

「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」

終了時評価報告書

2024年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

2024 年 3 月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 斎藤 保 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 木野 邦器

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。

「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」

終了時評価報告書

2024年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

目 次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
研究評価委員会委員名簿	4
第1章 評価	
1. 評価コメント	1-1
1. 1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋	
1. 2 目標及び達成状況	
1. 3 マネジメント	
（参考）分科会委員の評価コメント	1-3
2. 評点結果	1-10
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料1 分科会議事録及び書面による質疑応答	参考資料 1-1
参考資料2 評価の実施方法	参考資料 2-1

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「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」の終了時評価報告書であり、NEDO 技術委員・技術委員会等規程第 32 条に基づき、研究評価委員会において設置された「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」（終了時評価）分科会において評価報告書案を策定し、第 76 回研究評価委員会（2024 年 3 月 18 日）に諮り、確定されたものである。

2024 年 3 月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

審議経過

● 分科会（2023 年 11 月 20 日）

公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明

非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑

公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

● 現地調査会（2023 年 10 月 30 日）

JFE スチール株式会社 福山地区（広島県福山市）

● 第 76 回研究評価委員会（2024 年 3 月 18 日）

「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」

(終了時評価)

分科会委員名簿

(2023 年 11 月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	かわせ もとあき 河瀬 元明	京都大学 大学院工学研究科 化学工学専攻 教授
分科会長 代理	のがみ ひろし 埜上 洋	東北大学 多元物質科学研究所* プロセスシステム工学研究部門 環境適合素材プロセス研究分野 教授
委員	おおば やすひで 大場 康英	山陽特殊製鋼株式会社 技術企画管理部 技術企画グループ 技術企画グループ長
	かくた ゆうすけ 角田 雄亮	日本大学 理工学部 物質応用化学科 准教授
	ささき こういち 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 上級スペシャリスト
	たけべ ひろみち 武部 博倫	愛媛大学大学院 理工学研究科 教授
	はやし みゆき 林 幸	東京工業大学 物質理工学院 教授

敬称略、五十音順

注*：実施者の一部と同一大学であるが、所属部署が異なるため（実施者：東北大学多元物質科学研究所 金属資源プロセス研究センター 機能性粉体プロセス研究分野）「NEDO 技術委員・技術委員会等規定(平成 30 年 11 月 15 日改正)」第 35 条（評価における利害関係者の排除）により、利害関係はないとする。

研究評価委員会委員名簿

(2024 年 3 月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	きのの くにき 木野 邦器	早稲田大学 理工学術院 教授
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	岐阜大学 特任教授 一般財団法人電力中央研究所 研究アドバイザー
	いなば みのる 稲葉 稔	同志社大学 理工学部 教授
	ごないかわ ひろし 五内川 拡史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	すずき じゅん 鈴木 潤	政策研究大学院大学 政策研究科 教授
	はらだ ふみよ 原田 文代	株式会社日本政策投資銀行 常務執行役員
	まつい としひろ 松井 俊浩	東京情報デザイン専門職大学 情報デザイン学部 学部長・教授
	まつもと ま ゆ み 松本 真由美	東京大学 教育学部附属教養教育高度化機構 環境エネルギー科学特別部門 客員准教授
	よしもと ようこ 吉本 陽子	三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部 経済政策部 主席研究員

敬称略、五十音順

第 1 章 評価

1. 評価コメント

1. 1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

地球温暖化対策として、我が国の産業部門で最大の CO₂ 排出業種である鉄鋼業からの CO₂ 削減が要求されており、本事業はフェロコークスの使用により鉄鉱石の還元を効率化し、製鉄工程における省エネルギー効果及び CO₂ 削減効果の検証を行うものである。高炉を持つ鉄鋼企業 3 社それぞれが強みを持つ技術を担当し、適切な実施計画を適宜更新しながらフェロコークス生産量 300t/d での中規模実証にほぼ到達し、操業上の課題を明らかにした。今後、アウトカム達成に向けて、第一段階でフェロコークス生産量 300t/d での長期間安定操業実証を含む課題を、第二段階で装入原単位増加のための技術開発を含む課題を解決していく道筋となっている。

知的財産に関しては、公開・権利化すべき製造方法・使用方法に関する技術と、ノウハウとして優位性を確保する操業技術を明確に分けてオープン／クローズ戦略が策定されている。

今後、鉄鉱石の還元プロセスにおいて、昨今のカーボンニュートラルに向けた社会的な関心の焦点が水素利用にある現況の下、水素に頼らない低炭素化技術のトランジション技術としての重要性、本開発技術の技術的・経済的優位性について、内外に向けた明確な情報発信がなされ、普及拡大に繋がっていくことが望まれる。その際、どこまで技術をオープンにできるかといった観点からも市場開拓の戦略を練っていただきたい。

また、使用原料の評価法は、開発技術を広く展開する上では標準化が不可欠であるが、実用化初期においては技術的優位性を担保する戦略にもなり得ると考えられることから、適切な時期を判断して標準化を進めていくことも期待する。

1. 2 目標及び達成状況

2030 年頃までの国内での実用技術としての実装を目指したアウトカム目標は、水素還元技術の実現や水素調達方法の目途が立っていない現段階において、極めて適切なものであるといえる。再生可能エネルギー価格が高い我が国が製鉄を継続していく上で、シミュレーションの結果ではあるが、水素無しで CO₂ 削減量 10%の目標が達成できる見込みが立ったことも大いに評価できる。

アウトプット目標については、操業面で一部未達の研究開発項目があるが、いずれも指標・目標値を達成している。一方、フェロコークス生産量、高炉の連続使用試験期間が、共に目標の半分に留まっており、実用化において、安定操業の確保は必要条件であるため、長期操業実施によるフェロコークス使用時のプロセス特性把握や操業技術確立が必要であると考えられる。

アウトカム目標の達成に向けて、実現できていない課題の解決や実機規模へのスケールアップ技術開発を完了させるなど、限られた時間の中で具体的なスケジュール・目標を設定した上で今後の取り組みを進めていただきたい。

1. 3 マネジメント

各研究開発項目について、実施者それぞれが持つシーズ技術に適合した分担が行われており、プロジェクト全体が目標に向けて円滑に進行できる体制が構築されていたことは評価できる。

進捗管理においては、アウトプット目標達成に必要な、バインダー製造やフェロコークス製造、高炉運転、エネルギー効率評価などの要素技術の開発が網羅されており、さらには、単なる分業ではなく実施者間で連携が取れていたといえる。また、開発の後期段階でCOVID-19感染症流行による大きな制約がかかる中、その影響を最低限に抑制し、最終的にほぼ予定通りに研究開発が実施されたことは、プロジェクトの進捗管理・運営の面で優れていたと考える。

一方、いくつかの項目の目標未達の原因には天候不順など予測が難しい原因も絡んでいるが、微粉体を利用する技術特有のトラブルに加え、利用可能な敷地面積に十分適合できなかった設計面の問題も含んでおり、今後への教訓とより慎重なバックアップ対策の構築が望まれる。また、実用化の目標が達成された後、事業化に向けての各参加者の役割分担について、早期に検討、合意することで、事業化が滞りなく進むものと期待する。

(参考) 分科会委員の評価コメント

1. 1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

＜肯定的意見＞

- ・ 高炉鉄鋼メーカー3 社がそれぞれ強みをもつ技術を担当して、適切な実施計画を適宜更新しながら遂行した。中規模での実施まで到達し、操業上の課題を明らかにした。水素還元技術の開発状況も注視しながら、適時の商業化が計画されている。
- ・ 全社で共有する情報、成果と、各社で占有すべきノウハウとが明確に区別されている。
- ・ IEA 試算では世界の鉄鋼生産に占める高炉・転炉法のシェアは 2050 年頃でも 30-50%と推定されており、水素によらない低炭素製鉄技術のトランジション技術としての設定は妥当である。トランジション技術として国際的な技術展開を考えれば 2030 年頃までの国内での実用技術としての定着（実機導入）の目標も適切である。

注）IEA：International Energy Agency（国際エネルギー機関のこと）

- ・ 知的財産に関しては、公開・権利化すべき製造方法・使用方法に関する技術と、技術移転を含めた技術展開段階において優位性を確保する操業技術を明確に分けてオープン／クローズ戦略が策定されている。
- ・ アウトカム達成までの道筋で示された残された課題（①、②）について、解決に向けて難易度は低くないが、論理的によく整理・検討されており明確化できている。
- ・ 事業化に向けて課題が残されているが、現状で実施可能な範囲の施策が適切に示されている。
- ・ 知的財産管理指針を策定しており、運用も適正であったと判断できる。
- ・ 高炉に関する他の技術開発の状況を踏まえ、本技術の位置づけを明確にし、その位置付けに即した技術開発戦略に沿った事業実施であった。
- ・ 本事業の参加者の間で、知的財産管理指針の策定および事前協議等を行い、契約手続きも締結している。
- ・ また、定期的な会合を開催し、管理を行っていた。
- ・ 現在の中規模設備（300t/d）で実用性が認められれば、それを実機 1 号として適用し、さらに 2030 年には 400 万 t/年高炉 5 基とする事業化を具体的に計画している。複数の特許出願及び論文発表に加えて、18 回の学会等での口頭発表及び 10 回以上の新聞及び雑誌でのプロジェクト内容の紹介を行っている。
- ・ 公開／非公開とする製造・使用技術と操業（運転）技術の切り分けが具体的かつ適切である。
- ・ アウトカム達成までの道筋として、第一段階で生産量 300t/d での長期間安定操業実証を含む課題①を、第二段階で装入原単位増加のための技術開発を含む課題②をあげており、非常に具体的で納得できる道筋となっている。
- ・ 本プロジェクトは、プロセス開発でありノウハウの構築が重要であるため、クローズで研究開発が行われてきたのは妥当である。

<問題点・改善点・今後への提言>

- ・ 海外の動向を調査はしているが、本開発技術の世界標準化や海外展開の計画は十分でない。
- ・ 昨今のカーボンニュートラルに向けた社会的な関心の焦点が水素利用にある現況の下、水素によらない低炭素化技術のトランジション技術としての重要性、本開発技術の理論的・技術的・経済的優位性について、内外に向けた明確な情報発信がなされていくことが望まれる。
- ・ 使用原料の評価法は、開発技術を広く展開する上では標準化が不可欠であるが、実用化初期においては技術的優位性を担保する戦略にもなり得ると考えられ、適切な時期を判断して標準化を進めてはいかかがか。
- ・ ノウハウの点で国内同業他社にも情報共有化しにくい課題が多いと感じる。開発を加速させるためにもテストプラントの設備や操業の改善など、各社次第のノウハウ・ローカルコンディションになってしまわないように情報共有化できる仕組みを検討していただきたい。
将来の海外展開を視野に入れる場合、ノウハウとして秘匿するだけでは事業化が難しくなるため、技術分野を絞るなどして特許での積極的な権利化なども検討いただきたい。
- ・ まずは、中規模実証設備での目標達成に向けた技術開発に注力していたため、外部環境（気候変動対策の強化）の変化を踏まえた、海外展開を含めた実用化のための戦略策定が検討の必要があると考える。
- ・ 社会実装達成には3社の協力体制は必要不可欠と考える。3社の協力体制を継続し、3社それぞれの役割を全うしていただきたい。
- ・ 今後、事業化段階に達した時には、市場展開が見込める国への広報活動において、どこまで技術をオープンにできるかといった観点からも市場開拓の戦略を練っていただきたい。

1. 2 目標及び達成状況

<肯定的意見>

- ・ 水素還元技術の実現と、化石資源エネルギーから再生可能エネルギーへの移行が実現した後には、本開発技術は不要となっていく。また、CO₂削減目標の向上と克服すべき技術課題の困難さは相関がある。これらの状況を踏まえ、適切な目標値が設定され、適時に達成可能な目標値への随時の見直しが行われた。
- ・ アウトプット目標の設定は適切であったと認められるが、未達のアウトプット目標がある。その原因分析と今後の計画の検討はされている。
- ・ 2.(1) の意見欄にも記述したように、IEA 試算では世界の鉄鋼生産に占める高炉・転炉法のシェアは2050年頃でも30-50%と推定されており、水素によらない低炭素製鉄技術のトランジション技術としての設定は妥当であり、トランジション技術として国際的な技術展開を考えれば2030年頃までの国内での実用技術としての定着

(実機導入)の目標も適切である。本プロジェクトにより国内での実機化にむけた技術的基盤は整備されたものと考えられ、時期の前後はあってもアウトカム達成が見込める。

- ・ 五つの研究開発項目それぞれについて、操業面での項目に未達があるが、理論・技術面での項目はいずれも指標・目標値を達成しており、また、未達項目の一部は天候不順など外的要因の影響によるものであり、実機化に向けた基盤は整備されていると判断する。
- ・ 当初の目標では、フェロコックスを高炉に 150kg/t 装入することで省エネ 10%達成の見込みであったが、今期の取組みの中で 100kg/t 装入が限界となることが分かったため、省エネ 10%を達成できる方策について COURSE50 などの技術を含めて幅広く論理的に検討を進め、達成に向けた課題について整理されている。

注) COURSE50 : CO₂ Ultimate Reduction System for Cool Earth 50

(鉄鋼業のうち製鉄分野の CO₂ 排出量を、対 2013 年度比で約 30%削減する技術開発プロジェクトのこと)

- ・ 達成度の一部分に未達成の項目があるものの、適切な対処が実施されており、評価できる。また、新規固形バインダーについての達成度が高く、既存のバインダーからの代替も期待できる。新規バインダーについて継続した検討を行うとともに、経済合理性の検討も期待したい。
- ・ アウトカム目標の設定において、エネルギー削減量および CO₂ 削減量にて設定したことは、気候変動対策の動向を踏まえたものとなっている。
- ・ また、設定された削減目標量は、本事業の目的に沿った妥当な目標設定であった。実用化の目標達成のための開発継続が検討されており、実用化の目標が達成されることにより、事業化に向けて取り組みが前進するものと期待する。
- ・ 2009～2012, 2017～2022 年の NEDO プロジェクトにおける要素技術を基にしており、本プロジェクトのアウトカム指標や目標値の設定が適切である。
- ・ 2～3 回／年程度の技術検討委員会を開催し委員からの助言を受けて、適切に目標値や課題解決等の見直しを行っている。

本開発技術は、アウトカムが達成された場合、水素還元より前に実用化・事業化可能な CO₂ 削減・省エネルギー化の新しい技術としてなりうるものであり、かつインドなど有望な海外への技術移転が可能なものである。

- ・ コロナ禍や豪雨等悪天候の影響、中規模設備の操業トラブルなど、いろいろな困難の中、新しいフェロコックス原料を製造しながら大型プラントを立上げ、数多くの技術開発を達成し、研究成果を出している。

技術開発内容について複数の特許出願、論文発表及び学会発表を実施している。

- ・ 水素の調達方法の目途が立っていない現段階において、アウトカム指標・目標値は極めて妥当なものである。再エネ価格が高く水素調達が難しい我が国が製鉄を継続していくうえで、シミュレーションの結果ではあっても、水素無しで CO₂ 削減量 10%の目標が達成できる見込みが立ったことは大いに評価できる。

- ・ 本プロジェクトは安価な低品位原料を使用し、かつコークス使用量低減（原料低減）する技術であり、原料価格が高騰する昨今、経済的優位性の高い技術といえる。生産量 300t/d での長期間安定操業実証達成のための中規模設備稼働の対策も立てており、また、シミュレーションの結果、焼結鉱の被還元性向上、高精度装入物分布制御、炉頂ガス循環技術が必要であることが分かり、最終目標達成への見通しの説明は適切であった。

＜問題点・改善点・今後への提言＞

- ・ 水素還元技術の開発の進捗にかかわらず本技術を早期に実現することは有益である。新たに見出された課題の解決に要する時間が不明であるが、予定通りの商業化が見通せるか検討されたい。
- ・ 未達のアウトプット目標がある。特許出願が少ない。
- ・ アウトカム目標に設定された達成時期および基数を考えれば、実機規模へのスケールアップ技術開発を完了するまでの時間が十分に確保されているとは言い難く、目標としてかなりタイトな設定であったと考えられる。

現行設備へのフルスペックでの技術導入には、計画段階になかった設備・インフラの増強が求められることがプロジェクト内で明らかになっている。実用化に向けて技術の段階的導入が可能であると考えられるが、追加設備およびその技術開発も含めた実装の道筋が今後示されることが望ましい。

- ・ 生産量のアウトプット目標未達については、ボトルネックとなる原因の同定が行われているが、生産量は目標の半分に留まっている。実機化の際にはより大きな規模へのスケールアップが必要であり、また当初予定生産量の操業でのボトルネック部分以外のトラブル発生も想定されるため、プロジェクトは終了しているが早期の技術確立が必要と考えられる。

高炉の連続操業試験期間についても、作り溜め量の不足により当初予定の半分の期間に留まっている。フェロコークスは使用法によっては通気性の低下につながり、また低炭素技術自体が高炉操業の安定性低下につながると予想されるが、高炉プロセスの位置づけから安定操業の確保は必要条件であり、長期操業実施によるフェロコークス使用時のプロセス特性把握や操業技術確立が必要であると考えられる。

- ・ 当初は既存の高炉にフェロコークスを装入するだけで省エネ目標を達成できる計画であったが、取組みの中で多くの課題が顕在化している。アウトカム達成に向けてそれらの課題を含めてロードマップ化し、開発スケジュールを明確にして、確実な進捗を期待いたします。
- ・ トランジション技術という位置づけとのことであるが、課題が多く開発の必要な技術も多い。将来的に国内に存続する高炉には必須技術との位置づけを目指して研究開発を進めていただきたい。
- ・ 中規模設備に残課題がある。これを解決するためには時間を要することが懸念される。また、現状の中規模設備による検討にも限界があるように感じたことから、アウトカム目標の達成は遅れる可能性が高い。

- ・ 想定外とはいえ、トラブルの発生はある程度予見でき、スケジュールの策定時や開発要素へのリスク管理を検討する余地はあったのではないかと。
- ・ 今後の事業化に向けた成果を達成するための実用化において、一部十分に実現できていない目標がある。実用化の目標達成は、事業化のための必須目標であり、本目標の達成に向けた開発が、本事業終了後も継続される計画になっているが、事業化に向けたスケジュールが具体的とはいえない。
- ・ 2030年までの時間は限られるため、具体的なスケジュール・目標を設定し、今後の取り組みを進めていただきたい。
- ・ また、実用化に至っていないことにより、実用化での設備投資額が示されていないが、早期に実用化の目標を達成し、投資判断の重要な項目である設備投資額が試算できることを期待する。
- ・ 300t/dの長期継続が未達であり、フェロコークスの長期挿入やインフラ整備についてはまだ道筋が見えないところがある。
- ・ 省エネ効果10%のための条件設定は、汎用高機能高炉内反応シミュレータで明らかとなっているが、実際にそれを実現する場合には、炉内での原料の高精度分布技術など、未解決の課題が存在する。
- ・ 中規模設備の開発において、スクリーへの原料居つきの問題を解決するために、バインダーのさらなる改良を行っていただきたい。焼結鉱の被還元性向上は本プロジェクトのみならず、SuperCOURSE50のプロジェクトにおいても重要な要素技術である。

注) Super COURSE50 : 「COURSE50」を足掛かりとして、高炉から更なるCO₂排出削減を狙った高炉の水素還元拡大技術のこと

1. 3 マネジメント

<肯定的意見>

- ・ 実施者各社が技術力、実用化・事業化能力を発揮した。PM のマネジメントが適切で、実施者間の連携が図られた。頻繁に進捗確認会議、PM との会議、外部有識者との会議が行われ、実施者間の連携を促進した。
- ・ アウトプット目標達成に必要な、バインダー製造、フェロコークス製造、高炉運転、エネルギー効率評価などの要素技術の開発が網羅されており、単なる分業ではなく要素技術間で連携が取れていた。スケジュールも適切であった。
頻繁な会議の開催で、進捗状況を常に PM、実施者が把握していた。
炭種、鉱種、バインダー原料の選定など、適切な絞り込みが計画されていた。
- ・ 五つの研究開発項目それぞれについて、実施者それぞれがもつシーズ技術に適合した分担が行われており、また共同研究先も適切に選定されており、プロジェクト全体が目標に向けて円滑に進行できる態勢が構築されていた。
各種会議も十分な回数実施されており進捗管理・運営が適切に行われていたと推察する。

- ・ 開発の後期段階で COVID-19 感染症流行による大きな制約がかかる中、その影響を最低限に抑制し、最終的にほぼ予定通りに研究開発が実施されたことは、プロジェクトの進捗管理・運営の優秀さを示すものと考ええる。
上記に加え、個別項目でも省エネルギー効果 10%というアウトプット目標達成のため、他プロジェクトの要素技術を柔軟に導入するなど、計画の見直しが行われるなど、適切な運営が行われていた。
- ・ NEDO 主導のもと国内の全高炉メーカーおよび主要大学研究部門による実施体制がとられており、産官学の連携で役割分担も明確である。
- ・ 各実施者の得意分野が良く反映されており、実施者間の連携も良い。実績データをシミュレーションに組み込み、それをもとにプロセスの改善に活かす取り組みは、実施者間の連携の良さが反映されている。
- ・ 技術検討委員会の意見を改善に活かしている点や中間評価結果への対応が適切であった。特に、中間評価結果への対応が一つ一つよく検討されており、優れていたと評価できる。
- ・ 製鉄、特に高炉における省エネルギーおよび CO₂削減は、気候変動対策の視点から大変重要であり、この視点に立った事業の実施は大変重要である。また、カーボンニュートラルの達成に向けた移行期間の技術開発は必須であり、すべての高炉による製鉄事業者が本事業に携わった体制により、本事業が実施されたことは評価できる。
また、本事業の事業者選定プロセスは適正であった。
- ・ 新型コロナウイルス感染症の発生など、外部要因によるスケジュールの遅延が発生したが、スケジュール回復のための対策が適切に行われ、本事業の完了に至った。
- ・ 実施者は十分に技術力及び実用化・事業化へ向けての適切な能力を発揮している。指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能している。
- ・ アウトプット目標達成に必要な要素技術の開発を網羅しており、要素技術間での連携は取れている。可能な限りの努力をしながらのスケジュール管理の計画は適切である。
中規模設備を建設後の操業において、フェロコックス製造プロセスでの種々のトラブルが発生する中、創意工夫及び工程間連携の努力を行っている。
- ・ 本プロジェクトは JFE スチールが中規模設備の開発を行い、神戸製鋼所がバインダー開発で、日本製鉄が高炉シミュレーションでサポートする体制であるが、各社の強みを引き出すような連携が取られていて非常に良い。
- ・ 生産量 300t/d での長期間安定操業実証には至らなかったが、実証実験のスケールアップを限られた敷地内で行う必要があったためのトラブル（垂直コンベヤーの試行錯誤）や集中豪雨に見舞われるなどの不測の事態に直面したためであり、研究開発は適切に行われていた。

＜問題点・改善点・今後への提言＞

- ・ 研究開発の時間軸を考慮すれば仕方がないことではあるが、終盤に明らかになった課題に応じて、実施者間の分担の変更や目標値の変更が行えればさらによかった。
- ・ いくつかの項目の目標未達の原因には天候不順など予測が難しい原因も絡んでいるが、微粉体を利用する技術特有のトラブルに加え、利用可能な敷地面積に十分適合できなかった設計面の問題も含んでおり、その結果として、実機化に対する影響の大きな項目が未達として残されてしまっている。より深いバックアップ体制の構築が望まれた。
- ・ 現段階のラボやシミュレーションの検討結果について、現在の実機設備で現実的に連続運転可能な操業条件での検証を進めていただきたい。
- ・ コロナ禍であった点は配慮すべきであるが、研究開発の遅れを取り戻せずに課題が残った。これがアウトカム目標の達成見込みにも悪影響を及ぼしていることは問題点として挙げなければならない。
- ・ 実用化の目標が達成された後、事業化に向けての各参加者の役割分担について、早期に検討し、合意することで、事業化が滞りなく進むものと期待する。
- ・ 一部、天候要因に起因するスケジュールの遅延が発生したが、スケジュール回復のための対策が検討されており、今後の取り組みが期待される。
- ・ 3つの企業がそれぞれのテーマを掲げて実施している。企業間での相互連携を実施しているが、実用化・事業化に向けての連携はやや薄い。
- ・ 研究開発の参加者のモチベーションを高める仕組みについては特に見受けられない。

2. 評点結果

評価項目・評価結果		各委員の評価							評点
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋									
(1)アウトカム達成までの道筋		A	A	A	A	B	A	A	2.9
(2)知的財産・標準化戦略		B	A	B	A	A	A	A	2.7
2. 目標及び達成状況									
(1)アウトカム目標及び達成見込み		A	B	B	C	A	A	A	2.4
(2)アウトプット目標及び達成状況		B	B	B	A	C	B	A	2.1
3. マネジメント									
(1)実施体制		A	A	A	A	A	B	A	2.9
(2)研究開発計画		A	B	B	B	B	B	A	2.3

《判定基準》
A：評価基準に適合し、非常に優れている。
B：評価基準に適合しているが、より望ましくするための改善点もある。
C：評価基準に一部適合しておらず、改善が必要である。
D：評価基準に適合しておらず、抜本的な改善が必要である。

（注）評点は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算・平均して算出。

第 2 章 評価対象事業に係る資料

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「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」

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

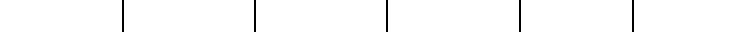
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋	1-1
1.1. 事業の位置付け・意義	1-1
1.2. アウトカム達成までの道筋	1-11
1.3. 知的財産・標準化戦略	1-13
2. 目標及び達成状況	2-1
2.1. アウトカム目標及び達成見込み	2-1
2.2. アウトプット目標及び達成状況	2-3
3. マネジメント	3-1
3.1. 実施体制	3-1
3.2. 受益者負担の考え方	3-7
3.3. 研究開発計画	3-8
4. 目標及び達成状況の詳細	4-1
4.1. テーマ毎の目標と根拠	4-1
4.2. 目標の達成状況	4-2
4.3. アウトプット目標、アウトカム目標	4-3
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フェロコックス技術の開発		プロジェクト番号 P 1 3 0 1 2
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		(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（フェロコックス）をコークス、鉄鉱石と共に高炉へ装入することで、フェロコッ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。 (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） (3)事業期間：2017 年度～2022 年度（6 年間）		
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		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。フェロコックスは、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。 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。		
1.2 アウトカム達成までの道筋		・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ックスが長期使用（原単位30kg/t）であることを実証する。 ・フェロコックスでコークスを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		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） 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 基本特許：取得済 障害となる特許：無し		
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		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、CO2 削減量は 82 万 t／年を見込む。また、フェロコックス原料炭の一般炭への利用拡大を進めることにより、約 280 億円の経済効果を見込む。 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）		

2	2.2 アウトプット 目標及び達成 状況	(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。 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$80（*） （*）「資源対応力のための革新的製鉄プロセス技術開発」において、フェロコークス製造量27.5t/d$\sim$30t/dとし、乾留炉操業30日間で740tのフェロコークスを製造した際、目標強度ID30/15$>$81以上の歩留りが93.5%であった。 (b) 一般炭、低品位原料使用時の製造技術 ・ラボスケールでの試験結果から、原料（鉄鉱石、石炭）の絞込みを行う。これら原料がフェロコークス用原料として適していることを検証する。 指標：成型物の強度（I型ドラム強度）：ID30/15$\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）。						
		3. マネジメント						
2	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						
2	3.2 受益者負担の 考え方 事業費推移 (単位:百万円)	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					
2	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	【海外技術動向の把握】 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 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							
	中間評価結果への対応	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。 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。 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。 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。 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。 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。 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。 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。 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。 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						

別添	評価に関する事項	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ので、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えるのか、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。			

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 (フェロコックス技術の開発を追加) 2018 年 1 月 改訂 (フェロコッ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。還元に使われた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	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。 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。
----	---------	---

<新バインダーの強度発現実証>

16	バインダー	物と物を接着する物質。接着剤、固着材、固着剤。接合材。 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。
17	A S P	アスファルトピッチ。石油由来の固形バインダー。
18	S O P	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）	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。 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$\pm$2N 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
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 がカーボンソー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」にフェロコッ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、ＣＯ_２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ックス製造設備が５基導入された時点における、省エネルギー効果量及びＣＯ_２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（フェロコックス）の導入	・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	・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-CO2）		・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（フェロコックス）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（フェロコックス）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）

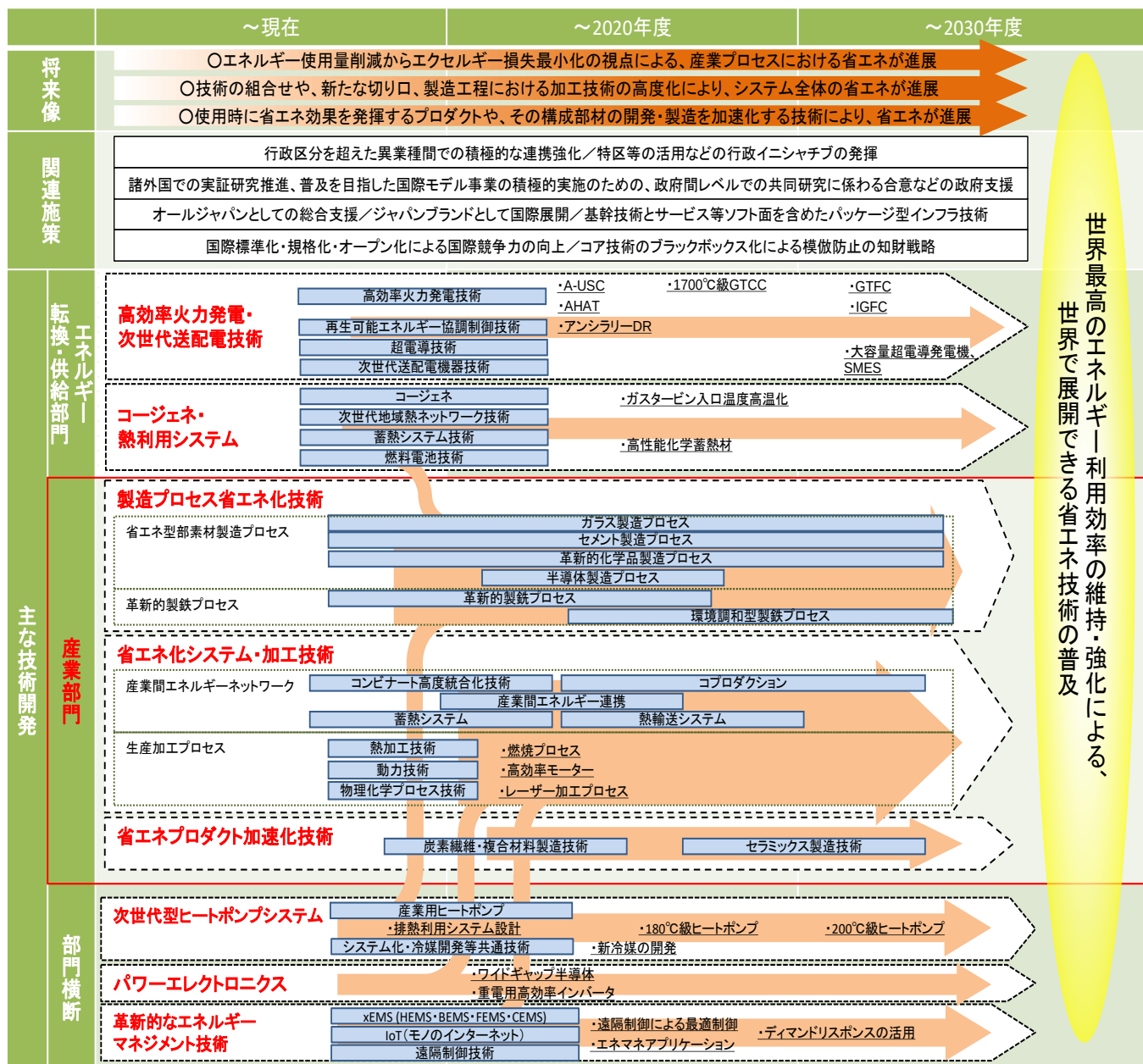


図 1-2 革新的製鉄プロセスの導入シナリオ

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・君津製鐵所において、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鉄製造量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

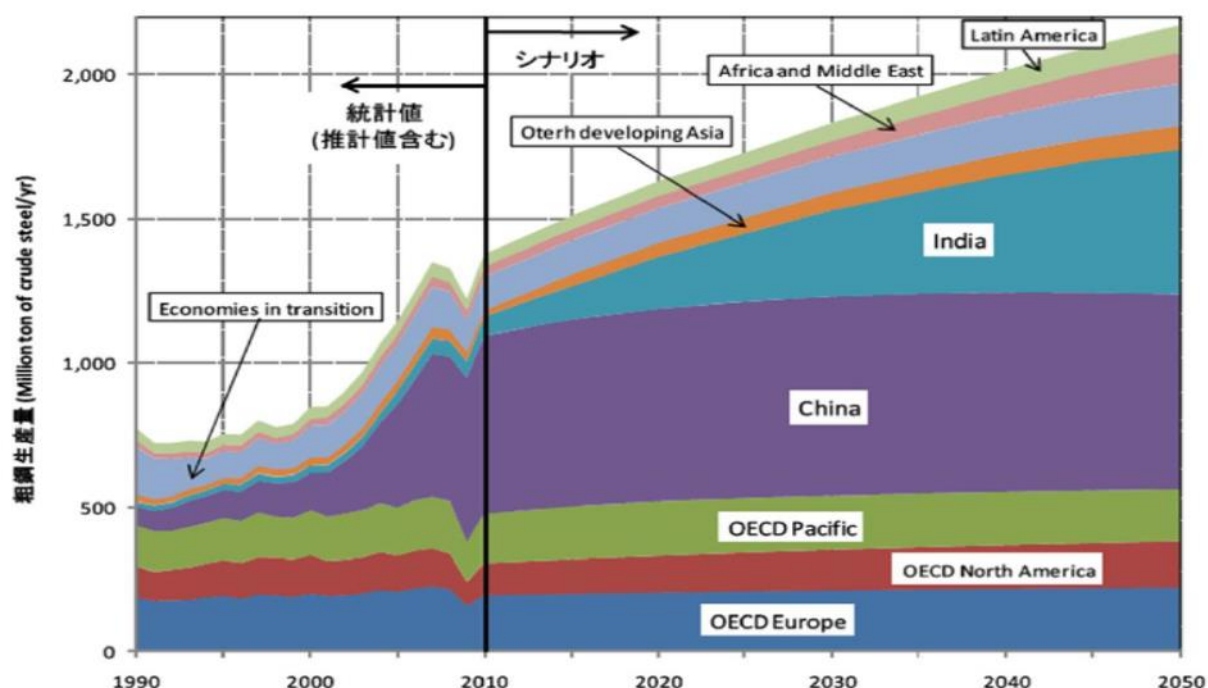


図 1－4 地域別の粗鋼生産実績と将来シナリオ（RITE）

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。

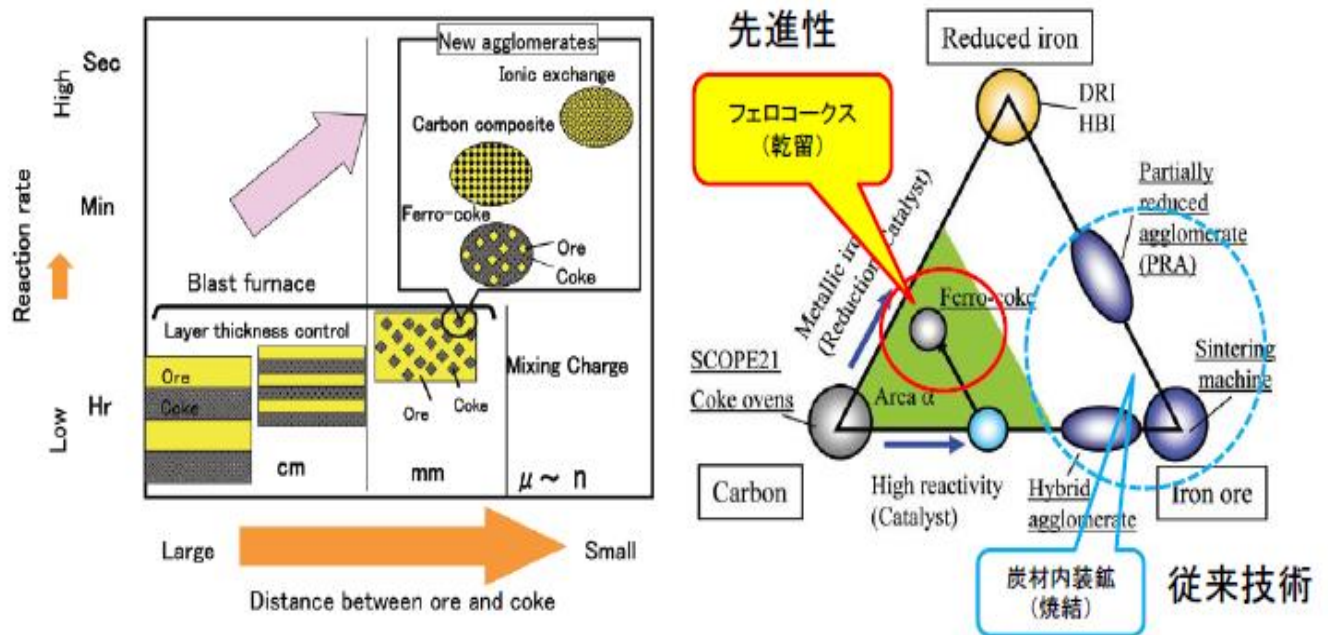


図 1-5 フェロコークスの原理

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、焼結鉱、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炭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炭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。

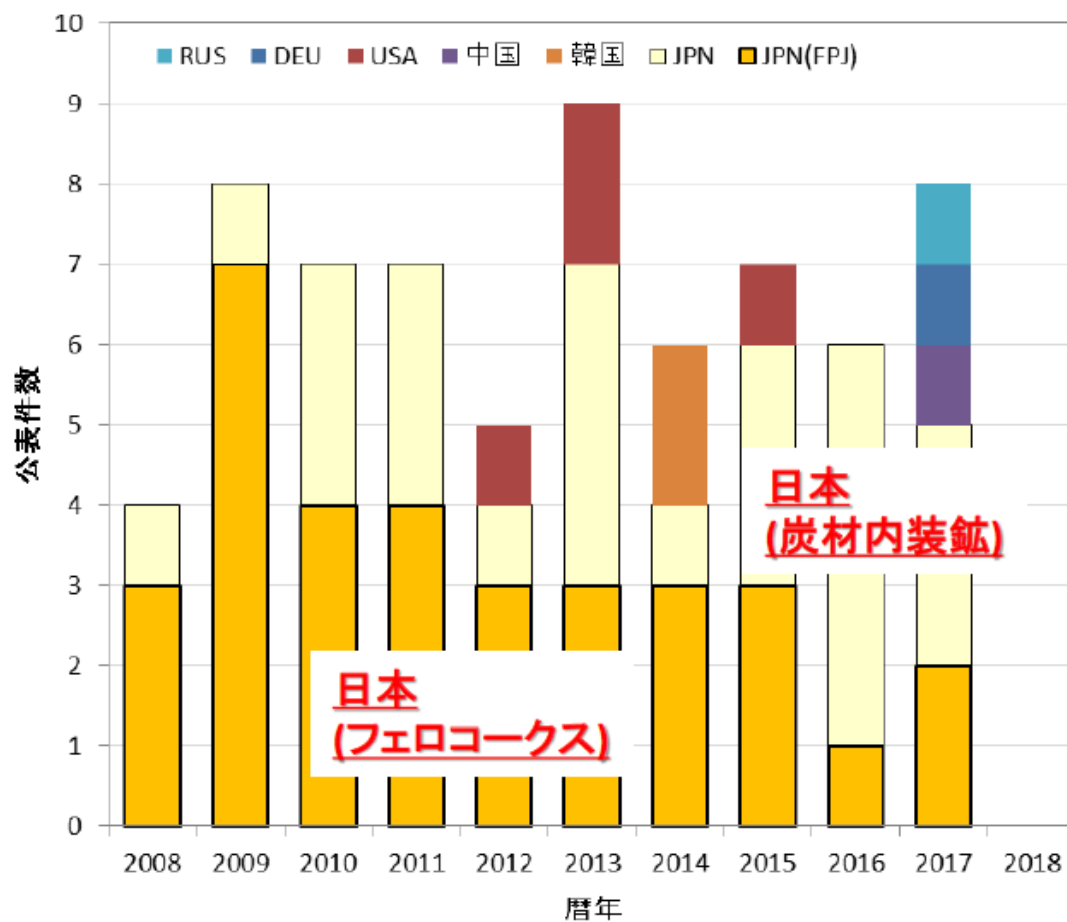


図 1－6 関連文献件数

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）

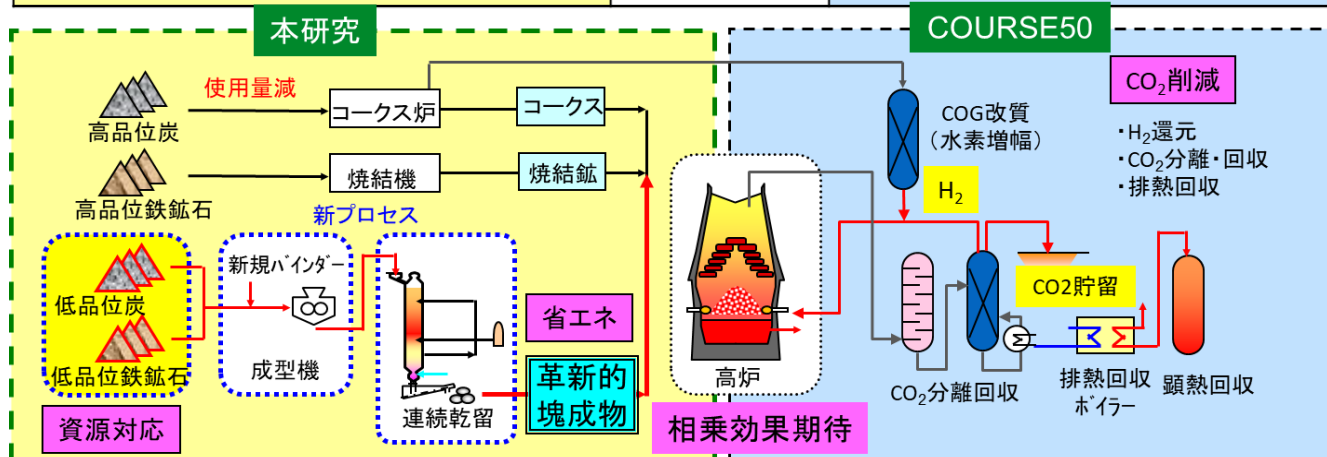


図 1-7 フェロコークスと COURSE50 との関係

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。

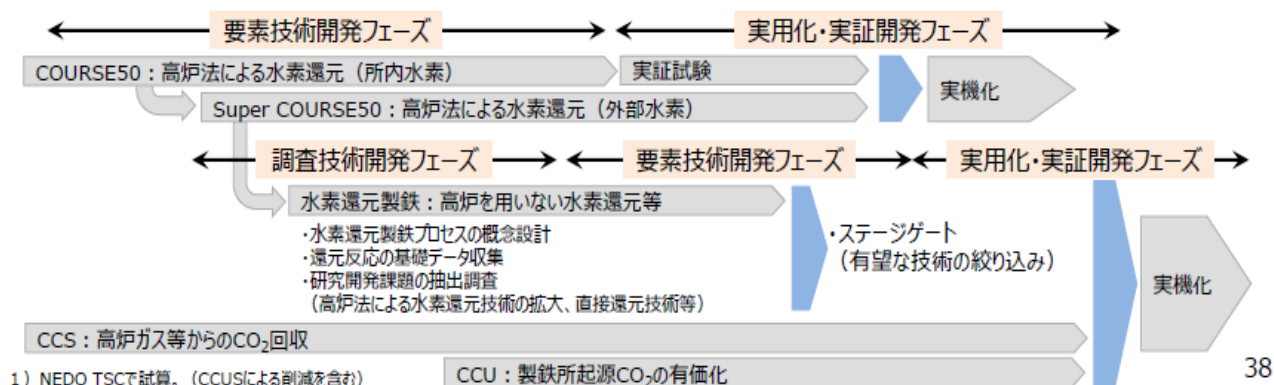


図1-8 革新的環境イノベーション戦略におけるフェロコックスの位置づけ

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

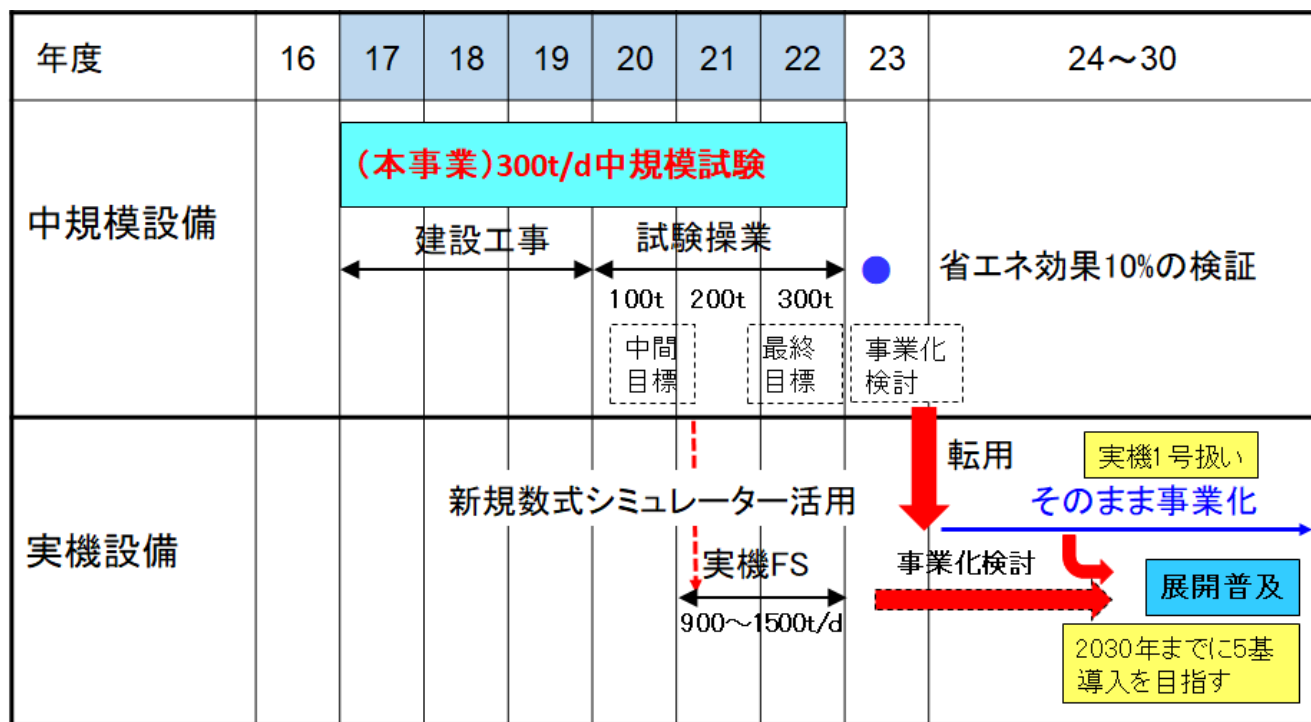
- ・中規模設備（300t/d）で実用性（省エネ・CO₂削減効果・製造コスト低減）が認められれば、研究開発補助金制度に則り、製鉄プロセスにおいてそのまま工程化する（2023 年以降）。
- ・上記設備で構成された商用規模設備（900～1500t/d 規模）の FS（設備・操業コスト、及び使用エネルギーの評価）を実施し、実用性が認められれば、2030 年までに 5 基導入を目指す（ただし、フェロコークス導入によって、製鉄工程から発生するエネルギー、すなわち、下工程に加熱炉燃料として、あるいは発電所向けに供給されるエネルギーが減少するため、その補填を目的に付帯インフラ（LNG 供給等）の整備が前提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

