

「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（STEP2）」
事後評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
評価概要（案）	2
評点結果	4

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（STEP2）」（前倒し事後評価）の研究評価委員会分科会（平成29年9月13日）及び現地調査会（平成29年8月30日 於 新日鉄住金株式会社 技術開発本部 REセンター）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54回研究評価委員会（平成29年12月13日）にて、その評価結果について報告するものである。

平成29年12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（STEP2）」分科会
（前倒し事後評価）

分科会長 日野 光兀

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 (STEP2)」(前倒し事後評価)

分科会委員名簿

(平成29年9月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	ひの みつたか 日野 光元	東北大学 名誉教授
分科 会長 代理	いとう きみひさ 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	おのざき まさき 小野崎 正樹	一般財団法人エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 部長
	こばやし のりゆき 小林 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
	まえ かずひろ 前 一廣	京都大学 大学院工学研究科 化学工学専攻 教授
	もりとみ ひろし 守富 寛	岐阜大学 大学院工学研究科 環境エネルギーシステム専攻 教授

敬称略、五十音順

「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（STEP2）」（前倒し事後評価）

評価概要（案）

1. 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ため、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. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

本事業は、国が重点項目として推進している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に適うものである。CO₂削減の側面だけでなく、国際競争力の面からも重要である。また、本事業はその事業規模から民間活動のみで行うことは困難であり、NEDOの関与は妥当である。

2. 2 研究開発マネジメントについて

CO₂排出抑制目標に関する国際動向が不明確な中で、将来における必要性和、市場動向を鑑みて設定した目標は妥当と判断できる。また、研究開発スケジュールは妥当であり、PL、副PL、PL補佐、副PL補佐によるマネジメントのもと、実施者間の連携も有効に機能していたと考えられる。

一方、一部の項目（COG 改質、マイクロ熱交換器）では、連続運転に関する目標を変更もしくは追加しても良かった。また、STEP1 が終了した時点で、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であった。現時点においても、この点は未だに大いに不足しているように思われる。

今後、次のフェーズに進む際、的確に開発項目の選択と集中を行い、実用化を早期に実現できる体制へのシフトを考えることが望まれる。また、製鉄業の革新技術開発成果として今後積極的に一層世界に向けて発信し、これからの世界標準製鉄法として提言して欲しい。

2. 3 研究開発成果について

本事業成果は最終目標を十分達成していると評価できる。世界最高水準の技術として、競合技術に対する優位性は極めて大きい。特に、CO₂ 化学回収プロセスと、水素活用技術における試験高炉を用いた実証実験の成果は、高く評価できる。また、高炉数学モデルの高い予測精度も証明された。

一方、目標設定ならびに得られた成果にやや課題のある個別技術があり、技術の困難性を考慮した体制の増強、予算の見直しあるいは方法そのもの見直しなど、PM がより踏み込むべき点があったと思われる。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く、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。

今後は、実機操業で想定されるトラブルなどを現状高炉操業からの情報も含めて精査し、それに対応する方策、開発課題を整理しておくことも重要である。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ため、今後積極的により一層、国内一般大衆及び世界に向けて成果を発信して欲しい。

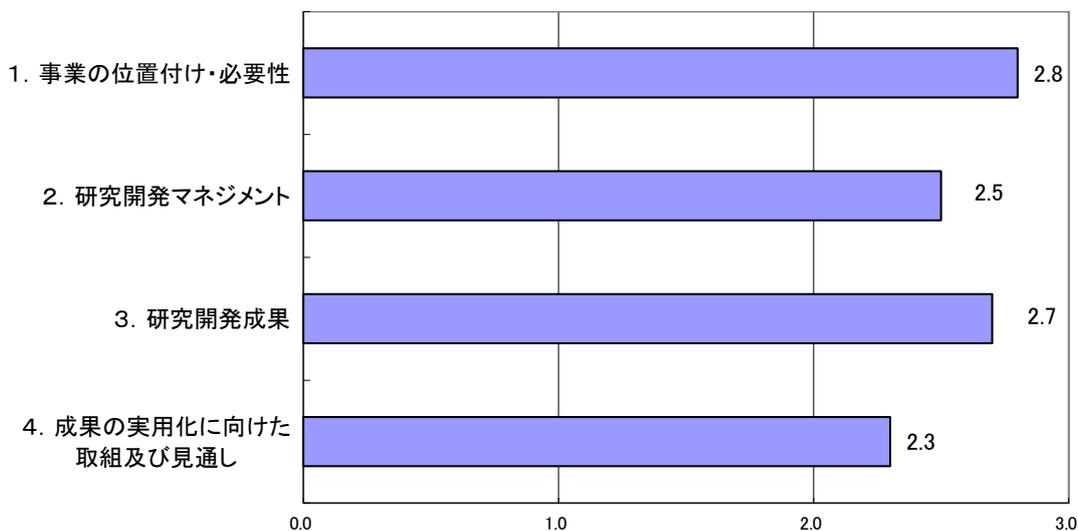
2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

実用化戦略は妥当であり、具体的な取組も明確化されている。製鉄プロセスにおける高炉法の優位性を考えれば、顕著な波及効果が期待できる。開発項目の一部プロセスは、すでに横展開で実機稼働しており、国プロとしては稀有の成果であると大いに評価できる。

一方、プロセスの実用化に向けた開発において、20%CO₂ の回収に必要な熱エネルギーの確保が最も重要である。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。また、プロセス全体の実用化への判断には、プロセスに関わる全体のエネルギー及び物質のフローシートが必要であり、それらの整備が求められる。

実用化に向けては、CO₂ 貯留に関する政策的な制度設計が必須であり、国がこの点を積極的かつ早急に構築していくことが必要である。また、製品の品質に関する情報についても実用化を判断する上で重要であるため、今後これをわかり易い情報に整理して公表することが求められる。さらに、鉄鋼分野以外に応用できる技術、例えば、CO₂ 回収技術、COG 改質、高効率熱交換器などの普及も積極的に行っていただきたい。

評点結果〔プロジェクト全体〕



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	2.8	A	A	A	A	A	B
2. 研究開発マネジメントについて	2.5	B	A	A	B	A	B
3. 研究開発成果について	2.7	A	A	A	B	A	B
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	2.3	A	B	A	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 |

