

「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	概要-1
プロジェクト用語集	プロジェクト用語集-1
I. 事業の位置付け・必要性について	I-1
1. 事業の背景・目的・位置づけ	I-1
1.1 事業の背景	I-1
1.2 事業の目的	I-5
1.3 事業の位置づけ	I-9
2. NEDOの関与の必要性・制度への適合性	I-18
2.1 NEDOが関与することの意義	I-18
2.2 実施の効果(費用対効果)	I-18
II. 研究開発マネジメントについて	II-1
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
4.1 フェーズ I-STEP2 前倒し事後評価への対応	II-22
4.2 中間評価への対応	II-22
III. 研究開発成果について	III-1
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. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	IV-1
(添付資料)	
・プロジェクト基本計画	
・特許論文等リスト	

概要

		最終更新日	2022年11月28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	<p>環境部</p> <p>PM：春山 博司主査（2018年4月～2021年3月） 阿部 正道主研（2021年4月～2022年11月）</p> <p>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～2021年3月） 下村 誠主査（2021年4月～2022年11月）</p>		
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・回収する技術を開発し、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このCOGを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。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、約1.1億トン（2020年度）で、産業・エネルギー転換部門最大であり、わが国のCO₂排出量の約12%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 ・高炉からのCO₂排出削減量約10%達成の見通しを得る。</p> <p>研究開発項目(b) 高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収技術開発 ・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> <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 ・高炉からのCO₂排出10%以上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。</p>		

	<p>※高炉の実機部分確性「全周羽口吹込み」試験はフェーズⅡ－STEP2の開始（2023年度）以降に行うとしていたが、フェーズⅡ－STEP2以降の研究開発内容がグリーンイノベーション基金（GI基金）事業へ移行したことに伴い、本事業の範囲外となった。</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</p> <p>・CO₂分離回収コスト 2,000 円/t-CO₂ を実現可能な技術の充実に指向し、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。</p>							
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	[Redacted]					
		①-2. 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査	[Redacted]					
	②COG改質技術開発				[Redacted]			
	③高性能粘結材製造技術の開発	[Redacted]						
	④CO ₂ 分離回収技術開発	[Redacted]						
	⑤未利用低温排熱活用技術開発	[Redacted]						
	⑥試験高炉によるプロセス技術開発	[Redacted]						
	⑦実高炉部分検証によるプロセス技術開発	[Redacted]						
	⑧全体プロセスの評価・検討	[Redacted]						
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	1513	492	6196	
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 2017.4～2021.3 日本製鉄株式会社 フェロー 先端技術研究所長 野村 誠治 2021.4～2022.11						
	プロジェクトマネージャー	NEDO 環境部 主査 春山 博司 2018.4～2021.3 NEDO 環境部 主研 阿部 正道 2021.4～2022.11						

	委託先	<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）</p> <p>【再委託先】 （一財）電力中央研究所</p> <p>【共同実施先】 北海道大学、京都大学、九州大学（2018～2020 年度）、（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、GI 基金事業へ移行し、本事業はフェーズⅡ－STEP1 で終了することとした。</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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 10%以上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>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"> ・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。 	
	投稿論文	「査読有」25 件、「査読無」17 件、「その他外部発表」307 件
	特 許	「出願済」21 件（うち国際出願 4 件）
	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： COURSE50 事業から移行する GI 基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発」での実機実証試験の結果を踏まえ、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。また、水素還元の最大化を狙った Super COURSE50 高炉をその移行业務で開発する。 ・CO₂ 分離回収： GI 基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発」で CO₂ 分離回収コスト低減のための新規高性能吸収液の実用化開発を行うとともに、高炉以外での実用化を進めながら、将来 CCS や CCU の技術が確立したタイミングで、製鉄所導入に向けたエンジニアリングを行う。 	

	<p>②成果の実用化・事業化の見通し</p> <p>・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、高炉を用いない水素還元技術の提案がなされているが、本手法による多量の鋼材が生産されるのは、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。</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（フェロコ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> <p>2021 年 1 月 改訂（研究開発項目 1. のアウトプット目標、アウトカム目標を修正）</p> <p>2021 年 5 月 改訂（2. 研究開発の実施方針（1）研究開発の実施体制における研究開発項目 1. の PM を変更）</p> <p>2021 年 11 月 改訂（4. 評価に関する事項の修正、1.（1）研究開発の目的（2）研究開発の目標、（3）研究開発の内容、別添 研究開発計画におけるフェーズⅡ-STEP2 に係る参考情報の削除）</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なっている化学反応、すなわち、それ以上の反応段階に分けて考えることができない化学反応のことを指す。
10	ダスト	本研究では、石炭の微粒子のことで、空気中で浮遊する程度の粒径の粉末を指す。
11	耐久性	触媒の性能の安定性を意味し、具体的にはどの程度の時間(期間)触媒性能が維持されるかを指す。
12	改質	一般的には、価値に乏しい化合物を付加価値の高い化合物に変換することを意味し、本研究では、COG 中タールを水素、一酸化炭素、メタンなどのガス成分に変化させることを指す。
13	仕切弁	コークス炉上昇管から実 COG を抽気/閉止するための開閉弁。本研究では、800℃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、還元雰囲気中に曝すことにより、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

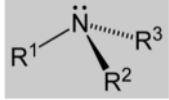
		$R = 4\pi \frac{A}{l^2}$ <p>上式において R は円形度, A は面積, l は周囲長を示す。</p>
4	ギースラープラストメータ法 (Gieseler plastmeter)	流動性試験方法 (JIS M8801 に規程)。攪拌棒が挿入されている金属製のつぼ (内径 21.4mm, 深さ 35.0mm) に 425 μm 以下とした試料 5g を充填し、金属浴中にて 3 °C/min で昇温する。攪拌棒上のドラムプーリと同径でかつ同心に指示針を備えたダイヤルプーリとを同調させ、この指示針の目盛り盤 (360 °C, 100 等分) の動きを温度とともに 1 分ごと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	溶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溶融スラグを接触させて、連続的に凝固する技術。
10	製鋼スラグのエイジング	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

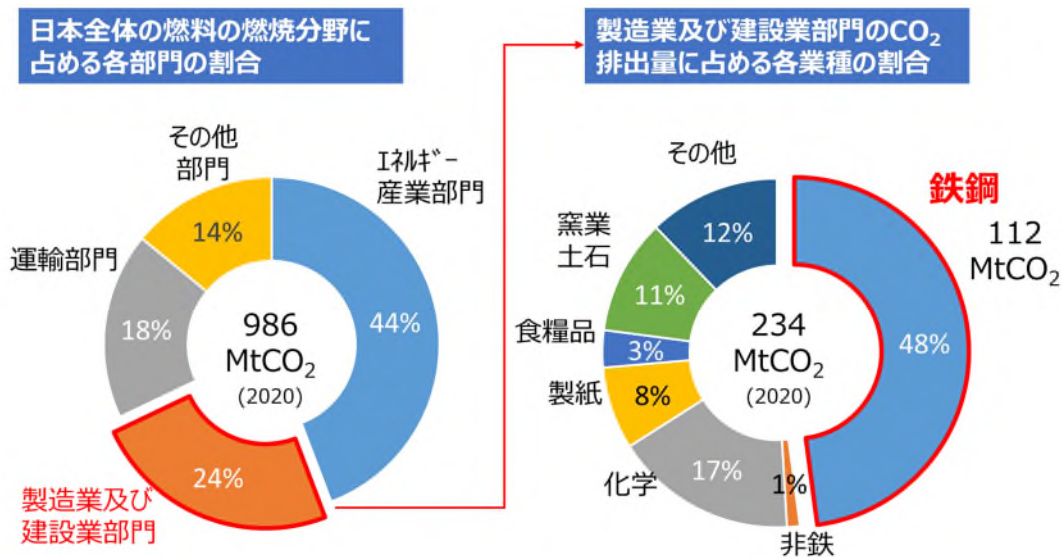
1.1 事業の背景

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排出量の約 50%を占め、わが国全体で約 12%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。



国立環境研究所「温室効果ガスインベントリオフィス(2022年度4月版)」より作成

図 I-1-1 わが国の鉄鋼業における CO₂ 排出の現状

環境省「2020 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

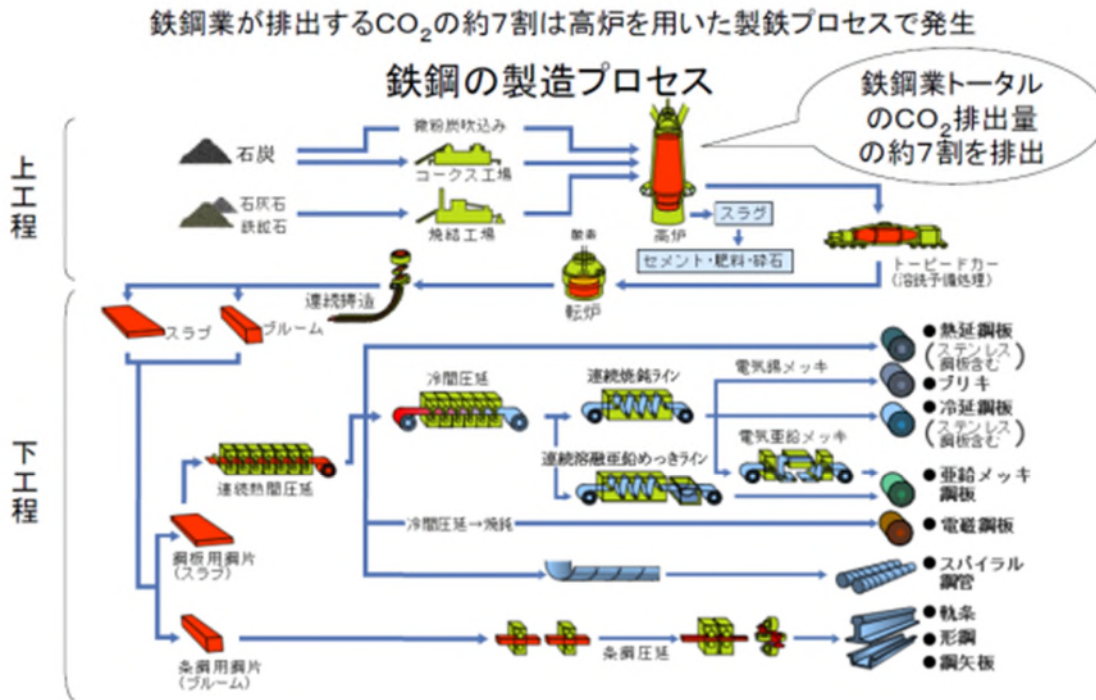


図 I-1-2 一貫製鉄所の製造プロセス

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 I-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。

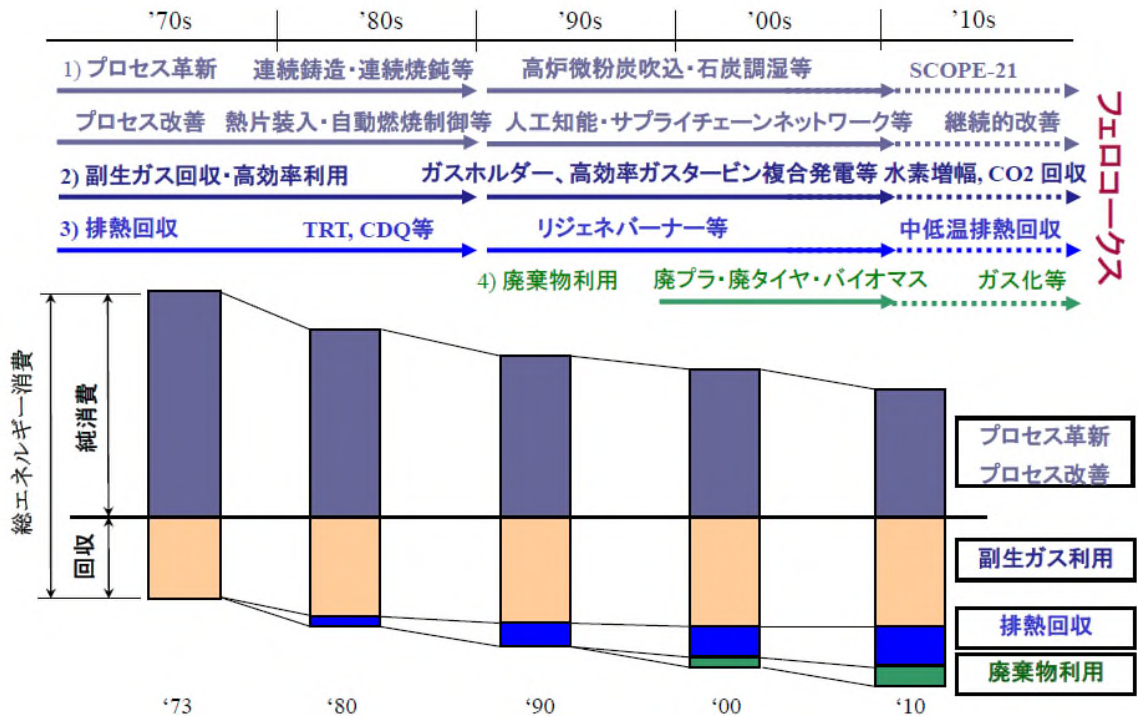


図 I-1-3 鉄鋼業の省エネルギーへの取り組みの推移

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

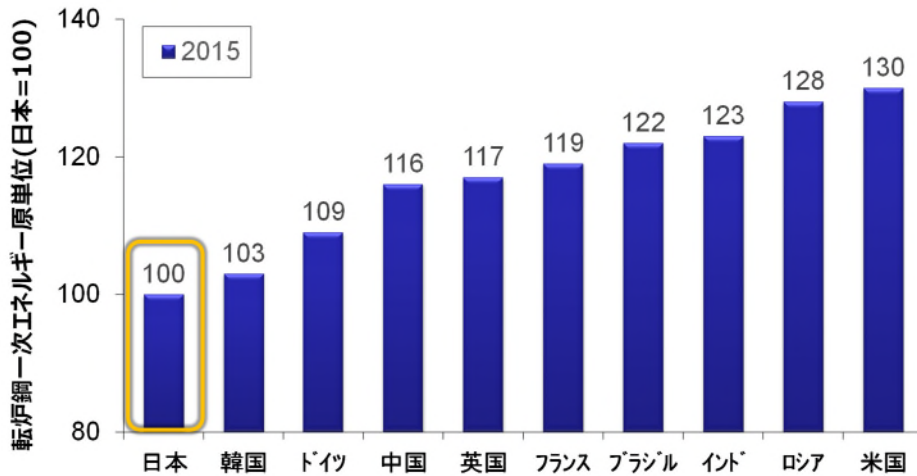


図 I-1-4 鉄鋼業(高炉・転炉法)のエネルギー原単位の国際比較

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)

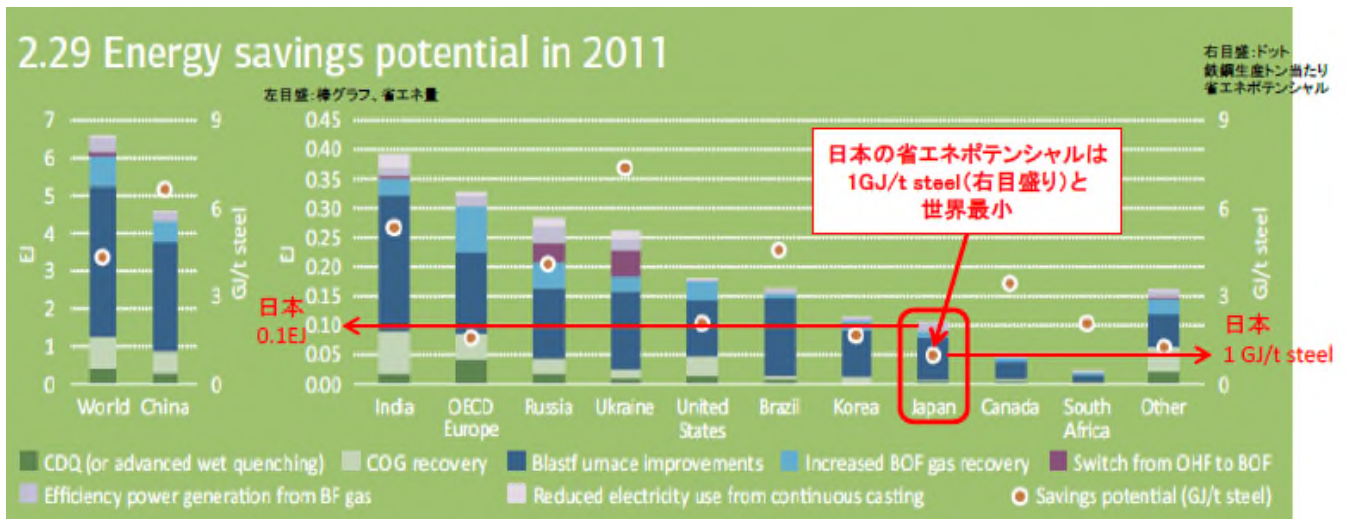


図 I-1-5 鉄鋼業のエネルギー消費量削減ポテンシャルの国際比較

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た。

2020年10月には、日本政府による「2050年カーボンニュートラルの宣言」によりカーボンニュートラル達成目標が今世紀後半から2050年へ前倒しとなり、2021年6月に経済産業省が中心となり関係省庁と連携して「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定され、これらを踏まえて「グリーンイノベーション基金(GI基金)」がNEDOに創設された。当該戦略に記載された重点分野のうちカーボンリサイクル・マテリアル分野における主な取組として、水素を用いた高炉製鉄法など、世界に先駆け「ゼロカーボン・スチール」の技術開発・供給を行い、2050年に年間最大約5億トン、約40兆円と見込まれるグリーンスチール市場の獲得を目指すこ

