

特別講演

□第187回春季講演大会経営トップ特別講演
(2024年3月13日)

鉄鋼事業を取り巻く環境変化と カーボンニュートラル戦略

Changes in the Steel Business and
Carbon Neutral Strategy of KOBELCO

山口 貢 (株)神戸製鋼所
代表取締役社長 (講演当時)
Mitsugu Yamaguchi



*脚注に略歴

はじめに ～KOBELCOグループ のCO₂排出削減貢献～

KOBELCOは、1905年に創立した神戸製鋼とグループ会社251社(2022年度末時点)をまとめるグループブランドであり、素材系事業、機械系事業、電力事業を有する複合企業体として各事業部門から様々な技術・製品・サービスをお客様に提供している。

2020年の「2050年カーボンニュートラル(CN)宣言」を受

け、CN達成を目指し各社よりロードマップが示された。当社は図1に示す通り、①自社の生産プロセスにおけるCO₂削減と②技術・製品・サービスによるCO₂排出削減貢献の2つのアプローチで取り組み、それぞれ目標・ビジョンを設定した。②の一例を図2に示すが、当社グループはCO₂排出削減貢献メニューを多数保有しており、それぞれの技術開発と事業化を推進している。今回、当社グループ内で特にCO₂排出削減貢献量が大きいMIDREX[®]プロセスを中心とした鉄鋼アルミ事業部門のCN戦略について紹介する。

グループの総合力で製品・技術に加えて、ソリューション提供にも取り組んでいます。

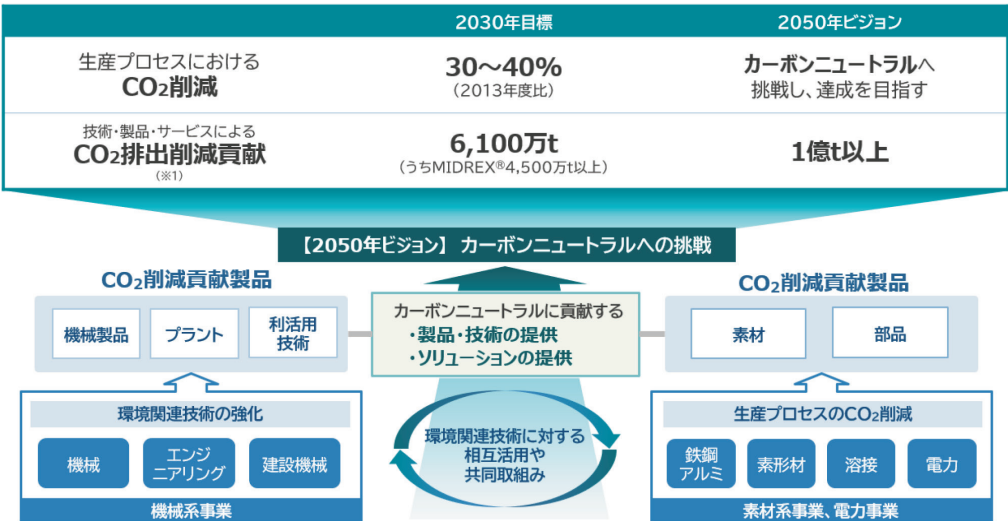
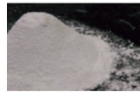


図1 KOBELCOグループのカーボンニュートラルに向けた目標・ビジョン (Online version in color.)

* 昭和56年3月1日北海道大学法学部卒、昭和56年4月1日(株)神戸製鋼所入社、平成16年4月1日経営企画部担当部長、平成17年4月1日機械エンジニアリングカンパニー企画管理部担当部長兼経営企画部担当部長、平成18年4月1日機械エンジニアリングカンパニー企画管理部部長、平成22年4月1日理事、機械事業部門企画管理部部長、平成23年4月1日執行役員、平成25年4月1日常務執行役員、平成27年4月1日専務執行役員、平成28年6月22日取締役専務執行役員、平成29年4月1日代表取締役副社長執行役員、平成30年4月1日代表取締役社長。

お客様の製造工程、製造された製品のCO₂削減に貢献する製品の一例1. CO₂排出量の少ない製品低CO₂高炉鋼材
Kobenable Steel

高炉セメント



ヒートポンプ



汎用圧縮機



省エネ建設機械

2. お客様の製造工程でCO₂排出量を削減できる製品

MIDREX®

熱処理工程省略
線材・棒鋼超ハイテン用
溶接材料

木質バイオマス発電



ごみ発電

3. お客様の製品が使用される時のCO₂削減に貢献する製品自動車用
超ハイテン自動車用
弁ばね用線材自動車用
アルミ材鉄道車両用
アルミ材

造船用ハイテン

図2 当社グループの技術・製品サービスによるCO₂排出削減貢献 (Online version in color.)

