

「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－STEP 1）」（事後評価）

（2018年度～2022年度 5年間） プロジェクトの概要（公開）

分科会資料抜粋版

NEDO
環境部

2022年12月23日

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆事業実施の背景と事業の目的

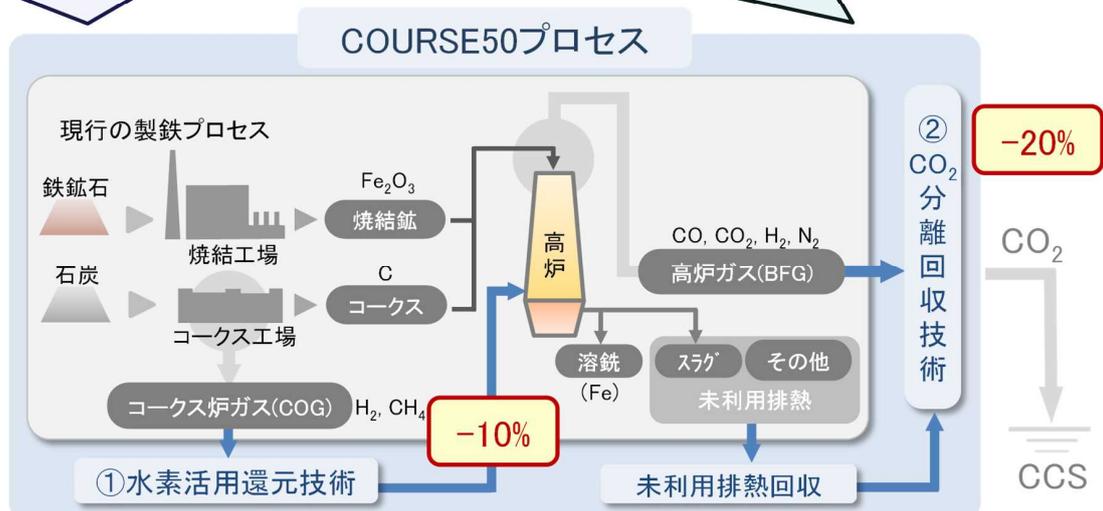
世界初の水素還元活用とCO₂分離回収によるCO₂排出量30%削減を目指す

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

◆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。

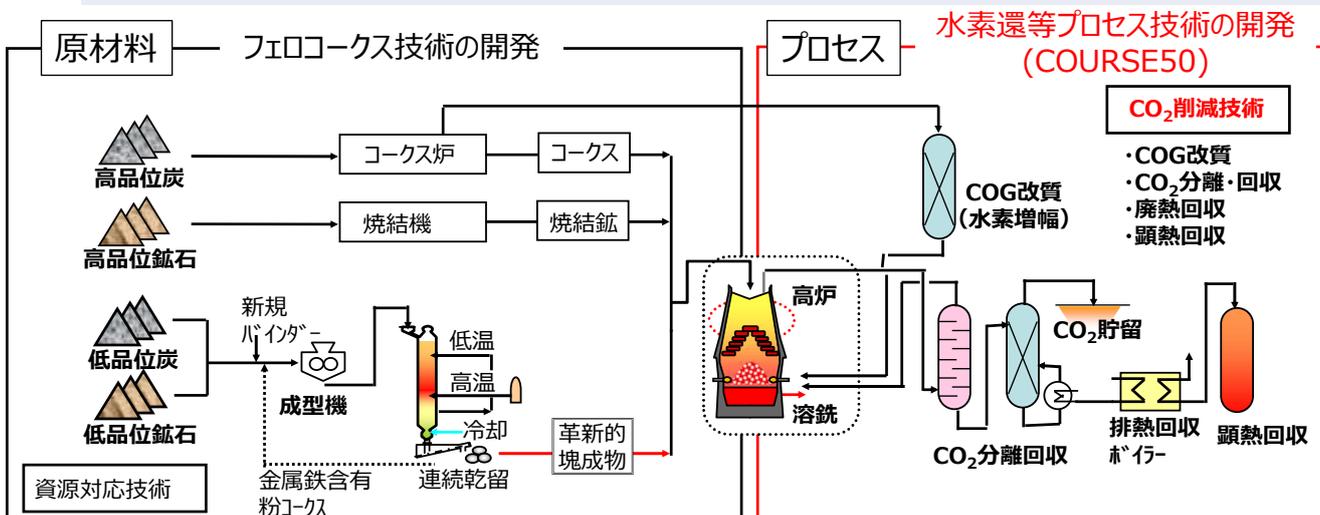
◆政策的位置付け

- 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**。

◆他事業との関係

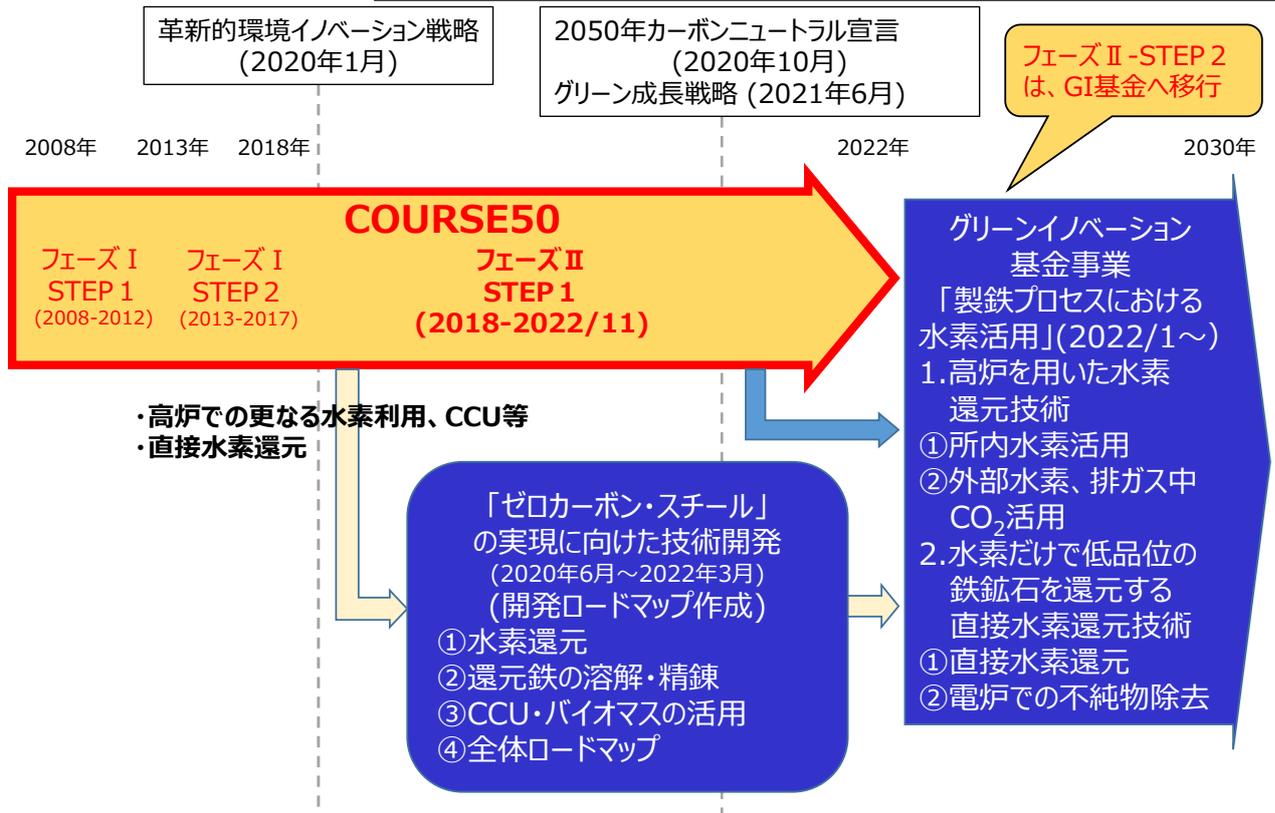
➤ 「環境調和型プロセス技術の開発」の全体概要

- ・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

◆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 | <p>・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。</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、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(2023年度)以降に行い、上記目標達成に資する。</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に指向し、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> |

◆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－STEP 2の開始(2023年度)以降に行うとしていたが、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。</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に指向し、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> |