とが謳われている。この実現は「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」（2021年10月）における水素還元製鉄にも合致するものとなっている。以上の経緯から、COURSE50事業は、フェーズⅡ-STEP2以降を含む一部の研究開発計画を、カーボンニュートラルの加速化に対応するためのGI基金事業へ移行することとなった。

（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

大型高炉による銑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排出係数の視点では、②の副生ガスの所内活用が自家調達での水素源として最有力候補となる。

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

表 I-1-1 高炉に適用可能な技術

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

以上から、図I-1-6に本技術開発の概要を示す。

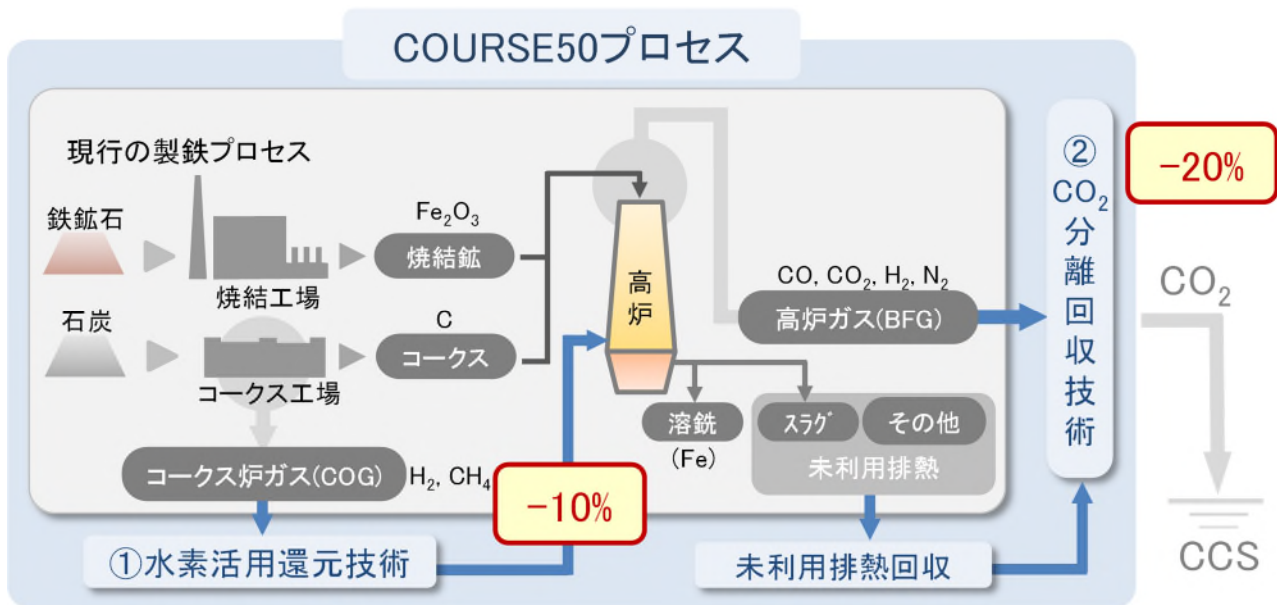


図 I-1-6 技術開発の概要

本技術開発では、コークス製造時に発生する高温のコークス炉ガス (COG) に含まれる水素および COG 改質して水素を増幅し、コークスの一部代替に当該水素を用いて鉄鉱石を還元する技術を開発する。また、高炉ガス (BFG) から CO₂ を分離するため、製鉄所内の未利用排熱を活用した革新的な CO₂ 分離回収技術を開発する。これらの技術開発により CO₂ 排出量の約 3 割削減を目標に、低炭素社会を目指す。

これらの技術開発においてフェーズ I -STEP1 (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。

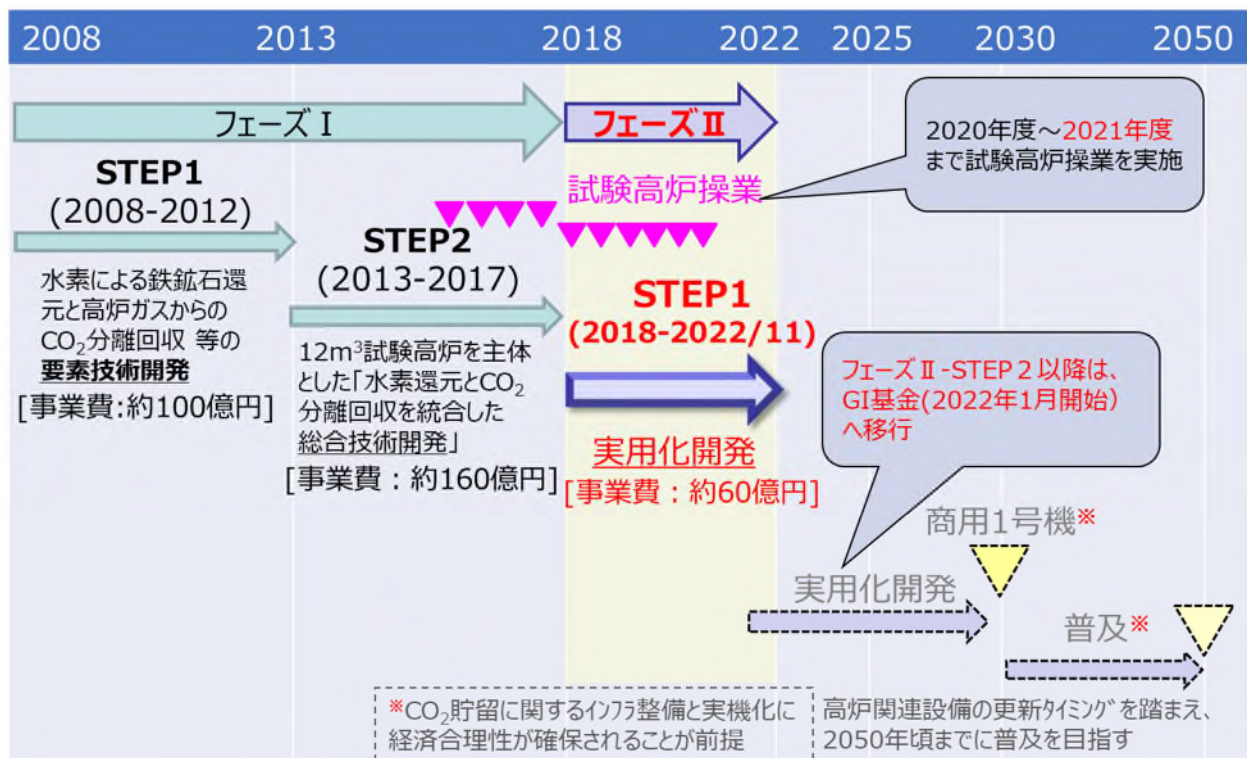


図 I-1-7 COURSE50 フェーズ II STEP1 の位置付け(GI 基金創設後の更新計画)

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、水素比率が拡大される際には、プロセス自体の変革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、すなわち炭素消費の最終形態である CO₂ 排出を削減するものである。フェーズ I-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。フェーズ II-STEP1 においても当初の炭素消費量の削減目標レベルは、フェーズ I と同じ約 10% としていたが、その後、NEDO の中間評価のコメントで「試験高炉では、少ない水素で CO₂ 削減効果を高めることに加え、水素利用上限 (CO₂ 削減限界) を見極める試験実施を期待する。」を受けたことから、水素使用量の効率化と水素還元の拡大を狙い、目標を高炉からの CO₂ 削減” 10%以上” に更新した。

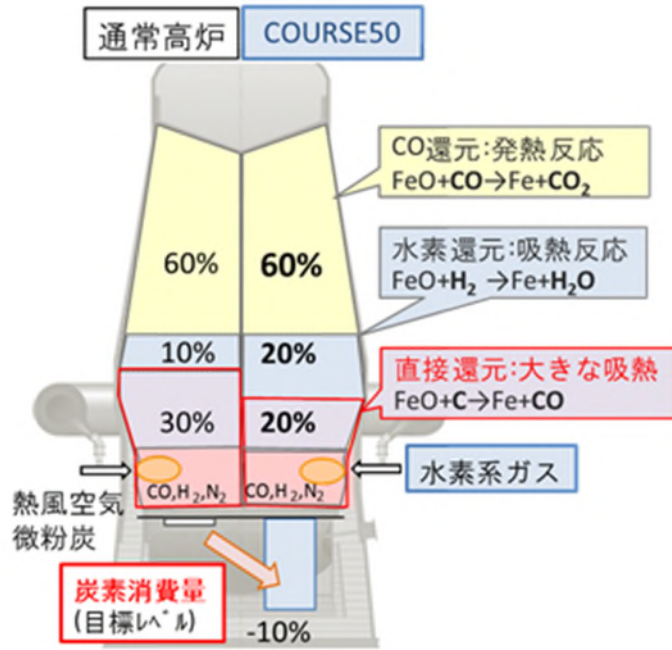


図 I-1-8 COURSE50 高炉の狙い

(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。

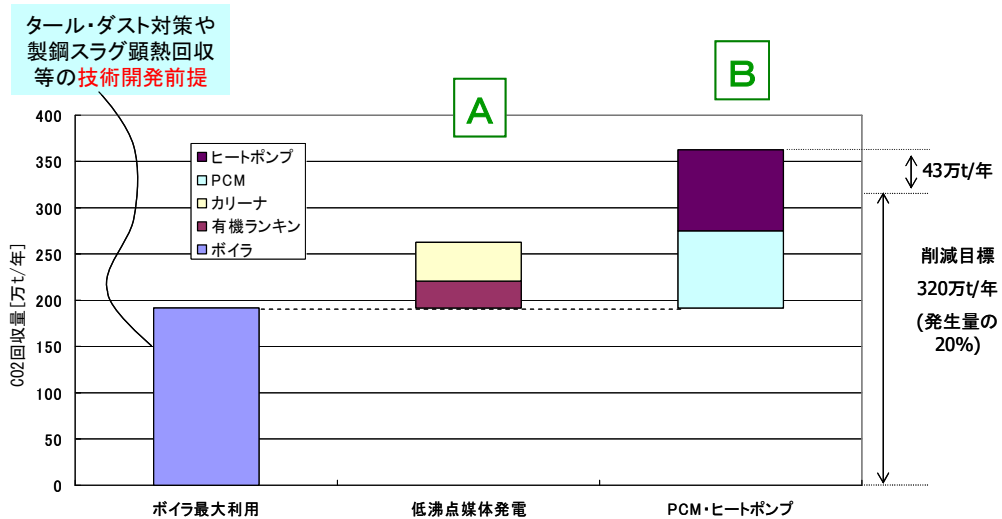


図 I-1-9 製鉄所の未利用顕熱の活用規模

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。

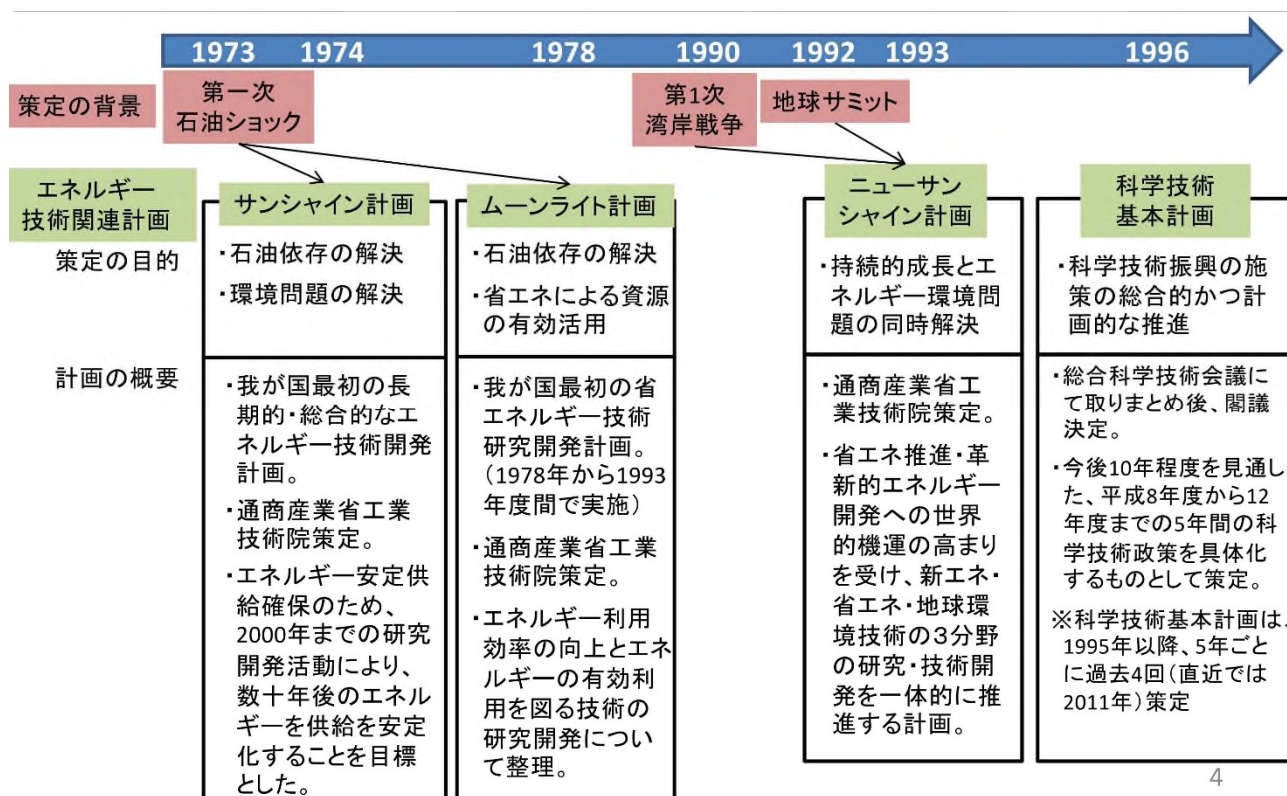


図 I-1-10 我が国におけるエネルギー技術開発に関するこれまでの取組 その1

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】

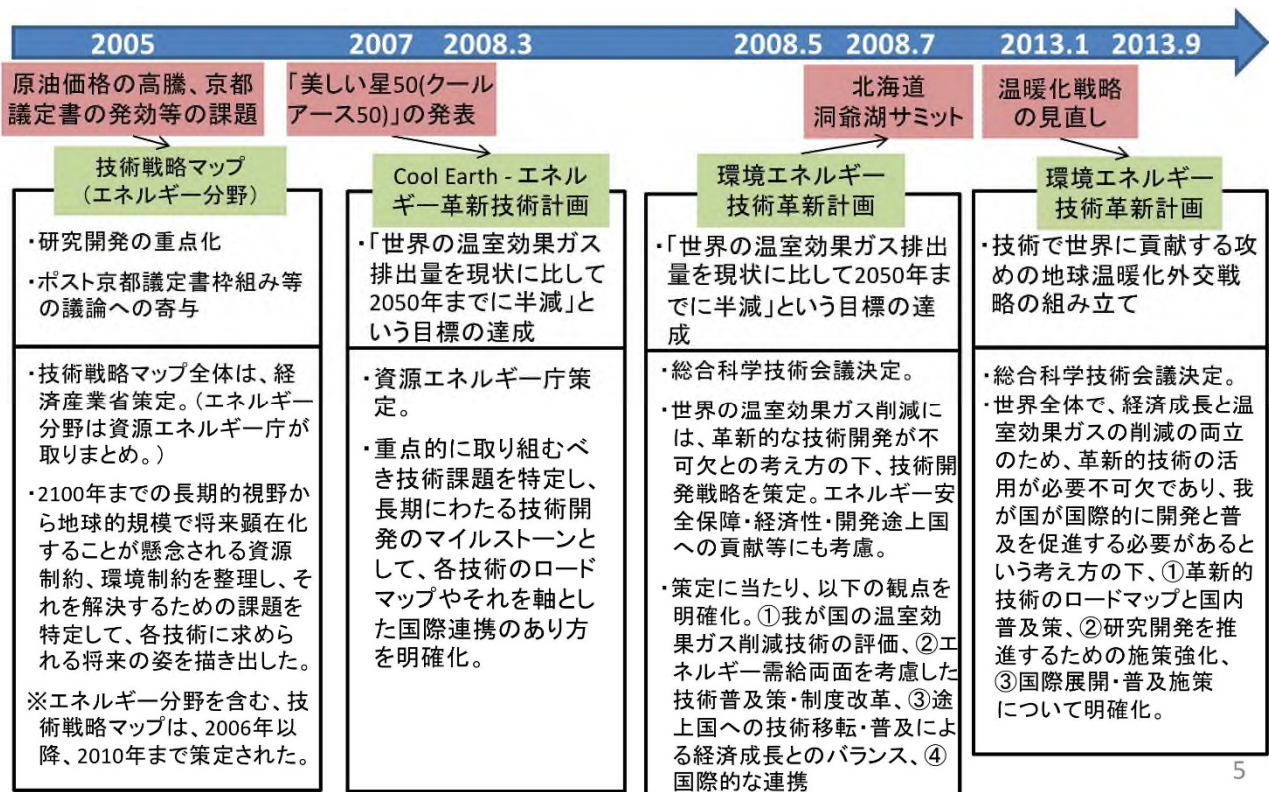


図 I-1-11 我が国におけるエネルギー技術開発に関するこれまでの取組 その2

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(図中⑫革新的製鉄プロセス)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。

(5) パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略

2018 年 6 月に閣議決定された長期戦略に基づき、今世紀後半の出来るだけ早期に脱炭素社会を目指す「革新的環境イノベーション戦略」が 2020 年 1 月に策定され、全 5 分野に分類された技術課題のうち、図 1-1-16 に示されるように「Ⅲ. 産業」の中で高炉法による水素還元拡大技術等による「ゼロカーボン・スチール」実現が重要技術として位置づけられた。

