

鉄鋼業のカーボンニュートラルに向けた 国内外の動向等について

令和4年9月12日

経済産業省 製造産業局

鉄鋼業のカーボンニュートラルに向けた動向（ポイント）

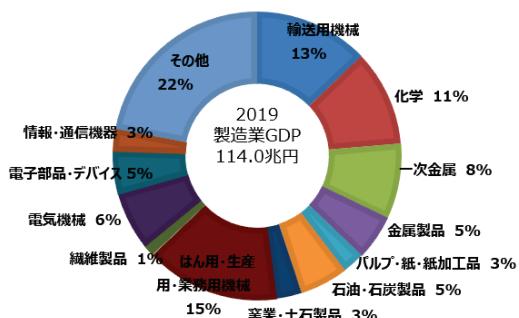
- 我が国の鉄鋼業は、日本経済・地域経済の基幹産業として、中国の伸長をはじめ厳しい国際競争に晒される中、高い競争力を有する生産体制を構築。自動車など川下産業への質の高い素材供給を通じて様々な産業の競争力の基盤として大きな役割。
- 鉄鋼分野におけるカーボンニュートラルの実現に向け、①高炉法での水素還元、②電炉法の利用拡大、スクラップ利用による生産だけでは鉄鋼需要を満たせないことを踏まえ③グリーンな鉄源確保のための直接水素還元技術の拡大等、複線的アプローチを追求。
- 日本は世界に先駆けて水素還元製鉄の技術開発を開始したが、海外も着々とカーボンニュートラルに向けた取り組みに着手。
 - i. **研究開発**：高炉水素還元、直接水素還元、流動層水素還元等
 - ii. **足元の設備投資**：グリーンな鉄源を確保するため、欧米では直接還元炉（まずは天然ガスを利用）・電炉を導入
 - iii. **グリーン市場の創出**：産業の脱炭素化に関する議論・市場創出に向けた動きが活発化
- 長期的なイノベーションを推進していくとともに、トランジション期間の設備投資や、標準化などの戦略的な国際ルール形成により、グリーン市場の創設に向けた取組を官民一体となって進めることが重要。

鉄鋼業をはじめとする素材産業の重要性 - 我が国産業競争力の源泉

①日本経済・地域経済の基幹産業

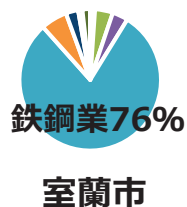
鉄をはじめとする素材産業は製造業GDPの2割、鉄鋼22万人、化学94万人の雇用を支える我が国の基幹産業。工場が立地する地域経済の牽引役としても重要な役割を果たす。

<製造業GDPの割合>



<出典> 内閣府「国民経済計算（経済活動別国内総生産）」

<製造品出荷額の割合>

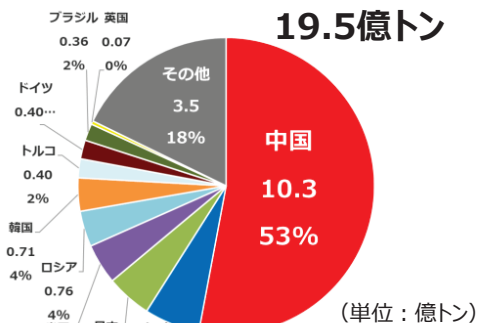


<出典> 経済産業省工業統計表（2019）

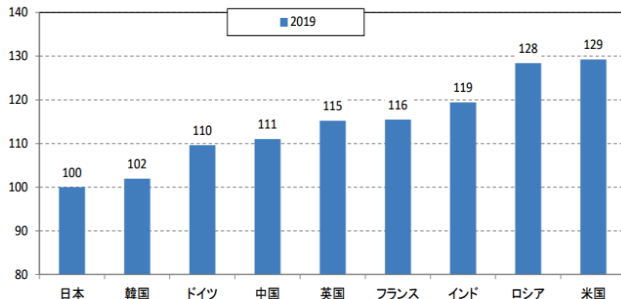
②高い国際競争力

中国の伸長をはじめ、鉄鋼業では熾烈な国際競争が行われているが、その中でも我が国は、例えば生産プロセスにおけるエネルギー効率について世界最高水準を満たしている。

<2021年粗鋼生産量（速報値）>



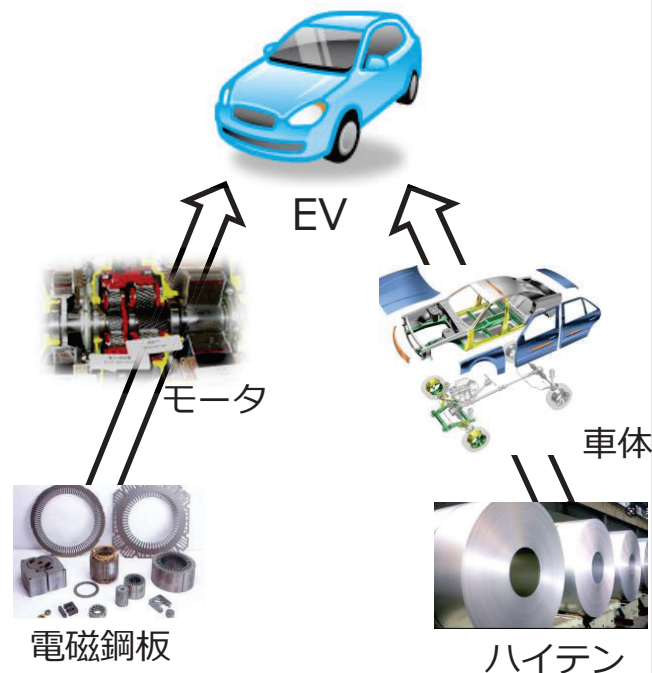
<鉄鋼生産のエネルギー効率>



（出典）公益財団法人地球環境産業技術研究機構『2019年時点のエネルギー原単位の推計』

③川下産業・国民全般への質の高い素材供給

我が国の強い素材産業は、川下製造業からの高い品質・価格要求に対応し、他産業の競争力の基盤。



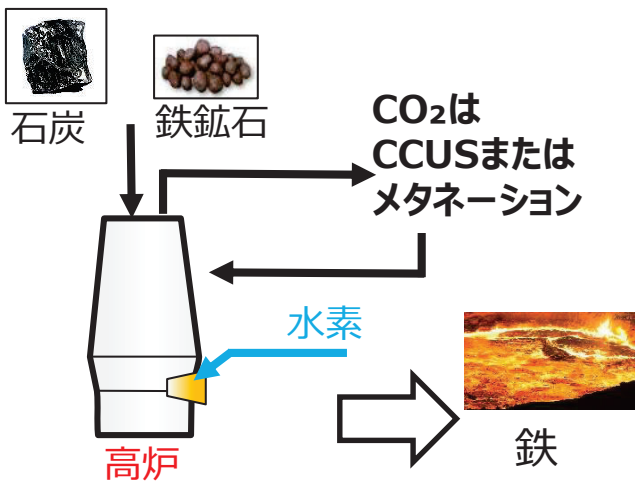
鉄鋼産業の生産プロセス転換

高炉法

運用に高度な技術力を要するが、高品質、経済性を両立させる極めて効率的な生産手段。
製造プロセスで必ずCO₂が発生する。

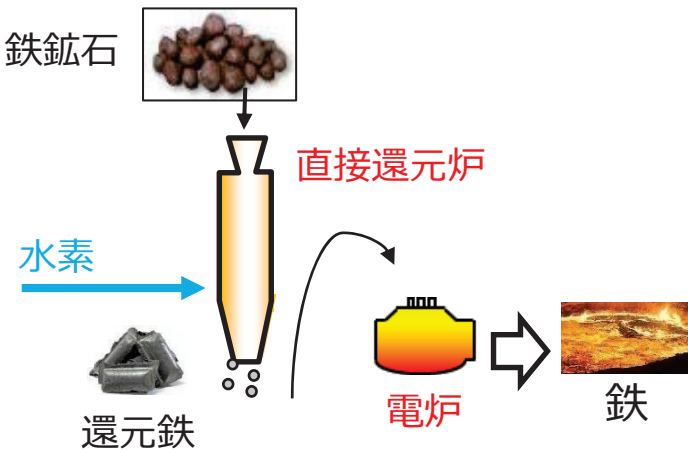


水素還元製鉄・カーボンリサイクル



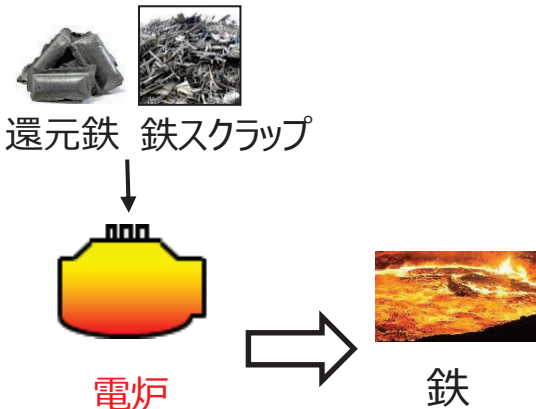
- ・高炉で使用する石炭の一部を水素、またはメタンに代替することで、製鉄プロセスで発生するCO₂排出量を大幅に抑制。
- ・2030年代に実証炉を導入し、2040年代半ばに実装予定。

直接還元製鉄



- ・石炭を使わずに、水素だけで低品位の鉄鉱石を還元。製造したペレットを電炉で溶解し、鉄鋼を生産。実証に向けて要素技術の研究開発中。
- ・2030年代に実証炉を導入し、2040年代半ばに実装予定。

電炉化



- ・還元鉄および鉄スクラップを電気炉で溶解し、鉄鋼製品を製造。大型化した際の不純物（リン、銅など）除去の技術を開発中。
- ・2030年度までに実機化を目指す。

➡ 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」事業で支援。
(国費負担額：上限1935億円)

各国鉄鋼メーカーの脱炭素化に向けた取組（日本）

日本製鉄

- ・2030年までにCO₂総排出量を30%削減。（2013年比）
- ・2050年に向けて大型電炉での高級鋼量産、水素還元製鉄、CCUSなどを含めた複線的なアプローチでカーボンニュートラルを目指す。
- ・GI基金を活用し、2025年度下期より君津第二高炉においてCOURSE50高炉の実機検証を開始予定。また、波崎研究開発センターに小型試験電気炉および小規模試験直接還元炉を設置し、それぞれ2024年度、2025年度から試験開始予定。

JFEホールディングス

- ・2030年までにCO₂総排出量を30%以上削減。（2013年度比）
- ・2050年カーボンニュートラルの実現を目指し、カーボンリサイクル高炉とCCUを軸とした超革新的技術開発に挑戦。
- ・GI基金を活用し、カーボンリサイクル試験高炉、水素直接還元小型ベンチ試験炉、試験電気炉を東日本製鉄所千葉地区に建設。カーボンリサイクル試験高炉は2025年に稼働し2026年まで、水素直接還元小型ベンチ試験炉は2024年に稼働し2026年まで、試験電気炉は2024年に稼働し2025年まで、に実証試験を完了する予定。

