令和３年度エネルギー需給構造高度化対策に関する調査等成果報告書

（カーボンニュートラルコンビナート実現に向けた検討事業）

2022 年 3 月 31 日

株式会社　野村総合研究所

目次

１．はじめに 1

２．委託事業の実施内容 2

３．カーボンニュートラルコンビナート（CNK）のポテンシャル調査 4

１）コンビナート立地事業者のカーボンニュートラル化のポテンシャルと効果 4

（１） 業種ごとの既存設備等のポテンシャルと代替等の手段によるカーボンニュートラルの効果 4

（２） 製造プロセス等のカーボンニュートラル化を踏まえた、コンビナートごとにおけるカーボンニュートラルの効果 16

２）脱炭素燃料等の供給拠点としてのポテンシャルと効果 43

（１） 脱炭素燃料等の供給拠点としてのコンビナートのポテンシャルと地域社会等への効果 43

（２） カーボンニュートラルポート（CNP）の有効活用方法 55

４．海外における先行事例調査・分析 57

１）ロッテルダム 59

２）アントワープ 65

３）ケムパーク 69

４）テキサス州 72

５．CNK 実現に向けた戦略の検討 79

１）研究会概要 79

２）メンバー構成 79

３）開催日時・概要 80

４）研究会を通じたカーボンニュートラル実現に向けた戦略方向性 83

（１） CNK の意義 83

（２） CNK の果たすべき役割 83

（３） CNK の実現に向けた技術メニューと産業間連携ポテンシャル 86

（４） CNK 実現に向けて必要となる連携ポテンシャル 88

（５） CNK 実現に向けた提言 90

６．CNK 実現に向けた方策 93

１．はじめに

令和２年 10 月に表明された、「2050 年までにカーボンニュートラル宣言」を受けて、各セクターでカーボンニュートラル実現に向けた検討が鋭意進められている。そこでは、製造プロセスにおけるグリーン水素やグリーンアンモニアの利活用や、合成燃料等の脱炭素燃料供給ビジネスへの転換などが選択肢として挙がっており、脱炭素化に向けて事業構造から見直す動きが始まっている。今後は、そのための研究開発や実証、更には大規模な設備導入が必要となり、限られた時間の中でそれらを効率的に進めていく必要がある。

このような状況は、製造事業者に共通であるが、中でも、製造プロセスに多くの CO_2 排出を伴う石油精製事業者、石油化学事業者、金属事業者などは、抜本的な取組を進める必要がある。これらの事業者は、その性質上、事業所が近接・密接してコンビナートを形成している場合も多く、石油精製事業者と化学事業者は設備面で連結している事業所も複数ある事を考えると、カーボンニュートラル実現に向けた取組をコンビナート大で連携して行う事に一定の合理性があると考えられる。特に、コンビナートでは、既に共通インフラが相当程度整っていることから、グリーン水素やグリーンアンモニアの利活用に際して必要となる設備導入は、個社で実施するよりも複数社、ひいては、コンビナート大で行う事が合理的・効率的と考えられる。

また、コンビナート立地事業者のカーボンニュートラル実現に止まらず、石油精製事業者の事業転換を通じた合成燃料等の脱炭素燃料供給や、“カーボンニュートラルコンビナート（CNK)”のインフラを活用したグリーン水素やグリーンアンモニアの地域社会や周辺事業所への供給など、カーボンニュートラル社会において必要となる脱炭素燃料の供給拠点としてコンビナートを整備していくことは、資源・燃料政策的観点から大きな意義を持つと考えられる。

さらに、コンビナートが各地域において周辺産業を下支えする存在であり、かつ、相当の雇用も生み出していることを鑑みると、カーボンニュートラル社会への転換を機にコンビナートの役割を更に強化することは地域経済の活性化にもつながる。

そこで、本事業では我が国における CNK 実現に向け、カーボンニュートラル社会におけるコンビナートのあり方について関係者の共通認識を醸成するとともに、CNK 実現に向けた戦略を検討し、2050 年カーボンニュートラルに向けた、コンビナート立地事業者のカーボンニュートラル化への道筋を示すことを目的とする。

２．委託事業の実施内容

本調査では、国内のコンビナートのカーボンニュートラル化実現に向けた検討として、下記の調査内容を実施した。

（１）CNK のポテンシャル調査

CNK の実現に向けて、各地域のコンビナートにおけるカーボンニュートラルのポテンシャルについて以下の項目について調査・分析等を行った。

①コンビナート立地事業者のカーボンニュートラル化のポテンシャルと効果

- 石油精製事業者等の業種ごとの既存設備等のポテンシャルと代替等の手段によるカーボンニュートラルの効果
- 上記に加え、製造プロセス等のカーボンニュートラル化を踏まえた、コンビナートごとにおけるカーボンニュートラルの効果
- カーボンニュートラルポートの有効活用

②脱炭素燃料等の供給拠点としてのポテンシャルと効果

- 脱炭素燃料等の供給拠点としてのコンビナートのポテンシャルと地域社会等への効果
- カーボンニュートラルポートの有効活用方法

（２）海外における先行事例調査・分析

欧米諸国におけるコンビナート及び港湾のカーボンニュートラルの取組について文献等を用い調査を行うことで、我が国の CNK 形成に際して参考となる先行事例を調査した。

先行事例として有意義な示唆が得られるものについては、構成企業、地域性、政府等の支援の有無等を踏まえた分析を行った。

（３）CNK 実現に向けた戦略の検討

コンビナートに立地する事業者や関係業界団体、コンビナート立地自治体、学識経験者等で構成する研究会「カーボンニュートラルコンビナート研究会」（以降、CNK 研究会）を設置し、課題の抽出や実現に向けた対応策等の検討を行い、我が国における CNK 実現に向けた戦略の検討を行った。

① 研究会のメンバー構成

研究会のメンバーは、コンビナートの連携や脱炭素に向けた事業再構築、カーボンニュートラルの国際動向等に知見を有する有識者（学識経験者等）及び関係業界団体（石油連盟、石油化学工業協会等）合わせて 11 名で構成した。

② 研究会の開催回数

研究会は、令和４年３月までに４回開催した。

③ 研究会での主な実施内容

（ア） 研究会では、上記（１）の調査結果や立地自治体の取組、カーボンニュートラ

ルポートの現状を踏まえ、CNK 実現に向けた課題等を抽出、共有し、有識者等とともに効果的な手法や戦略等を検討した。

（イ） 第２回目以降の検討会では、有識者のほかにコンビナート立地自治体の先行事例の紹介や事業者におけるコンビナートでのカーボンニュートラルに係る取組を共有することで、事例研究や対応策等の材料とした。

（ウ） 研究会での検討結果や有識者等の意見を踏まえ、CNK 実現に向けた戦略を策定した。

④ 研究会メンバーの選定について

研究会のメンバーについては、資源エネルギー庁資源・燃料部石油精製備蓄課と協議の上選定した。

⑤ 事務手続等

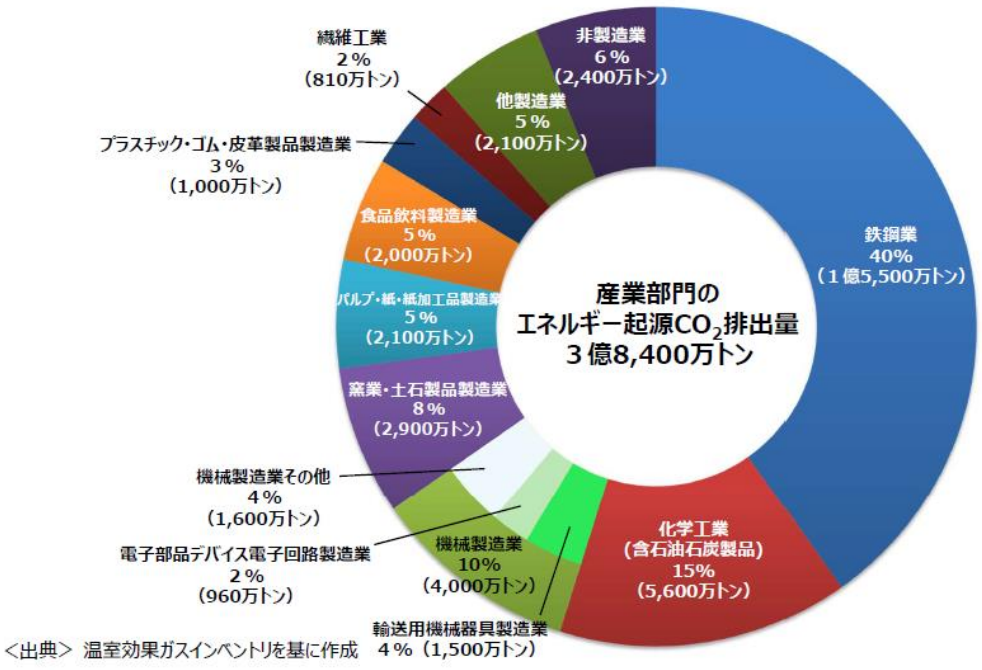
研究会の開催に当たっては、構成メンバーとの日程調整、連絡等といった事務的な業務を行った。また、研究会開催後は、会議の議事録を速やかに作成の上、資源エネルギー庁資源・燃料部石油精製備蓄課に対して提出した。

３．カーボンニュートラルコンビナート（CNK）のポテンシャル調査

１）　コンビナート立地事業者のカーボンニュートラル化のポテンシャルと効果

（１）業種ごとの既存設備等のポテンシャルと代替等の手段によるカーボンニュートラルの効果

カーボンニュートラル化に向けて、従来から様々な政策・取組が実施されているものの、足元の温室効果ガス排出量は依然として大きく、「2050 年カーボンニュートラル宣言」にて政府目標として掲げている 2050 年のカーボンニュートラル化の実現は容易ではない。2019 年時点で各部門の CO_2 直接排出量を多いものからみると、39.2%は発電所・製油所等のエネルギー転換部門から、25.2%は産業部門から排出されている[1]。産業部門のエネルギー起源 CO_2 排出量のうち、鉄鋼業からの排出が 40%、石油石炭製品を含む化学工業からの排出が 15%、窯業・土石製品製造業からの排出が 8%となっている[2]。これらの産業部門からの温室効果ガス排出削減は喫緊の課題であり、既に、各業種においても低炭素化・脱炭素化に向けた取組が行われている。



出所）環境省「2019 年度（令和元年度）温室効果ガス排出量（確報値）について」

図 1　産業部門におけるエネルギー起源 CO_2

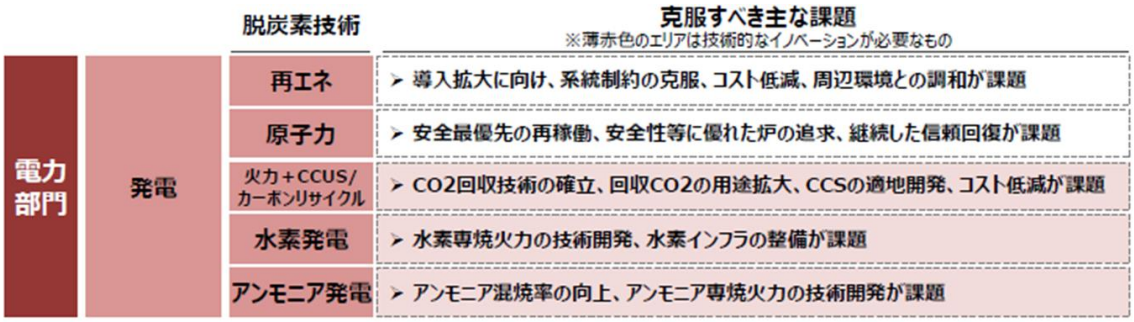
[1] 国立研究開発法人国立環境研究所「2020 年度(令和 2 年度)の温室効果ガス排出量(速報値)について」(2021 年 12 月)
https://www.nies.go.jp/whatsnew/jqjm100000140ugt-att/jqjm100000140v3y.pdf

[2] 環境省「2019 年度（令和元年度）温室効果ガス排出量（確報値）について」
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/emissions/yoin_2019_1.pdf

これらの業種は、いずれもコンビナートを構成する主力業種である。そこで、CNK 実現に向けて、これらエネルギー多消費型業種のカーボンニュートラル化に向けた取組、既存設備等のポテンシャル、代替等の手段による期待効果について以下に示す。

① 電力業界

電力業界のカーボンニュートラル化では、再生可能エネルギーの大量導入を基本路線としながらも、原子力発電、火力発電＋CCUS[3]／カーボンリサイクル、水素発電、アンモニア発電の取組を検討している。



出所）資源エネルギー庁「2050 年カーボンニュートラルの実現に向けた検討」（2021 年 11 月）

図 2　カーボンニュートラルに向けた電力分野における取組

再生可能エネルギーは、2030 年でエネルギーミックス全体の 22～24%程度となると計画されており、そのうち水力が 8.8～9.2%程度、太陽光が 7%程度、風力が 1.7%程度、バイオマスが 3.7～4.6%程度、地熱が 1～1.1%程度となっている。水力や太陽光は 2030 年の目標値に対して進捗率が 85%以上となっているものの、バイオマスが約 68%、風力が約 42%、地熱が約 40%の進捗率となっており、これら 3 つの発電設備の導入を進めている[4]。また、バイオマス発電や、洋上・陸上の風力発電などの電力活用は、直接的なグリーン電力としてのみならず、グリーン水素製造の拡大などへの適用が期待されている。

原子力では、建設中を含む 36 基の原子力発電所が 60 年の運転を仮定しても、2040 年以降は設備容量が大幅に減少する見通しであり、2050 年で 2,374 万 kW と見通されている[5]。CO_2 を排出しない発電設備ではあるものの、絶対的な設備容量が現状と比較して削減見通し

[3] CCUS は「Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage」の略で、分離・貯留した CO_2 を利用すること、CCS は「Carbon dioxide Capture and Storage」の略で、CO_2 を回収・貯留すること

[4] 資源エネルギー庁「今後の再生可能エネルギー政策について」（2021年3月）
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/025_01_00.pdf

[5] 資源エネルギー庁「2050 年カーボンニュートラルの実現に向けた検討」（2021 年 11 月）
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/036/036_005.pdf

であることから、今後の影響力は限定的になると考えられる。

水素やアンモニアを用いた発電では、これらを燃料とした発電技術の開発、安価かつ大規模な調達手法の確立を各事業者が進めており、既存設備を活用した混焼や、ガスタービンを用いた専焼が進められている。これらの取組について、以下に記す。

- **既存設備のポテンシャル**

水素を用いた発電では、既存の LNG 火力の燃料として水素を加えて混焼することで CO_2 排出量の削減を行っている。アンモニアを用いた発電では、既存の石炭火力の燃料として石炭にアンモニアを加えて混焼を行うことで CO_2 排出量の削減を行っている。コンビナートでの大量生産活動に向けた電力調達の視点でみると、いずれも大量の燃料調達が必要となる。水素を安全かつ効率的に搬送する手段として、アンモニアやメチルシクロヘキサン（MCH）[6]等の水素キャリアを用いて調達・搬送する取組が検討されており、こうした技術開発と実用化により水素調達量・利活用量の拡大と、それによる低コストが期待される。

また、再生可能エネルギー発電や原子力発電は、CO_2 を発生しないため、既存設備の活用を拡大すれば、カーボンニュートラル化に貢献する。特に再生可能エネルギーでは、いままで敷設が進んできた太陽光発電や陸上風力発電の活用のみならず、設置拡大が進められている洋上風力発電、地熱発電、バイオマス発電などの普及が期待される。太陽光発電や風力発電など気象状況によって大きく出力が変動する発電設備については、大型化の蓄電池を用いた出力制御を高度化することで、より効率的な発電が期待できる。さらに、バイオマスでは木材や廃棄物を活用して、バイオディーゼル、バイオエタノール、バイオジェット燃料、バイオガスなどに用いることで再生可能な生物由来のであるバイオマスを燃料とすることで化石由来の燃料を代替し、CO_2 排出量の削減することができる。

- **代替手段とカーボンニュートラルへの効果**

代替手段として効果が期待できるのは、脱炭素燃料として活用できる水素とアンモニアである。水素やアンモニアを燃料としてガスタービンを用いた専焼発電を行うことで、CO_2 排出量がゼロとなる効果が期待できる。

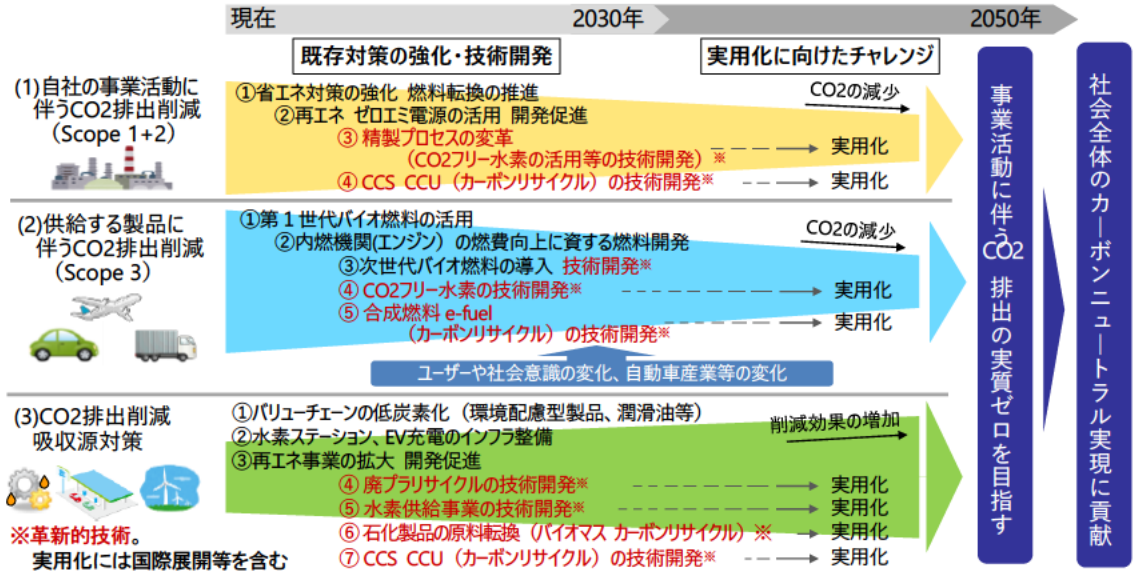
また、火力発電＋CCUS は、従来の火力発電を推進しながらも発生した CO_2 を CCUS として利活用、もしくは CCS として地中に埋設してオフセットすることで、発電所からの CO_2 排出量を実質ゼロとする新規の取組として期待されており、国内各地で検討が行われている。コ

[6] 水素は、液化水素、水素とトルエンを結合させた MCH（Methylcyclohexane メチルシクロヘキサン）、または水素キャリアとしてのアンモニアとして輸入されることなどが想定される。

ンビナート内にてカーボンニュートラル化を実現することは、短期間では難しく、CCS はオフセット手段として非常に重要な役割を担うと考えられ、CCU[7]とともに脱炭素化手段として期待されている。

② 石油業界

石油業界では、カーボンニュートラル化の取組として、石油製品の脱炭素化及び既存インフラが活用できる取組として、CO_2フリー水素、合成燃料、CCS・CCU などの研究開発と社会実装が進められている。特に石油業界では自社製品生産における脱炭素化のみならず（Scope1、2 の視点）、自社製品の利用者の脱炭素化の取組（Scope3）も含めた幅広い対応が求められている。また、大気中に放出したCO_2のみならず、廃棄プラスチックのリサイクルなど炭素源にも着目し、それらを再利用する取組が進められている。

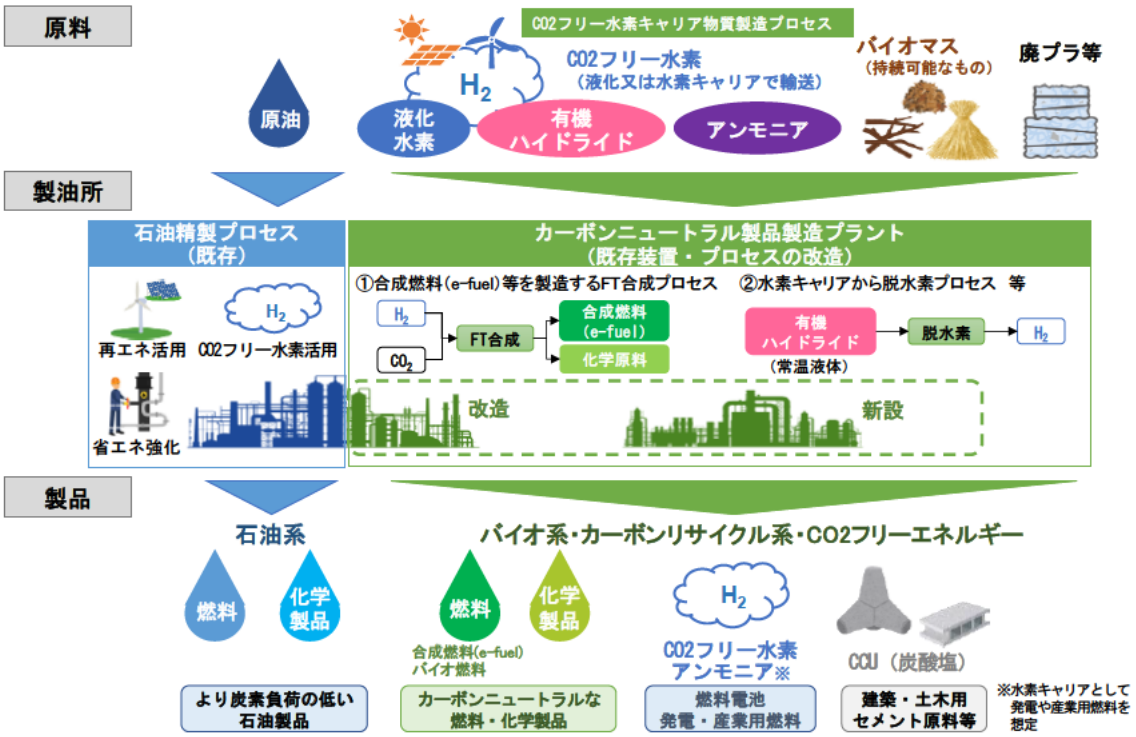


出所）石油連盟「石油業界のカーボンニュートラルに向けた取組」
第 2 回 CNK 研究会発表資料(2022 年 1 月)

図 3 石油業界のカーボンニュートラル化に向けたビジョン

既存設備やプロセスを極力活用する取組として、水素とCO_2を原料とした炭素循環マテリアルの製造が挙げられる。合成燃料、合成プラスチック、合成メタンの製造などがそれにあたる。加えて、CCU としてコンクリートへのCO_2の固定化への活用が期待されている。

[7] CCU は「Carbon dioxide Capture and Utilization」の略で、CO2 を回収して CO2 を原料とした製品へと置き換えることで低炭素化を図ること。



出所）石油連盟「石油業界のカーボンニュートラルに向けた取組」
第 2 回 CNK 研究会発表資料(2022 年 1 月)

図 4　石油業界のカーボンニュートラル化に向けたビジョン

● 既存設備のポテンシャル

CO_2 フリー水素を用いた燃料電池では、既存設備はほぼそのまま活用できる。また、合成燃料の利活用も、従来の燃料と同様に既存設備である内燃機関向けの燃料として用いられる。さらに、メタネーションで製造される合成メタンも、産業用メタンや都市ガスとして既存の設備にて活用することができる。

また、合成燃料の原料となる水素の受入・貯蔵・搬出では、MCH を水素キャリアとして用いることで、既存の有機化学製品の搬送・貯蔵の設備の流用が期待される。

● 代替手段とカーボンニュートラルへの効果

合成燃料は、メタネーション、FT 合成[8]など様々な合成方法にて CO_2 を燃料内に固定化するため、これを内燃機関に用いることでカーボンニュートラルへの貢献が期待できる。

具体的には、水素と CO_2 を原料とした合成燃料（e-fuel）の開発・製造が進められている。

[8] フィッシャー・トロプシュ合成。合成ガス（一酸化炭素と水素の混合ガス）から軽油など石油代替燃料及び化学品を合成する触媒反応。

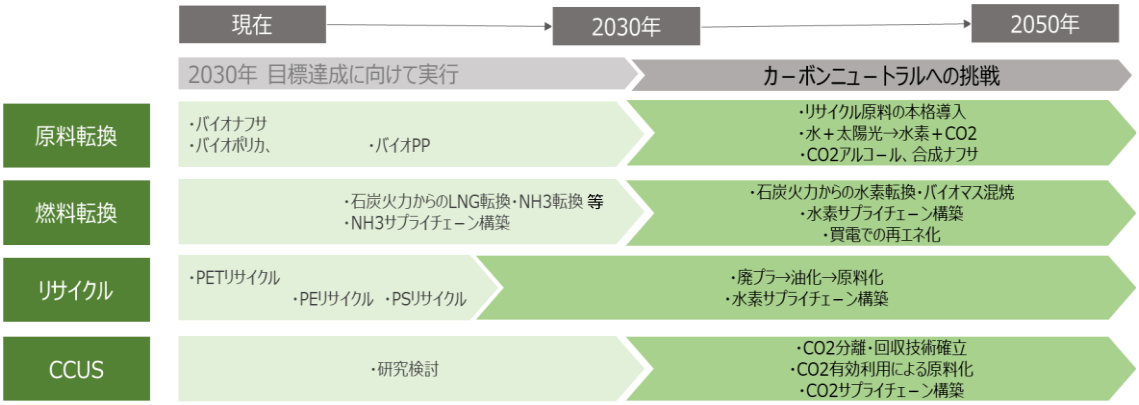
コンビナート内外で発生した CO_2 を効率よく回収し、FT 合成として水素と反応させることで持続可能な航空合成燃料（SAF）をはじめとする内燃機関向けの合成燃料の製造が進められている。上記以外にも、水素と CO_2 を原料としたメタネーションによるメタンガス製造、バイオマスを活用した合成燃料製造が進められている。加えて、こうした合成ができない廃棄物などを燃焼した際の蒸気や排熱活用などの取組も検討されている。

③　化学業界

化学業界では、カーボンニュートラル化に向けて、製造時に使用する購入エネルギーのグリーン化、自家発電燃料の水素やアンモニアへの転換、原料のバイオナフサへの転換等を進めている。

燃料転換では、化学産業のエネルギー源の多くは、自家発電やプロセス内の熱利活用で賄っており、自家発電にて再生可能エネルギーの活用に加えて、石炭火力のアンモニア転換、LNG 火力の水素転換、バイオマス混焼などに燃料転換する取組が期待されている。これらの取組は、石油精製の取組と同じとなる。また、製造プロセスで生じるオフガスと呼ばれる副生ガスを再利用した取組も CO_2 削減も方策として期待されている。

原料転換では、バイオナフサをはじめとした合成ナフサの活用、それと並行して石油化学製品の炭素源獲得として CO_2 を回収や廃棄プラスチックのリサイクル強化も検討されている。具体的には、廃棄プラスチックから油化にて原料を製造する技術や、その製造プロセスに必要となる水素サプライチェーンの構築が検討されている。



出所）日本化学工業会、石油化学工業会「化学産業におけるカーボンニュートラルに向けた取組み」第 2 回 CNK 研究会発表資料（2022 年 1 月）

図 5　化学産業のカーボンニュートラルロードマップ

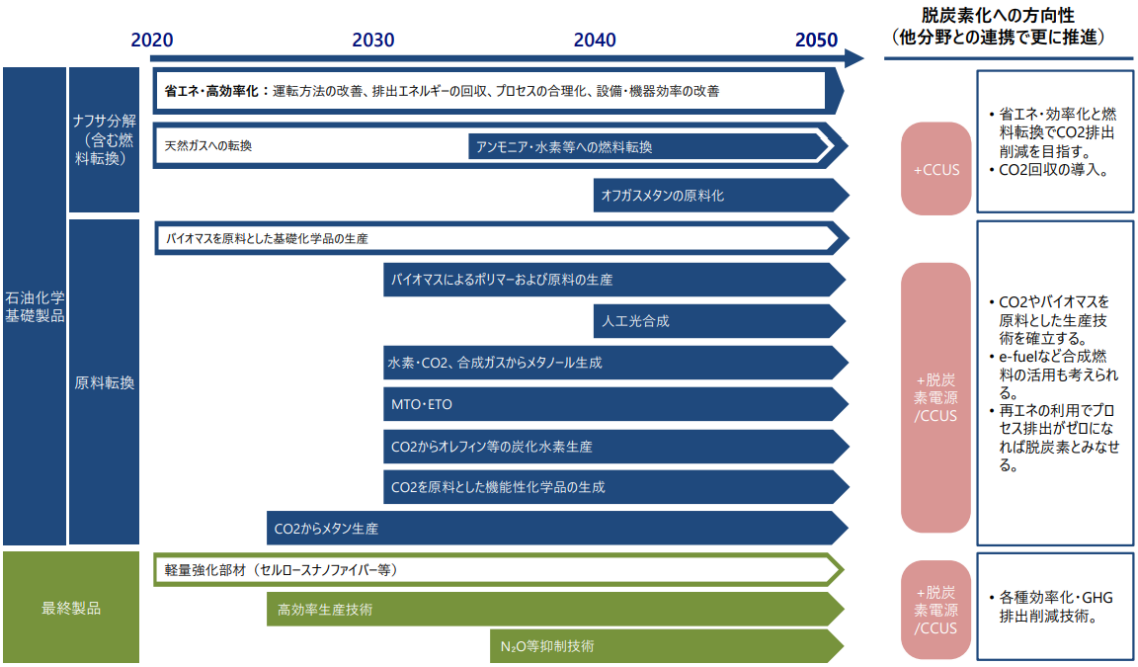
● **既存設備のポテンシャル**

既存設備のポテンシャルとしては、オフガスとして生じたメタンや水素を原料として再活用することで石油由来の原料分を減らす効果が期待できる。これらのガスは、既存の燃焼プロセスに投入することで燃焼カロリーを上げ、新たに投入する燃料量を減らし、CO_2 排出量を削減することができる。併せて、水素と CO_2 を原料として用いることで、新たな合成製品を生み出し、CO_2 の固定化に貢献する。

