

「環境調和型プロセス技術の開発／
①水素還元等プロセス技術の開発
(フェーズⅡ－STEP1)」

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
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 -4
2.1 研究開発の内容	II -4
2.2 研究開発の実施体制	II -12
2.3 研究の運営管理	II -14
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 -17
3. 情勢変化への対応	II -19
4. 評価に関する事項	II -20
III. 研究開発成果について	
1. 事業全体の成果	III -1
1.1 概要	III -1
1.2 成果概要	III -2
IV. 実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	
(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略	IV -1
(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組み	IV -1
(1) 成果の実用化・事業化の見通し	IV -1
(添付資料)	
・プロジェクト基本計画	添付1
・特許論文等リスト	添付2

概 要

		最終更新日	2020年7月20日
プロジェクト名	環境調和型プロセス技術の開発／①水素還元等プロセス技術の開発（フェーズⅡ－STEP1）		プロジェクト番号 P13012
担当推進部/ PMまたは担当者	環境部 PM：春山 博司主査（2018年4月～現在） 担当者：中田 博之主査（2018年4月～2018年6月） 名久井 博之主査（2018年7月～2019年3月） 越後 拓海主任（2019年4月～2020年3月） 園山 希主査（2020年4月～現在）		
0. 事業の概要	<p>本事業は、高炉法による製鉄プロセスから排出されるCO₂を削減し、地球温暖化防止に寄与するため、高炉からのCO₂発生量を抑制すると共に、発生したCO₂を効率的に分離・回収技術を開発し、2030年の実機化を目指すものである。</p> <p>具体的な開発内容は、コークス製造時に発生する高温のコークス炉ガス(COG)に含まれる水素およびその水素を増幅し、コークスの一部代替に当該水素を用いて鉄鉱石を還元する技術開発と、高炉ガスからCO₂を分離するため、製鉄所内の未利用排熱を利用した革新的なCO₂分離・回収技術開発を行う。これらの技術開発によりCO₂排出量の約3割削減を目標に、低炭素社会の実現を目指す。</p> <p>これまでにフェーズ-STEP1（2008～2012年度（5年間））として要素技術開発を実施し、フェーズⅠ-STEP2（2013～2107年度（5年間））にて要素技術を組合せたパイロットレベルの総合実証試験を行った。フェーズⅡ-STEP1では、実用化開発を行い、最終的に製鉄所における現状の全排出レベルと比較して約30%のCO₂削減を可能にする技術の確立に資する。</p>		
1. 事業の位置 付け・必要性について	<p>鉄鋼業から排出されるCO₂は、1.8億トン（2018年度）で、産業・エネルギー転換部門最大であり、わが国のCO₂排出量の13%を占める。そのため、鉄鋼業からのCO₂排出量の削減が要請されている。</p> <p>しかし、わが国の鉄鋼業では、1970年代以降、省エネルギー化に取り組み、現在では鉄鋼生産におけるエネルギー効率は世界一であり、更なるCO₂排出量削減には、革新的な技術開発が必要である。</p> <p>また、本事業は、21世紀環境立国戦略に於いて、世界全体の温室効果ガス排出量削減のための長期戦略の一つに位置付けられており、わが国が国際的リーダーシップを発揮するために産学の知見を結集し、国として取り組むべき事業である。</p> <p>以上から、本事業は実機化までに中長期の期間を要し、かつ事業環境の変化等のリスクの高いテーマであることから、民間のみで取り組むことが困難で、機構が資金負担を行うことにより民間の能力を活用して研究開発を推進すべき事業である。</p>		
2. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>【中間目標(2020年度)】</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"> ・高炉からのCO₂排出削減量約10%達成の見通しを得る。 <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"> ・分離回収エネルギー改善としての、吸収形態改善と分極影響の緩和の両技術の改善に新規技術を見出す事で、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂達成への目途を得る。 <p>【最終目標(2022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"> ・高炉からのCO₂排出約10%減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。 ・高炉の実機部分確性「全周羽口吹込み」試験は上記CO₂削減技術開発の状況をみながら、フェーズⅡ－STEP2の開始以降に行い、上記目標達成に資する。 <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>		

	・CO ₂ 分離回収コスト 2,000 円/t-CO ₂ を実現可能な技術の充実に指向し、分離回収エネルギー 1.6GJ/t-CO ₂ を達成し、CO ₂ 排出削減量約 20%の技術に資する。							
事業の計画内容	主な実施事項	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy		
	① 鉄鋳石還元への水素活用技術の開発	① -1. 水素活用プロセス技術開発						
		① -2. 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査						
	② COG 改質技術開発							
	③ 高性能粘結材製造技術の開発							
	④ CO ₂ 分離回収技術開発							
	⑤ 未利用低温排熱活用技術開発							
	⑥ 試験高炉によるプロセス技術開発							
	⑦ 実高炉部分検証によるプロセス技術開発							
	⑧ 全体プロセスの評価・検討							
事業費推移	会計・勘定	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	総額 (百万円)	
	総 NEDO 負担額	830	1341	2020	2100	2000	8291	
開発体制	経産省担当原課	製造産業局金属課金属技術室						
	プロジェクトリーダー	日本製鉄株式会社 製鉄技術部長 荒木 恭一 2017.4～現在						
	プロジェクトマネージャー	NEDO 環境部 主査 春山 博司						

	<p>委託先 (助成事業の場合「助成先」とするなど適宜変更) (組合が委託先に含まれる場合は、その参加企業数及び参加企業名も記載)</p>	<p>【委託先】 日本製鉄(株)、JFE スチール(株)、(株)神戸製鋼所、日鉄エンジニアリング(株)、日鉄日新製鋼(株)(2018~2019年度) 【再委託先】 (一財)電力中央研究所 【共同実施先】 北海道大学、京都大学、九州大学、(公財)地球環境産業技術研究機構</p>
情勢変化への対応	<p>2018年度に開始したフェーズⅡ-STEP1において、2019年度までに3回の試験高炉操業を行い、高炉からのCO₂削減量10%の目途を得ている。また、COG改質による水素だけでは削減量に限界があることが分かってきた。</p> <p>一方、2018年11月に日本鉄鋼連盟は長期温暖化対策ビジョン「ゼロカーボン・スチールへの挑戦」を発表し、COG改質による水素ではなく、外部からの水素を利用した高炉における更なる水素還元比率アップをSuper COURSE50として掲げている。</p> <p>以上の背景から、COURSE50においてSuper COURSE50の要素を一部取り入れ開発を継続することとした。具体的には、さらに可能な限り(≧10%)水素還元比率を高めるために、2022年度まで試験高炉における試験を継続することとした。また、当初、2020年以降に実施を予定していた、高炉の実機を部分的に改造した試験(実機部分確性「全周羽口吹込み」)については、CO₂削減技術開発の状況をみながら、フェーズⅡ-STEP2の開始(2023年度)以降に行うこととした。</p>	
評価に関する事項	事前評価	2017年度 フェーズⅠ-STEP2 前倒し事後評価実施 担当部 環境部
	中間評価	2020年度 中間評価実施
	事後評価	2022年度 事後評価実施
3. 研究開発成果について	<p>研究開発項目(a) 高炉からのCO₂排出削減技術開発 ・常温水素系ガスの羽口吹込み操作で、高炉からのCO₂排出量の約10%削減が達成可能であることを実験(試験高炉)と理論(数学モデル)の両面から実証した。</p> <p>研究開発項目(b) 高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収技術開発 ・理論限界に近い分離回収所要エネルギー原単位を目指し、新吸収液開発に着手し、ラボ連続試験装置においてこれまでの最高性能のエネルギー原単位1.63GJ/t-CO₂を達成した。 ・実排ガスの性状調査により、耐久性を考慮した排熱回収設備構成を提示した。</p>	
	投稿論文	「査読有」10件、「査読無」1件、「その他外部発表」139件
	特許	「出願済」10件、「登録」0件、「実施」0件(うち国際出願2件) 特記事項:
	その他の外部発表(プレス発表等)	プレスリリース(記者発表): 2019年3月13日
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	<p>①成果の実用化・事業化に向けた戦略</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水素高炉: フェーズⅡでの実証終了後、2030年ごろの商業1号機の建設に向けて、具体的なエンジニアリングを行う。 ・CO₂分離回収: 高炉以外での実用化を進めながら、製鉄所導入に向けたエンジニアリングを行う。 ・コスト低減、経済性の確保のために本PJ計画変更(試験高炉研究継続、水素活用還元技術の深化による水素使用量低減)を行う。 ・数学モデルの活用により、実証高炉(100t/d)を行わずに実証研究を推進することで、本PJ計画変更による実用化計画の遅れを防止と開発費用の削減を図る。 	

	<p>②成果の実用化・事業化の見通し</p> <p>・実用化・事業化の課題は技術確度の向上と CO₂ 削減コストの低減であり、その解決（必要水素量低減など）を目指して PJ の計画変更を実施した。</p>	
<p>5. 基本計画に関する事項</p>	<p>作成時期</p>	<p>2013年3月 作成</p>
	<p>変更履歴</p>	<p>2016年2月 改訂（STEP2の内容に修正）</p> <p>2017年2月 改訂（フェロークス活用製鉄プロセス技術開発を追加）</p> <p>2018年1月 改訂（水素還元活用製鉄プロセス技術（フェーズⅡ—STEP1）の内容に修正、フェロークス活用製鉄プロセス技術開発の実施期間を5年から6年に変更）</p> <p>2018年10月 改訂（基本計画名称、研究開発項目名称及びプロジェクトマネージャーを修正、研究開発スケジュールの誤記修正）</p> <p>2019年1月 改訂（研究開発項目2.の名称の変更）</p> <p>2020年2月 改訂（研究開発の内容、別添 研究開発計画を修正）</p>

プロジェクト用語集

<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 System 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“ベリ一部(炉腹部)”、炉下部にすぼまった部分を“ボッシュ部(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	ベリ一部	
7	ボッシュ部	
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 化学保存帯	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)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 付近である。一方同部位付近ではウスタイト(Fe _x O)-鉄(Fe)平衡になり、見かけ上ウスタイトから鉄への還元が進行しない化学保存帯が形成される。そこでは熱および反応が見かけ上変化しない。この還元が平衡している点(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。 CO+H ₂ O⇒CO ₂ +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 ₂ O 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。C+CO ₂ →2CO
35	水性ガス化反応	コークスなどの固体炭素と H ₂ O との反応。C+H ₂ O→CO+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℃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、キンク、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行っている化学反応、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℃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、還元雰囲気に曝すことにより、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 高性能粘結材製造技術の開発>

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

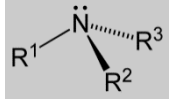
		$R = 4\pi \frac{A}{l^2}$ <p>上式において R は円形度, A は面積, l は周囲長を示す。</p>
4	ギースラープラストメーター法 (Gieseler plastmeter)	流動性試験方法 (JIS M8801 に規程)。攪拌棒が挿入されている金属製のつぼ (内径 21.4mm, 深さ 35.0mm) に 425 μm 以下とした試料 5g を充填し、金属浴中にて 3 °C/min で昇温する。攪拌棒上のドラムプリーと同径でかつ同心に指示針を備えたダイヤルプリーとを同調させ、この指示針の目盛り盤 (360 °C, 100 等分) の動きを温度とともに 1 分ご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 μm 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 ± 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 °C に予熱された電気炉に挿入する。3 °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 (Dynamic Mechanical Analysis)	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 δ)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±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、ふるい上質量のものと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。ビ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(ビトリニット、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	Δ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)を持つものをアルカノールアミンという。
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 ³ /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、コークス比や溶銹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、循環ガス(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℃以上に昇温した循環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熔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°C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、カーリー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の関係から 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おり、多くの CO₂を排出し、製造業及び建設業部門の CO₂排出量の 50%を占め、わが国全体で 13%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。

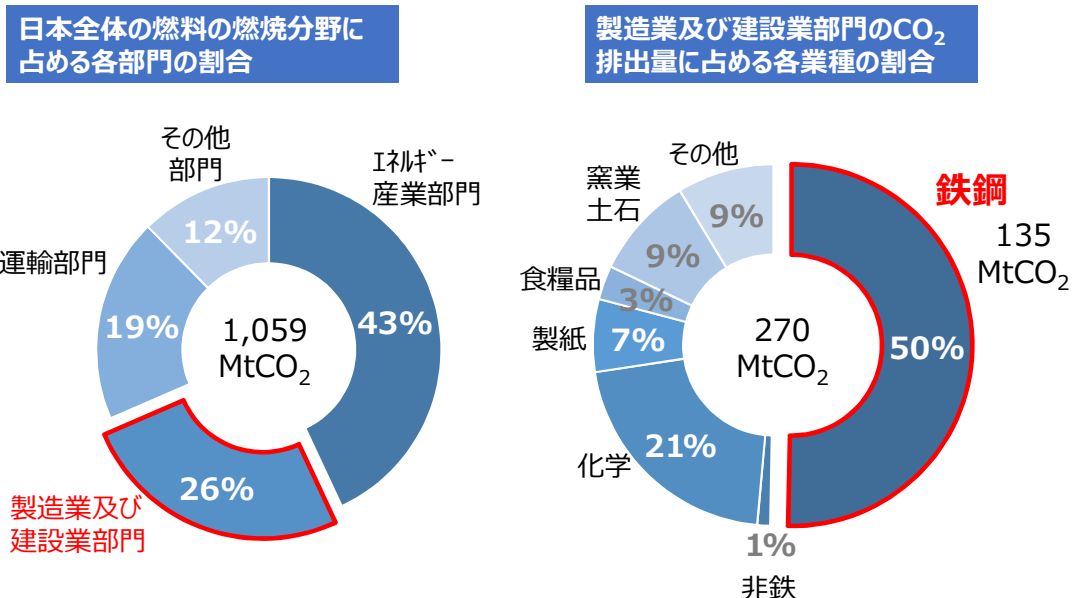


図 I-1-1 わが国の鉄鋼業における CO₂ 排出の現状

環境省「2018 年度温室効果ガス排出量」、国立環境研究所「温室効果ガスインベントリオフィス」より作成

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

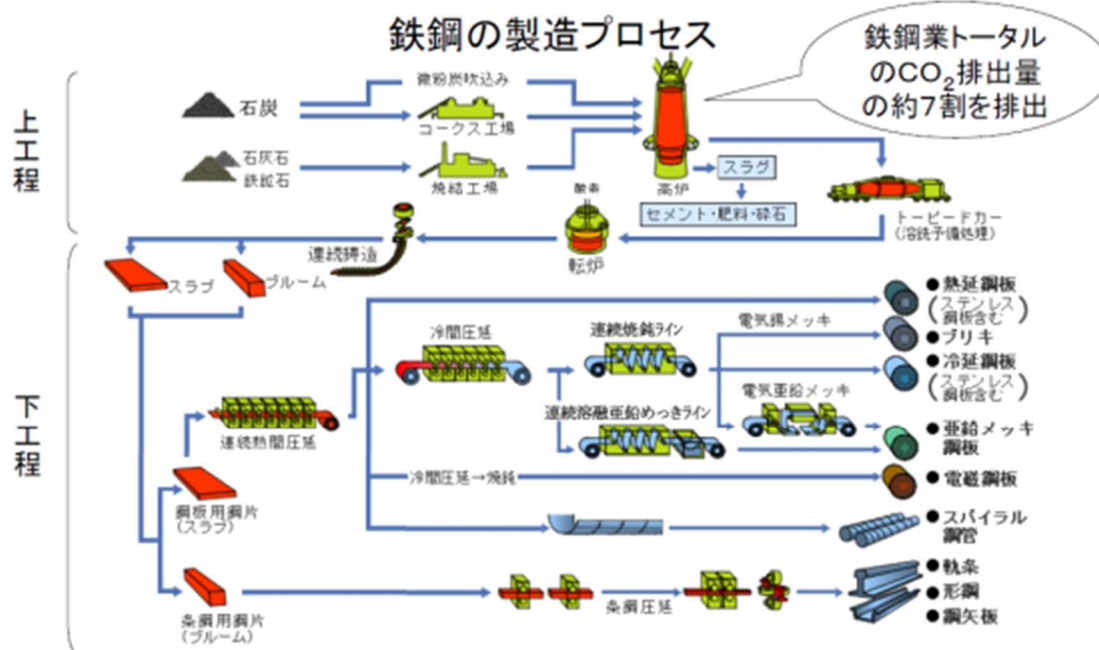


図 I-1-2 一貫製鉄所の製造プロセス

出典:「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(フェーズ-STEP2)」(前倒し事後評価)事業原簿【公開】

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（2015 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。

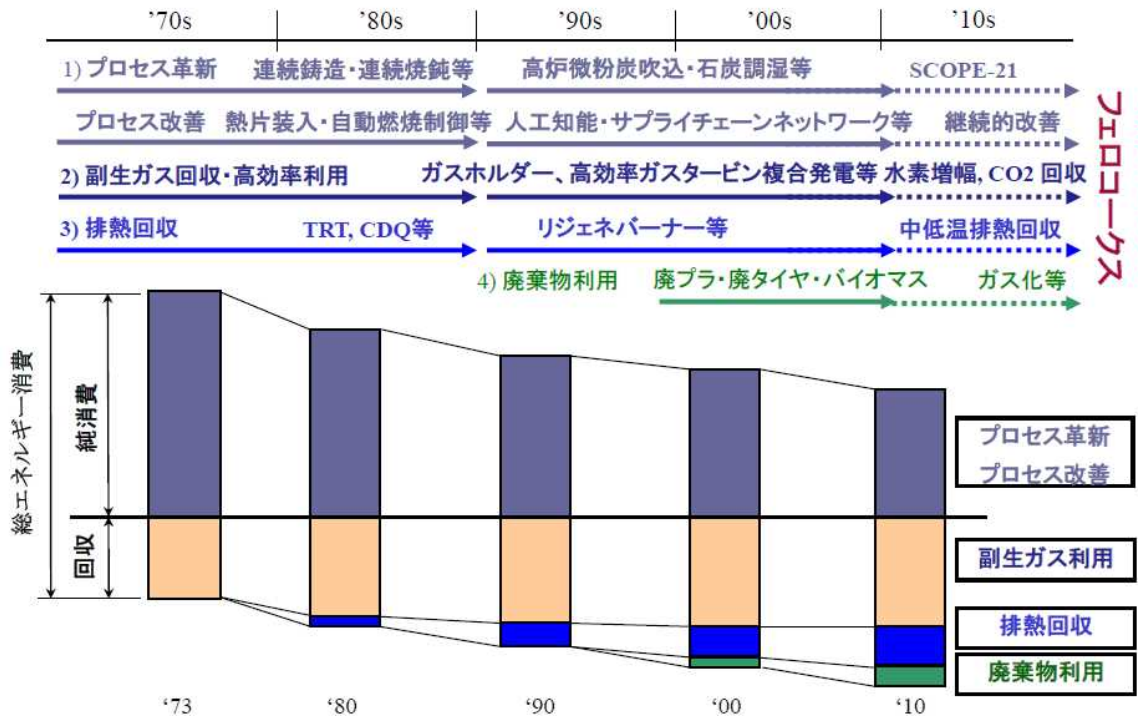


図 I-1-3 鉄鋼業の省エネルギーへの取り組みの推移

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」、2015年1月

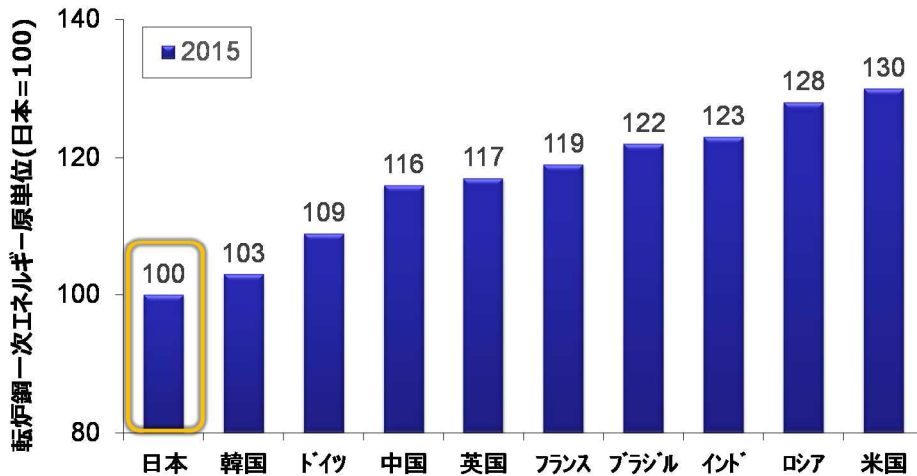


図 I-1-4 鉄鋼業(高炉・転炉法)のエネルギー原単位の国際比較

出典：地球環境産業技術研究機構(RITE)「2015年時点のエネルギー原単位の推計」(鉄鋼部門-転炉鋼)



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

出典:『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性が求められている。

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%削減する技術を確立し実機化を目指す)」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 System 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。

