

NEDO脱炭素技術分野成果報告会2025

プログラムNo.1

GI基金事業 製鉄プロセスにおける 水素活用の概要と進捗状況

契約件名「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクト

発表：2025年7月16日



"GREINS" means "Green Innovation in Steelmaking"

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 石渡夏生（JFEスチール株式会社）

団体名 水素製鉄コンソーシアム

問い合わせ先 GREINSプロジェクト (www.greins.jp)

社会的なCO₂削減ニーズと日本鉄鋼業の対応

- ・日本鉄鋼業は日本全体のエネルギーに関係するCO₂のうち13%を排出してる
- ・SDGsや地球温暖化にかかわる消費者意識が向上
- ・日本鉄鋼業はユーザー様のCO₂削減要望にお応えするべく、カーボンニュートラル行動計画を発表、CO₂削減技術を活動を展開している

ユーザー様の意識変化



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

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るべき

▶ 57.1%

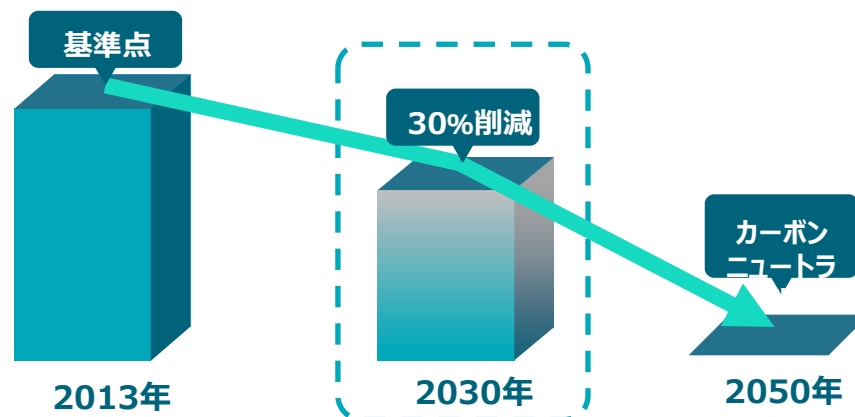
