

「環境調和型プロセス技術の開発

②フェロコークス技術の開発」(中間評価)

(2017年度～2022年度 6年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO

省エネルギー部

2020年11月17日

I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

II. 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

III. 研究開発成果

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の最終目標の達成可能性
- (3)成果の普及
- (4)知的財産権の確保に向けた取組

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

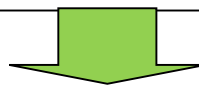
- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し

◆事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

- ✓ 日本の鉄鋼業の省エネルギーポテンシャルは世界で最も低い。
- ✓ 鉄鋼業は我が国産業部門の中でCO₂発生量の約40%、国全体の約15%を占める(2017年度)最大のCO₂排出業種であり、その中でも特に排出量の多い高炉法による製鉄プロセスにおいては地球温暖化対策として抜本的なCO₂排出量の削減が求められている。

さらなる省エネルギー、CO₂削減を目指すためには革新的な製鉄技術が必要



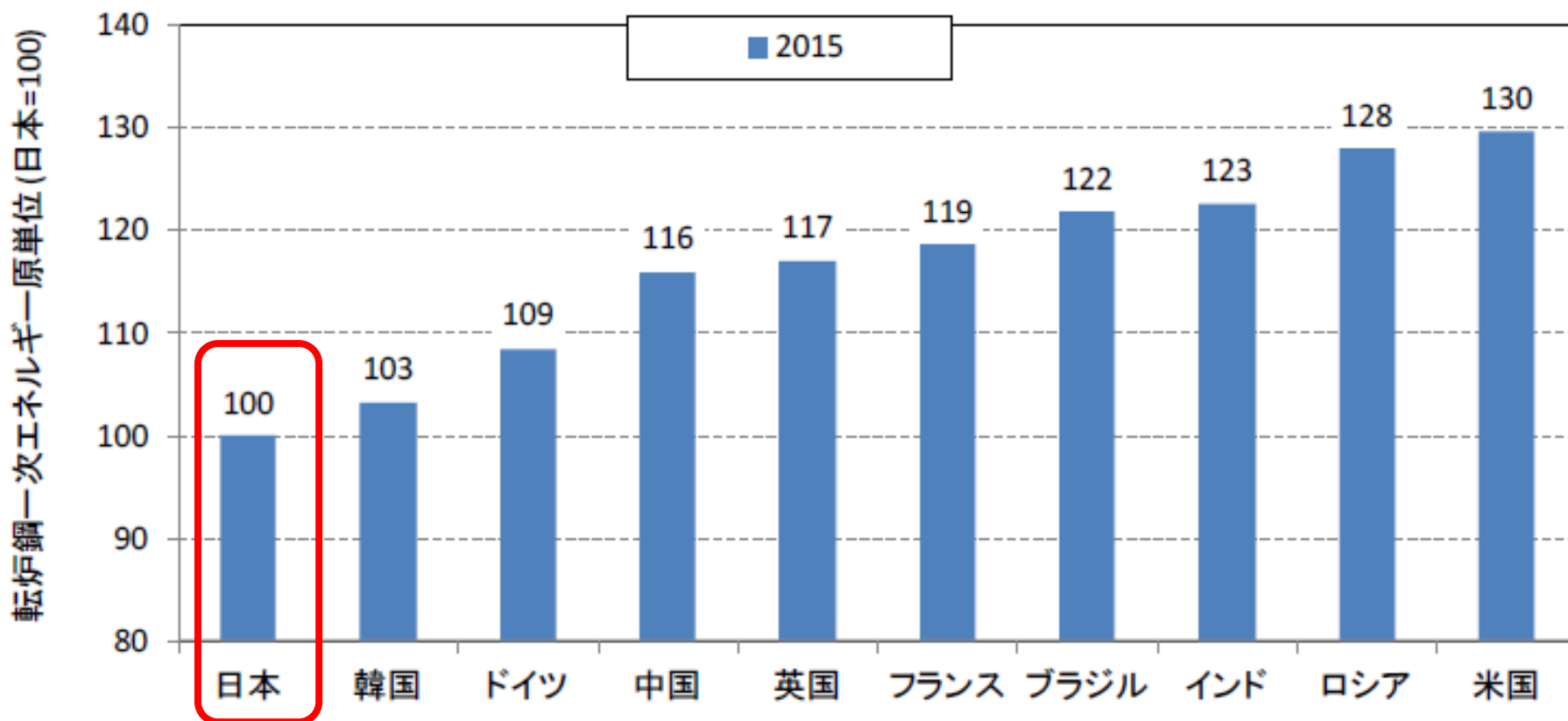
事業の目的

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

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

◆事業実施の背景と事業の目的

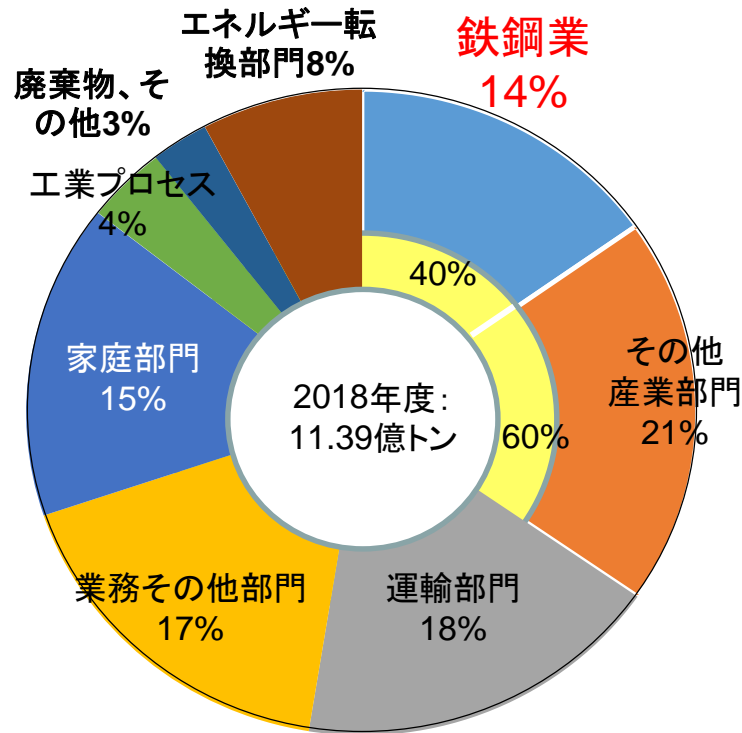
日本の鉄鋼業は鉄鋼主要国の中で最もすぐれたエネルギー原単位と推計される



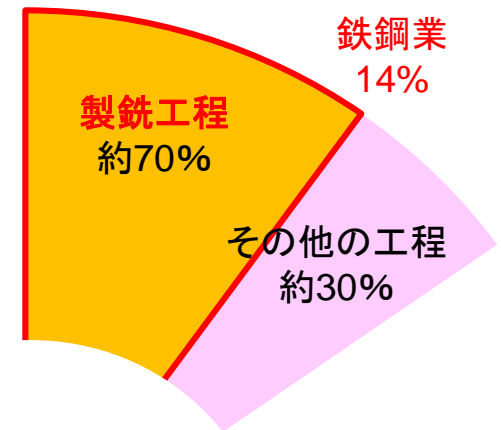
(エネルギー原単位:粗鋼製造1トン当たりのエネルギー投入量)