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。

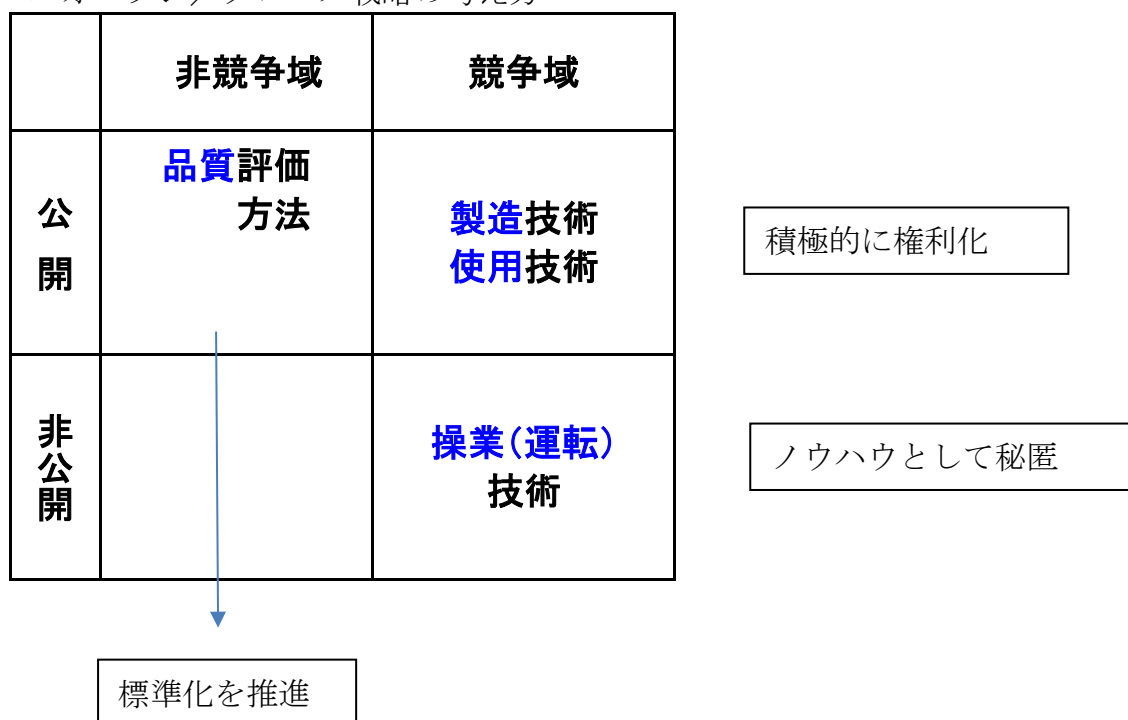
・2030年までの本技術の実機化を促進するためには、経済効果の最大化（高炉の還元材比低減、省エネ、CO2削減量の拡大、安価原料の使用拡大など）が重要である。今後の鉱石・石炭の価格や、下工程への補填エネルギー種（天然ガス、水素、電力など）・価格、およびこれらのインフラ状況、炭素税などの動向などを考慮して、経済効果を見極めていく必要がある。

【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

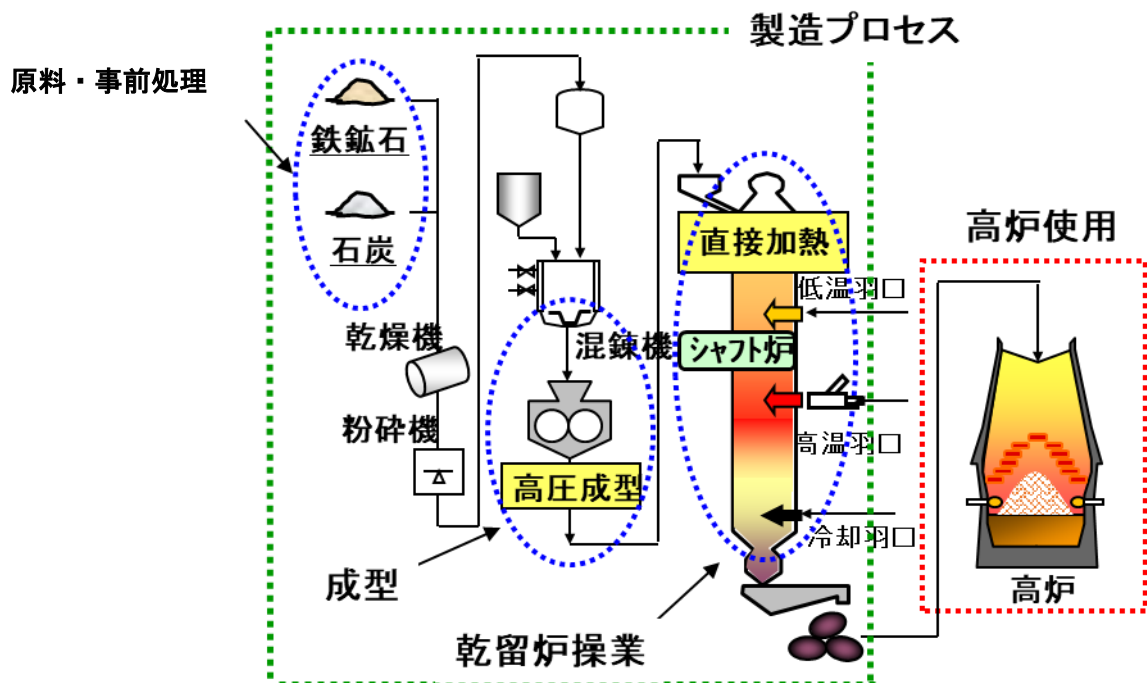
周辺特許

- 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

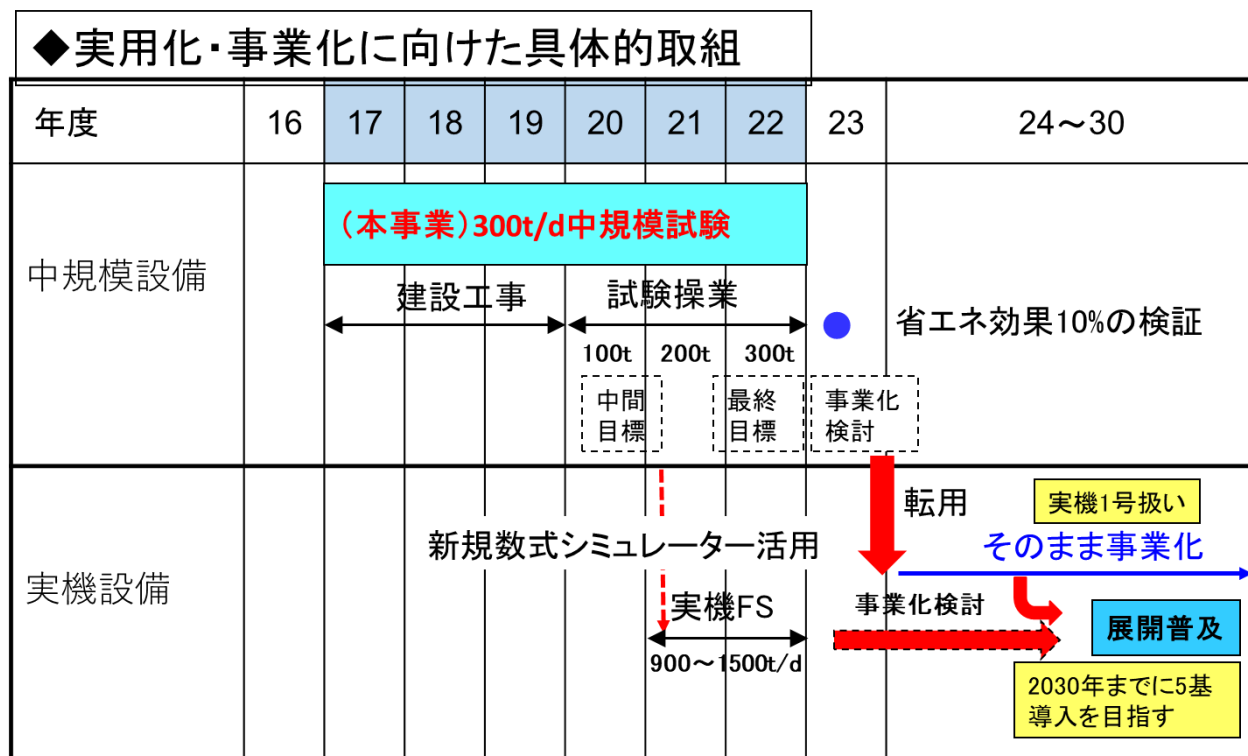
1) 実用化・事業化に向けての課題とその解決方針

- ・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



42

2. 1. 6. アウトカム達成見込み

1) 省エネルギー効果量

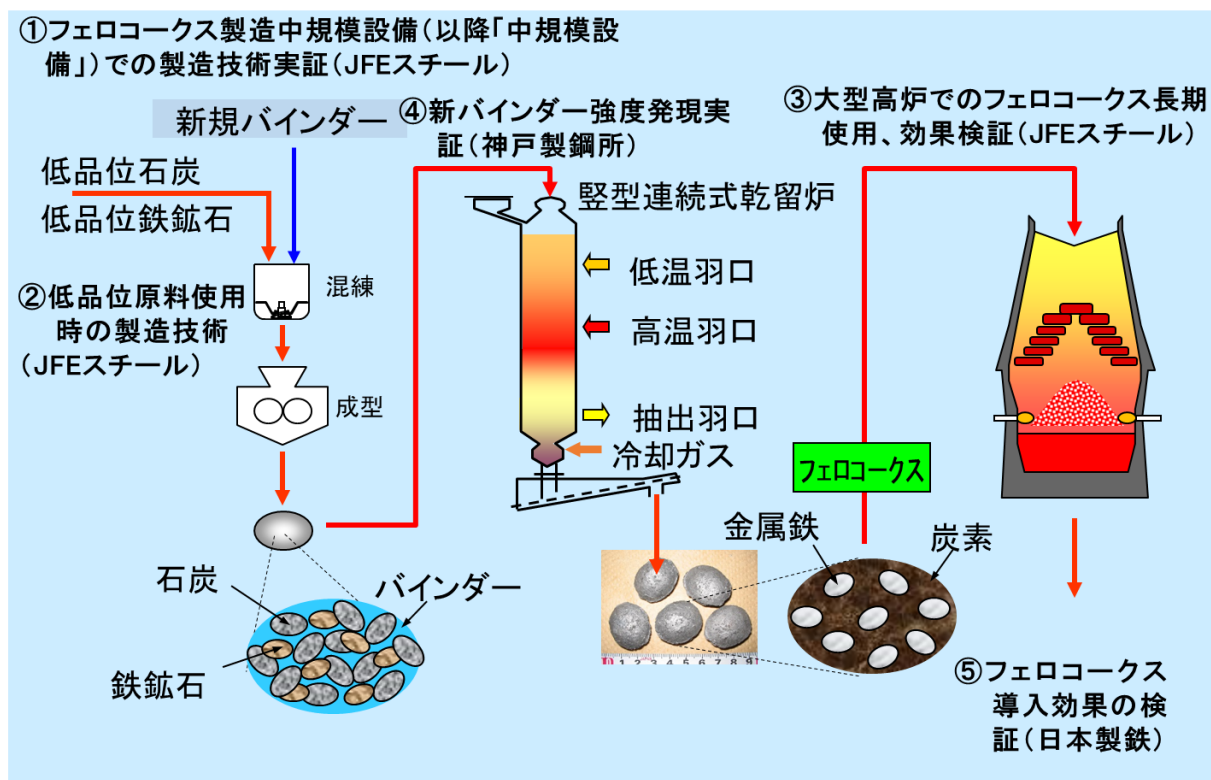
製鉄所全体の省エネルギー効果量は、23.6万kL/年を見込める。

2) CO₂削減量

製鉄所全体のCO₂削減量は、93.4万t/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。

・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 ≥ 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 ≥ 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、その落下高さに耐えう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、高炉装入に耐えう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う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。

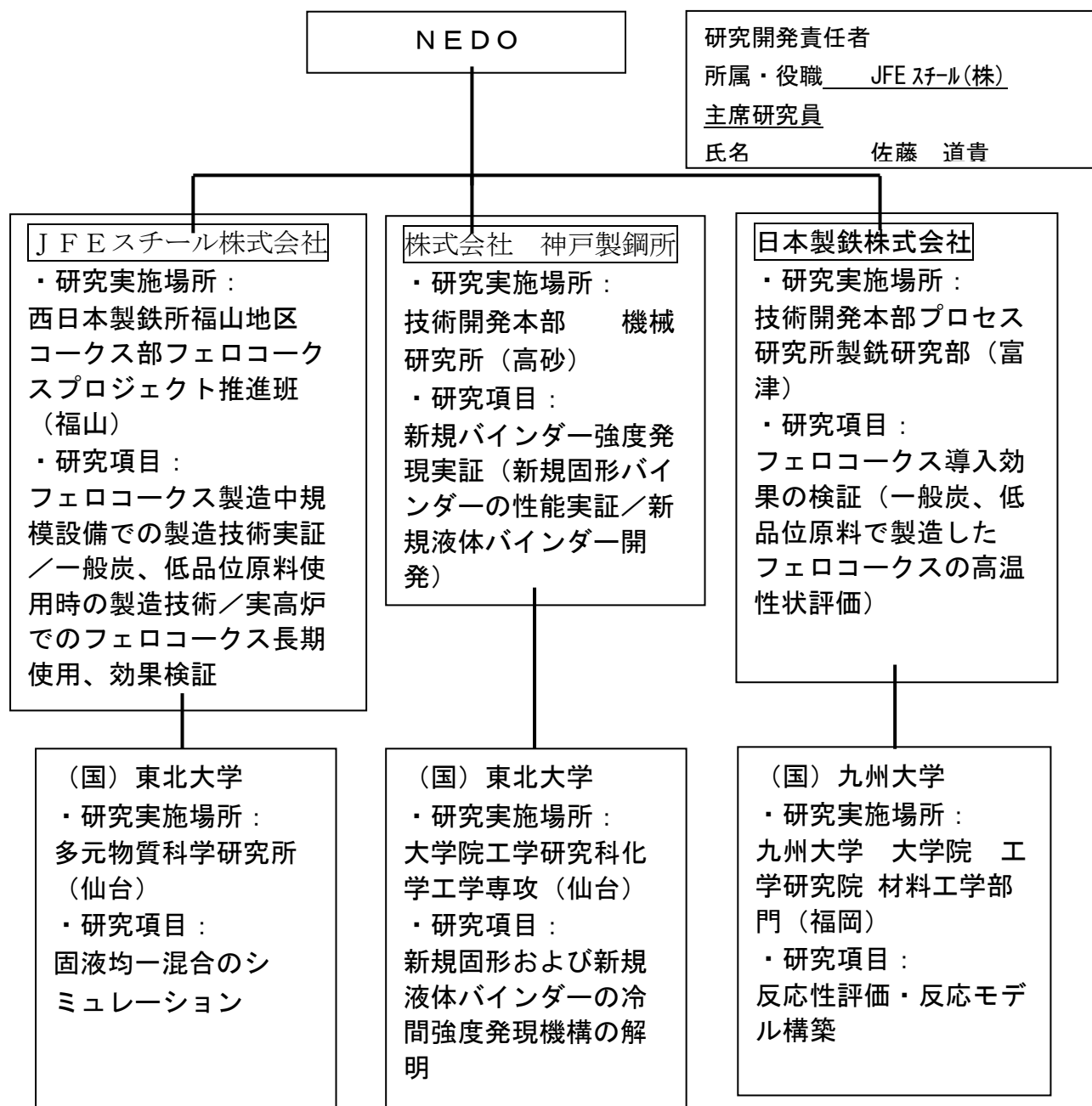


図 3-1 研究開発体制

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

- ・戸谷貴洋 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）とフェロコッ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) フェロコックス研究会（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) フェロコックス、COURSE50 事業者連携

同一基本計画の下にあるフェロコックスと 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) フェロコックス技術検討委員会（NEDO 主催）

1 回／四半期を目処に、NEDO がフェロコッ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。

フェロコッ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 巽 孝夫	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 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 巽 孝夫	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 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 巽 孝夫	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 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 巽 孝夫	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 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 巽 孝夫	学校法人早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授 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 I N P E X 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 I N P E X 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 I N P E X 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 I N P E X 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 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。

以下に、研究開発計画を示す。

年度	H 2 9 2 0 1 7	H 3 0 2 0 1 8	H 3 1 2 0 1 9	R 2 2 0 2 0	R 3 2 0 2 1	R 4 2 0 2 2
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

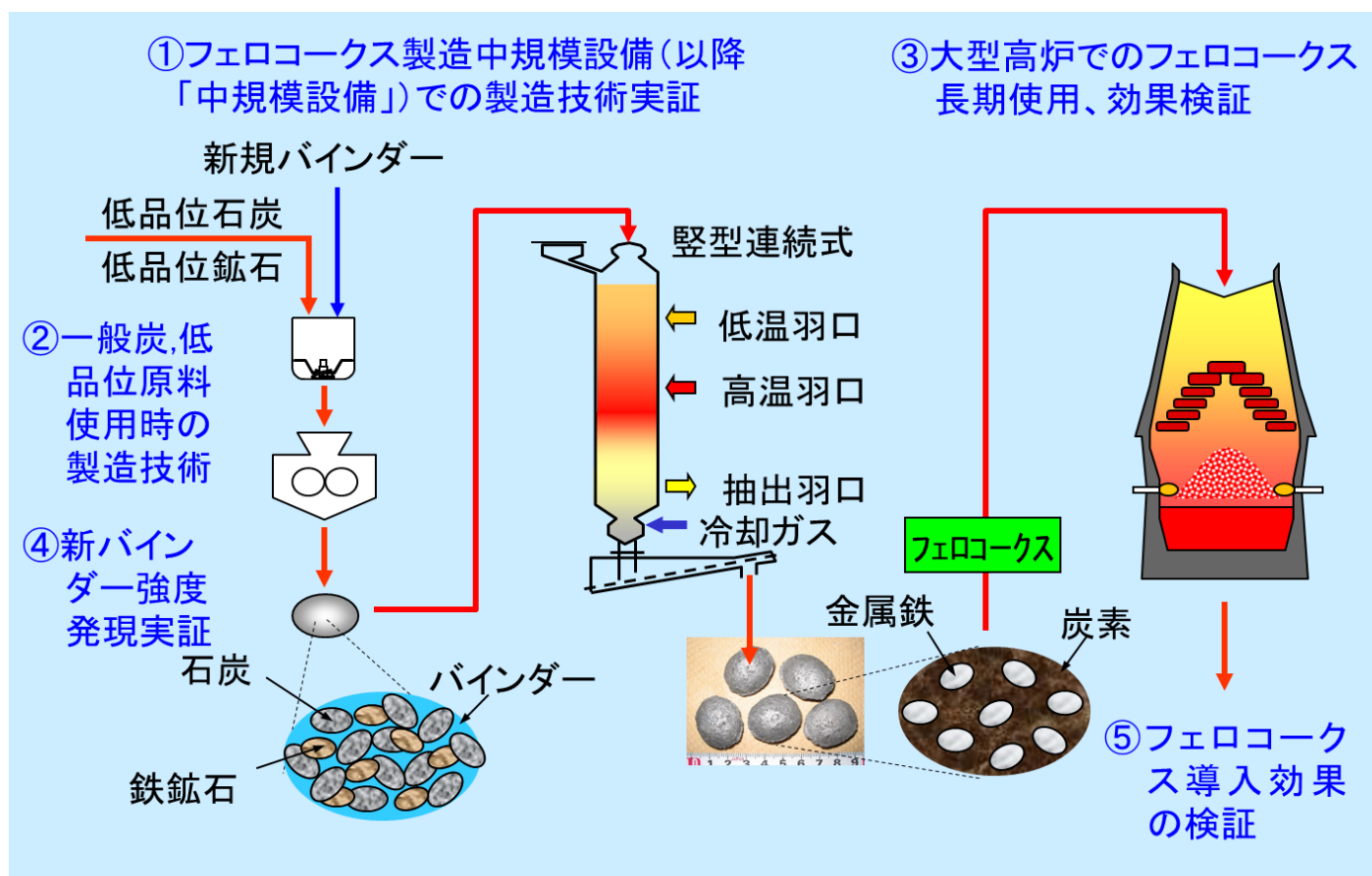


図 3-3 フェロコークス製造プロセスと研究開発テーマ

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 $27.5 \text{ t/d} \sim 30 \text{ t/d}$ 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 $DI150/15 \geq 81$ 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）： $ID30/15 \geq 85$

③ 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

「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：DI 150/15 $\geq$ 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。

DI 150/15 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）：ID 30/15 $\geq$ 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。

ID 30/15：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）：DI 150/15 $\geq$ 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）： $DI 30 / 15 \geq 85$

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、鉱石20%配合により $DI 150 / 15 \geq 80$ を達成。石炭配合、鉱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。

達成状況

ラボスケールにおける原料（鉄鉱石、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（鉄鉱石、石炭）の絞込みを行い、一般炭4銘柄、PC炭3銘柄、鉱石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 $DI 150 / 15 \geq 80$ 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

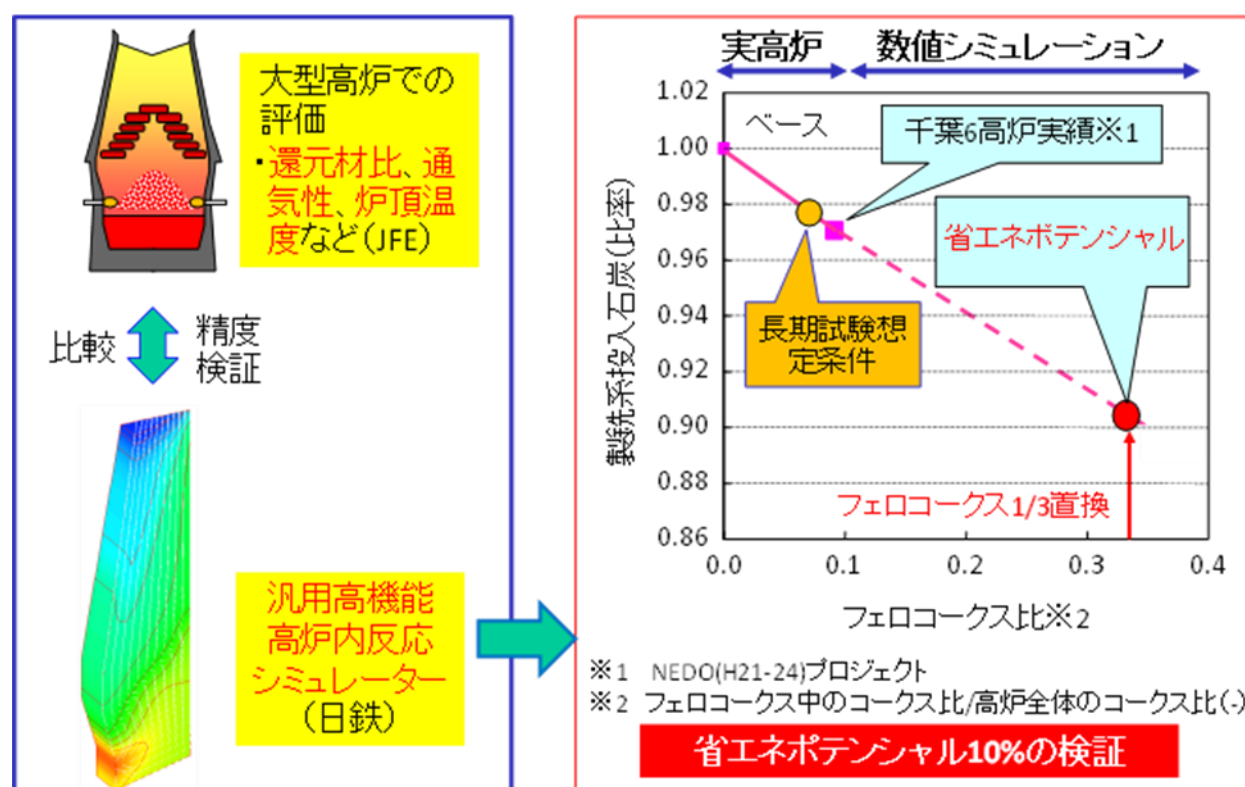
4. 3. 1. 評価前提

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。

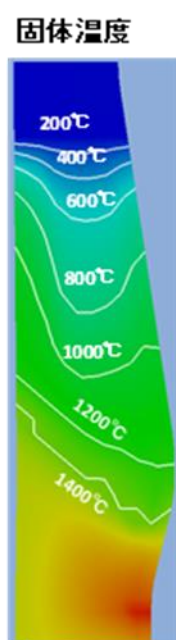
4. 3. 2. 解析方法

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。

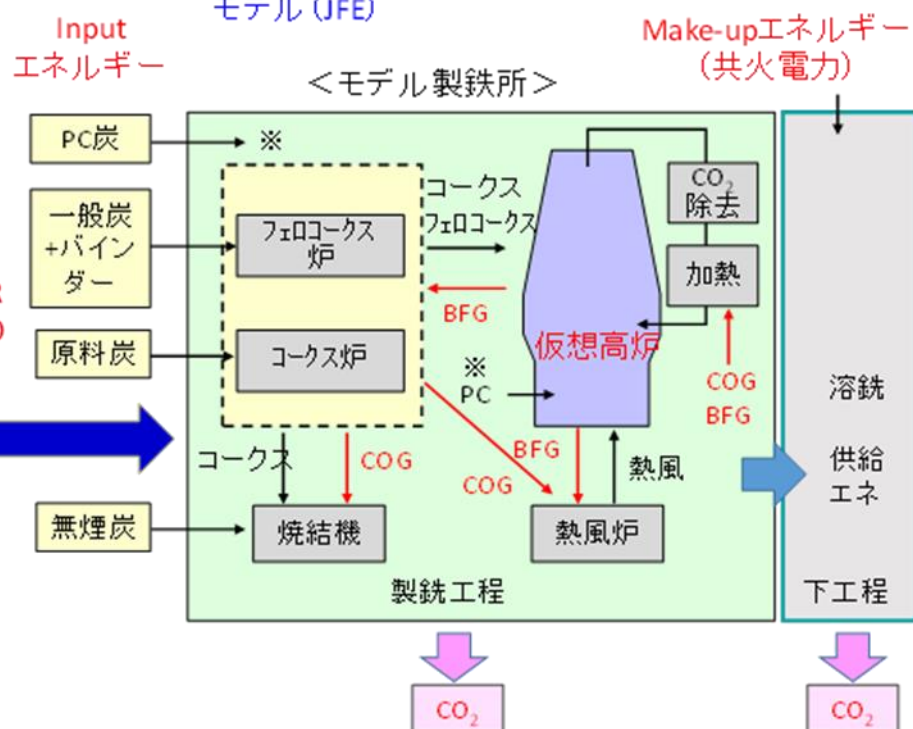


■ 汎用高機能高炉シミュレーター (日本製鉄)



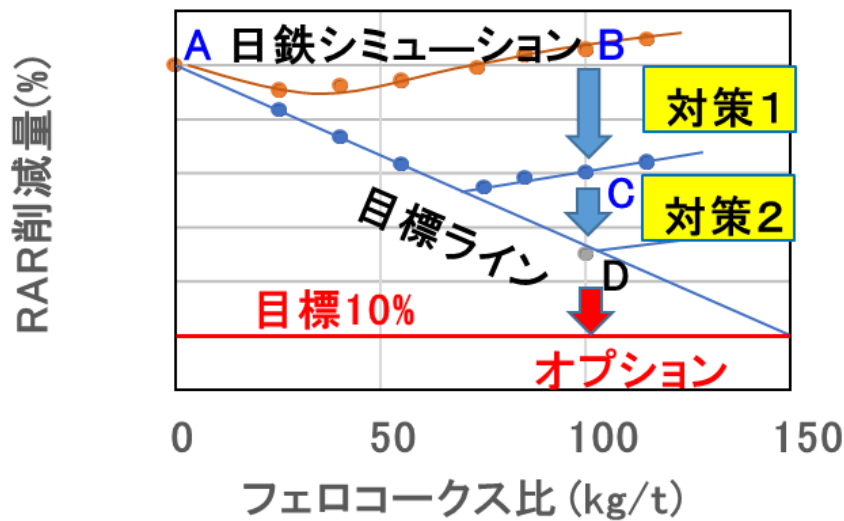
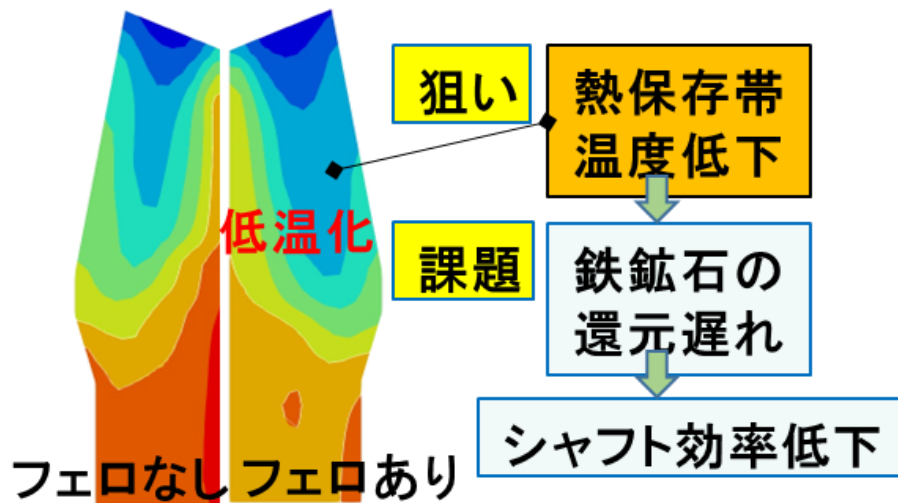
操業諸元
 ・RAR
 ・ η_{CO}
 etc

■ 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

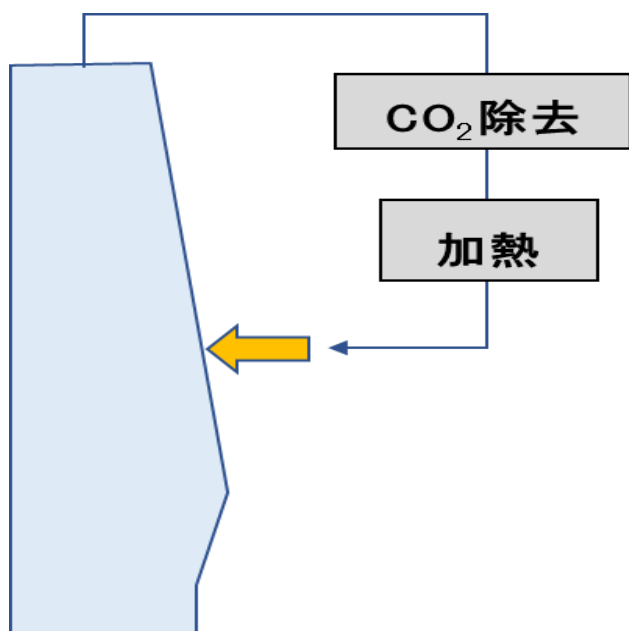
対策1：被還元性の改善 (RI: 55→75) 左図 B→C に改善

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 CO_2 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、 CO_2 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、 CO_2 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。

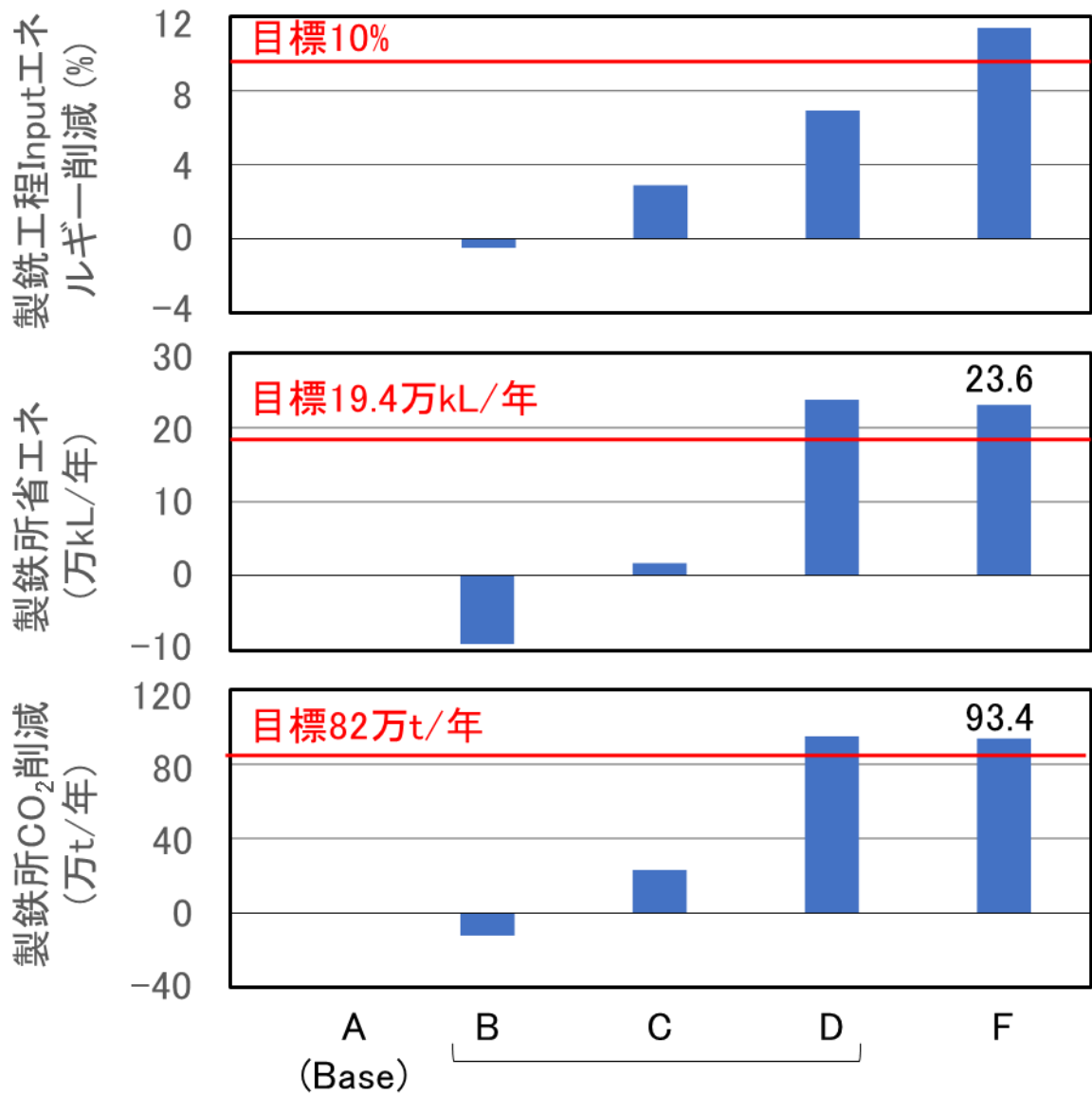
4. 4. 成果の意義

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、 CO_2 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 CO_2 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 CO_2 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える。

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ることができる。



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（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－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。
- ・ 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に指向し再生温度、分離回収エネルギーの低減などの技術開発のめどを得る。

【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）

(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 t/d $\sim$ 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 DI30/15 $>$ 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）：DI30/15 $\geq$ 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

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立、及び排熱とのマッチングのエンジニアリング検討を主体に取り組む。その内、フェーズⅡ－STEP1では、以下を実施する。

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、1.6GJ/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 $27.5 \text{ t/d} \sim 30 \text{ t/d}$ 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 $DI 150/15 \geq 81$ 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)： $ID 30/15 \geq 85$

(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ックス長期使用、効果検証)の結果と合わせ、目標の省エネ10%を検証する)。

2. 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、フェロコックス技術の開発は、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、フェロコッ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、フェロコッ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)及びフェロコッ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

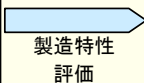
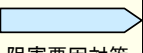
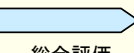
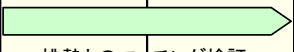
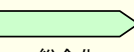
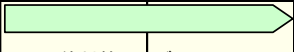
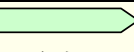
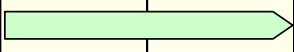
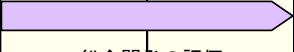
研究開発の内容、別添 研究開発計画を修正。

別添 研究開発計画

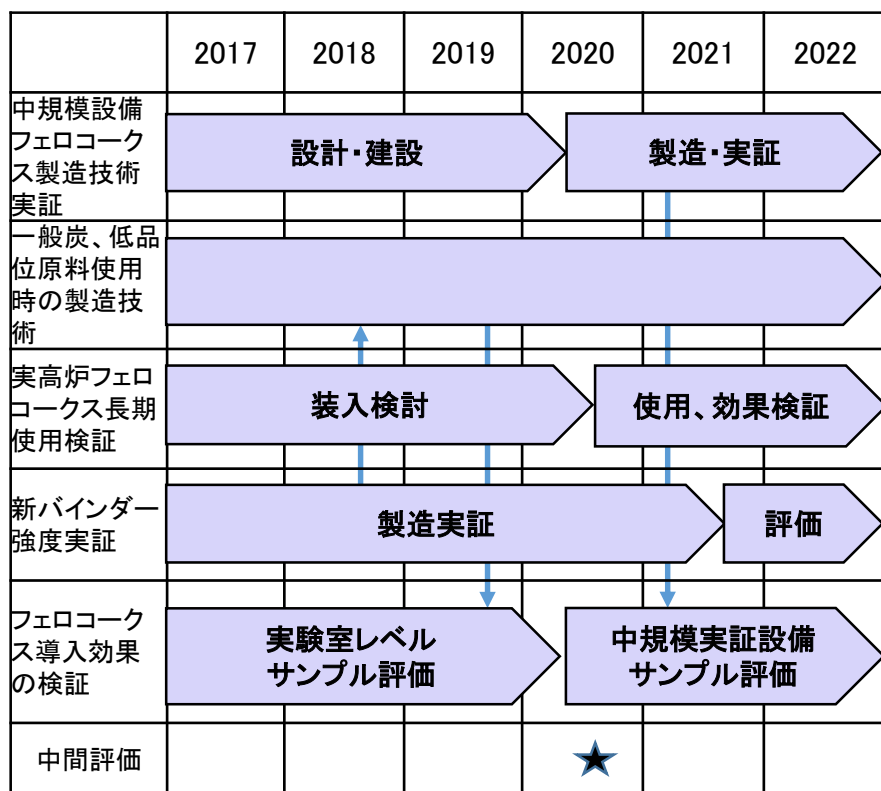
研究開発項目 1. 水素還元等プロセス技術の開発（フェーズⅡ－STEP 1）

	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					
	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		
	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					
	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  試験結果解析	
	3.高性能粘結材製造技術の開発	 製造特性評価	 阻害要因対策	 総合評価	
	2.コークス炉ガス(COG)改質技術の開発	 触媒改質実機部分適用			
高炉ガスのCO2分離・回収	4.CO2分離・回収技術開発	 排熱とのマッチング検証			 総合化
	5.未利用排熱回収技術開発	 付着対策ロングランテスト			 総合化
	6.総合開発	 プロセス間ユーティリティ検討			
7.全体プロセス評価・検討		 総合開発の評価			

研究開発項目 2. フェロコークス技術の開発



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, 堺康爾, 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. Ramdzuan, 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 for producing ferro-coke — Application examination of new binder —	The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for 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 process through national projects	The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for 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 銑鉄生産効率化、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

2. 分科会公開資料

次ページより、推進部署・実施者が、分科会において事業を説明する際に使用した資料を示す。

「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」(終了時評価) 2017年度～2022年度 6年間

プロジェクト／制度の概要 (公開版)

2023年11月20日

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

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

プロジェクトの概要

【背景】

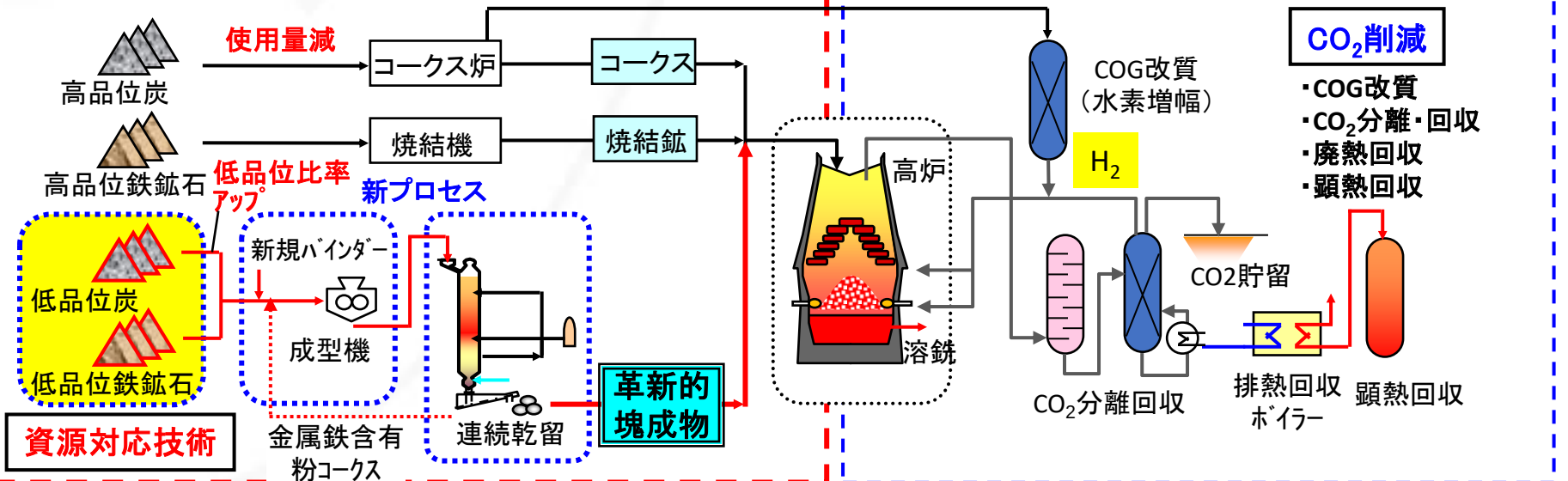
- ・地球温暖化対策として、我が国の産業部門で最大のCO₂排出業種である鉄鋼業からのCO₂削減が要求されている。
- ・我が国の製鉄技術は、既に世界最先端の水準にあり、CO₂削減を実現するためには革新的な製鉄プロセス技術開発が必要である。

【実施内容】(①水素還元型製鉄プロセス技術)

- ・12m3規模試験高炉を用いた送風操作及び炉内装入物の最適化
 - ・商用高炉を用いた全周羽口吹込による水素還元効果の部分検証及び3次元数学モデルの精度向上
 - ・STEP2に向けたシャフト吹込による水素還元効果の最適化検討
- #### (②フェロコークス活用製鉄プロセス技術)
- ・一般炭と低品位鉄鉱石を用い、金属鉄の触媒作用を利用して還元効率を高め、コークス量を削減できる省エネ技術を開発する。

