

複製禁止

「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)

事業原簿【公開】

担当部	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部
-----	----------------------------------

目次

概要	i -1
プロジェクト用語集	ii -1
I. 事業の位置付け・必要性について	
1. 事業の背景・目的・位置づけ	I -1
1.1 事業の背景	I -1
1.2 事業の目的	I -4
1.3 事業の位置付け	I -8
2. NEDOの関与の必要性・制度への適合性	I -14
2.1 NEDOが関与することの意義	I -14
2.2 実施の効果(費用対効果)	I -14
II. 研究開発マネジメントについて	
1. 事業の目標	II -1
2. 事業の計画内容	II -3
2.1 研究開発の内容	II -3
2.2 研究開発の実施体制	II -13
2.3 研究の運営管理開発の内容	II -15
2.4 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性	II -18
3. 情勢変化への対応	II -21
4. 中間評価への対応	II -25
5. 評価に関する事項	II -26
III. 研究開発成果について	
1. 事業全体の成果	III -1-1
2. 研究開発項目毎の成果(非公開)	
IV. 実用化の見通しについて	
1. 実用化、事業家の定義(非公開)	
2. 成果状況一覧	IV -2-1

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6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、</p> <p>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</p> <p>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)】</p> <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"> ・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>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"> ・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>【最終目標(平成29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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <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>		

・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			
	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	

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 事業原簿 用語集

<プロジェクト全般>

NO	用語	意味・説明
1	COURSE50	本プロジェクト略称(下記英文名称の略称) CO₂ Ultimate Reduction in Steelmaking Process by Innovative Technology for Cool Earth 50

<① 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発、⑥試験高炉によるプロセス評価技術開発>

NO.	用語	意味・説明
1	高炉	鉄鉱石を主原料、コークスを主還元材として溶鉄を製造する縦型炉である。現在は内容積 4,000m ³ から 5,000m ³ のものが主流であり、一日に約 10,000t 以上製造可能である。炉の上から鉄鉱石、コークスを投入し、羽口と呼ばれるノズルから約 1,200℃の熱風を吹き込み、コークスと酸素が反応することによりを約 2,000℃の一酸化炭素を発生させる。この CO が炉内を上昇する過程で鉄鉱石を昇温・還元・溶解し、約 1,500℃の溶鉄(カーボン飽和鉄)が製造される。還元で使用された CO は、いずれすべて CO ₂ となり、系外に排出される。
2	還元材	酸化鉄である鉄鉱石から酸素を奪うためのもので、高炉では石炭系、水素系の物質が使用される。
3	コークス	高炉で主に使用される還元材。石炭を乾留して製造する。溶鉄 1t を製造するために約 350kg のコークスが使用される。コークスは還元材としてだけではなく、炉内を通過する還元ガス(一酸化炭素)の通り道(通気)を確保するためのスペーサー、熱を確保するための発熱材の役割も担っている。したがって高炉を操業するためには、溶鉄 1t を製造するためには 250kg 程度のコークスは最低限必要であるといわれている。
4	微粉炭	高炉で補助的に使用される還元材。羽口から直接炉内に吹き込まれる溶鉄 1t を製造するために約 150kg の微粉炭が使用される。コークスを製造するためには高価かつ希少な資源である粘結炭が必要であるが、微粉炭としては相対的に安価な石炭が使用可能である。
5	シャフト部	高炉の炉体は炉の上部から 3 つに区分され、下向きに広がった部分を“シャフト部(炉胸部)”、一番炉径の広がった部分を“ボッシュ部(炉腹部)”、炉下部にすぼまった部分を“ベリー部(朝顔部)”と称する。その更に下部に、熱風を吹き込みノズルである羽口が設置されている。現在の 5,000m ³ の高炉では約 40 本設置されている。
6	ボッシュ部	
7	ベリー部	
8	羽口	
9	レースウェイ	羽口から高速で吹き込まれた送風エアにより形成される、コークスが流動、旋回、燃焼する領域。約 1m 程度の狭い領域であるが、この領域でコークスや微粉炭、改質 COG の酸化還元反応が行われる。この領域を通過したガスは、すべてコークスに還元され、一酸化炭素や水素となる。

10	ブローパイプ	高炉内に熱風を吹き込むために羽口に接続する送風用の管。
11	GRI-mech	ガス燃焼における化学反応機構を解析するモデル。約 60 の化学種と 300 以上の素反応が含まれている。UCB(Berkeley 大学)のホームページにて提供されている。
12	改質 COG の改質度	COG ガス中の CH ₄ のうち水蒸気などとの改質反応によって CO や H ₂ に改質された割合。
13	荷重軟化試験	実高炉での装入物(焼結鉱など)の挙動と特性を測定する装置。実高炉では荷重を受けながら、昇温、還元が進むので、荷重、温度、ガス条件など高炉の条件を模擬して実験される。測定項目は、還元反応の進み具合、層の収縮、通気抵抗などである。
14	還元率	高炉装入物(焼結鉱)などの反応の進み具合を評価する指標。反応前に含まれる還元されるべき酸化鉄中の酸素量に対する、奪われた酸素量の比率で求める。(100%還元率は還元終了の意味)
15	ガス利用率(η_{CO} , η_{H_2})	下方から上昇する還元ガス(CO, H ₂)が、還元を利用して CO ₂ , H ₂ O にそれぞれになった比率を表す指標。 $\eta_{CO} = CO_2 / (CO + CO_2) \cdot 100$ で算出される。
16	熱保存帯	上方から常温の装入物が降下し、下方から高温の還元ガスが上昇する(=向流反応)実高炉において、熱のやり取りがバランスする位置を熱保存帯と呼ぶ。一般的には 950°C 付近であり、そこでは熱および反応が一旦停止する。すなわち、還元が平衡している点であり、この条件(温度とガス組成)を還元平衡点(W点)と呼ぶ。
17	W 点(還元平衡点)	
18	シャフト効率	高炉操業において理想操業からのずれの程度を表す指数。鉄鉱石の還元の進行度合いを、還元平衡点(W点)への到達度で示した指標をシャフト効率と定義する。すなわち鉄鉱石の還元進行はシャフト効率 100% 以上にはならない。
19	熱流比	固体の熱容量と気体の熱容量との比で表される値。固体が奪う熱量とガスが持ち込む熱量の比で、(固体の粒子の流量)×(固体粒子の比熱)と(ガスの粒子の流量)×(ガス粒子の比熱)、で示される。上記の熱保存帯は、熱流比が 1 となる領域であるとも解釈できる。
20	BIS 炉	上方から常温の装入物が降下し、下方から高温の還元ガスが上昇する(=向流反応)状況を模擬することができる高炉シミュレータ。実試験では装入物(焼結鉱)を反応管内に固定し、電気炉を移動させて向流反応を模擬する。断熱制御によって、反応に伴う吸熱反応の影響も含めた評価が可能であり、熱保存帯温度の測定やカーボンソルーションロス反応の定量が可能である。BIS 炉は Blast furnace inner-reaction simulator の意。
21	還元粉化	焼結鉱が還元される初期の段階で粉化する現象。焼結鉱中のヘマタイトが還元されマグネタイトになるとき体積膨張を起こすため、焼結鉱が粉化するといわれている。
22	水性ガスシフト反応	CO と水蒸気(H ₂ O)から CO ₂ と H ₂ を生成する反応。

		$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$
23	体積破壊	巨視亀裂が原因となる破壊
24	混合拡散現象	充填層内で互いに隣り合って流れているガスが、層内を移動する過程で一部が混じり合う現象
25	圧力損失	ガス流れの上流と下流に現れるガスの静圧差
26	移流項	運動量収支式における運動量の湧き出しを表す項
27	Peclet 数	物質収支式を無次元化した時に現れる拡散係数を含む無次元数
28	ボッシュガス	羽口前で吹き込まれた熱風で炉内のコークスが燃焼して発生したガスのこと。
29	出鉄比	1日当たりの出鉄量を高炉の炉内容積で割った値。
30	原単位	“鉄鉄1トン当たり”という意
31	炉熱調整	出鉄温度を一定値に保つための操業諸元操作
32	直接還元	コークスなどの固体炭素による酸化鉄の還元。CO による酸化鉄の還元であっても生成した CO_2 がカーボンソリューション反応を生ずれば結果として直接還元となる。水素についても、還元の結果生成した H_2O が固体炭素との水性ガス化反応を生ずれば直接還元となる。
33	間接還元	酸化鉄の CO や H_2 による還元反応
34	カーボンソリューションロス反応	コークスなどの固体炭素と CO_2 との反応。 $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$
35	水性ガス化反応	コークスなどの固体炭素と H_2O との反応。 $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$
36	LKAB	LKAB (Luossavaara Kiirunavaara Aktiebolag)。スウェーデン国営の鉄鉱石生産大手であり、試験高炉を保有。

<② コークス炉ガス(COG)改質技術の開発>

NO.	用語	意味・説明
1	COG	コークス炉ガスの英訳である Coke Oven Gas の略。コークスを製造する過程でコークス炉から発生するガスで水素(50~60%)、メタン(25~30%)を含む可燃性ガスであり、主に製鉄所内の燃料用途に用いられている。また、COG 中には不純物として、石炭由来のアンモニア、硫化水素、シアンなどが高濃度に含まれる。
2	ドライ化	タール(5に記載)など(COG 中ではミスト状で存在と推定)を水素、一酸化炭素、メタン等のガス成分に変化させること。通常 COG はタール、油分を含むためウェットな状態に対し、変化後のガスにはそのような成分がなくドライな状態のため、ウェットなガスからドライなガスへ変化することを指す。
3	ドライガス化	ドライ化と同義
4	増幅	本研究では、特に水素等のガス成分の体積を増やすことを指す。
5	タール	石炭を熱分解した際に発生し、炭素が5個以上含まれた常温で液体の有機化合物であって、鎖式炭化水素や脂環式炭化水素からなる混合物を指し、例えば、ナフタレン、フェナンスレン、アントラセン、ピレン等の

		ベンゼンが複数個結合した芳香族が主成分である。また、上記以外にキノリン、インドール、カルバゾール、ジベンゾフラン、ジベンゾチオフェンの六員環又は五員環に窒素、酸素、硫黄等の異種元素を含むヘテロ化合物も含まれる。
6	上昇管	コークス炉の炭化室上面に設置された COG をドライメン(32 に記載)へ導くガス管。尚、この上昇管の中間部分でアンモニア水を噴霧して高温の COG を約 100°C 程度まで冷却すると共に、ガス成分と油・固形成分とを分離可能にする機能を有する。また火落ち判定孔と呼ばれる孔が備えられ、乾留の終了時点を目視で判定できる。
7	乾留	非酸化性雰囲気下で加熱すること。本研究では、石炭のコークス炉内での加熱を指す。
8	活性点	触媒上において触媒作用が行われる特定の部分のことである。例えば、特定の配列を持った格子面や、結晶面上でのステップ、キック、点欠陥、転位の末端など、配位不飽和度の高い原子やその集団であることが多い。
9	素反応	一つの化学反応式で表される化学反応は、実際には複数の化学反応から成り立っていることが多い。ただ一つの反応段階からのみなっている化学反応、すなわち、それ以上の反応段階に分けて考えることができない化学反応のことを指す。
10	ダスト	本研究では、石炭の微粒子のことで、空気中で浮遊する程度の粒径の粉末を指す。
11	耐久性	触媒の性能の安定性を意味し、具体的にはどの程度の時間(期間)触媒性能が維持されるかを指す。
12	改質	一般的には、価値に乏しい化合物を付加価値の高い化合物に変換することを意味し、本研究では、COG 中タールを水素、一酸化炭素、メタンなどのガス成分に変化させることを指す。
13	仕切弁	コークス炉上昇管から実 COG を抽気/閉止するための開閉弁。本研究では、800°C を超える高温に耐え、且つ、タール等固着性のある成分を含んだガスに対して開放/閉止が可能な弁を指し、現状では両機能を兼ね備えた製品は世の中に存在しない。
14	触媒槽	固体触媒を充填する反応槽
15	押出機	コークス炉からコークスを押し出す装置。押し出す装置のほかにコークス炉の蓋取り装置と、押出後新たに装入された石炭の上部を平らに均すレベラーを備え、炉団に平行に敷かれたレール上を走行する。
16	トラスデッキ	鋼材の接点を接合し、三角形を基本にして組んだ構造形式を有した鋼材を床にした橋梁物を指す。
17	固相晶析法	触媒反応機能を有する金属を予め金属酸化物にその金属の一部と置換させて固溶した状態を形成する。そして、還元雰囲気曝露により、固溶していた触媒反応機能を有する金属が酸化物表面に微細な粒子状となって析出することにより、金属表面積の大きな触媒を製造することが可能な方法。

18	固定層	固体触媒を反応下でも動かないように充填した状態
19	活性化処理	本研究では、17で記載した固相晶析法で製造した触媒を還元雰囲気下に曝して金属微粒子を表面に析出させる作業
20	シフト反応	若干の発熱を伴う次式の反応である。 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$ 炭化水素からの水蒸気改質や部分酸化による水素製造において、水素の収率を高めるために用いられ、低温ほど反応が進みやすい。
21	確性試験	研究室レベルの小さな規模の装置で確かめられた性能を、より大規模の装置で確認するための試験
22	スクラバー	ガスを洗浄することを意味し、本研究では、触媒で改質された高温で一部タールを含んだガスを、水により洗浄してタールをガスから分離、且つ、ガスを冷却する装置を指す。
23	油バブラー	本研究では、油を張った油槽へガスを通すことにより、ガスに随伴していたダスト等を除去する装置を指す。
24	誘引通風機	ガスを入口から吸引し、出口へ誘導する装置であり、いろいろな機種があるが、例えば羽根の付いた円盤を高速で回転させる方式などがある。
25	フレアスタック	予め可燃性ガスを燃料に燃焼した状態へ有害ガスを通して周囲の空気と共に燃焼させて無害化して大気放散する装置を指す。
26	増幅率	対象ガスの反応前体積に対する反応後の体積の比を指す。例えば、水素増幅率とは、(反応後水素体積) / (反応前水素体積) で表される。
27	被毒	触媒反応は触媒表面の活性点上で進行する。その際、反応ガス中に不純物(硫黄成分等)が存在すると、不純物が活性点に強固に吸着することにより、触媒反応の進行が阻害されること。
28	タール分解率	本研究では、 $[1 - (\text{出口ガス中に残存するタール質量}) / (\text{入口ガス中に存在するタール質量})] \times 100$ として計算されるパーセント表示で表され、ガス中に存在するタールの触媒接触による分解割合を指す。

<③ コークス改良技術開発>

NO.	用語	意味・説明
1	アスファルトピッチ (Asphalt pitch, ASP)	石油系の減圧蒸留残渣油を常圧無触媒下、過熱水蒸気(500~700℃)で熱処理して得られるピッチ。軟化点が150~200℃と高く、コークス製造時の流動性補填剤として用いられる。
2	間接引張試験(Tensile strength) 圧壊強度 (compressive strength)	圧縮強度を試験するとき用いる円筒形の供試体を横に置いて、円筒の側面に垂直方向の荷重をかけると横方向に一樣な引張りの力が働いて、真ん中で割れるように破壊する現象を利用したもの。間接的に引っ張るところから、間接引張試験、割れて裂けるところから割裂試験とも呼ばれる。引張応力の計算式は $\sigma = 2P / \pi dl$ (σ : 応力 P: 荷重 d: 直径 l: 円柱の長さ)
3	円形度(Roundness)	どれだけ円に近いかを表すパラメータ $R = 4\pi \frac{A}{l^2}$

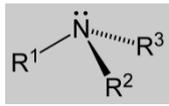
		上式において R は円形度, A は面積, l は周囲長を示す。
4	ギースラープラストメーター法 (Gieseler plastmeter)	流動性試験方法 (JIS M8801 に規程)。攪拌棒が挿入されている金属製のつぼ (内径 21.4mm, 深さ 35.0mm) に 425 μ m 以下とした試料 5g を充填し、金属浴中にて 3 $^{\circ}$ C/min で昇温する。攪拌棒上のドラムプリーと同径でかつ同心に指示針を備えたダイヤルプリーとを同調させ、この指示針の目盛り盤 (360 $^{\circ}$ C, 100 等分) の動きを温度とともに 1 分ごとにプロットする方法。測定を指示針が停止するまで続け、温度とダイヤルの読みの関係を片対数グラフで示す。
5	乾式消火設備 (Coke dry quencher, CDQ)	コークス炉より押し出される赤熱コークスを不活性ガスにより冷却する乾式消火装置。赤熱コークスの顕熱は上記として回収・利用される。一方で、散水による消火装置を湿式消火装置 (Wet quencher) という。
6	芳香族指数 (Aromaticity index)	全炭素量に対する芳香族炭素の割合
7	芳香族縮合度指数 (Ring condensation index)	芳香環の水素数と水素置換可能な位置数との総和と、芳香族炭素の比であり、芳香環の縮合度の尺度
8	置換指数 (Substitution index)	芳香環の置換可能な位置数に対し、実際に置換構造をとっている数の割合
9	高性能粘結材 (High-Performance Caking additive, HPC)	石炭由来の 2 環芳香族を溶剤とし、石炭を熱時抽出して溶液成分と未溶解成分を固液分離した後、溶剤を分離回収して得られる溶剤脱灰炭のこと。
10	再固化温度 (Resolidification temperature, RT)	ギースラープラストメーター法において、攪拌棒が止まったときの温度。
11	最高流動度温度 (Maximum fluidity temperature, MFT)	ギースラープラストメーター法において、最高流動度を示したときの温度
12	最高流動度 (Maximum fluidity, MF)	ギースラープラストメーター法において、攪拌棒が動き始めてから、止まるまでの温度域における最大の流動度。
13	シャッター試験 (Shatter test)	落下強度試験。25kg のコークスを高さ 2m のところから 4 回落下させ、その破壊度でコークスの品質を評価する方法 (JIS K 2151 に規程)
14	全膨張率 (Total dilatation, TD)	ディラトメーター法 (JIS M8801 に規程) 150 μ m 以下の石炭に 10% の水を加えて混ぜたものを成型器に入れ、所定の圧力で最小直径 6mm、1/50 テーパー付き、長さ 60 \pm 0.25mm の棒状に成型する。これを内径 8mm の細管に入れ、その上に 150g の荷重がかかるようにピストンをのせて、300 $^{\circ}$ C に予熱された電気炉に挿入する。3 $^{\circ}$ C /min で昇温し、収縮及び膨張によるピストンの変位を回転ドラム式記録計に記録する。曲線より、軟化開始温度、最大収縮温度、最大膨張温度、収縮率、膨張率を求める。
15	動的粘弾性測定	弾性、粘性を併せ持つ高分子の力学的特性を分析する方法。弾性に相

	(Dynamic Mechanical Analysis)	当する貯蔵弾性率(E')と粘性に相当する損失弾性率(E'')、また E'' と E' の比であり、振動吸収性を反映する損失正接($\tan \delta$)の温度依存性、周波数依存性を測定することで、試料の分子内構造に起因する転移やその温度について情報が得られる。
16	ドラム試験機	ドラム強度指数の評価に用いられる。ドラムは内径、長さがともに1,500mmで、内面に高さ250mmの羽根が6枚垂直に設置され、1分間に $15 \pm 1/2$ 回転できる回転装置が取り付けられている。
17	ドラム強度指数 (Drum index)	上記ドラム試験機にて、ドラム内に25mm以上または50mm以上のコークス10kgをいれて15rpmで30回転または150回転させたのち、篩で篩分けして、ふるい上質量もとの試料に対する百分率で、各回転に対する強度を表す。(JIS K2151に規程)
18	熱間反応性指数(RI, CRI)	コークスの CO_2 反応性評価方法。1100°C、 CO_2 ガス流通下、2時間反応後の重量減少百分率で表す。
19	ナノインデンテーション法 (Nanoindentation)	材料表面のナノメートル領域に対し、超微小荷重で圧子を押し込み、荷重-変位曲線の解析から硬さや弾性率等の力学的性質を測定する方法。
20	軟化開始温度 (Softening temperature, ST)	ギースラープラストメーター法において、攪拌棒が連続的に動き始めて、1.00ddpmに達したときの温度。
21	反応後強度(RSI, CSR)	コークスを高温で CO_2 ガスと反応させた後、室温で規程の条件により測定したコークス強度。粒度20mmのコークス200gを1,100°Cで CO_2 と2時間反応させた後、室温でI型ドラム30rpm、9.5mm篩上重量)により回転強度を測定する。
22	BSU	Bench Scale Unit の略 HPC 連続製造設備
23	平均反射率、湿式反射率(Reflectance in oil, Ro)	研磨試料を屈折率1.518の油浸油につけ、試料表面での偏光の反射光の強さと入射光の強さを反射顕微鏡を用いて測定したもの。ピトリニットの平均最大反射率は、石炭化度の指標であり、原料炭配合の重要な指標として用いられる。
24	マセラル(Maceral)	微細組織成分。石炭の組織成分を構成する微細組織成分で、3つのグループ(ピトリニット、エクジニット、イナーチニット)に大別され、さらにそれぞれ3~5のマセラルに分類される。JIS M 8816に規程。
25	ワイブルプロット (Weibull plot)	物体の体積と強度との関係を定量的に記述するための確率分布。ばらつきを含めた強度の優位性を議論するのによく用いられる手法。

<④ CO₂分離・回収技術開発>

NO.	用語	意味・説明
1	BFG	Blast Furnace Gas(高炉ガス)の略。鉄鉱石とコークスを充填した高炉に熱風を吹き込むことにより副生するガス。主成分は、 N_2 、 CO_2 、 CO 、 H_2 。
2	CO ₂ ローディング	吸収液に吸収されたCO ₂ の量を示す指標(g/L等)。吸収液中のアミン等の吸収成分1モルあたりのCO ₂ モル数で表わすことも多い(mol/mol-アミン)。

3	△ローディング	LA と RA の CO ₂ ローディング差。
4	LA/RA	LA: Lean Amine の略。再生塔を出て吸収塔に供給される CO ₂ 吸収前のアミン液。 RA: Rich Amine の略。吸収塔より出て再生塔に送られる CO ₂ 吸収後のアミン液。
5	L/G	Liquid-to-Gas Ratio(液ガス比)の略。気液接触させる場合の液供給量とガス供給量との比(L/Nm ³ 等)。
6	化学吸収	ガス中の特定成分を化学反応を伴って液に吸収させる操作。
7	反応熱/吸収熱	化学吸収に伴って発生する熱。通常は、ガス中の成分が液中に溶解する熱と液中での反応により生成する熱との合計を意味する。
8	平衡曲線	特定の反応におけるパラメータ間の平衡関係を示す線。
9	操作線	実際のプロセスにおけるパラメータ間の関係を示す線。
10	物質収支	Material (または Mass)Balance(MB)。ある化学反応の系において、系に投入された物質の量と系から得られた物質の量との収支。
11	熱収支	Heat Balance(HB)。ある化学反応の系において、系に投入された熱量と系から得られた熱量との収支。
12	吸収塔	ガスと液とを接触させ、ガス中の特定成分を液に吸収させるための塔。
13	充填物	気液の接触面積を増して物質移動速度を高める目的で、吸収塔や再生塔に挿入されるもの。規則充填物・不規則充填物等がある。
14	再生塔または放散塔	吸収液を再生する塔。吸収液が吸収したガス中の成分を、温度や圧力を変えて液から追い出す。
15	リボイラ	蒸留塔や再生塔の下部に熱を与えるための熱交換器。
16	還流水	再生塔上部から出たガスを冷却することにより凝縮した、水を主成分とする液。通常、再生塔上部へ戻す。
17	熱量原単位	CO ₂ 回収プロセスにおいて、CO ₂ 単位量を回収するのに消費する熱量(GJ/t-CO ₂ 等)。
18	TOC	Total Organic Carbon(全有機炭素)の略。有機化合物由来の炭素。液中濃度は、条件が異なる酸化前処理で、Total Carbon(TC、全炭素)と Inorganic Carbon(IC、無機炭素)とを CO ₂ として測定し、その差から求める(mg/L等)。
19	第一種圧力容器	労働安全衛生法の施行令で定める、高圧で使用される容器。定期的な検査等の義務を負う。
20	アミン	アンモニアの水素原子を炭化水素基で1つ以上置換した化合物の総称。置換数が1つであれば1級アミン、2つであれば2級アミン、3つであ

		れば3級アミンという。また、炭化水素基が水酸基(-OH)を持つものをアルコールアミンという。
21	反応熱	化学反応に伴って出入りする熱量(エンタルピー変化)。吸収液のCO ₂ 放散反応は吸熱であり、その熱量が分離回収エネルギーの約半分を占める。
22	遷移状態	化学反応の過程で原系から生成系へ変化する時に通る最もエネルギーの高い状態。原系と遷移状態のエネルギー差が反応の活性化エネルギーに相当し、それが小さいほど反応は速く進行する。
23	計算化学	化学分野で用いる原子・分子レベル計算の総称であり、量子力学に基づく分子軌道法、密度汎関数法(これらを量子化学計算手法と呼ぶ)と、古典力学に基づく分子動力学法、分子力学法に大別される。量子化学計算は、実験値などのパラメータを用いず第一原理的に化学反応や物性の解析と予測を行う手法。
24	COSMO-RS 法	量子化学計算による溶質分子と溶媒分子の表面電荷をもとに、統計的手法により溶液中の自由エネルギーを算出する手法。
25	分子動力学	分子動力学法(ぶんしどうりきがくほう、Molecular Dynamics method、MD法、単にMD、古典MDとも言う):2体(或いはそれ以上)の原子間ポテンシャルの下に、古典力学におけるニュートン方程式を解いて、系の静的、動的安定構造や、動的過程(ダイナミクス)を解析する手法。
27	二相系吸収液	CO ₂ 吸収や昇温により液/液相分離を起こす吸収液
28	混合溶媒系吸収液	溶媒である水の一部を有機溶媒で代替した吸収液
29	PSA	Pressure Swing Adsorptionの省略形、圧力スイング吸着法。固体へのガス吸着量が圧力およびガス種類によって異なる性質を用いて、混合ガスを分離する方法。
30	サイクルタイム	一つの吸着塔が、吸着/洗浄/脱着の3工程を行うための時間。各工程に要する時間は、サイクルタイムの1/3の時間となる。
31	Crank-Nicholson 法	微分方程式の解を得るための差分法の一つ。各時刻で方程式系を解く必要があるので煩雑な場合が多いが、常に数値的に安定で収束する特徴がある。
32	吸着オフガス	PSAの吸着工程にてPSA出口より流出するガス
33	ゼオライト	結晶性アルミノケイ酸塩の総称。結晶種により異なる数Åの均一な細孔を持ち、交換可能な陽イオンを含有し、その種類によっても性質が異なる。洗剤ビルダーや吸着剤、触媒として広く利用されている。
34	活性炭	ヤシ殻などの炭素質を水蒸気や薬品により賦活した物。比表面積が1,000m ² /gを越えるものもある。吸着剤や消臭剤、触媒担体などとして広く用いられている。
35	四重極子	例えば二個の+と-の重心があり、その双極子モーメントが0の場合でも、電荷分布が球対称から外れた場合には有限の電場が形成される。これを電気四極子、あるいは四重極子という。
36	CCS	CO ₂ 分離回収・貯留技術(Carbon dioxide Capture and Storage)

37	膜分離法	膜両面の圧力差で処理対象ガスを通させ、ガスの種類によるその透過速度の差で分離する技術。化学吸収法や物理吸着法に比較して新しい技術であり、様々な分離膜の開発が進められている。
38	チルドアンモニア法	化学吸収法の一つで、吸収塔で 0～10℃に冷却された炭酸アンモニウムとアンモニアによって CO ₂ を吸収し、再生塔で反応によって得られた重炭酸アンモニウムスラリーを 120℃程度に加熱して CO ₂ を放散する分離方法。
39	イオン液体法	イオン液体は、常温、溶媒なしで液体(イオン)状態を保つ熔融塩であり、CO ₂ の選択的溶解性が高いことから、CO ₂ 分離回収技術への応用が期待されている。
40	ULCOS	Ultra-Low CO ₂ Steelmaking の略。欧州で展開されている低炭酸ガス排出型製鉄プロジェクトの総称
41	モデル製鉄所	高炉 2 基体制、粗鋼 800 万 t/年規模の仮想製鉄所。
42	代表製鉄所	モデル製鉄所から派生したエネルギーバランスに特徴を有する仮想製鉄所のこと。製鉄所の構成は同一であるが、コークス比や溶銑配合率といった主要な操業条件が異なり、排ガスの発生量などが変化する。
43	IGCC	Integrated coal Gasification Combined Cycle の略。石炭をガス化して利用する発電方式のこと。
44	EOR	Enhanced Oil Recovery の略。地下に取り残された原油を更に回収する方法のことで、石油増進回収法と呼ばれる。その一つに CO ₂ を圧入する方式があり、代表的な CCS 手法の一つである。

