

「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）」
中間評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
評価概要（案）	2
評点結果	5

はじめに

本書は、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）」（中間評価）の研究評価委員会分科会（2020年8月21日）及び現地調査会（2020年8月20日 於 日本製鉄株式会社 東日本製鉄所君津地区構内 試験高炉 および 富津REセンターホール）において策定した評価報告書（案）の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第33条の規定に基づき、第63回研究評価委員会（2021年1月8日）にて、その評価結果について報告するものである。

2021年1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「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）」分科会
（中間評価）

分科会長 鷹觜 利公

「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）」

（中間評価）

分科会委員名簿

（2020年8月現在）

	氏名	所属、役職
分科 会長	たかのほし 鷹 嘴 としまさ 利公	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 イノベーション 推進本部 イノベーションコーディネータ
分科 会長 代理	こばやし 小林 のりゆき 敬幸	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 池上 やすゆき 康之	佐賀大学 海洋エネルギー研究センター 教授
	おの 小野 ひでき 英樹	富山大学 学術研究部都市デザイン学系 教授
	のぐち 野口 よしかず 嘉一	電源開発株式会社 火力エネルギー部 部長（技術企画 担当）
	むらおか 村岡 もとし 元司	株式会社NTTデータ経営研究所 社会基盤事業本部 本部長 エグゼクティブコンサルタント
	むらかみ 村上 たいち 太一	東北大学 大学院環境科学研究科 先端環境創成学専攻 准教授

敬称略、五十音順

「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）」（中間評価）

評価概要（案）

1. 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（ライフサイクルアセスメント）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. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

我が国の主要産業であり、かつ大規模 CO₂ 排出源の一つである鉄鋼業における CO₂ 削減は、我が国のエネルギー・環境政策にとって非常に重要であり、また、難易度の高い革新的な技術開発が必要であることから、本事業の必要性は非常に大きい。

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り、大きなプロセス変革とリスクを伴う水素還元プロセスを製鉄業セクター全体で推進するためには、公共機関である NEDO が管理、支援、推進することは妥当である。

一方、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り、また、CO₂ 排出 30%削減のうち、20%は CCS（二酸化炭素回収・貯留）による削減なので、CO₂ 貯留の動向の情報も常にウォッチしながら進めていく必要があると思われる。

2. 2 研究開発マネジメントについて

個々の技術開発における目標値は、世界トップクラスの値を掲げており、戦略的な設定となっている。国内外の政策動向や社会動向を反映し、研究開発方針の見直しも行っており、数学モデルを活用することで実証高炉をスキップし、商用高炉での実機実証に進むという計画変更は評価できる。実施体制は、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り、共同研究を実施している大学等の知見を活かすスケジュールも取り入れている。スケジュール管理、要素技術ごとのグループ組織の構築、連携についても、順調かつ適切に進められていたと評価できる。

一方、多量の水素を考慮してコスト面、CO₂削減効果を常に把握しながら、事業スケジュールに経済合理性の視点を入れたり、CO₂削減効果をLCA評価する必要があると思われる。さらに、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。今後、本事業の重要性、必要性や、国際競争力の中での位置づけや、事業化の将来展望が、対外的により分かりやすく伝わることを期待する。

2. 3 研究開発成果について

個々の要素技術について中間目標をほぼ達成し、さらに高炉における水素還元技術について排出CO₂12%削減を達成するなど、計画以上の成果を生み出しているものもあり、最終目標を達成可能であると思われる。加えて、設定目標以外に、試験高炉を用いたデータ取得、サンプル採取、現象解析の成果が挙げられる上、製鉄所全体の熱収支マップが作成され、熱利用のための基盤的データとして利用価値が高いものと評価できる。知的資産権等の確保が、戦略に沿って取り組まれていることも、評価できる。

一方、熱回収技術については、想定する回収プロセスを明示し、それに必要なスペックをもとに進める必要があるが、CO₂分離回収技術については、日量数千トン級規模に向けたスケールアップ検討の推進を、また試験高炉では、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。関連業界や研究者への発信は十分なされているが、幅広く国民からの理解を得るために、一般市民向けの活動等も検討することが望まれる。

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

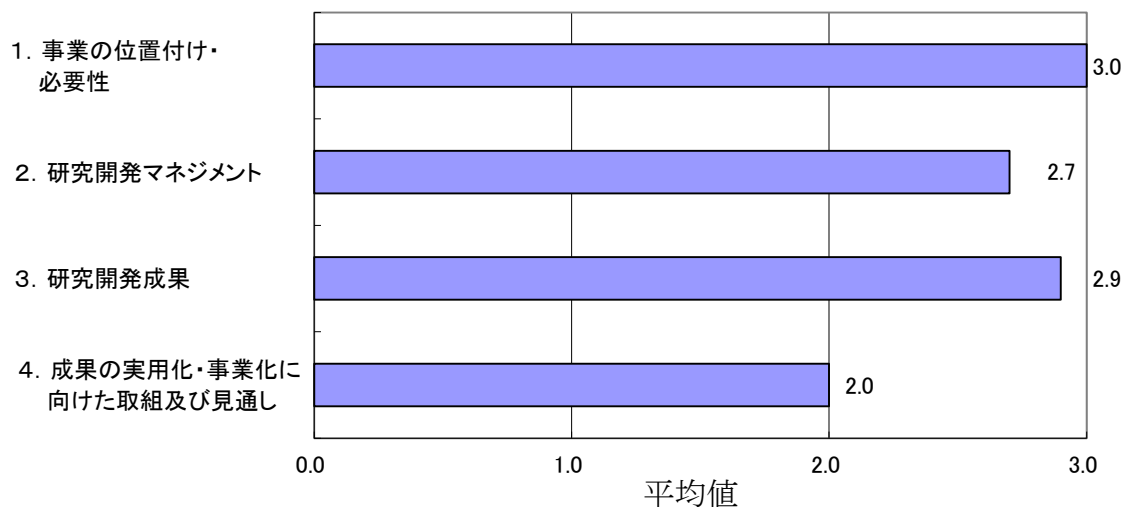
着実な成果が得られている上、当初想定から計画変更し、シミュレーションと実機を用いた部分実証を組み合わせた対応で実用化を目指すなど、得られた成果を踏まえた実用化・事業化の戦略は、比較的、明確であり、実用化の見通しが立ちつつあると評価する。CO₂分離回収技術、未利用排熱利用技術、高性能粘結材製造技術は本事業外での実用化が期待でき、CO₂分離回収技術は他産業で事業化が先行してなされており、非常に評価できる。

一方、水素還元技術を商用高炉へ適応する際、新たな課題が発見される可能性もあるが、全周羽口水素吹込み試験は延期となっているので、2030年商用1号機実現の計画にて、実機試験に向けた課題の抽出やステップアップ計画の策定などの道筋をより具体的に示されることを期待する。また、CO₂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。

