

グリーンイノベーション基金事業（GI基金事業）

製鉄プロセスにおける水素活用 プロジェクトの実施概要

2022年6月15日

水素製鉄コンソーシアム

（日本製鉄、JFEスチール、神戸製鋼所、JRCM）

目次

▶ 日本鉄鋼業の現状

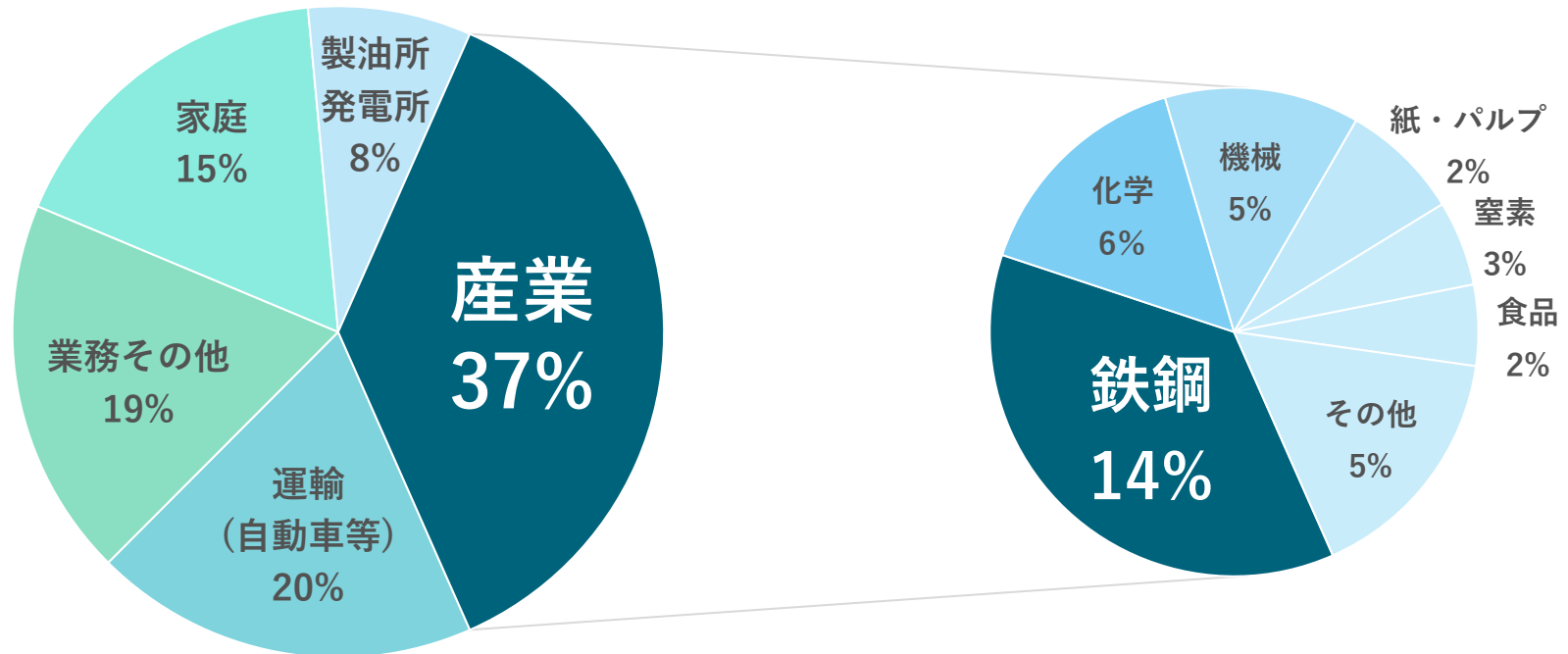
鉄鋼業におけるCO₂削減のチャレンジ

GI基金事業「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクトの概要

カーボンニュートラル製鉄実現への課題とまとめ

鉄鋼業のCO₂排出量

- ✓ 2019年度の日本のエネルギー起源CO₂排出(10億2878万トン)のうち、**鉄鋼は15%(1億5千万トン)**を占める。
- ✓ 温暖化対策の観点から、各社とも**省エネ設備の導入、環境対策技術開発**を積極的に行ってきた。



電気事業者の発電に伴う排出量を電力消費量に応じて最終需要部門に配分した後の値。機械は金属品製造業を含む。化学工業は石油石炭製品を含む。
環境省:日本の温室効果ガス排出量データ(1990~2020年度)(確報値)より作成
<http://www.gio.nies.go.jp/index-j.html>

社会的なCO₂削減ニーズ

- ✓ SDGsや地球温暖化にかかわる消費者意識が向上。
- ✓ 各ユーザー様から具体的なサプライチェーンとしてのCO₂削減目標が提示され始めている。
- ✓ 鉄鋼メーカーとしても、“鉄鋼業におけるCO₂削減に向けたチャレンジ”を共有し、要望にお応えするべく検討を行っている。

エシカル消費とは



持続可能な開発目標 (SDGs) の
12番目は「つくる責任 つかう責任」
2015年9月の国連総会で決められた国際的な17の目標のなかにも、貧困や飢餓、
エネルギー、気候変動、平和的な社会などと併せて、「持続可能な生産・消費形態の確保」が掲げられています。

(出典)令和2年8月消費者庁：エシカル消費に関する意識調査など

ユーザー様の意識変化



(出典)トヨタ環境チャレンジ2050

エシカル消費にかかわる消費者意識向上

自然災害や環境破壊・資源の
枯渇等の問題はすべての人が
可能な範囲で行動すべき

▶ 57.1%

エシカル商品・サービスの
購入時の価格アップを容認

▶ 69.0%

ユーザー様からのCO₂削減要望

- ▶ 各ユーザー様から具体的なサプライチェーンとしてのCO₂削減目標が提示され始めている。
- ▶ ユーザー様とは“鉄鋼はCO₂削減の難しい分野である”という認識を共有しながらも、要望にお応えするべく検討を行っている。

(出典) 消費者庁：<https://www.ethical.caa.go.jp/ethical-consumption.html>
6つのチャレンジ | ESG (環境・社会・ガバナンス) に基づく取り組み | サステナビリティ | トヨタ自動車株式会社 公式企業サイト (global.toyota)

