

「環境調和型プロセス技術の開発／①水素還元等
プロセス技術の開発（フェーズⅡ－STEP1）」
事後評価報告書

2023年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

2023年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 石塚 博昭 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 木野 邦器

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果
について報告します。

「環境調和型プロセス技術の開発／①水素還元等
プロセス技術の開発（フェーズⅡ－STEP1）」
事後評価報告書

2023年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

目次

| | |
|--------------------------------|----------|
| はじめに | 1 |
| 審議経過 | 2 |
| 分科会委員名簿 | 3 |
| 評価概要 | 4 |
| 研究評価委員会委員名簿 | 7 |
| 研究評価委員会コメント | 8 |
| | |
| 第1章 評価 | |
| 1. 総合評価 | 1-1 |
| 2. 各論 | 1-6 |
| 2. 1 事業の位置付け・必要性について | |
| 2. 2 研究開発マネジメントについて | |
| 2. 3 研究開発成果について | |
| 2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて | |
| 3. 評点結果 | 1-20 |
| | |
| 第2章 評価対象事業に係る資料 | |
| 1. 事業原簿 | 2-1 |
| 2. 分科会公開資料 | 2-2 |
| | |
| 参考資料1 分科会議事録及び書面による質疑応答 | 参考資料 1-1 |
| 参考資料2 評価の実施方法 | 参考資料 2-1 |

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「環境調和型プロセス技術の開発／①水素還元等プロセス技術の開発（フェーズ II-STEP1）」の事後評価報告書であり、NEDO 技術委員・技術委員会等規程第 32 条に基づき、研究評価委員会において設置された「環境調和型プロセス技術の開発／①水素還元等プロセス技術の開発（フェーズ II-STEP1）」（事後評価）分科会において評価報告書案を策定し、第 73 回研究評価委員会（2023 年 3 月 14 日）に諮り、確定されたものである。

2023 年 3 月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

審議経過

● 分科会（2022年12月23日）

公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明

非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑

公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

● 現地調査会（2022年11月2日）

日本製鉄(株) 東日本製鉄所君津地区構内 試験高炉 および
富津REセンター 本館ホール（千葉県）

● 第73回研究評価委員会（2023年3月14日）

「環境調和型プロセス技術の開発／①水素還元等プロセス技術の開発

(フェーズ II-STEP1)」

事後評価分科会委員名簿

(2022年12月現在)

| | 氏名 | 所属、役職 |
|----------------|-----------------------|---|
| 分科 会長 | たかのほし としまさ 鷹 翳 利公 | 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 臨海副都心センター 所長代理 |
| 分科 会長 代理 | こばやし のりゆき 小林 敬幸 | 東海国立大学機構 名古屋大学 大学院工学研究科 化学システム工学専攻 准教授 |
| 委員 | いけがみ やすゆき 池上 康之 | 佐賀大学 海洋エネルギー研究所 所長・教授 |
| | おの ひでき 小野 英樹 | 富山大学 学術研究部都市デザイン学系 教授 |
| | くまがい しょうたろう 熊谷 章太郎 | 株式会社日本総合研究所 調査部 主任研究員 |
| | こざわ すみお 小澤 純夫 | 一般社団法人 日本鉄鋼協会 専務理事 |
| | なりた のぶひこ 成田 暢彦 | 愛知学院大学 総合政策学部 非常勤講師 |

敬称略、五十音順

評価概要

1. 総合評価

鉄鋼生産における CO₂ 排出量の削減は世界的な課題であり、本プロジェクトの成果は国内の CO₂ 排出削減に寄与するのみならず、世界的に顕著な波及効果が期待できる。

マネジメントについては、鉄鋼各社の専門家をテーマごとに的確に配置し、かつ大学、公的研究機関の技術支援も最大限活用することで、高い目標値を掲げながらも、多くの知見を活かした研究開発が迅速に進められており、高く評価できる。

成果の達成についても、全ての研究開発項目において最終目標を達成しており、特に、高炉からの CO₂ 排出削減量について、最終目標を大きく上回って達成するとともに、常温水素吹き込みの操業限界領域を確認した点、数学モデルを活用することで実証高炉段階を省略し、実機実証試験での設備基本構成等を把握した点、CO₂ 分離回収技術開発において世界最高水準の性能を示す吸収液を開発した点などで、高く評価できる。

一方、実用化・事業化については、将来の経済合理性評価のためのコスト試算をいくつかのシナリオに基づいて作成すること、CO₂ 排出の LCA 評価を実施することにより CO₂ 排出削減効果を明確にすること、サプライチェーンマネジメントの中で水素調達や CCUS なども含めて評価することが望まれる。

本プロジェクトは、鉄鋼業に留まらず我が国の産業界の国際競争力向上の点で、極めて重要であることから、国際的な経済環境変化を注視しながら、国際競争力を維持できるよう、一層の研究開発の加速および支援体制強化を期待したい。

注) LCA(Life Cycle Assessment)

CCUS(Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

多くの産業の川上に位置する素材産業として、鉄鋼生産の役割は大きく、2050 年に向け、鉄鋼生産は世界的に増大することが見込まれていることから、生産性の高い高炉の役割は引き続き重要である。

その一方で、我が国の CO₂ 排出量の約 12%は鉄鋼業からであり、その中でも約 8 割が高炉における鉄鉱石の還元工程で発生しているため、高炉から発生する CO₂ をいかに削減できるかが国内外の共通の課題である。国の政策の中でも高炉法による水素還元は重要技術として位置付けられており、本プロジェクトの重要性、必要性は非常に高い。

鉄鋼業の CO₂ 排出量の削減はカーボンニュートラルの実現にとって極めて重要である一方、研究開発の難易度が高く、巨額の開発資金が必要になるなど制約が多く、世界的に波及効果の大きい重要な課題であることから、NEDO が本プロジェクトを実施したことは妥当である。

2. 2 研究開発マネジメントについて

国内外の技術動向調査によると、本研究開発目標値は世界トップクラスであり、そのチャレンジングな開発を、我が国トップレベルの製鉄メーカーと大学・公的研究機関が連携し事業能力を十二分に発揮して実施したことは高く評価できる。

また、先の中間評価結果を踏まえて、試験操業の中で新たに外部水素を追加導入し水素還元による高炉からの CO₂ 排出削減効果の上限を見極めるなどの取組みが図られたことは、状況変化に対する柔軟かつ適切な対応として評価できる。

一方で、日本政府の 2050 年のカーボンニュートラル宣言を背景に、本プロジェクトのフェーズ II-STEP2 以降が、GI 基金事業（グリーンイノベーション基金事業）に移行したことに伴い、本プロジェクトの運営体制と最終目標がどのように見直されたのかをもう少し分かりやすく示すべきであったと思われる。今後は、サプライチェーンマネジメントとしての水素調達に係るコスト、CO₂ 排出削減量等の把握を通じて、本プロジェクトの実現性がより明示化されていくことを期待したい。

2. 3 研究開発成果について

全ての研究開発項目において最終目標を達成し、特に、高炉からの CO₂ 排出削減量については、試験高炉にて、最終目標である「10%以上」を大きく上回る世界初の 16%に達したこと、また常温水素吹き込みの操業限界領域を確認できたことは、次のステップに繋がる成果であったと高く評価できる。さらに、数学モデルを活用することで実証高炉試験段階を省略し、次段階である GI 基金事業で商用高炉での実機実証試験に移る設備基本構成等を把握した点や CO₂ 分離回収技術開発において世界最高水準の性能を示す吸収液を開発した点も高く評価できる。

一方、全体プロセス評価において、CO₂ 排出の LCA 評価が十分とは言えず、厳密な意味での CO₂ 排出削減になっているか検討課題が残る点や、一部の研究開発項目ではコスト面の分析があまり行われていないように見受けられた点で改善が望まれる。また、将来経済合理性を判断する時期がやってくることに備え、今からいくつかのシナリオ作り（水素調達、カーボンプライシングなど）をしておくことが重要と考える。

2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

実用化・事業化に必要な基礎技術は本プロジェクトの中で十分に開発されており、CO₂ 分離回収技術、排熱回収システム、高性能粘結材製造技術など、高炉、CO₂ 分離回収の根幹をなす技術は、単独の技術として他分野での展開も可能と思われ、大きな波及効果が期待できる。中でも CO₂ 分離回収技術は、既に他分野にて事業展開されており、高く評価できる。また、実用化・事業化に向けた次段階のプロジェクトである GI 基金事業での実機実証試験に向けて、実証の場所や内容等の具体的計画も明確になっていることから実用化・事業化の見通しが立っていると考えられる。

一方で、水素還元による CO₂ 排出削減に関しての実用化は、グリーン水素のサプライチェーンや、CCUS のインフラ・制度が整備されるかに大きく左右されるため、開発された技

術が無駄にならないよう、水素や CCUS と足並みをそろえた開発が進むことを期待したい。

研究評価委員会委員名簿

(2023年3月現在)

| | 氏名 | 所属、役職 |
|-----|---------------------|---|
| 委員長 | きの くにき 木野 邦器 | 早稲田大学 理工学術院 教授 |
| 委員 | あさの ひろし 浅野 浩志 | 東海国立大学機構 岐阜大学 特任教授 一般財団法人電力中央研究所 研究アドバイザー |
| | あたか たつあき 安宅 龍明 | 元先端素材高速開発技術研究組合 (ADMAT) 専務理事 |
| | かわた たかお 河田 孝雄 | 技術ジャーナリスト |
| | ごないかわ ひろし 五内川 拡史 | 株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長 |
| | さくま いちろう 佐久間 一郎 | 東京大学 大学院工学系研究科 教授 |
| | しみず ただあき 清水 忠明 | 新潟大学 工学部工学科 化学システム工学プログラム 教授 |
| | ところ ちはる 所 千晴 | 早稲田大学 理工学術院 教授 東京大学 大学院工学系研究科 教授 |
| | ひらお まさひこ 平尾 雅彦 | 東京大学 先端科学技術研究センター ライフサイクル工学分野 教授 |
| | まつい としひろ 松井 俊浩 | 情報セキュリティ大学院大学 情報セキュリティ研究科 教授 国立研究開発法人産業技術総合研究所 名誉リサーチャ |
| | やまぐち しゅう 山口 周 | 独立行政法人大学改革支援・学位授与機構 研究開発部 特任教授 |
| | よしもと ようこ 吉本 陽子 | 三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部 経済政策部 主席研究員 |

敬称略、五十音順

研究評価委員会コメント

第73回研究評価委員会（2023年3月14日開催）に諮り、以下のコメントを評価報告書へ附記することで確定した。

- 本プロジェクトは、製鉄プロセスにおいて高炉から排出される CO₂ の発生量の低減と CO₂ の分離回収に関するものである。多くの課題が本プロジェクト内で進められているが、技術課題がそれぞれに明確であり、成果も着実にあげている。しかしながら、プロジェクトの推進においては、個別の独立した技術開発テーマの進捗管理だけでなく、エネルギー供給、エネルギー安全保障、カーボンニュートラル実現、環境に優しいものづくりなど本技術課題に関係のある様々な視点から研究の成果を俯瞰し、進捗状況を適宜確認しつつ、着実に進めていくことが重要と考える。本プロジェクトは、日本の科学技術を力強く推進するための基盤的な技術開発のひとつと考えている。後継プロジェクトであるグリーンイノベーション基金事業では、パイロットプラントで実証試験を行うとともに、NEDO が推進している他のエネルギー関連プロジェクトの知見も活用して、問題点の抽出と課題解決を図り、早期の開発と社会実装を実現していただきたい。

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

1. 総合評価

鉄鋼生産における CO₂ 排出量の削減は世界的な課題であり、本プロジェクトの成果は国内の CO₂ 排出削減に寄与するのみならず、世界的に顕著な波及効果が期待できる。

マネジメントについては、鉄鋼各社の専門家をテーマごとに的確に配置し、かつ大学、公的研究機関の技術支援も最大限活用することで、高い目標値を掲げながらも、多くの知見を活かした研究開発が迅速に進められており、高く評価できる。

成果の達成についても、全ての研究開発項目において最終目標を達成しており、特に、高炉からの CO₂ 排出削減量について、最終目標を大きく上回って達成するとともに、常温水素吹き込みの操業限界領域を確認した点、数学モデルを活用することで実証高炉段階を省略し、実機実証試験での設備基本構成等を把握した点、CO₂ 分離回収技術開発において世界最高水準の性能を示す吸収液を開発した点などで、高く評価できる。

一方、実用化・事業化については、将来の経済合理性評価のためのコスト試算をいくつかのシナリオに基づいて作成すること、CO₂ 排出の LCA 評価を実施することにより CO₂ 排出削減効果を明確にすること、サプライチェーンマネジメントの中で水素調達や CCUS なども含めて評価することが望まれる。

本プロジェクトは、鉄鋼業に留まらず我が国の産業界の国際競争力向上の点で、極めて重要であることから、国際的な経済環境変化を注視しながら、国際競争力を維持できるよう、一層の研究開発の加速および支援体制強化を期待したい。

注) LCA(Life Cycle Assessment)

CCUS(Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)

<肯定的意見>

- ・ 8つの開発テーマのすべてにおいて目標をクリアでき、特に高炉からの CO₂ 排出削減量 10%以上を前倒しで達成したことは高く評価できる。
- ・ 鉄鋼各社の専門家をテーマごとに的確に配置し、かつ大学、公的研究機関の技術支援も最大限活用することで、高い目標値を掲げながらも、多くの知見を活かした研究開発が迅速に進められたことを評価する。
- ・ CO₂ 排出量の大量削減のためには、CCS が最も有効であることから、本事業で開発した高性能の吸収液の国内外での実用化、事業化に期待したい。

注) CCS(Carbon dioxide Capture and Storage)

- ・ WE-NET 計画から脈々と続けられてきた水素活用の思想を受け継ぎ、製鉄に水素活用をいち早く取り込む判断をしたのは先見性があったと高く評価できる。特に、高炉、CO₂ 回収の根幹をなす技術は、民間技術が基礎研究成果を効果的に取り込み、目標通り実用化レベルに達したと評価できる。また、最終的にはプロセス全体のエネルギーフローをもとに、要素課題の目標値を明示し技術開発を進めた点は評価できる。
- ・ 本事業は、総合的に高く評価できる。特に、本事業の成果の「実用化」を見据えて多くの課題を解決し、状況の変化に対応して「商用機 1号」に繋がる進展は素晴らしい。研究開発マネジメントおよび研究開発成果も当初の目的を達成しており、今後の成果

の実用化が期待される。

- 2050年に向けて、鉄鋼生産は世界的に増大することが見込まれており、生産性の高い高炉の役割は引き続き重要である。鉄鋼生産におけるCO₂排出量の削減は世界的な課題であるとともに、鉄鉱石の還元の水素が活用できることは、C還元で頼らざるを得ないAlなどの軽金属に対して環境面における鉄鋼の長所となる。
- 高炉における水素還元活用技術について、試験高炉操業において製鉄所内で発生する水素系ガスの羽口吹込により排出CO₂の12%削減を達成する成果を得ており高く評価できる。
- 製鉄所外から水素を供給した場合、常温水素吹込みによるCO₂排出削減量の上限16%を明らかにしたことは評価される。
- 本プロジェクトで開発した高炉水素還元技術およびCO₂分離回収技術の成果・知見を足掛かりにGI基金事業において実用化・事業化に取り組む戦略であり、成果の実用化・事業化が期待される。

注) GI(Green Innovation)

- 高炉における水素還元活用技術とCO₂分離・回収技術を合わせ、製鉄業からの排出CO₂を削減する重要な成果が得られており、本事業の実用化により国内のCO₂排出削減に寄与するのみならず、世界的に顕著な波及効果が期待できる。
- 鉄工業のカーボンニュートラルの実現にとって重要な技術の開発は順調に進められており、今後、Super COURSE50に移行するなかで事業化に向けた技術開発が進むことが期待される。
- 鉄鋼はものづくりの基盤であり競争力の源泉となっている。特に高級鋼は多品種でユーザーと共同研究開発するなどすり合わせした上での受注生産となっており、日本のものづくり産業を発展させるためには国内での鉄鋼生産の継続・発展が必須である。一方で、気候変動対策は、各国首脳会議で必ずといってよいほど議論になるなど重要性がますます増している。そういった中で高炉からの大幅なCO₂排出量削減を目的とする本事業は、環境と経済の両立を目指す重要な技術開発である。
- 全ての研究開発項目の最終目標を達成している。特に、①高炉からのCO₂排出削減量について、試験高炉で16%と最終目標10%以上を大きく上回って世界で初めて達成するとともに常温水素吹き込みの操業限界領域を確認した点、②数学モデルを活用することで実証高炉(100 m³)段階を省略し次段階(GI基金事業で商用高炉での実機実証試験)に移る設備基本構成等を把握した点、③CO₂分離回収技術開発において世界最高水準の性能を示す吸収液を開発した点を高く評価する。
- 当初のCOG中の水素を還元剤として用いる考え方から、水素を外部導入する計画に修正されたことは、水素を有効活用する技術として十分検討した上での変更である。

注) COG(Coke Oven Gas)

- CCSを併用したCO₂削減効果が見込まれる点は、実現できれば高く評価できる。

<改善すべき点>

- ・ 将来の経済合理性評価のためのコスト試算をいくつかのシナリオに基づいて作成すべきであった。
- ・ CO₂ 排出の LCA 評価がなされておらず、どれだけの CO₂ 排出削減効果になっているか不明である。今後の GI 基金事業での実用化研究においては必須の項目である。
- ・ 要素課題の目標値を達成することは重要であるが、概ね目標を達成した時点で、全体の進捗状況から、他の重点配分すべき課題に予算を思い切って配分し直すことが必要であったと思われる課題があった。
- ・ 本事業は、当初の目的の「実用化」に留まらず「事業化」「商用化」に発展することが不可欠である。そのためには、国内的な評価だけでなく、国際的競争力の向上が極めて重要である。その視点で、より明確な評価と課題の抽出が大切である。
- ・ 包括的なコスト面の分析を実施する必要がある。鉄は様々な産業で用いられている極めて重要な素材であり、生産コストが大幅に増加する場合、その負担分を誰が負担するかや、どのような公的支援を実施するかなどについても検討する必要がある。
- ・ わが国の 2050 年までの水素・CCUS 関連技術開発・インフラ整備計画の概要や現在の取り組みの進捗状況などに関する情報を資料内に盛り込んで欲しかった。これらの情報が限られていたため、現在開発が進められている技術の一般普及が可能かを予測することが困難であった。
- ・ 実現に必要な外部条件（十分かつ安価なグリーン水素、グリーン電力、CO₂ 貯留インフラ等）の不確実性があるため、それら外部条件を変数として、実用化・事業化できた際の費用（設備投資及びランニングコスト）対効果（CO₂ 削減量）を明確にすることが望ましい。
- ・ 今後の水素供給体制にも依存するが、外部から導入する水素がグリーン水素に限定されるのは楽観的である。カーボンフリーの水素が微粉炭代替等として導入されれば、鉄鋼製品の CO₂ 排出量は削減されることは当然の帰結であるので、グリーン水素導入の実現性も含めて検討することが必須である。

<今後に対する提言>

- ・ 本事業の実用化、事業化が達成できてもすぐには目標とする CO₂ 削減に繋がらないのが残念である。そのため、CO₂ 貯留事業との連携により、目標とする 30%CO₂ 排出削減時期の明示をお願いしたい。
- ・ 水素還元割合を増やすことでの CO₂ 排出削減には技術的な高いハードルに加えて、安価で大量の水素の調達課題があることから、水素還元だけでの CO₂ 排出削減の研究開発だけではなく、バイオマス、廃プラスチックの高炉での活用等を組み入れた検討を進めるべきである。
- ・ 国際的に競合する技術に対する、我が国の技術の特長と優位性、発展性をプロジェクト開始前により厳しくレビューし、既存技術の維持と発展に資する必要な新規技術を選定し、新たな魅力の創出に繋げられることを期待したい。
- ・ 本事業は、鉄鋼業に留まらず我が国の産業界の国際競争力向上の点で、極めて重要で

ある。本事業の成果を活かし、世界に先駆けて「商用化」できるように、国際的な経済環境変化を注視しながら、国際競争力を維持できるよう、場合によっては、一層の加速化および支援体制強化を期待したい。

- ・ 常温水素吹込みによる CO₂ 排出削減量の上限 16%が示された。高炉におけるさらなる CO₂ 排出削減に向けた技術開発を期待する。
- ・ 本事業の高炉における水素活用還元技術は、試験高炉での操業実験を基に有効性が実証されているが、実機の商用高炉へ適応するには、さらに大きな障壁があると想定される。1/500 スケールの試験高炉の実験データと高炉の 3 次元シミュレーションモデルを組み合わせることで実機適用が十分に可能と説明されているが、実機高炉において新たな課題が発見される可能性も否定できない。今後、GI 基金事業において実機試験に向けた課題の抽出と試験の実施、課題解決を通して実用化に向けた確実なステップアップを期待する。
- ・ 実機最終段階において、H₂ の導入、CO₂ 分離・回収などのコスト面と CO₂ 削減効果とのバランスが重要な課題になると思われるが、必ず実機に組み込まれる形での実現に向けて、今後十分な設計および検討の上、実機試験の実施が望まれる。
- ・ グリーン水素・CCUS の事業化に必要な技術開発やインフラ整備が遅れ、COURSE50 / Super COURSE50 で開発された技術の導入が制約されることのないように、水素・CCUS 関連事業と連携を深めていくことが期待される。
- ・ 従来、欧米や中国と比べてわが国は脱炭素に向けた技術開発に必要な公的資金が少ないことが指摘されていたが、GI 基金に移行により、こうした課題が十分に解消されたのかを検証してほしい。資金面での制約が残存する場合、それがどの程度の規模なのかを明らかにし、その資金ギャップをどのように埋めるかを検討する必要がある。
- ・ 次世代の環境と現世の暮らし・経済の両立を図るためには、本事業が進めている次世代高炉+CCUS が、今後、中心的役割を果たしていくことを期待する。欧州では、既存の高炉が寿命を迎えるタイミングで、水素直接還元製鉄と電炉、あるいは鉄スクラップと電炉に置き換えていくとの報道も目にするが、欧州鉄鋼連盟 EUROFER も、「我々の 60 以上のグリーンスチールプロジェクトについて、今、投資決定を行う必要があるが、十分かつ安価なグリーン水素を入手することができない」とのプレス・リリースを出している。グローバルに見れば、世界が必要とする一次鉄源（鉄鉱石を還元して生産される銑鉄・DRI）を水素直接還元製鉄のみで供給することは、そのために必要なグリーン水素、グリーン電力を確保することが非鉄鉱物資源制約等を考えると将来的にも容易ではないことから難しいと思われる。IEA、世界鉄鋼協会、更には EU の ERA 産業技術ロードマップでも、ニヤゼロエミッションスチール、ローカーボンへのシナリオとして、水素直接還元製鉄+電炉とともに高炉+CCUS を提示している。本プロジェクトが実用化され、世界の鉄鋼生産を環境と経済の両立させる方向にリードしていくことを期待する。

注) IEA(International Energy Agency)、ERA(European Research Area strategy)

- ・ 鉄鋼製錬の CO₂ 排出削減のベストミックスの中での、本技術の適用範囲を鉄鋼業の観

点から示してほしい。

- ・ 鉄鋼業の CO₂ 排出削減は、サプライチェーンマネジメントの中で「水素調達や CCS 処理」を含めて評価すべきなので、鉄鋼生産システムとしての LCA 分析精度を高められることを提言する。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

多くの産業の川上に位置する素材産業として、鉄鋼生産の役割は大きく、2050年に向け、鉄鋼生産は世界的に増大することが見込まれていることから、生産性の高い高炉の役割は引き続き重要である。

その一方で、我が国のCO₂排出量の約12%は鉄鋼業からであり、その中でも約8割が高炉における鉄鉱石の還元工程で発生しているため、高炉から発生するCO₂をいかに削減できるかが国内外の共通の課題である。国の政策の中でも高炉法による水素還元は重要技術として位置付けられており、本プロジェクトの重要性、必要性は非常に高い。

鉄鋼業のCO₂排出量の削減はカーボンニュートラルの実現にとって極めて重要である一方、研究開発の難易度が高く、巨額の開発資金が必要になるなど制約が多く、世界的に波及効果の大きい重要な課題であることから、NEDOが本プロジェクトを実施したことは妥当である。

<肯定的意見>

- ・ 我が国のCO₂排出量の約12%は鉄鋼業からという状況の中、その中でも約8割が高炉における鉄鉱石の還元工程で発生しており、高炉から発生するCO₂をいかに削減できるかが国内外の共通の課題である。特に世界の中でも我が国は世界最高水準のエネルギー効率で高品質の鉄鋼を作る技術を有していることから、CO₂排出技術においても世界をリードすべき立場にいる。従って当該事業は、我が国に限らず世界全体の社会課題の解決に資するものであり、国の政策の中でも高炉法による水素還元が重要技術として位置付けられており、その重要性、必要性は非常に高い。
- ・ 事業の目的についても、全体として30%のCO₂排出削減を可能とする技術の確立という内容で、技術的なハードルは高い中で、高い目標を掲げて取り組んできたことを高く評価する。
- ・ 当該事業は研究開発の難易度が非常に高く、必要となる費用も膨大であることから、民間事業者だけで実施することは不可能であり、NEDOの予算を活用して継続的に研究開発を推進すべきものである。また、国の政策とも密接に絡んでいる事業であることから、NEDO事業の一環として推進することが妥当である。
- ・ 国の根幹を成す製鉄産業の持続的発展を支えるための将来投資として、十分価値があるとともに、高い品質と低CO₂排出原単位を実現しつつ、高い生産能力を有する新しい高炉技術の開発に資することは、必要不可欠である。
- ・ 我が国の産業において極めて重要で大規模な鉄鋼業のCO₂排出削減を目指す本事業は、国際競争力向上、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、非常に重要である。また、本事業は、事業規模および重要性・公共性から、NEDO事業として妥当である。
- ・ 多くの産業の川上に位置する素材産業として、鉄鋼生産の役割は大きい。SDGsにおいても鉄鋼材料の寄与が不可欠な開発目標が多く存在し、その安定供給は重要な課題である。2050年に向けて、鉄鋼生産は世界的に増大することが見込まれており、生産

性の高い高炉の役割は引き続き重要である。その一方で、温暖化対策の重要性から CO₂ 排出抑制の要求は厳しくなっており、鉄鋼生産における CO₂ 排出量の削減は世界的な課題である。我が国においても 2050 年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにするカーボンニュートラルを目指すことが宣言されている。これらの観点から、高炉からの CO₂ 排出量 30%削減を目指す本プロジェクトは、国内の CO₂ 排出削減に寄与するのみならず、技術供与による世界的な波及効果が期待される。

注) SDGs(Sustainable Development Goals)

- ・ 鉄鋼生産における CO₂ 排出抑制は、コスト増要因となるため民間企業のみで取り組むのは困難である一方、世界的に波及効果の大きい重要な課題であるため NEDO 事業としてふさわしいと判断される。
- ・ 鉄鋼業の CO₂ 排出量の削減はカーボンニュートラルの実現にとって極めて重要である一方、研究開発の難易度が高く、巨額の開発資金が必要になるなど制約が多い。そのため、NEDO が資金負担を行うことは妥当である。
- ・ 世界のグリーンスチール市場規模は 2050 年に 40 兆円に達するとの試算もあり、日本の鉄鋼業が脱炭素を実現することは環境保全だけでなく、日本経済の持続的な成長にとっても重要である。
- ・ 日本鉄鋼業のエネルギー効率は世界最高水準であり、従来から進めてきた経済合理的な省エネを更に進めることは容易ではなく、また余地も必ずしも大きくないと思われる。そのような中での更なる CO₂ 排出抑制は、経済合理的でない対策、省エネでなく増エネとなっても CO₂ 排出削減するといった難易度の高い対策が求められることから、国・NEDO が関与し産学官一体となって進めるべき技術開発である。
- ・ 2008 年からのフェーズ I、2018 年からのフェーズ II をとおして、「2030 年に製鉄所における現状の全排出レベルに比較して総合的に 30%の CO₂ 排出削減可能な技術を確立する。」ことは挑戦的な目標であった。CO₂ 排出削減の技術として、水素還元活用による高炉排ガス中 CO₂ 削減と高炉排ガスからの CCS による削減を目標としたことも意義がある。

注) CCS(Carbon dioxide Capture and Storage)

<改善すべき点>

- ・ 費用対効果の試算が甘い。プロジェクト費用の総額が 2022 年までの費用となっている一方で、アウトカムでは 2030 年時点での試算になっている。2030 年時点で、COURSE50 技術による CO₂ 削減効果が 30%削減とあるが、CCS 事業の開始が 2030 年からということから、2030 年時点での実質 30%削減は不可能である。
- ・ 事業の工程表において、商用 1 号機の操業が 2030 年からとなっているが、その前提として CO₂ 貯留に関するインフラ整備と実機化に経済合理性が確保されることが明記されており、いずれにおいてもその前提がクリアになることは厳しい状況にある。
- ・ 事業の経済合理性の試算がなされていない。2030 年から商用 1 号機をスタートさせるためには、当該事業でも試算が必須である。

- 従来からも直接水素還元法は実用化されていたことに対し、「高炉」を対象に研究開発に注力することに対する意義を生産性の観点からしっかりと説明する必要があったかと思われる。
- 本事業は、我が国の重要な産業である鉄鋼業の国際競争力向上の点で極めて重要である。そこで、本事業で達成できた国際競争における位置づけ、現在の国際的レベルを説明の文言のみならず、よりわかりやすく、かつ明確に図表で示すことが望ましい。
- 本事業の重要性をより明確にするためには、鉄鋼業の CO₂ 排出量のスクラップ鉄を原材料として用いる電炉プロセスや代替金属の普及などによる低炭素・脱炭素の実現の可能性・限界についても併せて分析することが期待される。
- 評価基準「当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか」は、本事業では経済合理性と次元の異なる地球温暖化対策が求められていること、実現に必要な外部条件（十分かつ安価なグリーン水素、グリーン電力、CO₂ 貯留インフラ等）の不確実性があること、諸外国でも複線的アプローチで鉄鋼業の CO₂ 排出抑制ブレークスルーテクノロジー開発が進められていること等を勘案すると、本事業に適用することが適当かは再考すべきではないか？ ただし、外部条件を変数として、実用化・事業化できた際の費用（設備投資及びランニングコスト）対効果（CO₂ 削減量）を明確にすることは重要であると考ええる。
- 2008 年時点では挑戦的な目標であったが、2020 年の政府カーボンニュートラル宣言に対応し 2050 年にゼロカーボン・スチールを目指すという意味では、目標をより挑戦的に再設定すべきであった。

2. 2 研究開発マネジメントについて

国内外の技術動向調査によると、本研究開発目標値は世界トップクラスであり、そのチャレンジングな開発を、我が国トップレベルの製鉄メーカーと大学・公的研究機関が連携し事業能力を十二分に発揮して実施したことは高く評価できる。

また、先の中間評価結果を踏まえて、試験操業の中で新たに外部水素を追加導入し水素還元による高炉からの CO₂ 排出削減効果の上限を見極めるなどの取組みが図られたことは、状況変化に対する柔軟かつ適切な対応として評価できる。

一方で、日本政府の 2050 年のカーボンニュートラル宣言を背景に、本プロジェクトのフェーズ II -STEP2 以降が、GI 基金事業（グリーンイノベーション基金事業）に移行したことに伴い、本プロジェクトの運営体制と最終目標がどのように見直されたのかをもう少し分かりやすく示すべきであったと思われる。今後は、サプライチェーンマネジメントとしての水素調達に係るコスト、CO₂ 排出削減量等の把握を通じて、本プロジェクトの実現性がより明示化されていくことを期待したい。

<肯定的意見>

- ・ 国内外の技術動向調査から、研究開発目標値は世界トップクラスであり、目標値をクリアすべく、チャレンジングな開発を実施してきたことは高く評価できる。
- ・ 実施体制について、我が国のオールジャパンの製鉄メーカーから構成され、それぞれの研究開発項目において、各社の専門家を配置するとともに、大学・公的研究機関の技術支援をうまく活用して事業を推進している。
- ・ 当初の予定では次のステップとしてフェーズ II -STEP2 での研究開発が計画されていたが、国の政策動向により、新たに GI 基金の中で当該事業の実用化開発が前倒しでスタートすることとなり、商用化に向けて事業工程が見直されたことを評価する。

注) GI(Green Innovation)

- ・ 実証高炉による試験については、技術的難度が高いことに対して、適切な予算規模を確保し、大変高い実績を蓄積したものと評価でき、プロジェクト全体としては、大きな成果を得たと判断できる。また、水素利用のポジションがにわかに高まってきたことに対し、機動的に対応されたと評価できる。
- ・ 研究開発マネジメントは、適切に実施されている。特に、研究開発の実施体制は、我が国トップレベルの実施者が事業能力を十二分に発揮して実施しており、高く評価できる。
- ・ CO₂ 排出量 30%削減を目指し、水素還元活用技術で 10%削減、CO₂ 分離・回収技術開発で 20%削減という明確な目標を設定している。特に、高炉における水素還元活用(10%削減)は、現行高炉の熱収支をふまえると、戦略的な目標といえる。
- ・ 中間評価を受けて、高炉における水素還元活用の目標(10%削減)を、水素還元の拡大(CO₂ 削減 10%以上)へと更新した。プロジェクト始動当初の目標を達成し、新たに外部水素を追加導入して水素還元による高炉からの CO₂ 排出削減効果の上限を見極めようとする目標設定がされたことは評価できる。

- ・ 研究開発の実施体制については、技術力及び事業化能力の観点から日本において他の選択肢はなく妥当である。
- ・ 水素活用技術や CO₂ 分離回収技術の開発に加えて、コークスの品質高度化や未利用廃熱の活用に向けた技術開発など、CO₂ 削減に必要な幅広い要素技術がカバーされている。
- ・ 中間評価コメントを踏まえて、外部水素を追加導入して水素利用上限を見極める試験操業を実施する研究開発方針に変更するなど、状況変化に柔軟かつ適切に対応している。
- ・ 高炉からの CO₂ 排出削減技術開発で 10%以上削減、高炉ガスからの CO₂ 分離回収技術開発で 20%削減に資するコスト目標及びエネルギー目標と定量的で明確な目標を設定している。
- ・ 研究開発の実施体制については、ビジネス上で競合する高炉 3 社を含めたオールジャパン体制となっているが、経済合理性と次元の異なる地球温暖化対策のための開発であり産学官の総力を結集して進めるべきことから妥当であり、研究開発成果につながっていると考える。
- ・ 2020 年 8 月に「所内水素利用だけでは CO₂ 削減効果に限界があるので、水素還元の拡大を狙った新たな要素技術開発に取り組む」よう修正されたことは納得でき、外部水素を追加導入して水素利用上限を見極められたことも、今後のゼロカーボン・スチール製造技術の基盤技術として有益である。
- ・ CCS を併用した CO₂ 削減効果が見込まれる点は、実現できれば高く評価できる。

<改善すべき点>

- ・ 中間評価の際に当時の委員から CO₂ 削減効果における LCA 評価、費用対効果におけるコスト計算の必要性が改善すべき点として挙げられていたが、それに対する対応が事後評価の資料で記載されていない。
注) LCA(Life Cycle Assessment)
- ・ 研究開発の進捗管理として、技術検討委員会を開催しているが、そこでどのような指導、助言があり、その結果を事業計画にいかに関与したのかが不明である。
- ・ 実証高炉を用いる試験と CO₂ 回収装置の開発は十分に進捗が見られたものの、システム成立の上で不可欠な熱回収技術の開発をより促進すべきであったかと思われる。
- ・ 大学における研究については、成果の説明でなかなかわかりづらいこともあった。
- ・ 本事業は、我が国の重要な産業である鉄鋼業の国際競争力向上の点で極めて重要である。そこで、当初の達成目標のみならず、研究開発マネジメントとして本事業の達成できた成果の国際競争における国際的レベルを不断に見直し、評価できる体制が重要である。
- ・ 当初目的の「実用化」のステージのみならず、本事業後の最終的な「商用化」の視点での評価と対応が、国際競争力維持の点で大切である。
- ・ 日本政府の 2050 年のカーボンニュートラル宣言と GI 基金事業（グリーンイノベーション

ョン基金事業)への移行に伴い、COURSE50の運営体制と最終目標がどのように見直されたのかをもう少し分かりやすく示すべきである。

- ・ 各種資料に一部記載があるものの、カーボンニュートラルを実現するタイミングの大幅な前倒しを受けて、SG1～SG6の最終目標がそれぞれどのように見直されたのか分かりづらいと感じた。
- ・ 製鉄所からのCO₂排出量30%削減とのアウトカム目標については、高炉からのCO₂排出削減目標10%以上及び高炉ガスからのCO₂分離回収目標20%との関係、純技術的問題(上限達成値を向上させる問題)なのかそれとも一定のコストに抑えるためのコスト削減技術の問題なのか、LCAの観点ではどう評価すべきか等、より分かりやすくプレゼン・発信すると良い。
- ・ 製鉄所内水素のみではCO₂削減効果に限界があることを把握し計画修正するまでに、多大な時間が費やされており、早期にCO₂排出削減のための新施策を検討すべきであった。
- ・ CCSはCO₂回収だけでなく、実際に貯留することまで検証すれば、その実現性が高まる。

<今後に対する提言>

- ・ 個々の完成した要素技術については、本事業内だけに留まらずに、スピリアウトして他の企業等で活用できるように推進してもらいたい。
- ・ いつ頃になったら高炉において実質CO₂削減が可能となるのか明示できるようなシナリオを作成してもらいたい。
- ・ 今後も多額の費用を要する事業なので、もっと国民に知ってもらうための広報活動を強化した方がよい。例えばマスコミ等を利用して本事業の重要性、必要性を知ってもらうなど。
- ・ 水素直接還元と高炉法の比較については、今後も引き続き両者ともに技術開発を進めながら、将来の動向に応じて臨機応変に生産体制を整えられるようにすることが必要かと思われる。
- ・ 現在の我が国トップレベルの実施者の事業能力を活かした本事業の「実用化」および「商用化」への加速化が、今後GXの重要性の高まりと共に国際競争が激化するなか不可欠である。

注) GX(Green Transformation)

- ・ 本事業の目的は「実用化」であるが、本事業の成果を活かすための「商用化」を見据えた技術以外の社会的な課題を含めた戦略的な課題と共に、そのための施策の重要性を明確にすることが大切である。
- ・ 研究開発費の妥当性/過不足を判断するためには、プロジェクト費用の大半を占めるSG6(試験高炉によるプロセス技術開発)を中心に費用の内訳をもう少し細かく開示する必要があるのではないか。また、諸外国が同様のプロジェクトに対してどの程度の公的資金・人員を投入しているのかを把握することも、本事業のプロジェクト費用

の妥当性を判断するとともに国際競争力を保ち続けられるかを検討するうえで必要と考えられる。

- CO₂ 分離・回収技術開発については、純技術的には 100%回収可能であることについて、対外的に誤解が生じないように発信していくことを期待したい。
- 高炉法ではコークス比の削減に限界があり、中間評価で指摘された「水素利用上限（CO₂ 削減限界）を見極める」ことに十分に対応していないので、グリーンイノベーション基金事業に委ねるのではなく、高炉法による CO₂ 削減限界を明示していただきたい。
- 外部水素の調達に係るコスト面、CO₂ 排出削減のシナリオは楽観的であり、実現には疑問が残るので、サプライチェーンマネジメントとしての水素調達に係るコスト、CO₂ 排出削減量等の把握をとおして実現性を明示していただきたい。
- CCS は事業対象外とされているが、サプライチェーンマネジメントとして実際の貯留まで含んでコスト面、CO₂ 排出削減を分析することが必要である。

2. 3 研究開発成果について

全ての研究開発項目において最終目標を達成し、特に、高炉からの CO₂ 排出削減量については、試験高炉にて、最終目標である「10%以上」を大きく上回る世界初の 16%に達したこと、また常温水素吹き込みの操業限界領域を確認できたことは、次のステップに繋がる成果であったと高く評価できる。さらに、数学モデルを活用することで実証高炉試験段階を省略し、次段階である GI 基金事業で商用高炉での実機実証試験に移る設備基本構成等を把握した点や CO₂ 分離回収技術開発において世界最高水準の性能を示す吸収液を開発した点も高く評価できる。

一方、全体プロセス評価において、CO₂ 排出の LCA 評価が十分とは言えず、厳密な意味での CO₂ 排出削減になっているか検討課題が残る点や、一部の研究開発項目ではコスト面の分析があまり行われていないように見受けられた点で改善が望まれる。また、将来経済合理性を判断する時期がやってくることに備え、今からいくつかのシナリオ作り（水素調達、カーボンプライシングなど）をしておくことが重要と考える。

<肯定的意見>

- 個々の要素技術については、目標をすべて達成しており、特に高炉からの CO₂ 排出削減量 10%以上を前倒しで達成し、次ステップである SuperCOURSE50 へ繋がる成果となったことを高く評価する。
- 試験高炉での計測データを参照することで高精度の高炉数学モデルを開発し、高炉からの CO₂ 排出削減 10%以上の実現の可能性が示唆できたことは高く評価できる。
- CO₂ 分離回収技術開発においては、ラボスケールにおいて世界トップレベルの吸収液を新たに開発し、今後の GI 基金事業で実施されるベンチスケール試験での実用吸収液の開発へと繋がる有益な成果が得られた。
- 実証高炉による試験については、技術的難度が高いと思われるが、シミュレーション技術の開発とその成果を効率よく技術開発に活かし、当初の目標を達成し大変高い実績を蓄積したものと評価できる。これにより、生産性が高く、CO₂ 排出原単位を大幅に低下させる高炉生産技術の実用化に大きく前進し、海外技術と比較しても先導的な技術レベルが得られたものと思われる。
- 研究開発目標は十分に達成されており、研究開発成果の意義は大きい。特に、「商用機 1号」を目指した「実用化」のための多くの課題を解決し、次のステージのための十分な成果が得られている。
- 高炉における水素還元活用技術について、試験高炉操業において製鉄所内で発生する水素系ガスの羽口吹込により排出 CO₂ の 12%削減を達成しており、目標を上回る成果を得ている。
- 製鉄所外から水素を供給した場合、CO₂ 排出 10%削減の目標を上回る H₂ が導入可能であることと常温水素吹き込みによる CO₂ 排出削減量の上限が 16%であることを明らかにしたことは評価される。
- SG1～SG6 いずれの研究開発項目でも最終目標が達成されるとともに、一部の項目で

は目標を大きく上回る結果が示された。そのため、技術開発は順調に進んでいると判断される。

- ・ **SG1**（鉄鉱石還元への水素活用技術）では、炉内の状態を高精度で再現する高炉数学モデルが開発されており、同モデルは **SG7**（実高炉部分検証によるプロセス技術開発）を含む今後の技術開発ペースの加速および開発費用の抑制にとって重要な役割を果たすと評価できる。
- ・ **SG2**（コークス炉ガス(COG)改質技術開発）では、水素増幅率 2 倍以上を維持して長時間の試験運転を実施しており、同技術の活用による CO₂ の削減が期待される。

注) COG(Coke Oven Gas)

- ・ **SG3**（高性能粘結材製造技術の開発）では、目標強度や反応性を達成するとともに、従来よりも安価なコストでコークスを生産できる可能性が示されるなど、事業化の観点からも高い結果が示されたことも評価される。
- ・ **SG4**（CO₂分離回収技術開発）では、世界最高水準の性能を有する CO₂ 吸収液の開発が実現されていることが高く評価できる。
- ・ **SG5**（未利用排熱活用技術の開発）では、システムの導入・運用に必要なコストなども細かく試算されるなど、事業化に向けた分析が行われていることが高く評価できる。
- ・ **SG6**（試験高炉によるプロセス評価技術）では、当初の目標（10%削減）を大きく上回る 16%の削減を実現するなど高い成果を上げている。さらに、高温水素を用いることで削減率を約 40%までに高められる可能性も示されており、**Super COURSE50** 事業に移行する中で実用化に必要な技術開発が進むことが期待される。
- ・ 全ての研究開発項目の最終目標を達成している。特に、①高炉からの CO₂ 排出削減量について、試験高炉で 16%と最終目標 10%以上を大きく上回って世界で初めて達成するとともに常温水素吹き込みの操業限界領域を確認した点、②数学モデルを活用することで実証高炉（100 m³）段階を省略し次段階（GI 基金事業で商用高炉での実機実証試験）に移る設備基本構成等を把握した点、③CO₂ 分離回収技術開発において世界最高水準の性能を示す吸収液を開発した点を高く評価する。
- ・ 「CO₂ 排出削減効果を精度よく予測することにより、高炉からの CO₂ 排出削減 10%以上減の操業操作の影響を分析し、さらに技術的に最大化する技術の見通しを得た」ことは製鉄技術の分析の観点から高く評価できる。

<改善すべき点>

- ・ 全体プロセス評価において、CO₂ 排出の LCA 評価がなされておらず、厳密な意味での CO₂ 排出削減になっているか不明である。
- ・ 「水素価格の大幅低減が必要であることが示唆された」との成果の記載があるが、これは事業開始時からの自明の課題であり、まずはガス中の水素を使用した際にはどれだけの水素が利用可能で、その時 CO₂ 排出削減は〇%可能となるというような成果の表し方が望ましい。
- ・ 製鉄所全体のシステムの観点から熱的なバランスを得るためには、熱回収技術の実用

化が不可欠であるが、もう一段階高い実証研究まで進めることが望ましかった。

- ・ 本事業の最終的なアウトカムの効果は高く非常に期待される。そのためには、当初目的の「実用化」に留まらず、「商用化」に向けた技術的な課題、社会的な課題を整理し、本事業の成果を活かすための施策へ反映されるような整理が重要である。
- ・ 一部の研究開発項目ではコスト面の分析があまり行われていないように見受けられた。価格関連の情報の制約があるが、SG5（未利用排熱活用技術の開発）のように可能な限りコスト面の分析も実施する必要がある。
- ・ 世界最高水準の優れた成果について、一般（国民（納税者）、ステークホルダー、国際社会等）に向けて分かりやすくインパクトある形での情報発信を更に強化することを検討すべきである。
- ・ 今後の水素供給体制にも依存するが、外部から導入する水素がグリーン水素に限定されるのは楽観的である。カーボンフリーの水素が微粉炭代替等として導入されれば、鉄鋼製品のCO₂排出量は削減されることは当然の帰結であるので、グリーン水素導入の実現性も含めて検討することが必須である。

<今後に対する提言>

- ・ 未利用排熱活用技術開発においては、高性能な排熱回収システムを開発するに至り、この技術においては、鉄鋼業に限らずに多くの工場での排熱回収に活用できないか検討を進めてほしい。
- ・ 将来経済合理性を判断する時期がやってくるので、今からいくつかのシナリオ作り（水素調達、カーボンプライシング）をしておくことが重要である。
- ・ 水素還元によるCO₂排出削減だけを追究していくと、いつになっても外部水素の大量確保と高価格により商業化の実現性が見えてこないなので、バイオマス、廃プラスチックの活用などを組み入れた検討を進めるべきである。
- ・ シミュレーション技術については、大変高い成果を得ることができ、これを十分に生かした技術開発が進められてきたことを、今後の他のプロジェクトのロールモデルとすることが望ましい。
- ・ 次の展開として、本事業の成果が「商用化」に向けて確実に発展出来るように、必要な我が国の施策に反映されることが期待される。そのためのわかりやすい課題の整理と期待されるアウトカムのPRが重要である。
- ・ 試験高炉操業において、高炉におけるCO₂排出削減量の上限が示されたが、上限を決める因子解明とブレークスルーにより、さらなるCO₂排出削減に向けた技術開発を期待する。
- ・ 経済的合理性を満たす技術開発が進められているか否かを確認できるよう、Super COURSE50の中で設備投資費用や原材料費用などコスト面に関する包括的な分析を実施することを期待したい。
- ・ 資料5「プロジェクトの概要（公開）」では「試験高炉規模で高炉からのCO₂排出削減量10%以上を大きく上回って達成」、資料7-1「事業原簿【公開】」では「高炉からの

CO₂ 排出量 10%超削減を世界で初めて達成」との記載があるが、その具体的な達成値（16%）も国民（納税者）、ステークホルダー、国際社会等に積極的に情報発信していくと良いと考える。

- 国際会議等でも多数講演を行っているようだが、大学研究者等からは鉄鋼カーボンニュートラルについて欧州等に比べ日本鉄鋼業の国際的なプレゼンスが低いと感じる（世界の鉄鋼業において省エネルギー、環境分野でリードしてきた日本の鉄鋼業がカーボンニュートラル分野でのプレゼンスを示すことは今後のビジネス展開のためにも重要）との指摘も聞く。日本発の次世代高炉+CCUS方式が、世界の鉄鋼生産を環境と経済を両立させる方向にリードしていくべく、更に、世界鉄鋼協会低炭素オープンフォーラムなど影響力のある大きな国際会議等で世界初・世界最高水準の優れた成果についてインパクトある情報発信を期待したい。

注) CCUS(Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)

- 高炉法を前提とした水素製鉄の CO₂ 削減限界が、現行の高炉法の 10%以上減程度で、これ以上の大幅な削減が困難ならば、CO₂ 削減限界を早々に明示すべき。他の製錬とのベストミックスを目指すゼロカーボン・スチールの調査に反映させてほしい。
- 鉄鋼業の CO₂ 排出削減は、サプライチェーンマネジメントの中で「水素調達や CCS 処理」を含めて評価すべきなので、鉄鋼生産システムとしての LCA 分析精度を高められることを提言する。

2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

実用化・事業化に必要な基礎技術は本プロジェクトの中で十分に開発されており、CO₂分離回収技術、排熱回収システム、高性能粘結材製造技術など、高炉、CO₂分離回収の根幹をなす技術は、単独の技術として他分野での展開も可能と思われ、大きな波及効果が期待できる。中でもCO₂分離回収技術は、既に他分野にて事業展開されており、高く評価できる。また、実用化・事業化に向けた次段階のプロジェクトであるGI基金事業での実機実証試験に向けて、実証の場所や内容等の具体的計画も明確になっていることから実用化・事業化の見通しが立っていると考えられる。

一方で、水素還元によるCO₂排出削減に関しての実用化は、グリーン水素のサプライチェーンや、CCUSのインフラ・制度が整備されるかに大きく左右されるため、開発された技術が無駄にならないよう、水素やCCUSと足並みをそろえた開発が進むことを期待したい。

<肯定的意見>

- ・ 個々の開発項目については、CO₂分離回収技術、排熱回収システム、高性能粘結材製造技術など、それぞれ単独の技術として他での実用化、商用化が可能と思われ、大きな波及効果が期待できる。すでにCO₂分離回収技術は他で事業展開されているとこのことを高く評価する。
- ・ 2050年においても世界の鉄鋼生産量の約半分が高炉法によるものとのIEAの試算が出されており、成果の実用化・事業化の戦略は妥当である。また、世界に先行して技術開発が進めば大きな市場、成長性が見込まれる。

注) IEA(International Energy Agency)

- ・ プロジェクト全体のスケジュールの立案が、現場との十分な意思疎通によって適切になされたと思われ、それによって、15年のプロジェクトが概ね滞りなく順調に進捗してきたと判断できる。また、WE-NET計画から脈々と続けられてきた水素活用を思想を受け継ぎ、製鉄に水素活用をいち早く取り込む判断をしたのは先見性があったと高く評価できる。
- ・ 高炉、CO₂回収の根幹をなす技術は、実用化レベルに達したと評価できる。
- ・ 本事業の成果が「商用機1号」に十分活かされるレベルで得られ、その成果の実用化・事業化に向けた具体的取組が明確に示されていることは、高く評価できる。特に、「商用機1号」を加速化させた状況の変化への対応は、素晴らしい。
- ・ 本プロジェクトで開発した高炉水素還元技術およびCO₂分離回収技術の成果・知見を足掛かりにGI基金事業において実用化・事業化に取り組む戦略である。実用化・事業化へ向けた計画及びマイルストーンは明確に示されている。
- ・ 鉄鋼生産は2050年に向けて世界的に増大することが見込まれており、生産性の高い高炉の役割は引き続き重要である。高炉におけるCO₂排出量削減技術の確立は、国内のみならず世界的に大きな波及効果が期待できる。
- ・ 実用化・事業化に必要な基礎技術はCOURSE50の中で十分に開発されており、今後、

Super COURSE50 の中で一段の技術開発が進むことが期待される。

- ・ 実用化・商用化に向けた次段階 (GI 基金事業で商用高炉での実機実証試験) に向けて、必要な成果が得られているとともに、次段階の具体的計画 (場所や内容等) も明確になっている。
- ・ 2030 年に「水素製鉄による CO₂ 削減効果及び実機化に必要な設備基本構成等を把握した」上で、実証試験に移行されることで、国内の一部の製鉄所への普及が進むと期待できる。

<改善すべき点>

- ・ 本事業は、水素還元による 10% CO₂ 削減については、技術確立の目途が見えてきているが、それ以上については、CO₂ 貯留場所の課題、多量水素活用の際の量と価格の課題から、実現時期が見えてこない。従って上記の実用化、事業化が達成できたとしても、直ぐには目標とする CO₂ 排出削減には繋がらない可能性が高い。
- ・ CO₂ 回収技術については、吸着法は設計の目途が立った時点で予算配分を停止したのに対して、アミン法を最後まで開発を継続した点については、技術的なハードルを既に概ね解決できていたと判断できる時点以降も予算を継続的に配分した点は、他に優先的に配分すべき課題があったことから、判断が必ずしも適切であったとは言えないと思われる。
- ・ 本事業は、我が国の産業の国際競争力の向上の視点から極めて重要であり、そのためには、本事業の成果を活かした 1 日も早い「事業化」「商用化」が不可欠である。一方、本事業の成果が、当初の目的である「実用化」に留まっており、本成果を活かした「事業化」「商用化」への見通しと課題の整理をよりわかりやすくすることは、重要である。
- ・ コスト面等で優位性を確保することができるか否かを判断するには、製造プロセス別の生産コストなどを把握する必要がある。水素や CCUS などは技術開発動向の不確実性が大きく長期の価格動向を正確に予測することは困難であるが、シナリオ別のコストを試算するなどのアプローチが検討されよう。
- ・ 実現に必要な外部条件 (十分かつ安価なグリーン水素、グリーン電力、CO₂ 貯留インフラ等) の不確実性があるため、それら外部条件を変数として、実用化・事業化できた際の費用 (設備投資及びランニングコスト) 対効果 (CO₂ 削減量) を明確にすることが望ましい。
- ・ 多様な鉄鋼製錬法の中で、グリーンスチールの需要がどの程度であるかを推測することで、本技術の普及範囲が明確になると想定される。また、高炉法による CO₂ 排出削減限界もあるので、日本の高炉全体に普及するのは困難であると推察する。

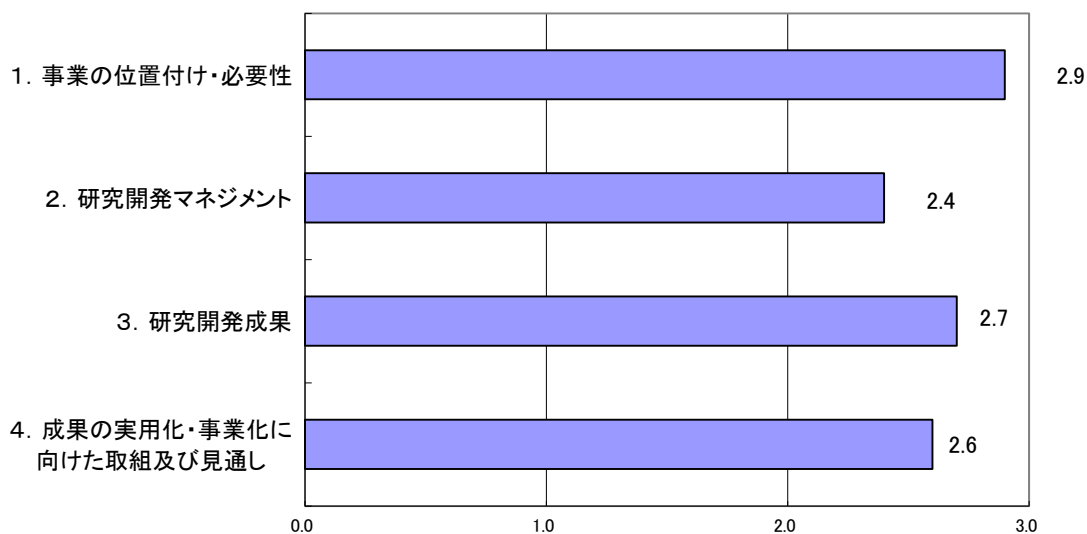
<今後に対する提言>

- ・ 2030 年に開始される CO₂ 貯留の事業とのタイアップにより、実質の CO₂ 排出削減時期の明確化を進めてほしい。
- ・ 本事業の正当性を明確にする上で、実用化、事業化段階に向けて CO₂ 排出削減の LCA

評価は必須である。

- ・ 高炉を用いる優位性をより分かり易く説明し、公平な観点から水素直接還元と比較評価することが常に求められると思われる。
- ・ 本事業の成果を、国際競争力の向上視点から、一日も早い「事業化」「商用化」を目指して加速化させることが望ましい。一方、本事業の「商用化」のためには、技術的な課題に留まらず、社会的な課題および支援体制が重要である。これを解決するために、これらの課題が我が国施策に反映されることを期待する。
- ・ 本事業の高炉における水素活用還元技術は、試験高炉での操業実験を基に有効性が実証されているが、実機の商用高炉へ適応するには、さらに大きな障壁があると想定される。1/500 スケールの試験高炉の実験データと高炉の3次元シミュレーションモデルを組み合わせることで実機適用が十分に可能と説明されているが、実機高炉において新たな課題が発見される可能性も否定できない。今後、GI基金事業において実機試験に向けた課題の抽出と試験の実施、課題解決を通して実用化に向けた確実なステップアップを期待する。
- ・ COURSE50/Super COURSE50 で開発される技術の実用化の進捗状況は、グリーン水素のサプライチェーンが確立されるかや、CCUS のインフラ・制度が整備されるかに大きく左右される。開発された技術が無駄にならないよう、水素やCCUS と足並みをそろえた開発が進むことを期待したい。
- ・ 「知財権確立と導入国からの対価を前提とし、国外へ技術提供も模索していく」とあり、日本発の次世代高炉+CCUS 方式が、世界の鉄鋼生産を環境と経済を両立させる方向にリードしていくことを期待したい。
- ・ 中国宝武鋼鉄集団は、HyCROF (Hydrogen-enriched Carbon oxide Recycling Oxygenate Furnance) の開発を進めており、子会社である Bayi Steel 社において、all-oxygen hydrogen-enriched carbon cycling experimental 高炉の世界初の industrial-grade test プロジェクトを、2022年7月に公式に点火し運転状態としたと公表した。本事業 (COURSE50) は、高炉水素還元技術について既に試験高炉操業を終え、数学モデルの活用により、実証高炉を行わずに商用高炉 (君津第二高炉) において2025年度に実機実証開始予定であり、実証段階とはいえ、稼働中の商用高炉からグリーンスチールを市場に提供・販売することになる見込みなど世界をリードしていると理解しているが、本事業の成果や実用化・事業化段階を国際的に正確に積極的に情報発信するとともに、中国を含め世界のCO₂問題対応の急激な変化や動向を正確に情報収集するよう努め、必要があれば実用化・事業化を前倒しするなど計画の柔軟な変更も検討を進めてほしい。
- ・ 鉄鋼製錬のCO₂排出削減のベストミックスの中での、本技術の適用範囲を鉄鋼業の観点から示していただきたい。

3. 評点結果



| 評価項目 | 平均値 | 素点 (注) | | | | | | |
|------------------------------|-----|--------|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 2.9 | A | A | A | A | A | A | B |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 2.4 | B | A | B | A | A | B | B |
| 3. 研究開発成果について | 2.7 | A | A | A | A | A | A | C |
| 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて | 2.6 | B | A | A | A | A | B | B |

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

| | |
|--------------------|------------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について |
| ・非常に重要 →A | ・非常によい →A |
| ・重要 →B | ・よい →B |
| ・概ね妥当 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・妥当性がない、又は失われた →D | ・妥当とはいえない →D |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて |
| ・非常によい →A | ・明確 →A |
| ・よい →B | ・妥当 →B |
| ・概ね適切 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・妥当とはいえない →D | ・見通しが不明 →D |

第2章 評価対象事業に係る資料

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「環境調和型プロセス技術の開発／
①水素還元等プロセス技術の開発
(フェーズⅡ－STEP1)」

事業原簿【公開】

| | |
|-----|--------------------------------------|
| 担当部 | 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部 |
|-----|--------------------------------------|

目次

| | |
|--|-------------|
| 概要 | 概要-1 |
| プロジェクト用語集 | プロジェクト用語集-1 |
| | |
| I. 事業の位置付け・必要性について | I-1 |
| 1. 事業の背景・目的・位置づけ | I-1 |
| 1.1 事業の背景 | I-1 |
| 1.2 事業の目的 | I-5 |
| 1.3 事業の位置づけ | I-9 |
| 2. NEDOの関与の必要性・制度への適合性 | I-18 |
| 2.1 NEDOが関与することの意義 | I-18 |
| 2.2 実施の効果(費用対効果) | I-18 |
| | |
| II. 研究開発マネジメントについて | II-1 |
| 1. 事業の目標 | II-1 |
| 2. 事業の計画内容 | II-4 |
| 2.1 研究開発の内容 | II-4 |
| 2.2 研究開発の実施体制 | II-12 |
| 2.3 研究の運営管理 | II-14 |
| 2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性 | II-17 |
| 3. 情勢変化への対応 | II-19 |
| 4. 評価に関する事項 | II-20 |
| 4.1 フェーズ I-STEP2 前倒し事後評価への対応 | II-22 |
| 4.2 中間評価への対応 | II-22 |
| | |
| III. 研究開発成果について | III-1 |
| 1. 事業全体の成果 | III-1 |
| 1.1 概要 | III-1 |
| 1.2 成果概要 | III-2 |
| | |
| IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて | IV-1 |
| | |
| (添付資料) | |
| ・プロジェクト基本計画 | |
| ・特許論文等リスト | |

概要

| | | | |
|------------------------|--|-------|--------------------|
| | | 最終更新日 | 2022年11月28日 |
| プロジェクト名 | 環境調和型プロセス技術の開発／①水素還元等プロセス技術の開発（フェーズⅡ－STEP1） | | プロジェクト番号 P13012 |
| 担当推進部/ PMまたは担当者 | <p>環境部</p> <p>PM：春山 博司主査（2018年4月～2021年3月） 阿部 正道主研（2021年4月～2022年11月）</p> <p>担当者：中田 博之主査（2018年4月～2018年6月） 名久井 博之主査（2018年7月～2019年3月） 越後 拓海主任（2019年4月～2020年3月） 園山 希主査（2020年4月～2021年3月） 下村 誠主査（2021年4月～2022年11月）</p> | | |
| 0. 事業の概要 | <p>本事業は、高炉法による製鉄プロセスから排出されるCO₂を削減し、地球温暖化防止に寄与するため、高炉からのCO₂発生量を抑制すると共に、発生したCO₂を効率的に分離・回収する技術を開発し、2030年の実機化を目指すものである。</p> <p>具体的な開発内容は、コークス製造時に発生する高温のコークス炉ガス(COG)に含まれる水素およびこのCOGを改質して水素を増幅し、コークスの一部代替に当該水素を用いて鉄鉱石を還元する技術開発と、高炉ガスからCO₂を分離するため、製鉄所内の未利用排熱を利用した革新的なCO₂分離・回収技術開発を行う。これらの技術開発によりCO₂排出量の約3割削減を目標に、低炭素社会の実現を目指す。これまでにフェーズ-STEP1（2008～2012年度（5年間））として要素技術開発を実施し、フェーズI-STEP2（2013～2107年度（5年間））にて要素技術を組合せたパイロットレベルの総合実証試験を行った。フェーズⅡ-STEP1では、実用化開発を行い、最終的に製鉄所における現状の全排出レベルと比較して約30%のCO₂削減を可能にする技術の確立に資する。</p> | | |
| 1. 事業の位置 付け・必要性について | <p>鉄鋼業から排出されるCO₂は、約1.1億トン（2020年度）で、産業・エネルギー転換部門最大であり、わが国のCO₂排出量の約12%を占める。そのため、鉄鋼業からのCO₂排出量の削減が要請されている。</p> <p>しかし、わが国の鉄鋼業では、1970年代以降、省エネルギー化に取り組み、現在では鉄鋼生産におけるエネルギー効率は世界一であり、更なるCO₂排出量削減には、革新的な技術開発が必要である。</p> <p>また、本事業は、21世紀環境立国戦略に於いて、世界全体の温室効果ガス排出量削減のための長期戦略の一つに位置付けられており、わが国が国際的リーダーシップを発揮するために産学の知見を結集し、国として取り組むべき事業である。</p> <p>以上から、本事業は実機化までに中長期の期間を要し、かつ事業環境の変化等のリスクの高いテーマであることから、民間のみで取り組むことが困難で、機構が資金負担を行うことにより民間の能力を活用して研究開発を推進すべき事業である。</p> | | |
| 2. 研究開発マネジメントについて | | | |
| 事業の目標 | <p>【中間目標(2020年度)】</p> <p>研究開発項目(a) 高炉からのCO₂排出削減技術開発 ・高炉からのCO₂排出削減量約10%達成の見通しを得る。</p> <p>研究開発項目(b) 高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収技術開発 ・分離回収エネルギー改善としての、吸収形態改善と分極影響の緩和の両技術の改善に新規技術を見出す事で、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂達成への目途を得る。</p> <p>【最終目標(2022年度)】</p> <p>研究開発項目(a) 高炉からのCO₂排出削減技術開発 ・高炉からのCO₂排出10%以上削減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。</p> | | |

| | | | | | | | | |
|---------|---|---|------------|--------|------------|--------|-------------|--|
| | <p>※高炉の実機部分確性「全周羽口吹込み」試験はフェーズⅡ－STEP2の開始（2023年度）以降に行うとしていたが、フェーズⅡ－STEP2以降の研究開発内容がグリーンイノベーション基金（GI基金）事業へ移行したことに伴い、本事業の範囲外となった。</p> <p>研究開発項目(b) 高炉ガス（BFG）からのCO₂分離回収技術開発</p> <p>・CO₂分離回収コスト 2,000 円/t-CO₂ を実現可能な技術の充実に指向し、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂を達成し、CO₂排出削減量約20%の技術に資する。</p> | | | | | | | |
| 事業の計画内容 | 主な実施事項 | 2018fy | 2019fy | 2020fy | 2021fy | 2022fy | | |
| | ① 鉄鋳石還元への水素活用技術の開発 | ①-1. 水素活用プロセス技術開発 | [Redacted] | | | | | |
| | | ①-2. 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査 | [Redacted] | | | | | |
| | ②COG改質技術開発 | | | | [Redacted] | | | |
| | ③高性能粘結材製造技術の開発 | [Redacted] | | | | | | |
| | ④CO ₂ 分離回収技術開発 | [Redacted] | | | | | | |
| | ⑤未利用低温排熱活用技術開発 | [Redacted] | | | | | | |
| | ⑥試験高炉によるプロセス技術開発 | [Redacted] | | | | | | |
| | ⑦実高炉部分検証によるプロセス技術開発 | [Redacted] | | | | | | |
| | ⑧全体プロセスの評価・検討 | [Redacted] | | | | | | |
| 事業費推移 | 会計・勘定 | 2018fy | 2019fy | 2020fy | 2021fy | 2022fy | 総額 (百万円) | |
| | 総NEDO負担額 | 830 | 1341 | 2020 | 1513 | 492 | 6196 | |
| 開発体制 | 経産省担当原課 | 製造産業局金属課金属技術室 | | | | | | |
| | プロジェクトリーダー | 日本製鉄株式会社 製鉄技術部長 荒木 恭一 2017.4～2021.3 日本製鉄株式会社 フェロー 先端技術研究所長 野村 誠治 2021.4～2022.11 | | | | | | |
| | プロジェクトマネージャー | NEDO 環境部 主査 春山 博司 2018.4～2021.3 NEDO 環境部 主研 阿部 正道 2021.4～2022.11 | | | | | | |

| | | |
|------------------------------|---|---|
| | 委託先 | <p>【委託先】 日本製鉄（株）、JFE スチール（株）、（株）神戸製鋼所、日鉄エンジニアリング（株）、日鉄日新製鋼（株）（2018～2019 年度）</p> <p>【再委託先】 （一財）電力中央研究所</p> <p>【共同実施先】 北海道大学、京都大学、九州大学（2018～2020 年度）、（公財）地球環境産業技術研究機構</p> |
| 情勢変化への対応 | <p>2018 年度に開始したフェーズⅡ－STEP1 において、2019 年度までに 3 回の試験高炉操業を行い、高炉からの CO₂ 削減量 10%の目途を得ている。また、COG 改質による水素だけでは削減量に限界があることが分かってきた。</p> <p>一方、2018 年 11 月に日本鉄鋼連盟は長期温暖化対策ビジョン「ゼロカーボン・スチールへの挑戦」を発表し、COG 改質による水素ではなく、外部らの水素を利用した高炉における更なる水素還元比率アップを Super COURSE50 として掲げている。</p> <p>以上の背景から、COURSE50 において Super COURSE50 の要素を一部取り入れ開発を継続することとした。具体的には、さらに可能な限り（≥10%）水素還元比率を高めるために、2022 年度まで試験高炉における試験を継続することとした。また、当初、2020 年以降に実施を予定していた、高炉の実機を部分的に改造した試験（実機部分確性「全周羽口吹込み」については、GI 基金事業へ移行し、本事業はフェーズⅡ－STEP1 で終了することとした。</p> | |
| 評価に関する事項 | 事前評価 | 2017 年度 フェーズⅠ－STEP2 前倒し事後評価実施 担当部 環境部 |
| | 中間評価 | 2020 年度 中間評価実施 |
| | 事後評価 | 2022 年度 事後評価実施 |
| 3. 研究開発成果について | <p>研究開発項目(a) 高炉からの CO₂ 排出削減技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・常温水素系ガスの羽口吹込み操作で、高炉からの CO₂ 排出量の 10%以上削減が達成可能であることを実験（試験高炉）と理論（数学モデル）の両面から実証した。 <p>研究開発項目(b) 高炉ガス（BFG）からの CO₂ 分離回収技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・理論限界に近い分離回収所要エネルギー原単位を目指し、新吸収液開発に着手し、ラボ連続試験装置においてこれまでの最高性能のエネルギー原単位 1.63GJ/t-CO₂ を達成した。 ・実排ガスの性状調査により、耐久性を考慮した排熱回収設備構成を提示した。 | |
| | 投稿論文 | 「査読有」25 件、「査読無」17 件、「その他外部発表」307 件 |
| | 特 許 | 「出願済」21 件（うち国際出願 4 件） |
| | その他の外部発表（プレス発表等） | プレスリリース（記者発表）： 2019 年 3 月 13 日 |
| 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて | <p>①成果の実用化・事業化に向けた戦略</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水素高炉： COURSE50 事業から移行する GI 基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発」での実機実証試験の結果を踏まえ、2030 年ごろの商業 1 号機の建設に向けて、具体的なエンジニアリングを行う。また、水素還元の最大化を狙った Super COURSE50 高炉をその移行业務で開発する。 ・CO₂ 分離回収： GI 基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発」で CO₂ 分離回収コスト低減のための新規高性能吸収液の実用化開発を行うとともに、高炉以外での実用化を進めながら、将来 CCS や CCU の技術が確立したタイミングで、製鉄所導入に向けたエンジニアリングを行う。 | |

| | | |
|----------------------|--|--|
| | <p>②成果の実用化・事業化の見通し</p> <p>・全世界の粗鋼生産の 7 割は高炉-転炉法で作られている。昨今、高炉を用いない水素還元技術の提案がなされているが、本手法による多量の鋼材が生産されるのは、2050 年以降であり、今後も、先進高炉技術（既存、製鉄所における CO₂ 削減技術）の市場は存在する。</p> | |
| <p>5. 基本計画に関する事項</p> | <p>作成時期</p> | <p>2013 年 3 月 作成</p> |
| | <p>変更履歴</p> | <p>2016 年 2 月 改訂（STEP2 の内容に修正）</p> <p>2017 年 2 月 改訂（フェロコークス活用製鉄プロセス技術開発を追加）</p> <p>2018 年 1 月 改訂（水素還元活用製鉄プロセス技術（フェーズⅡ-STEP1）の内容に修正、フェロコークス活用製鉄プロセス技術開発の実施期間を 5 年から 6 年に変更）</p> <p>2018 年 10 月 改訂（基本計画名称、研究開発項目名称及びプロジェクトマネージャーを修正、研究開発スケジュールの誤記修正）</p> <p>2019 年 1 月 改訂（研究開発項目 2. の名称の変更）</p> <p>2020 年 2 月 改訂（研究開発の内容、別添 研究開発計画を修正）</p> <p>2021 年 1 月 改訂（研究開発項目 1. のアウトプット目標、アウトカム目標を修正）</p> <p>2021 年 5 月 改訂（2. 研究開発の実施方針（1）研究開発の実施体制における研究開発項目 1. の PM を変更）</p> <p>2021 年 11 月 改訂（4. 評価に関する事項の修正、1.（1）研究開発の目的（2）研究開発の目標、（3）研究開発の内容、別添 研究開発計画におけるフェーズⅡ-STEP2 に係る参考情報の削除）</p> |