(6) 2050 年カーボンニュートラルの宣言

日本政府は 2020 年 10 月に、従来は今世紀後半の出来るだけ早期としていたカーボンニュートラル達成目標を、前倒しして 2050 年とする宣言を出した。これを受けて、2021 年 6 月に「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を経済産業省が中心となり関係省庁と連携して策定し 14 の重要分野を設定した。重点分野のうち「カーボンリサイクル・マテリアル」分野の中で「ゼロカーボン・スチール」の実現を目指すことが本文中に明記され、図 1-1-17 の工程表が示されている。NEDO は「グリーンイノベーション基金 (GI 基金)」を創設し複数の重点分野に対応した技術開発・実証等を実施することとなり、「ゼロカーボン・スチール」の実現は「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」(2021 年 10 月閣議決定) に明記された「水素還元製鉄による脱炭素化」にも合致するものとなっている。

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＞

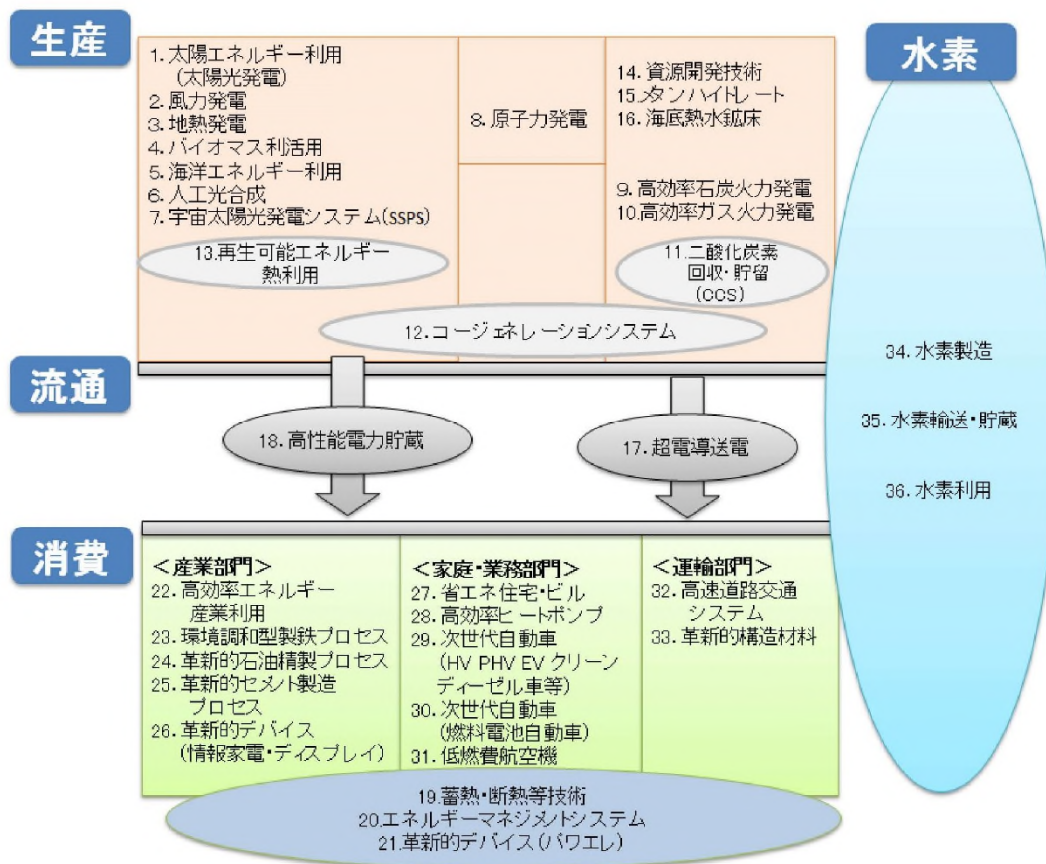


図 I-1-13 エネルギー関係技術開発ロードマップにおける技術課題全体の整理図
出典: 経済産業省「エネルギー関係技術開発ロードマップ」

23. 環境調和型製鉄プロセス

当該技術を必要とする背景

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

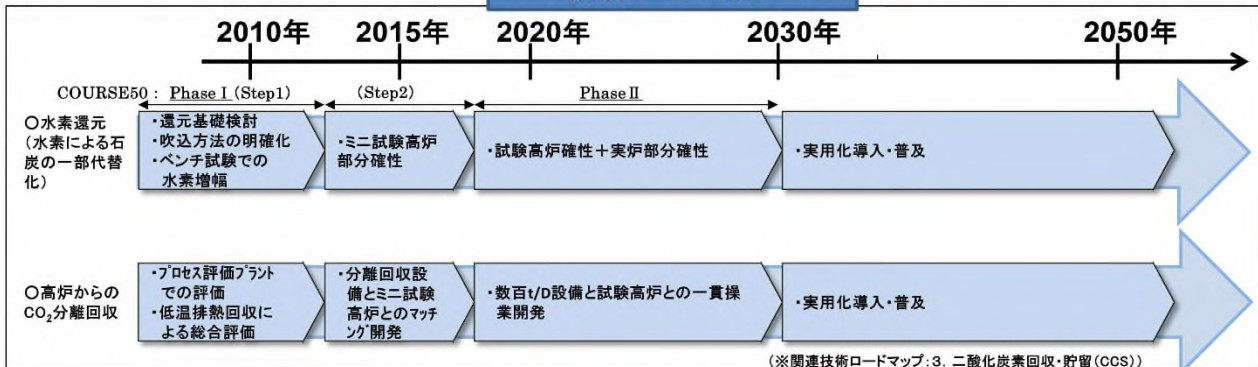
当該技術の概要及び我が国の技術開発の動向

○(1)コークス製造時に発生する高温の副生ガスに50%程度含まれる水素を活用し、コークスの一部代替に当該水素を用いて鉄鉱石を還元する技術の開発、(2)CO₂濃度が高い高炉ガスからCO₂を分離するための新たな吸収液の開発、物理吸着技術の開発、製鉄所内の未利用低温排熱を利用した新たなCO₂分離・回収技術の開発を実施。
○CCSはCO₂分離・回収・貯留の一連の技術。高炉ガスからのCO₂分離・回収については、独自に開発を行っている一方で、貯留については、発電所の排ガスからのCO₂貯留と共通の技術を利用予定。

導入に当たっての制度的制約等の社会的課題

○CO₂貯留に関するインフラ整備と実機化に経済合理性が確保されることが前提。

技術ロードマップ



備考(海外動向、他の機関における取組)

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

図 I-1-14 環境調和製鉄プロセスのロードマップ

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)

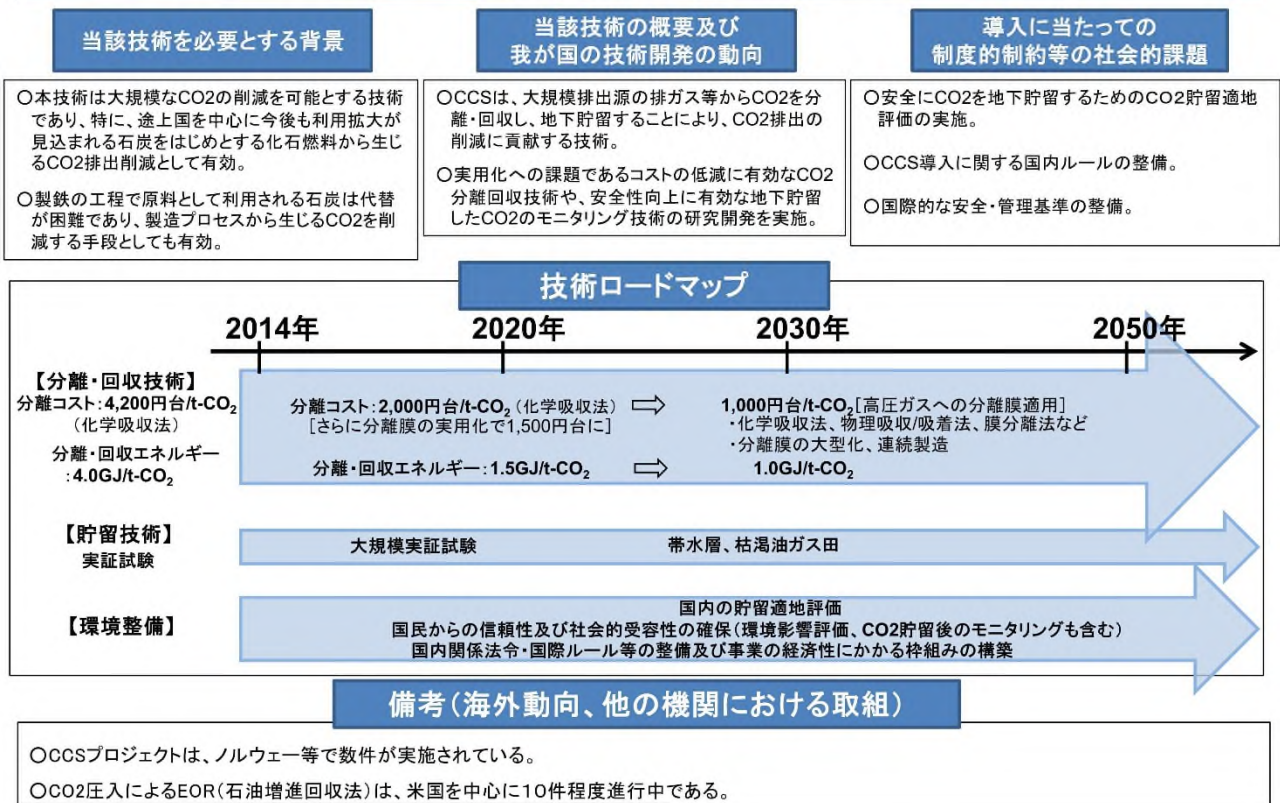


図 I-1-15 二酸化炭素回収・貯留のロードマップ
 出典: 経済産業省「エネルギー関係技術開発絵ロードマップ」

化石資源依存からの脱却（再生可能エネルギー由来の電力や水素の活用）

⑩ 水素還元製鉄技術等による「ゼロカーボン・スチール」の実現

【目標】

- 2050年以降のできるだけ早い時期までに、現在の高炉法による鉄鋼製造と同等のコストで「ゼロカーボン・スチール」を実現する水素還元製鉄技術等の超革新技術の開発を行う。実用化には、2050年の水素コスト（プラント引渡しコスト）20円/Nm³という目標をさらに下回る水準でCO₂フリー水素が安定的かつ大量に供給されることが必要。世界のCO₂削減量は約38億トン。¹⁾

【技術開発】

- 「ゼロカーボン・スチール」の実現には長期的な研究開発が必要となるため、現行の高炉法における低炭素化、省エネルギー対策も重要となる。そのため、COURSE50やフェロコークス技術の開発を引き続き行い、2030年頃の実用化を目指す。
- COURSE50及びフェロコークスの開発で得られる知見を足掛かりとして、「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた更なる革新技術を検討する。このため更なる革新技術に関するFS事業を実施し、高炉法による水素還元技術の拡大技術（COURSE50技術の拡大）、直接還元法による水素還元製鉄技術、CCUS等の技術開発や実用化における諸課題の抽出等を行う。当該結果を踏まえ、ナショナルプロジェクトによる支援の下に「ゼロカーボン・スチール」を実現する革新技術開発を進める。

（実施体制）

- 国際的な競争領域であるため、国内鉄鋼メーカーを中心とした連携により技術開発を進める。

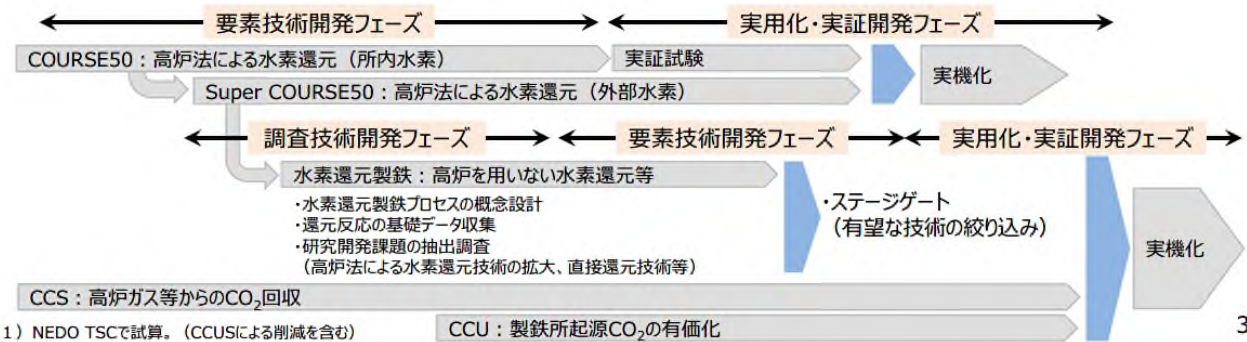


図 I-1-16 Ⅲ. 産業 化石資源依存からの脱却における「ゼロカーボン・スチール」の実現
出典：内閣府「革新的環境イノベーション戦略」

⑪カーボンリサイクル・マテリアル産業
 (マテリアル)の成長戦略「工程表」

●導入フェーズ: 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ

●具体化するべき政策手法: ①目標、②法制度(規制改革等)、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等

	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
金属素材						輸送用機械の軽量化・高速化・電動化に資する金属素材を開発 導入・拡大 社会インフラ設備(洋上風力、水素貯留、ケーブル等)の性能向上と低コスト化に資する金属材料の開発 導入・拡大	商用的拡大 商用的拡大	
精錬・圧延手法						COURSE50(水素活用等でCO ₂ ▲30%)の大規模実証 導入支援 水素還元製鉄、電炉拡大の技術開発 実証 精錬、圧延、加工プロセスの省エネに必要な基礎技術の開発 実証 国際的協力枠組の構築(過剰生産能力への対応、メタルスプレッドの確保)、開発した省エネ・CO ₂ 削減技術が適切に評価される国際標準の策定を推進	技術確立 導入・拡大	導入支援
資源の有効利用						希少金属(レアメタル、レアアース等)を抽出・回収し、再利用・再資源化するリサイクル技術の開発 実証 強度や靱性を高めた高強度材料による構造物の長寿命化技術の開発 実証 アルミスクラップをアップグレードするリサイクル技術の開発 実証	導入・拡大 導入・拡大 導入・拡大	
熱源の脱炭素化						燃焼特性にあわせた製造設備の開発 実証	導入・拡大	
石油化学コンビナートの脱炭素化						燃焼特性にあわせた製造設備(ナフサ分解炉等)の開発 実証 石油精製プロセスへのCO ₂ フリー水素等の導入実証	導入・拡大 導入・拡大	

80

図 I-1-17 「カーボンリサイクル・マテリアル」分野の工程表

出典: 経済産業省「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」

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 億円が想定されたが、STEP2 がグリーンイノベーション基金へ移行したことに伴い、STEP1 のみの実績額として約 60 億円で完了した。

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。

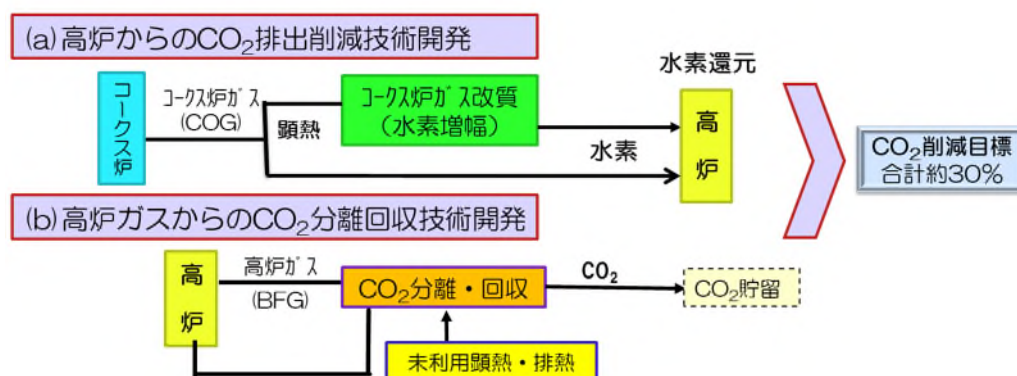


図 II-1-1 COURSE50 事業の目標

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10%以上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「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、としていたがフェーズⅡ-STEP2以降の研究開発内容がGI基金事業へ移行したことに伴い、本事業の範囲外となった。

研究開発項目(b) 高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収技術開発

・CO₂分離回収コスト 2,000 円/t-CO₂を実現可能な技術の充実に指向し、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追及する。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としていたが前述の通り、フェーズⅡ－STEP 2以降の研究開発内容がGI基金事業へ移行したことに伴い、本事業の範囲外となった。

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、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（送風量、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。フェーズⅡでは、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・実施することとしていたが、実高炉検証を含むフェーズⅡ－STEP 2以降の研究開発内容はGI 基金事業へ移行することとなった。

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迫及する。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

	対応を行うと共に、 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 吸収形態を加圧メタ系からバクボネ系に転換 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-STEP2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10%以上のレベルに対して、 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-STEP2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、計画・実施し、高炉からのCO ₂ 排出削減量10%以上達成に資する。(※実高炉検証はGI基金事業へ移行)
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

12m³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10%以上を確立する。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10%以上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な還元ガスの吹込み方法、装入原料性状の影響を検証する。

(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-STEP2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認するため、本プロジェクトのフェーズI-STEP2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(COURSE50)」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을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・評価し、高炉からの CO₂ 排出削減量 10%以上達成に資する。(※実高炉検証は GI 基金事業へ移行)

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。

➡ : 実績

		2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
SG1.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	試験高炉操業設計・解析とプロセス評価				
	SG1-2. 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査	還元材燃焼性の実験的評価・数値モデルによる条件評価				
SG2.COG 改質技術開発				BP2 解体調査		
SG3 高性能粘結材製造技術の開発		試験装置開発・粘結材性能評価				
SG4 CO ₂ 分離回収技術開発		CO ₂ 吸収液及び触媒開発				
SG5 未利用低温排熱活用技術開発		排ガス汚損対策・熱回収システム検討				
SG6 試験高炉によるプロセス技術開発		試験高炉操業によるCO ₂ 削減効果検証				
SG7 実高炉部分検証によるプロセス技術開発		調査・事前エンジニアリング	試験時期再検討		実高炉検証はGI基金へ移行	
SG8 全体プロセスの評価・検討		CO ₂ 削減効果検討・全体評価				