神戸製鋼所

- ・2030年までに生産プロセスにおけるCO₂を30~40%削減。（2013年度比）
- ・2050年カーボンニュートラルに向け、技術・製品・サービスで1億t以上のCO₂排出削減に貢献する。
- ・既存技術の省エネ化と革新技術（COURSE50,フェロコークス）の開発に加え、MIDREX®技術（直接還元鉄製造）により、CO₂排出削減で業界をリードしていく。
- ・2022年5月より、低CO₂高炉鋼材「Kobenable Steel」を商品化。
- ・GI基金を活用し、高砂製作所において小型商用電炉を改造し、2022年度に試験開始予定。

各国鉄鋼メーカーの脱炭素化に向けた取組（海外）

欧州の動向

SSAB

・スウェーデンのSSABはLKAB（鉄鉱石生産）、Vattenfall（電力会社）とともに共同イニシアチブ「HYBRIT」を立ち上げ、スウェーデンエネルギー庁の支援も受けて、直接水素還元技術の開発に取り組み、2026年には商業生産開始を目指す。

・なお、欧州委員会は、スウェーデンが2045年までに鉄鋼を含む金属産業のネットゼロを達成するために、EUの補助金「Just Transition Fund」のうち1億5,570万ユーロを受領することを発表。

アルセロール・ミタル

・欧州鉄鋼大手のアルセロール・ミタルは直接水素還元の実証プラントを独・ハンブルク製鉄所に建設し、2025年末までに操業を開始する予定。

・ドイツ政府は本プロジェクトの総額の半分に当たる5,500万ユーロを支援。

ティッセンクルップ

・ドイツのティッセンクルップは高炉における水素利用の拡大および直接水素還元技術の開発を行う「H2Stahl」プロジェクトを開始し、2025年頃までに年間120万トン生産できる直接還元プラントを建設予定。

・ドイツ経済・エネルギー省は本プロジェクトに対し約3,700万ユーロを助成。

各国鉄鋼メーカーの脱炭素化に向けた取組（海外）

米国の動向

U.S.スチール

- ・米国高炉大手のU.S.スチールは、**年産300万トンの電炉・鋼板工場を新設**し、2024年に稼働開始予定。
- ・2021年にはスタートアップのBig River Steel（電炉、薄スラブ連続鑄造機、圧延機を持つ）を買収。
- ・2022年8月に**インフレ削減法案が成立**。今後10年で気候変動対策などに4,370億ドルを投じるが、そのうち鉄鋼、アルミニウム、セメントなどの多排出産業に対し「**先進産業施設導入プログラム**」として53億ドルを投じる。

アジアの動向

宝武鋼鉄集団

- ・中国最大手の宝武鋼鉄集団は、報道によると**ミニ高炉を利用した水素還元の研究**を開始。2019年1月に清華大学、中核集団と技術戦略協議を結び、水素還元製鉄の共同研究を実施。
- ・広東省の湛江製鉄所には年産能力100万トンの**直接還元プラントを導入**することを決定。2024年にも稼働する予定。
- ・宝武鋼鉄集団、国緑色発展基金、中国太平洋保険、建信金融資産投資は、**カーボンニュートラルの実現を目指し、宝武炭中和株式投資基金を共同で設立**。

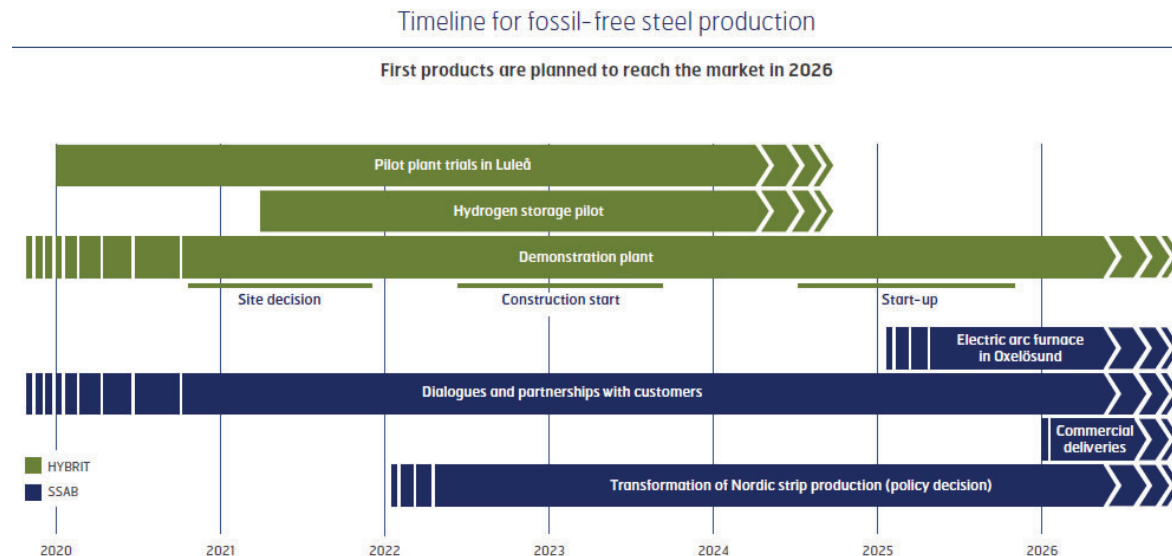
ポスコ

- ・韓国最大手のポスコは、独自の製鉄技術「FINEX®」（流動層還元法）技術を活用し、**水素還元技術「HyREX」の開発**を進める。
- ・2050年までに水素還元製鉄の商用化を目指す。

(参考) 各国鉄鋼メーカーの脱炭素化に向けた取組

① SSAB（スウェーデン）

- SSAB（製鉄）、LKAB（鉄鉱石生産）、Vattenfall（電力会社）は、直接水素還元技術の開発に向けて、2016年に共同イニシアチブである「HYBRIT（Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology）」を立ち上げた。
- 2020年からパイロットプラントでの実証を開始しているが、2025年にも年産能力130万トンのデモプラントを立ち上げ、2026年には商業生産開始を目指す。
- パイロットプラントで生産されたグリーンスチール用いて、ボルボ・カーズと世界初の化石燃料を使用しない鉄を用いる自動車を製造しており、今後メルセデス・ベンツにもグリーンスチールを供給する予定。



(参考) 各国鉄鋼メーカーの脱炭素化に向けた取組

②アルセロール・ミタル (欧州)

- 直接水素還元の実証プラントをハンブルク工場に建設し、2025年末までに操業を開始する予定。実証プラントでは、年間約10万トンの直接還元鉄を生産する。初期段階は製鉄所排ガスに含まれる水素や天然ガスを原料とする水素を使用し、最終的にはグリーン水素に切り替えることを想定している。
- また、「フランス2030」による支援を受け、2030年までにダンケルク工場、フォス・シュル・メール工場に17億ユーロを投資し、2030年までに同社がフランス国内で排出するCO₂排出量の約40%削減する見込み。ダンケルクでは250万トン規模の直接水素還元炉および電炉を、フォスでは電炉を建設予定。新工場は操業開始を2027年に予定しており、あわせて2030年までにダンケルクの高炉3基のうち2基、フォスの高炉2基のうち1基を順次廃止する計画。



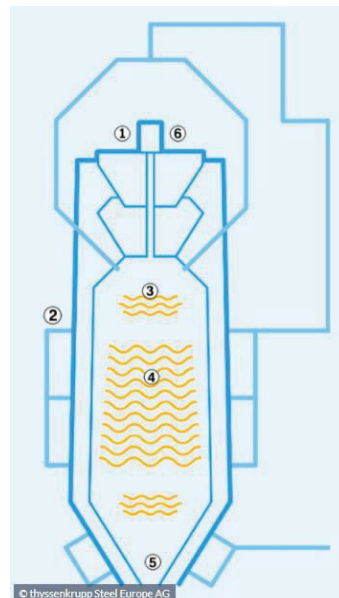
ネットゼロに向けたロードマップ



（参考）各国鉄鋼メーカーの脱炭素化に向けた取組

③ ティッセンクルップ（ドイツ）

- 2020年にティッセンクルップ（鉄鋼）、エアリキード（産業ガス）は、高炉における水素利用の拡大および高炉法から直接水素還元法への転換を目指す「H2Stahl（H2Steel）」プロジェクトを開始。2025年頃までに年間120万トン生産できる直接還元プラントを建設する予定。
- 将来的にグリーン水素とグリーン電力で直接還元炉を稼働させ、2030年にグリーンスチール年間生産量300万トン達成を目指す。



H2Stahlプロジェクト

- ①鉄鉱石（ペレット、塊鉱石）投入口
- ②還元ガス（摂氏1,050度超）投入口
- ③予熱
- ④一酸化炭素と水素が鉄鉱石を還元
- ⑤製品排出口
- ⑥ガス出口

（参考）各国鉄鋼メーカーの脱炭素化に向けた取組

④ U.S.スチール（米国）

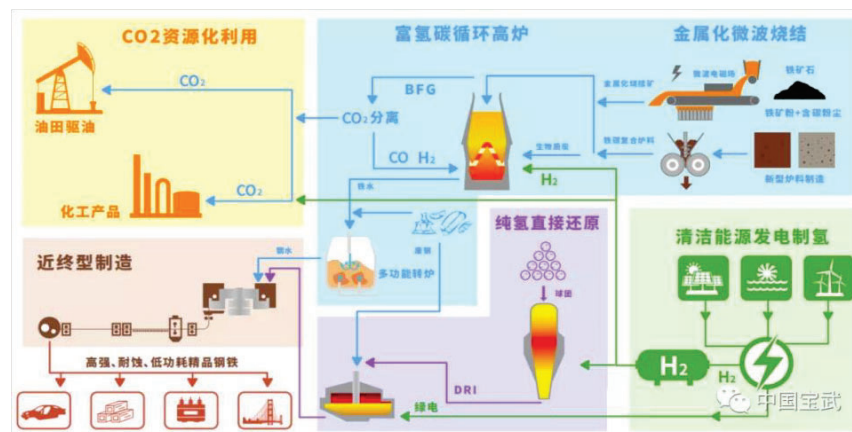
- 年産300万トンの電炉・鋼板工場を新設し、2024年に稼働を始める予定。先端ハイテンなど次世代高機能鋼材を生産する。
- 持続可能な鉄鋼製品ライン「verdeX」では、最大90%スクラップ鉄を活用し、従来の1/4のCO₂排出量で、同等の高張力鋼を生産可能。
- 2021年にはスタートアップのBig River Steel（電炉、薄スラブ連続鋳造機、圧延機を持つ）を買収。Big River Steelは、別途建設中の高炉銑外販用の鋳銑機（2023年初旬に稼働開始予定）から、高炉銑生産量の半量の供給を受ける予定。



