

「環境調和型プロセス技術の開発」
②フェロコックス技術の開発

事業原簿

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 省エネルギー部
-----	--

内容

概要

プロジェクト用語集

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋	1-1
1.1. 事業の位置付け・意義	1-1
1.2. アウトカム達成までの道筋	1-11
1.3. 知的財産・標準化戦略	1-13
2. 目標及び達成状況	2-1
2.1. アウトカム目標及び達成見込み	2-1
2.2. アウトプット目標及び達成状況	2-3
3. マネジメント	3-1
3.1. 実施体制	3-1
3.2. 受益者負担の考え方	3-7
3.3. 研究開発計画	3-8
4. 目標及び達成状況の詳細	4-1
4.1. テーマ毎の目標と根拠	4-1
4.2. 目標の達成状況	4-2
4.3. アウトプット目標、アウトカム目標	4-3
4.4. 成果の意義	4-6

（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	2023年10月16日	
プロジェクト名	環境調和型プロセス技術の開発/ ②フェロコークス技術の開発	プロジェクト番号	P13012
担当推進部/ PMgrまたは担当者 及びMETI担当課	省エネルギー部 武田 行生（2021年4月～2023年3月） 省エネルギー部 田村 順一（2017年6月～2021年3月） 製造産業局 金属課		
0. 事業の概要	<p>(1)概要：本事業は、製鉄工程の省エネルギー化とCO2削減を図ることで、鉄鋼業における省エネルギー化、CO2削減を推進するものである。一般炭と低品位鉄鉱石を用い成型・乾留した塊成物（フェロコークス）をコークス、鉄鉱石と共に高炉へ装入することで、フェロコークス内の金属鉄を触媒として鉄鉱石の還元反応を効率的に行い、1,500t/日規模の設備で10%の省エネルギー効果を目指すものである。</p> <p>(2)事業規模：総事業費(国費分)100.6億円予定（助成率1/2以内）</p> <p>(3)事業期間：2017年度～2022年度（6年間）</p>		
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋			
1.1 本事業の位置付け・意義	<p>鉄鋼業は我が国産業部門の中でCO2発生量の約40%、国全体の約14%を占める最大のCO2排出業種であり、その中でも製鉄工程では、その70%を占めており、製鉄工程におけるCO2削減は喫緊の課題となっている。また、日本の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ことから、地球温暖化対策としては革新的な省CO2及び省エネルギー技術の導入が急がれている。フェロコークスは、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、鉄鉱石の還元を低温で行うことで還元効率を飛躍的に高めた革新的塊成物であり、これ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。</p> <p>高炉による製鉄プロセスから発生するCO2又はエネルギー消費量を抜本的に削減する本プロジェクトは、鉄鋼業における省エネ対策の最後の切り札として、2030年に最大5基の導入を目指す。</p>		
1.2 アウトカム達成までの道筋	<ul style="list-style-type: none"> ・中規模設備で300t/dの製造技術（混練、成型、乾留、粘結材の各技術）するとともに、設備の耐久性を検証する。 ・高炉においてフェロコークスが長期使用（原単位30kg/t）であることを実証する。 ・フェロコークスでコークスを1/3置換した場合の製鉄工程における省エネ効果10%を検証する（新規数式シミュレータによる推定含む）。 ・中規模設備（300t/d）で実用性（省エネ・CO2削減効果・製造コスト低減）が認められれば、研究開発補助金制度に則り、製鉄プロセスにおいてそのまま工程化する（2023年以降）。 ・上記設備で構成された商用規模設備（900～1500t/d規模）のFS（設備・操業コスト、及び使用エネルギーの評価）を実施し、実用性が認められれば、2030年までに5基導入を目指す。 		
1.3 知的財産・標準化戦略	<p>現PJの前進である先導研究（「革新的製鉄プロセスの先導的研究」）（'06～'08年度）開始前に各社が所有する関連技術を封印。</p> <p>「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」（'09～'10年度NEDO、'11～'12は国直轄）において、特許網構築済み（権利化するもの、ノウハウとして秘匿するものを分類・整理）</p> <p>基本特許： ①製造方法：プロセス、設備、配合条件 ②使用方法：高炉での装入方法</p> <p>周辺特許： ①周辺システム、品質制御、副生物処理など</p> <p>基本特許：取得済 障害となる特許：無し</p>		
2. 目標及び達成状況			
2.1 アウトカム目標及び達成見込み	<p>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kl/年、CO2削減量は82万t/年を見込む。また、フェロコ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。</p> <p>達成見込み ・省エネルギー効果量及び、CO2削減量（10行程度記載） ・経済効果（10行程度記載）</p>		

2.2 アウトプット 目標及び達成 状況	<p>(a) 中規模設備での製造技術実証</p> <p>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</p> <p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・生産量300t/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。 <p>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</p> <p>指標2：乾留後塊成物のドラム強度：DI150/15\geq80（*）</p> <p>（*）「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27.5t/d\sim30t/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。</p> <p>(b) 一般炭、低品位原料使用時の製造技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>指標：成型物の強度（I型ドラム強度）：ID30/15\geq85</p> <p>(c) 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>指標：連続操業試験：30日以上</p> <p>(d) 新バインダー強度発現実証</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>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</p> <p>(e) フェロコークス導入効果の検証</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>指標：評価方法の確立と省エネ効果(目標10%)の確認</p> <p>（(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）。</p>
----------------------------	---

3. マネジメント

3.1 実施体制	経産省担当原課	製造産業局 金属課						
	プロジェクトリーダー							
	プロジェクトマネージャー	省エネルギー部 武田 行生（2021年4月～2023年3月） 省エネルギー部 田村 順一（2017年6月～2021年3月）						
	助成先	JFE スチール株式会社 株式会社神戸製鋼所 日本製鉄株式会社						
3.2 受益者負担の 考え方 事業費推移 (単位:百万円)	主な実施事項	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	
	① 中規模設備での製造実証	→						
	② 一般炭、低品位原料使用時の製造技術	→						
	③ 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証	→						
	④ 新バインダーの強度発現実証	→						

	⑤フェロコークス導入効果の検証の確認							
	会計・勘定	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	総額
	一般会計							
	特別会計(需給)	828	2051	2541	2700	717	771	9608
	開発成果促進財源							
	総 NEDO 負担額	828	2051	2541	2700	717	771	9608
3.3 研究開発計画								
情勢変化への対応	<p>【海外技術動向の把握】</p> <p>1. 「環境調和プロセス技術の開発に係る技術開発動向等の調査」の実施 2017年度～2018年度</p> <p>2. 「各国の鉄鋼業における政策・技術開発の長期見通しに係る動向調査」の実施 2018年度～2019年度</p>							
中間評価結果への対応	<p>指摘1：CO2 排出量低減の要求増大に対して速度感が合わず、実用化・事業化時期が遅くなる懸念がある。</p> <p>対応：2030年時点における事業化、海外展開に遅れが生じないように技術検討委員会を活用し、研究開発をスケジュールどおりに進める。</p> <p>指摘2：炭素価格などの環境経済的な目標設定がないので、普及時のインパクト等が、現時点では評価しにくいと思われる。</p> <p>対応：CO2 削減コスト（炭素価格）については、本事業の外で決定されるものである。今後、炭素価格等の制度改正の検討が予定されているため、それらの結果を踏まえた上で、改めて普及時のインパクトについて評価を行う。</p> <p>指摘3：製造技術開発に他実施項目からのフィードバックによる計画修正がないなど、各要素技術担当者間の連携が弱いと思われる。</p> <p>対応：技術検討委員会においては開発状況は共有されていたが、さらに常日頃から NEDO を介して開発状況を共有する。特に実施計画の変更には当たっては、変更情報を事業者と NEDO で共有し、関連する要素技術の開発に与える影響を計画変更へ確実に反映させる。</p> <p>指摘4：社会・経済・政策・技術の変化は急激なので、技術の取捨選択や融合、実施体制見直し等の積極的な実施や、海外展開を視野に入れた知的財産戦略が望まれる。</p> <p>対応：技術検討委員会において、外部有識者の意見も踏まえて技術の取捨選択、実施体制の見直しを進める。また、同委員会の中で海外展開に向けた知財検討状況についてより議論を進めていく。事業者とともに海外展開を視野に入れた知的財産戦略の構築を積極的に進める。</p> <p>指摘5：他の国プロの各種技術開発要素との組合せによる将来像を検討し、今後のビジョンを議論し公開される事を期待する。</p> <p>対応：COURSE50 との相乗効果については、2022年度において最適解を得るために、双方のプロジェクト間の連携を継続する。さらに、他の国プロの技術開発動向を把握し、各要素技術との組合</p>							

せによる将来像について、NEDO、事業者とも今後のビジョンを議論し、情報発信や広報活動を積極的に行うように努める。

指摘6：フェロコークス高炉内使用の実証は、実高炉では投入量が制限され、多量投入時のシミュレーションが重要となるため、予測精度を上げる工夫を施し、使用データの適用性・信頼性について十分に確認する必要がある。

対応：本事業において、省エネルギー効果量の推測のため、当初計画していたフェロコークス装入量 30kg/t に追加して 45kg/t 以上の水準を実施することで、高炉内高機能反応シミュレーターの予測精度を上げる計画である。データの信頼性が確保できる適切な回数の高炉装入試験を実施する計画である。

指摘7：製鉄工程の下工程ではエネルギー消費量の補填によってCO2 排出量が増大しているため、下工程を考慮した技術開発の検討が望まれる。

対応：本事業において実施予定である高炉内へのフェロコークス装入試験結果より全工程を見据え、下工程への供給エネルギーの精査を行い、技術課題を明確にする。

指摘8：】成果は世界初であり、他国でも同様の技術開発が進むことから、国際協力とともに適切な知的財産保護が求められる。

対応：知財戦略については、知財会議（事業者主体で実施）にて議論を行い、さらに、その結果を事業者（知財担当者も含め）より技術検討委員会にて報告、議論を行う。事業者とともに海外展開を視野に入れた知的財産戦略の構築を積極的に進める。

指摘9：高炉でのフェロコークス実使用は試験規模が小さく、新バインダー製造ではフェロコークス乾留で生じるタールの利用等の課題がある。

対応：乾留炉で生じるフェロコークスタールの活用については、本事業の中で改質による特性向上、設備の安定的な運転条件の探索を行い、生産規模拡大時に適用できる製造条件の確立をする。

指摘10：】国内高炉の何割までの使用を考慮するのか、普及促進に必要な事は何か、等を明示し、脱炭素化実現シナリオにおける本技術の立ち位置を、一般市民に向けてアピールする事が望まれる。

対応：高炉へのフェロコークス装入試験結果より、その経済性、省エネルギー性、CO2 削減効果を見極め、普及促進に向けた課題とその対応を明確にする。さらに、脱炭素化に向けた本プロジェクトの位置づけや将来像について事業者とともに明らかにし、情報発信や広報活動を積極的に行う。

指摘11：従来の高炉設備をそのまま利用できるメリットが大きく、海外の既存プロセスにおいても導入できるので、海外展開も視野に入れた事業化を検討するのがよいと思われる。

対応：海外展開については2018 年度に実施した調査事業において海外の市場ポテンシャルを明確にしている。状況の変化に応じてさらに必要な調査事業を実施し、結果を事業者と共有することで、海外展開を視野に入れた積極的な事業展開を求める。

指摘12：今後、地球温暖化に対する規制は強化されるので、開発を加速して頂きたい。

対応：地球温暖化に関する規制の動向を注視し、開発の加速を検討する。

評価に関する事項	事前評価	なし
	中間評価	2020年度 中間評価実施
	終了時評価	2023年度 終了時評価実施

別添

投稿論文	「査読付き」 9 件、「その他」 0 件	
特 許	「出願済」 2 件、「登録」 1 件、「実施」 0 件 特記事項：	
その他の外部発表 (プレス発表等)	研究発表・講演： 1 9 件 新聞・雑誌等への掲載： 1 2 件 展示会への出展： 4 件	
基本計画に関する 事項	作成時期	2013 年 3 月 作成
	変更履歴	2017 年 2 月 改訂 (フェロコークス技術の開発を追加) 2018 年 1 月 改訂 (フェロコークス技術の開発の実施期間を 5 年から 6 年に延長)

プロジェクト用語集

<各開発項目共通>

No.	用語	意味・説明
1	フェロコークス	鉄鉱石と石炭を粉砕し、塊状に成形したものを乾留することによって塊内部をフェライトとコークスが混在する状態にしたもの。焼結鉱に混ぜて高炉に投入することによって、Fe の触媒効果により還元反応が促進される。
2	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1,000℃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。
3	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。
4	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。
5	一般炭	製鉄用に使用されている石炭（コークス製造用、高炉吹込み用）を原料炭と称する。原料炭以外の石炭を総称して一般炭と呼ぶ。
6	低品位原料	鉄鉱石中に含まれる鉄分（Fe 含有率）の低いもの、脈石分（SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 等）が多いもの、製鋼工程で除去が必要な成分（P）を多く含むもの、結晶水を多く含むもの、などの総称。
7	ドラム強度指数	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、ふるい上質量のもとの試料に対する百分率で、各回転に対する強度を表す。（JIS K2151 に規程）

<フェロコークス製造中規模設備での製造技術実証>

<一般炭、低品位原料使用時の製造技術>

8	乾留	石炭を不活性雰囲気下で蒸し焼きにし、コークス化すること
9	切り出しフィーダー	粉体状原料（鉄鉱石粉、石炭粉、固体バインダー）を一定重量切り出すための装置
10	混練	固体状粉体（鉄鉱石粉、石炭粉、固形バインダー）に液体バインダーを混ぜて高温下で練り合わせ、固体状粉体が均一に混合された状態（混練物）にする操作
11	成型	上記混練物をダブルロール成型機に供給し、豆炭状（容積 6CC）の塊成物（成型品）を得る操作
12	羽口	乾留炉壁面に取り付けた通風口。ガスを乾留炉内へ送る送風口（高温ガス羽口、低温ガス羽口、冷却ガス羽口）や、逆に、乾留炉内からガスを抽出する抽出口（抽出羽口）も総称して羽口と呼ばれる。
13	フェロコークスタール	成型品を乾留炉に装入し、乾留する過程でフェロコークスより発生するタール（コークス炉から発生するコールタールよりも低分子量の中低温タール）
14	離散要素法	離散要素法（Discrete Element Method、DEM）は、解析の対象を自由に運動できる多角形や円形・球の要素の集合体としてモデル化し、離散要素法（Discrete Element Method、DEM）は、解析の対象を自由に運動できる多角形や円形・球の要素の集合体としてモデル化し、要素間の接触・滑動を考慮して、各時刻におけるそれぞれの要素の運動を逐次追跡して解析する手法である。

15	ピソライト鉱石	<p>豪州産鉄鉱石は、かつては高品位の縞状鉄鉱床（BID:Banded Iron Deposit）由来のものが主体であったが、近年は縞状鉄鉱床が枯渇傾向にあり、チャンネル鉄鉱床（CID:Channel Iron Deposit）由来のものが増加している。</p> <p>チャンネル鉄鉱床は、河床に沈殿した魚卵状を呈する褐鉄鉱（針鉄鉱）が主体の鉄鉱床で、そこから得られる鉄鉱石をピソライト鉱石と称す。結晶水を多く含むことから、その分鉄含有量が低い。</p>
----	---------	---

<新バインダーの強度発現実証>

16	バインダー	<p>物と物を接着する物質。接着剤、固着材、固着剤。接合材。</p> <p>フェロコックスにおいては、石炭粒子と鉱石粒子を接着するもの。</p>
17	ASP	アスファルトピッチ。石油由来の固形バインダー。
18	SOP	ソフトオイルピッチ。石炭由来の液体バインダー。
19	剛性バネモデル（RBSM）	剛体同士の接触面にバネが入っているものとし、剛体の変位と接触面の応力との間に比例関係を仮定し、解析領域全体の平衡方程式を解く。接触面の応力が破壊条件を超えるような場合には、このバネを切ってしまう、剛体同士の相互作用が無くなるものとする。これにより、解析対象物の変形や割れが表現される。
20	ハードグローブ粉砕性指数（HGI）	<p>石炭及びコークスの粉砕のし易さを表す代表的な指数。測定法は以下の通り。</p> <p>気乾・縮分した試料を4.75mm以下に予備粉砕後、1.18mm～600μmになるように粉砕、篩い分け、調製した試料から50gを、あらかじめ直径25.4mmの鋼球8個を入れた粉砕室に入れ、トップリングを鋼球8個の上に載せ、284\pm2N以上の荷重を加え、毎分15～20回転（15～20RPM）の回転速度で60回転し粉砕（約3分間）砕製物を目開き75μmの篩いで、篩い分け装置を用いて20分間の篩い分け、篩い上質量を0.01gの桁まで秤量し、50gからこの値を差し引いて、篩い下の質量W(g)とする。算出式：HGI = 13 + 6.93W</p>
21	空隙率分布	粉粒体充填層における空間率の分布

<フェロコックス導入効果の検証>

22	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。
23	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)
24	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、還元に利用されて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。
25	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。
26	間接還元	酸化鉄の CO や H ₂ による還元反応

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

1. 1. 事業の位置づけ・意義

鉄鋼業は我が国産業部門の中でCO₂発生量の約40%、国全体の約14%を占める（2018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」の一例として水素還元活用プロセス（COURSE50）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



図1-1 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」 2008年3月

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エネルギー基本計画（2010年6月）においても革新的製鉄技術として「環境調和型製鉄プロセス」にフェロコークス技術が記載された。2011年省エネ技術戦略において、「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」として取り上げられ、省エネルギー、CO₂削減への効果が期待されている。