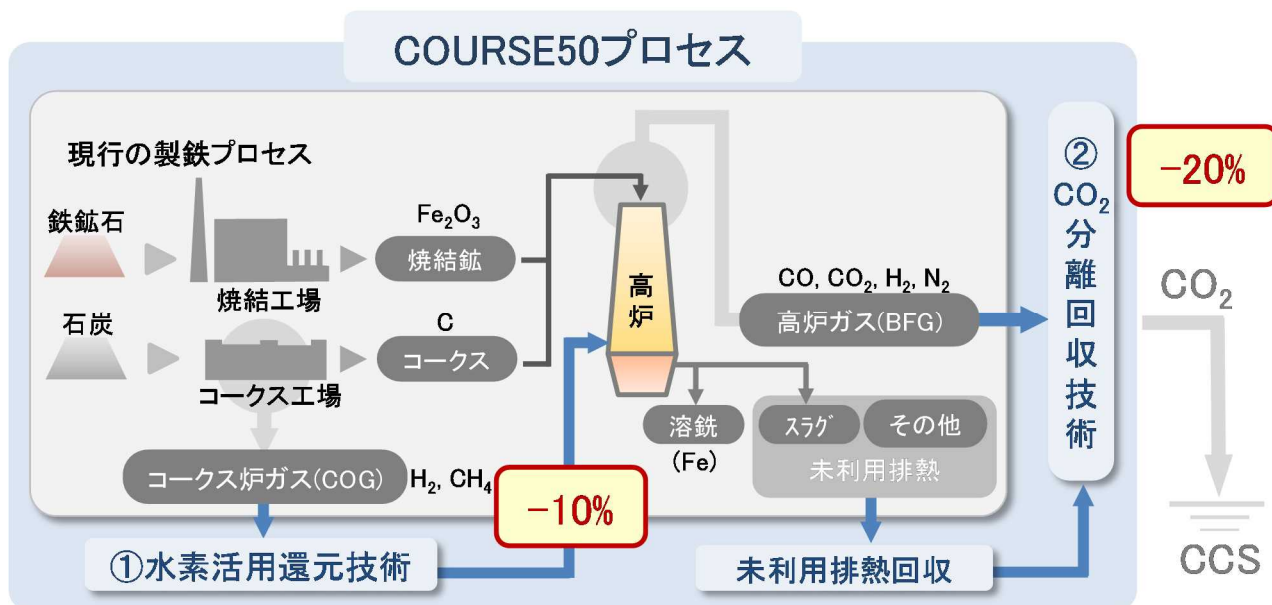


図 I-1-6 技術開発の概要

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

新たな 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-STEP1（2008～2012 年度（5 年間））として要素技術開発を実施し、フェーズ I - STEP2（2013～2107 年度（5 年間））にて要素技術を組合せたパイロットレベルの総合実証試験を行った。フェーズ II -STEP1 では、実用化開発を行い、最終的に製鉄所における現状の全排出レベルに比較して約 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 II STEP1）の位置づけを示す。

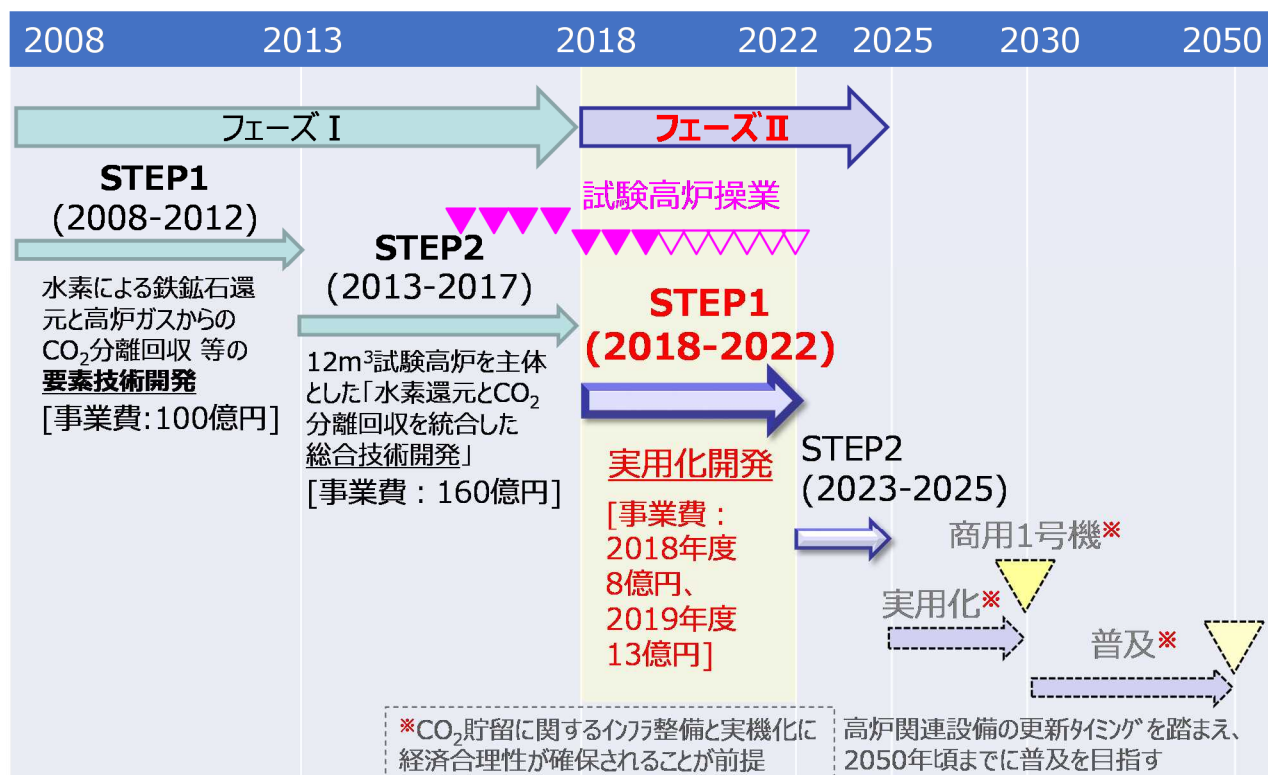


図 I-1-7 COURSE50 フェーズ II STEP1 の位置付け

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。

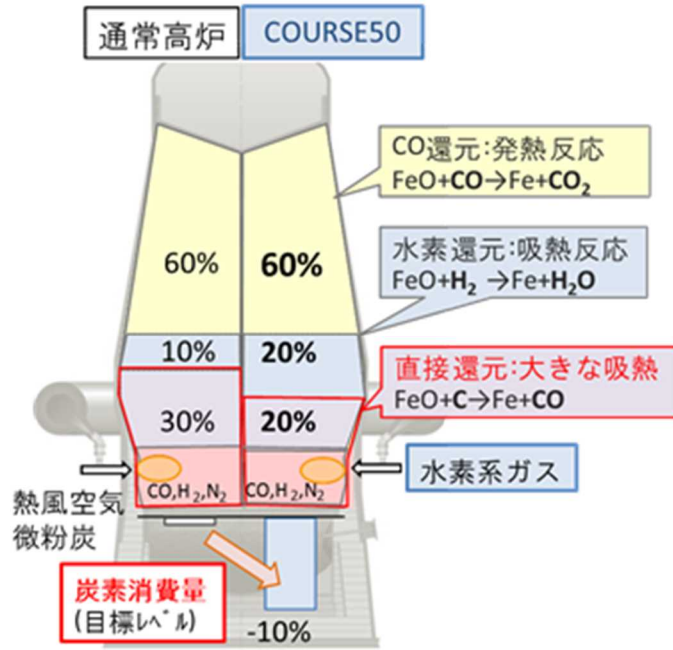


図 I-1-8 COURSE50 高炉の狙い

(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% * 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。

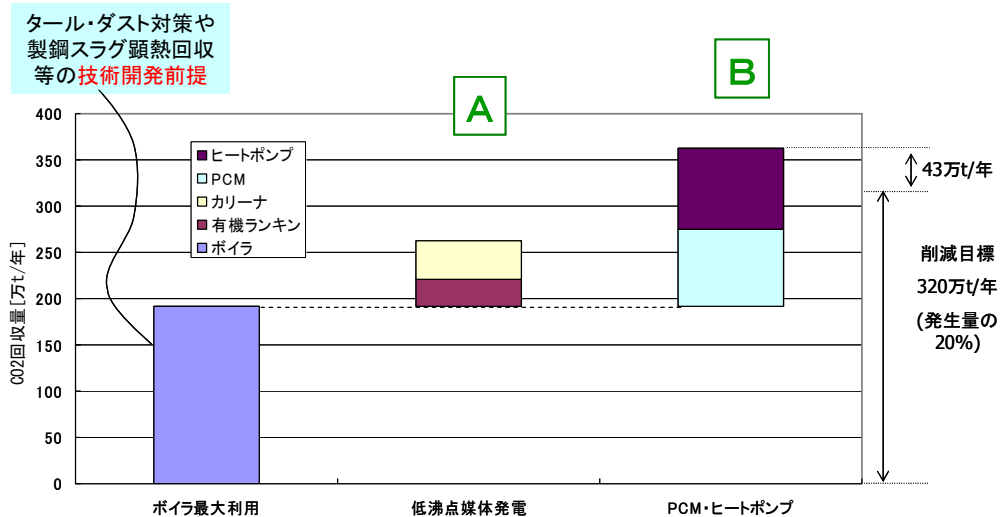


図 I-1-9 製鉄所の未利用顕熱の活用規模

出典:「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(フェーズ II-STEP2)」(前倒し事後評価)事業原簿【公開】

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。

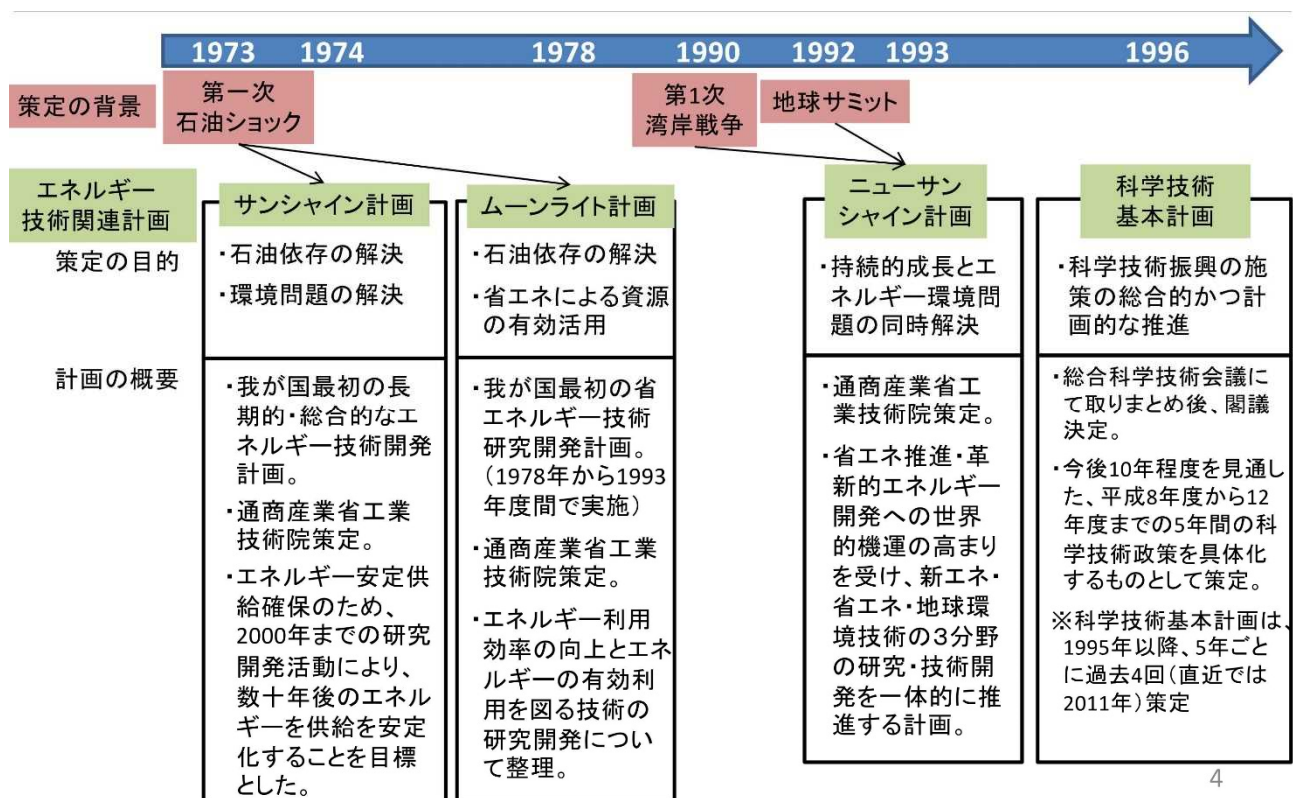


図 I-1-10 我が国におけるエネルギー技術開発に関するこれまでの取組 その1

出典:「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(フェーズ I-STEP2)」(前倒し事後評価)事業原簿【公開】

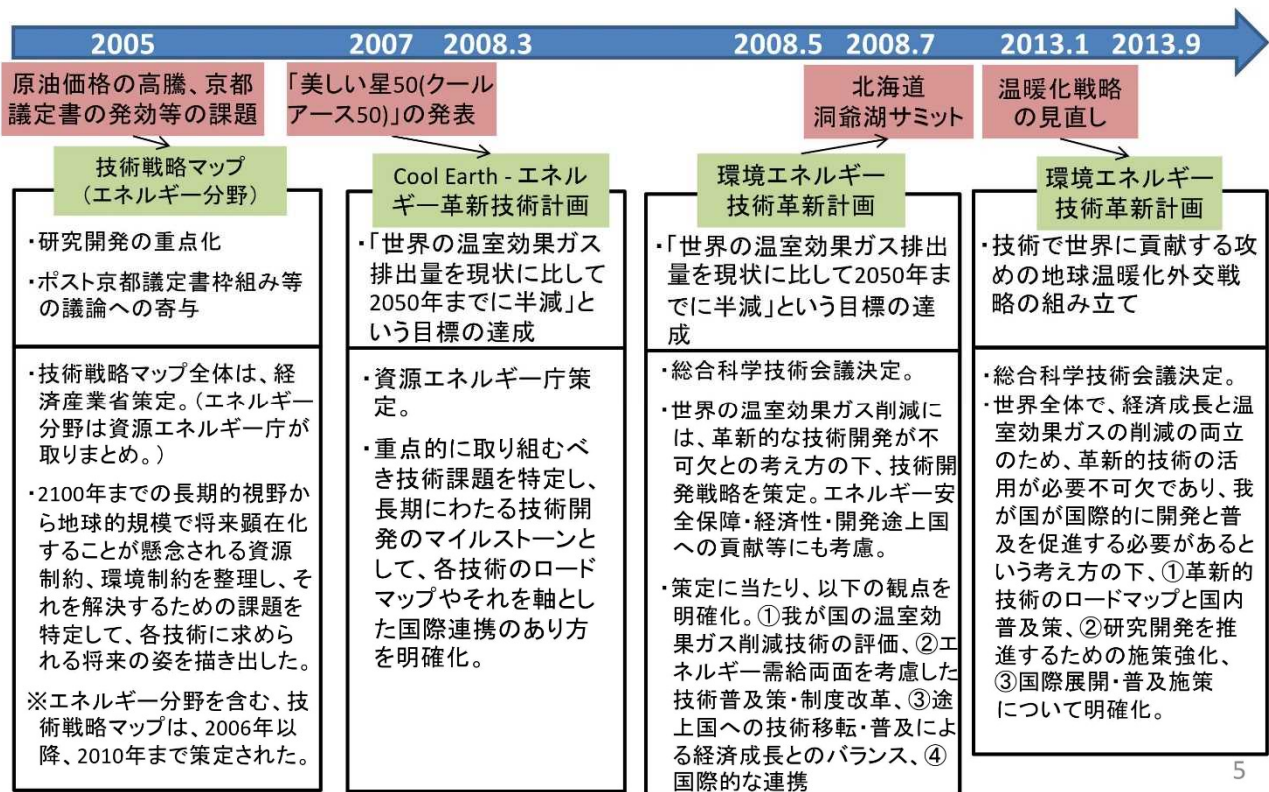


図 I-1-11 我が国におけるエネルギー技術開発に関するこれまでの取組 その2

出典:「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(フェーズ I - STEP2)」(前倒し事後評価)事業原簿【公開】

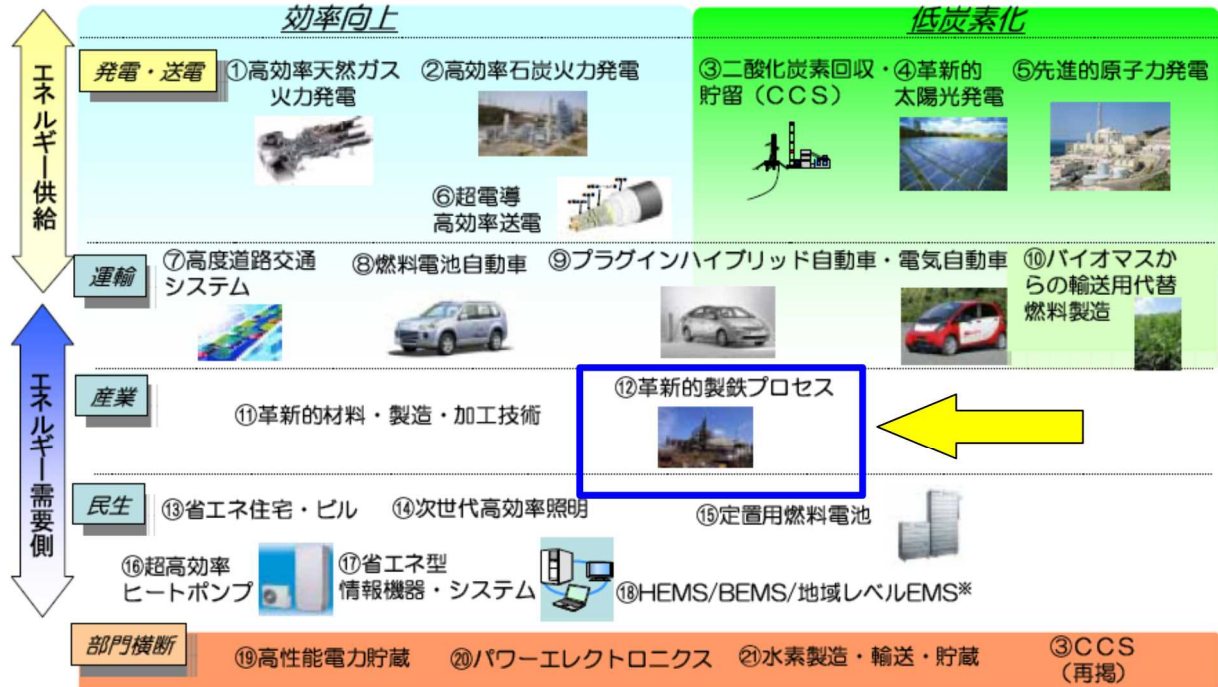
本事業は、これまでの取組も含め、下記のように位置づけされている。

(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
出典: 経済産業省「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」

