

「環境調和型製鉄プロセス技術開発」

事後評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
プロジェクト概要	2
評価概要（案）	12
評点結果	19

はじめに

本書は、第31回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開発」（事後評価）の研究評価委員会分科会（第1回（平成24年12月3日））及び現地調査会（平成24年11月26日）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32条の規定に基づき、第35回研究評価委員会（平成25年3月26日）にて、その評価結果について報告するものである。

平成25年3月

独立行政法人新エネルギー・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開発」分科会
（事後評価）

分科会長 日野 光兀

独立行政法人新エネルギー・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開発」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成24年12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	ながた かずひろ 永田 和宏	東京藝術大学 大学院美術研究科 教授
委員	あおき ひでゆき 青木 秀之*	東北大学 大学院工学研究科 化学工学専攻 教授
	あべ たかゆき 阿部 高之	一般社団法人 日本プラント協会 技術室 室付部長
	しみず ただあき 清水 忠明	新潟大学 工学部 化学システム工学科 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
	まきの ひさお 牧野 尚夫	一般財団法人 電力中央研究所 首席研究員

敬称略、五十音順

注*：実施者の一部と同一大学であるが、所属部署が異なるため（実施者：東北大学 多元物質研究所、京都大学 エネルギー科学研究所）「NEDO 技術委員・技術評価委員規程(平成23年7月7日改正)」第34条（評価における利害関係者の排除）により、利害関係はないとする。

プロジェクト概要

概要

		最終更新日	平成 24 年 11 月 15 日
プログラム（又は施策）名	環境安心イノベーションプログラム・エネルギーイノベーションプログラム		
プロジェクト名	環境調和型製鉄プロセス技術開発	プロジェクト番号	P08021
担当推進部/担当者	環境部 担当者氏名 山口良祐、岡島重伸（平成 24 年 11 月現在）		
0. 事業の概要	<p>CO2 を大幅に削減する、環境に調和した製鉄プロセスを開発する。</p> <p>石炭コークスにより鉄鉱石を還元して鉄銹を製造し、鋼製品を製造する高炉法一貫製鉄所において、石炭コークス製造時に副生するコークス炉ガス（COG）に含まれるタール等を分解することにより COG を改質して水素を増幅し、石炭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、CO2 濃度の高い高炉ガス（BFG）から CO2 を分離・回収するため、分離・回収エネルギー消費量の少ない化学吸収法及び物理吸着法に関して化学吸収液、プロセス及び分離・回収システムを開発し、製鉄所内の未利用廃熱を回収して分離・回収エネルギーに利用することで CO2 分離・回収エネルギーを削減する技術を開発する。これらの技術開発によって CO2 発生量の 3 割削減を目標に、2030 年までに技術開発を実施し、2050 年頃までに普及を図ることにより、低炭素社会を目指す。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>我が国の鉄鋼業では 1970 年代以降積極的に、省エネルギー設備の導入等に取り組んできた結果、鉄鋼生産におけるエネルギー効率は世界一と評価されている。反面、かなりの部分に対策が施されているため、従来型の省エネルギー努力では 2010 年までに 3%程度のエネルギー改善が限度とされている。</p> <p>一方、地球温暖化防止に向けては、CO2 排出量の多い鉄鋼業に対して、抜本的な CO2 削減が要請されており、これに応えるためには、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ための研究開発を実施することが不可欠である。</p> <p>また、本事業は、21 世紀環境立国戦略において、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されており、我が国が国際的リーダーシップを発揮するため産学の知見を結集し、国として取り組むべきものである。</p> <p>以上から、本事業は民間のみで取り組むことが困難で、実用化までに中長期の期間を要し、かつリスクの高いテーマであることから、民間の能力を活用して機構が資金負担を行うことにより研究開発を推進すべきである。</p> <p>（参考） 我が国における 2010 年度の粗鋼生産量は、約 1 億 1 千万トンであり、これに伴い CO2 を約 1 億 7 千万トン排出している。これは我が国産業部門の約 39%、我が国全体でも約 15%を占めている鉄鋼業は、産業・エネルギー転換部門最大の CO2 排出業種であり、鉄鋼業での排出削減は極めて重要である。</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 年実用化に向けて大きく 3 つの段階での技術開発を予定しており、 2008～2012:Phase I Step1 要素技術開発及びプロセス評価開発 2013～2017:Phase I Step2 パイロット規模開発 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 Phase I Step1 における目標は以下のとおり。 ①高炉からの CO2 排出削減技術開発 コークス製造時に発生する高温の副生ガスを改質して水素を増幅し、その水素を用いて鉄鉱石を還元する技術を開発する。 要素別に 3 テーマを設定。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・テーマ 1：(SG1) 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発 CO2 削減のための高炉での石炭コークス使用量削減を目的に水素などを用いて鉄鉱石を還元するための還元反応制御技術を開発する。 		

	<p><中間目標> 水素を多量に含有する改質 COG を高炉で利用する場合の、高炉内鉱石還元挙動を明らかにするとともに、焼結鉱還元粉化検討、炉上部での熱補償検討、高炉内の局所的な挙動の評価を行い、CO2 削減について定量的な評価を行う。</p> <p><最終目標> 改質 COG の適正吹き込み位置、方法の明確化、及び改質 COG 中 H2 還元過程で生成する鉱石中微細気孔の生成とそれによる反応効率改善効果を確認する。改質 COG 200 m3N/t-pig (COG 100 m3N/t-pig) の高炉への利用条件を明確化する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・テーマ 2：(SG2) COG のドライ化・増幅技術開発 コークス炉の 800℃の未利用排熱を利用し水素の増幅率を 2 倍とするコークス炉ガス (COG) 改質技術を開発する。 <中間目標> 平成 20 年度～21 年度は、民間研究において、「触媒の更なる高性能化・反応温度の低下」を指向した開発を実施した後、平成 22 年度より、実 COG を用いた 200m3N/hr 規模の試験設備で水素増幅特性確認と、耐久性の評価を実施する。 <最終目標> ベンチプラントレベル試験運転を行い、実 COG を触媒改質することによる水素増幅向上の検証とコークス炉操業のサイクルと合わせて触媒特性を長時間維持できるか見極める。 ・テーマ 3：(SG3) 水素活用鉄鉱石還元用コークス製造技術開発 水素還元用の高強度・高反応性コークス製造技術を開発する。 <中間目標> 水素を活用した鉄鉱石還元で想定される高炉内の環境 (ガス組成や温度分布) において、求められるコークスの特性を明らかにし、これを満足するコークスの製造技術を開発する。 <最終目標> 高強度高反応性コークス製造技術を開発する。 ・開発目標：コークス強度 [ドラム強度] DI ≥ 88 ・コークス強度への HPG 作用機構解明と配合設計指針の確立 <p>②高炉ガス (BFG) からの CO2 分離回収技術開発 高炉ガスからの CO2 分離回収コスト 2,000 円/t-CO2 を可能とする技術の見通しを得る。このため、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利用して、CO2 分離のためのエネルギーを削減する技術を開発する。</p> <p>要素別に 2 テーマを設定。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・テーマ 4：(SG4) CO2 分離・回収技術の開発 高炉ガス (BFG) からの CO2 分離回収に係る吸収液や物理吸着法の開発を行う。 <中間目標> プロセス評価規模の化学吸収試験設備や数種類の高性能吸収液等を用いて、BFG から CO2 を分離回収する試験を実施、定量的なエンジ・データを収集し、製鉄プロセスに及ぼす影響を実証的に評価すると共に製鉄プロセスとの統合モデルを検討、全体システム評価・検討の中で実用化時の CO2 削減ポテンシャルや分離回収コスト低減効果を評価する。 <最終目標> 化学吸収法は、吸収液特性 (反応性、吸収量等) のラボ測定値を基に平衡モデルにより算出した CO2 分離回収エネルギーが 2.0GJ/t-CO2 以下とする。物理吸着法は、ベンチ試験装置において、可燃ガス (CO+H2) の回収率 ≥ 90% を満足する CO2 回収率 ≥ 80% または回収 CO2 濃度 ≥ 90% のガス分離性能を検証する。 ・テーマ 5：(SG5) 未利用顕熱回収技術の開発 製鉄所の未利用排熱活用拡大による CO2 分離回収エネルギー削減 (鉄鋼業の CO2 削減) に寄与する技術開発を行う。 <中間目標> 選定した未利用顕熱・排熱活用技術の性能検証試験を完了し、BFG からの CO2 分離回収に必要なエネルギー量を評価。製鋼スラグ顕熱回収技術開発ではベンチプラント規模で、回収ガス温度が 140℃以上、熱回収効率が 30%以上 (ベンチプラント設備への供給スラグ熱容量が基準) となる顕熱回収条件を確認する。 <最終目標> 選定した未利用顕熱・排熱活用技術の性能試験により、BFG からの CO2 分離回収量増加への寄与を評価する。製鋼スラグ顕熱回収技術開発ではベンチプラント規模で、回収ガス温度が 140℃以上、熱回収効率が 30%以上となる顕熱回収条件を確認する。低位熱発電システムの排
--	--