2 鉄鋼業を取り巻く環境

2.1 内需の減少と粗鋼生産量

1990年以降、日本の内需の割合は緩やかに減少し、粗鋼生産量は足元転炉・電炉合計で年間1億トンを切っている。国内市場が縮小する中、海外が伸びるため、生産体制の見直しやグローバル戦略が必須である。

また、図3に示す通り受注に占める自動車向け鋼材の割合は年々増加しており、高品質が求められる自動車用鋼板は今後も重要と考えられる。

2.2 お客様の動向

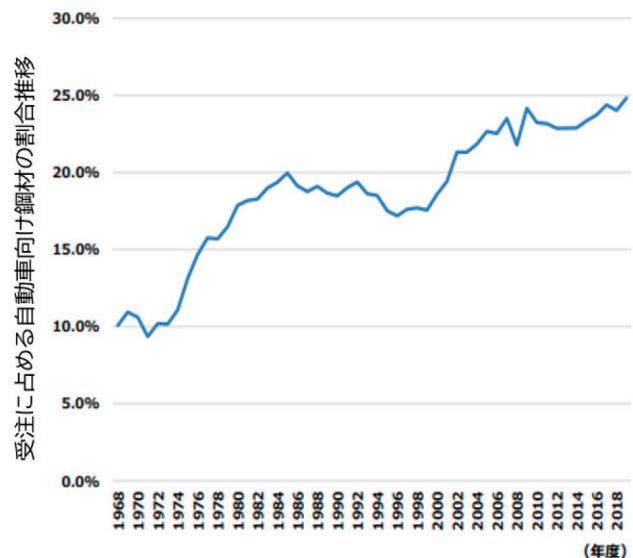
自動車業界は、電動化が加速している。各国の環境対応車への規制を図4に示すが、燃費規制に加え、都市部への乗り入れ規制や電動車の販売目標が掲げられている。乗用車販売台数の想定(図5)は、2030年以降も増加する見込みであり、ガソリン自動車・電動車共通の課題である燃費・電費の改善のため、軽量化に寄与する超ハイテン材などの高級鋼は引き続きニーズが高いと考える。

2.3 グリーンスチールの動向

日米欧中のグリーンスチール(以下GS)の動向を図6に示す。朱記部分は、23年度の変化である。

欧州では、EU域外の鋼材を市場から排除するため、炭素国境調整措置(EU-CBAM)が2026年以降の本格適用に向

＜受注に占める自動車向け鋼材の割合推移＞



出典：経済産業省資料 金属産業の現状と課題より

図3 受注に占める自動車向け鋼材の割合推移 (Online version in color.)

け2023年10月から移行期間が開始され、欧州が優位となる独自ルールを制定準備している。米国は、インフレ抑制法(IRA)により、エネルギー安全保障や気候変動対策を推進している。中国は、環境製品ラベル(EPD)プラットフォームを作成し、各国と相互認証を進めている。日本では、GX推進法が成立し、GX経済移行債の発行と成長志向型カーボン

国・地域	電動化の方向性	電動車義務化	燃費規制	乗り入れ規制	BEV/PHEV/FCEV導入目標
 英国	2030年内燃機関車販売禁止 ※ハイブリッドは2035年販売禁止	義務付けの 規制はなし	2020年95g/kmから 2025年、2030年に 段階的に厳格化	ロンドン市内： 19年から排ガス車規制	2030年販売目標 BEV比率50～70%
 フランス	2040年内燃機関車販売禁止 ※ハイブリッドの扱い非公表	義務付けの 規制はなし	2020年95g/kmから 2025年、2030年に 段階的に厳格化	パリ市内： 15年から排ガス車規制	2028年ストック台数目標 BEV:300万台 PHEV:180万台
 中国	国の目標はなし ※自動車エンジニア学会： 2035年全車電動化 (HEV50%、BEV・PHEV ・FCEV50%)を発表	NEV規制により一定の 販売を義務化	2020年5ℓ/100km (=20km/ℓ)	一部地域で19年から検討中 (+ナンバープレート発行規制)	2025年販売目標 NEV(=BEV・FCEV・PHEV) 比率20%
 ドイツ	国の目標はなし ※連邦参議院： 2030年内燃機関車販売禁止を決議	義務付けの 規制はなし	2020年95g/kmから 2025年、2030年に 段階的に厳格化	ベルリン市内： 10年から排ガス車規制	2030年ストック台数目標 BEV・FCEV： 700～1,000万台
 米国	国の目標はなし ※カリフォルニア州知事： 2035年BEV・FCEV100%	義務付けの 規制はなし ※カリフォルニア州は ZEV規制により 一定の販売を義務化	2025年54.5mpg(注) (≒23.2km/ℓ) から40.4mpg (≒17.2km/ℓ)へ変更 ※トランプ政権下の変更 (注) mpg=mile per gallon	カリフォルニア州： ZEV専用レーンを設置	国の目標はなし ※カリフォルニア州知事： 2035年販売目標 ZEV(=BEV・FCEV) 比率100%
 日本	2035年までに、 新車販売で電動車100%	義務付けの 規制はなし	2030年25.4km/ℓ	なし	2030年販売目標 BEV・PHEV比率20～30% FCEV比率～3%

図4 各国の環境対応車への規制 (Online version in color.)