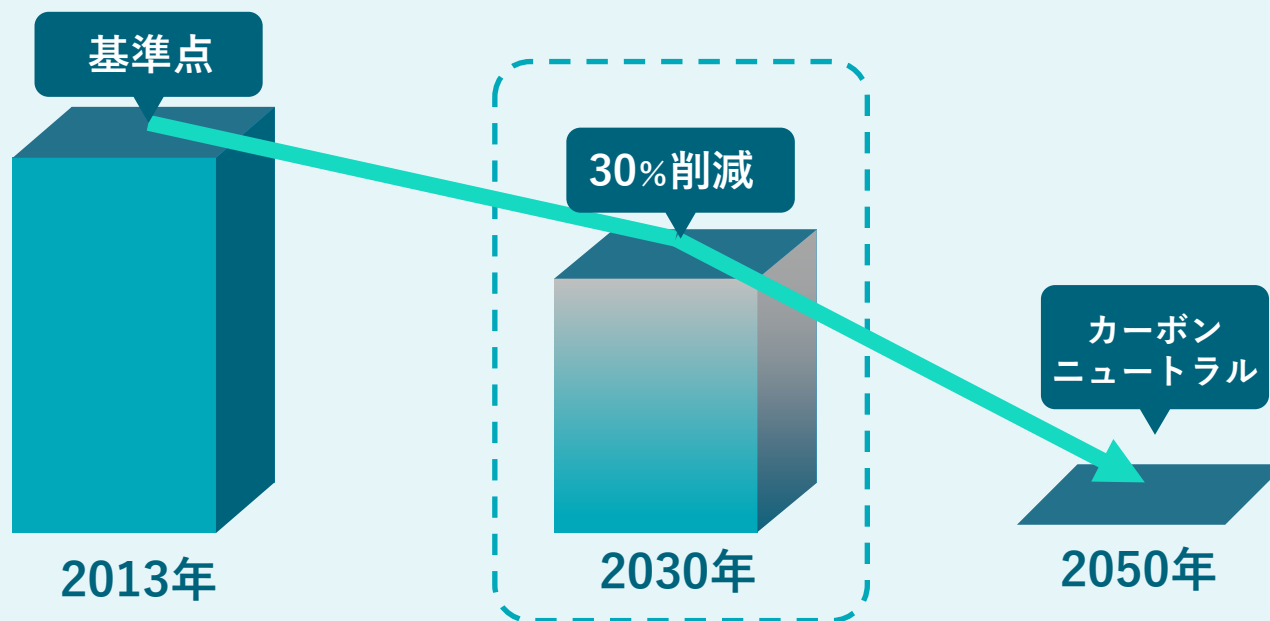
鉄鋼業界としての削減目標

日本鉄鋼業の2030年CO₂削減目標

エネルギー起源CO₂排出量：2013年度比 **30%(約5,790万トン)削減**

政府エネルギー基本計画のマクロ想定や各種対策の実施のための必要条件が整うことが前提。
(BATの導入等による省エネの推進、廃プラスチックの活用、2030年頃の実機化を目途に現在開発中の革新的技術の導入、その他CO₂削減に資する原燃料の活用等)

日本鉄鋼業のカーボンニュートラル行動計画

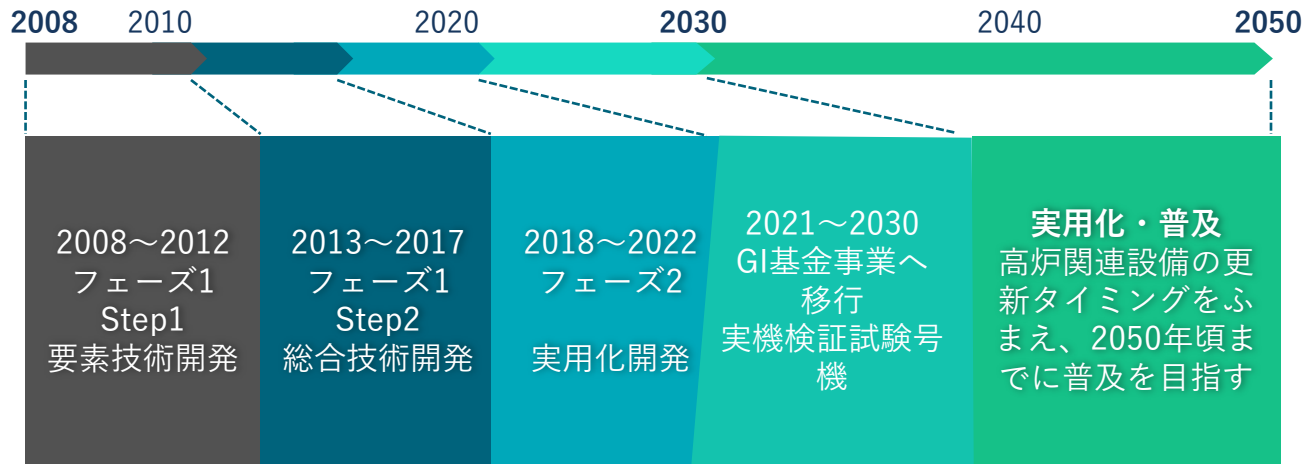


(出典)日本鉄鋼連盟/鉄鋼業の地球温暖化対策への取組み 自主行動計画進捗状況報告 (iisf.or.jp)

鉄鋼業界としての取り組み(COURSE50°プロジェクト)

COURSE 50

- ✓ 我が国は、2008年から世界に先駆けて水素還元製鉄の技術開発(COURSE50)を開始。
- ✓ 2016年から12m³試験高炉(実機の1/400)を用いた試験を開始し、水素系ガス吹込みにより還元工程におけるCO₂排出量10%以上減が達成可能である事を世界で初めて検証。
- ✓ CO₂の分離・回収に必要な化学吸収法及び物理吸着法を確立。
この技術により、製鉄所内の未利用排熱を利用することで、更なる省エネルギー化を推進した。
- ✓ 2020年度からはカーボンニュートラルの実現に向けた諸課題の抽出、ロードマップを策定(～2021年度)。本成果を基金事業に活用。



