

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事後評価報告書

平成 2 6 年 2 月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成24年12月6日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成21年3月31日改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

経済産業省において実施してい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は、低品位製鉄原料の利用拡大による資源対応力強化及び省エネルギー化の促進のため、現状の高炉設備をそのまま使用し、高炉内還元反応の高速化・低温化機能を発揮する革新的製鉄プロセス（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材：フェロコークス）及びその操業プロセスを開発すべく、平成21年度から平成24年度まで実施したものである。

今回の評価は、この資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発の事後評価であり、実際の評価に際しては、省外の有識者からな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プロジェクト事後評価検討会（座長：宝田 恭之 群馬大学理工学研究院環境創生部門 教授）を開催した。

今般、当該検討会における検討結果が評価報告書の原案として産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ（座長：渡部 俊也 東京大学政策ビジョン研究センター教授）に付議され、内容を審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成26年2月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

委 員 名 簿

座長	渡部 俊也	東京大学政策ビジョン研究センター教授
	大島 まり	東京大学大学院情報学環教授 東京大学生産技術研究所教授
	太田 健一郎	横浜国立大学工学研究院グリーン水素研究センター長 ・特任教授
	菊池 純一	青山学院大学法学部長・大学院法学研究科長
	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター教授
	鈴木 潤	政策研究大学院大学教授
	津川 若子	東京農工大学大学院工学研究院准教授
	森 俊介	東京理科大学理工学研究科長 東京理科大学理工学部経営工学科教授
	吉本 陽子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 経済・社会政策部主席研究員

(委員長除き、五十音順)

事務局：経済産業省産業技術環境局技術評価室

資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発事後評価検討会

委員名簿

座長	宝田 恭之	群馬大学理工学研究院環境創生部門 教授
	一柳 朋紀	株式会社鉄鋼新聞社 常務取締役 編集局長
	島田 広道	独立行政法人産業技術総合研究所 理事 ・研究環境安全本部長・評価部長
	長坂 徹也	東北大学大学院工学研究科長補佐 ・金属フロンティア工学専攻 教授
	中村 崇	東北大学多元物質科学研究所サステナブル理工学研究センター金属資源循環システム研究分野 教授

(委員長除き、五十音順)

事務局：経済産業省製造産業局製鉄企画室

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
評価に係る省内関係者

【事後評価時】

製造産業局 鉄鋼課 製鉄企画室長 竹上 嗣郎（事業担当室長）

産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 飯村 亜紀子

資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス研究開発プロジェクト事後評価

審 議 経 過

○第1回事後評価検討会（平成25年12月12日）

- ・評価の方法等について
- ・プロジェクトの概要について
- ・評価の進め方について

○第2回事後評価検討会（平成26年2月3日）

- ・評価報告書(案)について

○産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

（平成26年2月27日）

- ・評価報告書(案)について

目 次

はじめに

産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ 委員名簿
資源対応力強化のための革新的製銑プロセス技術開発プロジェクト事後評価検討会 委員名簿
資源対応力強化のための革新的製銑プロセス技術開発プロジェクトの評価に係る省内関係者
資源対応力強化のための革新的製銑プロセス技術開発プロジェクト事後（中間）評価 審議経過

	ページ
事後評価報告書概要	i

第1章 評価の実施方法

1. 評価目的	2
2. 評価者	2
3. 評価対象	3
4. 評価方法	3
5. プロジェクト評価における標準的な評価項目・評価基準	3

第2章 プロジェクトの概要

1. 事業の目的・政策的位置付け	8
2. 研究開発等の目標	12
3. 成果、目標の達成度	18
4. 事業化、波及効果について	69
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等	73

第3章 評価

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	82
2. 研究開発等の目標の妥当性	84
3. 成果、目標の達成度の妥当性	86
4. 事業化、波及効果についての妥当性	88
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	90
6. 総合評価	92
7. 今後の研究開発の方向等に関する提言	94

第4章 評点法による評点結果

97

第5章 評価ワーキンググループのコメント及び対処方針

100

（参考）今後の研究開発の方向等に関する提言及び対処方針

参考資料

参考資料1 経済産業省技術評価指針

参考資料2 経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準

事後評価報告書概要

事後評価報告書概要

プロジェクト名	資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発			
上位施策名	エネルギー基本計画（2010 年 6 月閣議決定）、省エネルギー技術戦略 2011			
事業担当課	製鉄企画室			
<u>プロジェクトの目的・概要</u> 鉄鋼業では、低品位製鉄原料の利用拡大による資源対応力強化及び省エネルギー化の促進が喫緊の課題となっている。このため、本事業では現状の高炉設備をそのまま使用し、高炉内還元反応の高速化・低温化機能を発揮する革新的製鉄プロセス（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材：フェロコークス）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を両立させた革新的技術の開発を目指す。				
予算額等（補助金額 補助率： 1／2）			（単位：千円）	
開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体
平成 2 1 年度	平成 2 4 年度	—	平成 2 5 年度	J F E スチール（株）、新日鐵住金（株）、（株）神戸製鋼所
H22FY 予算額	H23FY 予算額	H24FY 予算額	総予算額	総執行額
420, 000	699, 989	399, 219	1, 894, 208	1, 863, 924

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

本事業での開発目標（成型技術、乾留技術、高炉評価・操業技術）を全て達成した。

個別要素技術	目標・指標	成果	達成度
①フェロコークスの組成・構造条件の探索	成型設備を完成し、設備の操業技術を確立	成型設備の操業技術を確立された。（原料粒度、バインダー添加量、成型温度、成型圧力など）	達成
	新規バインダーの試作、及び新規バインダーの性状、配合量と成型物強度の関係の明確化	成型物の強度支配因子を明確にした。また、パイロットプラントで連続成型を実施し、既存バインダー代替の可能性が示された。	達成
②フェロコークスの製造プロセス開発	循環ガス加熱による乾留炉での適正製造条件の確立	成型・乾留一貫システムの運転、操業技術を確立し、30 t/d の製造能力を実証した。更に 30 日間の長期製造試験によりプロセスの安定性が実証された。	達成
	長期安定製造技術の確立		
	大型高炉使用時の課題の明確化	約 10% の省エネポテンシャルを確認し、高炉多量使用時の課題を明確にされた。	達成
	離散要素法モデルによるスケールアップ検討、原料配合設計に適用できるシミュレーションの実施	滞留時間分布の観点から炉形状の最適化を実施し、スケールアップの指針を示された。	達成
③フェロコークスによる高炉操業プロセスの開発	混合分散状態制御因子の影響の明確化	粒子径比が対焼結鉱 0.9 程度が混合配置に望ましい。 効果を定量的に実証した。 (TRZ: -100℃、RAR: -12.6kg/t)	達成
	生成融液が高温還元性状に及ぼす影響の明確化	熱保存帯低温化により、還元形態が変化し被還元性が向上することを確認された。	達成
	フェロコークス反応モデルの検証と精度向上	ガス化反応速度の解析結果に基づき、高炉数学モデルに適用可能な反応モデルを構築された。	達成
	反応モデルを高炉数学モデルへ導入した総合モデルの構築	フェロコークスの配置・配合率が還元材比に及ぼす影響を調査し、最適配置・最適配合率を示された。	達成

(2) 目標及び計画の変更の有無

フェロコークスの目標性能達成（強度・還元率）、長期安定操業のためには当初計画のパイロットプラント設備では不十分なことが実験段階で明らかになり、以下の設備改造を実施した。

循環ガス加熱器・空気加熱器から各羽口に至る循環ガスダクトを改造した。

成型物中の鉱石配合比率を安定化させるため、鉱石別送ラインを増設した。

＜共通指標＞

論文数	新聞・雑誌	発表（講演等）	特許
16	30	43	17

評価概要

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

資源価格高止まりの中、今後の石炭および鉄鉱石品質の変化を考えると、日本産業界に幅広く素材を供給する鉄鋼メーカーのコスト競争力及び日本製造業の輸出競争力を高めるためにも低品位資源の利用拡大は極めて重要である。

さらに、大量の地球温暖化ガスを排出する製鉄業の省エネルギーの推進は社会的意義も大きい。

このような国家利益の観点に加え、我が国の鉄鋼産業全体の製鉄技術レベル向上、ひいては産業基盤の強化に資するものであり、開発費負担も大きいことから、単に個社の課題ではなく我が国をあげて取り組むにふさわしい課題である。

また、本プロジェクトは、NEDO主導で実施された「エネルギー使用合理化技術戦略的開発」における先導研究で原理確認が行われ、その有効性についても確認されている革新的製鉄法の基礎技術に関するプロセス研究であり、技術的な先進性も見られる。

一方、製鉄プロセスの省エネルギー技術については様々な取組が行われている中、他技術と比較して技術導入に十分なインセンティブとなるのかが不明であり、明らかにする必要がある。

その上で、我が国鉄鋼メーカーが有するコークス炉については、老朽化が全社的に進んでおり、更新期が近づいている炉も多く存在することから、スピード感をもって実用化に向けた取り組みを進める必要がある。

2. 研究開発等の目標の妥当性

現行の高炉操業プロセスに対しての高品位炭の使用削減、低品位炭の利用方法確立並びに省エネルギーの目標は具体的であり妥当である。

そして、これらの目標を達成するための実用化に向けて必要となる要素技術の開発目標については原理やメカニズムに立脚し、具体的目標が設定されている。

しかしながら、各目標項目について、例えば、「長期安定製造技術の確立」における安定稼働日数目標等、数値目標が欠けている点もある。

また、今後、実用化のためには、省エネルギーに関してフェロコークス導入による下工程も含めた製鉄所全体としての目標や、要素技術の目標の明確化、さらには総合システムとしての経済性を常に検討するような目標設定が必要である。

また、将来的には、CO₂排出削減の観点からは、更なる上積み目標が必要と考えられる。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

フェロコークス製造技術およびその使用技術の開発において、パイロットプラントにおけるフェロコークス製造、操業プロセスのシミュレーション及び実際の稼働高炉にフェロコークスを投入しての

実証などを実施し、全ての目標を達成し、十分な成果が得られている。これらの成果は今後のスケールアップに有効と考えられ、実用化への進展が期待できる。

また、成果発表が積極的に行われており、大学での関連人材の育成に有効と考えられる。

なお、高炉操業の10%の省エネ達成に関してはその評価に多くの課題が残されており、その可能性は認められるものの、今回の結果だけから達成出来たとは言いがたい。

また、「低品位」な炭種の許容範囲と想定しうる負の影響を明確にした上で今後の普及を追跡調査するとともに、フェロコークスの導入率（普及率）と既存コークス炉のリプレイス率の関係をシュミレートすることは有益であり今後の課題である。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

当プロジェクトの研究開発の成果により、技術的、論理的には実現可能性の見通しが立っており、事業化に向けても技術的課題が明確にされていることから、今後の実機とパイロットとの中間規模でのプラント建設・運転が成功すれば十分に事業化は可能と考えられる。

加えて、フェロコークス導入により、低品位炭活用のためのバインダーの必要調達量の増加が見込まれるが、その対応のために、従来の石油系バインダーに加え、新規に石炭由来のバインダーがフェロコークス製造に活用可能であることが、この事業により確認できたことは意義が大きい。

また、論理的に系統的な実験結果が説明されており、事業化についてネガティブな要因は明確には認められないが、ガス化反応機構や触媒能等、科学的に詰めるべき課題も多く、フェロコークスプロセスに関する基礎研究が活発化する効果が期待できる。

しかしながら、事業化を見据えた場合、シェールガスの利用拡大等エネルギー供給構造の変化を捉まえておく必要がある。

また、他の省エネルギー技術等との相対的役割を考慮しなければ、当技術が相対的に優れた技術と結論されるかは不透明である。さらに、経済性評価についても原料炭コストの削減効果は大きいと考えられるもののその精度については不十分であると考えられる。

よって、これらの点を総合的に留意し、製鉄所全体のエネルギーバランスや経済性評価をより定量的に示すことで精度の高い実用化計画を立てつつ、早期の実用化・普及へのシナリオを描くべきである。

なお、波及効果についても、現在の見込み以上となる部分もあると考えられるため、より具体的かつ定量的にアピールすることが今後の普及に強く結びつくものと考えられる。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

大手高炉メーカーが参画しオールジャパンでの研究体制が組まれており、かつ、参加企業の役割分担も明確である。さらに企業側と大学側の連携により、基礎的検討もなされており、適切である。

事業計画及び運営についても、開発過程で生じた問題をその都度解決しながらプロジェクトが実行されている。また、フェロコークス製造炉の運転時間が適切に確保されるとともに、高炉での実証実験も実施され、適切に事業が進められている。プロジェクトの補助率も妥当である。

ただし、炭種による価格差の動向が本プロセスの事業化に大きく影響すると考えられるので適用できる原料炭の詳細検討が必要であったと考えられる。

また、今後のコークス炉リプレイス見込み率、高品位粘結炭の使用量削減率など、フェロコークスが代替できる既存技術・設備との比較などを定量的にシミュレートすることが望まれる。

6. 総合評価

全般的には優れた研究成果が挙げられているものと高く評価される。今後20—30年間のエネルギー需給見通しが不透明である現在、エネルギー消費量の大きい製鉄業が複数のシナリオに沿って複数の改良技術を持つことは有効であり、日本製造業の基盤・中核的素材産業としての鉄鋼業の課題解決にあたって意義が大きい事業である。

また、文科省予算による基礎研究、NEDO先導研究を経ての50%補助金によるパイロットプラント研究であり、長年の先行研究成果を十分に活用し、開発目標は様々な工夫によって概ね達成されており、革新的プロセスの実現が期待できる。

また、企業での応用的検討と大学の基礎的検討が上手く連携されており、産学連携による効果が認められる。さらには、また、関連する基礎要素研究が、主に学側で活発化することが予想され、学のレベルアップに繋がり大きな波及効果が期待できる。

今後の実用化にあたっては、想定される省エネ技術・コスト削減技術を踏まえた製鉄所全体としての省エネシナリオの検討及びそれを踏まえての経済性評価を明確に行うべきである。加えて、本技術がもたらす波及効果は検討が不十分である。

また、コークス炉の老朽化は進んでおり、事業化に向けた研究のスピードアップが望まれ、実用化に向けた時間軸を見直す必要がある。

7. 今後の研究開発の方向等に関する提言

資源価格高止まりの中、今後の石炭および鉄鉱石品質の変化など鉄鋼メーカーのコスト競争力及び省エネルギー、資源対応力強化への対応は喫緊の課題であるが、フェロコークスによる革新的な製鉄プロセス技術は、かかる課題を解決するために期待が高い技術である。

また、今後起こりうる外部環境の変化に対して、より柔軟な対策を講じられるようにすべきである。この点からも多様な製鉄プロセスを確立させ、選択肢を広げることが我が国製鉄業の強靱化に資すると考えられる。

この観点から、フェロコークスは事業化に必要な要素技術は確立されているため、投入された国費を還元する意味においても早期に実用化できる段階まで技術開発を進め、選択肢として活用出来るようにしておくことが必要である。なお、導入にあたってはシェールガスの台頭によるエネルギー供給構造の変化等、状況変化を考慮し、他の選択肢との比較検討を行うことが重要である。

実用化にあたっては、当プロジェクトで成し遂げられなかった製鉄所全体のエネルギーバランスや経済性評価を定量的にシミュレートすることは必須である。また、低品位炭の利用にあたって、使用できる炭種を明確に区分し、高品位粘結炭の使用量削減率を具体的に定量化しながら進める必要がある。併せて、実用化までの開発計画・スキームを精査し、総合的な実装プランを検討すべきである。

実用化の前段階として、中間規模での実証実験を意義及び開発目標を明確にしつつ行うことが妥当だと考えられる。具体的な検討技術としては乾留炉と成型設備のスケールアップが必要である。特に、実用化の製造量レベルを考えると成型設備は2桁以上のスケールアップ試験が必要と予想される。

当研究開発の成果は、波及効果も大きいと考えられるため、潜在的な効果についても具体化、定量

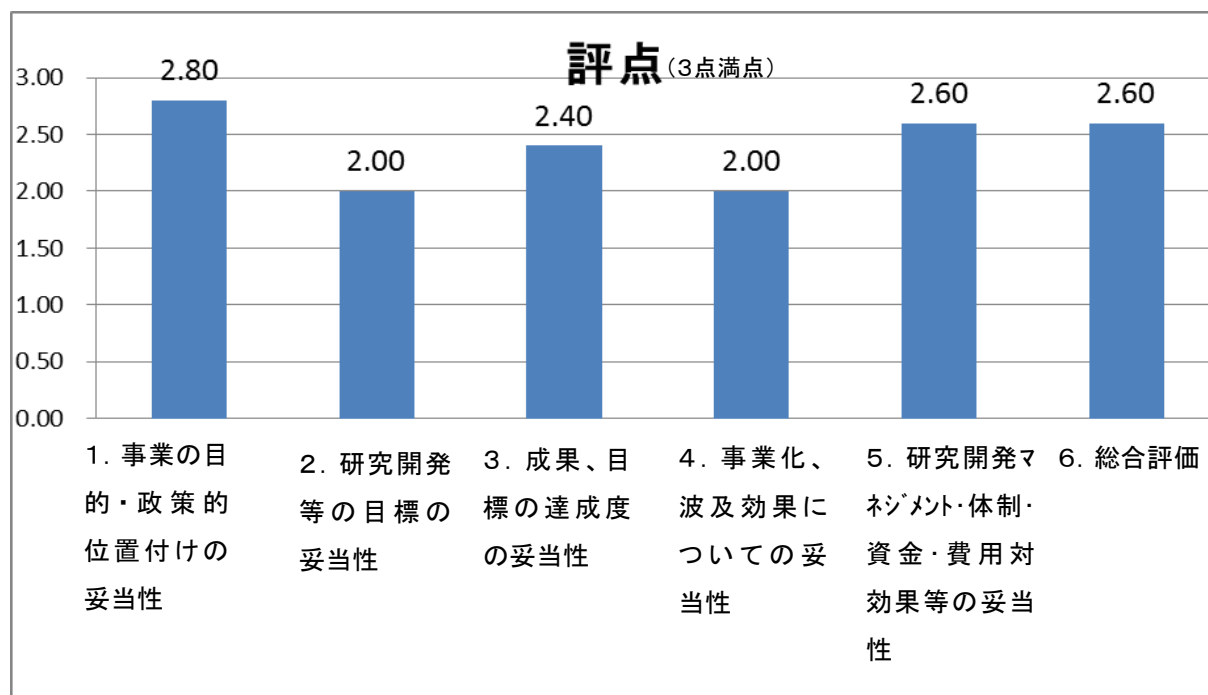
化が求められる。特に、本プロジェクトの成果を広く世界的に宣伝することは、我が国鉄鋼業の技術力の高さを示し、イニシアティブを発揮する上で重要な戦略だと考えられる。その際、ノウハウの流出には十分に留意すべきである。また、主に学側でも基礎研究が活発化することが予想されるが、我が国の製鉄基礎研究者がイニシアチブを取ることを期待する。

政府としても着実なフォローをするべきである。この際、更なる公的資金を投入するのであれば、他の競合技術との関係を整理をした上で、優位性を示すことが必要である。

評点結果

評点法による評点結果
(資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.80	3	2	3	3	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.00	1	2	2	2	3
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.40	2	2	2	3	3
4. 事業化、波及効果についての妥当性	2.00	2	1	2	2	3
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.60	2	2	3	3	3
6. 総合評価	2.60	2	3	2	3	3



第 1 章 評価の実施方法

第1章 評価の実施方法

本プロジェクト評価は、「経済産業省技術評価指針」(平成21年3月31日改定、以下「評価指針」という。)に基づき、以下のとおり行われた。

1. 評価目的

評価指針においては、評価の基本的考え方として、評価実施する目的として

- (1) より良い政策・施策への反映
- (2) より効率的・効果的な研究開発の実施
- (3) 国民への技術に関する施策・事業等の開示
- (4) 資源の重点的・効率的配分への反映

を定めるとともに、評価の実施にあたっては、

- (1) 透明性の確保
- (2) 中立性の確保
- (3) 継続性の確保
- (4) 実効性の確保

を基本理念としている。

プロジェクト評価とは、評価指針における評価類型の一つとして位置付けられ、プロジェクトそのものについて、同評価指針に基づき、事業の目的・政策的位置付けの妥当性、研究開発等の目標の妥当性、成果、目標の達成度の妥当性、事業化、波及効果についての妥当性、研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性の評価項目について、評価を実施するものである。

その評価結果は、本プロジェクトの実施、運営等の改善や技術開発の効果、効率性の改善、更には予算等の資源配分に反映させることになるものである。

2. 評価者

評価を実施するにあたり、評価指針に定められた「評価を行う場合には、被評価者に直接利害を有しない中立的な者である外部評価者の導入等により、中立性の確保に努めること」との規定に基づき、外部の有識者・専門家で構成する検討会を設置し、評価を行うこととした。

これに基づき、評価検討会を設置し、プロジェクトの目的や研究内容に即

した専門家や経済・社会ニーズについて指摘できる有識者等から評価検討会委員名簿にある5名が選任された。

なお、本評価検討会の事務局については、指針に基づき経済産業省製造産業局鉄鋼課製鉄企画室が担当した。

3. 評価対象

資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発（実施期間：平成21年度から平成24年度）を評価対象として、研究開発実施者から提出されたプロジェクトの内容・成果等に関する資料及び説明に基づき評価した。

4. 評価方法

第1回評価検討会においては、研究開発実施者からの資料提供、説明及び質疑応答、並びに委員による意見交換が行われた。

第2回評価検討会においては、それらを踏まえて「プロジェクト評価における標準的評価項目・評価基準」、今後の研究開発の方向等に関する提言等及び要素技術について評価を実施し、併せて4段階評点法による評価を行い、評価報告書(案)を審議、確定した。

また、評価の透明性の確保の観点から、知的財産保護、個人情報で支障が生じると認められる場合等を除き、評価検討会を公開として実施した。

5. プロジェクト評価における標準的な評価項目・評価基準

評価検討会においては、経済産業省産業技術環境局技術評価室において平成21年6月1日に策定した「経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準について」のプロジェクト評価（中間・事後評価）に沿った評価項目・評価基準とした。

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

(1) 事業目的は妥当で、政策的位置付けは明確か。

- ・事業の政策的意義（上位の施策との関連付け等）
- ・事業の科学的・技術的意義（新規性・先進性・独創性・革新性・先導性等）
- ・社会的・経済的意義（実用性等）

(2) 国の事業として妥当であるか、国の関与が必要とされる事業か。

- ・国民や社会のニーズに合っているか。
- ・官民の役割分担は適切か。

2. 研究開発等の目標の妥当性

- (1) 研究開発等の目標は適切かつ妥当か。
 - ・目的達成のために具体的かつ明確な研究開発等の目標及び目標水準を設定しているか。特に、中間評価の場合、中間評価時点で、達成すべき水準（基準値）が設定されているか。
 - ・目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

- (1) 成果は妥当か。
 - ・得られた成果は何か。
 - ・設定された目標以外に得られた成果はあるか。
 - ・共通指標である、論文の発表、特許の出願、国際標準の形成、プロトタイプの作製等があったか。
- (2) 目標の達成度は妥当か。
 - ・設定された目標の達成度（指標により測定し、中間及び事後評価時点の達成すべき水準（基準値）との比較）はどうか。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

- (1) 事業化については妥当か。
 - ・事業化の見通し（事業化に向けてのシナリオ、事業化に関する問題点及び解決方策の明確化等）は立っているか。
- (2) 波及効果は妥当か。
 - ・成果に基づいた波及効果を生じたか、期待できるか。
 - ・当初想定していなかった波及効果を生じたか、期待できるか。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

- (1) 研究開発計画は適切かつ妥当か。
 - ・事業の目標を達成するために本計画は適切であったか（想定された課題への対応の妥当性）。
 - ・採択スケジュール等は妥当であったか。
 - ・選別過程は適切であったか。

- ・採択された実施者は妥当であったか。
- (2) 研究開発実施者の実施体制・運営は適切かつ妥当か。
- ・適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか、いたか。
 - ・全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか、いたか。
 - ・目標達成及び効率的実施のために必要な、実施者間の連携／競争が十分に行われる体制となっているか、いたか。
 - ・成果の利用主体に対して、成果を普及し関与を求める取組を積極的に実施しているか、いたか。
- (3) 資金配分は妥当か。
- ・資金の過不足はなかったか。
 - ・資金の内部配分は妥当か。
- (4) 費用対効果等は妥当か。
- ・投入された資源量に見合った効果が生じたか、期待できるか。
 - ・必要な効果がより少ない資源量で得られるものが他にないか。
- (5) 変化への対応は妥当か。
- ・社会経済情勢等周辺の状況変化に柔軟に対応しているか（新たな課題への対応の妥当性）。
 - ・代替手段との比較を適切に行ったか。

6. 総合評価

第2章 プロジェクトの概要

1. 事業の目的・政策的位置付け

1-1 事業の目的

(1) 事業の科学的・技術的意義

平成 11 年度から平成 15 年度まで文部科学省科学技術振興調整費「エネルギー半減・環境負荷ミニマムを目指した高炉の革新的精錬反応に関する研究」において反応平衡制御による超省エネ高炉操業原理と操業条件が提案された。この研究は、高炉の還元材比を支配する還元平衡を高炉原料により制御するという根本原理に立ち返った体系的な基礎的研究であり、高炉の省エネルギーと劣質原料の多量使用による資源対応力強化に寄与するものであった。

その後、平成 18 年度から平成 20 年度まで NEDO の「エネルギー使用合理化技術戦略的開発」の先導研究において、金属鉄の触媒作用を利用して反応性を飛躍的に高めた革新的塊成物による革新的省エネルギー型高炉プロセスの先導的研究開発を手掛け、高炉内反応平衡温度を低下させる効果があり省エネルギー化が期待できることを確認した。また同時に革新的塊成物の原料には低品位原料の使用が可能であることから、高炉用原料として低品位原料の使用量拡大が可能であることも見出した。

これまでの研究成果を踏まえて鉄鋼業における資源対応力強化と革新的省エネルギー技術を確立することを目的として、以下の技術開発を平成 21～22 年度は NEDO において実施し、平成 23～24 年度は経済産業省直轄事業として実施した。

- 1) 革新的塊成物の組成・構造条件の探索
- 2) パイロットプラントによる革新的塊成物の製造プロセスの開発
- 3) 高炉シミュレーションモデルを用いた革新的塊成物による高炉操業プロセスの開発

研究成果は、2012 年度世界製鉄会議（ブラジル）などの国際会議で報告され、日本発信の新技术として、COURSE50 プロジェクトとともに高く評価されている。

(2) 社会的・経済的意義

我が国 CO₂ 排出量の約 15%を占め、我が国産業部門中最大の CO₂ 排出業種(産業部門全体の約 43%)である鉄鋼業においては、その CO₂ 排出の約 7 割を占める高炉プロセスでの還元反応効率を飛躍的に向上させ、省エネルギー・CO₂ 排出削減に有効な革新的製鉄プロセスの開発が必要である。

本事業が発足した 2009 年当時、世界的な資源メジャーによる企業の買収・合併の急進展による鉄鋼原料資源の寡占状態、さらに中国・インド等の発展途上国の鉄鋼生産急拡大の情勢で、我が国鉄鋼業は、①資源確保、②鉄鋼製品の国際競争力の両面で大きな課題に直面した。

具体的には比較的安定的に推移してきた石炭と鉄鉱石の鉄鋼原材料の価格は、2004 年以降に急激な上昇に転じ、2008 年には高品位炭が約 3 倍、鉄鉱石が約 1.7 倍とそれぞれ急騰した。

その後、2009 年の経済危機で価格が低下したものの、価格は反転、高止まり傾向となっており早急な対応が必要となっている。

現在も、天然資源が乏しい我が国鉄鋼業は、製鉄原材料（石炭と鉄鉱石）のほぼ全てを海外に依存する脆弱な立場にあり、資源対応力強化は我が国にとって喫緊の課題である。

また、「資源確保戦略」（平成 24 年 6 月 27 日 第 15 回パッケージ型インフラ海外展開関係大臣会合報告資料）において、産業の基礎素材として利用される鉄等のベースメタルが昨今、新興国

を含めた経済成長により需給が逼迫していることが指摘され、我が国製造業の競争力の源泉である素材を製造している鉄鋼業に必要な資源である鉄鉱石や原料炭の安定供給確保は必要不可欠であるとされている。また、資源の供給における不安定性を緩和する観点から、代替材料開発・使用量削減技術開発は極めて重要とされている。

本研究開発は以上のような社会的・経済的要請に応え、低品位の製鉄原料を活用した資源対応力の高い製鉄プロセスにより、製鉄プロセス（高炉法）における省エネルギーを促進するとともに、資源対応力の強化を実現しようとするものである。

具体的には、高炉内還元反応の高速化・低温化を可能にするフェロコックス（低品位石炭と低品位鉄鉱石を砕いて固め乾留したコックス代替還元剤）の開発及びフェロコックスを用いた革新的高炉操業技術の開発を実施するとともに、現行高炉操業に対して最大約 10%の省エネルギー及び約 20%の高品位炭使用量削減等を実現するものである。

1－2 政策的位置付け

（１）エネルギー基本計画（平成 22 年 6 月 18 日閣議決定）

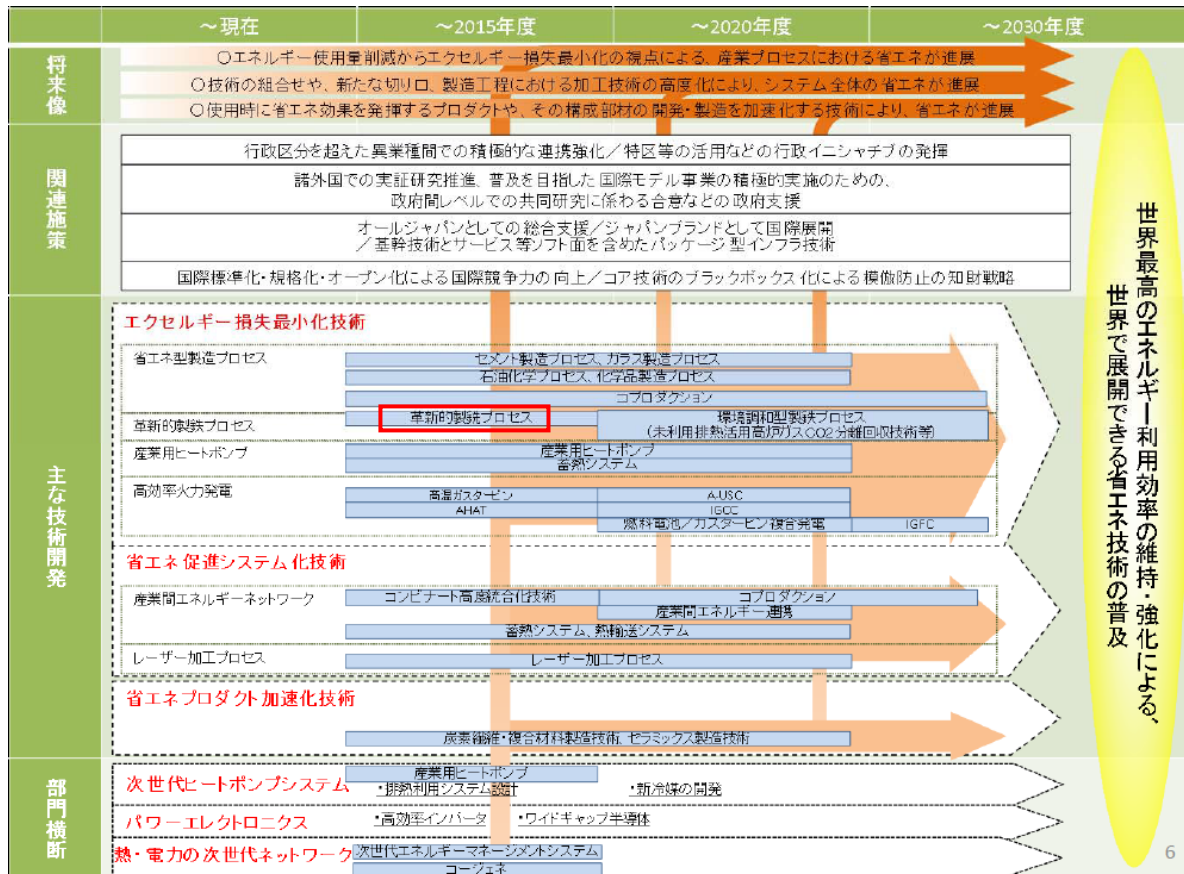
革新的製鉄プロセス（フェロコックス）の研究開発は、「エネルギー基本計画」（平成 22 年 6 月 18 日閣議決定）において、個別対策として、産業部門における世界最高の省エネ・低炭素技術の維持・強化策の具体的取組として位置付けられている。

（２）省エネルギー技術戦略 2011（平成 23 年 3 月 28 日 資源エネルギー庁策定）

産業部門の重要技術の「技術開発の進め方」として、環境調和型製鉄プロセス（水素還元製鉄・高炉ガス CO₂ 分離回収）が 2030 年に実用化される技術であるのに対し、フェロコックスは 2020 年初頭に実用化が期待される技術である。

戦略策定の趣旨

- 「エネルギー基本計画」に掲げる2030 年に向けた目標の達成に資する省エネルギー技術開発と、それらの技術の着実な導入普及及び国際展開を推進し、世界最高水準の省エネルギー国家の実現と経済成長を目指すための指針。
- 広範・多岐に渡る省エネルギー技術は、重点化が必要であり、真に省エネルギーの推進に貢献する重要分野を特定。



省エネルギー技術戦略 2011(経済産業省資源エネルギー庁)

1-3 国の関与の必要性

(1) 省エネの取組の背景

エネルギー消費量全体の約5割を占める製造業の中で、鉄鋼業のエネルギー消費は約3割を占め、引き続き省エネ対策が必要となっている。

そのような中、日本の鉄鋼業は既に、世界最高レベルのエネルギー効率を達成し、既存技術による省エネ余地は少なく、個々の企業の取組では限界に達している。

(2) 資源対応力強化の取組の背景

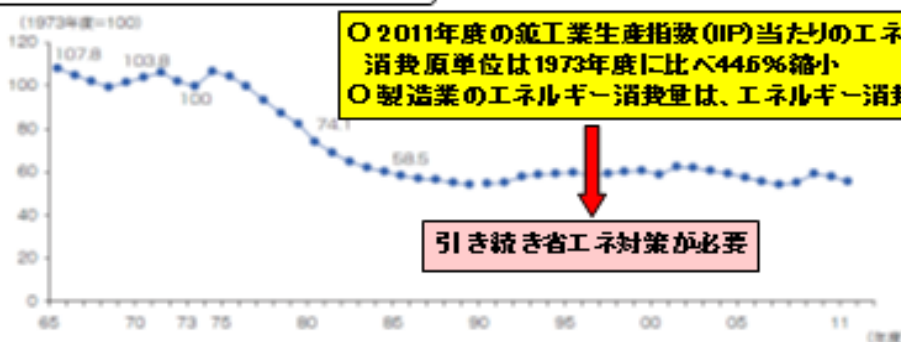
一方、鉄鋼原料である石炭、鉄鉱石の価格は世界的に寡占状態にあるサプライヤーと大口ユーザーである中国の動向に大きく左右され、対応する新技術の開発、適用には個社の取組では限界がある。

(3) 国の関与の必要性

2020年以降、高度成長期に建設された多くのコークス炉の寿命は約50年を経過し本格的な更新時期を迎える中、上述の背景を踏まえ、製鉄プロセスにおける省エネルギー及び低品位原料利用拡大を両立させた革新的技術を開発し、喫緊の課題となっている我が国の鉄鋼業における省エネルギー化及び資源対応力強化の促進することが必要となっている。

そのためには、個社別による対応ではなくコンソーシアムでの取組に国が支援を行うことにより短期集中的に実施し、実用の早期化を図ることが必要である。

製造業のエネルギー消費原単位の推移



製造業業種別エネルギー消費の推移



○ 鉄鋼、化学、窯業土石(セメント)及び紙パルプの素材系産業はエネルギーを比較的多く消費
⇒ エネルギー消費の7割以上

○ 鉄鋼業のエネルギー消費は、3割を占める。

2. 研究開発目標

2-1 研究開発目標

2-1-1 全体の目標設定

(1) フェロコークスプロセスの原理と製品の特徴

フェロコークスとは、高炉内で起こっている鉄鉱石還元反応の効率自体を改善し二酸化炭素の発生量を大幅に削減する革新的な高炉原料である。

石炭と鉄鉱石を事前に粉碎・混合・成型し、連続式堅型の乾留炉で加熱することでフェロコークス製品となる。フェロコークスに使用する原料として、従来に比べ品位の低い石炭（非粘結炭、微粘結炭）や低品位鉄鉱石の使用割合を大幅に増加できる。

本プロセスは、以下より構成されている。（図 2-1）

- ①石炭の粉碎および鉄鉱石との混合・乾燥・加熱を行う原料設備
- ②バインダー（アスファルトピッチ・ソフトオイルピッチ）を添加後混練・成型を行う成型設備
- ③循環ガスを精製するガス処理設備とそれを熱源としガス加熱を行う乾留炉（堅型炉）
- ④製品置場

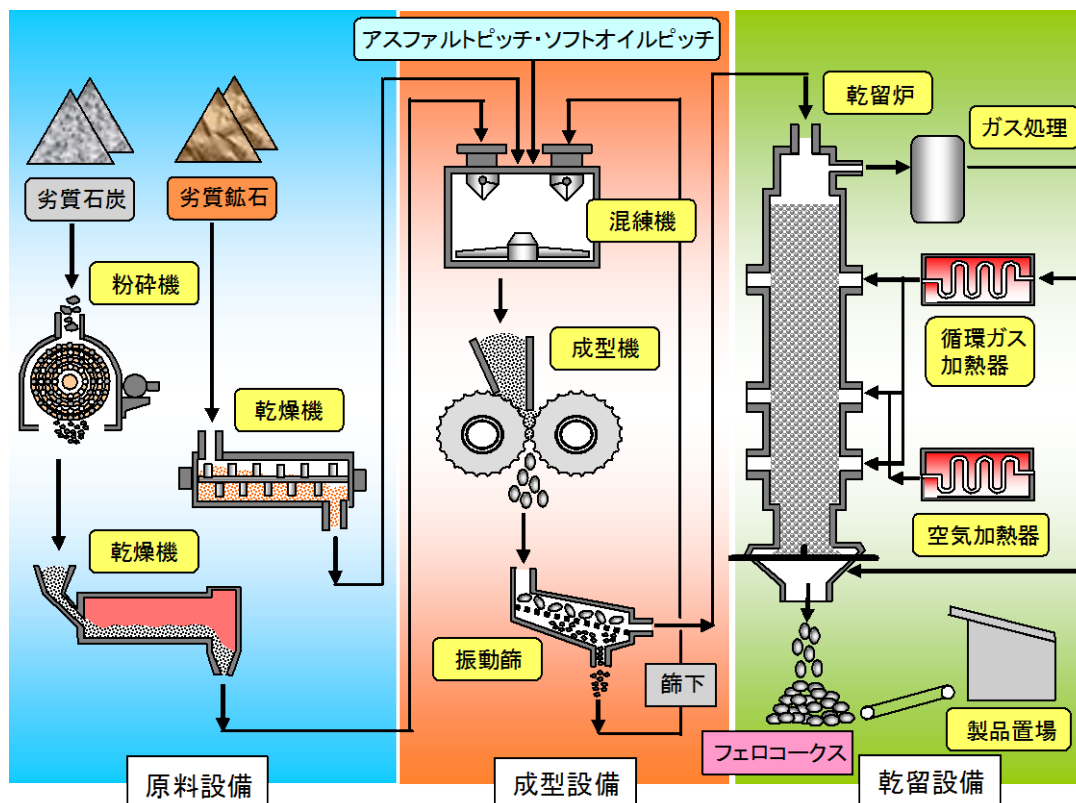


図 2-1 フェロコークス製造プロセスフロー

製造されたフェロコークスは、石炭に由来するコークス内に鉄鉱石に由来する超微粒の金属鉄（ 50μ 以下）が分散した複合塊成物で、反応性が格段に向上することに特長がある。（図 2-2）

高炉では、通常のコークスの一部をフェロコークスに置き換えて使用する。操業中の高炉内では、一酸化炭素（CO）による鉄鉱石（焼結鉄）の還元反応の進行により、二酸化炭素（ CO_2 ）

が発生しており、フェロコークス内部に含まれている超微粒の金属鉄は、この CO_2 がコークス (C) と反応し還元ガス (CO) を再生成する反応 ($\text{C} + \text{CO}_2 = 2\text{CO}$: ソリュションロス反応) の触媒となり、低温域まで反応が進行する。実際にラボスケールでガス化挙動を調査 (ガス分析に基づく入出のカーボン収支からガス化量を算出) した結果、石炭のみを使用して乾留したものに対し、ガス化開始温度は 120°C 低下した。さらに、このガス化開始温度が高炉操業に及ぼす影響を高炉二次元モデルより推定した結果、シャフト部の温度が低温化する一方で融着帯下端に相当する 1400°C の等温線は上方に移動した。(図 2-3) コークスのガス化開始温度の低温化に伴いソリュションロス反応は増加するが、鉱石の還元も低温から進行し、融着帯下端での鉱石の還元率が上昇するため FeO との直接還元反応は減少する。結果として間接還元率が上昇し、融着帯下端位置の上昇が得られた。