図 II-2-1 フェーズ II STEP1 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（当初）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）フェロー 先端技術研究所長 野村誠治氏に研究開発責任者（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(SG)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（当初）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。

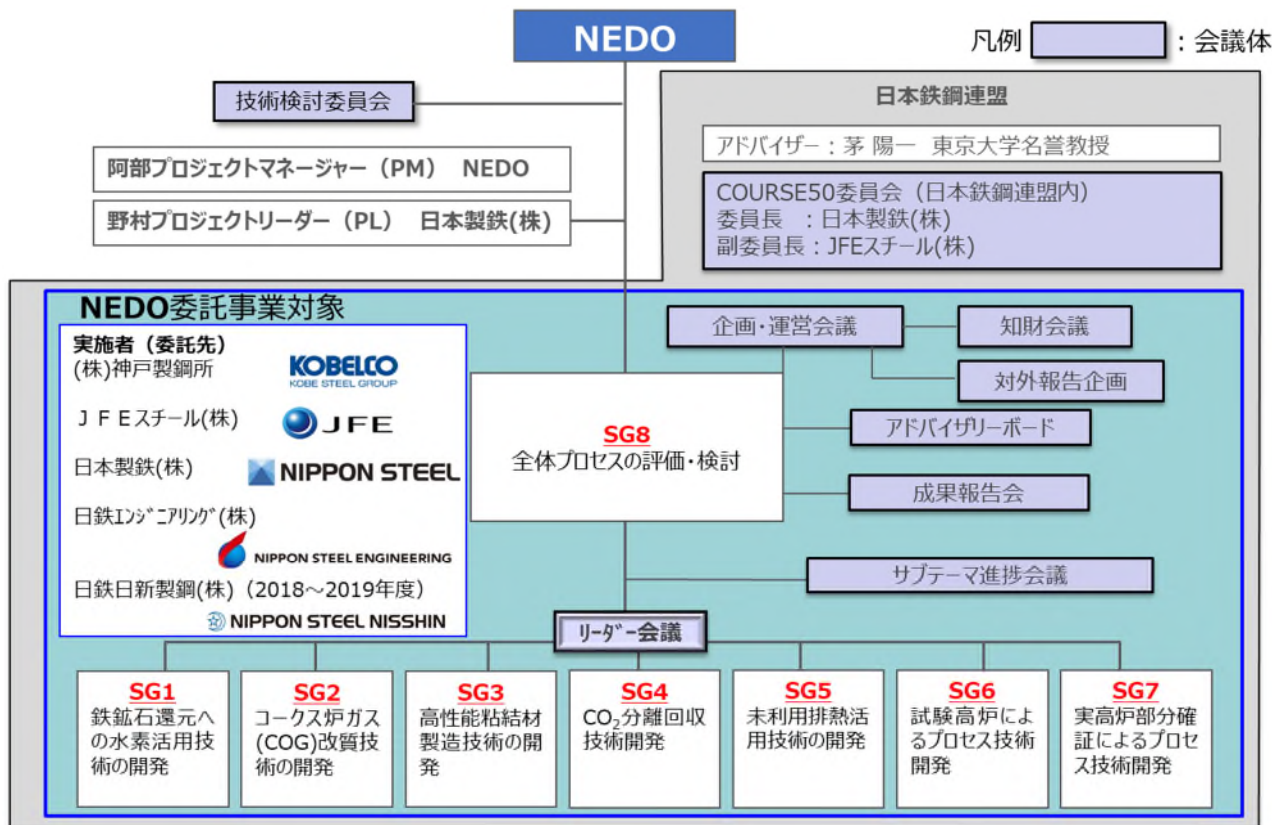
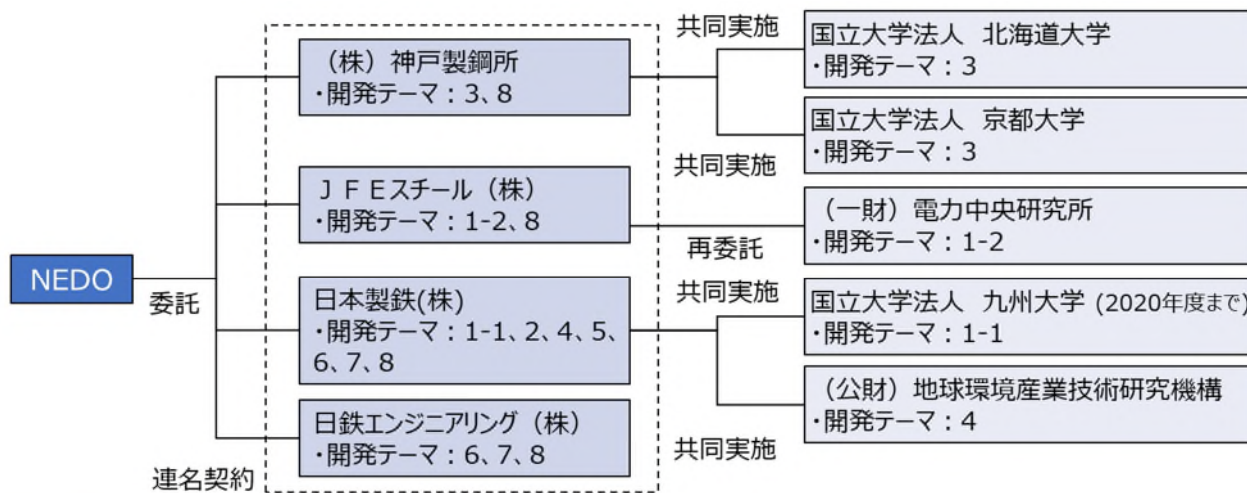


図 II-2-2 研究開発の実施体制

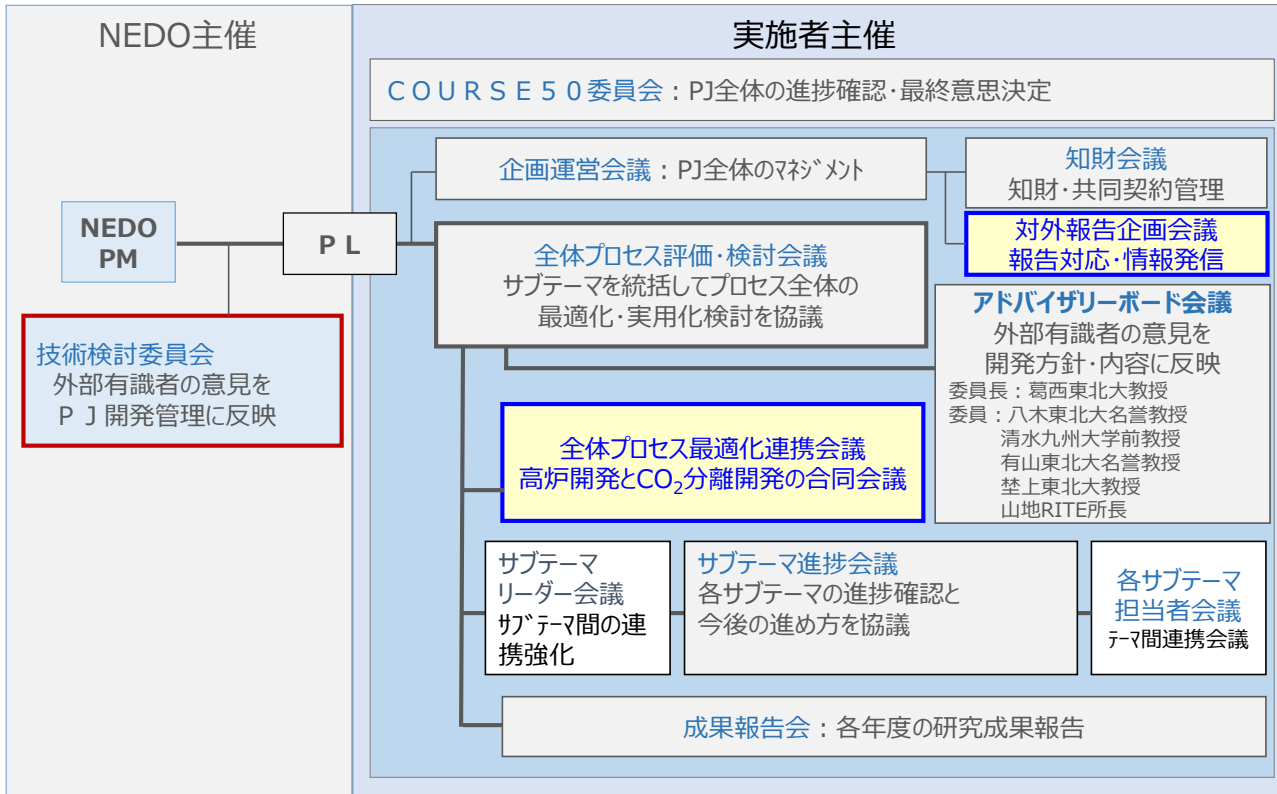


開発テーマ			
1	鉄鉱石還元への水素活用技術の開発	4	CO ₂ 分離・回収技術開発
	1-1 水素活用プロセス技術開発	5	未利用低温排熱活用技術開発
	1-2 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査	6	試験高炉によるプロセス技術開発
2	COG改質技術の開発	7	実高炉部分検証によるプロセス技術開発
3	高性能粘結材ハンドリング技術の開発	8	全体プロセスの評価・検討

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(最終開催 2021年5月28日時点)

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	株式会社 INPEX 再生可能エネルギー・新分野事業本部 再生可能エネルギーユニット	テクニカルコンサルタント
委員	長坂 徹也	国立大学法人東北大学 工学研究科長・工学部長	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(最終)

委員長	日本製鉄	代表取締役副社長	佐藤 直樹
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(最終)

PL	日本製鉄	フェロー 先端技術研究所長	野村 誠治
副 PL	JFE スチール	理事 技術企画部長	渡辺 隆志
PL 補佐	日本製鉄	技術開発企画部 部長代理	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/1ヶ月の頻度で開催。

<全体プロセス評価・検討WG（サブテーマ8）>

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/2ヶ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。開催実績の最終は2022年3月31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8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8）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たが、一部のフェーズⅡ-STEP1の研究開発を含むフェーズⅡ-STEP2以降の計画を、カーボンニュートラルの加速化に対応するためのGI基金へ移行することとなった。なお、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年間をSTEP1とし、開発した各要素を組合せ検証する後半の5年間をSTEP2とした。

最終的に、NEDOの委託事業として実施した事業はフェーズⅡの前半の5年間（STEP1）となった。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はGI基金の一部に引き継がれた。

本プロジェクトは、フェーズⅠ-STEP1からGI基金へと引き継がれた実機化技術の開発を完了するまでに20年以上と長期に亘るので、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た。

（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した。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った。また、並行して高炉シミュレータの確度を高めた。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基の稼働を目指した。

（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、全体調整を行った。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を行った。

中間評価の後、最終目標及びCOURSE50最終目標の達成に向けた検討を実施し、GI基金移行への整合と最適化の検討も行った。

（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していたことから、要素技術開発ステージであるフェーズⅠでは、現行プロセスに応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があった。

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、特許提案を強化した。

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た。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た。

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た。また、成果を公表する場合は、対外報告ルールに則り実施した。

(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た。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た。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した。

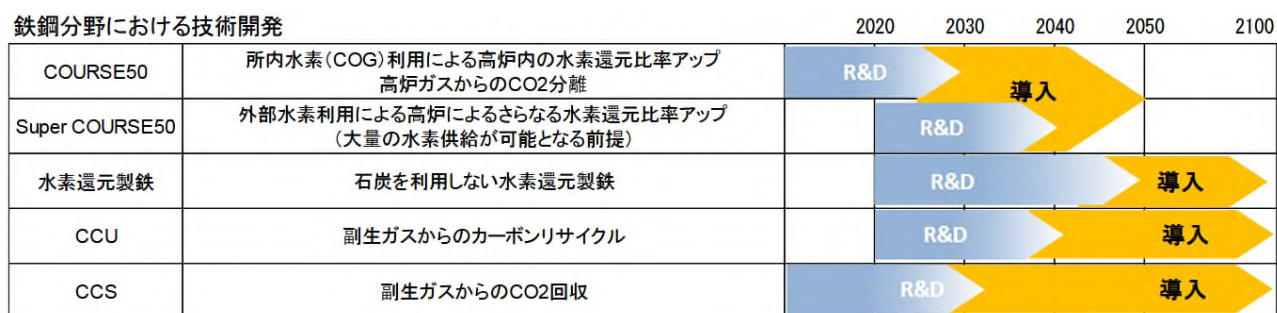
3. 情勢変化への対応

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た。

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%の目途を得ていた。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ていた。

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の拡大技術 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の拡大を狙った新たな要素技術開発に取り組み、目標を高炉からのCO₂削減10%以上に更新し、外部水素を追加導入して水素利用上限を見極める試験操業を実施した。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が、一部のフェーズⅡ-STEP1の研究開発を含むフェーズⅡ-STEP2以降の計画を、カーボンニュートラルの加速化に対応するためのGI基金事業へ移行することとなったため、研究開発内容の切り分けを調整した。



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 前倒し事後評価への対応

(1) フェーズ I - STEP2 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。

(2) フェーズ I -STEP2 前倒し事後評価への対応

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SG8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COURSE50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SG8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SG5、SG8で対応。

4.2 中間評価への対応

(1) 中間評価の概要（総合評価）

高炉からの大幅な CO₂ 排出量削減を実現する本事業は重要なプロジェクトである。製鉄業のオールジャパン体制が構築されており、目標は変えずに達成のための道筋を変更するなど、柔軟な対応を行っている点は評価できる。水素還元技術について、中間目標を上回る排出 CO₂ 削減を達成する成果が得られ、その他多くのデータの取得、サンプルの採取、現象解析を進めており、数学モデルとの整合性もほぼ得られている。さらに、CO₂ 分離回収技術は一部事業化に移行しており、さらなる普及が期待できる。

一方、水素還元技術を商用高炉へ適応するには障壁があると想定されるので、課題抽出、計画策定などをより具体的に示すことを期待する。実用化に近い要素技術等については、本事業と別分野での実用化も目指すことが重要である。また、CO₂ 分離回収プロセスの熱源となる熱回収に関しては、手法や一連のプロセス構成の明示が望まれる。

さらに、2030 年の商用 1 号機の実現のためには、詳細な計画とマイルストーンの設定に加え、外部水素の製造プロセスにおける CO₂ 発生量を踏まえながら、コスト試算、CO₂ 排出削減効果の LCA 評価を実施することが望ましい。CO₂ 地中貯留・有効利用とカーボンフリー水素の調達に向けた検討に関しては、情報収集や関係機関との連携強化を期待したい。今後も、より国民の理解が得られるように本事業の広報活動を強化して頂きたい。

(2) 中間評価への対応

プロジェクト全体に関する指摘事項への対応は表 2-4-1 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 で対応している。

表 II-4-2 フェーズII-STEP1 中間評価での指摘事項への対応

	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	本事業は国際貢献、国際競争力等の観点からも重要な事業なので、競合対象国の技術開発動向に十分な配慮が必要であると思われる。	製鉄業における競合対象国の技術開発動向については、2019年度に調査を実施済みであり、引き続き事業者の協力も得て最新の情報を収集する。関連事業である「ゼロカーボン・スチール実現に向けた技術開発(2020～2021年度)」で対応。
研究開発マネジメント	研究開発費の費用対効果の試算を入れて、アウトカムを精査することが望まれる。	水素の大量使用によるCO ₂ フリー水素市場の増大とコスト増、およびコークス削減量を考慮してアウトカムの精査を行い、基本計画書に反映した。
研究開発成果	試験高炉では、少ない水素でCO ₂ 削減効果を高めることに加え、水素利用上限(CO ₂ 削減限界)を見極める試験実施を期待する。	試験高炉においては、少ない水素でCO ₂ 削減効果を高めるだけでなく、水素還元拡大(CO ₂ 削減10%以上)を狙った技術開発を進める目標に更新し、外部水素を追加導入して水素利用上限を見極める試験操作を実施した。
成果の実用化に向けた取組及び見通し	CO ₂ 分離プロセスに必要な熱量の低減をプロセスから見直して、熱回収プロセスへの負荷を低減することが望まれる。	CO ₂ 分離・回収技術については、引き続き熱量の低減化を実施し、実験室レベルで目標数値を達成し成果を上げた。

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

1.1 概要

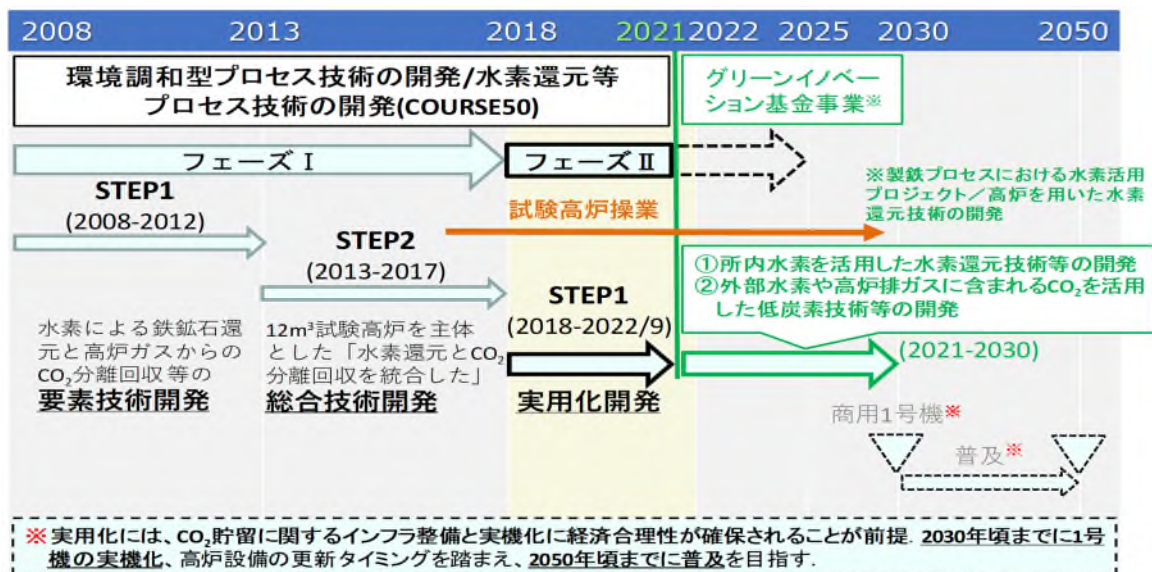
本 COURSE50 プロジェクトでは、世界に先駆けて、高炉の水素還元技術と高炉ガスに含まれる CO₂ を分離回収技術により、製鉄所から CO₂ 排出量約 30%削減を目標に技術開発に取り組んだ。