7. 全体を通しての質疑	16:36～16:50 (14分)
(公開セッション)	
8. まとめ・講評	16:50～17:10 (20分)
9. 今後の予定	17:10～17:15 (5分)
10. 閉会	

概要

	最終更新日	2017年9月13日	
プログラム (又は施策)名			
プロジェクト名	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 (STEP2)	プロジェクト番号	P13012
担当推進部/ PMまたは担当者	環境部 担当者氏名 西岡 映二、中田 博之 (平成28年4月～平成29年9月現在) 環境部 担当者氏名 谷山 教幸、大畑 博資 (平成26年4月～平成28年3月) 環境部 担当者氏名 山口 良祐、岡島 重伸 (平成25年8月～平成26年3月)		
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>本事業は、既に終了したフェーズI (Step1) (平成20年度～平成24年度)で幾つかの基礎技術を確立しており、現在実施中のフェーズI (Step2) (平成25年度～平成29年度)では、開発した要素技術を組合わせたパイロット規模の総合試験を行う。</p>		
I. 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(2013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14%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>		
II. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>本事業は、2030年実機化に向けて大きく3つの段階での技術開発を予定しており、 2008～2012:フェーズI Step1 要素技術開発及びプロセス評価開発 2013～2017:フェーズI Step2 総合技術開発 (10m³規模の試験高炉) 2018～2028頃まで:実証規模試験 を経て、我が国鉄鋼業の国際競争力を維持しながら、総合的に約30%のCO₂削減可能な技術確立を目指す。</p> <p>現在実施のフェーズI Step2 は各要素技術を組合わせたパイロットレベルの総合実証試験を行うとともに、実証規模試験を行うフェーズIIにつなげていくために下記の項目を目標とする</p> <p>【中間目標(平成27年度)】 研究開発項目(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、有効性に対する目途を得て具体的な実証試験の計画を立案する。 ・10m³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込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目途を得る。</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 ・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再生温度、分離回収エネルギーの低減などの技術開発の目途を得る。</p> <p>【最終目標(平成29年度)】 研究開発項目(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。 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>		

・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。

サブテーマ毎の目標を以下に示す。

①鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

[中間目標]

各要素技術での数値目標設定根拠となるメカニズム解明

1) プロセス解析技術

- ・基準マイルストーン構成要素の構成メカニズムの可視化
- ・高炉付帯設備のエネルギーバランス評価

2) 羽口複合吹込技術

- ・複合吹込み時のレースウェイ安定化のための基礎燃焼挙動把握
- ・羽口燃焼計測方法
- ・安定燃焼ランス構造（試験高炉）

3) 原料条件の最適化

- ・原料操作やシャフト吹込みガス組成の適正化の確認
- ・鉄原料反応性の要素メカニズム解明

[最終目標]

高炉の input C 削減の効果検証と目標達成のための技術課題整理

1) プロセス解析技術

- ・送風操作効果の定量化
- ・エネルギーバランス評価と具体的運用

2) 羽口複合吹込技術

- ・羽口安定燃焼条件確立
- ・微粉炭燃焼状況を把握可能な評価方法の提示
- ・実証高炉用の安定燃焼ランス構造の提示

3) 原料条件の最適化

- ・原料操作やシャフト吹込みガス組成の適正効果の定量化
- ・鉄原料反応性の総合評価

②コークス炉ガス(COG)改質技術の開発

[中間目標]

a) 高炉で必要改質 COG の生成条件提示

- ・ラボレベルの生成条件提示

b) BP2 での水素増幅

- ・H₂増幅率 \geq 2倍、耐久性 \geq 500hr 技術見通しの獲得

[最終目標]

a) 高炉で必要改質 COG の生成条件提示

- ・実機レベルの生成条件提示

b) BP2 での水素増幅

- ・H₂増幅率 \geq 2倍、耐久性 \geq 500hr 技術確立（BP2 試験結果より）

③コークス改良技術開発

[中間目標]

a) 改質 COG 吹込条件下鉄鉱石還元に適したコークス品質の解明

- ・高強度で反応性制御可能なコークス配合案の提示
（試験炉ベース）強度 DI 150/15 : 最大 88、熱間反応性指数 CRI 20~40
- ・改質 COG 条件に適用できるコークス反応速度モデルの提示

b) 試験高炉用 コークスの製造と評価

- ・試験高炉用コークス仕様に対応するコークスの製造方法の提示

[最終目標]

a) 改質 COG 吹込条件下鉄鉱石還元に適したコークス品質の解明

- ・コークス DI (88)、CRI (20~40) を両立する配合条件の提示
- ・高炉 input C 削減に資するコークス製造技術の確立

b) 試験高炉用 コークスの製造と評価

- ・試験高炉所要コークスの供給

④CO₂分離・回収技術開発

[中間目標]