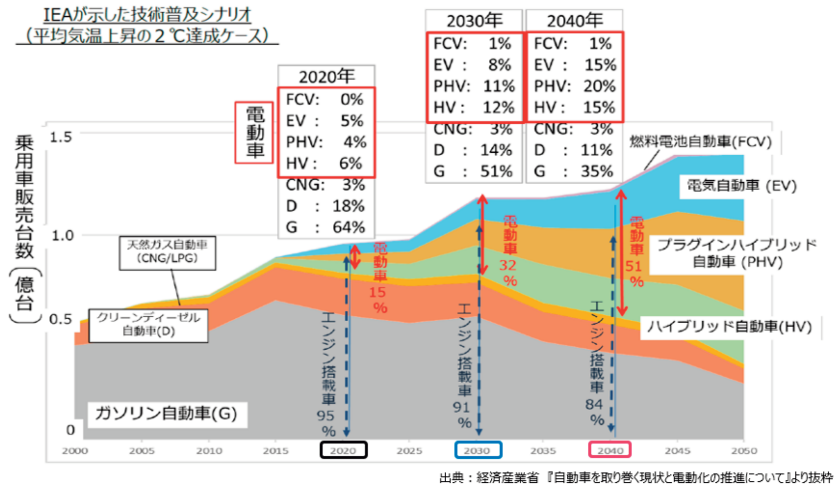


図5 乗用車の想定販売台数 (Online version in color.)

欧州	2030年に55%以上削減、2050年カーボンニュートラル - 政府の補助金を糧に急速に電炉(現状5割)へシフト - EU域外の鋼材を市場から排除する動き(EU-ETS,CBAM) EU-CBAM '23.10～移行期間開始、'26～本格適用開始 - 低CO₂鋼材発売(XcarbTM, bluemint[®] 他)を公表 動向:急速に電炉化を進め、欧州が優位となる独自ルールを制定準備
米国	2030年に50～52%以上削減、2050年カーボンニュートラル - 電炉中心(現状7割)で、政府補助金を受け更に電炉新設 - インフレ抑制法(IRA)にて、エネルギー安全保障や気候変動対策を推進 - 電炉を活用した低CO₂鋼材発売(ベルデX, Econiq)を公表
中国	2030年までにCO₂排出量をピークアウト、2060年にカーボンニュートラル - 高炉中心(現状9割)で、粗鋼規模のピークアウトを表明 - 鉄鋼関係EPDプラットフォームを作成。各国とのEPD相互認証を進める - 宝武鋼鉄集団は、2035年30%削減、2050年CNを宣言
日本	2030年に46%以上削減、2050年カーボンニュートラル 2050年カーボンニュートラルに向けて、共同開発を開始(GI基金)。開発費を増額し、社会実装を前倒し。 - GX推進法が設立。GX経済移行債の発行と 成長志向型カーボンプライシングの導入により、脱炭素社会へ加速。 - 高炉3社がマスバランス方式を適用した 低CO₂鋼材を発表 神戸製鋼所; Kobenable[®] Steel (2022年5月) 日本製鉄 ; NSCarbolex Neutral[®] (2022年12月) JFE ; JGreeXTM (2023年5月)

図6 グリーンSteelの動向 (Online version in color.)

プライシングの導入により、脱炭素社会へ加速している。また、高炉3社がマスバランス方式を適用した低CO₂鋼材を発表した。

当社は、高炉工程におけるCO₂排出量を大幅に削減した低CO₂高炉鋼材“Kobenable[®] Steel”を2022年5月に国内で初めて販売し、GS市場の創出・拡大に向け率先して取り組んできた。2023年には、自動車、建設、造船と様々な業界のお客様に採用頂くなど、高い関心が得られている。

3 これまでの取り組み

3.1 MIDREX[®] プロセス

現在の主な製鉄プロセスは、①高炉 - 転炉法、②電炉法、③直接還元製鉄法の3つがある。当社は、加古川製鉄所での高炉 - 転炉法による製鉄事業に加え、エンジニアリング事業部門にて直接還元製鉄法のひとつであるMIDREX[®] プロセス (図7) を保有している。MIDREX[®] プロセスは、シャフト炉の上部から塊鉱石や鉱石ペレットを投入し、天然ガス