(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＞

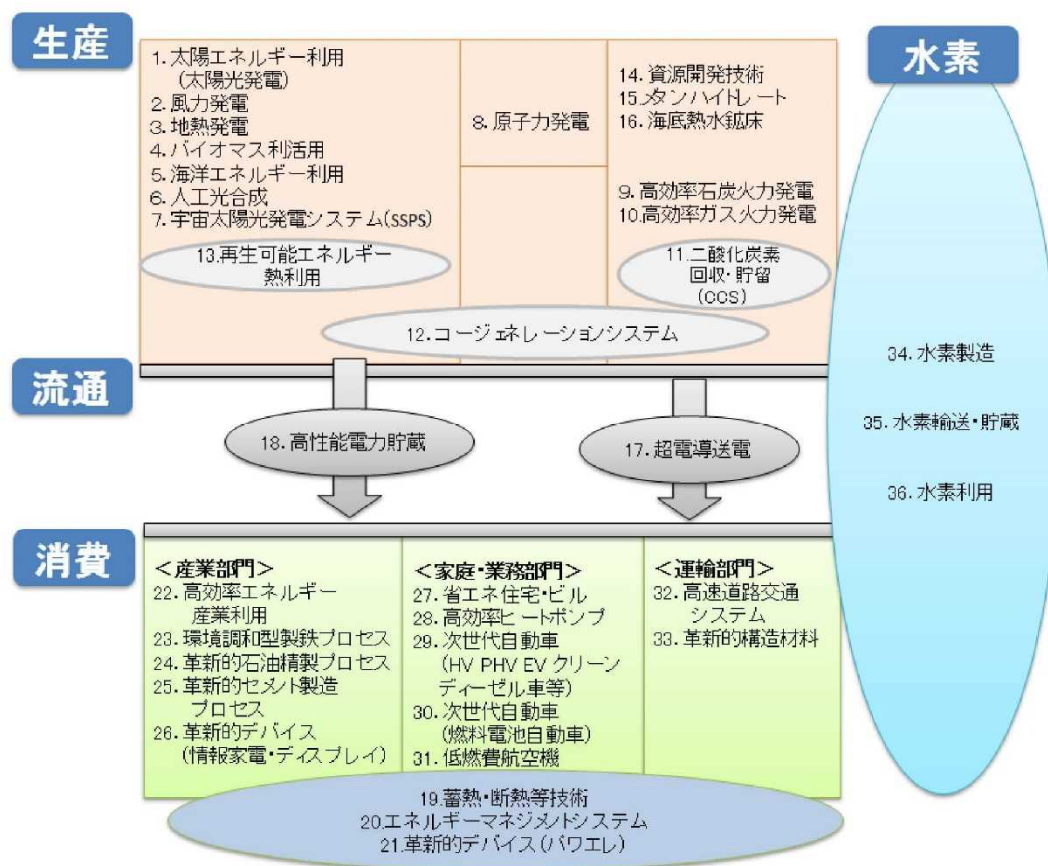


図 I-1-13 エネルギー関係技術開発ロードマップにおける技術課題全体の整理図
出典: 経済産業省「エネルギー関係技術開発ロードマップ」

23. 環境調和型製鉄プロセス

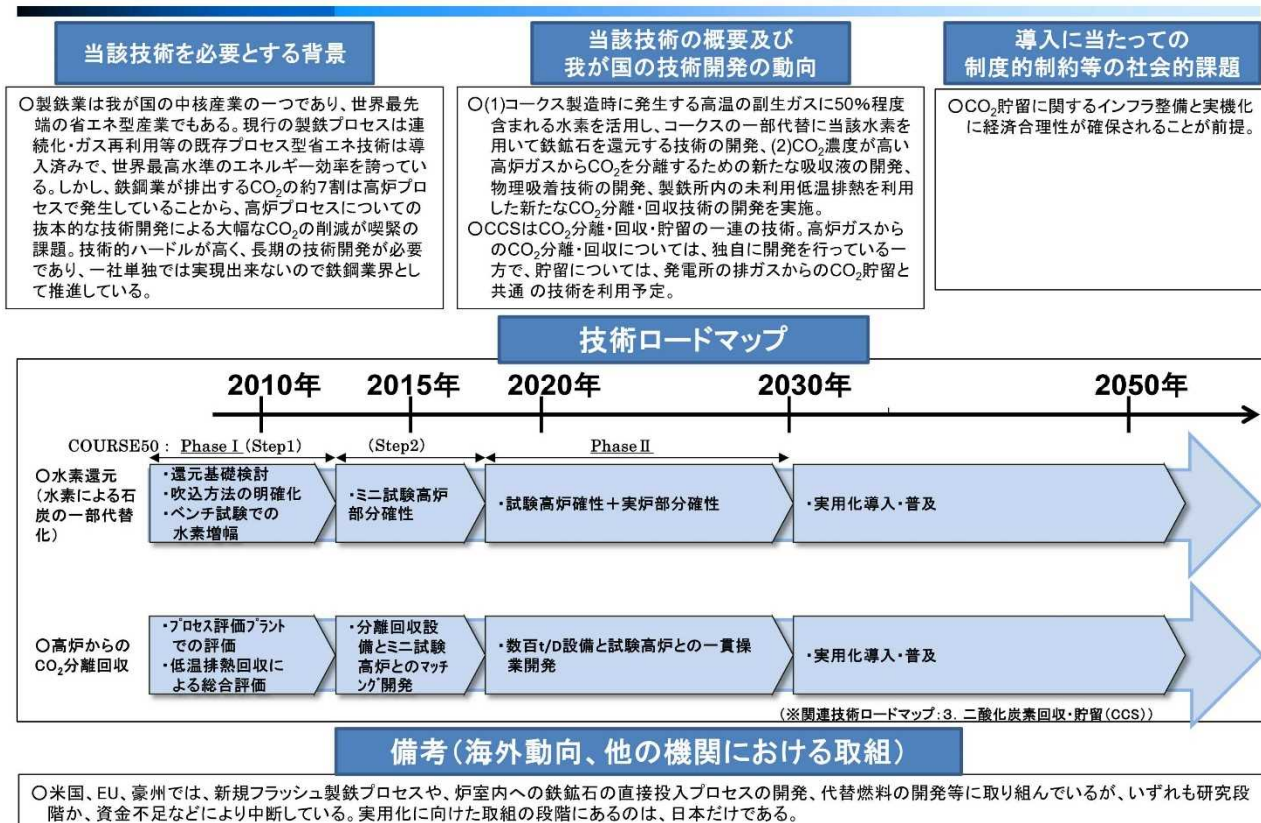


図 I-1-14 環境調和製鉄プロセスのロードマップ
 出典: 経済産業省「エネルギー関係技術開発絵ロードマップ」

11. 二酸化炭素回収・貯留(CCS)

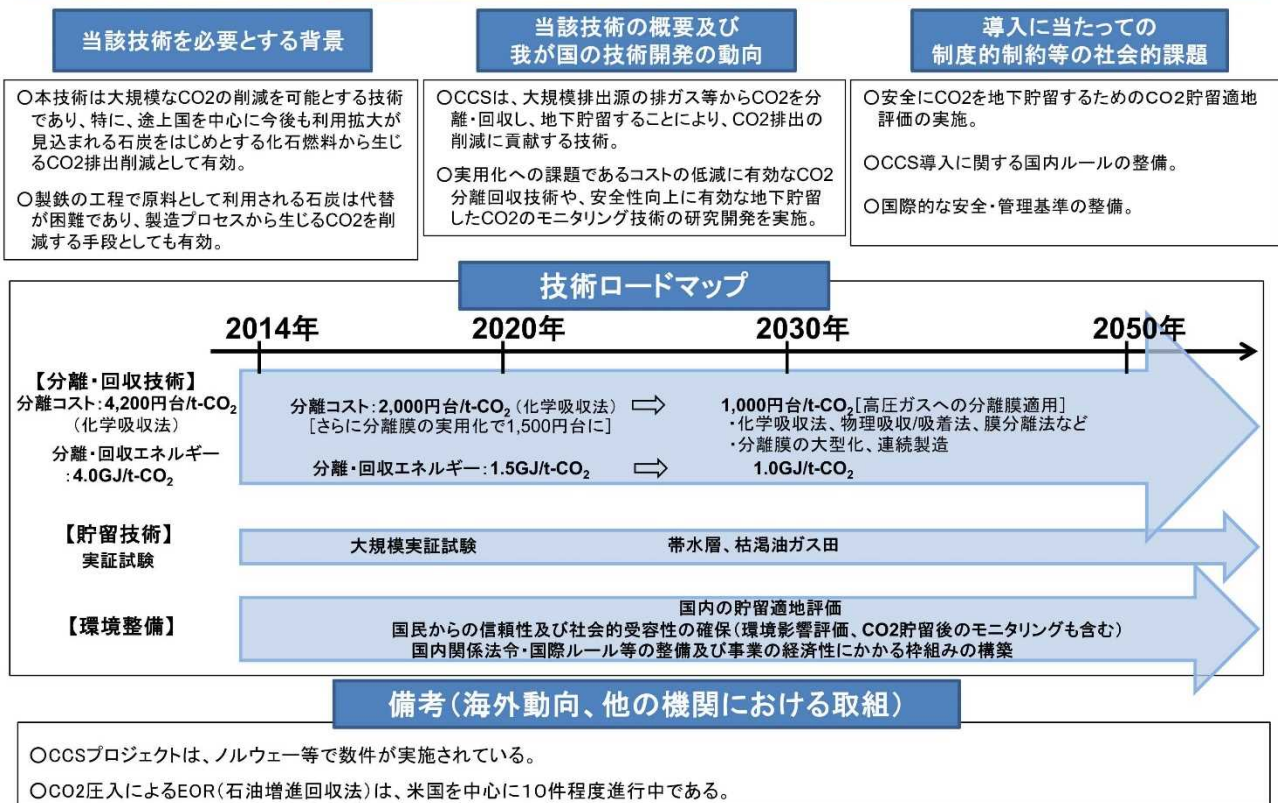


図 I-1-15 二酸化炭素回収・貯留のロードマップ
出典: 経済産業省「エネルギー関係技術開発絵ロードマップ」

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 (STEP1 の 5 年間と STEP2 の 3 年間) 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 年間の実績額は約 100 億円、フェーズ I (STEP2) については、160 億円である。フェーズ II では、総額で約 120 億円が想定される。

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。

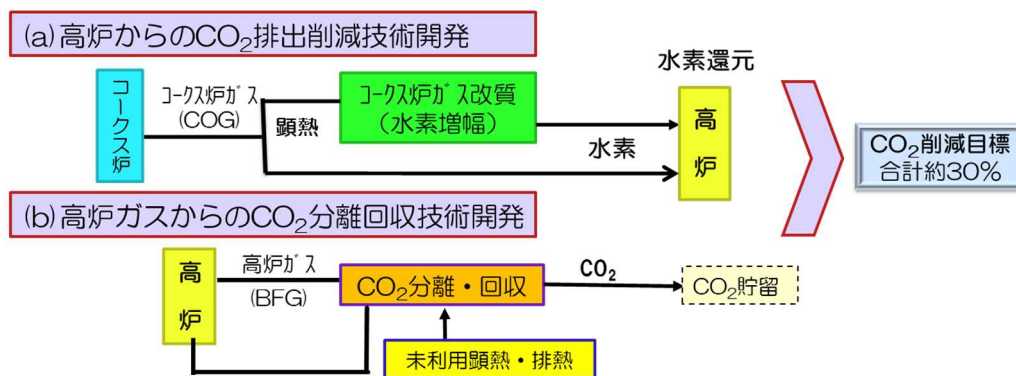
以上のことから、本プロジェクトは極めて高い挑戦的な技術ではあるが、実機化によって、日本のCO₂排出を約4%削減可能であり、極めて大きなCO₂削減効果が得られるとともに、世界に対して日本の技術をアピールでき、且つ将来的には海外への技術的な支援も可能であることから、投資としての意義は非常に高く、得られるメリットは多方面に渡って大きいと考えられる。

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

(1) フェーズII-STEP1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。フェーズI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、COG羽口吹込みとシャフト吹込みの統合操作で、約10%削減が原理的に可能であることを実験(試験高炉)と理論(数学モデル)の両面から実証した。フェーズIの研究成果を踏まえ、フェーズII-STEP1では、2030年頃の実用化を目指し、CO₂10%削減をより確実にする実機適合技術の開発・検証が重要課題である。



図II-1-1 COURSE50事業の目標

表 II-1-1 フェーズ I 到達レベルとフェーズ II における課題

プロジェクト開発目標	COURSE50フェーズ I (2008～2019)	COURSE50 フェーズ II -STEP1 (2018～2022)
	主な開発成果	開発課題
①【水素活用還元技術】 高炉からCO ₂ 排出量約10%削減する技術を確立する	COG羽口吹込みとシャフト吹込みの統合操作で、約10%削減が原理的に可能であることを実験(試験高炉)と理論(数学モデル)の両面から実証した。	2030年頃の実用化を目指し、CO ₂ 10%削減をより確実にする実機適合技術の開発・検証が重要課題。
②【CO ₂ 分離回収技術】 高炉ガスからCO ₂ 排出量約20%削減する技術を確立する	<ul style="list-style-type: none"> 高性能な化学吸収液、物理吸着剤を開発、パイロットプラント試験を通じてCO₂分離回収効果を実証。 高性能な排熱回収熱交換器を開発。 これらにより、高炉ガスからCO ₂ 20%削減と分離回収コスト≤2,000円/t-CO ₂ 達成の見通しを得た。	<ul style="list-style-type: none"> 吸収液の性能向上により、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂達成への目途を得て、分離回収コスト≤2,000円/t-CO₂の技術確度を高める。 熱交換器付着物を効率よく除去することで、熱交換性能の維持を図り、実用に耐える熱交換器システムを構築する。

以上の課題解決に向けて、フェーズ II-STEP1 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、実験と理論の両面から高炉から CO₂ を 10%削減するプロセス操作を総合的に検証・評価し、水素を活用した還元反応制御技術を確立する。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) フェーズ II-STEP1 の目標

【中間目標(2020年度)】

研究開発項目(a) 高炉からの CO₂ 排出削減技術開発

- 高炉からの CO₂ 排出削減量約 10%達成の見通しを得る。

研究開発項目(b) 高炉ガス (BFG) からの CO₂ 分離回収技術開発

- 分離回収エネルギー改善としての、吸収形態改善と分極影響の緩和の両技術の改善に新規技術を見出す事で、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂ 達成への目途を得る。

【最終目標(2022年度)】

研究開発項目(a) 高炉からの CO₂ 排出削減技術開発

- 高炉からの CO₂ 排出約 10%減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。
- 高炉の実機部分確性「全周羽口吹込み」試験は上記 CO₂ 削減技術開発の状況をみながら、フェーズ II-STEP2 の開始以降に行い、上記目標達成に資する。

研究開発項目(b) 高炉ガス (BFG) からの CO₂ 分離回収技術開発

・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、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂を達成し、CO₂排出削減量約 20%の技術に資する。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

フェーズⅠ－STEP 2の成果を踏まえて、本技術開発においては、①試験高炉と3次元高炉数学モデルの活用で、送風操作の可能性を最大限迫及する。②実機部分確性でしか検証できない全周羽口吹込み試験については、上記CO₂削減技術開発の状況をみながら、フェーズⅡ－STEP 2の開始以降に検証試験を実行する方針。基本的には、実機検証が不可欠な領域に限定して、実機部分確性試験を実施する計画である。

研究開発項目(1) 高炉からのCO₂排出削減技術開発

① 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

フェーズⅠ－STEP 2においては、3次元高炉数学モデルの適用により、水素系ガスの羽口吹込、シャフト吹込の比較のみならず、コークス反応性の影響評価、高被還元性焼結鉱評価、一部ガスCOG改質シャフト吹込効果評価など、COURSE50高炉内の多くの現象を精度良く効率的に評価した実績を有している。フェーズⅡ－STEP 1においては、鉄鉱石還元への水素活用技術の可能性拡大という趣旨で、熱バランス的に難しい領域への挑戦となるため、3次元高炉数学モデルによるプロセス推定・評価が重要となる。更に、フェーズⅡ－STEP 2の開始以降に計画する実高炉を使用した実機部分確性のための全周羽口吹込試験の場合は、変動要因も多くなる条件下での検討となるため、3次元高炉数学モデルによる客観的プロセス成立条件の提示は極めて重要となる。これらのニーズに対して、モデル側としては、水素還元反応モデルの精向上を図る。又、それらを受けてのスケールアップ検討においては、具体的な検討精度を上げる方針で推進する。

② 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動

これまで、還元ガス吹込みを併用した微粉炭 150kg/t レベルでの全周羽口吹き込みの実績は無い。実高炉においては還元材比低下に加えて安定操業の維持が重要になるが、微粉炭の燃焼率低下は未燃チャーの増加により高炉内の通気性悪化を招く可能性があることから、還元ガス吹込み併用時の微粉炭の燃焼状況を把握する必要がある。また、試験高炉と実高炉では内容積のみならず、吹込みに関連する設備も相違があり、ランス形式に関しては試験高炉がシングルランスに対し実高炉ではダブルランス、羽口径に関しては試験高炉ではφ50mm に対し実高炉ではφ120mm 程度が想定される。さらに、炉内に形成されるレースウェイ（微粉炭の炉下部での最終ガス化領域）に関しても、試験高炉では奥行 300mm 程度に対し、実高炉では 1500mm 程度が想定される。このような相違を踏まえ、次フェーズでは試験高炉で得られた知見を活用しつつも、実高炉条件での燃焼挙動の検討が必要となる。さらに、試験高炉操業では操業条件はほぼ一定であったが、実高炉操業を想定した場合、微粉炭、還元ガス吹込み量、微粉炭燃焼性（成分）、送風条件（送风量、酸素濃度、送風温度）等もある特定条件では無く、複数のケースに対応した検討が必要となる。加えて、実機展開時の設備安定稼働維持の観点から、吹込みランスの温度等を複数の操業条件において把握する。

③ 試験高炉によるプロセス技術開発

試験高炉はフェーズⅠ－STEP 2においては、送風操作及び原料操作の組み合わせで4回の本操業試験を実施し、計画通りの成果が得られた。今後は、水素還元の効果を見極めるため、試験高炉を用いた試験操業において、送風操作（純水素ガスを含む各種還元ガス吹込み）及び原料操作等を行って、各種還元ガスの使用量の効率化を含め、操業操作の多様性を追求する。

④実高炉部分検証によるプロセス技術開発

実用化に向けて、COURSE50 高炉のコークス使用量低下に伴う通気抵抗増加に起因する不確实现象を検証・評価するため、実高炉を用いた実機部分確性「全周羽口吹込み」試験は、鉄鉱石還元への水素活用技術の開発ならびに試験高炉によるプロセス技術開発の開発状況をみながら、フェーズⅡ－STEP 2の開始以降に計画・実施し、高炉からのCO₂排出削減量約10%達成に資する。

⑤コークス炉ガス（COG）改質技術開発

水素還元を用いる水素を製鉄所内から供給する方法として、フェーズⅠで確立したコークス炉で発生する副生ガス(COG)から水素を増幅する技術を、実機に適用するためのエンジニアリングを検討する。本事業では、試験高炉での検討により、最適改質COG組成が変わる可能性がある場合には、フェーズⅠ－STEP 2で建設した50Nm³/h規模のBP2設備を用いて、高炉吹込み最適改質COG製造の検証を行う。また、実COGの改質技術をコークス炉や高炉周辺の実機に適用するためのエンジニアリング検討を行う。並行して、長期使用したBP2設備を解体し、触媒炉内耐火物、触媒反応筒、部分酸化炉内耐火物等の主要設備の材料解析等を行い、材質選定の妥当性、留意点等を抽出する。

⑥コークス改良技術開発

コークス改良技術開発はフェーズⅠにおいては、COURSE50高炉で要求される「強度」や「反応性」を備えたコークスの作り込み技術確立を完了したが、フェーズⅡにおいては、コークス改良に不可欠な高性能粘結材であるHPCの製造プロセスのスケールアップに資する技術の開発に着手する。HPCの流動特性は、温度依存性が大きく、プロセスの流量/温度管理特性を維持・管理する技術を確立することを指向する。

研究開発項目(2) 高炉ガスからのCO₂分離回収技術開発

①CO₂分離回収技術開発

①-1 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

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)を十分に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。化学吸収液の再生熱エネルギーについては、すでに2.0GJ/t-CO₂を下回る世界最高水準には到達しているが、「誘電率が70%に改善、吸収形態も熱的に有利なバイカーボネイト化して到達可能な理論限界」に漸近した1.6GJ/t-CO₂を達成目標とする。

尚、化学吸収法のスケールアップについては、実機規模に対しては高さ方向のスケールアップは行わず、塔径アップで対応する為、基本的には、スケールアップ目的の実炉部分確性まで実施する必要性を採用していない。

①-2 物理吸着法のコスト低減とスケールアップ検証

物理吸着についてはフェーズⅠ－STEP 2でエンジニアリング検討技術まで完了しているので、フェーズⅡでの新規の開発課題は無い。

①-3 分離技術総合プロセス技術開発

化学吸収と物理吸着の最適組み合わせを評価するシステムは完成し、10ケースの最適化検討も完了しているので、フェーズⅡにおいては、本システムを活用して、プロセスの最適化等、具体的検討に適用してゆく。

②未利用排熱活用技術の開発

フェーズⅠ－STEP 2までの開発で、種々の排熱源や、その利用方法について、モデル製鉄所や代表製鉄所での最適使用方法についても検討が進捗し、製鋼スラグ顕熱回収技術のように、エンジニアリング検討まで完了したものもある。フェーズⅡに対して残された課題は、スケールアップと、熱交換器部分における耐久性対策である。但し、スケールアップについては、未利用排熱活用設備の場合、数倍以上基本ユニットの能力向上では無く、基本基数増対応であるので、本質的な課題は存在しないと思料する。一方、熱交換器部分の耐久性対策は、重要な開発課題として、総合的に取り組んでゆくべき課題である。

②-1 未利用排熱活用技術開発（低品位排熱の熱回収技術の調査と開発）

未利用排熱活用設備の場合、数倍以上基本ユニットの能力向上では無く、基本基数増対応であるので、実用化に際しての、個別エンジニアリング課題は存在するが、本質的なスケールアップ課題を意識する必要は無いと判断している。既存フィンチューブに対するマイクロ熱交換器の優位性も確認されており、良好な特性を維持し続けるかが、最大の課題となる。

製鉄実排ガス環境下での低温高効率熱交換器の開発、設計、評価と実用化のためのプロセス課題を追及する。基本的な考え方としては、熱交換部の汚染の極小化条件をハード/ソフト両面で推進するとともに、熱交換部にいたるまでの「未利用排熱熱源」の清浄度の改善や、熱交換部の定期メンテ方法等、総合的な対策を推進する必要がある、予算規模は大きくないものの、粘り強く取り組むべき課題として、然るべき時間をかけて課題解決を推進する。