（参考）各国鉄鋼メーカーの脱炭素化に向けた取組

⑤ 宝武鋼鉄集団（中国）

- 中国最大の鉄鋼メーカーで、2023年にCO₂排出ピークアウト、2025年にCO₂排出量を30%削減する技術を確認し、**2035年CO₂排出量を30%削減、2050年カーボンニュートラルを達成**する目標を掲げる。
- これまで熱風の代わりに純酸素を吹き込むことで石炭使用量を削減する酸素高炉技術の開発を進めてきたが、よりCO₂排出を削減すべく、**ミニ高炉を利用した水素還元**の研究も進めている。また、電炉鋼生産も増やす方針。
- また、広東省の湛江製鉄所には年産能力100万トンの直接還元プラントを導入することを決定し、2024年にも稼働する予定。



（出典）2021年3月5日 産業新聞 中国・宝武集団 水素利用に注力 水素還元開発など

<https://www.japanmetal.com/news-a20210305104405.html>

2021年9月14日 産業新聞 高炉の水素還元研究／中国企業が相次ぎ着手

<https://www.japanmetal.com/news-a20210914110735.html>

(参考) 各国鉄鋼メーカーの脱炭素化に向けた取組

⑥ポスコ（韓国）

- 2025年まで、副生水素の生産能力を現在の10倍に増やし、2030年までブルー水素を50万トン生産する計画。さらに2040年までにグリーン水素200万トンの生産体制を構築するなど、2050年までに水素500万トンの生産体制を完成させる。
- 浦項（ポハン）製鉄所で稼働中の独自の製鉄技術「**FINEX®（ファイネックス）**」（流動層還元法）技術を活用し、水素還元技術「HyREX」の開発を進める。2030年までに商用化の可能性を検証し、既存高炉を水素還元設備に段階的に移行する計画。2050年までに水素還元製鉄の商用化を目指す。



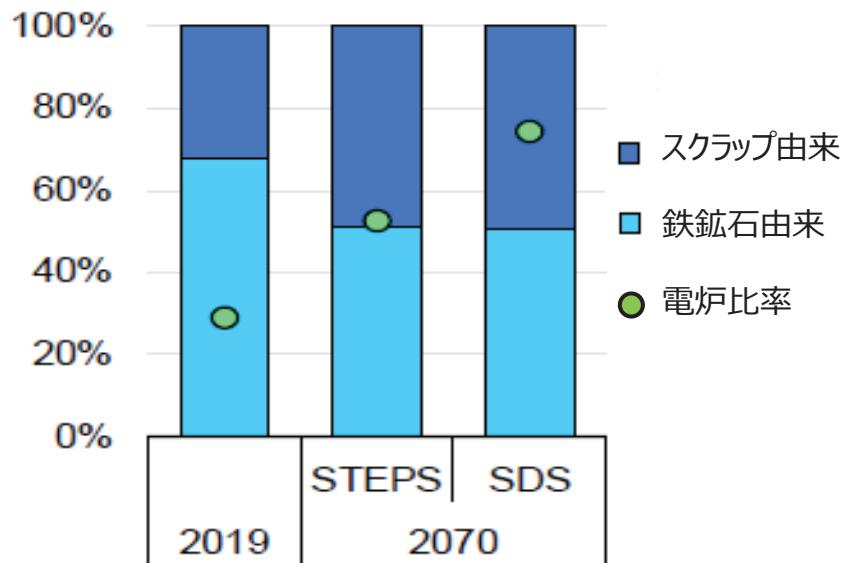
（出典）プライメタルズHP

（出典）2021年9月9日 鉄鋼新聞 <https://www.japanmetaldaily.com/articles/-/91631>
韓国ポスコ／カーボンニュートラル達成へ／ファイネックスで水素還元製鉄／50年までに商用化目指す
2020年12月14日 東亜日報 <https://www.donga.com/jp/article/all/20201214/2293174/1>
水素事業で50年に売上30兆ウォン達成、ポスコ「脱炭素時代ビジョン」を発表

原料の調達

- カーボンニュートラルに向けて、欧米では高炉法から直接還元法および電炉法への転換が進められており、IEAレポートでも電炉比率が高まっていく見通しが示されている。
- これに伴い、鉄スクラップの需要拡大が予想されるが、現在輸出されているスクラップを国内で利用しても需要を満たせない見込み。また、通関統計によれば、直接還元鉄（HBI）の海上貿易量は8～10百万t/年（HBI生産量全体の約 1 割）であることから、自社でのHBIの製造も必要。

電炉法・高炉法比率見通し



STEPS :Stated Policies Scenario (現状維持シナリオ)
 SDS :Sustainable Development Scenario (持続可能な発展シナリオ)

(出典) IEA Energy Technology Perspectives 2020

全国スクラップ需給バランス (2019年実績)

(百万t)

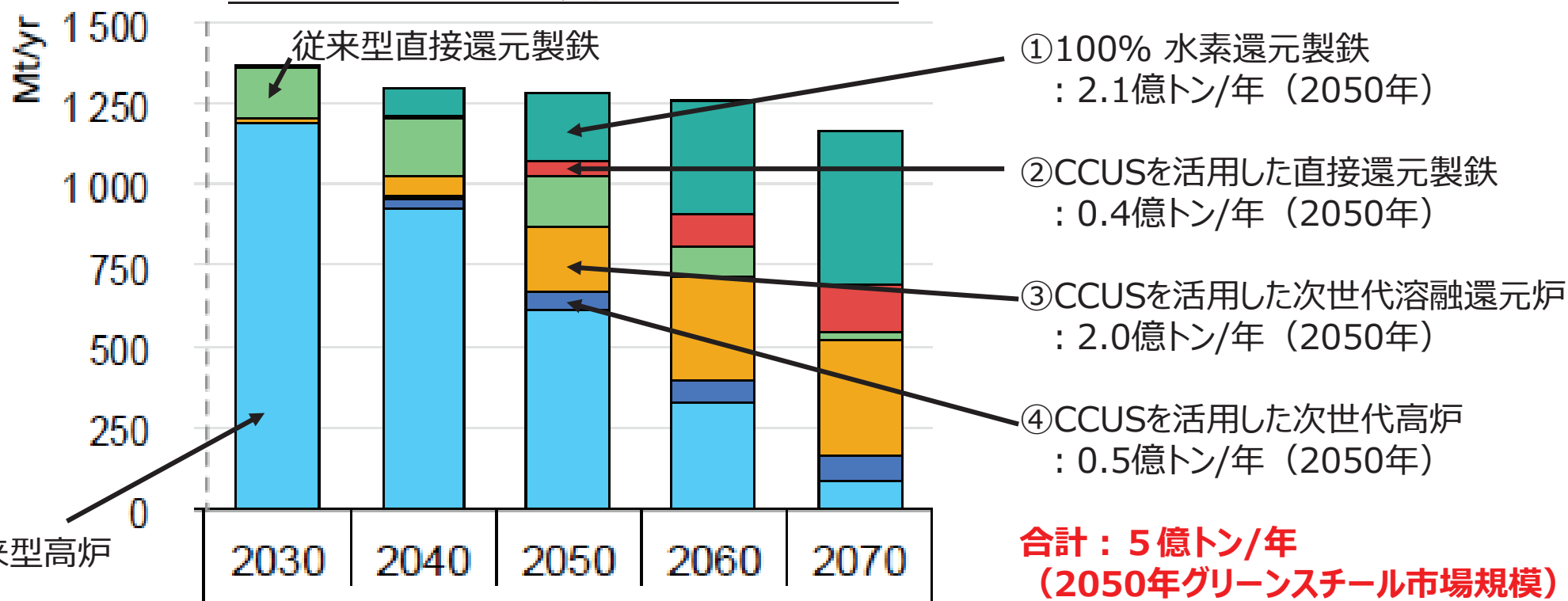
	発生量	国内		輸出	使用計
			うち電炉		
上級	18.5	15.1	11.4	3.5	18.6
下級	15.8	11.5	11.3	4.1	15.6
合計	34.3	26.6	22.7	7.7	34.3

(出典) 一般社団法人日本鉄源協会

グリーンスチールの市場確立

- IEAは、製造工程のCO₂排出量が実質ゼロである「グリーンスチール」の市場が、2050年時点で約5億トン（2070年にはほぼグリーンスチールに代替）との予測。
- 本市場を獲得するためには、日本鉄鋼業が水素還元製鉄等の革新技術を世界に先駆けて確立することが不可欠。
- この際、標準化活動の展開を通じて、日本製のグリーンスチールの技術的強みが、市場に受容される可能性を、戦略的に高めることなどが必要。

製造法別銑鉄および還元鉄生産量見通し



合計：5億トン/年
(2050年グリーンスチール市場規模)

(出典) IEA Energy Technology Perspectives 2020

グリーンスチールに関する動向

政府レベル

- ・G7議長国独の要請を受けて、IEAが産業脱炭素化に関するレポートを作成。本レポートで示された、スクラップ利用率に応じて異なるニア・ゼロ・エミッション鉄の定義についてG7で議論。
- ・温室効果ガス排出削減に向けて、環境負荷の少ない製品を優先的に調達するグリーン調達を推奨する動きが見られる。

民間レベル

- ・XCarb™（アルセロール・ミタル）やKobenable Steel（神戸製鋼）、HYBRIT（SSAB）等、製造時のCO₂排出量を従来の鋼材より大幅に削減したグリーンスチールの提供を開始。
- ・自動車メーカーなどの需要側もCO₂排出削減目標を発表し、部品供給側にも排出削減を求める動きが出てきている。
- ・2050年ネット・ゼロを達成するために必要な重要技術の早期市場創出に向け、世界の主要グローバル企業が購入をコミットするためのプラットフォームとして、米国はFMC（First Movers Coalition）を提案。

(参考) 産業脱炭素化に関するG7での議論の流れ

①「Achieving Net Zero Heavy Industry Sectors in G7 Members」

IEAはG7議長国独の要請を受け、特に鉄・セメントに焦点を当てた産業脱炭素化に関するレポートを作成し、5月に公表。

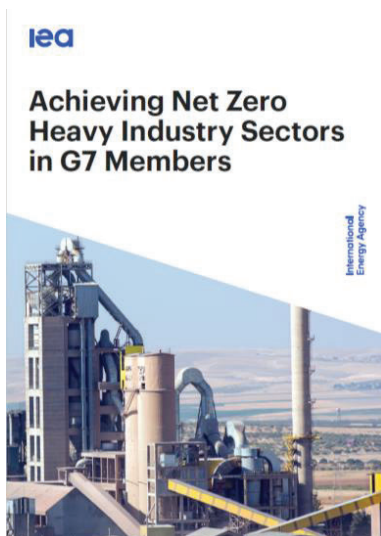
②「Conclusions regarding the Industrial Decarbonisation Agenda」

2021年に英国G7議長国と米国のイニシアティブで産業の脱炭素化を進展させることを目的に、産業脱炭素化アジェンダ（IDA（Industrial Decarbonisation Agenda））の議論が開始。独は今年度議論を継続し、IEAの報告内容をベースに、G7としての取組を成果としてとりまとめたもの。

