

「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」

中間評価報告書

2021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

2021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 石塚 博昭 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 小林 直人

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」

中間評価報告書

2021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
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	6
研究評価委員会コメント	7
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	1-5
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	
3. 評点結果	1-17
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
参考資料3 評価結果の反映について	参考資料 3-1

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」の中間評価報告書であり、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」（中間評価）分科会において評価報告書案を策定し、第64回研究評価委員会（2021年3月1日）に諮り、確定されたものである。

2021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（2020年11月17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

● 第64回研究評価委員会（2021年3月1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」

中間評価分科会委員名簿

(2020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	すがわら かつやす 菅原 勝康	秋田大学 大学院理工学研究科 物質科学専攻 教授
委員	おくむら けいじ 奥村 圭二	名古屋工業大学 大学院工学研究科 物理工学専攻 准教授
	おざき じゅんいち 尾崎 純一	群馬大学 大学院 理工学府 元素科学国際教育研究センター 教授／センター長
	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
	しのたけ あきひこ 篠竹 昭彦	帝京大学 理工学部 機械・精密システム工学科 教授／学科長
	なりた のぶひこ 成田 暢彦	愛知学院大学 総合政策学部 非常勤講師

敬称略、五十音順

評価概要

1. 総合評価

鉄鋼業においてCO₂排出量低減、省エネ化促進の要求を満たす技術開発が不可欠なので、本事業は重要である。また、適宜、実施計画を見直すなど、研究開発の推進が適正に行われている。主要鉄鋼会社が、フェロコックス製造、高炉での使用、新バインダーの開発、導入効果の評価を適切に分担し成果を上げており、実用化・事業化が期待できる。省エネ、CO₂削減に与える効果が大きいだけでなく、低品位石炭、低品位鉱石の利用が可能であり、さらに経済効果が見込まれることから、日本の鉄鋼業の優位性を堅持できると思われる。

一方、要素技術によっては課題が残っている。高炉内使用技術では、省エネ目標を達成できる使用量より少ない使用量での試験計画であり、使用量が大きい場合の評価精度を上げる工夫が必要である。また、製鉄工程の下工程のエネルギー消費を考慮した技術開発の検討も望まれる。

CO₂排出削減量の要求が急激かつ大きくなっており、事業化の加速化を考えてもよいかと思われる。海外展開も視野に入れた事業化を検討すべきであり、それに向けた特許、ノウハウの蓄積が必要である。また、本事業の意義を広く一般に説明し、他の国プロと併せてどのように脱炭素化シナリオに貢献できるかを発信する事が望まれる。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

鉄鋼業において、地球温暖化対策としてのCO₂排出量低減、低品位資源有効利用、省エネ化促進の要求を満たす製鉄技術開発が不可欠である。その上、本事業は国際競争力の優位性を堅持でき、また経済性も改善されるので、本事業の目的は妥当である。さらに、世界で最も省エネの進んだ日本の製鉄所で一層の省エネを実現する技術開発を、民間企業が単独で行う事は、設備投資と開発リスクの観点から困難であり協働が望まれる上、公共性が高いことから、NEDOの関与は妥当である。

一方、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。また、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。

2. 2 研究開発マネジメントについて

フェロコックス製造、高炉での使用、新バインダーの開発といった個別テーマの達成目標は、具体的で明確である。各テーマを適切な実施者が担当しており、将来の規模拡大も見通した要素技術が網羅されている。無理のないスケジュールで計画され、オールジャパンで事業を行っている。技術検討委員会など進捗管理体制は整っており、健全な研究開発が進められている。

一方、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。また、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。さらに、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。

2. 3 研究開発成果について

フェロコックス製造技術では、実機に転用できる製造装置を建設し、所望の製造に成功し、低品位石炭、低品位鉱石の活用可能性も実証された。高炉での使用では、実際設備での装入に見通しが立った。新バインダー製造では、既存原料試験により方法論を確立した。導入効果の評価では省エネ効果が認められた。重要な技術的知見も得られた。上記から中間目標を達成していると評価でき、最終目標達成に向けて着実に遂行されている。

一方、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。また、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。さらに、成果は世界初であり、他国でも同様の技術開発が進む事から、国際協力とともに適切な知的財産保護が求められる。

2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

製造技術の開発、製造原料の拡大、高炉での使用試験、新バインダー製造法の開発、導入効果の試算という実用化・事業化に向けた戦略は妥当であり、着実に成果をあげている。製鉄は生産規模が大きく日本全体の省エネ、CO₂ 削減の効果や経済効果は大きいため、将来有望な技術である。主要鉄鋼会社の実施者となっており、実用化・事業化は実行されるものと判断できる。

一方、高炉でのフェロコッ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ックス乾留で生じるタールの利用等の課題がある。また、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。さらに、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。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。

研究評価委員会委員名簿

(2021年3月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	こばやし なおと 小林 直人	早稲田大学 参与・名誉教授
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション創発センター 研究アドバイザー
	あたか たつあき 安宅 龍明	先端素材高速開発技術研究組合 (ADMAT) 専務理事
	かわた たかお 河田 孝雄	株式会社日経 BP 日経バイオテック編集 シニアエディター
	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
	さくま いちろう 佐久間 一郎	東京大学 大学院工学系研究科 教授
	たからだ たかゆき 宝田 恭之	群馬大学 大学院理工学府 環境創生部門 特任教授
	ひらお まきひこ 平尾 雅彦	東京大学 大学院工学系研究科 化学システム工学専攻 教授
	まつい としひろ 松井 俊浩	情報セキュリティ大学院大学 情報セキュリティ研究科 教授 国立研究開発法人産業技術総合研究所 名誉リサーチャー
	やまぐち しゅう 山口 周	独立行政法人大学改革支援・学位授与機構 研究開発部 特任教授
	よしかわ のりひこ 吉川 典彦	東海国立大学機構名古屋大学 名誉教授
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

研究評価委員会コメント

第64回研究評価委員会（2021年3月1日開催）に諮り、以下のコメントを評価報告書へ附記することで確定した。

- 2050年のカーボンニュートラルの実現に向けて、CO₂排出量低減の要求が急激に大きくなっている中、プロジェクト後半に向けて、研究開発の速度上昇や目標値の見直しなどの柔軟な対応を期待したい。また事業化に関して、海外において当該技術が円滑に活用される方策を検討いただきたい。

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

1. 総合評価

鉄鋼業においてCO₂排出量低減、省エネ化促進の要求を満たす技術開発が不可欠なので、本事業は重要である。また、適宜、実施計画を見直すなど、研究開発の推進が適正に行われている。主要鉄鋼会社が、フェロコークス製造、高炉での使用、新バインダーの開発、導入効果の評価を適切に分担し成果を上げており、実用化・事業化が期待できる。省エネ、CO₂削減に与える効果が大きいだけでなく、低品位石炭、低品位鉍石の利用が可能であり、さらに経済効果が見込まれることから、日本の鉄鋼業の優位性を堅持できると思われる。

一方、要素技術によっては課題が残っている。高炉内使用技術では、省エネ目標を達成できる使用量より少ない使用量での試験計画であり、使用量が多い場合の評価精度を上げる工夫が必要である。また、製鉄工程の下工程のエネルギー消費を考慮した技術開発の検討も望まれる。

CO₂排出削減量の要求が急激かつ大きくなっており、事業化の加速化を考えてもよいかと思われる。海外展開も視野に入れた事業化を検討すべきであり、それに向けた特許、ノウハウの蓄積が必要である。また、本事業の意義を広く一般に説明し、他の国プロと併せてどのように脱炭素化シナリオに貢献できるかを発信する事が望まれる。

<肯定的意見>

- ・ 世界で最も省エネルギーの進んだ日本の製鉄所で、より一層の省エネルギーを実現するための研究開発として、妥当な事業であり、業界各社の協働が望まれる内容であることから、NEDOで推進する事業としても適切である。主要鉄鋼会社が、フェロコークス製造、高炉での使用、新規バインダーの開発、導入効果の評価のそれぞれを適切に分担し、着実に成果を上げていることから、近い将来の実用化・事業化が期待できる。フェロコークス製造技術については、実機に転用できる装置での300 t/dの製造に成功し、一般炭、低品位炭へ原料拡大も可能なことが示された。高炉でのフェロコークス使用ははまだ小規模ながら、実際に必要な100 t/dの装入に見通しをつけている。フェロコークス導入効果の評価も詳細に検討され過小に評価してもフェロコークス導入による省エネルギー効果があることを示した。製鉄は生産規模が大きいことから、いくらかのエネルギー原単位の削減でも日本全体の省エネルギー、CO₂削減に与える効果は大きく、将来有望な技術であると考えられる。
- ・ 日本の鉄鋼業は、世界の中で最も優れたエネルギー原単位を生み出す優れた製鉄技術を有しているが、地球温暖化対策としての二酸化炭素発生量の低減、低品位資源の有効利用、国際競争力を増すための省エネ化の促進が望まれていることから、これらの要求を満たす革新的な製鉄技術の開発が重要・不可欠である。とくに最近では菅総理の2050年までに温室効果ガス排出量実質ゼロにするという所信表明も為されており、二酸化炭素の発生量を低減しようとする本事業は、重要で有りがち開発を加速化すべきものと考えられる。
- ・ 本事業は製鉄業における環境に配慮した生産技術により脱炭素社会への移行のステップとしてとらえることのできる事業と言える。また、低品位石炭、低品位鉍石の利用に着眼していることは、国際的な資源争奪における自由度の拡大につながり、我が国の鉄鋼業の

安定化につながると言える。製鉄プロセス、特に高炉における環境負荷低減にフォーカスした研究開発となっており、目標達成に必要な要素研究を選定して、適材適所で実施者を選定し、無理のないスケジュールで行われており、実用化、事業化への適正な体制の下、着実に成果を上げている。新たな取り組みにも挑戦しており、有益な成果を上げていると言える。今後、スケールアップをしてより実機に近い状態での実証が期待できる。このように実用化および事業化に向けて着実にステップを踏んでおり、鉄鋼業の市場規模からインパクトの高い経済効果が見込まれるとともに、本事業はオールジャパンで推進していることから、海外との競争に対しても我が国の鉄鋼業の優位性を堅持できるものと思われる。

- ・ フェロコックスを用いる製鉄技術を、各要素技術に分割し、それを有機的に結びつけることで完成させていく本プロジェクトの進め方を評価する。
- ・ 中規模フェロコックス製造設備の導入、そしてフェロコックスの実高炉への装入、ともに最終目標に向かって展開できていることが確認できた。また、適宜開発項目や数値の見直しも行っており、研究開発の推進が適正に行われている。
- ・ フェロコックスの製造技術に関しては、使用する石炭や鉄鉱石の品種選定、製造設備の建設、製造技術の開発、新バインダー開発など、スケジュールに沿って開発が順調にできていると思われる。
- ・ 1)鉄鋼業は社会インフラの整備に欠かせず、我が国の輸出の礎を担っている一方で、国全体のCO₂排出量の多くを占める業種であり、開発投資の規模も大きく、民間活動のみではリスクが高いため、その削減にNEDOが関与することは適切である。
- ・ 2)実用化のための基礎開発や実用化設備が稼働開始し、理論づけられた目標に向けた開発が実施されている。
- ・ 3)水素還元技術、CO₂分離回収技術などと組み合わせた検討も進め、将来の事業化に対する解決方針も同時に検討されている。

<改善すべき点>

- ・ フェロコックス製造工程の実現性、一般炭、低品位炭への原料拡大はすでに実証できているが、その他の要素技術については、高炉での実使用はまだ規模が小さく、新規バインダー製造では実際にフェロコックス乾留で生じるタールを利用することができていないという課題が残っている。また、各要素技術の開発が独立しており、下工程の結果に応じて上工程の技術を修正するような大きなフィードバックが検討できているか疑問がある。フェロコックス技術の導入による省エネルギー効果と導入コストの比較に基づき、本事業の意義を広く一般に説明する必要がある。
- ・ 2050年までに温室効果ガス排出量実質ゼロを目指すという環境下のもとでは、本事業の実用化・事業化時期が2030年まででは遅くはないか、事業化を加速化するという手立てを考えてみても良いのではないか。
- ・ 評価のためのサンプル提供などについて、大学との情報共有は十分なのであろうか。単に分析屋、解析屋として捉えてはならないだろうか。その点をご確認いただきたい。
- ・ 国内の技術導入に限らず海外展開も視野に入れて事業化を検討していただきたい。

- ・ フェロコークスの高炉内使用技術については、計画検討段階とはいえ、試験方法・評価方法の詳細設計が十分できていないように感じられる。また、省エネ目標の 10%を達成できる使用量に対してかなり少ない使用量での試験計画であり、使用量をスケールアップした場合の効果の評価について精度を上げる工夫が必要である。
- ・ 1)学会発表等をとおした成果公表はされているが、知的財産である特許出願は現時点まで 1 件に留まっており、将来の海外移転や展開に向けた特許、ノウハウの蓄積が必要である。

<今後に対する提言>

- ・ フェロコークス乾留炉の運転を継続し、高炉へのフェロコークス供給量とバインダー製造へのタール供給量を確保することが求められる。試料の受け渡しに加えて各実施者が互いの成果を理解し、必要に応じてそれぞれの研究開発を見直すことが望まれる。今後他国でも同様の技術開発が進むものと想定されることから、国際協力とともに適切な権利保護が求められる。
- ・ すでに NEDO 内でも検討済みのことかもしれないが、**COURSE50** (NEDO プロジェクト「環境調和型プロセス技術の開発／①水素還元等プロセス技術の開発」) やゼロカーボン・スチールのプロジェクトとの棲み分けと相乗効果の有無、これらプロジェクトの組み合わせで、鉄鋼生産技術の推移の予測と地球温暖化対策がいかに促進されるかの具体的な近未来像が拝見出来ればと期待している。
- ・ 本事業の計画および推進についてはおおむね妥当と思われるが、最近の多くの産業が脱炭素化へ舵をとっていることから、今後さらにそれが加速すると思われる。並行する **COURSE50** との連携も踏まえて、より一層スピード感を持って事業化まで進めていただきたいと思う。
- ・ 鉄が国民生活において重要な材料であるが、その製造には多量の CO_2 が排出されるという問題がある。これを解決する技術として、フェロコークス、**COURSE50**、ゼロカーボンスチールの技術がある。そして、これらがどのような時系列で、我が国が目指す脱炭素化シナリオに貢献できるかを、発信していただきたい。そして、そこには大学の学術的な寄与が大きいことも声を大にして伝えていただきたい。
- ・ 新規バインダー製造プロセスも含めて事業化を考えていただきたい。
- ・ 日本や欧州など、先進国における 2030 年、2050 年などの時点における CO_2 排出削減量の要求・目標値が、急激かつ大きくなっている。これに対して本プロジェクトの省エネルギー、 CO_2 排出量低減の目標値が低く、開発に時間がかかれば、技術が開発された時には先進国では実用化できないかもしくは、実用化しても短期間しか実施できない懸念がある。鉄鋼生産量が多く石炭産出量も多く、当面鉄鋼生産量の大部分を大量生産に適した高炉法に頼らざるを得ないと考えられる中国、インドや、今後鉄鋼生産量の増加が予想される発展途上国などへの開発技術の海外展開も視野に入れて開発を進めていただきたい。
- ・ 1)製鉄所全体での低炭素化を推進するため、下工程のエネルギー消費を考慮した上工程の技術開発の在り方についても検討いただきたい。

- ・ 2)今後、地球温暖化に対する規制は強化されるので、石炭に依存しないカーボンフリーの鉄鋼製品製造、供給体制を目指した積極的な開発を進めていただきたい。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

鉄鋼業において、地球温暖化対策としての CO₂ 排出量低減、低品位資源有効利用、省エネ化促進の要求を満たす製鉄技術開発が不可欠である。その上、本事業は国際競争力の優位性を堅持でき、また経済性も改善されるので、本事業の目的は妥当である。さらに、世界で最も省エネの進んだ日本の製鉄所で一層の省エネを実現する技術開発を、民間企業が単独で行う事は、設備投資と開発リスクの観点から困難であり協働が望まれる上、公共性が高い事から、NEDO の関与は妥当である。

一方、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。また、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。

<肯定的意見>

- ・ 世界で最も省エネルギーの進んだ日本の製鉄所で、より一層の省エネルギーを実現するための研究開発として、本事業の目的は妥当であり、業界各社の協働が望まれる内容であることから、NEDO で推進する事業としても適切である。
- ・ 日本の鉄鋼業は、世界の中で最も優れたエネルギー原単位を生み出す優れた製鉄技術を有しているが、地球温暖化対策としての二酸化炭素発生量の低減、低品位資源の有効利用、国際競争力を増すための省エネ化の促進が望まれていることから、これらの要求を満たす革新的な製鉄技術の開発が重要・不可欠である。とくに最近では菅総理の 2050 年までに温室効果ガス排出量実質ゼロにするという所信表明も出されており、二酸化炭素の発生量を低減しようとする本事業は、重要で有りがたう開発を加速化すべきものと考えられる。産学連携の研究開発事業で有り、開発を円滑に進めるために NEDO が関わるべき事業である。
- ・ 鉄の大量生産によるエネルギー多消費および CO₂ 多排出の製鉄業においては、省エネルギー、省資源の効果が顕著に表れるため、本事業の必要性は非常に高いと言える。我が国で生産される鉄鋼の品質は世界一と言われているが、中国や韓国が品質の面で日本に追いつこうとしている中で、環境に配慮した生産技術により国際競争力の優位性を堅持することができる事業と言える。特に、低品位石炭、低品位鉬石の利用に着眼していることは、国際的な資源争奪における自由度の拡大につながり、我が国の鉄鋼業の安定化につながると言える。
- ・ (1) 事業目的の妥当性：CO₂ による地球温暖化、そしてその対策は世界の共通課題である。さらに、現政権においては、世界と歩調を合わせ 2050 年までに CO₂ 排出ゼロを世界に向けて発信している。したがって、脱炭素化、脱化石燃料は喫緊の課題となっている。日本の産業全体の CO₂ 排出量に対する鉄鋼業の割合は 4 割と高く、当該分野での排出量削減は脱炭素化という目標に向けて大きな効果がある。究極は鉄鋼製造をやめることであるが、需要の観点から CO₂ 排出量を最小限に抑えた、もしくは全く出さない技術を選択することが現実的な選択になるだろう。水素還元を用いた COURSE50、さらにはゼロカ

ーボンスチールという技術が提案されている。しかし、その実現までには、まだ時間がかかる。高い還元効率により還元剤比を低減可能なフェロコックスを用いる製鉄技術は、水素還元を用いる上記の技術に先行した技術として大いに期待され、この事業を行うことは脱炭素社会実現において重要な課題であると認識される。

- ・ (2) NEDO の事業としての妥当性：我が国の鉄鋼業は省エネを徹底し、「乾いた雑巾からさらに水を搾り取る」と表現されるレベルにある。このような状況下、民間企業が単独で技術開発をすることは、設備投資と開発リスクの観点から不可能である。そこで、国がイニシアティブを取り、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していく必要がある。この観点から、NEDO が中心となって本事業を実施することは妥当であろう。
- ・ 国内製造業の中でも鉄鋼業の二酸化炭素排出割合は高く、省エネルギー対策の観点から本事業は推進すべき技術課題である。また、本事業が実用化された際は経済性も改善される見込みであり有望である。さらに、本事業終了後にはそのまま実機化も可能と考えられ、即効性のある事業と評価できる。
- ・ (1)CO₂ を多量に排出している鉄鋼業、特に製鉄工程でのエネルギー消費低減、排出 CO₂ 低減は重要で、その観点では事業目的は妥当である。
- ・ (2)また、単一企業で開発すべきものでなく、公共性は高く、NEDO の関与は必要である。
- ・ 1)鉄鋼業は社会インフラの整備に欠かせず、我が国の輸出の礎を担っている一方で、国全体の CO₂ 排出量の多くを占める業種であり、開発投資の規模も大きく、民間活動のみではリスクが高いため、その削減に NEDO が関与することは適切である。
- ・ 2)鉄鋼業は、海外への技術移転の経験も豊富で、技術移転をとおした国際貢献も期待でき、地球全体での温室効果ガス削減に寄与できるので、NEDO 事業として妥当である。
- ・ 3)鉄鋼業の上流に相当する製鉄工程の削減ポテンシャルや効果が大きいと見込まれ、資源枯渇への対応も必要な状況にあるので、開発対象としたプロセスも適切である。

<改善すべき点>

- ・ 2050 年までに温室効果ガス排出量実質ゼロを目指すという環境下のもとでは、本事業の実用化・事業化時期が 2030 年では遅くはないか。プロジェクトの後半で確認すべき項目が残っているとは思いますが、開発と実用化を加速化するという方策を考えてみるのも良いのではないかと。
- ・ 社会的な要請ならびに国の関与の必要性は上述の如くであるが、巨額の資金を投入するためには、国民に対し十分な説明が必要である。プロジェクトのアピールや成果の発表を行う際には、以下のことがらを含めていただきたい。①なぜ、国内で高炉による製鉄が必要とされるのか、リサイクルだけでは不十分なのか。②中国、インドの技術、欧米の技術と比較し、鉄鋼生産は必要なのだが、日本の技術が優れていることのアピール。③我が国の 2050 年までの脱炭素化シナリオにおける位置づけ。特に、石炭を使うことについてのわかりやすい説明。

- (1)(2)政府が表明した 2050 年に CO₂ 排出ゼロなど、CO₂ 排出量低減の要求が急激かつ大きくなっていることに対し、CO₂ 排出量低減の目標値が低く、速度感が合わなくなる懸念があり、技術が開発された時には実用化できないもしくは、実用化しても短期間しか実施できない懸念がある。開発技術の海外展開も強く考える必要がある。
- 1) エネルギー需給の観点から、ESG（環境・社会・ガバナンス）投資面からの一層の低炭素化、またはカーボンフリーの技術開発など挑戦的な目標の設定があっても良い。
- 2) 技術的な目標は設定されているが、炭素価格などの環境経済的な側面からの目標が設定されていないので、将来の普及時のインパクトや研究開発費の妥当性が評価しにくい。

2. 2 研究開発マネジメントについて

フェロコークス製造、高炉での使用、新バインダーの開発といった個別テーマの達成目標は、具体的で明確である。各テーマを適切な実施者が担当しており、将来の規模拡大も見通した要素技術が網羅されている。無理のないスケジュールで計画され、オールジャパンで事業を行っている。技術検討委員会など進捗管理体制は整っており、健全な研究開発が進められている。

一方、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。また、社会・経済・政策・技術の変化は急激なもので、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。さらに、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。

<肯定的意見>

- ・ 設定目標は明確かつ十分高いものである。フェロコークス製造、高炉での使用、新規バインダーの開発のそれぞれを適切な実施者が担当しており、将来の規模拡大も見通した要素技術が設定されている。上工程から下工程へと成果を確認しながら進める計画は、早期の実用化の観点からも適切である。新型コロナウイルスの影響で一部開発が予定通りには進まなかったが適切に修正されれば計画通りの進捗となっている。
- ・ 研究開発の達成目標は具体的である。コロナウイルス感染対策のため工事等苦労されていることも多いと推察されるが、研究開発スケジュール、研究実施体制、進捗管理まで系統的に組み立てられ、本事業が順調に進捗していると評価出来る。
- ・ 製鉄プロセス、特に高炉における環境負荷低減にフォーカスした研究開発となっており、明確な目標を掲げて事業を推進している。目標達成に必要な要素研究を選定して、無理のないスケジュールで計画されている。また、日本国内の鉄鋼一貫メーカー3社の連携の下、相互に利害関係なくオールジャパンで事業を行っていることにより、効率よく技術開発が行われている。また、大学との連携も正常にされており、役割分担が明確にされている。これらのことから実用化、事業化への体制ができている。
- ・ (1) 研究開発目標の妥当性：本プロジェクトは、フェロコークス製造の設備、石炭、鉄鉱石、バインダーを含む原料選択、高炉への装入、そして高炉にフェロコークスを導入した際の検証を含む個別テーマから構成される。これらの個別テーマに対し具体的かつ明確な根拠に基づく目標が設定されており、妥当である。
- ・ (2) 研究開発計画の妥当性：上記目標を詳細に展開しており、妥当である。
- ・ (3) 研究開発の実施体制の妥当性：役割分担が明確であり、妥当である。
- ・ (4) 研究開発の進捗管理の妥当性：NEDO、実施者、関連プロジェクトとの連携会議、そして技術検討委員会、と進捗管理体制は整っており、妥当と考える。
- ・ 研究開発の進捗管理について、技術委員会の指摘事項を参考に適宜見直しを行っており、健全な研究開発が進められている。開発目標について、実機スペックの制限がある中で最大限の努力がみられた。

- ・ (2)のスケジュール、研究開発費は妥当。要素技術も網羅されている。
- ・ (3)の実施体制も妥当と考えられる。
- ・ 1)溶銑 2000 万 t/年に対し、CO₂ 削減量 82 万 t/年がアウトカム目標として設定されており、0.04t-CO₂/t-銑鉄と算定される。これは一般的な鉄鋼製品の CO₂ 排出原単位である 2.0t-CO₂/t-製品の 2%削減に相当し、従来の微粉炭吹込の削減効果に匹敵する削減目標であるので、大きな技術革新目標と考えられる。
- ・ 2)設備や配合などの基礎開発を経て、実用化規模まで短期間で拡大されているので、開発スケジュールの面からも適切である。
- ・ 3)研究開発体制は、鉄鋼業全体が協働して参画しており、将来の普及も考えられているので、適切である。

<改善すべき点>

- ・ 各要素技術担当者間の連携が弱く、例えば、フェロコークスの高炉での使用試験結果や乾留炉で生じるタールを利用したバインダー製造の検討結果からのフィードバックによって、フェロコークス製造技術開発が計画修正されるようなことはみられなかった。
- ・ 大学での基礎研究の結果が、本事業の実用化に向けてどう活用されているのかを、より明確に出来れば良い。どのような課題を明らかにし、その結果をもとに実プロセスがどのように改善されたのかを示すことは出来ないだろうか。
- ・ (4) 研究開発の進捗管理の妥当性：各種委員会を上記の頻度で実施することは、大規模なチームを組んでいる企業にとっては問題ないかもしれない。学生の教育も担っている大学には大きな負担になってはいないかを懸念する。落ち着いて研究できているのであろうか。
- ・ (5) 知的財産等に関する戦略の妥当性：事業開始前に基本的な特許を取得していることは理解している。本技術は、国内だけではなく海外に出ることで、世界の CO₂ 排出量削減に貢献するものである。そのため、海外特許への対応が気にかかる。
- ・ (1)省エネルギーや CO₂ 排出削減量の目標値の前提となる現状の条件が不明瞭。目標値も戦略的というより無理のない(達成困難ではない)値に設定しているように思える。
- ・ (3)の実用化・事業化の担い手などは現時点で明瞭ではないと思われる。
- ・ 1)知的財産である特許出願は、現時点まで 1 件に留まっており、将来の海外移転や展開に向けた特許、ノウハウの蓄積が必要であろう。
- ・ 2)省エネ効果として 10%の削減を目標とされているが、製銑工程での CO₂ 削減に加え、鉄鋼製品の CO₂ 削減効果をエネルギー消費量削減と関連づけて、分かりやすく提示されることを望む。

<今後に対する提言>

- ・ 各実施者が全体の技術開発の進捗を把握し、それぞれの研究開発計画を適宜見直すことが望ましい。
- ・ 主に一般炭を用いた事業ではあるが、新規バインダーの開発の中で褐炭も原料に出来れば、広く褐炭をも含む低品炭を利用したプロセスと言うことが出来ると考えられる。

- 大学を単に企業技術の検証のために使うのではなく、この研究を通して新しい学術領域を開拓できるようにご配慮いただきたい。大学は結果を抽象化し普遍的な理論に高めていくことが使命である。このことを理解し進めていただきたい。大学には、この事業を通して、どのような学術的な進展があったのかを発信していただきたい。
- (4)の社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向の変化が急激になっている。これだけ大きな設備を作るプロジェクトが走り出してしまうと軌道変更が難しいと思うが、技術の取捨選択や技術の融合、必要な実施体制の見直し等を積極的に進めていただきたい。
- (5)の知的財産については、開発技術を海外展開することを視野に入れて戦略を立てていただきたい。
- 1)本研究開発に加え、水素還元等プロセス技術の開発、CO₂ 分離回収技術など数多くの開発が実施されており、各種の技術開発要素の最適組み合わせによる将来像を検討され、今後の具体的なビジョンを議論いただき、公開されることを期待する。

2. 3 研究開発成果について

フェロコックス製造技術では、実機に転用できる製造装置を建設し、所望の製造に成功し、低品位石炭、低品位鉱石の活用可能性も実証された。高炉での使用では、実際設備での装入に見通しが立った。新バインダー製造では、既存原料試験により方法論を確立した。導入効果の評価では省エネ効果が認められた。重要な技術的知見も得られた。上記から中間目標を達成していると評価でき、最終目標達成に向けて着実に遂行されている。

一方、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。また、製鉄工程の下工程ではエネルギー消費量の補填によってCO₂排出量が増大しているため、下工程を考慮した技術開発の検討が望まれる。さらに、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。

<肯定的意見>

- ・ フェロコックス製造技術については、実機に転用できる 300 t/d の製造装置を建設し、所望のフェロコックスを製造することに成功しており、実証事業として、適切に中間目標を達成している。一般炭、低品位炭原料の活用可能性も実証された。高炉でのフェロコックス使用も実際の装入設備での 100 t/d の装入に見通しが立っている。新バインダー製造では、既存原料での試験により方法論を確立しており今後フェロコックス乾留炉で得られるタールでの試験が待たれる。フェロコックス導入効果の評価も詳細に検討されており過大でないむしろ過小な評価でもフェロコックス導入による省エネルギー効果が認められており、実用性を示したといえる。最終目標達成に向けて着実に事業が遂行されていると認められる。
- ・ コロナウイルス感染対策のため工事等かなりご苦労されていると推察されるが、いずれの研究開発項目についても中間目標を達成していると評価出来る。今後の事業化に向けた道筋も明らかである。
- ・ 成果は着実に達成できていると言える。混錬ペレット作製にDEM（離散要素法）を用いるなど、新たな取り組みを行っており、有益な成果を上げていると言える。低品位石炭、低品位鉱石の使用が可能であることが実験室レベルでは実証されており、今後、スケールアップをしてより実機に近い状態での実証が期待できる。
- ・ (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義：目標を達成していると判断する。以下の2点が特に興味深い。①一般炭の炭種によらず、配合率 30%以下であれば目標とするDI（塊成物のドラム強度の指標） ≥ 80 を達成すること。②バインダーの種類によらず、高いガス化活性は維持されること。これらの成果は、選択した原料条件の範囲であれば、安価な原料を広く求めることができることを示しており、重要な技術的知見と考える。
- ・ (2) 成果の最終目標の達成可能性：順当に進んでおり、達成可能と考える。
- ・ 全体的に中間目標を達成できる見通しであり、最終目標達成に向けて順調と思われる。

- ・ (1)フェロコークスの製造技術については、目標を順調に達成していると評価する。要素技術も順調に開発が進んでいると思われる。
- ・ 1)2022 年度の目標である中規模設備での製造技術実証に向け、乾留技術・一般炭使用のフェロコークスの製造技術などが各種の指標を用いて開発され、中間目標を達成している。
- ・ 2)学会発表等をとおした成果の普及にも積極的に取り組んでおり、評価できる。

<改善すべき点>

- ・ フェロコークス技術の導入による省エネルギー効果は、誰の目にも明白ではなく、利得とコストの比較が必要であり、本事業での検討結果を広く一般に理解してもらえるよう説明すべきである。
- ・ 発表論文や知的財産権の確保は、まだ事業の中間段階でもあることから、今後これらの件数が増加するものと期待される。
- ・ (3) 知的財産権等の確保に向けた取組：本プロジェクト開始前に、関連技術について技術封印と特許網構築を実施している。本プロジェクトで開発したプロセスの海外輸出を視野に入れた対応が望ましい。
- ・ (4) 成果の普及：製鉄の必要性、その脱炭素化を意識したプロセス開発、国際競争力などを発信していただくことが望ましい。
- ・ 本プロジェクトの新規バインダーは強度発現効果が確認されていることから有望である。ただし、低沸点成分の除去、副生炭の除去を厳しく行くと、収量が少なく経済性が低下する懸念があるので、除去率の緩和（最適化）が必要であると考えます。
- ・ 特許出願について本プロジェクトに入ってから少なくなっている。新規固体・液体バインダーについては新規性のある技術も存在するため、出願を積極的に検討していただきたい。（学会発表等において新規性の喪失とならぬよう注意すること）
- ・ (1)フェロコークスの高炉内使用については、計画検討段階とはいえ、試験方法・評価方法の詳細設計が十分できていないように感じられる。
- ・ 1)知的財産権の出願が1件と少ないので、将来の海外展開に向けて必要な知的財産の出願を検討いただきたい。

<今後に対する提言>

- ・ これらの成果は世界初となるものであり、今後他国でも同様の技術開発が進むものと想定されることから、国際協力とともに適切な権利保護が求められる。
- ・ 大学での研究では事業への貢献はもとより、学術的な新規性をも多く見出せるのではと期待する。新規バインダーの「石炭由来であるが故の相性」とは本質的に何なのか、フェロコークスの二酸化炭素によるガス化反応速度が迅速なのは真に触媒ガス化によるものなのか、反応速度の活性化エネルギーの値に触媒効果が反映されていないのは何故か、高炉内反応のシミュレーションに実験室での速度パラメーターがどの程度有効かなどの点も検証していただければと期待する。

- ① 原料から DI 値を予測する方法の開発：多様な原料に対応しつつ、設定した DI を実現する技術が望まれる。そのためには、[原料+プロセス] ⇔ [DI] の相関を明確にする研究が必要なのではないかと考える。ご検討いただきたい。
- ② 冷間強度と熱間強度の相関：本プロジェクトのシミュレーションでは、ブリケットの冷間強度について検討している。ブリケットが炭化されてフェロコークスになるとときには、熱分解発生ガスなどがあり、ブリケットの物性がどの程度コークスに影響するかを見積もる必要がある。これに対応する数学モデルは可能なのか。ぜひともご検討いただきたい。
- ③ フェロコークスの高炉内での挙動：コークスには還元能力だけでなく、ガスと液体の流路確保という役割もある。反応により炭素分が消耗すると同時に、内包された鉄鉱石も還元され生成溶融鉄も抜けるため、その役割を果たすことができるかが懸念される。反応後のコークスの形状解析、力学強度解析などの検討をすすめるべきと考える。
- 省エネルギー10%を達成するための実証について、実高炉ではフェロコークス投入量が制限されるため実施できない。実証のためにはシミュレーションが重要となるため、使用するデータの適用性・信頼性については十分にご確認いただきたい。
- (2)フェロコークスの高炉内使用の効果について、製造設備能力の制約があるとはいえ、かなり最終目標に対して少ない使用量での実機使用試験計画となっており、多量使用した時の効果をシミュレーションモデルで予測するとしても、予測精度を上げる工夫をしていただきたい。
- 1)本研究開発に加え、数多くの開発が実施されており、各プロジェクトの相乗効果に関する省エネや CO2 削減成果については現在進行中であるので、それらの効果を適時討議され、必要であれば計画修正について検討いただきたい。
- 2)特に、製鉄工程での CO2 排出削減量は大きいにもかかわらず、下工程ではエネルギー消費量の補填によって CO2 排出量が増大しているため、下工程のエネルギー消費を考慮した上工程の技術開発の在り方についても検討いただきたい。
- 3)理論的な CO2 削減ポテンシャルや炭素還元の限界についても検討いただきたく、将来の実質温室効果ガスゼロへの道筋などを示していただくことを期待する。

2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

製造技術の開発、製造原料の拡大、高炉での使用試験、新バインダー製造法の開発、導入効果の試算という実用化・事業化に向けた戦略は妥当であり、着実に成果をあげている。製鉄は生産規模が大きく日本全体の省エネ、CO₂削減の効果や経済効果は大きいため、将来有望な技術である。主要鉄鋼会社が実施者となっており、実用化・事業化は実行されるものと判断できる。

一方、高炉でのフェロコッ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ックス乾留で生じるタールの利用等の課題がある。また、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。さらに、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。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。

<肯定的意見>

- ・ フェロコックス製造技術の開発、フェロコックス製造原料の拡大、フェロコックスの高炉での使用試験、将来のための新規バインダー製造法の開発、フェロコックス導入効果の試算という実用化・事業化に向けた戦略は妥当であり、これらを同時に遂行し、着実に成果をあげている。製鉄は生産規模が大きいことから、いくらかのエネルギー原単位の削減でも日本全体の省エネルギー、CO₂削減に与える効果は大きく、本事業の現段階での成果から判断して将来有望な技術となると考えられる。主要鉄鋼会社が実施者となっていることから実用化・事業化は実行されるものと判断できる。
- ・ 混練、成型、乾留、粘結材に関わる各要素技術の開発がそれぞれ着実に進行しており、後半でいくつか要素技術を確立しながら、最終的に目標の実用化・事業化が十分達成可能と期待出来る。
- ・ 実用化および事業化に向けて着実にステップを踏んでおり、鉄鋼業の市場規模からインパクトの高い経済効果が見込まれる。本事業はオールジャパンで推進していることから、海外との競合に対しても我が国の鉄鋼業の優位性を堅持できるものと思われる。
- ・ 日本の有数の企業、そして国が全力を投じ立案し、進めているプロジェクトであるため、戦略的には妥当なものとする。また、開発する技術が各要素技術に分割され、網羅的に進められており、評価できる。計画と成果より、本プロジェクトを進めていくことで、実用化・事業化実現にたどり着けると期待する。
- ・ 本事業終了後は中規模プロセスがそのまま事業化可能であり、さらに省エネルギー10%を達成できた場合は経済性も改善されるため、実現性が高い技術である。
- ・ (2)ここに記載されている「実用化・事業化」の定義に対しては、開発計画は明瞭で、検討も進んでいる。
- ・ 1)中規模の実用化設備が稼働開始し、そのアウトカム目標が設定されているので、実用化の戦略は明確である。

- ・ 2)水素還元技術、CO₂ 分離回収技術などと組み合わせた検討も進め、将来の事業化に対する解決方針も同時に検討されていることは、評価できる。

<改善すべき点>

- ・ フェロコークス製造工程の実現性、一般炭、低品位炭への原料拡大はすでに実証できているが、高炉での実使用についてはまだ試験規模が小さい。技術的には単に増量するだけとはいえ、安定的に運転できるか実際に想定される規模での試験が待たれる。新規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を利用する部分がまだ実施できておらず、また生産規模拡大の実証が不十分に思われる。
- ・ 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していくことを望む。
- ・ 従来の高炉設備をそのままフェロコークスを利用できる点はメリットが大きく、海外の既存のプロセスにおいても導入できる可能性を持っている。国内の技術導入に限らず海外展開も視野に入れて事業化を検討していただきたい。2030年に国内で5基のフェロコークス炉を導入しても、開発が推進されている水素還元技術にとって替わられることが想定されるため、国外への事業展開も視野にいれるべきと考える。
- ・ (1)「実用化・事業化」の定義自体が、比較的容易に達成可能と考えられる内容になっており、「製鉄プロセスの省エネルギーを実現すること」がどの程度の省エネルギーを実現するのか定量的な目標値が、定義文章には示されていない。

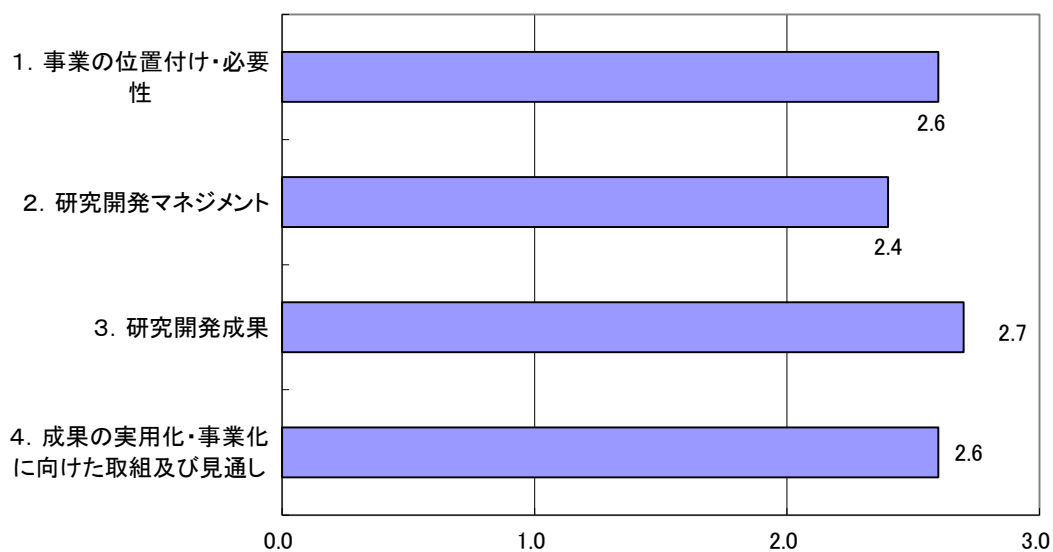
<今後に対する提言>

- ・ フェロコークス乾留炉の運転を継続し、高炉へのフェロコークス供給量とバインダー製造へのタール供給量を確保することが求められる。
- ・ 成果の普及として、国内高炉の何割までに使用することを考えているのか、普及促進を図るために必要なことは何か、また世界での類似の技術の有無、有ればそれらの進捗状況や本事業の優位性、海外への技術移転・輸出の可能性等を明示していただければと期待する。
- ・ 本事業の計画および推進についてはおおむね妥当と思われるが、最近の多くの産業が脱炭素化へ舵をとっていることから、今後さらにそれが加速すると思われる。並行するCOURSE50との連携も踏まえて、より一層スピード感を持って事業化まで進めていただきたいと思います。
- ・ 技術として秘匿、保護すべきことがらがあることは理解している。企業と大学の使命が異なることを理解して、本プロジェクトが大学にとってもその使命を全うできるようにしていただきたい。
- ・ 新規バインダー製造プロセスも含めて事業化を考えていただきたい。
- ・ ここに記載されている「実用化・事業化」が達成されても、フェロコークス 300t/d の製造量を出鉄量 10000t/d の高炉 1 基に使用すると原単位 30kg/t であり、省エネ目標 10% を達成できると予測している使用原単位 150t/d の 20%で、経済効果は限定的である。こ

このギャップが大きく、「実用化・事業化」から省エネ目標達成までの検討・開発要素が多いと考えられるので、開発を加速していただきたい。

- 1) 今後、地球温暖化に対する規制は強化されるので、石炭に依存しないカーボンフリーの鉄鋼製品製造、供給体制についても、積極的な開発を進めていただきたい。

3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	A	A	C	B	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.6	A	A	A	A	A	C	B	
2. 研究開発マネジメントについて	2.4	B	A	A	B	A	C	A	
3. 研究開発成果について	2.7	A	A	A	A	B	B	A	
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	2.6	A	A	A	A	B	C	A	

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当 →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

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フェロコックス技術の開発」

事業原簿

【公開版】

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
-----	--

—目次—

概要	2
プロジェクト用語集	6
I. 事業の位置付け・必要性について NEDO	9
1. 事業の背景・目的・位置付け	9
2. NEDO の関与の必要性	18
2-1 NEDO が関与することの意義	18
2-2 実施の効果	19
II. 研究開発マネジメントについて	20
1. 事業の目標	20
2. 事業の計画内容	23
2-1 事業内容	23
2-2 研究開発の実施体制	27
2-3 研究開発の運営管理	29
III. 研究開発成果について	33
1. 事業全体の成果	33
1-1 概要	33
1-2 成果概要	35
1-2-1 中間目標と達成状況及び、最終目標の達成可能性	35
1-2-2 知的財産等の成果概要	45
2. 研究開発項目毎の成果	46
IV. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び、見通しについて	62
1. 成果の実用化・事業化に向けた戦略	62
1-1 実用化	62
1-2 事業化	62
2. 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組	62
3. 成果の実用化・事業化の見通し	63