研究開発項目(3) 全体プロセスの評価・検討

①全体最適化

高炉からのCO₂排出削減技術開発は、1) 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発 2) 水素の安価製造技術の開発 (COGのドライ化・増幅技術開発) によって構成される。また、CO₂分離回収技術開発は、1) 高炉ガス中のCO₂分離回収技術 2) CO₂分離回収のための製鉄所排熱利用技術によって構成される。この両者を併せて、効率的に事業目標を達成する手段を確立することを目的として、フェーズⅠで基本構成が完成した「モデル製鉄所・物質熱収支モデル」に対して、各要素技術の進捗や、プロセス改善を織り込んだ境界条件に対して、物質熱計算を行い、全体プロセスの総合最適化を検討し、最終的に製鉄所における現状の全排出レベルに比較して約30%のCO₂削減を可能にする技術の確立に資する。

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

開発技術		開発技術内容
鉄鉱石還元への水素活用技術の開発	SG1-1. 水素活用プロセス技術開発	高炉3次元数学モデルによる試験操業設計・解析で、 試験高炉操業による検証を支援 するとともに、水素還元反応モデルの精査で スケールアップ精度の向上 を図る。
	SG1-2. 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査	COURSE50 特有の複合ランス に対し、微粉炭燃焼率、レースウェイ内条件等を測定し、操業条件影響を評価する。

SG2. COG 改質技術開発	触媒を用いた COG 改質技術において、最適 COG 組成の変更対応を行うと伴に、 実機化に対するエンジニアリング検討 を行う。
SG3 高性能粘結材製造技術の開発	高性能粘結材溶融物の円滑なハンドリングの為には、粘性を決定する主要因の温度制御が重要であるが、 その温度制御条件を左右するプロセスの粘結材供給方法、熱供給方法および機器構造の関係を総合的に開発する。
SG4 CO ₂ 分離回収技術開発	化学吸収液の再生熱消費原単位改善の為に ① 吸収形態をガバメント系からバカーボット系に転換 ② 誘電率の低減によるエネルギー緩和 の2大方針にて、ブレークスルーを図る。
SG5 未利用低温排熱活用技術開発	高効率熱交換器の 初期特性維持 の目的で ①未利用排熱源に含まれる汚染源を精査する事で、 汚染物の付着に対する事前除去、蓄積条件の緩和 等を総合的に検討する。 ②付着が無視できない状況に対して、 間歇的に付着除去 の手段を検討する。
SG6 試験高炉によるプロセス技術開発	フェーズ I - S T E P 2 で確認できた送風操作と原料操作の組み合わせによる CO ₂ 削減約 10% のレベルに対して、 直接還元を抑制する手段に関する送風操作の多様性を追求 する。具体的には、 送風ガス種、送風方法に関してフェーズ I - S T E P 2 と異なる組み合わせを指向 する。更に、3次元数学モデルと試験高炉の組み合わせにおいて、送風操作の多様性検証を行う中で、 スケールアップに資するガス流れの知見等の蓄積も図る。
SG7 実高炉部分検証によるプロセス技術開発	COURSE50 高炉のコークス使用量の低下に伴う通気抵抗増加に起因する不確实现象を検証・評価するため、実高炉を用いた 実機部分確性「全周羽口吹込み」試験 を SG1 ならびに SG6 の開発状況をみながら、フェーズ II - S T E P 2 の開始以降に計画・実施し、高炉からの CO ₂ 排出削減量約 10% 達成に資する。
SG8 全体プロセスの評価・検討	上記のような 個別プロセス技術の改善に即して、その変化が製鉄所全体プロセスに及ぼす影響を総合評価 する。

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

①-1 水素活用プロセス技術開発

1 2 m³規模試験高炉における送風操作および装入物操作による実験検証と同時に、高炉 3次元数学モデルの精度向上を図り、試験高炉規模で高炉からの CO₂ 排出量削減約 10% を確立する。その知見に基づき、実高炉を対象とした操業諸元設計および操業解析を実施し、高炉からの CO₂ 排出量削減約 10% の操作方法を検

証する。

(1) 高炉3次元数学モデルによる試験操業設計・解析

還元ガス吹込み方法の最適化、装入原料の被還元性の向上等により、水素還元の効果を最大限に享受する技術を確立することを目的とし、以下の検討を行う。高炉3次元数学モデルによる12m³規模試験高炉の操業設計、操業解析を実施し、実高炉の操業設計に必要となる還元ガスの吹込み方法、装入原料性状の影響を検証する。加えて、上記で得られた知見に基づき、フェーズII-STEP2の開始以降に計画する実機部分確性試験の操業設計（還元ガス全周羽口吹込み）を行う。

(2) 水素還元反応モデルの高精度化

酸化鉄の還元は $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe$ と段階的に進むが、過去に実施された酸化鉄(特に Fe_2O_3 と Fe_3O_4)の還元実験は、高炉内で還元反応が進行する温度と対応していないことが多く、還元挙動を正確に表現しているとは言えない。そこで、高炉内において各段階の還元反応が進行する温度域にて、種々の水素濃度下における酸化鉄の段階還元実験を行い、 $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4$ 段階、 $Fe_3O_4 \rightarrow FeO$ 段階における酸化鉄の水素還元速度を定式化することにより、高炉3次元数学モデルの推定精度の向上を図る。

①-2 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査

本サブテーマは下記2つの研究開発課題に分けて実施する。

1) 微粉炭及び還元ガス燃焼時の燃焼安定性評価

・フェーズIにて導入した燃焼試験炉を使用して微粉炭吹込み量、模擬COG等の還元ガス吹込み量、および送風温度や酸素濃度等の送風条件等を変更した実験を実施し、微粉炭燃焼率、レースウェイ内温度・ガス組成、レースウェイ形状等を測定し、操業条件がこれらに及ぼす影響を整理する。

・試験高炉または実高炉スケールで微粉炭吹込み量、模擬COG等の還元ガス吹込み量、および送風温度や酸素濃度等の送風条件等を変更した計算を実施し、操業条件が還元材燃焼安定性に及ぼす影響を整理する。

2) レースウェイ内の微粉炭・還元ガス燃焼反応に関する数値解析の研究開発

・実高炉を想定して微粉炭吹込み量、COG等の還元ガス吹込み量、および送風温度や酸素濃度等の送風条件を変更した非定常固気混相乱流燃焼・ガス化数値解析を実施し、微粉炭燃焼率やレースウェイ内温度等を予測する。操業条件変更の影響を、上記1)で述べた燃焼試験炉実験と、これを対象としたモデル（試験燃焼炉対象のレースウェイ数値モデル）計算との対比により評価し、この試験燃焼炉用モデルを実高炉用に拡張する。

② コークス炉ガス（COG）改質技術の開発

本プロジェクトのフェーズI-STEP1（2010年度から2012年度）及びSTEP2（2013年度）において、実コークス炉からの実COGを用いた30Nm³/h規模のベンチプラント（BP1）試験を行い、水素増幅率>2、耐久性>24hの性能を記録、実ガスでの触媒改質技術の有効性を示すことに成功した。また、フェーズI-STEP2（2014年度から2017年度）では、高炉吹込みガス組成を製造可能な無触媒部分酸化反応を新たに追加し、触媒の長時間耐久性評価が可能な、50Nm³/h規模のベンチプラント（BP2）を建設、各種試験を行い、水素増幅率>2及び改質運転>500hを達成、改質COG中の残メタン濃度を<5%にできる技術を開発した。改質設備の規模はほぼ実機レベルであり、これ以上のスケールアップ検討は不要であるため、基本プロセスの開発は完了した。残された課題として、本研究で開発した設備を多数、コークス炉や高炉の実機周辺に組み込むためのエンジニアリング検討がある。またそのためにBP2の解体研究を行い、長期試験後の設備内部の状況を確認、材質選定の妥当性、留意点等抽出を図る必要がある。本事業では、触媒反応と無触媒部分酸化反応を用いた、COGの改質による高炉吹込み最適ガス製造の検証、BP2型設備を実機に適用するためのエンジニアリング検討を行う。

(1) 触媒を用いたCOG改質技術の最適化

試験高炉での検討により、最適な改質COG組成が変わる可能性があり、その場合には、フェーズ I - S T E P 2 で建設した50Nm³/h規模のBP2設備を用いて、高炉吹込みに最適な改質COGの製造技術の検証を行う。

(2)COG改質技術の実機適用のためのエンジニアリング検討

COGの触媒と部分酸化による改質技術は確立できたため、コークス炉や高炉の実機周辺に適用するためのエンジニアリング検討を行う。

(3)BP2設備の解体研究

実機適用のためのエンジニアリングを検討するに当たり、長期使用したBP2設備を解体し、触媒炉内耐火物、触媒反応筒、部分酸化炉内耐火物等の主要設備の材料解析等を行い、材質選定の妥当性、留意点等を抽出する。

③高性能粘結材製造技術の開発

(3)-1 熔融粘結材連続排出技術の開発

1) 熔融粘結材物性把握による連続移送・排出装置仕様の獲得

熔融状態にある粘結材の粘度を直接測定することの出来る高温対応型粘度計を設置し、熔融粘結材の粘度推算式を導いて連続押出機器の仕様を決定する。連続押出機器の仕様を決定するために必要な熔融粘結材の粘度は200°C以上の高温域であることと、溶剤残留量を変化させる機能が必要であるため、専用の高温対応型の粘度計を製作する。導入した粘度計から残存溶剤量や温度条件別に実測データを取得し、熔融粘結材の粘度推算式を導く。この粘度推算式を基に現有の高性能粘結材連続製造装置（石炭処理量0.3ton/day）に組み込む連続移送・排出装置を設計、製作し、試運転を通して熔融状態にある高性能粘結材の移送過程での溶剤分離や安定的な連続排出性能を確認する。本連続移送・排出装置を含む高性能粘結材連続製造装置にて製造される高性能粘結材利用によるコークスの特性や実炉への適用性を評価する。

2) 熔融状態高性能粘結材の分子運動性に関する研究

溶剤を分離する過程での高性能粘結材の粘度変化について mobile 分子の量的質的变化を高温 ¹H-NMR を用いて評価し、温度や溶剤残留量の変化に対する熔融粘結材の粘度と分子運動性の関係性を把握する。

3) 熔融状態高性能粘結材の熱履歴に伴う分子構造変化に関する研究

溶剤回収工程の残留溶剤量が増加する過程における高性能粘結材の分子量分布や化学構造を起点に分子構造変化を調べ、熔融粘結材の粘度との関係性を把握する。

④CO₂分離回収技術開発

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)を深化する技術を確立するため、本プロジェクトのフェーズ I - S T E P 2 の研究開発成果をもとに、混合溶媒系吸収液を中心として吸収液性能の更なる向上を目指すとともに、実用化研究開発を実施する。

⑤ 未利用排熱活用技術の開発

「環境調和型製鉄プロセス技術開発(COUSE50)」における主要な研究開発項目の一つとして、高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収技術開発が挙げられる。開発が進められているCO₂分離回収技術の主要な手段の一つは化学吸収法であり、そこで用いられる吸収液の再生プロセスには多量の熱エネルギーが必要となる。この熱エネルギー供給のため新たに化石燃料を使用することは、本プロジェクトの目標であるCO₂削減の観点からは望ましくなく、また経済性の観点からも問題が多い。そこで本テーマでは、製鉄所における未利用排熱を回収し、CO₂分離回収に必要なエネルギーを供給するための技術開発を目的とする。

1) 製鉄排ガスによる伝熱面の汚損状態の調査及び対策の検討

製鉄排ガス中に含まれるスケールや粉じん等の固形異物や微量残留したコールタール等の液状異物に関して、熱交換器に対する性能低下要因の観点から排ガス性状調査を行い、伝熱面に対するコールタール等の異物付着量に関する知見を得る。また異物付着量を熱交換器性能の観点から評価する指標を検討し、熱交換器の設計や性能予測に適用する。それらを用いて、熱交換器伝熱面の汚損を低減可能な条件について検討し、低温排ガス顕熱回収用の高性能熱交換器の設計に反映するための知見を得て、実機化を見据えたスペックを明らかにする。

2) 性能を長時間維持可能な熱回収システムの検討

排熱回収量を長時間維持させるためには熱交換器本体の検討に加えて、その周辺機器まで含めた熱回収システムの検討が必要と考えられる。そこでそのような周辺機器としてストレーナの設置、熱交換器の並列化、オンライン洗浄装置の設置等の可能性を検討し、これらを含めて熱交換性能を長時間維持させる熱回収システムを提案する。さらに提案したシステムに基づいて排熱回収コストを算出する。

⑥試験高炉によるプロセス評価技術開発

フェーズ I-STEP 1 (2008 年から 2012 年) の要素技術開発、フェーズ I-STEP 2 (2013 年から 2017 年) の総合技術開発により、水素を活用した高炉からの CO₂ 排出削減に関して、基礎実験、試験高炉による操業試験、ならびに高炉 3 次元数学モデルによる理論解析を通して、高炉からの CO₂ 排出量約 10%削減可能な高炉プロセス操作を実証し、将来の国内高炉の CO₂ 削減課題に対する技術の方向性を把握した。

そこでフェーズ II-STEP 1 では前記検討結果を活用した実用化開発に入る。実機適用性の観点から、水素還元の効果を最大限に享受する高炉プロセス操作を見極めるため、試験高炉による水素を活用した鉱石還元技術の総合最適化の図り、実用化開発に必要なスケールアップのための基本データを取得する。

フェーズ I-STEP 2 で確認できた送風操作と原料操作の組み合わせによる CO₂ 削減約 10%のレベルに対して、直接還元を抑制する手段に関する送風操作の多様性を追求する。具体的には、送風ガス種、送風方法に関してフェーズ I-STEP 2 では確性していない組み合わせを指向し、特に水素投入量の影響および投入ガス種類による影響を見極める。更に、3 次元数学モデルと試験高炉の組み合わせにおいて、送風操作の多様性検証を行う中で、スケールアップに資するガス流れの知見等の蓄積も図る。

⑦全体プロセスの評価・検討

本技術開発では、実用化に向けて、試験高炉スケールでは評価が困難な COURSE50 技術実機適用時のコークス使用量の低下に伴う通気抵抗増加に起因する不確实现象を検証・評価するため。実高炉を用いた実機部分確性「全周羽口吹込み」試験を鉄鉱石還元への水素活用技術の開発ならびに試験高炉によるプロセス技術開発の開発状況をみながら、フェーズ II-STEP 2 の開始以降に計画・実行し、高炉からの CO₂ 排出削減量約 10%達成に資する。

⑧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技術確立に対して、総合的な評価・検討を行う。特に、地球温暖化課題の状況変化を的確に反映し、それに対応すべくプロジェクトの運営を行い、プロジェクトの最終動向についての総合的な判断を行う。

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。

開発テーマ		2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
高炉からのCO2排出削減	6.試験高炉によるプロセス技術開発	[2018年度 - 2022年度]				
	1.鉄鉱石水素還元技術開発 (数学シミュレーション)	対象炉検討・設備条件調査		事前設計	[2018年度 - 2022年度]	
	3.高性能粘結材製造技術の開発	粘性計測	試験装置改造	検証試験	性能評価	
	2.コークス炉ガス(COG)改質技術の開発	[2018年度 - 2020年度]			吹込みハード検討	
高炉ガスのCO2分離・回収	4.CO2分離・回収技術開発	[2018年度 - 2022年度]				
	5.未利用排熱回収技術開発	付着特性ラボ調査		付着対策設計	ラボ総合検証	スケールアップ検討
7.全体プロセス評価・検討		全体プロセス評価検討(開発結果反映)			2030年対応方針の再整理	次ステップ検討

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ー4社及び日鉄エンジニアリング（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。

日本製鉄（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）を委嘱しその下で技術分野別に 8 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、フェーズ II 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。

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。

本技術開発では、NEDO と 5 社が委託契約を結び研究開発を実施している。日本の高炉メーカー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、日鉄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。

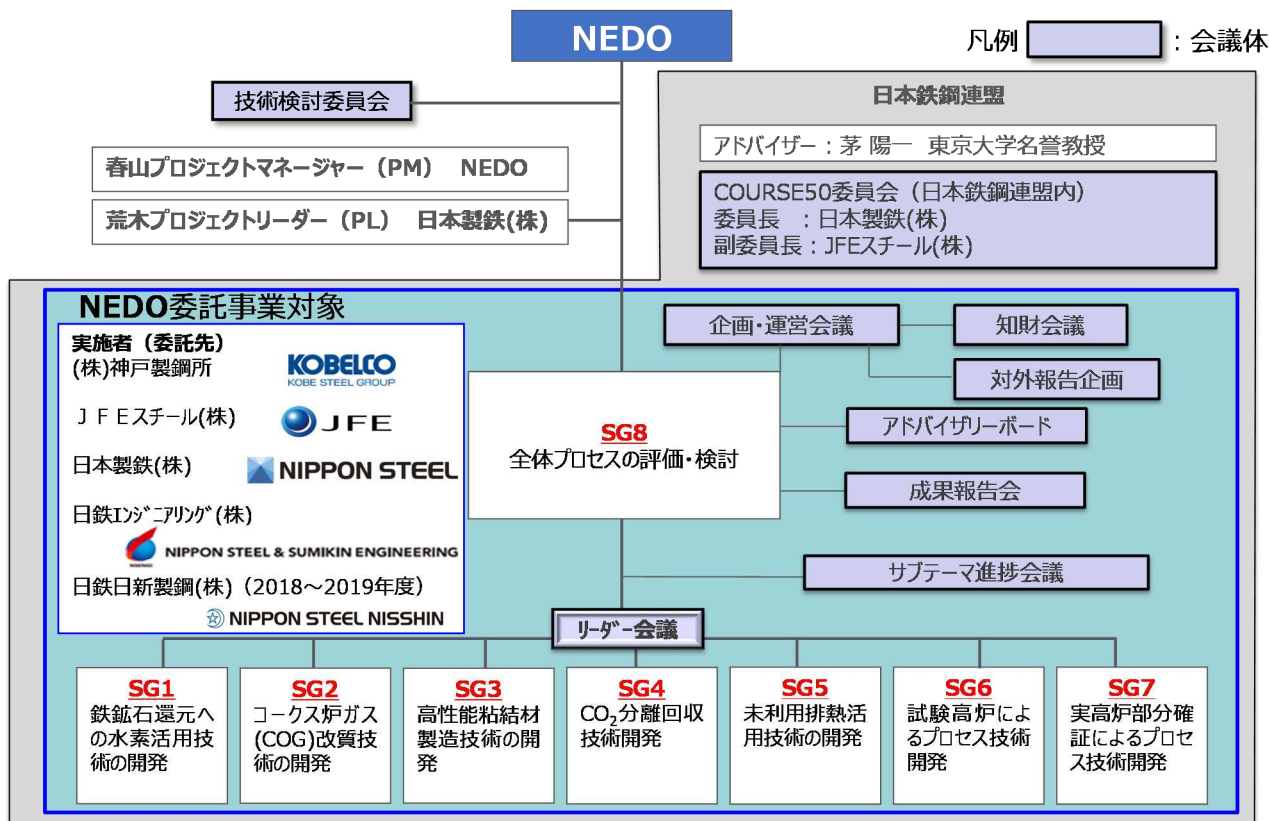
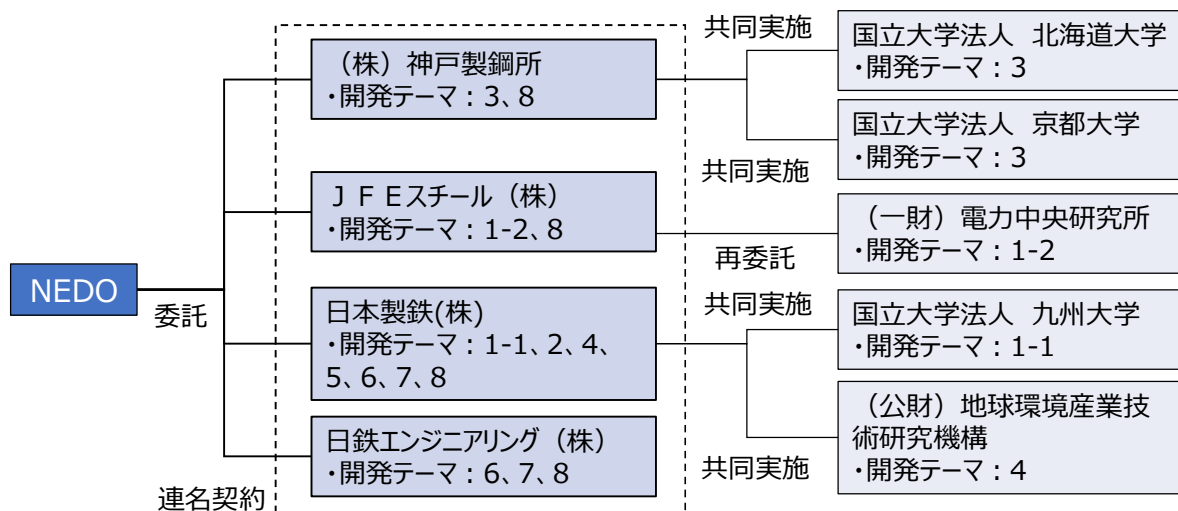