②フェロコークス活用製鉄プロセス技術

①水素還元型製鉄プロセス技術



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



想定する出口イメージ等

アウトプット目標	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。
アウトカム目標	2030年頃までに(400万t/y高炉 5基へ適用)省エネルギー効果として原油換算量で19.4万kl/年、CO ₂ 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、約280億円/年の経済効果を見込む。
出口戦略 (実用化見込み)	①2030年までに商用機1号機に適用し、2050年までに国内全機に適用 ②2023年頃までに、実高炉(1基)において適用し、2030年頃までに中規模設備の増強、実用化を図り、実高炉5基へ適用
グローバルポジション	プロジェクト開始時:LD → プロジェクト終了時:LD

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



既存プロジェクトとの関係

①水素還元型製鉄プロセス技術

期間:2018年度～2022年度(5年間)

総事業費(NEDO負担分):46.4億円規模(委託)

②フェロコークス技術の開発

期間:2017年度～2022年度(6年間)

総事業費(NEDO負担分):96.1億円(1/2助成)

年	2008 ～12	2013 ～17	2018	2019	2020	2021	2022	2023 ～27
フェーズ/ STEP	フェーズⅠ STEP1 STEP2		フェーズⅡ STEP1 STEP2					
内容	要素 技術 開発	総合 技術 開発	試験高炉での 実証 全周羽口の 準備	製作	試験	コークス 準備 シャフト吹込 設計	高度 実用 化技 術の 開発	
評価時期		事前/ 事後			中間		事後	
予算(億円)	104	162	8.3 (P)	8.5 (P)	10.4 (P)	8.3 (P)	5.7 (P)	55.2 (P)

	H29 (2017)	H30 (2018)	H31 (2019)	H32 (2020)	H33 (2021)	H34 (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				★		
予算(6年) (億円)	8.4	21.7(P)	26.5(P)	26.5(P)	8.4(P)	9.1(P)

＜評価項目1＞意義・アウトカム(社会実装)達成までの道筋

(※)本事業の位置づけ・意義 * 終了時評価においては対象外

(1)アウトカム(社会実装)達成までの道筋

(2)知的財産・標準化戦略

1. 意義・アウトカム(社会実装)達成までの道筋

(※)本事業の位置づけ・意義
(1)アウトカム(社会実装)達成までの道筋
(2)知的財産・標準化戦略

- ☐ 事業の背景・目的・将来像
- ☐ 政策・施策における位置づけ
- ☐ 技術戦略上の位置づけ
- ☐ 国内外の動向と比較
- ☐ 他事業との関係
- アウトカム(社会実装)達成までの道筋
- 非連続ナショプロに該当する根拠
- 知的財産・標準化戦略
- 知的財産管理

2. 目標及び達成状況

(1)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況

3. マネジメント

(1)実施体制
(※)受益者負担の考え方
(2)研究開発計画

事業の性質や状況に応じて記載

(※) 評価対象外
事前・中間評価時の資料ページは残す

☐ (塗りつぶしなし) 評価対象外

2. 目標及び達成状況 (詳細) ※

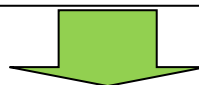
(1)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況

事業の背景・目的・将来像

社会的背景

- ✓ 日本の鉄鋼業では省エネルギー対策が既に進んでいるので省エネルギーポテンシャルは世界で最も低い。
- ✓ 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15%を占める(2017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。

さらなる省エネルギー、CO₂削減を目指すためには革新的な製鉄技術が必要



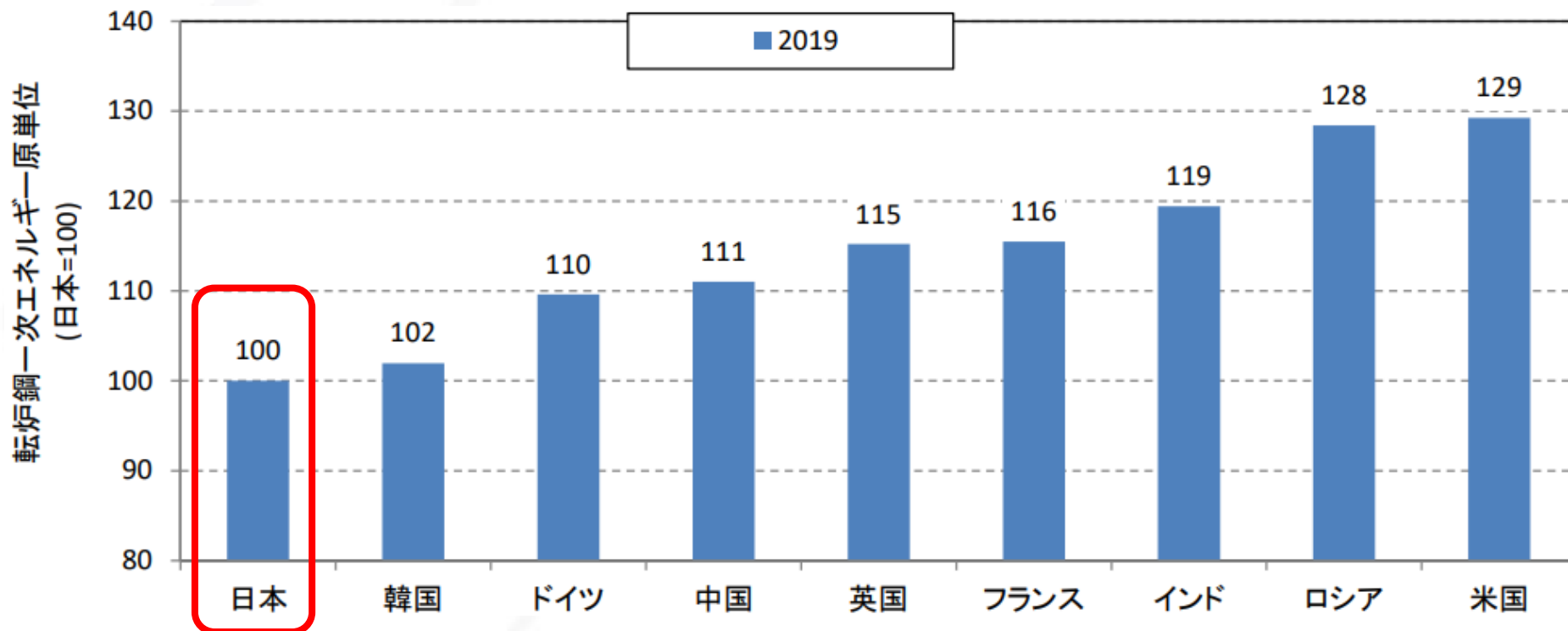
事業の目的

フェロコークスの使用により、鉄鉱石の還元を効率化し、製鉄工程における省エネルギー効果、CO₂削減効果の検証を行う

- 中規模設備(フェロコークス製造能力:300t/d)による製造技術開発
- 高炉へのフェロコークス装入による省エネルギー効果10%の検証

事業の背景・目的・将来像

日本の鉄鋼業は鉄鋼主要国の中で最もすぐれたエネルギー原単位と推計される

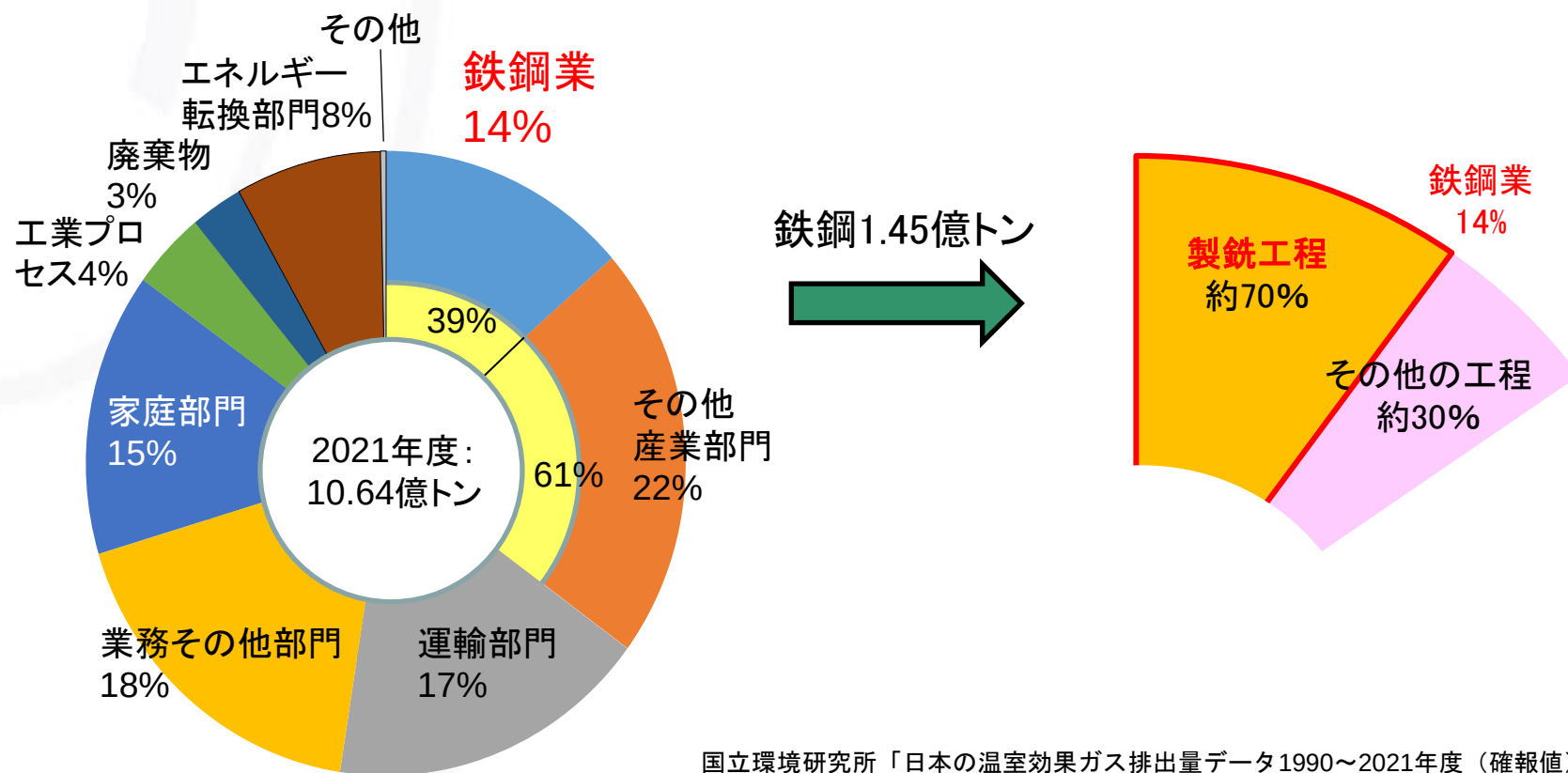


（エネルギー原単位：粗鋼製造1トン当たりのエネルギー投入量）

出典：（公益財団法人）地球環境産業技術研究機構（RITE）「2019年時点のエネルギー原単位推計（鉄鋼部門・転炉鋼）」を改変 https://www.rite.or.jp/system/global-warming-ouyou/download-data/Comparison_EnergyEfficiency2019steel.pdf

事業の背景・目的・将来像

●国内製造業における産業別のCO₂排出量割合



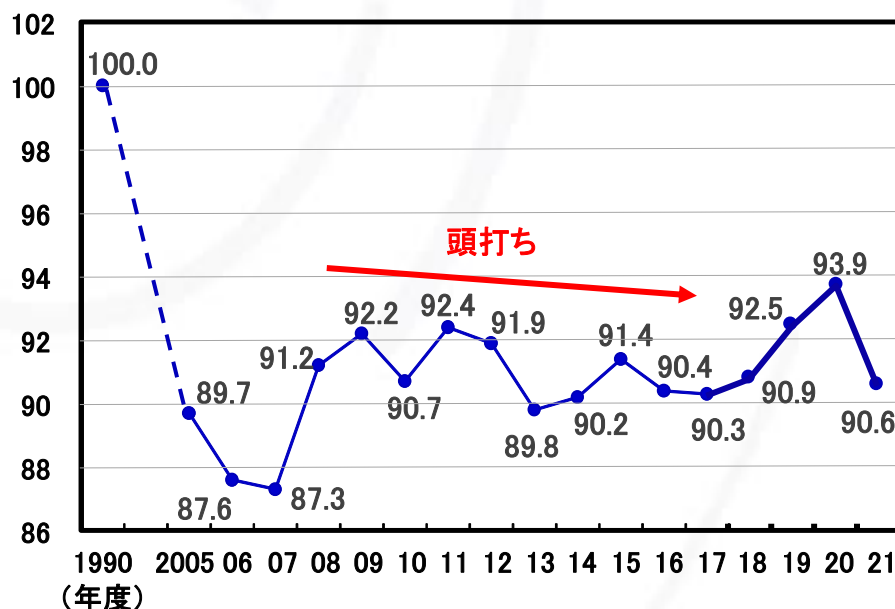
国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ1990～2021年度（確報値）」より作成 <https://www.nies.go.jp/gio/archive/ghgdata/index.html>

高炉法による製鉄プロセス(製鉄工程)で発生するCO₂排出量の削減は喫緊の課題

事業の背景・目的・将来像

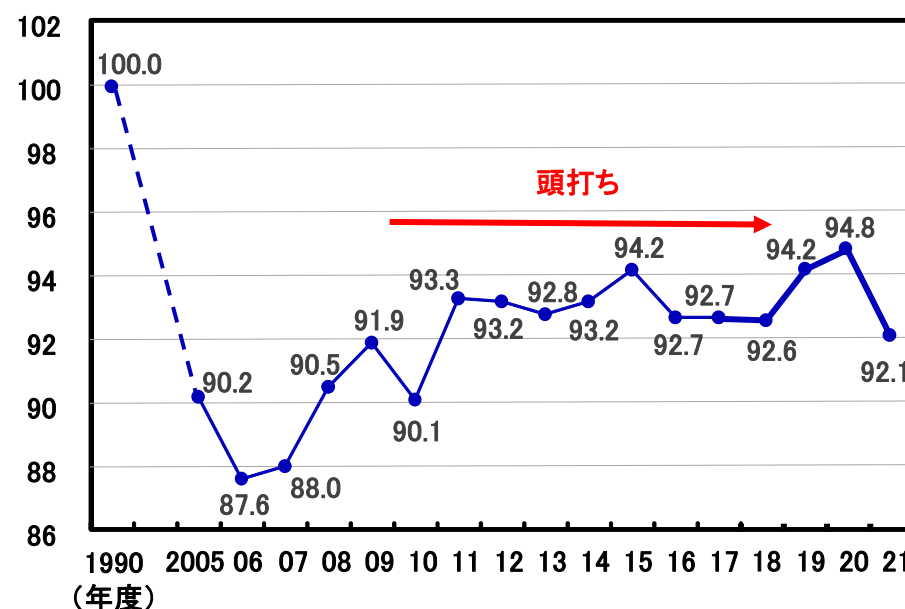
● 鉄鋼業におけるエネルギー消費・CO₂発生の推移

エネルギー原単位(1990年度基準)



(エネルギー原単位:粗鋼製造1トン当たりのエネルギー投入量)

エネルギー起源CO₂原単位(1990年度基準)
(毎年度のクレジット反映後の電力係数を反映)

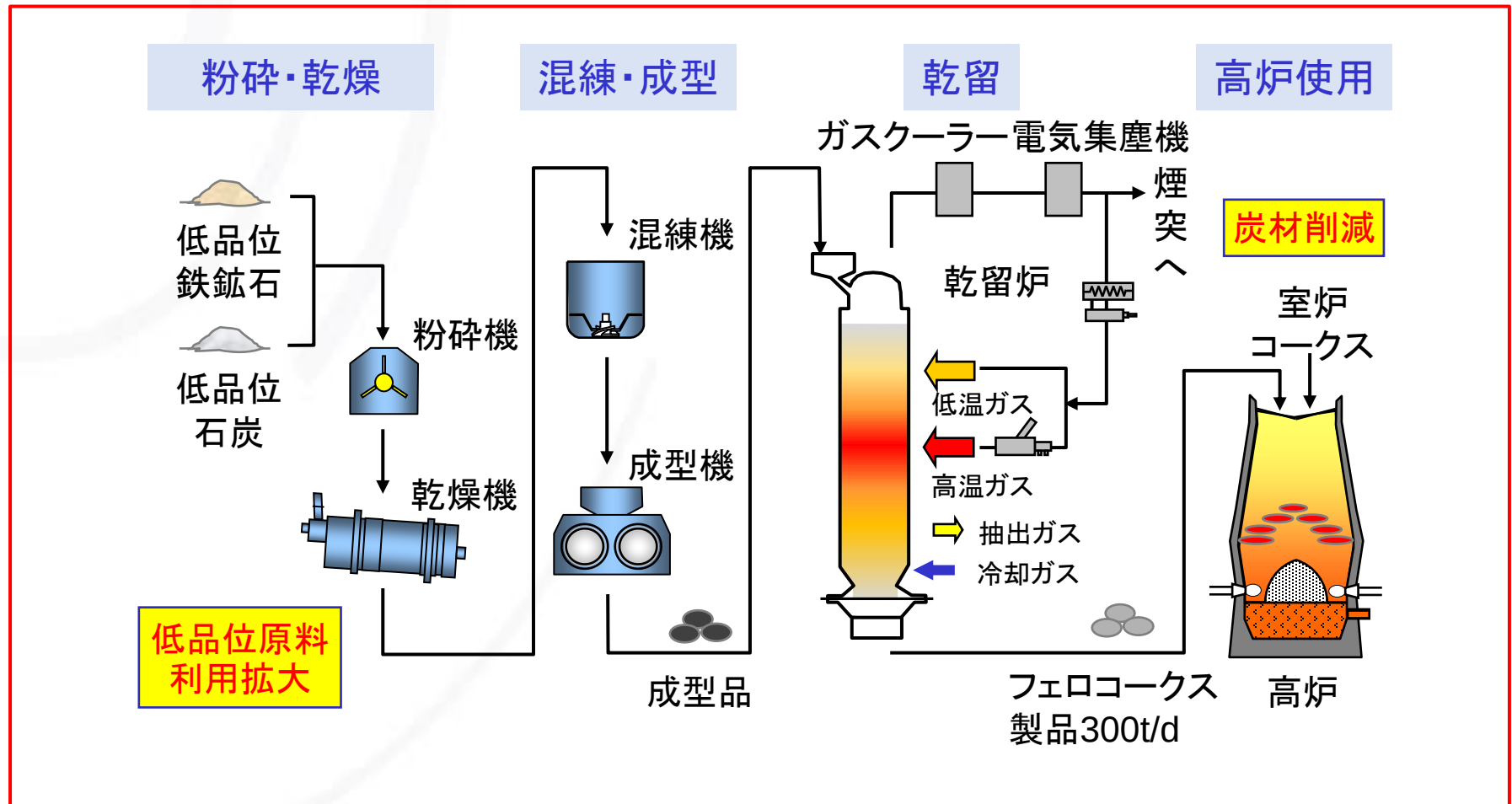


日本鉄鋼連盟: 産業構造審議会 鉄鋼WG報告資料
「地球温暖化対策への取組状況について
～カーボンニュートラル行動計画報告～」
2023年2月16日 一般社団法人 日本鉄鋼連盟

我が国の鉄鋼業の省エネルギーは極限→革新的製鉄プロセス技術開発が必要

事業の背景・目的・将来像

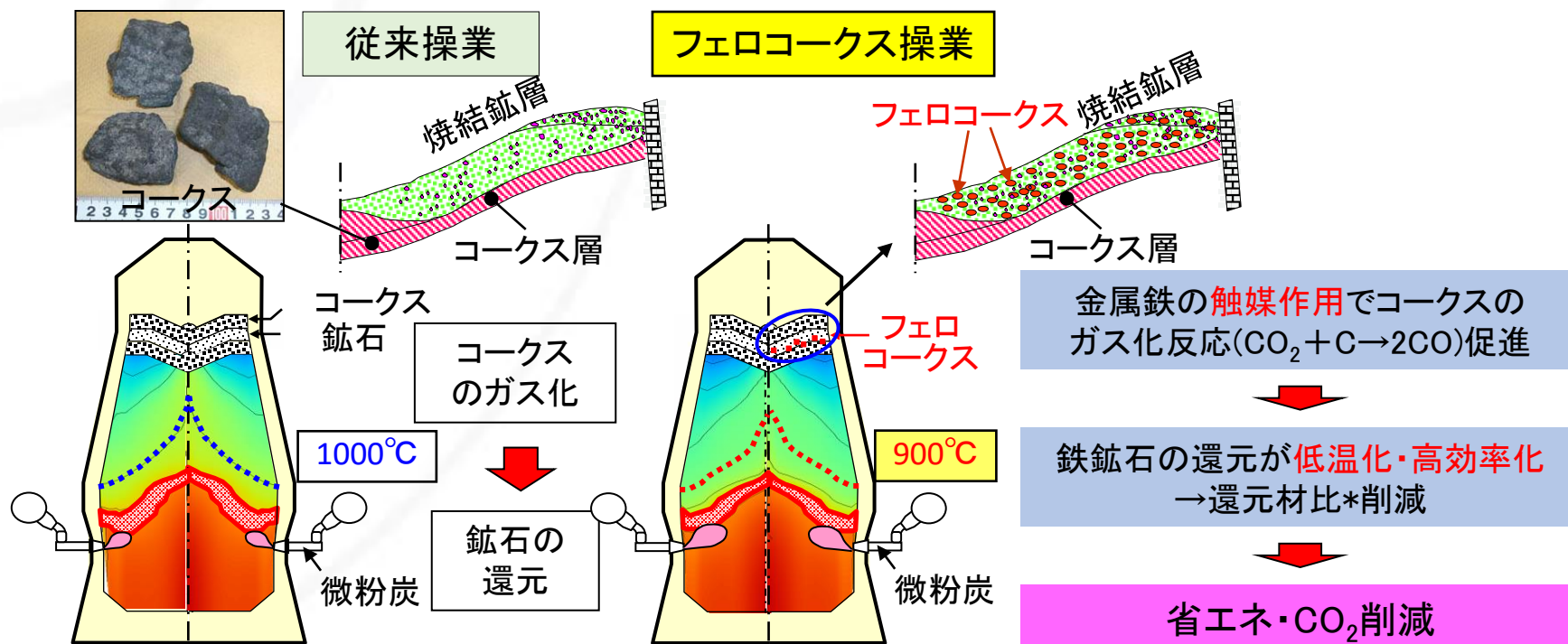
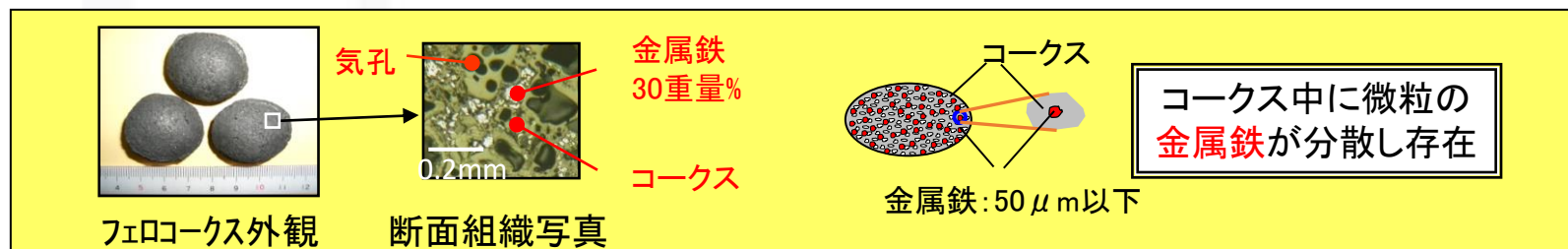
● フェロコークス製造プロセス



事業の背景・目的・将来像

● フェロコークスを用いた高炉操業

水素還元製鉄が普及するまでの間、トランジションの省エネ対策として活用



政策・施策における位置づけ

■エネルギー基本計画（2010年 6月）

【世界最高の省エネ・低炭素技術の維持強化】

革新的製鉄プロセス技術（フェロコックス）や環境調和型製鉄プロセス技術（水素還元製鉄、高炉ガスCO₂分離回収）について研究開発を推進し、2030年までの実用化を図る。

フェロコックス：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材）及びその操業プロセスを開発し、製鉄プロセスの省エネルギーと低品位原料利用拡大の両立を目指す革新的技術。

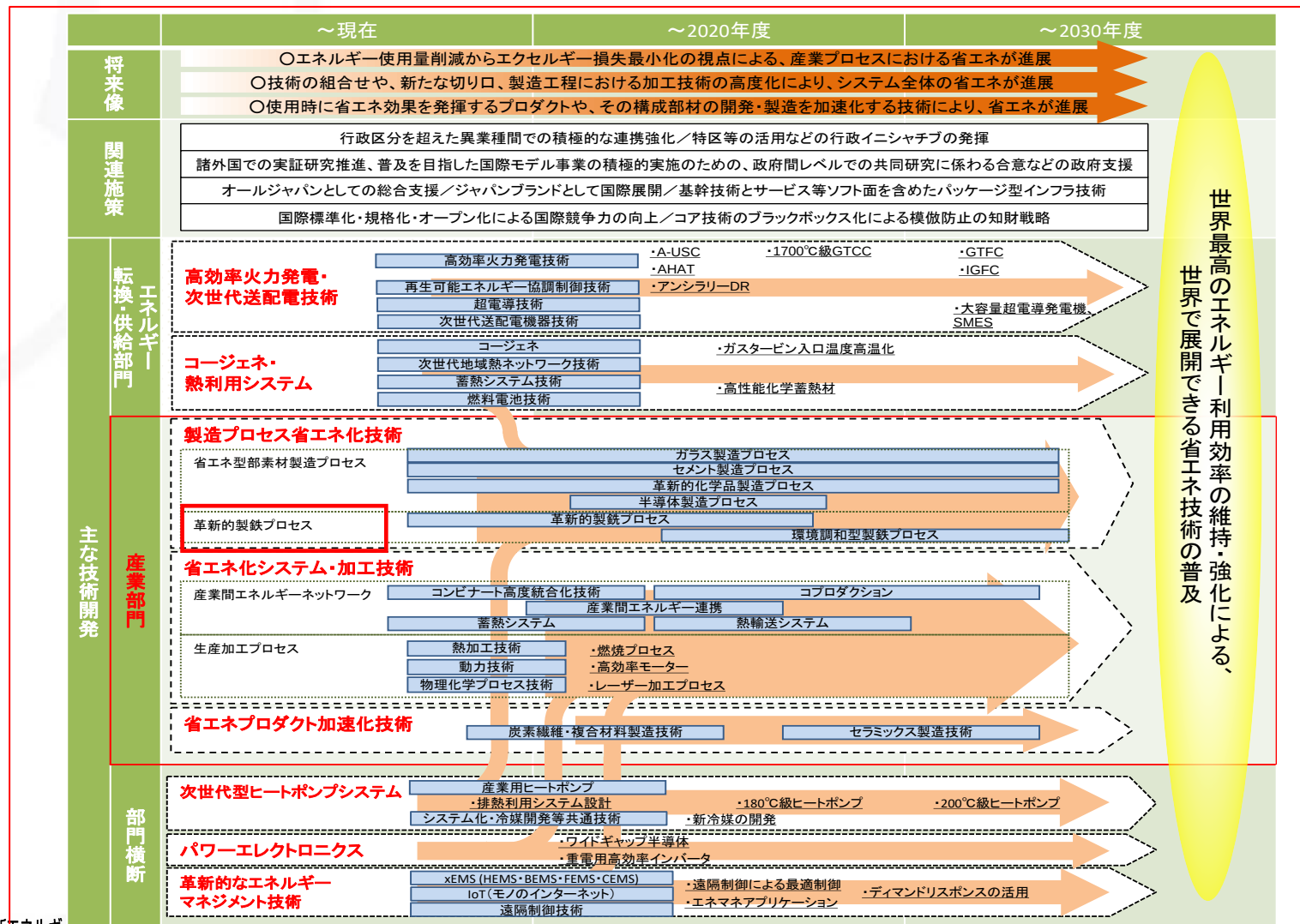
■地球温暖化対策計画（2016年 5月）

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。

出典：経済産業省 エネルギー基本計画（2010年6月）、環境省 地球温暖化対策計画（2016年 5月）より抜粋

技術戦略上の位置づけ

■ 省エネルギー技術戦略2016 産業部門の導入シナリオ



技術戦略上の位置づけ

省エネルギー技術戦略2016

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が、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ークス（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ークス代替還元剤）及びその操業プロセスの開発と、従前燃料として使用されていた副生コークスガスを還元に適する仕様に改質し、高炉にて還元剤として使用することと二酸化炭素濃度が高い高炉ガスから二酸化炭素を分離するため、製鉄所内の未利用低温排熱を利用した新たな二酸化炭素分離・回収技術の開発を進める。

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ー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、スウェーデンの試験高炉を使用する事で、鉄鉱石水素還元の可能性を確認した。更に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が、効率良く未利用排熱を活用するための要素技術（ケミカルヒートポンプ技術及び、相変化物質による蓄熱・熱輸送技術等）の開発が課題となっている。これまで、モデル製鉄所排熱状況の整理と排熱回収技術シーズ調査を完了し、CO2分離回収可能量・コストの検討を実施したほか、実機の製鋼スラグから顕熱を回収するベンチ設備を製作し、製鋼スラグ顕熱回収の可能性を確認した。また、カーナ発電システムの熱効率改善と低コスト化の可能性を明確化した。

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。

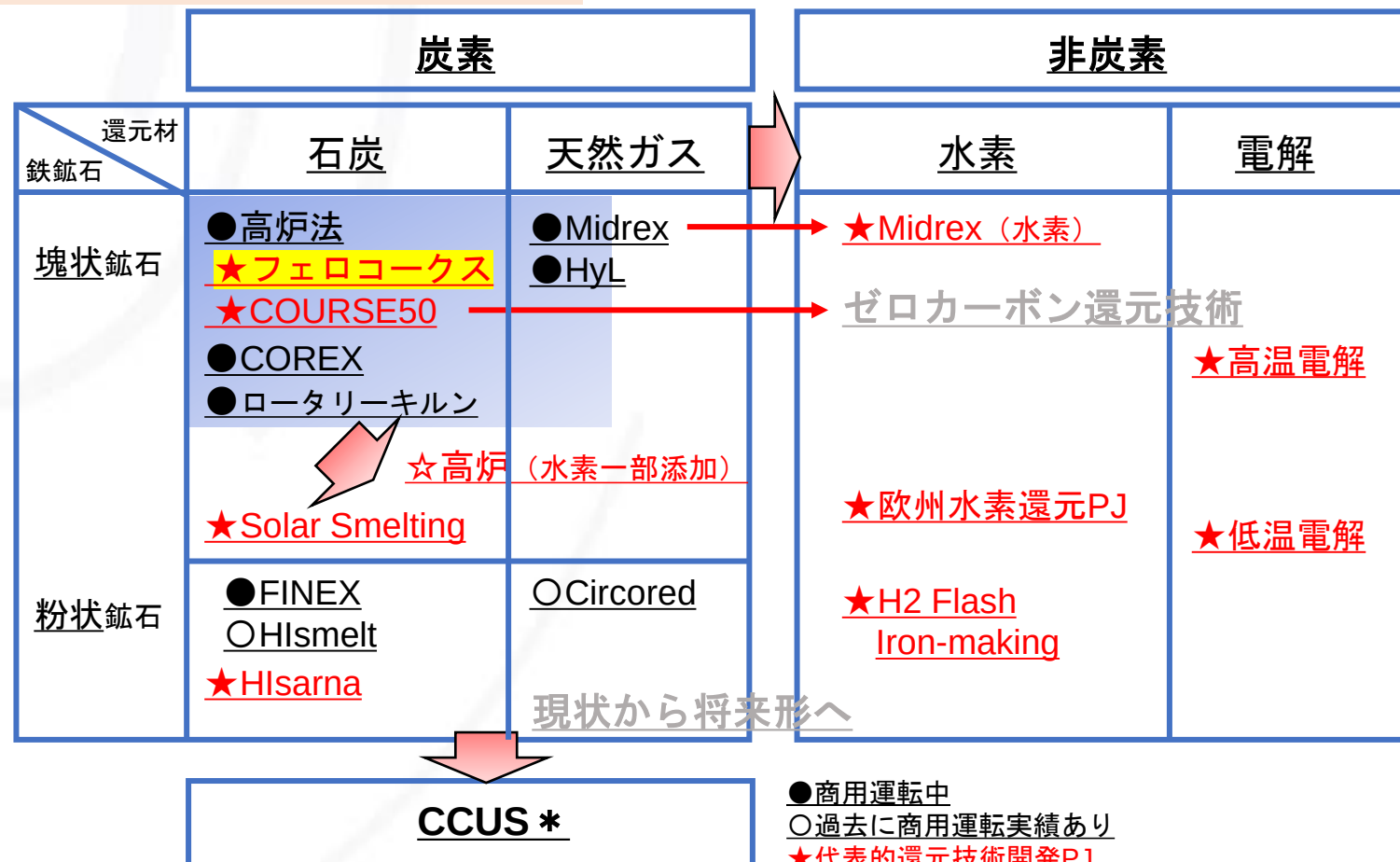
波及効果

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、還元剤としてのコー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。

国内外の研究開発の動向と比較

鉄鉱石の主な還元プロセス



●商用運転中
○過去に商用運転実績あり
★代表的還元技術開発PJ

* CCUS: Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage

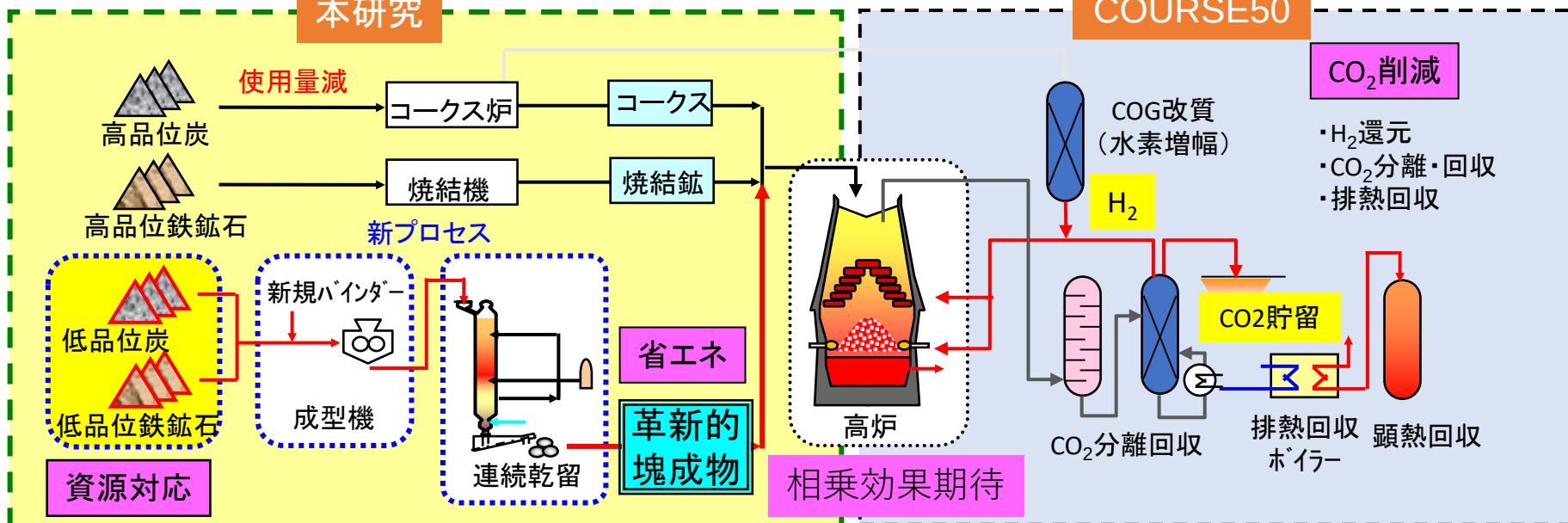
出典：NEDO 2018年度~2019年度成果報告書 「環境調和型製鉄プロセス技術の開発/ 各国の鉄鋼業における政策・技術開発の長期見通しに係る調査報告書」 にて日鉄総研作成

他事業との関係

基本計画「環境調和型プロセス技術の開発」のもとに2つのプロジェクトが実施

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）

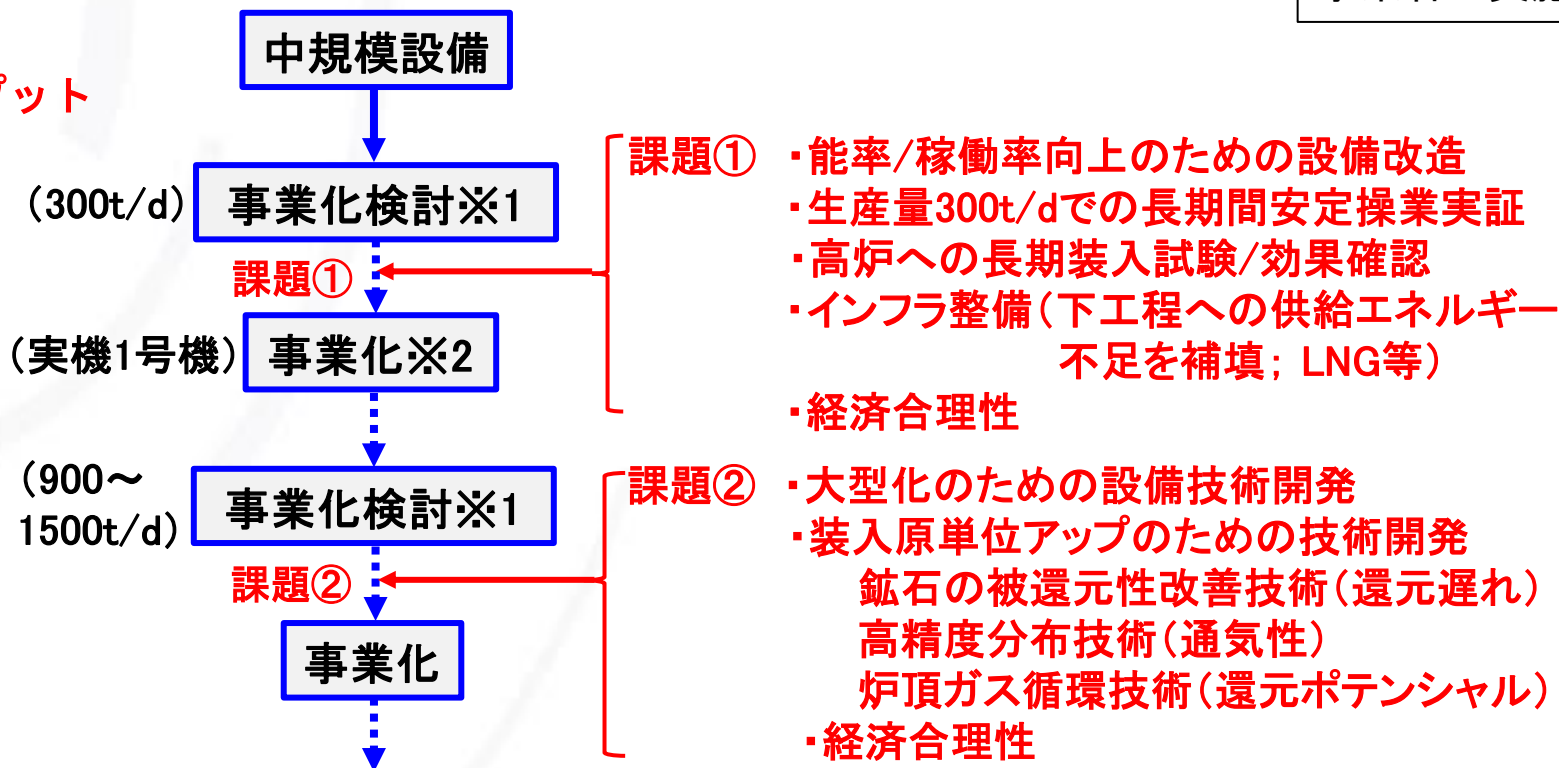
本研究



アウトカム（社会実装）達成までの道筋

事業者で実施

2023年
アウトプット



2030年
アウトカム

2030年頃までに業界として5基導入を目指す
CO2削減効果: 82万t-CO2/年
省エネルギー効果: 9.4万kL/年(原油換算)

※1 省エネ・CO2削減効果、設備・インフラ、**経済性**等の評価

※2 中規模設備(300t/d)で実用性が認められれば、研究開発補助金制度に則り**転用**、そのまま事業化(2024年以降)

知的財産・標準化戦略

＞オープン／クローズ戦略の考え方

	非競争域	競争域
公開	品質評価方法	製造技術 使用技術
非公開		操業（運転）技術

積極的に
権利化

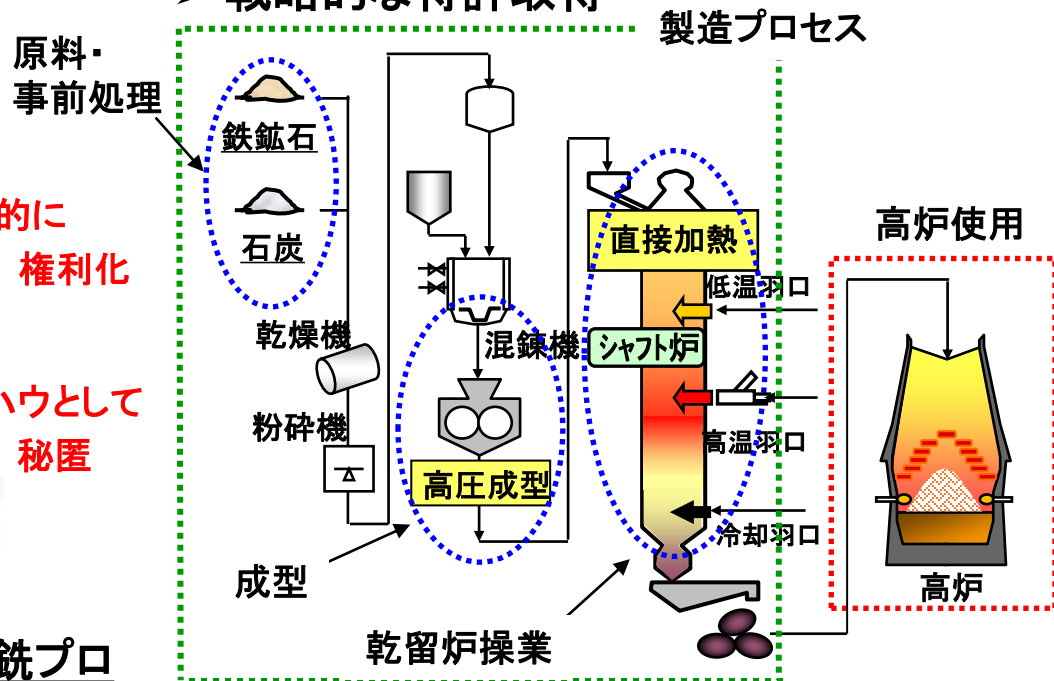
ノウハウとして
秘匿

標準化を推進

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）。

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

＞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

知的財産管理

➤ 知的財産管理指針の策定

1) 成果に係る知的財産権の取扱い

- ・受託会社に帰属（日本版バイ・ドール法に拠る）
- ・共同受託会社間に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) 再委託先（大学）での成果に係る知的財産権

- ・国プロの主旨に鑑みて、再委託者、再受託者間で共有すべく協議

➤ 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
- ・PJ期間中、年3回程度の頻度で開催

＜評価項目2＞目標及び達成状況

- (1)アウトカム目標及び達成見込み
- (2)アウトプット目標及び達成状況

1. 意義・アウトカム(社会実装)達成までの道筋

(※)本事業の位置づけ・意義
(1)アウトカム(社会実装)達成までの道筋
(2)知的財産・標準化戦略

2. 目標及び達成状況

(1)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況

- アウトカム目標の設定及び根拠
- 波及効果
- 本事業における「実用化・事業化」の考え方及び見込み
- 費用対効果
- アウトプット(研究開発成果)のイメージ
- アウトプット目標の設定及び根拠
- アウトプット目標の達成状況
- 研究開発成果の意義
- 副次的成果及び波及効果
- 特許出願及び論文発表

3. マネジメント

(1)実施体制
(※)受益者負担の考え方
(2)研究開発計画

事業の性質や状況に応じて記載

2. 目標及び達成状況(詳細) ※

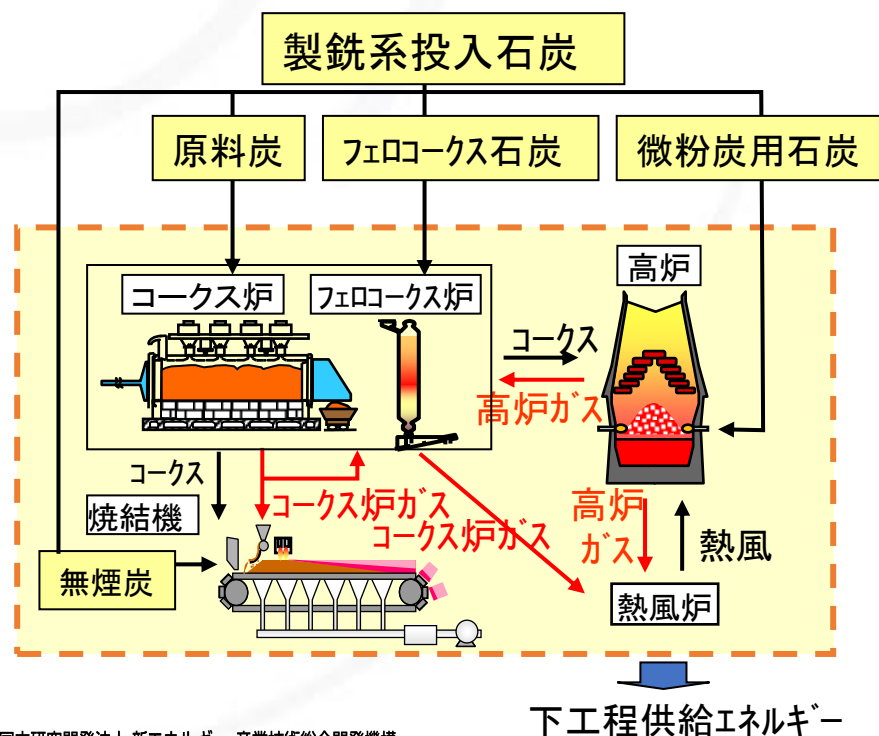
(1)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況