◆事業実施の背景と事業の目的

●国内製造業における産業別のCO₂排出量割合



鉄鋼1.59億トン



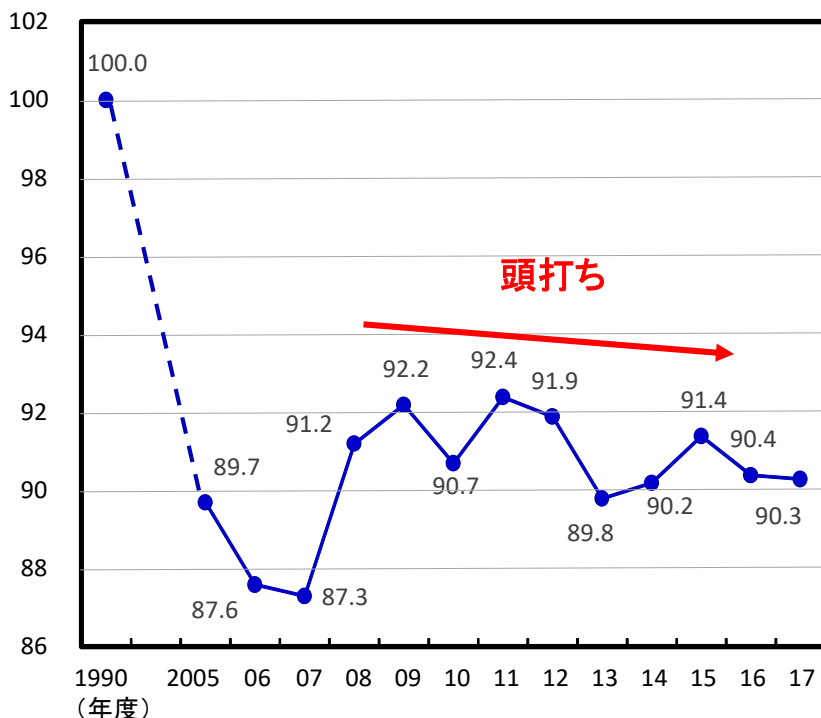
環境省「2018年度(平成30年度)の温室効果ガス排出量(速報値)について」より作成

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

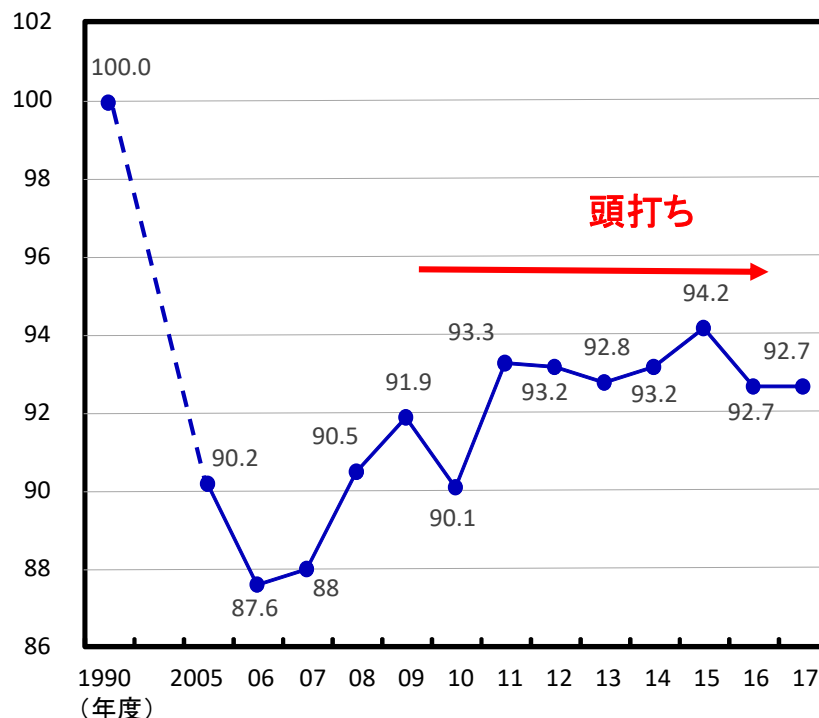
◆事業実施の背景と事業の目的

● 鉄鋼業におけるエネルギー消費・CO₂発生の推移

エネルギー原単位(1990年度基準)



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



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

(エネルギー原単位: 粗鋼製造 1 トン当たりのエネルギー投入量)

我が国の鉄鋼業の省エネルギーは極限→革新的製鉄プロセス技術開発が必要

◆政策的位置付け

■エネルギー基本計画（2010年 6月）

【世界最高の省エネ・低炭素技術の維持強化】

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

フェロコックス:高炉内還元反応の高速化・低温化機能を発揮するフェロコックス(低品位炭と低品位鉄鉱石の混合成型・乾留により生成されるコックス代替還元材)及びその操業プロセスを開発し、製鉄プロセスの省エネルギーと低品位原料利用拡大の両立を目指す革新的技術。

■地球温暖化対策計画（2016年 5月）

既存技術のみならず、高効率化及び低炭素化のための革新的な製造プロセスの技術開発(革新的製鉄プロセス、環境調和型製鉄プロセス)を実施し、当該技術の2030年頃までの実用化に向けた省エネルギー推進、二酸化炭素排出削減に取り組む。