図 II-2-2 研究開発の実施体制

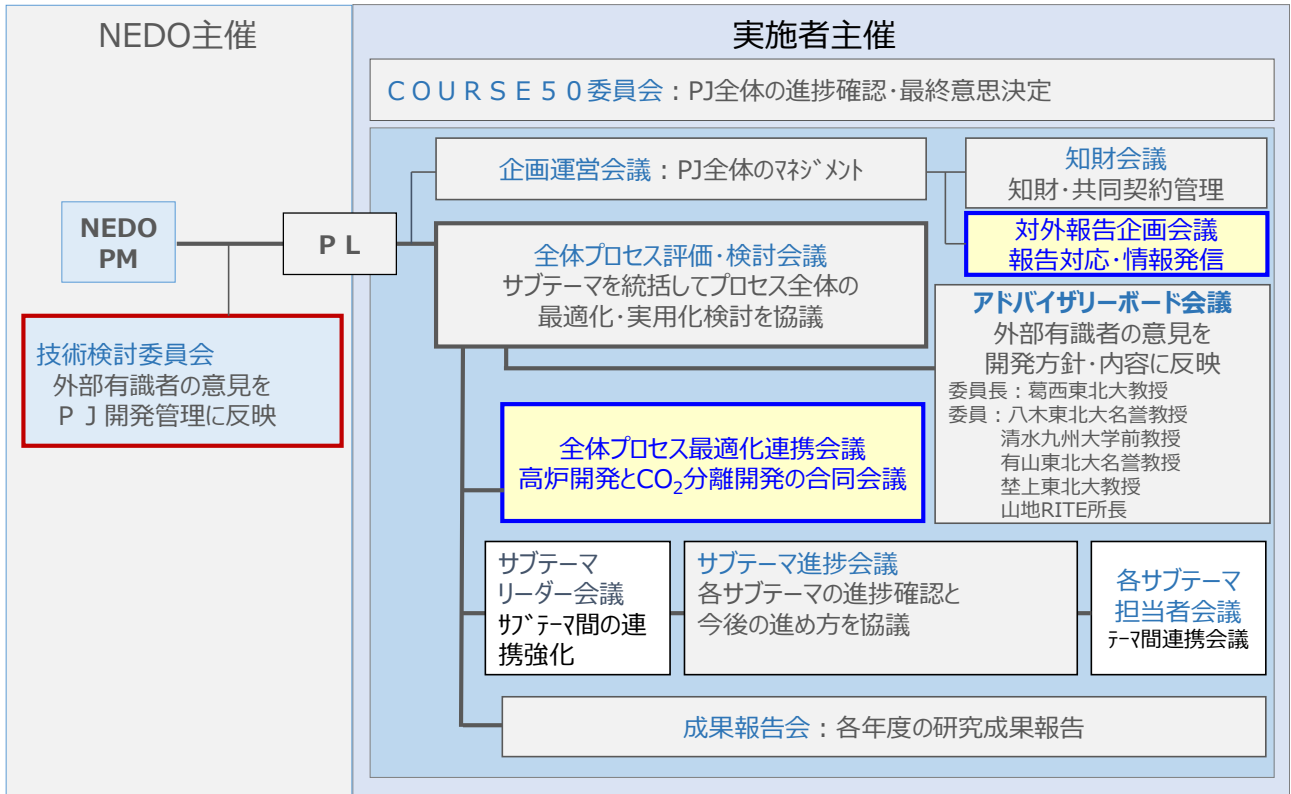


開発テーマ			
1	鉄鉱石還元への水素活用技術の開発	4	CO ₂ 分離・回収技術開発
	1-1 水素活用プロセス技術開発	5	未利用低温排熱活用技術開発
	1-2 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査	6	試験高炉によるプロセス技術開発
2	COG改質技術の開発	7	実高炉部分検証によるプロセス技術開発
3	高性能粘結材ハンドリング技術の開発	8	全体プロセスの評価・検討

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(～2020年3月)	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	日本製鉄	代表取締役副社長	谷本 進治
副委員長	JFE スチール	専務執行役員	大河内 巖
委員	神戸製鋼所	執行役員	坂本 浩一
	日鉄エンジニアリング	執行役員 製鉄プラント事業部長	岩槻 昭彦

< 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	日本製鉄	製鉄技術部長	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	日本製鉄	技術開発企画部上席主幹	宇治澤 優
副 PL 補佐	JFE スチール	技術企画部主任部員	石渡 夏生

< アドバイザリーボード >

主としてサブテーマ「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、フェーズ I に引き続き設置した。

表 II-2-5 アドバイザリーボード委員

リーダー	東北大学大学院環境科学研究科 教授	葛西 栄輝
	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	埜上 洋
	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2019年3月12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法製鉄プロセスと、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、フェーズⅠは 10 年間、フェーズⅡは 8 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。現在、NEDO の委託事業として実施している事業はフェーズⅡの前半の 5 年間（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。

本プロジェクトは、フェーズⅠ-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。フェーズⅡにおいては、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を図り、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、フェーズ 2 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フェーズⅠ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。

フェーズⅡでは実用化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。

(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、鉄鋼メーカー（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。

3. 情勢変化への対応

本プロジェクトのフェーズⅡ-STEP1は、フェーズⅠにおける要素技術の研究成果に基づいて実用化に向けた開発を実施するものである。フェーズⅡ-STEP1における8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。

2018年度に開始したフェーズⅡ-STEP1において、2019年度までに3回の試験高炉操業を行い、高炉からのCO₂削減量10%の目途を得ている。また、所内水素(コークス炉ガスCOG)利用だけではCO₂削減効果に限界があることが分かってきた。

一方、2018年11月に日本鉄鋼連盟は長期温暖化対策ビジョン「ゼロカーボン・スチールへの挑戦」を発表し、将来に向け更なるCO₂削減を目指して、所内水素でなく、外部水素を利用した高炉法による水素還元拡大技術 Super COURSE50 を掲げている。図Ⅱ-3-1に鉄鋼分野における技術開発ロードマップを示す。

以上の背景から、CO₂排出量10%削減の実現性を高めるため、また Super COURSE50 に繋がる技術を獲得するため、2022年度まで試験高炉を継続活用し、水素使用量の効率化と水素還元拡大を狙った新たな要素技術開発に取り組むこととした。また、当初、2020年以降に実施を予定していた高炉の実機を部分的に改造した試験(実機部分確性「全周羽口吹込み」)については、CO₂削減技術開発の状況をみながら、フェーズⅡ-STEP2の開始(2023年度)以降に行うこととした。

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

図Ⅱ-3-1 鉄鋼分野における技術開発ロードマップ

出典：日本鉄鋼連盟長期温暖化対策ビジョン「ゼロカーボン・スチールへの挑戦」

4. 評価に関する事項

4.1 フェーズ I - STEP2 の前倒し事後評価の概要(総合評価)

環境安心イノベーションプログラム及びエネルギーイノベーションプログラムとして是非官民一体となって推進すべき研究開発である。製鉄業において、現業レベルから大幅な CO₂ 削減を実現しつつ国際競争力を有する革新的技術を開発するための要素技術も的確に抽出されており目標設定も妥当である。マネジメント体制もオールジャパン体制を敷いて有機的に連携して推進しており、各項目とも世界でもトップレベルの成果で、最終目標を大幅にクリアしている点は大いに評価できる。また、一部開発プロセスは実機稼働、CO₂ 削減に寄与している。

フェーズ I で設定した目標は十分に達成したが、未利用排熱活用技術の実機化への技術的見通しが、まだ十分に明確ではない。また、知的財産とノウハウの棲み分け戦略はできているが、一部、開発項目では特許出願が少ない。今後、基本特許だけでなく周辺特許も積極的に出願することが望まれる。

今後、実機化を目指して、さらなる研究開発を進めていただきたい。また、本事業成果は大いに世界に誇ることができるものであるので、今後積極的に国民並びに世界に向けてその成果を発信して欲しい。また、世界市場の大きな変化に対しては求められる技術も変化することから、全体プロセスの設計変更も必要であることを認める体制で進めることが望まれる。

費用対効果の算出は、今後本事業成果が実用化できるかの判断基準となるものなので、もっと厳格に行うべきである。

4.2 前倒し事後評価評価への対応

プロジェクト全体に関する指摘事項への対応は表 II-4-1 のとおりである。全ての対応を基本計画書に反映し、それぞれ担当する SG および WG で対応している。

表 II-4-1 フェーズ I-STEP2 前倒し事後評価での指摘事項への対応

評価項目	分科会での指摘事項	指摘事項に対する対応
事業の位置付け・必要性	費用対効果の算出は、今後本事業成果が実用化できるかの判断基準となるものなので、もっと厳格に行うべきである。	基本計画の全体プロセスの評価・検討に、「本事業の実現化を図るために、本事業適用時の市場規模、コース投入量低減によるコスト削減など経済的効果を詳細に検討する」を追加した。主に SG 8 で対応。
研究開発マネジメント	製鉄所全体のエネルギー収支を慎重に検討し、プロセス成立性を明確に示すことが必要。	基本計画の全体プロセスの評価・検討に、「また、商用高炉と COURSE 50 高炉の熱物質収支を比較し、プロセスの成立性・妥当性を検討する」を追記した。主に SG 8 で対応。
研究開発成果	基本特許だけでなく周辺特許も積極的に出願することが望まれる。	基本計画の全体プロセスの評価・検討に、「その際に技術優位性の確保を図るように強固な特許網を構築するために知的財産マップを作成し、基本特許を中心とした抜け漏れのない周辺特許出願を効果的に進める。」を追記した。知財管理 WG で対応。
成果の実用化に向けた取組及び見通し	プロセスの実用化に向けた開発において、20%CO ₂ の回収に必要な熱エネルギーの確保が最も重要。熱回収プロセスの実用化に積極的に取り組む必要がある。	基本計画の未利用排熱活用技術の開発に、「本技術の水平展開を図り、他分野への早期実用化に取り組む」を追記した。主に SG 5、SG 8 で対応。

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

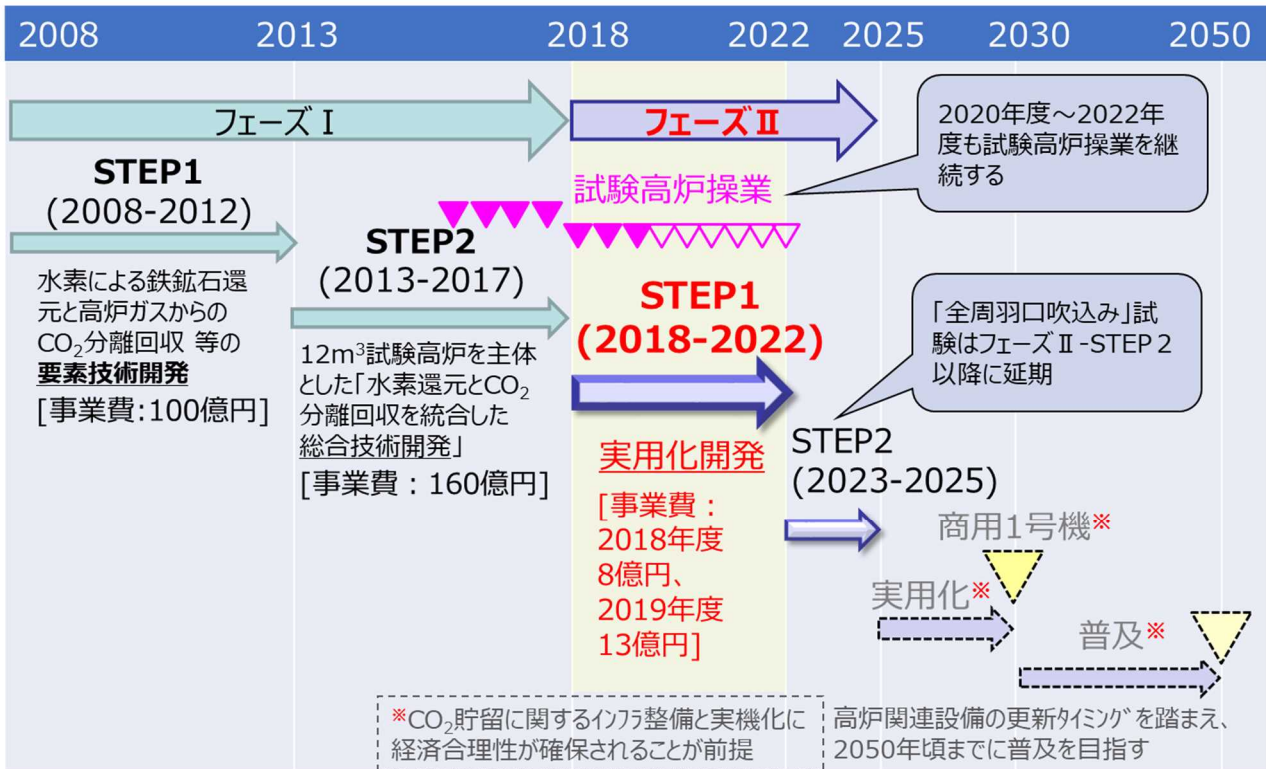
1.1 概要

図Ⅲ-1-1 に示すように、本プロジェクトは 2008 年からの 5 ヶ年の要素技術開発(フェーズ I STEP 1)、2013 年からの 5 ヶ年の総合技術開発(フェーズ I STEP 2)を計画通り実施してきた。

フェーズ I においては 10 m³ 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などを行うことによって、COG および循環高炉ガスの羽口もしくはシャフトからの吹込みなどの統合操作で、高炉の CO₂ 排出量の約 10%が原理的に削減可能であることを実験(試験高炉)と理論(数学モデル)の両面から実証した。また、未利用排熱を活用した高炉ガス CO₂ 分離回収技術についても、高性能な化学吸収液・物理吸着剤を開発、パイロットプラント試験を通じて CO₂ 分離回収効果を実証した。同時に高性能な排熱回収熱交換器を開発することで、高炉ガスから 20%の CO₂ 削減と分離コスト ≤2,000 円達成に目処を付けた。本プロジェクトでは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している。

2018 年からのフェーズ II STEP1 においては試験高炉での常温水素多量吹き込みなどにより、高炉からの CO₂ 排出量の約 10%削減を達成するとともに、CO₂ 新吸収液および最適触媒の開発や、高効率の未利用排熱回収技術の開発により、CO₂ 分離回収コスト 2,000 円/t-CO₂ を実現する技術の確度向上を図り、分離回収エネルギー 1.6GJ/t-CO₂ を達成する。

その後、フェーズ II の実機化開発を経て、2030 年頃までに 1 号機の実機化、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 中間目標と達成状況および最終目標の達成の可能性

表Ⅲ-1-1 中間目標の達成状況と今後の課題と解決方針

研究開発項目	中間目標	成果	達成度
研究開発項目 (a) 高炉からのCO ₂ 排出削減技術開発	・高炉からのCO ₂ 排出削減量約10%達成の見通しを得る。	・常温水素系ガスの羽口吹込み操作で、高炉からのCO ₂ 排出量の約10%削減が達成可能であることを実験(試験 高炉)と理論(数学モデル)の両面から実証した。	○
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	・分離回収エネルギー改善としての、吸収形態改善と分極影響の緩和の両技術の改善に新規技術を見出す事で、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO ₂ 達成への目途を得る。	・理論限界に近い分離回収所要エネルギー原単位を目指し、新吸収液開発に着手し、ラボ連続試験装置においてこれまでの最高性能のエネルギー原単位 1.63GJ/t-CO ₂ を達成した。 ・実排ガスの性状調査により、耐久性を考慮した排熱回収設備構成を提示した。	○

◎;大きく上回って達成、○;達成、△;達成見込み、×;未達

表Ⅲ-1-2 研究成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
研究開発項目(a) 高炉からのCO ₂ 排出削減技術開発	実用化に向けて高炉の水素活用還元技術の選択肢拡大のため、常温水素系ガスの羽口吹込み単独操作で、12%のCO ₂ 削減が達成可能であることを実験(試験高炉)と理論(数学モデル)の両面から立証し、高炉からのCO ₂ 排出削減量約10%達成の見通しを得た。	・高炉からのCO ₂ 排出約10%減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。 ・高炉の実機部分確性「全周羽口吹込み」試験は上記CO ₂ 削減技術開発の状況を見ながら、フェーズⅡ-STEP2の開始以降に行い、上記目標達成に資する。	試験高炉を継続活用した実機適合化技術の開発により、最終目標を達成できる見込み。
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	・新吸収液を開発し、ラボ連続試験において、熱量原単位1.63GJ/t-CO ₂ に到達し、最終目標達成の目途を得た。	・CO ₂ 分離回収コスト2,000円/t-CO ₂ を実現可能な技術の充実に指向し、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO ₂ を達成し、CO ₂ 排出削減量約20%の技術に資する。	新吸収液で既に達成目途を得ており、更なる組成最適化や触媒添加等により、最終目標を達成できる見込み。

1.2.2 サブテーマ毎の成果概要

研究開発項目(1) 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

(a) サブテーマ①鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

(a-1) 水素活用プロセス技術開発

高炉 3 次元数学モデルを用いて第 5 回～第 7 回試験高炉の操業設計・操業解析を実施し、羽口からの水素系還元ガス吹込み量の増加により、高炉工程における CO₂ 排出量 10%超削減を確認した。また、試験高炉操業解析を通じて上記数学モデルの精度を向上させた。

(a-2) 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査

燃焼試験炉を使用して微粉炭吹込み量、模擬 COG 等の還元ガス吹込み量、および送風温度や酸素濃度等の送風条件等を変更した実験を実施し、微粉炭燃焼率、レースウェイ内温度、ガス組成、およびレースウェイ形状等を測定し、操業条件がこれらに及ぼす影響を整理した。さらに試験高炉または実高炉スケールで微粉炭吹込み量、模擬 COG 等の還元ガス吹込み量、および送風温度や酸素濃度等の送風条件等を変更した数値計算を実施し、操業条件が吹込みランス温度等の羽口周辺設備に及ぼす影響、および還元材の燃焼性に及ぼす影響を整理した。試験高炉の操業条件におけるランスの安全性を評価し、試験高炉の操業設計に寄与した。

(b) サブテーマ②コークス炉ガス(COG)改質技術の開発

実施計画の通り、2018～2020年度については開発を行っていない。

(c) サブテーマ③高性能粘結材製造技術の開発

水素還元高炉に対応した高強度且つ最適なコークス反応性を両立するコークス製造に必要となる高性能粘結(HPC)製造プロセスの工業的製造技術を確立する事を目的とし、HPC 連続移送・排出装置を石炭処理量 0.3t/d の連続 HPC 製造試験装置(BSU)に付属する溶剤回収設備(フラッシュ蒸留設備)の後段に導入し、HPC 連続移送・排出試験から安定移送・排出および溶剤回収が可能であることの目途を得た。

(c-1) 溶融粘結材連続排出技術の開発

・溶融粘結材連続排出技術の開発

溶剤回収工程において安定的に HPC を移送しながらプロセス循環用溶剤を回収する装置設計指針を策定するためには HPC の粘度式を精度良く獲得する必要がある、溶剤回収工程の温度範囲で HPC 粘度を実測するための高温対応型粘度測定装置を製作した。本装置による HPC 粘度実測から HPC 粘度の温度、溶剤濃度、滞留時間に対する依存性に関する実験式を獲得した。HPC 粘度を基に加熱式二軸スクリーナー方式を採用した HPC 連続移送・排出装置を設計、製作し、BSU 装置を導入し、HPC 連続製造試験から安定移送・排出が可能である事を実証すると共に、プロセス循環用溶剤を回収できる目途を得た。

・溶融状態高性能粘結材の分子運動性に関する研究

溶剤回収工程の溶融 HPC に含まれる軟化溶融分量の、溶剂量、温度、滞留時間など制御因子条件による変化を把握し、溶融 HPC の粘度推算式の精度向上を目的とし、温度変化に対する HPC の 1H-NMR による溶融 HPC 中の溶融分量の比較を行った。溶剤回収工程で想定される加熱条件では温度上昇に対し

て分子運動性が増加し、最大温度からの温度低下時には分子運動性の低下が可逆性を示し、HPC 粘度の温度依存性と分子運動性の関係性を整理した。

・ 溶融状態高性能粘結材の熱履歴に伴う分子構造変化に関する研究

HPC の分子量分布、化学構造変化と溶融 HPC 粘度の関係性を把握し、溶剤回収工程の加熱条件による粘度変化メカニズム解明に活用することを目的とし、加熱条件が HPC の溶剤分別組成に与える影響を評価した。HPC を溶剤回収工程加熱条件で処理した場合も化学構造に大きな変化が生じない事が分かり、溶剤回収工程加熱条件において HPC 粘度が滞留時間に影響を受けない点を HPC 化学構造の観点から整理した。