日本製鉄 東日本製鉄所 君津地区構内

目次

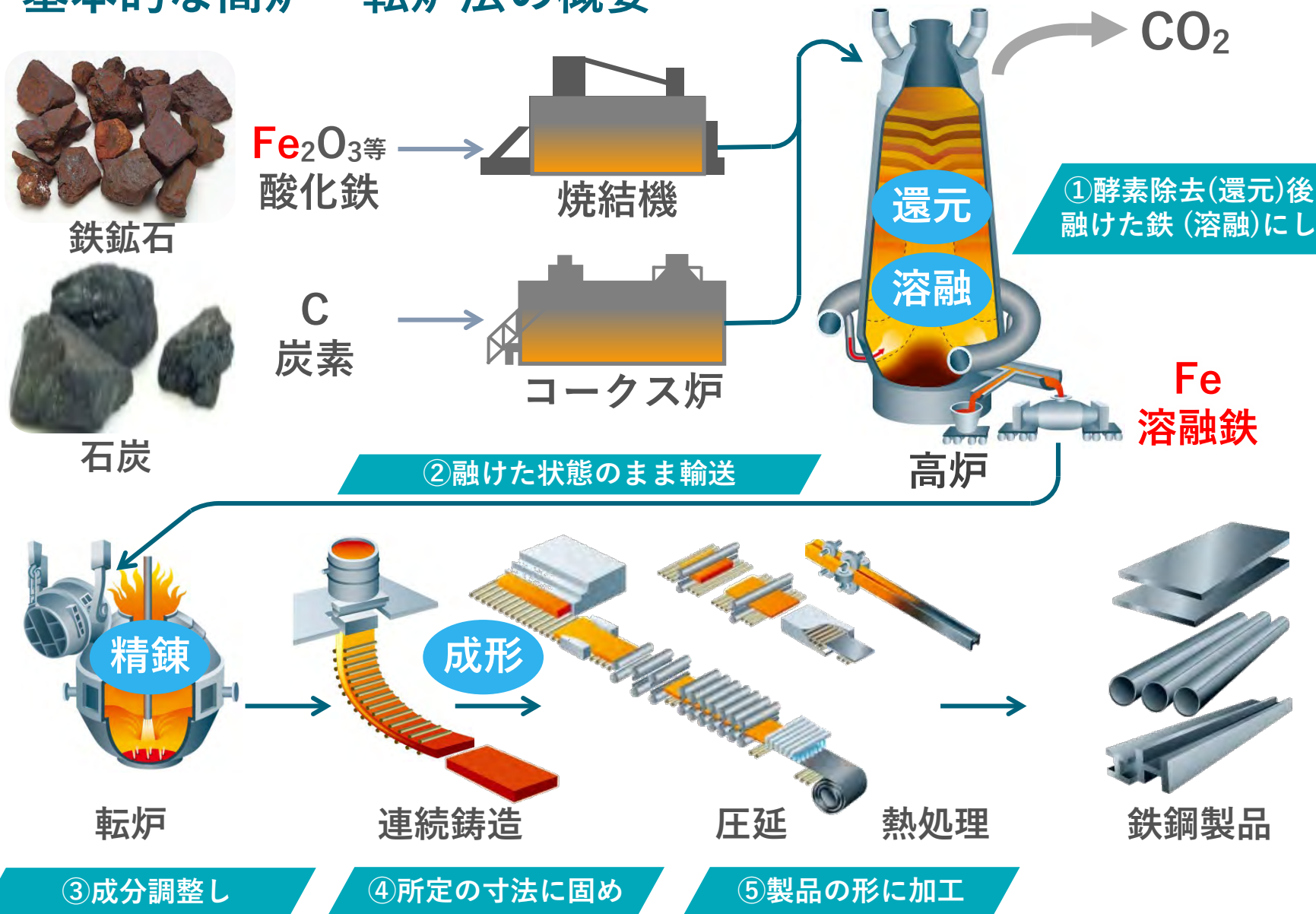
日本鉄鋼業の現状

▶ 鉄鋼業におけるCO₂削減のチャレンジ

GI基金事業「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクトの概要

カーボンニュートラル製鉄実現への課題とまとめ

基本的な高炉・転炉法の概要

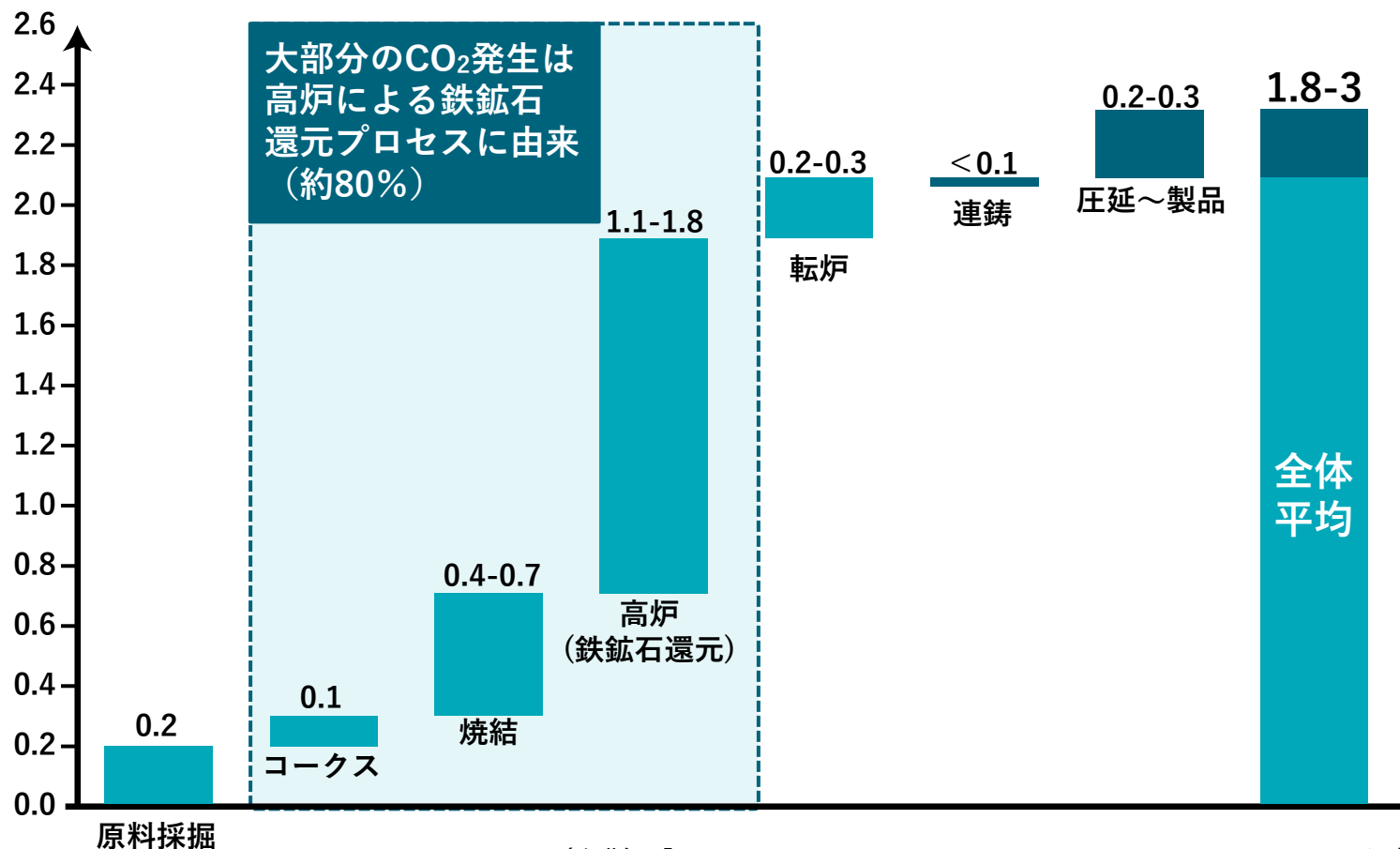


(出典) 日本製鉄カーボンニュートラルビジョン
https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20210330_ZC.pdf

各プロセスのCO₂排出量

- ✓ 国内CO₂排出量のうち、15%は鉄鋼から排出されている。
- ✓ カーボンニュートラル実現には、鉱石還元プロセスのCO₂削減が重要

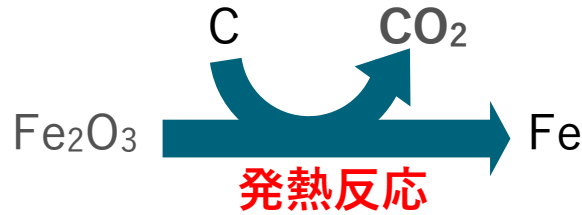
鉄鋼製造プロセスからのCO₂発生比率(t-CO₂/t-粗鋼)