また、副生水素などのオフガスを取り扱うパイプラインや設備は、今後の水素利活用の設備としてそのまま活用することが可能となる。

● **代替手段とカーボンニュートラルへの効果**

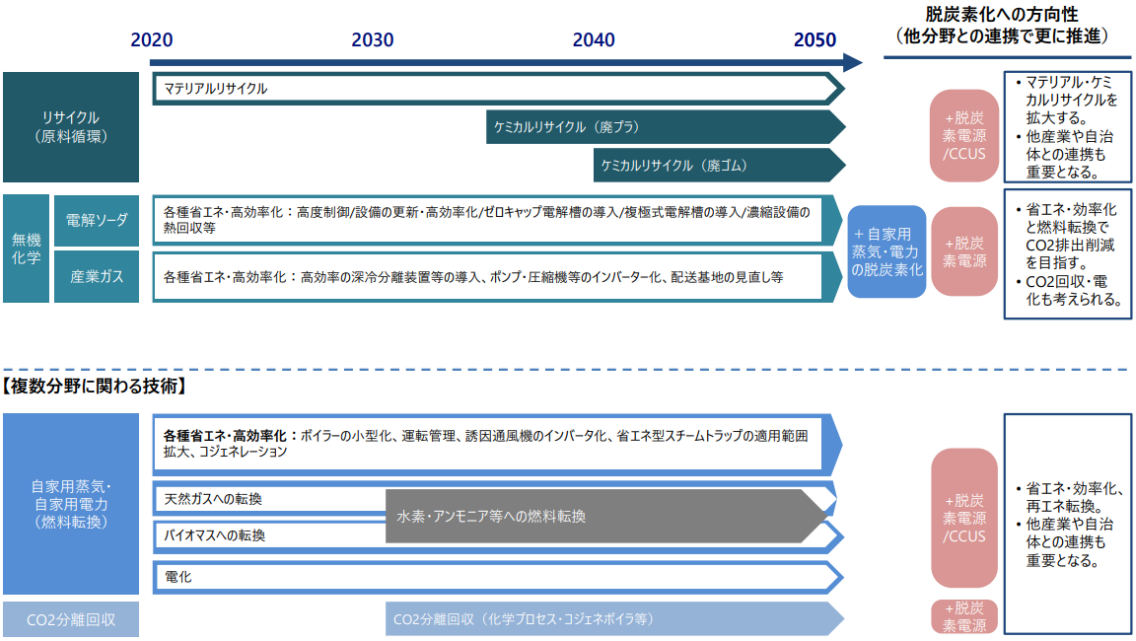
代替手段としては、CO_2 を石油化学製品の炭素源とする動きが進んでいる。水素と CO_2 を合成するメタネーションとしての合成メタン製造やメタノールの製造、MTO や ETO でのメタノールやエタノールからのオレフィン製造である。また、CO_2 から直接的に炭化水素や機能性化学品を製造する技術開発が行われている。さらに、バイオマスを原料とした基礎化学品やポリマー及び原料の製造、人工光合成を用いた化学品製造などの技術開発が行われている。



出所）経済産業省「「トランジションファイナンス」に関する化学分野における技術ロードマップ」（2021 年 12 月）

図 6　化学分野の技術ロードマップ（ナフサ分解、原料転換、最終製品）

また、石油化学プロセスの中で最も重要な炭素源を、CO_2 もしくは廃棄プラスチックなどから抽出し、再利用する取組も期待されている。プラスチックへの CO_2 固定化によるカーボンニュートラルの効果も期待できる。



出所）経済産業省「「トランジションファイナンス」に関する化学分野における技術ロードマップ」（2021 年 12 月）

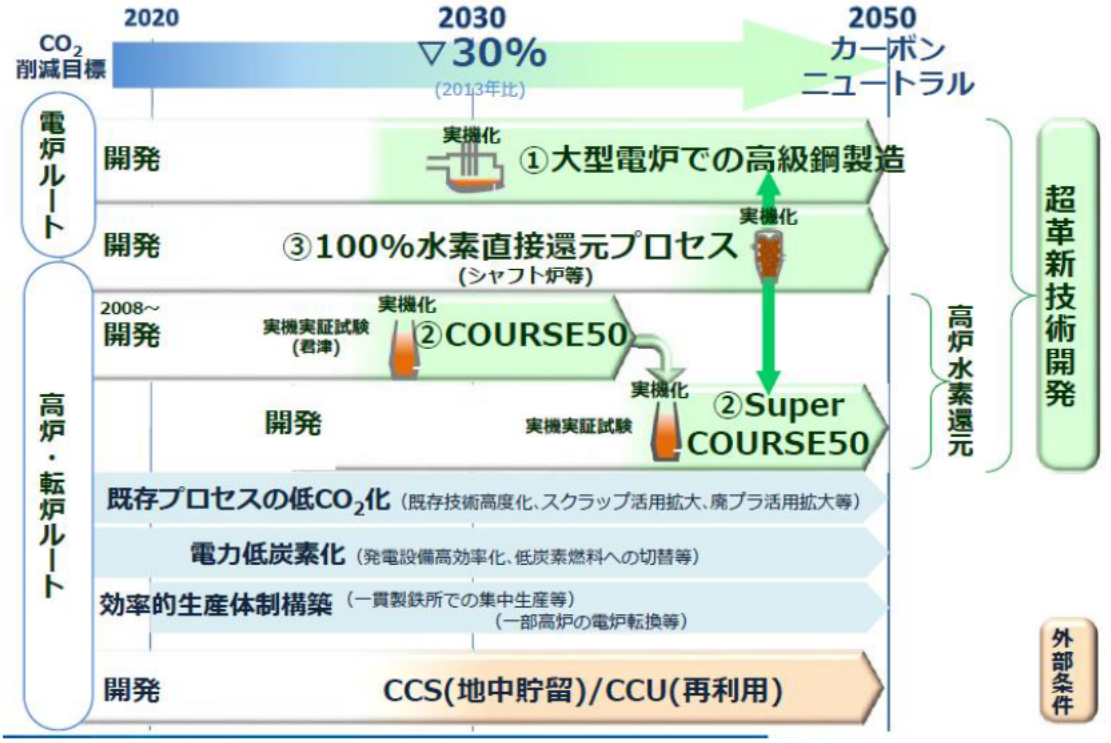
図 7　化学分野の技術ロードマップ（リサイクル、無機化学、自家用）

④　鉄鋼業界

鉄鋼業界は、産業部門からのエネルギー起源 CO_2 排出量全体の 4 割を占めており、業種別でみると最もその比率が大きい業種である。1 トンの粗鋼製造で約 2 トンの CO_2 が発生し、その大半が高炉における鉄鋼石の還元工程で発生している[9]。こうした中、鉄鋼業界では、カーボンニュートラル化の取組に注力している。高炉から発生する CO_2 排出量削減、高炉から電炉への転換、高炉内で発生する副生水素を有効活用して還元工程に活用する COURSE50、外部から調達する水素を還元工程に活用する Super COURSE50 等がその取組例である。

さらに、新しい設備を用いる取組として直接還元炉を用いて CO_2 排出量をゼロにする水素直接還元プロセスが挙げられる。酸化鉄（Fe_2O_3）を還元するために用いるコークスとしての石炭利用のみならず、石炭火力を自家発電として利用するケースも多く、ここでアンモニア混焼を行うことで、発電設備からも CO_2 排出量削減に貢献することができる。

[9] 経済産業省「「トランジションファイナンス」に関する鉄鋼分野における技術ロードマップ」（2021 年 10 月）
https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211027002/20211027002-1.pdf



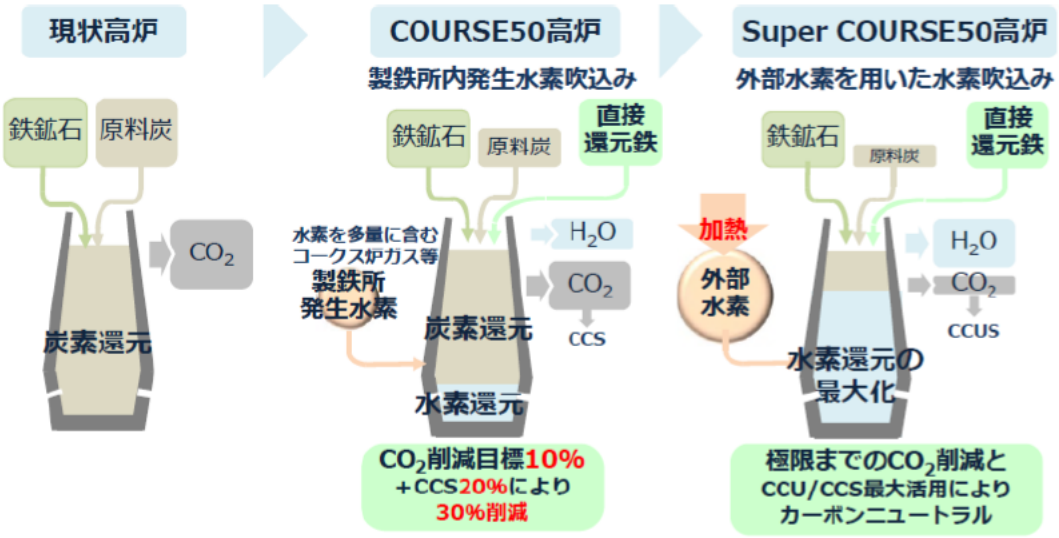
出所）日本製鉄株式会社「日本製鉄カーボンニュートラルビジョン 2050」（2021 年 3 月）

図 8　日本製鉄の CO_2 排出削減施策ロードマップ

- **既存設備のポテンシャル**

高炉から電炉への転換では、既に還元されている鉄スクラップを原料として用いることで CO_2 排出量を削減することが可能となる。電炉法によるスクラップ溶融では、1 トンの粗鋼製造での CO_2 発生量を約 0.5 トンに抑えられる。溶融時に不純物を除去し、窒素を混入することで、高級鋼製造の品質向上を実現。加えて、特に大型電炉で有効である電気アークを用いて、初期溶融時間の短縮や精錬時間の増加など生産性を高める取組が行われている。

還元工程で CO_2 排出量を削減する取組では、高炉を用いる手段として COURSE50、Super COURSE50 の取組が期待されている。いずれも水素を用いた還元工程で、前者は製鉄所内で発生する副生水素の活用、後者は外部から調達する水素も活用する。石炭を用いる還元工程は発熱反応であるが、水素を用いた還元は吸熱反応となるため、より多くのエネルギーが必要となる。



既存高炉を一部改造したCOURSE50～Super COURSE50高炉で、
還元材の原料炭(コークス)の一部を水素で代替
さらに、鉄鉱石の一部を直接還元鉄に代替

出所）日本製鉄株式会社「日本製鉄カーボンニュートラルビジョン 2050」（2021 年 3 月）

図 9　日本製鉄の CO_2 排出削減施策ロードマップ

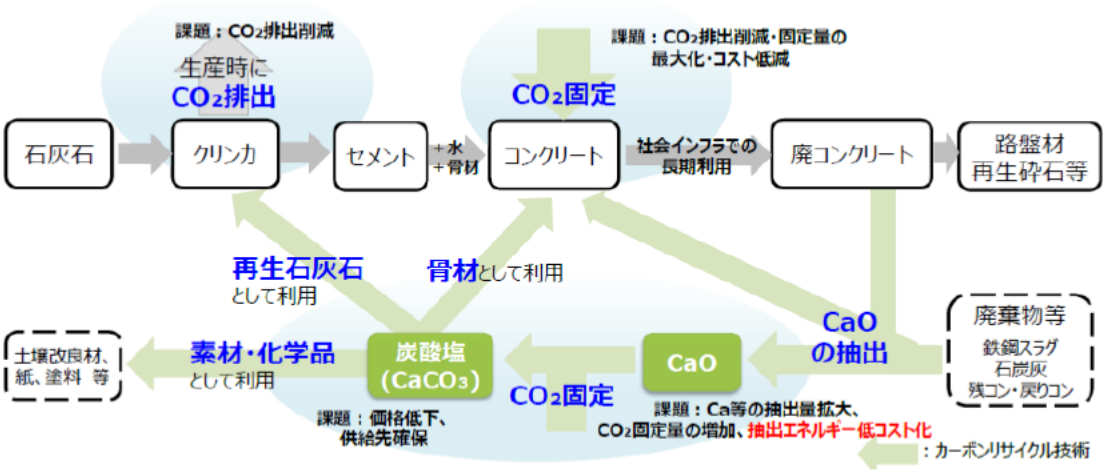
- **代替手段とカーボンニュートラルへの効果**

100%水素還元製鉄は、CO_2 排出量がゼロになる有望な技術である。しかし、既存の高炉とは異なる設備が必要となる。水素還元製鉄の実用化に向けたスケールアップには、大量の水素と吸熱反応に向けた多くのエネルギーを必要とする。

⑤　セメント業界

セメント業界は、2019 年の CO_2 排出量が約 2,500 万トン[10]と、CO_2 多排出業種の一つである。セメント製造工程でのカーボンニュートラル化は、廃コンクリートを回収する工程で発生する酸化カルシウム（CaO）から炭酸塩（$CaCO_3$）製造、コンクリート製造時の CO_2 固定化、セメント生産時に発生する CO_2 を固定化等が検討されている。

[10] 国立研究開発法人国立環境研究所「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」（2021 年 4 月）
https://www.nies.go.jp/gio/archive/nir/jqjm1000000x4g42-att/NIR-JPN-2021-v3.0_J_GIOweb.pdf



出所）資源エネルギー庁・製造産業局「カーボンリサイクル関連プロジェクト（コンクリート・セメント分野）の研究開発・社会実装の方向性」（2021 年 9 月）

図 10　コンクリート・セメントのプロセス全体像

- **既存設備のポテンシャル**

酸化カルシウムは、主に廃棄物などから抽出され、エネルギーを抑えながら酸化カルシウムの抽出を最大化する技術が求められる。酸化カルシウムの抽出量が増加するほど、炭酸塩の中での CO_2 固定量が増加する。これは廃棄物処理向けの技術とも関連し、廃棄物の回収数量増加と当該技術の効率化の拡大により、カーボンニュートラル化の効果拡大が期待できる。

- **代替手段とカーボンニュートラルへの効果**

更なる CO_2 固定量の増加に向けて 2 つの技術開発の取組が挙げられる。「CO_2 排出削減・固定量最大化コンクリート製造技術」では、コンクリート製造時の CO_2 固定の最大化及びプロセスの低コスト化が行われている。また、コンクリートの CO_2 固定量の計測・評価方法の標準化に関して社会実装に向けた動きも行われている。

一方、「CO_2 回収型セメント製造プロセスの開発」では、セメント製造プロセスにて石灰石から排出される CO_2 を効率的に分離回収・再利用する技術開発が進められている。セメントからコンクリート製造までの一連の工程の中で、最も CO_2 排出量が多いセメント製造の工程にて、CO_2 を効率的に分離回収してコンクリートでの CO_2 固定化など当該産業内での CO_2 利活用につなげる狙いがある。

このようにセメント業界では、コンクリートなどへの CO_2 固定化を進めながらも、新規技術としてプロセス上で発生した CO_2 回収して上記の固定化に回すことで、カーボンニュートラル化を進めようとしている。

⑥　業種ごとの視点で見たカーボンニュートラル化のポテンシャルと効果

以上の業種ごとのカーボンニュートラル化の取組、既存設備のポテンシャル、代替手段とカーボンニュートラルへの効果を推計すると、2019 年の CO_2 排出量と 2050 年の CO_2 排出量は以下のとおりとなる。

表 1　業種ごとの CO_2 排出量[11]

業種（単位：万トン）	2019 年	2050 年
鉄鋼	13,428	8,900
石油精製	3,464	1,700
化学	4,086	1,000
セメント	2,532	1,300

出所）「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」を基に野村総合研究所推計

業種ごとのカーボンニュートラルのポテンシャルの試算では、自社製品生産時（Scope1、2 の視点）の数値として、高炉閉鎖など各産業の事業計画と、各業種での目標値などを参考に推計を行った。鉄鋼のように 2050 年カーボンニュートラル化の手段として将来排出する CO_2 に対してオフセット CCS 等を行うことで対応する計画もあり、業種ごとに発生した CO_2 を削減する手段は異なると考えられる。

[11] 国立研究開発法人 国立環境研究所「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」（2021 年 4 月）
https://www.nies.go.jp/gio/archive/nir/jqjm1000000x4g42-att/NIR-JPN-2021-v3.0_J_GIOweb.pdf

（2） 製造プロセス等のカーボンニュートラル化を踏まえた、各コンビナートにおけるカーボンニュートラルの効果

各コンビナートのカーボンニュートラル化の取組は、地域によって進捗が異なる。先行しているコンビナートでも、ここ 1、2 年で CNK の取組が開始されたケースが多く、いずれも水素やアンモニア活用の取組や CNP との連携により、大量に脱炭素エネルギーや炭素循環マテリアルを調達し、カーボンニュートラル化を進めようとしている。

鹿島、千葉、川崎、中京、堺・泉北、水島、岩国・大竹、周南、大分の 9 コンビナート[12]の主要立地企業を表 2 に示す。周南以外のコンビナートにおいては、いずれも石油精製の企業が立地しており、海外から輸入した原油・ナフサ等を精製し、その精製物を石油化学の企業が合成・分離することで石油化学製品を製造するフローが、コンビナートにおける代表的なプロセスとなっている。周南においては、かつては出光興産が石油精製を行っていたものの、国内需要の減少に対応するため 2014 年 3 月に操業を停止している。

表 2 コンビナートの主要立地企業

	鹿島	千葉	川崎	中京	堺・泉北	水島	岩国・大竹	周南	大分
鉄鋼	日本製鉄	日本製鉄 JFEスチール	JFEスチール	日本製鉄		JFEスチール			日本製鉄
石油精製	鹿島石油	コスモ石油 出光興産 大阪国際石油精製 富士石油	ENEOS 東亜石油	コスモ石油 出光興産 昭和四日市	コスモ石油 ENEOS	ENEOS	ENEOS		ENEOS
化学	三菱ケミカル JSR　等	丸善石油化学 三井化学 住友化学 京葉エチレン JSR　等	東燃化学 旭化成 昭和電工 日本ゼオン等	東ソー 三菱ケミカル 三菱ガス化学 JSR　等	三井化学 大阪石油化学 旭化成　等	三菱ケミカル 旭化成 クラレ 日本ゼオン等	三井化学 等	出光興産 トクヤマ 東ソー 出光興産 日本ゼオン 等	昭和電工 住友化学 日本ゼオン 等
発電	JERA 鹿島パワー 鹿島共同火力	JERA	JERA 川崎天然ガス 発電	JERA 四日市火力等	関西電力	中国電力	中国電力	中国電力	九州電力
その他	昭和産業 関東グレーン ダイキン工業	東京ガス	東京ガス	味の素 東邦ガス	大阪ガス				王子マテリアル

出所）各種公開情報より野村総合研究所作成

以下に各コンビナートの具体的なカーボンニュートラル化に関連した取組を示す。

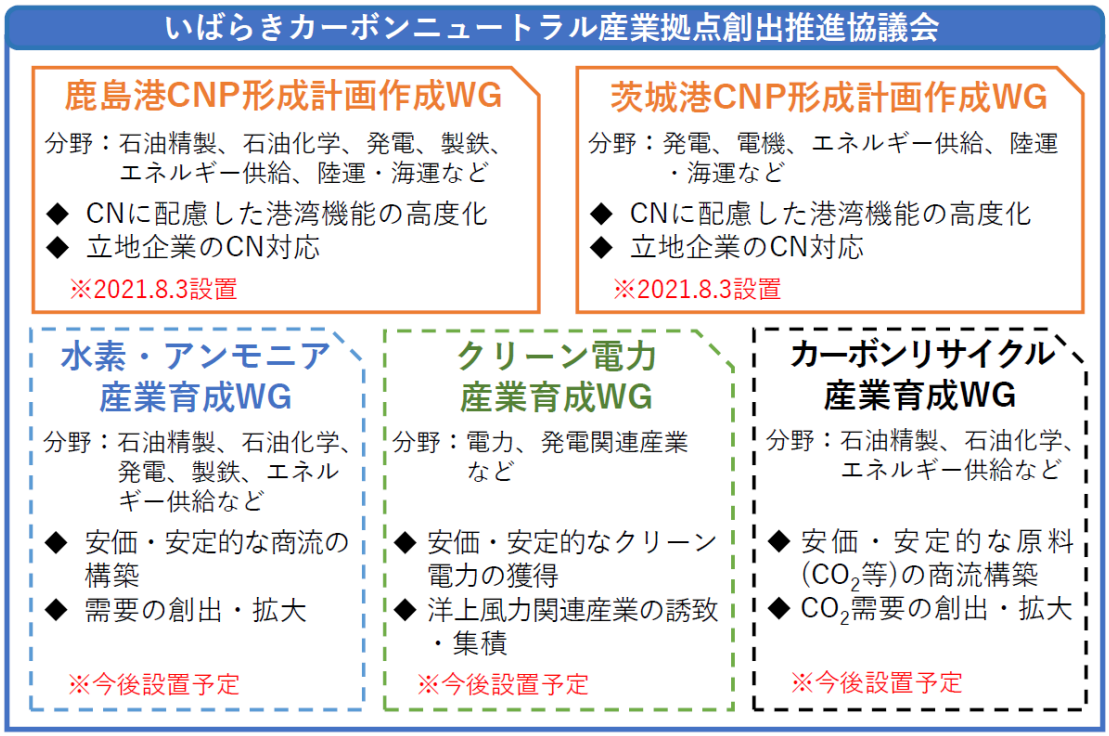
[12] 本報告書では、9 コンビナートが、複数の自治体に立地、複数の名称を持つコンビナート群として成立していることを踏まえ、鹿島、千葉、川崎、中京、堺・泉北、水島、岩国・大竹、周南、大分と表記する。

① 鹿島

● 鹿島コンビナートでのカーボンニュートラルの取組

茨城県の CO_2 排出量は 2019 年で 2,900 万トンあり、このうちの 88.4%は、産業が集積している臨海部の鹿嶋市・神栖市・日立市・東海村・ひたちなか市・大洗町が占めている。

こうした中、茨城県では、温室効果ガスの大幅削減及び新エネルギーや再生可能エネルギー等を活用し、産業競争力・立地競争力の強化を実現していくために必要な、産学官の連携を図ることを目的として、「いばらきカーボンニュートラル産業拠点創出推進協議会」を 2021 年 8 月に設置している。既に、鹿島港 CNP 形成計画作成及び茨城港 CNP 計画の作成に取り組んでおり、今後は、水素・アンモニア産業育成ワーキンググループやグリーン電力産業育成ワーキンググループ、カーボンリサイクル産業育成ワーキンググループを設置し、検討範囲を拡大することを予定している。



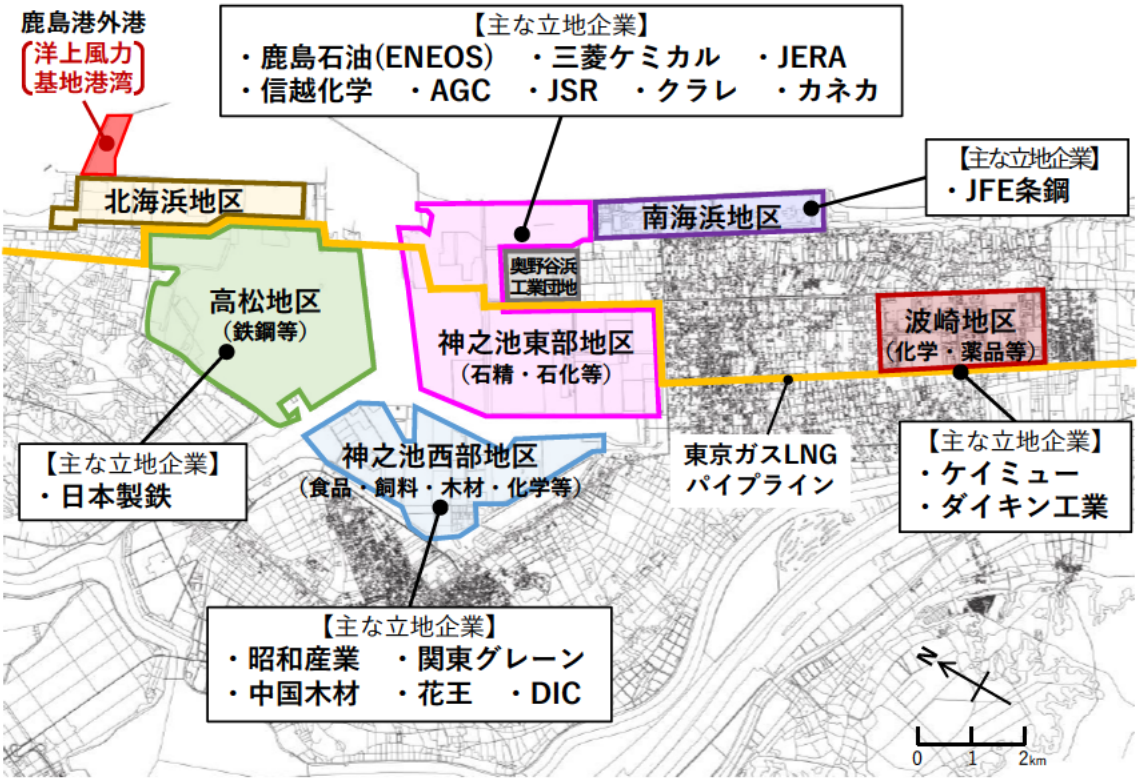
出所）第 1 回いばらきカーボンニュートラル産業拠点創出推進協議会資料（2021 年 8 月）

図 11　いばらきカーボンニュートラル産業拠点創出推進協議会の検討イメージ

2022 年 3 月に開催された第 2 回いばらきカーボンニュートラル産業拠点創出推進協議会では、CN 産業拠点創出推進基金として 200 億円の予算が計上され、CN 対応に必要となる共用インフラの整備や個社の設備投資を支援し、産業の CN 対応・新産業創出へ繋げるとしている[13]。

- **鹿島コンビナートの産業概要とカーボンニュートラルに関連したリソース**

茨城県内には多数の企業が立地しているが、ここでは特に企業が集積している鹿島コンビナートについて言及する。ここでは、石油精製の鹿島石油、化学の三菱ケミカル・信越化学工業・AGC・JSR・クラレ・カネカ、鉄鋼の日本製鉄、発電の JERA・鹿島パワー・鹿島共同火力等が立地している。



出所）茨城県「茨城県におけるカーボンニュートラルへの挑戦」
第 2 回 CNK 研究会発表資料（2022 年 1 月）

図 12　鹿島コンビナートの主要立地企業

また、鹿島コンビナートでは、コンビナート共同設備施設管理・運営を行う鹿島共同施設、

[13] 茨城県「カーボンニュートラル産業拠点創出に向けた 茨城県の来年度予算」（2022 年 3 月）
https://www.pref.ibaraki.jp/kikaku/chikei/keikaku/cnpj/documents/5file2-1.pdf

ケミカルリサイクルを行う三菱ケミカルと ENEOS によって 2019 年に設立された鹿島コンプレックス有限責任事業組合等、企業の垣根を超えた取組が行われている。

- **鹿島コンビナートでの CNK 推進体制**

鹿島コンビナートでは、その競争力強化を目的として、立地企業・有識者・国・県・地元市等で構成する「鹿島臨海工業地帯競争力強化検討会議」が 2015 年度に設置されている。当会議では、企業と行政等関係者が連携して取り組むべき指針となる「鹿島臨海工業地帯競争力強化プラン」を 2016 年 3 月に策定していた。その後、基礎素材産業における国際競争の激化や国内各社の事業拠点再編・集約化の進展により、事業環境の厳しさが増したことや、AI・IoT・ドローン等の技術進展を踏まえ、2021 年 3 月に「鹿島臨海工業地帯の競争力強化に向けた将来ビジョン」[14]を新指針として策定している。本指針では、「脱炭素化への適合が実現されたスマートコンビナート KASHIMA」が目指すべき姿として掲げられており、その実現に向けた施策として、「生産活動における低炭素・脱炭素化の推進」・「コンビナートで発生する副生水素の活用の検討」・「再生可能エネルギーを利用した水素製造の検討」等が設定されている。

また、鹿島港においては、2021 年 9 月に「鹿島港カーボンニュートラルポート（CNP）形成計画」の原案が策定されている。その基本方針としては、下記 3 点を掲げられている。

①次世代エネルギーの供給（輸送・貯蔵等）拠点化

②物流・人流ターミナル、港湾地域に立地する企業の活動の脱炭素化

③再生可能エネルギーの導入促進への貢献を通じた地域の活性化

そして、「②物流・人流ターミナル、港湾地域に立地する企業の活動の脱炭素化」に関連して、CO_2 排出量を 2030 年に 2013 年比で 46％削減すること、2050 年に排出量を実質ゼロにすることを目標に掲げている。

鹿島コンビナートの企業立地を踏まえると、鉄鋼が少し離れた位置にあることから、鉄鋼と石油精製や化学が独立した取組となる可能性がある。石油精製や化学を中心としたガスを含む合成燃料や、合成プラスチック等でのカーボンニュートラル化の取組が期待される。

[14] 茨城県「鹿島臨海工業地帯の競争力強化に向けた将来ビジョン
https://www.pref.ibaraki.jp/kikaku/jisui/kashima/plan/documents/kashima-vision_zentai.pdf