(※) 評価対象外
事前・中間評価時の資料ページは残す

□ (塗りつぶしなし) 評価対象外

アウトカム目標の設定及び根拠

アウトカム目標	根拠
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、CO ₂ 削減量は82万t/年を見込む。	1, 短期の高炉への投入試験結果により、3分の1の投入石炭をフェロコークスに置き換えた場合、製銑工程における省エネルギー効果10%、CO ₂ 削減9.5%を見込まれる。 2, 2030年までに国内25%(高炉5基に相当)普及を見込む。
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。	1, 高品位原料炭削減(63%→39%) 2, 石炭使用量削減(10%)



【前提】

◆ 実機1500t/d×5基で製造したフェロコークスを400万t/年規模の高炉5基に装入

◆ 高品位原料炭削減(63→39%)

◆ 石炭使用量削減(10%)

経済性280億円/年(※)

※原料炭と一般炭の単価(11-15年の通関統計平均値):それぞれ14.0千円/t、10.4千円/tを用いて計算

本事業における「実用化・事業化」の考え方

実用化とは

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

事業化とは

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

【具体的取り組み】

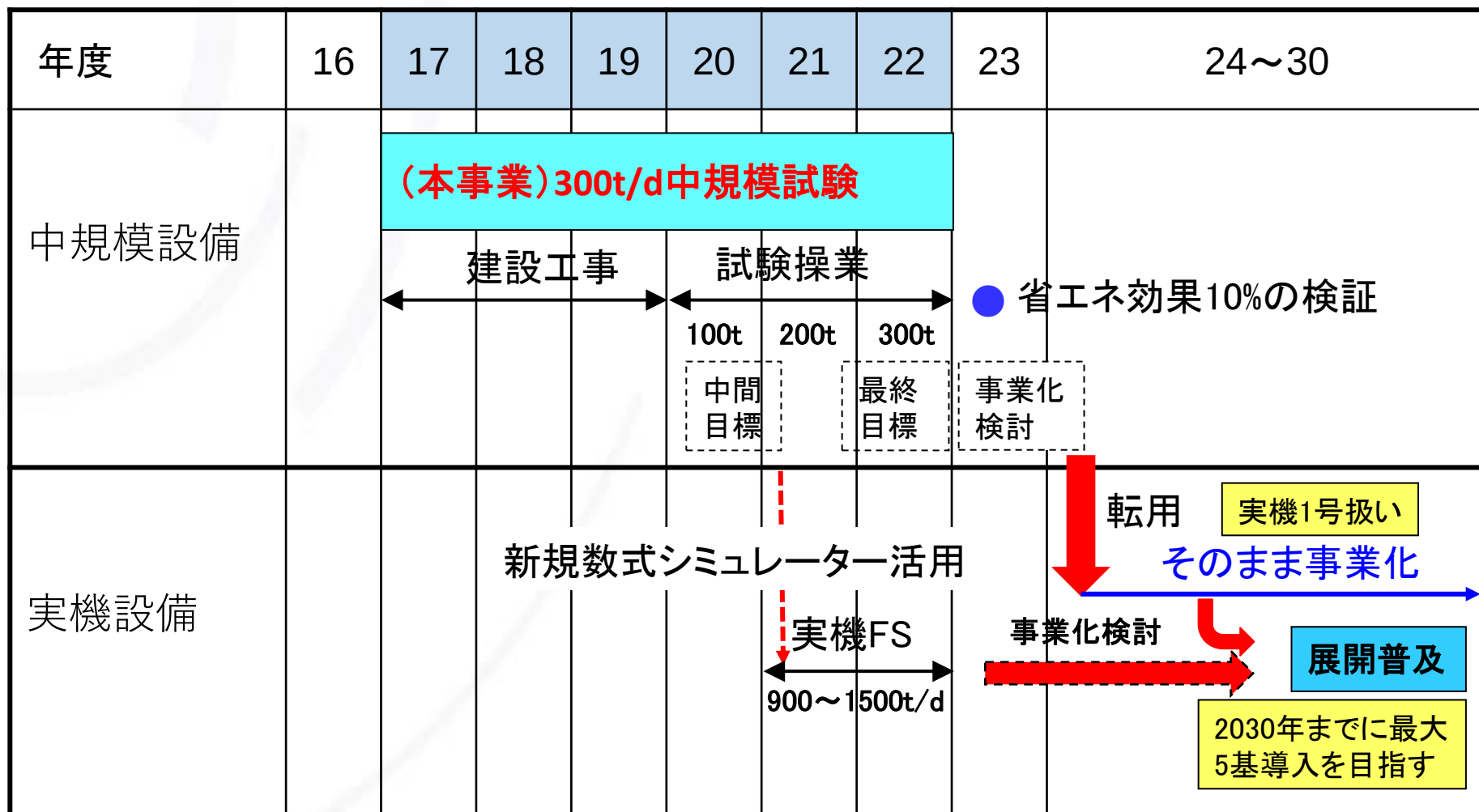
1) 実用化: 中規模設備(300t/d)による工業化課題の克服

- ・高炉での連続使用、設備の安定操業技術・耐久性実証
- ・省エネ効果の精度アップ(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

- ・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、本中規模設備を商業1号機として事業化を目指す(2024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(但し、フェロコークス導入によって、経済合理性が確保されること、製鉄工程から発生するエネルギーが減少するため、それを補填する付帯インフラ(LNG供給等)の整備が前提)。

本事業における「実用化・事業化」の考え方



● : 基本技術確立

アウトカム(社会実装)目標の達成見込み

【事業化の条件】

・中規模設備の残課題

能率/稼働率向上のための設備改造
生産量300t/dでの長期間安定操業実証
高炉への長期装入試験/効果確認

・大型化のための設備技術開発、装入原単位アップのための技術開発

・環境整備

インフラ整備(下工程への供給エネルギー不足を補填; LNG等)

・経済合理性



上記課題の解決により、アウトカム目標を達成

波及効果

1. 本PJ(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)は省エネルギーを図りながら、同時にCO2削減も両立できる技術である。
2. 長期的には高炉ガス(Bガス)からCO2を分離し、それを地中に埋める、または水素等と反応させて化学品などに変換して再利用するCCUS*技術と組み合わせることにより、さらにCO2排出量削減を図ることができる。 *: Carbon Capture, Utilization and Storage
3. フェロコークス使用による高炉還元材比低下に伴い、製鉄所で使用する石炭量そのものを減らせると同時に、賦存量の限られる原料炭の使用量も減らせることができるため、エネルギーの安定供給(エネルギー安全保障)の観点から有用である。
4. これらの技術開発を加速的に実施、早期実用化を図ることで、国際競争力の維持・強化にも寄与する。

費用対効果

➤ プロジェクト費用の総額

技術開発費総額 192億円

(NEDO助成額＋事業者負担)

NEDO助成額 96.1億円

助成率 1／2

➤ アウトカム 2030年頃までに5基導入を想定

CO₂削減効果 82万t-CO₂／年

省エネルギー効果 19.4万kL／年（原油換算）

経済性 約280億円

アウトプット目標の設定及び根拠（前身事業等）

前身事業や先導研究等	取組の成果とその評価
エネルギー使用合理化技術開発/エネルギー利用基盤技術先導研究開発/革新的製鉄プロセスの先導的研究（'06～'08年度 NEDO）	本研究においてフェロコックスプロセスに関する要素技術の開発を実施。炭材、鉬石の反応速度の定量化による熱保存帯温度低下メカニズムの検証し、BIS炉を用いた炭材の反応開始温度と熱保存帯温度の関係を定量評価。マクロ反応モデルの構築とトータルモデルへの組み込みによるフェロコックス効果の評価を行い、現PJの汎用高機能高炉シミュレーターの開発に至った。さらに、プロセスイメージの構築を実施し、次ステップとなる30t/d規模パイロットプラントの建設へ繋がった。
エネルギーイノベーションプログラム/資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発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年度 国直轄）	本研究において実験室規模での小型成型機、電気抵抗加熱乾留炉を用いた製造試験を行い、成型、乾留一貫操業技術を確立。この研究成果を基に直接加熱方式による30t/d連続縦型乾留炉の設計・建設（複数羽口へのガス温度・流量などの制御技術を基本とする循環ガス加熱システムを構築）を実施。品質向上を目指すため炉頂、各羽口の循環ガス量、温度などの最適操業条件を確立。開発終了後、設備の一部の解体調査（混練機の攪拌羽根、成型機のロール、乾留炉耐火物、製品排出装置など）を実施し、設備劣化を定量的に評価、さらに、離散要素法モデルを活用し、スケールアップ検討を行い、次ステップのスケールアップ指針を得た。

国内外の研究開発の動向と比較

年度	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24～30
技術戦略分類	革新的製鉄先導研究			革新的製鉄プロセス技術の開発				評価事前検討				(今回)中規模試験評価						事業者追加評価	実証普及
																			展開
2030年までに最大で5基導入を目指す																			★

2006～2008年度 革新的製鉄プロセスの先導的研究(NEDO)

- ✓ フェロコークスの実験室レベルにおける要素技術の開発
- ✓ フェロコークスによる還元材比低減原理の構築

2009～2012年度 資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術の開発(NEDO, METI)

- ✓ フェロコークス製造能力30t/dのパイロットプラントを建設(JFEスチール東日本製鉄所、京浜地区)
- ✓ フェロコークスの製造プロセスの実証
- ✓ 高炉(千葉6号機)への短期装入試験を行い、還元材比の削減効果を確認

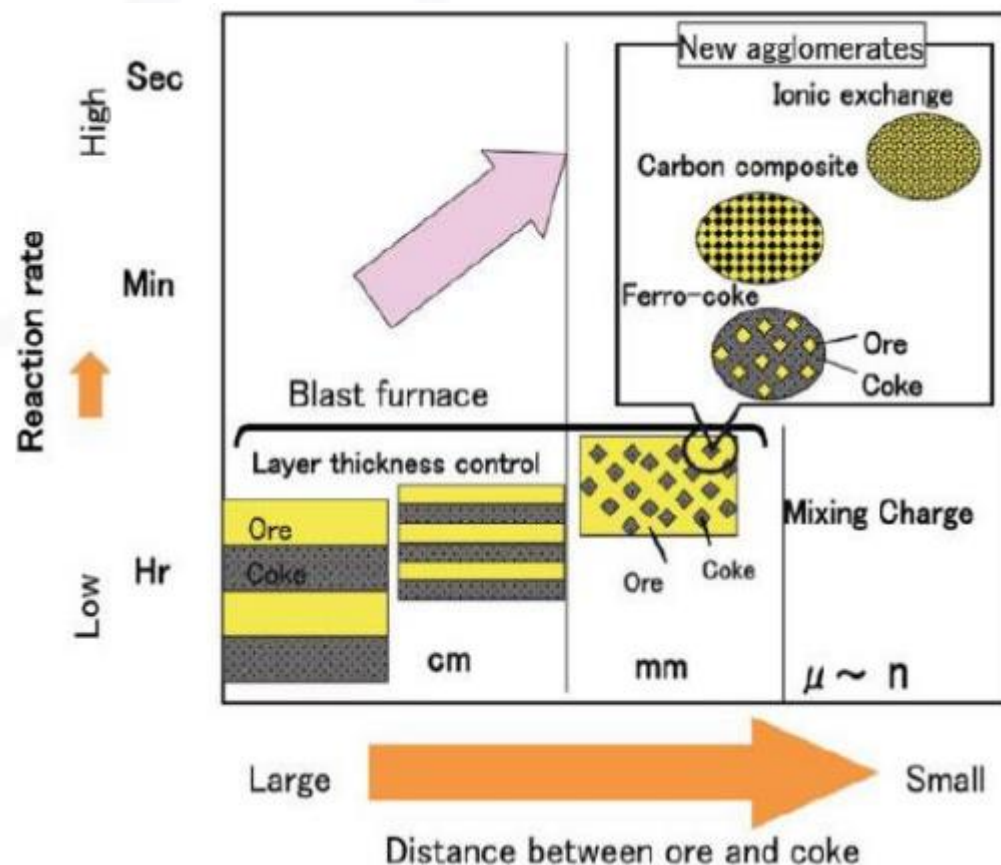
2017～2022年度 環境調和型プロセス技術の開発/フェロコークス技術の開発(NEDO)

- ✓ 300t/dの中規模設備におけるフェロコークス製造実証(課題抽出含む)と高炉への長期装入試験
- ✓ 安価原料(鉄鉱石、石炭)の使用拡大
- ✓ 高炉操業結果と汎用高機能高炉内反応シミュレーターに基づき製鉄工程における省エネルギー効果10%を検証

国内外の研究開発の動向と比較

2006～2008年度 革新的製鉄プロセスの先導的研究

✓ フェロコークスの還元材比低減原理の構築



コークス内に金属鉄を適正に内在させることで金属鉄とコークスをより接近させ、コークスとしての反応性を高めた技術

出典：NEDO 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る技術開発動向等の調査」

国内外の研究開発の動向と比較

2009～2012年度 資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術の開発

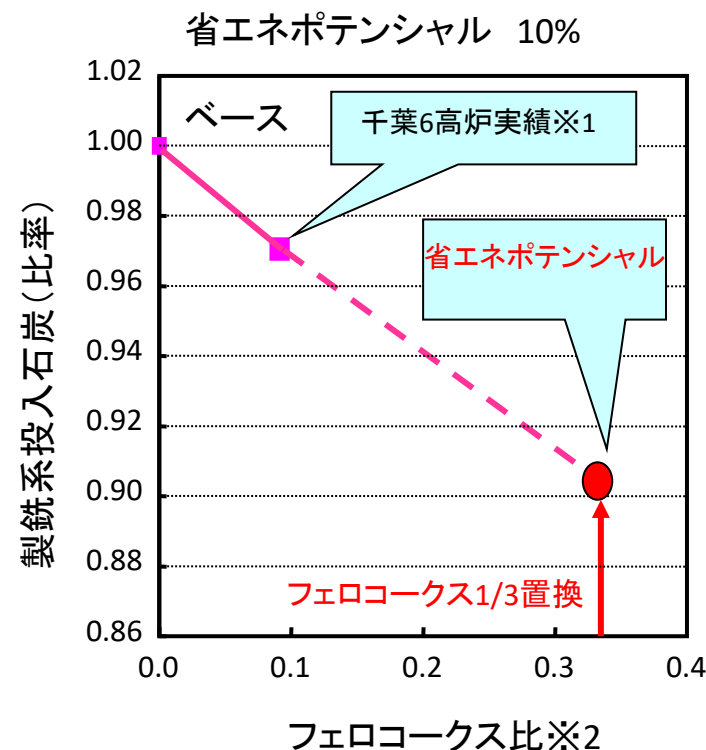
フェロコークスの製造プロセス実証



30t/dパイロットプラント全景

出典：経済産業省 製造産業局 鉄鋼課製鉄企画室

資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発 プロジェクト概要

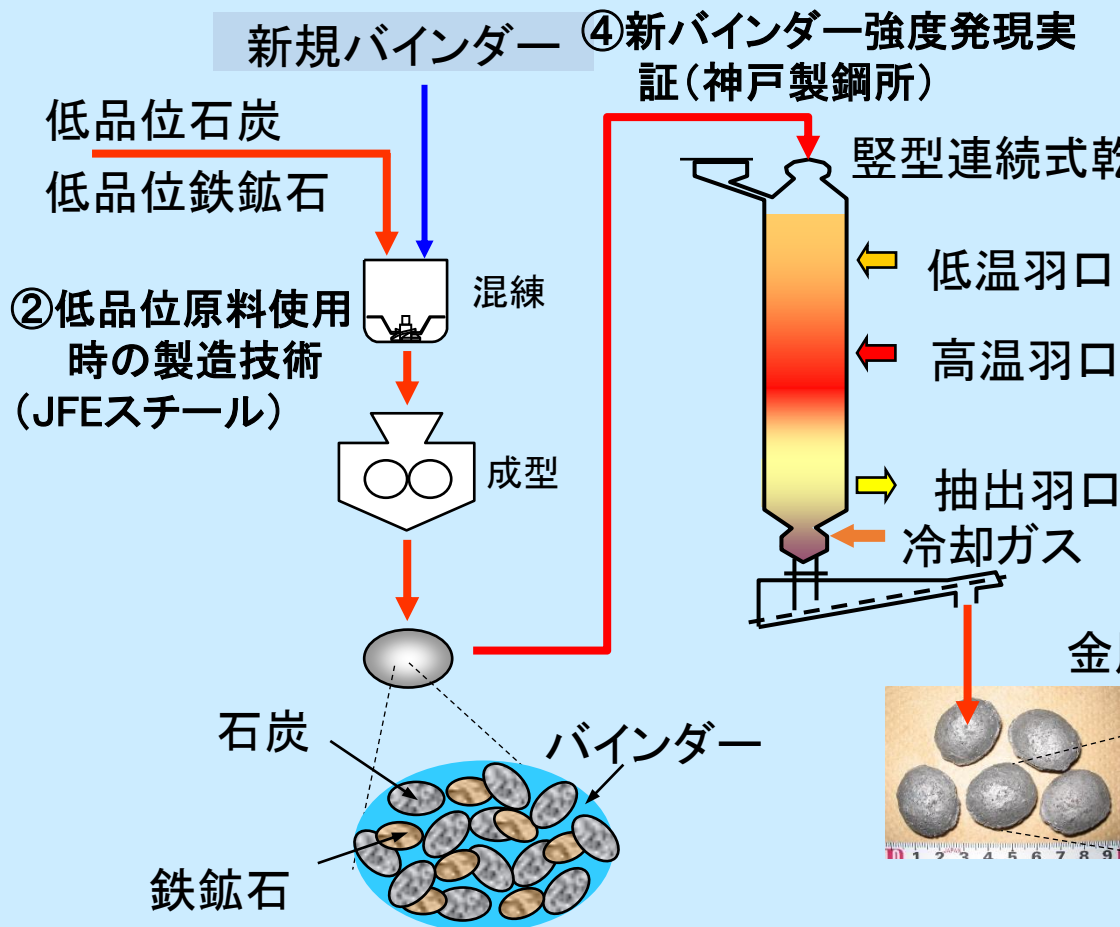


※1 NEDO(H21-24)プロジェクト

※2 フェロコークス中のコークス比/高炉全体の
コークス比(-)

アウトプット(研究開発成果)のイメージ

①フェロコックス製造中規模設備(以降「中規模設備」)での製造技術実証(JFEスチール)



③大型高炉でのフェロコックス長期使用、効果検証(JFEスチール)

⑤フェロコックス導入効果の検証(日本製鉄)

アウトプット(終了時)目標の設定及び根拠

研究開発項目：フェロコックス中規模設備での製造実証

a1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

a2複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

最終目標(2022年度)

- ・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。
- ・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。

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

目標設定の根拠

➤ 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。強度と混合度の関係を調査し、必要なフェロコッ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。

➤ 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。
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。

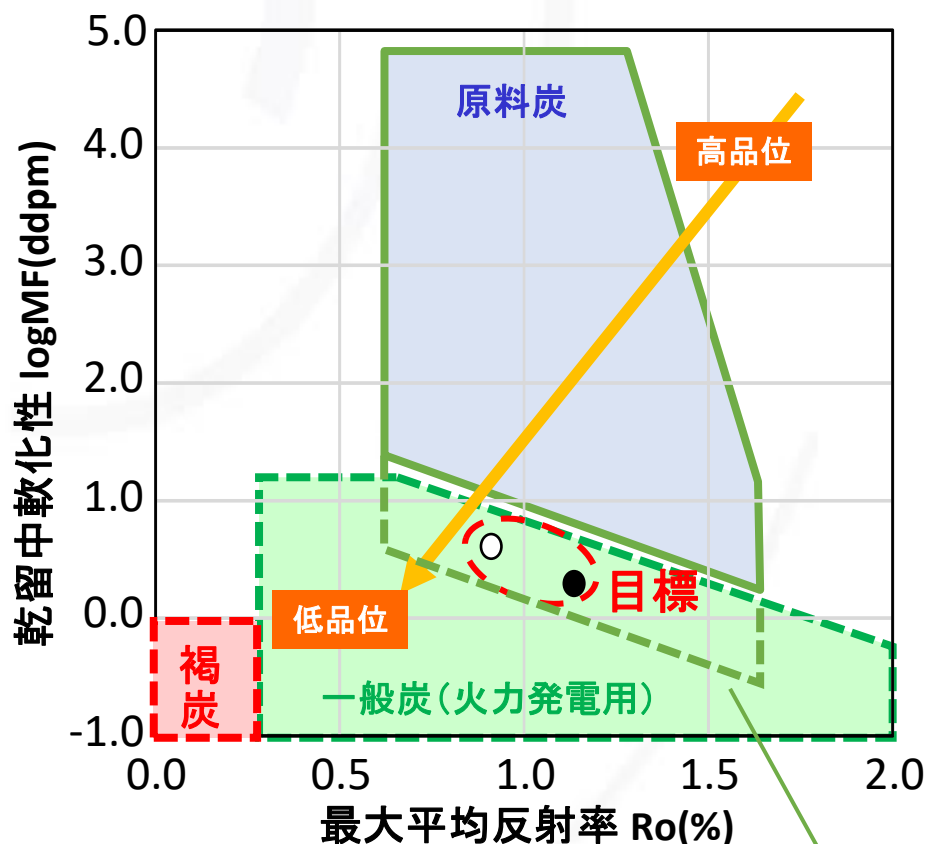
アウトプット(終了時)目標の設定及び根拠

研究開発項目：一般炭、低品位原料使用時の製造技術

最終目標(2022年度)	目標設定の根拠
・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。	➤ 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、その落下高さに耐えうる強度を目標値とした。
指標: 成型物の強度 (I型ドラム強度): $ID30/15 \geq 85$	$ID30/15$: 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)

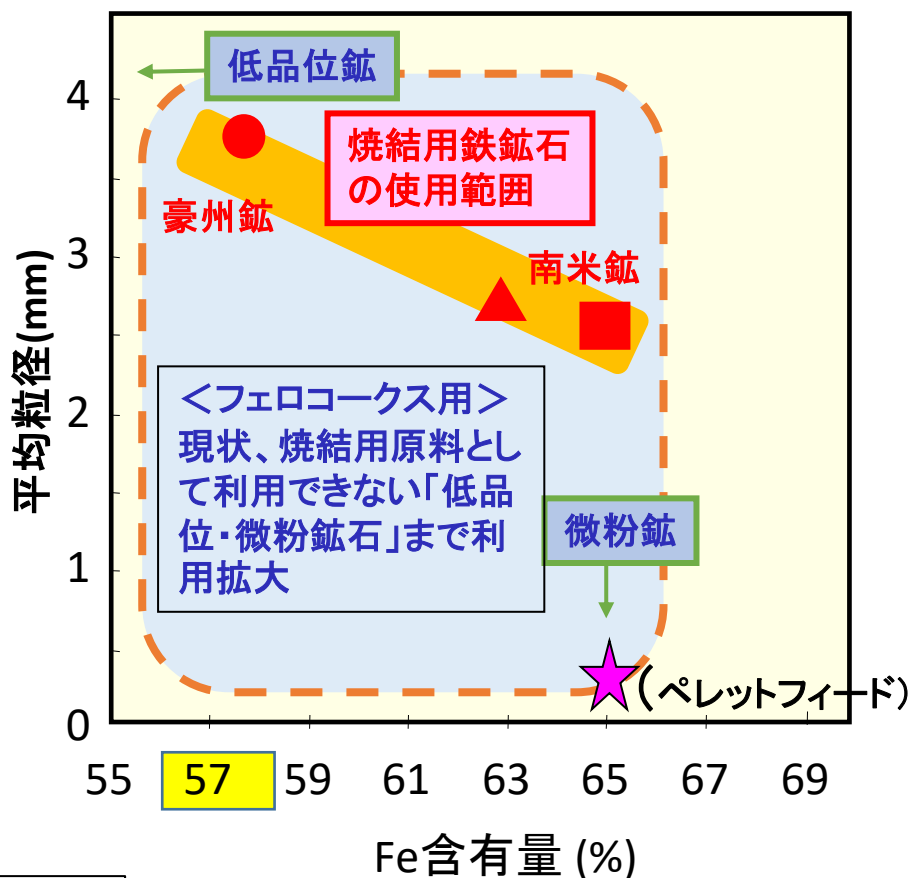
アウトプット(終了時)目標の設定及び根拠

【フェロコークス用 使用石炭品位の目標】



現状製鉄業で使用できない「一般炭」領域へと拡大

【フェロコークス用 鉄鉱石品位の目標】



アウトプット(終了時)目標の設定及び根拠

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

最終目標(2022年度)

・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

目標設定の根拠

- **設定理由(2020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(2022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。

アウトプット(終了時)目標の設定及び根拠

研究開発項目：新バインダー強度発現実証

最終目標(2022年度)	目標設定の根拠
・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新規液体バインダーの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。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。	➤ 設定理由： ・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) ・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。 ・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。
指標： 成型物の強度(I型ドラム強度): $ID30/15 \geq 85$ 乾留後塊成物の強度(ドラム強度): $DI150/15 \geq 80$ 冷間強度予測モデル解析結果の誤差: 10%以内	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。 DI150/15(ドラム強度) JISK2151で規定される強度試験方法。

アウトプット(終了時)目標の設定及び根拠

研究開発項目：フェロコークス導入効果の検証

最終目標(2022年度)

- ・評価方法の確立と省エネ効果(目標10%)の確認。
⑤-1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。

目標設定の根拠

➤ 設定理由(2022年度):

フェロコークスの高炉使用時の効果検証において、⑤-2で得られた知見を反映した⑤-1の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。

➤ 設定理由(2022年度):

省エネ10%という値は、本プロジェクトにおける最終目標値であることから、この値を目標指標として設定。

アウトプット目標の達成状況

研究開発項目：①フェロコックス中規模設備での製造実証

①-1 中規模設備の開発

①-1-1 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

①-1-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

①-2 固液均一混合のシミュレーション

最終目標(2022年度)	成果(実績)	達成度	達成の根拠
・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確認する。 ・生産量300t/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。 ・降雨・設備トラブルのため生産量100t/dでの操業試験実施。 ・石炭2銘柄配合、鉱石20%配合によりDI150/15$\geq$80を達成。	○ × ○	・混錬・攪拌シミュレーションによる混錬時間と成型物強度の関係を反映し、達成と評価。 ・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。 ・石炭配合、鉱石比率の最適化により高炉装入に耐え得る強度確保。
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	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。	○	・混錬・攪拌シミュレーションによる混錬時間と成型物強度の関係を反映し、達成と評価。
指標2:乾留後塊成物のドラム強度:DI150/15 $\geq$ 80	DI150/15 ドラム強度DI150/15 $\geq$ 80を達成。	○	・石炭配合、鉱石比率の最適化により高炉装入に耐え得る強度確保。

アウトプット目標の達成状況

研究開発項目：②一般炭,低品位原料使用時の製造技術

最終目標(2022年度)	成果(実績)	達成度	達成の根拠
・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。	・ラボスケールにおける原料(鉄鉱石、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。 ・戻り粉、フェロタルのリサイクルは未実施。	○ ×	・ラボスケールにおける原料(鉄鉱石、石炭)の絞込みを行い、一般炭4銘柄、PC炭3銘柄、鉱石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$80を達成。 ・戻り粉、フェロタル使用により成型物の歩留り低下。歩留り向上が課題。
指標:成型物の強度(I型ドラム強度):ID30/15$\geq$85	中規模設備で製造した成型物の強度ID30/15$\geq$90を達成。	○	ラボスケールでの混合度試験結果と合致した東北大学の混錬・攪拌シミュレーションによる混錬時間と成型物強度の関係を反映し、達成と評価。

アウトプット目標の達成状況

研究開発項目：③実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

最終目標(2022年度)	成果(実績)	達成度	達成の根拠
・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%を検証する。	・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30kg/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。	△ ○	・フェロコークス装入原単位30kg/tを計画通り実施。1回目の高炉装入試験では期待値通りのRARの低減を達成。2回目の試験では、通気性悪化により連続操業は約2週間に留まったが、操業上の課題が明らかとなった。通気性改善のための高精度分布技術の開発が必要。 ・多量装入時に課題となる鉱石の還元速度低下に対し、様々な対策技術(被還元性アップ、装入物分布適正化、炉頂ガス循環等)を導入することで、省エネ11%達成を見込める。
指標: 連続操業試験: 30日以上	高炉装入試験、連続操業約2週間。	×	フェロコークスの作り溜めによる高炉での連続使用。

アウトプット目標の達成状況

研究開発項目：④新バインダー強度発現実証

最終目標(2022年度)	成果(実績)	達成度	達成の根拠
・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新規液体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。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。	・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。 ・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。 ・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)。	◎ ○ ○	ASP以上の強度向上効果を有するバインダーを開発したこと。また社会実装可能なプロセスを提示したこと。 液体バインダーに必要な機能(粒子潤滑性の付与と粒子間の接着力)の代表指標として、成型温度域の粘度が活用できる事を明らかにし、社会実装可能なプロセスを提示したこと。 開発したモデルから、ブリケット成型時のダブルロールの二軸間の線圧の最適化(動力、生産効率の最適化)に活用が可能であること。
指標: 成型物の強度(I型ドラム強度): ID30/15 $\geq$ 85 乾留後塊成物の強度(ドラム強度): DI150/15 $\geq$ 80			

アウトプット目標の達成状況

研究開発項目：⑤フェロコークス導入効果の検証

最終目標(2022年度)	成果(実績)	達成度	達成の根拠
・評価方法の確立と省エネ効果(目標10%)の確認。 ⑤-1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。	・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。	○	・福山3高炉の操業実績をシミュレーションモデルが精度よく再現できており、解析精度は十分と判断。 ・フェロコークス多量使用時の課題となる鉱石還元速度の低下に対して種々の対策を実施することで省エネ目標を達成できることを確認。 ・定式化したフェロコークス反応速度の知見を福山3高炉の操業解析でそのまま使用し、操業実績を精度よく表現していることを確認。
指標： 製鉄工程省エネ10%減	・還元材比11%の削減、製鉄工程省エネ10%削減、製鉄所全体での省エネ、製鉄所全体でのCO2削減。	○	・数値シミュレーション(⑤-1)と製鉄所トータル評価(③)によるFS検討結果より判断。

研究開発成果の意義(副次的成果)

- ・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。

特許出願及び論文発表

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	計
論文	0	0	3	2	3	2	10
研究発表・講演	0	3	9	2	4	0	18
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	12	0	0	12
展示会への出展	1	1	1	0	0	1	4
特許(内外国出願)	0	0	0	1(0)	0	1(0)	2(0)

論文

○JFE技報、2022年4月掲載 「フェロコークスの製造および高炉使用」 など

口頭発表

○2021年12月、CUUTE-1 (The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment)「Development of ferro coke process through national projects」 など

特許

○海外特許出願について: 今後、国内ではCNに向けて石炭利用が厳しくなるため、本技術は海外展開(特にインド)が想定されるが、海外出願をするとオープン情報になってしまうため、あえて海外出願をしない方針とした(ノウハウ、クローズ情報)。

＜評価項目3＞マネジメント

(1) 実施体制

(※) 受益者負担の考え方 * 終了時評価においては対象外

(2) 研究開発計画

1. 意義・アウトカム(社会実装)達成までの道筋

(※)本事業の位置づけ・意義
(1)アウトカム(社会実装)達成までの道筋
(2)知的財産・標準化戦略



2. 目標及び達成状況

(1)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況



3. マネジメント

(1)実施体制
(※)受益者負担の考え方
(2)研究開発計画



事業の性質や状況に応じて記載

2. 目標及び達成状況 (詳細) ※

(1)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況

(※) 評価対象外
事前・中間評価時の資料ページは残す

- NEDOが実施する意義
- 実施体制
- 個別事業の採択プロセス
- 予算及び受益者負担
- アウトプット(研究開発成果)のイメージ(再掲)
- 目標達成に必要な要素技術
- 研究開発のスケジュール
- 進捗管理
- 進捗管理: 中間評価結果への対応
- 進捗管理: 動向・情勢変化への対応
- 進捗管理: 開発促進財源投入実績
- モティベーションを高める仕組み(該当事業のみ)

□ (塗りつぶしなし) 評価対象外

NEDOが実施する意義

日本の鉄鋼業

- 省エネルギー: 世界最高効率の省エネルギー技術の導入
- CO₂削減: 鉄鋼業は製造業の排出するCO₂の約40%
鉄鋼業の内、高炉から排出されるCO₂は約70%を占め、削減が急務

更なる省エネルギー、CO₂削減を目指す ⇒
革新的な製鉄プロセス技術の開発

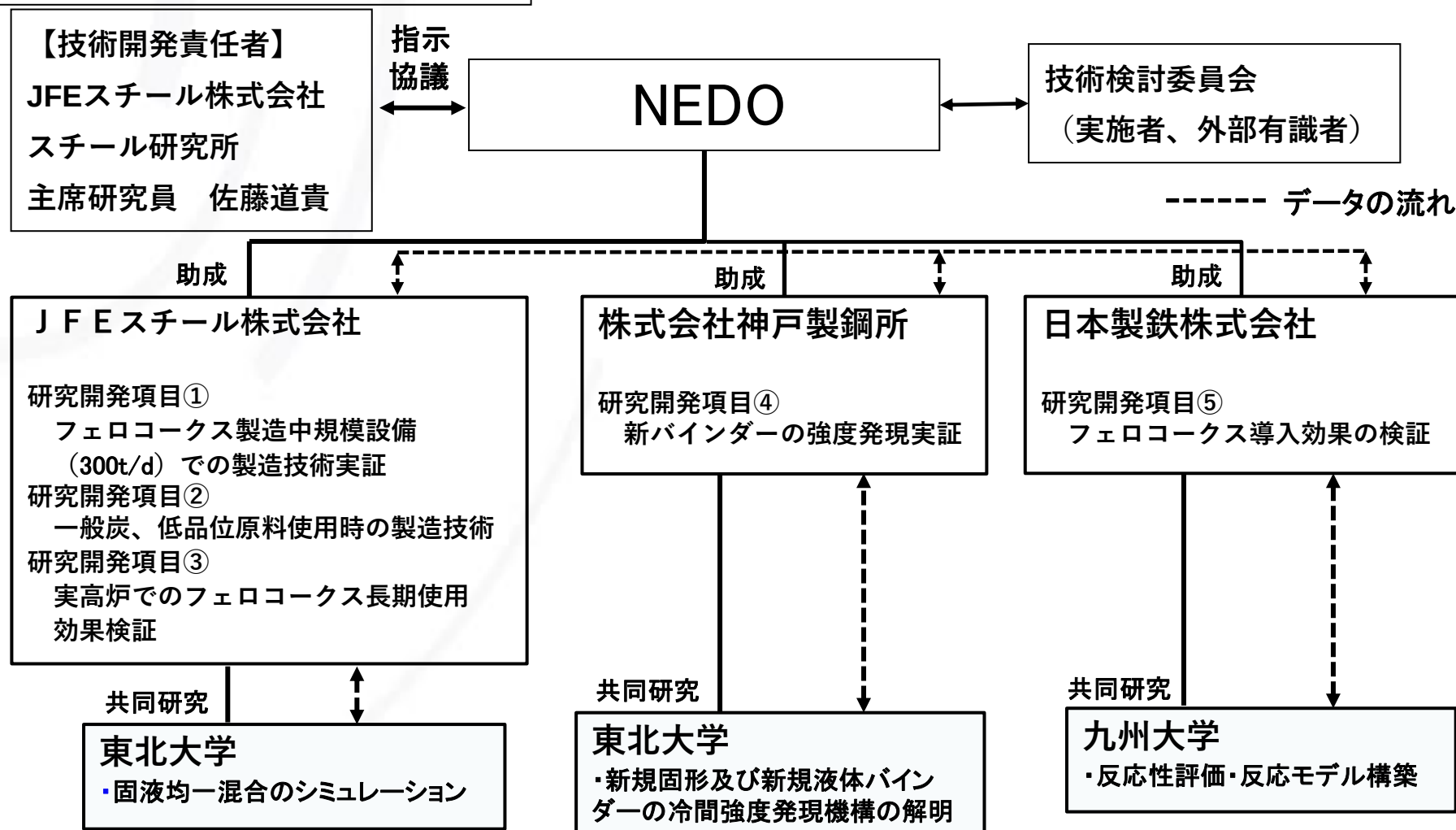


- ✓ 長期間の開発 巨大な投資額 技術開発リスクが大きい
- ✓ 国がイニシアチブを取り 産官学のコンソーシアムを構築する
その中で、国内高炉メーカー、大学等のノウハウを結集する
- ✓ 地球温暖化対策計画でも開発の必要性がうたわれている

NEDOがもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業

実施体制 (実施者間での連携)

◆研究開発の実施体制



個別事業の採択プロセス

【公募】

公募予告(2017年1月27日)⇒公募(2017年2月27日)⇒公募×切(2017年3月28日)

【採択】

採択審査委員会2017年4月19日)

採択審査項目;NEDOの標準的採択審査項目に以下の審査項目を加えた。

- ・成果の実用化に関して、他社の高炉にも対応した技術が確立できるか。
- ・省エネルギー効果に関して、省エネルギー効果量の算出の考え方が妥当であるか。

採択条件等;採択審査委員会では以下の改善要望があり、事業を実施する中で留意し対応することとなった。

- ・この事業の経済性について具体的に示すこと。
- ・COURSE50との連携において相乗効果(省エネルギー、CO2削減、経済性)の評価方法を明示すること。
- ・ブリケットの反応性と強度について大学と連携し説明すること。
- ・連続乾留炉の排ガス利用について検討すること。
- ・フェロコックス高配合化について、シミュレーションを早期に開始し必要な対策を講じること。
- ・2030年以降の普及計画を示すこと。

予算及び受益者負担

研究開発項目		2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	合計
調査研究	助成対象事業費	13,438	16,586	24,494	13,460	14,442	16,034	98,454
	補助率50%	6,719	8,293	12,247	6,730	7,221	8,017	49,227
製造技術開発	助成対象事業費	1,636,026	4,080,740	5,047,980	5,384,066	658,642	879,046	17,686,500
	補助率50%	818,013	2,040,370	2,523,990	2,692,033	329,321	439,523	8,843,250
製造運転研究	助成対象事業費	4,420	2,220	6,290	650	755,412	640,796	1,409,788
	補助率50%	2,210	1,110	3,145	325	377,706	320,398	704,894
成果とりまとめ	助成対象事業費	2,548	3,834	3,060	2,048	6,064	5736	23,290
	補助率50%	1,274	1,917	1,530	1,024	3,032	2,868	11,645
合 計	助成費用	828,216	2,051,690	2,540,912	2,700,112	717,280	770,806	9,609,016

補助事業の理由

- ✓ 長期間の開発 巨大な投資額 技術開発リスクが大きい
- ✓ 国がイニシアチブを取り 産官学のコンソーシアムを構築する
その中で、国内高炉メーカー、大学等のノウハウを結集する
- ✓ 地球温暖化対策計画でも開発の必要性がうたわれている

目標達成に必要な要素技術

- ①フェロコックス製造中規模設備(以降「中規模設備」)での製造技術実証(JFEスチール)

新規バインダー ④新バインダー強度発現実証(神戸製鋼所)

低品位石炭
低品位鉄鉱石

- ②低品位原料使用時の製造技術(JFEスチール)

混練

成型

石炭

バインダー

鉄鉱石

- ④新バインダー強度発現実証(神戸製鋼所)

縦型連続式乾留炉

低温羽口

高温羽口

抽出羽口

冷却ガス

金属鉄

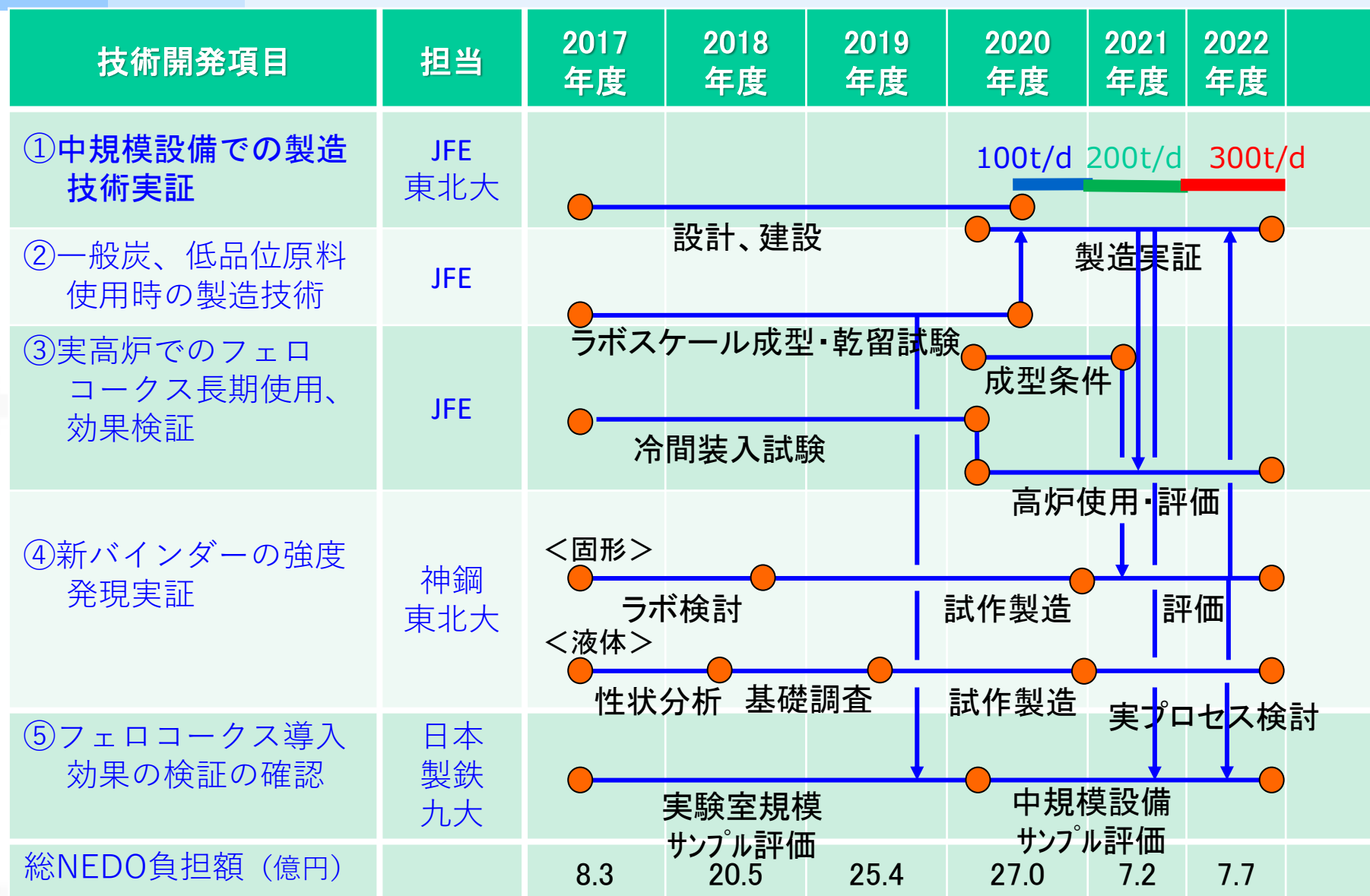
炭素

フェロコックス

- ③大型高炉でのフェロコックス長期使用、効果検証(JFEスチール)

- ⑤フェロコックス導入効果の検証(日本製鉄)

研究開発のスケジュール



進捗管理

技術開発責任者(実施者)による進捗管理

- ・年3回程度、事業者主催の幹事会を開催し、進捗状況の確認と今後の実施内容の説明と議論。また同時に知財会議を開催、各種契約、社外発表案件等について管理。
- ・事業者主催の研究会(中間)を開催し、成果の確認・議論。また年度末には成果報告会・アドバイザリーボードを開催し、アドバイザリーボードによるコメントをもらい、以後の研究開発活動に反映

幹事会・知財会議開催実績

2017年度	8月28日	11月06日	3月02日
2018年度	4月16日	10月31日	2月22日
2019年度	6月07日	10月25日	2月21日
2020年度	6月16日	11月11日	2月28日
2021年度	6月17日	10月22日	3月03日
2022年度	6月27日	11月10日	3月03日

進捗管理

技術開発責任者(実施者)による進捗管理

研究会、成果報告会・アドバイザリーボード開催実績

2017年度	8月28日	3月02日
2018年度	4月16日	2月22日
2019年度	6月07日	2月21日
2020年度	6月16日	2月28日
2021年度	6月17日	3月03日
2022年度	6月27日	3月03日

アドバイザリーボード

碓井 建夫	国立大学法人	大阪大学	名誉教授
山本 高郁	国立大学法人	京都大学 高等研究院	客員教授

進捗管理

PMによる進捗管理

技術検討委員会開催実績

2017年度	11月16日(NEDO)	3月7日(NEDO)
2018年度	6月26日(日本製鉄 君津) 1月16日(JFEスチール 福山)	11月9日(神戸製鋼所 高砂) 3月12日(NEDO)
2019年度	7月26日(川崎) 3月3日(書面開催)	12月13日(JFEスチール 福山)
2020年度	9月9日(JFEスチール 福山)	3月15日(NEDO)
2021年度	7月19日(NEDO) 3月23日(NEDO)	11月26日(JFEスチール 福山)
2022年度	7月29日(NEDO) 3月1日(NEDO)	12月14日(NEDO)