フェロコークスを使用した高炉操業において、熱保存帯温度の低下を介した還元材比低減が期待でき、 CO_2 排出削減、省エネルギーに貢献できる。

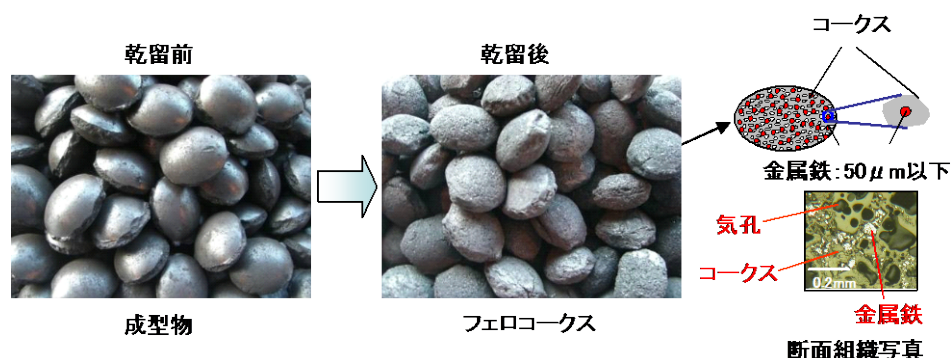


図 2-2 パイロットプラントで製造されたフェロコークス

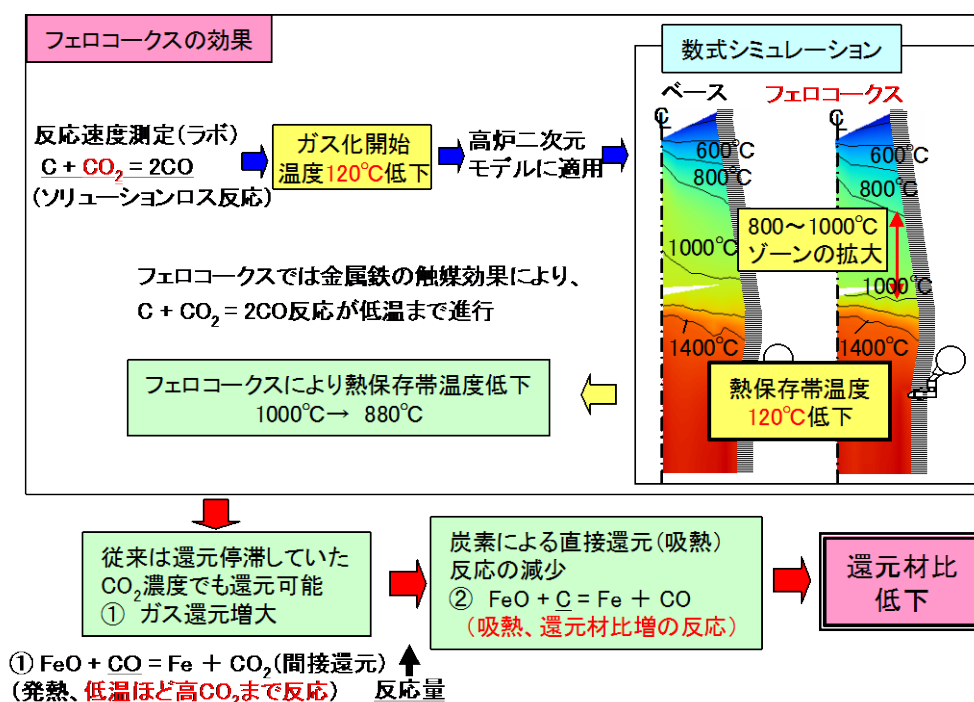


図 2-3 フェロコークス使用による還元材比低減

（２）開発目標の設定

本研究開発は、石炭と鉄鉱石によるフェロコークスによって製鉄技術に革新をもたらすもので、30トン/日の規模でその製造プロセスの実現性を実証して、根本的にこれまでの鉄鉱石と石炭の利用方法を革新して、我が国の資源対応力を飛躍的に向上させる技術である。これにより、新興国技術では対応できない劣質石炭と劣質鉄鉱石の利用を拡大できる。

本研究開発では、製鉄プロセスにおいて低品位原料の使用比率を高める資源対応力を強化すると共に、熱保存帯温度を低下させることにより高炉還元材比を低減し、省エネルギー化を図る。具体的には現行高炉操業に対して、最大約10%の省エネルギー及び約20%の高品位炭の使用量削減等を実現する。目標を実現させるためには、高炉で使用可能な強度と反応効率向上効果を有するフェロコークスを製造・使用する技術の開発が必要である。そのため、製造条件、プロセス開発、高炉操業の3項目を開発重点項目とし、各々について以下の目標を設定した。

表 2-1 全体の目標設定

研究開発項目	目標・指標	設定理由
①フェロコークスの組成・構造条件の探索	成型設備を完成し、設備の操業技術を確立する。	成型・乾留一貫操業技術の確立に向けて、前段工程である成型設備の操業技術を確立するため。
	新規バインダーを数種試作し、新規バインダーの性状、配合量と成型物強度の関係を明確にする。	フェロコークスに適した新規バインダーの工業的生産技術の確立に活用するため。
②フェロコークスの製造プロセス開発	循環ガス加熱によるパイロット型乾留炉での適正製造条件を確立する。	パイロット規模での製造技術、安定操業技術を確立し、次ステップへのスケールアップ検討が可能な技術を構築するため。
	長期製造試験により、安定製造技術を確立する。	
	フェロコークスの品質評価試験により、大型高炉での使用時の課題を明確化する。	大型高炉使用試験に向けた製造技術、使用技術を検討するため。
	離散要素法モデルを活用し、スケールアップ検討、原料配合設計に適用できるシミュレーションを実施する。	次ステップのスケールアップの指針を得るため。
③フェロコークスによる高炉操業プロセスの開発	混合分散状態制御因子の影響を明確化する。	フェロコークスの高炉装入、評価技術を構築、次ステップのスケールアップ検討時の効果推算精度向上技術を構築するため。
	生成融液の存在が高温還元性状に及ぼす影響を明確化する。	
	フェロコークスの反応モデルの検証と精度向上を達成する。	
	フェロコークスの反応モデルを高炉数学モデルへ導入した総合モデルを構築する。	

2-1-2 個別要素技術目標設定

①フェロコークスの組成・構造条件の探索

①の開発目的を達成するために、①-1として「実験室規模小型成型試験での試作と成型物の物性評価」、①-2として「成型設備（30t/d）の開発」をJFEスチールが開発し、①-3として「成型物強度向上のためのバインダー探索」を神戸製鋼所と委託先の東北大学大学院工学研究科が開発した。各々について以下の目標を設定した。

表 2-2 ①フェロコークスの組成・構造条件の探索の個別目標設定

研究開発項目	目標・指標	設定理由
①フェロコークスの組成・構造条件の探索		
①-1 実験室規模小型成型試験での試作とフェロコークスの物性評価	小型成型試験機を用い適正成型条件を確立する。	成型歩留りと成型後強度を確保できる均一攪拌技術を確立し、フェロコークスが目標とする強度と反応性を有することを確認するため。
①-2 成型設備（30t/d）の開発	成型設備を完成し設備の操業技術を確立する。	成型、乾留一貫操業技術の確立に向けた成型設備の操業技術を確立するため。
①-3 フェロコークス強度向上のためのバインダー探索	新規バインダーを数種類試作し、新規バインダーの性状・配合量とフェロコークス強度の関係を明確にする。	ベンチスケールで製造した新規バインダーのベンチ成型試験を実施し、ASP代替の可能性を見出すため。

②フェロコークスの製造プロセスの開発

②の開発目的を達成するために、②-1として「実験室規模での適正乾留条件探索」、②-2として「30t/d 規模パイロット型乾留炉の設計」、②-3として「30t/d 規模パイロット型乾留炉の建設と実証」、②-4として「長期製造試験と品質評価」をJFEスチールが開発し、②-5として「型乾留炉の流動シミュレーション」を東北大学多元物質科学研究所が委託により開発した。各々について以下の目標を設定した。

表 2-3 ②フェロコークスの製造プロセスの開発の個別目標設定

研究開発項目	目標・指標	設定理由
②フェロコークスの製造プロセスの開発		
②-1 実験室規模での適正乾留条件探索	実験室規模の電気抵抗加熱乾留炉を用いた実験結果より、適正操業条件を決定する。	実験室規模炉での炉内温度勾配を変更した実験に基づき、強度、反応性の観点から最適操業条件を決定するため。

研究開発項目	目標・指標	設定理由
②-2 30t/d 規模パイロット型乾留炉の設計	②-1 の研究成果を基に直接加熱方式による連続型乾留炉の設計を完了する。	複数羽口へのガス温度・流量などの制御技術を基本とする循環ガス加熱システム、金属鉄の再酸化を防止する乾式排出システムを構築・反映させるため。
②-3 30t/d 規模パイロット型乾留炉の建設と実証	循環ガス加熱によるパイロット型乾留炉での適正製造条件を確立する。	成型、乾留一貫システムの運転、操業技術を確立するとともに、30t/d の製造能力を実証するため。
②-4 長期製造試験と品質評価	長期製造試験により、安定製造技術を確立する。	原料性状などの操業変動に対応する技術を構築し、スケールアップのためのエンジニアリングデータを取得するため。
	フェロコークスの品質評価試験により、大型高炉での使用時の課題を明確化する。	炉頂部のガス利用率変化など、操業要因を測定し、高炉使用時の課題を検討、明確化するため。
②-5 型乾留炉の流動シミュレーション	離散要素法モデルを活用し、スケールアップ検討、原料配合設計に適用できるシミュレーションを実施する。	滞留時間分布の観点から炉の形状の最適化を図る共に、スケールアップの指針を得るため。

③フェロコークスによる高炉操業プロセスの開発

③の開発目的を達成するために、③-1-1 として「高炉内反応平衡制御手段の提示」を新日鐵住金が開発し、③-1-2 として「高炉内反応平衡制御のための操業条件の適正化」を大阪大学大学院工学研究科が委託により開発した。③-1-3 として「フェロコークスの反応モデル構築」を九州大学大学院工学研究院が委託により開発し、③-1-4 として「フェロコークスの高炉数学モデル構築」、③-1-5 として「高炉数学モデルによるフェロコークスの最適配置条件の提示」、③-2 として「高炉内反応効率改善のための炉内配置の適正化」を新日鐵住金が開発した。各々について以下の目標を設定した。

表2-4 フェロコークスによる高炉操業プロセスの開発の個別目標設定

研究開発項目	目標・指標	設定理由
③フェロコークスによる高炉操業プロセスの開発		
③-1-1 高炉内反応平衡制御手段の提示	フェロコークスの高炉操業状況への効果が発揮されるメカニズムと効果が最大となる条件を提示する。	フェロコークスの高炉装入、評価技術を構築するため。

研究開発項目	目標・指標	設定理由
	フェロコークスによる熱保存帯温度低下などの効果を定量化する。	スケールアップ検討時の効果推算精度向上技術を構築するため。
③-1-2 高炉内反応平衡制御のための操業条件の適正化	フェロコークスの構造として最適な気孔構造など具備すべき条件を提示する。	高炉高温域におけるフェロコークスの被還元性に及ぼす融液生成挙動の影響と貫通孔の効果に関する基礎データとするため。
③-1-3 フェロコークスの反応モデル構築	高炉数学モデルに適用する反応モデルを構築する。	種々のフェロコークスのガス化反応速度を測定・解析した結果に基づき、高炉数学モデルに適用可能な反応モデルを構築するため。
③-1-4 フェロコークスの高炉数学モデル構築	フェロコークスの配置・配合率の評価機能を有する高炉数学モデルを構築する。	上記反応モデルを統合し、フェロコークスの配置・配合率の評価機能を有する数学モデルを構築するため。
③-1-5 高炉数学モデルによる実用フェロコークスの最適配置条件の提示	フェロコークスの最適配置・最適配合率を導出する。	上記高炉数学モデルを使用し、フェロコークの配置・配合率が還元材比に及ぼす影響を調査し、最適値を導出するため。
③-2 高炉内反応効率改善のための炉内配置の適正化	フェロコークスの装入技術および高炉内評価技術を開発し、高炉内反応効率改善のための炉内配置の適正化を図る。	フェロコークスの粒子径の排出挙動、炉内堆積挙動の影響を検証するため。
	制御性と再現性に優れた最適な装入方法を提示する。	粒子径の異なるフェロコークスの炉内堆積挙動のDEM解析を実施するため。

3. 成果、目標の達成度

3-1 成果

3-1-1 全体成果

本プロジェクトは、平成 21～24 年度にかけ参画企業 4 社で各研究開発項目を実施された。プロジェクト開始から 2 年間は新エネルギー・産業技術総合開発機構の助成事業として、また、平成 23、24 年度の 2 年間は経済産業省からの補助事業として実施している。さらに基礎的な研究は関連する大学に委託されて個別に推進された。

表 3-1 本プロジェクトのスケジュール

研究開発項目	平成21年度				平成22年度				平成23年度				平成24年度			
	1/四	2/四	3/四	4/四	1/四	2/四	3/四	4/四	1/四	2/四	3/四	4/四	1/四	2/四	3/四	4/四
①フェロコークスの組成・構造の探索	均一混合技術開発															
	成型設備設計・製作着手				据付完了・試運転				成型設備操業技術開発							
	バインダー最適特性調査				強度向上条件				フェロコークス試作・評価				100kgレベルの製造・評価			
	フェロコークス特性把握				強度改善機構の解明				強度改善機構の解明				数値解析による製造条件			
②フェロコークスの製造プロセス開発	最適操業条件の決定															
	連続乾留設備の設計															
	炉本体の製作着手				据付完了・耐火物乾燥				パイロット製造実証着手				製造能力の実証 製造条件の確立			
													長期製造試験 高炉使用試験			
	モデル設計・冷間実験				炉壁効果・応力荷重の影響				モデル精度向上				スケールアップ検討 シミュレーション			
③フェロコークスによる高炉操業プロセス開発	還元溶融基礎特性				混合・分散状態影響				混合・分散状態影響				最適混合条件			
	貫通孔の還元改善効果				生成融液の影響				生成融液の影響				焼結鉱の物性条件			
	反応モデル設計				反応実験・モデル構築				反応実験・反応解析				反応モデル構築・解析			
	高炉数学モデル設計				高炉数学モデル構築				高炉数学モデル構築							
									感度解析				最適配置・配合率の導出			
									実験解析手法の検討				最適装入方法提示			

各研究開発項目に対し、以下のような具体的な最終目標を設定し、表 3-2 のような成果が得られた。

①フェロコークスの組成・構造条件の探索

- ・成型設備を完成し、設備の操業技術を確立する。
- ・新規バインダーを数種試作し、新規バインダーの性状、配合量と成型物強度の関係を明確にする。

②フェロコークスの製造プロセスの開発

- ・循環ガス加熱によるパイロット型乾留炉での適正製造条件を確立する。

- ・長期製造試験により、安定製造技術を確立する。
 - ・フェロコークスの品質評価試験により、大型高炉での使用時の課題を明確にする。
 - ・離散要素法モデルを活用し、スケールアップ検討、原料配合設計に適用できるシミュレーションを実施する。
- ③フェロコークスによる高炉操業プロセスの開発
- ・混合・分散状態制御因子の影響を定量化する。
 - ・生成融液の存在が高温還元性状に及ぼす影響の明確化。
 - ・フェロコークスの反応モデルの検証と精度向上を達成する。
 - ・フェロコークスの反応モデルを高炉数学モデルへ導入した統合モデルを構築する。

表 3-2 全体成果

研究開発項目	最終目標	研究成果
①フェロコークスの組成・構造条件の探索	成型設備を完成し、設備の操業技術を確立する。	・攪拌混合時の速度、温度、時間等の影響因子を調査し、成型歩留りと成型後強度を確保できる均一攪拌技術を確立した。 ・フェロコークス同士の融着の有無を確認するとともにⅠ型強度試験機、荷重軟化試験装置を用いてフェロコークスが目標とする強度と反応性を有することを確認した。 ・成型、乾留一貫操業技術の確立に向けた成型設備の操業技術を確立した。
	新規バインダーを数種試作し、新規バインダーの性状、配合量と成型物強度の関係を明確にする。	・石炭を高温溶剤抽出して得られる新規バインダーについて、流動特性の異なる2種類のバインダーを試作し、その性能を評価するとともに、物理・化学的特性を解明した。 ・従来バインダーより低軟化点の新規バインダーがフェロコークスの強度向上に顕著な効果のあることを見出し、従来バインダー代替2%添加試験をパイロットプラントにより実施し、新規バインダーの優位性を確認した。 ・新規バインダーを用いたフェロコークスについて、配合、コークスの微細構造、欠陥生成、および強度の関係を詳細に調査して強度の支配因子を明らかにするとともに、新規バインダーによる強度向上指針を提示した。

研究開発項目	最終目標	研究成果
②フェロコークスの製造プロセスの開発	循環ガス加熱によるパイロット型乾留炉での適正製造条件を確立する。	・実験室規模炉での炉内温度勾配を変更した実験に基づき、強度、反応性の観点から最適操業条件を決定した。 ・複数羽口へのガス温度・流量などの制御技術を基本とする循環ガス加熱システムを構築した。 ・排ガスからのタール除去、排ガス/循環ガスからのコーキング抑制方法を開発した。 ・金属鉄の再酸化を防止する乾式排出システムを構築した。 ・循環ガス加熱によるパイロット型乾留炉の設計を実施した。 ・成型、乾留一貫システムの運転、操業技術を確立するとともに、30t/d の製造能力を実証した。 ・品質向上を目指すため炉頂、各羽口の循環ガス量、温度などの最適操業条件を確立した。
	長期製造試験により、安定製造技術を確立する。	・原料の水分、粒度などの操業変動に対応する技術を構築し、長期連続操業を実施した。 ・設備の一部の解体調査（混練機の攪拌羽根、成型機のロール、乾留炉耐火物、製品排出装置など）を実施し、設備劣化を定量的に評価した。
	フェロコークスの品質評価試験により、大型高炉での使用時の課題を明確にする。	・炉頂部のガス利用率変化など、操業要因を測定し、高炉使用時の課題を検討、明確化した。
	離散要素法モデルを活用し、スケールアップ検討、原料配合設計に適用できるシミュレーションを実施する。	・滞留時間分布の観点から炉形状の最適化を図る共に、スケールアップの指針を得た。 ・排出口形状などの炉体構造影響を検討、粒子収縮など、物性性状の変化の影響を検討した。
③フェロコークスによる高炉操業プロセス開発	混合・分散状態制御因子の影響を定量化する。	・フェロコークスをコークス層に混合するよりも鉬石層に混合した場合のほうが熱保存帯温度低減効果が高い。 ・フェロコークスのガス化反応量と焼結鉬還元促進効果の観点から、フェロコークスは鉬石層に均一混合することが望ましい。

研究開発項目	最終目標	研究成果
③フェロコークスによる高炉操業プロセス開発		・フェロコークスを鉱石層に 158kg/t 相当を均一混合した場合、約 100℃程度の熱保存帯温度低減効果と、12.6kg/t の還元材比低減効果を確認した。さらに、焼結鉱の被還元性向上や、フェロコークス粒度制御によって更なる効果の向上も期待できる。 ・フェロコークスの粒子径の排出挙動、炉内堆積挙動の影響は大きいですが、粒子径比が 0.8 の条件では、半径方向の混合比が均一に近づく。 ・粒子径の異なるフェロコークスの炉内堆積挙動の DEM 解析の結果、フェロコークスを炉内に混合配置するためには、粒子径を焼結鉱に対して 0.9 倍程度とすることが望ましい。 ・高炉数学モデルを使用し、フェロコークの配置・配合率が還元材比に及ぼす影響を調査し、最適値を導出した。
	生成融液の存在が高温還元性状に及ぼす影響を明確化する。	・高炉高温域における塊成鉱の被還元性に及ぼす融液生成挙動の影響と貫通孔の効果に関する基礎データを提示した。貫通孔は、軟化融着帯温度域においても被還元性向上に効果的である。 ・通常の還元条件では、MgO 添加により初期融液の FeO 粒子上への薄膜形成と難還元性中間化合物生成の影響で還元速度が低下した。 ・熱保存帯低温化では、還元形態が変化して被還元性の向上に繋がった。
	フェロコークスの反応モデルの検証と精度向上を達成する。	種々のフェロコークスのガス化反応速度を測定・解析した結果に基づき、高炉数学モデルに適用可能な反応モデルを構築した
	フェロコークスの反応モデルを高炉数学モデルへ導入した統合モデルを構築する。	上記高炉数学モデルを使用し、フェロコークの配置・配合率が還元材比に及ぼす影響を調査し、最適値を導出した。

3-1-2 個別要素技術成果

①フェロコークスの組成・構造条件の探索

①-1 実験室規模小型成型試験での試作とフェロコークスの物性評価

(1) 成型歩留りと成型後強度を確保できる均一攪拌混合技術の確立

成型歩留りと成型後強度を確保できる均一攪拌混合技術を確立するために、実験室規模の攪拌機・成型機を用い石炭・鉱石を攪拌混合時の速度、温度、時間等の影響因子を調査した。攪拌機は内容積 75L の高速攪拌機を使用し、成型機はφ650mm-W100mm の高圧成型機を使用した。(図 3-1 参照) 成型試験では、表 3-3 に示した 2 種類の石炭を使用し、鉱石には表 3-4 に示した鉄分の高い良質なヘマタイト鉱石を使用した。また、バインダーとして軟ピッチ（以下 SOP）およびアスファルトピッチ（以下 ASP）を原料内数で 5mass% 使用した。化鉱石 A の粒径は、全量 0.1mm 以下であった。石炭 A および B は 2mm 以下に粉砕し、所定量配合した混合原料を 6cc (30 × 25 × 15mm) の卵型に成型した。(図 3-1 参照) 図 3-2 に成型試験装置の概略図、詳細成型条件を表 3-5 に示す。



図 3-1 攪拌機・成型機および成型物（約 6cc）

表 3-3 石炭の性状

炭種	R _o (%)	VM (%)	MF (ddpm)	TI (%)
石炭 A	1.30	21.3	3	41.8
石炭 B	1.65	15.4	0	100

表 3-4 鉱石の化学組成 (mass%)

	T. Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	CaO	MgO	TiO ₂	S	P
鉱石 A	65.8	0.14	0.47	0.49	0.32	0.04	0.02	0.05	0.004	0.033

均一混合状態であるか否かは、成型後の見かけ密度を測定し、その標準偏差を評価した。原料の分散性は攪拌速度を上げることで向上するが、成型物の見かけ密度は成型圧に依存し、成型圧がある一定以上ではばらつきも低下することを確認した。(図 3-3 参照)

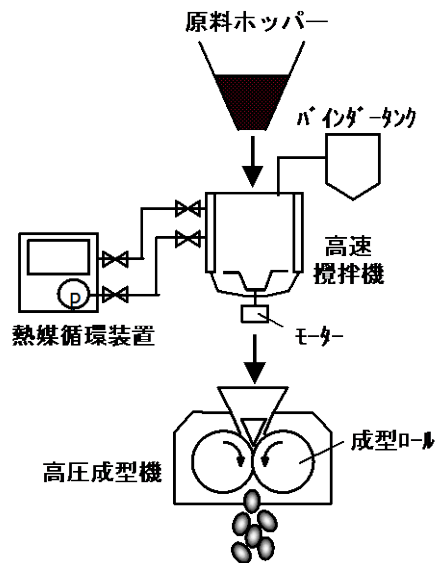


表 3-5 成型条件

成型圧	3～5t/cm
ロール径	650mm
ロール回転数	6rpm
原料排出温度	160～170℃
カップ容量	6cc (30 x 25 x 15mm)
成型原料 (mass%)	石炭/鉱石 = 7/3
バインダー (mass%)	SOP/ASP = 3/2
原料粒径	石炭; -2mm, 鉱石; -0.1mm
原料投入量	約 20kg-dry

石炭 A/石炭 B=4/6 (mass%)

図 3-2 成型試験装置の概略図

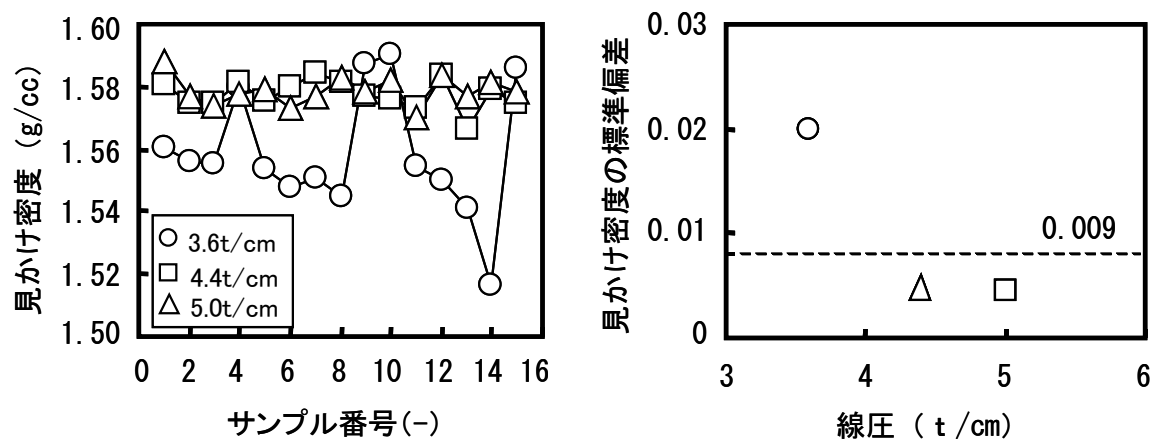


図 3-3 成型物の見かけ密度・標準偏差

(2) ラボスケールでの成型物・フェロコークスの強度と反応性

縦型乾留炉での乾留を想定し、加圧状態での乾留試験を実施した。乾留後、フェロコークス同士の融着の有無を調査し、また、乾留後の強度を評価した。成型用原料として、石炭と鉄鉱石の配合比率は重量比で 7 対 3、石炭中の微粘結炭と非粘結炭の配合比率は重量比で 1 対 1 とした。成型圧は乾留前強度に影響を及ぼし、成型圧の上昇とともに強度は向上するが、一定圧力以上になると反発割れが発生する。適正成型圧で成型された成型物は加圧状態での乾留において成型物同士の融着は認められず、乾留後のフェロコークス強度は目標強度 (DI150/6) 82 をクリアした。また、乾留前強度と乾留後強度には相関があり、成型条件 (均一攪拌、成型圧) が乾留後強度に与える影響は大きいことが判明した。

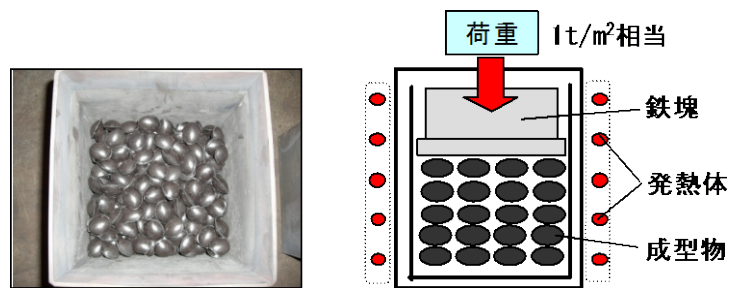


図 3-4 充填層を考慮したバッチ式加圧乾留試験

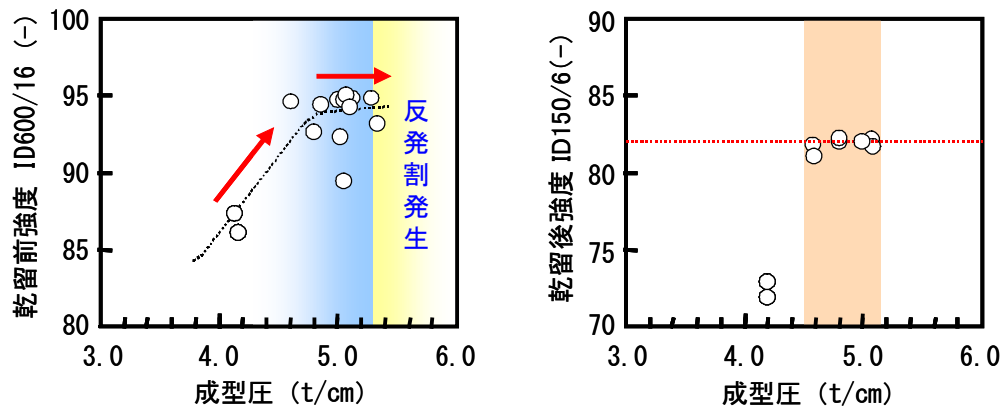


図 3-5 成型圧と乾留前後の強度

①ー 2 成型設備 (30t/d) の開発

(1) 原料供給設備の検討

図 3-6 に原料供給設備フローを示す。原料供給設備は、非粘結炭および微粘結炭を所定の粒度に粉砕するための石炭粉砕機を有するが、鉱石に関しては提案段階との予算の差異から粉砕機を持ち合わせてない。そのため供給する鉱石は先導的研究の供試材と使用した微粉のペレットフィードを使用した。

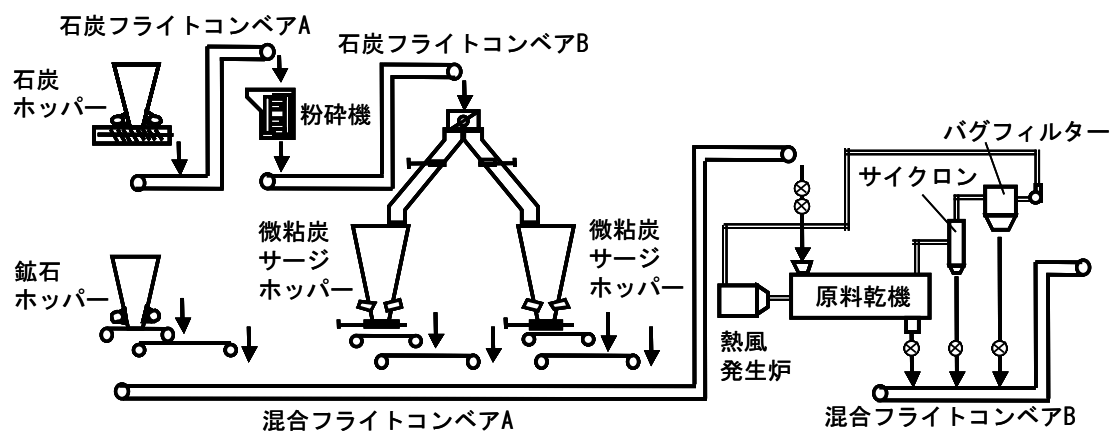


図 3-6 原料供給設備フロー図

(2) 石炭粉碎粒度とハンドリング強度

パイロットプラントでは、石炭粉碎に図 3-7 に示すようなケージミルを使用し、目標粒度 -2mm98%を達成するためにケージの回転数と粉碎粒度の関係を検討した。図 3-8 に非粘炭の粉碎検討結果を示す。原料供給設備完成当初、石炭ホッパー下部のスクリーフィーダー減速比が不適切であったため、所定量以上の石炭が粉碎機に供給され、目標粒度を達成することができなかったが、減速比の適正化によりケージの回転数と粉碎粒度に相関が確認された。石炭の水分量が 8% 前後では、非粘結炭は 600~700rpm、微粘結炭は 800~900rpm で目標粒度に粉碎することが可能であった。

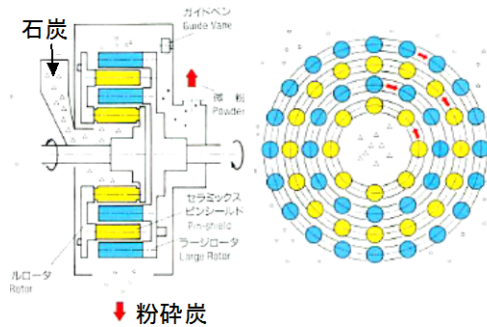


図 3-7 石炭粉碎機概略図

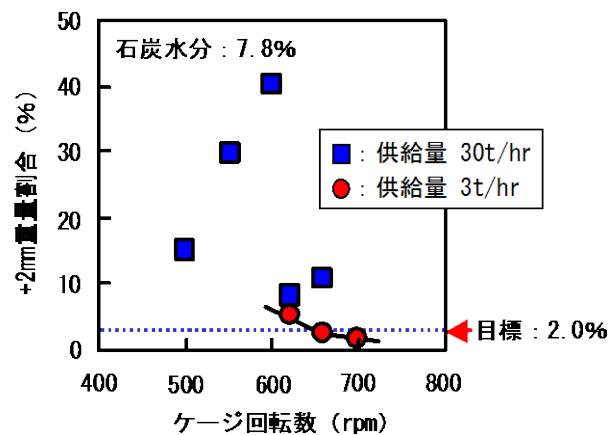


図 3-8 ケージ回転数と粉碎粒度

(3) バインダー添加量とフェロコークス強度

次にバインダー添加量について検討した。石炭系軟ピッチ量=1.5X 石油系ピッチ量とした。図 3-9 にバインダー添加率と製品歩留、半割れ率の関係について調査した。製品歩留=全量-半割れ率-粉率である。バインダー添加率上昇に従い、半分に分れた成型物の発生が増加し製品歩留が低下した。I 型強度もバインダー上昇に伴い高強度化が顕著にならず、8%では表面亀裂により強度低下を招くことがわかった。また、バインダー添加率を 4%とすると I 型強度が 70 程度まで低下することからバインダー添加率を 5%とした。

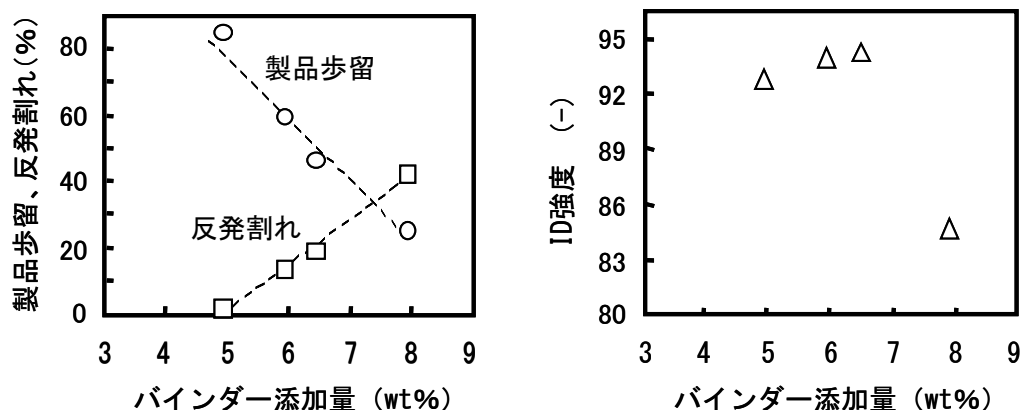


図 3-9 成型物品質に及ぼすバインダー添加率の影響

(4) 連続成型設備の設計・建設

①-1 の実験室規模小型成型試験での研究成果を工業的規模での連続成型設備の設計仕様に反映させた。図 3-10 にパイロットプラント成型設備の立面図を示す。高さは約 18m、最上階の 5F には前工程の原料・乾燥設備から送り込まれる成型原料を搬送する垂直コンベアのヘッド部およびバインダーの一つである ASP を供給するための ASP ホッパーが設置されている。垂直コンベアで搬送された成型用原料は、4F に配置されたサージホッパーに貯留される。貯留された原料は、3F の混練機に所定量投入され、これに液体バインダーである SOP を添加し均一に攪拌される。均一混合された成型原料は、3F フLOOR レベルの混練機排出ホッパーに一旦貯留され、スクリーフイーダーで 2F の成型機本体へ供給され、ダブルロールで成型物に成型される。

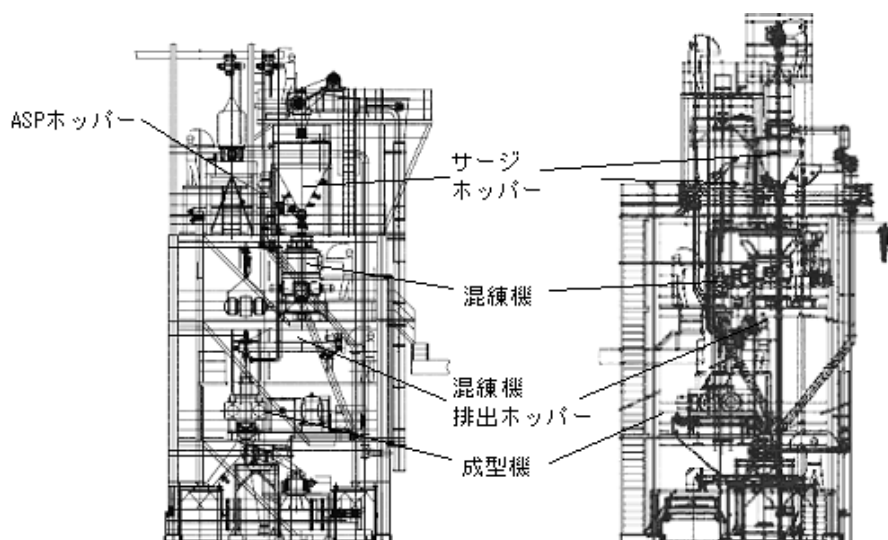


図 3-10 成型設備立面図

実験室規模での混練、成型条件およびバインダー添加条件をパイロットに適用し成型試験を実施した。1 バッチ 280kg の鉱石・石炭混合物を有効容積 375L の混練機に投入し、SOP と ASP を添加後、混練実施。成型機 (3.75t/h) へ原料を流し込み、図 3-11 のような成型物を製造した。成型物の圧潰強度および見かけ密度を表 3-6 に示す。見かけ密度 (目標 1.54-1.57g/cc)、圧潰強度 (目標 28kg/個) とも目標値をクリアし、混練成型のスケールアップに問題なく対応できた。



図 3-11 パイロットで製造した成型物の外観写真

表 3-6 成型物の性状

圧潰強度 (kg/個)	見かけ密度 (g/cc)
35.0	1.54

鉱石、微粘結炭、非粘結炭をそれぞれ 30wt%、28wt%、42wt%の割合で合計 1.85dry-t/h で切り出し、原料加熱機で 180℃程度に加熱した。加熱後の原料はサージホッパーに搬送後、混練機に 200kg 切り出して混練した。混練機攪拌羽根の回転速度は 180rpm で、バインダーである ASP は 2wt%、SOP は 4.0wt%、混練時に添加した。混練後、原料を成型機へ投入し、成型した。成型ロールの回転速度は 3rpm で、成型圧力が 80~120t となるよう成型機ロール上に設置されている原料投入量調整板の高さを変えて調整した。

上記の条件で約 5 時間連続成型し、1 時間毎に成型物をサンプリングし、I 型強度 (ID30/16) を測定した。連続成型試験での混練機内の原料温度の推移を図 3-12 に示す。混練温度の推移で、温度が下がっている箇所はバッチ混練が終了して混練機から原料が排出され、新しい原料が投入されたことを表しており、混練温度も目標温度に達し、安定して混練、成型されたことがわかった。一定時間ごとにサンプリングした成型物の強度測定結果を図 3-13 に示す。これより、全て目標強度 88 を達成していることが確認された。

本条件のもと、連続成型試験を数回実施し、乾留炉試運転用成型物を約 100t 製造した。

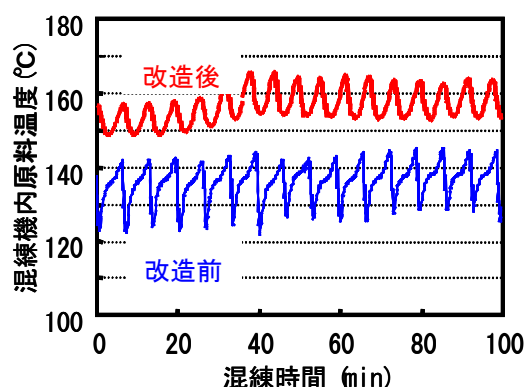


図 3-12 混練機内の原料温度推移

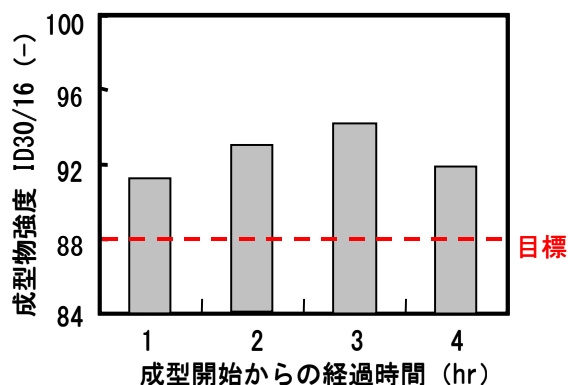


図 3-13 成型物強度測定結果

①-3 フェロコークス強度向上のための新規バインダー開発

(1) 開発概要

先導研究では、フェロコークス強度改善のためのバインダーとして、アスファルトピッチ (ASP) がおもに検討されてきた。ASP は硫黄分が 5-6wt% と高いことに加えて、石油精製における蒸溜残渣油から軽質油を得るための特殊な製造プロセスで副生する物質であるために、フェロコークスのバインダーとして利用するには供給能力が必ずしも十分ではないという課題があった。

本開発では新規バインダーを探索する上で、石炭や鉄鉱石粒子に対するバインダー能力だけではなく、将来の原料調達自由度、バインダー性状の制御性、さらには安価製造実現の観点から、石炭の溶剤抽出物に着目して開発を進めることとした。