◆政策的位置付け

革新的環境イノベーション戦略 2020年1月

Ⅲ. 産業

水素

CC

化石資源依存からの脱却（再生可能エネルギー由来の電力や水素の活用）

⑯ 水素還元製鉄技術等による「ゼロカーボン・スチール」の実現

【目標】

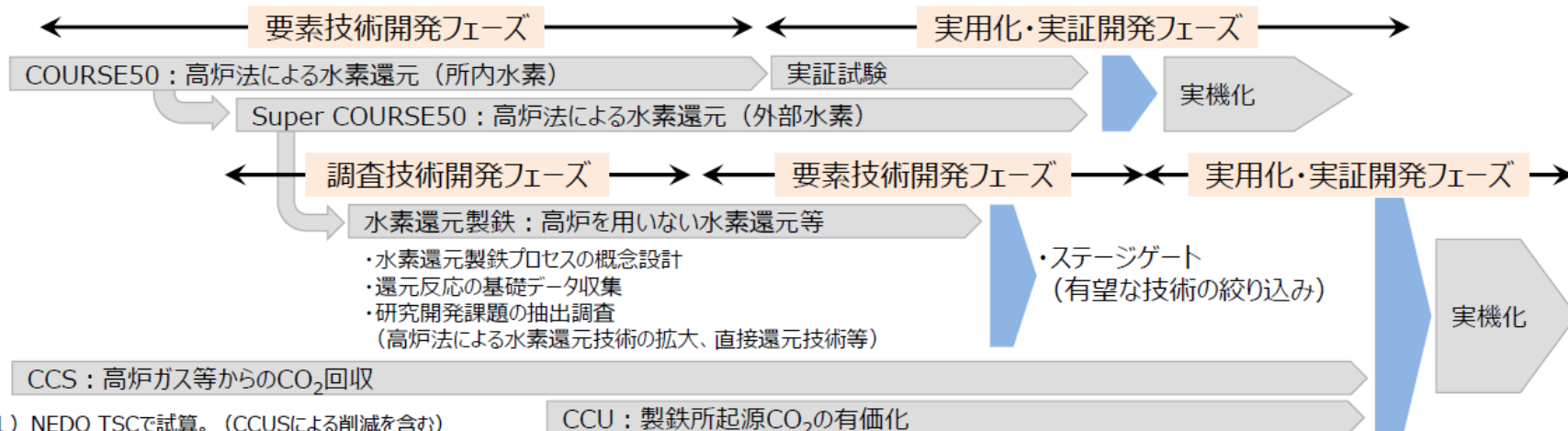
- 2050年以降のできるだけ早い時期までに、現在の高炉法による鉄鋼製造と同等のコストで「ゼロカーボン・スチール」を実現する水素還元製鉄技術等の超革新技術の開発を行う。実用化には、2050年の水素コスト（プラント引渡しコスト）20円/Nm³という目標をさらに下回る水準でCO₂フリー水素が安定的かつ大量に供給されることが必要。世界のCO₂削減量は約38億トン。¹⁾

【技術開発】

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

（実施体制）

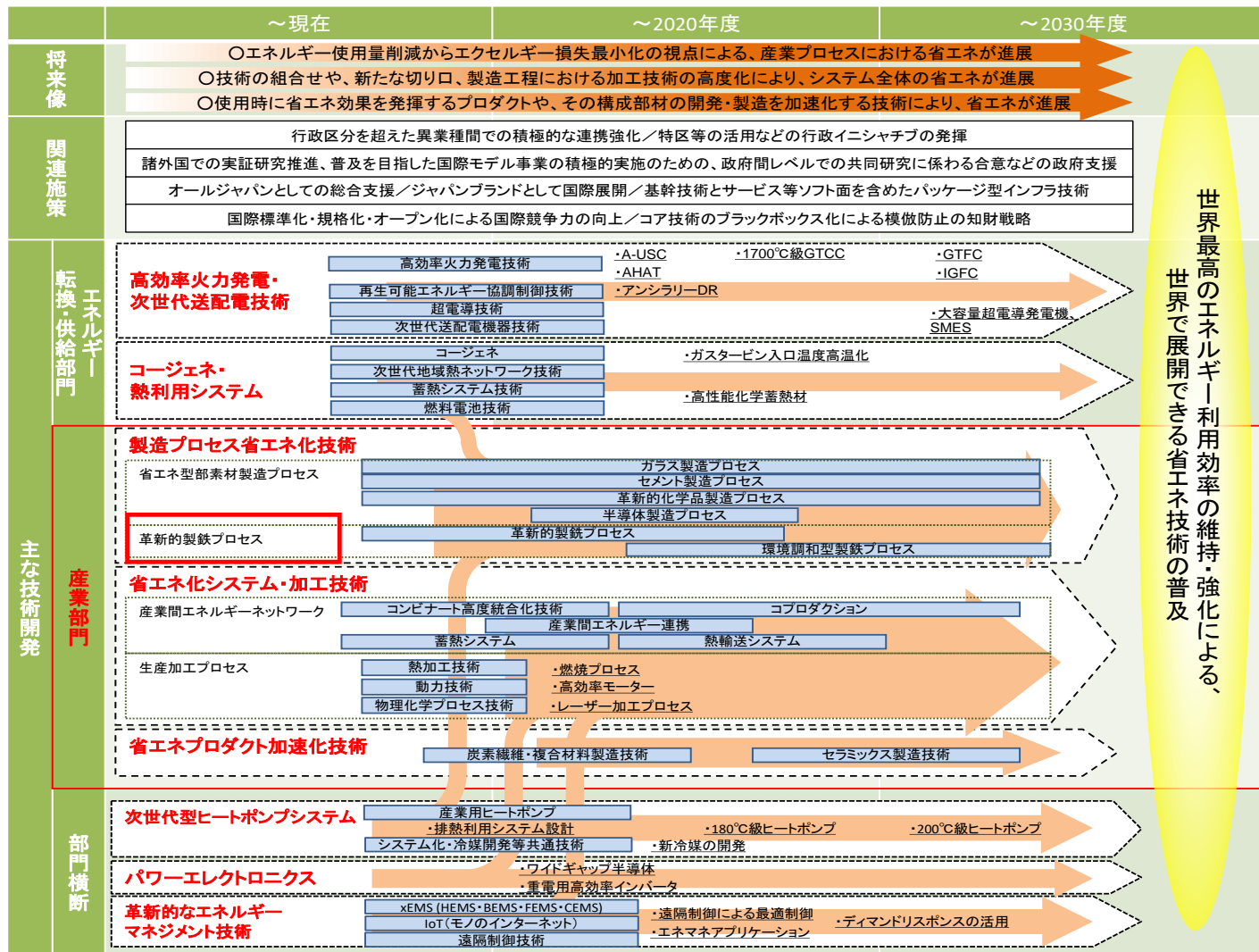
- 国際的な競争領域であるため、国内鉄鋼メーカーを中心とした連携により技術開発を進める。



1) NEDO TSCで試算。（CCUSによる削減を含む）

◆技術戦略上の位置付け

■省エネルギー技術戦略2016 産業部門の導入シナリオ



世界最高のエネルギー利用効率の維持・強化による、
世界で展開できる省エネ技術の普及

◆技術戦略上の位置付け

省エネルギー技術戦略2016

製造プロセス省エネ化技術サブシート（革新的製鉄プロセス）

技術概要

我が国鉄鋼業は産業部門全体のエネルギー消費の25%を占めるエネルギー多消費型産業であるものの、既に排熱回収利用等の省エネ設備の導入により、製鉄プロセスにおいて世界最高水準の原単位を達成している。エネルギー削減ポテンシャルは世界で最も低い、世界の近代製鉄を支えた高炉法の革新を促し、更なる高炉効率の向上を図ることで省エネを着実に推進する。**具体的には、高炉内還元反応の高速化・低温化機能を発揮するフェロコークス（低品位炭と低品位鉄鉱石の混合成型・乾留により生成されるコークス代替還元剤）及びその操業プロセスの開発**と、従前燃料として使用されていた副生コークスガスを還元に適する仕様に改質し、高炉にて還元剤として使用することと二酸化炭素濃度が高い高炉ガスから二酸化炭素を分離するため、製鉄所内の未利用低温排熱を利用した新たな二酸化炭素分離・回収技術の開発を