さらに、本事業の目的達成には、CO₂貯留や多量の水素導入の課題があるので、国のCO₂貯留の計画などと十分情報交換をし、水素製造時のCO₂排出やCO₂排出削減クレジットを考慮しながら、事業計画やマイルストーンを設定する必要があると思われる。また、国際的な視点からの経済効果等や、事業化の課題と解決方針および長期的ロードマップを、より明確にすることを期待したい。

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	3.0	A	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメント	2.7	B	A	A	A	A	B	A
3. 研究開発成果	2.9	A	B	A	A	A	A	A
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し	2.0	B	B	B	B	B	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 |
| ・適切とはいえない →D | ・見通しが不明 →D |

◆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

高炉からのCO₂排出量を30%削減し、2030年までに初号機を実用化できる技術を確立する。

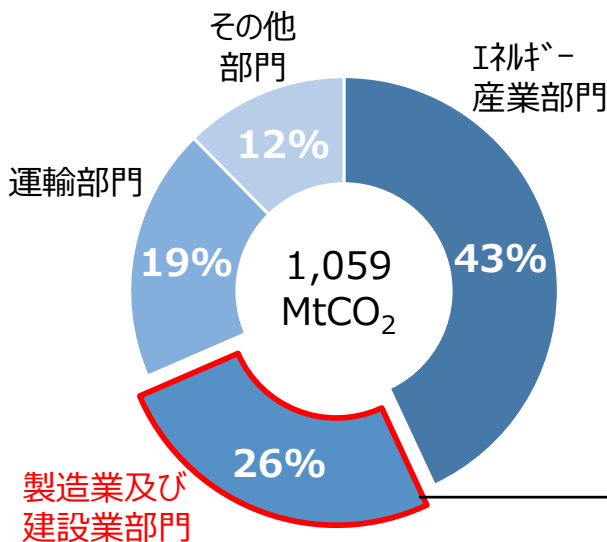


- 1) コークス改良、コークス炉ガス改質水素による鉄鉱石還元技術開発
- 2) 未利用排熱を活用した高炉ガスからのCO₂分離回収技術開発

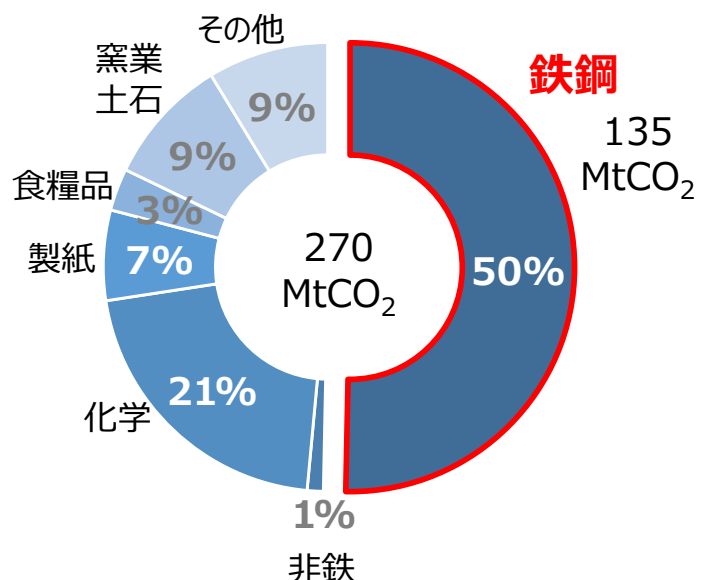
◆事業実施の背景と事業の目的

我が国のCO₂排出量の約13%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



◆事業実施の背景と事業の目的

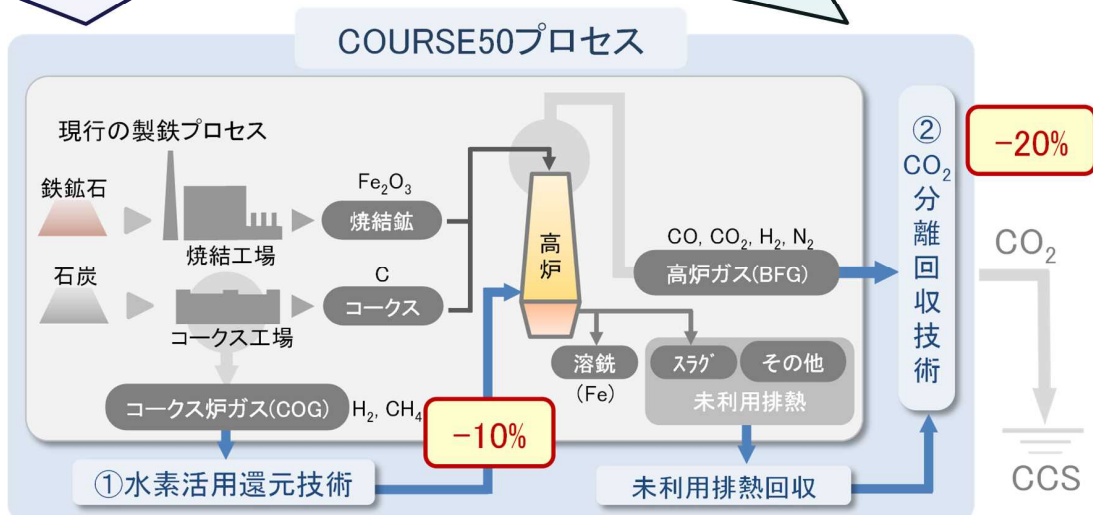
世界初の水素還元活用とCO₂分離回収によるCO₂排出量30%削減を目指す

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

◆動向・情勢の把握と対応

- 「環境調和型製鉄プロセス」は、2007年5月「美しい星50(Cool Earth 50)」における革新的技術開発として位置付けられる。
- 2014年12月「エネルギー関係技術開発ロードマップ」にも記載。
- 2019年6月「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」策定。
- 2019年6月「カーボンリサイクル技術ロードマップ」策定。CO₂排出抑制技術について目標・課題等がまとめられた。
- 2020年1月「革新的環境イノベーション戦略」策定。2050年以降のできるだけ早い時期に水素還元炉を用いた製鉄技術を実現する。