	<p>熱有効利用率 30%を可能とする技術を明確化する。</p> <p>③製鉄プロセス全体の評価 最終目標である約 30%の CO2 削減に向けて、各要素開発の進捗状況及び開発目標（マイルストーン）との整合性をとり、全体（一貫製鉄所）として目標への達成割合を定期的に把握し、各要素開発に結果をフィードバックすることにより、全体調整及び目標達成へのマネジメントを行う。</p> <p><中間目標> 30%CO2 削減に各要素技術の開発目標（マイルストーン）との整合性をとり、全体調整やマネジメントを実施。</p> <p><最終目標> 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イメージと今後の研究開発課題を明確にする。</p> <p>高炉ガスからの CO2 回収技術開発では、分離・回収後の貯留は開発対象外としている。</p>								
事業の計画内容	主な実施事項	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy			
	SG1 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発	[Progress bar]							
	SG2 COG のドライ化・増幅技術開発	[Progress bar]							
	SG3 水素活用鉄鉱石還元用コークス製造技術開発	[Progress bar]							
	SG4 CO2 分離・回収技術の開発	[Progress bar]							
	SG5 未利用顕熱回収技術の開発	[Progress bar]							
	SG6 全体プロセス評価・検討	[Progress bar]							
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	H20fy		H21fy		H22fy	H23fy	H24fy	総額
		当初	補正	当初	補正	当初	当初	当初	
	一般会計	0	0	0	0	0	0	0	0
	特別会計 (電源・需給の別)	532	1,000	1,115	1,394	1,862	2,601	1,776	10,378
	加速予算 (成果普及費を含む)	0	0	0	0	0	0	0	0
	総予算額	532	1,000	1,115	1,394	1,862	2,601	1,776	10,378
	契約種類： ○をつける (委託(○) 助成() 共同研究(負担率()	(委託)	532	1,000	1,115	1,394	1,862	2,601	1,776
	(助成) : 助成率△/□								
	(共同研究) : 負担率△/□								
開発体制	経産省担当原課	製造産業局鉄鋼課製鉄企画室							
	プロジェクトリーダー	齋藤 公児氏 (新日鐵住金株式会社 製鉄技術部長)							

	委託先	<p>【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）、新日鉄住金エンジニアリング（株）</p> <p>【再委託先】 JFE 技研（株）（H20 年度のみ）、住友精化（株）、富士石油（株）</p> <p>【共同実施先】 名古屋大学、大阪大学、東北大学、東京大学、北海道大学、京都大学、東京工業大学、（財）地球環境産業技術研究機構、（独）産業技術総合研究所、日揮（株）、三機工業（株）</p>
情勢変化への対応		<p>①外部有識者の見解反映 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頂戴し、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ることとした。（H23年上期から全3回実施） 亀山 秀雄 東京農工大学大学院 工学府 産業技術専攻 工学研究科応用化学専攻（兼務） 化学システム工学科 教授（委員長） 伊藤 公久 早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授 小野崎 正樹 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 清水 正賢 九州大学 鉄鋼リサーチセンター 教授 宝田 恭之 群馬大学 大学院工学研究科 環境プロセス工学専攻 教授 巽 孝夫 国際石油開発帝石株式会社 経営企画本部 事業企画ユニット シニアコーディネーター 長坂 徹也 東北大学 大学院工学研究科・工学部 金属フロンティア工学専攻 教授 以下のコメントを反映 ・LKAB高炉試験で貴重なデータが得られたと思うので、試験結果に対する詳細な解析を行うことがStep2に繋がると考えられる ・必要な特許については先願主義であり、海外特許の出願を含め知財管理をしっかりとって頂きたい 等々</p> <p>サブテーマ 6 (SG6) の情報収集活動として、社会等の動向を広く情報収集すべく、また直接本研究に関与されていない外部有識者の助言を得ることを目的として、アドバイザリーボードを設置。（H21 年度下期から、第 1 回は平成 22 年 3 月 9 日実施、全 3 回実施） 委員（敬称略） 三浦 隆利 東北職業能力開発大学校長（委員長） 秋山 友宏 北海道大学エネルギー変換マテリアル研究センター 教授 清水 正賢 九州大学 鉄鋼リサーチセンター 教授 宝田 恭之 群馬大学大学院工学研究科 教授 長坂 徹也 東北大学大学院環境科学研究科 教授 以下のコメントを反映 ・今回のシステム設計と各グループの連携が重要であり、マネジメントが重要 ・国内外への発信が大事、HP 整備や積極的な学会発表が重要 ・試験高炉実験を計画して欲しい 等々</p> <p>②進捗状況確認及び方針確認会議の開催 実施計画に基づく研究開発の進捗、懸案事項の討議、対応等を行い、実施者と一体となった研究開発を推進。 ・「サブテーマフォロー会議（年 12 回）」：研究内容の進捗状況確認と今後の方針を協議 ・「全体システム WG 会議（年 8 回）」：技術全体のシステム化と実用化検討を討議 サブテーマ 6 で実施の製鉄プロセス全体の評価は、本会議で進捗の検討を実施。 ・「企画・運営会議（年 4 回）」運営全体の進め方等を討議 ・「知財会議（随時）」出願方法の検討等 ・「COURSE50 委員会（年 2 回）」全体の進捗確認と大きな判断等 上記会議の内、実施者 6 社内の分担、契約関係を協議する「企画・運営会議」及び「知財会議」を除き NEDO（経済産業省鉄鋼課製鉄企画室）も会議に参画。</p> <p>③外部情勢、各研究開発進捗状況を見極めたテーマの選択と集中の実施。 現時点で当初掲げた各テーマの最終目標に変更は無いが、本事業は課題が多岐に亘っているため、常にテーマ全体を見直しつつ、加速すべき項目と時間を掛けてでも基本を解明する項目等の見直しを実施。 平成 22 年度以降は以下のように推進することとした。 ・水素還元関係：重要なコア部分であり、可能な限り前倒しで推進する。 ・化学吸収・物理吸着：ベンチプラント等の建設を通して、スケジュール通り進める。 ・排熱回収や高性能コークス製造：多少時間を掛けても確実に実施できるよう、原理原則部分</p>