を改質した還元ガスにより直接還元し、還元鉄 (DRI: Direct Reduction Iron) がシャフト炉下部より回収される。このまま近隣の電炉で利用できるが、ブリケットマシンにより熱間で固形化し、HBI (Hot Briquetted Iron) として海上輸送し、遠方の電炉・高炉で使用する事も可能である。また、還元ガスは水素が約55%で、炉頂から排出されるガスは改質原料・燃料ガスとして再利用可能であり、従来の天然ガスベース MIDREX[®] 直接還元鉄プラント (MIDREX NGTM) の場合は、高炉と比べ20~40% CO₂ 排出が少ない。

直接還元鉄は1969年の生産開始以降生産量を伸ばし、2021年実績で全世界年間1億2000万tを生産 (図8) し、その中でMIDREX[®] プロセスは約6割を占めている。

3.2 高炉でのCO₂排出削減

MIDREX[®] プロセスで製造されたHBIは、自社の製鉄プロセスのCO₂削減にもつなげることができる。通常の高炉操業では、鉄鉱石をコークスで還元し、炭素の燃焼熱で鉄を溶融し、溶銑を得ている。高炉は既存の製鉄技術の中では最も効

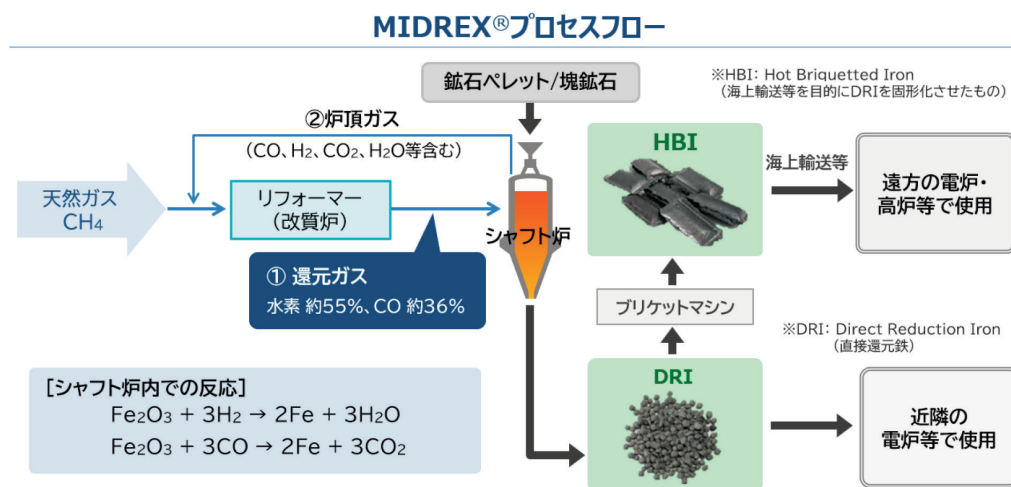


図7 MIDREX[®] プロセスフロー (MIDREX NGTM) (Online version in color.)

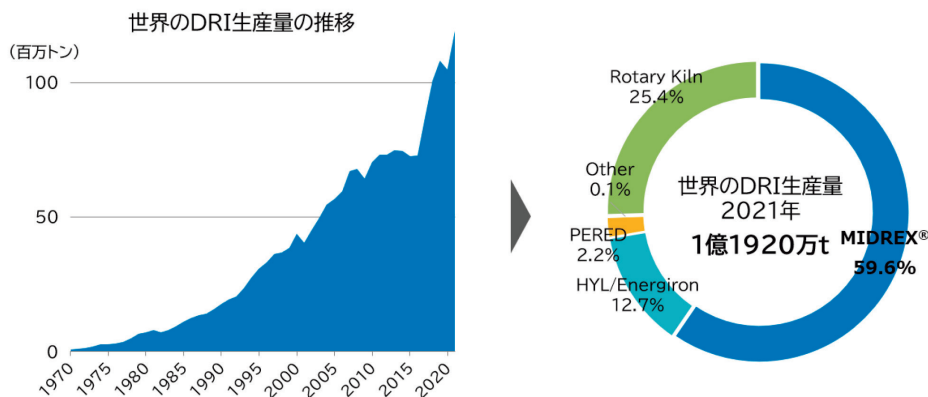


図8 世界のDRI生産量 (Online version in color.)