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)を計画通り実施した。

フェーズ I STEP1 では、水素による鉄鉱石還元と高炉ガスからの CO₂ 分離回収等の要素技術開発を行った。次のフェーズ I STEP2 では、ステップ 1 で開発した要素技術を組合せ、10m³ 規模試験高炉を主体とした高炉の水素還元と高炉ガスからの CO₂ 分離回収を統合したパイロットレベルの総合技術開発を行った。その結果、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・物理吸着剤を開発し、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 削減と分離回収コスト ≤ 2,000 円達成に目処を付けた。

フェーズ I の開発成果を踏まえ、実用化に向け、2018 年からフェーズ II STEP1 に開発移行し、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 10%超削減を世界で初めて達成するとともに、新化学吸収液および最適触媒の開発や、高効率な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、フェーズ I で開発した分離回収エネルギー原単位 2.0GJ/t-CO₂ を大きく超える世界トップレベルの 1.6GJ/t-CO₂ に到達した。

フェーズ II は、当初の計画では 2018 年から 2025 年の 8 カ年の事業計画であったが、2050 年カーボンニュートラルに向けた GI 基金事業が新たに開始することに伴い、本事業フェーズ II ステップ 1 は、2022 年度をもって実質 5 カ年で発展的に終了し、COURSE50 事業で得られた成果を足掛かりに、GI 基金事業の中で、COURSE50 の大規模実証、ならびに Super COURSE50 の開発を進めていくこととなった。尚、COURSE50 の実装化については、CO₂ 貯留に関するインフラ整備と実機化に経済合理性が確保されることを前提に、2030 年頃までに 1 号機の実用化、高炉関連設備の更新タイミングを踏まえて、2050 年頃までの普及を目指す。



図Ⅲ-1-1. 本事業の開発ステップ

1.2 成果概要

1.2.1 最終目標の達成状況

表Ⅲ-1-1 プロジェクト全体の目標と達成状況

研究開発項目	最終目標 (2022年度末)	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	<ul style="list-style-type: none"> 高炉からのCO₂排出10%以上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「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としていたがフェーズⅡ-STEP2以降の研究開発内容がGI基金事業へ移行したことに伴い、本事業の範囲外となった。 	<ul style="list-style-type: none"> 実験(試験高炉)と理論(数学モデル)の両面から、常温水素系ガス吹込み操作により、高炉からのCO₂排出10%以上削減が技術的に可能であることを立証した。 実機を用いた「全周羽口吹込み」試験については、GI基金事業において実施する。また、同事業において、水素還元を最大化を狙ったSuper COURSE50開発を行う。 	○
研究開発項目 (b) 高炉ガス(BFG)からのCO ₂ 分離回収技術	<ul style="list-style-type: none"> CO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂を実現可能な技術の充実を指向し、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。 	<ul style="list-style-type: none"> 混合溶媒系の新吸収液を開発し、ラボ連続試験において熱量原単位1.60GJ/t-CO₂に到達した。 	○

		・開発した吸収液と熱交換器を用いて排熱回収コストを試算し、CO ₂ 分離回収コスト目標は達成可能であることを確認した。	
--	--	--	--

◎;大きく上回って達成、○;達成、△;達成見込み、×;未達

1.2.2 サブテーマ毎の成果概要

(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10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、微粉炭中揮発分量、模擬COG等の還元ガス吹込み量、還元ガス吹込み温度、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

高温のCOGを長期流通させて改質試験を行ったCOG改質ロングラン試験設備を解体し、主要機器における鋼材をサンプリングの上、各サンプルにおいて、断面観察、組織観察、EPMA分析等を行い、鋼材の粒界腐食、浸炭、脱炭、硫化などの進行有無を調査した。耐熱性ステンレス、耐熱性合金、耐熱鋳鋼を使用すれば、粒界腐食、浸炭、脱炭、硫化などは、板厚に対してごく軽微で健全であり、COG改質試験での使用条件では、使用した鋼材は、高温水素系ガス吹込み設備の材料として問題ないことを確認した。本分析結果を、試験高炉の高温水素系ガス吹込み設備の設計にも共有化し、今後の設備設計の指針として進めることとした。

(c) サブテーマ③高性能粘結材製造技術の開発

(c-1) 高性能粘結材製造技術の開発

・熔融粘結材連続排出技術の開発

高性能粘結材(HPC)製造プロセス溶剤回収工程での操作温度範囲で変化する熔融HPCの粘度を実測するために導入した高温対応型粘度測定装置を用いて様々な石炭種由来のHPCの熔融粘度を測定した。ニュートン流体の粘性変化を表現するアンドレイドの式を基本に粘度測定値を温度項や溶剤濃度項をフィッティングした熔融HPC粘度推算式に石炭性状項を付加して幅広い石炭種に対応できる粘度推算式を確立した。この粘度推算式を用い、工程内の変動する熔融HPCの幅広い粘度範囲に対応しつつHPCへの残留溶剤を回収可能な加熱型二軸スクリーナー方式の熔融HPC連続移送・排出装置を

製作し、高い溶剤分離性能や安定的な連続排出性能を発揮することを確認し、更に幅広い炭種変動に対するプロセスロバスト性を実証した。本方式で製造したHPCが、高強度かつ反応性を制御したコークスを製造する高性能粘結材として活用できる事を確認し、高性能粘結材製造プロセス構築の目処を得た。

・溶融状態高性能粘結材の分子運動性に関する研究

溶剤回収工程での温度上昇に伴うHPCのmobile分子（溶融し液状になった成分）の量や運動性といった量的質的变化について、¹H-NMRを用い原料石炭種変動の影響を調べた。その結果、本法で測定したmobile分子の挙動が原料石炭種変動によるHPCの粘度変動と相関すること、及びHPCが製造プロセス内の熱履歴に対して安定であることを確認し、溶融HPCの粘度変化が分子運動性の観点から説明できることを確かめた。

・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

原料炭種幅の変動や溶剤回収工程における加熱条件や気相ガスの影響に対するHPCの分子構造およびフラクシオネーション構成と溶融HPC粘度の関係性を調べた。加熱条件が分子構造に影響を与える事がない事を確認し、溶剤回収条件範囲でHPCの粘度が影響を受けない事を整理した。原料炭種や気相ガスによる分子構造やフラクシオネーションの変動に対する粘度との相関は認められなかったものの、各々の因子を反映した指数、すなわちHPC全体の分子凝集構造の代表指数である揮発成分値と粘度値に高い相関を有する事を明らかにした。

(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1.60 GJ/t-CO₂を確認した。本吸収液は、従来の水溶液系吸収液と比較して、耐久性や安全性は同程度、金属腐食性はやや大きい、実用化可能な範囲にあることを確認した。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

・製鉄所実排ガスの分析を実施し、熱交汚損原因となるコールタール成分はナフタレンであることを確認した。

ラボ試験により実機稼働時の温度条件ではナフタレン揮散速度が大きいことを確認し、実操業での付着防止の可能性を見出した。

製作コストを低減し、社会実装を進めることを目的として熱交換器3号機を設計、製作し、加圧水に対応できる耐圧1 MPaを有し、目標伝熱性能である温度効率66%を達成することを確認した。以上の結果より実機にて用いるべき熱交換器の諸元が明確化された。

・製鉄所実排ガスをを用いて伝熱面温度および材質を変化させた際の付着物状況を調査し、熱交換器の操業条件では付着物の発生を防止できることを確認した。

汚れ付着による性能劣化程度を試算し、汚れ付着を考慮しても目標とする高温側温度効率66%で700時間相当の熱回収性能を維持できることを確認した。

化学吸収プロセスの最近の開発成果を踏まえて排熱回収コスト全体を再評価し、CO₂回収コスト目標2,000円/t-CO₂に必要な蒸気製造コストを達成可能であることを示した。

(f) サブテーマ⑥ 試験高炉によるプロセス技術開発

(f-1) 試験高炉による水素還元総合最適化開発

2018～2021年度の4年間に6回の操業試験を計画通り実施した。試験の結果、常温水素系ガス吹込み操作により、目標通り、試験高炉規模で高炉からのCO₂排出削減10%以上を達成し、その再現性についても確認した。また、投入H₂量と水素還元量には明確な相関があること、試験高炉における炭素消費量は吹込む水素系ガス種に依存し、同じ投入H₂量であれば純水素が最も炭素消費量削減効果が高いことを見出した。一方、投入H₂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、送風操作で制御可能であることが分かった。更に、Super COURSE50の開発に向け、高温水素流送方法を確立し導入すると共に、試験精度向上のため、コークス水分制御設備、炉内状態観測装置を導入した。新冷却方式の送風設備と高気密設備も計画通り導入した。

(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

当初、2022年度に実高炉を用いた水素系ガス「全周羽口吹込み」試験を実施する予定であったが、開発計画の変更に伴い、フェーズⅡ-STEP1の完了以降に実機試験を行うこととなった。

本技術開発では、実高炉を用いた水素系ガス「全周羽口吹込み」試験の事前準備として、高炉2基を有し、COG(コークス炉ガス)を高炉多用時下工程にエネルギー供給手段を備える製鉄所を前提に、事前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基本構成等を把握した。

(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

プロジェクト最終目標「製鉄所からCO₂排出30%以上削減達成」に向けて各サブテーマで開発した技術を統合し、一貫製鉄所へのCOURSE50技術導入時のCO₂削減効果を粗鋼生産量800万トン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検討・評価した結果、

- ・COURSE50で開発した高炉水素還元技術およびCO₂分離回収技術を製鉄所に導入すれば、製鉄所全体でPJ目標CO₂30%以上削減は達成可能であるとの見通しを得た。

- ・現行の炭素ベース製鉄所にCOURSE50技術を導入して、経済合理性を確保してCO₂低減を図るためには、現状の水素価格に対して、水素価格の大幅低減が必要であると計算された。

また、地球温暖化課題の内外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開発方針や開発計画の見直し・変更「高炉からのCO₂排出削減技術に関して、更なる削減を目指した水素還元の拡大技術開発への移行」を行い、事業を推進した。

1.2.3 知的財産等の成果概要

2022年11月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	21
2.査読有論文発表数	25
3.査読無論文発表数	17
4.その他外部発表	307

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

本事業における実用化とは、本事業の成果により、水素還元等を活用した高炉、及び未利用排熱を活用した高炉ガスからのCO₂分離回収を、製鉄所に実現する技術を確認することである。事業化とは、上記技術が製鉄事業に組み込まれることである。

(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】

- ・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等）を実施した。
- ・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延防止と開発費用の削減を図った。
- ・COURSE50で開発した高炉水素還元技術およびCO₂分離回収技術の成果・知見を足掛かりに、GI基金事業においてCOURSE50技術の実用化・事業化に取り組むとともに、2050年カーボンニュートラルに向けた高炉の革新技术開発に挑戦する。

【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、本手法による多量の鋼材が生産されるのは、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】

- ・本開発の成果は本事業を実施した国内高炉メーカーおよびエンジニアリング会社により、実用化・事業化活動を行う。
- ・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】

- ・本事業成果の社会実装化および本事業成果を活用したカーボンニュートラル技術開発への展開のため、GI基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発」の中で、COURSE50技術の実用化への取組を継続するとともに、2050年カーボンニュートラルに向けた高炉の革新技术開発に挑戦する。

【高炉の水素活用還元技術の継続・展開】GI基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発：1-①所内水素を活用した水素還元技術等の開発」で、実機実証試験を行い、その結果を踏まえ、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。また、GI基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発：1-②外部水素や高炉排ガスに含まれるCO₂を活用した低炭素等の開発」で、水素還元の最大化を狙ったSuperCOURSE50高炉の開発を行う。

【高炉ガスからのCO₂分離回収技術の継続・展開】GI基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発：1-②外部水素や高炉排ガスに含まれるCO₂を活用した低炭素技術等の開発」で、CO₂分離回収コスト低減のための新規高性能吸収液の実用化開発を行うとともに、高炉以外での実用化を進めながら、将来CCSやCCUの技術が確立したタイミングで、製鉄所導入に向けた具体的なエンジニアリングを行う。

(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）を目指してプロジェクト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】

・水素還元などのカーボンニュートラル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。

・本プロジェクトの計画変更（試験高炉研究継続、水素活用還元技術の深化等）により、CO₂ 削減コスト低減、経済性の確保を模索。（今後、鉍石・石炭・鋼材の価格動向、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追求していく。）

【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行っており、積極的に技術を活用することで、社会に貢献している。

「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）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300 t/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10,000 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し、最終的に製鉄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－STEP 1)

①アウトプット目標

【フェーズⅠ－STEP 1 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－STEP 1 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 ≥ 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－STEP 2 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。
- ・10 m³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10%以上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。

(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tCO₂/年、2030年に初号機1基で適用時を想定)のCO₂削減可能

な技術を確認することで、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)。一方、製鉄プロセスにおいて水素を使用することにより、2,600 億円規模／年の水素市場の拡大を見込む(高炉による粗鋼生産量を 7,000 万 t/年、溶銑比率を 93%、溶銑 1 t 当たりの水素使用量を 200 Nm³、水素の単価を 2050 年に 20 円/Nm³と仮定した場合)。

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 : DI 150 / 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の作成を完了する。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) 実高炉でのフェロークス長期使用、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)の数值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) フェロークス導入効果の検証

- ・フェロ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)の数值シミュレーションと(c)(実高炉でのフェロークス長期使用、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、溶鉄製造量 $2,000$ 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 k l/年、 CO_2 削減量は 82 万 t/年を見込む。また、フェロー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 (300 t/d) での製造技術の実証後、当該設備を增強し、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。

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

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。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鉱石の対策品(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50,000mPa・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を深化する技術を確認、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。

研究開発項目 2. フェロコークス技術の開発

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、300t/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認するとともに、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、製銑工程全体の物質・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% のときの製銑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銑プロセス技術開発（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、「革新的製銑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銑プロセス技術開発」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認するため、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 で長期間安定稼働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：D I 150 / 15 \geq 81（*）

(*)「資源対応力のための革新的製銑プロセス技術開発」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 D I 150 / 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銑プロセス技術開発」（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（30t/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 阿

部 正道を、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-STEP 2)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-STEP 1)については研究開発の中間評価を2020年度、事後評価を2022年度に実施を予定しており、フェロコッ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第一号ハ及び第三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

STEP2の内容に修正

(3) 2017年2月、改訂

フェロコッ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－STEP1）の内容に修正

フェロコッ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。

(8) 2021年1月、改訂

研究開発項目1.のアウトプット目標、アウトカム目標を修正。

(9) 2021年5月、改訂

2. 研究開発の実施方針（1）研究開発の実施体制における研究開発項目1.のPMを変更。

(10) 2021年11月、改訂

4. 評価に関する事項の修正。1.（1）研究開発の目的（2）研究開発の目標、（3）研究開発の内容、別添 研究開発計画におけるフェーズⅡ－STEP2に係る参考情報の削除。

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	[2018-2022]				
	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	[2020-2022]	
	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	[2018-2020]			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	[2018-2020]			新吸収液開発	[2021-2022]
	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

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	[2017-2022]					
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				★		

(添付資料2) 特許論文等リスト

(2022年11月現在)

① 論文

番号	発表者	発表タイトル	発表機関	査読	発表日付
1	殿村 重彰	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6月30日
2	植田 滋	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	有	2019年3月1日
3	松崎洋市	Ab Initio Study of CO ₂ Capture Mechanisus in Aqueous 2-Amino-2-methyl-1-propanol:Electronic and Steric Effects of Methyl Substituents on the stability of Carbamate	Industrial & Engineering Chemistry Research Vol.58 Issue8	有	2019年2月7日
4	三浦孝一	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	有	2019年2月12日
5	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	日本学術振興会第54(製鉄)委員会	無	2019年6月13日
6	西田亮一	Development of CVD silica membranes having high H ₂ permeance and steam durability and a membrane reactor for water gas sift reaction	Membranes	有	2019年10月30日
7	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	有	2020年1月4日
8	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