1) 化学吸収技術開発

a) 高性能吸収液の開発

- ・ CO₂ 分離回収コスト 2000 円/t-CO₂ を実現可能な技術を指向し、再生温度、分離回収エネルギーの低減などの技術開発の目処を得る。
 - b) 試験高炉との連動試験
 - ・ 試験高炉との連動試験の準備を完了する。
 - c) BFG の有効活用分離システムの検討
 - ・ シミュレーション、実験的検討を進め、メンブレンリアクターの基本構成を決定する。
 - 2) 物理吸着技術開発
 - a) PSA システムのさらなる効率化
 - ・ 実機吸着層高相当の吸着塔により、PSA 法による高炉ガスからの炭酸ガス分離を実証する。
 - ・ 新規形状吸着材の効果を検証する
 - b) 実機 PSA 全体プロセスの詳細設計
 - ・ ASCOA-3 試験で得られたデータをベースにして、実機 PSA プロセスの概要設計を行う。
 - 3) 分離技術総合プロセス技術開発
 - a) 分離回収プロセス最適組合せ検討
 - ・ 製鉄所内での未利用排熱からの利用可能エネルギーと化学吸収法および物理吸着法が必要とするエネルギーの最適な組合せを具現化し、モデル製鉄所における最適なプロセス設計への指針を得る。(モデル製鉄所にて 2,000 円/t-CO₂ の達成)
 - b) 技術動向調査及び新規技術の探索
 - ・ 化学吸収法、物理吸着法に関して、操業条件との対応および処理規模の影響性を調査し、分離プロセスの到達レベルの見極めに資する。また、化学吸収法、物理吸着法以外の方法についても、その適用の可能性を検討する。
- [最終目標]
- 1) 化学吸収技術開発
 - a) 高性能吸収液の開発
 - ・ 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。
 - b) 試験高炉との連動試験
 - ・ 水素還元高炉技術確立支援 (CAT30 による CO₂ 回収率 90%以上確保)
 - c) BFG の有効活用分離システムの検討
 - ・ メンブレンリアクターのベンチ規模試験装置 (モジュール長: 1m) を用いた 長期安定性試験により、技術的目途を得る。
 - 2) 物理吸着技術開発
 - ・ 主要機器類・炭酸ガス吸着塔を含む PSA 全体プロセス (50 万 t-CO₂/年規模) の詳細設計を完了させ、実機スケール装置の建設を着手可能とする。
 - ・ また、詳細設計をもとに炭酸ガス回収コストを算出し、2,000 円/t-CO₂ を達成する。
 - ・ 電力原単位を低下させる。
 - 3) 分離技術総合プロセス技術開発
 - ・ 化学吸収法および物理吸着法の開発レベルに応じた、最適なエネルギー回収を組合せて、プロセス全体での経済性を定量化し、フェーズⅡの設計に資するコストが最小となる CO₂ 削減プロセスを構築する。
- ⑤未利用排熱活用技術の開発
- [中間目標]
- 1) 未利用低温排熱活用技術開発
 - ・ 高効率な熱交換器を探索し、ラボにおいてその性能評価を実施する。
 - ・ 実機排ガス熱回収試験装置の設計・製作する。
 - 2) 製鋼スラグ 顕熱回収技術開発
 - ・ 転炉系スラグ発生量 90kg/t に対応する顕熱回収設備の検討を実施する。
 - ・ スラグ凝固成形装置およびスラグ顕熱回収装置の安定操業技術を確立する。
 - ・ 蒸気回収システムの基本設計を完了する。
- [最終目標]
- 1) 未利用低温排熱活用技術開発
 - ・ 実機排ガス熱回収試験による左記高効率熱交換器の性能を評価する。
 - ・ 製鉄所全体の熱輸送ネットワークシステムも含めた全体構成およびコストを評価する。
 - 2) 製鋼スラグ 顕熱回収技術開発
 - ・ 最適低廉化を考慮した最適な実機設備仕様を提案する。
 - ・ 蒸気回収システム全体設計およびコスト評価を行い、本研究開発の左記実機化 FS を完了する。
- ⑥試験高炉によるプロセス評価技術開発
- [中間目標]
- ・ 10m³ 規模試験高炉の建設を完了させる。
- [最終目標]

	<p>試験高炉により、水素還元の効果을最大化し、銑鉄トンあたりの炭素消費量を最小化するための総合プロセス評価技術を確立し、実証試験高炉を想定した COURSE50 プロセスの基本仕様を提案する。</p> <p>⑦全体プロセスの評価・検討 [中間目標] 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総合的な評価、検討を行う。特に平成 27 年度においては、フェーズ 2 に貢献する新規技術創出研究の絞り込みも含め、フェーズ 2 移行に向けた全体プロセスの具備 条件を抽出する。手段として製鉄所全体熱物質評価モデルの新規要素取り込みと精度向上製鉄所全体 CO₂ 削減効果の見極めを実施。 [最終目標] 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総合的な評価、検討を行う。特に、プロジェクトの最終年度においては、CO₂ 排出量 30%削減を可能性評価にとどまらず、次ステップである、実証試験 規模高炉の具体内容を構築する。</p>						
事業の計画内容	主な実施事項	H25fy	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	
	①鉄鉱石還元への水素活用技術の開発	原料利用技術、送風最適化、プロセス解析		試験高炉操業設計	試験高炉操業		
	②コークス炉ガス(COG)改質技術の開発	ベンチプラント1 (BP1) 試験	BP2 設計・建設 (水素増幅率 2 倍)		BP2 試験 (耐久性 500hr)		
	③コークス改良技術開発	HPC 製造増強 水素還元用コークス品質		試験高炉用コークス品質、石炭配合条件	コークス製造方法確立		
	④CO ₂ 分離・回収技術開発	新吸収液開発、BFG 有効活用 PSA 効率化・新吸着塔実証試験 分離回収総合最適化			CAT30 と試験高炉連動 吸収液選定 PSA 実機規模プロセス設計 コスト最小プロセス構築		
	⑤未利用排熱活用技術の開発	低温排熱回収熱交換器ラボ装置製作 製鋼スラグ顕熱回収試験		実排ガス試験評価 実機仕様基本設計	熱輸送ネットワークシステム構築		
	⑥試験高炉によるプロセス評価技術開発	基本仕様確定	試験高炉の設計・建設・試運転		試験高炉操業		
	⑦全体プロセスの評価・検討	全体プロセスの最適化 新規技術創出研究			実証規模プロセス必要条件 明確化		
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	H25fy	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	総額
	一般会計	0	0	0	0	0	0
	特別会計 (電源・需給の別)	2,675	5,079	4,790	2,100	1,487.5	16,131.5
	開発成果促進財源	0	0	0	0	0	0
	総予算額	2,675	5,079	4,790	2,100	1,487.5	16,131.5
	(委託)	2,675	5,079	4,790	2,100	1,487.5	16,131.5
	(助成) : 助成率△/□						
	(共同研究) : 負担率△/□						
開発体制	経産省担当原課	製造産業局金属課金属技術室(平成 28 年 6 月以降) 製造産業局鉄鋼課製鉄企画室(平成 28 年 6 月まで)					

