Deloitte.
デロイト トーマツ

資源エネルギー庁　長官官房
総務課　戦略企画室
御中

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事業
脱炭素化が産業活動へ与える影響に関する分析・調査支援事業 調査報告

デロイト トーマツ コンサルティング合同会社

2022年3月

目次

事業概要 **3**

1）背景と目的 4

2）検討アプローチ 5

3）検討結果サマリ 6

仕様1：諸外国におけるエネルギー需要側の カーボンニュートラル戦略の調査 **8**

1）調査の目的とアプローチ 9

2）各産業の調査結果 13

鉄鋼 13　化学 24　セメント 35　製紙 43

3）調査結果のまとめ 51

仕様2：産業部門における熱需要の実態調査・分析 **56**

1）各産業のエネルギー構造 57

2）各産業の製造プロセスと脱炭素への道筋 63

参考）海外文献における各業種の脱炭素化に係る課題の整理 98

仕様3：我が国の熱需要における カーボンニュートラルの道筋に関する検討 **109**

1）我が国の政策検討への示唆 110

仕様4：国内外のエネルギーコストに関する調査・分析 **112**

1）エネルギーコストの分析 115

現状 117

将来予測 127

2）エネルギーコスト上昇のインパクト 135

最終消費の実態 138

製品価格へのインパクト 155

諸外国におけるエネルギーコスト上昇のインパクト 164

仕様5：再生可能エネルギーコスト ポテンシャル試算 **171**

1）再エネ設置コストの内訳及び重要因子の整理 173

2）シミュレーションに基づいたLCOEでのコスト試算 180

■本報告書に記載さている情報は、公開情報に踏まえ、本調査の分析に利用する承諾を得たうえで、ヒアリング等で第三者から提供を頂いたデータも含まれています。
これらの情報自体の妥当性・正確性については、委託事業者であるデロイトトーマツコンサルティング合同会社（弊社）では責任を負いません。
■本報告書における分析手法は、多様なものがありうる中での一つを採用したに過ぎず、その正確性や実現可能性に関して、弊社がいかなる保証を与えるものではありません。
■本報告書は、調査委託契約に従って貴庁の政策決定の参考資料として作成されたものです。内容の採否や使用方法については、貴庁自らの責任で判断を行うものとします。

事業概要

【背景と目的】

本事業では、産業部門の脱炭素化に向けた今後の施策検討に繋げることを目的として、国内外の政策・企業の実態・戦略の調査、コスト分析、道筋の検討等を実施した

背景

- 日本は、「**2050 年カーボンニュートラル**」を目指すことを宣言するとともに、2030 年度の新たな温室効果ガス（GHG）排出削減目標として、**2013 年度から 46%削減**することを目指し、さらに 50％の高みに向けて挑戦を続けるとの新たな方針を示した
- 国際的な脱炭素社会に向けた潮流は加速しており、例えば**製品の製造サプライチェーン全体で排出削減を求める事業者の取り組みも始まっており**、その要請は製造事業者の事業活動に強い影響を及ぼし始めている
- そのため、今後は事業者における脱炭素の取り組みを着実に推し進めていく中、以下が求められている
  ①脱炭素の具体的な手段の検討
  ②脱炭素の取り組みによる産業活動への影響の分析
- 特に**産業部門の熱需要でのカーボンニュートラルの実現は、コスト面での課題**が大きく、その手段及産業活動への影響を明らかにする必要がある
- また、**電力価格についても大きな影響を及ぼすことから、今後の見通しを明らかにしておく必要**がある

目的

- 本事業では、今後の脱炭素の方向性の深掘りのための検討に活かしていくことを目的とし、国内外の脱炭素環境を調査し、エネルギーの需給両面における経済性や消費実態などの情報やデータを収集及び分析を行う
- 具体的には、**文献調査、ヒアリング及びデータ収集・分析により、産業部門の脱炭素化に向けた今後の政策検討の基礎資料を整備**する

【調査概要】
各国の政策・国内外の企業の戦略・実態の調査

文献調査	ヒアリング	データ収集・コスト試算

【調査成果】
産業部門の脱炭素化に向けた
今後の政策検討の基礎資料

産業部門の脱炭素化に向けた国内外の動向	我が国の産業部門の脱炭素化に向けた道筋	エネルギーコスト試算・データ

【検討アプローチ】

本事業では、諸外国の動向・熱需要の実態を調査した上でエネルギー需要側の脱炭素化を分析しつつ、エネルギーコスト及び再エネポテンシャルに係るデータを分析

業務の全体像

凡例
- 成果物

エネルギー需要側のCN化*1分析

諸外国の動向 仕様書３．（１）

■ 諸外国におけるエネルギー需要側のCN戦略の調査
- ➢ 文献調査
- ➢ ヒアリング調査

諸外国の需要側の脱炭素化の方向性

道筋検討 仕様書３．（３）

■ 我が国の熱需要におけるCNの道筋に関する検討
- ➢ 施策の導出　等

産業部門のCN向けた道筋

実態調査 仕様書３．（２）

■ 産業部門における熱需要の実態調査・分析
- ➢ 産業部門の熱需要の状況把握（文献）等

産業部門における熱需要の実態

エネルギーコストに関する調査・分析

調査分析 仕様書３．（４）

■ エネルギーコスト・料金の見通し整理
- ➢ 電力コスト・料金の現状調査
- ➢ 将来の見通しの分析・調査

国内外のエネルギーコスト・料金の見通し

エネルギー需要家（特に産業部門の熱需要）のCN化の道筋

CN化の方向性を深掘りするための各種情報

再エネポテンシャル試算に係るデータ整備

データ整備 仕様書３．（５）

■ 将来の再エネコスト(LCOE*2)内訳整理
- ➢ シミュレーションによるLCOE試算（エリア別）

将来の再エネコストの想定・内訳

*1： CN：カーボンニュートラル、エネルギー需要側の内特に産業部門のCN化を分析　*2：Levelized Cost Of Electricity。発電量あたりのコストを意味し、建設費や運転維持費・燃料費など発電に必要なコストと利潤などを合計して、運転期間中の想定発電量をもとに算出する。

【検討結果サマリ 1/2】

脱炭素関連の取組の先行する欧州を対象に、エネ多産業の直面する課題と政策支援ニーズを調査し、日本の動向と比較することで今後の政策検討に向けた示唆を検討した

各仕様における主要な検討内容と結果

	検討内容	検討結果
仕様1 諸外国における エネルギー需要側の CN戦略の調査	■ 脱炭素関連の取り組みの先行する欧州を対象に、エネルギー多消費産業（鉄鋼・化学・セメント・製紙）の描いている戦略、直面している課題、求めている政策支援等について、その温度感も含めて調査を実施 ■ 調査に際しては、政府発行のロードマップ、業界団体の発行するポジションペーパー等を通じた文献調査に加えて、有識者に対するヒアリング調査を実施	■ 欧州の産業界では、政府が定めた目標は所与として、**目標自体に議論の余地は設けず 、その達成方法を議論している段階** ■ 但し、**脱炭素と産業競争力の両立は容易ではなく、実現性ある明確な戦略が描けているとは言えない**状況と理解 ■ 政府は厳しい目標達成を求める分、産業界もそれに必要な支援を政府に求める形となっており、下記のような政策が実施・検討されている ・ 脱炭素技術の開発・実装のための資金支援 ・ 再エネ・水素・CO2のインフラ構築・コスト補償 ・ 脱炭素製品の市場創出・炭素リーケージの予防
仕様2 産業部門における 熱需要の 実態調査・分析	■ エネルギー多消費産業（仕様1の対象産業に加え、石油精製・非鉄金属・ガラス）の製造プロセスにおける熱需要の実態を調査し、脱炭素化に向けた課題とりうる要素を検討 ■ 総合エネルギー統計や各種政府資料を基に技術導入の時間軸を整理し、各業種で特に支援が必要な要素への支援の方向性を提示	■ 自家発電・自家蒸気は原材料や製造プロセスに大きく依存し、エネルギー構成や排出係数は業種により大きく異なるため、自家用エネルギーの転換は製造プロセスと並行して検討する必要 ■ 高温帯（>1000°C）の熱が必要な工程が、エネルギー集約的だが、**水素利用やプラズマ溶融等による脱炭素エネルギーに移行するための技術開発は国内でも着手済** ■ 業種共通として、電化技術の開発、水素の供給量確保、CCUSの環境整備が重要
仕様3 我が国の熱需要に おけるCNの道筋に 関する検討	■ 仕様１・２の検討内容を基に、我が国の今後の政策の方向性を深堀りするため、検討の観点を導出	■ 現在の日本では、企業が脱炭素化を進める経済的な動機付け・環境整備が欧州と比較すると進んでおらず、自主的な取り組みによって進んでいる部分も大きい ■ このため、**莫大な資金ニーズに対応する官民ファンドの組成、安価で安定的な再エネ・水素・CO2供給のためのインフラ構築・コスト補填、脱炭素製品への需要創出のための市場ルール整備・川下産業への規制導入**等について、検討の可能性があるのではないか

【検討結果サマリ 2/2】

国内外の産業部門におけるエネルギーコストの現状と将来見通しを整理し、今後のコスト上昇への対応方針を検討した

各仕様における主要な検討内容と結果

	検討内容	検討結果
仕様4 国内外のエネルギーコストに関する調査・分析	■ 日本と諸外国の産業部門向け燃料・電力料金（現状と将来見通し）に関する統計データと文献を整理 ■ 日本国内の業種別・製品別のエネルギーコストを、統計データを活用し推計 ■ 今後のエネルギーコスト上昇幅を試算	■ 日本の産業部門における**ガスと電力の価格は海外より高水準** ■ 化石燃料は輸入価格が減少する見通しだが、炭素価格を加味すると増加見込み。電力の価格は再エネ導入や電化による需要増加等に伴い上昇する可能性。 ■ **素材産業は製造コストに占めるエネルギーコストの割合が高く**、エネルギーコスト増加のインパクトが大きい。 ■ コスト転嫁をする場合は川下産業にも影響を与える可能性があるが、**付加価値率や過去のボラティリティ変化より、価格転嫁が困難な可能性。**
仕様5 再エネコストポテンシャル試算のためのデータ整備	■ エネルギーシステムのシミュレーションツールを活用し、2030年における再生可能エネルギー導入費用を推計	■ 2030年のCO_2の46%削減に向けて、**数兆円の再エネ設備及び統合コストが必要**

仕様1：諸外国におけるエネルギー需要側のカーボンニュートラル戦略の調査

- 脱炭素関連の取り組みの先行する欧州を対象に、エネルギー多消費産業（鉄鋼・化学・セメント・製紙）の描いている戦略、直面している課題、求めている政策支援等について、その温度感も含めて調査を実施
- 調査に際しては、政府発行のロードマップ、業界団体の発行するポジションペーパー等を通じた文献調査に加えて、有識者に対するヒアリング調査を実施

1. 調査の目的とアプローチ
2. 各産業の調査結果
   - 鉄鋼
   - 化学
   - セメント
   - 製紙
3. 調査結果のまとめ

参考）ヒアリングに関する参考資料

【目的とアプローチ】

欧州のエネルギー多消費産業が、どのように産業競争力を維持しつつ脱炭素化を実現しようとしているかを明らかにすることを目的として調査を実施

海外調査の目的とアプローチ

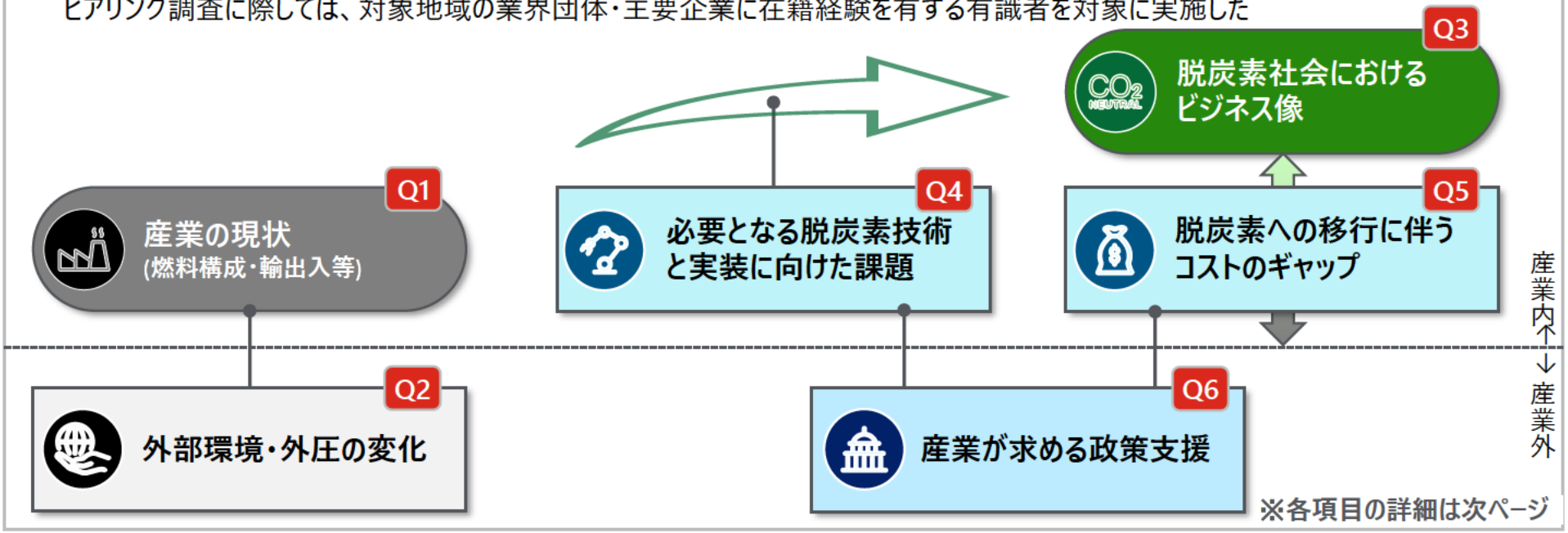
≪ 調査の目的 ≫

■ 気候変動対策を先んじて講じている欧州（英国含む）にて、エネルギー多消費産業がどのような戦略の下で脱炭素の取り組みを進めているのか、どのような課題に直面し、どのような支援策を必要としているかについて、その温度感を含めて意見を収集することで、我が国の施策検討に繋げる参考情報とする

≪ 調査のアプローチ ≫

■ 産業の現状や外部環境の変化をどう捉え（Q1-2）、脱炭素化が進む中でどのようなビジネス像を見通しており（Q3）、トランジションに必要な技術と課題（Q4）、それに伴うコストのギャップ（Q5）に対して、どのような政策支援を求めているか（Q6）に関する問いを設定し、文献調査や業界団体ヒアリングにより整理

■ 文献調査に際しては、対象地域の業界団体発行のポジションペーパーや、主要企業の中期経営計画などを参照、ヒアリング調査に際しては、対象地域の業界団体・主要企業に在籍経験を有する有識者を対象に実施した



【調査項目の詳細】

脱炭素に伴うビジネス環境の変化と企業の戦略、具体の技術や直面するエネルギーコストの影響、必要となる政策支援について調査・ヒアリングを実施

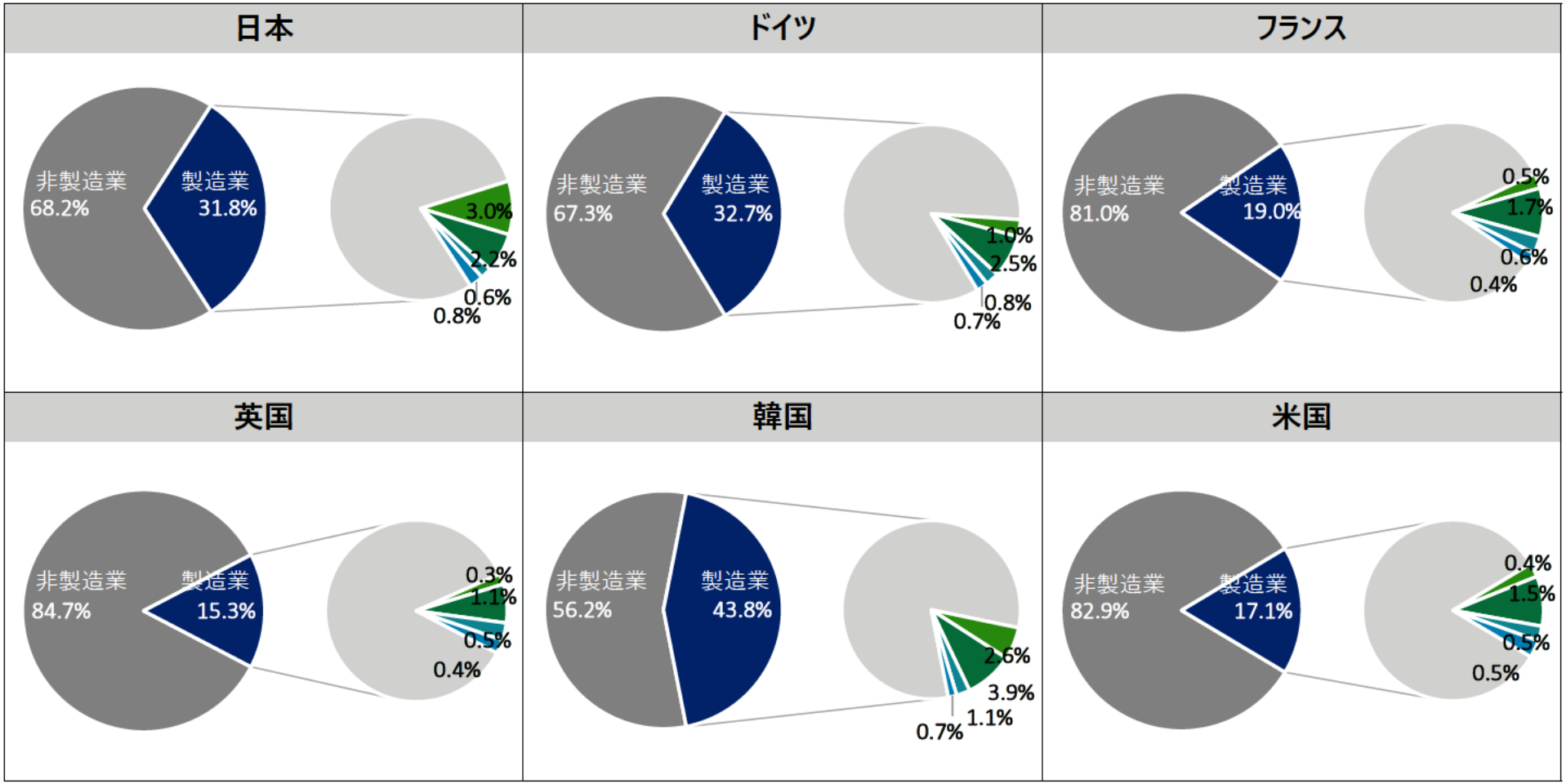
調査項目の詳細

	調査項目	調査の意図
Q1 産業の現状	■ 対象国において、**各産業の現状の構造（エネルギー消費構造・輸出入比率）**はどのようになっているか	■ 欧州のエネルギー多消費産業は、日本と比較してどのような特徴があるのか ■ 調査結果を分析するにあたって、考慮すべき特色などは存在するか
Q2 外部環境・外圧の変化	■ 脱炭素化に関連して、政府・投資家・川下産業等のステークホルダーから**どのような圧力**を認識しているか ■ 脱炭素以外に、どのような**トレンド**が産業に影響を及ぼしているか	■ 業界はどの程度厳しい外圧に晒されているのか ■ 脱炭素以外にも、産業の将来像を描くうえで考慮すべきトレンドなどがあるか
Q3 脱炭素社会のビジネス像	■ 環境の変化やコスト上昇等の影響をを踏まえて、欧州の企業は**産業の将来像**をどのように描いているか ■ そのうえで、どのような**ビジネス戦略**を描いているか	■ 脱炭素に向けたトランジションを生き抜くために、企業はどのような戦略を描いているのか
Q4 脱炭素技術と課題	■ 脱炭素化に向けて、どのような**技術・手法**がカギとなるか ■ その**実現に向けた課題**は何か	■ プロセスの脱炭素化に向けて、どのような課題が存在するか
Q5 移行に伴うコストギャップ	■ 新技術の導入・製造プロセスの脱炭素化に伴って、**コストの増加等**どのような影響が見込まれるか	■ プロセスの脱炭素化に伴って製造コストの上昇が予想されるが、そのインパクトはどの程度と考えるべきか
Q6 産業が求める政策支援	■ 産業競争力の維持と脱炭素化を両立させるために、産業はどのような**政策支援**を求めているか	■ これらの課題を踏まえて政府としてどのような政策支援が必要か

＜参考：各国の産業構造の比較＞

日本はドイツと産業構造が比較的類似している

生産額全体に占める製造業の割合とエネ多産業の割合（2017年）



出所：OECD stat.「STAN Industrial Analysis (2020 ed.)」
備考：鉄鋼は"D241T31: Iron and steel"、化学工業は"D20: Chemicals and chemical products [CE]"、窯業土石は"D23: Other non-metallic mineral products"、紙パルプは" D17: Paper and paper products"の値。

1. 調査の目的とアプローチ
2. 各産業の調査結果
   - 鉄鋼
   - 化学
   - セメント
   - 製紙
3. 調査結果のまとめ

参考）ヒアリングに関する参考資料

【鉄鋼産業_調査結果サマリ】

欧州の鉄鋼産業は、将来的にも堅調な鋼材需要を見込み、グリーンスチール供給のために、水素還元製鉄と鉄スクラップの利活用を中心に取組を進める

鉄鋼産業の調査結果サマリ

脱炭素社会のビジネス像 Q3

- 将来的にも**鋼材需要は堅調**と見込み、社会ニーズに沿った鋼材（グリーンスチール等）を供給し続ける方針
- **認証制度等**によるグリーンスチールの早期需要創出が重要

産業の現状 Q1

- 還元剤として石炭を用いる特性上、石炭の消費量が最も多い傾向だが、日本に比べて**天然ガス利用が多い**
- 欧州域内の輸出入が活発で、欧州域外への主な輸出先は、米国・中国

脱炭素技術と課題 Q4

- 完全な脱炭素には**水素還元製鉄が不可欠**であり、水素利用可能量に直接的な制約を受ける
- **鉄スクラップを資源と捉え、**循環経済と同時に**電化を進める**

移行に伴うコストギャップ Q5

- 技術の導入コスト、炭素価格、脱炭素エネルギーにより、**製品価格は2-10倍になる恐れ**
- 鋼材の製造コストに占めるエネルギーコストの割合は30％程度

産業内↑↓産業外

外部環境・外圧の変化 Q2

- **EU-ETSのキャップが圧力**となり、将来的な無償割当の段階的な削減を懸念と捉えている
- **自動車や建物のLCA規制により、川下産業からの圧力**も高まっている

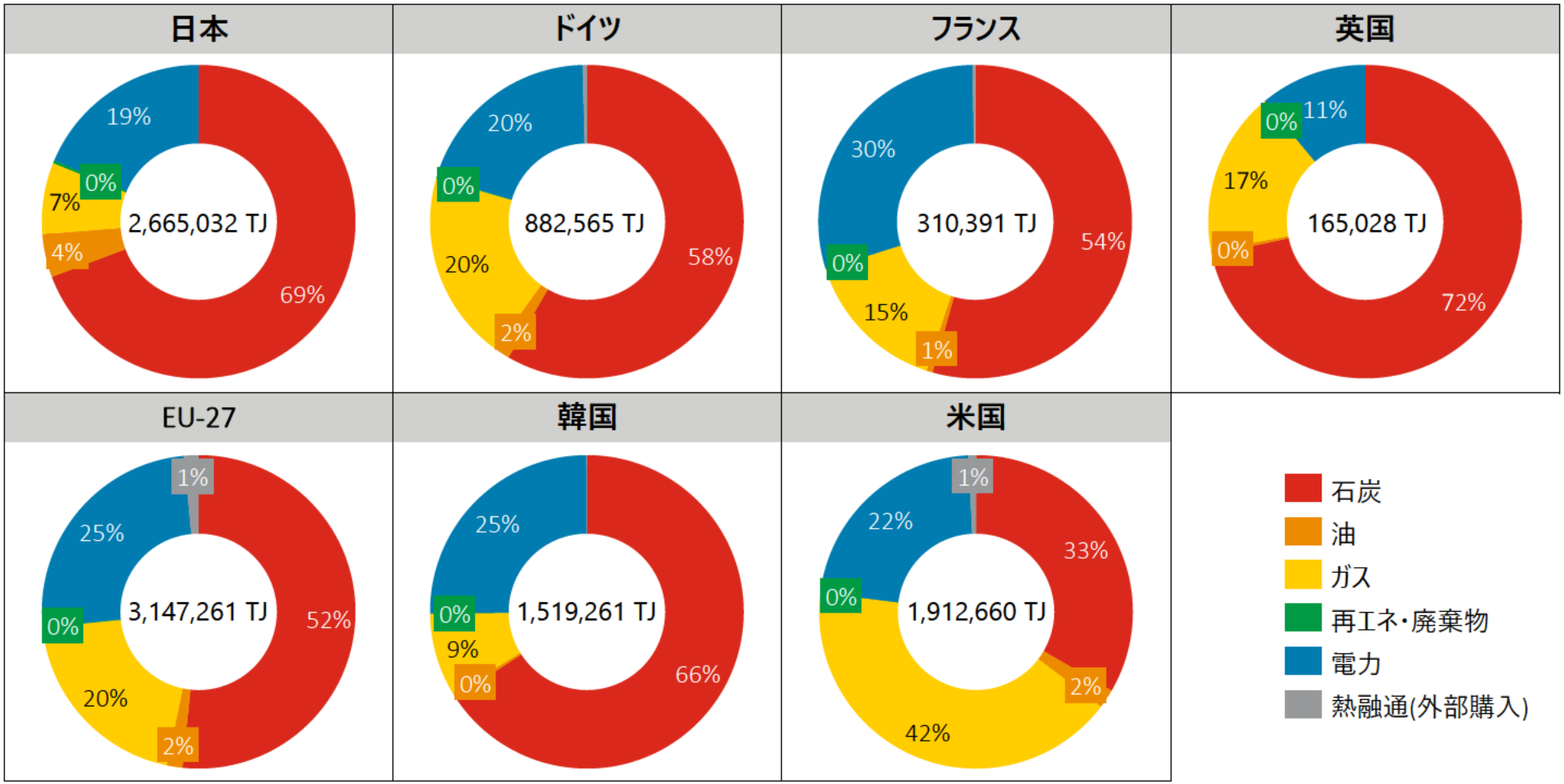
産業が求める政策支援 Q6

- 脱炭素技術の開発・実装に求められる**莫大な資金需要に応える予見可能性の高い施策**（継続的なファンド拠出やグリーン水素の価格を安定させるCCfD等）が必要
- **安価で安定した再エネ電力やグリーン水素等の供給**を実現するためのインフラ整備と、エネルギーコストの上昇を緩和するための取組
- **鉄スクラップの海外流出を抑制**し、戦略的に資源循環と電化を促進するための取組
- ダンピングに対する国際社会と協調した対処および**CBAM等を通した国内産業の保護**

【鉄鋼産業_産業の現状】

欧州各国と日本のエネルギー構成は、石炭が過半を占める点では共通するが、日本は天然ガスへの転換は進んでいない

鉄鋼産業におけるエネルギー構成（2019年）

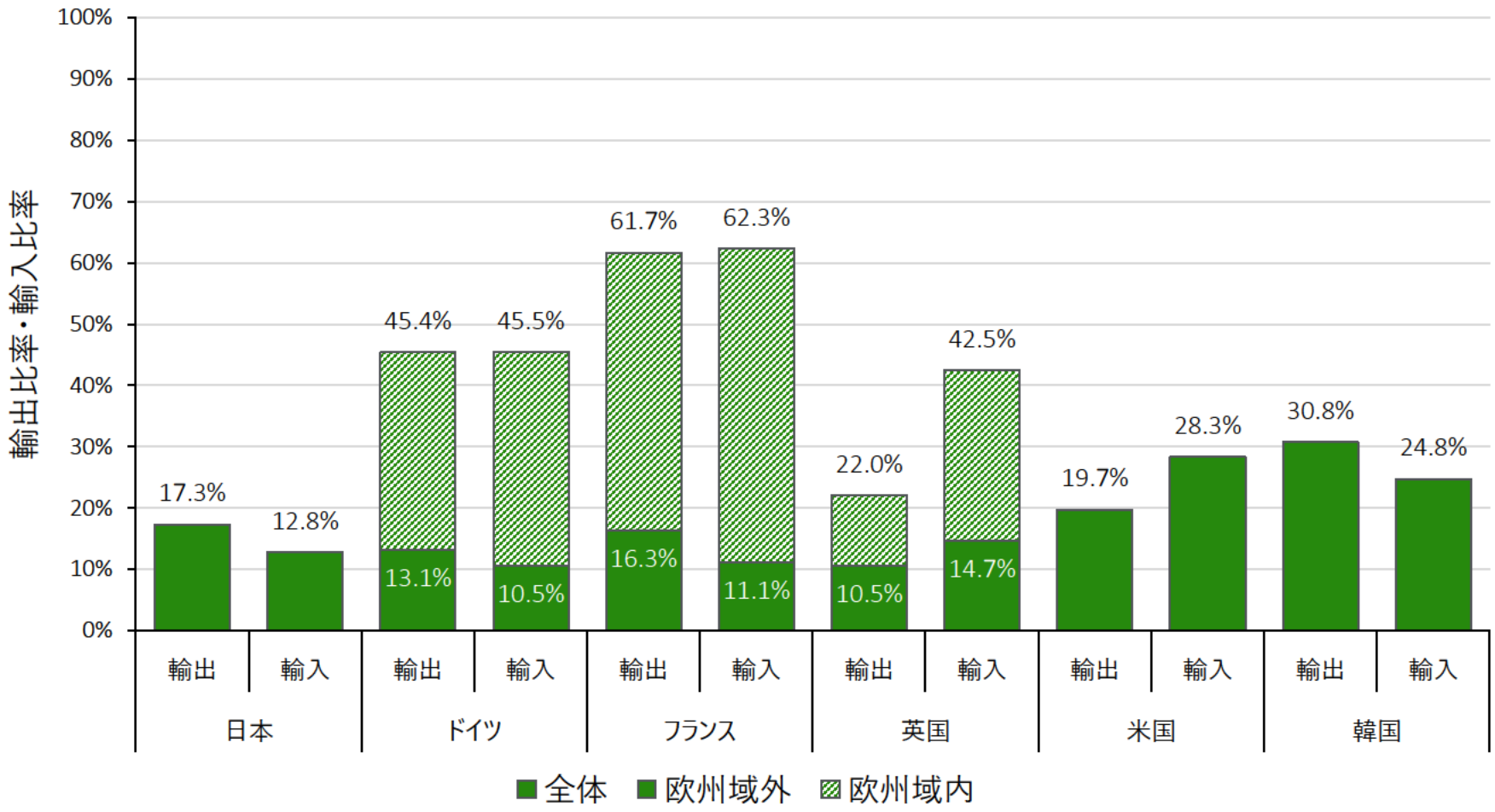


備考：石炭は"Coal and coal products", "Peat and peat products", "Oil shale and oil sands"、油は"Crude, NGL and feedstocks", "Oil products"、ガスは"Natural gas"、再エネ・廃棄物は" Geothermal", "Solar/wind/other", "Biofuels and waste"、電力は"Electricity"、熱は"Heat"で計上。"Nuclear", "Hydro", "Heat production from non-specified combustible fuels"は、対象業種で消費実績が無く対応付けていない。
出所：IEA（2021）「World Energy Balances (2021 edition)」

【鉄鋼産業_産業の現状】

欧州の鉄鋼産業は、欧州域内の輸出入が多く、欧州域外の輸出入比率は、日本よりも低い水準にある

鉄鋼産業の輸出比率・輸入比率の国際比較（2018）



出所：OECD stat. "Input-Output Tables (IOTs) 2021 ed."、UN Comtrade Database
備考：業種別の国内生産額・輸出額・輸入額から、輸出比率＝輸出額÷国内生産額｜輸入比率＝輸入額÷（国内生産額＋輸入額－輸出額）とした

【鉄鋼産業_産業の現状】

独仏は近隣の欧州諸国との取引が活発だが、欧州全域あるいは英国では中国からの輸入が多くなっている

鉄鋼産業における輸出入先上位10か国（2019年）

日本		ドイツ		フランス		英国		EU-27		韓国		米国	
輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア
中国	16%	フランス	9%	ドイツ	20%	アイルランド	8%	米国	15%	中国	14%	カナダ	29%
韓国	16%	オランダ	8%	スペイン	11%	ドイツ	8%	トルコ	11%	日本	13%	メキシコ	29%
タイ	13%	ポーランド	7%	ベルギー	11%	米国	7%	スイス	8%	米国	10%	トルコ	3%
米国	8%	イタリア	7%	イタリア	10%	フランス	6%	中国	7%	インド	8%	中国	3%
ベトナム	6%	オーストリア	6%	米国	5%	トルコ	6%	ノルウェー	5%	メキシコ	6%	その他アジア	2%
インドネシア	6%	ベルギー	5%	英国	4%	オランダ	6%	ロシア	4%	ベトナム	6%	韓国	2%
その他アジア	5%	チェコ	5%	トルコ	4%	スペイン	5%	インド	4%	タイ	5%	インド	2%
メキシコ	4%	米国	5%	ポーランド	3%	スウェーデン	4%	メキシコ	3%	インドネシア	3%	英国	2%
インド	4%	スイス	5%	オランダ	2%	インド	4%	カナダ	2%	トルコ	3%	ドイツ	2%
マレーシア	3%	中国	4%	ルクセンブルグ	2%	イタリア	3%	不明地域	2%	その他アジア	3%	日本	2%

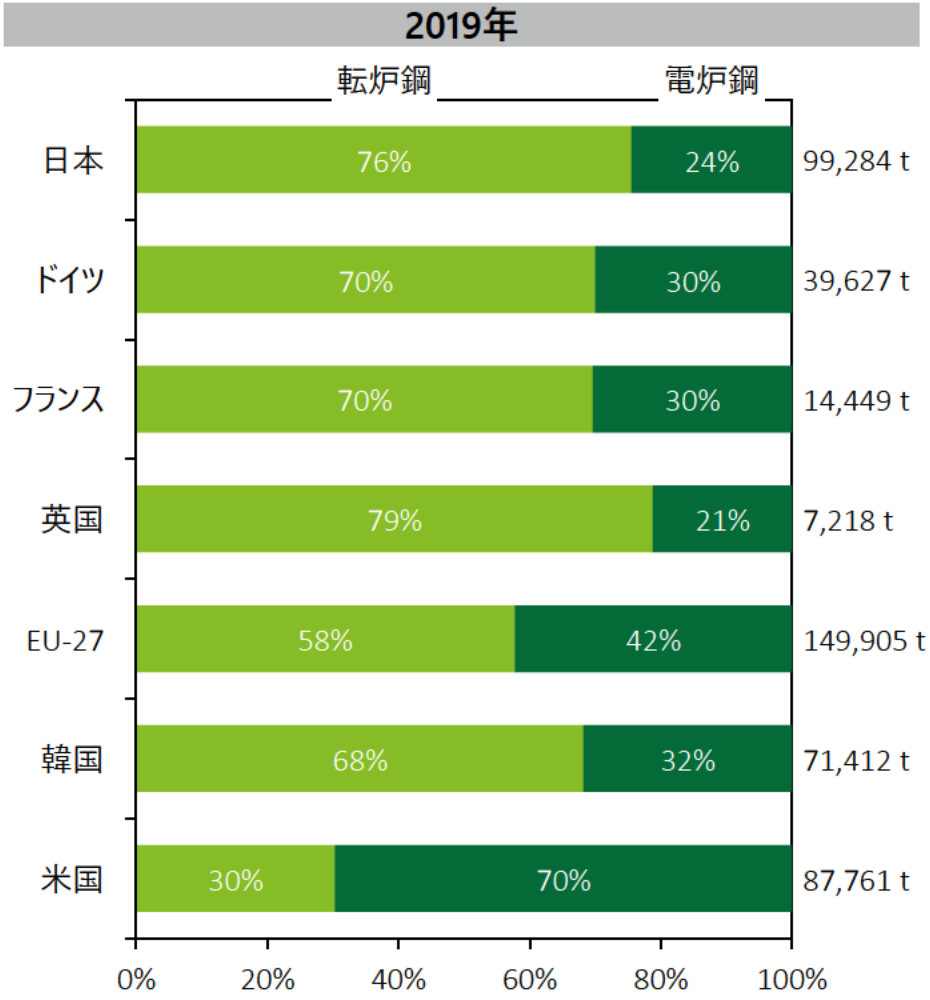
日本		ドイツ		フランス		英国		EU-27		韓国		米国	
輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア
中国	35%	イタリア	12%	ドイツ	20%	デンマーク	13%	中国	23%	中国	41%	中国	19%
韓国	25%	フランス	9%	ベルギー	16%	ドイツ	12%	トルコ	11%	日本	28%	カナダ	14%
その他アジア	8%	オーストリア	8%	イタリア	15%	中国	11%	ロシア	9%	米国	4%	メキシコ	11%
米国	4%	ベルギー	8%	スペイン	10%	ベルギー	6%	インド	6%	インドネシア	3%	その他アジア	6%
ベトナム	4%	オランダ	7%	中国	6%	イタリア	6%	韓国	6%	その他アジア	3%	韓国	6%
カザフスタン	3%	ポーランド	7%	オランダ	3%	スペイン	5%	ウクライナ	6%	ブラジル	2%	ブラジル	6%
タイ	2%	中国	7%	英国	3%	オランダ	5%	米国	5%	ロシア	2%	ドイツ	5%
ブラジル	2%	チェコ	6%	米国	2%	フランス	5%	その他アジア	5%	ドイツ	2%	日本	4%
南アフリカ	2%	スウェーデン	3%	ポーランド	2%	トルコ	5%	スイス	4%	インド	2%	インド	3%
マレーシア	2%	スペイン	3%	フランス	2%	米国	4%	ブラジル	3%	ベトナム	2%	ロシア	3%

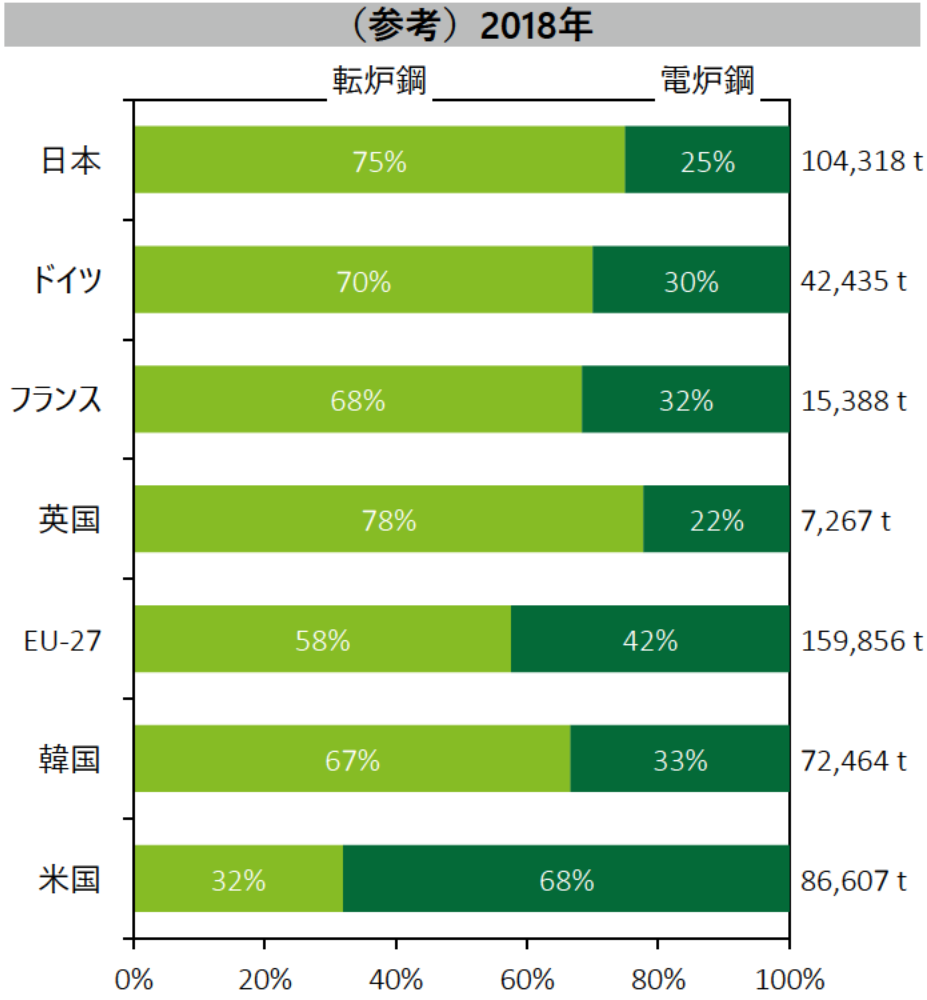
備考：UN ComtradeにおけるHSコードのうち、品目：【72 - Iron and steel（鉄鋼）】及び【73 - Iron or steel articles（鉄鋼製品）】の値を採用。
出所：UN Comtrade Database

＜参考：鉄鋼産業における転炉・電気炉の生産比率＞

日本の電炉鋼は全体の25％程度であり、英国を除き欧米諸国や韓国よりも低い傾向

転炉鋼と電炉鋼の比率（生産量ベース）





出所：World Steel Association（2021）「Steel Statistical Yearbook 2020 concise version」

＜参考：主要な鉄鋼メーカーの戦略例＞

ArcelorMittalは、脱炭素社会における規制や社会ニーズに対応した鋼材製造に取り組む

Arcelor Mittal社の事業戦略の概要

ArcelorMittal社の戦略

ビジネス戦略	鉄鋼	■ グローバルな事業展開と技術力を強みとして業界をリードしていくことを志向 ■ 自動車・エネルギー・インフラ等の顧客ニーズに合わせた技術・サービスの提供
	鉱業	■ 強固な財務基盤を基に、継続的に鉱業資産へ投資 ■ 鉱業～鉄鋼の幅広い事業ポートフォリオを有することで、製品価値の最適化を実現
	オペレーション	■ 鉄鋼・鉱業双方のセグメントにおけるオペレーションの最適化
R&D戦略	自動車	変化する自動車産業のニーズへの対応： ■ BEVやハイブリット車向けに、CO2排出量を削減するとともにアルミと同程度に軽量化された鉄鋼製品を提供
	エネルギー	エネルギー転換の加速に向けて必要となるソリューションの提供： ■ 太陽光発電モジュールで幅広く使用されている防食スチールコーティングについて特許を取得済 ■ 水素・天然ガス・風力発電・CCS等のインフラやグリッド向けのソリューション開発に取り組む
	建設	高付加価値製品の提供： ■ リサイクル工程を経ずに再利用可能な鉄鋼部品の提供による作業の効率化コスト改善 ■ 強度に優れた鉄鋼部品の使用による鉄鋼使用量の削減
	オペレーション	■ デジタル化・3Dプリンティングを活用したオペレーションの最適化

大きく事業ポートフォリオを再編する動きは見られないが、従来の鉄鋼ビジネスの中で、より多様化する需要家のニーズに対応した鉄鋼製品、脱炭素社会に対応したグリーンスチールを提供していく方針

出所：ArcelorMittal(2020) “Annual Report 2020”

＜参考：欧州における鉄鋼業の脱炭素戦略＞

電化・水素還元製鉄・CCUS等の技術を通して脱炭素を実現していく

欧州鉄鋼連盟の提示する道筋と各技術の技術熟度

欧州鉄鋼連盟（EUROFER）が提示する3つの道筋

道筋／グルーピング			叙述的内容	欧州内プロジェクト例
循環経済：転炉／電気炉によるスクラップ鉄のリサイクルやその副産物の処理を強化し、資源効率性を向上	スマートな炉素利用	1 炭素削減を含むプロセス統合＋CCS	✓ 最新の製鉄所の製鉄プロセスに徐々に置き換えることで、炭素を削減する	HISARNA, IGAR, PEM, STEPWISE, Torero
		2 炭素回収利用＋CCS	✓ 製鉄プロセスにおける副生ガス（CO、CO2）を原料として再利用する	Steelanol, Carbon2Chem, FReSMe, Everst, Carbon2Value
	炭素の直接回避	3 水素、電力	✓ 水素還元製鉄（再エネ水素利用）や再エネ電力による電気分解製鉄の活用	HYBRIT, H2Steel, tkH2Steel, GrinHy SALCOS, SIDERWIN

鉄鋼産業の脱炭素化に係る技術成熟度

分類	技術	TRL	欧州内プロジェクト
電化	電気炉のリサイクル拡大	–	–
	電気炉の電気分解製鉄	4	SIDERWIN
水素	水素直接還元製鉄	5	HYVRID, SALCOS, tkH2Steel
	水素プラズマ溶融還元製鉄	4	SuSteel
CCUS	CCS付製鉄プロセス	6-7	Hisarna
	副生ガスの合成燃料化	8	Steelanol, Igar
	副生ガスの化学物質化	7	Carbon2Chem, Carbalyst

出所：EUROFER（2019）「LOW CARBON ROADMAP Pathways To A Co2-Neutral European Steel Industry」、
欧州委員会（2021）「Towards competitive and clean European steel」

＜参考：欧州における鉄鋼業の脱炭素戦略＞

鉄鋼向けの脱炭素技術を6つに分類し、CN鋼材のための技術の時間軸を整理

欧州政府研究機関が見込む鉄鋼業の脱炭素技術と時間軸

分類別脱炭素技術 鉄鋼

循環経済

- ✓ スクラップ鉄のより効率的なリサイクル
- ✓ 建材の木材への置き換え

電化

- ✓ アーク式電気炉
- ✓ 電気分解製鉄法

CCUS

- ✓ 炉頂ガス循環＋CO2分離（ULCOS）
- ✓ 溶融還元処理＋CO2分離（Hisarna）
- ✓ CO2回収＋化学原料化（Steel2chemicals）
- ✓ CO2含む炉ガスの嫌気性発酵によるメタノール化（Steelanol）

水素

- ✓ グリーン水素＋直接還元・電炉（HYBRIT）
- ✓ グリーン水素＋シャフト炉での還元製鉄（SALCOS・ H2Future）

バイオマス

- ✓ 高炉におけるバイオコークス利用

その他プロセスイノベーション

- ✓ 溶融還元処理＋CO2分離（Hisarna）

技術の時間軸 鉄鋼

2020

- ✓ 可能な範囲で高炉ガスのCCUS
- ✓ スラグの鉱物化・有効利用
- ✓ スクラップ効率の向上
- ✓ カーシェアの普及による鋼材需要減（循環経済にも寄与）
- ✓ 建材の木材への置き換えによる鋼材需要減（循環経済にも寄与）

2030

- ✓ 高炉のHisarnaへの転換
- ✓ 直接還元＋電炉方式（DRI-EAF）への転換

2050

- ✓ 以下いずれかでカーボンニュートラル鋼を製造
  - ➢ CCS付き高炉又はバイオコークス利用の高炉
  - ➢ グリーン水素・ブルー水素・バイオガスを用いた直接還元＋電炉方式（DRI-EAF）
  - ➢ グリーン電力＋電気分解製鉄法

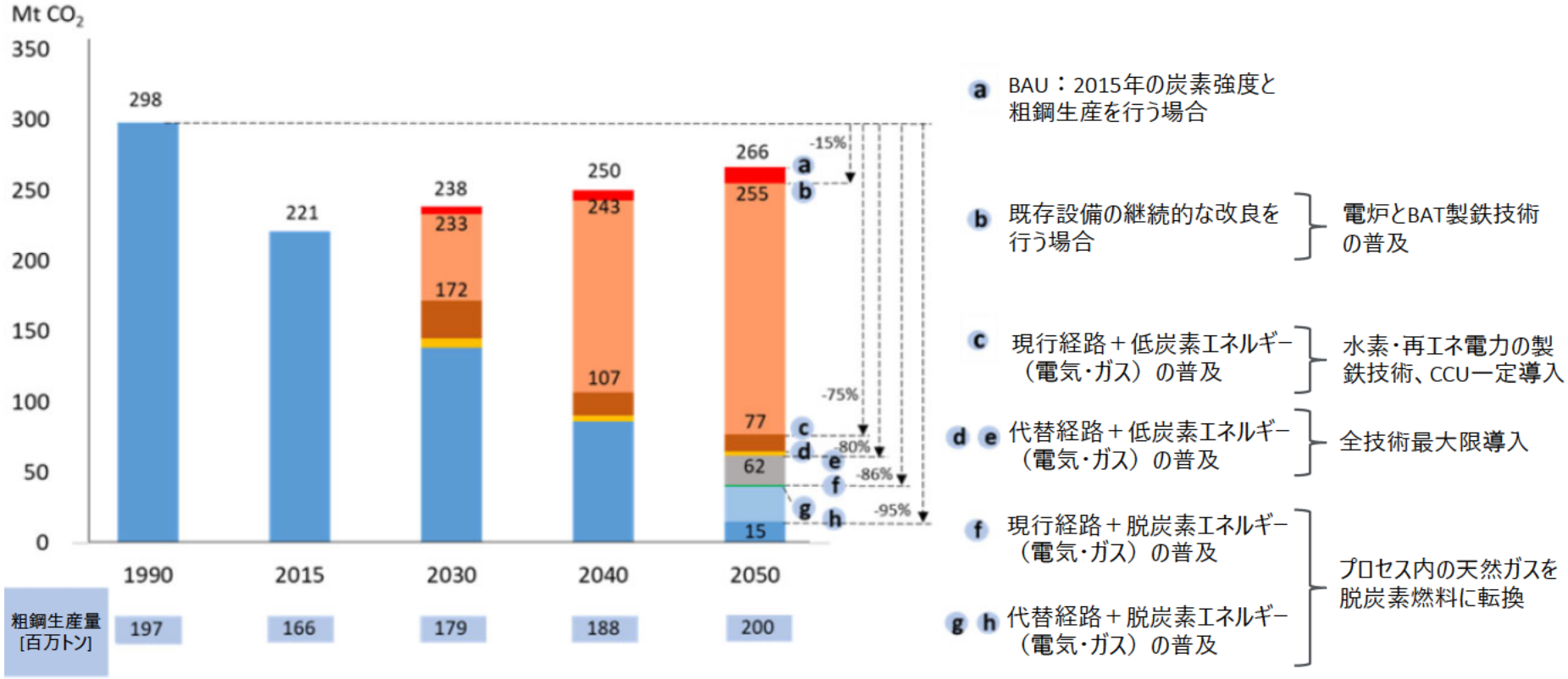
出所：欧州議会・産業研究エネルギー委員会（2020）「Energy-intensive industries - Challenges and opportunities in energy transition」

＜参考：欧州における鉄鋼業の脱炭素戦略＞

2050年95％削減を実現するためには、膨大な再エネと水素の供給が必要

欧州鉄鋼連盟によるシナリオ分析（2050年95％削減）

- 2050年95％削減シナリオにおける必要電力量は400TWh／年、水素量は約550万トン／年（≒234TWh／年）、CCS埋蔵量は6,300万トン／年と見込んでいる
- 粗鋼生産の伸び率は年率0.5％増を見込んでいる

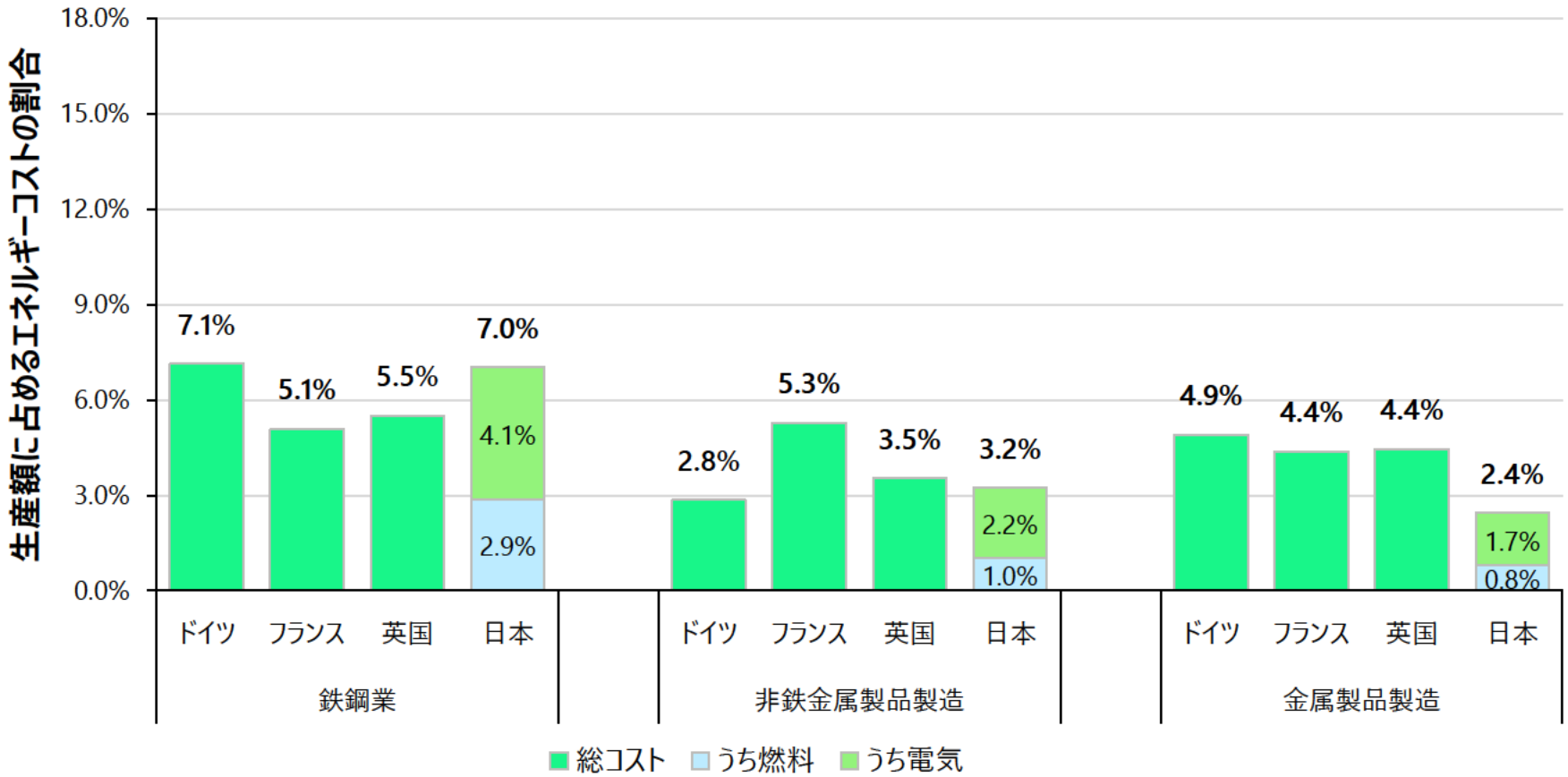


出所：EUROFER（2019）「LOW CARBON ROADMAP Pathways To A Co2-Neutral European Steel Industry」

＜参考：鉄鋼業の生産額に占めるエネルギーコストの割合＞

鉄鋼業の製造に係るエネルギーコストが相対的に高いが、6～7%程度

鉄鋼業の生産額に占めるエネルギーコストの割合・国際比較（2018年時点）



備考：鉄鋼業は、Eurostatの"Manufacture of basic iron and steel and of ferro-alloys"、工業統計の"鉄鋼業"に対応｜非鉄金属製品製造は、Eurostatの"Manufacture of basic precious and other non-ferrous metals"、工業統計の"非鉄金属製造業"に対応｜金属製品製造は、Eurostatの"Casting of metals"、工業統計の"金属製品製造業"に対応

出所：Eurostat・Annual detailed enterprise statistics for industry (NACE Rev. 2, B-E) [SBS_NA_IND_R2__custom_2223553]、経済産業省・工業統計

1. 調査の目的とアプローチ
2. 各産業の調査結果
   - 鉄鋼
   - 化学
   - セメント
   - 製紙
3. 調査結果のまとめ

参考）ヒアリングに関する参考資料

【化学産業_調査結果サマリ】

欧州の化学産業は、製造工程だけでなく原料の脱炭素化が急務であり、原料としての再エネ電力や水素、カーボンリサイクルを実現するインフラ整備や市場創出を要請する

化学産業の調査結果サマリ

産業の現状 Q1

- 原料としてナフサを用いる特性上、石油製品の消費量が最も多いが、日本に比べて**天然ガス利用が多い**
- 欧州域外への主な輸出先は米国

外部環境・外圧の変化 Q2

- 化石燃料を原料として使用するため、**製造工程の脱炭素化のみならず、CO2の循環利用に対する要請**がある
- 政府からの圧力だけでなく、環境NGOからの訴訟リスクを言及する声もある

脱炭素技術と課題 Q4

- 高温プロセス（主にナフサ分解炉）の脱炭素化と電化を進める必要
- 原料としての**CO2の調達**、廃棄物の高騰、**ケミリサ・CCUに必要な大量の再エネ電源とグリーン水素の確保**

移行に伴うコストギャップ Q5

- エネルギーコストの増加だけでなく、**脱炭素な原料コストの不確実性が高い**
- 基礎化学品は価格競争に陥りやすく、脱炭素化の移行期にコスト競争力の低下が懸念される

脱炭素社会のビジネス像 Q3

- 基礎化学品であれば、再エネ電力、グリーン水素、CO2が潤沢な地域で生産し、輸入する方向が効率的
- 医薬品等の**誘導品にポートフォリオを多角化**する企業も

産業が求める政策支援 Q6

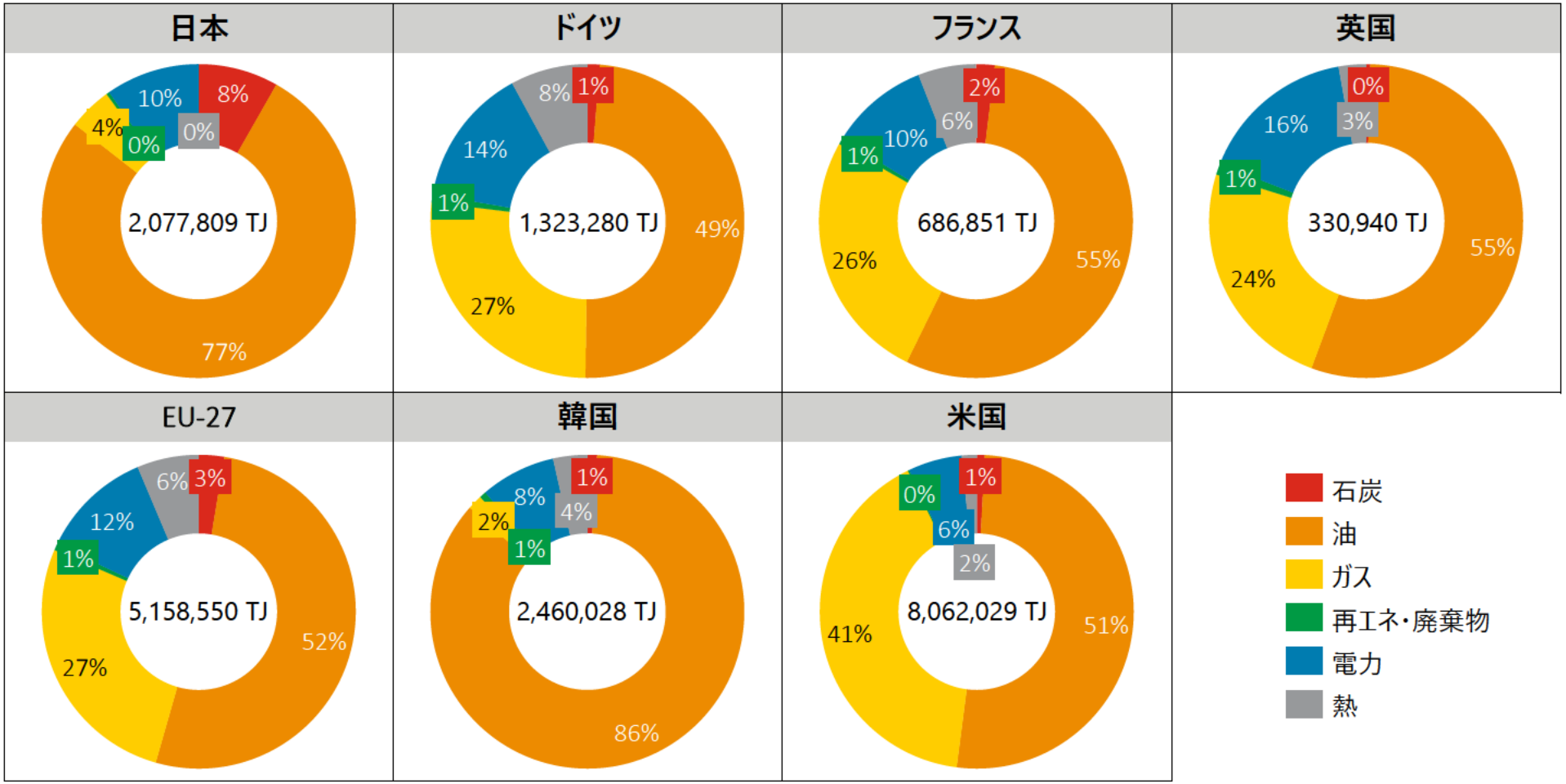
- 脱炭素エネルギー（電力や水素）の安価で安定的な供給を実現するインフラ整備と同時に、**原料となるCO2パイプラインの構築**を促す取組
- 基礎化学品における**循環性の指標化や認証等、CCUや再生材による製品の市場を創出**する取組
- 輸出入が活発であるため、**国際的に統一された炭素価格のルール形成**に係る取組

産業内↑↓産業外

【化学産業_産業の現状】

化学産業は全体としてエネルギー構成に占める油の割合が大きいが、欧州では相対的に天然ガスの比率が高くなっている

化学産業におけるエネルギー構成（2019年）

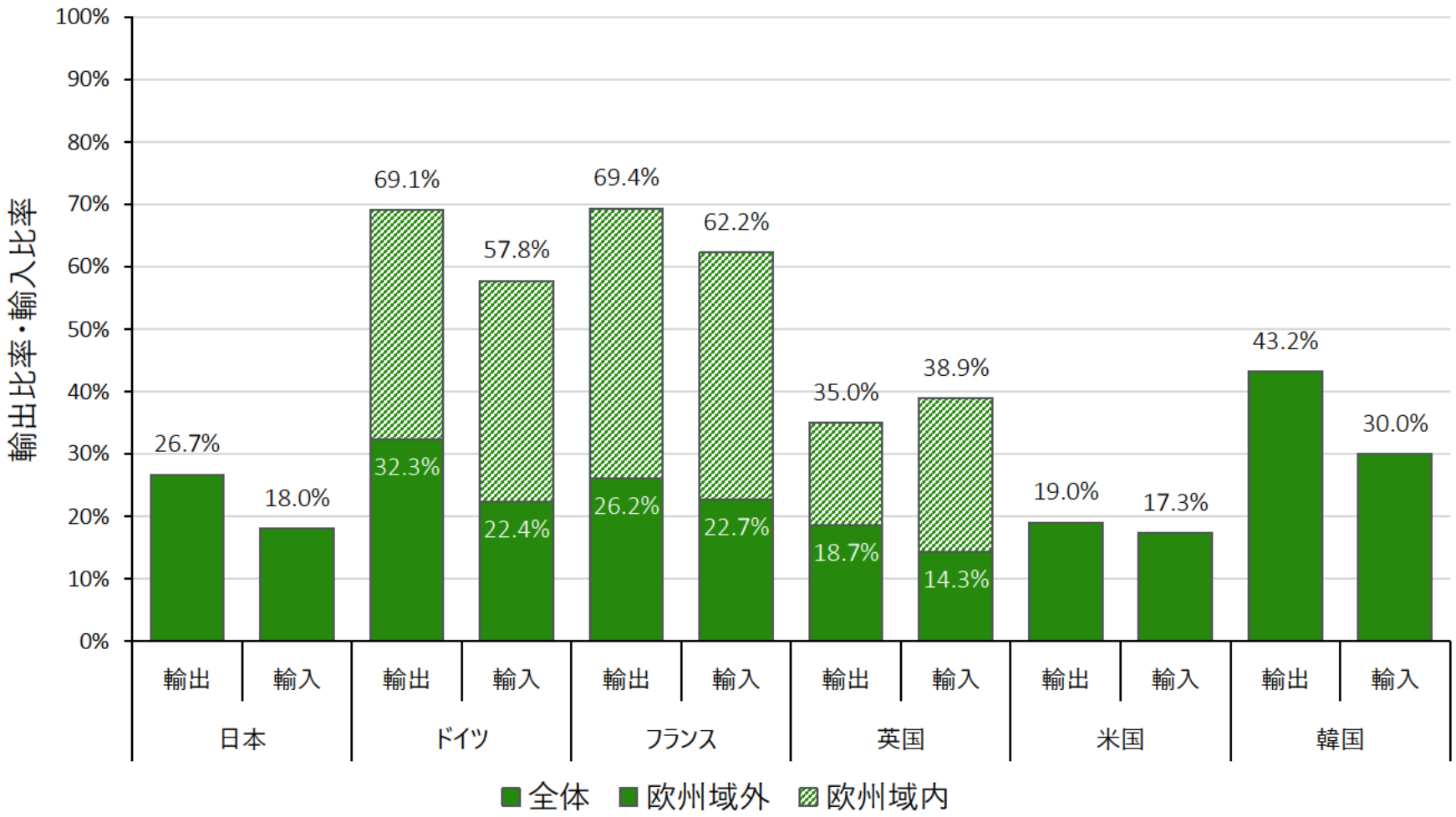


出所：IEA（2021）「World Energy Balances (2021 edition)」
備考：石炭は"Coal and coal products", "Peat and peat products", "Oil shale and oil sands"、油は"Crude, NGL and feedstocks", "Oil products"、ガスは"Natural gas"、再エネ・廃棄物は" Geothermal", "Solar/wind/other", "Biofuels and waste"、電力は"Electricity"、熱は"Heat"で計上。"Nuclear", "Hydro", "Heat production from non-specified combustible fuels"は、対象業種で消費実績が無く対応付けていない。

【化学産業_産業の現状】

欧州の化学産業は、欧州域内の輸出入が多く、欧州域外の輸出入比率は、日本や米国と同水準である

化学産業における輸出比率・輸入比率の国際比較（2018）



出所：OECD stat. "Input-Output Tables (IOTs) 2021 ed."、UN Comtrade Database
備考：業種別の国内生産額・輸出額・輸入額から、輸出比率＝輸出額÷国内生産額｜輸入比率＝輸入額÷（国内生産額＋輸入額－輸出額）とした

【化学産業_産業の現状】
化学品は欧州・米国・中国などの間で幅広く取引が行われている

化学産業における輸出入先上位10か国（2019年）

日本		ドイツ		フランス		英国		EU-27		韓国		米国	
輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア
中国	30%	米国	10%	ドイツ	15%	米国	36%	米国	37%	中国	51%	メキシコ	14%
韓国	14%	フランス	9%	米国	8%	ドイツ	11%	スイス	9%	日本	7%	カナダ	9%
米国	13%	オランダ	8%	イタリア	8%	オランダ	9%	中国	7%	その他アジア	7%	日本	7%
その他アジア	11%	ベルギー	7%	スペイン	7%	ベルギー	7%	日本	4%	米国	5%	ベルギー	7%
タイ	4%	中国	6%	ベルギー	7%	フランス	6%	機密パートナー	4%	インド	5%	韓国	6%
ドイツ	4%	イタリア	5%	英国	6%	アイルランド	4%	トルコ	4%	マレーシア	2%	中国	6%
インド	3%	英国	5%	オランダ	6%	スイス	3%	ブラジル	4%	トルコ	2%	ブラジル	5%
インドネシア	2%	スペイン	4%	アイルランド	5%	スペイン	3%	インド	3%	ベトナム	2%	インド	5%
オランダ	2%	スイス	4%	中国	4%	インド	2%	韓国	3%	タイ	1%	オランダ	4%
ベルギー	2%	ポーランド	4%	スイス	4%	中国	2%	カナダ	3%	インドネシア	1%	イタリア	3%