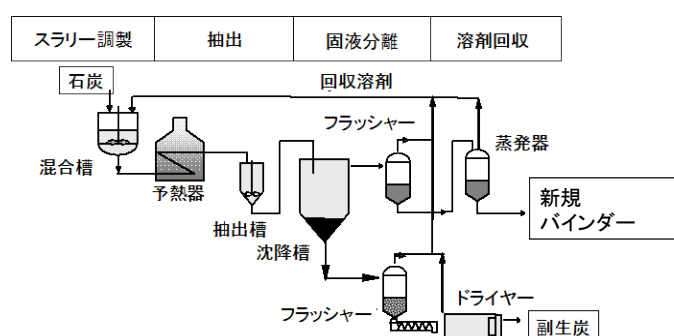


図 3-14 新規バインダー製造プロセスフロー概要



図 3-15 新規バインダー製造ユニット

新規バインダーの製造プロセスの概要を図 3-14 と図 3-15 に示す。本プロセスは、粉碎された石炭と溶剤を混合するスラリー調製、それを高温・高圧で処理する抽出工程、抽出物である新規バインダーと未溶解成分である副生炭を重力沈降により分ける固液分離工程、さらに各製品を溶剤と分離して回収する製品回収工程のおもに 4 つの工程から構成される。本法は、従来の溶剤精製炭などと異なり、高価な水素や触媒を使わない、比較的低温・低圧である、特殊な溶剤を使わず溶剤抽出工程で石炭から自生するメチルナフタレン類を溶剤として循環使用する、重力沈降で固液分離するなど、コスト競争力のあるバインダー製造プロセスになりうると期待される。

この石炭溶剤抽出による新規バインダーを基本として、製造条件の最適化や改質処理による新規バインダーの改良と新規バインダーの物理化学的解析をおこなうとともに、改良新規バインダーを用いたフェロコークスの試作と評価を実施した。さらに、得られたフェロコークスについて微細構造解析による強度支配因子の解明に取り組んだ。

(2) 主な開発成果

1) 軟化・流動性の制御された新規バインダーの製造

新規バインダーの加熱時の流動性制御方法を検討し、溶剤抽出温度を最適化することにより、

ASP では実現できない低軟化点、または、高軟化点の新規バインダーを製造できることを見出した（図 3-16）。すなわち、最も高収率でバインダーが得られる標準的操業温度である 380℃抽出では、軟化開始温度が 230℃程度のバインダーが生成するが、抽出温度を 410℃とすることにより、軟化温度が 170 度と低い新規バインダーが得られることが分かった。バインダーの収率は 380℃の 53-54%に対して 410℃でも 51-52%と収率低下はわずかに留まった。高温抽出により低軟化点バインダーが生成するのは、より高温の抽出過程で石炭成分の分解と重縮合の両方がやや活発になるが、分解反応により生成する低分子量成分は流動性向上に寄与するが、重縮合で生成する巨大分子（軟化を妨げ、流動性を低下させる）は、不溶化して副生炭側に移行するため、バインダー成分への影響が少ないためと考えられる。新規バインダーの分析値を ASP と比較して表 3-7 に示す。本新規バインダーは炭素含有率や揮発分割合（VM）の点では ASP とほぼ同等であり、類似した炭素化特性を示すと考えられる。また、ASP より硫黄含有率が顕著に低いことは、高炉における利用では環境対策への負荷が小さい点で好ましい性質と考えられる。

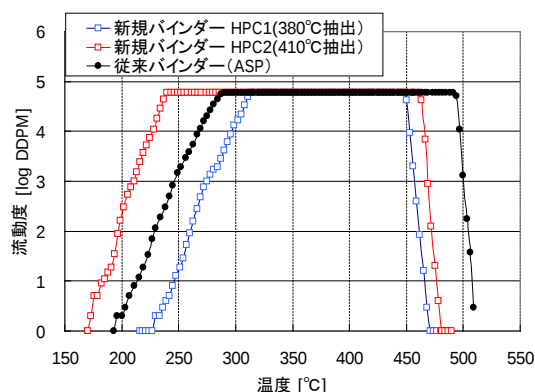
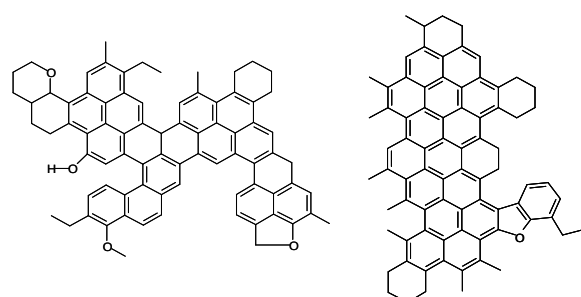


図 3-16 新規バインダーのギーセラー流動性曲線

表 3-7 新規バインダーの分析値

試料	ASH [wt%] (db)	VM [wt%] (daf)	元素分析 [wt%] (daf basis)						H/C	O/C
			C	H	N	S	O diff			
原料石炭	12.8	34.1	80.9	5.5	1.9	0.6	11.1	0.81	0.10	
HPC-1 380℃抽出	0.3	50.8	86.0	5.9	2.0	0.6	5.6	0.83	0.05	
HPC-2 410℃抽出	0.1	54.0	86.7	5.8	1.8	0.6	5.1	0.81	0.04	
RC 380℃抽出	18.3	25.2	84.7	4.9	2.0	0.6	7.8	0.69	0.07	
RC 410℃抽出	18.6	20.5	85.2	4.4	2.1	0.7	7.6	0.61	0.07	
ASP	0.4	39.6	86.0	5.6	1.4	5.7	1.2	0.78	0.01	

RC: Residue Coal (不溶解石炭)



新規バインダー (C₇₈H₆₂O₄)

ASP (C₇₇H₆₀O)

図 3-17 バインダーの推定分子構造
(溶剤可溶分)

おり、結晶構造のよく発達したコークスを生成するものと考えられた。この違いは ASP が石油精

新規バインダーについて種々の化学分析をおこなった。核磁気共鳴法やゲルパーミエーションクロマトグラフィによる分子量分布測定結果などに基づいて、分子構造を推定した結果を図 3-17 に示す。新規バインダーの特徴は ASP に比べると芳香環の縮合度が小さく、アルキル基やエーテルによる架橋構造の割合が高いことである。これらの特徴はコークス化過程において、炭素六角網目の積層構造の発達がやや遅いことを示唆する。一方、従来バインダーの ASP は 10-20 個のベンゼン環からなる巨大縮合芳香環構造を含有して

製残渣の高温熱処理により製造されるため、この過程で芳香族化合物の重縮合が進むためと推察される。

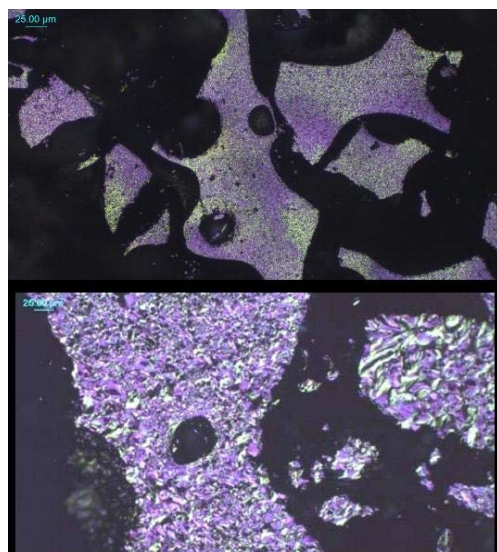


図 3-18 バインダー炭化物の偏光顕微鏡写真
真
(上) 新規バインダー (下) ASP



バインダー溶液蒸溜装置の製品回収容器を開放したところ。底部に見える茶色の物質が新規バインダー。



新規バインダーの塊
(重量約 200g)

図 3-19 連続製造ユニットで試作した新規バインダー

新規バインダーと ASP から生成するコークスの光学組織を図 3-18 に示す。新規バインダーはほぼ微小モザイク組織だけからなる。これは分子構造に由来して積層構造が発達しにくいと考えられる。微結晶から構成されるために、炭素化時の収縮による応力集中が緩和されやすく、粗大な亀裂を生じにくいと考えられる。一方 ASP は大きな流れ状組織が卓越し、多くの亀裂が生じていることがわかった。これは炭素化時の結晶構造の発達と収縮により、応力集中が起こりやすいためと考えられた。このようなコークス組織の特徴は上述の原料や製造プロセスの違いによる分子構造の本質的相違に由来すると考えられた。

新規バインダーを用いたフェロコークス製造試験を大規模に実施することを目的として、新規バインダー連続製造ユニット（図 3-15）による 100kg 規模の製造試験を実施した。得られた新規バインダー試作品の写真を図 3-19 に示す。軟化開始温度やギーセラー流動性などに関して、オートクレーブによる小規模製造と概ね同一の性状の新規バインダーを連続製造設備でも安定して製造できることを確認した。

2) 改良新規バインダーによるフェロコークスの強度向上

改良新規バインダー 2 種類（表 3-7、HPC1、HPC2）と ASP を用いて、ベンチプラントによるフェロコークスの製造試験と評価をおこなった。フェロコークスの原料配合を表 3-8 に示す。所定の

表 3-8 フェロコークス試作における成型水準

	石炭A	石炭B	鉱石A	ASP	HPC1	HPC2	SOP	備考
No. 1	26.6	39.9	28.5	2.0			3.0	比較材
No. 2	↑	↑	↑	1.0	1.0		↑	ASP/HPC=1/1
No. 3	↑	↑	↑	1.0		1.0	↑	↑
No. 4	↑	↑	↑		2.0		↑	HPC=2
No. 5	↑	↑	↑			2.0	↑	↑

条件で原料をダブルロール成形してグリーン成型体を製造し、ラボ乾留炉で熱処理してフェロコークスを得て（図 3-20）、I 型強度を測定した結果を図 3-21 に示す。

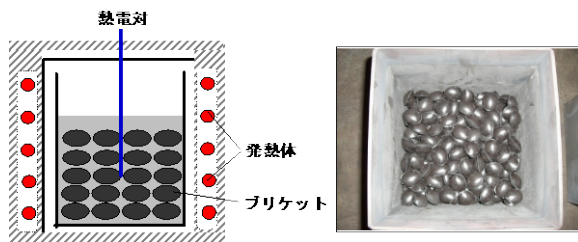


図 3-20 ラボ乾留炉概略図と成型物充填状態

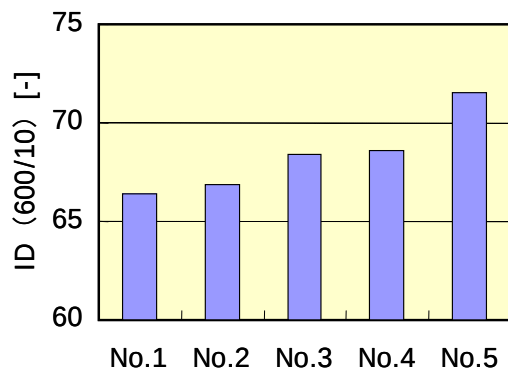


図 3-21 フェロコークスのⅠ型強度

ASP を 2% 使用した No. 1 が最も強度が低く、ASP を 1% ずつ順次、新規バインダーと振り替えるとともに強度は増加し、低軟化点新規バインダー HPC2 を 2% 使用した場合 (No. 5)、ASP より 5 ポイント高い、高強度のフェロコークスが得られることがわかった。新規バインダーによるフェロコークスの強度向上をより大規模の試験で確認するため、フェロコークスパイロットプラントを用いて、同様の試験を実施した。その結果、パイロットプラントでの連続製造試験でも新規バインダーによりフェロコークスの強度が向上することが確認された。低軟化点で流動性に優れた新規バインダーを用いることで石炭粒子、あるいは鉄鉱石粒子間の接着が改善され、しかも、新規バインダーは亀裂の少ない緻密なコークスを生成するために、フェロコークスの強度向上に効果的であるものと推察された。

3) フェロコークスの強度支配因子の解明と強度向上指針の提示

フェロコークスの微細構造を明らかにするため、X 線 CT による三次元画像を解析する手法をフェロコークスに初めて適用した。

図 3-22 に X 線 CT 画像の一例を示す。この X 線 CT 画像を図 3-23 に示す手順にしたがい画像処理し、気孔、コークス基質、鉄鉱石由来の鉄の三成分に識別し、フェロコークスの微視構造を再現した。さらに、三次元の気孔壁厚分布をもとに、圧壊荷重印加条件下でフェロコークスに生じる

応力分布を三次元解析した。なお、本解析の解析領域は 4.5 mm、分解能は 32 μm である。

図 3-24 に新規バインダーの配合割合が異なるフェロコークス試料 (配合率 0-15%) の気孔壁厚さ分布を測定した結果を示す。新規バインダーを配合したフェロコークスは、未配合のコークスと比較して、気孔壁が厚い基質の割合が増加していることがわかる。そのため、新規バインダーは石炭粒子の接着改善に寄与している

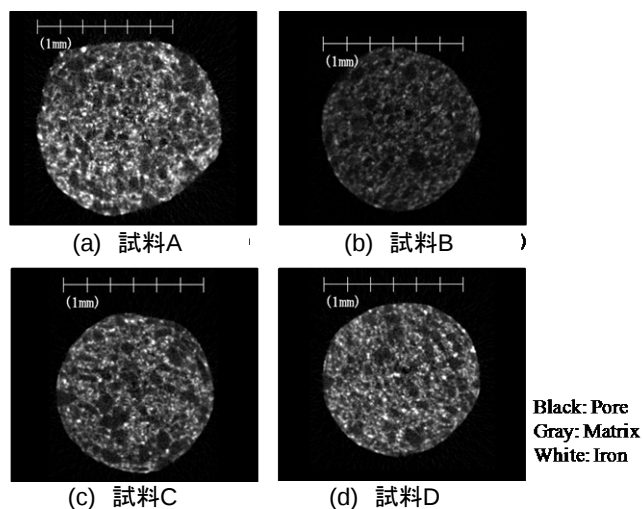


図 3-22 フェロコークスの X 線 CT 画像

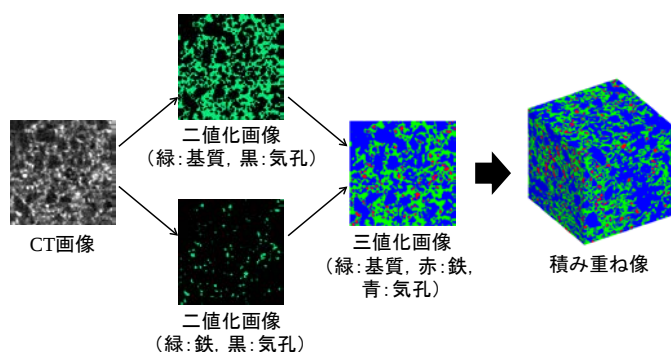


図 3-23 有限要素メッシュ生成までの手順

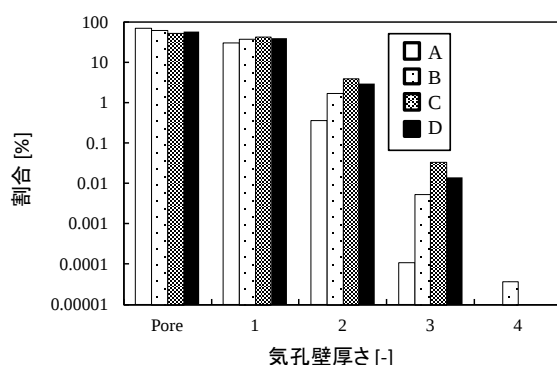


図 3-24 新規バインダー配合フェロコークスの三次元微視構造における気孔壁厚さ分布
バインダー割合 (%) : A 0、B 5、C 10、D 15

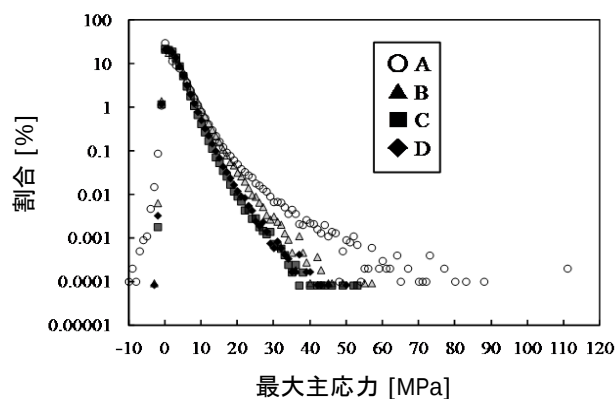


図 3-25 試料 A-D の最大主応力分布

ことが確認された。フェロコークスにおける破壊現象を微視的に解析するために圧壊荷重下での最大主応力分布を X 線 CT 画像の三次元応力解析により推定した結果を図 3-25 に示す。新規バインダーを配合したフェロコークスにおいて最大主応力が減少する結果が得られた。これは、新規バインダーの配合により、応力集中の起きやすい気孔壁が薄い部分の割合が低下したためであると考えられる。

以上の結果から、フェロコークス強度の支配因子として気孔壁厚さ分布が重要であることを示し、新規バインダーの添加により石炭粒子同士の接着性が改善され気孔壁が薄い部分の割合が低下するために応力集中が軽減され強度が向上することが示された。

強度向上指針として、石炭粒子の接着性をより一層改善することが重要であり、乾留過程において石炭粒子と相互に接着しやすい、流動性の改善された新規バインダーが有効であることを提示した。

②フェロコークスの製造プロセスの開発

②ー 1 実験室規模での適正乾留条件探索

図 3-26-1 に示す実験室規模の電気抵抗加熱方式乾留炉を用いた乾留実験を行い、フェロコークスの還元率、強度に及ぼす最高到達温度、最高到達温度での保持時間および昇温速度の影響を調査した。

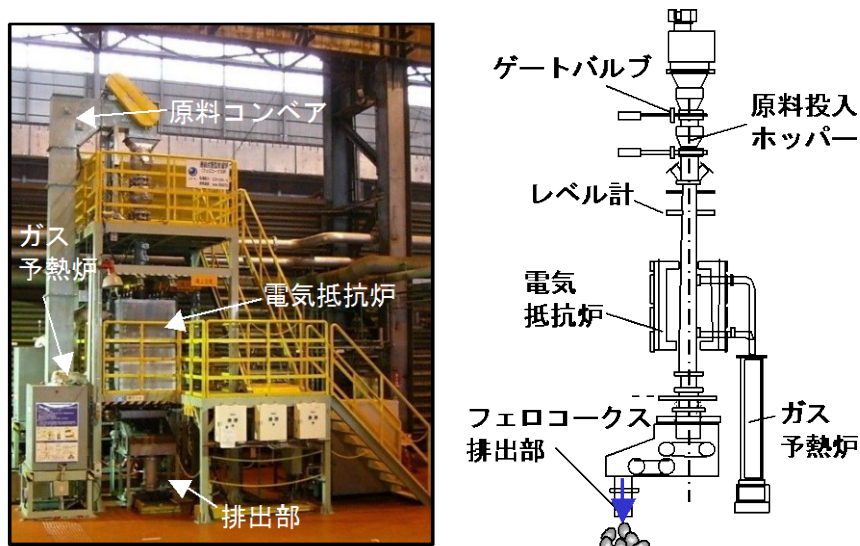


図 3-26-1 実験室規模 電気抵抗加熱方式乾留炉

その結果、図 3-27-1 に示すように還元率は炭中温度の上昇、乾留時間の延長とともに増加し、乾留後強度は乾留時間によって異なるが極大値を持つ、目標とする還元率、強度を得るためには以下の乾留条件での操作が必要であることが明らかとなった。

[還元率・強度を両立するための操作条件]

- ・ 最高到達温度：850℃、最高到達温度での保持時間：3 時間
- ・ 最高到達温度：900℃、最高到達温度での保持時間：1～2 時間

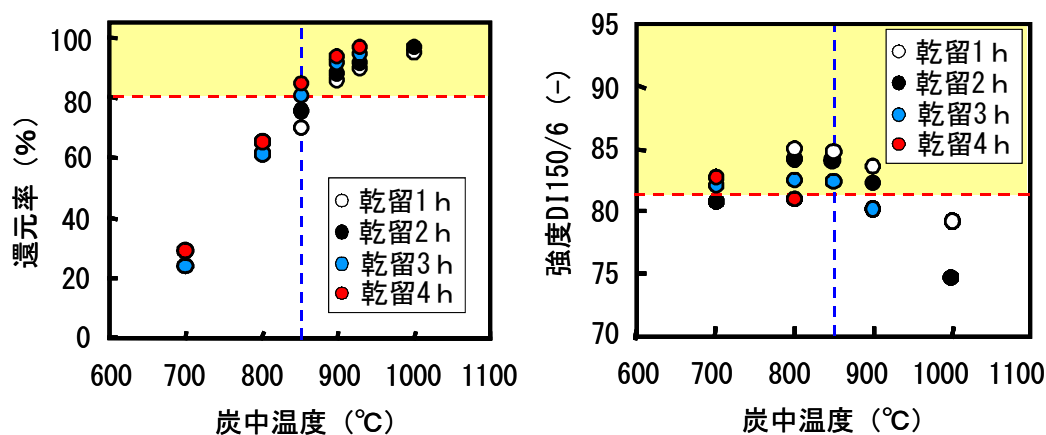


図 3-27-1 炭中温度と還元率・強度の関係

②-2 30t/d 規模パイロット堅型乾留炉の設計

(1) 炉高方向の温度分布制御

炉高方向の温度分布制御に関しては、平成 21 年度②-1 実験室規模での適正乾留条件探索において、実験室規模の電気抵抗加熱方式乾留炉を用いた乾留実験を行い、フェロコークスの還元率、強度に及ぼす最高到達温度、最高到達温度での保持時間および昇温速度の影響を調査した。その結果、目標とする還元率、強度を得るためには②-1 に示したような乾留条件での操作が必要であることが明らかとなった。

そこで 30t/d 規模パイロット堅型乾留炉の設計段階において、目標とする還元率・強度を得るために熱流体シミュレーションを実施した。シミュレーションでは、乾留炉内の温度分布、ガス流速分布を 3 次元で解析し、設備の適正化・操業条件の適正化を検討した。(図 3-26-2 参照) 炉内温度解析結果については、1 次元のシミュレーション結果との整合性を確認した。

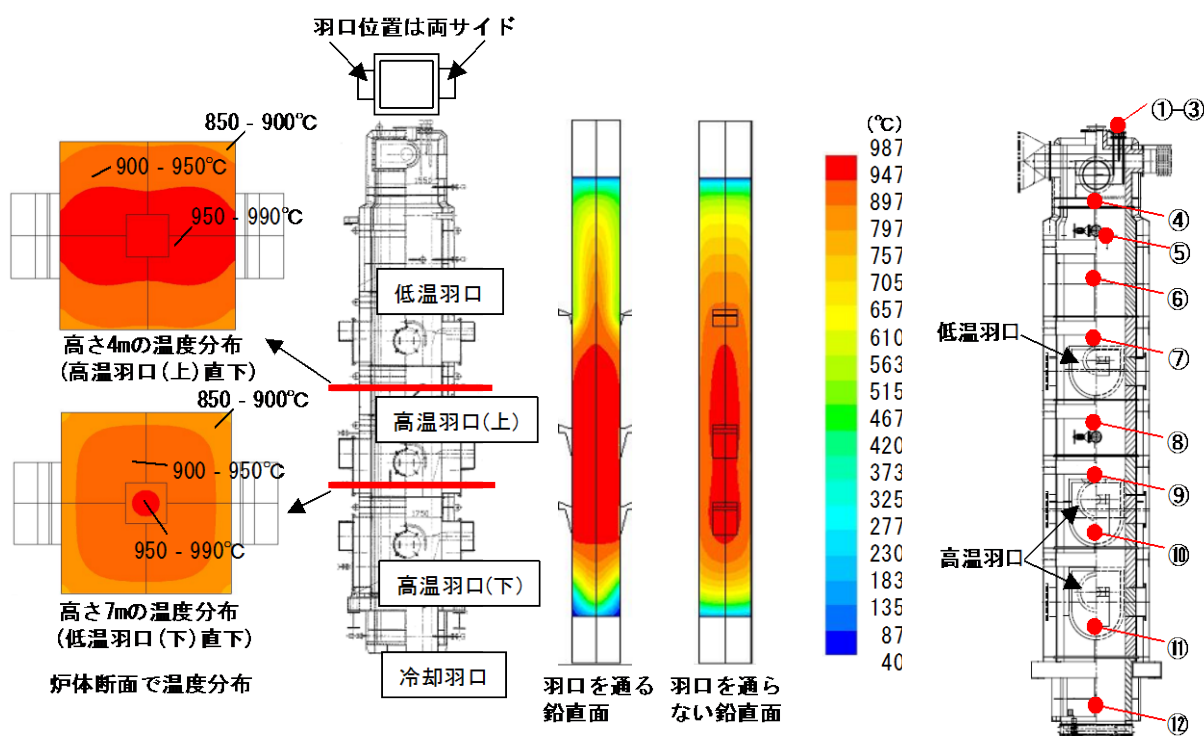


図 3-26-2 堅型乾留炉熱流体シミュレーション

図 3-27-2 温度測定位置

また、パイロットプラントでは炉頂に 3 箇所、高さ方向に 9 箇所に熱伝対を設置 (図 3-27-2 参照) し、実測データをシミュレーションに反映できるようにした。

(2) 金属鉄の再酸化を防止する乾式排出システムの構築

金属鉄の再酸化を防止する乾式排出システムの構築に関しては、平成 21 年度②-2 30t/d 規模パイロット堅型乾留炉の設計において、乾留後フェロコークスの冷却条件と還元率の関係を調査し、排出方法に反映させた。

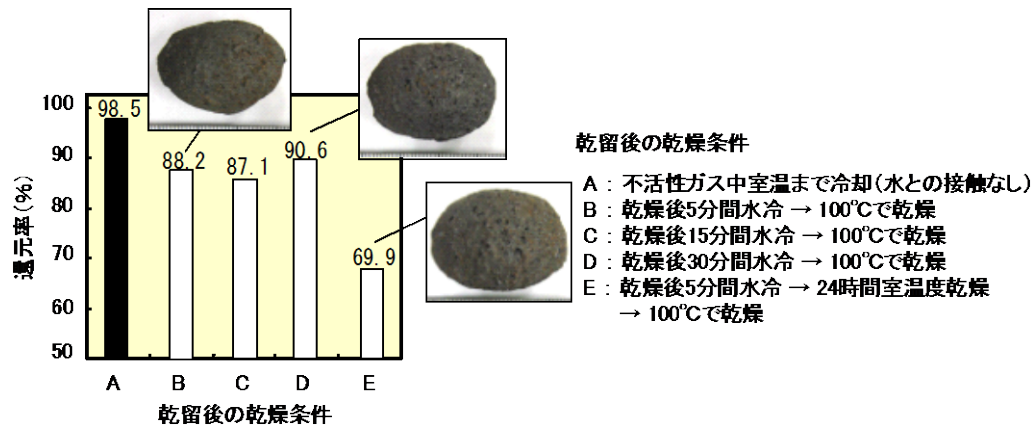


図 3-28 乾留後の乾燥条件と還元率の関係

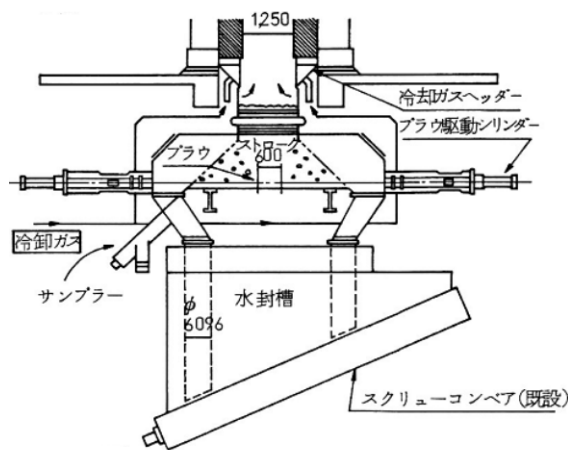


図 3-29 水冷式排出装置

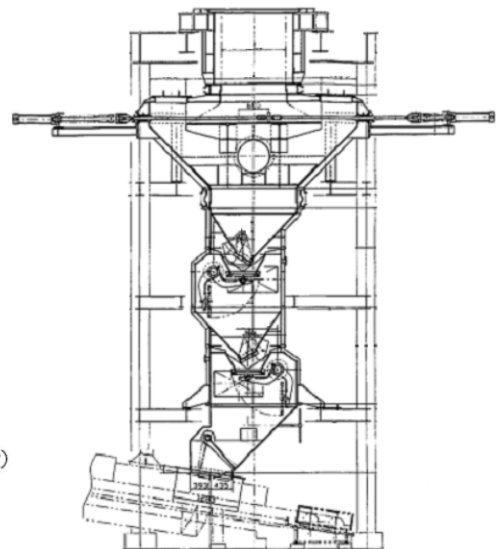


図 3-30 乾式排出装置

その結果、水との接触（水冷方式）により冷却時間を短縮することは可能であるが、水との接触が僅かな時間であっても乾燥後の還元率は低下し、水冷後乾燥しなかったものは更に還元率が下がることが明らかとなった。（図3-28参照）

過去に国家プロジェクトとして実施された連続式成型コークス製造法の開発（昭和 53～61 年）においては、乾留炉内と排出装置のガスシール性及び製品の冷却性を兼ね備えた排出装置として、往復プラウの下部に水封槽を設けた水冷式排出装置（図 3-29 参照）が採用されている。二つの機能を有する排出装置として非常に優れているが、フェロコークスのような金属鉄を含有する材料では、金属鉄の再酸化が懸念される。そこで今回のフェロコークス乾留設備の排出方式は乾式方式（図 3-30 参照）とした。

(3) 循環ガス成分がフェロコークス強度に与える影響

高温還元試験装置を使用して、循環ガス組成がフェロコークス強度に与える影響について調査した。試験条件としては乾留炉の高温羽口レベルを想定し、900℃、1000℃で行なった。(図3-31, 32参照)

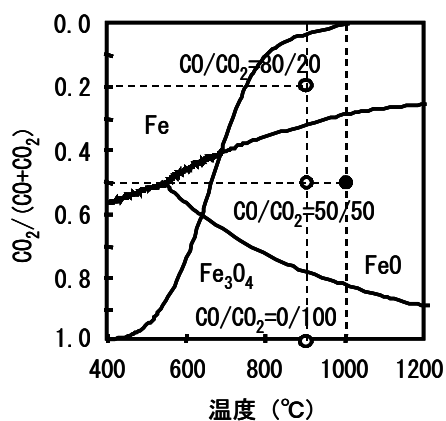


図 3-31 Fe-C 系状態図

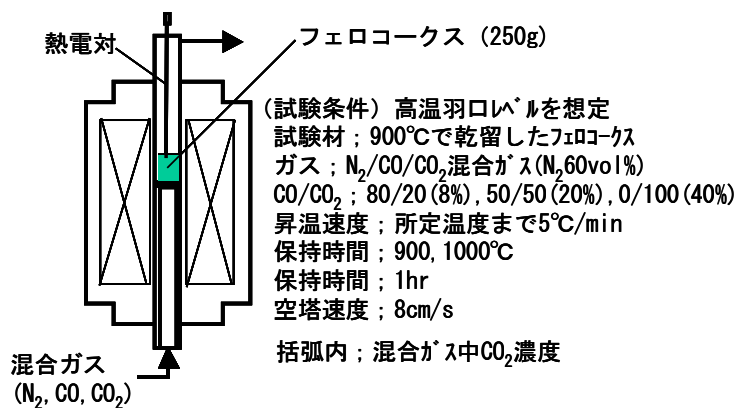


図 3-32 高温還元試験装置

循環ガスの代替として $N_2/CO/CO_2$ 混合ガスを使用した。混合ガス中の CO_2 濃度の上昇に伴い強度は低下し、その傾向は1000℃で顕著であった。(図3-33参照) さらに循環ガス中の水分の影響について調査を行なった。循環ガス同様、乾留炉の高温羽口レベルを想定し、900～1000℃で実施した。試験後のフェロコークス強度は、ガス中水分が高いほど強度低下が大きく、その傾向は温度が高い条件ほど顕著であった。(図3-34参照)

(1) ～ (3) および各要素技術の成果に基づき、循環ガス加熱によるパイロット型乾留炉の設計を実施した。

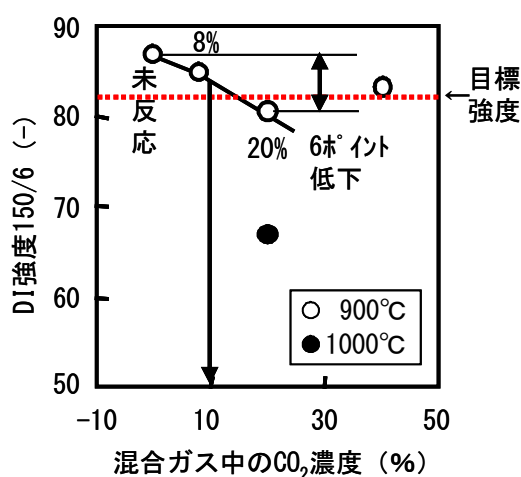
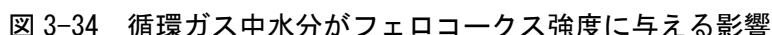


図 3-33 循環ガス中 CO_2 がフェロコークス強度に与える影響



(1) 30t/d 規模パイロット型乾留炉の建設

パイロットプラントの建設は、2011年3月末に据付完了を目標として、表3-9の工程に従って建設を行った。

[illegible]

パイロットプラントの建設にあたっては、2009年7月から原料・成型・乾留炉設備の設計を開始し、翌年12月、原料・成型設備は据付工事を完了し年度内に試運転を終了した。乾留炉設備も原料・成型設備と同時期に設計を開始したが、ガス精製設備などの付帯設備の据付工事を一部残し、2011年3月末までに炉本体の据付まで完了し、2011年4月から試運転を終了した。パイロットプラントは、JFEスチール東日本製鉄所構内（京浜地区）に設置されることになり、設計、機器の購入、据付工事等の業務はJFEスチール（株）が担当し実行した。パイロットプラントの建設予定場所の位置を図3-35に示す。

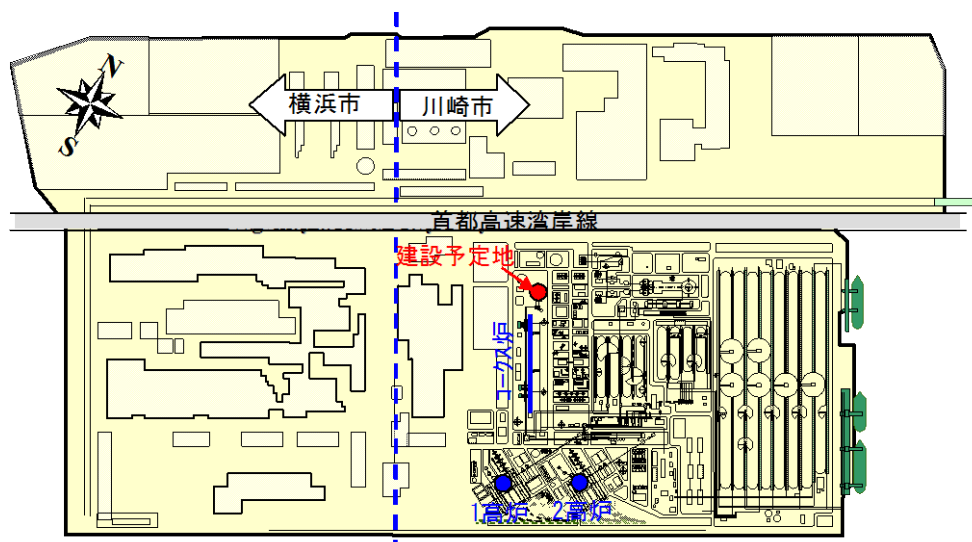


図 3-35 建設予定場所の位置（JFE スチール東日本製鉄所、京浜地区）

基礎工事は 2010 年から実施し、予定通り同年度末までに乾留炉本体までの据付工事を完了（図 3-36 参照）した。



図 3-36 パイロットプラント全景

(2) 成型・乾留一貫製造試験

耐火物乾燥後、小塊コークスを充填した状態での作業条件の検討試験を行ない、フェロコークス生産量 30t/d での羽口条件で少量乾留試験を実施した。その結果、羽口温度が目標温度に到達しないことが判明した。様々な検討を行った結果、循環ガスダクトの断熱性能を向上させることが必要であることが明らかとなった。各羽口の目標温度到達を達成するために、キャストブルの熱伝導率を約 1/4 としたダクトに改造し、さらにダクトの接続方法もバンド溶接からフランジ継ぎ手に変更することで所定の目標温度に到達した。

ダクト改造後、乾留炉への装入物を小塊コークスから成型物に切り替え、成型物の大量乾留時におけるフェロコークスの品質および操業への影響調査を実施した。成型物投入前の作業条件は、低温羽口温度 500℃、高温羽口温度 940℃、高温羽口風量 1,800Nm³/h、冷却風量 940Nm³/h であった。小塊コークスを全て乾留炉内から排出し、成型を開始して 19t の成型物（約 12t で乾留炉内が成型物で充填）を炉内へ連続投入した。成型物降下速度 30t/d 相当での乾留炉送風温度推移を図 3-37 に示す。成型物投入後、高温羽口の温度が約 30℃低下した。成型物投入開始直後から成型物からのガス発生が認められ、発生ガス中のメタンが昇温バーナー内で熱分解したためと推察される。循環ガスの EP 出側組成は、定常状態で水素 19.2%、一酸化炭素 7.8%、二酸化炭素 5.5%、メタン 7.3% であった。発生ガス量に応じて放散弁の開度が調整され、炉頂圧は目標の 1.2kPa を保持し、炉頂圧制御に問題は認められなかった。炉頂温度は、計画値通り約 315℃を保持した。

大量の成型物を投入する場合、発生タールが炉頂付近の成型物表面に吸着し融着する恐れが懸念された。しかし、融着したフェロコークスの排出は認められず、炉内圧力はほぼ一定でフェロコークスが安定に切出されることを確認した。フェロコークスのドラム強度（150 回転、6mm 指数）は、目標値 82 以上に対し 79-82 とほぼ同等であった。還元率は目標値 70% 以上に対し、80-93% と十分であった。ダクトの改善により高温羽口温度が上昇したことに加え、大量の成型物を投入した場合、還元性のガスである水素や一酸化炭素が成型物から連続的に放出されるため、炉内が強還元雰囲気であったと推察される。

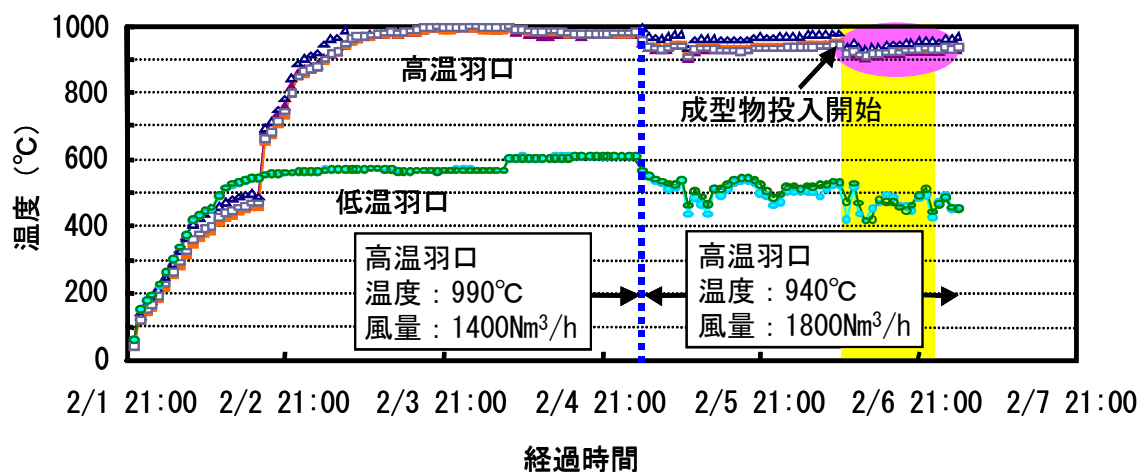


図 3-37 大量乾留試験時の温度推移

②-4 長期製造試験と品質評価

(1) 連続操業試験のための設備増強

各羽口での循環ガス温度の低下を抑制するために循環ガスダクトの改造において誠意検討し、各羽口先での目標温度を達成することができた。ダクト改造後、試験操業を行ってきたが安定的に長期連続操業を実施する上で改善が必要と考えられる設備あるいはプロセスが判明した。そこで、安定した長期連続操業試験を実施するために、試験操業間の定修期間において以下の項目の設備増強を検討した。操業試験・定修の当初計画を表 3-10 に示す。

表 3-10 操業試験・定修の当初計画

	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
計	安定操業技術の確立		高炉使用試験用フェロコークスの備蓄・製造技術の向上								
	製造技術の確立										
画	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
	第1次操業	第2次操業	第3次操業	第4次操業	第5次操業	第6次操業	第7次操業				高炉使用試験
		●	●	●	●	●	●	●	●		
		定修1	定修2	定修3	定修4	定修5	定修6				

