

「製鉄プロセスにおける水素活用」 プロジェクトにおける取組の追加について

令和 5 年 11 月 20 日

経済産業省

製造産業局 金属課

早期社会実装に向けた追加的取組について（ポイント）

前回WG資料更新

資料 3 (P10) ※赤字を加筆・修正

- 中国をはじめとする世界各国で水素還元製鉄等の脱炭素化に向けた革新的な技術開発が進められる中、我が国が競争を勝ち抜くためには、より実機に近い規模での実証試験実施による社会実装までのスケジュール加速や、高品質と高生産性を両立可能な新技術の導入に向けた技術開発内容の追加が必要。
- 前回のWGを踏まえ、実施中事業の拡充として、計2,334億円を追加済み。今回、新規項目追加として、230億円を再度議論。

各研究開発項目の主な拡充・追加内容（単位：億円）

項目	増額 (億円)	現状の課題や対策の必要性 (海外状況や試験内容の必要性など)	効果 (スケジュールの加速や市場の広がりなど)	(再)公募 の実施
1-①【拡充】	296	● 酸素投入能力の増強、安全環境防災対策の追加等	● <u>実装可能時期を「2028年まで」に前倒す。</u>	—
1-②【拡充】	1,172	● シミュレーション解析により、試験炉の規模が <u>1/5未満では炉内の環境が大きく変化</u> することが判明。精度の高い評価をするため、 <u>実機の1/5程度に規模拡大</u> 。	● 実機設計に必要な信頼度の高いデータを集め、 <u>実装可能時期を「2040年まで」に前倒す。</u>	—*1
2-①【拡充】	796	● シミュレーション解析により、 <u>反応の進行速度に差が生じる</u> ことが判明。解析精度を高めるため、 <u>実機の1/5程度に規模拡大</u> 。	● 実機設計に必要な信頼度の高いデータを集め、 <u>操業技術の開発を加速。実装可能時期を「2040年まで」に前倒す。</u>	—*1
2-②【拡充】	70	● 試験電炉の性能強化、炉内センサー設備の追加、試験回数増 等	● 必要なデータの収集を加速し、 <u>実装可能時期を「2030年まで」に前倒す。</u>	—*1
2-③【追加】	230	● <u>電気溶融炉（メルター）</u> について、製鉄プロセスにおける活用技術を開発する。 ● <u>欧州でも開発が進められており</u> 、直接還元プラントとの組み合わせによる <u>実機実証の計画が公表</u> されている。	● <u>低品位かつ水素</u> による直接還元鉄を使用する場合の <u>実証試験に早期着手することにより、実装可能時期「2030年まで」を目指す。</u>	○

議論いただく項目

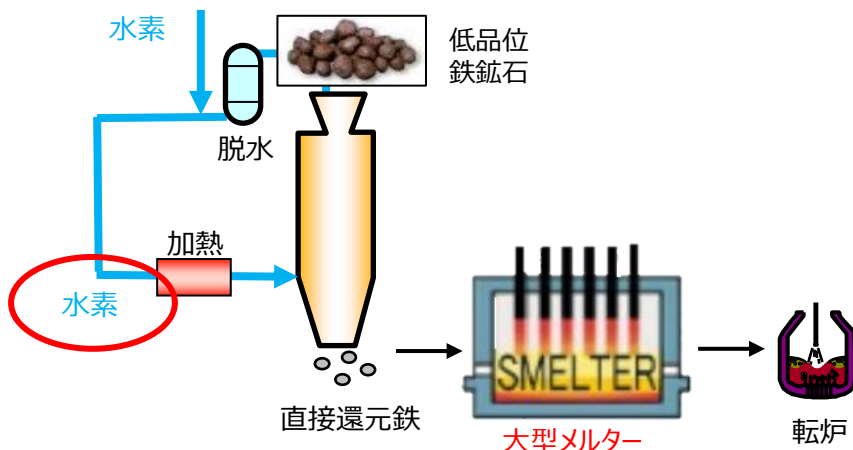
—*1：実施可能性調査の結果を受け、公募は実施しないこととした。

【追加予算案】電気溶融炉を用いた水素還元製鉄技術の開発

前回WG資料再掲
資料3 (P12)