2016年5月に閣議決定された「地球温暖化対策計画」においても、「既存技術のみならず、高効率化及び低炭素化のための革新的な製造プロセスの技術開発（革新的製鉄プロセス、環境調和型製鉄プロセス）を実施し、当該技術の2030年頃までの実用化に向けた省エネルギー推進、二酸化炭素排出削減に取り組む」ことが示されている。別表1-17においては、2030年においてフェロコークス製造設備が5基導入された時点における、省エネルギー効果量及びCO₂排出削減量が、それぞれ、19.4万kL/年（原油換算量）及び82万トン/年と試算されている。

具体的な対策	各主体ごとの対策	国の施策	地方公共団体が実施することが期待される施策例	対策評価指標及び対策効果						
				対策評価指標	省エネ見込量	排出削減見込量	省エネ見込量及び排出削減見込量の積算時に見込んだ前提			
省エネルギー性能の高い設備・機器等の導入促進（鉄鋼業）										
革新的製鉄プロセス（フェロコークス）の導入	<ul style="list-style-type: none"> 事業者：革新的製鉄プロセスに係る技術開発 事業者：革新的製鉄プロセスを用いた工程の導入 	<ul style="list-style-type: none"> 革新的製鉄プロセスに係る技術開発の支援 革新的製鉄プロセスを導入した設備の導入に対する支援 	-	導入設備数（基）	(万kL)	(万t-CO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> 対策評価指標1単位当たりの省エネ量（原油換算）＝約3.9万kL/基（高炉1基当たりの効果） ※本技術開発による製鉄所の二酸化炭素削減効果は、革新的なコークス代替還元材（フェロコークス）を使用することで高炉内還元反応の高速化、低温化を図り、還元材比低減により実現できるものである。この場合、並行して生じる回収エネルギー低下で、購入エネルギー（電力等）が増加する影響も考慮 革新的製鉄プロセス（フェロコークス）の導入の省エネ量は、2012年度からの対策の進捗による省エネ量であり、排出削減量は当該省エネ量に基づいて計算 			
				2013年度	0	2013年度		0	2013年度	0
				2020年度	0	2020年度		-	2020年度	-
				2030年度	5	2030年度	19	2030年度	82	

別表1-17

その後の省エネ技術戦略2016において、産業部門の主要関連技術には革新的製鉄プロセスとして革新的製鉄プロセス、環境調和型製鉄プロセスが記載されている。また、図1-2 導入シナリオ、図1-3 技術シートにその開発の位置付けが示されている。

出展：環境省 地球温暖化対策計画（2016年 5月）

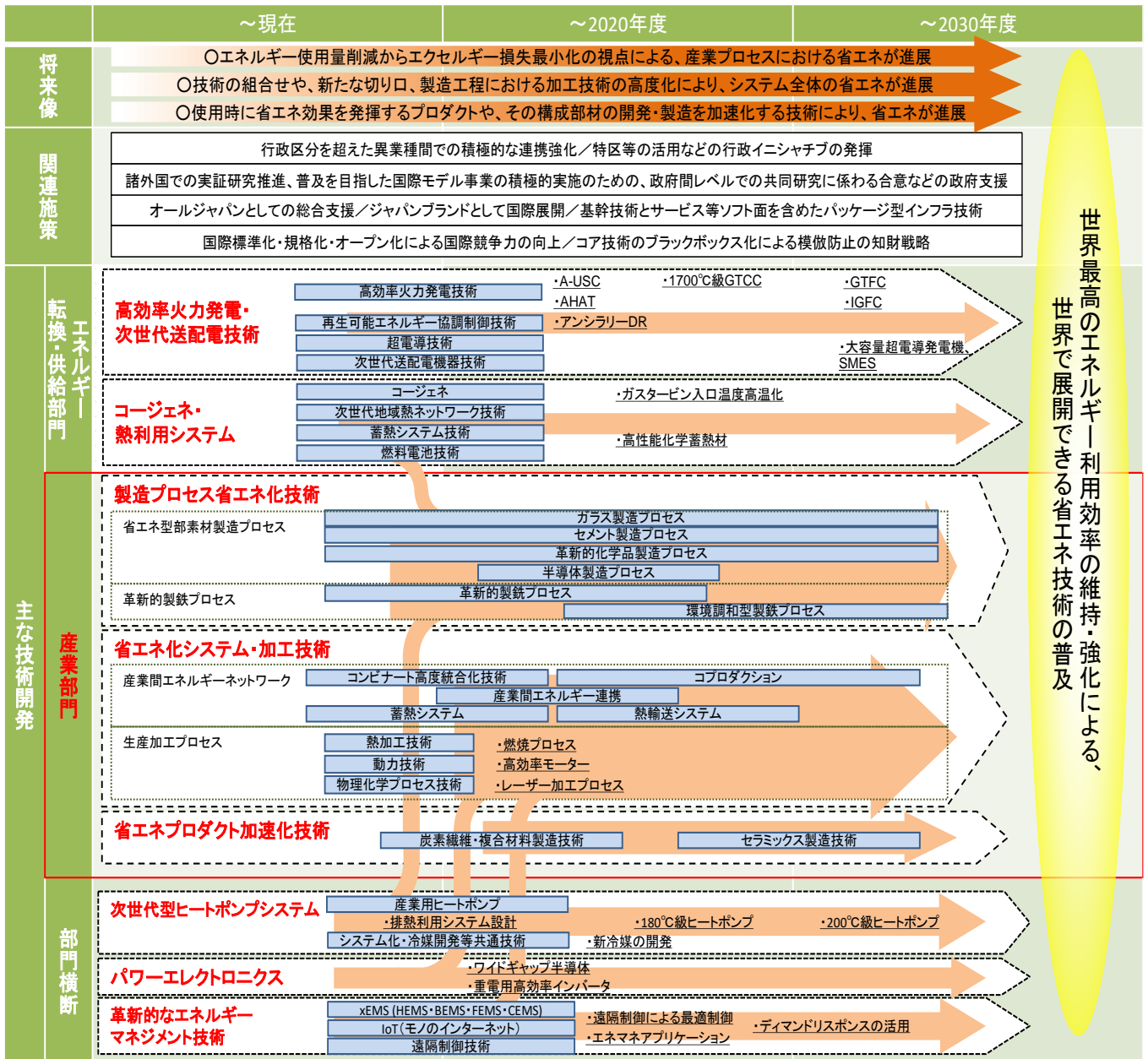


図 1-2 革新的製鉄プロセスの導入シナリオ

製造プロセス省エネ化技術サブシート（革新的製鉄プロセス）

技術概要

我が国鉄鋼業は産業部門全体のエネルギー消費の25%を占めるエネルギー多消費型産業であるものの、既に排熱回収利用等の省エネ設備の導入により、製鉄プロセスにおいて世界最高水準の原単位を達成している。エネルギー削減ポテンシャルは世界で最も低い、世界の近代製鉄を支えた高炉法の革新を促し、更なる高炉効率の向上を図ることで省エネを着実に推進する。具体的には、高炉内還元反応の高速化・低温化機能を発揮するフェロコックス（低品位炭と低品位鉄鉱石の混合成型・乾留により生成されるコックス代替還元剤）及びその操業プロセスの開発を進める。

技術開発の進め方・その他留意点

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ついては、2020年代初頭までに研究開発を行い、その後実機高炉への実証的導入を経て、2025年以降の本格的な導入普及を目指す。

環境調和型製鉄プロセス（水素還元技術および未利用排熱活用高炉ガスCO₂分離回収技術等）については、2020年台後半までに研究開発を行い、その後実用化研究を経て、2030年頃の1号機実機化を目指す。その後は、高炉改修のタイミングを踏まえつつ導入普及を図る。

技術開発動向

国家プロジェクトとしては、「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」が終了し、革新的な高炉原料であるフェロコックスの製造プロセスについて、パイロット規模での基盤技術が確立され、引き続き実用化に向けた検討が進められている。また、「環境調和型製鉄プロセス技術開発」は継続中であり、水素還元技術については水素還元技術確立の為、新日鐵住金・君津製鉄所において、試験高炉を建設準備中である。又、未利用排熱活用高炉ガスCO₂分離回収技術等では、CO₂濃度が高い高炉ガスからのCO₂を分離するため、新たな化学吸収法や物理吸着法の開発等が進められている。

波及効果

資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発も環境調和型製鉄プロセス（水素還元技術および未利用排熱活用高炉ガスCO₂分離回収技術等）のいずれの技術も、省エネルギーと同時にCO₂削減に寄与する。長期的にはCCS技術を組み合わせることによりCO₂排出量抑制を図ることができる。

また、還元剤としてのコックス使用量が減少するため、エネルギー安定供給の確保にも寄与する。早期実用化のために、これらの技術開発を加速的に実施することで、国際競争力の維持・強化にも寄与する。

図1-3 技術シート

出典：資源エネルギー庁 NEDO 省エネルギー技術戦略 2016

鉄鉱石の還元は、コックスによる直接還元と羽口から投入される石炭等のガス化ガスによる間接還元に分類される。そのうち、直接還元は、大きな吸熱反応を伴うことから、高炉の温度維持ため、外部から熱の投入が必要となる。現状の高炉では、直接還元の比率が約3割を占めることから、その還元比率の削減により、CO₂排出削減、省エネルギーを達成することが可能なる。

環境調和型プロセス技術の開発においては、これまで水素還元活用プロセス（COURSE50）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（2018～2022年度（5年間））、フェーズⅡ-STEP2（2023～2025年度（3年間））での実用化開発を経て、最終的に製鉄所における現状の全排出レベルに比較して約30%のCO₂削減を可能にする技術の確立に資するものである。

一方、同一基本計画において実施しているフェロコークス技術の開発は、革新的製鉄プロセスの先導研究（2006年～2008年）で基本原理を明確にしたのち、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、既に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（フェロコークス）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、フェロコー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、フェロコークス製造量300t/dの規模の中規模設備を建設し、フェロコークス製造技術を確立するとともに、中規模設備で製造したフェロコークスを溶銑製造量10,000t/dの実高炉に連続的に長期装入したときの高炉の還元材比や操業安定性（特に通気性）に及ぼす影響を確認し、最終的に製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ものである。

◎技術優位性と開発意義

2017年度～2018年度において、「環境調和型プロセス技術の開発に係る技術開発動向の調査」、2018年度～2019年度においては「各国の鉄鋼業における政策・技術開発の長期見通しに係る調査」を行った。その調査結果として、鉄鋼需要については図1-4に示す様に、2010年度以降は中国の一方向的な伸びは終息を見せるものの、全体としては2050年には世界の鉄鋼生産量が23億t/年に達すると予測されている。増加の大きな要因はインドである。インドについては2017年度にインド鉄鋼省が、現在約1億t/年である生産能力を2030年度までに3億t/年、2050年までに5億t/年に増加するという政策ポリシーを発表している。

本技術開発により、今後需要の伸びが見込まれる鉄鋼業に対して、大きな省エネルギー、CO₂削減効果が期待される

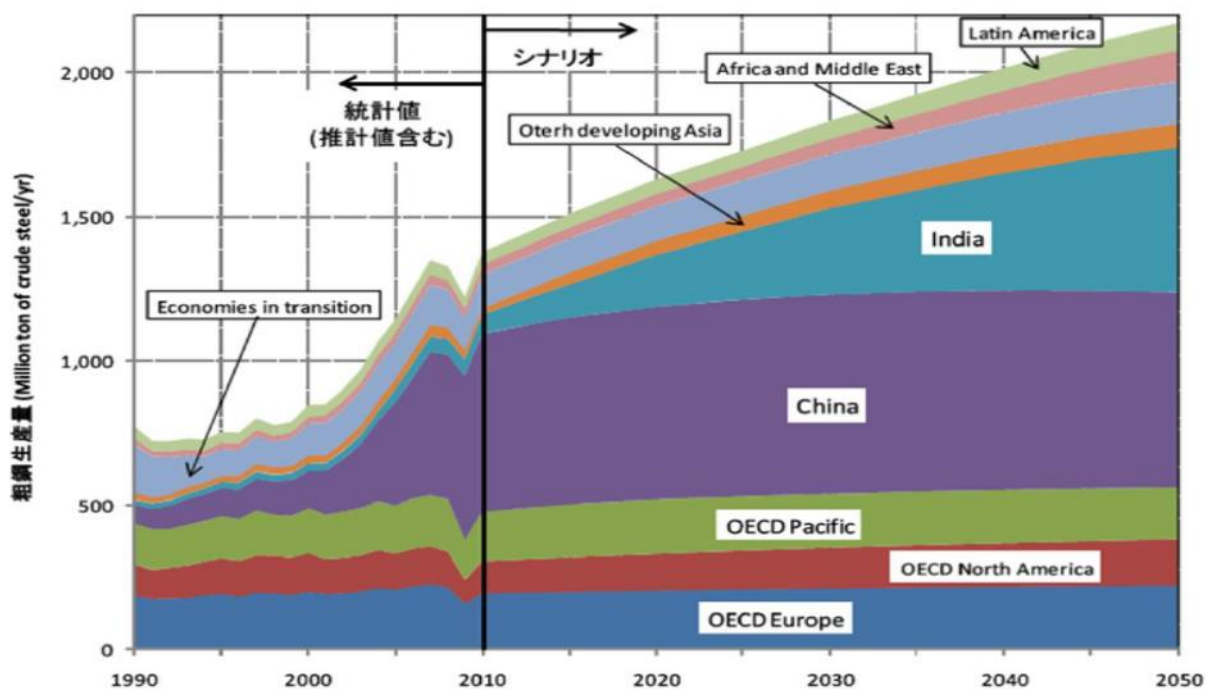


図 1-4 地域別の粗鋼生産実績と将来シナリオ (RITE)

出典：RITE（地球環境産業技術研究機構）成果報告 2010 二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業「脱地球温暖化と持続可能な経済社会実現のための対応戦略の研究」要約編

フェロコークス技術の新規性、優位性

フェロコークスのバックグラウンドとなる技術要素を示したものが図 1-5 である。従来の研究によると、コークスの金属鉄に対する還元反応性は、金属鉄とコークスとの距離に依存しており、距離が小さいほど反応性が高まるとされている。フェロコークス技術はこの原理を利用してコークス内に金属鉄を適正に内在することで、金属鉄とコークスの近接性を高め、コークスとしての反応性を高める技術である。

フェロコークス開発の目的は、コークスとしての反応性を高めることにより、高炉内における鉄鉱石の還元効率が向上し、還元材比の低減を図ることができることから、製鉄工程における省エネルギー化、CO₂削減を進めるものである。

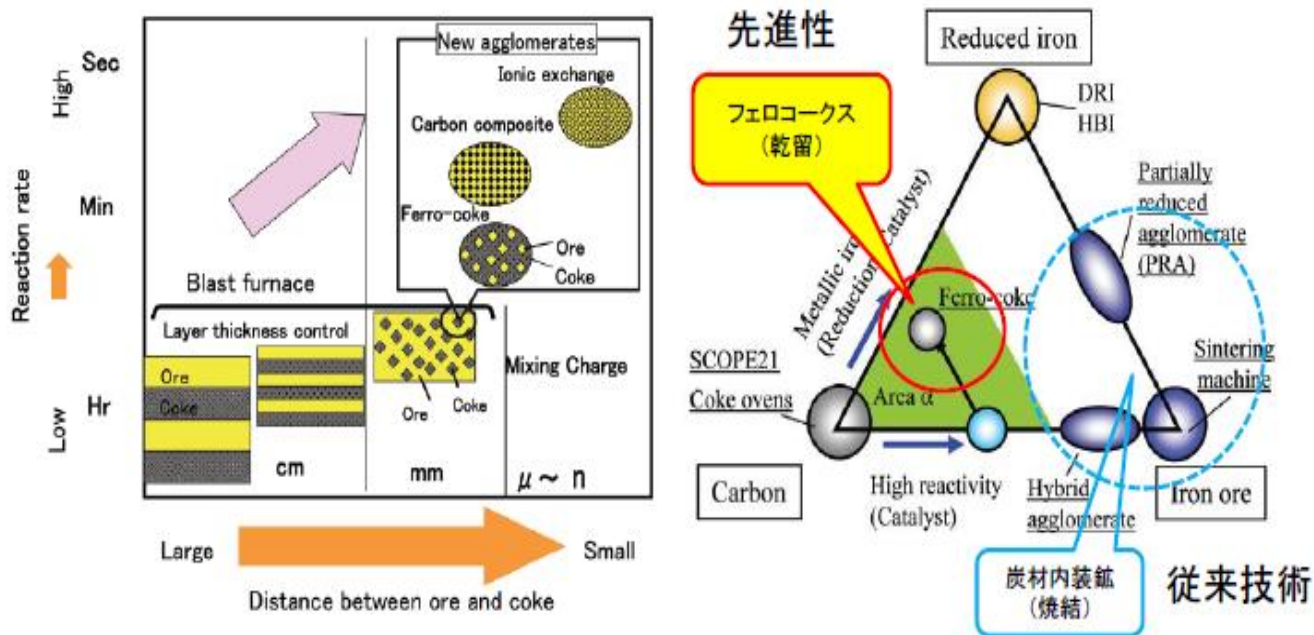


図 1-5 フェロコークスの原理

出展：NEDO 2017年度～2018年度成果報告書

環境調和型プロセス技術の開発「環境調和型プロセス技術の開発に係わる技術開発動向等の調査」

フェロコークス技術、炭材内装炭技術に関する各国の学術文献数と技術比較を行い、フェロコークス技術の学術的な先進性を評価した。論文発表の動向は、コークス、焼結鉄、乾留等をキーワードとして調査した。別途、特許データベースにより、フェロコークス技術に関連した特許の、国内外での出願・登録状況を調査した。

