソンモービル、シェブロン、欧州の Shell、BP、トタールのスーパーメジャーは、新型コロナ禍の 2020 年度に史上最悪の決算を記録したものの、2021 年度上期は好決算で V 字回復が進行中である。

欧州メジャーは、機関投資家や金融機関、環境 NGO からの圧力に加え、前述の「国境炭素

税」対応、2035 年のガソリン車新車販売禁止をはじめ、企業存続に関わる重要課題が山積し、短期の採算性がかなわない環境投資強化が避けられない状況にある。
各社とも、スタートアップ企業の買収や資本参加なども加味した事業ポートフォリオの見直しを進めている。

今回の欧州調査で、様々な低炭素ソリューションの進捗や実証プロジェクトを調査した。
欧州の環境団体や環境政党は、早期に化石燃料の開発と生産中止を要求している。欧州メジャー最大手の Shell は、環境団体からの訴訟を通じた裁判所による環境目標への介入に苦しみながらも、社会が必要とするエネルギー供給に強い責任を持つと同時に、エネルギーのリーディングカンパニーとして脱炭素に向けた道筋を業界に示し、社会の変化に合わせたエネルギー転換を進めていく方針を示している。
決して自社の利益追求だけを目的に会社を発展させようとしているのではなく、世界のリーディングカンパニーとして新しいエネルギーの供給責任を果たそうとしている。
最も重要なのは、社会の変化に合わせたスピードでエネルギー転換を進めていくことである。脱炭素化は喫緊のニーズではあるが、必要なエネルギーを、安定的に供給しながら、低炭素燃料を供給していくミックスシステムが現実解である。
欧州準大手の Repsol は、最大手の Shell や BP に比べるとリソースは限られているが、脱炭素に向けては、低炭素ソリューションの組み合わせこそが重要という考えを有しており、再生可能エネルギー、水素、バイオ燃料、廃プラスチックリサイクルなど、全方位的なオプションを保有する方針である。
ただし、全てのオプションに均等に投資しているわけではなく、規制や市場の進化の状況を見ながら投資配分を調整しており、その考え方は日本の低炭素ソリューションの持ち方の参考になる。

欧州コンビナートは日本と類似する設備能力規模、設備年齢を有しており、中小製油所は淘汰と再編を繰り返しながら、石精同士や石化及び化学事業との連携や統合、ケミカルパーク・イノベーションを世界に発信するなど、日本の石油コンビナートの先行モデルとして持続的成長を遂げてきた。米欧メジャーに比し、資源保有力や利益創出力で相対的に劣後な欧州準メジャーの戦略に学ぶところは多い。

（3） EU、欧州諸国政府のカーボンニュートラル社会実装への助成と欧州企業による多くの JV プロジェクト

CO2 フリー水素、製油所転用バイオ燃料、廃プラ再生利用に加え、鉄鋼産業のカーボンオフセットや化学産業のカーボンリサイクルとの連携など、カーボンニュートラル関連の社会実装プロジェクトも加速している。
2030 年までの 10 年間にわたる欧州イノベーション・ファンド・プログラムの 1 年目が始まり、Neste Porvoo 製油所の水素と CCS プロジェクトが採択された。石油各社は欧州イノベーションファンド、Horizon 2020 研究ファンド、欧州復興ファンドなどを活用し、製油所での GHG 削減に向けた開発資金を獲得している。

（4） 欧州、特にドイツにおける水素プロジェクト推進事例

欧州の中でもドイツ政府は水素戦略で世界のトップを狙っており、先手で製油所プロジェクトを立ち上げている。ドイツ製油所はグリーン水素の製造供給拠点を目指すと宣言した。2045 年ネット・ゼロ政策に準じ、石油業界は国内 11 製油所のうち既に 7 カ所でグリーン水素のプロジェクトが進行中である。

製造された水素は製油所の既存石油系燃料製造やサステナブル燃料製造に利用するだけでなく、周辺化学会社などへの供給も含めたエネルギーサプライチェーンの構築が計画されている。

イノベーションファンドや復興ファンド、Horizon 2020 の後継 Horizon Europe プログラムなど各種の欧州政府支援による技術開発やファイナンスの仕組みに加え、各国独自の資金提供の仕組みが準備されており、製油所大型エネルギーアセットへの水素エネルギー導入による GHG 削減の取り組みが進行している。