技術開発動向

国家プロジェクトとしては、「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」が終了し、革新的な高炉原料であるフェロコークスの製造プロセスについて、パイロット規模での基盤技術が確立され、引き続き実用化に向けた検討が進められている。また、「環境調和型製鉄プロセス技術開発」は継続中であり、水素還元技術については、スウェーデンの試験高炉を使用する事で、鉄鉱石水素還元の可能性を確認した。更に水素還元技術確立の為、新日鐵住金・君津製鐵所において、試験高炉を建設準備中である。又、未利用排熱活用高炉ガスCO₂分離回収技術等では、CO₂濃度が高い高炉ガスからのCO₂を分離するため、新たな化学吸収法や物理吸着法の開発等が進められているが、効率良く未利用排熱を活用するための要素技術（ケミカルヒートポンプ技術及び、相変化物質による蓄熱・熱輸送技術等）の開発が課題となっている。これまで、モデル製鉄所排熱状況の整理と排熱回収技術シーズ調査を完了し、CO₂分離回収可能量・コストの検討を実施したほか、実機の製鋼スラグから顕熱を回収するベンチ設備を製作し、製鋼スラグ顕熱回収の可能性を確認した。また、カーナ発電システムの熱効率改善と低コスト化の可能性を明確化した。

技術開発の進め方・その他留意点

資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発については、2020年代初頭までに研究開発を行い、その後実機高炉への実証的導入を経て、2025年以降の本格的な導入普及を目指す。

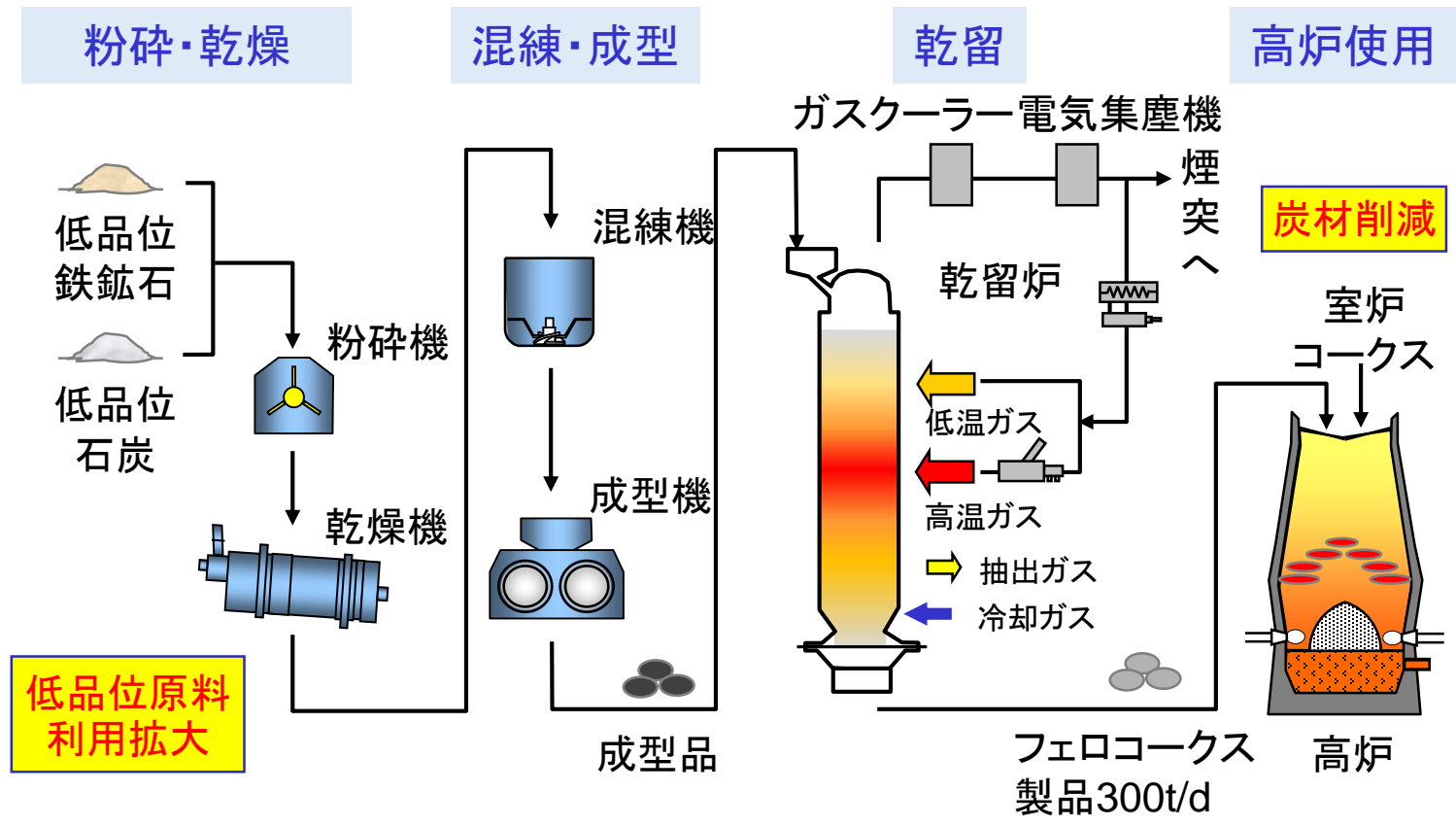
環境調和型製鉄プロセス（水素還元技術および未利用排熱活用高炉ガスCO₂分離回収技術等）については、2020年台後半までに研究開発を行い、その後実用化研究を経て、2030年頃の1号機実機化を目指す。その後は、高炉改修のタイミングを踏まえつつ導入普及を図る。

波及効果

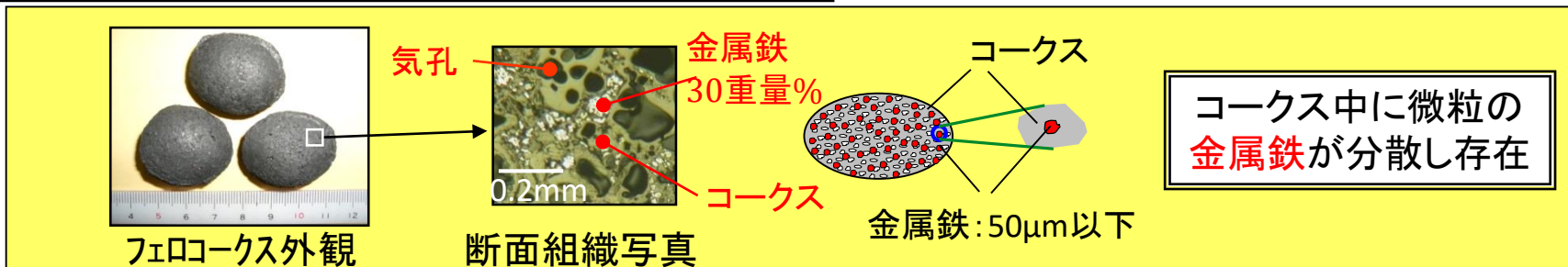
資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発も環境調和型製鉄プロセス（水素還元技術および未利用排熱活用高炉ガスCO₂分離回収技術等）のいずれの技術も、省エネルギーと同時にCO₂削減に寄与する。長期的にはCCS技術を組み合わせることによりCO₂排出量抑制を図ることができる。