	プロジェクト リーダー	荒木恭一氏（新日鐵住金株式会社 製鉄技術部長）H29.3～現在まで 上野浩光氏（新日鐵住金株式会社執行役員 製鉄技術部長）H27.4～H29.3 齋藤公児氏（新日鐵住金株式会社参与 製鉄技術部長）H25.7～H27.3
	委託先 （委託先が管理人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載）	【委託先】 新日鐵住金（株）、JFE スチール（株）、（株）神戸製鋼所、日新製鋼（株）、新日鐵住金エンジニアリング（株） 【再委託先】 住友精化（株） 【共同実施先】 北海道大学、東北大学、秋田大学、群馬大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、岐阜大学、京都大学、大阪大学、岡山県立大学、九州大学、（公財）地球環境産業技術研究機構、（国研）産業技術総合研究機構、（一財）電力中央研究所
情勢変化への 対応	<p>本プロジェクトの Step2 は、Step1 における要素技術の研究成果に基づいて次の研究ステージであるフェーズⅡに展開するための総合技術開発を実施するものである。Step2 における 7 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ている。以下の項目を重点的にマネジメントして推進した。</p> <p>(1) 全体最適化の推進 1) フェーズⅠ Step2 出口シナリオの作成、2) マイルストーンの定量化、3) プロセス評価と全体最適化、4) 研究テーマの選択と集中の推進、5) 新規技術創出研究の展開</p> <p>(2) 知財戦略の構築と知財化の推進 (3) 試験高炉の設計と試験操業計画</p> <p>本プロジェクトはコアの部分と色々な周辺技術を組み合わせる必要があることとあり、コアの部分は高炉の水素還元等で鉄鋼業界しか出来ないものである。ここは前倒しを含めて重点的に実施していくとともに、周辺の部分は他分野の知見も含めて開発を加速して実施する。</p> <p>①水素還元関係：試験高炉の建設と試験操業は総合技術開発の最重要課題であり、試験高炉の設計・建設の着実実施と、試験操業における操業設計指標に合致した試験結果を得つつあり、順調に確性を推進中。 ②化学吸収・物理吸着：吸収液開発をスケジュール通り進めた。物理吸着プロセス開発と実機設計等を通して開発を加速した。 ③排熱回収：スラグ顕熱回収については実機設計のための検討を完了した。また、製鉄所の排熱回収に適用できる新たな革新的な熱交換器の開発を推進中。 ④COG 改質：触媒改質と部分酸化方式の連携改質による、水素増幅率 2 の達成と 500 時間耐久性評価に向けた着実な検証を予定どおり推進中。 以上を受けて、予算全体の重点配分を実施した。</p>	
中間評価結果 への対応	中間評価において、研究開発成果=2.9/3.0 実用化に向けた取り組み及び見通し 2.1/3 の評価を戴いた。	
評価に関する 事項	事前評価	平成 24 年度実施 担当部 環境部
	中間評価	平成 27 年度 中間評価実施
	事後評価	平成 29 年度 事後評価実施
Ⅲ. 研究開発成果 について	<p>【事業全体】 プロジェクト全体における CO₂ 排出削減においては、要素技術の集積に加え、所のエネルギー使用形態の変更による製鉄所全体のエネルギー消費構造変更に伴う CO₂ バランスも考慮に入れることが必要であり、「外部購入エネルギーからの CO₂ 収支も含めた所全体の CO₂ バランス評価」プログラムを構築し、各要素技術の現状を取り込み、所全体で 30%の CO₂ 排出削減を実施するための複数シナリオの検討を行った。高炉からの CO₂ 排出削減については、主として水素還元などの送風操作により炭素消費原単位（高炉 InputC）を削減し、更には原料、コークス、COG 改質等の技術により削減を検討した。これらの要素技術を総合化するために、BFG からの CO₂ 分離回収プロセスを含むシステムとした 12m³ の試験高炉を設計・建設した。試験高炉操業においては、最も基幹的な「COG 羽口吹込み+炉頂ガス」技術の評価を優先して実施した。その結果、直接還元率の計画どおりの低減を確認し、総合的に CO₂ 排出削減もほぼ計画どおりの特性という結果を得つつある状況である。送風操作の他の水準の評価を行うとともに、原料系との総合効果発揮の評価を最終水準に控え、現在鋭意評価試験に取組んでいる。</p> <p>一方、CO₂ 分離回収技術における排熱の利用については、製鋼スラグ顕熱回収技術に加えて高効率熱交換器技術の開発を進めるとともに、高性能化学吸収液の開発、物理吸着技術の更なる効率化を進めた。この結果、CO₂ 分離回収コスト 2,000 円/t-CO₂ の目途を得た。</p> <p>【個別テーマ】 ①鉄鉱石還元への水素活用技術の開発</p>	

送風操作、低反応性コークス、高被還元性鉄原料の使用による、InputC 削減への影響を明確化し、これらの成果に基づき、試験高炉の操業水準を設定した。

1) プロセス解析技術

試験高炉に対応した高炉数学モデルを開発し解析を実施した。羽口からの COG 吹込みなどの送風操作により、高炉 InputC が削減されることを確認した。また小型還元装置(SIS 炉)により、高炉数学モデルによる計算結果の妥当性を確認した。ガス吹き込みを行った際に懸念される還元粉化の対策として、試験高炉条件における還元粉化率を推定するとともに、還元粉化抑制を目的とした予熱ガス吹込みバーナーの開発を完了した。高炉への炭素投入量削減のための方策を行う場合に付随的に変化する付帯設備の操業条件を予測し、付帯設備を含めた高炉でのエネルギーバランス・炭素投入量などを総合的に評価するモデルを開発した。

2) 羽口複合吹込技術

羽口からの、微粉炭等の複合吹き込みにおける、羽口内燃焼を数値実験で評価し、適正な吹込みランス構造を提示するとともに、ランス燃焼性の改善を確認した。羽口前燃焼シミュレータ(燃焼炉)を新たに設計・製作し、燃焼・ガス化反応の非接触測定に関する検討・計測を実施し、吹込み条件により異なるデータが得られることを確認した。また、数値実験で提案されたランスのレースウェイ炉および燃焼シミュレーターによる評価・検証、耐久性試験を実施した。

3) 原料条件の最適化

水素還元に適した焼結鉱、塊鉱石、ペレット等の原料配合を検討し、高炉 InputC 低減に寄与する原料性状を提示した。高炉数学モデルを用いて、コークスの反応性・鉄原料の被還元性・吹き込みガス組成の適正化に関する検討を行い、高炉 InputC 低減を確認した。