【対応】Super COURSE50の要素を一部取入れCOURSE50で開発を継続する

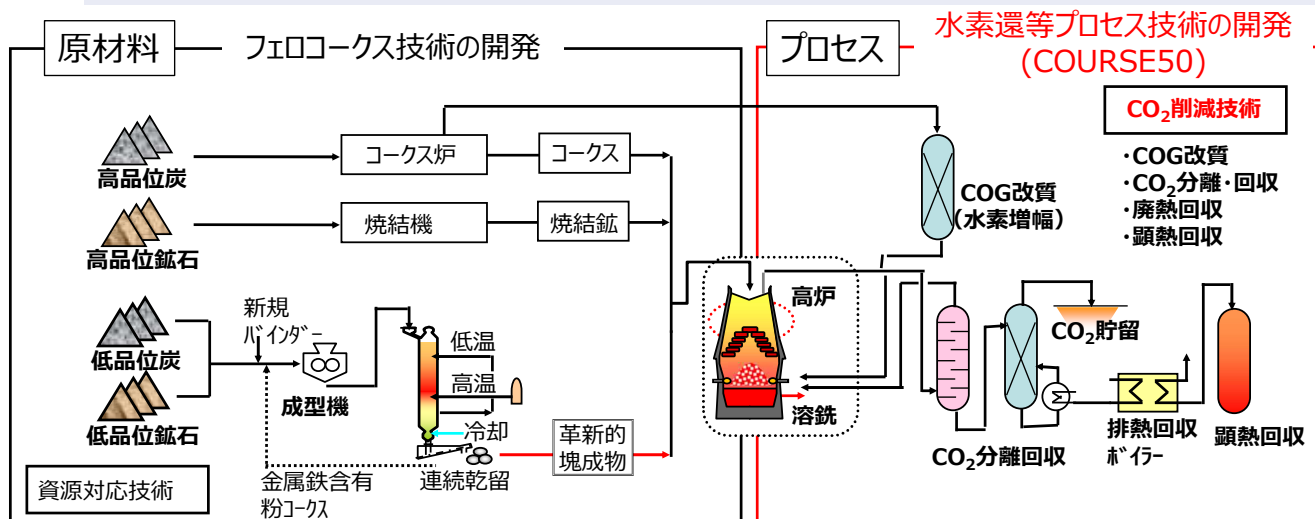
鉄鋼分野における技術開発		2020	2030	2040	2050	2100
COURSE50	所内水素(COG)利用による高炉内の水素還元比率アップ 高炉ガスからのCO ₂ 分離	R&D	導入			
Super COURSE50	外部水素利用による高炉によるさらなる水素還元比率アップ (大量の水素供給が可能となる前提)		R&D	導入		
水素還元製鉄	石炭を利用しない水素還元製鉄		R&D	導入		
CCU	副生ガスからのカーボンリサイクル		R&D	導入		
CCS	副生ガスからのCO ₂ 回収	R&D	導入			

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』(2018年11月、2020年6月追補版)

◆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。



▶ 2050年以降 (COURSE50普及後) 委託事業「「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた技術開発」を採択 (2020年6月) 高炉を用いない水素還元製鉄

◆研究開発目標と根拠

開発テーマ		2020年度中間目標	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	・高炉3次元数学モデルによる試験高炉の操業諸元設計 ・同モデルにより、試験高炉操業を解析し、高炉からのCO ₂ 排出削減量▲10%達成の見通しを得る	高炉からのCO ₂ 排出量10%減を達成するためには、高炉3次元数学モデルによる試験操業設計・解析で、試験高炉および実高炉部分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ことが必要である。
	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量が羽口等の設備や燃焼安定性へ及ぼす影響の評価 ・実高炉対象のレースウェイ数値モデルによる、還元ガス吹き込みが微粉炭・還元ガス燃焼挙動へ及ぼす影響の解明	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事が必要である。
SG2 COG改質技術開発	・なし	基本プロセスの開発は完了し、2020年度まで実施なし。	
SG3 高性能粘結材製造技術の開発	・高性能粘結材粘度推算式の導出 ・溶融粘結材連続移送・排出装置の試運転による移送・排出性能の確認	水素還元増幅下での低コークス比操業に対応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	・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とともに、実用性の評価も行うことにより、分離回収エネルギー1.6 GJ/t-CO ₂ 達成への目途を得る。	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、分離回収エネルギーの低下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	2020年度中間目標	根拠
SG5 未利用低温排熱活用技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・排ガス性状調査による熱交換器汚損物質の性状把握を行い、熱交換器伝熱面に対する異物付着対策を提案する。 ・実証試験における高性能熱交換器基本仕様を提案する。 ・熱交換性能を維持させるためのシステムを調査、検討し、実証試験におけるシステムを決定する。 	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、吸収液の再生プロセス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供給するため、製鉄所における未利用排熱を回収する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	<ul style="list-style-type: none"> ・試験高炉操業により、試験高炉規模で高炉からのCO₂排出削減量10%達成の見通しを得る。 	12m ³ 試験高炉を用いて、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、水素を主体とする還元ガス吹込み操作と装入材料の被還元性操作等とを組み合わせた総合最適化操業を行うことが必要である。
SG7 実高炉部分検証によるプロセス技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・(当初目標) 実高炉を用いた水素系ガス「全周羽口吹込み試験」の設計を行い、製作に着手する。 	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-STEP2の開始(2023年度)以降に行うことに計画を変更。
SG8 全体プロセスの評価・検討	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	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、不明鋼の極小化も含め、全体プロセスの総合最適化を行うことが必要である。

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(変更後)

フェーズⅡ-STEP1

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CO ₂ 排出削減	6.試験高炉によるプロセス技術開発	[2019年度末 - 2022年度末]			
	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年度 - 2022年度末]	
	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年度 - 2020年度]			吹込みハード検討
高炉ガスのCO ₂ 分離・回収	4.CO ₂ 分離・回収技術開発	[2018年度 - 2019年度]		新吸収液開発	[2020年度 - 2022年度末]
	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	[2018年度 - 2022年度末]				
	[2018年度 - 2020年度]			2030年対応方針の再整理	次ステップ検討