プロジェクト用語集

<プロジェクト全般>

| NO | 用語 | 意味・説明 |
|----|----------|---|
| 1 | COURSE50 | 本プロジェクト略称(下記英文名称の略称) CO₂ Ultimate Reduction System for Cool Earth 50 |

<① 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発、⑥試験高炉によるプロセス技術開発>

| NO. | 用語 | 意味・説明 |
|-----|--------|---|
| 1 | 高炉 | 鉄鉱石を主原料、コークスを主還元材として溶鉄を製造する縦型炉である。現在は内容積 4,000m ³ から 5,000m ³ のものが主流であり、一日に約 10,000t 以上製造可能である。炉の上から鉄鉱石、コークスを投入し、羽口と呼ばれるノズルから約 1,200℃の熱風を吹き込み、コークスと酸素が反応することによりを約 2,000℃の一酸化炭素を発生させる。この CO が炉内を上昇する過程で鉄鉱石を昇温・還元・溶解し、約 1,500℃の溶鉄(カーボン飽和鉄)が製造される。還元で使用された CO は、いずれすべて CO ₂ となり、系外に排出される。 |
| 2 | 還元材 | 酸化鉄である鉄鉱石から酸素を奪うためのもので、高炉では石炭系、水素系の物質が使用される。 |
| 3 | コークス | 高炉で主に使用される還元材。石炭を乾留して製造する。溶鉄 1t を製造するために約 350kg のコークスが使用される。コークスは還元材としてだけでなく、炉内を通過する還元ガス(一酸化炭素)の通り道(通気)を確保するためのスペーサー、熱を確保するための発熱材の役割も担っている。したがって高炉を操業するためには、溶鉄 1t を製造するためには 250kg 程度のコークスは最低限必要であるといわれている。 |
| 4 | 微粉炭 | 高炉で補助的に使用される還元材。羽口から直接炉内に吹き込まれる溶鉄 1t を製造するために約 150kg の微粉炭が使用される。コークスを製造するためには高価かつ希少な資源である粘結炭が必要であるが、微粉炭としては相対的に安価な石炭が使用可能である。 |
| 5 | シャフト部 | 高炉の炉体は炉の上部から 3 つに区分され、下向きに広がった部分を“シャフト部(炉胸部)”、一番炉径の広がった部分を“ベリ一部(炉腹部)”、炉下部にすぼまった部分を“ボッシュ部(朝顔部)”と称する。その更に下部に、熱風を吹き込みノズルである羽口が設置されている。現在の 5,000m ³ の高炉では約 40 本設置されている。 |
| 6 | ベリ一部 | |
| 7 | ボッシュ部 | |
| 8 | 羽口 | |
| 9 | レースウェイ | 羽口から高速で吹き込まれた送風エアにより形成される、コークスが流動、旋回、燃焼する領域。約 1m 程度の狭い領域であるが、この領域でコークスや微粉炭、改質 COG の酸化還元反応が行われる。この領域を通過したガスは、すべてコークスに還元され、一酸化炭素や水素となる。 |

| | | |
|----|--------------------------------------|--|
| 10 | ブローパイプ | 高炉内に熱風を吹き込むために羽口に接続する送風用の管。 |
| 11 | GRI-mech | ガス燃焼における化学反応機構を解析するモデル。約 60 の化学種と 300 以上の素反応が含まれている。UCB(Berkeley 大学)のホームページにて提供されている。 |
| 12 | 改質 COG の改質度 | COG ガス中の CH ₄ のうち水蒸気などとの改質反応によって CO や H ₂ に改質された割合。 |
| 13 | 荷重軟化試験 | 実高炉での装入物(焼結鉱など)の挙動と特性を測定する装置。実高炉では荷重を受けながら、昇温、還元が進むので、荷重、温度、ガス条件など高炉の条件を模擬して実験される。測定項目は、還元反応の進み具合、層の収縮、通気抵抗などである。 |
| 14 | 還元率 | 高炉装入物(焼結鉱)などの反応の進み具合を評価する指標。反応前に含まれる還元されるべき酸化鉄中の酸素量に対する、奪われた酸素量の比率で求める。(100%還元率は還元終了の意味) |
| 15 | ガス利用率 (η_{CO} , η_{H_2}) | 下方から上昇する還元ガス(CO, H ₂)が、還元を利用して CO ₂ , H ₂ O にそれぞれになった比率を表す指標。 $\eta_{CO} = CO_2 / (CO + CO_2) \cdot 100$ で算出される。 |
| 16 | 熱保存帯 化学保存帯 | 上方から常温の装入物が降下し、下方から高温の還元ガスが上昇する(=向流反応)高炉において、熱のやり取りがバランスする位置を熱保存帯と呼ぶ。一般的には 950°C 付近である。一方同部位付近ではウスタイト(Fe _x O)-鉄(Fe)平衡になり、見かけ上ウスタイトから鉄への還元が進行しない化学保存帯が形成される。そこでは熱および反応が見かけ上変化しない。この還元が平衡している点(温度とガス組成)を還元平衡点(W点)と呼ぶ。 |
| 17 | W 点(還元平衡点) | |
| 18 | シャフト効率 | 高炉操業において理想操業からのずれの程度を表す指数。鉄鉱石の還元の進行度合いを、還元平衡点(W点)への到達度で示した指標をシャフト効率と定義する。すなわち鉄鉱石の還元進行はシャフト効率 100% 以上にはならない。 |
| 19 | 熱流比 | 固体の熱容量と気体の熱容量との比で表される値。固体が奪う熱量とガスが持ち込む熱量の比で、(固体の粒子の流量) × (固体粒子の比熱) と (ガスの粒子の流量) × (ガス粒子の比熱)、で示される。上記の熱保存帯は、熱流比が 1 となる領域であるとも解釈できる。 |
| 20 | BIS 炉 | 上方から常温の装入物が降下し、下方から高温の還元ガスが上昇する(=向流反応)状況を模擬することができる高炉シミュレータ。実試験では装入物(焼結鉱)を反応管内に固定し、電気炉を移動させて向流反応を模擬する。断熱制御によって、反応に伴う吸熱反応の影響も含めた評価が可能であり、熱保存帯温度の測定やカーボンソルーションロス反応の定量が可能である。BIS 炉は Blast furnace inner-reaction simulator の意。 |
| 21 | 還元粉化 | 焼結鉱が還元される初期の段階で粉化する現象。焼結鉱中のヘマタイトが還元されマグネタイトになるとき体積膨張を起こすため、焼結鉱が粉化するといわれている。 |

| | | |
|----|-----------------|---|
| 22 | 水性ガスシフト反応 | CO と水蒸気(H ₂ O)から CO ₂ と H ₂ を生成する反応。 CO+H ₂ O⇒CO ₂ +H ₂ |
| 23 | 体積破壊 | 巨視亀裂が原因となる破壊 |
| 24 | 混合拡散現象 | 充填層内で互いに隣り合って流れているガスが、層内を移動する過程で一部が混じり合う現象 |
| 25 | 圧力損失 | ガス流れの上流と下流に現れるガスの静圧差 |
| 26 | 移流項 | 運動量収支式における運動量の湧き出しを表す項 |
| 27 | Peclet 数 | 物質収支式を無次元化した時に現れる拡散係数を含む無次元数 |
| 28 | ボッシュガス | 羽口前で吹き込まれた熱風で炉内のコークスが燃焼して発生したガスのこと。 |
| 29 | 出鉄比 | 1 日当たりの出鉄量を高炉の炉内容積で割った値。 |
| 30 | 原単位 | “鉄鉄1トン当たり”という意 |
| 31 | 炉熱調整 | 出鉄温度を一定値に保つための操業諸元操作 |
| 32 | 直接還元 | コークスなどの固体炭素による酸化鉄の還元。CO による酸化鉄の還元であっても生成した CO ₂ がカーボンソリューション反応を生ずれば結果として直接還元となる。水素についても、還元の結果生成した H ₂ O が固体炭素との水性ガス化反応を生ずれば直接還元となる。 |
| 33 | 間接還元 | 酸化鉄の CO や H ₂ による還元反応 |
| 34 | カーボンソリューションロス反応 | コークスなどの固体炭素と CO ₂ との反応。C+CO ₂ →2CO |
| 35 | 水性ガス化反応 | コークスなどの固体炭素と H ₂ O との反応。C+H ₂ O→CO+H ₂ |
| 36 | LKAB | LKAB (Luossavaara Kiirunavaara Aktiebolag)。スウェーデン国営の鉄鉱石生産大手であり、試験高炉を保有。 |

<② コークス炉ガス(COG)改質技術の開発>

| NO. | 用語 | 意味・説明 |
|-----|--------|---|
| 1 | COG | コークス炉ガスの英訳である Coke Oven Gas の略。コークスを製造する過程でコークス炉から発生するガスで水素(50～60%)、メタン(25～30%)を含む可燃性ガスであり、主に製鉄所内の燃料用途に用いられている。また、COG 中には不純物として、石炭由来のアンモニア、硫化水素、シアンなどが高濃度に含まれる。 |
| 2 | ドライ化 | タール(5 に記載)など(COG 中ではミスト状で存在と推定)を水素、一酸化炭素、メタン等のガス成分に変化させること。通常 COG はタール、油分を含むためウェットな状態に対し、変化後のガスにはそのような成分がなくドライな状態のため、ウェットなガスからドライなガスへ変化することを指す。 |
| 3 | ドライガス化 | ドライ化と同義 |
| 4 | 増幅 | 本研究では、特に水素等のガス成分の体積を増やすことを指す。 |
| 5 | タール | 石炭を熱分解した際に発生し、炭素が5個以上含まれた常温で液体の有機化合物であって、鎖式炭化水素や脂環式炭化水素からなる混合物を指し、例えば、ナフタレン、フェナンスレン、アントラセン、ピレン |

| | | |
|----|--------|--|
| | | 等のベンゼンが複数個結合した芳香族が主成分である。また、上記以外にキノリン、インドール、カルバゾール、ジベンゾフラン、ジベンゾチオフェンの六員環又は五員環に窒素、酸素、硫黄等の異種元素を含むヘテロ化合物も含まれる。 |
| 6 | 上昇管 | コークス炉の炭化室上面に設置された COG をドライメン(32 に記載)へ導くガス管。尚、この上昇管の中間部分でアンモニア水を噴霧して高温の COG を約 100℃程度まで冷却すると共に、ガス成分と油・固形成分とを分離可能にする機能を有する。また火落ち判定孔と呼ばれる孔が備えられ、乾留の終了時点を目視で判定できる。 |
| 7 | 乾留 | 非酸化性雰囲気下で加熱すること。本研究では、石炭のコークス炉内での加熱を指す。 |
| 8 | 活性点 | 触媒上において触媒作用が行われる特定の部分のことである。例えば、特定の配列を持った格子面や、結晶面上でのステップ、キンク、点欠陥、転位の末端など、配位不飽和度の高い原子やその集団であることが多い。 |
| 9 | 素反応 | 一つの化学反応式で表される化学反応は、実際には複数の化学反応から成り立っていることが多い。ただ一つの反応段階からのみなっている化学反応、すなわち、それ以上の反応段階に分けて考えることができない化学反応のことを指す。 |
| 10 | ダスト | 本研究では、石炭の微粒子のことで、空気中で浮遊する程度の粒径の粉末を指す。 |
| 11 | 耐久性 | 触媒の性能の安定性を意味し、具体的にはどの程度の時間(期間)触媒性能が維持されるかを指す。 |
| 12 | 改質 | 一般的には、価値に乏しい化合物を付加価値の高い化合物に変換することを意味し、本研究では、COG 中タールを水素、一酸化炭素、メタンなどのガス成分に変化させることを指す。 |
| 13 | 仕切弁 | コークス炉上昇管から実 COG を抽気/閉止するための開閉弁。本研究では、800℃を超える高温に耐え、且つ、タール等固着性のある成分を含んだガスに対して開放/閉止が可能な弁を指し、現状では両機能を兼ね備えた製品は世の中に存在しない。 |
| 14 | 触媒槽 | 固体触媒を充填する反応槽 |
| 15 | 押出機 | コークス炉からコークスを押し出す装置。押し出す装置のほかにコークス炉の蓋取り装置と、押出後新たに装入された石炭の上部を平らに均すレベラーを備え、炉団に平行に敷かれたレール上を走行する。 |
| 16 | トラスデッキ | 鋼材の接点を接合し、三角形を基本にして組んだ構造形式を有した鋼材を床にした橋梁物を指す。 |
| 17 | 固相晶析法 | 触媒反応機能を有する金属を予め金属酸化物にその金属の一部と置換させて固溶した状態を形成する。そして、還元雰囲気中に曝すことにより、固溶していた触媒反応機能を有する金属が酸化物表面に微細な粒子状となって析出することにより、金属表面積の大きな触媒を製造することが可能な方法。 |

| | | |
|----|---------|---|
| 18 | 固定層 | 固体触媒を反応下でも動かないように充填した状態 |
| 19 | 活性化処理 | 本研究では、17 で記載した固相晶析法で製造した触媒を還元雰囲気下に曝して金属微粒子を表面に析出させる作業 |
| 20 | シフト反応 | 若干の発熱を伴う次式の反応である。 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$ 炭化水素からの水蒸気改質や部分酸化による水素製造において、水素の収率を高めるために用いられ、低温ほど反応が進みやすい。 |
| 21 | 確性試験 | 研究室レベルの小さな規模の装置で確かめられた性能を、より大規模の装置で確認するための試験 |
| 22 | スクラバー | ガスを洗浄することを意味し、本研究では、触媒で改質された高温で一部タールを含んだガスを、水により洗浄してタールをガスから分離、且つ、ガスを冷却する装置を指す。 |
| 23 | 油バブラー | 本研究では、油を張った油槽へガスを通すことにより、ガスに随伴していたダスト等を除去する装置を指す。 |
| 24 | 誘引通風機 | ガスを入口から吸引し、出口へ誘導する装置であり、いろいろな機種があるが、例えば羽根の付いた円盤を高速で回転させる方式などがある。 |
| 25 | フレアスタック | 予め可燃性ガスを燃料に燃焼した状態へ有害ガスを通して周囲の空気と共に燃焼させて無害化して大気放散する装置を指す。 |
| 26 | 増幅率 | 対象ガスの反応前体積に対する反応後の体積の比を指す。例えば、水素増幅率とは、(反応後水素体積) / (反応前水素体積) で表される。 |
| 27 | 被毒 | 触媒反応は触媒表面の活性点上で進行する。その際、反応ガス中に不純物(硫黄成分等)が存在すると、不純物が活性点に強固に吸着することにより、触媒反応の進行が阻害されること。 |
| 28 | タール分解率 | 本研究では、 $[1 - (\text{出口ガス中に残存するタール質量}) / (\text{入口ガス中に存在するタール質量})] \times 100$ として計算されるパーセント表示で表され、ガス中に存在するタールの触媒接触による分解割合を指す。 |

<③ 高性能粘結材製造技術の開発>

| NO. | 用語 | 意味・説明 |
|-----|--|--|
| 1 | アスファルトピッチ (Asphalt pitch, ASP) | 石油系の減圧蒸留残渣油を常圧無触媒下、過熱水蒸気(500~700℃)で熱処理して得られるピッチ。軟化点が150~200℃と高く、コークス製造時の流動性補填剤として用いられる。 |
| 2 | 間接引張試験 (Tensile strength) 圧壊強度 (compressive strength) | 圧縮強度を試験するとき用いる円筒形の供試体を横に置いて、円筒の側面に垂直方向の荷重をかけると横方向に一樣な引張りの力が働いて、真ん中で割れるように破壊する現象を利用したもの。間接的に引っ張るところから、間接引張試験、割れて裂けるところから割裂試験とも呼ばれる。引張応力の計算式は $\sigma = 2P / \pi dl$ (σ : 応力 P: 荷重 d: 直径 l: 円柱の長さ) |
| 3 | 円形度(Roundness) | どれだけ円に近いかを表すパラメータ |

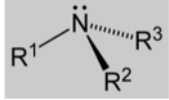
| | | |
|----|--|---|
| | | $R = 4\pi \frac{A}{l^2}$ <p>上式において R は円形度, A は面積, l は周囲長を示す。</p> |
| 4 | ギースラープラストメーター法 (Gieseler plastmeter) | 流動性試験方法 (JIS M8801 に規程)。攪拌棒が挿入されている金属製のつぼ (内径 21.4mm, 深さ 35.0mm) に 425 μm 以下とした試料 5g を充填し、金属浴中にて 3 °C/min で昇温する。攪拌棒上のドラムプーリと同径でかつ同心に指示針を備えたダイヤルプーリとを同調させ、この指示針の目盛り盤 (360 °C, 100 等分) の動きを温度とともに 1 分ごとにプロットする方法。測定を指示針が停止するまで続け、温度とダイヤルの読みの関係を片対数グラフで示す。 |
| 5 | 乾式消火設備 (Coke dry quencher, CDQ) | コークス炉より押し出される赤熱コークスを不活性ガスにより冷却する乾式消火装置。赤熱コークスの顕熱は上記として回収・利用される。一方で、散水による消火装置を湿式消火装置 (Wet quencher) という。 |
| 6 | 芳香族指数 (Aromaticity index) | 全炭素量に対する芳香族炭素の割合 |
| 7 | 芳香族縮合度指数 (Ring condensation index) | 芳香環の水素数と水素置換可能な位置数との総和と、芳香族炭素の比であり、芳香環の縮合度の尺度 |
| 8 | 置換指数 (Substitution index) | 芳香環の置換可能な位置数に対し、実際に置換構造をとっている数の割合 |
| 9 | 高性能粘結材 (High-Performance Caking additive, HPC) | 石炭由来の 2 環芳香族を溶剤とし、石炭を熱時抽出して溶液成分と未溶解成分を固液分離した後、溶剤を分離回収して得られる溶剤脱灰炭のこと。 |
| 10 | 再固化温度 (Resolidification temperature, RT) | ギースラープラストメーター法において、攪拌棒が止まったときの温度。 |
| 11 | 最高流動度温度 (Maximum fluidity temperature, MFT) | ギースラープラストメーター法において、最高流動度を示したときの温度 |
| 12 | 最高流動度 (Maximum fluidity, MF) | ギースラープラストメーター法において、攪拌棒が動き始めてから、止まるまでの温度域における最大の流動度。 |
| 13 | シャッター試験 (Shatter test) | 落下強度試験。25kg のコークスを高さ 2m のところから 4 回落下させ、その破壊度でコークスの品質を評価する方法 (JIS K 2151 に規程) |
| 14 | 全膨張率 (Total dilatation, TD) | ディラトメーター法 (JIS M8801 に規程) 150 μm 以下の石炭に 10% の水を加えて混ぜたものを成型器に入れ、所定の圧力で最小直径 6mm、1/50 テーパー付き、長さ 60 ± 0.25mm の棒状に成型する。これを内径 8mm の細管に入れ、その上に 150g の荷重がかかるようにピストンをのせて、300 °C に予熱された電気炉に挿入する。3 °C /min で昇温し、収縮及び膨張によるピストンの変位を回転ドラム式記録計に記 |

| | | |
|----|--|--|
| | | 録する。曲線より、軟化開始温度、最大収縮温度、最大膨張温度、収縮率、膨張率を求める。 |
| 15 | 動的粘弾性測定 (Dynamic Mechanical Analysis) | 弾性、粘性を併せ持つ高分子の力学的特性を分析する方法。弾性に相当する貯蔵弾性率(E')と粘性に相当する損失弾性率(E''), また E'' と E' の比であり、振動吸収性を反映する損失正接(tan δ)の温度依存性、周波数依存性を測定することで、試料の分子内構造に起因する転移やその温度について情報が得られる。 |
| 16 | ドラム試験機 | ドラム強度指数の評価に用いられる。ドラムは内径、長さがともに1,500mmで、内面に高さ250mmの羽根が6枚垂直に設置され、1分間に15±1/2回転できる回転装置が取り付けられている。 |
| 17 | ドラム強度指数 (Drum index) | 上記ドラム試験機にて、ドラム内に25mm以上または50mm以上のコークス10kgをいれて15rpmで30回転または150回転させたのち、篩で篩分けして、ふるい上質量のものと試料に対する百分率で、各回転に対する強度を表す。(JIS K2151に規程) |
| 18 | 熱間反応性指数(RI, CRI) | コークスのCO ₂ 反応性評価方法。1100°C、CO ₂ ガス流通下、2時間反応後の重量減少百分率で表す。 |
| 19 | ナノインデンテーション法 (Nanoindentation) | 材料表面のナノメートル領域に対し、超微小荷重で圧子を押し込み、荷重-変位曲線の解析から硬さや弾性率等の力学的性質を測定する方法。 |
| 20 | 軟化開始温度 (Softening temperature, ST) | ギースラープラストメーター法において、攪拌棒が連続的に動き始めて、1.00ddpmに達したときの温度。 |
| 21 | 反応後強度(RSI, CSR) | コークスを高温でCO ₂ ガスと反応させた後、室温で規程の条件により測定したコークス強度。粒度20mmのコークス200gを1,100°CでCO ₂ と2時間反応させた後、室温でI型ドラム30rpm, 9.5mm篩上重量)により回転強度を測定する。 |
| 22 | BSU | Bench Scale Unitの略 HPC連続製造設備 |
| 23 | 平均反射率、湿式反射率 (Reflectance in oil, Ro) | 研磨試料を屈折率1.518の油浸油につけ、試料表面での偏光の反射光の強さと入射光の強さを反射顕微鏡を用いて測定したもの。ビトリニットの平均最大反射率は、石炭化度の指標であり、原料炭配合の重要な指標として用いられる。 |
| 24 | マセラル(Maceral) | 微細組織成分。石炭の組織成分を構成する微細組織成分で、3つのグループ(ビトリニット、エクジニット、イナーチニット)に大別され、さらにそれぞれ3~5のマセラルに分類される。JIS M 8816に規程。 |
| 25 | ワイブルプロット (Weibull plot) | 物体の体積と強度との関係を定量的に記述するための確率分布。ばらつきを含めた強度の優位性を議論するのによく用いられる手法。 |

<④ CO₂分離・回収技術開発>

| NO. | 用語 | 意味・説明 |
|-----|-----|--|
| 1 | BFG | Blast Furnace Gas(高炉ガス)の略。鉄鉱石とコークスを充填した高炉に熱風を吹き込むことにより副生するガス。主成分は、N ₂ , CO ₂ , CO, |

| | | |
|----|------------------------|--|
| | | H ₂ 。 |
| 2 | CO ₂ ローディング | 吸収液に吸収された CO ₂ の量を示す指標 (g/L 等)。吸収液中のアミン等の吸収成分 1 モルあたりの CO ₂ モル数で表わすことも多い (mol/mol-アミン)。 |
| 3 | Δローディング | LA と RA の CO ₂ ローディング差。 |
| 4 | LA/RA | LA: Lean Amine の略。再生塔を出て吸収塔に供給される CO ₂ 吸収前のアミン液。 RA: Rich Amine の略。吸収塔より出て再生塔に送られる CO ₂ 吸収後のアミン液。 |
| 5 | L/G | Liquid-to-Gas Ratio (液ガス比) の略。気液接触させる場合の液供給量とガス供給量との比 (L/Nm ³ 等)。 |
| 6 | 化学吸収 | ガス中の特定成分を化学反応を伴って液に吸収させる操作。 |
| 7 | 反応熱/吸収熱 | 化学吸収に伴って発生する熱。通常は、ガス中の成分が液中に溶解する熱と液中での反応により生成する熱との合計を意味する。 |
| 8 | 平衡曲線 | 特定の反応におけるパラメータ間の平衡関係を示す線。 |
| 9 | 操作線 | 実際のプロセスにおけるパラメータ間の関係を示す線。 |
| 10 | 物質収支 | Material (または Mass) Balance (MB)。ある化学反応の系において、系に投入された物質の量と系から得られた物質の量との収支。 |
| 11 | 熱収支 | Heat Balance (HB)。ある化学反応の系において、系に投入された熱量と系から得られた熱量との収支。 |
| 12 | 吸収塔 | ガスと液とを接触させ、ガス中の特定成分を液に吸収させるための塔。 |
| 13 | 充填物 | 気液の接触面積を増して物質移動速度を高める目的で、吸収塔や再生塔に挿入されるもの。規則充填物・不規則充填物等がある。 |
| 14 | 再生塔または放散塔 | 吸収液を再生する塔。吸収液が吸収したガス中の成分を、温度や圧力を変えて液から追い出す。 |
| 15 | リボイラ | 蒸留塔や再生塔の下部に熱を与えるための熱交換器。 |
| 16 | 還流水 | 再生塔上部から出たガスを冷却することにより凝縮した、水を主成分とする液。通常、再生塔上部へ戻す。 |
| 17 | 熱量原単位 | CO ₂ 回収プロセスにおいて、CO ₂ 単位量を回収するのに消費する熱量 (GJ/t-CO ₂ 等)。 |
| 18 | TOC | Total Organic Carbon (全有機炭素) の略。有機化合物由来の炭素。液中濃度は、条件が異なる酸化前処理で、Total Carbon (TC、全炭素) と Inorganic Carbon (IC、無機炭素) とを CO ₂ として測定し、その差 |

| | | |
|----|--|---|
| | | から求める(mg/L等)。 |
| 19 | 第一種圧力容器 | 労働安全衛生法の施行令で定める、高圧で使用される容器。定期的な検査等の義務を負う。 |
| 20 | アミン  | アンモニアの水素原子を炭化水素基で1つ以上置換した化合物の総称。置換数が1つであれば1級アミン、2つであれば2級アミン、3つであれば3級アミンという。また、炭化水素基が水酸基(-OH)を持つものをアルカノールアミンという。 |
| 21 | 反応熱 | 化学反応に伴って出入りする熱量(エンタルピー変化)。吸収液のCO ₂ 放散反応は吸熱であり、その熱量が分離回収エネルギーの約半分を占める。 |
| 22 | 遷移状態 | 化学反応の過程で原系から生成系へ変化する時に通る最もエネルギーの高い状態。原系と遷移状態のエネルギー差が反応の活性化エネルギーに相当し、それが小さいほど反応は速く進行する。 |
| 23 | 計算化学 | 化学分野で用いる原子・分子レベル計算の総称であり、量子力学に基づく分子軌道法、密度汎関数法(これらを量子化学計算手法と呼ぶ)と、古典力学に基づく分子動力学法、分子力学法に大別される。量子化学計算は、実験値などのパラメータを用いず第一原理的に化学反応や物性の解析と予測を行う手法。 |
| 24 | COSMO-RS法 | 量子化学計算による溶質分子と溶媒分子の表面電荷をもとに、統計的手法により溶液中の自由エネルギーを算出する手法。 |
| 25 | 分子動力学 | 分子動力学法(ぶんしどうりきがくほう、Molecular Dynamics method、MD法、単にMD、古典MDとも言う):2体(或いはそれ以上)の原子間ポテンシャルの下に、古典力学におけるニュートン方程式を解いて、系の静的、動的安定構造や、動的過程(ダイナミクス)を解析する手法。 |
| 27 | 二相系吸収液 | CO ₂ 吸収や昇温により液/液相分離を起こす吸収液 |
| 28 | 混合溶媒系吸収液 | 溶媒である水の一部を有機溶媒で代替した吸収液 |
| 29 | PSA | Pressure Swing Adsorptionの省略形、圧力スイング吸着法。固体へのガス吸着量が圧力およびガス種類によって異なる性質を用いて、混合ガスを分離する方法。 |
| 30 | サイクルタイム | 一つの吸着塔が、吸着/洗浄/脱着の3工程を行うための時間。各工程に要する時間は、サイクルタイムの1/3の時間となる。 |
| 31 | Crank-Nicholson法 | 微分方程式の解を得るための差分法の一つ。各時刻で方程式系を解く必要があるので煩雑な場合が多いが、常に数値的に安定で収束する特徴がある。 |
| 32 | 吸着オフガス | PSAの吸着工程にてPSA出口より流出するガス |
| 33 | ゼオライト | 結晶性アルミノケイ酸塩の総称。結晶種により異なる数Åの均一な細孔を持ち、交換可能な陽イオンを含有し、その種類によっても性質が異なる。洗剤ビルダーや吸着剤、触媒として広く利用されている。 |
| 34 | 活性炭 | ヤシ殻などの炭素質を水蒸気や薬品により賦活した物。比表面積が |

| | | |
|----|-----------|---|
| | | 1,000m ³ /gを越えるものもある。吸着剤や消臭剤、触媒担体などとして広く用いられている。 |
| 35 | 四重極子 | 例えば二個の+と-の重心があり、その双極子モーメントが0の場合でも、電荷分布が球対称から外れた場合には有限の電場が形成される。これを電気四極子、あるいは四重極子という。 |
| 36 | CCS | CO ₂ 分離回収・貯留技術(Carbon dioxide Capture and Storage) |
| 37 | 膜分離法 | 膜両面の圧力差で処理対象ガスを通させ、ガスの種類によるその透過速度の差で分離する技術。化学吸収法や物理吸着法に比較して新しい技術であり、様々な分離膜の開発が進められている。 |
| 38 | チルドアンモニア法 | 化学吸収法の一つで、吸収塔で0～10℃に冷却された炭酸アンモニウムとアンモニアによってCO ₂ を吸収し、再生塔で反応によって得られた重炭酸アンモニウムスラリーを120℃程度に加熱してCO ₂ を放散する分離方法。 |
| 39 | イオン液体法 | イオン液体は、常温、溶媒なしで液体(イオン)状態を保つ熔融塩であり、CO ₂ の選択的溶解性が高いことから、CO ₂ 分離回収技術への応用が期待されている。 |
| 40 | ULCOS | Ultra-Low CO ₂ Steelmaking の略。欧州で展開されている低炭酸ガス排出型製鉄プロジェクトの総称 |
| 41 | モデル製鉄所 | 高炉2基体制、粗鋼800万t/年規模の仮想製鉄所。 |
| 42 | 代表製鉄所 | モデル製鉄所から派生したエネルギーバランスに特徴を有する仮想製鉄所のこと。製鉄所の構成は同一であるが、コークス比や溶銑配合率といった主要な操業条件が異なり、排ガスの発生量などが変化する。 |
| 43 | IGCC | Integrated coal Gasification Combined Cycle の略。石炭をガス化して利用する発電方式のこと。 |
| 44 | EOR | Enhanced Oil Recovery の略。地下に取り残された原油を更に回収する方法のことで、石油増進回収法と呼ばれる。その一つにCO ₂ を圧入する方式があり、代表的なCCS手法の一つである。 |

<⑤ 未利用排熱活用技術の開発>

| NO. | 用語 | 意味・説明 |
|-----|--------|--|
| 1 | ヒートポンプ | エネルギーを投入することにより温度差を作り出す装置。動作原理により、圧縮式・吸収式・化学ヒートポンプ等に分けられる。 |
| 2 | 改質 | 化学物質の組成・性質を改良することであり、特に燃料の組成を化学反応により変える事を指す。 |
| 3 | 水素透過膜 | 水素分離膜とも言う。水素を選択的に透過する膜であり、パラジウム等の金属、セラミックス、樹脂等が用いられる。分離すべき |
| 4 | 潜熱蓄熱 | 融解熱や気化熱などの転移熱を利用して熱の出し入れをする。顕熱蓄熱に比べ高密度の蓄熱が可能(重量当たりの蓄熱量が大きい)。 |
| 5 | PCM | Phase Change Material の略:相変化物質。その融点程度の温度の用途の潜熱蓄熱に利用することができる。 |

| | | |
|----|-------------|---|
| 6 | 製鋼スラグ | 製鋼の精錬工程で発生するスラグ。転炉系スラグと電気炉系スラグがある。転炉系スラグには脱炭工程で発生する脱炭スラグ(転炉スラグ)と脱りん、脱硫、脱珪等の予備処理工程で発生する溶銑予備処理スラグがある。 |
| 7 | 転炉スラグ風砕システム | 溶融転炉スラグを空気流で吹き飛ばして粒状化し、粒状化したスラグおよび高温となった空気から熱を回収して、蒸気を製造するプロセス。 |
| 8 | CDQ | Coke Dry Quenching の略:コークス乾式消化設備。コークス炉から出た赤熱コークスを投入し、循環ガス(N ₂ ガス)と熱交換して、コークスの顕熱を回収する設備。800℃以上に昇温した循環ガスからボイラーで高温高圧の水蒸気を製造する。 |
| 9 | 水冷ロール間接冷却技術 | 内部を水冷した金属製ロールに溶融スラグを接触させて、連続的に凝固する技術。 |
| 10 | 製鋼スラグのエイジング | 出荷前にスラグを屋外に山積みし、適当な期間大気中に保持することあるいは蒸気等によってスラグを安定なものにする処理方法。製鋼スラグには、フリーライム CaO が存在し、膨張崩壊の原因となる。フリーライムの水和反応を進行させてしまい、Ca(OH) ₂ とすることで膨張崩壊性のないものにする。 |
| 11 | ポルトランドライト | 水酸化カルシウム Ca(OH) ₂ のこと |
| 12 | ピンチテクノロジー | 熱回収システムの解析及び設計手法のこと。英国マンチェスター理工科大学のボド・リンホフ教授の研究グループを中心に 1970 年代後半から開発が始まった。第1世代といわれるピンチテクノロジーは「プロセス製造設備」を対象に解析が行われ、第2世代になり、ボイラー、タービンや蒸気ヘッダーなどから構成される「蒸気システム」または「エネルギーシステム」とも称される工場のインフラ部分を対象として適用されている。 |
| 13 | SSSP | Site Source and Sink Profile の略、工場全体のプロセス流体の加熱とプロセス流体の冷却の需要曲線を描くことによって、工場全体の熱需要を明らかにすると共に、同時に用役の選択と配分を同じグラフ上に書き込むことで、用役とプロセス流体のマッチング状況を確認できる解析手法。 |
| 14 | プロセス流体 | 原料や製品などの流体で製品の品質維持のために運転条件が変更できない流体。(SSSP 解析での定義) |
| 15 | 用役流体 | プロセスシステムの単位操作に必要な熱エネルギーを燃焼ガス、蒸気や熱エネルギーを除却する冷却水や回収蒸気などで運転条件が変更できる流体。(SSSP 解析での定義) |
| 16 | 改善計画(ターゲット) | SSSP 解析より、改善の可能性を検討し、理論的に達成可能な目標値を求める作業のこと。 |
| 17 | 熱複合線 | 複数の流体が持つ温度と熱量の情報を、同じ温度区分の熱量を統合することによって1本の線図で判りやすく示したもの。 |
| 18 | 究極条件 | 将来技術革新にて未回収のプロセス廃熱から熱回収を拡大した理想的な扱いを想定した条件。(SSSP 解析での定義) |

| | | |
|----|-------------------|--|
| 19 | カーリーナサイクル | 1985 年米国の科学者カーリーナによって考案された高効率発電サイクルである。多成分混合流体を作動流体として使用し、その特性をうまく利用して熱源の熱を最大限に利用し高出力を得ようとするものである。多成分系の混合流体を作動流体として使用することにより、発電効率を従来より 20% 以上高めることが可能な新しい熱サイクル。 |
| 20 | プロセスシミュレータ | 物性（物質の性質）データと現象の数学モデルを利用して、計算機上で対象プロセスを模擬することにより、その設計や運転方法についての検討を効果的に実施するためのソフトウェア。 |
| 21 | 低位熱発電システム | 工場の 100°C 前後やそれより低い温度領域の排熱を高濃度アンモニア水と蒸発器で熱交換し、熱サイクルの熱源とするシステム。 本サイクルは、カーリーナサイクルに近いシステムであるが吸収凝縮器などの工夫をしているシステム。富士石油殿は石油精製に伴う低温の廃熱を有効活用する目的でこの低位熱発電システムを導入している。 |
| 22 | ランキンサイクル | 非可逆熱サイクルの一種で、蒸気タービンの理論サイクル。 |
| 23 | 熱交換器 | 温度の高い物体から低い物体へ効率的に熱を移動させる機器。液体、気体などの流体を扱うものが多い。熱の段階的利用や回収による省エネルギーのため、積極的な導入が求められている。 |
| 24 | 蒸発器 | 種々の水溶液から水分を気化して除去する装置。今回の低位熱発電システムでは、作動流体であるアンモニア・水がこの蒸発器において熱源と熱交換することで、液体から気液混相状態となる。 |
| 25 | 吸収凝縮器 | 圧縮機より吐き出された高温・高圧の冷媒ガスを水や空気などで冷却して、凝縮（液化）させる熱交換器のこと。 |
| 26 | HTRI | 世界的に広く使用されている熱交換器設計の専用プログラム。社名（Heat Transfer Research Inc.）がプログラム名となっている。 |
| 27 | 高炉水砕スラグ | 高炉から生成する溶融スラグに多量の圧力水を噴射することにより急冷した砂状のスラグのこと。 |
| 28 | 温水ヒートポンプ | ゼオライトの吸着熱を利用して容器内の温度を上昇することにより容器に導入した水を蒸気化させる技術。 |
| 29 | 熱容量流量比 | 熱交換器において、高温側流体の比熱[J/kg/K]と流量[kg/s]の積（単位は[W/K]）を、低温側流体の比熱と流量の積で除した無次元数であり、熱交換性能を評価する際のパラメータの一つである。 |
| 30 | マイクロ熱交換器 | 伝熱プレートに数十～数百 μm 程度の微細な流路パターンを刻み、そのプレートを積層してプレート表裏面で熱交換をおこなうプレート式熱交換器の一種であり、体積あたりの伝熱面積が一般的な熱交換器と比較して大きいのが特徴。 |
| 31 | 温度効率 （高温側温度効率） | 熱交換器の性能を評価する指標の一つ。高温側温度効率と低温側温度効率の 2 種類があるが、本プロジェクトでは高温側温度効率を単に温度効率と称し、高温側流体の熱交換器入口温度と出口温度の差を、高温側流体の入口温度と低温側流体の入口温度の差で除した値（もしくはその百分率）で定義される。 |
| 32 | D/H | 熱回収炉の炉体の形状を表す指標の一つ。炉体の直径(D)と高さ(H) |

| | | |
|--|--|---|
| | | の比率であり、CDQ では炉内コークスの均一荷下がりの関係から D/H=0.8~1.0 程度に設定されている。 |
|--|--|---|

I. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置づけ

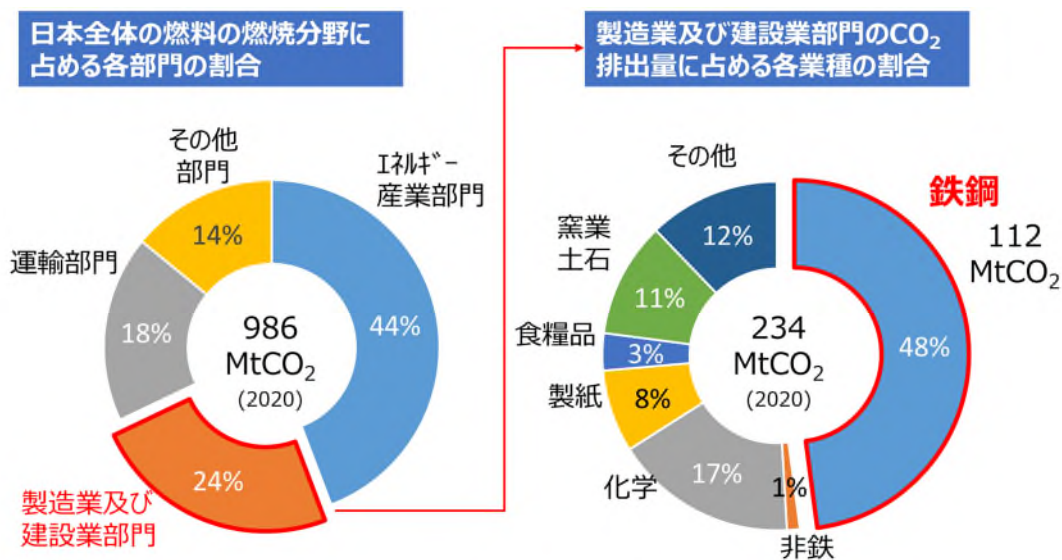
1.1 事業の背景

地球温暖化問題は、予想される影響の大きさや深刻さから、人類の共通の最も重要な問題の一つとなっており、世界が持続的な経済成長を維持しながら解決していくため、世界各国が協調、連携し、国際会議の場で様々な議論が為されてきた。その結果、地球温暖化問題に対処するため、気候変動枠組条約が 1997 年 5 月に採択され、その究極の目的を達成するための長期的・継続的な排出削減の第一歩として、先進国の温室効果ガスの削減を、法的拘束力を持つものとして約束する京都議定書が 1997 年 12 月に採択された。京都議定書は 2005 年 2 月に発効した。

わが国では 2005 年 4 月に京都議定書目標達成計画が策定され、2008 年から 2012 年までの第 1 約束期間における温暖化ガス排出量を 1990 年に対して 6%削減する約束を履行するための取組みを実施した。鉄鋼業界では自主目標を設定し、第 1 約束期間において 10%CO₂削減を目標とした取組みを実施しこれを達成した。

2013 年度からは低炭素社会実行計画に引き継がれている。また、2020 年以降の温室効果ガス削減に向けたわが国の約束草案は 2013 年度比で 26%を削減することとなっており、更なる CO₂削減を目指すためには、従来の省エネルギー技術の開発による効率向上だけでは限界があり、CO₂発生量を減らすと同時に CO₂を分離回収する革新的な技術開発が必要となる。

わが国の鉄鋼業は、原料である鉄鉱石を石炭コークスで還元して銑鉄を製造する高炉法による製造プロセスを採用しており、多くの CO₂を排出し、製造業及び建設業部門の CO₂排出量の約 50%を占め、わが国全体で約 12%を排出している（図 I-1-1）。さらに、図 I-1-2 に一貫製鉄所の製造プロセスを示すが、鉄鋼業の中において高炉法による製鉄プロセスは、鉄鋼業の約 70%の CO₂を排出しており、高炉法による一貫製鉄所での CO₂排出量を削減することは、喫緊の課題である。



国立環境研究所「温室効果ガスインベントリオフィス(2022年度4月版)」より作成

図 I-1-1 わが国の鉄鋼業における CO₂ 排出の現状

環境省「2020 年度温室効果ガス排出量」、国立環境研究所「温室効果ガスインベントリオフィス」より作成

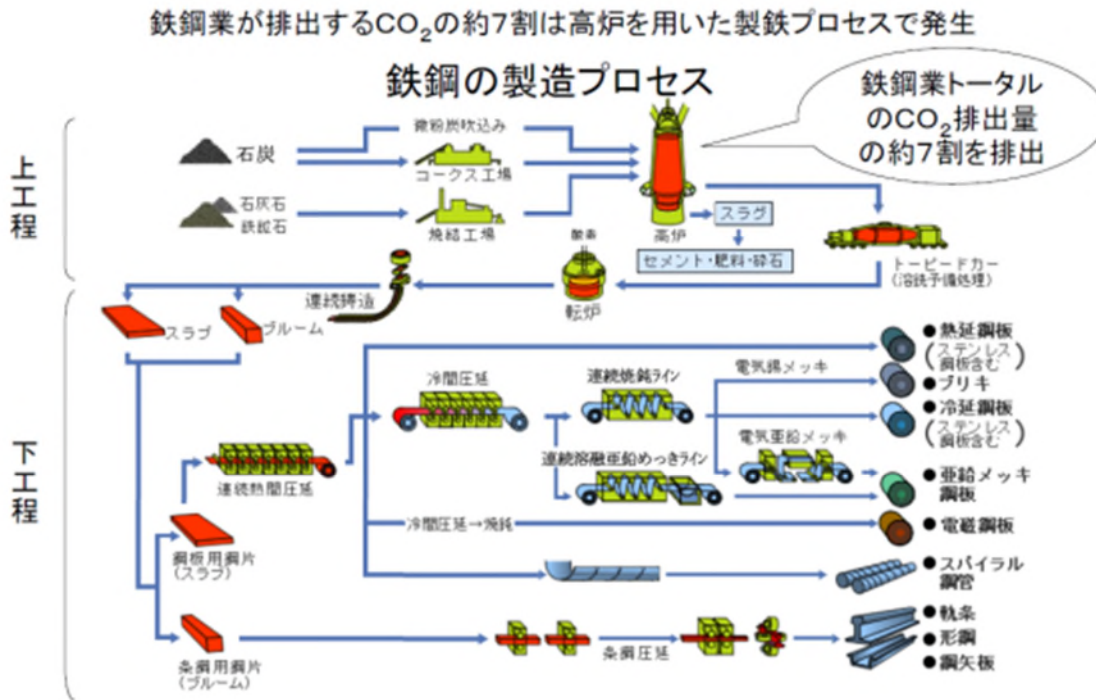


図 I-1-2 一貫製鉄所の製造プロセス

出典:「環境調和型製鉄プロセス技術の開発／水素還元活用製鉄プロセス技術開発(フェーズ I-STEP2)」(前倒し事後評価)事業原簿【公開】

しかしながら、わが国の鉄鋼業は 1973 年以降、二度にわたる石油ショックを経験し、省エネルギー化を推進してきた結果、1971 年から 1989 年の 20 年間で 1973 年のピーク時と比較し 20% のエネルギー削減を達成し、既に世界最高水準に達しており、排熱や副生ガスの利用による省エネルギーも極限に達している。図 I-1-3 にこれまで鉄鋼業で実施してきた省エネの状況を、図 I-1-4 にわが国の鉄鋼業（高炉・転炉法）で鉄 1 トンを作るのに必要なエネルギー原単位を 100 としたときの国際比較（2015 年）を示す。また、国際エネルギー機関（IEA）が 2014 年に作成した、導入障壁を全く考慮しないで、最先端技術を導入した場合の削減理論値の試算結果を図 I-1-5 に示す。これによると省エネルギー設備の導入が格段に進んでいるわが国の鉄鋼業の削減ポテンシャルは最も低く世界最小と評価されている。

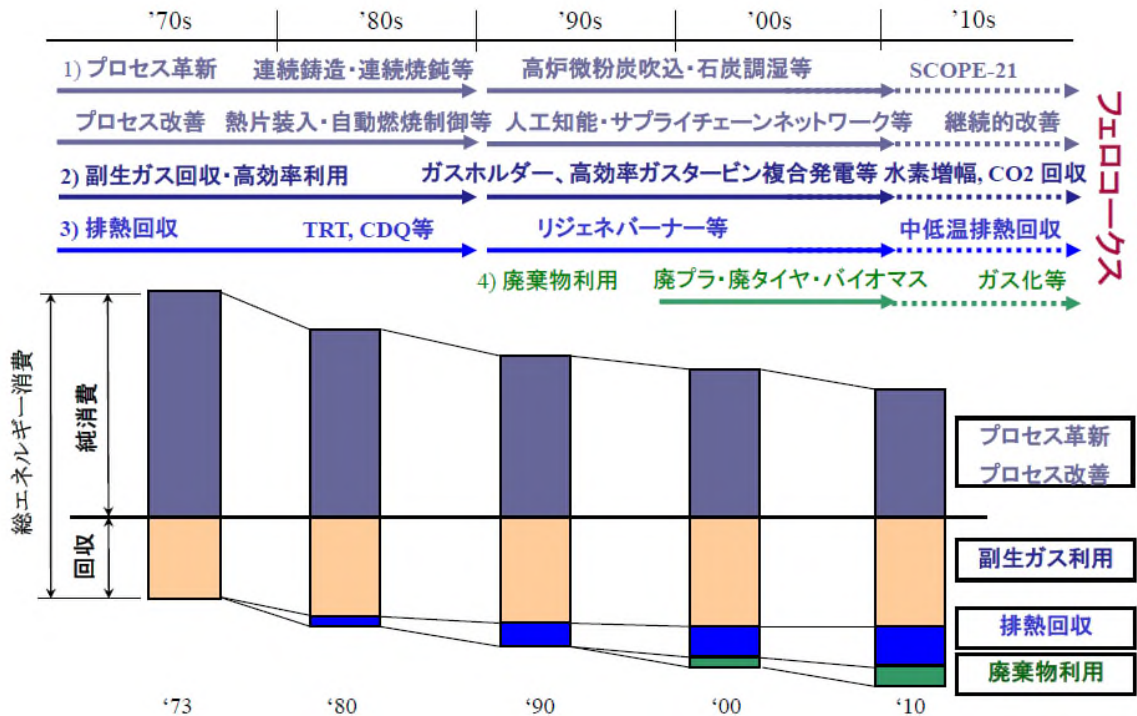


図 I-1-3 鉄鋼業の省エネルギーへの取り組みの推移

出典：(一社)日本鉄鋼連盟；「鉄鋼業の地球温暖化対策への取組 低炭素社会実行計画実績報告」、2015年1月

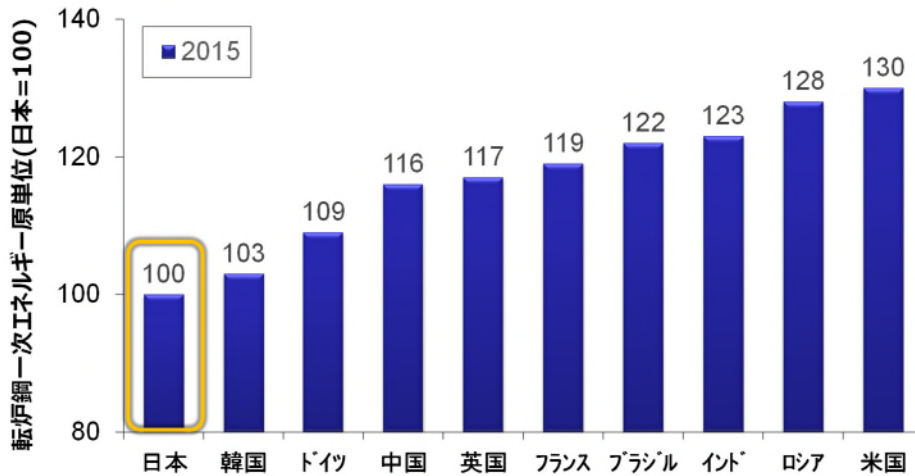


図 I-1-4 鉄鋼業(高炉・転炉法)のエネルギー原単位の国際比較

出典：地球環境産業技術研究機構(RITE)「2015年時点のエネルギー原単位の推計」(鉄鋼部門-転炉鋼)

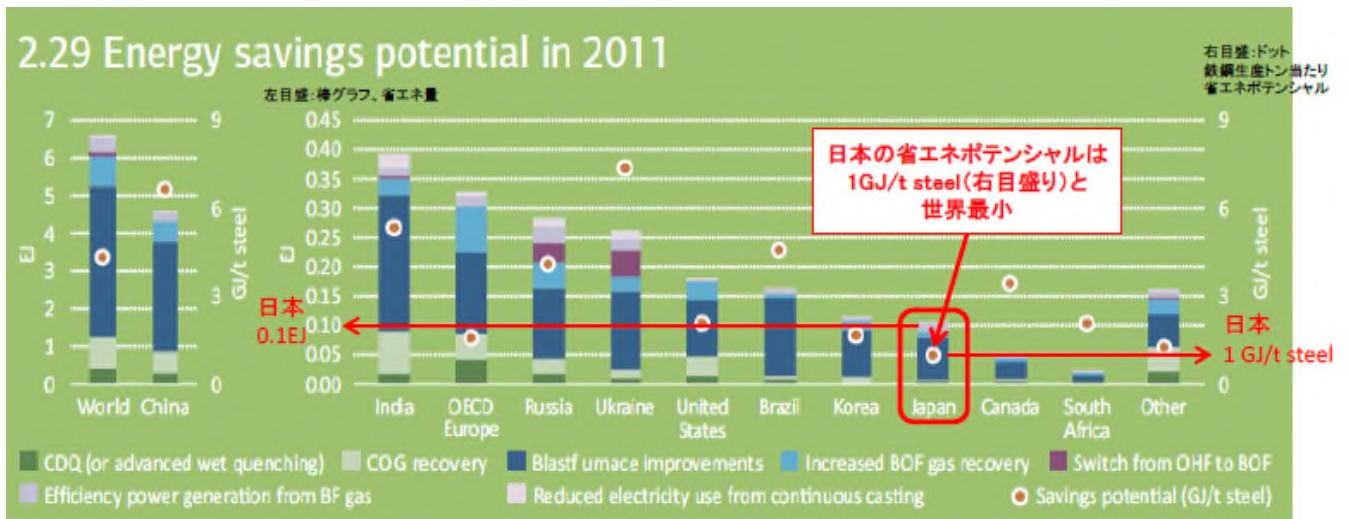


図 I-1-5 鉄鋼業のエネルギー消費量削減ポテンシャルの国際比較

出典:『Energy Technology Perspective 2014』国際エネルギー機関(2014年5月発表)

注:棒グラフ(左軸)はBAT(Best Available Technology)を適用した場合のエネルギー消費量の削減ポテンシャル 丸印(右軸)は粗鋼トン当たりの削減ポテンシャル

このように、わが国の鉄鋼業は1970年代のオイルショック以降、省エネルギー化を推進し、排熱や副生ガスの利用による省エネルギーも極限に達しており、現状技術の延長上では効率向上による大幅なCO₂削減を望めないことから、更なる温室効果ガス削減のためには新たな革新的な技術開発を推進する必要が求められている。

このような背景のもと、コークス製造時に発生する高温の副生ガス(コークス炉ガス(COG))に含まれる水素およびこのCOGを改質して水素を増量し、これらの水素を鉄鉱石の還元材として利用することでコークス使用量を削減し、高炉からのCO₂排出量を削減する技術開発と、製鉄所内で未利用の排熱をエネルギー源として利用し、高炉ガス(BFG)からCO₂を分離回収する技術開発により、CO₂発生量の大幅な削減を目指す「環境調和型製鉄プロセス技術開発(COURSE50)(注1)」が検討された。2008年3月に全世界の温室効果ガス排出量を現状に比べて2050年までに半減するという長期目標実現に向け、「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」が策定された。この中でCOURSE50は重点的に取り組むべき21のエネルギー革新技術の中において、「コークスの代わりに水素を還元材とする技術及び二酸化炭素分離回収技術により排出を抑制する革新的製鉄プロセス(2008年度から基礎研究、2013年度から実証試験を行い、水素製造や二酸化炭素分離回収貯留に係るコスト状況を踏まえ、まずは2030年までに製鉄所での排出量を約30%削減する技術を確立し実機化を目指す)」として取り上げられている。さらに、2013年からの低炭素社会実行計画、2020年以降の温室効果ガス削減に向けたわが国の約束草案を構成する技術の一つとして位置づけられた。

2020年10月には、日本政府による「2050年カーボンニュートラルの宣言」によりカーボンニュートラル達成目標が今世紀後半から2050年へ前倒しとなり、2021年6月に経済産業省が中心となり関係省庁と連携して「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定され、これらを踏まえて「グリーンイノベーション基金(GI基金)」がNEDOに創設された。当該戦略に記載された重点分野のうちカーボンリサイクル・マテリアル分野における主な取組として、水素を用いた高炉製鉄法など、世界に先駆け「ゼロカーボン・スチール」の技術開発・供給を行い、2050年に年間最大約5億トン、約40兆円と見込まれるグリーンスチール市場の獲得を目指すこ

とが謳われている。この実現は「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」（2021年10月）における水素還元製鉄にも合致するものとなっている。以上の経緯から、COURSE50事業は、フェーズⅡ-STEP2以降を含む一部の研究開発計画を、カーボンニュートラルの加速化に対応するためのGI基金事業へ移行することとなった。

（注1）COURSE50：本プロジェクト略称（CO₂ Ultimate Reduction in System for Cool Earth 50の英文略称）

1.2 事業の目的

（1）プロセスの選択

大型高炉による銑鋼一貫プロセスである日本における対策ということを勘案し、高炉法による製鉄プロセスの技術開発を対象とする。2030年までに技術開発を完了させ、その後高炉の設備更新に合わせ順次設備導入を行い、最終的に2050年までに対策完了となるスケジュールを前提とする。

（2）高炉に適用する技術の選択

CO₂発生量の削減のために高炉に適用する技術の選択については、表I-1-1に示す様な対策技術マップが挙げられる。脱炭素に向けた還元方法としては、水素を活用することとなる。水素源の選択としては、①天然ガスの活用、②コークス炉副生ガスの所内活用、③電力の間接活用・水の電気分解が挙げられるが、③電力の間接活用については量確保の困難さ、①天然ガスの活用は、炭素を含有する水素源の外部調達という位置づけであるが、熱量当たりのCO₂排出係数の視点では、②の副生ガスの所内活用が自家調達での水素源として最有力候補となる。

次に炭素系還元材を使用する部分の対策としては発生する高炉ガス中のCO₂ガスを後で分離除去する方法で対処する。以上を総括すると、コークス炉副生ガスの還元材利用などの高炉送風操作と高炉ガス中のCO₂ガスの分離回収がシナリオとなる。

表 I-1-1 高炉に適用可能な技術

| (1)炭素以外の鉄鉱石類還元材の利用 | (2)炭素による還元→排出CO ₂ の分離・回収 |
|--|-------------------------------------|
| 水素の活用 ・天然ガス ・副生ガスの所内活用(COG改質等) ・電力の間接活用(水の電気分解) | 高炉ガスからの分離 ・化学吸収法 ・物理吸着法 ・他 |

以上から、図I-1-6に本技術開発の概要を示す。

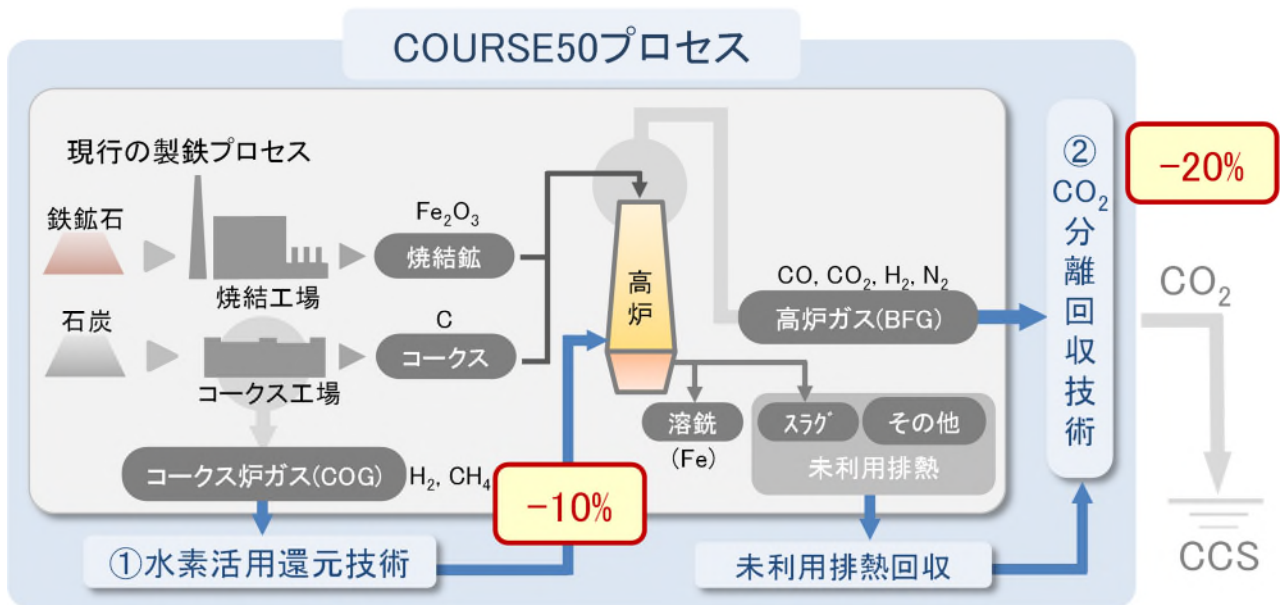


図 I-1-6 技術開発の概要

本技術開発では、コークス製造時に発生する高温のコークス炉ガス（COG）に含まれる水素およびCOG改質して水素を増幅し、コークスの一部代替に当該水素を用いて鉄鉱石を還元する技術を開発する。また、高炉ガス（BFG）からCO₂を分離するため、製鉄所内の未利用排熱を活用した革新的なCO₂分離回収技術を開発する。これらの技術開発によりCO₂排出量の約3割削減を目標に、低炭素社会を目指す。

これらの技術開発においてフェーズI-STEP1（2008～2012年度（5年間））として要素技術開発を実施し、フェーズI-STEP2（2013～2107年度（5年間））にて要素技術を組合せたパイロットレベルの総合実証試験を行った。フェーズII-STEP1では、実用化開発を行い、最終的に製鉄所における現状の全排出レベルに比較して約30%のCO₂削減を可能にする技術の確立に資する。図I-1-7に本技術開発（フェーズIISTEP1）の位置づけを示す。

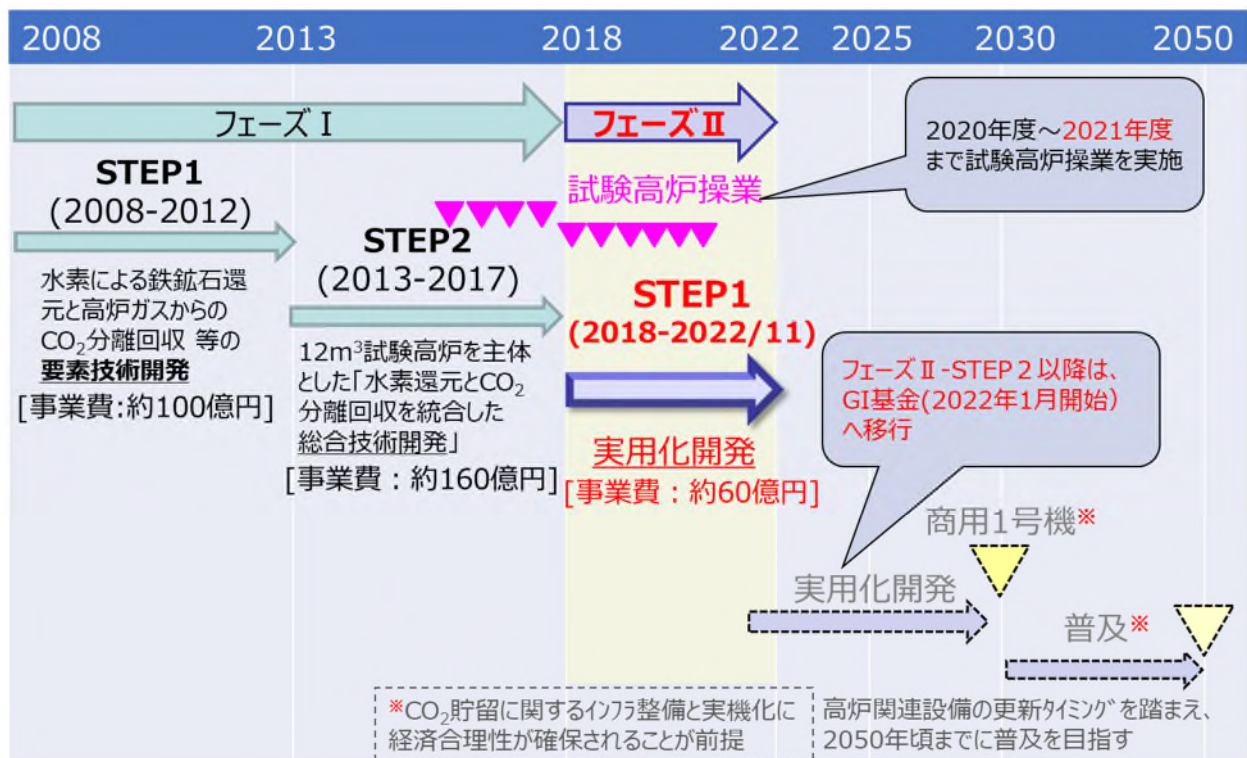


図 I-1-7 COURSE50 フェーズ II STEP1 の位置付け(GI 基金創設後の更新計画)

本事業を構成する技術の基本的なプロセス設計の考え方は以下の通りである。尚、更なる将来、水素比率が拡大される際には、プロセス自体の変革も十分ありえるものである。

(3) 高炉からの CO₂ 排出削減量の規模観

本技術における高炉からの CO₂ 排出削減の狙いは図 I-1-8 に示すとおりである。H₂ による鉄鉱石還元反応は吸熱反応であり、この熱を補う必要がある。このため、高炉ガスの送風操作や原料条件の最適化などによって、H₂ と CO による間接還元を向上させて直接還元を低下させることにより、炭素消費量を削減する、すなわち炭素消費の最終形態である CO₂ 排出を削減するものである。フェーズ I-STEP1 における基礎検討結果から、炭素消費量の削減目標レベルを約 10% とした。フェーズ II-STEP1 においても当初の炭素消費量の削減目標レベルは、フェーズ I と同じ約 10% としていたが、その後、NEDO の中間評価のコメントで「試験高炉では、少ない水素で CO₂ 削減効果を高めることに加え、水素利用上限 (CO₂ 削減限界) を見極める試験実施を期待する。」を受けたことから、水素使用量の効率化と水素還元の拡大を狙い、目標を高炉からの CO₂ 削減” 10%以上” に更新した。