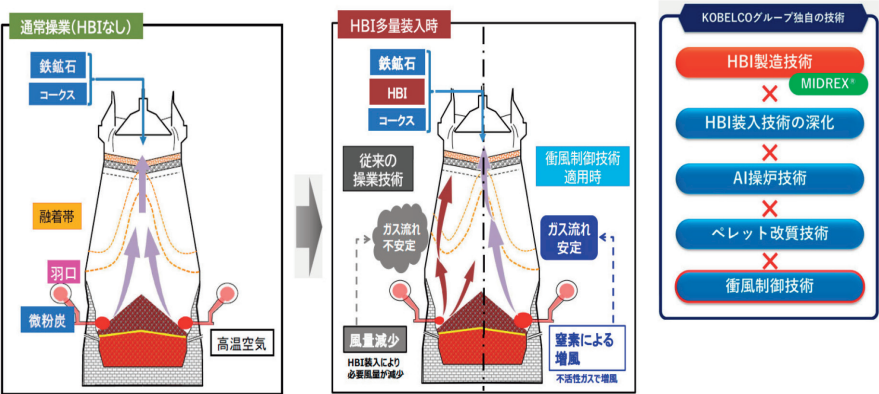


図9 HBI多量装入のキーテクノロジー (Online version in color.)

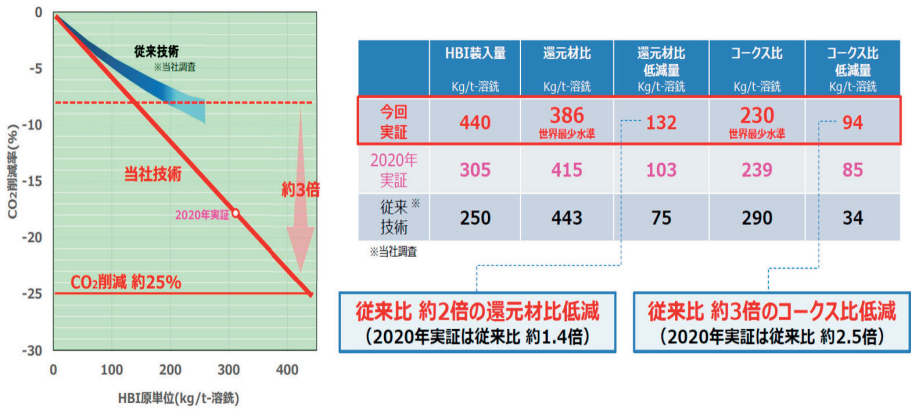


図10 実証実験結果 (2023年10月公表) (Online version in color.)

率よく多量に鉄鉱製品を得るプロセスであるが、高炉を有する一貫製鉄所ではCO₂排出量の約80%は高炉工程で排出される。当社は、鉄鉱石の代わりに還元が不要なHBIを高炉へ多量装入し、コークスを削減（コークス比低減）することによるCO₂排出削減に挑戦した。

高炉でのHBI使用は、海外で積極的に試行されてきたが、高炉下部の通気性低下が課題となり、コークス比低減に限界があったため、HBIを多量に装入することができなかった。原因として、HBI使用による還元ガス量の低下およびコークス比低減に伴う融着帯形状の悪化によりガス流れが不安定となったと推察する。当社調査による従来技術でのCO₂削減率は、-8%程度が限界と想定した。

この課題を解決するため、当社グループ独自技術である「ペレット改質技術」と、溶鉄の温度を一定に保ち、炉内通気性を確保するよう炉熱と通気性の予測を行う「AI操炉」技術に加え、高炉径方向の「HBI装入位置制御を深化」させ融着帯形状の最適化を図ると共に、窒素による「衝風制御」により高炉安定操業に必要なガス量を確保した。この結果、HBI440kg/t-溶鉄配合下で世界最少水準の還元材比386kg/

t-溶鉄、コークス比230kg/t-溶鉄を達成。CO₂削減効果としては、世界最高水準となる高炉工程でのCO₂ 25%削減を実証した（2023年10月時点）。またこの結果は、従来技術で限界と想定された約3倍のCO₂削減率効果である。

今後2030年におけるCO₂排出量削減目標（30～40%削減）に向けて、各技術の更なる高度化と最適化を図り、連続装入の実現に向けて設備戦力化を進めていく。

4 将来展望

4.1 製鉄プロセスにおけるCNへのロードマップ

当社グループは図11に示す通り、MIDREX[®]による鉄源を活用し、2030年に向けては「既存高炉でのHBI多量装入によるCO₂削減」を推進し、2050年のカーボンニュートラルに向けては、高炉での水素還元（COURSE50・SuperCOURSE50）とともにGI基金で取り組んでいる「大型電炉でのHBI使用による高級鋼製造の開発成果」の実装検討なども含め、「将来の最適な生産プロセス」について複線的に検討を進めている。