- 電気溶融炉（メルター）は、炉体下部に出銑口、腹部にスラグ排出口を持つ、密閉型の電炉。
- 電気溶融炉は、高炉と同様の連続操業による出銑と、スラグ連続排出による不純物除去が可能な構造であることから、低品位鉄鉱石を使用しても高品質と高生産性を両立できる製鉄プロセスとなる可能性。このため、高炉（1-①、②）・直接還元炉（2-①）・大型電気炉（2-②）の技術開発に加えて、現在世の中になく高生産性の電気溶融炉活用技術の開発を追加する。
- 欧州でも活用に向けた技術開発が進められており、一部の欧州鉄鋼メーカーは直接還元プラントとの組み合わせによる実機実証の計画を公表。

電気溶融炉を用いた水素還元製鉄プロセス (イメージ)



○実装に向けた開発要素（例）

- ・ 類似技術（合金製造用）は存在するが、小規模・低生産性であり、製鉄プロセスでの使用実績がない。
→大型化による高生産性の確保、原料の違いに対応した投入設備等の設置。
- ・ 溶銑等の表面積が広いため、温度・成分にムラが生じやすい。
→均一な加熱技術、攪拌技術の開発。
- ・ 低品位鉄鉱石の使用による大量の不純物の処理が必要。
→高炉スラグと同等かつ均一な品質（＝高炉セメント同等に活用可能な品質）を目指す。

○欧州の事例：ThyssenKrupp（ドイツ）

- ・ 直接還元プラントと電気溶融炉の建設を公表。
- ・ 2026年末に高品位鉄鉱石・天然ガスを用いて操業開始予定。
- ・ 2027年以降に100%水素還元を予定。

増額金額の内訳

追加資料

- 事業費総額384億円、国費負担額は230億円に設定（1/2補助＋インセンティブ）

費目	内訳	金額
a. 設備費	試験炉（付属設備込み）、改造費	270億円
b. 試験費	原料費※1、労務費等	114億円
a + b 計		384億円
インセンティブ	$(a + b) \times 1/10$	38億円
国費負担額	$(a + b) \times 1/2 + \text{インセンティブ}$	230億円

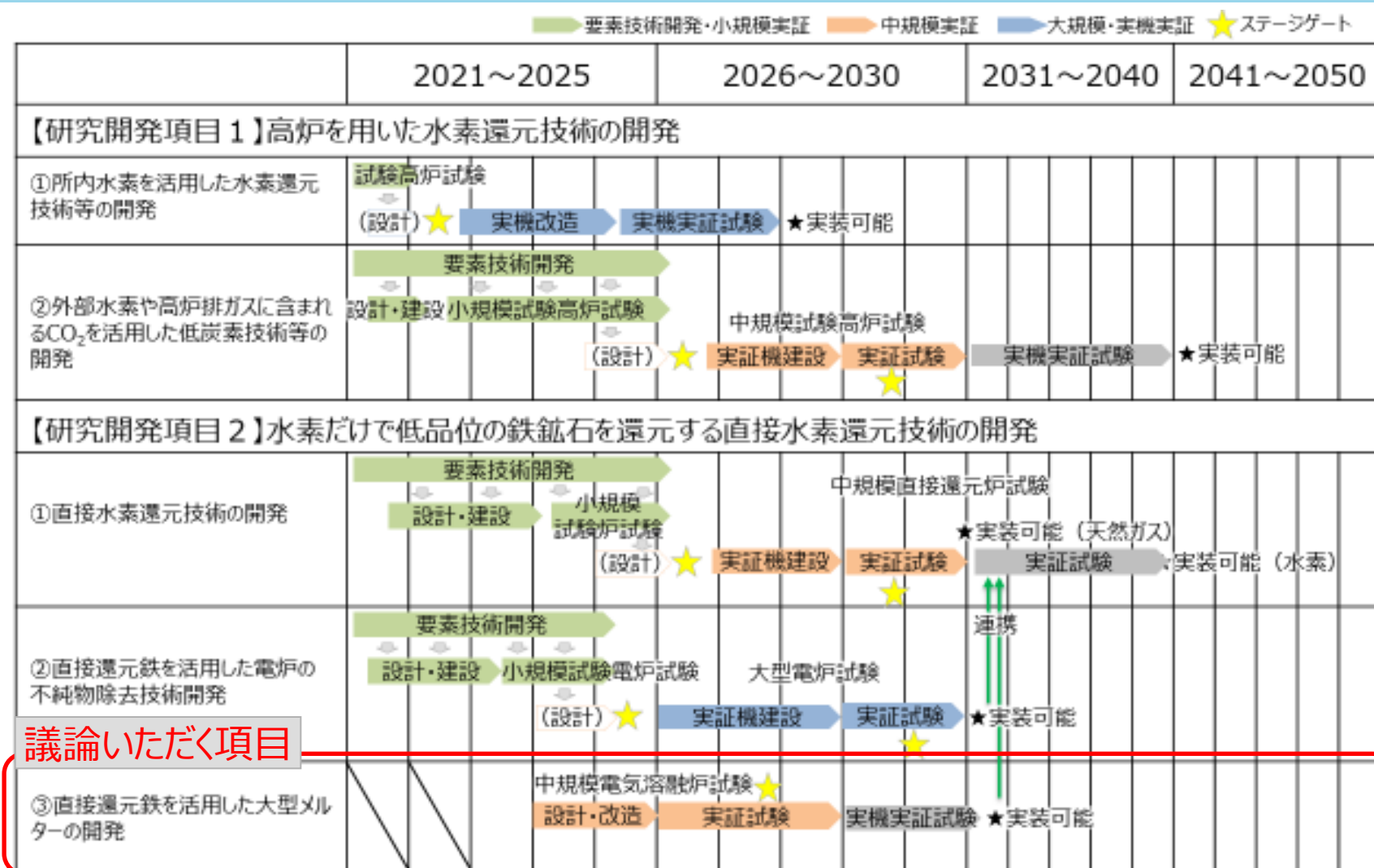
*1：当該事業に係る試験により、原料から一定量の銑鉄が得られるものの、試験試料であり製品として販売できない。ただし、既存の製鉄プロセスにおける原料として再利用が可能であり、同製鉄プロセスにおいて本来かかる原料費の一部を軽減できることが可能性としてあることから、原料費（HBI等）の積算にあたっては、再利用可能相当額を一部除いている。