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

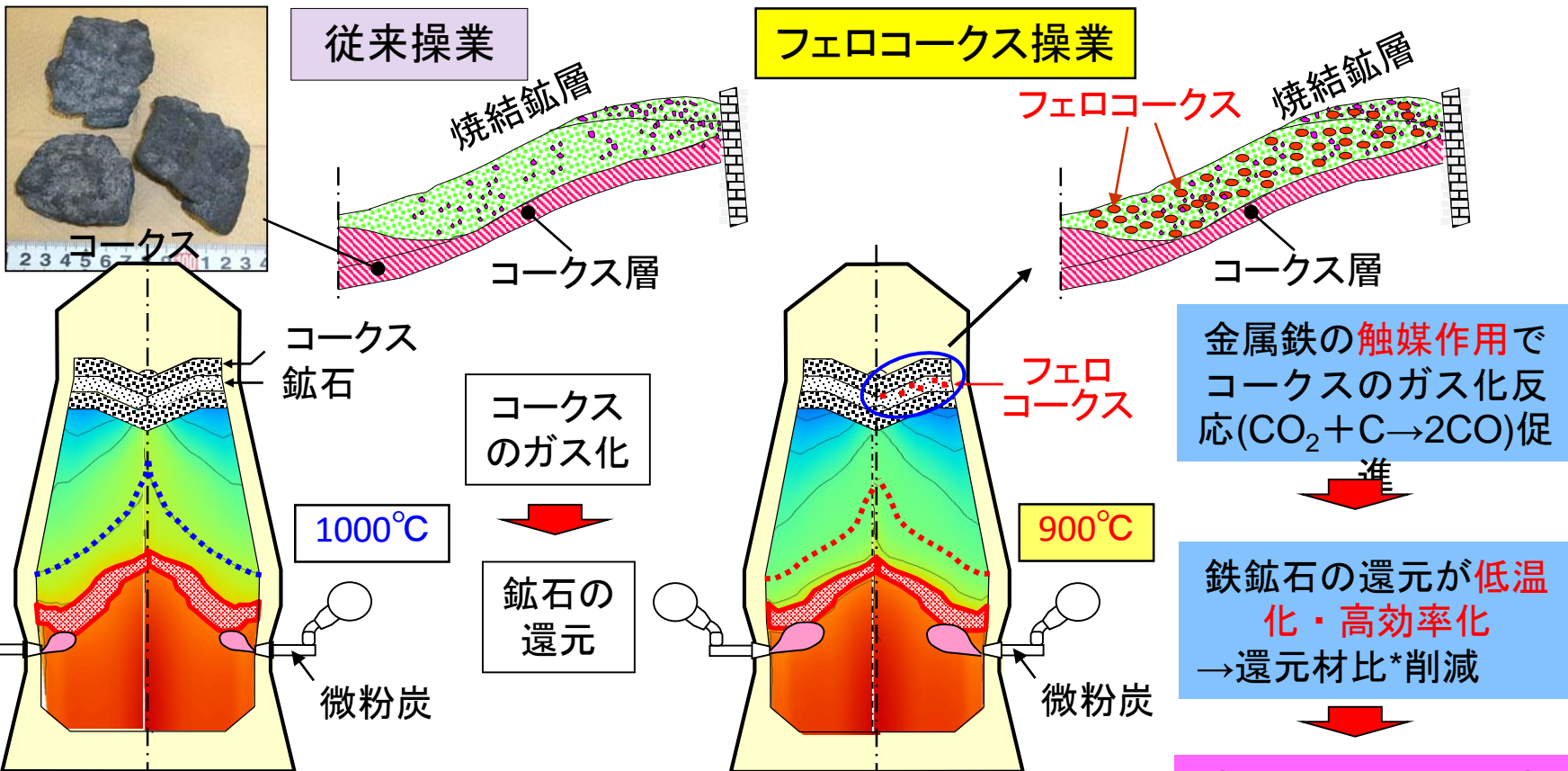
◆フェロコークス製造プロセス



◆フェロコークスを用いた高炉操業



コークス中に微粒の
金属鉄が分散し存在



金属鉄の**触媒作用**で
コークスのガス化反応
($\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$)促進

鉄鉱石の還元が**低温化・高効率化**
→還元材比*削減

省エネ・CO₂削減

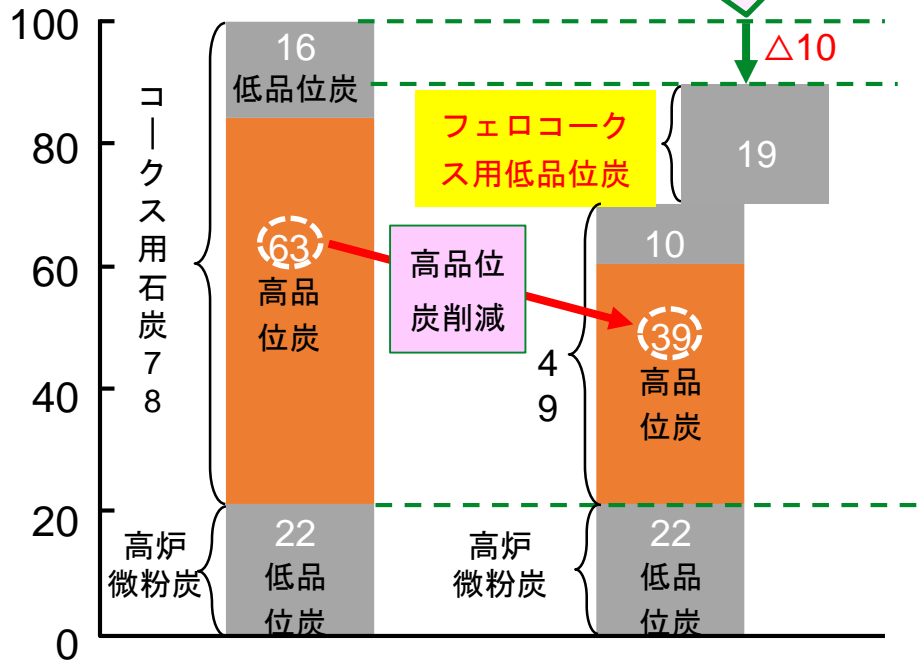
*還元材比：コークス比＋微粉炭比 (kg/t-pig)

◆省エネルギー効果について

製鉄工程での石炭使用量 (base: 100)