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆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 | SG1-1 水素活用 プロセス技術開発 | ・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。 ・上記高炉数学モデルを用いて、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。 | 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。 |
| | SG1-2 高炉の微 粉炭および還元ガス の燃焼挙動の調査 | ・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 ・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 | COURSE50高炉特有の水素系ガスと微粉炭の複合同時吹き込み条件に対し、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・評価する必要がある。 |
| SG2 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、試験高炉における設備設計に向けた使用材料の指針を得る。 | 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吹き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下で実験を行ったBP2設備の解体調査研究を実施。 | |
| 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 | 水素還元増幅下でのCOURSE50高炉の低コース比操業に対応する強度と反応性を有するコー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溶融状態の粘結材ハンドリング技術の開発が必要である。 | |
| 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を図るため、分離回収エネルギー1.6 GJ/t-CO ₂ を追求し、CO ₂ 排出削減量約20%の技術に資する。 | 高炉から発生する高炉ガス(BFG)からのCO ₂ 分離回収を行い、CO ₂ 排出量20%減を達成するためには、実装化に向けて、分離回収所要エネルギーの低減化と低コスト化が必要である。 | |

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆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は、12m ³ 試験高炉を用いて、水素を主体とするからの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のプロセス操作技術を確立することが必要である。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還元ガス吹き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高炉そのためには、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「全周羽口吹き込み」試験試験高炉を用いた高炉からのCO ₂ 排出量10%は、鉄鉱石還元への水素活用技術の開発なら以上削減を目指した要素技術開発に研究リソースに試験高炉によるプロセス技術開発の投入するため、COURSE50開発完了以降に状況を見ながら、フェーズII - S T E P 1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 排出削減量事前エンジニアリング結果を踏まえ、GI基金事業で10%以上達成に資する。 | 高炉からのCO ₂ 排出量を10%以上削減するために還元ガス吹き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高炉そのためには、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。 | |
| 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。 | |