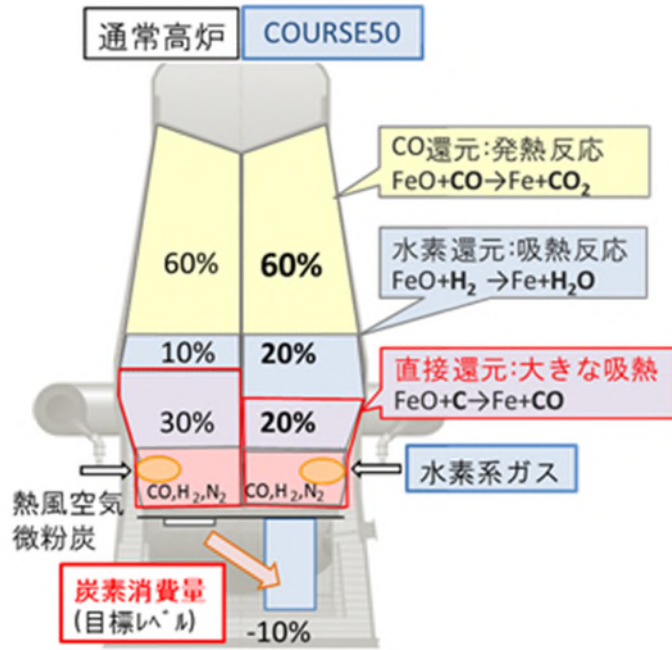


図 I-1-8 COURSE50 高炉の狙い

(4) 高炉ガス CO₂ 分離回収による CO₂ 削減量の規模観

BFG ガス中の CO₂ は製鉄所全体の約 70% を占めるが、高炉炉頂段階では、ガス組成として CO 22%、CO₂ 22% 程度であり、高炉ガス中の CO₂ としては、70% * 0.5 = 35% 程度が除去される財源はある。そういう意味では、例えば CO₂ 吸収液の再生エネルギーが充分あれば、バランス上は、当該技術で 35% の CO₂ 削減が可能となる。

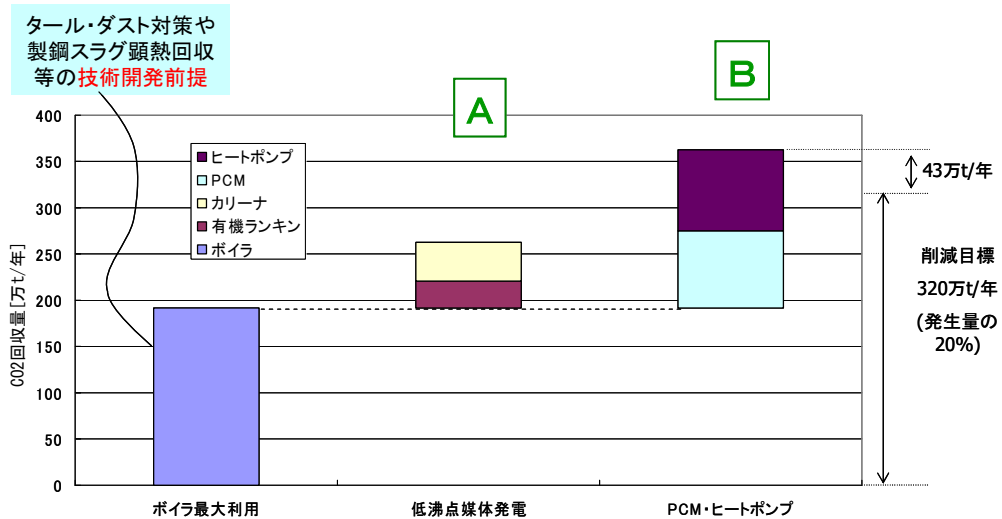


図 I-1-9 製鉄所の未利用顕熱の活用規模

出典:「環境調和型製鉄プロセス技術の開発／水素還元活用製鉄プロセス技術開発(フェーズ II-STEP2)」(前倒し事後評価)事業原簿【公開】

しかしながら、CO₂吸収液の再生エネルギーを製鉄所内の未利用エネルギーに求めると、その供給ネックが発生する。自然エネルギー等の再生可能エネルギーより低コストで回収できる未利用排熱を最大限活用することを前提として、その具体的量を調査した結果が、図 I-1-9 であり、未利用排熱のうちで利用可能な量は、排出 CO₂ の 20% を分離・回収できるものと設定している。

1. 3 事業の位置付け

わが国では、石油ショックやエネルギー・環境問題の高まり等の課題について、時代の要請に応える形で、1973 年以降、エネルギー技術関連計画を策定しており、図 I-1-10、図 I-1-11 に、エネルギー関係技術開発ロードマップにおける、わが国におけるエネルギー技術開発に関するこれまでの取組を示す。

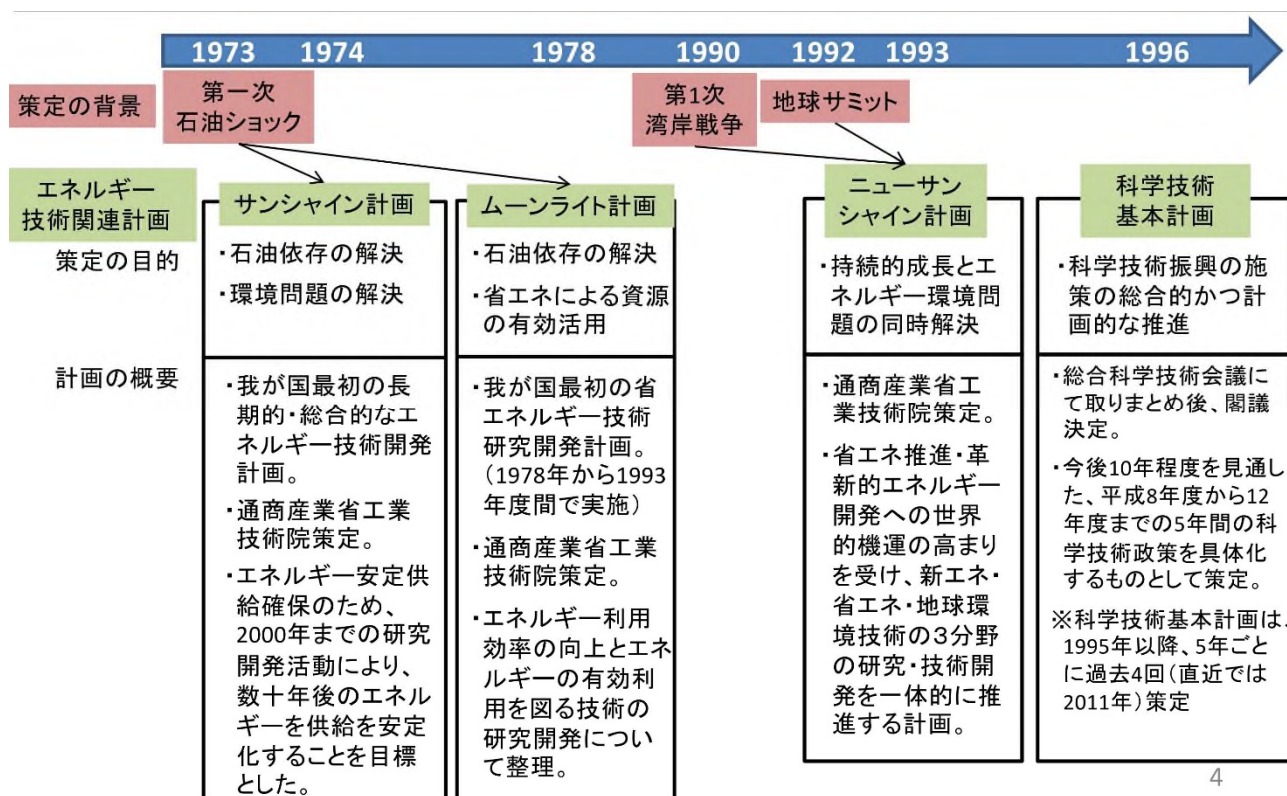


図 I-1-10 我が国におけるエネルギー技術開発に関するこれまでの取組 その1

出典:「環境調和型製鉄プロセス技術の開発／水素還元活用製鉄プロセス技術開発(フェーズ I-STEP2)」(前倒し事後評価)事業原簿【公開】

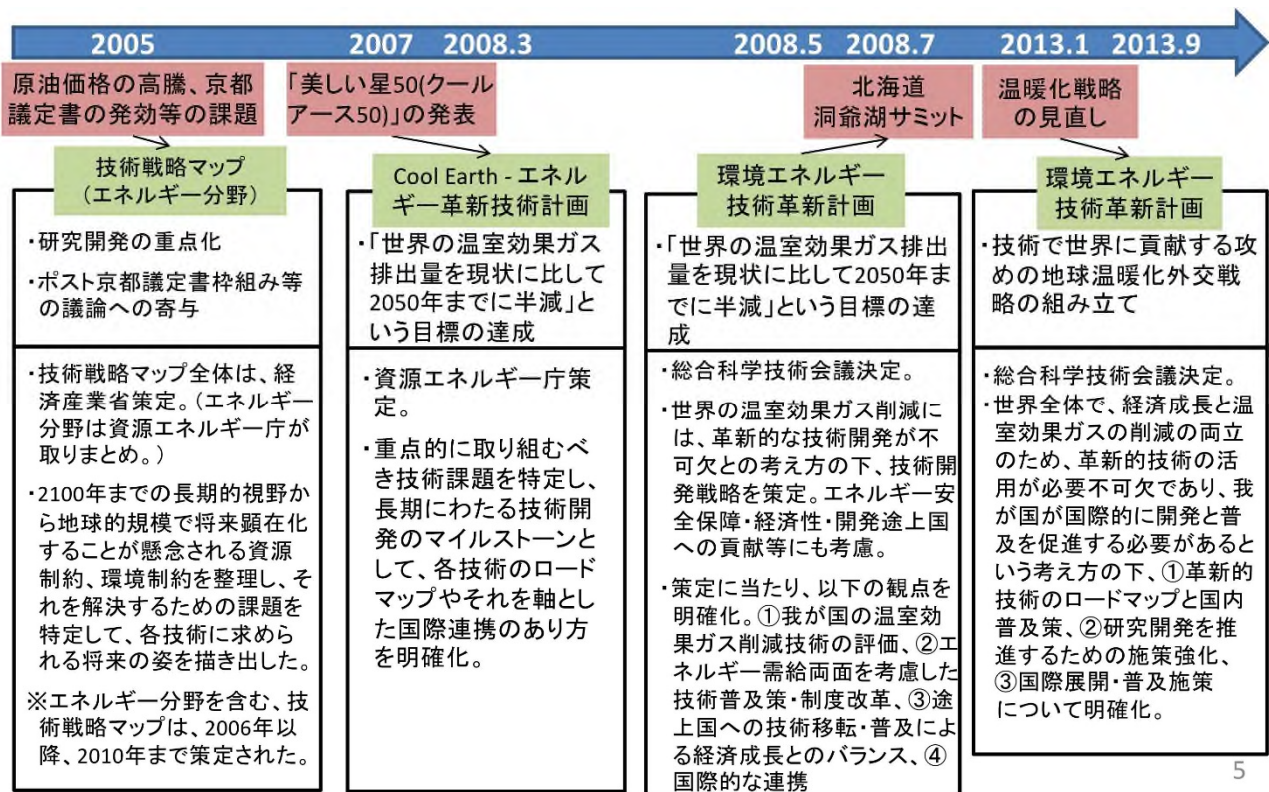


図 I-1-11 我が国におけるエネルギー技術開発に関するこれまでの取組 その2

出典:「環境調和型製鉄プロセス技術の開発/水素還元活用製鉄プロセス技術開発(フェーズ I-STEP2) (前倒し事後評価)事業原簿【公開】

本事業は、これまでの取組も含め、下記のように位置づけされている。

(1) Cool Earth50

COURSE50は、2008年3月に全世界の温室効果ガス排出量を2050年までに現状に比して半減するという長期目標実現に向け、策定された「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」に、図 I-1-12 の様に効率の向上と低炭素化の両面から重点的に取り組むべき 21 の技術の一つ (図中⑫革新的製鉄プロセス) として選定されている。

— 重点的に取り組むべきエネルギー革新技術 —

エネルギー源毎に、供給側から需要側に至る流れを俯瞰しつつ、効率の向上と低炭素化の両面から、CO₂ 大幅削減を可能とする「21」技術を選定。



*EMS : Energy Management System, HEMS : House Energy Management System, BEMS : Building Energy Management System

図 I-1-12 Cool Earth 50 における重点的に取り組むべきエネルギー革新技術
出典: 経済産業省「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」

(2) 環境エネルギー技術革新計画

2008年5月に閣議決定された環境エネルギー技術革新計画では、温室効果ガス排出低減のため、2030年以降の中長期的対策に必要な技術で削減効果の大きな革新技術の一つとして、コークスの一部代替に水素を利用する水素還元製鉄が記載されている。環境エネルギー技術革新計画は、2013年に改訂されたが、2030年ごろ以降で実機化・普及が見込まれる主要技術として、環境調和型製鉄プロセスが明記されている。

更に、2008年7月に閣議決定された低炭素社会づくり行動計画でも、開発を推進すべき項目の一つとして「コークスの代わりに水素を還元材とする技術及び二酸化炭素分離回収技術により排出を抑制する革新的製鉄プロセス（2008年度から基礎研究、2013年度から実証試験を行い、水素製造や二酸化炭素分離回収貯留に係るコストの状況を踏まえ、まずは2030年までに製鉄所での排出量を約30%削減する技術を確立し実機化を目指す）」と明記されている。

(3) エネルギー関係技術開発ロードマップ

上記以外にも、東日本大震災後の2014年4月に改訂されたエネルギー基本計画に基づき2014年12月に策定された「エネルギー関係技術開発ロードマップ」にも、戦略的に技術開発を推進すべき技術として図 I-1-13 の様に消費のサプライチェーンの一つとして、「環境調和型製鉄プロ

セス」が記載されている。また、環境調和型製鉄プロセスは、エネルギー関係技術開発ロードマップに図 I-1-14 の様に記載されており、本プロジェクトに関連する二酸化炭素の分離・回収技術は、図 I-1-15 に開発すべき技術として明記されている。

(4) イノベーションプログラム

2005 年度以降、経済産業省の全ての研究開発プロジェクトは、政策ごとに 7 つの「イノベーションプログラム」の元に体系化が図られた。本事業は「環境安心イノベーションプログラム」の「地球温暖化防止新技術」と、「エネルギーイノベーションプログラム」における「総合エネルギー効率の向上」に登録されている。

(5) パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略

2018 年 6 月に閣議決定された長期戦略に基づき、今世紀後半の出来るだけ早期に脱炭素社会を目指す「革新的環境イノベーション戦略」が 2020 年 1 月に策定され、全 5 分野に分類された技術課題のうち、図 1-1-16 に示されるように「Ⅲ. 産業」の中で高炉法による水素還元拡大技術等による「ゼロカーボン・スチール」実現が重要技術として位置づけられた。

(6) 2050 年カーボンニュートラルの宣言

日本政府は 2020 年 10 月に、従来は今世紀後半の出来るだけ早期としていたカーボンニュートラル達成目標を、前倒しして 2050 年とする宣言を出した。これを受けて、2021 年 6 月に「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を経済産業省が中心となり関係省庁と連携して策定し 14 の重要分野を設定した。重点分野のうち「カーボンリサイクル・マテリアル」分野の中で「ゼロカーボン・スチール」の実現を目指すことが本文中に明記され、図 1-1-17 の工程表が示されている。NEDO は「グリーンイノベーション基金 (GI 基金)」を創設し複数の重点分野に対応した技術開発・実証等を実施することとなり、「ゼロカーボン・スチール」の実現は「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」(2021 年 10 月閣議決定) に明記された「水素還元製鉄による脱炭素化」にも合致するものとなっている。

以上の様に、本プロジェクトは、日本のエネルギー政策、低炭素化に向けた政策の中で重要な位置づけとなっている。

＜技術課題全体の整理図＞

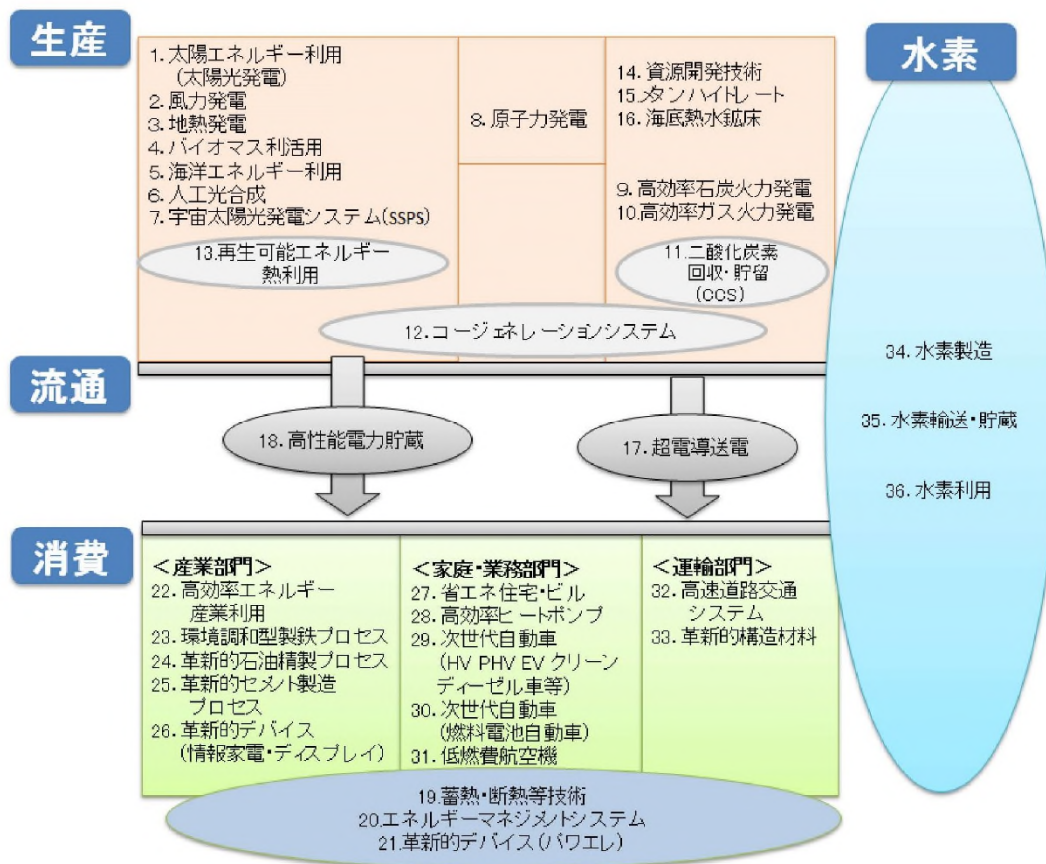


図 I-1-13 エネルギー関係技術開発ロードマップにおける技術課題全体の整理図
出典: 経済産業省「エネルギー関係技術開発ロードマップ」

23. 環境調和型製鉄プロセス

当該技術を必要とする背景

○製鉄業は我が国の中核産業の一つであり、世界最先端の省エネ型産業でもある。現行の製鉄プロセスは連続化・ガス再利用等の既存プロセス型省エネ技術は導入済みで、世界最高水準のエネルギー効率を誇っている。しかし、鉄鋼業が排出するCO₂の約7割は高炉プロセスで発生していることから、高炉プロセスについての抜本的な技術開発による大幅なCO₂の削減が喫緊の課題。技術的ハードルが高く、長期の技術開発が必要であり、一社単独では実現出来ないため鉄鋼業界として推進している。

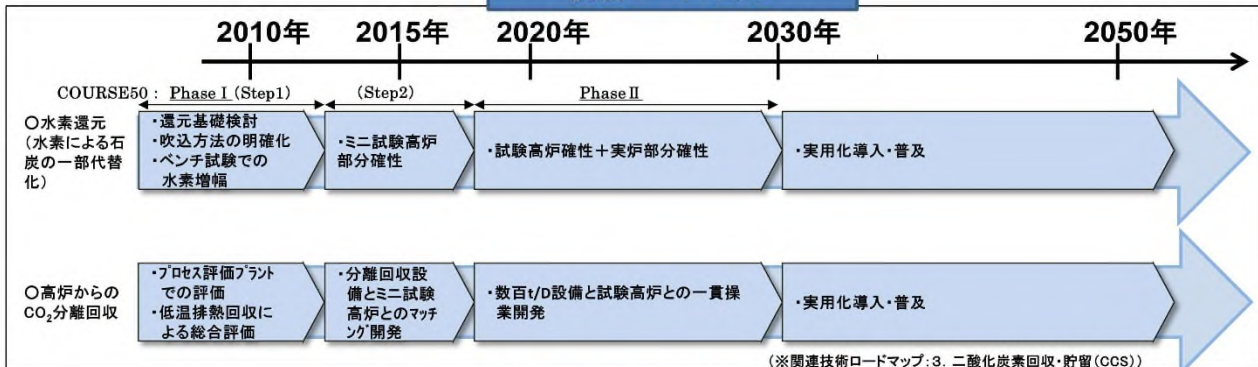
当該技術の概要及び我が国の技術開発の動向

○(1)コークス製造時に発生する高温の副生ガスに50%程度含まれる水素を活用し、コークスの一部代替に当該水素を用いて鉄鉱石を還元する技術の開発、(2)CO₂濃度が高い高炉ガスからCO₂を分離するための新たな吸収液の開発、物理吸着技術の開発、製鉄所内の未利用低温排熱を利用した新たなCO₂分離・回収技術の開発を実施。
 ○CCSはCO₂分離・回収・貯留の一連の技術。高炉ガスからのCO₂分離・回収については、独自に開発を行っている一方で、貯留については、発電所の排ガスからのCO₂貯留と共通の技術を利用予定。

導入に当たっての制度的制約等の社会的課題

○CO₂貯留に関するインフラ整備と実機化に経済合理性が確保されることが前提。

技術ロードマップ



備考(海外動向、他の機関における取組)

○米国、EU、豪州では、新規フラッシュ製鉄プロセスや、炉室内への鉄鉱石の直接投入プロセスの開発、代替燃料の開発等に取り組んでいるが、いずれも研究段階か、資金不足などにより中断している。実用化に向けた取組の段階にあるのは、日本だけである。

図 I-1-14 環境調和製鉄プロセスのロードマップ

出典: 経済産業省「エネルギー関係技術開発絵ロードマップ」

11. 二酸化炭素回収・貯留(CCS)

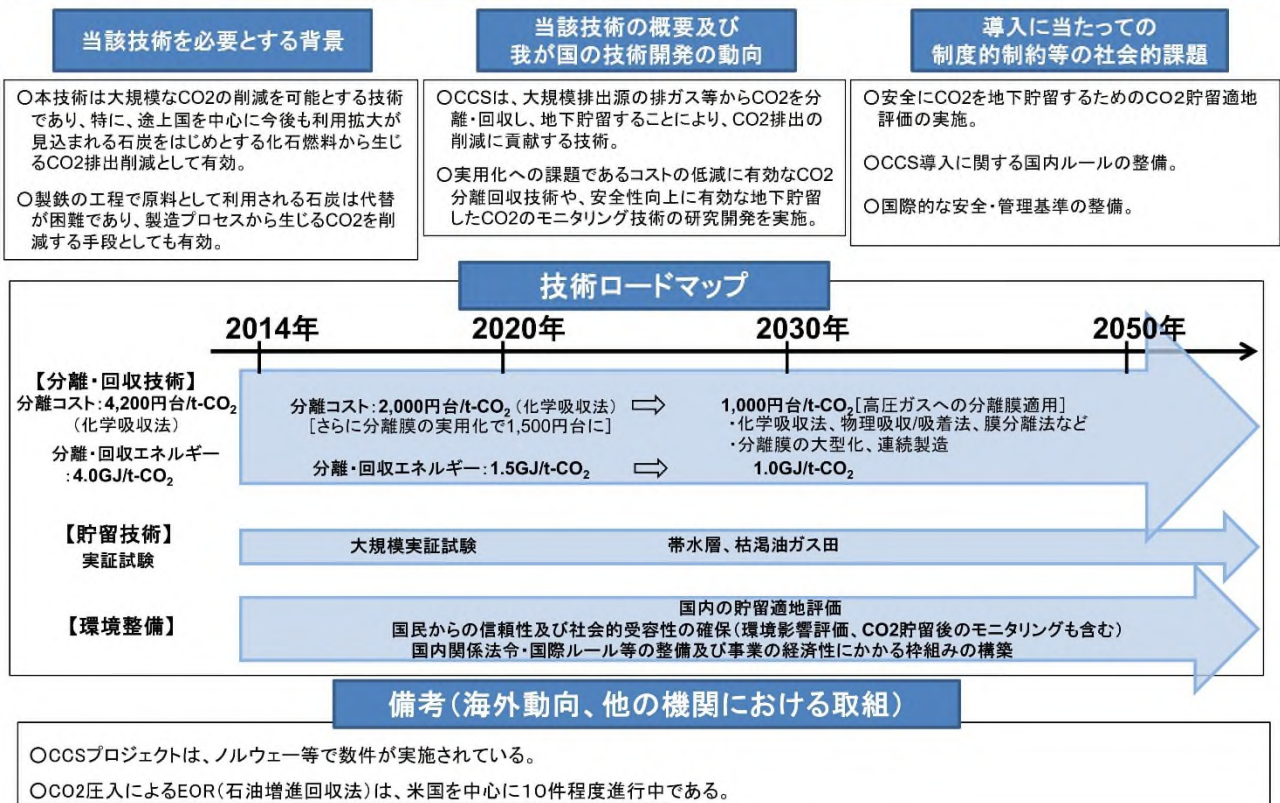


図 I-1-15 二酸化炭素回収・貯留のロードマップ
 出典: 経済産業省「エネルギー関係技術開発絵ロードマップ」

化石資源依存からの脱却（再生可能エネルギー由来の電力や水素の活用）

⑩ 水素還元製鉄技術等による「ゼロカーボン・スチール」の実現

【目標】

- 2050年以降のできるだけ早い時期までに、現在の高炉法による鉄鋼製造と同等のコストで「ゼロカーボン・スチール」を実現する水素還元製鉄技術等の超革新技術の開発を行う。実用化には、2050年の水素コスト（プラント引渡しコスト）20円/Nm³という目標をさらに下回る水準でCO₂フリー水素が安定的かつ大量に供給されることが必要。世界のCO₂削減量は約38億トン。¹⁾

【技術開発】

- 「ゼロカーボン・スチール」の実現には長期的な研究開発が必要となるため、現行の高炉法における低炭素化、省エネルギー対策も重要となる。そのため、COURSE50やフェロコークス技術の開発を引き続き行い、2030年頃の実用化を目指す。
- COURSE50及びフェロコークスの開発で得られる知見を足掛かりとして、「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた更なる革新技術を検討する。このため更なる革新技術に関するFS事業を実施し、高炉法による水素還元技術の拡大技術（COURSE50技術の拡大）、直接還元法による水素還元製鉄技術、CCUS等の技術開発や実用化における諸課題の抽出等を行う。当該結果を踏まえ、ナショナルプロジェクトによる支援の下に「ゼロカーボン・スチール」を実現する革新技術開発を進める。

（実施体制）

- 国際的な競争領域であるため、国内鉄鋼メーカーを中心とした連携により技術開発を進める。

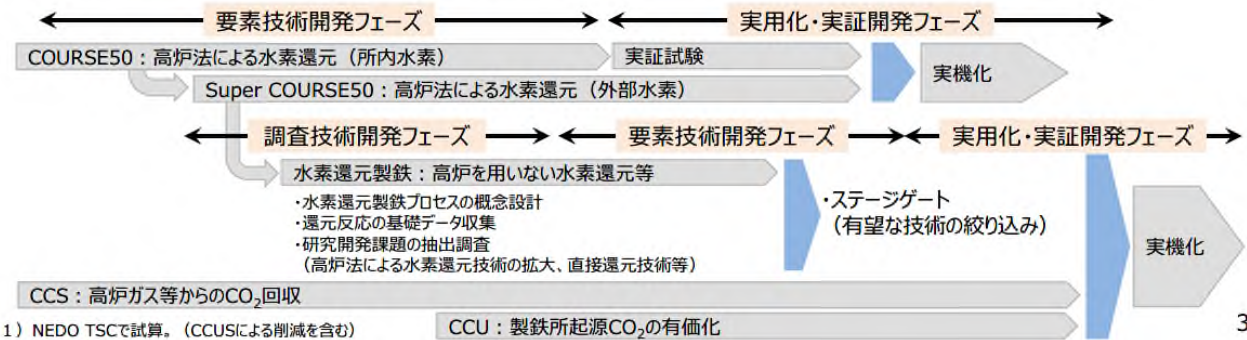


図 I-1-16 Ⅲ. 産業 化石資源依存からの脱却における「ゼロカーボン・スチール」の実現
出典：内閣府「革新的環境イノベーション戦略」

⑪カーボンリサイクル・マテリアル産業
(マテリアル)の成長戦略「工程表」

●導入フェーズ： 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ

●具体化するべき政策手法： ①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等

| | 2021年 | 2022年 | 2023年 | 2024年 | 2025年 | ～2030年 | ～2040年 | ～2050年 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------------------------|--------|
| 金属素材 | | | | | | 輸送用機械の軽量化・高速化・電動化に資する金属素材を開発 導入・拡大 社会インフラ設備（洋上風力、水素貯留、ケーブル等）の性能向上と低コスト化に資する金属材料の開発 導入・拡大 | 商用的拡大 商用的拡大 | |
| 精錬・圧延手法 | | | | | | COURSE50（水素活用等でCO ₂ ▲30%）の大規模実証 導入支援 水素還元製鉄、電炉拡大の技術開発 実証 精錬、圧延、加工プロセスの省エネに必要な基礎技術の開発 実証 国際的協力枠組の構築（過剰生産能力への対応、メタルスプレッドの確保）、開発した省エネ・CO ₂ 削減技術が適切に評価される国際標準の策定を推進 | 技術確立 導入・拡大 | 導入支援 |
| 資源の有効利用 | | | | | | 希少金属（レアメタル、レアアース等）を抽出・回収し、再利用・再資源化するリサイクル技術の開発 実証 強度や靱性を高めた高強度材料による構造物の長寿命化技術の開発 実証 アルミスクラップをアップグレードするリサイクル技術の開発 実証 | 導入・拡大 導入・拡大 導入・拡大 | |
| 熱源の脱炭素化 | | | | | | 燃焼特性にあわせた製造設備の開発 実証 | 導入・拡大 | |
| 石油化学コンビナートの脱炭素化 | | | | | | 燃焼特性にあわせた製造設備（ナフサ分解炉等）の開発 実証 石油精製プロセスへのCO ₂ フリー水素等の導入実証 | 導入・拡大 導入・拡大 | |

80

図 I-1-17 「カーボンリサイクル・マテリアル」分野の工程表

出典：経済産業省「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」

2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

2.1 NEDO が関与することの意義

本プロジェクトは、1. で述べたような国際的にわが国の地球温暖化対策に資する技術開発であり、国の政策として開発すべき技術として様々な資料に記載されているものである。そもそも、地球温暖化対策は、短期的には政策的に大きく振れることが予想され、長期的な視野から実施すべきである。

つぎに、水素による還元割合を高め、コークス使用量削減や省エネルギーによる二酸化炭素排出量を削減する技術は、革新的な技術であり、長期の技術開発が必要である。したがって、水素による鉄鉱石還元メカニズムの解明等の基礎的な研究と、高炉法プロセスの知見を活用することで、長期的視野からの技術開発が必要であり、国が基盤的な研究支援を行うと共に、わが国の高炉法プロセスに知見を有する民間企業の力を結集して推進すべきプロジェクトである。

また、COURSE50 が取り組む二酸化炭素の高炉からの排出削減および分離・回収技術は、地球温暖化を抑制することで国民全般の利益に資することとなり、公共性は高いが、鉄鋼業にとって、二酸化炭素の高炉からの排出削減及び分離・回収する技術を実機化しても直接的な利益を生むことがない上に、高炉からの排出削減および分離・回収のためのコストが必要となる。これは、実機化することで総合的な利益を生む従来の省エネルギー技術とは異なり、民間企業が技術開発のために投資に躊躇することに繋がる。

以上から、長期的な視野から国の政策として必要な技術であると共に、民間のみでは開発期間、効果の面で実施が困難であり、また、民間に力を結集して技術開発を行うには、NEDO が資金負担を行い、実施すべき事業である。

2.2 実施の効果(費用対効果)

本プロジェクトの CO₂ 削減効果は、製鉄所で発生する CO₂ のうち約 30% を削減するという挑戦的な目標である。更に将来的には更なる削減 (65~80%) へ向けた取組みが必要と考える。このためには、水素還元技術を含めた脱石炭還元を目指すことになるが、本プロジェクトはその先駆けとなるものであり、化石燃料に依らない水素や電気が社会に多量に安定して供給される基盤が形成された場合には、更なる CO₂ 排出量の削減が可能になるものと期待される。

本プロジェクトは当初 10 年間で基礎研究と方向性を定める第一ステップ (フェーズ I 及びフェーズ II の内、フェーズ I の STEP1 と STEP2) とし、その後のスケールアップを含む第二ステップのフェーズ II (STEP1 の 5 年間と STEP2 の 3 年間) を経て、基本技術の確立を目指す。現時点では、2030 年までに基本技術を確立して実機化を目指すこととしている。今後、進捗を見ながら開発を早めることを検討していくが、いずれにしても、20 年の長期に渡る大規模な開発プロジェクトである。第一ステップの当初 5 年間の実績額は約 100 億円、フェーズ I (STEP2) については、160 億円である。フェーズ II では、総額で約 120 億円が想定されたが、STEP2 がグリーンイノベーション基金へ移行したことに伴い、STEP1 のみの実績額として約 60 億円で完了した。

CO₂ 排出量の多い鉄鋼業において CO₂ 排出量の抜本的な削減に応えるためには、従来の製鉄プロセスを一新する革新的なプロセスを開発する必要があることから国内高炉 4 社の技術力を共通する施策目標の下に結集させ、早期実機化を念頭に置いた効率的な連携体制により運営することが必要である。また、ここで掲げている CO₂ の抜本的な削減目標は、本プロジェクトのみでは到達不可能であり、周辺技術、社会システム、制度等、全ての環境整備を並行して進める必要があり、

政府を始めとした関係者の協力と認識の共有化、共通化が必須である。

さらに、世界鉄鋼協会（WSA）やEU共同プログラムとの連携により、欧州諸国の最新技術動向を把握する等により本プロジェクトを効率よく実施する。鉄鋼業界では、旧 IISI（現 WSA）でのセクトラルアプローチの一環として、2003年より世界の鉄鋼メーカーによる2050年に向けたCO₂の抜本的な削減に向けて議論を重ねてきた。今回のテーマの絞り込みについても、こうした場での議論結果が生かされている。さらに、今後も地球規模での鉄鋼プロセスからのCO₂発生量削減へ向け、世界各地の鉄鋼協会、企業と連携を図りつつ、研究開発を進めていく予定である。また、今回の開発と連携の効果が期待できる欧州の開発プログラムとはわが国鉄鋼業界が個別により深い連携を図るべく進めている。

更に、今回取り組むBFGからの高効率CO₂分離回収技術やCOG改質水素による鉄鉱石還元などは、世界でも最先端の画期的な技術である。こうした日本独自の先行技術と、欧州の技術を融合させる効果は相互にとって極めて効果的であると考えられる。

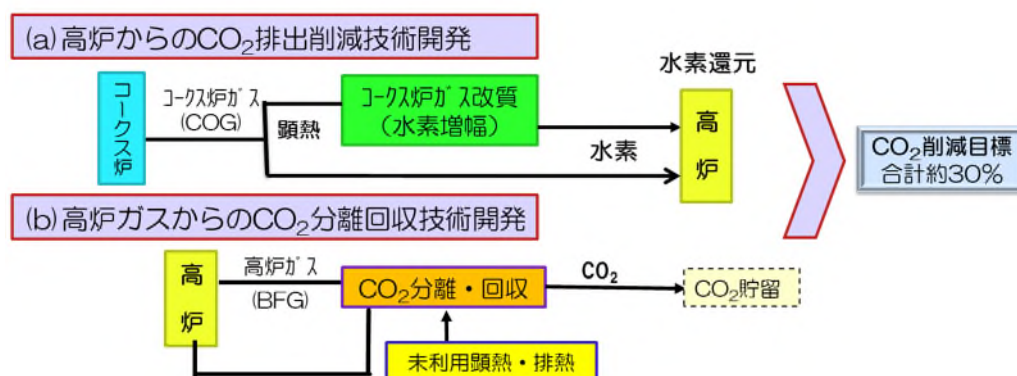
以上のことから、本プロジェクトは極めて高い挑戦的な技術ではあるが、実機化によって、日本のCO₂排出を約4%削減可能であり、極めて大きなCO₂削減効果が得られるとともに、世界に対して日本の技術をアピールでき、且つ将来的には海外への技術的な支援も可能であることから、投資としての意義は非常に高く、得られるメリットは多方面に渡って大きいと考えられる。

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

(1) フェーズII-STEP1の課題と研究開発方針

COURSE50の技術開発課題は、①高炉からのCO₂排出削減技術開発と②高炉ガスからのCO₂分離回収技術開発に大別される(図II-1-1参照)。前者については、コークス製造時に発生する高温の副生ガスおよびそのガスを改質して水素を増幅し、それらの水素を利用して鉄鉱石を還元する技術を開発することである。後者は、高炉ガスからCO₂を分離するために、新たな吸収液開発、物理吸着技術開発を行い、併せて製鉄所内の未利用排熱を活用して、CO₂分離のためのエネルギーを削減する技術を開発することにある。フェーズIにおいては、表II-1-1に示した主要目標を掲げて研究を実施し、COG羽口吹込みとシャフト吹込みの統合操作で、約10%削減が原理的に可能であることを実験(試験高炉)と理論(数学モデル)の両面から実証した。フェーズIの研究成果を踏まえ、フェーズII-STEP1では、2030年頃の実用化を目指し、CO₂10%削減をより確実にする実機適合技術の開発・検証が重要課題である。



図II-1-1 COURSE50事業の目標

表Ⅱ-1-1 フェーズⅠ到達レベルとフェーズⅡにおける課題

| プロジェクト開発目標 | COURSE50フェーズⅠ (2008～2019) | COURSE50 フェーズⅡ-STEP1 (2018～2022) |
|---|---|--|
| | 主な開発成果 | 開発課題 |
| ①【水素活用還元技術】 高炉からCO ₂ 排出量約10%削減する技術を確立する | COG羽口吹込みとシャフト吹込みの統合操作で、約10%削減が原理的に可能であることを実験(試験高炉)と理論(数学モデル)の両面から実証した。 | 2030年頃の実用化を目指し、CO ₂ 10%削減をより確実にする実機適合技術の開発・検証が重要課題。 |
| ②【CO ₂ 分離回収技術】 高炉ガスからCO ₂ 排出量約20%削減する技術を確立する | <ul style="list-style-type: none"> 高性能な化学吸収液、物理吸着剤を開発、パイロットプラント試験を通じてCO₂分離回収効果を実証。 高性能な排熱回収熱交換器を開発。 これらにより、高炉ガスからCO ₂ 20%削減と分離回収コスト≤2,000円/t-CO ₂ 達成の見通しを得た。 | <ul style="list-style-type: none"> 吸収液の性能向上により、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂達成への目途を得て、分離回収コスト≤2,000円/t-CO₂の技術確度を高める。 熱交換器付着物を効率よく除去することで、熱交換性能の維持を図り、実用に耐える熱交換器システムを構築する。 |

以上の課題解決に向けて、フェーズⅡ-STEP1の開発方針は以下のとおりである。すなわち低炭素製鉄を具現化していくために、①高炉からのCO₂排出削減技術については、実験と理論の両面から高炉からCO₂を10%削減するプロセス操作を総合的に検証・評価し、水素を活用した還元反応制御技術を確立する。また、②高炉からのCO₂分離回収技術については、環境保全と経済性を考慮し、更なる高効率・低コスト技術を追求する。

(2) フェーズⅡ-STEP1の目標

【中間目標(2020年度)】

研究開発項目(a) 高炉からのCO₂排出削減技術開発

- 高炉からのCO₂排出削減量約10%達成の見通しを得る。

研究開発項目(b) 高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収技術開発

- 分離回収エネルギー改善としての、吸収形態改善と分極影響の緩和の両技術の改善に新規技術を見出す事で、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂達成への目途を得る。

【最終目標(2022年度)】

研究開発項目(a) 高炉からのCO₂排出削減技術開発

- 高炉からのCO₂排出10%以上削減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。

※高炉の実機部分確性「全周羽口吹込み」試験は上記CO₂削減技術開発の状況をみながら、フェーズⅡ-STEP2の開始以降に行い、上記目標達成に資する、としていたがフェーズⅡ-STEP2以降の研究開発内容がGI基金事業へ移行したことに伴い、本事業の範囲外となった。

研究開発項目(b) 高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収技術開発

・CO₂分離回収コスト 2,000 円/t-CO₂を実現可能な技術の充実に指向し、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂を達成し、CO₂排出削減量約 20%の技術に資する。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

フェーズⅠ－STEP 2の成果を踏まえて、本技術開発においては、①試験高炉と3次元高炉数学モデルの活用で、送風操作の可能性を最大限追及する。②実機部分確性でしか検証できない全周羽口吹込み試験については、上記CO₂削減技術開発の状況をみながら、フェーズⅡ－STEP 2の開始以降に検証試験を実行する方針としていたが前述の通り、フェーズⅡ－STEP 2以降の研究開発内容がGI基金事業へ移行したことに伴い、本事業の範囲外となった。

研究開発項目(1) 高炉からのCO₂排出削減技術開発

① 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

フェーズⅠ－STEP 2においては、3次元高炉数学モデルの適用により、水素系ガスの羽口吹込、シャフト吹込の比較のみならず、コークス反応性の影響評価、高被還元性焼結鉱評価、一部ガスCOG改質シャフト吹込効果評価など、COURSE50高炉内の多くの現象を精度良く効率的に評価した実績を有している。フェーズⅡ－STEP 1においては、鉄鉱石還元への水素活用技術の可能性拡大という趣旨で、熱バランス的に難しい領域への挑戦となるため、3次元高炉数学モデルによるプロセス推定・評価が重要となる。更に、実高炉を使用した実機部分確性のための全周羽口吹込試験の場合は、変動要因も多くなる条件下での検討となるため、3次元高炉数学モデルによる客観的プロセス成立条件の提示は極めて重要となる。これらのニーズに対して、モデル側としては、水素還元反応モデルの精向上を図る。又、それらを受けてのスケールアップ検討においては、具体的な検討精度を上げる方針で推進する。

② 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動

これまで、還元ガス吹込みを併用した微粉炭 150kg/t レベルでの全周羽口吹き込みの実績は無い。実高炉においては還元材比低下に加えて安定操業の維持が重要になるが、微粉炭の燃焼率低下は未燃チャーの増加により高炉内の通気性悪化を招く可能性があることから、還元ガス吹込み併用時の微粉炭の燃焼状況を把握する必要がある。また、試験高炉と実高炉では内容積のみならず、吹込みに関連する設備も相違があり、ランス形式に関しては試験高炉がシングルランスに対し実高炉ではダブルランス、羽口径に関しては試験高炉ではφ50mmに対し実高炉ではφ120mm程度が想定される。さらに、炉内に形成されるレースウェイ（微粉炭の炉下部での最終ガス化領域）に関しても、試験高炉では奥行300mm程度に対し、実高炉では1500mm程度が想定される。このような相違を踏まえ、次フェーズでは試験高炉で得られた知見を活用しつつも、実高炉条件での燃焼挙動の検討が必要となる。さらに、試験高炉操業では操業条件はほぼ一定であったが、実高炉操業を想定した場合、微粉炭、還元ガス吹込み量、微粉炭燃焼性（成分）、送風条件（送風量、酸素濃度、送風温度）等もある特定条件では無く、複数のケースに対応した検討が必要となる。加えて、実機展開時の設備安定稼働維持の観点から、吹込みランスの温度等を複数の操業条件において把握する。

③ 試験高炉によるプロセス技術開発

試験高炉はフェーズⅠ－STEP 2においては、送風操作及び原料操作の組み合わせで4回の本操業試験を実施し、計画通りの成果が得られた。フェーズⅡでは、水素還元の効果を見極めるため、試験高炉を用いた試験操業において、送風操作（純水素ガスを含む各種還元ガス吹込み）及び原料操作等を行って、各種還元ガスの使用量の効率化を含め、操業操作の多様性を追求する。

④実高炉部分検証によるプロセス技術開発

実用化に向けて、COURSE50 高炉のコークス使用量低下に伴う通気抵抗増加に起因する不確实现象を検証・評価するため、実高炉を用いた実機部分確性「全周羽口吹込み」試験は、鉄鉱石還元への水素活用技術の開発ならびに試験高炉によるプロセス技術開発の開発状況をみながら、フェーズⅡ－STEP 2の開始以降に計画・実施することとしていたが、実高炉検証を含むフェーズⅡ－STEP 2以降の研究開発内容はGI 基金事業へ移行することとなった。

⑤コークス炉ガス (COG) 改質技術開発

水素還元を用いる水素を製鉄所内から供給する方法として、フェーズⅠで確立したコークス炉で発生する副生ガス(COG)から水素を増幅する技術を、実機に適用するためのエンジニアリングを検討する。本事業では、試験高炉での検討により、最適改質 COG 組成が変わる可能性がある場合には、フェーズⅠ－STEP 2で建設した 50Nm³/h 規模の BP2 設備を用いて、高炉吹込み最適改質 COG 製造の検証を行う。また、実 COG の改質技術をコークス炉や高炉周辺の実機に適用するためのエンジニアリング検討を行う。並行して、長期使用した BP2 設備を解体し、触媒炉内耐火物、触媒反応筒、部分酸化炉内耐火物等の主要設備の材料解析等を行い、材質選定の妥当性、留意点等を抽出する。

⑥コークス改良技術開発

コークス改良技術開発はフェーズⅠにおいては、COURSE50 高炉で要求される「強度」や「反応性」を備えたコークスの作り込み技術確立を完了したが、フェーズⅡにおいては、コークス改良に不可欠な高性能粘結材である HPC の製造プロセスのスケールアップに資する技術の開発に着手する。HPC の流動特性は、温度依存性が大きく、プロセスの流量/温度管理特性を維持・管理する技術を確立することを指向する。

研究開発項目(2) 高炉ガスからの CO₂分離回収技術開発

①CO₂分離回収技術開発

①-1 化学吸収法による CO₂分離エネルギー・コストの削減技術開発

本テーマにおいては、高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂(「分離回収法開発ロードマップ(CCS2020)」に示された目標)を十分に可能とする技術を確立するため、吸収液再生温度の大幅低減による未利用排熱の利用拡大を図るとともに、分離回収のためのエネルギーを一層低減可能な高性能吸収液を開発する。化学吸収液の再生熱エネルギーについては、すでに2.0GJ/t-CO₂を下回る世界最高水準には到達しているが、「誘電率が70%に改善、吸収形態も熱的に有利なバイカーボネイト化して到達可能な理論限界」に漸近した1.6GJ/t-CO₂を達成目標とする。

尚、化学吸収法のスケールアップについては、実機規模に対しては高さ方向のスケールアップは行わず、塔径アップで対応する為、基本的には、スケールアップ目的の実炉部分確性まで実施する必要性を採用していない。

①-2 物理吸着法のコスト低減とスケールアップ検証

物理吸着についてはフェーズⅠ－STEP 2でエンジニアリング検討技術まで完了しているため、フェーズⅡでの新規の開発課題は無い。

①-3 分離技術総合プロセス技術開発

化学吸収と物理吸着の最適組み合わせを評価するシステムは完成し、10ケースの最適化検討も完了しているため、フェーズⅡにおいては、本システムを活用して、プロセスの最適化等、具体的検討に適用してゆく。

②未利用排熱活用技術の開発

フェーズⅠ－STEP 2までの開発で、種々の排熱源や、その利用方法について、モデル製鉄所や代表製鉄所での最適使用方法についても検討が進捗し、製鋼スラグ顕熱回収技術のように、エンジニアリング検討まで完了したものもある。フェーズⅡに対して残された課題は、スケールアップと、熱交換器部分における耐久性対策である。但し、スケールアップについては、未利用排熱活用設備の場合、数倍以上基本ユニットの能力向上では無く、基本基数増対応であるので、本質的な課題は存在しないと思料する。一方、熱交換器部分の耐久性対策は、重要な開発課題として、総合的に取り組んでゆくべき課題である。

②-1 未利用排熱活用技術開発（低品位排熱の熱回収技術の調査と開発）

未利用排熱活用設備の場合、数倍以上基本ユニットの能力向上では無く、基本基数増対応であるので、実用化に際しての、個別エンジニアリング課題は存在するが、本質的なスケールアップ課題を意識する必要は無いと判断している。既存フィンチューブに対するマイクロ熱交換器の優位性も確認されており、良好な特性を維持し続けるかが、最大の課題となる。

製鉄実排ガス環境下での低温高効率熱交換器の開発、設計、評価と実用化のためのプロセス課題を迫及する。基本的な考え方としては、熱交換部の汚染の極小化条件をハード/ソフト両面で推進するとともに、熱交換部にいたるまでの「未利用排熱熱源」の清浄度の改善や、熱交換部の定期メンテ方法等、総合的な対策を推進する必要がある、予算規模は大きくないものの、粘り強く取り組むべき課題として、然るべき時間をかけて課題解決を推進する。

研究開発項目(3) 全体プロセスの評価・検討

①全体最適化

高炉からのCO₂排出削減技術開発は、1) 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発 2) 水素の安価製造技術の開発 (COGのドライ化・増幅技術開発) によって構成される。また、CO₂分離回収技術開発は、1) 高炉ガス中のCO₂分離回収技術 2) CO₂分離回収のための製鉄所排熱利用技術によって構成される。この両者を併せて、効率的に事業目標を達成する手段を確立することを目的として、フェーズⅠで基本構成が完成した「モデル製鉄所・物質熱収支モデル」に対して、各要素技術の進捗や、プロセス改善を織り込んだ境界条件に対して、物質熱計算を行い、全体プロセスの総合最適化を検討し、最終的に製鉄所における現状の全排出レベルに比較して約30%のCO₂削減を可能にする技術の確立に資する。

研究開発項目は表Ⅱ-2-1のサブテーマに分割して実施することとする。

表Ⅱ-2-1 研究開発項目

| 開発技術 | | 開発技術内容 |
|------------------|------------------------------|--|
| 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発 | SG1-1. 水素活用プロセス技術開発 | 高炉3次元数学モデルによる試験操業設計・解析で、 試験高炉操業による検証を支援 するとともに、水素還元反応モデルの精査で スケールアップ精度の向上 を図る。 |
| | SG1-2. 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査 | COURSE50 特有の複合ランス に対し、微粉炭燃焼率、レースウェイ内条件等を測定し、操業条件影響を評価する。 |
| SG2. COG改質技術開発 | | 触媒を用いたCOG改質技術において、最適COG組成の変更 |

| | |
|------------------------------|---|
| | 対応を行うと共に、 実機化に対するエンジニアリング検討 を行う。 |
| SG3 高性能粘結材製造技術の開発 | 高性能粘結材溶融物の円滑なハンドリングの為には、粘性を決定する主要因の温度制御が重要であるが、 その温度制御条件を左右するプロセスの粘結材供給方法、熱供給方法および機器構造の関係を総合的に開発する。 |
| SG4 CO ₂ 分離回収技術開発 | 化学吸収液の再生熱消費原単位改善の為に ① 吸収形態を加圧メタ系からバクナート系に転換 ② 誘電率の低減によるエネルギー緩和 の2大方針にて、ブレークスルーを図る。 |
| SG5 未利用低温排熱活用技術開発 | 高効率熱交換器の 初期特性維持 の目的で ①未利用排熱源に含まれる汚染源を精査する事で、 汚染物の付着に対する事前除去、蓄積条件の緩和 等を総合的に検討する。 ②付着が無視できない状況に対して、 間歇的に付着除去 の手段を検討する。 |
| SG6 試験高炉によるプロセス技術開発 | フェーズI-STEP2で確認できた送風操作と原料操作の組み合わせによるCO ₂ 削減10%以上のレベルに対して、 直接還元を抑制する手段に関する送風操作の多様性を追求 する。具体的には、 送風ガス種、送風方法に関してフェーズI-STEP2と異なる組み合わせを指向 する。更に、3次元数学モデルと試験高炉の組み合わせにおいて、送風操作の多様性検証を行う中で、 スケールアップに資するガス流れの知見等の蓄積も図る。 |
| SG7 実高炉部分検証によるプロセス技術開発 | COURSE50 高炉のコークス使用量の低下に伴う通気抵抗増加に起因する不確实现象を検証・評価するため、実高炉を用いた実機部分確性「全周羽口吹込み」試験をSG1ならびにSG6の開発状況をみながら、計画・実施し、高炉からのCO ₂ 排出削減量10%以上達成に資する。(※実高炉検証はGI基金事業へ移行) |
| SG8 全体プロセスの評価・検討 | 上記のような 個別プロセス技術の改善に即して、その変化が製鉄所全体プロセスに及ぼす影響を総合評価 する。 |

以下に個々の技術開発の実施項目を記述する。

①鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

①-1 水素活用プロセス技術開発

12m³規模試験高炉における送風操作および装入物操作による実験検証と同時に、高炉3次元数学モデルの精度向上を図り、試験高炉規模で高炉からのCO₂排出量削減10%以上を確立する。その知見に基づき、実高炉を対象とした操業諸元設計および操業解析を実施し、高炉からのCO₂排出量削減10%以上の操作方法を検証する。

(1) 高炉3次元数学モデルによる試験操業設計・解析

還元ガス吹込み方法の最適化、装入原料の被還元性の向上等により、水素還元の効果を最大限に享受する技術を確立することを目的とし、以下の検討を行う。高炉3次元数学モデルによる12m³規模試験高炉の操業設計、操業解析を実施し、実高炉の操業設計に必要な還元ガスの吹込み方法、装入原料性状の影響を検証する。

(2) 水素還元反応モデルの高精度化

酸化鉄の還元は $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe$ と段階的に進むが、過去に実施された酸化鉄(特に Fe_2O_3 と Fe_3O_4)の還元実験は、高炉内で還元反応が進行する温度と対応していないことが多く、還元挙動を正確に表現しているとは言えない。そこで、高炉内において各段階の還元反応が進行する温度域にて、種々の水素濃度下における酸化鉄の段階還元実験を行い、 $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4$ 段階、 $Fe_3O_4 \rightarrow FeO$ 段階における酸化鉄の水素還元速度を定式化することにより、高炉3次元数学モデルの推定精度の向上を図る。

①-2 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査

本サブテーマは下記2つの研究開発課題に分けて実施する。

1) 微粉炭及び還元ガス燃焼時の燃焼安定性評価

- ・フェーズIにて導入した燃焼試験炉を使用して微粉炭吹込み量、模擬COG等の還元ガス吹込み量、および送風温度や酸素濃度等の送風条件等を変更した実験を実施し、微粉炭燃焼率、レースウェイ内温度・ガス組成、レースウェイ形状等を測定し、操業条件がこれらに及ぼす影響を整理する。
- ・試験高炉または実高炉スケールで微粉炭吹込み量、模擬COG等の還元ガス吹込み量、および送風温度や酸素濃度等の送風条件等を変更した計算を実施し、操業条件が還元材燃焼安定性に及ぼす影響を整理する。

2) レースウェイ内の微粉炭・還元ガス燃焼反応に関する数値解析の研究開発

- ・実高炉を想定して微粉炭吹込み量、COG等の還元ガス吹込み量、および送風温度や酸素濃度等の送風条件を変更した非定常固気混相乱流燃焼・ガス化数値解析を実施し、微粉炭燃焼率やレースウェイ内温度等を予測する。操業条件変更の影響を、上記1)で述べた燃焼試験炉実験と、これを対象としたモデル(試験燃焼炉対象のレースウェイ数値モデル)計算との対比により評価し、この試験燃焼炉用モデルを実高炉用に拡張する。

② コークス炉ガス(COG)改質技術の開発

本プロジェクトのフェーズI-STEP1(2010年度から2012年度)及びSTEP2(2013年度)において、実コークス炉からの実COGを用いた30Nm³/h規模のベンチプラント(BP1)試験を行い、水素増幅率>2、耐久性>24hの性能を記録、実ガスでの触媒改質技術の有効性を示すことに成功した。また、フェーズI-STEP2(2014年度から2017年度)では、高炉吹込みガス組成を製造可能な無触媒部分酸化反応を新たに追加し、触媒の長時間耐久性評価が可能な、50Nm³/h規模のベンチプラント(BP2)を建設、各種試験を行い、水素増幅率>2及び改質運転>500hを達成、改質COG中の残メタン濃度を<5%にできる技術を開発した。改質設備の規模はほぼ実機レベルであり、これ以上のスケールアップ検討は不要であるため、基本プロセスの開発は完了した。残された課題として、本研究で開発した設備を多数、コークス炉や高炉の実機周辺に組み込むためのエンジニアリング検討がある。またそのためにBP2の解体研究を行い、長期試験後の設備内部の状況を確認、材質選定の妥当性、留意点等抽出を図る必要がある。本事業では、触媒反応と無触媒部分酸化反応を用いた、COGの改質による高炉吹込み最適ガス製造の検証、BP2型設備を実機に適用するためのエンジニアリング検討を行う。

(1) 触媒を用いたCOG改質技術の最適化

試験高炉での検討により、最適な改質COG組成が変わる可能性があり、その場合には、フェーズI-STEP2で建設した50Nm³/h規模のBP2設備を用いて、高炉吹込みに最適な改質COGの製造技術の検証を行う。

(2) COG改質技術の実機適用のためのエンジニアリング検討

COGの触媒と部分酸化による改質技術は確立できたため、コークス炉や高炉の実機周辺に適用するためのエンジニアリング検討を行う。

(3)BP2設備の解体研究

実機適用のためのエンジニアリングを検討するに当たり、長期使用したBP2設備を解体し、触媒炉内耐火物、触媒反応筒、部分酸化炉内耐火物等の主要設備の材料解析等を行い、材質選定の妥当性、留意点等を抽出する。

③高性能粘結材製造技術の開発

(3)-1 熔融粘結材連続排出技術の開発

1) 熔融粘結材物性把握による連続移送・排出装置仕様の獲得

熔融状態にある粘結材の粘度を直接測定することの出来る高温対応型粘度計を設置し、熔融粘結材の粘度推算式を導いて連続押出機器の仕様を決定する。連続押出機器の仕様を決定するために必要な熔融粘結材の粘度は200°C以上の高温域であることと、溶剤残留量を変化させる機能が必要であるため、専用の高温対応型の粘度計を製作する。導入した粘度計から残存溶剤量や温度条件別に実測データを取得し、熔融粘結材の粘度推算式を導く。この粘度推算式を基に現有の高性能粘結材連続製造装置（石炭処理量0.3ton/day）に組み込む連続移送・排出装置を設計、製作し、試運転を通して熔融状態にある高性能粘結材の移送過程での溶剤分離や安定的な連続排出性能を確認する。本連続移送・排出装置を含む高性能粘結材連続製造装置にて製造される高性能粘結材利用によるコークスの特性や実炉への適用性を評価する。

2) 熔融状態高性能粘結材の分子運動性に関する研究

溶剤を分離する過程での高性能粘結材の粘度変化についてmobile分子の量的質的变化を高温1H-NMRを用いて評価し、温度や溶剤残留量の変化に対する熔融粘結材の粘度と分子運動性の関係性を把握する。

3) 熔融状態高性能粘結材の熱履歴に伴う分子構造変化に関する研究

溶剤回収工程の残留溶剤量が増加する過程における高性能粘結材の分子量分布や化学構造を起点に分子構造変化を調べ、熔融粘結材の粘度との関係性を把握する。

④CO₂分離回収技術開発

本テーマにおいては、高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂(「分離回収法開発ロードマップ(CCS2020)」に示された目標)を深化する技術を確認するため、本プロジェクトのフェーズI-STEP2の研究開発成果をもとに、混合溶媒系吸収液を中心として吸収液性能の更なる向上を目指すとともに、実用化研究開発を実施する。

⑤ 未利用排熱活用技術の開発

「環境調和型製鉄プロセス技術開発(COURSE50)」における主要な研究開発項目の一つとして、高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収技術開発が挙げられる。開発が進められているCO₂分離回収技術の主要な手段の一つは化学吸収法であり、そこで用いられる吸収液の再生プロセスには多量の熱エネルギーが必要となる。この熱エネルギー供給のため新たに化石燃料を使用することは、本プロジェクトの目標であるCO₂削減の観点からは望ましくなく、また経済性の観点からも問題が多い。そこで本テーマでは、製鉄所における未利用排熱を回収し、CO₂分離回収に必要なエネルギーを供給するための技術開発を目的とする。

1) 製鉄排ガスによる伝熱面の汚損状態の調査及び対策の検討

製鉄排ガス中に含まれるスケールや粉じん等の固形異物や微量残留したコールタール等の液状異物に関して、熱交換器に対する性能低下要因の観点から排ガス性状調査を行い、伝熱面に対するコールタール等の異物付着量に関する知見を得る。また異物付着量を熱交換器性能の観点から評価する指標を検討し、熱交換器の設計

や性能予測に適用する。それらを用いて、熱交換器伝熱面の汚損を低減可能な条件について検討し、低温排ガス顕熱回収用の高性能熱交換器の設計に反映するための知見を得て、実機化を見据えたスペックを明らかにする。

2) 性能を長時間維持可能な熱回収システムの検討

排熱回収量を長時間維持させるためには熱交換器本体の検討に加えて、その周辺機器まで含めた熱回収システムの検討が必要と考えられる。そこでそのような周辺機器としてストレーナの設置、熱交換器の並列化、オンライン洗浄装置の設置等の可能性を検討し、これらを含めて熱交換性能を長時間維持させる熱回収システムを提案する。さらに提案したシステムに基づいて排熱回収コストを算出する。

⑥試験高炉によるプロセス評価技術開発

フェーズ I-STEP 1 (2008 年から 2012 年) の要素技術開発、フェーズ I-STEP 2 (2013 年から 2017 年) の総合技術開発により、水素を活用した高炉からの CO₂ 排出削減に関して、基礎実験、試験高炉による操業試験、ならびに高炉 3 次元数学モデルによる理論解析を通して、高炉からの CO₂ 排出量約 10%削減可能な高炉プロセス操作を実証し、将来の国内高炉の CO₂ 削減課題に対する技術の方向性を把握した。

そこでフェーズ II-STEP 1 では前記検討結果を活用した実用化開発に入る。実機適用性の観点から、水素還元の効果を最大限に享受する高炉プロセス操作を見極めるため、試験高炉による水素を活用した鉱石還元技術の総合最適化の図り、実用化開発に必要なスケールアップのための基本データを取得する。

フェーズ I-STEP 2 で確認できた送風操作と原料操作の組み合わせによる CO₂ 削減約 10%のレベルに対して、直接還元を抑制する手段に関する送風操作の多様性を追求する。具体的には、送風ガス種、送風方法に関してフェーズ I-STEP 2 では確信していない組み合わせを指向し、特に水素投入量の影響および投入ガス種類による影響を見極める。更に、3 次元数学モデルと試験高炉の組み合わせにおいて、送風操作の多様性検証を行う中で、スケールアップに資するガス流れの知見等の蓄積も図る。

⑦全体プロセスの評価・検討

本技術開発では、実用化に向けて、試験高炉スケールでは評価が困難な COURSE50 技術実機適用時のコース使用量の低下に伴う通気抵抗増加に起因する不確实现象を検証・評価し、高炉からの CO₂ 排出削減量 10%以上達成に資する。(※実高炉検証は GI 基金事業へ移行)

⑧全体プロセスの評価・検討

製鉄プロセス全体の最適化を検討し、製鉄所からの CO₂ 排出量 30%削減を可能にするための技術確立に対して、総合的な評価・検討を行う。特に、地球温暖化課題の状況変化を的確に反映し、それに対応すべくプロジェクトの運営を行い、プロジェクトの最終動向についての総合的な判断を行う。

以上のサブテーマ毎の計画に基づく研究開発スケジュールの概要は図 II-2-1 に示すとおりである。

➡ : 実績

| | | 2018年度 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------|----------|---------------|--------|
| SG1.鉄鉱石還元への水素活用技術の開発 | SG1-1.水素活用プロセス技術開発 | 試験高炉操業設計・解析とプロセス評価 | | | | |
| | SG1-2. 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査 | 還元材燃焼性の実験的評価・数値モデルによる条件評価 | | | | |
| SG2.COG 改質技術開発 | | | | BP2 解体調査 | | |
| SG3 高性能粘結材製造技術の開発 | | 試験装置開発・粘結材性能評価 | | | | |
| SG4 CO ₂ 分離回収技術開発 | | CO ₂ 吸収液及び触媒開発 | | | | |
| SG5 未利用低温排熱活用技術開発 | | 排ガス汚損対策・熱回収システム検討 | | | | |
| SG6 試験高炉によるプロセス技術開発 | | 試験高炉操業によるCO ₂ 削減効果検証 | | | | |
| SG7 実高炉部分検証によるプロセス技術開発 | | 調査・事前エンジニアリング | 試験時期再検討 | | 実高炉検証はGI基金へ移行 | |
| SG8 全体プロセスの評価・検討 | | CO ₂ 削減効果検討・全体評価 | | | | |

図 II-2-1 フェーズ II STEP1 研究開発の全体スケジュール

2.2 研究開発の実施体制

本プロジェクトは、以下に示す（社）日本鉄鋼連盟内に設置された COURSE50 委員会の研究組織（委託先の高炉メーカー4社（当初）及び日鉄エンジニアリング（株）で構成）が、NEDO の委託により研究開発を実施しているものである。但し、日本鉄鋼連盟及び COURSE50 事務局は、NEDO 委託の対象外となっている。従い、本プロジェクトにおいては、COURSE50 の研究開発・管理体制を活用し、NEDO 及び経済産業省が毎月の COURSE50 定例会議に参画することで実施状況の把握、情報の共有を図り、研究開発を推進している。

図Ⅱ-2-2 に研究開発の実施体制を示す。日本鉄鋼連盟内に下記の組織を置き、NEDO 及び経済産業省とも密接な関係を維持しつつ、プロジェクト全体の目標、並びに各サブテーマの目標を達成するための体制を構築している。

日本製鉄（株）フェロー 先端技術研究所長 野村誠治氏に研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を委嘱しその下で技術分野別に8つのサブテーマ(SG)を作り、参加会社がそれぞれの研究テーマを担当している。また、フェーズⅡでは各要素技術をより総合的に連携して推進するために、サブテーマ間の情報が相互に把握して課題の解決をするWGや会議体を設置した。

図Ⅱ-2-3 に委託先および再委託/共同実施先を示す。再委託/共同実施先については、それぞれが担当しているSGを記載した。

本技術開発では、NEDO と5社（当初）が委託契約を結び研究開発を実施している。日本の高炉メーカーの全てが参加し、日本鉄鋼業界の英知を結集した実施体制である。また、日鉄エンジニアリングは、高炉設備技術分野で高いレベルであり試験高炉建設に当たって先導的な役割を担うことができる。いずれの研究テーマも基礎検討及びプロセス評価プラント規模試験からの取り組みであり、基礎・基盤研究については、この技術分野の最先端の研究を進めている大学及び産総研、RITE の公的研究機関との産学連携により理論面での研究開発を促進している。