(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	2020年10月20日	
プロジェクト名	環境調査型プロセス技術の開発／②フェロコークス技術の開発	プロジェクト番号	P13012	
担当推進部/ PMまたは担当者	省エネルギー部 PM氏名 田村順一 (2020年10月現在) 省エネルギー部 担当者氏名 武田行生 (2020年10月現在)			
0. 事業の概要	<p>(1)概要：本事業は、製鉄工程の省エネルギー化とCO2削減を図ることで、鉄鋼業における省エネルギー化、CO2削減を推進するものである。一般炭と低品位鉄鉱石を用い成型した塊成物（フェロコークス）をコークス、鉄鉱石と共に高炉へ装入することで、フェロコークス内の金属鉄を触媒として鉄鉱石の還元反応を効率的に行い、1,500t/日規模の設備で10%の省エネルギー効果を目指すものである。</p> <p>(2)事業規模：総事業費(国費分)100.6億円予定（助成率1/2以内）</p> <p>(3)事業期間：2017年度～2022年度（6年間）</p>			
1. 事業の位置 付け・必要性について	<p>鉄鋼業は我が国産業部門の中でCO2発生量の約40%、国全体の約14%を占める最大のCO2排出業種であり、その中でも製鉄工程では、その70%を占めており、製鉄工程におけるCO2削減は喫緊の課題となっている。また、日本の製鉄技術は既に世界最先端の水準にあり、廃熱や副生ガスの利用による省エネルギーも極限に達していることから、地球温暖化対策としては革新的な省CO2及び省エネルギー技術の導入が急がれている。フェロコークスは、一般炭と低品位鉄鉱石の混合成型・乾留により生成された金属鉄の触媒作用を利用して、鉄鉱石の還元を低温で行うことで還元効率を飛躍的に高めた革新的塊成物であり、これを使用することで投入するコークス量を削減できる省エネ技術開発である。</p> <p>高炉による製鉄プロセスから発生するCO2又はエネルギー消費量を抜本的に削減する本プロジェクトは、鉄鋼業における省エネ対策の最後の切り札として、2030年に最大5基の導入を目指し、未だ世界で手掛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、国がイニシアチブを取り、産官学のコンソーシアムを構築し、一体かつ効率的に開発を実施していく必要がある。</p>			
2. 研究開発マネジメントについて				
事業の目標	<p>【アウトプット目標】 2022年度</p> <p>(a) 中規模設備での製造技術実証</p> <p>a-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立</p> <p>a-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立</p> <ul style="list-style-type: none"> ・生産量300t/dで長期間安定稼動が可能なことを実証する。 ・高炉装入に耐えうる乾留物の最適製造条件を確立する。 ・混合・攪拌シミュレーションモデルを用い、均一性を確保できる運転条件を提示する。 <p>指標1：原料の均一混合技術の確立（固体3種類、液体1種類の混合）：混合度95以上</p> <p>指標2：乾留後塊成物のドラム強度：DI150/15≥80（*）</p> <p>（*）「資源対応力のための革新的製鉄プロセス技術開発」において、フェロコークス製造量27.5t/d～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。</p> <p>(b) 一般炭、低品位原料使用時の製造技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ラボスケールでの試験結果から、原料（鉄鉱石、石炭）の絞込みを行う。これら原料がフェロコークス用原料として適していることを検証する。 <p>指標：成型物の強度（I型ドラム強度）：ID30/15≥85</p> <p>(c) 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証</p>			

・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) フェロコクス導入効果の検証

・フェロコ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)。

【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。

事業の計画内容	主な実施事項	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	
	中規模設備の製造技術実証	設計・建設			製造・実証			
一般炭、低品位原料使用時の製造技術	原料選定・ラボ評価							
実高炉でのフェロコクス長期使用、効果検証	高炉装入検討			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				
事業費推移 (会計・勘定別に NEDO が負担した実績額 (評価実施年度については 予算額) を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総額
	総NEDO負担額	828	2,077	2,506	2,506	779	865	9,560
開発体制	経産省担当原課	製造産業局金属課金属技術室						

	プロジェクト リーダー	技術開発責任者 JFE スチール株式会社 スチール研究所 主幹研究員 佐藤道貴
	プロジェクト マネージャー	省エネルギー部 田村 順一
	助成先等	【助成先】 JFE スチール株式会社、株式会社神戸製鋼所、新日鉄住金株式会社（～2019年3月31日） 日本製鉄株式会社（2019年4月1日～） 【共同研究先】 国立大学法人東北大学、国立大学法人九州大学
情勢変化への 対応	① 事業期間変更 ② 名称変更 ③ 交付決定期間の変更 ④ コロナ禍の影響による実施内容の変更	
中間評価結果 への対応	(中間評価を実施した事業のみ)	
評価に関する 事項	事前評価	2016年度実施 担当部 省エネルギー部
	中間評価	2020年度 中間評価実施予定
	事後評価	2023年度 事後評価実施予定
3. 研究開発成果について	<p>①中規模設備での製造技術実証については、建設を2020年9月までに完了し、計画通り10月からは100t/dの連続操業へ移行している。</p> <p>②一般炭、低品位原料使用時の製造技術は、今まで製鉄所では使いにくかった一般炭2銘柄および低品位鉄鉱石2銘柄の選定を終え、今後の中規模設備での使用試験に備えていく。</p> <p>③大型高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証についても10月からの高炉での連続使用（100t/d）に向け計画通りに進行している。</p> <p>④新バインダー強度発現実証における新規固形バインダーの開発については、0.3トン/日にスケールアップした設備で製造できる目途を得るとともに、新規液体バインダーについても、フェロコークスタールの改質したバインダーを試作している。</p> <p>⑤フェロコークス導入効果の検証では一般炭、低品位原料で製造したフェロコークスを用い、その高温性状を調査するとともにフェロコークス反応モデルを構築し、両者の結果を反映した汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させた。今後は高炉での使用結果とも合わせ、解析精度アップを図っていく予定である。</p> <p>以上のように、中間年度（2020年度）までほぼ計画通りに進行している。最終年度までには、最終目標である、フェロコークスの連続製造、高炉使用（30日以上）を達成するとともに、汎用高機能高炉内反応シミュレーターにより、製鉄プロセスにおける省エネ10%を検証していく予定である。併せて新規固形、液体バインダーについても工業的な製造プロセス案を提示する計画である。</p>	
	投稿論文	5件
	特許	「出願済」1件、（うち国際出願0件）
	その他の外部発表 （プレス発表等）	研究発表 14件 新聞・雑誌等への掲載 11件 展示会への出展 3件

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	<ul style="list-style-type: none"> ・中規模設備で300t/dの製造技術（混練、成型、乾留、粘結材の各技術）するとともに、設備の耐久性を検証する。 ・高炉においてフェロコークスが長期使用（原単位30kg/t）であることを実証する。 ・フェロコークスでコークスを1/3置換した場合の製鉄工程における省エネ効果10%を検証する（新規数式シミュレータによる推定含む）。 ・中規模設備（300t/d）で実用性（省エネ・CO2削減効果・製造コスト低減）が認められれば、研究開発補助金制度に則り、製鉄プロセスにおいてそのまま工程化する（2023年以降）。 ・上記設備で構成された商用規模設備（900～1500t/d規模）のFS（設備・操業コスト、及び使用エネルギーの評価）を実施し、実用性が認められれば、2030年までに5基導入を目指す 	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	2013年3月 作成
	変更履歴	2017年2月 改訂（フェロコークス技術の開発を追加） 2018年1月 改訂（フェロコークス技術の開発の実施期間を5年から6年に延長）

プロジェクト用語集

<各開発項目共通>

No.	用語	意味・説明
1	フェロコークス	鉄鉱石と石炭を粉砕し、塊状に成形したものを乾留することによって塊内部をフェライトとコークスが混在する状態にしたもの。焼結鉱に混ぜて高炉に投入することによって、Fe の触媒効果により還元反応が促進される。
2	高炉	鉄鉱石を主原料、コークスを主還元材として溶鉄を製造する縦型炉である。現在は内容積 4,000m ³ から 5,000m ³ のものが主流であり、一日に約 10,000t 以上製造可能である。炉の上から鉄鉱石、コークスを投入し、羽口と呼ばれるノズルから約 1,000°C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°C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°Cの溶鉄（カーボン飽和鉄）が製造される。還元で使用された CO は、いずれすべて CO ₂ となり、系外に排出される。
3	還元材	酸化鉄である鉄鉱石から酸素を奪うためのもので、高炉では石炭系、水素系の物質が使用される。
4	コークス	高炉で主に使用される還元材。石炭を乾留して製造する。溶鉄 1t を製造するために約 350kg のコークスが使用される。コークスは還元材としてだけでなく、炉内を通過する還元ガス（一酸化炭素）の通り道（通気）を確保するためのスパーサー、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、ふるい上質量のものと試料に対する百分率で、各回転に対する強度を表す。(JIS K2151 に規程
--	--	--

<フェロコッ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 600)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	フェロコックスタール	成型品を乾留炉に装入し、乾留する過程でフェロコッ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、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	ASP	アスファルトピッチ。石油由来の固形バインダー。
18	SOP	ソフトオイルピッチ。石炭由来の液体バインダー
19	剛性バネモデル(RBSM)	剛体同士の接触面にバネが入っているものとし、剛体

		の変位と接触面の応力との間に比例関係を仮定し、解析領域全体の平衡方程式を解く。接触面の応力が破壊条件を超えるような場合には、このバネを切っしまい、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)	石炭及びピ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~600 μ m 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 個の上に乗せ、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 75 μ m 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

<フェロコー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、還元を利用して CO_2 , H_2O にそれぞれになった比率を表す指標。 $\eta_{CO} = CO_2 / (CO + CO_2) \cdot 100$ で算出される。
25	直接還元	コークスなどの固体炭素による酸化鉄の還元。 CO による酸化鉄の還元であっても生成した CO_2 がカーボンソリューション反応を生ずれば結果として直接還元となる。水素についても、還元の結果生成した H_2O が固体炭素との水性ガス化反応を生ずれば直接還元となる。
26	間接還元	酸化鉄の CO や H_2 による還元反応

I. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の 背景・目的・位置づけ

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、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

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、CO₂削減への効果が期待されている。

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

具体的な対策	各主体ごとの対策	国の施策	地方公共団体が実施することが期待される施策例	対策評価指標及び対策効果						
				対策評価指標	省エネ見込量	排出削減見込量	省エネ見込量及び排出削減見込量の積算時に見込んだ前提			
省エネルギー性能の高い設備・機器等の導入促進（鉄鋼業）										
革新的製鉄プロセス（フェロコックス）の導入	<ul style="list-style-type: none"> 事業者：革新的製鉄プロセスに係る技術開発 事業者：革新的製鉄プロセスを用いた工程の導入 	<ul style="list-style-type: none"> 革新的製鉄プロセスに係る技術開発の支援 革新的製鉄プロセスを導入した設備の導入に対する支援 	-	導入設備数（基）	(万kL)	(万t-CO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> ・対策評価指標1単位当たりの省エネ量（原油換算）=約3.9万kL/基（高炉1基当たりの効果） ※本技術開発による製鉄所の二酸化炭素削減効果は、革新的なコークス代替還元材（フェロコックス）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

出展：環境省 地球温暖化対策計画（2016年5月）

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。

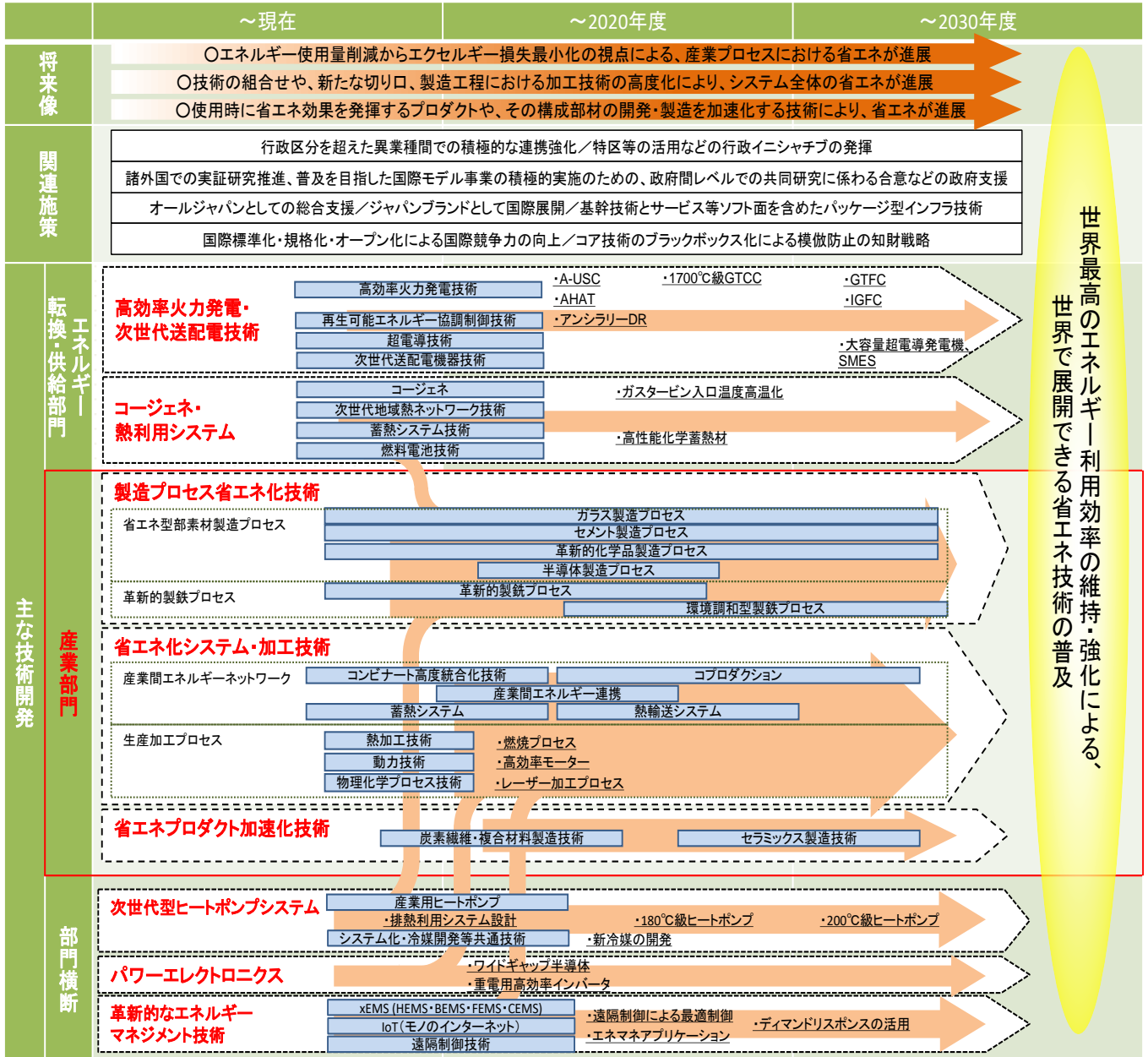


図 1-2 革新的製鉄プロセスの導入シナリオ

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

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。

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

環境調和型プロセス技術の開発においては、これまで水素還元活用プロセス（COURSE50）として、コークス製造時に発生する高温のコークス炉ガス（COG）に含まれる水素を増幅し、コークスの一部代替に当該水素を用いて鉄鉱石を還元する技術、及び高炉ガス（BFG）からCO₂を分離

するため、製鉄所内の未利用排熱を活用した革新的なCO₂分離回収技術の開発に取り組んできた。これらの技術開発においてフェーズI-STEP1（2008～2012年度（5年間））として要素技術開発を実施した。フェーズI-STEP2（2013～2017年度（5年間））において要素技術を組合せたパイロットレベルの総合実証試験を行った後、フェーズII-STEP1（2018～2022年度（5年間））、フェーズII-STEP2（2023～2025年度（3年間））での実用化開発を経て、最終的に製鉄所における現状の全排出レベルに比較して約30%のCO₂削減を可能にする技術の確立に資するものである。

一方、同一基本計画において実施しているフェロコークス技術の開発は、革新的製鉄プロセスの先導研究（2006年～2008年）で基本原理を明確にしたのち、資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発（2009～2012年度（4年間））において要素技術開発を実施し、既に実証段階に到達しているプロセスである。本プロセスでは、一般炭と低品位鉄鉱石の混合成型・乾留により生成された金属鉄の触媒作用を利用して還元を低温で行い、還元効率を飛躍的に高めた革新的塊成物（フェロコークス）を使用することで投入するコークス量を削減できる省エネ技術開発である。本プロセス技術で得た知見や成果を、水素還元活用プロセスの中に取り込むことで省エネ、CO₂削減効果を最適化できるメリットを享受できることから、2017年度より、フェロコークス技術の開発を加えて一体化することにした。本プロセスでは、今後、フェロコークス製造量300t/dの規模の中規模設備を建設し、フェロコークス製造技術を確立するとともに、中規模設備で製造したフェロコークスを溶銑製造量10,000t/dの実高炉に連続的に長期装入したときの高炉の還元材比や操業安定性（特に通気性）に及ぼす影響を確認し、最終的に製鉄プロセスのエネルギー消費量を10%削減する技術の確立に資するものである。

◎技術優位性と開発意義

2017年度～2018年度において、「環境調和型プロセス技術の開発に係る技術開発動向の調査」、2018年度～2019年度においては「各国の鉄鋼業における政策・技術開発の長期見通しに係る調査」を行った。その調査結果として、

鉄鋼需要については図1-4に示す様に、2010年度以降は中国の一方向的な伸びは終息を見せるものの、全体としては2050年には世界の鉄鋼生産量が23億t/年に達すると予測されている。増加の大きな要因はインドである。インドについては2017年度にインド鉄鋼省が、現在約1億t/年である生産能力を2030年度までに3億t/年、2050年までに5億t/年に増加するという政策ポリシーを発表している。

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

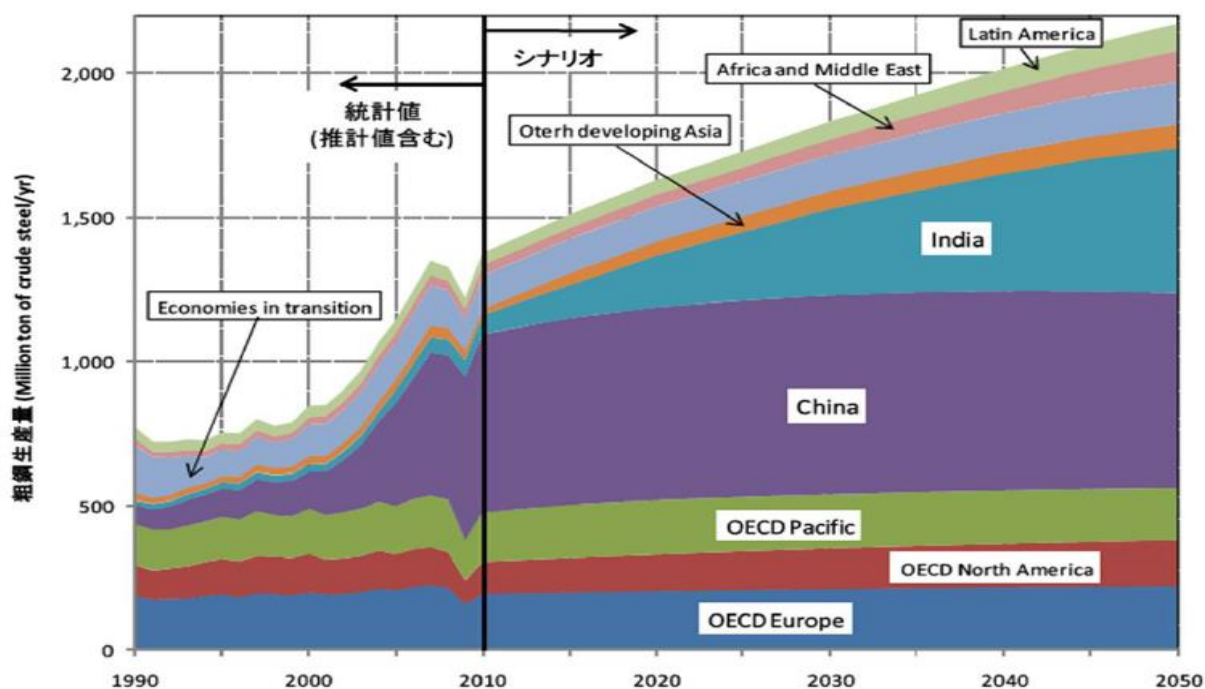


図 1-4 地域別の粗鋼生産実績と将来シナリオ (RITE)

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

◎フェロコークス技術の新規性、優位性

フェロコークスのバックグラウンドとなる技術要素を示したものが図 1-5 である。従来の研究によると、コークスの金属鉄に対する還元反応性は、金属鉄とコークスとの距離に依存しており、距離が小さいほど反応性が高まるとされている。フェロコークス技術はこの原理を利用してコークス内に金属鉄を適正に内在することで、金属鉄とコークスの近接性を高め、コークスとしての反応性を高める技術である。フェロコークス開発の目的は、コークスとしての反応性を高めることにより、高炉内における鉄鉱石の還元効率が向上し、還元材比の低減を図ることができることから、製鉄工程における省エネルギー化、CO₂削減を進めるものである。

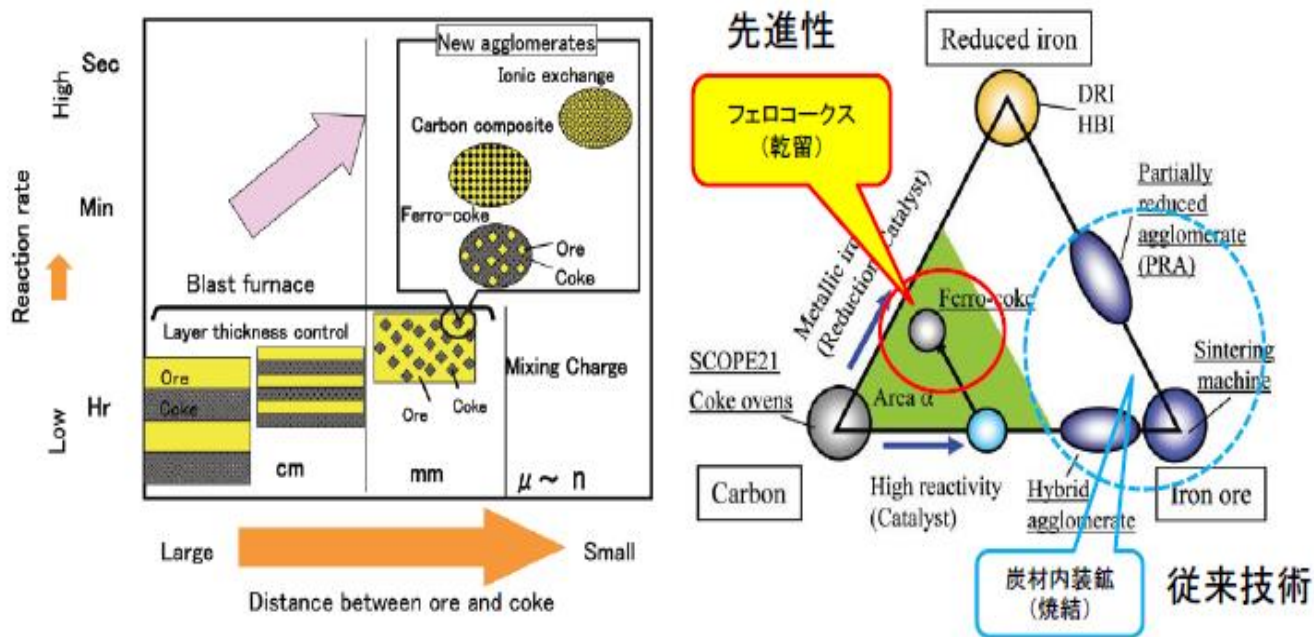


図 1-5 フェロコークスの原理

出展：NEDO 2017 年度～2018 年度成果報告書

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

フェロコークス技術、炭材内装炭技術に関する各国の学術文献数と技術比較を行い、フェロコークス技術の学術的な先進性を評価した。論文発表の動向は、コークス、焼結鉱、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。

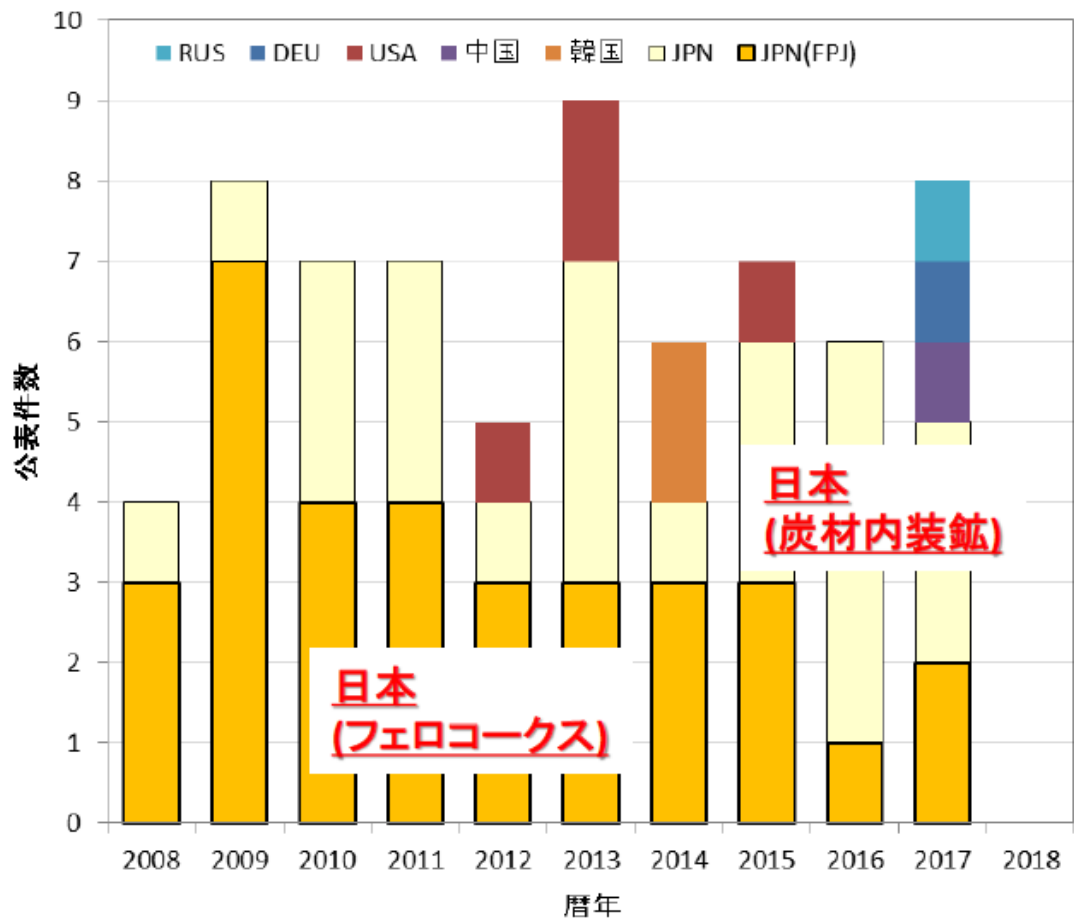


図 1 - 6 関連文献件数

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）

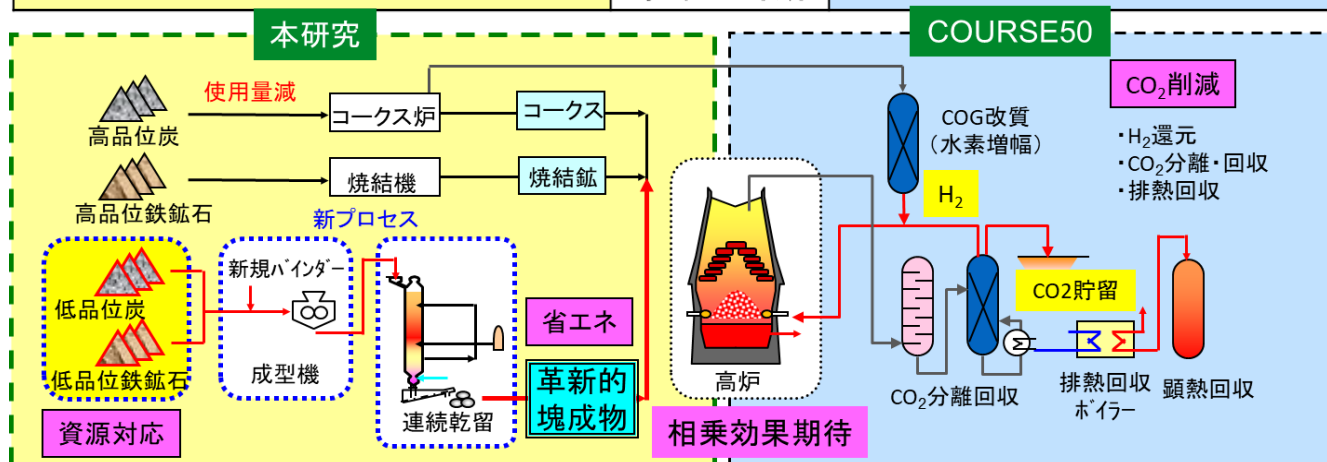


図 1-7 フェロコークスと COURSE50 との関係

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。

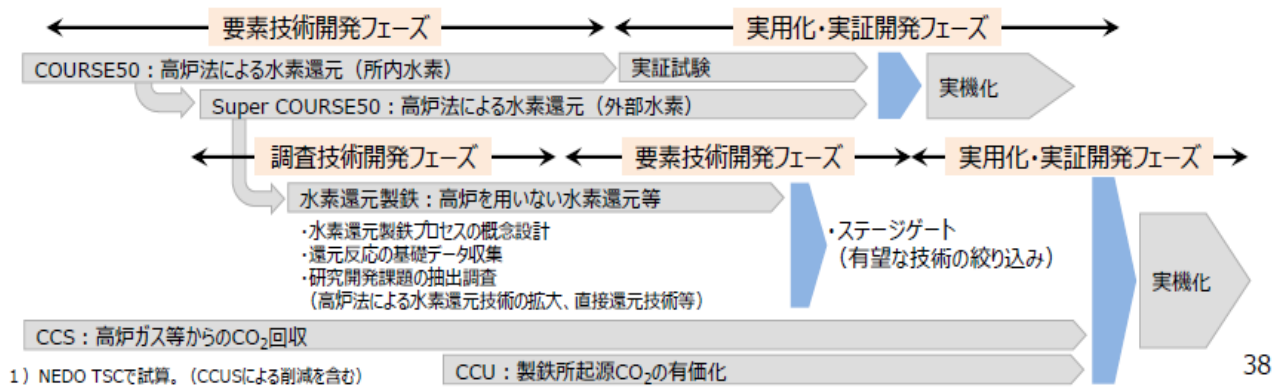


図 1-8 革新的環境イノベーション戦略におけるフェロコックスの位置づけ

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

2. NEDO の関与の必要性

2-1 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。

2-2 実施の効果（費用対効果）

フェロコークス事業において、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82万トン/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。

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

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きることを確認する。

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

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

②一般炭, 低品位原料使用時の製造技術

- ・使用可能な一般炭2銘柄及び低品位鉄鉱石2銘柄の選定を完了させる。
- ・一般炭と低品位鉄鉱石、及び(d)で製造した固形新規バインダーを用い、ラボスケールの成型試験を行い、各配合比率等の成型条件を確立する。

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

③実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

- ・ラボ検討に基づきフェロコークスを実高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～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。

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。
- ・フェロコックスブリケットの冷間強度予測モデルを提示する。

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

⑤フェロコックス導入効果の検証

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

指標：評価方法の確立と省エネ効果(目標10%)の確認

(⑤の数値シミュレーションと③(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)。

◎目標設定の根拠

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ックス長期使用、効果検証 (JFEスチール)

- ・設定理由(2019年度)(フェロコッ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ックスを5日間で消費した。今回は、フェロコッ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、熔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。

2. 事業の計画内容

2-1 事業内容

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

フェロコークス活用プロセスの技術開発におけるスケールアップの考え方としては、10倍を基本としている。最終的な実機は1,500トン/日の製造能力であり、これは300トン/日のユニッ

トを5つ並べた規模である。そのため、実機での技術課題は300トン/日機で検討できることから、今回の実証は300トン/日機を進める。本プロジェクトの前段である、「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発（2009年度～2012年度）においては、300t/dの1/10である30t/dのパイロットスケールで評価、「革新的製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300kg/日のベンチスケールで評価を行なっている。

以下に、事業計画を示す。

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

図2-1 事業計画

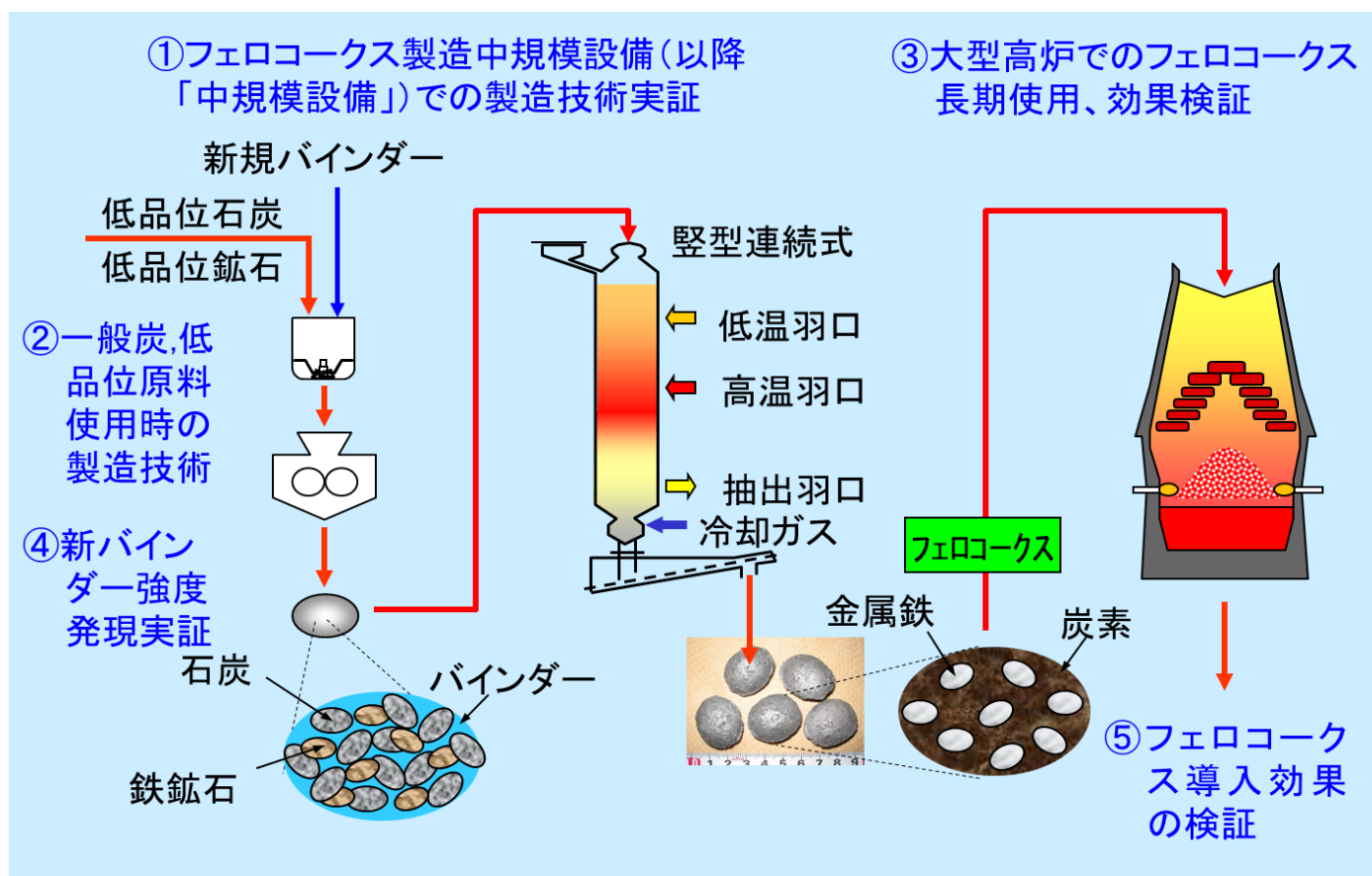


図 2-2 フェロコクス製造プロセスと研究開発テーマ

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

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

指標 2：乾留後塊成物のドラム強度： $DI_{150/15} \geq 81$ （*）

(*）「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、フェロコクス製造量27.5 t / d ~ 30 t / dとし、乾留炉操業30日間で740 tのフェロコクスを製造した際、目標強度 $DI_{150/15} > 81$ 以上の歩留りが93.5%であった。

② 一般炭, 低品位原料使用時の製造技術実証

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

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

指標：成型物の強度（I型ドラム強度）： $ID30/15 \geq 85$

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)。

2. 2 研究開発の実施体制

以下に、研究開発体制を示す。

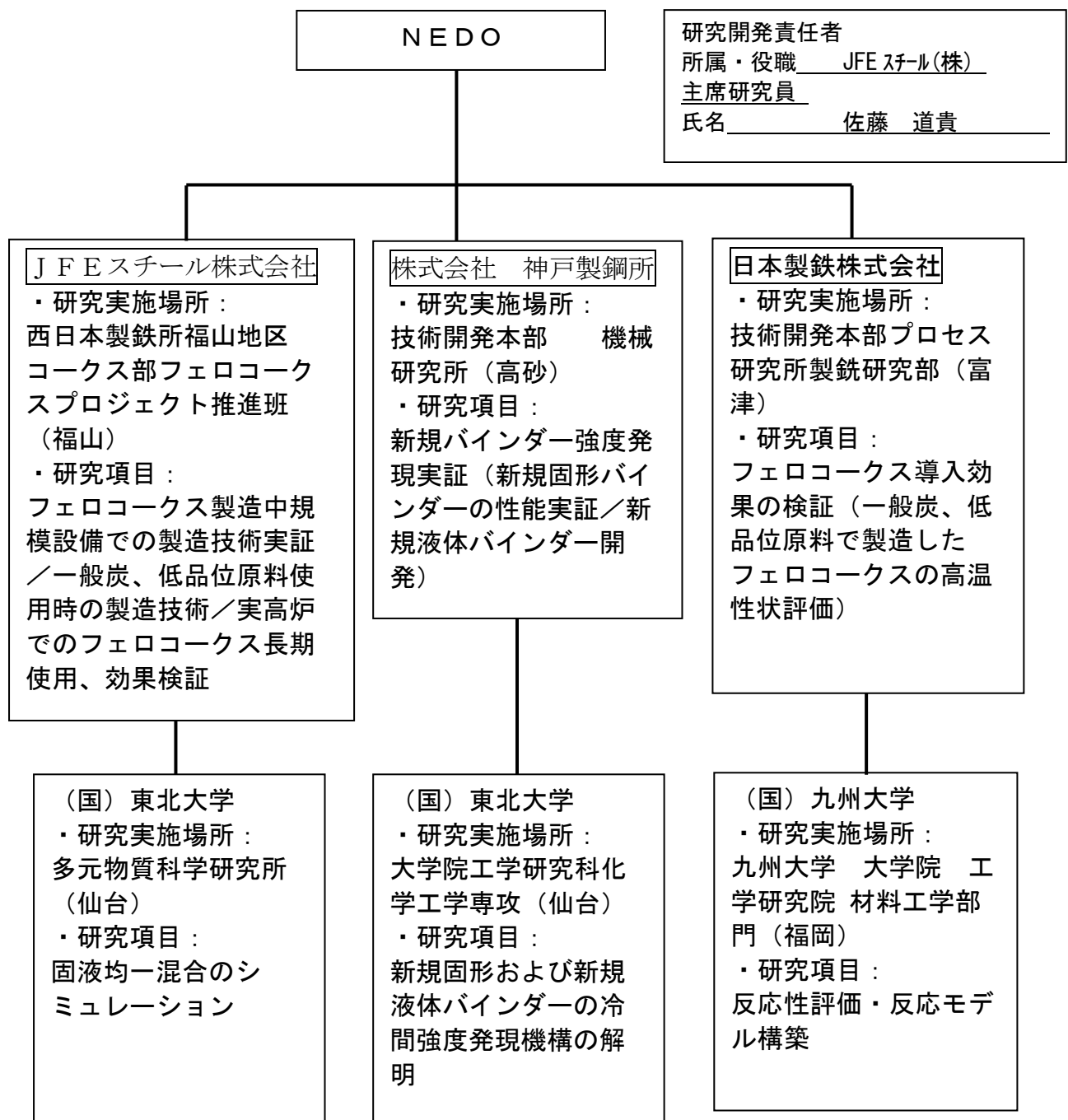


図2-3 研究開発体制

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

- ・庵屋敦孝思 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：筒液均一混合シミュレーション

株式会社神戸製鋼所

担当開発課題

- ④新規バインダー強度発現実証

固形新規バインダー開発

液体新規バインダー開発

主要な研究者

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

共同研究先

国立大学法人東北大学

共同研究先の役割：新規バインダー冷間強度発現機構の解明

日本製鉄株式会社

担当開発課題

- ⑤フェロコークス導入効果の検証

（一般炭、低品位原料で製造したフェロコークスの高温性状評価）

本プロジェクトにおける位置づけ

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

主要な研究者

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

共同研究先

国立大学法人九州大学

共同研究先の役割：高炉内におけるフェロコークスの反応性評価・反応モデル構築

2. 3 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）とフェロコー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. フェロコークス研究会（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. フェロコークス、COURSE50 事業者連携

同一基本計画の下にあるフェロコークスと COURSE50 については、2030 年以降、両者の相乗効果が期待される場所である。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. フェロコークス技術検討委員会（NEDO 主催）

1 回／四半期を目処に、NEDO がフェロコー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。

フェロコークス技術検討委員会の開催実績

第1回委員会 2017年11月16日 NEDO

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

第2回委員会 2018年3月7日 NEDO

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

第3回委員会 2018年6月26日 新日鐵住金(当時) 君津

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

第4回 2018年11月9日 神戸製鋼所 高砂

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

第5回 2019年1月16日 JFEスチール 福山

委員長 亀山 秀雄 国立大学法人東京農工大学 名誉教授
伊藤 公久 学校法人早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授
小野崎 正樹 一般財団法人エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 部長
武部 博倫 国立大学法人愛媛大学 大学院理工学研究科 物質生命工学専攻 教授

巽 孝夫 国際石油開発帝石株式会社 再生可能エネルギー・電力事業ユニット
シニアコーディネーター
 月橋 文孝 国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科 基盤科学研究系
物質系専攻 教授
 科野 宏典 株式会社野村総合研究所 社会システムコンサルティング部 上席コ
ンサルタント

第6回 2019年3月12日 NEDO

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

第7回 2019年7月26日 川崎 産業振興会館

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

第8回 2019年12月13日 JFE スチール 福山

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

第9回 2020年3月3日 書面開催

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

第10回 2020年9月9日 JFE スチール 福山

委員長 亀山 秀雄 国立大学法人東京農工大学 名誉教授
伊藤 公久 学校法人早稲田大学 基幹理工学部 応用数理学科 教授
武部 博倫 国立大学法人愛媛大学 大学院理工学研究科 物質生命工学専攻 教授
巽 孝夫 国際石油開発帝石株式会社 再生可能エネルギー・電力事業ユニット
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
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

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

1.1 概要

前プロジェクト（「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開」、2009～2012年度の4年間実施）で残された課題、すなわち、長期試験に基づく製造プロセス実証と高炉使用時の効果検証を目的として、パイロットの10倍規模となる中規模設備（300t/d）の建設を軸としたプロジェクトが2017年に発進し、2022年度までの6年間の予定で実施されている。

中規模設備の設備フロー、および研究課題（①～⑤）・分担を図口にまとめて示す。また、開発スケジュールを図口に示す。

「①中規模設備での製造技術実証」については、建設を2020年9月までに完了し、計画通り10月からは100t/dの連続操業へ移行予定である。

安価原料の使用拡大に関わる「②一般炭、低品位原料使用時の製造技術」は、今まで製鉄所では使いにくかった一般炭2銘柄および低品位鉄鉱石1銘柄の選定を終え、今後の中規模設備での使用試験に備えていく。

「③大型高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証」についても10月からの高炉での連続使用（100t/d）に向け計画通りに進行している。