	<p>をしっかりと解明していく。</p> <p>④必要に応じた体制の検討と研究テーマの選択と集中（特に再委託先、共同実施先） 体制等は適材適所の配置になるよう工夫しており、特に大学等の保有する高いレベルでの知見を有効活用すべく、委託研究先、共同実施先を増やして、漏れがなく最適な産官学体制になるよう工夫している。</p> <p>⑤実用化の推進 化学吸収法の CO2 分離回収技術およびバイナリー低温排熱発電（カーリーナプロセス）については実用化を推進できる開発レベルとなった。化学吸収法はエネルギー開発分野や一般産業分野に向けて商品名 ESCAP として実用化が進められている。カーリーナプロセスは製鉄所での実用化を検討中である。</p>	
中間評価結果への対応	実施後記載予定	
評価に関する事項	事前評価	平成 19 年度実施 担当部 環境技術開発部
	中間評価	平成 22 年度実施
	事後評価	平成 24 年度実施（予定）
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>「環境調和型製鉄プロセス技術開発」Phase I Step1 要素技術開発及びプロセス評価開発の成果は以下のとおり。</p> <p>事業全体 各サブテーマとも Phase I Step1 要素技術開発及びプロセス評価開発の個別最終目標は達成の見込みであり、2030 年までの実用化に向けて、研究開発を推進していく。</p> <p>各テーマ毎の評価</p> <p>①高炉からの CO2 排出削減技術開発 コークス製造時に発生する高温の副生ガスを改質して水素を増幅し、その水素を用いて鉄鉱石を還元する技術を開発する。 要素別に 3 テーマを設定。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・テーマ 1：(SG1)鉄鉱石還元への水素活用技術の開発 <ul style="list-style-type: none"> <中間目標> 炉内ガス中 H2 の増加、還元材比低減（10%低下）にもかかわらず、試験範囲においては、シャフト部温度低下や還元遅延は見られない。この結果は当初のモデル計算とラボ試験結果が合致し、10%削減にラボベースで目途を得た（羽口+シャフト吹き込み）。さらに水素吹き込みにより鉄鉱石還元率が予想以上の向上を確認。 <最終目標達成の見通し> ラボレベルでは確実に最終目標を到達できる。同時に、小規模スケールでの試験設備での検証と課題把握も視野に置いて今後取り組む予定。 <最終目標> 水素を多量に含む COG の吹き込みにより、鉄鉱石の還元が改善し、2.5%から3.5%程度の CO2 低減の可能性のあることを、模型実験および LKAB 試験高炉で確認。さらなる低減の可能性について、羽口、シャフトの複合吹き込み、装入物分布の制御、の観点から検討中。 還元の改善メカニズムについては、水素の反応速度、焼結鉱の微細気孔形成、水素と CO、カーボン相互の反応の効果等、さまざまな理由が考えられ、現在総合的な観点から解析中。 改質 COG のシャフト吹き込み方法については、小型模型実験で得たシャフトガスの浸透度合い等のプロセスイメージを、LKAB 試験高炉で確認。 ・テーマ 2：(SG2) COG のドライ化・増幅技術開発 コークス炉の 800℃の未利用排熱を利用し水素量を増幅するコークス炉ガス（COG）改質技術を開発する。 <中間目標> 平成 22 年度から研究に着手。ベンチプラント試験設備の現場設置方法を決定した。その他、プロセス検討、機械要素技術開発、ベンチプラント試験設備設計、土建・電気工事、官庁申請書類作成について取組を開始した。 <最終目標達成の見通し> 長時間試験のための設備工事等に時間を要する可能性が高いが、最終年度には一定の長時間テ 	

	<p>ストが可能で、最終目標は到達できる予定。</p> <p><最終目標> 大量に製造した触媒による実 COG の改質において水素増幅率 2 倍以上の活性を発揮することを確認した。外部から水蒸気を導入することにより COG 中のタール及び炭化水素の改質反応が大幅に進行し、水素増幅率の平均値が 2.0 倍より大となった。また加振機を効率的に作動させながら閉塞することなく 24hr 以上運転できることを確認した。</p> <p>・テーマ 3：(SG3)水素活用鉄鉱石還元用コークス製造技術開発 水素還元用の高強度・高反応性コークス製造技術を開発する。</p> <p><中間目標> 「コークス強度到達目標達成」に対しては、高性能粘結材の添加と配合炭嵩密度の調整で目標 [ドラム強度] DI (150/15)=88 以上を達成。コークス強度向上機構の解明についてハイパーコール (HPC) の良好な軟化溶解性による配合炭の流動促進作用に起因することを明らかにできた。</p> <p><最終目標達成の見通し> 早期の段階で最終目標に到達できる予定だが、原理的な解明は継続して行う。</p> <p><最終目標> 高強度コークスとして、目標である DI > 88 を満足する製造方法に目処を得た。配合炭の流動性、膨張性による石炭粒子間の空隙充填効果と、配合炭の細粒化が HPC 利用コークスの強度増加に寄与することを明らかにした。</p> <p>②高炉ガス (BFG) からの CO2 分離回収技術開発 高炉ガスからの 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利用して、CO2 分離のためのエネルギーを削減する技術を開発する。 要素別に 2 テーマを設定。</p> <p>・テーマ 4：(SG4)CO2 分離・回収技術の開発 高炉ガス (BFG) からの CO2 分離回収として化学吸収法や物理吸着法の開発を行う。</p> <p><中間目標> 30t-CO2 回収/d 化学吸収液評価プラント (CAT30) による評価結果と 1t-CO2 回収/ベンチプラント (CAT1) 評価結果を合わせてスケールアップ則に乗っていることを確認。「CAT30 での製鉄プロセスへの影響評価」は、速報ベースだが、世界最小水準の熱消費量値を試験結果として得た。物理吸着法は「ガス分離性能の検証」、「ベンチ装置での運転研究」、「実機プロセスの検討」の 3 分野の研究開発を有機的に連携させながら実施。技術調査を主体とした CO2 分離回収技術の低コスト化の検討と、モデル製鉄所におけるコスト評価も実施。</p> <p><最終目標達成の見通し> 化学吸収及び物理吸着の個別課題はそれぞれ最終目標を達成できる予定。最終的な総合システム化に向けて、研究の重点を置き、推進する予定。</p> <p><最終目標> CO2 分離回収の化学吸収法は 2200 円/t-CO2、また物理吸着法は 2400 円/t-CO2 程度のコストを達成する条件を見出した。さらに、化学吸収法は蒸気コストの低減、設備費削減等により、物理吸着法では、脱湿用役見直し、設備費削減等により、目標の 2000 円/t-CO2 を達成する見込みである。モデル製鉄所における発生 CO2 のほぼ 20% を分離・回収できる未利用エネルギーが見出された。30t-CO2 回収/d 化学吸収液評価プラント (CAT30) と 1t-CO2 回収/ベンチプラント (CAT1) 評価結果、熱消費原単位は実機サイズで 2.3GJ/t-CO2 まで低減することができた。熱移送によるプロセス改良で開発目標である 2.0GJ/t-CO2 を達成できる見込みが得られた。物理吸着法は、ベンチ試験装置において、可燃ガス (CO+H2) の回収率 ≥ 90% を満足する CO2 回収率 ≥ 80% または回収 CO2 濃度 ≥ 90% のガス分離性能を検証した。</p> <p>・テーマ 5：(SG5)未利用顕熱回収技術の開発 製鉄所の未利用排熱活用拡大による CO2 分離回収エネルギー削減 (鉄鋼業の CO2 削減) に寄与する技術開発を行う。</p> <p><中間目標> モデル製鉄所排熱状況の整理と排熱回収技術シーズ調査完了し、CO2 分離回収可能量・コストの検討を実施し、新たにケミカルヒートポンプ技術及び、相変化物質 (PCM) による蓄熱・熱輸送技術を開発課題として選定。製鋼スラグ顕熱回収は、実機の製鋼スラグを 40kg 熔解できるプラズマ溶解炉、単一ロール方式のロール成形ラボ装置を製作し、製鋼スラグを板状、細片状に凝固する実験を実施し、スラグ顕熱回収の可能性を確認した。スラグ顕熱回収ベンチ試験装置の設計を完了し、製作中。低位熱発電システムは、カーリーナ発電システムの実施データを採取することにより、熱効率改善と低コスト化の可能性を明らかにした。</p> <p><最終目標達成の見通し> 個別課題はそれぞれの最終目標を達成できる見通しである。</p>
--	--