1) 鉱石の配合率制御向上のための設備改造

ラボ試験で実施した石炭および鉱石の総重量中の鉱石重量率とフェロコークスおよび成型物強度との関係を表したグラフを図 3-38 に示す。鉱石重量率の上昇に従い、両強度とも低下傾向にあることが分かった。鉱石重量率の調整は重要と考えられる。第 3 次操業までの試験では、鉱石および石炭の切出し量を中間ホッパー底部の切出しコンベアおよび秤量コンベアで調整し、図 3-39 の黒線で示した概略図に示すように粉碎後石炭と鉱石をフライトコンベアで混合し、乾燥機およびサージホッパーを通して混練機へ搬送していた。図 3-40 に成型物中の鉱石重量率の推移を示す。鉱石重量率の設定は 30%であったが、実測値は 27~32%までばらついていた（第 3 次操業：8 月 1 日~8 月 9 日）。比重の異なる石炭および鉱石混合物をフライトコンベア、乾燥キルンおよびサージホッパーへ搬送中に比重差で分離したと推察される。そこで、図 3-39 の赤線で示すように鉱石と粉碎炭を混練機直前で混合する、すなわち鉱石別送ラインを増設した。石炭とは別に鉱石単独で網目 3mm の振動篩で篩った後、乾燥機へ通して鉱石サージホッパーで貯鉱した。図 3-40 に別送化による鉱石重量率の推移を示すが、28~30%に変動が抑制されることがわかった（第 4 次操業：8 月 25 日~9 月 8 日）。図 3-41 に成型物強度と成型物中鉱石重量率の関係を示す。鉱石別送ラインを設置して成型物中の鉱石重量率の変動を抑制したことにより、成型物強度のバラツキ抑止および平均強度の上昇を確認することができた。

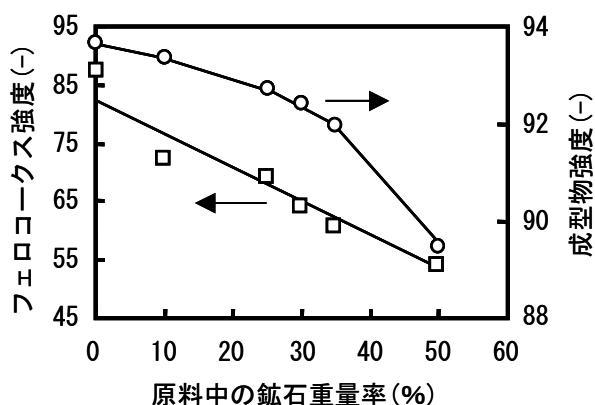


図 3-38 フェロコークス・成型物の強度と鉱石配合比率

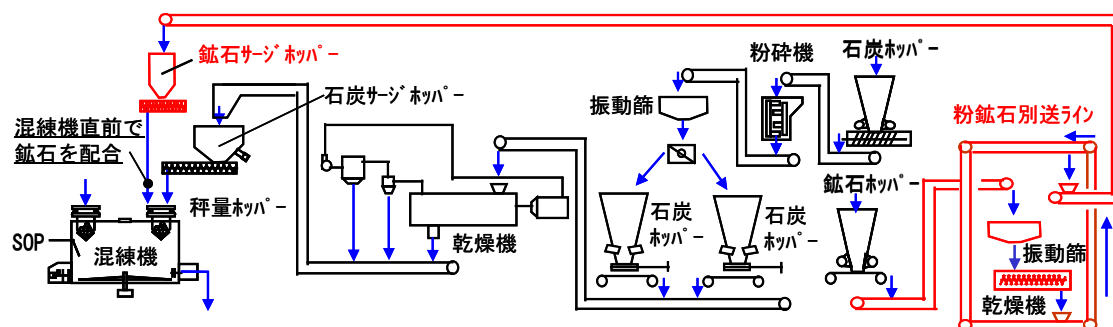


図 3-39 粉鉱石別送ラインの装置概略図

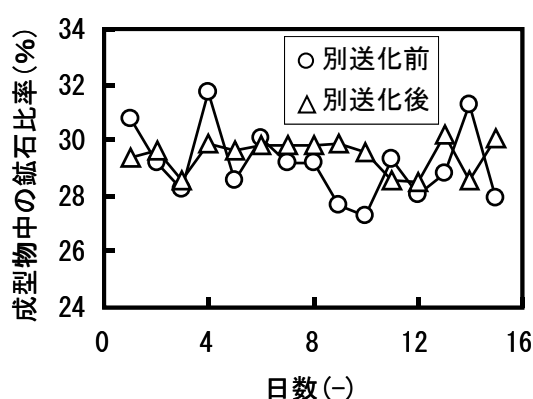


図 3-40 成型物中の鉱石比率の推移

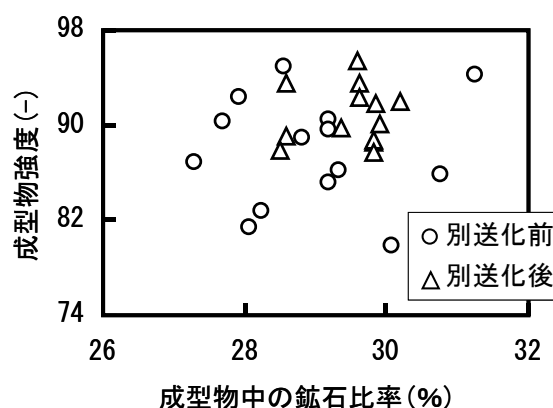


図 3-41 成型物強度と成型物中鉱石比率

(2) 長期操業試験の概要

パイロットプラントの成型-乾留連続操業試験は、2012 年 5 月に操業を開始し、2013 年 2 月に終了した。この試験は、10 ヶ月間に 7 次に亘る試験操業を実施した。全期間における操業日数は延べ 197 日、フェロコークスの総生産量は、3,417t、このうち高炉使用試験のサンプル量は 2,100t に達した。

5 月中旬～下旬にかけて実施した第 1 次操業では、原料供給・乾燥設備からの原料供給量、成型設備での原料受入れから成型物排出までのサイクルタイムおよび乾留炉本体での乾留時間を詳細に検討し、物量をバランスさせ、安定操業技術を確立した。さらに、6 月中旬から下旬にかけて実施した第 2 次操業においては、途中台風の影響で操業停止を余儀なくされた以外は特に大きなトラブルもなく、石炭の粉碎粒度、成型設備への原料供給温度、成型ロールの圧力・回転数および乾留における操業条件を検討し、製造技術の確立を目指した。第 3 次操業から高炉使用試験用サンプルの備蓄生産を開始し、第 7 次操業の終了まで継続した。各操業の合間に、定修期間も設け機器の清掃、不具合部分の修理、試験操業適正化のための設備改造などを実施した。第 2 次操業後の定修では、1) で示したように原料配合比率を均一化するために鉱石搬送ラインの改造工事を実施した。

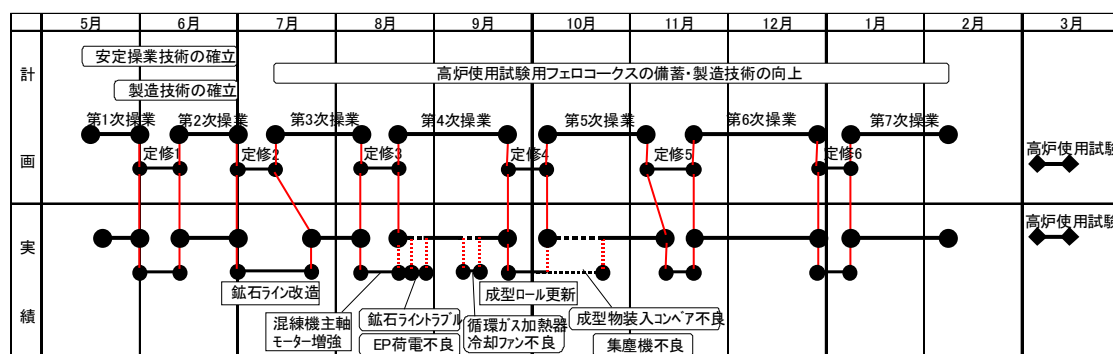


図 3-42 パイロットプラントの操業試験の経過概要

第 3 次操業は、7 月中旬からの試験操業開始であったが、開始早々、高温羽口西側の昇温バーナーが失火するトラブルが発生した。解体調査したところ、燃焼室に発生した約 20cm のカーボンの塊が火災検知器を遮る形で存在していたためと判明した。その他、改造した鉬石搬送ラインのトラブル、鉬石切出しコンベアのテンションロールの脱落などトラブルが頻発したため、試験操業の再開は 7 月下旬まで延びることとなった。第 3 次操業後の定修では、鉬石搬送ラインの不具合を解決すべく改造工事を実施し、再度、鉬石搬送ラインの別送化を試みた。さらに、第 3 次操業まで使用していた混練機の主軸モーターは、長時間の連続成型では負荷電流値が高い値を示し、今後さらなる連続成型において、焼き付く可能性があるため、容量が大きいモーターに更新した。

第 4 次操業では、操業開始初期段階で電気集塵機の荷電不良等のトラブルがあったが、特に大きなトラブルもなく、これまで最長 30 日間の連続操業を達成した。定修では、これまで同様、乾燥キルン・混練機・炉本体・ガス精製など主要設備の内部の点検・清掃を行った。

第 5 次操業においては、成型-乾留連続操業を開始してから約半年ということもあり、駆動系のベルト・チェーンの破断やベアリングの損傷など劣化による不具合が頻発するようになったが、操業日程が大幅に遅れることなく試験操業を継続することができ、連続操業日数は 41 日に達した。第 6 次・第 7 次操業の期間においては、乾留設備の停止時間もなく、高炉使用試験用サンプルを目標量製造し試験操業を完了した。

(3) 操業実績（第 7 次操業）

第 7 次操業では、956t の原料石炭を使用し、1,423t の成型物を製造した。原料石炭の配合比率は、微粘炭 60wt%、非粘炭 40wt% で開始したが、途中、微粘炭の MF（最高流動度）に変化があり、融着防止のために微粘炭の配合比率を 55wt% まで下げて操業を実施した。

表 3-11 に第 7 次操業の成型条件および乾留条件を示す。

表 3-11 第 7 次操業の成型条件および乾留条件

バインダー	ASP (wt%)	2.2	高温羽口	風量 (Nm3/h)	2187.1
	SOP (wt%)	3.7		温度 (℃)	843.4
混練機	1速 (秒)	31.0	冷却羽口	風量 (Nm3/h)	2430.5
	2速 (秒)	64.9		温度 (℃)	49.1
	3速 (秒)	131.6	抽出羽口	風量 (Nm3/h)	1421.2
ロール	回転数 (rpm)	2.3		温度 (℃)	128.8
	圧力 (t)	103.3	製品切出し速度 (t/d)		27.5~32.5

成型物の製造にあたっては、これまでの試験操業の実績に基づき、成型用原料を 200kg/チャージに固定し、混練時間は約 5 分間とすることを基準条件として成型を行った。試験操業中、原料搬送コンベアのトリップ、粉碎機のインバーター異常などの現象がおきたため、炉頂から成型物ではなく排出されたフェロコックスを装入し、炉頂のストックラインレベルを維持する操業を実施した。試験操業期間後半では、成型ロールの磨耗が激しくなってきたため、成型ロールの圧力を 105t から 95～98t に下げて成型を行った。成型圧を 105t で操業していた操業開始日から 1/30 の成型物の平均強度は 93.3、成型圧を 95～98t に変更してから操業最終日までの平均強度は 93.6 であり、成型圧変更による強度への影響はなかった。

乾留トレンドデータを図 3-43 に示す。乾留炉の操業にあたっては、昨年度の操業実績に基づき、製造量を 27.5～30.0t/d とし、過乾留を抑制するために高温羽口温度を 50℃程度下げ、850℃前後に設定することを基準条件として乾留を行った。原料・成型設備のような大きなトラブルもなく、第 7 次操業終了まで比較的安定な操業を継続することができた。操業期間は、1 月 8 日～2 月 6 日までの 30 日間、この間 740 t のフェロコックスを製造し、目標強度 DI150/15>81 を超えたものが 693 t（歩留 93.5%）で目標製造量に達し、試験操業を終了した。

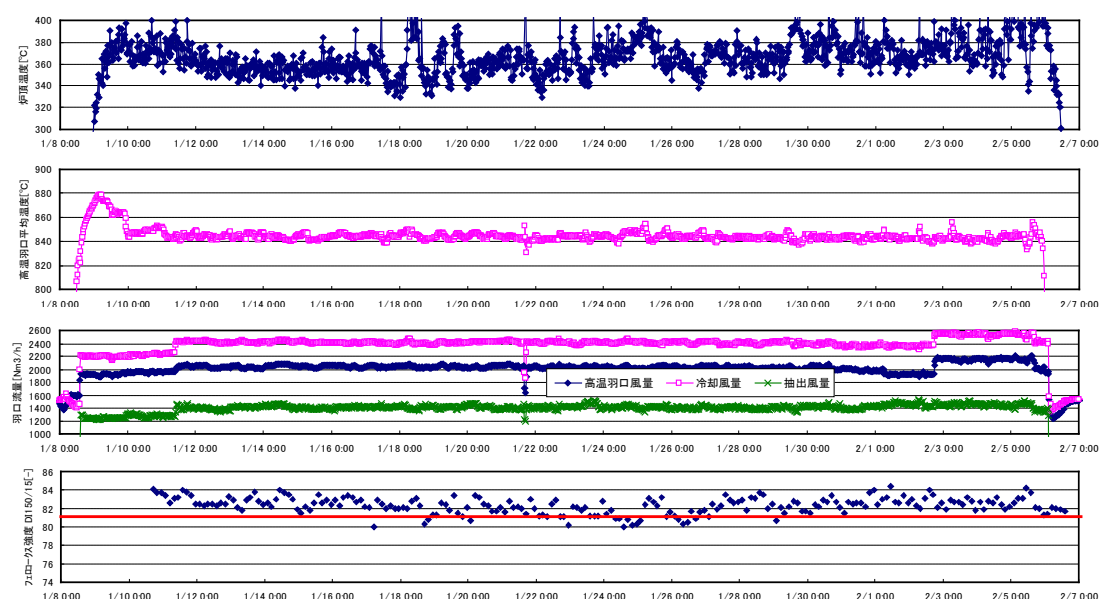


図 3-43 第 7 次操業 乾留関連トレンドデータ

（４）製品排出装置 往復動プラウの劣化状況

フェロコックスは、金属鉄を含有するため水に濡れると再酸化され錆びが発生する。そのため、金属鉄の再酸化を防止する乾式排出システムの構築に関して、平成 21 年度②-2 30t/d 規模パイロット型乾留炉の設計において、乾留後フェロコックスの冷却条件と還元率の関係を調査し、排出方法に反映させた。その結果、図 3-44 に示すように、往復動プラウの下部に二重シール弁を二段に設置した乾式排出装置を採用した。

乾留設備において、耐火物の劣化状況の次に注力すべき劣化損耗部位として、往復動プラウが挙げられる。そこで今回、第7次操業終了後、往復動プラウの堰部分の磨耗状況の確認を実施した。2012年5月に操業を開始し、2013年2月に終了するまで、この間、往復動プラウの操業日数は延べ181日間、実稼動時間は4,165時間であり、フェロコークスの生産量は、3,417tであった。図3-45に乾式排出装置上部の往復動プラウを示す。往復動プラウはテーブル(1,350mm x 2,623mm)上の高さ200mm、幅50mm、長さ1,344mmの堰を両サイドの油圧シリンダーで交互に引っ張り、紙面上左右に動かし、乾留炉からは排出されテーブル上に安息角で堆積するフェロコークスをテーブルの左右端部から掻き落とす構造となっている。

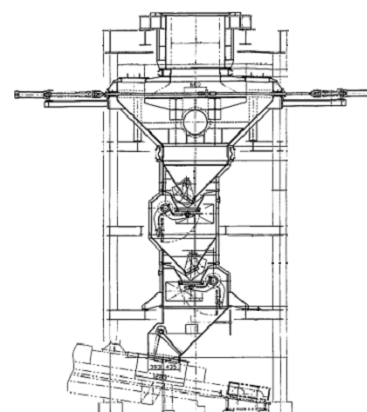


図 3-44 乾式排出装置

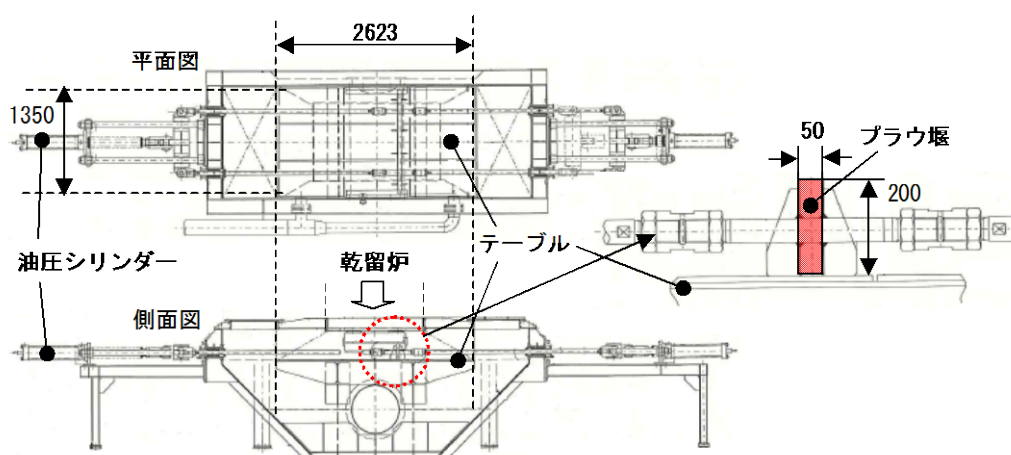


図 3-45 往復動プラウの平面図および側面図

プラウの損耗状況は、平面図の下部から上部に向けて堰の幅および高さを測定した。測定結果を図3-46に示す。測定の結果、プラウ堰の壁側両サイドは、1.5mm~2.0mm程度の磨耗が確認されたが、中央部は5.0mmと両サイドの約2倍の磨耗が確認された。最も磨耗が激しかった中央は、今回の生産量の4倍程度でプラウ堰をサポートしている留め金具に達するため、約2年程度でのプラウ堰の更新が必要と考えられる。

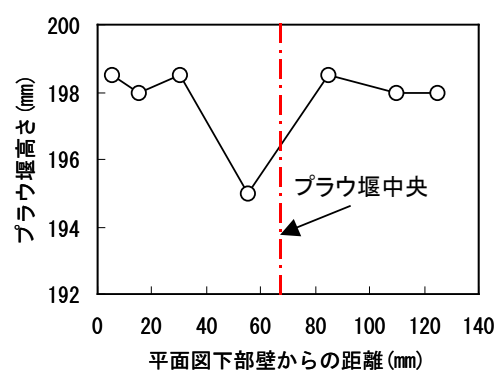


図 3-46 プラウ堰高さ測定結果

（５）高炉への試験装入

１）小型炉での装入試験

大型高炉での使用試験に先立ち、通気性への影響に関する味見試験として、小型の縦型精錬炉（内容積 140m³）へのフェロコックス装入を実施した。

試験で使用した縦型精錬炉は、高炉に比べて酸化鉄原料の CO ガス還元による比率が小さく、カーボンによる直接還元の比率が大きい。結果として、炉頂ガス中の CO₂/(CO + CO₂) の値は、高炉では 0.5 前後であるが、縦型精錬炉では 0.05~0.08 という特徴を有する。

フェロコックスの縦型精錬炉への投入経路を図 3-47 に示す。パイロットプラントで製造した製品は 1m³ の袋（フレコン）詰め状態で倉庫に保管および、炉近傍へ運搬した。所定の頻度で袋を開封し、酸化鉄原料を投入するホッパーに投入した。該ホッパーから切り出される際にフェロコックスと酸化鉄原料が混合して炉頂へ搬送され、炉内に投入される。

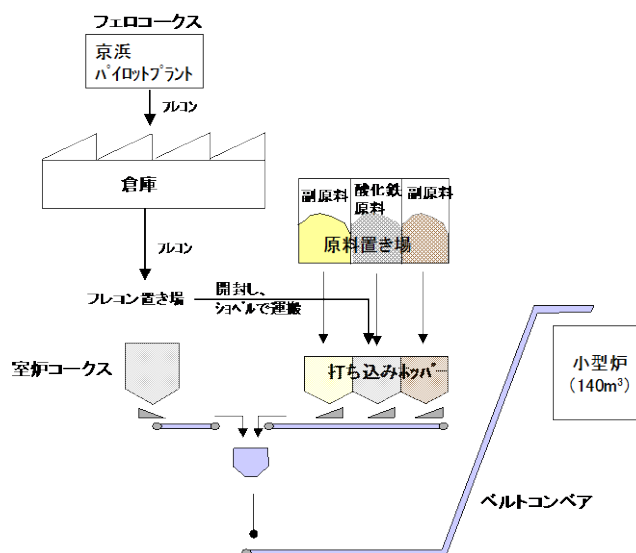


図 3-47 小型炉へのフェロコックス投入フロー

２）小型炉でのフェロコックス使用結果

性状の異なる 2 種類の酸化鉄原料を用いた操作をベースとし、フェロコックスを使用した際の通気抵抗の変化を調査した。酸化鉄原料 1（粉状の酸化鉄を塊成化）使用時には最大 78kg/t、酸化鉄原料 2（焼結鉱）使用時には最大 113kg/t のフェロコックスを使用した。結果を図 3-48 に示す。いずれも、フェロコックス使用時の通気抵抗の上昇は認められなかった。従って、フェロコックスは炉内で通気性に影響するような粉化は起こさなかったと推察される。

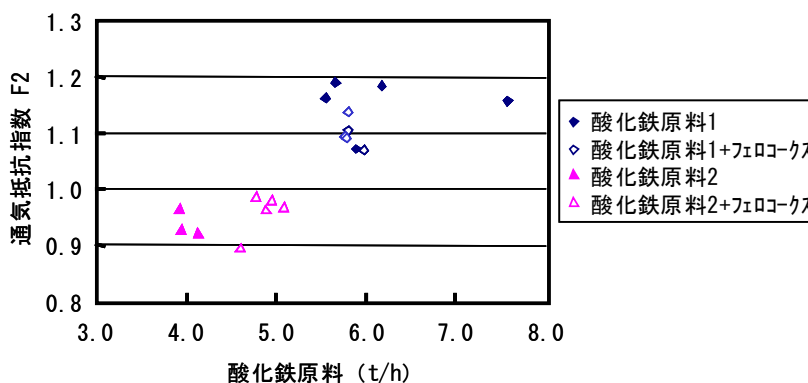


図 3-48 フェロコックス使用時の炉内通気抵抗指数

3) 大型高炉での装入試験方法

高炉へのフェロコークス投入は図 3-49 に示す経路で実施し、焼結鉱と一緒に高炉に投入されるようにホッパーから装入ベルトコンベア上に切り出した。通常のコークスはこれらとは別のタイミングで高炉へ投入する。フェロコークス使用量を徐々に増加させ、フェロコークス使用前に対するガス利用率、通気抵抗の変化を調査した。

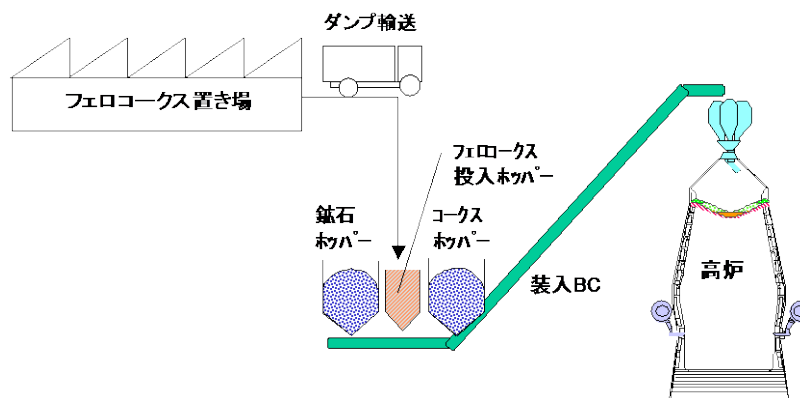


図 3-49 高炉へのフェロコークス投入方法

4) フェロコークス装入時の高炉操業要因変化

図 3-50 にフェロコークス使用時の操業推移を示す。延べ5日にわたってフェロコークスを高炉に装入し、溶銑温度を維持しながら還元材比の低減が確認できた。また、炉内の通気抵抗への悪影響は認められなかった。

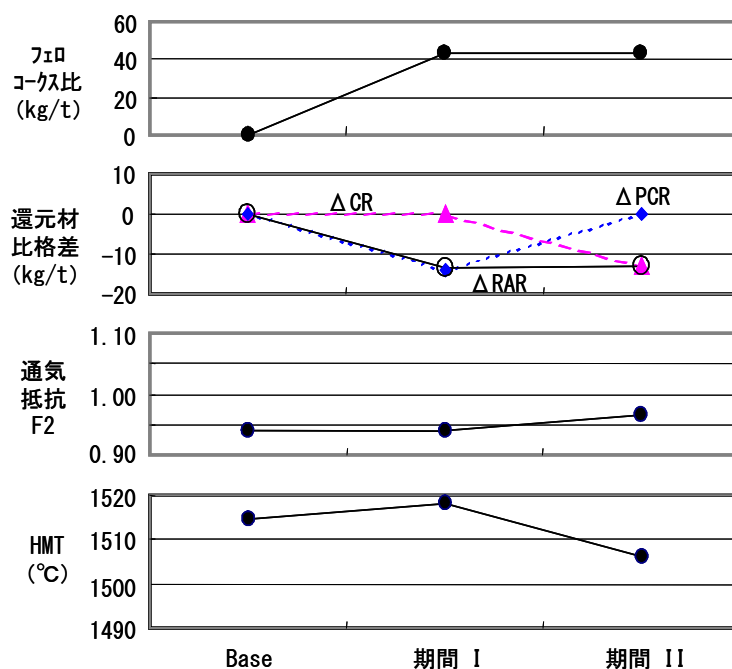


図 3-50 フェロコークス使用時の操業推移

②ー5 豎型乾留炉の流動シミュレーション

(1) 豎型乾留炉の流動シミュレーション

フェロコックスを豎型乾留炉で乾留する際は、粒子個々の滞留時間の偏差をミニマムにすることが望ましい。スケールアップの指針を得ることを目的として、離散要素法による炉内流動シミュレーションモデルを開発した。前年度までに開発した離散要素法モデルを活用し、スケールアップモデルを開発するとともに、排出口の形状、排出方法が滞留時間分布に及ぼす影響、炉内支柱の粒子降下挙動への影響など炉体構造などの影響を検討した。

1) スケールアップモデルでの流動解析

フェロコックス炉プラントのスケールアップを考慮し、前年度に行った矩形豎型乾留炉を並列に5ユニット並べた形状の装置を計算の対象にした。図3-51に単一ユニット内のトレーサ分布を示す。単一ユニットでは壁の影響が大きく、壁際の粒子の降下が著しく遅れていることが判る。図3-52は、5連ユニットのトレーサの3次元透視図を示す。5連ユニットの中間部では、2面の壁の影響を受け、他の面では隣接するユニット内の粒子と接するため直接壁の影響を受けない。結果として、5連ユニットでは端部のユニットを除いてほぼ均一な降下挙動を得ることができる。

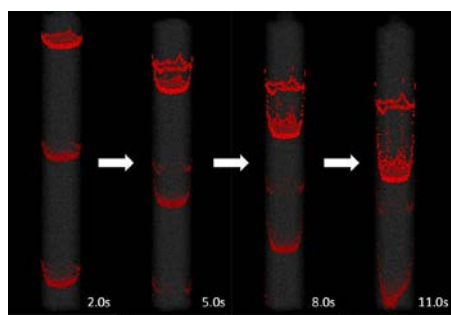


図 3-51 単一ユニットの降下挙動

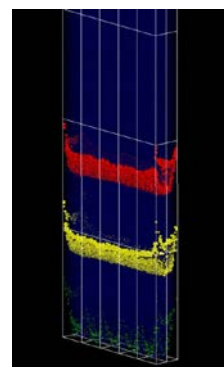


図 3-52 5 連ユニットの降下挙

2) 排出口形状の粒子降下挙動への影響

5連ユニット炉体形状で、下部の排出口を各ユニット毎に設置したケース (a)、連結した排出口を設置したケース (b) について、粒子降下挙動への影響を計算した。図3-53に計算結果を示すが、炉中部に設置したトレーサ (赤) は両ケースにおいてほぼ同一の降下速度分布となる。一方、下部、排出口近傍のトレーサ (黄色) は (a) においては各排出口への流れが生じて降下速度分布が生じるが各ユニット間では比較的均一降下となる。一方、(b) では、中央部が速く降下する降下速度分布が得られる。このようにスケールアップモデルを用いて、均一な粒子滞留時間分布を得るための各ユニット毎の排出速度分布の検討、また、排出部の構造 (各ユニット間へのテーパ部の有無)、炉内支柱が粒子降下、粒子の粉化に影響すると考えられる応力分布下部に及ぼす影響を検討し、スケールアップの指針を得ることができた。

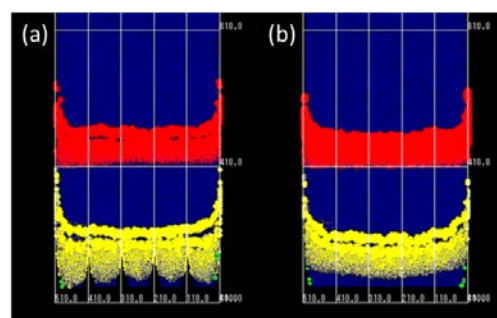


図 3-53 排出口形状が粒子降下に及ぼす影響

③ フェロコークスによる高炉操業プロセス開発

③-1-1 高炉内反応平衡制御手段の提示

フェロコークスをより効果的に使用するための最適装入条件の評価を目的に、BIS 炉 (Blast furnace inner reaction simulator) を用いた還元試験を実施した (図 3-54)。さらに、実層厚還元試験を実施し、鉱石層内へのフェロコークス混合が鉱石還元率に及ぼす影響について評価した。

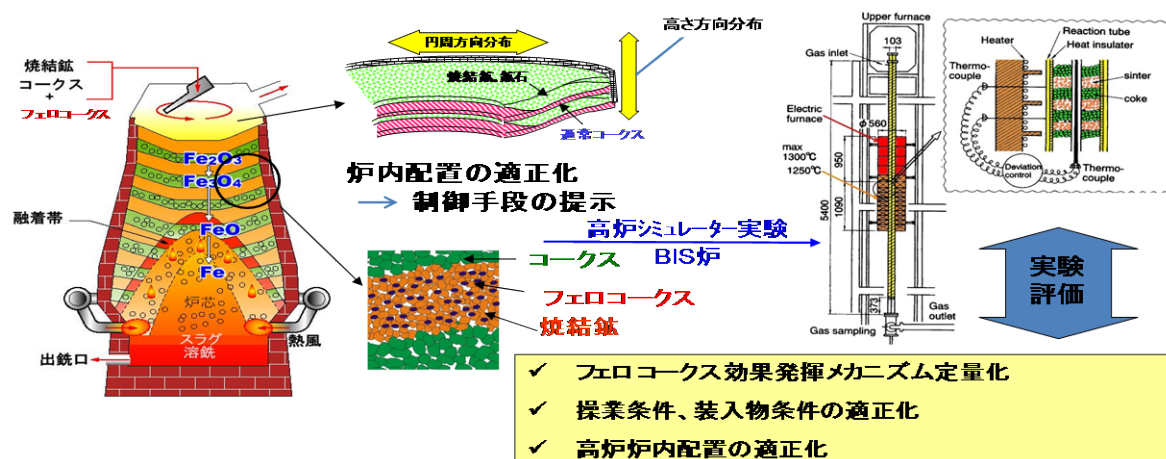


図 3-54 フェロコークスによる高炉操業プロセス開発の概要

オフラインで製造したフェロコークスの装入配置条件を変化させた、BIS 炉試験を実施した。フェロコークスを 158kg/tp 装入する条件において、装入位置を変化させた。いずれの装入条件でも、フェロコークスを混合した場合の熱保存帯温度はベースに対して約 100℃低下しており、特に鉱石層に混合した条件の保存帯低下幅が大きかった (図 3-55)。フェロコークスを鉱石層へ均一あるいは上層へ偏析させた場合、ヘマタイト基準に補正したガス利用率はベースと比較して 3%程度高い値となり、シャフト効率は 3~4%程度向上した。この変化幅から、還元材比低減効果は 12.6kg/t と試算された。

一方、フェロコークスをコークス層内に装入した場合 (KA-04) は、鉱石層内に装入した場合と比較し

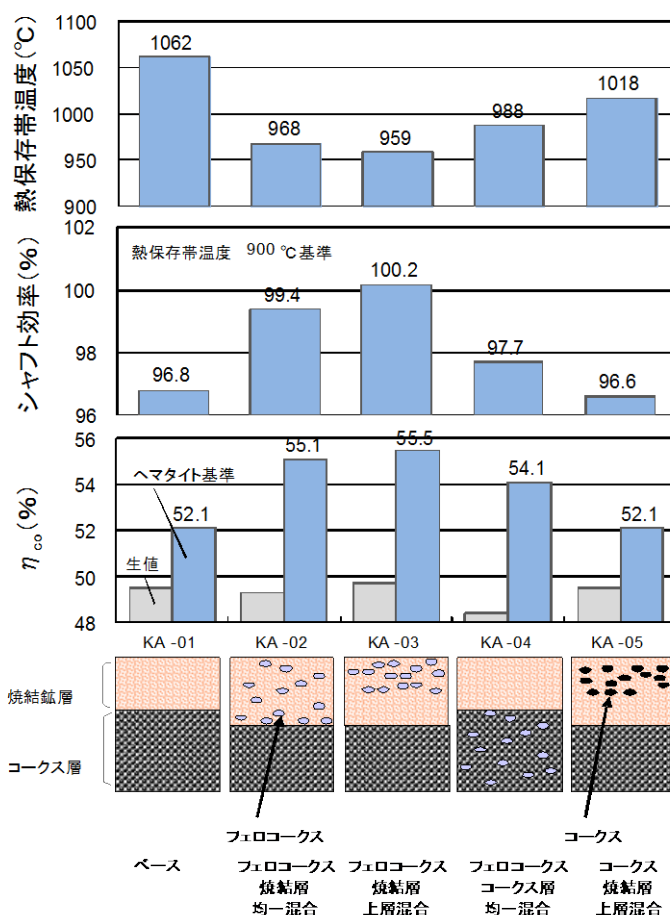


図 3-55 BIS 炉試験結果

	1	2	3	4
	ベース	フェロコークス 焼結層均一混合	フェロコークス 焼結層下層混合	フェロコークス 焼結層上層混合
装入・配置条件				
焼結鉱装入量(g/ch)	1392	1328	1328	1328
コークス装入量(g/ch)	300	210	210	210
フェロコークス装入量(g/ch)	0	134	134	134

図 3-56 実層厚試験水準

て保存帯温度低下幅が小さく、ガス利用率向上代も小さかった。

以上から、フェロコークスは、CO₂ 濃度が高い鉱石層内に装入することにより、低温からの反応量が増加し、熱保存帯温度低下幅が増加すると考えられる。

高炉内の実層厚（炉腹部位で 300～350mm）における最適配置条件提示のために、実層厚還元試験を実施した（図 3-56）。フェロコークスを使用していないベース条件は、ガスの還元ポテンシャルが高い焼結層下層の還元率は高く、上層の還元率が低かった（図 3-57）。

一方、フェロコークスを鉱石層に均一に混合した場合は、層内全域の焼結鉱還元率が全体的に向上した。フェロコークスを偏在させると、フェロコークスを混合した部位の焼結鉱の還元率が向上した。焼結鉱の層全体の平均還元率は、何れの水準もベース条件よりも焼結鉱還元率は 15% 程度高位であったが、特にフェロコークスを焼結層内に均一、或いは下層に混合した場合に高位であった（図 3-58）。

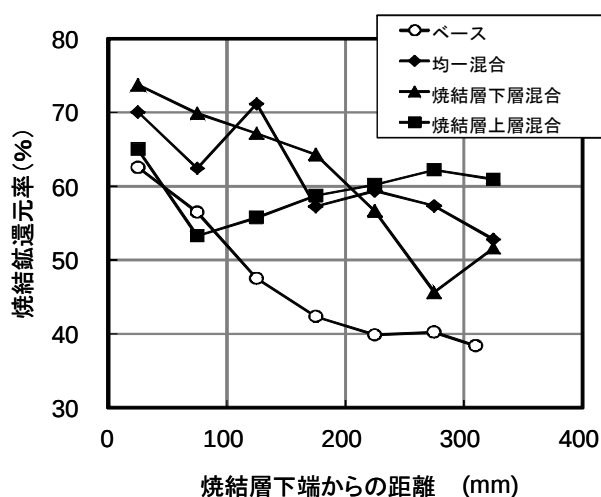


図 3-57 実層厚還元試験での還元率分布

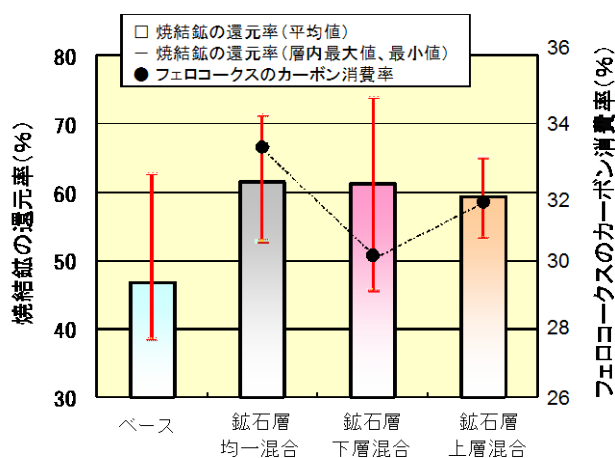


図 3-58 実層厚還元試験での焼結鉱還元率

③－１－２ 高炉内反応効率改善のための操業条件の適正化

フェロコックス使用時焼結

鉱の具備すべき気孔構造や内部融液発生条件について還元試験や、計算状態図、還元過程の観察などによる解析を実施した。

気孔構造の異なる試料を1000→1200℃への昇温還元実験（5℃/min, 30%CO -70%N₂ 混合ガス, FeO→Fe 段階）に供し、還元挙動と気孔構造の関係を、融液生成による微細気孔率の変化と共に解析した（図3-59）。貫通気孔のないベース試料は、微細気孔のみから成り、微細気孔は融液生成により温度の上

昇とともに減少すると推定される。還元速度も1120℃付近からゆっくり低下し、1160℃以上では還元停滞が見られた。一方、貫通気孔を含有する試料の最終還元率は約1.3～1.5倍高く、貫通気孔は軟化融着帯温度域においても被還元性向上に効果的であることが分かった。

熱力学平衡計算を用いて、高 FeO スラグ域の融液生成挙動に及ぼす温度、塩基度(CaO/SiO₂) ならびに Al₂O₃ および MgO 含有量などの影響を推算した（図3-60）。実機焼結鉱成分（(a) FCSA2M1）ならび鉄鉱石劣質化を考慮した成分（(b) FCSA4M1）の計算結果は、1%MgO 添加により初期融液生成温度は CaO/SiO₂ = 0.5 でほんの少し低温側に移行し、C/S ≥ 1.5 でほんの少し高温側に移行す

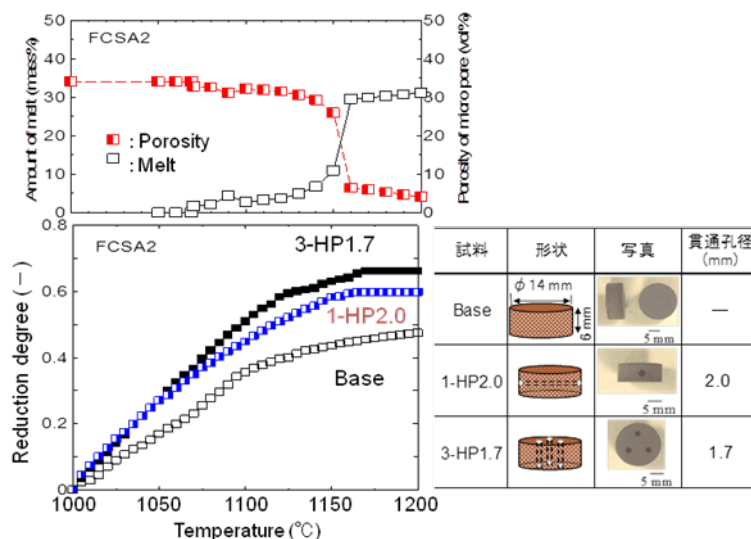


図 3-59 被還元性に及ぼす融液生成量と微細気孔閉塞率の関係（FCSA2, 5℃/min）

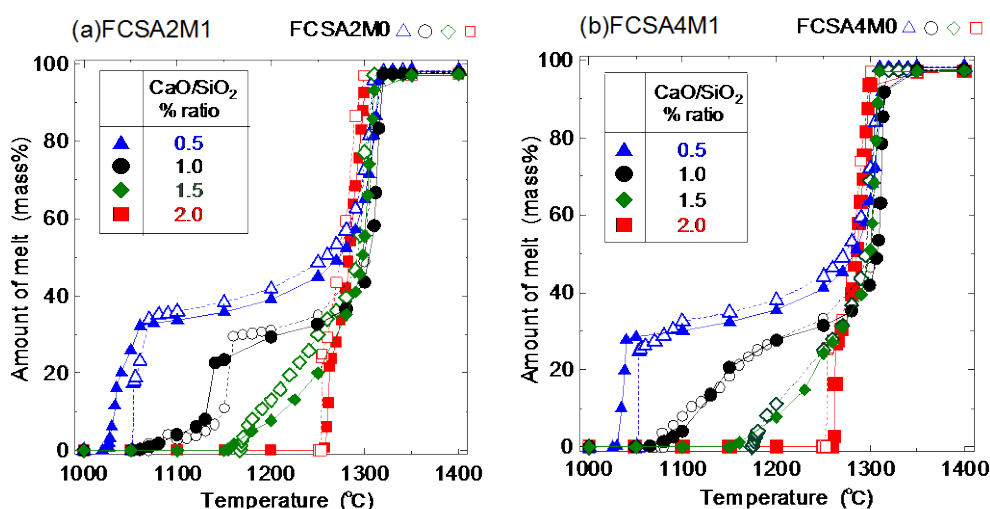


図 3-60 (a), (b) 融液生成挙動に及ぼす Al₂O₃ と MgO 同時添加の影響（熱力学平衡計算）

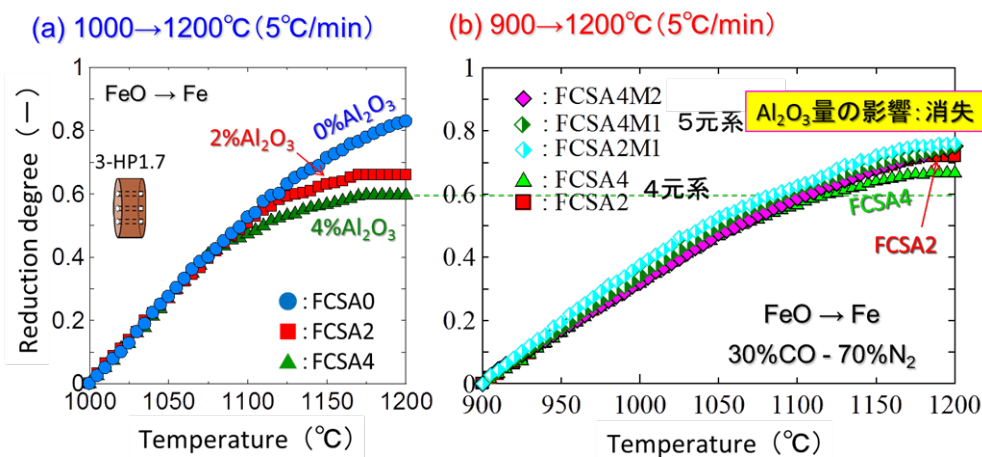


図 3-61 被還元性に及ぼす Al_2O_3 、 MgO 含有量の影響と熱保存帯低温化の効果

る結果を得た。また、FCSA2M1 と FCSA4M1 の比較から Al_2O_3 含有量が現行焼結鉱の倍の 4% に増加しても、液相生成挙動は大きく変化せず、 MgO が共存することにより融液生成に及ぼす Al_2O_3 の悪影響は殆ど無くなることが分かった。これより、低温側での初期融液生成を抑制するためには、スラグの塩基度 ($\text{CaO}/(\text{SiO}_2)$) を高く、 Al_2O_3 含有量を低下させ、 MgO 含有量を増加させることが有効であると推察された。