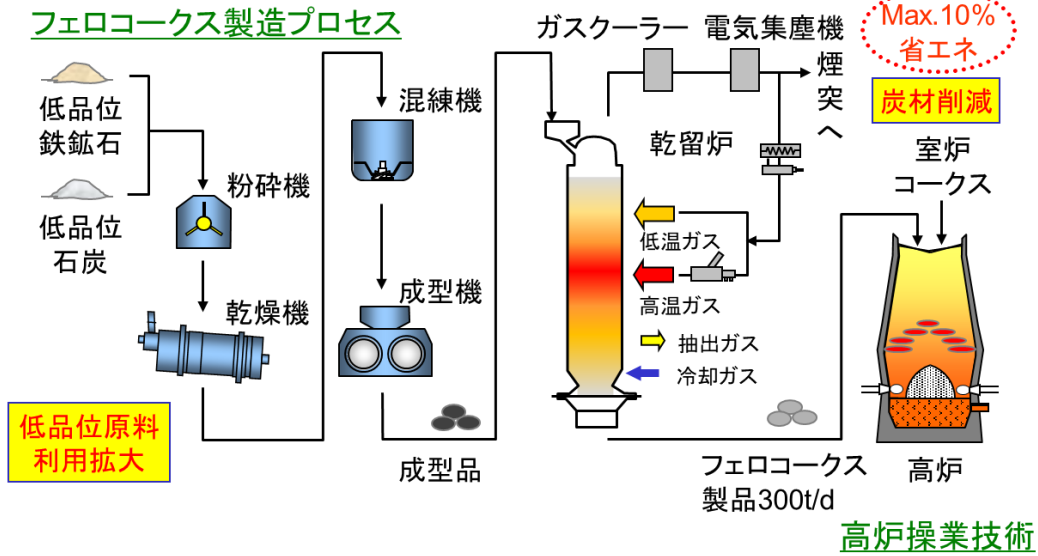
「④新バインダー強度発現実証」における新規固形バインダーの開発については、0.3トン／日にスケールアップした設備で製造できる目途を得るとともに、新規液体バインダーについても、フェロコークスタールの改質したバインダーを試作している。

「⑤フェロコークス導入効果の検証」では一般炭、低品位原料で製造したフェロコークスを用い、その高温性状を調査するとともにフェロコークス反応モデルを構築し、両者の結果を反映した汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させた。今後は③の高炉での使用結果とも合わせ、解析精度アップを図っていく予定である。

以上のように、中間年度（2020年度）までほぼ計画通りに進行している。最終年度までには、最終目標である、フェロコークスの連続製造、高炉使用（30日以上）を達成するとともに、汎用高機能高炉内反応シミュレーターにより、製鉄プロセスにおける省エネ10%を検証していく予定である。併せて新規固形、液体バインダーについても工業的な製造プロセス案を提示する計画である。

①フェロコー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・東北大)

③大型高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証
(JFEスチール)



②一般炭,低品位原料使用時の製造技術
(JFEスチール)

④新バインダー強度発現実証
(神戸製鋼所・東北大)

⑤フェロコークス導入効果の検証
(日本製鉄・九大)

図3-1 中規模設備の設備フローと研究開発課題

技術開発項目	担当	17年度	18年度	19年度	20年度	21年度	22年度
①中規模設備での製造技術実証	JFEスチール 東北大				100t/d 設計、建設	200t/d 製造実証	300t/d
②一般炭、低品位原料使用時の製造技術	JFEスチール				ラボスケール成型・乾留試験 成型条件		
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				冷間装入試験	高炉使用・評価	
④新バインダーの強度発現実証	神戸製鋼所 東北大				<固形> ラボ検討 <液体> 性状分析 基礎調査	試作製造 評価	実プロセス検討
⑤フェロコークス導入効果の検証の確認	日本製鉄 九大				実験室規模 サンプル評価	中規模設備 サンプル評価	

図3-2 開発スケジュール

1.2 成果概要

1.2.1 中間目標と達成状況および最終目標の達成の可能性

表3-1 中間目標の達成状況と今後の課題と解決方針

研究開発項目		中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(1)中規模設備での製造技術実証	①-1中規模設備の開発	・原料事前処理設備、連続混練成型設備および乾留設備の据付完了し、乾留設備までの製造能力(300t/d)を確認する。	原料事前処理設備、連続混練成型設備および乾留設備の据付完了。新型コロナウイルス緊急事態宣言の発出により、負荷試運転が約2ヶ月の後ろ倒しになるも乾留設備までの製造能力(300t/d)を確認。	○	混練機スクリーフイーダーの不具合(スクリーフに原料が固着し、モーター過負荷でトリップ)が生じ、緊急対策としてスクリーフピッチを広げたものと交換し連続成型を実施。300t/d連続操業に向けた恒久対策は、モーター容量アップを計画(今年度中に実施予定)。

研究開発項目		中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(1)中規模設備での製造技術実証	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	・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 (中規模設備で製造した混練物を評価し、確率50%で混合度95が達成できること)	成型物の強度測定結果から、目標強度80以上を確認。成型物強度と混合度の関係から、混合度95以上と推測。	○	

研究開発項目		中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(1) 中規模設備での製造技術実証	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	<ul style="list-style-type: none"> ・フェロコークスのドラム強度※： DI150/15\geq80(ラボ乾留実験) (現状より劣質原料使用。中規模設備で混練成型した成型物を抜き出し、ラボの乾留炉で乾留した時に強度が確保できること。固形バインダー、液体バインダーは従来品使用) ※ドラム強度 DI150/15: JIS規格 	中規模設備で混練成型した成型物を抜き出し、ラボの乾留炉で乾留し、強度を確認(DI150/15 \geq 80をクリアー)。	○	

研究開発項目		中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
① -2 固液均一混合のシミュレーション	・混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプを完成させる。	混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプは2019年度に完成。	○		

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(2)一般炭、低品位原料使用時の製造技術実証	<ul style="list-style-type: none"> ・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、成型物強度を確認する(I型ドラム強度※: ID30/15\geq85)。 ※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 ・ラボにて④で製造した新規固形バインダー使用成型試験を実施し、強度評価を行う(液体バインダーは従来品使用)。 	<p>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、成型物強度を確認した(I型ドラム強度: ID30/15\geq85)。</p> <p>ラボにて新規固形バインダー使用成型試験を実施し、強度評価を実施。</p>	○	

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(3)実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証	<ul style="list-style-type: none"> ・ラボ装入模擬試験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確立する。 ・中規模設備で混練・成型・乾留したフェロコークスを実高炉へ装入量3kg/t程度で連続的に装入でき、かつ安定して操業(通気変動がないこと)できることを確認する。(フェロコークスの実高炉への装入量が平均3kg/t程度: 高炉の日常の炉熱変動の還元材比換算\pm約3kg/tの範囲内=高炉の商用生産に影響を与えない範囲) 	<p>ラボ装入模擬試験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は、2019年度に完了。10月より100t/dの試験操業を開始、実高炉へ装入量3kg/t程度で連続的に装入でき、かつ安定して操業(通気変動がないこと)できることを確認</p>	○	

研究開発項目		中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(4)新バインダー強度発現実証	④-1 新規固形バインダーの性能実証	<ul style="list-style-type: none"> ・0.3トン/日にスケールアップした設備で新規固形バインダーを製造する。 ・製造した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\geq85)(ラボ成型実験)を確保する。 フェロコークスのドラム強度:DI150/15\geq80(ラボ乾留実験)を確保する。 	工業的に最大の新規固形バインダー収率が得られる製造条件として、抽出温度380℃、昇温速度150℃/minを提示した。新規固形バインダー中の副生炭(RC)濃度を10%以下に規定した。ラボ試験炉において、成型物およびフェロコークスの強度目標を達成した。	○	新規固形バインダーを用いたフェロコークス製造試験の追加評価を実施し、必要であれば新規固形バインダーの製造条件の見直しを行う。ASPと新規固形バインダーの比較より、新規固形バインダーの強度向上メカニズムや優位性を明確にする。

研究開発項目		中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(4)新バインダー強度発現実証	④-2 新規液体バインダー開発	<ul style="list-style-type: none"> ・中規模設備から得られたフェロコークスタールの化学構造や分子量分布を把握する。 ・試作した新規液体バインダーを用いた成型物の冷間強度をタブレットスケールで測定する。成型物の強度目標:割裂引張試験において、既存液体バインダー(SOP)と同等以上。上記結果に基づく新規液体バインダーの製造オプションを提示する。 	軽質成分を多く含むフェロコークスタールの改質方法を提案し、液体バインダーの軟化点および粘度(成型温度範囲)をSOP並みに調製することで、SOPと同等の強度向上効果を有する新規液体バインダーを試作した。	○	中規模設備で製造されたフェロコークスタールの化学構造、分子量分布の評価および改質方針に沿った新規液体バインダーの試作を行う。新規液体バインダーを用いた成型物強度の評価結果に基づいて新規液体バインダーの製造オプションを提示する。

研究開発項目		中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(4)新バインダー強度発現実証	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	・圧縮成型時の石炭-バインダー-鉄鉱石の圧縮挙動予測モデルを構築し、フェロコークスに適したバインダーの添加条件を提案する。モデル解析結果の誤差:10%以内。	石炭-バインダー共存ケースの圧縮挙動予測モデルを構築した。実験結果とモデル解析の比較を通してモデルの予測精度の向上を目指すとともに石炭-バインダー-鉄鉱石共存ケースの圧縮挙動予測モデルを構築する。	○	鉄鉱石や液体バインダーを含む成型物の実験データの取得を神戸製鋼と共同で進め、石炭-バインダー-鉄鉱石が共存する圧縮挙動予測モデルを構築する。

研究開発項目		中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(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	・⑤-1 で得られた高温性状調査結果と⑤-2 で得られたフェロコークス反応モデルを反映した、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させ、ケーススタディによる物質収支誤差が許容範囲(1%程度)であることを確認する。	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を調査し、温度とガス化率の関係を評価した。また、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させ、ケーススタディを実施した。	○	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を調査し、温度とガス化率の関係を評価する。また、汎用高機能高炉内反応シミュレータに⑤-2 で得られた知見を反映し、ケーススタディを実施し、物質収支誤差が許容範囲であることを確認することで、達成

					できる見込み (2021年2月達成見込み)。
--	--	--	--	--	---------------------------

研究開発項目		中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(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	・⑤-1で得られた高温性状調査結果と⑤-2で得られたフェロコークス反応モデルを反映した、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させ、ケーススタディによる物質収支誤差が許容範囲(1%程度)であることを確認する。	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。	○	

表 3 - 2 研究成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目		現状	最終目標 (2022 年度末)	達成見通し
(1) 中規模設備での製造技術実証	①-1 中規模設備の開発	原料事前処理設備、連続混練成型設備および乾留設備の据付完了。新型コロナウイルス緊急事態宣言の発出により、負荷試運転が約 2 ヶ月の後ろ倒しになるも乾留設備までの製造能力 (300t/d) を確認。	<ul style="list-style-type: none"> 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 (中規模設備で製造した混練物を評価し、確率 100% で混合度 95 が達成できること) フェロコークスのドラム強度※: DI150/15 \geq 80 (中規模設備) (現状より劣質原料使用時に強度確保) 	中規模設備の生産量 300t/d での連続運転を実施し、結果の解析を実施することで、目標を達成する見通し。
	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	成型物の強度測定結果から、目標強度 80 以上を確認。成型物強度と混合度の関係から、混合度 95 以上と推測。		

研究開発項目		現状	最終目標 (2022 年度末)	達成見通し
(1) 中規模設備での製造技術実証	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	中規模設備で混練成型した成型物を抜き出し、ラボの乾留炉で乾留し、強度を確認 (DI150/15 \geq 80 をクリアー)。	<ul style="list-style-type: none"> ④で製造した新規固形バインダー使用、液体バインダーは従来品使用) ※ドラム強度 DI150/15: JIS 規格 	
	① -2 固液均一混合のシミュレーション	混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプは 2019 年度に完成。		

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(2)一般炭、低品位原料使用時の製造技術実証	<p>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、成型物強度を確認した(I型ドラム強度: ID30/15\geq85)。 ラボにて新規固形バインダー使用成型試験を実施し、強度評価を実施。</p>	<p>・成型物の強度※(I型ドラム強度): ID30/15\geq85(中規模設備) ※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 (現状より劣質原料使用時に強度確保。④で製造した新規固形バインダー使用、液体バインダーは従来品使用)</p>	<p>ラボスケールにおける原料(鉄鉱石、石炭)の絞込みについては完了。 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する見込み。</p>

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(3)実高炉でのフェロコークス長期使用効果検証	<p>ラボ装入模擬試験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は、2019年度に完了。 10月より100t/dの試験操業を開始、実高炉へ装入量3kg/t程度で連続的に装入でき、かつ安定して操業(通気変動がないこと)できることを確認。</p>	<p>・連続操業試験: 30日以上(装入量: 平均27kg/t(稼働率90%))(高炉の還元材比、通気性の変化を確認)</p>	<p>混錬機スクリーフィーダーの不具合(スクリーに原料が固着し、モーター過負荷でトリップ)が生じ応急対策としてスクリーピッチを広げたものと交換し連続成型を実施。300t/d連続操業に向けた恒久対策として、モーター容量アップを実施(今年度中に実施予定)するため、連続操業試験30日以上を達成する見通し。</p>

研究開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(4)新バインダー強度発現実証	④-1 新規固形バインダーの性能実証	工業的に最大の新規固形バインダー収率が得られる製造条件として、抽出温度380°C、昇温速度150°C/min、滞留時間40分を提示した。既存固形バインダー(ASP)と同等以上の強度向上効果を達成可能な新規固形バインダー中の副生炭(RC)濃度を10%以下に規定した。また新規固形バインダーを用いたラボ試験炉による製造評価(JFEスチール)において、成型物およびフェロコークスの強度目標を達成した(20年度追加評価を実施中)。	・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(中規模設備)。 (作り溜めした上で、中規模の混練・成型機に数バッチ分投入し、成型物のI型強度を測定する。成型品は乾留炉、高炉に投入。ただし、量が少ないため、乾留後強度、高炉評価はできない)	新規固形バインダーを用いて製造した成型物・フェロコークスの目標強度については、当社小型炉評価およびラボ試験炉評価(JFEスチール)において確認済み。中規模設備投入前の条件設定についてJFEスチール側と協議して実施することで最終目標を達成する。

研究開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(4)新バインダー強度発現実証	④-2 新規液体バインダー開発	軽質成分を多く含むフェロコークスタールの改質方法として、低沸点成分除去法や重質成分との混合熱処理法、混合抽出法を提案し、液体バインダーの軟化点および粘度(成型温度範囲)をSOP並みに調製することで、SOPと同等の強度向上効果を有する新規液体バインダーを製造した(フェロコークスタールを入手するまでの代替品としてコールタールを使用)。	・新規固形バインダー使用時のフェロコークスのドラム強度※:DI150/15 \geq 80(中規模設備) ・従来と同等の強度を実現し得る新規液体バインダーの製造プロセス案を提示する。	提案した低沸点成分除去法や重質成分との混合熱処理法、混合抽出改質法の何れも改質(重質化)が可能であることを確認しており、試作品を用いた成型物の強度評価より、SOP代替となる性能を有する新規液体バインダーの改質方針を決定した。21年度に試作品を用いたタブレットによる強度評価(JFEスチール)に基づき製造条件の最適化を進め、新規液体バインダーの製造プロセス案に反映させることで最終目標を達成する。

研究開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(4)新バインダー強度発現実証	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	石炭-バインダー共存ケースにおいて、圧縮応力の実験値との誤差が10%以内となる圧縮挙動予測モデルを構築した。実験結果とモデル解析の比較を通してモデルの予測精度の向上を目指すとともに石炭-バインダー-鉄鉱石共存ケースの圧縮挙動の予測モデルを構築する。	・フェロコークスブリケットの冷間強度予測モデルの最適化を行い、工業的に低負荷となるフェロコークスの圧縮成型条件を提案する。モデル解析結果の誤差:10%以内。	離散要素法をベースとした圧縮挙動の予測モデルの高精度化は達成見込みである。成型物の構造を高精度で予測できれば、冷間強度の推算についてもモデルの構築ならびにモデルパラメータのチューニングにより最終目標を達成できる見込みである。

研究開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(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 ⑤-2 反応性評価・反応モデル構築	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を調査し、温度とガス化率の関係を評価した。また、汎用高機能高炉内反応シミュレータの試作品を完成させ、ケーススタディを実施した。 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。	・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)。	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、その知見を⑤-1の汎用高機能高炉内反応シミュレータに適用し、評価方法を確立する。また、③(実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証)の結果を汎用高機能高炉内反応シミュレータを用いて解析することで、省エネ効果を確認し、最終目標を達成できる見通し。

1.2.2 知的財産等の成果概要

【成果の普及】

表 には 2020 年 10 月末段階での研究開発成果（成果発表）を示す

表 3 - 3 研究開発成果（成果発表）

年度	2017	2018	2019	2020	2021	2022	計
論文	0	0	4	1			5
研究発表・講演	0	3	9	2			14
受賞実績	0	0	0	0			0
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	11			11
展示会への出展	1	1	1	0			3

※2020 年 10 月 31 日現在

代表的な論文は以下の通りである。

○西山記念技術講座（第 239・240 回）、（一社）日本鉄鋼協会 2019 年度 10 月掲載

「製鉄プロセスの新たな取り組み（国プロを中心として）」

○JFE 技報 No. 45 2020 年度 2 月 掲載

「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」

○粉体技術（（一社）日本粉体工業技術協会） 2020 年度 10 月 掲載

「製鉄プロセスの新たな取り組み」

代表的な口頭発表は以下の通りである。

○2018 年度 12 月 （独）日本学術振興会学振 54 委（平成 30 年度 12 月期：第 193 回）

「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」

○2019 年度 6 月 World Steel Association Technology Committee Meeting

「CO2 Reduction Technology of JFE Steel」

○2019 年度 9 月 日本鉄鋼協会第 178 回秋季講演大会

「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」

【知的財産権の確保に向けた取組】

表 には 2020 年 10 月末段階での研究開発成果（特許出願）を示す。

表 3 - 4 研究開発成果（特許出願）

年度	2017	2018	2019	2020	2021	2022	計
特許出願(うち外国出願)	0	0	0	1(0)			1(0)

※2020年10月31日現在

戦略に沿った具体的取組状況としては、これまでの国プロでの活動を踏まえつつ、継続的に特許出願を行う

○技術封印：先導研究（「エネルギー使用合理化技術戦略的開発」）（'06～'08年度）

開始前に実施。

○特許網構築：「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）において実施。

○新規知的財産権：中規模設備固有のプロセス・設備、使用原料に関する特許出願

2. 研究開発項目毎の成果

課題 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 中規模設備の開発

【目標】

2017年度 基礎工事：原料乾燥～乾留・ガス処理設備に至る 300t/d フェロコークス製造設備の架構および機械設備の杭打ち工事、並びに基礎工事(コンクリート打設)までを完了する。

2018年度 原料予備処理設備の搬送コンベア・配管を除く、詳細設計、機器製作を完了する。

2019年度 300t/dフェロコークス製造設備の機器の据付け、配管工事を完了する。

2020年度 試運転を完了し、操業試験を実施する。

【成果】

300t/dフェロコークス製造中規模設備は、JFEスチール西日本製鉄所福山地区の第2号焼結工場（休止設備）跡地に建設する。基礎工事に取りかかる前に既設基礎、埋設ケーブルの撤去工事を実施した。また、電気室は休止中焼結工場の建屋を流用し不要な電気品等を撤去した。撤去工事は、2017年12月4日から開始し年内に終了、年明け1月5日から杭打ち工事を開始し、2月9日に約350本の杭打ちを完了した。杭打ち工事と並行して、1月10日から基礎工事を開始した。

基礎工事は、設備パートを6ブロックに分けて施工し、3月27日までに冷却塔基礎を除く、17年度分基礎工事を完了した。2018年度は、原料ヤード、共通ケーブルラック架構および危険物設備の基礎工事を行ない、5月

21日に躯体工事を完了した冷却塔基礎工事は、8月21日から杭打工事を着工し、9月3日から躯体工事に取りかかり10月末に完了した。フェロコックス製造設備敷地外では、高炉装入設備の据付工事の事前工事として、7月30日から既存設備（ホッパー類、スキップコンベア、フィーダー、架構等）の撤去、また、11月より土木基礎工事を開始し、3月18日に完工し、原料予備処理設備の搬送コンベア・配管を除く、詳細設計、機器製作を完了、成型設備はホッパー等付帯設備を除く詳細設計、機器製作を完了、乾留設備はガス処理設備を除く、乾留設備本体の詳細設計、機器製作を完了した。2019年度11月末、主要装置の据付工事は概ね完了（図3-3参照）。2020年2月末時点で、乾留設備の塗装・保温、配管工事、配線工事を実施。プラント全体の機械、制御の据付工事は予定通り、2020年度内に完了。

高炉投入設備に関しては、2018年12月の休風に合わせ、投入シュートの据付工事を実施し、12月17日から土木基礎工事を開始し、3月18日に完了。その後、架台、秤量ホッパー、切出しフィーダーの据付を行い、11月20日に据付工事を完了。



図3-3 300t/dフェロコックス製造中規模設備 工事全景

当初実施計画では、2020年4月から試運転を実施する予定であったが、高炉投入設備の据付工事が12月に完了したため、12月23～25日に高炉投入設備の無負荷単独試運転を実施し、翌1月23～24日の高炉休風に合わせて、システムの改造および無負荷連動試運転を行い、無負荷での試運転を完了した。高炉投入設備の試運転を皮切りに、1月20～24日に間接冷却設備、1/28～29日に石炭垂直コンベアと順次、無負荷試運転を前倒しで実施し、4月下旬より負荷試運転を開始し、9月下旬に完了した。

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（JFEスチール（株））

【目標】

2017年度 750L級の「30トン/日パイロットプラント」の知見を活用して、原料の予備処理設備の設計と4,000L級にスケールアップした連続混練成型設備の基本設計までを完了する。

- 2018年度 原料予備処理設備の搬送コンベア・配管を除く、詳細設計、機器製作を完了し、4,000L級混練成型設備のホッパー等付帯設備を除く詳細設計、機器製作を完了する。
- 2019年度 原料予備処理設備および4,000L級混練成型設備の建設と据付を完了する。
- 2020年度 原料事前処理設備および連続混練成型設備の据付完了し、据え付けた原料予備処理設備および混練成型設備について、設備能力（300t/d）・稼働率等、設備耐久性（攪拌羽根、成型ロールの磨耗状況）等の実証を行う。原料（固体3種類、液体1種類の混合）の混合度95以上を確認する。

【成果】

30t/日パイロットプラントでは、鉱石はプラント外で粉碎・乾燥を実施し、石炭は、ヤード原料をプラント内で粉碎・乾燥を実施した。鉱石は1種類のみであったため、プラント内には石炭専用の粉碎機、乾燥機を設置した。中規模プラントでは、鉱石は同じく1種類であるがプラント内で粉碎・乾燥を実施する。石炭は2種類使用し、HGI（石炭の硬さ）が異なるためそれぞれ別々のラインを設けることとした。また、鉱石および石炭は乾燥前後で貯留ホッパーでの流動性が異なり、乾燥後は大きい粒子が先に排出され小さい粒子が後に排出される現象が顕著となる。粒度が異なる原料が成型機に送り込まれることで成型圧が変動し、成型物強度にバラツキが生じる。この原料の偏析抑止のため、乾燥後のホッパーサイズを小さくし、且つ、成型前の混練機で必要な1バッチ分を搬送するシステムとした。更に、発火防止のため石炭乾燥機には、蒸気間接加熱のSTD（Steam in tube dryer）を採用し、雰囲気酸素濃度が1%以下になるような対策を施した。

粉碎機は、バインダー、石炭、鉱石それぞれ硬さが異なる、また、水分の影響で供給・排出部への居着きが問題となるため、様々な型式で粉碎試験を実施（図3-4）し、各原料に適応した機種を選定した。混練・成型設備は、偏析抑制のためのバッチ搬送、成型圧安定操業のための原料供給装置さらに紛体圧による亀裂発生抑制のための成型物冷却装置などを基本設計に反映させた。

原料予備処理設備（石炭粉碎乾燥および鉱石粉碎乾燥）は、石炭架構を2019年2月5日から、また、鉱石架構を2019年3月8日から建て方を開始し、成型設備の成型架構は2019年3月23日から建て方を開始した。GLから順次機器の据付工事を行い、11月末までに主要装置の据付工事は概ね完了した。

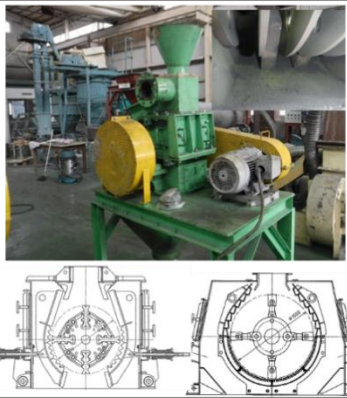


型式	スイングハンマーミル	ピンミル	ケージミル(ピンミル)
原理			
	回転するハンマーの衝撃で破碎	回転するピンの衝撃で破碎	
粒度	粗い	細かい	細かい
居着き	供給部:なし 排出部:あり	供給部:あり 排出部:なし	供給部:あり 排出部:なし
コスト	高価	安価	高価

図3-4 粉砕機の型式と特徴

混合・攪拌シミュレーションモデルにおいては、共研先である東北大で粒子径4000L規模の混合・攪拌シミュレーションモデルを実施するため独自コードの取り扱い粒子数の増加と計算時間の短縮を目的として並列化処理に対応するための改造を行うとともに、DEMコードの改良や粗粒解析から実粒径における混同速度の推定方法の開発を実施。バインダー粒子に付着力を導入した解析を実施し、混合実験で確認できた原料表層挙動との比較を行った。付着力を与えなかった解析ではタール・SOP投入前の実験と同様に石灰粒子は回転中に向かって螺旋状に引き込まれている。また、付着力を与えた解析ではタール・SOP投入後の実験と同様に石灰粒子は回転中心には引き込まれず、外周部に滞留している。以上から付着性原料による原料混合挙動を解析上で再現出来ていることを確認(図3-5)。混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプを構築した。

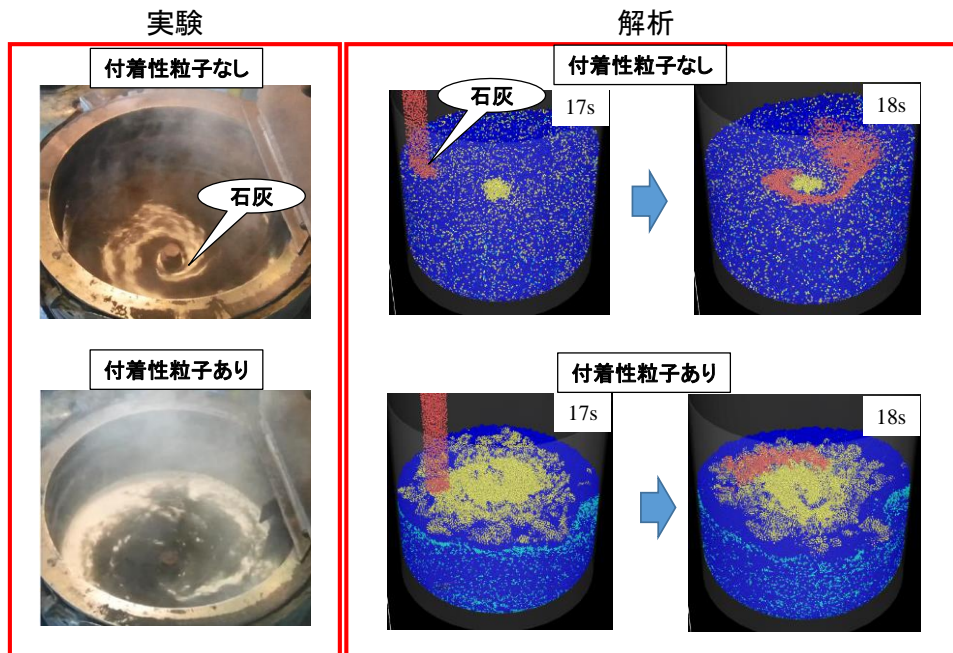


図3-5 実験挙動と解析挙動の比較

①-1-2 複数本羽口を有する規模設備での乾留技術の確立

【目標】

2017年度 「30トン/日パイロットプラント」（1列羽口）の知見を活用した、長期操業に耐えうる中規模設備を構成するスケールアップ乾留設備（4～5列羽口）（ダスト・タールの多量発生に対応したガス処理系も含む）の設計を行う。

2018年度 ガス処理設備を除く、乾留設備本体の詳細設計、機器製作を完了する。

2019年度 設計に基づく当該乾留設備の建設、据付を完了させる。

- 2020年度
- ・ 乾留設備の据付完了し、乾留設備の製造能力（300t/d）を確認する。
 - ・ 原料事前処理設備、連続混練成型設備および乾留設備の据付完了後、連続操業を模擬した負荷運転を行う。その後、操業試験により設備の長期間稼働安定性や耐久性（シール弁、断熱材の劣化等）課題を抽出する。
 - ・ 中規設備で用いる原料と同一原料でラボ乾留実験を行い、フェロコークスのドラム強度： $DI150/15 \geq 80$ （ラボ実験）を確認する。
 - ・ ガス処理系において発生ガス、ダスト・タールの長期間安定処理（排ガスから効率的にダスト・タールが分離でき、かつ配管閉塞がないことなど）ができることを確認する。
 - ・ 新規液体バインダー開発のため、ガス処理系で凝縮されたフェロコークスタールを提供する。

【成果】

乾留炉は、「30トン/日パイロットプラント」（1列羽口）の知見を活用し、長期操業に耐えうる中規模設備を構成するスケールアップ乾留設備（4列羽口）（ダスト・タールの多量発生に対応したガス処理系も含む）の設計を行った。

乾留炉の炉内温度は上部の低温羽口、中央部の高温羽口、下部の冷却羽口と中央部と下部の間に位置する抽出羽口の吹込みガス温度、流量により制御する。低温～高温羽口間で成型物の乾留と還元を促進させ、抽出～冷却間で乾留されたフェロコークスの温度を約80℃前後まで冷却する。冷却羽口からは、炉頂から発生する循環ガスをガス処理設備でダスト・タールミストを取り除き、約40℃程度まで冷却された循環ガスを吹込み、その上部の抽出羽口から抜き取る。抜き取られたガスは、低温、高温羽口へ送風され、加熱媒体として再利用する。この4種類の羽口の温度・流量により形成される炉内ヒートパターンがフェロコークス性状を左右する。

再利用される循環ガス中のダストおよびタールはダクト内の閉塞の要因となるため、ガス処理設備で安水噴霧によりタールミストを除去し、電気集塵機によりダスト除去する(図3-6)。このガス処理設備でのダストおよびタールの除去が設備の長期安定稼働を左右する。

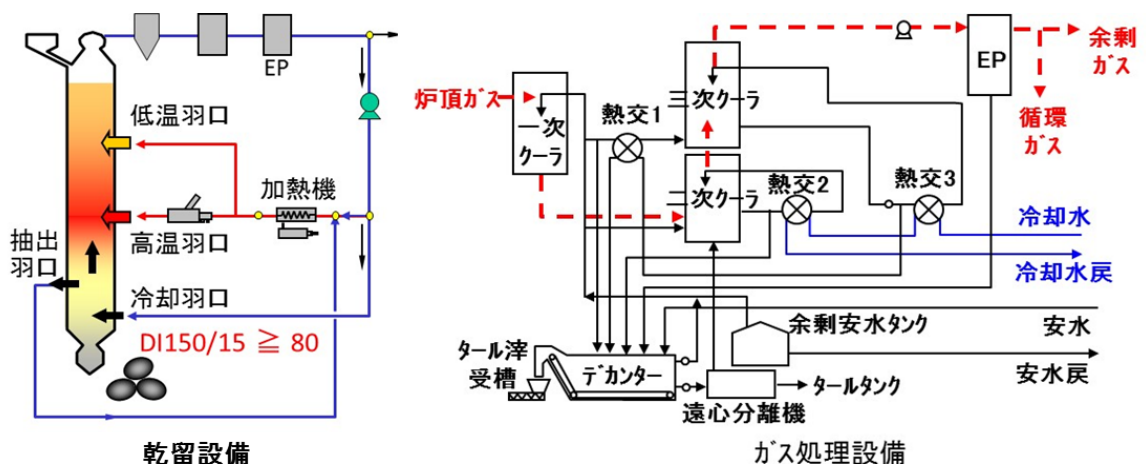


図3-6 乾留・ガス処理設備の概要

乾留炉では、4種類の羽口の温度・流量により形成される炉内ヒートパターンがフェロコークス性状を左右するが、そのためには各羽口に送られるガス温度が重要となる。ガス処理設備でダスト・タールミストを取り除かれた循環ガスは、循環ガス加熱器で650℃前後に加熱され、断熱材を施したダクト配管で低温・高温羽口に送られる。高温羽口には燃焼バーナーを備えており、燃焼バーナー用空気は空気加熱器で加熱し送り込まれる。ダクト配管はガス加熱器の出口から羽口まで約50mにおよぶものもあり、ヒートロスによるガス温度低下は非常に重要な問題である。ダクト配管の断熱材の選定にあたっては、「30トン/日パイロットプラント」の知見を活用し、加熱器出側ガス温度と羽口付近のガス温度の実績値と同じ配管径で作成した数種類のダクト配管の各ヒートロスを測定し、断熱材の設定を行った。

①-2 固液均一混合のシミュレーション

【目標】

2017年度 ・離散要素法 (DEM; Discrete Element Method) に基づく混合・攪拌シミュレーションモデル構築のために、数十Lオーダーの混練冷間装置を作成し、混練状態を把握するための実験を行う。

・DEM法に基づく混合・攪拌シミュレーションモデルの構築に着手する。

1) 互いに接触した粒子間に働く接触力をモデル化

2) 接触力が作用する個々の粒子の運動を記述する運動方程式を数値計算

3) 粉体中の個々の粒子の挙動を追跡

2018年度 攪拌・混合理論を構築と実験対比による混合・攪拌シミュレーションモデルの高精度化を実施（実際の物の動きをDEMにより再現するため、シミュレーションモデルに設定した各種パラメータを調整すること）する

2019年度 ・混練による固液均一混合に関しては、旋回流、上下動流等の物の動きを再現し、均一混合に適した、攪拌羽根の形状を提案する。

・解析速度のスピードアップを図るため、GPU計算機の増強を行い、粒子数1000万個弱（現状の約4倍）で、かつ粒子径を細粒化した条件でのシミュレーションを可能とする実機4000 L混練（混合挙動）DEM解析モデルのプロトタイプを完成させる。

2020年度 ・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。

・混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプを用い、運転条件とのすり合わせに着手する。

【成果】

試験混合機と同形状混合羽根による混合シミュレーションの混合挙動確認のために、75 L 試験混合機を使用し混合試験を実施。混合試験から投入された石灰は、渦を巻くように中心部から底部に向かって分散されていることが分かる。混合が進むと外側から石灰が現れ、再び中心部に向かって渦を巻くように分散されていく様子が確認できた。シミュレーションにおいても、初期状態において最上部にある赤色粒子が底面に向かって分散されていき、混合が進むと外側から混合粉体層表面に向かう挙動を確認することができた。この結果から、シミュレーションにより混合試験と同様の混合挙動を再現できるものと考えられる。



図3-7 試験機による混練状況

混合試験機での粉体混合挙動を確認し、同形状混合羽根による混合シミュレーションを行った。石灰を使用した混合試験で確認された混合挙動をシミュレーションでも表現可能と考えられる。また、混合試験で用いられるバインダーの効果をシミュレーションにおいて付着力モデルを導入することで表現し、混合・攪拌シミュレーションモデルを構築した。

課題② 一般炭、低品位原料使用時の製造技術

【目標】

- 2017年度 石炭・鉄鉱石から最低2種類の銘柄を選択し、実際に実験室規模での混練（75L）、成型（φ650mm）を行い、成型後の歩留り・強度を評価する。
- 2018年度 ・実験室で製造した成型物を乾留容器に装入し、乾留を行い（1000℃、6～7時間）、乾留後の試料の性状評価（フェロコークス同士の融着性、対圧壊強度、反応性等）を行う。
・長期操業試験用原料（石炭、鉄鉱石）（融着しないこと）。
- 2019年度 ・中規模設備で使用可能（成型物の強度（I型ドラム強度）：ID30/15 \geq 85（ラボ実験）を満足）な一般炭2銘柄および低品位鉄鉱石2銘柄の選定を完了する。
・一般炭と低品位鉄鉱石、および④で製造した新規固形バインダーを用い、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。
・鉄鉱石の銘柄拡大のため、豪・伯と言った主要産出国に捉われない産出国（銘柄）の調査およびサンプル評価（成型・乾留試験および成型物、フェロコークスの性状評価）を行い、利用技術を確立する。
- 2020年度 ・選定した一般炭2銘柄、低品位鉄鉱石1銘柄および従来のバインダーを使用し、中規模設備で成型を行い、成型物強度を確認する（I型ドラム強度：ID30/15 \geq 85）。
・ラボでの新規固形バインダー使用成型試験を実施し強度評価を行う。

【成果】

低品位原料の配合構成は、成型物および乾留後のフェロコークス双方の品質に影響を及ぼすと考えられる。まず、成型物の品質として、強度および歩留りに及ぼす低品位炭の配合構成の影響を調査した。一般炭として炭化度 R_o が0.7程度の低 R_o 炭、PCI炭としては R_o が1.2程度と原料炭並みであるが、MFの低いものを使用した。また、鉄鉱石としてはピソライト鉄鉱石を使用した。低品位炭重量（一般炭とPC炭の合計重量）と鉄鉱石重量の比は7:3で固定し、低品位炭中の一般炭の比率が0 wt%、30 wt%、50 wt%となるように3種の配合炭を調製した。これにアスファルトピッチを添加後、それぞれヘンシェル型の高速攪拌機内で混練しながら加熱した。混練中に所定の温度にてコールタールおよびソフトピッチ（SOP）を添加し、原料温度が160℃となった時点で混練を完了し、高速攪拌機より原料を排出した。混練原料中のASP、タール、SOPの比率はそれぞれ2.0 wt%、2.4 wt%、3.6 wt%、全原料の合計重量を20kgとした。混練後の原料をダブルロール型の高圧成型機を用いて成型し、サイズが6ccの成型物とした。成型後の全原料中の15mm以上の割合を成型物歩留りとし、低品位炭の配合構成の影響を評価した。また、成型物の強度として、I型強度を測定し、ID(30/15)と低品位炭配合構成の関係を調査した。

一般炭は6銘柄、PCI炭は3銘柄、鉄鉱石は2銘柄を用いて評価を行い、その結果、一般炭4銘柄、PCI炭3銘柄、鉄鉱石2銘柄が使用可能であることを確認した。2020年度の負荷試運転では、上記の結果を踏まえて原料の選定を行い、300t/d規模でのフェロコークスの製造を実施した。

課題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）

【目標】

- 2017年度 高炉装入を想定した冷間でのラボ装入模擬試験（※）の検討に着手する。
- 2010年度 1/18 ラボ装入模擬試験に基づきフェロコークス分布の制御性と再現性に優れた実高炉向けの装入方法の探索を行う（H29年度から継続）。高炉装入条件（装入速度、シュート角度、旋回数）の適正化（フェロコークスの径方向に均一な分布を目標）に着手する。

- 2019 年度
- ・高炉装入設備の付帯設備・配管を除く、機器製作を完了する。
 - ・高炉装入条件（装入速度、シュート角度、回転数）の適正化（フェロコークスの径方向に均一な分布を目標）を図る。
- 2020 年度
- ・ラボ装入模擬試験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とともに、上記装入設備を用い、フェロコークスの実高炉への装入量 3kg/t 程度（高炉の日常の炉熱変動の還元材比換算±約 3kg/t の範囲内＝高炉の商用生産に影響を与えない範囲）で連続的に装入でき、かつ安定して操業（通気変動がないこと）できることを確認し、生産量 100t/d で 1 週間の試験操業を 5 回以上実施する。

【成果】

フェロコークスの適正な装入方法をラボ装入模型試験に基づき提示することを目的とし、1/18 ラボ装入模擬試験（図 3-8）に基づきフェロコークス分布の制御性と再現性に優れた実高炉向けの装入方法の探索のため、高炉装入条件（シュート角度、装入速度、回転数）の適正化および装入ベルトコンベア上でのフェロコークス積み付け状態の適正化の検討を行った。

その結果、シュート角度の傾動方法を検討した結果、順傾動装入より逆傾動装入の方がフェロコークスの径方向混合率分布が均一になることが分かった。また、装入速度、回転数を変更して試験を行った結果、回転数を少なくし、装入速度を大きくした方が、フェロコークスの径方向混合率分布が均一になることが分かった。更に、装入ベルトコンベア上における鉱石上へのフェロコークスの重ね方を検討した結果、炉内への排出時の混合率分布は、フェロコークスを鉱石上の少なくとも半分より後方に重ねた場合に、均一に近づくことが分かった。

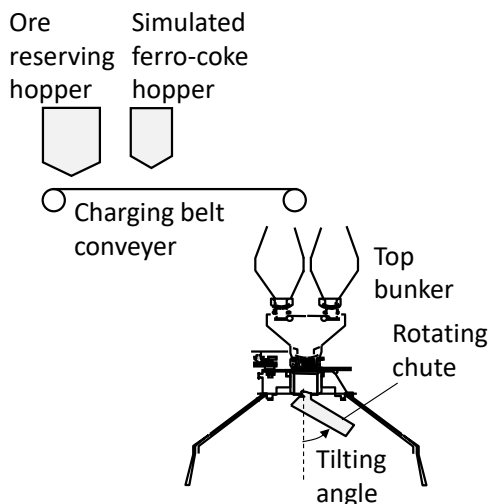


図 3-8 1/18 ラボ装入模擬試験装置

課題④ 新バインダーの強度発現実証

④-1 新規固形バインダーの性能実証

【目標】

- 2017 年度 本事業では0.3トン/日にスケールアップした設備で、抽出温度や時間等、所定の条件で運転が可能かバインダー試作上の課題と対策の抽出を行う。
- 2018 年度 所定性状の新規固形バインダーを中規模設備試験での必要量（数トン規模）を試作するための石炭処理条件（原料石炭種、抽出条件（温度、滞留時間等）等）を提示する。
- 2019 年度 中規模設備に供給するための新規固形バインダーの試作を行うとともにラボスケール成型試験用のバインダーサンプルを提供する。ラボスケールで製造したフェロコークスの冷間強度評価を行い、バインダー特性とフェロコークスの強度の関係を明らかにする。フェロコークスの強度目標：割裂引張試験において既存固形バインダー（ASP）と同等以上。
- 2020 年度 新規固形バインダーの試作を継続し、下記の成型物、フェロコークスの強度目標を達成できる新規固形バインダーの製造条件を確立する。ラボ乾留試験用として新規固形バインダーを提供する（20kg 程度）。成型物の強度目標：（I 型ドラム強度）ID30/15 \geq 85、フェロコークスの強度目標：DI150/15 \geq 80

【成果】

④-1 の「新規固形バインダーの性能実証」では、フェロコークスで使用されている既存固形バインダー（アスファルトピッチ：以下 ASP と称す）の代替となる新規固形バインダーの製造条件の確立と実証を目的としている。0.3トン/日にスケールアップした連続製造設備（Bench Scale Unit 以下、BSU と称す）にて、新規固形バインダーを工業的に高収率で製造するための課題や対策を検討するとともに新規固形バインダーの抽出条件と収率の関係について調べた。また製造時に新規固形バインダーに混入する副生炭濃度と配合時の強度向上効果について調べ、ASP と比較することで新規固形バインダー中の副生炭の許容濃度について検討した。抽出条件の検討では、オートクレーブを用いて抽出温度（380℃、400℃、420℃）および昇温速度（3℃/min、10℃/min、150℃/min）を変更して新規固形バインダーの試作試験を行った。

結果、抽出温度は 400℃、昇温速度は 150℃/min 条件において最大の高い収率が認められた。一方で 0.3t/d の連続製造設備（BSU）の製造条件として適用する際に考えられるリスクの検討より、400℃以上の高温抽出条件では抽出槽におけるヒーターのキャパシティーの制約から、石炭/溶剤スラリーの流量を低下させる必要があり、スラリー配管でのコーキングに伴う閉塞や生産性の低下などのリスクを抽出した。

従って工業的に高収率で新規固形バインダーを製造するための条件として、抽出温度 380℃、昇温速度 150℃/min を提示した。新規固形バインダー中に混入する副生炭の許容濃度は、BUS で製造した副生炭濃度の異なる複数の新規固形バインダー（副生炭濃度 2%~20%）を用いた強度評価を行い、ASP 配合時と同等の強度向上効果が得られる副生炭の許容濃度として 10%以下を閾値として設定した。以上の結果より、工業的に高収率で新規固形バインダーを製造可能な条件として、抽出温度 380℃、昇温速度 150℃/min とし、また新規固形バインダーに含まれる副生炭濃度を 10%以下とすることで、ASP と同等の強度向上効果が得られることを確認した。