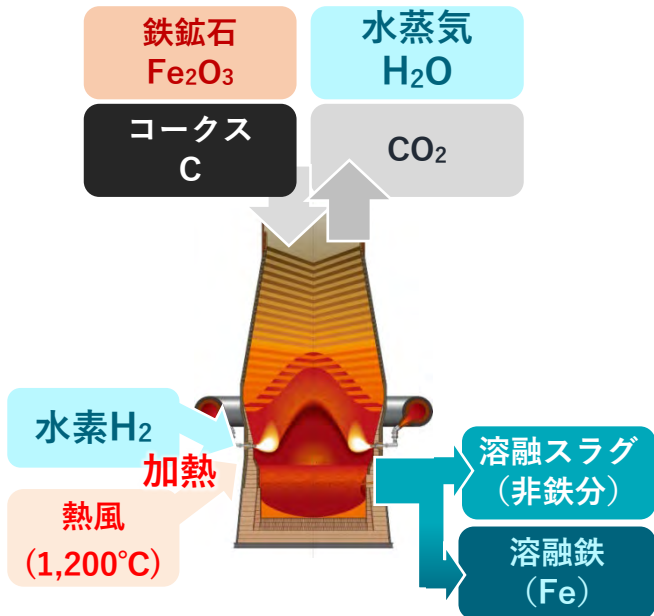
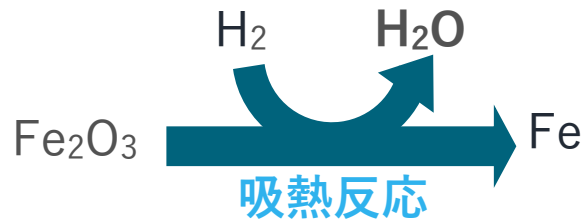
(出典) 「Carbon Trust, International Carbon Flows - Steel (2011)を改変」

CO₂削減のチャレンジ①(水素による還元)

炭素還元



水素還元



課題

炭素による還元は発熱反応であるのに対し、水素による還元は吸熱反応で温度低下するため、水素還元比率を増加させるには水素の加熱が必要。

	従来高炉	水素高炉・シャフト炉
加熱気体 (爆発リスク)	空気 (無し)	水素 (あり)
送風量	数千Nm ³ /分	左記に加えて 大量の加熱水素 吹き込みが必要
加熱方式	熱風炉 (直接加熱した耐火煉瓦 との熱交換)	安全確保のため 間接加熱などの新規 技術開発が必要 (加熱効率に課題)

Challenge

吸熱反応に対応する技術が必要

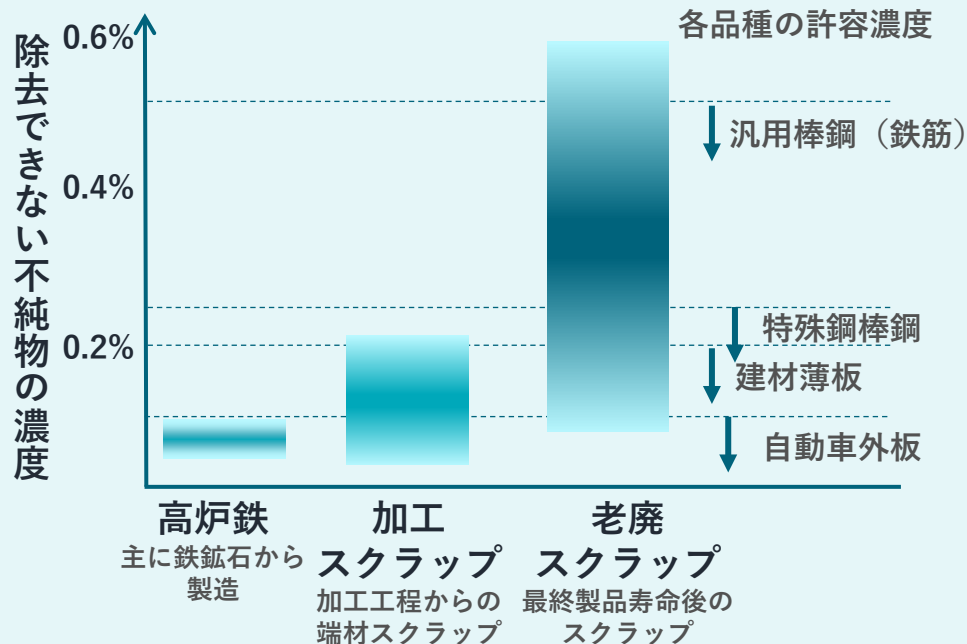
(出典)日本製鉄カーボンニュートラルビジョンなど
https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20210330_ZC.pdf

CO₂削減のチャレンジ②(スクラップ・還元鉄使用量の拡大)

①スクラップに混入している銅、還元鉄中のリンなどの不純物による品質制約

②窒素の混入による品質制約

この2点により、電炉で製造できる鋼種には制約があり、特に低品位原料による高級鋼の製造は困難。



平木岳人也: 第23回廃棄物資源循環学会研究発表会 (2012) 23_269を改変

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

Challenge

混入する材質有害元素の無害化技術確立による
電炉での高級鋼製造にチャレンジ

目次

日本鉄鋼業の現状

鉄鋼業におけるCO₂削減のチャレンジ

▶ **GI基金事業「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクトの概要**

カーボンニュートラル製鉄実現への課題とまとめ

本プロジェクトのスケジュール

- 主に2025～6年度に設定されているステージゲート審査及びその後の実装に向けた活動について、コンソーシアム内で協力しながら、開発を進めていきます。

■ 要素技術開発・小規模実証
 ■ 中規模実証
 ■ 大規模・実機実証
 ★ ステージゲート

	2021～2025	2026～2030	2031～2040	2041～2050
【研究開発項目 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	試験高炉試験 (設計) ★	実機改造	実機実証試験	★実装
②外部水素や高炉排ガスに含まれるCO ₂ を活用した低炭素技術等の開発	要素技術開発 設計・建設	小規模試験高炉試験 (設計) ★	中規模試験高炉 実証機建設 実証試験 (第1フェーズ)	実証試験 (第2フェーズ) 実機実証試験 ★実装
【研究開発項目 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	要素技術開発 設計・建設	小規模試験炉試験 (設計) ★	中規模直接還元炉試験 実証機建設 実証試験 (第1フェーズ)	実証試験 (第2フェーズ) ★実装
②直接還元鉄を活用した電炉の不純物除去技術開発	要素技術開発 設計・建設	小規模試験電炉試験 (設計) ★	大型試験電炉 実証機建設 実証試験 (第1フェーズ)	実証試験 (第2フェーズ) ★実装