9	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	有	2020年3月 31日
10	石黒兼二郎	[特集] 創立70周年記念 火力原子力発電 最近の10年の歩み VI.開発技術 VI-4. CO ₂ 回収・貯留 (CCS)	火力原子力発電 火力原子力発電技術協会	無	2020年11 月
11	Firoz Alam Chowdhry,	A screening study of alcohol solvents for alkanolamine-based CO ₂ capture	International Journal of Greenhouse Gas Control, Vol.99, 2020	有	2020年8月
12	松崎洋市	Catalysis of CO ₂ Absorption in Aqueous Alkanolamine Solution by Boron Compounds: A Combined Computational and Experimental Study	Industrial & Engineering Chemistry Research, 59, 29	有	未定
13	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	ISIJ International 日本鉄鋼協会	有	2020年6月 26日
14	村上太一	Effect of Hydrogen Concentration in Reducing Gas on the Changes in Mineral Phases during Reduction of Iron Ore Sinter	ISIJ International 日本鉄鋼協会	有	2020年10 月1日
15	住谷佑哉	Effect of Changes in Mechanical Properties of Coke Matrix Caused by CO ₂ or H ₂ O Gasification Reaction on the Strength of Lump Coke	ISIJ International 日本鉄鋼協会	有	未定
16	上城親司	Development of advanced H ₂ utilization technology for reduction of CO ₂ emission from blast furnace using 12 m ³ experimental blast furnace.	世界製鉄会議 8th ECIC and 9th ICSTI 2021	有	2021年3月 26日
17	林 幸	空隙を有する針状 SFCA 生成に及ぼす焼成条件および Al ₂ O ₃ 濃度の影響	鉄と鋼 日本鉄鋼協会	有	2020年7月 31日
18	樋口謙一	高炉への改質コークス炉ガス吹込みによる焼結鉄の還元挙動の改善	鉄と鋼 日本鉄鋼協会	有	2021年3月 31日

19	盛家 晃太	気体還元材多量同時吹込みが微粉炭 燃焼挙動へ及ぼす影響の非接触計測 による評価	鉄と鋼 日本鉄鋼協会	有	2020年12 月1日
20	沼澤 結	Kinetic Modeling of CO ₂ and H ₂ O Gasification Reaction for Metallurgical Coke Using Distributed Activation Energy Model	ACS Omega	有	2021年4月 23日
21	野村 誠治	CO ₂ 排出削減に向けた日本鉄鋼業の 取り組み ～COURSE50プロジェクトの概要 ～ Low CO ₂ steel making technology using hydrogen in Japan- Outline of COURSE50 Project	「エネルギー と動力」第296 号(2021年 (令和3年) 春季号) 一般社団法人 日本動力協会	無	2021年5月 14日
22	野村誠治	産業部門での高度利用：鉄鋼業界に おけるCO ₂ 排出低減型の鉄鉱石還 元	化学工学会誌 85巻6号特集 号	無	2021年6月 1日
23	小野祐耶	Experimental and Numerical Study on Degradation Behavior of Coke with CO ₂ or H ₂ O Gasification Reaction at High Temperature	Fuel	有	2021年12 月24日
24	盛家晃太	Prediction of Pulverized Coal Combustibility by Measuring Chemi-luminescence of Radical Species around Tuyere	ISIJ International 日本鉄鋼協会	有	2022年7月 15日
25	佐藤 道貴	カーボンニュートラルに向けた3 鉄鋼業の取り組み～国プロを中心と して～	溶接学会誌 第91巻1号 (2022年1月 発行予定)	無	2022年2月 1日
26	中野薫	製鉄の脱炭素化に向けて 革新的プロ セス技術開発(COURSE50)の 概要	建築技術	無	2021年12 月17日
27	磯原豊司雄	脱炭素に向けた鉄鋼業界の現状と今 後の取り組み	「研究開発リ ーダー」誌	無	2022年1月 20日
28	青木宗太	鉄鋼業における環境への取り組み	日本機械学会 誌2022年2月 号	無	2022年2月 1日
29	小野山 修 平	「鉄鋼業におけるモノづくり」特集 によせて	日本機械学会 誌2022年2月 号	無	2022年2月 1日

30	大野光一郎	PHASE RATIO EFFECT OF HEMATITE/MAGNETITE IN SINTER IRON ORE ON REDUCTION BEHAVIOR IN HYDROGEN ENRICHED BLAST FURNACE CONDITION	International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials	有	2022年6月7日
31	上城親司	ゼロカーボン・スチール生産プロセスに向けた取り組み	溶接技術	無	2022年3月20日
32	大野光一郎	Effect of FeO concentration in sinter iron ore on reduction behavior in hydrogen enriched blast furnace condition	International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials	有	2022年6月15日
33	中野薫	Development of Low Carbon Blast Furnace Operation Technology by using Experimental Blast Furnace	ISIJ International 日本鉄鋼協会	有	2022年12月28日
34	上城親司	Development of Advanced Hydrogen Utilization Technology for Reduction of CO ₂ Emission from Blast Furnace - Development of Low Carbon Blast Furnace Operation Technology by using Experimental Blast Furnace part II -	ISIJ International 日本鉄鋼協会	有	2022年12月20日
35	磯原 豊司 雄	鉄鋼における CO ₂ 削減の取り組み	粉体技術 日本粉体工業技術協会誌	無	2022年7月1日
36	沼澤 結	Large-Scale Simulation of CO ₂ Gasification Reaction with Mass Transfer for Metallurgical Coke: Validation Study (仮)	Fuel	有	2022年6月30日
37	磯原 豊司 雄	鉄鋼のカーボンニュートラルへの挑戦	(一財)建築保全センター機関紙	無	2022年7月1日
38	野村 誠治	“COURSE50”-CO ₂ Ultimate Reduction System for cool Earth 50: CO ₂ ultimate reduction in	Treatise on Process Metallurgy,	無	2022年9月1日

		steelmaking process by innovative technology in Japan	2nd edition, Elsevier		
39	松崎 洋市	COURSE50 プロジェクトにおける量子化学計算を活用した CO ₂ 吸収液の開発	ふえらむ, 2022 年 10 号 日本鉄鋼協会	無	2022 年 10 月 1 日
40	渡壁 史朗	Carbon Neutrality and Circular Economy in the Steel Sector	2022 ASEAN Raw Materials and Scrap Focus Event-SEAISI	無	2022 年 5 月
41	余語 克則	CO ₂ 分離・回収技術の高度化への取り組み	「食品トレンド 2022-2023」(日本食糧新聞社)	無	2022 年 7 月 31 日
42	中野 薫	Development of Low Carbon Blast Furnace Operation Technology by using Experimental Blast Furnace	ISIJ-International (日本鉄鋼協会)	有	2022 年 12 月 1 日

② 学会発表・講演

番号	発表者	発表タイトル	発表機関	発表日付
1	山田秀尚	Liquid-liquid phase separation induced by carbon dioxide absorption in amine-water system	23rd International Congress of Chemical and Process Engineering	2018年8月26-29日
2	中尾真一	Advanced CO ₂ Capture Technologies in RITE Chemical Research Group	5TH POST COMBUSTION CAPTURE CONFERENCE (PCCC5)	2019年9月17日
3	柿内 一元	Experimental Blast Furnace Operation – Outline of Experimental Blast Furnace–	8th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking 2018 (ICSTI 2018)	2019年9月25日
4	中野 薫	Experimental Blast Furnace Operation for CO ₂ ultimate reduction	8th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking 2018 (ICSTI 2018)	2019年9月25日
5	原 全史 他	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	鉄鋼協会第176回秋季講演大会	2018年9月19日
6	山田秀尚	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	2018年5月10日
7	齋藤 公児	Recent Research & Development topics of Iron-making Technologies in JAPAN	25th McMaster University Blast Furnace Ironmaking COURESE	2018年5月18日
8	殿村 重彰	CO ₂ Ultimate Reduction in Steelmaking process(COURSE50 Project)	8th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking 2018 (ICSTI 2018)	2018年5月23日
9	成瀬一郎	GASIFICATION BEHAVIORS OF PULVERIZED COAL	The 14th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry	2018年5月25日

		CHAR WITH CO ₂ AND H ₂ O AT HIGH TEMPERATURE		
10	成瀬一郎	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	2018 年 9 月 19
11	熊谷 治夫	1H-NMR STUDY ON THE THERMOPLASTIC PHENOMENON OF COAL WITH HIGH PERFORMANCE COKING ADDITIVE	The world conference on carbon 2018	2018 年 7 月 1 日 ～6 日
12	藤本 健一郎	Steel's competitiveness from the environmental perspective	2018 SEAISI Conference & Exhibition	2018 年 6 月 27 日
13	殿村 重彰	CO ₂ Ultimate Reduction in Steelmaking process(COURSE50 Project)	Asian Steel Experts Dialogue (IEA)	2018 年 5 月 23 日
14	葛西栄輝	焼結プロセスにおける鉄系凝結材の反応挙動および焼結鉍中の SFCA の被還元性評価	日本学術振興会 第 54 委員会 本委員会	2018 年 6 月 28 日
15	殿村 重彰	CO ₂ Ultimate Reduction in Steelmaking process(COURSE50 Project)	CCT ワークショップ (JCOAL)	2018 年 6 月 21 日
16	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	2018 年 9 月 19 日
17	守本 和生	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	2018 年 6 月 28 日
18	盛家 晃太	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	2018 年 9 月 19 日

19	住谷 佑哉	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	2018 年 9 月 19 日
20	沼澤 結	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	2018 年 9 月 19 日
21	三木貴博	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 6 月 28 日
22	齋藤公児	Recent Research & Development topics Iron-making Technologies in JAPAN	CSE2018 The 16th Korea-Japan-China International Symposium on Carbon Saves the Earth (CSE2018)	2018 年 8 月 13 日
23	葛西栄輝	焼結鉱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	2018 年 9 月 20 日
24	中尾憲治	Hydrogen production technology development using coke oven gas (COG)	TOCAT8 (8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology)	2018 年 8 月 6 日
25	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	2018 年 9 月 19 日
26	F. A. Chowdhury	A guide to evaluate non-aqueous solvents and amine absorbent for post-combustion CO ₂ capture	GHGT-14 (14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies)	2018 年 10 月 21 日
27	後藤和也	Development of novel solvents for CO ₂ removal from blast furnace gas	GHGT-14 (14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies)	2018 年 10 月 21 日
28	菅原勝康	Effect of Sulfur in Carbonaceous Material on Reduction of Iron ore/Carbon Composite	GHGT-14 (14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies)	2018 年 9 月 16 日

29	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	2018年9月18日
30	熊谷治夫	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	2018年10月29日
31	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）	2019年6月25日
32	山田秀尚	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	2018年9月18日
33	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)	2018年9月25日
34	殿村 重彰	CO ₂ Ultimate Reduction System for Cool Earth 50 (COURSE50) Project	worldsteel ASSOCIATION	2018年10月17日
35	殿村 重彰	CO ₂ Ultimate Reduction System for Cool Earth 50 (COURSE50) Project	worldsteel ASSOCIATION	2018年10月18日
36	余語 克則	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	2018年9月26日

37	井上 昭彦	Efforts of Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation for Global Environmental Problems	The 7th Baosteel Biennial Academic Conference	2018年10月30日
38	工藤 真二	Production of high-strength coke from low-rank coal by hot-briquetting and carbonization	第28回日本MRS年次大会	2018年12月18日
39	永長久寛	Study on Redox properties of Ni-CeO ₂ Catalysts	The 20th Cross Straits Symposium on Energy and Environmental Science and Technology	2018年11月26日
40	中尾真一	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	2018年11月2日
41	松原 秀和	「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 日本鉄鋼連盟	2018年11月20日
42	甲斐照彦	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	2018年11月16日
43	中尾憲治	Development of hydrogen production technology from coke oven gas	The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019)	2019年6月3日
44	中野 薫	Experimental Blast Furnace Operation for CO ₂ Reduction	The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019)	2019年6月3日
45	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)	2019年6月3日
46	後藤 和也	高効率CO ₂ 分離・回収技術の開発状況について	大阪科学技術センター 燃料電池・FCH部会 第255回定例研究会	2018年11月26日

47	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)	2019年6月3日
48	鷺見郁宏	COURSE50-⑤ Development of CO ₂ Capture Technology	The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019)	2018年6月2日
49	宇治澤 優	COURSE50 project: Innovative Ironmaking Technology Development Utilizing Hydrogen	The 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019)	2019年6月2日
50	中尾真一	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)	2018年12月19日
51	菱池通隆	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第10回セミナー	2019年1月11日
52	村上太一	鉍物相組織からみた焼結鉍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	2019年3月30日
53	山田秀尚	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	2019年3月13日
54	宇佐美 明	Efforts of Japanese Iron & Steel Industry for Global Environmental Challenges	SEAIISI Travelling Seminar 2019	2019年3月12日

55	梅津 宏紀 (電中研)	Numerical Simulation of Raceway Zone in Small-scale Combustion Equipment for Blast Furnace	European Combustion Meeting 2019	2019年4月18日
56	山田秀尚	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	2019年3月20日
57	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 基調講演	2019年3月13日
58	鷺見郁宏	COURSE50-⑤ Development of CO ₂ Capture Technology (Extended abstract)	WHTC2019(World Hydrogen Technologies Convention 2019)	2019年6月2日
59	中尾 憲治	Development of hydrogen amplification technology from coke oven gas	WHTC2019(World Hydrogen Technologies Convention 2019)	2019年6月3日
60	五十嵐正之	化学吸収法による高効率CO ₂ 回収システム (ESCAP®)	日本化学会第99春季年会 2019	2019年3月18日
61	中野 薫	Development of CO ₂ Reduction Technology From Blast Furnace	WHTC2019(World Hydrogen Technologies Convention 2019)	2019年6月2日
62	宇治澤 優	COURSE50 project: Innovative Ironmaking Technology Development Utilizing Hydrogen	WHTC2019(World Hydrogen Technologies Convention 2019)	2019年6月2日
63	F. A. Chowdhury	Development of amine-based non-aqueous	PCCC5 (5th Post Combustion	2019年9月17日

		absorbent for post-combustion CO ₂ capture	Capture Conference、主催：IEAGHG)	
64	本庄孝志	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)	2019 年 4 月 23 日
65	沼澤 結	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)	2019 年 11 月 24 日
66	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	2019 年 6 月 13 日
67	木原栄治	金属産業の課題と現状	九州大学 材料工学部門講演会	2019 年 5 月 17 日
68	野村部長	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)	2019 年 6 月 6 日
69	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	第 32 回環境工学連合講演会 日本学術会議 土木工学・建築学委員会	2019 年 5 月 21 日
70	村井亮太	COURSE50：CO ₂ 分離回収技術	日本学術振興会第 54 (製鉄) 委員会	2019 年 6 月 13 日
71	中尾憲治	コークス炉ガス改質技術の開発	日本学術振興会第 54 (製鉄) 委員会	2019 年 6 月 13 日
72	盛家 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	日本学術振興会第 54 (製鉄) 委員会	2019 年 6 月 13 日
73	後藤和也	Development of CO ₂ Capture Technology by Chemical Absorption	10th Clean Energy Ministerial (CEM 10)	2019 年 5 月 28 日
74	森賢治	鉄鋼協会 生産技術部門 設備技術部会 100 回記念大会での技術検討会「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	2019 年 6 月 6 日
75	石渡夏生	Course50 試験高炉における新規塊成鉱装入実験	日本学術振興会第 54 (製鉄) 委員会	2019 年 6 月 13 日
76	清末 考範	設備技術の将来に向けた提言	第 100 回設備技術部会大会	2019 年 6 月 21 日

		製鉄分野 「製鉄設備技術の将来に向けた提言」	日本鉄鋼協会 生産技術部門	
77	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	2019 年 6 月 13 日
78	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	2019 年 6 月 5 日
79	田中 良佑	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講演会	2019 年 7 月 24 日
80	三木 祐司	マテリアル製造工学特論	北海道大学 講義	2019 年 7 月 26 日
81	村上太一	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	2019 年 9 月 10 日
82	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)	西山記念講座 日本鉄鋼協会	2019 年 11 月 6 日
83	山田秀尚	Molecular Mechanism of Liquid-Liquid Phase Separation in the Amine-CO ₂ -H ₂ O System	5TH POST COMBUSTION CAPTURE CONFERENCE	2019 年 9 月 17 日
84	磯原 豊司 雄	Steel, a sustainable material	Asia Steel Forum 2019	2019 年 9 月 19 日
85	村上太一	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	2019 年 11 月 13 日
86	植木保昭	Effect of combustible gas injection on reaction behavior of pulverized coal	38th International Symposium on Combustion	2020 年 7 月 12 日
87	余語克則	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(RITE 主催)	2019 年 9 月 26 日
88	木原 栄治	パリ協定に基づく日本の長期成長戦略	第 11 回日中鉄鋼業環境保全・省エネ先進技術専門家交流会	2019 年 10 月 29 日
89	熊谷 治夫	Improvements of thermoplastic properties of coal with additives by	International Conference on Coal	2019 年 11 月 24 日

		means of low temperature treatment.	Science & Technology (ICCS&T2019)	
90	紫垣 伸行	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	2019年11月6日
91	山本裕基	グリーン・スチール・セミナー「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) 日本鉄鋼連盟	11/18,12/17
92	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 (Carbon Capture and Reuse)研究会	2019年11月6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 日本鉄鋼協会&CSM	2019年10月31日
94	盛家 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	還元研究会	2019年1月23日
95	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	2019年11月25日
96	中尾真一	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)	2019年12月16日
97	宇治澤 優	COURSE50 project for Innovative Ironmaking Technology Development Using Hydrogen	SCRAP SUPPLEMENTS & ALTERNATIVE IRONMAKING 8 AIST	2020年3月4日
98	杉田啓介	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 石油学会	2020年1月24日
99	杉田啓介	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)	2020年1月22日
100	山田秀尚	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 化学工学会	2020年1月31日
101	横山 浩一	高炉への水素ガス吹込み時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	2020年1月24日

102	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	2020年4月15日
103	後藤和也	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、資エ庁協力	2020年3月2日
104	熊谷治夫	Improvements of thermoplastic properties of coal by means of low temperature treatment.	The World Conference on Carbon 2020	2020年6～7月頃
105	盛家晃太	自発光分光測定による微粉炭燃焼率推定手法の開発 (Prediction of Pulverized Coal Combustibility by Chemi-luminescence Spectrometry)	日本鉄鋼協会第180回講演大会	2020年9月16日
106	小野祐耶	高炉条件下におけるガス化反応がコークス強度に及ぼす影響	第29回日本エネルギー学会大会	2020年8月5日
107	甲斐照彦	CCUSのためのCO ₂ 分離回収技術の技術開発動向	～Direct Air Capture (DAC)を含めた～CO ₂ 分離回収の技術開発と適用動向 (株)技術情報センター主催	2020年8月18日
108	後藤和也	RITEにおけるCO ₂ 分離回収技術の研究開発 ～ これまでの成果と今後の取組み	第35回勉強会 グローバルCCSインスティテュート日本事務所主催	2020年8月26日
109	余語克則	CO ₂ 分離回収技術の開発状況とDACへ向けての課題と将来展望	「カーボンニュートラル研究会」合同フォーラム 産業競争力懇談会	2020年9月10日
110	余語克則	CCUS/カーボンリサイクル推進に向けたCO ₂ 分離回収技術開発の展開	「未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西 ～ビヨンド・ゼロの実現に向けて～」合同フォーラム (主催：RITE)	2020年9月24日