	<p><最終目標> 製鋼スラグ顕熱回収技術開発では充填層方式の向流熱回収ベンチ設備の実験で、熱回収率30%を達成できる見込みが得られた。低位熱発電システム開発ではモデル製鉄所の未利用排熱を、背圧蒸気タービン・脱CO2塔リボイラー・カリナサイクルによるカスケード使用および低温排熱のカリナサイクル使用システムを検討し、発電回収の未利用排熱の利用率は約30%が可能となった。更に、蒸気発電とカリナ発電システム一体化、熱交換器のコンパクト化等により、大幅なコスト削減ができた。また、モデル製鉄所排熱発生状況を整理し、CO2分離回収可能量・コストを検討した。未利用低温排熱回収技術の開発対象を選定し、有機系および無機系ヒートポンプ、PCMのラボスケール探索実験により開発可能性を評価した。</p> <p>③製鉄プロセス全体の評価 最終目標である約30%のCO2削減に向けて、各要素技術開発の進捗状況及び開発目標（マイルストーン）との整合性をとり、全体（一貫製鉄所）として目標への達成割合を定期的に把握し、各要素技術開発に結果をフィードバックすることにより、目標達成へのマネジメントを行う。</p> <p><中間目標> 約30%CO2削減に各要素技術の開発目標（マイルストーン）との整合性をとり、全体調整やマネジメントを実施。製鉄所全体についての総合エネルギーバランス評価のためのツール作成。世の中への事業の積極的な広報活動も実施。また日本鉄鋼連盟及び実施者各社ではHPによる事業内容の紹介なども実施。</p> <p><最終目標達成の見通し> 早期終了課題と加速化すべき課題を抽出し、総合的に最終目標にすべての課題が到達し、プロジェクト最終目標が実現できるように努力する。</p> <p><最終目標> 製鉄所全体についての総合的エネルギーバランス評価のためのツールを用い、直近の技術指標を反映したシミュレーションを実施し、概略のCO2削減量の確認ができた。また各開発技術及び開発技術間の課題を検討し次期step2iに向けての課題を抽出することができた。</p>		
	<table border="1"> <tr> <td>投稿論文</td> <td>「査読付き」9件、「その他」107</td> </tr> </table>	投稿論文	「査読付き」9件、「その他」107
投稿論文	「査読付き」9件、「その他」107		
	<table border="1"> <tr> <td>特許</td> <td>「出願済」39件、「登録」0件、「実施」0件（うち国際出願0件）</td> </tr> </table>	特許	「出願済」39件、「登録」0件、「実施」0件（うち国際出願0件）
特許	「出願済」39件、「登録」0件、「実施」0件（うち国際出願0件）		
	<table border="1"> <tr> <td>その他の外部発表 (プレス発表等)</td> <td>97件</td> </tr> </table>	その他の外部発表 (プレス発表等)	97件
その他の外部発表 (プレス発表等)	97件		
<p>IV. 実用化の見通しについて</p>	<p>本事業は、地球温暖化防止に向けた我が国の施策の一つとして、我が国の鉄鋼業のCO2削減のために、実機への導入を求められているものである。鉄鋼業に不可欠な「鉄鉱石の還元工程」に「脱炭素」の指向を導入するとともに、革新的なCO2分離回収技術を組み合わせたものであり、有効な手段と考えられる。</p> <p>本プロジェクトは、委託先として技術開発した製品/プロセスを使用するユーザーとなる我が国の高炉メーカー4社（新日鐵住金統合後）全社が参画しており、現状の高炉法一貫製鉄システムを熟知した上で、2030年までに技術開発すべく、高炉へのコークス供給量を削減するため、コークス製造時に副生するコークス炉ガス（COG）中のメタン・タール分を触媒により分解して水素を増量し、その増幅した水素とコークスにより鉄鉱石を還元する技術開発とCO2を約20%含む高炉ガス（BFG）からCO2を分離回収する技術開発の組合せを採用している。また、CO2を分離回収するために必要なエネルギーをこれまでは大気等に放出していた低位排熱から回収して利用する技術開発を合わせて実施することとしている。</p> <p>Phase I step1 要素技術開発において前述の成果が得られ、次期ステップに向けての課題を抽出することができた。今後の見通しは、2013年以降5年間で、現在実施の要素技術開発及びプロセス評価開発の成果を踏まえて、step2としてミニ試験高炉を核としたパイロット規模開発を行い、2018年からの10年間で実証規模の試験を行うことで、2030年から順次、実機での運用に反映させる予定である。</p> <p>実機化への見通し条件は、</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 2030年までに技術を確立する。 ② 本技術開発の成果の実用化時期は2030年（実機化1号機は2030年） ③ 本技術開発はCO2分離回収までとしており、CO2貯留については他プロジェクトの成果を活用する。 ④ 実機化に際し経済合理性を有することが必要。 <p>尚、以下の波及効果が期待される。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 高強度コークス製造技術の開発により非粘結炭の配合量の増加が可能となり低コスト化に寄与 (2) 未利用低温排熱利用技術である「カリナ発電技術」などを省エネ技術として早期適用 		

	(3) 化学吸収法プロセス技術を化学工業分野等へ早期適用(営業活動開始)	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 20 年 4 月 作成
	変更履歴	(1) 平成 23 年 3 月、高炉からのCO ₂ 排出削減技術開発に係る高強度コース目標値設定及び組織変更、用語の統一等を反映 (2) 平成 23 年 7 月、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法改正に伴う根拠条項の変更 (3) 平成 24 年 3 月、プロジェクトリーダー交代を反映 (4) 平成 24 年 4 月、プロジェクトリーダー変更

