

# 「環境調和型製鉄プロセス技術開発」

## 中間評価報告書（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） .....	1 3
評点結果 .....	2 3

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」(中間評価)

分科会委員名簿

(平成 22 年 8 月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	ひの みつたか 日野 光元	北海道職業能力開発大学校 校長
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	あべ たかゆき 阿部 高之	社団法人 日本プラント協会 技術室 室付部長
	かめやま ひでお 亀山 秀雄	東京農工大学 大学院 技術経営研究科 技術リスクマネジメント専攻 教授
	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
	はやし しょうじ 林 昭二	名古屋工業大学 大学院 (ながれ領域) 工学研究科物質工学専攻 教授
	まえ かずひろ 前 一廣 *	京都大学 地球環境学堂 地球親和技術学廊 教授

敬称略、五十音順

注\*：実施者の一部と同一組織であるが、所属機関が異なるため所属部署が異なるため（実施者：京都大学大学院工学研究科およびエネルギー科学研究科）「NEDO 技術委員・技術評価委員規程(平成 22 年 7 月 1 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

最終更新日

平成 22 年 7 月 28 日

<p>プログラム（又は 施策）名</p>	<p>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</p>		
<p>プロジェクト名</p>	<p>環境調和型製鉄プロセス技術開発</p>	<p>プロジェクト番号</p>	<p>P08021</p>
<p>担当推進部/担当者</p>	<p>環境部 担当者氏名 深山和勇、河田和久（平成 22 年 7 月現在）</p>		
<p>0. 事業の概要</p>	<p>C02 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。          石炭コークスにより鉄鉱石を還元して銑鉄を製造し、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>		
<p>I. 事業の位置付け・必要性について</p>	<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。          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。          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。          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。          （参考）          我が国における 2006 年度の粗鋼生産量は、約 1 億 2 千万トンであり、これに伴い CO2 を約 1 億 9 千万トン排出している。これは我が国産産業・エネルギー転換部門の約 44%、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>		
<p>II. 研究開発マネジメントについて</p>			
<p>事業の目標</p>	<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。           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。           ・ 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</p>		

するための還元反応制御技術を開発する。

<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、高炉内鉄石還元挙動を明らかにするとともに、焼結鉄還元粉化検討、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、CO<sub>2</sub>削減について定量的な評価を行う。

<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 H<sub>2</sub> 還元過程で生成する鉄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 m<sup>3</sup>N/t-pig (COG 100 m<sup>3</sup>N/t-pig) の高炉への利用条件を明確化する。

・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 200m<sup>3</sup>N/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

・想定される改質 COG 下におけるコークス熱間物性を評価する。

②高炉ガス (BFG) からの CO<sub>2</sub> 分離回収技術開発

高炉ガスからの CO<sub>2</sub> 分離回収コスト 2,000 円/t-CO<sub>2</sub> を可能とする技術の見通しを得るため、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、CO<sub>2</sub> 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。

・テーマ 4 : (SG4) CO<sub>2</sub> 分離・回収技術の開発

高炉ガス (BFG) からの CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 分離回収エネルギーが 2.0GJ/t-CO<sub>2</sub> 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+H<sub>2</sub>) の回収率 ≥ 90% を満足する CO<sub>2</sub> 回収率 ≥ 80% または回収 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 分離回収エネルギー削減 (鉄鋼業の CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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熱有効利用率30%を可能とする技術を明確化する。

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。  
 <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。  
 <最終目標>  
 全体最適化を推進し、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削減を可能とする技術の確立に資する。

尚、CO2削減量は①高炉からのCO2排出削減技術開発で10%、②高炉ガス（BFG）からのCO2分離回収技術開発で20%削減を目標としている。  
 また、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。

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					
SG2 COGのドライ化・増幅技術開発						
SG3 水素活用鉄鉱石還元用コークス製造技術開発						
SG4 CO2分離・回収技術の開発						
SG5 未利用顕熱回収技術の開発						
SG6 全体プロセス評価・検討						

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			
一般会計		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			5,902
加速予算 (成果普及費を含む)		0	0	0	0	0			0
契約種類： ○をつける (委託○) 助成( ) 共同研究(負担率( ))	総予算額	532	1,000	1,115	1,394	1,862			5,902
	(委託)	532	1,000	1,115	1,394	1,862			
	(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	三輪 隆（新日本製鐵株式会社 執行役員／製鉄技術部長）
	委託先	<p>【委託先】 新日本製鐵（株）、JFE スチール（株）、住友金属工業（株）、 （株）神戸製鋼所、日新製鋼（株）、新日鉄エンジニアリング（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 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、今後 2 回/年開催予定） 委員（敬称略） 三浦 隆利 東北大学大学院工学研究科 教授（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 九州大学大学院工学研究院 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 ので、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、可能な限り前倒して推進する。 ・ 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 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>
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 中間評価実施（予定）
	事後評価	平成 25 年度 事後評価実施（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中間評価時まで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"> <li>・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"> <li>&lt;中間目標&gt; 炉内ガス中 H<sub>2</sub> 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。</li> <li>&lt;最終目標達成の見通し&gt; 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いれて今後取り組む予定。</li> </ul> </li> <li>・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。  <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;中間目標&gt; 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。</li> <li>&lt;最終目標達成の見通し&gt; 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ストが可能で、最終目標は到達できる予定。</li> </ul> </li> <li>・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。  <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;中間目標&gt; 「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。</li> <li>&lt;最終目標達成の見通し&gt; 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。</li> </ul> </li> </ul> <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 CO<sub>2</sub> 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、CO<sub>2</sub> 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> <ul style="list-style-type: none"> <li>・テーマ 4：(SG4) CO<sub>2</sub> 分離・回収技術の開発 高炉ガス（BFG）からの CO<sub>2</sub> 分離回収として化学吸収法や物理吸着法の開発を行う。  <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;中間目標&gt; 30t-CO<sub>2</sub> 回収/d 化学吸収液評価プラント（CAT30）による評価結果と 1t-CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 分離</li> </ul> </li> </ul>	