②コークス炉ガス(COG)改質技術の開発

触媒を用いた COG 改質技術の最適化、最適処理形式の検討を行った。30Nm³/hr 規模の実ガス試験設備であるベンチプラント 1 (BP1) を用いた試験の結果、および試験後の触媒をさらに詳細に解析し、反応条件及び再生条件の最適化検討を行った。また、連続的に安定した水素増幅率を確保する技術を確認させるための実機化に向けたベンチプラント 2 (BP2) の基本設計を行い、第 1 期建設工事に着手した。得られた成果は以下のとおりである。

a) ベンチプラント 2 (BP2) での水素増幅(触媒改質)

触媒改質での S/C=0.8 条件下での水素増幅率 1.4 を担保しつつ、100 時間の耐久性評価まで完了。上期中に 500 時間の耐久性評価を完了予定である。

b) ベンチプラント 2 (BP2) での水素増幅(部分酸化)

O₂/C=0.7 温度=1200°Cの条件において、水素増幅率>1.4 残留 CH₄=5%を満足する条件を見出し、触媒改質との連携の目途を得た。

③コークス改良技術開発

低コークス比操業時における装入物各層間の通気性や装入物の荷下がり確保できるコークス強度を有し、且つ鉄鉱石還元最適コークス反応性を両立するコークス製造方法を開発することを目的とし、高強度を前提に反応性を制御できるコークス製造技術の確立と試験高炉用コークスの製造評価を最終マイルストーンとしており、以下の実施項目に対しそれぞれの成果を得た。

a) 改質 COG 吹込条件下鉄鉱石還元最適コークス品質の解明

試験炉装入密度 0.73g/cm³においても、高性能粘結材 HPC の配合炭内での均一性を配合石炭細粒化により保ち、10%添加することにより、低反応性 (CRI 20~23) 高強度 (DI 150/15=88) コークスを製造できることを確認した。HPC の均質化はコークス内気孔構造の改善に寄与しており、高反応性コークスでも HPC による強度改善効果が得られることを確認した。CO₂ および H₂O の反応性の違いを加味した改質 COG 雰囲気にも適用できる反応速度式を提示した。

b) 試験高炉用コークスの製造と評価

試験高炉用コークスサンプル製造に必要な HPC 製造を改造した HPC 連続製造試験装置により継続中である。反応性 CRI 値 20 レベル、強度 85 を超える HPC 添加コークスを実用コークス炉にて製造中である。(最終キャンペーン向け)

④CO₂分離・回収技術開発

化学吸収・物理吸着法それぞれにおいて CO₂ 分離回収コスト 2000 円/t-CO₂ 以下を実現可能とする要素技術を開発することを目標として、化学吸収法における、高性能 CO₂ 吸収液の開発(熱量原単位削減)、物理吸着法におけるプロセスの運転条件の最適化(電力原単位削減)など具体的な成果を出した。その結果、分離回収コスト 2000 円/t-CO₂ 以下を達成する見込みを得た。

1) 化学吸収技術開発

a) 高性能吸収液の開発

新規化学吸収液を検討し、Step1 吸収液との比較で、反応熱の大幅削減と再生温度の低温化が可能な新吸収液を得た。CAT-LAB 小型連続試験装置を用いて混合溶媒系吸収液の性能評価を行い、分離回収エネルギーは Step1 最高性能を凌駕する高性能を確認した。新規化学吸収液の高性能発現に対する理論的根拠を明らかにした。CO₂ 放散促進可能な触媒を得た。更に吸収速度促進効果を有する触媒を選定した。