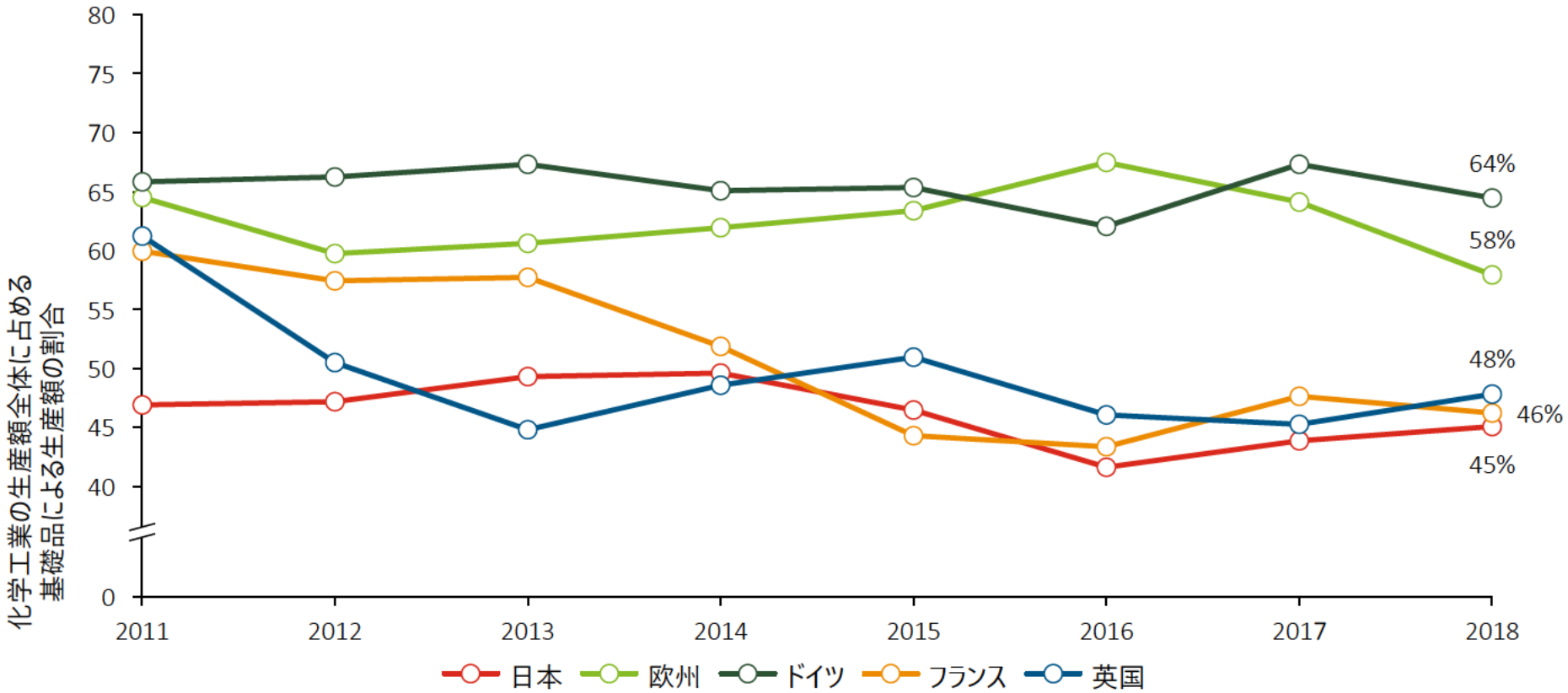
日本		ドイツ		フランス		英国		EU-27		韓国		米国	
輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア
中国	27%	アイルランド	21%	ドイツ	17%	オランダ	19%	スイス	21%	中国	36%	アイルランド	23%
米国	18%	ベルギー	11%	ベルギー	13%	ドイツ	13%	米国	18%	日本	17%	中国	14%
韓国	8%	スイス	10%	米国	11%	中国	9%	中国	17%	米国	13%	カナダ	8%
ドイツ	6%	オランダ	8%	オランダ	9%	米国	9%	インド	6%	ドイツ	5%	スイス	6%
ベルギー	4%	中国	7%	中国	7%	ベルギー	8%	ロシア	5%	その他アジア	3%	ドイツ	6%
アイルランド	4%	米国	5%	オーストリア	5%	フランス	7%	シンガポール	4%	インド	3%	日本	5%
インド	4%	フランス	5%	アイルランド	5%	アイルランド	6%	日本	4%	チリ	2%	インド	4%
その他アジア	3%	イタリア	4%	スイス	5%	スペイン	3%	ノルウェー	3%	サウジアラビア	2%	シンガポール	4%
イタリア	3%	英国	4%	英国	4%	インド	3%	サウジアラビア	2%	カナダ	1%	英国	4%
フランス	2%	シンガポール	4%	イタリア	4%	イタリア	3%	韓国	2%	ロシア	1%	オランダ	3%

出所：UN Comtrade Database
備考：UN ComtradeにおけるHSコードのうち、品目：【28- Inorganic chemicals; organic and inorganic compounds of precious metals; of rare earth metals, of radio-active elements and of isotopes（無機化学品及び貴金属、希土類金属、放射性元素又は同位元素の無機又は有機の化合物）】及び【29 - Organic chemicals（有機化学品）】の値を採用。

【化学産業_産業の現状】

ドイツ・欧州の化学産業は、日本と比べて基礎化学品の比率が高い傾向

基礎品・機能品の生産額比率の推移（2011～2018年）



留意点

- 基礎品は、Eurostatの分類上の「Manufacture of basic chemicals, fertilisers and nitrogen compounds, plastics and synthetic rubber in primary forms」、工業統計の分類上の「化学肥料製造業」「無機化学工業製品製造業」「有機化学工業製品製造業」とする
- 機能品は、化学工業全体から上記の基礎品の生産額を差し引いた値とする

出所：Eurostat、工業統計、経済センサス

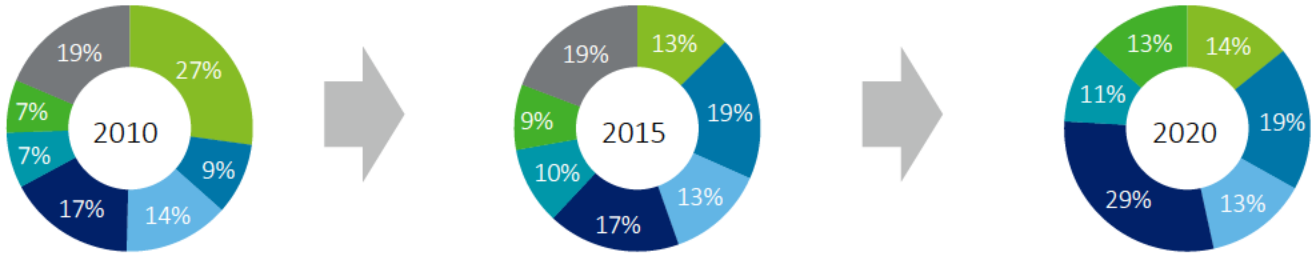
＜参考：主要な化学メーカーの戦略例＞
BASFでは、誘導品やソリューション提供事業を強化する動きがみられる

BASF社の事業戦略の概要

BASF社の戦略の柱

Innovation	■ 業界のイノベーションリーダーとして研究開発に取り組む ■ ケミカルリサイクル、バッテリー技術、基礎化学品の低炭素生産、農業のデジタル化、自動車の軽量化やエネルギー効率の高い建材などにも取り組んでいる
Production	■ 市場の需要に基づいてリソースを配分することで、CO2排出も最適化
Sustainability	■ 2050年までにネットゼロ ■ 2025年までにサステナビリティに貢献する製品を220億€
Portfolio	■ M&A等を通してポートフォリオを最適化 ■ エンジニアリングプラスチックや農業部門を強化（ソルベイやバイエルから事業を買収） ■ 電池材料事業の拡大を予定

BASF社の事業ポートフォリオ（2010⇒2020）



全体的な傾向

- Chemicalsの売上比率の縮小
- Oil+Gas事業の撤退
- 自動車関連触媒や農薬事業部門の拡大

Chemicals	石油化学、中間体
Material	ﾓﾉﾏｰ、ﾊﾟﾌｫｰﾏﾝｽﾏﾃﾘｱﾙ(ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞﾌﾟﾗ、高機能ﾌﾟﾗ、ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ) ※ポリアミド事業部はSolvayから事業を買収するなど強化
Industrial Solutions	ﾊﾟﾌｫｰﾏﾝｽｹﾐｶﾙ（産業用にｶｽﾀﾏｲｽﾞされた化学品-自動車用ｺﾞﾑ･ﾌﾞﾚｰｷ液等）、顔料
Surface Technologies	(特に自動車用の)コーティングや触媒 ※コーティング事業は売却を進めるが、自動車用触媒は強化
Nutrition & Care	化粧品･洗剤材料、食品添加物
Agricultural Solutions	農薬（除草剤、防虫剤等） ※AHP, Novaltis, Bayerから事業を買収するなど強化
Oil & Gas	石油･天然ガス ※事業から撤退

出所：BASF社HP、プレスリリースおよび各年度のAnnualReport

＜参考：欧州における化学工業の脱炭素戦略＞

石油精製・化学工業向けの脱炭素技術を6つに分類し、技術の時間軸を整理

欧州政府研究機関が見込む石油精製・化学工業の脱炭素技術と時間軸（１／２）

分類別脱炭素技術（石油精製／基礎品／ポリマー／肥料）

循環経済
- ✓ 高品質なプラスチックリサイクル
- ✓ 廃プラスチックからのナフサ
- ✓ 肥料使用量の削減
- ✓ 電気自動車による燃料需要の削減

電化
- ✓ スチームクラッカー炉（電気駆動）
- ✓ 電気ボイラ
- ✓ ヒートポンプ

CCUS
- ✓ 合成ガス製造（水蒸気改質法）＋CO2分離
- ✓ 酸素燃焼回収（Oxy-fuel）＋CCUS
- ✓ 合成燃料

水素
- ✓ 水電解装置からの水素生成＋水素熱利用

バイオマス
- ✓ バイオマスベース飼料
- ✓ バイオ燃料
- ✓ メタノール化・エタノール化（MeOH・EtOH）＋化学基礎品製造
- ✓ バイオ由来のベンゼン類（BTX）

その他プロセスイノベーション
- ✓ 接触分解式エチレンクラッカー
- ✓ 新たな分留技術

技術の時間軸

石油精製

2020	2030	2050
✓ CCUS付帯の副生水素精製 ✓ 電気ボイラ ✓ MVR（自己蒸気機械圧縮）型蒸留装置 ✓ カーシェアの普及による燃料需要減（循環経済にも寄与） ✓ 電気自動車の普及による燃料需要減	✓ 電気炉 ✓ 蒸留における高性能膜分離プロセス又はエネルギー効率の高い分離プロセスへの転換 ✓ 海運・航空用途のグリーンエネルギー	✓ 以下によりカーボンニュートラル燃料を供給 ➢ 電気駆動の移動体 ➢ グリーン水素 ➢ 生物起源CO2（biogenic CO2）による合成燃料

出所：欧州議会・産業研究エネルギー委員会（2020）「Energy-intensive industries - Challenges and opportunities in energy transition」

＜参考：欧州における化学工業の脱炭素戦略＞

石油精製・化学工業向けの脱炭素技術を6つに分類し、技術の時間軸を整理

欧州政府研究機関が見込む石油精製・化学工業の脱炭素技術と時間軸（２／２）

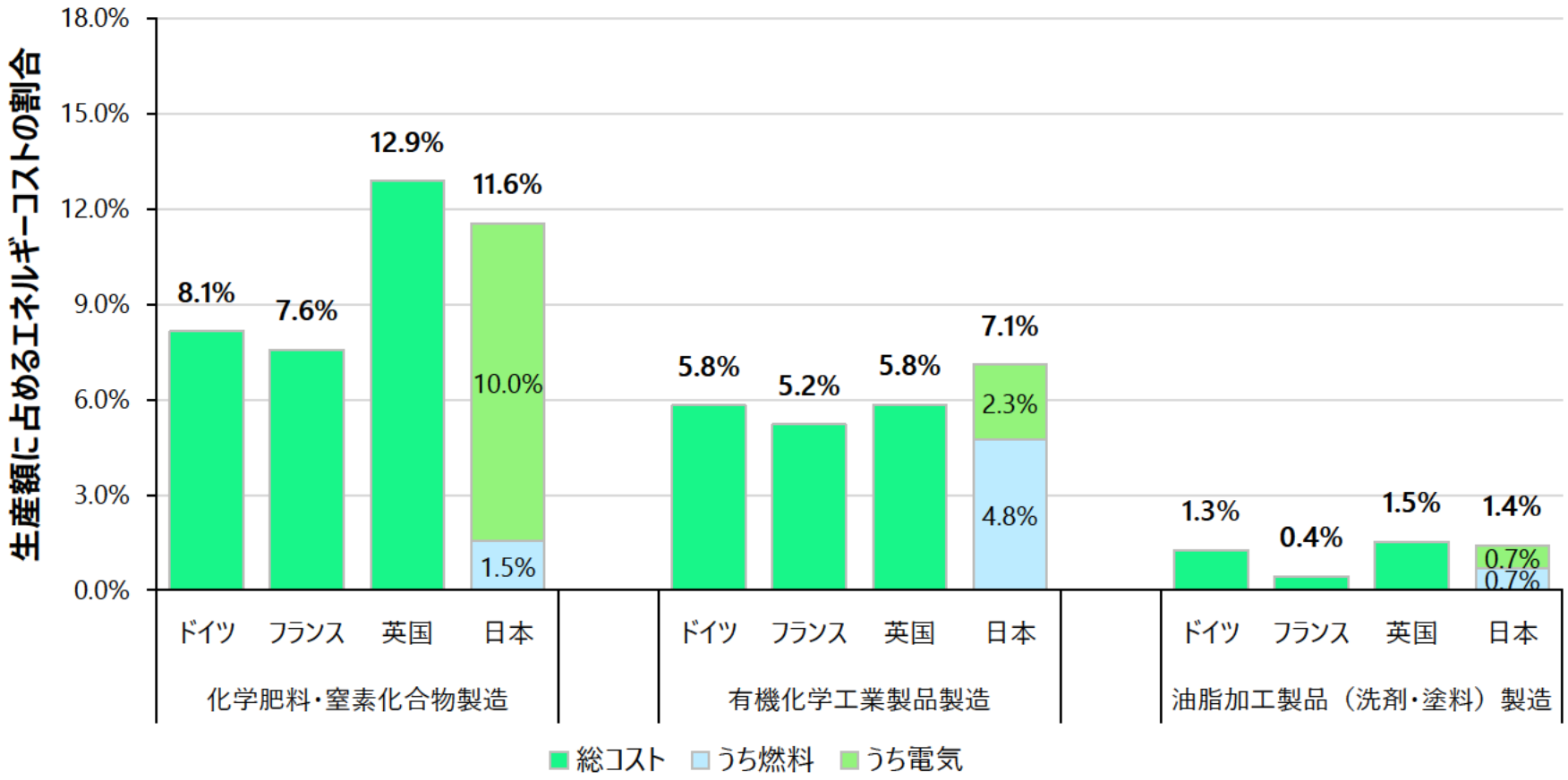
		2020	2030	2050
技術の時間軸（続）	基礎品・ポリマー	✓ プラスチック・単一品のケミカルリサイクル ✓ 従来プラスチックのバイオマス化 ✓ バイオマス100％の専用プラスチック ✓ 電気ボイラ ✓ ヒートポンプ ✓ MVR（自己蒸気機械圧縮）型蒸留装置 ✓ メカニカルリサイクルの改善（循環経済にも寄与） ✓ 廃棄物焼却プラントで排出されるCO2捕捉（循環経済にも寄与）	✓ 混合品のケミカルリサイクル ✓ CO2回収（CCU）による化学品製造 ✓ 電気炉 ✓ スチームクラッカー炉（電気駆動）	✓ 以下によりカーボンニュートラル化学製品を供給 ➢ バイオマス由来又はCCU由来の原料（原料用化石燃料の代替） ➢ 電気又は地熱由来の熱供給 ➢ あらゆるプロセス由来の排出量の捕捉
	肥料	✓ CCUS付帯の水素精製 ✓ 有機肥料の消費量増加 ✓ より少ない肥料で作物を育てる慣習改善	✓ グリーン水素を用いた肥料生産	✓ 以下によりカーボンニュートラル肥料を供給 ➢ グリーン水素による肥料生産 ➢ 完全にCO2を回収した天然ガスによる肥料生産

出所：欧州議会・産業研究エネルギー委員会（2020）「Energy-intensive industries - Challenges and opportunities in energy transition」

＜参考：化学工業の生産額に占めるエネルギーコストの割合＞

化学肥料の製造に係るエネルギーコストが相対的に高く、10％程度を占めている

化学工業の生産額に占めるエネルギーコストの割合・国際比較（2018年時点） 1／2

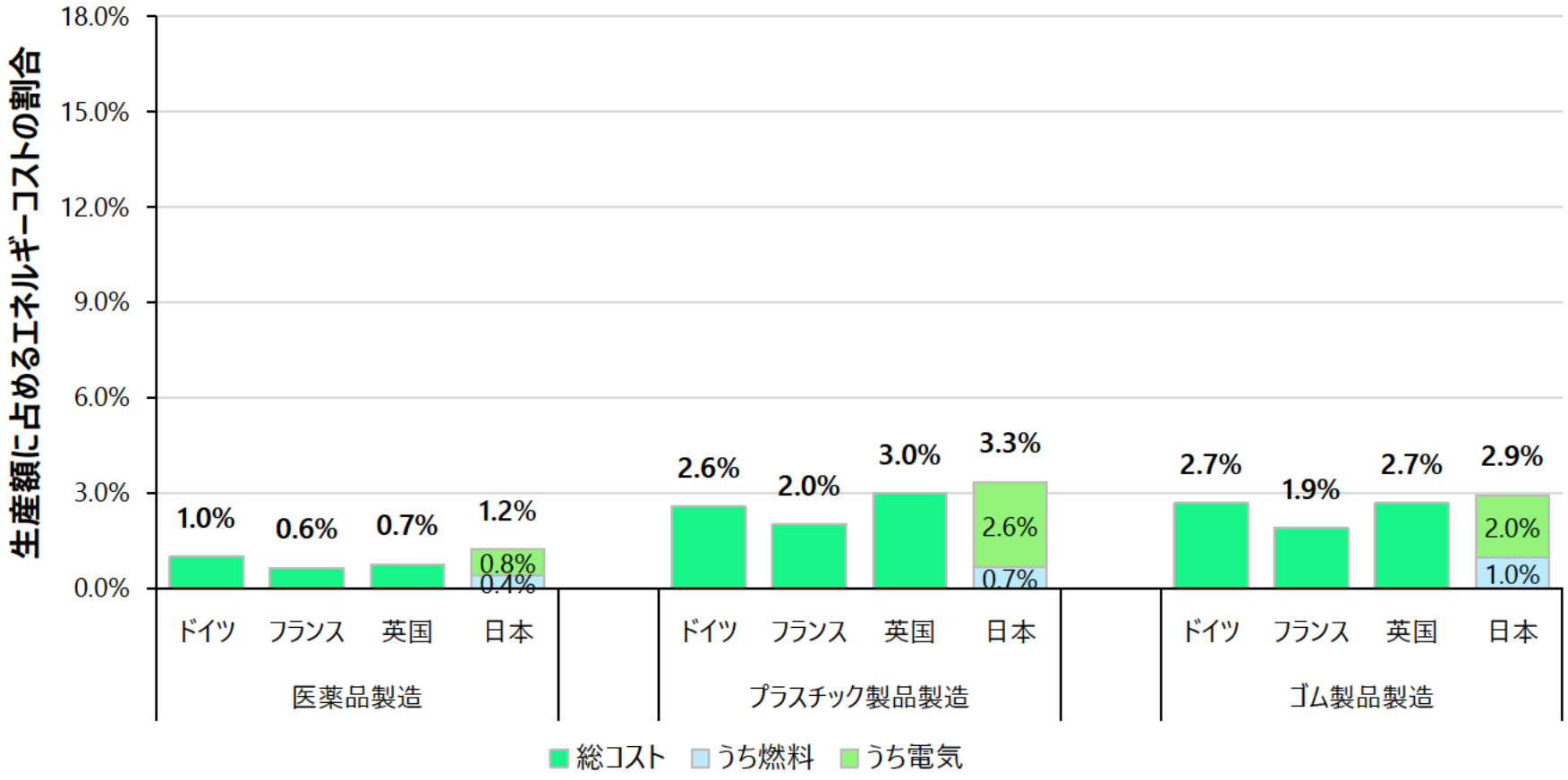


備考：化学肥料・窒素化合物製造は、Eurostatの"Manufacture of fertilisers and nitrogen compounds"、工業統計の"化学肥料製造業"に対応｜有機化学工業製品製造は、Eurostatの" Manufacture of basic chemicals, fertilisers and nitrogen compounds, plastics and synthetic rubber in primary forms"、工業統計の"有機化学工業製品製造業"に対応｜油脂加工製品（洗剤・塗料）製造は、Eurostatの" Manufacture of soap and detergents, cleaning and polishing preparations, perfumes and toilet preparations"、工業統計の"油脂加工製品・石けん・合成洗剤・界面活性剤・塗料製造業"に対応
出所：Eurostat・Annual detailed enterprise statistics for industry (NACE Rev. 2, B-E) [SBS_NA_IND_R2__custom_2223553]、経済産業省・工業統計

＜参考：化学工業の生産額に占めるエネルギーコストの割合＞

医薬品やプラスチック・ゴム等の製造に係るエネルギーコストは基礎品に比べて低い傾向

化学工業の生産額に占めるエネルギーコストの割合・国際比較（2018年時点） 2／2



備考：医薬品製造は、Eurostatの" Manufacture of basic pharmaceutical products and pharmaceutical preparations"、工業統計の"医薬品製造業"に対応｜プラスチック製品製造は、Eurostatの" Manufacture of plastics products"、工業統計の"プラスチック製品製造業（別掲を除く）"に対応｜ゴム製品製造は、Eurostatの" Manufacture of rubber products"、工業統計の"ゴム製品製造業"に対応

出所：Eurostat・Annual detailed enterprise statistics for industry (NACE Rev. 2, B-E) [SBS_NA_IND_R2__custom_2223553]、経済産業省・工業統計

1. 調査の目的とアプローチ
2. 各産業の調査結果
   - 鉄鋼
   - 化学
   - セメント
   - 製紙
3. 調査結果のまとめ

参考）ヒアリングに関する参考資料

【セメント産業_調査結果サマリ】

欧州のセメント産業は、クリンカ製造時に発生する原料由来CO2に対処する必要があり、産業横断的な政府主導のCCUSに係るサイト構築やインフラ整備を求めている

セメント産業の調査結果サマリ

Q1 産業の現状

- 日本は石炭灰利用に伴い自家発含め石炭の消費割合が高いが、欧州各国は**天然ガスの転換が進んでいる**
- 輸出率・輸入率は各国低く、他のエネ多産業と比較して**内需型**といえる

Q2 外部環境・外圧の変化

- **建物へのLCA規制により、川下産業からの圧力**が高まっている
- 石炭火力の廃止により、混合セメントの原料であるフライアッシュや高炉スラグの調達が困難になることを懸念

Q3 脱炭素社会のビジネス像

- セメント・コンクリートの建材需要は代替性が低く、**引き続き堅調と見込む**
- 建設部門との一体型ソリューションや3Dプリンタ等の新サービス向けの高付加価値な建材などに拡大する企業も

Q4 脱炭素技術と課題

- 工程の特性上、石灰石を高温で化学反応を起こす際に大量のCO2が発生するため、**CCUSの活用が不可避**
- CCSサイトの整備はセメント産業単独では困難、他産業と連携が必要

Q5 移行に伴うコストギャップ

- 炭素コストは、混合材等によりクリンカ含有量の減らすことで、一定程度の低減は可能
- **CCUSコストが高くなる可能性**を懸念
- 内需型のため、コスト競争の懸念なし

Q6 産業が求める政策支援

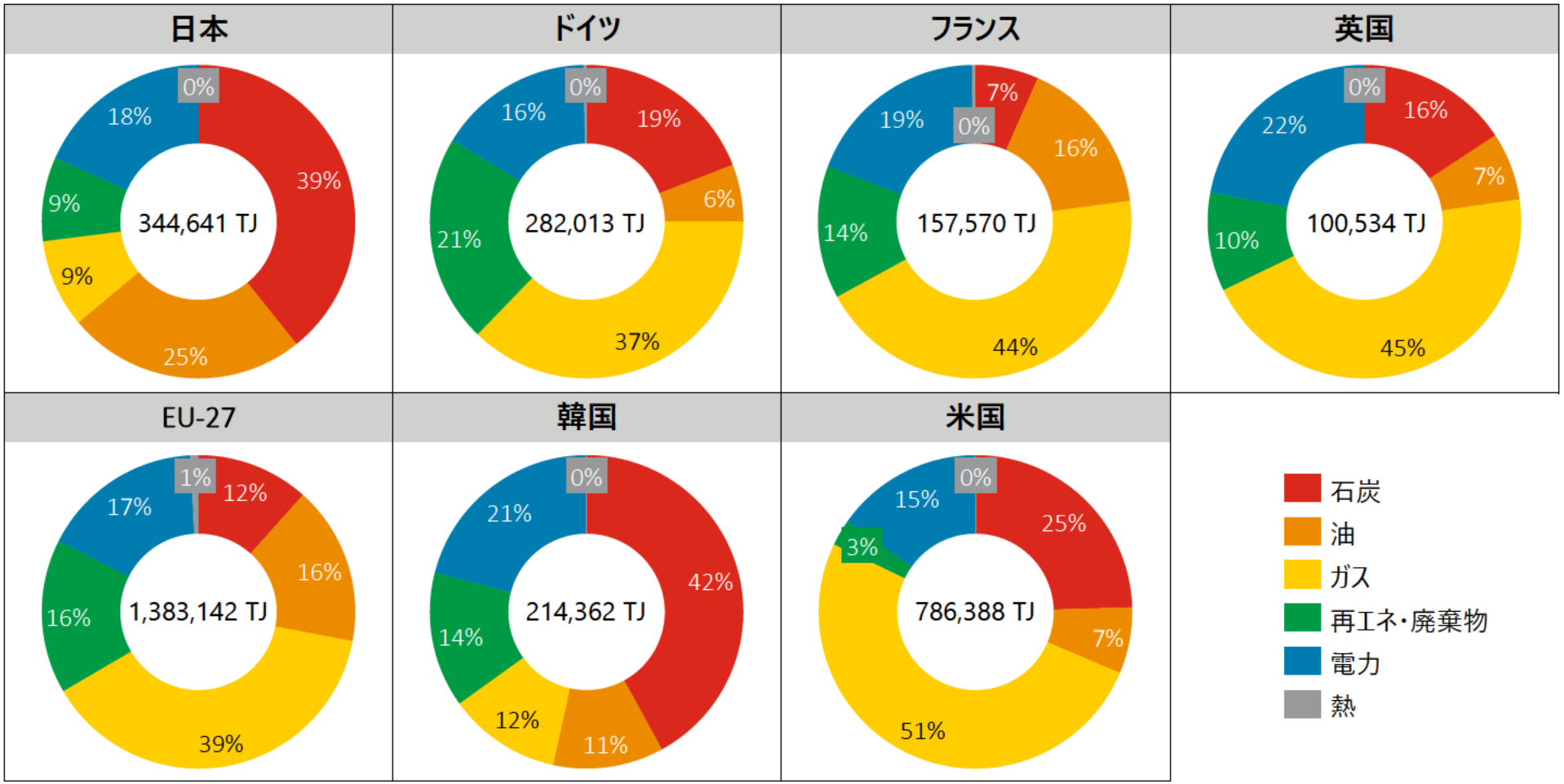
- 産業横断的に必要となる**CCSに係るサイト構築やインフラ整備を主導**する取組
- 建物の排出規制等による**低炭素セメントの市場を創出**する取組
- CO2回収型コンクリートや省エネ型建設ソリューションの提供等による、**バリューチェーン全体でのセメント産業の削減貢献量を評価**する取組

産業内↑↓産業外

【セメント産業_産業の現状】

欧州は日本と比べて石炭の比率が低く、天然ガスが広く利用されている

窯業土石産業におけるエネルギー構成（2019年）

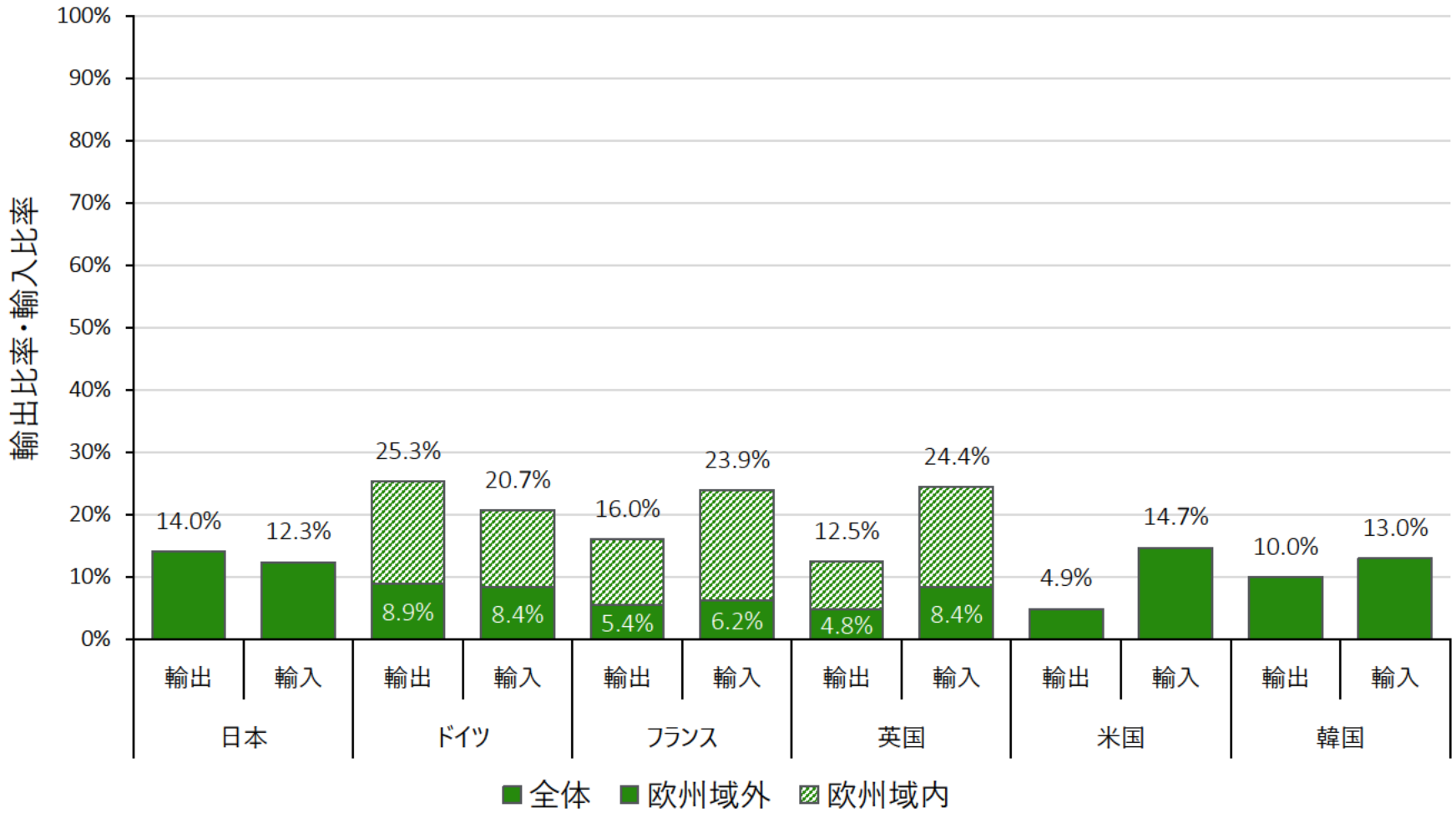


出所：IEA（2021）「World Energy Balances (2021 edition)」
備考：石炭は"Coal and coal products", "Peat and peat products", "Oil shale and oil sands"、油は"Crude, NGL and feedstocks", "Oil products"、ガスは"Natural gas"、再エネ・廃棄物は" Geothermal", "Solar/wind/other", "Biofuels and waste"、電力は"Electricity"、熱は"Heat"で計上。"Nuclear", "Hydro", "Heat production from non-specified combustible fuels"は、対象業種で消費実績が無く対応付けていない。

【セメント産業_産業の現状】

鉄鋼業や化学工業と比較して、窯業土石産業は貿易集約度が低い傾向にある

窯業土石産業における輸出比率・輸入比率の国際比較（2018）



出所：OECD stat. "Input-Output Tables (IOTs) 2021 ed." 、UN Comtrade Database
備考：業種別の国内生産額・輸出額・輸入額から、輸出比率＝輸出額÷国内生産額｜輸入比率＝輸入額÷（国内生産額＋輸入額－輸出額）とした

【セメント産業_産業の現状】
欧州では、欧州域内・米国・中国を中心に取引が行われている

窯業土石産業における輸出入先上位10か国（2019年）

日本		ドイツ		フランス		英国		EU-27		韓国		米国	
輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア
中国	22%	フランス	8%	ドイツ	14%	ドイツ	19%	米国	25%	米国	32%	カナダ	29%
米国	18%	オランダ	8%	英国	12%	アイルランド	11%	スイス	11%	中国	16%	メキシコ	12%
韓国	8%	オーストリア	8%	イタリア	9%	米国	11%	中国	7%	日本	9%	ドイツ	8%
その他アジア	8%	スイス	7%	スペイン	9%	フランス	6%	ノルウェー	5%	ベトナム	5%	中国	6%
ドイツ	7%	米国	7%	スイス	7%	イタリア	5%	ロシア	4%	その他アジア	4%	日本	5%
タイ	4%	ポーランド	6%	米国	6%	中国	4%	トルコ	3%	インド	3%	英国	5%
フィリピン	3%	英国	6%	ベルギー	6%	オランダ	4%	オーストラリア	3%	フランス	2%	イタリア	4%
ベトナム	2%	イタリア	5%	オランダ	4%	オーストリア	3%	メキシコ	2%	イタリア	2%	フランス	3%
インド	2%	中国	4%	日本	3%	マレーシア	3%	アラブ首長国連邦	2%	ドイツ	2%	韓国	3%
香港	2%	スペイン	4%	中国	2%	ポーランド	3%	カナダ	2%	ロシア	2%	アラブ首長国連邦	3%

日本		ドイツ		フランス		英国		EU-27		韓国		米国	
輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア
中国	59%	中国	12%	スペイン	19%	ドイツ	14%	中国	31%	中国	62%	中国	14%
米国	12%	米国	11%	ドイツ	15%	中国	14%	米国	21%	日本	12%	カナダ	13%
韓国	7%	フランス	7%	ベルギー	11%	スペイン	12%	インド	8%	米国	7%	ブラジル	9%
タイ	2%	オーストリア	7%	イタリア	8%	米国	9%	日本	7%	ベトナム	4%	メキシコ	9%
ドイツ	2%	ポーランド	7%	米国	7%	フランス	7%	トルコ	6%	イタリア	2%	インド	9%
英国	2%	チェコ	6%	中国	6%	オランダ	5%	スイス	5%	ドイツ	2%	イタリア	7%
フランス	2%	スペイン	5%	ポルトガル	3%	アイルランド	5%	ロシア	4%	インドネシア	1%	トルコ	6%
イタリア	1%	日本	5%	トルコ	3%	イタリア	5%	韓国	2%	フランス	1%	日本	6%
ベトナム	1%	オランダ	5%	オランダ	3%	インド	4%	ノルウェー	2%	タイ	1%	スペイン	5%
マレーシア	1%	イタリア	5%	ポーランド	3%	ベルギー	4%	ベトナム	2%	エジプト	1%	ドイツ	4%

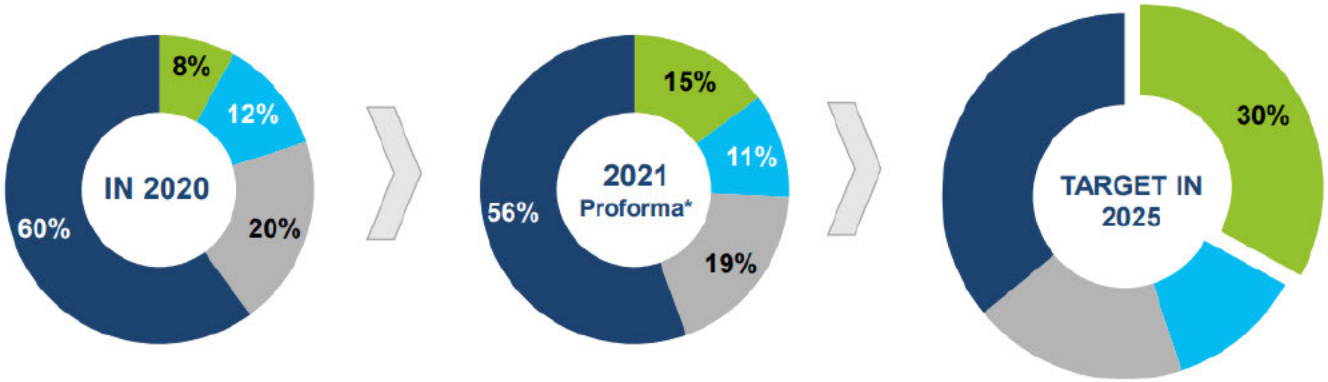
出所：UN Comtrade Database
備考：UN ComtradeにおけるHSコードのうち、品目：【68 - Stone, plaster, cement, asbestos, mica or similar materials; articles thereof（石、プラスター、セメント、石綿、雲母その他これらに類する材料の製品）】の値を採用。

＜参考：主要なセメントメーカーの戦略例＞

LafargeHolcimでは、最終製品である低炭素コンクリートの販売やソリューション事業を強化し、事業ポートフォリオを多様化させていく予定

LafargeHolcim社の事業戦略の概要

LafargeHolcim社の事業ポートフォリオ（2020⇒2025の戦略）



Cement（セメント事業） Aggregates（骨材事業） Ready Mix（生コンクリート事業）	■ 脱炭素な製品・ソリューションの提供 **低炭素コンクリートEcoPactの売上シェアを、2025年までに生コンクリート事業の25％以上に拡大** ■ デジタル技術を活用したオペレーション改善 ■ ボルトオン買収（既存事業を補完する目的で行われる買収）やグリーン関連投資
Solutions & Products（ソリューション事業）	■ オーガニック成長とボルトオン投資を通じて、**2025年までに事業シェア30％まで拡大** ■ ルーフィングシステム等の企業の買収により今後需要増が見込まれる建物改修等へのソリューションを提供

補足

- コンクリートはセメント＋骨材(砂利・砂)＋水を混合して製造される。
- Ready Mix はコンクリートの一種で、上記の混合工程を工場で行ってから運送されるコンクリート（生コン）を指す。

出所： LafargeHolcim（2021）「STRATEGY2025 – ACCELERATING GREEN GROWTH」

＜参考：欧州におけるセメントの脱炭素戦略＞

セメント向けの脱炭素技術を6つに分類し、CNセメントのための技術の時間軸を整理

欧州政府研究機関が見込む鉄鋼業の脱炭素技術と時間軸

分類別脱炭素技術 セメント

循環経済	電化	CCUS
✓ コンクリートのリサイクル	（該当なし）	✓ クリンカ焼成時のCCUS ✓ 石灰石加熱時のCO_2回収（LEILAC） ✓ 骨材製造におけるCO2原料化
水素	**バイオマス**	**その他プロセスイノベーション**
✓ 水電解装置からの水素生成＋水素熱利用	✓ バイオマスフィラー ✓ 焼成キルンにおけるバイオガス利用	✓ 低炭素セメント（低クリンカセメント） ✓ CO2の封じ込み（CO2 curing）

技術の時間軸 セメント

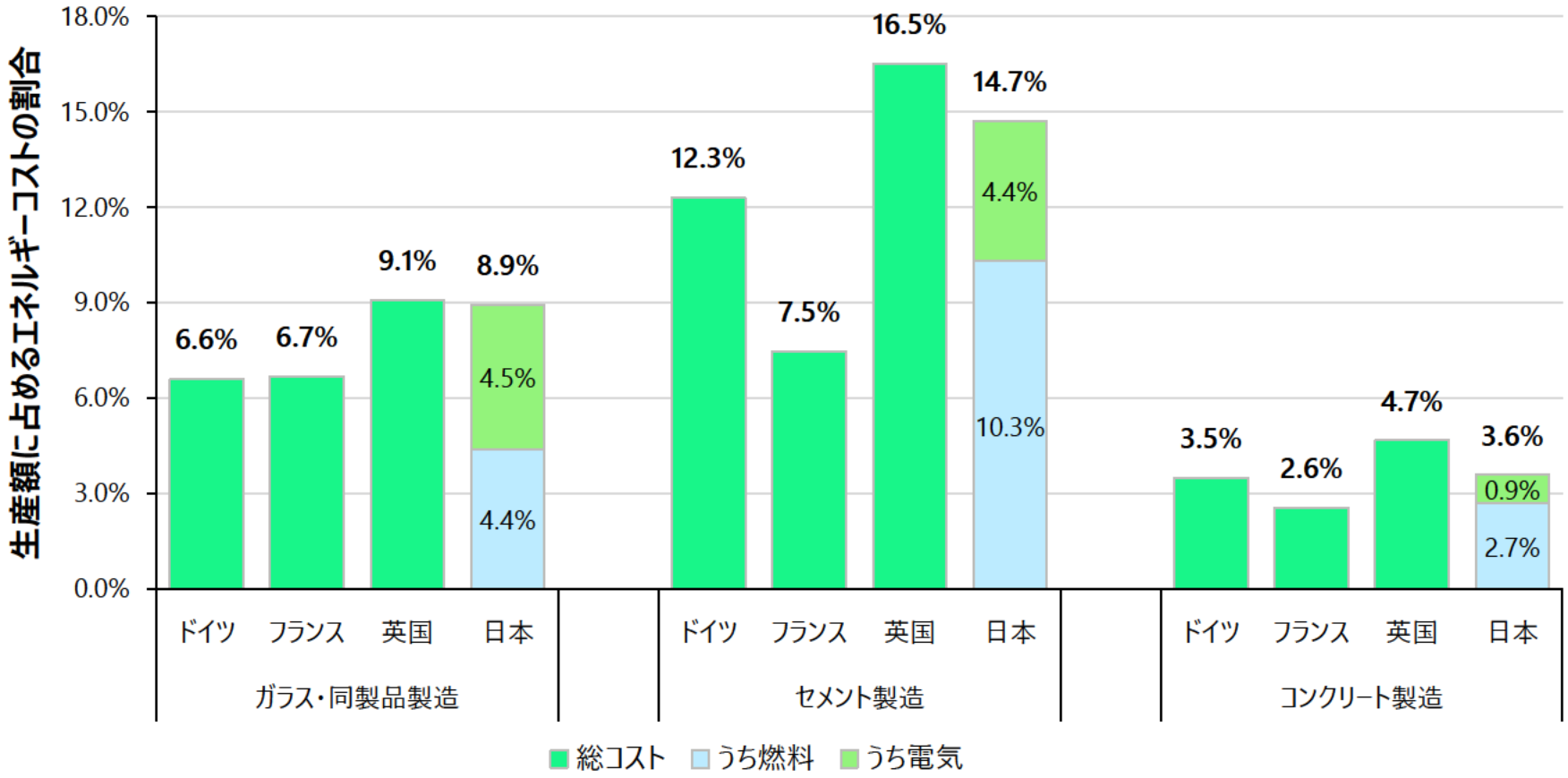
2020	2030	2050
✓ セメントキルンのCCUS ✓ 予熱器や予備焼成装置を用いない非省エネプラントの段階的廃止の加速 ✓ コンクリート内のCO2封じ込み ✓ 建材の木材への置き換えによるセメント需要減（循環経済にも寄与） ✓ コンクリートリサイクルの促進（循環経済にも寄与）	✓ コンクリート廃棄物の鉱物化 ✓ クリンカ代替 ✓ 骨材代替 ✓ 高強度コンクリートによる耐用年数の延長（循環経済にも寄与） ✓ コンクリートリサイクルの促進（循環経済にも寄与）	✓ 以下でカーボンニュートラルセメントを製造 ➢ セメント・石炭灰の焼成キルンで発生するCO2の捕捉・活用（CCUS）

出所：欧州議会・産業研究エネルギー委員会（2020）「Energy-intensive industries - Challenges and opportunities in energy transition」

＜参考：窯業土石業の生産額に占めるエネルギーコストの割合＞

セメント製造に係るエネルギーコストが相対的に高く、10％を上回る国もある

窯業土石業の生産額に占めるエネルギーコストの割合・国際比較（2018年時点）



備考：ガラス・同製品製造は、Eurostatの" Manufacture of glass and glass products"、工業統計の"ガラス・同製品製造業"に対応｜セメント製造は、Eurostatの" Manufacture of cement, lime and plaster"、工業統計の"セメント・同製品製造業"に対応｜コンクリート製造は、EurostatのManufacture of articles of concrete, cement and plaster"、工業統計の"コンクリート製品製造業"に対応

出所：Eurostat・Annual detailed enterprise statistics for industry (NACE Rev. 2, B-E) [SBS_NA_IND_R2__custom_2223553]、経済産業省・工業統計

1. 調査の目的とアプローチ
2. 各産業の調査結果
   - 鉄鋼
   - 化学
   - セメント
   - 製紙
3. 調査結果のまとめ

参考）ヒアリングに関する参考資料

【製紙産業_調査結果サマリ】

欧州の製紙産業は、再エネを利用した電化により脱炭素化が可能であるが、森林資源の維持を両立しつつ、バイオリファイナリ等の新しい産業形態への活路を見出す

製紙産業の調査結果サマリ

脱炭素社会のビジネス像 Q3

- **バイオリファイナリ（高付加価値繊維やバイオ燃料）部門**が成長し、製紙産業の付加価値の半分は当部門から生み出されると見込む
- 衛生品などの**生活必需品は残る**

産業の現状 Q1

- **バイオマスや廃棄物の活用が進み、残りのほとんどは天然ガスで賄う**が、日本は他国と比較して石炭が多い
- 他のエネ多産業と比べて輸出入比率は低く、内需型といえる

脱炭素技術と課題 Q4

- プロセス排出がなく、高温帯の熱需要も少ないため、基本的には**再エネ電力＋電化により脱炭素化が可能**
- 電力や水素のコスト増に伴う競争力の低下が主な懸念

移行に伴うコストギャップ Q5

- 電化は主要なソリューションだが、天然ガスに比べてコスト競争力はなく、**安価な再エネ電力の調達が必要**
- 循環経済の要請による再生パルプの活用に伴う熱需要の増加への対処

産業内↑↓産業外

外部環境・外圧の変化 Q2

- **循環経済・生物多様性の観点**から、森林資源を使用する製紙産業への圧力が強まっている
- **デジタル化**に伴う需要減と、**プラスチック代替**に伴う需要増が共存

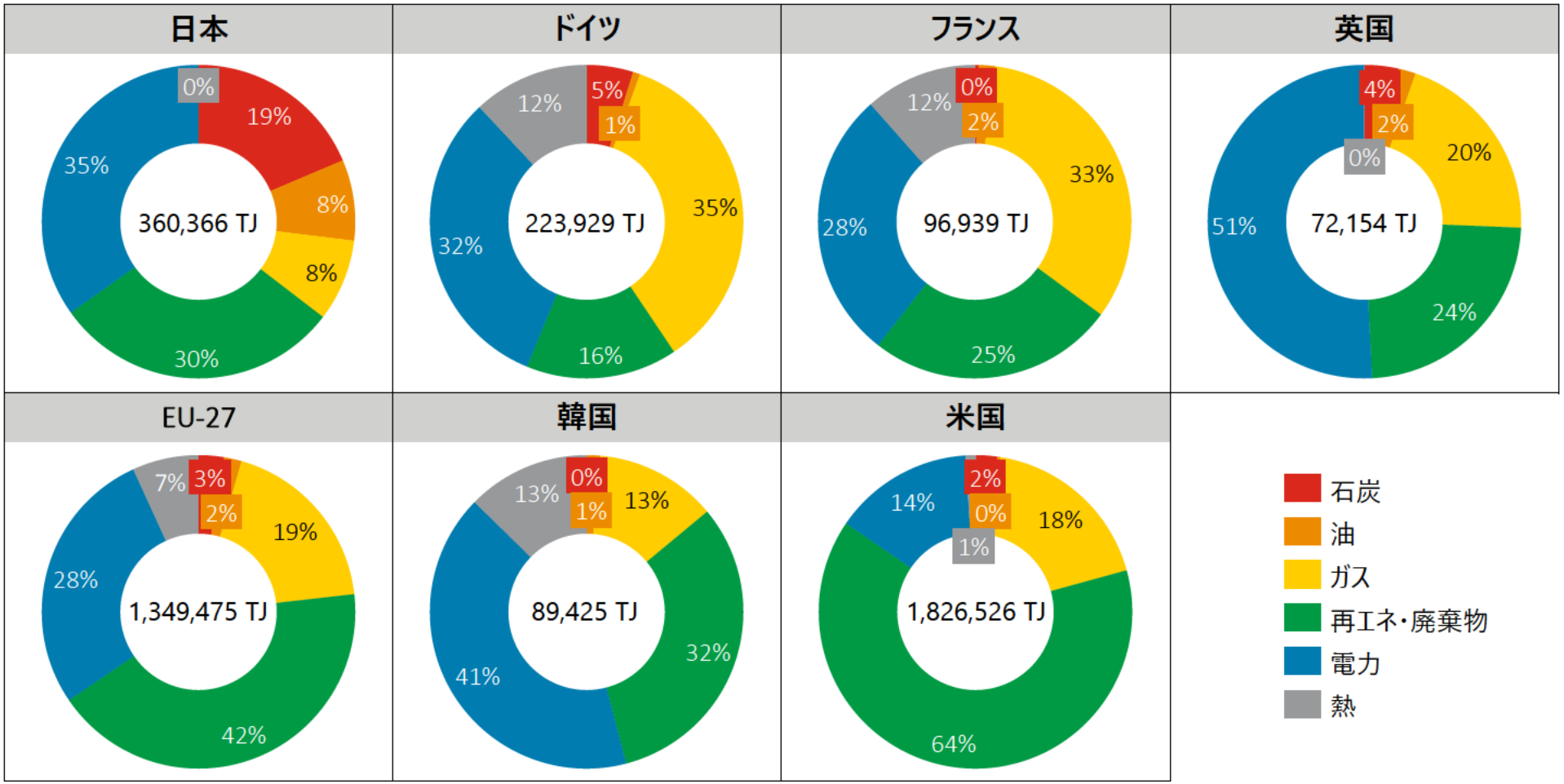
産業が求める政策支援 Q6

- **再エネ電力の安定的な供給**を実現するインフラ整備や**安価で長期的な調達**を促すスキームに係る取組
- 認証制度や優遇措置など、**再生パルプ等の森林資源保護に繋がる製品の市場を創出**する取組
- 電化に資する機器の入替に伴い、稼働停止などのリスクを考慮した資金支援

【製紙産業_産業の現状】

製紙産業は、バイオマスをエネルギー源として多く利用しており、独仏では天然ガスも多く利用されている

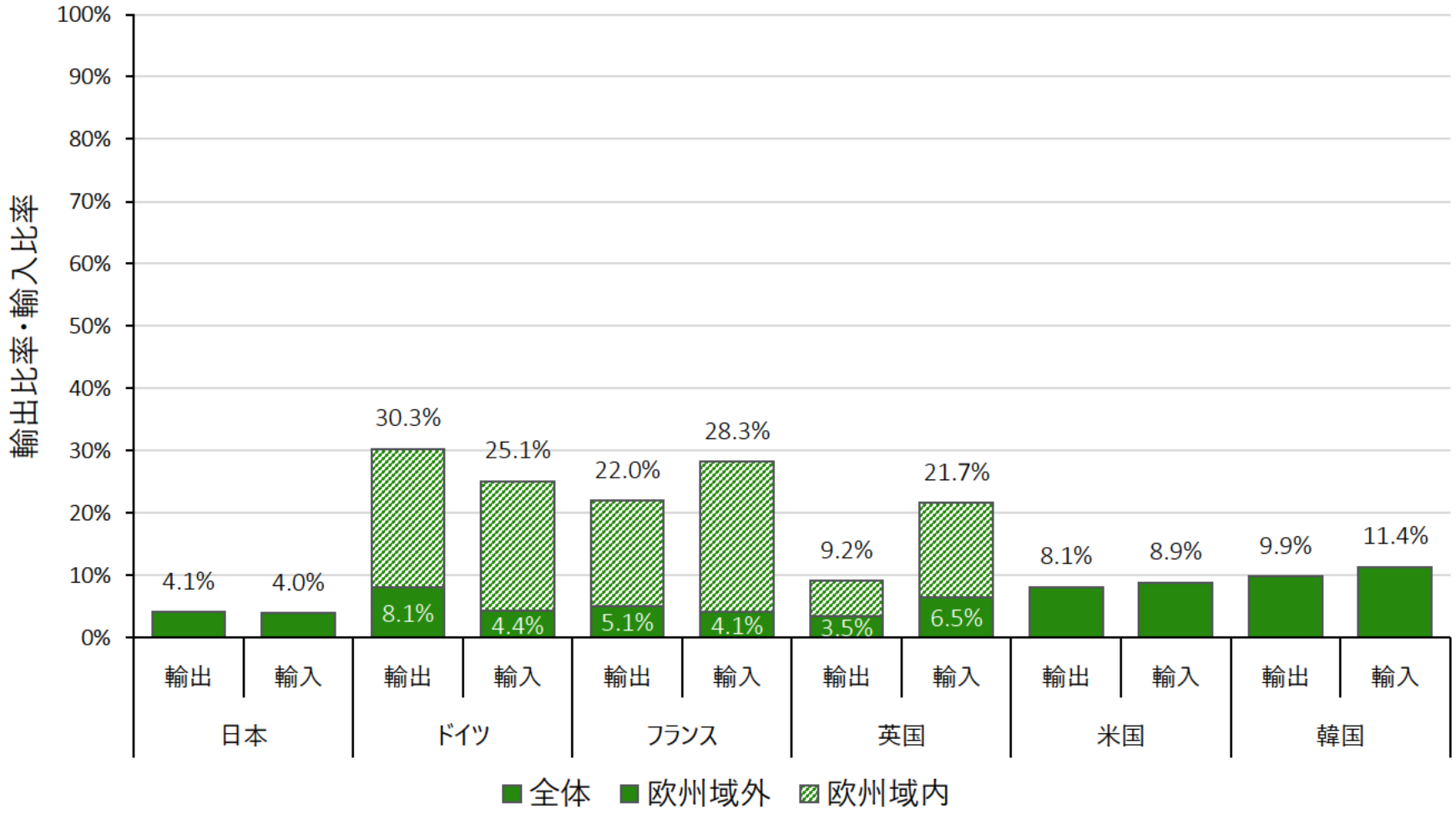
製紙産業におけるエネルギー構成（2019年）



出所：IEA（2021）「World Energy Balances (2021 edition)」
備考：石炭は"Coal and coal products", "Peat and peat products", "Oil shale and oil sands"、油は"Crude, NGL and feedstocks", "Oil products"、ガスは"Natural gas"、再エネ・廃棄物は" Geothermal", "Solar/wind/other", "Biofuels and waste"、電力は"Electricity"、熱は"Heat"で計上。"Nuclear", "Hydro", "Heat production from non-specified combustible fuels"は、対象業種で消費実績が無く対応付けていない。

【製紙産業_産業の現状】
鉄鋼業や化学工業と比較して、製紙産業は貿易集約度が低い傾向にある

製紙産業における輸出比率・輸入比率の国際比較（2018）



出所：OECD stat. "Input-Output Tables (IOTs) 2021 ed." 、UN Comtrade Database
備考：業種別の国内生産額・輸出額・輸入額から、輸出比率＝輸出額÷国内生産額｜輸入比率＝輸入額÷（国内生産額＋輸入額－輸出額）とした

【製紙産業_産業の現状】

独仏では域内諸国との取引の占める割合が大きいが、欧州全域でみると米中との貿易の存在感が大きい

製紙産業における輸出入先上位10か国（2019年）

日本		ドイツ		フランス		英国		EU-27		韓国		米国	
輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア	輸出先	シェア
中国	28%	フランス	11%	ドイツ	19%	アイルランド	18%	中国	12%	米国	19%	カナダ	23%
韓国	11%	ポーランド	10%	スペイン	13%	ドイツ	10%	米国	12%	中国	12%	メキシコ	20%
その他アジア	9%	オランダ	9%	イタリア	10%	フランス	9%	トルコ	7%	ベトナム	11%	中国	13%
米国	9%	オーストリア	7%	ベルギー	9%	米国	8%	スイス	7%	インド	6%	日本	4%
ベトナム	9%	イタリア	7%	英国	8%	中国	6%	ロシア	6%	日本	6%	インド	4%
タイ	8%	英国	6%	オランダ	6%	オランダ	6%	インド	3%	マレーシア	5%	イタリア	2%
マレーシア	5%	ベルギー	6%	ポーランド	4%	インド	4%	ノルウェー	3%	インドネシア	5%	韓国	2%
インド	3%	スイス	4%	米国	3%	イタリア	3%	エジプト	3%	オーストラリア	3%	インドネシア	2%
インドネシア	3%	米国	4%	スイス	3%	ベルギー	3%	メキシコ	2%	タイ	3%	ドイツ	2%
フィリピン	3%	チェコ	4%	中国	2%	トルコ	2%	ウクライナ	2%	ロシア	3%	その他アジア	2%

日本		ドイツ		フランス		英国		EU-27		韓国		米国	
輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア	輸入元	シェア
中国	30%	スウェーデン	14%	ドイツ	23%	ドイツ	15%	米国	19%	中国	16%	カナダ	38%
米国	21%	フィンランド	13%	イタリア	13%	スウェーデン	11%	中国	19%	米国	16%	中国	15%
インドネシア	10%	ポーランド	9%	スペイン	10%	中国	9%	ブラジル	16%	日本	11%	ブラジル	8%
カナダ	7%	オーストリア	9%	ベルギー	7%	フィンランド	9%	スイス	6%	インドネシア	11%	メキシコ	6%
フィンランド	5%	フランス	8%	スウェーデン	6%	フランス	6%	ウルグアイ	6%	カナダ	7%	ドイツ	4%
ブラジル	4%	オランダ	8%	フィンランド	6%	オランダ	6%	ノルウェー	5%	チリ	6%	フィンランド	4%
韓国	4%	イタリア	6%	オランダ	5%	イタリア	5%	トルコ	5%	ブラジル	6%	韓国	3%
ドイツ	3%	スイス	4%	ブラジル	4%	米国	5%	ロシア	4%	タイ	4%	インドネシア	2%
ベトナム	3%	ブラジル	3%	英国	4%	ポーランド	3%	チリ	3%	ウルグアイ	3%	スウェーデン	2%
チリ	2%	チェコ	3%	中国	4%	ブラジル	3%	カナダ	3%	ロシア	3%	日本	2%

出所：UN Comtrade Database
備考：UN ComtradeにおけるHSコードのうち、品目：【47 - Pulp of wood or other fibrous cellulosic material; waste and scrap of paper or paperboard（木材パルプ、繊維素繊維を原料とするその他のパルプ及び古紙）】及び【48 - Paper and paperboard; articles of paper pulp, of paper or paperboard（紙及び板紙並びに製紙用パルプ、紙又は板紙の製品）】の値を採用。

＜参考：主要製紙メーカーの戦略例＞

製紙メーカーでは高付加価値繊維やバイオ製品の製造等へと事業領域を広げていく

UPM社の事業戦略の概要

UPM社の戦略（注力する事業領域）

スペシャリティパッケージングマテリアル

- サステナブルなラベリング・パッケージングソリューションへのニーズの高まりを受けて、リサイクル可能な繊維ベースのソリューションを提供

高付加価値ファイバー

- 化石原材料ベースの製品の代替材へのニーズの高まりを受けて、高付加価値ファイバーの製造を強化

- ウルグアイに大規模なペーパーミルを建設

バイオ化学品・バイオ燃料

- 交通部門の脱炭素化や日用品の脱化石化へのニーズの高まりを受けて、バイオ製品の製造を強化

- ドイツにバイオケミカルリファイナリを建設中

出所：UPM社HP

＜参考：欧州における製紙産業の脱炭素化戦略＞

2025年に向けては電化やオペレーション改善等から着手し、徐々に新技術の実装などを通して脱炭素化を実現していく

欧州製紙連合会が提示する製紙産業の脱炭素技術の道筋

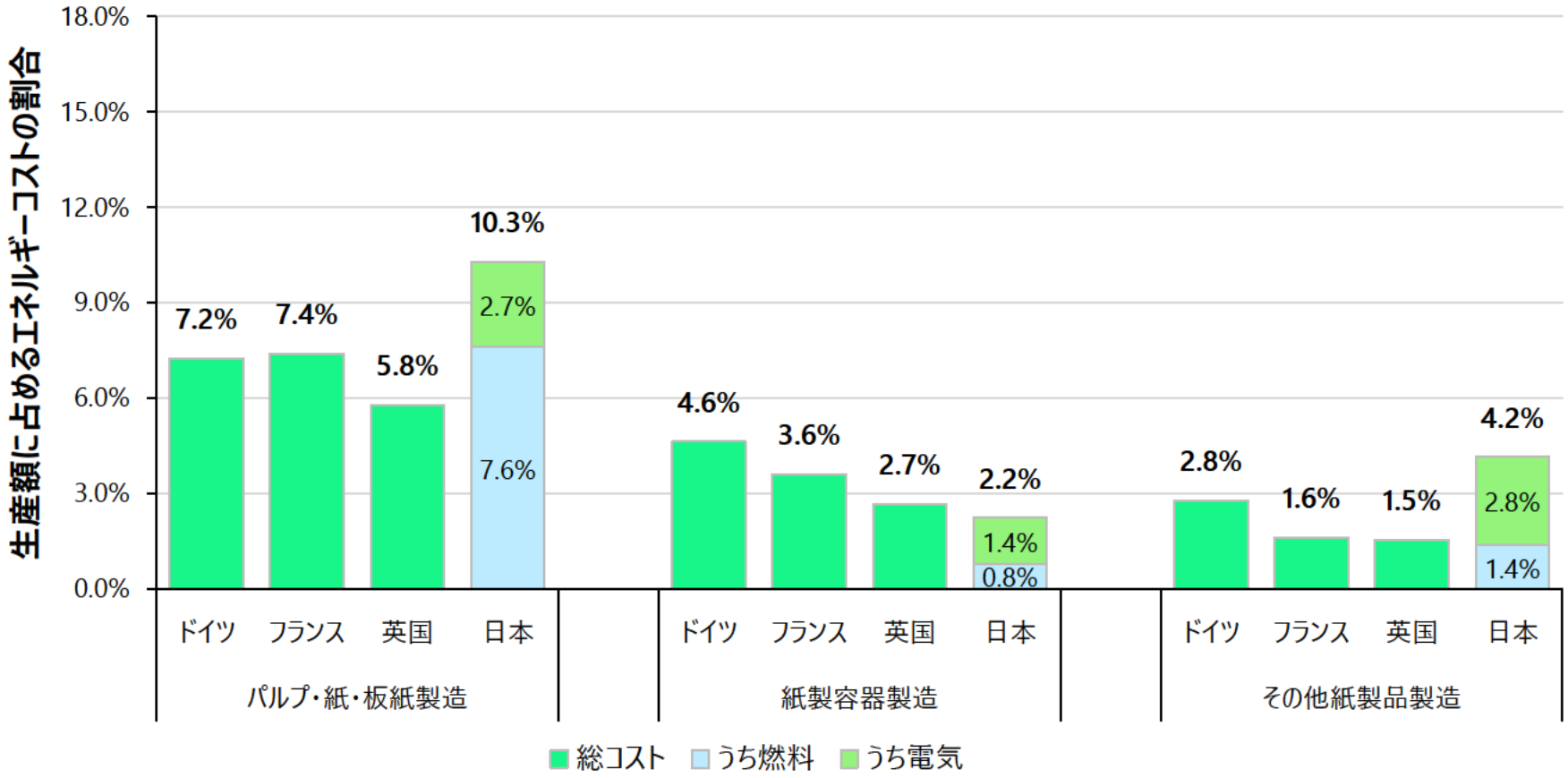
	短期（~2025）	中期（~2030）	長期(2030～)	横断
	オペレーション最適化	モジュールイノベーション	ブレークスルー技術	横断的な技術のインテグレーション
脱炭素を実現する技術イノベーション	• 軽量化 • データオートメーション・コントロール • 機械脱水の改善 • インライン水洗浄による水と熱の消費量低減 • ドライバ・バルブ • 圧力レベル調整 • 人材育成と行動分析 • 熱交換器による熱回収 • 電化 • 再生可能熱の直接利用 • 原材料の置換	• マイルドなリパルプ技術 • より効果的な繊維精製技術 • 革新的な機械的脱水技術 • 高度なプロセス制御、機械学習、デジタルツイン • 蓄熱技術 • 電力を利用した乾燥技術 • 需要側のフレキシビリティ • パルプ工場の製品ポートフォリオ拡大の水素 • バキュームの使用を排除または最小化する新しいシステム	• 一体型の乾燥および熱回収プロセス • 水を使用しない製紙技術 • 蒸発プロセスを経ない水分除去技術 • マイルドなパルププロセス（深共晶溶媒DESの利用等）	• 産業用コンポーネント（ボイラ,ポンプ,バルブ,コンプレッサ,ファン,コンベヤ等,モータ・ドライバを内蔵する機器） • ヒートポンプ技術 • インダストリー4.0：デジタル化と機械学習 • システムインテグレーション • 産業共生 • 再生可能エネルギーシステム（例：太陽熱、水素、原子力）
イノベーション促進のための取り組み	情報共有の促進 • ベストプラクティスの共有MTG • ESFツールキット • 産業内ディスカッション • ベストプラクティスのオンラインデータベース	認知の拡大＋実装 • サプライヤと共同での技術切替 • 欧州の製紙産業間・企業間での実証事業の実施	共同開発プログラムの実現 • 公的資金調達の機会創出 • 共同開発プログラムの創出 • 革新的なアイデアの獲得	統合ソリューションのための（新しい）機器サプライヤーとの協力
期待される排出削減量	10%	25～30%	>50%	5～100%

出所：CEPI（2021 ）「Energy Solutions Forum」を基に作成

＜参考：製紙産業の生産額に占めるエネルギーコストの割合＞

パルプから板紙までの製造に係るエネルギーコストが相対的に高いが、6～7%程度

製紙産業の生産額に占めるエネルギーコストの割合・国際比較（2018年時点）



備考：パルプ・紙・板紙製造は、Eurostatの" Manufacture of pulp, paper and paperboard"、工業統計の"パルプ製造業"、"紙製造業"、"加工紙製造業"の総和に対応｜紙製容器製造は、Eurostatの" Manufacture of corrugated paper and paperboard and of containers of paper and paperboard"、工業統計の"紙製容器製造業"に対応｜その他紙製品製造は、Eurostatの" Manufacture of other articles of paper and paperboard"、工業統計の"その他のパルプ・紙・紙加工品製造業"に対応