	<p>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。      &lt;最終目標達成の見通し&gt;      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>・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。      &lt;中間目標&gt;      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溶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用することにより、熱効率改善と低コスト化の可能性を明らかにした。      &lt;最終目標達成の見通し&gt;      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>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。      &lt;中間目標&gt;      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。      &lt;最終目標達成の見通し&gt;      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> <table border="1" data-bbox="395 1153 1479 1296"> <tr> <td>投稿論文</td> <td>「査読付き」1件、「その他」16件</td> </tr> <tr> <td>特許</td> <td>「出願済」8件、「登録」0件、「実施」0件（うち国際出願0件）</td> </tr> <tr> <td>その他の外部発表 （プレス発表等）</td> <td>10件</td> </tr> </table>	投稿論文	「査読付き」1件、「その他」16件	特許	「出願済」8件、「登録」0件、「実施」0件（うち国際出願0件）	その他の外部発表 （プレス発表等）	10件
投稿論文	「査読付き」1件、「その他」16件						
特許	「出願済」8件、「登録」0件、「実施」0件（うち国際出願0件）						
その他の外部発表 （プレス発表等）	10件						
IV. 実用化の見通しについて	<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。</p> <p>開発の状況</p> <p>① 鉄鉱石水素還元技術については、実験室規模の設備を用い、水素の還元材としての効果を確認したところである。</p> <p>② 高炉ガスからのCO2分離・回収については、複数のCO2分離技術を視野に入れているが、化学吸収法は吸収液の特性改善をラボレベルで行い、平成22年度から運用を開始した30t-CO2回収/d化学吸収液プロセス評価プラントでの耐久試験を含む評価試験を開始したところ。物理吸着法はラボレベルの試験では目標達成の見込みを得ており、現在建設中の3t-CO2回収/dベンチスケール装置での試験での検証を予定している。</p> <p>今後の見通しは、2012年までに上記要素技術開発を完了し、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、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> <p>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>						

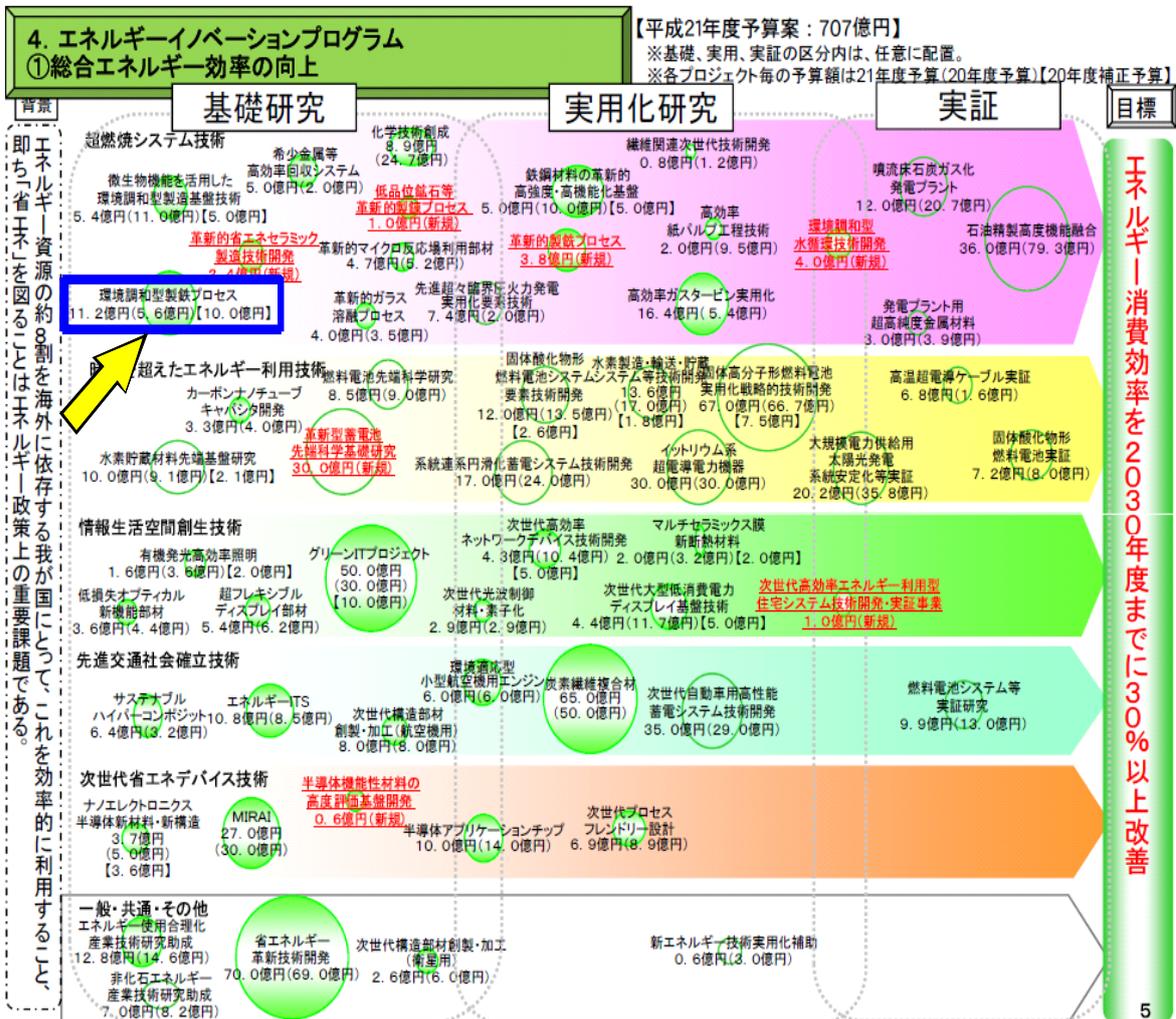
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 20 年 4 月 作成
	変更履歴	なし

技術分野全体での位置づけ

(分科会資料 5-1 より抜粋)