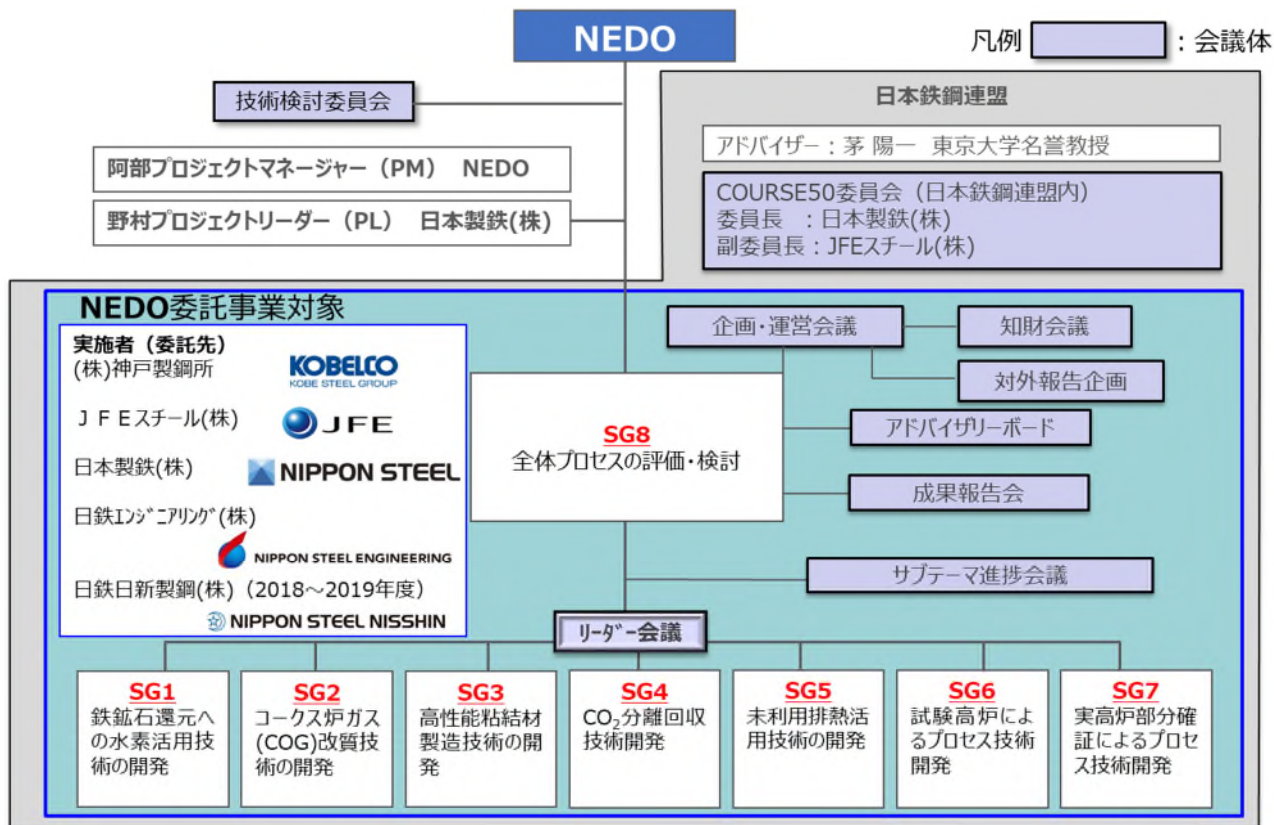
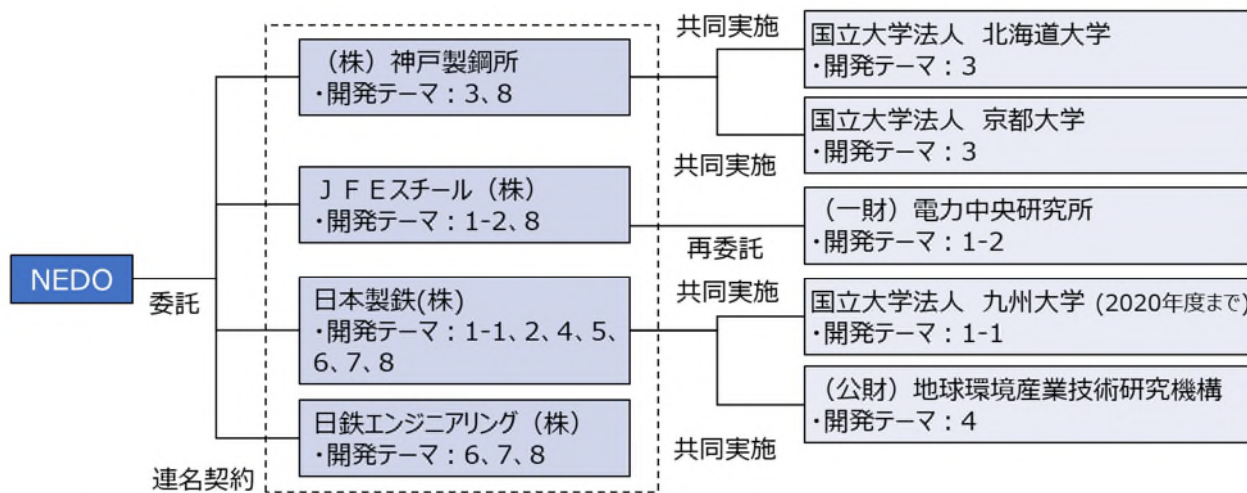


図 II-2-2 研究開発の実施体制

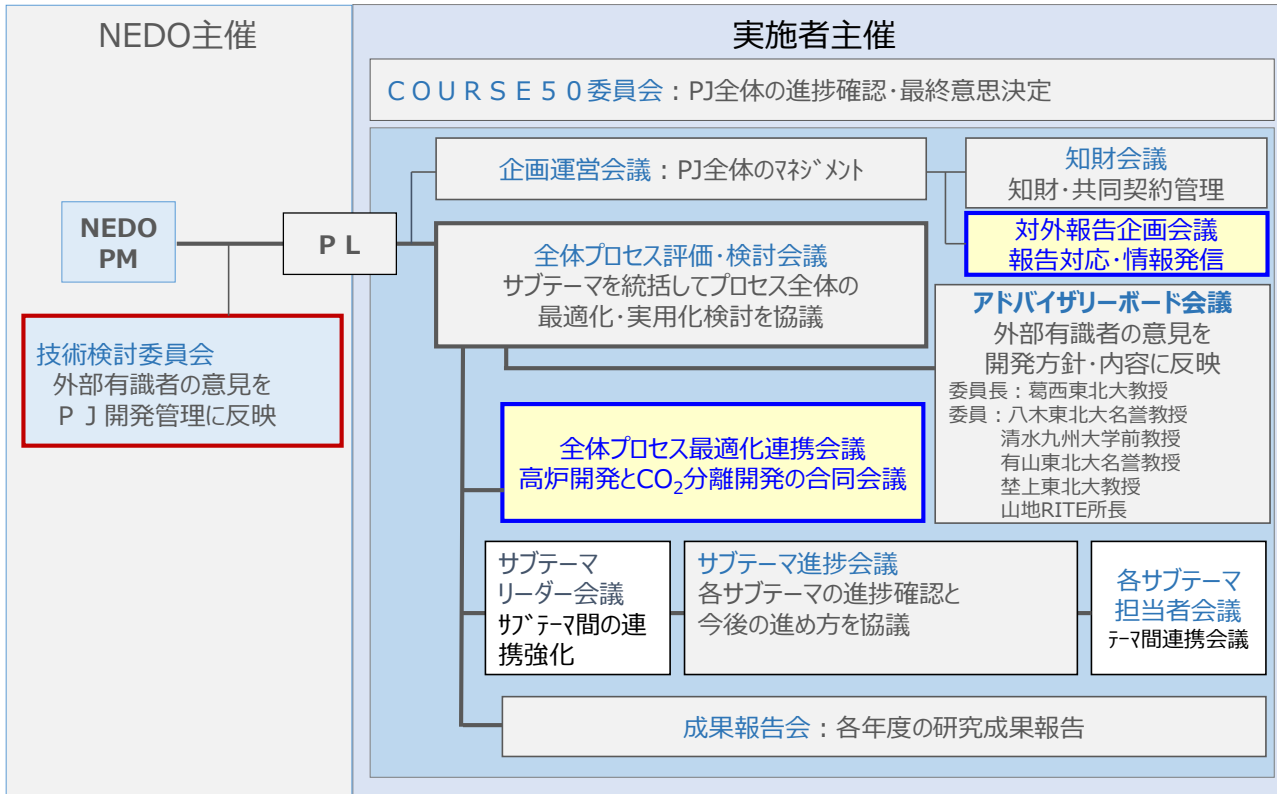


| 開発テーマ | | | |
|-------|---------------------------|---|---------------------------|
| 1 | 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発 | 4 | CO ₂ 分離・回収技術開発 |
| | 1-1 水素活用プロセス技術開発 | 5 | 未利用低温排熱活用技術開発 |
| | 1-2 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査 | 6 | 試験高炉によるプロセス技術開発 |
| 2 | COG改質技術の開発 | 7 | 実高炉部分検証によるプロセス技術開発 |
| 3 | 高性能粘結材ハンドリング技術の開発 | 8 | 全体プロセスの評価・検討 |

図 II-2-3 委託先及び再委託/共同実施先

2.3 研究の運営管理

研究の運営管理体制を図Ⅱ-2-4に示す。その内容は以下のとおりである。



図Ⅱ-2-4 研究の運営管理

NEDO内に技術検討委員会を設置し、専門的知見を有する外部有識者の方々から目標達成に向けた助言を得ることによって、より効率的に、かつ客観的な御意見に基づいて研究開発を進めている(表Ⅱ-2-2)。

表Ⅱ-2-2 技術検討委員会 委員(最終開催2021年5月28日時点)

| | | | |
|-----|-------|--|--------------|
| 委員長 | 亀山 秀雄 | 東京農工大学 | 名誉教授 |
| 委員 | 伊藤 公久 | 早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 | 教授 |
| 委員 | 小林 秀昭 | 東北大学 流体科学研究所 複雑流動研究部門高速反応流研究分野 | 教授 |
| 委員 | 巽 孝夫 | 株式会社 INPEX 再生可能エネルギー・新分野事業本部 再生可能エネルギーユニット | テクニカルコンサルタント |
| 委員 | 長坂 徹也 | 国立大学法人東北大学 工学研究科長・工学部長 | 教授 |

本プロジェクトでは毎月実施の「全体プロセス評価・検討WG」、「サブテーマフォロー会議」に経済産業省関係者及びNEDO関係者が参画することにより、本プロジェクトの進捗と方向性の確認、技術内容の議論、情報交換を行い、効率的なプロジェクトの推進を図っている。

< COURSE50 委員会 >

日本鉄鋼連盟内に設置し、実施会社におけるプロジェクト全ての業務の統括を行う。2回/年開催している。

表 II-2-3 COURSE50 委員会委員(最終)

| | | | |
|------|------------|-----------------|-------|
| 委員長 | 日本製鉄 | 代表取締役副社長 | 佐藤 直樹 |
| 副委員長 | JFE スチール | 専務執行役員 | 大河内 巖 |
| 委員 | 神戸製鋼所 | 執行役員 | 坂本 浩一 |
| | 日鉄エンジニアリング | 執行役員 製鉄プラント事業部長 | 岩槻 昭彦 |

< プロジェクトリーダー (PL) 体制 >

より効率的なプロジェクトの推進を図るため、研究開発の現場において指示・指導・調整の任にあたり、研究開発計画原案の策定、研究開発の実施における方向付け、研究成果のとりまとめ等の役割を担っている。

- 1) プロジェクト全体の計画立案および進捗管理
- 2) プロジェクト会議 (企画・運営会議、全体プロセス評価・検討WG) の運営
- 3) 対外報告・広報
- 4) 国際連携 (技術交流など)
- 5) その他 (プロジェクトが必要とした事項)

表 II-2-4 プロジェクトリーダー体制(最終)

| | | | |
|---------|----------|---------------|-------|
| PL | 日本製鉄 | フェロー 先端技術研究所長 | 野村 誠治 |
| 副 PL | JFE スチール | 理事 技術企画部長 | 渡辺 隆志 |
| PL 補佐 | 日本製鉄 | 技術開発企画部 部長代理 | 宇治澤 優 |
| 副 PL 補佐 | JFE スチール | 技術企画部 主任部員 | 石渡 夏生 |

< アドバイザリーボード >

主としてサブテーマ「製鉄プロセス全体の評価・検討」に対して各技術分野の外部有識者の意見を反映させることを目的として、フェーズ I に引き続き設置した。

表 II-2-5 アドバイザリーボード委員

| | | |
|------|-------------------|--------|
| リーダー | 東北大学大学院環境科学研究科 教授 | 葛西 栄輝 |
| | 東北大学 名誉教授 | 八木 順一郎 |
| | 九州大学 前教授 | 清水 正賢 |
| | 東北大学 名誉教授 | 有山 達郎 |
| | 東北大学大学院工学研究科 教授 | 埜上 洋 |
| | 地球環境産業技術研究機構 研究所長 | 山地 憲治 |

< 企画・運営会議 >

プロジェクトに関する実施会社の意思決定のための会議。1回/1ヶ月の頻度で開催。

<全体プロセス評価・検討WG（サブテーマ8）>

1回/月の頻度で開催し、各サブテーマ間の調整やサブテーマとは別に様々な視点でプロジェクト全体の最適化を検討。出席者はPL体制メンバー、各社WG委員、経済産業省、NEDO。

<サブテーマ進捗会議>

1回/2ヶ月開催して各テーマの進捗状況、実験計画について議論。出席者はPL体制メンバー、全体プロセス評価・検討WG委員、経済産業省、NEDO。

各サブテーマについて、1回/3ヶ月の頻度で進捗報告・議論を行い、研究の方向性や研究促進に反映できる体制を構築。

<成果報告会>

1回/年開催し、全てのテーマの1年間の進捗状況を報告、議論している。出席者は、実施者、NEDO、経済産業省の関係者全員。開催実績の最終は2022年3月31日である。

<知財会議>

プロジェクトを推進するための実施会社の情報の取り扱い、成果の取り扱いなどについて各社間の協議および協定書原案の策定、国内および外国における産業財産権の取得の推進、体外的な契約の協議などを行う。また、知財戦略WGを設置して、各サブテーマに適した知財権の確保を特許出願（国内、外国）、ノウハウ取得などの方策について検討して、具体的に有効な戦略的な産業財産権の取得を推進している。

<サブテーマ間の連携>

サブテーマを跨る技術課題を解決させるために、サブテーマリーダー会議、各サブテーマ担当者会議を設けて連携強化を進めている。また、サブテーマ8に係わる重点的な課題については、試験高炉WG、プロセス評価WG、新規技術創出研究WGを設けて、専門性を有しているメンバーによって検討する体制とし、検討結果を全体プロセス評価・検討WG（サブテーマ8）に適宜報告することとした。

2.4 研究開発成果の実機化に向けたマネジメントの妥当性

本プロジェクトは、地球温暖化防止のために実施するもので、COG 改質増量水素による一部水素還元を含む高炉法製鉄プロセスと、これまで製鉄所内で未利用の排熱を回収して得たエネルギーにより高炉ガスからCO₂を分離回収するプロセスを、実生産設備へ適用することを求められており、現状プロセスからCO₂排出量の30%削減を目指している。開発は、基礎研究（フェーズⅠ）とスケールアップ実証（フェーズⅡ）の大きく2つのステップが想定されており、フェーズⅠは10年間、フェーズⅡは8年間の研究期間を設けていたが、一部のフェーズⅡ-STEP1の研究開発を含むフェーズⅡ-STEP2以降の計画を、カーボンニュートラルの加速化に対応するためのGI基金へ移行することとなった。なお、基礎研究（フェーズⅠ）は、更に各開発要素の基礎、ベンチスケール試験を行う前半の5年間をSTEP1とし、開発した各要素を組合せ検証する後半の5年間をSTEP2とした。

最終的に、NEDOの委託事業として実施した事業はフェーズⅡの前半の5年間（STEP1）となった。2030年までに技術開発を完了して、CO₂貯留技術が確立すること、経済合理性が成立することを前提条件として、2030年頃に一号機を実機化する目標はGI基金の一部に引き継がれた。

本プロジェクトは、フェーズⅠ-STEP1からGI基金へと引き継がれた実機化技術の開発を完了するまでに20年以上と長期に亘るので、プロジェクトマネジメントも長期的な視点が重要となる。このため、実機化に向けた対応として、以下のマネジメントを実施した。

（1）実機化に向けた技術開発課題の抽出とその実施

実際の研究開発スケジュールでは、コークス炉ガス（COG）改質技術の開発やCO₂分離回収技術の検証等を着実に行うことに加えて、新たに試験高炉を活用した総合評価試験を実施した。これにより、これまで実験室レベルで取組んできた要素技術の検証を行うとともに今後の課題の把握を行った。また、並行して高炉シミュレータの確度を高めた。フェーズⅡにおいては、高炉操業シミュレーション技術の精度向上により、試験高炉の操業結果の解析や評価によって予定するスケールアップ試験において設計期間の短縮化を図り、実証期間の短縮化によって実機実証機の建設開始時期を早期化することにより、2030年に1基の稼働を目指した。

（2）全体プロセス評価・検討WGの設置

「高炉からのCO₂排出削減技術」、「高炉ガスからのCO₂分離回収技術」が約30%のCO₂削減にどの程度寄与するのかを明確にし、各要素技術の開発目標との整合性をとり、全体調整を行った。また、製鉄所全体について総合的に評価検討を行っており、全体最適化によるサブテーマの目標設定やサブテーマの成果によって変わり得るシナリオ代替などの検討を行った。

中間評価の後、最終目標及びCOURSE50最終目標の達成に向けた検討を実施し、GI基金移行への整合と最適化の検討も行った。

（3）知財戦略の策定と知財権の確保

本プロジェクトは、2030年以降の実機化を目標としていたことから、要素技術開発ステージであるフェーズⅠでは、現行プロセスに応用できる可能性があるものを優先して出願し、それ以外の技術はその実機化が想定される時期を勘案して、その時期や可否をそれぞれ判断して活動を進めてきた。一方で、COURSE50の成果を欧州や中国、韓国等の海外に開示して日本の技術力を積極的にアピールしていくことも重要であり、そのためにCOURSE50技術を知財権として確実に担保する必要があるがあった。

フェーズⅡでは実用化開発のステージであることを踏まえ、特許提案を強化した。

また、本プロジェクトの実施者は、NEDO知財方針に基づき、知財合意書として本研究開発の内容、当事

者間の業務分担、当事者が相互に開示する営業上及び技術上の情報の取り扱いその他必要となる事項について定める研究開発協定書を締結し、本研究開発を推進した。また、知財会議を整備し、海外への技術流出防止を意識した知財戦略を策定した。

さらに、全当事者は、共有成果に基づいて産業財産権の出願をしようとする場合、あらかじめ当該出願の是非、是とする場合の出願内容、その他必要となる事項について、当該プロジェクト体制に企画・運営会議を組織し、全当事者間でその都度協議の上決定する等の手順を定め、出願内容等を審議すると共に出願効率化を図った。また、成果を公表する場合は、対外報告ルールに則り実施した。

(4) 他分野の情報収集

製鉄プロセスのコア技術以外の領域については、外部の技術情報を調査して導入可能性を追求することを推進した。また、他プロジェクトとの交流による情報収集及び情報交換に関しては、鉄鋼メーカー（日本鉄鋼連盟）による世界の鉄鋼協会、鉄鋼企業等の CO₂ 削減プログラム実施状況調査、情報交換結果を反映し、本プロジェクトでは技術開発対象外の CO₂ 貯留についても NEDO で実施のプロジェクトの情報収集を行い、今後の検討に反映させた。さらには、CO₂ 発生量削減に関する戦略と技術の世界的な流れを注意深く精査して、世界の事情の変化に柔軟に対応した。

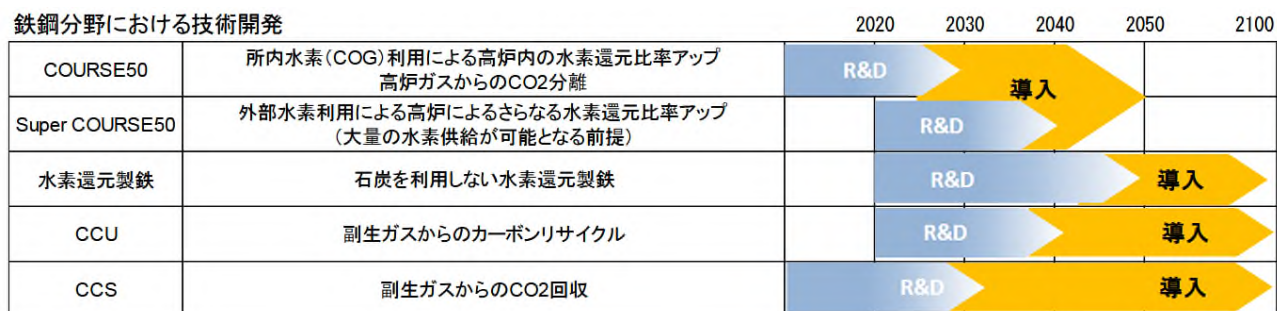
3. 情勢変化への対応

本プロジェクトのフェーズⅡ-STEP1は、フェーズⅠにおける要素技術の研究成果に基づいて実用化に向けた開発を実施するものである。フェーズⅡ-STEP1における8つのサブテーマを総合技術として構築するためには、各課題の研究進展および世界の技術開発動向によって軌道修正すべきアプローチもあると思われるので、幅広い視野にたった課題認識を持って全体システム最適化を図りつつ研究開発を推進した。

2018年度に開始したフェーズⅡ-STEP1において、2019年度までに3回の試験高炉操業を行い、高炉からのCO₂削減量10%の目途を得ていた。また、所内水素(コークス炉ガスCOG)利用だけではCO₂削減効果に限界があることが分かってきていた。

一方、2018年11月に日本鉄鋼連盟は長期温暖化対策ビジョン「ゼロカーボン・スチールへの挑戦」を発表し、将来に向け更なるCO₂削減を目指して、所内水素でなく、外部水素を利用した高炉法による水素還元の拡大技術 Super COURSE50 を掲げている。図Ⅱ-3-1に鉄鋼分野における技術開発ロードマップを示す。

以上の背景から、CO₂排出量10%削減の実現性を高めるため、また Super COURSE50 に繋がる技術を獲得するため、2022年度まで試験高炉を継続活用し、水素使用量の効率化と水素還元の拡大を狙った新たな要素技術開発に取り組み、目標を高炉からのCO₂削減10%以上に更新し、外部水素を追加導入して水素利用上限を見極める試験操業を実施した。また、当初、2020年以降に実施を予定していた高炉の実機を部分的に改造した試験(実機部分確性「全周羽口吹込み」)については、CO₂削減技術開発の状況をみながら、フェーズⅡ-STEP2の開始(2023年度)以降に行うこととしたが、一部のフェーズⅡ-STEP1の研究開発を含むフェーズⅡ-STEP2以降の計画を、カーボンニュートラルの加速化に対応するためのGI基金事業へ移行することとなったため、研究開発内容の切り分けを調整した。



図Ⅱ-3-1 鉄鋼分野における技術開発ロードマップ

出典：日本鉄鋼連盟長期温暖化対策ビジョン「ゼロカーボン・スチールへの挑戦」

4. 評価に関する事項

4.1 フェーズ I - STEP2 前倒し事後評価への対応

(1) フェーズ I - STEP2 前倒し事後評価の概要（総合評価）

環境安心イノベーションプログラム及びエネルギーイノベーションプログラムとして是非官民一体となって推進すべき研究開発である。製鉄業において、現業レベルから大幅な CO₂ 削減を実現しつつ国際競争力を有する革新的技術を開発するための要素技術も的確に抽出されており目標設定も妥当である。マネジメント体制もオールジャパン体制を敷いて有機的に連携して推進しており、各項目とも世界でもトップレベルの成果で、最終目標を大幅にクリアしている点は大いに評価できる。また、一部開発プロセスは実機稼働、CO₂ 削減に寄与している。

フェーズ I で設定した目標は十分に達成したが、未利用排熱活用技術の実機化への技術的見通しが、まだ十分に明確ではない。また、知的財産とノウハウの棲み分け戦略はできているが、一部、開発項目では特許出願が少ない。今後、基本特許だけでなく周辺特許も積極的に出願することが望まれる。

今後、実機化を目指して、さらなる研究開発を進めていただきたい。また、本事業成果は大いに世界に誇ることができるものであるので、今後積極的に国民並びに世界に向けてその成果を発信して欲しい。また、世界市場の大きな変化に対しては求められる技術も変化することから、全体プロセスの設計変更も必要であることを認める体制で進めることが望まれる。

費用対効果の算出は、今後本事業成果が実用化できるかの判断基準となるものなので、もっと厳格に行うべきである。

(2) フェーズ I -STEP2 前倒し事後評価への対応

プロジェクト全体に関する指摘事項への対応は表 II-4-1 のとおりである。全ての対応を基本計画書に反映し、それぞれ担当する SG および WG で対応している。

表 II-4-1 フェーズ I -STEP2 前倒し事後評価での指摘事項への対応

| 評価項目 | 分科会での指摘事項 | 指摘事項に対する対応 |
|-------------------|--|---|
| 事業の位置付け・必要性 | 費用対効果の算出は、今後本事業成果が実用化できるかの判断基準となるものなので、もっと厳格に行うべきである。 | 基本計画の全体プロセスの評価・検討に、「本事業の実現化を図るために、本事業適用時の市場規模、コース投入量低減によるコスト削減など経済的効果を詳細に検討する」を追加した。主にSG8で対応。 |
| 研究開発マネジメント | 製鉄所全体のエネルギー収支を慎重に検討し、プロセス成立性を明確に示すことが必要。 | 基本計画の全体プロセスの評価・検討に、「また、商用高炉とCOURSE50高炉の熱物質収支を比較し、プロセスの成立性・妥当性を検討する」を追記した。主にSG8で対応。 |
| 研究開発成果 | 基本特許だけでなく周辺特許も積極的に出願することが望まれる。 | 基本計画の全体プロセスの評価・検討に、「その際に技術優位性の確保を図るように強固な特許網を構築するために知的財産マップを作成し、基本特許を中心とした抜け漏れのない周辺特許出願を効果的に進める。」を追記した。知財管理WGで対応。 |
| 成果の実用化に向けた取組及び見通し | プロセスの実用化に向けた開発において、20%CO ₂ の回収に必要な熱エネルギーの確保が最も重要。熱回収プロセスの実用化に積極的に取り組む必要がある。 | 基本計画の未利用排熱活用技術の開発に、「本技術の水平展開を図り、他分野への早期実用化に取り組む」を追記した。主にSG5、SG8で対応。 |

4.2 中間評価への対応

(1) 中間評価の概要（総合評価）

高炉からの大幅な CO₂ 排出量削減を実現する本事業は重要なプロジェクトである。製鉄業のオールジャパン体制が構築されており、目標は変えずに達成のための道筋を変更するなど、柔軟な対応を行っている点は評価できる。水素還元技術について、中間目標を上回る排出 CO₂ 削減を達成する成果が得られ、その他多くのデータの取得、サンプルの採取、現象解析を進めており、数学モデルとの整合性もほぼ得られている。さらに、CO₂ 分離回収技術は一部事業化に移行しており、さらなる普及が期待できる。

一方、水素還元技術を商用高炉へ適応するには障壁があると想定されるので、課題抽出、計画策定などをより具体的に示すことを期待する。実用化に近い要素技術等については、本事業と別分野での実用化も目指すことが重要である。また、CO₂ 分離回収プロセスの熱源となる熱回収に関しては、手法や一連のプロセス構成の明示が望まれる。

さらに、2030 年の商用 1 号機の実現のためには、詳細な計画とマイルストーンの設定に加え、外部水素の製造プロセスにおける CO₂ 発生量を踏まえながら、コスト試算、CO₂ 排出削減効果の LCA 評価を実施することが望ましい。CO₂ 地中貯留・有効利用とカーボンフリー水素の調達に向けた検討に関しては、情報収集や関係機関との連携強化を期待したい。今後も、より国民の理解が得られるように本事業の広報活動を強化して頂きたい。

(2) 中間評価への対応

プロジェクト全体に関する指摘事項への対応は表 2-4-1 のとおりである。全ての対応を基本計画書に反映し、それぞれ担当する SG で対応している。

表 II-4-2 フェーズII-STEP1 中間評価での指摘事項への対応

| | 分科会での指摘事項 | 指摘事項に対する対応 |
|-------------------|--|--|
| 事業の位置付け・必要性 | 本事業は国際貢献、国際競争力等の観点からも重要な事業なので、競合対象国の技術開発動向に十分な配慮が必要であると思われる。 | 製鉄業における競合対象国の技術開発動向については、2019年度に調査を実施済みであり、引き続き事業者の協力も得て最新の情報を収集する。関連事業である「ゼロカーボン・スチール実現に向けた技術開発(2020～2021年度)」で対応。 |
| 研究開発マネジメント | 研究開発費の費用対効果の試算を入れて、アウトカムを精査することが望まれる。 | 水素の大量使用によるCO ₂ フリー水素市場の増大とコスト増、およびコークス削減量を考慮してアウトカムの精査を行い、基本計画書に反映した。 |
| 研究開発成果 | 試験高炉では、少ない水素でCO ₂ 削減効果を高めることに加え、水素利用上限(CO ₂ 削減限界)を見極める試験実施を期待する。 | 試験高炉においては、少ない水素でCO ₂ 削減効果を高めるだけでなく、水素還元拡大(CO ₂ 削減10%以上)を狙った技術開発を進める目標に更新し、外部水素を追加導入して水素利用上限を見極める試験操作を実施した。 |
| 成果の実用化に向けた取組及び見通し | CO ₂ 分離プロセスに必要な熱量の低減をプロセスから見直して、熱回収プロセスへの負荷を低減することが望まれる。 | CO ₂ 分離・回収技術については、引き続き熱量の低減化を実施し、実験室レベルで目標数値を達成し成果を上げた。 |

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

1.1 概要

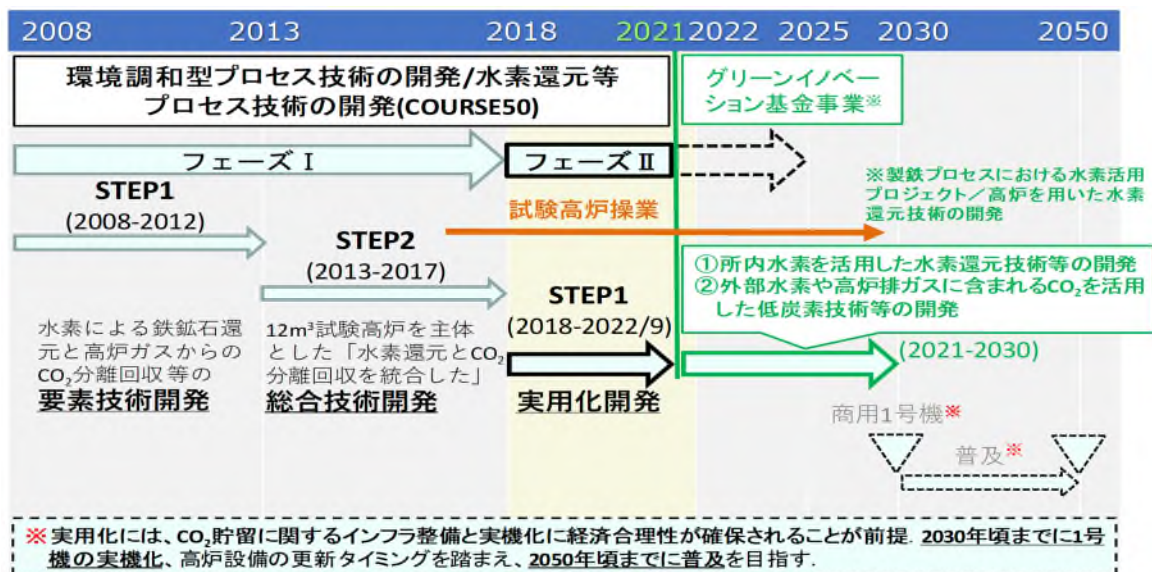
本 COURSE50 プロジェクトでは、世界に先駆けて、高炉の水素還元技術と高炉ガスに含まれる CO₂ を分離回収技術により、製鉄所から CO₂ 排出量約 30%削減を目標に技術開発に取り組んだ。

図Ⅲ-1-1 に示すように、本プロジェクトは 2008 年からの 5 ヶ年の要素技術開発(フェーズ I STEP 1)、2013 年からの 5 ヶ年の総合技術開発(フェーズ I STEP 2)を計画通り実施した。

フェーズ I STEP1 では、水素による鉄鉱石還元と高炉ガスからの CO₂ 分離回収等の要素技術開発を行った。次のフェーズ I STEP2 では、ステップ 1 で開発した要素技術を組合せ、10m³ 規模試験高炉を主体とした高炉の水素還元と高炉ガスからの CO₂ 分離回収を統合したパイロットレベルの総合技術開発を行った。その結果、COG および循環高炉ガスの羽口もしくはシャフトからの吹込みなどの統合操作で、高炉の CO₂ 排出量の約 10%が原理的に削減可能であることを実験(試験高炉)と理論(数学モデル)の両面から実証した。また、未利用排熱を活用した高炉ガス CO₂ 分離回収技術についても、高性能な化学吸収液・物理吸着剤を開発し、パイロットプラント試験を通じて CO₂ 分離回収効果を実証した。同時に高性能な排熱回収熱交換器を開発することで、高炉ガスから 20%の CO₂ 削減と分離回収コスト ≤ 2,000 円達成に目処を付けた。

フェーズ I の開発成果を踏まえ、実用化に向け、2018 年からフェーズ II STEP1 に開発移行し、試験高炉での常温水素多量吹き込みなどにより、高炉からの CO₂ 排出量 10%超削減を世界で初めて達成するとともに、新化学吸収液および最適触媒の開発や、高効率な未利用排熱回収技術の開発により、CO₂ 分離回収コスト 2,000 円/t-CO₂ を実現する技術の確度向上を図り、フェーズ I で開発した分離回収エネルギー原単位 2.0GJ/t-CO₂ を大きく超える世界トップレベルの 1.6GJ/t-CO₂ に到達した。

フェーズ II は、当初の計画では 2018 年から 2025 年の 8 カ年の事業計画であったが、2050 年カーボンニュートラルに向けた GI 基金事業が新たに開始することに伴い、本事業フェーズ II ステップ 1 は、2022 年度をもって実質 5 カ年で発展的に終了し、COURSE50 事業で得られた成果を足掛かりに、GI 基金事業の中で、COURSE50 の大規模実証、ならびに Super COURSE50 の開発を進めていくこととなった。尚、COURSE50 の実装化については、CO₂ 貯留に関するインフラ整備と実機化に経済合理性が確保されることを前提に、2030 年頃までに 1 号機の実用化、高炉関連設備の更新タイミングを踏まえて、2050 年頃までの普及を目指す。



図Ⅲ-1-1. 本事業の開発ステップ

1.2 成果概要

1.2.1 最終目標の達成状況

表Ⅲ-1-1 プロジェクト全体の目標と達成状況

| 研究開発項目 | 最終目標 (2022年度末) | 成果 | 達成度 |
|--|--|---|-----|
| 研究開発項目 (a) 高炉からのCO ₂ 排出削減技術開発 | <ul style="list-style-type: none"> 高炉からのCO₂排出10%以上削減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。 高炉の実機部分確性「全周羽口吹込み」試験は上記CO₂削減技術開発の状況をみながら、フェーズⅡ-STEP2の開始以降に行い、上記目標達成に資するとしていたがフェーズⅡ-STEP2以降の研究開発内容がGI基金事業へ移行したことに伴い、本事業の範囲外となった。 | <ul style="list-style-type: none"> 実験(試験高炉)と理論(数学モデル)の両面から、常温水素系ガス吹込み操作により、高炉からのCO₂排出10%以上削減が技術的に可能であることを立証した。 実機を用いた「全周羽口吹込み」試験については、GI基金事業において実施する。また、同事業において、水素還元を最大化を狙ったSuper COURSE50開発を行う。 | ○ |
| 研究開発項目 (b) 高炉ガス(BFG)からのCO ₂ 分離回収技術 | <ul style="list-style-type: none"> CO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂を実現可能な技術の充実を指向し、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂を達成し、CO₂排出削減量約20%の技術に資する。 | <ul style="list-style-type: none"> 混合溶媒系の新吸収液を開発し、ラボ連続試験において熱量原単位1.60GJ/t-CO₂に到達した。 | ○ |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | ・開発した吸収液と熱交換器を用いて排熱回収コストを試算し、CO ₂ 分離回収コスト目標は達成可能であることを確認した。 | |
|--|--|--|--|

◎;大きく上回って達成、○;達成、△;達成見込み、×;未達

1.2.2 サブテーマ毎の成果概要

(a) サブテーマ①鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

(a-1) 水素活用プロセス技術開発

高炉3次元数学モデルを用いて第5回～第10回試験高炉の操業設計・操業解析を実施し、羽口からの水素系還元ガス吹込み量の増加により、高炉工程におけるCO₂排出量10%超削減を確認した。また、試験高炉操業解析を通じて上記数学モデルの精度を向上させた。

(a-2) 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査

燃焼試験炉を使用して微粉炭吹込み量、模擬COG等の還元ガス吹込み量、および送風温度や酸素濃度等の送風条件等を変更した実験を実施し、微粉炭燃焼率、レースウェイ内温度、ガス組成、およびレースウェイ形状等を測定し、操業条件がこれらに及ぼす影響を整理した。さらに試験高炉または実高炉スケールで微粉炭吹込み量、微粉炭中揮発分量、模擬COG等の還元ガス吹込み量、還元ガス吹込み温度、および送風温度や酸素濃度等の送風条件等を変更した数値計算を実施し、操業条件が吹込みランス温度等の羽口周辺設備に及ぼす影響、および還元材の燃焼性に及ぼす影響を整理した。試験高炉の操業条件におけるランスの安全性を評価し、試験高炉の操業設計に寄与した。

(b) サブテーマ②コークス炉ガス(COG)改質技術の開発

高温のCOGを長期流通させて改質試験を行ったCOG改質ロングラン試験設備を解体し、主要機器における鋼材をサンプリングの上、各サンプルにおいて、断面観察、組織観察、EPMA分析等を行い、鋼材の粒界腐食、浸炭、脱炭、硫化などの進行有無を調査した。耐熱性ステンレス、耐熱性合金、耐熱鋳鋼を使用すれば、粒界腐食、浸炭、脱炭、硫化などは、板厚に対してごく軽微で健全であり、COG改質試験での使用条件では、使用した鋼材は、高温水素系ガス吹込み設備の材料として問題ないことを確認した。本分析結果を、試験高炉の高温水素系ガス吹込み設備の設計にも共有化し、今後の設備設計の指針として進めることとした。

(c) サブテーマ③高性能粘結材製造技術の開発

(c-1) 高性能粘結材製造技術の開発

・熔融粘結材連続排出技術の開発

高性能粘結材(HPC)製造プロセス溶剤回収工程での操作温度範囲で変化する熔融HPCの粘度を実測するために導入した高温対応型粘度測定装置を用いて様々な石炭種由来のHPCの熔融粘度を測定した。ニュートン流体の粘性変化を表現するアンドレイドの式を基本に粘度測定値を温度項や溶剤濃度項をフィッティングした熔融HPC粘度推算式に石炭性状項を付加して幅広い石炭種に対応できる粘度推算式を確立した。この粘度推算式を用い、工程内の変動する熔融HPCの幅広い粘度範囲に対応しつつHPCへの残留溶剤を回収可能な加熱型二軸スクリーナー方式の熔融HPC連続移送・排出装置を

製作し、高い溶剤分離性能や安定的な連続排出性能を発揮することを確認し、更に幅広い炭種変動に対するプロセスロバスト性を実証した。本方式で製造したHPCが、高強度かつ反応性を制御したコークスを製造する高性能粘結材として活用できる事を確認し、高性能粘結材製造プロセス構築の目処を得た。

・溶融状態高性能粘結材の分子運動性に関する研究

溶剤回収工程での温度上昇に伴うHPCのmobile分子（溶融し液状になった成分）の量や運動性といった量的質的变化について、¹H-NMRを用い原料石炭種変動の影響を調べた。その結果、本法で測定したmobile分子の挙動が原料石炭種変動によるHPCの粘度変動と相関すること、及びHPCが製造プロセス内の熱履歴に対して安定であることを確認し、溶融HPCの粘度変化が分子運動性の観点から説明できることを確かめた。

・溶融状態高性能粘結材の熱履歴に伴う分子構造変化に関する研究

原料炭種幅の変動や溶剤回収工程における加熱条件や気相ガスの影響に対するHPCの分子構造およびフラクシオネーション構成と溶融HPC粘度の関係性を調べた。加熱条件が分子構造に影響を与える事がない事を確認し、溶剤回収条件範囲でHPCの粘度が影響を受けない事を整理した。原料炭種や気相ガスによる分子構造やフラクシオネーションの変動に対する粘度との相関は認められなかったものの、各々の因子を反映した指数、すなわちHPC全体の分子凝集構造の代表指数である揮発成分値と粘度値に高い相関を有する事を明らかにした。

(d) サブテーマ④CO₂分離・回収技術開発

(d-1) 高性能吸収液の開発

新規の混合溶媒系吸収液を検討し、CAT-LAB 小型連続試験装置を用いて性能評価の結果、分離回収エネルギーは1.60 GJ/t-CO₂を確認した。本吸収液は、従来の水溶液系吸収液と比較して、耐久性や安全性は同程度、金属腐食性はやや大きい、実用化可能な範囲にあることを確認した。また、実用吸収液に対し、CO₂吸収速度の向上効果を発現する水溶性触媒を開発した。

(e) サブテーマ⑤未利用排熱活用技術の開発

(e-1) 未利用低温排熱回収技術開発

・製鉄所実排ガスの分析を実施し、熱交汚損原因となるコールタール成分はナフタレンであることを確認した。

ラボ試験により実機稼働時の温度条件ではナフタレン揮散速度が大きいことを確認し、実操業での付着防止の可能性を見出した。

製作コストを低減し、社会実装を進めることを目的として熱交換器3号機を設計、製作し、加圧水に対応できる耐圧1 MPaを有し、目標伝熱性能である温度効率66%を達成することを確認した。以上の結果より実機にて用いるべき熱交換器の諸元が明確化された。

・製鉄所実排ガスをを用いて伝熱面温度および材質を変化させた際の付着物状況を調査し、熱交換器の操業条件では付着物の発生を防止できることを確認した。

汚れ付着による性能劣化程度を試算し、汚れ付着を考慮しても目標とする高温側温度効率66%で700時間相当の熱回収性能を維持できることを確認した。

化学吸収プロセスの最近の開発成果を踏まえて排熱回収コスト全体を再評価し、CO₂回収コスト目標2,000円/t-CO₂に必要な蒸気製造コストを達成可能であることを示した。

(f) サブテーマ⑥ 試験高炉によるプロセス技術開発

(f-1) 試験高炉による水素還元総合最適化開発

2018～2021年度の4年間に6回の操業試験を計画通り実施した。試験の結果、常温水素系ガス吹込み操作により、目標通り、試験高炉規模で高炉からのCO₂排出削減10%以上を達成し、その再現性についても確認した。また、投入H₂量と水素還元量には明確な相関があること、試験高炉における炭素消費量は吹込む水素系ガス種に依存し、同じ投入H₂量であれば純水素が最も炭素消費量削減効果が高いことを見出した。一方、投入H₂量の増加に伴う富化酸素量の増加に起因する炉頂温度の低下は、送風操作で制御可能であることが分かった。更に、Super COURSE50の開発に向け、高温水素流送方法を確立し導入すると共に、試験精度向上のため、コークス水分制御設備、炉内状態観測装置を導入した。新冷却方式の送風設備と高気密設備も計画通り導入した。

(g) サブテーマ⑦実高炉部分検証によるプロセス技術開発

(g-1) 実機部分確性「全周羽口吹込み」試験の検討

当初、2022年度に実高炉を用いた水素系ガス「全周羽口吹込み」試験を実施する予定であったが、開発計画の変更に伴い、フェーズⅡ-STEP1の完了以降に実機試験を行うこととなった。

本技術開発では、実高炉を用いた水素系ガス「全周羽口吹込み」試験の事前準備として、高炉2基を有し、COG(コークス炉ガス)を高炉多用時下工程にエネルギー供給手段を備える製鉄所を前提に、事前エンジニアリングを実施し、CO₂削減効果及び実機化に必要な設備基本構成等を把握した。

(h) サブテーマ⑧全体プロセスの評価・検討

(h-1) 全体プロセス評価・検討

プロジェクト最終目標「製鉄所からCO₂排出30%以上削減達成」に向けて各サブテーマで開発した技術を統合し、一貫製鉄所へのCOURSE50技術導入時のCO₂削減効果を粗鋼生産量800万トンのモデル製鉄所を前提に、製鉄所全体の物質・エネルギー収支モデルを用いて検討・評価した結果、

- ・COURSE50で開発した高炉水素還元技術およびCO₂分離回収技術を製鉄所に導入すれば、製鉄所全体でPJ目標CO₂30%以上削減は達成可能であるとの見通しを得た。

- ・現行の炭素ベース製鉄所にCOURSE50技術を導入して、経済合理性を確保してCO₂低減を図るためには、現状の水素価格に対して、水素価格の大幅低減が必要であると計算された。

また、地球温暖化課題の内外の状況変化を的確に反映し、それに対応すべくプロジェクトの開発方針や開発計画の見直し・変更「高炉からのCO₂排出削減技術に関して、更なる削減を目指した水素還元の拡大技術開発への移行」を行い、事業を推進した。

1.2.3 知的財産等の成果概要

2022年11月段階での研究開発成果（成果発表、特許出願）を示す。

| 件名 | 件数 |
|------------|-----|
| 1.特許出願件数 | 21 |
| 2.査読有論文発表数 | 25 |
| 3.査読無論文発表数 | 17 |
| 4.その他外部発表 | 307 |

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

本事業における実用化とは、本事業の成果により、水素還元等を活用した高炉、及び未利用排熱を活用した高炉ガスからのCO₂分離回収を、製鉄所に実現する技術を確認することである。事業化とは、上記技術が製鉄事業に組み込まれることである。

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

【成果の実用化・事業化の戦略】

- ・コスト低減、経済性の確保のために本PJ計画変更（試験高炉研究継続、水素活用還元技術の深化による水素使用量低減等）を実施した。
- ・数学モデルの活用により、実証高炉(100t/d)を行わずに実証研究を推進することで、本PJ計画変更による実用化計画の遅延防止と開発費用の削減を図った。
- ・COURSE50で開発した高炉水素還元技術およびCO₂分離回収技術の成果・知見を足掛かりに、GI基金事業においてCOURSE50技術の実用化・事業化に取り組むとともに、2050年カーボンニュートラルに向けた高炉の革新技术開発に挑戦する。

【想定する市場の規模・成長性等】

- ・全世界の粗鋼生産の7割は高炉転炉法で作られている。昨今、水素還元技術の提案がなされているが、本手法による多量の鋼材が生産されるのは、2050年以降であり、今後も、先進高炉技術（既存製鉄所におけるCO₂削減技術）の市場は存在する。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

【実用化・事業化活動の実施者】

- ・本開発の成果は本事業を実施した国内高炉メーカーおよびエンジニアリング会社により、実用化・事業化活動を行う。
- ・知財権確立と導入国からの対価を前提とし、国外へ技術提供も模索していく。

【実用化・事業化の計画及びマイルストーン】

- ・本事業成果の社会実装化および本事業成果を活用したカーボンニュートラル技術開発への展開のため、GI基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発」の中で、COURSE50技術の実用化への取組を継続するとともに、2050年カーボンニュートラルに向けた高炉の革新技术開発に挑戦する。

【高炉の水素活用還元技術の継続・展開】GI基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発：1-①所内水素を活用した水素還元技術等の開発」で、実機実証試験を行い、その結果を踏まえ、2030年ごろの商業1号機の建設に向けて、具体的なエンジニアリングを行う。また、GI基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発：1-②外部水素や高炉排ガスに含まれるCO₂を活用した低炭素等の開発」で、水素還元の最大化を狙ったSuperCOURSE50高炉の開発を行う。

【高炉ガスからのCO₂分離回収技術の継続・展開】GI基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発：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」で、CO₂分離回収コスト低減のための新規高性能吸収液の実用化開発を行うとともに、高炉以外での実用化を進めながら、将来CCSやCCUの技術が確立したタイミングで、製鉄所導入に向けた具体的なエンジニアリングを行う。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

【実用化・事業化に向けての課題とその解決方針】

・実用化・事業化の課題は技術確度の向上と CO₂ 削減コストの低減であり、その解決（必要水素量低減など）を目指してプロジェクトの計画変更を実施した。

【研究成果のニーズと経済性の確保】

・水素還元などのカーボンニュートラル技術は開発期間が長期にわたるため、本成果は早期の CO₂ 削減ニーズを満たすものである。

・本プロジェクトの計画変更（試験高炉研究継続、水素活用還元技術の深化等）により、CO₂ 削減コスト低減、経済性の確保を模索。（今後、鉾石・石炭・鋼材の価格動向、グリーン電力・水素価格の低下などを加味して、経済効果の最大化を追求していく。）

【波及効果】

・CO₂ 分離回収技術は製鉄以外の分野で早期商用化を行っており、積極的に技術を活用することで、社会に貢献している。

「環境調和型プロセス技術の開発」基本計画

環境部、省エネルギー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

本事業の目的は高炉法による一貫製鉄所のCO₂発生量を抜本的に削減し、地球温暖化防止に貢献するため、高炉からのCO₂の発生量を減少させる技術、及び発生したCO₂を分離・回収する技術を開発することである。

鉄鋼業は我が国産業部門の中でCO₂発生量の約39%、国全体の約14%を占める(2013年度)最大のCO₂排出業種であり、その中でも特に排出量の多い高炉法による製鉄プロセスにおいては地球温暖化対策として抜本的なCO₂排出量の削減が求められている。

しかしながら、我が国の鉄鋼業についてみると、製鉄技術は既に世界最先端の水準にあり、廃熱や副生ガスの利用による省エネルギーも極限に達しているため、ポスト京都議定書に向け世界規模でのCO₂削減を実現するためには、革新的な製鉄プロセス技術開発が必要とされている。2007年5月に発表された地球温暖化に関する総理のイニシアティブ「美しい星50(Cool Earth 50)」においても、示された三原則の一つとして「省エネなどの技術をいかに、環境保全と経済発展とを両立すること。」が提言されており、「革新的技術開発」の一例として本技術開発が位置付けられているところである。

上記のイニシアティブを踏まえて2008年3月、全世界の温室効果ガス排出量を現状に比べて2050年までに半減するという長期目標実現に向け、経済産業省において「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」が策定されている。その中において革新的製鉄プロセスは効率の向上と低炭素化の両面から、CO₂大幅削減を可能とする「重点的に取り組むべきエネルギー革新技術21」の一つとして位置付けられている。

また、その後策定された環境安心イノベーションプログラム基本計画(2010年4月)、及びエネルギー基本計画(2014年4月)に基づくエネルギー関係技術開発ロードマップ(2014年12月)においても、革新的技術のひとつとして「環境調和型製鉄プロセス」が選定された。

本技術開発においては、これまで水素還元活用プロセスとして、コークス製造時に発生する高温のコークス炉ガス(COG)に含まれる水素を増幅し、コークスの一部代替に当該水素を用いて鉄鉱石を還元する技術、及び高炉ガス(BFG)からCO₂を分離するため、製鉄所内の未利用排熱を活用した革新的なCO₂分離回収技術の開発に取り組んできた。これらの技術開発においてフェーズI-STEP1(2008~2012年度(5年間))として要素技術開発を実施した。フェーズI-STEP2(2013~2017年度(5年間))において要素技術を組合せたパイロットレベルの総合実証試験を行った後、フェーズII-STEP1(2

018～2022年度（5年間）での実用化開発を経て、最終的に製鉄所における現状の全排出レベルに比較して約30%のCO₂削減を可能にする技術の確立に資する。

一方、フェロコックス技術の開発は、資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発（2009～2012年度（4年間））において要素技術開発を実施し、既の実証段階に到達しているプロセスである。本プロセスでは、一般炭と低品位鉄鉱石の混合成型・乾留により生成された金属鉄の触媒作用を利用して還元を低温で行い、還元効率を飛躍的に高めた革新的塊成物（フェロコックス）を使用することで投入するコークス量を削減できる省エネ技術開発である。本プロセス技術で得た知見や成果を、水素還元活用プロセスの中に取り込むことで省エネ、CO₂削減効果を最適化できるメリットを享受できることから、2017年度より、フェロコックス技術の開発を加えて一体化することにした。本プロセスでは、今後、フェロコックス製造量300 t/dの規模の中規模設備を建設し、フェロコックス製造技術を確立するとともに、中規模設備で製造したフェロコックスを溶銑製造量10,000 t/dの実高炉に連続的に長期装入したときの高炉の還元材比や操業安定性（特に通気性）に及ぼす影響を確認し、最終的に製鉄プロセスのエネルギー消費量を10%削減する技術の確立に資する。

(2) 研究開発の目標

研究開発項目 1. 水素還元等プロセス技術の開発(フェーズⅡ－STEP 1)

①アウトプット目標

【フェーズⅠ－STEP 1 中間目標（2010年度）】

最終目標を達成するための主要構成技術の目途を得る。

【フェーズⅠ－STEP 1 最終目標（2012年度）】

① 高炉からのCO₂排出削減技術開発

- ・水素などによる鉄鉱石還元メカニズムと反応制御の基礎技術を確立する。
- ・水素の増幅率を2倍とするコークス炉ガス（COG）改質技術を確立する。
- ・水素還元高炉用のコークス強度（ドラム強度）DI ≥ 88を満足する高強度コークス製造技術を確立する。

② 高炉ガス（BFG）からのCO₂分離回収技術開発

- ・高炉ガス（BFG）からのCO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂（「分離回収法開発ロードマップ（CCS2020）」に示された目標）を可能とする技術の見通しを得る。

【フェーズⅠ－STEP 2 中間目標(2015年度)】

(a) 高炉からのCO₂排出削減技術開発

- ・水素還元の効果を最大限とするための技術をラボレベルで検討し実現性、有効性に対するめどを得て具体的な実証試験の計画を立案する。
- ・10 m³規模試験高炉の建設を完了させる。
- ・触媒を用いてCOGに含まれるタールや炭化水素を水素に改質する技術において高炉への吹き込みガス用としての改質反応の最適化、改質触媒の活性劣化対策技術の確立を図る。

- ・メタン改質等の総合的に改質向上に資する要素技術のめどを得る。

(b) 高炉ガス（BFG）からのCO₂分離回収技術開発

- ・CO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂を実現可能な技術の充実を指向し再生温度、分離回収エネルギーの低減などの技術開発のめどを得る。

【フェーズⅠ－STEP2最終目標(2017年度)】

(a) 高炉からのCO₂排出削減技術開発

- ・10m³規模試験高炉により高炉からのCO₂排出量を削減する技術を確立する

(b) 高炉ガス（BFG）からのCO₂分離回収技術開発

- ・高炉ガス（BFG）からのCO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂(「分離回収法開発ロードマップ(CCS2020)」に示された目標)を可能とする技術を確立する。

【フェーズⅡ－STEP1中間目標(2020年度)】

(c) 高炉からのCO₂排出削減技術開発

- ・高炉からのCO₂排出削減量約10%達成の見通しを得る。

(d) 高炉ガス（BFG）からのCO₂分離回収技術開発

- ・分離回収エネルギー改善としての、吸収形態改善と分極影響の緩和の両技術の改善に新規技術を見出すことで、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂達成への要素技術を構築する。

【フェーズⅡ－STEP1 最終目標 (2022年度)】

(c) 高炉からのCO₂排出削減技術開発

- ・高炉からのCO₂排出10%以上削減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。

(d) 高炉ガス（BFG）からのCO₂分離回収技術開発

- ・CO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂を実現可能な技術の充実を指向し、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂を到達し、CO₂排出削減量約20%の技術に資する。

②アウトカム目標

2030年に実用化開始を目指し、製鉄所における現状の全排出レベルに比較して総合的に約30%(185万tCO₂/年、2030年に初号機1基で適用時を想定)のCO₂削減可能

な技術を確認することで、地球温暖化防止に貢献する。また、コークス投入量の削減により29億円規模/年の経済効果が見込まれる。(炭素税等、条件が変化した場合の規模)

これらの運転実績を踏まえて、2050年までに国内で稼働中の高炉27基に適用した場合で、CO₂削減4,990万t-CO₂/年、コークス投入量の削減により800億円規模/年の経済効果を見込む。また、高炉を水素還元活用型に更新するための改造市場として2兆7,000億円規模を見込む。さらに、鉄鋼の海外生産及び海外製品の輸入を抑制し、国内高炉を操業することにより、鉄鋼業(製造業)の国内総生産市場18兆円維持に貢献する(炭素税等、条件が変化した場合の規模)。一方、製鉄プロセスにおいて水素を使用することにより、2,600億円規模/年の水素市場の拡大を見込む(高炉による粗鋼生産量を7,000万t/年、溶銑比率を93%、溶銑1t当たりの水素使用量を200Nm³、水素の単価を2050年に20円/Nm³と仮定した場合)。

③アウトカム目標に向けた取組

本事業で開発した新型高炉(水素還元活用+CO₂分離回収)の国内導入と並行して、海外への展開についても検討する。

また、本事業で開発した技術優位性の高い要素技術(高炉内3次元シミュレーション技術、高効率熱交換技術、CO₂分離回収技術等)を他の産業界へ水平展開し、社会貢献を進める。そのため、要素技術の対外発表を積極的に進めると共に、関連分野技術のベンチマーキングを行ったうえで、協業を含めたオープンイノベーションに取り組む。

研究開発項目2. フェロコークス技術の開発

①アウトプット目標

【中間目標(2020年度)】

(a) フェロコークス製造中規模設備(以下「中規模設備」という。)での製造技術実証

a-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立

a-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

- ・混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプを完成させ、混合均一性の計算ができることを確認する。
- ・300t/dの実証設備を建設し、連続一貫製造の負荷運転を実施する。
- ・フェロコークスが設計どおりできることを確認する。

指標1:原料の均一混合技術の確立(個体3種類、液体1種類の混合)混合度95以上(ラボ実験)

指標2:乾留後塊成物のドラム強度:DI150/15 \geq 80(ラボ実験)

(b) 一般炭,低品位原料使用時の製造技術

- ・使用可能な一般炭 2 銘柄及び低品位鉄鉱石 2 銘柄の選定を完了させる。
- ・一般炭と低品位鉄鉱石、及び (d) で製造した固形新規バインダーを用い、ラボスケールの成型試験を行い、各配合比率等の成型条件を確立する。

指標：成型物の強度（I型ドラム強度）： $ID30/15 \geq 85$ （ラボ実験）

(c) 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

- ・ラボ検討に基づきフェロコークスを実炉に装入するための適切な装入方法を提示する。
- ・フェロコークスの高炉への装入設備の設置を完了させる。

指標：フェロコークスの実高炉への装入量 3 kg/t 程度で、安定して装入できることを確認する。

(d) 新バインダー強度発現実証

- ・中規模設備に供し得る新規固形バインダーを試作する。
- ・液体新規バインダーの試作をおこない、タブレットスケールで所定の冷間強度を確保できることを実証する。
- ・フェロコークスブリケットの冷間強度予測モデルのプロトタイプの作成を完了する。バインダー及び鉄鉱石を配合した塊成物をモデル物質として強度評価を実施し、モデル計算結果との比較を実施する。

指標：液体新規バインダーの製造オプションの提示。

(e) フェロコークス導入効果の検証

- ・中規模設備で製造したフェロコークスの高温性状の調査を実施する。
- ・(d) で開発した新規固形バインダーと新規液体バインダーを用いてラボスケールで作成したフェロコークスの反応速度を調査し、反応モデルに組み入れる。

【最終目標(2022年度)】

(a) 中規模設備での製造技術実証

- a-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立
- a-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

- ・生産量 300 t/d で長期間安定稼動が可能なことを実証する。
- ・高炉装入に耐えうる乾留物の最適製造条件を確立する。
- ・混合・攪拌シミュレーションモデルを用い、均一性を確保できる運転条件を提示する。

指標1：原料の均一混合技術の確立（固体3種類、液体1種類の混合）：混合度95以上

指標2：乾留後塊成物のドラム強度： $DI150/15 \geq 80$ (*)

(*)「資源対応力のための革新的製鉄プロセス技術開発」において、フェロコークス製造量 $27.5 \text{ t/d} \sim 30 \text{ t/d}$ とし、乾留炉操業30日間で740tのフェロコ

ークスを製造した際、目標強度 $ID30/15 > 81$ 以上の歩留りが 93.5% であった。

(b) 一般炭、低品位原料使用時の製造技術

- ・ラボスケールでの試験結果から、原料（鉄鉱石、石炭）の絞込みを行う。これら原料がフェロークス用原料として適していることを検証する。

指標：成型物の強度（I型ドラム強度）： $ID30/15 \geq 85$

(c) 実高炉でのフェロークス長期使用、効果検証

- ・高炉への長期装入試験を行い、高炉の還元材比や高炉操業の安定性に及ぼす影響を評価する。また、製鉄工程における省エネ効果に及ぼす影響を把握し、(e)の数值シミュレーションと合わせ、目標の省エネ 10% を達成する。

指標：連続操業試験：30日以上

(d) 新バインダー強度発現実証

- ・新規固形バインダーの実証技術開発計画案を提示する。
- ・所定の強度を実現しうる液体新規バインダー製造プロセス案を提示する。
- ・フェロークスブリケットの冷間強度予測モデルを提示する。

指標：(a)及び(b)の達成に資するものであり、指標その他は(a)、(b)と同じ

(e) フェロークス導入効果の検証

- ・フェロークスの実高炉使用時の操業結果を数学モデルを用いて高精度にシミュレートする。
- ・中規模設備で製造したフェロークスの反応速度を調査し、反応モデルを構築する。

指標：評価方法の確立と省エネ効果(目標 10%)の確認

((e)の数值シミュレーションと(c)(実高炉でのフェロークス長期使用、効果検証)の結果と合わせ、目標の省エネ 10% を検証する)。

②アウトカム目標

2030年頃までに $1,500$ トン/日規模の実機5基を導入し、溶鉄製造量 $2,000$ 万トン/年 (400 万 t/年高炉5基) に対して、省エネルギー効果量として原油換算量で 19.4 万 k l/年、 CO_2 削減量は 82 万 t/年を見込む。また、フェロークス原料炭の一般炭への利用拡大を進めることにより、約 280 億円の経済効果を見込む。

③アウトカム目標に向けた取組

2023年頃までに、実高炉(1基)において、製鉄プロセスのエネルギー消費量の 10% 削減する技術の確立を目指す。

また、中規模設備 (300 t/d) での製造技術の実証後、当該設備を増強し、実用化する(2030年頃)。

(3) 研究開発の内容

研究開発項目 1. 水素還元等プロセス技術の開発(フェーズII-STEP1)

本技術開発(フェーズⅡ)では、CO₂発生量を大幅に削減する、環境に調和した製鉄プロセスの開発として、世界最大規模の試験高炉と3次元高炉数学モデルの活用で、送風操作の可能性を最大限追求する。CO₂分離回収技術においては、実証試験とマッチングできるCO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂以下を深化する技術を開発するため、高性能化学吸収液等の開発、未利用排熱活用技術の適応研究を実施し、更なるコスト低減技術の構築を図る。

本研究開発は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」、かつ大規模な検証が必要なため、委託事業として実施する。

[委託事業]

(a) 高炉からのCO₂排出削減技術開発

12m³規模試験高炉における送風操作及び装入物操作と合わせて、高炉3次元数学モデルの精度向上を行い、試験高炉規模で高炉からのCO₂排出削減量約10%を確立する。フェーズⅡ-STEP1では、以下を実施する。

① 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

・12m³規模試験高炉等による水素還元総合最適化技術開発

還元ガス吹き込み方法の最適化、水素還元時におけるガス利用率維持のための操業要因の解析などを実施し、水素還元の効果を最大限とする技術を確立する。

・水素還元に適した原料設計

12m³規模試験高炉で高被還元性鉱石の対策品(フェーズⅠ-STEP2の最終試験結果を評価したうえでの対策品)での検証試験を行う。

② コークス炉ガス(COG)改質技術の開発

COG改質技術においては、フェーズⅠ-STEP2で確性した「触媒改質・部分酸化プロセス」の成果をベースに、シャフト吹き込みの熱・ガス流動制御視点で実機・実装に必要なプロセスを検討する。目標は、水素増幅率2倍を担保できるプロセスを確立することとする。

③ コークス改良技術開発

粘結材(HPC)製造のスケールアップに資するベンチスケール連続装置の改造からスタートする。連続製造設備の配管の温度管理精度向上による、輸送流体の閉塞防止技術確立を目的とし、熔融状態HPCの熱分解および温度変化に伴う流動性の変化を粘度として精度良く定量的に推算する技術を確立した上で、安定的に流体輸送できる最大粘度50,000mPa・sを起点に熔融HPCハンドリングの最適な温度管理指標を確立する。

(b) 高炉ガスからのCO₂分離回収技術開発

高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂を深化する技術を確認、及び排熱とのマッチングのエンジニアリング検討を主体に取り組む。その内、フェーズII-STEP1では、以下を実施する。

①CO₂分離回収技術開発

製鉄所特有の仕様に適した独自性を明確にした上で、CO₂分離回収技術として、化学吸収法の熱消費原単位の極限低減を図る。

・化学吸収法によるCO₂分離エネルギーコストの削減技術開発

吸収形態改善と分極影響の緩和の両技術の改善に新規技術を見出し、その相乗効果発揮を狙い、量子化学計算および連続分離回収実験による対策の集積評価で、1.6GJ/t-CO₂への到達に取り組む。

② 未利用排熱活用技術の開発

CO₂分離回収に必要なエネルギーを製鉄所内の未利用排熱のエネルギー(熱又は電力に変換)で賄うため、未利用排熱の活用技術を開発する。高効率熱交換機のダスト等付着対策として、ラボ評価を併用しつつ、閉塞対策のスケールアップにつなげる。目標値は温度効率66%、耐久性700時間とする。

また、本技術の水平展開を図り、他分野への早期実用化に取り組む。

(c) 全体プロセスの評価・検討

試験高炉における操業結果を受けての高炉からのCO₂排出削減、及び高効率熱交換機の最新特性を受けてのCO₂分離回収の双方と、所全体プロセス評価検討WGのエネルギーバランスを評価し、商用高炉のものと比較する。これにより、排出量30%に資する可能性の組み合わせ検討を実施する。

また、本事業の市場への展開を図るために、ターゲットの明確化と技術優位性の獲得を進める。ターゲットを明確にするため、経済性調査と技術本事業適用時の高炉改造に係る市場規模、コークス投入量低減によるコスト削減など経済的效果を検討する。技術優位性を獲得するために、強固な特許網構築を目指し、特許マップを作成・共有し、基本特許を中心とし、抜け漏れのない周辺特許出願を効果的に進める。

研究開発項目 2. フェロコークス技術の開発

本研究開発は、助成事業として実施する。

助成事業 (NEDO負担1/2)

本研究開発は、フェロコークスを製造・使用することによって、製鉄技術に革新をもたらすもので、300t/dの規模でその製造プロセスの実現性を実証して、根本的にこれまでの鉄

鉱石と石炭の利用方法を革新するものである。

具体的には、フェロコークス製造量 300 t/d の規模の中規模設備を建設し、フェロコークス製造技術を確認するとともに、中規模設備で製造したフェロコークスを溶銑製造量 10,000 t/d の実高炉に連続的に長期装入したときの高炉の還元材比や操業安定性（特に通気性）に及ぼす影響を確認する。また、製銑工程全体の物質・エネルギーバランスから、省エネ効果を評価する。さらに、操業安定性を鑑みながら、フェロコークス比の影響を調査するとともに、結果の外挿及び数値シミュレーションから、フェロコークス比が 33% のときの製銑工程の目標省エネ効果（10%）を達成する。

フェロコークス技術の開発におけるスケールアップの考え方としては、10 倍を基本としている。最終的な実機は 1,500 トン/日の製造能力であり、これは 300 トン/日のユニットを 5 つ並べた規模である。そのため、実機での技術課題は 300 トン/日機で検討できることから、今回の実証は 300 トン/日機で進める。本プロジェクトの前段である、「資源対応力強化のための革新的製銑プロセス技術開発（2009 年度～2012 年度）」においては、300 t/d の 1/10 である 30 t/d のパイロットスケールで評価、「革新的製銑プロセスの先導的研究」（2006 年度～2008 年度）（委託）はラボ試験のため、1/100 である 300 kg/日のベンチスケールで評価を行なっている。

(a) 中規模設備での製造技術実証

「資源対応力強化のための革新的製銑プロセス技術開発」におけるパイロット規模試験（30 t/d）と実機（1500 t/d）の中間ステップとして、中規模設備でのフェロコークス連続製造技術を確認するため、長期操業試験を行うべく、以下の研究を行う。

- a-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立
- a-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

- ・生産量 300 t/d で長期間安定稼働が可能なことを実証する。
- ・高炉装入に耐えうる乾留物の最適製造条件を確立する。
- ・混合・攪拌シミュレーションモデルを用い、均一性を確保できる運転条件を提示する。

指標 1：原料の均一混合技術の確立（固体 3 種類、液体 1 種類の混合）：混合度 95 以上

指標 2：乾留後塊成物のドラム強度：D I 150 / 15 \geq 81（*）

(*)「資源対応力のための革新的製銑プロセス技術開発」において、フェロコークス製造量 27.5 t/d～30 t/d とし、乾留炉操業 30 日間で 740 t のフェロコークスを製造した際、目標強度 D I 150 / 15 > 81 以上の歩留りが 93.5% であった。

(b) 一般炭,低品位原料使用時の製造技術実証

「資源対応力強化のための革新的製銑プロセス技術開発」（2009 年度～2012 年度）におけるパイロット規模試験（30 t/d）で用いた石炭をベースに、更なる銘柄拡大（資源制約の緩和）、低廉化を目的に研究を行う。