出所：Eurostat・Annual detailed enterprise statistics for industry (NACE Rev. 2, B-E) [SBS_NA_IND_R2__custom_2223553]、経済産業省・工業統計

1. 調査の目的とアプローチ
2. 各産業の調査結果
   - 鉄鋼
   - 化学
   - セメント
   - 製紙
3. 調査結果のまとめ

参考）ヒアリングに関する参考資料

【調査結果サマリ】

欧州では、EU-ETSの無償割当枠の削減等が圧力として働いており、産業界は炭素集約度の低い製品・川下製品へと事業を拡大・転換させていく

調査結果サマリ（Q1～Q3）

QX p.83にて打ち手の全体像を整理

	Q1 産業の現状	Q2 外部環境・外圧の変化	Q3 脱炭素社会のビジネス像
共通	● エネルギー消費構造については、欧州では**天然ガスが広く利用**されている ● 貿易集約度については**鉄鋼・化学は外需型、セメント・製紙は内需型の傾向**あり	● **EU-ETSの排出上限は脱炭素化に向けた強い圧力**となっている ● 産業界は、”WHAT＝何を達成するか”は所与として”HOW＝どう達成するか”を議論	● **炭素集約度の低い製品・川下製品へと事業ポートフォリオを拡大・転換**させていく動きがみられる
鉄鋼	● 還元剤として石炭を用いる特性上、石炭の消費量が最も多い傾向だが、日本に比べて天然ガス利用が多い ● 欧州域内の輸出入が活発で、欧州域外への主な輸出先は、米国・中国	● 自動車や建物の**LCA規制により、川下産業からの圧力**も高まっている	● 将来的にも需要は堅調と見込み、各産業のニーズに沿った鋼材を供給し続ける方針
化学	● 原料としてナフサを用いる特性上、石油製品の消費量が最も多いが、日本に比べて天然ガス利用が多い ● 欧州域外への主な輸出先は米国	● 製造工程の脱炭素化のみならず、**CO2の循環利用に対する要請**がある ● 政府からの圧力だけでなく、環境NGOからの訴訟リスクを言及する声もある	● 基礎化学品であれば、再エネ電力、グリーン水素、CO2が潤沢な地域で生産し、輸入する方向が効率的 ● **誘導品に事業を多角化**する企業も
セメント	● 日本は石炭灰利用に伴い自家発含め石炭の消費割合が高いが、欧州各国は比較的天然ガスの比率が大きい ● 他のエネ多産業と比較して内需型	● **建物へのLCA規制により、川下産業からの圧力**が高まっている ● 石炭火力の廃止により、**原料のフライアッシュや高炉スラグの調達難**を懸念	● 建材は代替性が低く、需要は堅調と見込む ● **建設部門との一体型ソリューションや3Dプリンタ等の新サービス向けの高付加価値な建材**などに拡大する企業も
製紙	● バイオマスや廃棄物の活用が進み、残りのほとんどは天然ガスで賄うが、日本は他国と比較して石炭が多い ● 他のエネ多産業と比べて内需型	● 循環経済・生物多様性の観点で、**森林資源を用いる製紙産業への風当たりが強い** ● **デジタル化に伴う需要減と、プラスチック代替に伴う需要増**が共存	● **バイオリファイナリ部門が成長**し、将来的に製紙産業の生み出す付加価値の半分を担うと見込まれる ● 衛生品などの生活必需品は残る

【調査結果サマリ】

産業部門の脱炭素化の実現に向けては、技術開発に向けた資金支援、安価な再エネ・水素供給の実現、CBAM等を通した市場の保護などが求められている

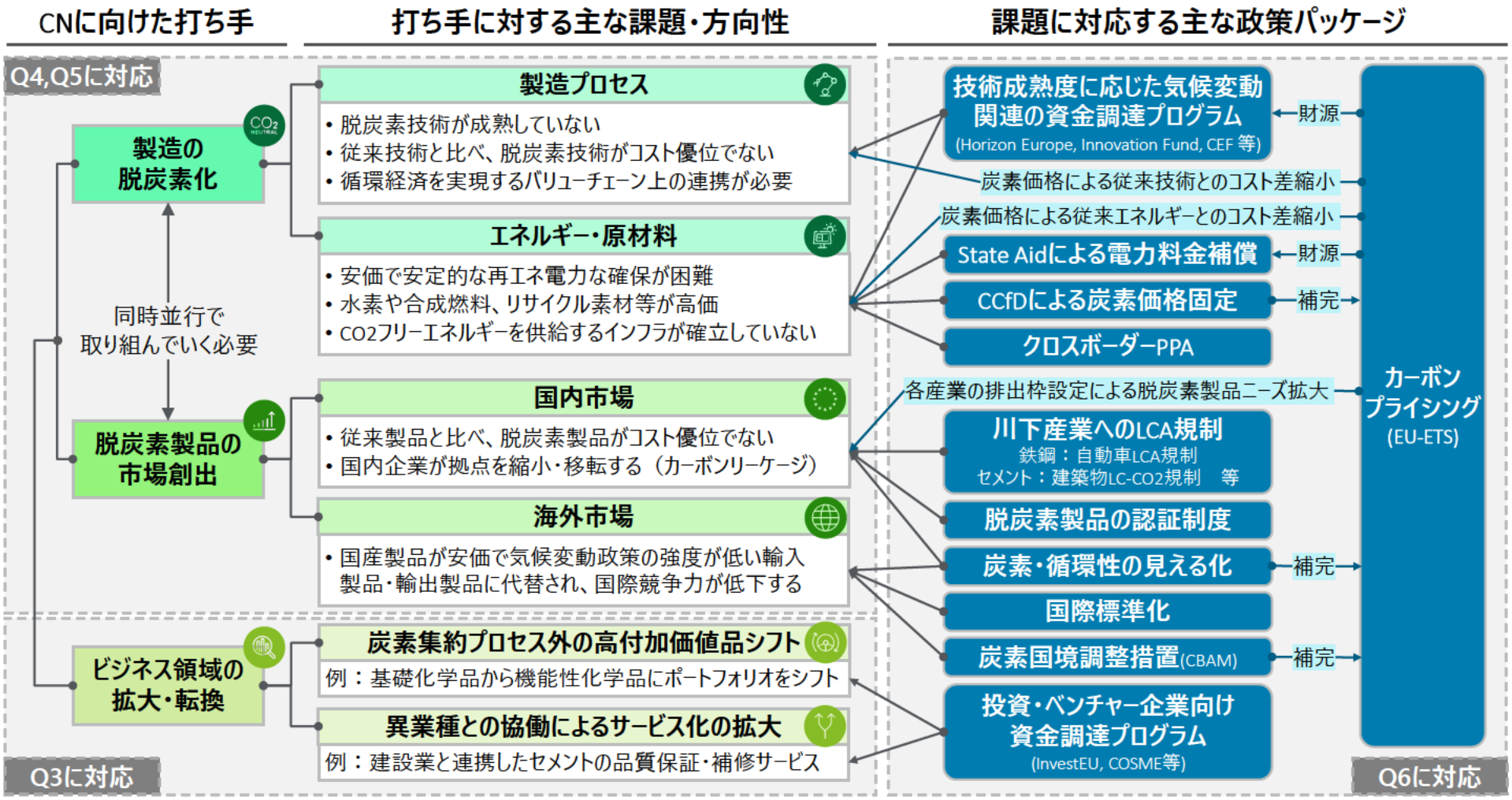
調査結果サマリ（Q4～Q6）

QX p.75にて打ち手の全体像を整理

	Q4 脱炭素技術と課題	Q5 移行に伴うコストギャップ	Q6 産業界が求める政策支援
共通	● 電化が可能な部分は**電化**し、プロセス排出のある産業では**CCUSや炭素を直接回避する新たなプロセスの開発**を行う ● 技術開発・実装には多大な資金が必要 ● 再エネ・水素の供給量や価格が課題	● 新技術の導入コスト、炭素価格、脱炭素エネルギーコスト等の影響で、**製造コストの大幅が増加が懸念される**	● 高い脱炭素目標の達成と、産業競争力の維持の両立を実現するための援を要求 **資金支援 / エネルギーインフラ構築支援 / CBAM等の国内産業保護 / 脱炭素製品の需要創出のための規制・認証**
鉄鋼	● 完全な脱炭素には**水素還元製鉄が不可欠** ● 鉄スクラップを資源と捉え、**資源循環の促進と同時に電化を進める**	● 技術の導入コスト、炭素価格、脱炭素エネルギーコストにより、製品価格は2-10倍になる恐れ	● **認証制度・規制整備等によるグリーンスチールの早期需要創出**が重要 ● **鉄スクラップの海外流出を抑制**し、戦略的に資源循環と電化を促進するための取組
化学	● **高温プロセス（主にナフサ分解炉）の脱炭素化**と電化を進める必要 ● **原料としてのCO2の調達、廃棄物の高騰への対応**が課題	● エネルギーコストの増加だけでなく、脱炭素な**原料コストの不確実性が高い** ● 基礎化学品は価格競争に陥りやすく、コスト競争力の低下が懸念される	● **CO2パイプラインの構築を**促す取組 ● 循環性の指標化や認証等、CCUや再生材による製品の市場を創出する取組 ● **国際的に統一された炭素価格のルール形成**に係る取組
セメント	● 石灰石を利用するため、**CCUSの活用が不可避** ● **CCSサイト構築はセメント産業単独では困難**なため、他産業と連携が必要	● **クリンカ含有量を減らすことで、炭素コストの低減**は一定程度可能 ● **CCUSコスト**が高くなる可能性を懸念 ● **内需型のため、コスト競争の懸念は比較的少ない**とも考えられる	● **CCSサイト構築**やインフラ整備を主導 ● **建物の排出規制等による低炭素セメントの市場を創出**する取組 ● **バリューチェーン全体でのセメント産業の削減貢献量を評価する取組**
製紙	● プロセス排出がなく、高温帯の熱需要も少ないため、基本的には**再エネ電力＋電化により脱炭素化が可能**	● 電力は天然ガスに比べてコスト競争力が低く、安価な再エネ電力の調達が必要 ● 循環経済の要請による**再生パルプの活用に伴う熱需要の増加への対処**が必要	● 認証制度や優遇措置など、再生パルプ等の**森林資源保護に繋がる製品の市場を創出**する取組

欧州の産業界はCN移行に伴うコスト増やそれに起因する競争力低下に課題感を持ち、EU-ETSを中心に影響を受けつつ、脱炭素化に向けた財源や市場創出を求めている

欧州を中心としたCNに向けた課題と取組の全体像



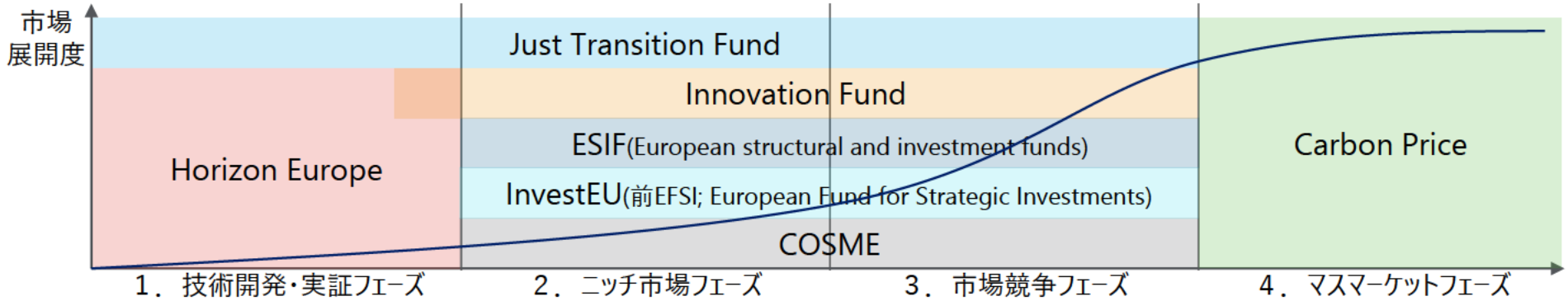
備考：主な政策パッケージは、欧州におけるCN関連の政策を網羅するものではなく、政府のエネ多産業向けの戦略文書や業界団体のポジションペーパーで言及され、業界団体へのヒアリングでも特に言及があった政策を整理した

＜参考：欧州委員会の主要な資金調達メカニズム＞

エネ多産業向けの資金調達メカニズムは、時間軸や市場展開度に応じて用意されている

EUにおける資金調達プログラムの全体像

プログラム名	概要	財源	規模
Horizon Europe	✓ 世界レベルでの研究・イノベーション推進を目的とする、欧州における主要な資金提供プログラム	EU予算・債権等*1	955億€ (2021-2027)
Just Transition Fund	✓ 石炭などの化石燃料に依存した経済構造の地域を支援することで、地域間格差の是正を目的とするファンド ✓ 労働者の技能習得支援、雇用創出を見据えた中小・スタートアップ支援、環境に優しいエネルギーへの投資支援	EU予算・債権等*1	175億€ (2021-2027)
Innovation Fund	✓ 革新的な低炭素技術の商業展開のための実証支援を目的とするファンド	EU-ETS	100億€*2 (2020-2030)
ESIF	✓ 開発の遅れた地域を支援し、地域間格差の是正を目的とするファンド トップレベルの技術開発よりもインフラ整備に重点	EU予算・債権等*1	2340億€*3 (2021-2027)
Invest EU	✓ 特にインフラ、教育、再生可能エネルギーおよびエネルギー効率プロジェクトへの資金提供	EU予算・債権等*1	262億€ (2021-2027)
COSME	✓ 中小企業の競争力強化を目的としたファンド 中小企業金融の促進、市場アクセス・起業性・競争力のためのより良い枠組みの創出等に資金を提供	EU予算・債権等*1	40億€ (2021-2027)



出所：欧州議会・産業研究エネルギー委員会（2020）「Energy-intensive industries - Challenges and opportunities in energy transition」、各種HP

*1: ここでは正確にはMMF(多年度財政枠組み)を指す。関税収入や加盟国からの拠出金で構成される　*2: カーボンプライシングによって変動するため、見込み額として記載

*3: ESIFは5つのファンドの総称。上記に示した総額は、そのうちCohesion Fund およびEuropean Regional Development Fundの総額を示したもの。2014-2020における同ファンドの規模は4,610億€。

仕様2：産業部門における熱需要の実態調査・分析

- エネルギー多消費産業（仕様1の対象産業に加え、石油精製・非鉄金属・ガラス産業）の製造プロセスにおける熱需要の実態を調査し、脱炭素化に向けた課題とりうる要素を検討
- 調査に際しては、総合エネルギー統計や各種政府資料を基に調査を実施

1. 各産業のエネルギー構造
2. 各産業の製造プロセスと脱炭素への道筋

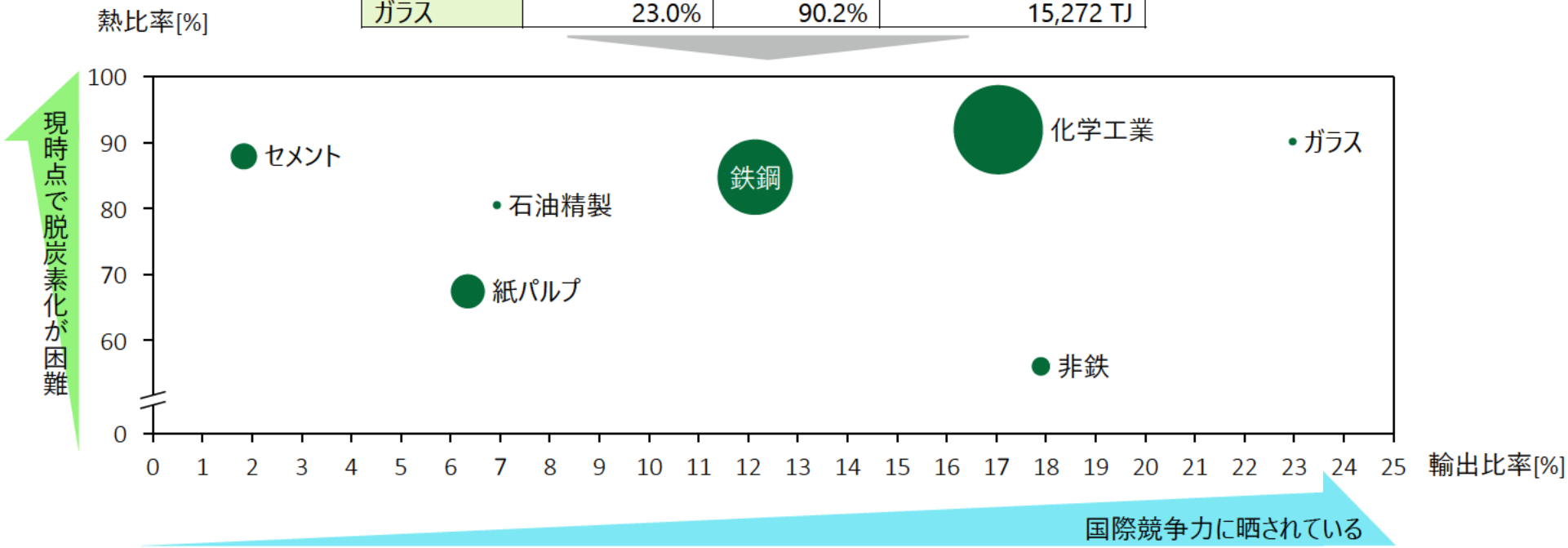
参考：海外文献における各業種の脱炭素化に係る課題の整理

【国際競争力と熱需要】

化学・鉄鋼・ガラスは、海外から影響を受けつつ、困難な脱炭素化を進めていく必要がある

各業種における輸出比率・熱比率・エネルギー需要の関係

業種	輸出比率(x軸)	熱比率(y軸)	エネルギー需要(バブル)
鉄鋼	12.1%	84.8%	1,592,953 TJ
化学工業	17.0%	92.0%	2,243,788 TJ
セメント	1.8%	87.9%	190,869 TJ
紙パルプ	6.3%	67.4%	322,160 TJ
石油精製	6.9%	80.5%	17,335 TJ
非鉄	17.9%	56.1%	92,944 TJ
ガラス	23.0%	90.2%	15,272 TJ



出所：2019年度総合エネルギー統計、H30延長産業連関表
備考：輸出比率は、延長産業連関表より「輸出額÷（国内需要合計＋輸入計）」として計算した金額ベースの値であり、物量ベースではないことに留意

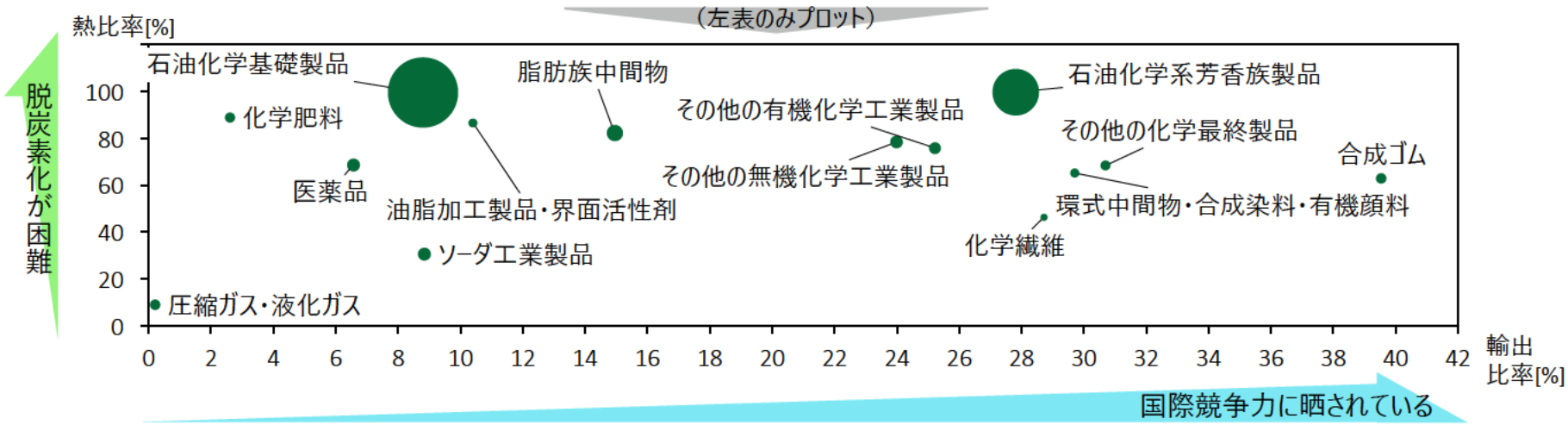
＜参考：化学品の輸出比率＞

基礎品や芳香族品がエネルギー需要・熱比率ともに大きく、輸出比率はばらつく

各化学品における輸出比率・熱比率・エネルギー需要の関係

化学品	輸出比率	熱比率	エネルギー需要
石油化学基礎製品	8.8%	99.6%	1,046,178 TJ
石油化学系芳香族製品	27.8%	99.8%	456,388 TJ
脂肪族中間物	15.0%	82.4%	54,410 TJ
ソーダ工業製品	8.8%	30.6%	34,646 TJ
医薬品	6.6%	68.7%	33,757 TJ
その他の無機化学工業製品	24.0%	78.5%	33,256 TJ
その他の有機化学工業製品	25.2%	75.9%	28,699 TJ
圧縮ガス・液化ガス	0.2%	9.0%	22,368 TJ
合成ゴム	39.5%	62.9%	22,167 TJ
化学肥料	2.6%	89.0%	20,855 TJ
その他の化学最終製品	30.7%	68.5%	19,132 TJ
油脂加工製品・界面活性剤	10.4%	86.6%	16,212 TJ
環式中間物・合成染料・有機顔料	29.7%	65.3%	15,995 TJ
化学繊維	28.7%	46.3%	10,093 TJ

化学品	輸出比率	熱比率	エネルギー需要
化粧品・歯磨	24.0%	61.1%	9,699 TJ
熱可塑性樹脂	16.7%	33.6%	6,887 TJ
ゼラチン・接着剤	17.1%	91.4%	5,922 TJ
写真感光材料	90.1%	70.2%	5,578 TJ
無機顔料	26.3%	53.0%	4,497 TJ
塗料	19.2%	78.1%	3,400 TJ
農薬	13.1%	46.4%	3,373 TJ
メタン誘導品	11.0%	55.7%	1,973 TJ
その他の合成樹脂	58.0%	46.8%	1,967 TJ
高機能性樹脂	33.3%	40.3%	1,592 TJ
熱硬化性樹脂	49.8%	47.8%	1,460 TJ
印刷インキ	20.5%	84.4%	1,454 TJ
可塑剤	3.2%	49.3%	1,019 TJ
塩	0.5%	67.8%	738 TJ



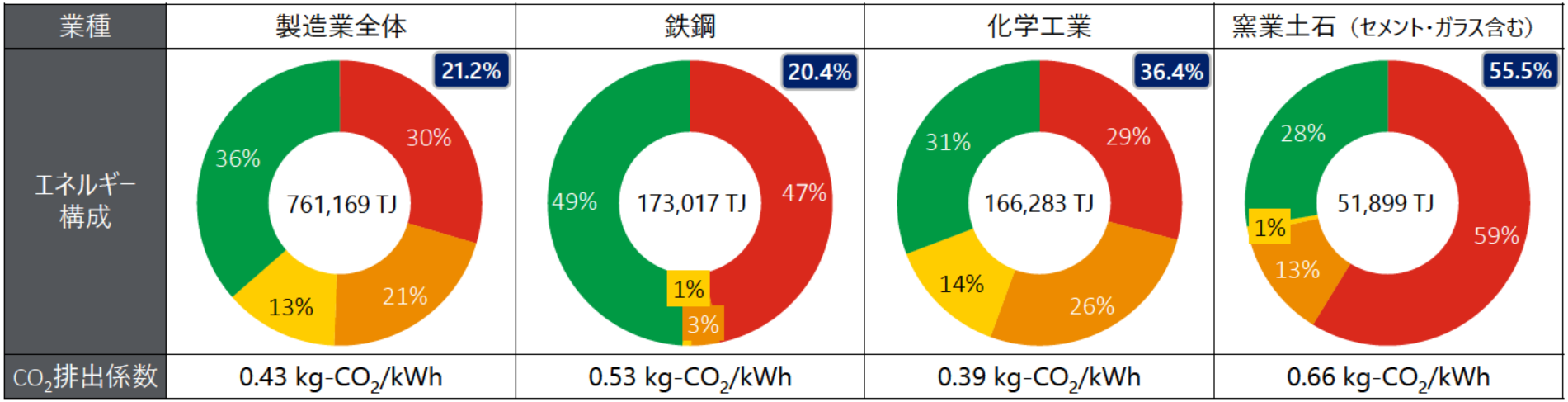
出所：経済産業省・H30延長産業連関表、総務省・H27産業連関表
備考：エネルギー需要は、延長産業連関表のエネルギー消費額[百万円]をH27産業連関表の部門別品目別国内生産額表から物量換算した上で、発熱量に変換した推計値

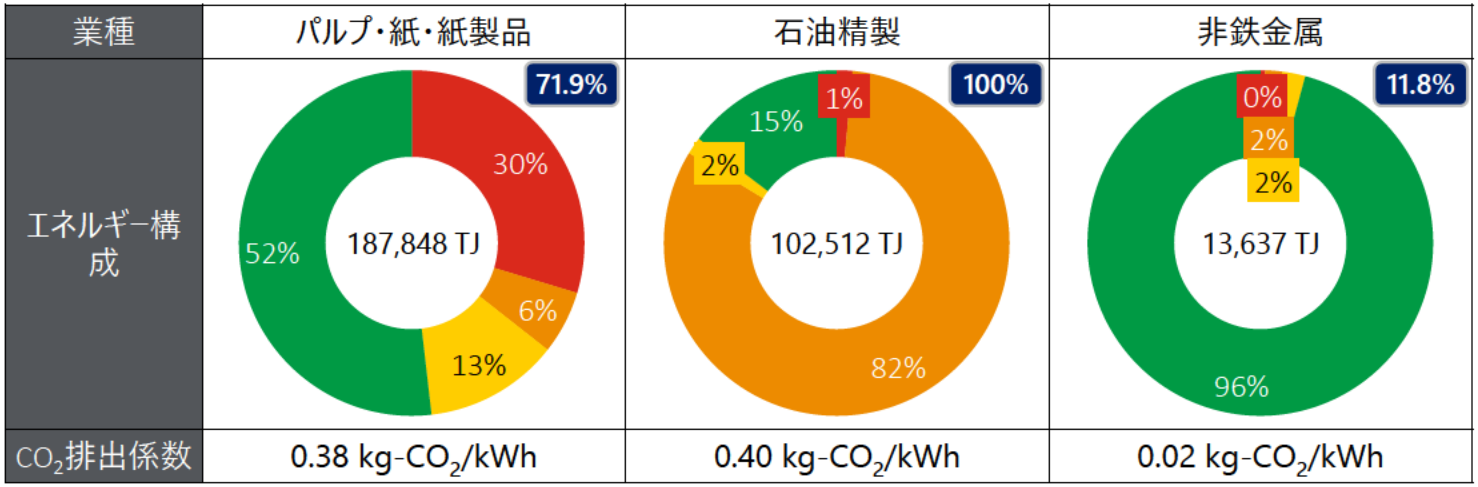
【自家用電力のエネルギー構成・排出係数】

鉄鋼・セメントの自家用電力は、石炭利用が比較的大きく、排出係数も高い傾向にある

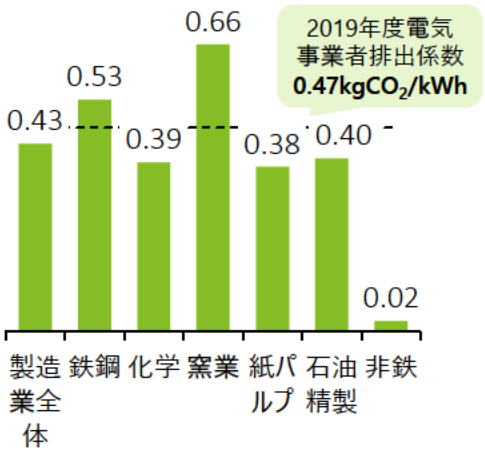
製造業全体・対象業種における自家用電力のエネルギー構成・排出係数

凡例：石炭／ガス／油／再エネ・廃棄物／全電力需要のうち自家発電の割合





（参考）電力排出係数の比較



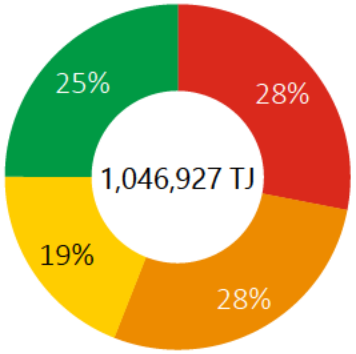
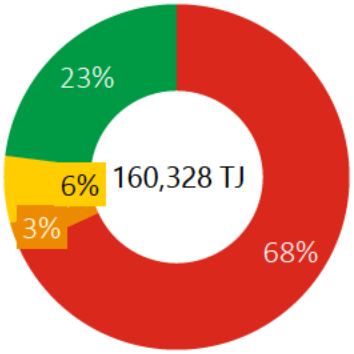
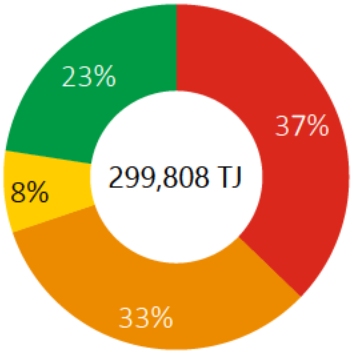
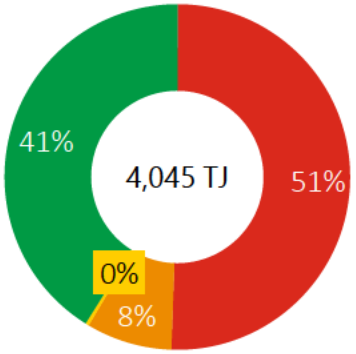
出所：総合エネルギー統計・2019年度詳細表、経済産業省・環境省（2021）「電気事業者別排出係数（特定排出者の温室効果ガス排出量算定用）－R1年度実績－」
備考：凡例のうち、石炭は石炭・石炭ガス、油は原油・石油製品全般、ガスは天然ガス・都市ガスに総合エネルギー統計上で計上される燃料種で集約

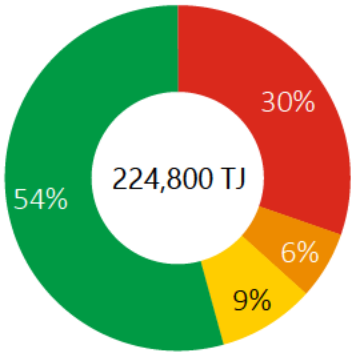
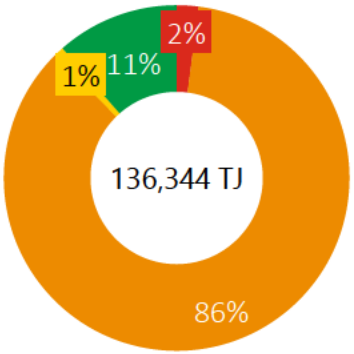
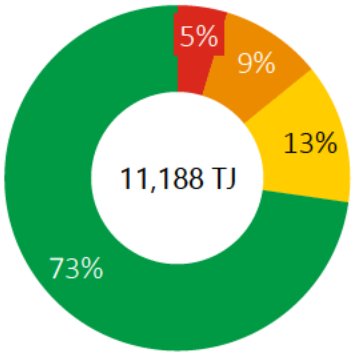
【自家用蒸気のエネルギー構成・排出係数】

自家用電力と同様、鉄鋼・セメントの自家用蒸気は、排出係数が高い傾向にある

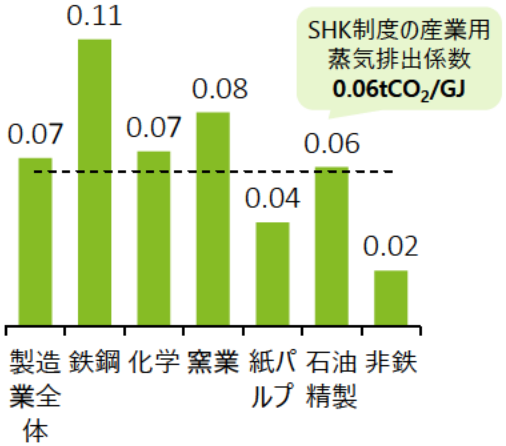
凡例：石炭、ガス、油、再エネ・廃棄物

製造業全体・対象業種における自家用蒸気のエネルギー構成・排出係数

業種	製造業全体	鉄鋼	化学工業	窯業土石（セメント・ガラス含む）
エネルギー構成				
CO_2排出係数	0.065 t-CO_2/GJ	0.111 t-CO_2/GJ	0.068 t-CO_2/GJ	0.083 t-CO_2/GJ

業種	パルプ・紙・紙製品	石油精製	非鉄金属
エネルギー構成			
CO_2排出係数	0.040 t-CO_2/GJ	0.062 t-CO_2/GJ	0.021 t-CO_2/GJ

（参考）熱排出係数の比較



出所：総合エネルギー統計・2019年度詳細表、環境省（2021）「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」
備考：凡例のうち、石炭は石炭・石炭ガス、油は原油・石油製品全般、ガスは天然ガス・都市ガスに総合エネルギー統計上で計上される燃料種で集約

【自家用電力・自家用蒸気に係る産業界の意見】

自家用設備は各生産プロセスに密接に関連し、脱炭素技術導入に伴い在り方も変化

自家発電・自家蒸気に関するエネ多4業種の意見

鉄鋼業（日本鉄鋼連盟）

■ 副生ガスの不可避的な発生と利活用

- ✓ **高炉一貫製鉄所では、鉄鉱石の還元材として石炭を利用**しており、一部は**不可避的に副生ガス（高炉ガス）が発生**
- ✓ 生産活動と密接に関連した副生ガスを燃料として、ボイラや発電設備を稼働させ、自家用電力や自家用蒸気を供給
- ✓ 副生ガスの供給変動・性質変動を吸収するため、石炭・重油等を補助燃料として使用

■ 廃熱エネルギーの回収・利用

- ✓ **高炉・転炉・コークス炉からの廃熱**を回収し、直接蒸気利用や自家用発電設備による電力を供給

化学工業（日本化学工業協会）

■ ソーダ工業における主原料としての電気

- ✓ ソーダ工業では、塩から電気分解により苛性ソーダNaOH、塩素Cl_2、水素などを製造する際、電気が主原料となる

■ 化学製品製造に必要な自家用蒸気

- ✓ 化学製品製造における「化学反応時の加熱」「生成物の分離・精製の際の蒸留、乾燥」に自家用蒸気が必要
- ✓ 自家用蒸気は、熱源（ヒーター）だけでなく、動力源（コンプレッサー）や加湿源（品質コントロール）として活用
- ✓ 危険物を扱う環境下、防爆規制等により電気加熱が認められず蒸気加熱が必須となるプロセスがある

セメント製造業（セメント協会）

■ セメント原料としての石炭

- ✓ 石炭火力発電から発生する**石炭灰はセメント原料**（Al_2O_3・SiO_2）となる
- ✓ 石炭火力排ガス脱硫により発生する**石こう**は、仕上工程におけるクリンカの混合原料となる
- ✓ セメント製造用として石炭を使用しており、調達・保管等のインフラもセメント製造と発電で共用可能であるため、石炭火力自家発設備が多く採用され、**全体の自家発電量の約7割**を占める

■ 焼成工程における廃熱エネルギーの回収・利用

- ✓ 焼成工程に投入する多量の熱エネルギーの廃熱を回収することによる**廃熱発電を併設するクリンカ焼成炉は31基**（全50基中）

パルプ・紙・紙製品製造業（日本製紙連合会）

■ 業界内のエネルギーの9割超を自家設備で供給

- ✓ 自家発電は製紙業のエネルギー供給（電力1：熱2）の9割以上を担い、製品の生産と工場の安定操業に必要不可欠

■ 工程内で発生する黒液や廃材等（廃棄物・再エネ）の利活用

- ✓ **クラフトパルプ工程で発生する黒液**をボイラ燃焼し、3割超の電気・熱を供給
- ✓ **紙製造工程で発生するPS**やRPF等の廃棄物で、2割超の電気・熱を供給

・RPF　産業系廃棄物のうち、マテリアルリサイクルが困難な古紙及び廃プラスチック類を主原料とした高品位の固形燃料

・PS　紙の製造工程で発生するセルロースを主体とする廃棄物

・黒液　クラフトパルプを作るときに薬品処理で発生する黒ないし褐色の液体濃縮して回収ボイラーで燃焼することにより、化石燃料の削減が可能なバイオマス燃料となる

出所：METI石炭火力検討WG資料（第2回・第3回）｜日本鉄鋼連盟資料（鉄鋼業における発電設備運用の実態）、日本化学工業協会資料（化学業界の現状）、セメント協会資料（セメント産業の特徴と自家発電設備の役割）、日本製紙連合会資料（製紙産業の石炭火力発電）

1. 各産業のエネルギー構造

2. 各産業の製造プロセスと脱炭素への道筋

参考：海外文献における各業種の脱炭素化に係る課題の整理

【鉄鋼業：プロセスフロー】

鉄鋼では、高炉による銑鉄で2,000℃近い高温が必要であり、エネルギーのシェアも大きい

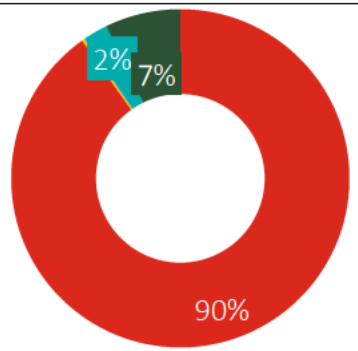
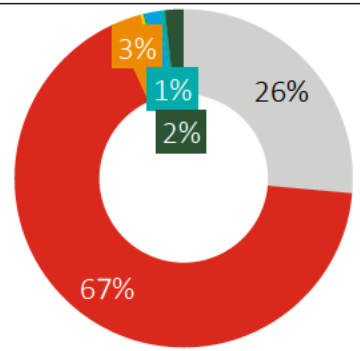
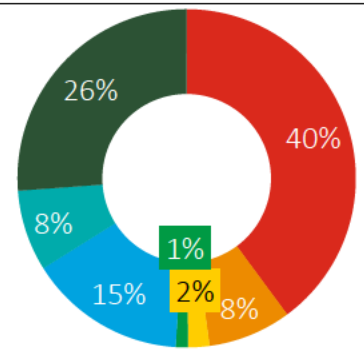
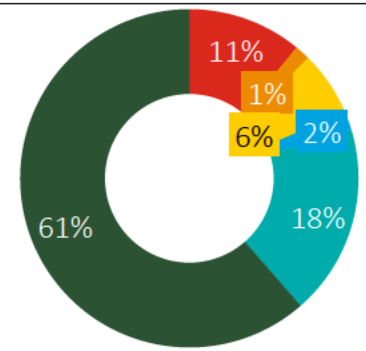
鉄鋼業のプロセスフロー

工程	概要・熱に関する記述	主な燃料	エネルギーシェア
1-1 コークス製造	✓ 石炭を洗浄し、粉砕・整粒した上で十数時間かけてコークス炉で燃焼することで高炉用のコークスを製造する	石炭	11%
1-2 焼結化	✓ 高炉の目詰まりを防ぐため、鉄鉱石に粉コークスと5～15%の石灰石を混ぜ、一定の大きさに焼き固めることで、鉄鉱石の焼結化を行う		
2 銑鉄製造	✓ コークスと焼結化した鉄鉱石を2,000度近くの高温で反応させ、酸素を除去する	石炭	52%
3-1 転炉精錬	✓ 銑鉄に生石灰などを入れ、酸素を吹き込み、炭素を徹底的に取り除くとともに、銑鉄処理で取り除けなかったリン、硫黄、けい素など不純物を除去する	石炭 電気	3%
3-2 電気炉精錬	✓ 鉄スクラップに電流を流しアークを発生させるとともに酸素を吹き込み、電弧熱と反応熱で鉄スクラップを溶融させ、酸素や硫黄を取り除く還元精錬を行う	電気	3%
4 連続鋳造	✓ 精錬した鋼をガス切断機で切り分け、スラブ・ビレット・ブルームなどの半製品にする	都市ガス 電気	1%
5 再加熱	✓ 圧延するために加熱炉で900～1,200度近くに再加熱する	石炭ガス 都市ガス	16%
6 圧延	✓ 線材や薄板、鋼管等の鋼材用途に応じて、上下をロールに挟んで圧し延ばす		
7 鋼材化・出荷等	✓ 圧延された鋼材を線材や薄板、鋼管等に加工し、出荷する ✓ 上記以外の工程も含む	石炭 電気	14%

出所：日本鉄鋼連盟ウェブページ、JFEスチールウェブページ、日本製鉄ウェブページ等の公表資料を参考に作成
備考：主な燃料やエネルギーシェアは、総合エネルギー統計・2019年度詳細表より作成

【鉄鋼業：工程別エネルギー消費量】
高炉・銑鉄工程のエネルギー消費量が最も大きく、その大半が熱需要である

鉄鋼業におけるプロセス別エネルギー消費量の構成・関連技術（１／２）

プロセス	1 焼結鉱・コークス炉工程	2 高炉・銑鉄工程	3 転炉工程	4 電気炉工程
エネルギー構成				
熱比率（原料用除く）	90.7%	96.9%	66.1%	20.4%
エネルギー消費量（工程内シェア）	**172,123 TJ**（10.8%）	**833,272 TJ**（52.3%）	**51,476 TJ**（3.2%）	**52,740 TJ**（3.3%）
主な低・脱炭素関連技術※	• 製鉄所でのケミカルリサイクル（廃プラ活用によるコークス削減）[a,b] • コークス炉の効率改善[a,b] • コークス乾式消火設備（CDQ）[a] • 焼結排熱回収設備[a] • フェロコークスの導入[a,b]	• COURSE 50[a,b,c,d] • Super COURSE 50[b,c,d] • 水素還元製鉄[b,c,d] • 高炉炉頂圧発電機（TRT）[a]	• 電気設備（酸素プラント・送風機・圧縮空気）の効率化[a] • 転炉排熱回収設備[a] • 発電効率（自家発・共同）の改善[a,b] • 高性能ボイラの導入[a]	• 電気設備（酸素プラント・送風機・圧縮空気）の効率化[a] • 直接還元鉄を活用した電炉の不純物除去技術開発[d] • 発電効率（自家発・共同）の改善[a,b]

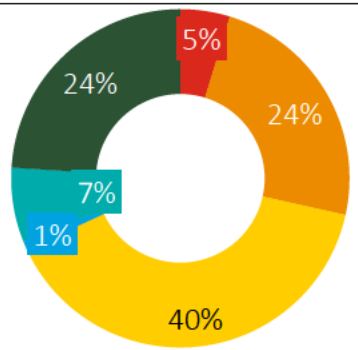
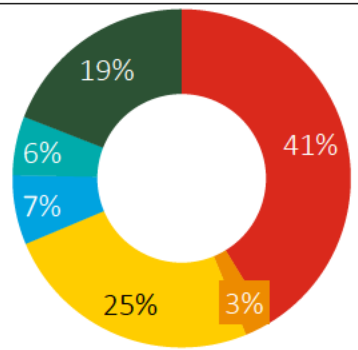
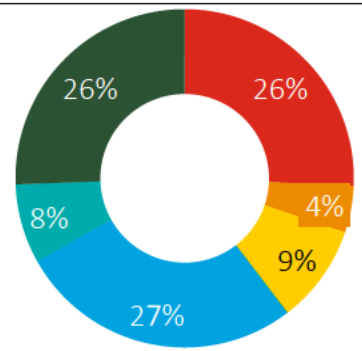
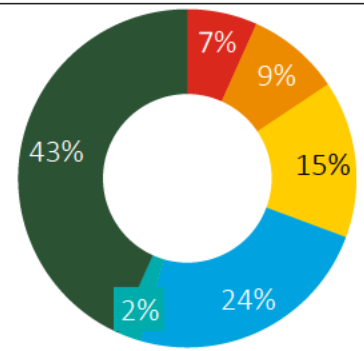
原料炭　原料ナフサ　石炭　油　ガス　再エネ・未利用　自家蒸気　自家発電　外部電力

※ a：地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）　b：日本鉄鋼連盟の低炭素社会実行計画・経団連カーボンニュートラル行動計画
c：2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略　d：グリーンイノベーション基金「製鉄プロセスにおける水素活用」研究開発・社会実装計画
但し、産業横断的な対策技術である、「高効率空調」「産業用HP」「産業用LED照明」「産業用モータ・インバータ」「コージェネレーション」は工程に依らず導入されると考えられるため省略

出所：総合エネルギー統計・2019年度詳細表、地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）、経団連（2021）「低炭素社会実行計画 2020年度フォローアップ結果 個別業種編（日本鉄鋼連盟）」、経団連（2021）「カーボンニュートラル行動計画［速報版］（2021年11月8日）」

【鉄鋼業：工程別エネルギー消費量】
加熱炉を有する圧延工程のエネルギー消費量が２番目に大きい

鉄鋼業におけるプロセス別エネルギー消費量の構成・関連技術（２／２）

プロセス	5 鋳造工程	6 圧延工程	7 その他 - 高炉製鋼内	8 その他 - 高炉製鋼外
エネルギー構成				
熱比率（原料用除く）	68.9%	75.3%	66.9%	54.5%
エネルギー消費量（工程内シェア）	**9,663 TJ（0.6%）**	**246,034 TJ（15.4%）**	**154,851 TJ（9.7%）**	**72,795 TJ（4.6%）**
主な低・脱炭素関連技術※	• 発電効率（家発・共同）の改善 [a,b]	• 低炭素工業炉の導入 [a] • 熱伝導効率の改善・省電力化 [c] • 加熱の電化 [c] • 発電効率（自家発・共同）の改善 [a,b]	• 発電効率（自家発・共同）の改善 [a,b] • 高性能ボイラの導入 [a]	• 高性能ボイラの導入 [a]

原料炭　原料ナフサ　石炭　油　ガス　再エネ・未利用　自家蒸気　自家発電　外部電力

※ a：地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）　b：日本鉄鋼連盟の低炭素社会実行計画・経団連カーボンニュートラル行動計画
c：2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略　d：グリーンイノベーション基金「製鉄プロセスにおける水素活用」研究開発・社会実装計画
但し、産業横断的な対策技術である、「高効率空調」「産業用HP」「産業用LED照明」「産業用モータ・インバータ」「コージェネレーション」は工程に依らず導入されると考えられるため省略

出所：総合エネルギー統計・2019年度詳細表、地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）、経団連（2021）「低炭素社会実行計画 2020年度フォローアップ結果 個別業種編（日本鉄鋼連盟）」、経団連（2021）「カーボンニュートラル行動計画［速報版］（2021年11月8日）」
備考：鋳造工程は総合エネルギー統計上の「鍛鋼品」「鋳鋼品」の合算値、その他-高炉製鋼内は「フェロアロイ」「他鉄鋼製品」の合算値

【鉄鋼業：主要な低・脱炭素技術一覧】
2030年以降に水素還元・電炉の大規模化・CCUSの実装が予定されている

鉄鋼業の主な低・脱炭素技術と導入予定時期

技術分類の凡例　①省エネルギー　②燃料転換　③原料転換　④エネルギー脱炭素化　⑤NETs（CCUS含む）

低・脱炭素技術名	主な対応工程		技術分類					導入予定時期	補足説明
			①	②	③	④	⑤		
焼結排熱回収設備	焼結化		●					導入済	焼結設備の冷却機から出た高温の排気ガスを、蒸気として回収
製鉄所でのケミカルリサイクル(廃プラ活用によるコークス削減)	コークス製造		●					導入済	回収された廃プラスチック等をコークス炉で熱分解すること等により有効活用を図り、石炭の使用量を削減
コークス炉の効率改善	コークス製造		●					導入済	コークス炉の効率改善により、コークス炉への投入燃料が削減される
コークス乾式消火設備（CDQ）	コークス製造		●					導入済	コークス炉における顕熱回収（CDQ）といった廃熱活用等の省エネ
フェロコークスの導入	コークス製造		●					2020年代	革新的コークス代替還元材（フェロコークス）を使用することで高炉内還元反応の高速化、低温化を図り、還元材比を低減
COURSE 50	コークス製造	銑鉄製造	●				●	2020年代	コークス製造時の副生水素を一部コークスの代替として用いて鉄鉱石を還元、製鉄所内の未利用低温排熱を利用してCO2分離・回収
Super COURSE 50	コークス製造	銑鉄製造		●		●	●	2030年代	COURSE 50を所内副生水素ではなく、外部水素を利用
水素還元製鉄	コークス製造	銑鉄製造		●		●		2040年代	石炭に代えて水素を還元材として鉄鉱石を還元
高炉炉頂圧発電機（TRT）	銑鉄製造		●					導入済	高炉炉頂圧の圧力回復発電の活用
電気設備（酸素プラント・送風機・圧縮空気）の効率化	転炉精錬	電気炉精錬	●					導入済	製鉄所で電力を消費する主な設備について、高効率設備に更新（酸素プラント高効率化更新、送風機、圧縮空気プラント高効率化更新）
転炉排熱回収設備	転炉精錬		●					導入済	転炉排熱回収設備による蒸気回収量の増加
直接還元鉄を活用した電炉の不純物除去技術開発	電気炉精錬			●				2030年代	高級鋼生産に必要な不純物除去及び銑鉄の大量生産に向けた大型化
熱伝導効率の改善・省電力化	再加熱	圧延	●					2020年代	溶解、圧延工程における熱伝導効率の改善
加熱の電化	再加熱	圧延		●				2020年代	加熱の電化により圧延時の再加熱プロセスのCO2削減
省エネ設備（業種横断）	全工程		●					導入済	高効率空調、産業ヒートポンプ、高効率照明、低炭素工業炉、高効率モータ・インバータ、高性能ボイラー、コージェネレーションの導入
発電効率（自家発・共同）の改善	全工程		●					導入済	1979年度以前に運開した自家発電設備、共同火力発電設備が高効率化する（予備機や廃止等が決定した設備は除く）
回収したCO2の利用（カーボンリサイクル技術）	全工程						●	2040年代	還元剤(合成メタン)の活用、CO2循環型製鉄システム、CO2還元技術 等

【鉄鋼業：主要な低・脱炭素技術と時間軸に応じた支援の方向性】

2030年までは省エネが進み、2030年以降は電炉の大規模化やCCUによる電力需要増や水素需要の増加が見込まれる

各工程の低・脱炭素技術によるエネルギー需要への影響と支援の方向性

工程	エネシェア	主な技術・技術群	エネルギー需要への影響				2030	2040	2050
			石炭・油	ガス	電気	水素等			
焼結化	10.8%	焼結排熱回収	↘						
コークス製造		省エネ技術全般(フェロコークス等)	↘						
銑鉄製造	52.3%	省エネ技術全般(高炉炉頂圧発電)	↘						
		SUPER COURSE 50	↘		↗	↗			
		水素還元製鉄	↘		↗	↗			
転炉精錬	3.2%	省エネ技術全般(廃熱回収等)	↘		↘				
電気炉精錬	3.3%	省エネ技術全般(電気設備効率化等)			↘				
		電炉の大量生産技術			↗				
再加熱・圧延	15.4%	省エネ技術全般(熱伝導効率改善等)	↘	↘	↘				
		加熱の電化			↗				
工程横断	–	省エネ技術全般(業種横断)	↘	↘	↘				
		回収したCO2利用(CR技術)			↗				

	～2030年	～2040年	～2050年
水素還元プロセス	• 水素還元製鉄技術の研究開発支援 • 水素供給網の構築	• 水素還元製鉄の大規模実証支援 • グリーン水素の大量供給に向けたインフラ整備	• 水素還元プロセスの着実な実装支援 • 安価で安定したグリーン水素の調達
電炉の大規模化	• 電炉の大規模化・高度化に向けた研究開発支援 • 圧延工程の熱源の電化に係る実証支援	• 高度化した電炉の大規模実証支援 • 安価で安定した大量なグリーン電力の調達	• 高度化した電炉の着実な実装支援
自家発電・自家蒸気	• 石炭から天然ガスへの部分的な転換	• 水素還元製鉄の実装に向け石炭依存から脱却する自家発電・蒸気プロセスの開発	• 安定した脱炭素エネルギーの調達
CCUS	• 合成メタン等のCO2循環型製鉄プロセスの研究開発支援	• 同左の研究開発支援 • CO2回収・輸送に係るインフラ整備	• カーボンリサイクル技術の大規模実証・実装支援

備考：あくまで鉄鋼業全体としての技術推移と支援のイメージであり、実際には鉄鋼メーカー各社は各々の長期的な戦略の下でカーボンニュートラルの実現を目指していくことになるため、各社に上記の経路イメージとの一致するものではなく、また要請するものではない。

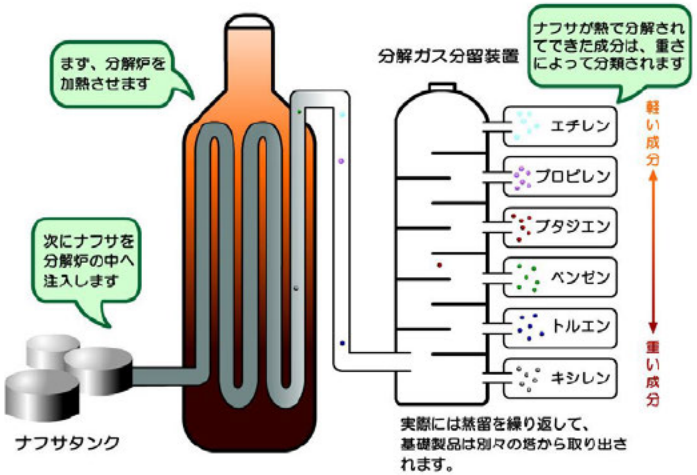
【化学工業：プロセスフロー】

化学工業では、原料用ナフサが8割弱を占め、ナフサ分解で850℃の熱も必要となる

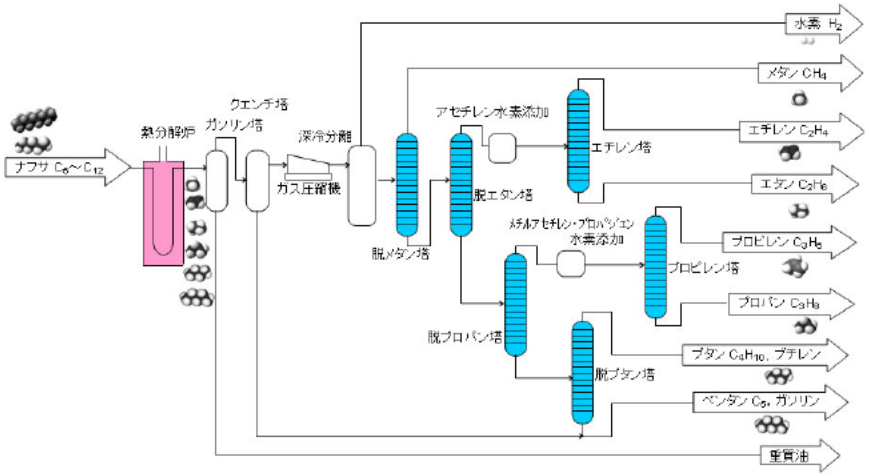
化学工業のプロセスフロー

工程	概要・熱に関する記述	主な燃料	エネルギーシェア
① 原料油の確保	✓ 石油化学用ナフサ（粗製ガソリン）を原材料として用いる	ナフサ	76%
② ナフサ分解	✓ ナフサを分解炉により約850度で熱することで熱分解する	製油所ガス 自家蒸気（回収蒸気）	24%
③ 分留	✓ 分留を繰り返し、重さによりエチレン、プロピレン、ブタジエン、ベンゼン、トルエン、キシレン等の基礎化学品（オレフィン）を取り出す		
④ 誘導品製造等	✓ プラスチック、合成繊維、ゴム、塗料、洗剤、医薬品等の誘導品に加工する ✓ 上記以外の工程も含む		

（参考）ナフサ分解のイメージ



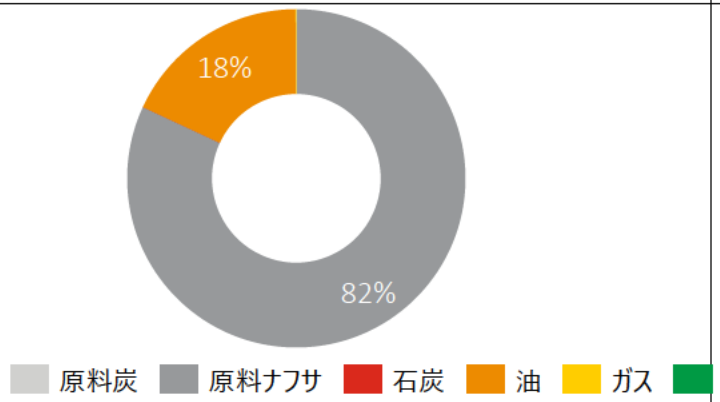
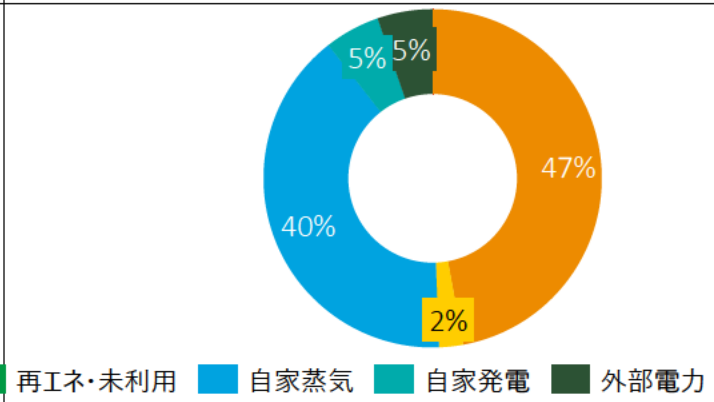
（参考）分留工程のイメージ



出所：石油化学工業協会ウェブページ、出光ウェブページ等の公表資料を参考に作成
備考：主な燃料やエネルギーシェアは、総合エネルギー統計・2019年度詳細表より作成

【化学工業：工程別エネルギー消費量】
原料用途が8割弱を占めるが、動力用途にもナフサ分解炉や誘導品加工の熱需要が存在

化学工業におけるプロセス別エネルギー消費量の構成・関連技術

プロセス	1 原料用途	2 製造時動力用途
エネルギー構成		
熱比率（原料用除く）	－ （全て原料のため）	89.4%
エネルギー消費量（工程内シェア）	**1,394,140 TJ** **（76.3%）**	**433,711 TJ** **（23.7%）**
主な低・脱炭素関連技術※	• CO2等を用いたプラスチック原料製造プロセス[a,b,d] • 廃プラ・廃ゴムからの化学品製造技術の開発[d] • グリーン水素（人工光合成）等からの化学原料製造技術[c,d] • メタノールやエタノール等の化学原料製造技術（MTO・ETO）[d] • 非可食性植物由来原料による高効率化学品製造プロセス[b]	• 機能性化学品の連続精密生産プロセス[b] • ナフサ分解炉の高度化技術の開発[d] • 低炭素工業炉の導入[a] • 化学の省エネルギープロセス技術の導入[a] • 高性能ボイラの導入[a]

※ a：地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）　b：日本化学工業協会の低炭素社会実行計画・経団連カーボンニュートラル行動計画
c：2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略　d：グリーンイノベーション基金「CO2等を用いたプラスチック原料製造技術開発」研究開発・社会実装計画
但し、産業横断的な対策技術である、「高効率空調」「産業用HP」「産業用LED照明」「産業用モータ・インバータ」「コージェネレーション」は工程に依らず導入されると考えられるため省略

出所：総合エネルギー統計・2019年度詳細表、地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）、経団連（2021）「低炭素社会実行計画 2020年度フォローアップ結果 個別業種編（日本化学工業協会）」、経団連（2021）「カーボンニュートラル行動計画［速報版］（2021年11月8日）」

【化学工業：主要な低・脱炭素技術一覧】
2030年以降でナフサの原料代替技術や熱源の水素利用、CCUSの実装が予定されている

鉄鋼業の主な低・脱炭素技術と導入予定時期

技術分類の凡例　①省エネルギー　②燃料転換　③原料転換　④エネルギー脱炭素化　⑤NETs（CCUS含む）

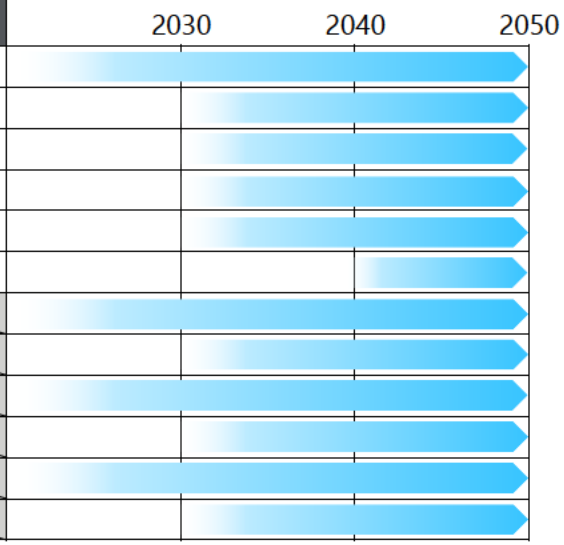
低・脱炭素技術名	主な対応工程	技術分類					導入予定時期	補足説明
		①	②	③	④	⑤		
マテリアルリサイクル	原料油の確保			●			導入済	廃プラスチックからプラスチック製品を生産等
非可食性植物由来原料による高効率化学品製造プロセス	原料油の確保			●	●		2030年代	前処理技術が簡易で、早期実用化が期待できる草本系バイオマス等の非可食性バイオマスから高性能プラスチック等の化学品までを一貫製造する
廃プラ・廃ゴムからの化学品製造技術の開発　（ケミカルリサイクル）	原料油の確保			●			2030年代	廃プラスチックや廃ゴム等からエチレンやプロピレン、ブタジエン等の基礎化学品を収率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
CO2等を用いたプラスチック原料製造プロセス	原料油の確保			●		●	2030年代	CO2を原料としてポリカーボネートやポリウレタン等を製造する
メタノールやエタノール等の化学原料製造技術（MTO・ETO）	原料油の確保			●		●	2030年代	水素とCO2からアルコール類等を経由してエチレン、プロピレン等の基礎化学品を収率80～90%で製造する
グリーン水素（人工光合成）等からの化学原料製造技術	原料油の確保			●		●	2040年代	CO2と水を原材料に、太陽エネルギーを活用する形で合成触媒を使ってオレフィンを合成する
化学の省エネルギープロセス技術の導入	ナフサ分解	●					導入済	排出エネルギーの回収やプロセスの合理化等による省エネルギー
ナフサ分解炉の高度化技術の開発	ナフサ分解		●		●		2030年代	オフガス燃焼によるナフサ分解からアンモニア、水素バーナー等に転換
自家蒸気製造設備の省エネルギー技術	分留　誘導品製造等	●	●				導入済	高効率CGS、天然ガスボイラへの転換、燃料最適化制御、ボイラ小型化による放出蒸気削減、燃料燃焼条件改善、給水予熱強化、FEMS等
機能性化学品の連続精密生産プロセス	分留　誘導品製造等	●					2030年代	機能性化学品をバッチ法からフロー法へ置き換える製造プロセス（高効率反応技術、連続分離精製技術）による省エネルギー
省エネ設備（業種横断）	ナフサ分解　分留　誘導品製造等	●					導入済	高効率空調、産業ヒートポンプ、高効率照明、低炭素工業炉、高効率モータ・インバータ、高性能ボイラー、コージェネレーションの導入
排ガス等からのCO2分離回収	ナフサ分解　分留　誘導品製造等					●	2030年代	天然ガス火力、化学プロセス、焼却処理等からのCO2回収／化学吸収、化学吸着、物理吸収、膜分離等／CCSの導入

【化学工業：主要な低・脱炭素技術と時間軸に応じた支援の方向性】

2030年までは省エネが進み、2030年以降はナフサの代替により原料の脱炭素化が進み、製造用燃料は水素やアンモニア等の新エネルギーの需要増が見込まれる

各工程の低・脱炭素技術によるエネルギー需要への影響と支援の方向性

工程	エネシェア	主な技術・技術群	エネルギー需要への影響				原料需要への影響
			石炭・油	ガス	電気	水素等	
原料油の確保	76.3%	マテリアルリサイクル	↘		↗*1		廃棄物↗
		非可食性バイオマス原料化	↘		↗*1		バイオマス↗
		廃プラ・廃ゴムのケミカルリサイクル	↘		↗*1		廃棄物↗
		CO2のプラスチック原料化	↘		↗*1		CO_2↗
		MTO・ETO	↘		↗*1	↗	CO_2↗
		人工光合成	↘		↗*1	↗	CO_2↗
ナフサ分解	23.7%	省エネ技術全般(廃熱回収等)	↘	↘			
		ナフサ分解炉の高度化	↘	↘		↗	
分留・誘導品製造等		自家蒸気省エネ・天然ガス転換	↘	↗			
		機能性化学品の連続精密生産プロセス	↘	↘	↘		
工程横断	–	省エネ技術全般(業種横断)	↘	↘	↘		
		排ガス等からのCO2分離回収			↗		



*1 原料化（再重合や触媒反応等）する際に必要な電力エネルギーを想定

	～2030年	～2040年	～2050年
原料油の脱炭素化	• 全方位的な脱ナフサに係る研究開発支援	• ケミカルリサイクルの実装・大規模化支援 • CO2原料化技術の研究開発支援	• 脱ナフサ技術の着実な実装 • 安価で安定したグリーンな原料の調達
ナフサ分解炉の高度化	• 高度化分解炉の研究開発支援 • 水素・アンモニアの供給網構築	• 高度化分解炉の大規模実証支援 • 水素・アンモニアの大量供給に向けたインフラ整備	• 高度化分解炉の着実な実装支援 • 安価で安定したグリーン水素・アンモニアの調達
自家発電・自家蒸気	• 化石燃料から再エネへの部分的な転換	• ケミリサやCO2原料化に伴い追加的に要する自家発電・自家蒸気設備の増強	• 安定した脱炭素エネルギーの調達
CCUS	• CO2原料化に向けた回収技術の研究開発支援	• 同左の研究開発支援 • CO2回収・輸送に係るインフラ整備	• カーボンリサイクル技術の大規模実証・実装支援

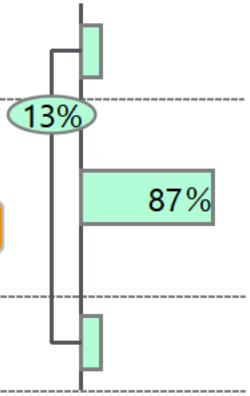
備考：あくまで化学工業全体としての技術推移と支援のイメージであり、実際には化学メーカー各社は各々の長期的な戦略の下でカーボンニュートラルの実現を目指していくことになるため、各社に上記の経路イメージとの一致するものではなく、また要請するものではない。