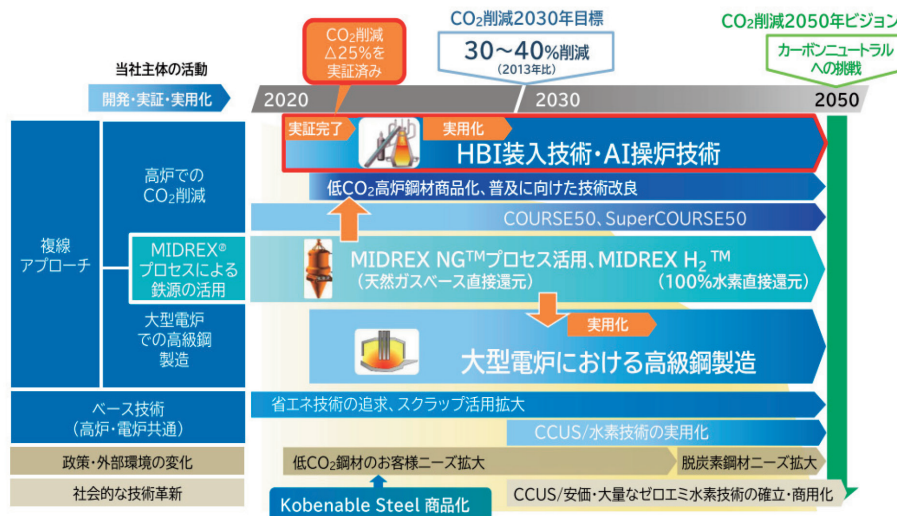
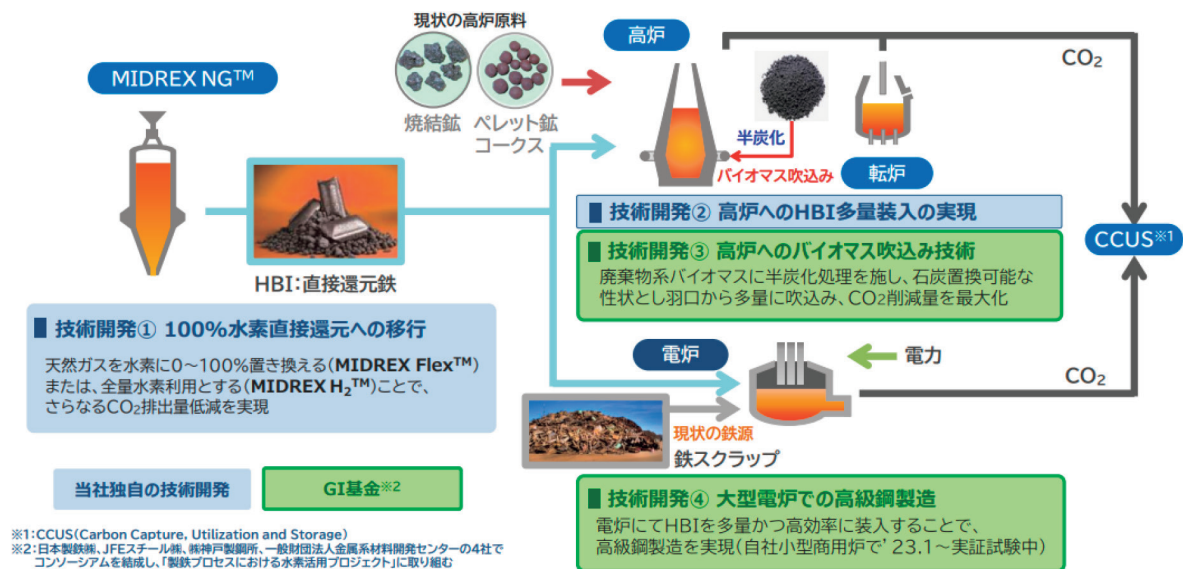


図11 MIDREX®による鉄源を利用した複線アプローチ (Online version in color.)

図12 CO₂削減に対する技術開発の方向性 (Online version in color.)

4.2 CO₂削減に対する技術開発

当社独自の技術開発として、HBIの多量装入技術の更なる高度化に加え、MIDREX®プロセスにおける還元ガスを天然ガスから0～100%水素に置き換える (MIDREX Flex™)、または全量水素利用とする (MIDREX H₂™) ことで、更なるCO₂排出量削減を実現する。

また、GI基金による技術開発※として、廃棄物系バイオマスに半炭化処理を施すことで石炭置換可能な性状とし羽口から高炉へ多量に吹込む技術や、電炉にてHBIを多量かつ高効

率に装入することで高級鋼製造を実現する (自社の小型商用炉で2023年1月より実証試験中)。

4.3 水素活用によるCO₂削減ソリューション

MIDREX®プロセスは、今後、中短期～長期のいずれのステージにおいてもCO₂削減ソリューションを提供することを見据えている。再生エネルギーを使った電力やカーボンフリー水素の普及拡大に伴い、MIDREX®プロセスにおいては還元ガスの水素混合比率を拡大させ、製鉄所においては電炉

※ GI基金事業の開発成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の研究開発委託・助成業務 (JPNP21019) の結果得られたものである。

でのDRI・HBI利用や電気溶解炉で銑鉄を得ることにより、製鉄プロセスにおけるCO₂排出量を80%以上削減できる事業展開を検討している。また、この製鉄プロセスは今後の高品位鉄鉱石が不足する懸念に対し、低品位鉄鉱石の活用も視野にいたれたものである。