b) 試験高炉との連動試験

試験高炉 BFG 条件に応じた CAT30 の改造、整備、試運転を完了した。CAT30 による CO₂ 回収率が 90%以上達成

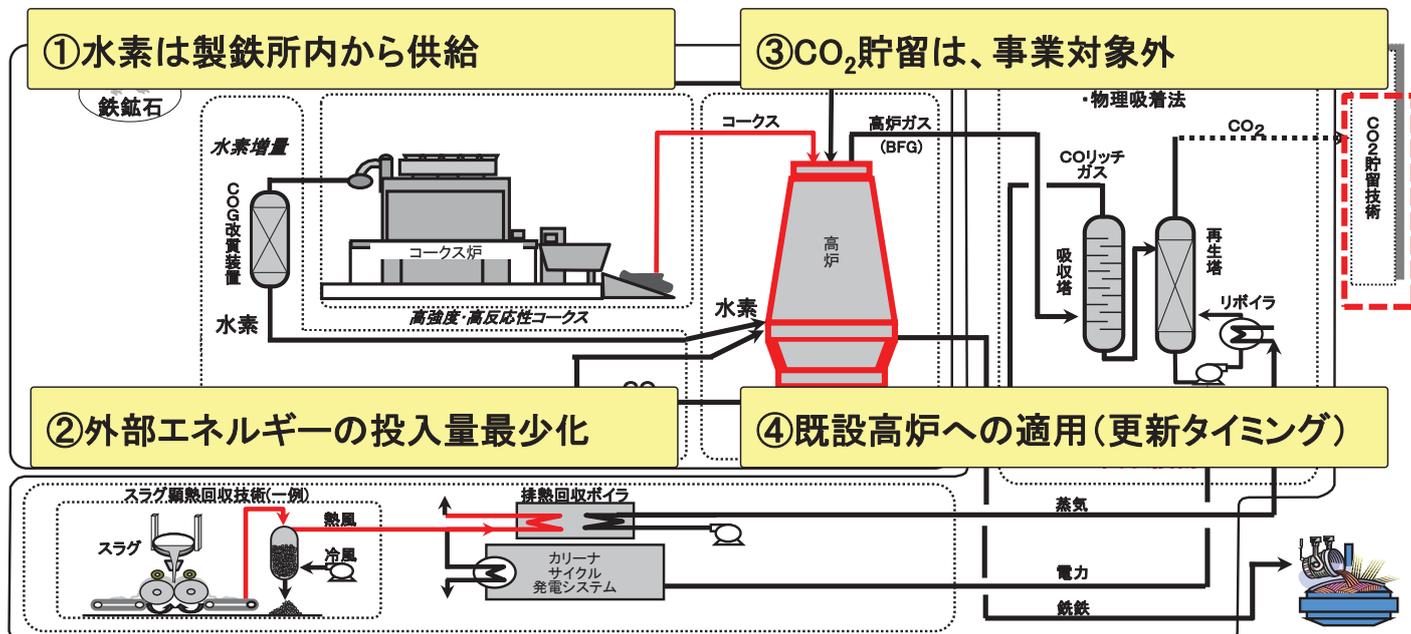
	<p>できることをシミュレーションで確認した。</p> <p>c) BFGの有効活用分離システムの検討 シリカ膜を用いたメンブレンリアクターによるBFGからのH₂生成・濃縮検討において、目標値を大きく超えるシリカ膜を開発した。耐水蒸気性に関しては、金属ドープや中間層の最適化による改善の目途を得た。</p> <p>2) 物理吸着技術開発</p> <p>a) PSAシステムのさらなる効率化 実機相当高さの新規吸着塔を設置し、ガス流れ変更等によりCO₂回収量が増加し、電力原単位が削減される可能性を確認した。吸着剤の粒径を大きくすることにより、電力原単位削減ができることをベンチ試験により実証した。有効吸着量の大きい、新規吸着剤の性能評価を実施。CO₂回収量の増加可能性を確認した。</p> <p>b) 実機PSA全体プロセスの詳細設計 ASCOA-3試験結果を基に、各種機器の選定、吸着塔の基本構造の検証、吸着塔配置検討を行った。また、各プロセスフローにおける流量範囲などの値を確定し、概要設計として、プロセスフローを作成した。</p> <p>3) 分離技術総合プロセス技術開発</p> <p>a) 分離回収プロセス最適組合せ検討 排熱発生条件やエネルギー変換効率、分離回収プロセスの使用エネルギー効率をパラメータとして最適組合せ解析を行うことが可能となった。分離回収コストを最小とするためには、化学吸収法と物理吸着法を組合せて使用することが有効であることが明らかになった。分離回収技術を組合せることにより、分離回収コスト2000円/t-CO₂を達成することが可能となった。</p> <p>b) 技術動向調査及び新規技術の探索 技術動向調査及び新規技術の探索を行った。分離回収コスト2,000円/t-CO₂を下回る運転実績・研究成果は認められず、本プロジェクトで開発中の技術の優位性が明らかになった。また、CO₂分離回収後ガスの有効利用技術を検討した。</p> <p>⑤未利用排熱活用技術の開発</p> <p>1) 未利用低温排熱活用技術開発 CO₂回収目標量の達成には、高効率熱交換器の開発が必要であることを見極めた。ラボ実験により、CO₂回収目標の達成には、大きい熱容量流量比と高い温度効率を両立する熱交換器が必要であることを確認し、ラボ実験で高効率熱交換器を評価し、目標温度効率を満足する構造があることを突き止めた。ダスト付着実験および数値解析により、高効率熱交換器の構造の今後の改善方針を策定した。</p> <p>2) 製鋼スラグ 顕熱回収技術開発 スラグ凝固成形安定化については、コンベア形状を半割パイプ型に変更することでスラグ剥離性を改善し、スラグ連続処理量は目標を達成した。実機化時に必要な設備改善項目の抽出を完了した。蒸気回収システム設計については、スラグ顕熱回収シミュレーターを構築し、ベンチ試験結果から熱交換係数や空隙率等のパラメータを最適化し、設計を完了した。実機化FSについては、モデル製鉄所における操業形態と設備規模について一次検討を完了し、各設備の詳細設計を低廉化も含めて開始した。</p> <p>⑥試験高炉によるプロセス評価技術開発 試験高炉の各設備の所要能力を把握すべく、試験水準として想定されるケースを設定して所要物流量を見積もった。操業シミュレーション結果を基に、試験高炉の所要物流量を基に設備能力を設定した。間接還元を最大化するための炉内面形状の設計を行い、内容積12m³の試験高炉の建設を完了させた。</p> <p>⑦全体プロセスの評価・検討 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発における送風操作最適化および原料利用技術含めた高炉改善の全体位置づけと製鉄所全体の熱物質収支検討による製鉄所一貫削減量との関連検討を実施した。また、プロジェクト全体の到達目標に対する各技術の位置づけの内容掘り下げと確度向上を検討した。</p> <p>新規技術創出研究では、要素技術の補強、試験高炉の操業最適化のための技術、スケールアップ補完技術について研究を進めた。その結果、新しい技術創出の可能性や高炉諸元の予想・炉内現象の解析に使用するシミュレーションモデルの精度向上に活用できる可能性を見出した。</p>
投稿論文	「査読付き」22件、「その他」2件、「学会発表」41件
特許	「出願済」17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)	1. プレスリリース（記者発表）： 2013年8月6日 2. プレスリリース（記者発表）： 2014年10月31日 3. WSA ; CO ₂ Breakthrough Programme 13th Meeting of the Expert Group:2015年6月15日

		4. JCOAL, CCT Work Shop 2015 ; COURSE50 の概要:2015 年 7 月 2 日 5. 米国鉄鋼協会 (AISI) ; COURSE50 の概要 : 2015 年 4 月 10 日
IV. 実用化の見通しについて	<p>本プロジェクトは、2030 年までに技術確立を行い、2050 年までに全世界の温室効果ガス排出量を現状に比べて半減するというわが国の施策（2008 年 3 月「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」、2008 年 5 月「環境エネルギー技術革新計画」、2010 年 6 月「エネルギー基本計画」等）の一つとして、実用化に向けて技術開発を実施している。</p> <p>研究開発終了予定の 2027 年断面では、CO₂貯留技術をも含め一連の技術が完成し、実機化に際しての経済合理性も有するケースと本技術の波及効果として実機化の可能性のあるケースを想定して、成果の項目で述べた内容も踏まえ、実機化に向けての技術的位置づけを整理した。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 25 年 3 月 作成
	変更履歴	