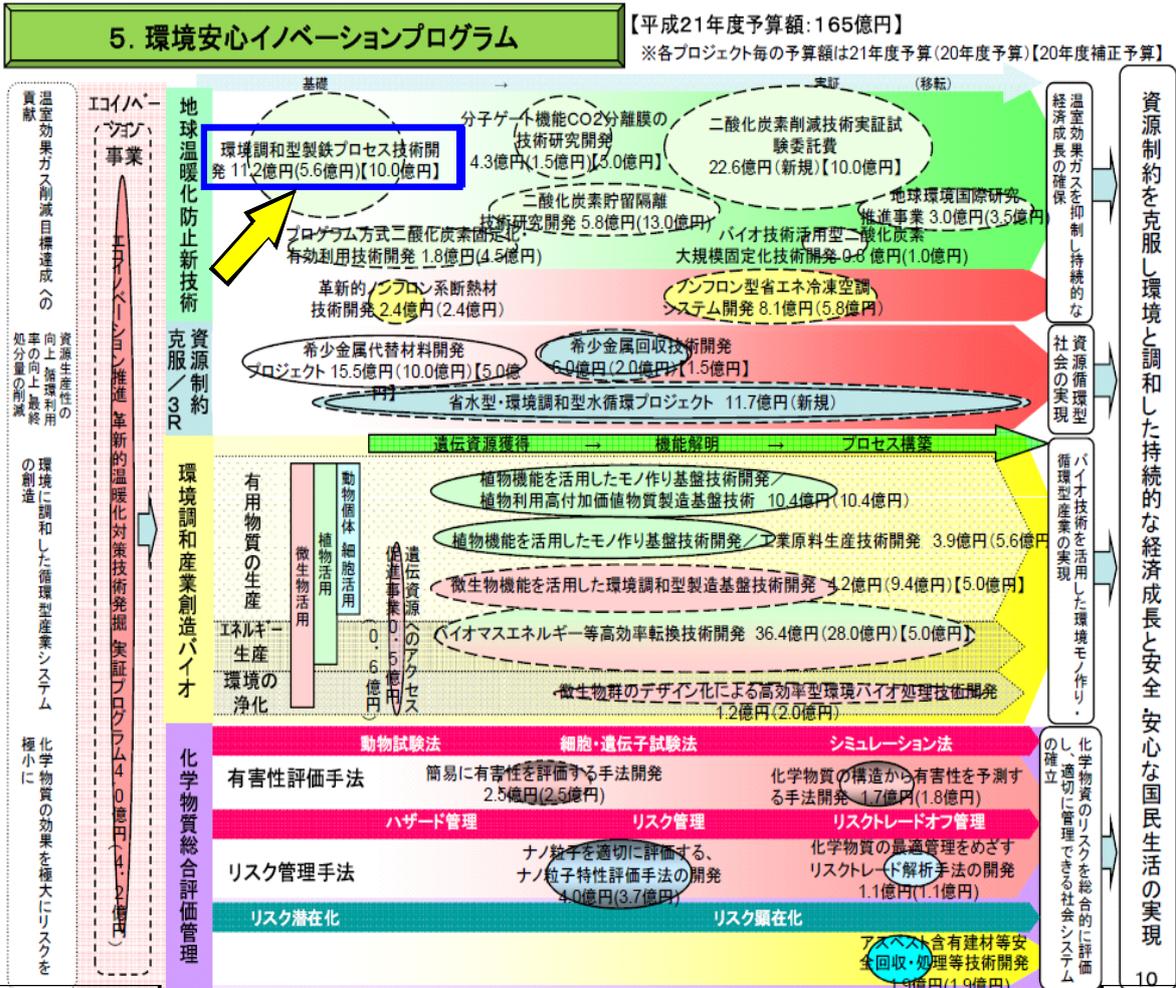
1. 事業の位置付け・必要性について  
(1) NEDOの事業としての妥当性(政策上の位置付け)

公開



1. 事業の位置付け・必要性について  
(1) NEDOの事業としての妥当性(政策上の位置付け)