4.4 社会実装に向けた取り組み

4.4.1 多様なグリーンスチール、定義統一の取り組み

これまで技術面を中心に紹介したが、一方で政策・外部環境の変化にも対応している。図14に示す通り、世界の鉄鋼メーカー各社が公表している「グリーンスチール (GS)」は、国

際的な定義がなく、多様化している。GS普及のためには、お客様がGSを同じ指標で評価できるような規格の統一が必要となる。

この定義統一に向けた取り組みとして、2023年4月に開催されたG7では、鉄鋼業界における排出量のデータ収集に関し、世界共通の手法を創設することに合意し、検討が開始された。国内においては、高炉3社が規格の統一化を目的に、鉄鋼連盟を通じて「マスバランス方式を適用したグリーンスチールの排出量の算定方法に関するガイドライン」を発行している。また、国際標準化に向けた取り組みとして、鉄鋼連盟を通じてマスバランス方式のISO規格化を進めている。

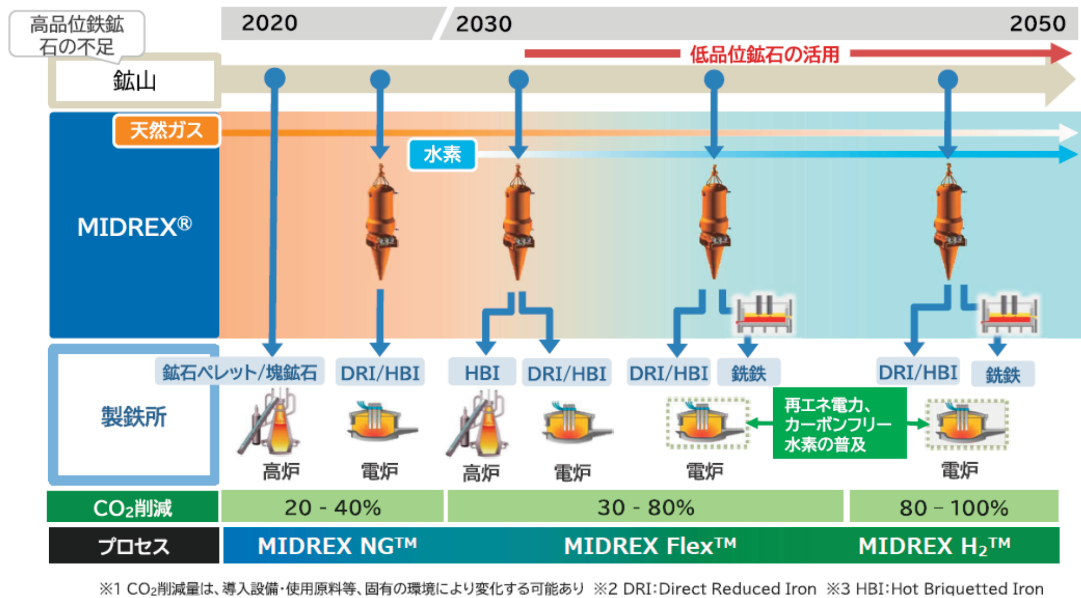


図13 水素活用によるCO₂削減ソリューション (Online version in color.)

■多様なグリーンスチール

- (グリーンスチール：以下、GSと表記)
- ・GSに関する国際的な定義がない。
 - ・世界で公表されている鉄鋼メーカーのGSは、独自のルールで適用され多様化しており、規格の統一が必要。

脱炭素化の評価	各社で発行しているブランド
マスバランス方式	アルセロールミタル社「XCarb」
	ティッセンクルップ社「bluemint」
	神戸製鋼所社「Kobenable Steel」
	日本製鉄社「NSCarbolex Neutral」
	JFEスチール社「JGreeX」
再エネ証書	ポスコ社「グリニット」
	ニューコア社「Econiq」
スクラップ使用率	USスチール社「ベルデX」
ゼロカーボン	SSAB社「HYBRIT」
	H2GS社

■GSの定義統一に向けた取組み

- ・グローバルスタンダード作成に向けて
 - ・日本鉄鋼連盟では「GSの定義」を進める中で、国別鉄鋼業CO₂排出量の現状把握が必要であり、「データコレクション」と「具体的な運用」を提案。
 - ・G7（議長国:日本、札幌市）気候・エネルギー・環境大臣会合の結果、鉄鋼業界における排出量のデータ収集に関して、世界共通の手法を創設することに合意。（グローバルデータ収集フレームワーク）
5つのデータコレクション統一に向けた検討が行われることとなった。
①製鉄所別排出量（ISO14404）、②製品別排出量（ISO20915）などの規格統一化に取り組む。
- ・マスバランス方式を適用したGSのルールメイキング
 - ・GSの販売方法として、鉄鋼連盟にて「マスバランス方式を適用したGSのCO₂排出原単位の算定方法に関するガイドライン」を発行。
 - ・マスバランス方式については、ISO規格化を推進中(TC308)。この規格に、鉄鋼製品のマスバランス方式を導入すべく、国内審議委員会にて議論していく。

図14 多様なGS、定義統一の取り組み (Online version in color.)