(d) サブテーマ④CO₂分離・回収技術開発

(d-1) 高性能吸収液の開発

新規の混合溶媒系吸収液を検討し、CAT-LAB小型連続試験装置を用いて性能評価の結果、分離回収エネルギーはフェーズ I 最高性能を凌駕する高性能を確認した。本吸収液は、安全性や腐食性等の実用面でも特段の問題はないことを明らかにした。また、実用吸収液に対し、CO₂吸収速度の向上効果を発現する水溶性触媒を開発した。

(e) サブテーマ⑤未利用排熱活用技術の開発

(e-1) 未利用低温排熱回収技術開発

・ 製鉄所の実排ガス性状を調査し、熱交換器汚損物質の性状を把握した。汚損物質揮散条件のラボ試験での調査により、実機での熱交換器操業条件では熱交換器への汚損物質の付着が大きく低減される可能性を示し、実排ガスをを用いた試験装置を考案し製作を行った。

・ 実排ガスをを用いた熱交換器性能評価の際に問題となる粒子状の汚損物質を事前除去するための装置を検討した。

・ 実証試験で用いる熱交換器の構造を数値解析で検討を行い、製作コスト低減および性能維持が可能な熱交換器構造を示した。

(f) サブテーマ⑥ 試験高炉によるプロセス技術開発

2018~2019 年度の 2 年間に 3 回操業試験を実施した。試験設備に関しては、水素系ガス吹込量の増加設備改造 (300→360Nm³/h) を実施した。試験の結果、水素系ガス吹込みで >10% の CO₂ 削減効果を確認し、再現性があることも明らかにした。また、H₂ 吹込量の増加に伴う富化酸素量の増加に起因する炉頂温度の低下は、羽口前温度の低下で制御可能であることを明らかにした。

(f-1) 試験高炉による水素還元総合最適化開発

H₂ 吹込量と水素還元量には相関があることを明確化した。また、水素還元量の増加は吹込みガス種には依存せず、同じ H₂ 量であれば水素系ガスと COG で同じ水素還元量になることを見出した。

(g) サブテーマ⑦実高炉部分検証によるプロセス技術開発

(g-1) 実機部分確性「全周羽口吹込み」試験の検討

COURSE50 において、当初は 2020 年以降に高炉の実機を部分的に改造した試験（実機部分確性「全周羽口吹込み」）を実施予定であり、エンジニアリングを実施し、CO₂ 削減効果及び実機化に必要な設備構成・概算コストを把握した。

一方で、試験高炉では 10% を達成しており、さらに可能な限り水素還元比率を高めるために、外部水素を使用することし、研究方針の変更を行った。

(h) サブテーマ⑧全体プロセスの評価・検討

(h-1) 全体プロセス評価・検討

粗鋼生産量 800 万トン/年のモデル製鉄所を前提に、製鉄所全体の物質・エネルギー収支モデルを用いて、試験高炉で開発中の各種水素系ガス吹込み技術の高炉適用時の CO₂ 削減効果を解析した結果、CO₂ 分離回収技術導入による CO₂ 削減 20%と併せて製鉄所全体で PJ 目標約 30%削減可能との見通しを得た。

2030 年頃の実機 1 号機の実現性を技術的に最大化させるべく、より少ない水素で高炉 10%CO₂ 削減を実現する新たな要素技術開発方針を提示した。

1.2.3 知的財産等の成果概要

表Ⅲ-1-3には2020年3月末段階での研究開発成果（成果発表、特許出願）を示す。

件名	件数
1.特許出願件数	10
2.査読有論文発表数	10
3.査読無論文発表数	1
4.その他外部発表	139

IV. 実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

【成果の実用化・事業化の戦略】

- ・水素高炉：フェーズⅡでの実証終了後、2030年ごろの商業1号機の建設に向けて、具体的なエンジニアリングを行う。
- ・CO₂分離回収：高炉以外での実用化を進めながら、製鉄所導入に向けたエンジニアリングを行う。
- ・コスト低減、経済性の確保のために本PJ計画変更（試験高炉研究継続、水素活用還元技術の深化による水素使用量低減）を行う。
- ・数学モデルの活用により、実証高炉(100t/d)を行わずに実証研究を推進することで、本PJ計画変更による実用化計画の遅れを防止と開発費用の削減を図る。

【想定する市場の規模・成長性等】

- ・全世界の粗鋼生産の7割は高炉転炉法で作られている。昨今、水素還元技術の提案がなされているが、実用化は2050年以降であり、今後も、先進高炉技術（既存、製鉄所におけるCO₂削減技術）の市場は存在する。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

【実用化・事業化活動の実施者】

- ・本開発の成果は日本鉄鋼連盟を中心に国内高炉メーカーにより実用化・事業化される。
- ・知財権確立と導入国からの対価を前提とし、国外へ技術提供も模索していく。

【実用化・事業化の計画及びマイルストーン】

- ・本実証研究のマイルストーンに加えて、2030年ごろの商業1号機、2050年の国内普及を実用化・事業化に向けたマイルストーンとして検討を行う。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

【実用化・事業化に向けての課題とその解決方針】

- ・実用化・事業化の課題は技術確度の向上とCO₂削減コストの低減であり、その解決（必要水素量低減など）を目指してPJの計画変更を実施した。

【研究成果のニーズと経済性の確保】

- ・水素還元などのゼロカーボン技術は開発期間が長期にわたるため、本成果は早期のCO₂削減ニーズを満たすものである。
- ・本PJの計画変更（試験高炉研究継続、水素活用還元技術の深化）により、CO₂削減コスト低減、経済性の確保を模索。（今後の鉱石・石炭・鋼材の価格動向、炭素税などの負担増、グリーン電力・水素価格の低下などを加味して、経済効果の最大化を検討。）

- 【波及効果】 ・CO₂分離回収技術は製鉄以外の分野で早期商用化を進める。

「環境調和型プロセス技術の開発」基本計画

環境部、省エネルギー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

本事業の目的は高炉法による一貫製鉄所のCO₂発生量を抜本的に削減し、地球温暖化防止に貢献するため、高炉からのCO₂の発生量を減少させる技術、及び発生したCO₂を分離・回収する技術を開発することである。

鉄鋼業は我が国産業部門の中でCO₂発生量の約39%、国全体の約14%を占める(2013年度)最大のCO₂排出業種であり、その中でも特に排出量の多い高炉法による製鉄プロセスにおいては地球温暖化対策として抜本的なCO₂排出量の削減が求められている。

しかしながら、我が国の鉄鋼業についてみると、製鉄技術は既に世界最先端の水準にあり、廃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ため、ポスト京都議定書に向け世界規模でのCO₂削減を実現するためには、革新的な製鉄プロセス技術開発が必要とされている。2007年5月に発表された地球温暖化に関する総理のイニシアティブ「美しい星50(Cool Earth 50)」においても、示された三原則の一つとして「省エネなどの技術をいかに、環境保全と経済発展とを両立すること。」が提言されており、「革新的技術開発」の一例として本技術開発が位置付けられているところである。

上記のイニシアティブを踏まえて2008年3月、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、経済産業省において「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」が策定されている。その中において革新的製鉄プロセスは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「重点的に取り組むべきエネルギー革新技術21」の一つとして位置付けられている。

また、その後に策定された環境安心イノベーションプログラム基本計画(2010年4月)、及びエネルギー基本計画(2014年4月)に基づくエネルギー関係技術開発ロードマップ(2014年12月)においても、革新的技術のひとつとして「環境調和型製鉄プロセス」が選定された。

本技術開発においては、これまで水素還元活用プロセスとして、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、及び高炉ガス(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分離回収技術の開発に取り組んできた。これらの技術開発においてフェーズI-STEP1(2008~2012年度(5年間))として要素技術開発を実施した。フェーズI-STEP2(2013~2017年度(5年間))におい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-STEP1(2

018～2022年度（5年間）、フェーズⅡ－STEP2（2023～2025年度（3年間））での実用化開発を経て、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。

一方、フェロコックス技術の開発は、資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発（2009～2012年度（4年間））において要素技術開発を実施し、既の実証段階に到達しているプロセスである。本プロセスでは、一般炭と低品位鉄鉱石の混合成型・乾留により生成された金属鉄の触媒作用を利用して還元を低温で行い、還元効率を飛躍的に高めた革新的塊成物（フェロコックス）を使用することで投入するコークス量を削減できる省エネ技術開発である。本プロセス技術で得た知見や成果を、水素還元活用プロセスの中に取り込むことで省エネ、CO₂削減効果を最適化できるメリットを享受できることから、2017年度より、フェロコックス技術の開発を加えて一体化することにした。本プロセスでは、今後、フェロコックス製造量300t/dの規模の中規模設備を建設し、フェロコックス製造技術を確立するとともに、中規模設備で製造したフェロコックスを溶銑製造量10,000t/dの実高炉に連続的に長期装入したときの高炉の還元材比や操業安定性（特に通気性）に及ぼす影響を確認し、最終的に製銑プロセスのエネルギー消費量を10%削減する技術の確立に資する。

(2) 研究開発の目標

研究開発項目1. 水素還元等プロセス技術の開発（フェーズⅡ－STEP1）

①アウトプット目標

【フェーズⅠ－STEP1中間目標（2010年度）】

最終目標を達成するための主要構成技術の目途を得る。

【フェーズⅠ－STEP1最終目標（2012年度）】

① 高炉からのCO₂排出削減技術開発

- ・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。
- ・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。
- ・水素還元高炉用のコークス強度（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。

② 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）を可能とする技術の見通しを得る。

【フェーズⅠ－STEP2中間目標（2015年度）】

(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、有効性に対するめど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めどを得る。
- (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めどを得る。

【フェーズⅠ-STEP2最終目標(2017年度)】

- (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
- (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。

【フェーズⅡ-STEP1中間目標(2020年度)】

- (c) 高炉からのCO₂排出削減技術開発
 - ・高炉からのCO₂排出削減量約10%達成の見通しを得る。
- (d) 高炉ガス（BFG）からのCO₂分離回収技術開発
 - ・分離回収エネルギー改善としての、吸収形態改善と分極影響の緩和の両技術の改善に新規技術を見出すことで、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂達成への要素技術を構築する。

【フェーズⅡ-STEP1 最終目標(2022年度)】

- (c) 高炉からのCO₂排出削減技術開発
 - ・高炉からのCO₂排出約10%削減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。

高炉の実機部分確性用の「全周羽口吹込み」の試験は、CO₂削減技術開発の状況をみながら、フェーズⅡ-STEP2開始(2023年度)以降に行い、上記目標達成に資する。

- (d) 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、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂を到達し、CO₂排出削減量約20%の技術に資する。

②アウトカム目標

2030年に実用化開始を目指し、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%(185万 t-CO₂/年、2030年に初号機1基で適用時を想定)のCO₂削減可能な技術を確立することで、地球温暖化防止に貢献する。また、コークス投入量の削減により29億円規模/年の経済効果が見込まれる。(炭素税等、条件が変化した場合の規模)

これらの運転実績を踏まえて、2050年までに国内で稼働中の高炉27基に適用した場合で、CO₂削減4,990万 t-CO₂/年、コークス投入量の削減により800億円規模/年の経済効果を見込む。また、高炉を水素還元活用型に更新するための改造市場として2兆7,000億円規模を見込む。さらに、鉄鋼の海外生産及び海外製品の輸入を抑制し、国内高炉を操業することにより、鉄鋼業(製造業)の国内総生産市場18兆円維持に貢献する。(炭素税等、条件が変化した場合の規模)

③アウトカム目標に向けた取組

本事業で開発した新型高炉(水素還元活用+CO₂分離回収)の国内導入と並行して、海外への展開についても検討する。

また、本事業で開発した技術優位性の高い要素技術(高炉内3次元シミュレーション技術、高効率熱交換技術、CO₂分離回収技術等)を他の産業界へ水平展開し、社会貢献を進める。そのため、要素技術の対外発表を積極的に進めると共に、関連分野技術のベンチマーキングを行ったうえで、協業を含めたオープンイノベーションに取り組む。

研究開発項目2. フェロコークス技術の開発

①アウトプット目標

【中間目標(2020年度)】

(a) フェロコークス製造中規模設備(以下「中規模設備」という。)での製造技術実証

a-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立

a-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

・混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプを完成させ、混合均一性の計算ができることを確認する。

・300 t/dの実証設備を建設し、連続一貫製造の負荷運転を実施する。

・フェロコークスが設計どおりできることを確認する。

指標1:原料の均一混合技術の確立(個体3種類、液体1種類の混合)混合度95以上(ラボ実験)

指標2:乾留後塊成物のドラム強度:DI150/15≥80(ラボ実験)

(b) 一般炭,低品位原料使用時の製造技術

・使用可能な一般炭2銘柄及び低品位鉄鉱石2銘柄の選定を完了させる。

・一般炭と低品位鉄鉱石、及び(d)で製造した固形新規バインダーを用い、ラボスケ

ールの成型試験を行い、各配合比率等の成型条件を確立する。

指標：成型物の強度（I型ドラム強度）： $ID30/15 \geq 85$ （ラボ実験）

(c) 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

・ラボ検討に基づきフェロコークスを実炉に装入するための適切な装入方法を提示する。

・フェロコークスの高炉への装入設備の設置を完了させる。

指標：フェロコークスの実高炉への装入量 3 kg/t 程度で、安定して装入できることを確認する。

(d) 新バインダー強度発現実証

・中規模設備に供し得る新規固形バインダーを試作する。

・液体新規バインダーの試作をおこない、タブレットスケールで所定の冷間強度を確保できることを実証する。

・フェロコークスブリケットの冷間強度予測モデルのプロトタイプを作成を完了する。バインダー及び鉄鉱石を配合した塊成物をモデル物質として強度評価を実施し、モデル計算結果との比較を実施する。

指標：液体新規バインダーの製造オプションの提示。

(e) フェロコークス導入効果の検証

・中規模設備で製造したフェロコークスの高温性状の調査を実施する。

・(d)で開発した新規固形バインダーと新規液体バインダーを用いてラボスケールで作成したフェロコークスの反応速度を調査し、反応モデルに組み入れる。

【最終目標（2022年度）】

(a) 中規模設備での製造技術実証

a-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立

a-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

・生産量 300 t/d で長期間安定稼動が可能なことを実証する。

・高炉装入に耐えうる乾留物の最適製造条件を確立する。

・混合・攪拌シミュレーションモデルを用い、均一性を確保できる運転条件を提示する。

指標1：原料の均一混合技術の確立（固体3種類、液体1種類の混合）：混合度95以上

指標2：乾留後塊成物のドラム強度： $DI150/15 \geq 80$ （*）

（*）「資源対応力のための革新的製鉄プロセス技術開発」において、フェロコークス製造量 $27.5 \text{ t/d} \sim 30 \text{ t/d}$ とし、乾留炉操業30日間で740tのフェロコークスを製造した際、目標強度 $ID30/15 > 81$ 以上の歩留りが93.5%であった。

(b) 一般炭、低品位原料使用時の製造技術

- ・ラボスケールでの試験結果から、原料（鉄鉱石、石炭）の絞込みを行う。これら原料がフェロコックス用原料として適していることを検証する。

指標：成型物の強度（I型ドラム強度）： $ID30/15 \geq 85$

(c) 実高炉でのフェロコックス長期使用、効果検証

- ・高炉への長期装入試験を行い、高炉の還元材比や高炉操業の安定性に及ぼす影響を評価する。また、製鉄工程における省エネ効果に及ぼす影響を把握し、(e)の数値シミュレーションと合わせ、目標の省エネ10%を達成する。

指標：連続操業試験：30日以上

(d) 新バインダー強度発現実証

- ・新規固形バインダーの実証技術開発計画案を提示する。
- ・所定の強度を実現しうる液体新規バインダー製造プロセス案を提示する。
- ・フェロコックスブリケットの冷間強度予測モデルを提示する。

指標：(a)及び(b)の達成に資するものであり、指標その他は(a)、(b)と同じ

(e) フェロコックス導入効果の検証

- ・フェロコックスの実高炉使用時の操業結果を数学モデルを用いて高精度にシミュレートする。
- ・中規模設備で製造したフェロコックスの反応速度を調査し、反応モデルを構築する。

指標：評価方法の確立と省エネ効果(目標10%)の確認

((e)の数値シミュレーションと(c)(実高炉でのフェロコックス長期使用、効果検証)の結果と合わせ、目標の省エネ10%を検証する)。

②アウトカム目標

2030年頃までに1,500トン/日規模の実機5基を導入し、溶銑製造量2,000万トン/年(400万t/年高炉5基)に対して、省エネルギー効果量として原油換算量で19.4万k1/年、CO₂削減量は82万t/年を見込む。また、フェロコックス原料炭の一般炭への利用拡大を進めることにより、約280億円の経済効果を見込む。

③アウトカム目標に向けた取組

2023年頃までに、実高炉(1基)において、製鉄プロセスのエネルギー消費量の10%削減する技術の確立を目指す。

また、中規模設備(300t/d)での製造技術の実証後、当該設備を増強し、実用化する(2030年頃)。

(3) 研究開発の内容

研究開発項目1. 水素還元等プロセス技術の開発(フェーズII-STEP1)

本技術開発(フェーズII)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、世界最大規模の試験高炉と3次元高炉数学モデルの活用で、送風操作の可能

性を最大限追求する。CO₂分離回収技術においては、実証試験とマッチングできるCO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂以下を深化する技術を開発するため、高性能化学吸収液等の開発、未利用排熱活用技術の適応研究を実施し、更なるコスト低減技術の構築を図る。また、フェーズⅡ-STEP2においては、それまでの知見をベースに、高炉の実機部分確性用の「全周羽口吹込み」の試験を実施する。

本研究開発は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」、かつ大規模な検証が必要なため、委託事業として実施する。

[委託事業]

(a) 高炉からのCO₂排出削減技術開発

フェーズⅡ全体の工程としては、2018年度～2022年度に12m³規模試験高炉における送風操作及び装入物操作と合わせて、高炉3次元数学モデルの精度向上を行い、試験高炉規模で高炉からのCO₂排出削減量約10%を確立する。2023年度以降、その知見に基づき、実機設備の部分検証としての「羽口全周吹込み」設備の製作・施工・実機検証を行う。その内、フェーズⅡ-STEP1では、以下を実施する。

① 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

・12m³規模試験高炉等による水素還元総合最適化技術開発

還元ガス吹き込み方法の最適化、水素還元時におけるガス利用率維持のための操業要因の解析などを実施し、水素還元の効果を最大限とする技術を確立する。

・水素還元に適した原料設計

12m³規模試験高炉で高被還元性鉄石の対策品(フェーズⅠ-STEP2の最終試験結果を評価したうえでの対策品)での検証試験を行う。

② コークス炉ガス(COG)改質技術の開発

COG改質技術においては、フェーズⅠ-STEP2で確性した「触媒改質・部分酸化プロセス」の成果をベースに、シャフト吹き込みの熱・ガス流動制御視点で実機・実装に必要なプロセスを検討する。目標は、水素増幅率2倍を担保できるプロセスを確立することとする。

③ コークス改良技術開発

粘結材(HPC)製造のスケールアップに資するベンチスケール連続装置の改造からスタートする。連続製造設備の配管の温度管理精度向上による、輸送流体の閉塞防止技術確立を目的とし、熔融状態HPCの熱分解および温度変化に伴う流動性の変化を粘度として精度良く定量的に推算する技術を確立した上で、安定的に流体輸送できる最大粘度

50,000 mPa・s を起点に熔融HPCハンドリングの最適な温度管理指標を確立する。

(b) 高炉ガスからの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を深化する技術確立、及び排熱とのマッチングのエンジニアリング検討を主体に取り組む。その内、フェーズII-STEP1では、以下を実施する。

①CO₂分離回収技術開発

製鉄所特有の仕様に適した独自性を明確にした上で、CO₂分離回収技術として、化学吸収法の熱消費原単位の極限低減を図る。

・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

吸収形態改善と分極影響の緩和の両技術の改善に新規技術を見出し、その相乗効果発揮を狙い、量子化学計算および連続分離回収実験による対策の集積評価で、1.6GJ/t-CO₂への到達に取り組む。

② 未利用排熱活用技術の開発

CO₂分離回収に必要なエネルギーを製鉄所内の未利用排熱のエネルギー（熱又は電力に変換）で賄うため、未利用排熱の活用技術を開発する。高効率熱交換機のダスト等付着対策として、ラボ評価を併用しつつ、閉塞対策のスケールアップにつなげる。目標値は温度効率66%、耐久性700時間とする。

また、本技術の水平展開を図り、他分野への早期実用化に取り組む。

(c) 全体プロセスの評価・検討

試験高炉における操業結果を受けての高炉からのCO₂排出削減、及び高効率熱交換機の最新特性を受けてのCO₂分離回収の双方と、所全体プロセス評価検討WGのエネルギーバランスを評価し、商用高炉のものと比較する。これにより、排出量30%に資する可能性の組み合わせ検討を実施する。