想定スケジュール

前回WG資料再掲

資料3 (P13) ※赤枠を加筆

- 研究開発項目2-①（直接水素還元技術の開発）との連携をとるため、2030年の実装可能を目標として、早期に実証試験に着手する。



(参考) 前回WGでの指摘事項 (2 - ③関連)

追加資料

指摘事項	指摘事項への対応
・2つの研究開発項目があり、複数の手法が存在する部分もあるが、今後、選択と集中をしていくべき。また、何を基準に判断するか考えておく必要。	現段階では手法の絞り込みなどは判断が難しいが、海外の技術開発の進捗やルールメイキングの状況等を踏まえて、今後、項目や手法の絞り込みなどについて議論をしてまいります。 また、各研究項目においてSG も設定しており、SG 毎に状況をみてしっかり判断してまいります。事業の進捗に加え、情報を得るのが難しい部分もありますが、競争相手の動向や進捗等を把握し的確に評価することが重要と認識しています。どのレベルまで達成できているかの評価が重要であり、技術開発の現場のみではなく、情報収集の工夫や経営のリソース確保もが重要であると企業に伝えているところです。 ＜社会実装計画改定版 記載部分 (P22) 抜粋＞ WORD: ・ステージゲート設定 研究開発目標の達成には、様々なアプローチが考えられることから、具体的な達成方法・スケジュールは提案者の創意工夫に委ねることを原則とするが、以下の通り、事業化段階の切れ目等において、適切なタイミングでステージゲートを設定する。ステージゲートにおいては、事業の進捗や目標達成状況だけでなく、産業政策の進捗状況など外部環境変化を包括的に考慮して社会実装可能性を精査し、蓋然性が高いプロジェクトに限り、事業を継続する。複数手法が存在する場合には、各手法について、こうした社会実装可能性による比較評価を行う。

(参考) 水素還元高炉技術の開発状況 (中国・インドの開発取組)

前回WG資料再掲
資料3(P3)

- 中国では、**宝武鋼鉄集団八一鋼鉄**が同社HPで、2020年7月から**430m³**の小型試験高炉での試験を開始し、**CO₂削減率21%以上**達成を発表。**2023年6月に同技術を2,500m³規模の既存高炉に適用開始**。2024年末頃の稼働を予定。
- インドでは、**Tata Steel**が2023年4月に**高炉実機**への水素吹き込み試験を実施したと発表。同試験により、粗鋼生産量1tあたり**CO₂排出量を約7～10%削減**できる見込み。