(出典)METI「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・社会実装計画より

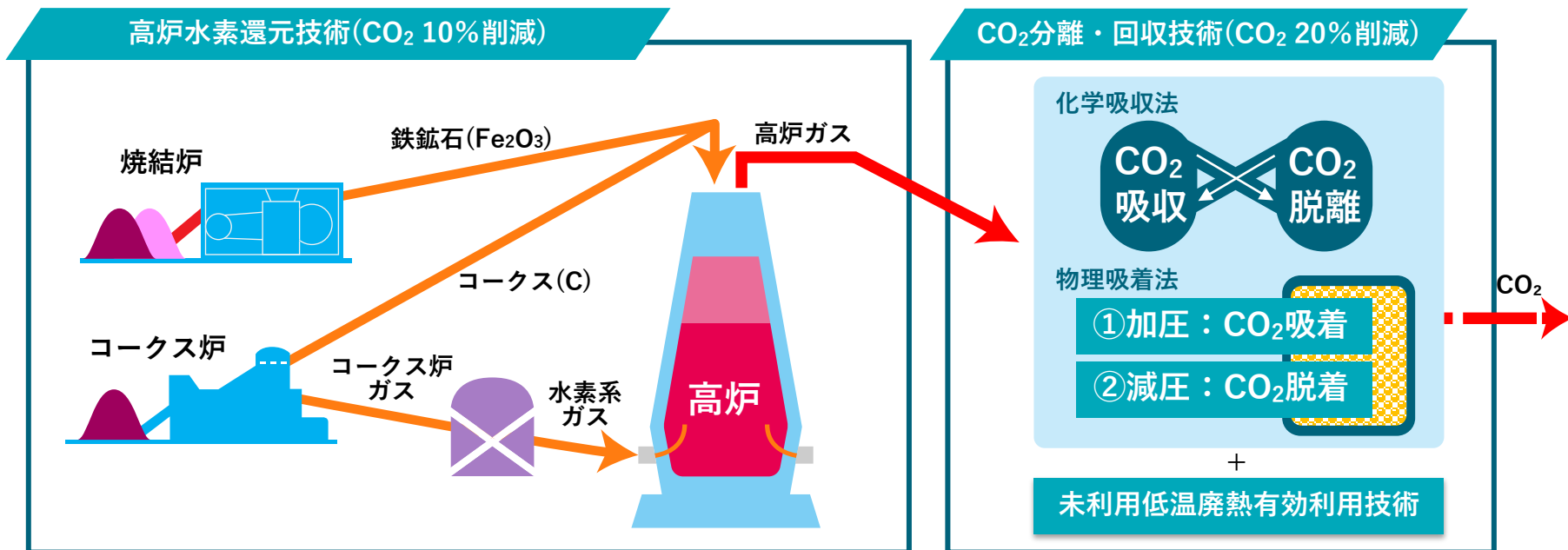
※想定されるスケジュールの一例を記載

1-① 高炉を用いた水素還元技術の開発 (所内水素を活用した水素還元技術等の開発)

✓ 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%以上のCO₂排出量削減想定)

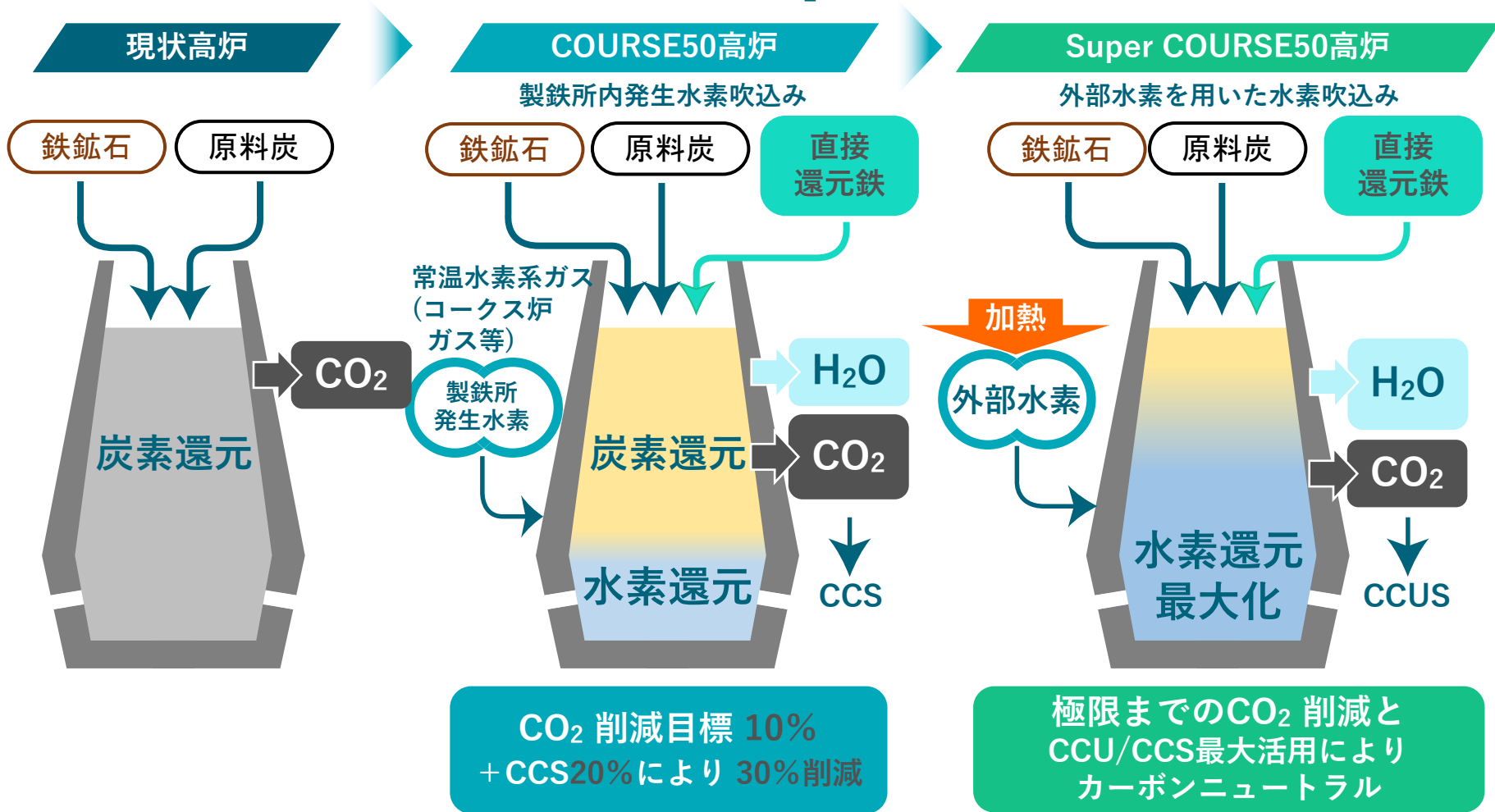
- ① 実炉実証試験に向けた操業条件の検討
- ② 実高炉（5000m³級）での実証試験



日本製鉄(株)東日本製鉄所君津地区第二高炉において
常温水素系ガス吹込み設備導入 2025年度下期実機実証開始予定

1-② 高炉を用いた水素還元技術の開発：Super COURSE50

(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)