エシカル商品・サービスの
購入時の価格アップを容認

▶ 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。

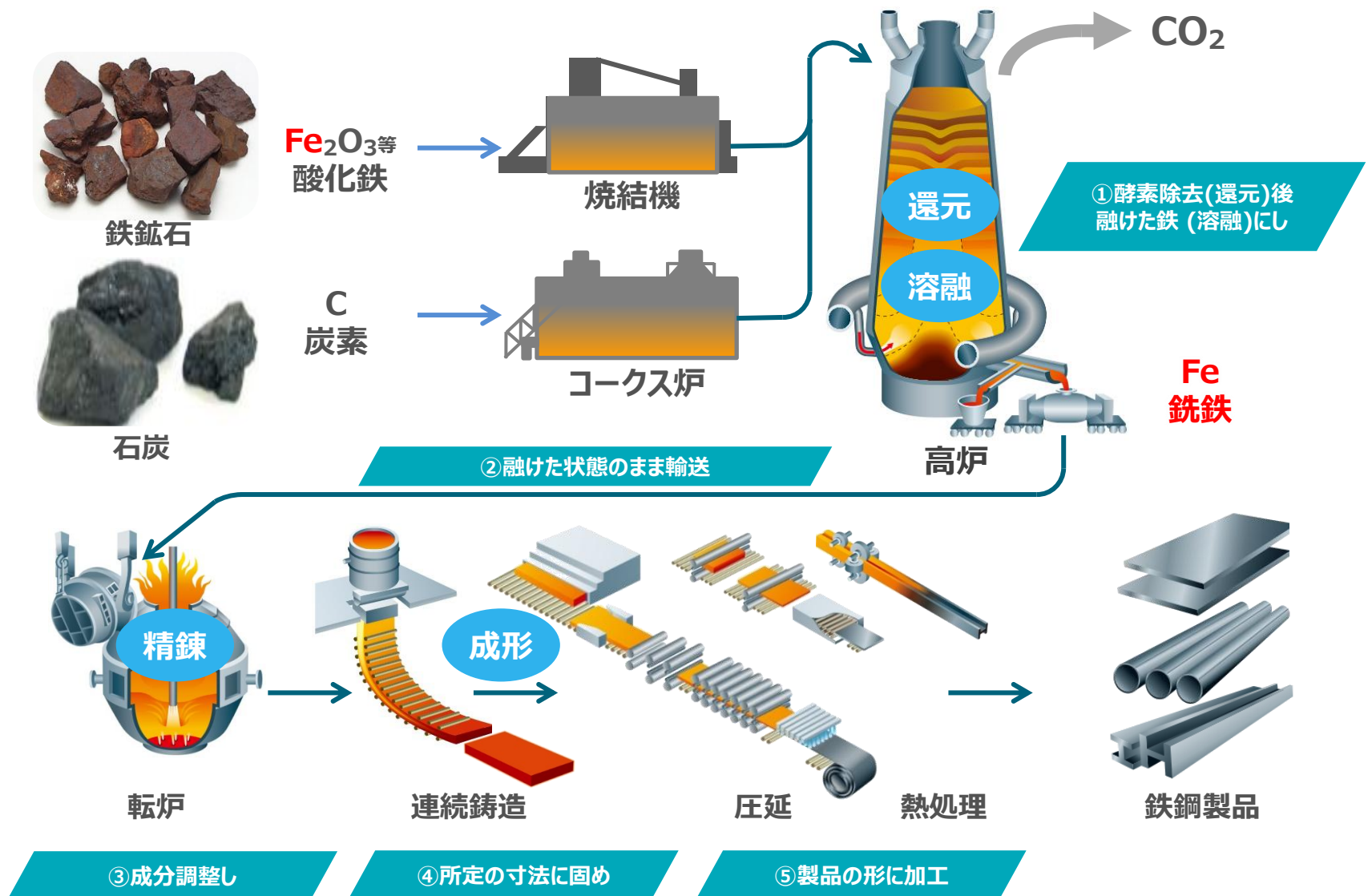
日本鉄鋼業のカーボンニュートラル行動計画



(出典) 消費者庁：<https://www.ethical.caa.go.jp/ethical-consumption.html>

(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

一般的な高炉転炉法のプロセスフロー



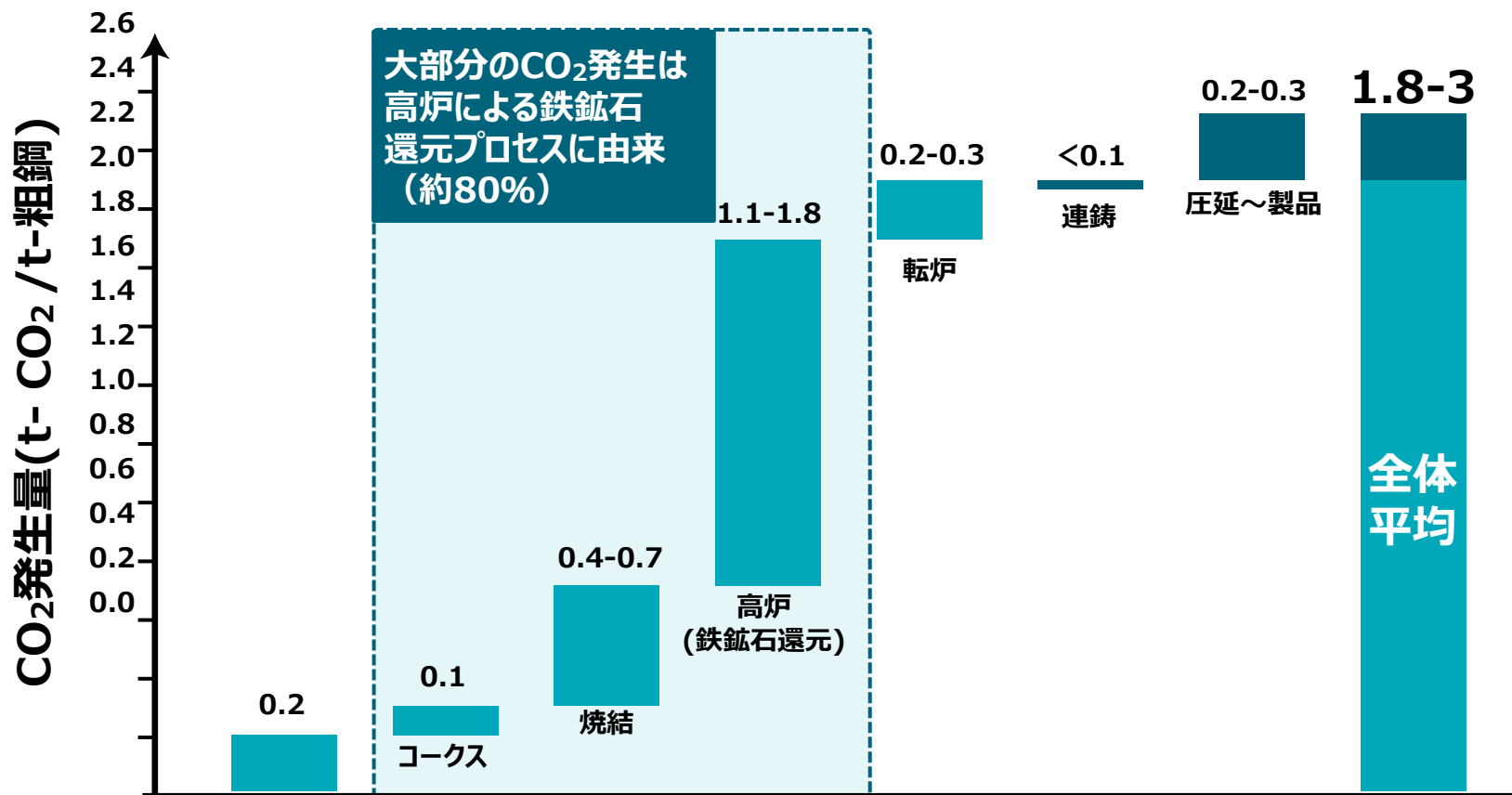
(出典) 日本製鉄カーボンニュートラルビジョン

https://www.nipponsteel.com/en/ir/library/pdf/20210330_ZC.pdf

製鉄プロセス工程ごとのCO₂排出量

- ・CO₂削減（脱炭素）を実現するには、鉱石還元工程で出るCO₂を減らすことが必要

高炉転炉法各プロセスのCO₂排出量



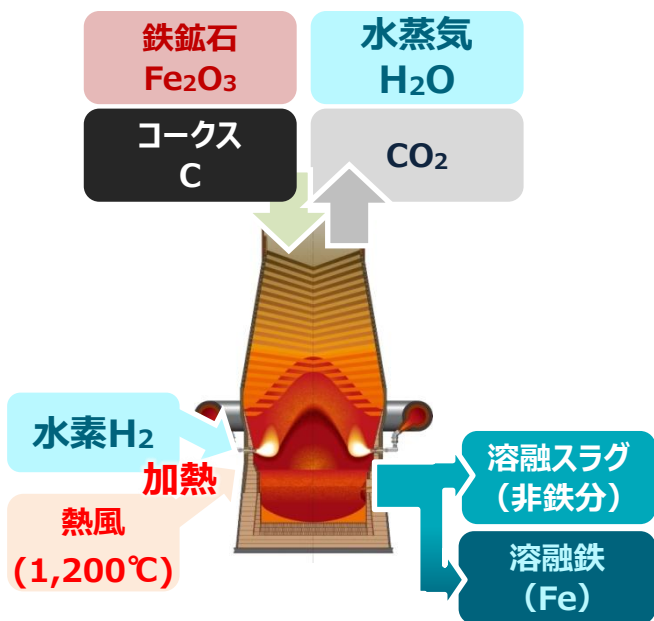
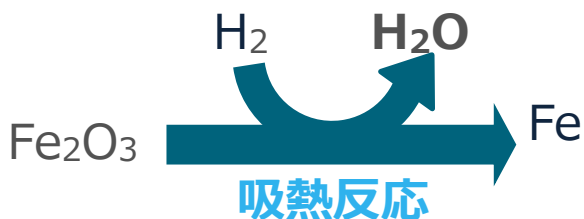
Revised from "Carbon Trust, International Carbon Flows - Steel (2011),"