<⑤ 未利用排熱活用技術の開発>

NO.	用語	意味・説明
1	ヒートポンプ	エネルギーを投入することにより温度差を作り出す装置。動作原理により、圧縮式・吸収式・化学ヒートポンプ等に分けられる。
2	改質	化学物質の組成・性質を改良することであり、特に燃料の組成を化学反応により変える事を指す。
3	水素透過膜	水素分離膜とも言う。水素を選択的に透過する膜であり、パラジウム等の金属、セラミックス、樹脂等が用いられる。分離すべき
4	潜熱蓄熱	融解熱や気化熱などの転移熱を利用して熱の出し入れをする。顕熱蓄熱に比べ高密度の蓄熱が可能(重量当たりの蓄熱量が大きい)。
5	PCM	Phase Change Material の略:相変化物質。その融点程度の温度の用途の潜熱蓄熱に利用することができる。
6	製鋼スラグ	製鋼の精錬工程で発生するスラグ。転炉系スラグと電気炉系スラグがある。転炉系スラグには脱炭工程で発生する脱炭スラグ(転炉スラグ)と脱りん、脱硫、脱珪等の予備処理工程で発生する溶銑予備処理スラグがある。
7	転炉スラグ風砕システム	熔融転炉スラグを空気流で吹き飛ばして粒状化し、粒状化したスラグおよび高温となった空気から熱を回収して、蒸気を製造するプロセス。
8	CDQ	Coke Dry Quenching の略:コークス乾式消化設備。コークス炉から出た

		赤熱コークスを投入し、炉頂ガス(N ₂ ガス)と熱交換して、コークスの顕熱を回収する設備。800℃以上に昇温した炉頂ガスからボイラーで高温高圧の水蒸気を製造する。
9	水冷ロール間接冷却技術	内部を水冷した金属製ロールに溶融スラグを接触させて、連続的に凝固する技術。
10	製鋼スラグのエージング	出荷前にスラグを屋外に山積みし、適当な期間大気中に保持することあるいは蒸気等によってスラグを安定なものにする処理方法。製鋼スラグには、フリーライム CaO が存在し、膨張崩壊の原因となる。フリーライムの水和反応を進行させてしまい、Ca(OH) ₂ とすることで膨張崩壊性のないものにする。
11	ポルトランドライト	水酸化カルシウム Ca(OH) ₂ のこと
12	ピンチテクノロジー	熱回収システムの解析及び設計手法のこと。英国マンチェスター理工科大学のボド・リンホフ教授の研究グループを中心に 1970 年代後半から開発が始まった。第1世代といわれるピンチテクノロジーは「プロセス製造設備」を対象に解析が行われ、第2世代になり、ボイラー、タービンや蒸気ヘッダーなどから構成される「蒸気システム」または「エネルギーシステム」とも称される工場のインフラ部分を対象として適用されている。
13	SSSP	Site Source and Sink Profile の略、工場全体のプロセス流体の加熱とプロセス流体の冷却の需要曲線を描くことによって、工場全体の熱需要を明らかにすると共に、同時に用役の選択と配分を同じグラフ上に書き込むことで、用役とプロセス流体のマッチング状況を確認できる解析手法。
14	プロセス流体	原料や製品などの流体で製品の品質維持のために運転条件が変更できない流体。(SSSP 解析での定義)
15	用役流体	プロセスシステムの単位操作に必要な熱エネルギーを燃焼ガス、蒸気や熱エネルギーを除却する冷却水や回収蒸気などで運転条件が変更できる流体。(SSSP 解析での定義)
16	改善計画(ターゲット)	SSSP 解析より、改善の可能性を検討し、理論的に達成可能な目標値を求める作業のこと。
17	熱複合線	複数の流体が持つ温度と熱量の情報を、同じ温度区分の熱量を統合することによって1本の線図で判りやすく示したもの。
18	究極条件	将来技術革新にて未回収のプロセス廃熱から熱回収を拡大した理想的な扱いを想定した条件。(SSSP 解析での定義)
19	カーリーナサイクル	1985 年米国の科学者カーリーナによって考案された高効率発電サイクルである。多成分混合流体を作動流体として使用し、その特性をうまく利用して熱源の熱を最大限に利用し高出力を得ようとするものである。多成分系の混合流体を作動流体として使用することにより、発電効率を従来より 20%以上高めることが可能な新しい熱サイクル。
20	プロセスシミュレータ	物性(物質の性質)データと現象の数学モデルを利用して、計算機上で対象プロセスを模擬することにより、その設計や運転方法についての検討を効果的に実施するためのソフトウェア。
21	低位熱発電システム	工場の 100℃前後やそれより低い温度領域の排熱を高濃度アンモニア

		水と蒸発器で熱交換し、熱サイクルの熱源とするシステム。 本サイクルは、カリナサイクルに近いシステムであるが吸収凝縮器などの工夫をしているシステム。富士石油殿は石油精製に伴う低温の廃熱を有効活用する目的でこの低位熱発電システムを導入している。
22	ランキンサイクル	非可逆熱サイクルの一種で、蒸気タービンの理論サイクル。
23	熱交換器	温度の高い物体から低い物体へ効率的に熱を移動させる機器。液体、気体などの流体を扱うものが多い。熱の段階的利用や回収による省エネルギーのため、積極的な導入が求められている。
24	蒸発器	種々の水溶液から水分を気化して除去する装置。今回の低位熱発電システムでは、作動流体であるアンモニア・水がこの蒸発器において熱源と熱交換することで、液体から気液混相状態となる。
25	吸収凝縮器	圧縮機より吐き出された高温・高圧の冷媒ガスを水や空気などで冷却して、凝縮(液化)させる熱交換器のこと。
26	HTRI	世界的に広く使用されている熱交換器設計の専用プログラム。社名(Heat Transfer Research Inc.)がプログラム名となっている。
27	高炉水砕スラグ	高炉から生成する溶融スラグに多量の圧力水を噴射することにより急冷した砂状のスラグのこと。
28	温水ヒートポンプ	ゼオライトの吸着熱を利用して容器内の温度を上昇することにより容器に導入した水を蒸気化させる技術。
29	熱容量流量比	熱交換器において、高温側流体の比熱[J/kg/K]と流量[kg/s]の積(単位は[W/K])を、低温側流体の比熱と流量の積で除した無次元数であり、熱交換性能を評価する際のパラメータの一つである。
30	マイクロ熱交換器	伝熱プレートに数十～数百 μm 程度の微細な流路パターンを刻み、そのプレートを積層してプレート表裏面で熱交換をおこなうプレート式熱交換器の一種であり、体積あたりの伝熱面積が一般的な熱交換器と比較して大きいのが特徴。
31	温度効率 (高温側温度効率)	熱交換器の性能を評価する指標の一つ。高温側温度効率と低温側温度効率の2種類があるが、本プロジェクトでは高温側温度効率を単に温度効率と称し、高温側流体の熱交換器入口温度と出口温度の差を、高温側流体の入口温度と低温側流体の入口温度の差で除した値(もしくはその百分率)で定義される。
32	D/H	熱回収炉の炉体の形状を表す指標の一つ。炉体の直径(D)と高さ(H)の比率であり、CDQでは炉内コークスの均一荷下がり関係からD/H=0.8～1.0程度に設定されている。

I. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置づけ

1.1 事業の背景

地球温暖化問題は、予想される影響の大きさや深刻さから、人類の共通の最も重要な問題の一つとなっており、世界が持続的な経済成長を維持しながら解決していくため、世界各国が協調、連携し、国際会議の場で様々な議論が為されてきた。その結果、地球温暖化問題に対処するため、気候変動枠組条約が 1997 年 5 月に採択され、その究極の目的を達成するための長期的・継続的な排出削減の第一歩として、先進国の温室効果ガスの削減を、法的拘束力を持つものとして約束する京都議定書が 1997 年 12 月に採択された。京都議定書は 2005 年 2 月に発効した。

わが国では 2005 年 4 月に京都議定書目標達成計画が策定され、2008 年から 2012 年までの第 1 約束期間における温暖化ガス排出量を 1990 年に対して 6%削減する約束を履行するための取組みを実施した。鉄鋼業界では自主目標を設定し、第 1 約束期間において 10%CO₂削減を目標とした取組みを実施しこれを達成した。

2013 年度からは低炭素社会実行計画に引き継がれている。また、2020 年以降の温室効果ガス削減に向けたわが国の約束草案は 2013 年度比で 26%を削減することとなっており、更なる CO₂削減を目指すためには、従来の省エネルギー技術の開発による効率向上だけでは限界があり、CO₂発生量を減らすと同時に CO₂を分離回収する革新的な技術開発が必要となる。

わが国の鉄鋼業は、原料である鉄鉱石を石炭コークスで還元して銑鉄を製造する高炉法による製造プロセスを採用しているため、多くの CO₂を排出し、産業部門の CO₂排出量の 43%を占め、わが国全体で 14%を排出している（図 I-1-1）。さらに、図 I-1-2 に一貫製鉄所の製造プロセスを示すが、鉄鋼業の中において高炉法による製鉄プロセスは、鉄鋼業の約 70%の CO₂を排出しており、高炉法による一貫製鉄所での CO₂排出量を削減することは、喫緊の課題である。

日本全体のエネルギー起源CO₂排出量に占める各部門の割合

産業部門のエネルギー起源CO₂排出量に占める各業種の割合

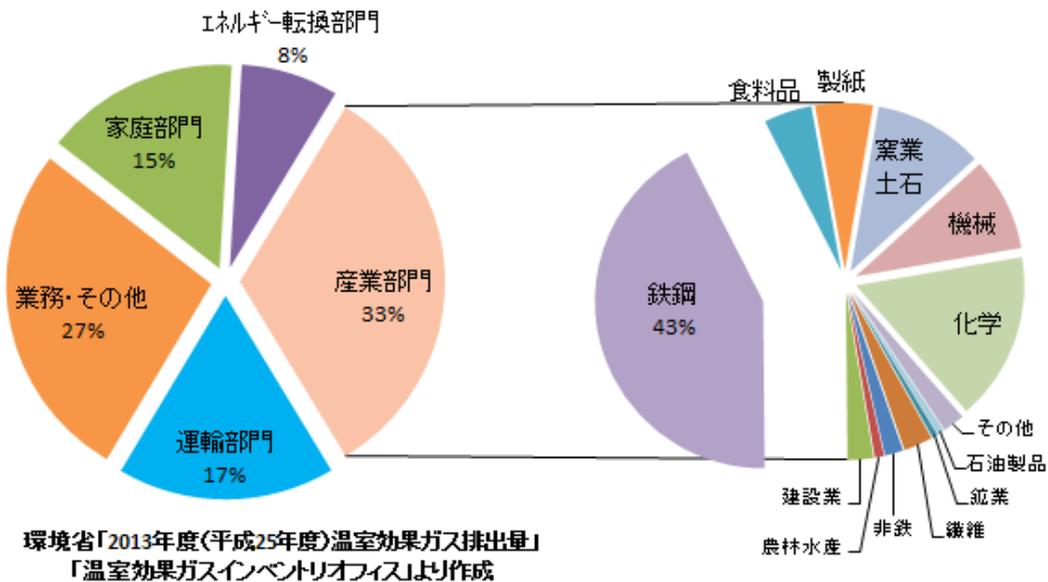


図 I-1-1 わが国の鉄鋼業における CO₂ 排出の現状

鉄鋼業が排出するCO₂の約7割は高炉を用いた製鉄プロセスで発生

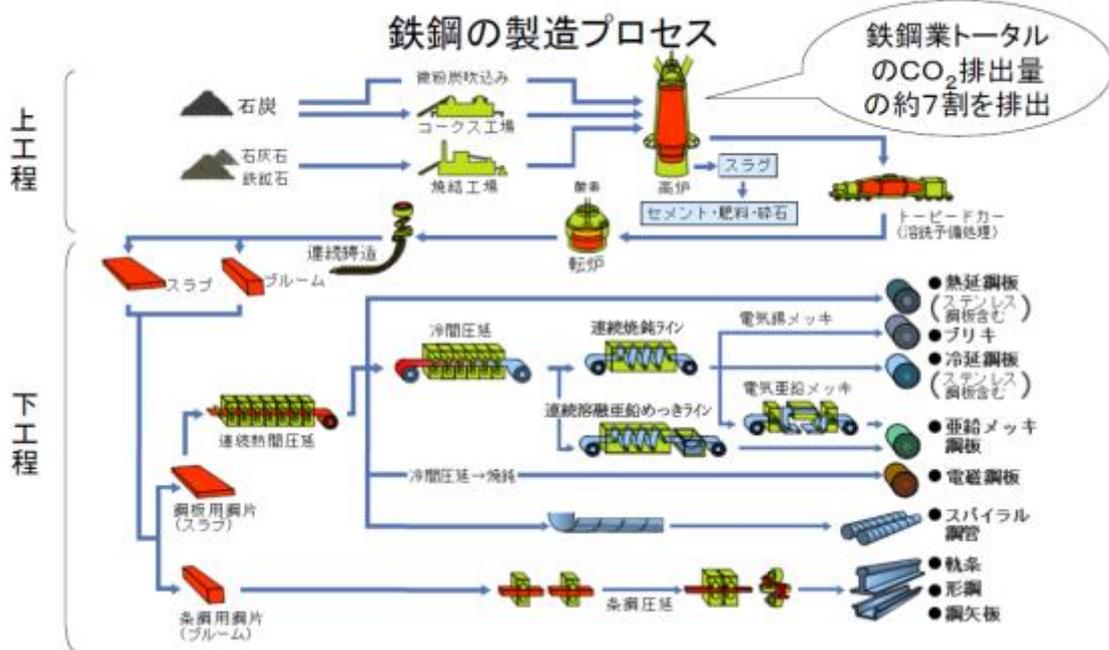


図 I-1-2 一貫製鉄所の製造プロセス

しかしながら、わが国の鉄鋼業は1973年以降、二度にわたる石油ショックを経験し、省エネルギー化を推進してきた結果、1971年から1989年の20年間で1973年のピーク時と比較し20%のエネルギー削減を達成し、既に世界最高水準に達しており、排熱や副生ガスの利用による省エネルギーも極限に達している。図 I-1-3 にこれまで鉄鋼業で実施してきた省エネの状況を、図 I

-1-4 にわが国の鉄鋼業（高炉・転炉法）で鉄 1 トンを作るのに必要なエネルギー原単位を 100 としたときの国際比較（2010 年）を示す。また、国際エネルギー機関（IEA）が 2014 年に作成した、導入障壁を全く考慮しないで、最先端技術を導入した場合の削減理論値の試算結果を図 I-1-5 に示す。これによると省エネルギー設備の導入が格段に進んでいるわが国の鉄鋼業の削減ポテンシャルは最も低く世界最小と評価されている。

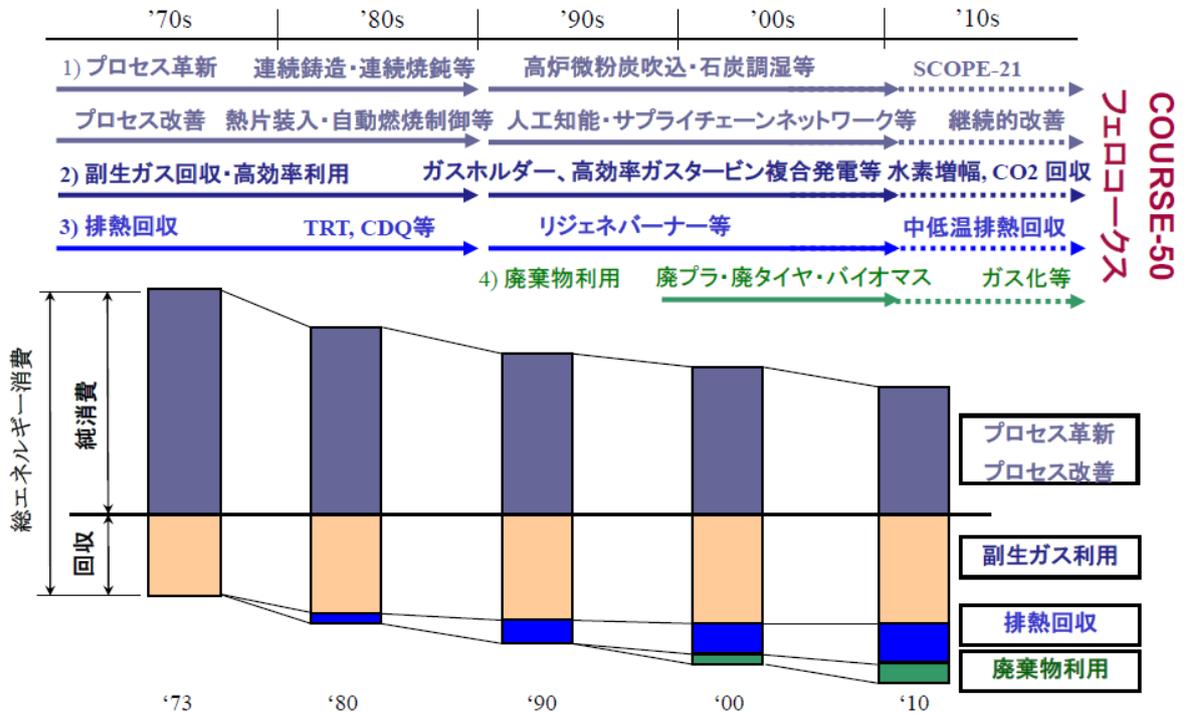


図 I-1-3 鉄鋼業の省エネルギーへの取り組みの推移

出典：(一社)日本鉄鋼連盟；「鉄鋼業の地球温暖化対策への取組 低炭素社会実行計画実績報告」、平成 27 年 1 月

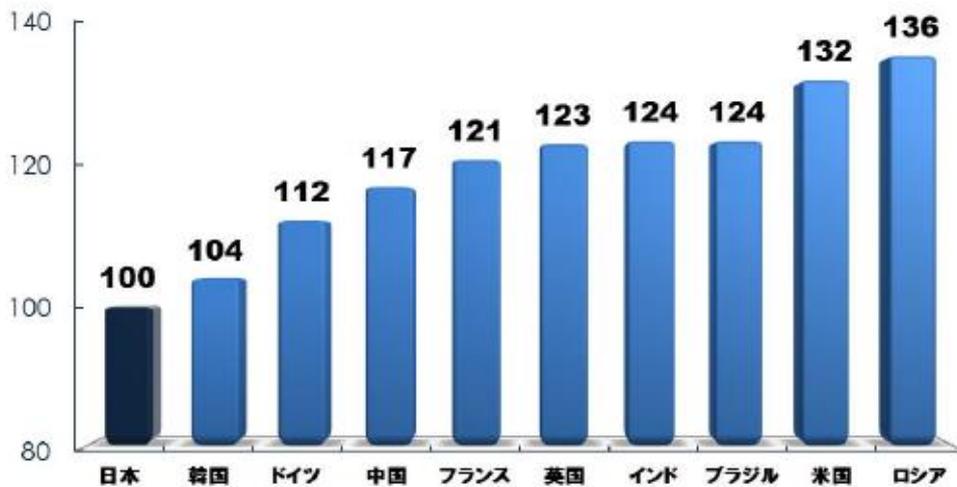


図 I-1-4 鉄鋼業（高炉・転炉法）のエネルギー原単位の国際比較

出典：「2010 年時点のエネルギー原単位の推計」RITE、2012 年 9 月発表（指数化は鉄鋼連盟）



図 I-1-5 鉄鋼業のエネルギー消費量削減ポテンシャルの国際比較

出所:『Energy Technology Perspective 2014』国際エネルギー機関(2014年5月発表)

注:棒グラフ(左軸)はBAT(Best Available Technology)を適用した場合のエネルギー消費量の削減ポテンシャル 丸印(右軸)は粗鋼トン当たりの削減ポテンシャル

このように、わが国の鉄鋼業は1970年代のオイルショック以降、省エネルギー化を推進し、排熱や副生ガスの利用による省エネルギーも極限に達しており、現状技術の延長上では効率向上による大幅なCO₂削減を望めないことから、更なる温室効果ガス削減のためには新たな革新的な技術開発を推進する必要が求められている。

このような背景のもと、コークス製造時に発生する高温の副生ガス(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量し、これらの水素を鉄鉱石の還元材として利用することでコークス使用量を削減し、高炉からのCO₂排出量を削減する技術開発と、製鉄所内で未利用の排熱をエネルギー源として利用し、高炉ガス(BFG)からCO₂を分離回収する技術開発により、CO₂発生量の大幅な削減を目指す「環境調和型製鉄プロセス技術開発(COURSE50)(注1)」が検討された。2008年3月に全世界の温室効果ガス排出量を現状に比べて2050年までに半減するという長期目標実現に向け、「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」が策定された。この中でCOURSE50は重点的に取り組むべき21のエネルギー革新技術の中において、「コークスの代わりに水素を還元材とする技術及び二酸化炭素分離回収技術により排出を抑制する革新的製鉄プロセス(2008年度から基礎研究、2013年度から実証試験を行い、水素製造や二酸化炭素分離回収貯留に係るコスト状況を踏まえ、まずは2030年までに製鉄所での排出量を約30%削減する技術を確認し実機化を目指す)」として取り上げられている。さらに、2013年からの低炭素社会実行計画、2020年以降の温室効果ガス削減に向けたわが国の約束草案を構成する技術の一つとして位置づけられている。

(注1)COURSE50:本プロジェクト略称(CO₂ Ultimate Reduction in Steelmaking Process by Innovative Technology for Cool Earth 50)の英文略称)

1.2 事業の目的

(1)プロセスの選択

大型高炉による鉄鋼一貫プロセスである日本における対策ということを勘案し、高炉法による製鉄プロセスの技術開発を対象とする。2030年までに技術開発を完了させ、その後高炉の設備更新に合わせ順次設備導入を行い、最終的に2050年までに対策完了となるスケジュールを前提とする。

(2) 高炉に適用する技術の選択

CO₂発生量の削減のために高炉に適用する技術の選択については、表 I-1-1 に示す様な対策技術マップが挙げられる。脱炭素に向けた還元方法としては、水素を活用することとなる。水素源の選択としては、①天然ガスの活用、②コークス炉副生ガスの所内活用、③電力の間接活用・水の電気分解が挙げられるが、③電力の間接活用については量確保の困難さ、①天然ガスの活用は、炭素を含有する水素源の外部調達という位置づけであるが、熱量当たりのCO₂排出係数の観点では、②の副生ガスの所内活用が自家調達での水素源として最有力候補となる。

次に炭素系還元材を使用する部分の対策としては発生する高炉ガス中のCO₂ガスを後で分離除去する方法で対処する。以上を総括すると、コークス炉副生ガスの還元材利用などの高炉送風操作と高炉ガス中のCO₂ガスの分離回収がシナリオとなる。

表 I-1-1 高炉に適用可能な技術

(1)炭素以外の鉄鉱石類還元材の利用	(2)炭素による還元→排出CO ₂ の分離・回収
水素の活用 ・天然ガス ・副生ガスの所内活用(COG改質等) ・電力の間接活用(水の電気分解)	高炉ガスからの分離 ・化学吸収法 ・物理吸着法 ・他

以上から、図 I-1-6 に本技術開発の概要を示す。

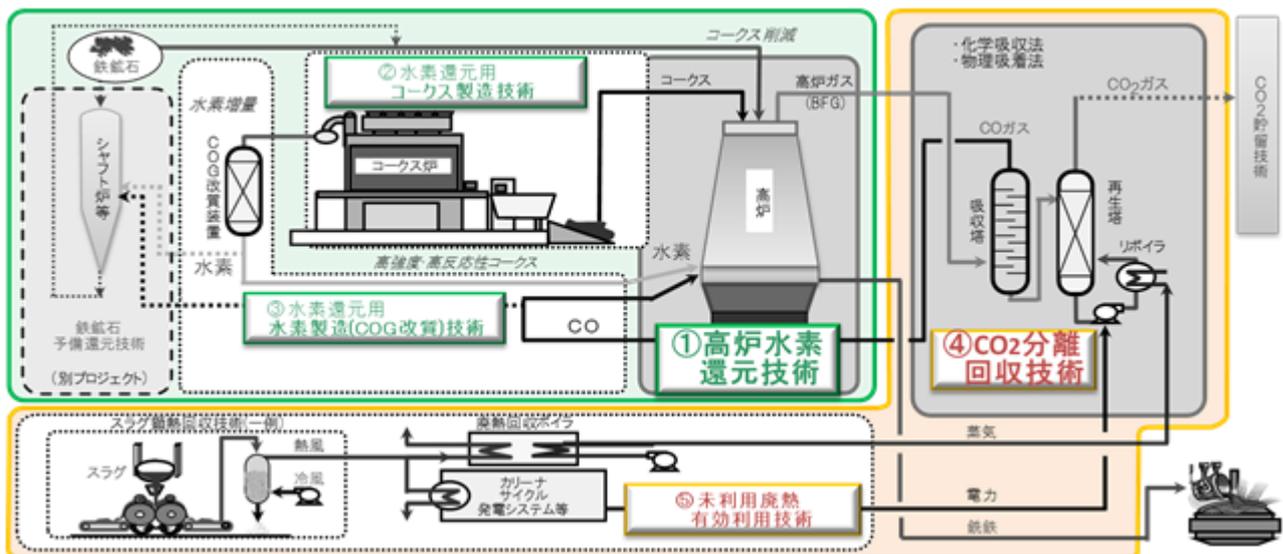


図 I-1-6 技術開発の概要

本技術開発では、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 COG 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を開発する。また、高炉ガス（BFG）から CO₂ を分離するため、製鉄所内の未利用排熱を活用した革新的な CO₂ 分離回収技術を開発する。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、低炭素社会を目指す。

これらの技術開発においてフェーズ I Step1（平成 20～24 年度（5 年間））として要素技術開発を実施した。今後、フェーズ I Step2（平成 25～29 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後、フェーズ II（実証規模試験）を経て、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 削減を可能にする技術の確立に資する。図 I-1-7 に本技術開発（フェーズ I Step2）の位置づけを示す。

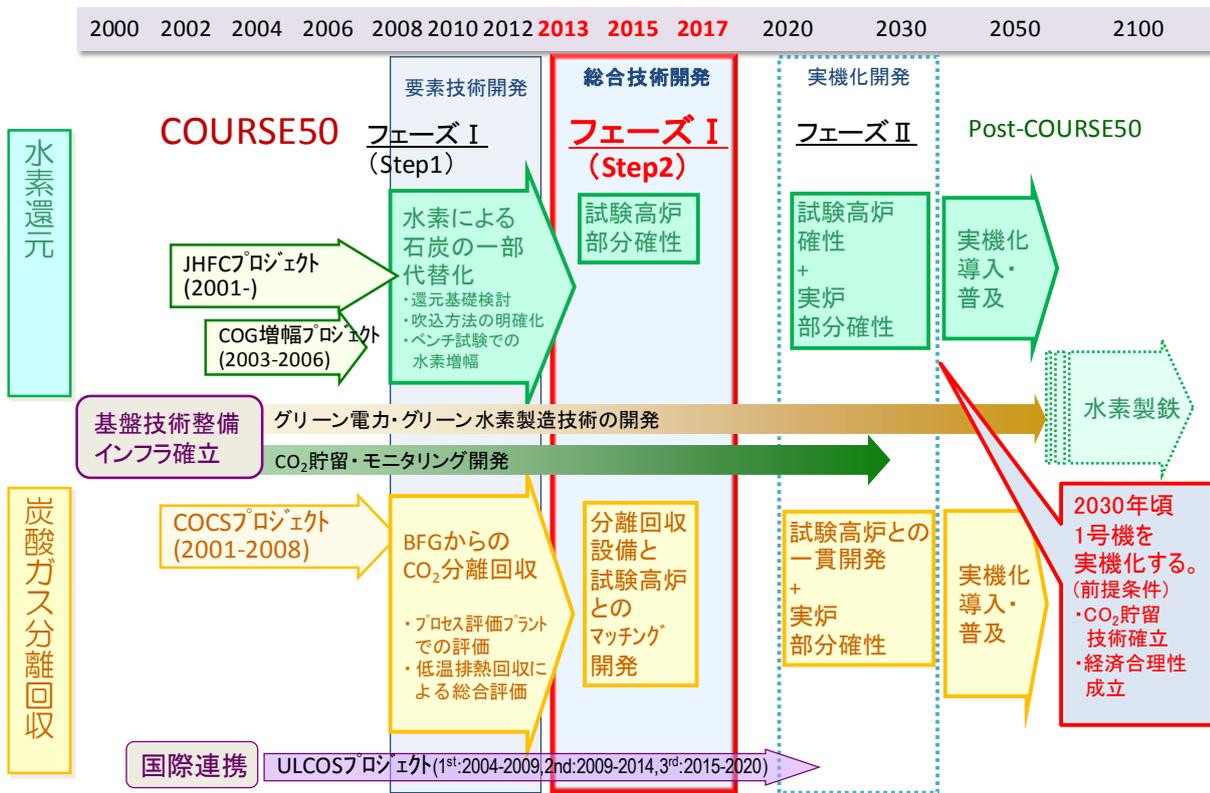


図 I-1-7 COURSE50 フェーズ I Step2 の位置付け

本事業を構成する技術の基本的なプロセス設計の考え方は以下の通りである。尚、更なる将来の「高水素比率時代」には、プロセス自体の変貌も十分ありえるものである。

(3) 高炉からの CO₂ 排出削減量の規模観

本技術における高炉からの CO₂ 排出削減の狙いは図 I-1-8 に示すとおりである。H₂ による鉄鉱石還元反応は吸熱反応であり、この熱を補う必要がある。このため、高炉ガスの送風操作や原料条件の最適化などによって、H₂ と CO による間接還元を向上させて直接還元を低下させることにより、炭素消費量を削減する、すなわち CO₂ 排出削減をするものである。Step1 における基礎検討結果から、炭素消費量の削減目標レベルを約 10%とした。