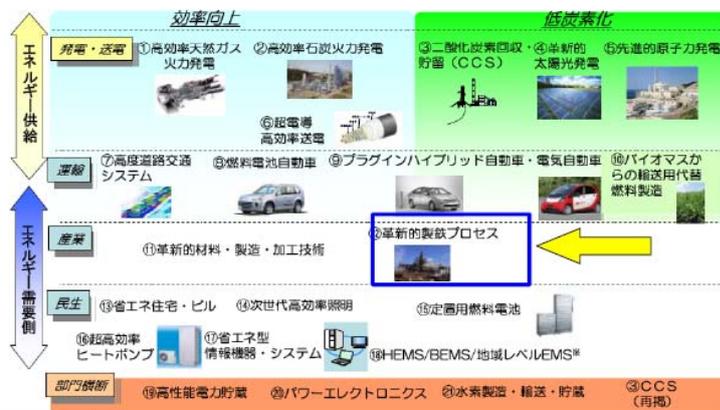
技術分野全体での位置づけ

(分科会資料6-1より抜粋)

<Cool Earth-エネルギー革新技術計画に掲げられた革新技術>

— 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。



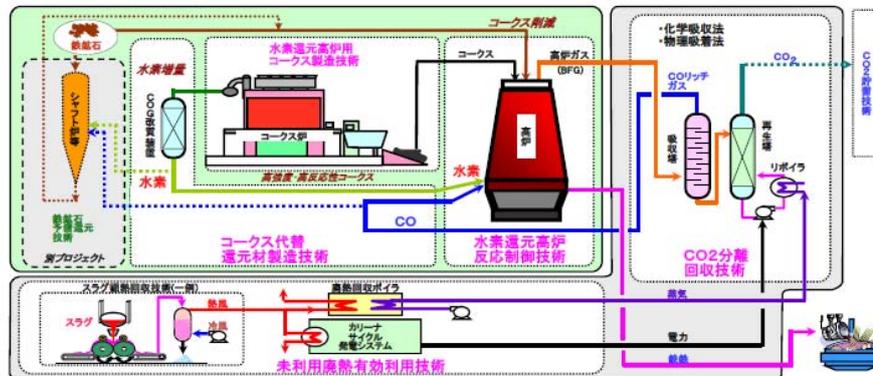
事業原簿 I-12

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

9/47

事業概要

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、二酸化炭素濃度が高い高炉ガスから二酸化炭素を分離するため、製鉄所内の未利用低温排熱を利用した新たな二酸化炭素分離・回収技術を開発し、全体で製鉄所から発生する二酸化炭素の約3割削減を目指す。

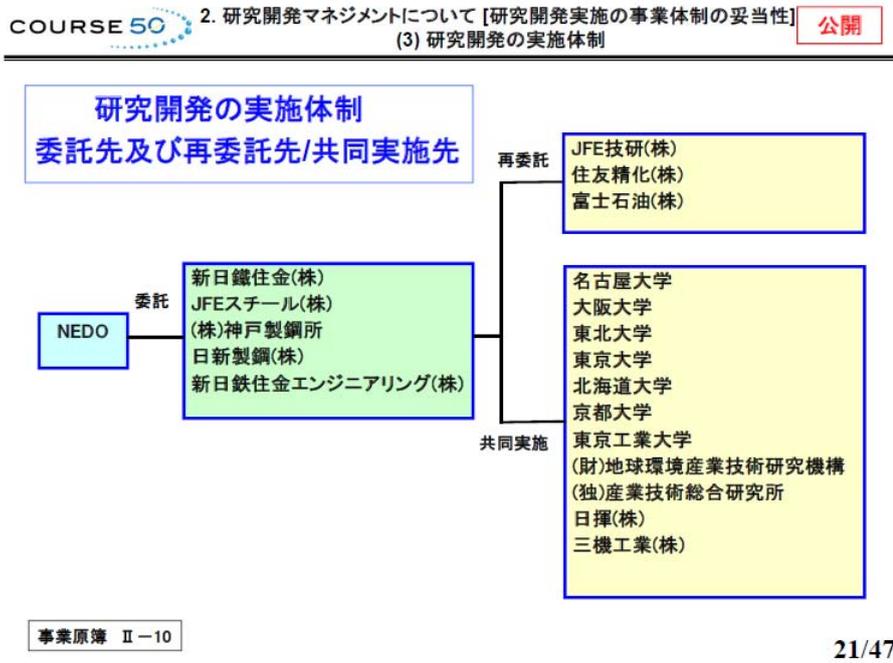
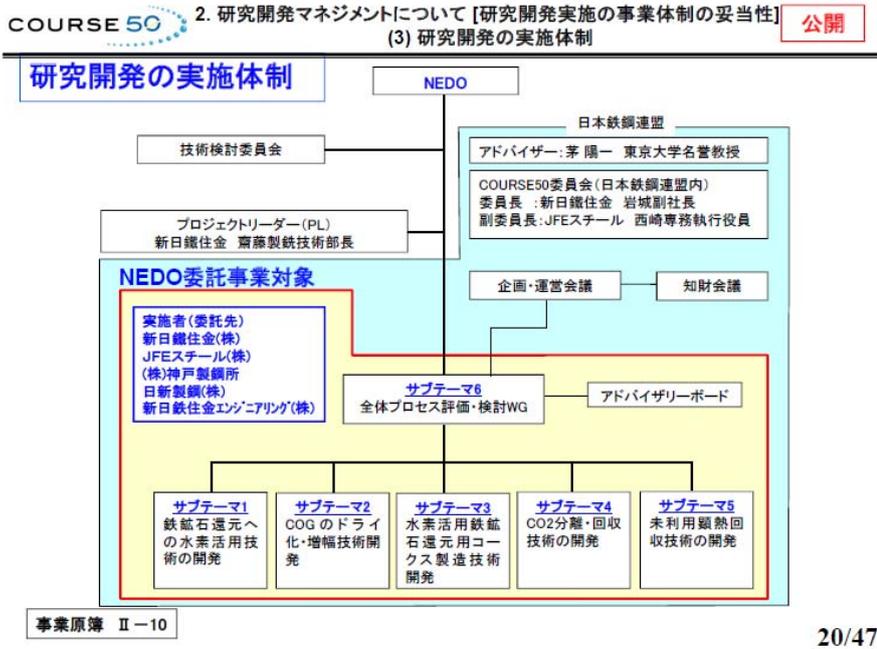


事業原簿 I-7

11/47

「環境調和型製鉄プロセス技術開発」

全体の研究開発実施体制



「環境調和型製鉄プロセス技術開発」(事後評価)

評価概要(案)

1. 総論

1) 総合評価

本プロジェクトは、温暖化の主原因となる産業部門での CO₂ 発生起源の 1 つである鉄鋼部門で、その 7 割を占める高炉操業工程において、発生する CO₂ を 3 割削減しようとする意欲的な取り組みであり、排出低減のもたらすインパクトはきわめて大きい。本技術開発は大規模であるがゆえに、民間活動のみでは達成が難しいことから、官民一体となって推進すべき重点研究開発内容であり、NEDO の関与が必要である。世界トップレベルの顕著な成果も得られており大いに評価できる。特に、多様な石炭から品質の良いコークスを作れるようにした事と、CO₂ 回収技術の所要動力を大幅に低減できた事は高く価値できる。また、実用化へ向けた具体的な課題もしっかり抽出されており、次のステップへ進む準備は整っている。