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などが必要**

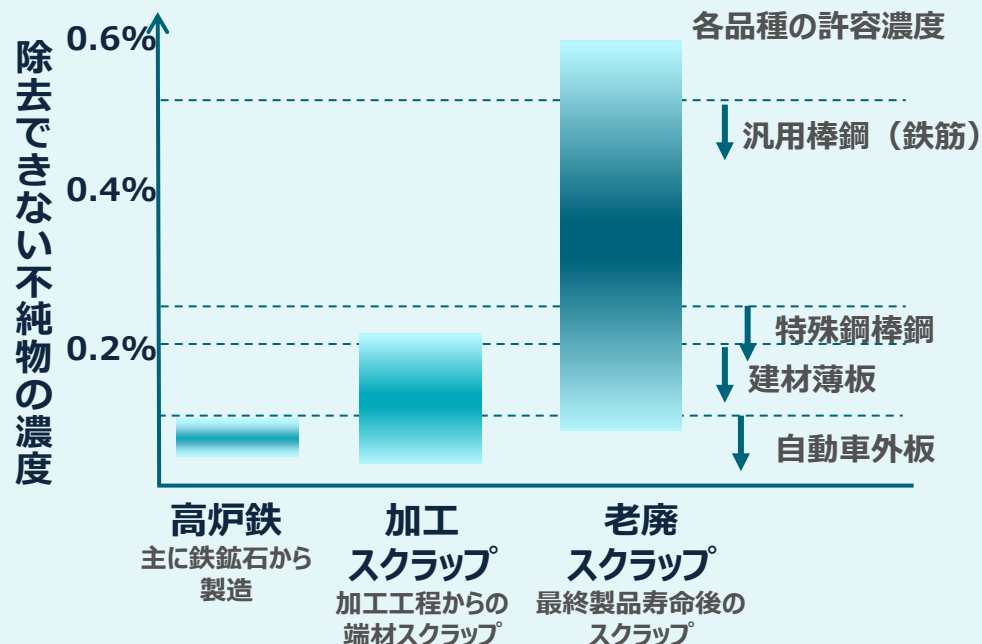
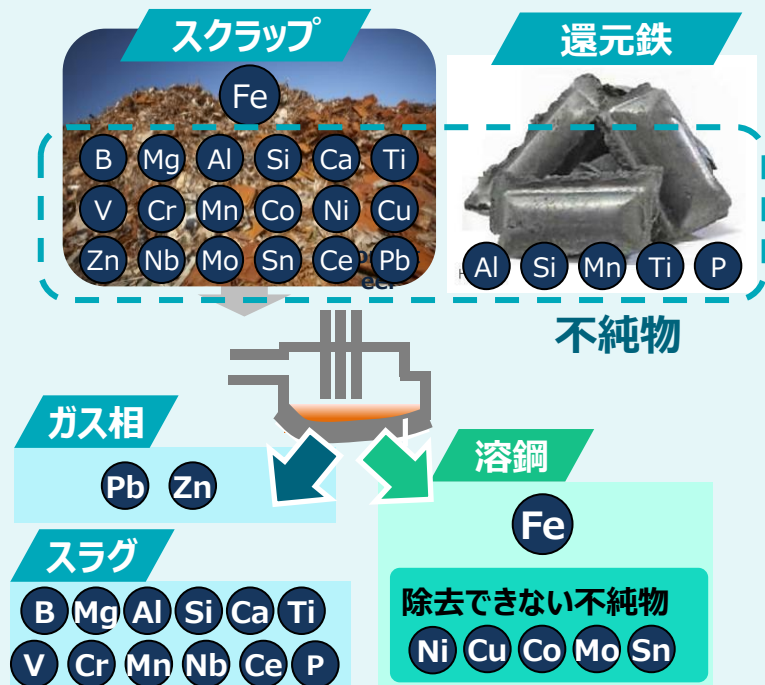
	従来高炉	水素高炉・シャフト炉
加熱気体 (爆発リスク)	空気 (無し)	水素 (あり)
送風量	数千Nm ³ /分	左記に加えて 大量の加熱水素 吹き込みが必要
加熱方式	熱風炉 (直接加熱した耐火煉瓦 との熱交換)	安全確保のため 間接加熱などの新規 技術開発が必要 (加熱効率に課題)

Challenge

吸熱反応に対応する技術が必要

CO₂削減のチャレンジ②(スクラップ・還元鉄使用量の拡大)

- 電気炉鋼にはスクラップ中の銅、還元鉄中のリン、空気中の窒素などの不純物が混入
- 不純物により、鋼材性能が低下するため、電気炉で製造できる鋼種に制約あり
(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

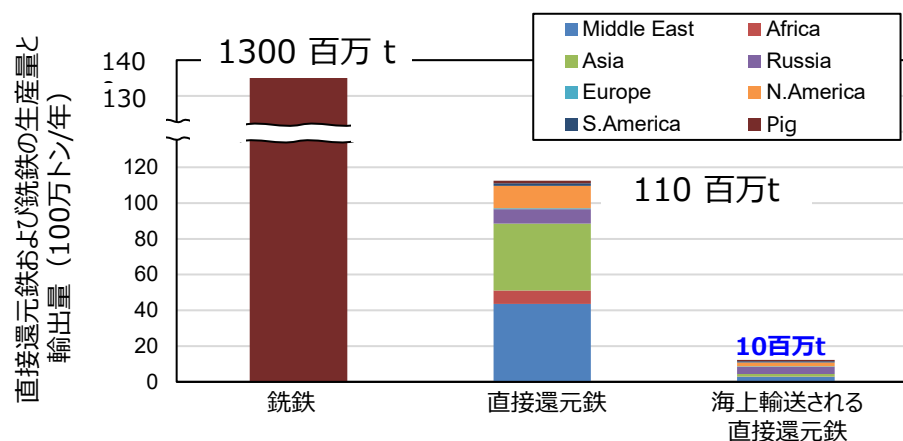
Challenge

不純物の除去・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

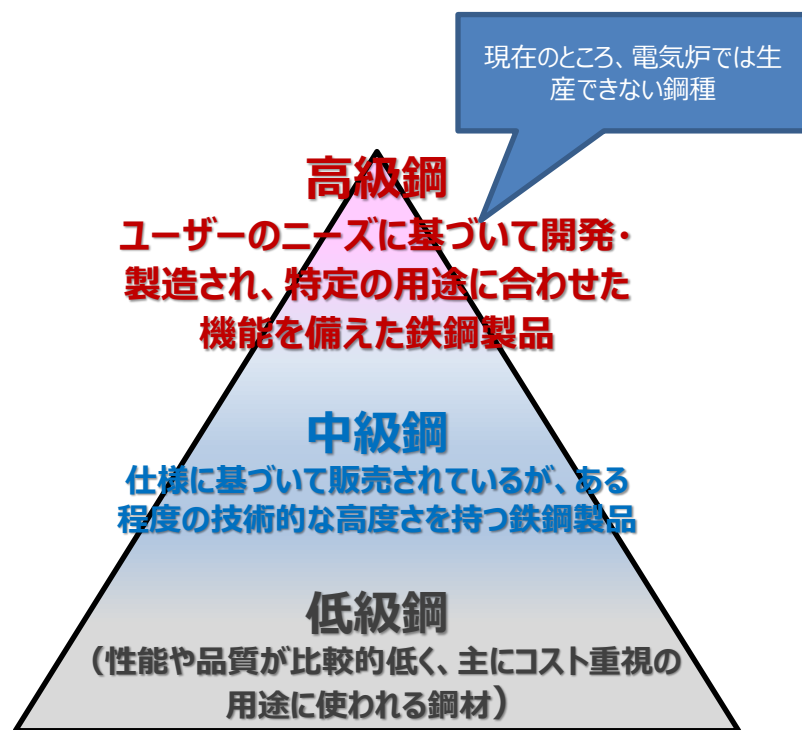
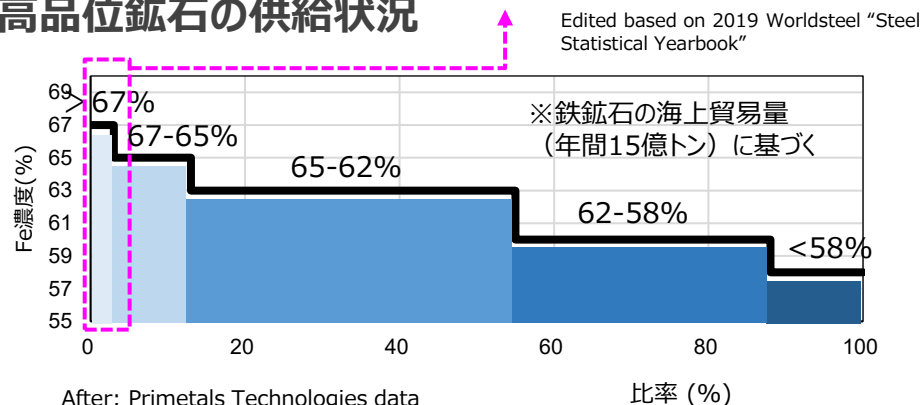
日本が目指すべき製鉄法とは？