公開



「環境調和型製鉄プロセス技術開発」

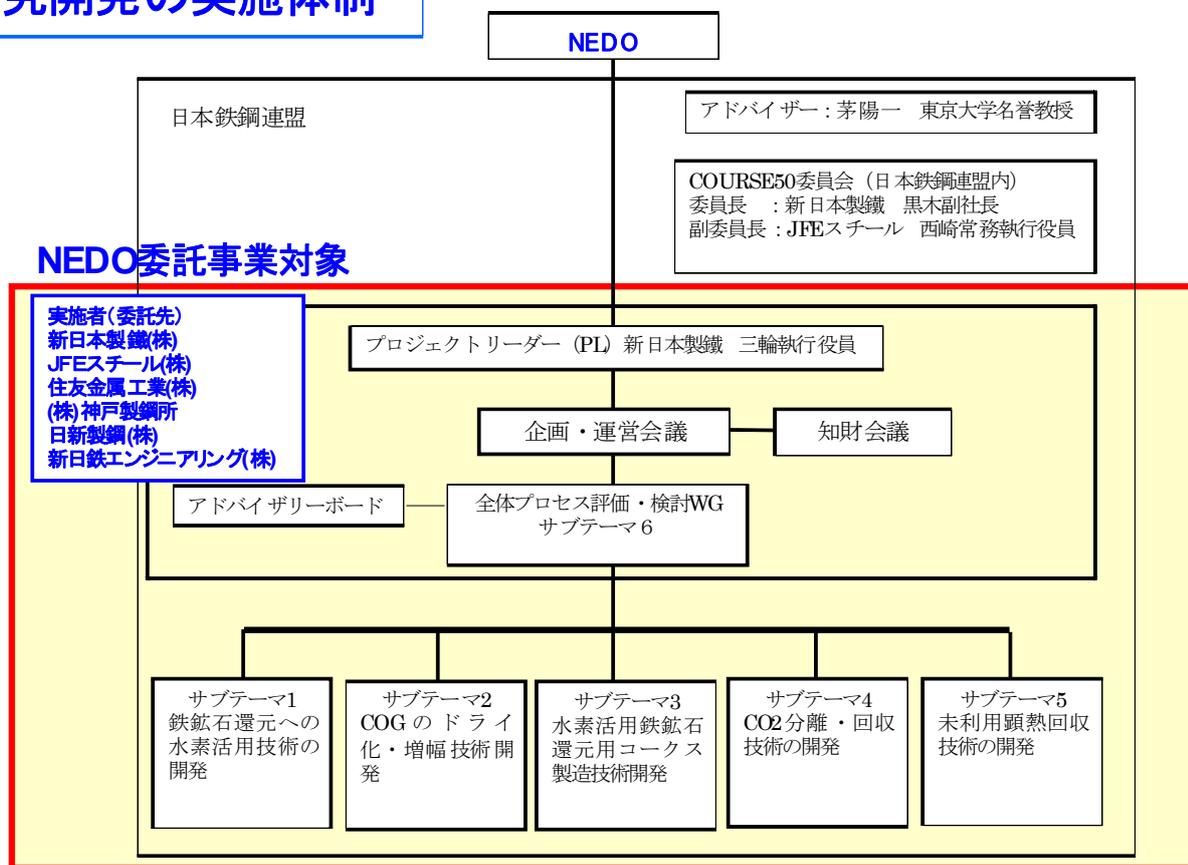
全体の研究開発実施体制

COURSE 50

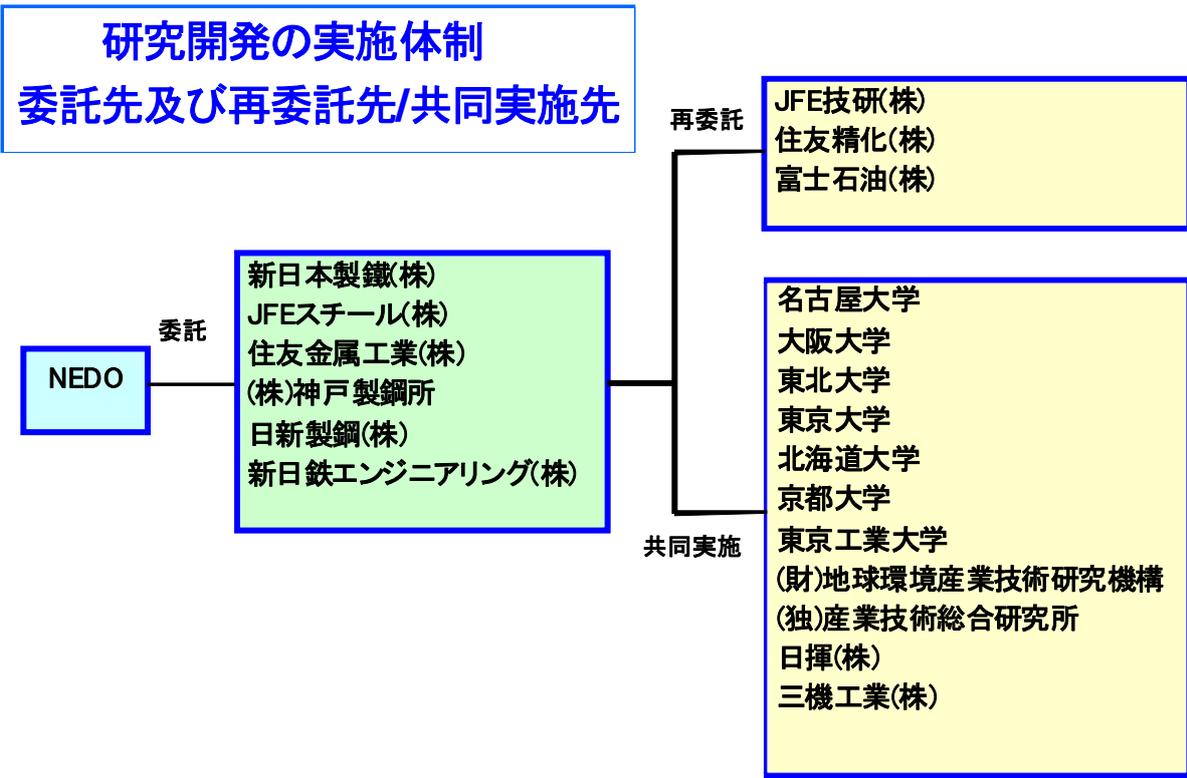
2. 研究開発マネジメントについて  
(3)研究開発実施の事業体制の妥当性

公開

研究開発の実施体制



委託先及び再委託先／共同実施先



# 「環境調和型製鉄プロセス技術開発」(中間評価)

## 評価概要(案)

### 1. 総論

#### 1) 総合評価

本プロジェクトは、日本における温室ガス発生の主源の1つである製鉄業から排出されるCO<sub>2</sub>を削減するという大きな目標に対し、全高炉メーカーが一丸となり、オールジャパン体制を敷いて連携し、様々な技術を駆使し実現しようというものである。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いることから、実現すれば技術立国として、世界的に極めて高い評価をもたらすものである。2030年までに30%CO<sub>2</sub>削減可能な技術の確立を目指す目標は妥当であり、設定された中間目標に対しては、満足のいく成果が得られている。

一方、開発項目が総花的になっており、関連する技術の全てを開発対象としているが、新規開発項目、既存技術の適用研究、などに区分して、研究項目ごとに優先度を決めて研究規模を見直し、予算の重点配分を行うべきと考える。実用化を考えた場合に国プロの基盤技術開発として注力すべき項目と民主体で実用化を推進する項目を年次計画に沿って明確にしていく必要がある。20年にわたる長期スパンの実用化開発計画であるが、各技術の難易度を明確にし、技術ごとに基盤終了時期を明示することが望まれる。また、実機の明確なイメージを確立する必要がある。スケールアップ、設備コンパクト化から見た開発課題を洗い出し、プロジェクトを進めることが望ましい。

#### 2) 今後に対する提言

各国で計画されている同様のプロジェクト(ULCOSプロジェクト等)と比較し、本プロジェクトは、効率性、経済性で優位にあり、国際競争力があることを明確に示す必要がある。プロジェクトは多岐にわたるので、研究項目の整理と、トータルプロセスとしての評価システム(シミュレータ)を導入して、開発をマネジメントする必要がある。

また既存技術があるものについては、本プロセスへの適用研究を行うことが必要となるが、既存技術を有する企業や専門家も本プロジェクトへ参加させるべきであると考えられる。20年という長期スパンを考えると技術や知識の伝承と継承人材の確保のため、研究者、技術者の新陳代謝のマネジメントスキームも提示することが望まれる。

## 2. 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

我が国全体の CO<sub>2</sub> 排出量の約 15%を占める鉄鋼業界において、製鉄所内の石炭エネルギーのみで約 30%の CO<sub>2</sub> 削減する技術開発を目的とした本プロジェクトは、公共性が高いと判断される。また、高いハードルである技術的課題を総合的に解決し実施するために製鉄業界全体で取り組むことが肝要であり、基礎研究面での大学や公的研究機関との連携が不可欠である。特に CO<sub>2</sub> の分離回収は公共性が高く、また、高炉法製鉄プロセスへの水素の導入は極めて大きな技術的変更であり、民間だけでは改善できないものである。また、CO<sub>2</sub> 削減という側面だけでなく、革新的な技術により国際競争力ある鉄鋼業へ展開できる可能性を有する。以上のことから、NEDO の関与する事業としては妥当と判断できる。

一方、鉄鉱石の還元材としての炭材を一部水素に置換して、発生する CO<sub>2</sub> を削減するという考え方は妥当と考えられるが、他に国内も含めて、世界中で提案されている新製鉄法と比較して、熱的・経済的に十分対抗性のあるプロジェクトであることを定量的に示すべきである。また、実用機導入まで 20 年という長期にわたる開発プロジェクトであるため、国が効果的に関与する程度と時期を、戦略的に整理し提示していく必要がある。すなわち、少なくとも現フェーズのプロジェクトの終了時には、全体プロセスの中で、民のみで実施するもの、続いて国が関与すべきものを明確に分けていく必要があると考えられる。