1997年～2007年の期間におけるフェロコークスに係わる学術論文数は、日本からの公表が25件と最も多く、ついで欧州（12件）、北米（7件）となっている。

図1-6は2008年以降のフェロコークス及び炭材内装鉄の関連文献の国別件数を示す。特に、日本からフェロコークス及び炭材内装鉄技術分野の論文発表件数が突出している。日本以外では、フェロコークスの反応性に関する論文は、米、中国、ドイツの3件と少なく、フェロコークス技術の優位性が示されている。

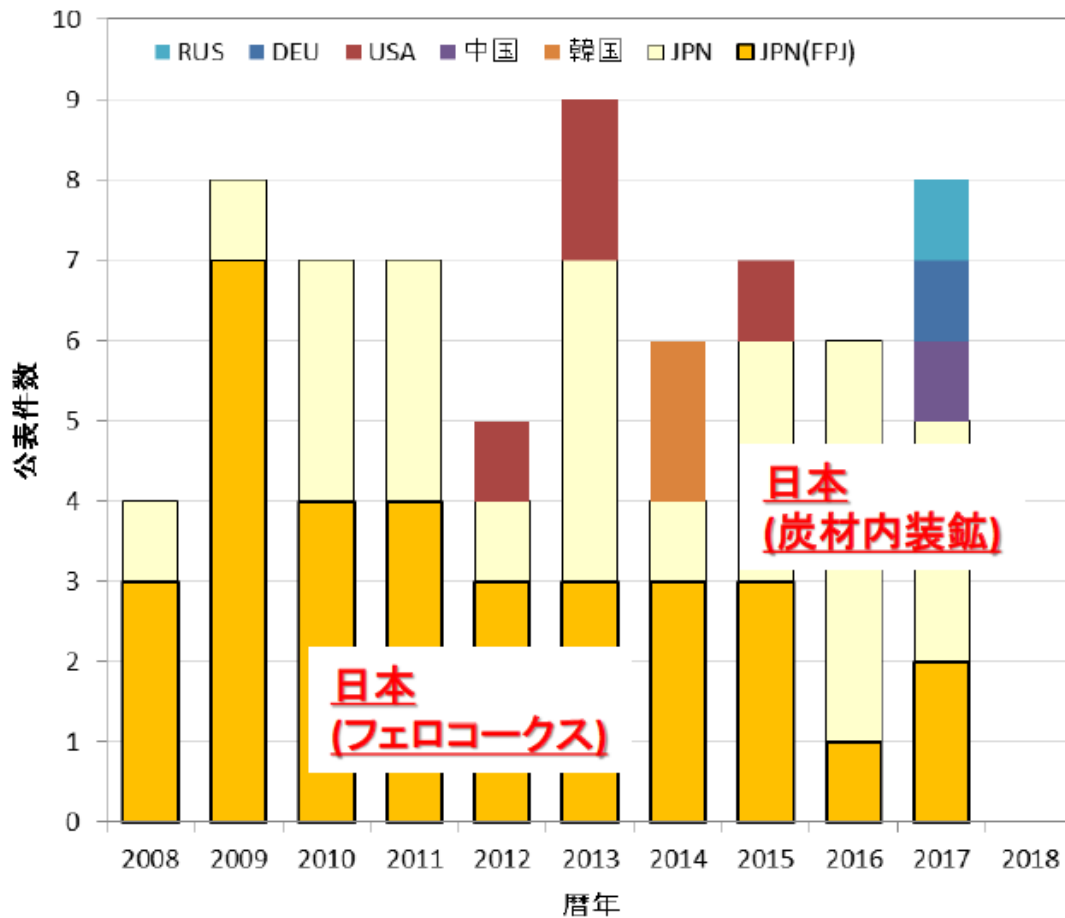


図 1-6 関連文献件数

出展：NEDO 2017年度～2018年度成果報告書

環境調和型プロセス技術の開発「環境調和型プロセス技術の開発に係わる技術開発動向等の調査」

◎フェロコークス技術の開発と COURSE50 技術の関係について

フェロコークス技術の開発と水素還元活用プロセス技術の開発については、環境調和型プロセス技術の開発という同一の基本計画の下にある。両プロジェクトの比較を以下に示す。

②フェロコークス技術の開発	比較項目	①水素還元等プロセス技術の開発(COURSE50)
・革新的塊成物（第三の装入物）を創生する中規模製造技術	開発技術	・水素還元、CO ₂ 分離回収技術 ・排熱、顕熱回収技術
・資源対応力強化（低品位資源利用） ・製鉄工程の省エネルギー	社会要請	・低炭素社会実現 ・製鉄プロセスからのCO ₂ 削減
2022年～2030年（短中期） 高炉の改修不要	実用化・ 事業化時期	2030年～2050年（中長期）

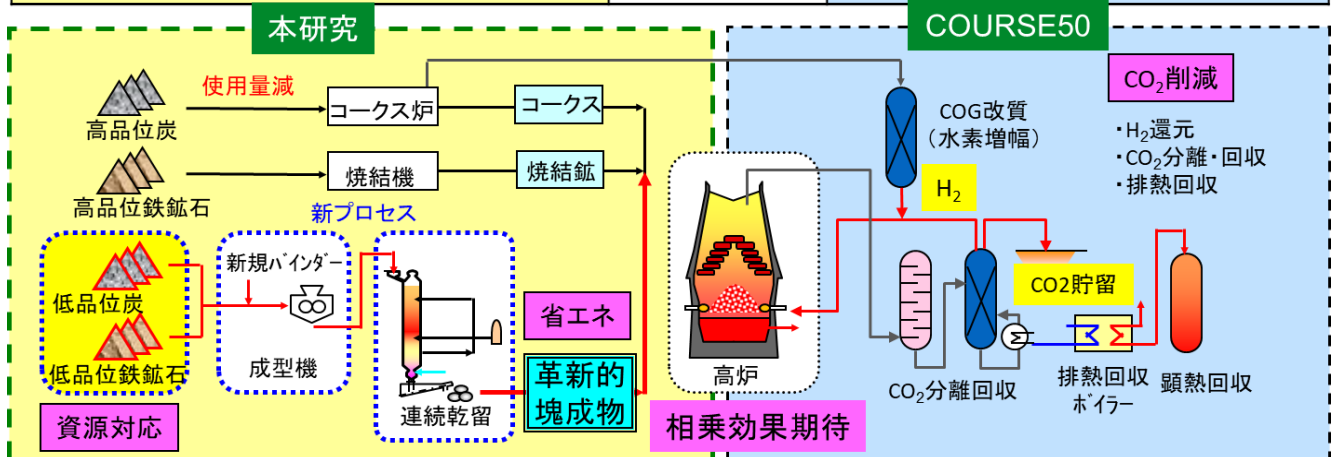


図1-7 フェロコークスと COURSE50 との関係

フェロコークス技術の開発は低品位鉄鉱石と一般炭という資源から塊成物を作り、高炉へ装入することで主に省エネ効果を求め、また低品位の資源を使うことから、資源対応力の強化に繋がる。高炉を改造する必要が無いことから、実用化時期も2022年～2030年に国内5基への展開と、比較的炭中期の計画である。一方で COURSE50 はコークス炉で出る水素を改質して高炉へ導入することでCOによる間接還元を減らす、また、高炉より排出されるCO₂を回収することで、CO₂削減をめざすが、導入に当たっては高炉の改修が必要となることから、導入時期も2030年以降高炉改修に合わせて行うことになっており、フェロコークスと比較すると中長期的な時間軸となっている。最終的に両技術が確立された時点では、それらの相乗効果が期待されるものである。

◎2050年以降に向けた取り組み

革新的環境イノベーション戦略（2020年1月）の中で、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ことが示されている。またその中では、「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。

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ものである。

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やフェロコッ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及びフェロコッ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（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。

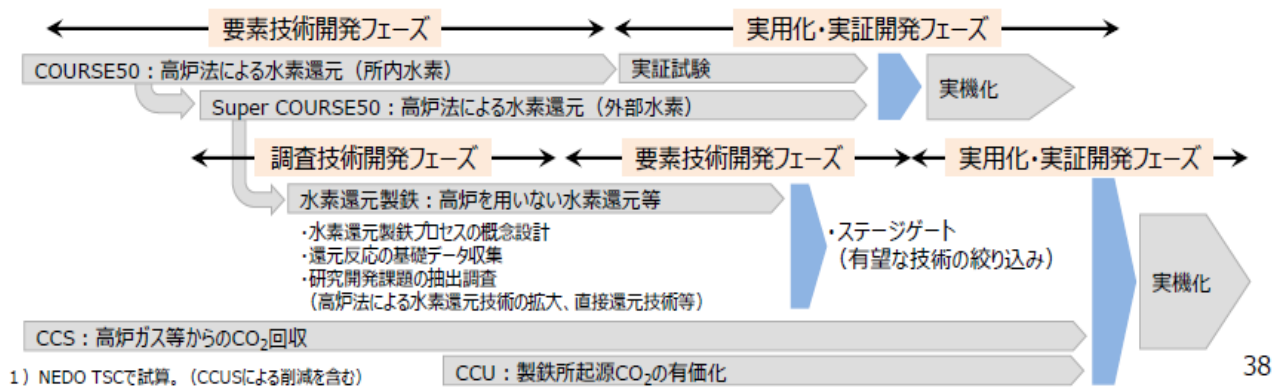


図 1-8 革新的環境イノベーション戦略におけるフェロコックスの位置づけ

出典：統合イノベーション戦略推進会議 革新的環境イノベーション戦略 2020年1月

1. 2. アウトカム達成までの道筋

1. 2. 1. 実用化

- ・中規模設備で 300t/d の製造技術（混練、成型、乾留、粘結材の各技術）を確立するとともに、設備の耐久性を検証する。

図 1-9 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・高炉での長期使用（原単位 30kg/t）なことを実証する。
- ・フェロコークスでコークスを 1/3 置換した場合の製鉄工程における省エネ効果 10%を検証する（新規数式シミュレーターによる推定含む）。

1. 2. 2. 事業化

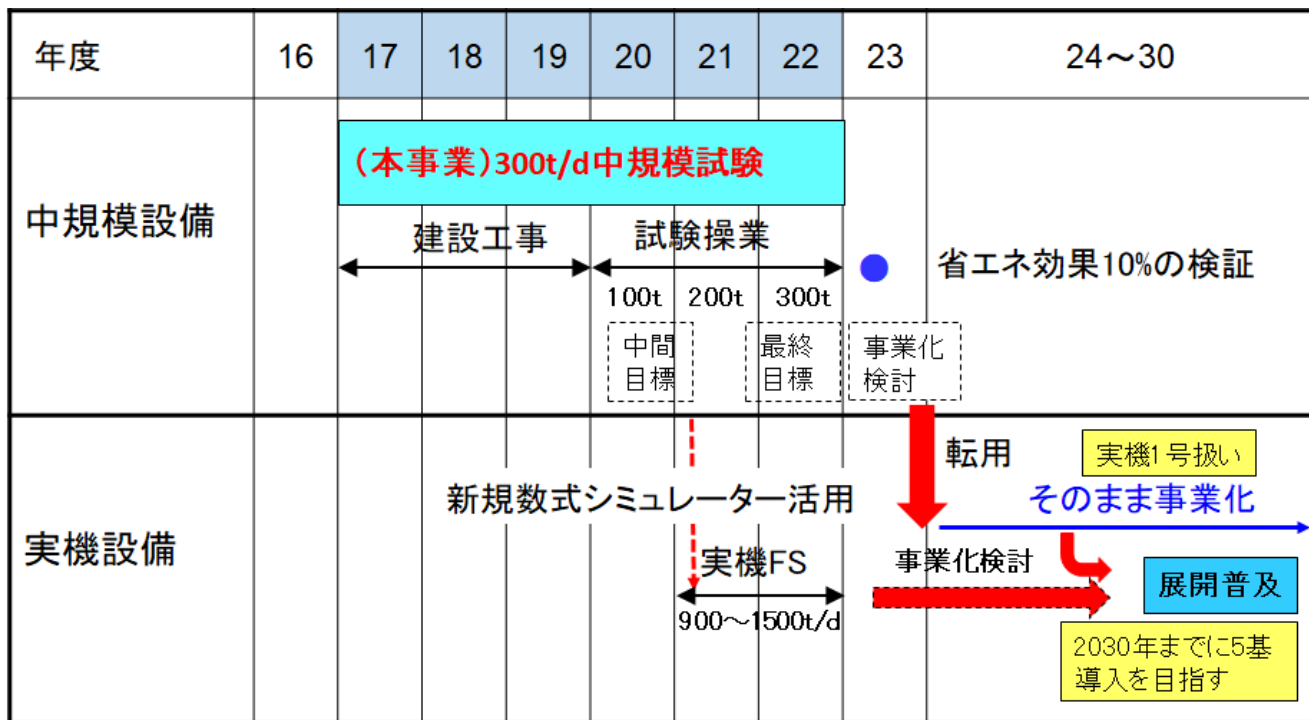
- ・中規模設備（300t/d）で実用性（省エネ・CO₂削減効果・製造コスト低減）が認められれば、研究開発補助金制度に則り、製鉄プロセスにおいてそのまま工程化する（2023 年以降）。
- ・上記設備で構成された商用規模設備（900~1500t/d 規模）の FS（設備・操業コスト、及び使用エネルギーの評価）を実施し、実用性が認められれば、2030 年までに 5 基導入を目指す（ただし、フェロコークス導入によって、製鉄工程から発生するエネルギー、すなわち、下工程に加熱炉燃料として、あるいは発電所向けに供給されるエネルギーが減少するため、その補填を目的に付帯インフラ（LNG 供給等）の整備が前提である）。

1. 2. 3. 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】

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

【実用化・事業化の計画及びマイルストーン】



●: 基本技術確立

・2022年頃までに実用化研究を完了し、2024年以降に中規模設備（300t/d）を商業1号機として事業化する。そして、2030年ごろまでに国内で最大5基の実機導入を目指す。

1. 2. 4. 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（省エネ効果の確度）と経済性確保（操業コストの低減）、および付帯インフラ（LNG供給等）の整備である。

これらの条件を念頭に、2030年以降までの事業化計画については、事業終了までに、本プロジェクト参加各社による社内検討を実施する。

【研究成果のニーズと経済性の確保】

・本PJは、水素還元などのゼロカーボン技術のように開発期間が長期にわたるものとは異なり、比較的短期に実機化が期待できる技術である。

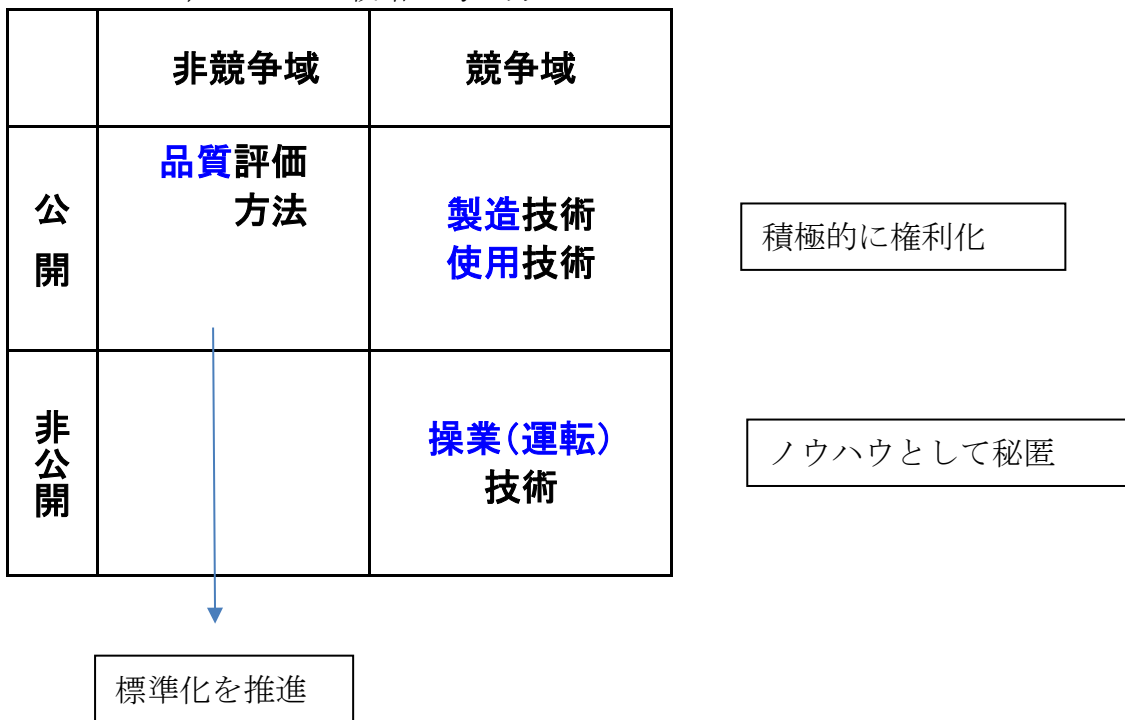
・2030年までの本技術の実機化を促進するためには、経済効果の最大化（高炉の還元材比低減、省エネ、CO2削減量の拡大、安価原料の使用拡大など）が重要である。今後の鉱石・石炭の価格や、下工程への補填エネルギー種（天然ガス、水素、電力など）・価格、およびこれらのインフラ状況、炭素税などの動向などを考慮して、経済効果を見極めていく必要がある。