- ・特にアジアでは低品位な豪州鉱石を使う必要があり、高炉・転炉法が主流
- ・直接還元プロセスに使われる高品位鉱石は供給量が限られており、低品位鉱石を活用する技術開発が必要不可欠
- ・現在、電気炉で高品質鋼をつくるのは困難、高炉CO₂排出量削減技術のニーズは高い

○世界の直接還元鉄の生産量と輸出入



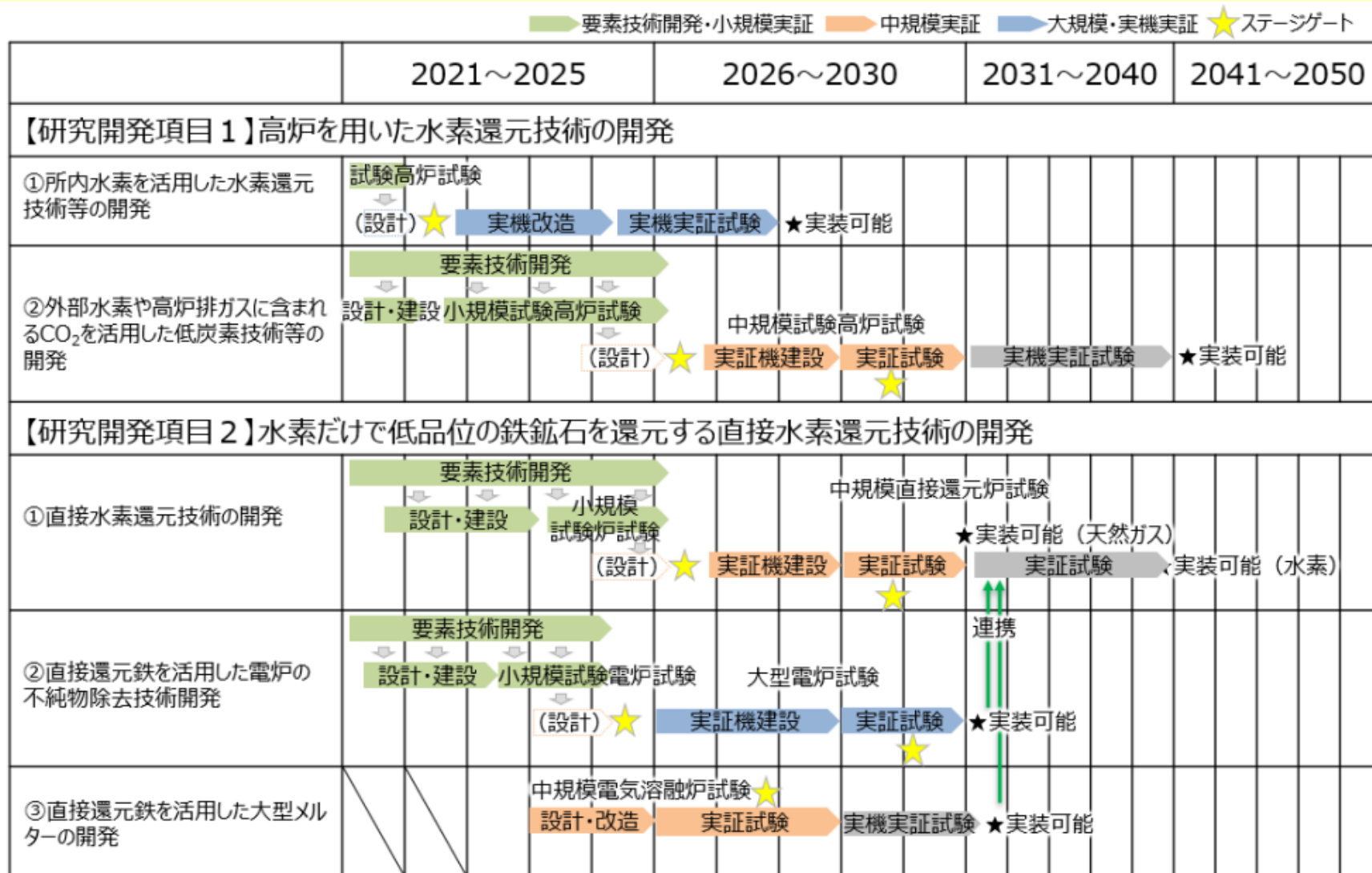
○高品位鉱石の供給状況



https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/sansei/kaseguchikara/pdf/010_s03_02_03_01.pdf

本プロジェクトのスケジュール

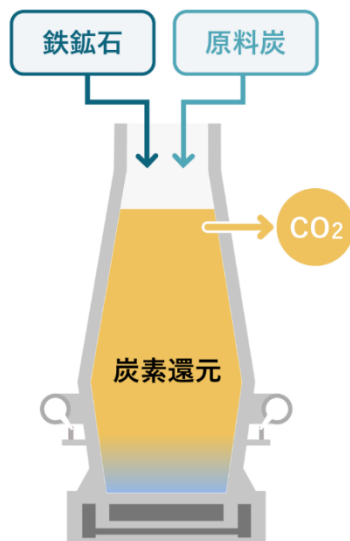
- このプロジェクトは、2021年に開発を開始し、2040年実装可能に向けて活動している
- 2025～26年度に予定されているステージゲート審査に向けて各社協力して開発中