### 2) 研究開発マネジメントについて

複雑で困難な多くの課題を解決するために、産学官連携の組織で構成するオールジャパンの開発体制は、ナショナルプロジェクトの実施体制として極めて望ましい。プロジェクト全体の企画・運営会議および知財会議、各サブテーマ間の調整を行う全体プロセス評価・検討会議 WG およびアドバイザーボードが設置されており、各研究項目を担当する鉄鋼各社が緊密な協働活動体制を敷いて実行している点は評価できる。中でもサブテーマとして「製鉄プロセスの全体の評価」を設け、全体調整やマネジメントを主に担当させている点は、高く評価できる。

一方、実用化イメージから逆算して目的達成のための開発すべき項目に対してマイルストーンを定量的に数値設定し、厳密に管理していくことが望まれる。また、基礎基盤開発で実施すべきもの、基盤技術の範囲外のもの、現実的なプロセス規模から見合わない技術など、的確に選別して、今後、国プロの範囲で

実施すべきものを選択集中させる必要がある。また、既存技術の改善改良および代替技術の新規開発は、その分野の企業および専門家の関与を求めるべきである。研究開発プロセスで見出される各事象についても理論的解析が不十分で、次ステップに展開していくべき開発課題の取り上げ方法が必ずしも十分ではない。アドバイザーボードの優秀な外部有識者からもっと定量的解析手法を教示してもらい、その思想を研究開発に反映すべきである。技術的な目標はある程度設定されているが、経済的な目標が示されていない。技術の国内外への普及を考えると市場ニーズに応じた経済的な評価項目と目標が必要である。今後、普及を考えた場合の製品性能とコスト評価を明確にすべきである。その値と技術開発目標が一致するようにする必要がある。

### 3) 研究開発成果について

個別に設定された中間目標に対して、良好な開発成果が得られている。特に、溶融スラグからの熱回収は、現在、実施例がなく新たな技術領域を開拓することが期待できる。また水素還元を導入した高炉技術では、中間目標に対し、想定以上の開発成果が得られている。適宜、知的財産を取得しており、論文発表も適切に実施されている。また、マスコミ向けの発表も意識していることは大変良い。

但し、中間目標の設定が、いずれもフィージビリティの検討や要素技術の開発に限られているので、最終目標までの技術的課題の難易度がかなり高く、実用化への道のりは険しいテーマが多い。実機の装置サイズ、占有面積などから、実用化へ向けての課題を抽出し、スケールアップに関する新たな目標項目と数値の設定を加えていく必要がある。例えば、CO<sub>2</sub> 吸収液では、製鉄所敷地内に設置される CO<sub>2</sub> 吸収塔、分離塔の建屋面積を考慮すると、更に 10 倍くらい吸収効率のよい吸収液の開発が必要と考えられる。

### 4) 実用化の見通しについて

オーバーオールでは実用化イメージはできている。また、現時点でも一部は実用化可能と判断できるものもある。本技術が確立すれば、CO<sub>2</sub> 削減という実質的な効果に加えて、鉄鋼業の技術革新、低環境負荷技術を担える人材の育成に寄与などへの波及効果は非常に大きいと考えられる。

しかしながら、技術の全体イメージは明らかにされているが、普及可能な実用化イメージ・出口イメージが明確でないように見受けられる。市場動向、経済性を入れた実用化の見通しが必要である。高炉の大きさは変化しないであろうが、これまで以上に付帯設備が甚大な製鉄プロセスになる。また、熱の効率的な授受が生命線となるので、各設備のレイアウトまで含めた合理性が実用化

のポイントとなると考えられる。そのため、現在想定されている開発課題に加えて、スケールアップ、設備コンパクト化から見た開発課題を洗い出し研究を進めていくことも望まれる。基礎研究、長期ステップ、特に 2013 年以降の **Phase I (Step2)** における、もう少し実機化と密接に繋げるようにスケールアップするマイルストーンを、もっと具体的に示してほしい。

### 3. 個別テーマに関する評価

	開発成果および実用化の見通しに関する評価	今後に対する提言
<p>3.1 高炉からの CO<sub>2</sub> 排出削 減技術</p> <p>(1)鉄鉱石還 元への水素 活用技術の 開発研究</p>	<p>当該技術の課題の明確化および、基礎的研究が着実に行われ、個々の要素技術としては成果が得られ、中間評価でのマイルストーンが達成されている。特に、高炉への COG 改質ガスの吹き込み位置の検討など、装置特性を定量的に評価している点は素晴らしい。炉内挙動の予測シミュレーションも出来上がりつつあり、実用化へ向けた高炉仕様、操作条件が明確にできる基盤が確立してきている。また、学会発表も適切に行われており、短期的に実用化できるものについては特許出願もなされており、適切な成果の取り扱いがされている。</p> <p>一方、現行の高炉トータルシミュレーションで用いられている反応速度はパラメータの適用外のガス組成のため、今回報告されたシャフト部ガス吹き込みのシミュレーションでは、化学反応が考慮されていない。十分に信頼できる予測のためには、精度の高い反応速度パラメータの測定などを含めたシミュレータのさらなる改良が必要である。本来、水素還元は吸熱反応であるはずが、吸熱の影響を考慮した実験において、熱保存帯温度の低下などの影響が観測されなかったとしている。この結果に関する考察をもっと、正確に精密に行っていただきたい。粉化に対する対策が明確でない。今後、系統的な実験から水素共存下での炉内での還元メカニズムを明らかにした上で対応策を提示していく必要がある。</p>	<p>化学工学的なシミュレーションは必要不可欠であり、シミュレータを活用した最適化や、そのための情報の収集を重点的に進め、それに精通した人材の投入が望まれる。改質 COG の高炉シャフト部への吹き込み効果が、H<sub>2</sub> 混合割合が増加した分だけ、還元速度が比例して速まるというものではないという基礎研究は既に、G.Belton らにより明らかにされているので、吹き込み効果の定量的な考察をもっと正確にやっていただきたい。さらに、高炉での 10%CO<sub>2</sub> 削減の目標のみではなく、さらなる高 CO<sub>2</sub> 削減を見据えての研究を同時に進めておくことも大切である。</p>