111	野村誠治	Low carbon emission steel making technology utilizing hydrogen: COURSE50	水素閣僚会議 WEB イベント 経済産業省、NEDO	2020年10月14日
112	上城親司	Development of advanced H ₂ utilization technology for reduction of CO ₂ emission from blast furnace using 12 m ³ experimental blast furnace.	SCANMET VI	2021年5月30日
113	谷本 進治	総合力世界 NO.1 の鉄鋼メーカーを目指して	「経営トップによる大学特別講義」(大阪大学)	2020年11月2日
114	小野山 修平	総合力世界 NO.1 の鉄鋼メーカーを目指して	「経営トップによる大学特別講義」(東京大学)	2020年12月2日
115	山田秀尚	先進的な CO ₂ 分離回収技術の研究開発	ゼロエミッション活動紹介セミナー 東京湾岸ゼロエミッションイノベーション協議会	2020年11月12日
116	山田秀尚	CCUS (CO ₂ 回収・利用・貯留) 技術開発動向	UMI 拡大版ディールフローミーティング (主催: Universal Materials Incubator)	2020年11月13日
117	村上英樹	日本鉄鋼業の脱炭素化	水素社会推進議員連盟総会	2020年11月5日
118	Firoz Alam Chowdhury	Guide to evaluate low viscous non-aqueous solvent for post-combustion CO ₂ capture	GHGT-15 (15th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies)	2021年3月17日
119	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	東京工業大学 講義	2020年12月23日
120	西岡浩樹	ものづくりを支える研究開発 ー日本の鉄鋼業からー	高度イノベーション人材のためのキャリアマネジメント(広島大学グローバルキャリアデザインセンター)	2020年12月9日
121	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 環境講演会	2020年12月16日

122	前田洋平	低炭素社会実行計画 2020 年度フォローアップ調査表	経済産業省産業構造審議 会鉄鋼WGの配布資料と してHPにて公表	2020年2月8 日
123	野村誠治	Steel making technology using hydrogen: COURSE50 - A challenge towards Zero- carbon STEEL -	第11回日独エネルギー・環境フォーラム 主催：ドイツ連邦環境省 (BMU)、ドイツ連邦経済 エネルギー省(BMWi)、 NEDO	2021年2月18 日
124	村上英樹	鉄鋼製造における水素利用 と課題	物質・材料研究機構エネ ルギー・環境材料研究拠 点シンポジウム 物質・材料研究機構	2021年3月1 日
125	萩生 大介	商用カーボンリサイクルに 繋がるCO ₂ 回収技術事例	一般財団法人石炭エネ ルギーセンター 第2回 WEBセミナー	2021年1月20 日
126	渡壁 史朗	JISF Long-term vision for climate change mitigation ~ A challenge towards “zero-carbon steel”	2020 SE AISI-conference 資料 (HP 公開)	2020年9月23 日
127	永井竜一	鉄鋼の低CO ₂ 化	浩志会 (勉強会)	2021年1月26 日
128	磯原 豊司 雄	鉄鋼業におけるGHG排出 削減	「第65回特別基金講演 会 GHG排出削減に向け た他業種,他分野における 取り組み」 主催：日本マリンエンジ ニアリング学会	2021年3月9 日
129	村上英樹	日本鉄鋼業のカーボン・ニ ュートラルへの挑戦 ~日本鉄鋼業における地球 環境問題への取り組み及び 国家プロジェクト COURSE50の最新動向と今 後~	JPI 特別セミナー 主催：(株)日本計画研 究所	2021年3月12 日
130	野村 誠治	Low carbon steel making technology using hydrogen - COURSE50 -	India Japan workshop on hydrogen and fuel cell 2021 主催：日本エネルギー経 済研究所	2021年3月8 日

131	野村 誠治	水素還元製鉄への取組	自民党成長戦略本部ヒアリング	2021年3月29日
132	松崎洋市	量子化学計算の産業応用に関する事例紹介と産学連携への提言	理論化学討論会 主催：理論化学会	2021年5月14日
133	Firoz Alam Chowdhury	Low-temperature regeneration mixed amine absorbents for efficient CO ₂ capture	6th Post Combustion Capture Conference (PCCC6) IEA-GHG	2021年10月19日
134	小野山修平	Challenge to Zero-Carbon Steel	第11回中国国際鉄鋼会議	2021年5月26日
135	磯原 豊司 雄	脱炭素に向けた鉄鋼業界の現状と今後の取り組み	日本化学会・産学交流委員会・R&D懇話会	2021年5月18日
136	甲斐照彦	CCUS/カーボンリサイクルのためのCO ₂ 分離回収技術の開発動向	山口地区化学工学懇話会 第77回講演会	2021年6月15日
137	甲斐照彦	CCUS/カーボンリサイクルのためのCO ₂ 分離回収技術の開発動向	大阪大学社会人教育用プログラム 令和3年度全コース共通講義第二回 「社会課題解決のためのテクノロジー」	2021年7月20日
138	紫垣 伸行	第55回化学工学の進歩シリーズ「脱炭素への工学」 2.3 大規模 PSA システムを目指した高炉ガスからのCO ₂ 分離回収技術開発	第55回化学工学の進歩シリーズ講習会書籍 化学工学会	2021年12月15日
139	下重 智	ゼロカーボンスチール実現に向けた日本製鉄のチャレンジ	日本製鉄 サステナビリティレポート 2021	2021年8月31日
140	小林 一暁	Heat recovery from low-temperature off-gas for use in CO ₂ separation processes	CUUTE-1(The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment)	2021年12月14日
141	中野 薫	Development of CO ₂ Reduction Technology from Blast Furnace	CUUTE-1(The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment)	2021年12月14日

142	酒井 博	Development of Mathematical Blast Furnace Model for CO ₂ Reduction Technology	CUUTE-1(The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment)	2021年12月14日
143	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) の開発状況	日本鉄鋼協会第182回講演大会シンポジウム	2021年9月3日
144	余語克則	国内外におけるCO ₂ 分離・回収技術開発について	環境省委託「令和3年度海洋環境保全上適正な海底下CCS実施確保のための総合検討事業」第2回海底下CCS事業におけるモニタリング技術の適用方法のあり方に係る検討会	2021年9月14日
145	野村誠治	Our Challenge for Carbon Neutral by 2050 and Recent Progress of COURSE50 Project	Hydrogen Iron & Steel Making Forum 2021 主催：POSCO	2021年10月6日
146	松崎洋市	Development of CO ₂ Chemical Adsorption Technology	CUUTE-1(The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment)	2021年12月14日
147	宇治澤 優	Low carbon emission steel making technology using hydrogen: COURSE50 project	CUUTE-1(The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment)	2021年12月14日
148	前田洋平	京都大学経営管理大学院エネルギービジネス展開論講義PRイベントにおけるプレゼン	京都大学経営管理大学院エネルギービジネス展開論講義PRイベント	2021年9月27日
149	石渡 夏生	革新的プロセス技術開発 (COURSE50) を中心とした鉄鋼分野のCO ₂ 削減の取り組み	第17回ガラス技術シンポジウム	2021年11月8日

150	小野山 修平	ゼロカーボン・スチール実現に向けた日本製鉄の挑戦	The 13th CSM Steel Congress 主催：中国金属学会	2021年10月25日
151	余語克則	カーボンニュートラル実現に向けたCO ₂ 分離回収技術開発への取り組み	「未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西」 (RITE 主催)	2021年9月30日
152	齋藤龍司	鉄鋼のカーボンニュートラルへの取り組み	IISIA seminar 主催：IISIA	2021年10月21日
153	小野山 修平	鉄の可能性追求とカーボンニュートラルへの挑戦	「経営幹部による大学特別講義」東工大 主催：日本鉄鋼協会	2021年12月7日
154	佐藤 直樹	鉄の可能性追求とカーボンニュートラルへの挑戦	「経営幹部による大学特別講義」北大 主催：日本鉄鋼協会	2021年11月8日
155	余語克則	カーボンニュートラル実現に向けたCO ₂ 分離回収技術開発の動向	2021年 AICE(自動車用内燃機関技術研究組合)共同研究企業フォーラム	2021年10月20日
156	手塚宏之	Initiatives and Challenges for the Japanese Steel Industry to achieve carbon neutrality in 2050	2021 SEAISI	2021年11月16日
157	松崎洋市	量子化学計算の産業応用	2021年 理研シンポジウム 理化学研究所	2021年11月26日
158	余語克則	CO ₂ 分離・回収技術開発の新展開	第62回ガラスおよびフォトニクス材料討論会	2021年11月8日
159	余語克則	カーボンニュートラル実現に向けたCO ₂ 分離回収技術開発の動向(仮)	JACI(新化学技術推進協会)高選択性反応分科会講演会	2021年12月17日
160	余語克則	国内外におけるCO ₂ 分離・回収技術開発の動向	内閣府 総合海洋政策本部参与会議科学技術イノベーションスタディグループにおける話題提供	2021年12月21日
161	余語克則	カーボンニュートラルに向けたCO ₂ 分離回収技術開発の動向	低温排熱利用機器調査研究会 ヒートポンプ・蓄熱センター	2021年12月23日
162	余語克則	カーボンニュートラル実現に向けたCO ₂ 分離回収技術開発の新展開	第355回クリーンテクノロジー研究会 日本空気清浄協会	2022年2月3日

163	中尾真一	カーボンニュートラルを支える CO ₂ 分離回収技術	革新的環境技術シンポジウム 2021 (RITE 主催)	2021 年 12 月 1 日
164	紫垣 伸行	大規模 PSA システムを目指した高炉ガスからの CO ₂ 分離回収技術開発	第 55 回化学工学の進歩講習会 化学工学会東海支部	2021 年 12 月 15 日
165	甲斐照彦	CCUS のための CO ₂ 分離回収技術の開発動向	セミナー「中国四国地区の化学産業における低炭素化の取り組み」 化学工学会	2021 年 11 月 26 日
166	後藤和也	Carbon Dioxide Capture, A Key Technology for Achieving Carbon-Neutral Society	第 10 回日中化工シンポジウム 化学工学会	2021 年 11 月 29 日
167	磯原豊司雄	技術と社会のイノベーションで 2050 年カーボンニュートラルの実現を目指す	Latin America-Japan Workshop on Hydrogen Supply Chains (新エネルギー人材育成事業・中南米研修「水素サプライチェーン」) 主催：日本エネルギー経済研究所	2021 年 12 月 10 日
168	手塚宏之 磯原豊司雄	Initiatives and Challenges for the Japanese Steel Industry to achieve carbon neutrality in 2050	2021 SEAISI	2021/12 以降
169	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)の開発状況	日本鉄鋼協会・日本金属学会関西支部鉄鋼プロセス研究会・材料化学研究会 令和 3 年度合同講演会	2021 年 12 月 10 日
170	宇治澤 優	Low carbon emission steel making technology using hydrogen: COURSE50 project	研究会・材料化学研究会 令和 3 年度合同講演会	2021 年 12 月 15 日
171	上城親司	Development of advanced H ₂ utilization technology for reduction of CO ₂ emission from blast furnace using 12 m ³	ICST2020	2022 年 3 月 7 日

		experimental blast furnace.		
172	大野光一郎	水素富化条件での還元挙動に及ぼす焼結鉄鉱石中のFeO濃度の影響	日本鉄鋼協会第183回講演大会	2022年3月15日
173	Firoz Alam Chowdhury	Development of single/mixed-amine containing non-aqueous solvent: A significant improvements in CO ₂ solubility and viscosity	GHGT-16 (16th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies)	2022年10月23日
174	手塚宏之	鉄鋼業のカーボンニュートラルへの取り組み	エレクトロヒート	2021年11月1日
175	村上英樹	日本鉄鋼業のカーボンニュートラルへの取組	湯川記念講演会 日本金属学会・日本鉄鋼協会九州支部	2022年3月25日
176	手塚宏之	Steel Industry's Vision and Challenge towards Carbon Neutrality	Japan and Australia's National Hydrogen Strategies - A Conversation 東京大学公共政策大学院未来ビジョン研究センター、オーストラリア国立大学共催	2022年3月1日
177	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)	2022年度春季 日本鉄鋼協会・日本金属学会九州支部講演会	2022年3月25日
178	渡壁史朗	日本钢铁行业努力实现碳中和目标 (邦題：日本鉄鋼業のカーボンニュートラル目標達成への取組み)	2021年度 日中省エネ協力オンラインワークショップ (第2回) 省エネルギーセンター	2022年3月10日
179	渡壁史朗	「Carbon Neutrality and Circular Economy in the Steel Sector」	AJSI Webinar 主催：日本鉄鋼連盟	2022年2月24日

180	堂野前等	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)の開発状況	NEDO プロジェクト 「CCUS 研究開発・実証関連事業/苫小牧における CCUS 大規模実証試験/CO ₂ 輸送に関する実証試験/CO ₂ 船舶輸送に関する技術開発および実証試験」の第 2 回課題検討会	2022 年 3 月 10 日
181	渡壁史朗	Effort to Address Carbon Neutrality by the Japanese Steel Industry	Eco-process Webinar Towards Energy-Efficient and Environmentally Sustainable Transition in Steel Industry JICA	2022 年 3 月 2 日
182	小野透	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』	経済産業省 CCS 長期ロードマップ検討会	2022 年 2 月 24 日
183	小野透	Steel Industry's Vision and Challenge towards Carbon Neutral by 2050	鉄鋼セクターの脱炭素ソリューション～日本・ブラジル企業のビジネス機会～ブラジル大使館	2022 年 2 月 22 日
184	尾藤 貴	日本製鉄におけるカーボンニュートラルに関する取り組み	マテリアル反応工学分科会講演 日本実験力学学会	2022 年 3 月 8 日
185	後藤和也	カーボンニュートラルを支える CO ₂ 分離回収技術	第 14 回けいはんな学研都市先端シーズフォーラム	2022 年 3 月 24 日
186	手塚宏之	鉄鋼業のカーボンニュートラルへの取り組み	日本学術会議シンポジウム「2050 年カーボンニュートラル実現に向けたエネルギーシナリオ」	2022 年 4 月 1 日
187	磯原 豊司 雄	鉄鋼業のカーボンニュートラルへの取り組み	プレハブ建築協会環境分科会第 1 回関連業界勉強会	2022 年 3 月 23 日
188	堂野前 等	鉄鋼業および日本製鉄のカーボンニュートラルへの取り組み	東京湾岸ゼロエミッションイノベーション協議会	2022 年 3 月 24 日

189	堂野前 等	日本製鉄におけるカーボンニュートラルへの取組み	第12回日中鉄鋼業環境保全・省エネ先進技術専門家交流会	2022年4月21日
190	磯原 豊司 雄	The Challenge of Carbon Neutrality in Steel	SEAISI	2022年3月28日
191	手塚 宏之	Steel Industry's Vision and Challenge towards Carbon Neutrality	IPCC シンポジウム 「IPCC 第6次評価報告書から気候変動緩和策の最新知見を学ぶ」	2022年5月19日
192	野村 誠治	鉄鋼業を取り巻く経営環境と当社の研究開発	東京大学工学部主催 2022年度環境講演会	2022年6月8日
193	手塚 宏之	Decarbonization Technology for Steel industries “Initiatives and Challenges for the Japanese Steel Industry to achieve carbon neutrality in 2050”	Webinar “Decarbonization pathway to achieve Net zero emission target”	2022年5月25日
194	甲斐 照彦	カーボンニュートラルに貢献する CO ₂ 分離回収技術の研究開発	応用物理学会関西支部 2022年度第1回講演会 「カーボンニュートラルを目指した技術開発と今後の展望」	2022年5月16日
195	永井 徹	Effort to Address Carbon Neutrality by the Japanese Steel Industry	JICA 国別研修「定量的アプローチに基づく低炭素政策形成研修」	2022年5月25日
196	齋藤 龍司	日本鉄鋼業の温暖化対策	東部十八リットル缶工業組合分科会	2022年5月30日
197	上城 親司	Development of advanced H ₂ utilization technology for reduction of CO ₂ emission from blast furnace using 12 m ³ experimental blast furnace.	ICSIT 2022 (世界製鉄会議)	2022年9月1日
198	後藤 和也	カーボンニュートラル実現に向けた CO ₂ 分離回収技術の研究開発	大阪府、大阪商工会議所主催：産学連携セミナー	2022年6月20日
199	余語 克則	二酸化炭素分離回収技術への多孔質材料の応用	日本化学学会 R&D 懇話会	2022年6月22日

200	平川 智久	日本の鉄鋼業における低炭素化の取組み	(一社) 日本建築構造技術者協会 建築構造士定期講習会	2022年7月30日
201	余語 克則	カーボンニュートラル実現に向けたCO ₂ 分離回収技術開発への取組み	SMBC 日興証券主催オンラインセミナー	2022年7月11日
202	萩生 大介	工場排ガス中CO ₂ の低エネルギー分離回収システムの開発	市村賞受賞記念フォーラム2022	2022年8月19日
203	余語 克則	カーボンニュートラル達成に向けた新たなCO ₂ 分離回収技術開発への取組み	「未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西」(RITE 主催)HP 予告	2022年8月31日
204	後藤 和也	CO ₂ 化学吸収液-CO ₂ 分離・回収技術の普及を目指して-	「未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西」(RITE 主催)	2022年9月22日