進捗管理：中間評価結果への対応

	指摘事項	対応
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。	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。
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。	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。
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。	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。
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。	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。
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。	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。
6	フェロコッ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。	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ックス装入量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。

進捗管理: 中間評価結果への対応

	指摘事項	対応
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CO ₂ 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。	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。
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。	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。
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。	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。
10	国内高炉の何割までの使用を考えるのか、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。	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、CO ₂ 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。
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。	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。
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。	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。

進捗管理: 動向・情勢変化への対応

【海外技術動向の把握】

本プロジェクトの調査により、省エネルギー、CO₂削減に向けた技術開発動向と事業化に向けた情報を収集し、プロジェクトの位置付けを明確にした。

情勢・動向の把握	対応	成果
フェロコークス、 COURSE50の競合技術 動向の把握及び市場動 向調査による海外展開 のための市場ポテンシャルを把握	「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	競合技術: Hisarna Finex 市場ポテンシャル: ・市場の伸びが大きい⇒ インド ・省エネに対するインセンティブ大 ⇒ インド 中国 ・小型高炉の統廃合が進む ⇒ インド 中国 ・原料炭輸入国(～2040年頃) インド 中国
2050年を目指しCO ₂ 削減に向けた各国の政策の動向及び水素還元製鉄の技術開発動向を整理する	「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」 2018年度～2019年度	政策動向: ・2050年を目指したCO ₂ 排出量削減に向けた取組みを確認 ・欧州鉄鋼連盟のロードマップ及び各国(各社)における低炭素製鉄に向けた技術開発の状況を確認 ・高炉集約、電炉増設等の動向把握

進捗管理: 動向・情勢変化への対応

【計画変更 2020年8月】

1. 中規模設備の実用性評価のための精度向上

当初計画では、2022年度にてフェロコークス装入量原単位 30kg/溶銑1tを高炉へ装入することで、高炉内還元材比削減率 通気性の変化 物質・エネルギー収支、操業コストの評価を行う予定であったが、実機装入レベル50kg～150kgにできるだけ近い装入量で、影響を確認する必要性が議論された。

2. コロナ禍による事業の遅れ

コロナ禍により、中規模設備設置後の負荷運転が約2ヶ月遅れたことから、実施内容の見直しを行った。

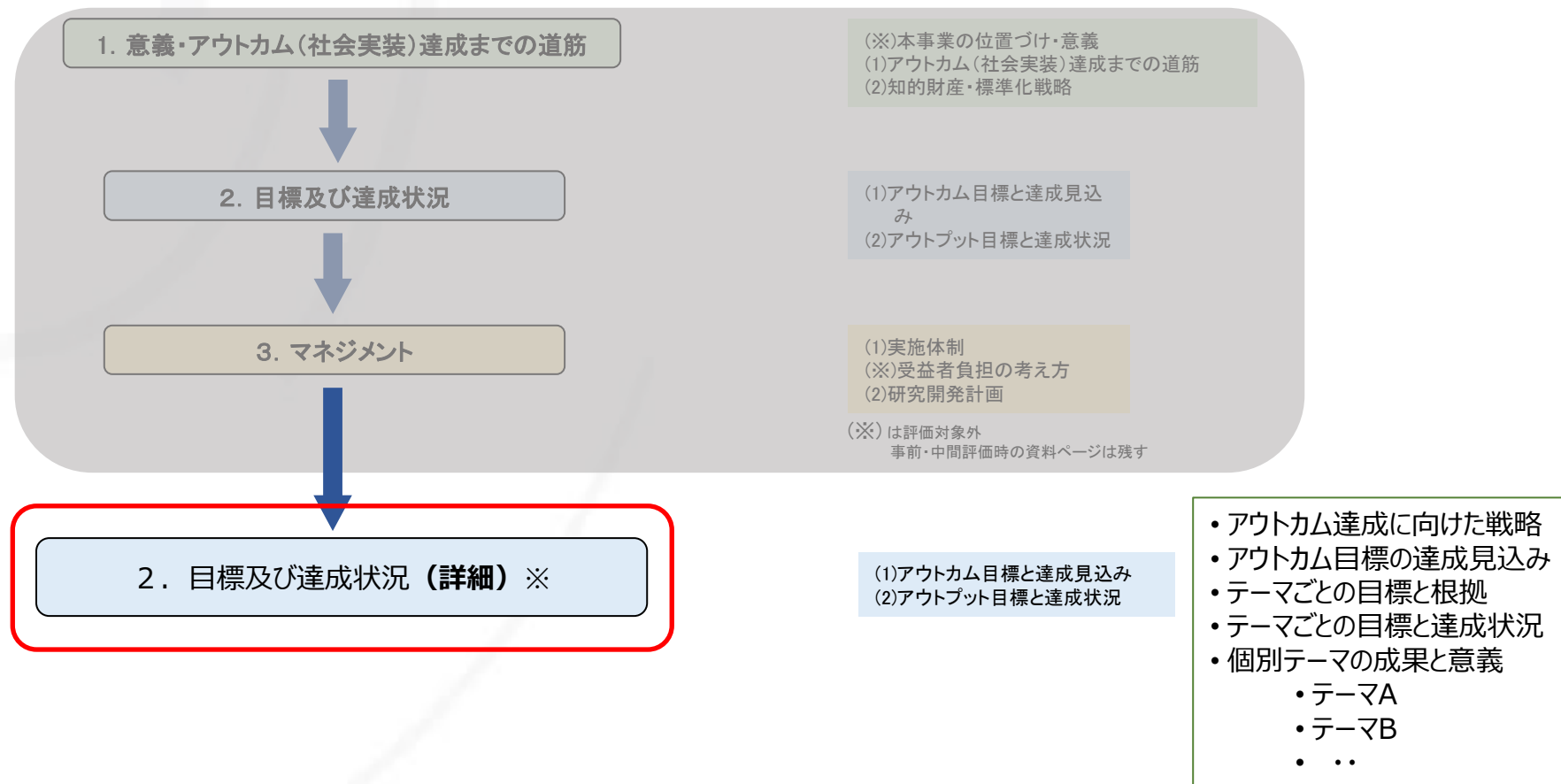
➤ 操業試験期間の短縮に伴う条件の検討

【計画変更 2022年6月】

1. 乾留炉耐火物の劣化調査

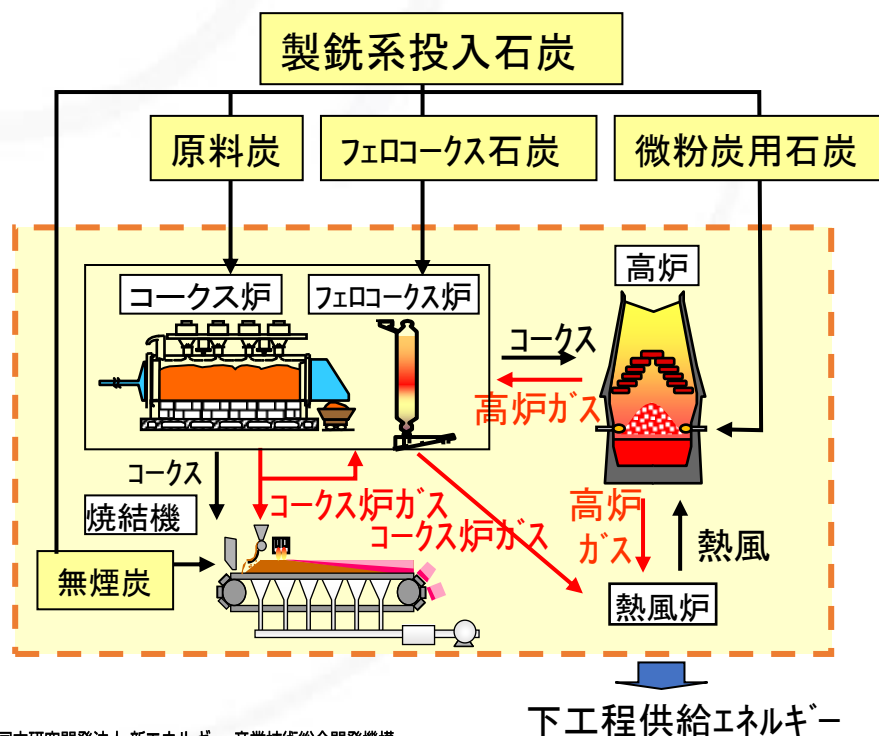
2021年、社内他設備(高炉鍋)の煉瓦にて材質劣化の事例が確認、メーカー解析結果から原因が炭素沈積であることが判明し、中規模設備においても炭素沈積の可能性があると考え、耐火物劣化状況の調査を行った。

報告内容



アウトカム目標の設定及び根拠

アウトカム目標	根拠
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、CO ₂ 削減量は82万t/年を見込む。	1, 短期の高炉への投入試験結果により、3分の1の投入石炭をフェロコークスに置き換えた場合、製銑工程における省エネルギー効果10%、CO ₂ 削減9.5%を見込まれる。 2, 2030年までに国内25%(高炉5基に相当)普及を見込む。
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。	1, 高品位原料炭削減(63%→39%) 2, 石炭使用量削減(10%)



【前提】

◆ 実機1500t/d×5基で製造したフェロコークスを400万t/年規模の高炉5基に装入

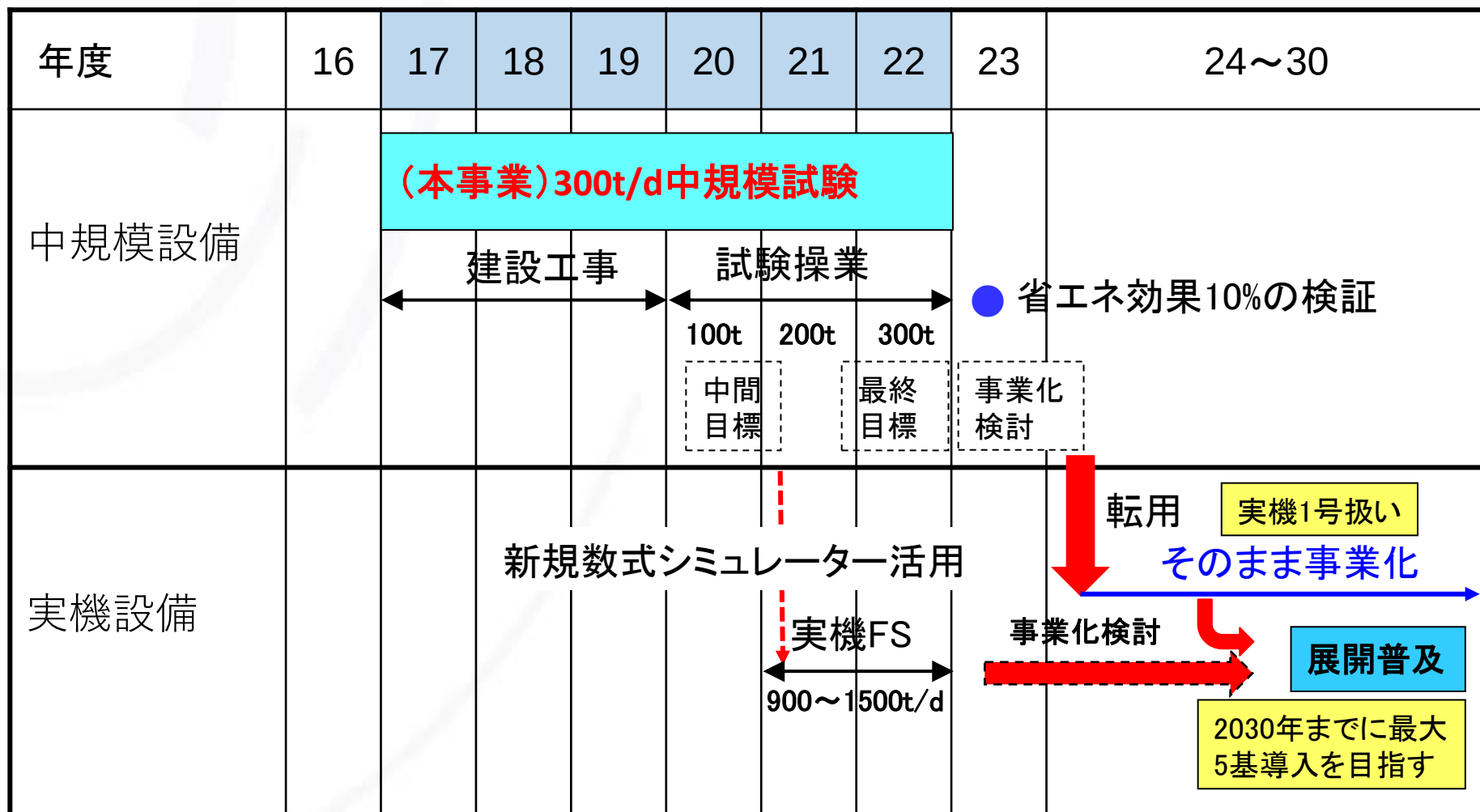
◆ 高品位原料炭削減(63→39%)

◆ 石炭使用量削減(10%)

経済性280億円/年(※)

※原料炭と一般炭の単価(11-15年の通関統計平均値):それぞれ14.0千円/t、10.4千円/tを用いて計算

アウトカム達成に向けた戦略・具体的取組



● : 基本技術確立

アウトカム目標の達成見込み

【事業化の条件】

- ・中規模設備の残課題

能率/稼働率向上のための設備改造
生産量300t/dでの長期間安定操業実証
高炉への長期装入試験/効果確認

- ・大型化のための設備技術開発、装入原単位アップのための技術開発

- ・環境整備

インフラ整備(下工程への供給エネルギー不足を補填; LNG等)

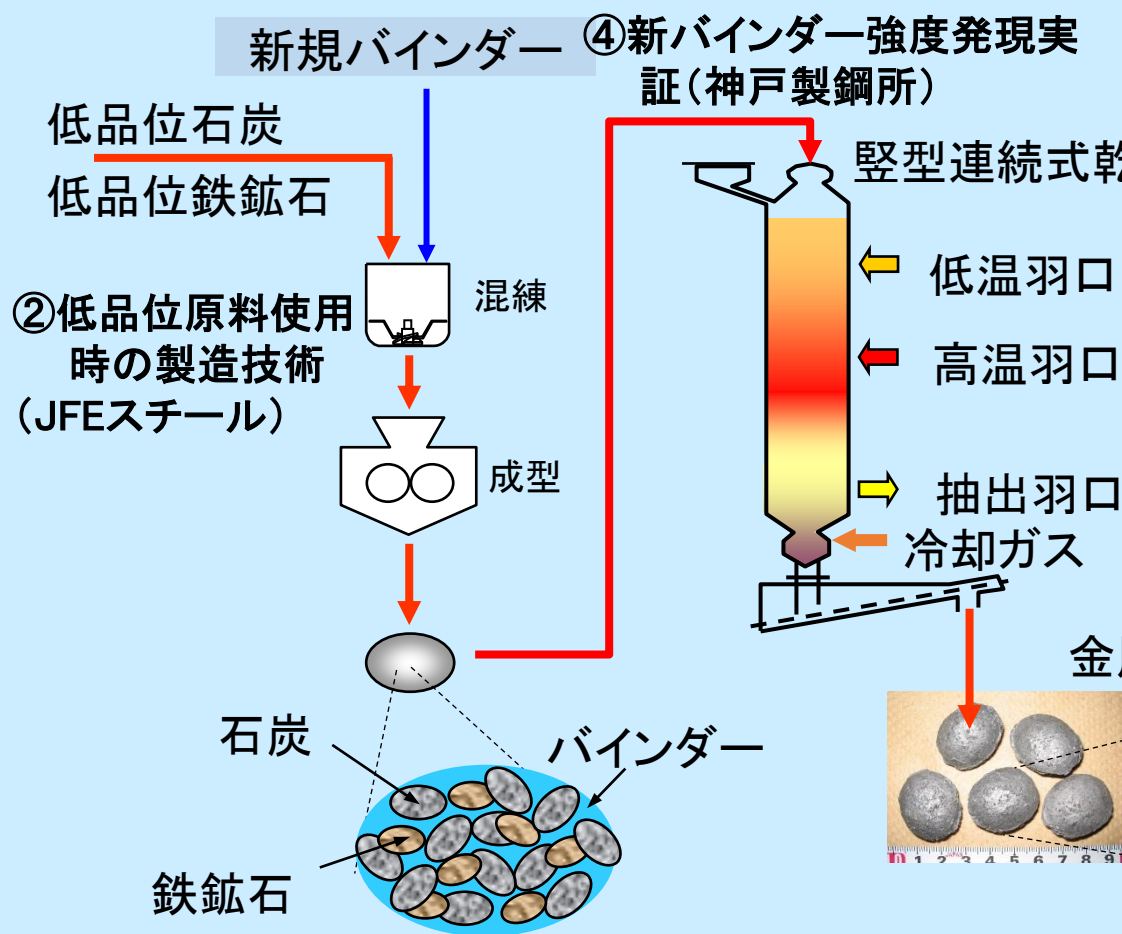
- ・経済合理性



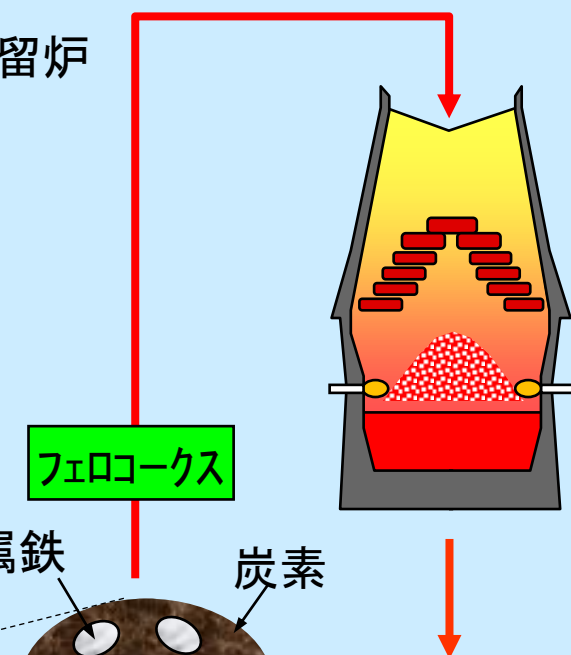
上記課題の解決により、アウトカム目標を達成

目標達成に必要な要素技術

①フェロコックス製造中規模設備(以降「中規模設備」)での製造技術実証(JFEスチール)



③大型高炉でのフェロコックス長期使用、効果検証(JFEスチール)



⑤フェロコックス導入効果の検証(日本製鉄)

テーマ毎の目標と根拠

研究開発項目：フェロコックス中規模設備での製造実証

a1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

a2複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

最終目標(2022年度)

- ・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。
- ・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。

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

目標設定の根拠

➤ 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。強度と混合度の関係を調査し、必要なフェロコッ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。

➤ 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。
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。

テーマ毎の目標と根拠

研究開発項目：一般炭、低品位原料使用時の製造技術

最終目標(2022年度)	目標設定の根拠
・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。	➤ 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、その落下高さに耐えうる強度を目標値とした。
指標: 成型物の強度 (I型ドラム強度): $ID30/15 \geq 85$	$ID30/15$: 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)

テーマ毎の目標と根拠

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

最終目標(2022年度)	目標設定の根拠
・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。	➤ 設定理由(2020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。
指標: 連続操業試験: 30日以上	➤ 設定理由(2022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。

テーマ毎の目標と根拠

研究開発項目：新バインダー強度発現実証

最終目標(2022年度)	目標設定の根拠
・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新規液体バインダーの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。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。	➤ 設定理由： ・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) ・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。 ・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。
指標： 成型物の強度(I型ドラム強度): $ID30/15 \geq 85$ 乾留後塊成物の強度(ドラム強度): $DI150/15 \geq 80$ 冷間強度予測モデル解析結果の誤差: 10%以内	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。 DI150/15(ドラム強度) JISK2151で規定される強度試験方法。

テーマ毎の目標と根拠

研究開発項目：フェロコークス導入効果の検証

最終目標(2022年度)

- ・評価方法の確立と省エネ効果(目標10%)の確認。
⑤-1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。

目標設定の根拠

➤ 設定理由(2022年度):

フェロコークスの高炉使用時の効果検証において、⑤-2で得られた知見を反映した⑤-1の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。

➤ 設定理由(2022年度):

省エネ10%という値は、本プロジェクトにおける最終目標値であることから、この値を目標指標として設定。

テーマごとの目標と達成状況

研究開発項目：①フェロコックス中規模設備での製造実証

①-1 中規模設備の開発

①-1-1 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

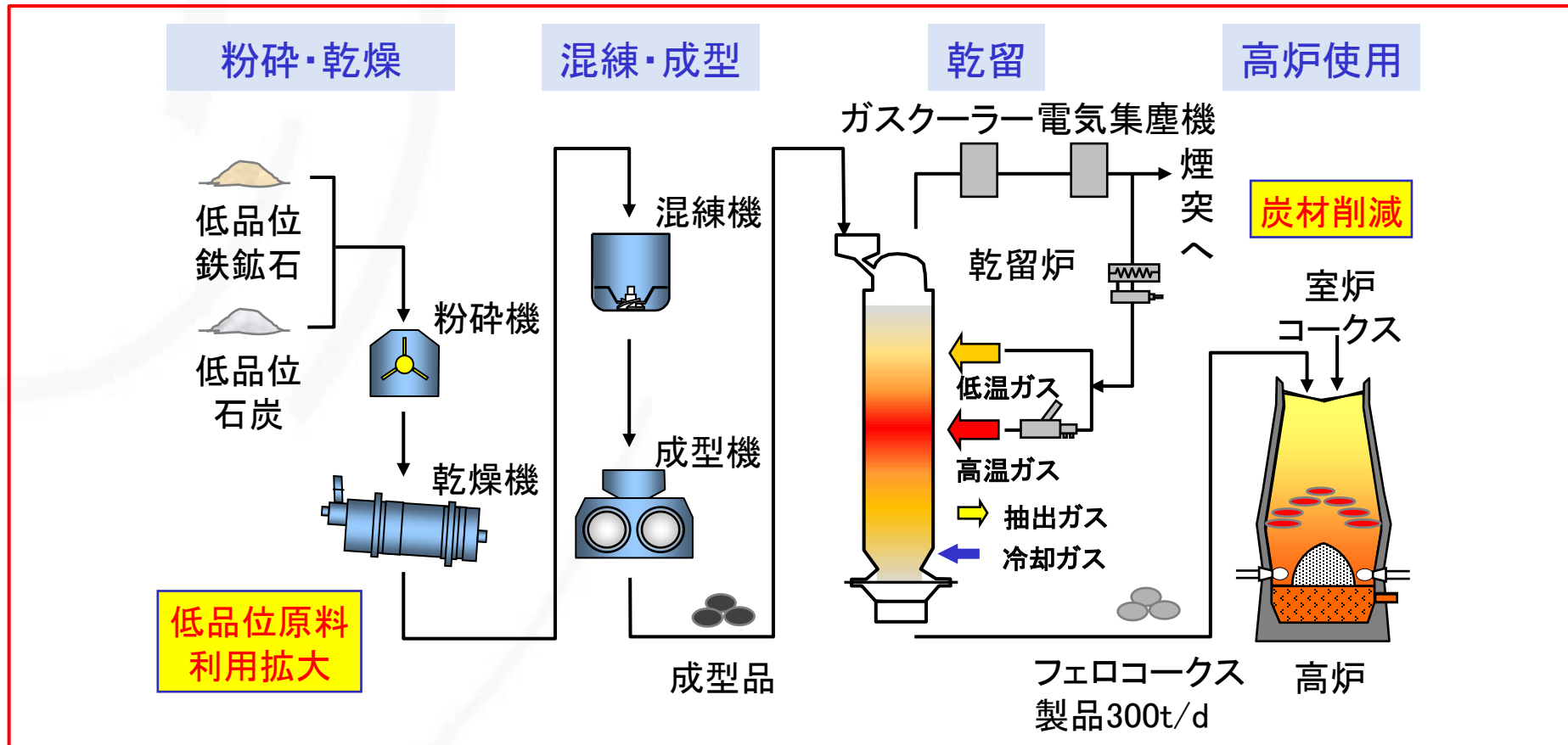
①-1-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

①-2 固液均一混合のシミュレーション

最終目標(2022年度)	成果(実績)	達成度	達成の根拠
・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確認する。 ・生産量300t/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。 ・降雨・設備トラブルのため生産量100t/dでの操業試験実施。 ・石炭2銘柄配合、鉱石20%配合によりDI150/15$\geq$80を達成。	○ × ○	・混錬・攪拌シミュレーションによる混錬時間と成型物強度の関係を反映し、達成と評価。 ・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。 ・石炭配合、鉱石比率の最適化により高炉装入に耐え得る強度確保。
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	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。	○	・混錬・攪拌シミュレーションによる混錬時間と成型物強度の関係を反映し、達成と評価。
指標2:乾留後塊成物のドラム強度:DI150/15 $\geq$ 80	DI150/15 ドラム強度DI150/15 $\geq$ 80を達成。	○	・石炭配合、鉱石比率の最適化により高炉装入に耐え得る強度確保。

①フェロコークス製造中規模設備での製造技術実証

①-1 中規模設備の開発



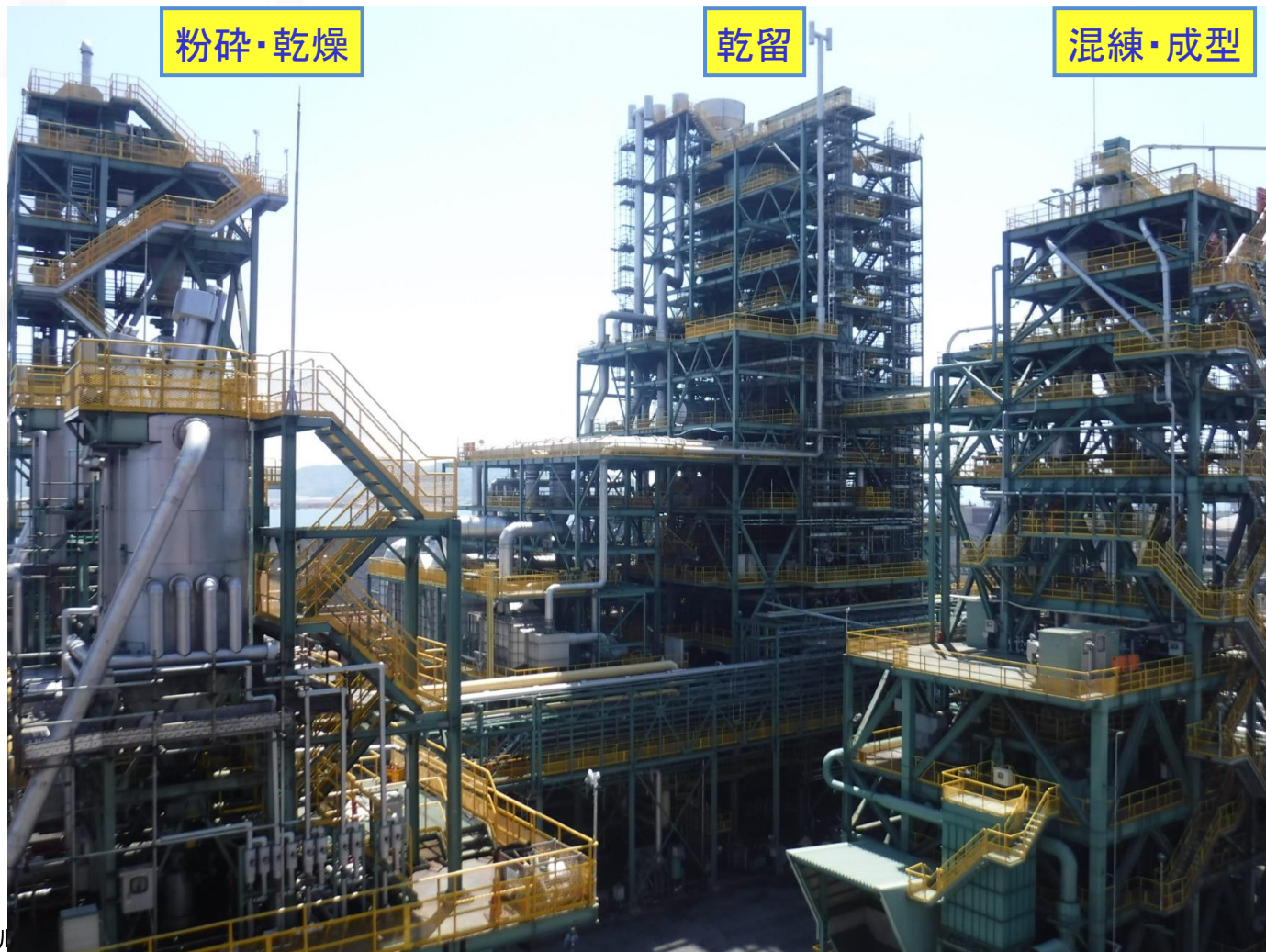
■ 研究開発の最終目標

生産量300t/dで長期間安定稼動が可能なことを実証する。

①フェロコークス製造中規模設備での製造技術実証

①-1 中規模設備の開発

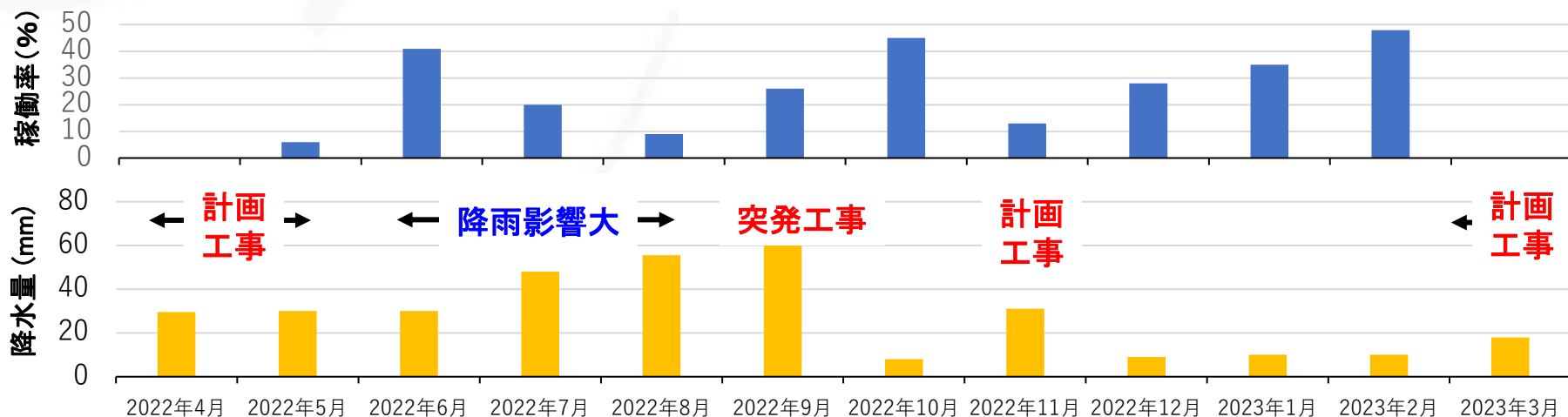
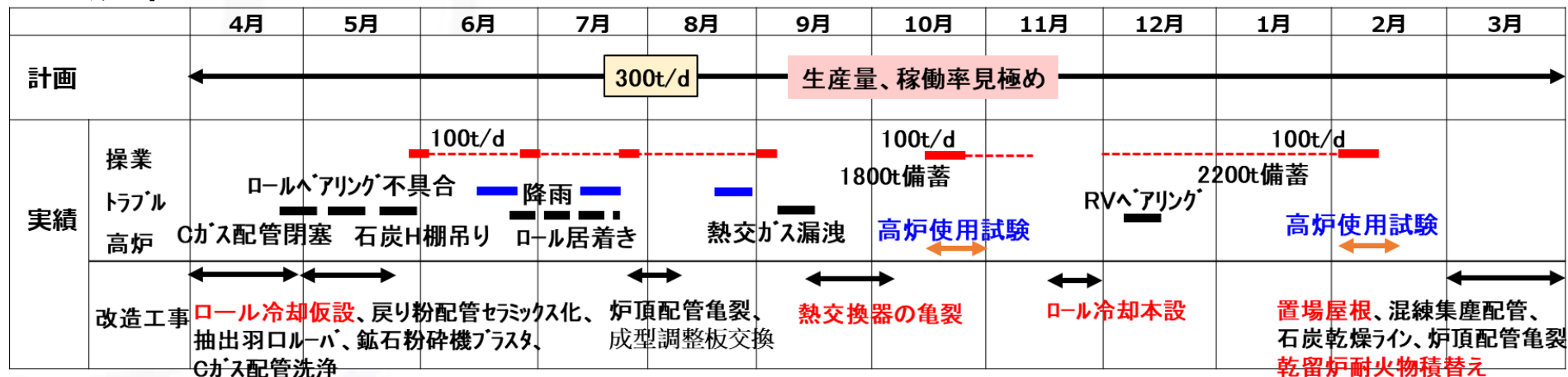
◆ フェロコークス中規模設備の外観



①フェロコックス製造中規模設備での製造技術実証

①-1 中規模設備の開発

■ 成果

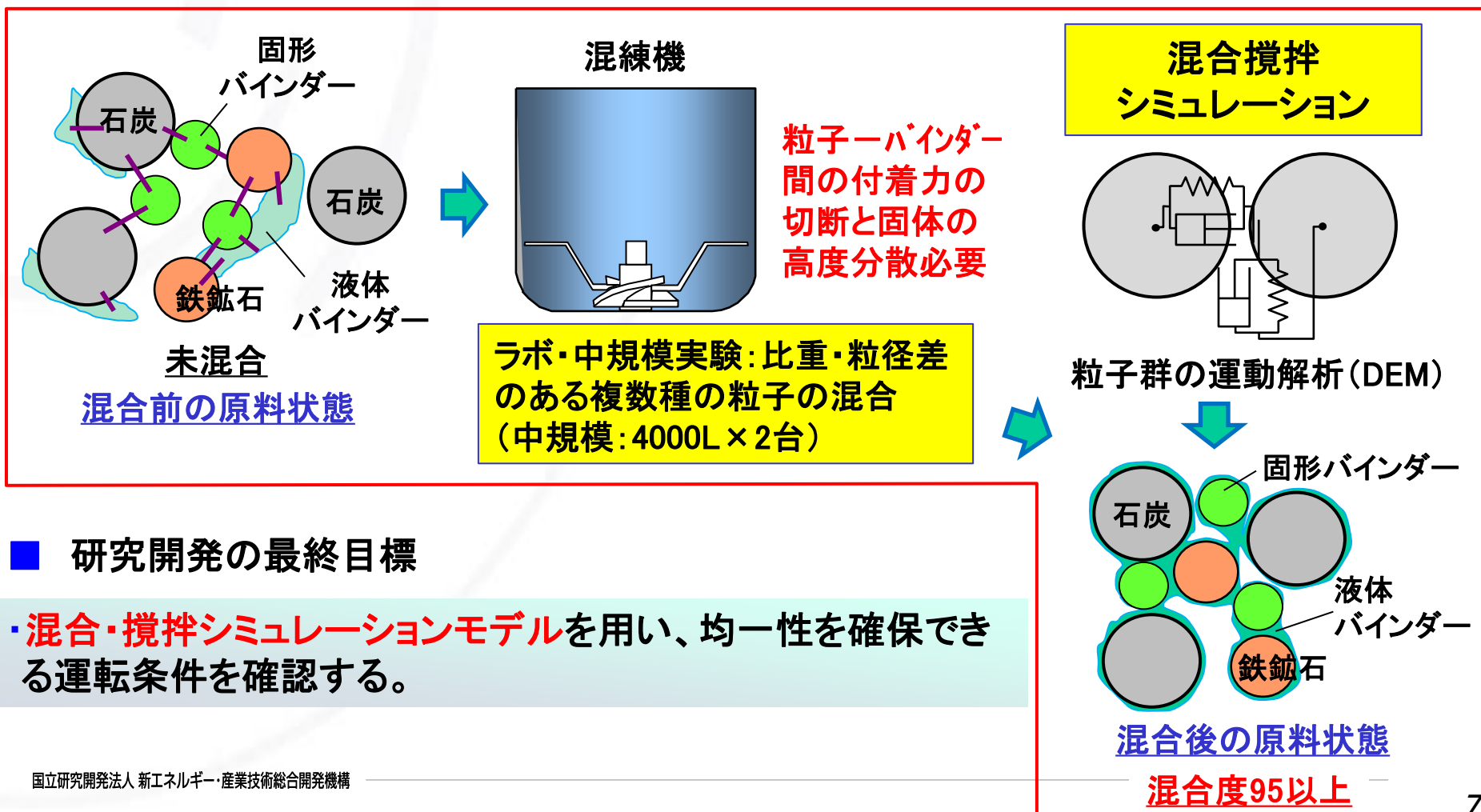


4月の計画工事を実施、成型ロール交換時のベアリング不具合により約1ヶ月工事延長。
 生産量取戻しのため、6月から150t/dで操業するも成型ロール居着きが顕著となり、能率アップできず
 6月以降100t/dで作り溜め継続。低稼働率ながらも10月、2月に2回の高炉使用試験を実施。

- ① -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 固液均一混合のシミュレーション(東北大)

①フェロコッ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)

- ① -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 固液均一混合のシミュレーション(東北大)



■ 研究開発の最終目標

- ・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確認する。

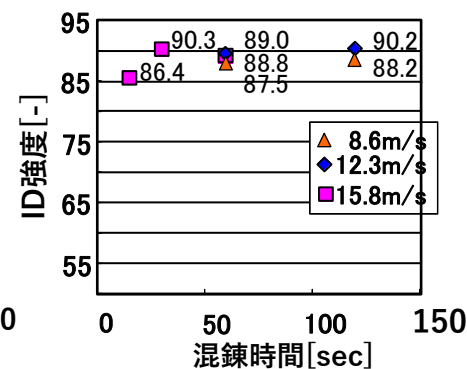
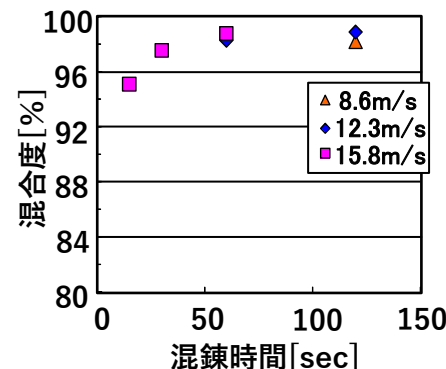
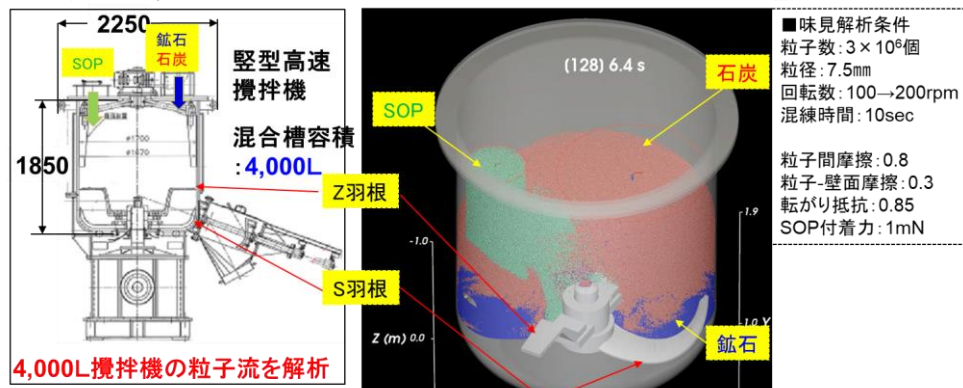
- ① -1-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立
- ① -2 固液均一混合のシミュレーション(東北大)

成果

GPU(Graphics Processing Unit／画像処理装置)

技術開発項目	担当	2018年度				2019年度				2020年度				21年度	22年度
		1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q		
(1)比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立	JFE	混合条件4000L 評価				着手				GPU増強				成型物 評価	
	東北大	75 L 実験				中規模(75L) 解析				コード 改造				操作評価 フィッティング	
						ラボ計算機				スパコン解析				操作試験	

<混合攪拌シミュレーション>

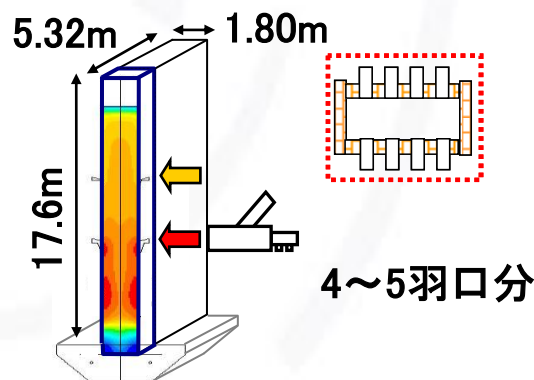


混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプ

- ・混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプはプロトタイプは2019年度に完成。
- ・混練時間と混合度・強度の関係を導出し、操業条件に反映。

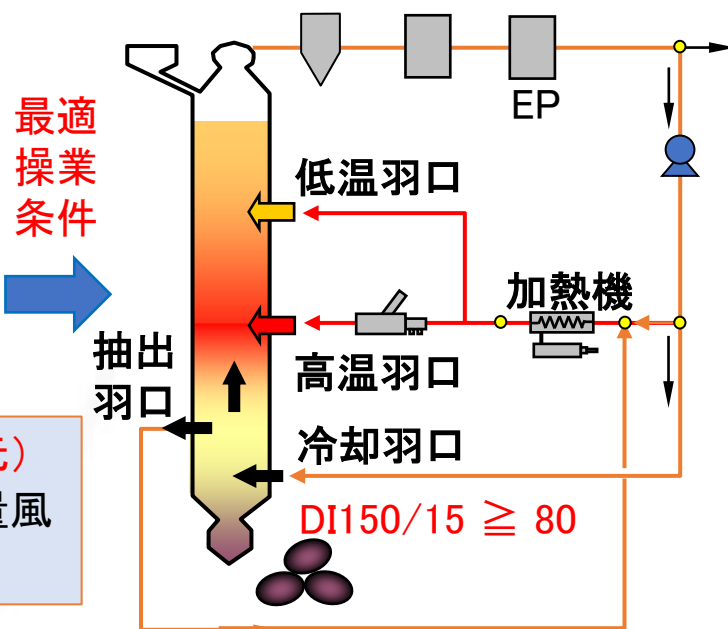
① -1-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

2次元シミュレーション



- ・炉の長手方向、高さ方向(2次元)温度分布の最適制御方法(風量風温制御の確立)

中規模乾留炉試験(300t/d)



乾留炉制御用の3次元モデル構築

- ・連続運転による実証と強度評価(目標DI150/15 ≥ 80)
- ・設備耐久性評価

■ 研究開発の最終目標

- ・高炉装入に耐えうる乾留物の最適製造条件を確立する。

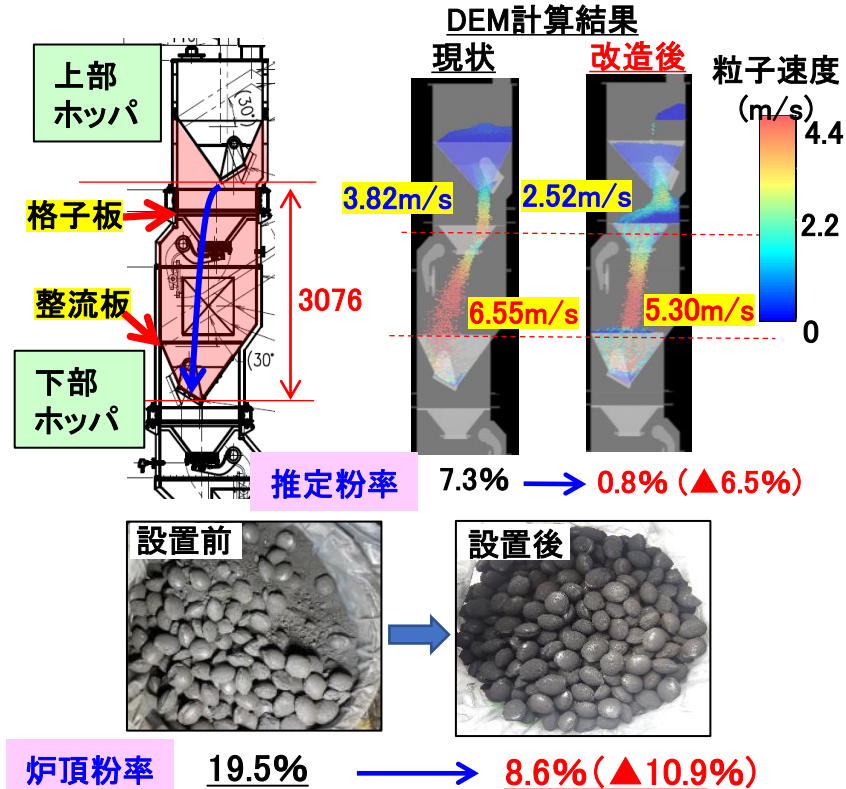
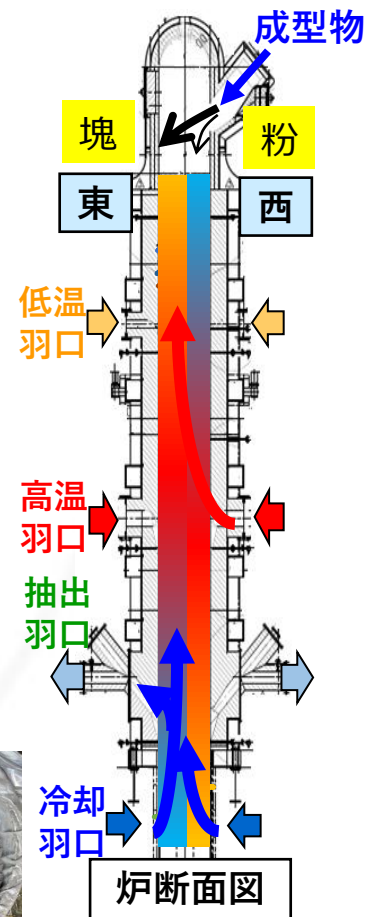
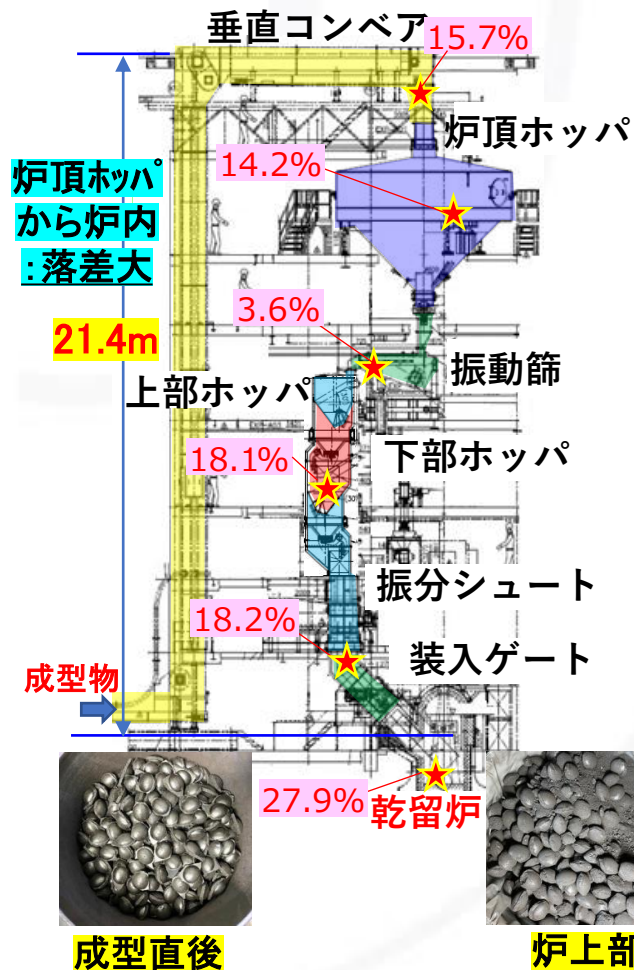
① -1-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