【波及効果】

- ・一般に世の中に流通している有機系固体バインダーとして石油由来のバインダーであるASP（アスファルトピッチ）が知られているが、本事業で開発した新規固形バインダーは石炭由来であることが特徴である。この石炭由来であるがゆえに相手材の種類によっては、「相性」の点で石油系バインダーより優れた特性を発揮する場合も想定され、新たな用途開発に繋がる可能性がある。
- ・本事業で開発した「混合・攪拌シミュレーションモデル」は、粒径や比重の異なる多種原料（固体3種類、液体1種類）の混合状態を高度にシミュレートし得る新たな数値計算手法である。このような複雑な粉体系を扱う業種（例えば食品、医薬品分野など）への本数値計算手法の適用・展開が図れば、他業種の技術開発力向上にも大いに寄与することができる。

1. 3. 知的財産・標準化戦略

➤オープン/クローズ戦略の考え方



現PJの前進である先導研究（「革新的製鉄プロセスの先導的研究」）

（'06～'08年度）

開始前に各社が所有する関連技術を封印。

「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」（'09～'10年度NEDO、'11～'12は国直轄）において、特許網構築済み（権利化するもの、ノウハウとして秘匿するものを分類・整理）

1. 3. 1. 戦略的な特許取得

基本特許

- ①製造方法、プロセス、設備、配合条件
- ②使用方法、高炉での装入方法

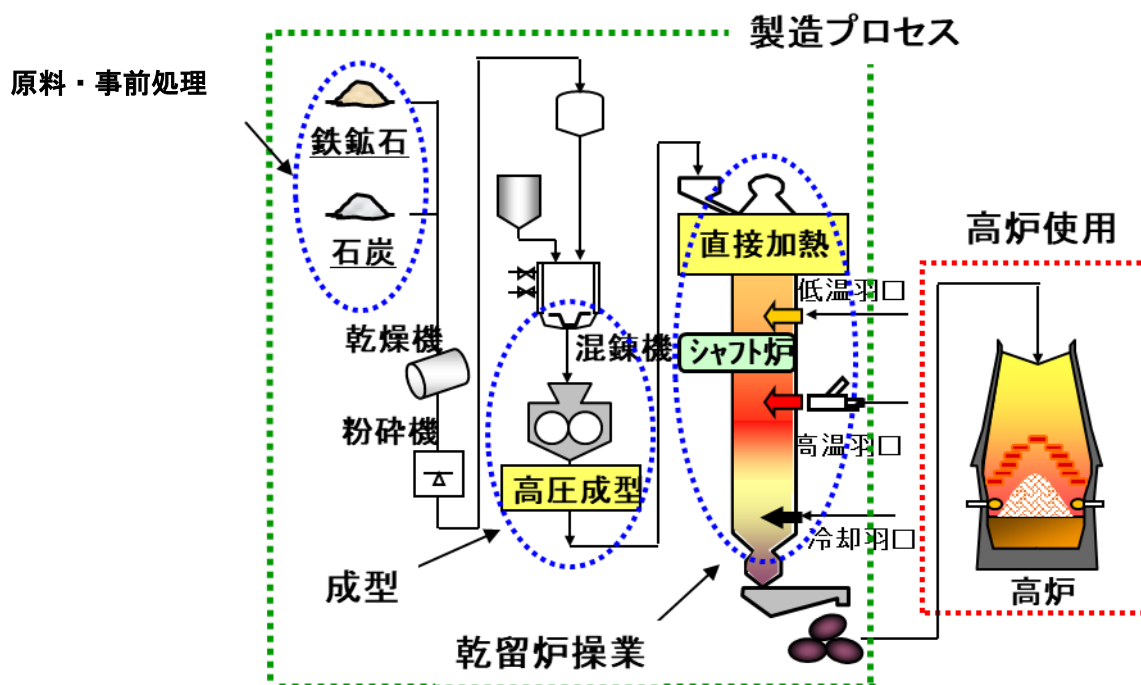
周辺特許

- ①周辺システム、品質制御、副生物処理など

1. 3. 2. 知的財産管理指針の策定

1) 成果に係わる知的財産権の取り扱い

- ・ 受託会社に帰属（日本版バイドール法に準拠）
- ・ 共同受託会社間では実施許諾を前提で協議



2) 共同受託会社の既得技術の取り扱い

- ・ 既出願特許：必要のあるものは実施許諾を前提で協議
- ・ 未出願特許：封印技術により既得技術であることを証明
（必要のあるものは実施許諾を前提で協議）

3) 再受託先（大学）での成果に係わる知的財産権

- ・ 国プロの趣旨に鑑みて再受託者、再受託者間で共有すべく協議

1. 3. 3. 発明委員会（知財会議と称す）の運用

- ・ 各社知的財産管理部署のメンバーから構成
- ・ 公表、特許出願案件について審議・認定
- ・ 各社において共同開発事業契約（見直し、更新）手続き実行
- ・ P J 期間中、年 3 回程度の頻度で開催

2. 目標及び達成状況

2. 1. アウトカム目標及び達成見込み

2. 1. 1. アウトカム目標

2030年頃までに1500トン/日規模の実機5基を導入し、溶銑製造量2,000万トン/年(400万t/年高炉5基)に対して、省エネルギー効果量として原油換算量19.4万kl/年、CO₂削減量は82万t/年を見込む。また、フェロコックス原料炭の一般炭への利用拡大を進めることにより、約280億円の経済性を見込む。

2. 1. 2. 本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

実用化：中規模設備でフェロコックス300t/dの製造技術(混練、成型、乾留、粘結材の各技術)を確立し、フェロコックスが高炉へ連続装入して使用が可能なこと及び製銑プロセスの省エネルギーを実現すること。

事業化：上記設備で構成された商用規模設備を製銑プロセスへ導入し、製銑プロセスで工程化されること。

2. 1. 3. 実用化・事業化に向けた戦略

1) 実用化：中規模設備(300t/d)による工業化課題の克服

- ・高炉での長期使用、設備の安定操業技術・耐久性実証
- ・省エネ効果検証(大規模設備~1500t/d)でのシミュレーションによる推定含)

2) 事業化

- ・実機FS：設備・操業コスト、及び使用エネルギーの評価
- ・中規模設備(300t/d)で実用性(省エネ・CO₂削減効果・製造コスト低減)が認められれば、研究開発補助金制度に則り、そのまま工程化(2023年以降)
- ・展開・普及：2030年までに業界として実機(900~1500t/d規模※)の最大5基導入を目指す。
※300t/dを3~5基並列に設置。高炉改修は不要。

2. 1. 4. 実用化・事業化に向けた具体的取組

1) 実用化・事業化活動の実施者

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

2) 実用化・事業化の計画及びマイルストーン

- ・2022年頃までに実用化研究を完了し、2024年以降に中規模設備(300t/d)を商業1号機として事業化を目指す。そして、2030年ごろまでに国内で最大5基の実機導入を目指す。
(ただし、フェロコックス導入によって、製銑工程から発生するエネルギー、すなわち、下工程に加熱炉燃料として、あるいは発電所向けに供給されるエネルギーが減少するため、その補填を目的に付帯インフラ(LNG供給等)の整備が前提である。)

2. 1. 5. 成果の実用化・事業化の見通し

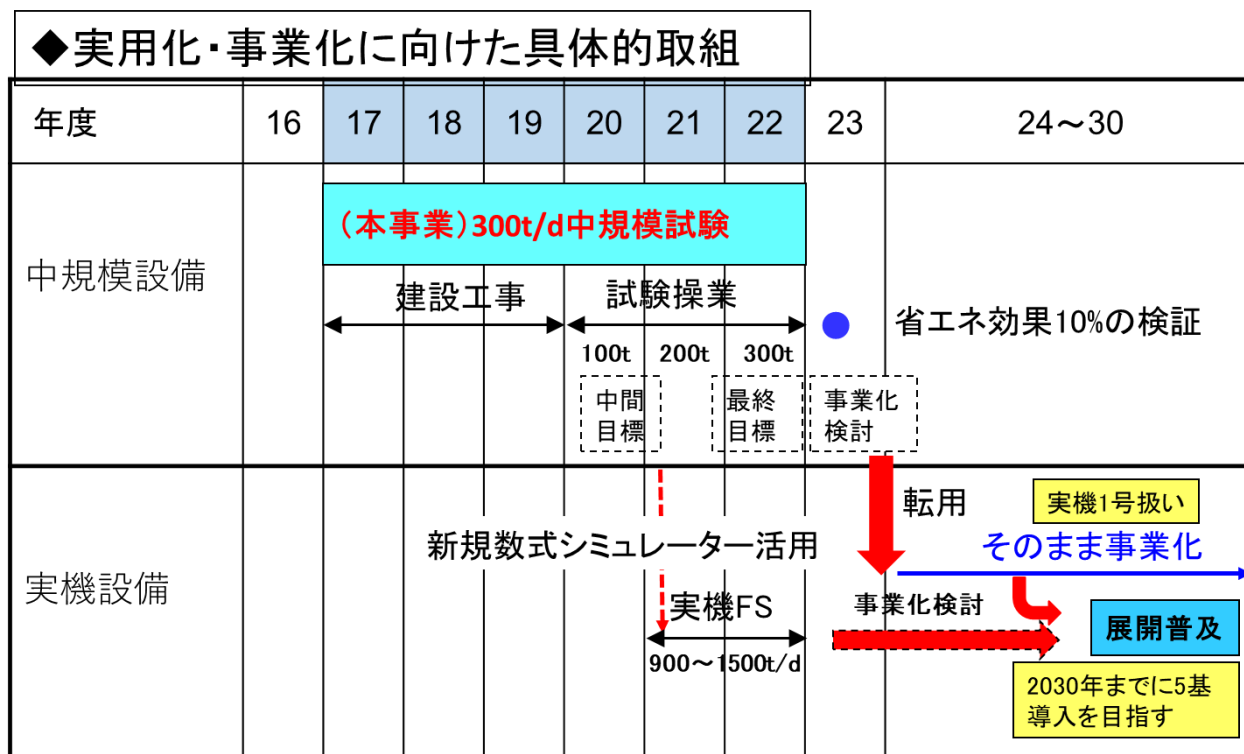
1) 実用化・事業化に向けての課題とその解決方針

- ・実用化・事業化の課題は技術確度の向上(省エネ効果の確度)と経済性確保(安価な石炭・鉄鉱石使用等による操業コストの低減)、および付帯インフラ(LNG供給等)の整備である。
- ・これらの条件を念頭に、2030年までの事業化計画については、事業終了までに、本プロジェクト参加各社による社内検討を実施する。

2) 研究成果のニーズと経済性の確保

- ・本PJは、水素還元などのゼロカーボン技術のように開発期間が長期にわたるものとは異なり、比較的短期に実機化が期待できる技術である。
- ・2030年までの本技術の実機化を促進するためには、経済効果の最大化(高炉の還元材比低減、省エネ、CO₂削減量の拡大、安価原料の使用拡大など)が重要である。今後の鉱石・石炭の価格や、下工程への補填エネルギー種(天然ガス、水素、電力など)・価格、およびこれらのインフラ状況、炭素税などの動向などを考慮して、経済効果を見極めていく必要がある。

本事業における「実用化・事業化」の考え方



●:基本技術確立

42

2. 1. 6. アウトカム達成見込み

1) 省エネルギー効果量

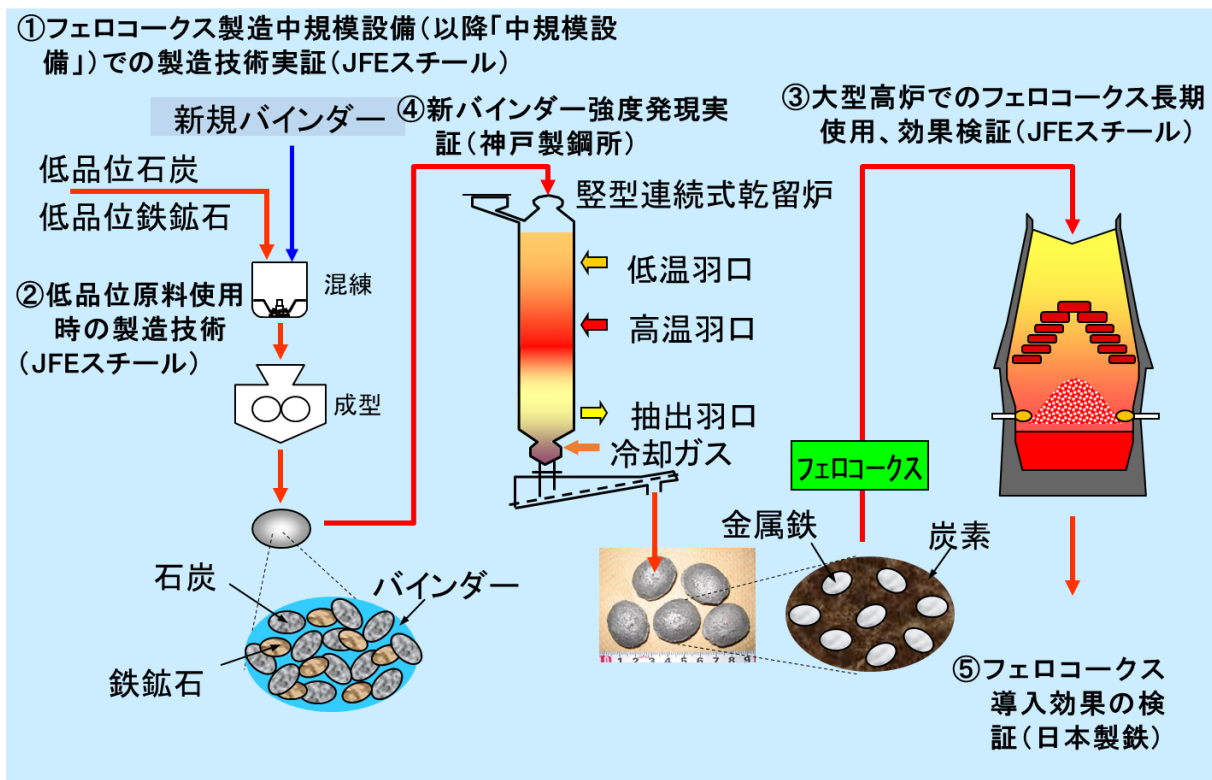
製鉄所全体の省エネルギー効果量は、23.6万kL/年を見込める。

2) CO₂削減量

製鉄所全体のCO₂削減量は、93.4万t₂/年を見込める。

2. 2. アウトプット目標及び達成状況

アウトプット(研究開発成果)のイメージ



49

2. 2. 1. 事業の目標 (アウトプット目標) 本事業の目標を下記に示す。

【中間目標 (2020年度)】

①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

①-1 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

①-2 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。

・300t/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あることを確認する。

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

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

②一般炭、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)

③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。

④新バインダー強度発現実証

・中規模設備に供し得る新規固形バインダーを試作する。
・液体新規バインダーの試作をおこない、タブレットスケールで所定の冷間強度を確保できることを実証する。

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

指標：液体新規バインダーの製造オプションの提示。

⑤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。
・④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)】

①中規模設備での製造技術実証

①-1 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

②-2 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。

②一般炭、低品位原料使用時の製造技術

・ラボスケールでの試験結果から、原料（鉄鉱石、石炭）の絞込みを行う。これら原料がフェロコ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）： $ID30/15 \geq 85$

③実高炉でのフェロコークス長期使用、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

④新バインダー強度発現実証

・新規固形バインダーの実証技術開発計画案を提示する。
・所定の強度を実現しうる液体新規バインダー製造プロセス案を提示する。
・フェロコ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

⑤フェロコークス導入効果の検証

・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

(⑤の数値シミュレーションと③(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. 2. 2. 目標設定の根拠

①フェロコークス製造中規模設備での製造技術実証（JFE スチール、東北大学）

・設定理由（混合度 95 以上）：混合度と強度には正の相関があり、混練性が高い原料で成型した成型物は強度も高い。混練状態の違いを混練時間が異なる原料で強度と混合度の関係を調査した結果、上記の目標値とした。さらに、高炉使用時の粉化による通気性悪化を抑止するために焼結鉱と同等レベルとし、上記目標値とした。

・設定理由（乾留後塊成物のドラム強度：DI150/15 \geq 80）：高炉安定操業を担保するための強度として現在の室炉コークスをベースに設定した。

②一般炭、低品位原料使用時の製造技術（JFE スチール）

・設定理由（成型物の強度（I 型ドラム強度）：ID30/15 \geq 85）：成型物強度と乾留後強度には正の相関があり、成型物強度が高い成型物は乾留後の強度も高い。成型物は成型後、ベルトコンベア、シュート等のジャンクションで落下衝撃を受ける。ジャンクションの高さが高ければその衝撃も大きく成型物の粉化も増加する。今回、ジャンクションの高さは工程化設備をベースに 10m に設定し、その落下高さ能耐える強度を目標値とした。

③ 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証（JFE スチール）

・設定理由（2019 年度）（フェロコークスの実高炉への装入量 3kg/t 程度で、安定して装入できること）：冷間装入試験結果を実炉に反映させる際、炉熱変動により生産性に影響の少ない装入量から実施し、徐々に装入量を増やしていく。