② 千葉

● 千葉コンビナートでのカーボンニュートラルの取組

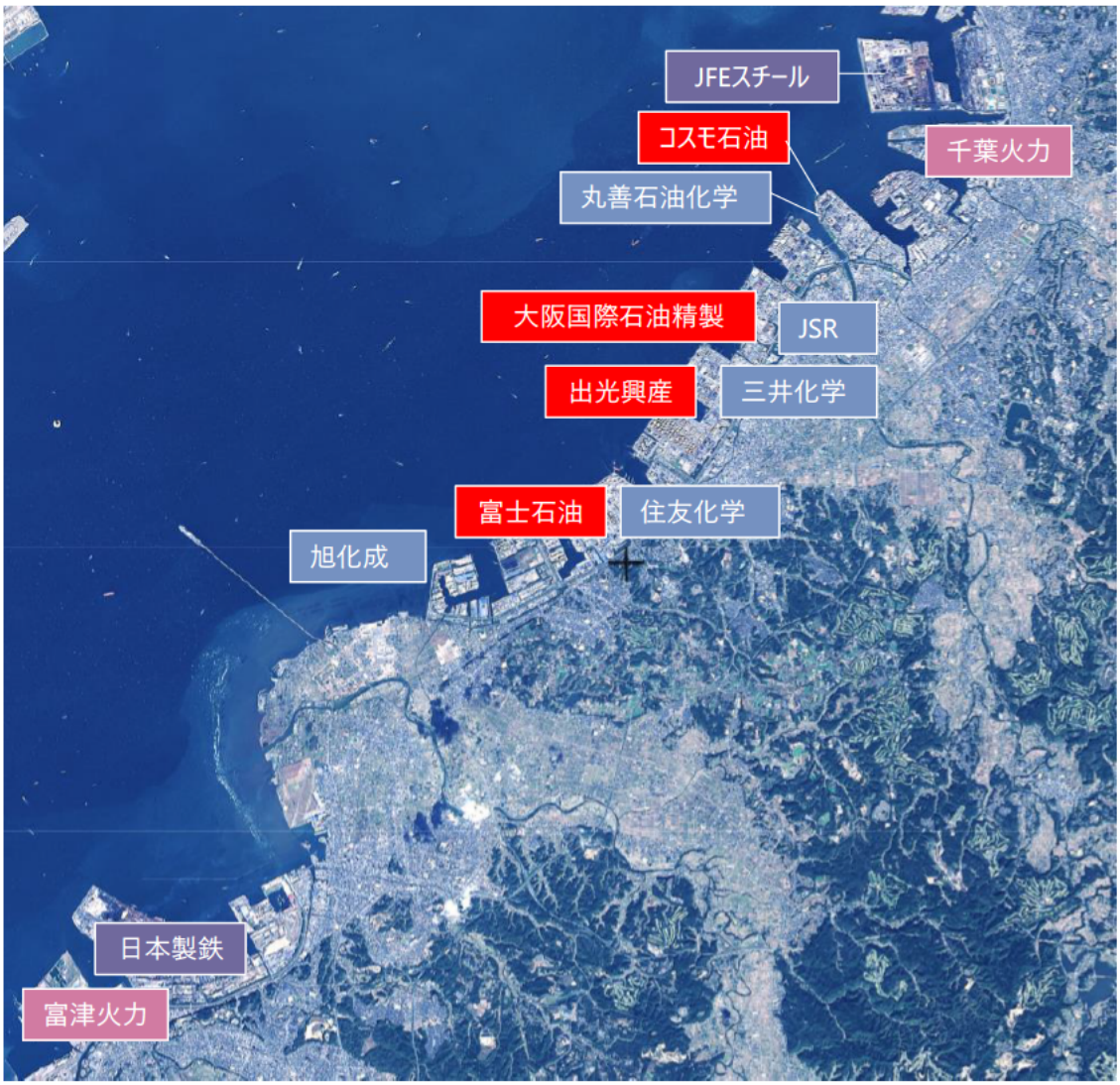
千葉県では、2015 年の COP21 におけるパリ協定の採択を契機として、「千葉県地球温暖化対策実行計画～CO2CO2(コツコツ)スマートプラン～」を策定している。計画期間は 2016 年から 2030 年であり、2030 年度に 2013 年度比で 22%の温室効果ガス排出量の削減を目指している。その目標達成のため、千葉県は、「再生可能エネルギー等の活用」・「省エネルギーの促進」・「温暖化対策に資する地域環境の整備・改善」・「循環型社会の構築」の 4 つの基本方針に沿って施策を実施している。

また、2021 年 2 月の定例県議会では、2050 年に温室効果ガスの排出量を全体としてゼロにすることを表明する「2050 年二酸化炭素排出実質ゼロ宣言」が行われ、2050 年の脱炭素社会の実現を目指すことが宣言された。なお、千葉県における CO_2 排出量は産業部門で約 4,200 万トンであり、その内コンビナートにおける排出量は約 3,000 万トン超となっている。

● 千葉コンビナートの産業概要とカーボンニュートラルに関連したリソース

千葉コンビナートでは、石油精製のコスモ石油・大阪国際石油精製・出光興産（石油化学工場も所有）・富士石油、化学の住友化学・三井化学・丸善石油化学・京葉エチレン、鉄鋼の JFE スチール・日本製鉄等のリソースが存在する。

発電所は、その全てが LNG 火力であり、水素の混焼利用の可能性がある。特に、JERA の千葉火力発電所と富津火力発電所は、それぞれ JFE スチールと日本製鉄に隣接しているため、将来的に鉄鋼の水素還元技術が確立されれば、その周辺で大規模な水素需要が見込まれる。



出所）国土地理院「地理院地図（電子国土 Web）」より野村総合研究所作成

図 13　千葉コンビナートの主要立地企業

- **千葉コンビナートの CNK 推進体制**

千葉県は、千葉・市原・袖ヶ浦・富津の各市の事業者 54 社によって構成される「千葉県臨海南部工業地帯工場連絡協議会」を設置し、脱炭素に関連する情報共有を実施している。2021 年夏実施のアンケートでは、「カーボンニュートラルに関する宣言を行っている」と回答したのは 54 社のうち約 20 社となっており、これからカーボンニュートラル化の関心が高まると考えられる。

千葉コンビナートの企業立地を踏まえると、石油精製の数量が豊富であるという特徴を活用し、合成燃料や合成プラスチック製造でのカーボンニュートラル化の取組が期待される。

③　川崎

●　川崎コンビナートでのカーボンニュートラルの取組

川崎コンビナートでは、カーボンニュートラルに向けた活動として「川崎市地球温暖化対策推進基本計画」を 2010 年 10 月に策定、2022 年 3 月に改定し、CO2 等排出量削減目標について、計画期間の最終年度である 2030 年に 1990 年度比 57%削減と設定している。2018 年度の川崎市の CO_2 排出量は 2,259 万トンあり、このうち 1,679 万トン（74%）は、臨海部企業上位 30 社から排出されている。その内訳をみると、鉄鋼 53%、化学 26%、石油 12%などとなっており、コンビナート内に立地する企業が主な排出源となっている。

こうした中、脱炭素化に対しての具体的な取組として「臨海部ビジョン」（2018 年）や「水素社会実現に向けた川崎水素戦略」（2015 年）がある。前者では低炭素型インダストリーエリア構築プロジェクト、水素エネルギー利用推進プロジェクトなどプロジェクト推進、後者では、「水素の供給システムの構築」と「多分野にわたる水素利用の拡大」及び「社会認知度向上」の３つの基本戦略を策定し、「川崎臨海部水素ネットワーク協議会」を中心に企業や国等と連携し様々なプロジェクトを推進している。いずれも水素を軸とした脱炭素化の取組に注力していることが特徴といえる。

●　川崎コンビナートの産業概要とカーボンニュートラルに関連したリソース

川崎コンビナートでは、石油精製の ENEOS・東亜石油、化学の昭和電工・旭化成・日本ゼオン・東燃化学、鉄鋼の JFE スチールといったリソースが存在する。石油精製の ENEOS が原油を調達、ナフサを経てエチレンなどを製造し、エチレン、プロピレン、ブタジエンなどをコンビナート内の化学の企業に供給している構造である。一方、JFE スチールは川崎にある高炉を 2023 年 9 月末をめどに休止する方針を打ち出しており、鉄鋼の生産量は急速に減少する見通しである。

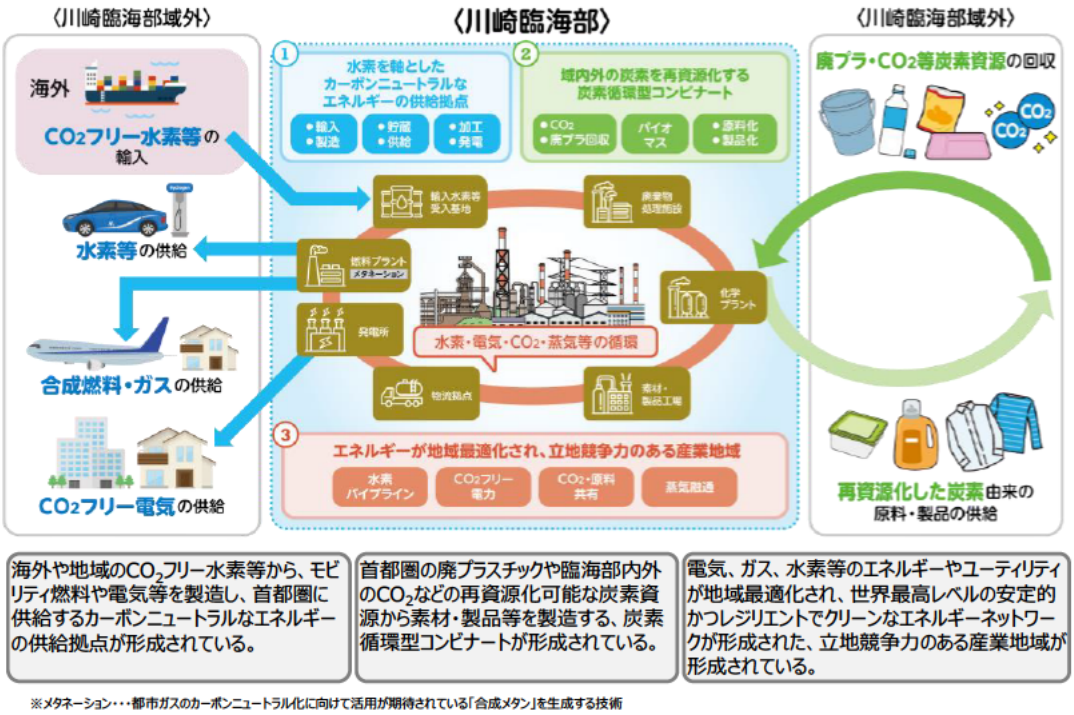
出所）京浜臨海部再編整備協議会「工場立地図」より野村総合研究所作成

図 14　川崎コンビナートの主要立地企業

また、CO_2 排出量の発生源を見ると、約 70%を電力利用（天然ガス等）から排出し、残りの約 30%を主に熱利用（石油系ガス等）から排出している。熱利用での脱炭素化の検討は進められているものの生産プロセス見直しなど対応が難しいことから、カーボンニュートラル化の取組としては LNG 火力に水素を用いる対応を中心とした対策が取られている。

- **川崎コンビナートの CNK 推進体制**

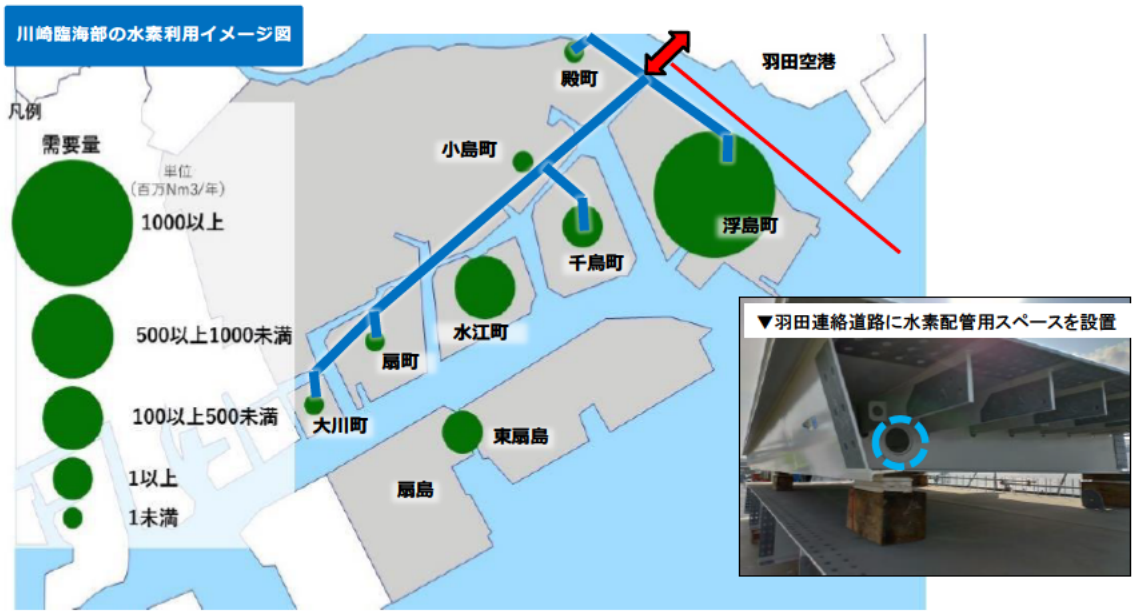
川崎コンビナートはカーボンニュートラル化に向けて、「川崎カーボンニュートラルコンビナート検討会議」を設立し、産学官に加えて市民や近隣自治体も踏まえた体制で検討を行っている。この取組では、2050 年の CNK の将来像を実現する戦略を検討する中で、CNK の役割、構想の基本理念などを検討し、本事業の関係者のみならず周辺のプレーヤーに対しても CNK の存在意義や方向性を分かりやすく説明している。



出所）川崎市「カーボンニュートラルコンビナート形成に向けた川崎市の取組」
第 2 回 CNK 研究会発表資料（2022 年 1 月）

図 15　2050 年の川崎臨海部のコンビナートのイメージ図

この取組を推進するため、発電設備向けを中心に水素を供給する取組が検討されており、水素パイプラインをコンビナート内外に設置することで需要地に対して大量の水素を供給できる体制を整えつつある。



出所）川崎市「カーボンニュートラルコンビナート形成に向けた川崎市の取組」
第 2 回 CNK 研究会発表資料（2022 年 1 月）

図 16　川崎市臨海部の水素パイプラインのイメージ

また、川崎市では横浜市と連携して「横浜港・川崎港カーボンニュートラルポート（CNP）形成推進会議」を立ち上げ、水素やアンモニア等の次世代エネルギーの需給一体体制を整えるとともに、港湾機能の高度化や臨海部における環境整備を行っている。川崎港周辺では発電所隣接のタンクと水素パイプラインを活用し、コンビナート内での水素調達・利活用のみならず、外部への水素供給の拠点としての役割を担うことを計画している。

川崎コンビナートの企業立地を踏まえると、鉄鋼が地域の中心にあり石油精製・化学と隣接している。他地域と比較しても比較的コンパクトであるため、従来から注力している水素を中心とした多様な取組が期待できる。また、高炉の休止が 2023 年 9 月に決まっているため、将来的な対応としては、石油精製・化学中心の取組となると考えられる。

④　中京

●　中京コンビナートでのカーボンニュートラルの取組

中京コンビナートは名古屋港南部及び対岸の四日市市を対象として捉える。名古屋港南部では、「名古屋港カーボンニュートラルポート検討会」が、カーボンニュートラルに関する取組を推進しており、現状名古屋港で排出されている CO_2 量である約 2,880 万トンの削減を目指し、中部圏水素利用協議会など関係者と連携して、水素利活用を軸とした取組が行われている。

対岸の四日市市では、「四日市市環境計画（第 4 期 2021-2030）」を策定し、2017 年度に 1,696 万トンであった CO_2 排出量を 2030 年度に 1543 万トンに削減することを目指している。中でも市内の CO_2 の多くを排出しているコンビナートとしてカーボンニュートラル化に向けた検討会を 2022 年に立ち上げ、コンビナート内企業、三重県、経済産業省中部経済産業局等とともに検討を進める方針を取っている。

●　中京コンビナートの産業概要とカーボンニュートラルに関連したリソース

名古屋港南部コンビナートでは、主要企業として、日本製鉄、出光興産の愛知製油所、今後出光興産により再稼働予定である東海市の知多製造所、知多市の JERA の火力発電所が立地し、鉄鋼及び石油精製が中心となる産業構成となっている。この中では、主に製鉄所からの CO_2 排出量が総量の半分近くを占め、残りは製油所からの CO_2 排出量が多くを占めている。

出所）名古屋港紹介資料等より野村総合研究所作成

図 17　名古屋港南部コンビナートの主要立地企業

四日市コンビナートの主要企業は、石油精製のコスモ石油や昭和四日市石油、化学の東ソー及び三菱ケミカル等、発電所は JERA の四日市火力発電所等が集積している。四日市は主に石油化学関連の企業を中心に構成されているコンビナートといえる。

		発電所	石油精製	化学	その他
①	味の素				✓
②	石原産業			✓	
③	KH NeoChem			✓	
④	コスモ石油		✓		
⑤	JSR			✓	
⑥	昭和四日市石油		✓		
⑦	第一工業製薬				✓
⑧	JERA	✓			
⑨	DIC			✓	
⑩	東ソー			✓	
⑪	東邦ガス				✓
⑫	AEROSIL			✓	
⑬	三菱ガス化学				✓
⑭	三菱ケミカル			✓	
⑮	三菱マテリアル				✓

出所）四日市コンビナート先進化検討会資料より野村総合研究所作成

図 18　四日市コンビナートの主要立地企業

名古屋港南部と四日市市ともにカーボンニュートラル化の取組については積極的に推進しており、中でも水素を活用した脱炭素化の取組として、「中部圏水素利用協議会」が両者に関連する取組として行われている。この協議会では、中部圏におけるカーボンニュートラル化を推進するために水素利活用を普及させることをゴールとし、将来の需要把握と水素利活用実現のための水素サプライチェーンの構築などの活動を実施している。

- **中京コンビナートの CNK 推進体制**

名古屋港南部では「中部圏水素利用協議会」として水素活用の動きがあるものの、コンビナートとしてのまとまった動きは見られない。一方、四日市では、「四日市コンビナートのカーボンニュートラル化に向けた検討会」が、コンビナート企業、学識経験者、自治体（四日市市・三重県）、経済産業省中部経済産業局・国土交通省中部地方整備局にて構成されるメンバーにて 2022 年 3 月に発足した。産学官の関係者からなる委員会を発足させることで、CNK が永続的に維持・発展するために、様々な投資を呼込み、新エネルギーの利活用、カーボンニュートラル社会に貢献する素材提供など、新産業創出につながる取組を推進する予定である。

中京の企業立地は、石油精製と鉄鋼を持つ名古屋港南部と、石油精製と石油化学を持つ四

日市コンビナートとで特徴が大きく分かれている。これらが独立した取組を行うことはカーボンニュートラル化の視点で考えると効率的ではなく、伊勢湾をつなぐパイプラインや船舶による物流を考慮した対応を取ることがより効果的な施策につながると考えられる。

その視点で考えると、東海市に立地する製鉄所から排出される大量の CO_2 と水素を原料とし、名古屋港南部で合成燃料、四日市コンビナートで合成プラスチックを製造することで当該地域の効率的なカーボンニュートラル化が実現できると期待される。

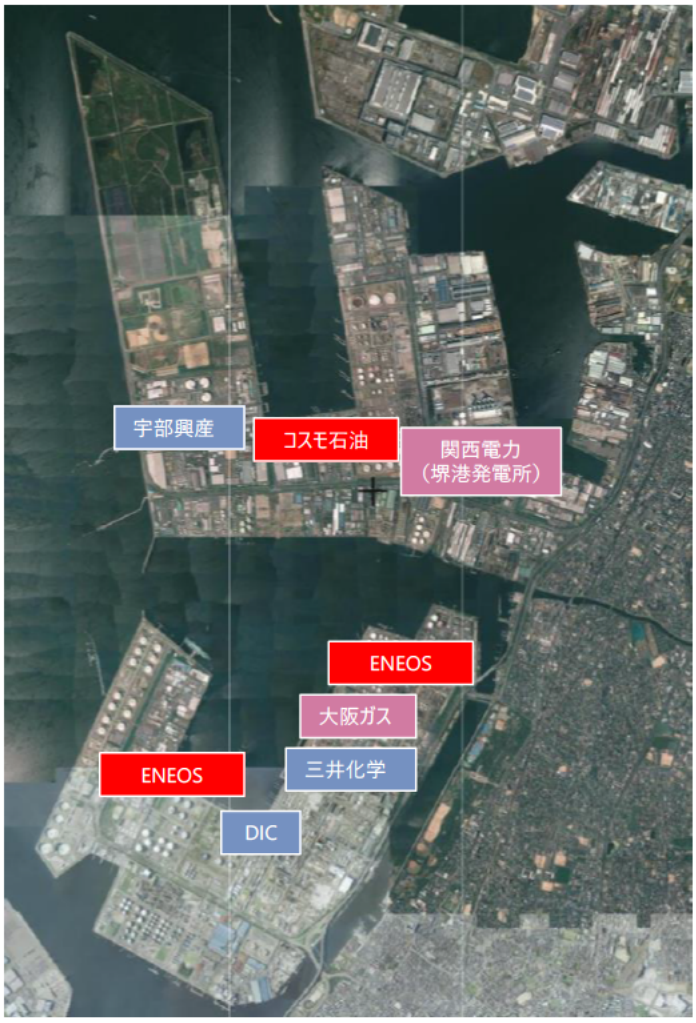
⑤　堺・泉北

- **堺・泉北コンビナートでのカーボンニュートラルの取組**

堺・泉北コンビナートは、堺市、高石市、泉大津市にまたがる地域を対象とし、カーボンニュートラル関連の取組は各市にまたがる取組として行われている。堺市、高石市、泉大津市では、堺市の「堺市水素エネルギー社会推進協議会」、高石市の「高石市ゼロカーボンシティ」、泉大津市の「泉大津市ゼロカーボンシティ」等の取組がある。

- **堺・泉北コンビナートの産業概要とカーボンニュートラルに関連したリソース**

堺・泉北コンビナートの業種構成は、石油精製の ENEOS・コスモ石油、化学の三井化学・DIC・宇部興産がある。また、発電は関西電力の堺港発電所等が電力供給源となっている。



出所）国土地理院「地理院地図（電子国土 Web）」より野村総合研究所作成

図 19　堺・泉北コンビナートの主要立地企業

● **堺・泉北コンビナートの CNK 推進体制**

堺・泉北コンビナートでは、「堺・泉北ベイエリア新産業創生協議会」が 2004 年に発足され（設立当時は堺・泉北臨海企業連絡会、2006 年に現在の名称に改名）、地域連携事業、産学連携事業、コンビナート競争力強化事業等を行っている。脱炭素に向けては、燃料効率向上のための継続的な取組や従業員の地道な活動を実施し、CO_2の排出量削減に努めている。

CNP 関連の取組では、堺・泉北港以外にも大阪港及び阪南港も含めて CNP の形成に向けた検討が行われている（「大阪“みなと”カーボンニュートラルポート（CNP）検討会」）。水素、アンモニア等の次世代エネルギー利活用の需要と供給体制を一体的に創出することを目的とし、上記のコンビナート主要企業に加えて、物流会社、海運会社、大学、国土交通省近畿運輸局が参加し、大阪市大阪港湾局及び国土交通省近畿地方整備局が事務局となり、2022 年 1 月に第 1 回の会合が開かれた。

こうした点を踏まえると、堺・泉北においてはカーボンニュートラル関連の取組は、各自治体や企業としての取組はあるものの、CNK の本格的な取組はこれからと考えられる。

堺・泉北コンビナートの企業立地は、比較的まとまった地域に石油精製と石油化学とが密集しているため、これらプロセスから排出されたCO_2を原料とした合成燃料及び合成プラスチックの製造に取り組むことで当該地域の効率的なカーボンニュートラル化につながることが期待される。

⑥ 水島

- **水島コンビナートのカーボンニュートラルの取組**

水島コンビナートが立地している倉敷市では、「クールくらしきアクションプラン」（倉敷市地球温暖化対策実行計画）として温室効果ガス削減計画を 2011 年 2 月に策定して温暖化対策の取組を開始し、2018 年にその計画を改定、更なる削減量を目指した目標を設定している。この取組の中では水島コンビナートの技術力を維持しながらも、魅力ある低炭素都市の形成の両立を目指し、基準年である 2013 年度の CO_2 排出量 3.452 万トン（うち、エネルギー起源 CO_2 産業部門 2,785 万トン）から 2030 年で 11.6%削減（同産業部門 2,604 万トン、6.5%削減）、2050 年で 80%削減を目指す目標を設定している。

- **水島コンビナートの産業概要とカーボンニュートラルに関連したリソース**

水島コンビナートの業種構成は、石油精製の ENEOS、化学の三菱ケミカル・三菱ガス化学・旭化成があり、三菱自動車向けの鋼板の製造拠点として鉄鋼の JFE スチールも立地している。また、発電は中国電力等が電力供給源となっている。水島発電所は石炭から LNG、玉島発電所は石油から LNG への燃料転換を図り、両発電所ともに LNG 火力発電所として電力供給を行っている。

こうした企業では「クールくらしきアクションプラン」として、再生可能エネルギー活用などの従来からの活動に加えて、水素社会の実現が掲げられコンビナートの立地を活かした水素利活用の検討などが行われている。

出所）国土地理院「地理院地図（電子国土 Web）」より野村総合研究所作成

図 20　水島コンビナートの主要立地企業

- **水島コンビナートの CNK 推進体制**

水島コンビナートでは、「水島コンビナート発展推進協議会」が 2004 年に発足され、産業連携などを通じ、競争力強化に向けた様々な検討・協議を行う場として用いられている。この協議会の構成団体は、ENEOS・旭化成・JFE スチール・三菱自動車等の水島コンビナートの主要企業、倉敷市、岡山県、経済産業省中国経済産業局となっている。別途カーボンニュートラル関連の協議会が当該地域にて実施されている様子はなく、カーボンニュートラル関連の取組は主に「クールくらしきアクションプラン」に関連した活動が中心になると考えられる。

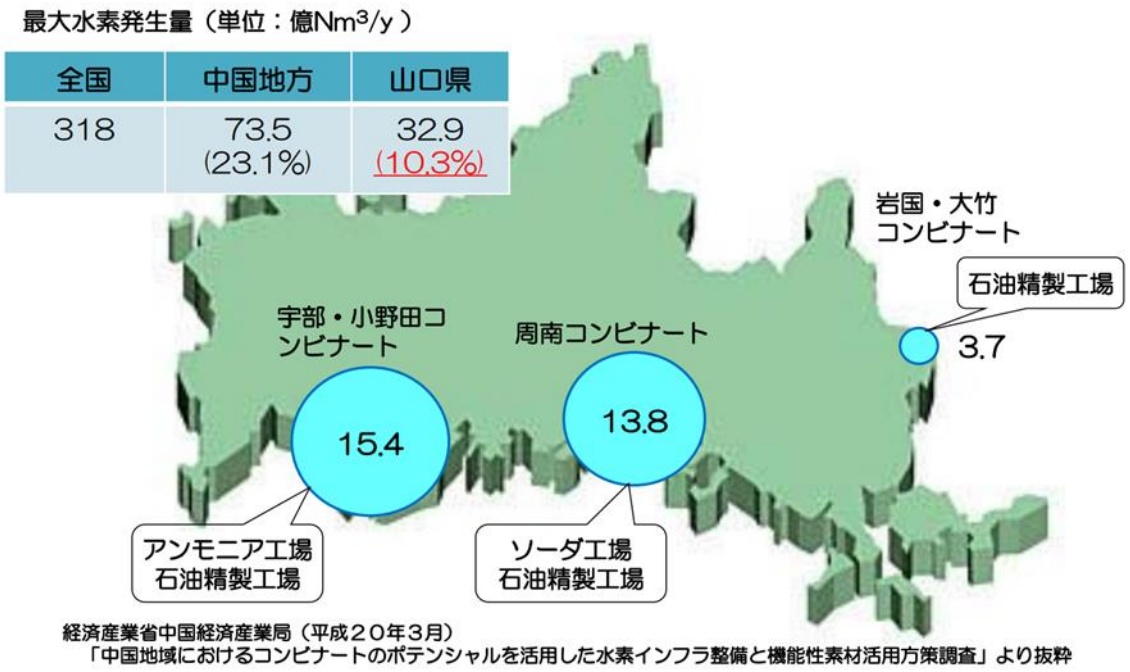
こうした点を踏まえると、水島においてはカーボンニュートラル関連の取組は倉敷市の施策と関連して個社が実施するケースはあるものの、CNK として産業連携を通じた全体的な取組はこれからと考えられる。

水島コンビナートの企業立地を踏まえると、鉄鋼が石油精製・化学と隣接しており、鉄鋼から排出された大量の CO_2 を原料とした合成燃料及び合成プラスチックの製造に取り組むことで当該地域の効率的なカーボンニュートラル化の実現が期待される。

⑦　岩国・大竹

● 岩国・大竹コンビナートでのカーボンニュートラルの取組

山口県は、全国有数の水素生産量の有する特性に着目し、水素の活用を推進するため「水素フロンティア山口推進構想」を 2004 年に策定。全国の約 1 割を山口県内で製造しており、これを活かして水素供給燃料電池にパイプラインで供給する実証実験をするなど、早くから水素を活用した取組を実施してきた。そして、現在では山口県では「水素先進県」の実現を目指し、水素利活用の基盤づくり、技術開発促進などの産業振興、地域づくりなどの取組を行っている



出所）山口県商工労働部新産業振興課「「水素先進県」の実現を目指した山口県の取組」（2021 年 4 月）

図 21　山口県内の水素生産ポテンシャル

大竹市では 2017 年の CO_2 排出量は約 112 万トンで、このうち産業用途の割合が 86%を占めるため約 96 万トンと見積もられる。製造業の多くは大竹市内にあるため、コンビナートから発生する CO_2 排出量は概ね上記の数量イメージとなると考えられる。