Shell の製油所を核とする大規模ブルー及びグリーン水素ハブ構想も進行中である。このように、ドイツ製油所を中心に、サステナブルな水素製造の取り組みが欧州全体に広がっている。

（5） バイオ燃料、SAF の導入加速

欧州は、航空会社に対し SAF の使用を義務付け、その割合を段階的に増やしていく規制を具体的に検討しており、欧州メジャー各社は SAF の開発を積極的に進めている。

現時点での規制の対象は欧州の空港を離陸する便が対象であるが、気候変動対策がグローバルに進められる中、環境先進的な欧州の規制を参考に、同様の枠組みが日本を含めて世界中に広がることは確実視される。

航空機の動力源は今後も液体が主流であり、現時点では乗用車と異なり電動化の可能性も限られる。

日本においても SAF の開発と実装はできる限り早期に進めていくべきである。

（6） 欧州における製油所の統廃合とアセットの活用

社会の脱炭素シフトに伴い、欧州でも中小製油所の存立の困難さが増している。

ただし、単に製油所を閉鎖するのではなく、保有するアセットを低炭素ソリューション開発のために最大限活用し、循環型コンビナートに転換することが進められている。

Eni、TotalEnergies が一部の既存製油所を、低炭素燃料を生産するプラットフォームに転換している他、完全に低炭素燃料に特化せずとも、欧州メジャー各社は既存製油所の一部を水素やバイオ燃料生産、廃プラリサイクルのために活用している。

また、スペイン大手の Repsol は国内に所有する全ての製油所で、6 つの異なる廃プラスチックケミカルリサイクルを企画している。中でも、エチレンとインテグするタラゴナ製油所における Ecoplanta プロジェクトはユニークである。

カナダの Enerkem が 10 年以上実証・スケールアップを進めてきた先進的なガス化設備（シンガス CO＋H2）をタラゴナ製油所に建設し、年間 39 万トンの混合廃棄物から 22 万トンのメタノールを製造する計画である。

さらに、ポルトガル唯一の GALP はマトシンホス製油所 90 千 BD の原油処理を停止し、シネス製油所 213 千 BD に集約した。シネス製油所で原油処理を継続しつつ、エネルギー効率の最適化、バイオ燃料の導入、原油ソース多様化、グリーン水素の導入などのミックス

システムを段階的に構築する計画である。
日本の製油所やコンビナート全体を俯瞰し、どこの製油所をどう転換するのが最も合理的か検討する必要がある。

（7） クリーンアンモニアや椰子殻バイオマスペレットの日本への導入
欧州においては、アンモニアは水素キャリアとしての利用がメインであり、また、バイオマスは地産地消が基本の考え方であることから椰子殻のバイオマスペレットはあまり利用されていない。しかし、欧州では主流でない低炭素ソリューションも日本にはフィットする場合もあり、そのようなものについては日本独自に開発や実装を進めていくべきである。
例えば、クリーンアンモニアや椰子殻を原料にしたバイオマスペレットが該当する。日本は東北大震災で原子力発電所を停止している影響で、火力発電所に依存している。中長期的には GHG 排出量の多い石炭火力発電所の廃止が見込まれるものの、移行期に石炭とアンモニアを混焼することは、有効な低炭素ソリューションであり、将来的にアンモニアの比率を高められる可能性もある。また、日本のアンモニアガスを燃焼させる技術は世界をリードしている。
アンモニアの他に椰子殻を原料にしたペレットを燃焼することも、石炭火力発電のアセットを有効活用する一つのオプションである。ただし、バイオマス発電のために椰子殻ニーズが高まると、本来は副産物である椰子殻を目的生産物とした森林破壊を伴う開発が進む可能性もあり、環境規制の対象になるリスクも考慮しておく必要がある。

（8） 欧州における産業間連携プロジェクト
今回調査した「Carbon2Chem」のように、鉄鋼の製造プロセスから出た副産ガス（COG）を化学品の原料として利活用（メタノール、オレフィン生産他）していくような産業間連携は第２段階に入っている。リモートミーティングにより、鉄鋼と化学企業との Win-Win の利益配分が成り立っていることを確認した。
今後は、どの企業がどれだけ GHG を削減したかが、炭素価格の導入に伴い、利益配分と同様に重みをもつポイントになる。低炭素ソリューションを日本のコンビナートと周辺産業で開発、導入していく際には、企業間で事前に GHG 削減量のルール決めをしておくことが重要である。