■ 成果

落下衝撃により成型物が粉化

炉内東西で温度偏差

落差低減のためストーンBOX設置



ストーンBOX設置により乾留炉入側の成型物の粉率低下を確認し、炉内温度偏差を抑制。

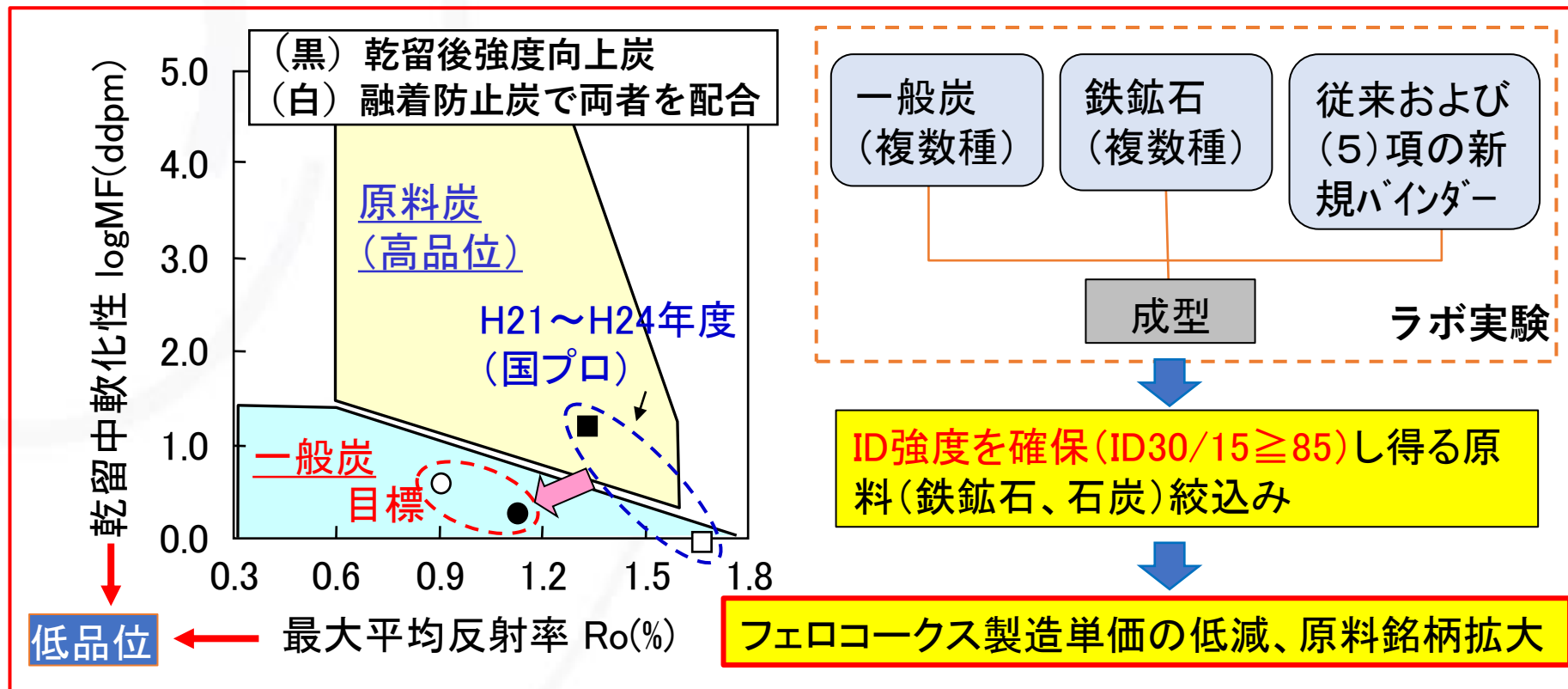
ストーンBOX設置により落下衝撃緩和 → 持込み粉低減: 温度偏差抑制

テーマごとの目標と達成状況

研究開発項目：②一般炭,低品位原料使用時の製造技術

最終目標(2022年度)	成果(実績)	達成度	達成の根拠
・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。	・ラボスケールにおける原料(鉄鉱石、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。 ・戻り粉、フェロタルのリサイクルは未実施。	○ ×	・ラボスケールにおける原料(鉄鉱石、石炭)の絞込みを行い、一般炭4銘柄、PC炭3銘柄、鉱石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$80を達成。 ・戻り粉、フェロタル使用により成型物の歩留り低下。歩留り向上が課題。
指標:成型物の強度(I型ドラム強度): ID30/15$\geq$85	中規模設備で製造した成型物の強度 ID30/15$\geq$90を達成。	○	ラボスケールでの 混合度試験結果 と合致した東北大学の 混錬・攪拌シミュレーション による混錬時間と成型物強度の関係を反映し、達成と評価。

② 一般炭、低品位原料使用時の製造技術実証



■ 研究開発の最終目標

- ・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。

② 一般炭、低品位原料使用時の製造技術実証

■ 成果

技術開発項目	担当	2017年度				2018年度				2019年度				20年度	21年度	22年度
		1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	年度	年度	年度
(2)一般炭、低品位原料使用時の製造技術	JFE	ラボ成型・乾留試験着手				成型物・フェロコックス品質評価				長期フェロコックス使用原料確定				長期操作試験	試験原料確定	長期操作試験
		①低品位原料絞り込み				③カナダ鉱石評価				②長期操作試験						

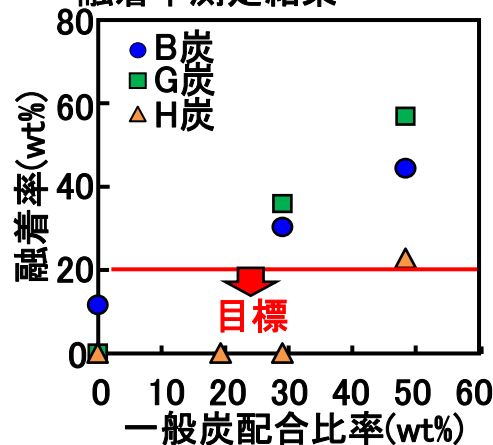
◆フェロコックス使用候補PCI炭、一般炭を選定し、乾留後の融着性・品質を調査

<事業期間低品位原料絞り込み>

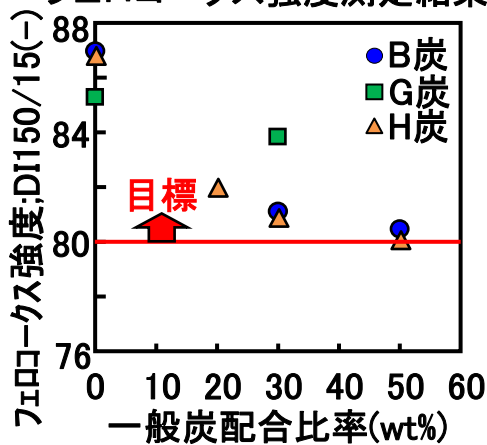
	検討銘柄	適用可能
一般炭	6銘柄	4銘柄
PCI炭	3銘柄	3銘柄
鉱石	2銘柄	2銘柄

2019年度実績

・融着率測定結果



・フェロコックス強度測定結果



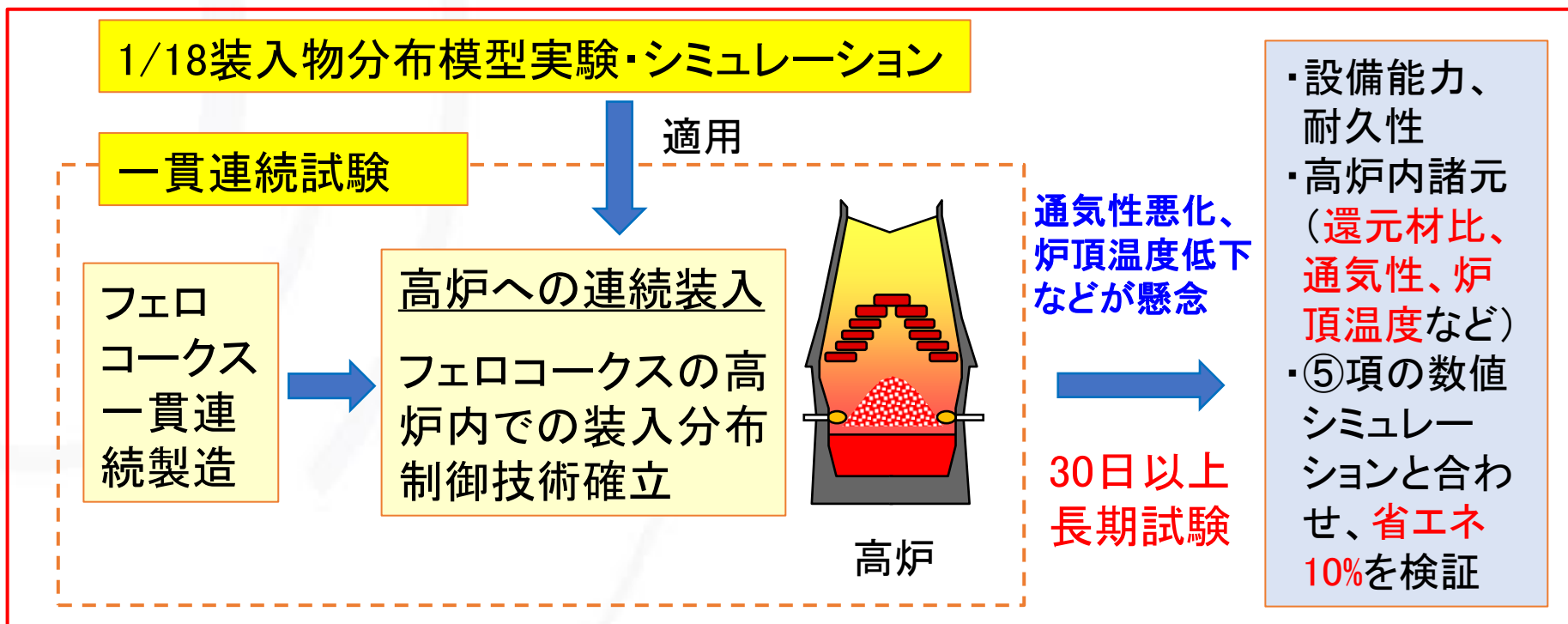
選定した一般炭2銘柄および低品位鉄鉱石1銘柄および従来品のバインダーを用いて、中規模設備で成型を行い、成型物強度を確認。

テーマごとの目標と達成状況

研究開発項目：③実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

最終目標(2022年度)	成果(実績)	達成度	達成の根拠
・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%を検証する。	・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30kg/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。	△ ○	・フェロコークス装入原単位30kg/tを計画通り実施。1回目の高炉装入試験では期待値通りのRARの低減を達成。2回目の試験では、通気性悪化により連続操業は約2週間に留まったが、操業上の課題が明らかとなった。通気性改善のための高精度分布技術の開発が必要。 ・多量装入時に課題となる鉱石の還元速度低下に対し、様々な対策技術(被還元性アップ、装入物分布適正化、炉頂ガス循環等)を導入することで、省エネ11%達成を見込める。
指標: 連続操業試験: 30日以上	高炉装入試験、連続操業約2週間。	×	フェロコークスの作り溜めによる高炉での連続使用。

③ 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証



■ 研究開発の最終目標

- ・**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。**

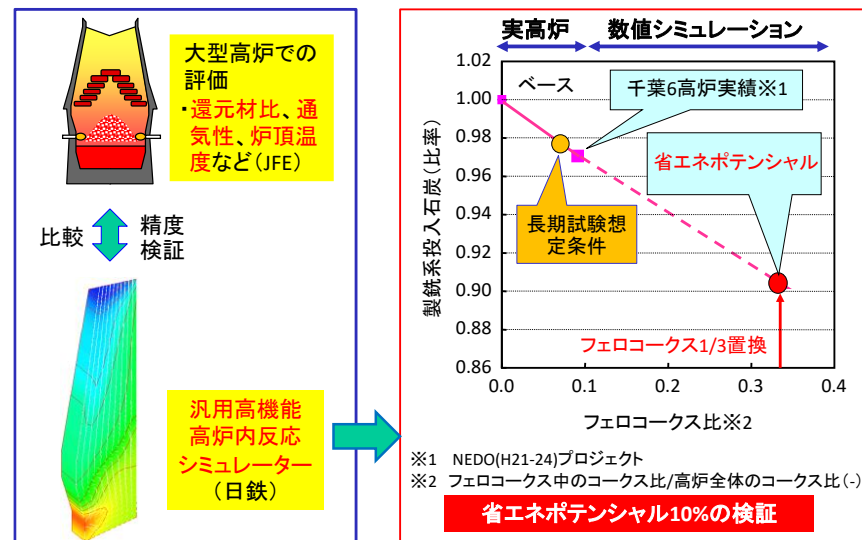
成果

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、日本製鉄の汎用高性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。

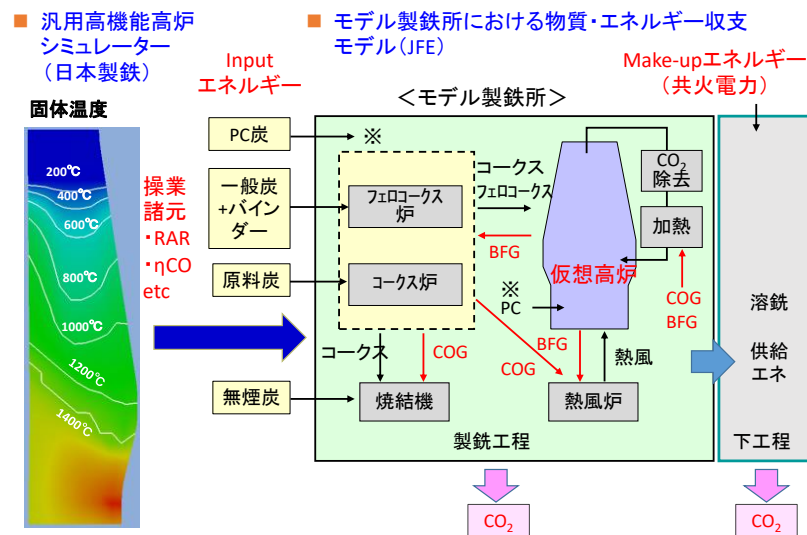
· 解析方法

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。フェロコッ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ッ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。



製鉄工程における省エネの目標



モデル製鉄所における省エネ・CO₂削減量の評価方法

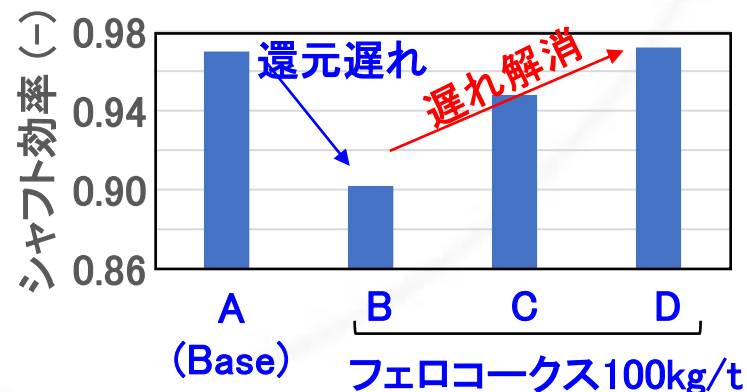
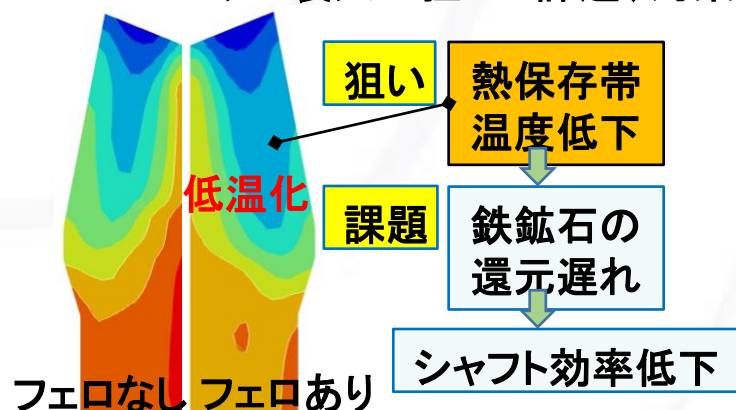
③ 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

■ 成果

フェロコークス装入による高炉還元材比(RAR)の変化を汎用高機能高炉シミュレーターを用い検討

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

■ フェロコークス装入の狙いと課題、対策



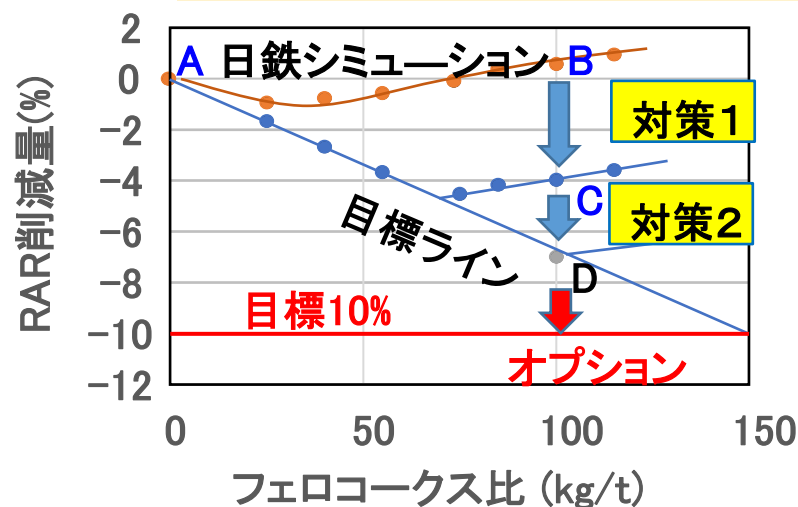
■ 各種対策によるRARの低下量とその限界について

対策1

被還元性の改善 (RI: 55→75)

対策2

還元ポテンシャルアップ(分布改善等)

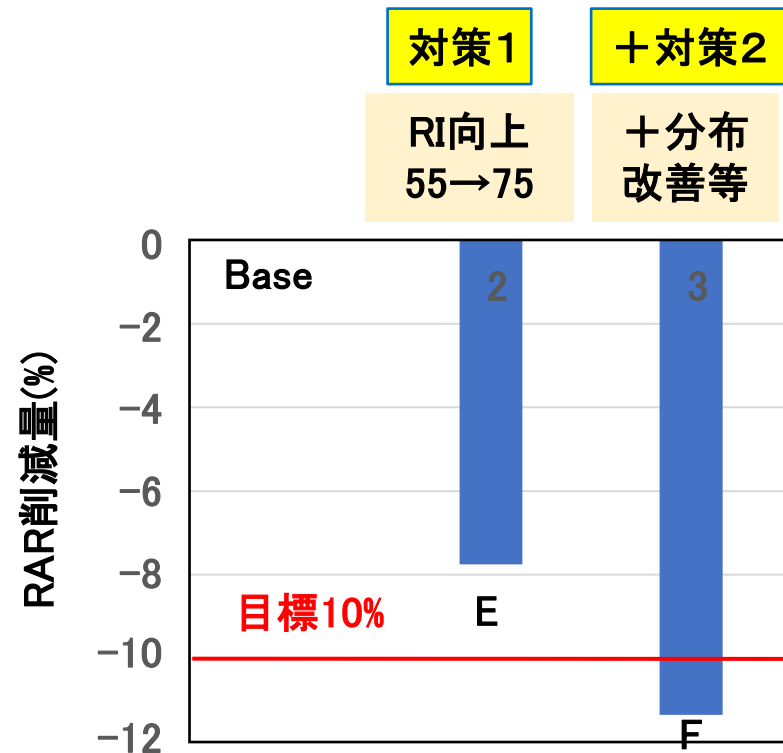
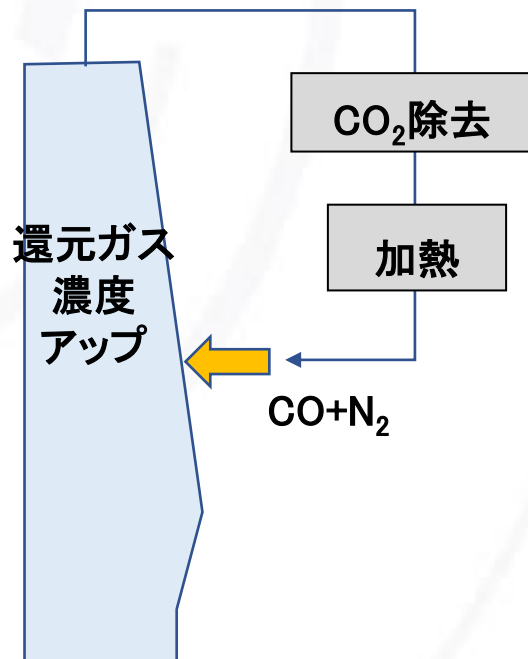


通常高炉においてはフェロコークス比100kgでRAR▼7%程度が限界(D点)

③ 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

■ さらなる低RARオプション(@フェロ100kg/t)

炉頂ガス循環(COURSE50要素技術)の適用

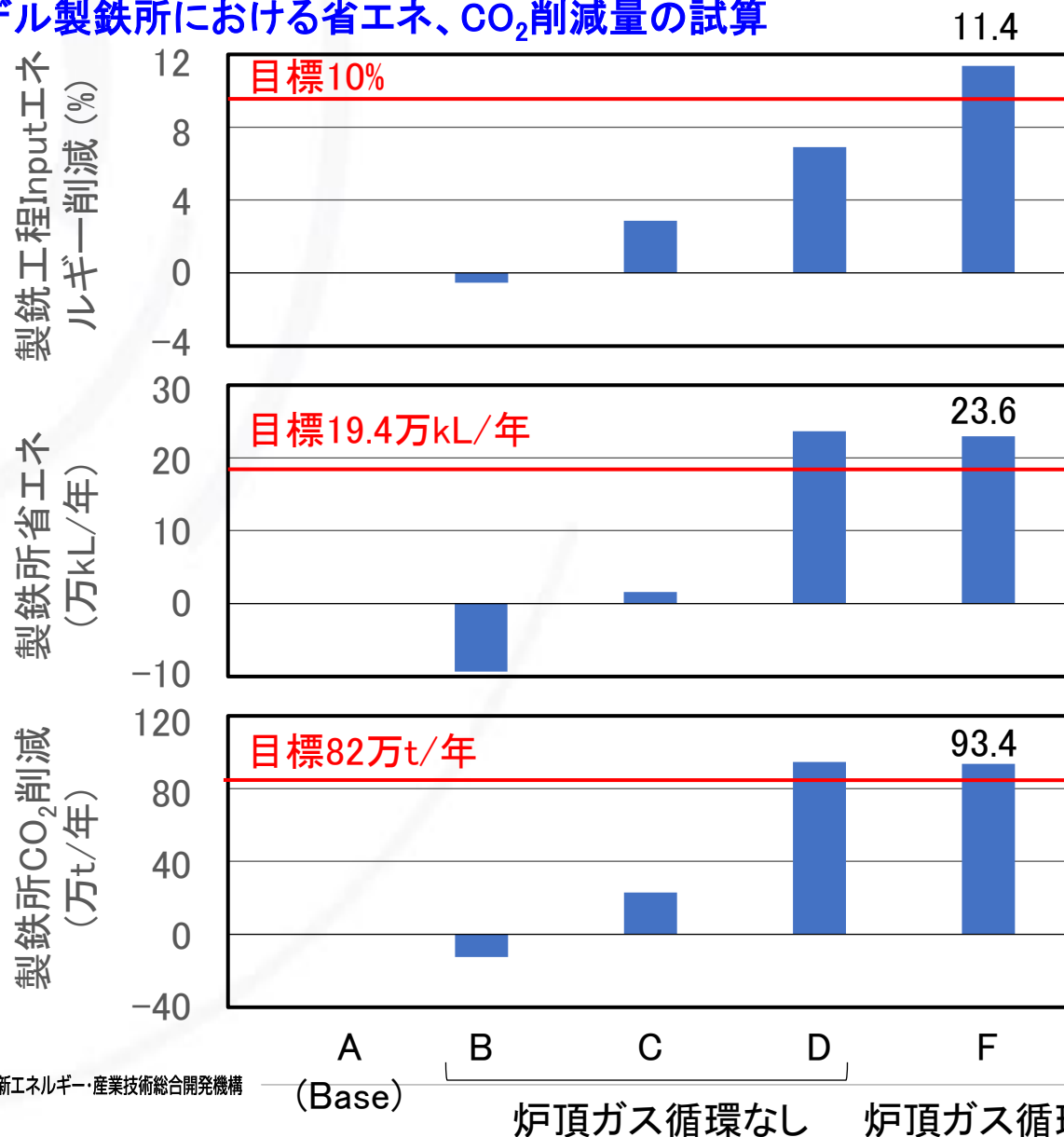


▼11%まで削減できる可能性

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)。

③ 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

■ 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。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。

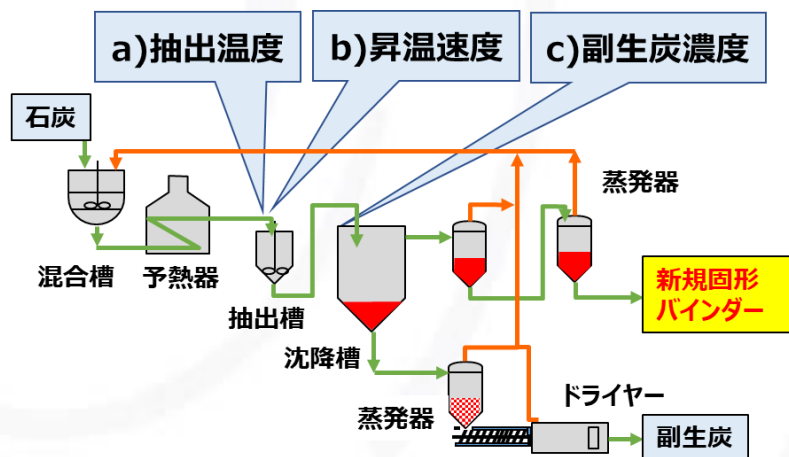
テーマごとの目標と達成状況

研究開発項目：④新バインダー強度発現実証

最終目標(2022年度)	成果(実績)	達成度	達成の根拠
・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新規液体バインダー製造プロセス案を提示する。 ・フェロコ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クスの圧縮成型条件の提案。	・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。 ・フェロコ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。 ・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)。	◎ ○ ○	ASP以上の強度向上効果を有するバインダーを開発したこと。また社会実装可能なプロセスを提示したこと。 液体バインダーに必要な機能(粒子潤滑性の付与と粒子間の接着力)の代表指標として、成型温度域の粘度が活用できる事を明らかにし、社会実装可能なプロセスを提示したこと。 開発したモデルから、ブリケット成型時のダブルロールの二軸間の線圧の最適化(動力、生産効率の最適化)に活用が可能であること。
指標: 成型物の強度(I型ドラム強度): $ID30/15 \geq 85$ 乾留後塊成物の強度(ドラム強度): $DI150/15 \geq 80$			

④-1 新規固形バインダーの性能実証

(1) 新規固形バインダー製造プロセスの最適化



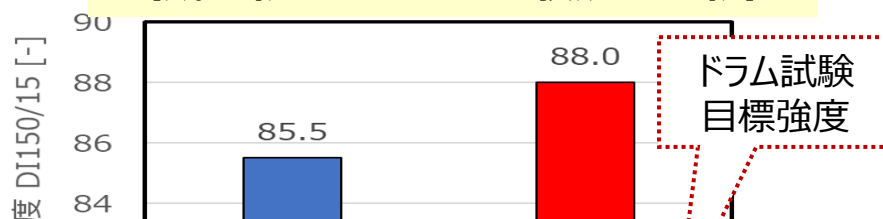
新規固形バインダーの製造フロー

当社ラボ試験の結果より、新規固形バインダー連続製造設備（石炭処理量：0.1ton/d）における製造条件を、
a) 抽出温度380℃
b) 昇温速度>150℃/min
c) 副生炭混入率15%以下 に設定した。
 →上記条件にて約2tonを製造し、中規模設備による成型試験および品質評価を実施した。

成型物のI型強度試験結果



フェロコークスのドラム試験結果
 (成型物抜き出し品の試験炉乾留物)

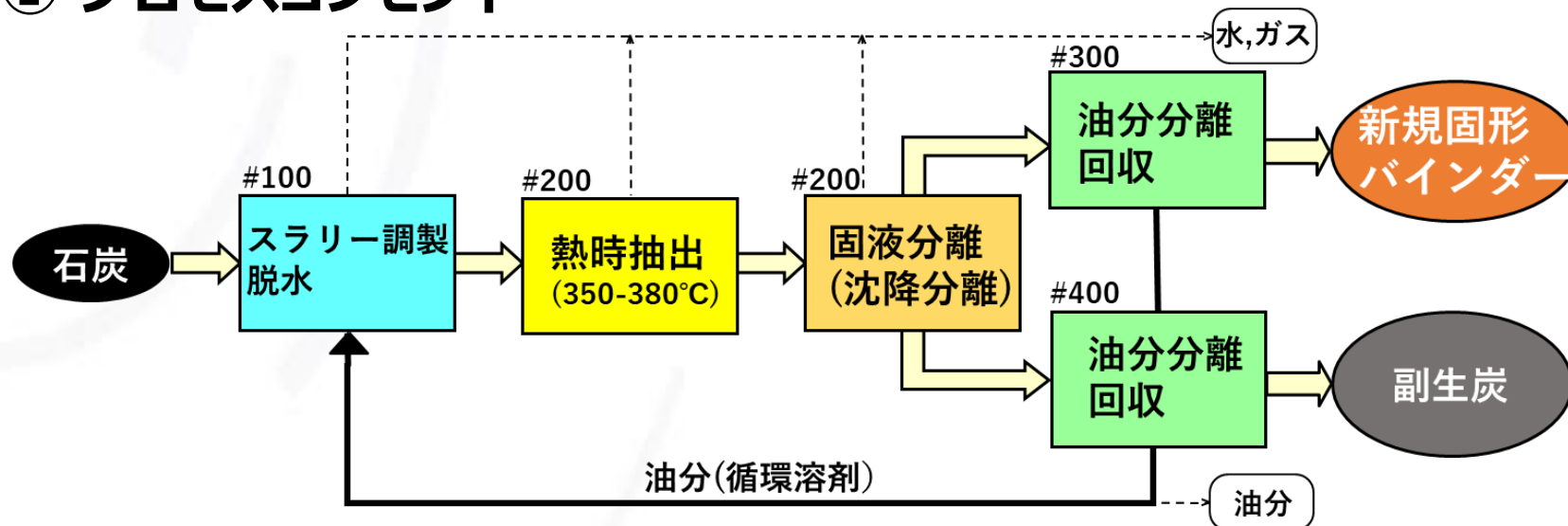


新規固形バインダーの使用により、成型物および乾留物の何れも目標強度を達成するだけでなく、ASP使用時以上の強度発現を確認した。

④-1 新規固形バインダーの性能実証

(2) プロセスコンセプトと製造プロセス商業化に向けた計画案

① プロセスコンセプト

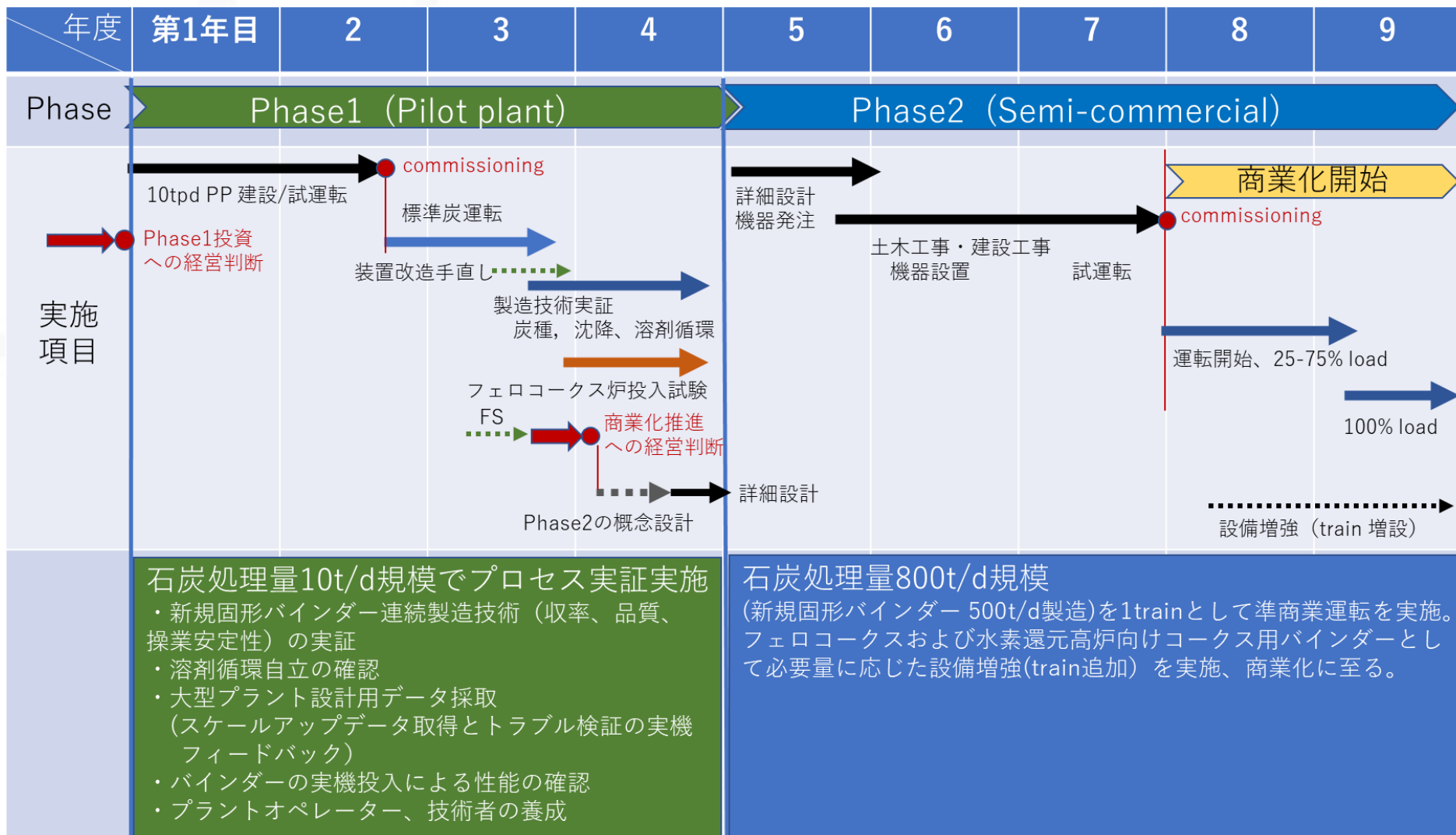


低コストな製造プロセスを構築するためのコンセプト

- 石炭の高次凝集構造を熱的に緩和する熱時抽出により熱可塑性に富む抽出炭(新規固形バインダー)と溶剤に溶けない副生炭を製造する。 ➡ 安価な一般炭を活用、副生炭は自家発電燃料に活用
- 重力沈降法を用いる固液分離。 ➡ 静機器構成による低コスト化と高い操業安定性
- 石炭自生油分(2環芳香族程度)による溶剤の完全循環。 ➡ メイクアップ溶剤コストを排除
- 抽出温度は380℃以下、高圧機器の設計圧力は1.5~2.0MPa以下。 ➡ 機器コスト低減に寄与

④-1 新規固形バインダーの性能実証

②商業化に向けた計画案



④-2 新規液体バインダー開発

フェロコークスタルは、SOPに比べ軽質成分を多く含むため、バインダー利用には改質（重質化）が必要

(1) フェロコークスタルの改質方法の検討

	重質化方法	狙い	改質	効果	工業化
1	低沸点成分の除去	蒸留により低沸点成分を除去し、粘度等のバインダー特性を制御	○	○	○
2	重質成分との混合熱処理	重質な新規固形バインダーと混合熱処理をすることで、粘度等の特性を制御	○	○	△
3	抽出溶剤利用	石炭抽出溶剤の一部として利用。固形/液体バインダーの特性を有するバインダーを製造	○	△	△



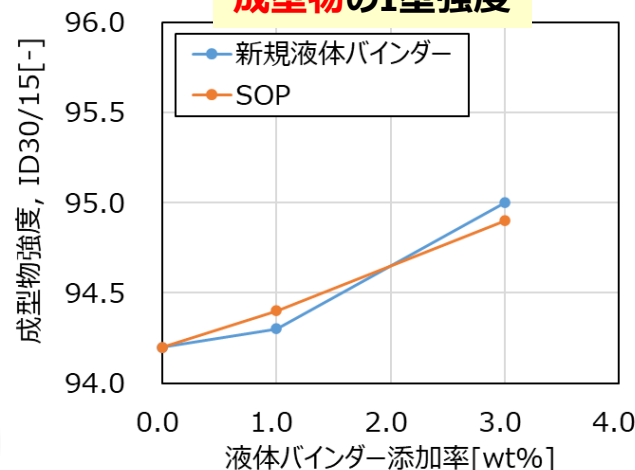
フェロコークスタル



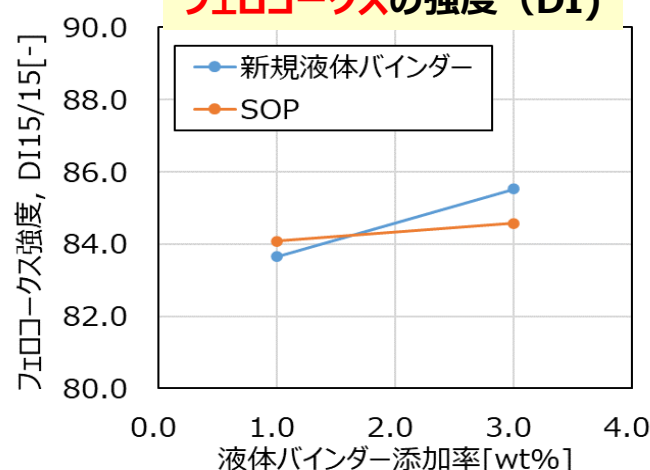
(2) 強度評価

370℃, 2mmHgの条件で新規液体バインダーを2kg試作、JFEスチール社で評価

成型物のI型強度



フェロコークスの強度 (DI)



・(常圧換算)350～370℃以下の留分をカットすることでSOPと同等の性能を有する液体バインダーを得た。
 ・強度評価にてSOPと同等の性能を満たすことを確認した。

④-2 新規液体バインダー開発

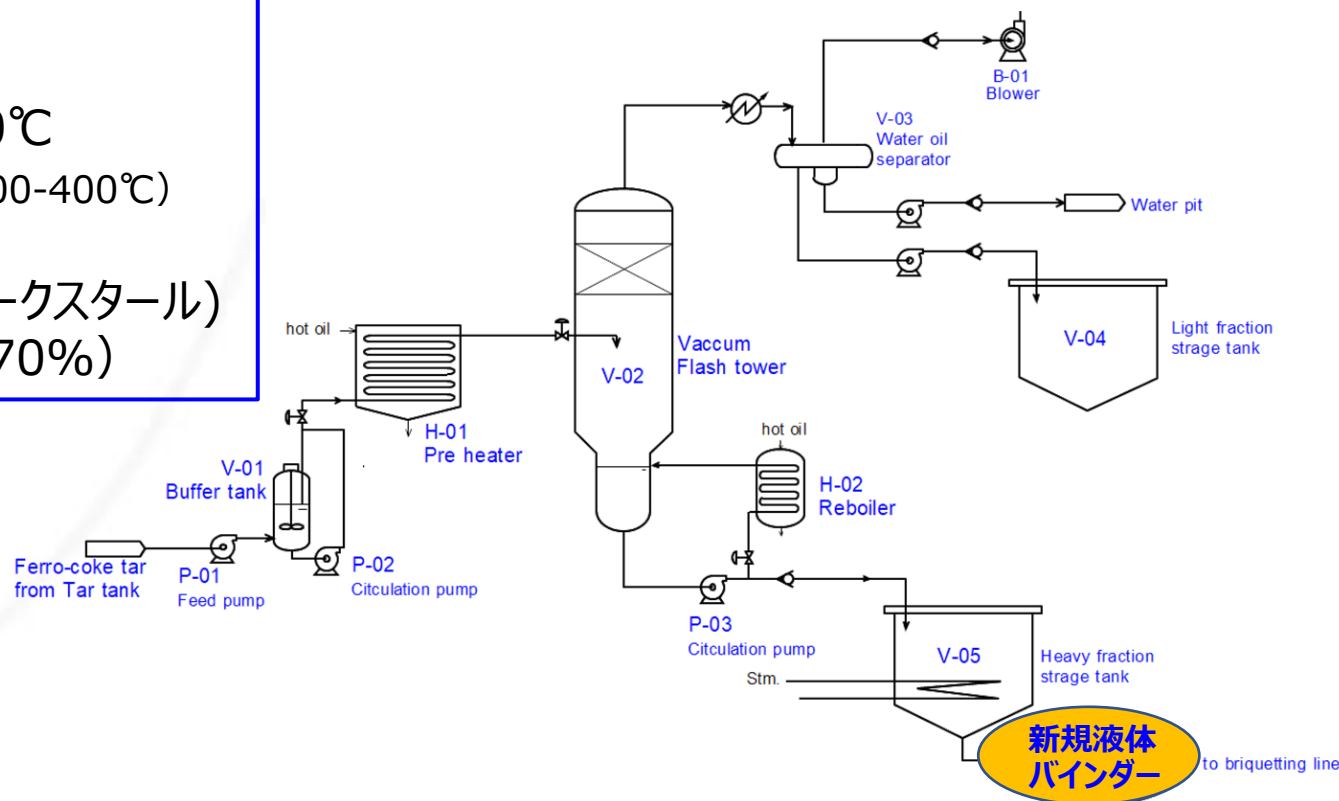
(3) 新規液体バインダー製造プロセスの概念

低沸点成分の除去には、汎用的な減圧フラッシュ蒸留法が適切であると判断し、フェロコークス炉（中規模設備）のタール処理工程近傍に設置するものとした。

(4) スケマチックフローと作業条件

【作業条件】

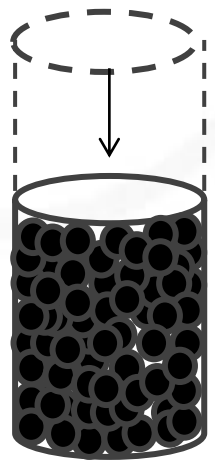
- ・蒸留時圧力：60mmHg
- ・フラッシュ温度：200-300℃
(常圧換算 300-400℃)
- ・熱媒加熱式予熱器採用
- ・処理量：2.0t/h(フェロコークスタール)
(バインダー得率として50-70%)



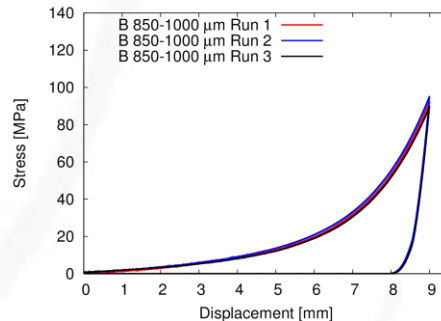
④-3 新規固形および新規液体バインダーの冷間強度発現機構の解明 (東北大)