さらに新規固形バインダー中の副生炭濃度と強度向上効果の関係を調べるため、副生炭濃度の異なる複数の新規固形バインダーを用いて石炭層に対する浸透距離を測定した。その結果、副生炭濃度が低いほど石炭層への浸透距離が増加する傾向が確認され、ASP と同等の浸透距離を示す新規固形バインダー中の副生炭濃度は 10%であった。これらの結果より、フェロコークスに対する強度付与効果は、熔融した固形バインダーの浸透に伴う粒子間の空隙充填に起因することを明らかにした。



図 3-9 新規固形バインダー連続製造設備 (BSU)

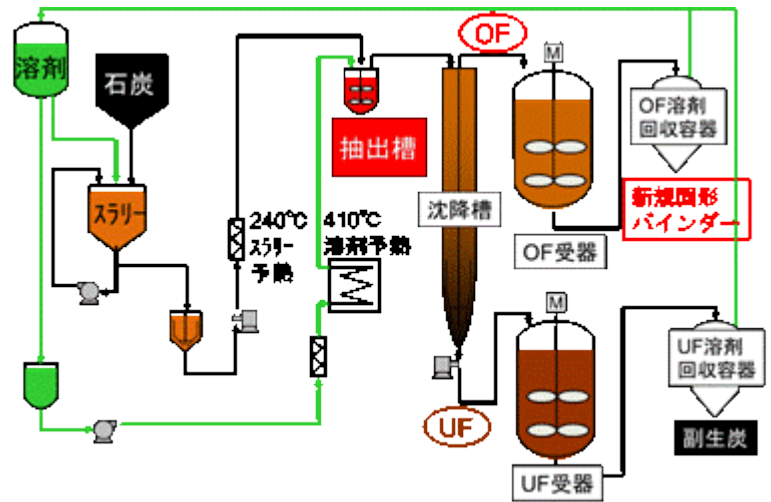


図 3-10 新規固形バインダーの製造フロー

④-2 新規液体バインダー開発

【目標】

- 2017 年度 コークス炉から発生する中低温タールの性状・組成分析を行う。またマトリクス支援飛行時間型質量分析計を 2017 年度に導入し中低温タールの分子量分布解析を行う。
- 2018 年度 従来の液体バインダー、中低温タールおよび石炭抽出物、それぞれの化学構造上の、あるいは分子量分布における差異を踏まえて、フェロコークスに適した液体バインダーを製造するための条件を探索する。
- 2019 年度 フェロコークスに適した液体バインダーを製造するための条件の探索を継続する。中低温タールを原料とした新規液体バインダーの試作を行い、バインダー性状の評価およびタブレットスケールでの冷間強度評価を行う。成型物の強度目標：割裂引張試験において、既存液体バインダー (SOP) と同等以上。
- 2020 年度 東北大学の圧縮挙動予測モデルの計算結果を新規液体バインダーの添加条件に反映して、タブレットスケールでの冷間強度評価を実施する。中規模設備から得られた中低温タール (以下、フェロコークスタールと称す) の化学構造や分子量分布を把握する。フェロコークスタールを原料とする新規液体バインダーの試作試験に着手し、タブレットスケールでの成型物の冷間強度評価を実施する。成型物の強度目標：割裂引張試験において、既存液体バインダー (SOP) と同等以上。上記結果に基づく新規液体バインダーの製造オプションを提示する。

【成果】

④-2 フェロコークスプラントからの副生物である中低温タール (フェロコークスタール) を原料とする新規液体バインダーの開発を進めるにあたり、バインダーを構成する成分の分子量分布がバインダーの溶解性や接着性に大きく影響していると考えられることから、分子量分布を迅速に高精度で評価できる MALDI-TOF/MS を導入するとともに溶剤分別および粘度測定を行い既存の液体バインダー (SOP) と中低温

タールの性状比較を行った。

結果 MALDI-TOF/MS で測定した分子量分布から中低温タールは分子量 m/z で 400 以上の重質な成分が少ないことを確認した。また溶剤分別の結果より中低温タールは、SOP に比べ、トルエン不溶-THF 可溶成分（中質成分）や THF 不溶成分（重質成分）をほとんど含まず、約 95%が軽質なトルエン可溶成分（軽質成分）で構成されていることがわかった。このような成分構成の違いにより、中低温タールの成型温度付近（120°C）における粘度は、SOP の約 1/4 と低いことを確認した。

以上の結果より、中低温タールは SOP に比べて重質成分が少なく、液体バインダーとして利用するためには改質（重質化）が必要であると示唆された。従って、中低温タールを原料に SOP 並みの成型物強度の向上効果を発揮できる新規液体バインダーを製造するための改質方法を検討し、以下の 3 種類の方法を提案した（新規液体バインダーの試作試験に使用した原料は、中低温タールを入手するまでの代替品としてコールタールを使用した）。

①低沸点成分の除去（分画温度を変えることでバインダー特性を制御）

②新規固形バインダーとの混合熱処理

（新規固形バインダーの混合比を変えて、加熱化で混合することでバインダー特性を制御）

③混合抽出（石炭抽出溶剤の一部として中低温タールを活用する新規バインダーの製造）

上記の改質方法を用いた種々の新規液体バインダーの試作試験の結果、何れの方法を用いても原料（コールタール）の改質（重質化）が可能であり、試作条件により新規液体バインダーの軟化点や粘度を調整可能であることを確認した。各試作バインダーを用いた成型物強度の評価を行った結果、改質方法①のコールタールの低沸点成分 27%カット品および改質方法②のコールタールと新規固形バインダーの重量比 2:8 品において、SOP 使用時と同等以上の成型物強度が得られることがわかった。SOP と同等の成型物強度の向上効果を有する各バインダーの特性について調べたところ、何れのバインダーも改質（重質化）により成型温度付近（140-150°C）における粘度が SOP と同等の値に変化していることが確認された。これらの結果より、成型温度付近の液体バインダーの粘度が成型物の強度支配因子の一つであることが明らかになった。

現在 JFE スチール(株)福山事業所の中規模設備によるフェロコークスの製造試験がスタートしており、9 月以降に中規模炉設備の副産品である中低温タールを入手できる予定である。入手後は化学構造や分子量分布等の測定に加え、成型温度付近の粘度の変化を指標とした改質条件の調整により、中低温タールを原料とした SOP 並みの強度向上効果を有する新規液体バインダーの試作を行う。

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←

【目標】

2017 年度 成型物の構成物質である、石炭、鉄鉱石、バインダーそれぞれについて、弾性率や密度等、解析に必要な基礎物性を明らかにするとともに、タブレット成型体内部の気孔・連結構造を、X 線 CT 法等により検討する。

2018 年度 剛体ばねモデルを用いた破壊解析、実験との比較により、フェロコークス製造に使用するバインダーの接着特性を把握し、フェロコークスの冷間強度発現機構を解明する。フェロコークス冷間成型物（タブレット成型体）について、各構成要素の基礎物性に基づいた剛体ばねモデルによる破壊解析と、強度試験実測値との比較をおこない、強度の支配要因やバインダーの役割を解明する。

2019 年度 石炭-バインダーが共存する充填物の圧縮試験を行い、実験値とモデル解析値を比較することでバインダー添加によるすべりや高さ方向の充填密度への影響を定量化する。上記影響を反映した圧縮成型時の石炭-バインダーにおける圧縮挙動予測モデルを構築する。モデル解析結果の誤差：10%以内。

2020 年度 成型物の破壊現象の再現に必要な引張挙動予測モデル構築のため、石炭-バインダー-鉄鉱石が共存する成型物の冷間強度試験を実施する。圧縮成型時の石炭-バインダー-鉄鉱石の圧縮挙動予測モデルを構築し、フェロコクスに適したバインダーの添加条件を提案する。モデル解析結果の誤差：10%以内。

【成果】

フェロコクス成型体構造の破壊挙動を再現可能な剛体ばねモデル（RBSM）を構築するための検討として、石炭の圧縮成型挙動に対する石炭種および粒径の影響評価、また石炭成型物の割裂引張試験における破壊挙動評価を行った。石炭の圧縮成型挙動は炭種および粒径の影響を受け、ハードグローブ粉碎性指数（HGI）が小さい炭種ほど圧縮時の最大応力が大きいこと、また石炭粒径が大きいほど圧縮応力が小さくなることがわかった。後者の理由として石炭粒径が大きいほど石炭充填層内で増加する石炭粒子間の空隙が応力の発生を抑制するためと考えられた。

以上より、石炭種や粒径が石炭の圧縮成型挙動に影響することに加え、成型体の空隙率分布も考慮して強度予測モデルを構築しなければいけないことが明らかになった。次に石炭成型物（直径 9mm、高さ 13mm の円柱、気孔率 10%～20%）の破壊挙動を評価するため割裂引張試験を行い、石炭成型体は 20～30kPa の引張応力で中心付近に亀裂が入り破壊されることが観察された。試験で観察した石炭成型物の破壊挙動を剛体ばねモデル（RBSM）で再現するため、図 3-11 に示す直径 9mm、高さ 13mm の円柱（割裂引張試験と同じ）を解析対象とし、気孔率を 0～30%まで変化させ、円柱上部から割裂引張試験と同様に荷重を加えた際の破壊挙動を解析した。図 3-12 に示す応力-変位線図より、解析対象の気孔率の増加に伴い、応力-変位線の傾きが小さくなり、破断強度も低下した。図 3-13 に解析対象内部の引張破壊およびせん断破壊の様子を示す。引張破壊とせん断破壊の何れも気孔率が 0%の場合は、左右対称に破壊が生じ、また気孔率が 10%以上の場合は、破壊は左右で異なる箇所が生じた。その理由として、気孔率 0%では応力が解析対象に均一に働き、気孔が存在する場合は、解析対象内部での応力集中箇所が不均一となるためと示唆された。本解析結果において、実際の石炭成型物と同じ気孔率 10%～20%では、引張応力は 20～40kPa と計算され、また破壊挙動も類似していることから、圧縮により生じる破壊を概ね再現できるモデルを構築した。

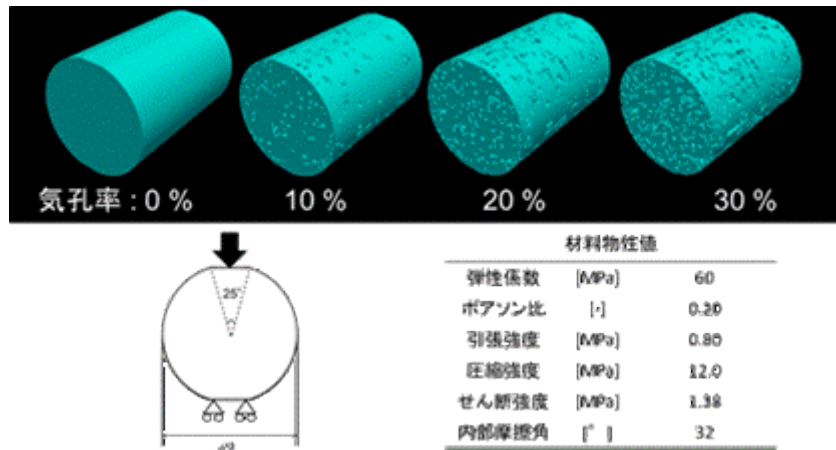


図 3-1-1 石炭成型物モデル

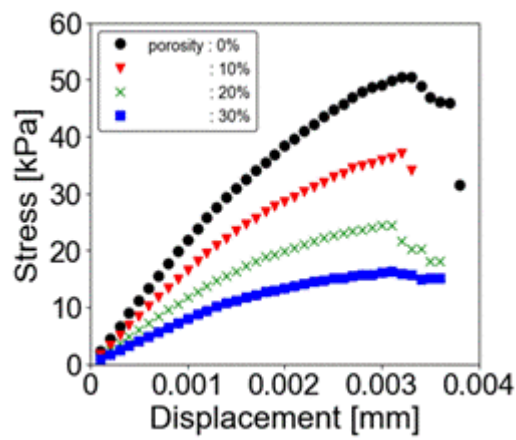


図 3-1-2 破壊解析における応力

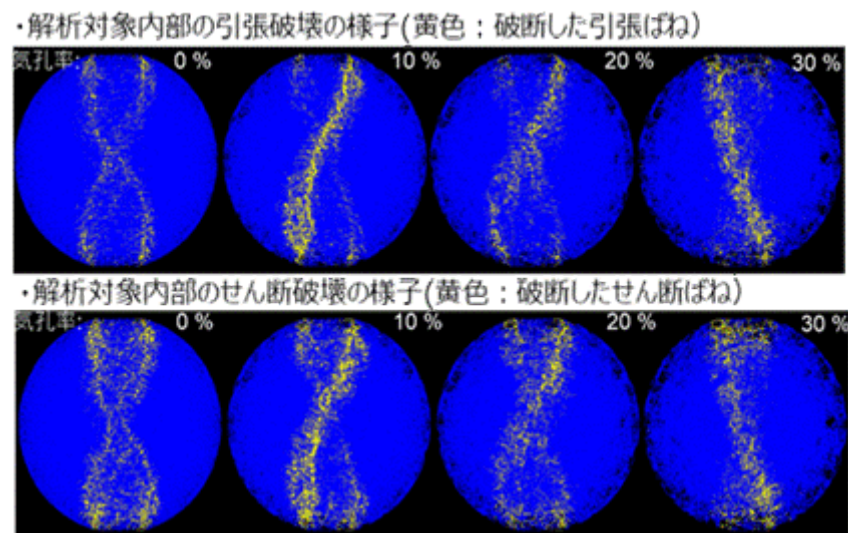


図 3-1-3 解析対象内部の引張破壊(上)およびせん断

次に石炭粒子充填層の成型過程および成型物の構造に影響を及ぼす因子を明らかにするため、石炭粒子

充填層に対する圧縮負荷/除荷試験および離散要素法（DEM）による数値解析を行い、圧縮に伴う充填構造および応力の変化から、粒子に働く摩擦力が成型過程や成型物の構造に及ぼす影響を数値解析的に検討した。本検討では、接触にともなう粒子の塑性変形を模擬するために、Walton and Braunによって提案されたモデル[1]を適用し接触力を算出した。数値解析の結果は変位の増加に伴い応力が増加する様子や変位の減少に伴う応力の急激な減少が表現できており実験結果を良好に再現した（図 3-14）。また充填物の粒子間、粒子-壁間の摩擦抵抗が低いほど充填物高さ方向の充填率分布が均一化することを明らかにした。これらの結果を実験結果と比較して考察すると、実験によって得られた充填率の分布は粒子と壁の摩擦抵抗によって充填層全体に力が十分に伝わらなかったことによって生じたものであることが明らかになった（図 3-15）。

以上の結果より、塑性変形を表現可能なモデル(Walton and Braun)を適用することにより、石炭充填層の圧縮挙動を良好に再現できるモデルを提案した。

石炭とバインダーが共存する充填物の圧縮挙動予測モデルの構築では、圧縮成型時の粒子同士の滑りや塑性変形などによる充填構造の変化について実験的解析と離散要素法を用いた数値解析を行った。石炭-バインダーが共存する充填物の圧縮試験の結果より、バインダー配合時に圧縮応力が低下（粒子間摩擦抵抗が低下）すること、充填性の改善により成型物強度が増加することを確認した。解析では実験で確認された固体バインダーの配合に伴う応力の減少傾向や内部の充填率を概ね表現し、石炭-バインダーが共存する充填物の圧縮挙動予測モデルを構築した（圧縮応力の実験値とモデル解析値の誤差 10%以内）。現在、鉄鉱石や液体バインダーを含む成型物の圧縮応力データの取得を神戸製鋼所と共同で進めており、石炭-バインダー-鉄鉱石が共存する充填物の圧縮挙動予測モデル構築の目標を達成する。

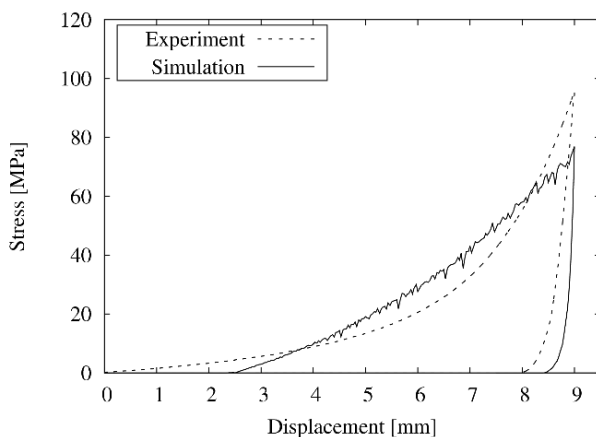


図 3-14 石炭充填層の負荷/除荷試験による圧縮挙動の比較

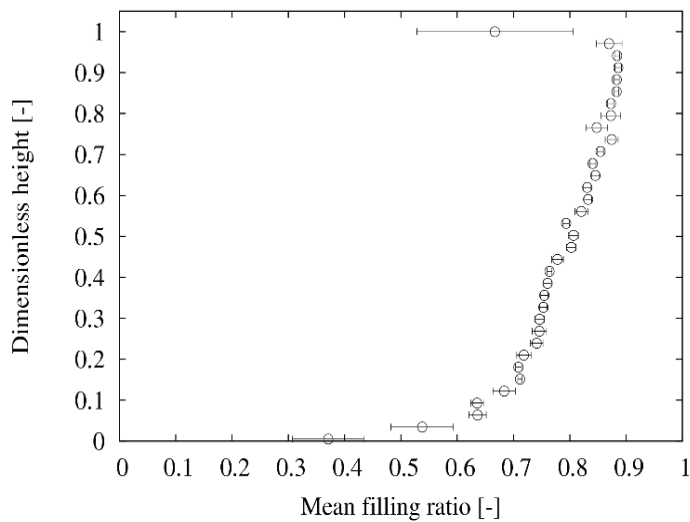


図3-15 充填層高さ方向における充填率分

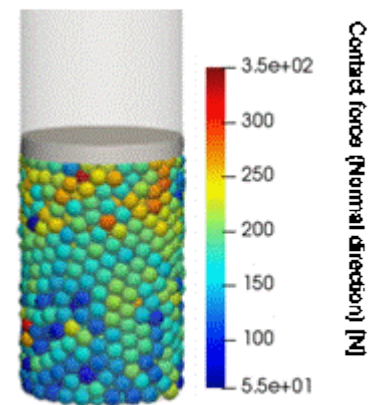


図3-16 充填構造内の粒子に生じる接触力

課題⑤ フェロコークス導入効果の検証

【中間目標】

⑤-1 で得られた高温性状調査結果と⑤-2 で得られたフェロコークス反応モデルを反映した、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させ、ケーススタディによる物質収支誤差が許容範囲（1%程度）であることを確認する。

【成果】

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を調査し、温度とガス化率の関係を評価した。また、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させ、ケーススタディを実施した。

また、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。

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び、見通しについて

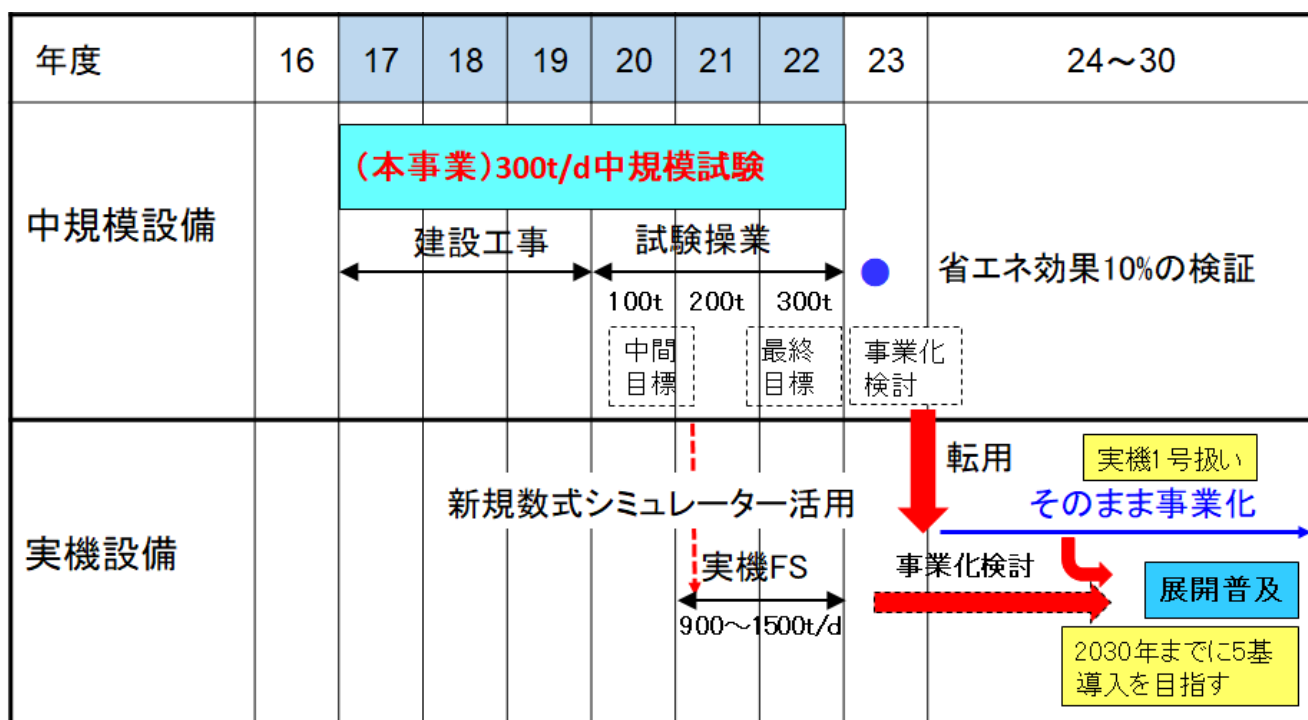
1. 成果の実用化・事業化に向けた戦略

1-1 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。
- ・ 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による推定含む）。

1-2 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）。



●: 基本技術確立

図4-1 成果の実用化・事業化に向けた戦略

2. 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

【実用化・事業化活動の実施者】

- ・ 本開発の成果は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】

- ・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。

3. 成果の実用化・事業化の見通し

【実用化・事業化に向けての課題とその解決方針】

- ・実用化・事業化の課題は技術確度の向上（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。

2. 分科会公開資料

次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクト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」(中間評価)

(2017年度～2022年度 6年間)

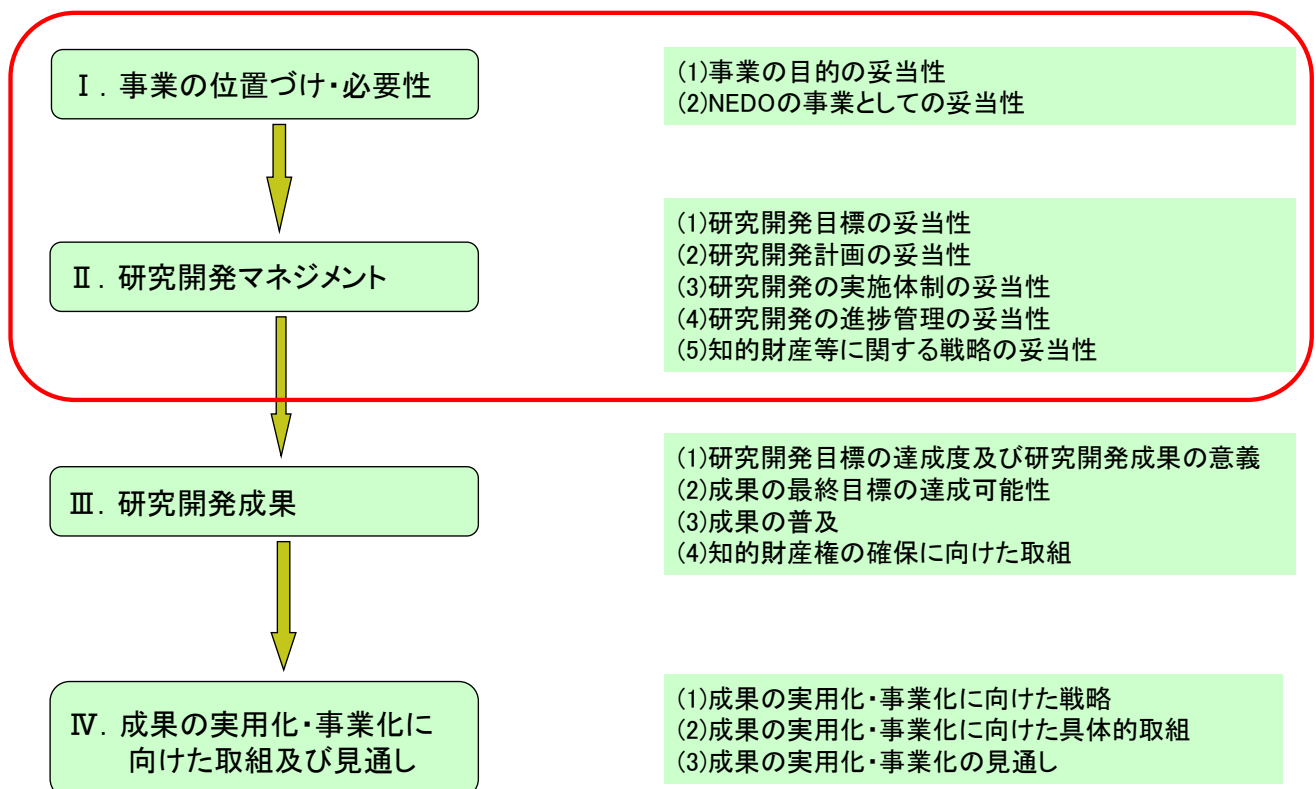
プロジェクトの概要 (公開)

NEDO

省エネルギー部

2020年11月17日

発表内容



◆事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

- ✓ 日本の鉄鋼業の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、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

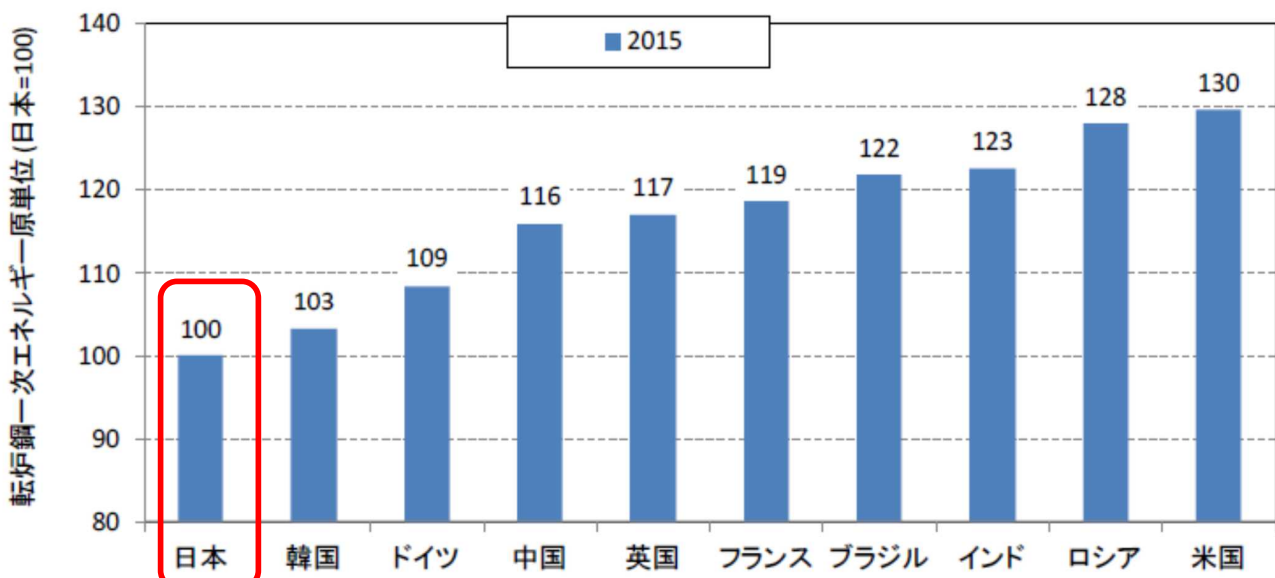


事業の目的

- 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

◆事業実施の背景と事業の目的

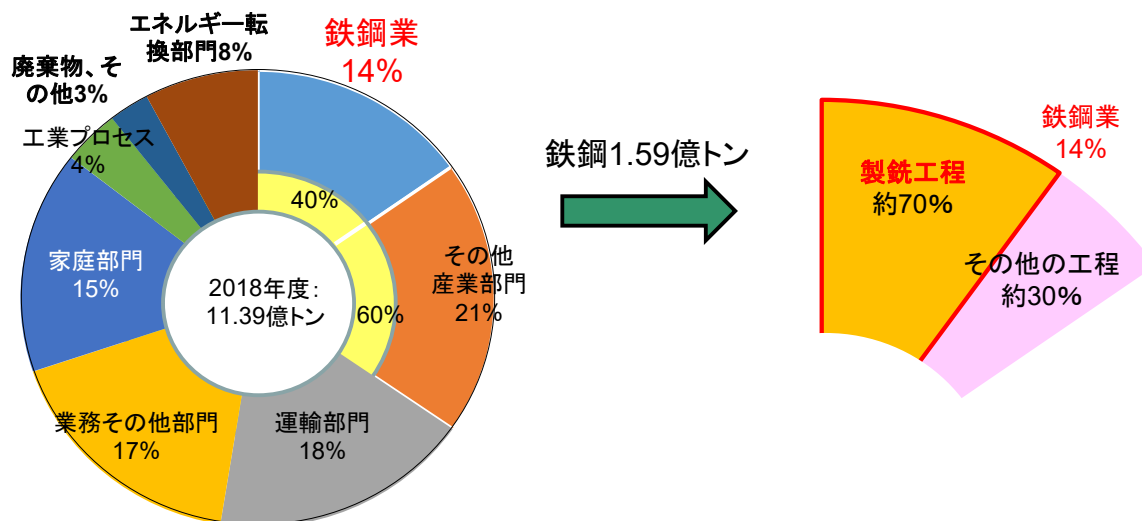
日本の鉄鋼業は鉄鋼主要国の中で最もすぐれたエネルギー原単位と推計される



(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)

◆事業実施の背景と事業の目的

●国内製造業における産業別のCO₂排出量割合

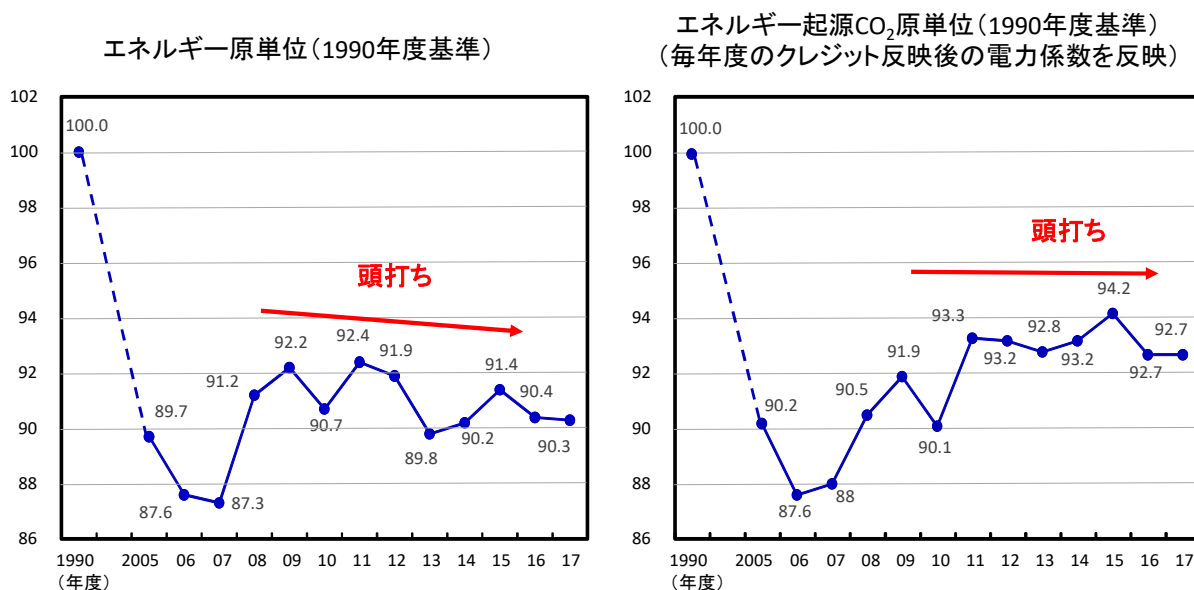


環境省「2018年度(平成30年度)の温室効果ガス排出量(速報値)について」より作成

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

◆事業実施の背景と事業の目的

●鉄鋼業におけるエネルギー消費・CO₂発生の推移



日本鉄鋼連盟: 低炭素社会実行計画実績報告
2019年1月16日 一般社団法人 日本鉄鋼連盟

(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)

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

◆政策的位置付け

■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

◆政策的位置付け

革新的環境イノベーション戦略 2020年1月

Ⅲ. 産業

水素

CC

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)

⑯ 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⁾

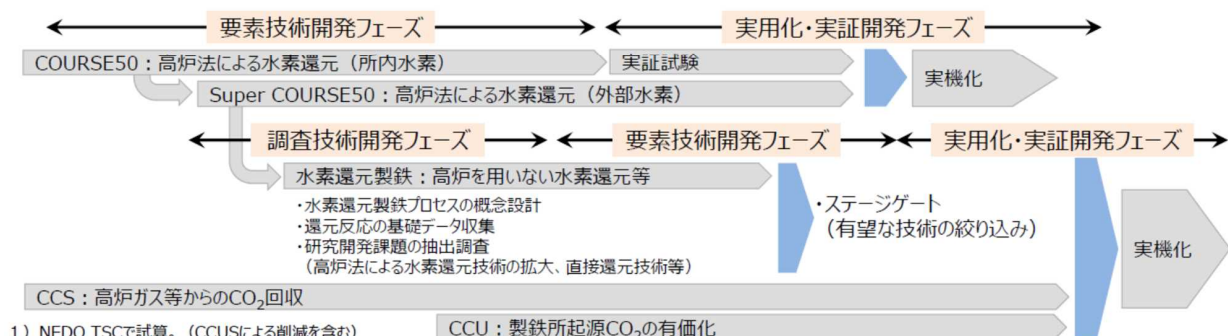
【技術開発】

・「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の拡大技術(COURSE50技術の拡大)、直接還元法による水素還元製鉄技術、CCUS等の技術開発や実用化における諸課題の抽出等を行う。当該結果を踏まえ、ナショナルプロジェクトによる支援の下に「ゼロカーボン・スチール」を実現する革新技術開発を進める。

【実施体制】

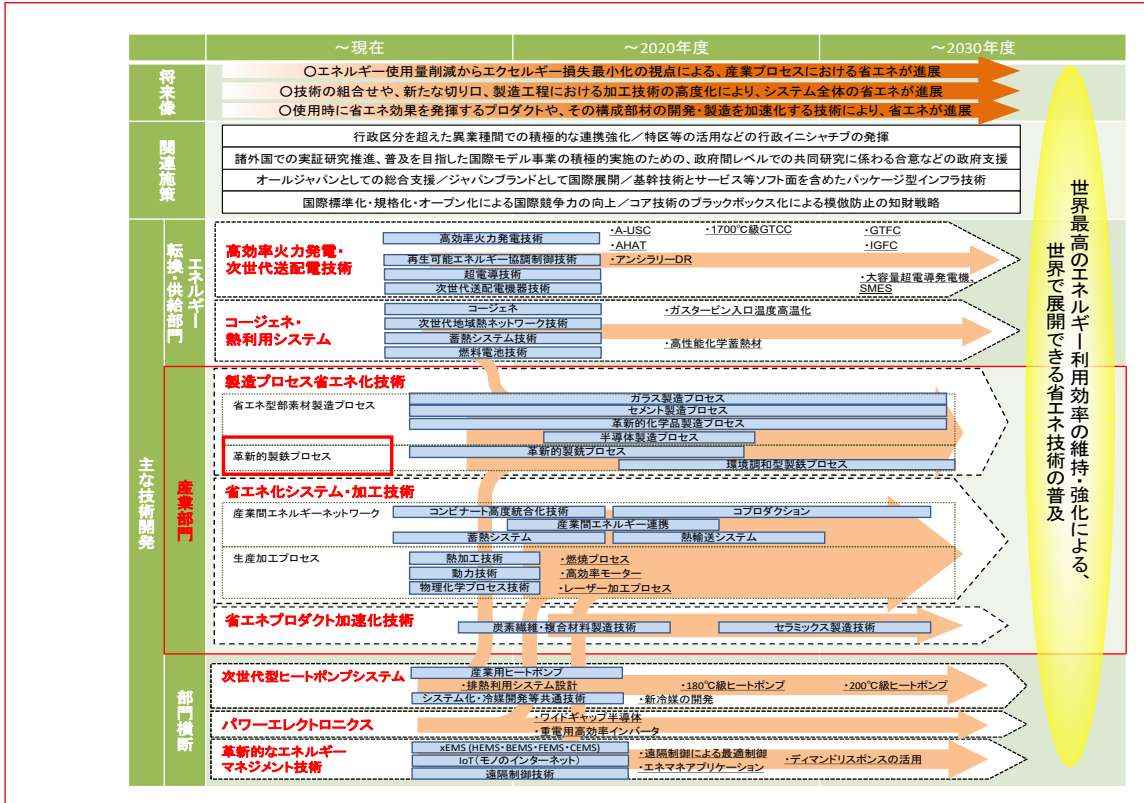
・国際的な競争領域であるため、国内鉄鋼メーカーを中心とした連携により技術開発を進める。



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

◆技術戦略上の位置付け

■省エネルギー技術戦略2016 産業部門の導入シナリオ



◆技術戦略上の位置付け

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

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、新たな化学吸着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・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。

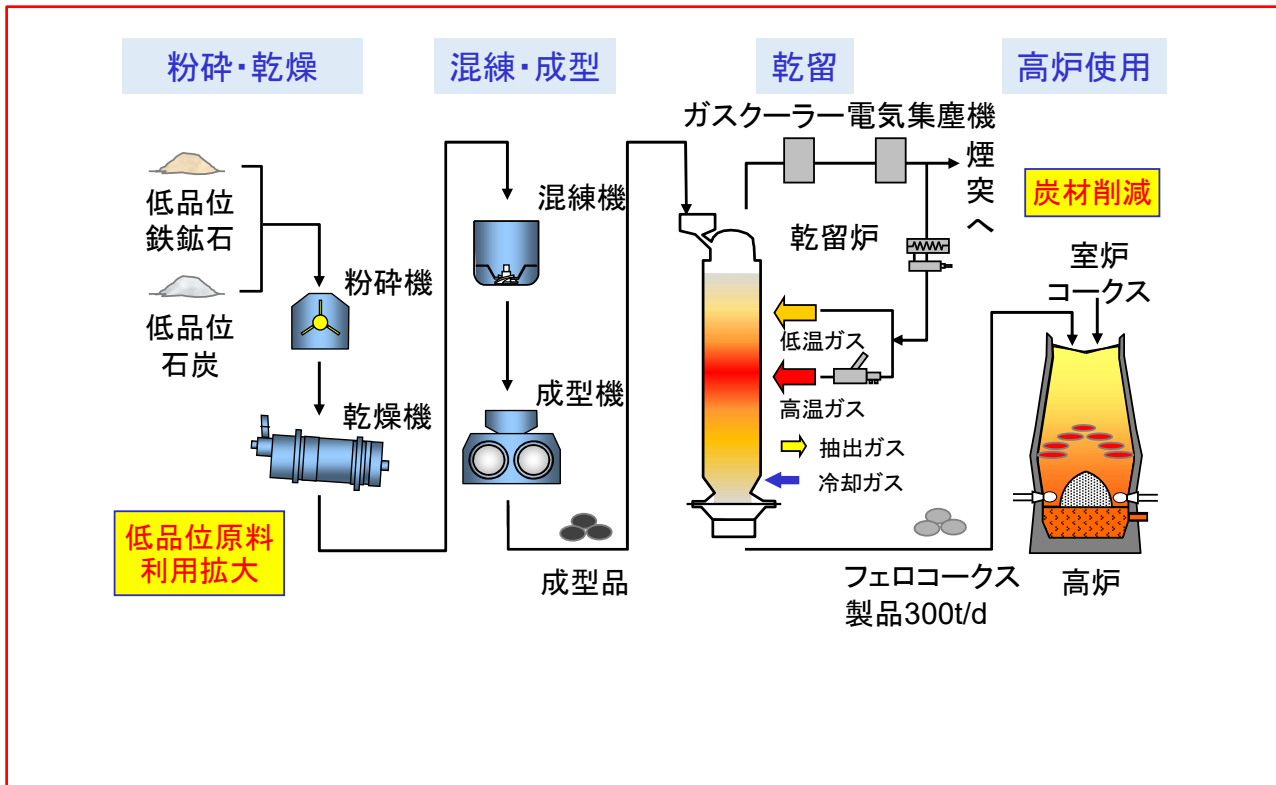
環境調和型製鉄プロセス（水素還元技術および未利用排熱活用高炉ガスCO2分離回収技術等）については、2020年後半までに研究開発を行い、その後実用化研究を経て、2030年頃の1号機実機化を目指す。その後は、高炉改修のタイミングを踏まえつつ導入普及を図る。

波及効果

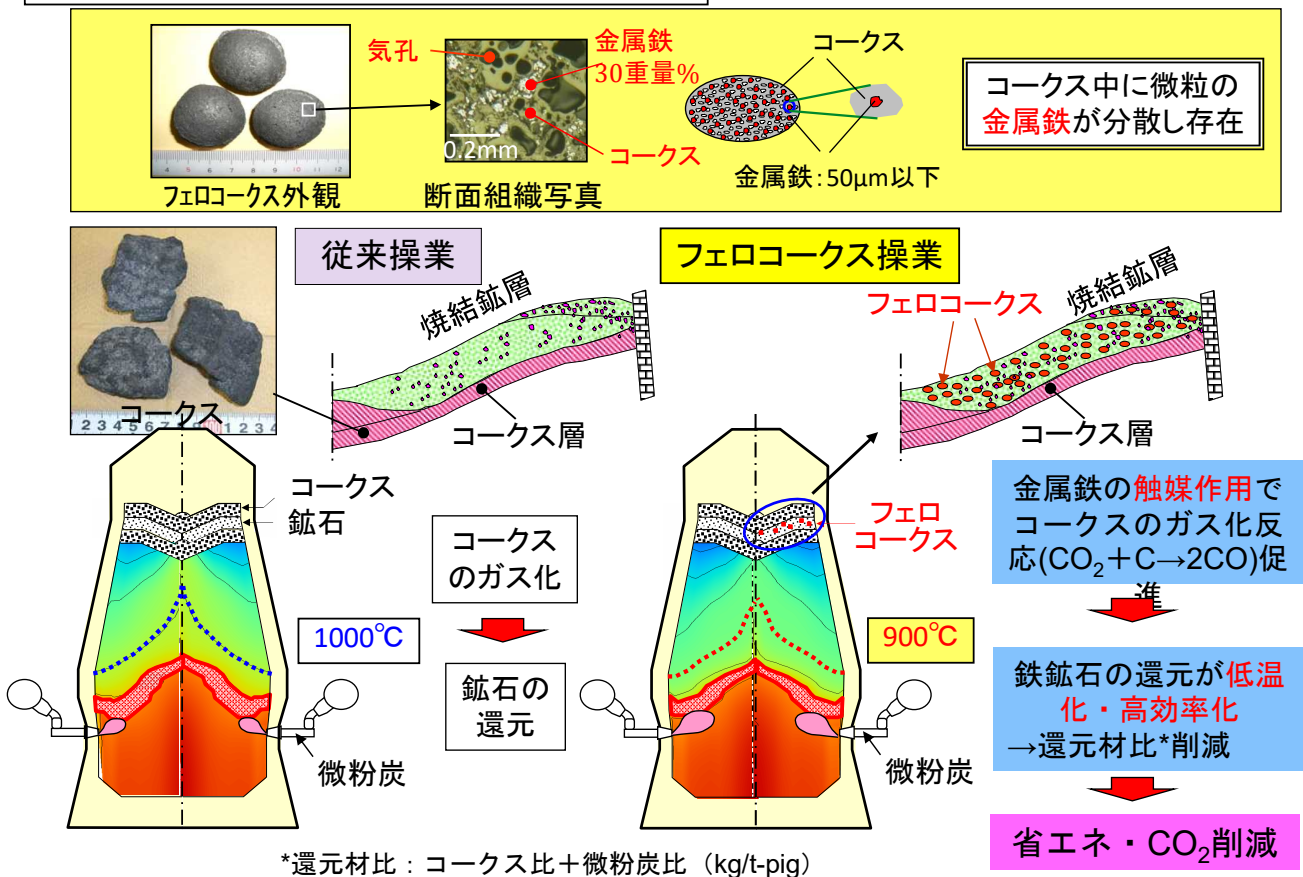
資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発も環境調和型製鉄プロセス（水素還元技術および未利用排熱活用高炉ガスCO2分離回収技術等）のいずれの技術も、省エネルギーと同時にCO2削減に寄与する。長期的にはCCS技術を組み合わせることによりCO2排出量抑制を図ることができる。