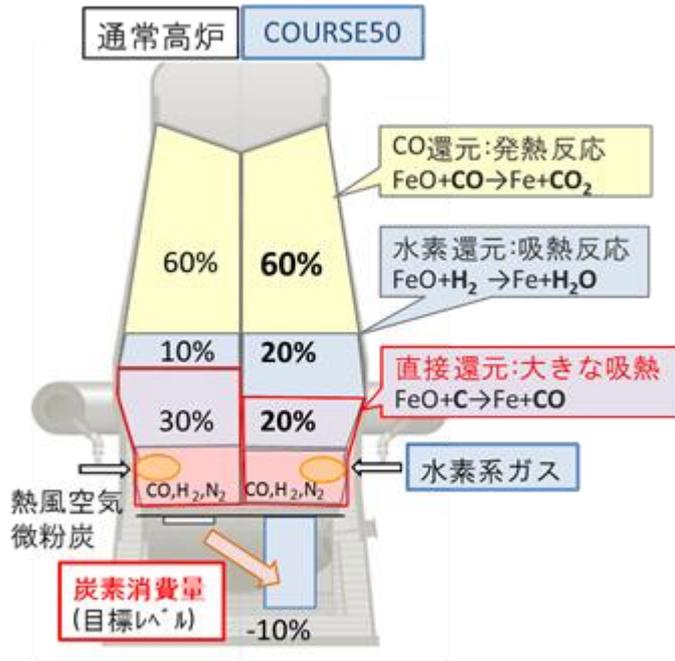


図 I-1-8 COURSE50 高炉の狙い

(4) 高炉ガス CO₂ 分離回収による CO₂ 削減量の規模観

BFG ガス中の CO₂ は製鉄所全体の約 70% を占めるが、高炉炉頂段階では、ガス組成として CO 22%、CO₂ 22% 程度であり、高炉ガス中の CO₂ としては、 $70\% \times 0.5 = 35\%$ 程度が除去される財源はある。そういう意味では、例えば CO₂ 吸収液の再生エネルギーが充分あれば、バランス上は、当該技術で 35% の CO₂ 削減が可能となる。

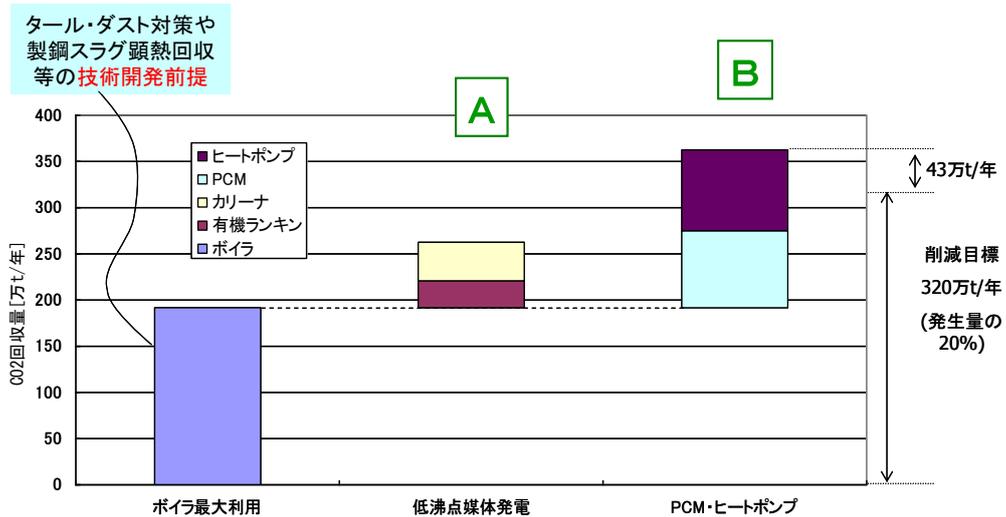


図 I-1-9 製鉄所の未利用顕熱の活用規模

しかしながら、CO₂ 吸収液の再生エネルギーを製鉄所内の未利用エネルギーに求めると、その供給ネックが発生する。自然エネルギー等の再生可能エネルギーより低コストで回収できる未利

用排熱を最大限活用することを前提として、その具体的量を調査した結果が、図 I-1-9 であり、未利用排熱のうちで利用可能な量は、排出 CO₂ の 20% を分離・回収できるものと設定している。

1.3 事業の位置付け

わが国では、石油ショックやエネルギー・環境問題の高まり等の課題について、時代の要請に応える形で、1973 年以降、エネルギー技術関連計画を策定しており、図 I-1-10、図 I-1-11 に、エネルギー関係技術開発ロードマップにおける、わが国におけるエネルギー技術開発に関するこれまでの取組を示す。

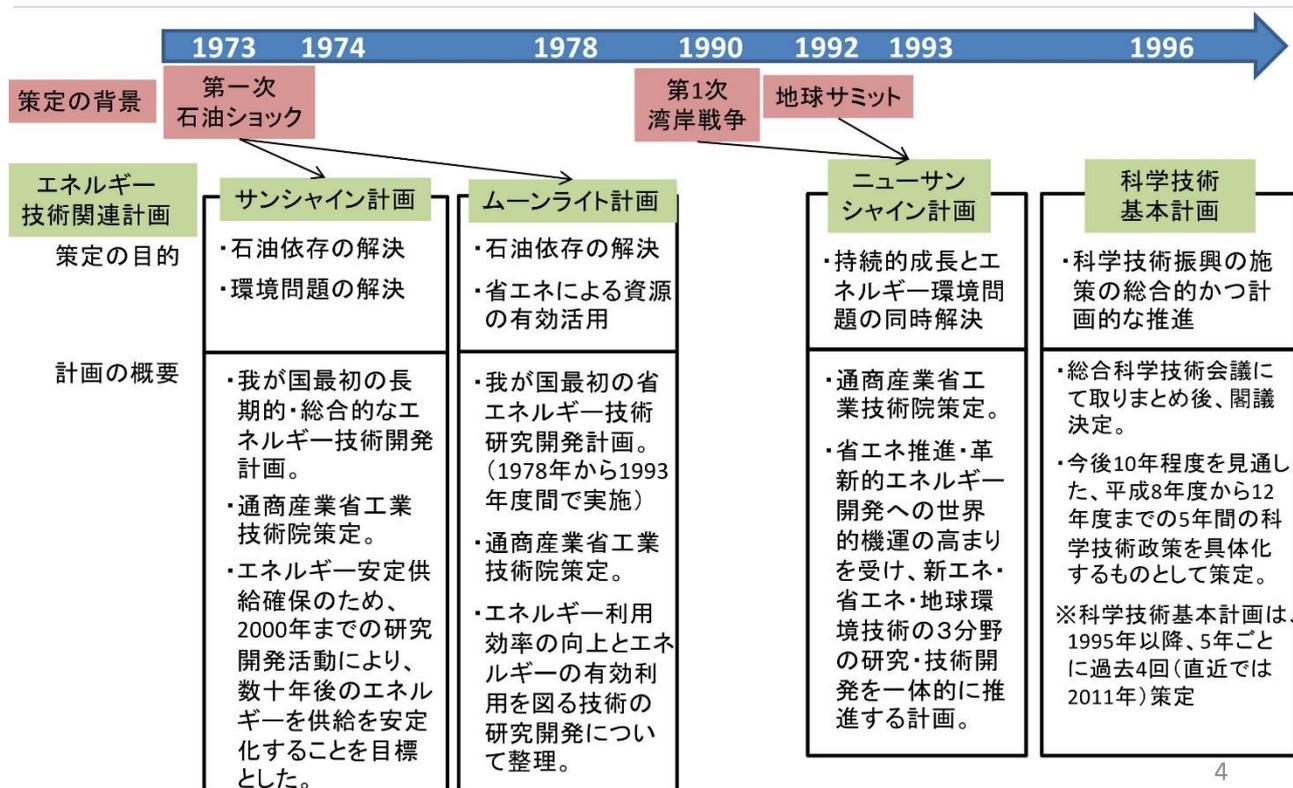


図 I-1-10 我が国におけるエネルギー技術開発に関するこれまでの取組 その1

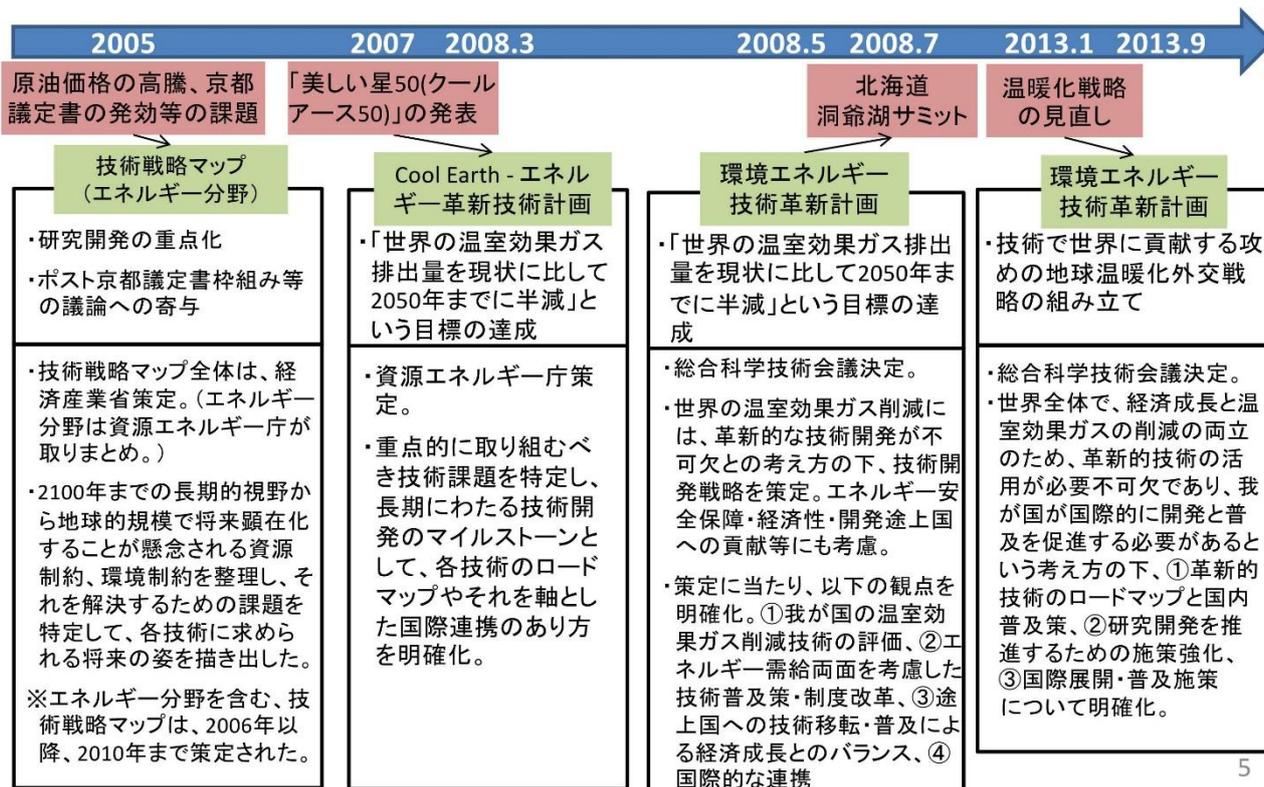


図 I-1-11 我が国におけるエネルギー技術開発に関するこれまでの取組 その2

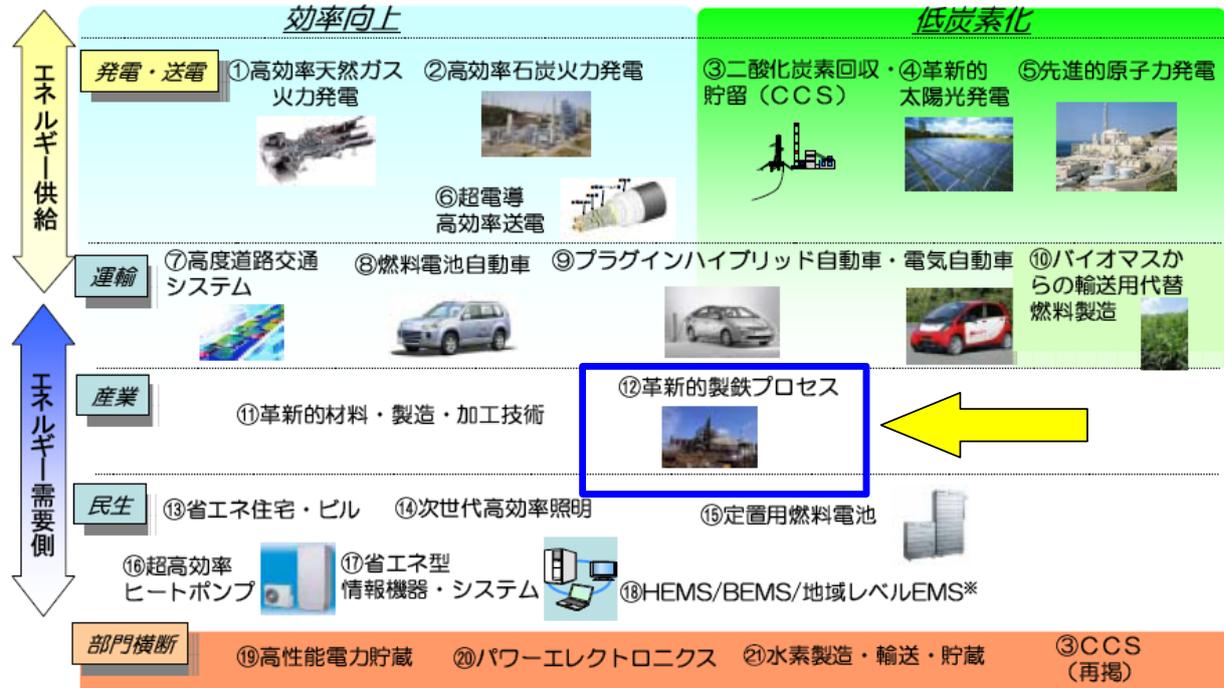
本事業は、これまでの取組も含め、下記のように位置づけされている。

(1)Cool Earth50

COURSE50 は、2008年3月に全世界の温室効果ガス排出量を2050年までに現状に比して半減するという長期目標実現に向け、策定された「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」に、図 I-1-12 の様に効率の向上と低炭素化の両面から重点的に取り組むべき21の技術の一つとして選定されている。

— 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。



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

図 I-1-12 Cool Earth 50 における重点的に取り組むべきエネルギー革新技術

(2)環境エネルギー技術革新計画

2008年5月に閣議決定された環境エネルギー技術革新計画では、温室効果ガス排出低減のため、2030年以降の中長期的対策に必要な技術で削減効果の大きな革新技術の一つとして、コークスの一部代替に水素を利用する水素還元製鉄が記載されている。環境エネルギー技術革新計画は、2013年に改訂されたが、2030年ごろ以降で実機化・普及が見込まれる主要技術として、環境調和型製鉄プロセスが明記されている。

更に、2008年7月に閣議決定された低炭素社会づくり行動計画でも、開発を推進すべき項目の一つとして「コークスの代わりに水素を還元材とする技術及び二酸化炭素分離回収技術により排出を抑制する革新的製鉄プロセス（2008年度から基礎研究、2013年度から実証試験を行い、水素製造や二酸化炭素分離回収貯留に係るコストの状況を踏まえ、まずは2030年までに製鉄所での排出量を約30%削減する技術を確立し実機化を目指す）」と明記されている。

(3)エネルギー関係技術開発ロードマップ

上記以外にも、東日本大震災後の2014年4月に改訂されたエネルギー基本計画に基づき2014年12月に策定された「エネルギー関係技術開発ロードマップ」にも、戦略的に技術開発を推進すべき技術として図I-1-13の様に消費のサプライチェーンの一つとして、「環境調和型製鉄プ

ロセス」が記載されている。また、環境調和型製鉄プロセスは、エネルギー関係技術開発ロードマップに図 I-1-14 の様に記載されており、本プロジェクトに関連する二酸化炭素の分離・回収技術は、図 I-1-15 に開発すべき技術として明記されている。

(4)イノベーションプログラム

2005 年度以降、経済産業省の全ての研究開発プロジェクトは、政策ごとに 7 つの「イノベーションプログラム」の元に体系化が図られた。本事業は「環境安心イノベーションプログラム」の「地球温暖化防止新技術」と、「エネルギーイノベーションプログラム」における「総合エネルギー効率の向上」に登録されている。

以上の様に、本プロジェクトは、日本のエネルギー政策、低炭素化に向けた政策の中で重要な位置づけとなっている。

<技術課題全体の整理図>

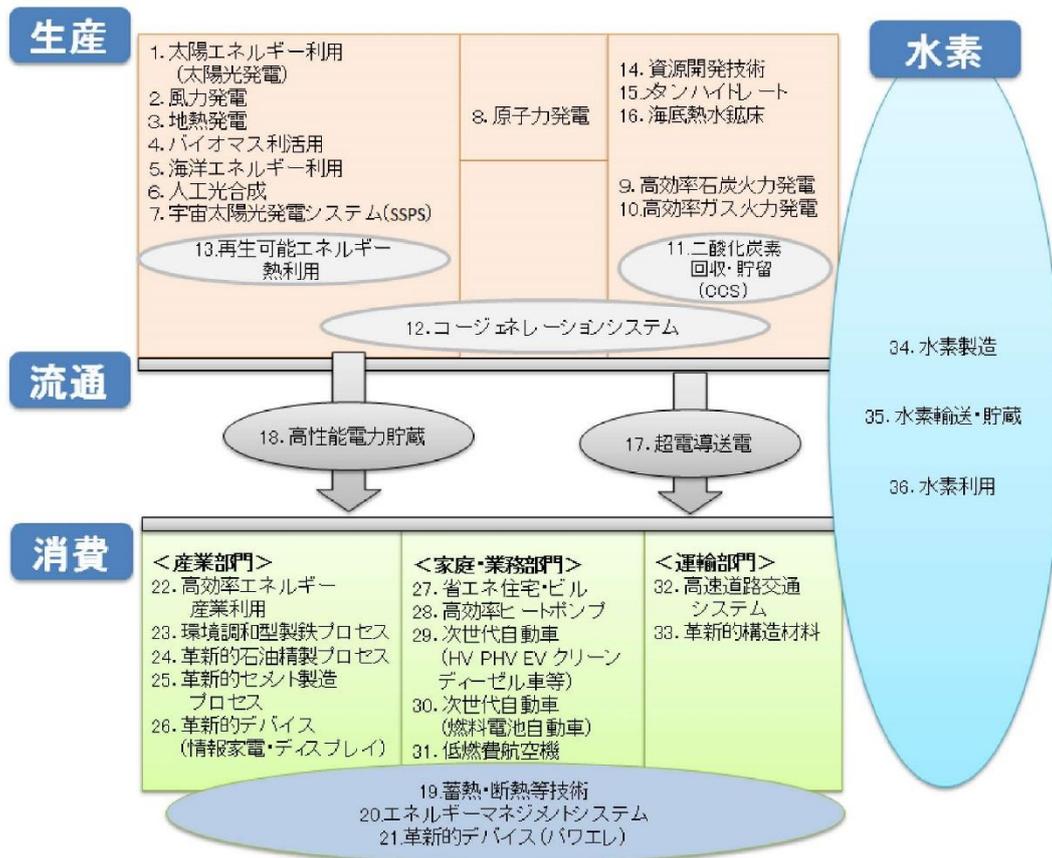


図 I-1-13 エネルギー関係技術開発ロードマップにおける技術課題全体の整理図

23. 環境調和型製鉄プロセス

当該技術を必要とする背景

○製鉄業は我が国の中核産業の一つであり、世界最先端の省エネ型産業でもある。現行の製鉄プロセスは連続化・ガス再利用等の既存プロセス型省エネ技術は導入済みで、世界最高水準のエネルギー効率を誇っている。しかし、鉄鋼業が排出するCO₂の約7割は高炉プロセスで発生していることから、高炉プロセスについての抜本的な技術開発による大幅なCO₂の削減が喫緊の課題。技術的ハードルが高く、長期の技術開発が必要であり、一社単独では実現出来ないため鉄鋼業界として推進している。

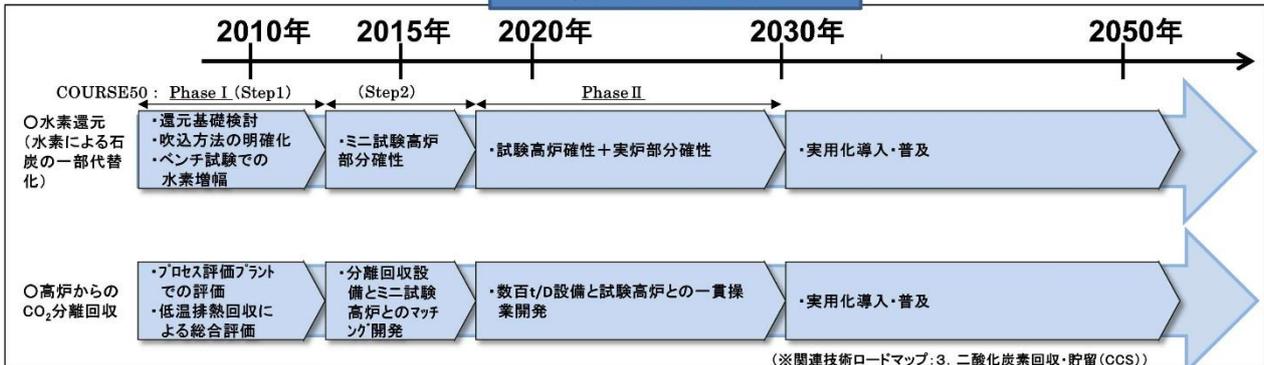
当該技術の概要及び我が国の技術開発の動向

○(1)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活用し、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の開発、(2)CO₂濃度が高い高炉ガスからCO₂を分離するための新たな吸収液の開発、物理吸着技術の開発、製鉄所内の未利用低温排熱を利用した新たなCO₂分離・回収技術の開発を実施。
 ○CCSはCO₂分離・回収・貯留の一連の技術。高炉ガスからのCO₂分離・回収については、独自に開発を行っている一方で、貯留については、発電所の排ガスからのCO₂貯留と共通の技術を利用予定。

導入に当たっての制度的制約等の社会的課題

○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。

技術ロードマップ



備考(海外動向、他の機関における取組)

○米国、EU、豪州では、新規フラッシュ製鉄プロセスや、炉室内への鉄鉱石の直接投入プロセスの開発、代替燃料の開発等に取り組んでいるが、いずれも研究段階か、資金不足などにより中断している。実用化に向けた取組の段階にあるのは、日本だけである。

図 I-1-14 環境調和製鉄プロセスのロードマップ

11. 二酸化炭素回収・貯留(CCS)

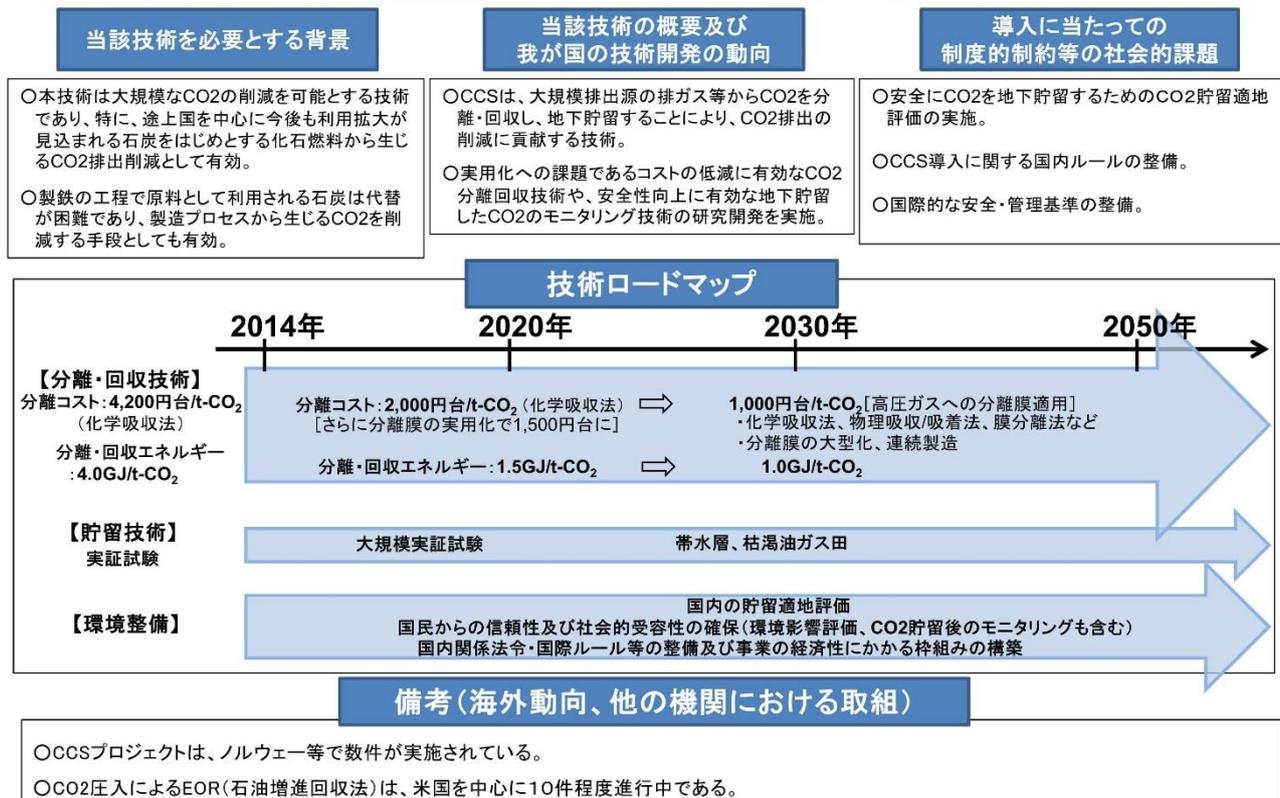


図 I-1-15 二酸化炭素回収・貯留のロードマップ

2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

2.1 NEDO が関与することの意義

本プロジェクトは、1.で述べたような国際的にわが国の地球温暖化対策に資する技術開発であり、国の政策として開発すべき技術として様々な資料に記載されているものである。そもそも、地球温暖化対策は、短期的には政策的に大きく振れることが予想され、長期的な視野から実施すべきである。

つぎに、水素による還元割合を高め、コークス使用量削減や省エネルギーによる二酸化炭素排出量を削減する技術は、革新的な技術であり、長期の技術開発が必要である。したがって、水素による鉄鉱石還元メカニズムの解明等の基礎的な研究と、高炉法プロセスの知見を活用することで、長期的視野からの技術開発が必要であり、国が基盤的な研究支援を行うと共に、わが国の高炉法プロセスに知見を有する民間企業の力を結集して推進すべきプロジェクトである。

また、COURSE50 が取り組む二酸化炭素の高炉からの排出削減および分離・回収技術は、地球温暖化を抑制することで国民全般の利益に資することとなり、公共性は高いが、鉄鋼業にとって、二酸化炭素の高炉からの排出削減及び分離・回収する技術を実機化しても直接的な利益を生むことがない上に、高炉からの排出削減および分離・回収のためのコストが必要となる。これは、実機化することで総合的な利益を生む従来の省エネルギー技術とは異なり、民間企業が技術開発のために投資に躊躇することに繋がる。

以上から、長期的な視野から国の政策として必要な技術であると共に、民間のみでは開発期間、効果の面で実施が困難であり、また、民間に力を結集して技術開発を行うには、NEDO が資金負担を行い、実施すべき事業である。

2.2 実施の効果(費用対効果)