一方、本開発プロジェクトの主課題である水素還元法については、未だ確固たる実用化の目途が立っておらず、還元反応速度の促進メカニズムなどの基本原理を更に詳細に明確にし、その利点を如何に活かすかという操業方法の確立や実用化に向けた構造検討と実証を今後さらに行って頂きたい。

2) 今後に対する提言

高純度鋼生産のために高炉工程は必ず今後も主たる製鉄法として存続すると考えられ、高炉操業での CO₂ 排出量を画期的に削減する本法を高炉操業の世界標準とするように、主導権を持って本開発技術を世界中に流布して頂きたい。そのためにも、将来の本技術の海外展開の下地を作るべく、学会発表、学術論文など世界に向けた発表を積極的に進められたい。

本技術開発は長期スパンとなるため、本技術の実用化、定着には、世代を繋ぐ若い世代の技術者の開発への適切な配置、開発成果を定量的に体系化し論理、知識を継承していく仕組みづくりとマネジメントが非常に重要となる。さらに 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修正して、世界の事情の変化に柔軟に対応できる体制が必要である。

技術全体の組合せとしての実用化よりも、部分的に導入できるものからでも段階的に活用していく方法も有効ではないか。例えば、CO₂ 回収や熱回収技術については、他産業への適用も可能であるので、成果の広報と他産業への情報

提供に努めて頂きたい。このような個別技術の実用化により、本技術開発の総コストダウンが促進され、本プロセスの実用化に大いにプラスとなると考えられる。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

2030年までに鉄鋼生産工程からCO₂の排出量を30%削減する事業は、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り、CO₂削減という側面だけでなく、鉄鋼業を国際競争力のある革新的な技術へと展開できる可能性を有しており、NEDO事業として実施すべき優先的な開発内容と判断できる。本技術開発の成果は我が国鉄鋼業からの大気温暖化ガス排出量削減だけに寄与するだけではなく、世界の鉄鋼業に対する技術輸出も十分に考えられ、地球規模の大気温暖化ガス排出量削減にも寄与することが期待出来る。

一方長期スパンでの開発となるため、北米でのシェールガス開発の事業化等の情勢変化を考慮に入れた対応策を十分に討議し、世界で行われている2030年における鉄鋼生産方式の様々な論議や実践を、今後十分に考慮するべきである。

2) 研究開発マネジメントについて

目標策定に当たっては、諸外国の動向を把握した上で、数値設定が具体的に意欲的にされており、妥当である。事業体制は産学官連携が全日本連携体制となっており、極めて妥当である。また外部有識者のアドバイスを受けるため、NEDO主催の技術検討委員会、実施者主催のアドバイザリーボードが設置されており、マネジメントを円滑に進める体制が整えられている。中間評価での指摘点を具体化し、全ての指摘項目を解決して開発を効果的に推進しているマネジメントも大いに評価できる。

しかし、アドバイザリーボードを追加新設したにも拘わらず、水素還元機構がCO還元機構と如何に違っており、その特徴を生かすためにはどうすべきか、というような基礎について相互に意見交換が十分なされたとは見受けられない。アドバイザリーボードはこれまで3年間で3回開催されたと報告されているが、さらに活用することが必要である。

3) 研究開発成果について

成果の達成は評価時点でおおむね目標を達成しており、全体として達成が見込まれる。低位熱発電システムの低コスト化、CO₂吸収法の新開発などに期待以上の世界最高水準の成果が得られているので、この成果を早速他分野に適用

し市場の創造に繋げて欲しい。また、HPCのコークス製造への利用はコークス原料の多様化をもたらすことができ、資源的制約をかなり緩和するとともに、価格決定力に対しても大きな影響を及ぼすことが期待できる。個々の開発に関して知財戦略も行われており、次のステップへ進むに十二分の状況にあると判断できる。

一方、2030年における実用化を考えに置くと、本開発研究はまだ緒に就いたばかりであり、今期間で十分に明らかにできなかった、高炉内への吹き込み水素の侵入深さの確保などの事項を再考し、次期の計画の再構築を今から取り組んで頂きたい。また、高炉の排ガスからのCO₂分離回収技術費用には、貯留コストも入れて計算すべきである。

4) 実用化の見通しについて

高炉法に基づく新製鉄プロセスの実用化へのロードマップはしっかりできている。これに対して、基盤研究フェーズは設定以上の成果が得られており、次のフェーズで実用化を目指して開発を実施するに十分なところへ到達している点で実用化の見通しは十分にあると判断できる。特に低位熱発電システムの低コスト化、CO₂吸収法実用化の他分野への適用が見通せる段階に入ったように見られる。

一方、鉄鋼高炉への部分的な水素吹き込み還元法については、理論的な基礎裏付けは確認できたものの、高炉への水素ガス吹き込み技術など、実用化イメージができていない。COG改質触媒法は開発に成功したと謳っているが、安定した長期運用を考えた場合、客観的に見て目標水素増幅率は2倍以上の活性を発揮することはできていない。

各要素技術に対して、部分的な導入や鉄鋼産業以外での利用も有望なものもあり、是非それぞれの技術を最大限利用するという視点で普及拡大も検討して欲しい。

個別テーマに関する評価

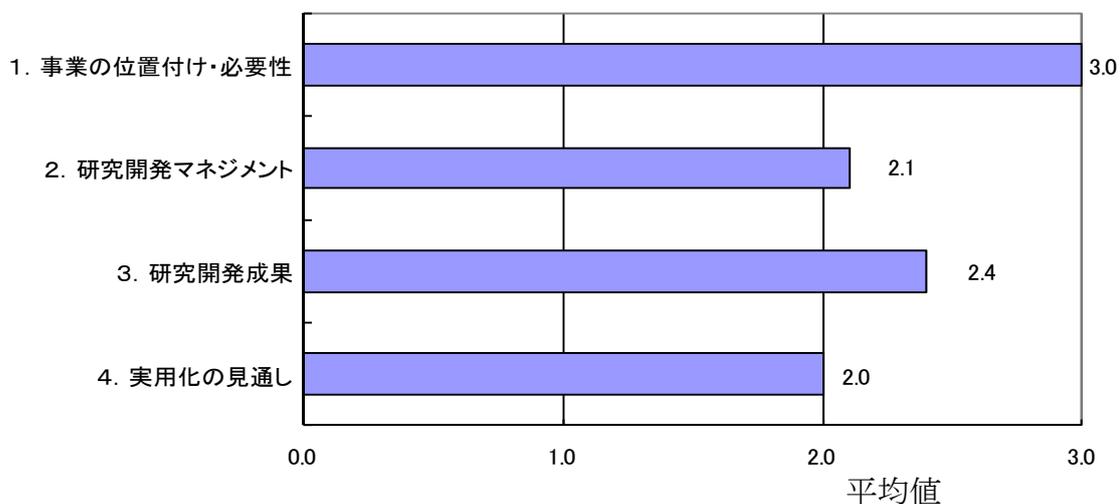
	成果に関する評価	実用化の見通しに関する評価
鉄鉱石還元への水素活用技術開発	<p>水素の導入の効果を検証するための実験成果については、大変有意義な知見が得られ、次のステップへ展開するための検討課題がかなり明確になり、実用化への道のりの中で本ステップにおけるマイルストーンに到達できたと考えられる。</p> <p>しかし、水素吹き込みにより高炉内で起こると予想される現象の理論的把握が実験室規模で十分行われたとは言い難い。例えば、LKAB 試験高炉での実証実験で、焼結鉱の顕著な粉化は認められなかったと報告しているが、粉化に関する基礎実験との差異が何故生じたのかという考察が不十分である。シャフト部で吹き込まれた水素ガスは、炉壁に沿って上昇しており、炉内反応に十分寄与しているとは言い難い状況である。</p> <p>本開発では従来の高炉構造を踏襲して水素還元法を適用しようと考えているようであるが、Step1の結果からは実現の可能性が低いことが予想される。Step2ではミニ試験高炉の設計・建設を行うことになっているが、その前に水素ガスの吹き込み構造の見直しが必要である。</p>	<p>Step1の結果から、水素ガス還元法の基礎的なメカニズムは解明できたものの、LKAB 試験の結果から実用化に向けた水素ガス吹き込み構造についての再検討が必要であることが分かった。この点が解決されない限り実用化は困難である。吹き込み位置や吹き込み条件の最適化を、より詳細に検討した方が良い。現状では未だ実用化への見通しはつかないが、Step2で建設するという試験高炉での成果が期待される。</p>