図 八一鋼鉄の小型試験高炉

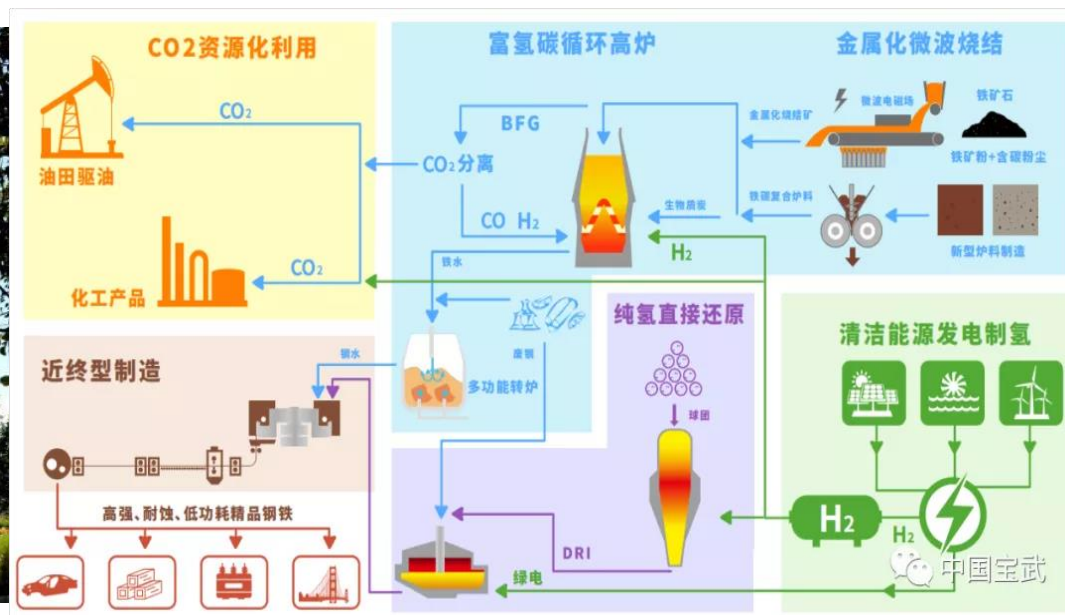


図 宝武・低炭素冶金技術ロードマップ

(出典) 宝武鋼鉄集団 八一金属 HP (2022/11/20) <http://www.bygt.com.cn/detail/261713>

宝武鋼鉄集団 八一金属 HP (2023/7/11) <http://www.bygt.com.cn/detail/287281>

世界低炭素冶金革新フォーラム 基調講演／中国宝武党委員会書記・理事長 陳徳栄氏 (2021/11/18)

Argus Media (2023/04/24) <https://www.argusmedia.com/en/news/2442292-indias-tata-steel-jamshedpur-starts-trial-h2-injection>

(参考) 水素直接還元技術の開発状況 (欧州・中国の開発取組)

前回WG資料再掲
資料3(P4)

- 欧州では、天然ガス及び高品位鉄鉱石（低品位鉄鉱石の利用には技術的課題あり）を用いた直接還元鉄生産プロジェクトが複数進行中。併せて、100%水素直接還元技術の開発を積極的に進めている。例えば、
 - ✓ ドイツでは、ThyssenKruppが直接還元プラントと電気溶解炉を発注したことを公表。2026年末に天然ガスによる操業を開始し、2027年以降の100%水素直接還元を目指す。
 - ✓ スウェーデンでは、SSABが直接水素還元技術の開発に向け2020年からパイロットプラントでの実証開始、2026年に商業生産開始を目指す。併せて、ボルボ・カーズと共同でパイロットプラントで生産したグリーンスチールを用いた自動車製造にも着手。
- 中国では、河北鋼鉄集団が高濃度水素ガスによる60万t/y規模の実証試験を2022年12月までに完了させたと発表。技術開発が加速している状況。