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆研究開発のスケジュール

フェーズⅡ - STEP 1

➡ : 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 | | | | |

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。

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

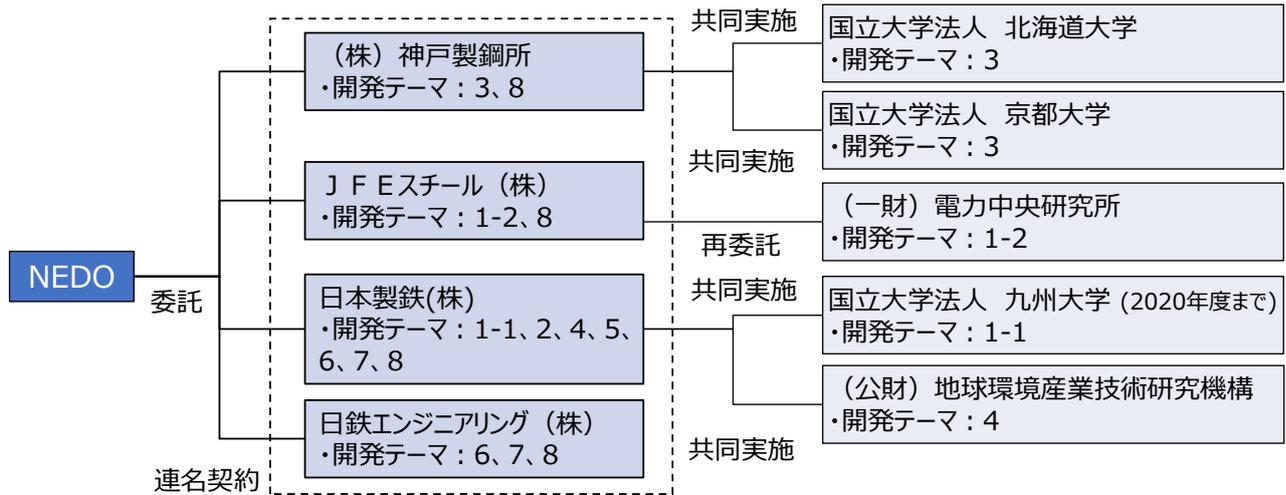
◆プロジェクト費用

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 |

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

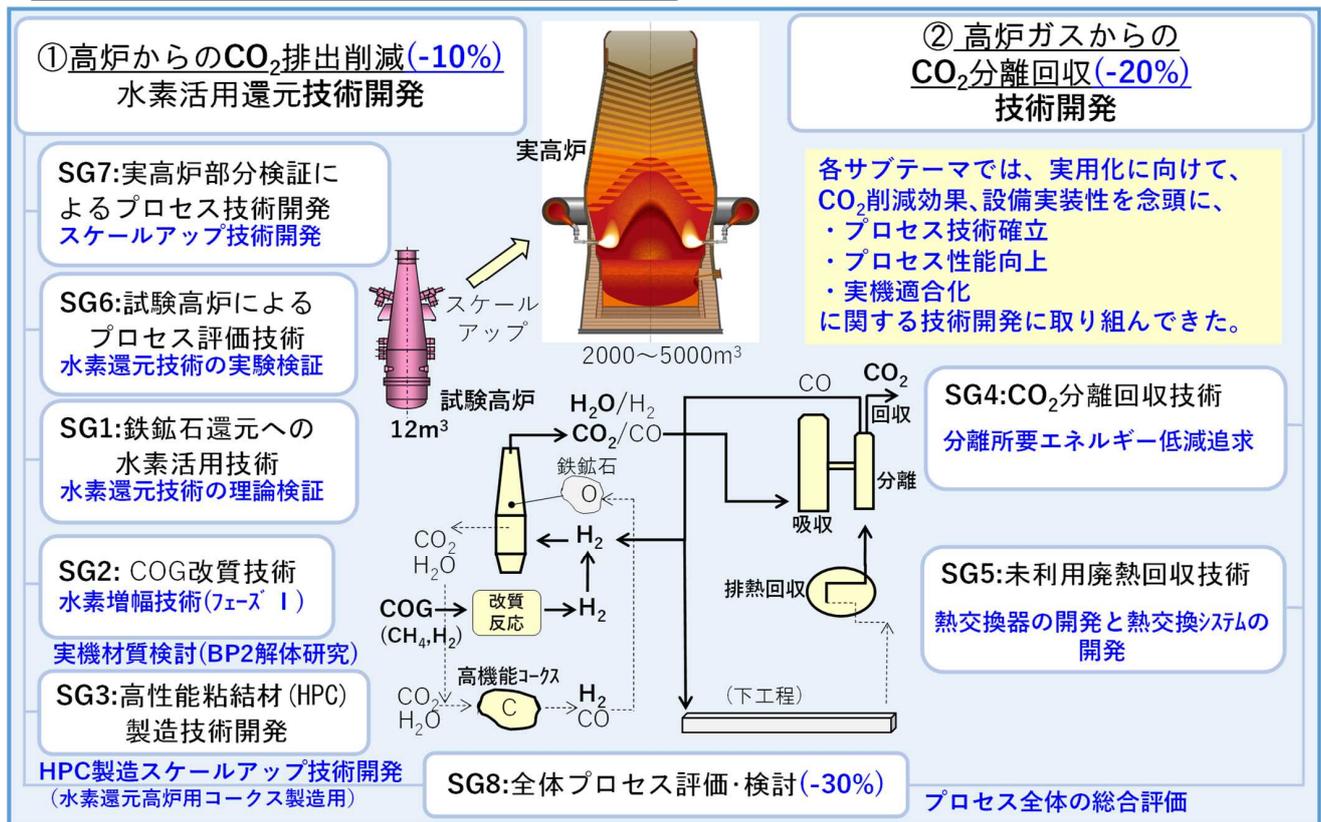
◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

- ・COURSE50フェーズⅡ-STEP1は、2018年度から2022年度の5年間、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実行した。
- ・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、COURES50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術開発に取り組む。

| 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CO ₂ 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-CO ₂ 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。 | ○ | |

◎ 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

◆ COURSE50事業の開発テーマ



◆ 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

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

| ◆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)、X未達

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

| ◆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 | 高性能粘結製造 ^o 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熔融粘結材の粘度変動幅を把握して熔融粘結材連続移送・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。 | <ul style="list-style-type: none"> ・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バック(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