<p>(2) COG ドライ化・増 幅技術開発</p>	<p>COG からの水素製造は、製鉄所における安定した製造源として大きな意義を持ち、未利用の排熱を積極的に COG 改質に利用し、水素量を増加させ高炉に吹き込むことで、高炉からの CO<sub>2</sub> 排出量を低下させるという、理に適った新プロセスの提案であり、コークス炉ガスの利用方法の拡大につながる。中間マイルストーンは試験設備の設計および建設準備であり、必要なデータは得られており、目標は達成されている。触媒の劣化対策についても、基礎的な研究を行う大学との連携を開始したことは評価でき、すでに高触媒活性結果を提示していることから、触媒寿命が目標をクリアできれば、実用化は十分可能と判断できる。知的財産の取得に向け適切な取り組みがなされている。特許出願のみならず、学会発表などは今後の研究の進捗に伴い適切になされることを期待する。</p> <p>一方、未利用顕熱の有効利用を考えたテーマであり、エクセルギー解析を行ない、他のプロセスと比較して提案するプロセスの優位性を積極的にアピールすべきである。さらに、最大のポイントは触媒の被毒、寿命であるが、この点に関してのデータ提示がなく、対策提案も不十分である。</p>	<p>中間目標は要素技術の開発であったため、実質的にはこれからプロセス開発の段階となる。実機のイメージを持ちながら、ベンチプラント試験設備の概念設計を早急に行い、数値目標を明確にした実験を行なってほしい。本研究開発項目は、触媒寿命の問題がクリアできれば、既存のプロセス設計技術でも実現可能なものもあるので、触媒の耐久性を向上させるのと同時に、劣化した触媒の再生化技術も研究開発を行なってほしい。</p>
-------------------------------------	---	---

<p>(3) 水素活用鉄鉱石還元用コークス製造技術開発</p>	<p>高性能粘結剤添加によりコークス強度の問題解決に取り組み、コークス強度の向上が図られた。そのメカニズムを十分検討し、すでに最終目標の強度を達成できる条件まで見いだしており、中間目標は十分に達成されている。計画に一部変更はあったが、必要な研究事項を重点的に実施して <b>HPC (High-Performance Caking additive)</b> を用いることで高強度のコークスを製造することが可能となり、コークス原料の多様性につながる成果が得られたことは世界でも画期的である。新たな市場ならびに技術領域を開拓することが期待できる。適切に特許が出願され、対外発表も十分である。</p> <p>一方、還元材比とコークス強度の関係は、従来の高炉操業での実績を示したものであり、本プロジェクト想定条件では経験式としても未だ求められておらず、コークスの反応性に関する評価・解析も残っている。また、実用化の観点からは、<b>HPC</b> 製造にかかわるコストと <b>CO<sub>2</sub></b> 排出量から最適解があるか否かを提示することが望まれる。水素を混合すると還元速度が速まり、コークスの高炉中への滞留時間は短くてすむはずであるから要求される強度比はもっと低値で十分であり、<b>HPC</b> の添加量はもっと低値でよい可能性がある。</p>	<p>コークス強度の確保のために添加する <b>HPC</b> 製造のために必要とされる石炭量が膨大なので、<b>HPC</b> 添加量の低減を目指して、高強度化と反応性向上のための研究開発を進めて行く必要がある。また使用後溶剤の処理あるいは用途によっては、<b>CO<sub>2</sub></b> 増加になる可能性もあるので、実験と並行してケーススタディーを実施していくべきである。さらに、改質 <b>COG</b> 吹き込み条件下での反応性試験を遂行し、反応性、反応後強度も評価しておく必要がある。</p>
---------------------------------	--	--

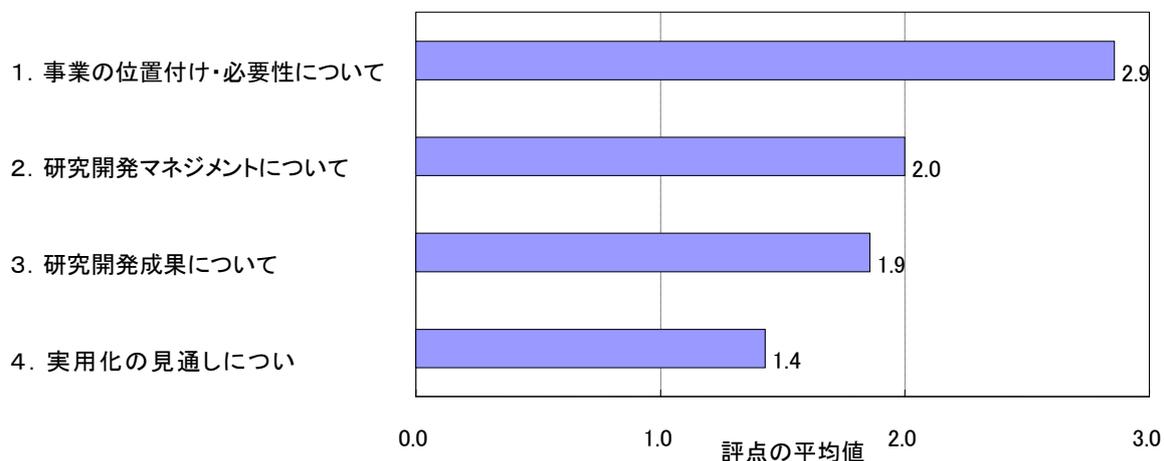
<p>3.2 高炉ガス (BFG) から の CO<sub>2</sub> 分離 回収技術開 発</p> <p>(1) CO<sub>2</sub> 分 離・回収技術 の開発</p>	<p>CO<sub>2</sub> 回収の効果が燃焼ガス対象の受け身の処理技術と異なり、BFG(Blast Furnace Gas)を高付加価値化する能動的な処理技術である点は評価できる。化学吸収法では、世界的にも高いレベルの低熱消費の新しい化学吸収液を開発し、所要熱量の見通しなどで中間目標を達成できる見込みが得られ、ベンチスケールからパイロットプラント段階まで、研究が進捗していることは高く評価できる。物理吸着法はラボテストで新しい吸着剤の選定試験を終了し、シミュレーションの構築が行われ、中間目標を達成できた。情報発信としても、化学吸収については論文発表以外に、マスコミ、産官学に対して CAT30 設備の見学の機会を与えて、一般に向けて広く行われ、特許出願も適切になされている。物理吸着についても国内外で学会発表がなされ、適切な情報発信が行われている。</p> <p>一方、化学吸収法では、装置サイズを決定する因子が明らかでなく、一基の高炉に必要な吸収プラントの規模を想定すると、現段階のパイロットプラントの 100 倍の CO<sub>2</sub> 分離・回収能力を持つ装置開発が必要であり、実現可能性は不透明である。物理吸着法においては、実機のイメージが十分に確立されておらず、未利用排熱からどれだけエクセルギー(すなわち電力)を回収できるかに大きく依存するので、物理吸着の実現可能性についてエネルギー供給の面から検討されたい。物理吸着を今後継続するかどうか、装置の最終形態(サイズと所要吸着材量)も含めて、早期に検討されたい。いずれにしろ、実用化の最大の壁は、プラントサイズなので、実機でどの程度の大きさになり、どの程度の敷地面積を占有するかの鳥瞰図を描き妥当性を評価することが必要である。</p>	<p>現状の製鉄所敷地の遊休地で、実際の事業化を想定し、律速段階を十分に考慮した所要装置サイズでの出口イメージ工場配置図を描いてみたらよい。また、実用化を念頭に置いた開発として、より実現性の高い方法に集中して研究を進めてもよいのではないか。さらに、CO<sub>2</sub> を一定期間サイト内で貯蔵する必要性の有無、貯蔵する場合は、どの程度の設備が必要かの FS も併せて実施し、製鉄所における CCS の処理スキーム(時間シーケンス)を明確にしておくことが望まれる。</p>
---	---	--