● 岩国・大竹コンビナートの産業概要とカーボンニュートラルに関連したリソース

岩国・大竹コンビナートの業種構成は、石油精製の ENEOS、化学の三井化学、帝人、東洋紡が立地している。また、発電は中国電力等が電力供給源となっている。

出所）国土地理院「地理院地図（電子国土 Web)」より野村総合研究所作成

図 22　岩国・大竹コンビナートの主要立地企業

- **岩国・大竹コンビナートの CNK 推進体制**

岩国・大竹コンビナートでは、防災計画での連携は見られるものの、カーボンニュートラ

ル関連では山口県産業戦略部のカーボンニュートラルの実現に向けた取組[15]の中で、既存の製油所を活用した合成燃料精製などの検討が行われている。

こうした点を踏まえると、岩国・大竹コンビナートにおいてはカーボンニュートラル関連の取組は山口県の施策と関連して個社が実施するケースはあるものの、CNK として産業連携を通じた全体的な取組はこれからと考えられる。

岩国・大竹コンビナートの企業立地を踏まえると、南北に企業が分かれているため、大竹で石油精製の ENEOS を中心とした合成燃料製造などを進めることが、カーボンニュートラル化に有効と考えられる。

[15] 山口県産業戦略部「カーボンニュートラルの実現に向けた取組について」（令和 3 年 11 月）
https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/uploaded/attachment/100997.pdf

⑧　周南

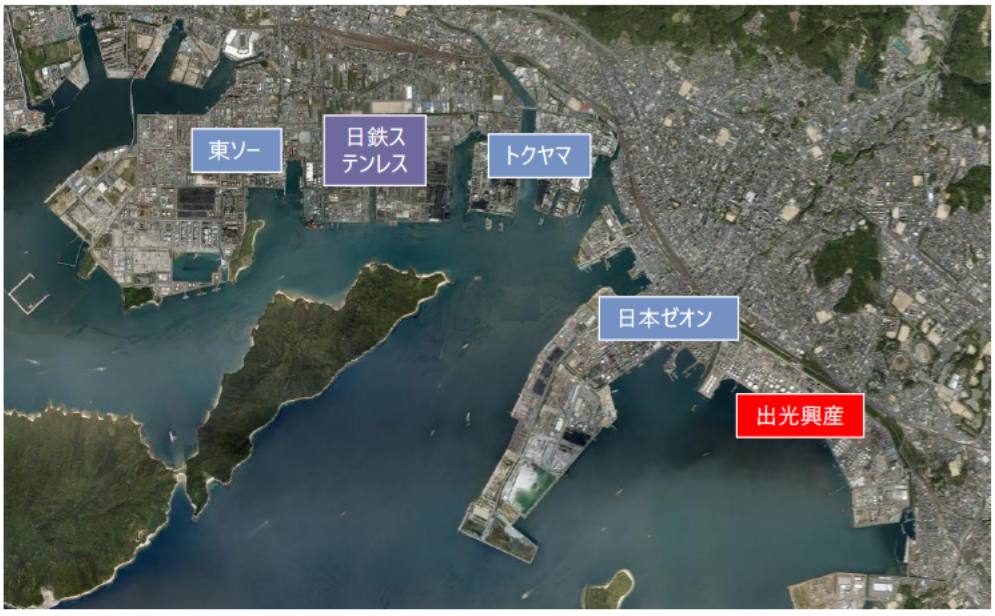
- **周南コンビナートのカーボンニュートラルの取組**

周南コンビナートは、岩国・大竹コンビナートと同じ山口県にあり、水素利活用が盛んな地域となっている。中でも、周南市にあるトクヤマは、苛性ソーダ由来の純度が高い副生水素を生産している。この水素を活用して、環境省の委託事業[16]として、副生水素を回収、液化・圧縮等により周辺の家庭用燃料電池や燃料電池自動車に供給するなどの取組を行ってきた。

一方、周南市の主要産業はほぼ臨海部のコンビナートに集約しており、周南地区における現在の年間の推定 CO_2 排出量は、1,600 万トンとなっている[17]。

- **周南コンビナートの産業概要とカーボンニュートラルに関連したリソース**

周南コンビナートの業種構成は、化学のトクヤマ・東ソー・出光興産・日本ゼオン、鉄鋼に関連する日鉄ステンレスが主要企業として立地している。また、トクヤマ・東ソーは、それぞれ石炭火力自家発電所を保有している。大半が化学企業で構成されており、中でもトクヤマ向けの製品を製造する企業が多い。



出所）国土地理院「地理院地図（電子国土 Web）」より野村総合研究所作成

図 23　周南コンビナートの主要立地企業

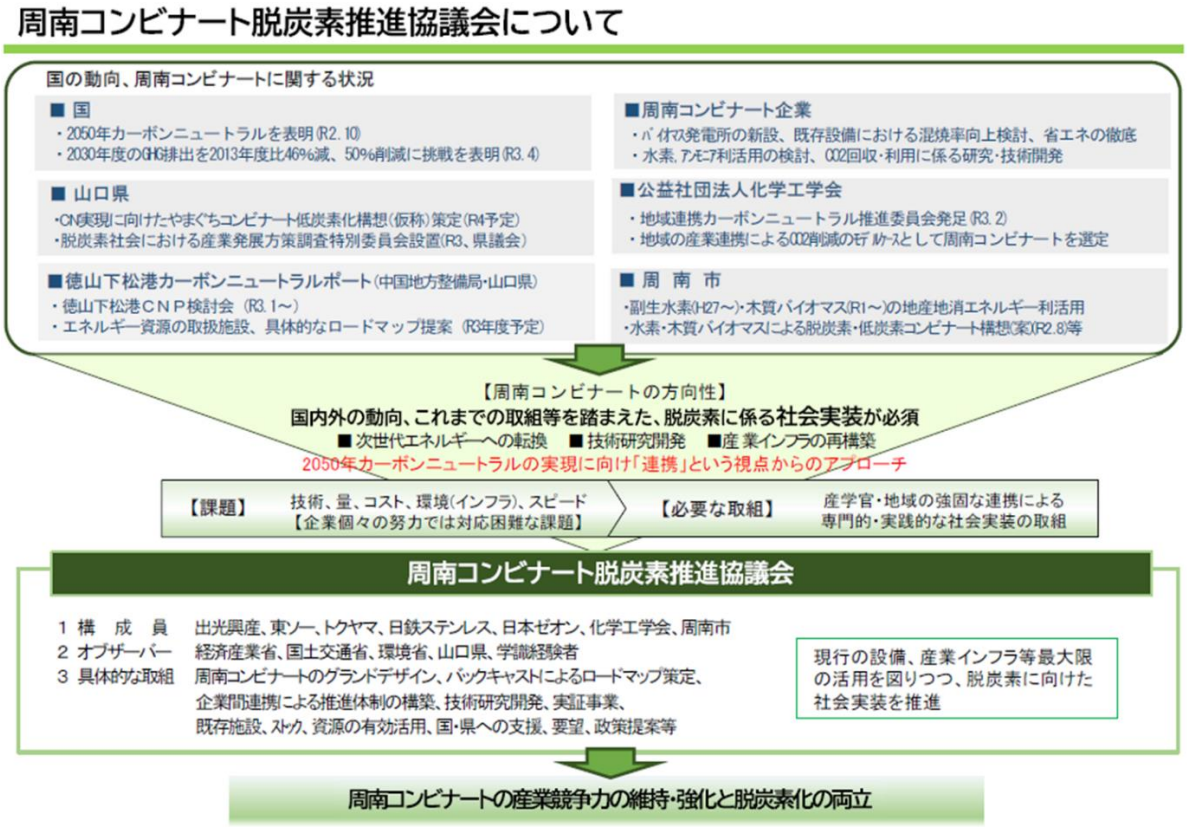
[16] 環境省地域連携・低炭素水素技術実証事業「苛性ソーダ由来の未利用な高純度副生水素を活用した地産地消・地域間連携モデルの構築」（実証期間 平成 27 年度～平成 31 年度（予定））
[17] 周南コンビナート脱炭素推進協議会「地域連携カーボンニュートラルに向けて」2022 年 1 月

- **周南コンビナートの CNK 推進体制**

周南コンビナートでは、これまで個々の企業のカーボンニュートラルの取組が行われてきた。そして、2022 年 2 月には「周南コンビナート脱炭素推進協議会」が、トクヤマ、東ソー、出光興産、日本ゼオン、日鉄ステンレス、周南市及び化学工学会を構成メンバーとして発足した。この協議会は、周南コンビナートの CNK 化を目指し、将来の姿からバックキャストにてロードマップを策定、脱炭素に向けた社会実装を進める取組を推進している。

この協議会は化学工学会が中心となり立ち上げ、2035 年までに CO_2 排出量を 50%削減、2050 年にはカーボンニュートラル、その先にはカーボンネガティブとするグランドデザインを掲げている。中でも、当該地域の特徴である苛性ソーダを軸とする無機化学とオレフィン系の有機化学の融合、石炭火力への対応、鉄鋼・セメント・ファインケミカルの産業連携を軸とした活動を検討し、地域産業政策的なモデルとして日本及び世界に横展開を目指した取組を行っている。

また、徳山下松港カーボンニュートラルポート（CNP）検討会にて検討されている取組とも連携しており、水素やアンモニアの脱炭素エネルギーの輸入・供給拠点としての連携、パイプラインを用いた供給網の確立などの検討を通じ、CNK 向けの脱炭素エネルギー及び炭素循環マテリアル供給をシームレスに行う取組を検討している。



出所）周南コンビナート脱炭素推進協議会設立総会検討資料（2022 年 1 月）

図 24　周南コンビナート脱炭素推進協議会について

周南コンビナートの企業立地を踏まえると、石油精製、化学、セメント製造企業が位置し、それらから排出される大量の CO_2 を活用し、石油精製と化学のリソースを活用した合成燃料及び合成プラスチックの製造に取り組むことで当該地域の効率的なカーボンニュートラル化の実現が期待される。

⑨ 大分

● 大分コンビナートのカーボンニュートラルの取組

大分県では、第５期大分県地球温暖化対策実行計画として「2050 年二酸化炭素排出実質ゼロ」の取組を宣言[18]しており、地球温暖化対策を推進している。この中でも水素を用いた産業や運輸分野でも幅広い活用が可能であり、コンビナートから排出される副生水素（全国の約 10%）や全国 1 位の供給量の地熱エネルギーを有するなど、大分県エネルギー産業企業会「水素関連産業分科会」を中心に様々な形での水素利活用を検討している。

こうした中、大分県の CO_2 排出量は約 4,000 万トンで推移しており、その約 8 割が産業部門からの排出となっている（約 3,200 万トン、2018 年)。水素利活用や、再生可能エネルギーを活用することで、カーボンニュートラル化の取組を推進している。

● 大分コンビナートの産業概要とカーボンニュートラルに関連したリソース

大分コンビナートでは、電力の九州電力、石油精製の ENEOS、化学の昭和電工・住友化学、鉄鋼の日本製鉄等が立地している。これらコンビナート内の企業は地域間連携を以前から進めており、2012 年に「大分コンビナート企業協議会」を設立し、各事業所トップと大分県知事及び大分市長も含めたメンバーで発足した。その後翌年には「大分コンビナート競争力強化ビジョン」を策定し、コンビナートとしての今後の方向性を提示した。

この中で、大分県エネルギー産業企業会が、2021 年に水素供給から利活用まで関連する産業の育成に向けた取組を進めるため、「水素関連産業分科会」を設立した。副生水素の利活用、水素金属透過膜に関する研究を用いて多様な水素含有ガスから高純度水素の製造装置開発及び活用、地熱発電を中心とした再生可能エネルギーを活用した水素製造等で実施している。

● 大分コンビナートの CNK 推進体制

大分コンビナートでは、「大分コンビナート企業協議会」を中心に水素活用の活動を行い、更に CNP の取組も推進している。大分港にてカーボンニュートラルポート（CNP）の検討会を実施し、次世代エネルギー供給計画やその実現に向けた方策検討、CO_2 排出量削減計画に向けたロードマップの策定などを検討している。この中で、コンビナート内の企業同士が連携して次世代エネルギーの利用する計画を立てている。

一方、カーボンニュートラル化の取組は、各企業の個別戦略に基づく内容にとどまっており、コンビナート内の企業間の連携は限定的といえる。大分では事業者間の連携は取れてい

---

18 大分県「２０５０年カーボンニュートラルの達成に向けた取組」（2021 年 3 月）
https://oita-energy.jp/upload/2050 年カーボン・ニュートラルの達成に向けた取組.pdf

るものの、各社の本社まで連携した活動にはなっていない。

出所）国土地理院「地理院地図（電子国土 Web）」より野村総合研究所作成

図 25　大分コンビナートの主要立地企業

大分コンビナートの企業立地を踏まえると、鉄鋼が地域の中心にあり、石油精製・化学と隣接している。鉄鋼にて排出した大量の CO_2 と、副生水素をはじめとした水素を原料として、石油精製での合成燃料と、石油化学の合成プラスチックの製造等によるカーボンニュートラル化の取組が期待される。

⑩　コンビナートごとのカーボンニュートラル化の効果

コンビナートごとの取組を踏まえて、現状と 2050 年の CO_2 排出量のポテンシャルを表 3 に示す。ここでは、主要業種に着目し、その時系列の CO_2 排出量の推移を推計した。各コンビナートの 2050 年の目標値はコンビナート立地地域の一部の自治体が掲げており、2050 年の CO_2 排出量をゼロとする目標等が見られるが、本項では主要業界ごとの目標値を参考に、野村総合研究所にて推計を行った結果を示す。

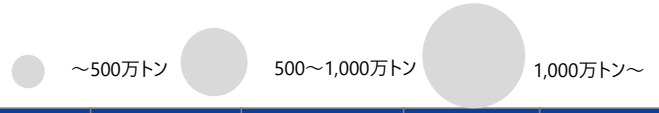
カーボンニュートラル化に向けた取組は、地域ごとに進め方に温度差がある。CNP の検討が進んでいる地域では、水素やアンモニア調達のポテンシャルの検討を進めており、その活動と連携して CNK の協議会を発足しているケースなどがみられる。例えば、製鉄所がある地域では大量の CO_2 を継続的に減らす必要があり、CO_2 を回収して製品生産につなげる合成プラスチック製造などが有効と考えられる。

地域のポテンシャルの評価では、各地域ともに石油精製が立地しており、この設備を活かして合成燃料製造等に着目するのが適切であるといえる。また、カーボンニュートラル化の効果という面では、鉄鋼やセメントからの CO_2 排出量が圧倒的に大きいため、この CO_2 の有効活用を考えていく必要がある。

さらに、CNK の潜在的なポテンシャルを高めるためには、コンビナート内の各企業のカーボンニュートラル化の取組を連携していく必要がある。今回の調査では、各コンビナートのポテンシャルを最大限に活用して効果を出していくために、中心的な推進者の存在や、企業間連携を進めていくための仕組みの重要性が指摘された。

加えて、カーボンニュートラル化の効果を引き上げるためには、企業間の連携に加えて、企業の本社と事業所の連携も重要である。地域内での連携が進んでいるところでは、コンビナート内の事業所同士の連携、自治体と現場事業所の連携は密にできている。しかし、カーボンニュートラル化の取組は全社戦略であり、事業所から提案しても本社が動かず、結果として、投資判断に繋がらないという指摘もあった。

表 3　各コンビナートの CO_2 排出量推計値（2020 及び 2050 年）



		鹿島	千葉	川崎	中京	堺・泉北	水島	岩国・大竹	周南	大分
CO_2排出量(万トン) 2020年推計		1,300	3,200	1,400	1,800	400	1,800	100	600	2,000
CO_2排出量(万トン) 2050年推計		500	1,900	300	1,100	200	1,100	70	300	1,300
業界ごとに実現を目指す2050年目標	鉄鋼／セメント*	●	●		●		●		●	●
	石油精製	●	●	●	●	●	●	●		●
	化学	●	●	●	●	●	●		●	●
主なCO_2排出削減要因(参考)		高炉2基⇒1基(2024年度末予定)	—	高炉休止（2023.9予定）	—	—	—	—	—	—

*周南のみセメント

出所）鉄鋼、セメント、石油精製、化学の主要企業の資料等より野村総合研究所推計

２）　脱炭素燃料等の供給拠点としてのポテンシャルと効果

（１）脱炭素燃料等の供給拠点としてのコンビナートのポテンシャルと地域社会等への効果

カーボンニュートラル化に向けて、大量の水素やアンモニア等脱炭素エネルギー源の受入／貯蔵／搬送、そして利活用に向けて、各コンビナートがどのようなポテンシャルを持っているかを整理した。なお、本項では、各コンビナートのポテンシャルの横比較ができるように一部推計を用いている（表 4)。

まず、水素やアンモニア等の脱炭素燃料受入のポテンシャルの評価項目として港湾に接岸できる船舶の最大載貨重量、受入した燃料の貯蔵の評価項目として大型タンクの数を設定した。また、貯蔵した燃料を搬送する評価項目としてパイプラインの有無や、大型ローリーの登録台数を設定した。

さらに、回収した CO_2 を水素と反応させて合成製品（合成ガス、合成燃料、合成プラスチック）を製造することで CO_2 削減が期待できることから、合成製品製造が期待できる工場の有無、合成製品を受け入れる需要規模を評価項目とした。合成ガス、合成燃料、合成プラスチックに関連する需要は、それぞれメタン、ガソリン等の軽質油、プラスチック等の原料になる重質油の需要としている。

評価項目とした大型タンク数、大型ローリーの数、メタン、軽質油、重質油等はいずれも、コンビナートのデータではなく、コンビナートが立地している各府県の値を示している。メタン、軽質油、重質油等の多くは化学工場が集積しているコンビナートで生産されていることから、各府県の生産数量やタンク、ローリー等の数値はコンビナートの値として考えることができる。大型タンクは、内容物を船舶で搬送するため沿岸部などコンビナートの近くに立地することが多く、コンビナートのポテンシャルを評価する項目として扱った。また、大型ローリーはタンクの内容物を搬送する手段であることから、脱炭素燃料等の内容物搬送の評価項目として扱うことができると考えられる。

上記を踏まえて、各種統計資料を基に、以下の視点で評価を行った。

【コンビナートカーボンニュートラル化のポテンシャル評価の視点】

- 港湾：海外から輸入する脱炭素エネルギーを大量に調達できる船舶の最大載貨重量トン数（DWT）
- タンク：荷役された脱炭素エネルギーを大量に貯蔵できる大型タンク（10 万 kl 以上）の基数
- パイプライン／ローリー：タンクにある脱炭素エネルギーを需要地まで配送するパイプラインの有無や大型ローリー（15kl 以上）の数

- 合成工場：水素と回収した CO_2 を用いて合成製品を製造できそうな主要企業の有無
- 合成製品：合成製品の潜在需要としてメタン、燃料、プラスチック原料の需要量

なお、合成製品については、メタネーション等で製造する合成メタン、FT 合成で製造する合成燃料、MTO 法等で製造する合成プラスチックの潜在需要として、コンビナートが存在する各府県のメタン（都市ガス）、燃料油（軽質油製品）、ナフサ（重質油製品）の直近の需要を把握し、将来のポテンシャルとして評価を行った。

表 4　各コンビナートでのカーボンニュートラル化のポテンシャル

リソース			鹿島	千葉	川崎	中京	堺・泉北	水島	岩国・大竹	周南	大分
受入・貯蔵	港湾	接岸可能な最大船舶(DWT)	50,000	30,000	50,000	108,500	30,000	30,000	30,000	30,000	50,000
		概要	・公共バースで最大水深14m ・水深10m/10,000DWT以上の船舶が接岸可能な岸壁が他に5バースある	・公共バースで最大水深12m ・水深10m/10,000DWT以上の船舶が接岸可能な岸壁が他に市川5、千葉中央10、木更津3バースある	・公共バースで最大水深14m ・水深10m/10,000DWT以上の船舶が接岸可能な岸壁が他に16バースある	・公共バースで最大水深16m ・水深10m/10,000DWT以上の船舶が接岸可能な岸壁が他に24バースある	・公共バースで最大水深12m ・水深10m/10,000DWT以上の船舶が接岸可能な岸壁が他に3バースある	・公共バースで最大水深12m ・水深10m/10,000DWT以上の船舶が接岸可能な岸壁が他に3バースある	・公共バースで最大水深12m ・水深10m/10,000DWT以上の船舶が接岸可能な岸壁が他に3バースある	・公共バースで最大水深12m ・水深10m/10,000DWT以上の船舶が接岸可能な岸壁が他に5バースある	・公共バースで最大水深14m ・水深10m/10,000DWT以上の船舶が接岸可能な岸壁が他に4バースある
	貯蔵タンク*1	10万kl以上の屋外タンク貯蔵所	16	4	0	22	4	11	0	14	0
搬送	タンク搬送(トラック等)*1、*2		151	311	362	425	302	133	21	95	58
	パイプライン*1		LNG1本	シーバースから4本 石化製品1本 LNG1本	LNG1本 水素1本	シーバースから2本 LNG1本 伊勢湾ガス：LNG LNG四日市	LNG1本 石化製品1本	LNG1本	LNG1本	LNG1本 水素1本	LNG1本
利活用	LNG燃焼(GTCC等) 水素混焼・専焼		LNG火力1基	LNG火力8基	LNG火力2基 LNGコンバインド1基	LNG火力2基 LNGコンバインド1基	LNGコンバインド1基	LNG火力　1基 LNGコンバインド1基			LNGコンバインド3基
	石炭火力 アンモニア混焼		石炭火力(情動)　2基			石炭火力　1基			石炭火力(自家発):1基	石炭火力(自家発):2基	
	合成製品	メタン：都市ガス(10^6 Nm3) *1	599	1,847	2,313	3,256	2,602	297	751	275	144
		燃料：ガソリン等の軽質油製品(千kl) *1	4,670	12,499	7,490	7,403	3,885	4,666	725	5,253	4,288
		プラスチック：重質油品(千kl) *1	526	1,327	1,056	2,053	1,029	1,163	484	1,172	911

*1：各コンビナートが立地する府県の数値を参考値として提示。川崎の利活用(需要市場)は神奈川県、中京は愛知及び三重県、岩国　大竹は広島県の市場として算出。
*2 :黒油、白油での15kl以上のタンクローリーの数を提示。

出所）各種資料より野村総合研究所推計

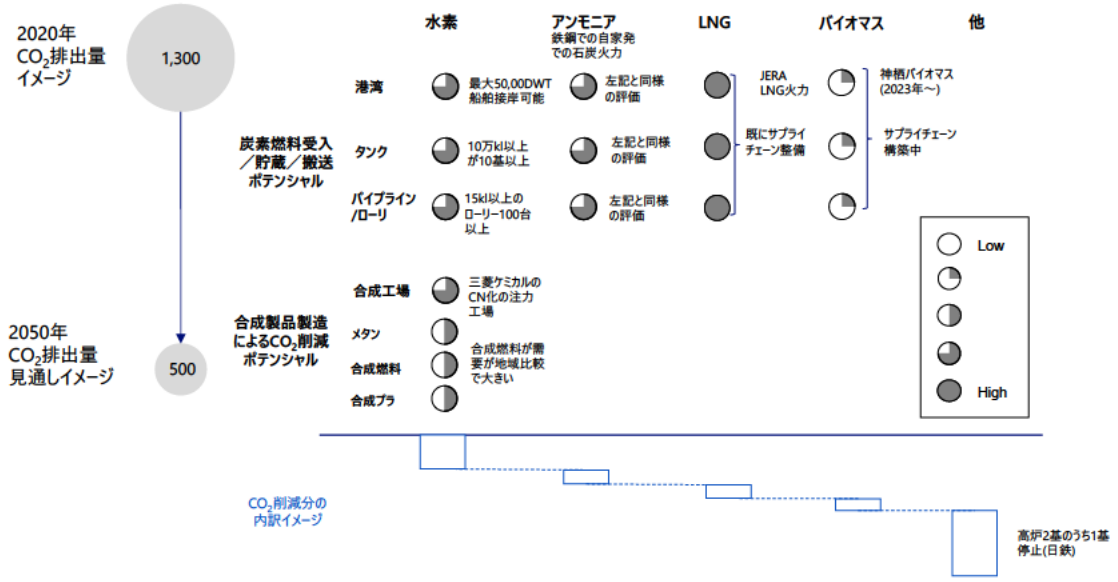
① 鹿島

鹿島コンビナートでは、比較的大きな港湾（公共バース）が整備され、最大で 50,000DWT の船舶を受け入れが可能である。更に 10 万 kl 以上のタンクを 10 基以上設置されており、また 15kl 以上の大型のローリーも県内に 100 台以上稼働している。こうした点を踏まえると、大量の水素やアンモニアを調達し、それを貯蔵し、需要地に対して適切に搬送できるインフラはある程度揃っていると考えられる。

石油精製の鹿島石油、石油化学の三菱ケミカルがコンビナート内にあり、水素と CO_2 を用いた合成製品の製造が将来的に期待できる。特に三菱ケミカルでは、鹿島の石油化学工場は合成製品製造のテストベッドも保有しており、2050 年に向けてカーボンニュートラル化の大きな可能性を秘めている地域といえる。

また、製鉄所の自家発電所として用いる石炭火力などの脱炭素化向けにアンモニア混焼や、LNG 火力への水素混焼での CO_2 排出量削減が期待できる。発電ではバイオマス発電が神栖市で行われており、これらの発電設備のスケールアップも将来は期待できる。

需要側で見ると、当該地域における合成製品の需要は特定用途への偏りはなく、多様な用途に合成燃料を提供することでカーボンニュートラル化の流れが構築されると考えられる。



出所）野村総合研究所作成

図 26　鹿島コンビナートのカーボンニュートラル化のポテンシャル

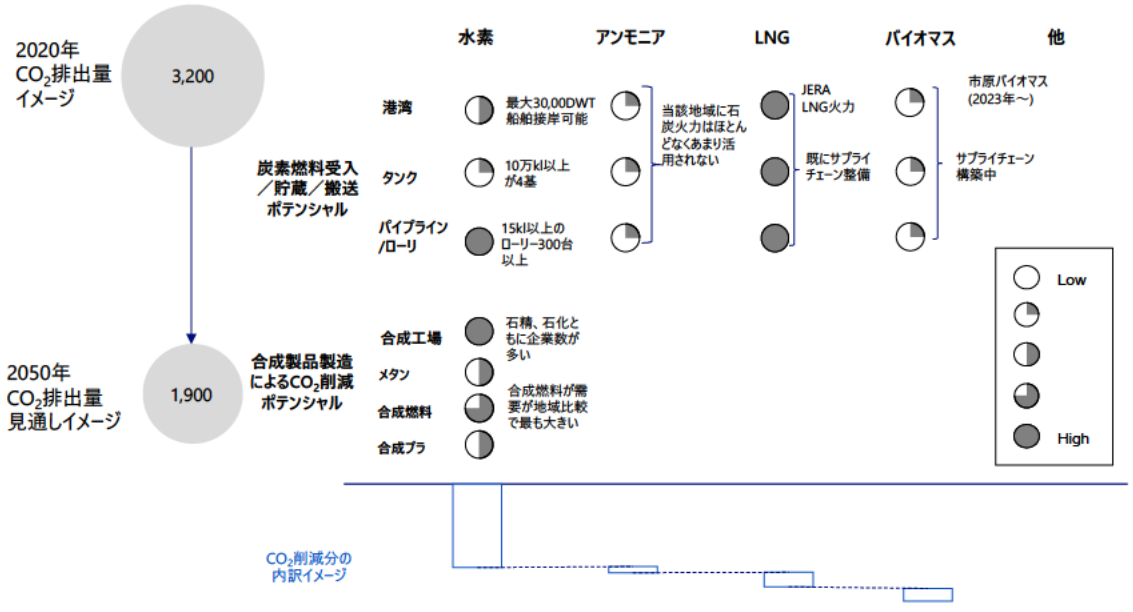
② 千葉

千葉コンビナートでは、30,000DWT の船舶が着岸できる港湾が整備されており、10 万 kl 以上のタンクが 4 基設置されている。また、15kl 以上のローリーが 300 台以上稼働していることから、主要コンビナートの中でも、受入・貯蔵能力は高いと考えられる。

また、石油精製、石油化学の企業が多く立地することから、回収した CO_2 と水素を用いて大量かつ多様な合成製品を製造することも期待できる。

当該地域では火力発電所の多くが LNG 火力に燃料転換しており、水素混焼によるカーボンニュートラル化、市原バイオマスをはじめとする再生可能エネルギーを活用することで発電のカーボンニュートラル化への貢献が期待できる。

需要側で見ると、他コンビナートと比較して合成燃料の需要が大きい。車両のみならず、コンビナート周辺の機械産業など向けなどの燃料需要が多いことが想定され、産業を下支えする用途の拡大が期待される。



出所）野村総合研究所作成

図 27　千葉コンビナートのカーボンニュートラル化のポテンシャル

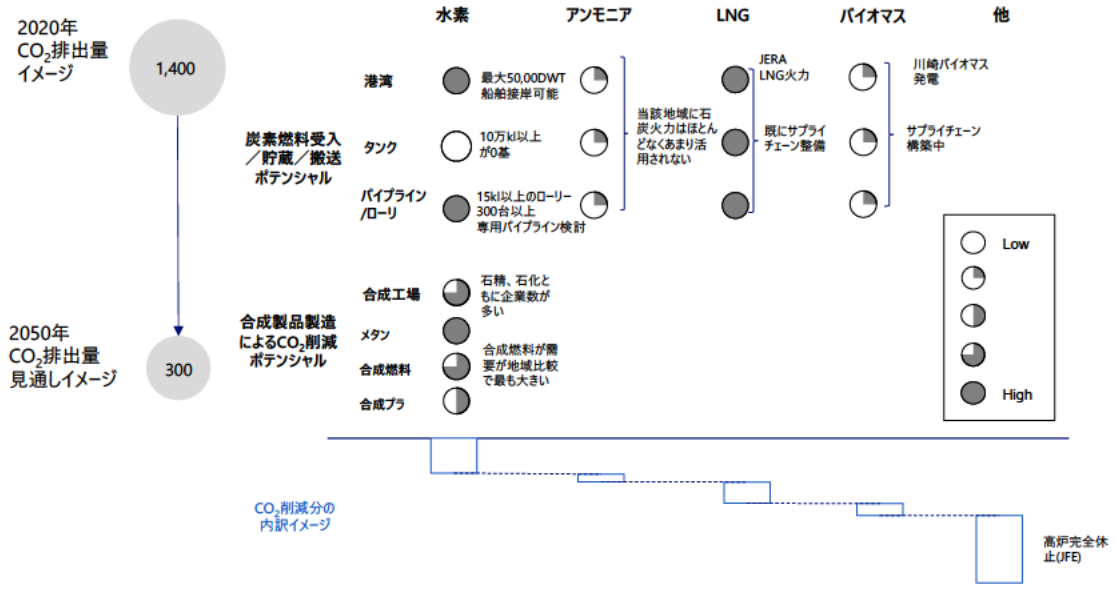
③　川崎

川崎コンビナートでは、以前から水素を活用した取組に注力しており、水素パイプライン設置も検討されている。港湾は 50,000DWT の大型船舶が着岸できる港湾が整備されているものの、10 万 kl 以上のタンクは設置されていない。水素専用パイプライン設置が検討され、15kl 以上の大型ローリーが 300 台以上稼働していることから、タンクが無くても高稼働で水素を受入・搬送することが考えられる。