フェロコークス使用により熱保存帯温度が低下する。その焼結鉱還元への影響を検討した。 $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ 段階の還元実験を、 900°C (フェロコークス使用) あるいは 1000°C (現行の熱保存帯温度上限) から 1200°C へ昇温速度 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ で $30\%\text{CO}-70\%\text{N}_2$ 混合ガスを用いて行い、 1000°C から軟化融着帯温度域における模擬塊成鉱の被還元性に及ぼす融液生成挙動への成分の影響を検討した (図 3-61)。 Al_2O_3 を 4% 含有する FCSA4 試料は、 1000°C からの還元において、未還元 FeO を含む融液が生成し、還元停滞を呈した (図(a))。

一方、フェロコークス使用により熱保存帯が低下した場合を想定した 900°C からの還元では、 Al_2O_3 の悪影響が緩和された (図(b))。さらに、 MgO を添加した FCSAM 5 元系試料も 900°C からの還元では高い被還元性を示した。熱保存帯低温化による 900°C から 1200°C の高温帯での昇温被還元性が向上した要因は、還元初期段階が全域反応になったためと推定された (図 3-62)。

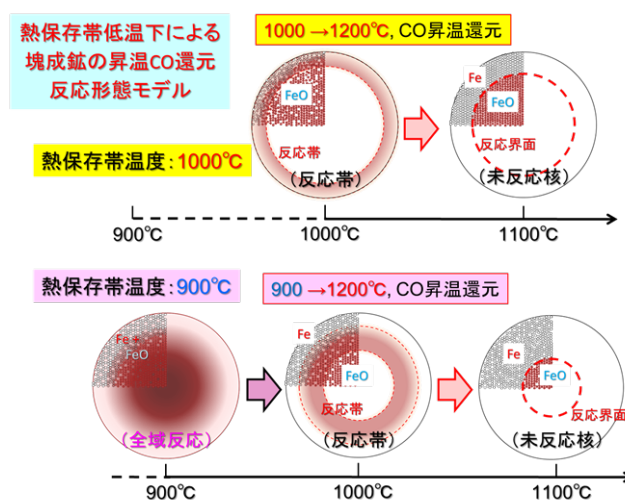


図 3-62 塊成鉱の昇温 CO 還元反応形態に及ぼす熱保存帯温度の影響

③-1-3 フェロコークスの反応モデル構築

従来のコークスと比較して、より低温からガス化を開始し、かつガス化速度の速いフェロコークスを高炉炉内に装入することにより、高炉内の熱保存帯温度が低下する。熱保存帯温度の低下に伴い、FeO-Fe 平衡を与える CO-CO₂ ガス組成が高 CO₂ 濃度側に移動する。すなわち、ガスの利用効率が上昇し、還元材比の削減が可能となる。

しかし、フェロコークスのガス化挙動に関しては不明な点が多く、フェロコークスの装入方法や装入量に関する定量的な議論を行うには、フェロコークスのガス化挙動を詳細に把握する必要がある。そこで、フェロコークスのガス化挙動に及ぼす温度、ガス分圧、炭材種の影響を調査した。ラボで作製されたフェロコークス (Coke A, Coke B, Coke C)、パイロットプラントで製造されたフェロコークス (Coke D, Coke E)、および従来コークス (Coke F) を使用し、図 3-63 に示す、高炉炉内条件を想定したガス分圧下において、各コークスのガス化反応実験を行った。Coke A~Coke C に関しては、ガス化速度におよぼす鉍石配合量の影響についても調査した。1000℃における、Coke C のガス化率曲線を図 3-64 に示すが、鉍石の配合量が多いほど、高いガス化率が得られており、Fe がコークスのガス化に対して触媒作用を示すことを確認した。また、全ての温度において、パイロットプラントで製造されたフェロコークス (Coke D, Coke E) のガス化速度が、室炉コークス (Coke F) のガス化速度より大きいことを確認した。

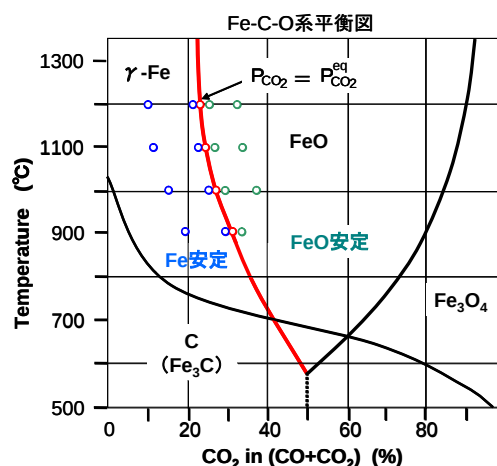


図 3-63 実験温度と実験ガス分圧

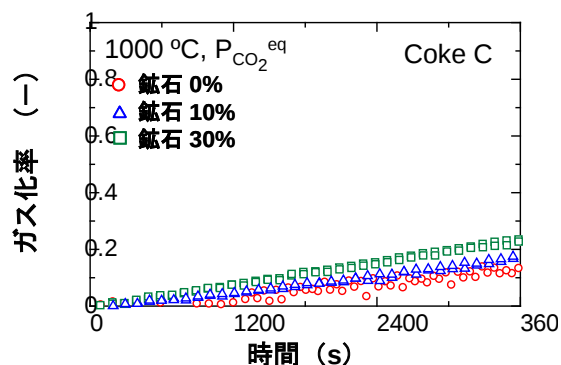


図 3-64 ガス化率におよぼす鉍石配合量の影響

フェロコークスは多孔質であるため、固-気反応の解析に一般的に使用されている未反応核モデルを、フェロコークスの反応解析に使用することは困難である。そこで、フェロコークスの反応挙動を表現可能、かつ高炉数学モデルに適用可能な反応モデルとして Thiele modulus を使用したモデルを採用し、モデルの構築に必要なパラメータ (Thiele modulus m 、反応速度定数 k 、有効係数 E_f) を求めた。Thiele modulus m は、ガス化反応速度と、拡散速度の比に対応する無次元数であり、 m が小さいほど、均一反応的な反応形態となる。 E_f は反応速度の実測値と $m \rightarrow 0$ の時の反応速度の比である。実験結果の解析から、鉍石配合量の増加および温度の上昇に伴い m が大きくなることが確認されたが、何れの条件下においても $m < 10$ であり、フェロコークスのガス化が、均一反応的に進行していることを確認した。また、パイロットプラントで製造したフェロコークス (Coke D, Coke E) の $E_f \cdot k$ は、ガス分圧によらずほぼ同程度の値となることも確認した。パイロットプラントで製造されたフェロコークス (Coke D, Coke E) および室炉コークス (Coke F) の

$E_f \cdot k$ の温度依存性を図 3-65 に示すが、パイロットプラントで製造されたフェロコークスは、高炉コークスより低温でガス化し易いこと、 $E_f \cdot k$ は Arrhenius 型の温度依存性を示すことが分かった。

図 3-66 に示した Arrhenius プロットより、パイロットプラントで製造されたフェロコークス (Coke D, Coke E) および室炉コークス (Coke F) に関して、高炉数学モデルに適用可能な、以下のガス化速度式を得た。

Coke D: $E_f \cdot k = 9.501 \times 10^5 \exp(-141.6 \times 10^3/RT)$

Coke E: $E_f \cdot k = 1.215 \times 10^6 \exp(-145.3 \times 10^3/RT)$

Coke F: $E_f \cdot k = 4.314 \times 10^7 \exp(-206.0 \times 10^3/RT)$

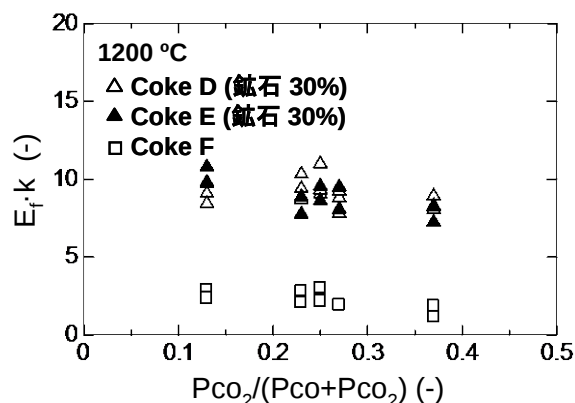


図 3-65 $E_f \cdot k$ とガス分圧の関係

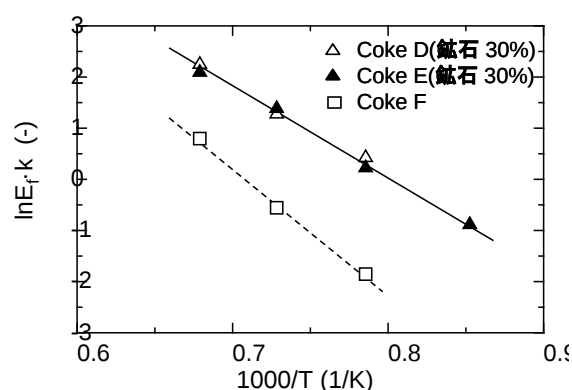


図 3-66 $E_f \cdot k$ の温度依存性

③ー１ー４ フェロコークスの高炉数学モデル構築

高炉数学モデルは、気相・固相・液相に対する運動量・物質・エネルギーの各収支式からなる連立微分方程式を解くことにより、3相の温度分布、流動状態、組成分布を3次元的にかつ同時に把握可能なモデルである。このモデルは実高炉データによる精度検証を踏まえ、実高炉の操業状態を高精度かつ忠実に再現することが可能である。従来の高炉数学モデルでは、固相として、焼結鉱およびコークスを取り扱うことが出来るが、フェロコークス装入時の高炉炉内状況を表現するために、従来の高炉数学モデルにフェロコークスの反応モデルを組み込むとともに、フェロコークスの粒径、反応率、組成等の状態を保持するための状態変数を追加し、高炉の半径方向のフェロコークスの適正配置・配合率に関する評価機能を有する高炉数学モデルを構築した。

表 3-12 フェロコークス装入時の操業諸元

	基準操業	フェロコークス 100kg/t 使用
η_{CO} (%)	49.2	49.5
炉頂温度 (°C)	232	217
コークス比 (kg/t)	415	333
フェロコークス比 (kg/t)	0	100
微粉炭比 (kg/t)	104	104
炭素原単位 (kg/t)	451	439

十分な反応速度を有し、高炉操業を行う上で十分な強度を有している、鉱石の配合割合が 30% のフェロコックスを対象として解析を実施した。フェロコックスの装入量は 100kg/t 相当とした。フェロコックスの成分として、C、Fe、Ash を考慮した。フェロコックスの炉内反応は、主反応である、ガス化反応 ($C + CO_2 \rightarrow 2CO$, $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$) を考慮した。半径方向の分布は均一と仮定し、1 次元にて解析を実施した。基準操業時(フェロコックスなし)の解析結果およびフェロコックス 100kg/t 装入時の解析結果を図 3-67 に示すが、フェロコックスの装入に伴う熱保存帯温度の低下が確認された。表 3-12 に操業諸元を示すが、フェロコックスの装入により炭素原単位が、12kg/t (2.66%) 低下することを確認した。

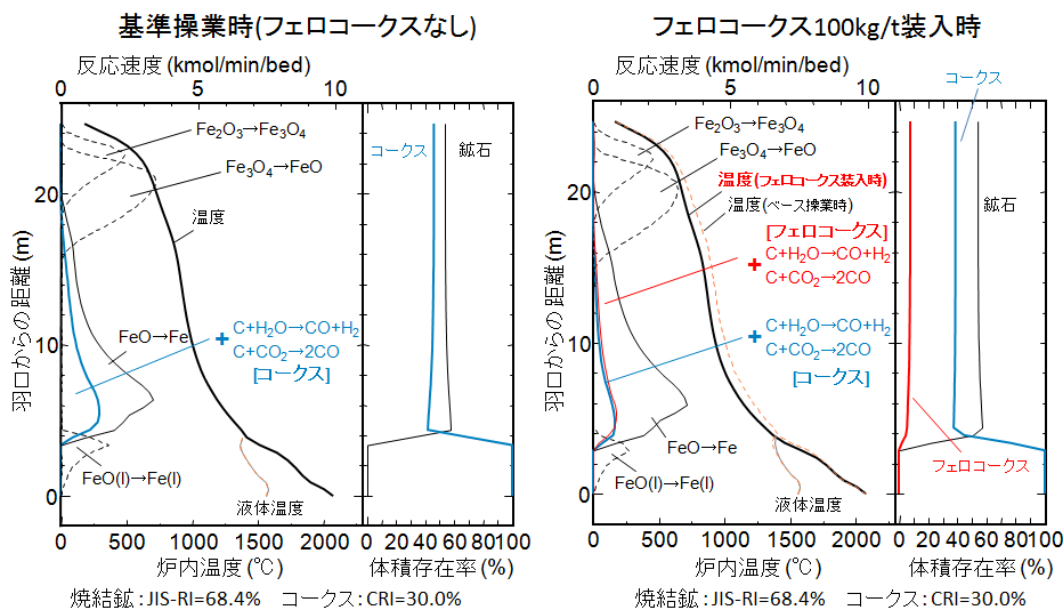


図 3-67 フェロコックスの装入に伴う炉内状況の変化

高炉数学モデルの計算精度の検証を目的として、ラボにて作製されたフェロコックス (Coke B) およびパイロットプラントで製造されたフェロコックス (Coke E) を使用して、高炉炉内条件下における荷重軟化滴下試験を実施した。フェロコックスの使用を想定した、高炉数学モデルによる計算結果および荷重軟化滴下試験結果との比較を図 3-68 に示すが、高炉数学モデルによる計算値と荷重軟化滴下試験による実験値は非常に良く一致しており、フェロコックスの反応モデルを統合した高炉数学モデルによる計算結果の妥当性が確認されるとともに、高炉炉内においても、パイロットプラントにて製造されたフェロコックスは、ラボにて作製されたフェロコックスと同様の反応挙動を示すことが確認された。

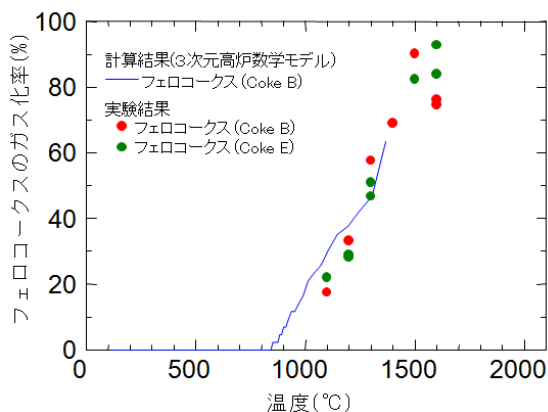


図 3-68 高炉数学モデルによる計算結果と荷重軟化滴下試験結果の比較

③－１－５ 高炉数学モデルによるフェロコークスの最適配置条件の提示

(１)最適配合量に関する検討

コークスのガス化反応は、非常に大きな吸熱反応であるため、フェロコークスのガス化に伴い、熱保存帯温度が低下する。熱保存帯温度の低下に伴い、Fe-FeO 平衡を与える CO-CO₂ 組成は CO₂ ガス濃度の高い方向にシフトするため、炉頂の CO ガス利用率の上昇が期待される。しかし、一般的に、熱保存帯温度の低下に伴い、鉱石および焼結鉱の被還元性は低下するため、フェロコークスの配合量には最適値が存在すると考えられる。そこで、フェロコークスの装入量を 0kg/t～100kg/t

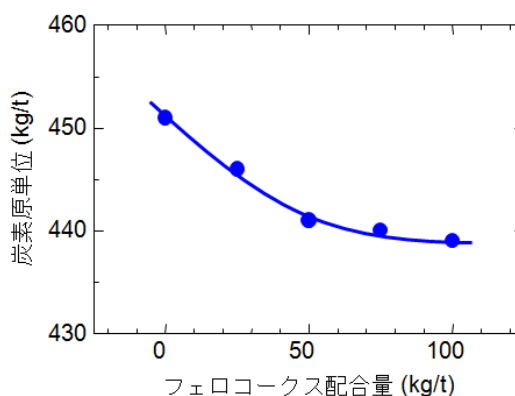


図 3-69 炭素原単位におよぼすフェロコークス配合量の影響

と変化させた際の、炭素原単位および還元材比について、高炉数学モデルによる計算・検討を行った。半径方向の装入物分布の影響を排除するため、解析は 1 次元で行った。炭素原単位におよぼすフェロコークス配合量の影響を図 3-69 に示すが、フェロコークスの配合量が 50kg/t 以下の条件下においては、フェロコークス配合量の増加に伴い炭素原単位がほぼ直線的に減少する結果となった。これに対して、フェロコークスの配合量が 50kg/t を超える条件下において、フェロコークスの配合量の増加に伴う炭素原単位の減少が確認されるが、減少の割合がやや低下する傾向にあることを確認した。これは、熱保存帯温度の低下に伴う焼結鉱の被還元性の低下が原因であり、高炉において、50kg/t を超える多量のフェロコークスを使用し、更なる還元材比の低減を指向する際には、焼結鉱の被還元性の向上が必要であると考えられる。

(２)最適配置に関する検討

焼結鉱の還元促進効果、熱保存帯温度の低下に伴う CO ガス利用率の向上が期待されるため、フェロコークスは、焼結鉱等と混合して鉱石層に装入する事が望ましいと考えられる。すなわち、フェロコークスの高反応性を最大限に活用し、高炉の還元効率を上昇させるには、フェロコークスの配置が最適となるような装入物分布を形成する必要があると考えられる。そこで、フェロコークスの分布が還元材比におよぼす影響について検討するため、2 次元解析を行った。装入物分布モデルにより、鉱石層中におけるフェロコークス

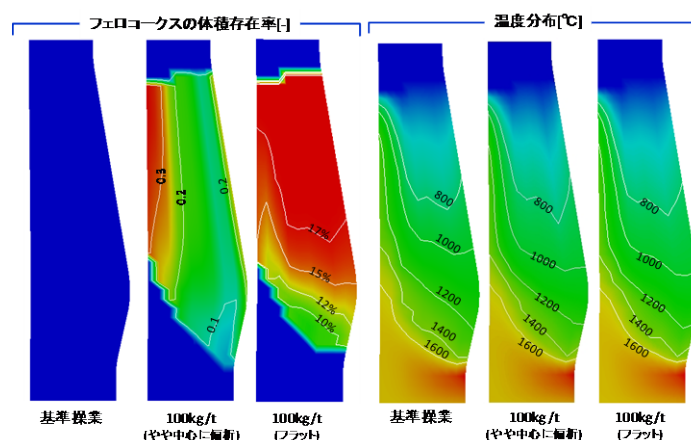


図 3-70 高炉炉内状況におよぼす、フェロコークスの分布の影響

の分布状況について検討を行った結果、フェロコークスを 100kg/t 装入した場合、密度偏析・粒度偏析の影響により、フェロコークスは高炉のやや中心側に多く存在する結果となった。そこで、焼結鉱・塊鉱石等の鉱石に対して、フェロコークスのバンカー排出パターンが完全にフラット化された理想的な混合状態を想定し、高炉炉内状況および炭素原単位等およびフェロコークスの影響について検討を行った(図 3-70)。その結果、フェロコークスの排出パターンをフラット化し、鉱石に対する

表 3-13 還元材比におよぼすフェロコークスの配置、焼結鉱の被還元性の影響

	フェロコークス100kg/t使用		
	やや中心側に偏析	フェロコークス/鉱石比一定	フェロコークス/鉱石比一定 高被還元性焼結使用
JIS-RI(%)	64.1	64.1	83.4
コークス比(kg/t)	305	302	263
フェロコークス(kg/t)	110	100	100
微粉炭比(kg/t)	155	154	154
還元材比(kg/t)	537	526	487

フェロコークスの比率が半径方向で一定となる分布を作り込むことにより、フェロコークスがやや中心に偏析した場合と比較して、還元材比が 11kg/t 削減される結果となった(表 3-13)。被還元性焼結鉱使用時の結果を表 3-13 に合わせて示しているが、更に、フェロコークスの非常に高いガス化反応性を有効に活用するには、フェロコークスのガス化反応性の向上と合わせて、焼結鉱の被還元性の向上が必要であると考えられた。

(3) 焼結鉱の被還元性の影響

フェロコークスを多量に高炉内に装入し、高炉の還元材比の削減を図るには、フェロコークスの粒度および密度を考慮した装入物分布の最適化と合わせて、炉内鉄原料の大部分を占める、焼結鉱の被還元性の向上が必要であると考えられる。そこで、焼結鉱の被還元性が高炉の還元材比におよぼす影響について、高炉数学モデルによる検討を実施した。結果を図 3-71 に示すが、焼結鉱の被還元性の向上に伴い、還元材比が低下しており、多量のフェロコークスを装入し還元材比の低下を指向する際には、焼結鉱の被還元性の向上が有効であることが分かる。焼結鉱の被還元性指数をベース操作条件時(JIS-RI=64.1%)の約 1.5 倍程度に向上させることにより、還元材比が基準操作時における 503kg/t から 476kg/t に低下、すなわち還元材比を 27kg/t 低減できる可能性があるとの試算結果を得た。

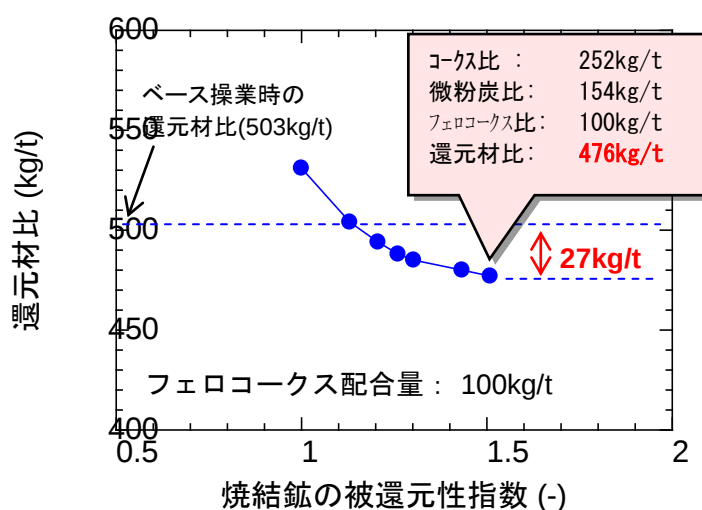


図 3-71 還元材比におよぼす焼結鉱の被還元性の影響

③-2 高炉内反応効率改善のための炉内配置の適正化

高炉装入シミュレーターを使用したフェロコークスの装入技術および高炉内評価技術を開発し、高炉内反応効率改善のための炉内配置の適正化を図ることを目的に、検討を実施した。高炉装入シミュレーターによる装入実験やDEM 計算を実施し、フェロコークスの物性（密度や粒度）を考慮した装入方法の提示を目指した。

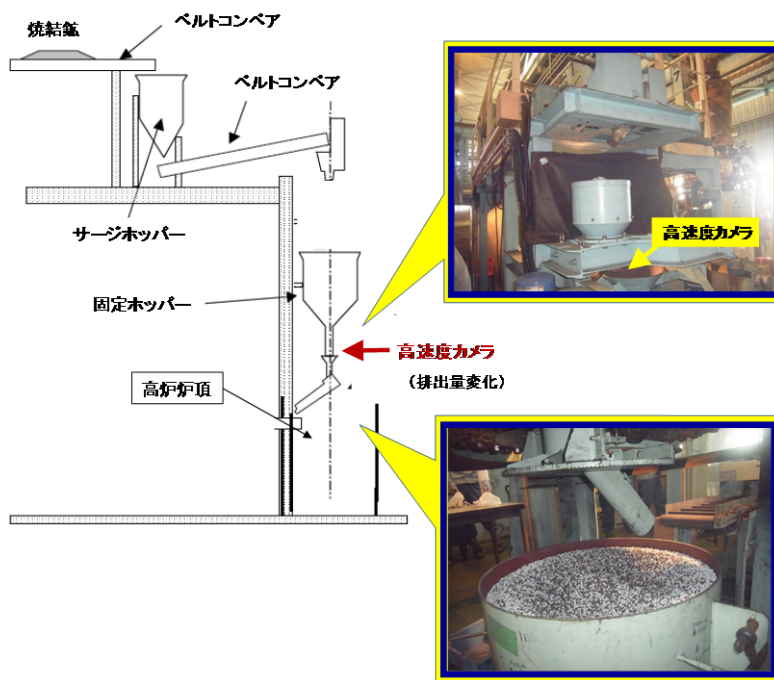


図 3-72 1/20 スケール高炉装入試験装の模式図と写真

実炉の 1/20 スケールの装入物分布試験装置（図 3-72）を用いて、高炉への搬送時、炉内装入時における密度偏析と粒度偏析の影響を検討した。

フェロコークスの固定ホッパーからの排出量は時間とともに増加傾向にあり、排出末期に大きなピークを持った（図 3-73）。粒子径が焼結鉱よりも小さい時（2-3.3mm）は、ピークとなる幅が非常に狭くなる。これは、粒子径が小さいために偏析が弱くなっているためである。

フェロコークスの粒子径が 2-3.3 mm（粒子径比：0.796）の条件においては、半径方向の偏析が抑制され、フェロコークスを高炉で有効に活用できるのではないかと考えられる（図 3-74）。一方、焼結鉱よりも粒

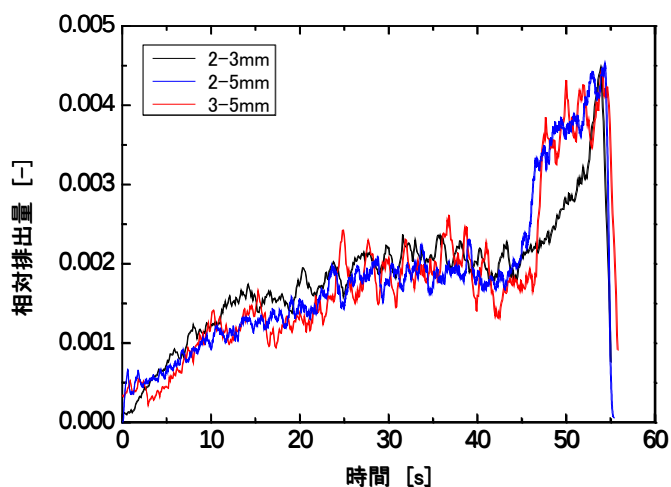


図 3-73 固定ホッパーから排出されたフェロコークスの相対量と時間の関係

子径が大きい条件である 2-5 mm と 3.3-5 mm の条件では、中心に近づくに従って混合比が増加していることがわかり、フェロコークスが中心に偏析していると言える。従って、フェロコークスを鉱石層に混ぜて高炉使用する時には、粒子径を焼結鉱よりも小さく設定することが、炉内均一配置には非常に重要であると考えられる。

DEM (Discrete Element Method, 離散要素法) を用いたシミュレーションにより、高炉を模擬した幅 6 m の粒子充填斜面に焼結鉱とフェロコークス粒子を 5.0 m/s で落下させ、堆積層流動時の偏析について検討し、完全混合するための粒子条件を探索した。焼結鉱は粒子径: 30 mm、密度: 3300 kg/m³ とし、一方、フェロコークスは粒子径: 25 ~ 37.5 mm、密度: 1540 kg/m³ とし、焼結鉱に対して体積比 0.2 となるように発生させた。各領域における偏析指数 SI を算出した。SI が 1.0 よりも小さい位置では、投入混合量に比べて、混合率が小さくなっていることを示し、逆に 1.0 以上であれば、混合量よりも多くなっていることを表す。

粒子径: 25 ~ 37.5 mm における偏析指数 SI と相対流動距離の関係から、落下位置から約 8 割の範囲までは、投入時の混合比率に比べて少ない割合になっていることが確認でき、それよりも下の斜面では、フェロコークスが著しく偏析をして、ほぼフェロコークスのみの状態であることが分かった (図 3-75)。また、粒子径: 27 mm (粒子径比: 0.9) では、SI がほぼ 1.0 に近く、フェロコークスが焼結鉱と混合状態で堆積していることがわかる。従って、本 DEM の結果からフェロコークスを炉内半径方向に、より均一に混合させるためには、実験を実施した粒子径よりもやや大きい 0.9 程度が最適と思われる。

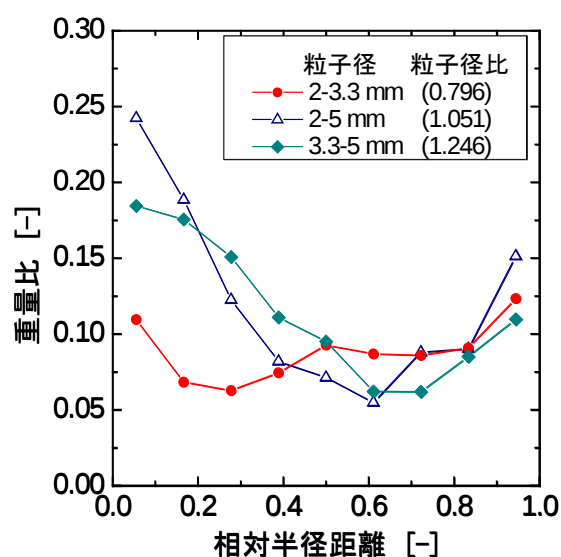


図 3-74 フェロコークスの混合比の炉内半径方向分布に及ぼすフェロコークス粒子径の影響

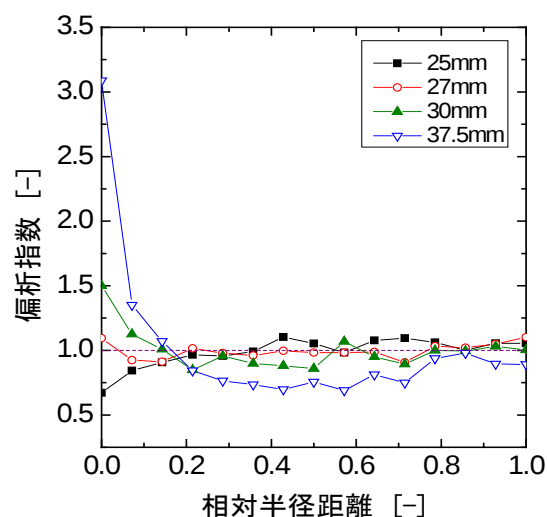


図 3-75 粒子径: 25 ~ 37.5 mm における偏析指数 SI と相対流動距離の関係

3-1-3 特許出願状況等

本プロジェクトの開発期間を通じて投稿された論文は 16 報、国際会議などでの発表は 43 報に及び、その他新聞・雑誌にも数多く掲載紹介された。成果の特許出願を含むこれらのリストを表 3-14~17 に示す。

表 3-14 論文投稿リスト

NO.	掲載年度	著 者	題 目	発表年月	掲載雑誌、年、ページ
1	H21	S.Ueda, K. Watanabe, K. Yanagiya, R. Inoue and T. Ariyama	Improvement of Reactivity of Carbon Iron Ore Composite with Biomass Char for Blast Furnace	2009年10月	<i>ISIJ Int.</i> 49 (2009), pp. 1505-1512
2	H21	藤本英和, 佐藤道貴	Development of Production of High Reactivity Coke - Development of Carbon Iron	2009年12月	日本エネルギー学会誌, 89 (2010), 21-27
3	H21	野村誠治, 樋口謙一, 国友和也, 内藤誠章	成形フェロコークスの反応挙動と高炉熱保存帯温度低減効果	2009年12月	鉄と鋼, 95 (2009), pp. 813-820
4	H22	K. Watanabe, S. Ueda, R. Inoue and T. Ariyama	Enhancement of Reactivity of Carbon Iron Ore Composite Using Redox Reaction of Iron Oxide Powder	2010年4月	<i>ISIJ Int.</i> 50 (2010), pp. 524-530
5	H22	山本哲也, 佐藤健, 藤本英和, 庵屋敷孝思, 佐藤道貴, 武田幹治	原料性状がフェロコークス反応挙動に及ぼす影響	2010年9月	鉄と鋼, 96 (2010), pp. 683-690
6	H22	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	2010年9月	鉄と鋼, 96 (2010), pp. 536-544
7	H22	川端弘俊, 小野英樹, 小西宏和, 碓井 建夫, 山村仁, 田村文, 内藤誠章, 西村恒久, 樋口謙一, 国友和也	模擬鉄鉱石の融液生成挙動の熱力学平衡計算とその場観察による評価	2010年9月	実験力学, Vol. 10 (2010), pp. 278-283
8	H22	S. Nomura, K. Higuchi, K. Kunitomo, M. Naito	Reaction behavior of Formed Iron Coke and Its Effect on Decreasing Thermal Reserve Zone Temperature in Blast Furnace	2010年10月	<i>ISIJ Int.</i> 50 (2010), pp. 1388-1395.
9	H23	K. Takeda, T. Anyashiki, T. Sato, N. Oyama, S. Watanabe, M. Sato	Recent Developments and Mid- and Long-Term CO ₂ Mitigation Projects in Ironmaking	2011年5月	<i>Steel Res Int.</i> 82 (2011), pp. 512-520
10	H23	Y. Yamazaki, K. Hiraki, T. Kanai, Z. Xiaoping, Y. Matsushita, M. Shoji, H. Aoki, T. Miura	The Effect of Metallic Iron Particle on Coke-Matrix after Coke CO ₂ Gasification Reaction	2011年7月	<i>Journal of Thermal Science and Technology</i> , 6-2 (2011), pp. 278-288
11	H23	K. Higuchi, S. Nomura, K. Kunitomo, H. Yokoyama and M. Naito	Enhancement of Low-temperature Gasification and Reduction by Using Iron Coke in Laboratory Scale Tests	2011年8月	<i>ISIJ Int.</i> 51 (2011), pp. 1308-1315
12	H23	山本哲也, 佐藤健, 藤本英和, 庵屋敷孝思, 深田喜代志, 佐藤道貴	フェロコークス製造プロセスの開発	2011年9月	鉄と鋼, 97 (2011), pp. 501-509
13	H24	昆竜矢, 小島克利, 夏井俊悟, 植田滋, 井上亮, 有山達郎	冷間モデルと離散要素法を用いた堅型乾留炉内粒子の降下挙動解析	2012年9月	鉄と鋼, 98 (2012), pp. 459-468
14	H24	樋口謙一, 野村誠治, 国友和也, 横山浩一, 内藤誠章	フェロコークスによる低温度域でのガス化、還元反応の促進	2012年10月	鉄と鋼, 98 (2012), pp. 517-525
15	H24	A. Uchida, T. Kanai, Y. Yamazaki, K. Hiraki, Y. Saito, H. Aoki, N. Komatsu, N. Okuyama, M. Hamaguchi	Quantitative Evaluation of Coke Strength Index on Ferro-coke with Hyper coal Addition	投稿中	<i>ISIJ Int.</i>
16	H24	A. Uchida, Y. Yamazaki, K. Hiraki, T. Kanai, Y. Saito, H. Aoki, T. Inoue, N. Kikuchi, N. Komatsu, N. Okuyama, M. Hamaguchi	Evaluation on Thermoplastic Properties of HPC with Iron Oxide Addition during Thermoplastic Range	投稿中	<i>ISIJ Int.</i>

表 3-15 新聞・雑誌リスト

No.	年度	発表新聞・雑誌先	発表題目	年月日	発表者（機関）
1	H21	日刊工業新聞	環境対応技術マスコミ見学会：フェロコークスの実用化	2009年7月15日	J F E スチール（株）
2	H21	日本経済新聞	環境対応技術マスコミ見学会：新原料15年度実用化	2009年7月15日	J F E スチール（株）
3	H21	産業新聞	環境対応技術マスコミ見学会：J F E 実用化に注力	2009年7月15日	J F E スチール（株）
4	H21	化学工業日報	新製鋼原料の開発着手	2009年7月17日	J F E スチール（株）
5	H21	日刊自動車新聞	新コークスで燃焼効率化 2015実用化へ開発分担	2009年7月18日	J F E スチール（株）
6	H21	フジサンケイビジネスアイ	C02削減 鉄鋼の革命	2009年7月27日	J F E スチール（株）
7	H21	月刊エネルギー（サンケイ）	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10月7日	J F E スチール（株）
8	H21	エコプロダクツ2009	C02排出抑制と低品位製鉄原料の利用拡大技術	2009年12月10日	J F E スチール（株）
9	H21	NEDO省エネフォーラム2009	革新的製鉄プロセスの先導的研究	2009年12月4日	J F E、新日鐵、住金、日新
10	H21	新聞社各社（プレスリリース）	革新的塊成物「フェロコークス」製造のためのパイロットプラント建設について	2009年12月13日	J F E スチール（株）
11	H21	時事通信	J F E スチール新原料製造の試験プラント建設	2009年12月14日	J F E スチール（株）
12	H21	鉄鋼通信	J F E スチール「フェロコークス」製造のパイロットプラント建設	2009年12月14日	J F E スチール（株）
13	H21	日経産業新聞	鉄鋼新原料「フェロコークス」	2009年12月15日	J F E スチール（株）
14	H21	日刊工業新聞	C02排出抑えるコークス 試験プラント建設	2009年12月15日	J F E スチール（株）
15	H21	読売新聞	C02削減へ実験設備	2009年12月15日	J F E スチール（株）
16	H21	鉄鋼新聞	フェロコークス試験製造設備 J F E、京浜に建設	2009年12月15日	J F E スチール（株）
17	H21	産経新聞	フェロコークス パイロットプラント建設	2009年12月15日	J F E スチール（株）
18	H21	共同工業	フェロコークスのパイロットプラント、東日本製鉄所に建設へ	2009年12月15日	J F E スチール（株）
19	H21	日刊建設産業新聞	設備工事に約35億円 パイロットプラント建設	2009年12月15日	J F E スチール（株）
20	H21	建設通信新聞	フェロコークスでパイロットプラント	2009年12月15日	J F E スチール（株）
21	H23	産業新聞	スチール研究所見学会開く	2011年12月1日	J F E スチール（株）
22	H23	日本経済新聞	C02減らせる試作設備	2011年12月1日	J F E スチール（株）
23	H23	日経産業新聞	C02削減へ鉄鋼新原料 JFEが試作設備稼働	2011年12月1日	J F E スチール（株）
24	H23	フジサンケイビジネスアイ	JFEコストもC02も大幅削減 高品質原料の代替技術確立	2011年12月1日	J F E スチール（株）
25	H23	鉄鋼新聞	新高炉原料「フェロコークス」 試験設備が本格稼働	2011年12月1日	J F E スチール（株）
26	H23	日刊工業新聞	新原料「フェロコークス」 川崎の試験工場完成	2011年12月1日	J F E スチール（株）
27	H23	産経新聞	フェロコークス実証設備が稼働 年度内に製造技術	2011年12月1日	J F E スチール（株）
28	H23	鉄鋼通信	「フェロコークス」製造パイロットプラントが完成、稼働	2011年12月1日	J F E スチール（株）
29	H23	日本金属通信	「フェロコークス」パイロット設備が稼働	2011年12月1日	J F E スチール（株）
30	H23	化学工業日報	フェロコークスパイロット設備が稼働 13年春に製造技術確立	2011年12月1日	J F E スチール（株）