本プロジェクトの CO₂ 削減効果は、製鉄所で発生する CO₂ のうち約 30% を削減するという挑戦的な目標である。更に将来的には更なる削減 (65~80%) へ向けた取組みが必要と考える。このためには、水素還元技術を含めた脱石炭還元を目指すことになるが、本プロジェクトはその先駆けとなるものであり、化石燃料に依らない水素や電気が社会に多量に安定して供給される基盤が形成された場合には、更なる CO₂ 排出量の削減が可能になるものと期待される。

本プロジェクトは当初 10 年間で基礎研究と方向性を定める第一ステップ (フェーズ I 及びフェーズ II の内、フェーズ I の Step1 と Step2) とし、その後のスケールアップを含む第二ステップのフェーズ II (10 年程度) を経て、基本技術の確立を目指す。現時点では、2030 年までに基本技術を確立して実機化を目指すこととしている。今後、進捗を見ながら開発を早めることを検討していくが、いずれにしても、20 年の長期に渡る大規模な開発プロジェクトである。第一ステップの当初 5 年間は約 100 億円、フェーズ I (Step2) については、150 億円以上が必要であると予想している。フェーズ I は基本技術の確立の位置付けであり、NEDO の委託事業として実施するものである。

CO₂ 排出量の多い鉄鋼業において CO₂ 排出量の抜本的な削減に応えるためには、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必要があることから国内高炉 4 社の技術力を共通する施策目標の下に結集させ、早期実機化を念頭に置いた効率的な連携体制により運営することが必要である。また、ここで掲げている CO₂ の抜本的な削減目標は、本プロジェクトのみでは到

達不可能であり、周辺技術、社会システム、制度等、全ての環境整備を並行して進める必要があり、政府を始めとした関係者の協力と認識の共有化、共通化が必須である。

さらに、世界鉄鋼協会（WSA）や EU 共同プログラムとの連携により、欧州諸国の最新技術動向を把握する等により本プロジェクトを効率よく実施する。鉄鋼業界では、旧 IISI（現 WSA）でのセクトラルアプローチの一環として、2003 年より世界の鉄鋼メーカーによる 2050 年に向けた CO₂ の抜本的な削減に向けて議論を重ねてきた。今回のテーマの絞り込みについても、こうした場での議論結果が生かされている。さらに、今後も地球規模での鉄鋼プロセスからの CO₂ 発生量削減へ向け、世界各地の鉄鋼協会、企業と連携を図りつつ、研究開発を進めていく予定である。また、今回の開発と連携の効果が期待できる欧州の開発プログラムとはわが国鉄鋼業界が個別により深い連携を図るべく進めている。

更に、今回取り組む BFG からの高効率 CO₂ 分離回収技術や COG 改質水素による鉄鉱石還元などは、世界でも最先端の画期的な技術である。こうした日本独自の先行技術と、欧州の技術を融合させる効果は相互にとって極めて効果的であると考えられる。

以上のことから、本プロジェクトは極めて高い挑戦的な技術ではあるが、実機化によって、日本の CO₂ 排出を約 4%削減可能であり、極めて大きな CO₂ 削減効果が得られるとともに、世界に対して日本の技術をアピールでき、且つ将来的には海外への技術的な支援も可能であることから、投資としての意義は非常に高く、得られるメリットは多方面に渡って大きいと考えられる。

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

(1) Step2 の課題と研究開発方針

COURSE50 の技術開発課題は、①高炉からの CO₂ 排出削減技術開発と②高炉ガスからの CO₂ 分離回収技術開発に大別される (図 II-1-1 参照)。前者については、コークス製造時に発生する高温の副生ガスおよびそのガスを改質して水素を増幅し、それらの水素を利用して鉄鉱石を還元する技術を開発することである。後者は、高炉ガスから 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活用して、CO₂ 分離のためのエネルギーを削減する技術を開発することにある。Step1 においては、表 II-1-1 に示した主要目標を掲げて研究を実施し、高炉に水素などの還元材を吹込むことによって高炉からの CO₂ 削減の可能性があること、H₂ 増幅が可能な COG の改質の可能性、高炉ガスの CO₂ 分離回収技術開発の実用化の可能性などの成果が得られた。Step1 の研究成果を踏まえ、Step2 では、高炉への還元ガス吹込み技術の実用化に向けた技術確立として試験高炉等による実証、CO₂ 分離・回収技術の更なる高効率化、低コスト化が課題である。

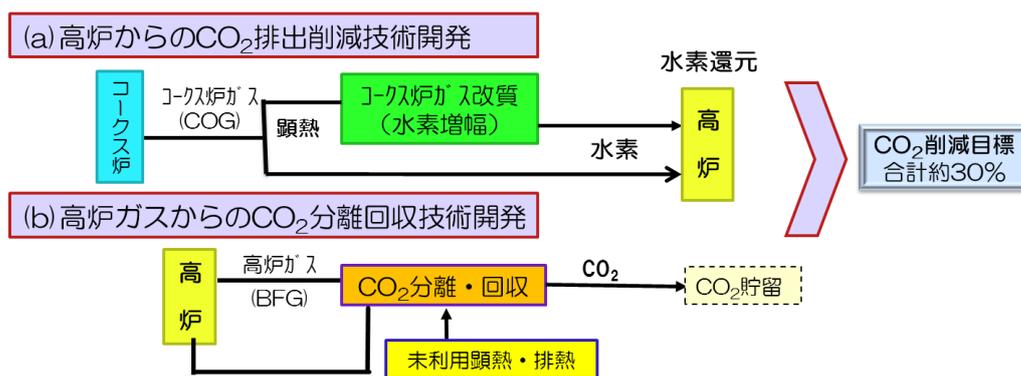


図 II-1-1 COURSE50 事業の目標

表 II-1-1 Step 1 到達レベルと Step2 における課題

主要目標	Step 1 の到達レベル	Step 2 の課題
[1]水素などによる鉄鉱石還元 メカニズムと反応制御の基礎技術を確立する。	当初計画外の LKAB 水素還元 試験をも含め、C の直接還元率の低減効果を得、高炉インプットで 2.5% から 3.5% 程度の CO ₂ 低減の可能性のあることを確認。	①ガス供給条件の最適化による更なる高効率化 ②Step1 でスコープ外の原料サイドの具備条件含めた総合検討による更なる高効率化 以上を 10m ³ 規模試験高炉で実施。
[2]水素の増幅率を 2 倍とするコークス炉ガス(COG)改質技術を確立する。	大量に製造した触媒の実 COG に対する触媒活性発揮を確認した (水素増幅率 2 倍)。	高炉要求の温度 (>800°C)、メタン成分低減の達成が新たな課題。触媒法のレベルアップ及び無触媒法採用も含む。
[3]水素還元高炉用のコークス 強	目標である DI ≥ 88 を満足する	10m ³ 規模試験高炉で評価

度(ドラム強度)DI \geq 88 を満足する高強度コークス製造技術を確立する。	製造方法に目処	
[4]高炉ガス(BFG)からの CO ₂ 分離回収コスト 2,000 円/t-CO ₂ (「分離回収法開発ロードマップ(CCS2020)」に示された目標)を可能とする技術の見通しを得る。	目標の 2000 円/t-CO ₂ 達成に目処。 CO ₂ の 20%を分離・回収できる未利用エネルギーを確認。	化学吸収法は 10m ³ 規模試験高炉との連動試験+更なるブレークスルー課題への取組み 物理吸着法は 40 万 t/年へのスケールアップ
[5]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 CO ₂ 削減を可能にする技術の確立に資する。	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作成し、水素還元 5.8%(ガス利用効率が同等前提)+CO ₂ 分離回収 20%の削減レベル。	Step2 開発進捗に伴う全体最適化評価の高度化により、総合改善 CO ₂ 削減 30%の技術確立。

以上の課題解決に向けて、Step2 の開発方針は以下のとおりである。すなわち低炭素製鉄を具現化していくために、①高炉からの CO₂ 排出削減技術については、水素還元を最大限に活用する送風操作技術の確立を基本とした上で、反応性操作も組み合わせる更なる高炉の熱効率向上を図る。また、②高炉からの CO₂ 分離回収技術については、環境保全と経済性を考慮し、更なる高効率・低コスト技術を追求する。

(2) Step2 の目標

本技術開発(フェーズ I Step2)では、CO₂ 発生量を大幅に削減する、環境に調和した製鉄プロセスの開発として、各要素技術を統合し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。

【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目途を得る。

研究開発項目(b) 高炉ガス (BFG) からの CO₂ 分離回収技術開発

- ・ 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目途を得る。

【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

- ・ 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。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

研究開発項目(1) 高炉からの CO₂ 排出削減技術開発

(a) 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

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。

- ・羽口及びシャフトへのガス吹込方法の CO₂ 低減に及ぼす効果をラボ試験、シミュレーションにて確認し試験高炉の試験条件を提示する。
- ・試験高炉の予熱ガス吹込設備の構成を決定するとともに試験条件を提示する。
- ・高炉羽口からの COG 複合吹込条件を最適化するためランス構造及び還元ガス吹込条件の燃焼反応挙動に対する影響を評価し、試験高炉用ランス仕様を提示する。
- ・COG 複合吹込に対応した高炉系のマクロバランスモデルを開発し試験高炉の試験条件設定を行う。
- ・水素還元最適原料性状、装入方法について検討を行い、還元性を改善する装入方法を提示する。

(b) 10m³規模試験高炉等による水素還元総合最適化技術開発

- ・10m³規模の試験高炉の計画、設計、建設を完了させる。

(c) コークス炉ガス (COG) 改質技術の開発

- ・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 30Nm³/hr 規模の実ガス試験設備を用いて、改質反応器への水蒸気の最適添加方法などの検討を行い、反応条件の最適化を図る。
- ・最適処理形式の検討結果を踏まえ新規試験装置などにより高炉への吹き込みガス用としての改質反応条件の最適化検討を行うとともに改質触媒の活性劣化対策技術の確立を図る。
- ・部分酸化法などの方式検討を含む COG 改質のプロセス検討を行い、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。

(d) コークス改良技術開発

- ・水素還元に適した高強度かつ反応性を制御できるコークス配合の方向性を提案する。

研究開発項目(2) 高炉ガスからの CO₂ 分離回収技術開発

(a) CO₂ 分離回収技術開発

1) 化学吸収法による CO₂ 分離エネルギー・コストの削減技術開発

再生温度の大幅低減(未利用排熱の利用拡大)、分離回収エネルギーの一層の低減のための吸収液を検討する。

2) 物理吸着法のコスト低減とスケールアップ検証

物理吸着法のスケールアップとして実機吸着層高相当の吸着塔により物理吸着法による高炉ガスからの CO₂ 分離を実証するとともに高効率化の課題検討を行う。

3) CO₂ 分離回収後ガスの有効利用技術の検討

高炉ガスの CO₂ 分離後の可燃性ガスなどの活用可能成分を回収して有効利用するための技術を検討する。

(b) 未利用排熱活用技術の開発

- ・製鉄所の低温排熱回収に適した熱交換器の仕様をラボ評価および実機排ガス顕熱回収試験装置での実証などにより決定する。
- ・製鉄所内に点在する低温排熱源からの熱回収、熱輸送のため、熱ロスが少なく熱交換効率の高い輸送媒体の調査、選定を行い、熱回収ネットワークのシステムを検討する。

・スラグ顕熱回収ベンチ試験により、スラグ製品の安定製造と熱回収効率の最大化を両立させる安定操業技術を確立する。

研究開発項目(3) 全体プロセスの評価・検討

(a)製鉄所からの CO₂ 排出量 30%削減を可能とするため、製鉄プロセス全体の総合的な最適化検討を行う。

(b)水素還元高炉の CO₂ 削減効果の強化・高機能化として以下の技術開発を行う。

1)要素技術の補強

CO₂ 排出削減効果を確実に得るため、Step1 で未検討であった以下のような範囲の技術開発を行う。

- ・ 鉱石系原料の還元性を向上させる技術
- ・ 鉄内装コークスなどの低温還元・高反応性コークス技術
- ・ 水素還元高炉で必要となる酸素富化操業のための酸素製造の高効率化技術などに関する省エネルギー技術

2)試験高炉の操業最適化のための技術

水素還元に適した原料性状の検討など、試験高炉の操業条件を最適化するために必要な技術を開発する。

3)スケールアップ補完技術

試験高炉の試験結果を基に実証試験規模高炉にスケールアップする際に必要となる補完技術を開発する。

研究開発項目は表Ⅱ-2- 1 のサブテーマに分割して実施することとする。

表Ⅱ-2- 1 研究開発項目

研究開発項目(1)高炉からの CO₂ 排出削減技術開発

サブテーマ			開発技術内容
① 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発 (SG1)	①-1	水素活用プロセス技術開発	ガス還元最適化、ガス還元最適化シミュレーション、羽口複合ガス吹込み最適化
	①-2	水素吹き込み高炉に適する原料利用技術	PC 燃焼メカニズム、シャフトガス吹き込みに対応した原料および装入物分布制御、還元粉化制御/予熱ガス吹込み
	①-3	高炉羽口からの COG 複合吹き込み条件の適正化	COG 複合吹き込みシミュレーション
	①-4	高炉系マクロバランスモデルの開発	高炉系のマクロな熱物質バランスモデル
⑥ 試験高炉によるプロセス評価技術開発 (SG6)			試験高炉の設計・建設・操業
② コークス炉ガス(COG)改質技術の開発 (SG2)			タールを始めとする炭化水素成分の改質反応および改質設備技術の確立
③ コークス改良技術開発 (SG3)			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

研究開発項目(2)高炉ガスからの CO₂ 分離回収技術開発

④ CO ₂ 分離・回収技術開発 (SG4)	④-1	化学吸収技術開発	試験高炉との連動運転 分離回収熱量原単位の極限低減、再生温度の低温化による排熱利用拡大 BFG の有効活用分離システム検討
	④-2	物理吸着技術開発	PSA の更なる効率化と実機化設計

	④-3	分離技術総合プロセス技術開発	CO ₂ 分離回収後ガスの有効利用技術(分離回収技術と排熱有効利用技術の総合プロセスとしての最適化。
⑤ 未利用排熱活用技術の開発 (SG5)	⑤-1	未利用低温排熱活用技術開発	未利用排熱集約のための熱交換器を主体としたエンジニアリング課題の抽出
	⑤-2	製鋼スラグ顕熱回収技術開発	熱回収可能なスラグ製品の安定製造と熱回収効率の最大化

研究開発項目(3) 全体プロセスの評価・検討

⑦ 全体プロセスの評価・検討 (SG7)	全体最適化、新規技術創出
-------------------------	--------------

以下に個々の技術開発の実施項目を記述する。

① 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

Step1 では改質 COG による排出 CO₂ 削減の可能性が確認できた。Step2 では削減量の定量化及びさらなる削減を可能とする高炉プロセスの検討を行う。水素還元の効果を最大限に引き出すためには、既に効果が確認されたシャフトからの改質 COG 吹き込みの他、羽口への非改質 COG の吹き込みも併用し、その割合などの種々の還元ガスの複合吹き込みに関する検討が必要である。その際には COG の最適な改質度、改質後最適成分の検討もさらに必要である。また、水素還元に適した原料設計においては、水素高炉に適する原料利用条件の解明と高炉炉頂での装入物分布制御などの適切な原料使用方法の開発に取り組む。そこで、オフラインによる基礎検討を実施し、得られた最適な吹き込み条件や、装入物条件に関する成果を試験高炉の仕様や操業条件へ反映させる。

1) 平成 27 年度のマイルストーン (中間)

水素還元の効果を最大限とするための操業条件および設備仕様をラボレベルで検討し、実現性、有効性に対する目処を得て具体的な試験高炉の試験計画を立案する。すなわち、還元試験やレースウェイ形成に関する評価、新しい高炉数学モデルを用いた高炉の溶銑トン当たりの炭素消費量の削減効果の評価、微粉炭燃焼挙動に関する基礎的な検討を実施するとともに、それらの結果から試験高炉の試験水準と試験条件の概略を決定する。また、試験高炉での予熱ガス吹き込み設備の試験操業条件への織り込み、燃焼挙動の評価を反映した試験高炉用ランス仕様の提示、付帯設備に関するモデルの構築と高炉本体の操業条件予測モデルとの総合化を行う。

2) 平成 29 年度のマイルストーン (最終)

10m³ 規模試験高炉などにより、高炉からの CO₂ 排出量を削減するための複合吹き込みを主体とする要素技術を確立する。すなわち、試験高炉で得られた試験結果を解析し、高炉内での反応進行を含む水素還元メカニズムを提示するとともに、ランス構造を含む最適な吹き込み条件とスケールアップ時の課題と解決手段を提示し、実証試験高炉へのスケールアップのためのプロセスイメージを構築する。さらに、試験高炉での予熱ガス吹き込み、装入物分布制御の適用、長時間安定運転の実証と炉内反応解析を行うとともに、試験高炉結果に基づき、適正複合吹き込み条件を確立し、高炉での CO₂ 削減最適化条件を予測し提案する。

上記の最終目標を達成するために、本技術開発においては、各要素技術の開発を中心に進め、最終目標に向けた可能性の検討を行い、その後のフェーズⅡの研究開発につなげていくために以下の研究開発を実施する。

サブテーマ①-1 水素活用プロセス技術開発

高炉の溶銑トン当たりの炭素消費量削減を目的として、高炉での種々の複合ガス吹き込みプロセス操作および高炉炉頂排ガスからの CO₂ 分離回収技術のマッチングを定量的に評価するため、小型の模型実験及び高炉数学モデルによる基礎的な検討を行う。合わせてサブテーマ⑥における試験高炉の試験条件を提示すると共に、試験結果を踏まえて、高炉の溶銑トン当たりの炭素消費量を評価指標とした最適プロセスの提案を行う。

- i) 改質 COG 吹き込みプロセス最適化
- ii) 羽口からの複合ガス吹き込みプロセス最適化
- iii) 高炉数学モデルによるプロセス評価
- iv) 高炉羽口ブローパイプおよびレースウェイでの反応挙動の基礎研究

サブテーマ①-2 水素吹き込み高炉に適する原料利用技術

高水素含有率である改質 COG を高炉利用した場合の高炉内鉱石還元挙動を明らかとするとともに、鉱石還元粉化挙動や炉上部での熱補償の検討、および高炉内の局所的な挙動についてシミュレーションモデルによる検討を行う。

- i) 還元粉化評価の高度化と粉化抑制のための予熱ガス吹き込み方法検討
- ii) コークスガス化・PC 燃焼反応メカニズム解明
- iii) 数値解析によるレースウェイ部における微粉炭およびコークスの燃焼・ガス化特性評価
- iv) 還元ガス吹き込み時の原料還元性向上技術

サブテーマ①-3 高炉羽口からの COG 複合吹き込み条件の適正化

本研究テーマでは、微粉炭・非改質 COG・炉頂ガスの 3 種の補助還元材の複合吹き込み下での羽口内燃焼を数値実験で評価し、適正な吹き込みランス構造と吹き込み条件を明らかにする。

サブテーマ①-4 高炉系マクロバランスモデルの開発

本研究テーマでは、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（熱風炉、送風機、炉頂圧発電（TRT）、改質 COG・予熱ガス加熱器）の操作条件を予測し、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する。

② コークス炉ガス(COG)改質技術の開発

還元材を従来型の「炭素系」から「脱炭素系」に部分転換するべく、コークス炉ガス（COG）に大量に含まれる水素と一酸化炭素に着目し、これらを還元材として利用することを前提に、その使用量の拡大を可能とするため、高温 COG 中タールの触媒改質によるドライガス化、水素増幅を図る。

1) 平成 27 年度のマイルストーン（中間）

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。COG 改質技術の最適化に関しては、実 COG を用いた BP1 試験装置運転による条件最適化を行い、水素増幅率 2 倍以上、且つ、耐久性 5hr 以上を目標として本プロセスでの技術の到達度を見極める。また、COG 中の残メタンを最小化する改質技術の検討を通じて、水素増幅率 2 倍以上、耐久性 500hr 以上を目標とした技術の見通しを得る。さらに、高炉への吹き込みガスの品質要求に合わせて、改質反応を設計、実現する要素技術の目処を得る。

2) 平成 29 年度のマイルストーン（最終）

次フェーズの試験高炉への還元性ガス供給に向けたプロセスのスケールアップ検討、設備技術の構築を図る。プロセス・設備技術の構築に向け、BP2 試験装置のプロセス設計・試験運転により、耐久性 500hr 以上を目標

とした技術を確立する。

上記の最終目標を達成するために、本技術開発においては、以下の4つの研究開発項目を実施する。

- 1) COG 中タールからの水素増幅技術に関する研究
- 2) タール改質触媒の開発と反応形式の検討
- 3) 炭素析出反応機構解明とその抑制のための反応条件の提案
- 4) COG 中メタンの酸化的改質触媒の開発

③ コークス改良技術開発

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「高炉からの CO₂ 排出削減技術開発」において、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。

- 1) 平成 27 年度のマイルストーン (中間)
 - ① 高強度で反応性の異なるコークス配合案の提示
開発目標 コークス強度 [ドラム強度] DI¹⁵⁰₁₅ 最大 88、コークス熱間反応性指数 CRI 20~40
 - ② 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
 - ③ 反応性、反応後強度とコークス構造、高性能粘結材添加効果間の関係の提示
 - ④ 試験高炉用コークスの品質と量の提案
- 2) 平成 29 年度のマイルストーン (最終)
 - ① 高強度で反応性の異なるコークス製造方法の確立
 - ② 試験高炉用コークスの製造とコークス品質の評価
- 2) 平成 29 年度のマイルストーン (最終)
 - ① コークス DI (88)、CRI (20~40) を両立する配合条件の提示
高炉インプット C 削減に資するコークス製造技術の確立
 - ② 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

上記の最終目標を達成するために、本技術開発においては、以下の研究開発項目を実施する。

- 1) 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
 - i) コークス反応性制御と反応劣化挙動の解明
 - ii) 水素還元適用コークス品質の解明と反応性制御技術の開発
 - iii) 原料構成成分の相互作用とコークス性状発現機構に関する研究
 - iv) コークス化過程における分子挙動に関する研究
- 2) 試験高炉用コークスの製造と評価

④ CO₂ 分離・回収技術の開発

本技術開発は、高炉から発生する高炉ガス (BFG) からの CO₂ 分離回収技術を行うとともに、製鉄所の未利用排熱の利用を拡大して鉄鋼業の CO₂ 削減に寄与する技術を推進する。これらの技術開発により、製鉄所から現状排出される CO₂ 量に比較して、約 30% の削減を可能にする技術の確立に貢献する。具体的には、高炉ガスからの CO₂ 分離回収コストの低減化を可能とするため、化学吸収法および物理吸着法の特性向上を進めるとともに、分

離回収技術と未利用エネルギーを有効に利用する技術の最適化プロセスを提案する。

1) 平成27年度のマイルストーン（中間）

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目処を得る。

2) 平成29年度のマイルストーン（最終）

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。

上記の最終目標を達成するために、本技術開発においては、以下の研究開発項目を実施する。

サブテーマ④-1 化学吸収技術開発

本テーマにおいては、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ため、吸収液再生温度の大幅低減による未利用排熱の利用拡大を図るとともに、分離回収のためのエネルギーを一層低減可能な高性能吸収液を開発する。

また、BFGのCO₂分離回収後のガス中にはCO、H₂などの可燃性ガスが含まれていることも含め、活用可能な成分があるため、それらを回収して有効利用するための技術についても検討する。さらに、水素還元高炉（試験高炉）から発生するBFGに対し、化学吸収法によるCO₂分離回収性能を評価するため、試験高炉との連動試験を実施する。

i) 高性能吸収液の開発

ii) BFGの有効活用分離システムの検討

iii) 試験高炉との連動試験

サブテーマ ④-2 物理吸着技術開発

PSA法（Pressure Swing Adsorption）で想定される実機相当の吸着層高を持つ吸着塔をASCOA-3に設置し、その温度スイング挙動調査、オフガスおよび層中ガス的高速組成分析、層内圧力の測定等により、PSAシステムのさらなる効率化を行う。

またメーカーからのヒアリング、論文・技術発表等により、真空ポンプ、ブロアー、除湿装置等の主要機器の効率化を検討すると共に、新規吸着塔を設置したASCOA-3の運転研究成果を基礎とした実機規模の吸着塔を詳細に検討し、実機PSA全体プロセスの詳細設計を行う。

i) PSA システムのさらなる効率化

ii) 実機 PSA 全体プロセスの詳細設計

iii) 実機プロセスのコスト検証

iv) PSA における基礎現象の解明

サブテーマ④-3 分離技術総合プロセス技術開発

高炉ガス（BFG）からCO₂を分離回収する技術として、化学吸収法、物理吸着法の両面から研究開発を進めるが、いずれも分離回収に際しては多量のエネルギーが必要となるため、製鉄所の未利用エネルギーを活用することで、CO₂分離回収エネルギーを削減することが重要である。

本研究では、BFGからのCO₂分離回収コストの低減化を可能とする技術を確立するため、化学吸収法、物理吸

着法の特性改善を前提に、分離回収技術と未利用エネルギー有効利用技術の総合プロセスとしての最適化を検討する。

- i) 分離総合プロセスの最適組合せの検討
- ii) CO₂の地中貯留技術の最新動向調査

⑤ 未利用排熱活用技術の開発

本技術開発では、製鉄所内で発生している未利用の低温排熱および製鋼スラグ顕熱を有効利用するための熱回収技術の検討を進める。これらの技術開発により未利用排熱の有効利用先として、高炉ガス(BFG)からの化学吸収法によるCO₂分離回収技術の確立に貢献する。具体的には製鉄所内に点在する未利用排熱源から蒸気等で熱回収する技術およびそれを熱輸送する時の製鉄所全体のネットワーク構成、最適化プロセスを開発する。

1) 平成 27 年度のマイルストーン (中間)

サブテーマ ⑤-1 未利用低温排熱回収技術開発

実製鉄所内の排熱調査を行い排熱回収対象を決定し、ラボ試験により高効率低温熱交換技術を確立する。また、実機排ガス顕熱回収試験装置の設計・製作および熱輸送媒体の特性把握を行う。

サブテーマ ⑤-2 製鋼スラグ顕熱回収の開発

スラグ顕熱回収ベンチ試験により、凝固成形安定化と熱回収高効率化を両立させる安定操業技術を確立する(ベンチ試験完了)。また、蒸気回収システムの検討および基本設計を完了する。

2) 平成 29 年度のマイルストーン (最終)

サブテーマ ⑤-1 未利用低温排熱回収技術開発

実機排ガス顕熱回収試験により熱交換器の性能評価を完了し、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のコスト評価を行う。

サブテーマ ⑤-2 製鋼スラグ顕熱回収の開発

スラグ供給ピッチやボイラ効率も考慮した蒸気回収システムの全体設計およびコスト評価を行い、本研究開発の実機化 FS を完了する。

上記の最終目標を達成するために、本技術開発においては、以下の研究開発項目を実施する。

サブテーマ⑤-1 未利用低温排熱回収技術開発

本研究開発では、高炉ガス(BFG)からの化学吸収法によるCO₂分離・回収に必要な熱エネルギーを経済的に得るために、低温排ガス等の未利用排熱からの熱回収を目指す。具体的には下記の3つの研究開発項目を実施する。

- i) 製鉄所の未利用排熱調査
- ii) 低温排熱回収に適した高効率熱交換器の開発
- iii) 熱輸送システムの設計

サブテーマ ⑤-2 製鋼スラグ顕熱回収の開発

本研究開発では、高炉ガス(BFG)からの化学吸収法によるCO₂分離・回収に必要な熱エネルギーを経済的に得るために、製鋼スラグからの未利用排熱回収を目指す。具体的目標は、吸収液からCO₂を再生するのに必要な蒸気を供給するシステムの実機化 FS を完了することである。その際、熱回収可能なスラグ製品の安定製造と熱回収効率の最大化が技術課題となる。

- i) 凝固成形安定化と熱回収高効率化の両立

ii) 蒸気回収システムの設計

⑥試験高炉によるプロセス評価技術開発

フェーズ I Step1 の「高炉からの CO₂ 排出削減技術開発」では鉄鉱石還元への水素活用技術の開発としてラボ試験や高炉数学モデルによるシミュレーション、さらに当初計画外であった海外ミニ高炉試験を実施し、水素を多量に含む還元ガスの吹き込み操作により、鉄鉱石の水素還元が促進されるとともに、炭素による直接還元が低下して、CO₂ 排出削減に効果があることを確認した。

そこで、フェーズ I Step2 では、前記検討結果を総合的に検証するとともに、フェーズ I Step 1 で開発された要素技術を統合した水素還元の効果を最大化するためのプロセス評価技術を確立させ、その後のフェーズ II の実証試験高炉へのスケールアップのための基本データを取得する。