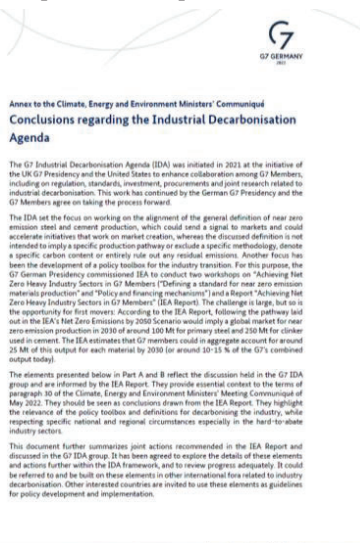
③「G7 Climate, Energy and Environment Ministers' Communiqué」

産業脱炭素化アジェンダIDAでの議論を最終的にコミュニケに反映。

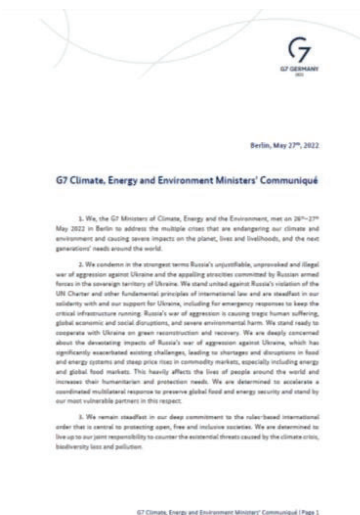
①IEAレポート



②IDA成果文書 (Annex)



③コミュニケ成果文書



(参考) IEA ニア・ゼロ・エミッション素材の標準・定義 (鉄)

【定義設定の目的】政策決定の道筋を立てるため

(例：ニア・ゼロに整合的であるか否かによる公的資金の支援や制限等)

【バウンダリー】直接 + 間接排出を含めて計算することが望ましいものの、間接排出には計測限界があるため、少なくとも直接排出は含めるべき。

【粒度】地域、国、産業、工場、製品単位等に限定するものではない。

【計測方法・データ収集】特定はしない。

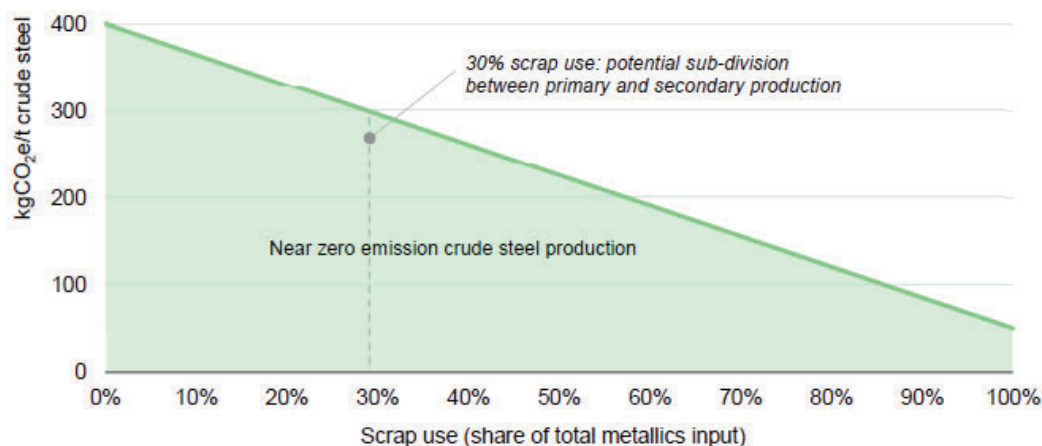
【留意事項】特定の技術を限定または排除しない (例：CCUSは可)

⇒【定義】スクラップ比率に応じた異なる定義 (400 (0%) ~ 50 (100%) kgCO₂e/t)

※IEAネットゼロレポート (2021年) の道筋に整合的な数値目標を設定

定義

Figure 3.2 Near zero emission crude production threshold as a function of scrap use

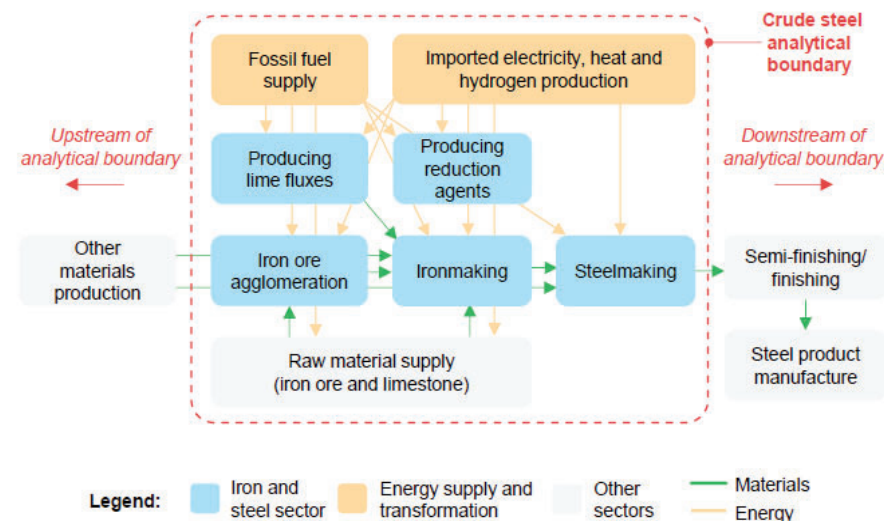


IEA. All rights reserved.

Notes: See the Technical Annex for the specific function used to formulate the series on the graph.

バウンダリー

Figure 3.1 Analytical boundary for defining near zero emission steel production



IEA. All rights reserved.

Notes: "Other materials production" refers to the production of material inputs to the iron and steel sector besides iron ore and limestone, including electrodes, alloying elements and refractory linings.

(参考) グリーン調達の変遷

- 温室効果ガス排出削減に向けて、環境負荷の少ない製品を優先的に調達するグリーン調達を推奨する動きが見られる。
- 例えば、世界経済フォーラムは、公共調達における温室効果ガス排出量を削減すべく、グリーン調達システムを作成する手順を提案。

組織名	国	概要
世界経済フォーラム (WEF)	スイス (本部)	2022年に発表したレポート“Green Public Procurement: Catalysing the Net-Zero Economy”において、 <u>公共調達における温室効果ガス排出量を削減</u> すべく、調達担当の公務員向けに、体系的な <u>グリーン調達システムを作</u> ることを推奨。データ収集による現状認識から調達の標準化、制度の普及まで10ステップを経て推進していくことを提案。
未来資源研究所(RFF)	米国	2020年に発表したレポート“Green Public Procurement for Natural Gas, Cement, and Steel”において、鉄鋼、セメントおよび天然ガスを対象に、 <u>温室効果ガス排出量測定や報告の基準を作成することなど、公共調達の推進に必要な内容を提唱</u> 。
欧州委員会	欧州	2016年に発行されたハンドブックにおいて、オフィスビルや道路建設など <u>21品目がグリーン調達の対象とされ、調達基準は品目ごとに定められている</u> 。例えばオフィスビルについては、設計者選定や建設準備、設備管理等の項目ごとに、使用する材料、水の消費量、廃棄物等について求められる基準を規定している。

(参考) 各国大手鉄鋼メーカーのグリーンスチール

- 各国大手鉄鋼メーカーは、製造時のCO₂排出量を従来の鋼材より大幅に削減した低CO₂鋼材（グリーンスチール）の提供を開始。

アルセロール・ミタル “XCarb™”

・水素を含む排ガスを回収し、高炉に投入することで石炭の使用量を削減する技術や、石炭の代わりとなるバイオコークスを製造する技術等による削減効果を、「Xカーブグリーンスチール証明書」として発行。

ティッセンクルップ “Bluemint®”

・鉄鉱石の一部を「HBI」に置き換える事で使用するコークスを減らし、CO₂排出量を削減させ、その削減効果を環境価値として、低CO₂鋼材に対して割り当てる。

神戸製鋼 “Kobenable Steel”

・鉄鉱石の一部を「HBI（還元鉄を押し固めたもの）」に置き換える事で使用するコークスを減らし、CO₂排出量を削減させ、その削減効果を環境価値として、低CO₂鋼材に対して割り当てる。

【低CO₂高炉鋼材“Kobenable Steel”の種類】

商品名	トン当たりのCO ₂ 排出量の削減率（従来比※5）
Kobenable Premier	100%
Kobenable Half	50%

（出典）神戸製鋼HP

SSAB “HYBRIT”

・試験プラントにおいて再生可能エネルギー由来の水素で還元したグリーンスチールを用いて、世界初の車を製造したことを発表。



（出典）2021年12月9日 日本経済新聞

(参考) マスバランス方式

ある特性（例：低CO₂品）を持った原料の投入量に応じて、製品の一部に対してその特性を割り当てる手法。

(参考) グリーンスチール調達を検討する需要側の動き

- 自動車メーカーなど需要側もCO₂排出削減目標を発表し、部品供給側にも排出削減を求める動きが出てきている。

○トヨタ自動車

- ・2035年までに世界の自社工場でCO₂排出を実質ゼロにする目標を発表。
- ・直接取引している世界の主要部品メーカーに対し、2021年のCO₂排出量を前年比3%削減するよう要請。

○ホンダ

- ・主要部品メーカーに対し、CO₂排出量を2019年度比で毎年4%ずつ削減し、2050年には実質ゼロにするよう要請。

○海外

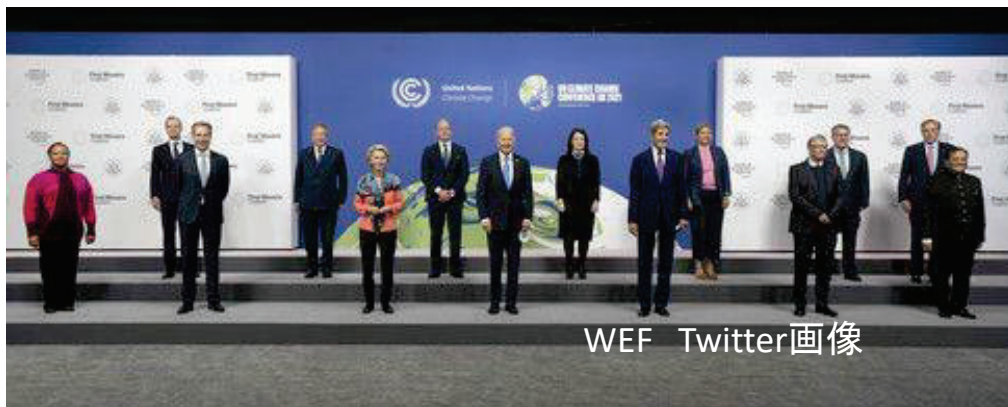
- ・BMWはボストン・メタル社が開発した革新的製鉄技術への投資を発表。
- ・メルセデス・ベンツは、2039年までにカーボンニュートラルを実現すべく、サプライヤーにもカーボンニュートラル実現を求めると発表。
- ・ボルボはSSABとともにグリーン鋼材を使用した自動車を商品化することを発表。