また、本事業の市場への展開を図るために、ターゲットの明確化と技術優位性の獲得を進める。ターゲットを明確にするため、経済性調査と技術本事業適用時の高炉改造に係る市場規模、コークス投入量低減によるコスト削減など経済的效果を検討する。技術優位性を獲得するために、強固な特許網構築を目指し、特許マップを作成・共有し、基本特許を中心とし、抜け漏れのない周辺特許出願を効果的に進める。

本研究開発は、助成事業として実施する。

助成事業（NEDO負担1/2）

本研究開発は、フェロコークスを製造・使用することによって、製鉄技術に革新をもたらすもので、300 t/dの規模でその製造プロセスの実現性を実証して、根本的にこれまでの鉄鉱石と石炭の利用方法を革新するものである。

具体的には、フェロコークス製造量300 t/dの規模の中規模設備を建設し、フェロコークス製造技術を確立するとともに、中規模設備で製造したフェロコークスを溶銑製造量10,000 t/dの実高炉に連続的に長期装入したときの高炉の還元材比や操業安定性（特に通気性）に及ぼす影響を確認する。また、製鉄工程全体の物質・エネルギーバランスから、省エネ効果を評価する。さらに、操業安定性を鑑みながら、フェロコークス比の影響を調査するとともに、結果の外挿及び数値シミュレーションから、フェロコークス比が33%のときの製鉄工程の目標省エネ効果（10%）を達成する。

フェロコークス技術の開発におけるスケールアップの考え方としては、10倍を基本としている。最終的な実機は1,500トン/日の製造能力であり、これは300トン/日のユニットを5つ並べた規模である。そのため、実機での技術課題は300トン/日機で検討できることから、今回の実証は300トン/日機で進める。本プロジェクトの前段である、「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発（2009年度～2012年度）」においては、300 t/dの1/10である30 t/dのパイロットスケールで評価、「革新的製鉄プロセスの先導的研究」（2006年度～2008年度）（委託）はラボ試験のため、1/100である300 kg/日のベンチスケールで評価を行なっている。

(a) 中規模設備での製造技術実証

「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」におけるパイロット規模試験（30 t/d）と実機（1500 t/d）の中間ステップとして、中規模設備でのフェロコークス連続製造技術を確立するため、長期操業試験を行うべく、以下の研究を行う。

a-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立

a-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

- ・生産量300 t/dで長期間安定稼動が可能なことを実証する。
- ・高炉装入に耐えうる乾留物の最適製造条件を確立する。
- ・混合・攪拌シミュレーションモデルを用い、均一性を確保できる運転条件を提示する。

指標1：原料の均一混合技術の確立（固体3種類、液体1種類の混合）：混合度95以上

指標2：乾留後塊成物のドラム強度： $DI150/15 \geq 81$ （*）

(*)「資源対応力のための革新的製鉄プロセス技術開発」において、フェロコークス製造量27.5 t/d～30 t/dとし、乾留炉操業30日間で740 tのフェロコークスを製造した際、目標強度 $DI150/15 > 81$ 以上の歩留りが93.5%であった。

(b) 一般炭, 低品位原料使用時の製造技術実証

「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」(2009年度～2012年度)におけるパイロット規模試験(30 t/d)で用いた石炭をベースに、更なる銘柄拡大(資源制約の緩和)、低廉化を目的に研究を行う。

- ・ラボスケールでの試験結果から、原料(鉄鉱石、石炭)の絞込みを行う。これら原料がフェロコークス用原料として適していることを検証する。

指標：成型物の強度 (I型ドラム強度)：ID30/15 \geq 85

(c) 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」においては還元材比とともに重要な操業管理指標である通気性の変化についての解析が課題として残されていた。本研究では、高炉での長期操業試験を通して、フェロコークスの高炉操業に与える効果(還元材比、通気性)の検証を行う。

- ・高炉への長期装入試験を行い、高炉の還元材比や高炉操業の安定性に及ぼす影響を評価する。また、製鉄工程における省エネ効果に及ぼす影響を把握し、(e)の数値シミュレーションと合わせ、目標の省エネ10%を達成する。

指標：連続操業試験：30日以上

(d) 新バインダー強度発現実証

過去の研究開発においてすでに既存固体バインダーと同等以上の性能を有する新規バインダーが見出されその性能はパイロット規模試験(30 t/d)で確認されているが、さらに、フェロコークス製造においてシャフト炉による乾留工程で副生するタールを回収し、成型用バインダーとして循環使用するシステムの構築が課題として挙げられている。そこで本研究では、フェロコークス製造用バインダーの製造技術に関して以下の研究を行う。

- ・新規固形バインダーの実証技術開発計画案を提示する。
- ・所定の強度を実現しうる液体新規バインダー製造プロセス案を提示する。
- ・フェロコークスブリケットの冷間強度予測モデルを提示する。

指標：(a)及び(b)の達成に資するものであり、指標その他は(a)、(b)と同じ

(e) フェロコークス導入効果の検証

乾留炉の大型化、一般炭、低品位原料の使用、新規バインダーの使用が課題であり、開発した技術の適用可能性を検証する必要がある。そこで今回は、フェロコークスの高温性状評価手法と高炉内反応シミュレーション技術の汎用性拡大技術を開発し、フェロコークスの使用が高炉操業に与える影響を以下の研究で評価する。

- ・フェロコークスの実高炉使用時の操業結果を数学モデルを用いて高精度にシミュレートする。

・中規模設備で製造したフェロコークスの反応速度を調査し、反応モデルを構築する。

指標：評価方法の確立と省エネ効果(目標10%)の確認

((e)の数値シミュレーションと(c)(実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証)の結果と合わせ、目標の省エネ10%を検証する)。

2. 研究開発の実施方式

(1)研究開発の実施体制

水素還元等プロセス技術の開発(フェーズⅡ-STEP1)についてはNEDO環境部 春山 博司を、フェロコークス技術の開発は、NEDO省エネルギー部 田村 順一をそれぞれプロジェクトマネージャーとし、プロジェクトの企画、進行管理等を実施する。

本研究開発は、NEDOが単独ないし複数の、原則本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関(原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別の研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な部分はこの限りではない。)から、公募によって研究開発実施者を選定し、水素還元等プロセス技術の開発については委託により、フェロコークス技術の開発は助成(助成率1/2以内)により実施する。

共同で参加する各グループの有する技術ポテンシャルを最大限に活用して効率的な研究開発の推進を図る観点から、NEDOが委託先決定後に指名する研究開発責任者(プロジェクトリーダー)を置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

なお、フェロコークス技術の開発については、研究責任者(プロジェクトリーダー)を置かない。

(2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及びプロジェクトリーダーと密接な関係を維持しつつ、本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、NEDOに設置する委員会等、外部有識者の意見を運営管理に反映させるほか、四半期に一回程度プロジェクトの進捗について委託先あるいは助成先からの報告を受けること等を行う。

委託事業については、欧州等の革新的製鉄プロジェクトの動向や国際展開を見据えた知財管理を行う。海外における知財の確保を積極的に推進するために、本事業成果の導入時期(2030年に初号機導入、2050年に国内全基への導入)を視野に入れた知知的財産戦略(ノウハウ化/出願の要否、内容、分野、時期)の構築を進める。

また、水素還元等プロセス技術の開発(フェーズⅡ)及びフェロコークス技術の開発の両事業間の連携を図るために、上記委員会等への相互参加、及び技術交流会を開催し、中間評価までに技術内容を議論・共有する。

3. 研究開発の実施期間

研究開発の実施期間は、2013年度から2022年度までの10年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目的達成度、成果の技術的意義及び将来の産業への波及効果等について、外部有識者によるプロジェクト評価を実施する。水素還元活用製鉄プロセス技術開発(フェーズⅠ-STEP2)については、外部有識者による研究開発の中間評価を2015年度、事後評価を2017年度に前倒しで実施。水素還元等プロセス技術の開発(フェーズⅡ-STEP1)については研究開発の中間評価を2020年度、事後評価を2022年度に前倒し実施を予定しており、フェロコークス技術の開発については中間評価を2020年度、事後評価を2023年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係わる技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、適宜見直すものとする。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 成果の普及

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。

② 標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準情報(TR)制度への提案等を積極的に行う。

③ 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

④ 知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用するプロジェクトである。

(2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、産業技術政策動向、第三者の視点から評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標や研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条一号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 2013年3月、制定

(2) 2016年2月、改訂

STEP 2の内容に修正

(3) 2017年2月、改訂

フェロコークス活用製鉄プロセス技術開発を追加

(4) 2018年1月、改訂

水素還元活用製鉄プロセス技術（フェーズⅡ－STEP 1）の内容に修正

フェロコークス活用製鉄プロセス技術開発の実施期間を5年から6年に延長

(5) 2018年10月、改訂

基本計画名称、研究開発項目名称及びプロジェクトマネージャーを修正。

研究開発スケジュールの誤記修正。

(6) 2019年1月、改訂

研究開発項目2.の名称の変更。

(7) 2020年2月、改訂

研究開発の内容、別添 研究開発計画を修正。

別添 研究開発計画

研究開発項目 1. 水素還元等プロセス技術の開発（フェーズⅡ－STEP 1）

開発テーマ		2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	
高炉からのCO2排出削減	6.試験高炉によるプロセス技術開発	[2018年度末 - 2022年度末]					
	1.鉄鉱石水素還元技術開発 (数学シミュレーション)	対象炉検討・設備条件調査		事前設計			
					操業設計・操業解析		
	3.高性能粘結材製造技術の開発	粘性計測	試験装置改造	検証試験	性能評価		
2.コークス炉ガス(COG)改質技術の開発				吹込みハード検討			
高炉ガスのCO2分離・回収	4.CO2分離・回収技術開発				新吸収液開発		
	5.未利用排熱回収技術開発	付着特性ラボ調査		付着対策設計	ラボ総合検証	スケールアップ検討	
7.全体プロセス評価・検討		全体プロセス評価検討(開発結果反映)			2030年対応方針の再整理	次ステップ検討	

(参考：フェーズⅡ－STEP 2)

開発テーマ		2023年度	2024年度	2025年度
高炉からのCO2排出削減	1.鉄鉱石水素還元技術開発	全周羽口吹込設計	製作	試験
	3.高性能粘結材製造技術の開発	製造特性評価	阻害要因対策	総合評価
2.コークス炉ガス(COG)改質技術の開発		触媒改質実機部分適用		
高炉ガスのCO2分離・回収	4.CO2分離・回収技術開発	排熱とのマッチング検証		総合化
	5.未利用排熱回収技術開発	付着対策ロングランテスト		総合化
	6.総合開発	プロセス間ユーティリティ検討		
7.全体プロセス評価・検討		総合開発の評価		

研究開発項目 2. フェロコークス技術の開発

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
中規模設備 フェロコークス製造技術 実証	設計・建設			製造・実証		
一般炭、低品位原料使用時の製造技術	製造実証					
実高炉フェロコークス長期使用検証	装入検討			使用、効果検証		
新バインダー強度実証	製造実証				評価	
フェロコークス導入効果の検証	実験室レベルサンプル評価			中規模実証設備サンプル評価		
中間評価				★		

添付4. 特許論文等リスト
(2019年3月31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	新日鐵住金(株)、 JFE スチール (株)、(株)神戸製 鋼所、日新製鋼 (株)、新日鉄住金 エンジニアリング (株)	特願 2018- 172523	国内	2018年9月4 日	公開	高炉の操業方法	酒井 博 他
2	(株)神戸製鋼所、 北海道大学	特願 2018-202261	国内	2018年10月26 日	公開	コークスの製造方法	堺 康爾 他
3	新日鐵住金(株)、 JFE スチール (株)、(株)神戸製 鋼所、日新製鋼 (株)、新日鉄住金 エンジニアリング (株)	特願 2019-026220	国内	2019年2月18 日	出願	還元ガスの吹込み量 決定方法及び高炉の 操業方法	酒井 博 他
4	(公財)地球環境産 業技術機構、日本 製鉄(株)	PCT/JP2019/ 006457	PCT	2019年2月21 日	公開	二酸化炭素の吸収剤 および二酸化炭素の 分離回収方法	山本 信 他
5	新日鐵住金(株)、 JFE スチール (株)、(株)神戸製 鋼所、日新製鋼 (株)、新日鉄住金 エンジニアリング (株)	特願 2019-080924	国内	2019年4月22 日	出願	ガス吹込み条件の設 定方法及びガス吹込 み条件の設定方法の プログラム	西岡浩樹 他
6	同上	特願 2019-080924	国内	2019年4月22 日	出願	解析対象領域の設定 方法	西岡 浩 樹 他
7	同上	特願 2019-080926	国内	2019年4月22 日	出願	補正係数の決定方法	西岡浩樹 他
8	日本製鉄(株)、 JFE スチール (株)、(株)神戸製 鋼所、日新製鋼 (株)、新日鉄住金 エンジニアリング (株)	特願 2019- 126568	国内	2019年11月29 日	出願	高炉の操業方法	酒井 博 他

9	同上	PCT JP2020/0060 11	PCT	2020年2月17 日	出願	還元ガスの吹込み量 決定方法及び高炉の 操業方法	酒井 博 他
10	(公財)地球環境産 業技術機構、日本 製鉄(株)	特願 2020- 56851	国内	2020年3月26 日	出願	二酸化炭素を含むガ スから二酸化炭素を 分離回収するための 吸収液、及びそれを 用いた二酸化炭素の 回収方法	松崎洋市 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	荒木恭一 他	環境調和型製鉄プロセス技 術開発(COURSE50)の概況	水素エネルギー協会会誌	無	2018年4月30 日
2	東井隆行 (RITE)	CCS と二酸化炭素分離回収 技術 (仮題)	Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan	有	2019年11月
3	Y. Matsuza ki, H. Yamada, F. A. Chowdh ury,S. Yamamo to, K. Goto	Ab Initio Study on the Origin of Reduced Carbamate Stability in Sterically Hindered Amine: 2-amino-2-methyl- 1-propanol (AMP)	Industrial & Engineering Chemistry Research 58, 3549-3554 (2019).	有	2019年2月7 日
4	三浦孝 一、 他	Reduction and Gasification Characteristics of A Unique Iron Ore/carbon Composite prepared from Robe River and a Coal Tar Vacuum Residue	ISIJ International (日本鉄鋼協会欧文誌)	有	2019年2月12 日
5	植田滋 (東北 大)	Influence of atmosphere and basicity on softening and melting behaviors for the CaO-FeO-SiO ₂ -Al ₂ O ₃ - MgO system	ISIJ International (日本鉄鋼協会欧文誌)	有	2019年3月1 日
6	Firoz Alam Chowdh	A screening study of alcohol solvents for alkanolamine-based CO ₂	International Journal of Greenhouse Gas Control	有	2020年5月26 日

	ury (RITE)、 他	capture			
7	西田亮一 (RITE)	Development of CVD silica membranes having high H ₂ permeance and steam durability and a membrane reactor for water gas shift reaction	Membranes 誌 名称 : 5TH POST COMBUSTION CAPTURE CONFERENCE	有	2019年10月 31日
8	盛家晃太	Effect of Large Amount of Co-injected Gaseous Reducing Agent on Combustibility of Pulverized Coal by Non-Contact Measurement	ISIJ International (日本鉄鋼協会欧文誌)	有	2020年1月4 日
9	紫垣伸行	Precise estimation of equilibrium adsorption amounts of CO ₂ -N ₂ , CO-N ₂ , and CO ₂ -CO mixed gases	SN Applied Sciences(Springer)	有	2020年1月31 日(見込み)
10	樋口謙一	Improvement of reduction behavior of sintered ores in blast furnace through injecting reformed coke oven gas	ISIJ International (日本鉄鋼協会欧文誌)	有	2020年3月31 日
11	松崎洋 市、他	Catalysis of CO ₂ Absorption in Aqueous Alkanolamine Solution by Boron Compounds: A Combined Computational and Experimental Study	Industrial & Engineering Chemistry Research	有	in press

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	タイトル	発表書誌名	査読	発表年月日
1	柿内一元 他	Experimental Blast Furnace Operation – Outline of Experimental Blast Furnace–	8th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking 2018 (ICSTI 2018)	無	2018年9月 25日

2	中野 薫 他	Experimental Blast Furnace Operation for CO ₂ ultimate reduction	8th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking 2018 (ICSTI 2018)	無	2018年9月25日
3	原 全史 (九州大)	組織の異なる焼結鉱の CO ₂ -H ₂ 混合ガス雰囲気下での還元挙動	日本鉄鋼協会第176回秋季講演大会	無	2018年9月19日
4	山田秀尚 (RITE)	CO ₂ 分離回収技術の開発(化学吸収法、固体吸収法、膜分離法)	第2回 CCS フォーラム	無	2018年5月10日
5	殿村重彰 他	CO ₂ Ultimate Reduction in Steelmaking process(COURSE50 Project)	8th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking (ICSTI 2018)	無	2018年9月25日
6	成瀬一郎 (名古屋大)	GASIFICATION BEHAVIORS OF PULVERIZED COAL CHAR WITH CO ₂ AND H ₂ O AT HIGH TEMPERATURE	The 14th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry	無	2018年5月25日
7	河原魁人 他 (名古屋大)	高温における微粉炭チャーの CO ₂ および H ₂ O ガス化特性	鉄鋼協会第176回秋季講演大会	無	2018年9月19日
8	熊谷治夫 (北海道大)	1H-NMR STUDY ON THE THERMOPLASTIC PHENOMENON OF COAL WITH HIGH PERFORMANCE COKING ADDITIVE	The world conference on carbon 2018	無	2018年7月1~6日
9	藤本健一郎	Steel's competitiveness from the environmental perspective	2018 SEAISI Conference & Exhibition	無	2018年6月27日
10	殿村重彰	CO ₂ Ultimate Reduction in Steelmaking process(COURSE50 Project)	Asian Steel Experts Dialogue(主催: IFA)	無	2019年5月23日
11	村上 太一、葛西	焼結プロセスにおける鉄系凝結材の反応挙動および焼	日本学術振興会 第54委員会 本委員会	無	2019年6月28日

	栄輝 (東北大)	結銹中の SFCA の被還元性評価			
12	殿村重彰	CO ₂ Ultimate Reduction in Steelmaking process(COURSE50 Project)	CCT ワークショップ (主催: JCOAL)	無	2019 年 6 月 21 日
13	紫垣 伸行	13Xゼオライト吸着剤を用いた CO ₂ -PSA における吸着剤形状の影響 (COURSE50 物理吸着 CO ₂ 分離技術)	日本鉄鋼協会第 176 回秋季講演大会	無	2018 年 9 月 19 日
14	守本 和生 (東工大)	気孔を有する針状 SFCA の生成に及ぼす熱履歴及び Al ₂ O ₃ 濃度の影響	日本鉄鋼協会第 176 回秋季講演大会	無	2018 年 6 月 28 日
15	盛家晃太他	還元性ガス同時吹込みが微粉炭燃焼挙動へ及ぼす影響	日本鉄鋼協会第 176 回秋季講演大会	無	2018 年 9 月 21 日
16	住谷 佑哉 (東北大)	CO ₂ および H ₂ O ガス化反応前後におけるコークス基質の機械的性質の評価	日本鉄鋼協会第 176 回秋季講演大会	無	2018 年 9 月 21 日
17	沼澤 結 (東北大)	CO ₂ および H ₂ O ガス化反応がコークスの強度に及ぼす影響	第 27 回日本エネルギー学会大会	無	2018 年 9 月 19 日
18	三木貴博 (東北大)	製鉄プロセスにおける酸化鉄一脈石成分間の反応、融液生成	日本学術振興会製鉄第 54 委員会 2018 年度 6 月期本委員会	無	2018 年 6 月 28 日
19	齋藤公児	Recent Research & Development topics Iron-making Technologies in JAPAN	The 16th Korea-Japan-China International Symposium on Carbon Saves the Earth (CSE2018) Ulanqab City Inner Mongolia China	無	2018 年 8 月 13 日
20	村上 太一、葛西栄輝(東北大)	焼結銹の還元反応に及ぼす全圧および水素分圧の影響	日本鉄鋼協会第 176 回秋季講演大会	無	2018 年 9 月 20 日
21	中尾憲治	Hydrogen production technology development using coke oven gas (COG)	TOCAT8 (8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and	無	2018 年 8 月 6 日