【セメント製造業：プロセスフロー】
セメント製造では、焼成工程において1,400℃超の熱が必要となる

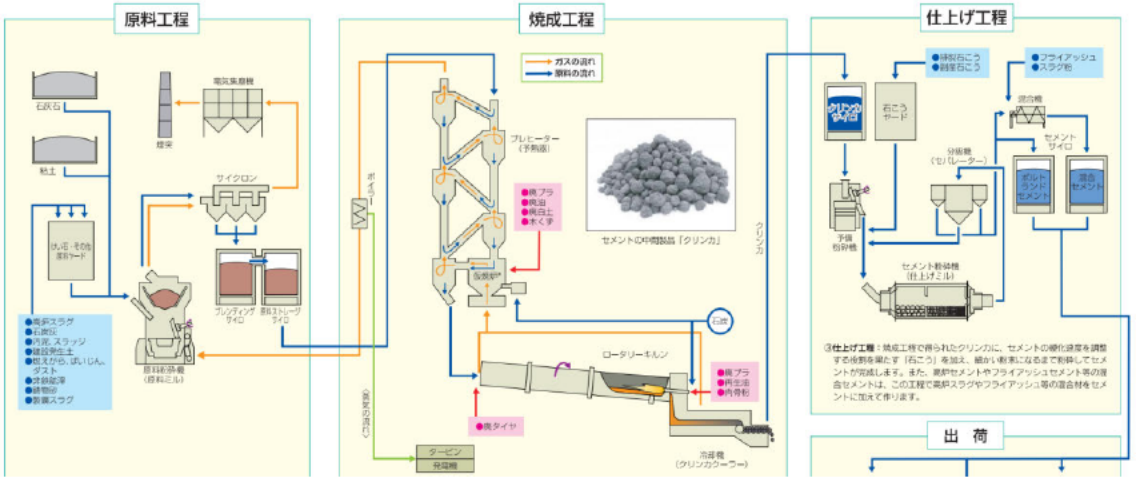
セメント製造業のプロセスフロー

	工程	概要・熱に関する記述	主な燃料
①	原料粉砕	✓ 石灰石、粘土、けい石、酸化鉄原料等を調合し、粉砕機（原料ミル）で粉砕する ✓ 粉砕機は現在、乾燥、粉砕、粗粉と微粉との分級の３つの機能を合わせもつ	電気
②	予熱	✓ 焼成効率を向上させるために、焼成する前にプレヒーター（仮焼炉）を通過させる	石炭 オイルコークス
③	焼成	✓ ロータリーキルン（回転窯）で1,450度以上で焼成し、クリンカを製造する ✓ 焼成後、冷却機（クリンカクーラ）で急冷する（廃熱はプレヒータとキルンに再利用する）	
④	仕上・出荷等	✓ クリンカを仕上粉砕機（仕上ミル）で粉砕して最終製品である粉末状のセメントにする ✓ 上記以外の工程も含む	電気

エネルギーシェア



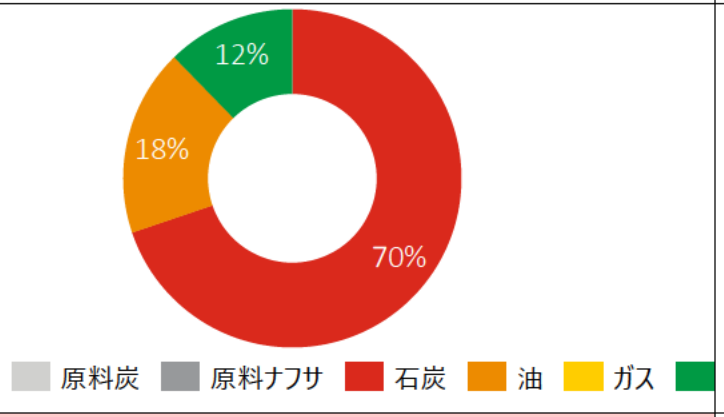
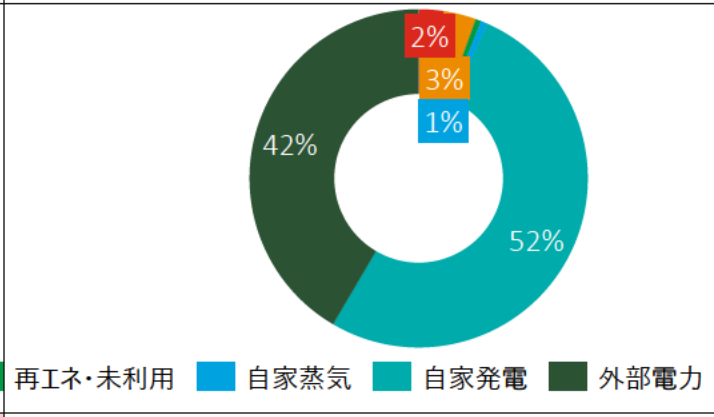
（参考）セメントの製造工程



出所：セメント協会ウェブページ、太平洋セメントウェブページ、株式会社デイ・シイウェブページ等の公表資料を参考に作成
備考：主な燃料やエネルギーシェアは、総合エネルギー統計・2019年度詳細表より作成

【セメント製造業：工程別エネルギー消費量】
焼成工程で熱需要の大半を占め、焼成工程以外はほぼ電力で賄われる

セメント製造業におけるプロセス別エネルギー消費量の構成・関連技術

プロセス	1 セメント焼成工程	2 焼成工程以外
エネルギー構成		
熱比率（原料用除く）	100%	6.7%
エネルギー消費量（工程内シェア）	**166,167 TJ（87.1%）**	**24,702 TJ（12.9%）**
主な低・脱炭素関連技術※	• 鉱化材利用による焼成温度低減[a,b] • 省エネ型セメント（クリンカ低減・廃棄物代替）[a,b] • 熱エネルギー代替廃棄物利用技術[a] • 高精度温度計測システムの実用化[b] • コンクリート微粉のリサイクル[b] • 製造プロセス（NSPキルン）におけるCO_2回収技術の設計・実証[d]	• 従来型省エネルギー技術（排熱発電、スラグ用竪型ミル、石炭用竪型ミル、高効率クーラー）の導入[a] • 自家発電のエネルギー転換[b] • 多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術[c,d]

※ a：地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）　b：セメント協会の低炭素社会実行計画・経団連カーボンニュートラル行動計画
c：2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略　d：グリーンイノベーション基金「CO2を用いたコンクリート等製造技術開発」研究開発・社会実装計画
但し、産業横断的な対策技術である、「高効率空調」「産業用HP」「産業用LED照明」「産業用モータ・インバータ」「コージェネレーション」は工程に依らず導入されると考えられるため省略

出所：総合エネルギー統計・2019年度詳細表、地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）、経団連（2021）「低炭素社会実行計画 2020年度フォローアップ結果 個別業種編（セメント協会）」、経団連（2021）「カーボンニュートラル行動計画［速報版］（2021年11月8日）」

【セメント製造業：主要な低・脱炭素技術一覧】
2030年までに石灰石の代替材が増加し、それ以降はCCUSの実装が予定されている

セメント製造業の主な低・脱炭素技術と導入予定時期

技術分類の凡例　①省エネルギー　②燃料転換　③原料転換　④エネルギー脱炭素化　⑤NETs（CCUS含む）

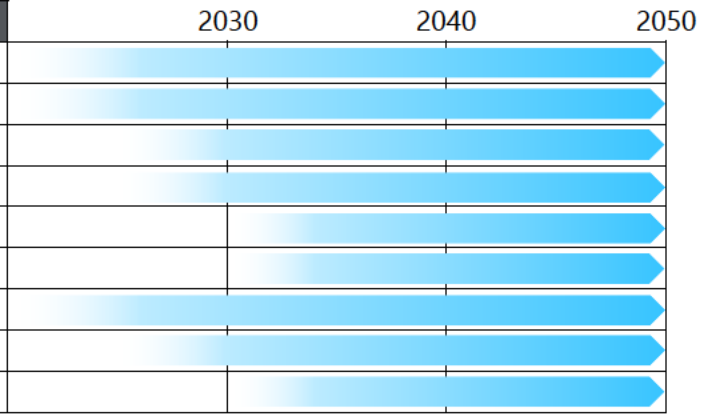
低・脱炭素技術名	主な対応工程		技術分類					導入予定時期	補足説明
			①	②	③	④	⑤		
クリンカ比率の低減	予熱	焼成	●		●			導入済	クリンカの鉱物の一つであるアルミン酸三カルシウム(3CaO・Al2O3)量を増やし、現状より混合材や高炉スラグの使用量を増やすことにより、セメント製造用エネルギー原単位を低減
廃棄物による原料代替	予熱	焼成	●		●			導入済	原材料の一部に廃棄物を利用することで、プロセス由来CO2の削減に寄与
熱エネルギー代替廃棄物利用技術	予熱	焼成		●		●		導入済	熱エネルギー生成時の廃棄物混焼率を高めることでCO2を削減する
鉱化剤利用による焼成温度低減	予熱	焼成	●					2020年代	鉱化剤の使用によってクリンカの焼成温度を低下させることにより、クリンカ製造用熱エネルギー原単位を低減
高精度温度計測システム	予熱	焼成	●					2020年代	高ダスト濃度環境下のロータリーキルン内の温度を高精度で計測し、過度な熱エネルギーの使用を軽減することにより、省エネルギー効果を高める
コンクリート微粉のリサイクル	予熱	焼成	●		●			2030年代	スラッジや再生骨材の製造に伴う微粉等をクリンカの原料として活用
製造プロセス（NSPキルン）における CO_2回収技術	予熱	焼成					●	2030年代	NSPキルンでプレヒーター内の熱を利用するプロセスを活用しつつ、セメント製造用の原料である石灰石から発生するCO_2を大量に回収する
従来型省エネ技術　（焼成工程以外）	原料粉砕	仕上・出荷等	●					導入済	排熱発電、スラグ用竪型ミル、石炭用竪型ミル、高効率クーラー
自家発電のエネルギー転換	原料粉砕	仕上・出荷等		●		●		2020年代	製造プロセスにおける自家発電において、化石燃料からバイオマスや水素等への転換を推進
炭酸塩化技術とカーボンリサイクルセメントの製造	全工程				●		●	2030年代	カルシウム源に製造時に発生したCO2を回収させ固定化することで炭酸塩とし、セメントを製造する技術によりCO2排出削減に寄与

【セメント製造業：主要な低・脱炭素技術と時間軸に応じた支援の方向性】

2030年までは省エネとともに原料の石炭灰の代替・自家発の脱炭素化が始まり、2030年以降はCCUによる電力需要増が見込まれる

各工程の低・脱炭素技術によるエネルギー需要への影響と推移イメージ

工程	エネシェア	主な技術・技術群	エネルギー需要への影響			
			石炭・油	ガス	電気	水素等
予熱・焼成	87.1%	原料代替（クリンカ低減・廃棄物）	⇘*1			
		熱エネルギー代替廃棄物利用技術	⇘*1			
		鉱化剤利用による焼成温度低減	⇘			
		高精度温度計測システム	⇘			
		コンクリート微粉のリサイクル	⇘*1			
		製造プロセスにおける CO_2回収技術			⇗	
原料粉砕・仕上・出荷等	12.9%	従来型省エネ技術　（焼成工程以外）			⇘	
		自家発電のエネルギー転換	⇘			⇗
工程横断	－	炭酸塩化技術とカーボンリサイクルセメント			⇗	



*1 原料の石炭灰を削減することによる、自家発用石炭の削減も含む

	～2030年	～2040年	～2050年
焼成工程の省エネ化	• 焼成工程に係る各種省エネ技術の開発・実装	• 焼成工程で発生するCO2の着実な削減によるCCU負荷の削減	• 同左の取組を継続
自家発電・自家蒸気	• 石炭灰の削減に伴う石炭依存から脱却する自家発電・蒸気プロセスの実装	• 化石燃料から再エネへの部分的な転換	• 自家発電・蒸気の投入エネルギーの脱炭素化 • 安定した脱炭素エネルギーの調達
CCUS	• CO2回収・炭酸塩化技術の研究開発支援	• 同左の研究開発支援 • CO2回収・輸送に係るインフラ整備	• カーボンリサイクル技術の大規模実証・実装支援

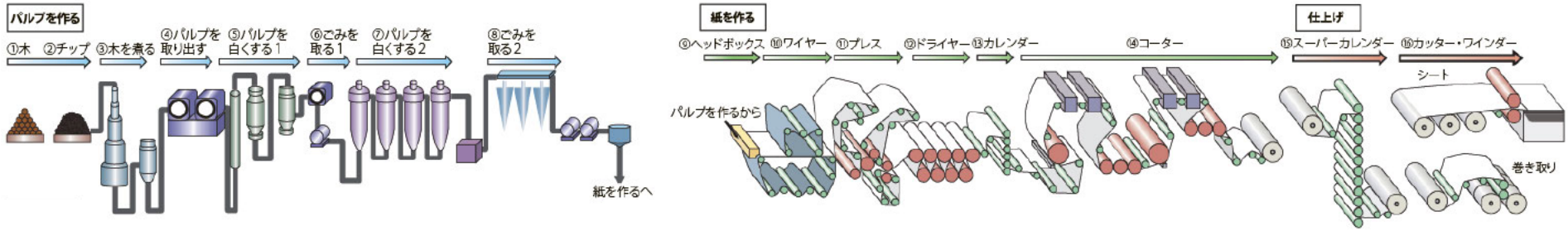
備考：あくまでセメント製造業全体としての技術推移と支援のイメージであり、実際にはセメントメーカー各社は各々の長期的な戦略の下でカーボンニュートラルの実現を目指していくことになるため、各社に上記の経路イメージとの一致するものではなく、また要請するものではない。

【パルプ・紙・紙製品製造業：プロセスフロー】
製紙工程では、木材チップ蒸解とパルプ乾燥に熱が必要となるが、黒液等の利用も進む

パルプ・紙・紙製品製造業のプロセスフロー

工程	概要・熱に関する記述	主な燃料	エネルギーシェア
1-1 化学パルプ製造	✓ （木材チップからパルプを製造する場合）木材チップを蒸解窯で約150度で処理し、セルロース質である化学パルプと、リグニン質が溶けた黒液に分解する	自家発・蒸気（黒液・廃材・石炭）	33%
1-2 再生パルプ製造	✓ （古紙からパルプを製造する場合）古紙をパルパーで溶かし、異物を除去したうえで、漂白を行い再生パルプを取り出す		
2 成形・脱水	✓ パルプを水で薄めてワイヤー（網）上に広げ、ロールに挟んで脱水する	自家発・蒸気（黒液・廃材・石炭）	44%
3 乾燥	✓ 100～170度のドライヤーでパルプを乾燥する		
4 研磨・切断・出荷等	✓ コーティングやローラーによる研磨を行い、適当な大きさに裁断して出荷する ✓ 上記以外の工程も含む	重油 電気	23%

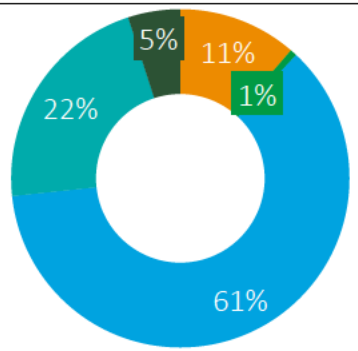
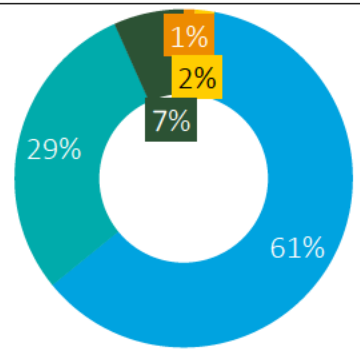
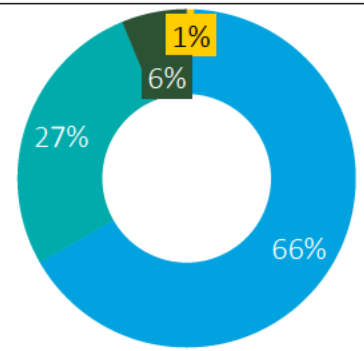
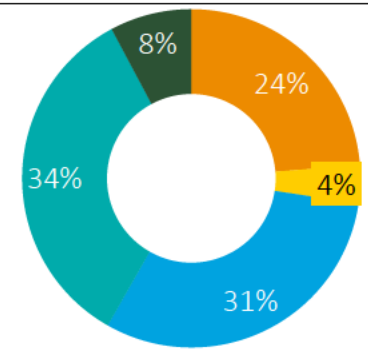
（参考）パルプ・板紙の製造工程



出所：日本製紙連合会ウェブページ、日本製紙ウェブページ、エコシステムアカデミーウェブページ等の公表資料を参考に作成
備考：主な燃料やエネルギーシェアは、総合エネルギー統計・2019年度詳細表より作成

【パルプ・紙・紙製品製造業：工程別エネルギー消費量】
パルプ工程・製紙工程ともに自家蒸気・自家発電が大半を占める

パルプ・紙・紙製品製造業におけるプロセス別エネルギー消費量の構成・関連技術

プロセス	1 パルプ工程	2 紙製造工程	3 板紙製造工程	4 紙加工工程
エネルギー構成				
熱比率（原料用除く）	73.3%	64.1%	66.7%	58.2%
エネルギー消費量（工程内シェア）	**91,651 TJ（32.9%）**	**123,478 TJ（44.3%）**	**62,223 TJ（22.3%）**	**1,167 TJ（0.4%）**
主な低・脱炭素関連技術※	• 高効率古紙パルプ製造技術[a,b] • 排水中有機物成分の燃料化、バイオエタノール生産[b] • 高温高圧回収ボイラへの更新[b] • 廃材等の利用推進（燃料転換）[b] • キルンの脱炭素化[d]	• 高温高圧回収ボイラへの更新[b] • 廃材等の利用推進（燃料転換）[b] • 抄紙機ドライヤーの電化[d]	• 高温高圧回収ボイラへの更新[b] • 廃材等の利用推進（燃料転換）[b]	• 低炭素工業炉の導入[a] • 高温高圧回収ボイラへの更新[b] • 廃材等の利用推進（燃料転換）[b]

原料炭　原料ナフサ　石炭　油　ガス　再エネ・未利用　自家蒸気　自家発電　外部電力

※ a：地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）　b：日本製紙連合会の低炭素社会実行計画・経団連カーボンニュートラル行動計画
c：2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略　d：製紙業界 – 地球温暖化対策長期ビジョン 2050
但し、産業横断的な対策技術である、「高効率空調」「産業用HP」「産業用LED照明」「産業用モータ・インバータ」「コージェネレーション」は工程に依らず導入されると考えられるため省略

出所：総合エネルギー統計・2019年度詳細表、地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）、経団連（2021）「低炭素社会実行計画 2020年度フォローアップ結果 個別業種編（日本製紙連合会）」、経団連（2021）「カーボンニュートラル行動計画［速報版］（2021年11月8日）」、日本製紙連合会（2021）「製紙業界 – 地球温暖化対策長期ビジョン 2050」

【パルプ・紙・紙製品製造業：主要な低・脱炭素技術一覧】
2030年までに省エネ・燃料転換、それ以降は熱源の電化とCCUSの実装が予定されている

パルプ・紙・紙製品製造業の主な低・脱炭素技術と導入予定時期

技術分類の凡例　①省エネルギー　②燃料転換　③原料転換　④エネルギー脱炭素化　⑤NETs（CCUS含む）

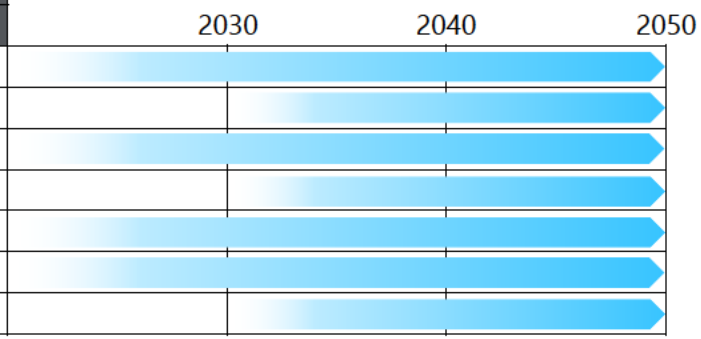
低・脱炭素技術名	主な対応工程	技術分類					導入予定時期	補足説明
		①	②	③	④	⑤		
高効率古紙パルプ製造技術	再生パルプ製造	●					導入済	古紙と水の攪拌・古紙の離解を従来型よりも効率的に進めるパルパーの導入
排水中有機物成分の燃料化、バイオエタノール生産	化学パルプ製造		●		●		導入済	クラフトパルプ製造工程で発生する排水を嫌気性処理により浄化し、処理過程で発生するバイオガスを重油の代替燃料として工場内で有効活用
キルンの脱炭素化	化学パルプ製造		●		●		2030年代	パルプ製造におけるキルン燃焼工程を電化／キルン不使用の新たな薬品回収技術
抄紙機ドライヤーの電化	乾燥		●		●		2030年代	抄紙工程において化石燃料を活用した乾燥設備を電化（CN電源が前提）
高温高圧回収ボイラへの更新	全工程	●	●				導入済	黒液（パルプ廃液）を噴射燃焼して蒸気を発生させる高温高圧型ボイラによる省エネルギー
廃材等の利用推進（燃料転換）	全工程		●				導入済	廃材・RDF・廃タイヤ等の燃料活用の促進
蒸気設備の燃料転換	全工程		●		●		導入済	天然ガス・バイオマスへの燃料転換
排ガス等からのCO2分離回収	全工程					●	2030年代	天然ガスやバイオマス燃焼等からのCO2回収
持続可能な森林管理	生産工程外					●	一部導入済	保有する森林の適切な管理を通じて、生物多様性の保全を含む持続可能な森林経営を進め、CO2吸収・固定を促進するとともにCO2吸収量を算定
(参考)バイオリファイナリーの推進	生産工程外			●			2030年代	従来の化石由来の化学製品を非可食な木質バイオマスを原料としたバイオプラスチックやバイオ化学品への転換

【パルプ・紙・紙製品製造業：主要な低・脱炭素技術と時間軸に応じた支援の方向性】

2030年以降に電化やCCUSによる電力需要増と化石燃料の減少が見込まれる

各工程の低・脱炭素技術によるエネルギー需要への影響と支援の方向性

工程	エネシェア	主な技術・技術群	エネルギー需要への影響			
			石炭・油	ガス	電気	水素等
化学パルプ製造	32.9%	排水中有機物成分のバイオエタノール化				↗
		キルンの脱炭素化	↘	↘	↗	
再生パルプ製造		高効率古紙パルプ製造技術	↘	↘		
乾燥	44.3%	抄紙機ドライヤーの電化	↘	↘	↗	
工程横断	–	高温高圧回収ボイラへの更新	↘	↘		↗
		上記設備の燃料転換	↘	↗		↗
		排ガス等からの CO2分離回収			↗	



	～2030年	～2040年	～2050年
熱源の電化	• パルプ工程の電気キルンや乾燥工程の電化技術の実装支援	• 電化技術の着実な実装 • 安価で安定したグリーン電力の調達	• 同左の取組を継続
自家発電・自家蒸気	• 天然ガスへの転換 • 水素・アンモニアの供給網構築	• 水素・アンモニアへの転換 • 水素・アンモニアの大量供給に向けたインフラ整備	• 安価で安定したグリーン水素・アンモニアの調達
CCUS	• BECCS・CO2回収技術の研究開発支援 • 持続可能な森林経営の推進	• 同左の研究開発支援 • CO2回収・輸送に係るインフラ整備	• BECCSの大規模実証・実装支援
バイオリファイナリーの促進	• バイオマス原料活用によるバイオリファイナリー技術の研究開発支援	• バイオリファイナリー技術の実装支援	• 同左の取組を継続

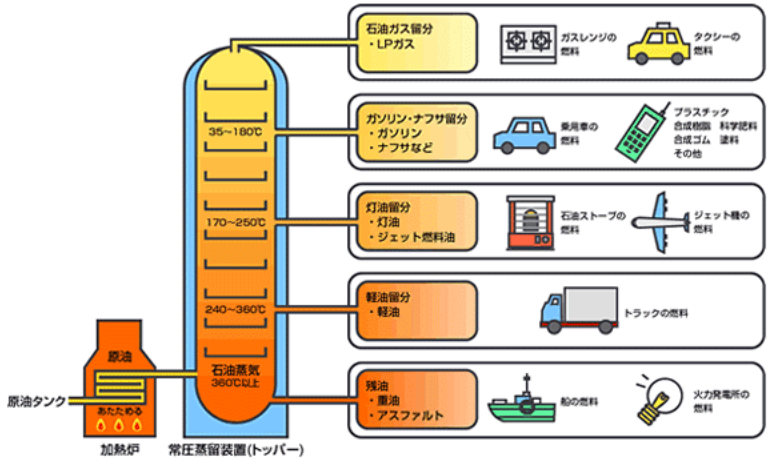
備考：あくまで製紙業全体としての技術推移と支援のイメージであり、実際には製紙メーカー各社は各々の長期的な戦略の下でカーボンニュートラルの実現を目指していくことになるため、各社に上記の経路イメージとの一致するものではなく、また要請するものではない。

【石油精製業：プロセスフロー】
石油精製では、原油を350℃まで加熱して分留し、脱硫や分解が行われる

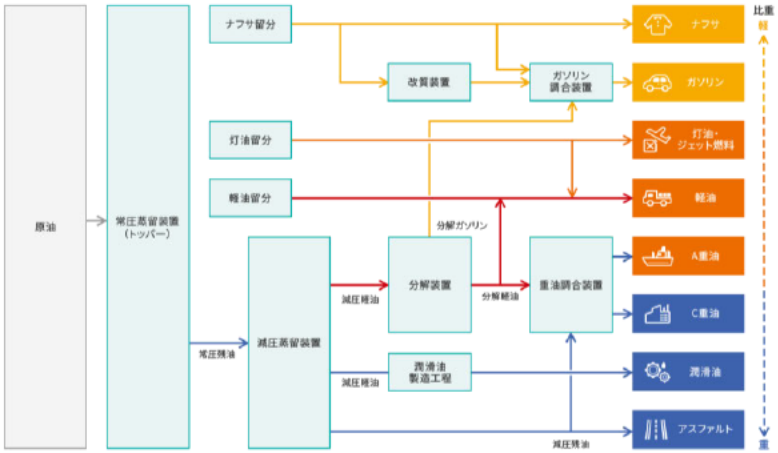
石油精製業のプロセスフロー

	工程	概要・熱の温度帯に関する記述	主な燃料	エネルギーシェア
1	原油加熱	✓ 原料となる原油に脱塩処理を行い、約350度まで加熱する	自家蒸気（製油所ガス・重油）	特定不可（総合エネルギー統計で分かれていないため）
2	常圧蒸留	✓ 加熱した原油を蒸留塔に吹き込み、融点の差で軽質ガス分から重質油まで各成分に分離する		
3	脱硫	✓ アルカリ洗浄法、溶剤脱硫法、接触脱硫法、ガス化脱硫法等により、各燃料に応じて適切に硫黄化合物を除去する		
4	分解	✓ 重質油を熱・触媒・水素等を用いて軽質油（ガソリンや軽油等）に変換する		

（参考）常圧蒸留装置の温度帯



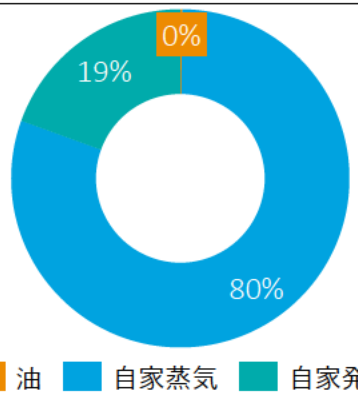
（参考）精製過程の詳細



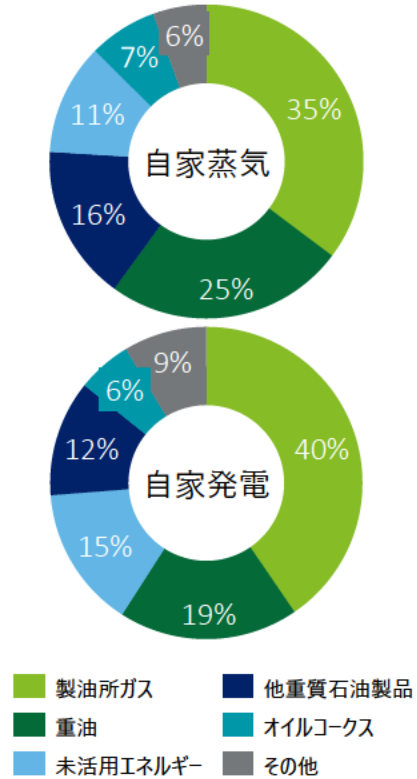
出所：日本エネルギー経済研究所・石油情報センターウェブページ、JOGMECウェブページ、ENEOSウェブページ、日阪製作所ウェブページ等の公表資料を参考に作成
備考：主な燃料やエネルギーシェアは、総合エネルギー統計・2019年度詳細表より作成

【石油精製業：工程別エネルギー消費量】
ほぼ全てが自家発電・自家蒸気で賄われ、その多くは製油所ガスや重油で作られる

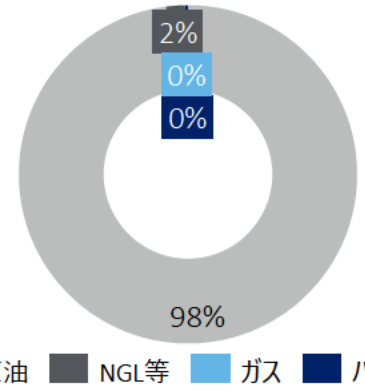
石油精製業におけるプロセス別エネルギー消費量の構成・関連技術

プロセス	1 精製プロセス
エネルギー構成	
熱比率（原料用除く）	80.5%
エネルギー消費量（工程内シェア）	17,335 TJ（100%）
主な低・脱炭素関連技術※	• 高効率熱交換器の導入[a] • 複数装置のインテグレーション／ホットチャージ[a] • ペトロリオミクス技術[b] • CO2フリー水素活用等による精製プロセスへの変革[c] • 炭酸ガス分離・回収・地下貯蔵技術（CCS）[c]

（参考）自家発電・自家蒸気の燃料種別エネルギー構成



（参考）原料油の調達【エネ転】



－（全て原料のため）
※石油精製業ではなく、他業種で最終消費される

6,601,674 TJ

- 次世代バイオ燃料（SAF含む）の供給[c]
- CO2フリー水素の供給[c]
- 合成燃料e-fuel（カーボンリサイクル）の供給[c]
- CCU（炭酸塩）の活用[c]

※ a：地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）　b：石油連盟の低炭素社会実行計画・経団連カーボンニュートラル行動計画
c：石油連盟（2021）「石油業界のカーボンニュートラルに向けたビジョン（目指す姿）」
但し、産業横断的な対策技術である、「高効率空調」「産業用HP」「産業用LED照明」「産業用モータ・インバータ」「コージェネレーション」は工程に依らず導入されると考えられるため省略

出所：総合エネルギー統計・2019年度詳細表、地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）、経団連（2021）「低炭素社会実行計画 2020年度フォローアップ結果 個別業種編（石油連盟）」、経団連（2021）「カーボンニュートラル行動計画［速報版］（2021年11月8日）」、石油連盟（2021）「石油業界のカーボンニュートラルに向けたビジョン（目指す姿）」

【石油精製業：主要な低･脱炭素技術一覧】
2030年以降に精製工程の水素利用やCCS、原料油の脱炭素技術の実装が予定されている

石油精製業の主な低･脱炭素技術と導入予定時期

技術分類の凡例　①省エネルギー　②燃料転換　③原料転換　④エネルギー脱炭素化　⑤NETs（CCUS含む）

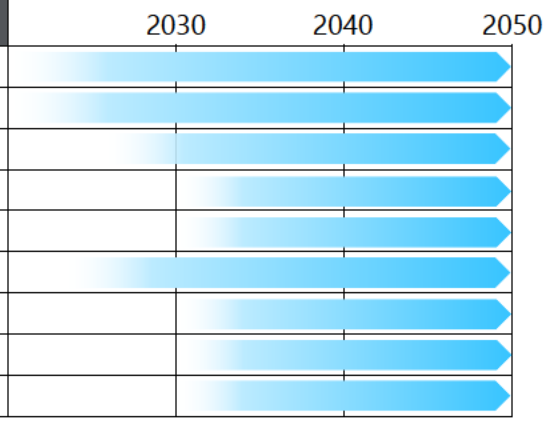
低･脱炭素技術名	主な対応工程		技術分類					導入予定時期	補足説明
			①	②	③	④	⑤		
高効率熱交換器の導入	原油加熱		●					導入済	熱交換による廃熱の有効利用により、加熱炉への投入エネルギーを軽減
複数装置のインテグレーション／ホットチャージ	常圧蒸留		●					導入済	装置間の中間タンクを経由せず、原料油を高温のまま次工程に投入することで、加熱炉のエネルギー使用量を削減
ペトロリオミクス技術	脱硫	分解	●					2020年代	重質原油あるいは超重質原油の成分と反応性を事前に評価することにより、二次装置の稼働を適切に組み合わせ、製油所装置群の非効率な操業を抑制し、CO2の放出を削減
CO2フリー水素の活用等による精製プロセスへの変革	全工程			●		●		2030年代	CO2フリー水素の活用による精製プロセスの脱炭素化
炭酸ガス分離･回収･地下貯蔵技術(CCS)	全工程						●	2030年代	精製プロセス等からのCO2回収／回収したCO2から燃料･素材（炭酸塩）等を生産／CCS導入
次世代バイオ燃料（SAF含む）の供給	(参考)原料油の調達				●			2020年代	持続可能なバイオマス原料（植物や廃棄物等）から液体燃料や化学原料を精製･供給
CO2フリー水素の供給	(参考)原料油の調達				●			2030年代	太陽光発電や風力発電等の再エネ電力からグリーン水素を生成し、液化又は有機ハイドライド等で供給
合成燃料e-fuel（カーボンリサイクル）の供給	(参考)原料油の調達				●		●	2030年代	大気中又は工場等のCO2を回収し、水素と合成するFT合成プロセスによる合成燃料（e-fuel）等の製造･供給
CCU（炭酸塩）の活用	(参考)原料油の調達				●		●	2030年代	建築･土木用セメント原料としての炭酸塩化

【石油精製業：主要な低・脱炭素技術と時間軸に応じた支援の方向性】

2030年以降は精製プロセスの変革や原料油の代替、CCUSの拡大により、電力需要や水素需要の増加が見込まれる

各工程の低・脱炭素技術によるエネルギー需要への影響と支援の方向性

工程	エネシェア	主な技術・技術群	エネルギー需要への影響				原料需要への影響
			石炭・油	ガス	電気	水素等	
原油加熱	–	高効率熱交換器の導入	↘				
常圧蒸留		複数装置のインテグレーション・ホットチャージ	↘				
脱硫／分解		ペトロリオミクス技術	↘				
工程横断		CO2フリー水素の精製プロセスへの変革	↘		↗	↗	
		排ガス等からのCO2分離回収			↗		
(参考)原料油の調達	–	次世代バイオ燃料（SAF含む）の供給	↘		↗*1		バイオマス↗
		CO2フリー水素の供給	↘		↗		
		合成燃料e-fuelの供給	↘		↗*1		CO_2↗
		CCU（炭酸塩）の活用	↘		↗*1		CO_2↗



*1 原料化（再重合や触媒反応等）する際に必要な電力エネルギーを想定

	～2030年	～2040年	～2050年
精製工程の脱炭素化	• CO2フリー水素の精製プロセスの研究開発支援 • 水素供給網の構築	• CO2フリー水素の精製プロセスの大規模実証支援 • グリーン水素の大量供給に向けたインフラ整備	• CO2フリー水素の精製プロセスの着実な実装支援 • 安価で安定したグリーン水素の調達
自家発電・自家蒸気	• 油から天然ガスへの部分的な転換	• 精製プロセスの変革やCO2原料化に伴う製油所ガス等の減少への対応	• 安定した脱炭素エネルギーの調達
CCUS	• CO2原料化に向けた回収技術の研究開発支援	• 同左の研究開発支援 • CO2回収・輸送に係るインフラ整備	• カーボンリサイクル技術の大規模実証・実装支援
原料油の脱炭素化	• 全方位的な脱原油に係る研究開発支援	• CO2フリー水素の実装・大規模化支援 • 合成燃料e-fuel・CCUの研究開発支援	• 脱原油技術の着実な実装 • 安価で安定したグリーンな原料の調達

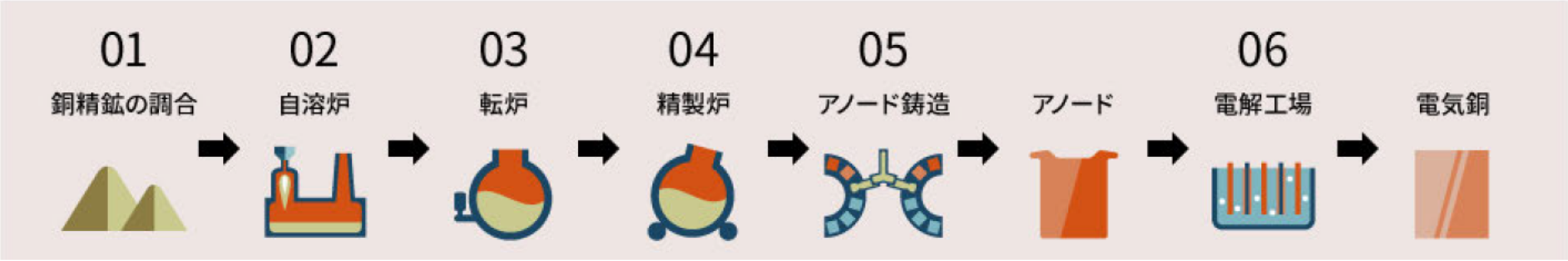
備考：あくまで石油精製業全体としての技術推移と支援のイメージであり、実際には石油元売各社は各々の長期的な戦略の下でカーボンニュートラルの実現を目指していくことになるため、各社に上記の経路イメージとの一致するものではなく、また要請するものではない。

【非鉄金属業（銅）：プロセスフロー】
銅精錬では、溶錬工程で1250℃近くの加熱が必要になる

銅精錬業のプロセスフロー

	工程	概要・熱の温度帯に関する記述	主な燃料	エネルギーシェア
1	銅溶錬	✓ 銅精鉱を常温高酸素空気とともに炉に吹き込み、約1,100～1,250度まで加熱する	重油 電気	76%
2	精製・鋳造	✓ ブタンガスを還元剤として吹き込み、粗銅に含まれる酸素を除去する ✓ 連続式の鋳造機で電解精製用のアノード陽極板に鋳造する		
3	銅電解	✓ 約10日間直流電流を流すことで、アノード中の銅分が硫酸銅溶液中に溶出し、カソードに電着（陰極板）させる	電気	24%
4	出荷等	✓ 電解済みの電気銅を出荷する		特定不可（総合エネルギー統計にないため）

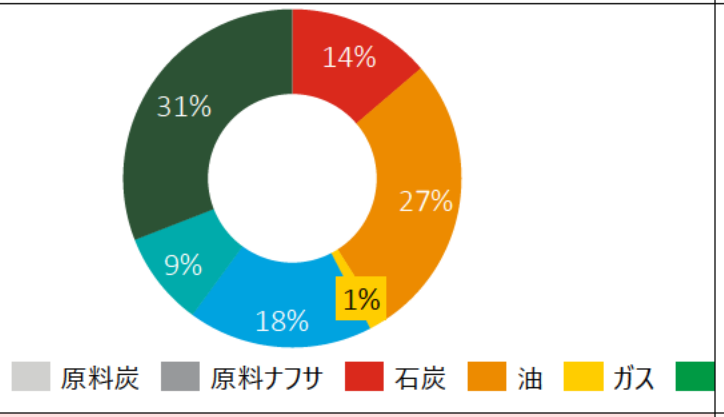
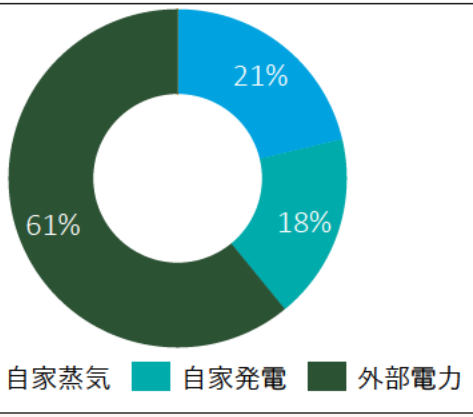
（参考）銅精錬工程



出所：パンパシフィック・カッパーウェブページ、三菱マテリアルウェブページ等の公表資料を参考に作成
備考：主な燃料やエネルギーシェアは、総合エネルギー統計・2019年度詳細表より作成

【非鉄金属業（銅）：工程別エネルギー消費量】
エネ多産業と比較して電化が進んでおり、廃熱利用や水素・CCUSの活用が想定される

銅精錬におけるプロセス別エネルギー消費量の構成・関連技術

プロセス	1 銅溶錬	2 銅電解
エネルギー構成		
熱比率（原料用除く）	60.1%	21.3%
エネルギー消費量（工程内シェア）	**10,085 TJ（76.5%）**	**3,093 TJ（23.5%）**
主な低・脱炭素関連技術※	• 発電効率（自家発・共同）の改善[a] • 銅製錬におけるリサイクル原料比率の拡大[b,c] • 化石燃料・還元剤の代替のための水素バーナー技術等の開発[c] • 反応余剰熱を有効活用する製錬技術の開発[c] • 製錬工程等からの排出CO2のCCS・CCUS技術の開発[c]	• 発電効率（自家発・共同）の改善[a] • BDF利用、バイオマス発電等、廃棄物エネルギー拡大の推進[c]

※ a：地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）　b：日本鉱業協会の低炭素社会実行計画・経団連カーボンニュートラル行動計画
c：日本鉱業協会（2021）「2050年カーボンニュートラル実現に向けた非鉄金属業界の取り組みについて」
但し、産業横断的な対策技術である、「高効率空調」「産業用HP」「産業用LED照明」「産業用モータ・インバータ」「コージェネレーション」は工程に依らず導入されると考えられるため省略

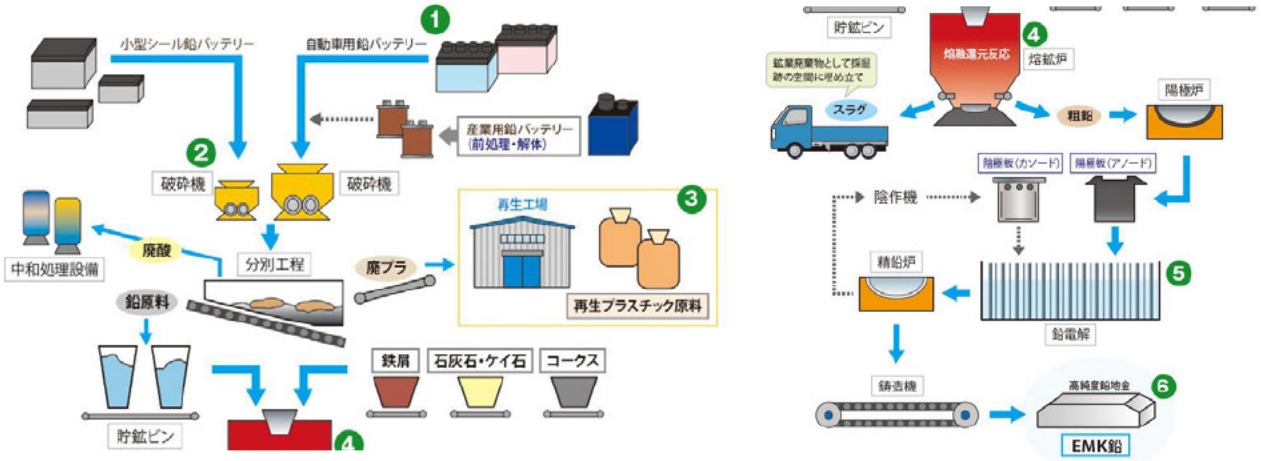
出所：総合エネルギー統計・2019年度詳細表、地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）、経団連（2021）「低炭素社会実行計画 2020年度フォローアップ結果 個別業種編（日本鉱業協会）」、経団連（2021）「カーボンニュートラル行動計画［速報版］（2021年11月8日）」、日本鉱業協会（2021）「2050年カーボンニュートラル実現に向けた非鉄金属業界の取り組みについて」

【非鉄金属業（鉛）：プロセスフロー】
鉛精錬では、溶錬工程で350℃程度の加熱が必要になる

鉛精錬業のプロセスフロー

	工程	概要・熱の温度帯に関する記述	主な燃料	エネルギーシェア
1	鉛溶錬	✓ 鉛焼結鉱を溶剤や廃バッテリ等とともに炉に吹き込み、約350度まで加熱する	石炭	91%
2	精製・鋳造	✓ 溶錬した粗鉛を円型テーブル型鋳造機を用いて鉛陽極を作る		
3	鉛電解	✓ 約8日間直流電流を流すことで、アノード中の鉛分が溶液中に溶出し、カソードに電着（陰極板）させる	電気	9%
4	出荷等	✓ 電解済みの鉛地金を出荷する		特定不可（総合エネルギー統計にないため）

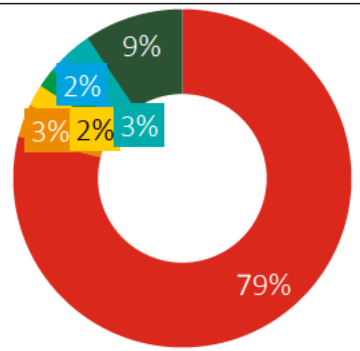
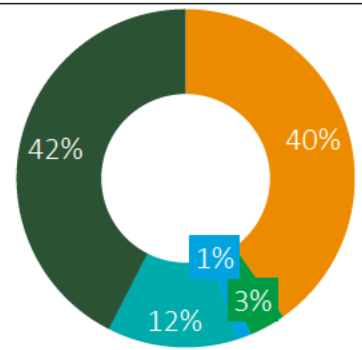
（参考）リサイクル含めた鉛の精錬工程



出所：八戸精錬株式会社ウェブページ、鉛亜鉛需要開発センターウェブページ等の公表資料を参考に作成
備考：主な燃料やエネルギーシェアは、総合エネルギー統計・2019年度詳細表より作成

【非鉄金属業（鉛）：工程別エネルギー消費量】
溶錬工程では石炭の割合が非常に大きい

鉛精錬におけるプロセス別エネルギー消費量の構成・関連技術

プロセス	1 鉛溶錬	2 鉛電解
エネルギー構成		
	原料炭 原料ナフサ 石炭 油 ガス 再エネ・未利用 自家蒸気 自家発電 外部電力	
熱比率（原料用除く）	87.8%	45.1%
エネルギー消費量（工程内シェア）	**2,889 TJ（91.5%）**	**270 TJ（8.5%）**
主な低・脱炭素関連技術※	• 発電効率（自家発・共同）の改善[a] • 化石燃料・還元剤の代替のための水素バーナー技術等の開発[c] • 反応余剰熱を有効活用する製錬技術の開発[c] • 製錬工程等からの排出CO2のCCS・CCUS技術の開発[c]	• 発電効率（自家発・共同）の改善[a] • BDF利用、バイオマス発電等、廃棄物エネルギー拡大の推進[c]

※ a：地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）　b：日本鉱業協会の低炭素社会実行計画・経団連カーボンニュートラル行動計画
c：日本鉱業協会（2021）「2050年カーボンニュートラル実現に向けた非鉄金属業界の取り組みについて」
但し、産業横断的な対策技術である、「高効率空調」「産業用HP」「産業用LED照明」「産業用モータ・インバータ」「コージェネレーション」は工程に依らず導入されると考えられるため省略

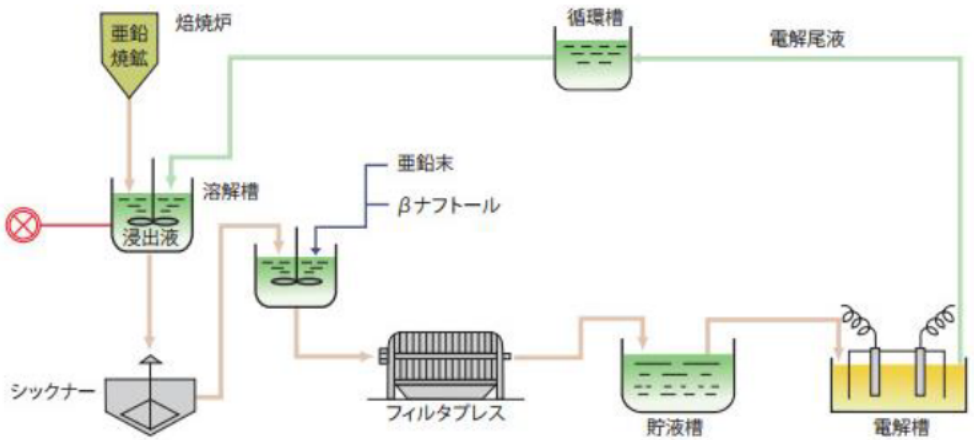
出所：総合エネルギー統計・2019年度詳細表、地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）、経団連（2021）「低炭素社会実行計画 2020年度フォローアップ結果 個別業種編（日本鉱業協会）」、経団連（2021）「カーボンニュートラル行動計画［速報版］（2021年11月8日）」、日本鉱業協会（2021）「2050年カーボンニュートラル実現に向けた非鉄金属業界の取り組みについて」

【非鉄金属業（亜鉛）：プロセスフロー】
亜鉛精錬では、製法に電気分解法と蒸留法の2パターンがある

亜鉛精錬業のプロセスフロー

工程	概要・熱の温度帯に関する記述	主な燃料	エネルギーシェア
① 亜鉛鉱焼結化	✓ 精鉱を焙焼させ酸化亜鉛焼結鉱する		特定不可（総合エネルギー統計にないため）
2-1 精錬（蒸留法）	✓ 焼結鉱をコークスと混合加熱し、亜鉛の低い沸点（907度）を利用し酸化亜鉛中の亜鉛だけを蒸発させて取り出す	石炭	35%
2-2 精錬（電気分解法）	✓ 硫酸に溶解させ硫酸亜鉛溶液とし、この溶液から電気分解によって電極に付着した金属亜鉛を回収する	電気	65%
③ 出荷等	✓ 精錬済みの鉛地金を出荷する		特定不可（総合エネルギー統計にないため）

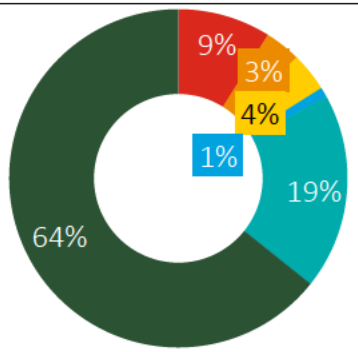
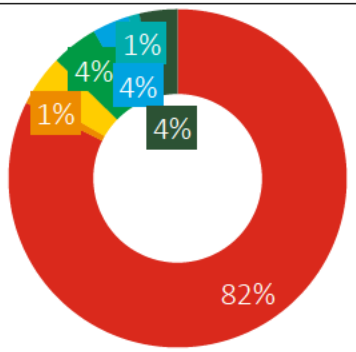
（参考）電気亜鉛の精錬工程



出所：東洋亜鉛株式会社ウェブページ、横河電機ウェブページ、等の公表資料を参考に作成
備考：主な燃料やエネルギーシェアは、総合エネルギー統計・2019年度詳細表より作成

【非鉄金属業（亜鉛）：工程別エネルギー消費量】
亜鉛精錬では、電気分解法にシフトすることで電化を進めることが可能

亜鉛精錬におけるプロセス別エネルギー消費量の構成・関連技術

プロセス	1 電気亜鉛（湿式電気分解法）	2 蒸留亜鉛（乾式蒸留法）
エネルギー構成		
	原料炭 原料ナフサ 石炭 油 ガス 再エネ・未利用	自家蒸気 自家発電 外部電力
熱比率（原料用除く）	17.0%	95.3%
エネルギー消費量（工程内シェア）	**7,022 TJ（65.0%）**	**3,789 TJ（35.0%）**
主な低・脱炭素関連技術※	• 発電効率（自家発・共同）の改善[a] • BDF利用、バイオマス発電等、廃棄物エネルギー拡大の推進[c]	• 発電効率（自家発・共同）の改善[a] • 化石燃料・還元剤の代替のための水素バーナー技術等の開発[c] • 反応余剰熱を有効活用する製錬技術の開発[c] • 製錬工程等からの排出CO2のCCS・CCUS技術の開発[c]

※ a：地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）　b：日本鉱業協会の低炭素社会実行計画・経団連カーボンニュートラル行動計画
c：日本鉱業協会（2021）「2050年カーボンニュートラル実現に向けた非鉄金属業界の取り組みについて」
但し、産業横断的な対策技術である、「高効率空調」「産業用HP」「産業用LED照明」「産業用モータ・インバータ」「コージェネレーション」は工程に依らず導入されると考えられるため省略

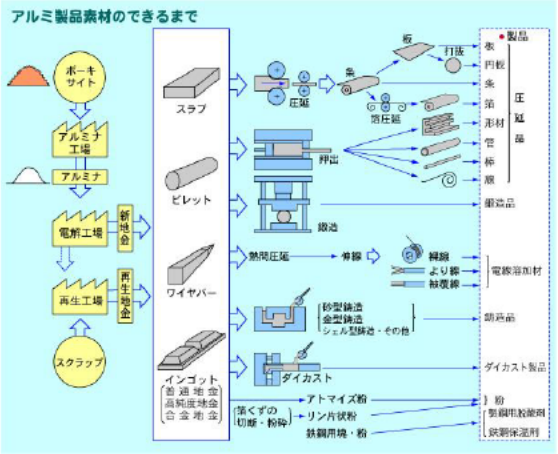
出所：総合エネルギー統計・2019年度詳細表、地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）、経団連（2021）「低炭素社会実行計画 2020年度フォローアップ結果 個別業種編（日本鉱業協会）」、経団連（2021）「カーボンニュートラル行動計画［速報版］（2021年11月8日）」、日本鉱業協会（2021）「2050年カーボンニュートラル実現に向けた非鉄金属業界の取り組みについて」

【非鉄金属業（アルミニウム）：プロセスフロー】
アルミニウム精錬では、新地金と二次地金（リサイクル地金）の処理により燃料が異なる

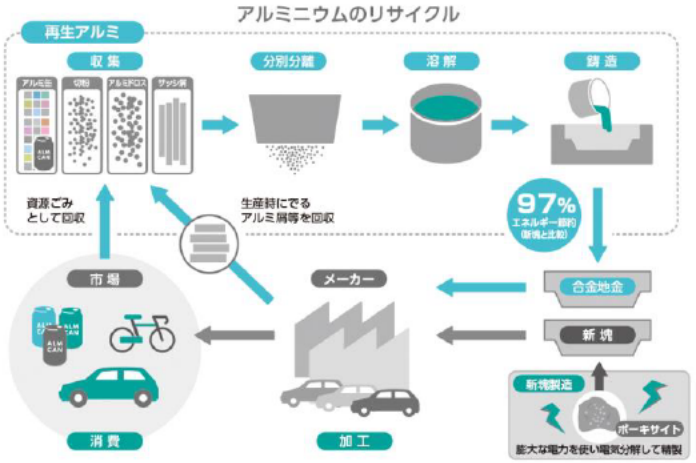
アルミニウム精錬業のプロセスフロー

	工程	概要・熱の温度帯に関する記述	主な燃料	エネルギーシェア
1-1	精錬（新地金）	✓ 輸入したボーキサイトを苛性ソーダ液に溶融させ、電気分解することにより、アルミニウム地金を精製する	電気 都市ガス	46%
1-2	精錬（二次地金）	✓ 収集した廃アルミを分別処理し、溶融炉により700～750度で溶融することで、アルミニウム2次地金を精製する	重油 都市ガス	54%
2	鋳造・圧延	✓ 地金にしたアルミニウムを、スラブ・ビレット・ワイヤバーなどに鋳造し、圧延処理等を行うことで用途に応じたアルミニウム材を製造する		特定不可（総合エネルギー統計にないため）
3	出荷等	✓ 電解済みのアルミニウム材を出荷する		

（参考）アルミニウムの精錬工程



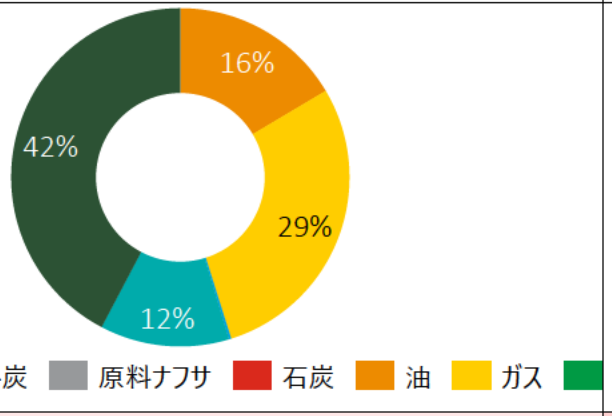
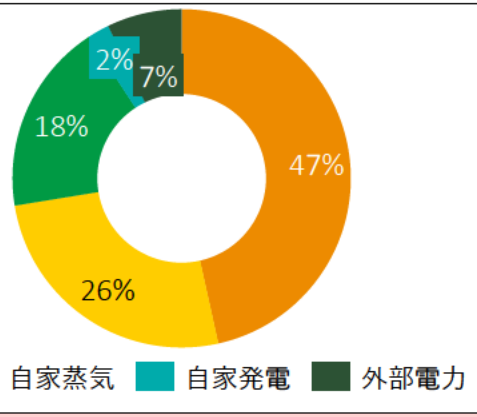
（参考）アルミニウムのリサイクルフロー



出所：日本アルミニウム協会ウェブページ、氷見軽合金株式会社ウェブページ等の公表資料を参考に作成
備考：主な燃料やエネルギーシェアは、総合エネルギー統計・2019年度詳細表より作成

【非鉄金属業（アルミニウム）：工程別エネルギー消費量】
アルミニウム精錬では、リサイクルの促進に伴い燃料の脱炭素化が必要となる

アルミニウム精錬におけるプロセス別エネルギー消費量の構成・関連技術

プロセス	1 アルミニウム新地金	2 アルミニウム2次地金（スクラップリサイクル）
エネルギー構成		
熱比率（原料用除く）	45.4%	90.8%
エネルギー消費量（工程内シェア）	**4,801 TJ（46.1%）**	**5,605 TJ（53.9%）**
主な低・脱炭素関連技術※	• 発電効率（自家発・共同）の改善[a] • 革新的熱交換・熱制御技術開発[b] • 再生可能エネルギー・合成燃料への燃料転換[c] • 非化石燃料（水素・アンモニア）への燃料転換の検討[c]	• 水平リサイクルシステム[b] • 革新的熱交換・熱制御技術開発[b] • アルミニウム素材の高度資源循環システム[b] • 再生可能エネルギー・合成燃料への燃料転換[c] • 非化石燃料（水素・アンモニア）への燃料転換の検討[c]

※ a：地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）　b：日本アルミニウム協会の低炭素社会実行計画・経団連カーボンニュートラル行動計画
c：日本アルミニウム協会（2022）「アルミニウム圧延業界の2050年カーボンニュートラルに向けたビジョン」
但し、産業横断的な対策技術である、「高効率空調」「産業用HP」「産業用LED照明」「産業用モータ・インバータ」「コージェネレーション」は工程に依らず導入されると考えられるため省略

出所：総合エネルギー統計・2019年度詳細表、地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）、経団連（2021）「低炭素社会実行計画 2020年度フォローアップ結果 個別業種編（日本アルミニウム協会）」、経団連（2021）「カーボンニュートラル行動計画［速報版］（2021年11月8日）」、日本アルミニウム協会（2022）「アルミニウム圧延業界の2050年カーボンニュートラルに向けたビジョン」

【非鉄金属業：主要な低・脱炭素技術一覧】

2030年以降、資源循環を進めつつ、水素等への燃料転換とCCUSの実装が予定されている

非鉄金属業の主な低・脱炭素技術と導入予定時期

技術分類の凡例　①省エネルギー　②燃料転換　③原料転換　④エネルギー脱炭素化　⑤NETs（CCUS含む）

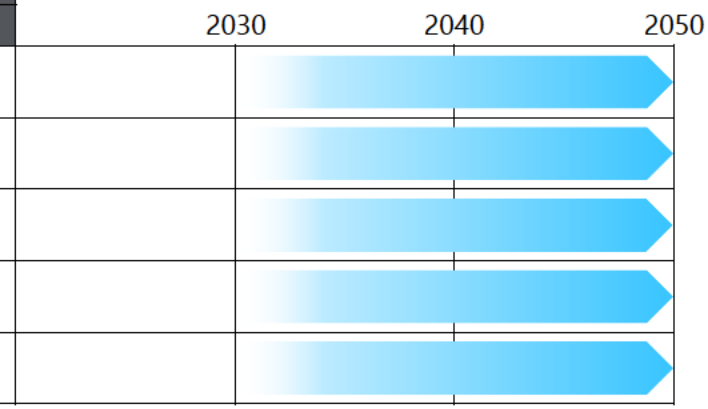
低・脱炭素技術名	主な対応工程	技術分類					導入予定時期	補足説明
		①	②	③	④	⑤		
化石燃料・還元剤の代替のための水素バーナー技術	溶錬（銅・鉛・亜鉛）		●		●		2030年代	還元剤としての水素及び熱源としての水素利用
反応余剰熱を有効活用する製錬技術	溶錬（銅・鉛・亜鉛）	●					2030年代	精錬工程における廃熱回収
製錬工程等からの排出CO2のCCS・CCUS	溶錬（銅・鉛・亜鉛）					●	2030年代	精製プロセス等からのCO2回収／回収したCO2から燃料・素材等を生産／CCS導入
銅製錬におけるリサイクル原料比率の拡大	溶錬（銅・鉛・亜鉛）			●			不明	リサイクル事業を活用し、製錬幻座における原料比率を拡大することを通じて、銅の製造におけるCO_2排出量を低減する
BDF利用、バイオマス発電等、廃棄物エネルギー拡大の推進	電解（銅・鉛・亜鉛）		●		●		2030年代	電解工程における電気の脱炭素化
水平リサイクルシステム	アルミリサイクル			●			導入済	スクラップとして売却されていたアルミ（売却後は鋳造材等としてリサイクル）を、スクラップを経由せずに素材にリサイクル化する（自動車や電車等）
アルミニウム素材の高度資源循環システム	アルミリサイクル			●			2030年代	アルミスクラップを、自動車の車体等にも使用可能な素材(展伸材)へとアップグレードする基盤技術（①高度選別、②不純物軽減、③不純物を無害化する高度加工等の技術）を開発しアルミニウムの高度な循環利用を実現
再生可能エネルギー・合成燃料への燃料転換	全工程		●		●		2030年代	電力・熱需要におけるエネルギーの脱炭素化

【非鉄金属業：主要な低・脱炭素技術と時間軸に応じた支援の方向性】

2030年以降、CCUSや燃料転換に伴い、バイオマスや電力、水素の需要増が見込まれる

各工程の低・脱炭素技術によるエネルギー需要への影響と支援の方向性

工程	エネシェア	主な技術・技術群	エネルギー需要への影響			
			石炭・油	ガス	電気	水素等
溶錬（銅・鉛・亜鉛）	18.0%	化石燃料・還元剤の代替のための水素バーナー技術等				↗
		製錬工程等からの排出CO2のCCS・CCUS技術	↘	↘	↗	
電解（銅・鉛・亜鉛）	11.2%	BDF利用、バイオマス発電等、廃棄物エネルギー拡大の推進	↘	↘		↗
アルミニウム	11.2%	アルミニウム素材の高度資源循環システム	↘	↘	↗	
工程横断	–	再生可能エネルギー・合成燃料への燃料転換	↘	↘	↗	↗



	～2030年	～2040年	～2050年
熱源・還元剤の水素代替	• 水素還元技術の研究開発支援 • 水素供給網の構築	• 水素還元技術の大規模実証支援 • グリーン水素の大量供給に向けたインフラ整備	• 水素還元プロセスの着実な実装支援 • 安価で安定したグリーン水素の調達
資源循環の推進	• リサイクル技術の研究開発支援	• リサイクル技術の大規模実証支援	• リサイクル技術の着実な実装支援
自家発電・自家蒸気	• 天然ガス・再エネ電力等への転換	• 水素・アンモニア等への転換 • 水素・アンモニアの大量供給に向けたインフラ整備	• 同左の取組を継続
CCUS	• CO2原料化に向けた回収技術の研究開発支援	• 同左の研究開発支援 • CO2回収・輸送に係るインフラ整備	• カーボンリサイクル技術の大規模実証・実装支援

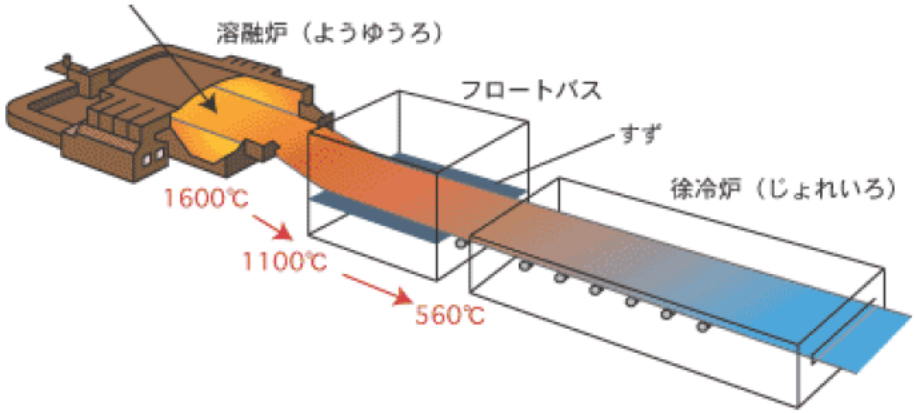
備考：あくまで非鉄金属業全体としての技術推移と支援のイメージであり、実際には非鉄金属メーカー各社は各々の長期的な戦略の下でカーボンニュートラルの実現を目指していくことになるため、各社に上記の経路イメージとの一致するものではなく、また要請するものではない。

【ガラス製造業：プロセスフロー】
ガラス製造では、ガラス原料の溶融で約1,600℃の加熱が必要である

ガラス製造業のプロセスフロー

	工程	概要・熱に関する記述	主な燃料	エネルギーシェア
1	溶融	✓ ガラス原料を約1,600度の溶融炉で溶融させる	重油 都市ガス	85%
2	成形	✓ （フロート法の場合）フロートバスと呼ばれる設備で、液状化した錫の上に溶融ガラスを浮かべて成形する	電気 都市ガス	15%
3	徐冷	✓ 成形された溶融ガラスがローラーで運ばれ自然と温度の低下と板厚が調整される		
4	洗浄・切断・出荷等	✓ 常温で成形された板ガラスを洗浄・研磨し、適切な大きさに切断し、出荷する ✓ 上記以外の工程も含む		