(参考) 米First Movers Coalition (FMC)

- COP26において、米国は、産業部門の脱炭素化及びその市場創出に向けたFMCイニシアチブを提案。ケリー特使とWEFが、2050年までにネット・ゼロを達成するために必要な重要技術の早期市場創出に向け、世界の主要グローバル企業が購入をコミットするためプラットフォームとして立ち上げ。
- ブレイクスルー・エナジーともパートナーシップを締結。市場創出とファイナンスを有機的に連携。

ファースト・ムーバーズ・コーリション (FMC)

- COP26において、ケリー特使とWEFが、2050年までにネット・ゼロを達成するために必要な重要技術の早期市場創出に向け、世界の主要グローバル企業が購入をコミットするためプラットフォームとして立ち上げ。アップル、アマゾンなどが初期メンバー。
- 鉄鋼、セメント、アルミニウム、化学品、海運、航空、トラック輸送、ダイレクトエアキャプチャーが対象。
- ビル・ゲイツが創始者となり、ジェフ・ベゾスやマイケル・ブルームバーグなどが出資するブレイクスルー・エナジーが、削減が困難な分野におけるインパクトのあるプロジェクトに資金を提供。



WEF Twitter画像

立ち上げには、バイデン大統領、フォンデアライエン欧州委員長、ビルゲイツなどが参加

【主要参加メンバー】

IT

Amazon
Apple
Western Digital
Nokia
Trane Technologies

エネルギー

ENGIE
Invenergy
Ørsted
Vattenfall

輸送

Deutsche Post DHL Group
Scania

建築

Cemex
Johnson Controls
Dalmia Cement (Bharat)Ltd
Holcim

鉄鋼・金属

SSAB Swedish Steel
Fortescue Metals Group

自動車

Mahindra Group
Volvo Group
ZF Friedrichshafen AG

製造

Trafigura Group
Yara International(アンモニア)
Agility

海運

A.P. Møller-Mærsk
Aker ASA

航空

Airbus
Boeing
Delta Air Lines
United Airlines

その他

Breakthrough Energy
Bain & Company
Bank of America
Boston Consulting

參考資料

1. 高炉を用いた水素還元技術の開発

(1) 所内水素を活用した水素還元技術等の開発

事業の目的・概要

2030年までに、所内水素を活用した高炉における水素還元技術およびCO₂分離回収技術などにより、製鉄プロセスからCO₂排出量を30%以上削減する技術の実装を目指す。

(水素還元技術などで10%以上、CO₂分離回収技術で20%以上の計30%以上削減を想定)

- ① 実炉実証試験に向けた操業条件の検討
- ② 実高炉（5000m³級）での実証試験

実施体制

※太字: 幹事企業

日本製鉄株式会社、JFEスチール株式会社、株式会社神戸製鋼所、
一般財団法人金属系材料研究開発センター

事業期間

2021年度～2029年度（9年間）

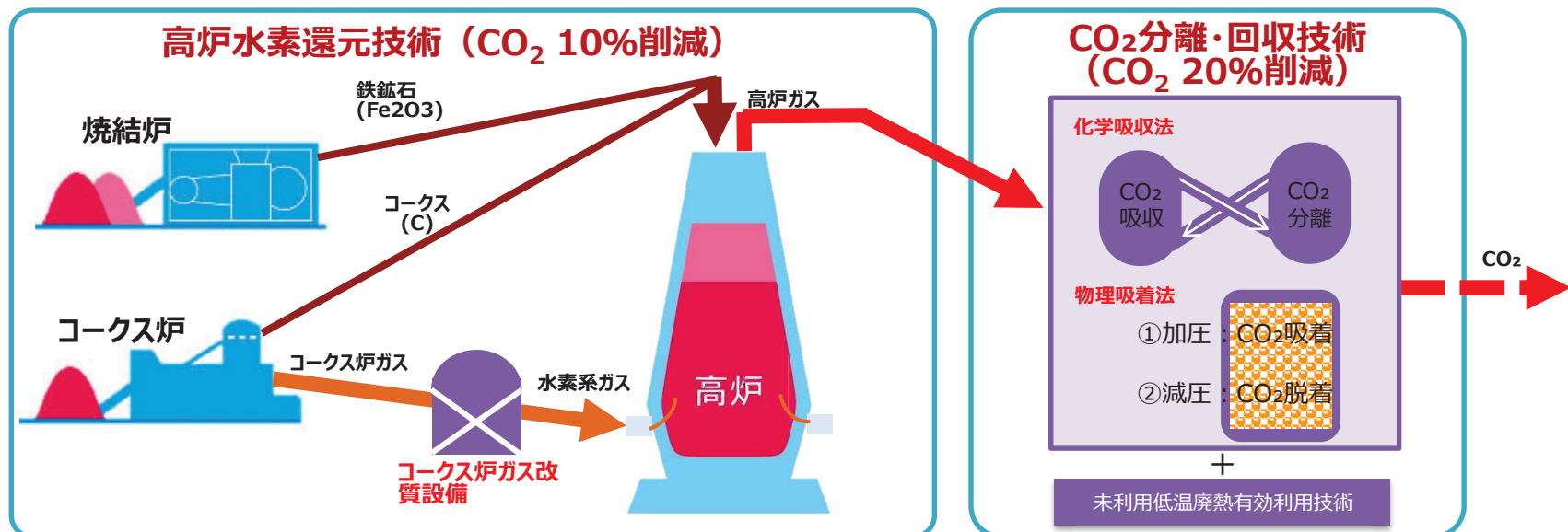
事業イメージ

事業規模等

- 事業規模（①+②）：約353億円
- 支援規模（①+②）*：約140億円

*インセンティブ額を含む。今後ステージゲートで事業進捗などに応じて変更の可能性あり

補助率など：①委託 → ②1/2 補助（インセンティブ率は10%）



1. 高炉を用いた水素還元技術の開発

(2) 外部水素や高炉排ガスに含まれるCO₂を活用した低炭素化技術等の開発

事業の目的・概要

2030年までに、中規模試験高炉（500m³級以上）において、外部水素や高炉排ガスに含まれるCO₂を活用した低炭素技術の開発に加え、バイオマスや還元鉄などを一部原料として活用するなど、あらゆる低炭素化技術を組み合わせることにより、高炉法において製鉄プロセスからCO₂排出を50%以上削減を実現する技術を実証。

- ① 要素技術開発および小規模試験高炉（水素直接吹き込み:12m³、カーボンリサイクル高炉:150m³規模）での検証試験
- ② 中規模試験高炉（500m³級以上）での実証実験

実施体制

※太字: 幹事企業

日本製鉄株式会社、JFEスチール株式会社、株式会社神戸製鋼所、
一般財団法人金属系材料研究開発センター

事業期間

2021年度～2030年度（10年間）

事業イメージ

事業規模等

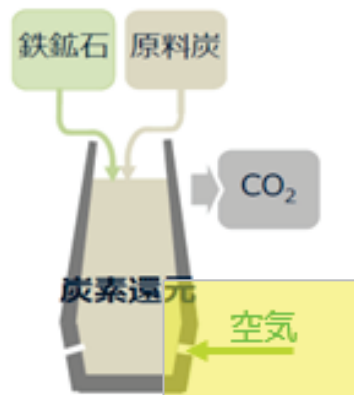
□ 事業規模（①＋②）：約2918億円

□ 支援規模（①＋②）＊：約1214億円

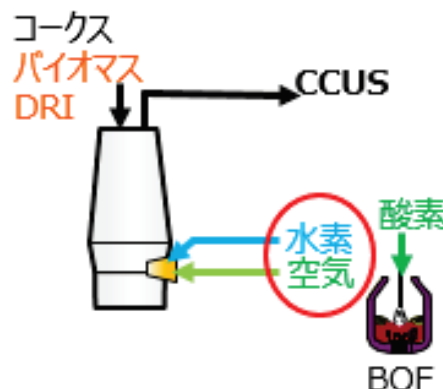
＊インセンティブ額を含む。今後ステージゲートで事業進捗などに応じて変更の可能性あり

補助率など：①委託 → ②2/3補助（インセンティブ率は10%）

従来型高炉技術

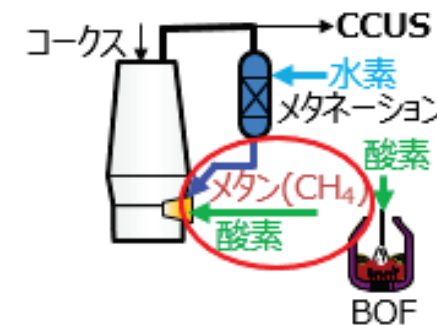


技術①（水素直接吹き込み）



技術②（水素間接吹き込み）

※メタネーション



2.水素だけで低品位の鉄鉱石を還元する直接水素還元技術の開発

(1) 直接水素還元技術の開発

事業の目的・概要

2030年までに、低品位の鉄鉱石を水素で直接還元する技術により、中規模直接還元炉（実炉の1/25～1/5規模）において、現行の高炉法と比較してCO₂排出を50%以上削減を達成する技術を実証。

- ① 要素技術開発および小規模試験炉（実炉の1/250～1/150規模）での検証試験
- ② 中規模直接還元炉（実炉の1/25～1/5規模）試験による実証実験

実施体制

※太字: 幹事企業

日本製鉄株式会社、JFEスチール株式会社、
一般財団法人金属系材料研究開発センター

事業期間

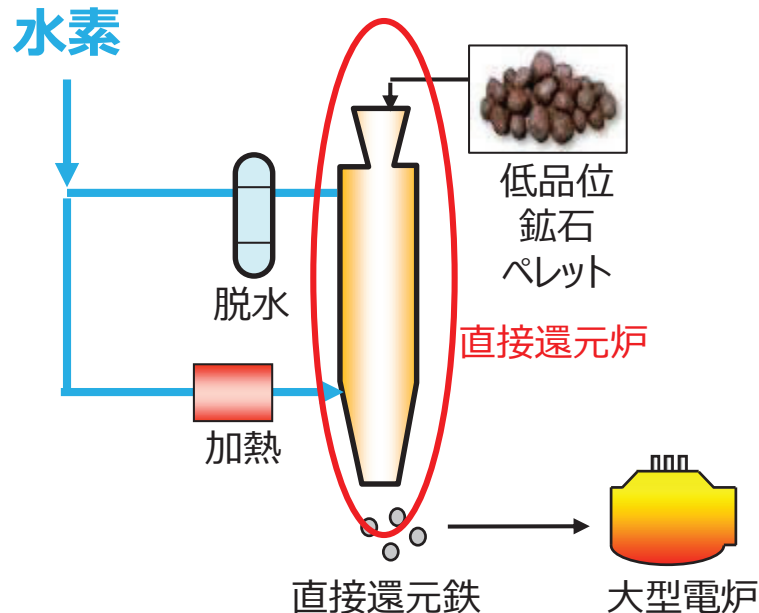
2021年度～2030年度（10年間）

事業規模等

- 事業規模（①＋②）：約724億円
- 支援規模（①＋②）*：約345億円

*インセンティブ額を含む。今後ステージゲートで事業進捗などに応じて変更の可能性あり
補助率など：①委託 → ②2/3補助（インセンティブ率は10%）

事業イメージ



2.水素だけで低品位の鉄鉱石を還元する直接水素還元技術の開発 (2) 直接還元鉄を活用した電炉の不純物除去技術開発

事業の目的・概要

2030年までに、低品位の鉄鉱石の水素直接還元鉄を活用した電炉プロセスにおいて、自動車の外板等に使用可能な高級鋼を製造するため、大型電炉一貫プロセス（処理量約300トン規模）において、不純物（製品に影響を及ぼす成分）の濃度を高炉法並み（リン150ppm、窒素40ppm以下）に制御する技術を実証。