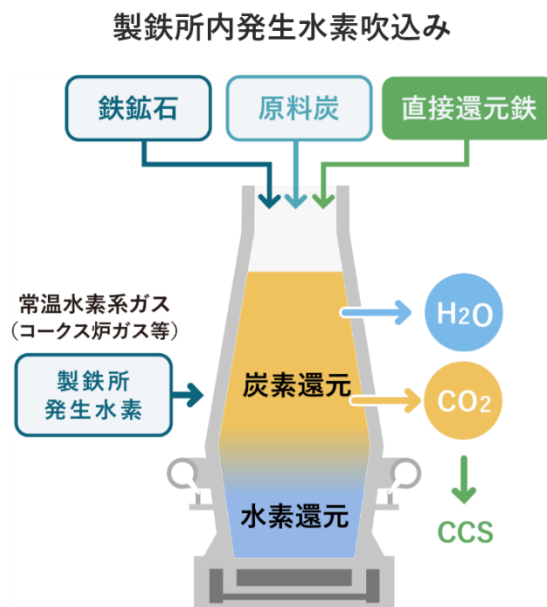
高炉における水素還元技術（水素直接利用）

- ・COURSE50：常温の水素を使った高炉での還元やCO₂の回収・分離（CCUS）といった技術を活用し、2030年までに製鉄プロセスからのCO₂排出量を30%以上削減
- ・Super COURSE50：外部から高温の水素を直接使うことで、高炉での水素還元を最大化し、製鉄プロセスからのCO₂排出量を50%以上削減

現状高炉

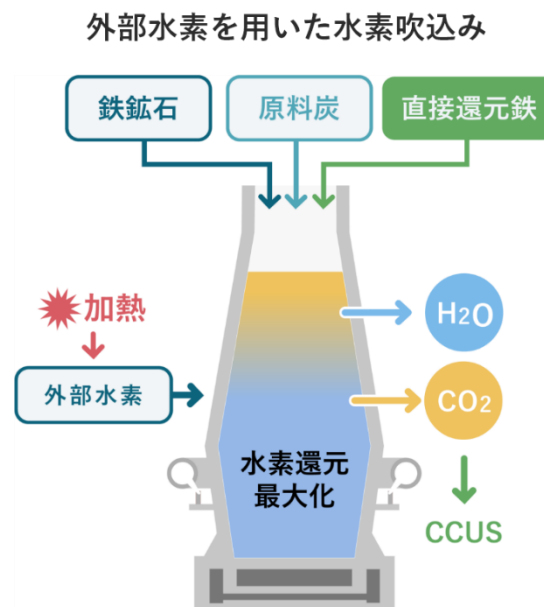


COURSE50 高炉



CO₂ 削減目標 10%
+CCS 20% により 30% 削減

Super COURSE50 高炉



極限までの CO₂ 削減と
CCU/CCS 最大活用により
カーボンニュートラル

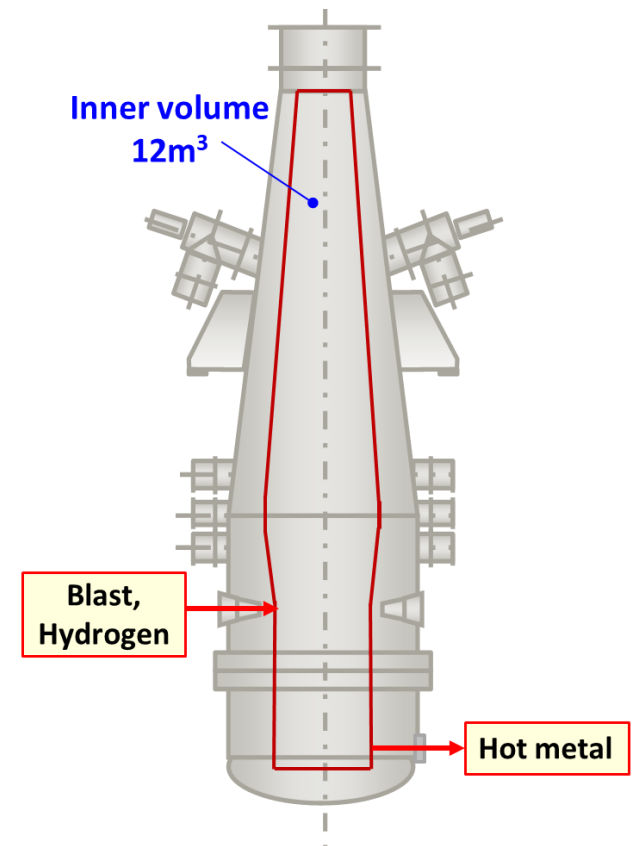
Super COURSE50 試験高炉 (EBF)

- ・日本製鉄東日本製鉄所 君津地区にある12立方メートルの実験用高炉で、高温水素吹込み試験を実施中

Super COURSE50試験高炉



試験高炉の断面図



試験高炉での水素吹込み結果

- COURSE50試験高炉で32日間にわたって安定した連続運転を実施
常温の水素を吹き込むことでCO₂排出量が16%削減された
- Super COURSE50試験高炉で高温水素を多量に吹き込むことでCO₂排出量が43%削減されることを確認

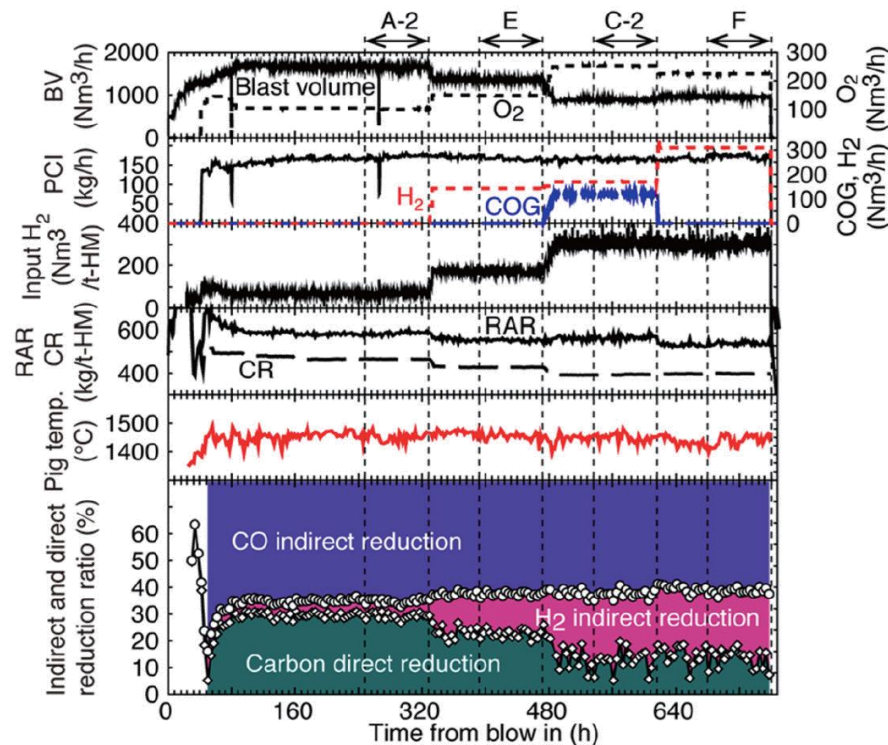


Fig. Example of operation trend of experimental blast furnace.