変更後の計画では、試験高炉操業は2022年度まで実施、実高炉部分確性はフェーズⅡ-STEP2以降に延期。

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

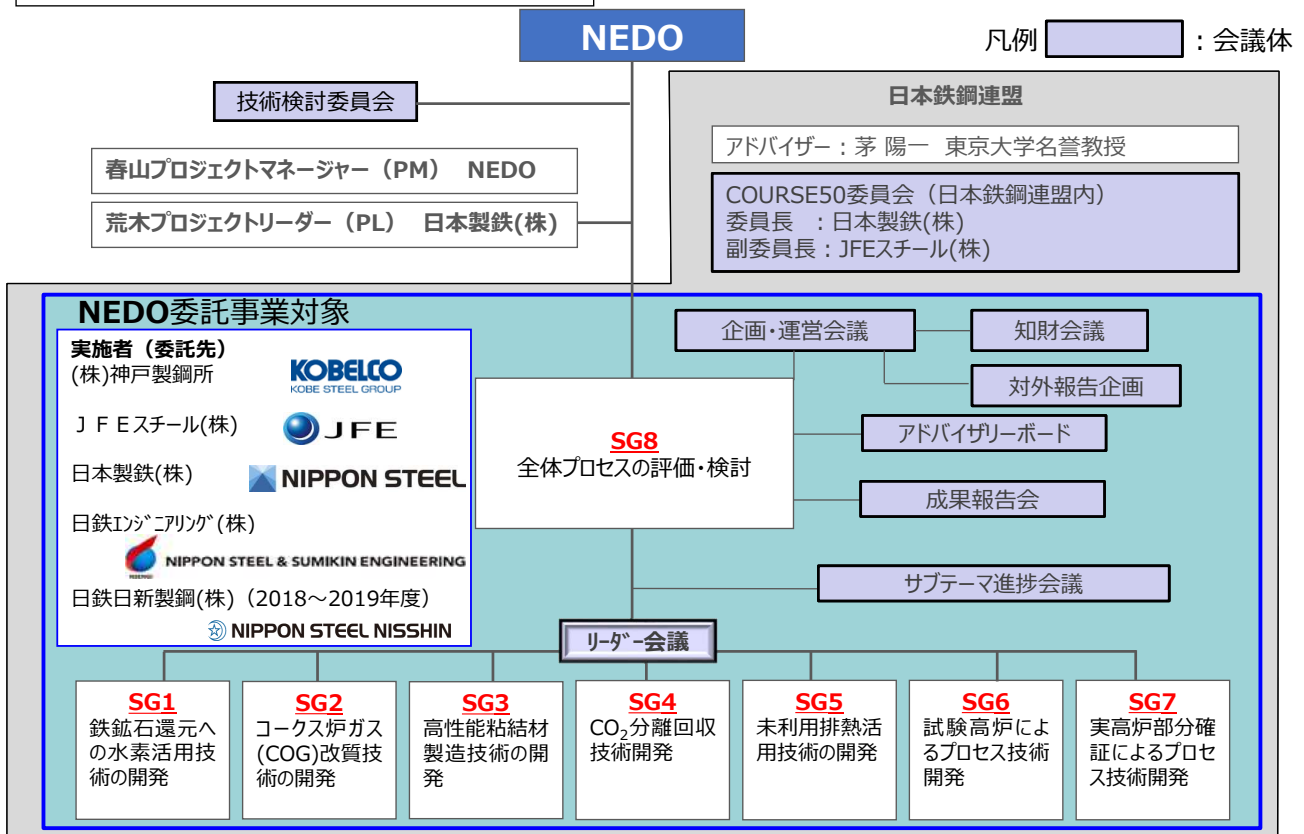
◆プロジェクト費用

(百万円)

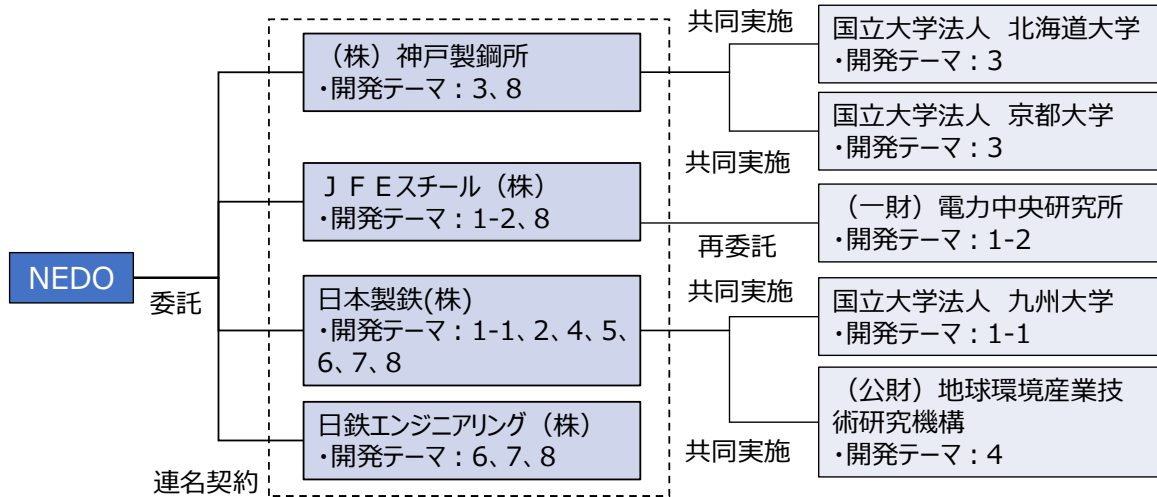
開発テーマ	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	計
SG1 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発	18	18	(18)	(18)	(18)	90
SG2 COG改質技術開発	0	0	(0)	(80)	(200)	280
SG3 高性能粘結材製造技術の開発	46	36	(30)	(30)	(30)	172
SG4 CO ₂ 分離回収技術開発	50	40	(40)	(30)	(30)	190
SG5 未利用低温排熱活用技術開発	19	10	(40)	(40)	(40)	149
SG6 試験高炉によるプロセス技術開発	687	1,076	(1,870)	(1,880)	(1,660)	7,173
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)	(22)	(22)	86
計	830	1,341	(2,020)	(2,100)	(2,000)	8,291

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆研究開発の実施体制



◆研究開発の実施体制



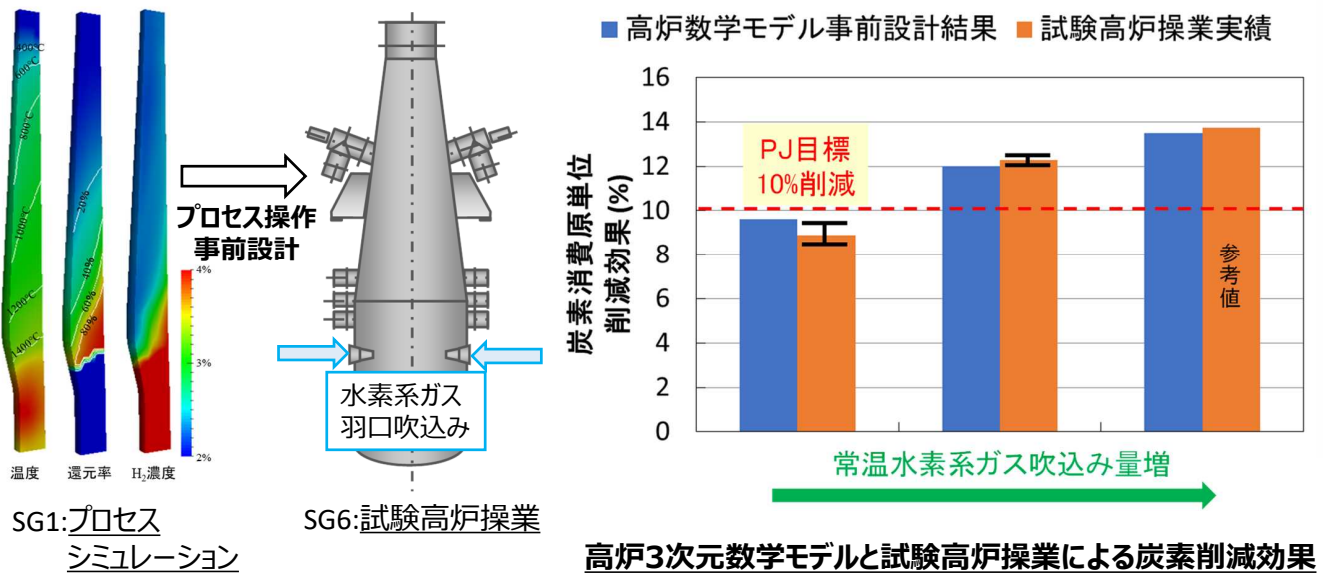
開発テーマ			
1	鉄鉱石還元への水素活用技術の開発	4	CO ₂ 分離・回収技術開発
	1-1 水素活用プロセス技術開発	5	未利用低温排熱活用技術開発
	1-2 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査	6	試験高炉によるプロセス技術開発
2	COG改質技術の開発	7	実高炉部分検証によるプロセス技術開発
3	高性能粘結材ハンドリング技術の開発	8	全体プロセスの評価・検討