- ① 要素技術開発および小型試験電炉・炉外処理炉（処理量3トン～10トン規模）での検証試験
- ② 大型試験電炉・炉外処理炉（処理量約300トン規模）における実証実験

実施体制

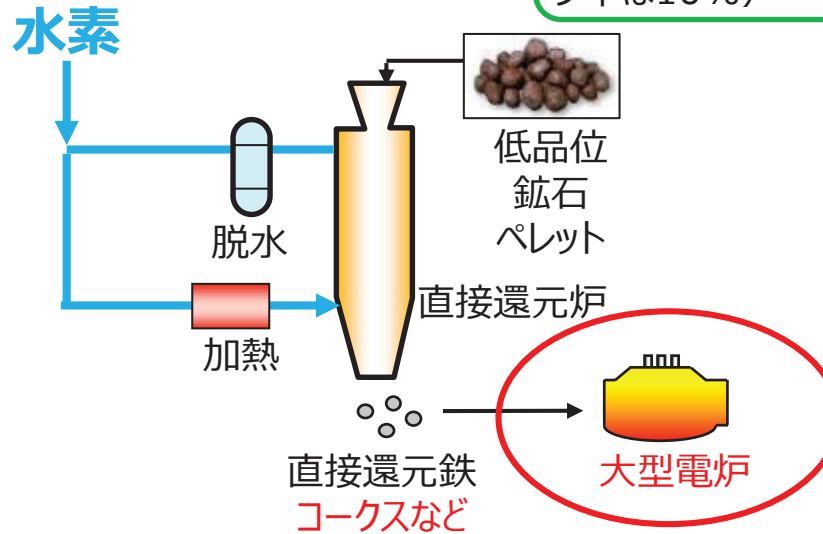
※太字：幹事企業

日本製鉄株式会社、JFEスチール株式会社、株式会社神戸製鋼所、
一般財団法人金属系材料研究開発センター

事業期間

2021年度～2030年度（10年間）

事業イメージ



事業規模等

□ 事業規模（①＋②）：約368億円

□ 支援規模（①＋②）＊：約236億円

＊インセンティブ額を含む。今後ステージゲートで事業進捗などに応じて変更の可能性あり

補助率など：①2/3補助 → ②1/2 補助（インセンティブ率は10%）

製鉄プロセスにおける水素活用

直接コントロールできる部分

経済・社会等の変化

(誰が／何が、どう変化することを目指しているか)

(インプット)

(アクティビティ)

(アウトプット)

(短期アウトカム) (中長期アウトカム) (インパクト)

予算
[2021–
2030年]
1,935
(単位：億円)

1-①所内水素を活用した
水素還元技術等の開発
[予算：140億円]

製鉄プロセスからCO₂排出30%以上削減
[測定指標]現状に対する削減率
[2030年見込]上記数値目標達成
国内で1基以上の導入

1-②外部水素や高炉排ガスに
含まれるCO₂を活用した
低炭素技術等の開発
[予算：1,214億円]

製鉄プロセスからCO₂排出50%以上削減
[測定指標]現状に対する削減率
[2030年見込]中規模試験高炉で実証

2-①直接水素還元技術の
開発
[予算：345億円]

現行高炉法よりCO₂排出50%以上削減
[測定指標]現状に対する削減率
[2030年見込]中規模直接還元炉で
実証

2-②直接還元鉄を活用した
電炉の不純物除去技術
開発
[予算：236億円]

不純物の濃度を高炉法並みに制御
[測定指標]不純物の濃度
[2030年見込]中規模試験高炉で上
記数値目標達成を実証

○環境価値の評価等、技術の
社会実装に向けた仕組み作り

技術の実装にあわせて制度整備

2030年CO₂削減効果

[測定指標]
CO₂削減量試算
値
[2030年見込]
約200万トン/年
(国内)

2030年経済波及効果

[測定指標]
世界市場規模
推算値
[2030年見込]
約3,200億円/年

2050年CO₂削減効果

[測定指標]
CO₂削減量試算
値
[2050年見込]
約13億トン/年
(世界)

2050年経済波及効果

[測定指標]
世界市場規模推
算値
[2050年見込]
約40兆円/年

**2050年
カーボン
ニュート
ラル達成**

**経済効果 190
兆円**

アウトカム（世界市場規模推計）試算の考え方

- COURSE50技術を活用した高炉1基当たりの予想年間粗鋼生産量約400万トン、平均鉄鋼価格約8万円/トンから算出（2030年）
- エネルギー技術見通し2020（IEA）におけるグリーンスチール（水素還元技術、CCUS技術による製鉄）の最大生産量5億トンから算出（2050年）

関連予算事業

- 関連予算事業として、「**環境調和型プロセス技術の開発事業**」及び革新的環境イノベーション戦略加速プログラムで実施している「**ゼロカーボン・スチール**」に向けた調査研究」の2つの予算事業がある。
- 「環境調和型プロセス技術の開発事業」では①「**COURSE50**」、②「**フェロコークス技術の開発事業**」の2つのプロジェクトを推進。
 - ① COURSE50については、更なる技術発展を目指す形で**本基金プロジェクトに移行**。
 - ② フェロコークス技術の開発事業については、事業が終了する令和4年度以降早期の実用化を見据えて引き続き開発を行う予定。
- 「「ゼロカーボン・スチール」に向けた調査研究」での**成果**（「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた開発課題の抽出と研究開発ロードマップ）は**開発指針として本基金プロジェクトで活用**する。

【環境調和型プロセス技術の開発事業】

①COURSE50
(2008～2021年度、総額約320億円)



基金プロジェクトに移行

②フェロコークス技術の開発事業
(2017～2022年度、総額約106億円)



**令和4年度以降
早期の実用化を目指す**

【ゼロカーボン・スチールの実現に向けた調査研究】
(2020～2021年度、総額2億円)



**本事業の成果を
基金プロジェクトに活用**

カーボンニュートラル実現に向けた課題（①水素還元の高いハードル）

- 鉄鉱石の還元は、炭素ではなく水素を用いる水素還元製鉄は、古来より不変であった製鉄法を根本から変える史上初のチャレンジ。
- 水素還元製鉄は、以下に掲げるような技術面でのハードルが非常に高い。
 - ・ 水素による還元反応は熱を吸収（吸熱反応）し、高炉が冷えてしまうため、連続的に還元するのに必要な熱をどう補填するか（コークス由来の一酸化炭素での還元時は自ら発熱）
 - ・ コークスの役割の一つである反応ガスの通気に必要な炉内の隙間をどう作るのか 等

※技術が確立した場合でも、**多額の設備導入費用**が必要になることに加え、**現在と同等の価格・生産量を維持するには安価（約8円/Nm³）かつ大量（約700万トン）の水素供給が不可欠。**

【水素還元においては熱補填が必要】

①既存技術：炭素の利用（発熱反応）



鉄鉱石 コークス由来の 二酸化炭素
の一酸化炭素

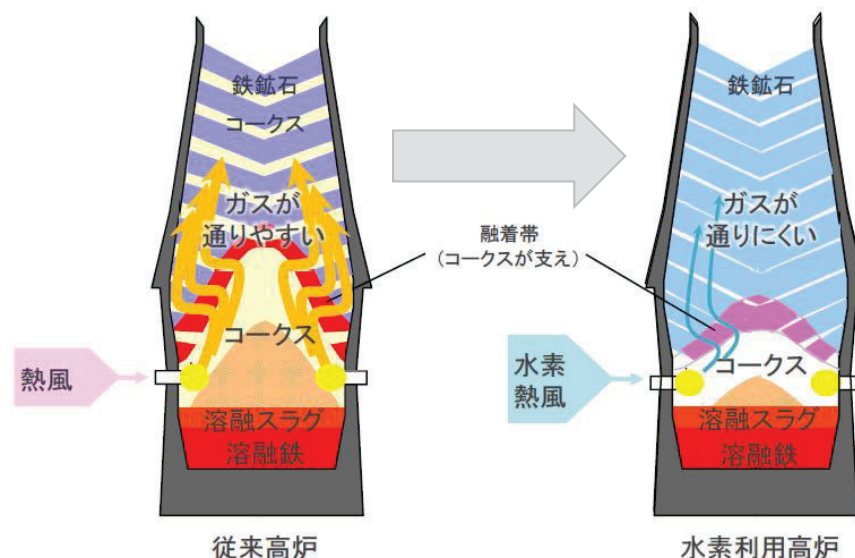
※高炉内の反応は、炭素での直接還元（吸熱反応）もあるが、通常高炉では、COでの間接還元が6割を占めるため、炉内全体では、発熱反応となる。

②革新技术：水素の利用（吸熱反応）



鉄鉱石 水素 (加熱が必要) 水

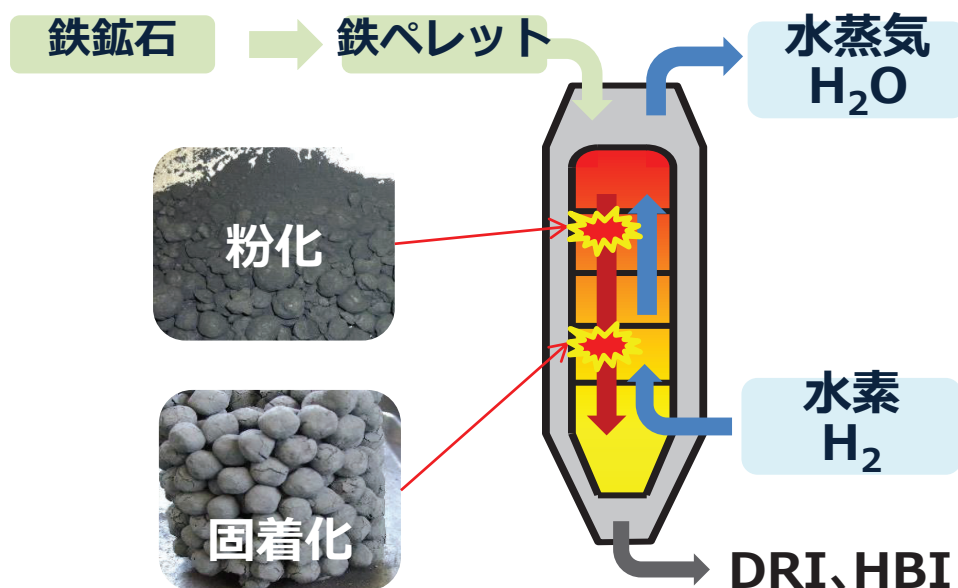
【コークス減少により炉内の通気に問題】



カーボンニュートラル実現に向けた課題（②直接還元炉の活用とその課題）

- 高炉における水素還元製鉄では、最低限のコークスが必要となるため、バイオマスやCCUSの組み合わせが必要となる一方で、直接還元炉（シャフト炉） + 電炉を用いることで、コークスを投入せずに還元するプロセスを実現することが可能。
- しかし、直接還元炉では、以下の技術的課題が存在。
 - ・ 我が国の高炉・転炉法で使用する豪州産等の低品位鉄鉱石では、粉化（鉄ペレットが細かく砕けて粉状となる現象）や固着化（ペレットが塊となり目詰まりを起こす現象）が生じてしまう。
 - ・ 還元剤として水素を用いると、吸熱反応により、粉化や固着化がより発生しやすくなる。