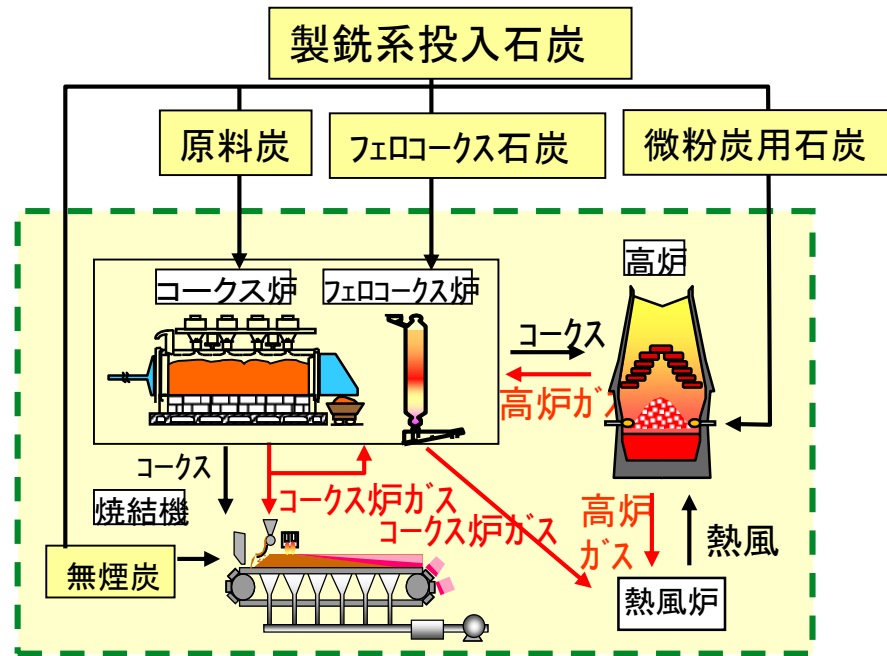
2/3コークス+1/3フェロコークス
(フェロ原単位：約140kg/t)

還元材比低下による
製鉄工程での炭材削減



現状高炉操業

フェロコークス高炉使用時
(2/3コークス+1/3フェロコークス)



【前提】

◆ 実機1500t/dx5基で製造したフェロコークスを400万t/年規模の高炉5基に装入

◆ 高品位原料炭削減 (63→39%)

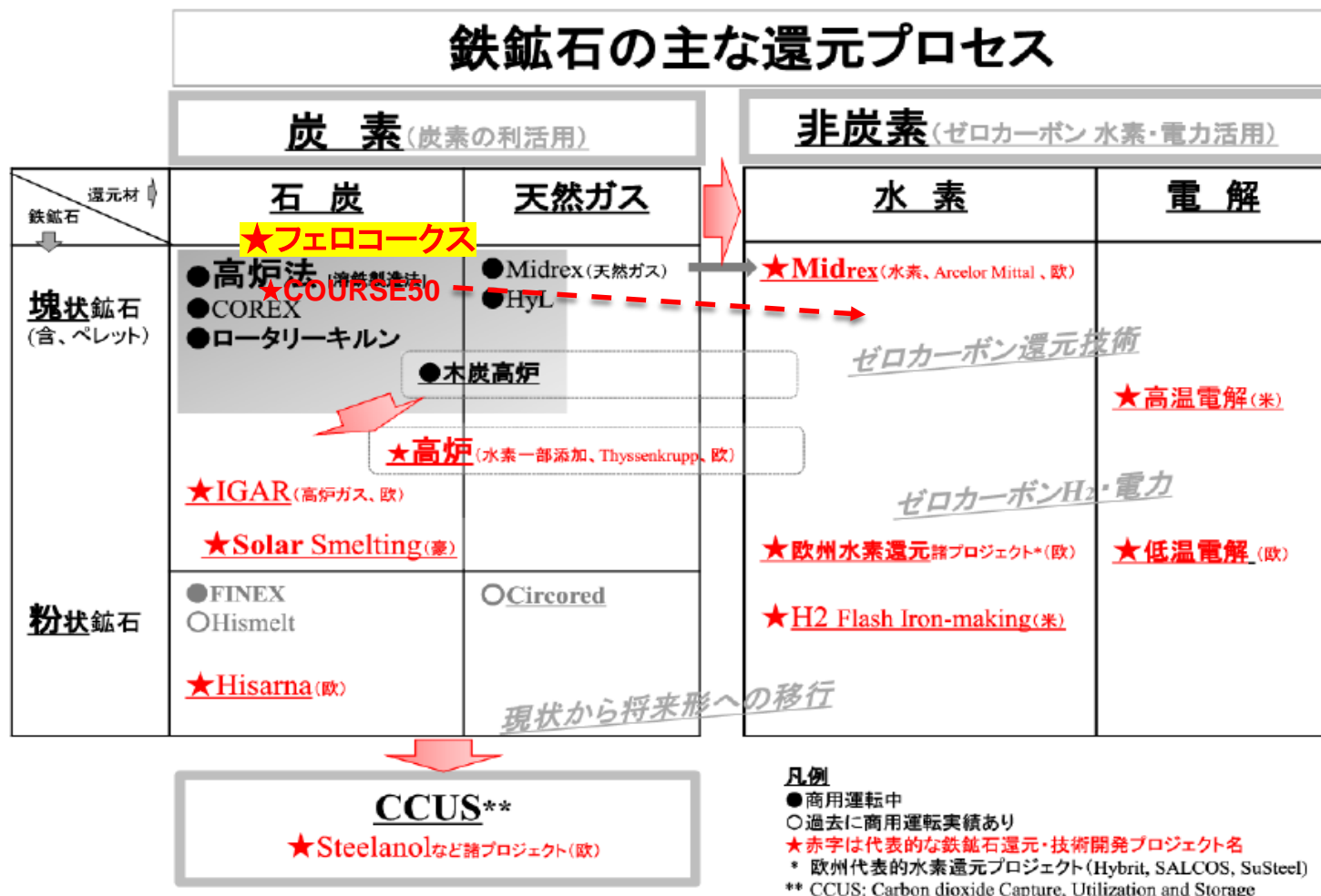
◆ 石炭使用量削減 (10%)

経済性280億円/年 (※)

下工程供給エネルギー

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

◆国内外の研究開発の動向と比較



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

◆国内外の研究開発の動向と比較

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

2006～2008年度 革新的製鉄プロセスの先導的研究(NEDO)