（9） 欧州における CCS の開発プロジェクト
欧州では CO2 を海底に埋めることに対する環境負荷の議論もあったが、現在 CCS はカーボンニュートラル実現に必須のソリューションと認識されている。
特に、Equinor が主導する「Northern Lights プロジェクト」が先進的であり、ノルウェー周辺に位置するドイツ、オランダ、ベルギーなどの国々の産業に対し、CCS をサービスとして提供することが検討されている。
CO2 貯蔵を行う先は、日本のコンビナート周辺にも豊富に存在する帯水層であり、日本としても CCS を有望な低炭素ソリューションのオプションとして考慮しておくべきである。日本での CCS 実現性調査として、まずは実際に開発を進めている Northern Lights などに参画し、CCS に対するアプローチの知見を深めることが有効と考えられる。

地理的な構造から、日本での CCS 開発は難易度が高いとされているが、現時点では CCS のオプションも除外すべきではない。

８．２ 国内石油コンビナートの国際競争力評価・分析

国内外の石油コンビナートについて、国際競争力を評価する指標を特定したうえで、具体的な評価方法を策定し比較分析を実施、今後の課題を抽出した。

評価目的は、日本の各コンビナートの世界での位置づけ把握（強み、弱み）と、国際競争力強化に向けた具体策・方向性の導出である。評価手法として、AHP（階層化意思決定法）を利用した。評価時点は、2021 年（現在）と 2025 年である。

評価対象は、以下に示す国内外の 25 の主要コンビナートとした。

・国内：鹿島、千葉、水島、川崎、四日市、堺・泉北、大分

・海外：韓国（蔚山、麗水）、台湾（麦寮）、中国（上海、茂湛、鎮海、燕山、浙江、大連）、シンガポール、インド（リライアンス）、ベルギー（アントワープ）、ドイツ（ゲルセンキルヘン）、米国（Baytown、PortArthur）、サウジアラビア（アルジュベイル、ヤンブー）、クウェート（シュアイバ）

また、評価項目は、６区分の大項目（原料調達力、製造力、製品の価値・品質、環境低負荷、立地条件、規制・支援条件）で構築し、それらを 32 区分の中項目に階層化した。本年度は、脱炭素による事業環境の変化を受けて評価ウェイトを見直した。

（１） 2021 年の評価結果

ベイタウン（米）がトップである。シェールによって国産原油比率が 60%を超え、エタンを原料とするエチレン分解炉新増設によって「原料調達力」が高い。また、規模、重油分解能力、石化原料供給力などの「製造力」にも競争力を持つ。

アジア地域で高評価となっているのは、インド（リライアンス）、日本 B、台湾麦寮である。概して、ウェイトの高い「製造力」「立地条件」での素点が高く、高評価となっている。中項目で見ると、いずれも「重油分解能力」が高く、「石化原料供給力」に強みを有している。

（２） 2025 年の評価結果

2021 年の評価結果同様にベイタウン（米）がトップである。「原料調達力」が高いことに加えて、安価なシェール由来の天然ガスによって CO2 とエネルギーコストを低減している点及び先進的な廃プラリサイクルプラントの稼働によって「地球温暖化対策」の評価が高い。2 位はインド（リライアンス」であり、「規模」「重油分解能力」等により「製造力」を高めている。

アジアではインド（リライアンス）、台湾麦寮、日本 B、シンガポールが高評価となった。2 位の台湾麦寮は「製造力」が高く、中でもウェイトが高い中項目「規模」、「重油分解能力」、「石化原料供給力」の評価が高く、強い競争力を維持している。

RING 事業による取り組みやその他の企業間連携・高度統合の結果として、日本のコンビナートは競争力を徐々に向上させてきている。しかしながら、国内平均では、アジアトップとの差が拡大する傾向にあり、スピード感を持って競争力強化に取り組むことが必須であ

る。国内コンビナートは、比較的即効性のある「国内企業連携」の強化を推進し、更に「先進的技術開発」を進めることで競争力強化を図ることが必要である。

日本のコンビナートは、石油産業を中心としたコンビナート内外における新たな統合運営や広域連携による高効率、高付加価値設備の共用・増強・集約化等の設備最適化及び製油所の石化シフト、更に石油・石化基礎製品の輸出能力大型化による効率化を進めるべきである。長期的には、地区を超えて地域内コンビナート全体最適を目指すことで実質的な規模を拡大することにより国際競争力を高めるべきである。