前記事業目的を達するためには、実高炉と同等の銑鉄製造過程における高炉総合反応評価が可能な実験装置が必要となる。そこで、サブテーマ①（鉄鉱石還元への水素活用技術の開発）および、サブテーマ④（CO₂ 分離・回収技術開発）との連携の下、パイロット規模の試験高炉を新たに建設、さらに CO₂ 分離回収技術とも組み合わせ可能な機能を付与することにより、ラボ実験や数値シミュレーションで得た知見を総合的に試験高炉操業で検証すると共に、高炉のガス還元効率を最大化し、銑鉄トン当たりの炭素消費量を最少化するためのプロセス評価技術の確立と実証試験高炉を想定した際の COURSE50 プロセス設備仕様の基本データの獲得を目指す。

1) 平成 27 年度のマイルストーン（中間）

- ・ 10m³ 規模試験高炉の建設を完了させる。

2) 平成 29 年度のマイルストーン（最終）

・ 試験高炉により、還元ガス吹き込み方法等、水素還元の効果を最大化し銑鉄トン当たりの炭素消費量を最少化するための総合プロセス評価技術を確立するとともに、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。

上記最終目標を達成するため、本研究開発では小型試験高炉を建設しこれを用いた実験によって、その後のフェーズ II でのプロセスのスケールアップ検討に繋げる。

i) 試験高炉の設計

ii) 試験高炉の建設

iii) 試験高炉操業と総合プロセス評価技術の開発

⑦ 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 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。COG 改質、CO₂ 分離回収に必要なエネルギーと未利用排熱集約のエンジニアリングに基づき、総合的なエネルギーバランスの最適化を図る。また、水素還元高炉の CO₂ 削減効果の強化・高機能化のための技術開発(新規技術創出研究)を行う。

1) 平成 27 年度のマイルストーン（中間）

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 II 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 II 移行に向けた全体プロセスの具備条件を抽出する。

2) 平成 29 年度のマイルストーン（最終）

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。

上記の最終目標を達成するために、本技術開発においては、以下の研究開発項目を実施する。

- i) 全体プロセスの総合最適化検討
- ii) 新規技術創出研究

水素還元高炉の CO₂ 削減効果の強化・高機能化として以下の技術開発を行う。

① 要素技術の補強

CO₂ 排出削減効果を確実に得るため、Step1 で未検討であった以下のような範囲の技術開発を行う。

- ・ 鉱石系原料の還元性を向上させる技術
- ・ 鉄内装コークスなどの低温還元・高反応性コークス技術
- ・ 水素還元高炉で必要となる酸素富化操業のための酸素製造の高効率化技術などに関する省エネルギー技術

② 試験高炉の操業最適化のための技術

水素還元に適した原料性状の検討など、試験高炉の操業条件を最適化するために必要な技術を開発する。

③ スケールアップ補完技術

試験高炉の試験結果を基に実証試験規模高炉にスケールアップする際に必要となる補完技術を開発する。

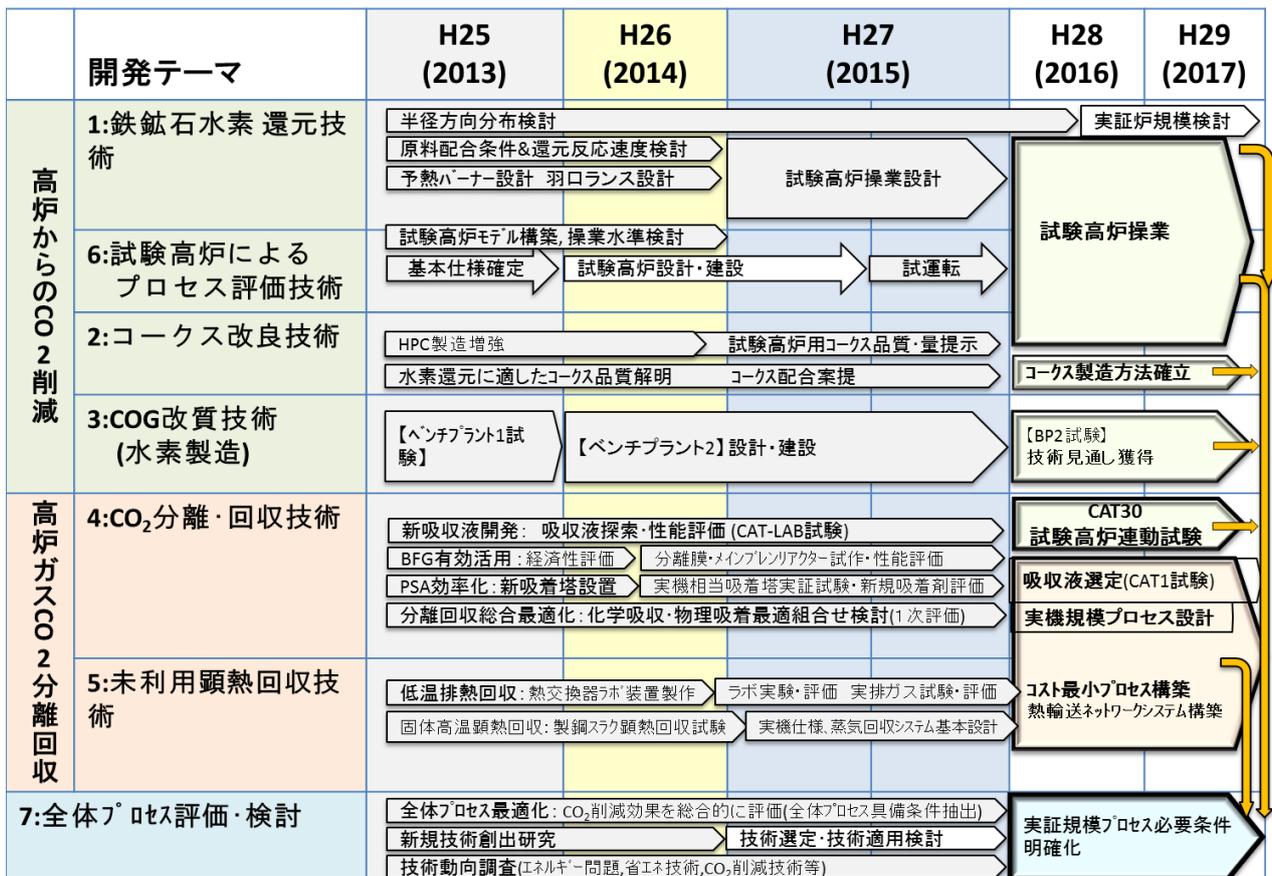
大学等との共同実施において狙いとする新規技術創出は、高炉水素還元強化、CO 還元を含む還元高効率化、プロセス共通基盤、省エネルギー研究の分野に区分される。実施する個別の研究テーマはこの区分と開発の性格との関係で、表Ⅱ-2-1 のとおりである。

表Ⅱ-2-1 新規技術創出研究テーマ一覧

開発の性格 狙い	①要素技術の補強	②試験高炉の操業最適化 のための技術	③スケールアップ補完技 術
[1]高炉水素還元の強化	2)低品位炭素資源を原料とする高強度・高反応性コークス製造法 4)CVI による炭素内装低還元粉化性(RDI)塊成鉱製造法	1)高炉内反応の水素分圧影響定量化 3)超高被還元性塊成鉱の組織設計とその製造技術 5)高炉内水素濃度増加条件における水性ガスシフト反応の役割	5)高炉内水素濃度増加条件における水性ガスシフト反応の役割
[2]CO 還元強化を含む還元高効率化	8)低品位鉄鉱石と低品位炭素資源からの高還元性・高ガス化反応性鉄鉱石・炭材コンポジットの製造	6)過酷環境に屈しない高強度コークス設計のための研究開発 7)クリーン還元プロセスのための先進塊成鉱の創製	6)過酷環境に屈しない高強度コークス設計のための研究開発 7)クリーン還元プロセスのための先進塊成鉱の創製
[3]プロセス共通基盤		9)高炉軟化融着帯での通気性を確保する融液量低減焼結鉱の製造 10)低コークス比操業にお	10)低コークス比操業にお

		ける高炉内通気性の向上	ける高炉内通気性の向上
[4]省エネルギー研究	11)未利用温排熱から蒸気・過熱水と冷水を回生するコプロダクションシステム 12)自己熱再生を用いた省エネルギー型空気分離プロセス		

以上のサブテーマ毎の計画に基づく研究開発スケジュールの概要は図Ⅱ-2-1に示すとおりである。



図Ⅱ-2-1 フェーズ I Step2 研究開発の全体スケジュール

2.2 研究開発の実施体制

本プロジェクトは、以下に示す(社)日本鉄鋼連盟内に設置された COURSE50 委員会の研究組織(委託先の高炉メーカ 4 社及び新日鉄住金エンジニアリング(株)で構成)が、NEDO の委託により研究開発を実施しているものである。但し、日本鉄鋼連盟及び COURSE50 事務局は、NEDO 委託の対象外となっている。従い、本プロジェクトにおいては、COURSE50 の研究開発・管理体制を活用し、NEDO 及び経済産業省が毎月の COURSE50 定例会議に参画することで実施状況の把握、情報の共有を図り、研究開発を推進している。

図 II-2-2 に研究開発の実施体制を示す。日本鉄鋼連盟内に下記の組織を置き、NEDO 及び経済産業省とも密接な関係を維持しつつ、プロジェクト全体の目標、並びに各サブテーマの目標を達成するための体制を構築している。

新日鉄住金(株)荒木製鉄技術部長に研究開発責任者(プロジェクトリーダー)を委嘱し(平成 25~26 年度は新日鉄住金(株)齋藤参与、平成 27~28 年度は新日鉄住金(株)上野執行役員)、その下で技術分野別に 7 つのサブテーマを作り、参加会社がそれぞれの研究テーマを担当している。また、Step2 では各要素技術をより総合的に連携して推進するために、サブテーマ間の情報が相互に把握して課題の解決をする WG や会議体を設置した。

本プロジェクトでは、試験高炉の建設および試験操業の着実な実施、および Step1 に引き続き全体最適化を検討する以下のサブテーマを設置した。

<サブテーマ 6 試験高炉によるプロセス評価技術>

本事業の最重要な課題であることから実施者の総力をあげて取り組むこととし、各サブテーマの成果を試験高炉に反映させるために、試験高炉の基本仕様、操業設計、操業解析は関係するサブテーマおよび実施各社が参画して実施する体制を構築した。

<サブテーマ 7 全体プロセスの評価・検討>

ここでは、「高炉からの CO₂ 排出削減技術」、「高炉ガスからの CO₂ 分離回収技術」が約 30%の CO₂ 削減にどの程度寄与するのかを明確にし、各要素技術の開発目標との整合性をとり全体調整を行う。また、製鉄所全体について総合的に評価検討を行い約 30%の CO₂ 削減の可能性をより明確化する。全ての参加会社から委員が参加し、参加会社の英知を結集して全体最適化を検討する体制となっている。

Step2 においては、より総合的な視点から大学の知恵を最大限に活かすことを狙って実施する新規技術創出研究は関連するサブテーマと連携しつつ本サブテーマで推進することとした。

<サブテーマ 4-3 分離技術総合プロセス技術開発>

ここでは、化学吸収法、物理吸着法を中心とする CO₂ 分離回収技術とサブテーマ 5 の未利用排熱回収技術との最適組合せを検討する。全ての参加会社から委員が参加し、CO₂ 分離・回収の全体を考慮した全体最適化を検討する体制となっている。

図 II-2-3 に委託先および再委託/共同実施先を示す。再委託/共同実施先については、それぞれが担当している SG を記載した。

本治術開発では、NEDO と 5 社が委託契約を結び研究開発を実施している。日本の高炉メーカ 4 社の全てが参加し、日本鉄鋼業界の英知を結集した実施体制である。また、新日鉄住金エンジニアリングは、高炉設備技術分野で高いレベルであり試験高炉建設に当たって先導的な役割を担うことができる。いずれの研究テーマも基礎検討及びプロセス評価プラント規模試験からの取り組みであり、基礎・基盤研究については、この技術分野の最先端の研究を進めている大学及び産総研、RITE の公的研究機関との産学連携により理論面での研究開発を促進している。

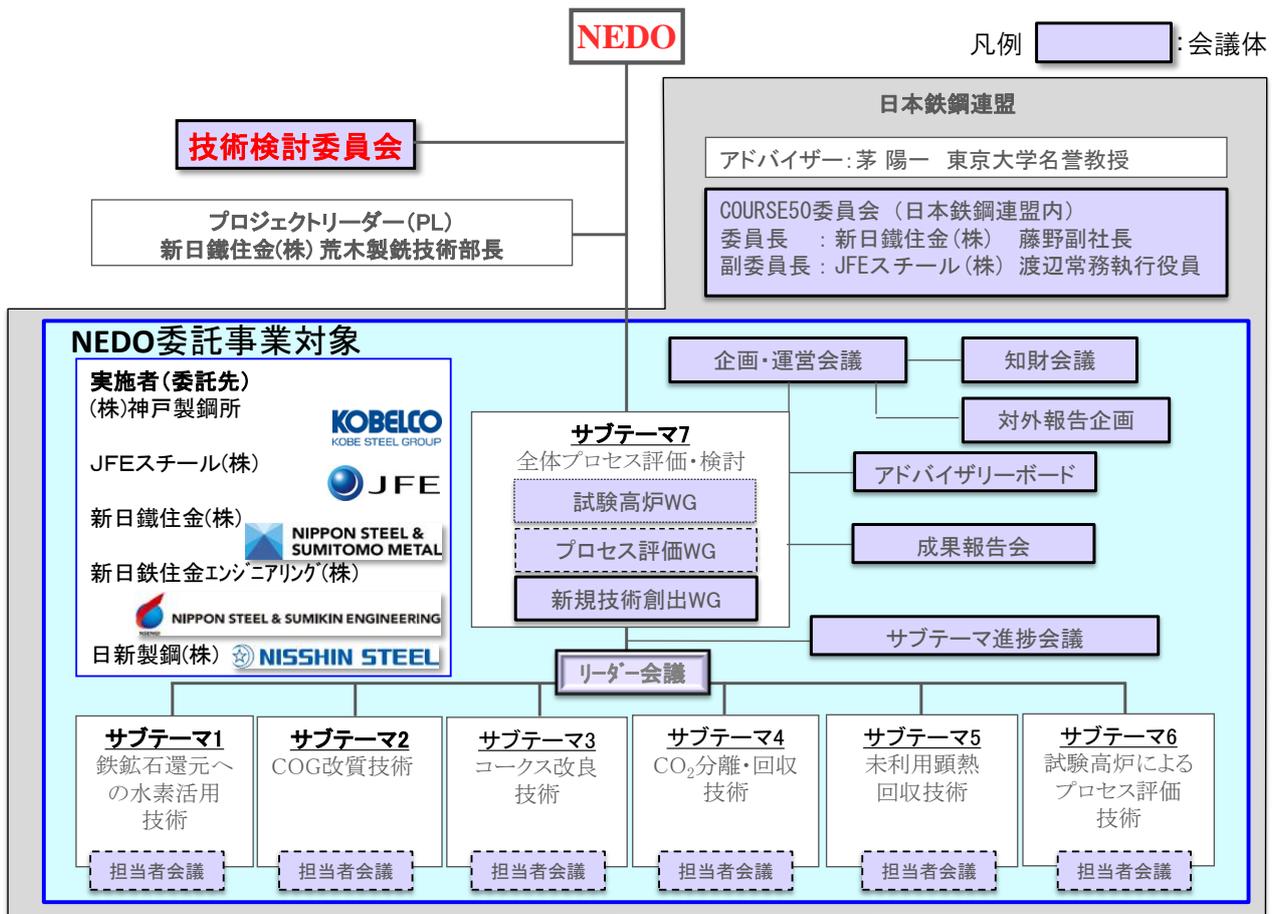


図 II-2-2 研究開発の実施体制

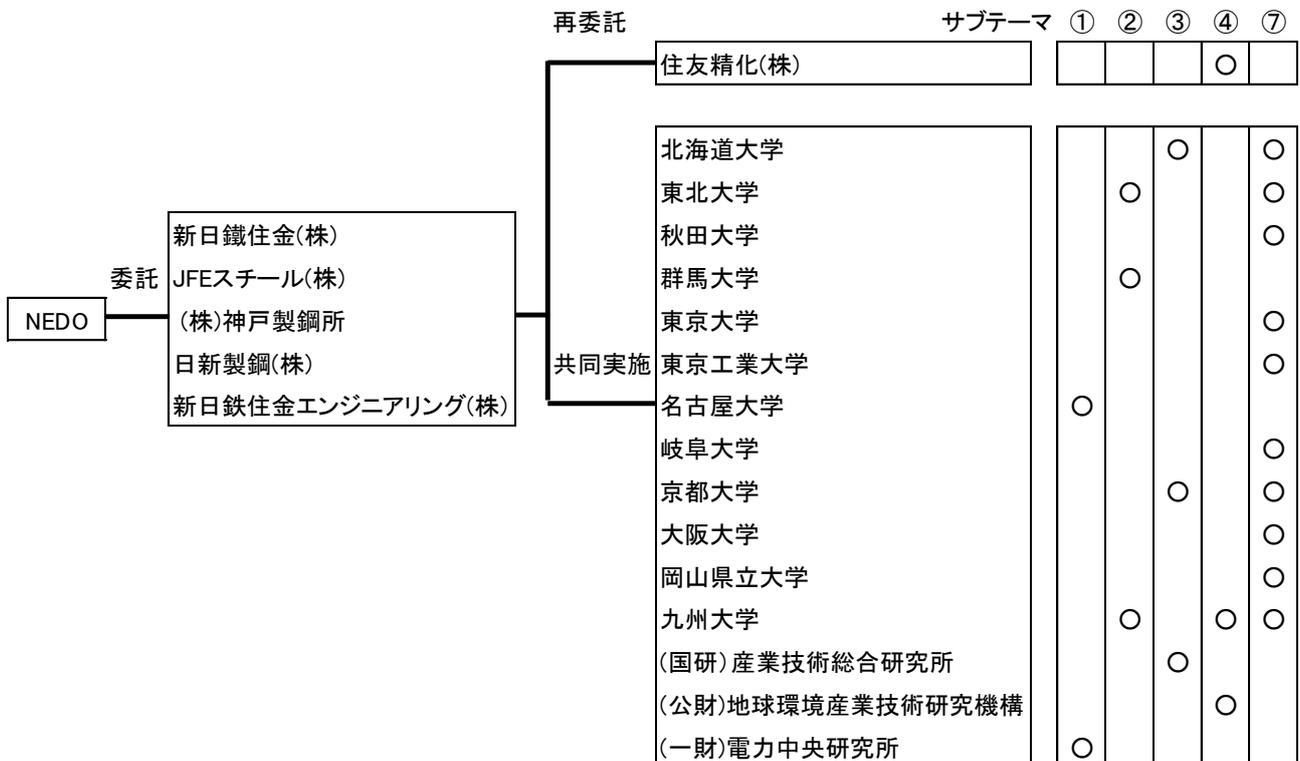
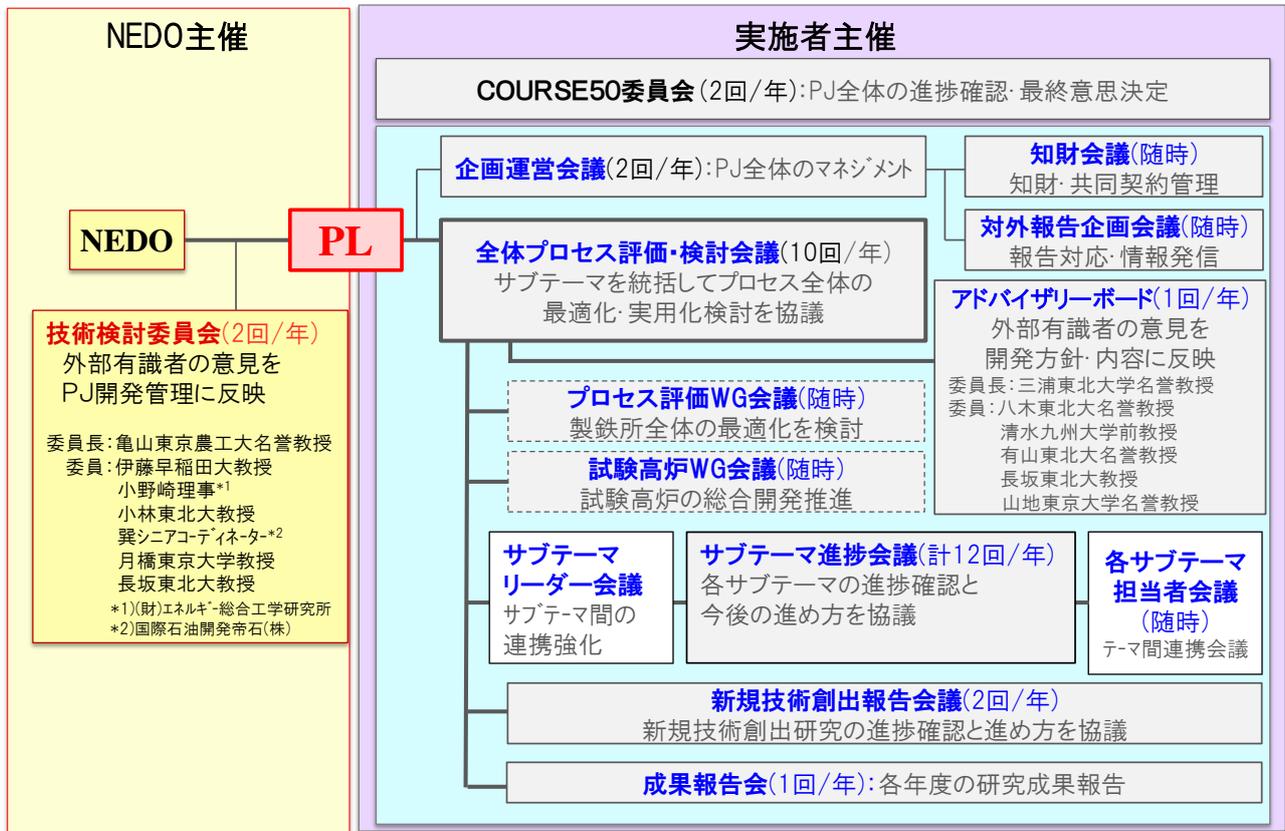


図 II-2-3 委託先及び再委託/共同実施先

2.3 研究の運営管理

研究の運営管理体制を図Ⅱ-2-4に示す。その内容は以下のとおりである。



図Ⅱ-2-4 研究の運営管理

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得ることによって、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ている(表Ⅱ-2-2)。

表Ⅱ-2-2 技術検討委員会 委員

委員長	亀山 秀雄	東京農工大学	名誉教授
委員	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	小野崎 正樹	財団法人 エネルギー総合工学研究所	理事
委員	小林 秀昭	東北大学 流体科学研究所 複雑流動研究部門高速反応流研究分野	教授
委員	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
委員	月橋 文孝	東京大学大学院 新領域創成科学研究科	教授
委員	長坂 徹也	東北大学大学院環境科学研究科 金属フロンティア工学専攻	教授

本プロジェクトでは毎月実施の「全体プロセス評価・検討WG」、「サブテーマフォロー会議」に経済産業省関係者及びNEDO関係者が参画することにより、本プロジェクトの進捗と方向性の確認、技術内容

の議論、情報交換を行い、効率的なプロジェクトの推進を図っている。

< COURSE50 委員会 >

日本鉄鋼連盟内に設置し、実施会社におけるプロジェクト全ての業務の統括を行う。2回/年開催している。

表 II-2-3 COURSE50 委員会委員

委員長	新日鐵住金	代表取締役副社長	藤野 伸司
副委員長	JFE スチール	専務執行役員	渡辺 敦
委員	神戸製鋼所	常務執行役員	山本 浩司
	新日鐵住金エンジニアリング	常務執行役員 製鉄プラント事業部長	内田 親司朗
	日新製鋼	技術総括部長	川口 靖隆

< プロジェクトリーダー (PL) 体制 >

より効率的なプロジェクトの推進を図るため、研究開発の現場において指示・指導・調整の任にあたり、研究開発計画原案の策定、研究開発の実施における方向付け、研究成果のとりまとめ等の役割を担っている。

- 1) プロジェクト全体の計画立案および進捗管理
- 2) プロジェクト会議 (企画・運営会議、全体プロセス評価・検討 WG) の運営
- 3) 対外報告・広報
- 4) 国際連携 (技術交流など)
- 5) その他 (プロジェクトが必要とした事項)

表 II-2-4 プロジェクトリーダー体制

PL	新日鐵住金	製銑技術部長	荒木 恭一
副 PL	JFE スチール	理事 技術企画部企画グループリーダー	長谷 和邦
PL 補佐	新日鐵住金	技術開発企画部上席主幹(部長)	殿村 重彰
副 PL 補佐	JFE スチール	製銑技術部主任部員(部長)	石渡 夏生

< アドバイザリーボード >

主としてサブテーマ「⑥製鉄プロセス全体の評価・検討」に対して各技術分野の外部有識者の意見を反映させることを目的として、Step1 に引き続き設置した。Step1 の平成 22 年 3 月 9 日に第 1 回を開催し、Step2 では、現在までに 3 回、開催して研究開発体制を含む貴重なご意見を頂いた。

表 II-2-5 アドバイザリーボード委員

リーダー	東北大学名誉教授	三浦 隆利
	東北大学 名誉教授	八木 順一郎
	九州大学 前教授	清水 正賢
	東北大学 名誉教授	有山 達郎
	東北大学大学院工学研究科 教授	長坂 徹也
	地球環境産業技術研究機構 研究所長	山地 憲治

<企画・運営会議>

プロジェクトに関する実施会社の意思決定のための会議。1回/4ヶ月の頻度で開催。

<全体プロセス評価・検討WG（サブテーマ7）>

1回/月の頻度で開催し、各サブテーマ間の調整やサブテーマとは別に様々な視点でプロジェクト全体の最適化を検討。出席者はPL体制メンバー、各社WG委員、経済産業省、NEDO。

<サブテーマ進捗会議>

1回/月開催して各テーマの進捗状況、実験計画について議論。出席者はPL体制メンバー、全体プロセス評価・検討WG委員、経済産業省、NEDO。

各サブテーマについて、1回/3ヶ月の頻度で進捗報告・議論を行い、研究の方向性や研究促進に反映できる体制を構築。

<成果報告会>

1回/年開催し、全てのテーマの1年間の進捗状況を報告、議論している。出席者は、実施者、NEDO、経済産業省の関係者全員。開催実績は直近では平成28年2月3日、平成29年2月8日である。

<知財会議>

プロジェクトを推進するための実施会社の情報の取り扱い、成果の取り扱いなどについて各社間の協議および協定書原案の策定、国内および外国における産業財産権の取得の推進、体外的な契約の協議などを行う。また、知財戦略WGを設置して、各サブテーマに適した知財権の確保を特許出願（国内、外国）、ノウハウ取得などの方策について検討して、具体的に有効な戦略的な産業財産権の取得を推進している。

<サブテーマ間の連携>

サブテーマを跨る技術課題を解決させるために、サブテーマリーダー会議、各サブテーマ担当者会議を設けて連携強化を進めている。また、サブテーマ7に係わる重点的な課題については、試験高炉WG、プロセス評価WG、新規技術創出研究WGを設けて、専門性を有しているメンバーによって検討する体制とし、検討結果を全体プロセス評価・検討WG（サブテーマ7）に適宜報告することとした。

2.4 研究開発成果の実機化に向けたマネジメントの妥当性

本プロジェクトは、地球温暖化防止のために実施するもので、COG 改質増量水素による一部水素還元を含む高炉製鉄プロセスと、これまで製鉄所内で未利用の排熱を回収して得たエネルギーにより高炉ガスから CO₂ を分離回収するプロセスを、実生産設備へ適用することを求められており、現状プロセスから CO₂ 排出量の 30% 削減を目指している。開発は、基礎研究（フェーズ I）とスケールアップ実証（フェーズ II）の大きく 2 つのステップが想定されており、各 10 年間の研究期間を設けている。また、基礎研究（フェーズ I）は、更に各開発要素の基礎、ベンチスケール試験を行う前半の 5 年間で Step1 とし、開発した各要素を組合せ検証する後半の 5 年間で Step2 としている。

実機化スケジュールを図 II-2-5 に示す。現在、NEDO の委託事業として実施している事業は Step2 である。2030 年までに技術開発を完了して、CO₂ 貯留技術が確立すること、経済合理性が成立することを前提条件として、2030 年頃に一号機を実機化する目標を掲げている。