・設定理由（2021 年度）（連続操業試験：30 日以上）：30t/d のパイロットプラントでは、成型・乾留一貫の製造は連続 30 日間実施したが、高炉での使用試験は、30 日間作りだめしたフェロコークスを 5 日間で消費した。今回は、フェロコークスの製造と使用を連続的に行うため、製造および使用期間をマッチングさせる必要がある。よって、本事業では製造と使用期間を 30 日以上に設定した。フェロコークス 300t/d でのフル製造時の高炉装入量（原単位）は 30kg/t。フェロコークス中規模製造設備の稼働率目標を平均 90%以上とすると、高炉装入量は平均 27kg/t 以上となる。

④新バインダーの強度発現実証（神戸製鋼所、東北大学）

・設定理由（新規固形バインダー使用時の成型物の強度（I 型ドラム強度）：ID30/15 \geq 85）：前回プロジェクトの成果より、高炉装入に耐える乾留後塊成物としての品質（課題①）、およびフェロコークス中規模設備乾留工程に耐える成形物としての品質（課題②）として設定した。フェロコークスが実用化されると ASP（従来固形バインダー）として最大 5 万トン/年が必要。ASP は原油精製の副産物であり、国内市場規模は 70 万トン/年であるため、フェロコークスの実用化時には需給の逼迫と価格高騰が予想され、代替バインダーを開発することで、ASP の需給に制約されない安定したフェロコークス操業を図ることができる（フェロコークス技術の拡大期に必須な技術開発）。

・選定理由（新規液体バインダーの製造オプションの提示）：従来のコークス炉副生物から製造される SOP に依存しないように、フェロコークス炉副生物である中低温タールおよび石炭を原料としたフェロコークス用液体バインダーを製造できるようにするため設定した。SOP の供給量に制約されない新規液体バインダーを供給することで、フェロコークスプラントの技術拡大、普及に資する技術である。

⑤フェロコークス導入効果の検証（日本製鉄、九州大学）

・設定理由（2019 年度）：フェロコークスの高炉使用時の効果検証において、荷重軟化試験装置を用い、フェロコークス充填層を連続的にガス化昇温中に実験を中断し（例えば 900℃、1200℃、1500℃など）、温度とガス化率の関係を調査評価することが、30t/d プラントの時も有効であったので設定した。

・設定理由（2021 年度）：高炉内での還元反応、溶融挙動など各種の挙動を明確化し、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの精度向上につなげる為に有効な手段であるので設定した。

3. マネジメント

3. 1. 実施体制

以下に、研究開発体制を示す。

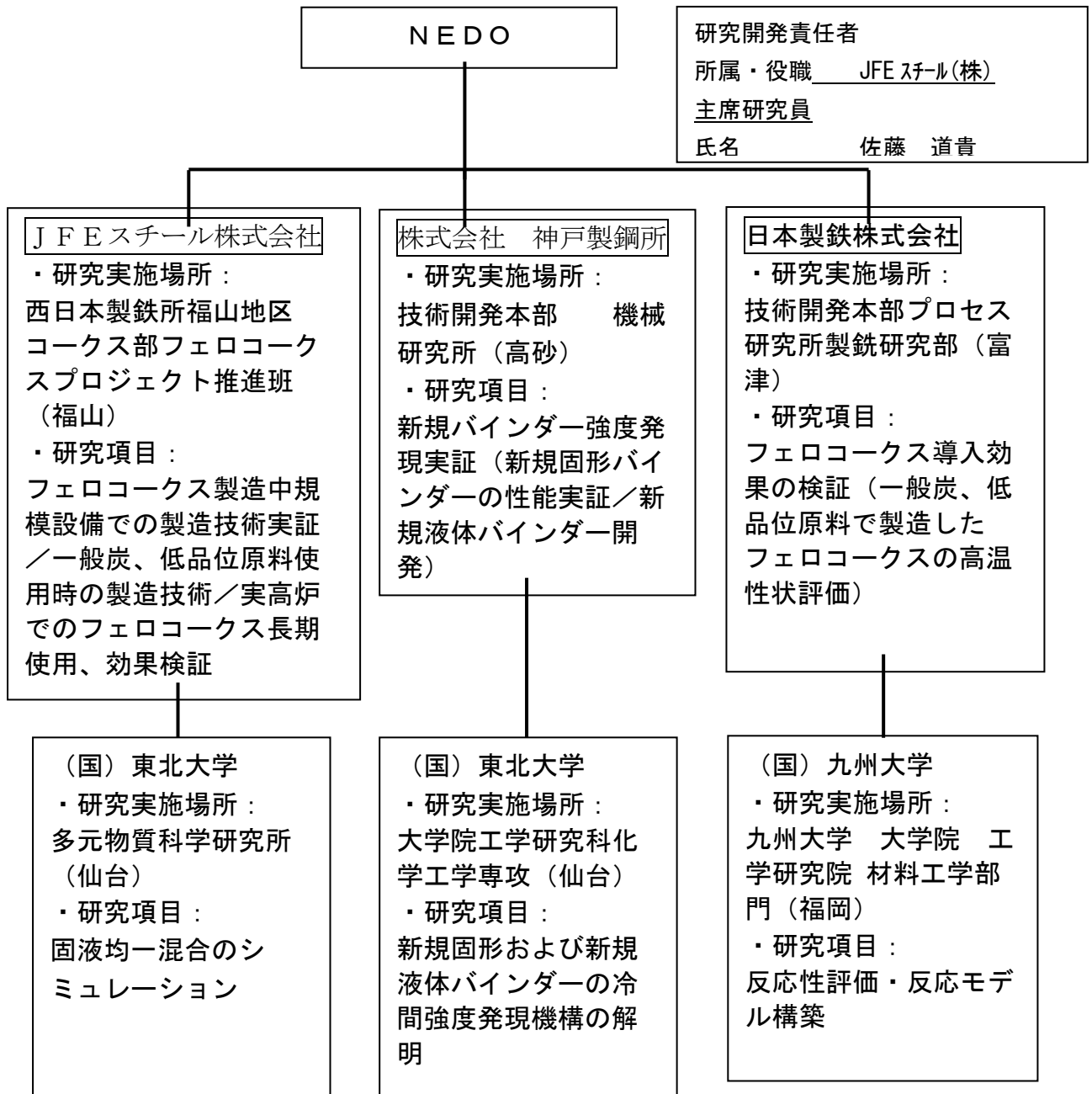


図3-1 研究開発体制

技術開発責任者 J F Eスチール（株） 佐藤道貴
J F Eスチール 神戸製鋼所 日本製鉄の各研究テーマの全体総括

J F Eスチール株式会社

担当開発課題

- ①フェロコークス中規模設備での製造実証
- ②一般炭、低品位原料使用時の製造技術実証
- ③実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

主要な研究者

- ・庵屋敷孝思 フェロコークスグループ責任者
- ・小柳保章 フェロコークスプロジェクト推進班長

共同研究先

国立大学法人東北大学

共同研究先の役割：箇液均一混合シミュレーション

株式会社神戸製鋼所

担当開発課題

- ④新規バインダー強度発現実証
固形新規バインダー開発
液体新規バインダー開発

主要な研究者

- ・宍戸貴洋 技術開発本部 機械研究所 エネルギー環境研究室 主任研究員
- ・奥山憲幸 技術開発本部 機械研究所 上席研究員

共同研究先

国立大学法人東北大学

共同研究先の役割：新規バインダー冷間強度発現機構の解明

日本製鉄株式会社

担当開発課題

- ⑤フェロコークス導入効果の検証
(一般炭、低品位原料で製造したフェロコークスの高温性状評価)

本プロジェクトにおける位置づけ

J F Eスチールで選定した一般炭、低品位鉄鉱石で作ったフェロコークスについて、荷重軟化試験を実施して、フェロコークスの高温性状を把握する。また、高炉内反応モデルシミュレーターを作成する。

主要な研究者

- ・中野 薫 技術開発本部 プロセス研究所 製鉄研究部 上席主幹研究員
- ・酒井 博 技術開発本部 プロセス研究所 製鉄研究部 主任研究員

共同研究先

国立大学法人九州大学

共同研究先の役割：高炉内におけるフェロコークスの反応性評価・反応モデル構築

3. 1. 1. 研究開発の運営管理

◎事業実施における運営方針、方法

1) 幹事会（事業者主催）とフェロコクス研究会を開催する。技術開発責任者を中心として提案者3社が集まり、プロジェクト幹事会、知財検討会などでプロジェクト推進に係る課題を打ち合わせる。

2) フェロコクス研究会（事業者主催） 開発進捗報告を事業者、共同研究先から報告。外部有識者であるアドバイザーより意見をもらう。

3) フェロコクス、COURSE50 事業者連携

同一基本計画の下にあるフェロコクスと COURSE50 については、2030 年以降、両者の相乗効果が期待されるところである。事業最終年度である2022年度においては、省エネルギー、省CO₂効果最大になる条件決定までに、解決すべき課題を明確にして連携を進める。

4) フェロコクス技術検討委員会（NEDO 主催）

1回/四半期を目処に、NEDO がフェロコクス技術検討委員会を開催し、進捗状況を把握する。技術委員よりのコメントを研究開発内容へ反映させる。

フェロコクス技術検討委員会の開催実績

第1回委員会 2017年11月16日 NEDO

委員長	亀山 秀雄	国立大学法人東京農工大学 名誉教授
	伊藤 公久	学校法人早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授
	小野崎 正樹	一般財団法人エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 部長
	武部 博倫	国立大学法人愛媛大学 大学院理工学研究科 物質生命工学専攻 教授
	巽 孝夫	国際石油開発帝石株式会社 再生可能エネルギー・電力事業ユニット シニアコーディネーター
	月橋 文孝	国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科 基盤科学研究系物質系専攻 教授

第2回委員会 2018年3月7日 NEDO

委員長	亀山 秀雄	国立大学法人東京農工大学 名誉教授
	伊藤 公久	学校法人早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授
	小野崎 正樹	一般財団法人エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 部長
	武部 博倫	国立大学法人愛媛大学 大学院理工学研究科 物質生命工学専攻 教授
	巽 孝夫	国際石油開発帝石株式会社 再生可能エネルギー・電力事業ユニット シニアコーディネーター
	月橋 文孝	国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科 基盤科学研究系物質系専攻 教授
	科野 宏典	株式会社野村総合研究所 社会システムコンサルティング部 上席コンサルタント

第3回委員会 2018年6月26日 新日鐵住金（当時） 君津

委員長	亀山 秀雄	国立大学法人東京農工大学 名誉教授
	伊藤 公久	学校法人早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授
	巽 孝夫	国際石油開発帝石株式会社 再生可能エネルギー・電力事業ユニット シニアコーディネーター
	科野 宏典	株式会社野村総合研究所 社会システムコンサルティング部 上席コンサルタント

第4回 2018年11月9日 神戸製鋼所 高砂

委員長	月橋 文孝	国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科 基盤科学研究系物質系専攻 教授
-----	-------	--

小野崎 正樹 一般財団法人エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 部長
武部 博倫 国立大学法人愛媛大学 大学院理工学研究科 物質生命工学専攻 教授
巽 孝夫 国際石油開発帝石株式会社 再生可能エネルギー・電力事業ユニット シ
ニアコーディネーター
科野 宏典 株式会社野村総合研究所 社会システムコンサルティング部 上席コンサル
タント

第5回 2019年1月16日 JFE スチール 福山
委員長 亀山 秀雄 国立大学法人東京農工大学 名誉教授
伊藤 公久 学校法人早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授
小野崎 正樹 一般財団法人エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 部長
武部 博倫 国立大学法人愛媛大学 大学院理工学研究科 物質生命工学専攻 教授
巽 孝夫 国際石油開発帝石株式会社 再生可能エネルギー・電力事業ユニット シ
ニアコーディネーター
月橋 文孝 国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科 基盤科学研究系物質
系専攻 教授
科野 宏典 株式会社野村総合研究所 社会システムコンサルティング部 上席コンサル
タント

第6回 2019年3月12日 NEDO
委員長 亀山 秀雄 国立大学法人東京農工大学 名誉教授
伊藤 公久 学校法人早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授
小野崎 正樹 一般財団法人エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 部長
武部 博倫 国立大学法人愛媛大学 大学院理工学研究科 物質生命工学専攻 教授
巽 孝夫 国際石油開発帝石株式会社 再生可能エネルギー・電力事業ユニット シ
ニアコーディネーター
月橋 文孝 国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科 基盤科学研究系物質
系専攻 教授
科野 宏典 株式会社野村総合研究所 社会システムコンサルティング部 上席コンサル
タント

第7回 2019年7月26日 川崎 産業振興会館
委員長 亀山 秀雄 国立大学法人東京農工大学 名誉教授
伊藤 公久 学校法人早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授
武部 博倫 国立大学法人愛媛大学 大学院理工学研究科 物質生命工学専攻 教授
巽 孝夫 国際石油開発帝石株式会社 再生可能エネルギー・電力事業ユニット シ
ニアコーディネーター
科野 宏典 株式会社野村総合研究所 社会システムコンサルティング部 上席コンサル
タント

第8回 2019年12月13日 JFE スチール 福山
委員長 亀山 秀雄 国立大学法人東京農工大学 名誉教授
伊藤 公久 学校法人早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授
巽 孝夫 国際石油開発帝石株式会社 再生可能エネルギー・電力事業ユニット テ
クニカルコンサルタント
月橋 文孝 国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科 基盤科学研究系物質
系専攻 教授
科野 宏典 株式会社野村総合研究所 社会システムコンサルティング部 上席コンサル
タント

第9回 2020年3月3日 書面開催
 委員長 亀山 秀雄 国立大学法人東京農工大学 名誉教授
 伊藤 公久 学校法人早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授
 武部 博倫 国立大学法人愛媛大学 大学院理工学研究科 物質生命工学専攻 教授
 巽 孝夫 国際石油開発帝石株式会社 再生可能エネルギー・電力事業ユニット シニアコーディネーター
 月橋 文孝 国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科 基盤科学研究系物質系専攻 教授
 科野 宏典 株式会社野村総合研究所 社会システムコンサルティング部 上席コンサルタント

第10回 2020年9月9日 JFEスチール 福山
 委員長 亀山 秀雄 国立大学法人東京農工大学 名誉教授
 伊藤 公久 学校法人早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授
 武部 博倫 国立大学法人愛媛大学 大学院理工学研究科 物質生命工学専攻 教授
 巽 孝夫 国際石油開発帝石株式会社 再生可能エネルギー・電力事業本部 事業企画ユニット テクニカルコンサルタント
 科野 宏典 株式会社野村総合研究所 社会システムコンサルティング部 上席コンサルタント
 葛西 栄輝 東北大学 大学院 環境科学研究科 先端環境創成学専攻 教授
 佐々木 宏一 一般財団法人日本エネルギー経済研究所 環境ユニット
 担任補佐/研究主幹

第11回 2021年3月15日 NEDO
 委員長 亀山 秀雄 国立大学法人東京農工大学 名誉教授
 伊藤 公久 学校法人早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授
 武部 博倫 国立大学法人愛媛大学 大学院理工学研究科 物質生命工学専攻 教授
 巽 孝夫 国際石油開発帝石株式会社 再生可能エネルギー・電力事業本部 事業企画ユニット テクニカルコンサルタント
 科野 宏典 株式会社野村総合研究所 社会システムコンサルティング部 上席コンサルタント
 葛西 栄輝 東北大学 大学院 環境科学研究科 先端環境創成学専攻 教授
 佐々木 宏一 一般財団法人日本エネルギー経済研究所 環境ユニット
 担任補佐/研究主幹

第12回 2021年7月19日 NEDO
 委員長 亀山 秀雄 国立大学法人東京農工大学 名誉教授
 伊藤 公久 学校法人早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授
 巽 孝夫 国際石油開発帝石株式会社 再生可能エネルギー・電力事業本部 事業企画ユニット テクニカルコンサルタント
 科野 宏典 株式会社野村総合研究所 社会システムコンサルティング部 上席コンサルタント
 葛西 栄輝 東北大学 大学院 環境科学研究科 先端環境創成学専攻 教授
 佐々木 宏一 一般財団法人日本エネルギー経済研究所 環境ユニット
 担任補佐/研究主幹

第13回 2021年11月26日 JFEスチール 福山
 委員長 亀山 秀雄 国立大学法人東京農工大学 名誉教授
 武部 博倫 国立大学法人愛媛大学 大学院理工学研究科 物質生命工学専攻 教授
 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
 科野 宏典 株式会社野村総合研究所 社会システムコンサルティング部 上席コンサルタント

葛西 栄輝 東北大学 大学院 環境科学研究科 先端環境創成学専攻 教授

第14回 2022年3月23日 NEDO

委員長 亀山 秀雄 国立大学法人東京農工大学 名誉教授
伊藤 公久 学校法人早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授
武部 博倫 国立大学法人愛媛大学 大学院理工学研究科 物質生命工学専攻 教授
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
科野 宏典 株式会社野村総合研究所 社会システムコンサルティング部 上席コンサルタント
葛西 栄輝 東北大学 大学院 環境科学研究科 先端環境創成学専攻 教授
佐々木 宏一 一般財団法人日本エネルギー経済研究所 環境ユニット
担任補佐/研究主幹

第15回 2022年7月29日 NEDO

委員長 亀山 秀雄 国立大学法人東京農工大学 名誉教授
伊藤 公久 学校法人早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授
武部 博倫 国立大学法人愛媛大学 大学院理工学研究科 物質生命工学専攻 教授
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
葛西 栄輝 東北大学 大学院 環境科学研究科 先端環境創成学専攻 教授
佐々木 宏一 一般財団法人日本エネルギー経済研究所 環境ユニット
担任補佐/研究主幹