８．３ 石油・石化製品の需給バランスに関する分析調査

需給バランスに関する分析調査では、次の 2 ケースについて試算を行った。

（１） 21 年度の燃料油需要想に基づく「2025 年度燃料油要生産量相応の原油処理」（要生産量相応ケース）

（２） 政府 GHG 排出削減 46％の「2025 年度ガソリン要生産量急減」（ガソリン急減ケース）

８．３．２ 2025 年度全国試算結果

（１） 要生産量相応ケースによる 2025 年度試算結果

・2025 年度 TOP 稼能力に対する余力：344 千 BD（330 日ベース）

2025 年度の TOP 想定稼働量は 2,940 千 BD（154,232 千 KL）となり、344 千 BD（3,284－2,940）の余力が発生する。

国内 1 製油所の平均は 150 千 BD であり、2 か所程度の原油処理機能停止に相当する。

（２） ガソリン急減ケースによる 2025 年度試算結果

・2025 年度 TOP 能力に対する余力：488 千 BD（330 日ベース）

2025 年度の TOP 想定稼働量は 2,796 千 BD（146,675 千 KL）となり、488 千 BD（3,284－2,796）の余力が発生する。

国内 1 製油所の平均は 150 千 BD であり、3 か所ほどの原油処理機能停止に相当する。

８．３．３ 2025 年度地域別試算結果

地域別試算については、（１）の 21 年度の燃料油需要想に基づく「2025 年度燃料油要生産量相応の原油処理」（要生産量相応ケース）で試算を行った。

①関東地域

・2025 年度 TOP 能力（1,586 千 BD）余力：バランス

ガソリンのネット輸出量が 2019 年度よりも減じたことで、原油処理量が落ちたものの、ENEOS 根岸製油所が一部 TOP を停止したことで関東地域の TOP 想定稼働量とほぼバランスした。

・FCC、REF の稼働減と余力活用、FCC 高温分解型運転の促進

ガソリンの要生産量が減少したことで、TOP の稼働低下、HN タイトで REF は 73％（365 日ベース）、（R）FCC は 81％（365 日ベース）にダウンする。

余力を活用した分解触媒量増加による高温分解運転などによるプロピレン増産が有効になってくる。2025 年度の石化モデル試算では、プロピレンの生産量が減じている。

・VR カットバックで MSC 重油余剰、VR の分解対策（約 1 万 BD の VR 分解能力増）
VR 475 千 KL が残ることで、MSC を 1,087 千 KL もカットバック生産しなければならなくなっている。今後の脱炭素化に向けて VR 分解は必須である。
希釈による直脱へのフィード増、ユリカ及びコーカーの約 1 万 BD の重油分解能力アップが必要である。

②中部地域
・2025 年度 TOP 能力（501 千 BD）余力：111 千 BD
中部地区の余力は 111 千 BD であるが、B タイプ製油所を休止すれば、ほぼバランスする想定になる。
・中部地域は全油種とも、需給の歪なくバランス
今回の試算の様に B タイプ製油所の原油処理を全面停止すること、関東地域の余剰分 16 千 BD を C タイプ TOP 原油処理に振替えることで、全油種とも需給の歪なくバランスする。

③瀬戸内地域
・2025 年度 TOP 能力（1,197 千 BD）余力：249 千 BD
ガソリンのネット輸出量が 2019 年度よりも減じたことで、瀬戸内地域の原油処理量の減少は顕著である。特に、B タイプ（TOP 能力 383 千 BD）は、C、D タイプをフル稼働で想定すると 31%（121 千 BD）しか稼働しない。
・B タイプの FCC、REF 低稼働
これによって、プロピレン不足、ベンゼン、パラキシレンの生産量が大幅に減少する。FCC 余力を活用して高分解運転によるプロピレン収率アップ、輸入 FRN の分留による HN の確保などの二次装置余力活用が課題であり、脱炭素化ソリューションの導入を検討することが有効である。