フェロコークス成型物の汎用的な製造指標を得るため、バインダーによる粒子表面の潤滑性と接着力を考慮した粒子運動の解析手法を検討

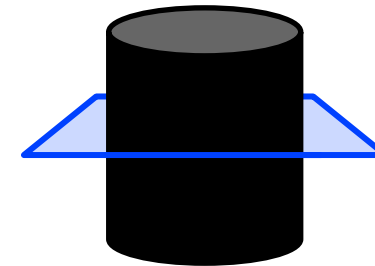
数値解析



バインダーなし/存在下で検討、モデル化



応力の挙動

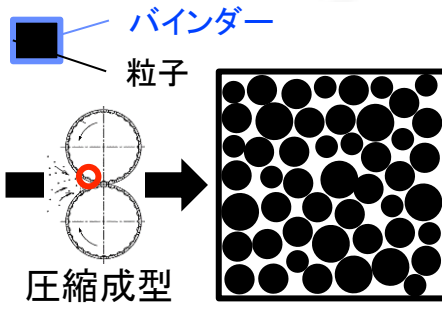


成型物の内部構造

実験



実測値との比較によるモデルパラメータの決定と
モデルの妥当性の確認



⇒ 離散要素法 (DEM) をベースに
圧縮成型過程から成型体の破壊まで
を予測するモデルを構築する

④-3 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 (東北大)

(1) 冷間強度予測モデルの構築

(実験におけるバインダーの影響)

バインダーの混合により・・・、
 圧縮試験時の最大応力が低下
 ⇒バインダーが浸透、潤滑材として機能
 破壊試験において強度が向上
 ⇒成型物の緻密化、粒子間接着の効果

実験時の現象を定性的に表現できるモデルを検討

(圧縮挙動予測モデル)

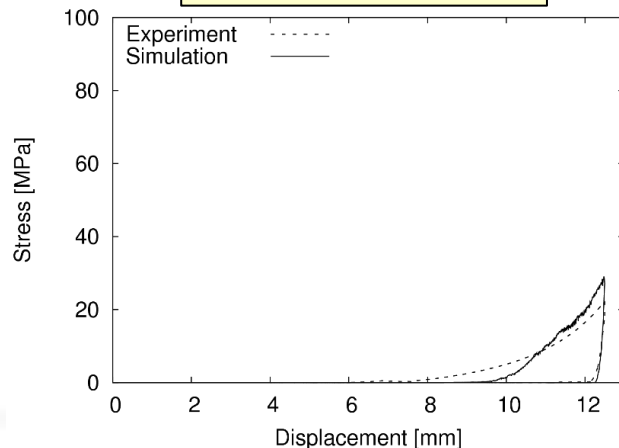
バインダーの機能を適正なパラメータ
 (ばね定数、摩擦係数) にて表現

(破壊挙動予測モデル)

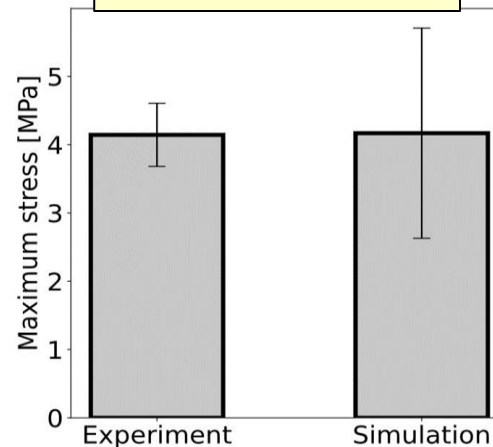
「粒子間の引張力」を考慮することで成型体強度を予測

(2) 石炭:鉄鉱石:液体バインダー (60 : 30 : 10) 混合系での解析結果

圧縮挙動解析



破壊挙動解析



フェロコークスの各種原料の混合系においても実験結果を良好に予測可能な冷間強度予測モデルを構築した

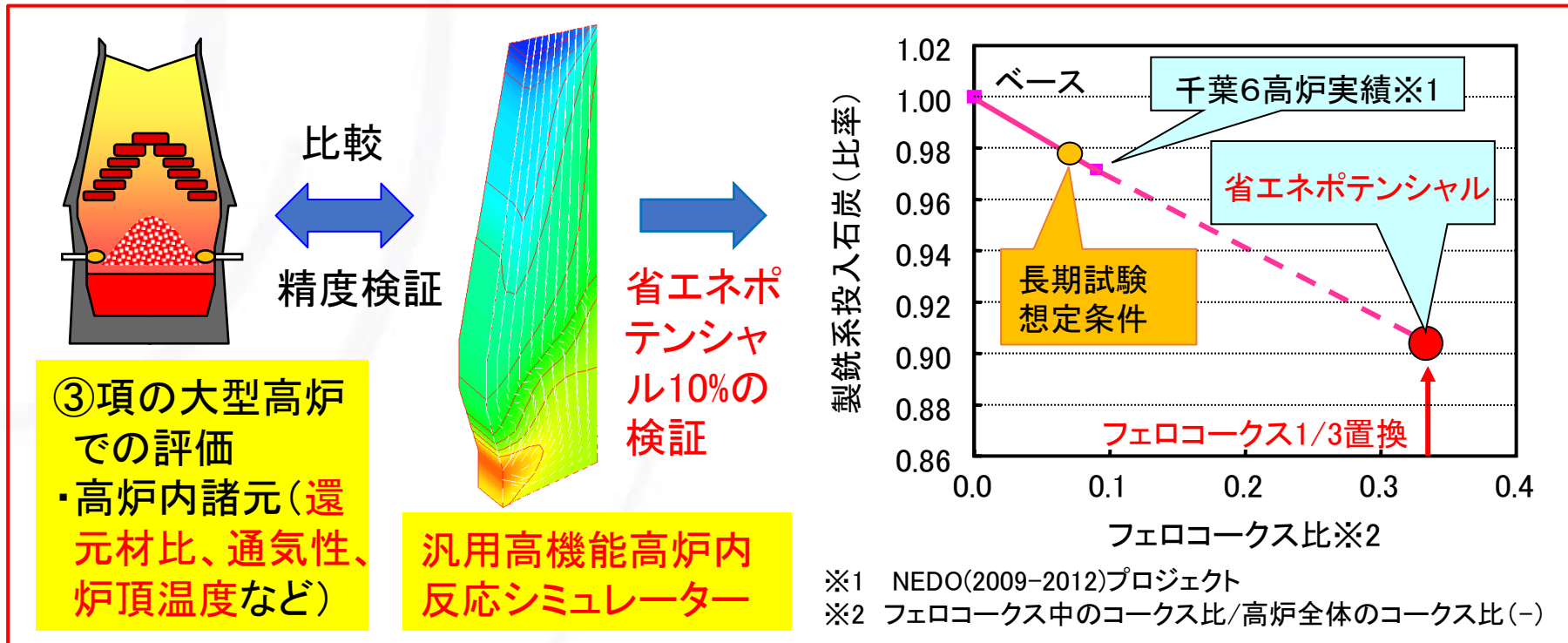
テーマごとの目標と達成状況

研究開発項目：⑤フェロコークス導入効果の検証

最終目標(2022年度)	成果(実績)	達成度	達成の根拠
・評価方法の確立と省エネ効果(目標10%)の確認。 ⑤-1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。	・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。	○	・福山3高炉の操業実績をシミュレーションモデルが精度よく再現できており、解析精度は十分と判断。 ・フェロコークス多量使用時の課題となる鉱石還元速度の低下に対して種々の対策を実施することで省エネ目標を達成できることを確認。 ・定式化したフェロコークス反応速度の知見を福山3高炉の操業解析でそのまま使用し、操業実績を精度よく表現していることを確認。
指標： 製鉄工程省エネ10%減	・還元材比11%の削減、製鉄工程省エネ10%削減、製鉄所全体での省エネ、製鉄所全体でのCO2削減。	○	・数値シミュレーション(⑤-1)と製鉄所トータル評価(③)によるFS検討結果より判断。

⑤ フェロコークス導入効果の検証

⑤-1 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(日本製鉄)



■ 研究開発の最終目標

・評価方法の確立と省エネ効果(目標10%)の確認。

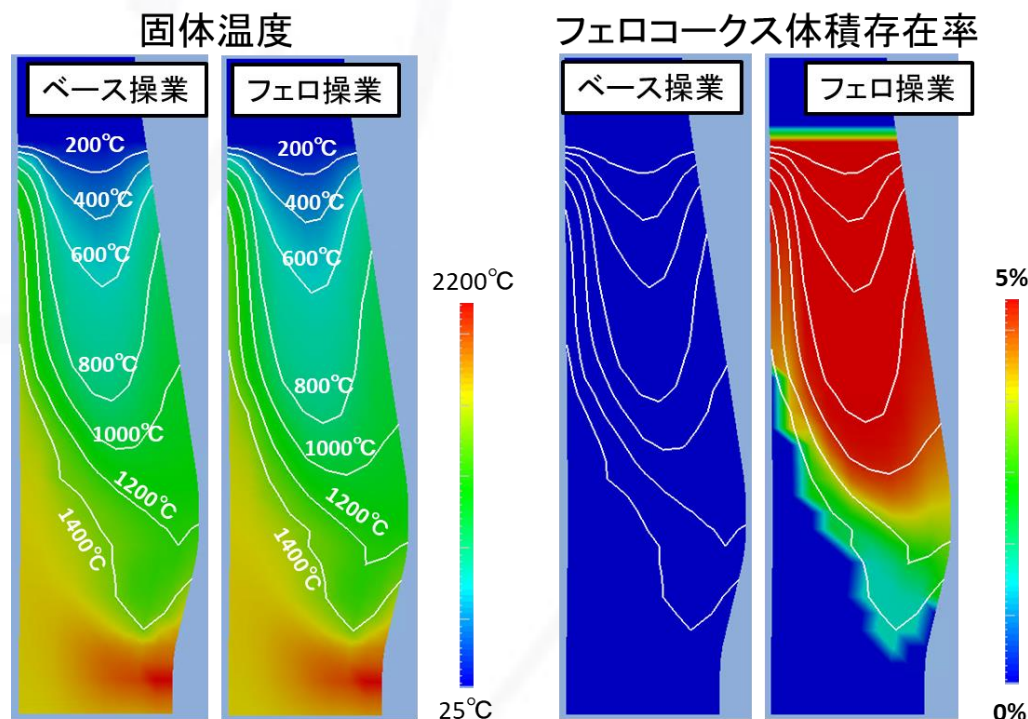
⑤-1の数値シミュレーションと③(実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証)の結果と合わせ、目標の**製鉄プロセスにおける省エネ10%を検証**する。

⑤ フェロコークス導入効果の検証

⑤-1 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(日本製鉄)

■ 成果

■ 福山3高炉フェロコークス操業試験の解析



- ⑤-2で得られたフェロコークスガス化速度式を⑤-1で開発した汎用高機能高炉内反応シミュレータに適用し、2022年10月に実施した福山3高炉フェロコークス操業試験を解析した。
- モデル解析結果は、福山3高炉の操業実績(熱保存帯温度変化、ガス利用率変化、圧力損失変化等)と精度よく対応していることを確認した。

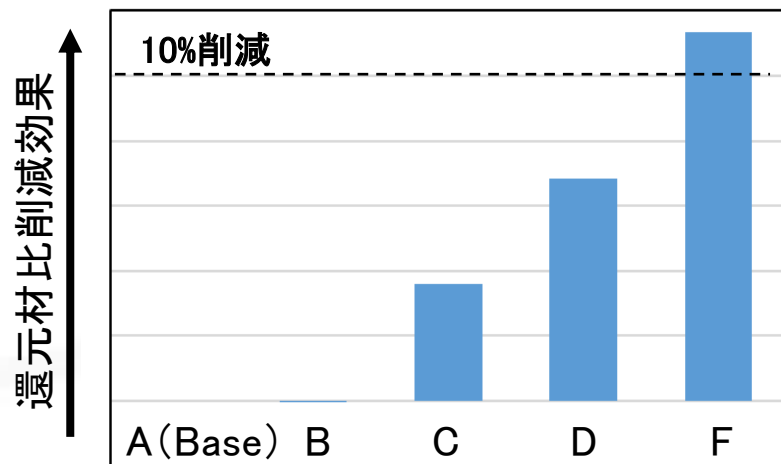
汎用高機能高炉内反応シミュレータの精度が確認でき、**フェロコークス導入時の評価方法を確立した。**

⑤ フェロコークス導入効果の検証

⑤-1 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(日本製鉄)

■ 成果

■ フェロコークス多量使用操業のFS検討と省エネポテンシャルの検証



A: 基準操業 (Base)

B: フェロコークス多量使用

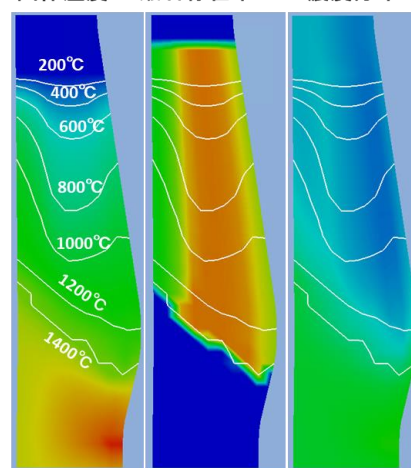
C: フェロコークス多量使用 + 高RI

D: フェロコークス多量使用 + 高RI + 操業適正化 (細粒焼結鉱利用、分布調整等)

F: フェロコークス多量使用 + 高RI + 炉頂ガス循環 + 操業適正化 (細粒焼結鉱利用、分布調整等)

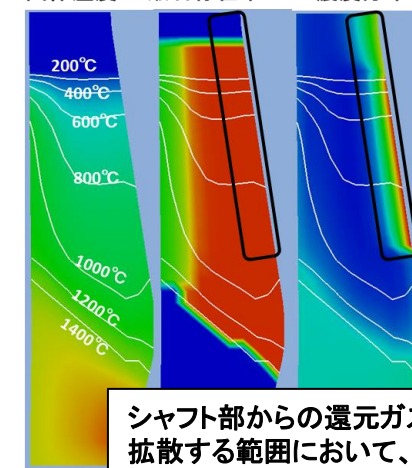
A (基準操業)

固体温度 鉱石存在率 N₂濃度分布



F (還元材比11%削減)

固体温度 鉱石存在率 N₂濃度分布



シャフト部からの還元ガスが拡散する範囲において、分布を適正化することで還元材比が更に改善

フェロコークス多量使用時の課題となる鉱石還元速度上昇に対して様々な対策(高RI化、細粒焼結利用、炉頂ガス循環、装入物分布適正化等)を実施することで、還元材比11%の削減が可能となり、国プロ目標である製鉄工程省エネ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。

⑤ フェロコークス導入効果の検証

⑤-2 反応性評価・反応モデル構築(九州大学)

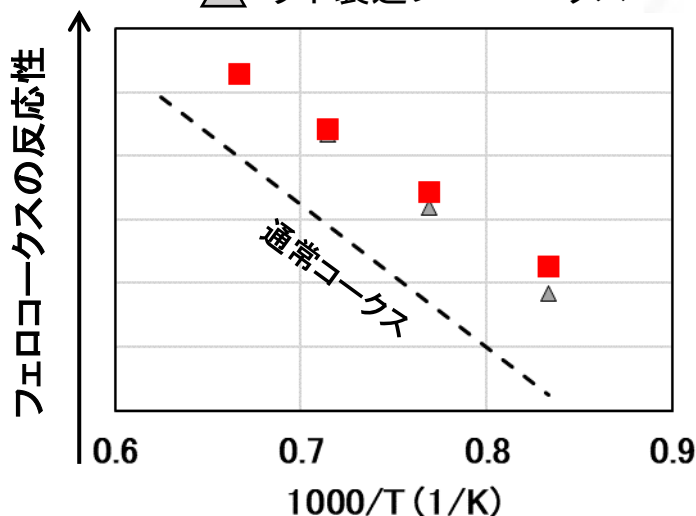
■ 研究開発の最終目標

- ・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。

■ 成果

■ 熱天秤試験における中規模製造設備フェロコークスのガス化率の温度依存性

反応性大
■ 中規模設備製造フェロコークス
▲ ラボ製造フェロコークス



中規模設備で製造したフェロコークスの反応性は、ラボ製造したフェロコークスの反応性とほぼ同じであり、通常コークスと比べて高い反応性を示すことを確認。

一般炭、低品位原料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、フェロコークス製造条件が頻度因子、活性化エネルギーに及ぼす影響を評価した。

FIN

参考資料 1 分科会議事録及び書面による質疑応答

研究評価委員会

「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」（終了時評価）分科会 議事録及び書面による質疑応答

日 時：2023 年 11 月 20 日（月）13：30～18：35

場 所：NEDO 川崎 23 階 2301,2302,2303 会議室（オンラインあり）

出席者（敬称略、順不同）

<分科会委員>

分科会長	河瀬 元明	京都大学 大学院工学研究科 化学工学専攻 教授
分科会長代理	埜上 洋	東北大学 多元物質科学研究所 プロセスシステム工学研究部門 環境適合素材プロセス研究分野 教授
委員	大場 康英	山陽特殊製鋼株式会社 技術企画管理部 技術企画グループ 技術企画グループ長
委員	角田 雄亮	日本大学 理工学部 物質応用化学科 准教授
委員	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 上級スペシャリスト
委員	武部 博倫	愛媛大学大学院 理工学研究科 教授
委員	林 幸	東京工業大学 物質理工学院 教授

<推進部署>

萬木 慶子	NEDO 省エネルギー部 部長
鈴木 浄博	NEDO 省エネルギー部 統括主幹
武田 行生(PMgr)	NEDO 省エネルギー部 特定分野専門職

<実施者※メインテーブル着席者のみ>

佐藤 道貴(PL)	JFE スチール株式会社 スチール研究所 主席研究員
庵屋敷 孝思	JFE スチール株式会社 スチール研究所 製鉄研究部 主任研究員
拝司 裕久	JFE スチール株式会社 技術企画部 主任部員
穴戸 貴洋	神戸製鋼所 技術開発本部 開発業務部 高砂試験室 室長
奥山 憲幸	神戸製鋼所 技術開発本部 機械研究所 資源プロセス研究室 研究首席
安室 元晴	神戸製鋼所 技術開発本部 企画管理部 技術企画室 シニアプロフェッショナル
酒井 博	日本製鉄株式会社 プロセス研究所 製鉄研究部高炉・脱炭素研究室 研究第三課課長

<オブザーバー>

川村 伸弥	経済産業省 製造産業局 金属課 金属技術室 室長
富永 和也	経済産業省 製造産業局 金属課 属技術室 課長補佐
中野 希海	経済産業省 製造産業局 金属課 金属技術室 係員

＜評価事務局＞

三代川 洋一郎	NEDO 評価部 部長
山本 佳子	NEDO 評価部 主幹
佐倉 浩平	NEDO 評価部 専門調査員
對馬 敬生	NEDO 評価部 専門調査員

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋
 - 5.2 目標及び達成状況
 - 5.3 マネジメント
 - 5.4 質疑応答

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 プロジェクト全体
 - 6.2 フェロコークス製造中規模設備での製造技術実証
 - 6.3 一般炭、低品位原料使用時の製造技術
 - 6.4 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証
 - 6.5 新バインダー強度発現実証
 - 6.6 フェロコークス導入効果の検証
7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認

- ・開会宣言 (評価事務局)
- ・配布資料確認 (評価事務局)

2. 分科会の設置について

- ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
- ・出席者の紹介 (評価委員、評価事務局、推進部署)

【河瀬分科会長】 京都大学の河瀬です。専門は化学工学であり、特に反応工学においてエネルギー関係や材料合成関係の研究をしています。今日はどうぞよろしくお願いいたします。

【埜上分科会長代理】 東北大学の埜上です。専門はプロセスシステム工学であり、鉄鋼に限らず、金属製錬プロセスのシミュレーション等を行っております。本日はよろしくお願いいたします。

【大場委員】 大場と申します。私は山陽特殊製鋼に新卒で入社し、その後、弊社におきまして製鋼の製錬、特殊鋼の製錬と casting に関わるプロセスの研究に従事してまいりました。今、研究所のほうから別のグループに移動しておりますが、私の専門としては製錬と casting でございます。よろしくお願いいたします。

【角田委員】 日本大学の角田と申します。専門は、木質タールの有効利用と廃プラのリサイクルなどの研究になります。どうぞよろしくお願いいたします。

【佐々木委員】 日本エネルギー経済研究所の佐々木です。専門は、地球温暖化の政策と省エネルギーの政策を主に研究しております。本日はよろしくお願いいたします。

【武部委員】 愛媛大学の武部です。専門は非鉄製錬、鉄鋼製錬、特に高温を利用したプロセスであり、よりフォーカスしますと、スラグあるいはガラスの高温融体の物性などを測っております。よろしくお願いいたします。

【林委員】 東京工業大学の林です。専門は鉄鋼製錬などの高温プロセスであり、特に高温の材料物理化学を行っております。よろしくお願いいたします。

3. 分科会の公開について

評価事務局より資料2及び3に基づき説明し、議題6.「プロジェクトの詳細説明」及び議題7.「全体を通しての質疑」を非公開とした。

4. 評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より資料4-1から4-5に基づき説明した。

5. プロジェクトの概要説明

(1) 意義・社会実装までの道筋、目標及び達成度、マネジメント

推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【河瀬分科会長】 ありがとうございました。

ただいまより、ご意見、ご質問等を受け付けます。それでは、大場委員お願いします。

【大場委員】 フェロコークスの製造技術の確立が大きな課題であり、30t/dayの小規模から、今回のプロジェクトでは300t/dayの中規模に拡大された際に降雨であるとか、設備のトラブルもあったかと思えます。その設備トラブルで、中規模に拡大するときに敷地が狭かったとか、箱物を積み上げるなどいろいろな仕様を変えられたところがあったと思うのですが、その結果、実際に今回のプロジェクトの

中で発生したトラブルというのは、事前にいろいろ想定されていたことが実際に起こってしまったのか。それとも、うまくいくと思っていたけれども、実際にやってみると次々とトラブルが発生してしまったところだったのか。その事前見通しについてお伺いいたします。

【武田 PMgr】 30t/day の川崎の設備を造ったということで、そのときも相当設備トラブルは発生したようでした。その辺の対策は、今回の中規模設備で取りましたし、操業上のノウハウも随分と蓄積され、それにより今回の実証設備に臨んだということですが、予測できなかったところが、敷地が 300t ということでかなり大型の設備になりました。それで搬送のスペースが取りにくく、60m ぐらいまで上げなくてはいけないということになりまして、機械的な搬送装置を使いました。通常、鉄鋼業ではベルトコンベアで搬送するというのは普通なのですが、機械的なバケットコンベアであるとか、そういうたものを使ったということです。通常は問題ないと思うのですが、先ほど説明しましたとおり、降雨による原料の水分が上がると、鉄鉱石は粘度が上がりますので、それによって詰まってしまうなどといったトラブルが起こったというのが一番大きなところですね。雨対策を取るというのは一つあるのですが、実際にこれをスケールアップして実高炉に実用化する際には、もともとの鉄鋼業で一般的なやり方でスペースを取って、そういう実績のある搬送方法に持っていければ問題は解決すると考えております。

【大場委員】 ありがとうございます。今のところに関連しまして、JFE 福山が設備をいろいろ改善に向けて検討を進めているとお伺いしたのですが、もし 2 号機を造るとなったら、今の設備からは全くがらりと変わったような設計になりそうということですか。

【武田 PMgr】 これは、基本的には変わることはないと思います。この実証設備を基にして、それでスケールアップをしていくということになると思います。ただ、敷地は少し要るのですが、プラント周辺の整理ができればスペース的な問題はクリアできるのではないかと考えております。

【大場委員】 ありがとうございます。今回この中規模設備でトラブルのことを結構取り組まれていることの記載があったのですが、どの部分の設計が狙いどおりうまくいっていて、そのままその方向性でいけているかというのが読み取りにくかったのですが、承知いたしました。

【河瀬分科会長】 ありがとうございます。少し関連しまして、プロジェクトマネジメントについてお伺いしたいのですが。トラブルがあったときの対応策というのは JFE スチールにお任せだったのか、それともこのプロジェクトチームで何かアイデアを出し合うようなことができたのか、そのときのことを教えていただけませんか。

【武田 PMgr】 実証設備を主にやっていらっしゃるのは JFE スチールですので、対策の第一義は JFE スチールに立ててもらいましたが、先ほどのマネジメントでご説明したとおり、定期的の実施者様も年 3 回の会議を催していますし、我々も年 3 回から 4 回、技術検討委員会を開き、そこで逐一報告をしていただいております。トラブル内容も我々、技術検討委員に展開されながら進めてきたということで、その委員会の中で解決案のアイデアが出ることもございましたので、協力してやってきたところです。

【河瀬分科会長】 分かりました。ほかはいかがでしょうか。埜上会長代理、お願いします。

【埜上分科会長代理】 私もマネジメントの部分で伺います。中型の設備と言いながら、実際に見せていただくとあれだけ大きな設備であって、やはりトラブルが出てくるというのは、事前にある程度織り込み済みだったと思うのですが、今日のお話ですと、技術面でいろいろトラブルがあったということですが、プロジェクトとしてちょうど中間が終わって実際に物が動き始めてというところは、コロナと完全に重なっている時期だと思うのですが、もしそういったことがなければ、もっとキャッチアップできていたのか、あるいは技術面でそこまで難しかったのかというのはいかがでしょうか。

【武田 PMgr】 ちょうど建設の終点の頃が一番コロナは厳しかったと思います。設備を造って試運転の要員においてメーカーからそういう技術者を呼ぶことがうまくできないなど、そういうことで少し苦労をされて試運転期間が延びるといった大変さがあったと聞いておりますが、設備仕様に関してはそれ

ほど変えていないと思いますので、早く試運転がうまくいき、早くトラブルが分かったのではないかな
ということとは言えると思いますが、降雨の影響というのは予測ができなかったものと考えております。

【埜上分科会長代理】 少し技術的な面のキャッチアップが予想より大きかったというところでしょうか。

【武田 PMgr】 そのようになります。

【埜上分科会長代理】 また別件になりますが、60 ページの海外の技術動向の調査ですけれども、こちらを行われたのが結構プロジェクトの初期の頃だと思うのですが、この時期からですと、やはりパリ協定があり、グラスゴー合意がありという、世間的にも非常にカーボンニュートラルがここ二、三年で強く盛り上がっているところだと思うのですが。そういったところで、いろいろ漏れ伝えてくるところによると、中国はかなり劇的な政策を打ち出しているようなところもあるようですので、そのあたり、海外に今後技術移転をするとか、そういったことに対する方針の変更ということはないと思うのですが、把握状況の変化みたいなものは現状いかがでしょうか。

【武田 PMgr】 おっしゃるとおり、2018 年から 2019 年度にやっています、この後に劇的な変化がありました。やるタイミングとしては少し早過ぎたというのは正直ございますが、政策、海外展開については基本的にそれほど変わらないと思っております。中国は分からないところがあるのですが、インドはこれから鉄鋼需要が伸びていきますし、高炉もまだ出来るのではないかなということで、これについては変わっておりません。それから、下のほうの CO₂ の政策についても、この調査時点よりもさらに加速されたということで、これについては加速して考えていかないといけないというところがございます。

【埜上分科会長代理】 海外に打って出るとなると、なかなかいろいろとハードルであるとか種々やらなければいけないと思うのですが、ぜひこの技術の利点をうまく宣伝をして展開できることを願っております。以上でございます。

【河瀬分科会長】 状況認識や目標設定についていかがでしょうか。佐々木委員お願いします。

【佐々木委員】 今私も同じことを思っています、かなり温暖化政策が厳しくなってきたという環境の変化の中で、この技術をどうやって今後展開していくのか。つなぎの技術という位置づけで捉えていらっしゃるのか。一方、「COURSE50」といったところも入っていきますので、このあたりの技術の組合せ、CCS も含めたところでの方向性として、少し方向転換があるのか、現状のままをお考えなのかという点をお聞きできればと思います。

【武田 PMgr】 今 GI 基金において、水素還元製鉄や大型電炉の導入が進められていますが、完全に水素還元製鉄になってしまうとやはり高炉はなくなってしまいますので、これはもうフェロコックス技術の出る幕ではないということは自明の理ですから、その技術が普及するまでのトランジション技術であるということはそうだと思います。ただし、各社の取組を見ていると、やはり日本製鉄等でも高炉を残して、それから「COURSE50」や「SUPER COURSE50」を使いながらやっていくという政策もありますし、JFE スチールでもカーボンリサイクル高炉ということで、高炉を残すような政策でやられていることを認識しております。そうしたところで、ある程度高炉が残っていくということであれば、このフェロコックスの技術もまだその間は使えるのではないかと考えております。この技術を磨き上げ、省エネルギー効果と経済効果もございますので、そのようなものに活かしていけたらと考えております。

【佐々木委員】 それから経済効果のところなのですが、トランジション技術という位置づけにすると、結構設備寿命が短くなってしまうのではないのでしょうか。要は、投資対効果が減ってしまうのではないかなということについて、今頂いているデータとしては、恐らく運用時のコークスの削減が主な効果だと思うのですが、投資という視点、全部の経営という視点で見たときにその設備寿命をなるべく長く使いたいということと、カーボンニュートラルとの組合せといいますか、整合性といったところはどのようにお考えですか。

【武田 PMgr】 設備については、トランジション技術と捉えた場合でもかなりの期間使うのではないかと
いうことで、一応 2040 年の水素還元製鉄やカーボンリサイクル高炉については 2035 年という数字が
出ており、開発技術が出来上がるというところがその時点ですが、それから普及をしなければいけ
ないので、普及するまでにまだかかるのではないかと考えます。その間使い続けるということを踏ま
えれば、今から考えてもかなりの期間使える技術ではないかと考えております。また、経済効果 280
億円というものは、これは 2017 年の開発の開始時点で試算した数字でございますが、それがあれば、
かなり短い期間で償却できるのではないかと考えておりますので、その点は GI の開発が実現したとし
ても、その期間で十分採算の合う技術だと考えております。

【佐々木委員】 ぜひ、実用化を頑張っていただければと思います。よろしく願いいたします。

【河瀬分科会長】 そういう意味では急がないといけない技術ですね。ほかにはいかがでしょうか。角田委員、
お願いします。

【角田委員】 アウトプット目標の達成状況の新規バインダーについて、非常に達成度がよくできていて、二
重丸があるなどほかのところに比べるとかなり良好に進んだという印象を受けました。アウトカムの
ほうには特に記載がないのですが、こちらについてはどういった導入が検討されているのかをお聞か
せいただけますでしょうか。

【武田 PMgr】 この新規バインダーを開発したという当初の理由が、フェロコークス技術が普及し、多くの
高炉に普及して使われるようになった場合に、既存のバインダーが不足してくることが分かっており、
それに対応する技術ということでこの開発を入れました。いつ頃から明確に不足してくるというのは、
はっきり分らないのですが、やはり多分 2030 年の 5 基とかそういう時点ではまだかもしれません
が、どんどん普及していくに伴って必要とされる技術だということで考えております。いつからとい
のを明確に今回記述することはできなかったのですが、将来この技術が普及してきたときには必ず必
要になっていきますので、そういう意味では非常に開発意義があったと考えております。

【角田委員】 分かりました。ありがとうございます。もう一点お願いします。アウトカムの達成までの道筋
について、もう少し解像度を上げてお聞かせいただきたいのですが、課題①、②が今検討しなければなら
ないこととして挙がっております。ただ、2030 年のアウトカムに向けて CO₂削減効果 82 万 t、CO₂
で年間達成するということが目標になっております。つまり、検討しなければならないのですが、後ろ
は詰まっている状況です。新設するにはやはり時間も必要であるので、この課題①、②をどのぐらい目
標を目途に考えていって、新設をどのぐらいからスタートすれば目標が達成できそうだというような
もくろみであるのでしょうか。あとは業界として、5 基導入を目指すということであるので、どういっ
た会社であるとか、例えば海外展開があるとか、そういったところの情報をお聞かせいただけないで
しょうか。

【武田 PMgr】 現在 2023 年で、もう 2030 年まで 7 年しかないというということで、現状は主力となる
JFE スチールで FS を行っているところでございますが、特にこの課題①が達成できなかったことに
対しては、目標値も明確になっております。課題①については、急ピッチで進めているというところで
す。課題②については、これは今の開発期間中に問題点として出てきたということで、具体的な取組と
してはこれからになると思いますが、これについても 7 年しかないということで、特にフェロコーク
スの製造設備だけではなく、還元性の良い原料の焼結工程であるとか、そういったものも影響しま
すし、高精度の分布制御技術ということは、これは高炉の投入方法にも関係をしていきますので、やはり
高炉側、焼結機側、原料側の技術開発も必要だということで、これはもうちょっと時間がかかるかと思
いますが、すぐにできるものはすぐに行い、それから検討をこれから進めなければいけないものを順
番といいますか、積極的にやっていく中でも大きく 2 つに分けております。そして、2030 年に最終目
標を達成するための課題抽出や技術開発を進めていきます。

【角田委員】 業界の感触といいますか、フェロコックスに対する業界での取扱いというところでは、どのようになっていますか。

【武田 PMgr】 各製鉄会社とも状況がいろいろあるみたいで、原料の購入の仕方であるとか、おのおの輸入している石炭、その辺の銘柄の問題は少し調整が必要だということで、まずは今やっている JFE スチールの高炉を実現してということで、それから展開していくという形になると思います。

【角田委員】 基礎固めが重要ということですね。

【武田 PMgr】 そのとおりでございます。

【角田委員】 分かりました。ありがとうございます。

【河瀬分科会長】 ほかにいかがですか。林委員お願いします。

【林委員】 中規模設備の開発ということで、今回、残念ながら降雨の影響のためにうまくいかなかったということですが、先ほどこの点に関しては従来の高炉技術を使って解決ができるというお話だったのですけれども、今後こういった集中豪雨などは起こり得ることですので、何か今後この原料を湿らせない、あるいは乾燥させるなどそういった対策は取られようとしているのでしょうか。

【武田 PMgr】 現状といいますか、普通は野積みになってしまっていますが、今回の中規模設備では、事業期間の終わり頃でしたが、テントのようなものを張って雨を防ぐというような対策は取りました。製造したフェロコックスを高炉に持っていくときには仮置き場が必要になるのですが、その仮置き場を屋根つきのものにするなど、そういう対策は取るべきだと思います。それから雨に弱いというのは分かりましたが、ただ、機械的な搬送方式が全く使えないということもないと思うのです。今回のトラブル事例を教訓にするといいますか、そういう対策を取っていますので、それが逆に言えばノウハウになりますので、その辺の対策を取ったものであれば、水分値が高くなっても搬送に支障はないといったところもございます。その辺を加味し、降雨対策をする、逆に雨に強い機械的な搬送装置をつくるというような両面の対策で対応していきたいと考えています。

【林委員】 ありがとうございます。あともう一点、この 10%の CO₂の削減には、いわゆる焼結鉱 RI の 75 まで上げたものを使い、周辺のほうにも精度よく分布させる必要があるというのは非常に大きな知見だったと思うのですけれども、どうしても焼結鉱がそういうよいものを大量に手に入れないというときに、例えばフェロコックスを周辺部のところに入れるとか、そういうような新たな方法というのも検討されるのでしょうか。

【武田 PMgr】 もちろん原料側の工夫がどうしても必要になっていきますが、ない場合はそういった分布制御の検討は当然やっていくということで、ご理解いただいてよろしいかと思います。

【林委員】 ありがとうございます。

【河瀬分科会長】 ほかに、いかがですか。では、河瀬からよろしいでしょうか。例えばスライド 32 など、フェロコックスを 3 分の 1 入れるという設定にされましたよね。実際やってみると、それが課題達成に丸をつけられなくなった理由になってしまったと思うのですけれども、これが 10%や 20%だったら結構できましたという結論だったのではないかと思います。この 3 分の 1 を置き換えるというのにどれほどの根拠があったのかという最初の目標設定についてお伺いしたいのですが。なかなか合理的に決められないので、エンジニアのセンスでざっくりとでも仕方はないと思うのですけれども。

【武田 PMgr】 やはり最初に決めたのはざっくりになってしまいますが、30t/day の 2009 年から 2012 年に行った開発で、一応 43kg/t の装入で 3%程度の削減効果があったということで、単純にこれを直線で引いて延長していったところが元になっております。ですが、今から考えますと直線的に下がっていくとは限らないということの考えが少し足りなかった面はございます。

【河瀬分科会長】 むしろ逆に、これで想定してやってトラブルが見つかり、課題がはっきりしてよかったとは思っているのですけれども、やはり最初はそういうものですね。分かりました。ほかにいかがでしょうか。佐々木委員、お願いします。

- 【佐々木委員】 まだ決まっていないかもしれませんが、先ほどの海外展開という話の中で、これは海外でのクレジット化みたいなものは何か検討されているでしょうか。
- 【武田 PMgr】 現状はまだ検討していないです。今は、2030 年に向けた設備改装など、そういった技術の対応に注力しなければいけないところだと思います。それで 2030 年近くになって国内 5 基に目途がついたという段階で、次は海外といった話が出てくるのではないかと個人的には思っております。まだ今時点で海外展開というのは具体的なことは検討されていないというところでございます。
- 【佐々木委員】 分かりました。ありがとうございます。ぜひ海外にも展開していただければと思います。よろしく願いいたします。
- 【河瀬分科会長】 武部委員、お願いします。
- 【武部委員】 1 点伺います。石炭を今後も使っていかなければならないと思うのですが、その原料炭は世の中の事情としては変わるとは思いますが、そのあたりで今後確保の見込みを見通せているのでしょうか。
- 【武田 PMgr】 それは製鉄会社によって状況が違うと思うのですが、ある程度見通しは立っているのではないかと私は考えております。
- 【武部委員】 ありがとうございます。
- 【河瀬分科会長】 ほかにいかがですか。大場委員、お願いします。
- 【大場委員】 フェロコックスをつくるというのも課題ですが、出来たものを使うというのが一番の課題だと思います。そういった、出来たものを使うところでも、いろいろ想定と違うようなところがあって、最終的にシミュレーションの結果がいろいろご報告されているのですが、そのシミュレーションを実現し、そのめどが立たないと 2 号機、3 号機といった企業の設備投資につながっていかないと思うのですが、どれくらいの期間で 10%削減までフェロコックスを高炉に投入できる技術を確立できるという見通しでしょうか。
- 【武田 PMgr】 今、JFE スチールが中心になって FS をやっておりますが、多分いきなり多量に入れることはせずに、実際の高炉にテストでは 30 kg/t の割合で入れましたが、そのように入れていって、だんだん炉の状況を確認しながら増やしていくということになると思います。ですから、初めから 3 分の 1 を入れるのではなく、30 kg/t の実績はありますので、そこから始めていき、徐々に割合を増やしていくという話になると思います。少し時間はかかるものと、高炉の様子を見ながらになると思います。
- 【大場委員】 分かりました。ありがとうございます。
- 【河瀬分科会長】 では最後に、もう一度河瀬から伺います。今回 3 件ほど大学に採択を出しておられ、スライド 77 等にシミュレーション結果を実際の実験にフィードバックしてうまくいったというご紹介をいただいたのですが、シミュレーションで例えばもっと量を増やすというような定性的な結果が出てきたのか、それとも具体的にこの数字は幾らにすればよいといったところまで大学から伝えられてきたのか、どちらになりますか。
- 【武田 PMgr】 今後のシミュレーションに関しましては、実際に使うときに攪拌をしまして、その攪拌の仕方もあるのですが、実際にどのくらいの時間だったら完全に混ざるのかということは問題で、攪拌時間をどれくらいにしたらいのかが分からなかったということで、これをシミュレーションで行い、一応時間を見いだしております。ですから、混ぜるものはもう決まっている、それから容器も 4,000L というのも決まっている。変えられるのは攪拌羽の形状や攪拌の時間であり、その辺をシミュレートしてこれを出したということでございます。
- 【河瀬分科会長】 分かりました。それでは時間となりましたので、以上で議題 5 を終了といたします。皆様どうもありがとうございました。

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明

省略

7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

8. まとめ・講評

【林委員】 本日はありがとうございました。現在種々行われている CN においては水素ありきが前提となっており、いかに CO₂ 排出量を削減するかといったことを行われているわけですが、このフェロコークスはそういうものが前提ではなく、今ある既存のものでどこまで CO₂ 排出量を削減できるのかを追求しているのがすごくよいところです。例えば新パイnderを開発することや、被還元性の高い焼結鉱を造っていく、あるいは炉頂ガスを循環させる、あるいは均一に分布させるといった技術の積み重ねで 10%と、CO₂ の排出量を削減できる可能性を見いだしたというのは非常に意義深いプロジェクトであったと思っています。これから実機に向けてはまだ解決すべき問題があり、採算性であるとか、個々の企業で行っていくであるとか、今回の実機化においては JFE が中心となり、そこに日本製鉄、神戸製鋼がどれだけ実機化した場合には利益を得るのかといったところも考えていくことになると思うのですが、ぜひとも前向きに取り組んでいただけたらと願っております。以上です。

【河瀬分科会長】 ありがとうございます。続きまして、武部委員お願いいたします。

【武部委員】 本日はご説明ありがとうございました。非常に多くの方が関わりながら、素材に関してここまで大きなプロジェクトを実施なされ、コロナ禍や悪天候、操業トラブル等いろいろな困難があった中で、今回のようにしっかりとした成果を出されたことに対して敬意を表したいと思います。ご苦労さまでした。また、新しいフェロコークスという原料を取り入れて大型プラントを立ち上げられたということも非常に価値があると思いますし、やはりカーボンニュートラル 2050 年ということで、先ほどもお話があったように、いきなり水素と行きがちなのですが、そのトランジットなところでこのプロジェクトを進めるというのは本当に意味があることだと思います。一般の方も含め、最終的な脱炭素というものにどう日本が変わっていくのかは、いろいろな方が興味を持っていると考えます。ですから、このプロジェクトというのがどんどん進んでいくこと、そして表に宣伝していくことが重要なのではないかと思います。また、私も、ものづくりの研究をしているのですが、素材であるとか、材料の特性であるとか、機能ということにどちらかというと目が行きがちなのですが、どうつくるかというものづくりの一番川上のところ、そこが非常に重要だと思いますし、この金属鉄鋼、この素材一番基幹となるところで、こういう新しい展開が続けられているということは本当に意味があることだと思いますので、次の世代の方たちも巻き込みながらぜひ継続していただきたいと思います。ありがとうございました。

【河瀬分科会長】 ありがとうございます。続きまして、佐々木委員お願いいたします。

【佐々木委員】 皆様、特に事業を実施された方は大変苦勞をされたと思いますが、ありがとうございました。先ほど 2006 年からというお話もありましたし、かなり資金的かつ時間的なことも投入されていますので、ぜひ今回の成果を活かし、実際の実機の導入に向けて引き続き頑張っていただきたいと思います。また、鉄自身はまだこれから生産が必要だと思いますので、そこに向けて、いきなりゼロカーボン、製造でゼロというのはあり得ませんので、そのトランジションの効果としてもこのフェロコークスは非常に期待できると思いますし、国内での目標、さらにはもっと進んで海外で展開することで日本が貢献していく余地はまだあるのではないかと期待を込めて、お願いをしたいと思います。以上です。

【河瀬分科会長】 ありがとうございます。続きまして、角田委員お願いいたします。

【角田委員】 本日はご説明ありがとうございました。いろいろと聞いていまして、やはり固体を扱うことの難しさであるとか、製鉄業は非常に操作が多岐にわたっていて、コークスをつくることから最終的に鉄を得る高炉のところまで非常に様々な技術がかみ合わさっている。それでいながら、フェロコークスの効果を最大限に発揮させようという努力はすばらしいものがあると思いました。また、アウトカムの達成までの道筋も示していただきましたが、やはりこの課題を解決しなければいけないというところの非常に納得感がありまして、バインダーが得意な神戸製鋼様、フェロコークスを実施されている JFE 様、シミュレーターを提供なさった日本製鉄様といった 3 社がうまく組み合わさってこのフェロコークスの実証が行われたと感じました。非常に最終的なシミュレーターの結果も目標を達成するという結果が出ていますので、今回終了時評価ということではありますが、今後も継続してぜひ検討いただければと思います。以上です。

【河瀬分科会長】 ありがとうございます。続きまして、大場委員お願いいたします。

【大場委員】 本日はプロジェクトを取り組まれた皆様、資料のご準備ですとか丁寧なご説明をどうもありがとうございます。NEDO の皆様も大変ご準備において苦勞をされることが多かったと思いますけれども、どうもありがとうございます。今回のプロジェクトというのは、CN の次世代の製鉄所までの移行技術ということをおっしゃられていましたけれども、2030 年までに 5 基という計画ですが、今後存続する高炉には必須の技術になっていくかもしれないですし、周辺の技術との連携ですとか課題もいろいろ多いと思いますが、そのあたりを整理されてスケジュールを詰めて進めていただければと思います。私も鉄鋼メーカーに勤務している者として、CN というのがすごく迫ってきているというのは仕事をしていて感じます。ユーザーとの関わりとかもいろいろあるのですけれども、将来的にお客様が商品に「CO₂ 何グラム」と表示するような時代がすぐ近くまで来ている。そういった打診もお客様からありますので、自動車メーカーも電気自動車にシフトしていくことを宣言されていますし、CN というのは絶対来るとは思うのですけれども、今回の技術を存続する高炉必須の技術に向けて進めていただければと思います。本日はありがとうございました。