③ その他

番号	発表者	発表タイトル	発表機関	発表日付
1	殿村 重彰	新日鐵住金株式会社・環境報告書(2018)	新日鐵住金株式会社・環境報告書(2018)	2018年6月30日
2	磯原豊司雄	鉄はエコマテリアル	新日鐵住金株式会社 アニュアルレポート	2018年6月28日
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	2018年6月28日
4	成瀬一郎	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 未来材料・システム研究所	2018年8月27日
5		第2回タラノア対話サブミッション	UNFCCC Talanoa Dialogue Platform https://talanoadialogue.com/	2018年10月29日以降
6	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 日本鉄鋼連盟	2018年10月29日 2018年11月9日
7		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 日本鉄鋼連盟	2018/12/1
8	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	科学技術特論、東工大	2018年12月26日
9	磯原豊司雄	COURSE50 Project	World Future Energy Summit and Exhibition, Abu Dhabi National Exhibition Centre	2019年1月14日
10	中尾真一	研究活動概説 化学研究グループ CO ₂ 分離・回収技術の高度化・実用	RITE 年次報告書 「RITE Today」 2018年 Vol.13	2019年3月末

		化への取り組み		
11	足立 毅郎	Development of cokemaking technology for hydrogen reduction iron making process	voestalpine/Linz 工場見学での情報交換 レオーベン鉱山業大学	2019年2月8日
12	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 経済産業省	2019年2月14日
13	中尾真一	研究活動概説 CO ₂ 分離・回収技術の高度化・実用化への取り組み	RITE年次報告書 「RITE Today」2019年 Vol.14	2019年5月
14	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	2019年3月15日
15	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 NEDO,鉄連	2019年3月13日
16	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	2019年8月19日
17	高椋 則彰	鞍鋼エンジ交流会	鞍鋼エンジ交流会	2019年6月27日
18	工藤 真二	低品位石炭由来成型コークスの強度発現機構	第59回炭素材料夏季セミナー、九州大学	2019年9月12日
19	伊藤 渉	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	東北大学教育プログラム、産学連携フォーラム	2019年10月4日
20	伊藤 渉	日本製鉄株式会社サステナビリティレポート2019	日本製鉄 サステナビリティレポート2019	2019年10月1日

		革新的技術開発		
21	-	統合報告書	神戸製鋼所ホームページ	2019年8月30日
22	内山 俊一	技術革新推進について	鉄連・内山専務理事と CISA（中国鋼鉄工業協会）の何文波常務副会長と面会時 日本鉄鋼連盟	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, 2nd edition Elsevier 社	2020年6月1日
24	前田洋平	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 HP	2019年12月中
25	松原秀和	「Initiatives to Treat Environmental Issues and Mitigate Global Warming by the Japanese Steel Industry」	「Steel Construction Today and Tomorrow」 No.58 日本鉄鋼連盟	2019年11月25日
26	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	2019年11月18日
27	松崎洋市	量子化学計算の産業応用	大阪大学 化学工学特別講義	2019年11月29日
28	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	吸着便覧「改訂最新吸着技術便覧ープロセス・材料・設計ー」	2020年4月17日
29	小野透	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	2019年11月28日

30	日本製鉄株式会社	「ゼロカーボン・スチールへの挑戦」	エコプロ展	2019年12月5日
31	野村誠治	水素還元等プロセス技術の開発 (COURSE50)	Nippon Steel Technical Report	2020年3月31日
32	泉山雅明他2名	COURSE50プロジェクトについて	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。経済産業省HP掲載。 日本鉄鋼連盟	2020年2月6日
33	伊吹隆直	COURSE50プロジェクトについて	経団連「チャレンジゼロ」	2020年5～7月頃
34	佐藤道貴	製鉄プロセスの新たな取り組み	「粉体技術」 日本粉体工業技術協会	2020年10月号
35	磯原 豊司雄	東北大学 2020年度 応用環境工学 9 鉄鋼における低炭素化技術	2020年度 応用環境工学 (大学講義) 東北大学	2020年7月2日
36	手塚宏之	ゼロカーボン・スチールへの挑戦	SPEED (Special Project on Eco innovation and Eco business for Sustainable Development) 研究会	2020年7月9日
37	手塚宏之	Activities of Japanese Steel Industry to Combat Global Warming	worldsteel steel talk レクチャー	2020年7月15日
38	鈴木聖人	週刊東洋経済 エネルギー・脱炭素に関する特集記事	週刊東洋経済への試験高炉写真掲載	2020年7月27日
39	安室 元晴	COURSE50事業に参画していることを統合報告書に記載	神戸製鋼所統合報告書	2020年9月15日
40	橋本会長、北野副会長、山口副会長	COURSE50について	経済産業省と鉄鋼業界打ち合わせ	2020年9月17日
41	風間 伸吾	「COURSE50」プロジェクト	日本製鉄 2020年サステナビリティレポート	2020年10月6日

42	風間 伸吾	「COURSE50」プロジェクト	日本製鉄統合報告書	2020年10月6日
43	安室 元晴	COURSE50 事業に参画していることを統合報告書に記載	神戸製鋼所統合報告書（英文）	2020年10月19日
44	磯原豊司雄	鉄鋼業における水素利用	(株) アグネ技術センター	2021年1月25日
45	野村誠治	COURSE50 の試験設備と成果の概要	取材対応 日刊工業新聞社	2020年10月29日
46	宇治澤優	NHK 番組への情報（写真）提供	NHK への写真提供	2020年11月6日
47	前田洋平	低炭素社会実行計画 2020 年度フォローアップ結果 総括編<2019 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 日本鉄鋼連盟	2021年1月1日
48	下重聡	3つのエコと革新的技術開発	エコプロ展	2020年11月25日
49	山崎 享幸	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	東京湾岸ゼロエミッションイノベーション協議会	2020年12月25日
50	内山俊一	公明党地球温暖化対策推進本部へのヒアリング対応	公明党ヒアリング対応	2020年12月2日
51	松崎洋市	COURSE50 における化学吸収法の技術開発	JX 石油開発との情報交換	2020年10月15日
52	有田進之介	新春会長対談	日本製鉄広報	2021年1月 2021年3月
53	上城親司	12m3 試験高炉を用いた高炉からの排出 CO ₂ 量削減技術の開発	日本製鉄技報第 417 号	2021年3月1日
54	上城親司	Development of technology for reduction of CO ₂ emission from	NIPPON STEEL TECHNICAL REPORT No. 127	2021年3月31日

		blast furnace using 12 m ³ experimental blast furnace.		
55	松崎洋市	Development of CO ₂ Chemical Absorbents Aided by Quantum Chemical Calculations in the COURSE50 Project	NIPPON STEEL TECHNICAL REPORT No. 127	2021年3月31日
56	松崎洋市	COURSE50における量子化学計算を活用したCO ₂ 吸収液の開発	日本製鉄技報（環境特集）	2021年4月1日
57	紫垣 伸行	スケールアップ試験に思うこと ～期待とその役割～（ふえらむ「躍動」投稿記事）	ふえらむ 2021年6号 日本鉄鋼協会	2021年6月1日
58	宇佐美明	低炭素化に向けた当社取組みと課題	名古屋港カーボンニュートラルレポート検討会	2021年2月24日
59	堂野前等	Overview and Efforts to Combat Global Warming of the Steel Industry in Japan	日印鉄鋼官民協力会合	2021年2月25日
60	青木宗太	Activities of Japanese Steel Industry to Combat Global Warming Report of “JISF” s Commitment to a Low Carbon Society	日本鉄鋼連盟への英訳掲載	2021年3月1日以降
61	野村 誠治	日本製鉄グループカーボンニュートラルビジョン	日本製鉄グループ、カーボンニュートラル 2050 での紹介	2021年3月30日

		2050		
62	宇治澤 優	日経ものづくり 6 月号 (2021/6/1 発 行) 「カーボンニュー トラル特集 (仮)」	日経ものづくり 6月号	2021年6月1 日
63	磯原 豊司雄	鉄鋼における低炭 素化技術	東北大学大学院 応用環境工 学 講義	2021年6月3 日
64	野村誠治	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	2021年7月7 日
65	上城親司	製鉄プロセスにお ける省 CO ₂ の取り 組み	秋田化学技術協会 化学技術 懇談会	2021年7月16 日
66	磯原 豊司雄	特集 脱炭素時代 の鉄鋼業と商社の あり方を考えるゼ ロカーボン・スチ ールへの挑戦に向 けて	メタルワン広報誌 Value One	2021年7月
67	小野義弘	廃棄物処理と CO ₂ 回収	東京湾岸ゼロエミッションイ ノベーション協議会	2021年6月25 日
68	下重 智	ゼロカーボンスチ ール実現に向けた 日本製鉄のチャレ ンジ	日本製鉄サステナビリティレ ポート 2021	2021年8月31 日
69	渡部拓海	「日本鉄鋼業のカ ーボンニュートラ ルへの道」	道路建設業協会機関紙、「道 路建設」	2021年9月1 日
70	青木 宗太	低炭素社会実行計 画フォローアップ 報告 (調査票及びプレ ゼン資料)	経団連、HP	2021年12月14 日
71	手塚宏之	鉄鋼のカーボンニ ュートラルへの取 り組み	第14回「JEITA 機器・部品 メーカー合同懇談会」	2021年10月13 日
72	古口 里彩	ゼロカーボン・ス チールへの挑戦	季刊ニッポンスチール Vol.10 9月号	2021年10月29 日

73	山鹿加奈子	ゼロカーボン・スチール実現に向けた日本製鉄のチャレンジ	日本製鉄、第97期中間報告書	2021年11月30日
74	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	2021年11月17日
75	宇治澤 優	日本製鉄におけるカーボンニュートラルに関する取り組み	第67回技泉会朝食会 懇談講演テーマ	2021年10月29日
76	松崎洋市	工場排ガス中CO ₂ の低エネルギー分離回収システムの開発	市村地球環境産業賞応募	2021年11月20日
77	高尾正義	水素還元製鉄技術について	福岡水素エネルギー戦略会議	2021年11月9日
78	萩生 大介	CO ₂ 化学吸収法による廃棄物処理施設の脱炭素化への取り組み	令和3年度「人材育成セミナー水素入門コース」 主催：福岡水素エネルギー戦略会議	2022年1月1日
79	齋藤龍司	「日本の鉄づくり」	燃料電池・クリスマス・夢・子供博 主催：福井クラシックカー協会	2021年11月25日
80	宇治澤 優	技術と社会のインバージョンで 2050年カーボンニュートラルの実現を目指す	日本製鉄、社内報12月号	2021年12月7日
81	磯原 豊司雄	「鉄鋼業における脱炭素の取組み動向」	日本鉄鋼連盟 第15回環境交流会	2021年12月1日
82	諸住健志	「2030年までの電子部品技術ロードマップ（仮題）」	2030年までの電子部品技術ロードマップ	2022年3月31日
83	古口 里彩	ゼロカーボン・スチールへの挑戦	季刊ニッポンスチール Vol.10	2021年12月21日

84	尾藤 貴	日本製鉄における カーボンニュート ラルに関する取り 組み	第 90 回マテリアルズ・テラ ーリング研究会 京都大学野平研究室	2021年12月18 日
85	手塚宏之	「鉄鋼のカーボン ニュートラルへの 取組み」	エレクトロヒート No242	2022年3月15 日
86	古口 里彩	カーボンニュート ラル時代における エコプロダクツ	季刊ニッポンスチール Vol.11	2022年1月20 日
87	宇治澤 優	COURSE50 試験 高炉の取材記事掲 載用写真	日経、試験高炉写真提供	2022年1月下 旬
88	泉山 雅明	鉄鋼業界のカーボ ンニュートラル行 動計画	経済産業省 産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環 境小委員会 鉄鋼ワーキング グループ（同資料を経団連に も提出）	2022年3月4 日
89	萩生 大介	製鉄所からの CO ₂ 分離回収技術開発	「二酸化炭素回収・貯留 （CCS）技術の最新動向」 （株）シーエムシー出版	2022年4月1 日
90	茂木 康弘	PSA 法による高炉 ガスからの炭酸ガ ス分離技術の開発	「二酸化炭素回収・貯留 （CCS）技術の最新動向」 （株）シーエムシー出版	2022年4月1 日
91	大浜典子	水素を利用する実 験高炉	日本文教出版 令和 6 年度版「小学社会 5 年」教科書	2022年4月1 日
92	富田 聡	Steel Industry' s Vision and Challenge towards Carbon Neutral by 2050	東京都水素ビジョン	2022年3月31 日
93	泉山 雅明	Activities of Japanese Steel Industry to Combat Global Warming Report of “JISF's Carbon Neutrality Action Plan (Commitment to	日本鉄鋼連盟ホームページ	2022年4月28 日

		a Low Carbon Society)”		
94	日本製鉄	事業分野別の概況 製鉄事業	株主の皆様へ、第97期中間 報告書	2022年5月23 日
95	青木 宗太	2050年カーボン ニュートラルに向 けた鉄鋼業界の挑 戦	月刊経団連（2022年8月 号）	2022年8月1 日
96	松崎 洋市	工場排ガス中CO ₂ の低エネルギー分 離回収システムの 開発	市村賞受賞者への訪問ルポ取 材（市村財団の年報記事）	2022年7月29 日
97	今井 いずみ	「2021年におけ る重要なエネルギ ー関係事項」 （Annual Energy Reviews-2021） I 3 エネルギ ー需要に関する業 界の動向 3.2 最終消費エネルギ ー（3.2.2）鉄	日本エネルギー学会機関誌 「2021年における重要なエ ネルギー関係事項」	2022年8月19 日
98	下重 智	気候変動対策の推 進／超革新技術開 発へのチャレンジ	サステナビリティレポート 2022（日本製鉄）	2022年8月31 日
99	（一社）日本鉄鋼 協会	カーボンニュート ラル社会を実現す るCCUS	ふえらむ、2022年10号 日本鉄鋼協会	2022年10月1 日

10.2 新聞・雑誌への掲載

番号	発表者	発表タイトル	発表機関	発表日付
1	東井隆行	解説：CCSと二酸化炭素分離・回収技術	ペトロテック Vol.41 No.7 公益社団法人石油学会	2018年7月
2	東井隆行	CCSと二酸化炭素分離・回収技術開発	化学と工業 Vol.71 (2018年), No.5	2018年4月
3	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	プレスリリース	2018年12月 26日
4	宇治澤 優	COURSE50プロジェクト	マスコミ見学会	2019年5月30 日

10.3 特許出願

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	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)	2018 -082519	国内	2018年 4月23日	触媒層のコー キング量の 測定方法	伊藤信明、堂野前 等、鈴木公仁、中 尾憲治
2	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)	2018 -082520	国内	2018年 4月23日	触媒層のコー キング量の 測定方法	伊藤信明、堂野前 等、鈴木公仁、中 尾憲治
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)	2018 -172523	国内	2018年 9月14日	高炉の操業 方法	酒井 博、西岡 浩樹
4	国立大学法人北海道 大学、(株)神戸製鋼 所	2018 -202261	国内	2018年 10月26 日	コークスの 製造方法	熊谷 治夫(国立 大学法人北海道大 学) 堺 康爾、奥山 憲幸、宍戸 貴洋 (株式会社神戸製 鋼所)
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)	2019 -026220	国内	2019年 2月18日	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、西岡 浩樹
6	公益財団法人地球環 境産業技術研究機構 (RITE)、日本製鉄 (株)	PCT/JP20 19/006457	PCT	2019年 2月21日	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、後藤和 也、フィロツ・ア ラム・チョウド リ、松崎洋市、小 野田正巳

7	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)	2019 -080925	国内	2019年 4月22日	解析対象領 域の設定方 法	酒井 博、西岡 浩樹
8	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)	2019 -080924	国内	2019年 4月22日	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、酒井 博
9	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)	2019 -080926	国内	2019年 4月22日	補正係数の 決定方法	西岡 浩樹、酒井 博
10	日本製鉄(株)、JFE スチール(株)、(株) 神戸製鋼所、日鉄日 新製鋼(株)、日鉄エ ンジニアリング(株)	2019 -216568	国内	2019年 11月29 日	高炉の操業 方法	酒井 博、中野 薫
11	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)	PCT/JP20 20/006011	PCT	2020年 2月17日	高炉操業方 法	酒井博、西岡浩 樹、中野薫
12	公益財団法人地球環 境産業技術研究機構 (RITE)、日本製鉄 (株)	2020 -56851	国内	2020年 3月26日	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、上代洋 (以上、日本製 鉄)、フィロツ・ アラム・チョウド リ(以上、 RITE)

13	日本製鉄(株)、JFEスチール(株)、(株) 神戸製鋼所、日鉄日新製鋼(株)、日鉄エンジニアリング(株)	2020-092467	国内	2020年4月10日	高炉の操業方法	酒井 博、中野 薫
14	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)	2020-137588	国内	2020年8月17日	粘度測定装置	堺 康爾
15	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)	PCT/JP2020/44217	PCT	2020年11月27日	高炉操業方法	酒井博、西岡浩樹、中野薫
16	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)	2021-051263	国内	2021年3月25日	高炉の操業方法	酒井 博、中野 薫
17	公益財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE)、日本製鉄(株)	PCT/JP2021/013090	PCT	2021年3月26日	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	フィロツ・アラム・チョウドリ、松崎洋市、上代洋
18	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)	2021-089968	国内	2021年5月28日	高炉の操業方法	酒井 博、中野 薫
19	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)	2021-142774	国内	2021年9月1日	移送装置及び移送方法	堺 康爾、奥山 憲幸、菊池 直樹
20	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)	2022-038903	国内	2022年3月14日	CO ₂ 吸収液を加熱してCO ₂ を分離回収するCO ₂ 回収方法	小林 一暁、小水 流 広行、関屋 政洋

21	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)	2022 -154633	国内	2022年9 月28日	熱交換器	小林 一暁、小水 流 広行、関屋 政洋
----	---	-----------------	----	----------------	------	---------------------------