◆SG1:鉄鉱石還元への水素活用技術 中間目標の達成状況と研究成果の意義

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
SG1全体	試験高炉操業の設計・解析を通じて、高炉からのCO ₂ 排出削減量▲10%の見通しを得る	・試験高炉の送風・装入諸元設計と操業解析、還元ガス・微粉炭の燃焼安定性評価により、高炉からのCO ₂ 排出削減量▲10%の見通しを得た	○	
1.水素活用プロセス解析技術	高炉3次元数学モデルによる試験高炉の操業諸元設計を行う 同モデルにより、試験高炉操業を解析し、高炉からのCO ₂ 排出削減量▲10%達成の見通しを得る	・左記モデルを用いて、試験高炉操業諸元を事前設計(第5,6,7,8回) ・左記モデルを用いて、試験高炉操業諸元を解析(第5,6,7回)し、モデルのシミュレーション精度の妥当性を確認 ・常温H ₂ 吹込みにより、高炉からのCO ₂ 排出▲10%達成の見通しを得た	○	
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量が羽口等の設備や燃焼安定性へ及ぼす影響の評価 実高炉対象のレースウェイ数値モデルによる、還元ガス吹き込みが微粉炭・還元ガス燃焼挙動へ及ぼす影響の解明	・羽口内燃焼計算モデルを用いて、還元ガス吹き込み量が羽口等の設備や微粉炭・還元ガス燃焼性におよぼす影響を評価 ・実高炉対象のレースウェイ数値モデルを作成し、還元ガス吹き込みが微粉炭・還元ガス燃焼挙動へ及ぼす影響を評価	○	

◎ 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

◆ SG1:鉄鉱石還元への水素活用技術 検討成果と意義



試験高炉操業解析により、高炉からのCO₂排出▲10%達成の見通しを得た。今後、実機適合性を踏まえた還元ガス吹込み量、還元ガス種の検討を行う。

◆ SG3:高性能粘結材製造技術開発(COURSE50高炉用コークス製造技術) 中間目標の達成状況と研究成果の意義

研究開発項目	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	高性能粘結材粘度推算式の導出(精度向上)	商業機にて想定される最大温度、滞留時間数分範囲で、熔融HPCは粘度変化を示さないことを確認し、温度、溶剤含有率と粘度の関係式を導出した。	○	HPC原料炭種変動によるHPC粘度の影響を把握する。
	熔融粘結材連続移送・排出装置の試運転による移送・排出性能の確認	製作した装置は、安定して熔融HPCを移送、排出できることを確認した。供給HPC溶剤濃度に対し、排出HPCの溶剤濃度は十分低い濃度まで低減できることを確認した。	△ (2021年2月)	溶剤回収性能向上の検討を進め、排出HPCの溶剤含有率目標値を達成するための条件を20年度中に決定する。

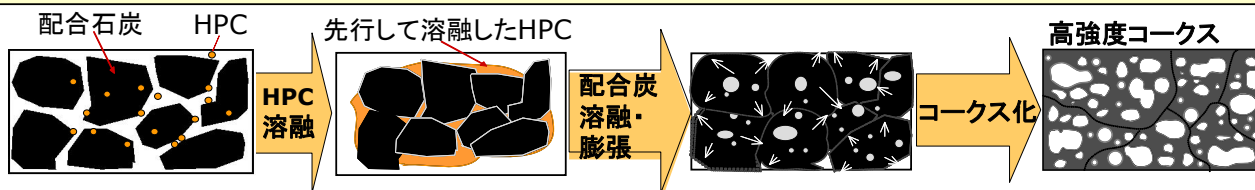
◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達

3. 研究開発成果 2. 研究開発項目毎の成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆SG3 :高性能粘結材製造技術開発(COURSE50高炉用コークス製造技術) 検討成果と意義

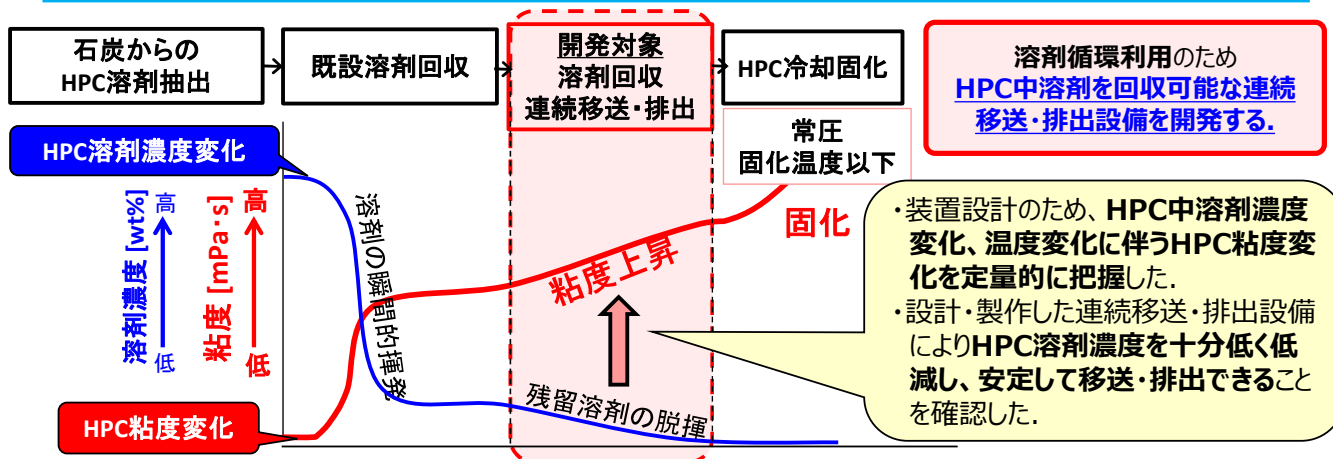
●SG3技術開発 (HPC製造技術開発) の狙い :