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。

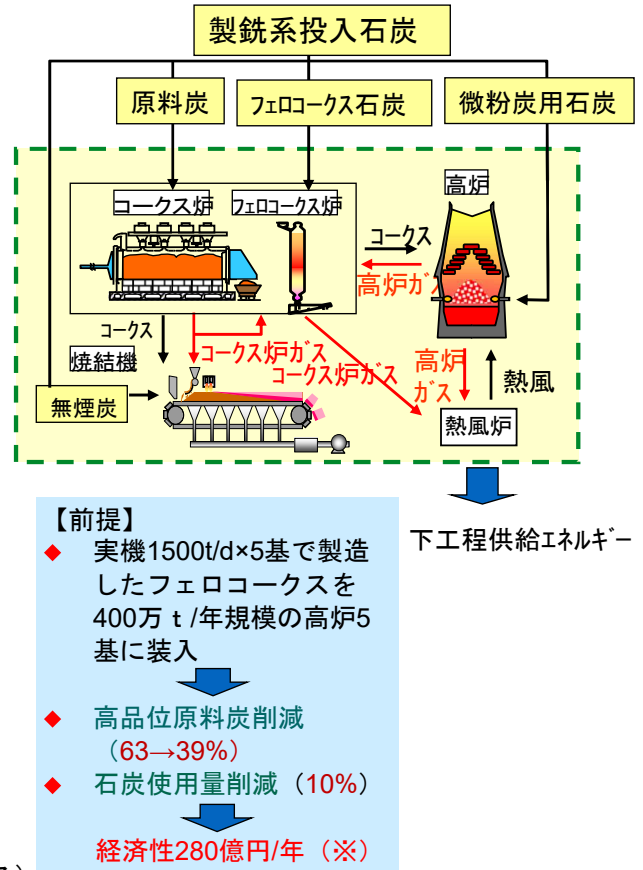
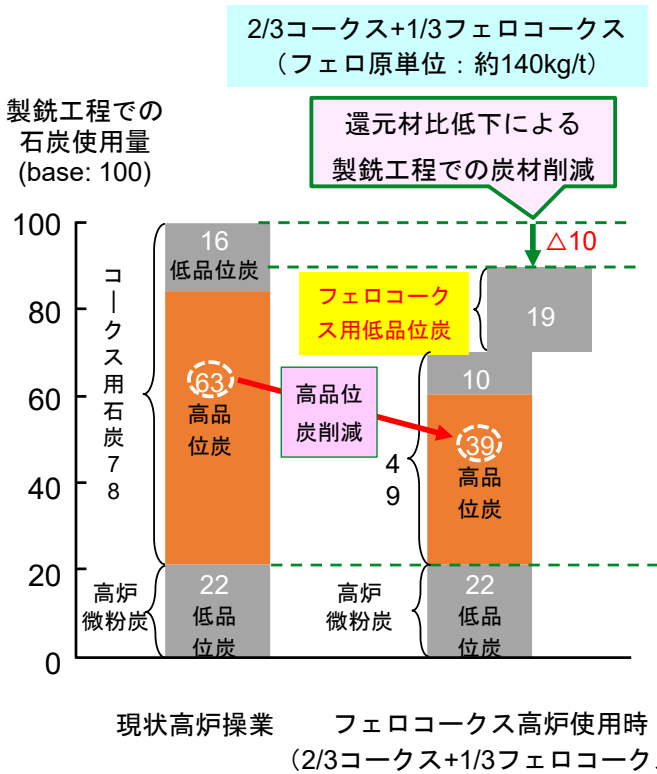
◆フェロコークス製造プロセス



◆フェロコークスを用いた高炉操業

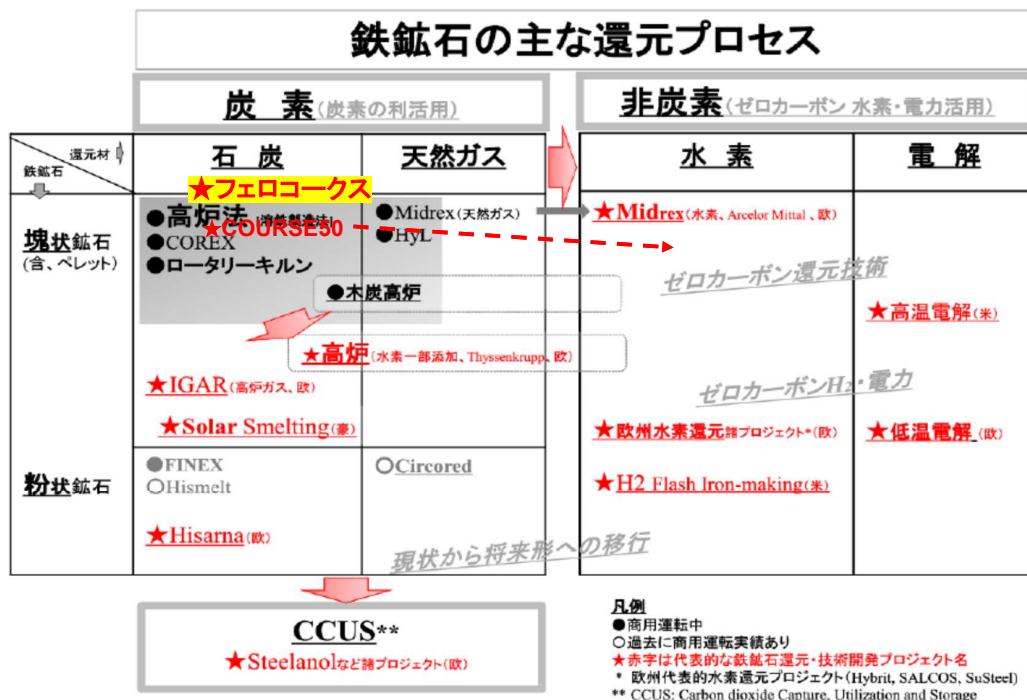


◆省エネルギー効果について



※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

◆国内外の研究開発の動向と比較



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

◆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

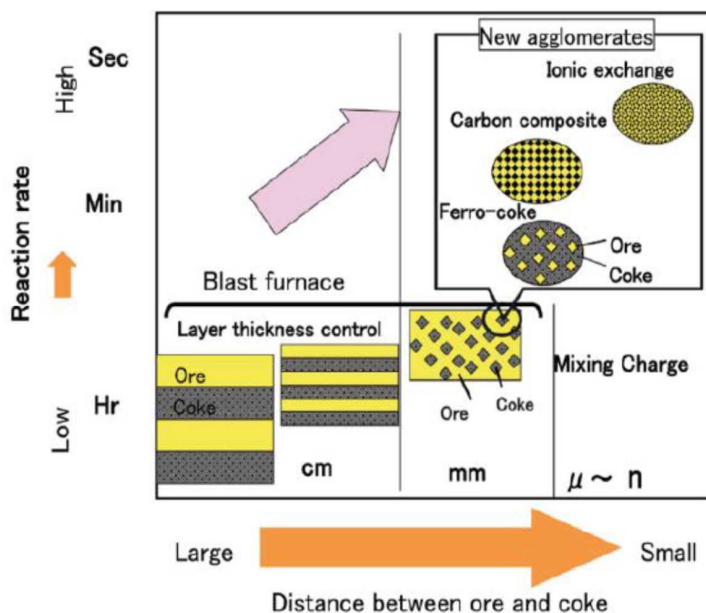
2017～2022年度 環境調和型プロセス技術の開発/フェロコークス技術の開発(NEDO)

- ✓ 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

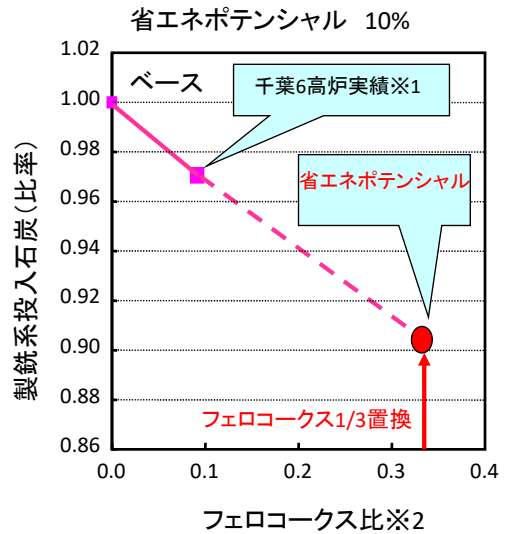
◆国内外の研究開発の動向と比較

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



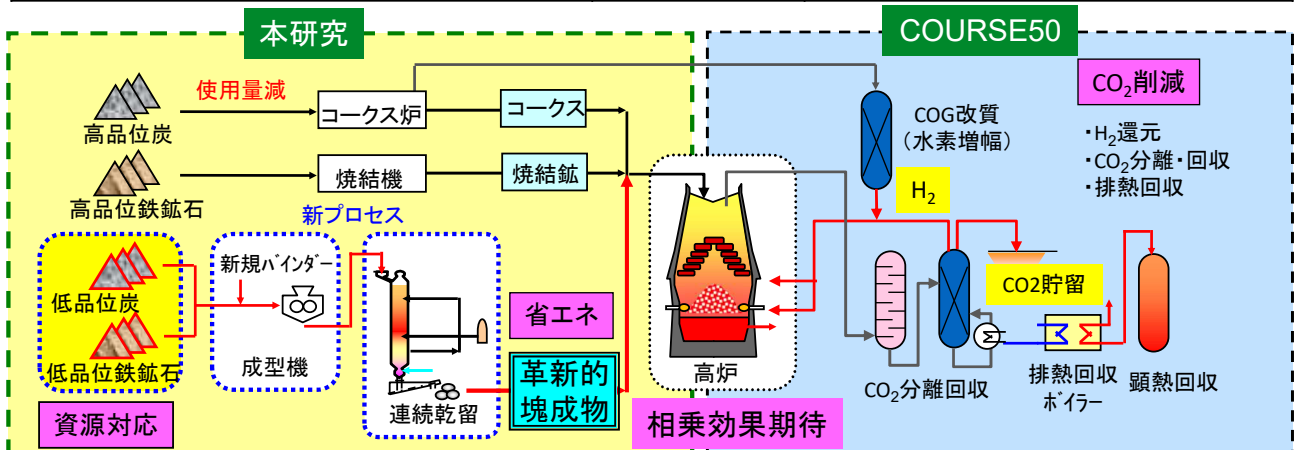
※1 NEDO(H21-24)プロジェクト
 ※2 フェロコークス中のコークス比/高炉全体のコークス比(-)

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

◆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されている

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)



◆NEDOが関与する意義

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

18

◆実施の効果 (費用対効果)

➤ プロジェクト費用の総額

技術開発費総額 201億円(予定)

(NEDO助成額+事業者負担)

NEDO助成額 100.6億円

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

19

◆ 研究開発の目標と根拠

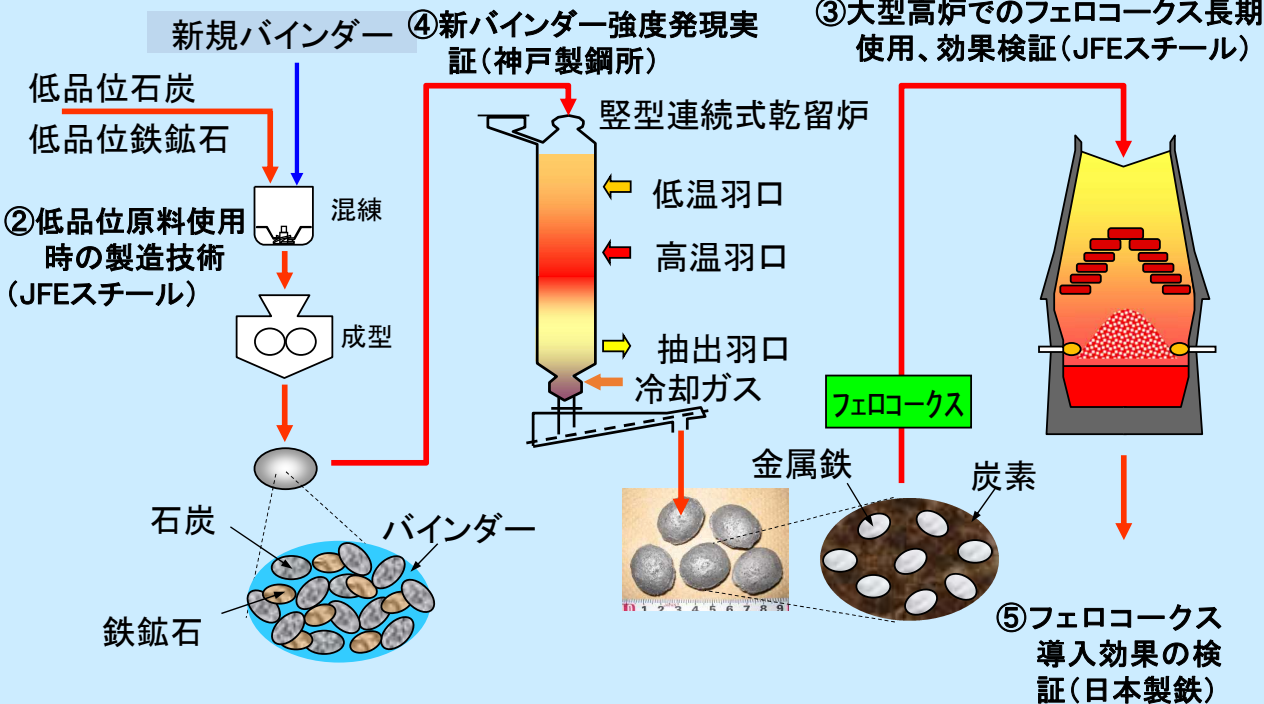
【「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術」の開発の主な成果と実用化に向けた課題】

	項目	主な成果	実用化への課題
技術課題	製造技術	30t/d 1か月安定製造実証	・混練成型設備スケールアップ ・乾留炉スケールアップ
	新規バインダー	・新規バインダー製造 ・強度改善確認	・実機製造設備設計 ・最適製造条件
	高炉操業技術(1)	最適混合 鉄石均一混合	・粒径に応じた最適装入方法
	高炉操業技術(2)	モデル構築 効果安定化	・高配合比時の還元材比低減促進
	高炉課題抽出	43kg/t使用時の還元材比低減	・高配合時の通気、炉頂温度
実機化課題	省エネ評価	実績外挿により石炭使用量約10%の削減ポテンシャル	・製鉄所供給エネルギー減への対応
	経済性評価	経済性試算 製造コスト45%削減 溶鉄コスト4%削減	・操業コスト精度向上 ・実機規模設備設計・設備費評価

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 プロジェクトの概要

◆ 研究開発の目標と根拠

①フェロコー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)



◆研究開発の目標と根拠

研究開発項目: フェロコークス中規模設備での製造技術実証

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

中間目標(2020年度)	最終目標(2022年度)	目標設定の根拠
<ul style="list-style-type: none"> 混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプを完成させ、混合均一性の計算ができることを確認する。 300t/dの実証設備を建設し、連続一貫製造の負荷運転を実施する。 フェロコークスが設計どおりできることを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 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。 ➤ 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。
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(ラボ実験)	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: $DI150/15 \geq 80$ (ラボ実験)	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: JISK2151で規定される試験方法。

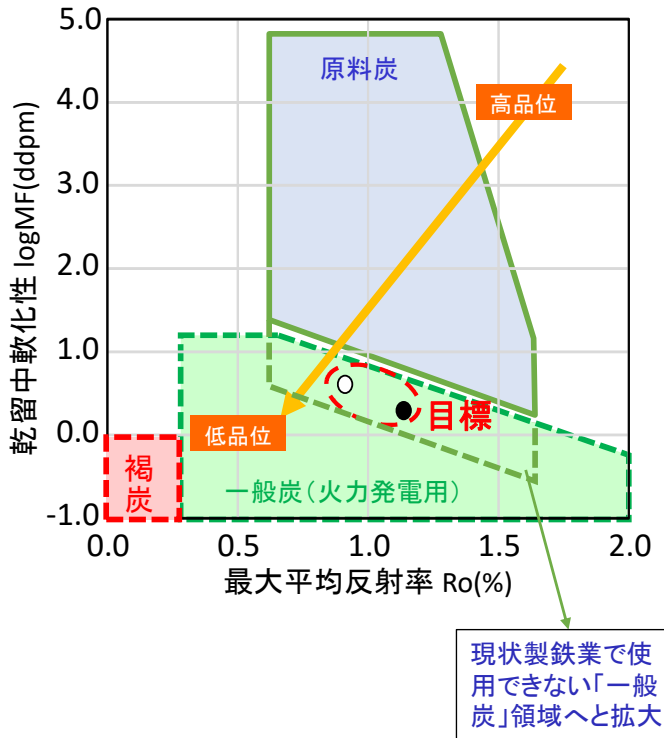
◆研究開発の目標と根拠

研究開発項目: 一般炭、低品位原料使用時の製造技術

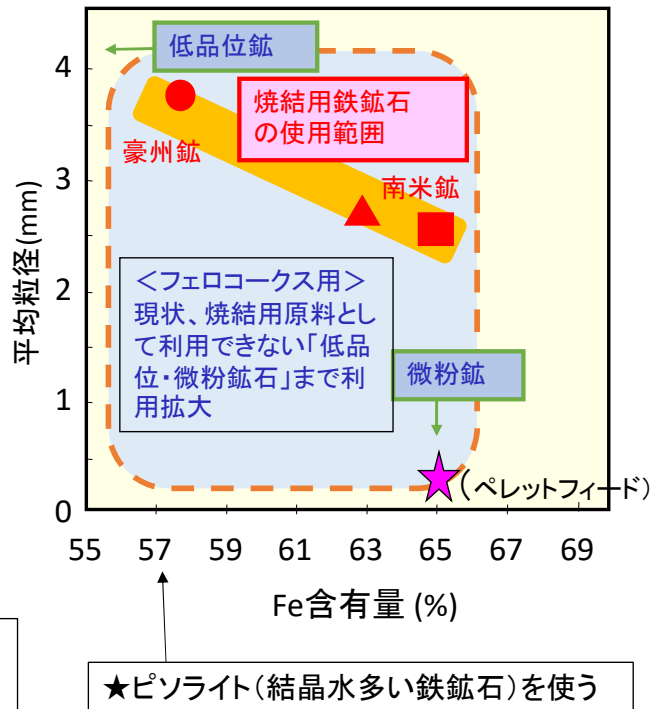
中間目標(2020年度)	最終目標(2022年度)	目標設定の根拠
<ul style="list-style-type: none"> 使用可能な一般炭2銘柄及び低品位鉄鉱石2銘柄の選定を完了させる。 一般炭と低品位鉄鉱石、及び固形新規バインダーを用い、ラボスケールの成型試験を行い、各配合比率等の成型条件を確立する。 	<ul style="list-style-type: none"> ラボスケールでの試験結果から、原料(鉄鉱石、石炭)の絞込みを行う。これら原料がフェロコークス用原料として適していることを検証する。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 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): $ID30/15 \geq 85$ (ラボ実験)	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)

◆研究開発の目標と根拠

【フェロコークス用 使用石炭品位の目標】



【フェロコークス用 鉄鉱石品位の目標】



◆研究開発の目標と根拠

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

中間目標(2020年度)	最終目標(2022年度)	目標設定の根拠
<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 高炉への長期装入試験を行い、高炉の還元材比や高炉操作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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。
<p>指標: フェロコークスの実高炉への装入量3kg/t程度で、安定して装入できることを確認する。</p>	<p>指標: 連続操業試験: 30日以上</p>	

◆ 研究開発の目標と根拠

研究開発項目: 新バインダー強度発現実証

中間目標(2020年度)	最終目標(2022年度)	目標設定の根拠
<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・新規固形バインダーの実証技術開発計画案を提示する。 ・所定の強度を実現しうる液体新規バインダー製造プロセス案を提示する。 ・フェロコークスブリケットの冷間強度予測モデルを提示する。 	<p>➤ 設定理由: フェロコークス普及時には従来の石油由来のバインダーであるASP(石油精製副産物)、SOP(コークス炉副産物)では量が不足することから、代替バインダーの開発を実施。バインダー特性は、フェロコークスの成型後、乾留後の強度が満足されるできるものと設定。</p>
指標: 液体新規バインダーの製造オプションの提示。	指標: 成型物の強度(I型ドラム強度): ID30/15 ≥ 85 乾留後塊成物のドラム強度: DI150/15 ≥ 80	

26

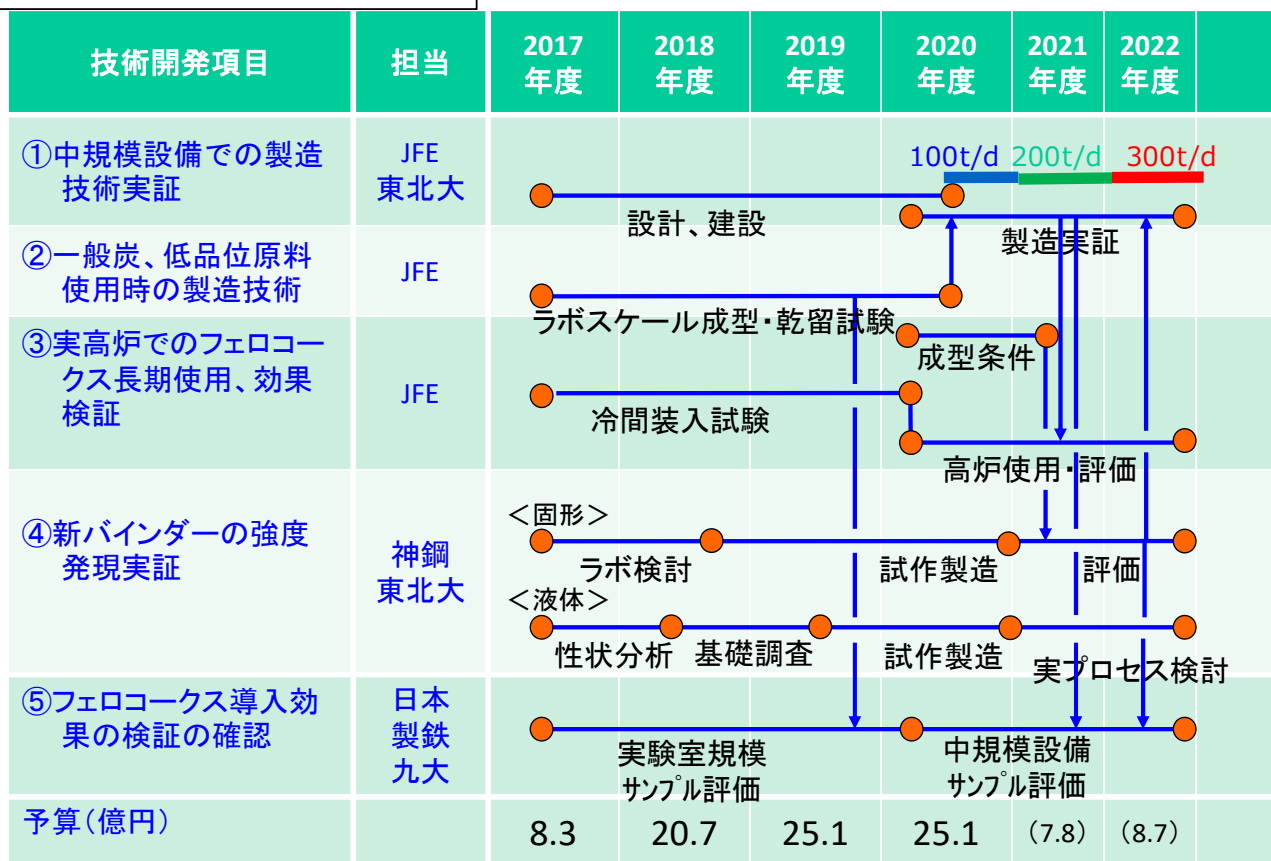
◆ 研究開発の目標と根拠

研究開発項目: フェロコークス導入効果の検証

中間目標(2020年度)	最終目標(2022年度)	目標設定の根拠
<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・フェロコークスの実高炉使用時の操業結果を数学モデルを用いて高精度にシミュレートする。 ・中規模設備で製造したフェロコークスの反応速度を調査し、反応モデルを構築する。 	<p>➤ 設定理由(2020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ことによる。</p> <p>➤ 設定理由(2022年度): 省エネ効果の検証するために、高炉内での挙動を明確化し、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの精度を向上させる。</p>
指標: 高温性状調査結果とフェロコークス反応モデルを反映した汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させ、ケーススタディによる物質収支誤差が許容範囲(1%程度)であることを確認する。	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。	

27

◆研究開発スケジュール

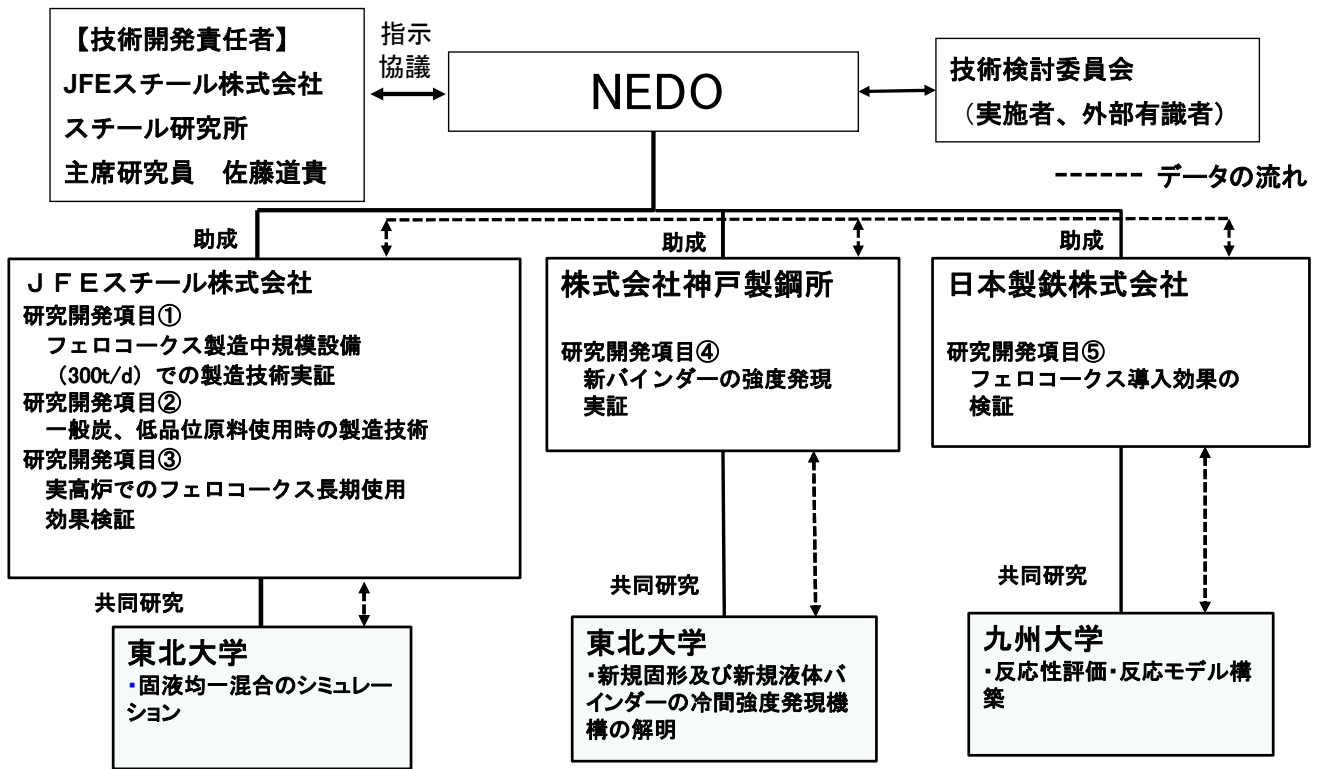


◆プロジェクト費用

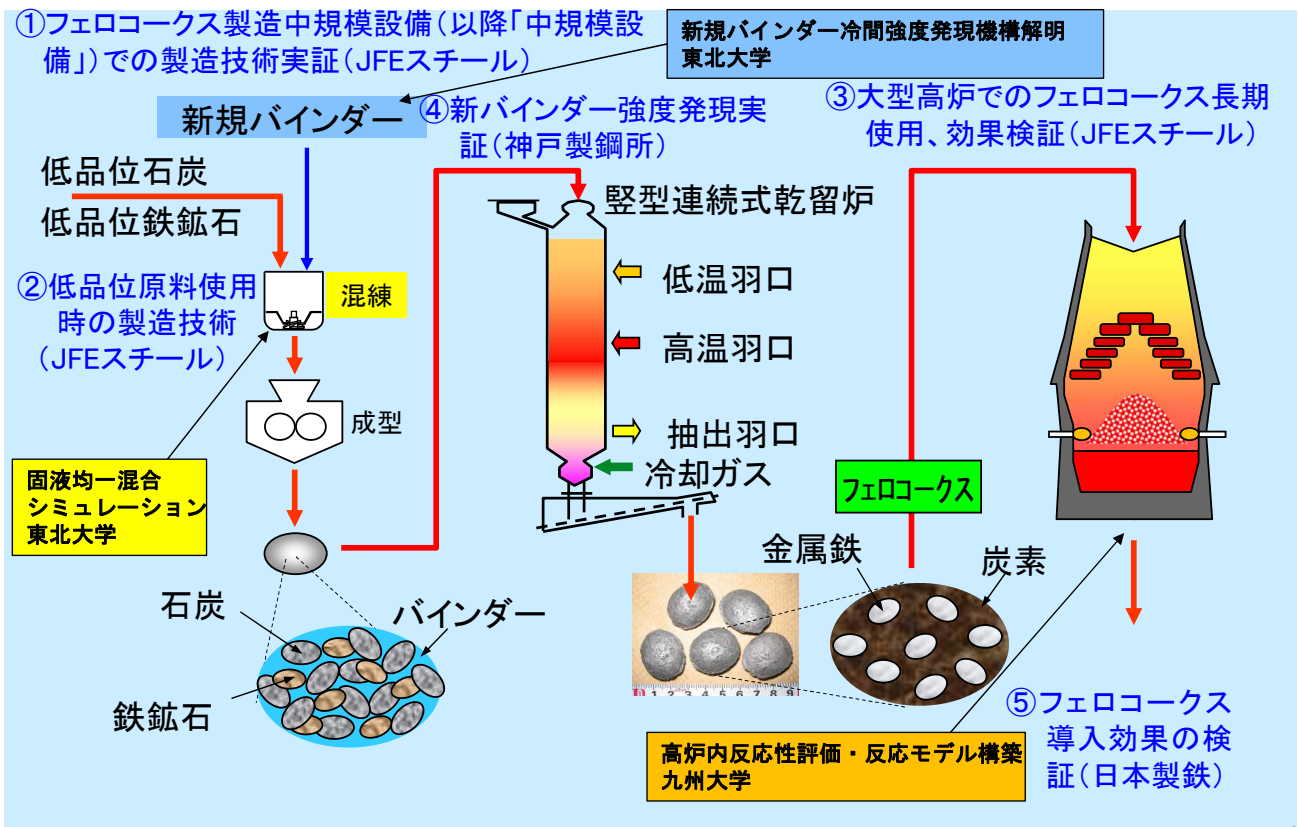
(百万円)

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
フェロコークス中規模設備での製造実証	357	822	799	895	(302)	(339)	(3,514)
一般炭、低品位原料使用時の製造技術	437	1193	1577	1144	(382)	(428)	(5,165)
実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証	3	44	108	450	(76)	(85)	(766)
新バインダー強度発現実証	29	11	16	8	(12)	(6)	(83)
フェロコークス導入効果の検証	2	5	6	6	(8)	(8)	(32)
合計	828	2,077	2,506	2,506	(779)	(865)	(9,560)

◆研究開発の実施体制



◆研究開発の実施体制



◆研究開発の進捗管理

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		

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	10月31日	2月22日
2019年度	10月25日	2月21日	2020年度	11月11日	予定

32

◆研究開発の進捗管理

PMIによる進捗管理

技術検討委員会

- ・運用： 基本4回/年を実施
 - ・目的： 事業の進捗状況、進め方につき確認。
- 各技術検討委員会でいただいたコメントを以降の活動へ反映させ、PDCAを回す。各年度末の委員会では、共通項目で年度の活動の評価を行い、その結果を次年度計画へ反映させている。

技術委員	所属
亀山委員	東京農工大学
伊藤委員	早稲田大学
小野崎委員	(一財) エネルギー総合工学研究所
科野委員	(株)野村総合研究所
武部委員	愛媛大学
巽委員	国際石油開発帝石(株)
月橋委員	東京大学

【コメント内容の事例】

- ①大学への依頼研究については、依頼者側から大学へ要望、意志伝達を明確にすること。
- ②適宜、委員会での指摘事項と対応策を整理しながら、研究開発内容に反映する形で進められている。
- ③コメントに対応して研究開発を進めている。大学の成果の取り込みを図り、連携を密にすることが望まれる。

33

◆研究開発の進捗管理

PMIによる進捗管理

- ・ 2018年度は各研究開発実施場所で開催。
JFEスチール（福山）開催では、現地で実証設備の建設状況も確認。

技術検討委員会開催実績

2017年度	11月16日	3月7日(年度末評価)
2018年度	6月26日(日本製鉄 君津)	11月9日(神戸製鋼所 高砂)
	1月16日(JFEスチール 福山)	3月12日(年度末評価)
2019年度	7月26日	12月13日(JFEスチール 福山)
	3月3日(年度末評価・・・書面開催)	
2020年度	9月9日(NEDO・リモート)	

- ・ 各年度末には委員より当該年度の実施内容についてコメントをもらい、次年度実施計画へ反映させている。

◆動向・情勢の把握と対応

【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

◆ 動向・情勢の把握と対応

【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年度にてフェロコックス装入量原単位 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。

- フェロコックス装入量45kg/溶銑1t以上で高炉へ装入し(フェロコックス450 t/日x 2週間、高炉へ連続操入)、上記評価を実施するために計画の変更を行った。

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

◆ 知的財産権等に関する戦略

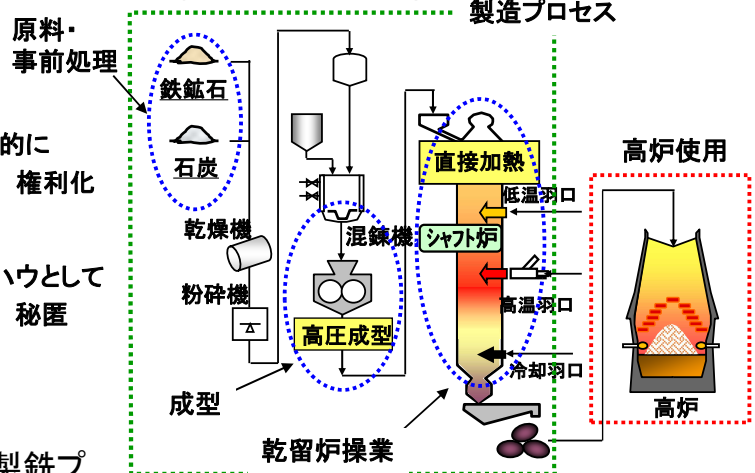
➢ オープン/クローズ戦略の考え方

	非競争域	競争域	
公開	品質評価方法	製造技術 使用技術	積極的に 権利化
非公開		操業(運転) 技術	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(「革新的製銑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銑プロセス技術開発」('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)

➢ 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

基本特許: 取得済 障害となる特許: 無し

◆知的財産権の確保に向けた取組

戦略に沿った具体的取組

- 技術封印: 先導研究(「エネルギー使用合理化技術戦略的開発」)('06~'08年度)開始前に実施。
- 特許網構築: 「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)において実施。
- 新規知的財産権: 中規模設備固有のプロセス・設備、使用原料に関する特許出願

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	計
特許出願(うち外国出願)	0	0	0	1(0)			1(0)

※2020年10月1日現在

○前段のプロジェクトにおける特許出願件数

フェロコックス製造技術、高炉装入技術などに関する特許

「革新的製鉄プロセスの先導的研究」 10件 (海外 0件)

「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」 17件 (海外 5件)

◆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

以上

資料5-2

**「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」(中間評価)**

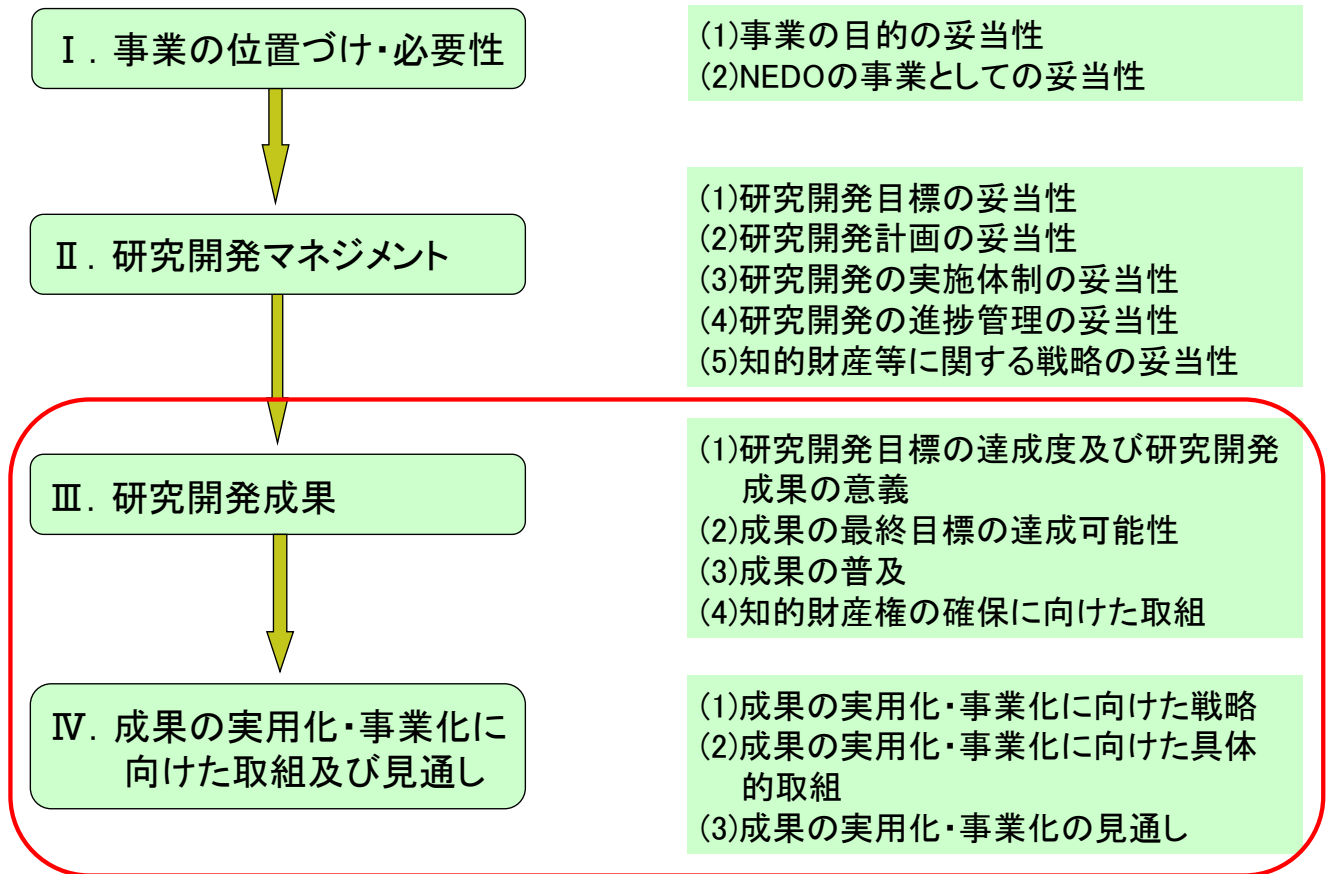
(2017年度～2022年度 6年間)

プロジェクトの概要 (公開)

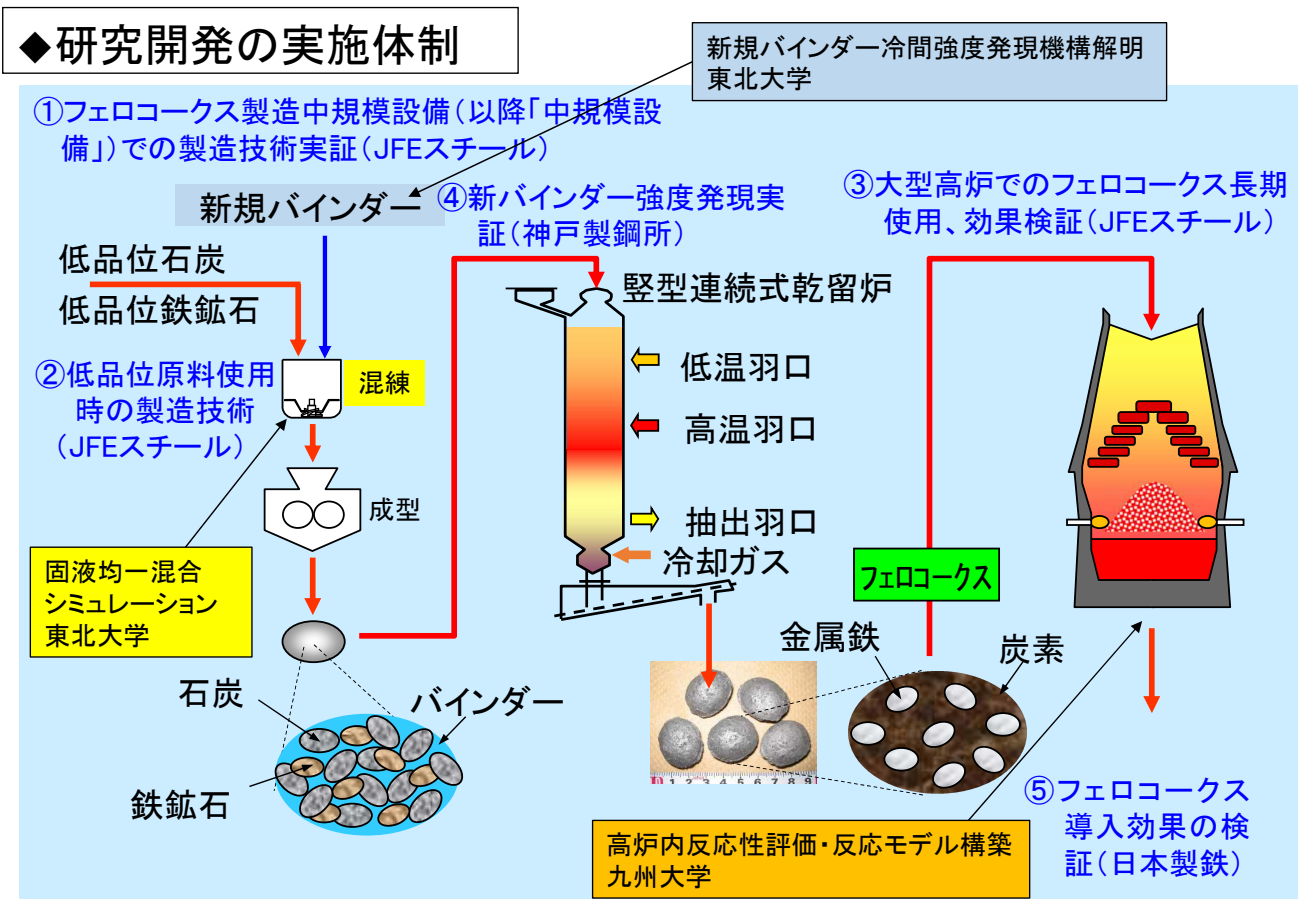
NEDO

省エネルギー部

2020年11月17日



2. 研究開発マネジメント (1)研究開発目標の妥当性



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義(総括)