当該地域には東燃化学など主要化学メーカーも集積しており、合成燃料の開発及びスケールアップが期待される。また、発電所の多くは LNG 火力となっており、水素混焼による CO_2 排出量の削減、川崎バイオマスの活用などで多様な形でのカーボンニュートラル化が期待される。

また、CO_2 排出量の多い JFE スチールの高炉が休止されることで、2050 年には CO_2 排出量が大きく削減されると推計される。

需要側で見ると、合成製品としてのメタンや合成燃料の需要が高い地域である。大都市圏で都市ガスのインフラ整備が進んでいることもあり、メタネーションで合成したメタンを、産業用途のみならず都市ガスとして利用することが期待される。



出所）野村総合研究所作成

図 28　川崎コンビナートのカーボンニュートラル化のポテンシャル

④　中京

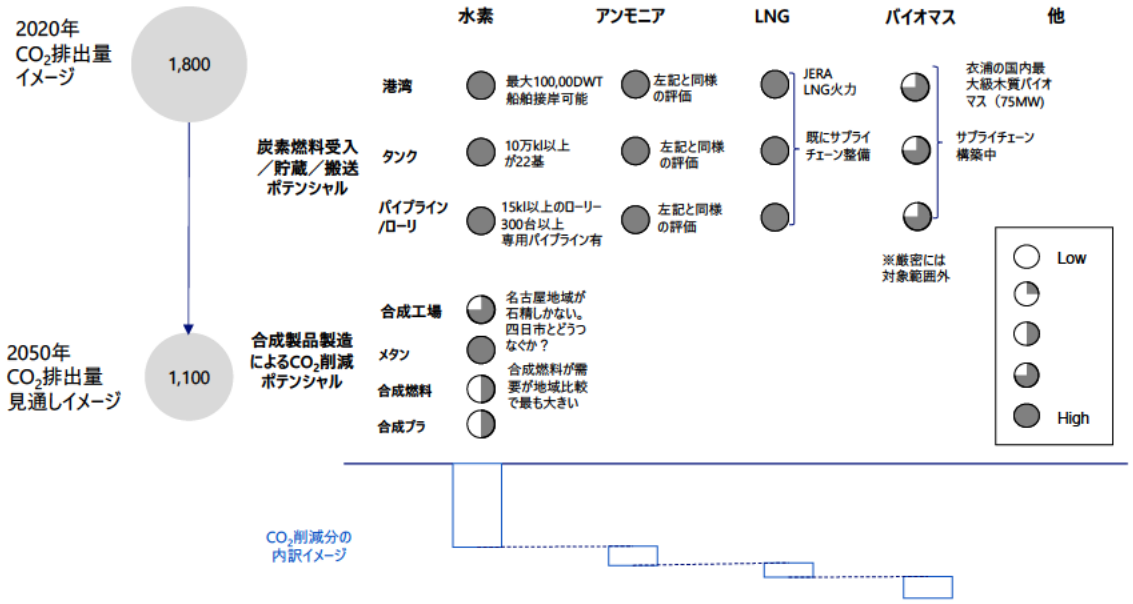
中京コンビナートでは、名古屋港南部と四日市コンビナートのリソースを有効に活用でき、大量の水素やアンモニアを調達できるだけでなく、それらを多くの企業で活用することができる。

港湾では、コンビナート内では最大規模の 100,000DWT の船舶が着岸できる港湾が整備されており、10 万 kl 以上のタンクも合計で 22 基設置されている。また、15kl 以上の大型のローリーも 300 台以上稼働し、水素パイプライン設置が検討されていることから、大量の脱炭素エネルギーの対応が可能となる。

加えて、当該地域における石炭火力向けのアンモニア（主に製鉄所の自家発電）、JERA の LNG 火力（混焼・専焼）向けの水素等、エネルギー側においても大量の需要が期待できる。さらには、国内最大規模のバイオマス発電も有しており、カーボンニュートラル化の大きな動きが期待できる。

合成製品を製造する企業を見ると、四日市の石油化学を活用することで、大きな生産体制の構築が期待できる。

需要側で見ると、他地域と比較すると合成メタン、合成燃料、合成プラスチック製造いずれも当該地域において大きな需要を持つ。大量に調達した水素と回収した CO_2 とを用いてこれらの合成製品を製造することで、大量の CO_2 を回収できるポテンシャルを持つ地域として期待される。



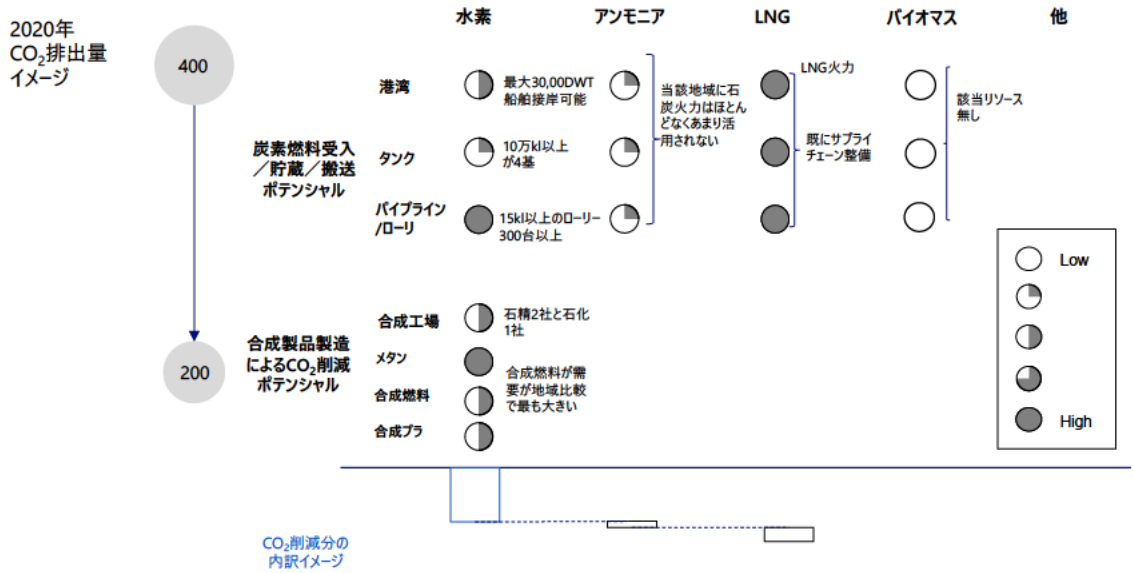
出所）野村総合研究所作成

図 29　中京コンビナートのカーボンニュートラル化のポテンシャル

⑤　堺・泉北

堺・泉北コンビナートでは、30,000DWT の船舶が着岸できる港湾が整備され、10 万 kl 以上のタンクも合計で 4 基設置されている。また、15kl 以上の大型のローリーが 300 台以上稼働していることから、大量の脱炭素エネルギー受入は対応可能と考えられる。合成製品を製造する石油精製、石油化学の企業が限られているものの、関西広域連合エネルギー検討会の「将来における関西圏の水素サプライチェーン構想」では水素発電に注力しており、大規模ガスタービン発電所が立地するエリアとして将来的に水素専焼による CO_2 排出量の大幅な削減が期待されている。また、この構想の中ではパイプラインの設置やローリーによる水素搬送、工場向け燃料電池や火力発電への水素専焼など、発電向けの大量の水素活用検討が行われている。

需要側で見ると、他地域と比較すると都市部に近いこともあり、メタンの需要が相対的に大きく、家庭向けも含めた合成メタン供給により CO_2 活用を推進することが期待される。堺市が 2022 年 1 月に設定した「グリーンイノベーション投資促進補助金」[19]では、カーボンニュートラルに関連する研究所や生産拠点整備や設備導入に関する補助金交付が検討されており、合成燃料の製造等も補助対象として含まれている。こうした点を踏まえると、合成燃料の拡大も将来的に大いに期待できると考えられる。



出所）野村総合研究所作成

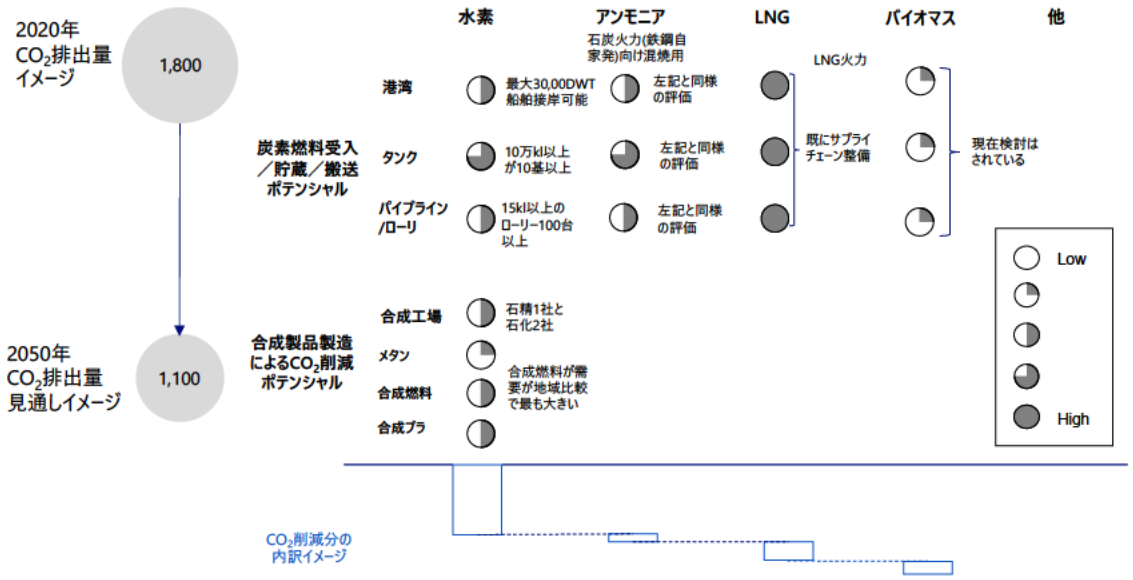
図 30　堺・泉北コンビナートのカーボンニュートラル化のポテンシャル

19 堺市「グリーンイノベーション投資促進補助金」2022 年 1 月更新
https://www.city.sakai.lg.jp/sangyo/shienyuushi/kigyoricchi/green_innovation.html

⑥　水島

水島コンビナートでは、30,000DWT の船舶が着岸できる港湾が整備され、10 万 kl 以上のタンクを合計で 10 基以上設置している。また、15kl 以上の大型のローリーが 100 台以上稼働し、大量の脱炭素エネルギーを受け入れる体制があるといえる。ENEOS の水島製油所の原油処理能力は、約 35 万バレル／日と他製油所に比べて大きく、原油処理に伴い製造される副生水素も約 500 万 N ㎥／日と大きい。ハイパー＆グリーンイノベーション水島コンビナート総合特区にて行われている「オフガスハイウェイ・水素ハイウェイ広域整備事業」では大量の副生水素を搬送するパイプライン網設置の検討を行っている。こうした取組は、今後の大量の水素を搬送するリソースとして非常に有効と考えられる。

需要側で見ると、複数の石油精製、石油化学の企業が立地しており、中でも ENEOS の水島製油所は 2004 年からの廃棄プラスチック油を石油製品に再生する実証実験を行っている。こうしたリソースを活用することで、将来的に水素と CO_2 を原料とした合成燃料及び合成プラスチックの製造が期待できる。



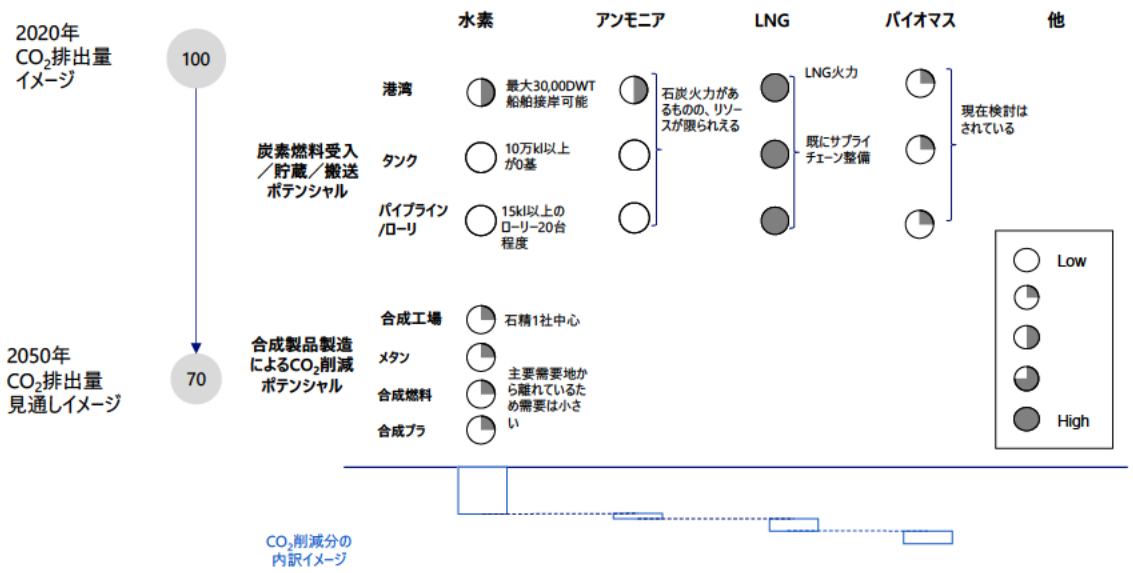
出所）野村総合研究所作成

図 31　水島コンビナートのカーボンニュートラル化のポテンシャル

⑦　岩国・大竹

岩国・大竹コンビナートでは、30,000DWT の船舶が着岸できる港湾が整備されるものの、10 万 kl 以上のタンクは設置されていない。企業があまり密集しておらず、港湾の規模やタンク及びローリーの台数なども規模は小さい。

需要側をみると、主要な企業も石油精製 1 社であるものの、山口県産業戦略部が検討している「カーボンニュートラルの実現に向けた取組について」では、既存の製油所を活用した合成燃料精製の可能性を検討しており、岩国・大竹コンビナートも対象として含まれている。規模は小さいながらも、カーボンニュートラル関連の取組として LNG への水素混焼・専焼や、製油所を活用した合成燃料製造などが期待される。



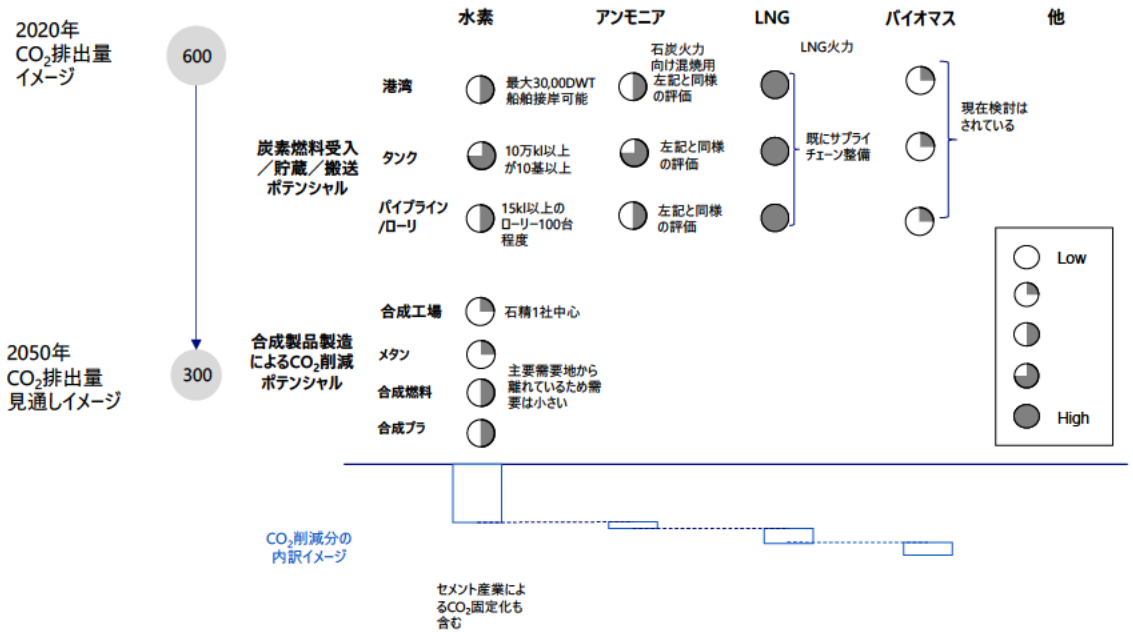
出所）野村総合研究所作成

図 32　岩国・大竹コンビナートのカーボンニュートラル化のポテンシャル

⑧ 周南

周南コンビナートは、30,000DWT の船舶が着岸できる港湾が整備されており、10 万 kl 以上のタンクが 10 基以上設置されている。15kl 以上の大型のローリーが 100 台以上稼働しており、セメント産業の脱炭素化に向けて、外部からの水素調達・活用が期待できる。また、石炭火力が立地することから、脱炭素エネルギーとして水素のみならずアンモニアの調達・活用の比重も高いと考えられる。実際、セメント製造プロセスから排出される大量の CO_2 と苛性ソーダ製造から生じる副生水素を活用することでメタノールやオレフィン合成が検討されている。

需要側で見ると、合成燃料と合成プラスチック市場は大都市圏ほどではないものの一定規模あることから、メタノールを活用した合成燃料や合成プラスチック製造による CO_2 削減は期待できる。併せて、セメント製造プロセス内での CO_2 排出量削減と、石炭火力のアンモニア混焼による CO_2 排出量削減効果とで大量の CO_2 排出量削減が今後期待される。



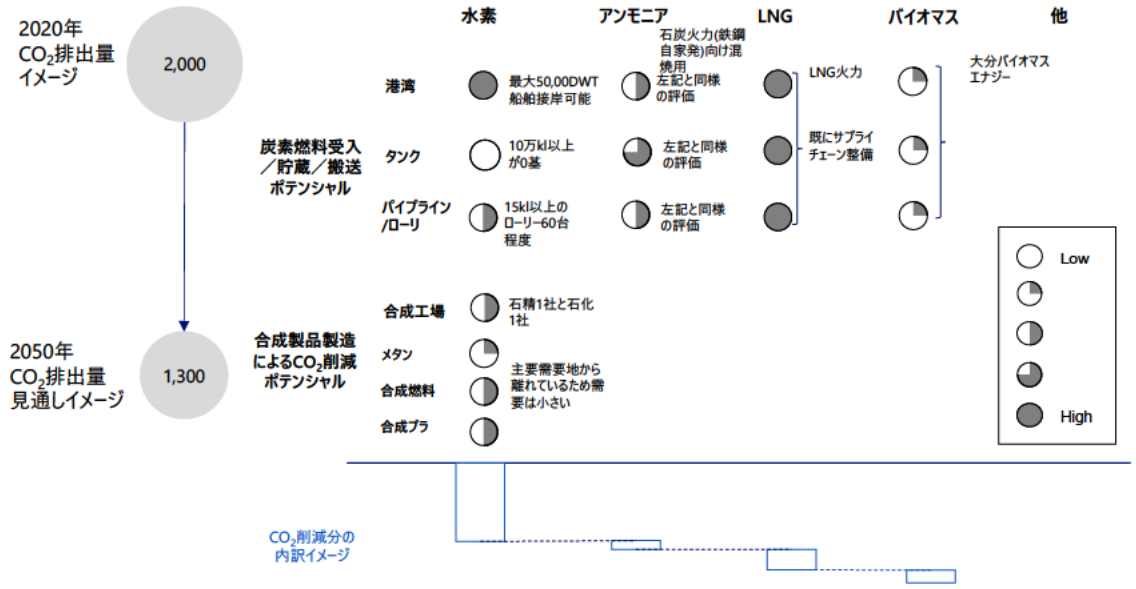
出所）野村総合研究所作成

図 33 周南コンビナートのカーボンニュートラル化のポテンシャル

⑨　大分

大分コンビナートでは、50,000DWT の船舶が着岸できる港湾が整備されている。港湾の規模は大きいものの、10 万 kl 以上の大型のタンクは設置されていない。15kl 以上の大型のローリーは 80 台以上稼働している。鉄鋼から排出された大量の CO_2 を原料とする合成燃料を製造する石油化学メーカーは少ない。大分コンビナートのカーボンニュートラル化の取組では、大分県エネルギー産業企業会による「水素関連産業分科会」など地熱活用で製造した水素や副生水素を活用し、燃料電池として自動車や定置用発電機として活用する提案等が中心となっている。

需要側で見ると、合成燃料と合成プラスチック市場は大都市圏ほどではないものの一定規模あることから、燃料電池活用による CO_2 削減のみならず、CO_2 を原料として用いる合成燃料製造や合成プラスチック製造による CO_2 排出量削減が今後期待される。



出所）野村総合研究所作成

図 34　大分コンビナートのカーボンニュートラル化のポテンシャル

（２） カーボンニュートラルポート（CNP）の有効活用方法

CNP は、水素やアンモニアをはじめとする脱炭素エネルギーを大量に海外から調達する輸入拠点として、そして港湾からのコンビナートをはじめとする各需要地への搬送機能を持つ。

コンビナートごとに進捗が異なるものの、ほぼ全てのコンビナートでは CNP との連携検討が始まっている。先行している取組の多くは、水素やアンモニア、LNG などのカーボンニュートラル関連の活動を行っており、海外からこれら燃料を調達するために CNP の検討を行っている。CNP が期待されている役割は大きく 3 つあり、港湾・物流の高度化、港湾・空間の高度化、その他 CCS 等の機能の強化が挙げられる。

具体的にみると、港湾・物流機能の高度化では、大量の水素やアンモニア、LNG を受け入れ、需要地に供給する拠点としての機能強化が挙げられる。各コンビナートでは、炭素循環マテリアルの大量調達及び活用が将来的に必須となるため、港湾・物流機能の高度化ほぼ全てのコンビナートにて検討が行われている。

加えて、ブルーカーボン生態系の取組、洋上風力発電の導入を踏まえた脱炭素化の推進も行われている。ブルーカーボン生態系は川崎の脱炭素化の取組の一環として、洋上風力発電は鹿島・千葉などにて検討が行われている。

CCS は、まだ日本国内では一部の地域で検討・実証がなされている状況となっている。

表 5　各コンビナートでの CNP の取組

		鹿島	千葉	川崎	中京	堺・泉北	水島	岩国・大竹	周南	大分
CNPの取組		・鹿島港カーボンニュートラルポート形成計画策定WGとしての具体的な活動を実施。2021年度内に計画作成の予定としている。	・千葉港や木更津港にてCNPに向けた検討を開始している。	・横浜港・川崎港カーボンニュートラルポート形成推進会議をすでに立上げ、水素やアンモニア等の需給一体体制を整えると共に、港湾機能の高度化や臨海部における環境整備を行っている。	・名古屋では名古屋港カーボンニュートラルポート検討会として具体的な活動を実施。 ・水素利活用を軸とした取組を実施している。 ・四日市ではCNPに向けた検討は行っている様子。	・大阪"みなと"カーボンニュートラルポート検討会が2022年1月に発足した。 ・水素、アンモニア等の需要と供給体制を一体的に創出することを目的とし、主要企業に加えて、物流会社、海運会社、大学、近畿運輸局が参加し、大阪港湾局及び近畿地方整備局が事務局とした構成として具体的な活動を実施している。	・CNP関連としての明確な活動はこれから検討を行う様子。	・広島県（大竹市）、山口県（岩国市）をまたがっていることもあり、岩国・大竹としてCNP関連として明確な活動は見られない。	・徳山下松港カーボンニュートラルポートと連携しており、水素やアンモニア等の輸入・供給拠点としての連携、パイプラインを用いた供給網の確立などの検討を通じ、CNK向けの脱炭素エネルギー及び炭素循環マテリアル供給をシームレスに行う取組を検討	・大分港にてCNPの検討会を開始し、次世代エネルギー供給計画やその実現に向けた方策検討、CO2排出量削減計画に向けたロードマップの策定などを検討している。この中で、コンビナート内の企業同士が次世代エネルギーの利用を検討し、連携することを推進する見通しである。
港湾・物流の高度化	港湾を経由した水素・アンモニア等の利活用	石炭火力、LNG火力における水素、アンモニア需要検討	千葉港や木更津港で検討を開始	横浜港と共に検討を開始	名古屋港でのCNP検討を実施。中部圏水素利活用協議会との連携	大阪みなとカーボンニュートラルポートとして検討中	これから本格的ンな活動を、国際バルク港湾戦略も踏まえて検討	—	徳山下松港カーボンニュートラルポート検討会を実施	大分港カーボンニュートラルポート検討会を開催
	水素等の活用の検討	洋上風力を用いた水素製造をはじめ、製鉄所での水素活用などを検討	水素の貯蓄体制と搬送手段等のポテンシャル検討	川崎市の水素戦略に基づき、共同輸送の取組なども検討	名古屋港内での水素パイプライン敷設の検討	水素及びアンモニア供給の一体拠点	港湾内での明確な活動はこれから検討を行う様子	水素フロンティア山口推進構想に基づく活動を実施	水素フロンティア山口推進構想に基づく活動を実施	水素関連産業分科会との連携は行っている
	LNGバンカリング拠点の形成	LNGではないが、水素やアンモニアの受入体制を準備	既にカーボンニュートラル化に向けてLNG受入設備を構築	横浜港でのLNGバンカリング船から船舶へのLNG供給を検討	ポートアイランドでのLNGバンカリング拠点を構築	LNGバンカリングは今後検討を行う様子	LNGバンカリングは今後検討を行う様子	LNGバンカリングは今後検討を行う様子	LNGバンカリングは今後検討を行う様子	LNGバンカリングは今後検討を行う様子
港湾・空間の高度化	ブルーカーボン生態系の活用可能性の検討	—	—	ブルーカーボンを新規事業として位置付けた取組を検討	—	—	—	—	—	—
	洋上風力発電の導入・脱炭素化の推進	洋上風力を用いた水素製造への適用 港湾内での洋上風力発電事業の検討等	洋上風力の活性化を促す取組の実施	—	—	—	—	日本海側での強化は検討	—	—
その他	CO_2回収拠点としての可能性(CCSとして搬送等)	沿岸部にCCSを検討しているものの、表立った活動はこれから	—	—	—	—	—	—	—	—

出所）各種資料より野村総合研究所作成

４．海外における先行事例調査・分析

コンビナートにおけるカーボンニュートラル化の取組について、欧州・米国では、水素利用や CCS など複数の取組が既に始められている。

ここでは、日本と同様に港湾地域に重化学産業が立地しているオランダのロッテルダム、ベルギーのアントワープと、内陸部の産炭地域に立地しているドイツのケムパーク、大規模な CO_2 輸送導管網が既に整備されており大規模な CCS の開発計画があるテキサス州を例にとり、カーボンニュートラル化に向けた取組における工夫点や示唆について分析を行った。

表 6　対象とした海外の先行事例

	主要企業	特徴
ロッテルダム（オランダ）	• エア リキード • エクソンモービル • シェル • トタル	• 枯渇油田が近郊の北海に存在することから、CCSの実現による温室効果ガス排出量削減を計画している • また、北西ヨーロッパにおける水素の輸入 生産のハブとなることを目指している
アントワープ（ベルギー）	• エア リキード • BASF • エクソンモービル • トタル	• 付近にCCSを実施できる環境がないことから、生じたCO_2を外部に輸送する想定で、CO_2の液化 貯蔵施設やパイプラインの敷設を計画している • CCUSの一環として、グリーンメタノールの製造も検討している
ケムパーク（ドイツ）	• エア リキード • エボニック • ランクセス	• コンビナートにおけるユーティリティの供給を、コンビナート運営会社であるクレンタが一括して担うことで、コンビナートの競争力を高めている
テキサス（アメリカ）	• エクソンモービル • オキシデンタル • タロス エナジー	• 枯渇した油田なども含めて、CCS／CCUSに適した地層が付近に立地することから、古くからEORなどの取組が行われている