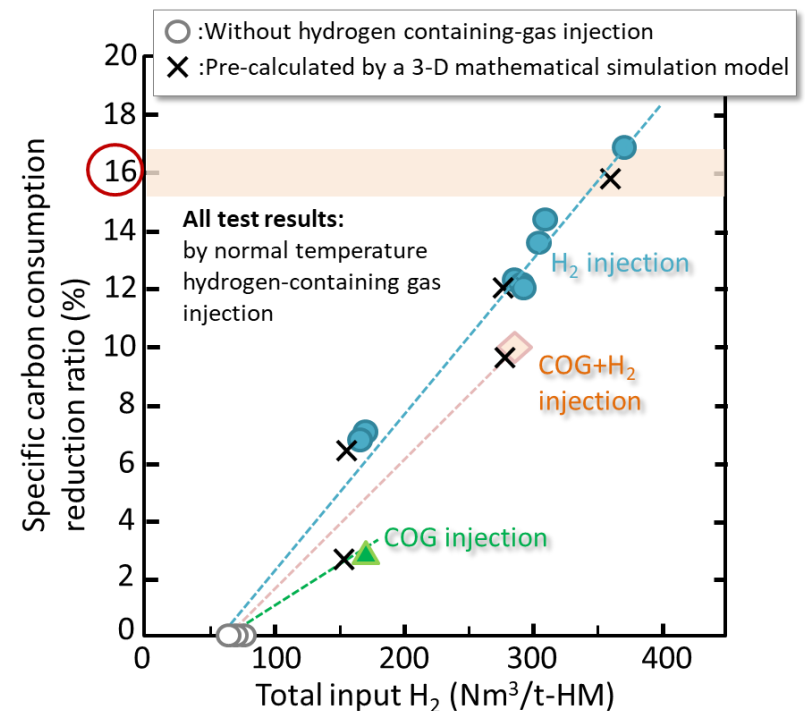
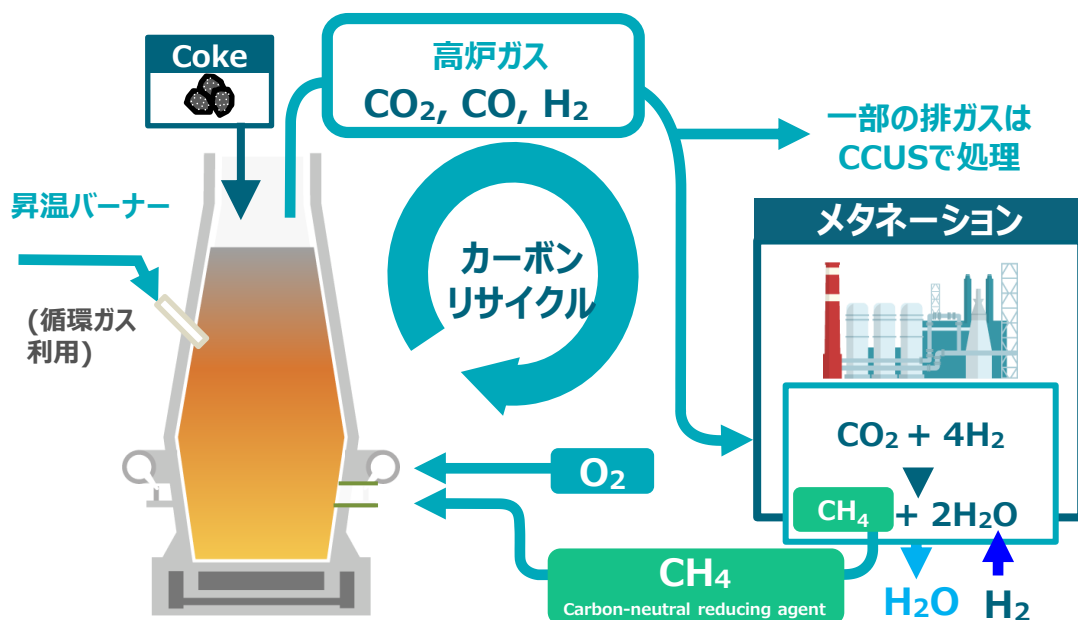


Fig. Relationship between total H₂ input with reduction rate of carbon.

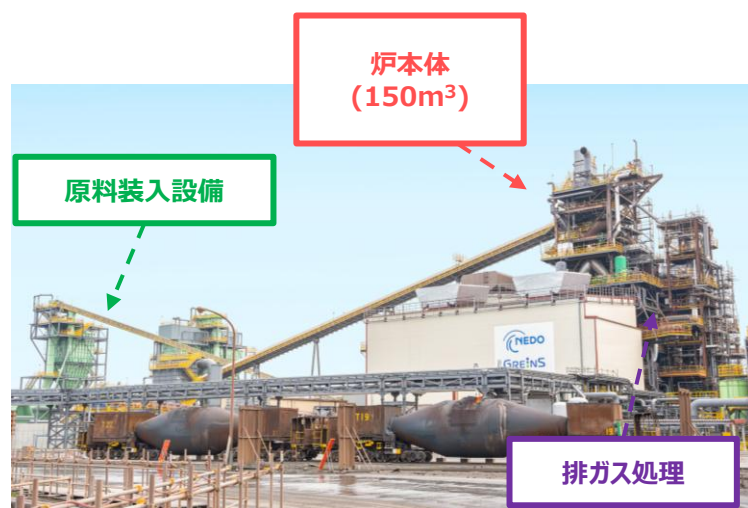
高炉における水素還元技術（水素間接利用）

- ・高炉で発生したCO₂をグリーン水素でメタンに変換、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き換えることで、CO₂排出量を削減