研究開発項目: ①フェロコークス中規模設備での製造技術実証	
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	
中間目標	達成度
・原料事前処理設備、連続混練成型設備および乾留設備の据付完了し、乾留設備までの製造能力(300t/d)を確認する。	○
・フェロコークスのドラム強度※: $DI150/15 \geq 80$ (ラボ乾留実験) (現状より劣質原料使用。中規模設備で混練成型した成型物を抜き出し、ラボの乾留炉で乾留した時に強度が確保できること。固形バインダー、液体バインダーは従来品使用) ※ドラム強度DI150/15: JIS規格	○
・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る。	○

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義(総括)

研究開発項目: ②一般炭、低品位原料使用時の製造技術実証	
中間目標	達成度
・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、成型物強度を確認する(I型ドラム強度※: $ID30/15 \geq 85$)。 ※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 ・ラボにて④で製造した新規固形バインダー使用成型試験を実施し、強度評価を行う(液体バインダーは従来品使用)。	○
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	
中間目標	達成度
・ラボ装入模擬試験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確立する。 ・中規模設備で混練・成型・乾留したフェロコークスを実高炉へ装入量3kg/t程度で連続的に装入でき、かつ安定して操業(通気変動がないこと)できることを確認する。 (フェロコークスの実高炉への装入量が平均3kg/t程度: 高炉の日常の炉熱変動の還元材比換算±約3kg/tの範囲内=高炉の商用生産に影響を与えない範囲)	○

研究開発項目: ④新バインダー強度発現実証

④-1 新規固形バインダーの性能実証

④-2 新規液体バインダー開発

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

中間目標	達成度
<ul style="list-style-type: none"> ・0. 3トン／日にスケールアップした設備で新規固形バインダーを製造する。 ・製造した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\geq85) (ラボ成型実験)を確保する。 ・フェロコークスのドラム強度: DI150/15\geq80(ラボ乾留実験)を確保する。 	○
<ul style="list-style-type: none"> ・中規模設備から得られたフェロコークスタールの化学構造や分子量分布を把握する。 ・試作した新規液体バインダーを用いた成型物の冷間強度をタブレットスケールで測定する。成型物の強度目標: 割裂引張試験において、既存液体バインダー(SOP)と同等以上。上記結果に基づく新規液体バインダーの製造オプションを提示する。 	○
<ul style="list-style-type: none"> ・圧縮成型時の石炭-バインダー-鉄鉱石の圧縮挙動予測モデルを構築し、フェロコークスに適したバインダーの添加条件を提案する。モデル解析結果の誤差: 10%以内。 	○

46

研究開発項目: 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

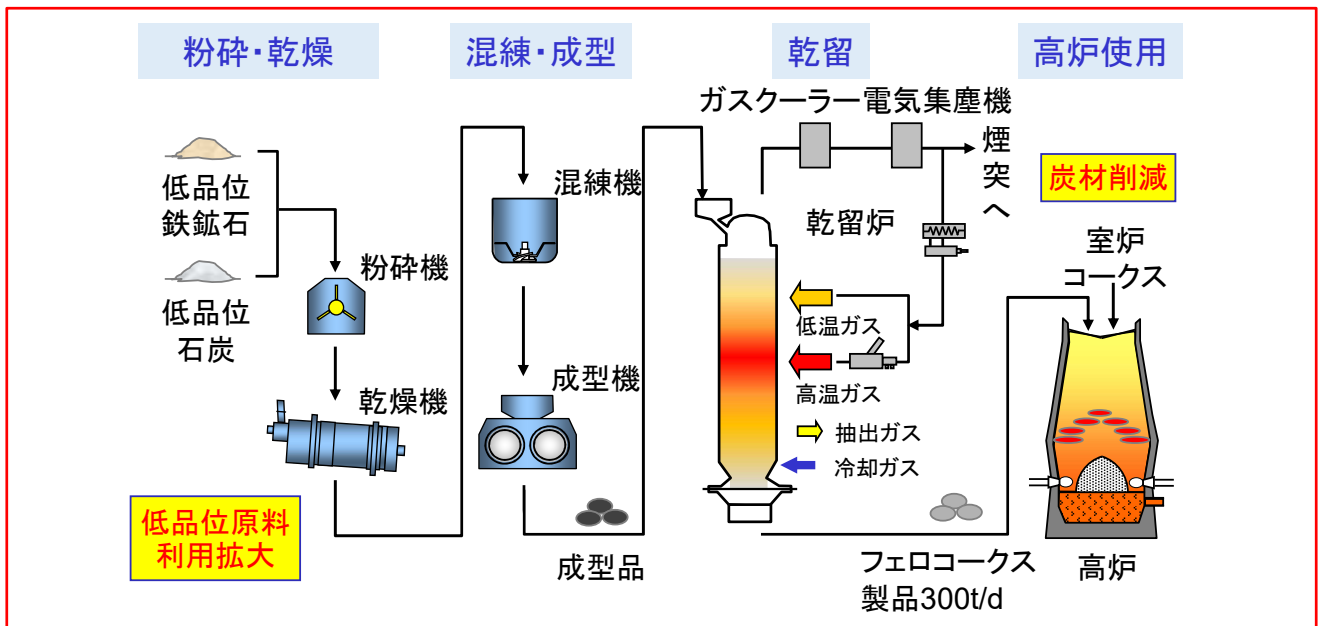
⑤-2 反応性評価・反応モデル構築

中間目標	達成度
<ul style="list-style-type: none"> ・⑤-1で得られた高温性状調査結果と⑤-2で得られたフェロコークス反応モデルを反映した、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させ、ケーススタディによる物質収支誤差が許容範囲(1%程度)であることを確認する。 	○
<ul style="list-style-type: none"> ・⑤-1で得られた高温性状調査結果と⑤-2で得られたフェロコークス反応モデルを反映した、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させ、ケーススタディによる物質収支誤差が許容範囲(1%程度)であることを確認する。 	○

47

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 中規模設備の開発(JFEスチール)



■ 研究開発の中間目標

原料事前処理設備、連続混練成型設備および乾留設備の据付完了し、乾留設備までの製造能力(300t/d)を確認する。

■ 成果

	2017年												2018年												2019年												2020年									
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
全体工程	▼工事開始			基礎工事						土木付帯						据付工事(機械・制御・炉材)										試運転										試験										
	既設撤去			掘削						杭打ち						躯体工事						乾留炉築炉										無負荷										負荷				
													(一時中断)						冷却塔基礎																											



撤去工事後(更地)



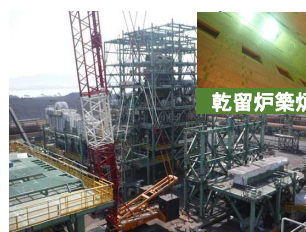
杭打ち(350本)



基礎工事(コンクリート4,600m3)



架構築て方



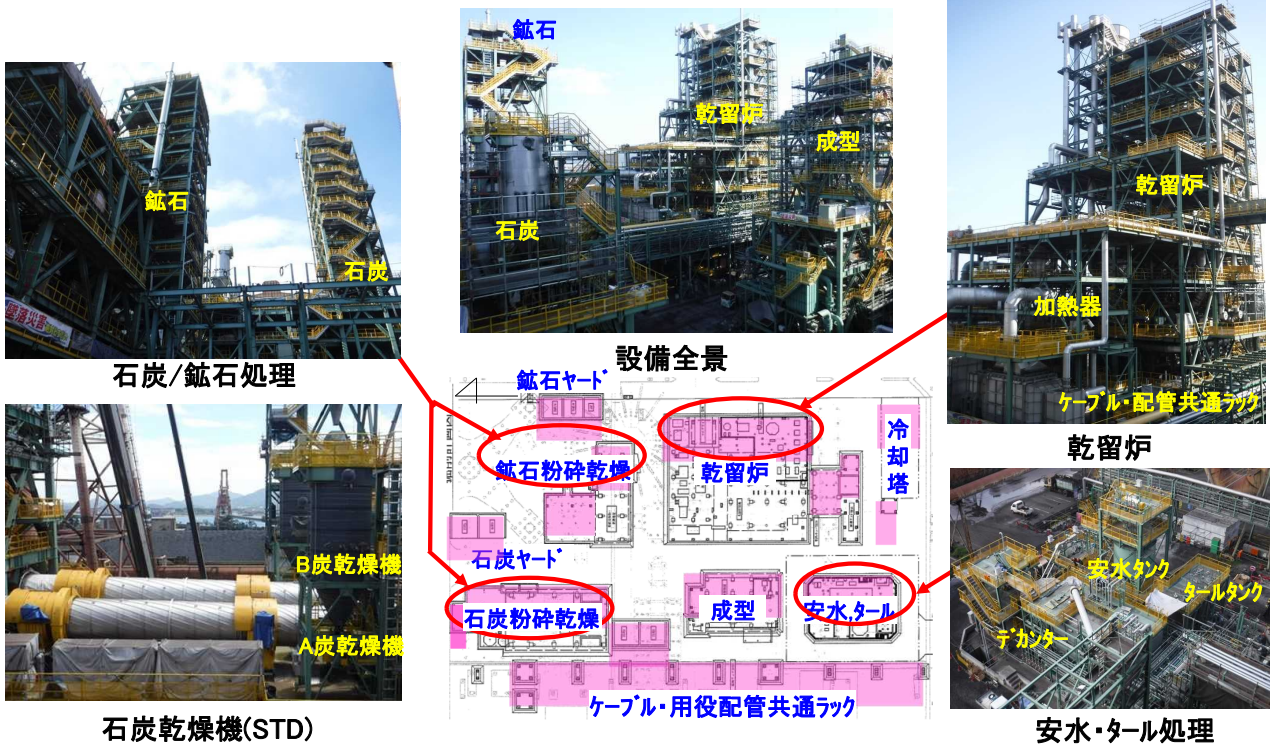
機器据付(機械重量7,000t)



工事完了

原料事前処理設備、連続混練成型設備および乾留設備の据付完了。新型コロナウイルス緊急事態宣言の発出により、負荷試運転が約2ヶ月の後ろ倒しになるも乾留設備までの製造能力(300t/d)を確認。

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義(個別課題)



■ 今後の予定

混錬機スクリーフィーダーのスクリーピッチを広げる改造を実施。2020年度中にモーター容量アップを完成させ300t/d連続運転に備える。

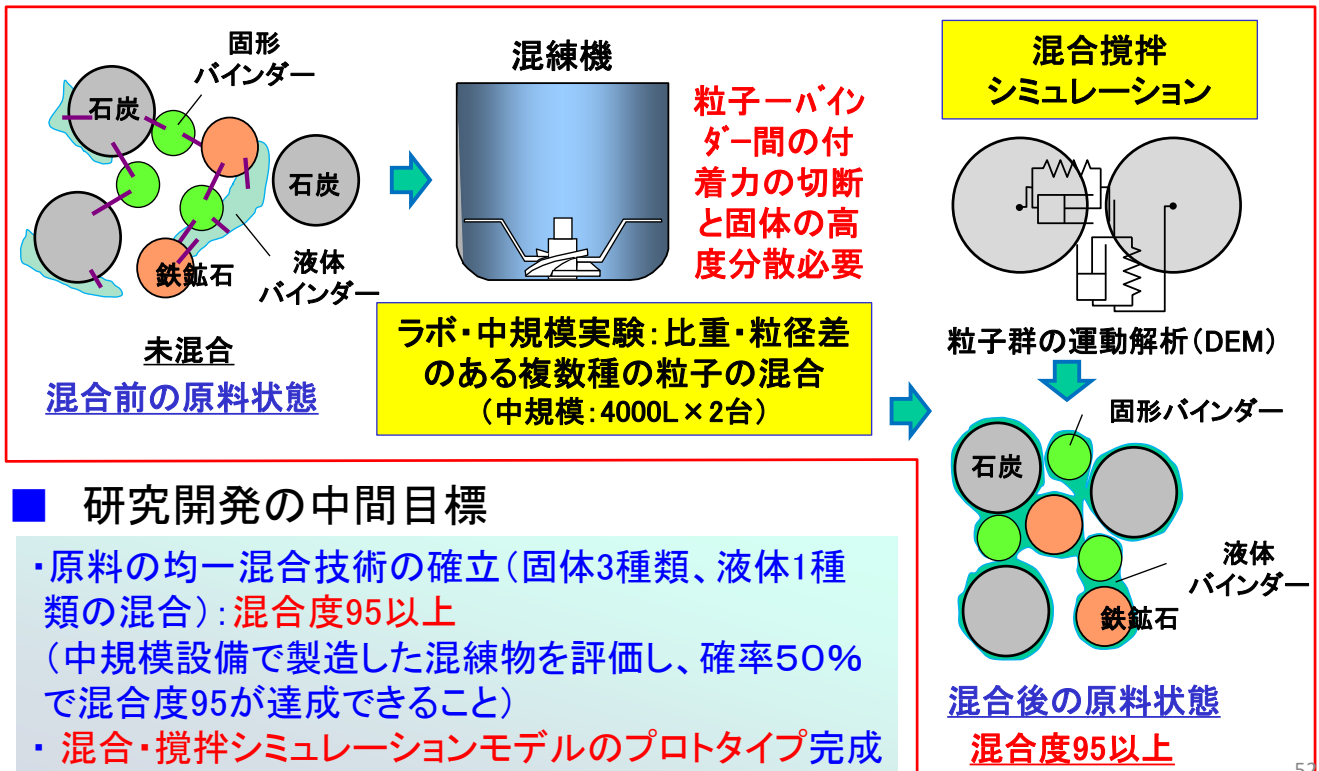
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義(個別課題)

◆ フェロコークス中規模設備の外観



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義(個別課題)

- 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)
 - 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) (JFEスチール)



■ 研究開発の中間目標

- ・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**
(中規模設備で製造した混練物を評価し、確率50%で混合度95が達成できること)
- ・混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプ完成

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義(個別課題)

■ 成果

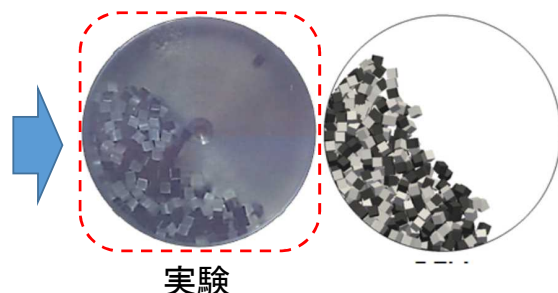
GPU(Graphics Processing Unit/画像処理装置)

技術開発項目	担当	2018年度				2019年度				2020年度				21年度	22年度
		1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q		
(1)比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立	JFE	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	東北大 ラボ計算機	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

2018年度: 混合条件評価, 75L実験, 中規模(75L)解析
 2019年度: 4000L着手, GPU増強, コード改造, スパコン解析
 2020年度: 付着力・細粒化成型物評価, 操作評価フィッティング
 2021年度: 操作試験

<混合攪拌シミュレーション>

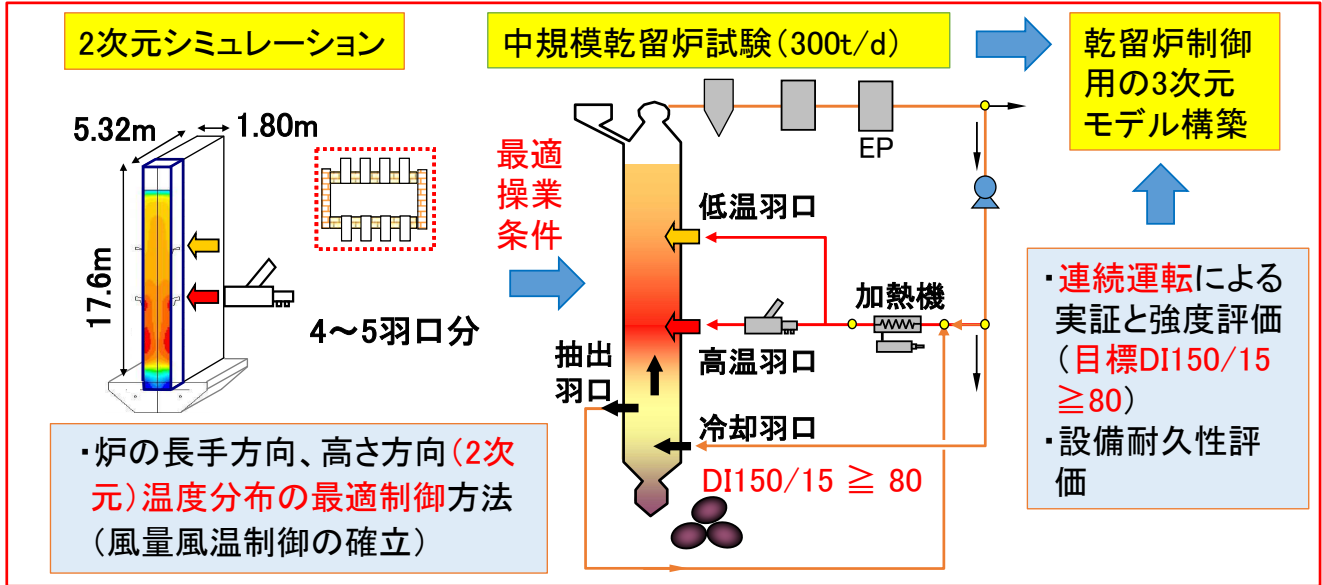
- 1) 互いに接触した粒子間に働く接触力をモデル化
- 2) 接触力が作用する個々の粒子の運動を記述する運動方程式を解き、粉体中の個々の粒子の挙動を追跡



- ・混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプは2019年度に完成。
- ・成型物の強度測定結果から、目標強度80以上を確認。成型物強度と混合度の関係から、混合度95以上と推測。

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 -1-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立(JFEスチール)



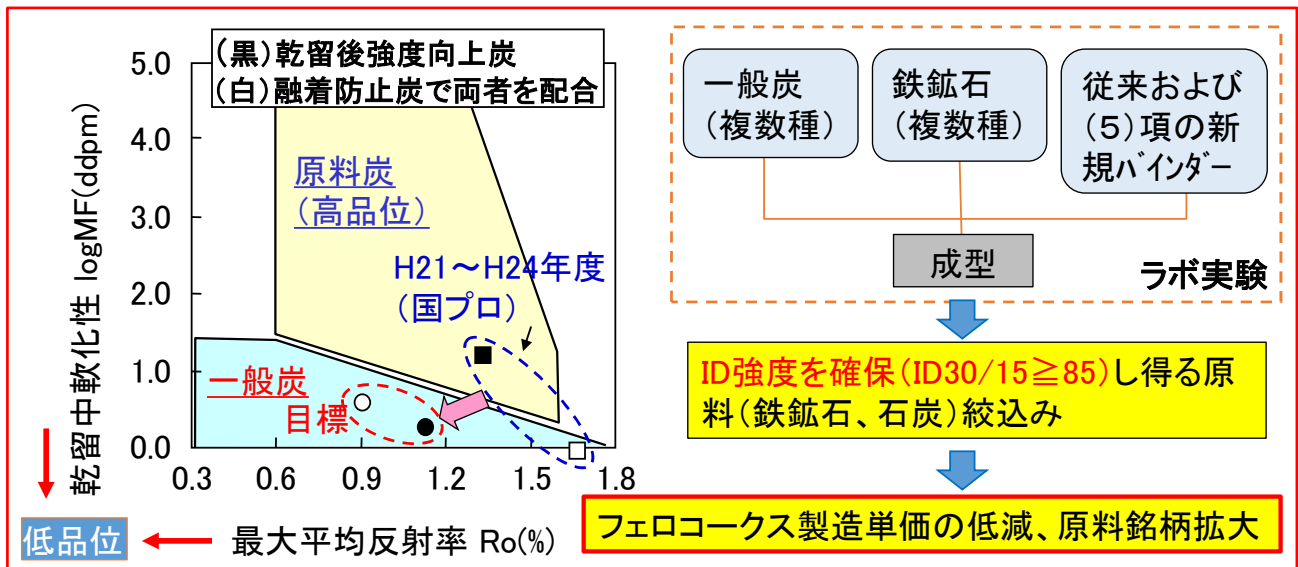
■ 研究開発の中間目標

フェロコックスのドラム強度: JIS規格
 DI150/15 \geq 80 (現状より劣質原料使用。
 固形バインダー: ASP^{*}、液体バインダーはSOP^{*}使用)。^{*}市販品

■ 成果

中規模設備で混練成型した成型物を抜き出し、ラボの乾留炉で乾留し、強度を確認(DI150/15 \geq 80 をクリア)。

② 一般炭、低品位原料使用時の製造技術実証(JFEスチール)



■ 研究開発の中間目標

- ・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、成型物強度を確認する(I型ドラム強度 \ast : ID30/15 \geq 85)。 \ast I鉄鋼業界で一般的に採用されている強度指標。
- ・ラボにて④で製造した新規固形バインダー使用成型試験を実施し、強度評価を行う(液体バインダーはSOP^{*}使用。 \ast 市販品)。

■ 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			
(2)一般炭、低品位原料使用時の製造技術	JFE	●				①				●	●			●		

ラボ成型・乾留試験着手
 成型物・フェロコークス品質評価
 長期使用原料確定
 ①低品位原料絞り込み
 ②長期操業試験
 ③カナダ鉱石評価

<低品位原料絞り込み>

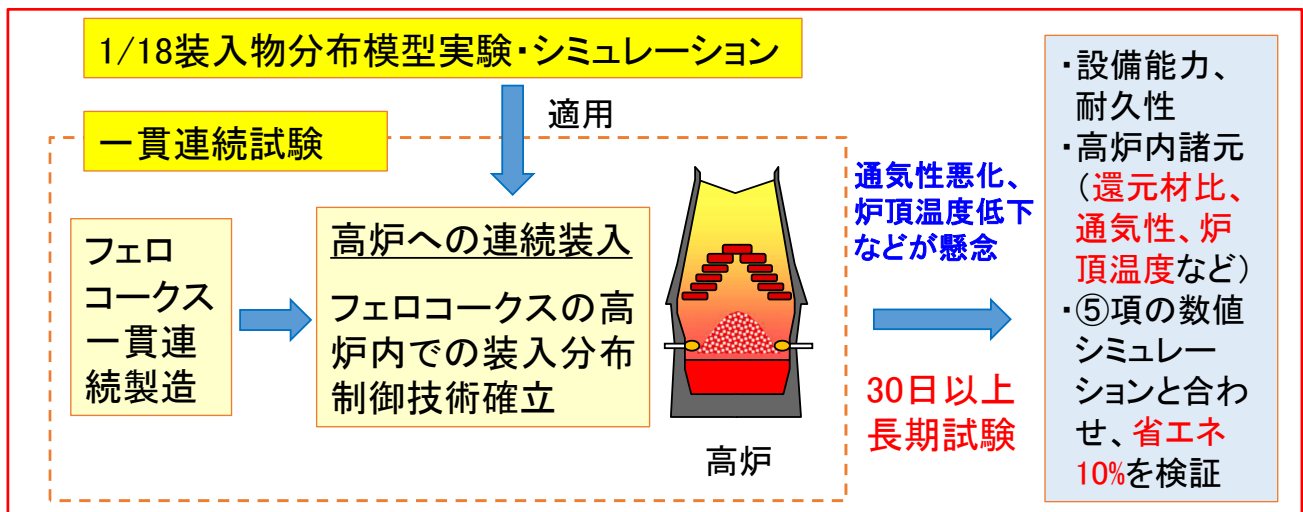
	検討銘柄	適用可能
一般炭	6銘柄	4銘柄
PCI炭	3銘柄	3銘柄
鉱石	2銘柄	2銘柄

- ・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、成型物強度を確認した(I型ドラム強度:ID30/15 \geq 85)。
- ・ラボにて新規固形バインダー使用成型試験を実施し、強度評価を実施。

■ 今後の予定

選定した低品位原料を使用した中規模設備での長期操業試験の実施

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)

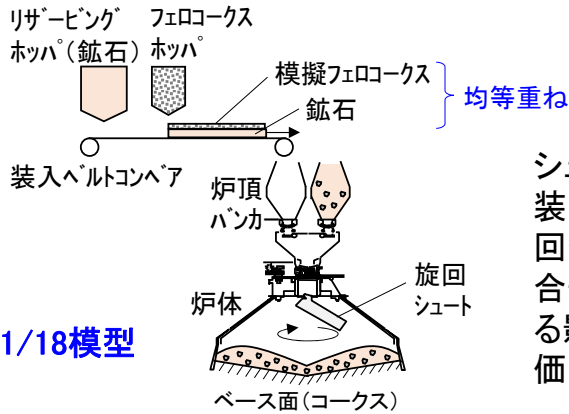


■ 研究開発の中間目標

- ・ラボ装入模擬試験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確立する。
- ・中規模設備で混練・成型・乾留したフェロコークスを実高炉へ装入量3kg/t程度で連続的に装入でき、かつ安定して操業(通気変動がないこと)できることを確認する(還元材比 \pm 約3kg/t=高炉の商用生産に影響を与えない範囲)。

■ 成果

技術開発項目	担当	2018年度				2019年度				2020年度				21年度	22年度
		1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q		
③ 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証	JFE					装入方法の探索				実炉装入方法提示					
		① 装入方法検討								② 使用、効果検証					



シュート角度、装入速度・回転数等が混合性に与える影響を評価

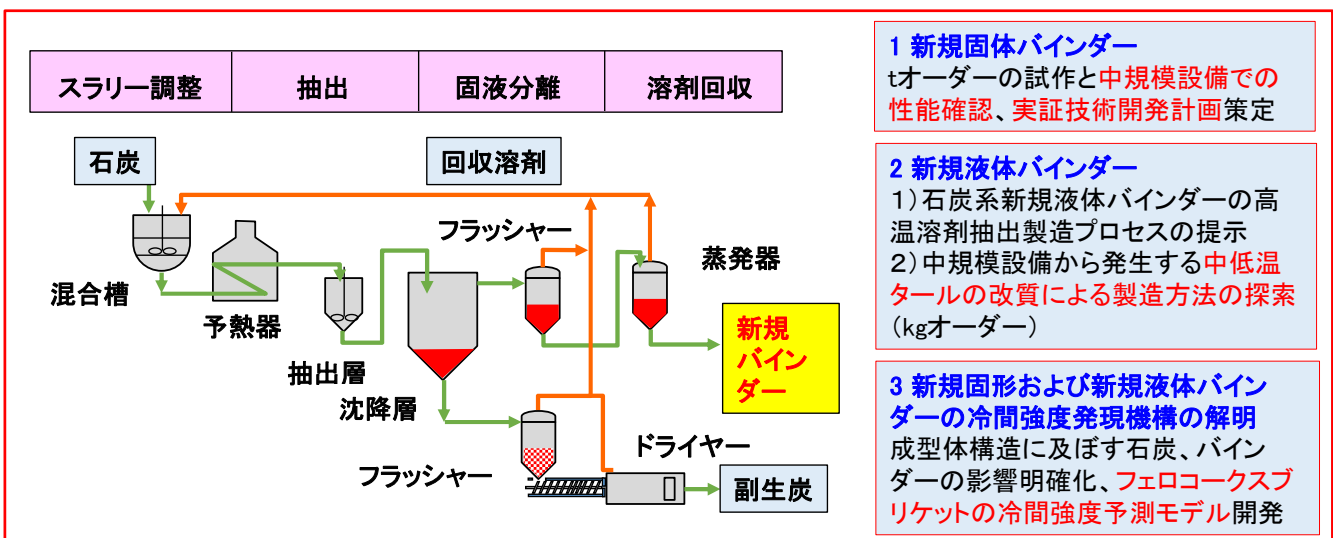
ラボ装入模擬試験に基づきフェロコークスを実炉に装入するための適切な装入方法は、2019年度に完了。10月より100t/dの試験操業を開始。

■ 今後の予定

実高炉へ装入量3kg/t程度で連続的に装入でき、かつ安定して操業(通気変動がないこと)できることを確認する。

④ 新バインダー強度発現実証(神戸製鋼所、東北大)

④-1 新規固形バインダーの性能実証(神戸製鋼所)

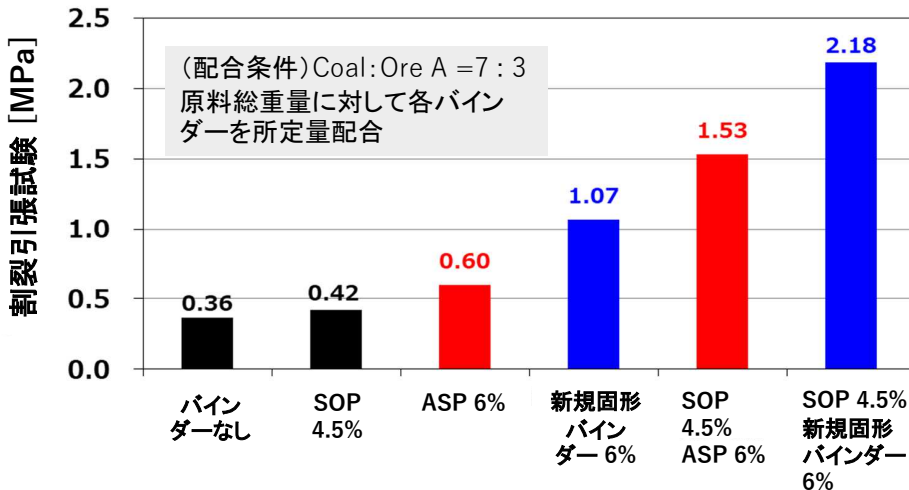


■ 研究開発の中間目標

- ・0.3t/dにスケールアップした設備で新規固形バインダーを製造する。
- ・製造した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)(ラボ成型実験)を確保する。
- ・フェロコークスのドラム強度: DI150/15 \geq 80(ラボ乾留実験)を確保する。

■ 成果

◆ 新規固形バインダーの性能実証



新規固形バインダーは、単独、SOPとの組み合わせにおいて、何れの配合条件でもASPに比べて高い強度付与効果を有す。

・工業的に最大の新規固形バインダー収率が得られる製造条件として、抽出温度380°C、昇温速度150°C/minを提示した。
 ・新規固形バインダー中の副生炭(RC)濃度を10%以下に規定した。ラボ試験炉において、成型物およびフェロコークスの強度目標を達成した。

■ 今後の予定

新規固形バインダーを用いたフェロコークス製造試験を継続。新規固形バインダーの製造条件の改善。既存の固形バインダー(ASP)と新規固形バインダーの比較より、新規固形バインダーの強度向上メカニズムや優位性を明確化する。

④ 新バインダー強度発現実証(神戸製鋼所、東北大)

④-2 新規液体バインダー開発(神戸製鋼所)

■ 研究開発の中間目標

・中規模設備から得られたフェロコークスタールの化学構造や分子量分布把握
 ・試作した新規液体バインダーを用いた成型物の冷間強度をタブレットスケールで測定。強度目標: 割裂引張試験において、既存液体バインダー(SOP)と同等以上。上記結果に基づく新規液体バインダーの製造オプションを提示。

■ 成果 <フェロコークスタールの改質方法検討>

	改質方法(重質化)	狙い	特性変化
1	低沸点成分の除去	分画温度を変えることで軟化点等のバインダー特性を制御	○
2	新規固形バインダーとの混合熱処理	重質成分である新規固形バインダーの混合比を変え熱処理することで、軟化点等のバインダー特性を制御	○
3	混合抽出	石炭抽出溶剤の一部として利用。混合比を変えることで、軟化点等のバインダー特性を制御	○

軽質成分を多く含むフェロコークスタールの改質方法を提案し、液体バインダーの軟化点および粘度(成型温度範囲)をSOP並みに調製することで、SOPと同等の強度向上効果を有する新規液体バインダーを試作した。

■ 今後の予定

中規模設備で製造されたフェロコークスタールの化学構造、分子量分布の評価および改質方針に沿った新規液体バインダーの試作を行う。新規液体バインダーを用いた**成型物強度の評価結果**に基づいて新規液体バインダーの製造オプションを提示する。

④ 新バインダー強度発現実証(神戸製鋼所、東北大)

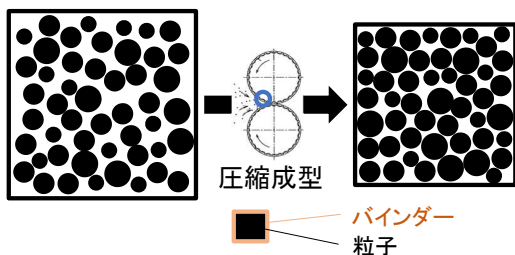
④-3 新規固形および新規液体バインダーの冷間強度発現機構の解明(東北大)

■ 研究開発の中間目標

圧縮成型時の**石炭-バインダー-鉄鉱石の圧縮挙動予測モデル**を構築し、フェロコークスに適したバインダーの添加条件を提案する。モデル解析結果の誤差: **10%以内**(圧縮応力の実験値と解析値の誤差)。

■ 成果

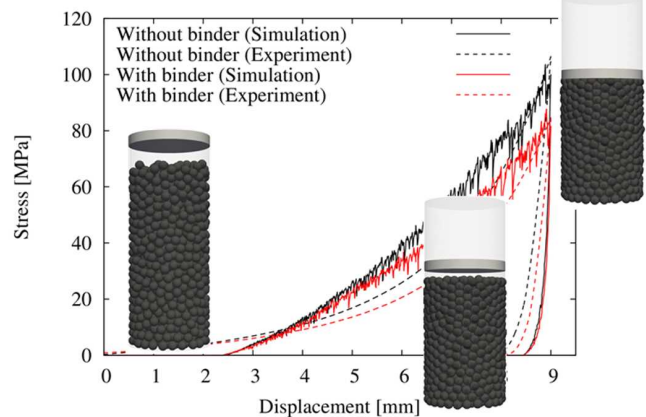
◆ フェロコークスブリケットの冷間強度予測モデル



- ◆ 成型時の粒子同士の滑り・再配置による構造変化の予測(バインダーによる潤滑性と接着力を考慮)
- ◆ 成型体の深さ方向の充填密度分布の予測

石炭-バインダー共存ケースの圧縮挙動予測モデルを構築した。実験結果とモデル解析の比較を通してモデルの予測精度の向上を実施中。

◆ 圧縮応力の変化(実験値と解析値の比較)



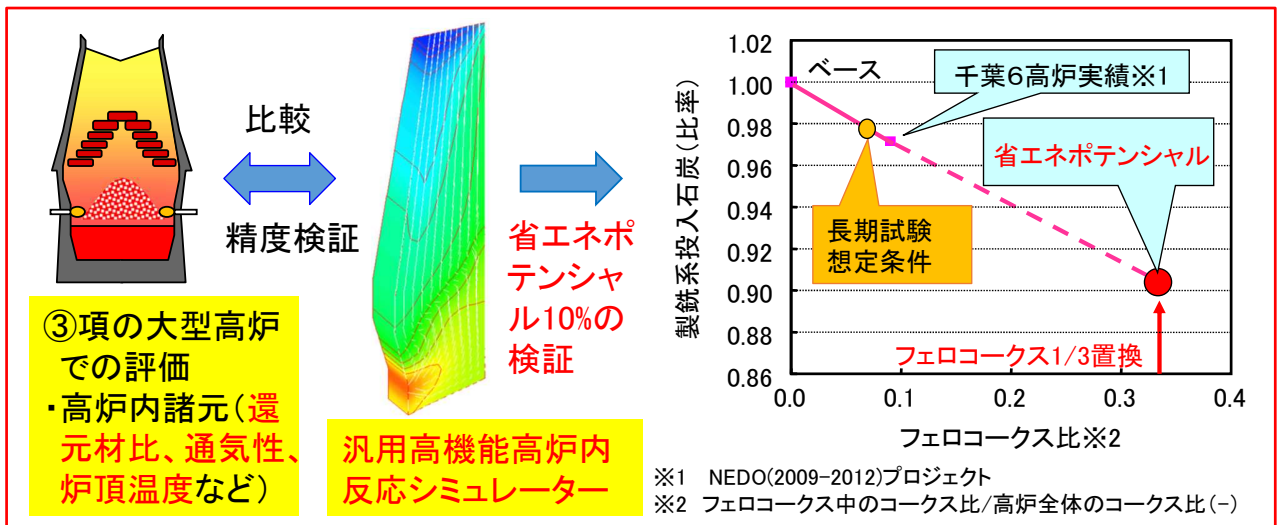
固形バインダーの配合に伴う応力の減少傾向を良好に表現

■ 今後の予定

鉄鉱石や液体バインダーを含む成型物の実験データの取得を神戸製鋼と共同で進め、石炭-バインダー-鉄鉱石が共存する圧縮挙動予測モデルを構築する(解析結果の誤差: 10%以内見込み)。

⑤ フェロコークス導入効果の検証(日本製鉄、九大)

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)

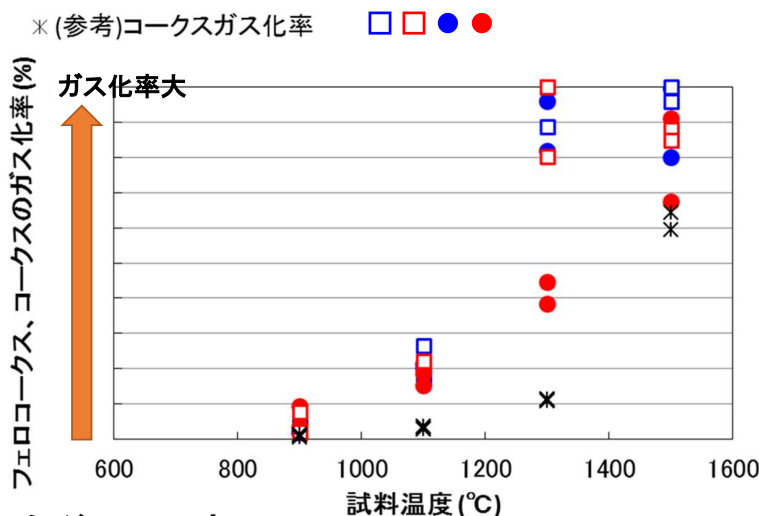


■ 研究開発の中間目標

・⑤-1で得られた高温性状調査結果と⑤-2で得られたフェロコークス反応モデルを反映した、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させ、ケーススタディによる物質収支誤差が許容範囲(1%程度)であることを確認する。

■ 成果

◆ 実高炉の温度、ガス、荷重条件を模擬した荷重軟化試験におけるフェロコークスのガス化率の温度依存性



コークスと比較して低温からガス化反応が生じることを確認。

- ・一般炭、低品位原料で製造したフェロコークスの高温性状を調査し、温度とガス化率の関係を評価した。
- ・汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させ、ケーススタディを実施した(P26)。

■ 今後の予定

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を調査し、温度とガス化率の関係を評価する。また、汎用高機能高炉内反応シミュレータに⑤-2で得られた知見を反映し、ケーススタディを実施し、物質収支誤差が許容範囲であることを確認することで、達成できる見込み(2021年2月達成見込み)。

⑤ フェロコークス導入効果の検証(日本製鉄、九大)

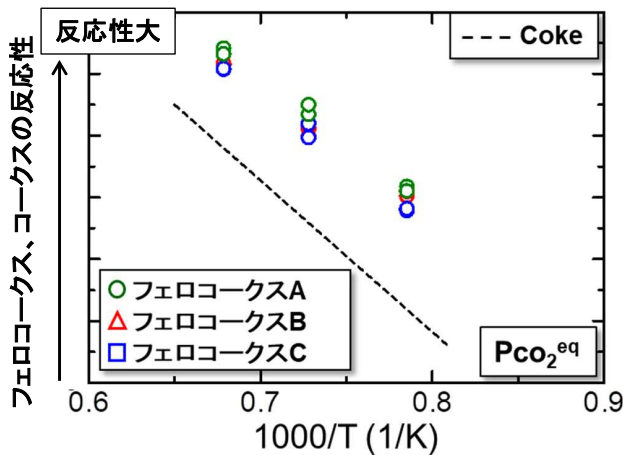
⑤-2 反応性評価・反応モデル構築(九大)

■ 研究開発の中間目標

・⑤-1で得られた高温性状調査結果と⑤-2で得られたフェロコークス反応モデルを反映した、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させ、ケーススタディによる物質収支誤差が許容範囲(1%程度)であることを確認。

■ 成果

◆ 熱天秤試験におけるフェロコークスのガス化率の温度依存性

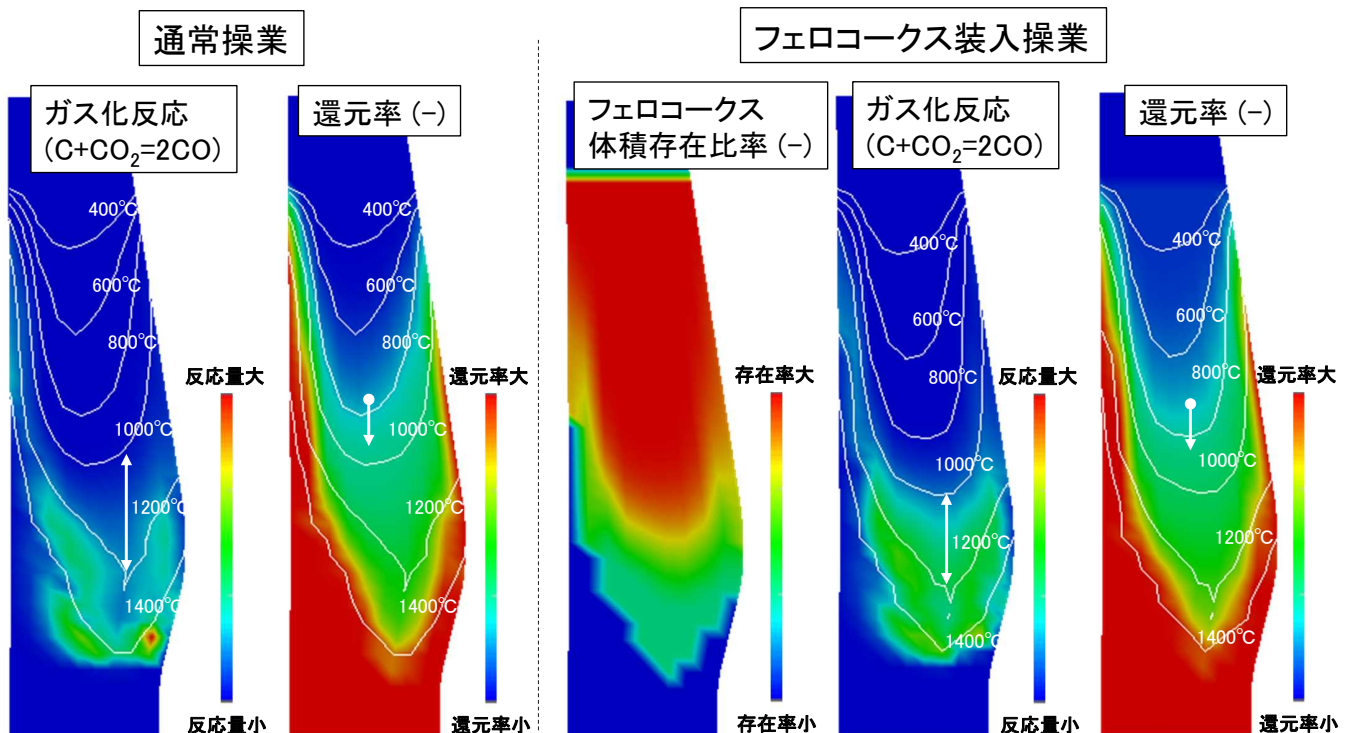


測定した反応速度をアレニウス型反応速度式として定式化し、フェロコークス製造条件が頻度因子、活性化エネルギーに及ぼす影響を評価。

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。

◆ フェロコークス装入に伴う炉内状況変化

フェロコークス装入によって、低温でのガス化反応が促進され、炉内還元が促進されることを確認した。



研究開発項目: ①フェロコークス中規模設備での製造技術実証

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)	達成見通し
<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<p>中規模設備の生産量300t/dでの連続運転を実施し、結果の解析を実施することで、目標を達成する見通し。</p>
<p>指標1: 原料の均一混合技術の確立(固体3種類、液体1種類の混合): 混合度95以上</p>	
<p>指標2: 乾留後塊成物のドラム強度: $DI150 / 15 \geq 80$</p>	

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)	達成見通し
<p>・ラボスケールでの試験結果から、原料(鉄鉱石、石炭)の絞込みを行う。これら原料がフェロコークス用原料として適していることを検証する。</p>	<p>ラボスケールにおける原料(鉄鉱石、石炭)の絞込みについては完了。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する見込み。</p>
<p>指標: 成型物の強度(I型ドラム強度): $ID30 / 15 \geq 85$</p>	