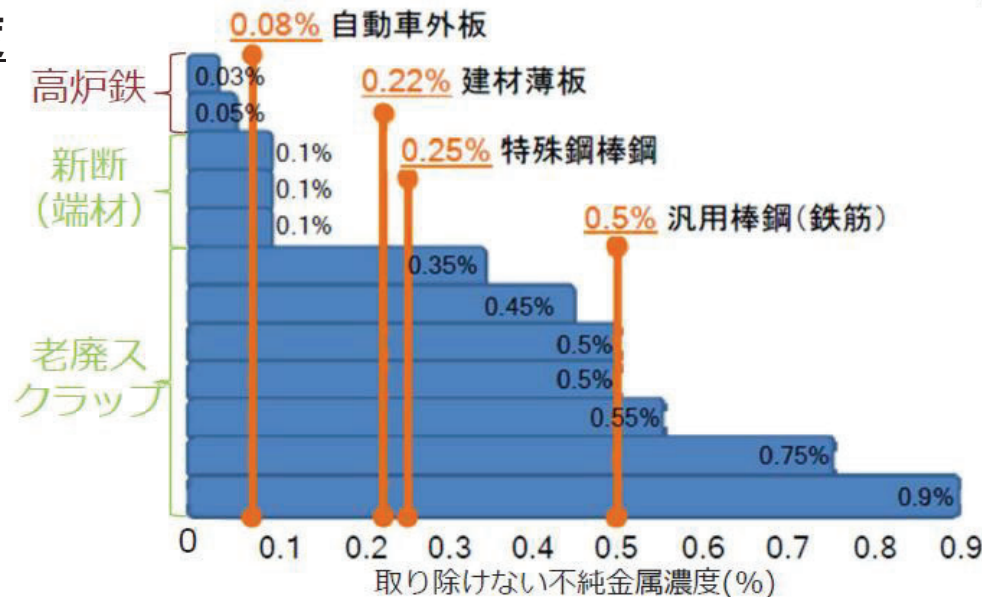
シャフト炉における粉化・固着化



カーボンニュートラル実現に向けた課題（③電炉の活用拡大とその課題）

- 直接還元炉は、固体還元のみ行う装置であり、固体の還元鉄が生産されるため、後段に電炉での溶解工程が不可欠。
- 一方、直接還元炉＋電炉の活用には、以下の技術的課題が存在。
 - ・ 現状の直接還元で使用する高品位ペレットから、高炉・転炉法で使用する豪州産等の**低品位鉄鉱石へ活用範囲を広げて行く**必要性あり。
 - ・ 低品位鉄鉱石を用いた直接還元鉄やスクラップには、**不純物（製品に影響を及ぼす成分。以下同じ。）が含まれるため、既存の電炉では、高炉で生産している高級鋼の製造が困難。**
- 併せて、高級鋼を大量生産している既存の高炉・転炉プロセスと置き換えても生産性や競争力を維持するためには、**電炉の規模を、転炉と同等の処理量約300トン規模**（国内の一般的な規模の電炉の約2倍）**に大規模化する必要**。しかし、大型化すると炉内全体を均一かつ十分に攪拌させることが難しくなり、温度ムラも生じやすくなるため、不純物除去の難易度は上昇。

許容する不純金属濃度



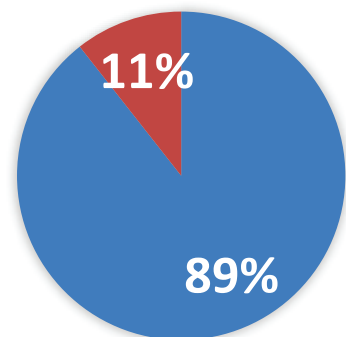
（出典）Jones, A.J.T.,
Assessment of the Impact of
Rising Levels of Residuals in
Scrap, Proceedings of the
Iron & Steel Technology
Conference (2019)

鉄鋼生産主要国の転炉-電炉生産量比率（2021年実績）

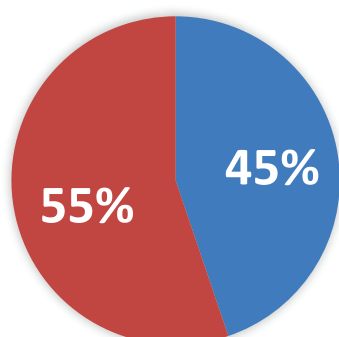
- 日本では高炉・転炉法による生産が75%を占めるが、米国やインド等では電炉の比率が高くなっている。

■ : 高炉・転炉 ■ : 電炉

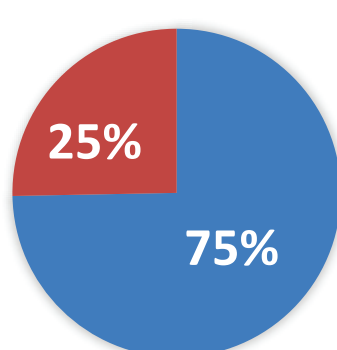
1 位(10.3億トン)
中国



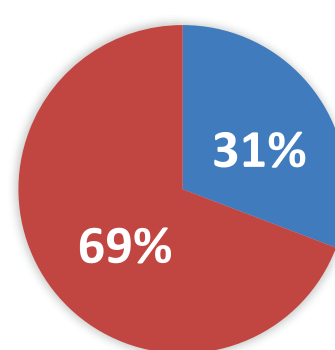
2 位(1.2億トン)
インド



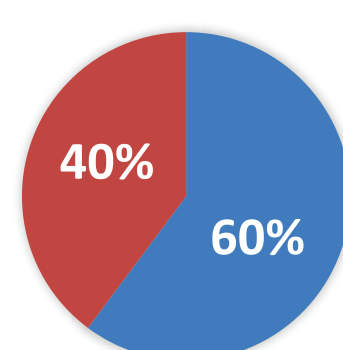
3 位(0.96億トン)
日本



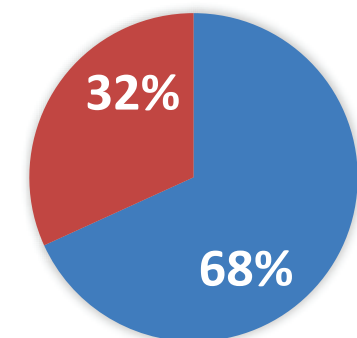
4 位(0.86億トン)
アメリカ



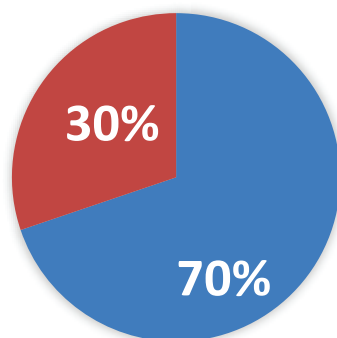
5 位(0.76億トン)
ロシア



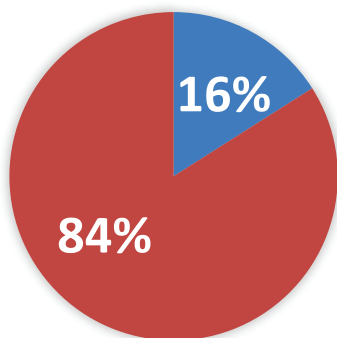
6 位(0.70億トン)
韓国



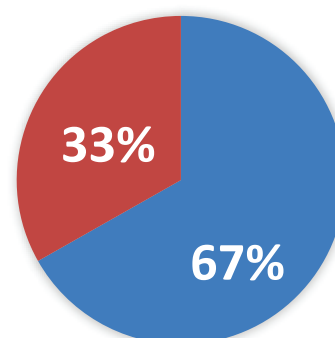
8 位(0.40億トン)
ドイツ



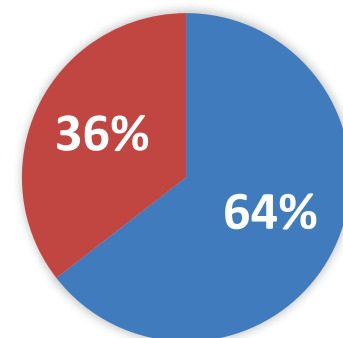
11 位(0.24億トン)
イタリア



16 位(0.14億トン)
フランス



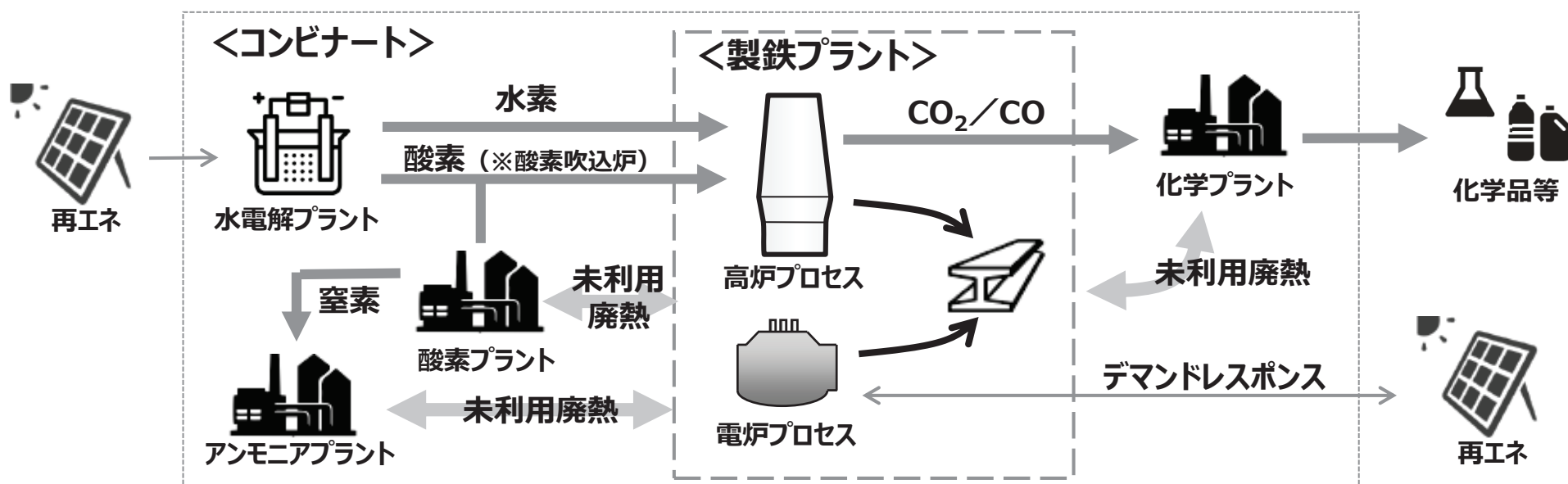
30 位(0.05億トン)
スウェーデン



他産業との連携のイメージ

- 水素還元製鉄プロセスにおける他産業との連携については、実際の立地場所ごとに検討する必要があるが、現時点で想定されるアイデアとしては以下のとおり。
 - － 水素製造工程（水の電気分解）で発生する副生酸素を、CR高炉に活用
 - － 酸素吹き込みで余剰となる窒素を、アンモニア製造プラントに供給
 - － 高炉排ガスに含まれるCOやCO₂を、周辺の化学プラントに供給
 - － 日中の余剰となる太陽光発電を電気炉で利用（デマンドレスポンス）
 - － 未利用排熱を、コンビナート全体で有効活用
- 他産業との連携を加速することにより、製鉄所を結節点として、周辺地域全体のカーボンニュートラルを促進する存在となることが期待されている。