カーボンリサイクル高炉のコンセプト



カーボンリサイクル試験高炉



設備工事概要

- | | |
|---------|----------------------------------|
| 1. 工期 | 2022年3月～2025年4月 |
| 2. 炉容積 | 150m ³ |
| 3. 建設範囲 | 炉体, 原料装入装置, 排ガス処理設備, メタネーション設備など |
| 4. 実験期間 | 2025-26年度（昼夜連続） |

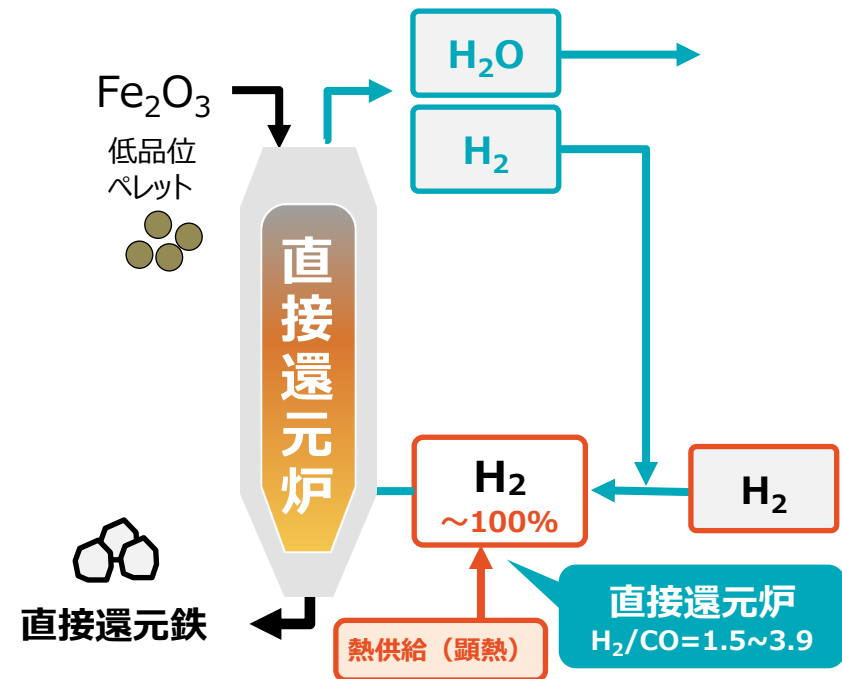
- ・150立方メートル規模の小型カーボンリサイクル高炉を建設。
- ・2025～2026年にJFEスチール東日本製鉄所（千葉地区）で試験を行う予定

低品位鉱石を使った直接還元技術の開発

- ・水素を使って低品位の鉄鉱石を直接還元する技術を開発し、従来の高炉法と比べて、50%以上のCO₂排出量を削減できる技術の実証を目指す
- ・低品位のペレット（粒状の鉄鉱石）を使用するための技術開発も推進中

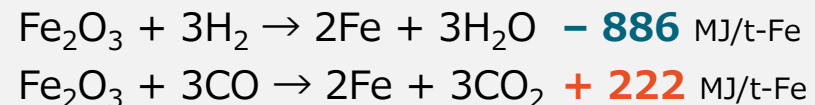
○既存のシャフト炉プロセスとの比較

	既存 シャフト炉	水素還元 シャフト炉
還元材	天然ガス	水素
H ₂ 濃度	60~80%	~100%
熱供給	天然ガス・排ガス 燃焼による還元ガス温度制御	水素外部加熱等 による還元ガス温度制御
原料	高品位 ペレット	低品位原料



事業戦略ビジョン

<https://green-innovation.nedo.go.jp/pdf/utilization-hydrogen-steelmaking/item-002/vision-direct-hydrogen-reduction-nipponsteel-002.pdf>

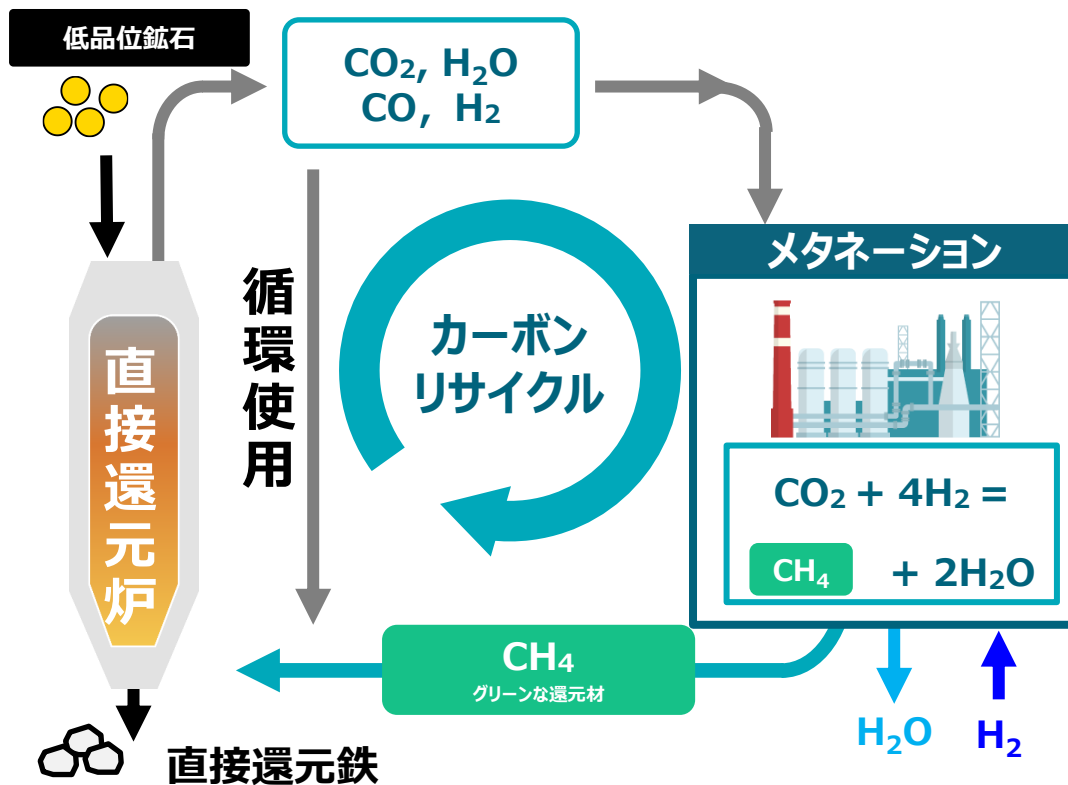


- ・小型試験用シャフト炉（1トン／時）の建設
- ・2025年度に日本製鉄・波崎研究開発センターで実験開始予定

直接還元製鉄法に対するカーボンリサイクルの適応検討

- システム内でCO₂を回収、メタネーション技術を用いてグリーン水素でメタンに変換して再利用
カーボンリサイクルを活用した直接還元法の開発も進行中

カーボンリサイクルを活用した直接還元製鉄のコンセプト



直接還元試験炉

直接還元試験炉概要

- 敷地：約50m×約50m
- 高さ：約30m
- 実験量：15kg/h

還元炉
(15kg/h)