◆COURSE50事業の目的と前提条件

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。

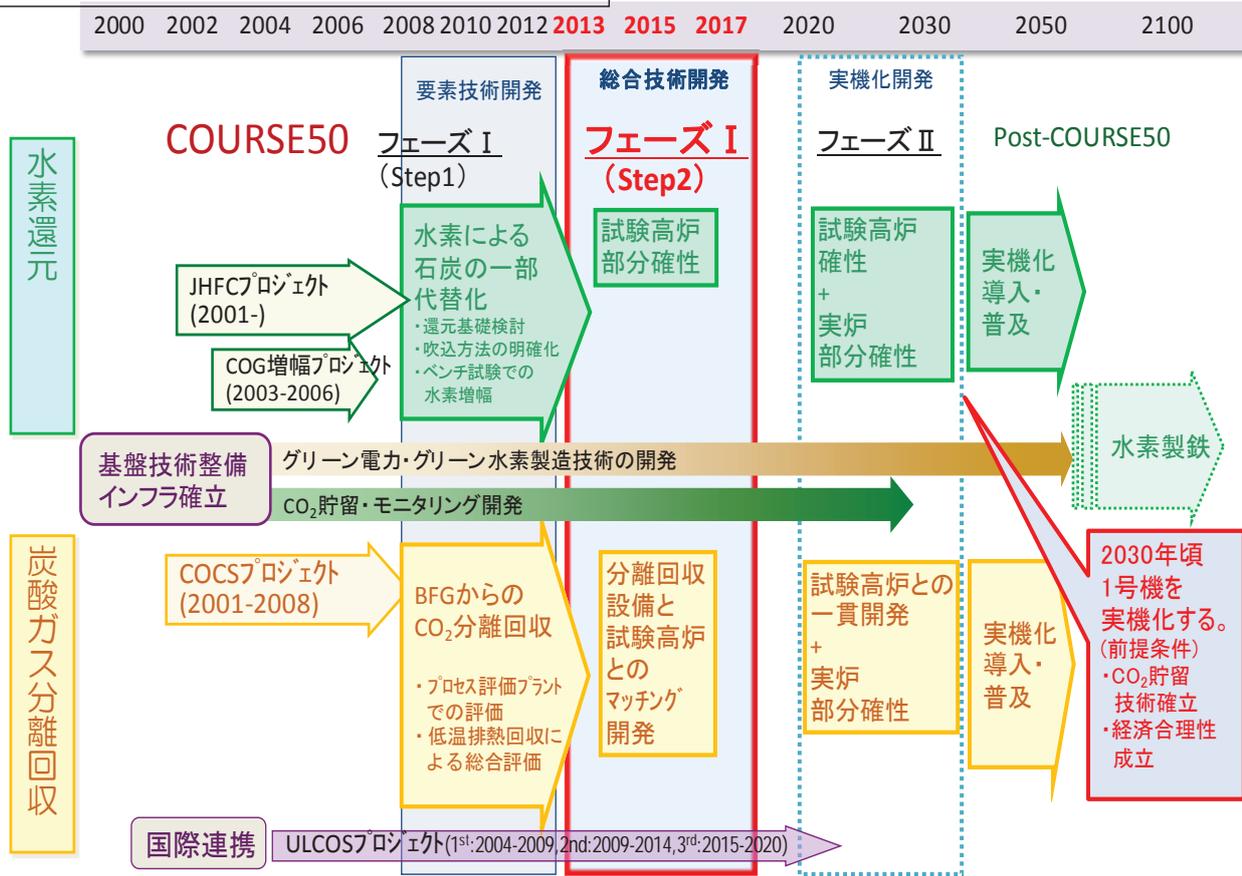


◆事業の目標

項目	【中間目標】	【最終目標】
(a) 高炉からのCO ₂ 排出削減技術開発	<ul style="list-style-type: none"> 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。 12m³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。 	<ul style="list-style-type: none"> 12m³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。 	<ul style="list-style-type: none"> 高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂を可能とする技術を確立する。