出所）各種資料より野村総合研究所作成

ヒアリング結果の概要は以下のとおり

表 7　ヒアリング結果の概要

ロッテルダム（オランダ）	• 欧州で民間企業が脱炭素化に取り組んでいる背景としては、経済的な要因が大きい。EU ETS*1のみでなく、オランダでは独自の炭素税が課されており、政府からの強力なプレッシャーがある。 • オランダではSDE*2という補助金制度があるが、政府は競争的な補助を好むため、補助金の獲得には応募・採択が必要となる。 • ロッテルダム港はカーボンニュートラルに向けた取組のファシリテーターとして機能しており、その他の立地企業は技術的な検討を主導している。 • 大規模プロジェクトにおいては、参加企業の経営層によるステアリングコミッティが組成され、トップダウンで取組を進めている。
アントワープ（ベルギー）	• アントワープは、2010年ごろに域内のコンビナート投資が減少したことを契機として、従来の受動的な経営から、課題解決のために主体的に動く経営方針への変化している。課題を把握するため、域内の企業に対してヒアリングを実施している。 • ロッテルダム港とはライバル関係にあるが、石油・化学品のパイプラインを通じた授受においては、協力体制を構築している。 • 電源に占める再生可能エネルギーの割合が高いため、電力価格が高くなっている。今後、域内の原子力発電の停止により、更なる電力価格の高騰が予見されており、各社の撤退につながらないか懸念している。
ケムパーク（ドイツ）	• 各企業が脱炭素化に取り組むモチベーションは、企業として生き残るため。①CO_2排出量取引制度(ETS) ②政府からの補助金 ③商品競争力、の3点が特に主要な理由となっている。 • ケムパークではユーティリティの老朽化が進んでおり、その更新時に脱炭素化への投資も行っている。 • CCSに関しては、周辺に適した土壌が少なく、また、国民からの反発が大きいことが想定されるため、ドイツ周辺で実施することは現実的ではない。ロッテルダムまでパイプラインでCO_2輸送してCCSする計画もあるが、コスト面が課題となる。 • ドイツでは製品ごとにM&Aを進めることで、過当競争がなくなり、強靭な競争力を得ている。
テキサス（アメリカ）	• テキサス州は「小さい政府」が望ましいと考えている。そのため、法人税などの負担は少ない代わりに、各社の対応に任せる方針となっている。そのため、カーボンニュートラルに対して政府からの支援はほとんどなく、現状のCCS／CCUSの取組は個社単位が基本となっている。 • エクソンモービルは、自身が主体となり複数の民間企業を巻き込む大規模なCCSプロジェクトの構想を最近掲げた。現時点で政府からの支援は決まっていないが、民間企業のみの投資で計画を実現するのは難しく、ロビイング活動が行われていると考えられる。 • テキサスはその地理的な特性から、太陽光発電が盛ん。かつては経済的な優遇を理由とする参入であったが、直近は価格競争力が上がっているため、事業性を見込んだ参入も多くなっているのではないか。

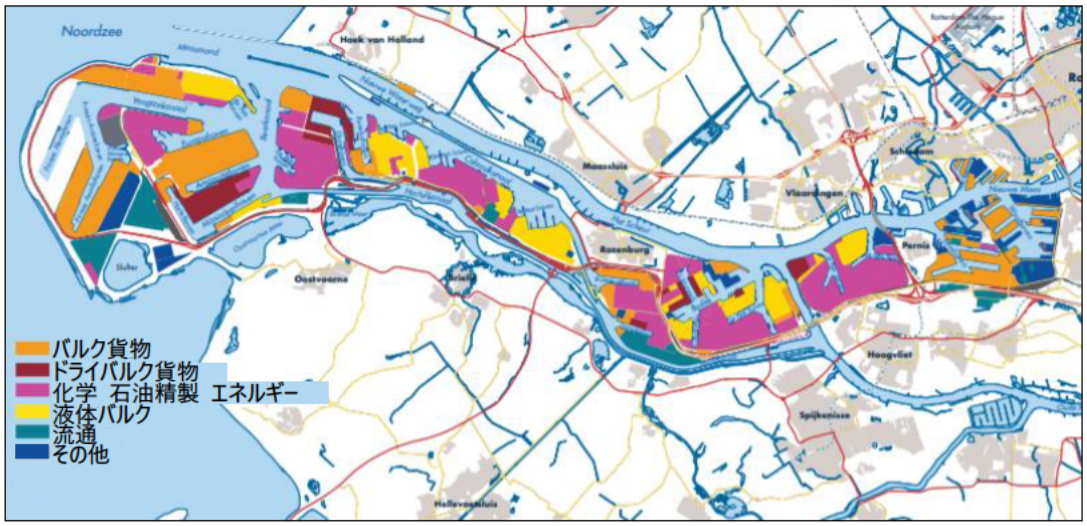
出所）ヒアリング調査より野村総合研究所作成

1）　ロッテルダム

事例概要

オランダでは、1990 年を基準として、2030 年に 49%、2050 年に 95%の温室効果ガス排出量の削減[20]を目指している。枯渇油田が近郊の北海に存在することから、CCS の実現による温室効果ガス排出量削減を目指している。

その中で、オランダの主要港の一つであるロッテルダム港（Port of Rotterdam）は、貨物の荷役設備だけでなく、化学・石油精製・エネルギーなどの重化学工業や倉庫等の流通インフラが立地しており、オランダの中でも温室効果ガス排出量が多い地域となっている。このため、ロッテルダム港湾公社（Port of Rotterdam Authority）では、CCS／CCUS の実現、水素化・電化の推進、燃料・原料のグリーン化を進めようとしている。



出所）ロッテルダム港湾公社“Facts&Figures”より野村総合研究所作成

図 35　ロッテルダム港港湾区域の土地利用

表 8　ロッテルダム港の CN 化に向けたアプローチ

想定期間	カーボンニュートラルに向けた取組
～2025 年	余剰エネルギー活用による効率化、CCS／CCUS 実現
2020～2030 年	工業的に持続可能な水素化・電化されたエネルギーシステムの確立
2030～2050 年	燃料・原料のグリーン（水素・バイオマス等）化（ただし、水素の 90%は他地域からの輸入を想定）

出所）ロッテルダム港湾公社“THREE STEPS TOWARDS A SUSTAINABLE INDUSTRY CLUSTER ROTTERDAM-MOERDIJK IN 2050”より野村総合研究所作成

[20] The Fovernment of Netherlands “Climate Poicy”
https://www.government.nl/topics/climate-change/climate-policy

ロッテルダム港ではカーボンニュートラル対策として生じた CO_2 をパイプラインで北海の枯渇したガス田に注入して貯蔵する「Port of Rotterdam CO2Transport Hub and Offshore Storage（略称：ポルトス（Porthos））プロジェクト」と、化石燃料からブルー水素の製造と生じた CO_2 の回収・貯蔵を行う H-Vision という二つのプロジェクトを計画・実行している。

ポルトスプロジェクトは、ロッテルダム港湾公社（Port of Rotterdam Authority)、ガスニー（N.V. Nederlandse Gasunie)、EBN（Energie Beheer Nederland、オランダ国営の石油・ガス会社）が事業主体になり、エクソンモービル（Exxon Mobil Corporation)、シェル（Shell)、エア・リキード（Air Liquide)、エア・プロダクツ（Air Products）の石油関連4社が参画し、ロッテルダム港の工業地帯で排出された CO_2 をパイプラインで輸送し、北海の空のガス田に貯蔵するプロジェクトである。

このプロジェクトの年間の CO_2 処理能力は 2.5 百万トン（15 年間で計約 37 百万トンを予定）であり、臨海部及び内陸部で発生した CO_2 を洋上の CCS に向けて積み出すための拠点整備が進められている。複数の企業から排出される CO_2 を対象としており、単独の企業による整備と比較してコスト的なメリットが大きいといわれている。

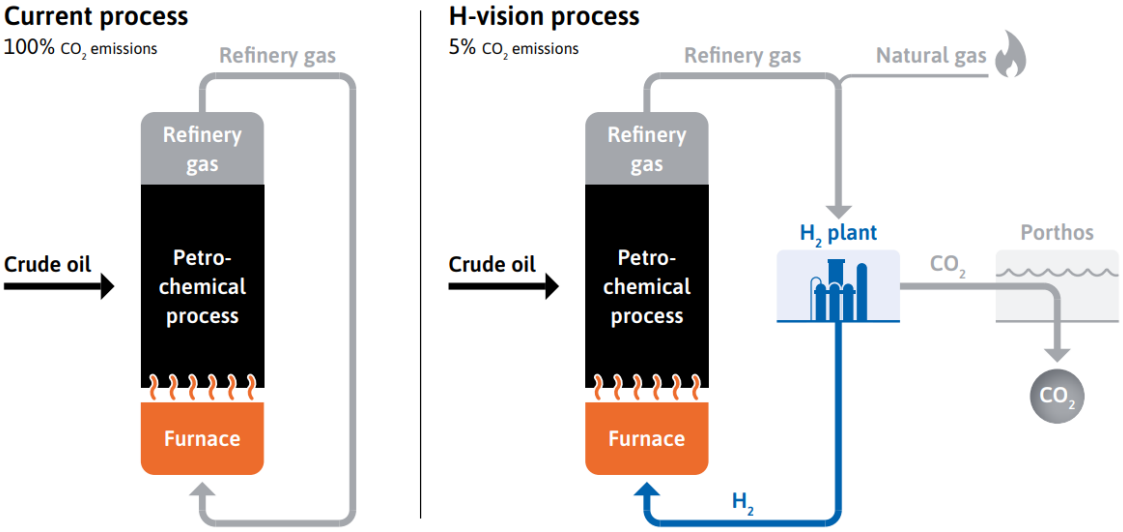
出所）ポルトスプロジェクト説明資料より野村総合研究所作成

図 36　北海洋上 CCS ポルトスプロジェクトの概要

ポルトスプロジェクトがパイプラインによって CO_2 を輸送するのに対して、ノルウェーでは回収した CO_2 を液化し、輸送船で埋設のための受け入れ基地まで輸送する「ノーザンライツ（Northern Lights）プロジェクト」[21]も実現に向けて建設工事が進められている。各国の地理的特性に応じた脱炭素燃料、回収した CO_2 の輸送インフラを構築する必要性を示唆している。

一方、H-Vision は、デルタリンクス（Deltalinqs）、ロッテルダム港湾局、エクソンモービル、シェル、エア・リキード、エア・プロダクツ、BP（British Petrolium）、ガスニー、オニックスパワー（ONYX Power）、EBN、エクイノール（Equinor）、ユニパー（Uniper）、ヴォパック（Royal Vopak）が参画しており、北西ヨーロッパにおける水素の輸入・生産のハブとなることを目指しているプロジェクトである[22]。

H-Vision プロジェクトでは、従来、熱源として用いていた副生ガスから水素を製造し、この水素を製油所や化学プロセスに用いることとしている。また、副生ガスから水素を製造する際に発生する CO_2 は、製造過程から回収し、北海の枯渇ガス田に埋めることとされている。



出所）H-Vision 資料[23]

図 37　H-vision のブルー水素製造プロセスイメージと既存プロセスの比較

[21] ノーザンライツ「Accelerating decarbonisation」
https://northernlightsccs.com/
[22] H-Vision「Met koolstofarme waterstof van H-vision kan de industrie de CO2 -uitstoot van restgassen fors verminderen」
https://www.h-vision.nl/application/files/2216/4543/3278/HVI-011_onepagernl_01-22_v6.pdf
[23] H-Vision「H-vision: a unique approach to low-CO_2 hydrogen」
https://www.h-vision.nl/application/files/4016/1894/2645/HVI-008_position_paper_EN_04-21_DEF.pdf

出所）H-Vision 資料[24]より野村総合研究所作成

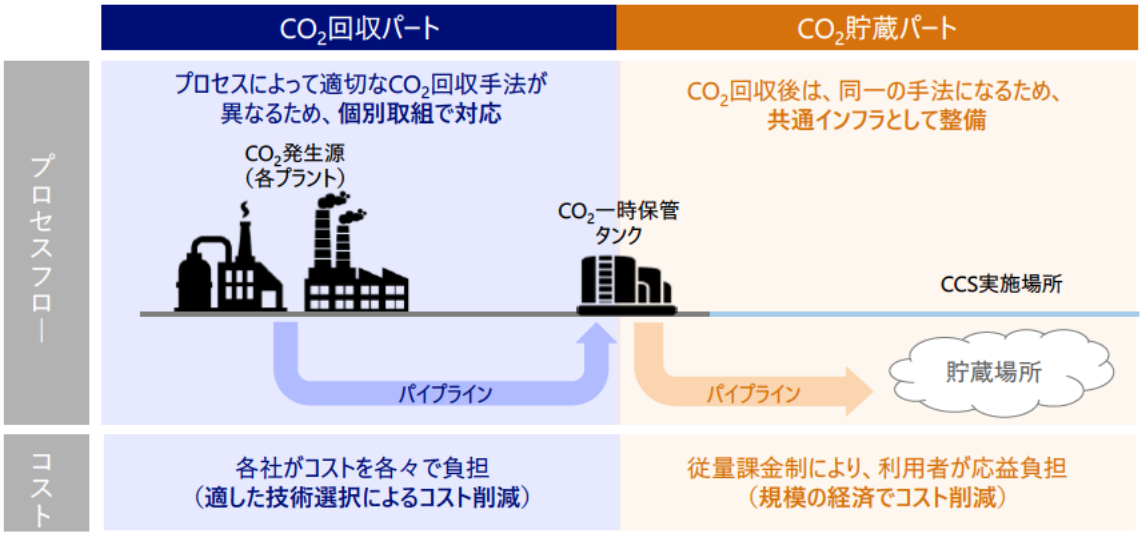
図 38　ロッテルダム港のブルー水素製造・輸送インフラ案

ポルトスプロジェクトやノーザンライツプロジェクトの例にみられるように、産業集積地域に隣接した主要港湾が、産業集積地域内での脱炭素化の取組だけでなく、産業集積地域を超えた脱炭素化の取組のための基点になっている。四方を海に囲まれた日本では、陸上だけで脱炭素化の取組が完結することは難しく、海洋や諸外国との連携による脱炭素化の取組が必要である。この際に、先行する欧州での産業集積地が行う隣接する港湾も含めた取組は参考になる。

事例からの示唆

ポルトスプロジェクトでは、技術特性を踏まえた個別取組と共通インフラについて、異なる費用負担構造を取り入れている。産業集積地域からリサイクルできない CO_2 を回収し、廃坑に埋めるプロジェクト（CCS）は、CO_2 の回収部分（Carbon Capture）と CO_2 を埋める部分（Carbon Storage）は異なる経済性を備えたプロジェクトであるため、費用の負担方法を変えている。

[24] H-Vision「Blue hydrogen as accelerator and pioneer for energy transition in the industry」https://www.h-vision.nl/application/files/7316/0726/0879/H-vision_Eindrapport_Blue_hydrogen_as_accelerator.pdf



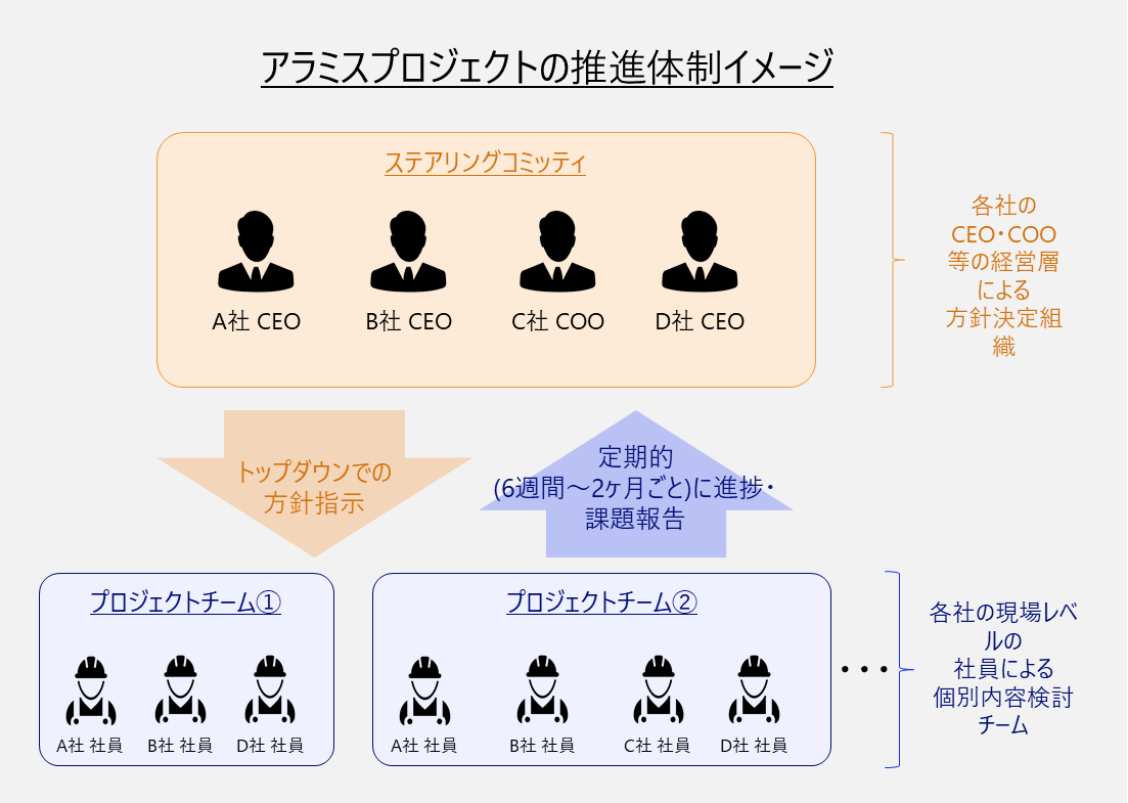
出所）野村総合研究所作成

図 39　洋上 CCS ポルトスプロジェクトにおける個別取組と共通インフラ

既に多くの脱炭素関連のプロジェクトが動き出している欧州では、脱炭素対策の設備・インフラ整備における経済性を考慮した事業モデルの設計が行われ始めている。日本においても、個社の取組を超えて複数のバリューチェーンで協働して取り組むプロジェクトや、面的、空間的な取組が必要なプロジェクトにおいては、ポルトスプロジェクトのような事業モデルの設計、資金支援のあり方、主体間の役割分担について議論していく必要がある。

次に、欧州における複数の産業集積地域における低炭素・脱炭素プロジェクトには既に港湾管理者や国営及び民間エネルギー企業、民間石油化学企業など複数の主体が参画しており、運営上の工夫がされている。オランダのデンヘルダー(Den Helder)での CCUS プロジェクトであるアラミス（Aramis）プロジェクトは、トタルエネジーズ（Total Energies）・シェル・EBN・ガスニーが参加しているが、プロジェクトを推進する際に、各参加主体の意思決定者で構成されるステアリングコミッティや複数の主体の実務者で構成されるプロジェクトチームの組成をしている。ステアリングコミッティとプロジェクトチームの間で定期的な課題設定・報告会の実施などが定期的に行うことでプロジェクトを円滑に運営している。

個社の取組を超えて複数のバリューチェーンで協働して取り組むプロジェクトや、面的、空間的な取組が必要なプロジェクトにおいては複数の主体が参画することが当然である。海外の先行事例は利害関係の異なる複数主体間で円滑に意思疎通・検討・意思決定を行っていくような体制作りも重要であることを示唆している。



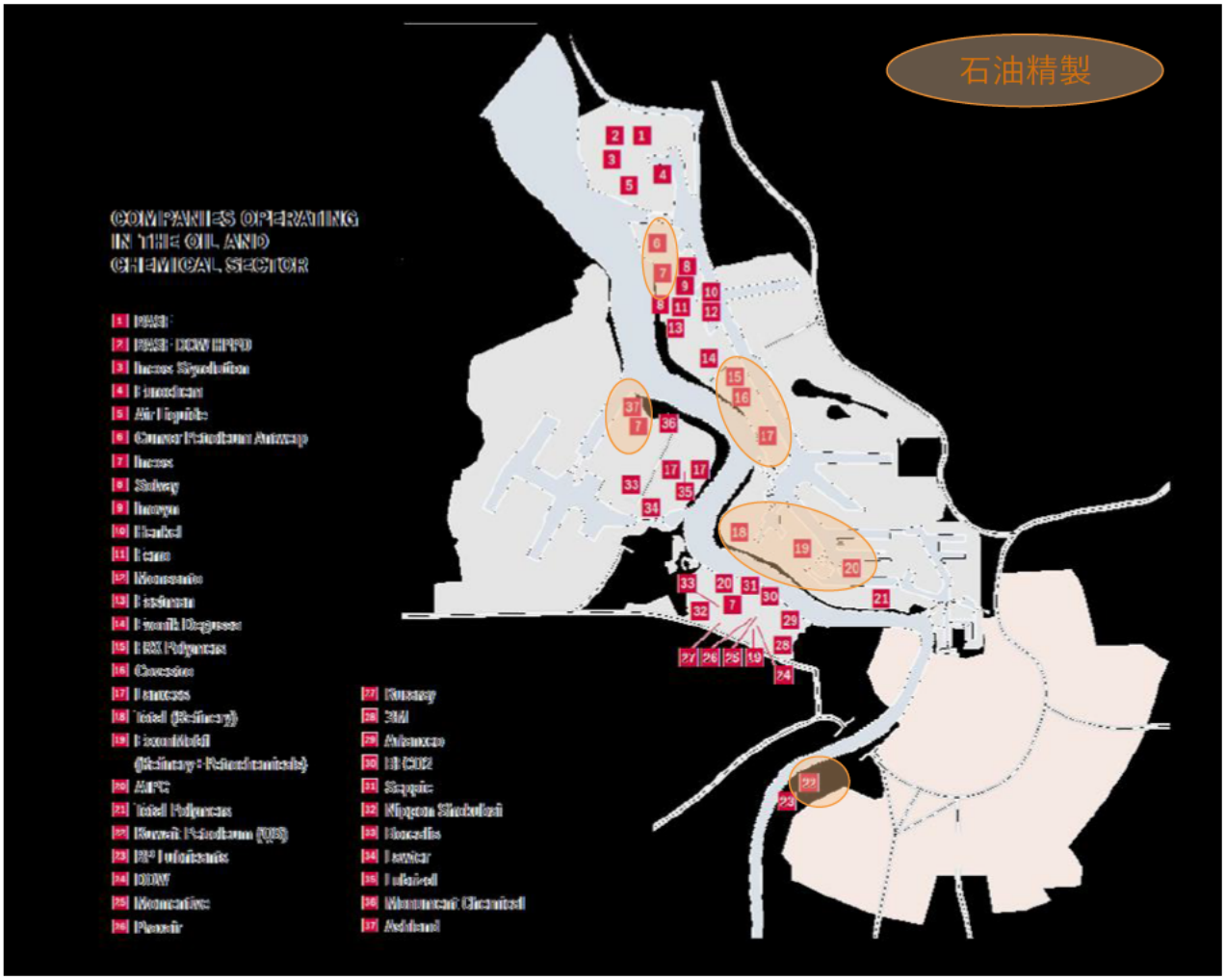
出所）野村総合研究所作成

図 40　複数主体間プロジェクトでのステアリングコミッティとプロジェクトチーム

2）　アントワープ

事例概要

アントワープの立地するフランダース地域では、2050 年までに 2005 年比で温室効果ガス排出量を 85%削減することを目標としている。また、アントワープ港湾公社（Antwerp Port Authority）は、2050 年までにカーボンニュートラル実現、2025 年までにメタノール・水素・電気等のバンカリングに対応したマルチ燃料港へ転換を目指している。ロッテルダム港と同様にアントワープ港も港湾区域内に石油精製、石油化学のプラントが多数立地しており、温室効果ガス排出量が多い地域となっている。



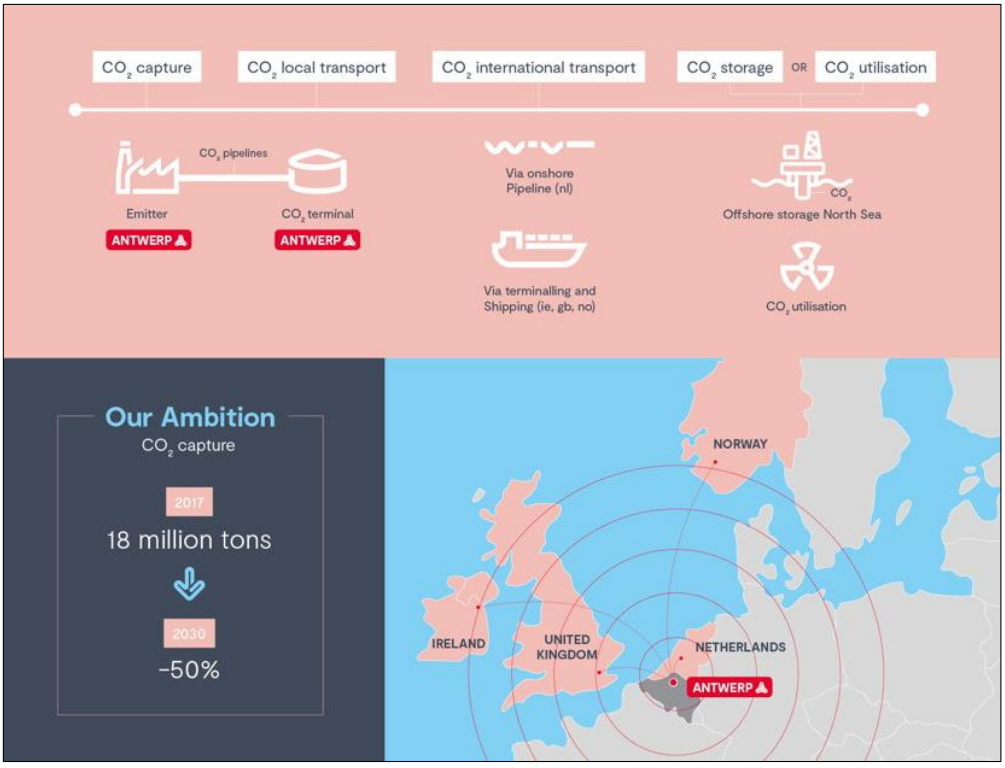
出所）アントワープ港湾公社資料より野村総合研究所作成

図 41　アントワープ港に立地する石油精製・石油化学産業

アントワープ港では、Antwerp@C プロジェクトと、Power to Methanol プロジェクトの二つのプロジェクトが取り組まれている。

Antwerp@C プロジェクトは、国境を跨ぐ輸送も加味した、産業由来の CO_2 の回収・再利用・輸送・貯留を検討するコンソーシアムで運営されており、エア・リキード、BASF、ボレアリス（Borealis）、エクソンモービル、イネオス（INEOS、イギリスの化学会社）、フルクシス（Fluxys、ベルギーのエネルギーインフラ会社）、アントワープ港湾公社、トタルエネジーズが参画している。

Antwerp@C プロジェクトでは、アントワープ港で発生する CO_2 をアントワープ港から船でノルウェー領海の北海の枯渇ガス田に輸送することや、パイプラインでロッテルダム港に輸送したのちにロッテルダム港から北海の CCS に輸送すること、埋めることを想定している。この一連の CO_2 の回収・輸送インフラの整備を行うプロジェクトが Antwerp@C プロジェクトになっている。現在、Antwerp@C プロジェクトは、EU の補助金等を活用し、実現可能性調査を終え、FEED と呼ばれるエンジニアリングを行う段階に入っている[25]。



出所）アントワープ港湾公社資料[26]

図 42　Antwerp@C プロジェクトの概要

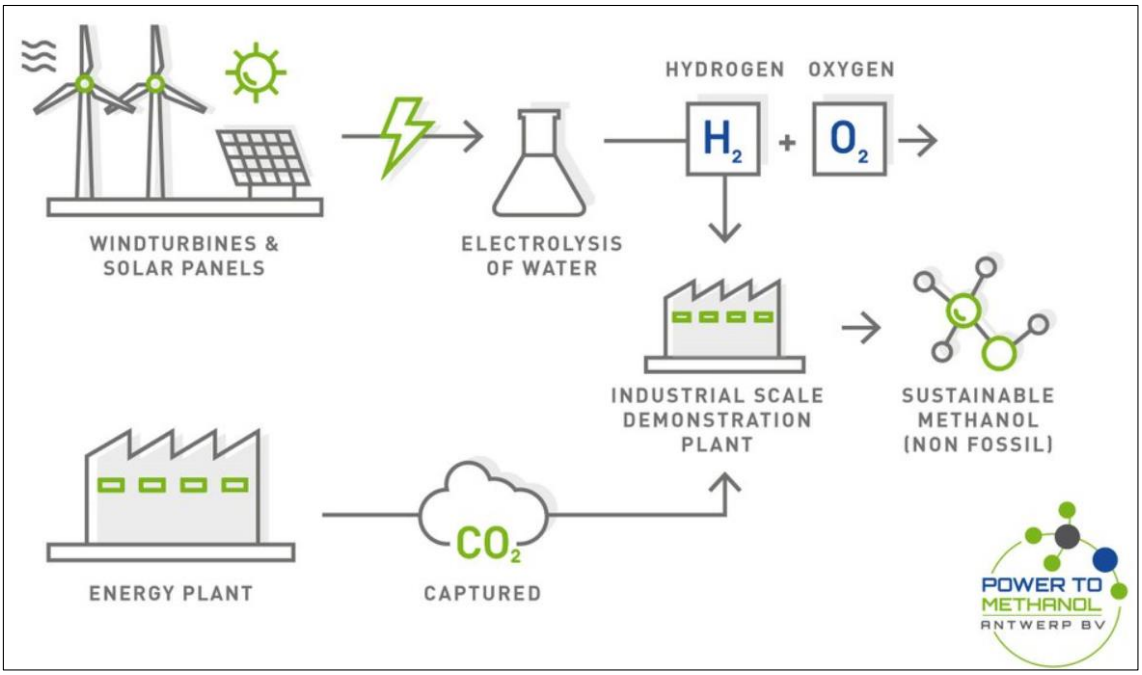
[25] イネオス「Antwerp@C project takes a major next step towards halving CO2 footprint」 https://www.ineos.com/sites/belgium/news-index/antwerpc-project-takes-a-major-next-step-towards-halving-co2-footprint/

[26] アントワープ港湾公社「Antwerp@C investigates potential for halving CO2 emissions in Port of Antwerp by 2030」 https://newsroom.portofantwerp.com/antwerpc-investigates-potential-for-halving-co2-emissions-in-port-of-antwerp-by-2030

Antwerp@C プロジェクトは、CO_2 輸送インフラプロジェクトであるが、Antwerp@C プロジェクトを利用する Kairos@C プロジェクトも立ち上げられている。Kairos@C は、運用の最初の 10 年間で約 14.2 百万トン CO_2 を削減する予定である。このプロジェクトにはエア・リキードと BASF が関わっている。