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)	達成見通し
<p>・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。</p>	<p>・目標の高炉連続操業試験30日以上については達成する見通し。 ・また実機規模で想定される50kg～150kg/溶銑1tに近い装入量で実用性評価の精度を上げるために2021年度にフェロコークス多量配合試験(フェロコークス450t/日、装入量原単位45kg/溶銑1t以上×2週間)を実施し、実用性評価の精度の向上を達成見込み。 ・⑤とともに、省エネ効果を確認し、最終目標を達成できる見通し。</p>
<p>指標：連続操業試験：30日以上</p>	

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)	達成見通し
<p>・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。</p>	<p>・成型物・フェロコークスの目標強度は、ラボ試験炉評価において確認済み。 ・中規模設備投入条件についてはJFEスチールと協議して実施。 ・SOP代替となる性能を有する新規液体バインダーの改質方針を決定予定。最終目標達成見込み。 ・21年度に試作品を用いたタブレットによる強度評価(JFEスチール)に基づき製造条件の最適化を進め、新規液体バインダーの製造プロセス案に反映。</p>
<p>・フェロコークスブリケットの冷間強度予測モデルを提示する。</p>	<p>・離散要素法をベースとした圧縮挙動の予測モデルの高精度化は達成見込み。成型物の構造を高精度で予測できれば、冷間強度の推算についてもモデルの構築ならびにモデルパラメーターのチューニングにより最終目標を達成できる見込み。</p>
<p>指標： 成型物の強度(I型ドラム強度)：ID30/15 ≥ 85 乾留後塊成物のドラム強度：DI150/15 ≥ 80</p>	

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)	達成見通し
<ul style="list-style-type: none"> ・フェロコークスの実高炉使用時の操業結果を数学モデルを用いて高精度にシミュレートする。 ・中規模設備で製造したフェロコークスの反応速度を調査し、反応モデルを構築する。 	<p>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、その知見を⑤-1の汎用高機能高炉内反応シミュレータに適用し、評価方法を確立する。</p> <p>また、③(実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証)の結果を汎用高機能高炉内反応シミュレータを用いて解析することで、省エネ効果を確認し、最終目標を達成できる見通し。</p>
<p>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。</p>	

◆成果の普及

※2020年度10月31日現在

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	計
論文	0	0	4	1			5
研究発表・講演	0	3	9	2			14
受賞実績	0	0	0	0			0
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	11			11
展示会への出展	1	1	1	0			3

論文

○西山記念技術講座(第239・240回)、(一社)日本鉄鋼協会 2019年度10月掲載
「製鉄プロセスの新たな取り組み(国プロを中心として)」

口頭発表

○2018年度12月(独)日本学術振興会学振54委員会(平成30年度12月期;第193回)
「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」

雑誌掲載

○週刊東洋経済(8/1号)

新聞発表

○10/12~15 鉄鋼新聞、日経新聞電子版 など

◆知的財産権の確保に向けた取組

【戦略に沿った具体的取組】

- **技術封印**: 先導研究(「エネルギー使用合理化技術戦略的開発」)('06~'08年度) : 開始前に実施。
- **特許網構築**: 「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METI直轄)において実施。
- **新規知的財産権**: 中規模設備固有のプロセス・設備、使用原料に関する特許出願
- **外国出願**: 海外展開の可能性が高い国に優先的に出願。

※2020年度10月31日現在

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	計
特許出願(うち外国出願)	0	0	0	1			1

- **前段のプロジェクト**における特許出願件数
 - フェロコークス製造技術、高炉装入技術などに関する特許
 - 「革新的製鉄プロセスの先導的研究」 10件
 - 「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」 17件

74

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

「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。

75

◆実用化・事業化に向けた戦略

【具体的方針】

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。

76

◆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】

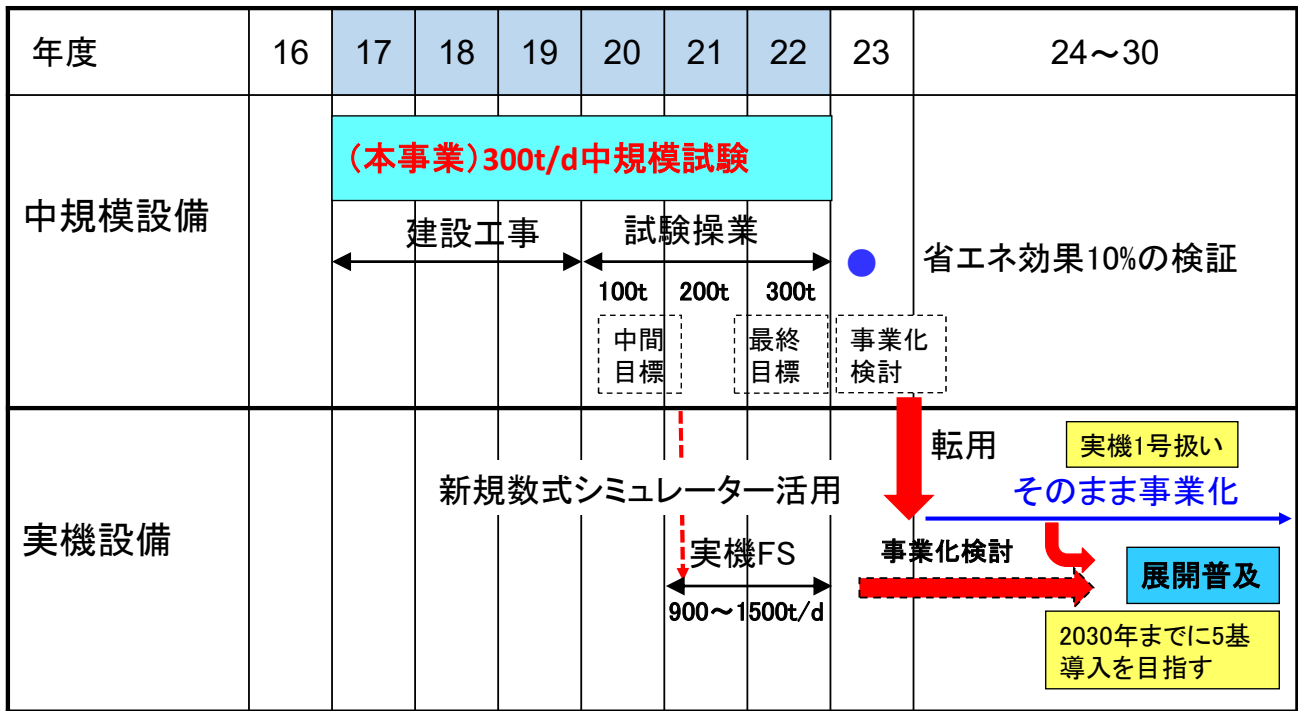
- ・本開発の成果は**国内高炉メーカー**により実用化・事業化される。
- ・知財権確立と導入国からの対価を前提とし、**国外へ技術提供**も模索していく。

【実用化・事業化の計画及びマイルストーン】

- ・**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。)

77

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組



●: 基本技術確立

◆ 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(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。

◆ 成果の実用化・事業化の見通し

【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。

◆ 海外展開

H30年5月「平成29年度～平成30年度成果報告書」NEDO資料より(委託先JRCM)

NEDO委託事業のCOURSE50およびフェロコークス技術の実用化計画への反映を目的に、**国あるいは地域ごとに、社会的要因、技術的要因、経済的要因、環境的要因、政治的要因**に関する動向について調査を実施し、市場ポテンシャルを決める要素となるCO₂排出量削減および省エネに対するインセンティブと、それに対するリスクを検討した。結果は以下の通りである。

1) 社会的要因調査

2030年～2050年までの**世界の粗鋼拡大予測**から、**インド**が大幅な粗鋼生産の拡大が見込まれ、CO₂排出量削減および省エネに対するインセンティブは今後大きくなると予測。

2) 技術的要因調査

世界の鉄鉱石原料事情、物流等から、**インド**が今後の粗鋼生産拡大に向けて、インフラ整備が重要と評価。

3) 経済的要因調査

高炉の規模別稼働状況から、中国、インドでは、効率の悪い小型高炉の稼働比率が高く、CO₂排出量削減および省エネに対するインセンティブは今後大きくなると予測。

4) 環境的要因調査

総CO₂排出量、ならびに総エネルギー使用に占める鉄鋼業の寄与率より、中国、韓国は15%程度でインセンティブが大きくなることが予想。

5) 政治的要因

CO₂排出量削減については、各国・地域ごとのパリ協定(COP21)に基づく削減目標、炭素税・実効炭素税や排出権取引制度の導入状況等より、欧州、中国、韓国で進んでおり、インセンティブは高くなると推定される。

◆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。

以上

補足資料

研究開発項目毎の目標と達成状況

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況		◎ 大きく上回って達成、○ 達成、 △ 達成見込み（中間）、× 未達		
研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(1) 中規模設備での製造技術実証	①-1 中規模設備の開発	原料事前処理設備、連続混練成型設備および乾留設備の据付完了。新型コロナウイルス緊急事態宣言の発出により、負荷試運転が約2ヶ月の後ろ倒しになるも乾留設備までの製造能力(300t/d)を確認。	○	混練機スクリーフィーダーのスクリーピッチを広げる改造を実施。2020年度中にモーター容量アップを完成させ300t/d連続運転に備える。

3. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況		◎ 大きく上回って達成、○達成、 △達成見込み(中間)、×未達		
研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(1)中規模設備での製造技術実証	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	・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 (中規模設備で製造した混練物を評価し、確率50%で混合度95が達成できること)	○	

3. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況		◎ 大きく上回って達成、○達成、 △達成見込み(中間)、×未達		
研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(1)中規模設備での製造技術実証	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	・フェロコークスのドラム強度※: DI150/15 \geq 80(ラボ乾留実験) (現状より劣質原料使用。中規模設備で混練成型した成型物を抜き出し、ラボの乾留炉で乾留した時に強度が確保できること。 固形バインダー、液体バインダーは従来品使用) ※ドラム強度 DI150/15: JIS規格	○	

3. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況		◎ 大きく上回って達成、○達成、 △達成見込み(中間)、×未達		
研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
① -2 固液均一混合のシミュレーション	・混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプを完成させる。	混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプは2019年度に完成。	○	

3. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況		◎ 大きく上回って達成、○達成、 △達成見込み(中間)、×未達		
研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(2)一般炭、低品位原料使用時の製造技術実証	・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、成型物強度を確認する(I型ドラム強度※: ID30/15 \geq 85)。 ※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 ・ラボにて④で製造した新規固形バインダー使用成型試験を実施し、強度評価を行う(液体バインダーは従来品使用)。	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、成型物強度を確認した(I型ドラム強度: ID30/15 \geq 85)。 ラボにて新規固形バインダー使用成型試験を実施し、強度評価を実施。	○	選定した低品位原料を使用した中規模設備での長期操業試験の実施

3. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況		◎ 大きく上回って達成、○達成、 △達成見込み(中間)、×未達		
研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(3) 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証	<ul style="list-style-type: none"> ラボ装入模擬試験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確立する。 中規模設備で混練・成型・乾留したフェロコークスを実高炉へ装入量3kg/t程度で連続的に装入でき、かつ安定して操業(通気変動がないこと)できることを確認する(フェロコークスの実高炉への装入量が平均3kg/t程度:高炉の日常の炉熱変動の還元材比換算±約3kg/tの範囲内=高炉の商用生産に影響を与えない範囲) 	<p>ラボ装入模擬試験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は、2019年度に完了。10月より100t/dの試験操業を開始、実高炉へ装入量3kg/t程度で連続的に装入でき、かつ安定して操業(通気変動がないこと)できることを確認</p>	○	<p>実高炉へ装入量3kg/t程度で連続的に装入でき、かつ安定して操業(通気変動がないこと)できることを確認する。</p>

92

3. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況		◎ 大きく上回って達成、○達成、 △達成見込み(中間)、×未達		
研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(4) 新バインダー強度発現実証	<p>④-1 新規固形バインダーの性能実証</p> <ul style="list-style-type: none"> 0.3トン/日にスケールアップした設備で新規固形バインダーを製造する。 製造した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\geq85)(ラボ成型実験)を確保する。 フェロコークスのドラム強度:DI150/15\geq80(ラボ乾留実験)を確保する。 	<p>工業的に最大の新規固形バインダー収率が得られる製造条件として、抽出温度380℃、昇温速度150℃/minを提示した。新規固形バインダー中の副生炭(RC)濃度を10%以下に規定した。ラボ試験炉において、成型物およびフェロコークスの強度目標を達成した。</p>	○	<p>新規固形バインダーを用いたフェロコークス製造試験を継続。新規固形バインダーの製造条件の改善。ASPと新規固形バインダーの比較より、新規固形バインダーの強度向上メカニズムや優位性を明確化する。</p>

93

3. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況		◎ 大きく上回って達成、○達成、 △達成見込み(中間)、X未達		
研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(4)新バインダー強度発現実証	④-2 新規液体バインダー開発	<p>・中規模設備から得られたフェロコークスタールの化学構造や分子量分布を把握する。</p> <p>・試作した新規液体バインダーを用いた成型物の冷間強度をタブレットスケールで測定する。成型物の強度目標:割裂引張試験において、既存液体バインダー(SOP)と同等以上。上記結果に基づく新規液体バインダーの製造オプションを提示する。</p>	○	<p>中規模設備で製造されたフェロコークスタールの化学構造、分子量分布の評価および改質方針に沿った新規液体バインダーの試作を行う。新規液体バインダーを用いた成型物強度の評価結果に基づいて新規液体バインダーの製造オプションを提示する。</p>

94

3. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況		◎ 大きく上回って達成、○達成、 △達成見込み(中間)、X未達		
研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(4)新バインダー強度発現実証	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	<p>石炭-バインダー共存ケースの圧縮挙動予測モデルを構築した。実験結果とモデル解析の比較を通してモデルの予測精度の向上を目指すとともに石炭-バインダー-鉄鉱石共存ケースの圧縮挙動予測モデルを構築する。</p>	○	<p>鉄鉱石や液体バインダーを含む成型物の実験データの取得を神戸製鋼と共同で進め、石炭-バインダー-鉄鉱石が共存する圧縮挙動予測モデルを構築する。</p>

95

3. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況		◎ 大きく上回って達成、○達成、 △達成見込み(中間)、X未達		
研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(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	⑤-1で得られた高温性状調査結果と⑤-2で得られたフェロコークス反応モデルを反映した、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させ、ケーススタディによる物質収支誤差が許容範囲(1%程度)であることを確認する。	○	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を調査し、温度とガス化率の関係を評価する。また、汎用高機能高炉内反応シミュレータに⑤-2で得られた知見を反映し、ケーススタディを実施し、物質収支誤差が許容範囲であることを確認することで、達成できる見込み(2021年2月達成見込み)。

3. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況		◎ 大きく上回って達成、○達成、 △達成見込み(中間)、X未達		
研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(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	⑤-1で得られた高温性状調査結果と⑤-2で得られたフェロコークス反応モデルを反映した、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させ、ケーススタディによる物質収支誤差が許容範囲(1%程度)であることを確認する。	○	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。

成果の最終目標の達成可能性

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況				
研究開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(1) 中規模設備での製造技術実証	①-1 中規模設備の開発	原料事前処理設備、連続混練成型設備および乾留設備の据付完了。新型コロナウイルス緊急事態宣言の発出により、負荷試運転が約2ヶ月の後ろ倒しになるも乾留設備までの製造能力(300t/d)を確認。	<ul style="list-style-type: none"> ・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(中規模設備で製造した混練物を評価し、確率100%で混合度95が達成できること) ・フェロコークスのドラム強度※: DI150/15\geq80(中規模設備) (現状より劣質原料使用時に強度確保。 	中規模設備の生産量300t/dでの連続運転を実施し、結果の解析を実施することで、目標を達成する見通し。
	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	成型物の強度測定結果から、目標強度80以上を確認。成型物強度と混合度の関係から、混合度95以上と推測。		

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況			
研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(1) 中規模設備での製造技術実証	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	④で製造した新規固形バインダー使用、液体バインダーは従来品使用) ※ドラム強度 DI150/15: JIS規格	
① -2 固液均一混合のシミュレーション	中規模設備で混練成型した成型物を抜き出し、ラボの乾留炉で乾留し、強度を確認(DI150/15 \geq 80をクリアー)。 混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプは2019年度に完成。		

100

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況			
研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(2) 一般炭、低品位原料使用時の製造技術実証	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、成型物強度を確認した(I型ドラム強度: ID30/15 \geq 85)。ラボにて新規固形バインダー使用成型試験を実施し、強度評価を実施。	・成型物の強度※(I型ドラム強度): ID30/15 \geq 85(中規模設備) ※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 (現状より劣質原料使用時に強度確保。 ④で製造した新規固形バインダー使用、液体バインダーは従来品使用)	ラボスケールにおける原料(鉄鉱石、石炭)の絞込みについては完了。 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する見込み。

101

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆研究開発項目毎の目標と達成状況			
研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(3) 実高炉でのフェロコークス長期使用効果検証	<p>ラボ装入模擬試験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は、2019年度に完了。</p> <p>10月より100t/dの試験操業を開始、実高炉へ装入量3kg/t程度で連続的に装入でき、かつ安定して操業(通気変動がないこと)できることを確認。</p>	<p>・連続操業試験: 30日以上(装入量: 平均27kg/t(稼働率90%))(高炉の還元材比、通気性の変化を確認)</p>	<p>・目標の高炉連続操業試験30日以上については達成する見通し。</p> <p>・また実機規模で想定される50kg~150kg/溶銑1tに近い装入量で実用性評価の精度を上げるために2021年度にフェロコークス多量配合試験(フェロコークス450t/日、装入量原単位45kg/溶銑1t以上×2週間)を実施し、実用性評価の精度の向上を達成見込み。</p> <p>・⑤とともに、省エネ効果を確認し、最終目標を達成できる見通し。</p>

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆研究開発項目毎の目標と達成状況			
研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(4) 新バインダー強度発現実証	<p>④-1 新規固形バインダーの性能実証</p> <p>工業的に最大の新規固形バインダー収率が得られる製造条件として、抽出温度380°C、昇温速度150°C/min、滞留時間40分を提示した。既存固形バインダー(ASP)と同等以上の強度向上効果を達成可能な新規固形バインダー中の副生炭(RC)濃度を10%以下に規定した。また新規固形バインダーを用いたラボ試験炉による製造評価(JFEスチール)において、成型物およびフェロコークスの強度目標を達成した(20年度追加評価を実施中)。</p>	<p>・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\geq85(中規模設備)。(作り溜めした上で、中規模の混練・成型機に数バッチ分投入し、成型物のI型強度を測定する。成型品は乾留炉、高炉に投入。ただし、量が少ないため、乾留後強度、高炉評価はできない)</p>	<p>・成型物・フェロコークスの目標強度は、ラボ試験炉評価において確認済み。</p> <p>・中規模設備投入条件についてはJFEスチールと協議して実施。</p>

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆研究開発項目毎の目標と達成状況			
研究開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)
(4)新バインダー強度発現実証	④-2 新規液体バインダー開発	軽質成分を多く含むフェロコークスタールの改質方法として、低沸点成分除去法や重質成分との混合熱処理法、混合抽出法を提案し、液体バインダーの軟化点および粘度(成型温度範囲)をSOP並みに調製することで、SOPと同等の強度向上効果を有する新規液体バインダーを製造した(フェロコークスタールを入手するまでの代替品としてコールタールを使用)。	<ul style="list-style-type: none"> ・新規固形バインダー使用時のフェロコークスのドラム強度※: DI150/15\geq80(中規模設備) ・従来と同等の強度を実現し得る新規液体バインダーの製造プロセス案を提示する。
			<ul style="list-style-type: none"> ・SOP代替となる性能を有する新規液体バインダーの改質方針を決定予定。最終目標達成見込み。 ・21年度に試作品を用いたタブレットによる強度評価(JFEスチール)に基づき製造条件の最適化を進め、新規液体バインダーの製造プロセス案に反映。

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆研究開発項目毎の目標と達成状況			
研究開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)
(4)新バインダー強度発現実証	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	石炭-バインダー共存ケースにおいて、圧縮応力の実験値との誤差が10%以内となる圧縮挙動予測モデルを構築した。実験結果とモデル解析の比較を通してモデルの予測精度の向上を目指すとともに石炭-バインダー-鉄鉱石共存ケースの圧縮挙動の予測モデルを構築する。	<ul style="list-style-type: none"> ・フェロコークスブリケットの冷間強度予測モデルの最適化を行い、工業的に低負荷となるフェロコークスの圧縮成型条件を提案する。モデル解析結果の誤差:10%以内。
			<ul style="list-style-type: none"> ・離散要素法をベースとした圧縮挙動の予測モデルの高精度化は達成見込み。成型物の構造を高精度で予測できれば冷間強度の推算についてもモデルの構築ならびにモデルパラメーターのチューニングにより最終目標を達成できる見込み。

◆研究開発項目毎の目標と達成状況				
研究開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(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	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を調査し、温度とガス化率の関係を評価した。また、汎用高機能高炉内反応シミュレータの試作品を完成させ、ケーススタディを実施した。	・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)。	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、その知見を⑤-1の汎用高機能高炉内反応シミュレータに適用し、評価方法を確立する。また、③(実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証)の結果を汎用高機能高炉内反応シミュレータを用いて解析することで省エネ効果を確認し、最終目標を達成できる見通し。
	⑤-2 反応性評価・反応モデル構築	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。		

成果の普及

8/1
週刊東洋経済

9/15
日本経済新聞電子版

10/12
日本経済新聞電子版

10/13
鉄鋼新聞
日刊工業新聞
日刊産業新聞
日本金属通信
山陽新聞(地方経済面)

10/14
日経ビジネス電子版
中国新聞

10/15
日刊自動車新聞

海外展開

NEDO委託事業のCOURSE50およびフェロコークス技術の実用化計画への反映を目的に、**国あるいは地域ごとに、社会的要因、技術的要因、経済的要因、環境的要因、政治的要因**に関する動向について調査を実施し、市場ポテンシャルを決める要素となるCO₂排出量削減および省エネに対するインセンティブと、それに対するリスクを検討した。結果は以下の通りである。

1) 社会的要因調査

2030年～2050年までの**世界の粗鋼拡大予測**に関する調査を行い、国・地域ごとの粗鋼拡大量を評価した。**インド**では大幅な粗鋼生産の拡大が見込まれ、CO₂排出量削減および省エネに対するインセンティブは今後大きくなると予測される。また、世界の回収利用スクラップの将来予測に関する調査を行い、2030年～2050年までの電気炉法の比率を推定した結果、現状と大きな差は見られないことがわかった

110

2) 技術的要因調査

世界の鉄鉱石原料事情、物流等を調査し、国・地域ごとのインフラ状況を評価した。**インド**は今後の粗鋼生産拡大に向けて、インフラ整備が重要となると考えられる。

また、各国の**競合技術**について、稼働状況、開発状況、CO₂排出原単位等を調査した。現在開発中のHIsarna法は、目標とするCO₂削減効果が大きく、今後の動向を注視する必要がある。

3) 経済的要因調査

世界の鉄鉱石に関する資源状況、価格等を調査した。また、**石炭に関する需給および価格状況**を調査した。鉄鉱石に関しては、供給および価格については長期的にも安定することが見込まれ、リスクは小さい。一方、石炭では価格に関するリスクは継続することが見込まれる。

さらに、**高炉の規模別稼働状況**を調査した。**中国、インド**では、効率の悪い小型高炉の稼働比率が高いことから、CO₂排出量削減および省エネに対するインセンティブは今後大きくなると予測される。

111

4) 環境的要因調査

国・地域別の総CO₂排出量に占める鉄鋼業の寄与率を推定した。中国、韓国は15%程度でインセンティブも大きくなることが予想されるのに対し、米国は1%程度と推定される。

また、国・地域別の総エネルギー使用量に占める鉄鋼業の寄与率も推定した。結果はCO₂排出量の場合とほぼ同様の結果が得られた。

5) 政治的要因

CO₂排出量削減については、各国・地域ごとのパリ協定(COP21)に基づく削減目標、炭素税・実効炭素税や排出権取引制度の導入状況等を調査した。ロシアは現時点で目標レベルに達しているのに対し、他国の目標達成の難易度は高いと推定され、CO₂排出量削減および省エネに対するインセンティブは今後大きくなると予測される。また、炭素税・実効炭素税や排出権取引制度は、欧州、中国、韓国で進んでおり、インセンティブは高くなると推定される。

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フェロコークス技術の開発」(中間評価)分科会 議事録及び書面による質疑応答

日 時：2020年11月17日(火) 13:00～17:27

場 所：NEDO 川崎 2301～2303 会議室 (オンラインあり)

出席者(敬称略、順不同) ※リモート参加

<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	菅原 勝康	秋田大学	大学院理工学研究科	物質科学専攻	教授 ※
委員	奥村 圭二	名古屋工業大学	大学院工学研究科	物理工学専攻	准教授 ※
委員	尾崎 純一	群馬大学	大学院 理工学府	元素科学国際教育研究センター	教授/センター長 ※
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	篠竹 昭彦	帝京大学	理工学部	機械・精密システム工学科	教授/学科長 ※
委員	成田 暢彦	愛知学院大学	総合政策学部	非常勤講師	※

<推進部署>

吉岡 恒	NEDO	省エネルギー部	部長
田村 順一 (PM)	NEDO	省エネルギー部	特定分野専門職
矢島 康徳	NEDO	省エネルギー部	統括主幹
武田 行生	NEDO	省エネルギー部	特定分野専門職
山本 良美	NEDO	省エネルギー部	主査

<実施者>

佐藤 道貴(技術開発責任者)	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 製銑研究部	フェロコークスグループ グループリーダー
拜司 裕久	JFE スチール株式会社	技術企画部	主任部員
小柳 保章	JFE スチール株式会社	西日本製鉄所(福山地区)	コークス部 フェロコークスプロジェクト推進班 班長 ※
宍戸 貴洋	株式会社神戸製鋼所	技術開発本部 機械研究所	資源プロセス研究室 主任研究員
安室 元晴	株式会社神戸製鋼所	開発企画部	次長 ※
白石 恒司	株式会社神戸製鋼所	鉄鋼アルミ事業部門 技術企画部	企画グループ 主任部員 ※
菊池 直樹	株式会社神戸製鋼所	技術開発本部 機械研究所	資源プロセス研究室 室長 ※
奥山 憲幸	株式会社神戸製鋼所	技術開発本部 機械研究所	資源プロセス研究室 上席研究員 ※
堺 康爾	株式会社神戸製鋼所	技術開発本部 機械研究所	資源プロセス研究室 主任研究員 ※
和田 祥平	株式会社神戸製鋼所	技術開発本部 機械研究所	資源プロセス研究室 ※
小堀 竜一	株式会社神戸製鋼所	技術開発本部 機械研究所	資源プロセス研究室 ※
酒井 博	日本製鉄株式会社	技術開発本部 プロセス研究所	製銑研究部 主任研究員

中野 薫 日本製鉄株式会社 技術開発本部 プロセス研究所 製銑研究部 上席主幹研究員 ※

<評価事務局>

森嶋 誠治	NEDO	評価部	部長
塩入 さやか	NEDO	評価部	主査
後藤 功一	NEDO	評価部	主査
鈴木 貴也	NEDO	評価部	主査
木村 秀樹	NEDO	評価部	専門調査員
植山 正基	NEDO	評価部	特定分野専門職

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 a) 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
 - b) 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し
 - 5.2 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と6.3と6.4はまとめて説明と質疑応答)
 - 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
(休憩)
 - 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、分資料の確認
 - ・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 (分科会委員、推進部署、評価事務局)
3. 分科会の公開について
 - 評価事務局より、既に資料2及び3に基づき各委員に事前説明を実施し、委員からの質問にも回答済みであるとの説明があった。議題6.「プロジェクトの詳細説明」、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
 - 評価事務局より、既に資料4-1~4-5に基づき各委員に事前説明を実施し、委員からの質問にも回答済みであるとの説明があった。
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 a) 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
 - b) 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し
 - 評価事務局より、既に資料5に基づき各委員に事前説明を実施し、委員からの質問にも回答済みであるとの説明があった。実施済みの質疑応答も踏まえて、その内容について質疑応答が行われた。
 - 5.2 質疑応答

【河瀬分科会長】 分かりました。それでは、事前にやり取りをした質疑応答も踏まえ、ご意見、ご質問等をお願いします。ここでプレゼンテーションがなく、質疑応答というのは少しやりにくい感じはしますが、委員の皆さま、いかがでしょうか。

では、私が口火を切らせていただいてよろしいですか。これは事前質問でもお伺いしたのですが、今回、実証のステージということで、スケールが非常に気になっています。実機で高炉が一つあたり、1500 t/d のフェロコークスを供給したいということです。今回、300 t/d の機械を5台並べて使うので、300 t/d のフェロコークス製造設備で実施すれば、それが実証になるという理解でよろしいですか。

【田村 PM】 そういう理解で結構です。

【河瀬分科会長】 そこは構わないですけれども、フェロコークスの高炉への装入試験が100 t/d というスケールで設定されていることについて、私は不思議に思っています。15台並んでいるわけではないと思います。この差はどう考えればよろしいですか。

【田村 PM】 田村から答えます。100 t/d というのは、本年度のフェロコークスの投入量です。来年度が200 tで、2022年度の最終年度が300 tになっています。狙っているのが最終年度での300 tというところでございます。最初から300 tを投入すると、高炉への影響など、非常にリスクがあります。量的には3分の1の100 tから順次上げていきます。その状況を確認しつつ、最終的な目標の300 tまで上げていきます。300 tの場合ですと、実際の製造能力と高炉にそれを連続装入していくというところに

つながっていきますので、そういう形で、今回の実証を進めていくということになっています。

【河瀬分科会長】 ありがとうございます。残りの期間で増やしていかれるということでしょうか。

【田村 PM】 そうです。

【河瀬分科会長】 それでも 1500 t/d でないのは、なぜですか。

【田村 PM】 1500 t/d というのは、最終的な事業化になったときに、300 t の設備を 5 台並べて、それで 1500 t にもっていくということです。最終的には、そういったことで、事業化に向けて進めていくということになると思います。

【河瀬分科会長】 納得いたしました。それと関連して、バインダーの話があります。現状はアスファルト等の既存のバインダーを使っているわけですが、足りなくなるおそれがあるので、新しいバインダーを開発するというのを伺いました。今後、実証ステージの最終段階でも、量産は難しいのではないかという見通しだと理解しましたが、それは正しいですか。

【田村 PM】 今回の事業の中で、バインダーの開発としては、高炉内できちんとフェロコークスの強度が出るかなど、特性の評価を行いながら、最終的な製造条件も確立するところまでは進めることになっています。この事業が終了後に、実際の量産設備を作りつつ、そこで展開し、量産に結び付けていくということになっています。

【河瀬分科会長】 端的に伺うと、アスファルトでも取りあえず量は足りているということですか。

【田村 PM】 そういう意味では、今回の実証で行うフェロコークスの製造量に対しては、問題がないと考えています。最終的に、事業化になって、フェロコークスの量が非常に増えるという場合に、不足するという懸念があるので、現在の段階から準備をしていくということになります。

【河瀬分科会長】 納得いたしました。ありがとうございます。

他の委員の皆さま、いかがでしょうか。

【菅原会長代理】 秋田大学の菅原です。河瀬先生、よろしいでしょうか。

【河瀬分科会長】 よろしくお願ひします。

【菅原会長代理】 全体のことで漠然とした質問になるかもしれませんが、フェロコークス技術の開発は、2030年までに事業化の達成となっています。今の時代の流れを考えると、もう少し加速的に行うことは可能でしょうか。どなたに質問したらいいのでしょうか。NEDOの方なのか、あるいは実施者の方なのかということがありますが、いかがでしょうか。

【田村 PM】 まず、NEDO からお答えさせていただきます。2030年においては、実機規模で最大 5 基ということが目標になっています。実際のフェロコークスの活用がスタートするのは、本事業が終わった後になりますので、2030年にならないうちに、そのうちの 1 基、2 基という展開ができると思っています。

【佐藤技術開発責任者】 JFE スチールの佐藤でございます。少し補足させていただきますと、本事業で行っている 300 t/d のプラントは 2022 年まで、本事業で製造プロセスなどを検証してまいります。その過程で、省エネ効果や経済効果が非常に良いと判断された場合には、2024 年以降になるかと思いますが、このプラントをそのまま実機化して、商用設備 1 号機として使っていきたいと考えております。その後は、個別会社の事情や環境変化も考慮しつつ、2030 年までには 2 号機、3 号機と台数を増やしていこうという考えです。

【菅原会長代理】 ありがとうございます。

【河瀬分科会長】 段階的に導入していけるというのが、このプロジェクトの良い点ではないかと私は思っています。他にはいかがでしょうか。

【篠竹委員】 篠竹ですが、よろしいでしょうか。

【河瀬分科会長】 お願いいたします。

【篠竹委員】 資料5で、事前に質問したことについて、回答がありました。それについて、質問をします。回答に非公開内容が入っていますけれども、ここで質問してよろしいですか。

【河瀬分科会長】 ここでお答えいただけるものだけは、回答があると思います。続きは後ほど、ご回答いただければと思います。

【篠竹委員】 フェロコックスを使ったときのエネルギー低減についての質問です。資料の5ページ目です。事前に資料を見て、縦軸が理論的には70程度まで下がるということについて質問したときに、高炉に必要な炭素の量が回答に入っています。回答の中では、数字が書いてあります。これは現実の高炉とかなりかけ離れた、多めの仮定の数字になっています。そこをベースにすると、当然、減ります。今、その数字ではないので、このようなところまで下がらないのではないのでしょうか。その仮定が変なのではないかと思いましたが、いかがでしょうか。

【河瀬分科会長】 いかがでしょうか。

【佐藤技術開発責任者】 JFE スチールの佐藤でございます。70%という数字は、理論的な還元材比下限値と現状の高炉の還元材比の比でございまして、非公開資料には事前質問への回答として根拠を示しています。理論的な還元材比下限は、速度論的な効果を全く考慮しない、平衡論的な限界だけに基いたものです。その値は仰るように現実的ではありませんが、目安として70%程度としております。現実の高炉では、そこまでは到達できないと認識しています。

【篠竹委員】 分かりました。平衡論といっても、これは間接還元で、COがどれだけ還元に寄与するかということ。全部、間接還元の設定にして、平衡論で行っているので今の数字と合わないという事は理解しました。

すみません。もう一つ、エネルギー低減に関係する部分で、確認したいと思います。フェロコックス自体に、もう既に還元された鉄が入っているわけです。鉄鉱石を使って、フェロコックスのある所でも還元されて鉄になっているということです。それは、高炉に入れたときに還元される必要がなくて、鉄として出てくるので、その鉄を溶銑としてカウントして考えたら、当然、減るわけです。その部分がどのくらいあるのかということが、疑問です。フェロコックスを作る所で還元をされているから、還元材比が減るといふ部分と、フェロコックスを使うことによって純粋に効率が良くなっているという部分が、それぞれどの程度あるかという部分が疑問です。いかがでしょうか。

【河瀬分科会長】 数字はお持ちでしょうか。

【佐藤技術開発責任者】 JFE スチールの佐藤でございます。フェロコックスの中に、30%の鉄鉱石由来の還元鉄が入っておりまして、残りの70%がコークスでございます。還元材比を検討するに際しては、もともと還元された鉄が炉頂から入ってきますので、装入物の酸化度は低い値となります。さらに、残り70%のコークスは反応性が高いので、高炉の熱保存帯温度を下げる効果が出てまいります。これら両方の効果、すなわち、熱保存帯が下がって、還元平衡点W点が高酸化度側である右側に移動する効果と、装入物の酸化度が下がって、W点が下方に移動する効果の二つの効果により還元材比が下がると考えています。

【篠竹委員】 ありがとうございます。合計で例えば 10 %減るということは分かります。その内訳を知りたいということです。

【佐藤技術開発責任者】 10 %を実現するためのフェロコークスの原単位というのが、最大 150 kg ぐらいです。鉄分としては、その 3 分の 1、すなわち最大 50 kg 程度が入ってまいります。その効果としては、即答はできないのですが、最大で 50 kg 分の鉄の効果とお考えください。

【篠竹委員】 ありがとうございます。

【河瀬分科会長】 ありがとうございます。他の質問はいかがでしょうか。

【尾崎委員】 すみません。群馬大学の尾崎です。

【河瀬分科会長】 尾崎先生、お願いします。

【尾崎委員】 2050 年までにゼロエミッションということが言われています。今回のこの技術、それから COURSE50 の技術のゼロエミッションに占める位置はどのようになりますか。基本的なことで申し訳ありませんが、教えていただけますか。

【田村 PM】 NEDO の田村です。お手元の資料 5-1 に革新的環境イノベーション戦略という資料も入っていると思います。そこで示されているのが、大きく二つあります。一つは 2050 年以降の早い時期にということで、水素還元ゼロカーボン・スチールの話があります。もう一つは、COURSE50 とフェロコークスの技術を併せまして、CO₂ の削減を加速していくということがあります。ゼロカーボン・スチールにつきましては、開発が始まったところです。COURSE50 やフェロコークスの技術を併せることで、2050 年に向けた CO₂ の削減につなげていくことになると思います。技術的には、当初 80 %といわれていたものが 0 ということになるとすると、加速をしていかざるを得ないという印象です。

【尾崎委員】 フェロコークスを使ったとしても、CO₂ が出てきます。CO₂ 排出量の低減には排出権取引も考えられるでしょうが、本当に技術的にゼロエミッションや脱炭素を進めていくとなると、根本的に CO₂ を排出する技術であるフェロコークスによる鉄鉱石の還元では、どのようにこれを実現していくのでしょうか。将来的には水素還元に行くのでしょうか。教えていただけますか。

【田村 PM】 そういう意味では、二つの流れというのは変ですけども、ゼロカーボンを使っていく方向と、出てきたカーボンを例えば、今、進めているような CCU や貯留で解消していく、出ないようにしていくという方向を並行して進んでいくのではないかと考えています。

【尾崎委員】 基礎的な部分をもう少しお聞きしてよろしいでしょうか。今回の製鉄技術では高炉法を使用していますが、スクラップを再利用する電炉法とは製造する鉄のスケール感が全く違いますか。自然エネルギーを利用した電炉法を使用すると、CO₂ 排出量が抑えられると思うのですが、そういう方向も狙っているのでしょうか。

【田村 PM】 電炉は高炉に比べて、CO₂ の発生量は t 当たり、高炉が 1.9t に対して、その 25 %程度だと言われています。

【尾崎委員】 25 %ですか。

【田村 PM】 4 分の 1 程度だと言われています。最終的に、2100 年というのは少し遠いですが、いろいろな調査で見ると、電炉も大きくなってくるものの、溶銑、鉄を作る所がないとスクラップも出てなくなるということがあります。そういう意味では、電炉が増えるにしても、両方の技術は必要になってくるということだと思います。

【尾崎委員】 つまり、溶銑という鉄鉱石を還元するプロセスが必要になってくるということでしょうか。

【田村 PM】 そうです。カーボンを使っていくのか、今いわれているような水素を使っていくのか、そういった違いは出てくると思います。しかし、溶銑を作り出すところは必要になると考えていますし、そういった方向かと思います。

【尾崎委員】 CO₂を発生する鉄鉱石を還元するプロセスを海外で行うという問題ではなくて、海外でも日本の低CO₂技術を使って、取り組んでいくということですか。

【田村 PM】 そのとおりで、CO₂を発生するプロセスを海外で行うという問題ではなく、国内でもCO₂削減をするし、海外でもCO₂の出ないような方法を探っていくということだと思います。

【尾崎委員】 どうもありがとうございました。基礎的なことをお聞きして申し訳ありません。

【河瀬分科会長】 ありがとうございました。他はいかがでしょうか。角田先生、お願いします。

【角田委員】 日本大学の角田です。資料5-1のスライド19の実施効果についてお聞きします。本プロジェクトの開発費の総額が200億円、NEDO助成額が100億円ということです。非常に大きな金額が掛かっております。アウトカムのところ、2030年頃までに5基導入を想定しているとなっています。このプロジェクトはJFE様と神戸製鋼様と日本製鉄様、3社共同で実施されていると思います。このアウトカムに対して、3社の役割はどのようになっていますか。

【佐藤技術開発責任者】 JFE スチールの佐藤でございます。本プロジェクトでは、3社共同で技術の開発を行っています。このプロジェクトの中において、このプロセスが経済的に成り立つのか、あるいはCO₂削減や省エネの観点から有効な技術なのかを明確にいたします。その後、実機化するかどうかという判断をしなければなりません。その場合、各社によって原料事情や設置する場合のインフラ、ユーティリティなども違いますので、当然、経済性評価も異なってきます。そういったことも含めて、この技術の評価を各社で実施して、実機化するかどうかを判断していきます。2030年までに5基と書いてありますが、共同で取り組むわけではなく、各社で導入を検討していくというスタンスです。

【角田委員】 分かりました。

それでは、次の質問をさせていただきたいと思います。資料5-2の29番目のスライドです。今回、実際には溶銑1t当たり150kg程度が実用的には想定されるということです。実際には45kg以上と書いてありますけれども、45kgを実炉では装填されるということで、少し開きがあります。その部分をシミュレーションで埋めていくということだとは思いますが、シミュレーションの幅が大きいのではないかと思います。45kg以上という幅は広がるということはある得ますか。

【佐藤技術開発責任者】 JFE スチールの佐藤でございます。45kgという数字は、実は300t/dのプラントの仕様上、フェロコックスを高炉に送れる限界値です。今回の設備ではホッパー容量など、設備的な制約がございます。45kg以上、フェロコックスを貯留し、切り出す能力がないということです。ご指摘のように、150kgまでにはまだ遠い数字となりますが、設備の限界まで高炉に入れてみようという計画です。少なくとも30kgに加えて45kgの点を1つ増やすことによって、シミュレーションの精度を少しでも上げたいと考えております。

【角田委員】 分かりました。ありがとうございます。

もう1点だけ、よろしいでしょうか。資料5-1のスライド33番、研究開発進捗管理のところについてです。技術委員の先生方からコメントをいただいた事例が出ています。こういった大学の要望などを研究に反映していただきたいということに対して、こういった取組をされているかを確認したいと思えます。

【佐藤技術開発責任者】 そのコメントにつきましては、実は 6-1 の資料で非公開の中で、私から詳しく説明させていただく予定にしています。

【角田委員】 分かりました。ありがとうございました。

【河瀬分科会長】 では、非公開セッションのほうで、よろしく願います。まだ、5分、10分程度は続けられます。せっかくですから、あと2人の委員からもご質問をいただきたいと思います。奥村先生、いかがでしょうか。

【奥村委員】 現在、高炉で使われているような石炭や鉱石より、低品位のものが使えるということになります。その理由を端的に教えていただきたいと思います。

【庵屋敷グループリーダー】 JEF スチールの庵屋敷でございます。低品位というのは、一般的に石炭の名称というわけではありません。コークス炉で使用される石炭は、原料炭と呼ばれています。原料炭のように、加熱したときに溶融するような品位の良い石炭ではなく、非常に溶融性が低くて、コークス炉のように石炭を炉頂から自重落下させて、側壁からの輻射加熱で溶かすという手法ですと、なかなかコークス化しにくい石炭を低品位と呼んでおります。フェロコークスのように双状ロールで圧力をかけて成型いたしますと、非常に粒子どうしの距離が隣接しますので、加熱したときに僅かな軟化・溶融で成型物が得られるということです。圧密することによって、比較的low品位の石炭が使えるということです。

【奥村委員】 その場合に、バインダーが必要になります。バインダーも含めてということで、よろしいですか。

【庵屋敷グループリーダー】 フェロコークスでは、バインダーを2種類使っております。液体のソフトオイルピッチ SOP と固形のアスファルトピッチ ASP を使っています。SOP は、成型時に効果を発揮するバインダーです。一方、ASP は乾留した際、SOP よりも固形炭素が多く残りますので、乾留時にカーボンのネットワークを形成いたします。

【奥村委員】 それと、石灰というのはフェロコークスを作るときには、加える場合もあるということですか。

【庵屋敷グループリーダー】 すみません。今、聞き逃してしまいました。石灰でしょうか。

【奥村委員】 石灰を加えて、フェロコークスを作るといったこともありますか。

【庵屋敷グループリーダー】 焼結では、凝結剤として石灰を使用いたしますが、フェロコークスでは、石灰は使用しておりません。

【奥村委員】 分かりました。

【河瀬分科会長】 成田先生、いかがでしょうか。

【成田委員】 成田でございます。5-1 の資料のスライドナンバー12 です。12 番の中で、石炭使用量をベースライン100 として記載していただいています。コークス比の数字がベースラインから、今回の開発でどのように変更になったかということ具体的な数字で教えていただけるとお願いしたいです。