- ・ラボスケールでの試験結果から、原料（鉄鉱石、石炭）の絞込みを行う。これら原料がフェロコークス用原料として適していることを検証する。

指標：成型物の強度（I型ドラム強度）： $ID30/15 \geq 85$

(c) 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」においては還元材比とともに重要な操業管理指標である通気性の変化についての解析が課題として残されていた。本研究では、高炉での長期操業試験を通して、フェロコークスの高炉操業に与える効果（還元材比、通気性）の検証を行う。

- ・高炉への長期装入試験を行い、高炉の還元材比や高炉操業の安定性に及ぼす影響を評価する。また、製鉄工程における省エネ効果に及ぼす影響を把握し、(e)の数値シミュレーションと合わせ、目標の省エネ10%を達成する。

指標：連続操業試験：30日以上

(d) 新バインダー強度発現実証

過去の研究開発においてすでに既存固体バインダーと同等以上の性能を有する新規バインダーが見出されその性能はパイロット規模試験（30t/d）で確認されているが、さらに、フェロコークス製造においてシャフト炉による乾留工程で副生するタールを回収し、成型用バインダーとして循環使用するシステムの構築が課題として挙げられている。そこで本研究では、フェロコークス製造用バインダーの製造技術に関して以下の研究を行う。

- ・新規固形バインダーの実証技術開発計画案を提示する。
- ・所定の強度を実現しうる液体新規バインダー製造プロセス案を提示する。
- ・フェロコークスブリケットの冷間強度予測モデルを提示する。

指標：(a)及び(b)の達成に資するものであり、指標その他は(a)、(b)と同じ

(e) フェロコークス導入効果の検証

乾留炉の大型化、一般炭、低品位原料の使用、新規バインダーの使用が課題であり、開発した技術の適用可能性を検証する必要がある。そこで今回は、フェロコークスの高温性状評価手法と高炉内反応シミュレーション技術の汎用性拡大技術を開発し、フェロコークスの使用が高炉操業に与える影響を以下の研究で評価する。

- ・フェロコークスの実高炉使用時の操業結果を数学モデルを用いて高精度にシミュレートする。
- ・中規模設備で製造したフェロコークスの反応速度を調査し、反応モデルを構築する。

指標：評価方法の確立と省エネ効果(目標10%)の確認

((e)の数値シミュレーションと(c) (実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証)の結果と合わせ、目標の省エネ10%を検証する)。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

水素還元等プロセス技術の開発(フェーズII-STEP1)についてはNEDO環境部 阿

部 正道を、フェロコークス技術の開発は、NEDO省エネルギー部 田村 順一をそれぞれプロジェクトマネージャーとし、プロジェクトの企画、進行管理等を実施する。

本研究開発は、NEDOが単独ないし複数の、原則本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別の研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な部分はこの限りではない。）から、公募によって研究開発実施者を選定し、水素還元等プロセス技術の開発については委託により、フェロコークス技術の開発は助成（助成率1/2以内）により実施する。

共同で参加する各グループの有する技術ポテンシャルを最大限に活用して効率的な研究開発の推進を図る観点から、NEDOが委託先決定後に指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

なお、フェロコークス技術の開発については、研究責任者（プロジェクトリーダー）を置かない。

(2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及びプロジェクトリーダーと密接な関係を維持しつつ、本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、NEDOに設置する委員会等、外部有識者の意見を運営管理に反映させるほか、四半期に一回程度プロジェクトの進捗について委託先あるいは助成先からの報告を受けること等を行う。

委託事業については、欧州等の革新的製鉄プロジェクトの動向や国際展開を見据えた知財管理を行う。海外における知財の確保を積極的に推進するために、本事業成果の導入時期（2030年に初号機導入、2050年に国内全基への導入）を視野に入れた知知的財産戦略（ノウハウ化／出願の要否、内容、分野、時期）の構築を進める。

また、水素還元等プロセス技術の開発（フェーズⅡ）及びフェロコークス技術の開発の両事業間の連携を図るために、上記委員会等への相互参加、及び技術交流会を開催し、中間評価までに技術内容を議論・共有する。

3. 研究開発の実施期間

研究開発の実施期間は、2013年度から2022年度までの10年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目的達成度、成果の技術的意義及び将来の産業への波及効果等について、外部有識者によるプロジェクト評価を実施する。水素還元活用製鉄プロセス技術開発(フェーズⅠ-STEP 2)については、外部有識者による研究開発の中間評価を2015年度、事後評価を2017年度に前倒しで実施。水素還元等プロセス技術の開発(フェーズⅡ-STEP 1)については研究開発の中間評価を2020年度、事後評価を2022年度に実施を予定しており、フェロコックス技術の開発については中間評価を2020年度、事後評価を2023年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係わる技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、適宜見直すものとする。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 成果の普及

得られた研究開発成果については、NEDO、実施者とも普及に努めるものとし、製鉄プロセス以外への早期実用化が見込まれる技術については、技術の横展開を後押しする。

② 標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準情報(TR)制度への提案等を積極的に行う。

③ 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

④ 知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用するプロジェクトである。

(2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、産業技術政策動向、第三者の視点から評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標や研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第一号ハ及び第三号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 2013年3月、制定

(2) 2016年2月、改訂

STEP2の内容に修正

(3) 2017年2月、改訂

フェロコックス活用製鉄プロセス技術開発を追加

(4) 2018年1月、改訂

水素還元活用製鉄プロセス技術（フェーズⅡ－STEP1）の内容に修正

フェロコックス活用製鉄プロセス技術開発の実施期間を5年から6年に延長

(5) 2018年10月、改訂

基本計画名称、研究開発項目名称及びプロジェクトマネージャーを修正。

研究開発スケジュールの誤記修正。

(6) 2019年1月、改訂

研究開発項目2.の名称の変更。

(7) 2020年2月、改訂

研究開発の内容、別添 研究開発計画を修正。

(8) 2021年1月、改訂

研究開発項目1.のアウトプット目標、アウトカム目標を修正。

(9) 2021年5月、改訂

2. 研究開発の実施方針（1）研究開発の実施体制における研究開発項目1.のPMを変更。

(10) 2021年11月、改訂

4. 評価に関する事項の修正。1.（1）研究開発の目的（2）研究開発の目標、（3）研究開発の内容、別添 研究開発計画におけるフェーズⅡ－STEP2に係る参考情報の削除。

別添 研究開発計画

研究開発項目 1. 水素還元等プロセス技術の開発 (フェーズⅡ - STEP 1)

| 開発テーマ | | 2018年度 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 |
|---------------|----------------------------|--------------------|--------|--------|---------------|-------------|
| 高炉からのCO2排出削減 | 6.試験高炉によるプロセス技術開発 | [2018-2022] | | | | |
| | 1.鉄鉱石水素還元技術開発 (数学シミュレーション) | 対象炉検討・設備条件調査 | | 事前設計 | [2020-2022] | |
| | 3.高性能粘結材製造技術の開発 | 粘性計測 | 試験装置改造 | 検証試験 | 性能評価 | |
| | 2.コークス炉ガス(COG)改質技術の開発 | [2018-2020] | | | 吹込みハード検討 | |
| 高炉ガスのCO2分離・回収 | 4.CO2分離・回収技術開発 | [2018-2020] | | | 新吸収液開発 | [2021-2022] |
| | 5.未利用排熱回収技術開発 | 付着特性ラボ調査 | | 付着対策設計 | ラボ総合検証 | スケールアップ検討 |
| 7.全体プロセス評価・検討 | | 全体プロセス評価検討(開発結果反映) | | | 2030年対応方針の再整理 | 次ステップ検討 |

研究開発項目 2. フェロコークス技術の開発

| | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|--------------------|--------------|------|------|---------------|------|------|
| 中規模設備フェロコークス製造技術実証 | 設計・建設 | | | 製造・実証 | | |
| 一般炭、低品位原料使用時の製造技術 | [2017-2022] | | | | | |
| 実高炉フェロコークス長期使用検証 | 装入検討 | | | 使用、効果検証 | | |
| 新バインダー強度実証 | 製造実証 | | | | 評価 | |
| フェロコークス導入効果の検証 | 実験室レベルサンプル評価 | | | 中規模実証設備サンプル評価 | | |
| 中間評価 | | | | ★ | | |

(添付資料2) 特許論文等リスト

(2022年11月現在)

① 論文

| 番号 | 発表者 | 発表タイトル | 発表機関 | 査読 | 発表日付 |
|----|-------|---|--|----|-------------|
| 1 | 殿村 重彰 | 環境調和型製鉄プロセス技術開発(COURSE50)の概況 | 水素エネルギー協会会誌 | 無 | 2018年6月30日 |
| 2 | 植田 滋 | Influence of atmosphere and basicity on softening and melting behaviors for the CaO-FeO-SiO ₂ -Al ₂ O ₃ -MgO system | ISIJ International 日本鉄鋼協会 | 有 | 2019年3月1日 |
| 3 | 松崎洋市 | Ab Initio Study of CO ₂ Capture Mechanisus in Aqueous 2-Amino-2-methyl-1-propanol:Electronic and Steric Effects of Methyl Substituents on the stability of Carbamate | Industrial & Engineering Chemistry Research Vol.58 Issue8 | 有 | 2019年2月7日 |
| 4 | 三浦孝一 | Reduction and Gasification Characteristics of A Unique Iron Ore/carbon Composite prepared from Robe River and a Coal Tar Vacuum Residue | ISIJ International 日本鉄鋼協会 | 有 | 2019年2月12日 |
| 5 | 宍戸貴洋 | 高性能粘結材(HPC)利用によるコークス製造技術の開発 | 日本学術振興会第54(製鉄)委員会 | 無 | 2019年6月13日 |
| 6 | 西田亮一 | Development of CVD silica membranes having high H ₂ permeance and steam durability and a membrane reactor for water gas sift reaction | Membranes | 有 | 2019年10月30日 |
| 7 | 盛家 晃太 | Effect of Large Amount of Co-injected Gaseous Reducing Agent on Combustibility of Pulverized Coal by Non-Contact Measurement | ISIJ International 日本鉄鋼協会 | 有 | 2020年1月4日 |
| 8 | 紫垣 伸行 | Precise estimation of equilibrium adsorption amounts of CO ₂ -N ₂ , CO-N ₂ , and CO ₂ -CO mixed gases | SN Applied Sciences Springer | 有 | 2020年1月31日 |

| | | | | | |
|----|-------------------------|--|---|---|----------------|
| 9 | 樋口 謙一 | Improvement of reduction behavior of sintered ores in blast furnace through injecting reformed coke oven gas | ISIJ International 日本鉄鋼協会 | 有 | 2020年3月 31日 |
| 10 | 石黒兼二郎 | [特集] 創立70周年記念 火力原子力発電 最近の10年の歩み VI.開発技術 VI-4. CO ₂ 回収・貯留 (CCS) | 火力原子力発電 火力原子力発電技術協会 | 無 | 2020年11 月 |
| 11 | Firoz Alam Chowdhry, | A screening study of alcohol solvents for alkanolamine-based CO ₂ capture | International Journal of Greenhouse Gas Control, Vol.99, 2020 | 有 | 2020年8月 |
| 12 | 松崎洋市 | Catalysis of CO ₂ Absorption in Aqueous Alkanolamine Solution by Boron Compounds: A Combined Computational and Experimental Study | Industrial & Engineering Chemistry Research, 59, 29 | 有 | 未定 |
| 13 | 中野 薫 | 鉄鉱石還元への水素還元活用技術/ 水素活用プロセス技術開発 | ISIJ International 日本鉄鋼協会 | 有 | 2020年6月 26日 |
| 14 | 村上太一 | Effect of Hydrogen Concentration in Reducing Gas on the Changes in Mineral Phases during Reduction of Iron Ore Sinter | ISIJ International 日本鉄鋼協会 | 有 | 2020年10 月1日 |
| 15 | 住谷佑哉 | Effect of Changes in Mechanical Properties of Coke Matrix Caused by CO ₂ or H ₂ O Gasification Reaction on the Strength of Lump Coke | ISIJ International 日本鉄鋼協会 | 有 | 未定 |
| 16 | 上城親司 | Development of advanced H ₂ utilization technology for reduction of CO ₂ emission from blast furnace using 12 m ³ experimental blast furnace. | 世界製鉄会議 8th ECIC and 9th ICSTI 2021 | 有 | 2021年3月 26日 |
| 17 | 林 幸 | 空隙を有する針状 SFCA 生成に及ぼす焼成条件および Al ₂ O ₃ 濃度の影響 | 鉄と鋼 日本鉄鋼協会 | 有 | 2020年7月 31日 |
| 18 | 樋口謙一 | 高炉への改質コークス炉ガス吹込みによる焼結鉄の還元挙動の改善 | 鉄と鋼 日本鉄鋼協会 | 有 | 2021年3月 31日 |

| | | | | | |
|----|------------|---|---|---|-----------------|
| 19 | 盛家 晃太 | 気体還元材多量同時吹込みが微粉炭 燃焼挙動へ及ぼす影響の非接触計測 による評価 | 鉄と鋼 日本鉄鋼協会 | 有 | 2020年12 月1日 |
| 20 | 沼澤 結 | Kinetic Modeling of CO ₂ and H ₂ O Gasification Reaction for Metallurgical Coke Using Distributed Activation Energy Model | ACS Omega | 有 | 2021年4月 23日 |
| 21 | 野村 誠治 | CO ₂ 排出削減に向けた日本鉄鋼業の 取り組み ～COURSE50プロジェクトの概要 ～ Low CO ₂ steel making technology using hydrogen in Japan- Outline of COURSE50 Project | 「エネルギー と動力」第296 号(2021年 (令和3年) 春季号) 一般社団法人 日本動力協会 | 無 | 2021年5月 14日 |
| 22 | 野村誠治 | 産業部門での高度利用：鉄鋼業界に おけるCO ₂ 排出低減型の鉄鉱石還 元 | 化学工学会誌 85巻6号特集 号 | 無 | 2021年6月 1日 |
| 23 | 小野祐耶 | Experimental and Numerical Study on Degradation Behavior of Coke with CO ₂ or H ₂ O Gasification Reaction at High Temperature | Fuel | 有 | 2021年12 月24日 |
| 24 | 盛家晃太 | Prediction of Pulverized Coal Combustibility by Measuring Chemi-luminescence of Radical Species around Tuyere | ISIJ International 日本鉄鋼協会 | 有 | 2022年7月 15日 |
| 25 | 佐藤 道貴 | カーボンニュートラルに向けた3 鉄鋼業の取り組み～国プロを中心と して～ | 溶接学会誌 第91巻1号 (2022年1月 発行予定) | 無 | 2022年2月 1日 |
| 26 | 中野薫 | 製鉄の脱炭素化に向けて 革新的プロ セス技術開発(COURSE50)の 概要 | 建築技術 | 無 | 2021年12 月17日 |
| 27 | 磯原豊司雄 | 脱炭素に向けた鉄鋼業界の現状と今 後の取り組み | 「研究開発リ ーダー」誌 | 無 | 2022年1月 20日 |
| 28 | 青木宗太 | 鉄鋼業における環境への取り組み | 日本機械学会 誌2022年2月 号 | 無 | 2022年2月 1日 |
| 29 | 小野山 修 平 | 「鉄鋼業におけるモノづくり」特集 によせて | 日本機械学会 誌2022年2月 号 | 無 | 2022年2月 1日 |

| | | | | | |
|----|------------|---|---|---|-------------|
| 30 | 大野光一郎 | PHASE RATIO EFFECT OF HEMATITE/MAGNETITE IN SINTER IRON ORE ON REDUCTION BEHAVIOR IN HYDROGEN ENRICHED BLAST FURNACE CONDITION | International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials | 有 | 2022年6月7日 |
| 31 | 上城親司 | ゼロカーボン・スチール生産プロセスに向けた取り組み | 溶接技術 | 無 | 2022年3月20日 |
| 32 | 大野光一郎 | Effect of FeO concentration in sinter iron ore on reduction behavior in hydrogen enriched blast furnace condition | International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials | 有 | 2022年6月15日 |
| 33 | 中野薫 | Development of Low Carbon Blast Furnace Operation Technology by using Experimental Blast Furnace | ISIJ International 日本鉄鋼協会 | 有 | 2022年12月28日 |
| 34 | 上城親司 | Development of Advanced Hydrogen Utilization Technology for Reduction of CO ₂ Emission from Blast Furnace - Development of Low Carbon Blast Furnace Operation Technology by using Experimental Blast Furnace part II - | ISIJ International 日本鉄鋼協会 | 有 | 2022年12月20日 |
| 35 | 磯原 豊司 雄 | 鉄鋼における CO ₂ 削減の取り組み | 粉体技術 日本粉体工業技術協会誌 | 無 | 2022年7月1日 |
| 36 | 沼澤 結 | Large-Scale Simulation of CO ₂ Gasification Reaction with Mass Transfer for Metallurgical Coke: Validation Study (仮) | Fuel | 有 | 2022年6月30日 |
| 37 | 磯原 豊司 雄 | 鉄鋼のカーボンニュートラルへの挑戦 | (一財)建築保全センター機関紙 | 無 | 2022年7月1日 |
| 38 | 野村 誠治 | “COURSE50”-CO ₂ Ultimate Reduction System for cool Earth 50: CO ₂ ultimate reduction in | Treatise on Process Metallurgy, | 無 | 2022年9月1日 |

| | | | | | |
|----|-------|--|---|---|-----------------|
| | | steelmaking process by innovative technology in Japan | 2nd edition, Elsevier | | |
| 39 | 松崎 洋市 | COURSE50 プロジェクトにおける量子化学計算を活用した CO ₂ 吸収液の開発 | ふえらむ, 2022 年 10 号 日本鉄鋼協会 | 無 | 2022 年 10 月 1 日 |
| 40 | 渡壁 史朗 | Carbon Neutrality and Circular Economy in the Steel Sector | 2022 ASEAN Raw Materials and Scrap Focus Event-SEAISI | 無 | 2022 年 5 月 |
| 41 | 余語 克則 | CO ₂ 分離・回収技術の高度化への取り組み | 「食品トレンド 2022-2023」(日本食糧新聞社) | 無 | 2022 年 7 月 31 日 |
| 42 | 中野 薫 | Development of Low Carbon Blast Furnace Operation Technology by using Experimental Blast Furnace | ISIJ-International (日本鉄鋼協会) | 有 | 2022 年 12 月 1 日 |

② 学会発表・講演

| 番号 | 発表者 | 発表タイトル | 発表機関 | 発表日付 |
|----|-----------|---|--|---------------|
| 1 | 山田秀尚 | Liquid-liquid phase separation induced by carbon dioxide absorption in amine-water system | 23rd International Congress of Chemical and Process Engineering | 2018年8月26-29日 |
| 2 | 中尾真一 | Advanced CO ₂ Capture Technologies in RITE Chemical Research Group | 5TH POST COMBUSTION CAPTURE CONFERENCE (PCCC5) | 2019年9月17日 |
| 3 | 柿内 一元 | Experimental Blast Furnace Operation – Outline of Experimental Blast Furnace– | 8th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking 2018 (ICSTI 2018) | 2019年9月25日 |
| 4 | 中野 薫 | Experimental Blast Furnace Operation for CO ₂ ultimate reduction | 8th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking 2018 (ICSTI 2018) | 2019年9月25日 |
| 5 | 原 全史 他 | 組織の異なる焼結鉱の CO ₂ -H ₂ 混合ガス雰囲気下での還元挙動 | 鉄鋼協会第176回秋季講演大会 | 2018年9月19日 |
| 6 | 山田秀尚 | CO ₂ 分離回収技術の開発 (化学吸収法、固体吸収法、膜分離法) | 第2回 CCS フォーラム | 2018年5月10日 |
| 7 | 齋藤 公児 | Recent Research & Development topics of Iron-making Technologies in JAPAN | 25th McMaster University Blast Furnace Ironmaking COURESE | 2018年5月18日 |
| 8 | 殿村 重彰 | CO ₂ Ultimate Reduction in Steelmaking process(COURSE50 Project) | 8th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking 2018 (ICSTI 2018) | 2018年5月23日 |
| 9 | 成瀬一郎 | GASIFICATION BEHAVIORS OF PULVERIZED COAL | The 14th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry | 2018年5月25日 |

| | | | | |
|----|--------|--|-------------------------------------|------------------------|
| | | CHAR WITH CO ₂ AND H ₂ O AT HIGH TEMPERATURE | | |
| 10 | 成瀬一郎 | 高温における微粉炭チャーの CO ₂ および H ₂ O ガス化特性 | 鉄鋼協会第 176 回秋季講演大会 | 2018 年 9 月 19 |
| 11 | 熊谷 治夫 | 1H-NMR STUDY ON THE THERMOPLASTIC PHENOMENON OF COAL WITH HIGH PERFORMANCE COKING ADDITIVE | The world conference on carbon 2018 | 2018 年 7 月 1 日 ～6 日 |
| 12 | 藤本 健一郎 | Steel's competitiveness from the environmental perspective | 2018 SEAISI Conference & Exhibition | 2018 年 6 月 27 日 |
| 13 | 殿村 重彰 | CO ₂ Ultimate Reduction in Steelmaking process(COURSE50 Project) | Asian Steel Experts Dialogue (IEA) | 2018 年 5 月 23 日 |
| 14 | 葛西栄輝 | 焼結プロセスにおける鉄系凝結材の反応挙動および焼結鉍中の SFCA の被還元性評価 | 日本学術振興会 第 54 委員会 本委員会 | 2018 年 6 月 28 日 |
| 15 | 殿村 重彰 | CO ₂ Ultimate Reduction in Steelmaking process(COURSE50 Project) | CCT ワークショップ (JCOAL) | 2018 年 6 月 21 日 |
| 16 | 紫垣 伸行 | 13X ゼオライト吸着剤を用いた CO ₂ -PSA における吸着剤形状の影響 (COURSE50 物理吸着 CO ₂ 分離技術) | 日本鉄鋼協会 第 176 回 秋季講演大会 | 2018 年 9 月 19 日 |
| 17 | 守本 和生 | 気孔を有する針状 SFCA の生成に及ぼす熱履歴及び Al ₂ O ₃ 濃度の影響 | 日本鉄鋼協会 第 176 回 秋季講演大会 | 2018 年 6 月 28 日 |
| 18 | 盛家 晃太 | 還元性ガス同時吹込みが微粉炭燃焼挙動へ及ぼす影響 | 日本鉄鋼協会 第 176 回 秋季講演大会 | 2018 年 9 月 19 日 |

| | | | | |
|----|-----------------|--|--|------------------|
| 19 | 住谷 佑哉 | CO ₂ および H ₂ O ガス化反応前後におけるコークス基質の機械的性質の評価 | 日本鉄鋼協会 第 176 回 秋季講演大会 | 2018 年 9 月 19 日 |
| 20 | 沼澤 結 | CO ₂ および H ₂ O ガス化反応がコークスの強度に及ぼす影響 | 第 27 回日本エネルギー学会大会 | 2018 年 9 月 19 日 |
| 21 | 三木貴博 | 製鉄プロセスにおける酸化鉄一脈石成分間の反応、融液生成 | 日本学術振興会 製鉄第 54 委員会 | 2018 年 6 月 28 日 |
| 22 | 齋藤公児 | Recent Research & Development topics Iron-making Technologies in JAPAN | CSE2018 The 16th Korea-Japan-China International Symposium on Carbon Saves the Earth (CSE2018) | 2018 年 8 月 13 日 |
| 23 | 葛西栄輝 | 焼結鉱の還元反応に及ぼす全圧および水素分圧の影響 | 日本鉄鋼協会 第 176 回 秋季講演大会 | 2018 年 9 月 20 日 |
| 24 | 中尾憲治 | Hydrogen production technology development using coke oven gas (COG) | TOCAT8 (8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology) | 2018 年 8 月 6 日 |
| 25 | 紫垣 伸行 | 13X ゼオライト吸着剤を用いた CO ₂ -PSA における吸着剤形状の影響 | 日本鉄鋼協会 第 176 回 秋季講演大会 | 2018 年 9 月 19 日 |
| 26 | F. A. Chowdhury | A guide to evaluate non-aqueous solvents and amine absorbent for post-combustion CO ₂ capture | GHGT-14 (14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies) | 2018 年 10 月 21 日 |
| 27 | 後藤和也 | Development of novel solvents for CO ₂ removal from blast furnace gas | GHGT-14 (14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies) | 2018 年 10 月 21 日 |
| 28 | 菅原勝康 | Effect of Sulfur in Carbonaceous Material on Reduction of Iron ore/Carbon Composite | GHGT-14 (14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies) | 2018 年 9 月 16 日 |

| | | | | |
|----|-------|---|---|-------------|
| 29 | 宍戸貴洋 | 高性能粘結材（HPC）を用いたコークス製造技術の開発 | 化学工学会第50回秋季大会 | 2018年9月18日 |
| 30 | 熊谷治夫 | HPC含浸処理が石炭の軟化溶解挙動に及ぼす影響 | 第55回石炭科学会議 | 2018年10月29日 |
| 31 | 盛家 晃太 | Effect of Reductive Gas Co-injection on Combustion of Pulverized Coal in blast furnaces | METEC & 4th ESTAD 2019（於ドイツ） | 2019年6月25日 |
| 32 | 山田秀尚 | 先進的CO ₂ 分離回収技術の研究開発 | 化学工学会第50回秋季大会 | 2018年9月18日 |
| 33 | 殿村 重彰 | CO ₂ Ultimate Reduction System for Cool Earth 50 (COURSE50 Project) | 8th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking (ICSTI 2018) | 2018年9月25日 |
| 34 | 殿村 重彰 | CO ₂ Ultimate Reduction System for Cool Earth 50 (COURSE50) Project | worldsteel ASSOCIATION | 2018年10月17日 |
| 35 | 殿村 重彰 | CO ₂ Ultimate Reduction System for Cool Earth 50 (COURSE50) Project | worldsteel ASSOCIATION | 2018年10月18日 |
| 36 | 余語 克則 | RITEにおける高効率CO ₂ 分離回収技術の開発状況 | 未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム | 2018年9月26日 |

| | | | | |
|----|-------|--|---|-------------|
| 37 | 井上 昭彦 | Efforts of Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation for Global Environmental Problems | The 7th Baosteel Biennial Academic Conference | 2018年10月30日 |
| 38 | 工藤 真二 | Production of high-strength coke from low-rank coal by hot-briquetting and carbonization | 第28回日本MRS年次大会 | 2018年12月18日 |
| 39 | 永長久寛 | Study on Redox properties of Ni-CeO ₂ Catalysts | The 20th Cross Straits Symposium on Energy and Environmental Science and Technology | 2018年11月26日 |
| 40 | 中尾真一 | RITEにおけるCO ₂ 分離回収技術と水素製造技術 | 日本セラミックス協会 資源・環境関連材料部会 講演討論会 | 2018年11月2日 |
| 41 | 松原 秀和 | 「鉄の輪がつなぐ人と地球」 鉄の環境特性と鉄鋼業界の地球温暖化対策の動向 | グリーンスチールセミナー 日本鉄鋼連盟 | 2018年11月20日 |
| 42 | 甲斐照彦 | RITEにおけるCO ₂ 分離回収技術の研究開発 | 中国地区化学工学懇話会 | 2018年11月16日 |
| 43 | 中尾憲治 | Development of hydrogen production technology from coke oven gas | The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019) | 2019年6月3日 |
| 44 | 中野 薫 | Experimental Blast Furnace Operation for CO ₂ Reduction | The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019) | 2019年6月3日 |
| 45 | 宍戸貴洋 | Development of coke improvement technologies to produce suitable coke for the hydrogen reduction process | The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019) | 2019年6月3日 |
| 46 | 後藤 和也 | 高効率CO ₂ 分離・回収技術の開発状況について | 大阪科学技術センター 燃料電池・FCH部会 第255回定例研究会 | 2018年11月26日 |

| | | | | |
|----|-------|--|--|-------------|
| 47 | 後藤和也 | Development of Amine-based Solvents for CO ₂ Capture from Blast Furnace Gas | The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019) | 2019年6月3日 |
| 48 | 鷺見郁宏 | COURSE50-⑤ Development of CO ₂ Capture Technology | The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019) | 2018年6月2日 |
| 49 | 宇治澤 優 | COURSE50 project: Innovative Ironmaking Technology Development Utilizing Hydrogen | The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019) | 2019年6月2日 |
| 50 | 中尾真一 | 高効率 CO ₂ 分離回収技術の実用化に向けた取り組み | 革新的環境技術シンポジウム (RITE 主催) | 2018年12月19日 |
| 51 | 菱池通隆 | PSA による炭酸ガスの分離技術について | RITE 無機膜研究センター産業化戦略協議会第10回セミナー | 2019年1月11日 |
| 52 | 村上太一 | 鉍物相組織からみた焼結鉍の還元反応に及ぼす水素分圧と雰囲気圧力の影響 | 日本鉄鋼協会 第177回春季講演大会 | 2019年3月30日 |
| 53 | 山田秀尚 | テトラメチルジアミノアルカン-水-CO ₂ 系の液液相分離機構に関する研究 | 化学工学会第84年会 | 2019年3月13日 |
| 54 | 宇佐美 明 | Efforts of Japanese Iron & Steel Industry for Global Environmental Challenges | SEAIISI Travelling Seminar 2019 | 2019年3月12日 |

| | | | | |
|----|-----------------|--|---|------------|
| 55 | 梅津 宏紀 (電中研) | Numerical Simulation of Raceway Zone in Small-scale Combustion Equipment for Blast Furnace | European Combustion Meeting 2019 | 2019年4月18日 |
| 56 | 山田秀尚 | CO ₂ 回収技術の最新動向 | 公益社団法人新化学技術推進協会 (JACI) 「CO ₂ 固定化・有効利用」エネルギー分科会 | 2019年3月20日 |
| 57 | 村上英樹 | 鉄鋼業の地球温暖化対策への取組 | 化学工学会第84年会 基調講演 | 2019年3月13日 |
| 58 | 鷺見郁宏 | COURSE50-⑤ Development of CO ₂ Capture Technology (Extended abstract) | WHTC2019(World Hydrogen Technologies Convention 2019) | 2019年6月2日 |
| 59 | 中尾 憲治 | Development of hydrogen amplification technology from coke oven gas | WHTC2019(World Hydrogen Technologies Convention 2019) | 2019年6月3日 |
| 60 | 五十嵐正之 | 化学吸収法による高効率CO ₂ 回収システム (ESCAP®) | 日本化学会第99春季年会 2019 | 2019年3月18日 |
| 61 | 中野 薫 | Development of CO ₂ Reduction Technology From Blast Furnace | WHTC2019(World Hydrogen Technologies Convention 2019) | 2019年6月2日 |
| 62 | 宇治澤 優 | COURSE50 project: Innovative Ironmaking Technology Development Utilizing Hydrogen | WHTC2019(World Hydrogen Technologies Convention 2019) | 2019年6月2日 |
| 63 | F. A. Chowdhury | Development of amine-based non-aqueous | PCCC5 (5th Post Combustion | 2019年9月17日 |

| | | | | |
|----|-------|--|---|------------------|
| | | absorbent for post-combustion CO ₂ capture | Capture Conference、主催：IEAGHG) | |
| 64 | 本庄孝志 | RITE の GSC 活動について | 公益社団法人新化学技術推進協会 (JACI) | 2019 年 4 月 23 日 |
| 65 | 沼澤 結 | Numerical simulation of mass transfer with chemical reaction in lump coke with actual structure and its validation | ICCS&T 2019 (International Conference on Coal Science & Technology) | 2019 年 11 月 24 日 |
| 66 | 中野薫 | 鉄鉱石還元への水素還元活用技術／水素活用プロセス技術開発 | 日本学術振興会製鉄第 54 委員会 | 2019 年 6 月 13 日 |
| 67 | 木原栄治 | 金属産業の課題と現状 | 九州大学 材料工学部門講演会 | 2019 年 5 月 17 日 |
| 68 | 野村部長 | Leading the way on sustainability through steel | 日加石炭会議 (開催地：神戸、主催：神戸製鋼所) | 2019 年 6 月 6 日 |
| 69 | 宇治澤 優 | 環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス技術の開発 (COURSE50) による鉄鋼業における CO ₂ 排出削減への取り組み | 第 32 回環境工学連合講演会 日本学術会議 土木工学・建築学委員会 | 2019 年 5 月 21 日 |
| 70 | 村井亮太 | COURSE50：CO ₂ 分離回収技術 | 日本学術振興会第 54 (製鉄) 委員会 | 2019 年 6 月 13 日 |
| 71 | 中尾憲治 | コークス炉ガス改質技術の開発 | 日本学術振興会第 54 (製鉄) 委員会 | 2019 年 6 月 13 日 |
| 72 | 盛家 晃太 | 非接触計測を活用した還元性ガス同時吹込み時の微粉炭燃焼挙動の解明 | 日本学術振興会第 54 (製鉄) 委員会 | 2019 年 6 月 13 日 |
| 73 | 後藤和也 | Development of CO ₂ Capture Technology by Chemical Absorption | 10th Clean Energy Ministerial (CEM 10) | 2019 年 5 月 28 日 |
| 74 | 森賢治 | 鉄鋼協会 生産技術部門 設備技術部会 100 回記念大会での技術検討会「設備技術の将来に向けた提言」 | 鉄鋼協会 生産技術部門 設備技術部会 | 2019 年 6 月 6 日 |
| 75 | 石渡夏生 | Course50 試験高炉における新規塊成鉄装入実験 | 日本学術振興会第 54 (製鉄) 委員会 | 2019 年 6 月 13 日 |
| 76 | 清末 考範 | 設備技術の将来に向けた提言 | 第 100 回設備技術部会大会 | 2019 年 6 月 21 日 |

| | | | | |
|----|--------|--|--|------------------|
| | | 製鉄分野 「製鉄設備技術の将来に向けた提言」 | 日本鉄鋼協会 生産技術部門 | |
| 77 | 荒木 恭一 | COURSE50 プロジェクトの概要 | 日本学術振興会第 54 (製鉄) 委員会 | 2019 年 6 月 13 日 |
| 78 | 久保 祐治 | 鉄鋼業を取り巻く経営環境と当社の研究開発 | 東京大学工学部環境講演会 | 2019 年 6 月 5 日 |
| 79 | 田中 良佑 | エネルギー・温暖化対策の現状と鉄鋼業の技術開発 | (一社) 日本産業機械工業会製鉄機械部会講演会 | 2019 年 7 月 24 日 |
| 80 | 三木 祐司 | マテリアル製造工学特論 | 北海道大学 講義 | 2019 年 7 月 26 日 |
| 81 | 村上太一 | Reduction Behavior of Mineral Compounds in Iron Ore Sinter under Blast Furnace Reducing Gas with High Hydrogen Concentration | The First India-Japan Workshop on Science and Technology in Ironmaking and Steelmaking | 2019 年 9 月 10 日 |
| 82 | 佐藤 道貴 | 製鉄プロセスの新たな取り組み (国プロを中心として) | 西山記念講座 日本鉄鋼協会 | 2019 年 11 月 6 日 |
| 83 | 山田秀尚 | Molecular Mechanism of Liquid-Liquid Phase Separation in the Amine-CO ₂ -H ₂ O System | 5TH POST COMBUSTION CAPTURE CONFERENCE | 2019 年 9 月 17 日 |
| 84 | 磯原 豊司雄 | Steel, a sustainable material | Asia Steel Forum 2019 | 2019 年 9 月 19 日 |
| 85 | 村上太一 | 製鉄プロセスの新たな取り組み (国プロを中心として) | 日本学術振興会第 54 (製鉄) 委員会 | 2019 年 11 月 13 日 |
| 86 | 植木保昭 | Effect of combustible gas injection on reaction behavior of pulverized coal | 38th International Symposium on Combustion | 2020 年 7 月 12 日 |
| 87 | 余語克則 | CO ₂ 分離回収技術の実用化に向けた開発状況と今後の展開革新的技術開発 | 未来を拓く無機膜 環境・エネルギー技術シンポジウム(RITE 主催) | 2019 年 9 月 26 日 |
| 88 | 木原 栄治 | パリ協定に基づく日本の長期成長戦略 | 第 11 回日中鉄鋼業環境保全・省エネ先進技術専門家交流会 | 2019 年 10 月 29 日 |
| 89 | 熊谷 治夫 | Improvements of thermoplastic properties of coal with additives by | International Conference on Coal | 2019 年 11 月 24 日 |

| | | | | |
|-----|-----------|--|--|-------------|
| | | means of low temperature treatment. | Science & Technology (ICCS&T2019) | |
| 90 | 紫垣 伸行 | 物理吸着法による高炉ガスからの CO ₂ 分離技術 | CCR (Carbon Capture and Reuse)研究会 | 2019年11月6日 |
| 91 | 山本裕基 | グリーン・スチール・セミナー「鉄の輪がつなぐ人と地球」鉄鋼業界の地球温暖化対策の動向 | 第9回グリーンスチールセミナー (東京・大阪) 日本鉄鋼連盟 | 11/18,12/17 |
| 92 | 中尾憲治、鈴木公仁 | COURSE50 プロジェクトの紹介 (全体、鉄鉱石還元、COG 改質、化学吸収法) | CCR (Carbon Capture and Reuse)研究会 | 2019年11月6日 |
| 93 | 宇治澤 優 | COURSE50: Innovative ironmaking process project utilizing hydrogen | 第15回日本-中国鉄鋼学術会議 日本鉄鋼協会&CSM | 2019年10月31日 |
| 94 | 盛家 晃太 | 非接触計測を活用した還元性ガス同時吹込み時の微粉炭燃焼挙動の解明 | 還元研究会 | 2019年1月23日 |
| 95 | 久保 祐治 | 鉄の可能性と地球温暖化への取り組みを含めた日本製鉄の研究開発 | 三菱ケミカル-日本製鉄交流会 | 2019年11月25日 |
| 96 | 中尾真一 | CO ₂ 分離回収技術の実用化検討と今後の展開 | 革新的環境技術シンポジウム 2019 (RITE 主催) | 2019年12月16日 |
| 97 | 宇治澤 優 | COURSE50 project for Innovative Ironmaking Technology Development Using Hydrogen | SCRAP SUPPLEMENTS & ALTERNATIVE IRONMAKING 8 AIST | 2020年3月4日 |
| 98 | 杉田啓介 | CO ₂ 回収技術の現状と課題と取組紹介 (大気回収技術も含め) | 新エネルギー部会講演会 石油学会 | 2020年1月24日 |
| 99 | 杉田啓介 | 脱炭素化に向けた CCUS 技術について | 2019年度第5回エネルギー政策懇話会 (主催: 一般社団法人エネルギー・資源学会) | 2020年1月22日 |
| 100 | 山田秀尚 | 二酸化炭素分離回収用新規材料の開発と実用化展開 | 第32回 CES21 講演会 化学工学会 | 2020年1月31日 |
| 101 | 横山 浩一 | 高炉への水素ガス吹込み時の炭材内装鉍使用の効果 | 製鉄資源に関するワークショップ (還元研究会) 東北大学主催 | 2020年1月24日 |

| | | | | |
|-----|------|--|---|------------|
| 102 | 沼澤 結 | Validation study of Large-Scale Simulation of CO ₂ or H ₂ O Gasification with Mass Transfer for Metallurgical Coke | 5th International Conference on Combustion Science and Processes | 2020年4月15日 |
| 103 | 後藤和也 | Advanced CO ₂ Capture Technologies in RITE | CCUS/カーボンリサイクルセミナー 外務省主催、資エ庁協力 | 2020年3月2日 |
| 104 | 熊谷治夫 | Improvements of thermoplastic properties of coal by means of low temperature treatment. | The World Conference on Carbon 2020 | 2020年6～7月頃 |
| 105 | 盛家晃太 | 自発光分光測定による微粉炭燃焼率推定手法の開発 (Prediction of Pulverized Coal Combustibility by Chemi-luminescence Spectrometry) | 日本鉄鋼協会第180回講演大会 | 2020年9月16日 |
| 106 | 小野祐耶 | 高炉条件下におけるガス化反応がコークス強度に及ぼす影響 | 第29回日本エネルギー学会大会 | 2020年8月5日 |
| 107 | 甲斐照彦 | CCUSのためのCO ₂ 分離回収技術の技術開発動向 | ～Direct Air Capture (DAC)を含めた～CO ₂ 分離回収の技術開発と適用動向 (株)技術情報センター主催 | 2020年8月18日 |
| 108 | 後藤和也 | RITEにおけるCO ₂ 分離回収技術の研究開発～これまでの成果と今後の取組み | 第35回勉強会 グローバルCCSインスティテュート日本事務所主催 | 2020年8月26日 |
| 109 | 余語克則 | CO ₂ 分離回収技術の開発状況とDACへ向けての課題と将来展望 | 「カーボンニュートラル研究会」合同フォーラム 産業競争力懇談会 | 2020年9月10日 |
| 110 | 余語克則 | CCUS/カーボンリサイクル推進に向けたCO ₂ 分離回収技術開発の展開 | 「未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西～ビヨンド・ゼロの実現に向けて～」合同フォーラム (主催：RITE) | 2020年9月24日 |

| | | | | |
|-----|----------------------|--|---|-------------|
| 111 | 野村誠治 | Low carbon emission steel making technology utilizing hydrogen: COURSE50 | 水素閣僚会議 WEB イベント 経済産業省、NEDO | 2020年10月14日 |
| 112 | 上城親司 | Development of advanced H ₂ utilization technology for reduction of CO ₂ emission from blast furnace using 12 m ³ experimental blast furnace. | SCANMET VI | 2021年5月30日 |
| 113 | 谷本 進治 | 総合力世界 NO.1 の鉄鋼メーカーを目指して | 「経営トップによる大学特別講義」(大阪大学) | 2020年11月2日 |
| 114 | 小野山 修平 | 総合力世界 NO.1 の鉄鋼メーカーを目指して | 「経営トップによる大学特別講義」(東京大学) | 2020年12月2日 |
| 115 | 山田秀尚 | 先進的な CO ₂ 分離回収技術の研究開発 | ゼロエミッション活動紹介セミナー 東京湾岸ゼロエミッションイノベーション協議会 | 2020年11月12日 |
| 116 | 山田秀尚 | CCUS (CO ₂ 回収・利用・貯留) 技術開発動向 | UMI 拡大版ディールフローミーティング (主催: Universal Materials Incubator) | 2020年11月13日 |
| 117 | 村上英樹 | 日本鉄鋼業の脱炭素化 | 水素社会推進議員連盟総会 | 2020年11月5日 |
| 118 | Firoz Alam Chowdhury | Guide to evaluate low viscous non-aqueous solvent for post-combustion CO ₂ capture | GHGT-15 (15th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies) | 2021年3月17日 |
| 119 | 手塚宏之 | 鉄鋼業界におけるエネルギー・環境先端技術と地球温暖化対策 | 東京工業大学 講義 | 2020年12月23日 |
| 120 | 西岡浩樹 | ものづくりを支える研究開発 ー日本の鉄鋼業からー | 高度イノベーション人材のためのキャリアマネジメント(広島大学グローバルキャリアデザインセンター) | 2020年12月9日 |
| 121 | 久保 祐治 | 「鉄鋼業を取り巻く経営環境と当社の研究開発」 | 東京大学 環境講演会 | 2020年12月16日 |

| | | | | |
|-----|------------|---|--|----------------|
| 122 | 前田洋平 | 低炭素社会実行計画 2020 年度フォローアップ調査表 | 経済産業省産業構造審議 会鉄鋼WGの配布資料と してHPにて公表 | 2020年2月8 日 |
| 123 | 野村誠治 | Steel making technology using hydrogen: COURSE50 - A challenge towards Zero- carbon STEEL - | 第11回日独エネルギー・ 環境フォーラム 主催：ドイツ連邦環境省 (BMU)、ドイツ連邦経済 エネルギー省(BMWi)、 NEDO | 2021年2月18 日 |
| 124 | 村上英樹 | 鉄鋼製造における水素利用 と課題 | 物質・材料研究機構エネ ルギー・環境材料研究拠 点シンポジウム 物質・材料研究機構 | 2021年3月1 日 |
| 125 | 萩生 大介 | 商用カーボンリサイクルに 繋がるCO ₂ 回収技術事例 | 一般財団法人石炭エネ ルギーセンター 第2回 WEBセミナー | 2021年1月20 日 |
| 126 | 渡壁 史朗 | JISF Long-term vision for climate change mitigation ~ A challenge towards “zero-carbon steel” | 2020 SEASIS-conference 資料 (HP 公開) | 2020年9月23 日 |
| 127 | 永井竜一 | 鉄鋼の低CO ₂ 化 | 浩志会 (勉強会) | 2021年1月26 日 |
| 128 | 磯原 豊司 雄 | 鉄鋼業におけるGHG排出 削減 | 「第65回特別基金講演 会 GHG排出削減に向け た他業種,他分野における 取り組み」 主催：日本マリンエンジ ニアリング学会 | 2021年3月9 日 |
| 129 | 村上英樹 | 日本鉄鋼業のカーボン・ニ ュートラルへの挑戦 ~日本鉄鋼業における地球 環境問題への取り組み及び 国家プロジェクト COURSE50の最新動向と今 後~ | JPI 特別セミナー 主催：(株)日本計画研 究所 | 2021年3月12 日 |
| 130 | 野村 誠治 | Low carbon steel making technology using hydrogen - COURSE50 - | India Japan workshop on hydrogen and fuel cell 2021 主催：日本エネルギー経 済研究所 | 2021年3月8 日 |

| | | | | |
|-----|----------------------|--|---|-------------|
| 131 | 野村 誠治 | 水素還元製鉄への取組 | 自民党成長戦略本部ヒアリング | 2021年3月29日 |
| 132 | 松崎洋市 | 量子化学計算の産業応用に関する事例紹介と産学連携への提言 | 理論化学討論会 主催：理論化学会 | 2021年5月14日 |
| 133 | Firoz Alam Chowdhury | Low-temperature regeneration mixed amine absorbents for efficient CO ₂ capture | 6th Post Combustion Capture Conference (PCCC6) IEA-GHG | 2021年10月19日 |
| 134 | 小野山修平 | Challenge to Zero-Carbon Steel | 第11回中国国際鉄鋼会議 | 2021年5月26日 |
| 135 | 磯原 豊司 雄 | 脱炭素に向けた鉄鋼業界の現状と今後の取り組み | 日本化学会・産学交流委員会・R&D懇話会 | 2021年5月18日 |
| 136 | 甲斐照彦 | CCUS/カーボンリサイクルのためのCO ₂ 分離回収技術の開発動向 | 山口地区化学工学懇話会 第77回講演会 | 2021年6月15日 |
| 137 | 甲斐照彦 | CCUS/カーボンリサイクルのためのCO ₂ 分離回収技術の開発動向 | 大阪大学社会人教育用プログラム 令和3年度全コース共通講義第二回 「社会課題解決のためのテクノロジー」 | 2021年7月20日 |
| 138 | 紫垣 伸行 | 第55回化学工学の進歩シリーズ「脱炭素への工学」 2.3 大規模 PSA システムを目指した高炉ガスからのCO ₂ 分離回収技術開発 | 第55回化学工学の進歩シリーズ講習会書籍 化学工学会 | 2021年12月15日 |
| 139 | 下重 智 | ゼロカーボンスチール実現に向けた日本製鉄のチャレンジ | 日本製鉄 サステナビリティレポート 2021 | 2021年8月31日 |
| 140 | 小林 一暁 | Heat recovery from low-temperature off-gas for use in CO ₂ separation processes | CUUTE-1(The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment) | 2021年12月14日 |
| 141 | 中野 薫 | Development of CO ₂ Reduction Technology from Blast Furnace | CUUTE-1(The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment) | 2021年12月14日 |

| | | | | |
|-----|-------|--|---|-------------|
| 142 | 酒井 博 | Development of Mathematical Blast Furnace Model for CO ₂ Reduction Technology | CUUTE-1(The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment) | 2021年12月14日 |
| 143 | 宇治澤 優 | 環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス技術の開発 (COURSE50) の開発状況 | 日本鉄鋼協会第182回講演大会シンポジウム | 2021年9月3日 |
| 144 | 余語克則 | 国内外におけるCO ₂ 分離・回収技術開発について | 環境省委託「令和3年度海洋環境保全上適正な海底下CCS実施確保のための総合検討事業」第2回海底下CCS事業におけるモニタリング技術の適用方法のあり方に係る検討会 | 2021年9月14日 |
| 145 | 野村誠治 | Our Challenge for Carbon Neutral by 2050 and Recent Progress of COURSE50 Project | Hydrogen Iron & Steel Making Forum 2021 主催：POSCO | 2021年10月6日 |
| 146 | 松崎洋市 | Development of CO ₂ Chemical Adsorption Technology | CUUTE-1(The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment) | 2021年12月14日 |
| 147 | 宇治澤 優 | Low carbon emission steel making technology using hydrogen: COURSE50 project | CUUTE-1(The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment) | 2021年12月14日 |
| 148 | 前田洋平 | 京都大学経営管理大学院エネルギービジネス展開論講義PRイベントにおけるプレゼン | 京都大学経営管理大学院エネルギービジネス展開論講義PRイベント | 2021年9月27日 |
| 149 | 石渡 夏生 | 革新的プロセス技術開発 (COURSE50) を中心とした鉄鋼分野のCO ₂ 削減の取り組み | 第17回ガラス技術シンポジウム | 2021年11月8日 |

| | | | | |
|-----|--------|---|---|-------------|
| 150 | 小野山 修平 | ゼロカーボン・スチール実現に向けた日本製鉄の挑戦 | The 13th CSM Steel Congress 主催：中国金属学会 | 2021年10月25日 |
| 151 | 余語克則 | カーボンニュートラル実現に向けたCO ₂ 分離回収技術開発への取り組み | 「未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西」 (RITE 主催) | 2021年9月30日 |
| 152 | 齋藤龍司 | 鉄鋼のカーボンニュートラルへの取り組み | IISIA seminar 主催：IISIA | 2021年10月21日 |
| 153 | 小野山 修平 | 鉄の可能性追求とカーボンニュートラルへの挑戦 | 「経営幹部による大学特別講義」東工大 主催：日本鉄鋼協会 | 2021年12月7日 |
| 154 | 佐藤 直樹 | 鉄の可能性追求とカーボンニュートラルへの挑戦 | 「経営幹部による大学特別講義」北大 主催：日本鉄鋼協会 | 2021年11月8日 |
| 155 | 余語克則 | カーボンニュートラル実現に向けたCO ₂ 分離回収技術開発の動向 | 2021年 AICE(自動車用内燃機関技術研究組合)共同研究企業フォーラム | 2021年10月20日 |
| 156 | 手塚宏之 | Initiatives and Challenges for the Japanese Steel Industry to achieve carbon neutrality in 2050 | 2021 SEAISI | 2021年11月16日 |
| 157 | 松崎洋市 | 量子化学計算の産業応用 | 2021年 理研シンポジウム 理化学研究所 | 2021年11月26日 |
| 158 | 余語克則 | CO ₂ 分離・回収技術開発の新展開 | 第62回ガラスおよびフォトニクス材料討論会 | 2021年11月8日 |
| 159 | 余語克則 | カーボンニュートラル実現に向けたCO ₂ 分離回収技術開発の動向(仮) | JACI(新化学技術推進協会)高選択性反応分科会講演会 | 2021年12月17日 |
| 160 | 余語克則 | 国内外におけるCO ₂ 分離・回収技術開発の動向 | 内閣府 総合海洋政策本部参与会議科学技術イノベーションスタディグループにおける話題提供 | 2021年12月21日 |
| 161 | 余語克則 | カーボンニュートラルに向けたCO ₂ 分離回収技術開発の動向 | 低温排熱利用機器調査研究会 ヒートポンプ・蓄熱センター | 2021年12月23日 |
| 162 | 余語克則 | カーボンニュートラル実現に向けたCO ₂ 分離回収技術開発の新展開 | 第355回クリーンテクノロジー研究会 日本空気清浄協会 | 2022年2月3日 |

| | | | | |
|-----|---------------|--|--|------------------|
| 163 | 中尾真一 | カーボンニュートラルを支える CO ₂ 分離回収技術 | 革新的環境技術シンポジウム 2021 (RITE 主催) | 2021 年 12 月 1 日 |
| 164 | 紫垣 伸行 | 大規模 PSA システムを目標とした高炉ガスからの CO ₂ 分離回収技術開発 | 第 55 回化学工学の進歩講習会 化学工学会東海支部 | 2021 年 12 月 15 日 |
| 165 | 甲斐照彦 | CCUS のための CO ₂ 分離回収技術の開発動向 | セミナー「中国四国地区の化学産業における低炭素化の取り組み」 化学工学会 | 2021 年 11 月 26 日 |
| 166 | 後藤和也 | Carbon Dioxide Capture, A Key Technology for Achieving Carbon-Neutral Society | 第 10 回日中化工シンポジウム 化学工学会 | 2021 年 11 月 29 日 |
| 167 | 磯原豊司雄 | 技術と社会のイノベーションで 2050 年カーボンニュートラルの実現を目指す | Latin America-Japan Workshop on Hydrogen Supply Chains (新エネルギー人材育成事業・中南米研修「水素サプライチェーン」) 主催：日本エネルギー経済研究所 | 2021 年 12 月 10 日 |
| 168 | 手塚宏之 磯原豊司雄 | Initiatives and Challenges for the Japanese Steel Industry to achieve carbon neutrality in 2050 | 2021 SEAISI | 2021/12 以降 |
| 169 | 宇治澤 優 | 環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等 プロセス技術の開発 (COURSE50) の開発状況 | 日本鉄鋼協会・日本金属学会関西支部鉄鋼プロセス研究会・材料化学研究会 令和 3 年度合同講演会 | 2021 年 12 月 10 日 |
| 170 | 宇治澤 優 | Low carbon emission steel making technology using hydrogen: COURSE50 project | 研究会・材料化学研究会 令和 3 年度合同講演会 | 2021 年 12 月 15 日 |
| 171 | 上城親司 | Development of advanced H ₂ utilization technology for reduction of CO ₂ emission from blast furnace using 12 m ³ | ICST2020 | 2022 年 3 月 7 日 |

| | | | | |
|-----|----------------------|--|--|-------------|
| | | experimental blast furnace. | | |
| 172 | 大野光一郎 | 水素富化条件での還元挙動に及ぼす焼結鉄鉱石中のFeO濃度の影響 | 日本鉄鋼協会第183回講演大会 | 2022年3月15日 |
| 173 | Firoz Alam Chowdhury | Development of single/mixed-amine containing non-aqueous solvent: A significant improvements in CO ₂ solubility and viscosity | GHGT-16 (16th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies) | 2022年10月23日 |
| 174 | 手塚宏之 | 鉄鋼業のカーボンニュートラルへの取り組み | エレクトロヒート | 2021年11月1日 |
| 175 | 村上英樹 | 日本鉄鋼業のカーボンニュートラルへの取組 | 湯川記念講演会 日本金属学会・日本鉄鋼協会九州支部 | 2022年3月25日 |
| 176 | 手塚宏之 | Steel Industry's Vision and Challenge towards Carbon Neutrality | Japan and Australia's National Hydrogen Strategies - A Conversation 東京大学公共政策大学院未来ビジョン研究センター、オーストラリア国立大学共催 | 2022年3月1日 |
| 177 | 宇治澤 優 | 環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス技術の開発(COURSE50) | 2022年度春季 日本鉄鋼協会・日本金属学会九州支部講演会 | 2022年3月25日 |
| 178 | 渡壁史朗 | 日本钢铁行业努力实现碳中和目标 (邦題：日本鉄鋼業のカーボンニュートラル目標達成への取組み) | 2021年度 日中省エネ協力オンラインワークショップ (第2回) 省エネルギーセンター | 2022年3月10日 |
| 179 | 渡壁史朗 | 「Carbon Neutrality and Circular Economy in the Steel Sector」 | AJSI Webinar 主催：日本鉄鋼連盟 | 2022年2月24日 |

| | | | | |
|-----|------------|--|--|-----------------|
| 180 | 堂野前等 | 環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス技術の開発(COURSE50)の開発状況 | NEDO プロジェクト 「CCUS 研究開発・実証関連事業/苫小牧における CCUS 大規模実証試験/CO ₂ 輸送に関する実証試験/CO ₂ 船舶輸送に関する技術開発および実証試験」の第 2 回課題検討会 | 2022 年 3 月 10 日 |
| 181 | 渡壁史朗 | Effort to Address Carbon Neutrality by the Japanese Steel Industry | Eco-process Webinar Towards Energy-Efficient and Environmentally Sustainable Transition in Steel Industry JICA | 2022 年 3 月 2 日 |
| 182 | 小野透 | 日本鉄鋼連盟長期温暖化対策ビジョン 『ゼロカーボン・スチールへの挑戦』 | 経済産業省 CCS 長期ロードマップ検討会 | 2022 年 2 月 24 日 |
| 183 | 小野透 | Steel Industry's Vision and Challenge towards Carbon Neutral by 2050 | 鉄鋼セクターの脱炭素ソリューション～日本・ブラジル企業のビジネス機会～ブラジル大使館 | 2022 年 2 月 22 日 |
| 184 | 尾藤 貴 | 日本製鉄におけるカーボンニュートラルに関する取り組み | マテリアル反応工学分科会講演 日本実験力学学会 | 2022 年 3 月 8 日 |
| 185 | 後藤和也 | カーボンニュートラルを支える CO ₂ 分離回収技術 | 第 14 回けいはんな学研都市先端シーズフォーラム | 2022 年 3 月 24 日 |
| 186 | 手塚宏之 | 鉄鋼業のカーボンニュートラルへの取り組み | 日本学術会議シンポジウム「2050 年カーボンニュートラル実現に向けたエネルギーシナリオ」 | 2022 年 4 月 1 日 |
| 187 | 磯原 豊司 雄 | 鉄鋼業のカーボンニュートラルへの取り組み | プレハブ建築協会環境分科会第 1 回関連業界勉強会 | 2022 年 3 月 23 日 |
| 188 | 堂野前 等 | 鉄鋼業および日本製鉄のカーボンニュートラルへの取り組み | 東京湾岸ゼロエミッションイノベーション協議会 | 2022 年 3 月 24 日 |

| | | | | |
|-----|------------|--|--|------------|
| 189 | 堂野前 等 | 日本製鉄におけるカーボンニュートラルへの取組み | 第12回日中鉄鋼業環境保全・省エネ先進技術専門家交流会 | 2022年4月21日 |
| 190 | 磯原 豊司 雄 | The Challenge of Carbon Neutrality in Steel | SEAISI | 2022年3月28日 |
| 191 | 手塚 宏之 | Steel Industry's Vision and Challenge towards Carbon Neutrality | IPCC シンポジウム 「IPCC 第6次評価報告書から気候変動緩和策の最新知見を学ぶ」 | 2022年5月19日 |
| 192 | 野村 誠治 | 鉄鋼業を取り巻く経営環境と当社の研究開発 | 東京大学工学部主催 2022年度環境講演会 | 2022年6月8日 |
| 193 | 手塚 宏之 | Decarbonization Technology for Steel industries “Initiatives and Challenges for the Japanese Steel Industry to achieve carbon neutrality in 2050” | Webinar “Decarbonization pathway to achieve Net zero emission target” | 2022年5月25日 |
| 194 | 甲斐 照彦 | カーボンニュートラルに貢献するCO ₂ 分離回収技術の研究開発 | 応用物理学会関西支部 2022年度第1回講演会 「カーボンニュートラルを目指した技術開発と今後の展望」 | 2022年5月16日 |
| 195 | 永井 徹 | Effort to Address Carbon Neutrality by the Japanese Steel Industry | JICA 国別研修「定量的アプローチに基づく低炭素政策形成研修」 | 2022年5月25日 |
| 196 | 齋藤 龍司 | 日本鉄鋼業の温暖化対策 | 東部十八リットル缶工業組合分科会 | 2022年5月30日 |
| 197 | 上城 親司 | Development of advanced H ₂ utilization technology for reduction of CO ₂ emission from blast furnace using 12 m ³ experimental blast furnace. | ICSIT 2022 (世界製鉄会議) | 2022年9月1日 |
| 198 | 後藤 和也 | カーボンニュートラル実現に向けたCO ₂ 分離回収技術の研究開発 | 大阪府、大阪商工会議所主催：産学連携セミナー | 2022年6月20日 |
| 199 | 余語 克則 | 二酸化炭素分離回収技術への多孔質材料の応用 | 日本化学学会 R&D 懇話会 | 2022年6月22日 |

| | | | | |
|-----|-------|--|---|------------|
| 200 | 平川 智久 | 日本の鉄鋼業における低炭素化の取組み | (一社) 日本建築構造技術者協会 建築構造士定期講習会 | 2022年7月30日 |
| 201 | 余語 克則 | カーボンニュートラル実現に向けたCO ₂ 分離回収技術開発への取組み | SMBC 日興証券主催オンラインセミナー | 2022年7月11日 |
| 202 | 萩生 大介 | 工場排ガス中CO ₂ の低エネルギー分離回収システムの開発 | 市村賞受賞記念フォーラム2022 | 2022年8月19日 |
| 203 | 余語 克則 | カーボンニュートラル達成に向けた新たなCO ₂ 分離回収技術開発への取組み | 「未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西」(RITE 主催)HP 予告 | 2022年8月31日 |
| 204 | 後藤 和也 | CO ₂ 化学吸収液-CO ₂ 分離・回収技術の普及を目指して- | 「未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西」(RITE 主催) | 2022年9月22日 |