第16回 2022年12月14日 NEDO

委員長 亀山 秀雄 国立大学法人東京農工大学 名誉教授
伊藤 公久 学校法人早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授
武部 博倫 国立大学法人愛媛大学 大学院理工学研究科 物質生命工学専攻 教授
巽 孝夫 株式会社INPEX 再生可能エネルギー・新分野事業本部 技術ユニット
テクニカルコンサルタント
科野 宏典 株式会社野村総合研究所 サステナビリティ事業コンサルティング部
プリンシパル
葛西 栄輝 東北大学 大学院 環境科学研究科 先端環境創成学専攻 教授
佐々木 宏一 一般財団法人日本エネルギー経済研究所 環境ユニット
担任補佐/研究主幹

第17回 2023年3月1日 NEDO

委員長 亀山 秀雄 国立大学法人東京農工大学 名誉教授
伊藤 公久 学校法人早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授
武部 博倫 国立大学法人愛媛大学 大学院理工学研究科 物質生命工学専攻 教授
巽 孝夫 株式会社INPEX 再生可能エネルギー・新分野事業本部 技術ユニット
テクニカルコンサルタント
科野 宏典 株式会社野村総合研究所 サステナビリティ事業コンサルティング部
プリンシパル
葛西 栄輝 東北大学 大学院 環境科学研究科 先端環境創成学専攻 教授
佐々木 宏一 一般財団法人日本エネルギー経済研究所 環境ユニット
担任補佐/研究主幹

3. 2. 受益者負担の考え方

3. 2. 1. NEDO の関与の必要性

NEDO が関与することの意義

鉄鋼業における CO₂ 排出量は、我が国産業の製造部門の排出量の約 40% を占めており、そのうちの約 70% は高炉による製鉄プロセスで発生している。このため、我が国の産業部門における CO₂ 削減対策を考える上で、高炉による製鉄プロセスで発生する CO₂ 排出量の削減は喫緊の課題となっている。

他方、我が国鉄鋼業では、オイルショック以降、現在までの約 40 年にわたって、総額 4.7 兆円もの投資をして省エネ技術の開発・導入を進め、既に世界最高効率の省エネを達成。現時点で経済性の成り立つ主要な技術はほぼ導入済みの状況にあり、残された対策については、経済性・開発リスクの観点から民間ベースでの開発・導入が困難な分野となっている。

とりわけ、高炉による製鉄プロセスから発生する CO₂ 又はエネルギー消費量を抜本的に削減する本プロジェクトは、鉄鋼業における省エネ対策の最後の切り札として、2030 年に最大 5 基の導入を目指し、未だ世界で手がけたことのない革新的な技術開発を行うものであり、高度な技術を要すること、長期にわたること、及び巨額の設備投資を伴うため、開発リスクも大きく、民間のみでは取り組むことが困難であり、国内高炉メーカー、大学等のノウハウを結集するため、国がイニシアティブをとり、産官学のコンソーシアムを構築し、一体的かつ効率的に開発を実施していく必要がある。

地球温暖化という世界的課題の中で我が国の省エネ・省 CO₂ 対策への取組の重要性はますます高まっており、政府において、「長期エネルギー需給見通し」（平成 2015 年 7 月経済産業省決定）、「地球温暖化対策計画」（2016 年 5 月閣議決定）が策定されたところであり、その対策として本技術が盛り込まれていることから、その達成に向けて、本プロジェクトは、国として強力なイニシアティブを発揮して総合的に推進することが必要である。

実施の効果（費用対効果）

フェロコックス事業において、そのアウトカムは 2030 年時点で省エネルギー効果量は、原油換算量 9.4 万 kL/年、CO₂ 削減量 8.2 万トン/年、また、一般炭購入に伴う経済性としては、約 280 億円/年が見込まれる。

3. 3. 研究開発計画

3. 3. 1. 事業内容

本事業は、フェロコークス製造量300t/dの規模の中規模設備を建設し、フェロコークス製造技術を確立するとともに、中規模設備で製造したフェロコークスを溶銑製造量10,000t/dの実高炉に連続的に長期装入したときの高炉の還元材比や操業安定性（特に通気性）に及ぼす影響を確認する。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。フェロコークス活用プロセスの技術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/日機を進める。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、300t/dの1/10である30t/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300kg/日のベンチスケールで評価を行なっている。

以下に、研究開発計画を示す。

年度	H29 2017	H30 2018	H31 2019	R2 2020	R3 2021	R4 2022
中規模設備 フェロコークス 製造技術実証	実証設備の設計・建設			製造・実証		
一般炭・低品位原料使用時の製造技術	原料選定・ラボ評価					
実高炉フェロコークス長期使用検証	フェロコークス装入検討			使用・効果検証		
新バインダー強度発現実証	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				★		
予算 (億円)	8.3	20.7	25.1	25.1	7.8	8.7

図3-2 事業計画

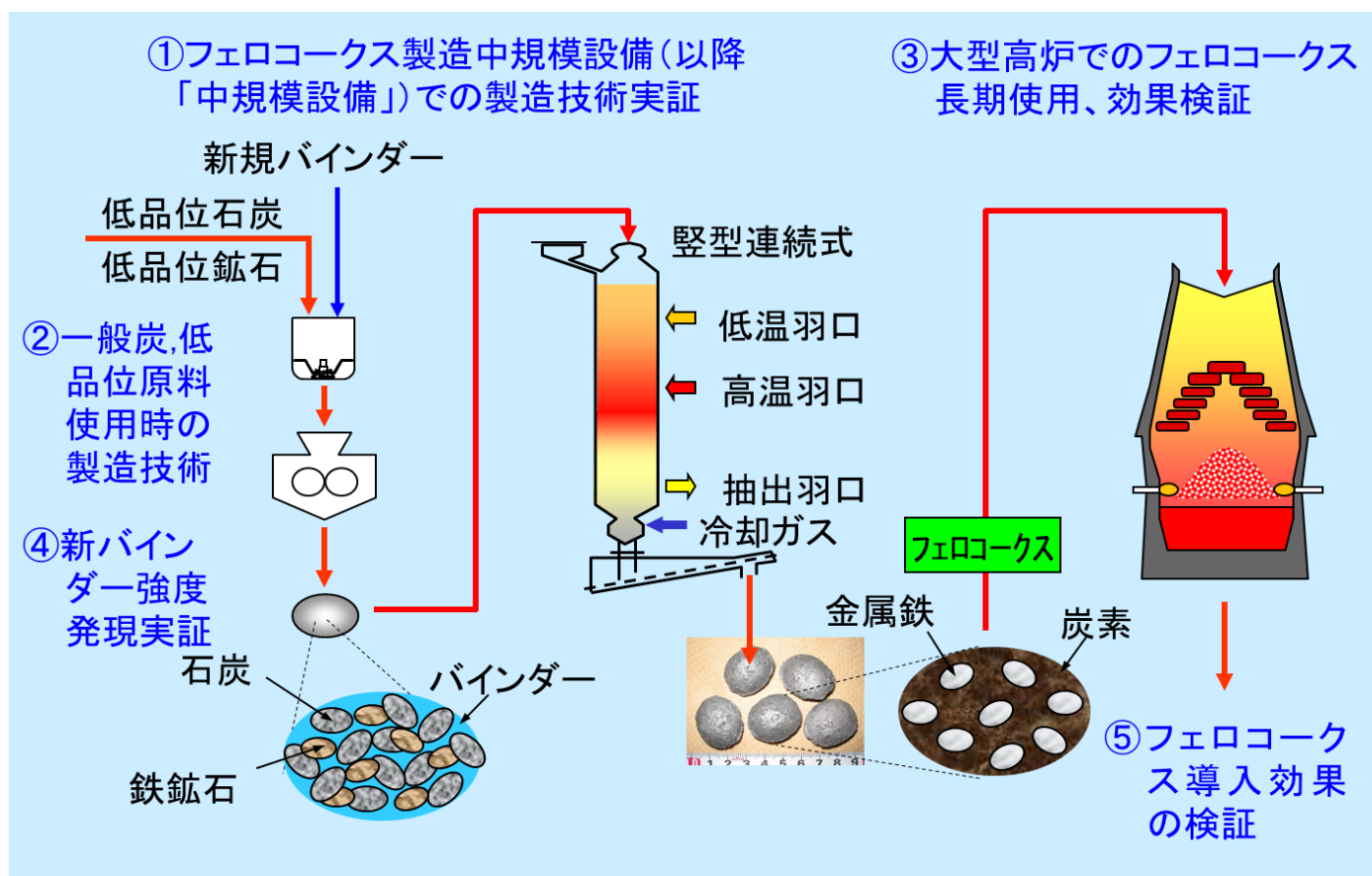


図 3-3 フェロコークス製造プロセスと研究開発テーマ

① 中規模設備での製造技術実証

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

- ① - 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
- ① - 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： $DI_{150/15} \geq 81$ （*）

(*)「資源対応力のための革新的製鉄プロセス技術開発」において、フェロコークス製造量 27.5 t/d ~ 30 t/d とし、乾留炉操業 30 日間で 740 t のフェロコークスを製造した際、目標強度 $DI 150 / 15 > 81$ 以上の歩留りが 93.5% であった。

② 一般炭、低品位原料使用時の製造技術実証

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

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

指標：成型物の強度（I型ドラム強度）： $ID 30 / 15 \geq 85$

③ 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

④ 新バインダー強度発現実証

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

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

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

⑤ 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

(⑤の数値シミュレーションと③(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)。

4. 目標及び達成状況の詳細

4. 1. テーマ毎の目標と根拠

4. 1. 1. 研究開発項目：フェロコークス中規模設備での製造実証

目標 1：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。

目標 2：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。

目標 3：高炉装入に耐えうる乾留物の最適製造条件を確立する。

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

設定の根拠

混合度と強度には正の相関があり、混練性が高い原料で成型した成型物は強度も高い。強度と混合度の関係を調査し、必要なフェロコークスの強度を確保するため、混合度 95 以上を目標値とした。

指標 2：乾留後塊成物のドラム強度：DI150/15 \geq 80

設定の根拠

高炉安定操業を担保するための強度として現在の室炉コークスをベースに設定した。

高炉使用時の粉化による通気性悪化を抑止するために焼結鉱と同等レベルとし、上記目標値とした。

混合度：混合物の均質化の程度を表す指標。混合物全体から無作為に採取したサンプル中の着目成分の組成の標準偏差を用いて求める。

DI150/15 ドラム強度：JISK2151 で規定される試験方法。

4. 1. 2. 研究開発項目：一般炭、低品位原料使用時の製造技術

目標：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

設定の根拠

成型物強度と乾留後強度には正の相関があり、成型物強度が高い成型物は乾留後の強度も高い。

成型物は成型後、ベルトコンベア、シュート等のジャンクションで落下衝撃を受ける。ジャンクションの高さが高ければその衝撃も大きく成型物の粉化も増加する。今回、ジャンクションの高さは工程化設備をベースに 10m に設定し、その落下高さに耐えうる強度を目標値とした。

ID30/15：I型ドラム強度

鉄鋼業界で一般的に採用されている強度指標（測定に供する試料数：20 個）

4. 1. 3. 研究開発項目：実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

目標：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、フェロコークス導入効果の検証で開発した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

設定の根拠

30t/d のパイロットプラントでは、成型・乾留一貫の製造は連続 30 日間実施したが、高炉での使用試験は、30 日間作りだめしたフェロコークスを 5 日間で消費した。今回は、フェロコークスの製造と使用を連続的に行うため、製造および使用期間をマッチングさせる必要がある。よって、本事業では製造と使用期間を 30 日以上に設定した。

フェロコークス 300t/d でのフル製造時の高炉装入量（原単位）は 30kg/t。

4. 1. 4. 研究開発項目：新バインダー強度発現実証

目標 1：新規固形バインダーの実証技術開発計画案を提示する。

指標：乾留後塊成物の強度（ドラム強度）：DI150/15 \geq 80

設定の根拠

フェロコークス普及時には、従来の ASP（石油精製副産物）、SOP（コークス炉副産物）では量的に不足が想定されるため、代替バインダーの開発を実施。成型物およびフェロコークス強度は、製造プロセスおよび高炉安定操業を担保するための強度値として設定（室炉コークスを基準に設定）

目標 2：所定の強度を実現しうる新規液体バインダーの製造プロセス案を提示する。

指標：成型物の強度（I型ドラム強度）： $DI30/15 \geq 85$

設定の根拠

フェロコークス炉で副生されるタール（フェロコークスタール）の液体バインダー適用による供給安定化とコスト削減を実現するため。

目標3：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。工業的に低負荷となるフェロコークスの圧縮成型条件の提案

指標：冷間強度予測モデル解析結果の誤差：10%以内

設定の根拠

将来の劣質原料を利用したフェロコークス成型物の汎用的な製造指標を得るため。

4. 1. 5. 研究開発項目：フェロコークス導入効果の検証

目標：数値シミュレーションと（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、目標の製鉄プロセスにおける省エネ10%を検証する。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（数値シミュレーションと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。

設定の根拠

フェロコークスの高炉使用時の効果検証において得られた知見を反映したシミュレーションモデルを用いて福山3高炉操業解析を行い、モデルの精度を確認するとともに、製鉄所トータルでの評価を実施することで本プロジェクトの目標が達成できるものと設定。

4. 2. 目標の達成状況

4. 2. 1. 研究開発項目：フェロコークス中規模設備での製造実証

目標1：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。

達成状況

混合・攪拌シミュレーションモデルを用いた混錬時間と強度の関係から中規模設備での混錬条件を設定、ラボスケールで混錬時間と混合度の関係を検証。実機規模の混合・攪拌シミュレーションプロトタイプを完成。

目標2：生産量300t/dで長期間安定稼働が可能なことを実証する。

達成状況

降雨・設備トラブルのため生産量100t/dでの操業試験実施。短期間での150t/d操業を実現。原料の棚吊り、居着き等で長期間操業は100t/dに留まる。能率/稼働率の改善が必要。

目標3：高炉装入に耐えうる乾留物の最適製造条件を確立する。

達成状況

石炭2銘柄配合、鉬石20%配合により $DI150/15 \geq 80$ を達成。石炭配合、鉬石比率の最適化により高炉装入に耐え得る強度確保。

4. 2. 2. 研究開発項目：一般炭、低品位原料使用時の製造技術

目標：ラボスケールでの試験結果から、原料（鉄鉬石、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。

達成状況

ラボスケールにおける原料（鉄鉬石、石炭）の絞込みを行い、これら原料を中規模設備において使用試験を実施し、フェロコークス用原料として適していることを検証した。

ラボスケールにおける原料（鉄鉬石、石炭）の絞込みを行い、一般炭4銘柄、PC炭3銘柄、鉬石2銘柄が適用可能なことを検証し、達成と評価。更に、これら原料を中規模設備において使用試験を実施し、フェロコークス目標強度 $DI150/15 \geq 80$ を達成。

4. 2. 3. 研究開発項目：実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

目標：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、フェロコークス導入効果の検証で開発した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。

達成状況

高炉装入試験のため、フェロコークス約 2000~3000t の作り溜めを行い、装入原単位 30 kg/t の高炉装入試験約 2 週間を 2 回実施。フェロコークス多量使用時の FS 検討を実施し、高炉工程における還元材比 11%の削減、製鉄工程の省エネ 10%削減、製鉄所全体での省エネ、製鉄所全体での CO₂ 削減の全てを達成できる可能性があることを見出した。

4. 2. 4. 研究開発項目：新バインダー強度発現実証

目標 1：新規固形バインダーの実証技術開発計画案を提示する。

達成状況

新規固形バインダーを用いて製造した成型物とフェロコークスにおいて目標強度値を達成し、且つ ASP 以上の強度向上効果を有することを確認。社会実装へのスケジュール案と実証プラントの概念設計案を提示した。

目標 2：所定の強度を実現しうる新規液体バインダーの製造プロセス案を提示する。

達成状況

フェロコークスタールを原料に蒸留分画し、成型温度域での粘度を SOP と同等に調整することで好適な液体バインダーが調製できることを明らかにした。製造プロセス案として、フェロコークス炉のタール処理工程に付設する減圧フラッシュ蒸留ユニットの概念を提示した。

目標 3：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。工業的に低負荷となるフェロコークスの圧縮成型条件の提案

達成状況

離散要素法に基づく数値解析より、石炭+バインダー +鉄鉱石の混合系からなる成型物の冷間強度を表現できるモデルを提案した(解析誤差：10%以内)。

4. 2. 5. 研究開発項目：フェロコークス導入効果の検証

目標：数値シミュレーションと(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、目標の製鉄プロセスにおける省エネ 10%を検証する。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。

達成状況

福山 3 高炉の操業実績を解析し、フェロコークス 30kg/t 装入時の操業諸元変化を高炉数学モデルの精度検証を実施。フェロコークス多量使用時の FS 検討を実施し、高炉工程における還元材比 11%の削減、製鉄工程の省エネ 10%削減、製鉄所全体での省エネ、製鉄所全体での CO₂ 削減の全てを達成できる可能性があることを見出した。