一方で、Power to Methanol プロジェクトは、回収した CO_2 と水素からメタノールを生産することを目指すコンソーシアムであり、2022 年までに試運転プラントの建設を予定している。エンジー（ENGIE、フランスの電気・ガス会社）、フルクシス（Fluxys）、インデイバー（Indaver、ベルギーの廃棄物処理会社）、イノヴィン（INOVYN、ベルギーの化学会社）、オイルタンキング（Oiltanking、ドイツの石油・ガスタンク会社）、ロッテルダム港湾局、フランダース政府（PMV）が参画している。

現在、メタノールは主に化石ベースの原材料を使用して製造されており、製造プロセスから CO_2 が発生している。アントワープの Power to Methanol プロジェクトでは、再生可能エネルギーから Power to Gas 設備で生成された水素と組み合わせて、産業プロセスから排出され、回収された CO_2 からメタノールを製造する。このプロジェクトでは、1 トンのメタノールが製造される際に発生していた 1 トンの CO_2 排出が回避され、メタノールとして再生する。このように製造されたメタノールは、海上輸送や道路輸送用の持続可能な燃料として利用されることが想定されている。



出所）Power to Methanol Antwerp B.V.[27]

[27] Power to Methanol Antwerp B.V.「THE FUTURE IS RENEWABLE AND CIRCULAR」
https://powertomethanolantwerp.com/

図 43　アントワープの Power to Methanol プロジェクトにおける反応プロセス

事例からの示唆

ポルトスプロジェクトの事例でも見られたように、カーボンニュートラル関連プロジェクトにおいて、公共性の高い CO_2 輸送インフラプロジェクト（Antwerp@C プロジェクト）と、各社が取り組む CO_2 の回収プロジェクト（Kairos@C プロジェクト）に分けてプロジェクトが進められている。

表 9　Antwerp@C と Kairos@C の参加者一覧

プロジェクト	参加者
Antwerp@C	エア・リキード、BASF、ボレアリス、エクソンモービル、イネオス、フルクシス、アントワープ港湾公社、トタルエネジーズ
Kairos@C	エア・リキード、BASF

３）　ケムパーク

事例概要

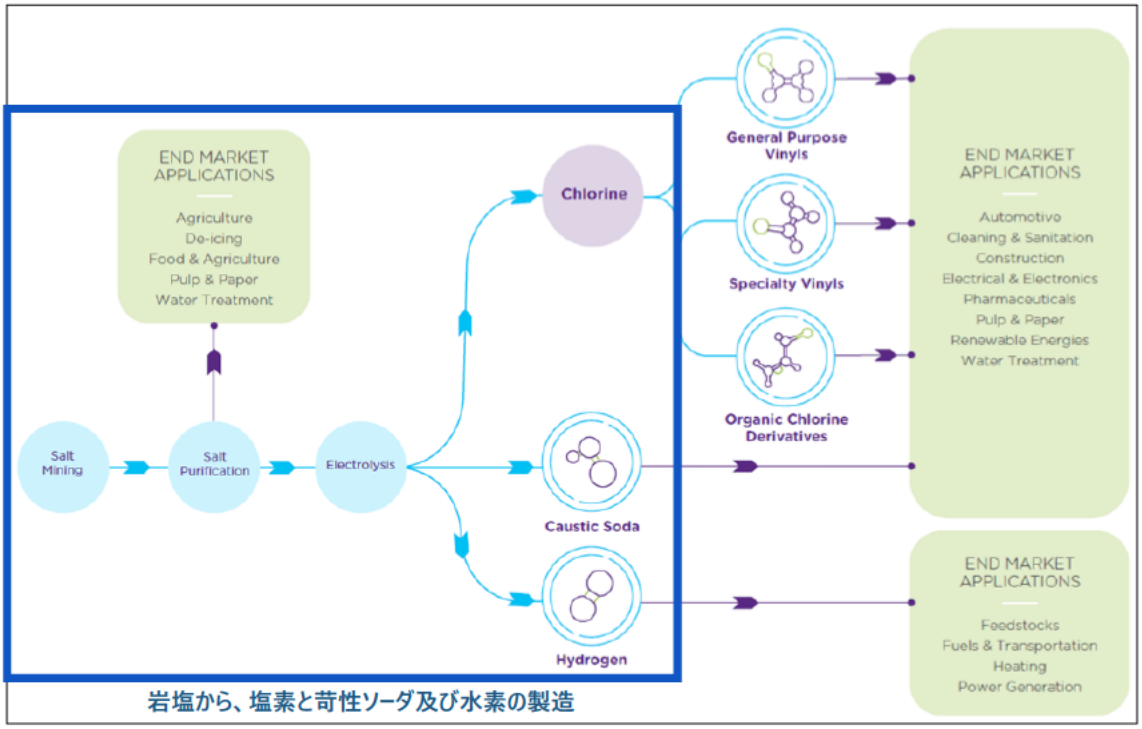
ドイツでは、2021 年 5 月に「気候保護法改正法案」を閣議決定し、2021 年 6 月にドイツ連邦議院で承認されている。同法では 2030 年には 1990 年比で温室効果ガス排出量の少なくとも 65%削減、2045 年に気候中立達成を目指すこととされている。

欧州大陸内陸部の産業集積地であるドイツのノルトラインヴェストファーレン州では、レバークーゼン、ドルマーゲン、クレーフェルト-ウアーディンゲンなど、複数の石油化学産業をはじめとする重化学工業の集積地が立地している。オランダのフローニンゲンガス田の閉鎖に伴う低熱量ガスパイプラインの閉鎖に伴い、低炭素・脱炭素対策として、低熱量ガス導管の水素導管への用途転換が検討されており、産業集積地域における水素供給インフラが整備されようとしている。

イネオスは、子会社のイノヴィンを通じて、ケルンのドルマーゲン工場でグリーン水素を製造するための大規模な電解槽を建設する計画を発表している。このプロジェクトでは、イノヴィンが立地しているケムパーク（CHEMPARK）のオペレーターであるクレンタ（Currenta GmbH & Co.）がプロジェクトに必要な送配電インフラ・水道などのユーティリティサービスを提供し、イノヴィンがグリーン電力でグリーン水素を製造したのち、グリーン水素をグリーンアンモニアに転換する計画になっている。このことにより、ケルンでの炭素排出量が年間 12 万トン以上削減される見通しである[28]。

イノヴィンは、欧州で最大の電解装置の設置・運用者であり、岩塩から塩を製造し、その水溶液を電気分解することで塩素と苛性ソーダと水素を製造している。また、カーボンニュートラルに向けてグリーン電力を活用し、電解装置の能力増強とグリーン水素の製造能力増強を図ろうとしている。加えて、ケルンのサイトでアンモニアだけでなく Power to Methanol にてメタノールを合成し、更にメタノールから合成燃料や化学合成品を製造する計画を検討中である。次図はこのプロセスを示したものである。なお、ノルウェーやイギリスの工場も同様に水素の供給拠点化することを計画している[29]。

[28] イネオス「INEOS green hydrogen project accelerates towards net-zero future in Germany by 2045」
https://www.ineos.com/businesses/inovyn/news/ineos-green-hydrogen-project-accelerates-towards-net-zero-future-in-germany-by-2045/
[29] イノヴィン「INOVYN Sustainability Report 2021」
https://www.inovyn.com/globalassets/about/inovyn_sustainability_report_v15_interactive-1.pdf



出所）イノヴィン資料[30]より野村総合研究所作成

図 44　イノヴィンの岩塩から塩素と水素を製造するプロセスイメージ

イノヴィンは、バイオマスからバイオ化学原料やバイオ化学製品を製造することにも取り組んでいる。

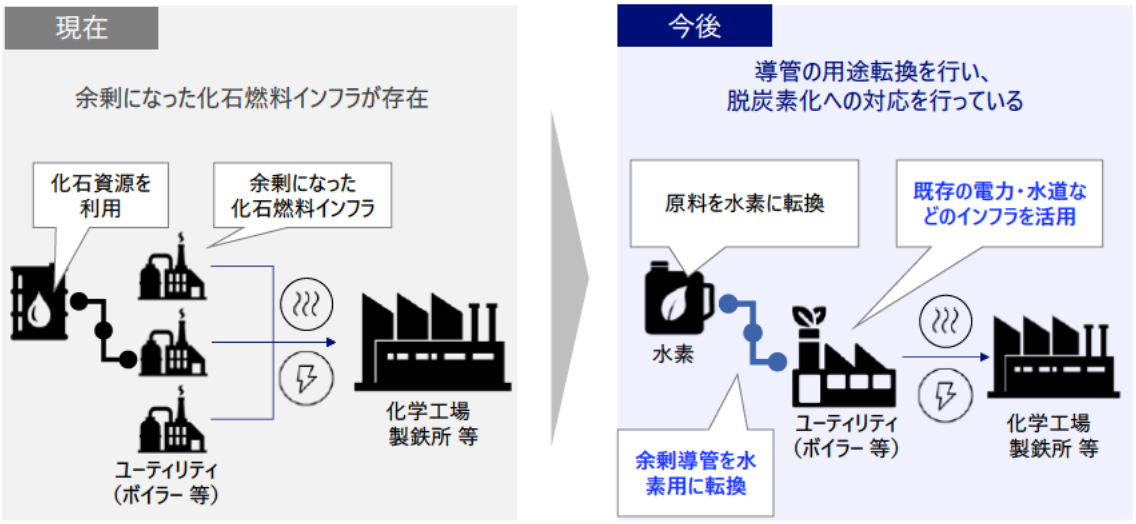
2019 年からイノヴィンは林地残材や製材屑を原料としてポリ塩化ビニルを製造している。この製造プロセスは、UPM、イネオス、イノヴィンの 3 社が関わっており、それぞれ、バイオマス原料からバイオナフサの製造、バイオナフサからバイオ起源エチレンの製造、バイオ起源エチレンからバイオ起源ポリ塩化ビニル（BIOVYN）の製造を担っている。このような複数主体をまたがるバイオ属性を証明するために RSB[31]認証を取得している。

BIOVYN は、従来製品と比較して 90%の温室効果ガス排出削減に貢献すると「持続可能なバイオ燃料に関する円卓会議（RSB)」によって認証されている。BIOVYN は、既に、フランスの総合床材メーカーのターケットに供給されている。2020 年にターケットは BIOVYN を用いて持続可能な床材を開発し、消費者に供給している。

[30] イノヴィン「INOVYN Sustainability Report 2021」
https://www.inovyn.com/globalassets/about/inovyn_sustainability_report_v15_interactive-1.pdf
[31] The Roundtable on Sustainable Biomaterials
https://rsb.org/

事例からの示唆

ドルマーゲンでは、既存のインフラを活用することで、的を絞った脱炭素対策を可能にしており、既存の地域資産が集積している地域において効率的に脱炭素化の取組を推進できることを示している事例と考えられる。



出所）野村総合研究所作成

図 45　既存地域資産を活用した産業集積地域における脱炭素対応の進め方イメージ

４）　テキサス州

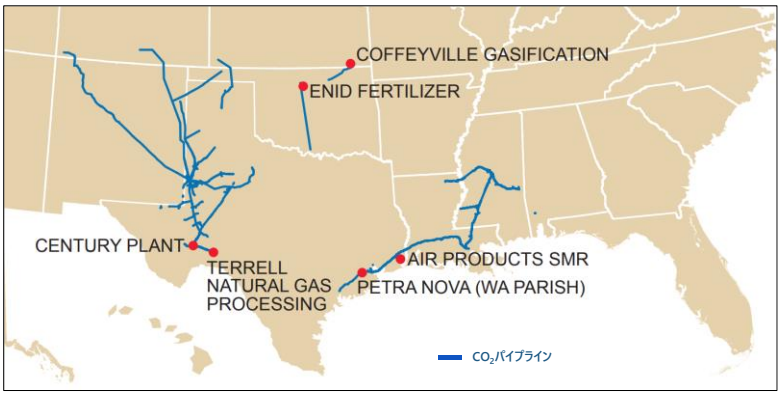
事例概要

米国政府は、バイデン大統領の公約として、2030 年の温室効果ガス排出量を 2005 年基準で 50～52%削減し、2050 年にカーボンニュートラルの達成を目指している。

米国の中でも地域によってカーボンニュートラルに対する取組は多様である。テキサス州は石油・ガス生産量が全米一位である。石油産業が主力産業であるテキサス州は、州としての温室効果ガス排出量に関する目標は設定されていない。一方で、テキサス州のヒューストン市は、2050 年にカーボンニュートラルの達成を目指している。

メキシコ湾の石油ガス層は、従前から石油やガスを生産しており、老朽化油井・ガス井があり、大量の CO_2 を貯蔵できる可能性があると見られている。既に、パーミアン盆地等の内陸油田では EOR（Enhanced Oil Recovery：原油増進回収）が行われており、全米で 8,000km の CO_2 パイプラインが整備済み[32]である。2021 年現在、これらの既存のパイプライン網を活用し、近郊のメキシコ湾海底やパーミアン盆地のガス田をターゲットとした CCUS／CCS プロジェクトが多数検討されている。

たとえば、エクソンモービルは、官民共同でメキシコ湾海底において CCUS を進め、2030 年までに CO_2 回収量を 5 千万トン、2040 年までに 1 億トンとするヒューストン CCS イノベーションゾーンというプロジェクトを提案している。

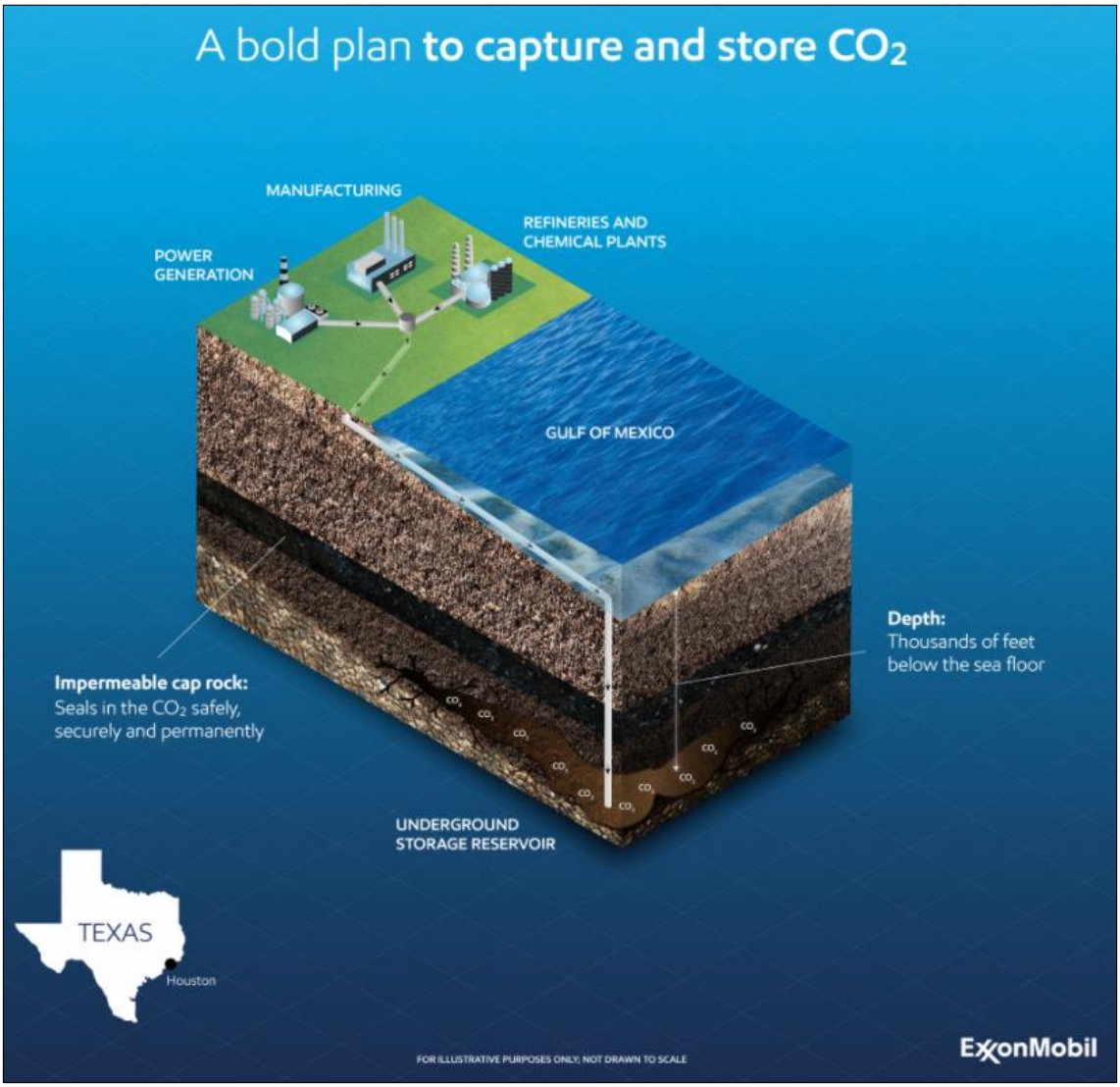


出所）全米石油審議会「Meeting the Dual Challenge A Roadmap to At-Scale Deployment ofCarbon Capture, Use, and Storage」（2021 年 3 月）より野村総合研究所作成

図 46　テキサス州周辺の CO_2 パイプライン概略図

32　全米石油審議会(National Petroleum Council)「Meeting the Dual Challenge A Roadmap to At-Scale Deployment ofCarbon Capture, Use, and Storage」第 6 章
https://dualchallenge.npc.org/files/CCUS-Chap_6-030521.pdf

ヒューストン CCS イノベーションゾーンプロジェクトでは、ヒューストン地域の石油化学工場から排出される CO_2 を回収し、メキシコ湾の海底に貯蔵する官民共同の事業である。



出所）エクソンモービル[33]

図 47　ヒューストン CCS イノベーションゾーンプロジェクトのイメージ

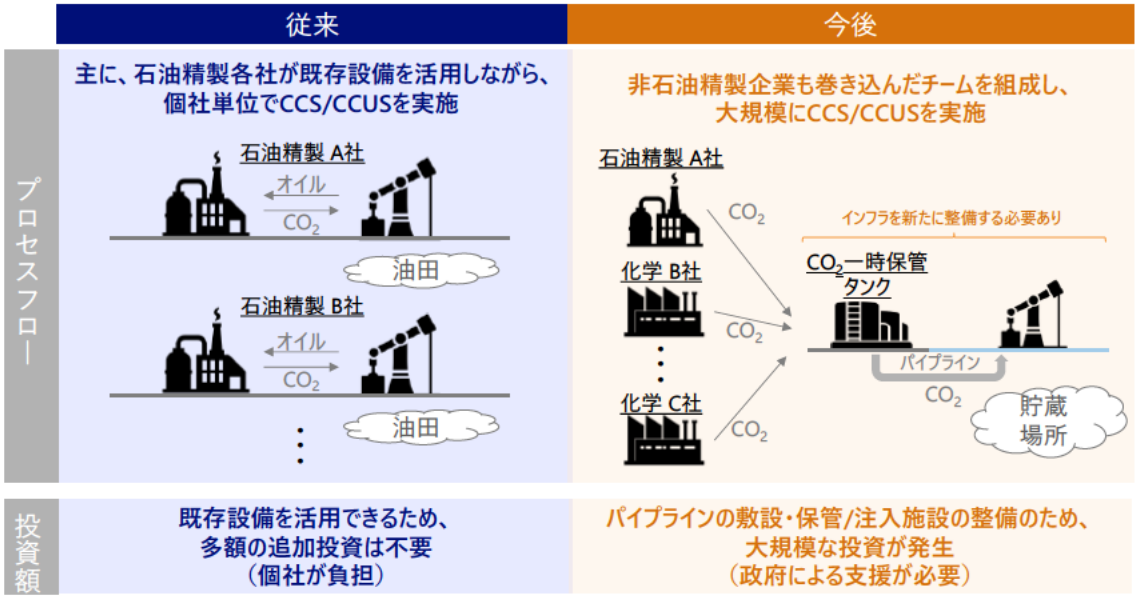
米国では、2050 年のカーボンニュートラル目標を達成するためには、国内最大の CO_2 排出源の一つである石油ガス産業のカーボンニュートラル対策を進めていく必要があり、エク

[33] エクソンモービル「The promise of carbon capture and storage, and a Texas-sized call to action」https://energyfactor.exxonmobil.com/insights/partners/houston-ccs-hub/

ソンモービルも CCS を行うことで、地域における雇用の維持や新たな CCS ビジネスで雇用の創出が期待できるとしている。また、ヒューストンでの取組を成功させることで、老朽化油井・ガス井の多い中西部やメキシコ湾岸地域に横展開することも可能であり、カーボンニュートラル時代において CCS ビジネスという新たな事業を米国に起こす可能性があることを指摘している。

CCS ビジネスを早期に立ち上げるためには、カーボンプライシング[34]などの適切な経済メカニズムが必要であるとともに、この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想定されている。これらの環境経済規制の強化と補助金の二つの観点から、官民連携の必要性が指摘されている。

米国では、石油・ガス産業の生き残りのために CCS は不可欠であると考えられており、大型の CCS／CCUS への取組の必要性がエクソンモービルなどの大手事業者から指摘されている。この大型プロジェクトは政府から 1,000 億ドル以上の資金支援が必要とされている。また、CCS の推進にはカーボンプライシングのような環境経済的規制や排出量キャップなどの規制が必要とされている。この二つの観点から、官民連携の必要性が指摘されている。



出所）野村総合研究所作成

図 48　官民連携型大規模 CCS プロジェクトの必要性

[34] 炭素に価格を付け、排出者の行動を変容させる政策手法。

事例からの示唆

今回のヒアリング調査の中で、欧州においては、石油化学産業や港湾管理者が積極的にカーボンニュートラル対応を行っている理由として、EU 指令や EU 規則等の規制遵守に加えて、株主からの圧力が挙げられた。また、EU では、産業界のカーボンニュートラルの取組を支援するために、様々な競争的補助金が用意されており企業の後押しをしていることが明らかになった。たとえば、Projects of Common Interest（PCI）は、環境性、経済性、及び安定性という社会的便益に欧州規模で貢献するインフラ開発プロジェクトだが、EU 加盟国のうち最低でも 2 カ国以上に便益をもたらすプロジェクトを支援するプログラムがある。また、Connecting Europe Facility（CEF）は、エネルギー・交通・通信分野のインフラ投資の促進を目的としたプログラムである。さらに、エネルギー多消費産業を対象に総額 11 億ユーロの脱炭素イノベーション補助金プログラムも開始されている。

これらのプログラムは、いずれも競争的資金になっており、特に、複数国にまたがったり、多様な主体と連携したりすることにより競争的資金の獲得可能性が高まることから、欧州では大手事業者間の取組が進んでいると考えられる。

表 10　欧州のカーボンニュートラル関連の競争的補助金例

補助金制度	実施主体	内容	プロジェクト例
PCI (Projects of Common Interest)	EU、EC	● 環境性、経済性及び安定性という社会的便益に欧州規模で貢献するインフラ開発プロジェクト。 ● PCI の認定基準として、EU 加盟国のうち最低でも 2 カ国以上に便益をもたらすこと、環境性(CO_2排出削減)、経済性(市場統合と競争活性化)、そして安定性(供給安定性の改善)に寄与する開発事業であることが挙げられる。 ● PCI に採択されると、事業承認プロセスの加速化、EU からの公的な財政支援や欧州投資銀行からの融資、債務保証などの優遇措置などの様々な優遇措置を EU から受けることができる。	ケルンのイネオスとクレンタの水素ハブプロジェクト（第一選抜通過）
CEF (Connecting Europe Facility)	EC	● EU のエネルギー・交通・通信分野のインフラ投資の促進を目的とした制度。 ● 助成金、欧州投資銀行による融資保証・融資、プロジェクトボンド等の支援を実施。 ● エネルギー分野では 2014 年から 2020 年までの期間に約 50 億ユーロの予算を組んでいる。	ポルトス(1 億 200 万ユーロ) Antwerp@C(約 900 万ユーロ)
SDE (Stimulering Duurzame Energieproductie)	オランダ政府	● 再生可能エネルギーの生産やCO_2削減技術を適用している企業・組織を対象とした補助金(期間は 12 年間または 15 年間)。 ● 補助金の付与額は、使用する技術とCO_2の削減量によって決まる。 ● 2021 年度の予算は 50 億ユーロ。	ポルトス (25.6 億ドル)
Low Carbon Hydrogen Business Model	イギリス政府	● ①サービス購入（availability payment)、②一部政府によるオフテイク（長期にわたる購入)、③スライド制料金（数量が少ない段階においては、政府補助により価格を引き上げ、収支を補填）を提供。	
H2 Global Foundation	ドイツ政府	● H2 Global Foundation 子会社の Hint.Co が仲介となり、生産者からの調達価格、利用者への販売価格とも、それぞれ、入札で決定。生産者からは、より低い価格を提示した順に、利用者に対しては、より高い価格を提示した順に、落札。 ● 生産者との調達契約は 10 年価格固定、利用者との販売契約は短期（最大 1 年)。 ● 調達と販売との価格差は、政府により補填（当初予算は 900 百万ユーロ)。	PtX テクノロジーを開発、及びテストするための投資補助金を提供

出所）各種資料より野村総合研究所作成

表 11　欧州のカーボンニュートラル化に向けた支援制度に採択されたプロジェクト

プロジェクト名	実施国	コーディネーター	概要
Kairos@C	Belgium, Netherlands Norway	Air Liquide BASF Antwerpen NV	● Kairos@C は、運用の最初の 10 年間で約 14.2 百万トン CO_2 を削減する、完全な炭素、回収及び貯留（CCS）バリューチェーンを開発。 ● Kairos@C は、アントワープ港で CO_2 のマルチモーダル輸送インフラ開発する Antwerp@C プロジェクトを開始。
TANGO	Italy	Enel Green Power Italia Srl	● TANGO は、革新的で高品質なヘテロ接合型太陽電池セルを製造するための産業規模のパイロットラインを開発。 ● イタリアのカターニアにある工場で、ヘテロ接合型太陽電池セルの製造を年間 200MW から 3GW に拡大する。製造及び設置された太陽光発電モジュールからの太陽エネルギー収量は、最初の 10 年間の運用で最大 21 百万トンの CO_2 排出を回避。
BECCS@STHLM	Sweden	Stockholm Exergi	● BECCS@STHLM は、ストックホルムにある既存の熱及び電力バイオマスプラントに、本格的なバイオエナジー炭素回収及び貯留施設を建設。 ● BECCS@STHLM は、大量のバイオ CO_2 を捕捉して貯蔵。 ● 運用の最初の 10 年間で約 7.8 百万トン CO_2 の排出を回避。
K6	France	EQIOM Air Liquide France Industries VDZ	● K6 は、フランスのリュンブルセメント工場で様々な技術的イニシアティブとイノベーションを実施することにより、CO_2 排出量を削減。 ● バイオマス含有燃料やその他の代替燃料を最大限に活用し、脱炭素された原材料を活用することを目的。 ● 既存の湿式キルンに代わる、酸素燃料キルンと炭素回収の新しい工業規模の組み合わせにより、残りの CO_2 の 90%以上が回収。 ● CO_2 は、北海のサイトで貯蔵するために列車や船で輸送されるか、コンクリート製品に利用されるため、運用の最初の 10 年間で 8.1 百万トンの CO_2 排出量を削減。 ● ダンケルクの近くの港内に K6 プログラムを統合することで、将来のヨーロッパの CO_2 ハブとしての港の開発が促進される。

プロジェクト名	実施国	コーディネーター	概要
ECOPLANTA	Spain	ECOPLANTA MOLECULAR RECYCLING SOLUTIONS S.L.	● ECOPLANTA は、都市ごみのリサイクル不可能な部分を化学物質とバイオ燃料に変換することを目的としている。 ● スペインのタラゴナ港近くの石油化学コンビナートの施設で年間 237 千トンのメタノールを製造し、それによって都市固形廃棄物（MSW）に存在する炭素の 70%を回収し、運用の最初の 10 年で 3.5 百万トン CO_2 を削減。
HYBRIT demonstration	Sweden	Hybrit Development AB SSAB EMEA AB Luossavaara-Kiirunuavaara Aktiebolag Vattenfall AB	● HYBRIT（Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology）は、石炭ベースの高炉を直接水素ベースの還元技術に置き換える。 ● このプロジェクトでは、スウェーデンの生産量の 25%に相当する、年間約 120 万トンの粗鋼が生産。これにより、運用の最初の 10 年間で温室効果ガスの排出量が 14.3 百万トン CO_2 削減。
SHARC	Finland	Neste Oyj	● 持続可能な水素と炭素の回収プロジェクト。 ● フィンランドのポルヴォー製油所では、電気分解設備の導入によりグレー水素からグリーン水素に移行する。さらに、炭素回収貯留（CCS）の適用によりブルー水素に移行することで排出量を削減する。 ● SHARC はまた、グリーン水素の生産を拡大して、それ自体を実行可能な輸送燃料にするのに役立てる。この移行により、SHARC は最初の 10 年間で 4 百万トン CO_2 以上を節約する。

出所）欧州委員会「気象変動対策」2021 年 11 月より野村総合研究所作成

https://ec.europa.eu/clima/system/files/2021-11/policy_funding_innovation-fund_large-scale_successful_projects_en.pdf

５．CNK 実現に向けた戦略の検討

１）　研究会概要

学識経験者、関係業界団体、コンビナート立地自治体等で構成する研究会を設置し、課題の抽出や実現に向けた対応策等の検討を行い、その結果を「カーボンニュートラルコンビナートの実現に向けた論点整理」として取りまとめた。