③ その他

| 番号 | 発表者 | 発表タイトル | 発表機関 | 発表日付 |
|----|-------|--|--|---------------------------|
| 1 | 殿村 重彰 | 新日鐵住金株式会社・環境報告書(2018) | 新日鐵住金株式会社・環境報告書(2018) | 2018年6月30日 |
| 2 | 磯原豊司雄 | 鉄はエコマテリアル | 新日鐵住金株式会社 アニュアルレポート | 2018年6月28日 |
| 3 | 日比政昭 | 鉄鋼業と水素エネルギー | エネルギー総合工学研究所「CO ₂ フリー水素シナリオ研究会」での話題提供 | 2018年6月28日 |
| 4 | 成瀬一郎 | 微粉炭の反応挙動に及ぼす可燃性ガス吹き込みの影響 | 未来材料・システム研究所交流会 (IMaSS 交流会) 名古屋大学 未来材料・システム研究所 | 2018年8月27日 |
| 5 | | 第2回タラノア対話サブミッション | UNFCCC Talanoa Dialogue Platform https://talanoadialogue.com/ | 2018年10月29日以降 |
| 6 | 荒木 恭一 | COURSE50 開発状況について | 第726回日本鉄鋼連盟運営委員会及び総務委員会 日本鉄鋼連盟 | 2018年10月29日 2018年11月9日 |
| 7 | | 低炭素社会実行計画 2018年度フォローアップ結果 総括編<2017年度実績> (速報版) | 日本経済団体連合会の低炭素社会実行計画の一部として当該団体ホームページ等で公表 日本鉄鋼連盟 | 2018/12/1 |
| 8 | 手塚宏之 | 鉄鋼業界におけるエネルギー・環境先端技術と地球温暖化対策 Technology | 科学技術特論、東工大 | 2018年12月26日 |
| 9 | 磯原豊司雄 | COURSE50 Project | World Future Energy Summit and Exhibition, Abu Dhabi National Exhibition Centre | 2019年1月14日 |
| 10 | 中尾真一 | 研究活動概説 化学研究グループ CO ₂ 分離・回収技術の高度化・実用 | RITE 年次報告書 「RITE Today」 2018年 Vol.13 | 2019年3月末 |

| | | | | |
|----|-------|---|---|------------|
| | | 化への取り組み | | |
| 11 | 足立 毅郎 | Development of cokemaking technology for hydrogen reduction iron making process | voestalpine/Linz 工場見学での情報交換 レオーベン鉱山業大学 | 2019年2月8日 |
| 12 | 小野 透 | 鉄鋼業におけるCCU/Sに向けた取り組み | 第1回カーボンリサイクル協議会 経済産業省 | 2019年2月14日 |
| 13 | 中尾真一 | 研究活動概説 CO ₂ 分離・回収技術の高度化・実用化への取り組み | RITE年次報告書 「RITE Today」2019年 Vol.14 | 2019年5月 |
| 14 | 宇治澤 優 | 水素時代の鉄づくり | 新日鐵住金株式会社季刊誌、 vol.25「水素」特集 | 2019年3月15日 |
| 15 | 荒木 恭一 | 環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス技術の開発 COURSE50 フェーズII実施状況 | COURSE50 記者会見 NEDO,鉄連 | 2019年3月13日 |
| 16 | 野村 誠治 | 鉄鋼業を取り巻く経営環境と当社の研究開発 | 日本製鉄技報 | 2019年8月19日 |
| 17 | 高椋 則彰 | 鞍鋼エンジ交流会 | 鞍鋼エンジ交流会 | 2019年6月27日 |
| 18 | 工藤 真二 | 低品位石炭由来成型コークスの強度発現機構 | 第59回炭素材料夏季セミナー、九州大学 | 2019年9月12日 |
| 19 | 伊藤 渉 | 産学連携フォーラム -鉄鋼業が直面する主たる課題- ●地球温暖化問題 | 東北大学教育プログラム、産学連携フォーラム | 2019年10月4日 |
| 20 | 伊藤 渉 | 日本製鉄株式会社サステナビリティレポート2019 | 日本製鉄 サステナビリティレポート2019 | 2019年10月1日 |

| | | | | |
|----|-------------------|--|---|-------------|
| | | 革新的技術開発 | | |
| 21 | - | 統合報告書 | 神戸製鋼所ホームページ | 2019年8月30日 |
| 22 | 内山 俊一 | 技術革新推進について | 鉄連・内山専務理事と CISA（中国鋼鉄工業協会）の何文波常務副会長と面会時 日本鉄鋼連盟 | 2019年9月25日 |
| 23 | 野村誠治 | 水素還元等プロセス技術の開発（COURSE50） | Iron Ore, 2nd edition Elsevier 社 | 2020年6月1日 |
| 24 | 前田洋平 | 低炭素社会実行計画 2019年度フォローアップ結果 総括編<2018年度実績>（速報版） | 日本経済団体連合会 HP | 2019年12月中 |
| 25 | 松原秀和 | 「Initiatives to Treat Environmental Issues and Mitigate Global Warming by the Japanese Steel Industry」 | 「Steel Construction Today and Tomorrow」 No.58 日本鉄鋼連盟 | 2019年11月25日 |
| 26 | 日本鉄鋼連盟 建設環境研究会 | 「鉄の輪がつなぐ人と地球」 | パンフレット「鉄の輪がつなぐ人と地球」 一般に配布、鉄鋼連盟ウェブサイトに掲載 | 2019年11月18日 |
| 27 | 松崎洋市 | 量子化学計算の産業応用 | 大阪大学 化学工学特別講義 | 2019年11月29日 |
| 28 | 紫垣 伸行 | PSA 法による高炉ガスからの炭酸ガス分離技術の開発 | 吸着便覧「改訂最新吸着技術便覧ープロセス・材料・設計ー」 | 2020年4月17日 |
| 29 | 小野透 | 日本鉄鋼連盟長期温暖化対策ビジョンーゼロカーボン・スチールへの挑戦ー | 経済産業省（非公開検討会）の第2回我が国におけるCCS 導入に向けた検討会 | 2019年11月28日 |

| | | | | |
|----|------------------|--|--|------------|
| 30 | 日本製鉄株式会社 | 「ゼロカーボン・スチールへの挑戦」 | エコプロ展 | 2019年12月5日 |
| 31 | 野村誠治 | 水素還元等プロセス技術の開発 (COURSE50) | Nippon Steel Technical Report | 2020年3月31日 |
| 32 | 泉山雅明他2名 | COURSE50プロジェクトについて | 低炭素社会実行計画実績報告 経済産業省の鉄鋼ワーキンググループにて配布。経済産業省HP掲載。 日本鉄鋼連盟 | 2020年2月6日 |
| 33 | 伊吹隆直 | COURSE50プロジェクトについて | 経団連「チャレンジゼロ」 | 2020年5～7月頃 |
| 34 | 佐藤道貴 | 製鉄プロセスの新たな取り組み | 「粉体技術」 日本粉体工業技術協会 | 2020年10月号 |
| 35 | 磯原 豊司雄 | 東北大学 2020年度 応用環境工学 9 鉄鋼における低炭素化技術 | 2020年度 応用環境工学 (大学講義) 東北大学 | 2020年7月2日 |
| 36 | 手塚宏之 | ゼロカーボン・スチールへの挑戦 | SPEED (Special Project on Eco innovation and Eco business for Sustainable Development) 研究会 | 2020年7月9日 |
| 37 | 手塚宏之 | Activities of Japanese Steel Industry to Combat Global Warming | worldsteel steel talk レクチャー | 2020年7月15日 |
| 38 | 鈴木聖人 | 週刊東洋経済 エネルギー・脱炭素に関する特集記事 | 週刊東洋経済への試験高炉写真掲載 | 2020年7月27日 |
| 39 | 安室 元晴 | COURSE50事業に参画していることを統合報告書に記載 | 神戸製鋼所統合報告書 | 2020年9月15日 |
| 40 | 橋本会長、北野副会長、山口副会長 | COURSE50について | 経済産業省と鉄鋼業界打ち合わせ | 2020年9月17日 |
| 41 | 風間 伸吾 | 「COURSE50」プロジェクト | 日本製鉄 2020年サステナビリティレポート | 2020年10月6日 |

| | | | | |
|----|-------|--|---|--------------------|
| 42 | 風間 伸吾 | 「COURSE50」プロジェクト | 日本製鉄統合報告書 | 2020年10月6日 |
| 43 | 安室 元晴 | COURSE50 事業に参画していることを統合報告書に記載 | 神戸製鋼所統合報告書（英文） | 2020年10月19日 |
| 44 | 磯原豊司雄 | 鉄鋼業における水素利用 | (株) アグネ技術センター | 2021年1月25日 |
| 45 | 野村誠治 | COURSE50 の試験設備と成果の概要 | 取材対応 日刊工業新聞社 | 2020年10月29日 |
| 46 | 宇治澤優 | NHK 番組への情報（写真）提供 | NHK への写真提供 | 2020年11月6日 |
| 47 | 前田洋平 | 低炭素社会実行計画 2020 年度フォローアップ結果 総括編<2019 年度実績>（速報版） | 日本経済団体連合会の低炭素社会実行計画の一部として当該団体ホームページ等で公表 日本鉄鋼連盟 | 2021年1月1日 |
| 48 | 下重聡 | 3つのエコと革新的技術開発 | エコプロ展 | 2020年11月25日 |
| 49 | 山崎 享幸 | 環境調和型プロセス技術の開発／水素還元等プロセス技術の開発 | 東京湾岸ゼロエミッションイノベーション協議会 | 2020年12月25日 |
| 50 | 内山俊一 | 公明党地球温暖化対策推進本部へのヒアリング対応 | 公明党ヒアリング対応 | 2020年12月2日 |
| 51 | 松崎洋市 | COURSE50 における化学吸収法の技術開発 | JX 石油開発との情報交換 | 2020年10月15日 |
| 52 | 有田進之介 | 新春会長対談 | 日本製鉄広報 | 2021年1月 2021年3月 |
| 53 | 上城親司 | 12m3 試験高炉を用いた高炉からの排出 CO ₂ 量削減技術の開発 | 日本製鉄技報第 417 号 | 2021年3月1日 |
| 54 | 上城親司 | Development of technology for reduction of CO ₂ emission from | NIPPON STEEL TECHNICAL REPORT No. 127 | 2021年3月31日 |

| | | | | |
|----|-------|--|---------------------------------------|-------------|
| | | blast furnace using 12 m ³ experimental blast furnace. | | |
| 55 | 松崎洋市 | Development of CO ₂ Chemical Absorbents Aided by Quantum Chemical Calculations in the COURSE50 Project | NIPPON STEEL TECHNICAL REPORT No. 127 | 2021年3月31日 |
| 56 | 松崎洋市 | COURSE50における量子化学計算を活用したCO ₂ 吸収液の開発 | 日本製鉄技報（環境特集） | 2021年4月1日 |
| 57 | 紫垣 伸行 | スケールアップ試験に思うこと ～期待とその役割～（ふえらむ「躍動」投稿記事） | ふえらむ 2021年6号 日本鉄鋼協会 | 2021年6月1日 |
| 58 | 宇佐美明 | 低炭素化に向けた当社取組みと課題 | 名古屋港カーボンニュートラルレポート検討会 | 2021年2月24日 |
| 59 | 堂野前等 | Overview and Efforts to Combat Global Warming of the Steel Industry in Japan | 日印鉄鋼官民協力会合 | 2021年2月25日 |
| 60 | 青木宗太 | Activities of Japanese Steel Industry to Combat Global Warming Report of “JISF” s Commitment to a Low Carbon Society | 日本鉄鋼連盟への英訳掲載 | 2021年3月1日以降 |
| 61 | 野村 誠治 | 日本製鉄グループカーボンニュートラルビジョン | 日本製鉄グループ、カーボンニュートラル 2050 での紹介 | 2021年3月30日 |

| | | | | |
|----|--------|--|--------------------------------|-----------------|
| | | 2050 | | |
| 62 | 宇治澤 優 | 日経ものづくり 6 月号 (2021/6/1 発 行) 「カーボンニュー トラル特集 (仮)」 | 日経ものづくり 6月号 | 2021年6月1 日 |
| 63 | 礪原 豊司雄 | 鉄鋼における低炭 素化技術 | 東北大学大学院 応用環境工 学 講義 | 2021年6月3 日 |
| 64 | 野村誠治 | 鉄鋼業を取り巻く 経営環境と当社の 研究開発 | 東京大学工学部環境講演会 | 2021年7月7 日 |
| 65 | 上城親司 | 製鉄プロセスにお ける省 CO ₂ の取り 組み | 秋田化学技術協会 化学技術 懇談会 | 2021年7月16 日 |
| 66 | 礪原 豊司雄 | 特集 脱炭素時代 の鉄鋼業と商社の あり方を考えるゼ ロカーボン・スチ ールへの挑戦に向 けて | メタルワン広報誌 Value One | 2021年7月 |
| 67 | 小野義弘 | 廃棄物処理と CO ₂ 回収 | 東京湾岸ゼロエミッションイ ノベーション協議会 | 2021年6月25 日 |
| 68 | 下重 智 | ゼロカーボンスチ ール実現に向けた 日本製鉄のチャレ ンジ | 日本製鉄サステナビリティレ ポート 2021 | 2021年8月31 日 |
| 69 | 渡部拓海 | 「日本鉄鋼業のカ ーボンニュートラ ルへの道」 | 道路建設業協会機関紙、「道 路建設」 | 2021年9月1 日 |
| 70 | 青木 宗太 | 低炭素社会実行計 画フォローアップ 報告 (調査票及びプレ ゼン資料) | 経団連、HP | 2021年12月14 日 |
| 71 | 手塚宏之 | 鉄鋼のカーボンニ ュートラルへの取 り組み | 第14回「JEITA 機器・部品 メーカー合同懇談会」 | 2021年10月13 日 |
| 72 | 古口 里彩 | ゼロカーボン・ス チールへの挑戦 | 季刊ニッポンスチール Vol.10 9月号 | 2021年10月29 日 |

| | | | | |
|----|--------|--|--|-------------|
| 73 | 山鹿加奈子 | ゼロカーボン・スチール実現に向けた日本製鉄のチャレンジ | 日本製鉄、第97期中間報告書 | 2021年11月30日 |
| 74 | 松崎洋市 | 量子化学計算の産業応用 | 大阪大学大学院基礎工学研究科 化学工学特別講義Ⅱ | 2021年11月17日 |
| 75 | 宇治澤 優 | 日本製鉄におけるカーボンニュートラルに関する取り組み | 第67回技泉会朝食会 懇談講演テーマ | 2021年10月29日 |
| 76 | 松崎洋市 | 工場排ガス中CO ₂ の低エネルギー分離回収システムの開発 | 市村地球環境産業賞応募 | 2021年11月20日 |
| 77 | 高尾正義 | 水素還元製鉄技術について | 福岡水素エネルギー戦略会議 | 2021年11月9日 |
| 78 | 萩生 大介 | CO ₂ 化学吸収法による廃棄物処理施設の脱炭素化への取り組み | 令和3年度「人材育成セミナー水素入門コース」 主催：福岡水素エネルギー戦略会議 | 2022年1月1日 |
| 79 | 齋藤龍司 | 「日本の鉄づくり」 | 燃料電池・クリスマス・夢・子供博 主催：福井クラシックカー協会 | 2021年11月25日 |
| 80 | 宇治澤 優 | 技術と社会のインバージョンで 2050年カーボンニュートラルの実現を目指す | 日本製鉄、社内報12月号 | 2021年12月7日 |
| 81 | 磯原 豊司雄 | 「鉄鋼業における脱炭素の取組み動向」 | 日本鉄鋼連盟 第15回環境交流会 | 2021年12月1日 |
| 82 | 諸住健志 | 「2030年までの電子部品技術ロードマップ（仮題）」 | 2030年までの電子部品技術ロードマップ | 2022年3月31日 |
| 83 | 古口 里彩 | ゼロカーボン・スチールへの挑戦 | 季刊ニッポンスチール Vol.10 | 2021年12月21日 |

| | | | | |
|----|-------|---|--|-----------------|
| 84 | 尾藤 貴 | 日本製鉄における カーボンニュート ラルに関する取り 組み | 第 90 回マテリアルズ・テラ ーリング研究会 京都大学野平研究室 | 2021年12月18 日 |
| 85 | 手塚宏之 | 「鉄鋼のカーボン ニュートラルへの 取組み」 | エレクトロヒート No242 | 2022年3月15 日 |
| 86 | 古口 里彩 | カーボンニュート ラル時代における エコプロダクツ | 季刊ニッポンスチール Vol.11 | 2022年1月20 日 |
| 87 | 宇治澤 優 | COURSE50 試験 高炉の取材記事掲 載用写真 | 日経、試験高炉写真提供 | 2022年1月下 旬 |
| 88 | 泉山 雅明 | 鉄鋼業界のカーボ ンニュートラル行 動計画 | 経済産業省 産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環 境小委員会 鉄鋼ワーキング グループ（同資料を経団連に も提出） | 2022年3月4 日 |
| 89 | 萩生 大介 | 製鉄所からの CO ₂ 分離回収技術開発 | 「二酸化炭素回収・貯留 （CCS）技術の最新動向」 （株）シーエムシー出版 | 2022年4月1 日 |
| 90 | 茂木 康弘 | PSA 法による高炉 ガスからの炭酸ガ ス分離技術の開発 | 「二酸化炭素回収・貯留 （CCS）技術の最新動向」 （株）シーエムシー出版 | 2022年4月1 日 |
| 91 | 大浜典子 | 水素を利用する実 験高炉 | 日本文教出版 令和 6 年度版「小学社会 5 年」教科書 | 2022年4月1 日 |
| 92 | 富田 聡 | Steel Industry' s Vision and Challenge towards Carbon Neutral by 2050 | 東京都水素ビジョン | 2022年3月31 日 |
| 93 | 泉山 雅明 | Activities of Japanese Steel Industry to Combat Global Warming Report of “JISF’s Carbon Neutrality Action Plan (Commitment to | 日本鉄鋼連盟ホームページ | 2022年4月28 日 |

| | | | | |
|----|----------------|---|---|----------------|
| | | a Low Carbon Society)” | | |
| 94 | 日本製鉄 | 事業分野別の概況 製鉄事業 | 株主の皆様へ、第97期中間 報告書 | 2022年5月23 日 |
| 95 | 青木 宗太 | 2050年カーボン ニュートラルに向 けた鉄鋼業界の挑 戦 | 月刊経団連（2022年8月 号） | 2022年8月1 日 |
| 96 | 松崎 洋市 | 工場排ガス中CO ₂ の低エネルギー分 離回収システムの 開発 | 市村賞受賞者への訪問ルポ取 材（市村財団の年報記事） | 2022年7月29 日 |
| 97 | 今井 いずみ | 「2021年におけ る重要なエネルギ ー関係事項」 （Annual Energy Reviews-2021） I 3 エネルギ ー需要に関する業 界の動向 3.2 最終消費エネルギ ー（3.2.2）鉄 | 日本エネルギー学会機関誌 「2021年における重要なエ ネルギー関係事項」 | 2022年8月19 日 |
| 98 | 下重 智 | 気候変動対策の推 進／超革新技術開 発へのチャレンジ | サステナビリティレポート 2022（日本製鉄） | 2022年8月31 日 |
| 99 | （一社）日本鉄鋼 協会 | カーボンニュート ラル社会を実現す るCCUS | ふえらむ、2022年10号 日本鉄鋼協会 | 2022年10月1 日 |

10.2 新聞・雑誌への掲載

| 番号 | 発表者 | 発表タイトル | 発表機関 | 発表日付 |
|----|-------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| 1 | 東井隆行 | 解説：CCSと二酸化炭素分離・回収技術 | ペトロテック Vol.41 No.7 公益社団法人石油学会 | 2018年7月 |
| 2 | 東井隆行 | CCSと二酸化炭素分離・回収技術開発 | 化学と工業 Vol.71 (2018年), No.5 | 2018年4月 |
| 3 | 萩生大介 | 省エネ型二酸化炭素回収設備「ESCAP」の商業二号機の竣工について | プレスリリース | 2018年12月 26日 |
| 4 | 宇治澤 優 | COURSE50プロジェクト | マスコミ見学会 | 2019年5月30 日 |

10.3 特許出願

| 番号 | 出願者 | 出願番号 | 国内 外国 PCT | 出願日 | 名称 | 発明者 |
|----|--|-----------------------|-----------------|---------------------|--|--|
| 1 | 新日鐵住金(株)、 JFE スチール(株)、 (株)神戸製鋼所、日 新製鋼(株)、新日鉄 住金エンジニアリン グ(株) | 2018 -082519 | 国内 | 2018年 4月23日 | 触媒層のコ ーキング量 の測定方法 | 伊藤信明、堂野前 等、鈴木公仁、中 尾憲治 |
| 2 | 新日鐵住金(株)、 JFE スチール(株)、 (株)神戸製鋼所、日 新製鋼(株)、新日鉄 住金エンジニアリン グ(株) | 2018 -082520 | 国内 | 2018年 4月23日 | 触媒層のコ ーキング量 の測定方法 | 伊藤信明、堂野前 等、鈴木公仁、中 尾憲治 |
| 3 | 新日鐵住金(株)、 JFE スチール(株)、 (株)神戸製鋼所、日 新製鋼(株)、新日鉄 住金エンジニアリン グ(株) | 2018 -172523 | 国内 | 2018年 9月14日 | 高炉の操業 方法 | 酒井 博、西岡 浩樹 |
| 4 | 国立大学法人北海道 大学、(株)神戸製鋼 所 | 2018 -202261 | 国内 | 2018年 10月26 日 | コークスの 製造方法 | 熊谷 治夫(国立 大学法人北海道大 学) 堺 康爾、奥山 憲幸、宍戸 貴洋 (株式会社神戸製 鋼所) |
| 5 | 新日鐵住金(株)、 JFE スチール(株)、 (株)神戸製鋼所、日 新製鋼(株)、新日鉄 住金エンジニアリン グ(株) | 2019 -026220 | 国内 | 2019年 2月18日 | 還元ガスの 吹込み量決 定方法及び 高炉の操業 方法 | 酒井 博、西岡 浩樹 |
| 6 | 公益財団法人地球環 境産業技術研究機構 (RITE)、日本製鉄 (株) | PCT/JP20 19/006457 | PCT | 2019年 2月21日 | 二酸化炭素 の吸収剤お よび二酸化 炭素の分離 回収方法 | 山本 信、後藤和 也、フィロツ・ア ラム・チョウド リ、松崎洋市、小 野田正巳 |

| | | | | | | |
|----|--|-----------------------|-----|---------------------|---|---|
| 7 | 新日鐵住金(株)、 JFE スチール(株)、 (株)神戸製鋼所、日 新製鋼(株)、新日鉄 住金エンジニアリン グ(株) | 2019 -080925 | 国内 | 2019年 4月22日 | 解析対象領 域の設定方 法 | 酒井 博、西岡 浩樹 |
| 8 | 新日鐵住金(株)、 JFE スチール(株)、 (株)神戸製鋼所、日 新製鋼(株)、新日鉄 住金エンジニアリン グ(株) | 2019 -080924 | 国内 | 2019年 4月22日 | ガス吹込み 条件の設定 方法及びガ ス吹込み条 件の設定方 法のプログ ラム | 西岡 浩樹、酒井 博 |
| 9 | 新日鐵住金(株)、 JFE スチール(株)、 (株)神戸製鋼所、日 新製鋼(株)、新日鉄 住金エンジニアリン グ(株) | 2019 -080926 | 国内 | 2019年 4月22日 | 補正係数の 決定方法 | 西岡 浩樹、酒井 博 |
| 10 | 日本製鉄(株)、JFE スチール(株)、(株) 神戸製鋼所、日鉄日 新製鋼(株)、日鉄エ ンジニアリング(株) | 2019 -216568 | 国内 | 2019年 11月29 日 | 高炉の操業 方法 | 酒井 博、中野 薫 |
| 11 | 新日鐵住金(株)、 JFE スチール(株)、 (株)神戸製鋼所、日 新製鋼(株)、新日鉄 住金エンジニアリン グ(株) | PCT/JP20 20/006011 | PCT | 2020年 2月17日 | 高炉操業方 法 | 酒井博、西岡浩 樹、中野薫 |
| 12 | 公益財団法人地球環 境産業技術研究機構 (RITE)、日本製鉄 (株) | 2020 -56851 | 国内 | 2020年 3月26日 | 二酸化炭素 を含むガス から二酸化 炭素を分離 回収するた めの吸収 液、及びそ れを用いた 二酸化炭素 の回収方法 | 松崎洋市、上代洋 (以上、日本製 鉄)、フィロツ・ アラム・チョウド リ(以上、 RITE) |

| | | | | | | |
|----|--|-------------------|-----|-------------|---|-------------------------|
| 13 | 日本製鉄(株)、JFEスチール(株)、(株) 神戸製鋼所、日鉄日新製鋼(株)、日鉄エンジニアリング(株) | 2020-092467 | 国内 | 2020年4月10日 | 高炉の操業方法 | 酒井 博、中野 薫 |
| 14 | 日本製鉄(株)、JFEスチール(株)、(株) 神戸製鋼所、日鉄エンジニアリング(株) | 2020-137588 | 国内 | 2020年8月17日 | 粘度測定装置 | 堺 康爾 |
| 15 | 日本製鉄(株)、JFEスチール(株)、(株) 神戸製鋼所、日鉄エンジニアリング(株) | PCT/JP2020/44217 | PCT | 2020年11月27日 | 高炉操業方法 | 酒井博、西岡浩樹、中野薫 |
| 16 | 日本製鉄(株)、JFEスチール(株)、(株) 神戸製鋼所、日鉄エンジニアリング(株) | 2021-051263 | 国内 | 2021年3月25日 | 高炉の操業方法 | 酒井 博、中野 薫 |
| 17 | 公益財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE)、日本製鉄(株) | PCT/JP2021/013090 | PCT | 2021年3月26日 | 二酸化炭素を含むガスから二酸化炭素を分離回収するための吸収液、及びそれを用いた二酸化炭素の回収方法 | フィロツ・アラム・チョウドリ、松崎洋市、上代洋 |
| 18 | 日本製鉄(株)、JFEスチール(株)、(株) 神戸製鋼所、日鉄エンジニアリング(株) | 2021-089968 | 国内 | 2021年5月28日 | 高炉の操業方法 | 酒井 博、中野 薫 |
| 19 | 日本製鉄(株)、JFEスチール(株)、(株) 神戸製鋼所、日鉄エンジニアリング(株) | 2021-142774 | 国内 | 2021年9月1日 | 移送装置及び移送方法 | 堺 康爾、奥山 憲幸、菊池 直樹 |
| 20 | 日本製鉄(株)、JFEスチール(株)、(株) 神戸製鋼所、日鉄エンジニアリング(株) | 2022-038903 | 国内 | 2022年3月14日 | CO ₂ 吸収液を加熱してCO ₂ を分離回収するCO ₂ 回収方法 | 小林 一暁、小水 流 広行、関屋 政洋 |

| | | | | | | |
|----|---|-----------------|----|----------------|------|---------------------------|
| 21 | 日本製鉄(株)、JFE スチール(株)、(株) 神戸製鋼所、日鉄エ ンジニアリング(株) | 2022 -154633 | 国内 | 2022年9 月28日 | 熱交換器 | 小林 一暁、小水 流 広行、関屋 政洋 |
|----|---|-----------------|----|----------------|------|---------------------------|

2. 分科会公開資料

次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

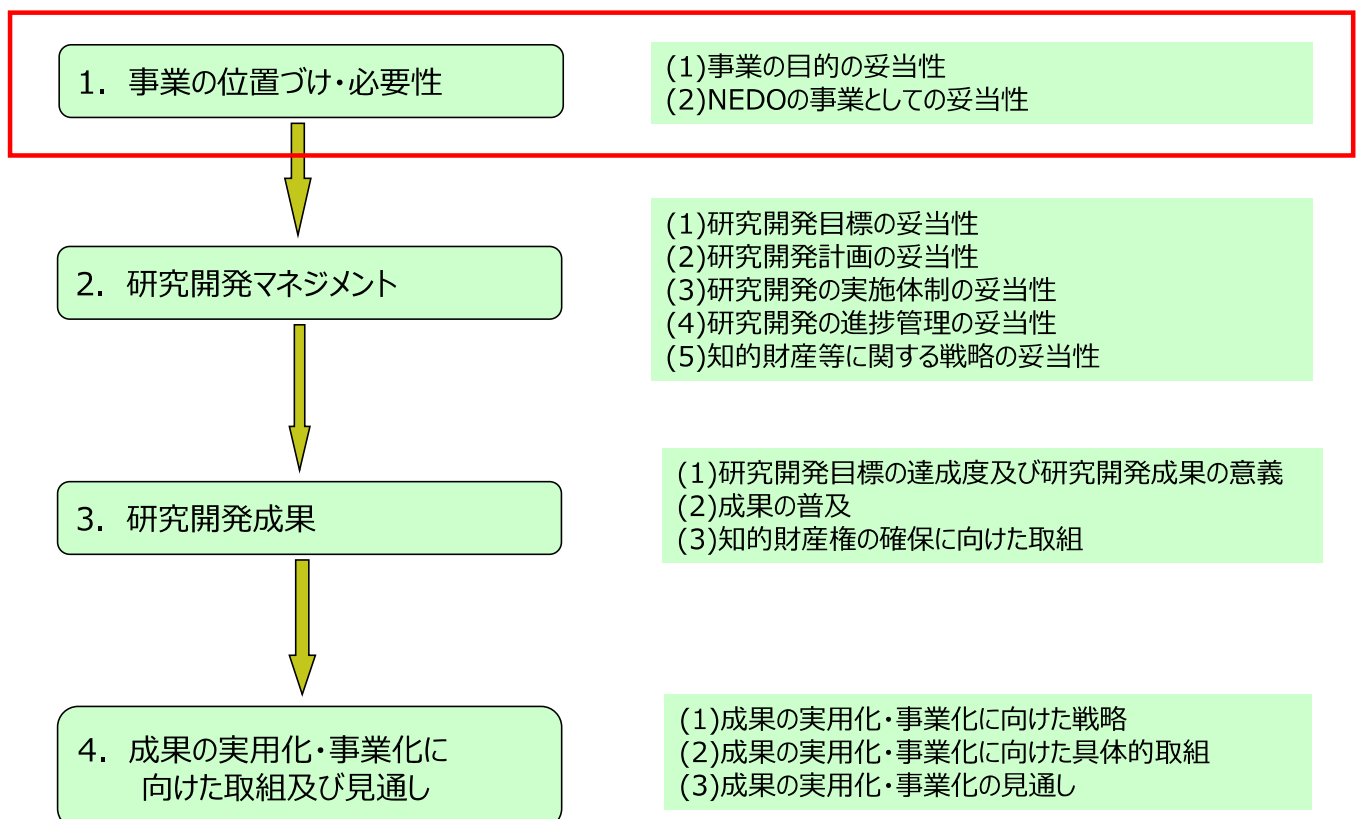
「環境調和型プロセス技術の開発／①水素還元等プロセス技術の開発（フェーズⅡ－STEP1）」（事後評価）

（2018年度～2022年度 5年間） プロジェクトの概要 **（公開）**

NEDO
環境部

2022年12月23日

発表内容



◆事業実施の背景と事業の目的

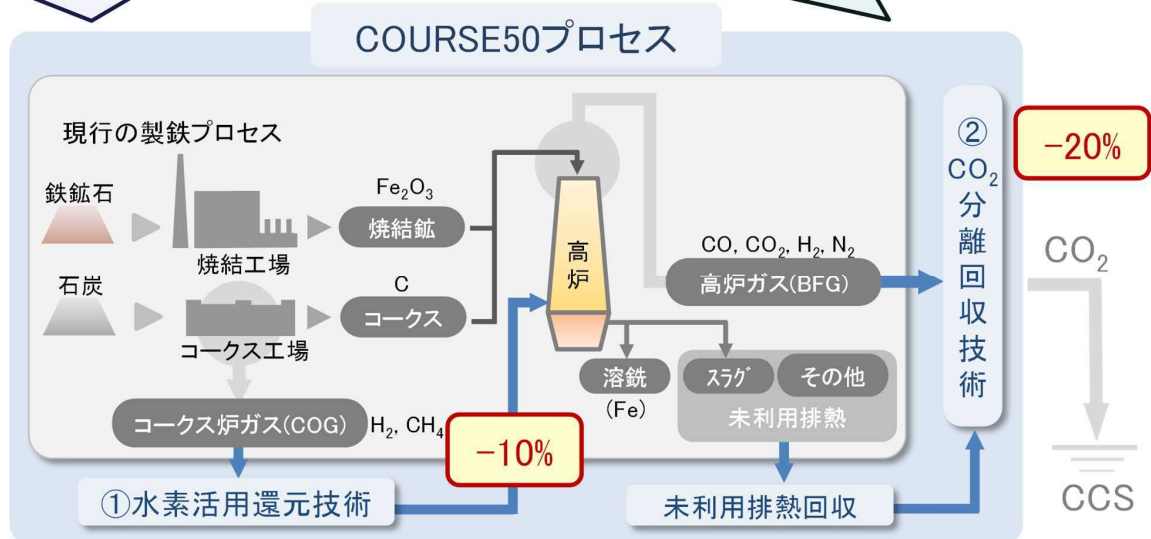
世界初の水素還元活用とCO₂分離回収によるCO₂排出量30%削減を目指す

① CO₂排出量削減技術開発

水素をコークスの一部代替として鉄鉱石を還元し、CO₂を10%削減

② CO₂分離・回収技術開発

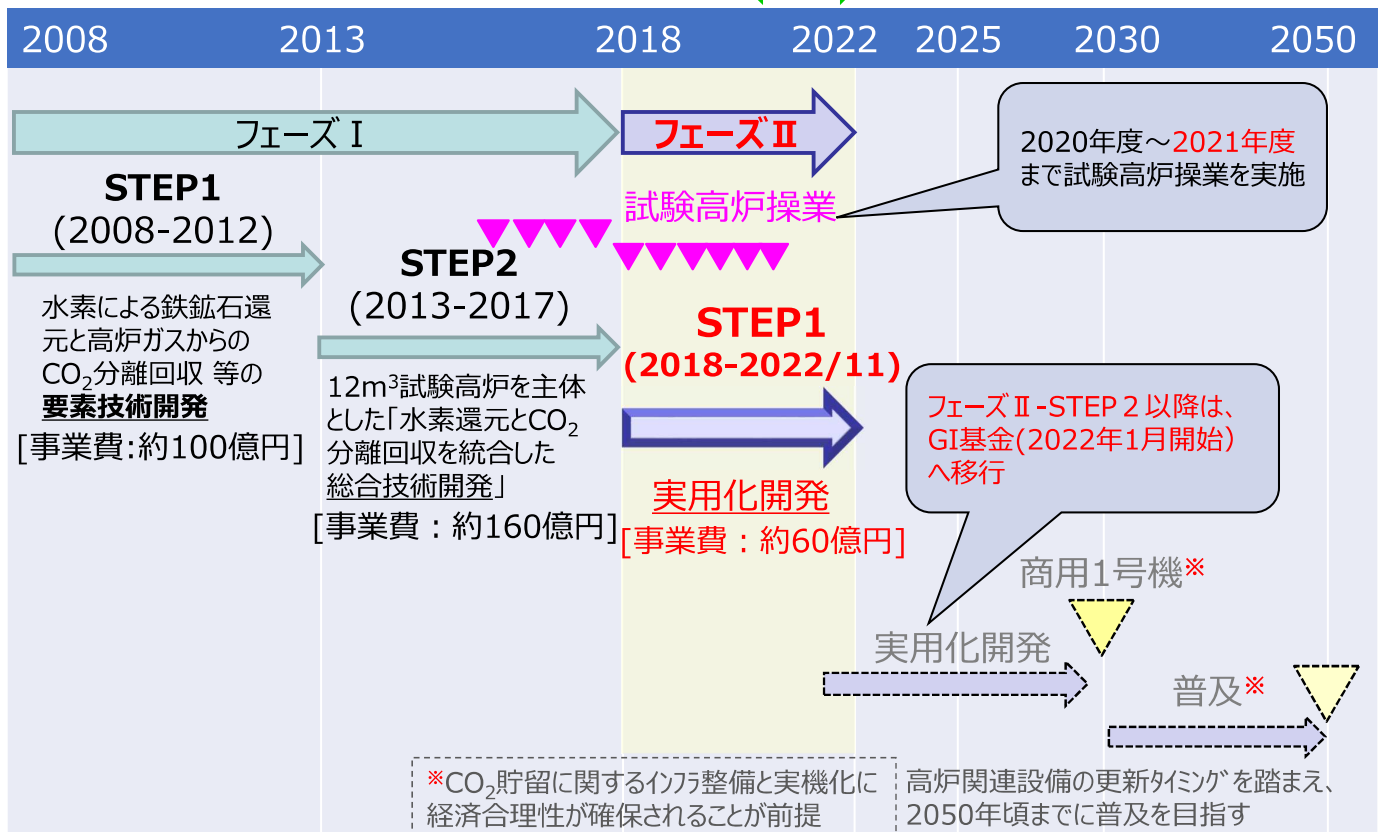
高炉ガスからCO₂を分離・回収し、CO₂を20%削減



COURSE50 : CO₂ Ultimate Reduction System for Cool Earth 50 Project ; 本事業の略称

◆事業の概略工程（変更後）

本事後評価の範囲 (2021年度~2022年11月)



◆事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

地球温暖化対策は世界的課題



抜本的CO₂排出抑制、省エネ技術の必要性

事業の目的

2030年の実用化開始を目指し、製鉄所における現状の全排出レベルと比較して総合的に30%のCO₂排出削減可能な技術を確立する。



- 1) コークス改良、コークス炉ガス改質水素による鉄鉱石還元技術開発
- 2) 未利用排熱を活用した高炉ガスからのCO₂分離回収技術開発

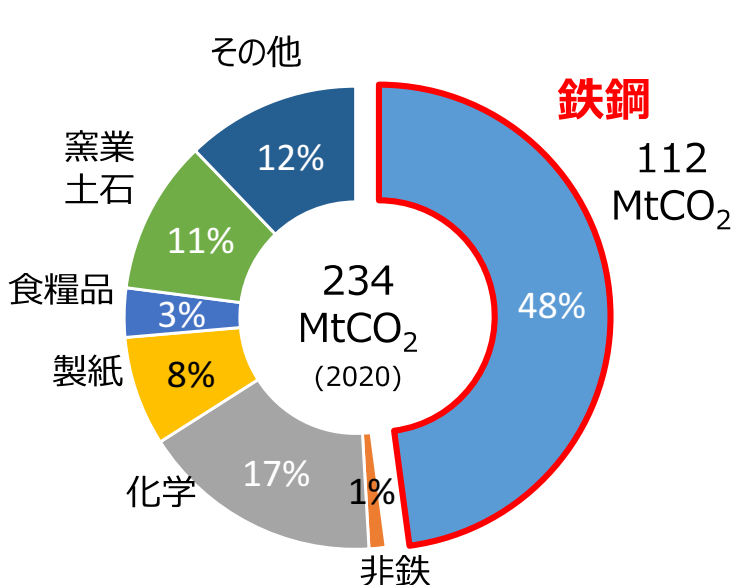
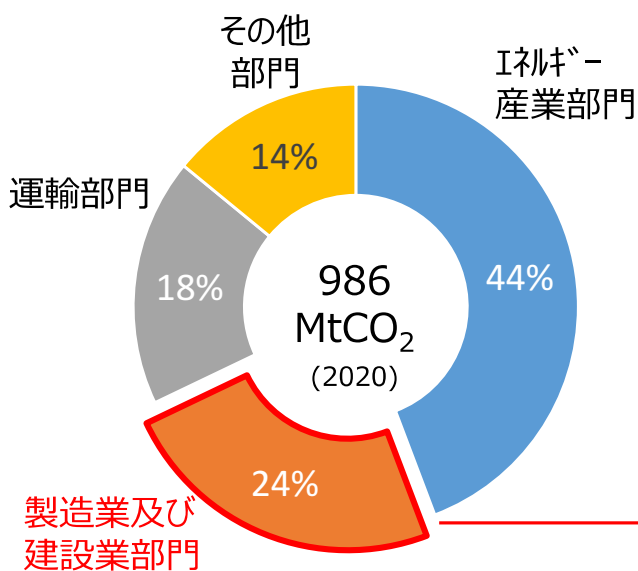
参考

◆事業実施の背景と事業の目的

我が国のCO₂排出量の約12%は鉄鋼業から

日本全体の燃料の燃焼分野に占める各部門の割合

製造業及び建設業部門のCO₂排出量に占める各業種の割合



◆政策的位置付け

- 温室効果ガス排出量を2050年までに半減する長期目標実現に向けた
 - ・「CoolEarth－エネルギー革新技术計画」(2008年3月)
 - ・環境安心イノベーションプログラム基本計画(2010年4月)
 - ・エネルギー基本計画(2014年4月)に基づくエネルギー関係技術開発ロードマップ(2014年12月)をうけ、**CO₂排出削減のための革新的な製鉄プロセス技術開発**として、本事業を推進。
- 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」(2018年6月)に基づき、今世紀後半のカーボンニュートラルを目指す「革新的環境イノベーション戦略」(2020年1月)が策定され、**高炉法による水素還元**が重要技術として位置づけられた。

7

◆政策的位置付け

- 日本政府による2050年カーボンニュートラルの宣言(2020年10月)により、カーボンニュートラル達成目標が**今世紀後半から前倒し**。
- 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を経済産業省が中心となり、関係省庁と連携して策定(2021年6月)、「グリーンイノベーション基金(GI基金)」をNEDOに創設。
 - ・重点分野のうちカーボンリサイクル・マテリア分野として「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた技術開発・実証を実施する。
- 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」(2021年10月)における水素還元製鉄にも合致。
- 本事業は、カーボンニュートラルの加速化に対応するための**GI基金へ移行**。

8

◆ 国内外の研究開発の動向と比較

- ▶ ヨーロッパは水素直接還元技術の実証・商業化を進め、2030年までに操業開始。
- ▶ 国内では、先進高炉（COURSE50プロジェクト、フェロコックス）開発を続けてきたが、2020～21年度に「「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた技術開発」を実施、2022年1月から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」が開始され、複線的アプローチを追求。

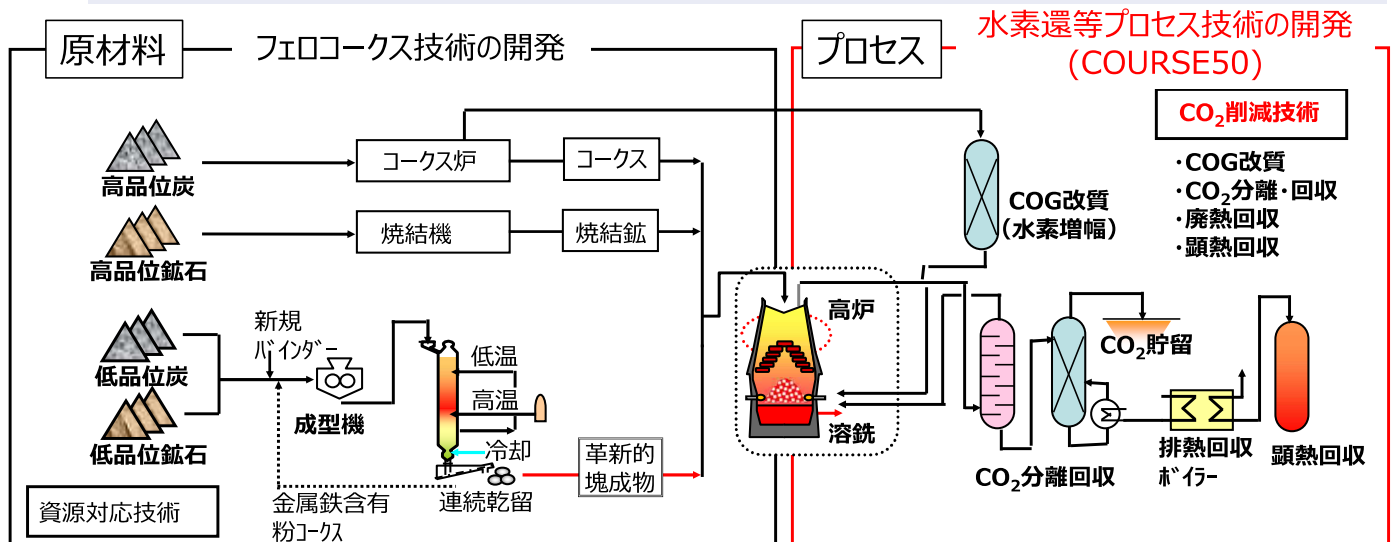
| 年代 | ヨーロッパ | 日本 |
|---------------------------------|--|---|
| 2009年 ～2020年頃 (リーマンショック後) | <ul style="list-style-type: none"> ・資金不足でULCOSプロジェクト中断 ・CO₂排出抑制ニーズを受け新プロセスの開発を再開 ・水素還元：Hybrit、Midrex-H₂ ・高炉・電炉 + CCU&CCS：Smart Carbonに関連するプロジェクト | <ul style="list-style-type: none"> ・COURSE50プロジェクトを継続、試験高炉での実験を実施 ・フェロコックス研究開発を開始 ・「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた技術開発に係る調査研究開始 |
| 2021年～現在 | <ul style="list-style-type: none"> ・複数企業がCO₂削減鋼を2030年までに商業規模での供給開始表明 SSAB：水素DRIの2026年投入 ティッセン・クルップ：2030年に300万ton/年 アルセロール・ミタル：2025年に10万ton/年 | <ul style="list-style-type: none"> ・フェロコックス実証フェーズ継続 ・「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた技術開発をロードマップ化 ・先進高炉、水素直接還元、電炉を連携させたGI基金事業開始 |

ULCOS : The Ultra-Low Carbon Dioxide Steelmaking

◆ 他事業との関係

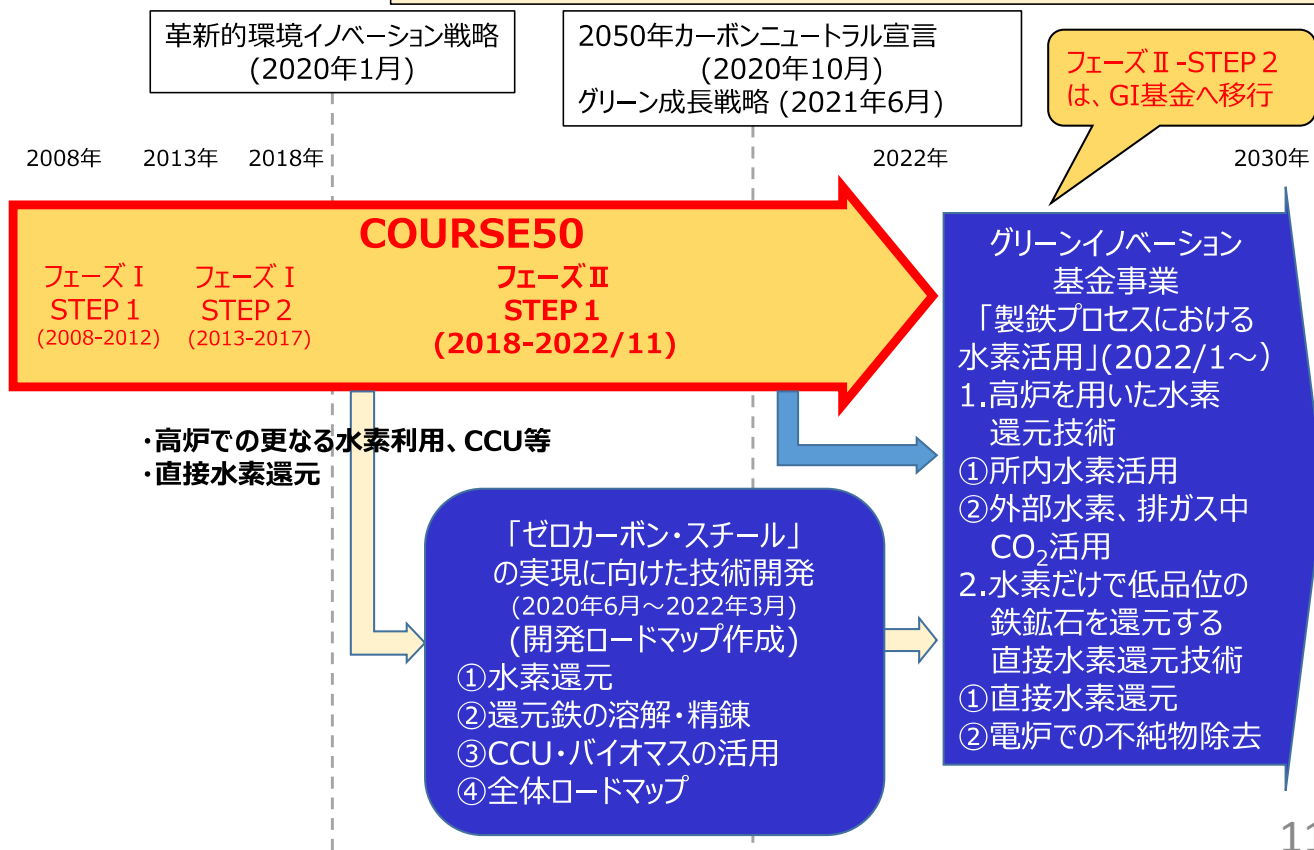
▶ 「環境調和型プロセス技術の開発」の全体概要

- ・プロセス開発であるCOURSE50、および原材料であるフェロコックス技術の開発から構成される。
- ・フェロコックスは、低品位炭及び低品位鉱石の比率をアップした金属鉄含有塊成物であり、金属鉄の触媒作用により、高炉内の還元効率を高めることにより、従来よりもコークス量を削減できる。



◆他事業との関係

本事業と「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた技術開発事業の成果を活用し、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(2022年1月～)がスタート



◆NEDOが関与する意義

鉄鋼業としての抜本的なCO₂削減技術の開発は、

- 地球温暖化対策のための中長期的視野から必要
- 国のCO₂削減のための政策として必要
- CO₂分離回収は、エネルギー増加を招くため新たな技術との組み合わせが必要など、コスト増の要因となり、民間の開発インセンティブが働きにくい

+

- 研究開発の難易度：非常に高
 - 投資規模：非常に大
- }= 開発リスク：非常に大



民間の能力を活用してNEDOが資金負担を行うことにより
研究開発を推進すべき事業

◆実施の効果（費用対効果）

●インプット

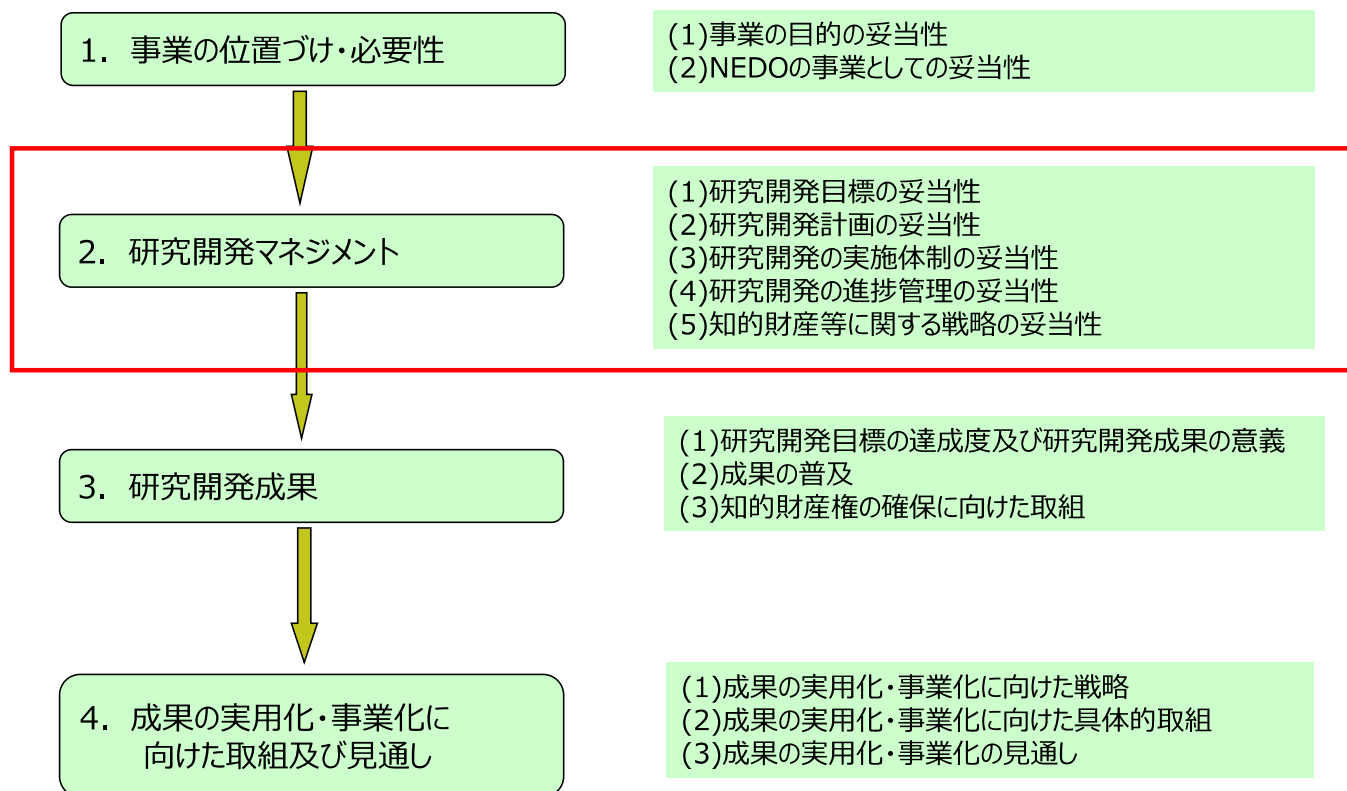
➤プロジェクト費用の総額 約320億円
 フェーズⅠ-STEP1,2(2008-2017) (2008-2022実績)
 フェーズⅡ-STEP1(2018-2022)

●アウトカム（2030年時点）

➤CO₂削減効果：国内で高炉1基当たり約200万トン/年の削減
 (=約400万トン/年×約1.5～2トンCO₂/トン×30%×1基=約200万トン/年)
 ・高炉(5,000m³級) 1基当たり年間粗鋼生産量：約400万トン/年
 ・粗鋼 1トン当たりのCO₂排出量(現状)：約1.5～2トンCO₂/トン
 ・COURSE50技術によるCO₂削減効果：30%削減
 ↳内訳：水素還元活用による高炉排ガス中CO₂削減：10%
 高炉排ガスからのCCSによる削減：20%（※）

※経済産業省の「CCS長期ロードマップ検討会（中間とりまとめ）」（2022年5月）を踏まえ、2030年中にCCS事業が開始されると想定

発表内容



◆状況変化への対応

| 状況の変化 | 研究開発方針の変更 |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ 中間評価（2020年8月）時点で、所内水素利用だけではCO₂削減効果に限界があることが分かってきたことから、高炉からのCO₂排出10%削減の実現性を高めるため、試験高炉を活用した水素使用量の効率化と水素還元の拡大を狙った新たな要素技術開発に取り組む方針とした。 ➤ 中間評価コメントとして「試験高炉では、少ない水素でCO₂削減効果を高めることに加え、水素利用上限（CO₂削減限界）を見極める試験実施を期待する。」を受けた。 | <ul style="list-style-type: none"> ➤ 試験高炉を活用した水素使用量の効率化と水素還元の拡大を狙った要素技術開発については、目標を高炉からのCO₂削減10%以上に更新し、外部水素を追加導入して水素利用上限を見極める試験操業を実施することとした。 |
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ 2020年10月、日本政府による「2050年カーボンニュートラル宣言」 ➤ 2021年6月、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定され、「グリーンイノベーション基金事業」がNEDOに創設された。 | <ul style="list-style-type: none"> ➤ フェーズⅡ-STEP2以降に計画されていた内容（実高炉実証試験等）はグリーンイノベーション基金事業へ移行し、本事業はフェーズⅡ-STEP1で終了することとした。 |

◆事業の目標（中間評価時点）

| 項目 | 最終目標 |
|--|--|
| (1) 高炉からのCO ₂ 排出削減技術開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・高炉からのCO₂排出約10%削減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。 ※高炉の実機を部分的に改造した「全周羽口吹込み」試験は、CO₂削減技術開発の状況をみながら、フェーズⅡ-STEP2の開始（2023年度）以降に行い、上記目標達成に資する。 |
| (2) 高炉ガス（BFG）からのCO ₂ 分離回収技術開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・CO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂を実現可能な技術の充実を指向し、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂を追求し、CO₂排出削減量約20%の技術に資する。 |

◆事業の目標 (変更後)

| 項目 | 最終目標 |
|--|--|
| (1) 高炉からのCO ₂ 排出削減技術開発 | <p>・高炉からのCO₂排出10%以上削減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。</p> <p>※中間評価コメントを踏まえて、水素使用量の効率化に加え、水素還元拡大(CO₂削減10%以上)を狙った技術開発を進める目標に更新。</p> <p>※高炉の実機を部分的に改造した「全周羽口吹込み」試験は、フェーズⅡ－STEP2の開始(2023年度)以降に行うとしていたが、フェーズⅡ－STEP2以降の研究開発内容がGI基金事業へ移行したことに伴い、本事業の範囲外となった。</p> |
| (2) 高炉ガス(BFG)からのCO ₂ 分離回収技術開発 | <p>・CO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂を実現可能な技術の充実を指向し、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂を追求し、CO₂排出削減量約20%の技術に資する。</p> |

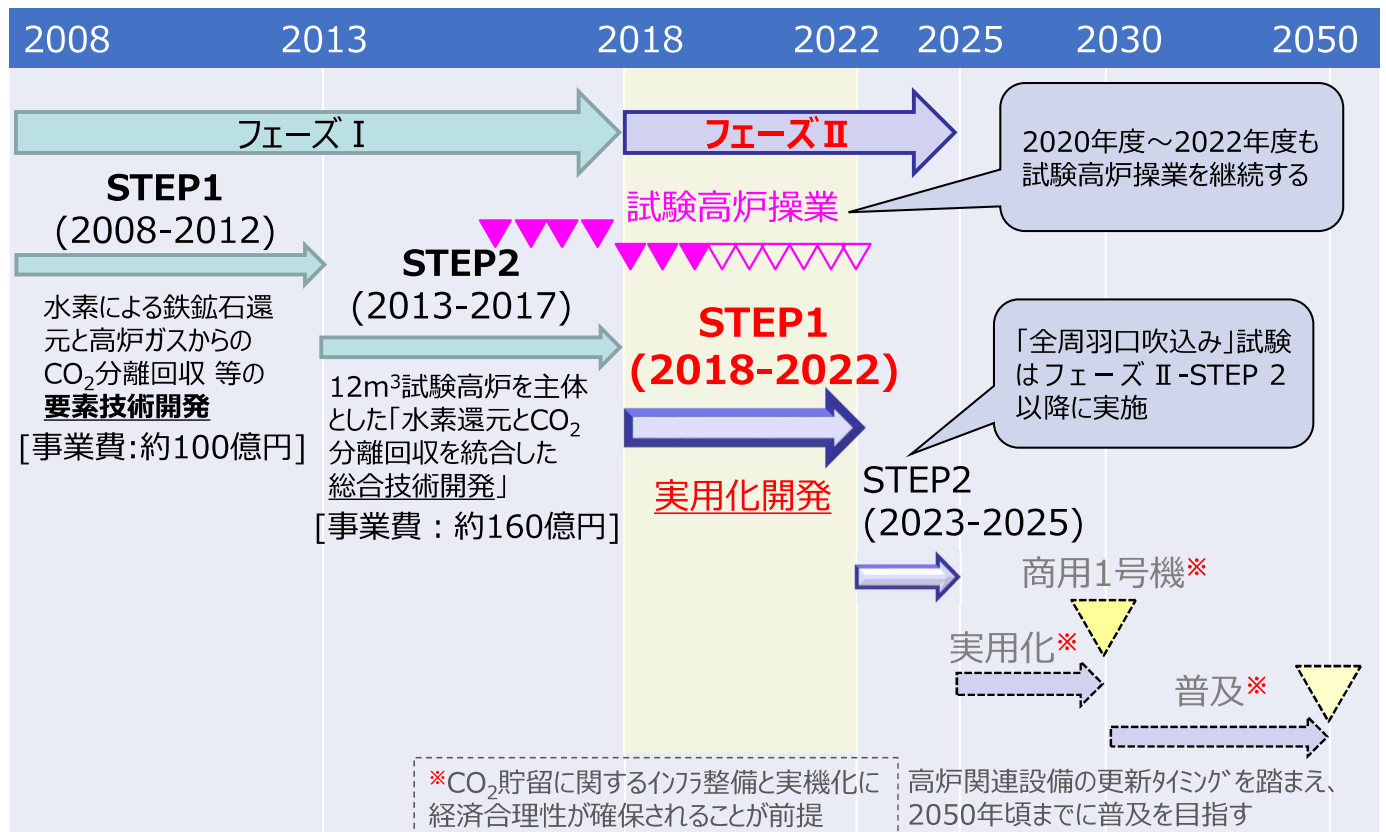
◆研究開発目標と根拠

| 開発テーマ(サブテーマ) | 最終目標 | 根拠 |
|------------------------------|--|--|
| SG1 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発 | <p>SG1-1 水素活用プロセス技術開発</p> <p>・水素富化高炉内条件下における実焼結の還元速度推定モデル構築による高精度の高炉数学モデルを開発する。</p> <p>・上記高炉数学モデルを用いて、高炉からのCO₂排出削減10%以上減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。</p> <p>SG1-2 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査</p> <p>・羽口内燃焼計算モデルによる還元ガス吹き込み温度が燃焼安定性へ及ぼす影響の評価</p> <p>・レースウェイサイズの変化を考慮した解析評価体制の構築</p> | <p>通常高炉より高水素雰囲気の高炉の炉内反応状態を精度良く数学的に再現し、試験高炉の操業条件を効率的に設計すること、また、実高炉へスケールアップした際の炉内反応状態変化を正しく推定するためには、高炉数学モデルに組み込まれる水素還元反応モデルの推定精度向上が必要不可欠である。</p> <p>COURSE50高炉特有の水素系ガスと微粉炭の複合同時吹込み条件に対し、微粉炭燃焼挙動やレースウェイ(送風口前の炉内燃焼空間)内の反応挙動等を数学的に推定、また実験的に測定し、操業条件に及ぼす影響を検証・評価する事が必要である。</p> |
| SG2 COG改質技術開発 | <p>・BP2解体研究による材質選定の妥当性、留意点等抽出し、試験高炉における設備設計に向けた使用材料の指針を得る。</p> | <p>COGガス改質に関する基本プロセスの開発は既に完了しているが、次ステップ(SuperCOURSE50)の試験高炉における実機を想定した高温水素/COG吹込み用熱交換器設計に向けた使用材料選定に資するため高温水素系ガス雰囲気を実験を行ったBP2設備の解体調査研究を実施。</p> |
| SG3 高性能粘結材製造技術の開発 | <p>・高性能粘結材の安定した移送・排出を実現する熔融粘結材移送・排出装置における安定排出プロセスの実証と溶剤分離条件の最適化</p> | <p>水素還元増幅下でのCOURSE50高炉の低コークス比操業に対応する強度と反応性を有するコークス製造を可能とする高性能粘結材の工業的製造技術を確立するため、溶剤回収工程における熔融状態の粘結材ハンドリング技術の開発が必要である。</p> |
| SG4 CO ₂ 分離回収技術開発 | <p>・CO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂を高炉から発生する高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収可能な技術の充実を図るため、分離回収を行い、CO₂排出量20%減を達成するためには、回収エネルギー1.6 GJ/t-CO₂を追求し、実装化に向けて、分離回収所要エネルギーの低減化とCO₂排出削減量約20%の技術に資する。</p> | <p>低コスト化が必要である。</p> |

◆研究開発目標と根拠

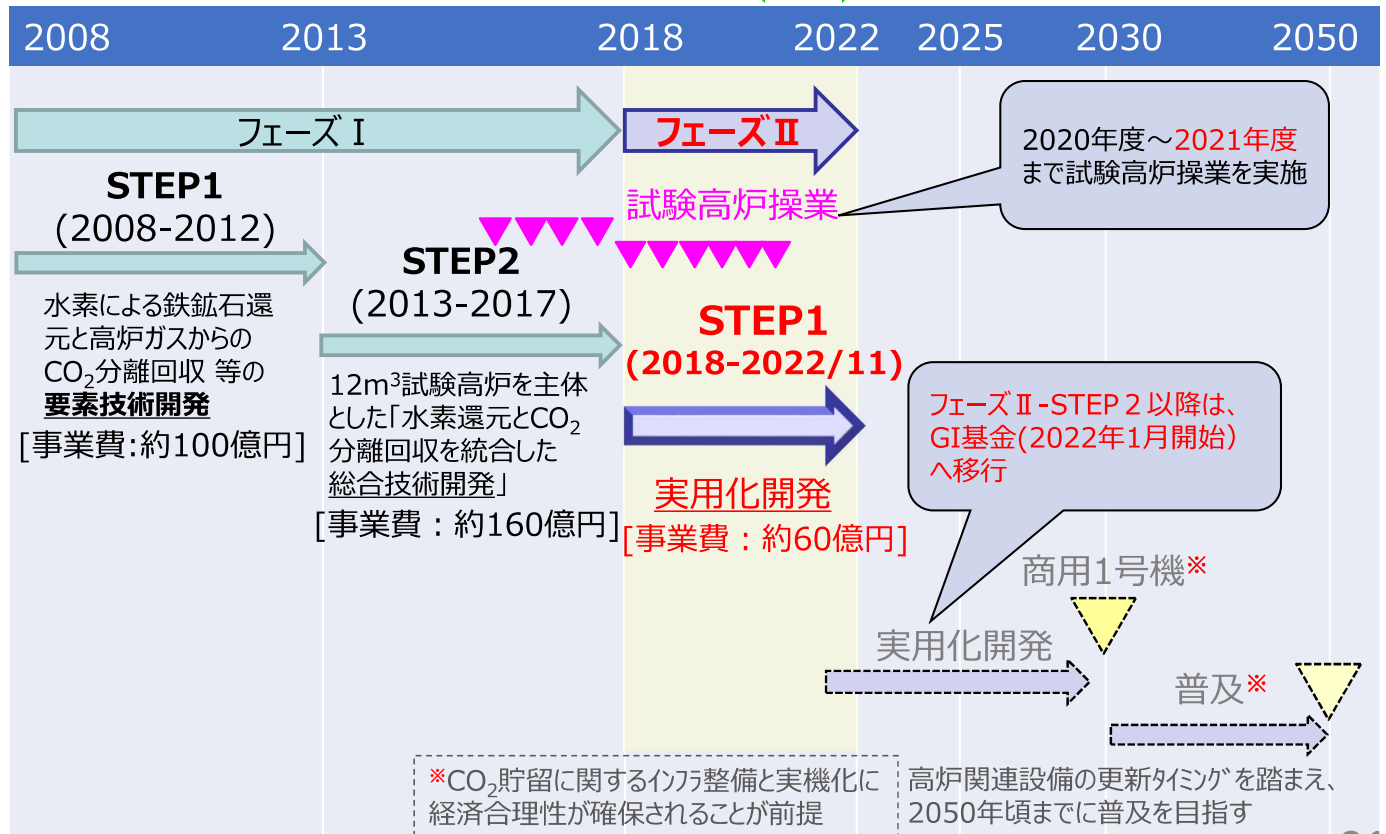
| 開発テーマ(サブテーマ) | 最終目標 | 根拠 |
|------------------------|---|--|
| SG5 未利用低温排熱活用技術開発 | ・排熱回収用熱交換器の実機スペックを明確化する。 ・これまでの製鉄所実排ガスによる試験結果を踏まえ、平均温度効率66%にて耐久性700時間相当を達成可能な熱回収システムを提案する。それを踏まえて排熱回収コストを算出する。 | CO ₂ 分離回収技術の主要な手段のひとつは化学吸収法であり、吸収液の再生には多量の熱エネルギーを必要とする。この熱エネルギーを外部エネルギーの導入なく供給するためには、製鉄所における未利用排熱を回収する省エネルギー技術の開発が必要である。 |
| SG6 試験高炉によるプロセス技術開発 | ・試験高炉操業により、試験高炉規模で高炉からのCO ₂ 排出削減量10%以上達成の実機適合化技術の見通しを得る。 ・操業結果に及ぼす操業操作の影響を高精度に評価可能な技術の確立を図り、製作する。 | 高炉からのCO ₂ 排出量を10%以上削減するためには、12m ³ 試験高炉を用いて、水素を主体とする還元ガス吹込み操作と装入物の反応性操作による実機適用に向けた操業を行い、COURSE50高炉のプロセス操作技術を確立することが必要である。そのため、操業結果に及ぼす操業操作の影響を高精度に評価可能な技術確立も必要。 |
| SG7 実高炉部分検証によるプロセス技術開発 | ・高炉の実機部分確性「全周羽口吹込み」試験は、鉄鉱石還元への水素活用技術の開発ならびに試験高炉によるプロセス技術開発の開発を投入するため、COURSE50開発完了以降に状況をみながら、フェーズⅡ-STEP1の実機実証試験を行う計画変更を行った。得られた完了以降に行い、高炉からのCO ₂ 排出削減量10%以上達成に資する。 | 試験高炉を用いた高炉からのCO ₂ 排出量10%以上削減を目指した要素技術開発に研究リソースを投入するため、COURSE50開発完了以降に状況をみながら、フェーズⅡ-STEP1の実機実証試験を行う計画変更を行った。得られた完了以降に行い、高炉からのCO ₂ 排出削減量10%以上達成に資する。 |
| SG8 全体プロセスの評価・検討 | ・製鉄プロセス全体の最適化を検討し、製鉄所からのCO ₂ 排出量30%削減を可能にするための技術確立に対して、総合的な評価、検討を行う ・特に、プロジェクトの最終動向についての、総合的な判断を行う。 ・CO ₂ 削減効果については、水素還元でCOG中の水素や外部からどのタイプの水素を使用するか、経済合理性の視点から総合的に評価する。 | 製鉄所へのCOURSE50開発技術導入時のプロセス成立要件(CO ₂ 削減効果、必要エネルギー・コスト、設備条件等)を製鉄所全体の物質・熱収支モデルを用いて、総合的に評価する必要がある。また、CO ₂ 問題に関する外部環境の変化に対応するためには、上記で得られた知見を踏まえ、プロジェクトの最終動向を判断する必要がある。 |

◆事業の概略工程 (中間評価時点)



◆事業の概略工程 (変更後)

本事後評価の範囲 (2021年度~2022年11月)



◆研究開発のスケジュール

フェーズ II - STEP 1

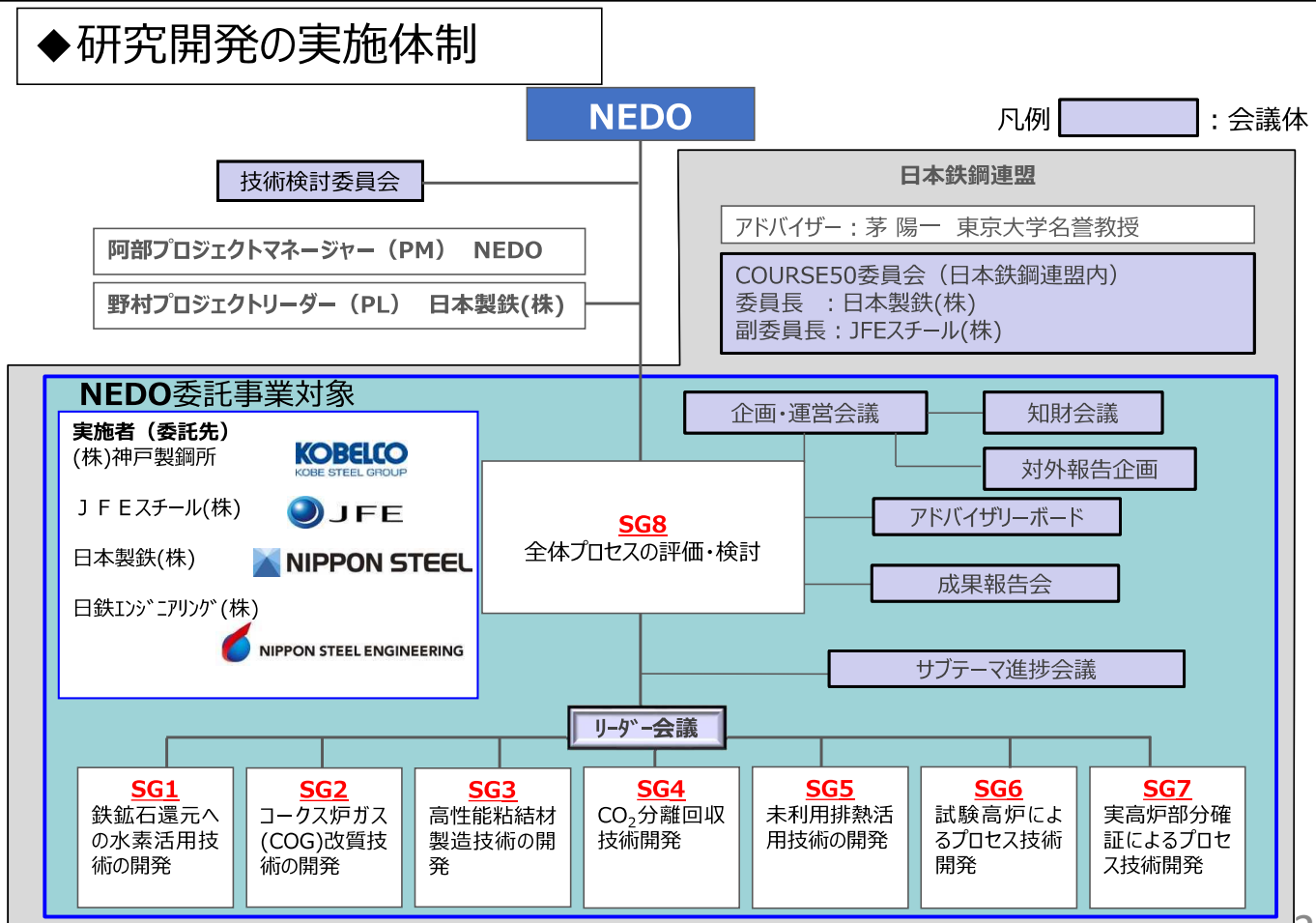
| | | 2018年度 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------|--------|---------|--------|
| SG1.鉄鉱石還元への水素活用技術の開発 | SG1-1.水素活用プロセス技術開発 | 試験高炉操業設計・解析とプロセス評価 | | | | |
| | SG1-2.高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査 | 還元材燃焼性の実験的評価・数値モデルによる条件評価 | | | | |
| SG2.CO ₂ 改質技術開発 | | BP2解体調査 | | | | |
| SG3.高性能粘結材製造技術の開発 | | 試験装置開発・粘結材性能評価 | | | | |
| SG4.CO ₂ 分離回収技術開発 | | CO ₂ 吸収液及び触媒開発 | | | | |
| SG5.未利用低温排熱活用技術開発 | | 排ガス汚損対策・熱回収システム検討 | | | | |
| SG6.試験高炉によるプロセス技術開発 | | 試験高炉操業によるCO ₂ 削減効果検証 | | | | |
| SG7.実高炉部分検証によるプロセス技術開発 | | 調査・事前エンジニアリング | | | 試験時期再検討 | |
| SG8.全体プロセスの評価・検討 | | CO ₂ 削減効果検討・全体評価 | | | | |