<p>(2) 未利用 顕熱回収技 術の開発</p>	<p>製鉄所から大量に排出される CO<sub>2</sub> を回収するために、製鉄所内の廃熱源の質と量を把握した上で、戦略的に未利用エネルギーも回収するスキームを構築し、これまで困難とされてきた廃熱源からも熱回収に新技術を提案し、その実現性を示した姿勢は、高く評価できる。当初計画した中間評価のマイルストーンは達成されている。製鋼スラグの熱回収は、実現すれば世界の転炉製鋼からの熱回収が可能となり、蓄熱およびヒートポンプは、吸収式 CO<sub>2</sub> の溶液再生に特化すれば世界中の製鉄で利用可能である。特許で知的財産権保護が必要であるスラグからの熱回収については、比較的短時間で実用化に繋げることができるので、これに関しては適切に特許出願がなされている。</p> <p>一方、スラグ顕熱を回収する際、最も障害となるのは、スラグそのものの熱伝導率の低値である。従って、顕熱を回収する熱媒体の開発も重要であるが、スラグの見かけの熱伝導率をいかに低下させないかという技術開発にも是非力を更に注いでほしい。ケミカルヒートポンプ、スラグの顕熱回収技術においては、化学工学的手法によって、スケールアップ時の問題点を克服する技術開発を進めるべきである。特に、熱利用は設備間距離が大きく影響するので、製鉄所内での全体システムのレイアウトを検討し、各要素技術の目標の再設定が望まれる。また、本プロセスは有効熱回収システムの技術開発であるため、是非ともエクセルギー解析を行なって、現在開発中の技術がどのくらい有効なものであるかという定量的な検討をしていただきたい。ナショナルプロジェクトで実施すべき基礎基盤</p>	<p>プロセスのエクセルギー解析を行なうことにより、より効果的な別の技術開発の可能性についても定量的に提案を行ってほしい。また、未利用エネルギーの技術単独でも実用化が成立する条件を明確にし、高炉 CO<sub>2</sub> 回収とは独立して、製鉄所内で実施できるシナリオも検討しておくことが望まれる。CO<sub>2</sub> 物理吸着用動力が排熱回収による電力でまかなえるか検討し、方向性を早期に定めることが必要。また、製鋼スラグ顕熱の利用技術開発と並行して、高炉スラグの顕熱の利用も推進すべきである。基礎研究とは言え、実用化の出口イメージを数値的に明確にし、連携する研究開発マネジメントが必要であり、技術項目を整理し、実現可能性の高いものや効果の大きいものに絞って研究開発を進めてほしい。実機へのスケールアップを意識した開発を進めるのが望ましく、特にシミュレーションの活用が重要である。また、既存技術の組み合わせによる開発コスト低減を</p>
-----------------------------------	---	---

	<p>の技術項目か民間活用ですぐにも実機設計できるものまで多岐にわたる技術項目を検討している。今後、ナショナルプロジェクトでしか実施できない項目に選択集中して研究を推進すべきである。</p>	<p>目指すことも重要であり、不必要な独自技術の開発にこだわる必要はないのではないか。</p>
--	---	---

## 評点結果〔プロジェクト全体〕

### (1) プロジェクトに全体に対する評価



評価項目	平均値	素点 (注)						
		A	A	A	A	A	A	B
1. 事業の位置付け・必要性	2.9	A	A	A	A	A	A	B
2. 研究開発マネジメント	2.0	A	B	B	B	B	B	C
3. 研究開発成果	1.9	B	B	B	B	B	B	C
4. 実用化の見通し	1.4	B	B	B	C	C	C	C

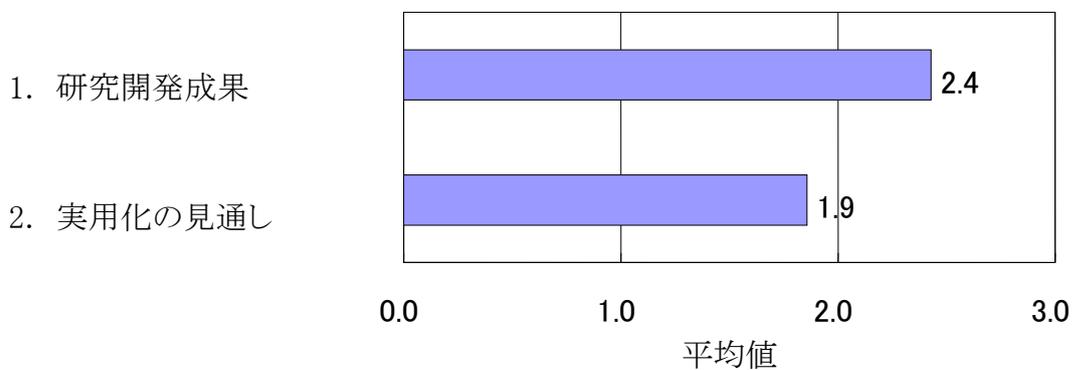
(注) A=3, B=2, C=1, D=0として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