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

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

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

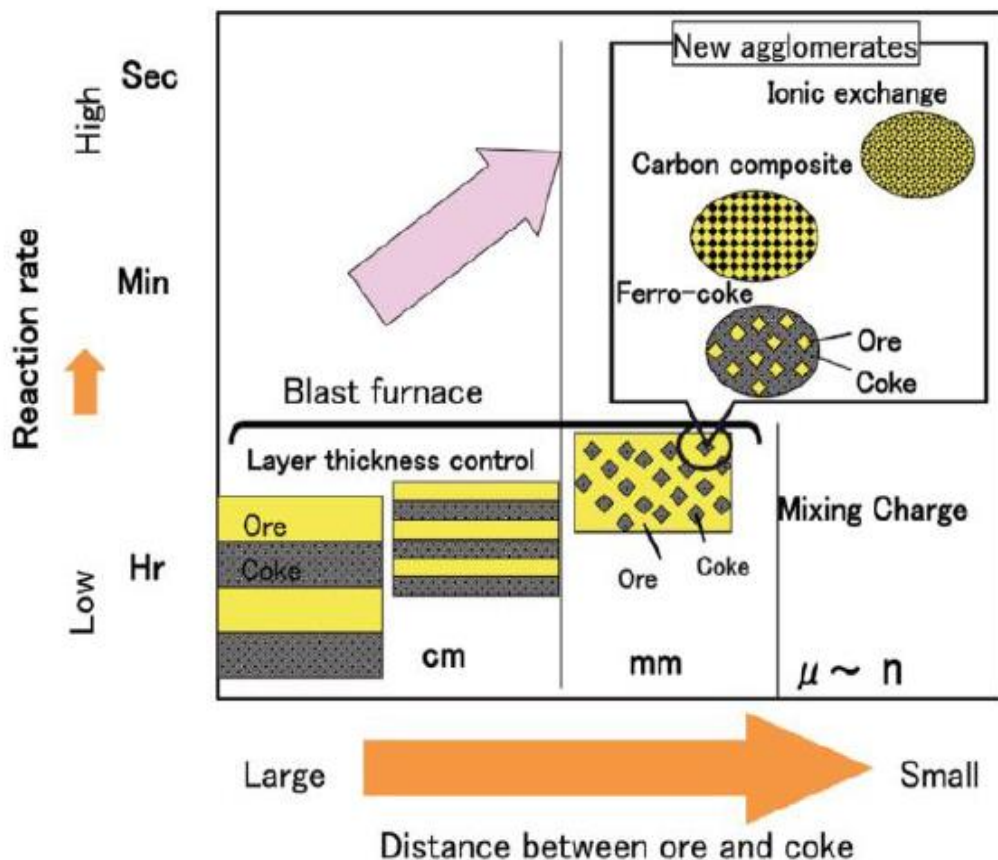
2017～2022年度 環境調和型プロセス技術の開発/フェロコークス技術の開発(NEDO)

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

◆国内外の研究開発の動向と比較

2006～2008年度 革新的製鉄プロセスの先導的研究

✓ フェロコークスの還元材比低減原理の構築



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

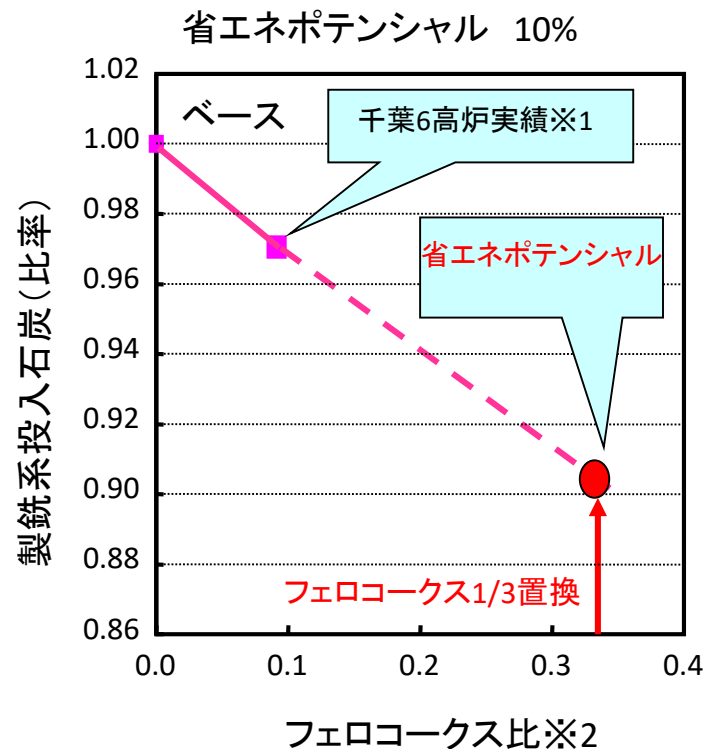
◆国内外の研究開発の動向と比較

2009～2012年度 資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術の開発

フェロコークスの製造プロセス実証



30t/dパイロットプラント全景



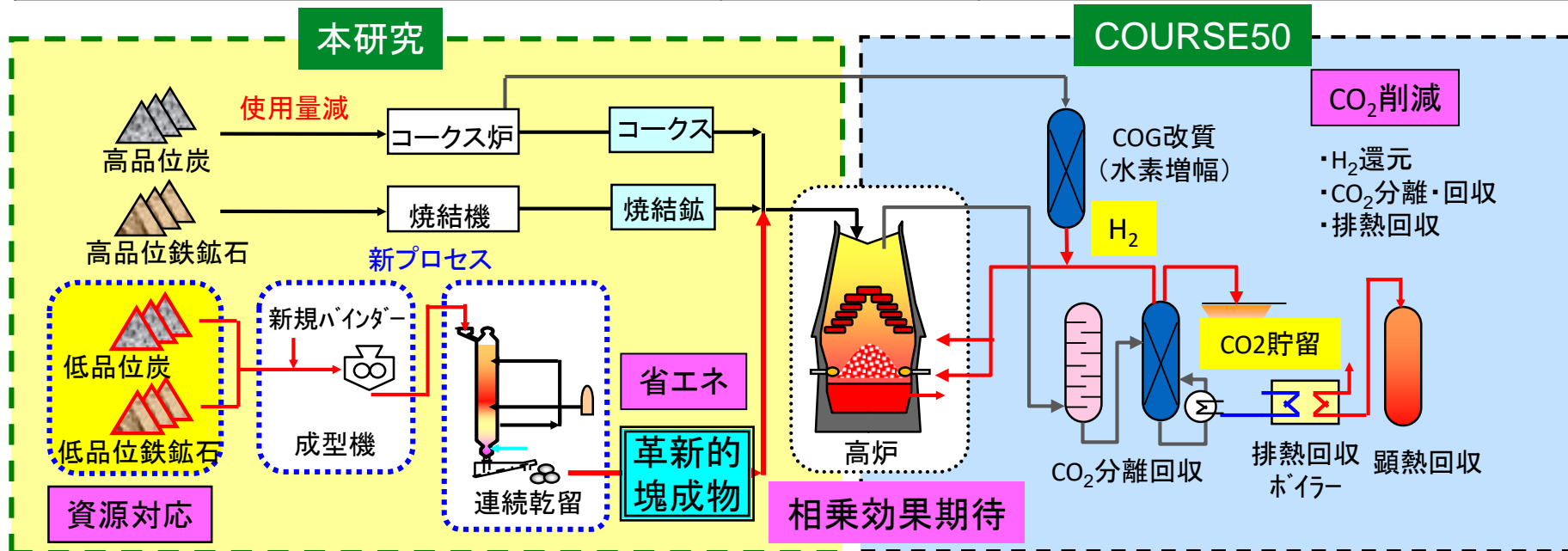
※1 NEDO(H21-24)プロジェクト
 ※2 フェロコークス中のコークス比/高炉全体のコークス比(-)