→ :実績

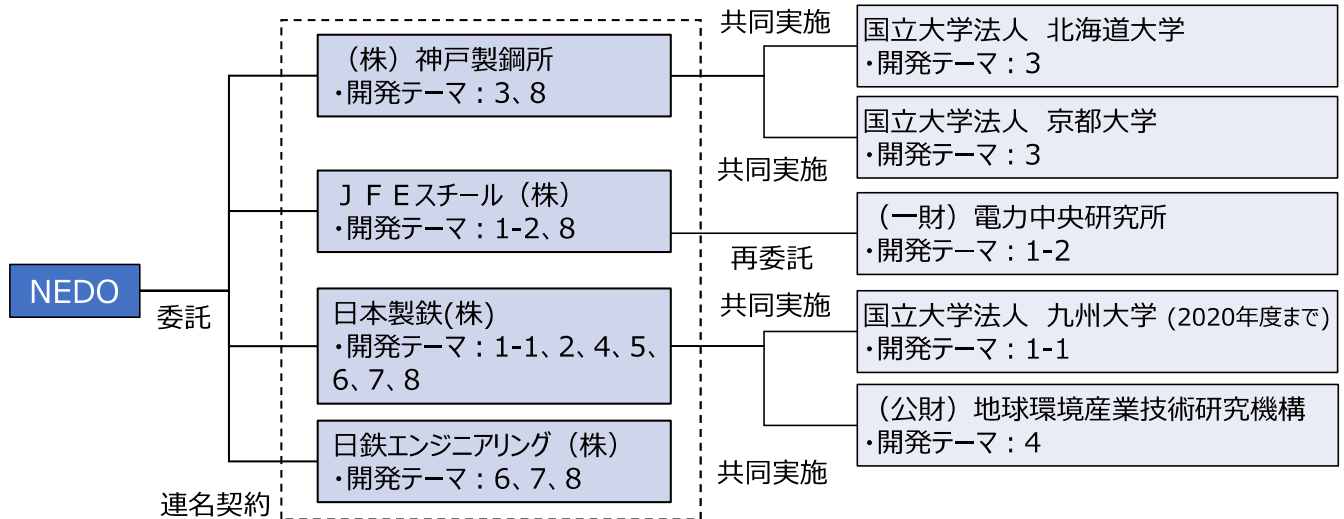
実高炉検証はGI基金へ移行

変更後の計画では、試験高炉操業は2021年度まで実施。実高炉部分検証試験を含むフェーズ II-STEP2以降の計画内容はGI基金事業へ移行。

| ◆プロジェクト費用 | | フェーズⅡ－STEP 1 | | | | | (百万円) |
|------------------------------|--------|--------------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 開発テーマ | 2018年度 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 | 計 | |
| SG1 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発 | 18 | 18 | 18 | 86 | 0 | 140 | |
| SG2 COG改質技術開発 | 0 | 0 | 0 | 210 | 0 | 210 | |
| SG3 高性能粘結材製造技術の開発 | 46 | 36 | 30 | 64 | 0 | 176 | |
| SG4 CO ₂ 分離回収技術開発 | 50 | 40 | 40 | 23 | 0 | 153 | |
| SG5 未利用低温排熱活用技術開発 | 19 | 10 | 40 | 28 | 0 | 97 | |
| SG6 試験高炉によるプロセス技術開発 | 687 | 1,076 | 1,870 | 1,099 | 492 | 5,224 | |
| SG7 実高炉部分検証によるプロセス技術開発 | 0 | 151 | 0 | 0 | 0 | 151 | |
| SG8 全体プロセスの評価・検討 | 10 | 10 | 22 | 3 | 0 | 45 | |
| 計 | 830 | 1,341 | 2,020 | 1,513 | 492 | 6,196 | |



◆ 研究開発の実施体制



| 開発テーマ | | | |
|-------|---------------------------|---|---------------------------|
| 1 | 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発 | 4 | CO ₂ 分離・回収技術開発 |
| | 1-1 水素活用プロセス技術開発 | 5 | 未利用低温排熱活用技術開発 |
| | 1-2 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査 | 6 | 試験高炉によるプロセス技術開発 |
| 2 | COG改質技術の開発 | 7 | 実高炉部分検証によるプロセス技術開発 |
| 3 | 高性能粘結材ハンドリング技術の開発 | 8 | 全体プロセスの評価・検討 |

25

◆ 研究開発の進捗管理

- ・PLは、事業者主催の各会議体を通じて、進捗管理を行うとともに実施者への指導・指示を行った。
- ・PMは、事業者主催の各会議体を通じて進捗を確認するとともに、NEDO主催の技術検討委員会において、外部有識者から事業の進捗や計画、目標達成の見通しなどにつき指導、助言を受け、事業計画に反映することで、より効果的な事業推進に努めた。

技術検討委員会 (NEDO主催)

(2021年5月開催)

目的

専門的知見を有する外部有識者から、目標達成に向けたコメント、助言を得て、効率的な研究開発を行う。

委員リスト

| | | |
|-----|---------------|-----------|
| 委員長 | 亀山名誉教授 | 東京農工大学 |
| 委員 | 伊藤教授 | 早稲田大学 |
| | 小林教授 | 東北大学 |
| | 巽テクニカルコンサルタント | 株式会社INPEX |
| | 長坂工学研究科長 | 東北大学大学院 |

(所属、肩書きは当時のもの)

26

◆ 動向・情勢の把握と対応

| 動向・情勢 | 対応 |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ 2020年10月、日本政府による「2050年カーボンニュートラル」の宣言 ➤ 2021年6月、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定され、「グリーンイノベーション基金事業」がNEDOに創設 ➤ 2022年1月、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」プロジェクトが開始 | <ul style="list-style-type: none"> ➤ グリーンイノベーション基金事業への移行を前提に、本事業で得られた研究開発・技術開発の成果を基金事業へ円滑に引き継げるようマネジメント ➤ 特に、一部の研究開発設備については、その設計手法の確立及び製作を本事業の目的としつつ、グリーンイノベーション基金事業で活用することを想定し製作 |

◆ 中間評価結果への対応

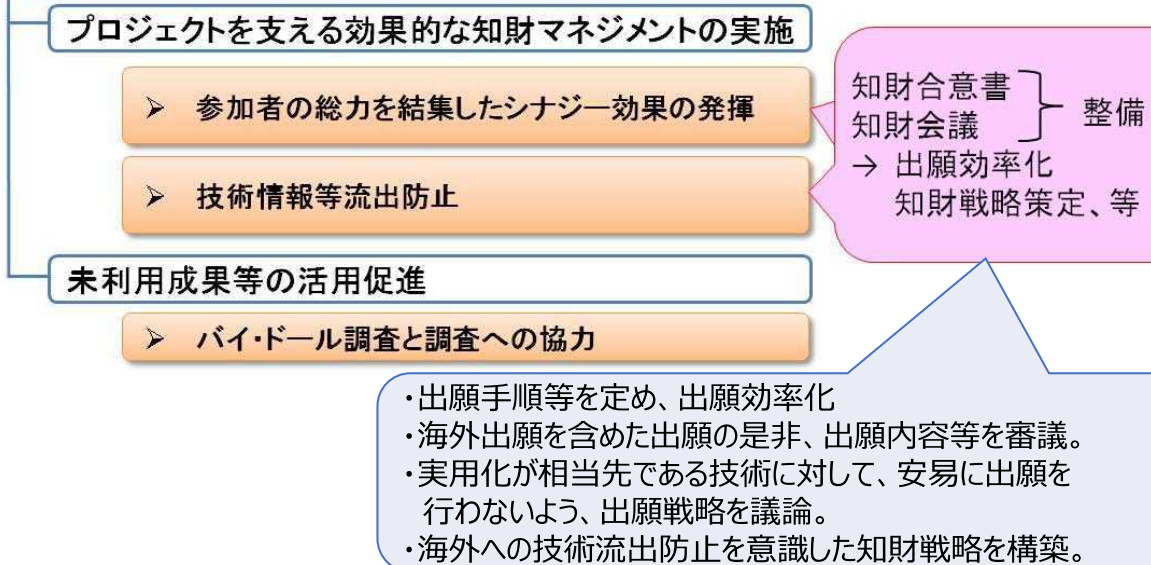
中間評価における主な指摘事項とその対応

| | 分科会での指摘事項 | 指摘事項に対する対応 |
|-------------------|---|--|
| 事業の位置付け・必要性 | 本事業は国際貢献、国際競争力等の観点からも重要な事業なので、 競合対象国の技術開発動向に十分な配慮が必要 であると思われる。 | 製鉄業における競合対象国の技術開発動向については、2019年度に調査を実施済みであり、引き続き事業者の協力も得て最新の情報を収集する。 関連事業である「ゼロカーボン・スチール実現に向けた技術開発（2020～2021年度）」 で対応。 |
| 研究開発マネジメント | 研究開発費の費用対効果の試算を入れて、アウトカムを精査することが望まれる。 | 水素の大量使用によるCO ₂ フリー水素市場の増大とコスト増、およびコークス削減量を考慮して アウトカムの精査 を行い、基本計画書に反映した。 |
| 研究開発成果 | 試験高炉では、少ない水素でCO ₂ 削減効果を高めることに加え、 水素利用上限（CO₂削減限界）を見極める試験実施を期待 する。 | 試験高炉においては、少ない水素でCO ₂ 削減効果を高めるだけでなく、 水素還元 の拡大(CO ₂ 削減10%以上)を狙った技術開発を進める目標に更新し、外部水素を追加導入して水素利用上限を見極める試験操業を実施した。 |
| 成果の実用化に向けた取組及び見通し | CO ₂ 分離プロセスに必要な熱量の低減をプロセスから見直して、熱回収プロセスへの負荷を低減することが望まれる。 | CO ₂ 分離・回収技術については、引き続き熱量の低減化を実施し、 実験室レベルで目標数値を達成し成果 を上げた。 |

◆知的財産権等に関する戦略

- ①NEDO知財方針を適用し、知財合意書、知財会議を整備
- ②知財会議で各サブテーマ毎の知財戦略を策定
- ③開発した重要技術については権利化を推進

NEDO知財方針の概要



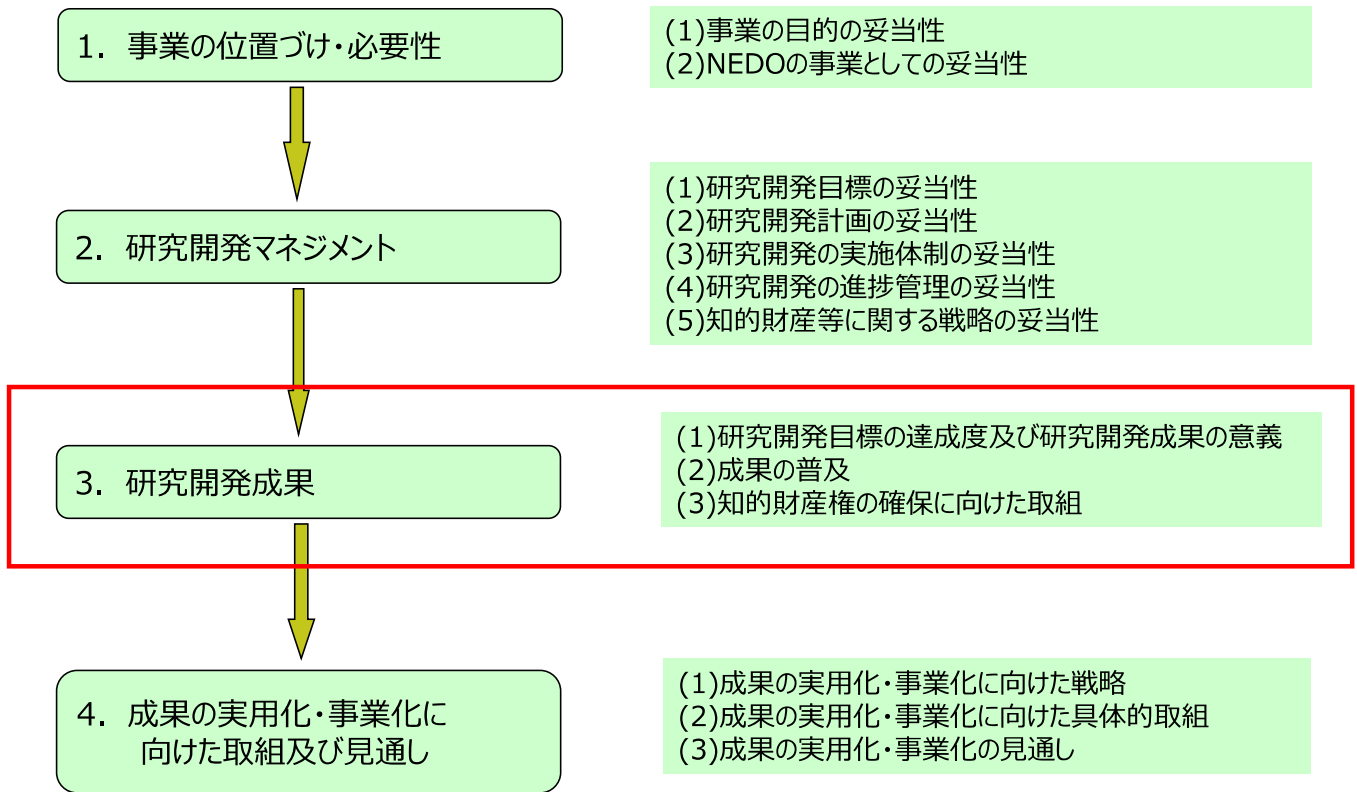
◆知的財産管理

➤ 知財合意書を策定

- ・出願手続き等について規定
- ・特許権は4社で共有
- ・持分割合は、出銑量により決定

➤ ノウハウの管理

- ・権利化すべき技術とノウハウは、SGリーダーが決定
- ・ノウハウを特許出願による損出を考慮して秘匿するものと、データ群等の技術成果に関する集大成、に区分け
- ・ノウハウ毎に登録シートを作成するとともに、ノウハウリストを作成



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ COURSE50事業の開発目標と開発概念

【開発目標】

製鉄所からのCO₂排出量を約30%削減し、2030年頃までに初号機を実用化できる技術を確認する。

【開発前提】

2030年頃までに技術開発を完了し、実用化を目指すこと、また、大型高炉による銑鋼一貫プロセスである日本での対策のため、開発期間、プロセスを考慮し、高炉法を前提とした開発を指向する。

【開発概念】

製鉄工程※におけるCO₂大幅削減 ※製鉄工程は製鉄所において約7割のCO₂を排出

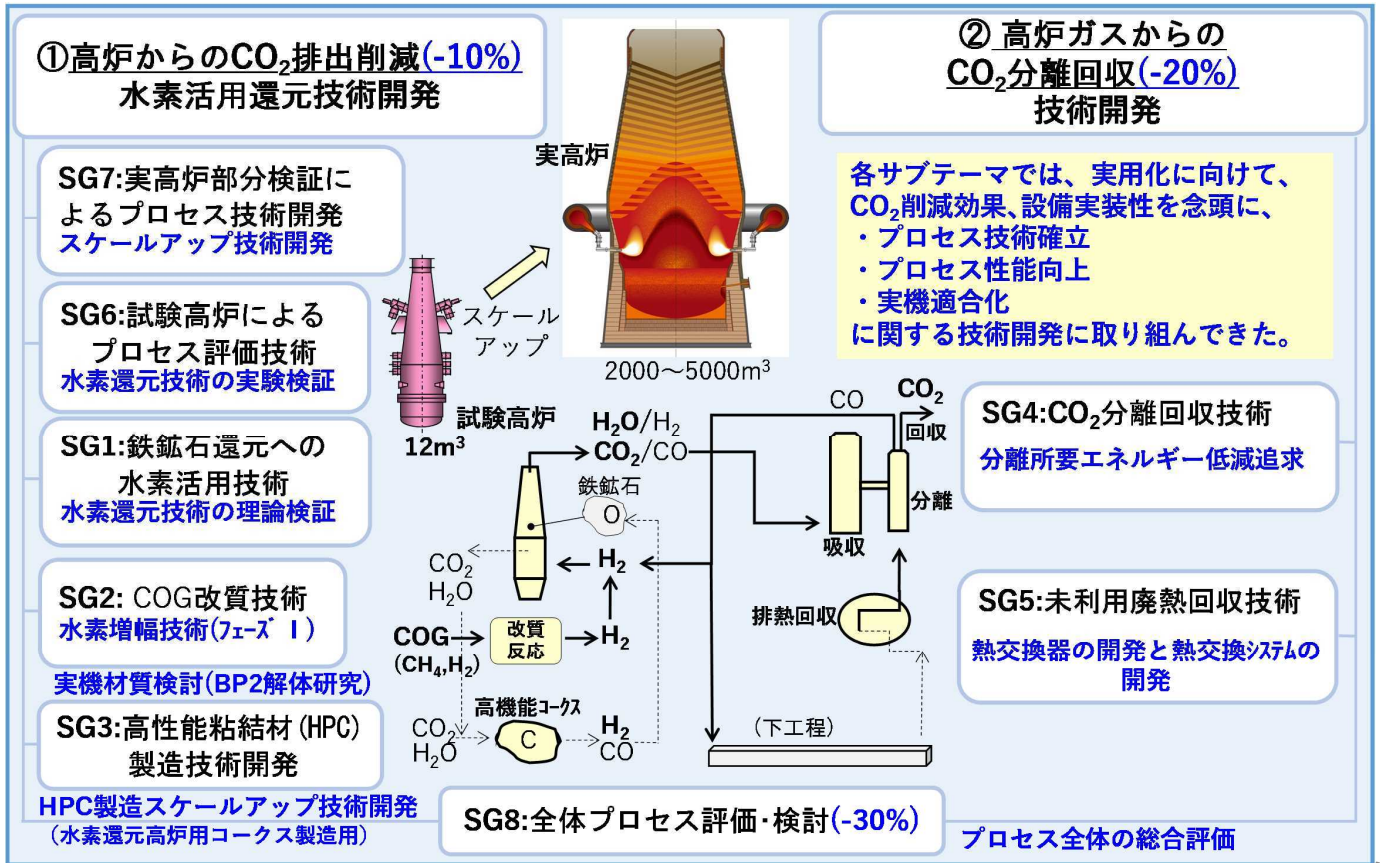
① 高炉からのCO₂排出量低減

- 1) 所内発生水素源の高炉の還元材利用による炭素還元の低減。
- 2) 開発した技術を将来の水素還元技術のさきがけとして活用する。

② 高炉ガスからのCO₂回収貯留

- 1) CO₂の直接回収※。 ※貯留技術は事業対象外(別プロジェクトでの開発)
- 2) 所内排熱利用によるCO₂直接回収の必要エネルギー低減。

◆ COURSE50事業の開発テーマ



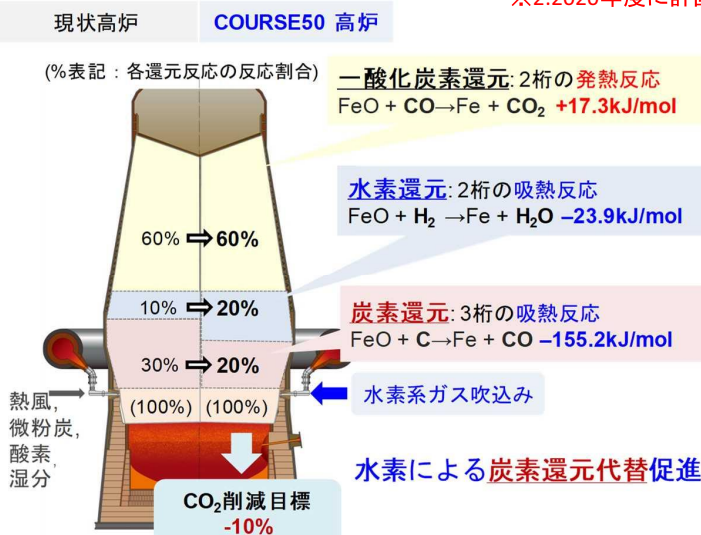
◆ ① 水素活用還元技術の開発概要

【フェーズ II-STEP1最終目標】

- ・高炉からのCO₂排出10%以上減※1の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。
- ・高炉の実機部分確性「全周羽口吹込み」試験は上記CO₂削減技術開発の状況をみながら、フェーズ II-STEP1の完了以降※2に行い、上記目標達成に資する。

【 COURSE50高炉の概念】

※1:2021年度に計画変更
※2:2020年度に計画変更



【開発技術】

SG6: 試験高炉によるプロセス技術開発

- ・プロセス操作の実験検証

SG3: 高性能粘結材製造技術の開発

(COURSE50高炉用コークス製造技術)

- ・水素還元に適したコークス製造

SG1: 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

- ・プロセス操作の理論検証

- ・水素系ガス吹込燃焼挙動調査

高炉数学モデル

12m³試験高炉

SG7: 実高炉部分検証によるプロセス技術開発

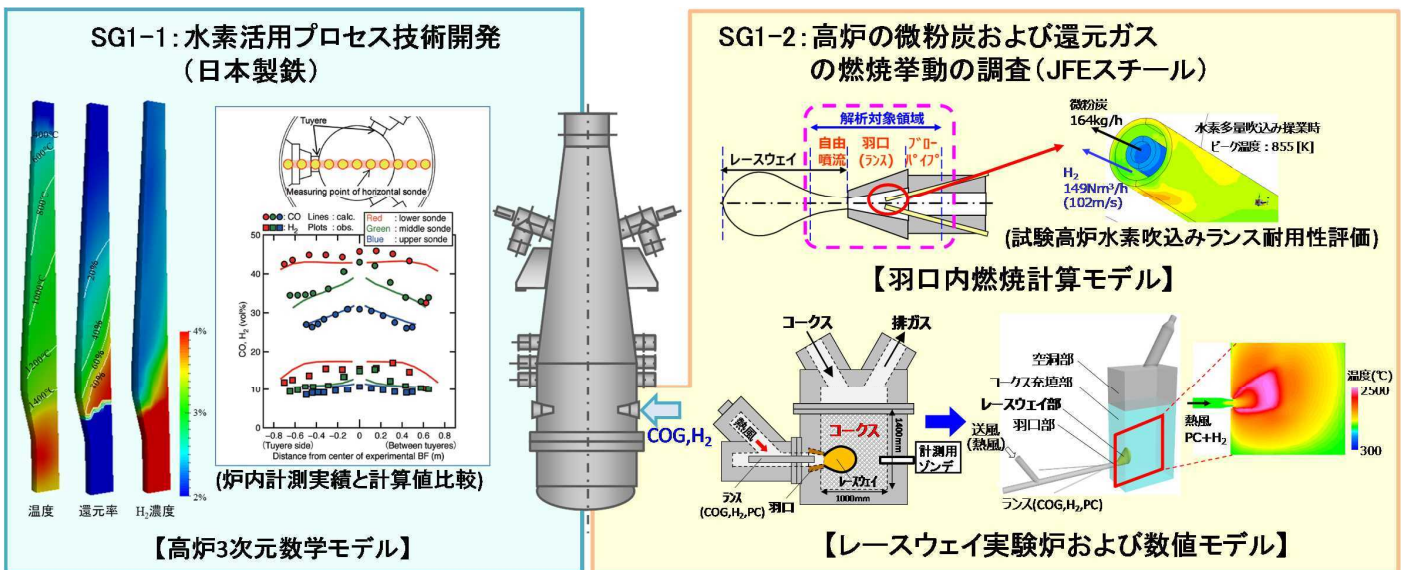
- ・プロセス操作の実機検証⇒実施時期変更※2

◆研究開発項目毎の目標と達成状況：SG1:鉄鉱石還元への水素活用技術

| 研究開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|------------------|--|--|-----|------------|
| SG1全体 | 高炉からのCO ₂ 排出削減10%以上減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。 | 数学モデルのシミュレーション技術により、CO ₂ 削減効果を精度よく予測することにより、高炉からのCO ₂ 排出削減10%以上減の見通しを得た。 | ○ | |
| SG1-1:プロセス解析技術 | 水素富化高炉内条件下における実焼結鉱の還元速度推定モデル構築による高精度の高炉数学モデルを開発し、高炉からのCO ₂ 排出削減10%以上減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。 | 高炉数学モデルにより、CO ₂ 削減効果に及ぼす操業操作の影響を精度よく予測することにより、最終目標を達成した。 | ○ | |
| SG1-2:羽口複合吹き込み技術 | 羽口内およびレースウェイ内の燃焼解析モデルを構築し、還元ガス吹き込みによる影響を評価。 | ・羽口内燃焼計算モデルおよびレースウェイ数値モデルを構築完了。 ・還元ガス吹き込み影響の評価完了。 | ○ | |

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み（中間）／一部達成（事後）、×未達

◆各個別テーマの成果と意義：SG1:鉄鉱石還元への水素活用技術



【成果】COURSE50高炉の炉内状態を数値的に高精度に再現可能な高炉数学モデルを開発し、同モデルを用いて、試験高炉で実施する試験の操業諸元を設計・解析し、高炉からのCO₂排出削減10%以上減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得た。

⇒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」(以降、GI基金事業と表記)の解析技術として展開・活用する。

| ◆研究開発項目毎の目標と達成状況：SG2:コークス炉ガス(COG)改質技術開発 | | | | |
|---|---|--|-----|------------|
| 研究開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
| SG2:コークス炉ガス(COG)改質技術開発 | BP2※解体研究による材質選定の妥当性、留意点等抽出し、試験高炉における実炉を想定した高温水素/COG吹込み用熱交換器の設計に向けた使用材料の指針を得る。 | <ul style="list-style-type: none"> BP2を解体し、主要機器の鋼材(SUS310S、インコロイ800H、耐熱鋳鋼など)をサンプリング。 断面観察、組織観察、EPMA分析等から、粒界腐食、浸炭、脱炭、硫化などの進行を調査し、いずれも板厚に対してごく軽微(表層200μm以下)で健全であり、800℃程度の条件においてSUS310S、インコロイ800Hは材料として使用可能と判断。 本分析結果は、試験高炉の設計にも共有化し、今後の高温水素/COG吹込み用熱交換器設備に資する成果である。 | ○ | |

BP2※：高温COGを原料に、触媒改質と無触媒部分酸化による水素製造長期試験が可能なベンチプラント試験装置

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達

◆各個別テーマの成果と意義:SG2:コークス炉ガス(COG)改質技術開発

【COG改質長期試験設備(BP2※)】

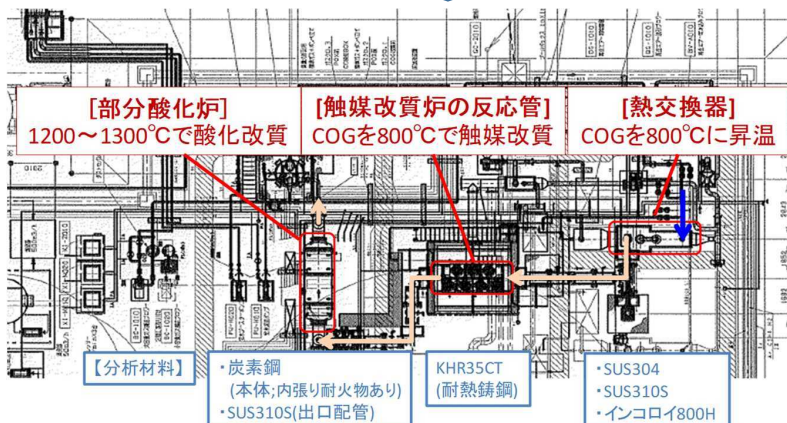


※フェーズ I におけるBP2試験成果：

高温COGを原料に、触媒改質と無触媒部分酸化による水素製造長期試験を実施。その結果、水素増幅率 ≥ 2 倍、耐久性 ≥ 500 hを達成。

【フェーズ II 実施内容】

次ステップ(Super COURSE50)の試験高炉における実機を想定した高温水素/COG吹込み用熱交換器設計に向けた使用材料選定に資するため、BP2設備の解体調査研究を実施。



【BP2の解体調査研究(材料分析/評価)】

【成果】高温水素系ガス吹込み実機想定設備設計に必要な材料データを取得するため、設備解体後、COG昇温熱交換器、触媒改質炉、部分酸化炉の高温COG流通部分の材料分析を行った結果、粒界腐食、浸炭、脱炭、硫化等の進行は、いずれも板厚に対してごく軽微(表層200μm以下)であり、800℃雰囲気条件では、SUS310S、インコロイ800Hは、使用可能と判断。

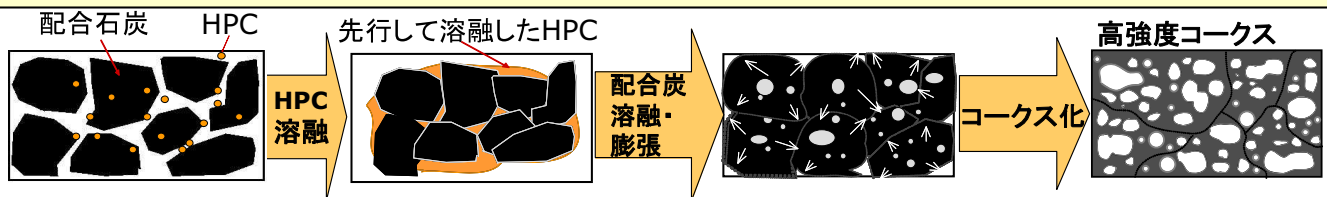
◆研究開発項目毎の目標と達成状況：SG3:高性能粘結材製造技術の開発
(COURSE50高炉用コークス製造技術)

| 研究開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|-------------------|---|--|-----|------------|
| SG3:高性能粘結材製造技術の開発 | 高性能粘結材の安定した移送・排出を実現する溶融粘結材移送・排出装置における安定排出プロセスの実証と溶剤分離条件の最適化 | 高性能粘結製造プロセスにて、溶剤回収工程中の粘結材を安定移送可能な装置の仕様を策定し、プロセスベンチスケール設備で装置性能を確認した。 | ○ | |
| | 炭種を拡大して※高性能粘結材の連続製造試験を行い溶融粘結材の粘度変動幅を把握して溶融粘結材連続移送・排出装置の適用幅、炭種変動に対するプロセスロバスト性を確認する。 ※製鉄所で使用されている軟化溶融特性の異なる原料炭を追加する。 | ・炭種変動に対する高性能粘結材の粘度変動幅を把握し、その粘度推算式が温度、揮発分により整理できることを明らかにした。 ・2軸スクリー方式連続移送・排出装置は、原料石炭炭種の変動に対し、溶剤回収性能目標(溶剤留分濃度1%未満)を達成、十分な移送・排出性能も有し、その高いロバスト性を確認した。 | ○ | |
| | 新規製造した高性能粘結材の特性評価およびコークス性能評価を実施する。 | 上記連続移送・排出装置を使用して製造した高性能粘結材を利用して、COURSE50高炉に要求されるスペック(強度と反応性)のコークス製造が可能であることを確認した。 | ○ | |

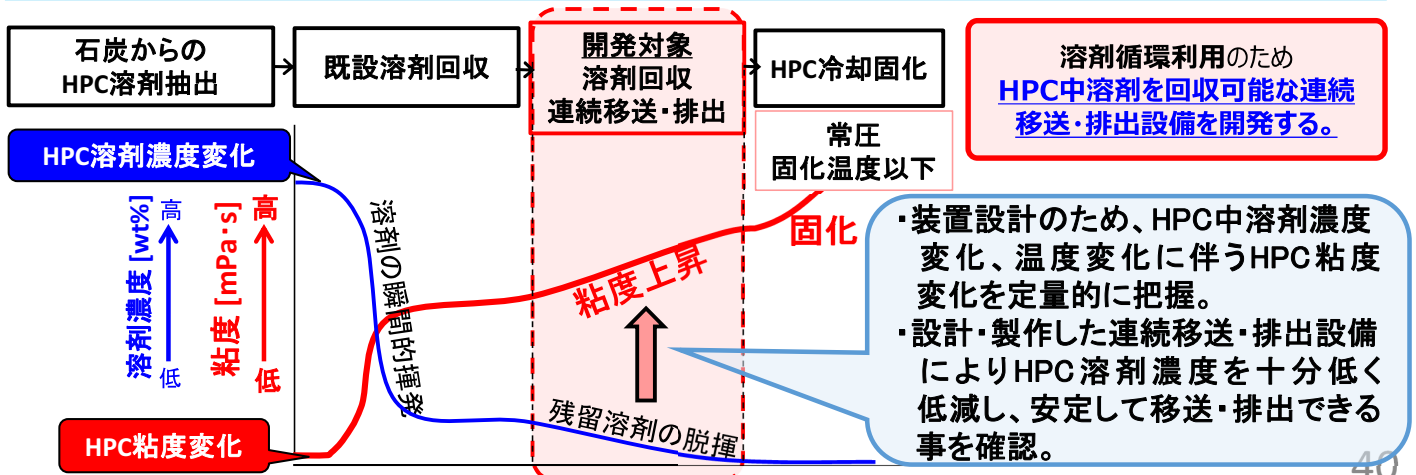
◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、X未達

◆各個別テーマの成果と意義：SG3:高性能粘結材製造技術の開発

○高性能粘結材製造の狙い：
COURSE50高炉(低還元材比)に必要な高強度コークス製造に必要な高性能粘結材(HPC)を開発する。



○本技術開発の狙い：
COURSE50高炉に対応可能な品質のコークス製造に必要なHPC製造プロセスのスケールアップ技術開発を推進し、HPCの工業的製造技術を確立する。



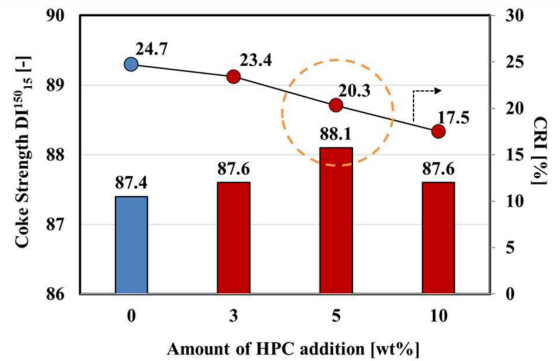
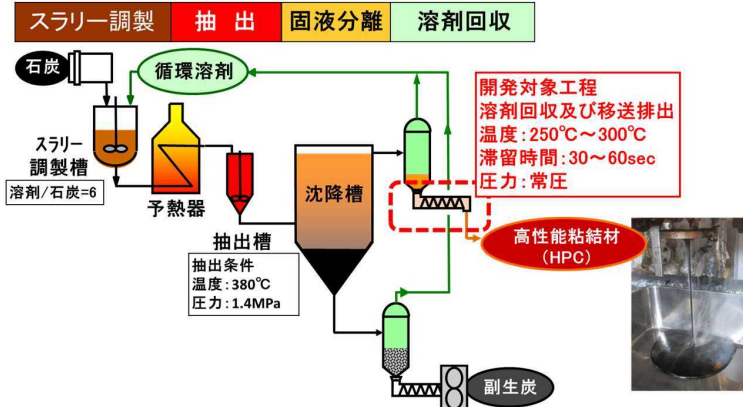
◆各個別テーマの成果と意義：SG3:高性能粘結材製造技術の開発

●溶剤回収工程の連続移送・排出試験

2軸スクルー装置を適用したプロセスベンチスケール設備の連続試験を実施。原料石炭炭種の変動に対する溶剤回収性能の目標の達成と、十分な移送・排出性能を有し、高いロバスト性を確認。

●コークス性能評価

2軸スクルー装置を使用して製造した高性能粘結材を利用したコークス性能評価において、COURSE50高炉に要求されるスペック(強度と反応性)のコークス製造が可能であることを確認。



【HPC製造プロセス概要と開発工程(2軸スクルー装置適用)】

【HPC添加率とコークス強度(DI^{150}_{15})および反応性(CRI)の関係】

【成果】HPC製造プロセスにて、溶剤回収工程中の粘結材を安定移送可能な2軸スクルー装置の仕様を策定し、プロセスベンチスケール設備で装置性能を確認した。製造HPCを利用して、**目標のコークス強度(DI^{150}_{15})88以上、反応性(CRI)20程度の低反応性高強度コークスを製造可能**であることを確認した。

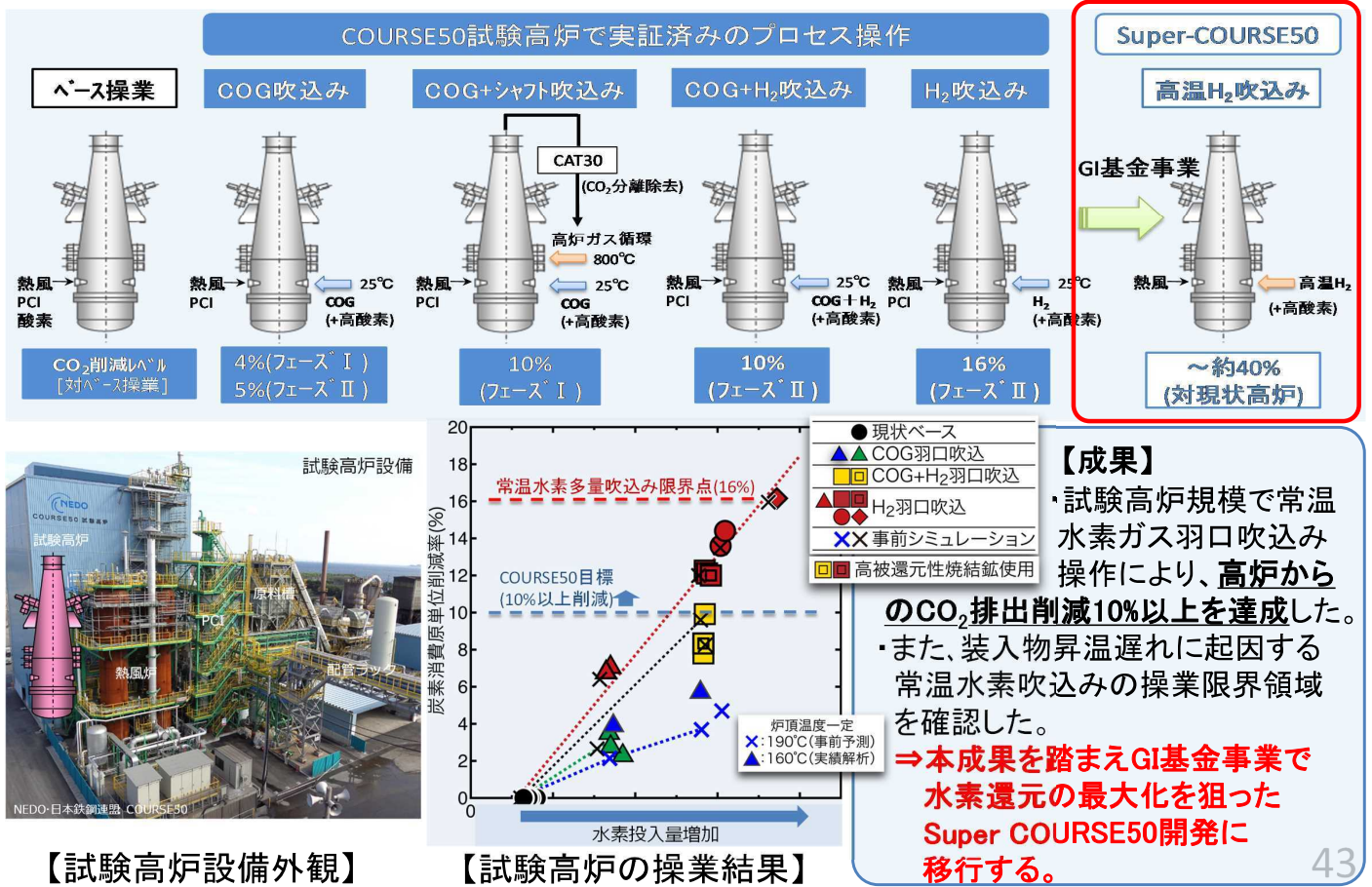
41

◆研究開発項目毎の目標と達成状況：SG6:試験高炉によるプロセス評価技術

| 研究開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|---------------------|--|--|-----|------------|
| SG6:試験高炉によるプロセス評価技術 | 試験高炉操業により、試験高炉規模で高炉からのCO ₂ 排出削減量10%以上達成の実機適合化技術の見通しを得る。 | 試験高炉規模で高炉からのCO ₂ 排出削減量10%以上を前倒して大きく上回って達成し、実機適合化技術の見通しを得た。 (達成時期：2019/10) | ◎ | |
| | 操業結果に及ぼす操業操作の影響を高精度に評価可能な技術の確立を図り、製作する。 | ・新型羽口の設計・製作を計画通り実行し、試験高炉へ設置完了。 ・高温水素吹込設備の設計・製作を完了し、試験高炉へ設置完了。 ・コークス水分を制御する設備の設計・製作を完了し、設置完了。 ・水素多量吹き込みに伴う炉内状態変化(温度・ガス組成・燃焼空間の変化)を実観測可能な設備についても、設計手法の確立・製作を完了し、試験高炉へ設置完了。 ・新冷却方式の送風設備、および送風量低下時に発生する送風効率低下を回避するための高気密設備の設計・製作を完了。 | ○ | |

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達

◆各個別テーマの成果と意義：SG6:試験高炉によるプロセス評価技術

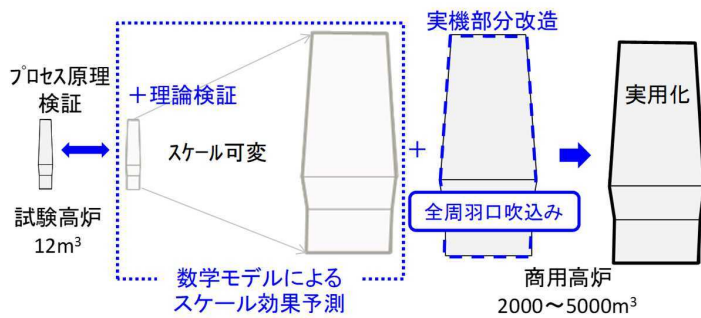


◆研究開発項目毎の目標と達成状況：SG7:実高炉部分検証によるプロセス技術開発

| 研究開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|------------------------|--|---|-----|------------|
| SG7:実高炉部分検証によるプロセス技術開発 | 高炉の実機部分確性「全周羽口吹込み」試験は、鉄鉱石還元への水素活用技術の開発ならびに試験高炉によるプロセス技術開発の開発状況をみながら、フェーズⅡ-STEP1の完了以降に行い、高炉からのCO ₂ 排出削減量10%以上達成に資する。 | 高炉2基を有し、COGを高炉多用時下工程にエネルギー供給手段を備える製鉄所を前提に、事前エンジニアリングを実施し、CO ₂ 削減効果及び実機化に必要な設備基本構成等を把握した。 ※開発計画変更前：中間評価時点の成果 | ○ | |

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み（中間）／一部達成（事後）、×未達

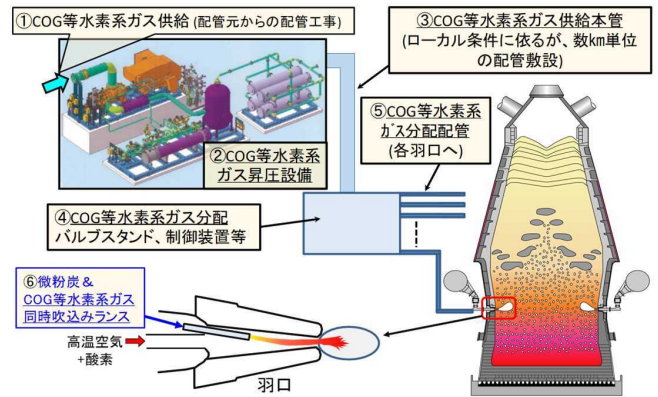
◆ 各個別テーマの成果と意義：SG7:実高炉部分検証によるプロセス技術開発



【全周羽口吹込み試験】

- ・CO₂削減効果検証
- ・実炉操業技術確立 (不確实现象の検証と対応技術の確立)
- ・水素系ガス吹込み実設備開発

【実機実証試験の概要】



【実機実証試験に必要な設備構成】

【成果】高炉2基を有し、COGを高炉多用時下工程にエネルギー供給手段を備える製鉄所を前提に、事前エンジニアリングを実施し、CO₂削減効果及び実機化に必要な設備基本構成等を把握した。⇒ 得られた知見を踏まえ、GI基金事業で実機実証試験を行う。

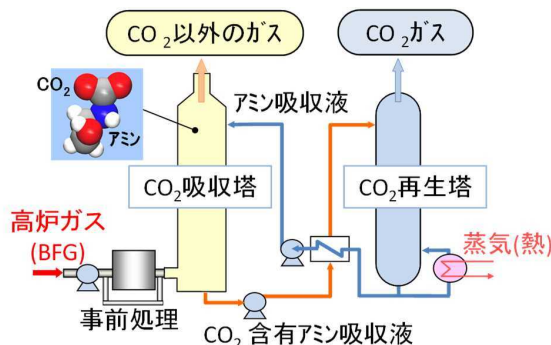
◆ ②CO₂分離回収技術の開発概要 【フェーズII-STEP1最終目標】

・CO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂を実現可能な技術の充実を図るため、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂を追求し、CO₂排出削減量約20%の技術に資する。

【開発技術】

SG4-1: 化学吸収法によるCO₂分離回収技術

・高性能化学吸収液・プロセスの開発



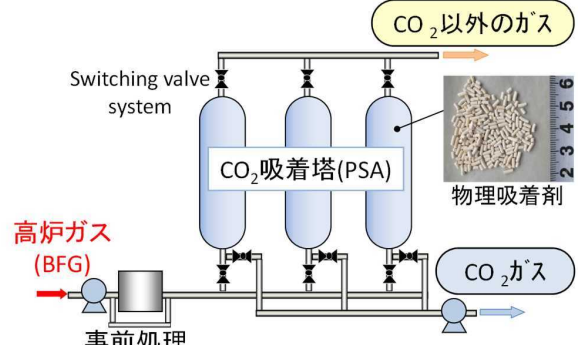
CO₂分離回収所要熱エネルギー低減

(従来)4.0⇒(フェーズI成果)2.0⇒(目標)1.6GJ/t-CO₂

↑ CO₂再生に必要な熱を供給

SG4-2: 物理吸着法によるCO₂分離回収技術*

・吸着塔高効率化、新規吸着剤開発



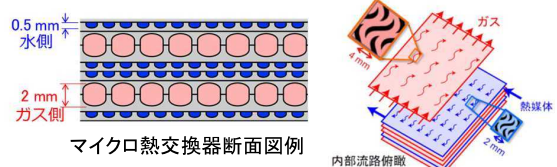
CO₂分離回収所要電力低減

(従来)300⇒フェーズI(STEP1)145⇒(STEP2)130kWh/t-CO₂

*: COURSE50 フェーズIで開発完了

SG5: 未利用排熱活用技術の開発

- ・排熱回収用の高効率な熱交換器開発
- ・性能を長時間維持可能な熱回収システムの開発

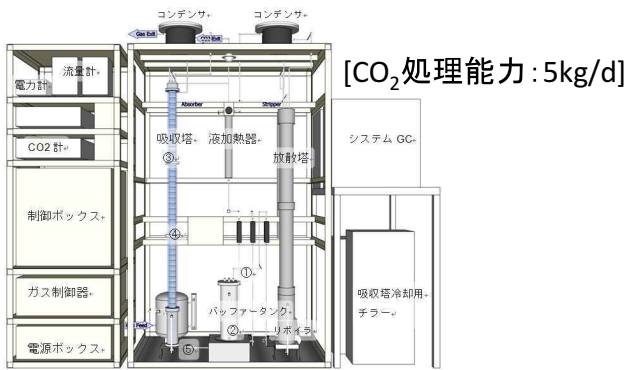


| ◆研究開発項目毎の目標と達成状況：SG4:CO ₂ 分離回収技術開発 | | | | |
|---|--|--|-----|------------|
| 研究開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
| SG4:CO ₂ 分離回収技術開発 | CO ₂ 分離回収コスト2,000円/t-CO ₂ を実現可能な技術の充実に図るため、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO ₂ を追求し、CO ₂ 排出削減量約20%の技術に資する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・RN-7系新吸収液のCAT-LAB[※]試験による組成最適化を進め、RN-7C吸収液で分離回収エネルギー1.60GJ/t-CO₂に到達した。 ・水溶性の吸収促進触媒材について、COURSE50で開発したRN-1吸収液への添加効果をCAT-LABにより評価し、分離回収エネルギーの5～10%低減を確認した。 ・RN-7系新吸収液は、従来の水溶液系と比較して、耐久性や安全性は同程度、金属腐食性はやや大きい、実用化可能な範囲にあることを確認した。 | ○ | |

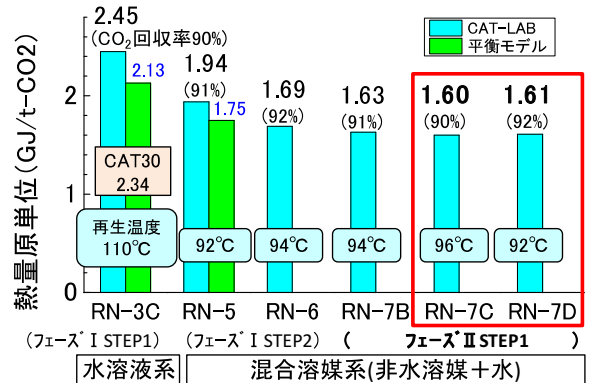
CAT-LAB[※]：CO₂処理能力：5kg/d小型連続CO₂分離回収試験装置

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み（中間）／一部達成（事後）、×未達

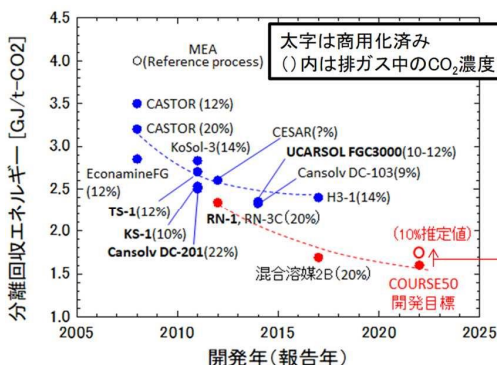
◆各個別テーマの成果と意義：SG4:CO₂分離回収技術開発



【CAT-LAB:小型連続CO₂分離回収試験装置】



【CAT-LABを用いた新吸収液の開発結果】



太字は商用化済み ()内は排ガス中のCO₂濃度
 代表的な排ガス中のCO₂濃度(常圧)
 BFG 22%
 石炭火力発電 14%
 LNG火力発電 7-10%

| CO ₂ 濃度 (%) | 熱量原単位 (GJ/t-CO ₂) |
|------------------------|-------------------------------|
| 10 | 3.2 (約10%増) |
| 22 | 2.9 |
| 30 | 2.7 (約7%減) |

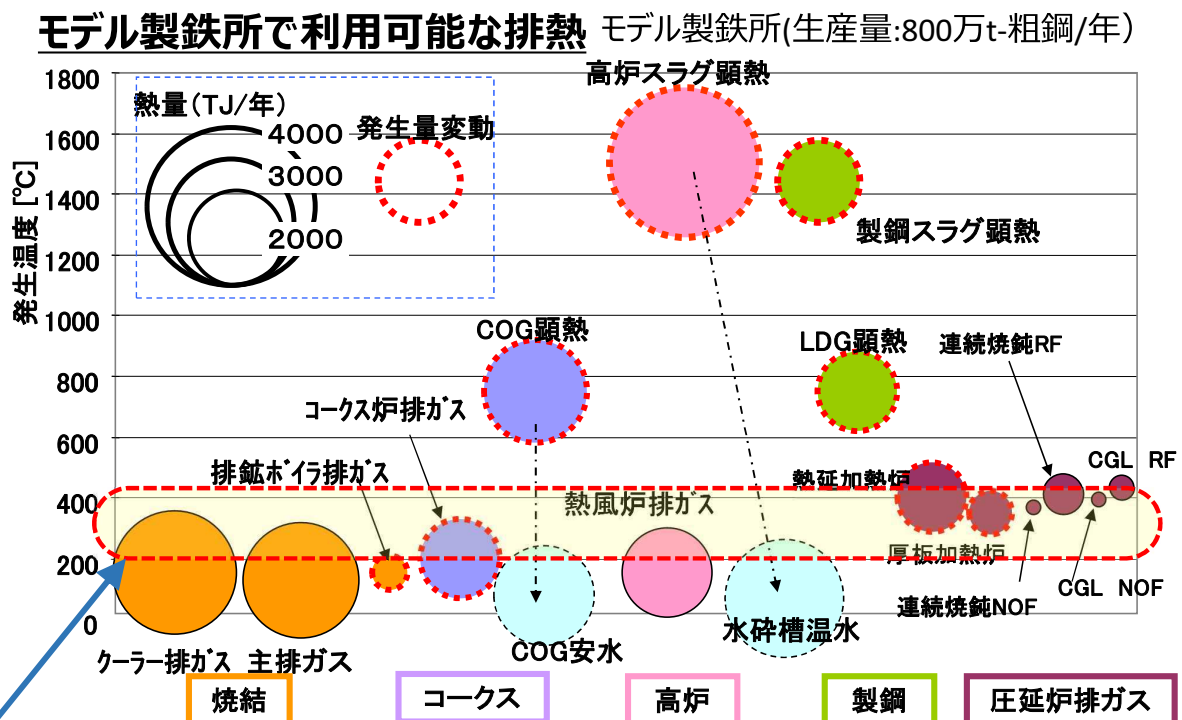
【成果】CAT-LAB装置を用いた混合溶媒系新吸収液の組成最適化試験を進め、事業目標の分離回収エネルギー1.60GJ/t-CO₂に到達した。
 ⇒ 今後はベンチスケールで組成最適化し、確実に1.60 GJ/t-CO₂を保証できる実用吸収液を完成させる。(GI基金事業で実施)

【吸収液性能比較:本プロジェクト外吸収液性能は世界トップレベル】

| ◆研究開発項目毎の目標と達成状況：SG5:未利用排熱活用技術の開発 | | | | |
|-----------------------------------|--|---|-----|------------|
| 研究開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
| SG5:未利用排熱活用技術の開発 | 製鉄排ガスによる伝熱面の汚損状態の調査及び対策の検討： 排熱回収用熱交換器の実機スベックを明確化する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・製鉄所実排ガスの分析を実施し、熱交汚損原因となるコールタール成分は特定成分であることを確認した。 ・ラボ試験により実機稼働時の温度条件ではその特定成分の揮散速度が大きいことを確認し、実操業での付着防止の可能性を見出した。 ・製作コストを低減し、社会実装を進めることを目的として熱交換器3号機を設計、製作し、熱媒体に対応できる耐圧を有し、目標伝熱性能である温度効率66%を達成することを確認した。以上の結果より実機にて用いるべき熱交換器の諸元が明確化された。 | ○ | |
| | 性能を長時間維持可能な熱回収システムの検討： 製鉄所実排ガスによる熱交換の実証実験を行い、平均温度効率66%にて耐久性700時間を達成可能な熱回収システムを提案する。それを踏まえて排熱回収コストを算出する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・製鉄所実排ガスを用いて伝熱面温度および材質を変化させた際の付着物状況を調査し、熱交換器の操業条件では付着物の発生を防止できることを確認した。 ・汚れ付着による性能劣化程度を試算し、汚れ付着を考慮しても目標とする高温側温度効率66%で700時間相当の熱回収性能を維持できることを確認した。 ・化学吸収プロセスの最近の開発成果を踏まえて排熱回収コスト全体を再評価し、CO₂回収コスト目2,000円/t-CO₂に必要な蒸気製造コストを達成可能であることを示した。 | ○ | |

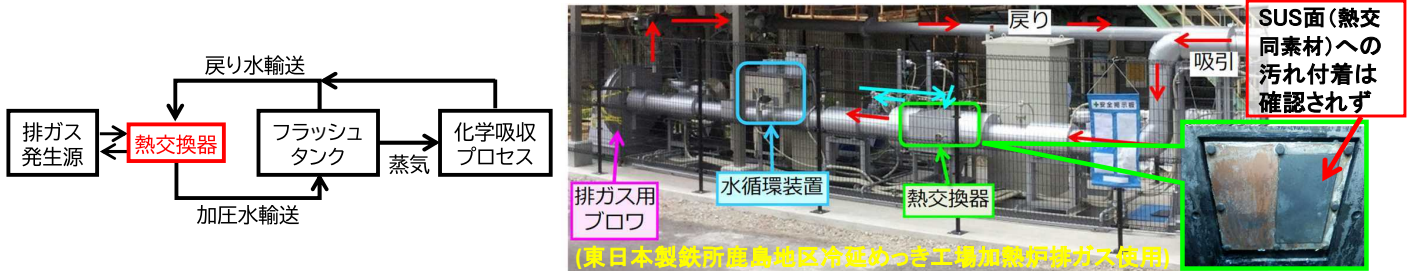
◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達

◆各個別テーマの成果と意義：SG5:未利用排熱活用技術の開発



現在は大気放散されている200～400℃程度の排熱を回収し、CO₂化学吸収プロセスにおける熱源として活用する。

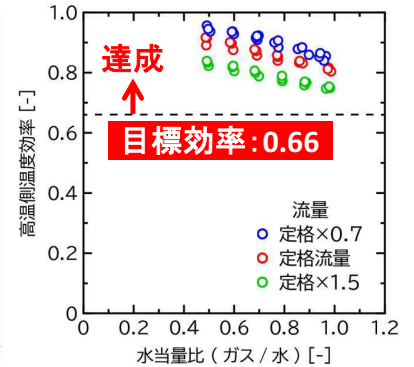
◆各個別テーマの成果と意義：SG5:未利用排熱活用技術の開発



【提案した排熱回収システム】

【製鉄所実排ガスを用いた熱交汚れ付着特性の評価】

| | 熱交換器1号 | 熱交換器2号 | 熱交換器3号 |
|-------|--------|---------|---------|
| 目的 | 基本性能評価 | ガス側付着低減 | 製作コスト低減 |
| 断面模式図 | | | |
| フィン形状 | | | |



【高性能熱交換器の開発推移】

【熱交3号の伝熱性能】

【成果】低温排ガス熱回収に適し、加圧水に対応する高性能熱交換器の開発、および製鉄所実排ガスによる熱交換器汚れ付着特性の実証実験を行い、平均温度効率66%にて耐久性700時間(1ヶ月)相当を達成可能な熱交換器と排熱回収システムを開発した。

◆研究開発項目毎の目標と達成状況：SG8:全体プロセス評価・検討

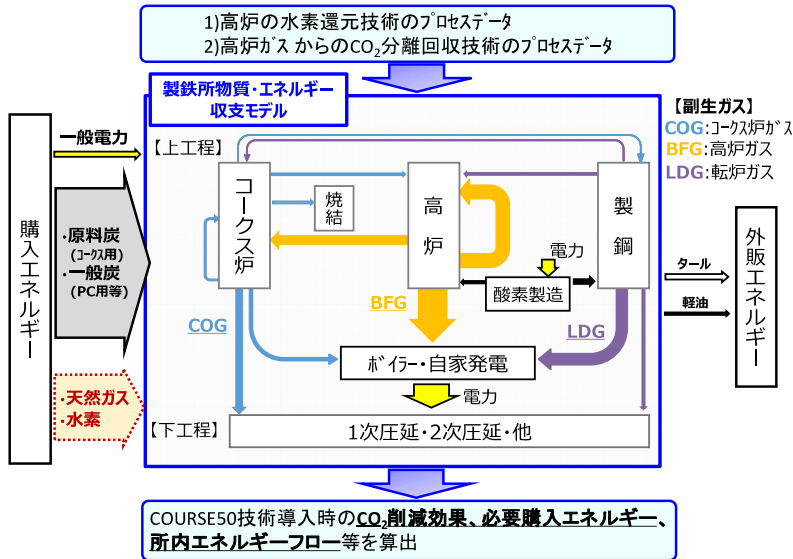
| 研究開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|-----------------|--|---|-----|------------|
| SG8:全体プロセス評価・検討 | 製鉄プロセス全体の最適化を検討し、製鉄所からのCO ₂ 排出量30%削減を可能にするための技術確立に対して、総合的な評価、検討を行う。 | COURSE50で開発した高炉水素還元技術およびCO ₂ 分離回収技術を製鉄所に導入すれば、製鉄所全体でPJ目標CO ₂ 約30%削減は達成可能であるとの見通しを得た。 | ○ | |
| | 特に、プロジェクト最終動向についての、総合的な判断を行う。 | 外部環境の変化に対応して、開発方針の変更(水素使用量の効率化と水素還元の拡大を狙った要素技術開発)を行い、事業を推進した。今後、COURSE50で獲得した技術を足掛かりに、GI基金事業において、2030年COURSE50実用化、2050年カーボンニュートラルに向けたGI基金事業の技術開発を進める。 | ○ | |
| | CO ₂ 削減効果については、水素還元でCOG中の水素や外部からのタイプの水素を使用するか、経済合理性の視点から総合的に評価する。 | 経済性の観点から、現行の炭素ベース製鉄所に、COURSE50技術を導入してCO ₂ 低減を図るためには、水素価格の大幅低減が必要であることが示唆された。 | ○ | |

◆各個別テーマの成果と意義：SG8:全体プロセス評価・検討

【製鉄所全体のCO₂削減効果検討】

【前提】

- ・粗鋼生産量：800万トン/年モデル製鉄所
- ・鉄鉄生産量：782万t/年(高炉2基体制)
- ・購入エネルギー：石炭、一般電力、天然ガス、水素(C-free)
- ・電力：所内の主要電力は、副生ガス利用による自家発電力を使用、不足分を一般電力で補う。
- ・副生ガスに余力が出た場合、発電量増加が可能とする。



【成果】

【CO₂削減効果検討】

- ・COURSE50で開発した高炉水素還元技術およびCO₂分離回収技術を製鉄所に導入すれば、**製鉄所全体でPJ目標CO₂約30%削減は達成可能**であるとの見通しを得た。
- ・現行の炭素ベース製鉄所COURSE50技術を導入してCO₂低減を図るためには、水素価格の大幅低減が必要であると試算された。

【状況変化に応じたプロジェクト運営】

外部環境の変化に合わせて、開発方針の変更(水素使用量の効率化と水素還元の拡大を狙った要素技術開発)を行った。今後、**GI基金事業**において、**2030年COURSE50実用化、2050年カーボンニュートラルに向けた技術開発に発展的に移行する。**

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

- ・COURSE50フェーズII-STEP1は、2018年度から2022年度の5か年、試験高炉操業の完遂を初めとして、各サブテーマとも計画通り開発を履行した。
- ・2020年度には、NEDO中間評価を受け、プロジェクトの中間目標を計画通り達成した。
- ・政府の「2050年カーボンニュートラル宣言」(2020/10)に代表される「地球温暖化課題の状況変化」を的確に反映し、それに対応したプロジェクト運営を行うため、高炉の水素還元技術については、2020年度に開発計画の見直しと2021年度に新たな開発方針を策定した。具体的には、高炉の水素使用量の効率化に加えて更なるCO₂低減を指向した水素還元の拡大化を図るため、高炉からのCO₂排出削減技術の事業目標を当初の「約10%削減」から「10%以上」に目標変更して開発を推進し、下表に示すように、事業の最終目標を達成した。
- ・今後は、COURSE50で開発した高炉水素還元技術およびCO₂分離回収技術の成果・知見を足掛かりに、GI基金事業において2050年カーボンニュートラルに向けた革新技术開発に取り組む。

| 研究開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|--|--|---|-----|------------|
| ①【水素活用還元技術】 研究開発項目(a) 高炉からのCO ₂ 排出削減技術開発 | ・高炉からのCO ₂ 排出10%以上減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。 | ・実験(試験高炉)と理論(数学モデル)の両面から、常温水素系ガス吹込み操作による高炉からの CO₂排出10%以上削減 が技術的に可能であることを立証した。 ⇒GI基金事業において水素還元の最大化を狙ったSuper COURSE50開発を行う。 ・実機を用いた「全周羽口吹込み」試験については、GI基金事業において実施する。 | ○ | |
| ②【CO ₂ 分離回収技術】 研究開発項目(b) 高炉ガス(BFG)からのCO ₂ 分離回収技術開発 | CO ₂ 分離回収コスト2,000円/t-CO ₂ を実現可能な技術の充実を図るため、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO ₂ を追求し、CO ₂ 排出削減量約20%の技術に資する。 | ・混合溶媒系の新吸収液を開発し、ラボ連続試験において 熱量原単位1.60GJ/t-CO₂ に到達した。⇒GI基金事業において 実用吸収液を開発する 。 ・開発した吸収液と熱交換器を用いて排熱回収コストを試算し、CO ₂ 分離回収コスト目標は達成可能であることを確認した。 | ○ | |

◆成果の普及：論文、外部発表等の件数

| 年度 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 計 |
|------------|------|------|------|------|------|-----|
| 論文(査読有) | 1 | 8 | 6 | 6 | 4 | 25 |
| 論文(査読無) | 1 | 1 | 1 | 8 | 6 | 17 |
| 研究発表・講演 | 66 | 43 | 35 | 74 | 65 | 283 |
| 受賞実績 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 新聞・雑誌等への掲載 | 4 | 2 | 6 | 5 | 7 | 24 |
| 展示会への出展 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |

◆成果の普及：成果報告会・シンポジウムの開催、新聞報道等

1. 一般メディアへの掲載例
2021年6月「日経ものづくり」水素還元製鉄
2. 講演会、シンポジウム等におけるCOURSE50成果の紹介
2021年12月 CUUTE-1（地球環境のための炭素の究極利用技術に関するシンポジウム）
・試験高炉操業状況及び各研究成果
2022年3月 日本鉄鋼協会九州支部/日本金属学会九州支部共催 2022年度春季講演会
・湯川記念講演「日本鉄鋼業におけるカーボンニュートラルへの取組」及びCOURSE50研究成果
2021年9月RITE主催「未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西」、10月
PCCC-6(6th Post Combustion Capture Conference)、11月化学工学会：第10回
日中化工シンポジウム、等
・CO₂吸収液に関する成果等の報告、講演等
3. 受賞
・2021年度：第54回市村地球環境産業賞
「工場排ガス中CO₂の低エネルギー分離回収システムの開発」

◆知的財産権の確保に向けた取組

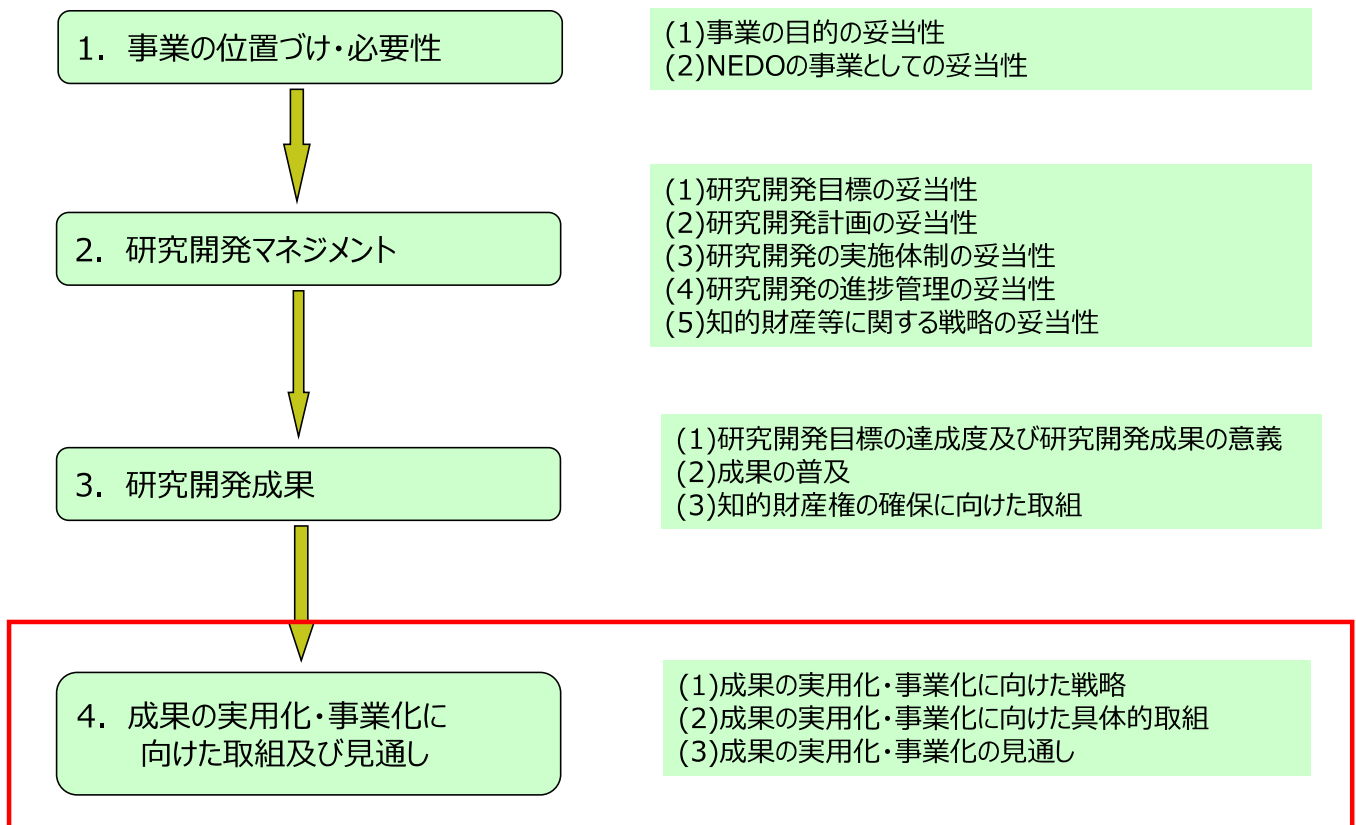
戦略に沿った具体的取組

- NEDO知財方針を適用し、知財合意書、知財会議を整備
→COURSE50事務局を中心として出願・権利化状況を管理
- 知財会議で各サブテーマ毎の知財戦略を策定
→知財マップの作成と出願が必要な技術の洗い出しなどを実施
- 基幹技術確保対応(国内・外国出願・権利化)、防衛的対応(国内公開のみ)、
高度ノウハウ技術秘匿(非公開)など、技術レベル・目的に応じた対応実施
- 効率的な出願国の選定(大型高炉を保有または火力発電の盛んな国など)

| 特許出願 | 2018年度 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 | 計 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| 国内 | 5 | 5 | 3 | 3 | 1 | 17 |
| 海外 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 4 |