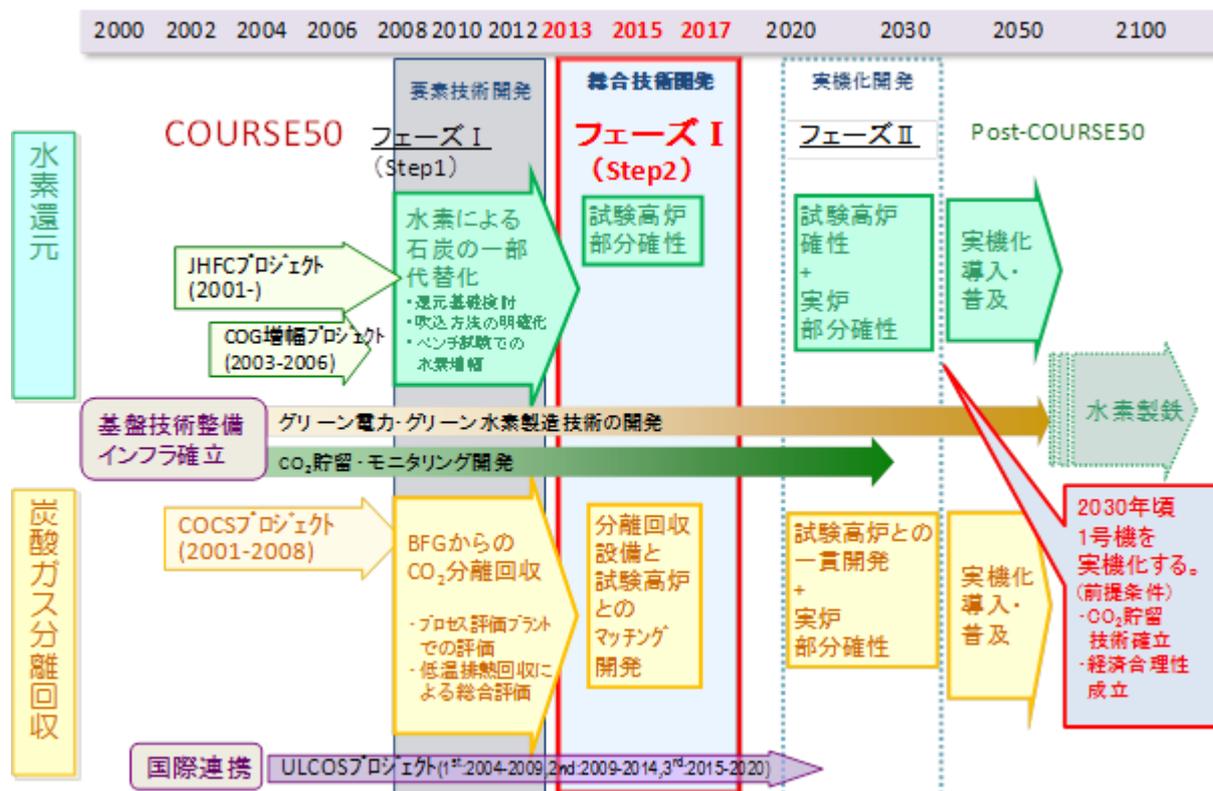


図 II-2-5 実機化までのスケジュール

本プロジェクトは、Step1 から実機化技術の開発を完了するまでに 20 年と長期に亘るので、プロジェクトマネジメントも長期的な視点が重要となる。このため、実機化に向けた対応として、以下のマネジメントを実施している。

(1) 実機化に向けた技術開発課題の抽出とその実施

実際の研究開発スケジュールでは、コークス炉ガス（COG）改質技術の開発の重点化や CO₂ 分離回収技術の検証等を着実に行うことに加えて、新たに試験高炉を活用した総合評価試験を実施する。これにより、これまで実験室レベルで取組んできた要素技術の検証を行うとともに今後の課題の把握を行う。また、並行して高炉シミュレータの確度を高める。高炉操業シミュレーション技術の精度向上により、試験高炉の操業結果の解析や評価によって 2018 年以降（フェーズ II）に予定するスケールアップ試験において設

計期間の短縮化が期待される。実証期間の短縮化によって実機実証機の建設開始時期を早期化することにより、2030年に1基の稼働を目指す。

(2) 全体プロセス評価・検討WGの設置

「高炉からのCO₂排出削減技術」、「高炉ガスからのCO₂分離回収技術」が約30%のCO₂削減にどの程度寄与するのかを明確にし、各要素技術の開発目標との整合性をとり全体調整を行っている。また、製鉄所全体について総合的に評価検討を行っており、全体最適化によるサブテーマの目標設定やサブテーマの成果によって変わり得るシナリオ代替などの検討、中間目標達成に向けての検討も行っている。

今後、最終目標及びCOURSE50最終目標の達成に向けた検討を実施するとともに、さらに、Step2以降の実施シナリオ等の検討も実施していく予定である。

(3) 知財戦略の策定と知財権の確保

本プロジェクトは、2030年以降の実機化を目標とすることから、要素技術開発ステージであるStep1では、現行プロセスに適用できる可能性があるものを優先して出願し、それ以外の技術はその実機化が想定される時期を勘案して、その時期や可否をそれぞれ判断して活動を進めてきた。一方で、COURSE50の成果を欧州や中国、韓国等の海外に開示して日本の技術力を積極的にアピールしていくことも重要であり、そのためにCOURSE50技術を知財権として確実に担保する必要がある。

Step2はフェーズIIの実機化開発に向けた総合技術開発のステージであることを踏まえ、特許提案を強化していく必要があると考える。

また、本プロジェクトの実施者は、NEDO知財方針に基づき、知財合意書として本研究開発の内容、当事者間の業務分担、当事者が相互に開示する営業上及び技術上の情報の取り扱いその他必要となる事項について定める研究開発協定書を締結し、本研究開発を推進している。また、知財会議を整備し、海外への技術流出防止を意識した知財戦略を策定している。

さらに、全当事者は、共有成果に基づいて産業財産権の出願をしようとする場合、あらかじめ当該出願の是非、是とする場合の出願内容、その他必要となる事項について、当該プロジェクト体制に企画・運営会議を組織し、全当事者間でその都度協議の上決定する等の手順を定め、出願内容等を審議すると共に出願効率化を図っている。また、成果を公表する場合は、対外報告ルールに則り実施することとする。

Step1では海外への技術漏洩防止の観点から海外への特許出願は積極的には行ってこなかったが、Step2においては上記戦略に基づいて海外への出願も積極的に行っている。

(4) 他分野の情報収集

製鉄プロセスのコア技術以外の領域については、外部の技術情報を調査して導入可能性を追求することを推進している。また、他プロジェクトとの交流による情報収集及び情報交換に関しては、鉄鋼メーカ（日本鉄鋼連盟）による世界の鉄鋼協会、鉄鋼企業等のCO₂削減プログラム実施状況調査、情報交換結果を反映し、本プロジェクトでは技術開発対象外のCO₂貯留についてもNEDOで実施のプロジェクトの情報収集を行い、今後の検討に反映させていく予定である。さらには、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て、世界の事情の変化に柔軟に対応することに寄与する。

(5) 新規技術創出研究の実施

本プロジェクトは実機化までの開発期間が20年と想定されるので、コア技術においてもゼロベースをも含めた研究を行うことによって、本プロジェクトあるいは次のコア技術開発につながる研究を進めることが必要である。現在の研究段階であるStep2ではStep1で開発された技術に基づき、パイロットレベルの総合実証研究を主

体に技術開発が行われるが、同時に、水素還元高炉の CO₂ 削減効果の強化・高機能化として、①要素技術の補強、②試験高炉の操業最適化のための技術、③スケールアップ補完技術についての技術開発を行うこととし、大学や研究機関における専門家のアイデアや英知を最大限活用する「新規技術創出研究」を実施している。この「新規技術創出研究」の事業期間は最大 5 年間であるが、その間に研究ステージゲートを設けており、著しい研究成果を上げ、実機化に向けた研究段階に移行する上で追加的なデータの取得・分析を要する事業については、次の研究ステージアップを行い研究成果の向上を図っている。

(6) 開発技術の継承と人材育成

本技術開発は長期スパンとなるため、本技術の実機化、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や開発成果を定量的に体系化し論理、知識を継承していくことが求められている。このために研究者の若返りを進めており、大学についても本プロジェクトの研究参画として前述の新規技術創出研究はこの役割が位置づけられる。

3. 情勢変化への対応

3.1 総合技術開発に向けた全体最適化

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。

3.1.1 外部有識者の重要な指摘事項

(1) 技術検討委員会

1) 実機化にとってフェーズⅡの入口条件の明確化が必要

フェーズⅡをスタートするための具備条件提示。フェーズⅠの各プロジェクトのアウトプットがフェーズⅡのアウトカムにどう繋がっているかが明確になっている必要がある。フェーズⅡに進むための条件を示して、それに対して現状のアウトプットが合致しているかどうかを示すこと。

技術の目標と経済的な目標はフェーズが異なるので、技術の目標は何で、経済的には状況の変化により分からない部分があるが、その場合はシナリオ法でケース分けしてアウトカムを表現すると良い。

2) マイルストーンの定量化

CO₂分離回収は Step 1 で原理的にはほぼできたということで、その後、具体的にどうするのかというところでマイルストーンに定量感がない。スケール感がフェーズⅡに向かって行くような定量的なマイルストーンが必要。ターゲットを決めておいてシーズ探索もやるというスタイルでマイルストーンを設定すべき。

3) 全体プロセスの評価のサブテーマ重み分析の必要性

各サブテーマの重み分析の必要性。例 サブテーマ②で水素増幅率が 0.1 触れた CO₂削減影響、各サブテーマ間の目標過達、未達の全体に対するインパクト。

4) 知財戦略

知財の戦略について検討し、ルールを決めて行ってもらいたい。NEDO として、技術の海外展開を念頭に置いた海外特許戦略はあるのか。中韓の鉄鋼関係者は COURSE50 に注目しているので、基本特許はきちんと出願してイニシアチブを取ること。

5) 実機化の推進

CO₂ の回収技術についてはこの時間軸だけでなく出来るだけ早く実機化されれば良い。

Step2 は Step1 と違い、実機化に近い段階であることをイメージする必要がある。Step1 では、高炉で CO₂ 排出量 10%減、CO₂ 分離回収で 20%減を達成するための可能性を追求したが、Step2 では各 SG の中でも候補となる技術を絞り込みが必要である。

(2) アドバイザリーボード

1) 試験高炉のスケールアップの考え方と次のステップのイメージをもって、試験高炉で実施すべき内容を検討するべき。

2) シミュレーションと試験高炉の役割を区分して結果を出すこと。

3.1.2 外部有識者の重要な指摘事項に対する対応

総合技術開発に向けて以下を重点的にマネジメントして研究を推進した。

(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

今回、二つのケースを設定し、そのケースごとに目標設定を行った。又、各技術開発については、目標のブレークダウンのみならず、サブテーマ間の連携も強化し、全体プロセスの設計も推進した。CO₂削減 30%達成の為の積算については、各テーマの進捗をタイムリーに取り込み、達成確度も考慮しながら、複数のシナリオを用意する観点で検討を行っており、現時点で 29~30%の削減についての見通しが得られたレベルである。

2) マイルストーンの定量化

各サブテーマのマイルストーンについて、定量化して目標を明確化した。その定量化した項目を以下に示す。

研究開発項目（サブテーマ）	最終マイルストーン（H29 年度末）における数値目標項目
研究開発項目(1) 高炉からの CO ₂ 排出削減技術開発	試験高炉により、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。
①⑥鉄鉱石還元技術（高炉イン プット C の削減）	<ul style="list-style-type: none"> 送風操作（水素吹込み、高酸素富化、ガス送風）による高炉インプット C 削減効果を定量化し、それを検証 原料操作やシャフト吹込みガス組成の適正による高炉インプット C 削減効果を定量化し、それを検証
②COG 改質技術	H ₂ 増幅率 \geq 2 倍、耐久性 \geq 500hr の技術確立
③コークス改良技術	強度と反応性を両立する配合条件
研究開発項目（2） 高炉ガスからの CO ₂ 分離・回収 技術開発	モデル製鉄所および代表製鉄所にて 2000 円/t・CO ₂ の達成
④-1 高性能吸収液技術	熱量原単位（努力目標）
④-2 物理吸着技術	電力原単位（努力目標）
⑤-1 未利用低温排熱回収技術	熱交換器の温度効率
⑤-2 製鋼スラグ 顕熱回収技術	熱回収率 30%（実機化 FS）
研究開発項目(3) 全体プロセスの総合最適化検討	製鉄所からの CO ₂ 排出量 30%削減を可能にするための総合的な評価、検討。

3) プロセス評価と全体最適化

感度分析については、主要なものを実施した。又、未達の全体に対するインパクト分析を総合効果評価の中で実施した。特に「鉄鉱石還元への水素活用技術の開発」および「試験高炉によるプロセス評価技術開発」において、三次元数学モデルでの検討と、各要素技術開発、試験高炉試験水準の関連性の明確化と、可視化を行った。

4) 研究テーマの選択と集中の推進

本プロジェクトは課題が非常に多岐に渡っているため、常にテーマ全体を見直しつつ、テーマそれぞれに、加速化した。これらの課題認識をベースとして、テーマの選択と集中を実施した。パイロット規模総合技術開発を行う Step2 においては、サブテーマの括りの様な大きな規模での取捨選択は無

いものの、サブテーマ内における重点化は随時実施している。代表的なものは、以下のとおりである。

- ・ 高炉還元工程における炉頂ガスと酸素富化技術の最適化・重点化
- ・ 高炉原料の被還元性向上の為の具備条件整理
- ・ コークス原料の強度と被還元性の組み合わせの最適条件の探索
- ・ COG 改質における触媒改質/部分酸化の最適負荷分担の検討
- ・ COG 触媒改質における硫黄被毒や炭素析出挙動の見極めによる長寿命化の為の具備条件精査
- ・ 化学吸収法における世界最先端の熱消費原単位の更なる改善の為に、複数方式の比較検討
- ・ 最先端熱交換技術である高効率熱交換技術における複数方式の比較検討

個別技術の最適化のみならず、全体システムに組み込んだ際の相互の特性マッチングも視野に入れた「技術検討の深堀」を実施している。

5) 新規技術創出研究の展開

既に述べた「新規技術創出研究」そのものが、情勢変化への対応も見据えた活動である。

(2) 知財戦略の構築と知財化の推進

Step2 はフェーズⅡの実機化開発に向けた総合技術開発のステージであることを踏まえ、特許提案を強化していく必要があると考える。一方で高炉水素還元でのガス送風など、Step2 で新たに取り組む課題も多い。そこで、各技術の進展度等を見極めながら、分野ごとに個別の特許提案目標とスケジュールを設定した。ただし、技術分野によって実機化の距離が異なっているため、分野ごとに異なる目標値とした。各分野（サブテーマ）における知財戦略の骨子は、1) 事業戦略に基づいた知財戦略の策定、2) 特許出願とノウハウ保有の戦略の2つの視点を考慮して策定した。

(3) 試験高炉の設計と試験操業計画

「鉄鉱石還元への水素活用技術の開発」および「試験高炉によるプロセス評価技術開発」については、スケールアップ課題について、試験高炉で確認すべきことと、計算モデル等で並行して進める項目を整理し、必要課題を抽出した。内容は、従来高炉操業と今回の鉄鉱石還元への水素活用高炉操業の違いおよび従来高炉操業の試験高炉と生産高炉の規模差による操業の違いの二つの要素に分類した後、それらを更に因数分解して、試験高炉検証および数学モデル等検討の二要素に分解して課題解決を図る。

3.2 予算の重点配分

プロジェクト全体予算の推移は、表Ⅱ-3-2のとおりであり全体を前倒しで進めている。

表Ⅱ-3-2 研究開発予算

(百万円)

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	10,317.7
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	1487.5	16,131.5

予算配分の基本的な考え方は、前述した総合技術開発に向けた研究テーマの選択と集中に基づいており、次のとおりである。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。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必要がある。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。

- ①水素還元関係：本プロジェクトでの大事なコア部分であり、特に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、予算の重点的配分により試験高炉の設計・建設を着実に実施した。
- 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加速した。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開始した。
- ④COG改質：H25年度からベンチプラントの設計・建設を開始しスケジュール通り進めた。さらに、Step1の試験結果解析およびラボ試験結果によりアプローチの軌道修正を行うことにより予算の効率化を図る。

以上を受けて、予算全体の配分を実施した。

4. 中間評価への対応

4.1 中間評価の概要(総合評価)

本事業は、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、官民一体となって推進すべき重点研究開発内容である。NEDO プロジェクトマネジメントもオールジャパン体制を敷き有機的に連携して推進されている。製鉄業において、現状レベルから大幅な CO₂ 排出削減を実現しつつ、国際競争力を維持することのできる革新的製鉄技術に必要な要素技術に対して、世界トップレベルの顕著な成果が得られている。中間目標は達成されており、最終目標も十分達成できる見込みが得られている。特に、試験高炉設備が完成し、世界最高レベルの技術の試験確認とそれを立証するデータが取得できる状態に遅延なく到達したことは高く評価できる。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も整っている。更に、中間評価時点で一部ではあるが実用に供せられた技術があることは高く評価できる。

一方、プロジェクト構想時点と比べて、世界の鉄鋼業を取り巻く環境は大きく変化している。特に、スクラップの増加と鉄鋼需要量の飽和傾向により、鉄鉱石の還元溶融に特化した大規模な高炉数が、国内外において今後数十年にわたって維持されるかは不透明である。また、本プロジェクトの範囲外ではあるが CCS による CO₂ 地下貯留処理も、社会的受容性の観点から社会実装において幾多の困難が予想される。このような現状を踏まえ、国際的な情報開示などを通して、国際協調を怠らないように努力して欲しい。CO₂ 排出削減型の高炉技術として、世界最高レベルの研究実績を有していると評価できるので、現在保有しているオールジャパンベースの試験高炉、シミュレーション技術、人材を幅広く展開した、世界の次世代高炉研究拠点として展開する施策も立案し検討すべきと思われる。

4.2 中間評価への対応

プロジェクト全体に関する指摘事項への対応は次のとおりである。

項目	中間評価結果(抜粋)	中間評価を受けての対応
研究開発マネジメント	製鉄所内の排熱回収技術に関しては、対象とする製鉄所によってロケーションが異なるが、オールジャパン体制の利点を生かして、国内の製鉄所の排熱回収能力を把握しておくことや、各社社内の関係部署への理解促進を進めておくマネジメントも、実用化の上で重要になるとと思われる。	基本計画の全体プロセスの評価・検討を、「 <u>国内の製鉄所の排熱回収能力を加味した代表的な国内製鉄所をモデルとし、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</u> 」に修正する。 なお、本プロジェクトのために設置した、委託先各社の経営陣が出席する COURSE50 委員会を通じ、事業成果等の周知を図っているが、引き続き更なる理解促進に努める。
成果の実用化・事業化に向けての取り組み及び見直し	SG3、4、5 ^(注) などでの成果は実用化に近く、既存の高炉あるいは製鉄プロセス以外にも適用可能な技術として積極的に展開すべきであり、2030 年を待たずとも一部実用化済みになるよう、推進されることを期待する。	基本計画の成果の普及において、以下に修正する。 「 <u>得られた研究開発成果については、NEDO、実施者とも普及に努めるものとし、製鉄プロセス以外への早期実用化が見込まれる技術については、技術の横展開を後押しする。</u> 」 なお、引き続き成果普及のための調査等に努める。

5. 評価に関する事項

5.1 事前評価

本プロジェクトの開始に当たり、事前評価書、基本計画（案）を作成し、NEDO ホームページからパブリックコメントを求め、かつ公募に先立って計画の概要を公開した。

期間：平成 25 年 2 月 6 日～平成 25 年 2 月 19 日

5.2 中間評価

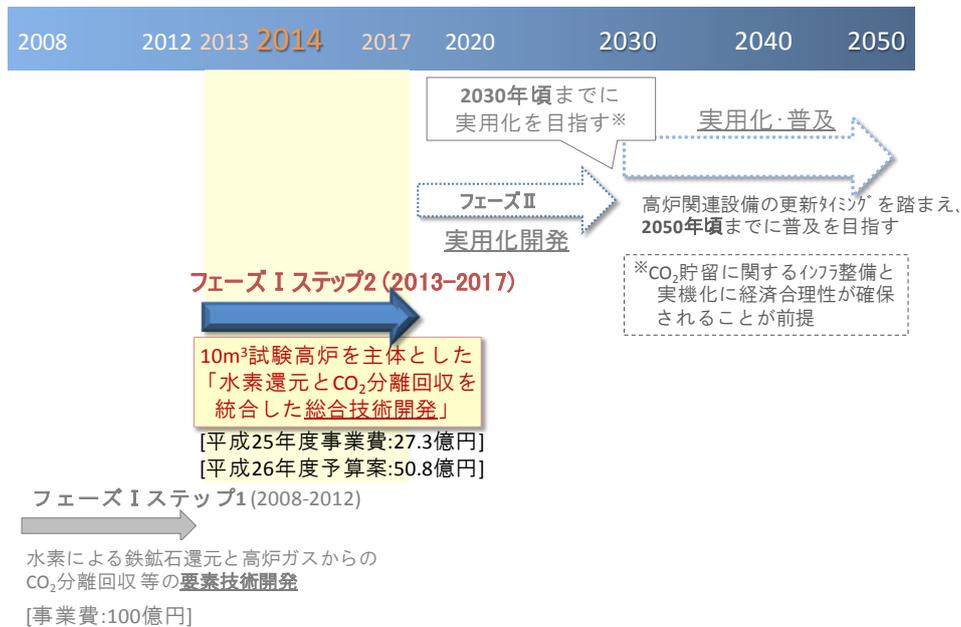
- (1) 実施時期：平成 27 年度
- (2) 評価手法：外部有識者による評価
- (3) 評価事務局：環境部
- (4) 評価項目・基準：標準的評価項目・基準
- (5) 評価委員（分科会委員；敬称略）：
 - 分科会長：日野 光兀（東北大学 名誉教授）
 - 分科会長代理：前 一廣（京都大学 教授）
 - 委員：一田 守政（秋田工業高等専門学校 元教授）
 - 委員：小林 敬幸（名古屋大学 名古屋大准教授）
 - 委員：清水 忠明（新潟大学 教授）
 - 委員：中垣 隆雄（早稲田大学 教授）
 - 委員：中村 崇（東北大学 教授）

Ⅲ.研究開発成果について

1. 事業全体の成果

1.1 概要

本プロジェクトは、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を開発する。また、高炉ガス（BFG）からCO₂を分離するため、製鉄所内の未利用排熱を活用した革新的なCO₂分離回収技術を開発する。これらの技術開発によりCO₂排出量の約3割を削減することを目標とする。図Ⅲ-1-1に本事業の開発ステップを示すが、フェーズⅠ Step1（平成20～24年度（5年間））では、水素による鉄鉱石還元と高炉ガスからのCO₂分離回収等の要素技術開発を実施した。今回のフェーズⅠ Step2（平成25～29年度（5年間））では、Step1で開発した要素技術を組合せ、10m³規模試験高炉を主体とした水素還元とCO₂分離回収を組合せたパイロットレベルの総合技術開発を行う。その後、フェーズⅡの実用化開発を経て、2030年頃までに1号機の実用化、最終的に高炉関連設備の更新のタイミングを踏まえて、2050年頃までに普及を目指す。



図Ⅲ-1-1. 本事業の開発ステップ

1.2 成果概要

1.2.1 最終目標の達成状況

本プロジェクトの研究開発項目である(a) 高炉からのCO₂排出削減技術開発および(b) 高炉ガス（BFG）からのCO₂分離回収技術開発に関してはそれぞれ、最終目標を達成するべく、開発を実施し、目標を達成することができた。

表Ⅲ-1-1 最終目標と達成状況

研究開発項目	最終目標 (平成 29 年度末)	達成度	主な成果
研究開発項目(a) 高炉からの CO ₂ 排出削減技術開発	10m ³ 規模試験高炉により高炉からの CO ₂ 排出量を削減する技術を確立する。	○	試験高炉に対応した高炉数学モデルを開発し、送風操作等の効果を定量的に予測した。羽口燃焼に関するシミュレーションおよび燃焼試験により、複合ランスの設計を行った。これらの知見をもとに、12m ³ の試験高炉を設計・建設した。 試験高炉における実験操作を4回実施した。試験高炉の操作結果の解析を通して、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、高炉 inputC 削減 10%の効果検証と努力目標の 12%達成のための技術課題を整理した。
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	高炉ガス(BFG)からの CO ₂ 分離回収コスト 2,000 円/t-CO ₂ (「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。	○	CO ₂ 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実施した。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、CO ₂ 分離回収コスト 2,000 円/t-CO ₂ の目途を得た。

◎;大きく上回って達成、○;達成、△;一部達成、×;未達

1.2.2 サブテーマ毎の成果概要

研究開発項目(1) 高炉からのCO₂排出削減技術開発

(a) サブテーマ①鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

試験高炉の操作結果の解析を通して、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、高炉 inputC 削減 10%の効果検証と努力目標の 12%達成のための技術課題を整理した。

(a-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、モデルを用いることで、COG、調整BFG、高酸素富化による高炉InputC▲9%を確認した。試験高炉の操作結果の解析を通して、高炉数学モデルの解析精度を向上させるとともに、送風操作の効果を定量化した。また、付帯設備のエネルギーバランスモデルを構築し、エネルギーバランスの評価を実施した。

(a-2)羽口複合吹込み技術

シミュレーションモデルを用いて試験高炉羽口内の燃焼状況をシミュレーションし、試験高炉用に3重管シングルランスを選定した。また、ランスから酸素と微粉炭を同時に吹き込むことによる微粉炭燃焼性の改善効果をシミュレーションおよび試験炉を用いて確認した。

試験高炉において、ランスの評価を実施し、耐久性に問題が無いことを確認した。また、非接触式の計測(自発光計測)を実施し、微粉炭の燃焼率が評価可能であることを確認した。これら

の操業結果、解体調査結果に基づき、微粉炭の燃焼状況に問題が無いことを確認した。

加えて、実炉スケールでの数値シミュレーションを実証高炉用の安定燃焼ランス構造を提示した。

(a-3)原料条件の最適化

高炉数学モデル、SIS 炉試験により、低反応性コークス、高被還元性鉄原料、吹込みガス組成の適正化による、高炉 InputC▲1～3%を確認した。高炉 InputC▲1～2%に寄与する原料性状を提示した。

(b)サブテーマ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。

第1回操業(操業 21 日間)、第2回操業(操業 30 日間)、第3回操業(操業 30 日間)の連続操業を完遂し、第4回実験(操業 30 日間)を実施予定である。操業を通じて、COG 羽口吹込みと CO₂ 分離装置との連動による排ガスシフト吹込みにより、当初の狙い通り、H₂ 還元および CO 還元(間接還元)が増加し、C 直接還元が減少することを見定め、複合送風 操作に基づく還元反応制御が可能(CO₂ 削減：-8%)であることを実証した。

(c)サブテーマ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) 試験において、低SV条件で目標を達成できることがわかった。触媒改質ガスをさらに部分酸化することによって、還元ガス中メタン濃度を5%以下とする見込みを平衡解析によって得た。

ベンチプラント2(BP2)試験において、触媒改質ガスを部分酸化することによって、高炉側からの要求ガス組成(CH₄濃度、CO₂濃度、H₂O濃度を5%以下)にできることがわかった。この時、部分酸化反応における、O₂/Cの適正範囲は0.7～0.9でありこの適正範囲内で、CH₄濃度を1%未満にする操業条件も見出した。触媒改質試験によって、部分酸化プロセスとの任意の組み合わせを想定した各種操業条件での改質性能を網羅的に評価した(SV条件など)。

BP2での500h耐久試験の結果、24hごとの再生によって触媒活性は都度、回復し、長期間操業でも触媒劣化がみられないことを確認した。

(d)サブテーマ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と反応性を制御できるコークス製造技術を確認し、試験高炉用コークスの製造および評価を行い、以下の実施項目に対しそれぞれの成果を得た。

国内一般のコークス炉での石炭装入密度 0.73g/cm³でも、石炭細粒化：<3mm, 90%、Ro：1.0 以上、空隙充填能力 0.95 以上の配合製造条件とすることで、高強度で反応性を制御したコークスを安定的に製造できる見込みが得られた。

▼1～3%の CO₂ 削減実証を期待して、試験高炉用コークスとして、強度 DI¹⁵⁰₁₅≥85、CRI≤24 のコークスを実機で製造し、試験高炉による実証を行った。

(a) サブテーマ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。

(a-1) 化学吸収技術開発

混合溶媒系吸収液を開発し、小型連続試験装置により、STEP1吸収液を凌駕する高性能を確認、努力目標の達成目途を得た。また、混合溶媒系吸収液の性能発現機構を解明し、相変化エネルギーを活用した熱量原単位の更なる削減について基本技術を構築するとともに、CO₂吸収・放散を促進可能な複数の新規触媒を見出した。