表 3-16 ロ頭発表リスト

No.	年度	発表先	発表題目	年月日	発表者
1	H21	日本鉄鋼協会第158回秋季講演大会	革新的製鉄プロセスの先導的研究 -フェロコークス製造プロセスの開発-	2009年9月16日	庵屋敦孝思、藤本英和、角広行、山本哲也、武田幹治
2	H21	日本鉄鋼協会第158回秋季講演大会	革新的新塊成物による高炉熱保存帯温度低減効果	2009年9月16日	野村誠治、樋口謙一、国友和也、内藤誠章
3	H21	日本鉄鋼協会第158回秋季講演大会	鉱石を主体とする革新的塊成物の反応特性と高炉使用効果	2009年9月16日	樋口謙一、野村誠治、国友和也、内藤誠章
4	H21	日本鉄鋼協会 CAMP-ISIJ, Vol. 22, No. 2 (2009), pp. 718-721	塊成鉱の被還元性と高温性状に及ぼす気孔構造の影響	2009年9月16日	川端弘俊、碓井建夫、小西宏和、小野英樹、岩城陽三、内藤誠章、西村恒久、樋口謙一
5	H21	日本鉄鋼協会 第158回秋季講演大会	革新的塊成物の反応特性と総合数学モデル	2009年9月16日	西岡浩樹
6	H21	日本鉄鋼協会 第158回秋季講演大会	炭材内装鉱の粒内併発反応モデルを用いた高炉操業シミュレーション	2009年9月16日	埜上洋、植田滋、渡辺健太郎、井上亮、有山達郎
7	H21	日本鉄鋼協会 第158回秋季講演大会	超微粒酸化鉄外装による炭材内装鉱の還元加速	2009年9月15日	渡辺健太郎、柳谷和成、植田滋、井上亮、有山達郎
8	H21	第5回世界製鉄会議	Development of Carbon Iron Composite Process- R&D and Preparatory Research on Innovative Iron-making Process	2009年10月19日	H. Sumi, T. Yamamoto, H. Fujimoto, T. Sato, T. Anyashiki, M. Sato, K. Takeda
9	H21	高温学会、平成21年度秋季総合学術講演会、H21/12/7 (2009), pp. 48-49	塊成鉱の高温性状に及ぼす融液生成ならびに貫通孔の影響	2009年12月7日	表 宏樹、川端弘俊、小西宏和、小野英樹、碓井建夫、岩城陽三、内藤誠章、西村恒久
10	H21	International Symposium on Ironmaking for Sustainable Development, Osaka, Japan (January, 2010), pp. 41-44	Effect of Pore Structure of Agglomerates on Reduction Behaviors and High Temperature Properties	2010年1月28日	T. Nishimura, T. Usui, H. Kawabata, H. Konishi, H. Ono, Y. Iwaki, M. Naito, K. Higuchi
11	H21	クリーンコールセミナー広島 (J c o a l)	鉄鋼を支える石炭	2010年3月1日	川田 仁
12	H21	第13回化学工学会学生発表会(秋田大会)研究発表講演要旨集, 秋田 主催: 化学工学会東北支部	石炭粒径による微視構造の変化が新規バインダーを配合した鉄内装型コークスの強度に及ぼす影響	2010年3月5日	内田中、金井鉄也、山崎義昭、平木健一、張曉晴、庄子正和、青木秀之、三浦隆利、濱口真基、小松信行
13	H22	第3回日豪中シンポジウム	Recent developments and mid- and long-term CO2 mitigation project in ironmaking	2010年7月26日	K. Takeda, T. Anyashiki, T. Sato, N. Oyama, S. Watakabe, M. Sato
14	H22	Global COE Summer School, Sendai, Japan	A Design Guideline of High Strength Ferrous Coke	2010年8月20日	Y. Yamazaki, .Hiraki, T. Kanai, A. Uchida, M. Shoji, H. Aoki, T. Miura
15	H22	Global COE Student's Workshop, Sendai, Japan	A Control of Coke-lump Gasification Reaction Mechanism with Catalyst Particle	2010年8月20日	Y. Yamazaki
16	H22	日本鉄鋼協会 第160回秋季講演大会	軟化融着帯温度域における模擬塊成鉱の被還元性に及ぼす融液生成挙動の影響と貫通孔の効果	2010年9月25日	川端弘俊、小野英樹、小西宏和、樋口謙一、国友和也
17	H22	日本鉄鋼協会 第160回秋季講演大会	離散要素法による壁型乾留炉内の固体降下挙動	2010年9月25日	小島克利、夏井俊悟、植田滋、井上亮、有山達郎
18	H22	日本鉄鋼協会 第160回秋季講演大会	フェロコークスの高炉内配置条件が還元効率に及ぼす影響	2010年9月25日	横山浩一、国友和也、樋口謙一、野村誠治
19	H22	The 27th Annual International Pittsburgh Coal Conference, Istanbul, TURKEY 主催: Swanson School of Engineering, University of Pittsburgh	An Experimental Study on the Effect of Metallic Iron Particles on Strength Factors of Coke after CO2 Gasification Reaction	2010年10月11日 ~14日	山崎義昭、平木健一、金井鉄也、張曉晴、松下洋介、庄子正和、青木秀之、三浦隆利
20	H22	The 27th Annual International Pittsburgh Coal Conference, Istanbul, TURKEY	An Experimental Study on the Effect of Metallic Iron Particles on Strength Factors of Coke after CO2 Gasification Reaction	2010年10月14日	Y. Yamazaki, K. Hiraki, T. Kanai, X. Zhang, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki, T. Miura, Y. Yamazaki, K. Hiraki, T. Kanai, X. Zhang, A. Uchida,

No.	年度	発表先	発表題目	年月日	発表者
21	H22	The Seventh International Conference on Flow Dynamics	The Effect of Metallic Iron Catalyst on Coke Microscopic factor after Coke Gasification	2010年11月3日	Y. Yamazaki, K. Hiraki, T. Kanai, X. Zhang, A. Uchida, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki, T. Miura
22	H23	第11回日本伝熱学会学生発表会 講演論文集, 15-16, 宮城 主催: 東北大学	HPCの配合が鉄内装型コークスの強度に及ぼす影響	2011年5月6日	内田中, 金井鉄也, 山崎義昭, 平木健一, 張曉清, 齋藤泰洋, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 濱口眞基, 小松信行,
23	H23	日本鉄鋼協会 第162回秋季講演大会	高反応性コークスのCO-CO2混合ガスによる反応速度解析	2011年9月22日	中村知弘, 大野光一郎, 前田敬之, 西岡浩樹, 清水正賢
24	H23	日本鉄鋼協会 第162回秋季講演大会	フェロコークス製造プロセスの開発	2011年9月20日~22日	藤本英和, 角広行, 佐藤健, 庵屋敷孝思, 佐藤秀明
25	H23	日本鉄鋼協会 第162回秋季講演大会	高炉模擬塊成鉱の昇温還元挙動に及ぼす融液生成の影響と貫通孔の効果	2011年9月20日~22日	松田 航尚, 小西 宏和, 小野英樹, 川端 弘俊
26	H23	8th International Conference on Flow Dynamics, 498-499, Sendai, Japan 主催: Tohoku University	Quantitative Evaluation of Relationship between Coke Strength and Microstructure of Ferro-coke with HPC addition	2011年11月9日	A. Uchida, T. Kanai, Y. Yamazaki, K. Hiraki, Z. Xiaoping, Y. Saito, H. Aoki, T. Miura, N. Okuyama, N. Komatsu, M. Hamaguchi
27	H23	日本鉄鋼協会 第5回学生鉄鋼セミナー、製鉄コース	高炉模擬塊成鉱の昇温還元挙動に及ぼす融液生成の影響と貫通孔の効果	2011年11月	松田 航尚,
28	H23	2012 International on CO2 Reduction in Steel Industry	For the Innovation of Ironmaking by Partnership on Environment	2012年1月20日	JFE, 新日鐵, 住金, 神鋼, 東北大, 大阪大, 九大
29	H23	日本鉄鋼協会 第163回春季講演大会	フェロコークス製造プロセスの開発	2012年3月28日	角広行, 藤本英和, 佐藤健, 庵屋敷孝思, 濱口眞基, 小松信行
30	H23	日本鉄鋼協会 第163回春季講演大会	CO-CO2混合ガス中での高反応性コークスの反応速度に及ぼす炭種の影響	2012年3月28日	中村知弘, 大野光一郎, 前田敬之, 西岡浩樹, 清水正賢
31	H24	館記念シンポジウム	資源対応力強化のための革新的製鉄原料-東大試験高炉から30年目の再挑戦-	2012年4月28日	武田幹治
32	H24	日本鉄鋼協会 第164回秋季講演大会	フェロコークスの高炉内配置条件が還元効率に及ぼす影響-2-	2012年9月19日	横山浩一, 野村誠治, 樋口謙一, 国友和也
33	H24	日本鉄鋼協会 第164回秋季講演大会	高炉操業におよぼすフェロコークス配合量の影響	2012年9月19日	西岡浩樹, 松倉良徳, 宇治澤優
34	H24	日本鉄鋼協会 第164回秋季講演大会	FCSAM 5元系模擬塊成鉱の昇温還元挙動に及ぼす初期融液生成の影響	2012年9月17日	松田航尚, 小西宏和, 小野英樹, 川端弘俊, 竹内栄一, 樋口謙一, 国友和也
35	H24	日本鉄鋼協会 第164回秋季講演大会	離散要素法を用いた堅型乾留炉内スケールアップ時の固体流れ解析	2012年9月17日	昆竜矢 夏井俊悟 植田滋 井上亮 有山達郎
36	H24	9th European Conference on Coal Research and its Applications	The Evaluation on Thermoplastic Properties of HPC with Oxide Iron Addition during Thermoplastic Zone	2012年9月10日	内田中, 山崎義昭, 平木健一, 金井鉄也, 齋藤泰洋, 青木秀之, 井上聡則, 菊池直樹, 奥山憲幸, 濱口眞基
37	H24	第6回世界製鉄会議	PILOT PLANT SCALE DEVELOPMENT OF AN INNOVATIVE IRONMAKING PROCESS FOR USAGE OF LOW GRADED RAW MATERIALS AND CO2 MITIGATION	2012年10月14日	K. Takeda, H. Sato, T. Anyashiki, T. Sato, H. Fujimoto, H. Sumi, A. Watanabe, M. Sato, K. Higuchi, M. Hamaguchi, Y. Ujisawa
38	H24	学術振興会 第148委員会、第54委員会 合同委員会	(石炭溶剤抽出物) ハイパーコールの利用技術開発	2012年12月6日	濱口眞基
39	H24	日本鉄鋼協会 第165回春季講演大会	FeO-CaO-SiO2-Al2O3-MgO 5元系模擬塊成鉱の昇温被還元性に及ぼすフェロコークスの効果	2013年3月27日	川端弘俊, 松田航尚, 小西宏和, 小野英樹, 竹内栄一, 樋口謙一
40	H24	日本鉄鋼協会 第165回春季講演大会	還元効率を考慮したフェロコークスの高炉内配置条件と装入方法	2013年3月27日	横山浩一, 三尾浩, 樋口謙一
41	H24	日本鉄鋼協会 第165回春季講演大会	フェロコークスによる高炉還元材比低減	2013年3月27日	西岡浩樹, 宇治澤優
42	H24	日本鉄鋼協会 第165回春季講演大会	酸化鉄がHPCの溶融特性に及ぼす影響の検討	2013年3月27日	内田中, 山崎 義昭, 外石安佑子, 松尾翔平, 齋藤泰洋, 青木 秀之, 矢戸貴洋, 奥山憲幸, 濱口眞基
43	H24	日本鉄鋼協会 第165回春季講演大会	フェロコークス製造プロセスの開発	2013年3月28日	藤本英和, 角広行, 佐藤健, 庵屋敷孝思, 佐藤秀明

表 3-17 特許・論文等件数

論文	新聞・雑誌	発表	特許
1 6	3 0	4 3	1 7

3-2 目標の達成度

表 3-18 目標に対する成果・達成度の一覧表

要素技術	目標・指標	成果	達成度
①フェロコークスの組成・構造条件の探索			
①-1 実験室規模小型成型試験での試作とフェロコークスの物性評価	小型成型試験機を用い適正成型条件を確立する。	・攪拌混合時の速度、温度、時間等の影響因子を調査し、成型歩留りと成型後強度を確保できる均一攪拌技術を確立した。 ・フェロコークス同士の融着の有無を確認するとともにⅠ型強度試験機、荷重軟化試験装置を用いてフェロコークスが目標とする強度と反応性を有することを確認した。	達成
①-2 成型設備 (30t/d) の開発	成型設備を完成し設備の操業技術を確立する。	・成型、乾留一貫操業技術の確立に向けた成型設備の操業技術を確立した。	達成
①-3 成型物強度向上のためのバインダー探索	新規バインダーを数種類試作し、新規バインダーの性状・配合量と成型物強度の関係を明確にする。	・ベンチスケールで製造した新規バインダー2 種類のベンチ成型試験を実施し、ASP 代替の可能性を見出した。	達成
②フェロコークスの製造プロセスの開発			
②-1 実験室規模での適正乾留条件探索	実験室規模の電気抵抗加熱乾留炉を用いた実験結果より、適正操業条件を決定する。	・実験室規模炉での炉内温度勾配を変更した実験に基づき、強度、反応性の観点から最適操業条件を決定した。	達成
②-2 30t/d 規模パイロット型乾留炉の設計	②-1 の研究成果を基に直接加熱方式による連続型乾留炉の設計を完了する	・複数羽口へのガス温度・流量などの制御技術を基本とする循環ガス加熱システムを構築した。 ・排ガスからのタール除去、排ガス/循環ガスからのコーキング抑制方法を開発した。 ・金属鉄の再酸化を防止する乾式排出システムを構築した。 ・循環ガス加熱によるパイロット型乾留炉の設計を実施した。	達成

要素技術	目標・指標	成果	達成度
②-3 30t/d 規模パイロット型乾留炉の建設と実証	循環ガス加熱によるパイロット型乾留炉での適正製造条件を確立する。	・ 成型、乾留一貫システムの運転、操業技術を確立するとともに、30t/d の製造能力を実証した ・ 品質向上を目指すため炉頂、各羽口の循環ガス量、温度などの最適操業条件を確立した	達成
②-4 長期製造試験と品質評価	長期製造試験により、安定製造技術を確立する。	・ 原料の水分、粒度などの操業変動に対応する技術を構築し、長期連続操業を実施した。 ・ 設備の一部の解体調査（混練機の攪拌羽根、成型機のロール、乾留炉耐火物、製品排出装置など）を実施し、設備劣化を定量的に評価した。	達成
	フェロコークスの品質評価試験により、大型高炉での使用時の課題を明確化する。	・ 炉頂部のガス利用率変化など、操業要因を測定し、高炉使用時の課題を検討、明確化した。	
②-5 型乾留炉の流動シミュレーション	離散要素法モデルを活用し、スケールアップ検討、原料配合設計に適用できるシミュレーションを実施する。	・ 滞留時間分布の観点から炉の形状の最適化を図る共に、スケールアップの指針を得た。 ・ 排出口形状などの炉体構造影響を検討、粒子収縮など、物理性状の変化の影響を検討した。	達成
③フェロコークスによる高炉操業プロセス開発			
③-1-1 高炉内反応平衡制御手段の提示	フェロコークスの高炉操業状況への効果が発揮されるメカニズムと効果が最大となる条件を提示する。	・ フェロコークスのガス化反応量と焼結鉱還元促進効果の観点から、フェロコークスは鉱石層に均一混合することが望ましいことを見出した。	達成
	フェロコークスによる熱保存帯温度低下などの効果を定量化する。	・ フェロコークスを鉱石層に158kg/t相当を均一混合した場合、約100℃程度の熱保存帯温度低減効果と12.6kg/tの還元材比低減効果を確認した。	達成

要素技術	目標・指標	成果	達成度
③-1-2 高炉内反応平衡制御のための 操業条件の適正化	塊成鉱の構造として最適な気孔構造など具備すべき条件を提示する。	・貫通孔が、軟化融着帯温度域においても被還元性向上に効果的であることを見出した。 ・低温域での融液生成抑制のための成分条件を明確化した。 ・熱保存帯低温化により、還元形態が変化して高温域での還元停滞性が緩和されることを見出した。	達成
③-1-3 フェロコークスの 反応モデル構築	高炉数学モデルに適用する反応モデルを構築する。	・種々のフェロコークスのガス化反応速度を測定・解析した結果に基づき、高炉数学モデルに適用可能な反応モデルを構築した。	達成
③-1-4 フェロコークスの 高炉数学モデル構築	フェロコークスの配置・配合率の評価機能を有する高炉数学モデルを構築する。	・上記反応モデルを統合し、フェロコークスの配置・配合率の評価機能を有する数学モデルを構築した。	達成
③-1-5 高炉数学モデルによる 実用フェロコークスの 最適配置条件の提示	フェロコークスの最適配置・最適配合率を導出する。	上記高炉数学モデルを使用し、フェロコークの配置・配合率が還元材比に及ぼす影響を調査し、最適値を導出した。	達成
③-2 高炉内反応効率改善のための 炉内配置の適正化	フェロコークスの装入技術および高炉内評価技術を開発し、高炉内反応効率改善のための炉内配置の適正化を図る。制御性と再現性に優れた最適な装入方法を提示する。	・フェロコークスを炉内に混合配置するための粒度条件を明確化した。 ・上記の粒度条件では、通常の装入方法でも、最適な配置と成り得ることを見出した。	達成

基礎的な開発である①製造条件の探索の成果に基づいて、②フェロコークス製造プロセス開発では、30t/dの成型設備、パイロット型乾留炉を設計、適正操業条件を確立して、30t/dの製造能力を実証した。また、1から7次の長期製造試験を実施し、目標である安定操業技術を確立するとともに、大型高炉への試験装入を実施し、短期間ではあるが還元材比低下などの効果を把握することができた。同時に、高炉使用時の課題が明確になり、開発方針策定のための有益な情報を得ることができた。

③フェロコークスによる高炉操業プロセスの開発においては、熱保存帯温度低下などのフェロコークスの効果は鉱石への混合方法により変化し、鉱石層内に均一に混合することが望ましいことが明らかになった。また、フェロコークスでの高炉使用時の効果を推定する統合モデルを構築、反応速度モデルを組み込むことにより還元材比低減効果などを定量的に評価する技術を構築することができた。フェロコークスの製造技術、高炉使用技術に関して、30t/dパイロットプラント規模での開発、一部実炉での評価、BIS炉、実層厚炉などの独自実験技術、最先端のシミュレーション技術を活用することにより、当初の目標をすべて達成することができた。

プロジェクト全体としては、フェロコークスを活用した高炉操業技術の開発により優れた省エネルギー特性（CO₂排出削減効果）および資源対応力を有するプロセスを実現することを長期目標としている。具体的には ○製鉄工程の投入エネルギーの約10%の削減ポテンシャル（図3-76に示す製鉄系へ投入される石炭が指標） ○コークス製造における高品位炭の利用を現状の約80%から約60%まで約20%低減して低品位炭の利用を拡大する。 ○高品位鉄鉱石の利用を現状の約60%から約57%まで約3%低減して低品位鉄鉱石の利用を拡大する。

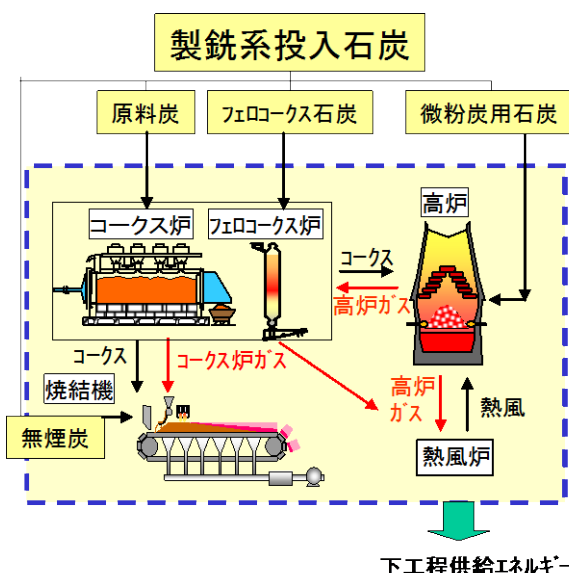


図 3-76 製鉄工程の石炭、エネルギーフロー

フェロコックス使用時の還元材比の低下について千葉第6高炉（炉容積 5,153 m³）で使用試験（フェロコックス原単位 43kg/t）を行い、ほぼ当初の計画通りの還元材比低下効果を得た。試験結果に基づいてフェロコックス原単位を室炉コークスの 1/3 を置換するところまで外挿すると、溶銑 1t 製造に必要な石炭は、ベースの約 90%になり、製銑工程の投入エネルギー（製銑系に投入される石炭）の約 10%の削減ポテンシャルがあることを確認できた。フェロコックスの使用量を増大するには、製造プロセスの大型化、設備、操業コストの観点からの経済性、高炉の通気性の確保、高炉炉頂温度の確保、製鉄所内での不足エネルギー対応など多くの課題が残されているが、約 10%の省エネルギーポテンシャルがあることは確認できた。（図 3-77 参照）

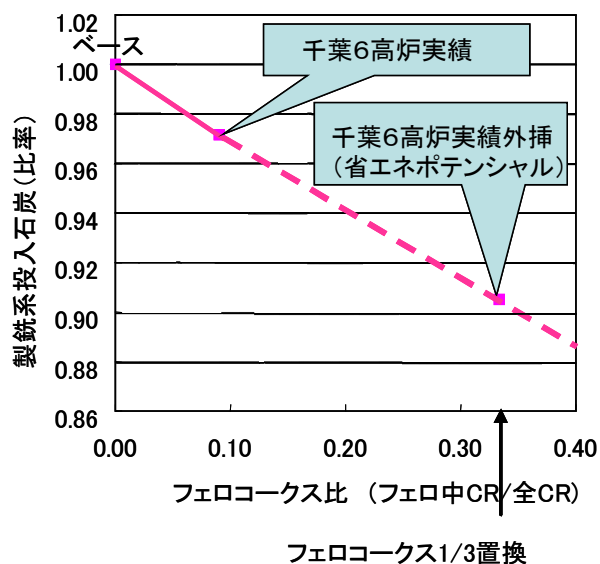


図 3-77 製銑工程の省エネポテンシャル

フェロコックスの使用により、①反応性向上によるコークス用石炭の削減、②通常コークスの必要量が低下することによりコークス用の高品位炭の削減が可能になる。現状高炉操業ではコークス用石炭の約 80%は高品位炭を使用し、微粉炭用の石炭も含めて全体の 60%が高品位炭となっている。フェロコックスを使用することにより石炭の使用量が約 10%削減、さらに、通常コークスの使用量が低下、フェロコックスは全量低品位炭から製造することを考慮すると高品位炭の割合は 34%に低下、現状使用量に対して約 2 割超の高品位炭の削減ポテンシャルがあることを確認できた。また、低品位の高結晶水鉱石を用いることができるため、約 3%の低品位鉱石の利用拡大が可能となる。（図 3-78 参照）

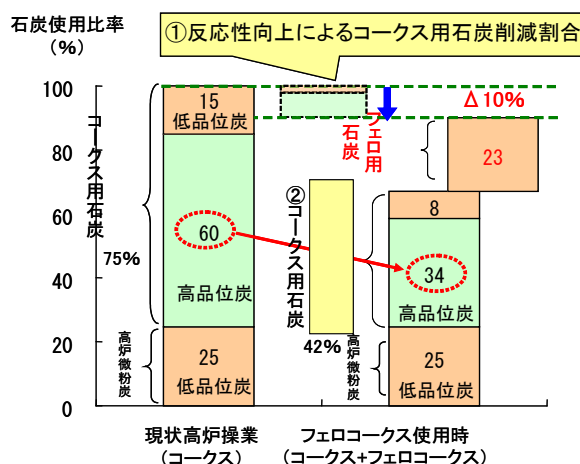


図 3-78 高品位炭の削減効果

4. 事業化、波及効果について

4-1 事業化の見通し

(1) フェロコークスプロセスの現在の位置づけ

本プロジェクトは資源対応力強化と省エネルギー（CO₂ 排出抑制）を目的に 2006 年に先導的研究をスタートし、2012 年に完了するまで約 7 年間経過した。鉄鋼業を取り巻く環境は、以下に示すようにより一層厳しくなっている。

- ① リーマンショックによる市況の乱高下を経て、高品位石炭、鉄鉱石の価格は高止まりとなっており、資源対応力という観点では安価、劣質原料使用技術に対するニーズは高い。
- ② 老朽コークス炉の一部更新が進んでいるとはいうものの図 4-1 に示したように国内のコークス炉の老朽化が進んでいる。コークス炉の寿命を 50 年と想定すると、2025 年には大部分のコークス炉が更新時期を迎え、新技術に対するニーズは確実に増大している。
- ③ 2011 年 3 月の東日本大震災により、国内のエネルギー構造が大きく変化した。原子力発電の休止に伴い、代替の火力発電の割合が増大、LNG 価格が急騰している。フェロコークスによる製鉄系での省エネルギーは同時に製鉄所の下工程に供給できる副生ガス量を減少させるため、主たる補填エネルギーの価格が経済性を大きく左右する。また、2020 年までに 25%の二酸化炭素排出削減を目指す地球温暖化対策の見直しも必須な状況にある。これらの直近の環境変化は、フェロコークスプロセスの事業化に際しては不利となる要因である。

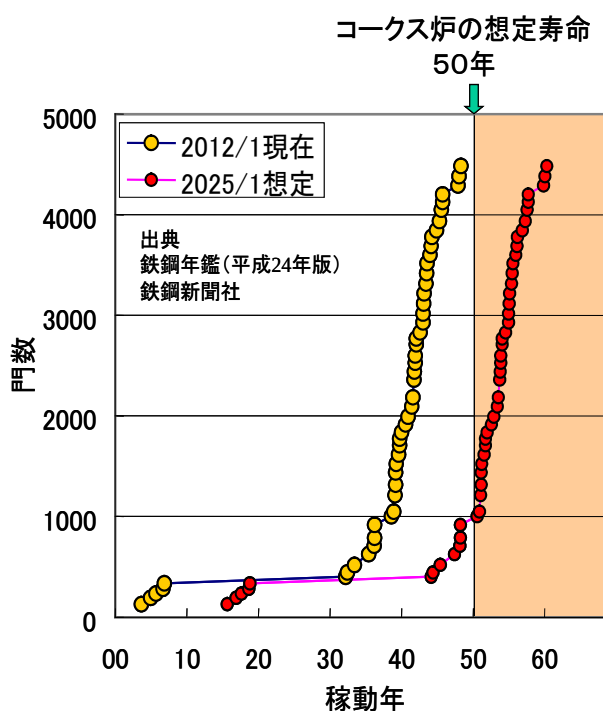


図 4-1 日本のコークス炉の稼働年数

(2) コークス炉のリプレース時期

鉄鋼業の厳しい経済環境下で、設備投資負担の軽減と更新時期の集中を防ぐため既存コークス炉の炉寿命の延長はきわめて重要な課題であり、診断、補修技術開発に取り組んでいる。しかしながら、図 4-1 に示したように、既存コークス炉の寿命を 50 年と想定する、2025 年までには多くの炉が寿命に達し、リプレースが必要となる。フェロコークスプロセスは、高反応性炭材として全体の 1/3 のコークスを置換することを目指しており、SCOPE21 を含む室炉式コークス炉への更新と並行して新規のフェロコークスプロセスの導入が期待される。

(3) フェロコークスプロセスの経済性の評価

パイロットプラント 30t/d の実績をベースに実機想定 1500t/d での製造費、および、高炉で使用する溶銑コストの変化を試算した。なお、実機設備と概念設計をある程度の精度で行うには、さらに大きな実証設備での試験が必要なため、設備費の試算は今回の検討の対象外とした。

パイロットプラントの原料配合、各種用役原単位実績をベースに実機想定でのフェロコークス製造費を試算し、ベースの室炉との比較を行った。なお、石炭価格は市況により大きく変動するため、2012 年段階での試算である。

パイロットプラントでの実績をベースにした試算では、室炉コークス用の高品位石炭の代わりに安価な微粘炭、非粘炭、鉄鉱石を使用するため原料コストは低下する。一方、バインダーを使用、乾留、還元に必要な熱量がコストアップ要因となるが、コークス製造単価（フェロコークスの場合は鉄を含んだ単価）は約 25% 低下する。将来的には、安価な一般炭使用など更なるコスト低減が開発目標となる。

フェロコークスを高炉で使用した場合の溶銑製造費の試算を行った。千葉 6 高炉での使用試験実績をベースに各種原単位を室炉コークスをフェロコークスで 1/3 置換まで外挿した操業でのコスト試算である。安価なフェロコークスの使用と還元材比低下による必要還元材コストの低下により、溶銑製造費は低下する。製造コストの開発目標値をベースにすると 4 % 強の溶銑コストの低減が試算される。この試算はあくまでも短期試験での実績を外挿したものであり、今後の精度向上のためにも実証設備での試験が必要である。

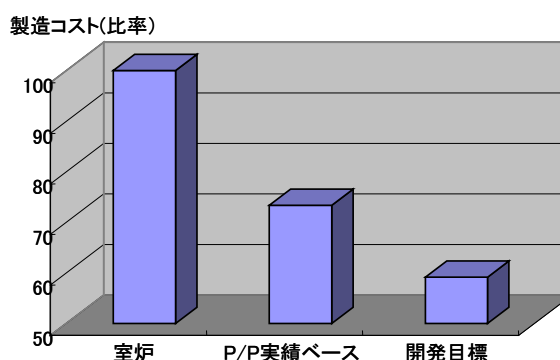


図 4-2 フェロコークス製造費試算

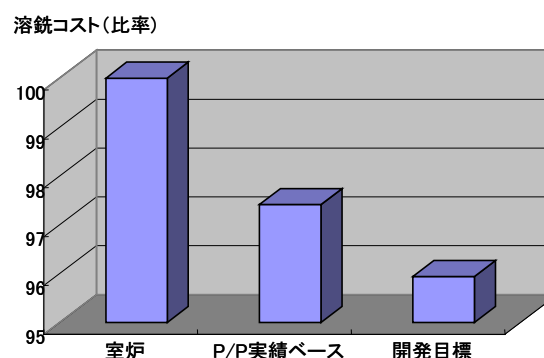


図 4-3 溶銑製造コスト試算

(4) フェロコークスプロセスの実用化にむけた課題と展開

本プロジェクトでは、30t/d パイロットプラントでの製造技術の確立、ラボ、数式モデルでの高炉操業技術開発、実高炉での評価試験と当初の目標をすべて達成し、実用化に向けた主要な課題が明確になった。表 4-1 に各要素技術から経済性評価まで主要な成果と実用化への課題を列記した。製造技術については、混練、成型、乾留の各設備のスケールアップ、高炉操業技術では

最適装入方法実現のためのハード、ソフト技術、フェロコックス配合比増大時の還元材比低減促進、通気性、炉頂温度などの作業上の課題、省エネ評価では製鉄所へ供給できる副生ガス減少への経済的なエネルギー補填方法の検討、作業コストの精度向上、実機規模プロセス設計、設備費評価が課題となっている。

表 4-1 に示した課題に取り組むには、スケールアップ技術の実証、実高炉での長期使用試験が可能な規模の中規模実証試験が必要となる。製造プロセスでは 30t/d から 10 倍の 1500t/d に拡大するのではなく、中間規模でスケールアップに関する設備、作業技術を実証する。また、本プロジェクトは 30t/d 規模で製造したフェロコックスを備蓄、5 日間という短期間の高炉使用試験を行った。高炉での還元材比低下効果などを実証するには、長期の連続使用試験が不可欠である。実用化にむけては、図 4-4 に示したように 30t/d と 1500t/d の間に中規模実証機での開発を想定している。中規模実証機での開発には多額の設備投資と作業費がかかり、一民間企業の負担で遂行するにはリスクが高く、引き続いて公的な支援が期待される。

表 4-1 主要な成果と実用化への課題

	項 目	主要な成果	実用化への課題
技術課題	製造技術	30t/d 1ヶ月安定製造実証	・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実証 強度改善確認	・実機製造設備設計 ・最適製造条件
	高炉操作技術(1)	最適混合 鉱石均一混合	・粒径に応じた最適装入方法
	高炉操作技術(2)	モデル構築 効果定量化	・高配合比時の還元材比低減促進
	高炉課題抽出	43kg/t使用による還元材比低減	・高配合時の通気、炉頂温度
実機化課題	省エネ評価	実績外挿により約10%の石炭使用量削減ポテンシャル	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 溶銑コスト 4%削減	作業コスト精度向上 実機規模プロセス設計、設備費評価

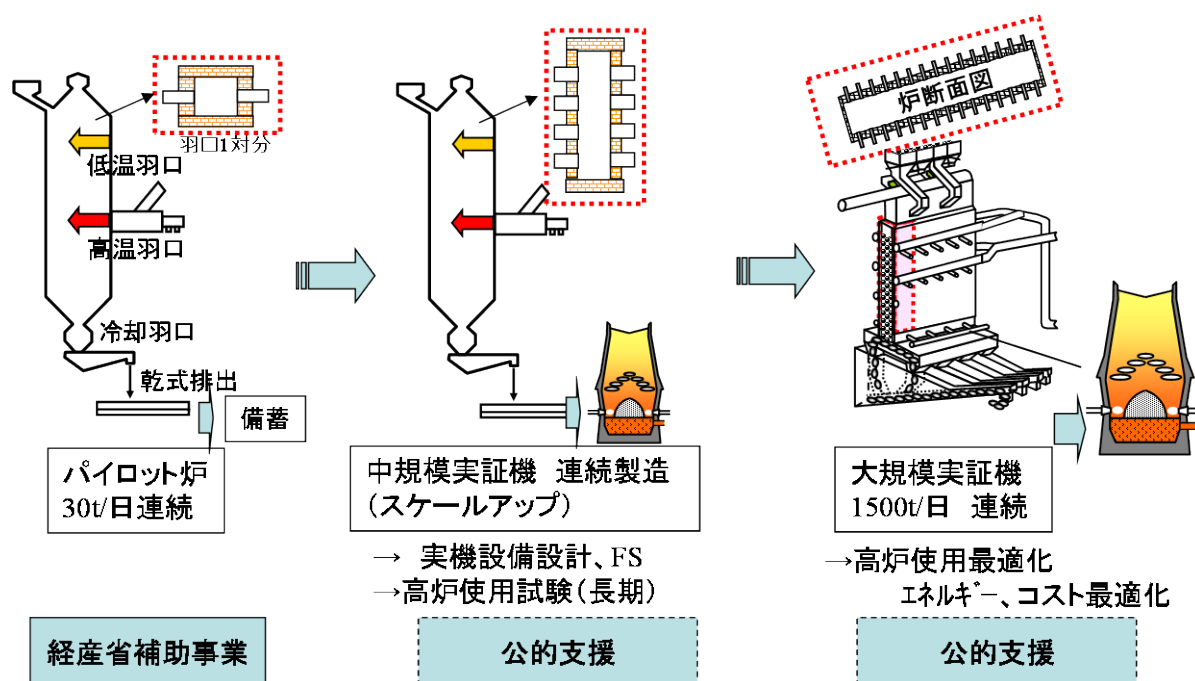


図 4-4 実用化に向けた開発ステップ

4-2 波及効果

本プロジェクトの成果は、石炭、鉱石の価格高騰に対応した資源対応力強化、二酸化炭素排出抑制を目的として、既存コークス炉のリプレイス時に展開していくのが基本であるが、関連分野への技術的、経済的波及効果、当該分野での開発力、人材育成への波及効果としては以下の点にまとめられる。

(1) 関連分野への技術的、経済的波及効果

フェロコークスプロセスは、日本発の還元材比の低減技術として、国内のみならず、欧州、韓国、中国でも着目されている技術であり、国際会議などでの発表時の反響は大きい。欧州で開発されている二酸化炭素排出削減技術 ULCOS top gas recycling blast furnace、あるいは、日本の COURSE50 プロジェクトと連携して二酸化炭素排出削減技術として世界に展開できるものと考えられる。

また、鉄鉱石、石炭の価格は山元と製鉄所との交渉により決定される。従来製鉄用として使用できない低品位炭を使用する技術を構築できたことは、実際の需給バランスの改善もさることながら、価格交渉時の切り札として貢献できる。資源価格の高騰により溶銑コストに占める原料コストの割合は年々増加しており、価格の低減は競争力確保に欠かすことができない。

(2) 当該分野の研究開発、人材育成の促進

本プロジェクトは、大学による基礎的研究としてコークス強度発現機構の解明、離散要素法 (DEM) による乾留炉の解析、塊成鉱の高温での還元特性、コークス反応速度の定量化が行われた。これは、フェロコークスに限らず製銑分野で共通した課題であり、その知見は COURSE50 など現在進行中の他のプロジェクトにも役立つ。また、構築された基盤技術は、高炉での鉱石、コークス混合装入など既存の高炉操業技術の改善に活用されていく。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等

5-1 研究開発工程

図5-1に最終的な研究開発工程を示した。パイロットプラント(30t/d)でのフェロコークス製造技術の実証、大型高炉での使用試験による高炉使用時の課題抽出という最終目標に向かって、各要素技術の開発を推進した。①-3 新規バインダー開発では、バインダーとしての要求特性の明確化、溶媒抽出法による製造条件の決定、少量試作、パイロットプラント成型設備での評価試験ができる100kg程度の試作を経て、パイロットプラントでの試験を実施し、新規バインダーの優位性を確認した。また、①-1、2では原料配合条件、混練時の速度、温度、成型条件など成型設備の設計に必要な条件を確立、設備設計、据付、試運転を経て成型設備の操業条件を確立した。②の乾留炉関連開発では、乾留炉の設計条件の確立、設計、製作、据付、試運転を経て、①-2で完成した成型設備との成型・乾留一貫操業技術を確立し、フェロコークスの連続製造技術を確立した。長期製造試験によりプロセスとしての信頼性を確認するとともに、製造したフェロコークスを備蓄し、大型高炉での品質評価試験を実施、還元材比の低下などのフェロコークスの効果を確認した。③高炉操業プロセス開発では、フェロコークスの混合方法(コークス、鉱石)、配置によるその効果の違いを検討し、その最適配置を実現するための装入手段の開発を実施した。また、高炉内のフェロコークスの挙動の解析、効果の評価、特に混合位置による効果の差異を定量化するため、フェロコークス反応モデル、高炉モデルを構築した。パイロットプラントで製造したフェロコークスサンプルの反応速度を測定し、数式モデル上でフェロコークスの効果を定量化した。これらの高炉操業プロセス開発技術の知見は、大型高炉での評価試験での成果、課題と連成することにより次ステップの実証炉での連続高炉試験に反映される。

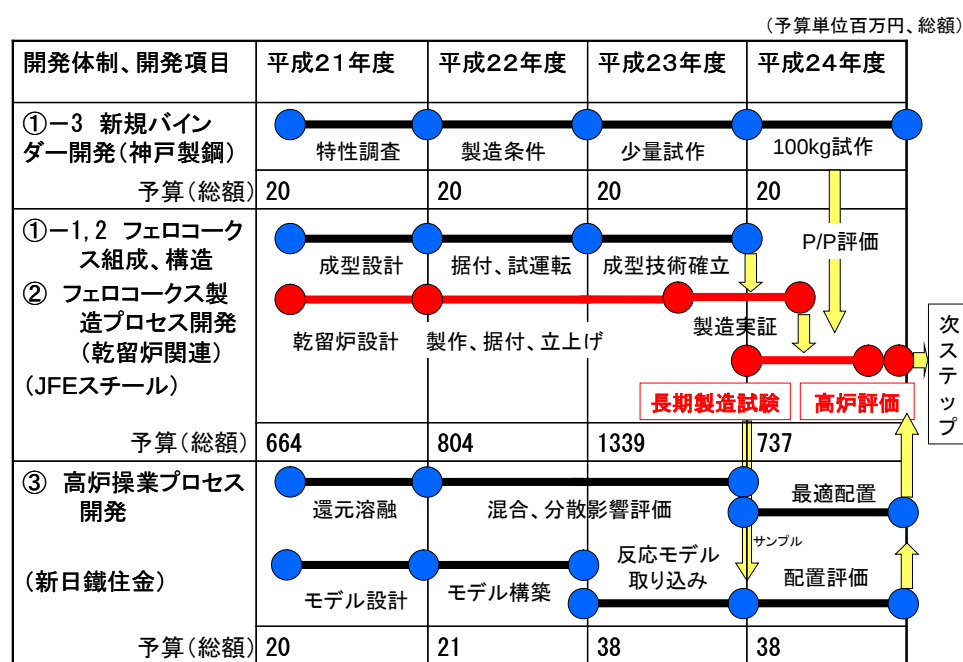


図5-1 研究開発工程連関図

パイロットプラントの製作、操業という多額の設備費を要する開発に重点的に予算を配布するとともに、設備の完成、操業が重複する平成23年度にもっとも多い予算を確保した。

当初計画との差異（要素技術開発、工程）については、5-5 変化への対応で説明する。

5－2 研究開発実施者の実施体制・運営

本プロジェクトは、平成 21、22 年度は新エネルギー・産業技術総合開発機構の助成事業、平成 23、24 年度は図 5-2 に示すように経済産業省からの補助事業として実施された。実施 4 社からなる研究幹事会を設置し、定期的には年 4 回、必要の都度開催し、開発方針の検討、決定、進捗管理、見直しを行った。個別の研究課題は、各実施企業の既存技術、設備を考慮して分担し、基礎的な研究は関連する大学に委託されて個別に推進された。全体での研究の進捗状況の把握、技術的な討論、掘り下げを行うため、大学も含めた研究会を組織した。表 5-1 に各会議の開催実績を示したが 3 ヶ月に 1 開催し、製鉄企画室も含めて研究方針の変更、修正に反映する仕組みがとられた。