２）　メンバー構成

研究会は、学識経験者と関係業界団体等による 11 名の委員と、コンビナート立地自治体・関連省庁等によるオブザーバーで構成し、議論を行った。

表 12　委員名簿

	氏名(敬称略)	所属
座長	平野　正雄	早稲田大学教授
委員	平野　創	成城大学教授
	竹内　純子	NPO 法人国際環境経済研究所　理事・主席研究員
	辻　佳子	東京大学環境安全研究センター長
	近藤　元博	愛知工業大学総合技術研究所　教授
	重竹　尚基	ボストンコンサルティンググループ　シニアパートナー
	奥田　真弥	石油連盟　専務理事
	進藤　秀夫	日本化学工業協会　専務理事
	志村　勝也	石油化学工業協会　専務理事
	奥田　慶一郎	石油コンビナート高度統合運営技術研究組合　専務理事
	松井　泰宏	日本政策投資銀行　企業金融第５部長
資源エネルギー庁	定光　裕樹	資源・燃料部長
	細川　成己	資源・燃料部　石油精製備蓄課長

３）　開催日時・概要

研究会は計 4 回実施した。開催日時と各回の議事は以下のとおり。

表 13　研究会の開催日時と議事

	日時	議事
第１回	2021 年 12 月 22 日 (水)13:30～15:00	(1)検討会の背景と目的 (2)カーボンニュートラルに向けた政策の説明 (3)自由討議
第２回	2022 年 1 月 28 日 (金)10:00～12:00	(1)本日の位置づけ、スケジュール (2)各自治体のカーボンニュートラルに向けた取組 (3)各業界・団体のカーボンニュートラルに向けた取組 (4)自由討議
第３回	2022 年 2 月 16 日 (水)13:30～15:30	(1)本日の位置づけ、スケジュール (2)化学工学が挑む地域連携カーボンニュートラル推進 (3)2050 年のカーボンニュートラルコンビナートのあり方と実現に向けたハード・ソフトについて (4)中間取りまとめ骨子案について
第４回	2022 年 3 月 15 日 (火)10:00～12:00	(1)カーボンニュートラルコンビナートの実現に向けた論点整理（案）について (2)その他

各研究会での主な意見は以下のとおりであった。

- 第 1 回
  - CNK の取組は、従来のコンビナート内で取り組まれてきた石油精製・石油化学の連携等と似ている部分もあるものの、経済性の観点では大きく異なる。
  - カーボンニュートラルを契機として、コンビナート内の連携が一層進むよう、関係者による議論の場の整備や、連携時に必要となる設備等への税制面やファイナンス面の支援を行う仕組みづくりが必要。

- 第 2 回
  - エネルギーの問題とマテリアルの問題は、難易度・時間軸が異なるため、区別して議論する必要がある。
  - 大規模投資へのリスク低減の話などは、国レベルや本社レベルでマクロに検討する必要がある。
  - 需要と供給を一体で開発し、ビジネスモデルをきちんと考えるということは非常に重要。特に、水素・アンモニアに関しては、需要側の開拓が弱いと感じている。
  - 地域・本社・国が三位一体となって取組むことが重要であり、最終的にはそれらのコーディネーターが必要になる。
  - カーボンニュートラルに要するコストを社会で負担する制度の構築が重要になる。
  - コンビナートは需要が集積していることから、CNK を実現することで、サプライチェーンを完結させ事業を成り立たせるようなポテンシャルがあるのではないか。コンビナート内外で、コンビナートの強みをどう伸ばすか、政策とどう連携するかを協議・連携・調整する仕組みが重要になる。

- 第 3 回
  - カーボンニュートラルに向けたアプローチ、立地企業、地理的な特性等の違いを踏まえ、２０５０年の姿は複数パターンあることを提示するべきではないか。
  - カーボンニュートラルに向けて、エネルギーは“脱炭素化”、マテリアルは“炭素循環”という方向性を明確に打ち出すべきではないか。
  - エネルギーの観点では、コンビナートは水素等の脱炭素エネルギーの輸入・供給拠点となり得ると考えている。
  - カーボンニュートラルを実現する上で水素は重要な要素であり、水素の国際的なサプライチェーンを確保するような取組も必要ではないか。
  - カーボンニュートラルに向け、企業における設備投資を促進するためには、予見性を高めることが重要になる。
  - 検討を進めるにあたっては、多くのステークホルダーのコーディネーション等も必要。中央政府がイニシアティブをとって、自治体とも連携しながら検討を進める体制を作ることが重要ではないか。

- 第 4 回
  - 利害調整や協議会の観点では、学の役割も強化していく必要があるのではないか。専門家の層を厚くし、情報を流していく役割も重要になる。
  - 地域内での検討が継続しない要因としては、取組が属人的になってしまっている点が挙げられる。継続的な取組とするためには、組織としての仕組みづくりが重要になる。
  - コンビナートが一次産業・二次産業・三次産業も含めた起爆剤・ハブとなることについても言及すべきではないか。
  - コンビナートに集積している業種は、川上の業種が多く、安全保障の観点からも、それらの業種の国内での存続が重要だと考えている。CN への取組は、それ自身が目的ではなく、それらの産業活動を国内で継続させるために必要な取組であるとして整理する必要があるのではないか。
  - CNK の取組は立地企業のみならず、日本経済の観点で打ち出していくものであり、その観点でコンビナートを戦略拠点化していくことが重要ではないか。
  - 実現に向けての推進体制の観点では、事業所レベルではなく、本社レベルも巻き込むことが重要になる。いかに企業レベルの戦略を CN 実現と合致させられるかがポイントになる。

４）　研究会を通じたカーボンニュートラル実現に向けた戦略方向性

本事業では、CNK 研究会の議論に必要な文献調査等を行い、研究会での検討資料として作成し、必要に応じてヒアリング調査も実施することを通して運営支援をしてきた。その研究会の議論を取りまとめた概要は以下のとおり。

（１） CNK の意義

CNK は、脱炭素エネルギーと炭素循環マテリアルを受入、それを生産活動につなげ、製品供給とカーボンニュートラル化を両立する役割を担う。更に既存の製品生産のみならず、原材料から炭素循環マテリアルに転換することで、あらゆる製品のカーボンニュートラル化を進め、ひいては社会構造を大きく変える可能性を秘めている。この構造転換の起爆剤／戦略拠点として、コンビナートが持つポテンシャルを最大限活用することこそが、CNK を目指す意義。

（２） CNK の果たすべき役割

また、港湾を介した海外との結節点、需要地の近くで循環型社会との結節点を持つという既存のコンビナートの立地特性や、多くの産業の設備・調達・技術企業が集積するメリットを活かして、脱炭素化に向けた取組を進めていく。

具体的には、コンビナートが有する集積効果や立地優位性等を活かして、コンビナート内の設備やインフラの共有、水素・アンモニア・バイオ燃料等の共同調達、脱炭素技術のスタートアップの呼び込みやスケールアップのための実証・実装を進めていく。

2050 年におけるコンビナートは、こうした取組を通じて、コンビナート全体でのカーボンニュートラル化を実現するだけでなく、「脱炭素エネルギーの受入／生産／供給」、「炭素循環マテリアルの生産／供給」、「脱炭素技術のテストベッド」といった機能を提供することにより、カーボンニュートラル社会の持続的な発展に寄与するとともに、製造事業者等の競争力強化や地域経済・日本経済の活性化を下支えする存在であり続けることを目指す。

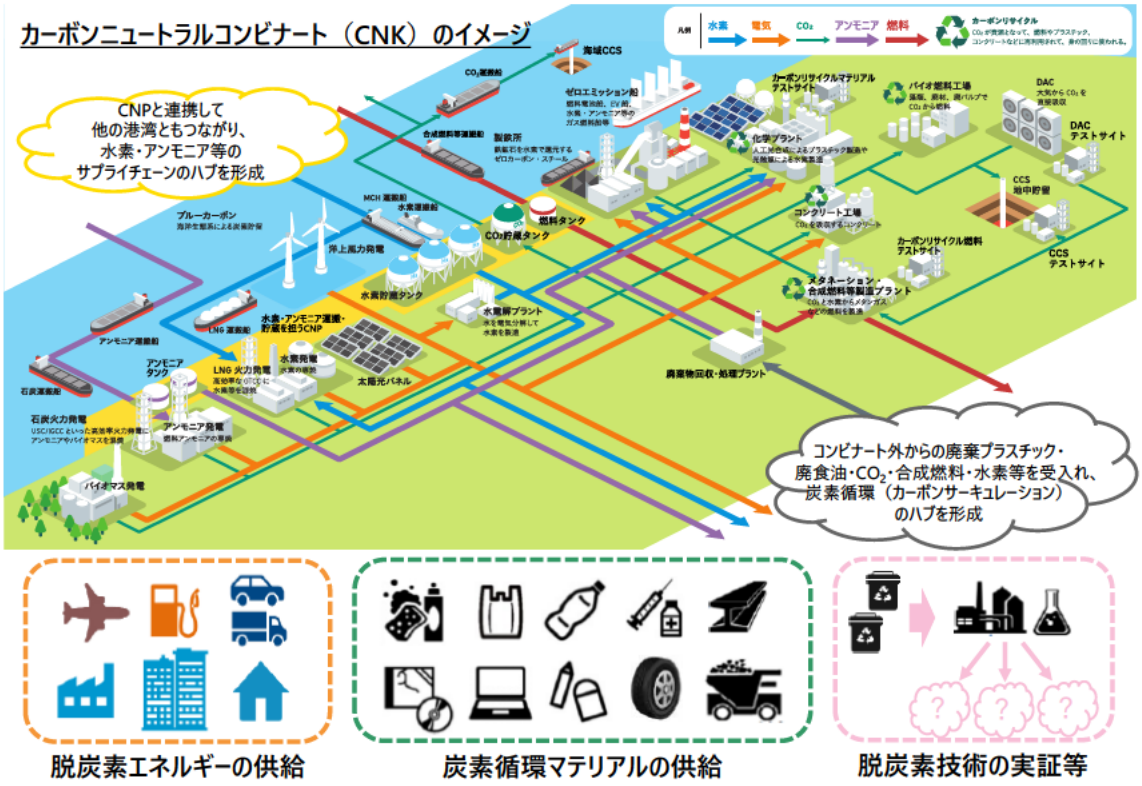
このように多様な産業が、設備の共有等を通じた連携を行いながら、有機的な産業連携を実現することを目指すべきであるが、CNK の設備や機能は、地域特性により様々な企業・産業の組み合わせがあり得ることは留意すべき点である。

また、CNK は、海外から大量にアンモニアや水素等の調達を行うハブとなるだけでなく、コンビナート外からも CO_2 や廃棄物を受け入れるハブとなることで周辺地域の環境整備やカーボンニュートラル化に貢献する。

さらに、CNK では、これまでのコンビナートの持つ立地・設備・技術等の資産の上に新たな技術・人材が加わり、既存コンビナートのリノベーションをハード・ソフトの両面から具

現化する。これらの取組を、CNP の検討など親和性の高い取組と連携しながら行うことで、CNK の機能をより効率的・効果的に高めることが可能となる。

こうした、CNK の社会的意義・存在意義を明確にすることで、企業や自治体などの主要ステークホルダーが連携しやすい組織・仕組みを構築していく。



出所）「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」広報資料「カーボンニュートラルの産業イメージ」[35]を基に野村総合研究所作成

図 49　CNK のイメージ

①　脱炭素エネルギーの受入／生産／供給

エネルギーの脱炭素化に向けて、従来の化石燃料ではなく、水素・アンモニア・バイオマス・再生可能エネルギーを受入、生産し、供給する拠点となる。脱炭素エネルギー源であるバイオマスや再生可能エネルギーも、その原料として用いられる木材や、太陽光や風力といった自然条件の制約はあるが、共同での開発・調達を進める。

また、CNK では、コンビナート内の多様な業種間でのエネルギー設備の共有・共同調達な

[35] 「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」
https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012.html

どにおいて集積効果を発揮していく。集積効果により、水素やアンモニアなどの調達量は非常に大きくなる。それを海外から獲得するためのサプライチェーン構築と、コンビナートへの受入体制として港湾設備の拡充が必要となる。そのためには、水素やアンモニアなどの大量受入を検討している CNP と連携し、海外輸入から活用までのシームレスに行う体制を構築する必要がある。

加えて、バイオマス燃料の原料となる木材を内陸部から受け入れることで一次産業と連携し、エネルギー関連の自動化技術や AI 技術の活用を行うことで三次産業を呼び込むなど、CNK が一次産業・二次産業・三次産業をつなぐハブとなる。

② 炭素循環マテリアルの受入／生産／供給

脱炭素エネルギーと同様に、コンビナートは水素や CO_2 などの炭素循環マテリアルの安定供給拠点としての役割を担うことになる。脱炭素化やガソリンの国内需要減少による化石燃料の輸入量減少見通しに伴い、化学品製造のための炭素源の減少が懸念されており、水素とコンビナートにて回収した CO_2 を原料として合成することで、CO_2 排出量を抑えた合成プラスチック等の製造と供給が可能となる。

CO_2 以外では、廃棄プラスチックを炭素源として油化の上、改めてリサイクルナフサや化学原料への再利用が期待されており、CO_2 原料同様に多様な業種での利用が可能となる。こうした用途でもエネルギー源と同様に、多くの産業が活用する共有機能や合成製品の生産を集積することでスケールメリットが実現できる。

さらに、周辺地域からの廃棄物を回収・処理プラントを共有することで、コンビナート外も含めた炭素を循環させるカーボンサーキュレーションが形成される。例えば、廃棄プラスチックを活用したエタノールやメタノール、エチレン、合成燃料の製造のために、コンビナート外の地域から廃棄プラスチック・廃食油・CO_2 等を受入れ、コンビナート内で廃棄物回収場所を確保することでケミカルリサイクルハブとなり、周辺住環境の改善や地域のカーボンニュートラル化にも貢献する。

加えて、林業など一次産業とも連携してバイオマスの回収も行うことで、バイオマスの利活用・再利用のハブともなる。なお、余剰の CO_2 については、CCS で処理することが想定される。

③ 脱炭素技術のテストベッド

水素と CO_2 を原料とした合成製品（合成ガス、合成燃料、合成プラスチック等）の製造は、現在、実証実験段階のものが大半であり、実用化に向けたスケールアップが求められている。

このスケールアップを実現する場としてコンビナートの活用が期待される。

コンビナートへの集積のメリットは、イノベーション・価値創出を誘発する環境である。合成製品の技術課題がまだ数多く残っている現状では、技術力の高いスタートアップ企業などもコンビナートに集積することで、実装に向けた技術開発がスピードアップすることが期待される。

需要地に近い立地、多様な産業が集積、燃料や製品供給拠点としての高い生産能力、海外から大量の原料調達が可能という特徴に加え、これらの特徴を活用して生産活動を担うノウハウのある人材がいることが CNK の存在意義といえる。

以上より、カーボンニュートラル化が進むことでテストベッドの取組や集積効果が進み、新たな企業が加わることで新たな価値創出（製品・サービスの創出）が起こり、新たな産業のイノベーション・創出が可能となる。

（３） CNK の実現に向けた技術メニューと産業間連携ポテンシャル

2050 年における CNK を実現するためには、多様な技術メニューが用いられる。主に、脱炭素エネルギー、炭素循環マテリアル、省エネルギー・省資源そして CCUS や CCS を用いた手段が挙げられる。これら全ての技術メニューを実施する必要はなく、各コンビナートが自らのリソースと原料やエネルギーの供給条件、更に製品等の市場受容性を照らし合わせて適切な技術を組み合せることで、実際の CNK の形成が行われると考えられる。

表 14　2050 年 CNK の実現に向けた手段

	技術メニュー（主な手段）		概要	発電	石油精製	化学・素材			金属		
						石油化学	ガス化学	無機化学	高炉	電炉	非鉄
脱炭素エネルギー	水素混焼・専焼		✓ ガスタービン用発電燃料（発電所及び自家発としての利用）	●	●	●	●	●	●	●	●
	アンモニア混焼・専焼		✓ NO_x対策した石炭混焼/専焼設備発電、ナフサクラッカーでの活用	●		●					
	CO_2回収（CCU）	メタネーション	✓ 水素とCO_2からメタンを合成	●			●				
		合成燃料の活用	✓ 水素とCO_2から液体燃料を製造		●	●					
	バイオマスの活用		✓ 植物や廃棄物等からバイオ燃料を製造	●	●	●	●				
	再生可能エネルギー		✓ バイオマス発電、太陽光発電、風力発電（陸上、洋上）	●							
脱炭素マテリアル	水素還元製鉄		✓ Super COURSE50(還元剤のコークスの一部を水素で代替) ✓ 100%水素直接還元プロセスの組合せ						●		
	CO_2回収（CCU）	MTO/ETO	✓ メタノールやエタノールからオレフィン（エチレンなど）を生成			●					
		機能性化学品	✓ CO_2からポリカーボネート、ポリウレタン原料、DMCなど生成			●					
		コンクリート	✓ 炭酸塩化を活用したCO_2吸収コンクリート					●			
	プラスチックのリサイクル		✓ 廃プラのケミカルリサイクル（油化/ガス化）、ゴムのリサイクル（サルファー等）		●	●	●				
	バイオマス	バイオナフサ	✓ 下流側の化成品合成		●						
		機能性化学品	✓ バイオマスプラスチックを利用したバイオポリマー			●					
	合成プロセスにおける低消費電力化		✓ 合成製品生成に必要となる消費エネルギーの低消費電力化		●	●	●				
省エネルギー・省資源	オフガス利用		✓ 石油精製、ガス化学、製鉄などの工程で生じる副生水素活用(純度向上) ✓ オフガスメタンの原料化		●	●				●	
			✓ 工業炉や高炉などでのオフガスの水素利活用		●	●	●	●	●		
	蒸気/排熱の利活用		✓ 一般廃棄物、産廃など（ガス化・油化できない）から得られる蒸気や廃熱の利活用		●	●	●				
	コンビナート内各設備の排熱利活用		✓ 合成製品生成に必要となるエネルギーとして他設備の排熱活用		●	●	●	●	●	●	●
	プロセス改革		✓ 大型電炉での高級鋼製造でCO_2削減 ✓ 石化の分離技術の省エネルギー化			●				●	
CCUS			✓ EGS(地熱増産システム)へのCO_2活用 ✓ 火力発電所(回収しきれないCO_2)のCCUS活用(含EOR)	●							
CCS			✓ CO_2の埋設	●	●	●	●	●	●	●	●

（４） CNK 実現に向けて必要となる連携ポテンシャル

CNK の実現に際して、特に着目すべきが、産業間連携である。多様な産業の集積による連携効果がコンビナートの最大の特徴であり、カーボンニュートラル化に向けて複数産業が連携し集積効果が期待できる施策がいくつか挙げられる。

① 水素やアンモニアの共同調達・利活用

カーボンニュートラル社会の実現にあたっては大量の水素・アンモニアを用いることでエネルギーの脱炭素化（燃料としての活用）、マテリアルの炭素循環（原料としての活用）が可能となる。CNK は、その集積効果を活かし、水素・アンモニアを大規模かつ安価に受け入れ、これらを利活用し、様々な脱炭素エネルギーや炭素循環マテリアルの供給拠点として、水素・アンモニアのサプライチェーンの一端を担うことが可能になる。

既存設備・インフラの活用や CNP で検討されている大量の水素やアンモニアの受入設備などとの連携等も踏まえて、コンビナート内で共同して大量の水素やアンモニアの調達・利活用を行うための共有設備が必要となる。水素は、比重が軽くタンクなどの設備が大きくなってしまうこと、水素脆性による配管の腐食が懸念されることから、専用の設備が必要となるため、一社当りの投資負担を削減するためにも、これらの共有設備が必要となる。

② CO_2 の共同回収・利活用

原油調達量減少に伴い不足する炭素源として、水素との合成により大量の合成燃料を製造するために、コンビナート内の各プロセスからの発生する大量の CO_2 を回収・配送するための共同利用設備が必要となる。

合成メタンや合成燃料等、炭素循環マテリアルの製造に必要となる炭素源を確保するため、コンビナート内で発生した CO_2 を一元的に管理し、最適配分していくことが求められる。効率的な回収のみならず、CO_2 の純度を上げるための設備や、コンビナート内での CO_2 回収効率を上げるための最適なタンクやパイプラインの設置なども共通して必要となる。

③ バイオマス原料や廃棄プラスチックの共同調達・利活用

バイオ燃料製造やバイオマス発電を行うにあたり、原料となる植物や廃棄物等の確保が重要となる。発電や燃料合成に必要な原料確保のためのサプライチェーン構築（原料となる農林業由来の木材や都市又は産業由来の廃棄物などの共同調達等）と、共同での貯蔵スペースの確保や集約が必要となる。

一方、ケミカルリサイクル等を行うにあたっても、原料となる廃棄プラスチックの確保が重要となる。コンビナート内で共同して安定的な数量のプラスチック生産を行うため、大量

の廃棄プラスチック回収が必要となる。こうした取組に対して、設備を集約し、バイオマス原料や廃棄プラスチックの共同調達・利活用を行うための貯蔵施設の共同利用が必要となる。

④　省エネルギー・省資源の取組強化

カーボンニュートラルの実現には、脱炭素化への取組のみならず、これまでも実施してきた低炭素化への更なる強化も必要になる。個社単位ではなくコンビナート内で連携して省エネルギーや省資源の取組を行うことで、その集積・連携による相乗効果が期待できる。

既にコンビナート内の熱を発生するプロセスや廃棄物燃焼から得られる蒸気や排熱は利活用されているものの、脱炭素化に向けて更なる排熱活用が求められる。こうした熱源利活用に向けて、蒸気搬送設備やヒートポンプ等の整備が必要となる。

⑤　CCS の共同実施

今後コンビナートのカーボンニュートラル化の推進の中で、処理しきれない CO_2 が発生し、それを回収して埋める CCS も必要となるケースがある。海外では産業クラスターで CCS を進める動きがあり、国内コンビナートおいても、各社が連携して CCS を行うことが求められる。欧州のコンビナートが実施している CCS 設備を共有設備として活用する取組は日本にとっても有効と考えられ、コンビナート内各社が協調して投資・活用する運用が求められる。

CCS を実施するためには、既に化学製品(尿素やメタノール)製造や CCUS 向けに用いられている CO_2 回収設備やインフラを最大限活用し、更に追加で必要となるパイプライン、CO_2 貯蔵施設等については、共同での設備投資や整備が必要となる。

（５） CNK 実現に向けた提言

① 取組の方向性

コンビナートは、日本の基幹産業が高度に融合している生産拠点であるだけでなく、主要需要地の周辺に立地し、更には地域経済との密接な関係を有している。コンビナートが持つこうした特徴に着目しながら、カーボンニュートラル社会の持続的発展、製造事業者等の競争力強化、地域経済ひいては日本経済の活性化にどう貢献していけるかについての検討を進めていくことが重要となる。

コンビナートでは、その集積効果や立地優位性等を活かして、水素やアンモニア等を大規模かつ安価に調達し、脱炭素エネルギーや炭素循環マテリアルを効率的に供給する仕組みを確立することが重要となる。

また、各コンビナートにおける立地企業、地理的特性、カーボンニュートラルに向けたアプローチ等の違いにより、多様な CNK の姿が想定される。こうした違いに応じた CNK を実現する必要があることから、地域において、企業・自治体等が参加する”地域協議会”を活用しつつ、学識経験者等の有識者を交えながら、客観的な議論・検討を進めていくことが重要となる。

さらに、CNK の実現に向けては、企業・自治体・国がそれぞれで取組を進めるのではなく、3 者が一体となって取組を進めていくことが必要となるところ、これらの主体の連携を促すような組織や仕組みも重要となる。

② 国に求められる役割

国においては、まず、全体最適を図ることが求められる。特に、エネルギー・マテリアルの安定供給を確保することを大前提とし、戦略的かつ計画的に、CNK の実現を後押ししていくことが求められる。

その上で、脱炭素エネルギー・炭素循環マテリアルの供給・利活用拠点や脱炭素化技術のテストベッドの整備を促進すること、また、脱炭素エネルギー・炭素循環マテリアルの需要と供給を喚起することが求められる。

脱炭素エネルギー・炭素循環マテリアルの供給・利活用拠点や脱炭素化技術のテストベッドの整備を促進するためには、拠点整備に必要となる設備投資や脱炭素化技術の実証等に対する支援が必要となる。具体的には、カーボンニュートラルに関する政府方針を明確にするなどして企業の投資予見性を高めることに加え、設備投資や技術実証等に対する費用補助やファイナンス支援等を積極的に進めることが求められる。

また、社会全体でコスト負担する仕組みを構築することも必要となる。脱炭素エネルギ

ー・炭素循環マテリアルの需要と供給を喚起するため、脱炭素エネルギー・炭素循環マテリアルの調達を進める企業に対する支援や、脱炭素エネルギー・炭素循環マテリアルの供給を担う企業に対する支援が必要になる。具体的には、これらの企業へのインセンティブやビジネスモデルの確立支援等を検討することが求められる。

③　自治体に求められる役割

自治体においては、まず、「脱炭素エネルギーの供給」「炭素循環マテリアルの供給」「脱炭素化技術のテストベッド」のいずれの機能に重点を置いた CNK を実現するのか、その方向性を検討の上、ステークホルダー間の調整等を行いながら、地域内連携を促進していくことが求められる。

そのためには、住民や地域社会に対して、CNK への理解を促すことが重要。地域における CNK の実現に向けた方向性の検討を加速化、また地域内・地域間の連携を促進していくためには、自治体が中心となり、コンビナート及びその周辺に立地する企業等を巻き込んだ協議会等を設置することが求められる。既に水素やアンモニアの活用等に関する地域の協議会が設置されている場合もあるが、CNK の実現に向けては、分野横断的に検討を行う場が必要であり、こうした場を新たに設けることで、地域における連携促進・事業化推進体制の強化が期待される。加えて、CNK に参加する事業者だけでは解決困難な廃棄プラスチックの収集や規制見直し等の問題への協力も期待される。

また、現在、カーボンニュートラルの実現に資する多くの技術が開発段階にあることに加え、カーボンニュートラルに至るには、多様なトランジションの経路が想定される。こうした中で、CNK の実現に向けた長期的な取組を進めていくためには、カーボンニュートラルに関する幅広い知見を蓄積し、それを共有・継承し、取組の連続性を確保するための仕組みを構築することも必要となる。

さらに、カーボンニュートラルを実現することのみを目的とすることなく、カーボンニュートラルの実現を通じて、地域経済の活性化を図ることまでを目的とする必要がある。そのためには、既存の産業集積の維持・強化のための施策のみならず、地域内に新たな産業集積を呼び込むための施策を検討することも求められる。

④　企業に求められる役割

企業においては、まず、カーボンニュートラルを経営における中核テーマと位置づけて取組を進めることが重要で、そのためには本社と事業所間の連携強化が求められる。CNK の実現に向けて多様な取組が想定されることから、カーボンニュートラルのための社会実装の場である事業所のモチベーションとイニシアティブが不可欠であり、本社と事業所がこれ

まで以上に密なコミュニケーションを行い、事業所の取組ニーズも踏まえた企業戦略を策定することなどにより、本社と事業所が一体となって取組を進めていく必要がある。

また、資本の壁を越えた連携を積極的に行うことも求められる。コンビナートでは、これまでも共同火力など限定的な連携が行われてきたが、CNK を実現するためにはこうした連携を一層強化し、個々の企業の設備投資を抑えて全体最適を図るとともに、エネルギー・マテリアルの共同利活用・調達により集積効果を最大限発揮してくことが必要となる。

さらに、スタートアップの呼び込み、開発した技術のスケールアップ、イノベーションの推進等を行うために、産学連携に積極的に取り組むことが求められる。

こうした取組の連続性を確保するためには、カーボンニュートラルに関する幅広い知見を蓄積し、これを共有・継承する仕組みを構築することが求められる。また、そのために必要となる人材育成にも積極的に取り組む必要がある。

⑤　金融に求められる役割

金融においては、トランジションを見据えながら、ビジネスモデル構築に向けた議論に積極的に参加していくことが求められるとともに、2050 年を見据えた、既存設備の用途転換やカーボンニュートラル化、企業間の共同利用設備の整備に対して、中長期目線でのファイナンス提供が求められる。

2050 年を見据えて、既存施設の用途転換、カーボンニュートラル化や企業間の設備共同利用、事業転換支援のための、中長期目線でのファイナンス・リスクマネーを供給すること。そのために、事業性評価能力や調査能力を向上させる必要がある。また、地域においては、事業化や資金調達に関する議論も誘発するべく、企業・自治体等が参画する”地域協議会“に積極的に参加することも求められる。

⑥　アカデミアに求められる役割

大学をはじめとするアカデミアにおいては、まず、脱炭素化技術の実証やスケールアップ等に積極的に関与し、コンビナートにおけるイノベーション創出に貢献することが求められる。また、コンビナートを切り口とする産学連携に積極的に取り組むとともに、自治体や企業の相談役になることも求められる。これらの取組を進めるにあたっては、必要となる知見を蓄積すべく、人材育成にも積極的に取り組む必要がある。

加えて、企業における本社・事業所間の連携、企業間の連携、更には産業間の連携等を促すような役割を果たすことも求められる

６．CNK 実現に向けた方策

今回の研究会では、「カーボンニュートラルコンビナートの実現に向けた論点整理」としてCNK実現に向けた方向性を示した。今後、今回の成果を活用してその実現に向けた方策についての議論を深めていく必要がある。

CNK実現に向けた方策の議論として、今回の論点整理を活用して、2030年以降の方策の具体的な議論が求められる。今回の検討の中でも、2030 年までの対応方向は見えているが、2050年起点での2030年以降の対応については触れられていない。

特に、CNK実現に向けて効果的と思われる連携ポテンシャルについては、コンビナートの特性を活かした水素・アンモニア・CO_2等での連携方向を示しており、これらの方策が具体化されれば、コンビナートのカーボンニュートラル化への貢献は大きい。2030 年以降の連携方策の議論についての深堀がまだなされていないという意味からも、今回の論点整理を機に議論が深められていくことが期待される。

また、議論を深めていく際には、各地域の特性や参加企業の構成は一様ではなく、各コンビナートの実態を踏まえた議論が必要という点も重要。そのためには、コンビナートごとのカーボンニュートラル化の計画作りも有効と思われる。

論点整理の中のCNK実現に向けた提言を活かし、国、自治体、企業、金融、アカデミアの各主体間が連携し、地域協議会等とともに、今後の行動計画の検討など実現方策の具体化について、継続的な議論が期待される。