試験高炉全4回のキャンペーンのうち3回の連動試験実施し、CAT30によるCO₂回収率が90%以上の安定操業を確認した。

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。これら膜性能の目標を達成し、2015年度で中止した。

(a-2) 物理吸着技術開発

PSAシステムのさらなる効率化を目指して、ラボPSA実験で粒径UP吸着剤を使用し、優位性を確認した。また、ASCOA-3試験にて真空ポンプ電力原単位15%削減を達成。吸着剤総合性能評価を実施し、1000hr長期耐久性試験を実施し、性能劣化が生じないことを実証した。

これらの結果を反映して、1系列50万t-CO₂/年規模の実機CO₂-PSA設備の詳細検討を実施した。機器リストおよび設置スペース40m×90mでの設備レイアウトを提示した。また、詳細検討結果を元に、目標とする2系列100万t-CO₂/年規模でのCO₂分離回収コスト1886円/t-CO₂、電力原単位129.7kWh/t-CO₂まで削減できることを示した。

(a-3) 分離技術総合プロセス技術開発

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実施した。これらの検討結果から、分離回収コスト2,000円/t-CO₂を達成する条件を見出した。

CO₂の分離回収技術の動向調査により、CCSについて情報の共有化が図れるとともに、分離回収コスト2,000円/t-CO₂を下回るような実績は認められず、本プロジェクトで開発中の化学吸収法および物理吸着法の優位性が明らかになった。

(b) サブテーマ⑤未利用排熱活用技術の開発

(b-1) 未利用排熱活用技術開発

ガスー水の熱交換において温度効率66%を達成する熱交換器を製作し、製鉄所実機排ガスでもその効率が得られることを示した。当該熱交換器を用いて製鉄所全体からの熱回収、熱輸送を行った場合の熱輸送ネットワークを考案し、そのコスト評価を実施し、平均964¥/t-steamの蒸気製造コストとなることを示した。

(b-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、回転クーラー方式による製鋼スラグ顕熱回収実機設備および蒸気回収ボイラーの設計を実施した。設備費28億円、回収蒸気原単価2461円/t-steamにて蒸気回収可能な全体システムを提案した。

研究開発項目(3) 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。

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。また、本研究で得られた塊成鉱を試験高炉に装入し、効果を確認した。

1.2.3 知的財産権等の成果概要

表Ⅲ-1-3にはH29年7月の段階での研究開発成果(成果発表・特許出願)を示す。

表Ⅲ-1-3 特許、論文、外部発表等の件数(平成29年7月14日現在)

	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	合計
査読有論文	12	1	12	7	2	34
査読無論文	3	1	1	4	2	11
研究発表・講演	29	15	42	40	13	139
特許	7(4)	14(2)	10(2)	8	2	41
ノウハウ	0	0	2	0	1	3

1.3 Step1 以降、新たに得られた技術的見解とプロセスの到達達成見通し

1.3.1 新たに得られた成果の技術的見解

本技術開発(フェーズ I Step2)では、図 III-1-2 に示す Step1 の成果を踏まえ、製鉄所における現状の全排出レベルに比較して総合的に約 30% の CO₂ 削減可能な技術の確立を目指し、各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。

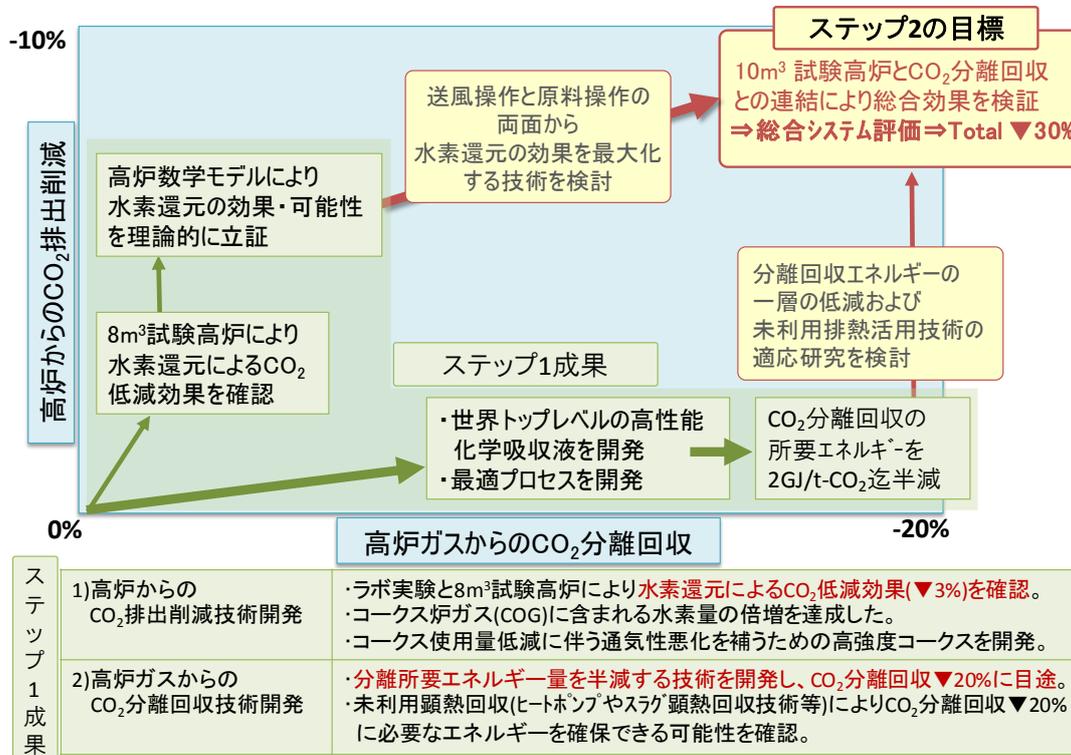


図 III-1-2 Step1 成果と Step2 の目指す方向

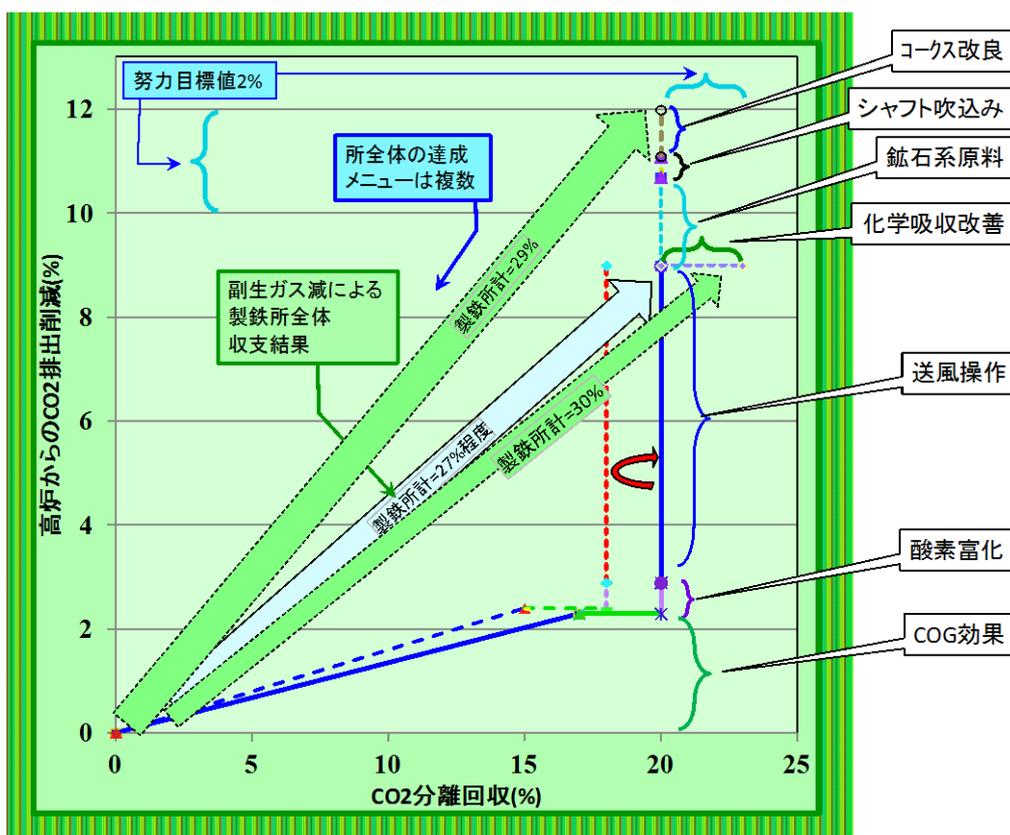
図 III-1-2 において、横軸の高炉ガスからの CO₂ 分離回収技術においては、Step1 において得られた再生エネルギー原単位 2 GJ/t-CO₂ を前提にした製鉄所における未利用排熱規模との対比から 20% の CO₂ 分離回収を見込んでいるが、Step2 においては、再生エネルギー原単位の更なる改善や、熱交換器の工業規模での特性見極めを行うことで、その到達確度を向上しようというものである。再生エネルギー原単位の更なる改善については、混合溶媒系吸収液を開発し、小型連続試験装置により、STEP1 吸収液を凌駕する高性能を確認し、努力目標の達成目途を得た。また、新規の高効率熱交換器の適用を検討し、ガス-水の熱交換において温度効率 66 % を達成する熱交換器を製作し、製鉄所実機排ガスでもその効率が得られることを示した。

一方、縦軸の高炉からの CO₂ 排出削減技術においては、Step1 においては、n=1 のスウェーデン LKAB 試験高炉での委託試験操業において約 3% の削減が実績として得られており、プロジェクトの方向性は確認されたが、約 10% の削減レベルには至っていなかった。これに対して、試験高炉の操業結果の解析を通して、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、高炉 inputC 削減 10% の効果を検証した。

以上の双方の取組により、総合的に製鉄所前提で約 30% の CO₂ 排出削減に資する技術を開発するものである。

1.3.2 プロセスの到達達成見通し

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、製鉄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必要がある。平成25年度において構築した「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」プログラムの計算結果を展開し、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為の複数メニューの検討を行った。検討においては、平均諸元を前提に、場合によっては、プロセス特性が変動する場合を想定し、努力目標を取り込みながら、達成に向けた複数シナリオを検討した。特に高炉からのCO₂排出削減については、水素還元、酸素富化などの送風操作の総計でInput C削減9%を指向し、更なる努力代として3%程度を鉱石系原料、石炭・コークス、シャフト吹き込みからの技術で指向し、力目標の12%達成のための技術課題を整理した。一方、CO₂分離回収技術における排熱の利用に影響を及ぼす熱交換器の特性によっては、化学吸収、物理吸着が持つ努力目標が必要になるケースも想定され、複数のシナリオにより達成確度の向上に取り組み、目標となる2000円/t-CO₂での回収に目処をつけた。その全体観を図Ⅲ-1-3に示す。



図Ⅲ-1-3 各要素技術の進展の反映

IV-2. 成果状況一覧

特許論文等リスト(平成 29 年 7 月 14 日現在)

[特許]

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	公開 出願 取下	名称	発明者
1	新日鉄住金エンジニアリング(株)	PCT/JP2013/ 070382	PCT	2013 年 7 月 26 日	公開	二酸化炭素回収方法	林幹洋 他
2	新日鉄住金(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 지니어リング(株)	特願 2014-000901	国内	2014 年 1 月 7 日	公開	高炉の操業方法	稲田隆信 他
3	新日鉄住金エンジニア リング(株)	特願 2014-2671	国内	2014 年 1 月 9 日	公開	二酸化炭素ガス回収装 置	三村 知 弘
4	新日鉄住金エンジニア リング(株)	特願 2014-2670	国内	2014 年 1 月 9 日	公開	二酸化炭素ガス回収装 置および回収方法	三村 知 弘
5	(公財) 地球環境産 業技術研究機構 新日鉄住金 (株)	PCT/JP2014/ 053485	PCT	2014 年 2 月 14 日	公開	【RN-4】ガス中の二酸化 炭素を吸収及び回収す るための液体、並びにそ れを用いた二酸化炭素 の回収方法	東井隆行 他
6	新日鉄住金(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 지니어リング(株)	特願 2014-046527	国内	2014 年 3 月 10 日	公開	タール含有ガスの改質 方法および改質装置	鈴木公仁 他
7	同上	特願 2014-44207	国内	2014 年 3 月 6 日	公開	石炭乾留ガスからの水 素製造装置および水素 ガス製造方法	伊藤信明 他
8	同上	特願 2014-079424	国内	2014 年 4 月 4 日	公開	高炉の操業方法	酒井博 他
9	同上	特願 2014-160743	国内	2014 年 8 月 6 日	出願	高炉へのガス供給装置 及び方法	伊藤信明 他
10	同上	特願 2014-160698	国内	2014 年 8 月 6 日	出願	水素ガス製造装置およ び水素ガス製造方法	伊藤信明 他
11	同上	特願 2014-176531	国内	2014 年 8 月 6 日	出願	高炉シャフト部供給水 素ガスの製造方法およ び装置	伊藤信明 他
12	同上	特願 2014-172496	国内	2014 年 8 月 27 日	出願	熱回収方法及びそれに 用いる熱回収装置	小林一暁 他
13	同上	特願 2014-230554	国内	2014 年 11 月 13 日	出願	可燃性ガス供給装置	三瓶均 他
14	同上	特願 2014-254294	国内	2014 年 12 月 16 日	出願	高炉の操業方法	酒井博 他

15	同上	特願 2015-042330	国内	2015年3月4日	出願	連続式固定床触媒反応装置およびその装置を用いたガス改質方法	伊藤信明 他
16	独立行政法人産業技術総合研究所、(株)神戸製鋼所	特願 2014-208574	国内	2014年10月10日	出願	コークスの熱間反応後強度の推定方法	崎元尚人、 鷹野利公 他
17	(公財)地球環境産業技術研究機構、新日鐵住金(株)	特願 2015-064402	国内	2015年3月26日	出願	二酸化炭素を分離回収するための吸収液、及びそれを用いた二酸化炭素を分離回収する方法	F. A. Chowdhury、他
18	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)	PCT/JP2015/050185,104100362	外国	2015年1月6日	出願	高炉の操業方法	樋口謙一 他
19	(公財)地球環境産業技術研究機構、新日鐵住金(株)	特願 2015-064407	国内	2015年3月26日	出願	二酸化炭素を分離回収するための吸収剤、及びそれを用いた二酸化炭素の分離回収方法	山本信 他
20	(公財)地球環境産業技術研究機構、新日鐵住金(株)	特願 2015-064402	国内	2015年3月26日	出願	二酸化炭素を分離回収するための吸収液、及びそれを用いた二酸化炭素を分離回収する方法	山本信 他
21	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)	特願 2015-069326	国内	2015年3月30日	出願	タール含有ガス改質用触媒の再生方法	中尾憲治 他
22	同上	特願 2015-161990	国内	2015年8月19日	出願	熱回収方法及びそれを用いる熱回収装置並びに二酸化炭素の分離回収方法	小林一暁 他
23	同上	特願 2015-168548	国内	2015年8月28日	出願	連続式固定床触媒反応装置および方法	伊藤信明 他
24	同上	特願 2015-180715	国内	2015年9月14日	出願	触媒反応装置及び触媒反応方法	伊藤信明 他
25	同上	特願 2015-240723	国内	2015年12月10日	出願	圧カスイング吸着法によるガス分離方法及び設備	紫垣伸行 他
26	同上	特願 2016-027738	国内	2016年2月17日	出願	高炉の送風羽口における粒子状還元材の燃焼位置推定方法およびその方法に使用する送風羽口	高橋功一 他
27	公益財団法人地球環境産業技術研究機構	特願 2016-34914	国内	2016年2月25日	出願	水素ガス分離材およびその製造方法、水素ガス分離材を用いた水素含有ガスの製造方法、並びに、膜反応器	西田亮一 他

28	新日鐵住金(株)、公益財団法人地球環境産業技術研究機構	特願 2016-061352	国内	2016年3月25日	出願	二酸化炭素吸収剤および二酸化炭素の回収方法	山本信 他
29	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)	PCT/JP2016/53573	外国	2016年2月5日	出願	高炉シャフト部への水素含有還元ガス供給方法	伊藤信明 他
30	新日鐵住金(株)、公益財団法人地球環境産業技術研究機構	PCT/JP2016/058715	外国	2016年3月18日	出願	二酸化炭素を分離回収するための吸収液、及びそれを用いた二酸化炭素を分離回収する方法	フィロツ・アラム・チョウドリ 他
31	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)	特願 2016-062351	国内	2016年3月25日	出願	高炉シャフト部への水素含有還元ガス供給方法	伊藤信明 他
32	同上	特願 2016-084092	国内	2016年4月20日	出願	炭素内装鈹の製造方法	秋山友宏 他
33	同上	特願 2016-100120	国内	2016年5月19日	出願	熱交換器	小林一暁 他
34	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)、京都大学	特願 2016-173137	国内	2016年7月5日	出願	劣質炭の改質方法、及びコークスの製造方法、並びに銑鉄の製造方法	蘆田隆一 他
35	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)	特願 2016-147999	国内	2016年7月28日	出願	高炉の送風羽口における吹き込み還元材の燃焼位置推定方法およびその方法に使用する送風羽口	高橋功一 他
36	同上	特願 2016-162985	国内	2016年8月23日	出願	触媒反応装置及び触媒反応方法	伊藤信明 他
37	(株)神戸製鋼所、国立研究開発法人産業技術総合研究所	特願 2016-173137	国内	2016年9月5日	出願	製鉄用コークスの製造方法、及び製鉄用コークス、並びに銑鉄の製造方法	崎元尚土 他
38	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	特願 2016-212344	国内	2016年10月28日	出願	高炉操業方法及び高炉設備	石井純 他

	ジニアリング(株)						
39	同上	特願 2017-71479	国内	2017年3月31日	出願	加熱管	伊藤信明 他
40	同上	特願 2017-112046	国内	2017年6月6日	出願	高炉吹込み還元材の燃 焼率推定方法、高炉操業 方法及び送風羽口	盛家晃太
41	神戸製鋼所/京都大 学	PCT/JP2017/0 21838	外国	2017年6月13日	出願	劣質炭の改質方法、及び コークスの製造方法、並 びに銑鉄の製造方法	蘆田幸一 他

[論文]

番号	発表者	タイトル	発表書誌名	査読	発表年月日
1	原岡たかし、他	高炉ガスからの二酸化炭素回収用 PSA システムの開発 CO ₂ 分離における操作条件の影響	化学工学論文集 Vol.39 No.5 Page 439-444	有	2013年9月20日
2	當房博幸、他	製鋼スラグ顕熱回収技術開発	JFE 技報, No.32 (2013), p.38-43	無	2013年8月1日
3	當房博幸、他	Development of Heat Recovery System from Steelmaking Slag	JFE TECHNICAL REPORT, No.19 (2014)	無	2014年3月1日
4	當房博幸、他	顕熱回収に適した製鋼スラグ連続凝 固プロセスの開発	鉄と鋼, Vol.99,(2013), No.12, p.683	有	2013年12月1日
5	當房博幸	「鉄鋼スラグを有効活用するための 密度および形状を制御する冷却・凝 固プロセスの開発に関する研究」の 第4章	博士論文 (大阪大学大学院 工学研究科)	有	2014年1月16日
6	蘆田隆一、他	溶剤抽出フラクショネーション法に よる構造分析を用いた石炭・粘結材 のコークス化挙動予測の試み	「鉄と鋼」第100巻記念特 集号、第2号 (製鉄分野特 集号)	有	2014年2月1日
7	F. A. Chowdhury、他	CO ₂ Capture by Tertiary Amine Absorbents: A Performance Comparison Study	Industrial & Engineering Chemistry Research 52, 8323-8331 (2013)	有	2013年5月20日
8	山本 信、他	Behavior Characterization of Heat-Stable Salt in Amine-Based Solvent for CO ₂ Capture Process from Blast-Furnace Gas	Chemistry Letters 42, 532-534 (2013)	有	2013年5月5日
9	F. A. Chowdhury、他	Synthesis and Characterization of New Absorbents for CO ₂ Capture	Energy Procedia 37, 265-272 (2013)	有	2013年8月5日
10	山田秀尚、他	Effect of alcohol chain length on carbon dioxide absorption into aqueous solutions of alkanolamines	Energy Procedia 37, 499-504 (2013)	有	2013年8月5日
11	松崎洋市、他	Ab Initio Study of CO ₂ Capture Mechanisms in Aqueous Monoethanolamine: Reaction Pathways for the Direct Interconversion of Carbamate and Bicarbonate	Energy Procedia 37, 400-406 (2013)	有	2013年8月5日
12	松崎洋市、他	Ab Initio Study of CO ₂ Capture Mechanisms in Aqueous Monoethanolamine: Reaction Pathways for the Direct Interconversion of Carbamate and Bicarbonate	J. Phys. Chem. A 117, 9274-9281 (2013)	有	2013年9月4日
13	山本 信、他	Chemical Stability of Secondary-Alkanolamine-Based CO ₂ Solvents under Stripping Condition	Chemistry Letters 42, 1559-1561 (2013)	有	2013年9月11日

14	齊間 等	PSA 法による高炉ガスからの炭酸ガス分離技術の開発	Adsorption News Vol.27 No.1 Page 11-15	無	2013年4月25日
15	山田秀尚、他	Quantitative Spectroscopic Study of Equilibrium in CO ₂ -Loaded Aqueous 2-(Ethylamino)ethanol Solutions	Industrial & Engineering Chemistry Research 誌 53, 1617-1623 (2014)	有	2014年1月9日
16	齊間 等	PSA 法による高炉ガスからの大規模炭酸ガス分離・回収技術	配管技術誌	無	2014年4月1日
17	F. A. Chowdhury、他	Development of Novel Synthetic Amine Absorbents for CO ₂ Capture	Energy Procedia 63, 572-579 (2014)	有	2014年12月31日
18	望月友貴、他	Reduction Behavior and Crushing Strength of Carbon-Containing Iron Ore Sinters Prepared from Coke Oven Gas Tar	Fuel Processing Technology	有	2015年5月22日
19	當房博幸、他	Development of Continuous Steelmaking Slag Solidification Process Suitable for Sensible Heat Recovery	ISIJ-Int., Vol. 55 (2015), No.4, p.894-903	有	2015年4月1日
20	紫垣伸行、他	Heat Recovery Process from Packed Bed of Hot Slag Plates	ISIJ-Int.,55(2015)p.2258	有	2015年10月1日
21	植田 滋、他	Reduction behavior of packed bed of sinter reduced by CO-CO ₂ -H ₂ -H ₂ O-N ₂ gas	ISIJ-Int.,55(2015)p.1213	有	2015年6月1日
22	林 幸、他	Microstructure Change and Primary Slag Melting of Sinter in the Cohesive Zone of a Blast Furnace	ISIJ-Int.,55(2015)p.1223	有	2015年6月1日
23	村上太一、他	Effect of the Reduction of Calcium Ferrite on Disintegration Behavior of Sinter under High Hydrogen Atmosphere	ISIJ-Int.,55(2015)(6), 1197-1205	有	2015年6月20日
24	茂木康弘	高炉ガスからの可燃性ガス分離	エネルギー資源学会誌 Vol.36,No.4.(2015),56	有	2015年7月1日
25	植田 滋、他	Softening, melting, and permeation phenomena of CaO-FeO-SiO ₂ oxide on a coke bed	ISIJ-Int.,55(2015)p.2098	有	2015年10月1日
26	上野浩光、他	環境調和型製鉄プロセス技術開発(COURSE50)の概況	エネルギー学会誌	有	2015年11月1日
27	鈴木公仁	製鉄副生ガスからの水素製造技術	電気評論 Page13(2015)6	有	2015年6月10日

28	齊間 等、他	高炉ガスからの炭酸ガス回収用大規模 PSA システムの構築	日本混相流学会誌（分離・混合技術特集号への寄稿）	無	2016年1月10日
29	秋山友宏、他	Reduction Rate and Crushing Strength of Carbon-Containing Pellet Prepared by Impregnation Method of COG Tar	Fuel Processing Technology, 142(1916)p.287	有	2016年2月10日
30	林 幸、他	Effects of 2CaO·SiO ₂ and 2CaO·Al ₂ O ₃ ·SiO ₂ on Primary Slag Melting of Sinters in the Cohesive Zone of a Blast Furnace	ISIJ-Int.,56(2016)p.220	有	2016年2月15日
31	Koki Nishioka 他	Sustainable Aspects of CO ₂ Ultimate Reduction in the Steelmaking Process (COURSE50 Project), Part 1: Hydrogen Reduction in the Blast Furnace	Journal of Sustainable Metallurgy	有	2016年5月26日
32	Shigeaki Tonomura、他	Sustainable aspect of CO ₂ ultimate reduction in steelmaking process (COURSE50 project)	Journal of Sustainable Metallurgy	有	2016年5月26日
33	Masami Onoda、 他	Sustainable aspect of CO ₂ ultimate reduction in steelmaking process (COURSE50 project) part 2 CO ₂ capture	Journal of Sustainable Metallurgy,2 209-215(2016)[63]	有	2016年5月26日
34	沼口遼平、他	CO ₂ 分離・回収技術の高度化	『電気評論』誌 第 626 号（第 101 巻第 5 号）PP. 50-51	無	2016年5月30日
35	石渡夏雄	CO ₂ Ultimate Reduction in Steelmaking Process (COURSE50 Project)	SCANMET V, 2016	有	2016年6月13日
36	植木保昭、他	微粉炭反応挙動に及ぼす可燃性ガス吹き込みの影響	日本学術振興会第54委員会6月期本委員会	無	2016年7月1日
37	Shigeru Ueda, Tatsuya Kon, Takahiro Miki, Sun-Joong Kim, Hiroshi Nogami	Effects of Al ₂ O ₃ and MgO on softening, melting, and permeation properties of CaO-FeO-SiO ₂ on a coke bed	Metallurgical and Materials Transactions, 47B(2016)p.2371	有	2016年8月1日
38	原岡たかし	P S A 法による高炉ガスからの炭酸ガス分離技術の構築	Adsorption News 誌	無	2016年10月31日

39	松崎洋市	企業における量子化学計算	認定 NPO 法人量子化学研究協会・機関誌「量子の世界」2016 年秋号	無	2016 年 12 月 12 日
40	紫垣伸行、他	高温の板状凝固スラグ充填層からの熱回収プロセス	鉄と鋼, Vol.103 (2017), No.2, p.111-118	有	2017 年 2 月 1 日
41	林幹洋	燃焼排ガスからの CO ₂ 回収、そして有効利用へ	自動車技術学会誌	有	2017 年 2 月 1 日
42	殿村 重彰	環境調和型製鉄プロセス技術開発の現状と今後	日本学振振興会第 148 委員会	無	2017 年 5 月 17 日
43	秋山友宏、他	Preparation of Carbon-containing-pellet with High Strength and High Reactivity by Vapor Deposition of Tar to Cold-bonded Pellet	Energy & Fuels	有	2017 年 5 月 31 日
44	紫垣伸行、他	Effect of Gas Velocity Distribution on Heat Recovery Process in Packed Bed of Plate-Shaped Slag	Energies 2017, 10, 755	有	2017 年 6 月 23 日
45	紫垣伸行、他	製鋼スラグからの顕熱回収技術の開発	JFE 技報, No.40 (2017), p.1-5	無	2017 年 8 月 1 日

[対外発表]

(a)学会発表・講演

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月日
1	齊間 等	高炉ガス CO ₂ 分離技術の現状と大規模 PSA システムの開発	名称：(株)情報技術センター・セミナー講習会テキスト Page IV-1～49	2013年4月23日
2	樋口謙一、他	Possibility of decreasing CO ₂ emissions by using hydrogen reduction in blast furnace	BAC2013 (5th Baosteel Biennial Academic conference)	2013年6月5日
3	崎元尚土、他	基質連結度によるコークス強度の推算	拡大版 E&E フォーラム 発表形式：ポスター発表	2013年6月24日
4	紫垣伸行、他	Heat transfer characteristic in a slag heat recovery chamber	The 8th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing Proceedings of PRICM8, p769-776	2013年8月8日
5	小澤純仁、他	Development of a heat recovery system from steelmaking slag	The 8th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing Proceedings of PRICM8, p761-768	2013年8月8日
6	山田秀尚、他	CO ₂ 分離回収材の反応（2） 2級ヒンダードアミン	化学工学会第45回秋季大会	2013年9月16日
7	松崎眞六、他	高炉への改質 COG 吹き込みの効果の検討	日本鉄鋼協会 166 回講演大会 CAMP-ISIJ, 26 (2013), 510.	2013年9月17日
8	谷口雅紀、他	H ₂ -CO 混合ガスを用いた実・模擬焼結鉄の還元速度の評価	日本鉄鋼協会 166 回講演大会 CAMP-ISIJ, 26 (2013), 754.	2013年9月17日
9	奥山憲幸、他	高炉の高水素化時のコークスの役割ー粘結材を用いた高強度コークスの製造と反応後強度ー	日本鉄鋼協会 166 回講演大会 CAMP-ISIJ, 26 (2013), 514.	2013年9月17日
10	渡壁史朗、他	COURSE50 プロジェクトにおける試験高炉での水素系ガス吹き込み操業	日本鉄鋼協会 166 回講演大会 CAMP-ISIJ, 26 (2013), 518.	2013年9月17日
11	石井 純、他	高炉予熱ガス吹き込み時の伝熱挙動の推定	日本鉄鋼協会 166 回講演大会 CAMP-ISIJ, 26 (2013), 824.	2013年9月17日
12	茂木康弘、他	物理吸着法による高炉ガスからの CO ₂ 分離	日本鉄鋼協会 166 回講演大会 26(2013)Vol.2, 831	2013年9月17日
13	鈴木公仁	石炭乾留タールの水素変換用新規改質触媒の開発ー実ガスを用いたベンチプラント試験ー	第112回触媒討論会	2013年9月18日