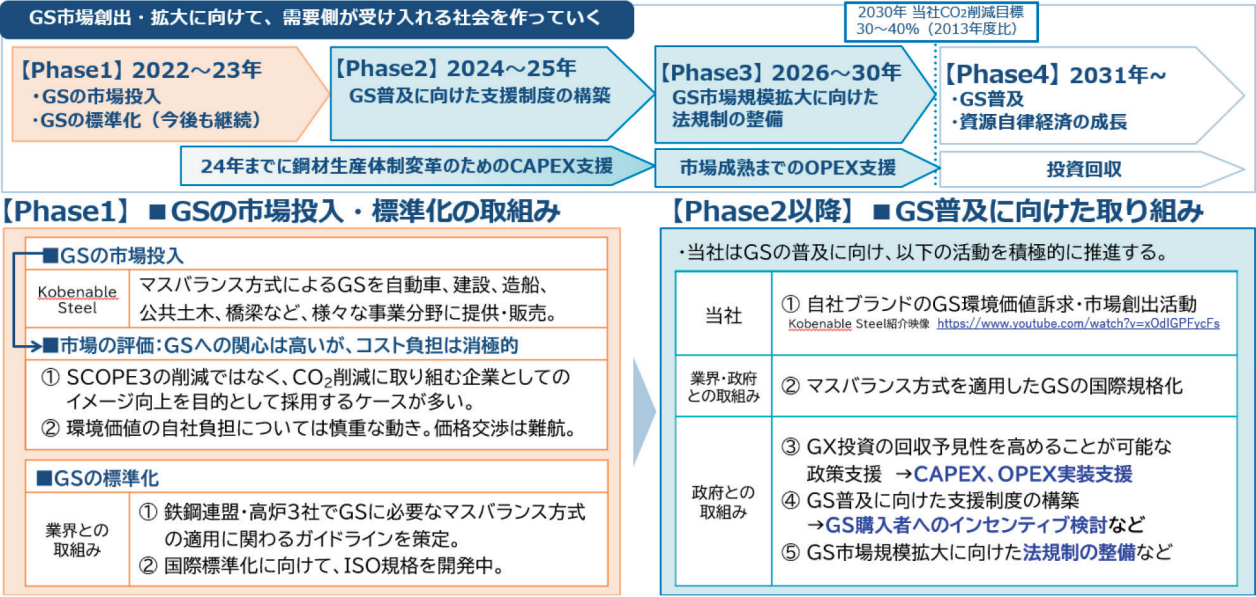


図15 GS普及に向けた取組み (Online version in color.)

4.4.2 グリーンスチール普及に向けた取組み

当社は、2022年から23年にかけて他社に先駆けてGSを市場投入し、これまで既に複数の分野のお客様に採用頂いている。ただ、当社の提案に対し、興味を示すお客様は多くいるものの、GSの環境価値に対する追加コストの自己負担にはいずれも慎重であり、価格交渉は難航している。

2024年以降はこれを踏まえ、当社だけでなく業界、政府とともに、図15に示す5つの活動に取り組む、お客様に使っていただける環境を醸成したいと考えている。我々、民間企業が意思決定するには投資の回収予見性の確保が不可欠である。政府に対し、CAPEX、OPEX実装支援、グリーンスチール購入者へのインセンティブ検討、GS市場規模拡大に向けた法規制の整備などの支援策の具体化を依頼していきたい。

5 おわりに

以上、鉄鋼アルミ事業部門の主な取り組み内容を紹介してきた。持続的成長に最も重要なことは、環境変化への柔軟な

対応力である。当社グループは、環境変化に対し、規模は問わず、自らが持つ多様な事業や技術を有機的に融合させて、柔軟に対応していく。

成熟産業と言われる鉄鋼業界ではあるが、自動車業界のみならず、産業全般の発展に不可欠な産業である。日本の鉄鋼技術は世界の最先端であり、これまでも地球規模で環境改善に貢献してきた。今後も技術革新を続けるとともに、国際社会の中で安定した成長を続けていく必要がある。

そのためには、大学には知的資産のストックとしての機能に加えて、優秀な人材を育成・輩出していただくことを期待している。また、国には産学の連携を進めていただくとともに、積極的なご支援をお願いしたい。さらに、これらの連携をさらに強固なものとするため、日本鉄鋼協会の今後益々の発展を祈念して、締めくくりたい。

(2024年4月9日受付)