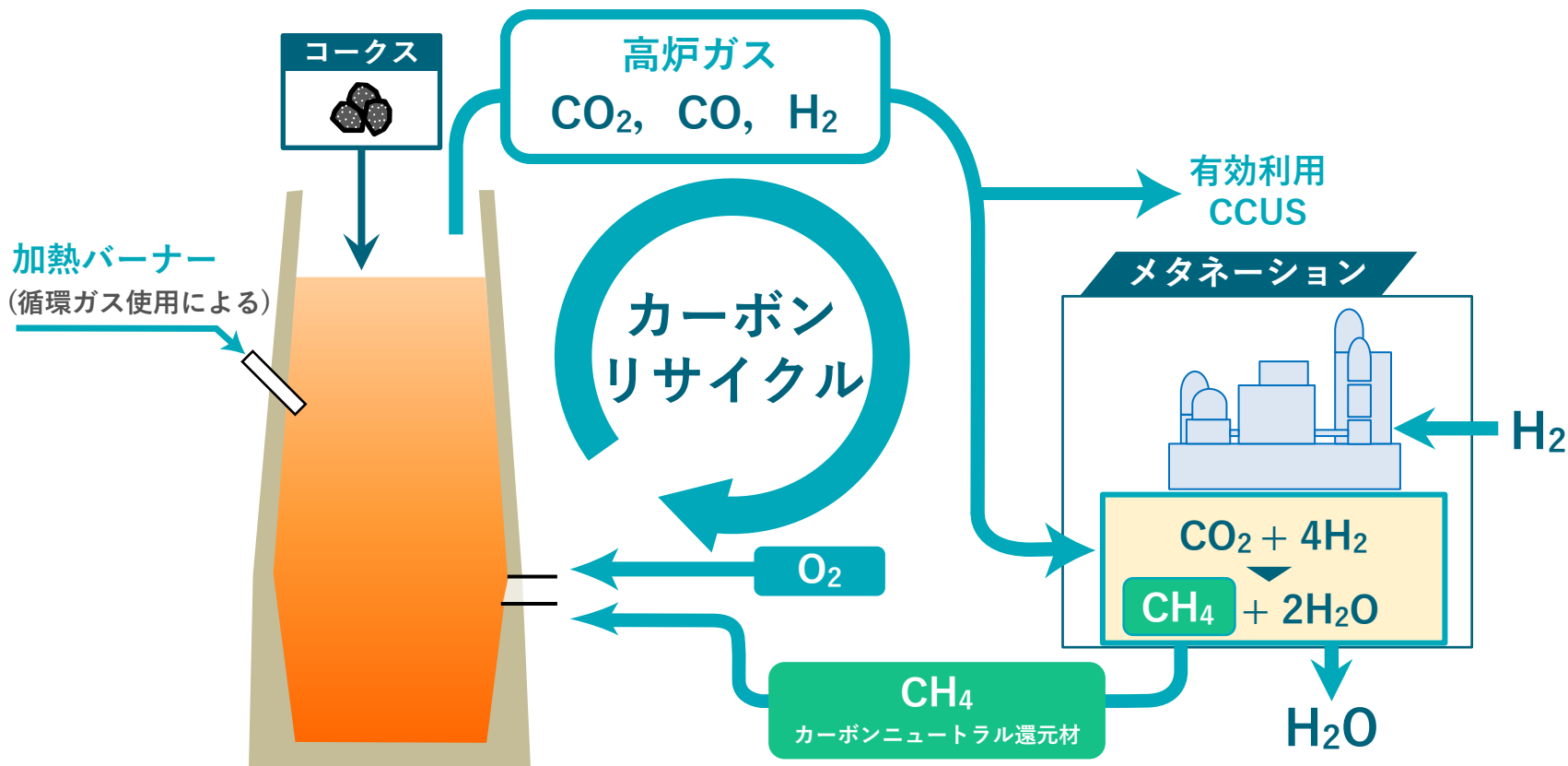
日本製鉄(株)東日本製鉄所君津地区において試験高炉改造※ 2022年5月試験開始。
還元材の原料炭(コークス)の一部を水素で代替。さらに、鉄鉱石の一部を直接還元鉄に代替。
現行の高炉法と比較してCO₂排出量を50%以上削減を達成する技術を実証。

※COURSE50開発で使用した12m³の試験高炉を活用

1-② 高炉を用いた水素還元技術の開発：カーボンリサイクル高炉

(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)

- ✓ 高炉から発生するCO₂をメタンに変換し、還元材として繰り返し利用
- ✓ 還元材の一部をコークスからカーボンニュートラルメタンに置換してCO₂排出量削減



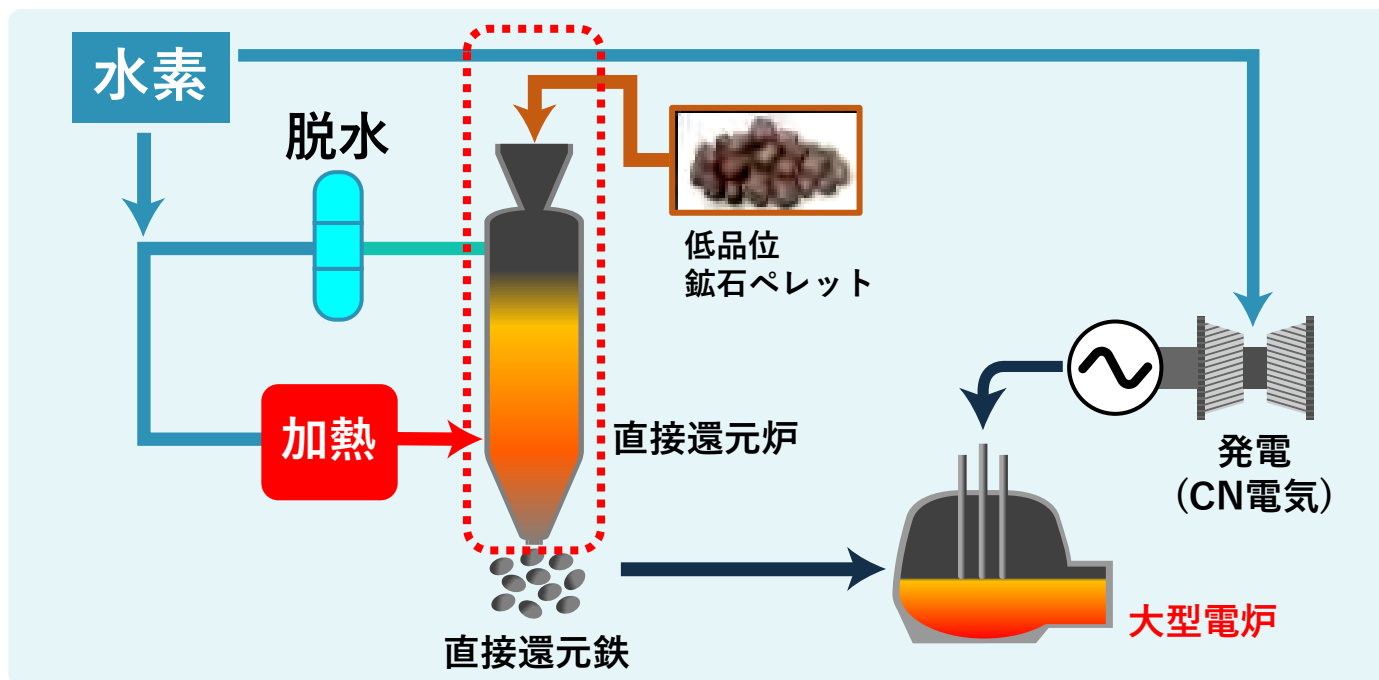
JFEスチール（株）東日本製鉄所千葉地区において小型カーボンリサイクル試験高炉（150m³規模）建設 2025年4月~26年度に試験操業を行いプロセス原理確認。現行の高炉法と比較してCO₂排出量を50%以上削減を達成する技術を実証。

2-① 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 (直接水素還元技術の開発)

✓ 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排出量を50%以上削減する技術を実証。

①要素技術開発および小規模試験シャフト炉 (1t/hr) 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