一般炭、低品位原料を用いて中規模製造設備で製造したフェロコークスの反応速度を調査し、測定した反応速度をアレニウス型反応速度式として定式化した。

4. 3. アウトプット目標、アウトカム目標

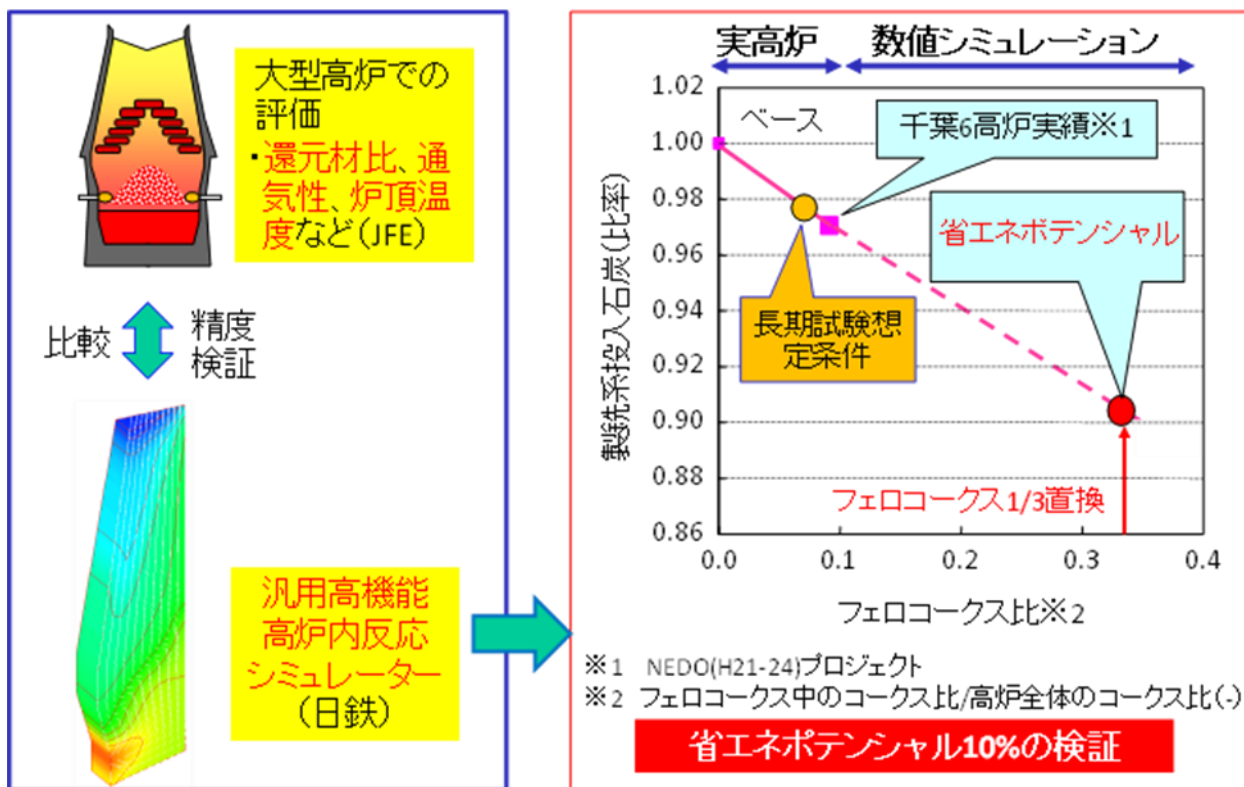
4. 3. 1. 評価前提

フェロコークス装入原単位 30 kg/t までの省エネ効果は、JFE での実炉試験により実証。これ以上の装入量効果については、日本製鉄の汎用高機能高炉シミュレーターの精度を実炉データと比較して確認したうえで、本モデルを多量装入時の推算に使用。

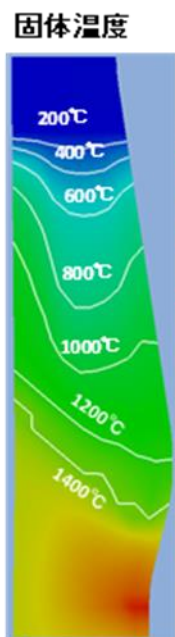
4. 3. 2. 解析方法

解析は、日本製鉄の汎用高機能高炉シミュレーターと JFE のモデル製鉄所を対象とした物質・エネルギー収支モデルを使用。

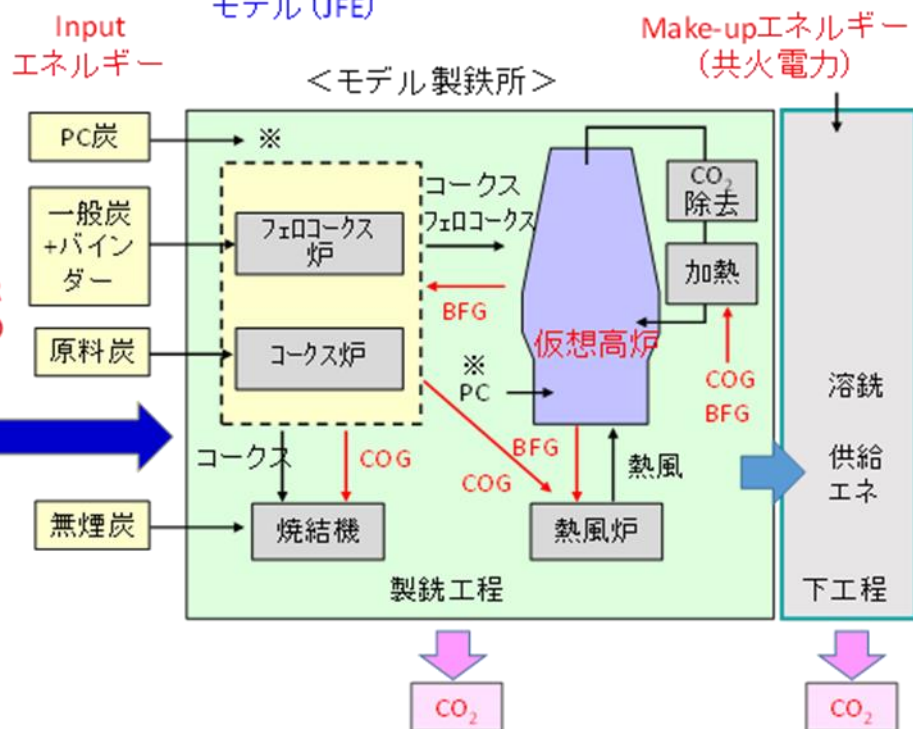
高炉シミュレーターの結果のうち、主要な諸元 (RAR, η CO など) を物質・エネルギー収支モデルにおける「仮想高炉」に反映させ、その条件において、製鉄工程ならびに製鉄所全体の両者をバウンダリーとして物質収支 (特に CO₂ 発生量に関係する炭素 (C) 収支)、およびエネルギー収支計算を行う。フェロコークスを使用しないベース条件と使用した場合の差をフェロコークスによる効果と捉え、エネルギー削減量、CO₂ 発生削減量を評価。



■ 汎用高機能高炉シミュレーター (日本製鉄)

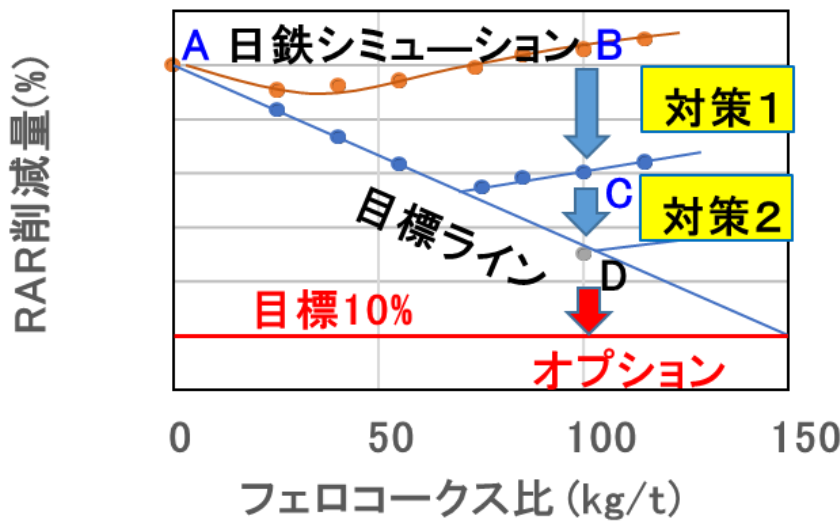
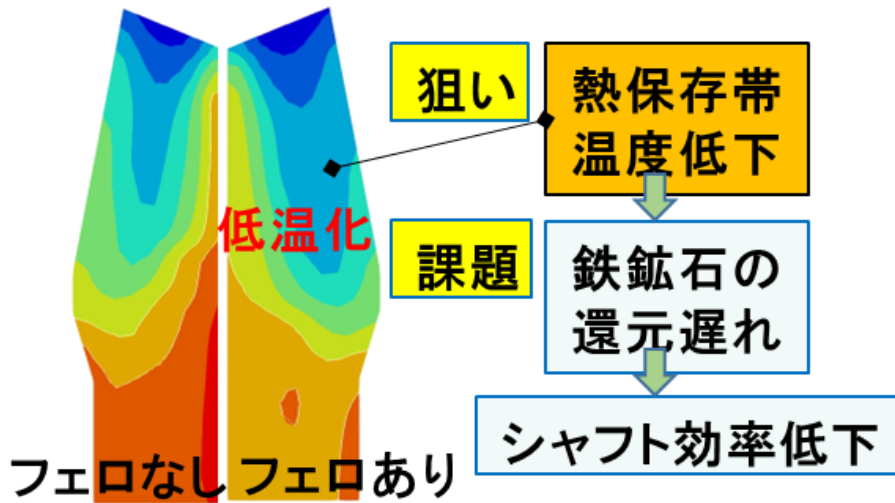


■ モデル製鉄所における物質・エネルギー収支モデル (JFE)



4. 3. 3. 解析結果

装入量が少ないときは目標の RAR ラインに沿う傾向、一方、装入量を増すほど大きく乖離。
 装入量増に従い熱保存帯温度が大きく低下 ⇒ 還元が追従できず、還元平衡から外れ RAR が上昇。



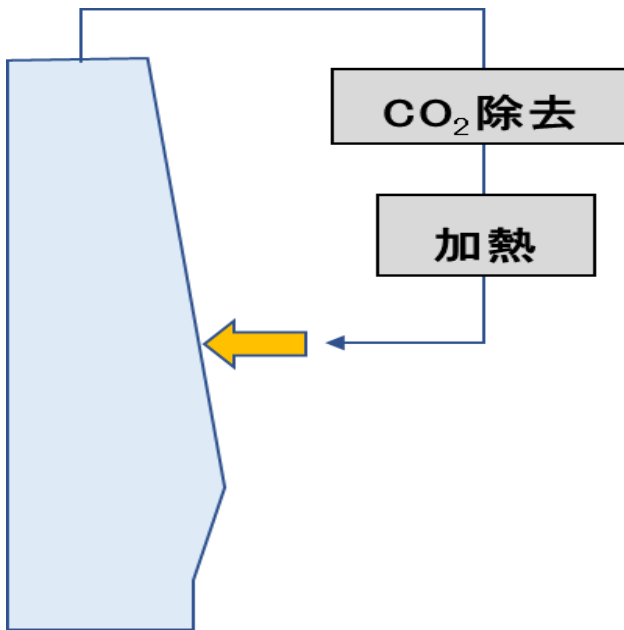
4. 3. 4. 各種対策による RAR の低下量とその限界について

対策1：被還元性の改善 (RI: 55→75) 左図 B→C に改善
 対策2：還元ポテンシャルアップ (分布改善等) 左図 C→D に改善

通常高炉においてはフェロコークス比 100kg で RAR▼7%程度が限界 (D 点)

4. 3. 5. さらに低 RAR オプション

炉頂ガス循環 (COURSE50 要素技術) の適用



フェロコークス使用時に鉄鉱石の還元遅れを解消して、RAR を狙い通りに低下させるためには、フェロコークス装入と同時に鉱石側の被還元性を上昇させる、あるいはガス側の還元ポテンシャルを増すなどの操作が不可欠。更に、COURSE50 の要素技術である炉頂ガス循環技術（炉頂ガス中の CO₂ の除去と加熱後、シャフト下部へ吹き込み、炉内の CO 濃度を高める技術）を適用することで RAR の低下は最大約 11% まで拡大（F 点）。

4. 3. 6. モデル製鉄所における省エネ、CO₂ 削減量の試算

フェロコークス比 100kg/t において、前述の RAR の低下操作によって、製鉄工程の省エネは目標 10% に対して最大約 11% を実現できる可能性が確認された。。

また、2030 年に 5 基導入された場合、製鉄所全体での省エネ、CO₂ 削減量は 23.0 万 kL/年、93.4 万 t/年となり（条件 F）、アウトカム目標値を達成できる可能性が確認された。

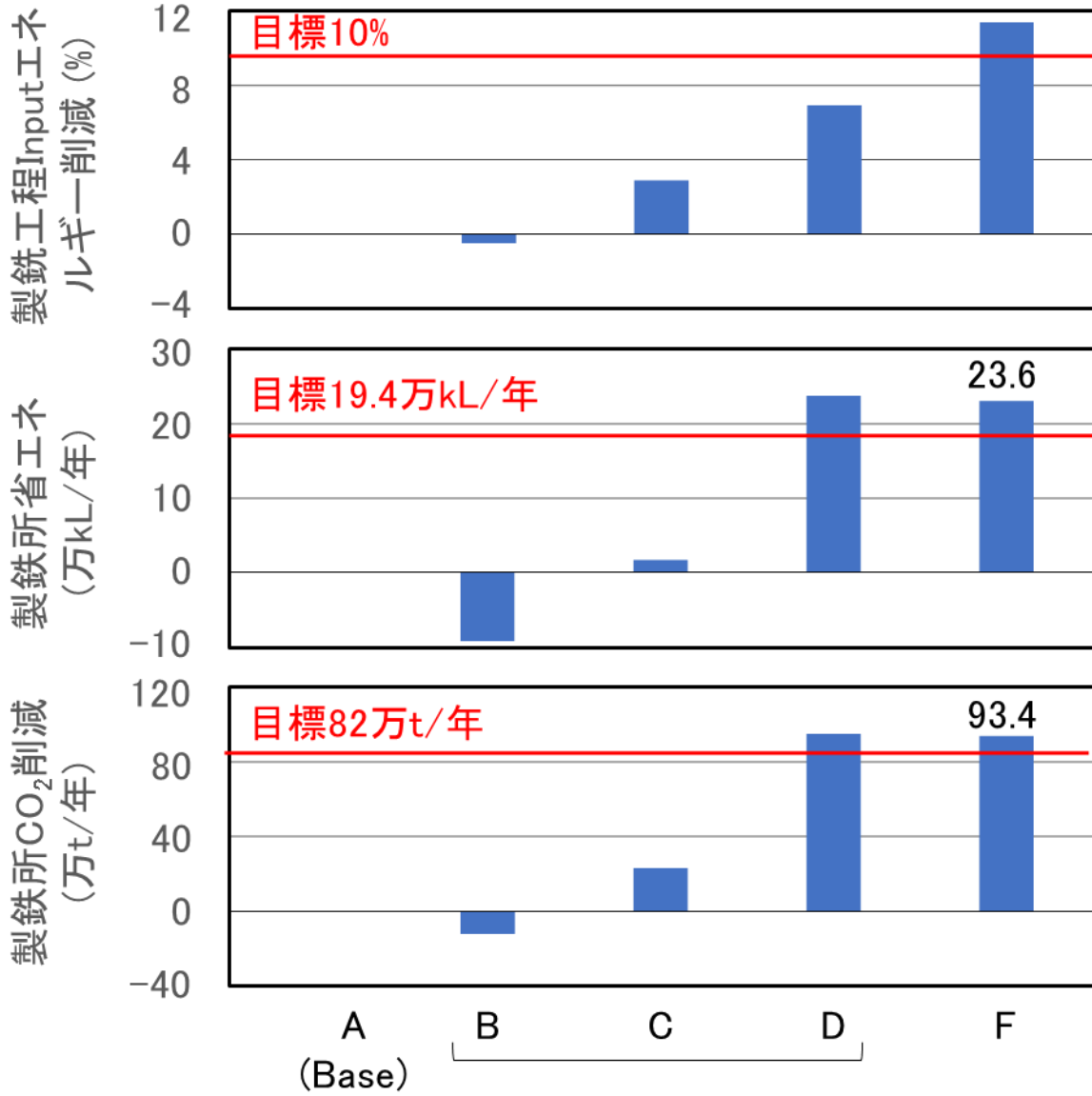
4. 4. 成果の意義

本研究開発では、フェロコークス技術がアウトカム目標として挙げた、省エネルギー効果量：

19.4 万 kL/年（原油換算）、及び、CO₂ 削減量：82 万 t/年 を達成できる見込みであることが明らかとなった。

現在、高炉の CO₂ 削減に関しては抜本的な対策として、水素還元製鉄の開発が進められている。ただし、この技術が広く普及するにはかなりの時間を要すると思われ、それまでの間のトランジション期間における CO₂ 削減技術として、本フェロコークス技術は有効であると考えられる。

また、将来的に資源の枯渇によって高品位の鉄鉱石、石炭の入手が困難になることが予測されているが、フェロコークス技術では、従来高炉に使用できなかった低品位の鉄鉱石、石炭の使用が可能となる。今後エネルギー安全保障の観点からも、本開発技術は有効なものであると考えられる。



炉頂ガス循環なし 炉頂ガス循環あり

「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し、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（2018～2022年度（5年間））、フェーズII-STEP2（2023～2025年度（3年間））での実用化開発を経て、最終的に製鉄所における現状の全排出レベルに比較して約30%のCO₂削減を可能にする技術の確立に資する。