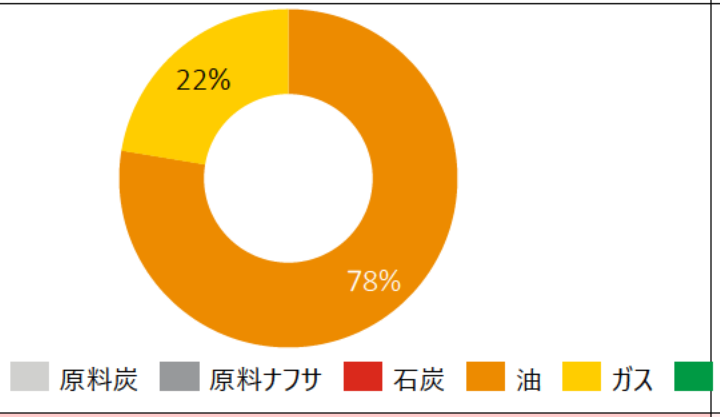
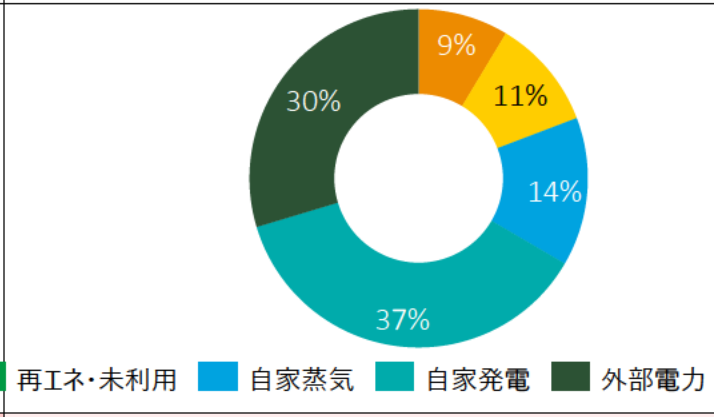
（参考）フロート法による板ガラス製造のイメージ



出所：AGC Glass Plazaウェブページ、ガラス産業連合会ウェブページ、日本板硝子株式会社等の公表資料を参考に作成
備考：主な燃料やエネルギーシェアは、総合エネルギー統計・2019年度詳細表より作成

【ガラス製造業：工程別エネルギー消費量】
溶解工程は電化が進んでおらず、ガラス製造内の熱需要の大半を占める

ガラス製造業におけるプロセス別エネルギー消費量の構成・関連技術

プロセス	1 板ガラス溶解窯	2 板ガラス溶解窯以外
エネルギー構成		
熱比率（原料用除く）	100%	33.4%
エネルギー消費量（工程内シェア）	**13,018 TJ（85.2%）**	**2,254 TJ（12.9%）**
主な低・脱炭素関連技術※	• ガラス溶融プロセス技術 [a,b] • 全酸素燃焼技術 [b,c] • 気中溶解技術（プラズマ燃焼炎、酸素燃焼炎） [b] • LNGへの燃料転換 [c] • 水素への燃料転換 [b,c]	• 発電効率（自家発・共同）の改善 [a] • 高性能ボイラの導入 [a] • 廃熱回収発電 [b,c] • 太陽光発電の採用 [c] • LNGへの燃料転換 [c] • 水素への燃料転換 [b,c]

※ a：地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）　b：板硝子協会の低炭素社会実行計画・経団連カーボンニュートラル行動計画
c：板硝子協会（2022）「板ガラス産業の2050年カーボンニュートラルへのビジョン2022」
但し、産業横断的な対策技術である、「高効率空調」「産業用HP」「産業用LED照明」「産業用モータ・インバータ」「コージェネレーション」は工程に依らず導入されると考えられるため省略

出所：総合エネルギー統計・2019年度詳細表、地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）、経団連（2021）「低炭素社会実行計画 2020年度フォローアップ結果 個別業種編（板硝子協会）」、経団連（2021）「カーボンニュートラル行動計画［速報版］（2021年11月8日）」、板硝子協会（2022）「板ガラス産業の2050年カーボンニュートラルへのビジョン2022」

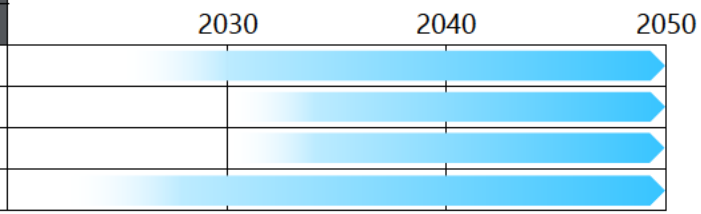
【ガラス製造業：主要な低・脱炭素技術と時間軸に応じた支援の方向性】
2030年以降にガラス溶融の電化や水素への燃料転換の実装が予定されている

ガラス製造業の主な低・脱炭素技術とエネルギー需要への影響、支援の方向性

技術分類の凡例　①省エネルギー　②燃料転換　③原料転換　④エネルギー脱炭素化　⑤NETs（CCUS含む）

低・脱炭素技術名	主な対応工程	技術分類 ①	②	③	④	⑤	導入予定時期	補足説明
全酸素燃焼技術	溶融	●					2020年代	燃料燃焼時に空気の代わりに酸素を使用し、空気中の燃焼に寄与せず空気中の8割を占める窒素を燃焼温度まで上昇させるための顕熱をカットすることで、大幅にCO2 排出量を削減する技術
気中溶解技術（プラズマ燃焼炎、酸素燃焼炎）	溶融		●		●		2030年代	最高で10,000℃にも達するプラズマ燃焼炎や酸素燃焼炎を使って、顆粒状のガラス原料を空気中で溶解する
太陽光発電の採用	徐冷　洗浄・切断・出荷等		●		●		導入済	オフィスや工場内に太陽光発電を設置し、所内電力需要に充当
LNGへの燃料転換	全工程		●				導入済	重油から天然ガスへの転換
水素への燃料転換	全工程		●		●		2030年代	化石燃料から水素への転換

工程	エネシェア	主な技術・技術群	エネルギー需要への影響 石炭・油	ガス	電気	水素等
溶融	85.2%	全酸素燃焼技術	↘	↘		
		気中溶解技術	↘	↘	↗	
		熱源の水素への燃料転換	↘			↗
溶融以外	14.8%	自家発電・蒸気の燃料転換	↘	↗		↗



	～2030年	～2040年	～2050年
溶融工程の電化	• 気中溶解技術の研究開発支援	• 気中溶解技術の大規模実証支援 • 安価で安定した大量なグリーン電力の調達	• 気中溶解技術の着実な実装支援
自家発電・自家蒸気	• 天然ガスへの転換 • 水素・アンモニアの供給網構築	• 水素・アンモニアへの転換 • 水素・アンモニアの大量供給に向けたインフラ整備	• 安価で安定したグリーン水素・アンモニアの調達

備考：あくまでガラス製造業全体としての技術推移と支援のイメージであり、実際にはガラスメーカー各社は各々の長期的な戦略の下でカーボンニュートラルの実現を目指していくことになるため、各社に上記の経路イメージとの一致するものではなく、また要請するものではない。

1. 各産業のエネルギー構造
2. 各産業の製造プロセスと脱炭素への道筋

参考：海外文献における各業種の脱炭素化に係る課題の整理

＜参考：海外文献における各業種の脱炭素化に係る課題の整理＞

特定業種の脱炭素化に関連する海外文献を基に、各業種において脱炭素化に寄与し得る技術のオプションとその導入効果及び定性・定量的な課題を整理

検討方針

	脱炭素技術のオプションと導入における課題	脱炭素化技術導入による費用対効果
参照文献	発行機関：豪州再エネ庁　発行年：2019年 タイトル：Renewable Energy Options for Industrial Process Heat 対象業種：鉄鋼 化学 セメント 製紙 石油 非鉄 ガラス 	発行機関：英国政府　発行年：2015年 タイトル：Industrial Decarbonisation & Energy Efficiency Roadmaps to 2050 対象業種：鉄鋼 化学 セメント 製紙 石油 非鉄 ガラス
整理内容	● **産業部門の特定業種の脱炭素化に向けオプションとなり得る技術・システム及び技術面から見た課題の有無を整理** ➢ 7業種*1を対象に、各業種の工程毎で脱炭素化に寄与し得る代替技術・システムを整理 ➢ 上記の内、当該技術の導入拡大に向けて想定される課題や障壁の有無とその内容を整理	● **特定業種の脱炭素化に寄与し得る技術・システムの費用対効果を整理し、業種ごとに相対比較** ➢ 5業種*1を対象に、各業種の脱炭素化に資する技術・システムのCO2削減効果、設備投資額、技術成熟度を整理 ➢ 業種毎に上記の3軸で相対比較し、特に脱炭素化に寄与し得る技術とその内支援が必要な技術を特定
整理方法	● **別途整理した各業種の工程概要を基に適用する技術を整理し、技術毎の記述から課題有無とその内容整理** ➢ 整理した工程の詳細を基に、文献にある技術の概要から該当し得る工程を特定し整理 ➢ 各産業の代表的な工程は、国内の業界団体や企業から取得した情報を採用 ➢ 技術毎に整理されている特長や課題・障壁を基に、技術別の課題有無とその内容を整理	● **レポートにある情報について統計データで一部推計を加えながら各技術の導入効果とかかる費用の関係性を整理** **CO2削減効果** ➢ 将来の削減ポテンシャルを、将来の適用率から現在の導入率を引いた値を想定削減効果に乗算し算定 ➢ 電力は、IEAの業種別CO2排出量と燃料種別消費量から業種毎の電力のCO2排出割合を算定し、上記のCO2削減効果に乗算 **設備投資額** ➢ 各技術の導入にかかる1事業所当たりの設備投資額を採用 **技術成熟度** ➢ 各技術のTRLを基に、研究開発・実証・商業化段階に分類

*1：鉄鋼業、化学工業、セメント製造業、紙パルプ製造業、石油精製業、非鉄金属業、ガラス製造業の7業種
（脱炭素化技術導入による費用対効果については、化学工業と非鉄金属業を除いた5業種）

＜参考：脱炭素技術のオプションと導入における課題＞

動力源の再エネへの燃料転換や一部の業種における低炭素型の原料代替がオプションとなり得るが、既存の燃料・原料とのコスト競争力を上げる必要があると想定される

サマリ

	脱炭素化に寄与し得る技術・システム（オプション）	技術・システムの導入における課題・障壁
鉄鋼業	● 銑鉄製造工程における**バイオマスや電力への燃料転換、水素還元製鉄**が想定される ➢ 銑鉄製造で用いる高炉の動力源のバイオマスへの転換や電炉を活用	● 水素還元製鉄は、**採用する技術により一定量の炭素投入必要** ➢ 一部の水素還元製鉄技術は、製造過程で一定量のコークスを投入する必要があり、コークス投入分のCO_2排出が発生する可能性がある
化学工業	● 基礎化学品製造における**再生可能熱・電力への燃料転換**、アンモニア製造における**燃料転換や水素の原料代替**が想定される ➢ アンモニアの原料である水素を再エネ水素に置換することでCO_2排出抑制	● アンモニア製造における再エネ水素による原料の代替は、**短期的に経済性確保が困難** ➢ 再エネ輸出の拡大が経済性確保の所与の条件となり得る
セメント製造業	● 焼成工程における**熱源の再生可能熱や電力等への転換**、セメント製造に用いる**原料代替**が想定される ➢ セメントの原料である石灰石を石灰炭やケイ酸アルカリ等の成分で代替	● 熱源の代替燃料の一部における**化石燃料とのコスト競争力がなく**、また代替原料による製造に**大量の電力を使用**する必要 ➢ 代替原料を用いる場合、反応に用いる触媒製造に大量の電力必要
ﾊﾟﾙﾌﾟ・紙・紙製品製造業	● 工程全体もしくは乾燥工程における**動力源の再生可能熱や再エネ電力等への転換**が想定される ➢ 乾燥工程でのヒートポンプの動力源を化石燃料から再エネ電力に転換	● — ➢ 再生可能熱の活用は化石燃料とコスト競争力があり、また再エネ電力の活用は生産性や効率の向上に資する可能性有
石油精製業	● 常圧蒸留工程における**動力源としての再生可能熱や再エネ電力への燃料転換**が想定される ➢ 蒸留塔の動力源としてバイオマス・太陽熱等の再生可能熱や電力で代替	● 技術的に適用可能だが、短期的に**化石燃料とのコスト競争力が劣る**
非鉄金属業	● 工程全体における**再生可能熱や再エネ電力への燃料転換**、精錬工程における**動力源としての水素活用**が想定される ➢ 精錬工程における溶融炉の動力源として天然ガスから水素に代替	● 精錬工程における水素への燃料転換は、**化石燃料とのコスト競争力が劣る上、プロセスの変更が必要** ➢ 既存の主な動力源として用いられている天然ガスに比べ割高
ガラス製造業	● 溶融工程における**動力源の電力への転換**が想定される ➢ 溶融工程で用いる溶融炉の動力源として化石燃料から電力に転換	● — ➢ 従来の化石燃料を動力源とする溶融炉に比べ、効率や生成物の品質の向上、コストや有害排出物の削減に寄与する上、商業的にも利用可能

出所：豪州再エネ庁「Renewable Energy Options for Industrial Process Heat」（2019）

＜参考：脱炭素技術のオプションと導入における課題＞

水素還元製鉄は、技術によっては100％水素とはならないことに留意が必要

脱炭素技術のオプションと導入における課題　詳細

凡例　課題・障壁のある箇所

対象業種		代表的な工程	ソリューション（低・脱炭素化に資するシステム・技術） 分類	ソリューション 概要	課題・障壁（低・脱炭素化に資するシステム・技術導入の課題） 課題有無	課題・障壁 概要
鉄鋼業		高炉銑鉄	燃料転換	高炉の動力源としてのバイオガス活用	（言及なし）	
				高炉の代替としての電炉の活用	–	鉄スクラップのリサイクル等で広く活用済
			工程変更	水素還元製鉄	●	採用する技術によっては還元工程に一定量の炭素（コークス）投入が必要
化学工業	基礎化学品	全体	燃料転換	バイオマス・太陽熱を用いた蒸気・温水製造	（言及なし）	
				再エネ電力を用いた蒸気・温水製造	–	従来に比べ効率や反応速度向上可能性有
	アンモニア	原料調達	原料転換	アンモニアの原料である水素の原料としての工業用水活用（水電解水素の活用）	●	水電解由来の水素がオプションとなり得るが、再エネ輸出が拡大しない限り短期的に経済性確保困難
		一次改質	燃料転換	水蒸気改質による水素精製に用いるプロセス熱としての太陽熱の活用	–	中期的には現在の天然ガスのコストが維持される場合は経済的に実行可能
セメント製造業		全体	工程変更	CCUSの導入	（言及なし）	
		原料調達	原料転換	ジオポリマーコンクリート[*1]の活用	●	反応に用いるアルカリ溶液の製造に大量の電力を必要とする
		焼成	燃料転換	キルンの熱源におけるバイオマス利用	–	プロセスの性質上適しており、かつ化石燃料とのコスト競争力あり[*2]
				キルンの熱源における再エネ電力	●	実用化段階に至っておらず、化石燃料とのコスト競争力なし
				キルンの熱源における太陽熱利用	●	化石燃料とのコスト競争力なし

出所：豪州再エネ庁「Renewable Energy Options for Industrial Process Heat」（2019）

＜参考：脱炭素技術のオプションと導入における課題＞

水素還元製鉄は、技術によっては100％水素とはならないことに留意が必要

脱炭素技術のオプションと導入における課題　詳細

凡例　課題・障壁のある箇所

対象業種	代表的な工程	ソリューション（低・脱炭素化に資するシステム・技術）		課題・障壁（低・脱炭素化に資するシステム・技術導入の課題）	
		分類	概要	課題有無	概要
パルプ・紙・紙製品製造業	全体	燃料転換	再生可能熱（バイオマス・太陽熱・地熱）を用いた蒸気・温水製造	–	化石燃料とのコスト競争力がある上、気象条件や用途に応じ組み合わせで実現可能
	乾燥	燃料転換	再エネ電力を動力源とするヒートポンプの活用	–	生産性や効率向上に資する可能性有
石油精製業*1	常圧蒸留	燃料転換	蒸留塔の動力源としての再生可能熱（バイオマス、太陽熱）の活用	●	技術的に適用可能だが、短期的に化石燃料とのコスト競争力なし
			蒸留塔の動力源としての再エネ電力の活用	●	技術的に適用可能だが、短期的に化石燃料とのコスト競争力なし
非鉄金属業（アルミニウム）	全体	燃料転換	再生可能熱（太陽熱）を用いた蒸気製造（太陽熱加熱蒸気発生器への置換）	–	工場の立地にもよるが、経済的・技術的に置換可能
			再エネ電力を用いた蒸気製造（MVR*2手法を搭載した電炉活用）	（言及なし	
	精錬（二次地金）	燃料転換	溶融炉の動力源としての水素の活用	●	天然ガスの代替となり得るが、天然ガスとのコスト競争力で劣る上に、プロセスの変更が必要
ガラス製造業	溶融	燃料転換	溶融炉の動力源としての電力の活用（電気式ガラス溶融器の導入）	–	従来に比べ、効率や生成物の品質の向上、コストや有害排出物の削減に寄与する上、商業的にも利用可能

出所：豪州再エネ庁「Renewable Energy Options for Industrial Process Heat」（2019）
*1 豪州では天然ガスにおけるCO2除去工程でエネルギー消費量の高さが言及されているが、日本では天然ガスをほとんど輸入に頼っており国内に天然ガス精製工程が存在しないため省略している

＜参考：脱炭素化技術導入による費用対効果＞

炭素回収技術の導入や廃熱・バイオマス等への燃料転換、プラントの新設に対し商業化や導入量拡大に向けた支援が必要

サマリ

	脱炭素化に寄与し得る技術・システム	支援が必要な技術・システム
鉄鋼業	● **技術高度化・設備改善と炭素回収技術の組み合わせ**が有望 ➢ CO2排出量の高い銑鉄製造・精錬工程で、燃焼廃ガスのリサイクル、技術高度化、設備改善と炭素回収技術との組み合わせが効果的	● **炭素回収技術**に対する技術開発・普及拡大に支援が必要 ➢ 技術高度化、設備改善と組み合わせる炭素回収技術そのものが、高い設備投資や商業化に向けた技術開発に対する支援が必要となり得る
化学工業	– （脱炭素化技術毎の設備投資額に関するデータがないため、対象外）	
セメント製造業	● **炭素回収技術、バイオマスへの燃料転換**が有望 ➢ 対象の他業種に比べ削減効果は限定的であるものの、プラント全体への炭素回収技術の導入や熱・電源の燃料転換が効果的	● **炭素回収技術**に対する技術開発・普及拡大に支援が必要 ➢ 炭素回収技術の導入は、技術の商業化に向けた支援に加え、商業化後の普及拡大に向けた補助等の支援が必要と想定される
ﾊﾟﾙﾌﾟ・紙・紙製品製造業	● **廃熱の有効活用やバイオマスへの燃料転換**が有望 ➢ 設備から発生した廃熱の回収と再利用、熱・電源設備のバイオマスへの燃料転換により高いCO2削減効果が見込まれる	● **バイオマスへの燃料転換**に対する普及拡大に支援が必要 ➢ 熱・電源設備におけるバイオマスへの燃料転換について、設備投資額が相対的に高く、補助等による支援が必要と想定される
石油精製業	● **製油所の新設、設備へのCCS導入**が有望 ➢ 最新設備を搭載した製油所の新設に加え、熱・電源設備へのCCS導入により一定のCO2削減効果が見込まれる	● **最新設備搭載の製油所新設**に対する支援が必要 ➢ 最新設備を搭載した製油所の新設に約1兆円の設備投資が必要となり、補助等による支援が必要と想定される
非鉄金属業	– （英国政府のレポートにおける詳細分析の対象外であり、設備投資額やCO2削減効果等の情報ないため、対象外）	
ガラス製造業	● **炭素回収技術、燃料転換、再生ガラスへの原料代替**が有望 ➢ 炭素回収技術の導入、電力やバイオマスへの燃料転換が特に有望視され、次いで再生ガラスの利用拡大によるCO2削減効果が高い	● **炭素回収技術、燃料転換**に対する普及拡大に支援が必要 ➢ 燃料転換は設備投資に対する支援が必要となり、炭素回収技術は上記に加え商業化に向けた技術開発支援も必要と想定される

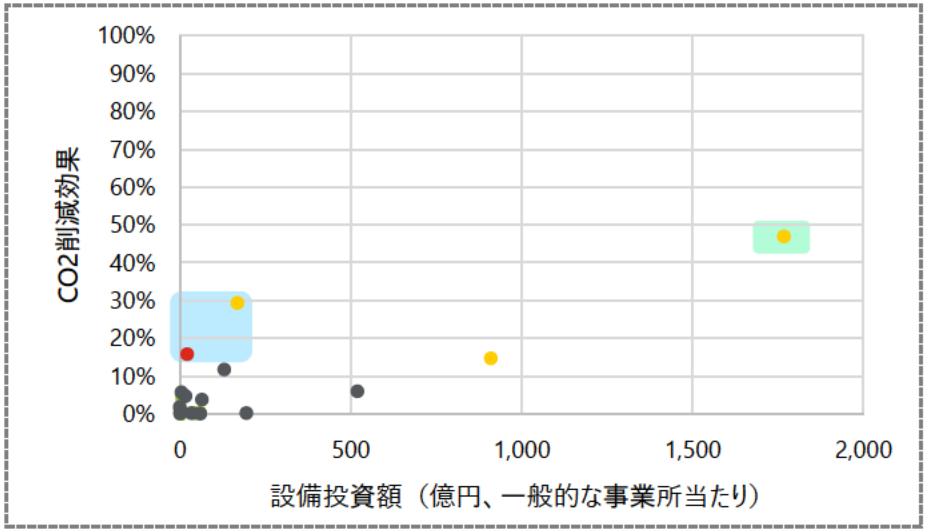
出所：英国政府「Industrial Decarbonisation & Energy Efficiency Roadmaps to 2050」（2015）を基にデロイト作成

＜参考：脱炭素化技術導入による費用対効果＞

鉄鋼 化学 セメント 製紙 石油 非鉄 ガラス

銑鉄製造や精錬工程における設備改善や技術高度化と組み合わせる炭素回収技術に、技術開発や導入量拡大に向けた支援が必要

脱炭素化技術導入による費用対効果（鉄鋼業）



＜凡例＞
【グラフ凡例】 削減効果が相対的に高い技術　削減効果あるが支援が必要な技術
【技術成熟度】 ●商業化 ●商業化・実証 ●実証 ●研究開発・実証 ●研究開発

No.	技術・システム名称	技術分類	技術成熟度	設備投資額*1	CO2削減効果*2
1	技術の高度化及び再構築（炭素回収有）	炭素回収	実証	1,768.0	46.9%
2	各種改善（炭素回収有）	炭素回収	実証	169.0	29.3%
3	副生ガスのリサイクル（炭素回収有）		実証・商業化	22.1	15.8%
4	技術の高度化及び再構築（炭素回収無）	その他	実証	910.0	14.7%
5	各種改善（炭素回収無）	その他	商業化	130.0	11.7%
6	サイト・セクター統合	産業集積	商業化	520.0	6.0%
7	電動機の効率化	効率・熱回収	商業化	5.2	5.7%
8	副生ガスのリサイクル（炭素回収無）	その他	商業化	17.6	4.7%
9	廃熱回収・再利用	効率・熱回収	商業化	6.5	4.4%
10	蒸気・電力製造システムの改善		商業化	65.0	3.8%
11	製造ロスの低減	その他	商業化	0.7	1.8%
12	空気圧縮システムの最適化	効率・熱回収	商業化	1.0	1.3%
13	廃熱回収・再利用（革新的なオプション）		実証・商業化	1.3	0.9%
14	自動化とプロセス制御の向上		商業化	1.0	0.4%
15	廃熱回収・再利用（従来オプション）		商業化	1.3	0.4%

※CO2削減効果の上位15技術のみを記載

脱炭素化に寄与し得る技術

- 銑鉄製造、精錬工程における炭素回収機能を付加した設備改善や技術高度化が有望視される
  - ➢ 工程の中で最もCO2排出量の高い銑鉄製造・精錬工程において、燃焼により発生した副生ガスのリサイクル、技術の高度化と再構築、設備の改善を炭素回収技術と組み合わせ実施することで高いCO2削減効果が想定される

支援が必要な技術

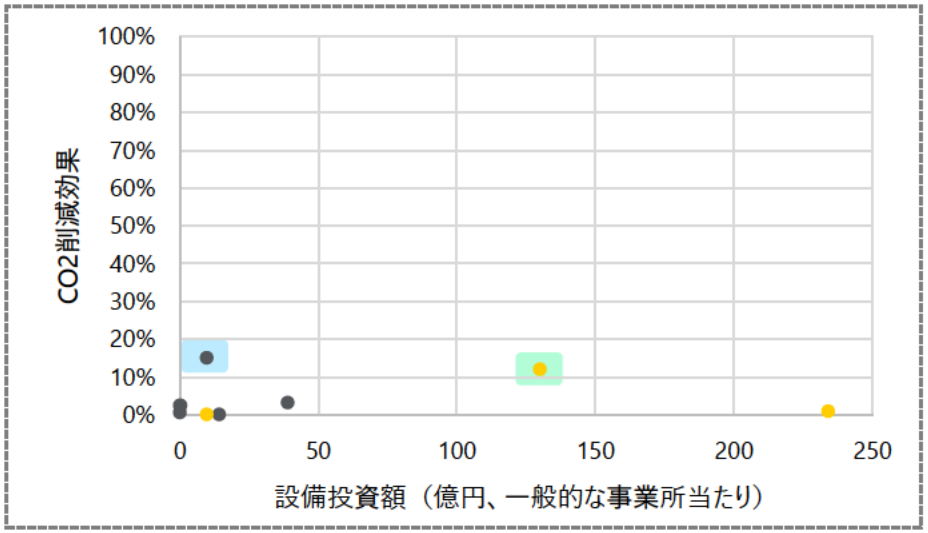
- 炭素回収機能を付加した設備改善や技術高度化に対し、技術開発及び設備投資に対する支援が必要
  - ➢ 設備改善や技術高度化と組み合わせる炭素回収技術が、設備投資額が高く、実証段階にある技術が多く支援が必要と想定される

出所：英国政府「Industrial Decarbonisation & Energy Efficiency Roadmaps to 2050」（2015）を基にデロイト作成
*1 単位は億円であり、1£＝130円で換算して整理　*2 工程別のCO2削減割合を、工程別に整理された脱炭素化技術の削減効果に乗算し削減効果を算出

＜参考：脱炭素化技術導入による費用対効果＞

他業種と比べ相対的に低いものの、炭素回収技術の導入やバイオマスへの燃料転換が効果的であるが、炭素回収技術は技術開発や設備投資への支援が必要

脱炭素化技術導入による費用対効果（セメント製造業）



＜凡例＞
【グラフ凡例】 削減効果が相対的に高い技術　削減効果あるが支援が必要な技術
【技術成熟度】 ●商業化 ●商業化・実証 ●実証 ●研究開発・実証 ●研究開発

No.	技術・システム名称	技術分類	技術成熟度	設備投資額*1	CO2削減効果
1	燃料転換（バイオマス）	燃料・原料代替	商業化	9.8	15.1%
2	炭素回収（CC）	炭素回収	実証	130.0	12.0%
3	電力効率の改善	効率・熱回収	商業化	39.0	3.3%
4	代替セメント	燃料・原料代替	商業化	0.3	2.5%
5	セメント以外の素材による代替		商業化	0.0	2.5%
6	焼成窯の改善	効率・熱回収	実証	234.0	1.0%
7	原料代替	燃料・原料代替	商業化	0.0	0.7%
8	廃熱による電力製造	効率・熱回収	商業化	14.3	0.2%
9	燃料転換（天然ガス）	燃料・原料代替	実証	9.8	0.1%

脱炭素化に寄与し得る技術

- 脱炭素化に資する技術として、炭素回収、燃料転換が想定されるが他業種と比べ削減効果は相対的に低い
  - ➢ 炭素回収技術の導入、バイオマスへの燃料転換が特に有望視される

支援が必要な技術

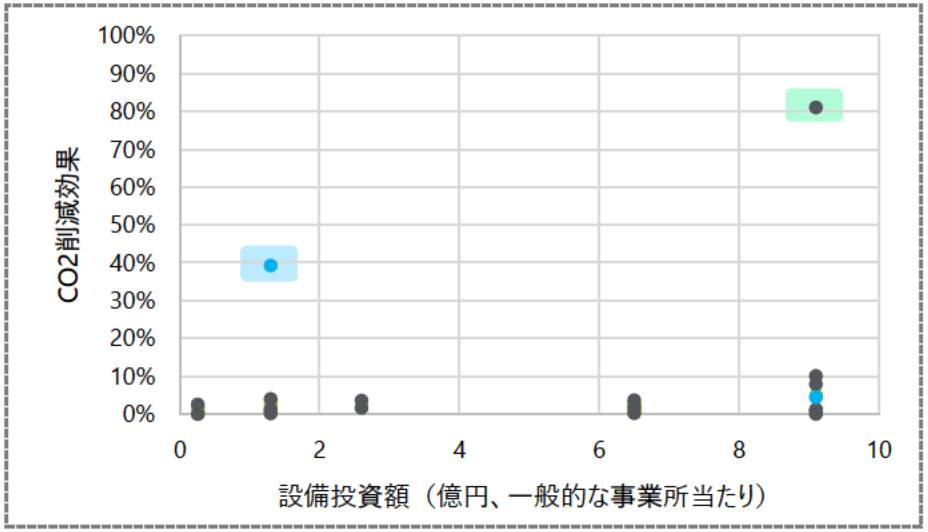
- 上記の内、炭素回収は一定程度の支援が必要
  - ➢ 炭素回収技術の導入は、導入拡大に向けた補助等による支援に加え、技術の商業化に向けた支援も必要

出所：英国政府「Industrial Decarbonisation & Energy Efficiency Roadmaps to 2050」（2015）を基にデロイト作成
*1 単位は億円であり、1£＝130円で換算して整理

＜参考：脱炭素化技術導入による費用対効果＞

廃熱の有効活用やバイオマスへの燃料転換が有望視され、バイオマスへの燃料転換は設備投資額が相対的に高く、支援が必要

脱炭素化技術導入による費用対効果（紙パルプ製造業）



＜凡例＞
【グラフ凡例】 削減効果が相対的に高い技術　削減効果あるが支援が必要な技術
【技術成熟度】 ●商業化 ●商業化・実証 ●実証 ●研究開発・実証 ●研究開発

No.	技術・システム名称	技術分類	技術成熟度	設備投資額*1	CO2削減効果
1	熱電供給システム・バイオマスボイラーの燃料転換	燃料・原料代替	商業化	9.1	81.0%
2	フード*2における廃熱回収	効率・熱回収	研究開発・実証	1.3	39.2%
3	インパルス乾燥*3の改善	その他	商業化	9.1	10.0%
4	NIP*4プレスの拡張（ティッシュ用）		商業化	9.1	7.8%
5	NIP*4プレスの拡張（ティッシュ用以外）		商業化	9.1	4.9%
6	脱水の改善	効率・熱回収	研究開発・実証	9.1	4.4%
7	ホットプレス*5の改善	その他	商業化	1.3	3.9%
8	エネルギー管理（メーター設置）		商業化	6.5	3.6%
9	密閉式フード*2の導入（電力）		商業化	2.6	3.6%
10	廃熱回収・再利用・統合	効率・熱回収	商業化	1.3	3.2%
11	プロセス制御の改善（ミル全体）		商業化	6.5	2.9%
12	メンテナンス	その他	商業化	0.3	2.5%
13	蒸気システムの改善	効率・熱回収	商業化	6.5	2.3%
14	廃熱回収・再利用		商業化	1.3	2.2%

脱炭素化に寄与し得る技術

- 廃熱の有効活用やバイオマスへの燃料転換が特に有望視される
  - ➢ フード*2設備における廃熱の回収と再利用、熱電供給（CHP）やボイラーシステムにおけるバイオマスへの燃料転換により高いCO2削減効果が見込まれる

支援が必要な技術

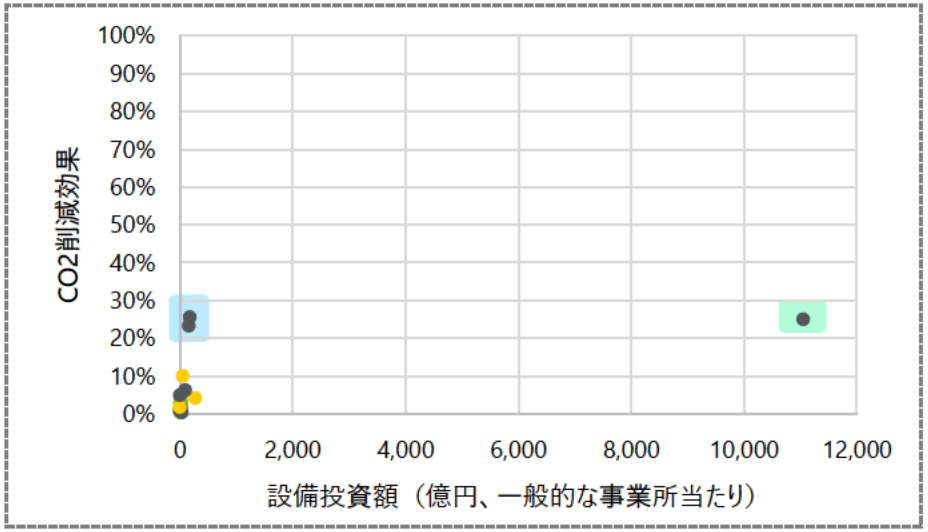
- 上記の内、製紙工程で利用する設備のバイオマスへの燃料転換に対し補助が必要
  - ➢ 熱電供給（CHP）やボイラーシステムにおけるバイオマスへの燃料転換について、設備投資額が相対的に高く、支援が必要と想定される

出所：英国政府「Industrial Decarbonisation & Energy Efficiency Roadmaps to 2050」（2015）を基にデロイト作成
*1 単位は億円であり、1£＝130円で換算して整理　*2 製造工程で発生した蒸気や不純物を含む気体の排気システム　*3 水分を含んだ紙から高温・高圧を加え水分を除去するプロセス　*4 NIP：高温の熱で縮みにくい特性を製紙に加えることであり、一般的にレーザープリンタ用紙として使われる　*5 高温・真空下で処理品を加圧成形する装置

＜参考：脱炭素化技術導入による費用対効果＞

最新設備を搭載した製油所の新設は高いCO2削減効果が見込めるものの、設備投資額が非常に高く大規模な支援が必要

脱炭素化技術導入による費用対効果（石油精製業）



＜凡例＞
【グラフ凡例】 削減効果が相対的に高い技術　削減効果あるが支援が必要な技術
【技術成熟度】 ●商業化 ●商業化・実証 ●実証 ●研究開発・実証 ●研究開発

No.	技術・システム名称	技術分類	技術成熟度	設備投資額[*1]	CO2削減効果
1	熱電供給システム（CHP）、水素プラントへのCCS導入	炭素回収	商業化	179.4	25.6%
2	新製油所の建設	その他	商業化	11,050.0	25.0%
3	流動接触分解（FCC）[*2]へのCCS導入	炭素回収	商業化	163.2	23.3%
4	廃熱・エネルギー回収・再利用	効率・熱回収	実証	55.3	10.0%
5	熱電供給システム（CHP）の導入		商業化	97.5	6.3%
6	原油ユニットの改善		商業化	19.5	5.1%
7	ハイドロクラッカー[*3]の設計改善		実証	0.4	5.0%
8	ユーティリティの最適化		商業化	3.4	4.8%
9	バイオマスの活用（合成ガス等）	燃料・原料代替	実証	276.3	4.2%
10	モーター、ポンプ、コンプレッサ、ファンの改善	効率・熱回収	商業化	11.7	4.0%
11	水素の回収・最適化		実証	21.2	3.1%
12	真空蒸留ユニット（VDU）[*4]の設計改善		商業化	1.3	3.1%
13	流動接触分解（FCC）[*2]設備の設計改善		実証	15.0	3.0%
14	貯蔵タンクの改善		商業化	1.2	1.8%
15	ヒーター・加熱炉の改善		商業化	24.4	1.7%

※CO2削減効果の上位15技術のみを記載

脱炭素化に寄与し得る技術

- 製油所の新設、石油精製工程で利用する設備へのCCS導入が有望視される
  - 最新設備を搭載した製油所の新設により、一定のCO2削減効果が想定される
  - 上記に加え、熱電供給システムや流動接触分解設備へのCCS導入により、一定のCO2削減効果が見込まれる

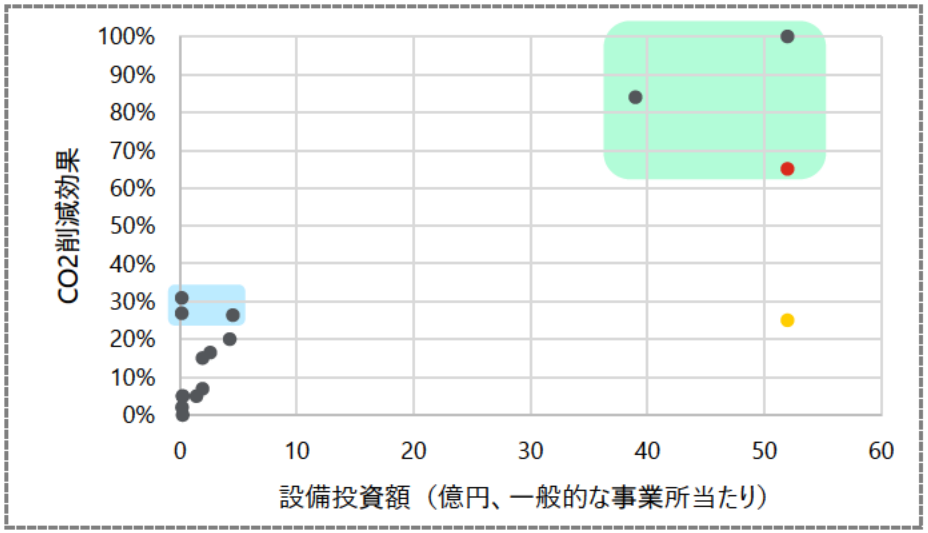
支援が必要な技術

- 上記の内、最新設備を搭載した製油所の新設に対し、大規模な支援が必要
  - 最新設備を搭載した製油所の新設に約1兆円の設備投資が必要となり、補助等による支援が必要と想定される

出所：英国政府「Industrial Decarbonisation & Energy Efficiency Roadmaps to 2050」（2015）を基にデロイト作成
*1 単位は億円であり、1£＝130円で換算して整理　*2 流動接触分解（FCC）：分子の大きい重質油留分を低分子のガソリンや中間留分に分解する反応　*3 炭化水素を高温・高圧下の水素気流の中で触媒を用いて分解し、より軽質の炭化水素に転化させる　*4 真空蒸留ユニット（VDU）：原油蒸留ユニットの底部から残留油をさらに蒸留する設備・システム

炭素回収技術の導入や電力・バイオマス等への燃料転換について、技術の商業化に向けた支援に加え、導入拡大に対する支援が必要

脱炭素化技術導入による費用対効果（ガラス製造業）



＜凡例＞
【グラフ凡例】 削減効果が相対的に高い技術　削減効果あるが支援が必要な技術
【技術成熟度】 ●商業化 ●商業化・実証 ●実証 ●研究開発・実証 ●研究開発

No.	技術・システム名称	技術分類	技術成熟度	設備投資額*1	CO2削減効果
1	電気溶融技術の導入	電化	商業化	52.0	100.0%
2	燃料転換（バイオガス）	燃料・原料代替	商業化	39.0	84.0%
3	炭素回収（CC）	炭素回収	実証・商業化	52.0	65.0%
4	再生ガラスの利用拡大（板用）	その他	商業化	0.2	31.0%
5	再生ガラスの利用拡大（容器用）		商業化	0.2	26.8%
6	廃熱による電力製造	効率・熱回収	商業化	4.6	26.4%
7	炉の設計改善（革新的なオプション）	効率・熱回収	実証	52.0	25.0%
8	酸素燃焼の導入*2	その他	商業化	4.3	20.0%
9	再エネ電力の活用	電化	商業化	2.6	16.5%
10	原料の予熱の追加*3	その他	商業化	2.0	15.0%
11	廃熱回収・再利用	効率・熱回収	商業化	2.0	6.9%
12	炉の設計改善（従来オプション）		商業化	1.4	5.0%
13	ガラスバッチ*4のペレット化	その他	商業化	0.3	5.0%
14	ガラスバッチ*4の再構築		商業化	0.3	5.0%
15	プロセス制御の向上	効率・熱回収	商業化	0.2	2.0%
16	ユーティリティの改善		商業化	0.3	0.0%

脱炭素化に寄与し得る技術

- 炭素回収、電力やバイオマス等への燃料転換、再生ガラスを用いた原料代替が有望視される
  - 炭素回収技術の導入、電力を用いた溶融設備・システムの導入、バイオガスへの燃料転換が特に有望視される
  - 次点として、廃熱による電力製造、再生ガラスの利用拡大、革新的な方法による溶融炉の設計改善が挙げられる

支援が必要な技術

- 炭素回収、電力や再エネへの燃料転換について、普及拡大への支援が必要
  - 溶融設備の電化、バイオガスへの燃料転換は、技術は成熟しているものの、設備導入に一定のコスト必要
  - 炭素回収技術の導入は、導入拡大に向けた支援が必要

出所：英国政府「Industrial Decarbonisation & Energy Efficiency Roadmaps to 2050」（2015）を基にデロイト作成
*1 単位は億円であり、1£＝130円で換算して整理　*2 バーナーやボイラーなどの支燃性ガスに、酸素、あるいは酸素濃度を高めたガスを用いた燃焼　*3 原料の温度をあらかじめ上げることにより、焼成キ工程で原料を焼き易くするために行われる手法　*4 ガラスの調合済み原料

仕様3 :我が国の熱需要におけるカーボンニュートラルの道筋に関する検討

■ 仕様１・２の検討内容を基に、我が国の今後の政策の方向性を深堀りするため、検討の観点を導出

1. 我が国の政策検討への示唆

【我が国で検討しうる施策の方向性】

エネ多産業の脱炭素化を実現し、成長戦略を描くためには、日本企業が脱炭素市場において勝ち抜くための戦略が必要となる

欧州調査から得られた今後の政策検討に向けた示唆

欧州調査から得られた知見

産業界のスタンス

- 欧州の産業界は、政府が定めた目標は所与として、**目標自体に議論の余地は設けず、その達成方法を議論している段階**
- 但し、**脱炭素と産業競争力の両立は容易ではなく、実現性ある明確な戦略が描けているとは言えない**状況

主要政策

- 脱炭素技術の開発・実装のための資金支援
- 安価で十分な脱炭素エネルギーの確保のためのインフラ投資
- 炭素コストが価格に反映されていない海外製品から域内産業を守るCBAMの導入

↑ 炭素コストの顕在化、各施策の財源、企業の削減を着実にすすめる施策としてのEU-ETS

我が国において想定されるリスクと施策の方向性

日本の現状と将来リスク

- 現在の日本では、改定が議論されている**省エネ法**や**カーボンニュートラル行動計画**を中心に取り組みが進められており、事業者への**経済的な動機付けに乏しく**、自主的な取組みにより進んでいる部分が大きい

- 脱炭素な製造技術の開発・実装への投資が遅れ、**限界削減コスト低減が進まず、コスト競争力を欠く**可能性
- 脱炭素エネルギー・CCUSに係る技術・インフラへの投資が遅れ、**有望な投資先を先に押さえられてしまう**可能性
- 欧州・中韓等の貿易相手国に**CBAMが導入され、日本製品の競争力が低下**してしまう可能性

脱炭素化を着実に実現しつつ（守り）、企業の成長に繋げる（攻め）施策を講じる必要あり

仕様4：国内外のエネルギーコストに関する調査・分析

- 日本と諸外国の産業部門向け燃料・電力料金（現状と将来見通し）に関する統計データと文献を整理
- 日本国内の業種別・製品別のエネルギーコストを、統計データを活用し推計
- 今後のエネルギーコスト上昇幅を試算

【検討結果サマリ】

脱炭素化に伴うエネルギー転換に向け、コスト上昇を抑えつつも、付加価値の向上により国際競争力等を維持するための取組が必要

分析結果	エネルギー価格	現状	■ 日本の産業部門では一般炭や石油製品を除き、エネルギー価格は海外より割高
		将来見通し	■ 化石燃料は需要減少により価格が減少するが、ボラティリティは増大 ■ 電力の価格は再エネ導入や電化による需要増加等に伴い上昇する可能性
	エネルギーコスト上昇のインパクト	業種別	■ **素材産業（川上産業）は製造コストに占めるエネルギーコストの割合が大きい**
		製品別	■ エネルギーコスト上昇によるインパクトが**特に大きく見込まれる製品が存在** ■ **営業利益率や過去の価格の変動幅より、価格転嫁が困難な製品あり**

今後の方向性

脱炭素への移行に向けた取組の方向性	（参考）欧米諸国の事例
✓ 脱炭素に伴うエネルギーコスト増を**許容可能な水準に抑える**ための取り組みが必要	**欧州の技術開発に対する資金調達プログラム** ■ ESIF(2,370億€/7年)やHorizon Europe(955億€/7年)等を通じ、エネルギー技術へのR&Dに助成することで、エネルギーコストを低減
✓ 生産性向上や高機能製品による差別化等により付加価値を高め、**コスト上昇を許容できる収益構造の変革**に向けた取り組みが必要	**ポートフォリオを変化させている企業例** ■ [化学]BASF: Oil＆Gasを縮小、農薬や自動車用触媒等に拡大 ■ [セメント]Lafarge: セメント製造だけでなく、低炭素コンクリート販売や定期修繕等のソリューション事業にも裾野を拡大
✓ エネルギーコスト増に伴う**国際的なコスト競争力の低下を緩和**し、**平等な競争条件**とすることで価格転嫁しやすくする取り組みが必要	**炭素国境調整措置（CBAM）** ■ 国際競争力の均等化と炭素リーケージを防止 **EU-ETSの電力コスト増に対する補填（State aid）** ■ リーケージリスクの高いエネ多産業にEU-ETSのコスト増を一部返還

本検討のバウンダリを踏まえた今後必要な分析

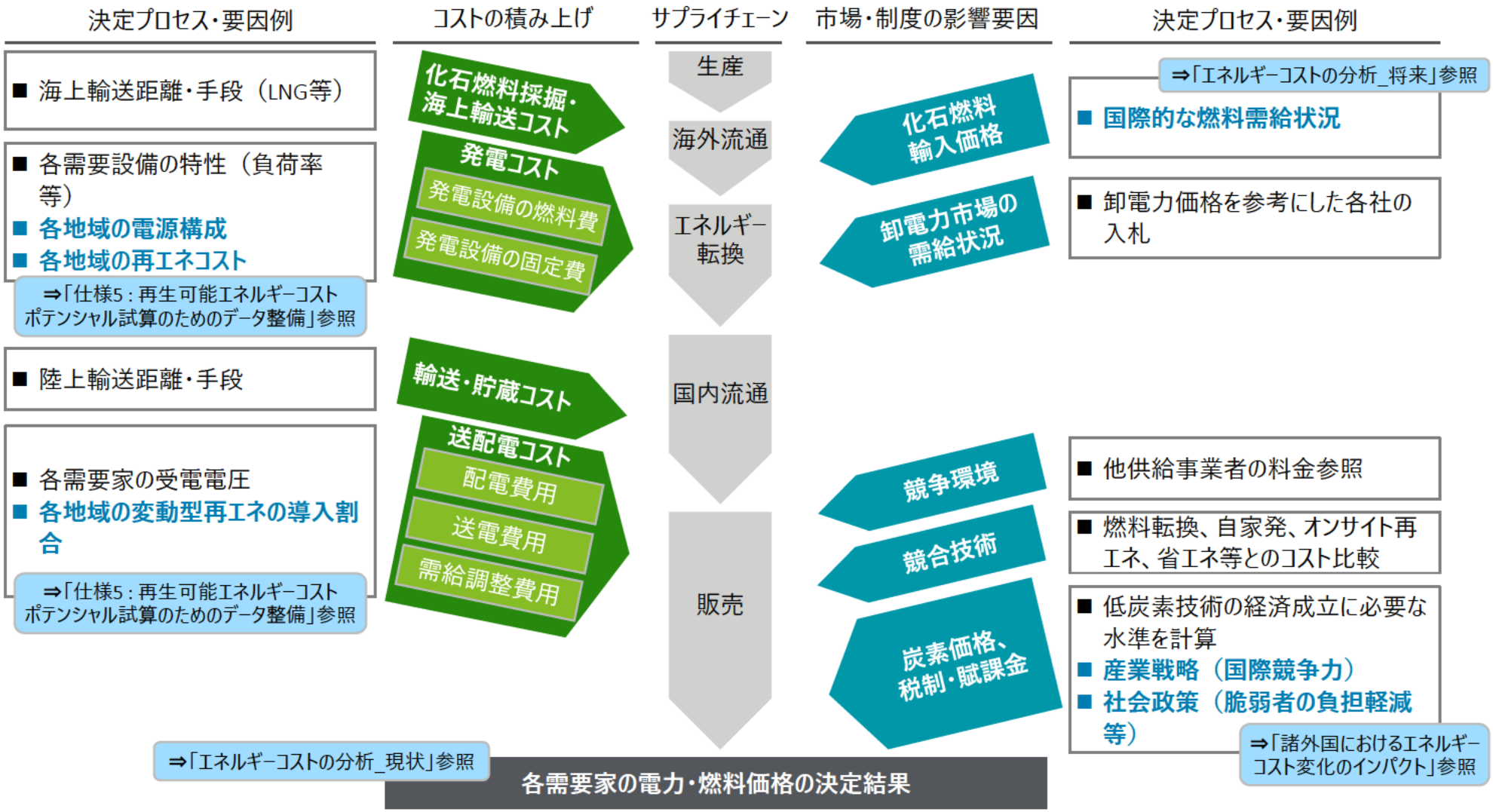
- ■ ライフサイクルでエネルギーコストの割合を考慮することにより、川下産業へ影響がさらに大きくなる可能性
- ■ 石油化学産業等の非エネ分野や製造プロセス転換等による設備コストを含めるとさらに増大する可能性
- ■ 企業のバウンダリのみでなく、社会全体でのエネルギーシステム転換による便益等も考えていくことが必要

【調査対象】

エネルギー価格はコストの積み上げと市場・制度などの影響要因により決定される

エネルギー価格の決定プロセス概要と調査対象

凡例：**調査対象・詳細後述**



1. エネルギーコストの分析
   - 現状
   - 将来予測
2. エネルギーコスト変化のインパクト
   - 最終消費の実態
   - 製品価格へのインパクト
   - 諸外国におけるエネルギーコスト変化のインパクト

【エネルギー価格の現状と将来_検討サマリ】

化石燃料価格は低下するものの電力価格は上昇。他方、化石燃料・電力価格は地政学面・気象面のリスクより価格のボラティリティが高くなる可能性

検討内容及び検討結果

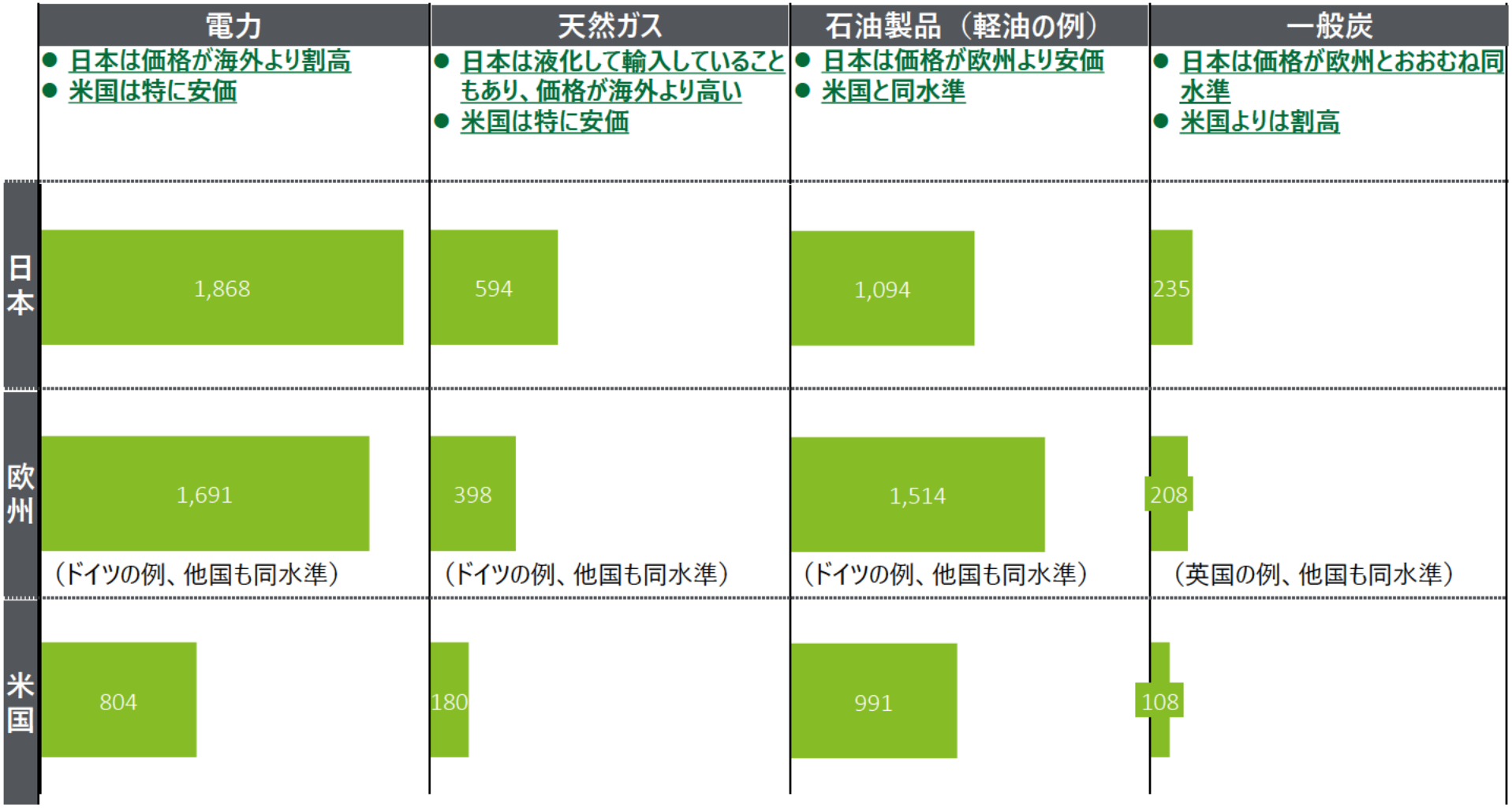
	現状	将来
検討内容	■ 国内外における産業部門向けの平均的な電力・燃料価格を比較 ✓ Beforeコロナのデータ（2018年）を確認 ✓ 燃料価格の内訳を"本体価格"と"税金・賦課金等"を合計した値を整理	■ 各機関の国・燃料種別価格の将来予測を比較・整理 ✓【電力】電化及び再エネ投資による影響とは ✓【天然ガス】輸入依存国に対する輸出国の供給計画等の影響とは ✓【原油】新興国の需要増加や中東の情勢の影響とは ✓【石炭】脱石炭による需給量及びその影響とは
検討結果	**■ 電力と天然ガスの平均的な価格は他国より高水準** ✓ 平均電力価格は米国・フランスより高く、ドイツや英国より少し割高 ✓ 天然ガス価格は海外と比較し高水準	**■ 化石燃料は需要減少により価格が低下するが、再エネ投資等により電力価格は上昇** ✓【電力】世界全体で電化等による需要拡大と再エネ導入に伴う系統増強等に係る設備投資増大が価格上昇に影響し得る可能性有 ✓【天然ガス】日本は安価な米国産LNGの割合の増加等調達先の変化・多様化により価格が低下する可能性有 ✓【原油】新興国の需要増加はあるものの、エネルギー効率向上等の技術進展により、長期的には価格が低下 ✓【石炭】先進国の電力部門における石炭から他燃料移行による需要減少により、価格が低下 **■ ただし、エネルギー価格は地政学面・気象面のリスクによりボラティリティの高さがあると想定される** ✓ 原油や天然ガスに関し供給側の政情不安による供給制限や、電力に関し天候不順による再エネの供給不足等が、価格変動の要因になり得る

1. エネルギーコストの分析
   - 現状
   - 将来予測
2. エネルギーコスト変化のインパクト
   - 最終消費の実態
   - 製品価格へのインパクト
   - 諸外国におけるエネルギーコスト変化のインパクト

【エネルギーコストについて_現状】

トランジションの肝となり得る天然ガスと電力価格は他国に比べて高水準

日欧米諸国の産業部門向けのエネルギー価格比較（2018年、単位：米ドル／石油換算トン）

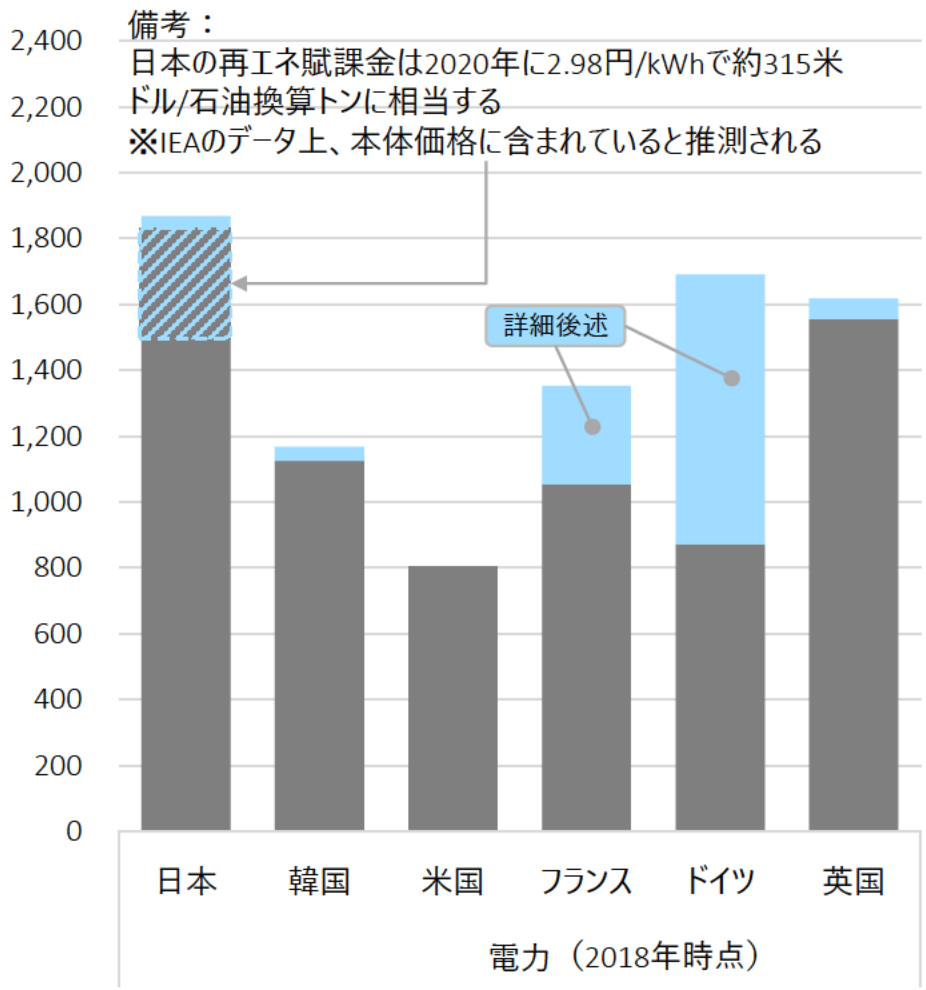


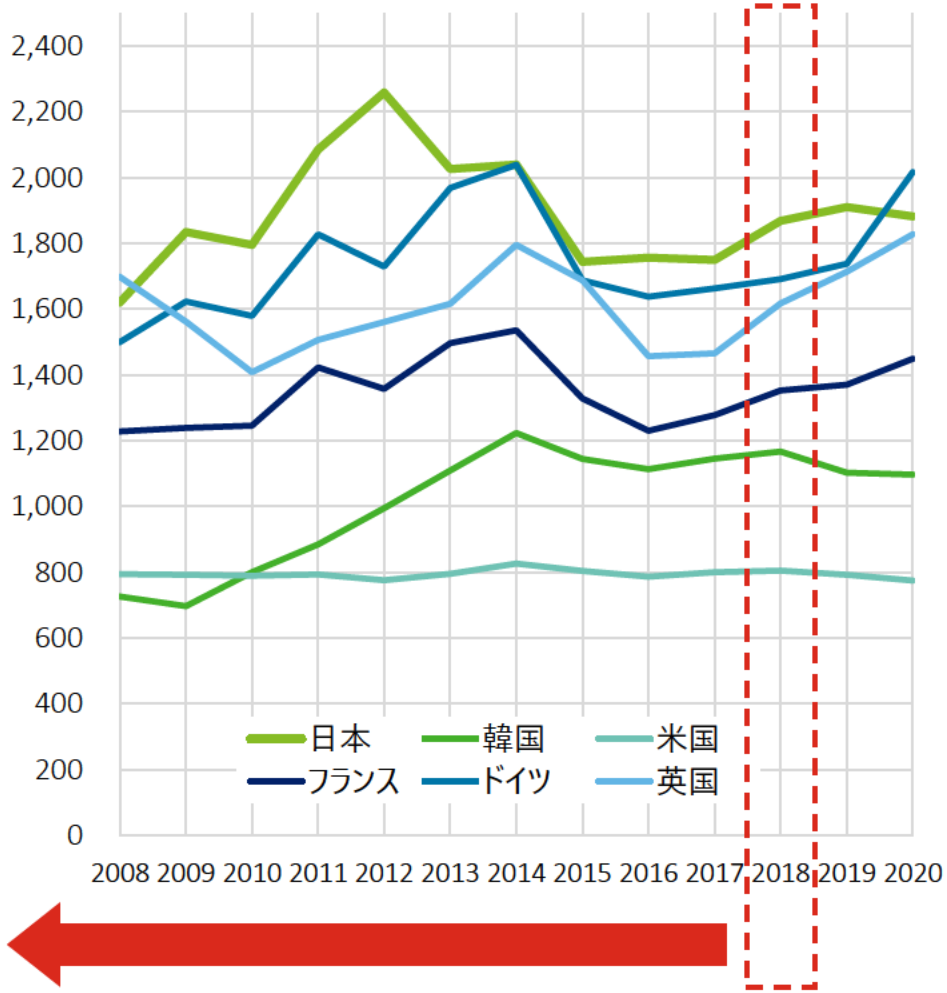
出所：国際エネルギー機関（IEA）「OECD Energy Prices and Taxes Quarterly」を基に作成