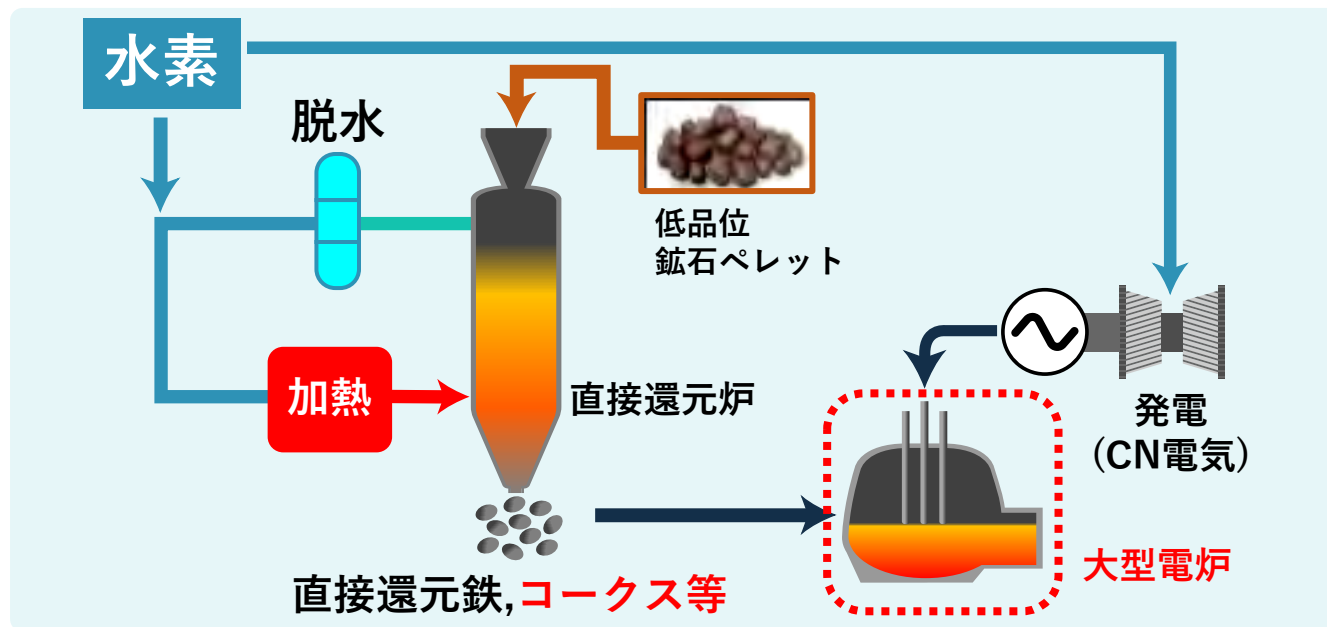


- ・ 日本製鉄(株)波崎研究開発センターにおいて小規模試験シャフト炉 (1t/hr) 建設 2025年度試験開始予定
- ・ JFEスチール(株)東日本製鉄所千葉地区において小型ベンチ試験炉建設 2024年度試験開始予定

2-② 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 (直接還元鉄を活用した電炉の不純物除去技術開発)

✓ 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
- 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

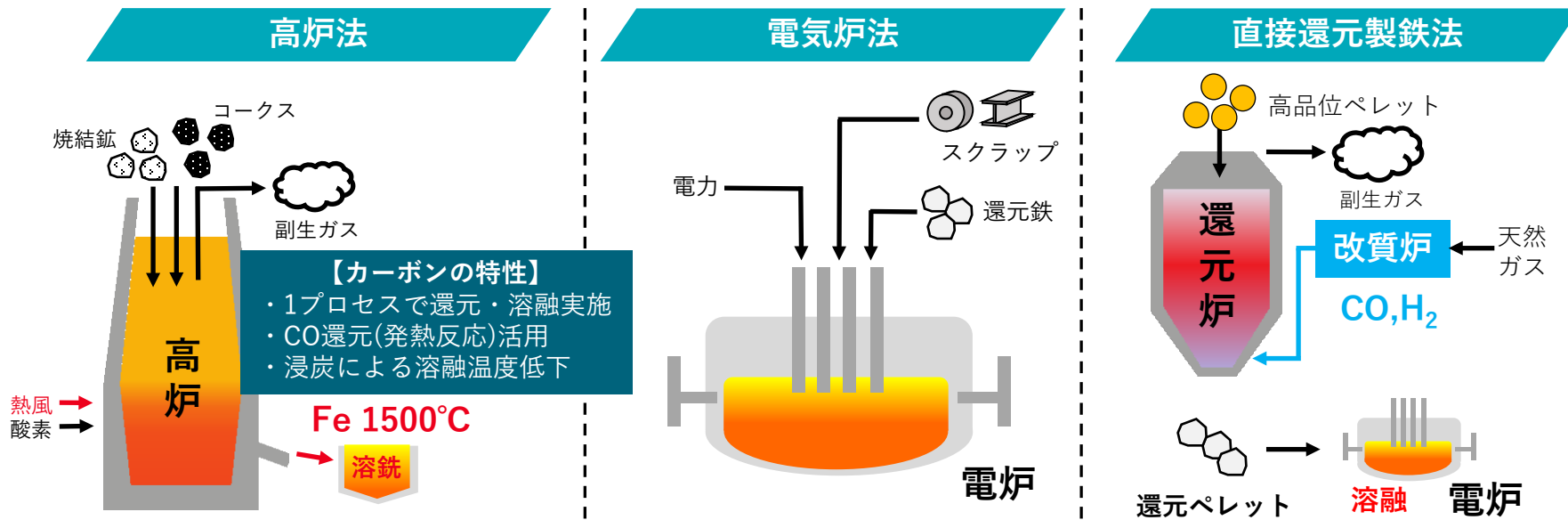


- ・日本製鉄(株)波崎研究開発センターに小型試験電気炉(10t)建設2024年度試験開始：還元鉄高速溶解,精錬効率向上
- ・JFEスチール(株)東日本製鉄所千葉地区に小型試験電気炉(10t)建設2024年度試験開始：還元鉄予熱,炉内熱付与
- ・(株)神戸製鋼所高砂製作所において小型商用炉(20t)改造 2022年度試験開始：還元鉄溶解技術の開発

※実施時期は全て予定

複線的な取り組みの重要性

✓ CN製鉄に向けて各プロセスともに優位性と問題点があり、複線的な技術開発が必要。



優位性	高炉法	電気炉法	直接還元製鉄法
優位性	生産性が高い 既存設備を使用可能 低品位鉱石使用可能 高級鋼生産可能	CO ₂ 排出量が少ない	CO ₂ 排出量が少ない 100%水素還元が可能となれば カーボンニュートラル実現可能
問題点	<ul style="list-style-type: none"> ・ コークスをカーボンニュートラル還元材(水素、メタン等)に置換する必要あり ・ CCUSの活用が不可欠 ・ 水素還元時、炉内温度低下対策が必要(現時点で未確立) ・ 水素コストが高い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 生産性が低い ・ 低品位原料による高級鋼製造困難 ・ スクラップのみでは鉄源不足 ・ カーボンニュートラル電源必要 ・ 電力コストが高い(国内) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 低品位鉱石の使用困難 ・ 水素還元時、炉内温度低下対策が必要(現時点で未確立) ・ 水素コストが高い ・ 設備投資金額が高い

コンソーシアム結成の意味

- ✓ 「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクトは日本製鉄株式会社、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(JRCM)の4社からなる水素製鉄コンソーシアムで開発を行う。(13研究機関と共同研究を行う。)
- ✓ 本コンソーシアムは**カーボンニュートラル製鉄プロセスを実現することを目的とし、各社リソース(人材・設備・ノウハウ)を共同で活用することで、開発の促進を図る。**