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HPC(高性能粘結材)を開発する。



●フェーズII技術開発の狙い :

水素還元高炉操業に対応できる品質のコークス製造に必要なとなる、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。



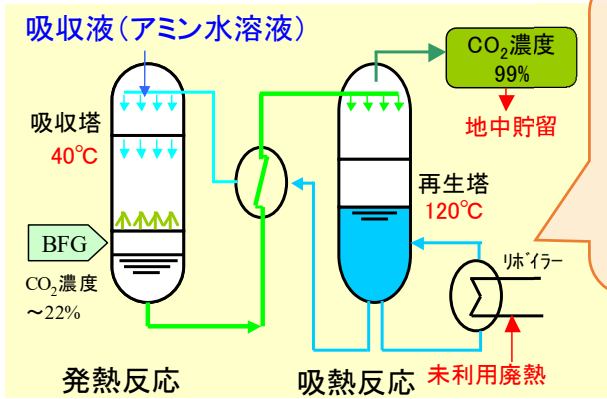
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆SG4:CO₂分離回収技術 中間目標の達成状況と研究成果の意義

研究開発項目	目標	成果	達成度
SG4: 高性能吸収液 の開発	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とともに、実用性の評価も行うことにより、分離回収エネルギー1.6 GJ/t-CO ₂ 達成への目途を得る。	<ul style="list-style-type: none"> 安価で高性能の混合溶媒系3吸収液を開発し、CAT-LAB連続試験において、これまでの最高性能である熱量原単位1.63 GJ/t-CO₂を達成した。 当該吸収液は、消防法上の非危険物であり、RN-1吸収液と同程度に低腐食性であるため、実用性も高いと期待できる。 新規の吸収促進触媒について、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。 論文5件、特許2件	○

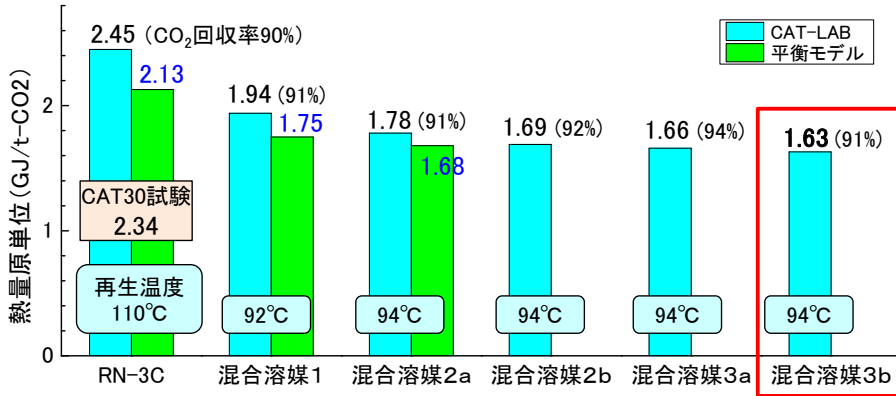
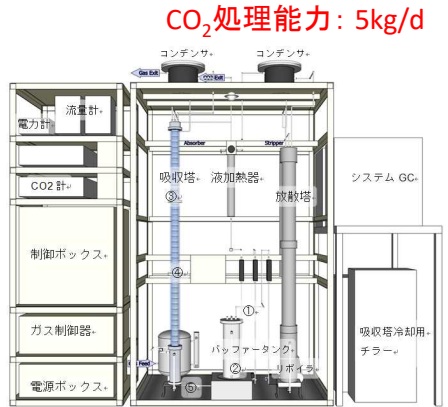
◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達

◆SG4:CO₂分離回収技術 検討成果と意義



【狙い】
吸収液の特性改善により、分離回収エネルギーを大幅に低減し、分離回収コストを削減する。

CAT-LAB:小型連続試験装置



混合溶媒系新吸収液を開発し、最終目標達成への目途を得た。
⇒中間目標達成。

シミュレーション検討による高性能発現要因の明確化 (2020年度)

COURSE50における新吸収液の開発推移

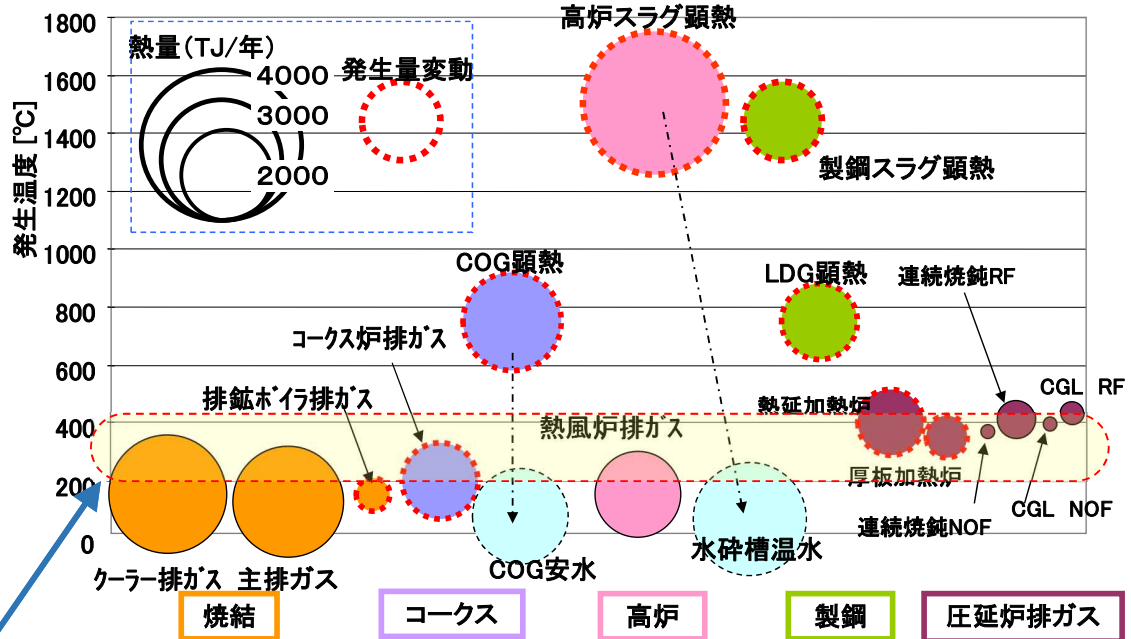
◆SG5:未利用排熱回収技術 中間目標の達成状況と研究成果の意義

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
高性能熱交開発	実証試験における熱交換器基本仕様を提案する。	● 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、長期性能実証試験に用いる熱交換器の形状検討を数値解析により行った。	○	高温化・耐圧仕様の熱交換器について試作し性能評価を行う。
性能を長時間維持可能な熱回収システムの検討	実証試験における熱回収システムを決定する。	● 製鉄所実排ガスの詳細な分析を行い、熱交伝面に付着した物質の特定を進めた。 ● 熱交伝面温度を上昇させることで付着量が大きく低減する可能性をラボ試験により示した。 ● 製鉄所実排ガスを用いて長期性能評価を行うための試験装置を設計・製作した。	△ (2021年3月達成予定)	製鉄所実排ガスを用いた評価を行い、実証試験設備を検討する。