図 ThyssenKruppの直接還元炉



図 ボルボ・カーズ グリーンスチール自動車

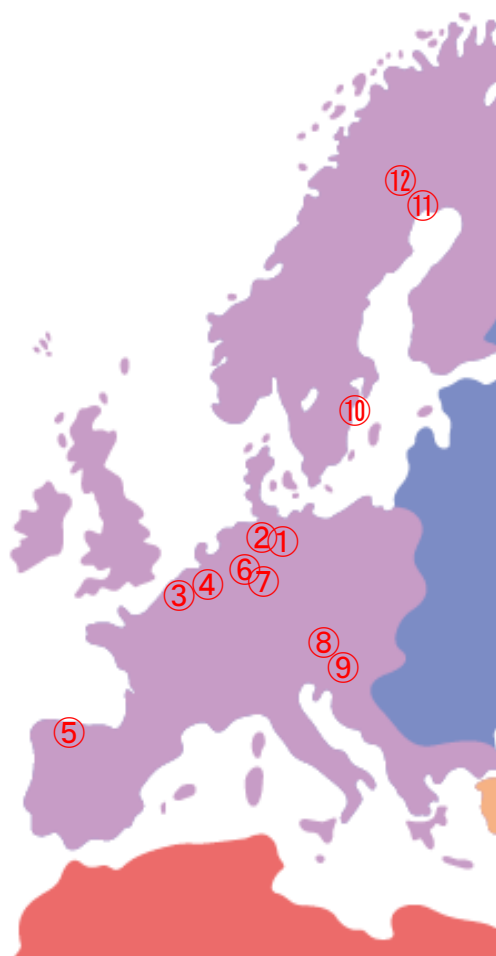
(参考) 各国鉄鋼メーカーの脱炭素化に向けた取組

前回WG資料再掲

資料3 (P5)

- 現在、欧州では、高炉・電炉の比率は、6 : 4。欧州各国では高品位鉄鉱石を原料とした直接還元法 + 電炉による製鉄プロセスの導入が進みつつある。多くが2030年までに稼働予定であるが、操業開始時は天然ガス、水素インフラが整備されたタイミングで水素に転換する考え。
- 9割を高炉が占める中国でも、産業界は電炉2035年3割以上を目標に電炉導入を計画。

【欧州鉄鋼メーカーの脱炭素化に向けた投資案件（例）】



	会社	場所	プロセス	生産量 (Mt/y)	操業 開始	還元ガス (操業開始時)
1	ArcelorMittal	Hamburg	直接還元-電炉	0.1	2025	天然ガス
2	〃	Bremen	直接還元-電炉	不明	2030	天然ガス
3	〃	Dunkerque	直接還元-電炉 (2基)	2.5	2026	天然ガス
4	〃	Ghent	直接還元-電炉 (2基)	2.3	2026	天然ガス
5	〃	Gijon	直接還元-電炉	2.3	2025	天然ガス
6	Thyssenkrupp	Duisburg	直接還元-メルター(2基)	2.5	2026	天然ガス
7	Salzgitter	Salzgitter	直接還元-電炉	2.1	2026	天然ガス
8	voestalpine	Linz	直接還元-電炉	1.6	2027	天然ガス
9	〃	Donawitz	直接還元-電炉	0.9	2027	天然ガス
10	SSAB	Oxelosund	電炉	1.3	2026	—
11	〃	Lurea	直接還元-電炉	不明	2026	天然ガス
12	H2 Green Steel	Boden	直接還元-電炉	2.1	2025	水素