【佐藤技術開発責任者】 JFE スチールの佐藤でございます。まずベースラインについては、一般的な製鉄所で、製鉄工程に原料炭、一般炭が入ってまいりまして、溶銑1t 当たり、大体 650 から 700 kg の範囲だと思われま。

【成田委員】 コークス比ではいかがでしょうか。

【佐藤技術開発責任者】 高炉のコークス比という意味でよろしいでしょうか。

【成田委員】 それで結構です。

【佐藤技術開発責任者】 コークス比はベースラインで 350 kg/t 溶銑ぐらいが平均値だと思います。

【成田委員】 フェロコークスが高炉に使用されたときの値をどう定義するかということがあります。コークスをどう定義するかは難しいかということがあります。オレンジ色のところだけでどの程度、先ほど篠竹委員も質問したように思いますけれども、フェロコークスだけのコークスでどの程度かを教えていただけますか。

【佐藤技術開発責任者】 この棒グラフの中にコークス用の石炭と書いてありますが、オレンジ色で塗っていると原料炭といって、先ほどございましたように高品位の粘結性のある石炭であり、大体 8 割です。残りは、あまり粘結性を持たない低品位炭ということになります。フェロコークスにつきましては、原料炭は 0 で、一般炭だけを使うという計算にしております。フェロコークスを使用した場合、コークス炉用の石炭量は 78 から 50 程度になりますので、従来のコークス比は 3 分の 2 程度になるというイメージかと思います。

【成田委員】 分かりました。どうも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。予定の時間を過ぎましたので、次の議題に移りたいと思います。

(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

【河瀬分科会長】 議題 8 は、まとめ・講評です。成田委員から始めて、最後に私という順序で講評をいたします。それでは、成田委員、お願いいたします。

【成田委員】 成田でございます。今日、聞かせていただいて、私は主に製鉄所システム全体のエネルギー消費という観点から見させていただきました。個別の質問もさせていただきました。その中で、フェロコークスの技術でかなり大きな CO₂ 排出削減能力、ポテンシャルがあるということが分かりました。製鉄所全体として見たときに、下工程のエネルギー消費量の補填をしなければならないということがあります。フェロコークス技術の開発によって得られた CO₂ 排出量削減がかなり下工程で補填しなければならないということがよく分かりました。下工程で、どんなエネルギーを使ったらといったことを再検討していただければと思います。また、COURSE50 で水素がかなり使われるということになると、またこれも下工程のエネルギーバランスにかなり影響を及ぼします。下工程のエネルギーのあり方についても、今後、検討していただければありがたいと考えました。今日はどうもありがとうございました。以上でございます。

【河瀬分科会長】 ありがとうございました。続きまして、篠竹委員、お願いします。

【篠竹委員】 篠竹です。今日、いろいろ聞かせていただいて、フェロコークスの製造については随分要素

技術を開発して、技術がかなり作られてきていると感じました。高炉で使用する省エネ、CO₂を減らすということについては、目標はありますけれども、これから検証していく段階だということを理解しました。テストとしては、かなり少ない量を使って評価しますので、多く使ったときにきちんと効果が得られるかを評価できるように進めていただきたいと思います。

それから、開発時期についてです。今、2050年に温室効果ガスをゼロにするという、世界がそういう流れになってきてしまっています。石炭を使って効率を上げるということが、世の中に次第に認められなくなってきたということがあります。フェロコックスについては、かなり短期的に開発して、すぐ使えるようにして、COURSE50は実現はもう少し後ですけども、2050年にゼロカーボンにはできません。高炉で鉄を作るのにはカーボンが必要です。そこを水素に変えられるだけ変える、CCUS等も活用して、できるだけCO₂を出さないということがあります。その先の本当にゼロカーボンスチールとなると、高炉ではなくて水素還元炉と電気炉という組み合わせになるのかも知れません。いつ、何を実施するかということがあります。

それから、製鉄に関しては、日本の問題ではなくて、中国とインドを何とかしないと地球環境問題が解決しないと思います。そういう所にうまく技術をサプライしていくことも見据えていただけたらと思っております。以上です。

【河瀬分科会長】 ありがとうございます。では、角田委員、お願いいたします。

【角田委員】 日本大学の角田です。本プロジェクトは、300t/dの中規模設備の建設、安価な原料の使用拡大、省エネ効果10%の検証の中間評価となっています。中規模設備の建設と安価な原料を用いるという部分に関しては、非常によく検討されていて、いろいろとこちらから質問させていただきましたが、的確に答えていただけたと思っております。

途中で説明がありましたバインダーについては、新規のバインダーを添加して、強度が上がるということは捉えていらっしゃるようです。そちらの効果の検証も、もっと増やしていただきたいと思います。また、安価な原料を用いていますが、バインダーが取れる量が少なくなってしまうと、コストが上がるという懸念にもなります。ぜひ、バインダーの部分も含めて、事業化に向けて検討を続けていただきたいと思います。

また、この事業は日本だけではなく、海外展開ということもあるのではないかと思います。ぜひ、新しい技術に関しては、国外も含めて特許化を目指し、国外事業展開に向けた取組を推進していただきたいと思っております。以上です。

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

【尾崎委員】 群馬大学の尾崎です。今日はどうもありがとうございました。10年程度前でしょうか、コークスの人たちと会ったときに、「製鉄業というのは乾いた雑巾からさらに水を絞るように省エネ・高効率化をがんばっている」という話を聞きました。さらに今回の2050年で脱炭素化に向けて、取り組んでいるということで感銘を受けました。今回、突然、このような脱炭素化になって、300tから450tに加速していったレスポンスの良さにも感銘を受けております。

今日、鉄を鉄鉱石から還元するのに、高炉は必要だと勉強させていただきました。今回の脱炭素化には、高炉を使っていくということも重要だということも理解しました。

私は材料が専門ですけども、材料の面からもバインダーの役割について、いろいろ明快にご説明いただきました。

冷間強度ということで、コークスは高炉の中で、気体、液体を通していくという構造材料としての役割もあり、ガス化が進んでも、その構造を保っていかなければならないということがあります。そ

の辺りの評価が検討課題として残っていると思います。さらに、今回の組成や作り方、粒子の分布、実際の高炉の中でのコークスの挙動などが推測できたら面白いということをおもいました。今日は本当にどうもありがとうございました。以上です。

【河瀬分科会長】 尾崎先生、ありがとうございました。次に奥村委員、お願いいたします。

【奥村委員】 名工大の奥村です。本日はどうもありがとうございました。お話をお伺いして、実操業に向けて着実に技術開発が進んでいることを感じました。各要素研究について、いろいろと説明がありましたけれども、新しい技術開発に取り組まれたということでした。実験とシミュレーションを実施されていますけれども、取りあえず実験を行ってみて、その結果を解釈されています。先ほどのお話を伺っていて、高温時の強度も AI や機械学習といったものを活用することによって、低温の条件からも精度よく予測できるようにできればいいのではないかと感じました。

COURSE50 との相乗効果を今後、期待したいと思います。もう少しスピード感があってもいいのではないかと感じました。将来的にはこの技術が日本のトップ技術として、海外にも転用していければと思いました。以上です。

【河瀬分科会長】 奥村委員、ありがとうございました。続きまして、菅原分科会長代理、お願いいたします。

【菅原分科会長代理】 秋田大学の菅原です。今、鉄鋼業に対して、地球温暖化対策としての二酸化炭素発生の低減、さらにコークス用粘結炭の一部代替、または国際競争力を増すための省エネ技術の促進といったことが求められていると思います。これらの要求を満たす新しい先進技術も必要だという背景はよく分かりました。最近、首相の菅さんが 2050 年までに温室効果ガス排出量を実質 0 にするという所信表明を出しました。地元、秋田出身の首相ですので、応援したいと思っておりますが、それほどもかく、本事業の目的は、非常に重要であり、実現性も高いので、この事業を加速するという方策を検討したほうがいいのではないかと考えております。

現在、コロナ対策もあって、なかなか事業の進め方にご苦労をされていると思います。ぜひ、今後の研究が進むよう、皆さまのご活躍を祈念しております。どうもありがとうございました。

【河瀬分科会長】 菅原先生、ありがとうございました。最後に私から、改めまして、京都大学の河瀬です。皆さま、本日は半日間、どうもお疲れ様でした。

世界で最も省エネルギーの進んだ日本の製鉄所に、さらなる省エネを進めなさいというなかなか難しいことであるわけです。先行の二つのプロジェクトを無事に達成されて、最後に実証のプロジェクトに入っているということで、大変興味深く、今日はお話を伺いました。着実な計画を組まれて、実現に向けて進んでいると実感しました。

今日、私は実証事業という観点に気を付けてお話を伺うようにしていました。フェロコークスを作る部分については、実機に転用できる設備を作られましたし、運転もうまくいっているようです。高炉に入れて、実際にどうかという部分については、これからスケールを大きくしていくというお話でしたので、今日の段階では、これで実現できると言っはいけないのではないかと思います。残りの時間で、着実に実証していただけたらと思っています。

実際に進めるようになると、石炭については市況に応じて入ってくるものが変わりますので、同じようにフェロコークスに使えるか、その都度、試験していくというのも大変かと思っております。広い炭種に対応することについての方針もとっておかれたほうがいいのではないかと思います。

高炉については、コークスの還元剤としての役割、スパーサーとしての役割の二つを考えたときに、直接還元あるいはCOを経由しての間接還元について、それなりに調べておられると思っています。スパーサーとしての役割については、特に項目を立ててやっておられるようにも思えませんでした。冷間強度が確保できればそれで良いというご経験をもしかするとお持ちかもしれないので、私には分からない部分です。実際に進めようというときには、スパーサーとしての役割もどうなるかということをご検討いただけるとよいのではないかと思います。

もちろん、こういう技術開発は、上流の部分からできあがっていくものだと思います。フェロコークス製造の部分が先にできあがってきているのは当然かと思っています。途中でも申し上げましたけれども、このプロジェクトは、突然新しい技術に切り替えるというものではありません。少しずつ、フェロコークスを使う量を増やしていくという進め方が可能な技術です。準備が整った部分から、実際に使っていただくという進め方ができると思います。ぜひ、積極的に進めていただきたいと思います。

最後に、大学と企業との連携について、過去にも技術委員から指摘がございました。今日、お話を伺っていて、分散して行っているとまでは思いませんでした。きちんと関係があるテーマを設定されて、大学での成果を実際のプロジェクトに反映されているように思いました。このプロジェクトが始まってから、同時に大学での研究が始まったのではないのでしょうか。先に数値シミュレーションなどが終わってれば、徐々に活用できるのかもしれませんが、同時進行しているので、まだ十分にその成果を組み入れられていない点もあるのではないかと思います。以上が私の講評になります。

【後藤主査】 ありがとうございます。推進部部長および佐藤技術開発責任者から、一言ございますでしょうか。

【佐藤技術開発責任者】 JFE スチールの佐藤でございます。いろいろためになるコメントを本当にありがとうございました。いただいているコメントを事業に反映して、なるべく前倒しでうまく進めるような方策も考えながら、皆で協力して取り組んでいきたいと思っております。ありがとうございました。

【吉岡部長】 省エネ部長、吉岡でございます。本日はどうもありがとうございました。われわれ、この技術に非常に期待をもって取り組んでおります。省エネ 10 %、CO₂ 約 10 %弱ということですが、先ほどのご議論にありましたように、下工程の COG の補填の仕方によっては、もっと強気もあり得るという話もあります。鉄鋼は国全体で 15 %の排出量がありますので、非常にインパクトのある数字だと思っております。大変期待して見えています。今回、いろいろと議論をいただきまして、より社会実装に向けてスピード感を持って、段階的に導入できるという点も踏まえ、海外展開も視野において、残り 2 年数カ月の実証を着実に実施してもらいたいと思います。引き続き、ご指導、ご鞭撻のほど、よろしく願います。本日はどうもありがとうございました。

【河瀬分科会長】 それでは、以上で議題 8 を終了します。

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における研究評価について
- 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

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。

資料番号 ・ご質問箇所	ご質問の内容	回答	委員氏名
資料 7, p. 53	連続式の乾留装置では、タールトラブルの際の損失が大きいと考えられるが、回分式の場合よりガス処理設備の強化が必要か。	ご指摘の通り、石炭は乾留に伴いタールが発生致します。タールデカンタには、安水、タールのみならず、乾留時に発生するコークス粉も一部はタールミストに伴われタールデカンタへと送り込まれます。この同伴されるコークス粉の量によっては、デカンタでのタール、安水、コークス粉（滓）の分離が困難となります。そのようなことにならないように成型が重要な工程（高歩留まりで強度を維持）となります。今回のプラントにおいて回分式は設置しておりませんが、分離された安水は、製鉄所内の回分式設備に送り込まれます。	河瀬元明
資料 5-2, スライド 4, 14, 15 資料 6-3, スライド 6 資料 7, p. 55	課題②で低品位鉄鉱石 2 銘柄がフェロコークス製造に適用可能との結果を得ながら、1 銘柄のみを選定したのはなぜか。実用化の際に、1 銘柄で問題はないか。	今回の 300t/d のフェロコークス製造において 2 銘柄を適用可能との結果が得られておりますが、' 09 ~' 10 年度 NEDO、' 11 ~' 12 は国直轄で京浜で実施した「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」において既に 2 銘柄を適用可能としております。また、1 銘柄を使用しておりますが、その後の操業試験において別銘柄も使用する予定です。	河瀬元明
資料 5-2 スライド 8, 17	課題①で 300 t/d のフェロコークス製造を試験しながら、課題③では 100 t/d の高炉へ	短期での操業試験となりますが、300t/d での設備能力確認を行います。ただし、今年度は 100t/d での操	河瀬元明

資料 7, p. 24, p. 56	の装入速度で試験を行っている。この差は何か。	業試験が主体となり、高炉での使用試験はその 100t/d での製造下となります。最終的な 300t/d での長期操業試験は 2022 年度となります。	
資料 5-1、p10	フェロコークス製造プロセスの中で、フェロコークス製造のための乾留で生成するタールはどのように利用されているのでしょうか。	フェロコークス製造プロセスでは、成型時に 2 種類のバインダーを使用しています。一つは石炭系のソフトオイルピッチ、もう一つは石油系のアスファルトピッチです。乾留で生成するタールは、タールデカンタで比重分離した後、遠心分離機で水分をさらに除去し、ソフトオイルピッチの代替としてリサイクルいたします。	菅原勝康
資料 5 - 1 p.4	円グラフから切り出した鉄鋼業の CO2 排出量は 14% の誤りではないでしょうか。	ご指摘の通りです。14% の誤記です。	奥村圭二
資料 5 - 2 p.22	冷間強度予測モデルは成型時のフェロコークスブリケットに対してですが、乾留後のフェロコークスの強度を予測するモデルが必要なのではないでしょうか。	本 PJ では特に乾留前の成型物の機械的な衝撃による歩留まりの低下を防止するための定量的な冷間強度予測モデルの構築までをターゲットとしています。乾留後の強度に関しては再委託先の東北大学のグループが当社とともに「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」(2009-2011 年度 NEDO)において、フェロコークスに関する研究を実施しており、乾留時の酸化鉄によるフェロコークスの強度劣化機構について、構造観察の観点から研究済となっています ¹⁻⁵⁾ 。得られたフェロコークスの強度予測についても同グループがシミュレーションによる強度予測手法を確立しています。これらの知見	奥村圭二

		<p>を基盤に、本 PJ での新規な原料を用いるフェロコークスの強度予測は達成可能であると考えています。</p> <p>1) 酸化鉄の還元がハイパーコールを添加したフェロコークスの強度に及ぼす影響, 内田中, 山崎義昭, 松尾翔平, 齋藤泰洋, 松下洋介, 青木秀之, 濱口眞基, 鉄と鋼, 105(10), 957-964 (2019)</p> <p>2) Effect of HPC (Hyper-coal) on Strength of Ferro-coke during Caking Temperature, Ataru Uchida, Yoshiaki Yamazaki, Shohei Matsuo, Yasuhiro Saito, Yohsuke Matsushita, Hideyuki Aoki, Maki Hamaguchi, ISIJ International, 57(9), 1524-1530 (2017)</p> <p>3) Effect of Iron Ore Reduction on Ferro-coke Strength with Hypercoal Addition, Ataru UCHIDA, Yoshiaki YAMAZAKI, Shohei MATSUO, Yasuhiro SAITO, Yohsuke MATSUSHITA, Hideyuki AOKI and Maki HAMAGUCHI, ISIJ International, 56(12), 2132-2139 (2016)</p> <p>4) Evaluation of Thermoplastic Properties of Hyper-coal with added Iron Oxide in Thermoplastic Range, Ataru Uchida, Yoshiaki Yamazaki, Kenichi Hiraki, Tetsuya Kanai, Yasuhiro Saito, Hideyuki Aoki, Toshinori Inoue, Naoki Kikuchi, Nobuyuki Komatsu, Noriyuki Okuyama, Maki Hamaguchi, ISIJ International, 53(7), 1165-1171 (2013)</p> <p>5) 鉄鉱石の配合によるコークスの微視構造変化が鉄内装型コークスの引張強度に及ぼす影響山崎義昭, 林崎秀幸, 上岡健太, 平木健一, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 鉄と鋼, 96-(9), pp. 536-544 (2010)</p>	
資料 6 - 6	反応モデル中の E_f : 有効係数の物理的な意味	有効係数とは、細孔内の表面が反応に利用される度	奥村圭二

<p>p.12</p>	<p>は何ですか。</p>	<p>合いを表しており、有効係数が 1 に近いほど細孔内の内部抵抗を無視できるような理想形の状態に近づきます。欄外に補足説明①を記載します。</p>	
<p>公開前半 P13</p>	<p>発表でもありましたが、インド、中国の技術が競合相手と理解しました。これらの技術は、開発技術とは全く異なる原理によるものなのではないでしょうか。これらの技術と比較したときの、本技術の長所・短所を教えてください。</p>	<p>公開前半 p35 においてご説明しました海外技術開発動向調査で、競合技術として HIsarna と Finex を記載しています。</p> <p>この調査でインド、中国と記載していますのは、本事業終了後に、海外の市場としてフェロコークスの技術を展開できる可能性の高い国を示したものです。インド、中国は技術的な視点から見たものではなく、今後の鉄鋼生産量の伸び、また政策として省エネルギーに対するインセンティブが大きい、小型高炉の統廃合が進む、いずれの国も自国で石炭を産出しているにもかかわらず、原料炭、一般炭の輸入国であることから、展開できる市場の候補として上がったものです。</p> <p>インド、中国については競合となる技術はありません。</p> <p>今回競合技術として記載した技術について長所短所を記載します。</p> <p>HIsarna 粉鉱石、微粉炭を用いた熔融還元法で、サイクロン型の予備還元炉で予備還元を行い、その後、鉄浴の</p>	<p>尾崎純一</p>

		<p>中で完全に溶融還元を行うものです。成功すればコークスや焼結が不要になります。現在、TATAがパイロットプラントで試験を実施中とのことですが、実機化に向けては技術難易度が高いとの調査結果です。</p> <p>Finex 粉鉱石を直接使用します。流動層を用いて90%程度の高い還元率まで予備還元を行い、その後、還元粉をブリケットにした後、溶解炉に投入し、仕上還元を行うものです。韓国国内でPOSCOが実機稼働中です。</p> <p>上記と比較すると、高炉法は既に実用化されて高い生産性を有する製造方法です。</p>	
<p>公開前半 P17</p>	<p>表中の「2022年～2030年」という表記は開発期間でしょうか？2030年からCOURSE50に切り替わるということでしょうか。特に、「高炉改修不要」との記載を見ると、この技術は、寿命8年間の中継ぎの技術のようにも読めますのでお聞きしました。</p>	<p>公開資料5-2、P36～37にございますように、実用化・事業化の計画及びマイルストーンとして、本事業期間である「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」としてあります。</p> <p>よって、「2022年～2030年」という期間は事業化を推進して、国内で最大5基の実機導入を目指す期間という位置づけとなります。</p> <p>また、「高炉改修不要」の表現ですが、フェロコークス技術は、高炉の原料製造設備を導入するもので</p>	<p>尾崎純一</p>

		<p>すので、高炉本体の補修や改修は不要という意味です。</p> <p>一方、COURSE50は開発期間が長く、高炉改修も必要なことから、2030年～2050年（中長期）に実用化・事業化を目指すもので、フェロコークスからCOURSE50にスイッチする訳ではありません。2030年以降は両者が並列して存続することになります。</p>	
公開前半 P38	<p>国内特許は対応されているとのことでした。これに対して国外特許数が少ないように見受けられます。海外展開を図るのに大丈夫なのか、と感じました。</p>	<p>特許に関しましては、06年先導研究開始以前に各社特許を出願しており、外国出願も行っております。</p>	尾崎純一
公開後半 P26	<p>シミュレーション結果にある「還元率」についてご教示ください。</p>	<p>高炉内の焼結鉱の還元率を示しています。カラーコンターの幅が、還元率0%～還元率100%に対応しています。</p>	尾崎純一
資料 5-1 p.38	<p>特許出願について、前段のプロジェクトにおいては多数出願されていますが、本プロジェクトでは少なくなっています。新規バインダーの検討など新たな知見もあると推察しますが、特許出願の予定はありますか。</p>	<p>公開資料 5-2、P33 に示しましたように、中規模設備固有のプロセス・設備、使用原料に関する特許は今後も継続して出願予定です。また、外国出願についても、海外展開の可能性が高い国（公開資料 5-2、P40～41 参照）に優先的に出願していきたいと考えます。フェロコークスタールを原料とする新規液体バインダーの製造方法について特許出願を検討しています。</p>	角田雄亮
資料 5-2 p.18	<p>研究開発の中間目標にあるドラム強度について、データが無いようですが、本年度実施予定という理解でよろしいでしょうか。</p>	<p>現在、JFE スチールのラボ試験炉において、提示した条件で製造した新規固形バインダーを用いた評価試験を進めています（ドラム強度での評価）。</p>	角田雄亮

<p>資料 5-2 p.30</p>	<p>モデルパラメーターのチューニングとは何か、最終目標へどう繋がるのか説明してください。</p>	<p>離散要素法(DEM)において、粒子の機械的な物性値(ヤング率)などをそのまま用いるのではなく、粒子の運動で物理現象を精度良く再現できるように、真の物性値に修正(チューニング)を施して予測精度を向上させることを意味します。これは実際の粒子(石炭など)が不定形であるにもかかわらず、球形粒子として近似を行った上で計算行う際に、粒子同士の接触点の変形(モデルでは粒子同士の重なりとして反発力を算出します)をとっても、実際の粒子とは異なる挙動を示すと考えられます。このため、DEM では種々の応用計算例において、機械的物性値をそのままではなく、修正して用いるのが一般的となっています。</p>	<p>角田雄亮</p>
<p>5-1・p.11</p>	<p>金属鉄 30 重量%というのは、フェロコークス中の金属鉄の質量割合のことですか。もしそうだとするとずいぶん多いと思いますが、「フェロコークス比」と言ったときにその金属鉄の重量も含むのですか。</p>	<p>金属鉄 30 重量%と丸めていますが、厳密には鉄鉱石由来の部分還元鉱(還元率 85~90%、Fe/FeO/脈石成分の混合物)を 30mass%含むという意味です。フェロコークス比の定義は資料【5-2】P23 にありますように、フェロコークス中のコークス比/高炉全体のコークス比(-)であり、金属鉄は含みません。</p>	<p>篠竹昭彦</p>
<p>5-1・p.24</p>	<p>ピソライト中の結晶水は乾留炉で出ていくのでしょうか。</p>	<p>乾留時、高温羽口温度は 830~850℃の温度で 3 時間程度の滞留を考えております。ピソライトの結晶水の揮発には十分と考えております。 ご参考までに、補足資料②に各種鉱石の結晶水の分解に関するデータ(TG-DTA)を示します。</p>	<p>篠竹昭彦</p>

<p>資料 5-1 スライド 24</p>	<p>フェロコークス用の石炭品位の図で、縦軸と横軸の指標（または測定法）を簡潔に説明いただきたく。</p>	<p>縦軸は加熱時の石炭の流動性を示したもので、ギーセラープラストメーター法（JISM8801-1973）で測定したものです。測定法は攪拌棒が挿入されている金属製のつぼに 425 μm 以下とした試料 5g を充填して所定の方法で圧縮し、このつぼを金属浴中にて 3.0°C/分で昇温、攪拌棒は 10mN・m のトルクに調整したクラッチに接続し、その回転数を 1 分間あたり 0.01 単位（ddpm）で測定した値です。これより石炭の軟化開始温度（攪拌棒の動き始め）、最高流動度温度、固化温度（攪拌棒が止まった時の温度）が判ります。横軸は、石炭の石炭化度を示したもので、反射率測定方法で測定したものです。測定方法は、850 μm に粉砕した石炭を常温硬化性、熱可塑性等の合成樹脂もしくは天然樹脂などを混合してブリケットを作成。これを油浸で倍率 100 倍で観察した時に表面に凹凸がないように研磨し対象試料とします。これを倍率 200 倍以上の偏向顕微鏡に光電子倍增管と最大透過波長 546\pm5nm のフィルム等を設置し、測定視野絞り 10 μm 以下でビトリニットと呼ばれる石炭組織の最大反射率を 1 個の試料につき 50 点以上測定し、標準試料との比較法により測定します。これらの値を平均したものが平均最大反射率となります。</p> <p>（補足資料③ 石炭の特性と試験方法をご参照くだ</p>	<p>成田暢彦</p>
---------------------------	---	--	-------------

		さい) 石炭の流動性は、石炭中に含まれる低分子物の量に比例するとともに低分子物の熱安定性が低いかあるいは比較的高温まで熱安定性が高いかと言った性状の差異に使われます。一般的に石炭化度が高いほど流動度曲線は高温側にずれ、最高流動度の高いものほど流動範囲が大きくなります。	
資料 5-1 スライド 26	(確認事項) ASP は石油系アスファルト、SOP は石炭系ピッチと理解して宜しいでしょうか？	その通りです。ASP は石油系アスファルトピッチ、SOP は石炭系のソフトオイルピッチです。	成田暢彦

質問票回答の補足資料① 「有効係数に関する補足説明」

従来、気固系反応の速度解析には未反応核モデルが用いられる。このモデルでは、反応の過程は、ガス境膜内拡散、生成物層内拡散、界面化学反応の 3 つに分類することができる。しかし、コークスなどの多孔質な固体反応物の場合、反応ガスは内部まで拡散することができる。そのため、反応ははっきりとした界面では進行せずかなり広い範囲にわたって同時に進行する。そして、拡散速度に比べて、反応速度が大きい場合には、多孔質粒子内部の反応生成物の濃度は一様ではなく、粒子内の各点において反応速度は異なった値をとる。すなわち、微少な多孔質粒子でも、均一な場として取り扱うことができない。ここで、粒子内部の拡散と反応を同時に考慮するという有効係数の概念を導入する。有効係数とは細孔内の表面が反応に利用される割合を表している。有効係数が 1 に近いほど細孔内の拡散抵抗を無視できるような理想系の状態に近づく。

まず、球状試料の中心から任意の位置 r と $r + dr$ の間の微小球殻部分で物質収支を取ると、(1) 式のように表される。

$$D_s \left(\frac{d^2 C_A}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dC_A}{dr} \right) = k(C_A - C_C^{eq}) \quad (1)$$

ここで D_s : 有効拡散係数 (cm^2/s)、 C_A : 任意の位置での反応ガス A の濃度 (mol/cm^3) である。これを $r=r_0$ で $C_A = C_A^0$ 、 $r=0$ で $dC_A/dr = 0$ という初期条件で解くと、粒子内の濃度分布の解として (2) 式が得られる。

$$\frac{C_A - C_A^{eq}}{C_A^0 - C_A^{eq}} = \frac{r_0 \sinh\left(m \frac{r}{r_0}\right)}{r \sinh m} \quad (2)$$

ここで、 m : Thiele modulus (-) である。Thiele modulus は、 $m = r_0 \sqrt{\frac{k}{D_s}}$ (-) で表され、粒子内における反応速度と拡散速度の比をとった無次元数である。

また、固体粒子 1 個あたりの反応速度 $-\bar{r}_A$ は (3) 式のように表される。

$$-\bar{r}_A = \int_0^{r_0} k(C_A - C_A^{eq}) \times 4\pi r^2 dr \quad (3)$$

(2) 式と (3) 式を組み合わせると、(4) 式が得られる。

固体粒子 1 個あたりの反応速度 $-\bar{r}_A$ は (1) 式のように表される。

$$-\bar{r}_A = \frac{4}{3} \pi r_0^2 k (C_A^b - C_A^{eq}) \frac{3}{m^2} (m \coth m - 1) \quad (4)$$

ここで、 m : Thiele modulus (-) である。

(4) 式より、 $-\bar{r}_A$ は同一実験条件では m のみに依存し、 $m \rightarrow 0$ のときに (5) 式に示す最大値 $-\bar{r}_{A,ideal}$ をとる。

$$-\bar{r}_{A,ideal} = \frac{4}{3} \pi r_0^2 k (C_A^b - C_A^{eq}) \quad (5)$$

これより、有効係数 E_f は (6) 式のように表される。

$$E_f = \frac{-\bar{r}_A}{-\bar{r}_{A,ideal}} = \frac{3}{m^2} (m \coth m - 1) \quad (6)$$

このように、有効係数は Thiele modulus のみの関数である。 m が小さい時 ($m < 10$) 反応速度に比べ拡散速度が速く、ガスが内部まで侵入することができるので、固体粒子内のガス濃度は場所によらず一様に近くなる。

質問票回答の補足資料② 「鉄鉱石 ピソライトに関する説明」

鉄鉱石のTG-DTA曲線

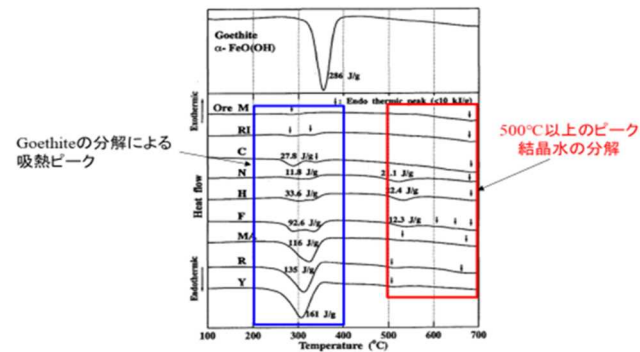


Fig. 1. DSC curves for iron ore samples.
鉄と鋼 vol 83(1997)No9 p539 葛西ら

質問票回答の補足資料③ 「石炭の特性と試験方法の説明」

石炭の軟化溶融性試験方法

1

分類	試験法名	測定値名	同略号(例)	
膨脹性	るっば膨脹試験	るっば膨脹指数	CSN	
	KBS試験	KBS曲線		
	グレイ・キング試験	グレイ・キングコース型		
	オーゼベル・アルニユジラトメータ, ルールジラトメータ	最大膨脹率	TD	
	ログ試験	ログ指数		
	カンブレドン法	カンブレドン指数		
	粘結力試験	粘結力指数	CI	
	流動性	ギーセラープラストメータ	最高流動度	MF
	軟化溶融性	サゴジニコプラストメータ	収縮率(x指数), 軟化溶融層厚さ(y指数), LCT指数	x, y
	コークス化性 (約350~1000℃ 間の性状)	小型乾留法	LCT試験	LCT指数
かん焼き試験				
1号試験		ドラム指数	DI ₁₅ , DI ₁₅ TM	
工業用試験		マイカム指数	M _m , M ₁₀	
1号試験		タンプラー指数	T ₁₅ , T ₁₀	
工業用試験		シャッター指数	SI ₁₅	
強度試験				
強度試験				
強度試験				
強度試験				

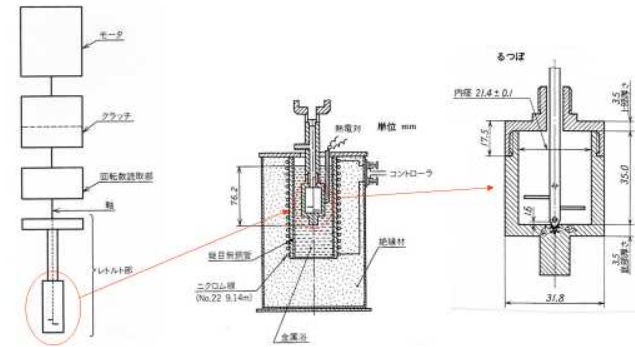
軟化溶融状態に関わる性状の測定

石炭の流動性をギーセラープラストメータで測定

環境調和型プロセス技術の開発

ギーセラープラストメータ

2



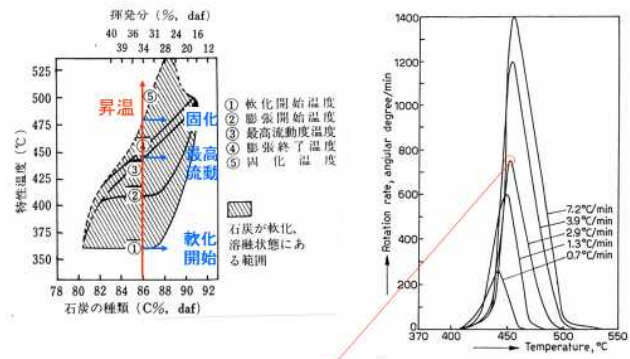
昇温しながら攪拌子の回転数を計測

環境調和型プロセス技術の開発

参考資料 1-25

ギーセラーによる流動性測定

3

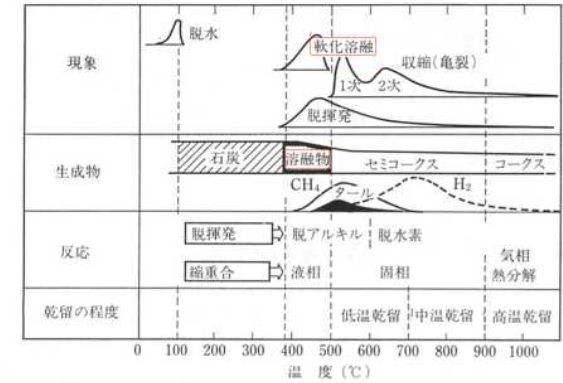


最高流動度 (MF)/ddpm

環境調和型プロセス技術の開発

乾留過程における現象

4

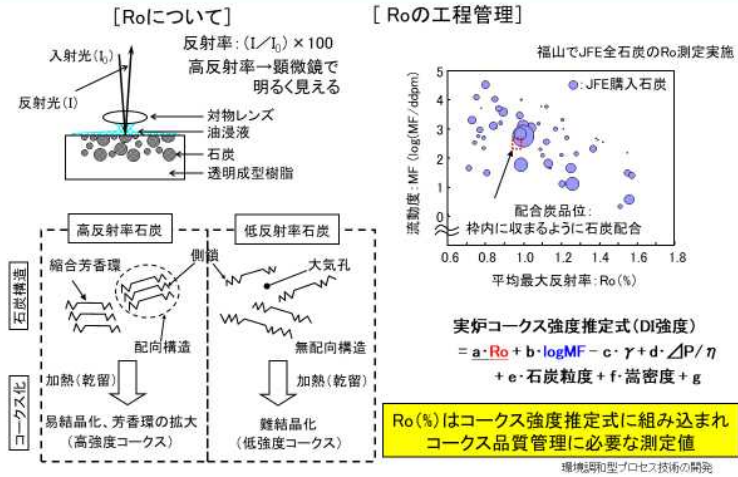


石炭(固相)は昇温に伴い脱水から始まり、溶融軟化後(液相)の揮発分の発生・縮合反応を伴い、固化(固相)シコークスを生成

技術の開発

反射率(Ro)の必要性

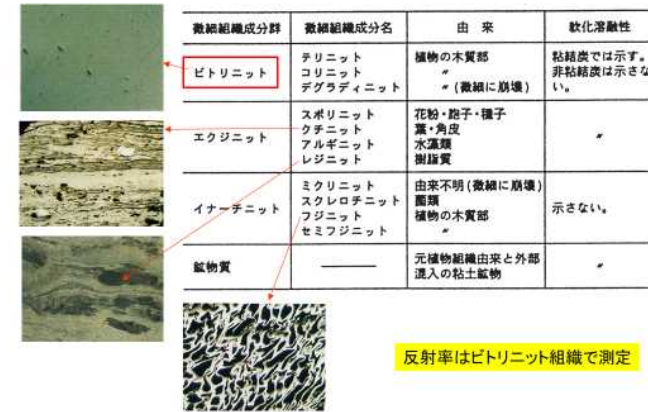
5



参考資料 1-26

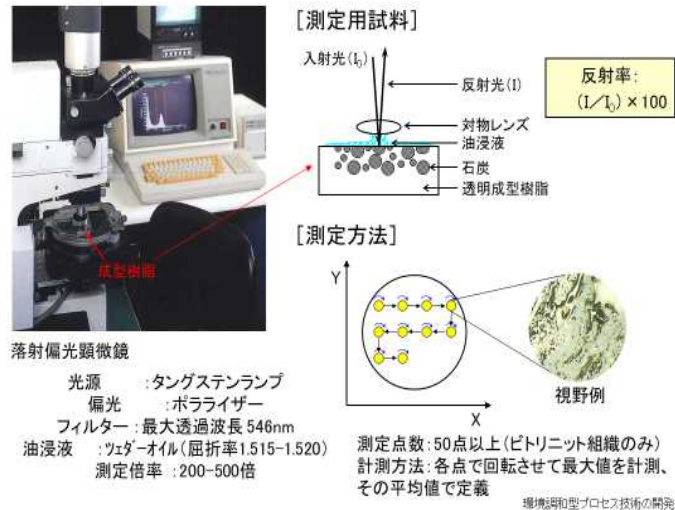
石炭の組織

6



顕微鏡による反射率(Ro)測定

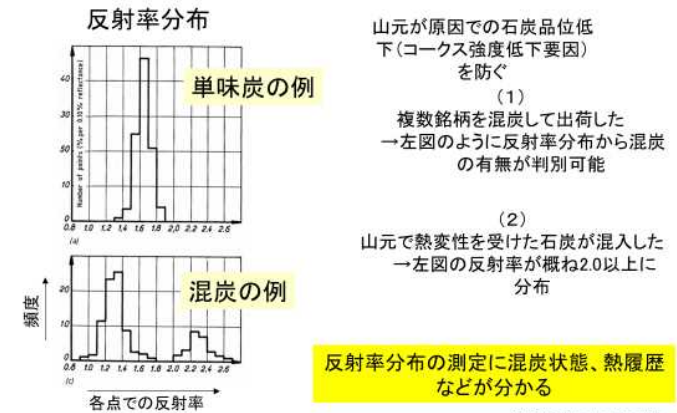
7



反射率(Ro)分布の有用性

8

[Ro分布を測定する意義] 平均最大反射率は頻度分布より算出

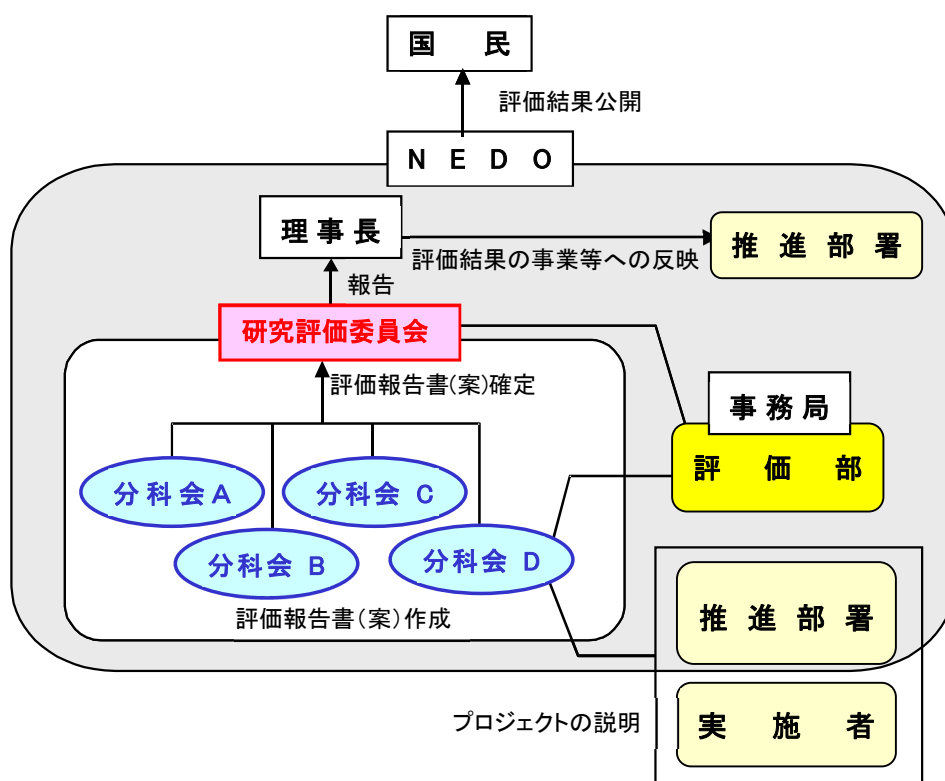


参考資料 2 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

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)における研究評価では、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、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。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
 - 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
 - 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
- としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

「環境調和型プロセス技術の開発／②フェロコクス技術の開発」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取組や見通し等を評価した。

「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」に係る 評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・ 上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・ 達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・ 計画における要素技術間の関係、順序は適切か。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献しているか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産や研究開発データに関する取扱についてのルールを整備し、かつ適切に運用しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、中間目標を達成しているか。
- ・ 中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・ 最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外で適切に行っているか。

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

「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。

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・ 実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・ 想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しがあるか。
- ・ 競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

「プロジェクト」の中間評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDO の事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされる事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・計画における要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・継続または長期の「プロジェクト」の場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んで活用を図っている

か。【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みがあり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・知的財産に関する取扱(実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む)を整備し、かつ適切に運用しているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・成果は、中間目標を達成しているか。
- ・中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。

- ・一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行っているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その計画は順調に進捗しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しがあるか。
- ・競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等の把握は進んでいるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・知的基盤・標準の整備及び活用の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・知的基盤・標準を供給・維持するための体制の検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・整備する知的基盤・標準について、利用の見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

参考資料 3 評価結果の反映について

「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」（中間評価）の評価結果の反映について

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>①CO₂ 排出量低減の要求増大に対して速度感が合わず、実用化・事業化時期が遅くなる懸念がある。</p> <p>②炭素価格などの環境経済的な目標設定がないので、普及時のインパクト等が、現時点では評価しにくいと思われる。</p> <p>③製造技術開発に他実施項目からのフィードバックによる計画修正がないなど、各要素技術担当者間の連携が弱いと思われる。</p> <p>④社会・経済・政策・技術の変化は急激なので、技術の取捨選択や融合、実施体制見直し等の積極的な実施や、海外展開を視野に入れた知的財産戦略が望まれる。</p> <p>⑤他の国プロの各種技術開発要素との組合せによる将来像を検討し、今後のビジョンを議論し公開される事を期待する。</p>	<p>①2030 年時点における事業化、海外展開に遅れが生じないように技術検討委員会を活用し、研究開発をスケジュールどおりに進める。</p> <p>②CO₂削減コスト（炭素価格）については、本事業の外で決定されるものである。今後、炭素価格等の制度改正の検討が予定されているため、それらの結果を踏まえた上で、改めて普及時のインパクトについて評価を行う。</p> <p>③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。</p> <p>④技術検討委員会において、外部有識者の意見も踏まえて技術の取捨選択、実施体制の見直しを進める。また、同委員会の中で海外展開に向けた知財検討状況についてより議論を進めていく。事業者とともに海外展開を視野に入れた知的財産戦略の構築を積極的に進める。</p> <p>⑤COURSE50 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、</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>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。</p> <p>⑦製鉄工程の下工程ではエネルギー消費量の補填によって CO₂ 排出量が増大しているため、下工程を考慮した技術開発の検討が望まれる。</p> <p>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。</p> <p>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</p>	<p>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。</p> <p>⑥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。</p> <p>⑦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。</p> <p>⑧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。</p> <p>⑨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</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>がある。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>い、生産規模拡大時に適用できる製造条件の確立をする。</p> <p>⑩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。</p> <p>⑪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。</p> <p>⑫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。</p>

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 森嶋 誠治

担当 後藤 功一

* 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