【エネルギーコストについて_現状】

日本では産業部門に対する平均的な電力価格は韓国・米国・フランスよりは高く、ドイツや英国よりは少し割高

日欧米諸国の産業部門向け電力価格比較（単位：米ドル／石油換算トン）



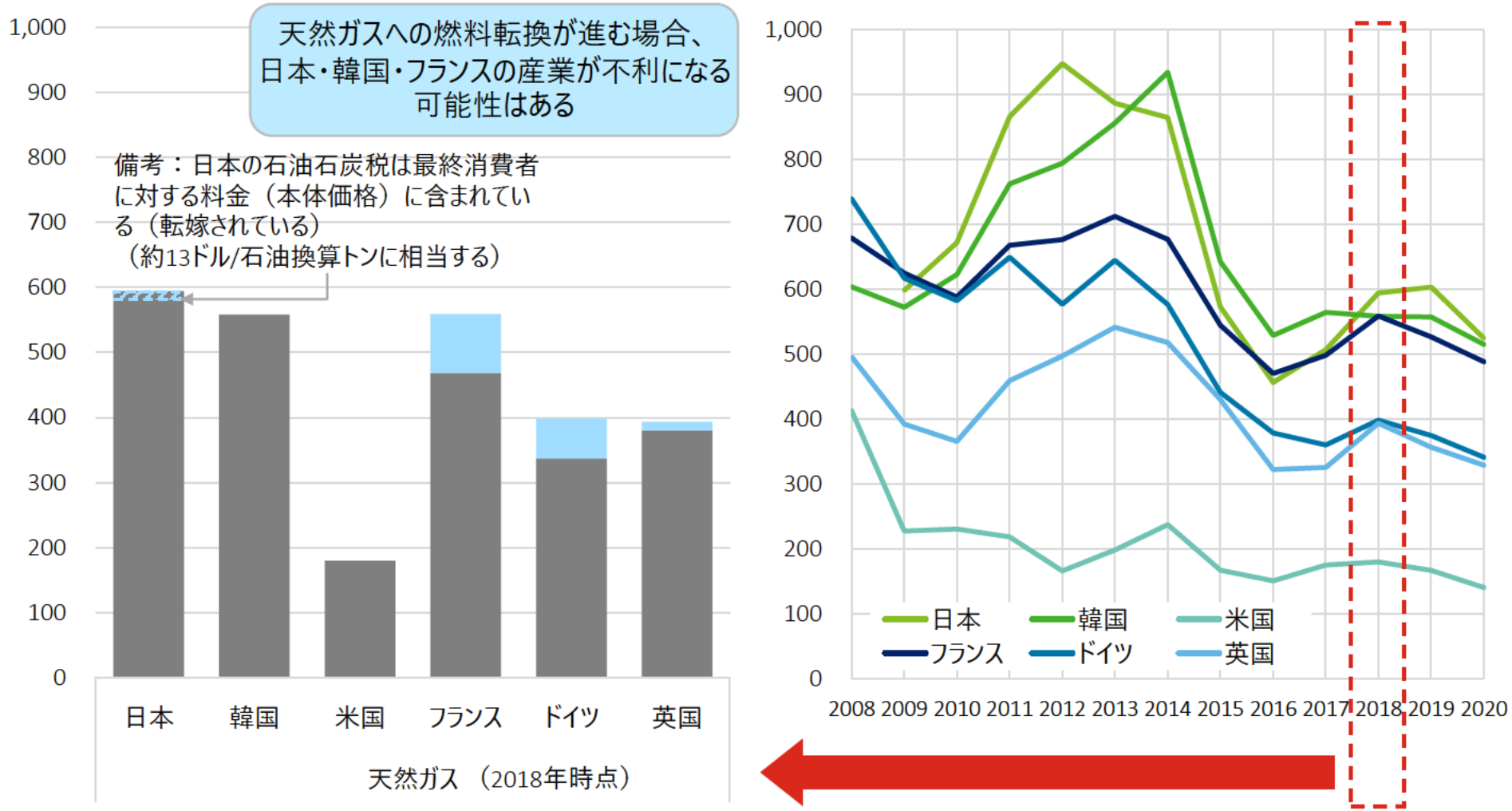


出所：国際エネルギー機関（IEA）「OECD Energy Prices and Taxes Quarterly」を基に作成

【エネルギーコストについて_現状】

日本の産業部門に対する天然ガス価格は韓国やフランスと同水準、米国、ドイツ、英国と比較して高水準

日欧米諸国の産業部門向け天然ガス価格比較（単位：米ドル／石油換算トン）

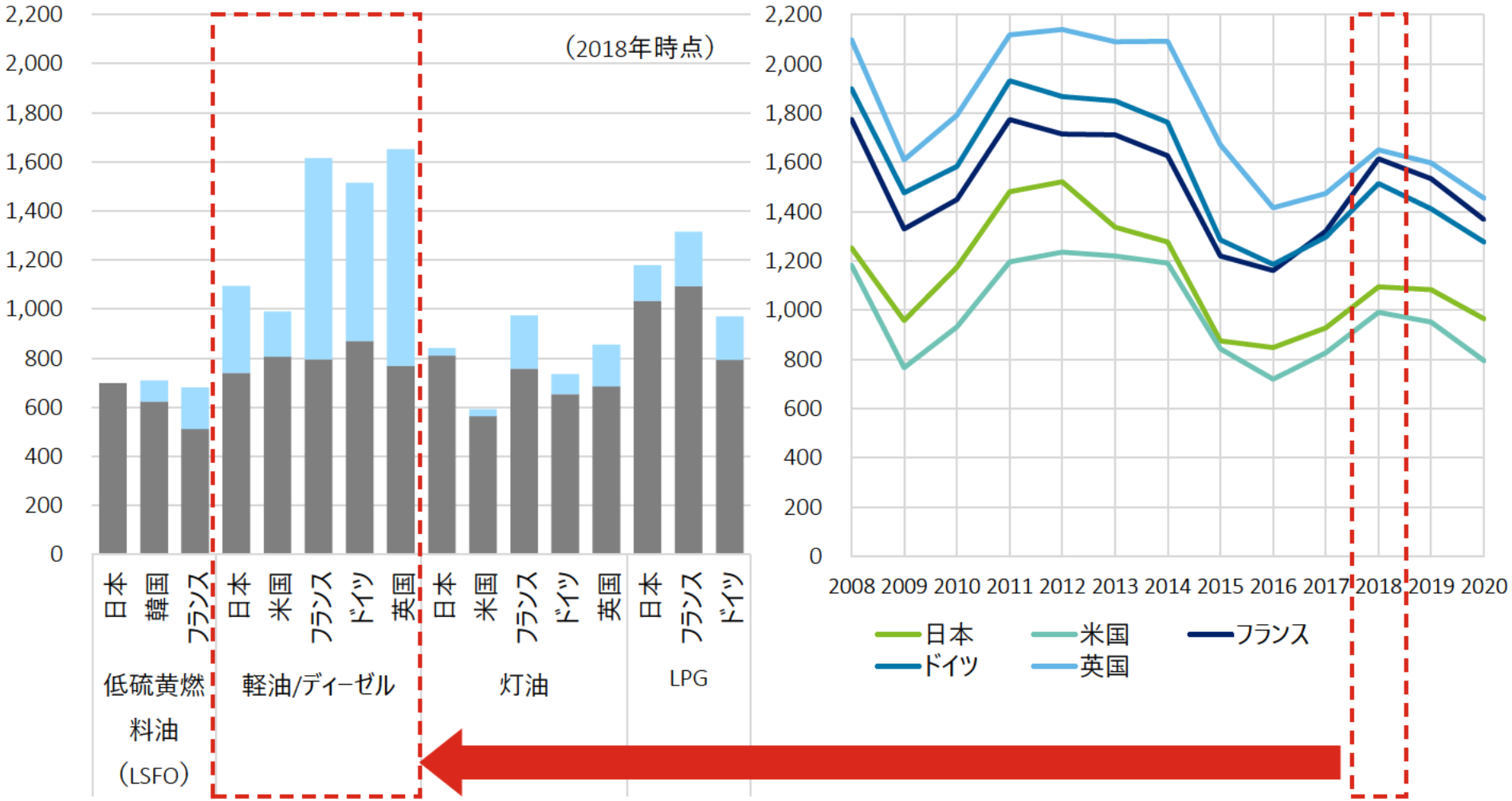


出所：国際エネルギー機関（IEA）「OECD Energy Prices and Taxes Quarterly」を基に作成

【エネルギーコストについて_現状】

日本の産業部門に対する石油製品の価格は海外より若干割高
一方、欧州よりは課税率が低い状況

日欧米諸国の産業部門向け石油製品価格比較（単位：米ドル／石油換算トン）

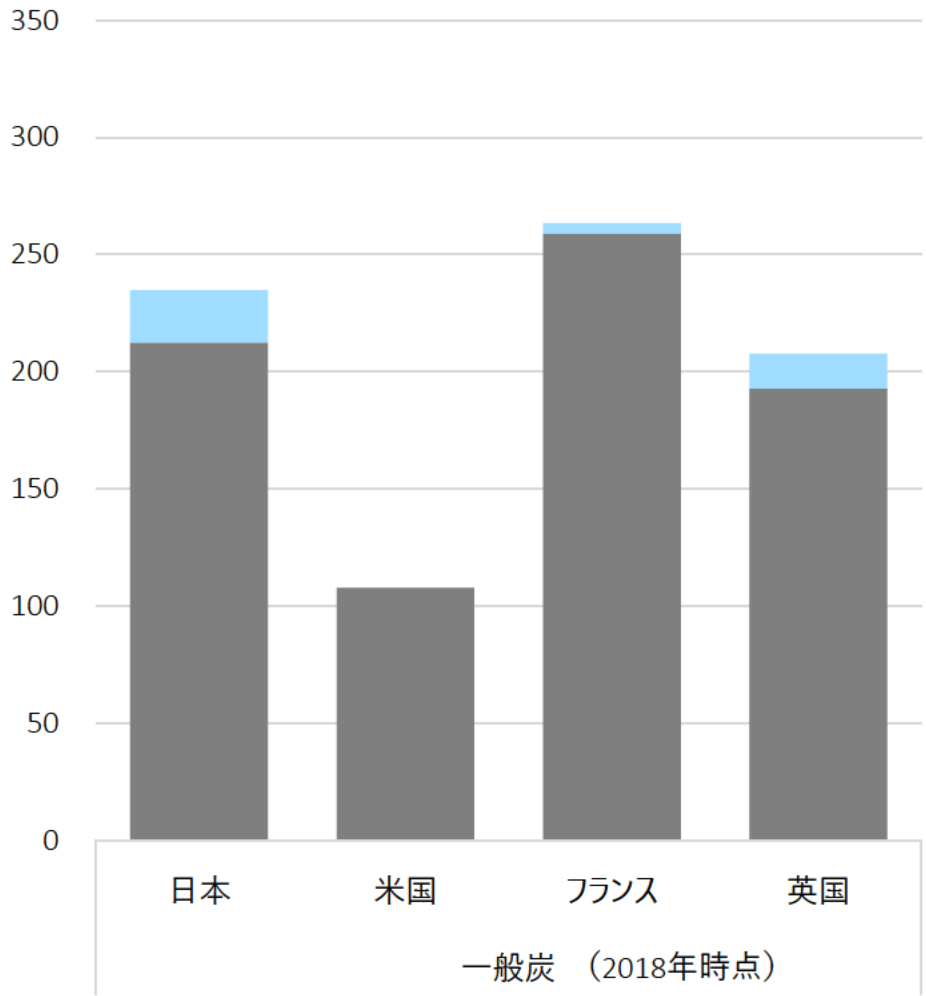


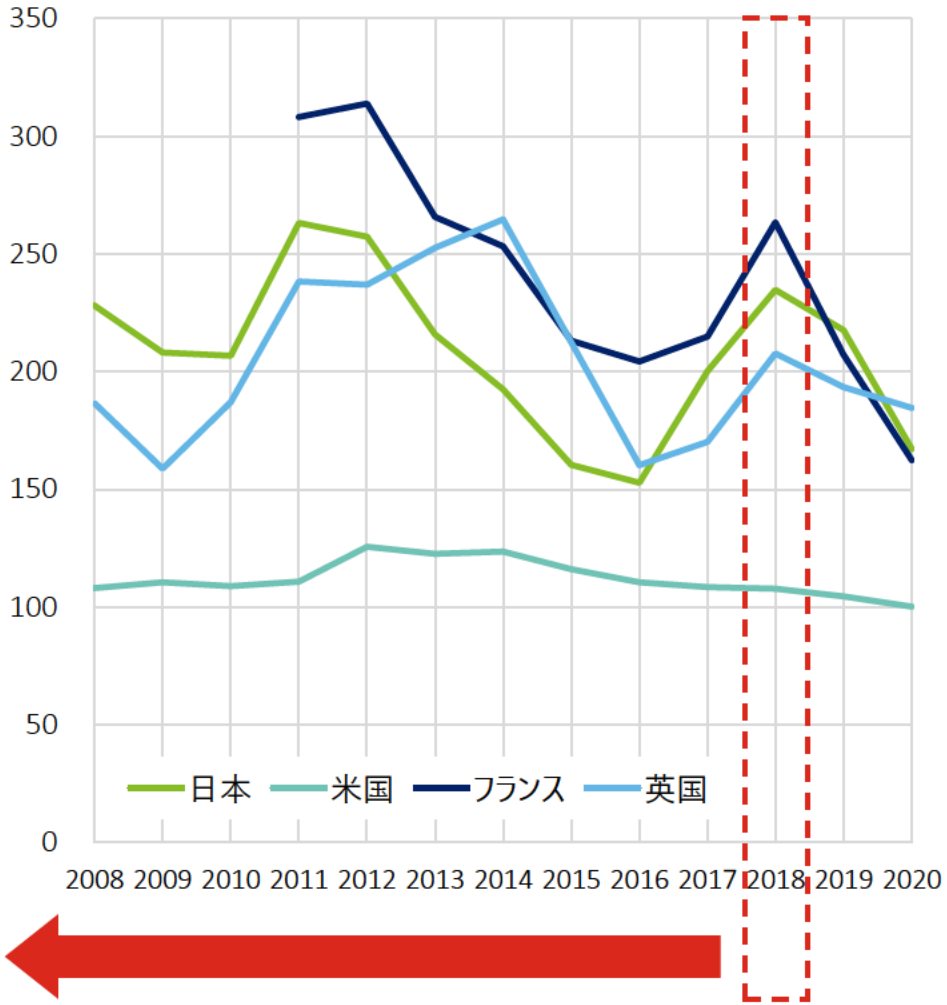
出所：国際エネルギー機関（IEA）「OECD Energy Prices and Taxes Quarterly」を基に作成
備考：一部の国は統計上データが欠落、「低硫黄燃料油（LSFO）」はA重油の一部に該当する（A重油の1種1号）

【エネルギーコストについて_現状】

日本の産業部門に対する石炭価格は欧州と導同水準、米国より割高で、課税率は海外より高い

日欧米諸国の産業部門向け石炭価格比較（単位：米ドル／石油換算トン）



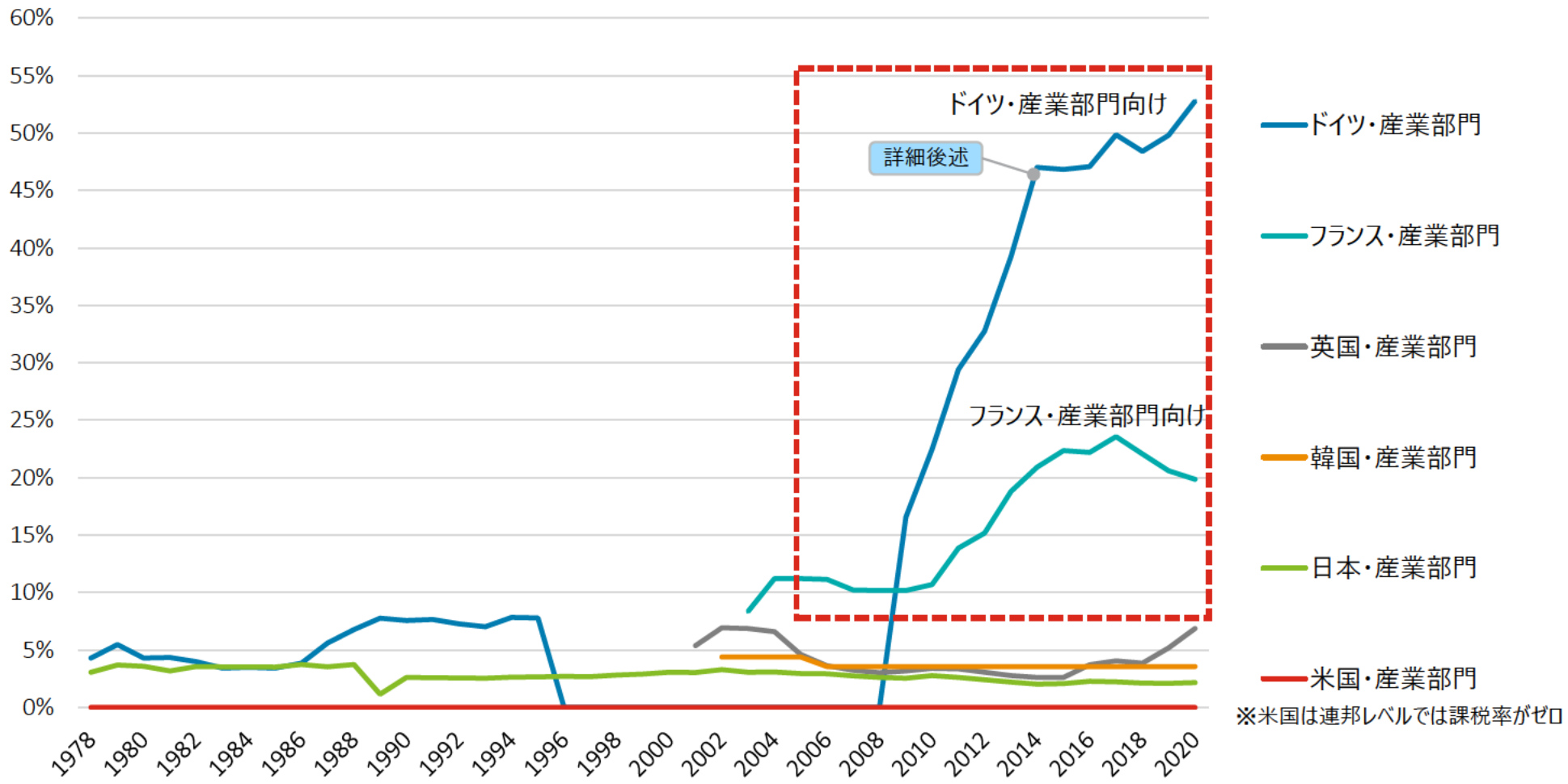


出所：国際エネルギー機関（IEA）「OECD Energy Prices and Taxes Quarterly」を基に作成
備考：韓国、ドイツは統計上データが欠落

【エネルギーコストについて_現状】

フランスとドイツでは電気料金に対する課税率が直近15年間で大幅に増加

日欧米諸国の産業部門向け電力本体価格に対する課税率の推移（単位：%）



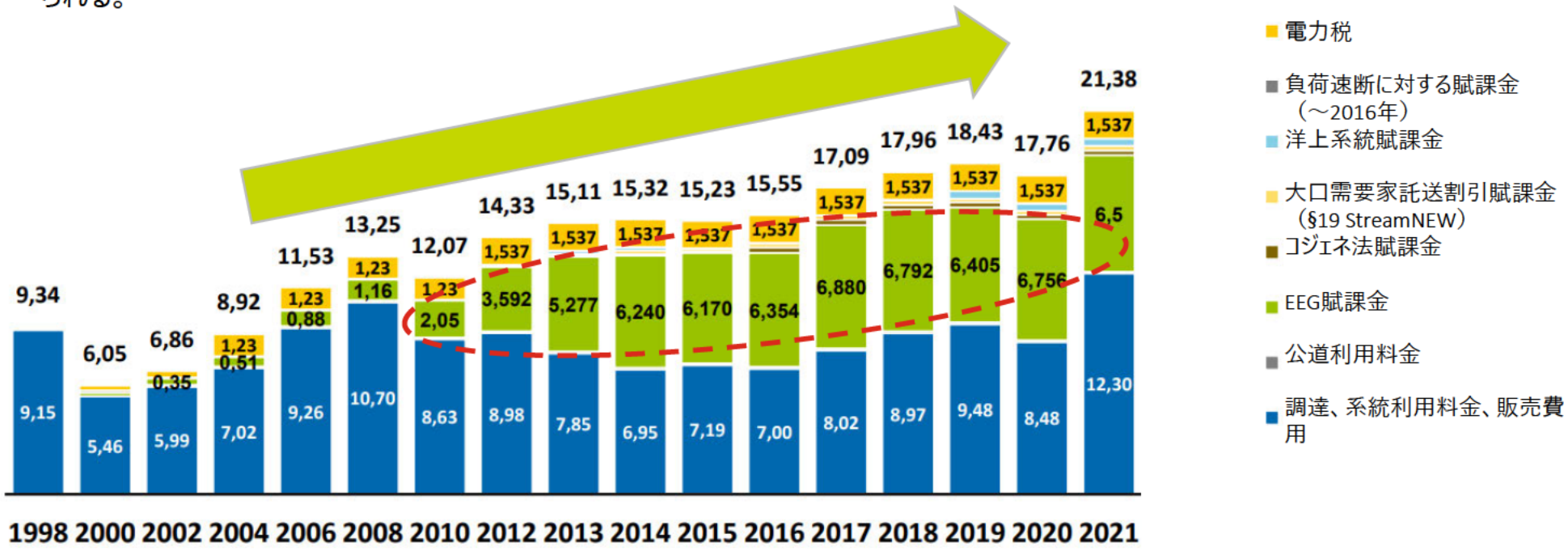
出所：国際エネルギー機関（IEA）「OECD Energy Prices and Taxes Quarterly」を基に作成

【エネルギーコストについて_現状】

ドイツの産業需要家に対する電力関連税金・賦課金は再エネ賦課金が大半を占めている
再エネ賦課金は大幅に増加してきた

ドイツの産業部門向け電力価格の内訳と推移（ドイツ・産業部門・16万～2,000万kWh/年）　（単位：€セント/kWh）

- ドイツでは、電力自由化の開始時期（1999年）に料金水準が一時的に低下したが、2000年から増加傾向にある。
- この電気料金増加の背景には、燃料費の高騰による卸電力の価格上昇の他に、制度面では電力税（環境税）の導入と再エネ賦課金（「EEG賦課金」：再生可能エネルギー発電からの固定価格買取に伴う費用負担額）の増加も一因として挙げられる。



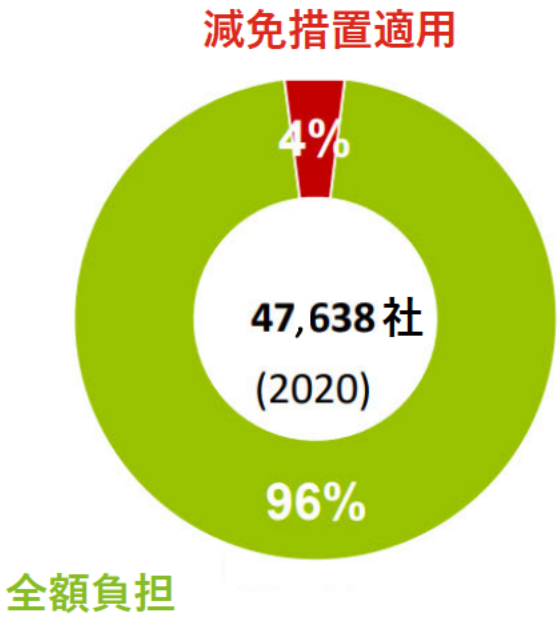
出所：ドイツエネルギー・水管理事業者協会（BDEW）「BDEW-Strompreisanalyse Januar 2022, Haushalte und Industrie」より引用、一部加工

【エネルギーコストについて_現状】

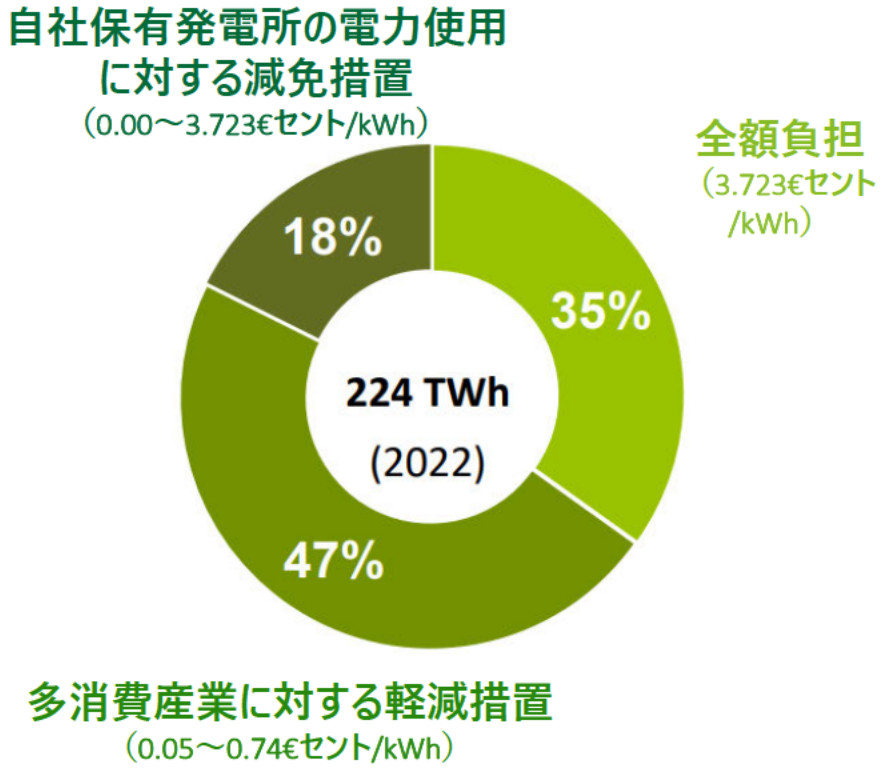
ドイツの産業部門の一部は税金等の減免措置を活用できる

ドイツの「EEG賦課金」（再エネ賦課金）の減免措置の適用状況について（ドイツ・産業部門）

企業数における減免措置適用割合



電力使用量における減免措置適用割合

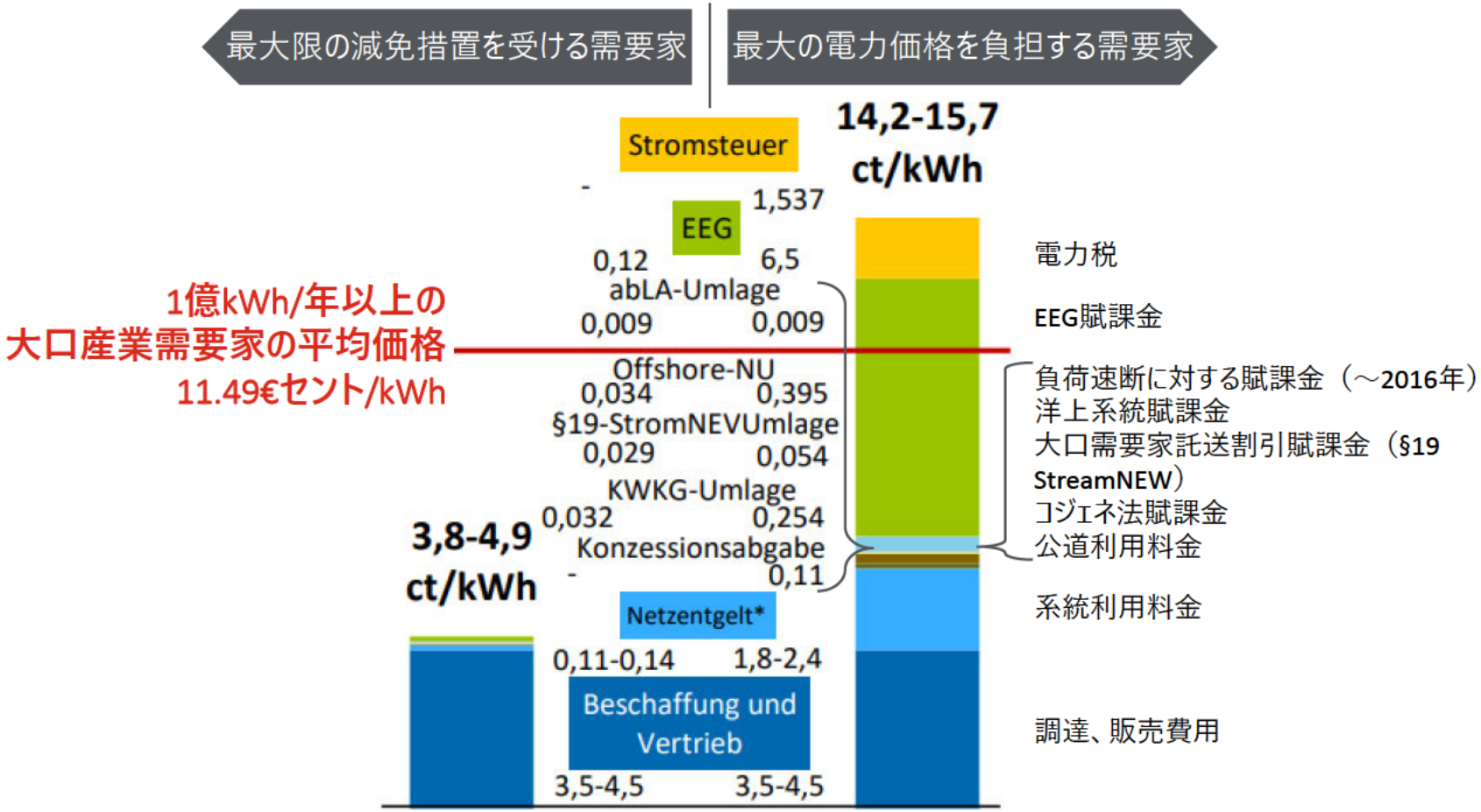


出所：ドイツエネルギー・水管理事業者協会（BDEW）「BDEW-Strompreisanalyse Januar 2022, Haushalte und Industrie」より引用、一部加工

【エネルギーコストについて_現状】

ドイツの産業部門の一部は税金等の減免措置を活用でき、電力価格への影響が大きい

ドイツの産業部門向け電力価格の幅について（ドイツ・産業部門・1億kWh/年以上の大口需要家）　（単位：€セント/kWh）



出所：ドイツエネルギー・水管理事業者協会（BDEW）「BDEW-Strompreisanalyse Januar 2022, Haushalte und Industrie」より引用、一部加工

1. エネルギーコストの分析
   - 現状
   - 将来予測
2. エネルギーコスト変化のインパクト
   - 最終消費の実態
   - 製品価格へのインパクト
   - 諸外国におけるエネルギーコスト変化のインパクト

【エネルギーコストについて_将来予測】

複数機関のレポートを基に将来のエネルギー価格を整理

対象国のエネルギー価格　調査対象

調査方法

- 日本・欧州・米国における燃料・電力価格の将来予測（2030年）に関し、キーワードや環境・エネルギー関連組織のHPでの検索を実施
  - ➢ キーワード：エネルギー種（原油、天然ガス、一般炭、電力）×国（日本、欧州、米国）×将来予測に関連する単語（将来予測、見込、見通し等）×年次（2030年）

No.	文献情報		掲載されているエネルギー価格の種類						
	発行機関	文献名	エネルギー種				国		
			原油	天然ガス	一般炭	電力	日本	欧州	米国
1	国際エネルギー機関 (IEA)	World Energy Outlook 2019,2020,2021	●	●	●	-	●	●	●
2	世界銀行 (WB)	Commodity Markets Outlook	●	●	▲（豪州のみ）	-	●	●	●
3	日本エネルギー経済研究所 (IEEJ)	IEEJ Outlook 2020,2021,2022	●	●	▲（世界平均）	-	●	▲（英国のみ）	●
4	ブラジルエネルギー研究公社 (EPE)	Oil Price Forecasts 2021-2030	●	-	-	-	-	-	-
5	欧州委員会 (EU)	A Clean Planet for All - In-depth analysis in support of the commission communication	-	-	-	●	-	●	-
6	ガス輸出国国際フォーラム (GECF)	Global Gas Outlook 2050 Synopsis	●	●	-	-	-	-	-
7	富士経済	電力・ガス・エネルギー市場戦略総調査 2021	-	-	-	●	●	-	-
8	米国エネルギー情報局 (EIA)	Annual Energy Outlook 2021	●	●	●	●	-	-	●
9	日立シナジー（旧：日立エナジーグリッド）	North America power reference case	-	-	-	●	-	-	●
10		Europe power reference case	-	-	-	●	-	●	-

＊上記機関の価格予測のバウンダリや前提は異なることに留意が必要

【エネルギーコストについて_将来予測】

需要減により化石燃料価格は低下、電源構成の変化・電化に伴い電力の価格は上昇

凡例
2018年比のエネルギー価格増減
上昇　低下

2030年までのエネルギー価格予測（2018年比の価格増減率）

	電力	天然ガス	原油	一般炭
サマリ	■ 2030年にかけて日米欧ともに段階的に**需要増加傾向** ■ 電化促進等の**需要増加**及び再エネ導入に係る**投資の加速**により、**価格上昇**	■ **一時的な供給不足**はあるものの、**2030年には供給過多**となりうる ■ **日欧**は需要増とならないため、価格の上昇はないものの、米国は設備投資等により微増	■ 新興国を中心とした**需要増加が生じる可能性** ■ 世界全体の需要増減度合や供給側の経営方針、技術革新進展度合で**価格の不確実性高い**	■ 2030年にかけて**需要が低下** ■ 石炭から他燃料への移行による石炭需要減少で供給過多となり、**全体的に価格低下**
日本	再エネ導入に伴う設備投資（再エネ発電設備・系統等）の拡大により**段階的に価格上昇** ～2025年　～ 2030年	他国に比べ安価な米国産LNGの輸入割合増加により、**価格が低下** ～2025年　～ 2030年	**新興国を中心とした需要増加**により価格が上昇。 他方、エネルギー効率向上等の**技術進展等により価格が低下** （新興国の経済成長鈍化により需要増加が限定的となる可能性もあり） ～2025年　～ 2030年	石炭から**他燃料への移行の推進に伴う需要減少**で供給過多となり価格低下 ～2025年　～ 2030年
欧州	モビリティの電化等による需要増加と再エネ導入に伴う設備投資拡大により**段階的に価格上昇** ～2025年　～ 2030年	ロシア情勢に関わらず価格上昇が見込まれるものの、カーボンニュートラルに向けて**需要減少により価格低下** ～2025年　～ 2030年		
米国	発電用の天然ガス価格上昇や需要増加による供給不足で価格上昇を見込むものの、効率向上等により**微増にとどまる** ～2025年　～ 2030年	南米等の需要拡大に応じたLNG輸出量増加に伴うガス田開発投資拡大が燃料価格に転嫁し**微増** ～2025年　～ 2030年		

化石燃料価格の低下を見込んでいるが、昨今のロシアーウクライナ情勢によるLNG供給不足による需給バランスの変化の結果、需要過多となる場合、化石燃料の価格上昇は想定される。また、化石燃料の流通リスクが向上し、価格のボラティリティが上がる可能性がある

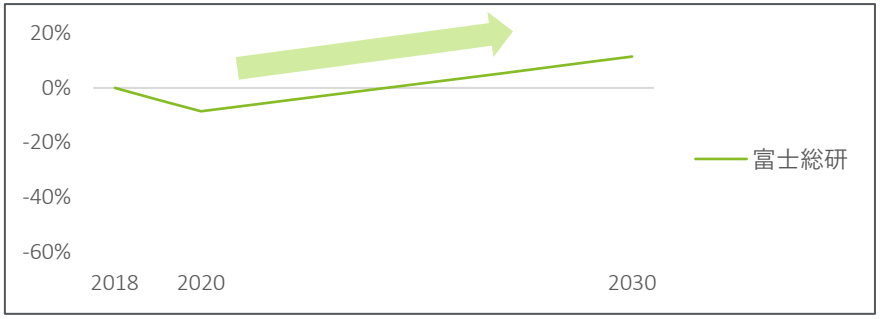
注1：p8の出所に基づき、デロイトトーマツコンサルティング予測。2018年の単一年を基準に2025年、2030年の価格変動幅を比較

【エネルギーコストについて_将来予測】

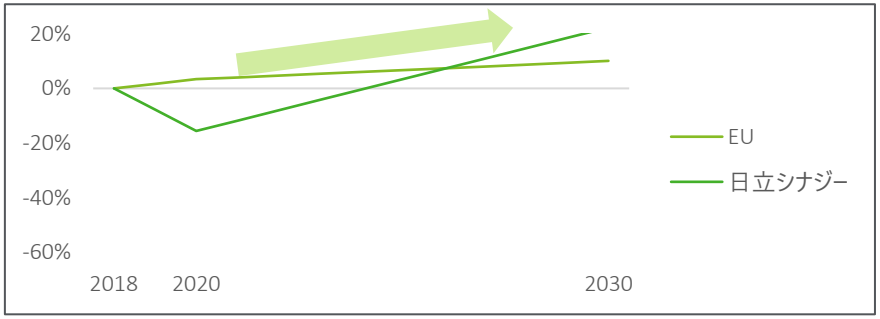
2030年の電力価格は、2018年と比較した場合、電化拡大による電力需要の増加や再エネ導入による設備投資の増大により全体的に上昇が見込まれている

エネルギー別整理結果詳細（電力）

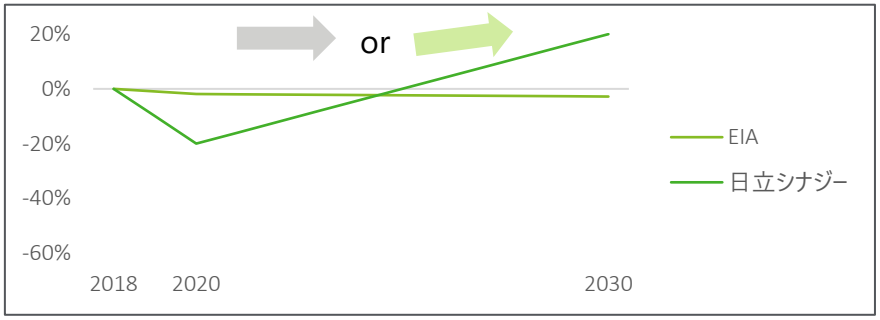
日本



欧州



米国



価格の増減

- 電化等による電力需要の拡大、再エネ導入に伴う設備投資増大等により、全体的に電力価格上昇が見込まれている
  - ➢ 熱や輸送部門を中心とした電化促進による電力需要の増加、再エネ導入による輸送・貯蔵段階の設備投資が増大の見込み
    - ✓ 熱や輸送部門の電化、第三次産業（レジャーやIT等）の電力需要拡大により、電力供給量が2018年比で約1.4倍必要になる見通し
    - ✓ 再エネの大量導入に伴い、分散型・集中型両方の電力システムに対応した設備の導入や増強は必要になる
      - 蓄電機能の拡大（蓄電システム導入）
      - 相互接続容量の拡大（系統の増強）
      - エネルギー効率の向上（高効率機器の導入）　等

将来予測の幅

- 米国において発電用燃料価格上昇度合や需要増加度合等の上昇要因とエネルギー効率向上による低下要因を見込んでおり、その度合で将来予測に差異が生じている可能性
  - ➢ 上昇要因として発電に用いる天然ガス価格の上昇や電化等による需要増加が想定される一方、エネルギー効率向上設備・機器の導入拡大が価格上昇を抑制する要因となりうる

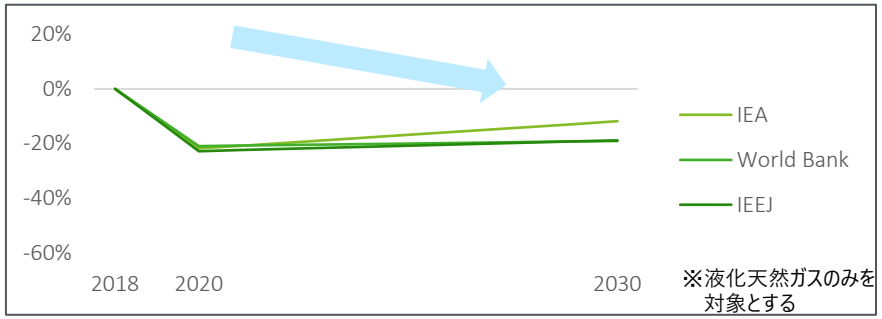
注：横並びでの比較のため、コロナの影響で起きた価格の大幅変動を度外視する必要がありかつレポートにより価格の定義や算定条件が異なることから、2018年の単一年を基準に2020年、2030年の価格変動幅を比較
出所：国際エネルギー機関（IEA）「World Energy Outlook」（2019,2020,2021）、欧州委員会（EU）「A Clean Planet for All - In-depth analysis in support of the commission communication」（2018/11）、富士経済「電力・ガス・エネルギー市場戦略総調査2021」（2021/6）、米国エネルギー情報局（EIA）「Annual Energy Outlook 2021」（2021/2）、日立シナジー「North America power reference case」「Europe power reference case」（2020/4）

【エネルギーコストについて_将来予測】

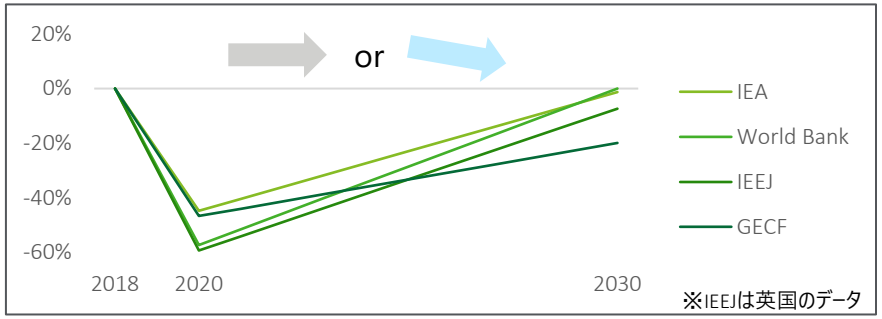
天然ガス価格は、2018年と比較した場合、日本・欧州では低下が見込まれる一方、米国では国内生産・輸出量の拡大と新規油田開発投資により価格上昇が見込まれる

エネルギー別整理結果詳細（天然ガス）

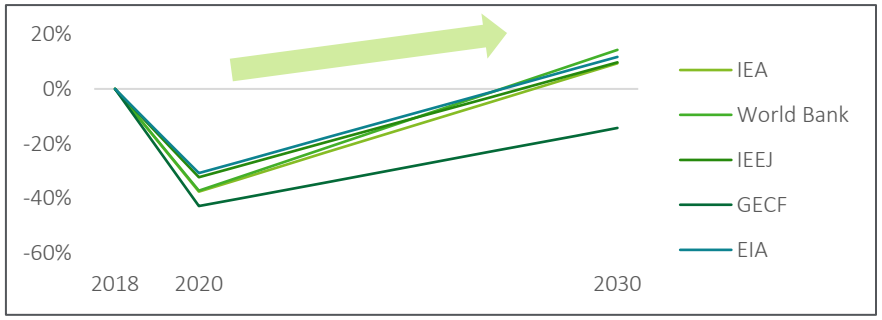
日本



欧州



米国



価格の増減

- 日本や欧州は需要減少により低下する一方、米国は生産量増大及び新規油田開発促進で価格上昇が見込まれる
  - ➢ 国内生産で需要を賄う米国は、生産・輸出の増大と新規の油田開発促進等が天然ガス価格の上昇に影響していると言及している
    - ✓ 米国では、中南米での需要増加に伴い、米国内での生産量増大及び輸出量増大が見込まれている
    - ✓ 生産量拡大に伴う既存の油田プラント増強に加え、2017年3月に署名された「エネルギーの自立と経済成長の促進策」により、新規の油田開発を継続して実施している

将来予測の幅

- ー

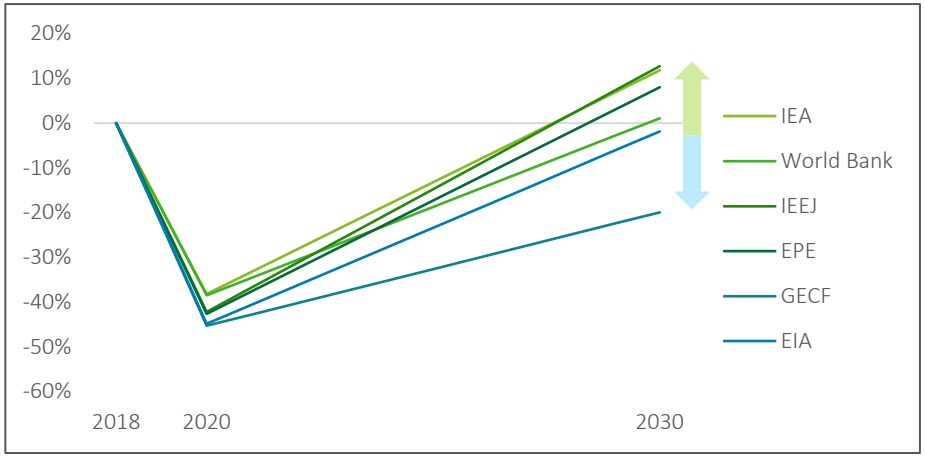
（将来予測に若干の幅はあるものの、基本的に2018年と比較して同様の増減幅が見込まれている）

注：横並びでの比較のため、コロナの影響で起きた価格の大幅変動を度外視する必要がありかつレポートにより価格の定義や算定条件が異なることから、2018年の単一年を基準に2020年、2030年の価格変動幅を比較
出所：国際エネルギー機関（IEA）「World Energy Outlook」（2019,2020,2021）、世界銀行（WB）「Commodity Market Outlook」（2020,2021）、日本エネルギー経済研究所「IEEJ Outlook」（2020,2021,2022）、ガス輸出国国際フォーラム（GECF）「Global Gas Outlook 2050 Synopsis」（2020/10）、米国エネルギー情報局（EIA）「Annual Energy Outlook 2021」（2021/2）

【エネルギーコストについて_将来予測】

2030年の原油価格は、2018年と比較した場合、レポートにより上昇・低下の異なる傾向が見込まれており、価格の不確実性の高さがあると想定

エネルギー別整理結果詳細（原油）



価格の増減

- レポートにより需要の回復や増加度合、産出国の生産計画、エネルギー効率向上度合により予測が分かれている
  - ➢【上昇要因】新興国や輸送部門を中心とした需要増加及び産出国での収益性重視の事業実施により価格高騰の可能性が言及されている
    - ✓ 中東、中国、インドを中心とした新興国で石油需要が増加すると見込まれており、2030年までに2020年比1500万バレル上昇の見込
  - ➢【低下要因】需要側でのエネルギー効率向上等の技術進展等により価格低下の可能性が言及されている
    - ✓ 省エネ機器の導入拡大等による需要側でのエネルギー効率の向上により、1990年から2019年における平均的な価格水準（60＄/bbl）に到達可能（GECF）
      ※新興国での経済成長鈍化により原油の需要増加が限定的となる可能性も示唆されている

将来予測の幅

- 上記の上昇・低下要因の度合いにより、2030年の原油価格予測に大幅な差異が生じている可能性有
  - ➢ レポートにより供給側の生産計画、需要側の需要増加度合やエネルギー効率向上等の技術進展等の観点から異なる条件を設定している可能性が推察される

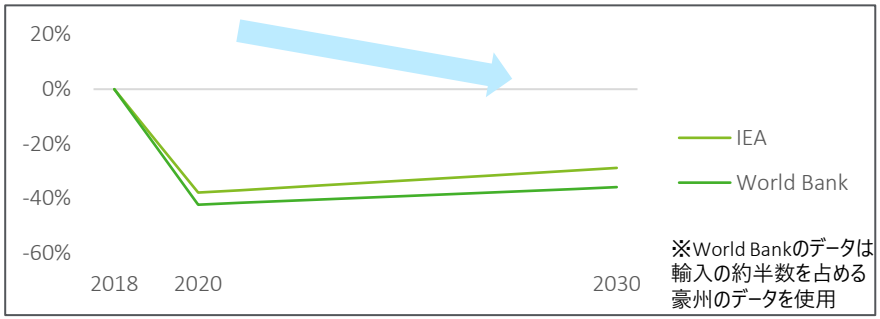
注：横並びでの比較のため、コロナの影響で起きた価格の大幅変動を度外視する必要がありかつレポートにより価格の定義や算定条件が異なることから、2018年の単一年を基準に2020年、2030年の価格変動幅を比較
出所：国際エネルギー機関（IEA）「World Energy Outlook」（2019,2020,2021）、世界銀行（WB）「Commodity Market Outlook」（2020,2021）、日本エネルギー経済研究所（IEEJ）「IEEJ Outlook」（2020,2021,2022）、ブラジルエネルギー研究公社（EPE）「Oil Price Forecasts 2021-2030」（2021/2）、ガス輸出国国際フォーラム（GECF）「Global Gas Outlook 2050 Synopsis」（2020/10）、米国エネルギー情報局（EIA）「Annual Energy Outlook 2021」（2021/2）

【エネルギーコストについて_将来予測】

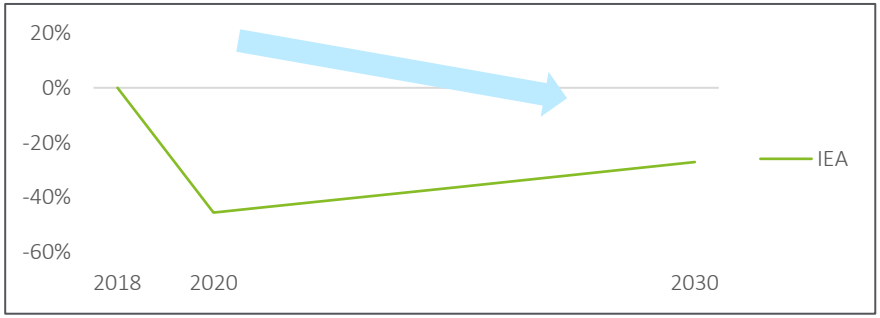
2030年の一般炭価格は、2018年と比較した場合、先進国での需要減少やそれに伴う設備投資の縮小により全体的に下落する見通しであることが報告されている

エネルギー別整理結果詳細（一般炭）

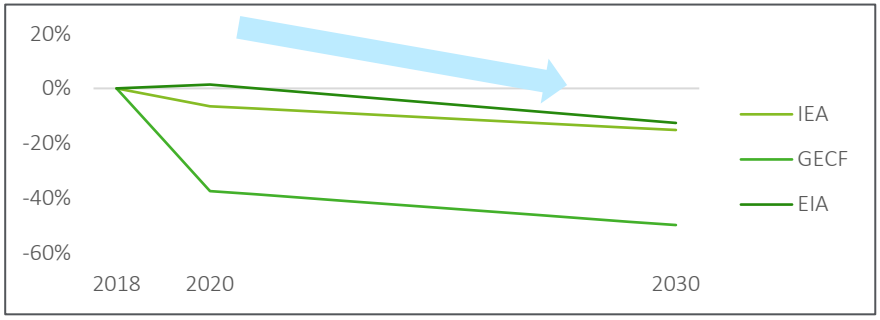
日本



欧州



米国



価格の増減

- 先進国での需要減少及びそれに伴う設備投資縮小により、対象国すべてにおいて価格の下落が見込まれている
  - ➢ 脱石炭の促進や他燃料への移行により一般炭の需要減少するため、先進国での一般炭価格は下落する可能性が言及されている
    - ✓ 先進国における一般炭需要について、2030年までに約300万tの減少が見込まれている
    - ✓ 石炭火力発電所の廃止について、先進国を中心に推進され、2030年までに計約35GW分の発電所廃止が見込まれている

将来予測の幅

- 米国における一般炭の需要減少が大幅に見込まれていることから、一般炭価格の大幅な下落が見込まれている
  - ➢ 米国における脱石炭推進に加え、天然ガス価格減少に伴う石炭から天然ガスへの移行により一般炭需要の大幅な減少が見込まれる
    - ✓ GECFによると、米国における脱石炭の促進と天然ガス価格減少に伴う石炭から天然ガスへの需要移行が大幅に進むと想定していることから、一般炭価格の大幅な減少を見込んでいる（2030年における天然ガスの価格は2018年と比べ約2割の下落を見込んでいる）

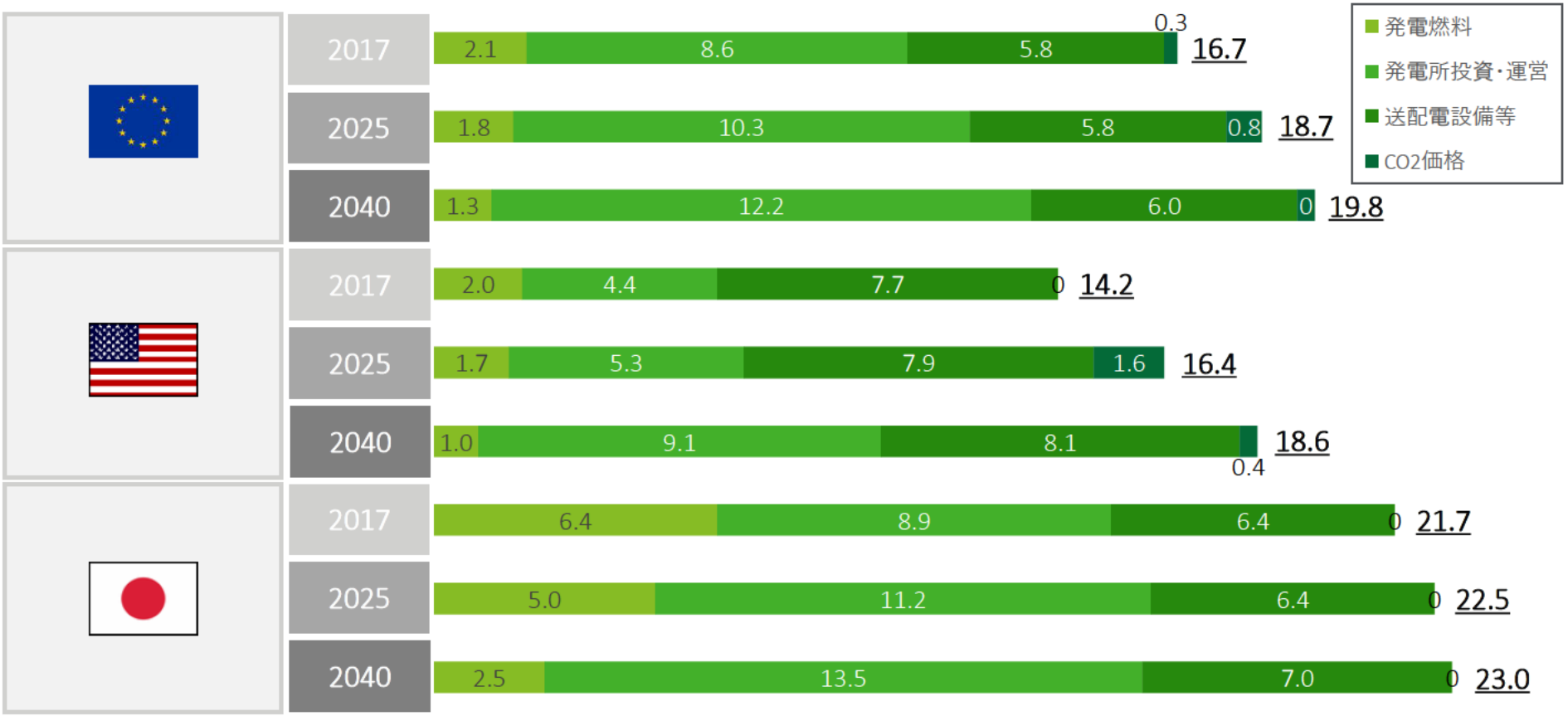
注：横並びでの比較のため、コロナの影響で起きた価格の大幅変動を度外視する必要がありかつレポートにより価格の定義や算定条件が異なることから、2018年の単一年を基準に2020年、2030年の価格変動幅を比較
出所：国際エネルギー機関（IEA）「World Energy Outlook」（2019,2020,2021）、世界銀行（WB）「Commodity Market Outlook」（2020,2021）、ガス輸出国国際フォーラム（GECF）「Global Gas Outlook 2050 Synopsis」（2020/10）、米国エネルギー情報局（EIA）「Annual Energy Outlook 2021」（2021/2）

＜参考： エネルギーコストについて_将来予測（過去データ）＞

IEAにおける電力価格の将来予測においても、日米欧について将来的な電力価格の上昇が見込まれている

IEAにおける電力価格の将来予測

単位：円@2017/kWh



＊為替レート：1ドル＝110円
出所：国際エネルギー機関（IEA）「World Energy Outlook 2018」よりデロイト作成

1. エネルギーコストの分析
   - 現状
   - 将来予測
2. エネルギーコスト変化によるインパクト
   - 最終消費の実態
   - 製品価格へのインパクト
   - 諸外国におけるエネルギーコスト変化のインパクト

【エネルギーコスト変化によるインパクト】

産業部門におけるエネルギーコストの現状を整理し、脱炭素化シナリオを設定した後エネルギーコスト変化によるインパクトを検討した

検討ステップ

1 産業部門における対象業種の選定

- 産業部門における各業種のエネルギー使用量を整理（総合エネルギー統計より）
- 産業部門における各業種の生産額に占めるエネルギーコストの割合を整理（工業統計調査より）

→ 主要な業種に絞り込み、生産額に占めるエネルギーコストの割合を整理

2 代表製品の選定

- 製品出荷額の大きい製品を整理（工業統計調査より）

→ 対象業種の内、製品出荷額から代表製品を選定

3 代表製品のエネルギーコスト上昇のインパクトを検討

- 代表製品の燃料別エネルギー消費量を整理（総合エネルギー統計より）
- 代表製品の燃料別エネルギー単価および製品製造コストを整理（産業連関表、各種公開情報より）
- 脱炭素化シナリオ（一例）を設定

→ 脱炭素化シナリオに基づき代表製品のエネルギーコストおよび製品製造コストの上昇幅を試算

4 代表製品の価格転嫁の可能性検討

- 営業利益率を整理（企業活動基本調査より）
- 過去20年間の製品価格およびエネルギー価格の推移を整理（工業統計調査より）

→ 代表製品のエネルギーコスト変化によるインパクトを検討

【エネルギーコスト変化によるインパクト】

素材産業・エネルギー多消費産業では、エネルギーコスト増のインパクトが大きい可能性

検討内容及び検討結果

検討ステップ	検討結果
① 産業部門における対象業種の選定	■ **窯業・土石製品製造業、鉄鋼業、パルプ・紙・紙加工品製造業、化学工業はエネルギー使用量が大きく、製造価格に占めるエネルギーコストの割合が高い** ✓ 窯業・土石製品製造業は原料（非エネルギー利用）を除いても、**エネルギーコストは生産額の約10%**を占める ✓ エネルギーコストについては、**系統より化石燃料の占める割合が高い傾向**にある
② 代表製品の選定	■ **代表製品としてセメント、粗鋼、紙・板紙、石油化学基礎製品（エチレン等）が挙げられる** ✓ 電力・燃料使用量が特に多い 4 業種において、製造品出荷額を用いて、主要な製品として、**セメント、粗鋼、紙・板紙、石油化学基礎製品（エチレン等）**を選択し、エネルギーコスト上昇に伴うインパクトを評価した
③ 代表製品のエネルギーコスト上昇のインパクトを検討	■ **脱炭素化によるエネルギーコスト上昇により、対策を講じなければ製造コストが大幅に上昇する製品が存在** ✓ エネルギーコストの上昇により4つの代表製品の製品製造コストは**最大90%程度**上昇する可能性 ✓ 今回対象外とした**非エネルギーコストや設備転換コストの計上により、さらなるコスト増が予想**される
④ 代表製品の価格転嫁の可能性検討	■ **エネルギーコスト上昇による製品製造コストの上昇は、価格転嫁や付加価値分では吸収できない可能性も生じる** ✓ 特にセメント産業は、エネルギーコスト上昇幅が大きいものの、製品価格は過去20年大きな変化がないため、価格転嫁ができない可能性

1. エネルギーコストの分析
   - 現状
   - 将来予測
2. エネルギーコスト変化によるインパクト
   - 最終消費の実態
   - 製品価格へのインパクト
   - 諸外国におけるエネルギーコスト変化のインパクト

【エネルギーコスト変化によるインパクト_最終消費の実態】
4 業種については、エネルギーコスト変化によるインパクトが大きい可能性

再エネ・未利用エネ：熱利用／自家発電用
系統：電力（系統調達）
化石燃料：熱利用／自家発電用

業種別エネルギーコストの割合

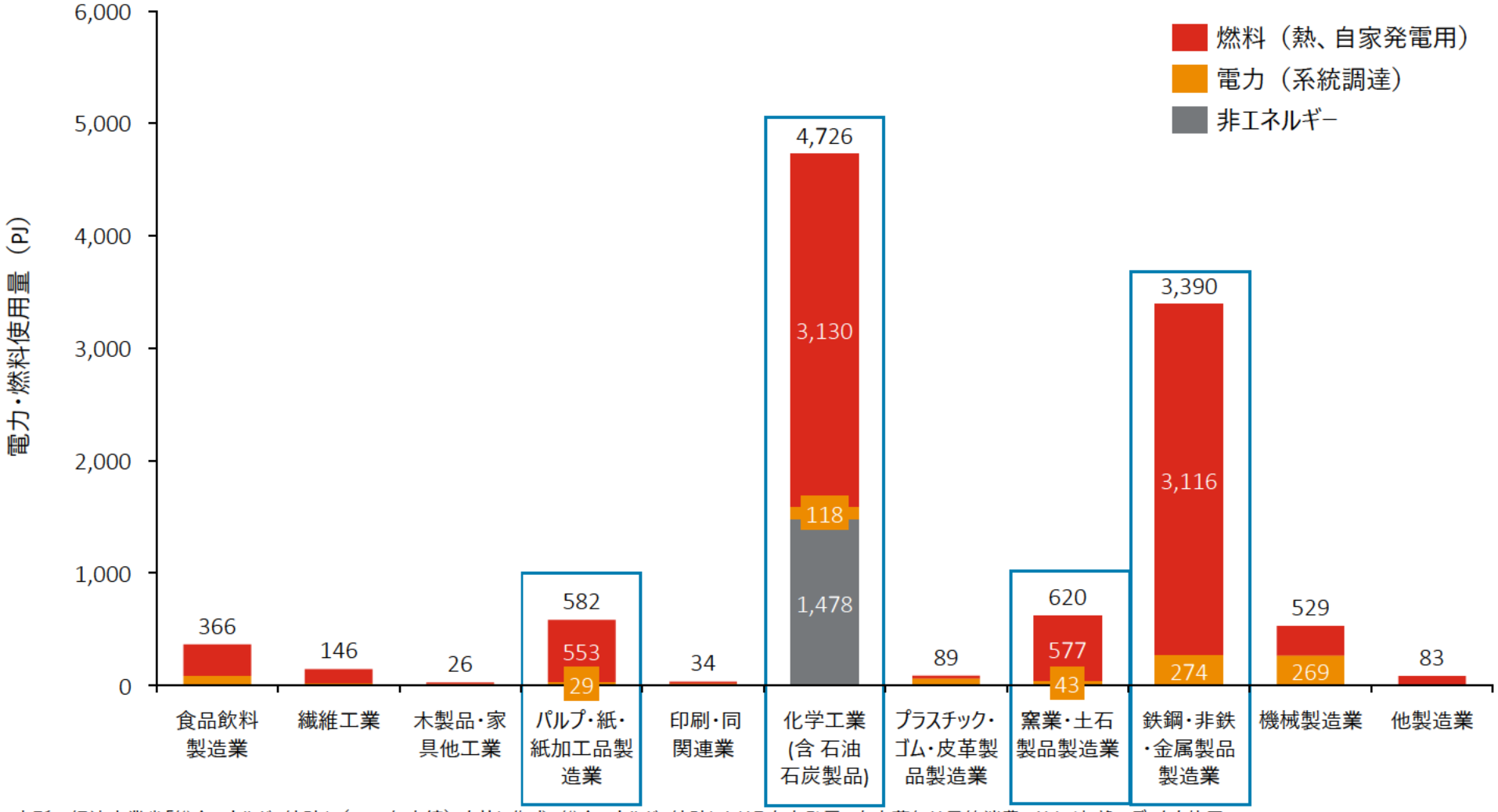
	エネルギー消費実態	エネルギーコスト（円）内訳								＜参考＞エネルギー消費量(PJ)内訳				
		生産額に占めるエネルギーコスト割合	エネルギーコスト内訳											
			化石燃料	電力										
窯業・土石製品製造業	■ 特に熱利用向けに多くの化石燃料を消費 ➢ セメントクリンカ製造における石灰石の焼成 ➢ 板ガラス原料の溶融 等 ■ セメント素材の粉砕等で電力を使用	9.7%	58%	42%						6%	43%	7%	42%	
鉄鋼業	■ 特に熱向けに多くの化石燃料を消費 ➢ コークスの製造 ➢ 銑鉄製造時の高温処理 ■ 電気炉での還元精錬等で電力を使用	7.3%	40%	60%						3%	43%	8%	44%	
パルプ・紙・紙加工品製造業	■ 特に熱・自家発電向けに多くの化石燃料を消費 ➢ 化学パルプ製造に係る木質チップの蒸解 ➢ パルプの脱水・乾燥 等 ■ 廃材等を利用しているため、未利用エネルギーの割合も大きい	6.2%	65%	35%						16%	42%		17%	21%
化学工業	■ 特に熱利用向けに多くの化石燃料を消費 ➢ ナフサ分解炉における熱処理 ➢ 基礎化学品の分留、誘導品への加工 等 ■ 反応時の廃熱を利用しているため、未利用熱の消費割合が高い	4.2%	55%	45%						6%	23%			66%

*電力単価が高いため、エネルギー消費に対して、電力の占める割合が高い

【エネルギーコスト変化によるインパクト_最終消費の実態】

化学工業、鉄鋼・非鉄・金属製品製造業、窯業・土石製品製造業、パルプ・紙・紙加工品製造業の順にエネルギー消費が多い

各業種の電力・燃料使用量と用途別内訳

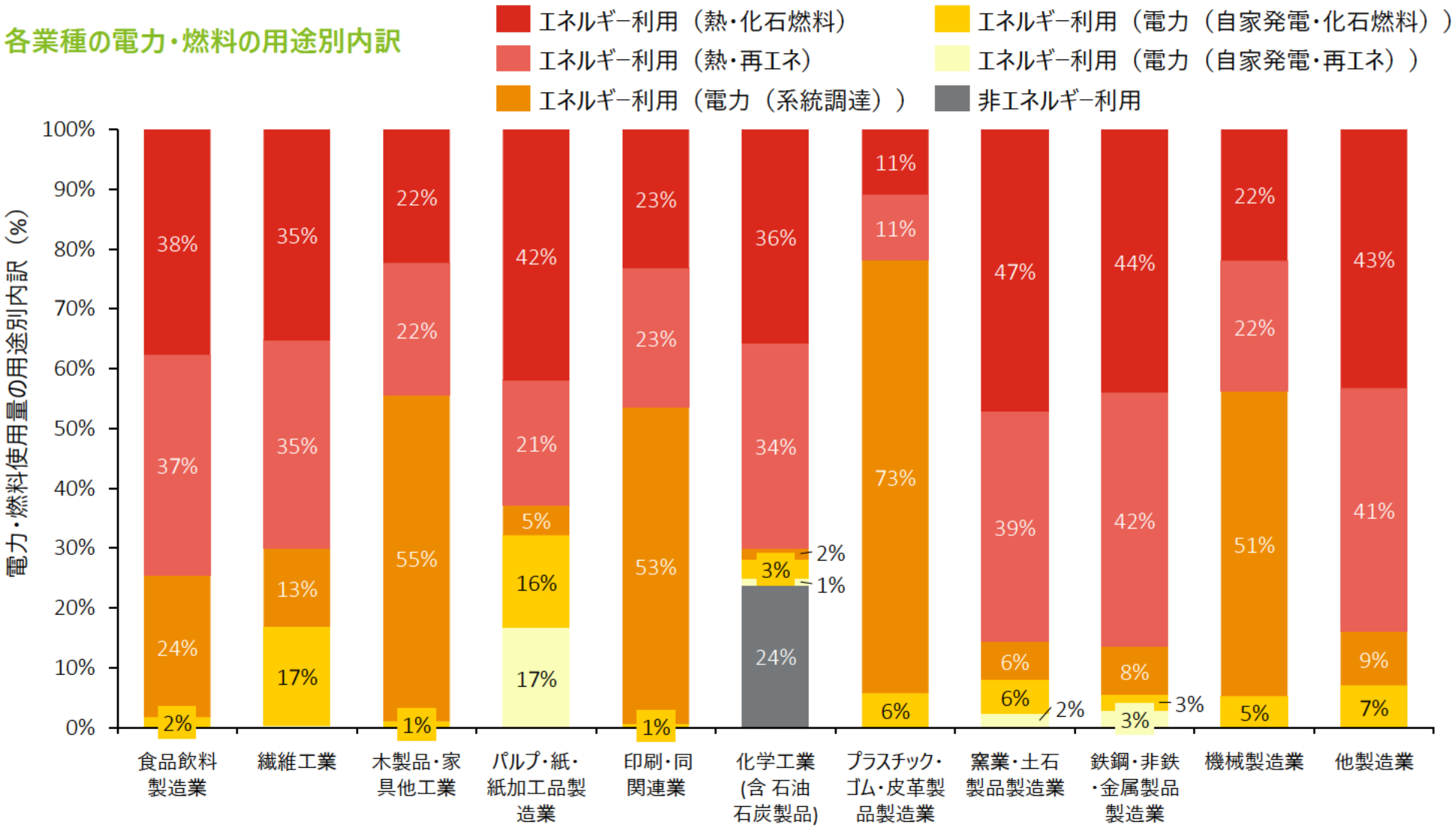


出所：経済産業省「総合エネルギー統計」（2019年実績）を基に作成、総合エネルギー統計における自家発電、自家蒸気は最終消費ではなく転換のデータを使用
注釈：石油精製業等における原油消費、鉄鋼業等におけるコークス製造用の石炭は エネルギー転換部門に計上されるため、上記には含めていない点に留意