<p>COG のドライ化・増幅技術開発</p>	<p>稼働中のコークス炉ラインに実験設備を設置し、実COGに対しても触媒改質活性を継続できることを実現した成果は高く評価できる。</p> <p>しかし、水素増幅率が、反応開始以降3時間程度2倍以上の活性を発揮することを確認したと報告しているが、長期操業を想定して実験データを客観的にみた場合、増幅率は1.3と解釈すべきではないか。触媒寿命として問題になるのは、今回実施した短い期間よりも、はるかに長い時間だと考えられる。この長期寿命をどう評価するか、さらには延伸するかを検討すべきと考える。</p>	<p>まだ初期的な段階であるが、固体の機械的振るい落とすなどの現実的解決が示されており、実用化の見通しはある程度あるものと考えられる。COGというタール、ダストを多く含むガスの改質を行うことを目標としており、その波及効果として同様にタールなどを含む廃棄物・バイオマスなどをガス化したときの生成ガスの改質へ適用できることが期待できる。</p> <p>一方、大型触媒反応器のスケールアップを考慮すれば、現状の機械的加振による装置では限界がある。新規な反応器設計・開発を含めて長期的試験、振るい落としした固体の排出、COGの発生パターンに合わせたオペレーション（生成ガスの高炉への安定供給のための一時保管なども含めて）の課題を着実に解決されたい。</p>
<p>水素活用鉄鉱石還元用コークス製造技術開発</p>	<p>HPCを配合することで非粘結炭多配合炭を使用しても、高炉で十分使用できる高強度コークスを製造できることを実証したこと、また、そのコークス製造時の最適配合設計指針を定量的に提示したことは高く評価できる。基礎的反應メカニズムからコークス強度発現の機構を明らかにしたことは、多様な原料を用いた場合の性能予測をする方法につながると考えられ、大きな成果である。</p>	<p>目標とするDIを実証したことにより、高強度コークスの製造について実用化の見通しが得られた。</p> <p>HPC収率が50%で、実用化にはコスト面から考えて残り50%の残渣炭の有効利用ができるか否かにかかっている。残渣の有効利用についても十分な検討をされたい。また、HPC製造にかかわるCO₂排出量が新たに増加してしまうデメリットを何かで補償する提案をして欲しい。</p>

	<p>一方、現状の指標である DI（ドラム強度）が水素還元時においても成立するかどうかは不明確である。試験高炉における温度・ガス組成を参考に、種々の条件下におけるコークス劣化機構を詳細に解明し、従来のコークスに求められる品質(強度、反応性)と、水素吹き込み時に求められる品質の差異について、より詳細な解析が必要である。また、HPC の一層のコスト低減を検討する必要がある。</p>	
CO ₂ 分離・回収技術開発	<p>耐久性が非常に高く、再生温度を大幅に低減できる IPAE（イソプロピルアミノエタノール）をベースとした新化学吸収液の開発に成功たことで実用化に向けて大きな期待が持てる。並行して開発を行った、物理吸着分離技術も可燃ガス回収率の目標を達成できたことは大いに評価できる。本技術は発電や化学産業にもそのまま適用でき CO₂ 削減に対する技術としても波及効果は甚大であると判断できる。</p> <p>実機設置占める面積を考慮すると、Step1 で得られた成果達成に満足せず、Step2 では吸収効率が更に遥かに高い吸収液の開発を目指して欲しい。</p>	<p>化学吸収においては長期運転において劣化が微量であることが確認できている。また、物理吸着においては、装置サイズなどの実用化イメージがかなり明確となった。2 種類の CO₂ 除去技術とも 2～3 年程度の期間で単独技術として実用化できるレベルに達しており、実用化見通しは明るい。</p> <p>一方、CO₂ の分離回収から製鉄所内貯留に至るトータルコストを精査し、必要ならさらなる低減を図る必要がある。既設の製鉄所敷地内に占めるその実機設備面積はまだまだ広大過ぎ、実際に新たに加設する敷地を確保できる余裕があるのか危惧される。</p>
未利用顕熱回収技術の開発	<p>熱のレベルに応じた回収技術を非常に詳細に検討している。困難であった熔融スラグの熱回収をかなり具体的な形で可能ならしめたことの意義は大</p>	<p>蒸気発電とカーリーナ発電システム一本化、熱交換器のコンパクト化等により、大幅なコスト削減ができたことで、実機化の見通しを立てることができた</p>

	<p>きい。また、カーリーサイクルによる発電についてもプロセス設計の具体例が示され、達成までの今後の課題解決方針が明確になったと考えられる。</p> <p>スラグが熔融状態から冷却されて固体状態に変態される過程で放出される顕熱量の方が、凝固スラグ板から放出される顕熱量の方より遥かに大きいので、この熱量を利用する技術も引き続き開発を目指して頂きたい。</p>	<p>のは見事な成果である。各要素技術は一定レベルに達しており、個別技術としては実用化への見通しはある。</p> <p>一方、未利用排熱の大きな部分を占めるスラグ排熱の利用については、実用化レベルとは言えず、より画期的な技術開発が求められる。</p> <p>実用化にはパイロットプラントなどを建設し、性能およびコストの確認が必要である。</p>
--	---	--

評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	A	A	A	A	A
1. 事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.1	A	B	B	B	B	B	B	B
3. 研究開発成果について	2.4	A	B	B	A	B	A	B	B
4. 実用化の見通しについて	2.0	B	A	C	C	B	A	B	B

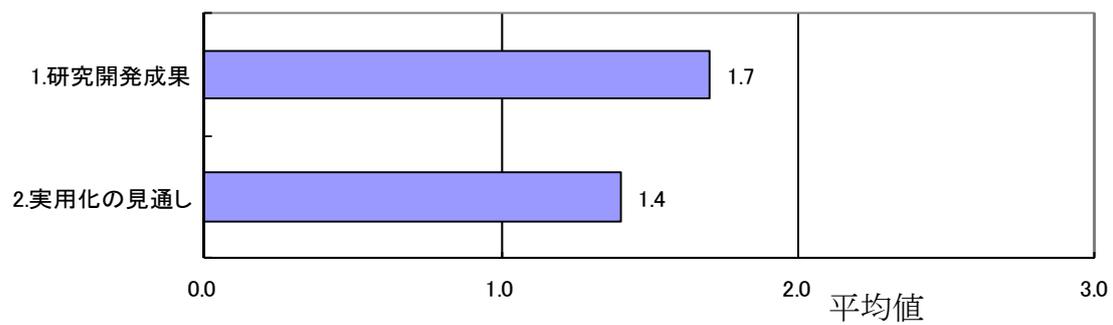
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