※2022年11月17日現在

発表内容



◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

実用化とは、本事業の成果により、水素還元等を活用した高炉、及び未利用排熱を活用した高炉ガスからのCO₂分離回収を、製鉄所に実現する技術を確立することである。

事業化とは、上記技術が製鉄事業に組み込まれることである。

◆成果の実用化・事業化に向けた戦略

【成果の実用化・事業化の戦略】

- ・コスト低減、経済性の確保のために本PJ計画変更(試験高炉研究継続、水素活用還元技術の深化による水素使用量低減等)を実施した。
- ・数学モデルの活用により、実証高炉(100t/d)を行わずに実証研究を推進することで、本PJ計画変更による実用化計画の遅延防止と開発費用の削減を図った。(参考資料参照(65p))
- ・COURSE50で開発した高炉水素還元技術およびCO₂分離回収技術の成果・知見を足掛かりに、GI基金事業においてCOURSE50技術の実用化・事業化に取り組むとともに、2050年カーボンニュートラルに向けた高炉の革新技術開発に挑戦する。

【想定する市場の規模・成長性等】

- ・全世界の粗鋼生産の7割は高炉転炉法で作られている。昨今、高炉を用いない水素還元技術の提案がなされているが、本手法による多量の鋼材が生産されるのは、2050年以降であり、今後も、先進高炉技術(既存製鉄所におけるCO₂削減技術)の市場は存在する。

◆成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

【実用化・事業化活動の実施者】

- ・本開発の成果は本事業を実施した国内高炉メーカーおよびエンジニアリング会社により、実用化・事業化活動を行う。
- ・知財権確立と導入国からの対価を前提とし、国外へ技術提供も模索していく。

【実用化・事業化の計画及びマイルストーン】

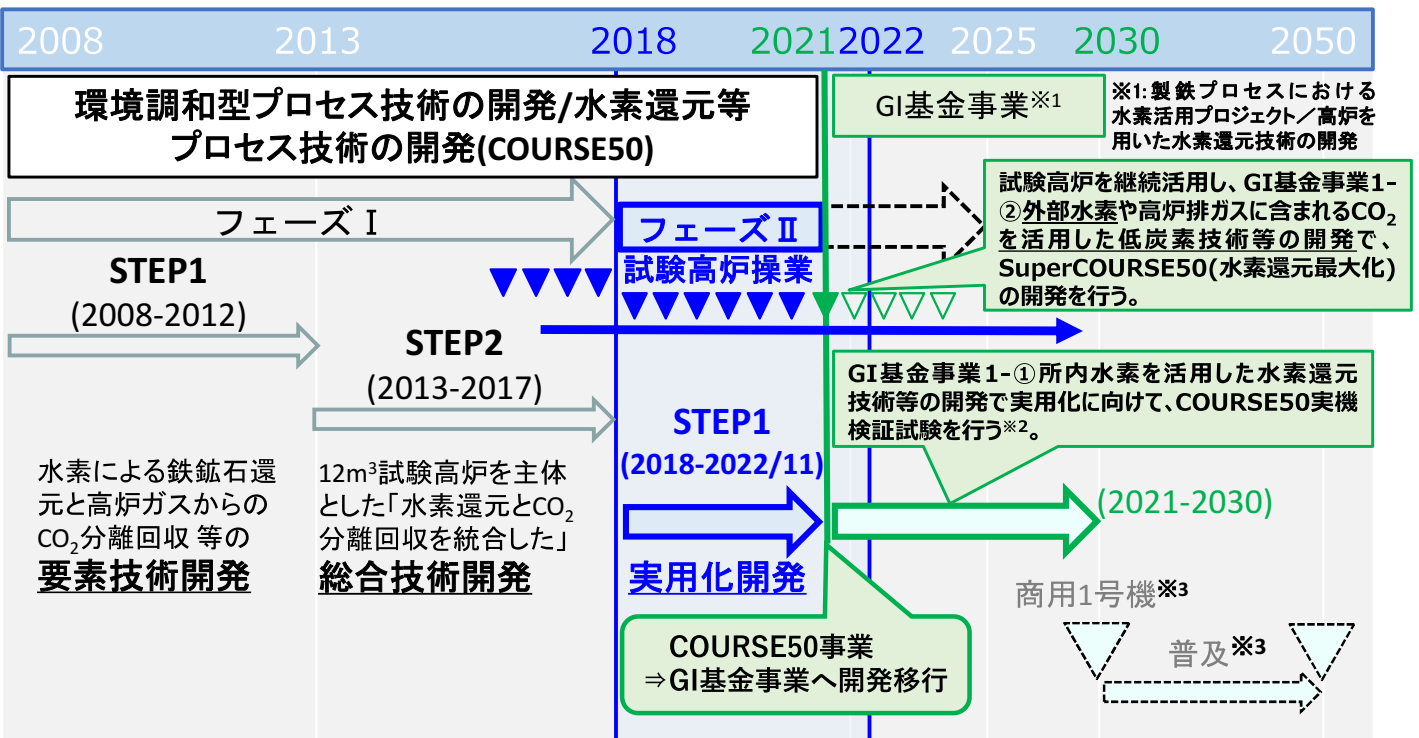
- ・本事業成果の社会実装化および本事業成果を活用したカーボンニュートラル技術開発への展開のため、GI基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発」の中で、COURSE50技術の実用化への取組を継続するとともに、2050年カーボンニュートラルに向けた高炉の革新技术開発に挑戦する。

【高炉の水素活用還元技術の継続・展開】GI基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発：1-①所内水素を活用した水素還元技術等の開発」で、実機実証試験を行い、その結果を踏まえ、2030年ごろの商業1号機の建設に向けて、具体的なエンジニアリングを行う。また、GI基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発：1-②外部水素や高炉排ガスに含まれるCO₂を活用した低炭素等の開発」で、水素還元の最大化を狙ったSuperCOURSE50高炉の開発を行う。

【高炉ガスからのCO₂分離回収技術の継続・展開】GI基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発：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」で、CO₂分離回収コスト低減のための新規高性能吸収液の実用化開発を行うとともに、高炉以外での実用化を進めながら、将来CCSやCCUの技術が確立したタイミングで、製鉄所導入に向けた具体的なエンジニアリングを行う。

(次項62p:開発計画概要)

◆実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討



※2: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。

※3:実用化には、CO₂貯留に関するインフラ整備と実機化に経済合理性が確保されることが前提。2030年頃までに1号機の実機化、高炉設備の更新 タイミングを踏まえ、2050年頃までに普及を目指す。

◆成果の実用化・事業化の見通し

【実用化・事業化に向けての課題とその解決方針】

- ・実用化・事業化の課題は技術確度の向上とCO₂削減コストの低減であり、その解決（必要水素量低減など）を目指してPJの計画変更を実施した。

【研究成果のニーズと経済性の確保】

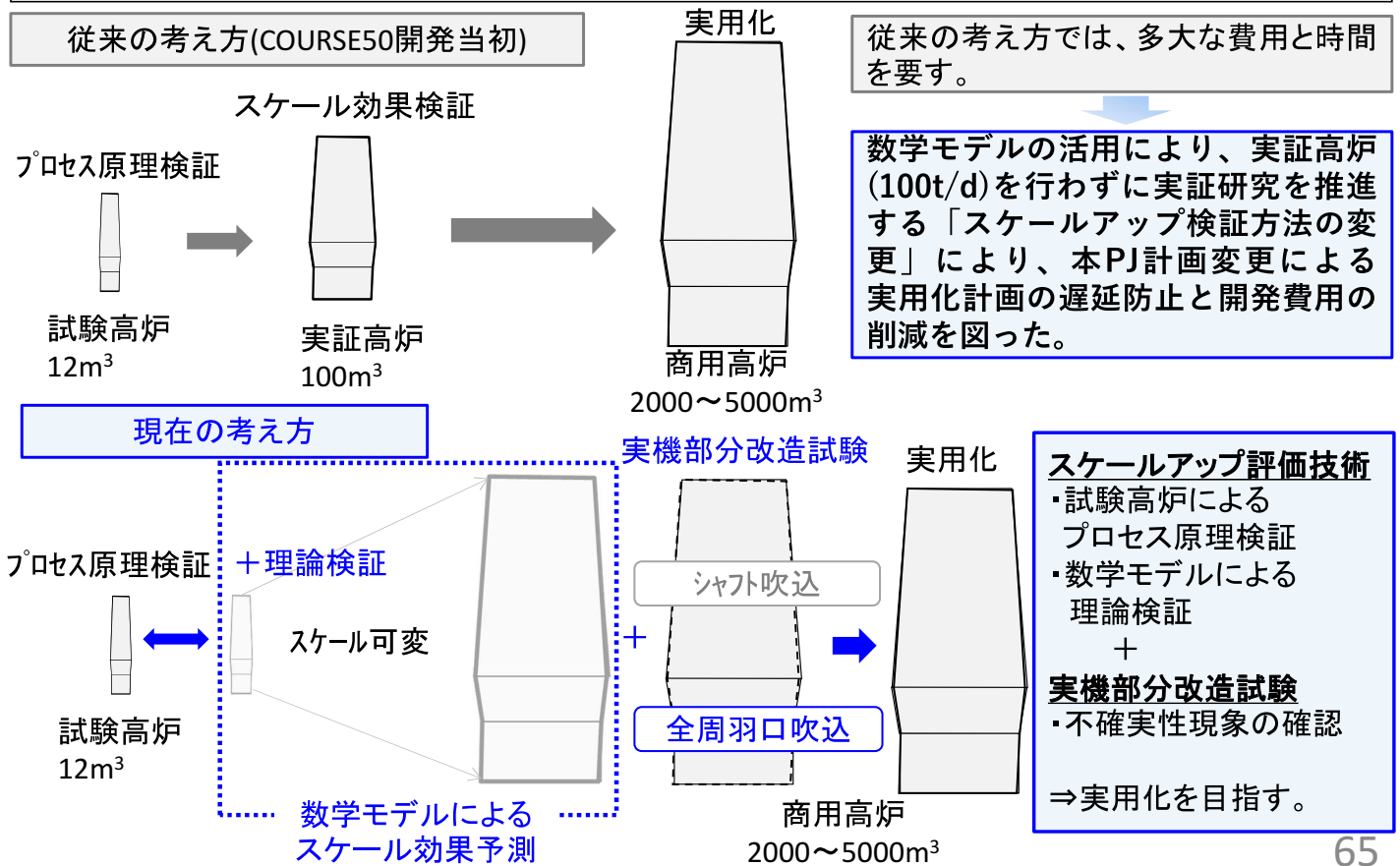
- ・水素還元などのカーボンニュートラル技術は開発期間が長期にわたるため、本成果は早期のCO₂削減ニーズを満たすものである。
- ・本PJの計画変更（試験高炉研究継続、水素活用還元技術の深化等）により、CO₂削減コスト低減、経済性の確保を模索。今後の鉱石・石炭・鋼材の価格動向、グリーン電力・水素価格の低下などを加味して、経済効果の最適化を追求していく。

【波及効果】

- ・CO₂分離回収技術は製鉄以外の分野で早期商用化を行っており、積極的に技術を活用することで、社会に貢献している。(参考資料参照(66p))

参考資料

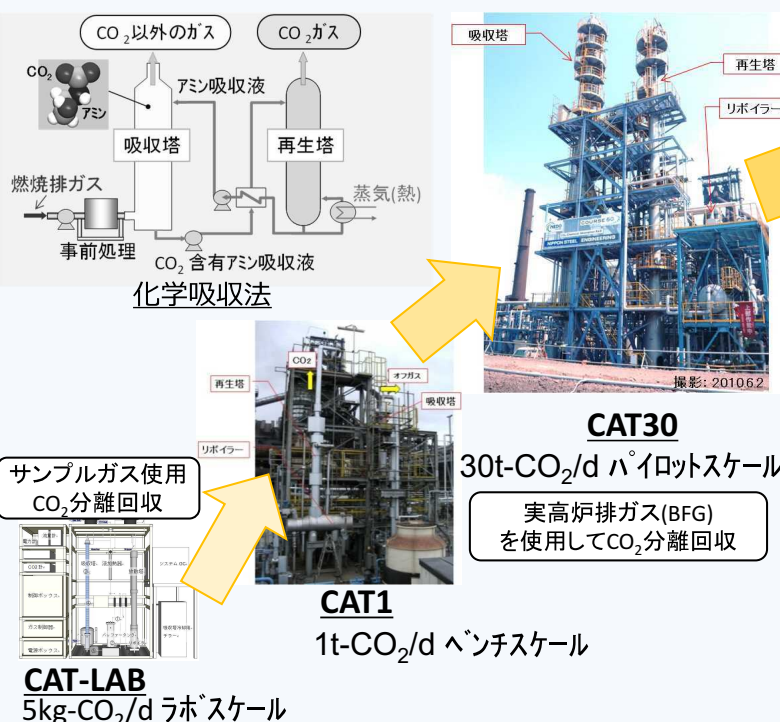
◆ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討: スケールアップの考え方



◆ 波及効果: COURSE50技術成果の早期商用化

COURSE50で開発した化学吸収法のCO₂分離回収技術は製鉄以外の分野で早期商用化を行っており、積極的な技術活用を行うことで、社会貢献に寄与している。

COURSE50研究開発設備: CO₂分離回収(化学吸収法)



ESCAP™※ 商用化: 2基



CO₂分離回収商用設備

(写真: エアウオーター炭酸(株)設備、室蘭製鉄所構内)

- ・適用先: 1) エアウオーター炭酸(株): 120t-CO₂/d
- 2) 住友共同電力(株)新居浜西火力発電所: 143t-CO₂/d

・ESCAPの進展状況:

- ① 製鉄所への導入へ向けた具体検討を実施中 (室蘭とは異なる種類の製鉄ガス。用途は食品向け含む。)
- ② その他、化学工場、焼却施設からの回収、及びメタン原料等への有効利用、海外EOR(石油増進回収) 向けの適用検討を実施中。

参考資料 1 分科会議事録及び書面による質疑応答

研究評価委員会
「環境調和型プロセス技術の開発 / ①水素還元等プロセス技術の開発
(フェーズⅡ- STEP1) 事業」(事後評価) 分科会
議事録及び書面による質疑応答

日 時：2022年12月23日(金) 9:00~15:00

場 所：NEDO 川崎 1601~1602 会議室 (オンラインあり)

出席者 (敬称略、順不同)

<分科会委員>

| | | |
|--------|--------|---|
| 分科会長 | 鷹嘴 利公 | 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 臨海副都心センター 所長代理 |
| 分科会長代理 | 小林 敬幸 | 東海国立大学機構 名古屋大学 大学院工学研究科 化学システム工学専攻 准教授 |
| 委員 | 池上 康之 | 佐賀大学 海洋エネルギー研究所 所長・教授 |
| 委員 | 小野 英樹 | 富山大学 学術研究部都市デザイン学系 教授 |
| 委員 | 熊谷 章太郎 | 株式会社日本総合研究所 調査部 主任研究員 |
| 委員 | 小澤 純夫 | 一般社団法人 日本鉄鋼協会 専務理事 |
| 委員 | 成田 暢彦 | 愛知学院大学 総合政策学部 非常勤講師 |

<推進部署>

| | |
|-----------|----------------|
| 上原 英司 | NEDO 環境部 部長 |
| 在間 信之 | NEDO 環境部 統括調査員 |
| 阿部 正道(PM) | NEDO 環境部 主任研究員 |
| 下村 誠 | NEDO 環境部 主査 |
| 今井 涉 | NEDO 環境部 専門調査員 |
| 中村 潤 | NEDO 環境部 主査 |
| 皆川 江理科 | NEDO 環境部 主任 |

<実施者>

| | |
|---------------|---|
| 野村 誠治(PL) | 日本製鉄(株) フェロー (執行役員待遇) 先端技術研究所長 |
| 渡辺 隆志(SPL) | JFE スチール(株) 技術企画部 技術企画部長 |
| 宇治澤 優(PL 補佐) | 日本製鉄(株) 技術開発本部 技術開発企画部 CN 開発推進室 部長代理 |
| 杉山 慎 (PL 補佐) | 日本製鉄(株) 製鉄技術部 部長代理 |
| 石渡 夏生(SPL 補佐) | JFE スチール(株) 技術企画部 CN 推進 Gr. 主任部員 |
| 村上 英樹 | 日本製鉄(株) フェロー(常務執行役員待遇) |
| 中野 薫 | 日本製鉄(株) 技術開発本部 プロセス研究所 製鉄研究部 室長 |
| 柏原 祐介 | JFE スチール(株) スチール研究所 製鉄研究部 主任研究員 |
| 上城 親司 | 日本製鉄(株) 技術開発本部 プロセス研究所 試験高炉 PJ 推進部 技術室長 |

| | |
|-------|---|
| 上城 親司 | 日本製鉄(株) 技術開発本部 プロセス研究所 試験高炉 PJ 推進部 技術室長 |
| 中尾 憲治 | 日本製鉄(株) 技術開発本部 先端技術研究所 環境基盤研究部 CCUS 技術研究室 研究第一課長 |
| 堺 康爾 | (株)神戸製鋼所 技術開発本部 主任研究員 |
| 松崎 洋市 | 日本製鉄(株) 技術開発本部 先端技術研究所 数理科学研究部 上席主幹研 |
| 小林 一暁 | 日本製鉄(株) 技術開発本部 プロセス研究所 プロセス技術部 主幹研究員 |
| 安室 元晴 | (株)神戸製鋼所 事業開発部 主任部員 |
| 冨崎 真 | 日鉄エンジニアリング(株) 製鉄プラントセクター 製鉄脱炭素推進室長 |

<オブザーバー>

| | |
|--------|---------------------------|
| 伊藤 隆庸 | 経済産業省 製造産業局 金属課金属技術室 室長 |
| 富永 和也 | 経済産業省 製造産業局 金属課金属技術室 課長補佐 |
| 伊藤 香奈子 | 経済産業省 製造産業局 金属課金属技術室 |

<評価事務局>

| | |
|-------|----------------|
| 森嶋 誠治 | NEDO 評価部 部長 |
| 佐倉 浩平 | NEDO 評価部 専門調査員 |
| 日野 武久 | NEDO 評価部 主査 |

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 a) 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
b) 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し
 - 5.2 質疑応答

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 鉄鉱石還元への水素活用技術開発
 - 6.2 試験高炉によるプロセス評価技術開発
 - 6.3 コークス炉ガス(COG)改質技術の開発
 - 6.4 高性能粘結材製造技術の開発
 - 6.5 CO₂分離回収技術開発
 - 6.6 未利用排熱活用技術の開発
 - 6.7 実高炉部分検証によるプロセス技術開発&全体プロセス評価・検討
7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
 - ・開会宣言（評価事務局）
 - ・配布資料確認（評価事務局）
2. 分科会の設置について
 - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
 - ・出席者の紹介（評価事務局、推進部署）
3. 分科会の公開について

評価事務局より行われた事前説明及び質問票のとおりとし、議事録に関する公開・非公開部分について説明を行った。

4. 評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より行われた事前説明のとおりとした。

5. プロジェクトの概要説明

5.1 a) 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

b) 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

実施者より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

5.2 質疑応答

【鷹嘴分科会長】 ご説明いただきありがとうございました。これから質疑応答に入りますが、技術の詳細については議題6での取扱いとなるため、ここでは、主に事業の位置づけ、必要性、マネジメント等について議論をしていきます。それでは、事前にやり取りをした質問票の内容も踏まえまして、何かご意見、ご質問等はございますか。

では、産総研の鷹嘴より伺います。まず前半のNEDO様のマネジメントについて、資料21ページのところでロードマップを一部改訂されたという説明がありました。変更後というところで、2年前の中間評価の際にもいろいろとコメントを委員の皆様からいただいたと思うのですが、下の米印の箇所を書いてある「CO₂貯留に関するインフラ整備と実機化に経済合理性が確保されることが前提」ということで、これは非常に重い前提だと思います。まず1つは、「CCSの状況について、METIからも情報を入れて共有をしながら」という意見が委員から上げられていたと思いますが、そのあたりについては今回全く触れられていなかったように思います。やはり、今後事業を継続していくべきかどうかという非常に大きな問題になると考えますので、そのあたりに関して情報があれば教えていただきたいです。もし、ここでの開示が難しいということであれば、後ほどの非公開セッションの中で情報をいただく形でも構いません。

それからもう一つ、経済合理性の確保の観点です。これも非常に大きな課題の一つだと理解していますが、こちらについても中間評価のほうで「費用対効果をもう少し精査するように」というコメントがございました。それについて、資料28ページの説明で「精査を行い」と書いてありますが、費用対効果の説明のところの資料13ページを見ると前回とほぼ同じ記載になっています。それから、この費用対効果の費用のほうも2022年度までの費用しか記載されていませんが、これからさらに費用が必要となってくる中で、その辺の費用対効果の説明として少し物足りない印象を受けた次第です。これら2点について、ご見解を伺えたらと思います。

【NEDO環境部_阿部PM】 NEDO環境部の阿部から回答をいたします。まず1つ目のCO₂貯留、CCSの実用化に関するご質問ですが、そちらに関しては資料13ページの米印のところに記載が少しございます。経産省において「CCS長期ロードマップ検討会」といったものがありまして、現在は中間の取りまとめの段階ですが、今のところは2030年にCCS事業を立ち上げることを想定しながら、そのロードマップを検討しているという情報が入っているところです。その検討会にはNEDOからも委員として参加しており、こちらの情報もいろいろと注視をしながら進めていくものとして考えています。

【鷹嘴分科会長】 2030年に事業が開始ということで、皆さまの共通の思いとして、まずCCSはかなり

先だという見通しになると思います。その中で、この COURSE50 の 30%削減中の 3 分の 2、20%が CCS であると、やはり、そこで貯留されないと実際に CO₂ の削減にはつながらないので、いつ頃から CO₂ 削減が見込まれるのかというのが国民皆さまの共通の思いではないでしょうか。ですので、そこをしっかりといつ頃なのかというところを記載いただくようにしないと、結局埋めるところがなかった、経済性が成り立たなかったということで、膨大な費用を使って、結局商用化にいけなかったとはならないようにしたい。これが私の願いであり、経済性のほうについてもご見解を伺いたく思います。

【NEDO 環境部_阿部 PM】 資料 13 ページにおいて、アウトカムとして CO₂ 排出削減の部分しか記載しておらず申し訳ございません。経済性の中で重要なのは、まず 1 つは水素の価格であり、そこが非常に大きな部分であると考えています。この価格において、今、例えば NEDO の中でもいろいろと水素に関するプロジェクトを並行して進めている状況ですので、そちらの進捗等も踏まえながら情報を共有して進めていく所存です。もちろん、このぐらいの価格でないとできないといったところもございますが、現状それを絶対にここまでできるといった確証までは得られておらず、並行的、複線的に進めているという形の中で、それをどこかの時点で統合をする。そういった進め方になるのではないかと考えている次第です。

【鷹嘴分科会長】 水素の価格が非常に大きいというのは確かにおっしゃるとおりです。今、国の目標として 2050 年で 20 円/Nm³ という値が出されており、一方試算では 10 円/Nm³ 以下という値が出ていますが、現実的には難しいといえますか、非常に大きな課題として理解している次第です。それから、10%水素還元によって削減するというのですが、この水素がグリーン水素なのか、グレー水素なのかによっても非常に CO₂ 排出削減の扱いが違ってくることは皆様ご存じだと思います。そのあたりについても、中間評価の際に、委員の方から「もう少し LCA 評価をしっかりと入れたらどうか」というコメントをいただいておりますが、そこが今回あまり反映されていないような印象です。少しご見解を伺えたらと思います。

【NEDO 環境部_阿部 PM】 水素のグリーン、グレーといったところや、それに関連した LCA 評価について今回の発表の中でなかなか触れられていなかったというところで大変申し訳ございません。この事業は、今後 GI 基金事業に移行しますが、この基金事業において社会実装という観点が非常に大きな目標となっておりますので、それに向けた検討の中で進めていくことができると考えている次第です。

【鷹嘴分科会長】 ありがとうございます。それでは、ほかにご意見、ご質問等ございますか。熊谷様、よろしくお願ひします。

【熊谷委員】 日本総合研究所の熊谷です。詳細なご説明をありがとうございました。今回のプロジェクトの目標設定について少し伺います。政府のカーボンニュートラル宣言を受けて、プロジェクト開始当初と比べて鉄鋼業の脱炭素の達成時期も大幅に前倒しされました。それに対し、各テーマの最終目標の改定状況はマイルドなものにとどまっている印象を受けました。例えば、CO₂ の削減目標が「10%」から「10%以上」に引き上げられるなど、マイルドな修正にとどまっています。SG5 の未利用低温排熱活用技術の平均温度効率や耐久性の目標の引き上げなどを含め、他にも目標を引き上げることができた分野があったかと推察いたします。どの部分にどういった課題があり、目標を大幅に引き上げるのは難しかったのかについて教えて下さい。

【NEDO 環境部_阿部 PM】 環境部の阿部から回答いたします。まず、今回目標を更新した部分として、高炉における CO₂ 排出削減量を、それまで「10%」としていたところを「10%以上」と変えたということで、「以上」という文言が入っただけで一見マイルドには見えてしまうのですが、これまで10%程度までやるといったところに対し、限界まで追及するという意味を持った「以上」と考えております。水素を多く使って高炉でどれだけ CO₂ 排出削減ができるのかといったところを追求するものとして変わったところが一番大きなところであり、言葉の上ではマイルドに見えるものの、目標としてはかなり大きく更新されたものとして理解しています。また、そのほかの試験高炉ではないところの目標設定に関しては、この事業全体の目標として、まず 30%削減するといったものがございまして、それを踏まえた目標設定として維持をしたという形です。さらにもう少し先のことを申せば、この 30%がクリアできればカーボンニュートラルが達成できるのかということ、そういうわけではございません。この事業が引き継がれる GI 基金において、30%という目標をさらに高め、50%以上の削減を目指すような Super COURSE50 の目標値も設定していますので、30%というのは、第一段階というような意味合いで考えていただければと思います。

【熊谷委員】 ありがとうございます。

【鷹嘴分科会長】 そのほかいかがでしょうか。それでは、小野様よろしく申し上げます。

【小野委員】 富山大学の小野です。この試験高炉規模で CO₂ 排出量 10%以上削減の目標を大きく上回って達成したということは、専門家の立場から非常に高い評価ができることでもあります。その上で少し教えていただきたいのですが、資料 43 ページにおいて、今回上限を見極めるという新たな目標設定になっているかと思えます。こちらの図で 16%の部分で限界点が引かれており、操業結果に直線性があるように思うのですが、ここが限界となる点について少しご説明いただけないでしょうか。

【日本製鉄_宇治澤 PL 補佐】 COURSE50 の PL 補佐をしております日本製鉄 宇治澤より回答いたします。限界についての議論として、おっしゃるとおり水素導入量を増やしていくと直線的に上がっている状況になりますが、これ以上に上げるとなるとサチュレートしていきます。すなわち、それ以上、直接還元はなかなか下がらないという状況になってくると同時に、水素還元は吸熱反応のため、このままいくとどんどん炉内の温度が下がっていく。その結果、排ガス温度が 100℃を切って露点に到達し、そうなると高炉からダストも排出できないという状況となり、操業が成立しなくなります。15%台が常温の水素系ガス吹込みの操業限界ということを高炉数学モデルにより事前に把握した上で、実際にテストをしたところ、試験高炉でもやはり炉頂温度が限界に近いところまで来ました。そういう意味で、ここが限界だという見極めに至った次第です。それ以上に水素還元を拡大して更に CO₂ を削減するためには、その大きな吸熱をいかに熱補償するかという観点で取り組まなくてはなりません。そういったことから、今 GI 基金事業の中で、熱補償技術の開発、具体的には吹き込む水素の温度を上げる等の操作により、さらに水素還元を高め、さらに CO₂ を削減するというところに取り組もうとしている状況です。

【小野委員】 要は、炉頂温度等からほぼ限界であると見極めているという理解でしょうか。

【日本製鉄_宇治澤 PL 補佐】 そういうことです。

【小野委員】 分かりました。

【鷹嘴分科会長】 そのほかございますか。それでは、小澤様よろしく申し上げます。

【小澤委員】 小澤です。資料3ページのところで少し伺います。ほかの委員の方々からのご質問ともリンクいたしますが、CO₂排出量削減の技術開発における10%以上というのは、今までの議論をお聞きしまして、幾ら外部から水素を持ってきても一定レベルの熱補償であるとか、あるいは、さらにコークスが高炉内での通気・通液性を維持しているスパーサーとしての役割の問題等が出てくるため、技術的に限界が出てくるものと理解をいたしました。その一方で、CO₂分離回収技術20%というのは、経済性が非常に重要、かつ実用化ということで分科会長からもお話がありました。仮にその部分を全く無視して、グリーン水素、グリーン電力、グリーン熱源が低価格で十分な量を得られたという前提であった場合には、もう20%にこだわらず100%でも分離回収できるという理解で合っているでしょうか。

【日本製鉄_宇治澤 PL 補佐】 PL 補佐の宇治澤より回答いたします。今のご質問の件ですが、まず、なぜ20%に設定をしているかというところで、先ほども説明があったように、未利用排熱を活用する。要は、省エネルギー型のCO₂分離回収技術を確立するというのが大前提としてありました。先ほど野村から話があったように、未利用排熱で実質的に回収できる量を考えた場合に20%であるということから、この20%の設定に至っています。小澤委員がおっしゃるとおり、そういうことを考えずに、もし自由にCO₂フリーのエネルギーを使えるのであれば、当然CO₂分離技術を我々手のうちに入れていきますから、さらに分離回収をすることは可能です。

【小澤委員】 ありがとうございます。そういう意味では、実用化ということ考えた場合にこういう目標設定が悪いということではありませんが、CO₂排出削減の技術開発では技術的な目標設定であり、CO₂分離回収技術開発のほうも技術的と言えばそうですが、経済性を克服するための目標設定といったところで、少し種類が違うような印象を持ちました。

また、もう一つ私が気になった点として、高炉メーカーの若手の方と話をしている時に、経済性ではなく技術的なものとして「高炉からCCSでは30%還元が限界でカーボンニュートラルは実現できない」というようなお話を伺うことができました。ですので、そういう問題ではないということこそをきちんと説明していき、次世代高炉プラスCCUSというものも、いろいろな課題はあるものの、カーボンニュートラルの実現は可能だということをもう少し打ち出していかれるとよいのではないかと思った次第です。

【日本製鉄_宇治澤 PL 補佐】 ありがとうございます。決して30%が限界ということではありません。我々、水素還元拡大技術ということで今後GI基金の中でSuper COURSE50で開発を進めますが、水素還元における熱補償技術や他の要素技術と組み合わせ、GI基金事業のCO₂削減目標「50%」を目指して開発に取り組めます。但し、高炉にはどうしても必要最低限のカーボンが必要ですから、最大限水素還元でCO₂を削減できる操業技術を確立した上に、プラスCCUS技術でカーボンニュートラルを目指したいと思っております。

【鷹嘴分科会長】 ただいまの議論の中で、今30%を目標にしていて、Super COURSE50では50%にというお話でしたが、それよりは、水素の価格を考えると、CCUSのほうでもう少し賄ってもらい、高炉法を維持するためにはコークスが絶対に必要ですから、例えばコークスをバイオマスからつくるような技術開発を進められて、それでネガティブエミッションを獲得するなどといった方向性のほうがよいのではないかと感じた次第です。

【日本製鉄_野村 PL】 PLの日本製鉄 野村です。今、GI基金にていろいろと複線的なアプローチを取り

ながら進めている中には、鷹嘴分科会長がおっしゃいましたようなバイオマスも入っております。また、経済性や効率も含めた中で、日本の置かれた状況として、エネルギー源、資源価格、出来た製品の売り方も含めまして、最終的な鉄鋼業においてどの方法が最もよいのかを継続的に進めていくという立付けになっております。今回、その一つのステップとして COURSE50 事業の成果を活用できることについて、プロジェクトとして非常にうれしく思うとともに期待をしているところです。

【鷹嘴分科会長】 分かりました。単に水素還元の割合を 50%にするといった話になると、技術的なハードルは非常に高いという話にもなるかと思うので、そちらの検討も引き続きお願いできればと思います。

それでは、ほかにございますか。池上様、お願いします。

【池上委員】 佐賀大学の池上です。この事業自体が、日本のものづくりの非常に重要な位置づけである鉄鋼の CO₂ を削減するという点で大変大切だと思います。ただ、やはり国際的な視点で常に事業の成果がどのあたりにいるのかということ意識しなければ、ドメスティック的には評価をされるものの、実際に海外との競争の中では勝てないともなるでしょうし、そうなると、せっかくの成果がもったいないです。資料 9 ページに、海外の動向をある程度サーベイされていますが、何か視覚的に分かるように、この事業が今国際的にはどの位置にあるのかというところを、なかなかオープンになってこないのが難しいとは思いますが、むしろ今目指している位置が低ければ、もっと加速化していく必要があるでしょうし、そういった視点を分かりやすい形で常に公開をしていただきたいです。

質問としましては、今回のものがどれだけ競争力があるものとして認識されているのかといったところで見解を伺いたく思います。

【JFE スチール_石渡 SPL 補佐】 SPL 補佐の石渡から回答をいたします。現実には今の時点で 100%競争力のあるカーボンニュートラルな鉄の製造法というものはありませんので、複線的にいろいろなことをやらせていただいている次第です。高炉というものも大事なポイントですし、次に行く GI 基金においては水素直接還元も全部視野に入れているという中で、それらを比べながら進めていくという観点になります。特に今回の COURSE50 は高炉を中心にやらせていただきましたが、高炉に関して、ヨーロッパサイドはかなり昔にやった活動で止めている状況であり、中国が結構やってきているという議論をそこにも記載しておりますが、そういうものも含めまして、高炉に関しては我々長年やってきた蓄積がありますので、世界トップレベルの事業をさせていただいているという理解です。また、部分的に羽口に吹き込んだという報告はいろいろとありますが、水素をきちんと高炉に吹き込んで CO₂ 削減の実証を行ったのは我々だけです。そういう意味では、開発として一番トップにいるものとして自負しております。

また、先ほどから出ている経済性の議論のところ、水素価格に加えて、実は今、カーボンプライスやエシカル消費等もありまして、鋼材の価格がこのプレミアムでどうなっていくのかなど非常に読みづらく、現在最も読めない時期として捉えています。その経済合理性に関して、高炉でできない鋼材をきちんとカーボンを落としてつくるといったことの価値がどのように認められてくるかといったところに非常に興味を持っており、それが認められる状況においては、きちんとした経済合理性は成り立つと。逆に言えば、きちんと CN の規制がかかった世界においては、その鉄材、

鋼材を使っていくことが価値を持ちますから、そこで経済合理性を稼ぎながら、カーボンニュートラルな社会に対し、我々がコミットメントをしていくということを行っていきたいと思っています。回答になっていないかもしれませんが、そういう現状として、経済合理性に関しても議論を行いながら進めていく所存です。

【池上委員】 ありがとうございます。

【鷹嘴分科会長】 皆様ありがとうございました。まだご質問等があるかとも思いますが、予定の時間がまいりましたので、以上で議題5を終了といたします。

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明

省略

7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

8. まとめ・講評

【鷹嘴分科会長】 ここから議題8に移ります。これから、まとめとして講評を行います。冒頭に行った各々の挨拶と逆の順番として、最初に成田委員から始まりまして、最後に私、鷹嘴ということで進めてまいります。

それでは、成田様よろしくお祈いします。

【成田委員】 愛知学院大学の成田です。今日は、丁寧な説明や資料の作成をしていただきましてありがとうございました。ほかの委員からも「LCA 的な発想が重要である」といった話がありましたが、LCA をやるにあたって重要なのは前提条件でして、具体的には水素をどのように調達するのかということにポイントがかかっているのではないかと考えます。今回は、そういう環境負荷のない水素を想定されていますが、ほかの水素だとしたら実は結果がまた大きく変わっていきますので、実際の調達体制も整備、検討が重要だと思います。また、水素はご存じのように貯蔵と輸送でどれだけ負荷がかかるのかというところがまだあまり見えていない部分がありますから、海外から輸入されるとなればどれぐらいのプラスアルファのCO₂になるのかという検討も必要になりますし、そういったことから、まだまだ実は検討課題は多くあるものと考えております。いずれにしろ、このような手法を使い、鉄のCO₂排出量を削減できる可能性があることを見いだしていただいたのはありがたいことです。どうもありがとうございました。以上です。

【鷹嘴分科会長】 ありがとうございます。それでは、小澤様よろしくお祈いします。

【小澤委員】 小澤です。先日の現地見学会及び本日のご丁寧な説明、質疑応答をありがとうございました。これを皆様に申し上げるのは釈迦に説法になりますが、鉄鋼はものづくりの基盤であり、競争力の源泉でございます。特に高級鋼は、多品種でユーザーと共同開発をするなどのすり合わせをし

た上での受注生産となっていますので、日本のものづくりを発展させるためには国内での鉄鋼生産の継続、発展が必須だと考えている次第です。一方で、気候変動は言うまでもなく各国の首脳会議で必ずと言えるほど議論になっており、重要性はますます増えています。そういった中で、高炉からの大幅なCO₂排出量の削減を実現する本事業は大変重要なプロジェクトと言えますし、今回達成された2022年最終目標を上回るなど世界トップクラスの大きな成果は非常に意義があると思います。

次世代の環境も大事ですし、現世の暮らし・経済も大切であり、これの両立を図るためには、私個人の意見ではありますが、本プロジェクトが進めている「次世代高炉プラスCCUS」、これが今後中心的な役割を果たしていつてもらえることに期待をいたします。欧州では既存の高炉が寿命を迎えるタイミングで水素直接還元製鉄と電炉、あるいは、鉄スクラップと電炉に置き換えていくという報道も目にしますが、欧州鉄鋼連盟(EUROFER)も、「我々の60以上のグリーンスチールプロジェクトについて今投資決定を行う必要があるが、十分かつ安価なグリーン水素を入手することができない」とプレスリリースを出しています。グローバルに見れば、世界の需要を満たす鉄鋼を水素直接還元製鉄だけで生産をすることは、そのために必要なグリーン水素、グリーン電力を確保することが当面、将来的にも容易ではなく難しいと思うところです。IEAや世界鉄鋼協会、さらにはEUの「ERA産業技術ロードマップ」でもニア・ゼロエミッションスチール、ローカーボンスチールのシナリオとして水素直接還元製鉄プラス電炉とともに高炉プラスCCUSというシナリオを提示しています。本プロジェクトが実用化され、世界の鉄鋼生産を環境と経済の両立させる方向にリードされていくことを期待しています。ありがとうございました。以上です。

【鷹嘴分科会長】 ありがとうございました。それでは、熊谷様よろしくお願ひします。

【熊谷委員】 日本総合研究所の熊谷です。現地見学会でのご説明に加え、本日も丁寧なご説明をいただき、大変ありがとうございました。多くのことを学ぶ大変よい機会となりました。私は、環境配慮型の新しい生産プロセスへの移行に伴い、基本的に生産コストは増加すると認識していました。しかし、SG3で生産コストが削減される可能性があるとのことの説明を伺い、非常に驚きました。また、SG5で非常に細かな試算やコスト面の分析をされていたことにも感銘を受けました。一般の方に説明される際には、こういったコスト面へのプラス効果や経済的な合理性をもっと強調しながら発表をされるとよいのではないかと感じました。その一方、多くの方からご指摘があったように、今後の水素とCCUSの導入状況については大きな不確実性が残されています。そのため、これらが計画通りに進まなかった場合にどうやって脱炭素を実現するかというバックアッププランを検討する必要があると感じました。高炉によるCO₂の削減に限界があるのであれば、電炉の抱えている課題克服に向けた技術開発を進める、もしくは、そもそも鉄ではなく代替金属の開発・利用を進めるなど、別のアプローチを検討する必要があり、それらを含めてGI基金の予算を有効に活用することが求められています。鉄鋼業だけでなく、日本全体、世界全体でカーボンニュートラルを実現することが重要ですので、他のプロジェクトへの含意などがあると、多くの人にとって大変役に立つのではないかと感じました。ありがとうございました。

【鷹嘴分科会長】 ありがとうございました。それでは、小野様よろしくお願ひします。

【小野委員】 富山大学の小野です。現地見学会及び本日も丁寧なご説明をいただきましてありがとうございました。もともとこのCOURSE50が始まる時に、これらのいわゆる乾式プロセス、高炉

は、鉄から見たら酸化鉄の還元炉ですが、乾式の反応炉という意味では燃焼炉でありまして、そのような高温燃焼炉に水素を入れて冷やしてしまうといったことは技術的にも困難で、エネルギー効率や生産性を損なうといった面で非常に難しい技術課題に取り組まれているという認識の専門家が多くおられたと思っています。そのような中、今回一定量の水素にはなりますが、それにより直接還元を減らすことができ、特に問題なく約 10%ぐらいであれば水素を入れて実際に製鉄が可能だという、そういった技術的なところを明らかにしていただきました。また、上限として 16%ぐらいまでが可能といったところまで示していただいたところは、技術的に非常に苦労をされたのではないかと推察いたしますし、大きな成果として評価ができるものとして理解しております。一方、10%と言いますと一般の方から見れば、全体の 100%から見たときの 10%ということでは、必ずしも大きく思われない面もあるかと思えます。ですが、削減量としてはかなり大きなものになりますし、高炉というのはベースメタルである鉄を最低限必要な分確保する反応器として、生産性とエネルギー効率の面で欠かせない反応装置でありますので、それらを考えれば 10%の削減というのは非常に大きな意味のある数字になると捉えます。ですので、ぜひ今後この技術の実機適用の実現をしていただき、製鉄業から出る CO₂ 排出削減が目に見える形となって社会に示されるように進めていただくことを期待します。以上です。

【鷹嘴分科会長】 ありがとうございます。それでは、池上様よろしく申し上げます。

【池上委員】 佐賀大学の池上です。長時間にわたり丁寧な説明をしていただきましてありがとうございます。日本は最近ものづくりを非常に軽視する傾向がありますが、ほかの委員の方もおっしゃられているように、鉄鋼産業は非常に日本のものづくりの基幹であり重要な国力の一つであると思います。CO₂を多く出していることでその削減を狙った大変重要なプロジェクトでありますし、そういう点で非常に期待をしている次第です。

ただ一方で、こういう重要な産業は、これまでも話があったように国際競争力なしでは、せっかく開発をしたが使えなかったと、多量な税金を使ったものの結局使い物にならなかったということにならないように、常に国際的な競争力の視点で、なかなか情報収集は難しいと思いますが、その視点での位置づけを明確にしながら国際競争力の維持をしていただきたく思います。日本が、非常にすばらしいアイデアとして世界に先駆けて提案をして進めているということですが、最終的に商用化したところが重要になったり評価をされたりしますので、果敢にどんどん加速度的に遅れることなく進めていただければとも思っております。また、その評価として、ほかの委員もおっしゃられたように LCA 的にいろいろパターンによって難しさはありますが、これからは「安い鉄」というよりも「環境に優しい鉄」のほうが利用しやすく売りやすいといった環境づくりの観点も含めて契機にいただけると、このプロジェクトが非常に生かされていくものと考えます。以上です。

【鷹嘴分科会長】 ありがとうございます。それでは、小林様よろしく申し上げます。

【小林分科会長代理】 名古屋大学の小林です。大変分かりやすい資料かつ、しっかりとしたご説明をしていただきましてありがとうございました。このプロジェクトは 2008 年から始まりまして、当初から水素導入の重要性をしっかりと先見性を持って位置づけられ、これまで経験及び実績を積み重ねてこられたことを本当によかったと思うとともに、この成果こそが水素を導入する高炉法が日本の専売特許になりつつあるものとして理解しています。また、水素のコストについて先ほど来

ご指摘がありますが、世界どこも同じ条件であり水素は奪い合いになるという予測、その不確実性に対して柔軟に対応できる技術はやはり高炉法だと私は思います。また、水素のほか、今回は対象にしなかった天然ガスを導入する際にも基本的には同じような考えの下で設計できると思われま
すし、不確実性に対応する柔軟性のある高い方法を開発しつつあると理解しております。これから
GI 基金でさらに加速をされていくという中で、そういった柔軟性のあるプロセスとして位置づけ
て、最後にはカーボンフリーにするという解もあると思いますが、日本の産業を支える技術に育て
上げていっていただきたいと思っています。

それからもう一つ、低品質な鉄鋼資源やカーボン資源を活用できるといったこともこのプロジェ
クトの特徴といいますか、成果としてあるのではないのでしょうか。これから、そういった資源の制
約の確保も非常に厳しくなっていくと予測される中で、今回の知見、技術の蓄積というのは大変高
い評価ができると思います。ぜひこれから日本独自の、さらに品質も兼ね備えた新しい技術として
より高い成果を積み重ねていっていただきたいです。以上になります。

【鷹嘴分科会長】 ありがとうございます。それでは最後に、本日の分科会長を務めました産総研の鷹
嘴より講評をいたします。11月2日に行われた現地調査会、そして本日の分科会において COURSE50
の成果を非常に分かりやすくご説明いただき、ありがとうございます。個々の開発項目としては全
て目標値をクリアできているものと理解しています。特に数学モデルを使ったシミュレーション
技術、分離回収技術、排熱回収システム、これらの技術はほかでも使えるので、この事業で使われ
ることはもちろんのこと、途中の段階でどんどん活用できたらよいのではないかと改めて感じた
次第です。

一方で課題は何かということですが、既に委員の皆様からもご指摘があるように、COURSE50 事業
の目的としてはCO₂排出削減でありますから、いつ頃にどれだけ下げられるのかという部分が重要
だという認識です。技術開発はもちろん必要ですが、やはりそれを明示していくといった目線も
ずっと持っていくべきであり、そのために必要なものが LCA 評価であると考えます。これは非常
に大事な技術で、何となくCO₂が下がったような感覚でいると思っても、ほかで実はCO₂を出
しているといったことも多くございます。昔、内閣府の調査でも、ナフサから化学原料をつくるの
とCO₂を使って水素でつくるものでCO₂削減につながっているかどうかを調査した結果がありま
すが、残念ながらCO₂は下がらなかったという報告でした。ですので、そのあたりは評価軸に、次の
GI 基金事業の中でもよいので入れていただきたいと強く思います。

それと、やはりコストの部分です。コスト分析ということで、ある時期になったらやればよいとい
うことではなく、今の段階から、いつ頃にどういう技術が使えるようになって、水素がどれだけ入
ってくるかということを含めて全体のコスト感覚といったものを常に持つておく必要があるの
ではないでしょうか。CO₂排出削減効果と一緒にコスト分析の視点も重要だという中で、水素を安
くどこからいつ持つてくるのかと。もしかするとGI 基金事業の中に含まれているかもしれませんが、水素で一番早いものは海外からのアンモニアだと思います。日本でもアンモニアの分解を使っ
て水素で高炉に入れるというようなことが、大学でも触媒を使った研究がされていますから、そう
いったところもどんどんシナリオの中に入れていく必要があります。アンモニアの場合には天然
ガスから主につくるのですが、外国ですとEORでCO₂を使えますので、そういった視点も常に入れ
ながらCO₂、LCA、コストを3セットとしてGI 基金事業のほうにしっかりと含めて進めていって

ただけたらと思います。この COURSE50 の成果については、最初に申しましたように非常によい成果を出していただいたという理解です。ありがとうございました。

【日野主査】 委員の皆様、ご講評を賜りまして誠にありがとうございました。次に、経済産業省 製造産業局 金属課金属技術室の伊藤室長及び環境部の上原部長より一言ずつコメントをいただきたく思います。

それでは最初に、伊藤様よろしくお願いいいたします。

【経済産業省_伊藤 室長】 経済産業省 製造産業局 金属課金属技術室の伊藤と申します。まずは委員の皆様方、本日、長時間にわたりまして非常に中身の濃いご審議をいただきましてありがとうございました。また、事業者の皆様方におかれまして、非常に丁寧なご説明をしていただきまして誠にありがとうございます。議論の中でも、海外の欧州や韓国、中国の話も出てきていましたが、製鉄プロセスには、ご存じのように高炉や電炉など様々な種類があるものと認識しており、産業構造や鋼材製品の内容など様々な要因によって、それぞれの国ごとに異なるものと考えている次第です。そうしたそれぞれの製鉄プロセスにおいて、可能な限りの低炭素化、脱炭素化を進めていくことが非常に重要であると考えます。こうした中で、これまで日本の鉄鋼業界様が従来から積極的に対応を進めてきてくださっておりまして、高炉も電炉も世界的に最高水準であると考えているところです。また、国際的に認められた ISO の評価尺度、こうした比較を見ても日本の鉄鋼製品が総合的に見ても炭素強度が非常に低いというところを認識しております。そうした中で、さらに CO₂ を削減するという取組として、この COURSE50 というものを事業者の皆様にご覧いただき、このような予算を通じて行っているところになります。本日、様々な成果をご紹介いただき、着実に成果を出していただいているものと我々としては認識しておりますので、これを実用化に向けてさらに加速をして進めていっていただきたいと考えております。本日、委員の皆様方からその他いろいろと貴重なご意見を頂戴いたしましたので、それらを踏まえて、この事業の最終的な目標の達成に向けて、ぜひ事業者の皆様には、さらにご尽力をお願いいたしたく存じます。簡単ではありますが、私からの挨拶とさせていただきます。どうもありがとうございました。

【日野主査】 ありがとうございました。それでは、上原部長よろしくお願いいいたします。

【NEDO 環境部_上原部長】 環境部の上原です。本日は、ご審議をいただきまして誠にありがとうございました。まずは総論的な話になりますが、お話しを伺いながら改めて考えさせられたこととして、あるプロジェクトで開発をしたいと思っている技術とそれを取り巻く技術、制度、事業環境といったものがタイミングよくみんな一緒に立ち上がるのが理想だという話が多分あるように思うのですが、こういう点に、技術サイドを担当する NEDO としてどのように応えていけるのだろうか、これはこのプロジェクトだけにかかわらず、ほかのプロジェクトでも同様のご指摘をいただきますので日頃から難しい問いかけとして受け止めながら考えている次第です。また、CO₂ の貯留について申し上げますと、国内の政策動向ということで、2030 年に事業化、圧入を開始するという目標の下、経済産業省のほうで必要な法制度の確立が今進められているものと思います。そういった制度設計を踏まえ、貯留事業を担う事業者様たちの検討が近く具体的に始まるものとも思っているところです。環境部では、この高炉プロジェクトでもそうですが、そのほかに火力発電プロジェクトやセメントプロセスのプロジェクトなど CO₂ を大量に排出する産業の脱炭素化に向けた取組、技術開発のプロジェクトを複数やっております。そういった中に、国内外の CO₂ 貯留の事業動向で

あるとか、こういったものは必要な情報としてしっかりと集めていかなければなりません。技術開発の実施にあたっては、周辺にある政策動向といったところにもきちんと目を配りながら、NEDOとしてプロジェクトマネジメントを行っていく所存です。

そして、本 COURSE50 事業についての話ですが、既に開始している GI 基金のほうで成果を引き継ぎまして、複線的に水素還元製鉄技術の取組を行ってまいります。実機のスケールアップといったところも継続的に取り組んでいく予定です。GI 基金は、通常の NEDO プロジェクトとは少し異なりまして、参加企業の経営層によって、その技術の社会実装へのコミットメントをいただいている制度ですので、事業化が力強く進められていくものと考えます。国際的な技術開発動向、グリーンステールを取り巻く事業環境といったものも考慮しながら、将来の日本のグリーン成長につながるよう、GI 基金事業を実施事業者の皆様とともに進めてまいりたいと思います。以上です。

【鷹嘴分科会長】 ありがとうございました。それでは、以上で議題 8 を終了といたします。

9. 今後の予定

10. 閉会

配布資料

- 資料 1 研究評価委員会分科会の設置について
- 資料 2 研究評価委員会分科会の公開について
- 資料 3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
- 資料 4-1 NEDO における研究評価について
- 資料 4-2 評価項目・評価基準
- 資料 4-3 評点法の実施について
- 資料 4-4 評価コメント及び評点票
- 資料 4-5 評価報告書の構成について
- 資料 5 プロジェクトの概要説明資料（公開）
- 資料 6 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
- 資料 7-1 事業原簿（公開）
- 資料 7-2 事業原簿（非公開）
- 資料 8 評価スケジュール

以下、分科会前に実施した書面による公開情報に関する質疑応答について記載する。

「環境調和型プロセス技術の開発／①水素還元等プロセス技術の開発（フェーズ II-STEP1）」（事後評価）

プロジェクト評価分科会

ご質問への回答（公開分）

| 資料番号・ ご質問箇所 | ご質問の内容 | 回答 | | 委員氏名 |
|---------------------------------|---|-------------|--|------|
| | | 公開可/ 非公開 | 説明 | |
| 資料 5 p.8 政策的位置 づけ | <p>日本政府の 2020 年のカーボンニュートラル宣言を受けて鉄鋼業のカーボンニュートラル達成目標も前倒しされましたが、それに伴い本プロジェクトの達成目標がどのように引き上げられ、実施プロセスがどのように前倒しされたのかについて教えてください。</p> <p>資料 7 概要 3／II-19 に見直しの一部について記載がありますが、2020 年以降、開発テーマ SG1-SG8 の最終目標（資料 5 p.18-19）がそれぞれどのように見直されたのかについて教えてください。</p> <p>*GI 基金への事業移行など、実施体制の枠組みの変化が中心であり、SG1-SG8 の目標自体は当初から変化はないのでしょうか。</p> | 公開可 | <p>2020 年 10 月のカーボンニュートラル宣言以前の段階で、同年 8 月に実施した中間評価における指摘により、高炉からの CO₂ 排出削減の目標値を更新（約 10%→10%以上）し、外部水素の追加導入により水素利用上限を見極めることとしました。これはその後の鉄鋼業におけるカーボンニュートラル目標前倒しに沿う形となっていました。SG1、SG6 では、上記目標更新を踏まえ、テーマ目標を変更しました。</p> | 熊谷委員 |
| 資料 5 p.47-48 SG4 につ いて | <p>CO₂ の分離・回収技術について、以下の点について、教えてください。</p> <p>現在の回収コスト：最終的な目標が 2,000 円/t とのことですが、現在のコスト（概算）について教えてください。</p> | 公開可 | <p>化学吸収プロセスに係るコストが概ね 1,000 円/t-CO₂、熱エネルギー供給（排熱回収による蒸気製造）コストが概ね 1,000 円/t-CO₂ と試算されています。内訳等の詳細については SG5 の非公開版資料に記載しております。</p> | 熊谷委員 |
| 資料 5 の 18 頁 | <p>「羽口内燃焼計算モデルによる」 「還元ガス吹き込み温度」影響の</p> | 公開可 | <p>本プロジェクトにおいては、2020 年度までに高炉</p> | 小澤委員 |

| | | | | |
|-------------|---|-----|---|------|
| | 評価で、計算モデルのみで実験的測定が含まれていないのは何故か（根拠の欄に「数学的推定、また実験的に測定し」と記載ある点との関係は）？ | | 羽口への還元ガス吹込みのラボ実験と数値解析を実施しており、数学的推定と実験的測定の両面から燃焼挙動評価を行っております。そして2020年度までに構築してきた数値解析モデルを用いて、最終年度の2021年度にラボ実験が困難な還元ガス吹込み温度を変えた条件の数値解析評価を実施しました。最終目標には最終年度に実施した数値解析のみが記載される形となっております。 | |
| 資料 5 の 25 頁 | 共同実施と再委託の違い？ | 公開可 | 共同実施は、受託した複数の開発テーマの内の一つの開発テーマを大学等と共同で実施したものです。再委託は、受託した複数の開発テーマの内の一つを研究機関に再委託して、同一テーマの開発は実施しないものです。 | 小澤委員 |
| 資料 5 の 25 頁 | 共同実施先の「国立大学法人九州大学（2020年度まで）」と記載されているが、この共同実施先および開発テーマに限って2020年度までとした理由？ | 公開可 | 九州大学のテーマは高炉数学モデルに組み込む還元反応モデルを作成することを目的としていました。よって、2020年まで還元モデルを作成して開発は完了とし、その成果は引き続き、高炉数学モデルに適用されています。 | 小澤委員 |
| 資料 5 の 32 頁 | 「CO ₂ の直接回収」の「直接」の意味？ 「所内排熱利用によるCO ₂ 直接回収の必要エネルギー低減」につ | 公開可 | ・高炉の排ガス中に含まれるCO ₂ をCO ₂ 分離法より、直接抽出するという意味です。 | 小澤委員 |

| | | | | |
|---|--|-----|---|------|
| | いて、所内排熱利用に限定している理由（CO ₂ 回収は増エネでエネルギー効率は悪くなり経済合理性は期待できないと思うが、製鉄所外から購入する外部エネルギー量を増やさない（あるいは外販エネルギーを減らさない）範囲でのCO ₂ 回収といった前提が必要なのか）？ | | ・新たな外部エネルギーを導入すると、それによる新たなCO ₂ 排出が発生すること、および経済合理性の観点で大きく不利となるため、所内排熱利用を開発概念に置きました。 | |
| 資料 5 の 49 頁 | 「排熱回収コスト」と「CO ₂ 回収コスト」の関係？ | 公開可 | 化学吸収によるCO ₂ 回収には熱エネルギーが必要となりますが、その熱エネルギー供給を排熱回収により賄おうとしております。したがって、化学吸収による「CO ₂ 回収コスト」を構成する一部として「排熱回収コスト」があります。 | 小澤委員 |
| 資料 7-1 の 10 頁及び 16 頁 | 「改質」について、10 頁では、「一般的には、価値に乏しい化合物を付加価値の高い化合物に変換することを意味」とあり、16 頁では、「化学物質の組成・性質を改良すること」と記載されているが、16 頁の記載の方が一般的な意味ではないか？ | 公開可 | ご指摘の通り「化学物質の組成・性質を改良すること」の方が一般的でした。触媒の分野では、付加価値の高い物質に変換する際に用いられる言葉であるため、一般的と記載しておりました。 | 小澤委員 |
| 資料 5 p5 事業の 位置付け・ 必要性 p15 研究開 | 目的で、「製鉄所における現状の全排出レベルに比較して総合的に30%のCO ₂ 排出削減可能な技術を確立する。」と記載されている。 (Q)高炉工程のみではなく、製鉄所全体のGHG排出削減が目標なのか？ 銑鉄だけでなく、鉄鋼製品のGHG排出量を削減するとの意味か？ また、CO ₂ 排出量とは、他の温室効果ガスの排出を含むGHG排出 | 公開可 | 仰る通り、製鉄所全体のGHG排出削減が目標です。具体的には、高炉本体のCO ₂ 排出で10%以上削減、高炉ガスからのCO ₂ 排出で20%削減で、合計製鉄所から30%以上削減が目標です。また、銑鉄ト、当たりの削減ではなく、粗鋼ト、当たりの削減を基準にしています。 | 成田委員 |

| | | | | |
|--|--|------------|--|-------------|
| <p>発目標の妥当性</p> <p>p17 目標</p> <p>p17 変更後の目標</p> | <p>量と理解してよいのか？</p> <p>一方、p15の研究開発方針の変更で、「目標を高炉からのCO₂削減10%以上に更新し、外部水素を追加導入して水素利用上限を見極める試験操業」と記載されており、目的がわかりにくい。</p> <p><質問の背景></p> <p>p17の目標には、削減の内訳として、1)高炉からのCO₂削減：10% 2)BFGからのCO₂排出削減：20%が示されている。</p> <p>一方、p17の変更後目標が、「1)高炉からのCO₂排出10%以上削減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る 2)BFGからのCO₂排出削減：約20%」に変更されており、現時点での目的や目標を明確にしたい。</p> | | <p>尚、他の温室効果ガスの排出を含むGHG排出量ではなく、CO₂排出量で評価しています。</p> | |
| <p>資料5</p> <p>p35 研究開発成果 SG1</p> <p>p43 SG6 プロセス評価技術</p> | <p>「数学モデルのシミュレーション技術により、CO₂削減効果を精度よく予測することにより、高炉からのCO₂排出削減10%以上減の見通しを得た。」と記載されているが、公開資料からはその要因が示されておらず理解できないので、シミュレーションの要因分析結果を簡単に説明してほしい。</p> <p>上記と同様に、「高炉からのCO₂排出削減10%以上を達成した。」と記載され、炭素消費原単位削減率と水素投入量の関係が定性的に図示されているが、水素と炭素(コークス+PC)との置換率などを示したうえで、要因分析結果を説明してほしい。</p> | <p>公開可</p> | <p>高炉からのCO₂排出削減10%以上を削減した要因は、コンセプトでご説明した直接還元と水素還元の置換ができた、という事です。その結果、還元に必要な熱量が低下しその分C消費量が削減できました。</p> <p>(参考文献：ISIJ Int., 62(2022), 2433)</p> | <p>成田委員</p> |
| <p>資料5</p> <p>p48 CO₂分</p> | <p>「新吸収液により、事業目標の分離回収エネルギー1.60GJ/t-CO₂</p> | <p>公開可</p> | <p>化学吸収液再生のための熱エネルギーには排熱を</p> | <p>成田委員</p> |

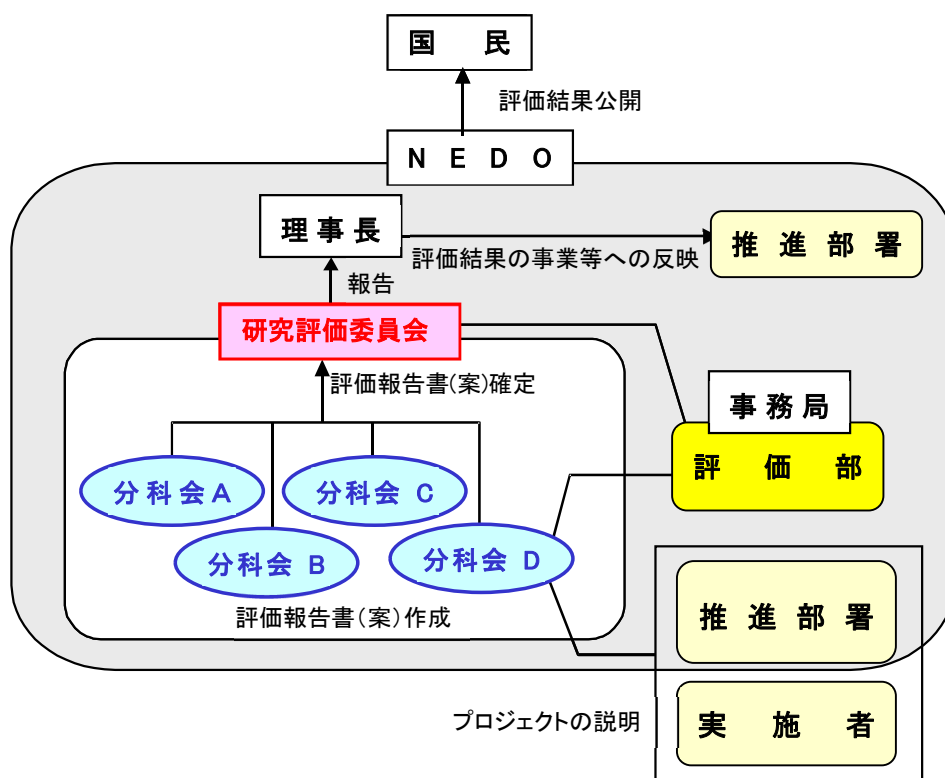
| | | | |
|--|---|--|--|
| <p>離回収技術 SG4:CO₂ 分離回収技術開発</p> | <p>に到達した。」と記載されているが、このエネルギー消費に伴うCO₂排出量はエネルギー源によって変動する。石炭系のエネルギーなので、 「0.1~0.2kg-CO₂e/kg-CO₂」でしょうか? (Q) 回収CO₂当たりのエネルギー消費量に加えCO₂排出量を示していただければ、高炉工程や製鉄所全体のCO₂削減効果が理解しやすい。 また、「吸収液の再生」に係るエネルギー消費量も含まれていると理解してよいか? <質問の背景> 吸収液の製造工程でもCO₂が排出されるので、再生が必要条件であると考えます。吸収液は蒸気により加熱されCO₂を放出し吸収液は再生されると文献等で報告されているが、この工程での蒸気消費量ひいてはCO₂排出量が大きくては、対象システムのCO₂排出量が削減されない。開発された吸収液の再生エネルギー（可能ならCO₂排出量）と再生歩留、耐用性（寿命）等、開発吸収液を採用されることの妥当性をご教示いただきたい。</p> | <p>利用し、新たな化石燃料の投入をしない方針の開発としております。したがって熱エネルギー供給に関しては0kg-CO₂e/kg-回収CO₂となります。 また、1.6GJ/t-CO₂は吸収液の再生に係る熱エネルギー消費量となっております。</p> <p>「吸収液の再生」とは、劣化した吸収液を再生するという意味ではなく、再生塔で加熱しCO₂を放散させる(=CO₂吸収能力が回復)ことを意味します。ご指摘の通り、その工程での蒸気消費量(熱エネルギー消費量)を下げるのが化学吸収法の課題であり、本プロジェクトでは吸収液の改良と未利用排熱の回収を検討し、それぞれに成果を得ています。 なお、吸収液の寿命は長く、本プロジェクトで開発した吸収液の場合、液の全交換は基本的に行う必要が無く、年間当たり全液量の10%程度を補充するだけで済みます。</p> | |
|--|---|--|--|

参考資料 2 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

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)における研究評価では、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
 - 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む
 - 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する
- としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外する。これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

「環境調和型プロセス技術の開発／①水素還元等プロセス技術の開発（フェーズ II-STEP1)」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取組や見通し等を評価した。

「環境調和型プロセス技術の開発／①水素還元等プロセス技術の開発
(フェーズ II-STEP1)」に係る評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・ 内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・ 上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDO の事業としての妥当性

- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされた事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、適切な目標であったか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 開発スケジュール（実績）及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）は妥当であったか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されていたか。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 実施者は技術力及び事業化能力を発揮したか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は、有効に機能したか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携は有効に機能したか。
- ・ 大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献したか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 研究開発の進捗に応じ、技術を評価し取捨選択や技術の融合、必要な実施体制の見直し等を柔軟に図ったか。
- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応したか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応したか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産や研究開発データに関する取扱についてのルールを整備し、かつ適切に運用したか。

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、最終目標を達成したか。
- ・ 最終目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、最終目標達成までの課題及び課題解決の方針を明確にしている等、研究開発成果として肯定的に評価できるか。
- ・ 投入された研究開発費に見合った成果を得たか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 成果が将来における市場の大幅な拡大又は市場の創造につながると期待できる場合、積極的に評価する。

(2) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信したか。

(3) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外で適切に行ったか。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化・事業化」の考え方

実用化とは、

本事業の成果により、水素還元等を活用した高炉、及び未利用排熱を活用した高炉ガスからの CO₂ 分離回収を、製鉄所に実現する技術を確立することである。

事業化とは、

上記技術が製鉄事業に組み込まれる事である。

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・ 実用化・事業化に取り組む者が明確か。
- ・ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンは明確か。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 産業技術としての適用可能性は明確か。
- ・ 実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・ 想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致しているか。
- ・ 競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・ 量産化技術を確立する見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

「プロジェクト」の事後評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、適切な目標であったか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・開発スケジュール(実績)及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)は妥当であったか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されていたか。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・実施者は技術力及び事業化能力を発揮したか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は、有効に機能したか。

- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携は有効に機能したか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みは有効に機能したか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・ 大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献したか。【該当しない場合、この条項を削除】

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応したか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応したか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産に関する取扱（実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む）を整備し、かつ適切に運用したか。
- ・ 国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、最終目標を達成したか。
- ・ 最終目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、最終目標達成までの課題及び課題解決の方針を明確にしている等、研究開発成果として肯定的に評価できるか。
- ・ 投入された研究開発費に見合った成果を得たか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 成果が将来における市場の大幅な拡大又は市場の創造につながると期待できる場合、積極的に評価する。

(2) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信したか。

(3) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行ったか。

- ・ 国際標準化に関する事項を計画している場合、国際標準化に向けた見通しはあるか。
【該当しない場合、この条項を削除】

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・ 実用化・事業化に取り組む者が明確か。
- ・ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンは明確か。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 産業技術として適用可能性は明確か。
- ・ 実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・ 想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致しているか。
- ・ 競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・ 量産化技術を確立する見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 実用化に向けて、引き続き、誰がどのように研究開発に取り組むのか明確にしているか。
- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、課題及びマイルストーンを明確にしているか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等を把握しているか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 整備した知的基盤・標準の維持管理・活用推進等の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 知的基盤・標準を供給・維持するための体制を整備しているか、又は、整備の見通しはあるか。
- ・ 実用化に向けて、引き続き研究開発が必要な場合、誰がどのように取り組むのか明確にしているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 整備した知的基盤について、利用されているか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

本研究評価委員会報告は、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）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部

部長 森嶋 誠治

担当 日野 武久

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミュージア川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5160 FAX 044-520-5162