操作室、電気室

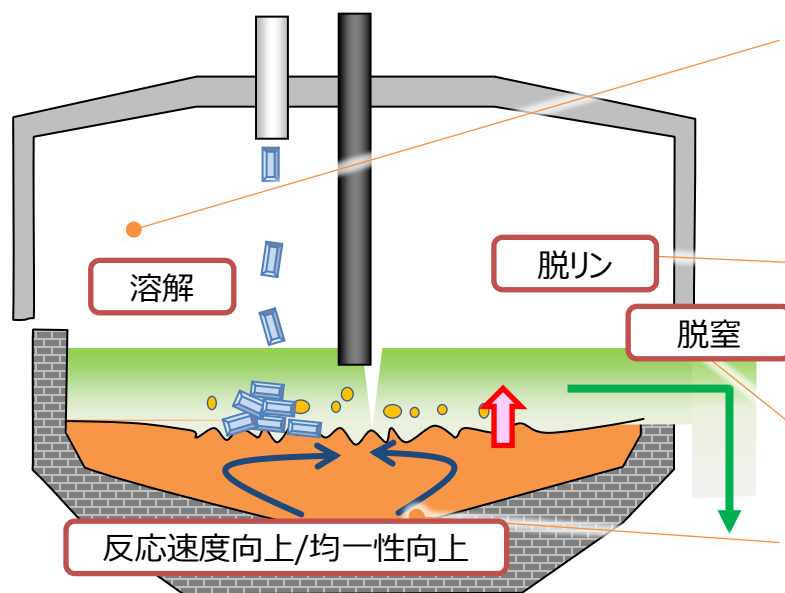
還元ガス発生装置

ベンチ試験炉を建設し、2024年度にJFEスチール 東日本製鉄所（千葉地区）で実験開始

高級鋼製造のための電気炉の不純物除去技術開発

低品位鉱石から製造した水素直接還元鉄を活用した電炉プロセスにおいて、大型電炉一貫プロセス（処理量約 300 トン規模）で、不純物濃度を高炉法並みに制御して、高級鋼を製造する技術を実証

- 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



溶解速度向上

DRI（直接還元鉄）の仕様、投入位置および投入速度の最適化、ならびに攪拌の改善、予熱技術の適応

脱リン速度向上

攪拌の改善およびスラグ組成の制御による脱リンの促進、スラグ発生量の削減

脱窒速度向上

雰囲気制御、炭素添加、脱炭による脱窒の促進

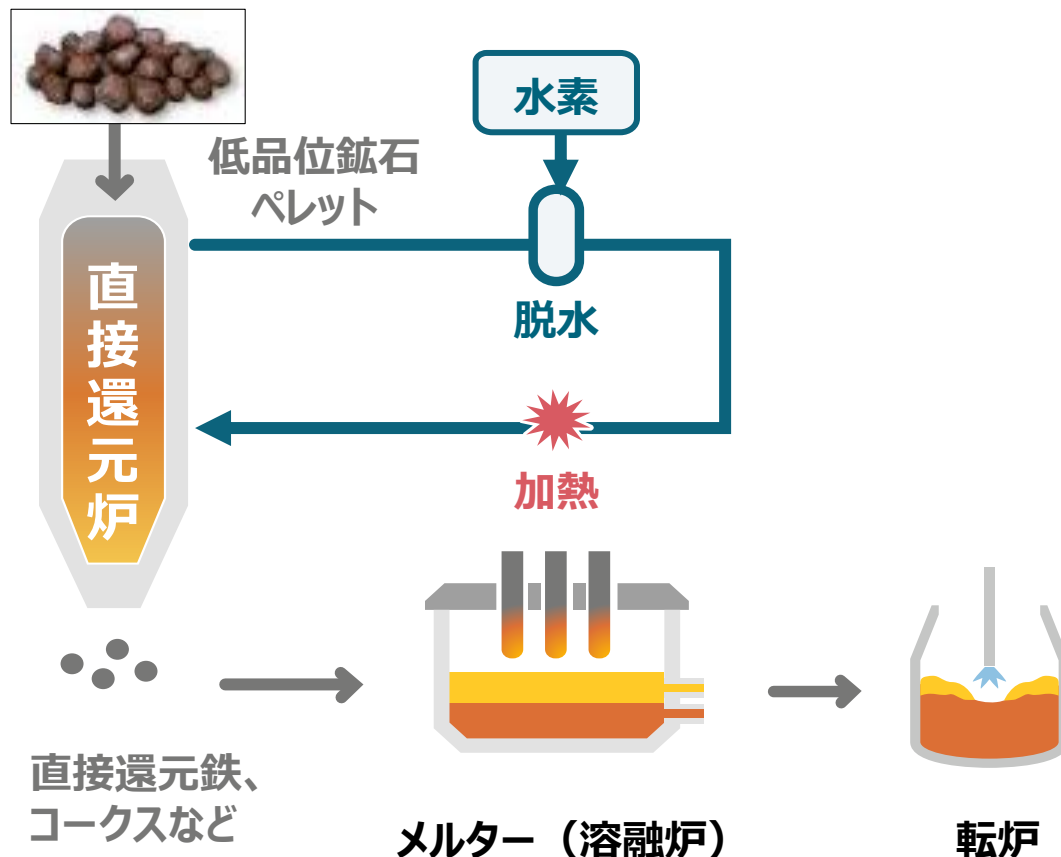
最適な攪拌技術

通電方式や炉形状などを含む攪拌方法の最適化

- ・日本製鉄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
- ・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

直接還元鉄を活用した大型メルターの開発

- ・低品位鉄鉱石を用いて、効率的な溶解と可能とし、高炉プロセスに匹敵する不純物を制御するメルター（溶融炉）技術の実証を実施
- ・国内のセメント用途に適したスラグの性状制御技術の実証を実施



試験用の電気溶融炉（ESF）が建設され、2026年度に日本製鉄で試験が開始される予定

水素製鉄コンソーシアムに属する4社は、本プロジェクトに関する技術開発および社会実装に向けた取り組みを今後も継続し、各社の人的資源、設備・装置、ノウハウといったリソースを共同で活用・共有することで、持続可能な社会の実現に貢献していきます



"GREINS" means " Green Innovation in Steelmaking"

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・助成事業
JPNP21019「『グリーンイノベーション基金事業／製鉄プロセスにおける水素活用プロジェクト』
（GREINS）における高炉を用いた水素還元技術の開発の成果を含む