水素製鉄コンソーシアムについて

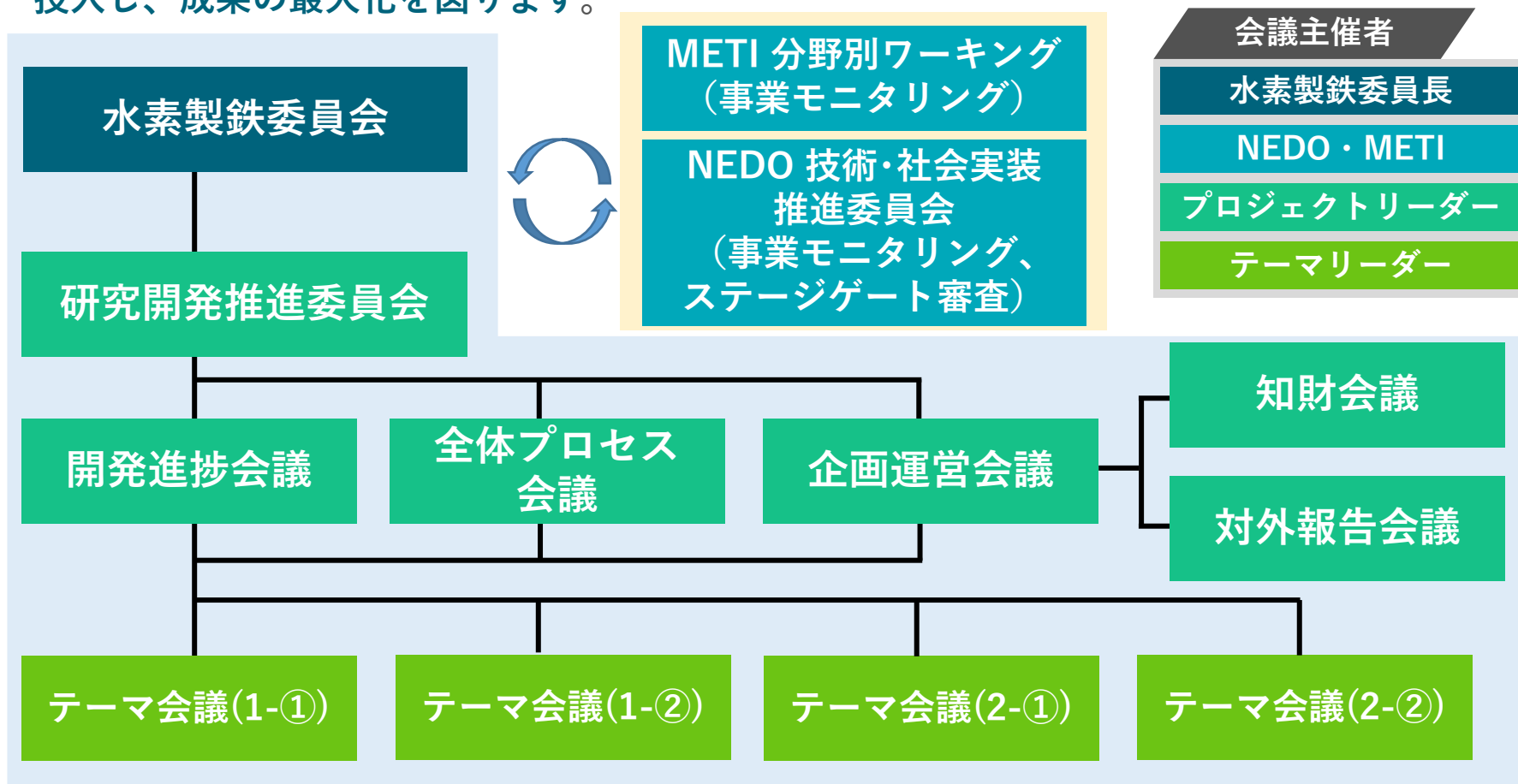


日本製鉄株式会社、JFEスチール株式会社、株式会社神戸製鋼所、一般財団法人 金属系材料研究開発センター（JRKM）の4社は水素製鉄コンソーシアムを結成し、グリーンイノベーション基金事業（GI基金事業）「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクトに応募、21年12月24日に採択され、各社共同による技術開発をスタートしました。

本日（22年6月15日）、各社役員による第1回水素製鉄委員会を開催し、今後の技術開発において協力していくことを確認しました。

コンソーシアム一体の効率的ステアリング体制

- ✓ 効率的な開発・円滑な実装を目的として、コンソーシアムメンバー全体が参加するステアリング体制を構築します。具体的にはプロジェクトリーダー（日本製鉄）・副プロジェクトリーダー（JFEスチール）が主催する定期的な会議の開催により、技術交流を行います。
- ✓ 開発成果は各社役員が出席する水素製鉄委員会にて確認し、各社が必要に応じた経営資源を投入し、成果の最大化を図ります。



目次

日本鉄鋼業の現状

鉄鋼業におけるCO₂削減のチャレンジ

GI基金事業「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクトの概要



カーボンニュートラル製鉄実現への課題とまとめ

カーボンニュートラル製鉄実現への課題

カーボンニュートラル製鉄実現のためのコストアップ

▶ 巨額な研究開発費

2030年までに数千億円、2050年に向けては更に多額の開発費用が必要。
(グリーンイノベーション基金に加え、政府による研究開発支援が必要)

▶ 巨額な実機化投資

CN実現に向けた設備投資には鉄鋼全体で10兆円程度の投資が必要になると想定
(実機投資に関する支援措置の創設)

▶ グリーン水素・電力費用およびインフラ整備投資

(海外とイコールフットィングになる産業用価格の設定)

カーボンニュートラル製鉄実現に必要な社会連携

▶ 「環境と成長の好循環」を実現する国家戦略

▶ 国際競争におけるイコールフットィング確保による産業競争力の強化

▶ ビジネスチャンスにつながる各種政策の一体的実現

▶ 社会全体でコスト負担するコンセンサスの形成

▶ 他産業連携の推進 等

まとめ

- ✓ 水素製鉄コンソーシアム加盟の4社は各社リソース(人材・設備・ノウハウ)を共同で活用することで、**本事業にかかわる技術開発・社会実装に向けた努力を続け、持続可能な社会の実現に貢献してまいります。**

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

- ・日本製鉄(株)東日本製鉄所君津地区第二高炉において常温水素系ガス吹込み設備導入
2025年度下期実機検証開始予定

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

- ・日本製鉄(株)東日本製鉄所君津地区において試験高炉改造 2022年5月試験開始
- ・JFEスチール(株)東日本製鉄所千葉地区において小型カーボンリサイクル試験高炉(150m³規模)建設 2025年4月試験開始予定

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(このテーマのみ、日本製鉄、JFEスチール、JRCMの3社で実施)

- ・日本製鉄(株)波崎研究開発センターにおいて小規模試験シャフト炉(1t/hr)建設 2025年度試験開始予定
- ・JFEスチール(株)東日本製鉄所千葉地区において小型ベンチ試験炉建設 2024年度試験開始予定

②直接還元鉄を活用した電炉の不純物除去技術開発

- ・日本製鉄(株)波崎研究開発センターにおいて小型試験電気炉(10t)建設 2024年度試験開始予定
- ・JFEスチール(株)東日本製鉄所千葉地区において小型試験電気炉(10t)建設 2024年度試験開始予定
- ・(株)神戸製鋼所高砂製作所において小型商用炉(20t)改造 2022年度試験開始予定