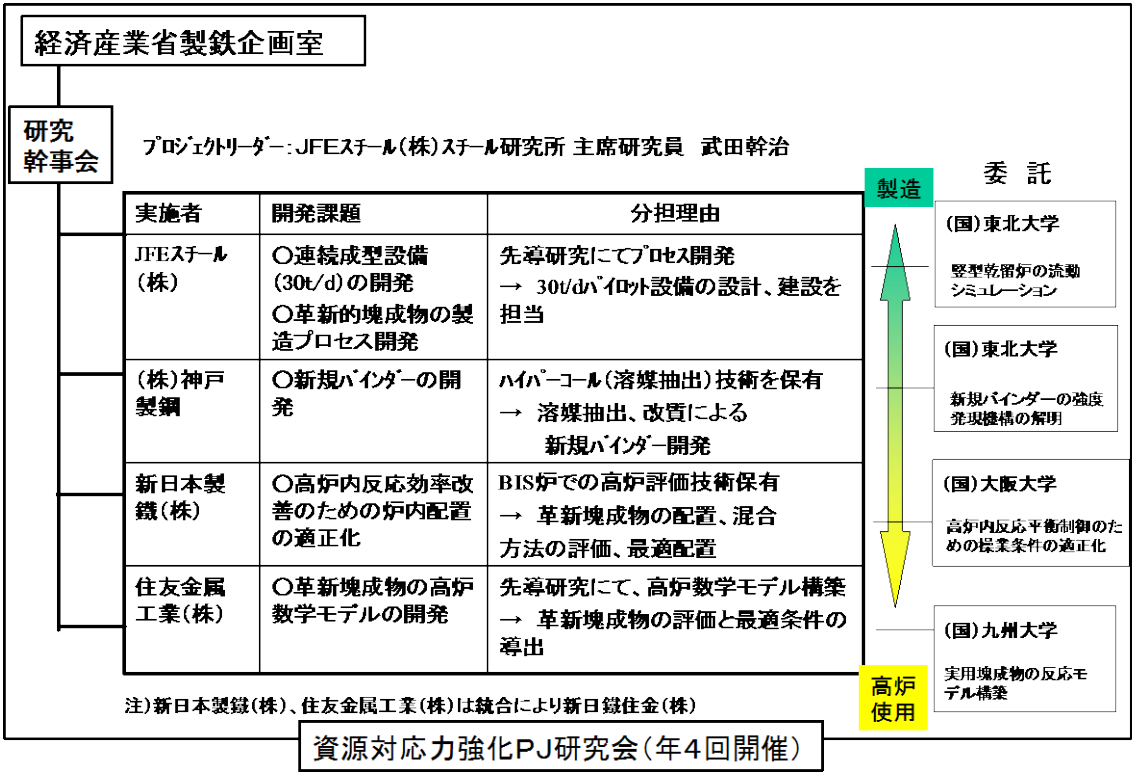


図 5-2 開発実施体制と要素技術開発担当

表 5-1 開発推進会議開催実績

会議	開催日	開催場所	備考
幹事会	2009年8月5日	JRCM	開発計画審議
第1回研究会・幹事会	2009年9月28日	JRCM	開発計画討議
幹事会	2009年11月11日	JRCM	開発予算審議、委託契約審議
第2回研究会・幹事会	2009年12月17日	JRCM	研究進捗報告と次年度計画討議
第3回研究会・幹事会	2009年2月25日	JRCM	研究進捗報告と次年度計画審議
幹事会	2010年4月16日	JRCM	予算審議、開発計画見直し
第4回研究会・幹事会	2010年5月28日	JRCM	研究進捗報告と討議
第5回研究会・幹事会	2010年9月3日	JRCM	研究進捗報告と討議
第6回研究会・幹事会	2010年12月21日	JRCM	研究進捗報告と次年度計画討議
第7回研究会・幹事会	2011年3月8日	航空会館	研究成果報告と討議
第8回研究会・幹事会	2011年7月11日	JRCM	研究進捗報告と討議
第9回研究会・幹事会	2011年9月27日	JRCM	研究進捗報告と討議
第10回研究会・幹事会	2011年12月19日	JFE京浜	研究進捗報告とパイロット見学
第11回研究会・幹事会	2012年3月12日	JRCM	研究成果報告と次年度計画審議
第12回研究会・幹事会	2012年7月6日	JRCM	研究進捗報告と討議
幹事会	2012年8月9日	JRCM	研究目標達成度審議
第13回研究会・幹事会	2012年10月5日	JRCM	研究進捗報告と討議
第14回研究会・幹事会	2012年12月14日	JRCM	研究成果報告と成果報告書作成
幹事会	2013年02月21日	JRCM	目標達成度審議と成果報告書
第15回研究会・幹事会	2013年03月18日	JRCM	4年間の研究成果報告
幹事会	2013年05月31日	JRCM	成果報告書と今後の対応討議

5-3 資金配分

フェロコークスの製造プロセスの開発（成形技術開発、乾留技術開発）に全体の95%を使用し、フェロコークス用の新規バインダーの開発（①-3）に2%、フェロコークス高炉内反応効率改善のための炉内配置適正化に2%、フェロコークス高炉数学モデル開発に1%を使用した。

主要な技術開発である製造プロセスの開発に重点的に予算を配分することにより、パイロット規模 30t/d という比較的大きな規模での設備、操業技術開発を推進し、所期の成果を上げることが出来た。

表 5-3 資金配分（補助金申請ベース）

（単位：百万円）

年度 平成	2 1	2 2	2 3	2 4	合計
資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発技術開発 ①フェロコークスの組成・構造条件の探索 ②フェロコークスの製造プロセスの開発 ③フェロコークスによる高炉操業プロセスの開発					
（JFE） ① -1, 2：塊成物の試作、評価、成形設備（30t/d）の開発 ②：フェロコークス乾留炉（30t/d）の適正乾留条件探索・設計・建設・実証	332	402	670	369	1,772
（神鋼） ① -3：フェロコークス強度向上のためのバインダー開発	10	11	12	12	44
（新日鐵住金（富津）） ③-1 フェロコークス高炉内反応効率改善のための炉内配置適正化	8	9	13	15	44
（新日鐵住金（波崎）） ③-2 フェロコークス高炉数学モデル開発	2	2	6	3	14
合計	352	424	700	399	1,875

5-4 費用対効果

<費用>

18.7億円（補助金額、補助率：1/2）

	平成 21 年度	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度
予算（億円）	3.5	4.2	7.0	4.0

※平成 21、22 年度はNEDO、平成 23、24 年度は経済産業省

<効果>

本事業の目的の一つとして、フェロコークスの活用を通じた資源対応力強化が挙げられる。

昨今の原料調達について、原料炭の輸入は全体の 7 割が豪州から、また、鉄鉱石は全体の 9 割を豪州（6 割）、ブラジル（約 3 割）の 2 カ国からの輸入で占めている。原料サプライヤーも寡占体制となっており、鉄鋼メーカー等買い手の価格交渉力が低下し、従来は年単位の価格改定交渉だったものが、四半期毎の改定となっている。

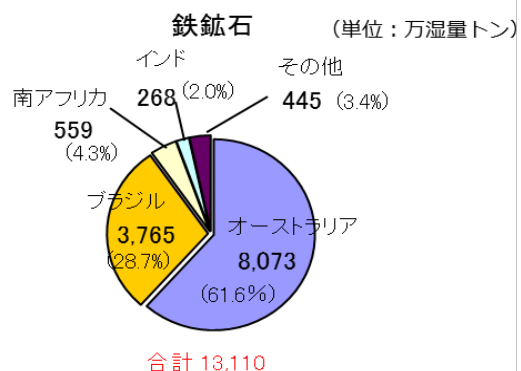
現に、原料価格のグローバルなボラティリティの高さと、最終的な製品への価格転嫁の困難性により、鉄鋼業の収益基盤に影響を与えている。

このような中、当技術を活用しフェロコークスを使用することになれば反応性が向上するので、現状の高炉操業の石炭総投入量を 100 とした場合、石炭総投入量が 100 から 90 へ減少する。内訳は低品位炭が 40 から 56 に増加し、高品位炭が 60 から 34 へ減少する。仮に国内の平均的なコークス炉 1 基をフェロコークス導入タイプに切り替える場合、原料炭輸入量および高品位原料炭と低品位原料炭の全国平均単価を元に試算すると約 40 億円の原料炭コストが低減されることになる。また、鉄鉱石についても、比率は小さいものの、低品位の鉄鉱石の割合を増加することが可能となるため、少なからず石炭同様、費用低減等の効果が得られる。

直接的な原料コスト低減効果に加えて、調達出来る地域が偏在している高品位炭から多様な地域から調達出来る低品位炭の調達割合が増えれば、価格交渉力の点でも有利となる可能性がある。

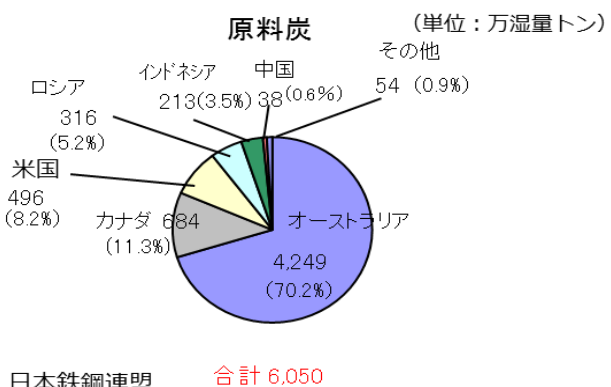
省エネルギーという観点でも、溶銑 1 t 製造に必要な石炭が、約 90% になり、製銑工程の投入エネルギーの約 10% 削減の削減ポテンシャルがあることが確認されたことから、大きな省エネルギー効果や二酸化炭素排出量の削減にも大きく寄与する。

鉄鉱石の国別輸入量(2012 年)



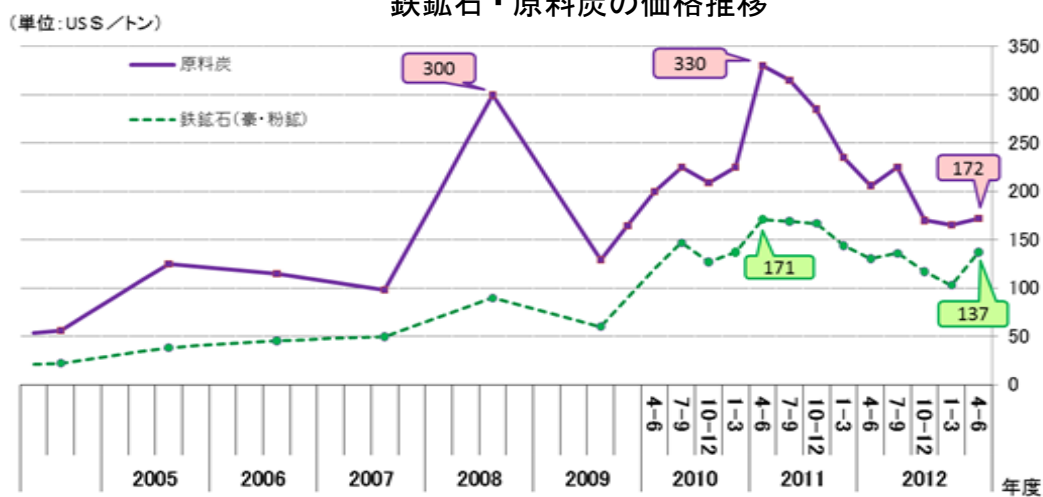
(出所) 財務省貿易統計

原料炭の国別輸入量(2012 年)



(出所) 日本鉄鋼連盟

鉄鉱石・原料炭の価格推移



出所: 報道より経済産業省作成

5 - 5 変化への対応

2009 年本事業開始以降、開発の変化としては②-3（2）で述べた循環ガスダクトの断熱性能改善のためのダクト改造と②-4（1）で述べた鉱石の配合比率制御向上のための設備改造が挙げられる。

ダクト改造に関しては炉本体に小塊コークスを充填し、まさに作業条件検討の着手段階で明らかとなった事項であり、当初予定の送付条件で低温羽口が目標到達温度に至らなかった。目標温度未達の原因については、解体調査の結果、配管外周部の断熱ボード間に数 mm の隙間があることが確認されたほか、循環ガス加熱器の出口から各羽口までのガスダクトの距離が長く（図 5-3）、その間で計画値以上の熱が放散され循環ガス温度が低下したものと考えられる。対応策として、耐火物の断熱性を向上させたダクトに改造し、所定の目標温度に到達したが、約 1 ヶ月の工事期間を要した。

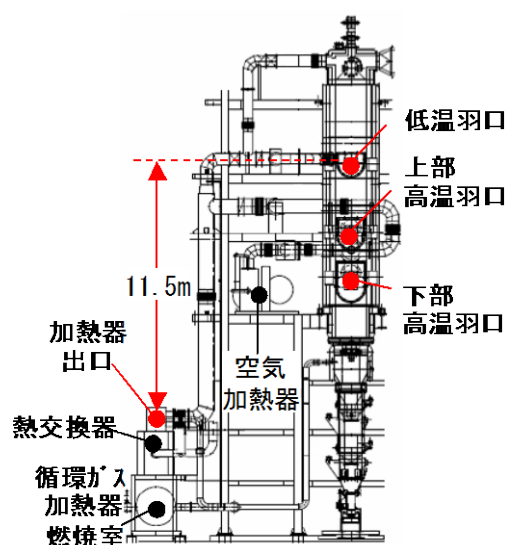


図 5-3 乾留炉立面図

鉱石ラインは第 3 次操業までの試験では、鉱石および石炭の切出し量を中間ホッパー底部の切出しコンベアおよび秤量コンベアで調整し、粉碎後石炭と鉱石をフライトコンベアで混合し、乾燥機およびサージホッパーを通して混練機へ搬送していた。しかしながら、搬送工程で偏析が起こり、成型物強度にバラツキが発生した。対応策として、鉱石と粉碎炭は混練機直前で混合するために鉱石の別送ラインを増設した。増設工事は約 2 週間を要したが、別送化によって成型物中の鉱石配合比率が安定し、強度のバラツキも抑制され平均強度の上昇を確認することができた。

開発の大きな変化として、上述した二つの改造工事が挙げられるが、その後の長期製造試験により、プロセスの安定操業技術を確立するとともに製造したフェロコークスを備蓄し、大型高炉での還元材比低減効果、課題などを検討する高炉試験を実施した。これにより、当初計画では、高炉数式モデルを用いた高炉での評価までを行い、次ステップで実高炉での効果検証を行う予定だったが、還元材比低減、通気などの影響を前倒しで調査することができた。

第 3 章 評価

第3章 評価

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

資源価格高止まりの中、今後の石炭および鉄鉱石品質の変化を考えると、日本産業界に幅広く素材を供給する鉄鋼メーカーのコスト競争力及び日本製造業の輸出競争力を高めるためにも低品位資源の利用拡大は極めて重要である。

さらに、大量の地球温暖化ガスを排出する製鉄業の省エネルギーの推進は社会的意義も大きい。

このような国家利益の観点に加え、我が国の鉄鋼産業全体の製鉄技術レベル向上、ひいては産業基盤の強化に資するものであり、開発費負担も大きいことから、単に個社の課題では無く我が国をあげて取り組むにふさわしい課題である。

また、本プロジェクトは、NEDO主導で実施された「エネルギー使用合理化技術戦略的開発」における先導研究で原理確認が行われ、その有効性についても確認されている革新的製鉄法の基礎技術に関するプロセス研究であり、技術的な先進性も見られる。

一方、製鉄プロセスの省エネルギー技術については様々な取組が行われている中、他技術と比較して技術導入に十分なインセンティブとなるのかが不明であり、明らかにする必要がある。

その上で、我が国鉄鋼メーカーが有するコークス炉については、老朽化が全社的に進んでおり、更新期が近づいている炉も多く存在することから、スピード感をもって実用化に向けた取り組みを進める必要がある。

【肯定的意見】

- ・（A委員）資源ブームは過ぎ去ったと思われるものの、資源会社が寡占化状態にあることから今後も資源価格は高止まりする可能性が高い。日本産業界に幅広く素材を供給する鉄鋼メーカーのコスト競争力を高め、日本製造業の輸出競争力をするためにも本プロジェクトは有意義と考える。
- ・（A委員）個社（1社）で取り組むには開発費用負担が大きく、時間もかかるため、国家利益の視点から、共同研究の形態で進めるのが良いと思われる。
- ・（B委員）相対的に急速な価格上昇が予想される高品位炭を低品位炭で代替可能とする技術は、わが国製造業を支える製鉄業にとって極めて重要。
- ・（B委員）科学的に合理的なプロセスであることに加えて、先導研究で確認された基礎技術の実証として有意義。
- ・（B委員）大量の地球温暖化ガスを排出する製鉄業の省エネルギーは極めて重要。ま

た、高品位炭を低品位炭で代替する技術の完成は高品位炭の価格抑制にも有効。

- ・（Ｃ委員）今後の石炭および鉄鉱石品質の変化を考えると、低品位資源の利用拡大は極めて重要な課題であり、事業の目的は妥当である。
- ・（Ｃ委員）革新的な製鉄法開発を目指しており、我が国の製鉄技術のレベル向上に関して意義が認められる。
- ・（Ｃ委員）我が国の産業基盤を将来的にも強化するために、本プロジェクトは大いに意義があり、国の事業として妥当である。
- ・（Ｄ委員）厳しい原料制約の下にありながら我が国の世界的な強みのひとつである鉄鋼業のアクティビティを維持していくために、低品質炭の利用幅の拡大や、更にそれを生産上のデメリットとしない新技術開発は、単に特定の高炉メーカー１社の課題ではなく、オールジャパンで重点的に取り組むにふさわしい課題である。
- ・（Ｅ委員）エネルギー事情の悪化している状況で低炭素社会を目指すために必要。技術的な先進性も見られ、社会的意義も高い。
資源の劣化にも対応しており、非常に重要な課題である。

【問題点・改善すべき点】

- ・（Ａ委員）コークス炉の老朽化が進んでおり、スピード感をもって商業化に向けた取り組みを進める必要があると考える。
- ・（Ｂ委員）製鉄プロセスの省エネルギー技術についてはさまざまな取り組みが行われており、その中における位置づけが若干不透明。最大 10%の省エネルギーが他技術と比較して技術導入に十分なインセンティブとなるかが不明。
- ・（Ｃ委員）今後の課題と考えられるが、経済性評価がやや精度を欠いているように思われる。
- ・（Ｄ委員）本プロジェクトの成果を広く全世界的に宣伝することは、我が国の鉄鋼業の技術力の高さを示し、イニシアチブを発揮する上で極めて重要なことであるが、ノウハウが漏れないように十分注意するべきであると思われる。
- ・（Ｅ委員）経済的な立場からの検討がもう少し必要。

2. 研究開発等の目標の妥当性

現行の高炉操業プロセスに対しての高品位炭の使用削減、低品位炭の利用方法確立並びに省エネルギーの目標は具体的であり妥当である。

そして、これらの目標を達成するための実用化に向けて必要となる要素技術の開発目標については原理やメカニズムに立脚し、具体的目標が設定されている。

しかしながら、各目標項目について、例えば、「長期安定製造技術の確立」における安定稼働日数目標等、数値目標が欠けている点もある。

また、今後、実用化のためには、省エネルギーに関してフェロコークス導入による下工程も含めた製鉄所全体としての目標や、要素技術の目標の明確化、さらには総合システムとしての経済性を常に検討するような目標設定が必要である。

また、将来的には、CO₂排出削減の観点からは、更なる上積み目標が必要と考えられる。

【肯定的意見】

- ・（A委員）高品位炭・低品位炭という言い方だとあいまいな印象を与えかねず、たとえば強粘結炭と定義した上で、その使用比率を2割削減する、というターゲットであれば目標設定として妥当だと考える。
- ・（B委員）フェロコークス製造プロセス、高炉操業プロセスともに、これまでの成果に基づいて、的確な技術課題を抽出して目標が設定されている。
- ・（B委員）目標達成によって、次ステップへの課題が明確になっている。
- ・（C委員）フェロコークス製造に関する技術的目標は明確にされている。
- ・（C委員）原理やメカニズムに立脚した各要素技術の開発目標が設定されており、適切と判断できる。
- ・（C委員）省エネおよび高品位炭使用料削減の目標は具体的になされている。
- ・（D委員）必ずしもCO₂削減が必須課題として課せられるべきとは思わないが、フェロコークスを社会が受け入れるために目標のひとつに掲げる意味は理解できる。現状の報告書では、一義的には低品位炭の利用方法の確立が研究開発目標であり、鉄鋼技術や環境評価の専門家を除けば、GHG削減はある程度納得が得られる説明になっている。従って、目標の設定の仕方としては妥当と思われる。
- ・（E委員）期間が4年間で中間評価はなされていないが、かなり明確な目標が立てられており、開発目標は妥当である。

【問題点・改善すべき点】

- ・（A委員）石炭の投入量を10%減らすという目標は、第一段階の目標としては妥当と考える。CO₂排出削減の観点からは、将来的には（10%を超える）さらなる上積み目標が必要だろう。

- ・（Ｂ委員）各項目に数値目標が設定されておらず、開始前の見通しと成果との関係が不明確。例えば、新規バインダーによる強度向上の割合(%)、等。
- ・（Ｃ委員）本プロジェクトは革新的製鉄プロセスの開発であるので、特に省エネに関しては、下工程も含めた製鉄所全体としての目標が必要である。
- ・（Ｃ委員）実用化のためには要素技術および総合システムとしての経済性を常に検討するような目標設定が欠けている。
- ・（Ｄ委員）他方、フェロコークス導入による製鉄所としてのトータルのエクセルギー収支などは、国内業界に対して、しっかり定量的に検討しておくべき課題と思われる。また、フェロコークスとして一般的コークスを代替できる「低品位炭」の許容範囲やフェロコークスに混ぜ込む鉄鉱石との組み合わせ範囲は、その明確化も本来は目標に入れておくべきと考えられる。ただし、海外にそれを明示すべきものではなく、むしろ対外的には曖昧にしておくべき機密事項と思われる。現状では質問書に対するご回答の内容で問題ないと判断されるが、国内高炉メーカーには十分に情報提供されておくことを望む。
- ・（Ｅ委員）実用化の時間軸が長く設定されている。その時点で社会状況や大きな技術革新があるかもしれないので、もう少し早く設定されることが望まれる。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

フェロコークス製造技術およびその使用技術の開発において、パイロットプラントにおけるフェロコークス製造、操業プロセスのシミュレーション及び実際の稼働高炉にフェロコークスを投入しての実証などを実施し、全ての目標を達成し、十分な成果が得られている。これらの成果は今後のスケールアップに有効と考えられ、実用化への進展が期待できる。

また、成果発表が積極的に行われており、大学での関連人材の育成に有効と考えられる。

なお、高炉操業の10%の省エネ達成に関してはその評価に多くの課題が残されており、その可能性は認められるものの、今回の結果だけから達成出来たとは言いがたい。

また、「低品位」な炭種の許容範囲と想定しうる負の影響を明確にした上で今後の普及を追跡調査するとともに、フェロコークスの導入率（普及率）と既存コークス炉のリプレイス率の関係をシュミレートすることは有益であり今後の課題である。

【肯定的意見】

- ・（A委員）当初予定に入っていなかった高炉操業プロセスの開発、つまり5日間という短期間ではあるものの、実際の稼働高炉に投入して操業を確認した意義は大きいと考える。
- ・（B委員）フェロコークス製造プロセス、高炉操業プロセス両者について十分な成果が得られた。
- ・（B委員）アカデミアによるシミュレーション、反応モデル解析も進められており、今後のスケールアップに有効と考えられる。
- ・（B委員）成果発表が積極的に行われており、大学での関連人材の育成に有効と考えられる。
- ・（C委員）フェロコークスの製造技術、製造したフェロコークスの特性に関しては、当初の目標を達成していると判断できる。
- ・（C委員）30 t/d規模のパイロット設備も計画通り建設され、実証もなされ、実用化への進展が期待できる。
- ・（D委員）基本的なフェロコークス製造技術およびその使用技術は開発に成功したと理解される。
- ・（E委員）すべての目標が達成されており、技術開発プロジェクトとして成功である。実規模ではないが、かなりな規模でのパイロット試験がなされており、実証化の可能性も高い。

【問題点・改善すべき点】

- ・（C委員） 10%の省エネに関してはその評価に多くの課題が残されており、その可能性は認められるものの、この結果だけから達成出来たとは言いがたい。
- ・（D委員）炭種の広範囲な適用性、すなわちフェロコークス技術の汎用性を考えるならば、（繰り返しになるが）「低品位」な炭種の許容範囲と想定しうる負の影響を明確にしておくことが望ましい。また本技術は報告書でも謳われているように、我が国にとって重要な資源戦略の一環と考えられるので今後の普及を追跡調査すべきものとする。気になるのは、フェロコークスやS c o p e 2 1等の新技術導入による国内コークス炉のリプレイス率がどこまで下げられるか、であり、広い意味での達成目標に含まれるべき事項と思われるので、フェロコークスの導入率（普及率）と既存コークス炉のリプレイス率の関係はシミュレートしておくことは有益である。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

当プロジェクトの研究開発の成果により、技術的、論理的には実現可能性の見通しが立っており、事業化に向けても技術的課題が明確にされていることから、今後の実機とパイロットとの中間規模でのプラント建設・運転が成功すれば十分に事業化は可能と考えられる。

加えて、フェロコックス導入により、低品位炭活用のためのバインダーの必要調達量の増加が見込まれるが、その対応のために、従来の石油系バインダーに加え、新規に石炭由来のバインダーがフェロコックス製造に活用可能であることが、この事業により確認できたことは意義が大きい。

また、論理的に系統的な実験結果が説明されており、事業化についてネガティブな要因は明確には認められないが、ガス化反応機構や触媒能等、科学的に詰めるべき課題も多く、フェロコックスプロセスに関する基礎研究が活発化する効果が期待できる。

しかしながら、事業化を見据えた場合、シェールガスの利用拡大等エネルギー供給構造の変化を捉まえておく必要がある。

また、他の省エネルギー技術等との相対的役割を考慮しなければ、当技術が相対的に優れた技術と結論されるかは不透明である。さらに、経済性評価についても原料炭コストの削減効果は大きいと考えられるもののその精度については不十分であると考えられる。

よって、これらの点を総合的に留意し、製鉄所全体のエネルギーバランスや経済性評価をより定量的に示すことで精度の高い実用化計画を立てつつ、早期の実用化・普及へのシナリオを描くべきである。

なお、波及効果についても、現在の見込み以上となる部分もあると考えられるため、より具体的かつ定量的にアピールすることが今後の普及に強く結びつくものと考えられる。

【肯定的意見】

- ・（Ａ委員）コスト削減の観点から、１基当たり約４０億円の原料炭コストが低減できれば効果は大きい。
- ・（Ｂ委員）コークス炉の老朽化に合わせて計画されており、今後の実機とパイロットとの中間規模でのプラント建設・運転が成功すれば十分に事業化は可能と考えられる。
- ・（Ｂ委員）今後、生産量の減少が予想される石油ピッチに頼らずにコークスが製造可能になる副次効果が期待できる。
- ・（Ｃ委員）連続製造を実現しており、製造技術に関しては事業化に向けて進展していると考えられる。
- ・（Ｃ委員）実用化に対する技術的課題は明確にされている。

- ・（D委員）報告書を見る限り、論理的に系統的な実験結果が説明されており、事業化についてネガティブな要因は明確には認められない。ガス化反応機構や触媒能等、科学的に詰めるべき課題も多く、フェロコックスプロセスに関する基礎研究が活発化する効果が期待できる。
- ・（E委員）別な箇所でもコメントしたが、少し実用化時期が長い。これからシェールガスの利用増大が始まると状況が変わる可能性があり、そうなると実用化がなされないことも予想される。

【問題点・改善すべき点】

- ・（A委員）理論としては実現可能性の見通しが立ったと言えようが、中規模・大規模実験機での実験を待たないと、商業ベースでの実現可能性の目途にはまだ遠いのではないか。また、3分の1をフェロコックス炉に置き換えた場合、製鉄所全体のエネルギーバランスを考慮する必要があると思われる。
- ・（B委員）コークス炉単体での省エネルギー化等、省エネルギーには多くの競合技術が想定され、相対的に優れた技術と結論されるか不透明。
- ・（C委員）経済性評価の精度が不十分と思われる。
- ・（C委員）実機化に向けたシナリオがやや不明確と言える。
- ・（D委員）報告書67ページに示されている波及効果は当然期待できるが、若干遠慮し過ぎであり、もっとアピールすべき内容ではないか。それ以上の本来求めるべき効果についても言及してほしい。すなわち、先に述べたコークス炉のリプレイス率低下見込みのように、波及するところ（させるべきところ）をより具体的かつ定量的に示すことが今後の実際に普及に強く結びつくものと思われる。
- ・（E委員）実用化計画の部分をもう少し精査すべきである。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

大手高炉メーカーが参画しオールジャパンでの研究体制が組まれており、かつ、参加企業の役割分担も明確である。さらに企業側と大学側の連携により、基礎的検討もなされており、適切である。

事業計画及び運営についても、開発過程で生じた問題をその都度解決しながらプロジェクトが実行されている。また、フェロコークス製造炉の運転時間が適切に確保されるとともに、高炉での実証実験も実施され、適切に事業が進められている。プロジェクトの補助率も妥当である。

ただし、炭種による価格差の動向が本プロセスの事業化に大きく影響すると考えられるので適用できる原料炭の詳細検討が必要であったと考えられる。

また、今後のコークス炉リプレイス見込み率、高品位粘結炭の使用量削減率など、フェロコークスが代替できる既存技術・設備との比較などを定量的にシミュレートすることが望まれる。

【肯定的意見】

- ・（A委員）参画企業の役割分担も明確であり、実施・運営が適切に行われていると考える。
- ・（B委員）大手高炉メーカー三社が参加し、得意の技術を持ち寄っての計画であり計画は適切。
- ・（B委員）フェロコークス製造炉の運転時間が適切に確保されている。
- ・（B委員）高炉での実証試験も適切に行われている。
- ・（B委員）補助率50%も妥当と考えられる。
- ・（C委員）開発過程で生じた問題点をその都度解決しながらプロジェクトを推進しており、開発体制および運営方法は適切であると判断できる。
- ・（C委員）企業側と大学側との連携により、応用的な面だけでなく基礎的検討もなされたことは評価できる。
- ・（D委員）我が国の製鉄技術のエキスパートが集い、計画的かつ的確に実施されたプロジェクトであることがよく理解できた。研究費の使用内容については極めて的確であると信じる。
- ・（E委員）いわゆるオールジャパンの体制ができており、開発体制は問題ない。ただし、このような場合には往々にして実用化に進まないことが多いので、その点は注意して見守る必要がある。

【問題点・改善すべき点】

- ・（B委員）石炭価格（特に炭種による価格差）の動向が本プロセスの事業化に大きく

影響すると考えられるので、小型プラントを用いて適用できる炭種についてより詳細な検討が必要ではないか。

- ・（D委員）ここで言う「変化」や「代替」の意味は、74ページに示されている内容とは意味が少し違うのではないか。評価者は「代替」が「フェロコークスが代替できる既存技術・設備」と理解したが、そうであるならば、それを定量的にシミュレートすることが望ましい。具体的には、例えば今後のコークス炉リプレイス見込み率、高品位粘結炭の使用量削減率である。今後の成果の発信方法（特に他国に向けて）は、我が国鉄鋼業の存在感を再アピールする上でも重要な戦略と考えられる。明らかにしてもよいところと他国には秘密にすべきところを明確にした上で、積極的な情報発信に大いに期待する。

6. 総合評価

全般的には優れた研究成果が挙げられているものと高く評価される。今後20—30年間のエネルギー需給見通しが不透明である現在、エネルギー消費量の大きい製鉄業が複数のシナリオに沿って複数の改良技術を持つことは有効であり、日本製造業の基盤・中核的素材産業としての鉄鋼業の課題解決にあたって意義が大きい事業である。

また、文科省予算による基礎研究、NEDO先導研究を経ての50%補助金によるパイロットプラント研究であり、長年の先行研究成果を十分に活用し、開発目標は様々な工夫によって概ね達成されており、革新的プロセスの実現が期待できる。

また、企業での応用的検討と大学の基礎的検討が上手く連携されており、産学連携による効果が認められる。さらには、また、関連する基礎要素研究が、主に学側で活発化することが予想され、学のレベルアップに繋がり大きな波及効果が期待できる。

今後の実用化にあたっては、想定される省エネ技術・コスト削減技術を踏まえた製鉄所全体としての省エネシナリオの検討及びそれを踏まえての経済性評価を明確に行うべきである。加えて、本技術がもたらす波及効果は検討が不十分である。

また、コークス炉の老朽化は進んでおり、事業化に向けた研究のスピードアップが望まれ、実用化に向けた時間軸を見直す必要がある。

【肯定的意見】

- ・（A委員）事業の目的は明確であり、日本製造業の基盤・中核的素材産業としての鉄鋼業の課題解決に意義のある研究だと思われる。
- ・（B委員）今後20—30年間のエネルギー需給見通しが不透明である現在、エネルギー消費量の大きい製鉄業が複数のシナリオに沿って複数の改良技術を持つことは有効と考えられる。
- ・（B委員）文科省予算による基礎研究、NEDO先導研究を経ての50%補助金によるパイロットプラント研究であり、長年の先行研究成果を十分に活用している。
- ・（B委員）学のレベルアップにもつながり、多くの波及効果が想定される。
- ・（C委員）開発目標は様々な工夫によって概ね達成されており、革新的プロセスの実現が期待できる。
- ・（C委員）企業での応用的検討と大学の基礎的検討が上手く連携されており、産学連携による効果が認められる。
- ・（D委員）全般的には優れた研究成果が挙げられているものと高く評価される。各委員の質問に対する回答や評価委員会での質疑を差し支えない範囲で開示させて頂ければ、成果報告としては十分なクオリティであると思われる。
- ・（E委員）プロジェクトの設定、目標、成果共にすぐれている。

【問題点・改善すべき点】

- ・（A委員）コークス炉の老朽化は進んでおり、事業化に向けた研究のスピードアップが望まれる。
- ・（B委員）現行のコークス炉は大幅な省エネルギーの余地がある。省エネルギー、コスト削減の観点では競合すると想定される技術と十分な検討がなされているか不明。
- ・（C委員）実用化に向けた経済性評価がやや曖昧である。
- ・（C委員）製鉄所全体としての省エネの検討が不十分である。
- ・（D委員）ぜひ実用化、普及させるべき技術であると思われる。本技術がもたらす波及効果のサーベイは、やや不足感がある（報告書67ページに2／3ページほど触れているだけ）。波及するであろうところ、逆に波及させるべきところをもっと掘り下げることにより、コストメリットの発揮場所が見出せるのではないか。
- ・（E委員）実用化の時間軸が長すぎる。

7. 今後の研究開発の方向等に関する提言

資源価格高止まりの中、今後の石炭および鉄鉱石品質の変化など鉄鋼メーカーのコスト競争力及び省エネルギー、資源対応力強化への対応は喫緊の課題であるが、フェロコークスによる革新的な製鉄プロセス技術は、かかる課題を解決するために期待が高い技術である。

また、今後起こりうる外部環境の変化に対して、より柔軟な対策を講じられるようにすべきである。この点からも多様な製鉄プロセスを確立させ、選択肢を広げることが我が国製鉄業の強靱化に資すると考えられる。

この観点から、フェロコークスは事業化に必要な要素技術は確立されているため、投入された国費を還元する意味においても早期に実用化できる段階まで技術開発を進め、選択肢として活用出来るようにしておくことが必要である。なお、導入にあたってはシェールガスの台頭によるエネルギー供給構造の変化等、状況変化を考慮し、他の選択肢との比較検討を行うことが重要である。

実用化にあたっては、当プロジェクトで成し遂げられなかった製鉄所全体のエネルギーバランスや経済性評価を定量的にシミュレートすることは必須である。また、低品位炭の利用にあたって、使用できる炭種を明確に区分し、高品位粘結炭の使用量削減率を具体的に定量化しながら進める必要がある。併せて、実用化までの開発計画・スキームを精査し、総合的な実装プランを検討すべきである。

実用化の前段階として、中間規模での実証実験を意義及び開発目標を明確にしつつ行うことが妥当だと考えられる。具体的な検討技術としては乾留炉と成型設備のスケールアップが必要である。特に、実用化の製造量レベルを考えると成型設備は2桁以上のスケールアップ試験が必要と予想される。

当研究開発の成果は、波及効果も大きいと考えられるため、潜在的な効果についても具体化、定量化が求められる。特に、本プロジェクトの成果を広く世界的に宣伝することは、我が国鉄鋼業の技術力の高さを示し、イニシアティブを発揮する上で重要な戦略だと考えられる。その際、ノウハウの流出には十分に留意すべきである。また、主に学側でも基礎研究が活発化することが予想されるが、我が国の製鉄基礎研究者がイニシアティブを取ることを期待する。

政府としても着実なフォローをするべきである。この際、更なる公的資金を投入するのであれば、他の競合技術との関係を整理をした上で、優位性を示すことが必要である。

【各委員の提言】

- ・（B委員）前述の通り、エネルギー需給見通しが不透明な状況下で、鉄鋼産業が複数の技術開発を並行して進めることが必要であることは理解。一方、本プロジェクトにも10億円を越える国費が投入されていることから、事業化を通じての国民への還元

が強く求められる。

- ・（Ｂ委員）今後、中間規模でのプラント建設・運転が事業化に必須、かつ公的資金を必要とするのであれば競合技術との十分な整理と優位性の提示が必要と考える。
- ・（Ｃ委員）中規模実証機の意義および開発目標を明確にして、次のステップに進展して頂きたい。
- ・（Ｃ委員）実用化までの開発計画を精査し、実機導入のビジネスプランを検討して頂きたい。
- ・（Ｃ委員）製鉄業全体として将来の製鉄をどのようにするかといった開発スキームを整理し、統合的な実装プランを検討して頂きたい。
- ・（Ｄ委員）本課題は、今後も我が国の高炉・転炉プロセスによるバージン鉄鋼の製造が世界的イニシアチブを取っていく上で重要な意味を持つと考えられる。製品価格に占める原料費の割合が益々高止まる傾向があり、他方、電炉製鋼では高付加価値製品を製造することは現状技術では期待できないため、当面は高炉・転炉法に原料弾力性を持たせるしか道はないと思われる。その意味でも、本プロジェクトはしっかりした成果が得られており、今後確実に普及させるべきと考える。そのために、国には確実なフォローアップを期待する。仮に次のステップに進んだとして、最も検討すべきは乾留炉と成型設備のスケールアップと考えられる。実用化の製造量レベルを考えると、特に成型設備はまずは２桁以上のスケールアップ試験が必要と予想され、継続的に取り組めることを望む。また、プロジェクト全体の成果が公表された後は、関連する基礎要素研究が、主に学側で活発化することが予想され、大きな波及効果が期待できる。機を見るに敏な研究者は、国内外を問わず、様々な基礎研究に取り組むと思われるが、ここでも我が国の製鉄基礎研究者がイニシアチブを取ることを期待する。

第 4 章 評点法による評点結果

第4章 評点法による評点結果

「資源対応力強化のための革新的製銑プロセス技術開発」に係るプロジェクト評価の実施に併せて、以下に基づき、本評価検討会委員による「評点法による評価」を実施した。その結果は「3. 評点結果」のとおりである。

1. 趣 旨

評点法による評価については、産業技術審議会評価部会の下で平成11年度に評価を行った研究開発事業（39プロジェクト）について「試行」を行い、本格的導入の是非について評価部会において検討を行ってきたところである。その結果、第9回評価部会（平成12年5月12日開催）において、評価手法としての評点法について、

(1) 数値での提示は評価結果の全体的傾向の把握に有効である、

(2) 個々のプロジェクト毎に評価者は異なっても相対評価はある程度可能である、との判断がなされ、これを受けて今後のプロジェクト評価において評点法による評価を行っていくことが確認されている。

また、平成21年3月31日に改定された「経済産業省技術評価指針」においても、プロジェクト評価の実施に当たって、評点法の活用による評価の定量化を行うことが規定されている。

これらを踏まえ、プロジェクトの中間・事後評価においては、

(1) 評価結果をできる限りわかりやすく提示すること、

(2) プロジェクト間の相対評価がある程度可能となるようにすること、

を目的として、評価委員全員による評点法による評価を実施することとする。

本評点法は、各評価委員の概括的な判断に基づき点数による評価を行うもので、評価報告書を取りまとめる際の議論の参考に供するとともに、それ自体評価報告書を補足する資料とする。また、評点法は研究開発制度評価にも活用する。