参考資料

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）

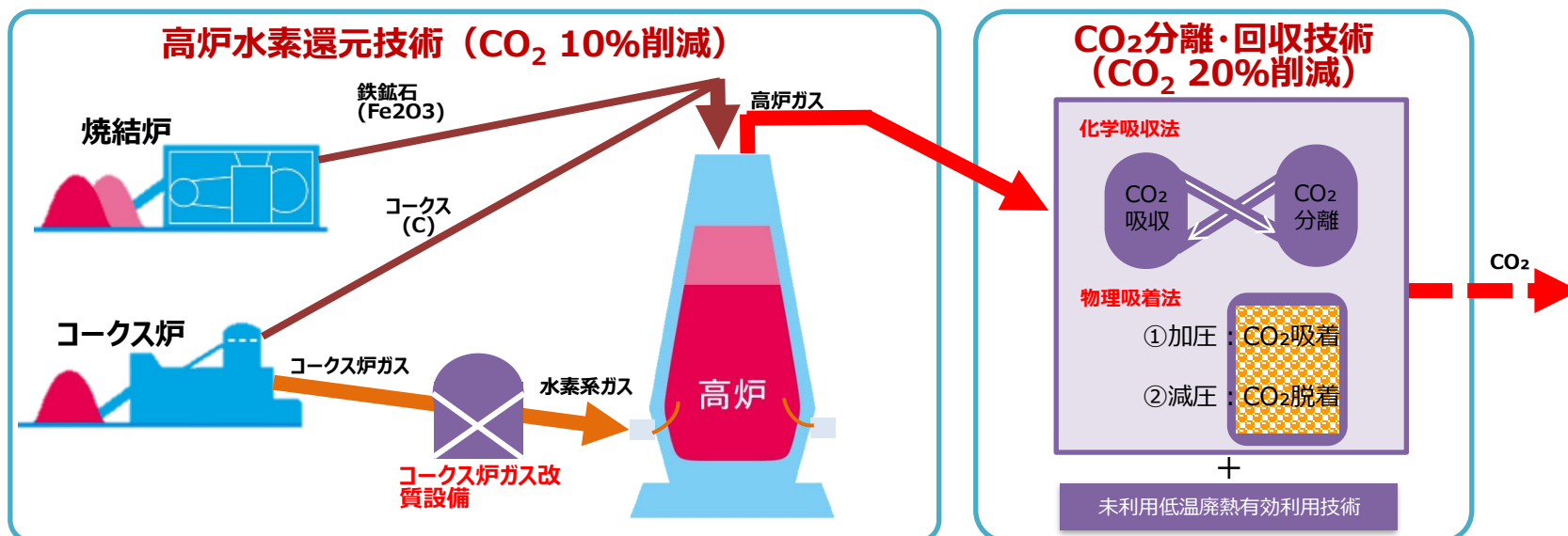
事業イメージ

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

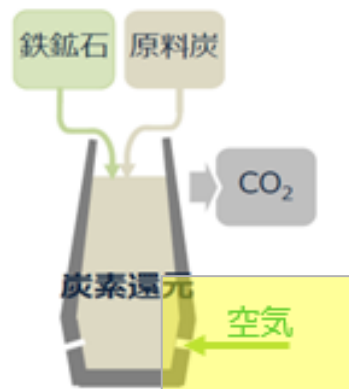
事業規模等

- 事業規模（①+②）：約2918億円
- 支援規模（①+②）*：約1214億円

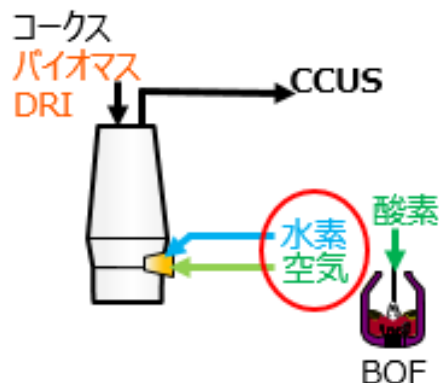
*インセンティブ額を含む。今後ステージゲートで事業進捗などに応じて変更の可能性あり

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

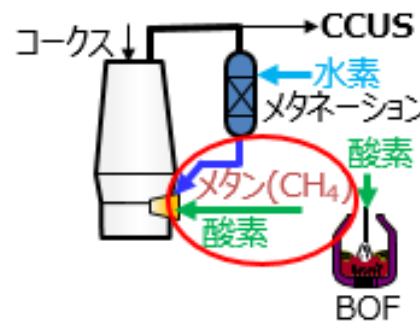


技術①（水素直接吹き込み）



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

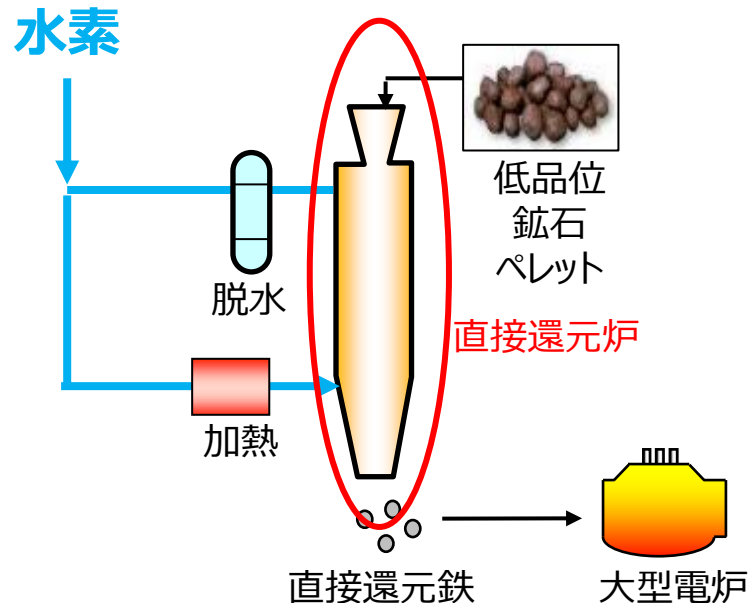
2021年度～2030年度（10年間）

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%）