８．４ 国内石油コンビナートのカーボンニュートラルに向けた分析調査

（１） 石油コンビナートのカーボンニュートラルに向けた最新技術調査

国内の石油製品の中期需要見通しでは、特にガソリン、重油などの石油製品の需要構造が大きく変化する中、既設設備を最大限有効活用しながら市場に応じて石油製品生産量を調整できる技術が求められる。こうした環境に対応するため、ボトムレス化や石化シフトに関する先進技術調査を行った。
具体的には、CLO をニードルコークスとして活用するための処理技術や化学品原料とするためのガス化技術、また、既設分解装置と組み合わせて石化製品へのシフトを行うオリゴマリゼーション技術などを調査した。
また、合わせてカーボンニュートラルなコンビナートへの変革に向けて、製造プロセスへの脱炭素燃料の導入など一層の脱炭素化を図るための技術、特に石油精製設備などコンビナート設備と親和性の高い連携可能な廃プラスチックなどの廃棄物の再資源化技術を中心に、2030 年に社会実装が有力な先進技術を調査した。
具体的には、接触改質装置を活用した水素製造技術、バイオジェット燃料製造技術、社会廃棄資源の処理及びリサイクル技術などを調査した。

（２） カーボンニュートラルコンビナートの構築検討

現在、欧米のコンビナートでは低炭素化ソリューションの商用化が加速し始めている。今

後、従来型の競争力に加えて低炭素化をベースとした国際競争力が世界標準となることが見込まれる。
そこで、国内各コンビナート地区の立地条件、蓄積してきた連携技術、開発中の低炭素化ソリューションなどの実態を踏まえて、従来型の国際競争力を維持しつつ、新たな国際競争力強化に向けて、既存インフラを最大限活用した各地区のミックススキーム（目指す姿）を策定した。
詳細は、第 7 章に示すが、各コンビナート地区のビジョンを再掲する。

図表 7.3.10　各コンビナートのカーボンニュートラルに向けた目指す姿（再掲）

地区	特徴、カーボンニュートラル（CN）に向けた目指す姿
鹿島	・企業と行政の協働とR-Cインテグレーションの進展で競争力確保 ・風力を始めとする再生可能電力と外部水素導入によりCNコンビナートの実現を図る
千葉	・大規模消費地である首都圏立地を活かした地域連携 ・国内最大のエネルギー・素材産業集積を活かした、機能分担・インテグレーションによるCN実現
川崎	・エネルギーと素材を循環し、都市とタイトに繋がったコンビナートとして地域の中核となるイノベーションの創出 ・異業種の高密度集積を利用した水素・機能材生産基地化
知多	・「重質油分解リファイナリー」+「石化リファイナリー」⇒先進的高効率連携統合運営 ・異業種（自動車等）、自治体（CNP等）との連携によるCO2フリー水素を活用したCNコンビナートへの変革
四日市	・小規模製油所のバイオリファイナリー化 ・コンビナート内連携拡大と川下分野の高付加価値化による競争力確保
堺・泉北	・堺・泉北ベイエリアの産業集積地の中核としての基盤強化 ・石油-石油のハイブリッド化、エチレンボトム有効活用による超高効率石油コンビナートの構築 ・グリーン水素・グリーンアンモニアの活用によるカーボンニュートラルコンビナートへの変革
水島	・世界トップの誘導品製造技術の確立と工場間統合によるアジアNo.1コンビナートの創出 ・異業種との連携、およびCO2フリー水素拠点を融合したC1化学を中心としたコンビナートのCN化促進
周南	・脱炭素燃料サプライチェーン構築による石炭火力のCO2排出量削減 ・カーボンリサイクルによるC1化学への展開、バイオマス燃料やグリーン原料の導入によるCN化
大分	・九州唯一、アジア最近接の立地を活かした個性派コンビナートの構築 ・石油・石油化学・鉄鋼・LNG電力の連携によるカーボンニュートラルコンビナート構築

© All right reserved, Research Association of Refinery Integration for Group-Operation

本調査において、海外石油コンビナートの設備戦略、国内石油コンビナートの国際競争力評価・分析、石油・石化製品の需給バランスに関する分析、国内石油コンビナートのカーボンニュートラルに向けた分析調査を行った。それぞれの結果は「日本の石油コンビナートが、カーボンリサイクル技術やグリーン化技術などの最新技術を取り入れることによって、脱炭素時代にふさわしいコンビナートへ持続的に変革する」ための具体化を行うために、大いに役立つものである。

RING 組合では、今後のグローバルな競争環境の激化や環境保全の高まりを受けて、コンビナートの持続的発展に向けた取り組みが急務と受け止めており、引き続き政策立案の一助となるよう調査・分析を実施していく。