14	奥山憲幸、他	コークス反応後強度に及ぼす高性能粘結材 (HPC) の効果 (1)	第 50 回石炭科学会議 発表論文集 P.12-13	2013 年 10 月 28 日
15	宍戸貴洋、他	コークス反応後強度に及ぼす高性能粘結材 (HPC) の効果 (2)	第 50 回石炭科学会議 発表論文集 P.16-17	2013 年 10 月 28 日
16	熊谷治夫、他	粘結材添加がコークス原料炭の軟化溶解挙動に及ぼす影響(3)	第 50 回石炭科学会議	2013 年 10 月 30 日
17	斉間 等、他	Development of PSA System for the recovery of Carbon Dioxide from Blast Furnace Gas	第 12 回 日中石炭・C ₁ 化学シンポジウム 予稿集(CD) 講演番号 C203	2013 年 10 月 30 日
18	斉間 等、他	Development of PSA System for the recovery of Carbon Dioxide from Blast Furnace Gas	I E A - G H G / I E T S Iron and Steel Industry CCUS and Process Integration Workshop	2013 年 11 月 5 日
19	斉間 等、他	CO ₂ 回収用大規模 PSA 分離システムの構築—実機イメージの検討—	石油学会・北九州大会 講演要旨集 Page234	2013 年 11 月 14 日
20	原岡たかし、他	PSA 法での高炉ガス分離操作における吸脱着挙動の検討	第 27 回日本吸着学会・研究発表会 講演要旨集 Page59	2013 年 11 月 21 日
21	鈴木公仁	製鉄副生ガスからの水素製造技術開発	水素の製造と利用シンポジウム	2013 年 11 月 25 日
22	斉間 等、他	高炉ガスからの CO ₂ /CO 回収用 PSA システムの構築	第 29 回ゼオライト研究発表会 講演予稿集 Page59	2013 年 11 月 27 日
23	田 恵太、他	Continuous slag solidification and heat recovery process as a new application of steelmaking slag - (2) Results of pilot-scale experiment	9th Global Slag Conference and Exhibition 2013 (ドバイ)	2013 年 12 月 11 日
24	萩原一真、他	Continuous slag solidification and heat recovery process as a new application of steelmaking slag (1) Mechanical designing of the slag solidification and heat recovery pilot plant	9th Global Slag Conference and Exhibition 2013 (ドバイ)	2013 年 12 月 12 日
25	紫垣伸行、他	Development of a new heat recovery system from steelmaking slag	日本鉄鋼協会 第 167 回春季講演大会 国際セッション	2014 年 3 月 22 日
26	茂木康弘	PSA 法による高炉ガスからの炭酸ガスの回収	日本エネルギー学会・科学・反応システム分科会・触媒学会 GTX 研究会合同シンポジウム「炭酸ガスの分離・回収と再生利用」当日配布資料 Page9~23	2014 年 1 月 24 日
27	斉間 等	高炉ガス CO ₂ 分離技術とゼオライトを用いた大規模 P S A システムの開発	サイエンス&テクノロジー(株)セミナー	2014 年 3 月 10 日

28	松尾翔平、他	剛体ばねモデルによる割裂引張試験時における複雑な気孔構造を有するコークスの破壊解析	日本鉄鋼協会第167回講演大会（学生ポスターセッション）	2014年3月22日
29	F. A. Chowdhury 他	Selection of Cyclic Amine Absorbents for CO ₂ Capture	日本化学会第94春季年会（2014）	2014年3月27日
30	五十嵐正之	Development of High Performance CO ₂ Capture Process	第13回 CCUS(carbon Capture, Utilization & Storage)	2014年4月29日
31	稲田隆信	Recent Progress of practical BF operation in Japan and innovative trials for the future	23rd blast furnace ironmaking course McMaster セミナー	2014年5月16日
32	崎元尚土、他	画像解析によるDI測定時体積破壊要因の解明	第23回日本エネルギー学会大会	2014年7月19日
33	齊間 等、他	高炉ガスからの炭酸ガス回収用PSAシステムの開発（実機プロセスの検討）	第23回日本エネルギー学会・大会 発表番号 7-1-2	2014年7月19日
34	原岡たかし、他	PSA法による高炉ガスからのCO ₂ 分離における水分の影響	化学工学会 第46回秋季大会 講演会 講演番号 E114	2014年9月17日
35	紫垣伸行、他	Environmentally Harmonized Steelmaking Process COURSE50	European Steel Environment & Energy Congress (ESEC) 2014	2014年9月15日
36	紫垣伸行、他	CO ₂ 分離 PSA プロセスにおける吸着剤特性影響	第28回日本吸着学会研究発表会 要旨集 2-19 (p37)	2014年10月24日
37	崎元尚土、他	画像解析によるコークス熱間反応後強度の推算	日本エネルギー学会 第51回 石炭科学会議	2014年10月22日
38	吉田拓也、他	Strength and Reactivity Control of Metallurgical Coke Using Coal Derived Caking Additive	2014 International Pittsburgh Coal Conference	2014年10月6日
39	F. A. Chowdhury 他	SELECTION AND DEVELOPMENT OF SPECIFIC SYNTHETIC AMINE ABSORBENTS FOR CO ₂ CAPTURE	ICSST14	2014年10月30日 ～11月1日
40	齊間 等、他	DEVELOPMENT OF PSA SYSTEM FOR THE RECOVERY OF CARBON DIOXIDE FROM BLAST FURNACE GAS IN STEEL WORKS	ICSST14 発表番号：DO-04	2014年10月30日 ～11月1日
41	F. A. Chowdhury 他	Development of Novel Synthetic Amine Absorbents for CO ₂ Capture	GHGT-12	2014年10月6日～ 10月9日

42	中尾真一	CO ₂ 分離回収技術の現状	革新的環境技術シンポジウム 2014	2014年12月17日
43	鷹鷲利公、他	画像解析法を用いたコークス熱間反応後強度の評価	第15回北海道エネルギー資源環境研究発表会	2015年1月27日
44	堺 康爾、他	高性能粘結材（HPC）のコークス原料炭軟化溶融挙動に及ぼす効果のNMRによる検討	日本鉄鋼協会第169回講演大会 CAMP-ISIJ, 28 (2015), 7-8.	2015年3月19日
45	望月友貴、他	Reduction Behavior and Crushing Strength of Carbon-Containing Composites Prepared from COG Tar and Cold Bonded Pellets	The 13th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry 予稿集	2015年8月31日
46	葛西栄輝、他	カルシウムフェライトの被還元性に及ぼす還元ガス組成の影響	日本鉄鋼協会第170回講演大会	2015年9月1日
47	崎元尚土、他	Image analysis method for estimation of micro-strength of coke reacted by CO ₂ , H ₂ O and CO ₂ +H ₂ O.	The 13th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry	平成27年8月31-9月4日
48	西岡浩樹	試験高炉に適用可能な高炉数学モデルの開発	日本鉄鋼協会 第170回講演大会	2015年9月16日 (水)
49	鈴木公仁	高温COG中タールの触媒ドライガス化による水素製造技術開発	日本鉄鋼協会第170回講演大会 Page714	2015年7月2日 (木)
50	望月友貴、他	COG ターलとコールドボンドペレットから調整した炭素内装塊成鉱の圧潰強度と反応性	日本鉄鋼協会第170回講演大会	2015年9月16日
51	石渡夏生、他	CO ₂ Ultimate Reduction in Steelmaking Process (COURSE50 Project)	Asia Steel International Conference 2015 (Asia Steel 2015)	2015年10月5日 (月)
52	坪内直人、他	水素活用製鉄の実現を目指した炭素内装塊成鉱の製造	化学工学会エネルギー部会炭素系資源利用分科会「第一回炭素系資源の利用に関する勉強会」概要集	2015年9月16日
53	望月友貴、他	Reduction Behavior and Crushing Strength of Carbon-Containing Iron Ore Sinters Prepared from COG Tar	Asia Steel 2015	2015年10月5日
54	植木保昭、他	微粉炭燃焼挙動に及ぼす水素系ガス添加の影響	日本鉄鋼協会第170回講演大会	2015年9月16日

55	小澤純仁、他	製鋼スラグ顕熱回収パイロットプラント試験結果 (COURSE50 製鋼スラグ顕熱回収技術開発-6)	日本鉄鋼協会第170回講演大会 CAMP-ISIJ, 28 (2015)-625.	2015年9月17日
56	中尾憲治、他	Ce/NiMgO+Al ₂ O ₃ 触媒を用いたコークス炉ガス中タールの水蒸気改質反応	第116回触媒討論会 P086	2015年9月9日
57	植木保昭、他	微粉炭燃焼挙動に及ぼす水素系ガス添加の影響	エコトピア科学に関する国際シンポジウム2015 (ISETS '15)	2015年11月27日
58	吉田拓也、他	Coke strength and reactivity control in coal carbonization process using coal derived caking additive HPC	International Conference on Coal Science & Technology 2015	平成27年9月27-10月1日
59	松尾翔平、他	Fracture Analysis of Coke Considering with Three-dimensional Microstructure	International Conference on Coal Science & Technology 2015	平成27年9月27-10月1日
60	熊谷治夫、他	NMR Study on the effects of HPC addition on the thermoplasticity of non-coking or slightly-coking coals.	International Conference on Coal Science & Technology 2015	平成27年9月27-10月1日
61	山田秀尚、他	Effects of CO ₂ absorption on the lower critical solution temperature phase separation in amine-H ₂ O systems	第34回溶液化学国際会議	2015年8月30日～9月3日
62	石渡夏生、他	CO ₂ Ultimate Reduction in Steelmaking Process (COURSE50 Project)	SCANMET V	2016年6月1日
63	望月友貴、他	化学気相浸透法で調製した炭素内装塊成鈹の強度と反応性	石炭化学会議	2015年10月28日
64	望月友貴、他	Reduction Behavior and Crushing Strength of Carbon-Containing Composites Prepared from COG Tar and Cold Bonded Pellets	The 13th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry PPT 資料	2015年8月31日
65	多胡智貴、他	シリカ膜を搭載した膜反応器を用いた水性ガスシフト反応の検討	化学工学会 第47回秋季大会	2015年9月9日～9月11日
66	三浦孝一、他	重質油と低品位鉄鈹石のコプロセッシングにおける相互作用の機構	2015年度化学工学会秋季大会	2015年9月
67	山田将聡、小林信介、板谷義紀、他	スパイラル管を用いる吸収式ヒートポンプの吸収液膜熱・物質伝達	2015年度化学工学会秋季大会	2015年9月9日(水)～11日(金)
68	崎元尚人、他	Estimation of hot strength by using image analysis	International Conference on Coal Science & Technology 2015	2015年9月30日

69	蘆田隆一、他	劣質な石炭からの低ガス化反応性コークス製造方法	2015年度化学工学会秋季大会、講演要旨集 M216	2015年9月10日
70	崎元尚人、他	Estimation of Coke Drum Index from Coke-Matrix Connectivity	The 13th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry, ポスター発表, Proceedings(USB), P68	2015年9月1日
71	崎元尚人、他	Relationship Between Coke-Matrix Connectivity and Pore Structure	The 13th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry, ポスター発表, Proceedings(USB), P69	2015年9月1日
72	伊藤信明、他	Catalyst bed reactor for online removal of coke from catalyst in reforming of coke oven gas	AIChE 2015 spring meeting (Austin, TX) No.399351	2015年4月27日
73	鈴木公仁、他	Hydrogen amplification technology development using a by-product gas (hot COG (coke oven gas) in the steel making process	6th International Conference on Hydrogen Production No.297	2015年5月4日
74	久保亮太、他	CO ₂ -H ₂ 混合ガスによるグラファイトのガス化反応挙動	日本鉄鋼協会 第170回秋季講演大会	2015年9月16日
75	武田昌平、他	CO-CO ₂ -H ₂ 混合ガスによる多成分系カルシウムフェライトの還元挙動	日本鉄鋼協会 第170回秋季講演大会	2015年9月16日
76	崎元尚士	各種反応ガスにおけるコークスの粉化挙動と基質構造変化	第52回石炭科学会議	2015年10月28日
77	三浦孝一	低品位鉄鉱石と石炭由来炭素質からの高還元性・高ガス化反応性コンポジットの製造	第52回石炭科学会議	2015年10月28日
78	熊谷治夫	粘結材添加がコークス原料炭の軟化溶解挙動に及ぼす影響 (4)	第52回石炭科学会議	2015年10月28日
79	紫垣伸行、他	13XゼオライトのCO ₂ -N ₂ 混合ガス吸着特性	第29回日本吸着学会研究発表会	2015年11月20日
80	矢田五郎、他	Effect of Addition of Mixed Gas Including Hydrogen on Combustibility of Pulverized Coal	エコトピア科学に関する国際シンポジウム2015 (ISETS '15)	2015年11月28日
81	中尾真一	低炭素社会を目指す化学研究グループの取り組み	革新的環境技術シンポジウム	2015年12月18日
82	秋山友宏、他	タールの気相蒸着法により調整した炭素内装塊成鉱の圧潰強度と反応性	日本鉄鋼協会第171回講演大会	2016年1月5日

83	崎元尚土	コークス画像解析技術の深化	日本学術振興会 石炭・炭素資源利用技術 148 委員会 第 153 研究会	2016 年 2 月 9 日
84	多胡智貴、他	シリカ膜を用いた膜反応器による高炉ガス有効活用	化学工学会 第 81 回年会	2016 年 3 月 13~15 日
85	水間有希乃、他	高 Al ₂ O ₃ ・高 MgO 焼結鉱の還元過程におけるスラグ初期融液生成挙動	日本鉄鋼協会 第 171 回春季講演大会	2016 年 3 月 25 日
86	山口博生	実機焼結鉱の還元実験における水素添加の影響	日本鉄鋼協会 第 171 回春季講演大会	2016 年 3 月 24 日
87	奥山憲幸	HPC を用いたコークス製造	JCOAL 技術開発委員会ワーキンググループミーティング	2016 年 3 月 11 日
88	野内泰平	Recent Progress of practical BF operation in Japan and innovative trials for the future	McMaster セミナー	2016 年 5 月 8 日
89	紫垣伸行	Development of Large-scale CO ₂ -PSA System for the Recovery of CO ₂ from Blast Furnace Gas	12th International Conference on the Fundamentals of Adsorption(FOA12)	2016 年 6 月 3 日
90	鷹嘴利公	Influence of Gasification Regent on Gasification Kinetics of Coke	8th International Freiberg Conference on IGCC & XtL Technologies	2016 年 6 月 14 日
91	内山未有	Ni-MgO 系触媒の H ₂ S による硫化過程の追跡	第 53 回化学関連支部合同九州大会	2016 年 7 月 2 日
92	當房博幸、他	鉄鋼スラグの新規用途、新製造技術	産業技術短期大学夏季特別講座	2016 年 8 月 23 日
93	工藤真二	事前微粉碎処理による褐炭由来成型コークスの強度向上	化学工学会 第 48 回秋季大会	2016 年 9 月 6 日
94	工藤真二	褐炭由来成型コークスの強度におよぼす原料の性状	化学工学会 第 48 回秋季大会	2016 年 9 月 6 日
95	村上太一、他	DISINTEGRATION MECHANISM OF CALCIUM FERRITE IN SINTER BY REDUCTION	7th European Coke & Ironmaking Congress - ECIC 2016	2016 年 9 月 12 日
96	殿村重彰	CO ₂ Ultimate Reduction in Steelmaking Process (COURSE50 Project)	7th European Coke & Ironmaking Congress	2016 年 9 月 13 日
97	竹内栄一	酸化鉄塊成鉱の被還元性に及ぼす気孔率の影響	日本鉄鋼協会第 172 回講演大会	2016 年 9 月 21 日
98	鷲見郁宏	鉄鋼業における排熱利用の開発例 (COURSE50 製鋼スラグ顕熱回収技術開発)	日本鉄鋼協会第 172 回講演大会 シンポジウム「鉄鋼未利用熱エネルギーの有効活用」	2016 年 9 月 21 日

99	石原真吾、他	充填層軟化が通気性に及ぼす影響の解析	日本鉄鋼協会第172回講演大会	2016年9月21日
100	小暮 聡、他	還元炉によるシャフトガス吹き込み効果の影響評価	日本鉄鋼協会第172回講演大会	2016年9月22日
101	蔡 帛原、他	高温 X 回折による焼結鉄の被還元性の評価	日本鉄鋼協会第172回講演大会	2016年9月22日
102	植田 滋、他	雰囲気と還元による鉄鉱石軟化溶解挙動への影響	日本鉄鋼協会第172回講演大会	2016年9月22日
103		CO ₂ を大幅削減する製鉄プロセス(仮題)	Highlighting JAPAN	2016年9月23日
104	後藤和也	Development of CO ₂ Capture Technology by Chemical Absorption Systems	Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF)	2016年10月5日
105	熊谷治夫	粘結材添加がコークス原料炭の軟化溶解挙動に及ぼす影響(5)	日本エネルギー学会 第53回石炭科学会議	2016年10月26日
106	崎元尚土	各種反応ガスによるコークス光学組織への影響	日本エネルギー学会 第53回石炭科学会議	2016年10月26日
107	殿村重彰	CO ₂ Ultimate Reduction in Steelmaking Process (COURSE50 Project)	Yagi Symposium	2016年11月8日
108	紫垣伸行	NaX, NaY ゼオライトを用いた CO ₂ -PSA における原料ガス水分影響	第30回日本吸着学会研究発表会	2016年11月10日
109	松崎洋市	量子化学計算の産業応用	九州大学 吉澤研究室セミナー	2016年11月10日
110	F. A. Chowdhury、山田秀尚、他	Results of RITE's Advanced Liquid Absorbents Developed for Low Temperature CO ₂ Capture	GHGT-13	2016年11月14日
111	殿村重彰	CO ₂ Ultimate Reduction in Steelmaking Process (COURSE50 Project)	化学フェスタ	2016年11月14日
112	内山未有	硫化過程における Ni-MgO 系触媒の構造解析	第46回石油・石油化学討論会	2016年11月17日
113	齊間等、茂木康弘、他	多孔性物質の細孔内における炭酸ガス拡散速度	日本エネルギー学会西部支部第1回学生・若手研究発表会	2016年11月23日
114	田 恵太、他	Development of heat recovery system from steelmaking slag	日本鉄鋼協会 エコテクノロジー若手研究フォーラム講演会	2016年11月25日
115	宍戸貴洋	Effect of high performance caking additive (HPC) on high-strength cokemaking with controlled reactivity	The 1st Australia-Japan Symposium on Carbon Resource Utilisation	2016年11月28日

116	中尾真一	化学吸収液 - CO ₂ 削減技術の早期実現を目指して-	革新的環境技術シンポジウム 2016	2016年12月7日
117	林幹洋	省エネ型 CO ₂ 化学吸収法の開発と実用化 (ESCAP®) 状況について	TIC セミナー	2016年12月16日
118	伊藤 彰	水素エネルギー社会に向けた新日鐵住金の取り組み	関東地域エネルギー・温暖化対策推進会	2017年1月13日
119	山田秀尚、他	下限臨界溶液温度型のアミン-水系における CO ₂ 吸収に関する研究	化学工学会第82年会	2017年3月6日
120	西廣一隼、前田敬之、大野光一郎、国友和也	H ₂ -CO 混合ガスによる炭素析出反応に及ぼすガス組成・温度の影響	日本鉄鋼協会第173回講演大会	2017年3月16日
121	林幹洋	炭酸ガスの地産地消モデル	日本鉄鋼協会第173回講演大会	2017年3月16日
122	本村優貴、葛西栄輝、村上太一、丸岡大佑	高水素雰囲気に適した焼結鉍組織造り込みのための原料設計	日本鉄鋼協会第173回講演大会	2017年3月17日
123	丸岡大佑、俣岡昌嗣郎、村上太一、葛西栄輝	4元系カルシウムフェライトの被還元性に及ぼす鉍物組成および雰囲気の影響	日本鉄鋼協会第173回講演大会	2017年3月17日
124	西垣亮介、渡邊玄、須佐匡裕、林 幸	焼結鉍中の針状カルシウムフェライト生成に及ぼす SiO ₂ 賦存状態の影響	日本鉄鋼協会第173回講演大会	2017年3月17日
125	蔡帛原、渡邊玄、須佐匡裕、林 幸	高温X線回折による合成 SFCA の被還元性の評価	日本鉄鋼協会第173回講演大会	2017年3月17日
126	中尾憲治	コークス炉ガス改質による水素増幅技術の開発(ベンチプラントによる実証試験)	第119回触媒討論会	2017年3月21日
127	山田秀尚	RITE's Advanced CO ₂ Capture Technologies	TCCS-9(The 9 th Trondheim Conference on CO ₂ Capture, Transport and Storage)	2017年6月14日
128	萩生 大介	省エネ型 CO ₂ 回収設備 (ESCAP)	日中グリーンエキスポ 2017 (パネル展示) (開催場所: 中国・北京国際展覽中心 2号館)	2017年6月13日
129	殿村 重彰	環境調和型製鉄プロセス技術開発の現状と今後	学振 148	2017年4月/30日
130	殿村 重彰	環境調和型製鉄プロセス技術開発の現状と今後	学振 148・第159委員会	2017年5月24日
131	村上太一、葛西栄輝	高水素雰囲気での高被還元性を有する焼結鉍の製造と評価	日本鉄鋼協会	2017年6月20日
132	村上太一、葛西栄輝	固相反応により調製した4元系カルシウムフェライトの被還元性に及ぼす雰囲気ガスの影響	日本鉄鋼協会	2017年5月19日
133	荒木 恭一	Recent Development of Iron-making Technologies in Japan(Key note)	Iron Ore 2017, Perth (豪州) by the Australasian Institute of Mining and	2017年7月24日

			Metallurgy(AusIMM) and CSIRO	
134	山口 博生	針状カルシウムフェライトの生成に及ぼす加熱温度、CaO 源及び Al ₂ O ₃ 濃度の影響	日本鉄鋼協会	2017年6月20日
135	紫垣 伸行	Development of CO ₂ physical adsorption technology	EMECCR2017(1st International Conference on Energy and Material Efficiency and CO ₂ Reduction in the Steel Industry)	2017年6月30日
136	松崎 洋市	Development of CO ₂ chemical adsorption technology	EMECCR2017	2017年6月30日
137	中尾 憲治	Hydrogen amplification technology development using coke oven gas (COG)	EMECCR2017	2017年6月30日
138	笠井 昭人	Optimum Design of the Complex Injection Lance for COURSE50 Experimental Blast Furnace	EMECCR2017	2017年6月30日
139	殿村 重彰	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 (STEP2)	NEDO 環境部事業報告会	2017年7月4日

(b)新聞・雑誌への掲載

番号	発表者	発表タイトル	掲載誌名	発表年月日
1	齊間 等	CO ₂ 回収・貯留 (CCS) 大規模削減の切り札コスト抑制で開発競争	日経エコロジー・8月号 2013年8月号 Page 54-56	2013年7月8日
2	林 幹洋	省エネ型二酸化炭素回収設備「ESCAP®」の商業二号機の受注について	プレスリリース	2016年10月17日
3	加藤次裕	プレスリリース原稿「化学吸収液の使用許諾について」	プレスリリース	2016年10月21日
4	上野浩光	水素還元製鉄・CO ₂ 回収開発成果と課題を聞く	鉄鋼新聞	2017年1月4日

(c)その他

番号	発表者	発表タイトル	発表媒体	発表年月日
1	菊池直樹、他	低品位炭からの製鉄コークス用粘結材製造技術（ハイパーコール）	JCOAL CCT ロードマップ 第3版 （一般財団法人 石炭エネルギーセンター技術開発委員会作成）の個別技術紹介	2014年1月16日
2	東井隆行	RITE 化学研究グループの研究活動概説	RITE TODAY（RITEの年報）	2014年3月14日
3	鈴木公仁	製鉄副生ガスからの水素製造技術開発	2014年度 日鉄住金環境(株) 分析ソリューション事業本部技術報告会	2014年7月3日
4	松崎洋市	量子化学計算の産業応用	大阪大学 「化学工学特別講義II」	2014年11月27日
5	松崎洋市	計算化学を活用した環境問題への取り組み	東北大学 「環境材料評価学特論」	2014年12月1日
6	中尾真一、他	RITE 化学研究グループの研究活動概説	RITE TODAY（RITEの年報）	2015年3月13日
7	市川祐三	日本鉄鋼連盟の事業活動について	米国鉄鋼協会（AISI）への鉄連事業活動の説明資料	2015年4月10日
8	小野 透	COURSE50 Status Report	CO ₂ Breakthrough Programme 13th Meeting of the Expert Group	2015年6月15日
9	殿村重彰	環境調和型製鉄プロセス技術開発（COURSE50プロジェクト）の概要	JCOAL:CCT ワークショップ 2015	2015年7月2日
10	松崎洋市	量子化学計算の産業応用	大阪大学 「化学工学特別講義II」	2015年12月1日
11	菊池直樹	ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト クリーン・コール・テクノロジー推進事業 エネルギー需給における石炭の役割と今後のCCT技術開発のあり方に関する検討	NEDO 事業 25年度成果報告書	2015年7月25日
12	JFEホールディングス	COURSE50(JFE CSR 報告書英語版)	JFE グループ CSR 報告書 2014	2016年1月12日
13	加藤次裕、他	CO ₂ 分離・回収技術の高度化・実用化、および水素エネルギー社会構築に向けた無機膜、膜反応器開発への取り組み	RITE TODAY（RITEの年報）	2016年3月1日
14	中尾憲治	環境技術を極めるー水素増幅触媒技術	新日鐵住金社内報「鉄の絆」3月号	2016年3月3日
15	松尾 翔平	数値シミュレーションを用いた高炉	平成 27年度活動報告書、東北大学	2016年3月31日

		用コークスにおける強度支配因子の 解明	流体科学研究所発行及び HP 上で公 開	
16	原 有輝	コークスの微細構造解析	東北大学 マイクロシステム融合研 究開発センター 成果報告書	2016 年 3 月 31 日
17	中尾憲治	COURSE50 BP2 概要説明	北海製鉄内研修での BP2 設備見学	2016 年 4 月 28 日
18		環境調和型製鉄プロセス技術開発 (COURSE50)	新日鐵住金・アニュアルレポート	2016 年 6 月 1 日
19	松崎洋市	量子化学計算の産業応用	大阪大学 「化学工学特別講義 II」	2016 年 12 月 19 日
20	前田洋平	低炭素社会実行計画 2016 年度フォロ ーアップ結果 総括編<2015 年度実 績> (速報版)	鉄連ホームページ	2016 年 12 月 21 日
21	前田洋平	日本鉄鋼連盟の地球温暖化対策への 取組み	鉄連ホームページ	2016 年 12 月 21 日
22	茂木康弘、他	環境調和型製鉄プロセス技術開発製 鉄プロセスにおける CO ₂ 削減の取組	JFE 研究所マスコミ見学会 パネ ル展示	2017 年 1 月 17 日
23	鷺見郁宏	JFE スチールの地球温暖化、エネルギ ー環境問題への取組み	秋田大学工学部講義	2017 年 1 月 20 日
24	鷺見郁宏	日本の鉄鋼業における地球温暖化と エネルギー環境問題への取組み	明治大学セミナー「日本における二 酸化炭素問題への取組み」	2017 年 2 月 24 日
25	村尾明紀	環境調和型製鉄プロセス技術開発製 鉄プロセスにおける CO ₂ 削減の取組	学生インターンへの説明	2017 年 2 月 6 日
26	F. A. Chowdhury	Development of novel liquid absorbents for efficient CO ₂ capture	韓国 KCRC との CCS に関する技術 交流	2017 年 2 月 21 日
27	加藤次裕、他	化学吸収法による CO ₂ 分離・回収技 術開発	RITE TODAY (RITE の年報)	2017 年 3 月 13 日
28	後藤和也、他	平成 29 年度の RITE 研究計画	(公財) 地球環境産業技術研究機構 平成 29 年度事業計画書 (RITE ホー ムページで公開)	2017 年 4 月 30 日