一方、フェロコークス技術の開発は、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、既に実証段階に到達

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（フェロコークス）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、フェロコー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、フェロコークス製造量300 t/dの規模の中規模設備を建設し、フェロコークス製造技術を確立するとともに、中規模設備で製造したフェロコークスを溶銑製造量10,000 t/dの実高炉に連続的に長期装入したときの高炉の還元材比や操業安定性（特に通気性）に及ぼす影響を確認し、最終的に製銑プロセスのエネルギー消費量を10%削減する技術の確立に資する。

(2) 研究開発の目標

研究開発項目 1. 水素還元等プロセス技術の開発(フェーズⅡ-STEP1)

①アウトプット目標

【フェーズⅠ-STEP1中間目標(2010年度)】

最終目標を達成するための主要構成技術の目途を得る。

【フェーズⅠ-STEP1最終目標(2012年度)】

① 高炉からのCO₂排出削減技術開発

- ・水素などによる鉄鉱石還元メカニズムと反応制御の基礎技術を確立する。
- ・水素の増幅率を2倍とするコークス炉ガス(COG)改質技術を確立する。
- ・水素還元高炉用のコークス強度(ドラム強度)DI \geq 88を満足する高強度コークス製造技術を確立する。

② 高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収技術開発

- ・高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂(「分離回収法開発ロードマップ(CCS2020)」に示された目標)を可能とする技術の見通しを得る。

【フェーズⅠ-STEP2中間目標(2015年度)】

(a) 高炉からのCO₂排出削減技術開発

- ・水素還元の効果を最大限とするための技術をラボレベルで検討し実現性、有効性に対するめどを得て具体的な実証試験の計画を立案する。
- ・10m³規模試験高炉の建設を完了させる。
- ・触媒を用いてCOGに含まれるタールや炭化水素を水素に改質する技術において高炉への吹き込みガス用としての改質反応の最適化、改質触媒の活性劣化対策技術の確立を図る。
- ・メタン改質等の総合的に改質向上に資する要素技術のめどを得る。

(b) 高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収技術開発

- ・CO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂を実現可能な技術の充実を指向し再生温度、分離回収エネルギーの低減などの技術開発のめどを得る。

【フェーズⅠ－STEP2最終目標(2017年度)】

- (a) 高炉からのCO₂排出削減技術開発
 - ・ 10m³規模試験高炉により高炉からのCO₂排出量を削減する技術を確立する
- (b) 高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収技術開発
 - ・ 高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂(「分離回収法開発ロードマップ(CCS2020)」に示された目標)を可能とする技術を確立する。

【フェーズⅡ－STEP1中間目標(2020年度)】

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

【フェーズⅡ－STEP1 最終目標(2022年度)】

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

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

- (d) 高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収技術開発
 - ・ CO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂を実現可能な技術の充実に指向し、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立することで、地球温暖化防止に貢献する。また、コークス投入量の削減により29億円規模/年の経済効果が見込まれる。(炭素税等、条件が変化した場合の規模)

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

③アウトカム目標に向けた取組

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

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

研究開発項目2. フェロコークス技術の開発

①アウトプット目標

【中間目標（2020年度）】

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

a-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立

a-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

- ・混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプを完成させ、混合均一性の計算ができることを確認する。
- ・300 t/dの実証設備を建設し、連続一貫製造の負荷運転を実施する。
- ・フェロコークスが設計どおりできることを確認する。

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

指標2：乾留後塊成物のドラム強度：DI150/15 \geq 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3kg/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 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 $ID30/15 > 81$ 以上の歩留りが93.5%であった。

(b) 一般炭、低品位原料使用時の製造技術

- ・ラボスケールでの試験結果から、原料（鉄鉱石、石炭）の絞込みを行う。これら原料がフェロコ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

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

指標：連続操業試験：30日以上

(d) 新バインダー強度発現実証

- ・新規固形バインダーの実証技術開発計画案を提示する。
- ・所定の強度を実現しうる液体新規バインダー製造プロセス案を提示する。
- ・フェロコ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

- ・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アウトカム目標

2030年頃までに1,500トン/日規模の実機5基を導入し、溶銑製造量2,000万トン/年(400万t/年高炉5基)に対して、省エネルギー効果量として原油換算量で19.4万kl/年、CO₂削減量は82万t/年を見込む。また、フェロコ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、製銑プロセスのエネルギー消費量の10%削減する技術の確立を目指す。

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

(3) 研究開発の内容

研究開発項目1. 水素還元等プロセス技術の開発(フェーズII-STEP1)

本技術開発(フェーズII)では、CO₂発生量を大幅に削減する、環境に調和した製鉄プロセスの開発として、世界最大規模の試験高炉と3次元高炉数学モデルの活用で、送風操作の可能性を最大限追求する。CO₂分離回収技術においては、実証試験とマッチングできるCO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂以下を深化する技術を開発するため、高性能化学吸収液等の開発、未利用排熱活用技術の適応研究を実施し、更なるコスト低減技術の構築を図る。また、フェーズII-STEP2においては、それまでの知見をベースに、高炉の実機部分確性用の「全周羽口吹込み」の試験を実施する。

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

[委託事業]

(a) 高炉からのCO₂排出削減技術開発

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

① 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

- ・12m³規模試験高炉等による水素還元総合最適化技術開発

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

- ・水素還元に適した原料設計

1 2 m³規模試験高炉で高被還元性鉱石の対策品(フェーズ I - STEP 2 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 - STEP 2 で確性した「触媒改質・部分酸化プロセス」の成果をベースに、シャフト吹き込みの熱・ガス流動制御視点で実機・実装に必要なプロセスを検討する。目標は、水素増幅率 2 倍を担保できるプロセスを確立することとする。

③ コークス改良技術開発

粘結材 (HPC) 製造のスケールアップに資するベンチスケール連続装置の改造からスタートする。連続製造設備の配管の温度管理精度向上による、輸送流体の閉塞防止技術確立を目的とし、熔融状態 HPC の熱分解および温度変化に伴う流動性の変化を粘度として精度良く定量的に推算する技術を確立した上で、安定的に流体輸送できる最大粘度 50,000 mPa・s を起点に熔融 HPC ハンドリングの最適な温度管理指標を確立する。

(b) 高炉ガスからの CO₂ 分離回収技術開発

高炉ガス (BFG) からの CO₂ 分離回収コスト 2,000 円/t-CO₂ を深化する技術を確立、及び排熱とのマッチングのエンジニアリング検討を主体に取り組む。その内、フェーズ II - STEP 1 では、以下を実施する。

① CO₂ 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、1.6 GJ/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効果を検討する。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、300 t/dの規模でその製造プロセスの実現性を実証して、根本的にこれまでの鉄鉱石と石炭の利用方法を革新するものである。

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

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

(a) 中規模設備での製造技術実証

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

a-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立

a-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

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

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

指標2：乾留後塊成物のドラム強度：DI150/15 \geq 81（*）

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

(b) 一般炭, 低品位原料使用時の製造技術実証

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

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

指標：成型物の強度(I型ドラム強度)：ID30/15 \geq 85

(c) 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

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

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

指標：連続操業試験：30日以上

(d) 新バインダー強度発現実証

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

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

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

(e) フェロコークス導入効果の検証

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

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

指標：評価方法の確立と省エネ効果(目標10%)の確認

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

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

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

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

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

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

(2) 研究開発の運営管理

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

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

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

3. 研究開発の実施期間

研究開発の実施期間は、2013年度から2022年度までの10年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目的達成度、成果の技術的意義及び将来の産業への波及効果等について、外部有識者によるプロジェクト評価を実施する。水素

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

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 成果の普及

得られた研究開発成果については、NEDO、実施者とも普及に努めるものとし、製鉄プロセス以外への早期実用化が見込まれる技術については、技術の横展開を後押しする。

② 標準化等との連携

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

③ 知的財産権の帰属

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

④ 知財マネジメントに係る運用

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

(2) 基本計画の変更

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

(3) 根拠法

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

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 2013年3月、制定

(2) 2016年2月、改訂

STEP2の内容に修正

(3) 2017年2月、改訂

フェロコークス活用製鉄プロセス技術開発を追加

(4) 2018年1月、改訂

水素還元活用製鉄プロセス技術（フェーズⅡ－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年に延長

(5) 2018年10月、改訂

基本計画名称、研究開発項目名称及びプロジェクトマネージャーを修正。

研究開発スケジュールの誤記修正。

(6) 2019年1月、改訂

研究開発項目2.の名称の変更。

(7) 2020年2月、改訂

研究開発の内容、別添 研究開発計画を修正。

別添 研究開発計画

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

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

(参考：フェーズⅡ-STEP 2)

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

研究開発項目 2. フェロコークス技術の開発

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
中規模設備 フェロコークス製造技術 実証		設計・建設			製造・実証	
一般炭、低品位原料使用時の製造技術	→					
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				★		

特許論文等 リスト

特許

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PTC	出願日	状態	名称
1	JFE スチール 永山幹也	特 願 2020- 106671 特 開 2021- 006623	国内	2020 年 6 月 22 日	公開	フェロコークス用成型物の製造方法およびフェロコークスの製造方法
2	JFE スチール 永山幹也	特 願 2022- 160434		2022 年 10 月 4 日	出願	フェロコークス用石炭の評価方法

a. 論文、報告書

番号	発表者	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	安室 元晴	C02 削減の取組み Initiatives to Reduce C02 Emissions	神戸製鋼グループ統合 報告書 2019 Kobe Steel Group Integrated Report 2019	なし	和文 2019 年 8 月 英文 2019 年 10 月
2	佐藤 道貴	製鉄プロセスの新たな取組み (国プロを中心として)	西山記念技術講座 (第 239・240 回)、(一社) 日本鉄鋼協会	なし	2019 年 10 月
3	橋本 佳也 庵屋敷 孝 思 藤本 英和	データ同化法によるフェロコークス乾留炉ヒートパターン制御	JFE 技報 No. 45	あり	2020 年 2 月
4	佐藤 道貴	製鉄プロセスの新たな取組み	粉体技術 ((一社) 日本粉体工業技術協会)	あり	2020 年 10 月
5	安室 元晴	なし (統合報告書にフェロコークス事業に参画していることを記載)	統合報告書	なし	和文 2020 年 9 月 英文 2020 年 10 月
6	小野 祐耶	新規固形および新規液体バインダーの冷間強度発現機構の解明	Fuel Processing Technology	あり	2021 年 6 月 1 日
7	佐藤 道貴	鉄鋼業における C02 削減の取組みー環境調和型プロセス技術の開発	化学工学誌	あり	2021 年 6 月 号

		(COURSE50、フェロコークス) –			
8	佐藤 道貴	カーボンニュートラルに向けた鉄鋼業の新たな取り組み～国プロを中心として～	溶接学会誌 第91巻1号	あり	2022年1月
9	廣澤 寿幸 庵屋敷 孝思 佐藤 道貴	フェロコークスの製造および高炉使用	JFE技報	あり	2022年4月
10	T. Hirosawa, T. Anyashiki and M. Sato	Ferro Coke Production and Its Evaluation in Blast Furnace Utilization	JFE技報 (英語版)	あり	2022年10月

b. 口頭発表

番号	発表者	タイトル	発表誌名	発表年月
1	佐藤 道貴	フェロコークス製造・利用技術のこれまでの開発経緯と今後の展開	(独) 日本学術振興会学振 54 委 (平成 30 年度 12 月期: 第 193 回)	2018 年 12 月 6 日
2	東北大学) 小野祐耶, M. Ramdzuanny, 齋藤泰洋, 松下洋介, 青木秀之, 神戸製鋼) 宍戸貴洋	粒子の摩擦抵抗が石炭の成型過程に及ぼす影響に関する数値解析	日本鉄鋼協会第 177 回春季講演大会	2019 年 3 月 20 日
3	廣池 承一郎 藤本 英和 庵屋敷 孝思 榎枝 成治 佐々木 成人	DEM 解析による乾留炉内の成型物分布評価	日本鉄鋼協会第 177 回春季講演大会	2019 年 3 月 20 日
4	拜司 裕久	CO2 Reduction Technology of JFE Steel	World Steel Association Technology Committee Meeting	2019 年 6 月 13 日
5	藤本 英和 永山 幹也 廣池 承一郎 庵屋敷 孝思 佐藤 道貴	環境調和型プロセス技術の開発/ フェロコークス技術の開発	日本鉄鋼協会第 178 回秋季講演大会	2019 年 9 月 12 日
6	永山 幹也 藤本 英和	低品位原料を使用したフェロコークス製造技術の	日本鉄鋼協会第 178 回秋季講演大会	2019 年 9 月 12 日

	庵屋敷 孝思 佐藤 道貴	開発		
7	廣池 承一郎 藤本 英和 庵屋敷 孝思 佐藤 道貴	フェロコークス原料の混合解析	日本鉄鋼協会第 178 回秋季講演大会	2019 年 9 月 12 日
8	神戸製鋼) 和田 祥平, 宍戸貴 洋, 塚康爾, 奥 山憲幸	フェロコークス用バイン ダーの開発	日本エネルギー学会第 56 回 石炭科学会議	2019 年 10 月 29-30 日
9	岩井 祐樹 佐藤 健 庵屋敷 孝思 佐藤 道貴	Evaluation of Ferro- coke Reaction Behavior in Blast Furnace	SIPS2019 Usui International Symposium	2019 年 10 月 25
10	東北大学) 小野 祐耶, M. Ramdzuanny, 松下洋介, 青木 秀之, 神戸製 鋼) 宍戸貴洋, 和田祥平	新規固形および新規液体 バインダーの冷間強度発 現機構の解明	International Conference on Coal Science & Technology (ICCS&T2019)	2019 年 11 月 24 日
11	神戸製鋼) 和田 祥平	フェロコークス技術の開 発-新バインダーの適用 検討-	石炭・炭素資源利用技術第 148 委員会 第 173 回研究会 検討-	2020 年 2 月 5 日
12	東北大学) 小野 祐耶, 松下洋 介, 青木秀之, 神戸製鋼) 和田 祥平, 宍戸貴洋	石炭成型物の充填率に影 響を及ぼす因子に関する 数値解析的検討	日本鉄鋼協会第 179 回春季講 演大会	2020 年 3 月 17 日
13	東北大学) 小野 祐耶, 松下洋 介, 青木秀之, 神戸製鋼) 和田 祥平, 宍戸貴洋	石炭成型物の充填率に影 響を及ぼす因子に関する 数値解析的検討	日本鉄鋼協会第 180 回秋季講 演大会 (オンライン) 179 回春季講演大会の再掲載	2020 年 9 月 16 日
14	東北大学) 中村 友亮, 小野祐耶 松川嘉也, 松下 洋介, 青木秀之 神戸製鋼) 和田 祥平, 宍戸貴洋	水またはバインダーの添 加が石炭成型物の成型過 程およびその強度に及ぼ す影響	第 57 回石炭科学会議 (オ ンライン開催)	2020 年 10 月 27~28 日
15	Shohei Wada*, Takahiro Shishido, Ryuichi Kobori1, Koji Sakai1 and Noriyuki Okuyama	Development of the technology forproducing ferro-coke — Applicationexamination of new binder —	The First Symposium on CarbonUltimate Utilization Technologiesfor the Global Environment(CUUTE-1)	2020年10月 27~30日 2021年12月 14~17日
16	佐藤道貴 庵屋敷孝思 中野薫 宍戸貴洋	Development of ferro coke processthrough national projects	The First Symposium on CarbonUltimate Utilization Technologiesfor the Global	2020年10月 27~30日 2021年12月

			Environment(CUUTE-1)	14~17日
17	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	2022年3月25日
18	小堀竜一、宍戸貴洋、和田祥平、堺康爾、奥山憲幸	フェロコークス用新規バインダーの適用可能性の検討	日本鉄鋼協会 春季講演大会	2022年3月15~17日

c. 新聞・雑誌リスト

番号	新聞・雑誌名	記事タイトル	発表年月
1	週刊東洋経済	CO2 大量排出産業の宿命 鉄鋼が挑む脱炭素の壁	2020年8月1日
2	日本経済新聞電子版	JFE、CO2 排出を2割削減へ	2020年9月15日
3	日本経済新聞電子版	JFE スチールと NEDO、フェロコークス製造のための中規模設備の実証試験を開始	2020年10月12日
4	10/13 鉄鋼新聞	新高炉原料「フェロコークス」開発 中規模プラントで実証試験開始 製鉄プロセスでCO2 10%削減	2020年10月13日
5	日刊工業新聞	フェロコークス設備完成 CO2・エネ消費削減実証	2020年10月13日
6	日刊産業新聞	フェロコークス中規模設備実証試験を開始 エネ・CO2 10%削減へ	2020年10月13日
7	日本金属通信	フェロコークス製造実証開始 CO2 とエネ消費 10%削減	2020年10月13日
8	山陽新聞(地方経済面)	フェロコークス 福山で実験開始 鉄生産効率化、CO2 抑制	2020年10月13日
9	日経ビジネス電子版	鉄鋼業界で広がるCO2 削減目標	2020年10月14日
10	中国新聞	CO2 排出減期待の原料フェロコークス JFE 福山で実証実験 NEDO と共同 10%削減目指す	2020年10月14日
11	日刊自動車新聞	CO2 排出抑制 高炉原料製造設備が稼働	2020年10月15日
12	NIKKEI ESG	JFE がCO2 削減で新目標	2020年11月号