#### <判定基準>

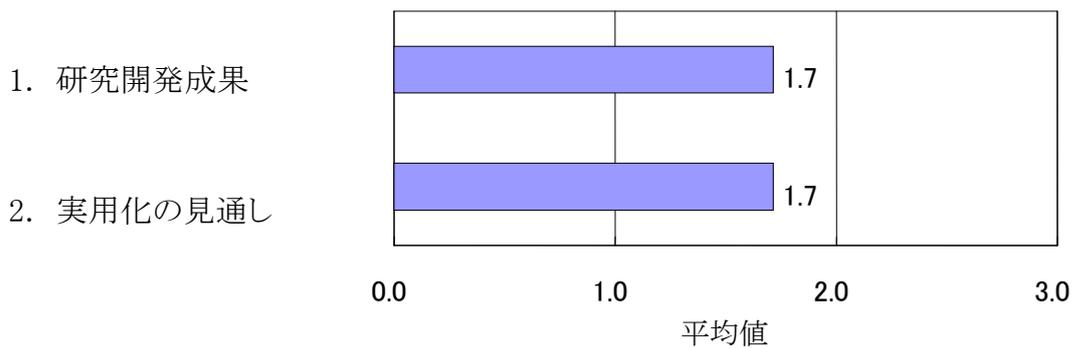
- |                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| (1) 事業の位置付け・必要性について | (3) 研究開発成果について    |
| ・非常に重要 →A           | ・非常によい →A         |
| ・重要 →B              | ・よい →B            |
| ・概ね妥当 →C            | ・概ね妥当 →C          |
| ・妥当性がない、又は失われた →D   | ・妥当とはいえない →D      |
| (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〕

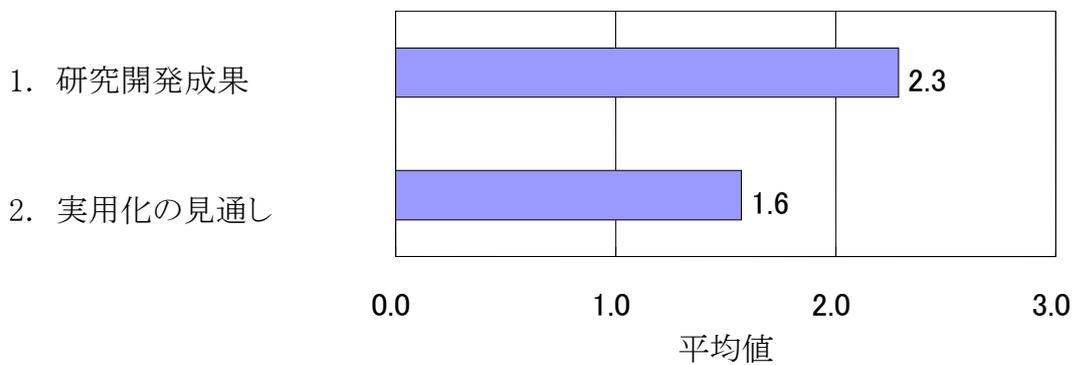
### 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発研究



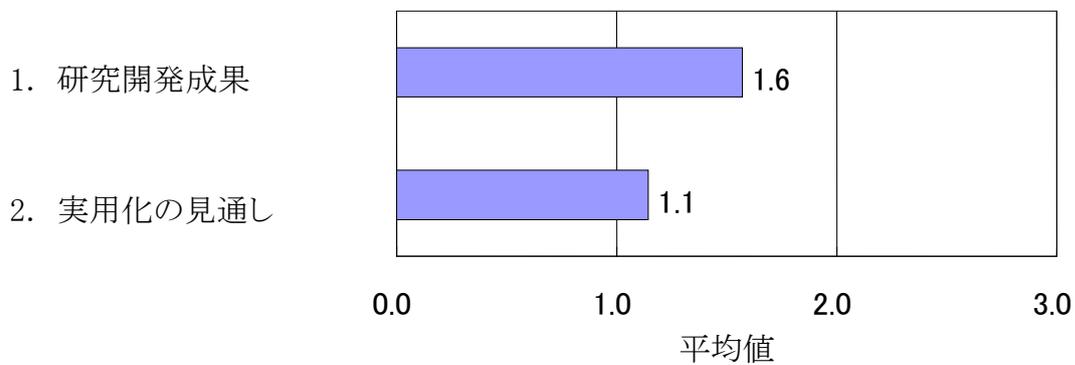
### COGのドライ化・増幅技術開発



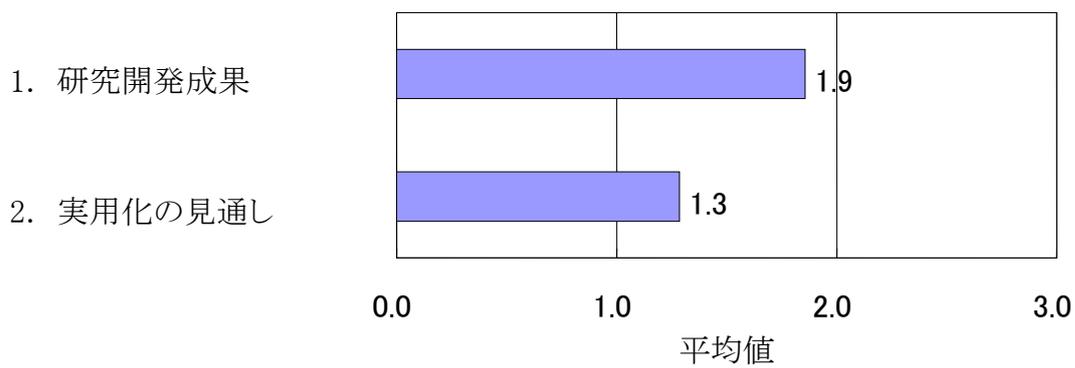
### 水素活用鉄鉱石還元用コークス製造技術開発



### CO<sub>2</sub>分離・回収技術の開発



### 未利用顕熱回収技術の開発



個別テーマ	平均値	素点 (注2)							
3-1-1. 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発研究									
1. 研究開発成果	2.4	A	A	A	A	B	B	C	
2. 実用化の見通し	1.9	A	B	B	C	B	B	C	
3-1-2. COGのドライ化・増幅技術開発									
1. 研究開発成果	1.7	B	B	B	B	B	C	C	
2. 実用化の見通し	1.7	B	B	B	C	B	B	C	
3-1-3. 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	2.3	A	B	A	A	B	B	C	
2. 実用化の見通し	1.6	B	B	B	C	C	B	C	
3-2-1. CO <sub>2</sub> 分離・回収技術の開発									
1. 研究開発成果	1.6	B	C	B	B	C	B	C	
2. 実用化の見通し	1.1	B	C	C	C	C	C	C	
3-2-2. 未利用顕熱回収技術の開発									
1. 研究開発成果	1.9	B	A	B	B	B	C	C	
2. 実用化の見通し	1.3	B	B	C	C	C	C	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

- ・ 非常によい → A
- ・ よい → B
- ・ 概ね妥当 → C
- ・ 妥当とはいえない → D

(2) 実用化の見通しについて

- ・ 明確 → A
- ・ 妥当 → B
- ・ 概ね妥当であるが、課題あり → C
- ・ 見通しが不明 → D