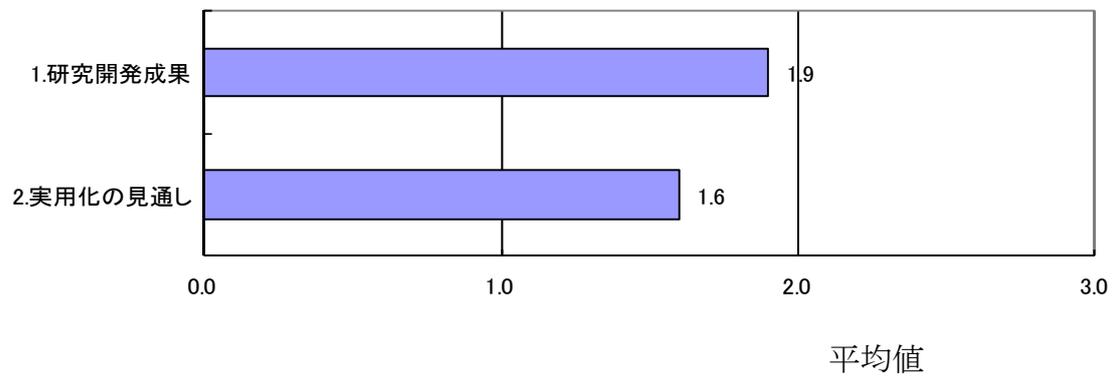
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

評点結果〔個別テーマ〕

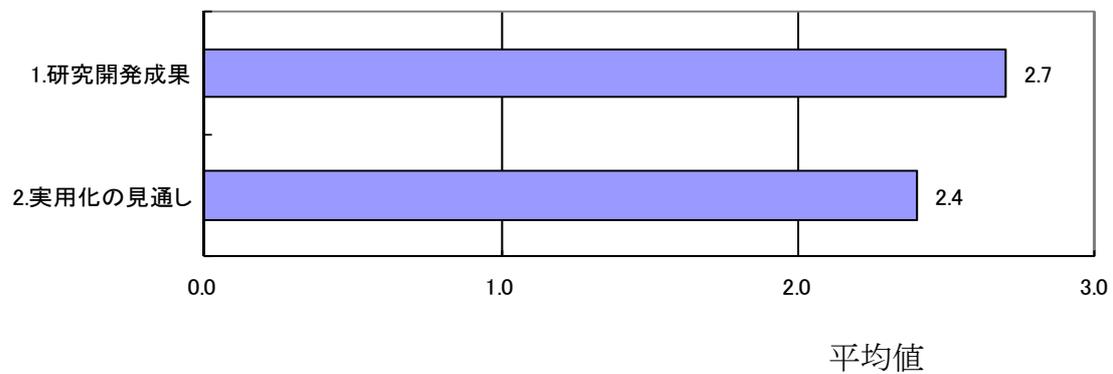
鉄鉱石還元への水素活用技術開発



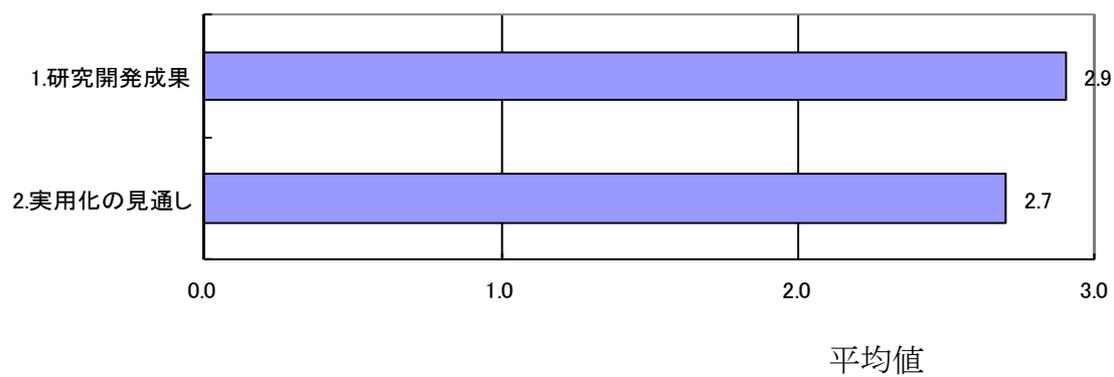
COGのドライ化・増幅技術開発



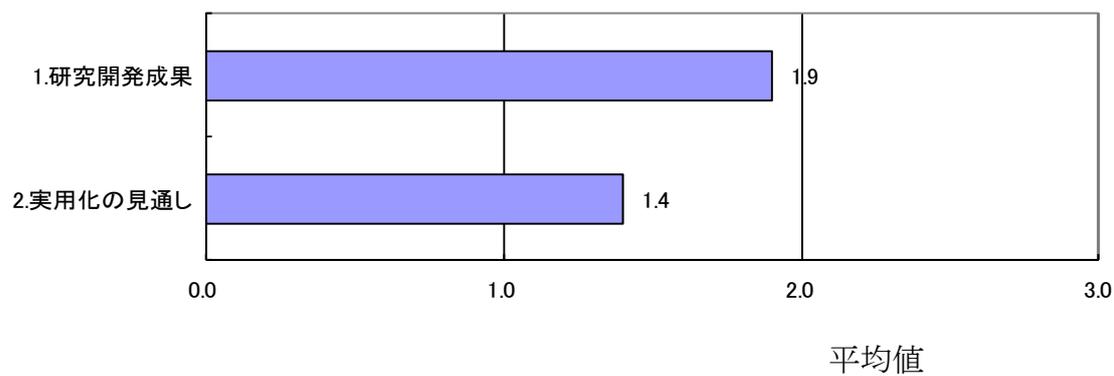
水素活用鉄鉱石還元用コークス製造技術開発



CO₂分離・回収技術開発



未利用顕熱回収技術の開発



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)							
鉄鉱石還元への水素活用技術開発									
1. 研究開発成果について	1.7	C	B	D	B	B	A	B	
2. 実用化の見通しについて	1.4	C	B	D	C	B	B	B	
COG のドライ化・増幅技術開発									
1. 研究開発成果について	1.9	B	A	B	C	B	B	C	
2. 実用化の見通しについて	1.6	B	B	B	C	C	B	C	
水素活用鉄鉱石還元用コークス製造技術開発									
1. 研究開発成果について	2.7	B	A	B	A	A	A	A	
2. 実用化の見通しについて	2.4	B	A	C	B	A	A	A	
CO ₂ 分離・回収技術開発									
1. 研究開発成果について	2.9	A	A	A	B	A	A	A	
2. 実用化の見通しについて	2.7	A	A	B	A	B	A	A	
未利用顕熱回収技術の開発									
1. 研究開発成果について	1.9	B	B	C	B	A	B	C	
2. 実用化の見通しについて	1.4	B	B	D	C	B	B	C	

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について	2. 実用化の見通しについて
・非常によい	→A ・明確
・よい	→B ・妥当
・概ね適切	→C ・概ね妥当であるが、課題あり
・適切とはいえない	→D ・見通しが不明