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

| ◆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。 | <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）、X未達

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

| ◆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ド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）、X未達

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

| ◆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理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%以上を前倒しで大きく上回って達成し、実機適合理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)、X未達

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

| ◆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)、X未達

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

| ◆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。 | 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。 | ○ | |

◎ 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

3. 研究開発成果 (2) 成果の普及

◆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 |

◆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

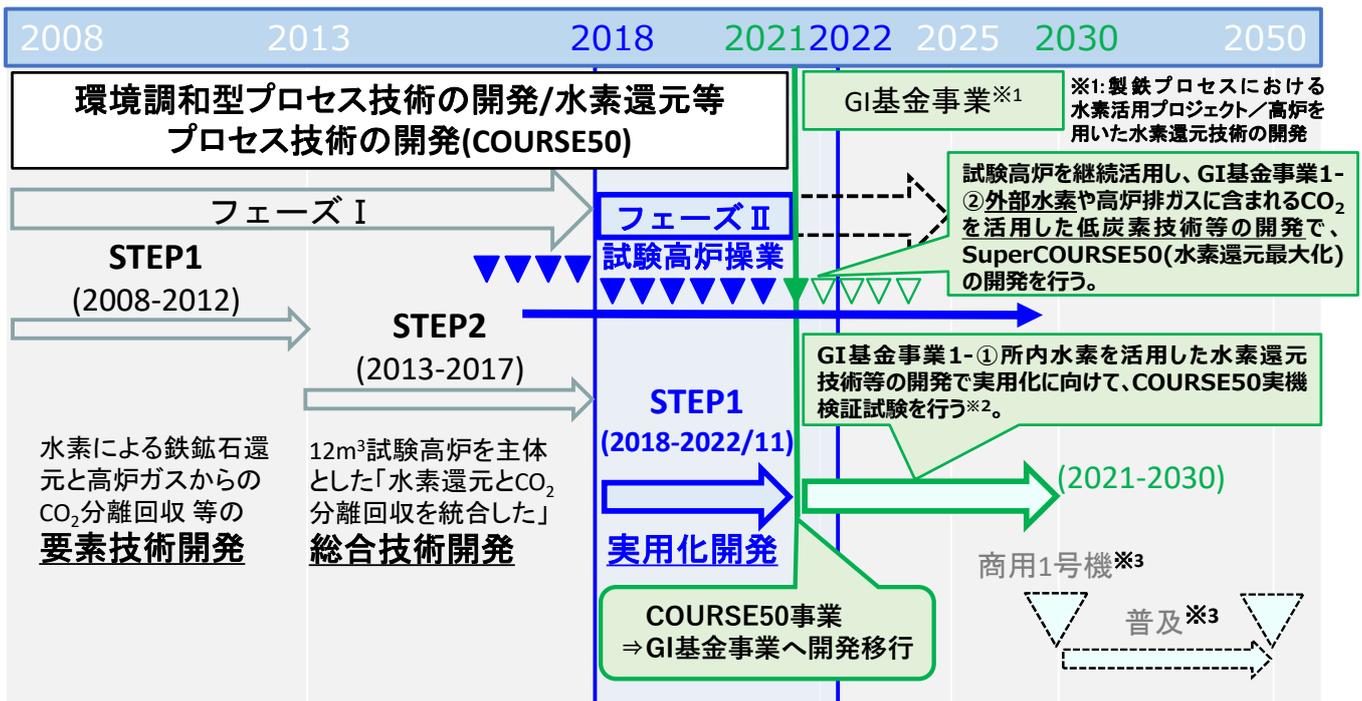
- NEDO知財方針を適用し、知財合意書、知財会議を整備
- COURSE50事務局を中心として出願・権利化状況を管理
- 知財会議で各サブテーマ毎の知財戦略を策定
- 知財マップの作成と出願が必要な技術の洗い出しなどを実施
- 基幹技術確保対応(国内・外国出願・権利化)、防衛的対応(国内公開のみ)、高度ノウハウ技術秘匿(非公開)など、技術レベル・目的に応じた対応実施
- 効率的な出願国の選定(大型高炉を保有または火力発電の盛んな国など)

| 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

4.成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し(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。

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> |