【エネルギーコスト変化によるインパクト_最終消費の実態】

パルプや繊維、セメント、鉄鋼等の一部の業種では、自家発電向けの燃料使用量がエネルギー使用量の5%以上を占める

各業種の電力・燃料の用途別内訳

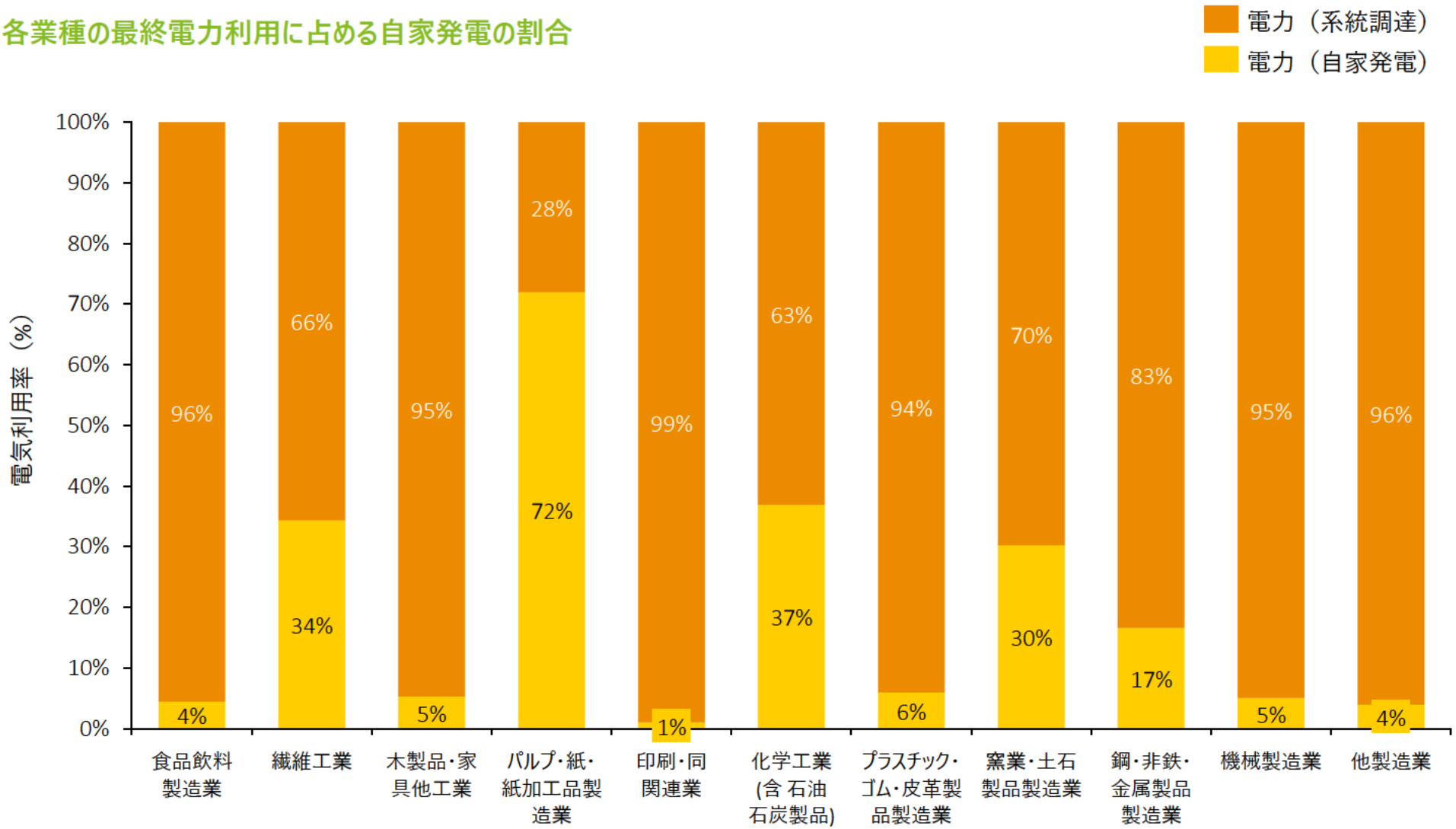


出所：経済産業省「総合エネルギー統計」（2019年実績）を基に作成

【エネルギーコスト変化によるインパクト_最終消費の実態】

一部の業種では、自家発電の脱炭素化に伴い、電力コストが大幅に上昇する可能性

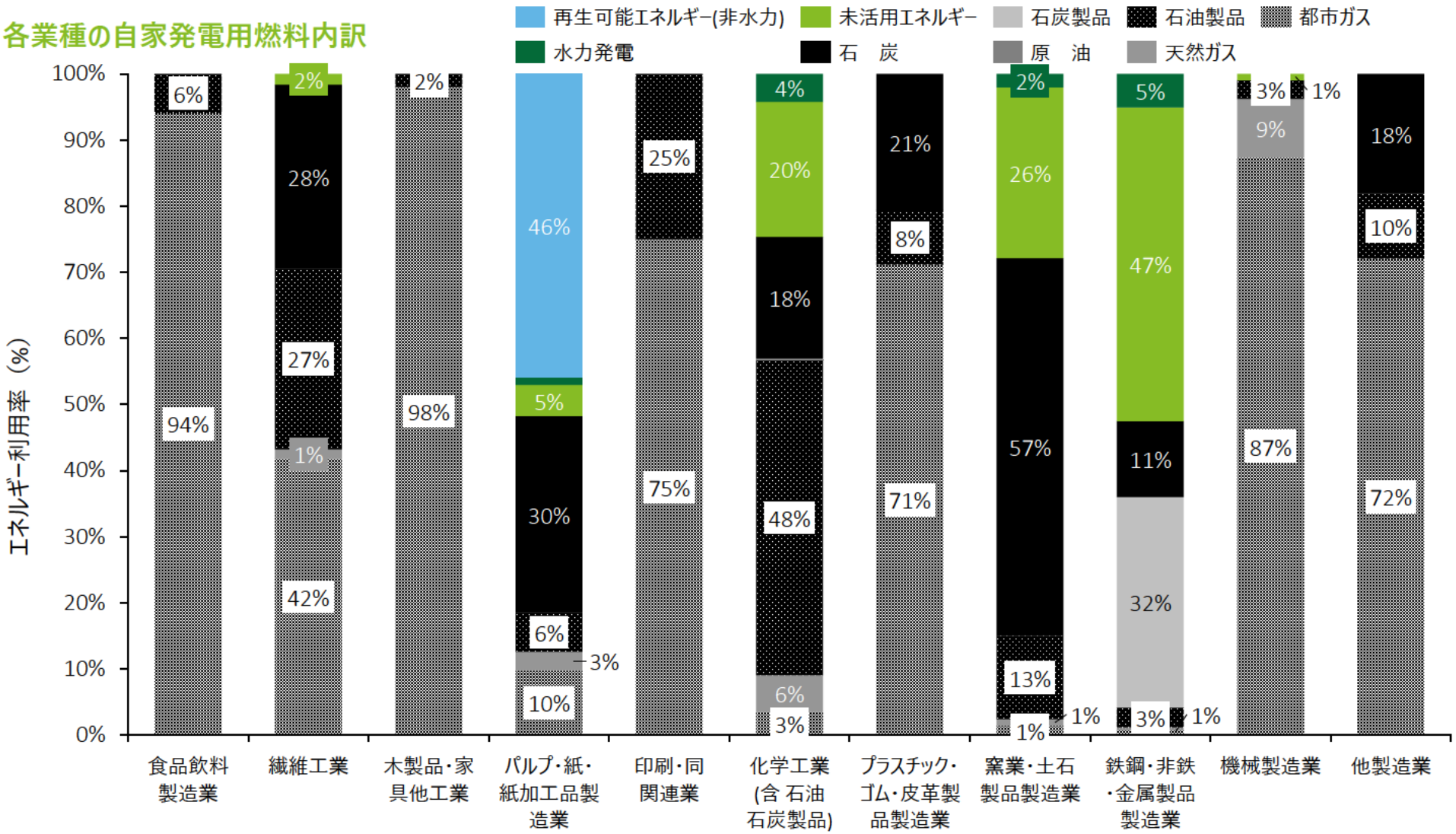
各業種の最終電力利用に占める自家発電の割合



出所：経済産業省「総合エネルギー統計」（2019年実績）を基に作成

【エネルギーコスト変化によるインパクト_最終消費の実態】
石炭等の安価な化石燃料を自家発電に多く活用している可能性が高い

各業種の自家発電用燃料内訳



出所：経済産業省「総合エネルギー統計」（2019年実績）を基に作成

【エネルギーコスト変化によるインパクト_最終消費の実態】

製造品の生産額に占めるエネルギー使用額は工業統計調査と延長産業連関表より推計

エネルギーコストの割合の推計方法について

■ 産業部門におけるエネルギーコストの割合は以下の数式より計算

エネルギーコストの割合　＝　エネルギー使用額　÷　製造品の生産額

エネルギー使用額　＝　各燃料使用額の合計　＋　電力使用額

■ エネルギー使用額と製造品の生産額は工業統計調査及び延長産業連関表より入手する

- データが2種類、推計結果も2種類となる

■ 両統計による分析結果が異なりえる要因は以下のとおり：

- **「最新データの対象年次」**の不整合：工業統計調査の結果は延長産業連関表より早く公表される
- **「部門分類と粒度」**の不整合
- 「集計単位」の不整合
- 「分子」におけるの計上要素の不整合（生産者価格≠購入者価格、原料系の計上の有無）
- **「分母」**の不整合（生産額は両統計にあるが、製造品出荷額等は工業統計調査にしかない）

■ 両統計比較のため、整合性が取れる項目**「対象年次」**、**「部門分類と粒度」**、**「分母」**を整合させた比較グラフを作成した。その上、各統計の特性を生かしたグラフをいくつか整理した。

■ 一方、「集計単位」と「分子」は統計の性質上、整合性が取れないため、統計の違いを念頭に置きながら推計結果を見ることが重要。

【エネルギーコスト変化によるインパクト_最終消費の実態】

製造品の生産額に占めるエネルギー使用額は工業統計調査と延長産業連関表より推計

工業統計調査と産業連関表の違いについて（基本事項）

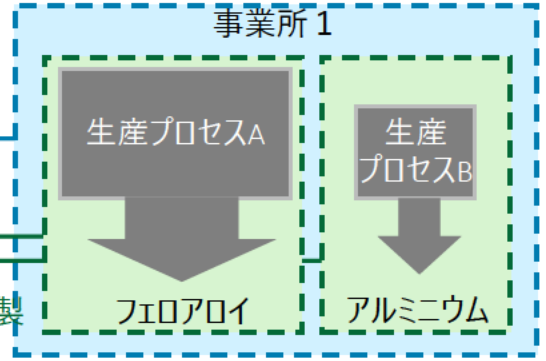
	工業統計調査	延長産業連関表	エネルギーコストの割合への影響
精度	工業統計調査は**調査統計、さらに全数調査**（2020年に192,047事業所、回収率95.1%）	産業連関表（基本表）と延長産業連関表は**加工統計**。また、延長産業連関表は基本表と異なり、**投入調査などの特別調査を行わないため、正確な産業構造等の把握が困難**。また、**バランス調整は一部簡易的に（機械的に）実施**している。	延長産業連関表は**精度面で少し劣っている可能性**
対象事業所	**燃料使用額と電力使用額の設問は従業者30名以上の事業所のみが回答する。**従業者29名未満の事業者はエネルギーコストの集計に含まれていない。	延長産業連関表は**すべての規模の事業所を対象としている。**	工業統計調査におけるエネルギーコスト割合は**小規模事業所の実態を反映していない**。
対象年次	**最新は2019年のデータ**	**最新は2018年のデータ**	**年によってはエネルギーコストが多少変動する可能性**（景気と需給状況、産業構造の変化、省エネの進歩など）

【エネルギーコスト変化によるインパクト_最終消費の実態】

製造品の生産額に占めるエネルギー使用額は工業統計調査と延長産業連関表より推計

工業統計調査と産業連関表の違いについて（分類）

	工業統計調査	延長産業連関表	エネルギーコストの割合への影響
部門分類・粒度	工業統計調査は以下の部門で構成 産業細分類：537分類 産業小分類：152分類 産業中分類：24分類	延長産業連関表は以下の部門で構成 基本分類：506×386、内産業部門228分類 統合中分類：96×96、内産業部門52分類 統合大分類：52×52、内産業部門26分類	各統計の部門分類が異なるため、部門の範囲と粒度が異なる。例えば工業統計調査では「化学工業」部門が、延長産業連関表では「化学基礎製品」・「化学最終製品」とに分かれている。**粒度が細かい場合は高エネルギ消費プロセス・業種が目立ち、粒度が粗い場合はエネルギーコストが均等化されてしまうため、両統計の部門分類を整合させない限り、分析結果の厳密な比較は困難である。**
集計単位	工業統計調査では「事業所」を単位として部門に分類している。同一事業所内で二つ以上の活動が行われている場合は、その主たる活動によって分類される。例えばエネルギー消費量が異なる様々な活動が同じ事業所に含まれる（事務所のエネルギー消費など）。 工業統計調査上の集計 細分類：１）フェロアロイ製造業 小分類：１）製鉄業 中分類：１）鉄鋼業	産業連関表では部門分類は「生産活動単位」（≒商品ごととプロセスごと）によって分類されている。 延長産業連関表上の集計 基本分類：A）フェロアロイ、B）アルミニウム 小分類：　A）銑鉄・粗鋼、B）非鉄金属製錬・精製 中分類：　A）鉄鋼、　B）非鉄金属	大・中分類で見た場合は工業統計調査と延長産業連関表におけるエネルギーコストは同水準になるが、**細分類・基本分類を比較した場合、各事業所の特性によっては統計間の差が大きくなる可能性。**

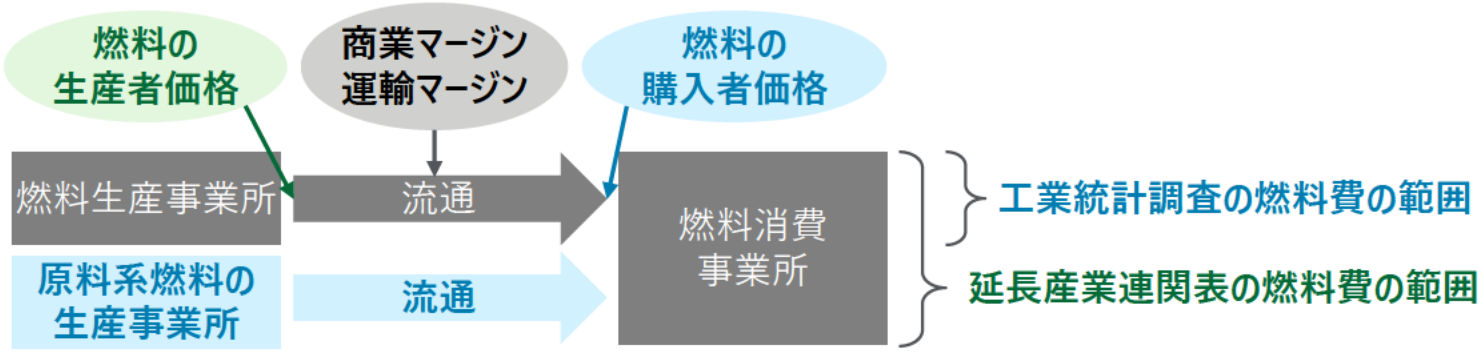


【エネルギーコスト変化によるインパクト_最終消費の実態】

製造品の生産額に占めるエネルギー使用額は工業統計調査と延長産業連関表より推計

工業統計調査と産業連関表の違いについて（計上範囲：分子）

	工業統計調査	延長産業連関表	エネルギーコストの割合への影響
分子（エネルギー料金）	エネルギー料金は購入者価格となっている。商業マージンと運輸マージンを含めている（購入者価格＝生産者価格＋商業マージン＋運輸マージン）	エネルギー料金を含む延長産業連関表はすべて生産者価格となっている。商業マージンと運輸マージンを含めていない（購入者価格＝生産者価格＋商業マージン＋運輸マージン）	工業統計調査におけるエネルギーコストは少し大きくなる傾向
	工業統計調査では原材料として使用した石炭（原料炭等）、石油（ナフサ等）などは「原材料使用額」に含まれており、「燃料使用額」と「電力使用額」には含まれていないため、エネルギーコストとして把握できない。	産業連関表には原料としての燃料利用が含まれている	燃料の種類の使用量について、延長産業連関表のほうが網羅性がある。そのため、原料として燃料を使用する化学工業、石油・石炭製品製造業などは延長産業連関表におけるエネルギーコスト割合が高い。

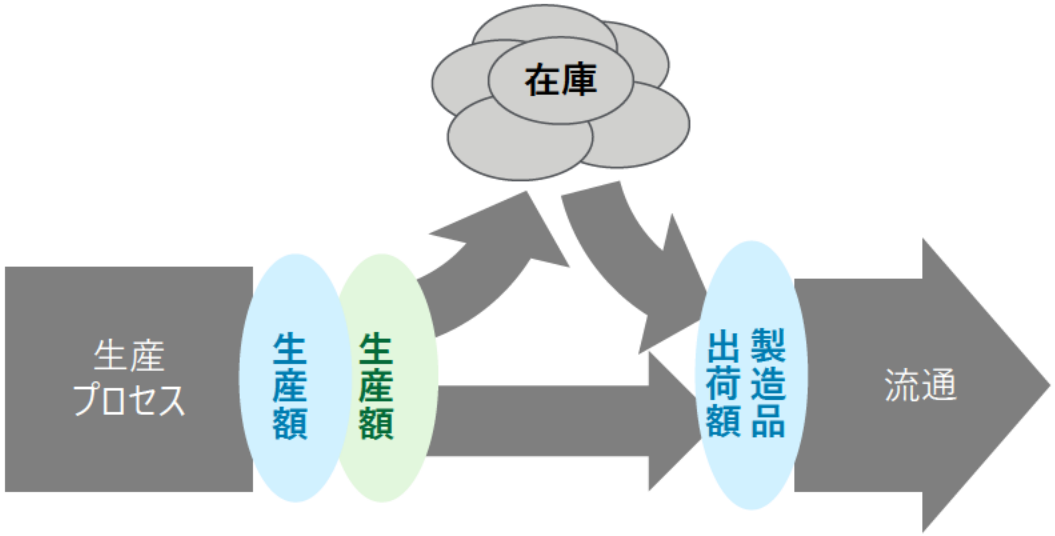


【エネルギーコスト変化によるインパクト_最終消費の実態】

製造品の生産額に占めるエネルギー使用額は工業統計調査と延長産業連関表より推計

工業統計調査と産業連関表の違いについて（計上範囲：分母）

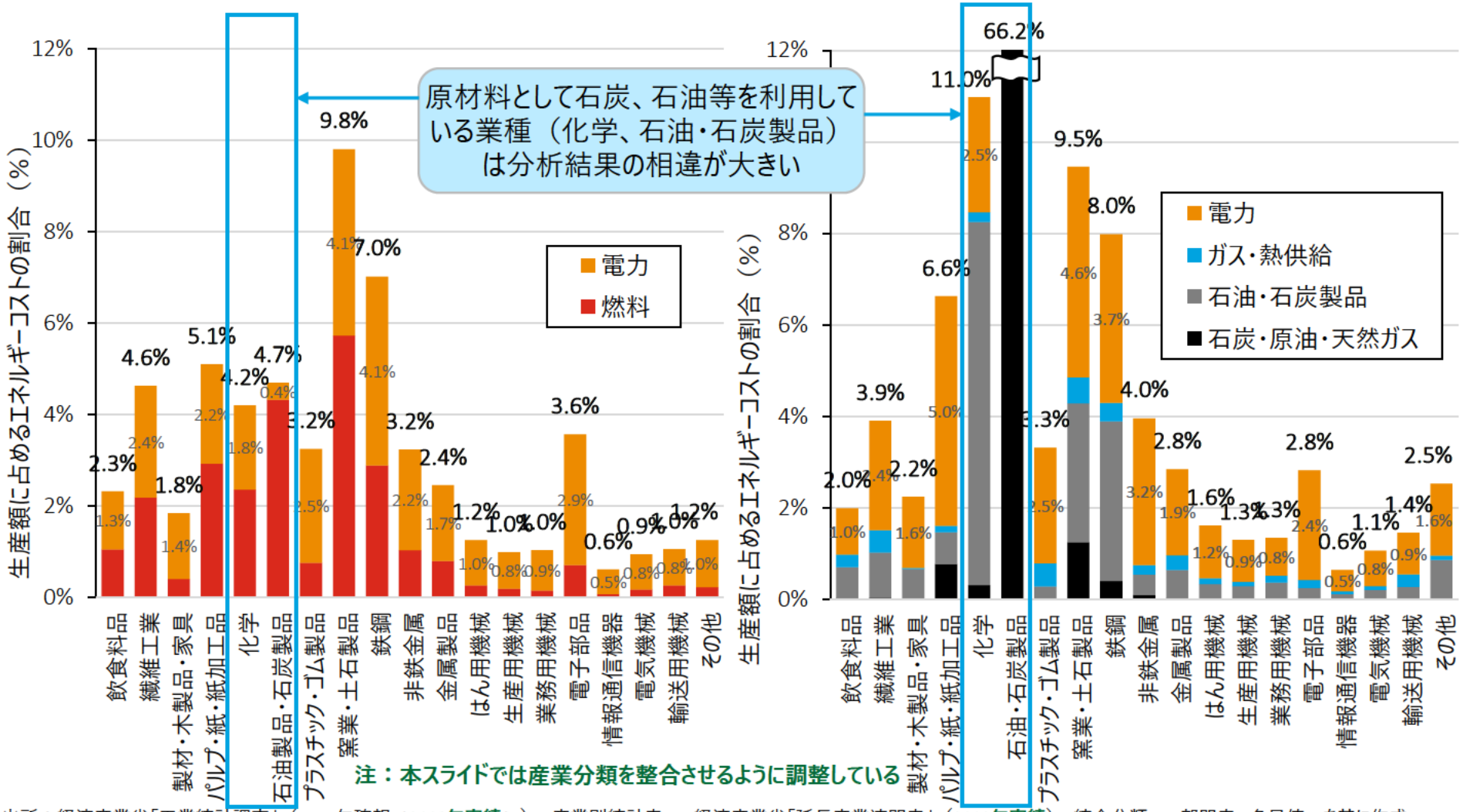
	工業統計調査	延長産業連関表
分母（売上）	**工業統計調査の分母は「製造品出荷額等」又は「生産額」** 製造品の出荷とは、その事業所の所有に属する原材料によって製造されたものを、1年間のうちにその事業所から出荷した場合をいう。生産後、在庫に入る製造品は出荷額に含まれない。	**産業連関表の分母は「生産額」** 生産額は在庫額の変動分を計上している。在庫が増加した場合、生産額も増加する。（生産額＝製造品出荷額等＋（製造品年末在庫額－製造品年初在庫額）＋（半製品及び仕掛品年末在庫額－半製品及び仕掛品年初在庫額）） **エネルギーコストの割合への影響** 景気が大きく変わった年は在庫の変動により「製造品出荷額等」と「生産額」による分析結果が異なる可能性がある。**ここでは、分母を「生産額」に統一する。**



【エネルギーコスト変化によるインパクト_最終消費の実態】

製造品の生産額に占めるエネルギー使用額は工業統計調査と延長産業連関表より推計

工業統計調査（左）と延長産業連関表（右）に基づくエネルギーコストの割合の計算結果の比較



注：本スライドでは産業分類を整合させるように調整している

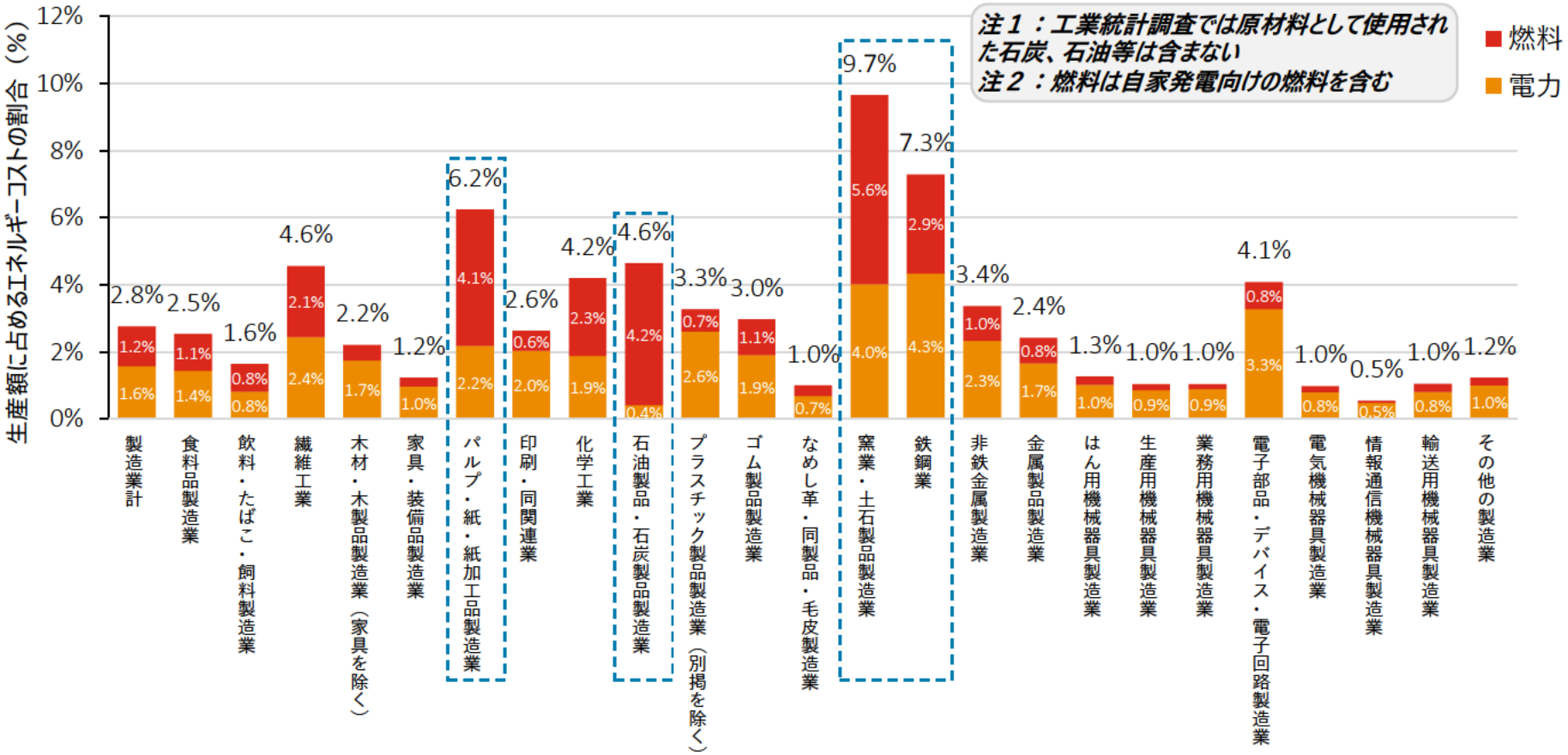
出所：経済産業省「工業統計調査」（2019年確報＜2018年実績＞）- 産業別統計表、　経済産業省「延長産業連関表」（2018年実績）- 統合分類 - 52部門表 - 名目値　を基に作成

本スライドでは統計時期を整合させるよう、1年前の工業統計を利用（2018年実績）

【エネルギーコスト変化によるインパクト_最終消費の実態】

工業統計調査によると窯業・土石製品製造業、鉄鋼業、パルプ・紙加工品製造業、石油製品・石炭製品製造業の順に製造に占めるエネルギーコストの割合が高い

各業種の生産額に占めるエネルギーコストの割合（工業統計調査、2019年値、産業中分類、従業者30人以上の事業所に限る）



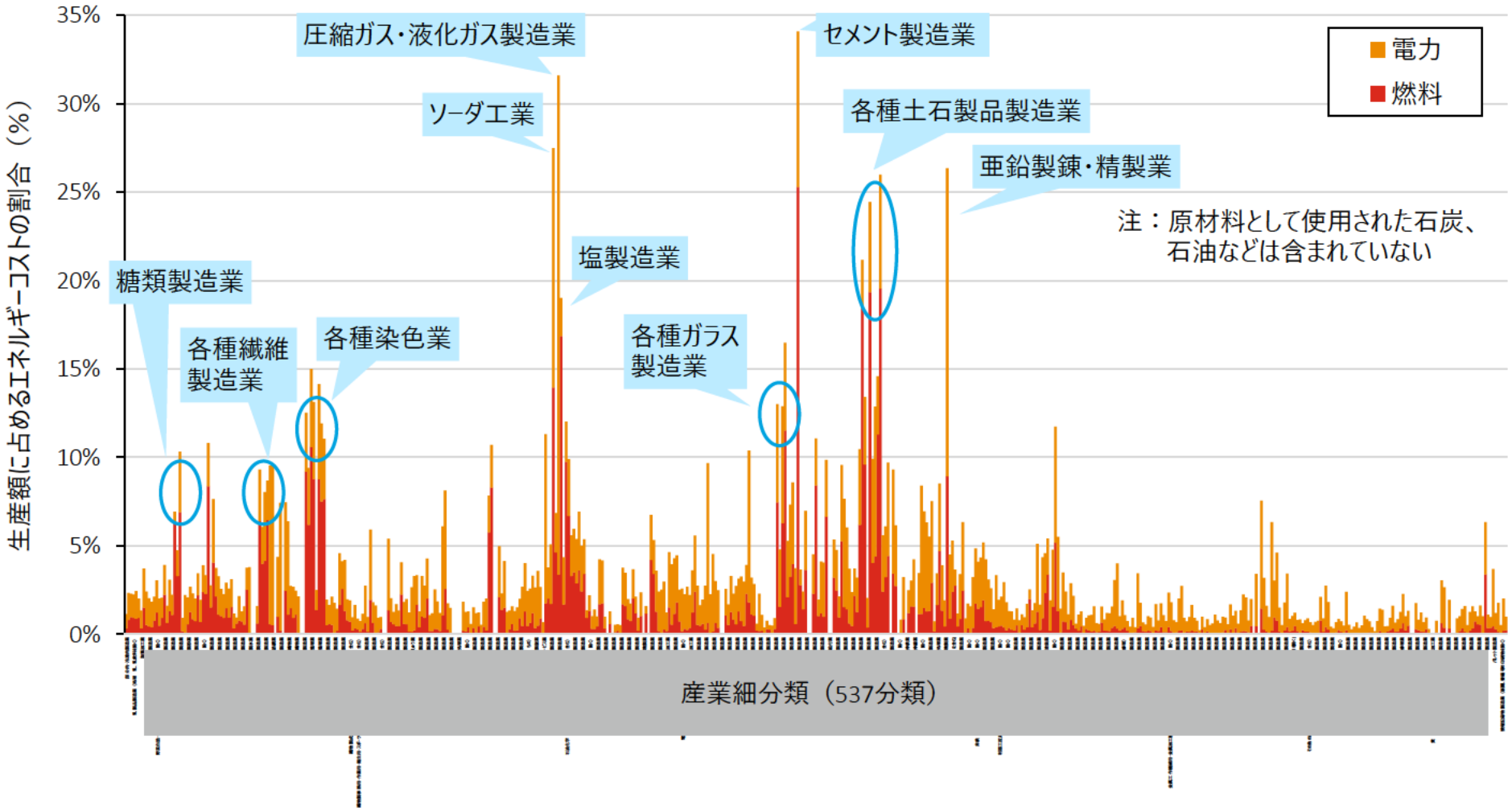
業種区分（前項）	—	食品飲料製造業	繊維工業	木製品・家具他工業	パルプ・紙・紙加工品製造業	印刷・同関連業	化学工業（含石油石炭製品）	プラスチック・ゴム・皮革製品製造業	窯業・土石製品製造業	鉄鋼・非鉄・金属製品製造業	機械製造業	他製造業

出所：経済産業省「工業統計調査」（2020年確報＜2019年実績＞）－産業別統計表
備考：原材料使用額の内訳として公表されている燃料使用額及び購入電力使用額を生産額で除した割合を、それぞれ燃料及び電力の生産額に占めるエネルギーコストとみなしている

【エネルギーコスト変化によるインパクト_最終消費の実態】

さらに産業細分類別にみると、エネルギーコストの割合が生産額の～34%までを占める個別業種を特定できる

各業種の生産額に占めるエネルギーコストの割合（工業統計調査、2019年値、産業細分類、従業者30人以上の事業所に限る）

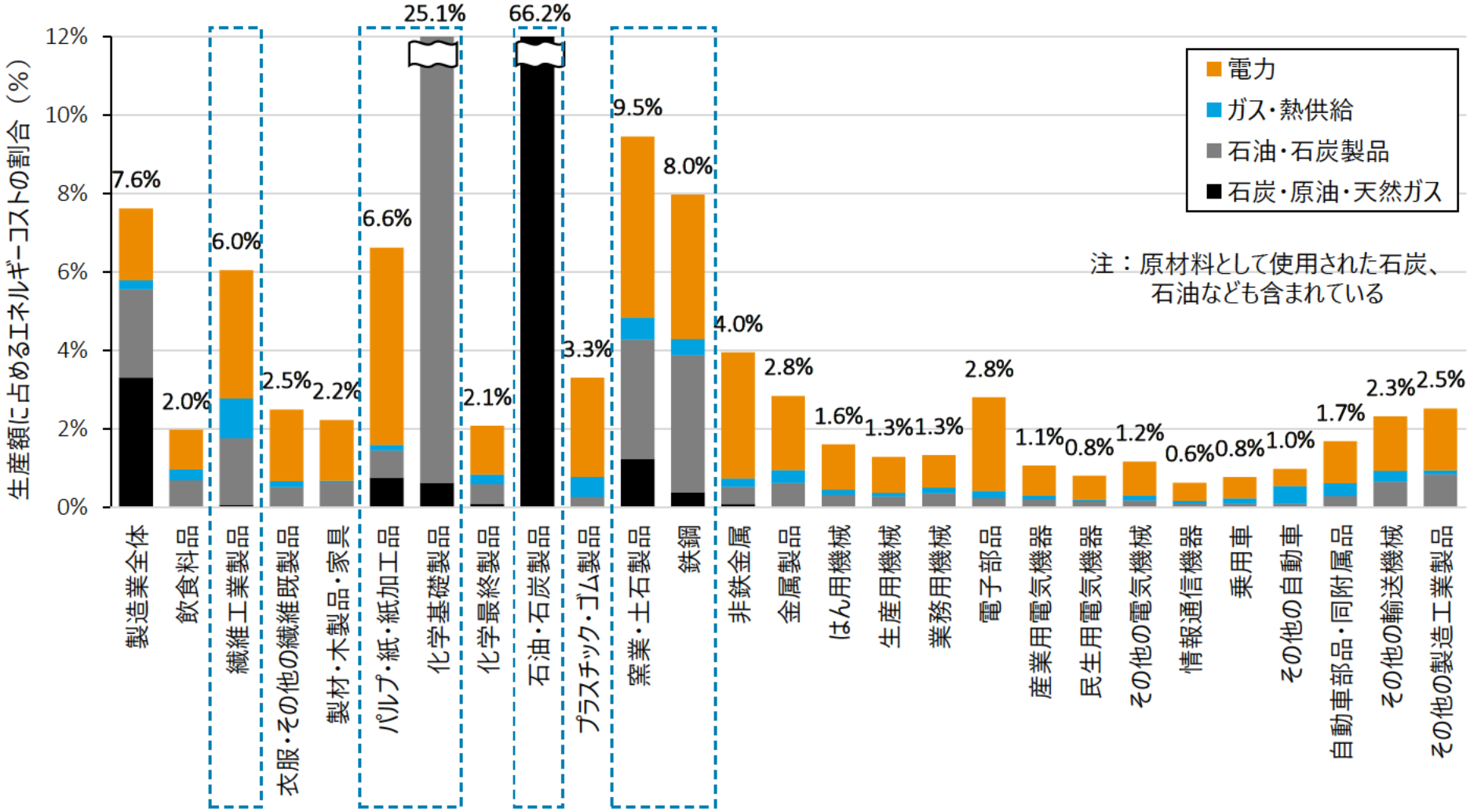


出所：経済産業省「工業統計調査」（2020年確報＜2019年実績＞）- 産業別統計表
備考：原材料使用額の内訳として公表されている燃料使用額及び購入電力使用額を生産額で除した割合を、それぞれ燃料及び電力の生産額に占めるエネルギーコストとみなしている

【エネルギーコスト変化によるインパクト_最終消費の実態】

延長産業連関表によると、石油・石炭製品、化学基礎製品、窯業・土石製品、鉄鋼、パルプ・紙、繊維工業関連業種は製造に占めるエネルギーコストの割合が全体的に高い

各業種の生産額に占めるエネルギーコストの割合（延長産業連関表、2018年値、統合大分類）

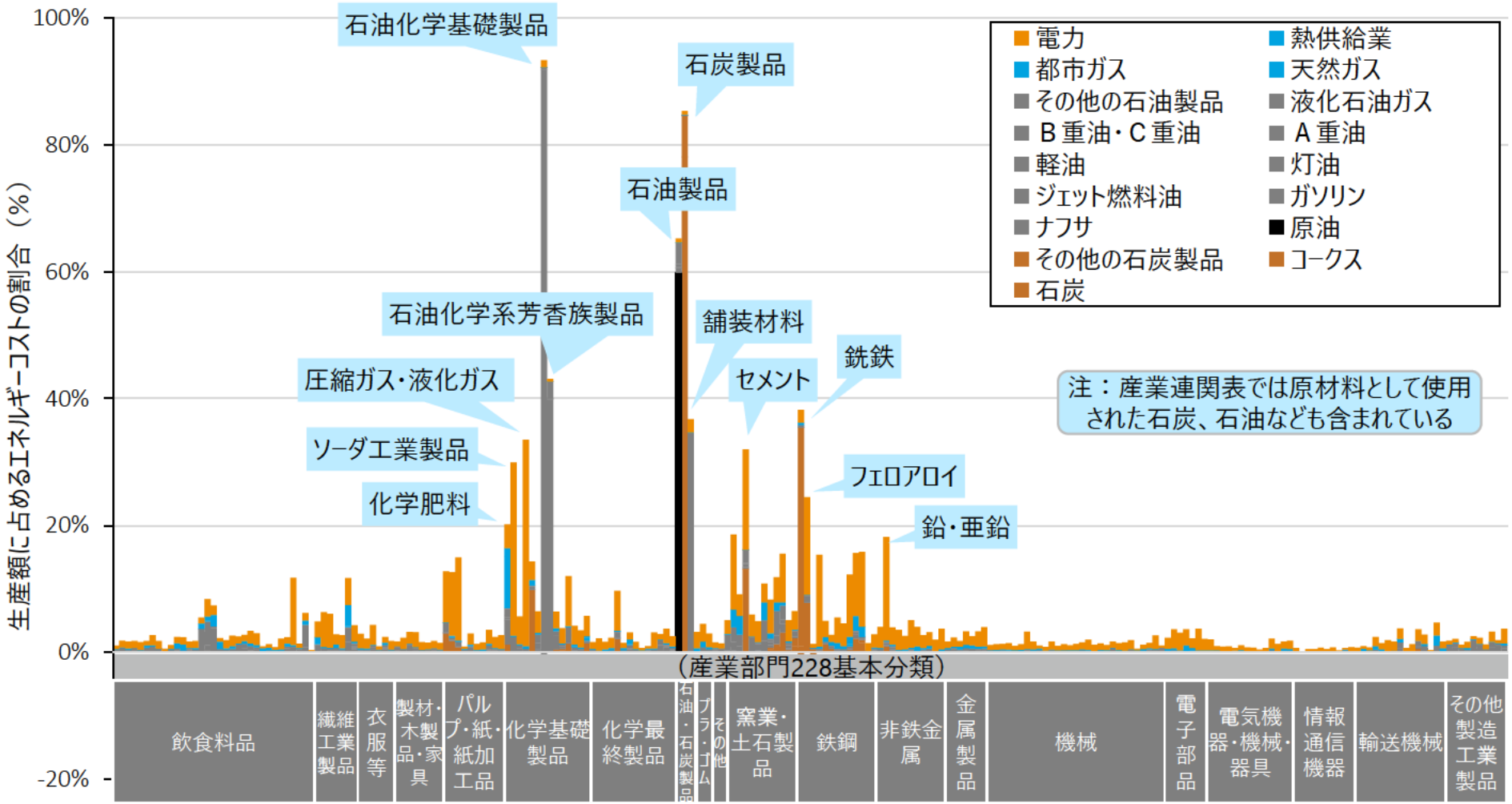


出所：経済産業省「延長産業連関表」（2018年実績）- 統合分類 - 52部門表 - 名目値　を基に作成

【エネルギーコスト変化によるインパクト_最終消費の実態】

燃料を原料として使用する業種は燃料コストの割合が特に高く、最大で9割程度を占める

各業種の生産額に占めるエネルギー価格の割合（延長産業連関表、2018年値、基本分類）

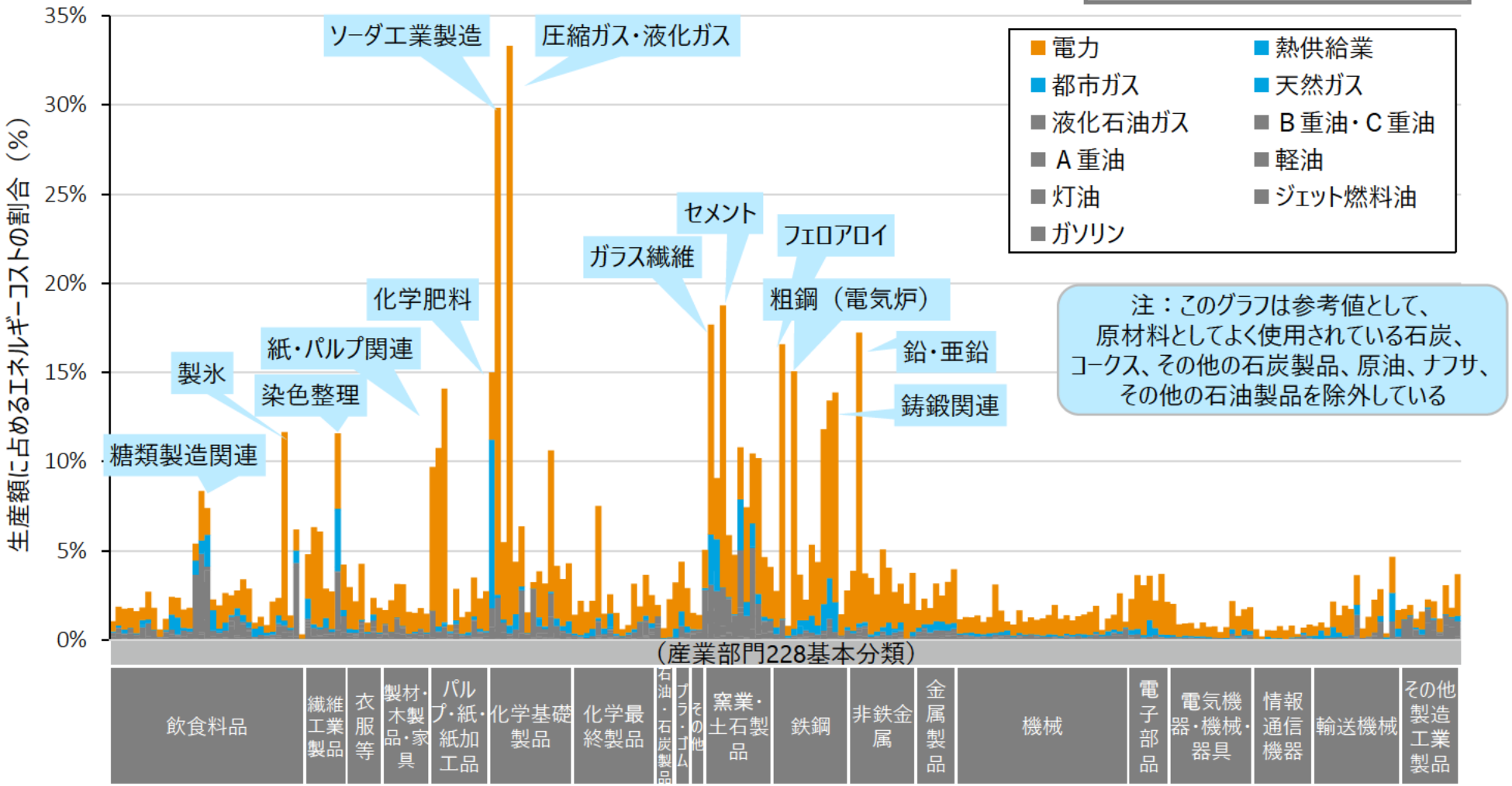


出所：経済産業省「延長産業連関表」（2018年実績）-基本分類（名目値）-取引額表　を基に作成

【エネルギーコスト変化によるインパクト_最終消費の実態】
原料の使用額を除いても、エネルギー価格の割合が最大で生産額の33%を占める

各業種の生産額に占めるエネルギー価格の割合（延長産業連関表、2018年値、基本分類）

原料用燃料消費量を簡易的に除外



出所：経済産業省「延長産業連関表」（2018年実績）-基本分類（名目値）-取引額表　を基に作成

1. エネルギーコストの分析
   - 現状
   - 将来予測
2. エネルギーコスト変化によるインパクト
   - 最終消費の実態
   - 製品価格へのインパクト
   - 諸外国におけるエネルギーコスト変化のインパクト

【エネルギーコスト変化によるインパクト_製品価格へのインパクト】

製造品出荷額等に基づき代表製品を選定し、エネルギーコスト変化によるインパクトを簡易的に評価した

代表製品の選定方法と選定結果

代表製品の選定方法
電力・燃料使用量が特に多い４産業大分類において、製造品出荷額等で主要な製品を選定

産業中分類	産業小分類	産業細分類	代表製品
窯業・土石製品製造業	セメント・同製品製造業	セメント製造業	セメント（詳細後述）
製造品出荷額等7.7兆円	製造品出荷額等3.0兆円	製造品出荷額等5,137億円	
鉄鋼業	製鉄業	高炉による製鉄業	粗鋼（詳細後述）
製造品出荷額等17.7兆円	製造品出荷額等6.2兆円	製造品出荷額等6.0兆円	
パルプ・紙・紙加工品製造業	紙製造業	洋紙・機械すき和紙製造業	紙・板紙（詳細後述）
製造品出荷額等7.7兆円	製造品出荷額等2.7兆円	製造品出荷額等1.8兆円	
化学工業	有機化学工業製品製造業	石油化学系基礎製品製造業	石油化学基礎製品（詳細後述）
製造品出荷額等29.2兆円	製造品出荷額等10.2兆円	製造品出荷額等2.0兆円	

出所：経済産業省「工業統計調査」（2020年確報、2019年実績）、経済産業省「延長産業連関表」（2018年実績）を基に作成

【エネルギーコスト変化によるインパクト_製品価格へのインパクト】

産業部門の脱炭素化における、業種と製品への影響度を試算

エネルギーコスト上昇のインパクトに係る試算の前提条件

本検討では電力料金・燃料費の上昇のみを試算。ボイラー等のエネルギー利用機器、蓄電池や水素貯蔵設備等の周辺設備の固定費は対象外

目的

■ 脱炭素化の推進による製品製造コストへの**エネルギー価格の影響を定量化**

分析手法

■ 脱炭素化に係る手段は複数考えられるため、**本検討では2030年頃を想定し簡易的に計算**

- ➢ シナリオ①（系統の環境負荷低減）　：電力系統の**環境負荷低減に伴い電力料金が変化**
- ➢ シナリオ②（自家発電の環境負荷低減）：化石燃料由来の自家発電を実現可能な範囲で**太陽光発電**等に転換
- ➢ シナリオ③（熱利用等の環境負荷低減）：実現可能な範囲で**クリーンエネルギーを製品別に投入**（詳細は下記参照）

（2030年頃までの大きな変化は見られない可能性は大きいが参考値として試算）

	想定シナリオ	代替エネルギーと想定価格	シナリオ・価格等の出所
シナリオ①	■ 再エネの導入費用、再エネの導入に必要な蓄電池や系統増強等の対策費用や火力発電の利用率低下に伴い、**電力料金が上昇すると仮定**	**系統単価：現状＋7%**	■ 現状価格は、新電力ネットの電気料金単価から設定 ■ 将来価格は国際エネルギー機関(IEA) World Energy Outlookにおける予測を参考に設定
シナリオ②	■ シナリオ①に加え、石炭や石油、天然ガス等の化石燃料を利用する自家発電機を**オンサイト太陽光発電やオフサイトPPA、一部系統を使用すると仮定** ■ 既存の自家発電機の減価償却後を想定	**オンサイト太陽光発電単価：11.2円/kWhと系統単価(現状＋7%)との中央値** 蓄電池等の周辺設備の固定費は未考慮	■ 発電コスト検証ワーキンググループ報告書（令和3年9月）資料1における2030年の事業用太陽光発電コストを参考に設定
シナリオ③	■ シナリオ①②に加え、石炭や石油、天然ガス等の化石燃料を利用するボイラー、工業炉等の燃料が**全て水素に転換すると仮定。ただし、廃熱については現状から変化なしと仮定。** ➢ セメント、紙・板紙：**熱利用**において化石燃料から水素に転換されると想定 ➢ 粗鋼：**還元用及び熱利用**の石炭が水素に転換されると想定 ➢ 石油化学基礎製品：熱利用において化石燃料から水素に転換されると想定（**原料としてのナフサ使用分は未考慮**） ■ 既存の自家蒸気設備の減価償却後を想定	**水素単価：34.8円/Nm3** ※水素受入・貯蔵設備等の周辺設備の固定費は未考慮	■ 令和3年6月 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 における2030年の水素供給価格目標（CIF価格） ■ 令和3年5月神戸・関西圏水素利活用協議会 協議会レポート における揚荷単価（約3円）とパイプライン輸送単価（約1.8円）

【エネルギーコスト変化によるインパクト_製品価格へのインパクト】
エネルギーコスト上昇は製品製造コスト上昇に大きな影響を及ぼす

製品別のエネルギーコスト変化によるインパクト

	サマリー	製品製造における エネルギーコストの上昇率	エネルギーコスト上昇に伴う 製品製造コストの上昇率 （営業利益、販管費等のエネルギーコスト以外の項目は据え置きと想定）	参考指標 製品価格変化* 現状の利益率*
セメント	■ エネルギーコスト上昇により製品価格は約90%上昇する見込み ■ 製品製造コスト上昇率は製品価格変化、利益率を大きく上回る	+287% 100 102 119 387	エネルギーコスト その他費用 +89% 100 101 106 189	±20% 6%
粗鋼	■ エネルギーコスト上昇により製品価格は約33%上昇する見込み ■ 製品製造コスト上昇率は利益率を上回る	+143% 100 101 101 243	+33% 100 100 100 133	±190% 2%
紙・板紙	■ エネルギーコスト上昇により製品価格は約9%上昇する見込み ■ 製品製造コスト上昇率は利益率を大きく上回る	+121% 100 102 121 221	+9% 100 100 102 109	±20% 3%
石油化学基礎製品	■ 原料利用中心のためエネルギーコスト上昇による製品価格上昇幅は約1% ➢ 水素とCO2から原料を製造する場合、約2倍製品製造コストが上昇* ■ 製品製造コスト上昇率は製品価格変化の範囲内かつ利益率を下回る	+43% 100 105 107 143	+1% 100 100 100 101	±130% 9%

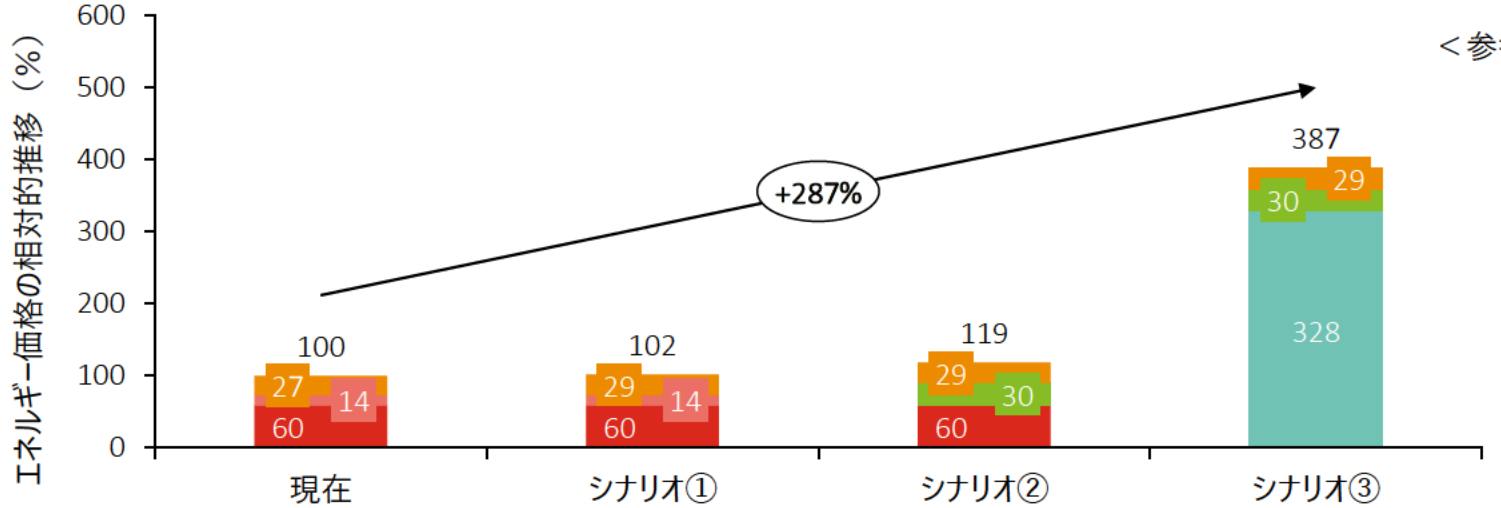
現在　シナリオ① シナリオ② シナリオ③　　現在　シナリオ① シナリオ② シナリオ③

*第25回 水素・燃料電池戦略協議会（2021/3/22）における必要水素量、「CO2の分離回収等技術開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画（案）の2030年目標値（2,000円台/tCO2）を基に推計
*製品価格の変化は2000年～2019年を対象、利益率は業種毎のデータを使用

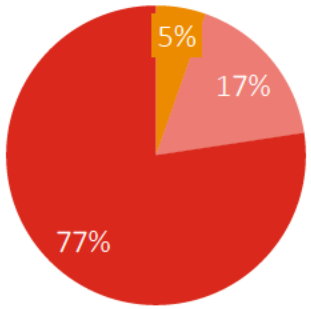
【エネルギーコスト変化によるインパクト_製品価格へのインパクト】

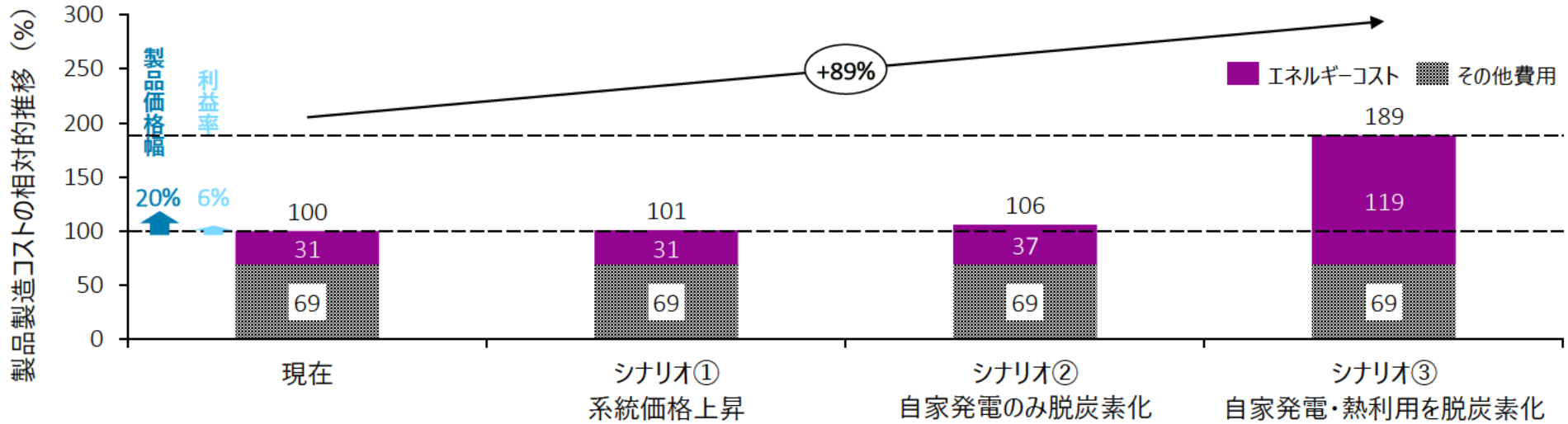
セメント製造では、エネルギー価格が最大で約290%上昇し製品製造コストは現在の約2倍になることが見込まれる

セメントのシナリオ別エネルギー価格



＜参考＞現状のエネルギー使用量内訳



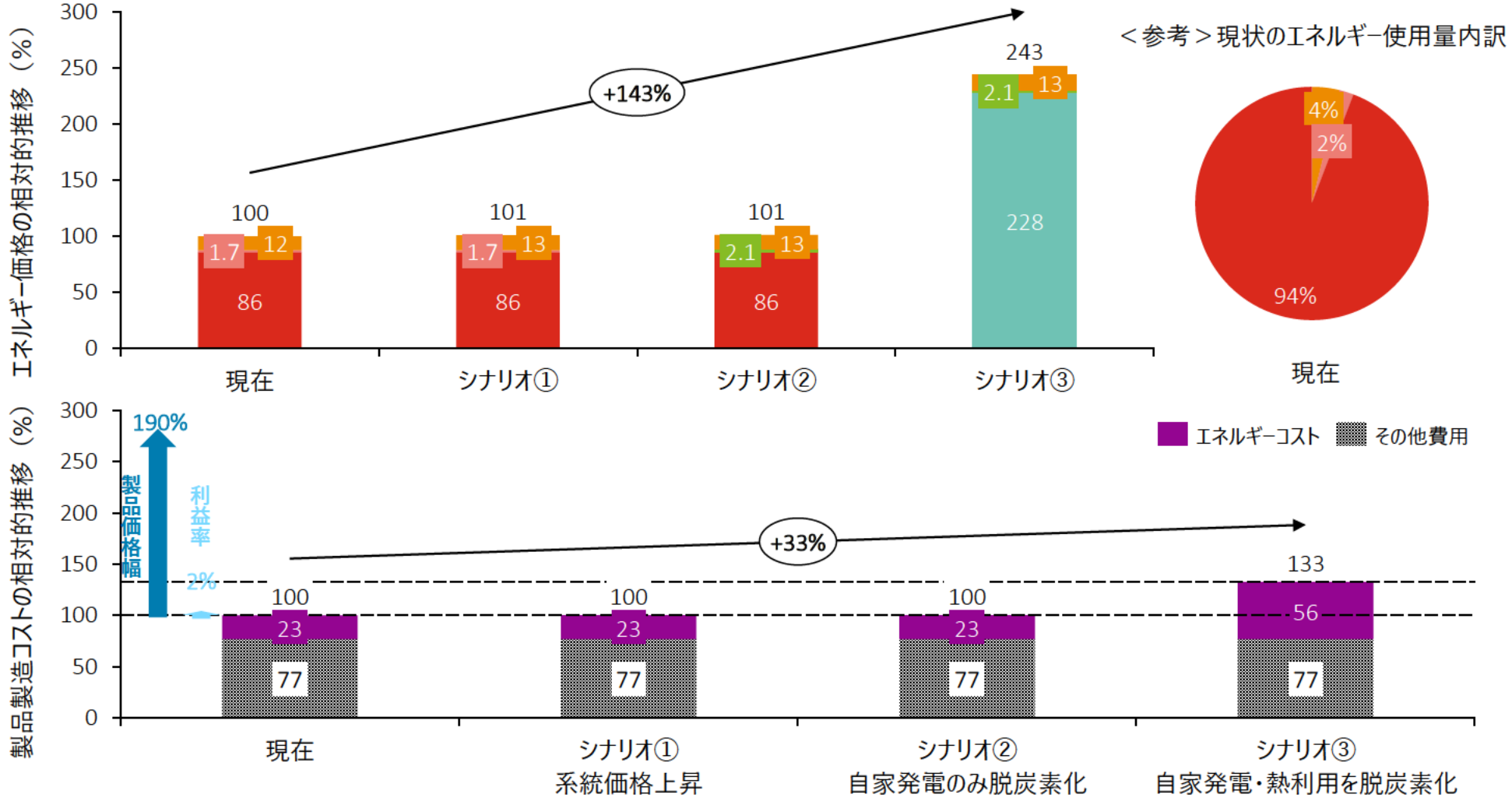


出所：経済産業省「総合エネルギー統計」（2019年実績）、経済産業省「延長産業連関表」統合分類 - 52部門表 - 名目値　（「セメント」のデータを利用）、新電力ネット「全国の電気料金単価」を基に作成

【エネルギーコスト変化によるインパクト_製品価格へのインパクト】

粗鋼製造では、エネルギー価格が最大で約140％上昇し製品製造コストは33％増加することが見込まれる

粗鋼のシナリオ別エネルギー価格

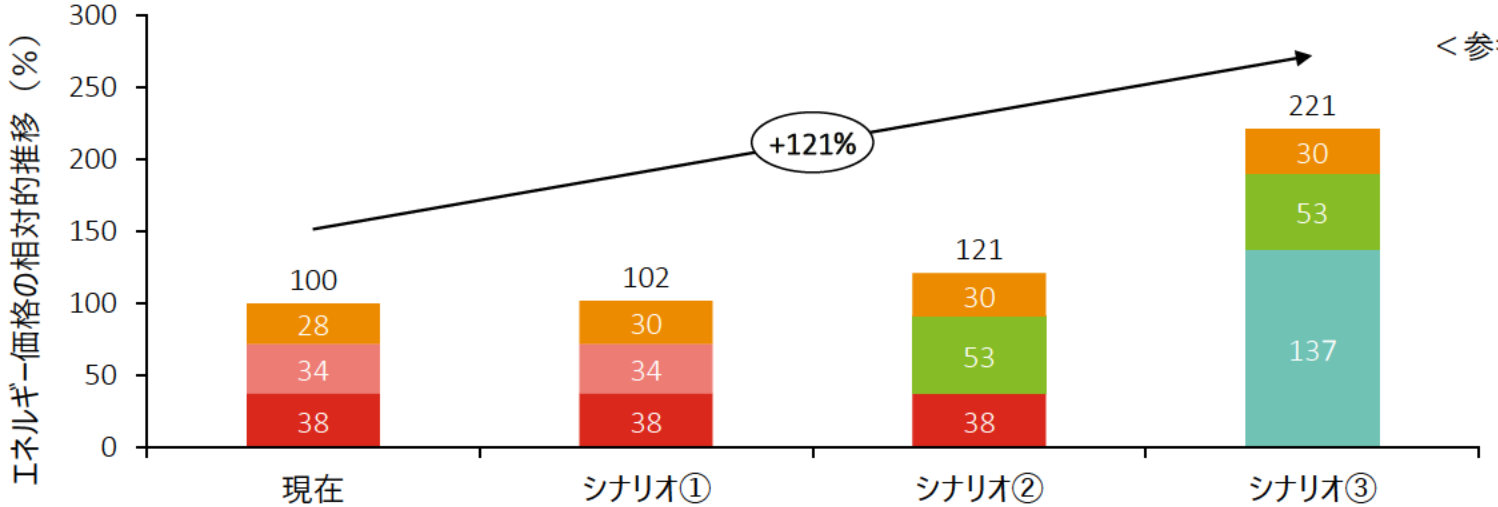


出所：経済産業省「総合エネルギー統計」（2019年実績）、経済産業省「延長産業連関表」統合分類 - 52部門表 - 名目値　（「高炉製銑、粗鋼（転炉）、粗鋼（電気炉）」のデータを利用）、新電力ネット「全国の電気料金単価」を基に作成

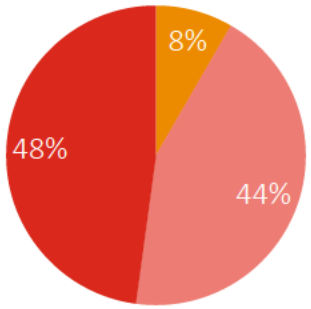
【エネルギーコスト変化によるインパクト_製品価格へのインパクト】

紙・板紙製造では、エネルギー価格が最大で約120%上昇し製品製造コストは9%増加することが見込まれる

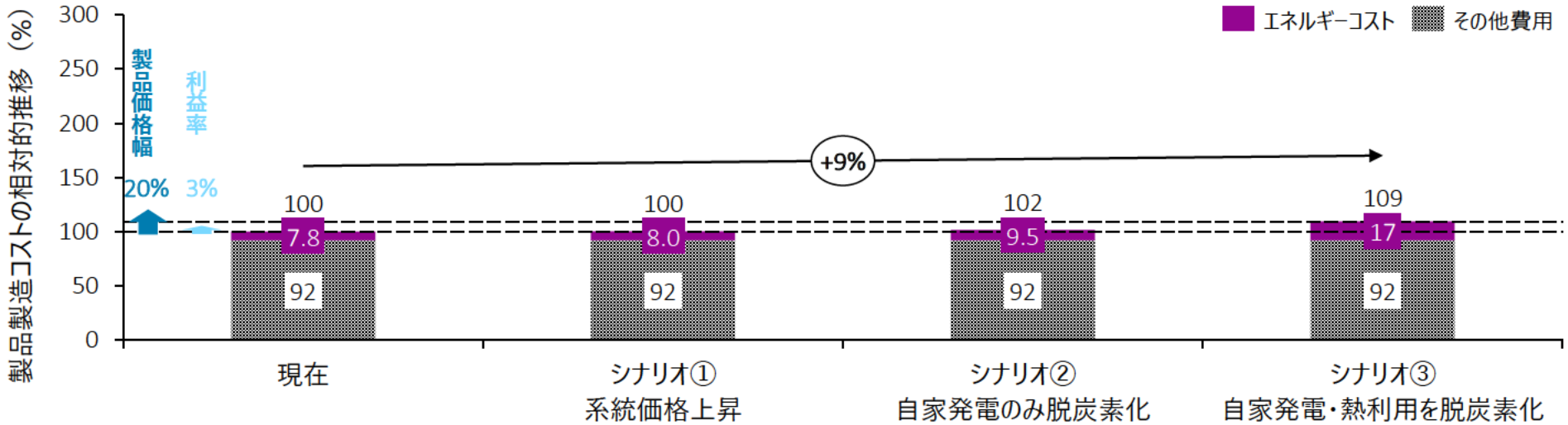
紙・板紙のシナリオ別エネルギー価格



＜参考＞現状のエネルギー使用量内訳



現在

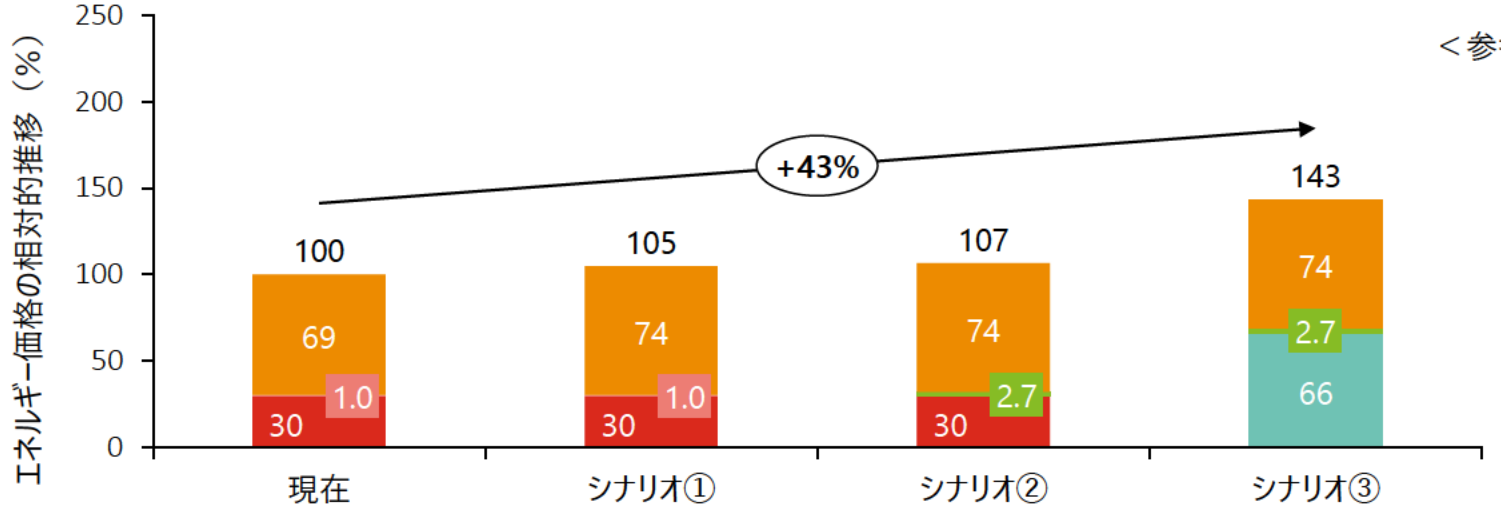


出所：経済産業省「総合エネルギー統計」（2019年実績）、経済産業省「延長産業連関表」統合分類 - 52部門表 - 名目値　（「洋紙・和紙、板紙」のデータを利用）
新電力ネット「全国の電気料金単価」を基に作成