2. 評価方法

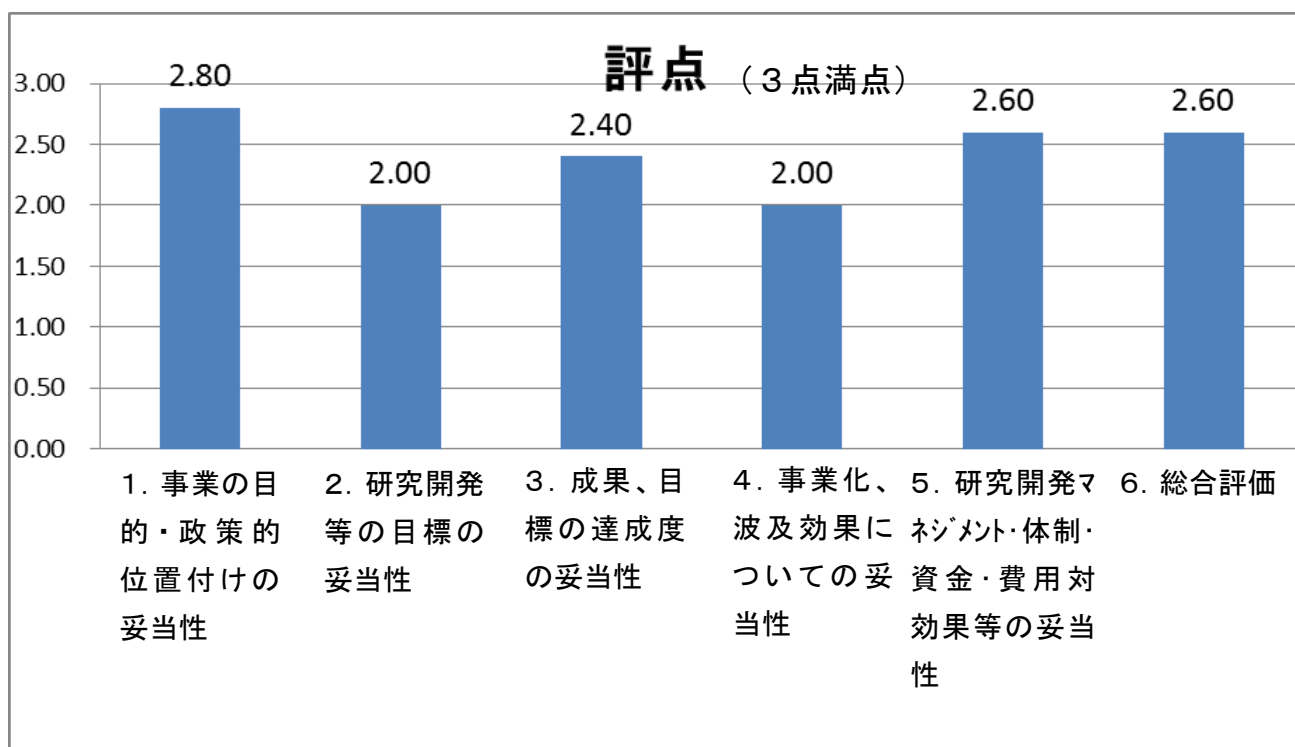
- ・各項目ごとに4段階（A（優）、B（良）、C（可）、D（不可）〈a, b, c, dも同様〉）で評価する。
- ・4段階はそれぞれ、 $A(a)=3$ 点、 $B(b)=2$ 点、 $C(c)=1$ 点、 $D(d)=0$ 点に該当する。
- ・評価シートの記入に際しては、評価シートの《判定基準》に示された基準を参照し、該当と思われる段階に○を付ける。
- ・大項目（A, B, C, D）及び小項目（a, b, c, d）は、それぞれ別に評点を付ける。
- ・総合評価は、各項目の評点とは別に、プロジェクト全体に総合点を付ける。

3. 評点結果

評点法による評点結果

(資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.80	3	2	3	3	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.00	1	2	2	2	3
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.40	2	2	2	3	3
4. 事業化、波及効果についての妥当性	2.00	2	1	2	2	3
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.60	2	2	3	3	3
6. 総合評価	2.60	2	3	2	3	3



第 5 章 評価ワーキンググループのコメント 及び対処方針

第5章 評価ワーキンググループのコメント及びコメントに対する対処方針

「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」の終了時評価に係る評価ワーキンググループのコメント及びコメントに対する推進課の対処方針は、以下のとおり。

（事後評価）

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

（アウトカムに至るまでの戦略について）

- ・他の製鉄プロセス技術の研究開発との関係性の整理、棲み分けを行い、本プロジェクトの有用性の明確化を図り、技術の海外移転の可能性等も含めて、今後の事業化までの戦略、プロセスについての検討を行うべき。

（対処方針）

- ・COURSE 50やSCOPE 21などの新規製鉄プロセス技術との関係性や棲み分けを整理し、当該技術の有用性を明確化する。また、国際的な鉄鋼資源、エネルギー需給動向、製鉄所内のエネルギーバランス、経済性評価を行いつつ、更には技術の海外移転の可能性等も含めて、今後の事業化までの戦略、最適な製鉄プロセスについての検討を行う。

(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終了時評価)

今後の研究開発の方向等に関する提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言	対 処 方 針
○ 今後起こりうる外部環境の変化に対して、より柔軟な対策を講じられるよう、多様な製鉄プロセスを確立させ、選択肢を広げることが我が国製鉄業の強靱化に資すると考えられる。 ○ 実用化までの開発計画・スキームを精査し、総合的な実装プランを検討すべきである。その際、製鉄所全体のエネルギーバランスや経済性評価等を定量的にシミュレートすることは必須である。 ○ 実用化の前段階として、中間規模での実証実験を意義及び開発目標を明確にしつつ行うことが妥当である。 ○ 政府としても着実なフォローをすべきである。この際、更なる公的資金を投入するのであれば、他の競合技術との関係を整理しつつ優位性を示すことが必要である。	○ フェロコークスの導入により、高品位炭の使用量が大幅に削減され相当のコスト削減及び省エネルギー効果が期待できるため、実用化に向けて推進を図る。 ○ 実用化に際しては、所内のエネルギーバランスや経済性評価等、具体的、定量的な精査が必要となるため、将来のエネルギー需給見通し等も踏まえつつ、具体的な見通しを立てる。 ○ 当技術以外にも様々な製鉄プロセス技術が開発されているところであり、各々の技術のとの関係性や棲み分けを行いつつ、同事業の有用性を明確化する。

經濟產業省技術評価指針

平成 2 1 年 3 月 3 1 日

目次

経済産業省技術評価指針の位置付け	1
I. 評価の基本的考え方	4
1. 評価目的	4
2. 評価の基本理念	4
3. 指針の適用範囲	5
4. 評価の類型・階層構造及びリンケージ	5
5. 評価方法等	5
6. 評価結果の取扱い等	6
7. 評価システムの不断の見直し	7
8. 評価体制の充実	7
9. 評価データベース等の整備	7
10. 評価における留意事項	7
II. 評価の類型と実施方法	9
II. 1. 技術に関する施策評価	9
(1) 事前評価	9
(2) 中間・終了時評価	9
II. 2. 技術に関する事業評価	10
II. 2. 1. 研究開発制度評価	10
(1) 事前評価	10
(2) 中間・終了時評価	10
II. 2. 2. プロジェクト評価	11
(1) 事前評価	11
(2) 中間・終了時評価	11
II. 2. 3. 競争的資金制度による研究課題に関する評価	12
(1) 事前評価	12
(2) 中間・終了時評価	13
II. 3. 追跡評価	14

経済産業省技術評価指針の位置付け

経済産業省技術評価指針（以下、「本指針」という。）は、経済産業省が、経済産業省における技術に関する施策及び技術に関する事業（以下、「技術に関する施策・事業」という。）の評価を行うに当たって配慮しなければならない事項を取りまとめたガイドラインである。

本指針は、「産業技術力強化法」（平成１２年法律第４４号）第１０条の規定、「科学技術基本計画」（平成１８年３月閣議決定）、「研究開発システムの改革の推進等による研究開発能力の強化及び研究開発等の効率的推進等に関する法律」（平成２０年法律第６３号）第３４条の規定及び「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成２０年１０月内閣総理大臣決定）（以下、「大綱的指針」という。）に沿った適切な評価を遂行するための方法を示す。

同時に、「行政機関が行う政策の評価に関する法律」（平成１３年法律第８６号）（以下、「政策評価法」という。）に基づく「経済産業省政策評価基本計画」（以下、「政策評価基本計画」という。）に沿った、経済産業省政策評価のうち研究開発に関する部分の実施要領としての性格を持つ。したがって、技術に関する施策・事業についての評価の結果は、政策評価基本計画に基づき実施される事前評価及び事後評価に適切に反映・活用を図る。

技術評価は、政策評価法上要請される評価を含め政策評価の一環としての位置付けを有することから、本指針は、技術に関する施策・事業の成果や実績等を厳正に評価し、それを後の技術に関する施策・事業の企画立案等に反映させる政策サイクルの一角としての評価の在り方について定めるものである。

ただし、技術に関する施策・事業に係る評価は、競争的資金制度による研究課題、プロジェクトといった研究開発の内容や性格、実施体制等の態様に応じた評価方法に拠るべきであるとともに、評価の厳正さと効率性を両立するためには、評価をとりまく様々な状況に応じた臨機応変な評価手順を設定する必要がある。さらに、評価手法は日進月歩であり、今後よりよい評価手法が提案されることも十分考えられる。したがって、本指針では共通的なルール及び配慮事項を取り上げることとし、より詳細な実施のプロトコルは評価マニュアルの作成等により記述することで、機動的な実施を図ることとする。

研究開発機関が自ら実施する評価をその機関の自己改革の契機とするような自律的なシステムの構築に努め、研究開発を実施する独立行政法人が、大綱的指針及び本指針に沿って、研究開発評価の実施に関する事項について、明確なルールを定め、研究開発評価の実施及び評価結果の活用が適切かつ責任を持って行われるよう、所管官庁としての責務を果たすものとする。

◎本指針における用語については、次に定めるところによる。

- ・競争的資金制度：資金を配分する主体が、広く一般の研究者（研究開発に従事している者又はそれらの者から構成されるグループをいう。）、企業等又は特定の研究者、企業等を対象に、特定の研究開発領域を定め、又は特定の研究開発領域を定めずに研究課題を募り、研究者、企業等から提案された研究課題の中から、当該課題が属する分野の専門家（当該分野での研究開発に従事した経験を有する者をいう。）を含む複数の者による、研究開発の着想の独創性、研究開発成果の先導性、研究開発手法の斬新性その他の科学的・技術評価又は経済的・社会的評価に基づき、実施する課題を採択し、当該課題の研究開発を実施する研究者等又は研究者等が属する組織若しくは企業等に資金を配分する制度をいう。
- ・研究開発制度：資源配分主体が研究課題を募り、提案された課題の中から採択した課題に研究開発資金を配分する制度をいう。
- ・プロジェクト：具体的に研究開発を行う個別の実施単位であり、明確な目的や目標に沿って実施されるものをいう。研究開発制度（競争的資金制度を含む）による研究課題は、本指針上プロジェクトには該当しない。
- ・研究開発機関：国からの出資、補助等の交付を受けて研究開発を実施し、又は研究開発の運営管理を行う機関をいう。
- ・技術に関する事業：具体的に研究開発を行う個別の実施単位をいい、「研究開発制度（競争的資金制度を含む）」、「プロジェクト」及び「競争的資金制度による研究課題」により構成される。
- ・技術に関する施策：同一又は類似の目的を有する技術に関する事業のまとまりをいい、当該目的との関係で必要な研究開発以外の要素（調査等）を含む場合がある。
- ・政策評価書：本指針において用いる「政策評価書」とは経済産業省政策評価実施要領を踏まえた評価書をいう。
- ・政策サイクル：政策の企画立案・実施・評価・改善（plan-do-check-action）の循環過程をいう。
- ・評価システム：評価目的、評価時期、評価対象、評価方法等、評価に係るあらゆる概念、要素を包含した評価制度、体制の全体をいう。
- ・推進課：技術に関する事業を推進する課室（研究開発担当課室）をいう。推進課は、評価結果を反映させるよう努力する義務がある。
- ・主管課：技術に関する施策の企画立案を主管する課室及び予算等の要求事項を主管する課室をいう。
- ・査定課：予算等の査定を行う課室（大臣官房会計課、資源エネルギー庁総合政策課等）をいう。
- ・有識者等：評価対象となる技術に関する施策・事業について知見を有する者及び研究開発成果の経済的・社会的意義につき指摘できる人材（マスコミ、ユーザ、人文・社会学者、投資家等）をいう。
- ・外部評価者：経済産業省に属さない外部の有識者等であって、評価対象となる技術に関する施策・事業の推進に携わっていない者をいう。
- ・外部評価：外部評価者による評価をいい、評価コメントのとりまとめ方法としてパネルレビュー

（評価者からなる委員会を設置（インターネット等を利用した電子会議を含む。）して評価を行う形態）による場合とメールレビュー（評価者に対して郵便・FAX・電子メール等の手段を利用して情報を提供し、評価を行う形態）による場合とがある。

- ・評価事務局：技術に関する施策・事業の評価の事務局となる部署をいい、評価者の行う評価の取りまとめ責任を負う。
- ・評価者：評価の責任主体をいい、パネルレビューによる場合には外部評価者からなる委員会が責任主体となる。また、評価の結果を踏まえて、資源配分の停止や変更、技術に関する施策・事業の内容の変更に責任を有するのは企画立案部門である技術に関する施策・事業の推進課及び主管課である。
- ・終了時評価：事業終了時に行う評価であり、事業が終了する前の適切な時期に行う終了前評価と事業の終了直後に行う事後評価がある。

I. 評価の基本的考え方

1. 評価目的

(1) より良い政策・施策への反映

評価を適切かつ公正に行うことにより、研究者の創造性が十分に発揮されるような、柔軟かつ競争的で開かれた研究開発環境の創出など、より良い政策・施策の形成等につなげること。

(2) より効率的・効果的な研究開発の実施

評価を支援的に行うことにより、研究開発の前進や質の向上、独創的で有望な優れた研究開発や研究者の発掘、研究者の意欲の向上など、研究開発を効果的・効率的に推進すること。

(3) 国民への技術に関する施策・事業の開示

高度かつ専門的な内容を含む技術に関する施策・事業の意義や内容について、一般国民にわかりやすく開示すること。

(4) 資源の重点的・効率的配分への反映

評価の結果を技術に関する施策・事業の継続、拡大・縮小・中止など資源の配分へ反映させることにより資源の重点化及び効率化を促進すること。また、研究開発をその評価の結果に基づく適切な資源配分等通じて次の段階に連続してつなげることなどにより、研究開発成果の国民・社会への還元効率化・迅速化に資すること。

2. 評価の基本理念

評価の実施に当たっては、以下の考え方を基本理念とする。

(1) 透明性の確保

推進課、主管課及び研究開発機関においては、積極的に成果を公開し、その内容について広く有識者等の意見を聴くこと。評価事務局においては、透明で公正な評価システムの形成、定着を図るため、評価手続、評価項目・評価基準を含めた評価システム全般についてあらかじめ明確に定め、これを公開することにより、評価システム自体を誰にも分かるものとするとともに、評価結果のみならず評価の過程についても可能な限り公開すること。

(2) 中立性の確保

評価を行う場合には、被評価者に直接利害を有しない中立的な者である外部評価の導入等により、中立性の確保に努めること。

(3) 継続性の確保

技術に関する施策・事業においては、個々の評価がそれ自体意義を持つだけでなく、評価とそれを反映した技術に関する施策・事業の推進というプロセスを繰り返していく時系列のつながりにも意義がある。したがって、推進課及び主管課にとって評価結果を後の技術に関する施策・事業の企画立案等に反映させる際に有用な知見を抽出し、継続性のある評価方法で評価を行うこと。

(4) 実効性の確保

政策目的に照らし、効果的な技術に関する施策・事業が行われているか判断するための効率的評価が行われるよう、明確で実効性のある評価システムを確立・維持するとともに、技術に関する施策・事業の運営に支障が生じたり、評価者及び被評価者双方に過重な負担をかけるこ

とのない費用対効果の高い評価を行うこと。

3. 指針の適用範囲

- (1) 本指針においては、多面的・階層的な評価を行う観点から、経済産業省における具体的に研究開発を行う個別の実施単位である研究開発制度、プロジェクト及び競争的資金制度による研究課題である技術に関する事業並びに同一又は類似の目的を有する技術に関する事業のまとまりである技術に関する施策を評価対象とする。
- (2) 国費の支出を受けて技術に関する事業を実施する民間機関、公設試験研究機関等の評価については、当該事業の評価の際等に、これら機関における当該事業の研究開発体制に関わる運営面に関し、国費の効果的・効率的執行を確保する観点から、必要な範囲で評価を行う。
- (3) 上記(2)の規定にかかわらず、独立行政法人が運営費交付金により自ら実施し、又は運営管理する技術に関する事業については、独立行政法人通則法（平成11年法律第103号）及び大綱的指針に基づいて実施されるものであり、本指針の対象としない。なお、技術に関する施策には、これら事業は含まれるものとする。
- (4) 評価の種類としてはこの他に研究者等の業績の評価が存在するが、これは研究開発機関の長が評価のためのルールを整備した上で、責任を持って実施することが基本であり、本指針の対象としない。

4. 評価の類型・階層構造及びリンケージ

(1) 実施時期による類型

評価はその実施時期により、事前評価、中間・終了時評価及び追跡評価に類型化される。

(2) 評価の階層構造

経済産業省における技術評価では、技術に関する施策・事業での評価を基本的な評価単位とするが、政策効果をあげるために、特に必要があると認められるときには、関連する複数の技術に関する施策・事業が有機的に連携をとって

体系的に政策効果をあげているかを評価することとする（これは経済産業省政策評価実施要領における「政策体系評価」に対応するものと位置付ける。）。

(3) 実施時期による評価のリンケージ

中間・終了時評価は、技術に関する施策・事業の達成状況や社会経済情勢の変化を判断し、計画の見直しや後継事業への展開等の是非を判断するものである。また、事前評価での予想が実際にどのような結果となったか、予算措置は妥当であったか等を確認することにより、事前評価の方法を検証し得るものである。したがって、中間・終了時評価の結果をその後の産業技術政策・戦略の企画立案や、より効果的な事前評価の評価手法の確立に反映させるよう努めるものとする。

また、中間・終了時評価の結果は、追跡評価にて検証されるものである。

5. 評価方法等

厳正な評価を行うためには、評価方法、評価項目等に客観性を持たせることが必要であること

から、本指針をはじめ評価実施に係る諸規程等を整備の上、公開するものとする。

技術評価室は本指針を踏まえ、評価マニュアル等を策定するとともに、円滑な評価の実施のための指導及び評価システムの維持管理を行う。

(1) 施策原簿

技術に関する施策の基本実施計画書、政策評価書等をもって施策原簿とする。施策原簿を作成・改定した場合は、速やかにその写しを技術評価室へ提出する。

(2) 事業原簿

技術に関する事業の基本実施計画書、政策評価書等をもって事業原簿とする。研究開発制度及びプロジェクトの事業原簿を作成・改定した場合は、速やかにその写しを技術評価室へ提出する。

(3) 評価項目・評価基準

評価の類型及び技術に関する施策・事業の態様等に応じて標準的な評価項目・評価基準を技術評価室が別に定めることとする。

(4) 評価手続・評価手法

評価の類型に応じて適切な評価手法を用いるものとする。なお、複数の事業間の相対的評価を行う場合等においては、評点法の活用が有効と考えられ、評価の類型及び対象案件の態様に応じ適宜活用することが望ましい。

(5) 評価の簡略化

評価の実施に当たっては、評価コストや被評価者側の過重な負担を回避するため、評価対象となる事業に係る予算額が比較的少額である場合には、評価項目を限定する等の簡略化を行うことができるものとする。なお、簡略化の標準的な方法については技術評価室が別に定める。

6. 評価結果の取扱い等

(1) 評価結果の取扱い

評価事務局は、評価終了後速やかに評価書の写しを技術評価室に提出する。技術評価室は全ての評価結果について、これまでに実施された関連調査及び評価の結果、評価の実施状況等を踏まえつつ意見をまとめ、査定課、秘書課及び政策評価広報課に報告することができる。

(2) 予算査定との関係

査定課は、技術評価室から事前評価及び中間評価の評価書の提出を受けた場合は、技術評価室の意見を踏まえつつ技術に関する施策・事業の評価等を行う。事前評価に関しては査定課の評価を終えた事前評価書に記載された技術に関する施策・事業の内容をもって、推進課又は主管課と査定課との間の合意事項とみなし、査定課はこれを踏まえて予算査定を行う。中間評価に関しては、査定課は中間評価結果を踏まえて予算査定を行う。

(3) 評価結果等の公開の在り方

評価結果及びこれに基づいて講ずる又は講じた措置については、機密の保持が必要な場合を除き、個人情報や企業秘密の保護、知的財産権の取得等に配慮しつつ、一般に公開することとする。なお、事前評価については、政策立案過程の透明化を図る観点から、評価事務局は予算が経済産業省の案として確定した後に、公開するものとする。パネルレビューを行う場合にお

ける議事録の公開、委員会の公開等については、「審議会等の透明化、見直し等について」（平成7年9月閣議決定）に準じて行うものとする。

7. 評価システムの不断の見直し

いかなる評価システムにおいても、評価は評価者の主観的判断によってなされるものであり、その限りにおいては、完璧な客観性、公平性を求めることは困難である。したがって、評価作業が終了するたびごとにその評価方法を点検し、より精度の高いものとしていく努力が必要である。また、本指針については、こうした一連の作業を踏まえ、原則として毎年度見直しの要否を検討する。

8. 評価体制の充実

評価体制の充実を図るため、研究者の評価者としての活用などにより評価業務に携わる人材を育成・確保するとともに、研究開発費の一部を評価費用に充てるなど評価に必要な資源を確保する。

9. 評価データベース等の整備

技術評価室は、国内外の適切な評価者を選任できるようにするため、及び個々の評価において普遍性・信頼性の高い評価を実現するため、個々の技術に関する施策・事業についての研究者、資金、成果、評価者、評価結果等をまとめたデータベースを整備する。

また、競争的資金制度による研究課題に関する評価など、審査業務等を高度化・効率化するために必要な電子システムの導入も促進する。

10. 評価における留意事項

(1) 評価者と被評価者との対等性

① 評価者と被評価者との関係

評価作業を効果的に機能させるためには、評価者と被評価者の双方が積極的にその知見と情報を提供し合うという協調的関係と、評価者もその評価能力を評価されるという意味で評価者と被評価者とが相互に相手进行评估するという緊張関係とを構築し、この中で、討論を行い、評価を確定していく必要がある。

この際、評価者は、不十分な成果等被評価者が自ら進んで提示しない事実があるかどうかを見極める能力が要求される。一方、被評価者は、評価対象の技術に関する施策・事業の位置付けを明確に認識するとともに、評価結果を正確に理解し、確実にその後の技術に関する施策・事業の創設、運営等に反映させていくものとする。

② 評価者に係る留意事項

研究者が評価者となる場合、評価者は、評価作業を評価者自らの研究を妨げるものとして捉えるべきではなく、自らの研究の刺激になる行為として、積極的に取り組むことが必要である。

また、研究開発成果を、イノベーションを通じて国民・社会に迅速に還元していく観点から、産業界の専門家等を積極的に評価者に選任する。

③ 被評価者に係る留意事項

被評価者は、評価を事業の質をより高めるものとして積極的に捉え、評価は評価者と被評価者の双方の共同作業であるとの認識の下、真摯な対応を図ることが必要である。

(2) 評価の不確実性

評価時点では見通し得なかった技術、社会情勢の変化が将来的に発生し得るという点で評価作業は常に不確実性を伴うものである。したがって、評価者は評価の精度の向上には、必然的に限界があることを認識した上で、評価時点で最良と考えられる評価手法をとるよう努めることが必要である。かかる観点からは、厳正さを追求するあまりネガティブな面のみを過度に減点法で評価を行うこととなると、将来大きな発展をもたらす技術を阻害するおそれがある点にも留意する必要がある。

また、成果に係る評価において、目標の達成度合いを評価の判定基準にすることが原則であるが、併せて、副次的成果等、次につながる成果を幅広い視野からとらえる。

(3) その他の留意事項

① 海外の研究者、若手研究者の活用

研究者には、研究開発の発展を図る上で専門的見地からの評価が重要な役割を果たすものであることから、評価者としての評価への積極的参加が求められる。一方、特定の研究者に評価実施の依頼が集中する場合には、評価への参加が大きな負担となり、また、評価者となる幅広い人材の養成確保にもつながらないことから、海外の研究者や若手研究者も評価者として積極的に参加させることなどにより評価者確保の対象について裾野の拡大を図るよう努める。

② 所期の成果を上げられなかった研究開発

研究開発は必ずしも成功するとは限らず、また、失敗から貴重な教訓が得られることもある。したがって、失敗した場合には、まずその原因を究明し、今後の研究開発にこれを生かすことが重要であり、成果を上げられなかったことをもって短絡的に従事した研究者や組織、機関を否定的に評価すべきものではない。また、評価が野心的な研究開発の実施の阻害要因とならないよう留意しなければならない。

③ 数値的指標の活用

論文の被引用度数、特許の申請状況等による成果の定量的評価は一定の客観性を有するが、技術に関する施策・事業においては研究分野や内容により、その意味は大きく異なり得るものであり、必ずしも研究開発成果の価値を一義的に表すものではない。したがって、これらを参考資料として有効に活用しつつも、偏重しないよう留意すべきである。

④ 評価結果の制度間での相互活用

研究開発をその評価の結果に基づく適切な資源配分等を通じて次の段階の研究開発に連続してつなげるなどの観点から、関係府省、研究開発機関及び制度を越えて相互活用するよう努める。

⑤ 自己点検の活用

評価への被評価者等の主体的な取組を促進し、また、評価の効率的な実施を推進するため、推進課及び主管課は、自ら技術に関する施策・事業の計画段階において具体的かつ明確な目標とその達成状況の判定基準等を明示し、技術に関する施策・事業の開始後には目標の達成状況、

今後の発展見込み等の自己点検を行い、評価者はその内容の確認などを行うことにより評価を行う。

⑥ 評価の国際的な水準の向上

研究開発の国際化への対応に伴い、評価者として海外の専門家を参加させる、評価項目に国際的なベンチマーク等を積極的に取り入れるなど評価に関して、実施体制や実施方法などの全般にわたり、評価が国際的にも高い水準で実施されるよう取り組む。

II. 評価の類型と実施方法

II. 1. 技術に関する施策評価

技術に関する施策の評価は、当該技術分野全体の方向性等を勘案しつつ、当該施策の下に位置付けられる技術に関する事業のまとまりを俯瞰する形で、各事業の相互関係等に着目し、個々の事業に係る評価結果を踏まえて行う。

(1) 事前評価

新規の技術に関する施策の創設に当たって行う。

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手続・評価手法

外部評価を行う。

評価対象とする技術に関する施策は、技術評価室が推進課及び主管課と協議の上、定める。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

(2) 中間・終了時評価

技術に関する施策創設後、一定期間継続的に実施しているものについて、技術に関する施策ごとに中間・終了時評価を行う。

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手続・評価手法

施策原簿、成果報告、運営状況報告等を基に外部評価を行う。

評価対象とする技術に関する施策は、技術評価室が推進課及び主管課と協議の上、定める。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

中間評価については、実施が4年以上にわたる又は実施期間の定めのない技術に関する施策について3年程度ごとに定期的に行う。なお、モニタリング（進捗状況を把握する作業）については毎年行うこととする。

終了時評価については、当該技術に関する施策の成果を切れ目なく次の技術に関する施策につなげていく場合には、当該技術に関する施策が終了する前の適切な時期に終了前評価を行うこととし、その他の場合には、当該技術に関する施策の終了直後に事後評価を行うものとする。

なお、中間・終了時評価は、効果的・効率的な評価の実施の観点から、技術に関する施策を構成する技術に関する事業の評価を前提として実施する。

Ⅱ. 2. 技術に関する事業評価

Ⅱ. 2. 1. 研究開発制度評価

研究開発制度評価は、個々にその目的・政策的位置付け、目標、成果、目標の達成度、必要性、効率性、有効性等について、事前評価及び中間・終了時評価を行う。

(1) 事前評価

新規の研究開発制度の創設に当たって行う。

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課

③ 評価事務局

推進課

④ 評価手続・評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。研究開発制度について制度実施予定期間及び中間評価の時期の妥当性に関して評価する。

(2) 中間・終了時評価

研究開発制度創設後、一定期間継続的に実施しているものについて、研究開発制度ごとに中間・終了時評価を行う。

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び研究開発機関

③ 評価事務局

推進課又は研究開発機関（独立行政法人であって、研究開発制度の推進部門から独立した評価部門が評価を行う場合に限る。）。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手続・評価手法

事業原簿、研究開発制度から得られた成果、研究開発制度の運営状況等を基に外部評価を行う。また、必要に応じ、評点法の活用による評価の定量化を行うこととする。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

中間評価については、実施期間が5年以上の研究開発制度又は実施期間の定めのない研究開発制度については、その目的、内容、性格、規模等を考慮し、3年程度ごとに定期的に行う。なお、モニタリング（進捗状況を把握する作業）については毎年行うこととする。

終了時評価については、当該研究開発制度の成果を切れ目なく次の研究開発制度につなげていく場合には、当該研究開発制度が終了する前の適切な時期に終了前評価を行うこととし、その他の場合には、当該研究開発制度終了直後に事後評価を行うものとする。

なお、中間・終了時評価は、効果的・効率的な評価の実施の観点から研究開発制度に関する評価結果の情報を集積し、関連する技術に関する施策の評価に際しその情報を提供する。

II. 2. 2. プロジェクト評価

プロジェクト評価は、個々にその目的・政策的位置付け、目標、成果、有効性、効率性等について評価を行う。事前評価及び中間・終了時評価を行う。

(1) 事前評価

新規のプロジェクトの創設に当たって行う。

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課

③ 評価事務局

推進課

④ 評価手続・評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。プロジェクトについて実施予定期間及び中間評価の時期の妥当性に関して評価する。

(2) 中間・終了時評価

プロジェクト創設後、一定期間継続的に実施しているものについて、プロジェクトごとに中間・終了時評価を行う。

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課、研究開発機関及び実施者（研究開発機関から委託又は補助を受けてプロジェクトを実施する機関又は個人をいう。）

③ 評価事務局

推進課又は研究開発機関（独立行政法人であつて、事業の推進部門から独立した評価部門が評価を行う場合に限る。）。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手続・評価手法

事業原簿、成果報告、運営状況報告等を基に外部評価を行う。また、必要に応じ、評点法の活用による評価の定量化を行うこととする。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

中間評価は、実施期間が5年以上のプロジェクト又は実施期間の定めのないプロジェクトについては、その目的、内容、性格、規模等を考慮し、3年程度ごとに定期的に行う。なお、モニタリング（進捗状況を把握する作業）については毎年行うこととする。

終了時評価は、当該プロジェクトの成果を切れ目なく次のプロジェクトにつなげていく場合には、当該プロジェクトが終了する前の適切な時期に終了前評価を行うこととし、その他の場合には、当該プロジェクト終了直後に事後評価を行うものとする。

なお、中間・終了時評価は、効果的・効率的な評価の実施の観点から個別プロジェクトに関する評価結果の情報を集積し、関連する技術に関する施策の評価に際しその情報を提供する。

II. 2. 3. 競争的資金制度による研究課題に関する評価

競争的資金制度に提案された個々の研究課題について、当該競争的資金制度の目的に照らして、目標・計画、科学的・技術的意義、実施体制、実用化の見通し等について評価を行う。複数の候補の中から優れた研究課題を採択するための事前評価及び目標の達成状況や成果の内容等を把握するための中間・終了時評価を行う。

(1) 事前評価

新規研究課題の採択時に行う。

① 評価者

外部評価者。

研究課題の採択の際、被評価者と同じ研究開発機関に所属する等の専門家は排除する必要があるため、例えば評価事務局はあらかじめ全評価者名を公表し、被評価者に対して申請時に利害関係者の存在を併せて書面にて宣誓することを求める等の措置を講ずる。また、評価者には秘密保持を義務付ける。

なお、評価者としてふさわしい者であることを示すため、評価者の業績又は実績について適切な時期にホームページ等で公開する。

② 被評価者

研究課題の提案者

③ 評価事務局

推進課又は研究開発機関

④ 評価手続・評価手法

研究課題の採択に当たっては、エフォート（一研究員の全研究活動時間のうち当該競争的資金制度による研究活動に充てる時間の割合をいう。）の明記を原則求める。また、被評価者と利害関係のない有識者等によるパネルレビュー又はメールレビューによる評価を行う。採択に当たっては、他の競争的資金制度による研究課題等との重複が生じないようにする。評価事務局は研究課題の提案者へ不採択の結果を通知する場合には、原則として評価項目別に詳細な評価内容を提示するとともに、不採択となった提案者からの問い合わせに応じるための環境を整備する。

なお、研究課題の評価に際しては、研究分野や当該競争的資金制度の趣旨を踏まえ、必要に応じて、主に業績が十分に定まらない若手研究者等について、マスキング評価の導入を図ることとする。主に中堅以上の研究者に関する研究者としての評価は、所属組織や機関のみに着目するのではなく、過去の実績を十分に考慮した評価とする。

また、研究者の研究遂行能力を示している過去の研究実績について、定量化を試みつつ、研究者としての評価を過去の実績を十分考慮して行った上で研究課題の採否を決定する。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。研究課題について実施予定期間及び中間評価の時期の妥当性に関して評価する。

(2) 中間・終了時評価

研究課題の目標達成度の把握とともに研究課題の継続、拡大・縮小、中止等の資源配分の判断、および必要に応じ被評価者に対する支援的助言を行うための評価。

① 評価者

外部評価者

なお、評価者としてふさわしい者であることを示すため、評価者の業績又は実績について適切な時期にホームページ等で公開する。

② 被評価者

研究課題の実施者

③ 評価事務局

推進課又は研究開発機関。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手続・評価手法

事業原簿、成果報告、運営状況報告等を基に外部評価を行う。

競争的資金制度による継続的な研究の必要性及びプロジェクトへの発展の可能性（主として技術シーズの創造を目的とする研究の場合に限る。）の有無が判断できる手法により評価を行う。

また、研究課題の終了時評価の結果については、採択された研究課題ごとに定量化されたも

のについては結果を公表する。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

中間評価については、実施期間が5年以上の研究課題又は実施期間の定めのない研究課題については、その目的、内容、性格、規模等を考慮し、3年程度ごとに定期的に行う。

終了時評価については、当該研究課題の成果を切れ目なく次の研究課題又はプロジェクト等につなげていく場合には、原則、当該研究課題が終了する前の適切な時期に終了前評価を行うこととし、その他の場合には、当該研究課題終了直後に事後評価を行う。

II. 3. 追跡評価

終了して数年経った技術に関する施策・事業を対象に、その研究開発活動や研究開発成果が産業、社会に及ぼした効果について調査し、その調査結果を基に現在の視点から総合的に評価を行う。

(1) 評価者

外部評価者

(2) 被評価者

評価対象となる技術に関する施策・事業及びこれに関連する技術に関する施策・事業に携わった推進課及び研究開発機関

(3) 評価事務局

推進課又は技術評価室

(4) 評価手続・評価手法

過去の事業原簿等の文献データ、関連部署・機関及びその他関係者等からの聞き取り調査等による情報を基にパネルレビュー又は第三者機関への委託による外部評価を行う。また、可能な限り定量的な評価に努める。

(5) 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

(6) 実施時期

技術に関する施策・事業終了後、成果の産業社会への波及が見極められる時点とする。

(プロジェクトの抜粋)

経済産業省技術評価指針に基づく
標準的評価項目・評価基準

平成 23 年 7 月

経済産業省産業技術環境局

技術評価室

Ⅱ. 技術に関する事業評価

Ⅱ－１ プロジェクト評価

【事前評価】

1. 事業の目的・政策的位置付け

(1) 事業目的は妥当で、政策的位置付け（上位の施策における位置付け）は明確か。

(2) 官民の役割分担は適当か。

※ 事業目的の妥当性、政策的位置付けを技術戦略マップを用いて説明し、官民、国と地方公共団体、他省庁との役割分担についても記述すること。目標（目指す結果、効果）については、技術戦略マップのロードマップとの整合性を説明すること。

2. 研究開発目標の妥当性

①目標（目指す結果、効果）は、具体的かつ明確か。

②目標達成度を測定・判断することが容易な指標が設定されているか。

※ 事業の進捗を示す指標については、技術戦略マップのロードマップ、技術マップを参考に設定すること。

③最終目標に至るまでのマイルストーンとして戦略的に中間目標が立てられているか。

※ 事業の目指す結果、効果については、技術戦略マップのロードマップとの整合性をとったマイルストーンを設定すること。

④中間・事後評価時期が明確に設定されているか。

3. 有効性・効率性等

(1) 手段の適正性

①他の政策手段（事業を実施しない場合の影響を含む。）との比較検討において、提案する事業が最も優れている根拠が明確であるか。

②実施する事業が目的や目標の達成に役立つ根拠は明確か。

・目的達成のための妥当なスケジュール、予算となっているか。

・事業終了後の実用化や事業化のシナリオは明確になっているか。

※ 技術戦略マップの導入シナリオを用いて、研究開発事業と関連事業の関係を説明すること。

・研究開発実施者の事業体制・運営は適切かつ妥当であるか。

(2) 効果とコストに関する分析

・可能な限り、各選択肢についての社会的便益と社会的費用の比較（費用便益分析、費用効果分析、コスト分析等）が行われているか。定量的な評価が困難な場合

は、少なくとも、各々の想定される結果と長所・短所の定性的な比較に基づいて行う。

(3) 適切な受益者負担

- ・ 実用化、事業化のシナリオを踏まえて、事業者等が得る利益に応じて適切な負担を求める委託費や補助制度となっているか。

※知的基盤・標準整備等のための研究開発に特有の評価項目

- ・ 成果に公共性は見込まれているか。
- ・ 成果の公共性を担保するための措置が想定されているか、又は標準化した場合に得られる経済効果は十分にあるか。無差別に公開されるものであるか。
- ・ 公共財としての需要は見込まれているか。
- ・ 公共財整備のための技術を民間能力を活用して開発することの妥当性はあるか。
- ・ 成果を国際標準として提案する場合に、他国から賛同を得られる見通しはあるか。

【中間・事後評価】

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

- (1) 事業目的は妥当で、政策的位置付けは明確か。
- ・ 事業の政策的意義（上位の施策との関連付け等）
 - ・ 事業の科学的・技術的意義（新規性・先進性・独創性・革新性・先導性等）
 - ・ 社会的・経済的意義（実用性等）
- (2) 国の事業として妥当であるか、国の関与が必要とされる事業か。
- ・ 国民や社会のニーズに合っているか。
 - ・ 官民の役割分担は適切か。

2. 研究開発等の目標の妥当性

- (1) 研究開発等の目標は適切かつ妥当か。
- ・ 目的達成のために具体的かつ明確な研究開発等の目標及び目標水準を設定しているか。特に、中間評価の場合、中間評価時点で、達成すべき水準（基準値）が設定されているか。
 - ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

- (1) 成果は妥当か。
- ・ 得られた成果は何か。
 - ・ 設定された目標以外に得られた成果はあるか。
 - ・ 共通指標である、論文の発表、特許の出願、国際標準の形成、プロトタイプの作製等があったか。
- (2) 目標の達成度は妥当か。

- ・ 設定された目標の達成度（指標により測定し、中間及び事後評価時点の達成すべき水準（基準値）との比較）はどうか。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

- （１）事業化については妥当か。
 - ・ 事業化の見通し（事業化に向けてのシナリオ、事業化に関する問題点及び解決方策の明確化等）は立っているか。
- （２）波及効果は妥当か。
 - ・ 成果に基づいた波及効果を生じたか、期待できるか。
 - ・ 当初想定していなかった波及効果を生じたか、期待できるか。

* 知的基盤・標準整備等の研究開発の場合、以下の評価項目・評価基準による。

4. 標準化等のシナリオ、波及効果の妥当性

- （１）標準化等のシナリオは妥当か。
 - ・ J I S 化や我が国主導の国際規格化等に向けた対応は図られているか。
- （２）波及効果は妥当か。
 - ・ 成果に基づいた波及効果を生じたか、期待できるか。
 - ・ 当初想定していなかった波及効果を生じたか、期待できるか。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

- （１）研究開発計画は適切かつ妥当か。
 - ・ 事業の目標を達成するために本計画は適切であったか（想定された課題への対応の妥当性）。
 - ・ 採択スケジュール等は妥当であったか。
 - ・ 選別過程は適切であったか。
 - ・ 採択された実施者は妥当であったか。
- （２）研究開発実施者の実施体制・運営は適切かつ妥当か。
 - ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか、いたか。
 - ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか、いたか。
 - ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な、実施者間の連携／競争が十分に行われる体制となっているか、いたか。
 - ・ 成果の利用主体に対して、成果を普及し関与を求める取組を積極的に実施しているか、いたか。
 - ・ 国民との科学・技術対話を効果的に実施したか、又は実施することとしているか。（ただし、公募要項に当該対話を実施することが明記されている研究開発で、3千万円以上の公的研究費の配分を受ける研究開発を実施する研究者等を対象とする。）ここで、国民との科学・技術対話とは、研究活動の内容や成果を社会・国民に対して分かりやすく説明する、未来への希望を抱かせる心の通った双方向

コミュニケーション活動をいう（「国民との科学・技術対話」の推進について（基本的取組方針）（平成 22 年 6 月 19 日））。

（３）資金配分は妥当か。

- ・ 資金の過不足はなかったか。
- ・ 資金の内部配分は妥当か。

（４）費用対効果等は妥当か。

- ・ 投入された資源量に見合った効果が生じたか、期待できるか。
- ・ 必要な効果がより少ない資源量で得られるものが他にないか。

（５）変化への対応は妥当か。

- ・ 社会経済情勢等周囲の状況変化に柔軟に対応しているか（新たな課題への対応の妥当性）。
- ・ 代替手段との比較を適切に行ったか。

6. 総合評価