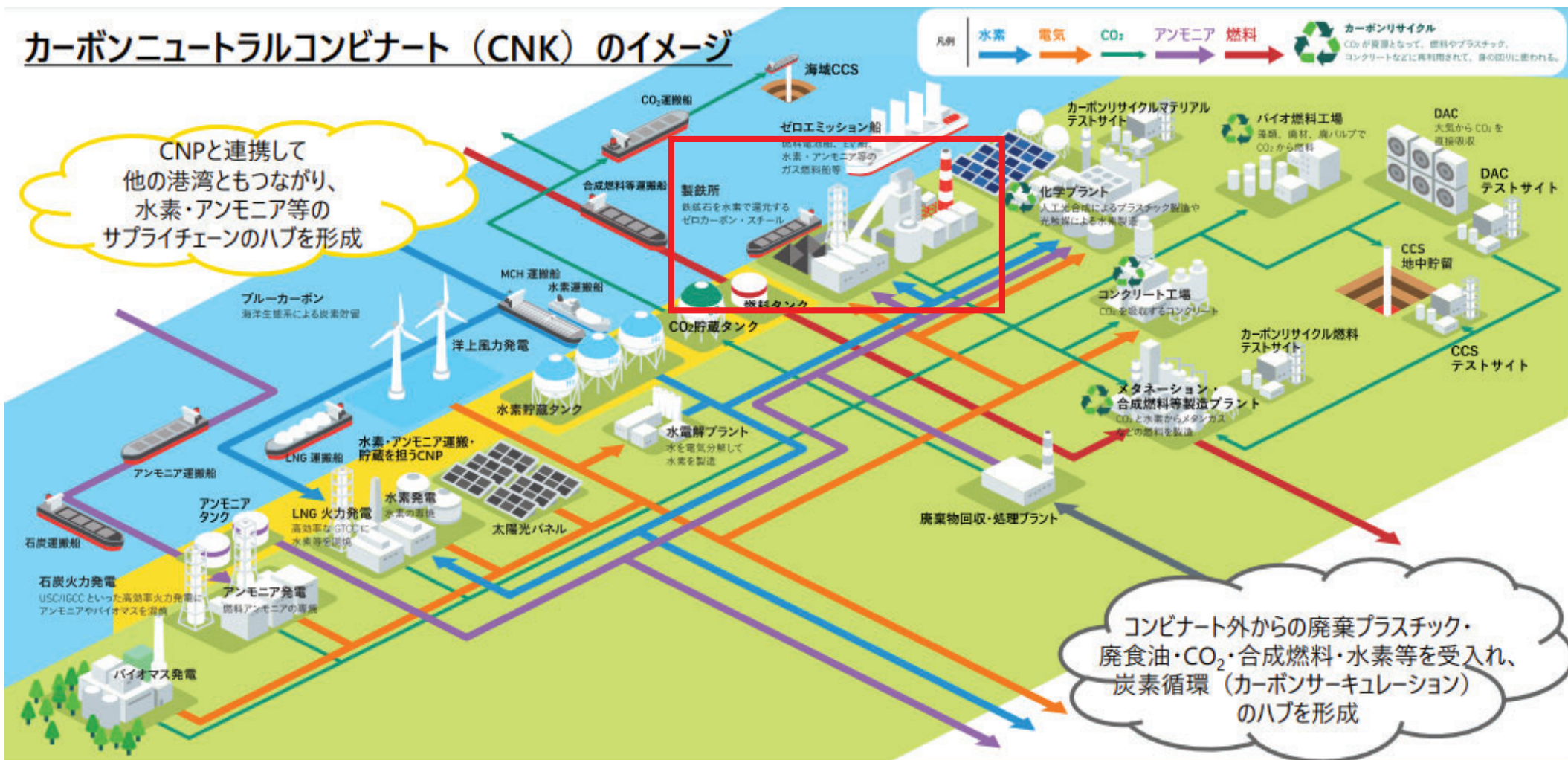
コンビナートにおける連携（イメージ）



カーボンニュートラルコンビナート研究会

- 資源エネルギー庁では2022年4月に、カーボンニュートラルコンビナートの実現に向けた論点整理を行った。

カーボンニュートラルコンビナート（CNK）のイメージ



「トランジションファイナンス」に関する鉄鋼分野における技術ロードマップ^o

3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | ③科学的根拠/パリ協定との整合

- 本技術ロードマップは、2050年カーボンニュートラルの実現を目的とした我が国の各政策やパリ協定と整合している。
- 我が国鉄鋼業の競争力を維持・強化しつつ、着実な低炭素化と革新技术の実現・導入により、2050年カーボンニュートラルを実現していく。

参照先・作成根拠

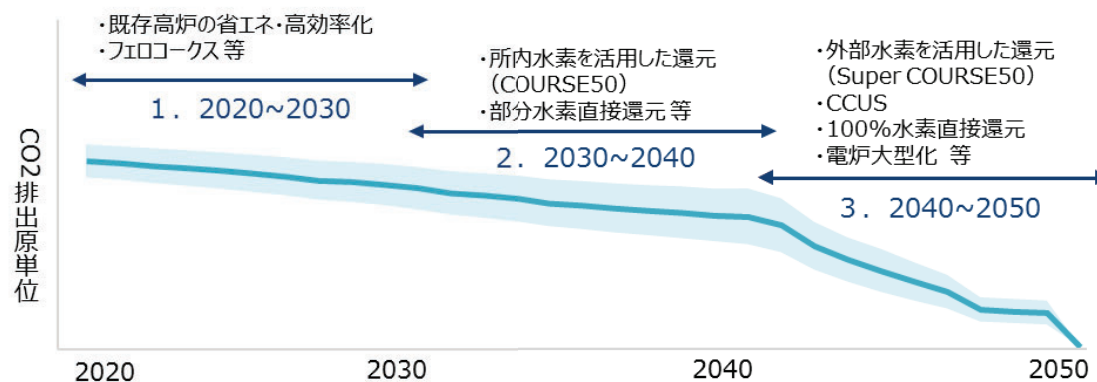
各種政府施策

- ✓ 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（カーボンリサイクル・マテリアル産業）
- ✓ 「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画
- ✓ 革新的環境イノベーション戦略
- ✓ エネルギー基本計画
- ✓ 地球温暖化対策計画
- ✓ カーボンリサイクル技術ロードマップ

パリ協定と整合する、海外のシナリオ・ロードマップ等

- ✓ Clean Energy Technology Guide (IEA)
- ✓ Energy Technology Perspective 2020 (IEA)
- ✓ Industrial Transformation 2050 (Material Economics)
- ✓ Science Based Target initiative

CO2排出の削減イメージ※



1 2020~2030
既に我が国鉄鋼業は世界最高水準のエネルギー効率を達成しているが、引き続き、高炉法の省エネ等による着実な低炭素化を図っていく。また、需要が見込まれるエコプロダクツ等、競争力の源泉である高級鋼を生産。その収益をもとに、将来的な脱炭素技術の研究開発・実証に取り組む。

2 2030~2040
更なる省エネ・高効率化に加え、COURSE50等の新技术を導入。また、研究開発・実証を継続し、脱炭素に向けた革新技术の確立を目指す。

3 2040~2050
水素供給インフラやCCUS等が整備されることを前提に、水素還元製鉄等の革新技术の導入により、2050年に向けたCO2の大幅な削減により、カーボンニュートラルを実現。

※我が国鉄鋼業全体としての削減イメージであり、実際には鉄鋼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、各社に上記経路イメージとの一致を求めるものではない。

新・素材産業ビジョン

- 2022年4月に策定した新・素材産業ビジョン（中間整理）において、グリーンマテリアル市場の創出に向けた政策の方向性について示している。

「新・素材産業ビジョン（中間整理）」（抜粋）

①環境価値の評価

・グリーンマテリアル（従来の製品よりCO2排出量などが実質的に大幅に削減されたもの）の普及のためには、革新的技術の開発と社会実装が前提であるが、同時に、サプライチェーン全体でのCO2削減や、市場創出に向けた環境整備も進めておくことが求められている。

・グリーンマテリアルの市場創出のためには、グリーンマテリアルが持つ環境価値が適切に評価されることが必要である。そのためには、CO2排出量などの環境指標を計測する手法について、国際標準化も含めて共通化を進めていくとともに、デジタル技術も活用しながら、その環境価値を需要家に共有するための仕組みも必要である。例えば、経済産業省が2022年2月に公表した「GXリーグ基本構想」においては、GXリーグ参画企業によるサプライチェーン全体での削減に向けた取組に加えて、カーボンニュートラル時代の市場創出に向けたルールメイキングを進めるとされており、このGXリーグにおける取組も、環境価値を需要家に共有するための仕組みを議論する場として活用すべきではないか。

・加えて、グリーンマテリアルの市場を早期に創出していくためには、需要を確保することが重要である。例えば、「GXリーグ基本構想」において、参画企業に対してグリーン製品の積極・優先購入等により市場のグリーン化を牽引することが求められているほか、政府による公共調達も重要な役割を果たすことが期待されている。グリーンマテリアルの製品が市場に投入されるタイミングにおいて、グリーンマテリアルの市場創出に官民が連携して取り組んでいくことが必要である。

・また、グリーンマテリアルの市場は、国内のみならず世界的なものであることから、産業の脱炭素化・炭素循環化に関連する国際的な議論に主体的に参画するとともに、アジアにおける脱炭素・炭素循環のトランジションを支援し、実質的な排出削減に貢献していくべきである。