			Technology)		
22	紫垣伸行	13Xゼオライト吸着剤を用いたCO ₂ -PSAにおける吸着剤形状の影響	日本鉄鋼協会第176回秋季講演大会	無	2018年9月19日
23	F.A.Chowdhury (RITE)	A guide to evaluate non-aqueous solvents and amine absorbent for post-combustion CO ₂ capture	GHGT(Greenhouse Gas Control Technologies) -14	有	2018年10月21日
24	後藤和也 (RITE)	Development of novel solvents for CO ₂ removal from blast furnace gas	GHGT(Greenhouse Gas Control Technologies) -14	有	2018年10月21日
25	菅原勝康 (秋田大)	Effect of Sulfur in Carbonaceous Material on Reduction of Iron ore/Carbon Composite	日本化学会化学系学協会東北大会講演要旨集	無	2018年9月16日
26	宍戸貴洋	高性能粘結材(HPC)を用いたコークス製造技術の開発	化学工学会第50回秋季大会	無	2018年9月18日
27	熊谷治夫 (北大)	HPC含浸処理が石炭の軟化溶解挙動に及ぼす影響	第55回石炭科学会議	無	2018年10月29日
28	盛家晃太	Effect of Reductive Gas Co-injection on Combustion of Pulverized Coal in blast furnaces	METEC & 4th ESTAD 2019 (於ドイツ)	無	2019年6月25日
29	山田秀尚 (RITE)	先進的CO ₂ 分離回収技術の研究開発	化学工学会第50回秋季大会	無	2018年9月18日
30	殿村重彰	CO ₂ Ultimate Reduction System for Cool Earth 50 (COURSE50 Project)	8th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking (ICSTI 2018)	無	2019年9月25日
31	荒木恭一	CO ₂ Ultimate Reduction System for Cool Earth 50 (COURSE50) Project	General Assembly 2018 Tokyo (主催: WorldSteel Association)	無	2018年10月17日
32	殿村重彰	CO ₂ Ultimate Reduction System for Cool Earth 50 (COURSE50) Project	General Assembly 2018 Tokyo plant tour (主催: WorldSteel Assciation)	無	2018年10月18日
33	余語克則 (RITE)	RITEにおける高効率CO ₂ 分離回収技術の開発状況	未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム	無	2018年9月26日
34	井上昭彦	Efforts of Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation for Global Environmental Problems	The 7th Baosteel Biennial Academic Conference	無	2018年10月30日

35	工藤真二 (九州大)	Production of high-strength coke from low-rank coal by hot-briquetting and carbonization	第28回日本MRS年次大会	無	2018年12月18-20日
36	永長久寛 (九州大)	Study on Redox properties of Ni-CeO ₂ Catalysts	The 20th Cross Straits Symposium on Energy and Environmental Science and Technology (CSS-EEST20)	無	2018年11月26日
37	中尾真一 (RITE)	RITEにおけるCO ₂ 分離回収技術と水素製造技術	日本セラミックス協会 資源・環境関連材料部会講演討論会	無	2018年11月2日
38	松原秀和 (日本鉄鋼連盟)	「鉄の輪がつなぐ人と地球」鉄の環境特性と鉄鋼業界の地球温暖化対策の動向	グリーン・スチール・セミナー	無	2018年11月20日
39	甲斐照彦 (RITE)	RITEにおけるCO ₂ 分離回収技術の研究開発	中国地区化学工学懇話会	無	2018年11月16日
40	中尾憲治	Development of hydrogen production technology from coke oven gas	The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019)	無	2019年6月3日
41	中野 薫	Experimental Blast Furnace Operation for CO ₂ Reduction	The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019)	無	2019年6月3日
42	宍戸貴洋	Development of coke improvement technologies to produce suitable coke for the hydrogen reduction process	The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019)	無	2019年6月3日
43	杉田啓介 (RITE)	高効率CO ₂ 分離・回収技術の実用化に向けた取り組み	大阪科学技術センター主催の燃料電池・FCH部会 第255回定例研究会	無	2018年11月26日
44	後藤和也 (RITE)	Development of Amine-based Solvents for CO ₂ Capture from Blast Furnace Gas	The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019)	無	2019年6月3日
45	鷺見郁宏 他	COURSE50-⑤ Development of CO ₂ Capture Technology	The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019)	無	2019年6月2日
46	宇治澤 優	COURSE50 project: Innovative Ironmaking Technology Development	The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019)	無	2019年6月2日

		Utilizing Hydrogen			
47	中尾真一 (RITE)	高効率 CO ₂ 分離・回収技術の 実用化に向けた取り組み	革新的環境技術シンポジウ ム (RITE 主催)	無	2018年12月 19日
48	菱池通孝 (住友化 学)	PSA による炭酸ガスの分離 技術について	RITE 無機膜研究センター 産業化戦略協議会	無	2019年1月 11日
49	村上太 一、葛西 栄輝 (東北 大)	鉄物相組織からみた焼結鉄 の還元反応に及ぼす水素分 圧と雰囲気圧力の影響	日本鉄鋼協会第177回春季 講演大会	無	2019年3月 30日
50	山田秀尚 (RITE)	テトラメチルジアミノアル カン-水-CO ₂ 系の液液相分 離機構に関する研究	化学工学会第84年会	無	2019年3月 13-15日
51	宇佐見 明	Efforts of Japanese Iron & Steel Industry for Global Environmental Challenges	SEAISI (東南アジア鉄鋼協 会)発表	無	2019年3月 12日
52	梅津宏紀 (電力中 央研究 所)	Numerical Simulation of Raceway Zone in Small- scale Combustion Equipment for Blast Furnace	European Combustion Meeting 2019	有	2019年4月 16日
53	山田秀尚 (RITE)	CO ₂ 回収技術の最新動向	公益社団法人新化学技術推 進協会(JACI)「CO ₂ 固定化・ 有効利用」エネルギー分科 会	無	2019年4月 20日
54	村上英樹	鉄鋼業の地球温暖化対策へ の取組	化学工学会第84年会での 基調講演 公表先：化学工学会	無	2019年3月 13日
55	鷲見郁宏	COURSE50- Development of CO ₂ Capture Technology (Extended abstract)	The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019)	無	2019年6月 2日
56	中尾憲治	Development of hydrogen amplification technology from coke oven gas(Extended abstract)	The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019)	無	2019年6月 2日
57	五十嵐正 之	化学吸収法による高効率C O ₂ 回収システム(ESCAP®)	日本化学会第99春季年会 2019	無	2019年3月 18日

58	中野 薫	Development of CO ₂ Reduction Technology From Blast Furnace	The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019)	無	2019年6月2日
59	後藤和也	Development of Amine-based Solvents for CO ₂ Capture from Blast Furnace Gas	The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019)	無	2019年6月2日
60	F.A. Chowdhury (RITE)	Development of amine-based non-aqueous absorbent for post-combustion CO ₂ capture	PCCC5 (5th Post Combustion Capture Conference、主催: IEAGHG)	無	2019年9月17日
61	本庄孝志 (RITE)	RITEのGSC活動について	公益社団法人新化学技術推進協会(JACI)	無	2019年4月23日
62	沼澤 結 (東北大)	Numerical simulation of mass transfer with chemical reaction in lump coke with actual structure and its validation	ICCS&T 2019 (International Conference on Coal Science & Technology)	無	2019年11月24日
63	中野 薫	鉄鉱石還元への水素還元活用技術/水素活用プロセス技術開発	日本学術振興会製鉄第54委員会	無	2019年6月13日
64	木原栄治 (経産省)	金属産業の課題と現状	九州大学材料工学部門の職員及び学生を対象とした講演会で基調講演	無	2019年5月17日
65	野村誠治	Leading the way on sustainability through steel	日加石炭会議(開催地:神戸、主催:神戸製鋼所)	無	2019年6月6日
66	宇治澤 優	環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス技術の開発(COURSE50)による鉄鋼業におけるCO ₂ 排出削減への取り組み	日本学術会議 土木工学・建築学委員会	無	2019年5月21日
67	村井亮太	COURSE50: CO ₂ 分離技術	日本学術振興会製鉄第54委員会	無	2019年6月13日
68	中尾憲治	コークス炉ガス改質技術の開発	日本学術振興会製鉄第54委員会	無	2019年6月13日
69	成家晃太	非接触計測を活用した還元性ガス同時吹込み時の微粉炭燃焼挙動の解明	日本学術振興会製鉄第54委員会	無	2019年6月13日
70	後藤和也 (RITE)	Development of CO ₂ Capture Technology by	10th Clean Energy Ministerial (CEM10)のサ	無	2019年5月28日

		Chemical Absorption	イドイベント Innovation Showcase		
71	宍戸貴洋	高性能粘結材（HPC）利用によるコークス製造技術の開発	日本学術振興会製鉄第54委員会	無	2019年6月13日
72	森 賢治	設備技術の将来に向けた提言	鉄鋼協会 生産技術部門 設備技術部会 技術討論会 100回記念大会	無	2019年6月6日
73	石渡夏生	Course50 試験高炉における新規塊成鉍装入実験	日本学術振興会第54(製鉄)委員会	無	2019年6月13日
74	清末 考範	製鉄設備技術の将来に向けた提言	鉄鋼協会 生産技術部門 設備技術部会 技術討論会 100回記念大会	無	2019年6月21日
75	荒木恭一	COURSE50 プロジェクトの概要	日本学術振興会第54(製鉄)委員会の企画セッション	無	2019年6月13日
76	久保祐治	鉄鋼業を取り巻く経営環境と当社の研究開発	東京大学工学部環境講演会	無	2019年6月5日
77	田中良祐 (経産省)	エネルギー・温暖化対策の現状と鉄鋼業の技術開発	(一社)日本産業機械工業会 製鉄機械部会の講演会	無	2019年7月24日
78	三木祐司	マテリアル製造工学特論	北海道大学、マテリアル製造工学特論	無	2019年7月26日
79	工藤真二 (九州大)	低品位石炭由来成型コークスの強度発現機構	第57回炭素材料夏季セミナー、九州大学 筑紫キャンパス	無	2019年9月12日
80	村上太一 葛西栄輝 (東北大)	Reduction Behavior of Mineral Compounds in Iron Ore Sinter under Blast Furnace Reducing Gas with High Hydrogen Concentration	The First India-Japan Workshop on Science and Technology in Ironmaking and Steelmaking	無	2019年9月11日
81	佐藤道貴	製鉄プロセスの新たな取り組み（国プロを中心として）	第239・240回西山記念技術講座（日本鉄鋼協会）	無	2019年10月10日
82	F. A. Chowdhury (RITE)	Development of Amine-Based Non-Aqueous Absorbent for Post-Combustion CO ₂ Capture	5TH POST COMBUSTION CAPTURE CONFERENCE (主催：IEAGHG)	無	2019年9月17日
83	山田秀尚 (RITE)	Molecular Mechanism of Liquid-Liquid Phase Separation in the Amine-CO ₂ -H ₂ O System	同上	無	2019年9月17日

84	磯原豊司 雄	Steel, a sustainable material	Asia Steel Forum 2019	無	2019年9月 19日
85	村上太一 葛西栄輝 (東北大)	製鉄プロセスの新たな取り組み(国プロを中心として)	日本学術振興会第54(製鉄)委員会	無	2019年11月 13日
86	植木保昭 (名古屋大)	Effect of combustible gas injection on reaction behavior of pulverized coal	38th International Symposium on Combustion	無	2020年7月 12日
87	余語克則 (RITE)	CO ₂ 分離回収技術の実用化に向けた開発状況と今後の展開 革新的技術開発	未来を拓く無機膜 環境・エネルギー技術シンポジウム	無	2019年9月 26日
88	木原栄治 (経産省)	パリ協定に基づく日本の長期成長戦略	第11回日中鉄鉱床業環境保全・省エネ先進技術専門家交流会	無	2019年10月 29日
89	熊谷治夫 (北海道大)	Improvements of thermoplastic properties of coal with additives by means of low temperature treatment.	International Conference on Coal Science & Technology (ICCS&T2019)	無	2019年11月 24日
90	紫垣伸行 (JFE スチール)	物理吸着法による高炉ガスからのCO ₂ 分離技術	CCR(Carbon Capture and Reuse)研究会	無	2019年11月 6日
91	中尾憲治 鈴木公仁	COURSE50 プロジェクトの紹介(全体、鉄鉱石還元、COG改質、化学吸収法)	CCR 研究会 (Carbon Capture & Reuse) での COURSE50 勉強会	無	2019年11月 6日
92	山本裕基 (鉄鋼連盟)	「鉄の輪がつなぐ人と地球」鉄鋼業界の地球温暖化対策の動向	第9回グリーン・スチール・セミナー(東京・大阪)	無	2019年11月 17日
93	宇治澤優	COURSE50: Innovative ironmaking process project utilizing hydrogen	第15回日本-中国鉄鋼学術会議(主催:日本鉄鋼協会)	無	2019年10月 31日
94	盛家晃太 (JFE スチール)	非接触計測を活用した還元性ガス同時吹き込み磁の微粉炭燃焼挙動の解明	還元研究会(東北大学主催)	無	2020年1月 23日
95	中尾真一 (RITE)	CO ₂ 分離回収技術の実用化検討と今後の展開	革新的環境技術シンポジウム2019 (RITE主催)	無	2019年12月 16日
96	宇治澤優	COURSE50 project for Innovative Ironmaking Technology Development Using Hydrogen	SCRAP SUPPLEMENTS & ALTERNATIVE IRONMAKING 8 公表先: AIST (Association	無	2020年3月 4日

			for Iron & Steel Technology)		
97	杉田啓介 (RITE)	脱炭素化に向けた CCUS 技術について	2019 年度第 5 回エネルギー政策懇話会 (主催: 一般社団法人エネルギー・資源学会)	無	2020 年 1 月 22 日
98	杉田啓介 (RITE)	CO ₂ 回収技術の現状と課題と取組紹介 (大気回収技術も含め)	新エネルギー部会講演会 (主催: 公益社団法人石油学会)	無	2020 年 1 月 24 日
99	山田秀尚 (RITE)	二酸化炭素分離回収用新規材料の開発と実用化展開	第 32 回 CES21 講演会 (主催: 化学工学会関西支部 CES21)	無	2020 年 1 月 31 日
100	横山浩一	高炉への水素ガス吹込み磁の炭材内装鉍使用の効果	製鉄資源に関するワークショップ (還元研究会) 東北大学主催	無	2020 年 1 月 24 日
101	沼澤 結	Validation study of Large-Scale Simulation of CO ₂ or H ₂ O Gasification with Mass Transfer for Metallurgical Coke	5th International Conference on Combustion Science and Processes	無	2020 年 4 月 15 日
102	後藤和也 (RITE)	Advanced CO ₂ Capture Technologies in RITE	CCUS/カーボンリサイクルセミナー (外務省主催・資源エネルギー庁協力)	無	2020 年 3 月 2 日

(b) 新聞・雑誌等への掲載

番号	発表者	タイトル	発表書誌名	査読	発表年月日
1	荒木恭一	環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス技術の開発 COURSE50 フェーズ II 実施状況	COURSE50 記者会見 公表先: 一般公開(報道関係者)	無	2019 年 3 月 13 日
2	宇治澤 優	COURSE50 プロジェクト	マスコミ見学会	無	2019 年 5 月 30 日

(c) その他

番	発表者	タイトル	発表書誌名	査	発表年月日
---	-----	------	-------	---	-------

号				読	
1	殿村重彰	新日鐵住金株式会社・環境報告書(2018)	新日鐵住金環境報告書	無	2019年6月30日
2	礮原豊司 雄	鉄はエコマテリアル	新日鐵住金アニュアルレポート	無	2019年6月
3	日比政昭	鉄鋼業と水素エネルギー	エネルギー総合工学研究所「CO ₂ フリー水素シナリオ研究会」での話題提供	無	2018年6月28日
4	山田秀尚 (RITE)	RITEにおけるCO ₂ 分離回収技術の研究開発	International Test Centre Network (ITCN) のホームページ (http://itcn-global.org/)	無	2018年8月1日
5	成瀬一郎 (名古屋大学)	微粉炭の反応挙動に及ぼす可燃性ガス吹き込みの影響	未来材料・システム研究所交流会 (IMaSS 交流会) (名古屋大学)	無	2018年8月27日
6	田村潤一 (日本鉄鋼連盟)	第2回タラノア対話サブミッション	国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) 事務局に提出	無	2018年10月22日
7	荒木恭一	COURSE50 開発状況について	第726回日本鉄鋼連盟運営委員会及び総務委員会	無	2018年10月29日および11月09日
8	前田洋平 (日本鉄鋼連盟)	低炭素社会実行計画 2018年度フォローアップ結果 総括編<2017年度実績> (速報版)	日本経済団体連合会のホームページ (低炭素社会実行計画)	無	2018年12月中
9	萩生大介	省エネ型二酸化炭素回収設備「ESCAP」の商業二号機の竣工について	日鉄エンジニアリング(株) ホームページ掲載	無	2018年12月26日
10	手塚宏之	鉄鋼業界におけるエネルギー・環境先端技術と地球温暖化対策 Technology	東工大における特別講義「科学技術特論」	無	2018年12月26日
11	礮原豊司 雄	COURSE50 Project	World Future Energy Summit and Exhibition, Abu Dhabi National Exhibition Centre	無	2019年1月14～17日
12	後藤和也 (RITE)	RITE Today2018 研究活動概説	「RITE Today」2019年 Vol.14 (RITEの年次報告書)	無	2019年3月
13	足立毅郎	Development of cokemaking technology for hydrogen	Voestalpine/Linz 工場見学での情報交換	無	2019年2月8日

		reduction iron making process			
14	小野 透	鉄鋼業における CCU/S に向けた取り組み	第1回カーボンリサイクル協議会（事務局：経済産業省資源エネルギー庁カーボンリサイクル室）	無	2019年2月14日
15	中尾真一	Advanced CO ₂ Capture Technologies: Absorption, Adsorption, and Membrane Separation Methods	単行本の一章（Chapter 3 CO ₂ Capture with Absorbents）	無	2019年5月
16	宇治 澤優	水素時代の鉄づくり	新日鐵住金株式会社 季刊誌 vol.25「水素」特集 p22-25	無	2019年3月15日
17	野村誠治	鉄鋼業を取り巻く経営環境と当社の研究開発	日本製鉄技報	無	2019年8月19日
18	高椋規彰	鞍鋼エンジ交流会	鞍鋼鞍鋼エンジ交流会 投資発展部/劉強総経理 製錬事業部/姚宇峰副総経理	無	2019年6月27日
19	伊藤 涉	産学連携フォーラム -鉄鋼業が直面する主たる課題- ●地球温暖化問題	産学連携フォーラム（東北大学教育プログラム）	無	2019年10月4日
20	伊藤 涉	日本製鉄株式会社 サステナビリティレポート 2019 革新的技術開発	日本製鉄株式会社 サステナビリティレポート 2019	無	2019年10月4日
21	安室元晴	統合報告書	統合報告書(和文、英文)に記載。神戸製鋼所ホームページで掲載	無	2019年8月30日
22	内山俊一 (鉄鋼連盟)	技術革新推進について	中国・青島で鉄連・内山専務理事が CISA（中国鋼鉄工業協会）の何文波常務副会長と面会時に使用。	無	2019年9月25日
23	野村誠治	水素還元等プロセス技術の開発(COURSE50)	Iron Ore, 2 nd Edition	無	2020年6月1日
24	風間伸吾	革新的技術開発	日本製鉄株式会社 サステナビリティレポート 2019	無	2019年10月1日
25	前田洋平 (鉄鋼連盟)	低炭素社会実行計画 2019年度フォローアップ結果 総括編<2018年度実績>（速報版）	日本経済団体連合会の低炭素社会実行計画の一部として当該団体ホームページ等で公表予定	無	2019年12月

26	松原秀和 (鉄鋼連盟)	「Initiatives to Treat Environmental Issues and Mitigate Global Warming by the Japanese Steel Industry」	Steel Construction Today and Tomorrow, No.58 一般に配布するとともに鉄鋼連盟ウェブサイトに掲載	無	2019年11月25日
27	日本鉄鋼連盟建設環境研究会	「鉄の輪がつなぐ人と地球」	パンフレット「鉄の輪がつなぐ人と地球」 一般に配布、鉄鋼連盟ウェブサイトに掲載	無	2019年11月18日
28	松崎洋市	量子化学計算の産業応用	大阪大学大学院基礎工学研究科化学工学特別講義II	無	2019年11月29日
29	久保祐治	鉄の可能性と地球温暖化への取り組みを含めた日本製鉄の研究開発	三菱ケミカル・日本製鉄交流会	無	2019年11月25日
30	紫垣伸行	PSA法による高炉ガスからの炭酸ガス分離技術の開発	「改訂最新吸着技術便覧ープロセス・材料・設計ー」	無	2020年4月17日
31	小野透 (鉄鋼連盟)	日本鉄鋼連盟長期温暖化対策ビジョンーゼロカーボン・スチールへの挑戦ー	経済産業省(非公開検討会)の第2回我が国におけるCCS導入に向けた検討会で紹介	無	2019年11月28日
32	宇治澤優	「ゼロカーボン・スチールへの挑戦」	エコプロ2019 日本製鉄ブース等でのパネル掲示	無	2019年12月5日
33	野村誠治	水素還元等プロセス技術の開発(COURSE50)	Nippon Steel Technical Report 公表先:一般公開	無	2020年3月31日
34	泉山雅明 他 (鉄鋼連盟)	COURSE50プロジェクトについて	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 経済産業省の鉄鋼ワーキンググループにて配布。後日、経済産業省のHPにも掲載。	無	2020年2月6日
35	伊吹隆直	COURSE50プロジェクトについて	「チャレンジ・ゼロ」 経団連が、2020年5~7月頃を目途に、経済界による脱炭素社会の実現に向けたイノベーションのチャレンジを、国内外に発信していく予定。	無	2020年5~7月頃