◎ : 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

◆SG5:未利用排熱回収技術 検討成果と意義

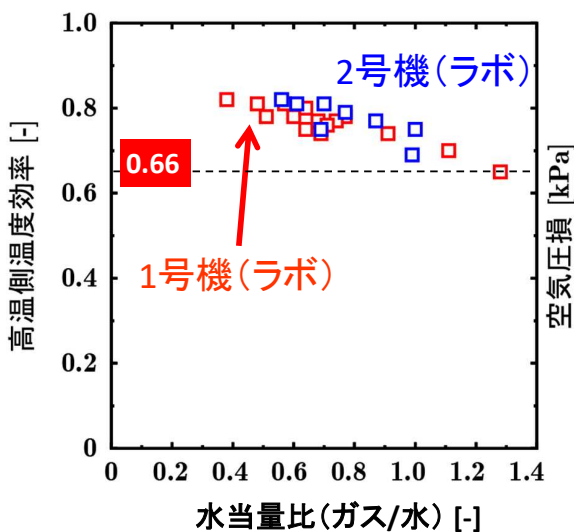
モデル製鉄所で利用可能な排熱 モデル製鉄所(生産量:800万t-粗鋼/年)



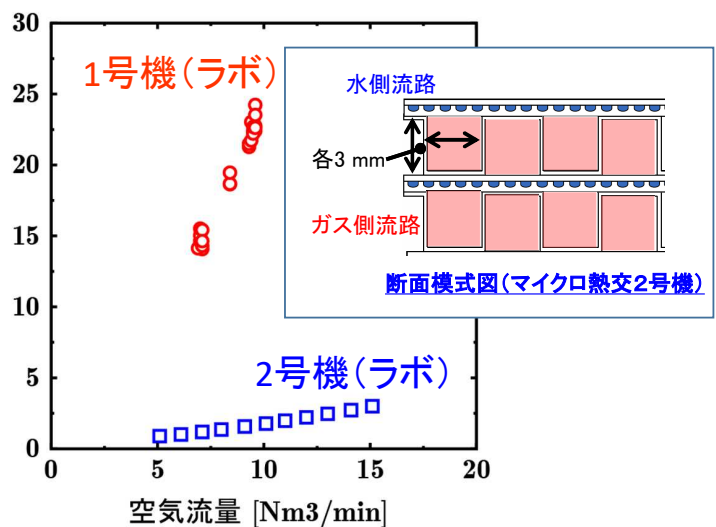
現在は大気放散されている200~400 °C程度の排熱を回収し、CO₂化学吸収プロセスにおける熱源等で活用

◆SG5:未利用排熱回収技術 検討成果と意義

(熱交性能指標) 温度効率



ガス圧力損失



- 前述の熱回収を行うための必要条件である、**温度効率0.66を達成する熱交換性能**を有する熱交換器を試作できた。
- 圧力損失は1号機と比較して2号機では大きく低下**(約1/10)**。

高温度効率且つ低圧損を実現できる高性能マイクロ熱交換器を見出した。

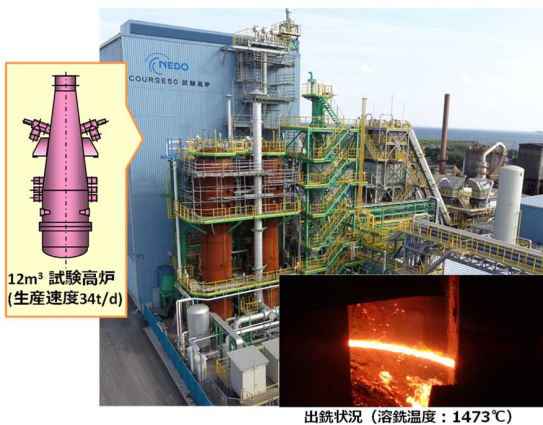
◆SG6:試験高炉によるプロセス評価技術 中間目標の達成状況と研究成果の意義

研究開発項目	中間目標	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%達成の見通しを得る。	実用化に向け、高炉の水素還元技術の選択肢拡大のため、試験高炉で常温水素系ガスの羽口吹込み操業を行った結果、高炉からのCO ₂ 排出削減量 12%のCO₂削減を達成した。	◎ (2%過達のため、過達と評価)	

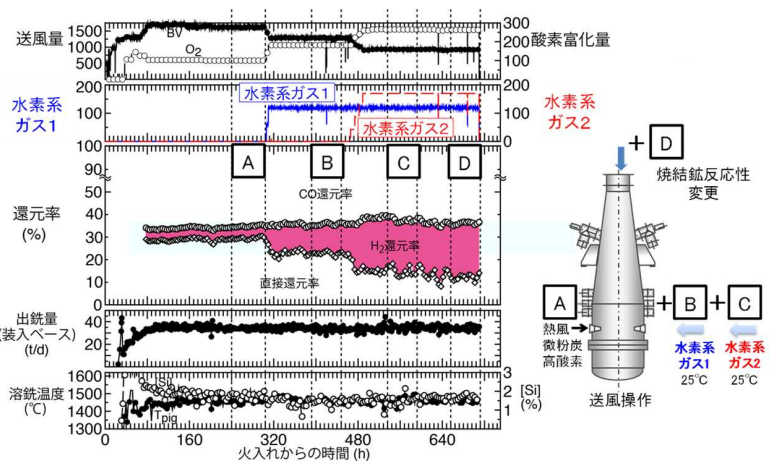
◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達

◆SG6:試験高炉によるプロセス評価技術 検討成果と意義

【研究開発概要】 12m³試験高炉を用いて、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、**水素系ガスを主体**とする還元ガス吹込み操作と装入原料の被還元性操作等とを組み合わせた総合最適化操業を行い、試験高炉規模で高炉からの**CO₂排出削減量約10%の高炉プロセス操作を確立**する。