【河瀬分科会長】 ありがとうございます。続きまして、埜上会長代理お願いいたします。

【埜上分科会長代理】 まずは、このプロジェクト後半でコロナに見舞われた中でも着々と仕事を進められ、終了成果に結びつけたことに関しまして、実施者の皆様、NEDO も含め敬意を表したいと思います。このフェロコークスのプロジェクトというのは、今日一日の中で何度か話が出てきていますけれども、「トランジションの技術だ」と説明を受けておりますけれども、IEA の試算によれば、どんどん新しい技術が進んだとしても 2050 年で 30%、それが進まないときであれば 60% くらいは高炉転炉法の鉄が必要だという試算も出ておりますので、それを考えればトランジション技術といっても、「2050 年までだ」というのではなく、きちんとその先にもつながっていく技術だと考えておりますので、ぜひそういう息の長いところで、いかにすれば、これを長いこと役立てることができるのかという視点でさらに開発を進めていただけたらよいと思っております。あともう一件、このプロジェクトが「COURSE50」とタイアップしてフェロコークスということで、水素とフェロコークスというのは原理的に相反するところもあるというお話ですが、やはりフェロコークスというのは、高炉の中の状況をコントロールする一つの手段にもなり得るのではないかと思いますので、ぜひ、水素とフェロコークスをあまり切り分けずに、様々な検討を進めていただき、フェロコークスだけの高炉を実現するというのも必要なことだと思うのですが、要素技術としてまた使っていくところも視野に入れながら、今後も実機化に向けて検討を進めていただきたいと思います。私からは、以上でございます。

【河瀬分科会長】 ありがとうございます。それでは最後に私、河瀬からになります。10 年後か 30 年後か分かりませんが、人類は次のエネルギー革命を迎えます。太陽光発電が普通になり、プライマリーエネルギーはゼロ円になってしまう時代が来るわけです。今、人類はカーボン CO₂ に換えてエネルギーを手に行っているわけですが、それがなくなる。しかしながら、鉄鉱石を還元するためにカーボン

を使っている製鉄はやはり CO₂を出すことになりますし、セメント産業もそうです。エネルギーのために CO₂を出しているのではない産業の CO₂ エミッションがこれからますます責められることになっていくのだと思います。そういう意味で、この技術はやはり大切だと思いますし、今回、高炉 3 社がそれぞれ得意な技術を持ち寄ってこのようなプロジェクトを進めてこられたのは本当に有意義だったと思います。中間評価のときに、「オールジャパンでプロジェクトを組んでいるのだが、中身は単に分担しているだけで連携できているのか疑問だ」といったコメントも出たのですが、今日のお話を伺っていると、進捗報告するプロジェクトメンバーの会議、あるいはプロジェクトマネージャーの入った会議、あるいはアドバイザリーボードからの意見を聞くというようなことをかなり頻繁にやられ、年に四、五回の情報交換をされている。また、今日の中で、どこかの課題に応じてほかのメンバーが計画を変えるというような事例についてもお伺いしました。かなり連携もきちんとできたほうだと思います。

委員の皆様のコメントがとてもポジティブだったので、ちょっと意地悪なことをあえて言うのならば、例えば全体の数値シミュレーションの結果を受けて、最初のフェロコックス製造の条件が変わるといほどの大きな情報のリサイクルというのは難しいのだと思いました。これは仕方がないところです。並列で開発していきますから、シミュレーション結果が出るのも最後、それに対応して何かしろと言われても無理というのはもちろんなのですが、何かそういうことがもう少しできたかもしれない。それから、もう一つ強く思ったのが、これはもう商用化間近ではないかといったところです。よくこの手のプロジェクトの最終の評価に参加させていただくと、まだまだこれから課題は山積みだとか、本当に商用化をする気があるのかといった感じの報告を聞くことも多いのですが、今日の話はもう三、四年あれば工場を建てますというレベルまで来ていると感じました。そういう意味でもうまくいったほうだと思います。さらにもう一つ、この自己評価書類の中で実施項目の 2 つにバツをつけられたというのが、今回とても印象深いことでした。私自身のプロジェクトでもそうですが、「これをやります。この目標を達成します」といって、やはり丸をつけたくなるものですが、やればできることをやっても仕方がないです。本当に作業が残っているだけであれば、各社自分たちのコストでやるでしょうし、やはり何かチャレンジングな課題があるからこそ NEDO が支援する意味があると思いますので、今回やられてうまくいかなかったことも発見されて、ここに最後の課題が残っているというのをはっきり示されたのはむしろよかったことだと私は評価しています。以上、思ったことを述べさせていただきました。これから先に何かお役に立てればと思います。皆様、今日はどうもありがとうございました。

【對馬専門調査員】 ありがとうございます。それでは、推進部長から一言よろしく願いいたします。

【萬木部長】 推進部署であります、省エネルギー部の萬木より、一言ご挨拶をさせていただければと思います。河瀬分科会長、埜上分科会長代理をはじめ、委員の皆様におかれましては長時間にわたるご審議、活発なご議論、また今後に向けての期待を込めたコメントをいただきましたことは私どもの大変励みにもなります。本当にありがとうございました。また、本日は大変貴重なご意見、ご示唆をいただいたものと認識しております。本事業は 2017 年度から 6 年間にわたって実施されましたけれども、総額約 200 億円、NEDO の 2 分の 1 の助成があったとはいえ、事業者の皆様におかれましては 100 億円近い費用を負担された事業でございます。各事業者の皆様におかれましては、この費用を社としてどのように回収していくのかということで、今後も引き続きの研究開発に注力されていくものと理解しております。アウトカム達成にあたっては 2 つの大きな課題がございましたけれども、2030 年の温室効果ガス 46%を削減、それから 2050 年にカーボンニュートラルを目指すという我が国の目標を鑑みますと、この技術の成果を継続的に検証し、成果の最大化を図っていくとともに、「早く社会実装をしていく必要がある」という委員の先生方からのご発言もありましたけれども、トランジション技術だからこそ早期に実装をしていく必要があつて、そのためにもまずは 300t/day で 5 基を設置することが当面の目標になっているかと思います。しかしながら、この社会実装するにあたって 120%のものを提供するという今日の日本ブランドの信頼性を確立してきたやり方では、スピード感を求める昨今、時す

に遅しにもなりかねないという危機感も一方でございます。公開セッションにおいて PMgr の武田の説明にもございましたけれども、今後の普及展開先としてインドや中国、特にインドにおいては、「2040年までには石炭が重要なエネルギー源になり続ける」ということを石炭省の大臣が発言しております。インドの低品炭の品質が今回のフェロコークスに適切なものかは今の段階では分かりかねますけれども、日本での技術開発、それと海外の普及展開への活動を並行して行っていく必要もあるのではないかと感じております。「言うは易し」と感じられている方もいらっしゃると思いますが、本日の委員の先生方からのご意見も踏まえ、私ども NEDO といたしましては、引き続き事業者の皆様の研究開発をフォローし、事業者の方々共に、そして必要に応じて支援を行いつつ、社会実装につなげていければと思っております。改めまして、委員の先生方、また実施者の皆様におかれましては、本日は長時間にわたり、お疲れさまでした。本当にありがとうございました。

【河瀬分科会長】 ありがとうございました。それでは、議題8を終了といたします。

9. 今後の予定

10. 閉会

配布資料

資料 1	研究評価委員会分科会の設置について
資料 2	研究評価委員会分科会の公開について
資料 3	研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
資料 4-1	NEDO における技術評価について
資料 4-2	評価項目・評価基準
資料 4-3	評点法の実施について
資料 4-4	評価コメント及び評点票
資料 4-5	評価報告書の構成について
資料 5	プロジェクトの概要説明資料（公開）
資料 6	プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
資料 7	事業原簿（公開）
資料 8	評価スケジュール
番号なし	質問票（公開 及び 非公開）

以上

以下、分科会前に実施した書面による公開情報に関する質疑応答について記載する。

「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」（終了時評価）分科会

ご質問への回答（公開分）

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5, P.2	プロジェクト全体として①と②のシナジー効果が見込める構成なのか。	埜上 分科会長 代理	P.2「プロジェクトの概要」は、NEDO が環境調和型プロセス技術の開発として①と②の二つのテーマを実施したということであり、シナジー効果が見込めるとした訳ではございません。フェロコークスと水素吹込みの組み合わせについては、ご質問の通りに多くの可能性は考えられますが、原理的には相反するものになるため、更なる検討をすることは現状考えておりません。
資料 5, P.3	アウトプット目標においてフェロコークス比を 33% と置く根拠は何か。	埜上 分科会長 代理	P98 に示しますように、前 PJ（2009～2012）において、フェロコークス原単位 43kg/t の条件で、約 3% の省エネ効果が検証されました。本 PJ ではこの効果がフェロコークス多量装入時にも継続すると仮定して、フェロコークス由来のコークス比が全コークスの 1/3 になるまで外挿できるとしたら、省エネ効果 10% が達成できると期待したことが、33% の根拠となります。
資料 5, P.3	出口戦略において 2030 年代中頃までの実高炉適用を 5 基と設定しているが、プロジェクト策定時と比較して CN に向けた諸施策の推進強化および各社設備集約が進んでいる先の展望として変更は無いのか。	埜上 分科会長 代理	P.18 アウトカム達成までの道筋に記載しておりますように、まずは中規模設備において社会実装に向けて課題①と課題②をクリアにすることが大前提となっております。また、プロジェクト策定時は、CN 関連の施策は御座いみせんでしたが、本フェロコークス PJ はあくまで CN 技術（Super-COURSE50 やシャフト炉による水素還元製鉄）が完成するまでのトランジション技術（通常高炉が上記製鉄プロセスへの置き換わりがするまでの期間）という位置付けでございます。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5, P.41	原料の絞り込みについて、原料選択の理論・方法に関して将来的な原料動向を踏まえた知見の一般化は出来ているか？	埜上 分科会長 代理	フェロコークスは、非粘結炭と原料炭の中でも熔融軟化性の低い石炭、2 銘柄の組合せとなっています。熔融軟化性の低いものは従来の測定方法では、違いが分からないため（それくらい熔融性が低いものでなければ乾留時に融着します）、JFE 独自の測定方法により微弱な熔融性に明確な違いを与えることが可能となりました。その手法を原料選択に反映させています。
資料 5, P.42	実高炉への長期装入試験が当所計画通りの期間を達成できていないが、フェロコークス装入による低温化および還元材比低下は高炉プロセスの駆動力低下を意味し、操業変動への耐性の低下・操業の難しさにつながると予想されるが、長期安定操業への見通しは立っているか？	埜上 分科会長 代理	低還元材比操業は、フェロコークス装入有無にかかわらず操業変動の耐性、難しさは同等、すなわち、溶銑温度の低下や炉頂での水分凝縮、Zn 付着などの問題は出現するものと思われます。しかし、ご指摘のように、フェロコークス長期試験に基づきフェロコークスに特有の現象を把握すること（例えば粉化に伴う通気悪化の程度など）はできていませんので、今後、長期試験により課題を把握しつつ、その解決に努めたいと考えています。
資料 5, P.79	落下衝撃の緩和のため搬送経路内にストーンボックスの設置がなされたが、衝撃緩和の一方、経路内の移動速度は低下するため搬送量が大きくなると搬送効率の制約となり得る。中規模から実機へのスケールアップを見据えた検討はなされているか。	埜上 分科会長 代理	P.18 アウトカム達成までの道筋に記載しておりますように、中規模設備において社会実装に向けて課題①と課題②をクリアにすることが大前提と考えております。スケールアップという点では、設備高さを抑え、ベルト引き回しを考慮した設備配置を検討することにより、運搬によるトラブルを抑えられる可能性はございますが、実機規模の設備仕様検討は今後の課題となっております。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5、 P.23	省エネルギー効果 10%について、フェロコークス製造で消費するエネルギー込みでしょうか。 フェロコークス 1500t/d 製造時のフェロコークス製造に必要なエネルギーと CO ₂ 排出量はどれくらいでしょうか。	大場 委員	省エネ 10%の定義は製鉄工程に Input されるエネルギー（殆どは石炭です）の削減量で定義しています。削減後の Input エネルギーで製鉄工程で使用する全てのエネルギー（フェロコークス製造も含む）を賄っているため、省エネ 10%の中に含まれることになります。 1500t/d 時の必要エネルギー等の検討はできていません。300t/d 設備を単純に5基並べるのではなく、設備によってはスケールアップできる可能性があります。このような設備仕様を検討することが今後の課題となっています。
資料 5、 P.72	30t/d のパイロットプラントから300t/d の中規模設備に拡大したことで、設備的・技術的にどのような条件が変化してトラブルに繋がっているのでしょうか（30t/d では30日間連続操業できたのに300t/d では100t/d に留まっています）。1500t/d 実現に向けた技術的課題と実現性はいかがでしょうか。	大場 委員	京浜 30t/d プラントは、50mx80m の敷地に建設しました。福山 300t/d プラントの 1/2 の敷地に 1/10 スケールのプラントです。原料の搬送は、ベルトコンベアでの運搬が大半で垂直コンベアを使用していたのは、成型物を乾留炉炉頂に送り込む部分のみで高さも 30m 弱でした。福山 300t/d プラントは、敷地の狭さからベルトを引き回すことが出来ず、箱ものを上へと積み上げる構造となっております。これによりバケットコンベアやスクリーン等での搬送を差ざるを得ない状況となり、トラブルが頻発しました。さらに、京浜では屋根付き原料置場が隣接しておりましたので、生産量が少ない 30t/d では十分に備蓄ができ、降雨による（原料水分高による棚吊りや閉塞）ダウンタイムがありませんでした。更なるスケールアップという点では、設備高さを抑え、ベルト引き回しを考慮した設備配置を検討することにより、運搬によるトラブルを抑えられ、また、配合層のような貯留槽を設けることで降雨影響も抑制出来ると考えられます。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5、 P.100	実機でのデータは 3%削減まで (P.85) で、3%～11%の範囲は高炉シミュレーターの解析ですが、実績に対して外挿範囲が大きいと感じます。中間あたりの条件（例えば 6%削減）で実機で検証テストができればと思いますがいかがでしょうか。	大場 委員	P.85の省エネポテンシャル10%の検証の実機データは、京浜 30t/d プラントでの実機データとなります。実績に対して外挿範囲が大きいとのことですが、仰る通りです。30t/d の生産量では直送は出来ないため、作りだめを行い高炉試験に臨みました。京浜の高炉はフェロコークスを投入できる設備がなかったため、製造したフェロコークスを千葉までダンプ輸送し、屋根付きの倉庫（降雨による再酸化防止のため）に 2000t 貯留しました。その際、貯留可能な量（自火報・保有空地など）での試験ということで 3%程度に留まった次第です。6%程度での試験に関して、300t/d の福山プラントでさえ、5000t 以上の備蓄が必要となり、製品置場も含め今後の課題となっています。
資料 5 P.24	事業化に際して、エネルギーを補填するため付帯インフラ（LNG 供給等）の整備が前提とあります。これは CO ₂ 削減効果を打ち消すことになるのでしょうか。また、このエネルギー補填によって発生する CO ₂ 量は、アウトカム目標の「CO ₂ 削減効果 82 万 t-CO ₂ /年」の算出に含まれるのでしょうか。	角田 委員	公開資料 5、P85 の右下図に示しますように、モデル製鉄所は製鉄工程と下工程から構成されるとしております。製鉄工程の省エネの考え方は、製鉄工程に Input されるエネルギー（主として石炭）がどのくらい減ったかで評価しますが、製鉄所の省エネは、Input エネルギーと Make-up エネルギーの和が base 条件に対してどの程度減ったかで評価しています。ここで、Make-up エネルギーとは、製鉄工程の省エネによる下工程への供給エネルギーの減少分を外部からのエネルギー供給によって補填するとしています。付帯インフラ（LNG 供給等）はこの Make-up エネルギーの供給インフラという意味になります。従って、製鉄所の省エネは製鉄工程単独の省エネ効果と比べて当然目減りすることになります。エネルギー収支計算ではこの Make-up エネルギーに何を使うか（LNG なのか、電力なのかなど）は無関係ですが、CO ₂ 削減量の計算には大きく影響します。エネルギーごとに CO ₂ 排出係数が設定されており、LNG は 0.0502kg-CO ₂ /MJ、共同火力による電力は 0.0839kg-CO ₂ /MJ となっています。本 PJ では、共同火力による電

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
			力で make-up することを前提にしたため、 Make-up に伴う CO ₂ 削減効果の目減り量がより大となる厳しい条件ということになります。よって、ご質問の、「エネルギー補填によって発生する CO ₂ 量は、アウトカム目標の「CO ₂ 削減効果 82 万 t-CO ₂ /年」の算出に含まれる」ことになります。
資料 5 P.42	省エネ目標を達成するためには様々な対策技術（比還元性アップ、装入物分布適正化、炉頂ガス循環等）を導入することが前提となっています。これらの対策を実際に導入することは可能と考えてよいでしょうか。実機導入に当たっては検証する時間が必要と推察しますが、アウトカム達成時期までに導入できる見通しがあるのか、お聞かせください。	角田 委員	被還元性アップ、装入物分布適正化については、現状の操業技術の延長線上にあり、実現できる可能性は十分あると判断されますが、炉頂ガス循環技術は COURSE50 の要素技術であるものの、まだ完成した技術ではございませんので、現実的な操業にすぐに適用できるかという点では難しい条件と言わざるを得ません。
資料 5 P.59 指摘事項 6、 P.85	中間評価結果への対応の中で、効果検証となるシミュレーションの予測精度を上げる工夫について、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計画について言及しています。しかしながら、効果検証（P.85）の評価前提には組み込まれていません。組み込まれなかった理由をお聞かせください。	角田 委員	フェロコークス装入原単位 30 kg/t を計画通り実施。1 回目の高炉装入試験では期待値通りの RAR の低減を達成しました。2 回目の試験では、通気性悪化により連続操業は約 2 週間に留まりましたが、操業上の課題が明らかとなりました。通気性改善のための高精度分布技術の開発が必要と考えております。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5 P.92	新規固形バインダーおよび液体バインダーの商業化に向けた計画はいつから実施する予定でしょうか。いずれのバインダーも強度が向上しており、アウトカム目標に合わせて実施することが望ましいと思いますが、いかがでしょうか。	角田 委員	固形バインダーはアスファルトピッチ（石油精製副産物（ASP））代替、液体バインダーはソフトオイルピッチ（コークス炉副産物（SOP））代替として開発中です。両バインダーの実用化は、フェロコークスの実用化時期、その時期における既存バインダーの逼迫状況と価格を考慮しながら検討すべきと考えています。
公開資料 5 28ページ 費用対効果	本ページの情報として、プロジェクト費用の総額とアウトカムについて記載がありますが、事業化された場合（フェロコークス製造設備や高炉の改造等の事業化した場合の追加・改修設備）の投資額は、おおよそどの程度の金額が想定されますか？事業化の際の投資判断では、今回提示されたアウトカムと事業化の投資額の費用対効果が一つの判断要素と考えられます。	佐々木 委員	P.18 アウトカム達成までの道筋に記載しておりますように、中規模設備において社会実装に向けて、課題①と課題②をクリアにすることが大前提と考えております。 課題①では能率や稼働率向上のための設備改造等々が必要です。本中規模設備において、能率や稼働率が上がらなかった最大の要因の一つが湿った原料粉（石炭、鉬石）の物流能力（粉の切り出し、輸送）にありましたので、これに対応した設備改造一すなわち、設備高さを抑え、ベルト引き回しを考慮した設備配置等にする一が必要と考えています。事業期間終了後、自社開発として課題解決に取り組んでおります。 課題②はさらに、中規模設備の大型化が必要となりますが、機器を複数並べるだけなのか、各機器のスケールアップも検討するのか、によって開発の難易度や開発期間も異なります。また、高炉での効果を十分に享受するため、付帯機器増強やインフラ整備を含めた設備仕様検討も必要です。これらを勘案した設備投資や効果の試算、ならびに経済合理性の評価は今後の重要な検討課題ではありますが、現状はその検討を始めた段階でございます。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
	費用対効果に関連して、事業化した場合の設備はどれくらいの期間、利用することを想定できるのでしょうか。当然、故障や部品寿命等で部分的な交換・改修は行われると考えますが、事業化の投資判断では、検討が行われる要素と考えます。	佐々木 委員	P.18 アウトカム達成までの道筋に記載しておりますように、まずは中規模設備において社会実装に向けて課題①と課題②をクリアにすることが大前提となっております。また、プロジェクト策定時は、CN 関連の施策はございませんでしたが、本フェロコークス PJ はあくまで CN 技術（Super-COURSE50 や CR 高炉、シャフト炉による水素還元製鉄）が完成するまでのトランジション技術（通常高炉が上記製鉄プロセスへの置き換わりがするまでの期間）という位置付けでございます。
公開資料 5 88、100 ページ フェロコークス導入 効果の検証	国プロ目標を達成できる条件として、F の条件を満たす操業条件であれば目標を達成できる可能性が示されているが、F の操業条件は事業化した際に、現実的な条件と理解して良いのでしょうか。シミュレーションの条件設定上では可能であるが、現実の操業においては、非常に難しい条件である可能性もあると考えられるため。	佐々木 委員	F の条件は、鉄鉱石の被還元性の改善（RI55→75）、ガス側の還元ポテンシャルアップのための装入物分布の改善および炉頂ガス循環技術を導入したうえでのシミュレーションです。鉄鉱石の被還元性の改善、装入物分布の改善については現状の操業技術の延長線上にあり、実現できる可能性は十分あると判断されますが、炉頂ガス循環技術は COURSE50 の要素技術であるものの、まだ完成した技術ではございませんので、現実的な操業にすぐに適用できるかという点では難しい条件と言わざるを得ません。
公開資料 5 60 ページ 情勢変化への 対応	本プロジェクトの成果のさらなる先を見据えると、海外での導入・普及による貢献が期待されているが、2050 年のカーボンニュートラルが議論されている現状では、できるだけ早い時期での海外展開が求められます。また特にインドでは、低品位炭が産出されるため、フェロコークスの活用ポテンシャルが見込まれる	佐々木 委員	フェロコークスは、非粘結炭と原料炭の中でも熔融軟化性の低い石炭、2 銘柄の組合せとなっております。その中でも原料炭は、熔融軟化性が低いものを使用し、乾留時に成型物同士が融着しないように製造しております。熔融軟化性の低いものは従来の測定方法では、違いが分からないのですが、JFE 独自の測定方法により微弱な熔融性に明確な違いを与えることが可能となり、その手法を原料選択に反映させています。また、石炭粉砕機も硬い石炭系には 2 台、柔らかい石炭系には 1 台配置しており、海外展開時にも柔軟な対応が可能となっております。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
	が、海外の石炭品質状況に応じた対応は可能な設備となっていますか。海外での展開を速やかに行うための戦略・課題等の検討は行われていますか。		
公開資料 5 74 ページ 製造技術実証	今回のプロジェクトでは、中規設備の開発までが行われたが、事業化においては、より大きな面積が必要となりますか？事業化として導入する製鉄所（5 つ程度）の個別条件により、利用可面積は異なっていると考えられますが、事業化の制約とならないでしょうか？もし、制約となるのであれば、対象製鉄所が絞られてしまうか、面積の制約を少しでも回避する技術開発も必要ではないでしょうか。	佐々木 委員	京浜 30t/d プラントは、50mx80m の敷地に建設しました。福山 300t/d プラントの 1/2 の敷地に 1/10 スケールのプラントです。原料の搬送は、ベルトコンベアでの運搬が大半で垂直コンベアを使用していたのは、成型物を乾留炉炉頂に送り込む部分のみで高さも 30m 弱でした。福山 300t/d プラントは、敷地の狭さからベルトを引き回すことが出来ず、箱ものを上へと積み上げる構造となっております。これによりバケットコンベアやスクリーン等での搬送を差ざるを得ない状況となり、トラブルが頻発しました。更なるスケールアップという点では、設備高さを抑え、ベルト引き回しを考慮した設備配置を検討することにより、運搬によるトラブルを抑えられると考えられます。敷地面積が事業化の制約となる可能性も考えられ、実機規模の設備仕様検討は今後の課題となっております。
公開資料 5 18、64、65 ページ アウトカム達成	また、本プロジェクト終了後の取り組みで得られた技術や知見は、本プロジェクト全体の参加者で共有されるのでしょうか。	佐々木 委員	具体的な操業に関する細かな部分、シミュレーションの中身など各社のノウハウ的な部分は開示されておりましたが、成果報告の場である技術検討委員会や研究会において情報を共有しております。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
公開資料 5 3ページ 出口 イメージ	事業化において、設計、製造、据え付け、運転支援などの分担について、本プロジェクト参加者で既に合意されているのでしょうか。	佐々木 委員	出口イメージは、フェロコックスを開始する以前に参画予定企業で合意した内容でございますが、事業化における具体的な役割分担につきましては、本 PJ のスコープ外でございます。事業化するかどうかは、個社での評価（省エネ、CO ₂ 削減や経済性等）や個社の事情（敷地、インフラ等）を勘案して判断されることとなります。
資料 5・ 8ページ	事業背景で 2019 年度（開始直後）の統計データを載せているが、最新情報はどこまで把握しているのか？プロジェクト終了時の現在の状況は？	武部 委員	本 PJ の開始は 2017 年度でございます。当初、開始直後の統計データとしては、鉄連の報告書「、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、2017 年 2 月 15 日」に掲載の 2015 年度データを使用しておりました。 http://www.jisf.or.jp/business/ondanka/kouken/keikaku/documents/4-1tekkowg20170215.pdf 今回使用してるデータは、鉄連の報告書「地球温暖化対策への取組状況についてカーボンニュートラル行動計画（低炭素社会実行計画）報告、2022 年 3 月」に掲載の 2019 年度データであり、現状報告されている最新データです。 http://www.jisf.or.jp/business/ondanka/kouken/keikaku/documents/4-1tekkowg20180207.pdf 本エクセル資料の「日本の転炉鋼エネ効率比較」タブには、上記 2015 年度、2019 年度に加えて 2010 年度のデータも併せて示しますが、2010 年度から 2019 年度に至る過程でほとんど順位に変動はございません。従って、2023 年度現在も、順位に大きな変動はないものと推察いたします。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5・ 19 ページ	公開／非公開とする製造・使用技術及び操業（運転）技術の切り分けについてより具体的にご説明頂くことは可能か？	武部 委員	製造面では、一般的に周知の技術に関してはただ単にフェロコークスに応用したということで公開しておりますが、ノウハウ的な技術、例えば混練・成型に関する操業条件などは非公開としております。
資料 5・ 23 ページ	原料単確保の見込みは十分か？十分に見込まれているのか。あるいは諸事情により大きく変化する可能性があるのか。	武部 委員	フェロコークスは、コークス炉と異なり非粘結炭と原料炭の中でも熔融軟化性の低い石炭、2 銘柄の組合せとなっています。熔融軟化性の低いものは従来の測定方法では、違いが分からないため（それくらい熔融性が低いものでなければ乾留時に融着します）、JFE 独自の測定方法により微弱な熔融性に明確な違いを与えることが可能となりました。その手法を原料選択に反映させています。コークス炉に使用する石炭と品位がことなるため、原料確保が大きく変化する可能性は低いと考えます。
資料 5・ 30 ページ	2009～2012, 2017～2022 年度の NEDO プロジェクトの研究成果が今回のフェロコークス技術にどのように活かされているのか？	武部 委員	29 ページ、「アウトプット目標の設定及び根拠（前身事業等）」に記載しておりますように、先導的研究ではフェロコークスプロセスに関する要素技術の開発を実施、革新的製鉄プロセスでは各プロセスの研究を実施し、今回の中規模設備に反映させております。
資料 5・ 40 ページ	現時点では 100t/d に留まるということだが、30 ページ記載の 2017～2022 年度の 300t/d の実証試験での課題が活かされたうえでの今回の結果となったのか。前プロジェクトとの整合性及び今回の進捗性は？	武部 委員	今回の事業期間、6 年間となりますが建設に約 3 年半かかっており、実操業は 2 年間となります。過去のナショプロ成果は、個々の技術に反映させて参りましたが、京浜パイロットの 10 倍という設備において想定外の課題も新たに出て参りました。特に原料の搬送という点が最も苦労したところです。京浜 30t/d プラントは、50mx80m の敷地に建設、福山 300t/d プラントの 1/2 の敷地に 1/10 スケールのプラントです。原料の搬送は、ベルトコンベアでの運搬が大半で垂直コンベアを使用していたのは、成型物を乾留炉炉頂に送り込む部分のみで高さも 30m 弱でした。福山 300t/d プラントは、敷地の狭さからベルトを引き回すことが出来ず、箱ものを

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
			上へと積み上げる構造となっております。これによりバケットコンベアやスクリーン等での搬送を差ざるを得ない状況となり、トラブルが頻発しました。また、ボリュームという点では降雨の影響が大きな課題となり、近年の集中豪雨等に対応できなかったという点は今後の課題です。
資料 5・ 42 ページ	フェロコークスの作り溜めとあるが、現在の製造方法で作り溜めするだけでよいのか？新しい技術開発が必要なのか。	武部 委員	ここでは、装入原単位のことを対象としております。原単位 30 kg/t であれば現有設備能力が活かされれば、高炉への直送が可能です。が、設備トラブル、降雨等により連続操業が出来なかったため、搬送製品が途切れないように作り溜めにより操業を行ったということです。ただし、作り溜めだけでは製品の仮置き場ある程度必要となり、装入原単位にも限界が出て参りますので、現在は新たな技術開発というよりは、能率を上げるための設備改造を行っております。
資料 5・ 43 ページ	新しいバインダーが開発されたとのことだが、この成果は今後のアウトプット目標達成に対して、どのように位置付けているのか？	武部 委員	NEDO 事業におけるアウトプット目標は達成したと考えています。一方で今後のこと（例えば商業化に向けた計画など）は、フェロコークスの実用化時期、その時期における既存バインダーの逼迫状況と価格を考慮しながら検討すべきと考えています。

参考資料 2 評価の実施方法

NEDO における技術評価について

1. NEDO における技術評価の位置付けについて

NEDO の研究開発の評価は、事業の実施時期毎に事前評価、中間評価、終了時評価及び追跡評価が行われ、研究開発のマネジメントにおける PDCA サイクル（図 1）の一角と位置づけられています。さらに情勢変化の激しい今日においては、OODA ループを構築し、評価結果を計画や資源配分へ適時反映させることが必要です。

評価結果は、被評価事業等の資源配分、事業計画等に適切に反映させることにより、事業の加速化、縮小、中止、見直し等を的確に実施し、技術開発内容やマネジメント等の改善、見直しを的確に行っていきます。

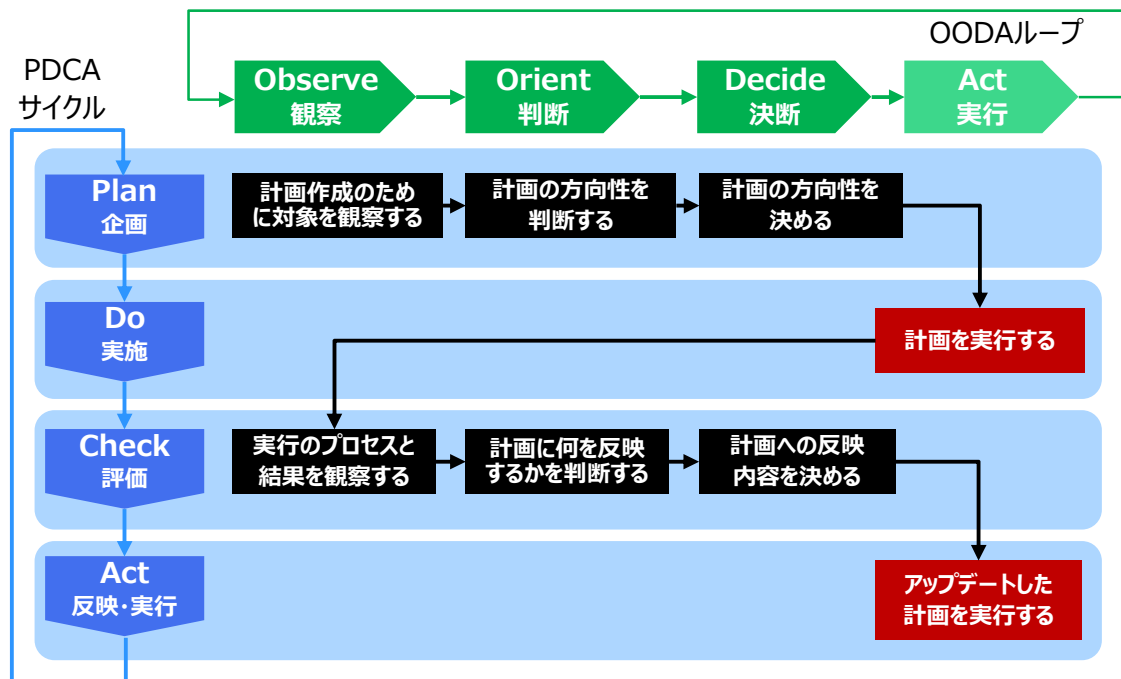


図 1 研究開発マネジメント PDCA サイクルと OODA ループ組み合わせ例

2. 技術評価の目的

NEDO では、次の 3 つの目的のために技術評価を実施しています。

- (1) 業務の高度化等の自己改革を促進する。
- (2) 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む。
- (3) 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する。

3. 技術評価の共通原則

技術評価の実施に当たっては、次の5つの共通原則に従って行います。

- (1) 評価の透明性を確保するため、評価結果のみならず評価方法及び評価結果の反映状況を可能な限り被評価者及び社会に公表する。なお、評価結果については可能な限り計量的な指標で示すものとする。
- (2) 評価の明示性を確保するため、可能な限り被評価者と評価者の討議を奨励する。
- (3) 評価の実効性を確保するため、資源配分及び自己改革に反映しやすい評価方法を採用する。
- (4) 評価の中立性を確保するため、可能な限り外部評価又は第三者評価のいずれかによって行う。
- (5) 評価の効率性を確保するため、研究開発等の必要な書類の整備及び不必要な評価作業の重複の排除等に務める。

4. プロジェクト評価の実施体制

プロジェクト評価については、図2に示す実施体制で評価を実施しています。

- (1) 研究開発プロジェクトの技術評価を統括する研究評価委員会をNEDO内に設置。
- (2) 評価対象プロジェクト毎に当該技術の外部の専門家、有識者等を委員とした分科会を研究評価委員会の下に設置。
- (3) 同分科会にて評価対象プロジェクトの技術評価を行い、評価報告書（案）を取りまとめた上、研究評価委員会に諮る。
- (4) 研究評価委員会の審議を経て評価報告書が確定され、理事長に報告。

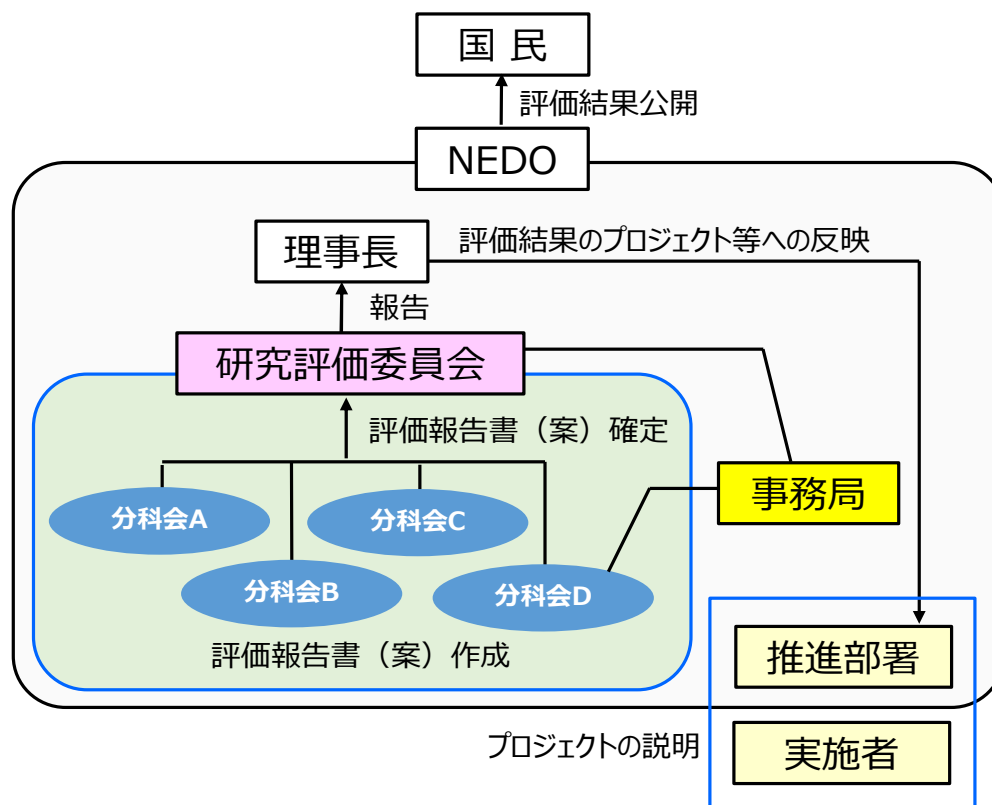


図2 評価の実施体制

5. 分科会委員

分科会は、研究開発成果の技術的、経済的、社会的意義について評価できる NEDO 外部の専門家、有識者で構成する。

6. 評価手順

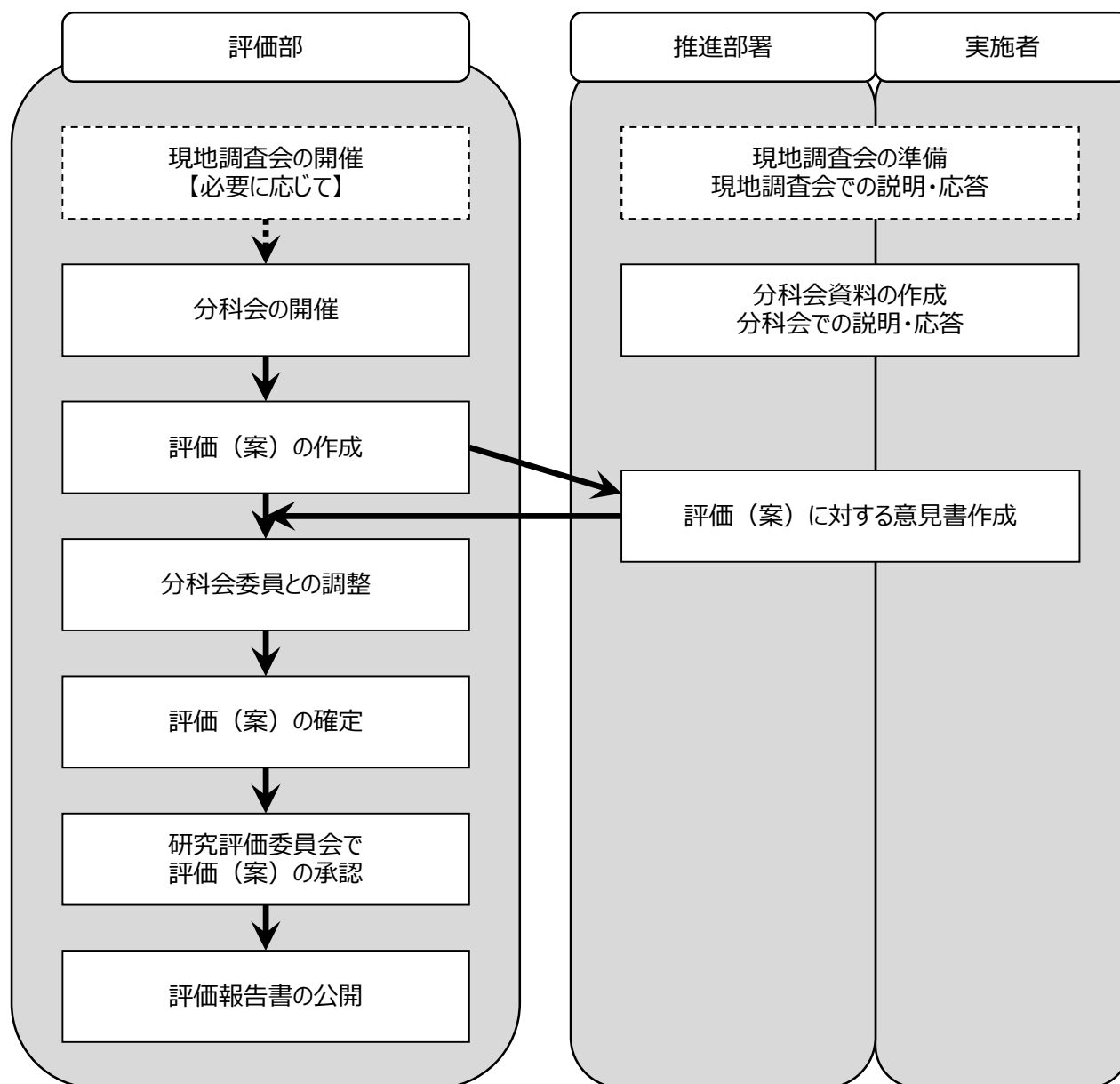


図3 評価作業フロー

「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」
(終了時評価) 分科会に係る
評価項目・評価基準

1. 意義・アウトカム (社会実装) 達成までの道筋

(1) アウトカム達成までの道筋

- ・「アウトカム達成までの道筋」*の見直しの工程において、外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を考慮したか。

※ 「アウトカム達成までの道筋」を示す上で考慮すべき事項

- ・将来像 (ビジョン・目標) の実現に向けて、安全性基準の作成、規制緩和、実証、標準化、規制の認証・承認、国際連携、広報など、必要な取組が網羅されていること。
- ・官民の役割分担を含め、誰が何をどのように実施するのか、時間軸も含めて明確であること。
- ・本事業終了後の自立化を見据えていること。
- ・幅広いステークホルダーに情報発信するための具体的な取組が行われていること。

(2) 知的財産・標準化戦略

- ・オープン・クローズ戦略は、実用化・事業化を見据えた上で、研究データも含めた上で、クローズ領域とオープン領域が適切に設定されており、外部環境の変化等を踏まえてもなお、妥当であったか。
- ・本事業の参加者間での知的財産の取扱い (知的財産の帰属及び実施許諾、体制変更への対応、事業終了後の権利・義務等) や市場展開が見込まれる国での権利化の考え方は、オープン・クローズ戦略及び標準化戦略に整合し、研究開発成果の事業化に資する適切なものであったか。
- ・標準化戦略は、事業化段階や外部環境の変化に応じて、最適な手法・視点 (デジュール、フォーラム、デファクト) で取り組んでいたか。

2. 目標及び達成状況

(1) アウトカム目標及び達成見込み

- ・外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を踏まえてアウトカム指標・目標値を適切に*見直していたか。
- ・アウトカム目標の達成の見込みはあったか (見込めない場合は原因と今後の見通しは妥当であったか)。

※ アウトカム目標を設定する上で考慮すべき事項

- ・本事業が目指す将来像（ビジョン・目標）と関係のあるアウトカム指標・目標値（市場規模・シェア、エネルギー・CO₂削減量など）及びその達成時期が適切に設定されていること。
- ・アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
- ・アウトカム目標の設定根拠は明確かつ妥当であること。
- ・達成状況の計測が可能な指標が設定されていること。

(2) アウトプット目標及び達成状況

- ・外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を踏まえてアウトプット指標・目標値を適切に[※]見直していたか。
- ・最終目標は達成しているか。未達成の場合の根本原因分析や今後の見通しの説明は適切だったか。
- ・副次的成果や波及効果等の成果で評価できるものがあつたか。
- ・オープン・クローズ戦略や実用化・事業化の計画を踏まえて、必要な論文発表、特許出願等が行われていたか。

※ アウトプット目標を設定する上で考慮すべき事項

- ・アウトカム達成のために必要なアウトプット指標・目標値及びその達成時期が設定されていること。
- ・技術的優位性、経済的優位性を確保できるアウトプット指標・目標値が設定されていること。
- ・アウトプット指標・目標値の設定根拠が明確かつ妥当であること。
- ・達成状況の計測が可能な指標（技術スペックとTRL[※]の併用）により設定されていること。

※ TRL：技術成熟度レベル（Technology Readiness Levels）の略。

3. マネジメント

(1) 実施体制

- ・実施者は技術力及び実用化・事業化能力を発揮したか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能していたか。
- ・実施者間での連携、成果のユーザーによる関与など、実用化・事業化を目指した体制となっていたか。
- ・個別事業の採択プロセス（公募の周知方法、交付条件・対象者、採択審査の体制等）は適切であったか。

- ・本事業として、研究開発データの利活用・提供方針等は、オープン・クローズ戦略等に沿った適切なものであったか。また、研究者による適切な情報開示やその所属機関における管理体制整備といった研究の健全性・公平性（研究インテグリティ）の確保に係る取組をしたか。

(2) 研究開発計画

- ・アウトプット目標達成に必要な要素技術の開発は網羅され、要素技術間で連携が取れており、スケジュールは適切に計画されていたか。
- ・研究開発の進捗を管理する手法は適切であったか（WBS^{※1}等）。進捗状況を常に関係者が把握し、遅れが生じた場合、適切に対応していたか。

※1 WBS：作業分解構造(Work Breakdown Structure)の略。

- ・研究開発の継続又は中止を判断するための要件・指標、ステージゲート方式による個別事業の絞り込みの考え方・通過数などの競争を促す仕組みの運用は妥当だったか。
- ・研究開発の参加者のモチベーションを高める仕組み^{※2}の運用は妥当だったか。

※2 参加者のモチベーションを高める仕組みの例

- ・懸賞金制度：多数の参加者を募り、様々なアイデアやアプローチ等をコンテスト形式により競わせ、開発期間を超えた段階等で、目標水準以上の成果をあげた者のうち上位数者に賞金を支払う仕組み。アイデア等に創意工夫が求められ、多数のプレイヤーの参画が期待できるものであって、客観的・公平に評価可能なテーマが馴染むとされる。
- ・インセンティブ制度：委託又は補助の仕組みを用いて、必要経費の一定額を支払いつつ、ステージゲート審査や終了時審査の際、当初設定した目標の達成度等に応じてインセンティブを支払う制度。

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部

部長 三代川 洋一郎

担当 對馬 敬生

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。
(https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミューザ川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5160 FAX 044-520-5162