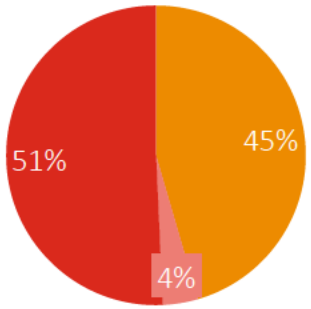
【エネルギーコスト変化によるインパクト_製品価格へのインパクト】

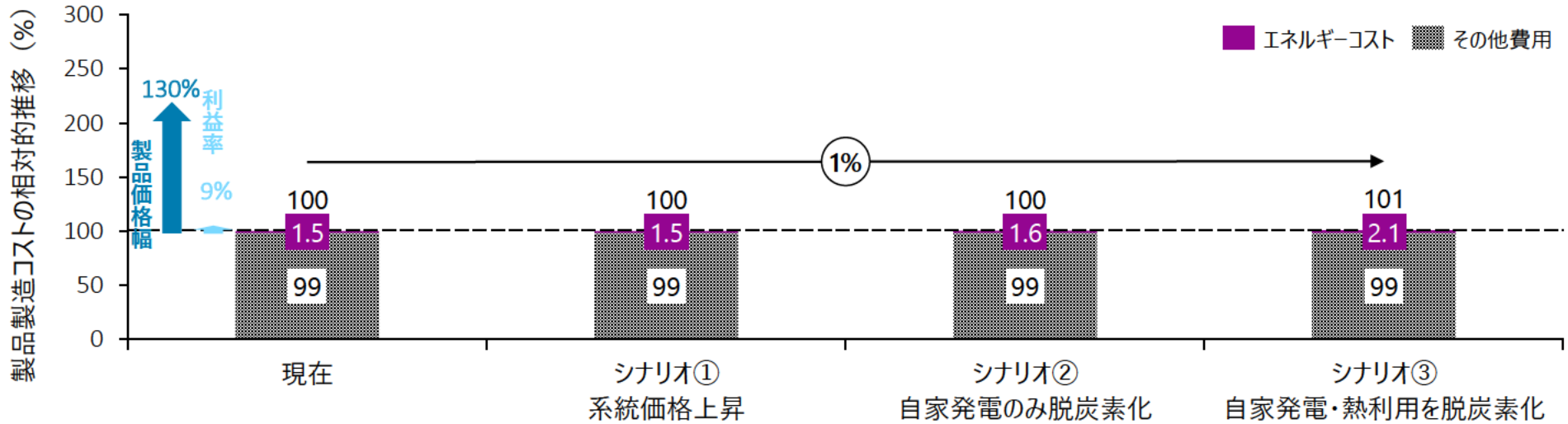
石油化学基礎製品製造では、エネルギー価格が最大で約43%上昇し製品製造コストは1%増加することが見込まれる

石油化学基礎製品（エチレンなど）のシナリオ別エネルギー価格



＜参考＞現状のエネルギー使用量内訳



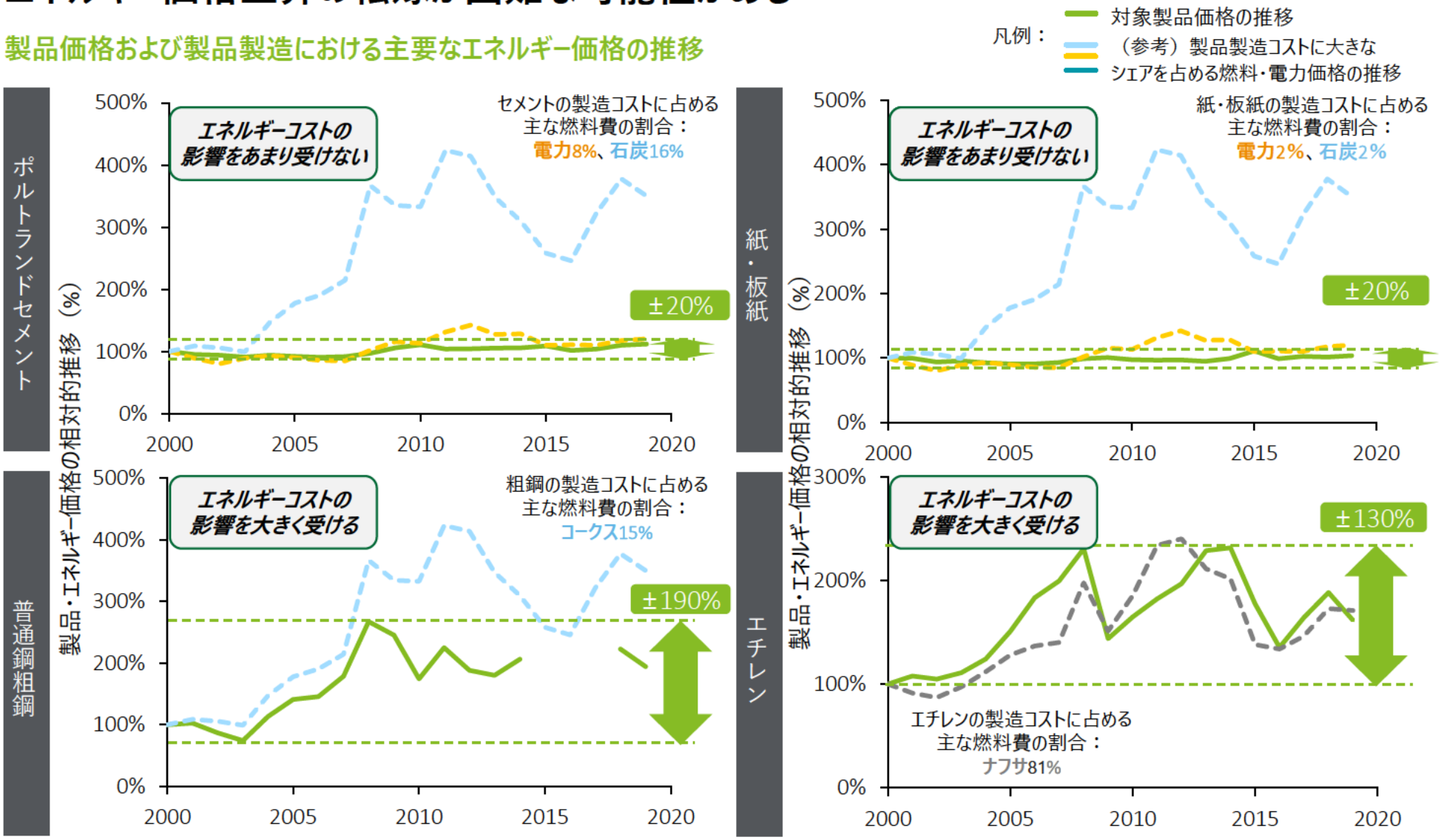


出所：経済産業省「総合エネルギー統計」（2019年実績）、経済産業省「延長産業連関表」統合分類 - 52部門表 - 名目値　（「石油化学基礎製品」のデータを利用）、新電力ネット「全国の電気料金単価」を基に作成

【エネルギーコスト変化によるインパクト_製品価格へのインパクト】

直近20年間、製品価格がほぼ横ばいで推移している製品も存在し、エネルギー価格上昇の転嫁が困難な可能性がある

製品価格および製品製造における主要なエネルギー価格の推移



出所：製品価格の推移は経済産業省「工業統計調査」、燃料価格の推移は国際エネルギー機関（IEA）「OECD Energy Prices and Taxes Quarterly」、製品製造コストに占める燃料費の割合は経済産業省「延長産業連関表（2018年）」を基に作成。

1. エネルギーコストの分析
   - 現状
   - 将来予測
2. エネルギーコスト変化によるインパクト
   - 最終消費の実態
   - 製品価格へのインパクト
   - 諸外国におけるエネルギーコスト変化のインパクト

【諸外国におけるエネルギーコスト変化のインパクト】

多くの業種において日本のエネルギーコストの割合は他国と遜色ない水準
一方、今後は脱炭素化による追加コストが他国より大きくなる可能性

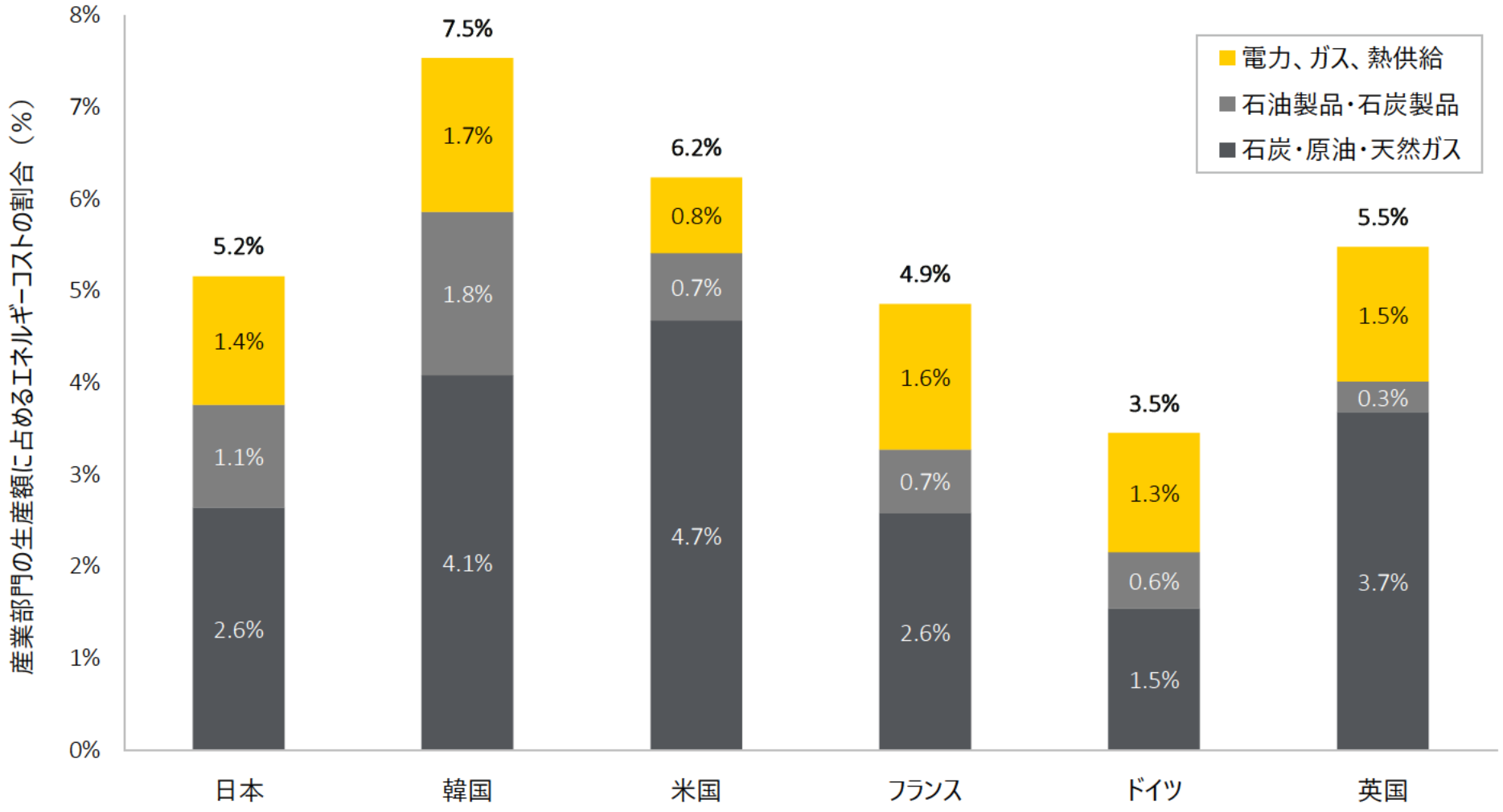
検討内容及び検討結果

	諸外国のエネルギー価格の割合	エネルギーコスト増加による影響
検討内容	■ 日本と海外の産業部門のエネルギーコストを比較 ✓ 主要6か国の産業連関表からエネルギーコストの割合を算定、比較	■ 素材産業について、日本と欧州のエネルギーコスト増加の影響を比較 ✓ エネルギーコスト上昇を製品価格に転嫁しなかった場合、利益率で吸収できるかを検証するため、売上高に占める現状のエネルギーコストと現状の利益の割合を比較
検討結果	**■ 産業部門全体で見た場合、韓国のエネルギー価格が高く、日本・米国・フランス・英国は同水準、ドイツは低い結果となる。** **■ 一方、業種ごとに比較する場合は、多くの業種において日本のエネルギーコストは他国と遜色ない水準である。** ✓ そのため、各国の産業部門全体のエネルギーコストの違いは、主に産業構造（エネルギー多消費産業の割合）に起因すると思われる	**■ 日本の産業部門は安価な石炭などを活用してエネルギーコストを抑制しており、さらに脱炭素の肝となり得る天然ガスや再エネのコストが海外より割高なため、脱炭素化による追加コストが他国より大きくなる可能性（前述の「エネルギーコストの分析_現状」を参照）** **■ 欧州の素材産業は、日本に比べ一定程度のエネルギーコスト高騰を営業利益により吸収しやすい可能性**

【諸外国におけるエネルギーコスト変化のインパクト】

OECDの産業連関表によると、産業部門全体で見た場合、韓国のエネルギーコストの割合が高く、日本・米国・フランス・英国は同水準、ドイツは低い結果となる

産業部門の生産額に占めるエネルギーコストの割合（OECD産業連関表、6か国、2017年、産業部門全体）

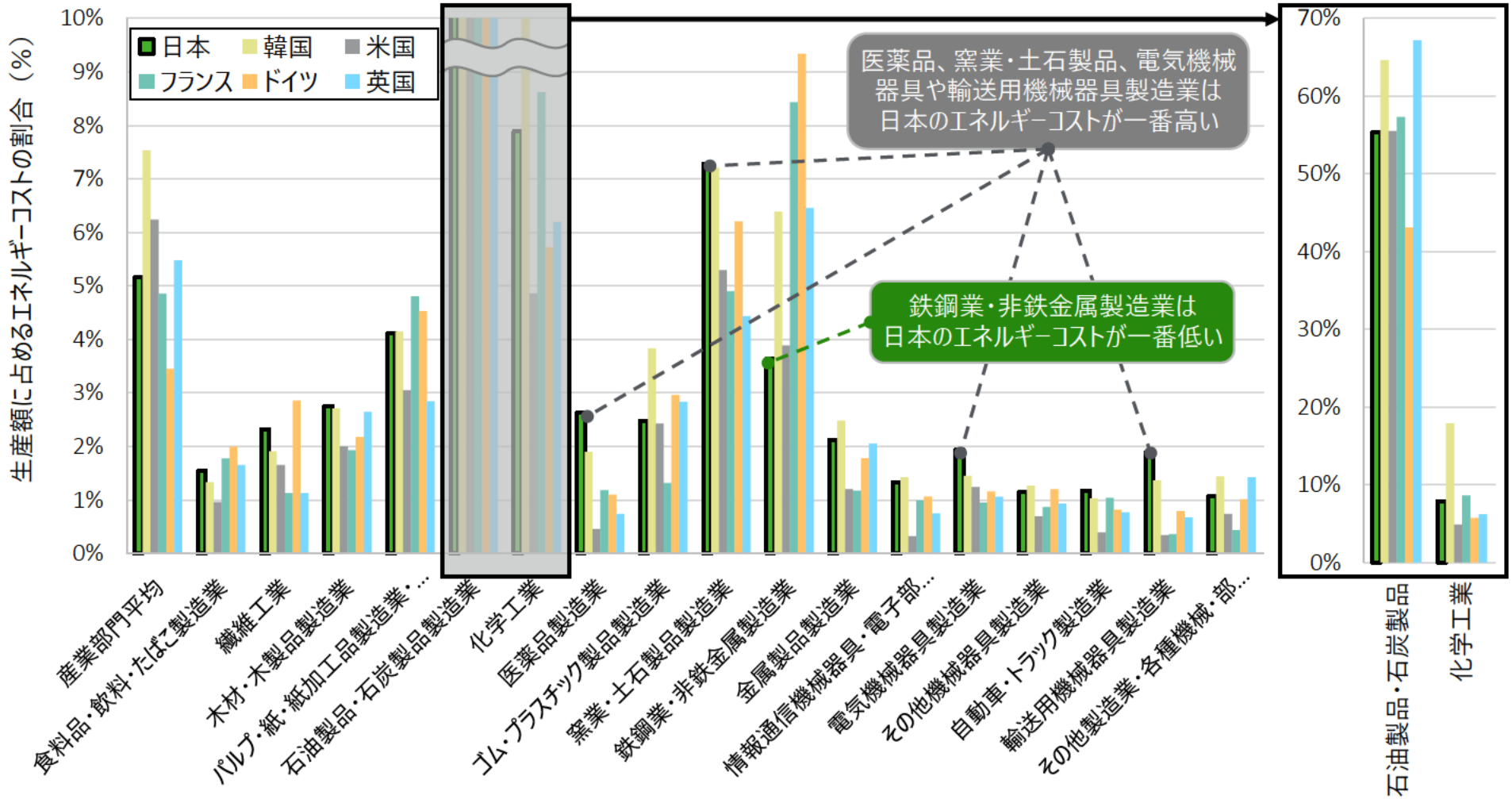


出所：OECD「Input-Output Tables (IOTs) 2021 edition」（2017年実績）を基に作成

【諸外国におけるエネルギーコスト変化のインパクト】

OECDの産業連関表によると、多くの業種において日本のエネルギーコストは他国と遜色ない水準

各業種の生産額に占めるエネルギーコストの割合（OECD産業連関表、2017年値、業種別）

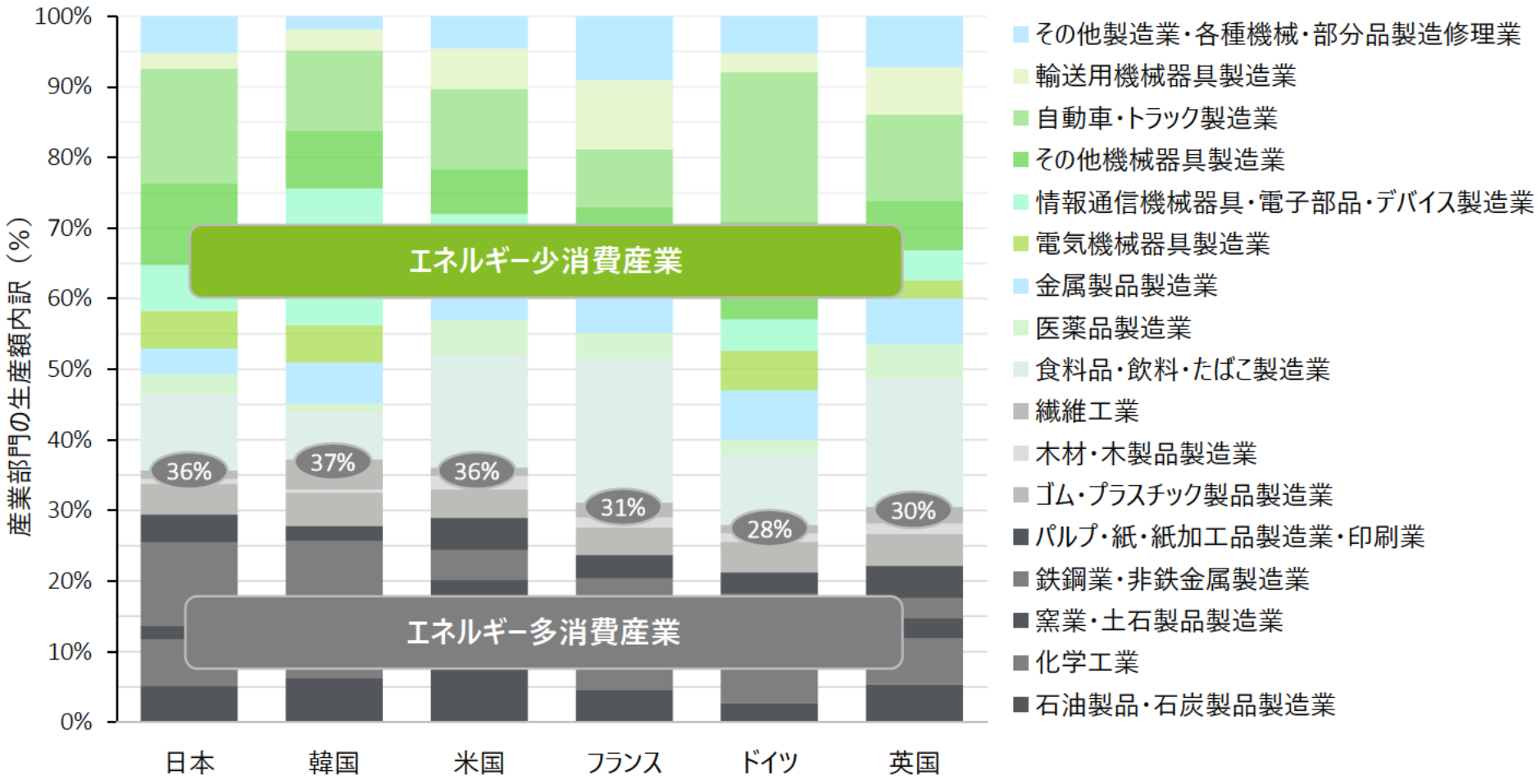


出所：OECD「Input-Output Tables (IOTs) 2021 edition」（2017年実績）を基に作成

【諸外国におけるエネルギーコスト変化のインパクト】

各国の産業部門全体のエネルギーコストの違いは、主に産業構造（エネルギー多消費産業の割合）に起因すると思われる

産業部門の生産額内訳（OECD産業連関表、6か国、2017年値）



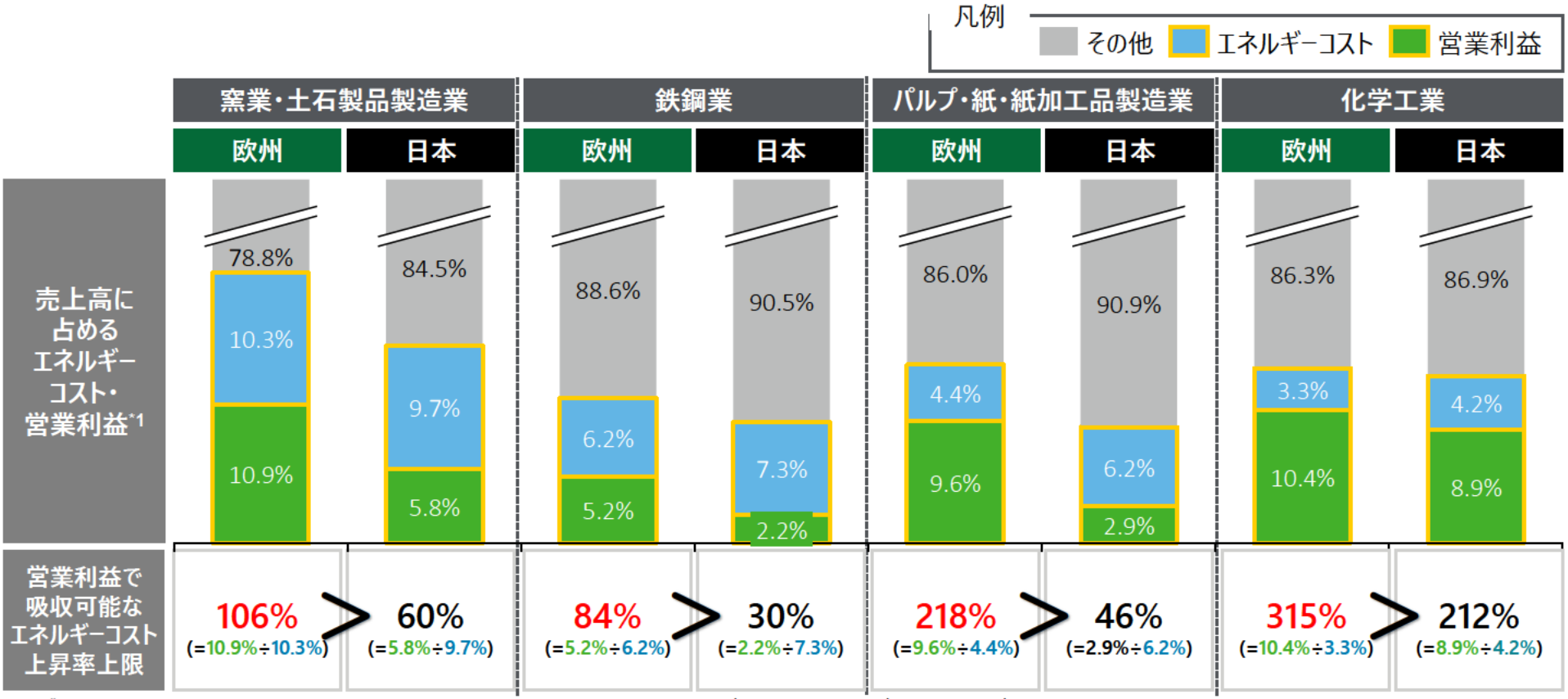
出所：OECD「Input-Output Tables (IOTs) 2021 edition」（2017年実績）を基に作成

【諸外国におけるエネルギーコスト変化のインパクト】

欧州の素材産業は、日本に比べ一定程度のエネルギーコスト高騰を営業利益により吸収しやすい可能性

日欧におけるエネ多産業における燃料価格高騰に伴う価格転嫁の考察

- 欧州と日本について、売上高に占めるエネルギーコストと営業利益の割合を計算
- エネルギーコストの上昇を営業利益で一時的に吸収すると仮定した場合、**許容できるエネルギーコスト上昇率の上限値を算出**したところ、**全ての素材産業で欧州の方が高い結果となった**（主に欧州の方が日本に比べて営業利益率が高いため）



*1 営業利益は計測する年によりマイナス値になるため、直近10年間の平均値としている。なお、直近年はデータの都合上、日本が2019年、欧州が2018年としている

出所：Eurostat Annual detailed enterprise statistics for industry (NACE Rev. 2, B-E) [SBS_NA_IND_R2__custom_2274997]、工業統計、企業活動基本調査

【諸外国におけるエネルギーコスト変化のインパクト】

欧州のエネルギー多消費産業の業界団体は、2050年カーボンニュートラルの達成に向け、CO2フリーエネルギーのコスト低減・補填とエネルギーへのアクセス性を高めることを要望

エネ多産業の欧州業界団体によるエネルギーコストに対する主張

欧州鉄鋼連盟（EUROFER）

- 脱炭素のための新たな設備（水素還元製鉄やCCUS等）は、BATと比較して、EU域内の鉄鋼産業の生産コストを少なくとも**年間200億ユーロ増加**させる。うち**80%以上がOPEXであり、主にCO2フリーエネルギーの利用増加と価格上昇によるもの**である。
- EU域内の鉄鋼産業は、2050年に水素の製造と利用を含め、年間約400TWhのCO2フリー電力が必要となるため、**CO2フリーな電気や水素が手頃な価格であり、信頼性のある豊富な供給を実現することは**、今後10年およびそれ以降の**鉄鋼部門のトランジションの成功のための必要条件**である。

欧州化学工業連盟（CEFIC）

- 電化は、化学工業にとって重要かつ革新的な気候問題の解決策となり得るが、電力コストにおける炭素価格要素によって妨げられる可能性がある。**電力コストに含まれる炭素コストへの財政的補償は不十分**である。
- **再生可能水素は、少なくとも短期的にはコスト競争力がない**。EU域内の化学工業は国際競争にさらされており、再エネ指令（RED）を通じた生産工程における**再生可能水素の義務的な使用から生じる追加コストに対処できない**。欧州委員会は、再生可能水素の早期導入に向けた支援措置を講じるべき。

欧州セメント協会（CEMBUREAU）

- **再生可能エネルギーを産業にとって手頃な価格にする政策が必要**である。セメント産業の電化は、エネルギー課税指令（ETD）を通じた産業プロセスにおける**電力への免税**、あるいは国家援助（state aid）ガイドラインに基づく**適切な補償メカニズムを通じて、奨励されるべき**。
- **EU域内のセメント産業におけるEU-ETSの炭素コスト（2021年10月時点）は、生産コスト全体の約8～10%を占め**ており、このような水準のCO2コストは非常に困難な負担である。

欧州製紙連合会（CEPI）

- **現在のカーボンニュートラルなエネルギーの価格は、従来エネルギーよりも2～3倍**である。製紙産業が気候中立性への移行において国際競争力を維持するためには、**手頃な価格のクリーンエネルギーへのアクセスが必要不可欠**。
- 電化を促進するために、エネルギー課税指令（ETD）の範囲からエネルギー集約型産業を完全に除外するべき。
- 電力購入契約（PPA）やガス購入契約（GPA）は、再生可能エネルギーを購入するリスクを最小化する可能性がある。

出所：欧州鉄鋼連盟（2020）「Making a success of the EU Green Deal」、欧州化学工業連盟（2021）「Cefic umbrella position on the 'Fit For 55' package」、欧州セメント協会（2020）「2050 Carbon Neutrality Roadmap」、欧州セメント協会（2021）「Review of The EU Emission Trading Scheme CEMBUREAU Position」、欧州製紙連合会（2021）「'Fit for 55' package: how to unleash the European pulp and paper industry's decarbonisation potential?」、欧州製紙連合会（2021）「Access to affordable low carbon energy: keeping the pulpand paper industry competitive in the energy transition」

仕様5：再生可能エネルギーコスト ポテンシャル試算のためのデータ整備

- エネルギーシステムのシミュレーションツールを活用し、2030年における再生可能エネルギー導入費用を推計

【検討結果サマリ】

エネルギーシミュレーションにより、エリア別の2030年の再エネコストを計算

検討内容と検討結果

検討内容

仕様５）再生可能エネルギーコストポテンシャル試算のためのデータ整備

【背景】カーボンニュートラルの実現に向けて、今後再エネの増加が見込まれ技術開発や量産化等によるコスト低減が見込まれる。これに伴い、設備本体コストではなく、付帯設備のコストの割合が高まることが予想される。また、出力変動型再エネの大量導入に対応するためのシステム統合コストがエリア毎に変化することが予想される。

【目的】本パートでは、再エネ発電設備のコスト情報を整理するとともに、エネルギーシミュレーションを用いてシステム統合コストを検討する。

検討方法

STEP1

■ 再エネ設置コストの内訳及び重要因子の整理
- 共通：出力抑制量
- 太陽光：日射量、土地整備費 等
- 洋上風力：風速、水深 等
- 陸上風力：立地条件、送電線 等

STEP2

■ シミュレーションに基づいた、LCOEでのコスト試算
- 基幹送電線（上位2番目）を踏まえたシミュレーションを実施
- 風況や日射量情報を1kmメッシュで入れ込んでシミュレート

成果

■ 再エネ設備の主なコスト構造
■ 再エネ設置コストの内訳

■ 2030年断面でのエリア別（10電力）でのLCOEでの再エネコストの内訳

1. 再エネ設置コストの内訳及び重要因子の整理
2. シミュレーションに基づいたLCOEでのコスト試算

【再エネ設置コストの内訳及び重要因子の整理】

シミュレーションにおける再エネ発電コストの入力方法（概要）

注：ここでは新設発電所のみを整理。
既設発電所は別途モデル上に考慮。

LCOEコスト (円/kWh) ＝ 固定費(円/kW) ÷ （設備寿命 (年) × 設備利用率 × 年間時間数 (h)） ＋ 変動費(円/kWh)

固定費への影響要素と分類

太陽光	①住宅・商業施設	コストレベル 1 コストレベル 2 コストレベル 3	■ パネル本体費用（①住宅／②③④⑤住宅以外） ■ 空間整備費（土地造成費、防護柵、架台等） ■ 発電効率（面積当たり発電能力）（戸建住宅、農地、それ以外の3分類）
太陽光	②公共系建築物 ③工場等 ④低・未利用地 ⑤農地	コストレベル 1 コストレベル 2 コストレベル 3	
陸上風力	ノード1 ノード・・・ ノード351	コストレベル 1 コストレベル・・・ コストレベル 5	■ 設備本体費用（全国共通） ■ 設置場所（平地／山丘地） ■ 道路までの距離 ■ 送電線までの距離
洋上風力	ノード1 ノード・・・ ノード351	コストレベル 1 コストレベル・・・ コストレベル 5	■ 設備本体費用（全国共通） ■ 基礎（着床式／浮体式） ■ 水深（着床式のみ）
中小水力	ノード1 ノード・・・ ノード351	コストレベル 1 コストレベル・・・ コストレベル 5	■ 設備・建設単価 ■ 出力、流量、落差 ■ 道路までの距離 ■ 送電線までの距離
地熱	新設設備を考慮なし		
バイオマス	固定費は全国共通		■ 設備建設単価（全国共通）

設備利用率・変動費への影響要素と分類

■ 日射量 ■ 発電効率（戸建住宅、農地、それ以外の3分類）	ノード1 ノード・・・ ノード351 都道府県1 都道府県・・・ 都道府県47	太陽光
■ 平均風速 ■ パワーカーブ（全国共通）	ノード1 ノード・・・ ノード351	陸上風力
■ 平均風速 ■ パワーカーブ（全国共通）	ノード1 ノード・・・ ノード351	洋上風力
■ 河川の流況曲線（流量データ）	ノード1 ノード・・・ ノード351	中小水力
		地熱
■ バイオマス燃料の種類	輸入燃料 国産燃料1 国産燃料・・・ 国産燃料17	バイオマス

【再エネ設置コストの内訳及び重要因子の整理】

注：ここでは新設発電所のみを整理。
既設発電所は別途モデル上に考慮。

シミュレーションにおける再エネ発電コストの入力方法（詳細）

LCOEコスト (円/kWh) ＝ 固定費(円/kW) ÷ （設備寿命 (年) × 設備利用率 × 年間時間数 (h) ） ＋ 変動費(円/kWh)

発電技術		地域区分	コスト分類	設備導入費用単価 、設備寿命	出所
太陽光発電	①住宅系建築物及び商業系建築物 （1分類）	351ノード （コストは全国共通）	各ノードに初期費用を3分類	【初期費用】 コストレベル１：2018年：30万円/kW、2030年以降：20.1万円/kW コストレベル２：2018年：35万円/kW、2030年以降：23.45万円/kW コストレベル３：2018年：40万円/kW、2030年以降：26.8万円/kW （2030年以降の初期費用＝2018年の初期費用×0.67） 【寿命】25年 【発電効率】戸建住宅：10m2/kW、戸建住宅以外：12m2/kW	環境省ポテンシャル調査、発電コスト検証WG【再生可能エネルギー】（令和3年4月）を参考に設定 ※PVの初期費用は設備費、空間整備費（レベル1：0円/㎡、レベル2：5,000円/㎡、レベル3：10,000円/㎡）、接続費用を含む。空間整備費は、パネル設置のための土地造成費、防護柵、架台等を想定している。
	②公共系建築物、 ③発電所・工場・物流施設、 ④低・未利用地、 ⑤農地 （4分類）	47都道府県 （コストは全国共通）	各ノードに初期費用を3分類	【初期費用】 コストレベル１：2018年：28万円/kW、2030年以降：13.72万円/kW コストレベル２：2018年：35.5万円/kW、2030年以降：17.40万円/kW コストレベル３：2018年：43万円/kW、2030年以降：21.07万円/kW （2030年以降の初期費用＝2018年の初期費用×0.49） 【寿命】25年 【発電効率】農地：16m2/kW、農地以外：12m2/kW	
陸上風力発電		351ノード	各ノードに初期費用を5分類に集計	【初期費用】＝【設備費】＋【道路整備費】＋【送電線敷設費】 【設備費】2018年に25.00万円/kW 【道路整備費】平地：25百万円/km、山岳地：85百万円/km（原則として山岳地の値を使用する）。なお、道路整備は迂回を考慮して「道路からの距離」×2とする。 【送電線敷設費】平地：35百万円／km、山岳地：55百万円／km。66kV送電線を想定する。原則として山岳地の値とする。 （初期費用の結果幅：25.00万円/kW～41.28万円/kW） （2030年以降の初期費用＝2018年の初期費用×0.92） 【O&M固定費】0.6万円/kW/年 【寿命】25年	環境省ポテンシャル調査、発電コスト検証WG【再生可能エネルギー】（令和3年4月）を参考に設定 ※陸上風力の初期費用は設備費、道路整備費、送電線敷設費を含む。

【再エネ設置コストの内訳及び重要因子の整理】

シミュレーションにおける再エネ発電コストの入力方法（詳細）

注：ここでは新設発電所のみを整理。既設発電所は別途モデル上に考慮。

LCOEコスト (円/kWh) ＝ 固定費(円/kW) ÷ （設備寿命 (年)×設備利用率×年間時間数 (h)） ＋ 変動費(円/kWh)

発電技術		地域区分	コスト分類	設備導入費用単価 、設備寿命	出所
洋上風力発電		351ノード	各ノードに初期費用を5分類に集計	【初期費用・水深60m未満】2018年に0.5062×水深（m）+46.63（万円/kW） （2030年以降の初期費用＝2018年の初期費用×1.01） 【初期費用・水深60m以上（浮体式）】 2018年：58.80万円/kW （2030年以降の初期費用＝2018年の初期費用×0.9） （2018年の初期費用の結果幅：46.63～58.80万円/kW） 【O&M固定費】0.72万円/kW/年 【寿命】25年	環境省ポテンシャル調査、日本海洋データセンター 500mメッシュ水深、NEDO NeoWins（洋上風況マップ）、 発電コスト検証WG【再生可能エネルギー】（令和3年4月）を参考に設定 ※洋上風力発電の初期費用は基礎・浮体設備費、送電線敷設費、開業費等を含む。
水力発電	中小規模水力	351ノード	各ノードにコストを5分類に集計	【初期費用】＝【発電所建設費】＋【道路整備費】＋【送電線敷設費】＋【開業費】 【発電所建設費】＝出力、流量、落差などから計算。 【道路整備費】＝50百万円/km（当該仮想発電所の「道路からの距離」×2（迂回距離考慮）を道路整備延長とする） 【送電線敷設費】＝5百万円/km（低圧送電を想定 ） 【開業費】＝発電所建設費の10% （2018年の初期費用の結果幅：4.91～128.14万円/kW） （2030年以降の初期費用＝2018年の初期費用×1.63） 【寿命】100年 【O&M固定費】＝発電所建設費の1.67% （O&M固定費の結果幅：0.74～1.75万円/kW/年）	環境省ポテンシャル調査、 発電コスト検証WG【再生可能エネルギー】（令和3年4月）を参考に設定 ※中小水力発電所建設費は発電所建物、取水ダム、取水口、沈砂池、開きょ、水圧管路、放水口、機械装置基礎、電気設備工事費を含む。
	大規模水力	-	-	新設発電所はD-TIMES上に考慮なし	-
地熱発電		-	-	新設発電所はD-TIMES上に考慮なし	-
バイオマス発電	-	351ノード（固定費、燃料費は全国共通）	固定費は1コスト分類	【初期費用】2018年に40万円/kW （2030年以降の初期費用＝2018年の初期費用×0.69） 【O&M固定費】2018年の初期費用の3%（1.2万円/kW/年） 【寿命】25年	発電コスト検証WG【再生可能エネルギー】（令和3年4月）を参考に設定
			輸入バイオマスは1コスト分類 国産バイオマスは17コスト分類	【燃料費】輸入：24.29億円/TWh、国産：6.17～17.78億円/TWh 【発電効率】20%	

【再エネ設置コストの内訳及び重要因子の整理】

シミュレーションにおける再エネ発電コストの入力方法（詳細）

LCOEコスト (円/kWh)＝固定費(円/kW) ÷（設備寿命 (年)×設備利用率×年間時間数 (h)）＋変動費(円/kWh)

発電技術		地域区分	設備利用率分類	設備利用率	出所
太陽光発電	①住宅系建築物及び商業系建築物（1分類）	351ノード	（なし）	市区町村ごとの発電量係数（日射量）を用いて算定。ノードごとに集計。	環境省ポテンシャル調査（NEDO日射量データベースを活用している）
	②公共系建築物、③発電所・工場・物流施設、④低・未利用地、⑤農地（4分類）	47都道府県	（なし）	都道府県ごとの発電量係数（日射量）を用いて算定。	
陸上風力発電		351ノード	各ノードに風速11分類	メッシュ単位に風車のパワーカーブと平均風速出現率より設備利用率を算定。ノードごとと風速区分ごとに集計。	環境省ポテンシャル調査（WinPASデータを活用している）
洋上風力発電		351ノード	各ノードに風速11分類	メッシュ単位に風車のパワーカーブと平均風速出現率より設備利用率を算定。ノードごとと風速区分ごとに集計。	環境省ポテンシャル調査（WinPASデータを活用している）、NEDO「NeoWins」（洋上風況マップ）
水力発電	中小規模水力	351ノード	各ノードにコストを5分類に集計	河川単位に流況曲線（河川流量データ）より設備利用率を算定。ノードごととコスト分類ごとに集計。	環境省ポテンシャル調査
	大規模水力	-	-	新設発電所はD-TIMES上に考慮なし	-
地熱発電		-	-	新設発電所はD-TIMES上に考慮なし	-
バイオマス発電	-	全国値	（なし）	電力需給状況より内生的に計算（最大70%）	-

【再エネ設置コストの内訳及び重要因子の整理_PV導入費用への影響要素】

PV導入に際し、本体価格以外に土地の形状や区分等により導入費用が影響し、傾斜地で田畑に該当する場合は割高になる可能性がある

太陽光発電導入費用への影響要素　調査結果

PV導入費用に影響し得る要素	費用の詳細

土地の形状・土地の区分（地目）

- PV設置予定エリアの**土地造成費**として土地の形状、PV**設置が容認される土地の用途変更に係る手続費用**として土地の地目が影響し得る
  - 土地の形状は整地度合や傾斜有無により4種類に大別（整地済み、平地（草地）、平地（地盤緩い）、傾斜地）
  - 土地の区分は用途により9種類に大別（宅地、山林、原野、牧場、池沼、鉱泉地、雑種地、田、畑）
- PV設置予定エリアの形状が「**傾斜地**」、地目が「**田**」・「**畑**」である場合、**割高**になる傾向

土地造成費（土地の形状別） ※最大でかかる費用（工事費除く）

単位：万円/kWh

整地済み	平地（草地）	平地（地盤緩い）	傾斜地					
			3～5度	5～10度	10～15度	15～20度	20～25度	25～30度
0.83	1.20	2.07	22.16	26.69	40.71	55.72	63.07	68.41

※傾斜地は、平地に比べ盛土・切土など追加的な作業が発生するため、コストが割高になる可能性がある

農地転用手続費用（土地の区分別）

単位：万円

宅地	山林	原野	牧場	池沼	鉱泉地	雑種地	田	畑
0 ※区分によるPV設置可否は不明							5～10	

※農業委員会への届出または都道府県の許可が必要で、行政書士に必要な書類作成を依頼する場合、上記の費用が発生

＜参考＞送電インフラの有無（追加的に考慮が必要な要素）

- 設置したPVで発電した電力の送電インフラに係る費用として送電インフラの有無が影響し得る
- PV設置予定エリア周辺に電柱がない場合、電柱の敷設に係る費用が追加的に発生し得る

単位：万円

送電インフラあり（電柱あり）	送電インフラなし（電柱なし）
0	5～65

※上記は標準的な単価であり、電柱の長さや荷重、材質等により変動し得る

出所：国税庁「令和3年度財産評価基準」（2021/7/1）、環境省「令和元年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報等の整備・公開等に関する委託業務報告書」（2020/3）、電力広域的運営推進機構（OCCTO）「送変電設備の標準的な単価の公表について」（2016/3/29）、マイナビ農業「農地転用の手続き費用は？費用負担や必要経費の計算方法も解説」（2021/2/3）を基にデロイト作成

【再エネ設置コストの内訳及び重要因子を整理_PV導入費用への影響要素】

土地の形状別の土地造成費は、宅地造成費の金額に対しPV設置に必要な土地面積を乗算し算定

各影響要素に係る定義・算定方法

PV導入費用に影響し得る要素	算定方法・定義
土地の形状	**土地造成費（土地の形状別）** ● 国税庁が公表している財産評価基準にある宅地造成費に対し、太陽光パネル設置の必要土地面積を乗算し算出 ＜算定式＞ 土地造成費（円/パネル発電量当たり）＝ ①土地の形状別宅地造成費（円/m2当たり、全国平均）×②パネル設置の必要土地面積（m2/発電量当たり） ①：国税庁が公表している財産評価基準書の中から、都道府県別の土地の形状ごとに評価する場合における宅地造成費を基に全国平均を算出 *出所：国税庁「令和3年度財産評価基準」（2021/7/1）* ②：環境省が公表している太陽光発電の導入ポテンシャルによると、パネル設置に必要な土地面積は1kWあたり12m2 *出所：環境省「令和元年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報等の整備・公開等に関する委託業務報告書」（2020/3）* ※土地の形状ごとの宅地造成費の概要は下記の通り • 整地済み：未使用期間の雑草等の伐採、防草にかかる費用として、1m2あたり700円として計算 • 平地（草地）：整地作業と草木の伐採、防草にかかる費用として、1m2あたり2000円として計算 • 平地（地盤が緩い）：地盤・地質改良費用として1m2あたり5000円として計算 • 丘陵地・山林：草木の伐採、防草に加え、盛土、切土等の作業にかかる費用として1m2あたり20000円として計算
土地の区分（地目）	**農地転用手続費用（土地の区分別）** ● 農業分野のメディアが公開している農地転用の手続きに係る費用を抜粋 *出所：マイナビ農業「農地転用の手続き費用は？費用負担や必要経費の計算方法も解説」（2021/2/3）* ※土地の区分（地目）の定義は下記の通り • 宅地：建物の敷地及びその維持若しくは効用を果たすために必要な土地 • 山林：耕作の方法によらないで竹木の生育する土地 • 原野：耕作の方法によらないで雑草、かん木類の生育する土地 • 牧場：家畜を放牧する土地 • 池沼：かんがい用水でない水の貯留池 • 鉱泉地：鉱泉（温泉を含む）の湧出口及びその維持に必要な土地 • 雑種地：以上のいずれにも該当しない土地（駐車場（宅地に該当するものを除く）、ゴルフ場、遊園地、運動場、鉄軌道等の用地が該当） • 田：農耕地で用水を利用して耕作する土地 • 畑：農耕地で用水を利用しないで耕作する土地 *出所：国税庁「土地の地目の判定」（2022/3/28アクセス）*

1. 再エネ設置コストの内訳及び重要因子の整理
2. シミュレーションに基づいたLCOEでのコスト試算

【シミュレーションに基づいたLCOEでのコスト試算】

IEAのETSAPで開発が進む「TIMES」を用いて将来のエネルギーの在り方を分析

TIMESの概要

TIMES*1 とは

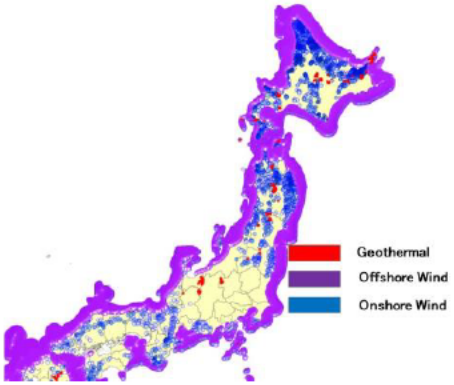
- IEA*2のETSAP*3で開発が進められている長期のエネルギーの在り方を分析するプログラム
- **IEAや各国政府の長期エネルギーシナリオの分析において活用されている**
- 将来のエネルギー需要やエネルギー供給・輸送設備の技術データ等をインプットすることにより**最も経済合理性のある技術の組み合わせ（電源構成等）を解として出力**

何をインプットするのか

- **エネルギーに係る様々な情報をインプット**

【系統情報】

【再エネの導入可能量】



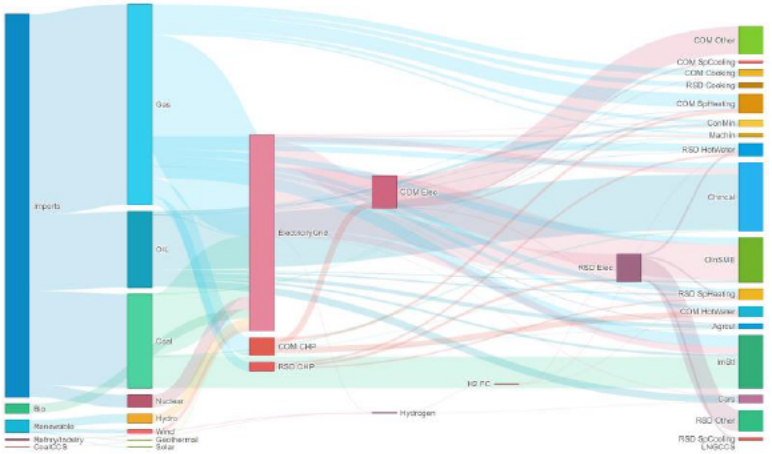
⇒その他、人口動態、発電所情報（能力、位置）等をInput

何を分析できるのか

- **複雑化する将来のエネルギー需給構造をコスト最小化等を目的関数にして計算することができる**

【分析結果例】

一次エネルギーの供給、転換、セクターへの供給の最適解



*1：The Integrated MARKAL EFOM System　*2：国際エネルギー機関（International Energy Agency）*3：エネルギー技術システム解析プログラム（Energy Technology Systems Analysis Programme）

【シミュレーションに基づいたLCOEでのコスト試算】

2050年のカーボンニュートラルに向けて、CO2削減目標に合わせて最適化計算するケースでシミュレーションを実施

デロイト試算における前提条件（概要）

■ 試算に当たっては、デロイトにて下記の前提条件の下でシミュレーションを実施

■ 2050年カーボンニュートラルの実現を前提

➢ **コスト最小化ケース**

- カーボンニュートラル社会実現に向けて再生可能エネルギー・再稼働原子力発電所・火力発電所を活用し、コストが最小化になるケースを検討

■ 上記ケースの検討にあたっては、制約条件を設けずに、導入ポテンシャルやコスト情報、系統情報をインプットデータとして、内生的に最適な電源構成を試算

■ また、需給調整機能として系統増強を検討するとともに、発電側では蓄電池（EV含む）、揚水及び水素による余剰吸収、需要側ではコージェネによる下げDRも含め検討

シナリオ名	CO2削減目標	再エネ導入量
■ コスト最小化ケース	• 2030年　46%削減 (2013年比) • 2050年　カーボンニュートラル	コスト最小化の条件の下、内生的に算出

【シミュレーションに基づいたLCOEでのコスト試算】

2050年のカーボンニュートラルに向けて、CO2削減目標に合わせて最適化計算するケースでシミュレーションを実施

デロイト試算における前提条件（CO2削減目標、発電）

前提条件			詳細	参照元
制約条件：CO2削減目標			■ 2030年　46%削減 (2013年比) ■ 2050年　カーボンニュートラル ※森林吸収源、農地土壌炭素吸収源、都市緑化による吸収量目標4,770万t-CO2を考慮	■ 環境省：2018年度（平成30年度）の温室効果ガス排出量（確報値） ■ 環境省「地球温暖化対策計画」（2021年10月）
発電	再エネ導入可能量		■ CO2削減目標に合わせてコスト最小化計算	■ 環境省や経済産業省の日射量情報や風況マップを基に作成
発電	再エネコスト	太陽光	■ 現状の初期費用：住宅用太陽光30～40万円/kW ➢ 2030年以降の初期費用：20.1～26.8万円/kW ■ 現状の初期費用：メガソーラー等28～43万円/kW ➢ 2030年以降の初期費用：13.7～21.1万円/kW	■ コストWG：発電コスト検証ＷＧ【再生可能エネルギー】（令和3年4月）
発電	再エネコスト	洋上風力	■ 現状の初期費用：46.63～58.8万円/kW ➢ 2030年以降の初期費用：42.0～52.9万円/kW	
発電	再エネコスト	陸上風力	■ 現状の初期費用：25～41.28万円/kW ➢ 2030年以降の初期費用：23.0～38.0万円/kW	
発電	再エネコスト	水力	■ 現状の初期費用：4.91～128.14万円/kW ➢ 2030年以降の初期費用：8.0～208.9万円/kW	
発電	原子力		■ 60年廃炉と設定 ■ 再稼働あり、ただし建て替えなし	–
発電	火力＋CCS		■ CCS付き火力でリプレースありと設定 ■ CCSの貯留量は2050年：91MtCO2を上限として設定	■ RITE：2050年カーボンニュートラルのシナリオ分析（中間報告）

【シミュレーションに基づいたLCOEでのコスト試算】

2050年のカーボンニュートラルに向けて、CO2削減目標に合わせて最適化計算するケースでシミュレーションを実施

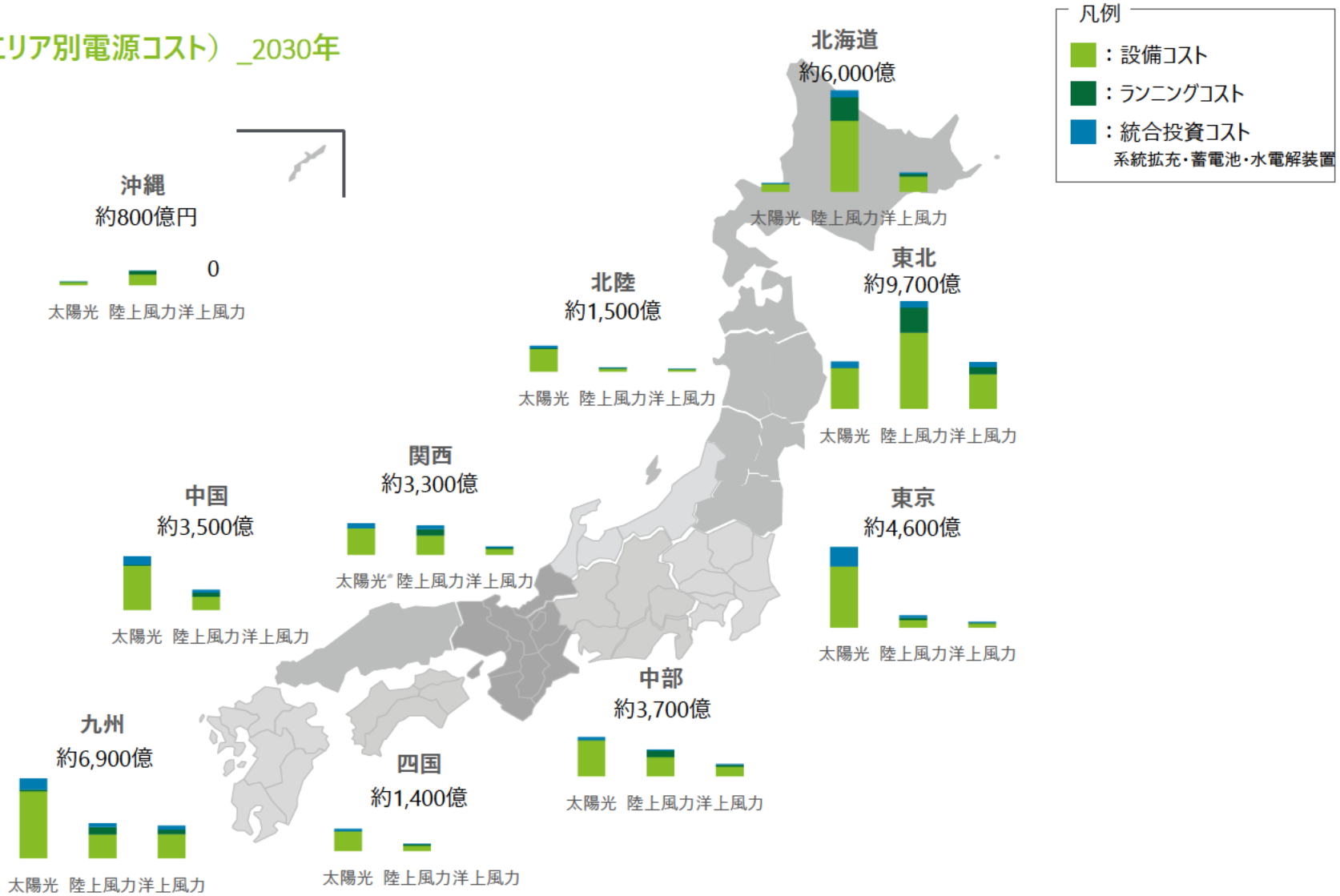
デロイト試算における前提条件（エネルギー需要、エネルギーインフラ・貯蔵、燃料）

前提条件		詳細	参照元
エネルギー需要	家庭部門	■ 都道府県毎の人口推移を基に計上	■ 国土交通省：1kmメッシュ別将来推計人口
	産業部門	■ 業種別にサービス単位で計上（鉄鋼、化学、食品煙草、繊維…等） ■ 産業部門の非電力需要は検討対象外 ■ 省エネ効果（2050年まで毎年1%）を考慮	■ 省エネルギーセンター：エネルギー・経済統計要覧（EDMC）
	業務部門	■ 用途別にサービス単位で計上（冷房、暖房、給湯、厨房、動力他） ■ 延床面積に都道府県毎のGDPを考慮	
	運輸部門	■ 車両をサービス単位で計上（貨物はトンキロ、旅客は人キロ試算） ■ 都道府県毎の人口推移を考慮	
エネルギーインフラ・貯蔵	系統	■ 一次変電所（上位から2つ目）までの変電所の系統容量を考慮 ■ 系統拡張も考慮（拡張コスト（20万円/MW/km）））	■ OCCTO：データベースおよび広域系統長期方針＜参考資料＞
	蓄電池	■ 15万円/kW・耐用年数10年を考慮	■ 資源エネルギー庁：新エネルギーシステム課「定置用蓄電池の価格低減スキーム」
	揚水発電	■ 現状設備より変化なし	■ 資源エネルギー庁：電力調査統計
燃料	水素	■ 国内生産水素のみ（輸入水素導入なし） ■ 水素コストは余剰電力を活用するとして内生的に計算（グリーン水素のみ）	–
	化石燃料	■ 石炭：68$/tonne(2025)、61$/tonne(2040) ■ 原油：57$/barrel(2025)、53$/barrel(2040) ■ 天然ガス：5.4$/Mbtu(2025)、5.7$/Mbtu(20540)	■ IEA：World Energy Outlook 2020
	アンモニア	■ 2050年に3,000万トンまで導入	■ 燃料アンモニア導入官民協議会：燃料アンモニア導入官民協議会中間取りまとめ

【シミュレーションに基づいたLCOEでのコスト試算】
2030年のCO2排出量46%削減に向けて、数兆円の再エネ設備及び統合コストが必要

再エネコスト（エリア別電源コスト）_2030年

単位：億円/年

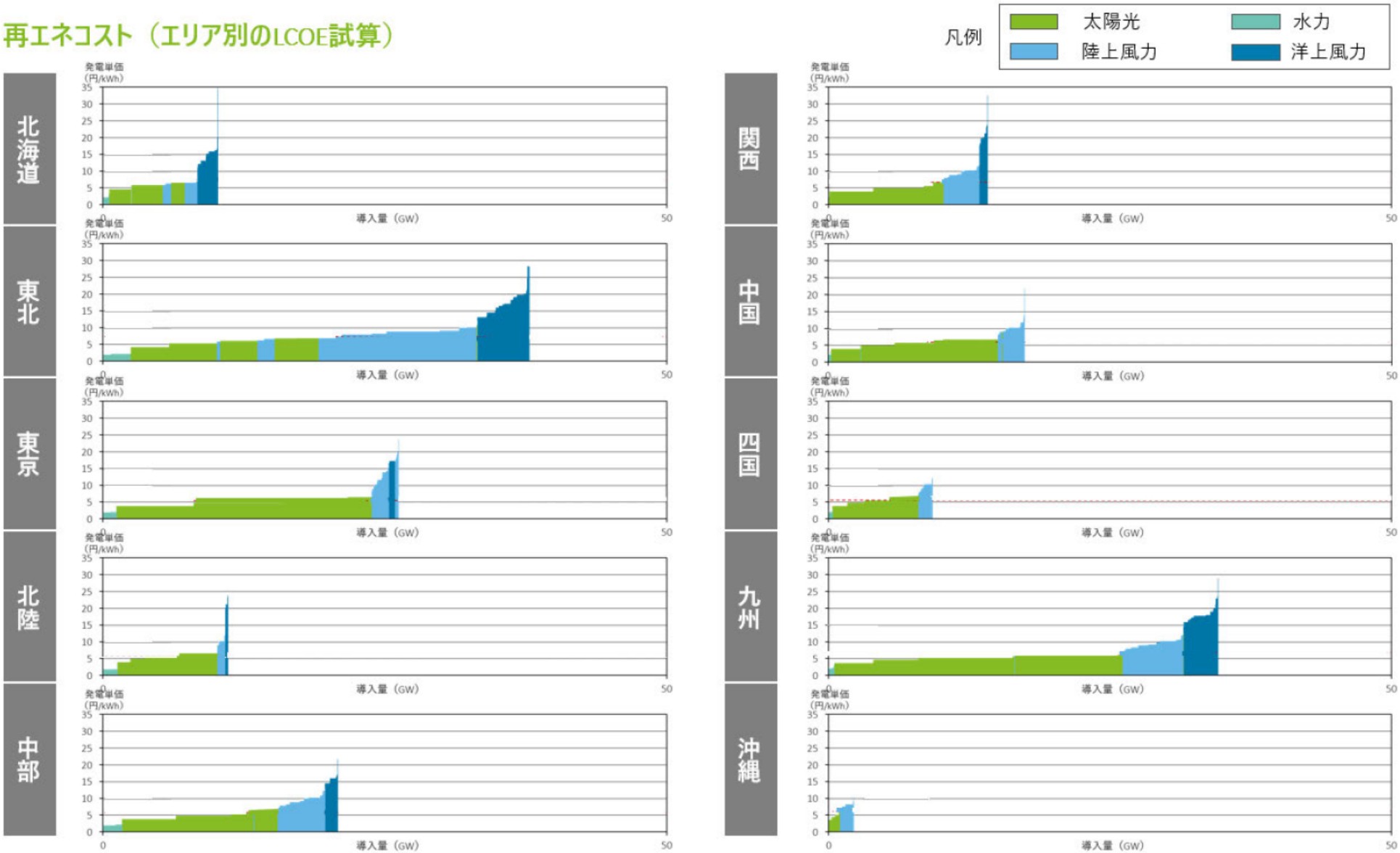


*設備の稼働年数を考慮し、1年当たりの減価償却費をベースで試算を実施
出所：第44回基本政策分科会 資料5 ヒアリング資料（デロイトトーマツコンサルティング提出資料）（2021/6/30）の前提条件に基づく

【シミュレーションに基づいたLCOEでのコスト試算】

2030年断面においても、電源別コストは大きく差が出ることが予想され、天候変化等による価格のボラティリティは大きくなることが予想される

再エネコスト（エリア別のLCOE試算）



Deloitte.
デロイト トーマツ

デロイト トーマツ グループは、日本におけるデロイト アジア パシフィック リミテッドおよびデロイトネットワークのメンバーであるデロイト トーマツ合同会社ならびにそのグループ法人（有限責任監査法人トーマツ、デロイト トーマツ コンサルティング合同会社、デロイト トーマツ ファイナンシャルアドバイザリー合同会社、デロイト トーマツ税理士法人、DT弁護士法人およびデロイト トーマツ コーポレート ソリューション合同会社を含む）の総称です。デロイト トーマツ グループは、日本で最大級のプロフェッショナルグループのひとつであり、各法人がそれぞれの適用法令に従い、監査・保証業務、リスクアドバイザリー、コンサルティング、ファイナンシャルアドバイザリー、税務、法務等を提供しています。また、国内約30都市以上に1万5千名を超える専門家を擁し、多国籍企業や主要な日本企業をクライアントとしています。詳細はデロイト トーマツ グループWebサイト（www.deloitte.com/jp）をご覧ください。

Deloitte（デロイト）とは、デロイト トウシュ トーマツ リミテッド（“DTTL”）、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人（総称して“デロイトネットワーク”）のひとつまたは複数を指します。DTTL（または“Deloitte Global”）ならびに各メンバーファームおよび関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体であり、第三者に関して相互に義務を課しまたは拘束させることはありません。DTTLおよびDTTLの各メンバーファームならびに関係法人は、自らの作為および不作為についてのみ責任を負い、互いに他のファームまたは関係法人の作為および不作為について責任を負うものではありません。DTTLはクライアントへのサービス提供を行いません。詳細はwww.deloitte.com/jp/aboutをご覧ください。
デロイト アジア パシフィック リミテッドはDTTLのメンバーファームであり、保証有限責任会社です。デロイト アジア パシフィック リミテッドのメンバーおよびそれらの関係法人は、それぞれ法的に独立した別個の組織体であり、アジア パシフィックにおける100を超える都市（オークランド、バンコク、北京、ハノイ、香港、ジャカルタ、クアラルンプール、マニラ、メルボルン、大阪、ソウル、上海、シンガポール、シドニー、台北、東京を含む）にてサービスを提供しています。

Deloitte（デロイト）は、監査・保証業務、コンサルティング、ファイナンシャルアドバイザリー、リスクアドバイザリー、税務、法務などに関連する最先端のサービスを、Fortune Global 500®の約9割の企業や多数のプライベート（非公開）企業を含むクライアントに提供しています。デロイトは、資本市場に対する社会的な信頼を高め、クライアントの変革と繁栄を促し、より豊かな経済、公正な社会、持続可能な世界の実現に向けて自ら率先して取り組むことを通じて、計測可能で継続性のある成果をもたらすプロフェッショナルの集団です。デロイトは、創設以来175年余りの歴史を有し、150を超える国・地域にわたって活動を展開しています。“Making an impact that matters”をパーパス（存在理由）として標榜するデロイトの約345,000名のプロフェッショナルの活動の詳細については、（www.deloitte.com）をご覧ください。

本資料は皆様への情報提供として一般的な情報を掲載するのみであり、デロイト トウシュ トーマツ リミテッド（“DTTL”）、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人（総称して“デロイトネットワーク”）が本資料をもって専門的な助言やサービスを提供するものではありません。皆様の財務または事業に影響を与えるような意思決定または行動をされる前に、適切な専門家にご相談ください。本資料における情報の正確性や完全性に関して、いかなる表明、保証または確約（明示・黙示を問いません）をするものではありません。またDTTL、そのメンバーファーム、関係法人、社員・職員または代理人のいずれも、本資料に依拠した人に関係して直接または間接に発生したいかなる損失および損害に対して責任を負いません。DTTLならびに各メンバーファームおよびそれらの関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体です。

IS 669126 / ISO 27001

© 2022. For information, contact Deloitte Tohmatsu Group.

Member of
Deloitte Touche Tohmatsu Limited

二次利用未承諾リスト

報告書の題名	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事業（脱炭素化が産業活動へ与える影響に関する分析・調査支援事業）調査報告書
委託事業名	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事業（脱炭素化が産業活動へ与える影響に関する分析・調査支援事業）
受注事業者名	デロイトトーマツコンサルティング合同会社

頁	図表番号	タイトル
仕様1 : 諸外国におけるエネルギー需要側のカーボンニュートラル戦略の調査		
22	1	欧州鉄鋼連盟によるシナリオ分析（2050年95％削減）
40	2	LafargeHolcim社の事業戦略の概要
仕様2 : 産業部門における熱需要の実態調査・分		
69	3	ナフサ分解のイメージ
69	4	分留工程のイメージ
73	5	セメントの製造工程
77	6	パルプ・板紙の製造工程
81	7	常圧蒸留工程の温度帯
81	8	精製過程の詳細
85	9	銅精錬工程
87	10	リサイクル含めた鉛の精錬工程
89	11	電気亜鉛の精錬工程
91	12	アルミニウムの精錬工程
91	13	アルミニウムのリサイクルフロー
95	14	フロート法による板ガラス製造のイメージ
仕様3 : 国内外のエネルギーコストに関する調査・分析		
		（該当なし）
仕様4 : 国内外のエネルギーコストに関する調査・分析		
124	15	ドイツの産業部門向け電力価格の内訳と推移（ドイツ・産業部門・16万～2,000万kWh/年）（単位：€セント/kWh）
125	16	ドイツの「EEG賦課金」（再エネ賦課金）の減免措置の適用状況について（ドイツ・産業部門）
126	17	ドイツの産業部門向け電力価格の幅について（ドイツ・産業部門・1億kWh/年以上の大口需要家）（単位：€セント/kWh）
134	18	IEAにおける電力価格の将来予測
仕様5 : 再生可能エネルギーコスト ポテンシャル試算のためのデータ整備		
（該当なし）		（該当なし）