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

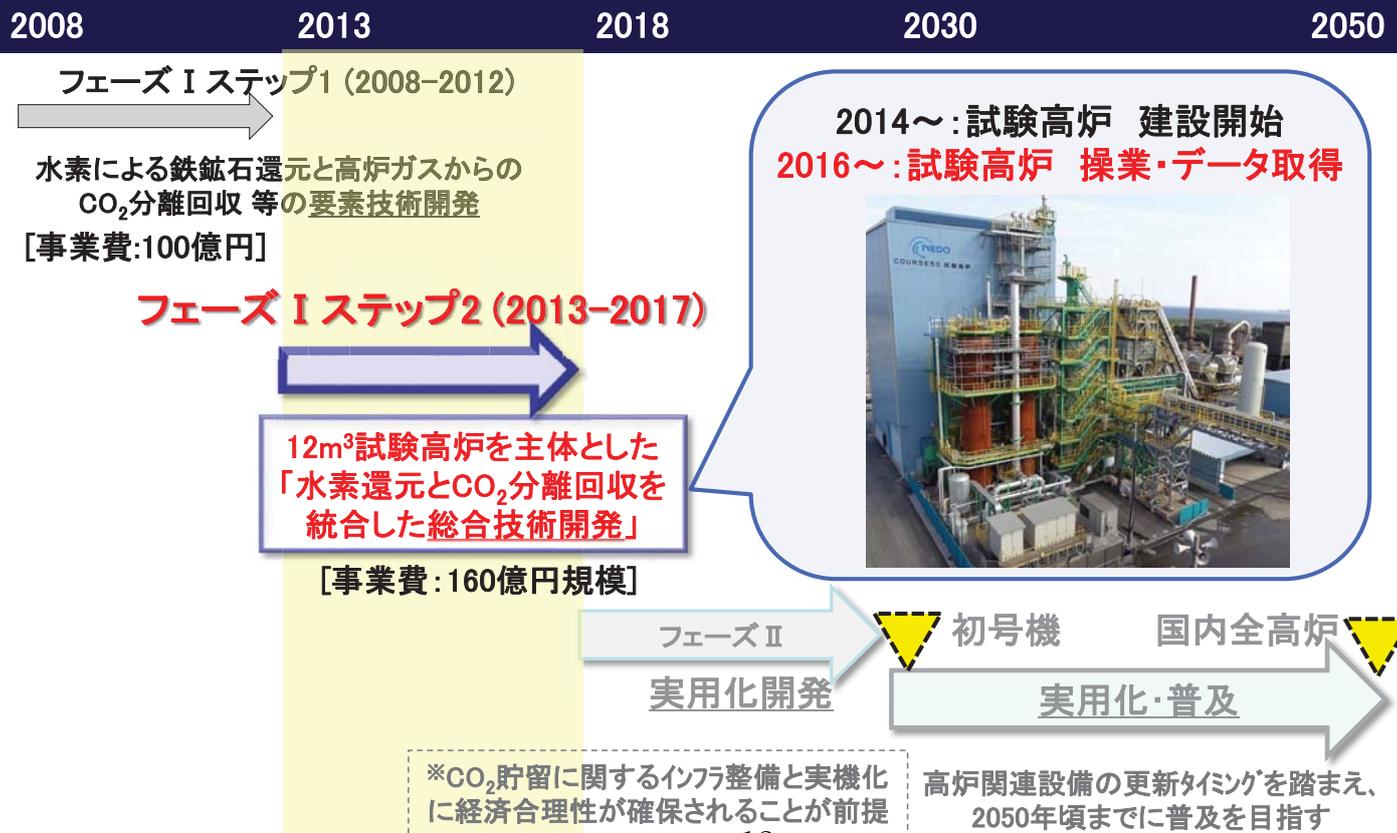
◆実機化までのスケジュール



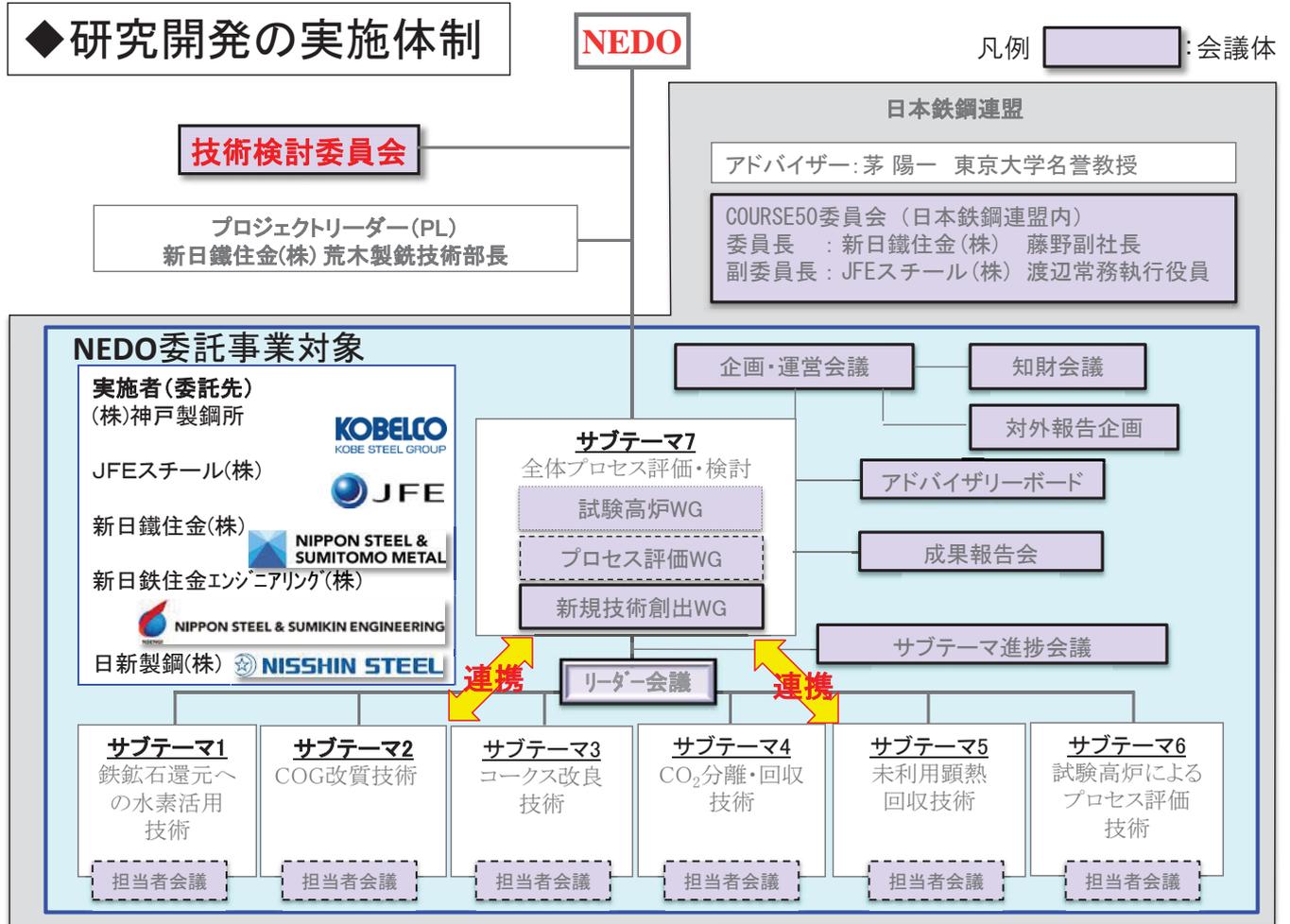
2. 研究開発マネジメント (1)研究開発目標の妥当性

◆研究開発のスケジュール

世界最大規模の試験高炉にて試験操業を行い、CO₂排出低減効果を検証



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



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

サブテーマ名	H25年度	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度	計
①鉄鉱石還元への水素活用技術の開発	452	288	100	119	43.9	1,002.9
②コークス炉ガス(COG)改質技術の開発	406	572	538	336	153.2	2,005.2
③コークス改良技術開発	225	113	123	208	106.1	775.1
④CO ₂ 分離・回収技術開発	322	185	241	169	59.4	976.4
⑤未利用排熱活用技術の開発	176	225	100	75	23.7	599.7
⑥試験高炉によるプロセス評価技術開発	979	3,588	3,600	1,110	1,040.7	10,217.7
⑦全体プロセスの評価・検討 (内新規技術創出研究)	115 (103)	108 (96)	88 (79)	83 (75)	60.5 (55)	454.5 (408)
計	2,675	5,079	4,790	2,100	1,487.5	16,131.5

(百万円)