試験高炉外観



試験高炉操業結果(水素系ガス羽口吹込み操業例)

日本製鉄(株) 東日本製鉄所君津地区構内(敷地面積3200m²)

A:ベース操業から、B:羽口水素系ガス1吹込み ⇒ C:羽口水素系ガス1+水素系ガス2同時吹込みにより、**水素投入量を増加** ⇒ 狙い通り、**水素還元の上昇と炭素還元(直接還元率)の低下を確認。**

◆SG7:実高炉部分検証によるプロセス技術開発 中間目標の達成状況と研究成果の意義

研究開発項目	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	実高炉を用いた水素系ガス「全周羽口吹込み試験」の設計を行い、製作に着手する。	高炉2基を有す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構成・概算コストを把握した。	× (計画変更のため)	実機部分検証については、事前エンジニアリング結果を基に、設計等を進めつつ、試験高炉の開発状況を見ながら試験時期については再検討する。

◎ 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

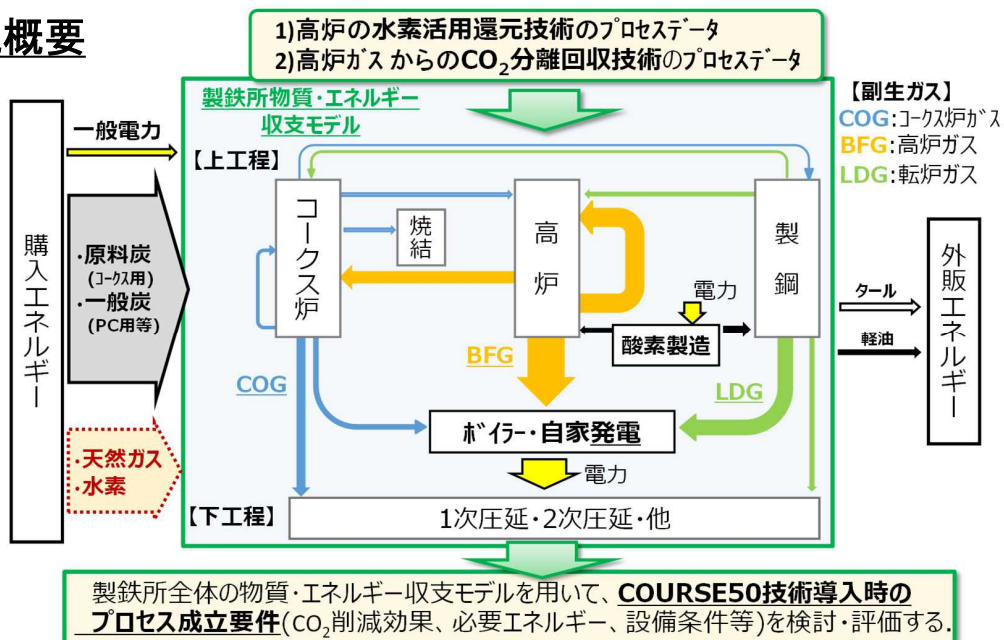
◆SG8:全体プロセスの評価・検討 中間目標の達成状況と研究成果の意義

研究開発項目	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	<p>・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。</p> <p>・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う。</p>	<p>・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、試験高炉で開発中の各種水素系ガス吹込み技術の高炉適用時のCO₂削減効果を解析した結果、CO₂分離回収技術導入によるCO₂削減20%と併せると製鉄所全体でPJ目標約30%削減可能との見通しを得た。</p> <p>・2030年頃の実機1号機の実現性を技術的に最大化させるべく、より少ない水素で高炉10%CO₂削減を実現する新たな要素技術開発方針を提示した。</p>	○	日本鉄鋼連盟の長期温暖化対策ビジョンの水素還元開発構想を踏まえ、水素活用技術開発については2020FY以降、試験高炉を継続活用した実機適合化開発(水素使用量低減技術)に注力すると共に、実機部分検証は、設計等を進めつつ、試験高炉の開発状況を見ながら試験時期については再検討する。

◎ 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

◆SG8 :全体プロセスの評価・検討 検討成果と意義

実施概要



製鉄所全体の物質・エネルギー収支モデルを用いて、試験高炉で開発中の各種水素系ガス吹込み技術の高炉適用時のCO₂削減効果を解析した結果、CO₂分離回収技術導入によるCO₂削減20%と併せると製鉄所全体でPJ目標約30%削減可能との見通しを得た。

◆事業全体の成果の普及

	2018年度	2019年度	計
論文	7	4	11
研究発表・講演	77	60	137
受賞実績	0	0	0
新聞・雑誌等への掲載	1	1	2
展示会への出展	0	1	1

※2020年3月31日現在

◆事業全体の知的財産権の確保に向けた取り組み

	2018年度	2019年度	計
特許出願 (うち外国出願)	4 (1)	6 (1)	10件

()内は外国出願件数

※2020年3月31日現在

概 要

		最終更新日	2020年7月20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	環境部 PM：春山 博司主査（2018年4月～現在） 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～現在）		
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その水素を増幅し、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。</p> <p>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、1.8億トン（2018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13%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)】 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。</p> <p>【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排出約10%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。 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>		

	・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指向し、分離回収エネルギー 1.6GJ/t-CO ₂ を達成し、CO ₂ 排出削減量約 20%の技術に資する。							
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						
		① -2. 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査						
	② COG 改質技術開発							
	③ 高性能粘結材製造技術の開発							
	④ CO ₂ 分離回収技術開発							
	⑤ 未利用低温排熱活用技術開発							
	⑥ 試験高炉によるプロセス技術開発							
	⑦ 実高炉部分検証によるプロセス技術開発							
	⑧ 全体プロセスの評価・検討							
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	2100	2000	8291	
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～現在						
	プロジェクトマネージャー	NEDO 環境部 主査 春山 博司						

	<p>委託先 (助成事業の場合「助成先」とするなど適宜変更) (組合が委託先に含まれる場合は、その参加企業数及び参加企業名も記載)</p>	<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) 【再委託先】 (一財) 電力中央研究所 【共同実施先】 北海道大学、京都大学、九州大学、(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、外部か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、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。</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 ・常温水素系ガスの羽口吹込み操作で、高炉からのCO₂排出量の約10%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> <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 ・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。</p>	
	投稿論文	「査読有」10件、「査読無」1件、「その他外部発表」139件
	特許	「出願済」10件、「登録」0件、「実施」0件(うち国際出願2件) 特記事項:
	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: フェーズⅡでの実証終了後、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。 ・CO₂分離回収: 高炉以外での実用化を進めながら、製鉄所導入に向けたエンジニアリングを行う。 ・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)を行う。 ・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れを防止と開発費用の削減を図る。 	

	<p>②成果の実用化・事業化の見通し</p> <p>・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。</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>