出典:経済産業省 製造産業局 鉄鋼課製鉄企画室
 資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発 プロジェクト概要

◆他事業との関係

基本計画「環境調和型プロセス技術の開発」のもとに2つのプロジェクトが実施されている

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



◆NEDOが関与する意義

日本の鉄鋼業

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

更なる省エネルギー、CO₂削減を目指す ⇒
革新的な製鉄プロセス技術の開発



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

NEDOがもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業

◆実施の効果（費用対効果）

➤ プロジェクト費用の総額

技術開発費総額 201億円(予定)

(NEDO助成額+事業者負担)

NEDO助成額 100.6億円

助成率 1/2

➤ アウトカム 2030年頃までに5基導入を想定

CO₂削減効果 82万t-CO₂/年

省エネルギー効果 19.4万kL/年 (原油換算)

経済性 約280億円

◆ 研究開発の目標と根拠

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

	項目	主な成果	実用化への課題
技術課題	製造技術	30t/d 1か月安定製造実証	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・新規バインダー製造 ・強度改善確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・実機製造設備設計 ・最適製造条件
	高炉操業技術(1)	最適混合 鉱石均一混合	<ul style="list-style-type: none"> ・粒径に応じた最適装入方法
	高炉操業技術(2)	モデル構築 効果安定化	<ul style="list-style-type: none"> ・高配合比時の還元材比低減促進
	高炉課題抽出	43kg/t使用時の還元材比低減	<ul style="list-style-type: none"> ・高配合時の通気、炉頂温度
実機化課題	省エネ評価	実績外挿により石炭使用量約10%の削減ポテンシャル	<ul style="list-style-type: none"> ・製鉄所供給エネルギー減への対応
	経済性評価	経済性試算 製造コスト45%削減 溶鉄コスト4%削減	<ul style="list-style-type: none"> ・操業コスト精度向上 ・実機規模設備設計・設備費評価

出典: 経済産業省 製造産業局 鉄鋼課製鉄企画室

資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発 プロジェクトの概要

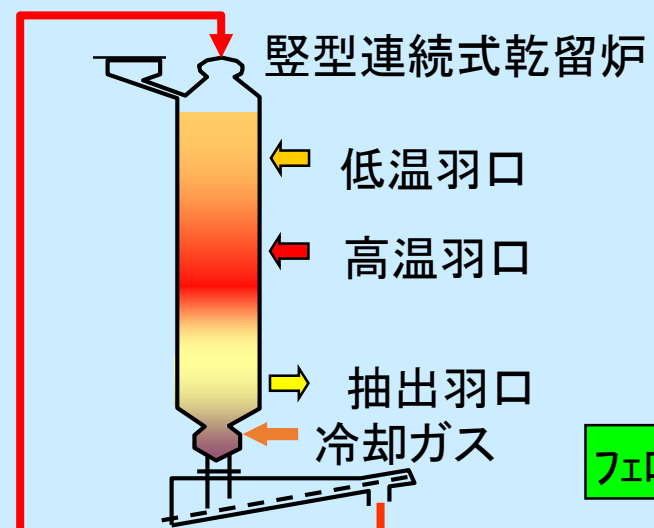
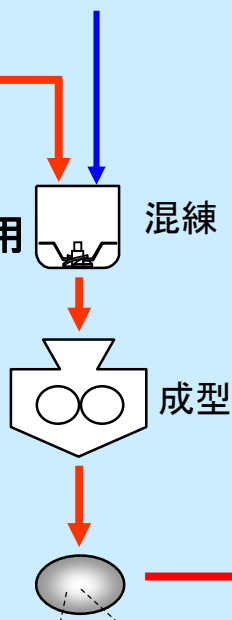
◆ 研究開発の目標と根拠

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

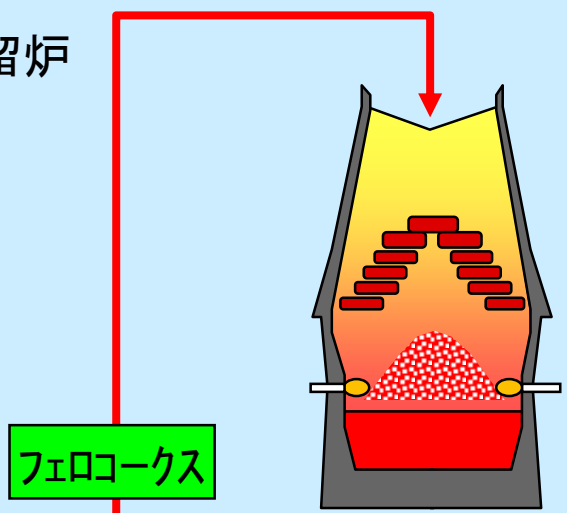
新規バインダー ④ 新バインダー強度発現実証(神戸製鋼所)

② 低品位原料使用時の製造技術(JFEスチール)

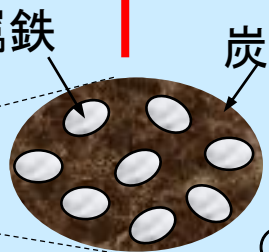
低品位石炭
低品位鉄鉱石



③ 大型高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証(JFEスチール)



⑤ フェロコークス導入効果の検証(日本製鉄)



◆研究開発の目標と根拠

研究開発項目：フェロコークス中規模設備での製造技術実証

a1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立

a2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

中間目標(2020年度)	最終目標(2022年度)	目標設定の根拠
<ul style="list-style-type: none"> ・混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプを完成させ、混合均一性の計算ができることを確認する。 ・300t/dの実証設備を建設し、連続一貫製造の負荷運転を実施する。 ・フェロコークスが設計どおりできることを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・混合・攪拌シミュレーションモデルを用い、均一性を確保できる運転条件を提示する。 ・生産量300t/dで長期間安定稼動が可能なことを実証する。 ・高炉装入に耐えうる乾留物の最適製造条件を確立する。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 設定理由(混合度95以上): 混合度と強度には正の相関があり、混練性が高い原料で成型した成型物は強度も高い。強度と混合度の関係を調査し、必要なフェロコークスの強度を確保するため、混合度95以上を目標値とした。 ➤ 設定理由(乾留後塊成物のドラム強度: $DI150/15 \geq 80$): 高炉安定操業を担保するための強度として現在の室炉コークスをベースに設定した。高炉使用時の粉化による通気性悪化を抑止するために焼結鉱と同等レベルとし、上記目標値とした。
<p>指標1:原料の均一混合技術の確立(固体3種類、液体1種類の混合)混合度95以上(ラボ実験)</p>	<p>指標1:原料の均一混合技術の確立(固体3種類、液体1種類の混合):混合度95以上</p>	
<p>指標2:乾留後塊成物のドラム強度:$DI150/15 \geq 80$(ラボ実験)</p>	<p>指標2:乾留後塊成物のドラム強度:$DI150/15 \geq 80$</p>	<p>$DI150/15$ ドラム強度:JISK2151で規定される試験方法。</p>

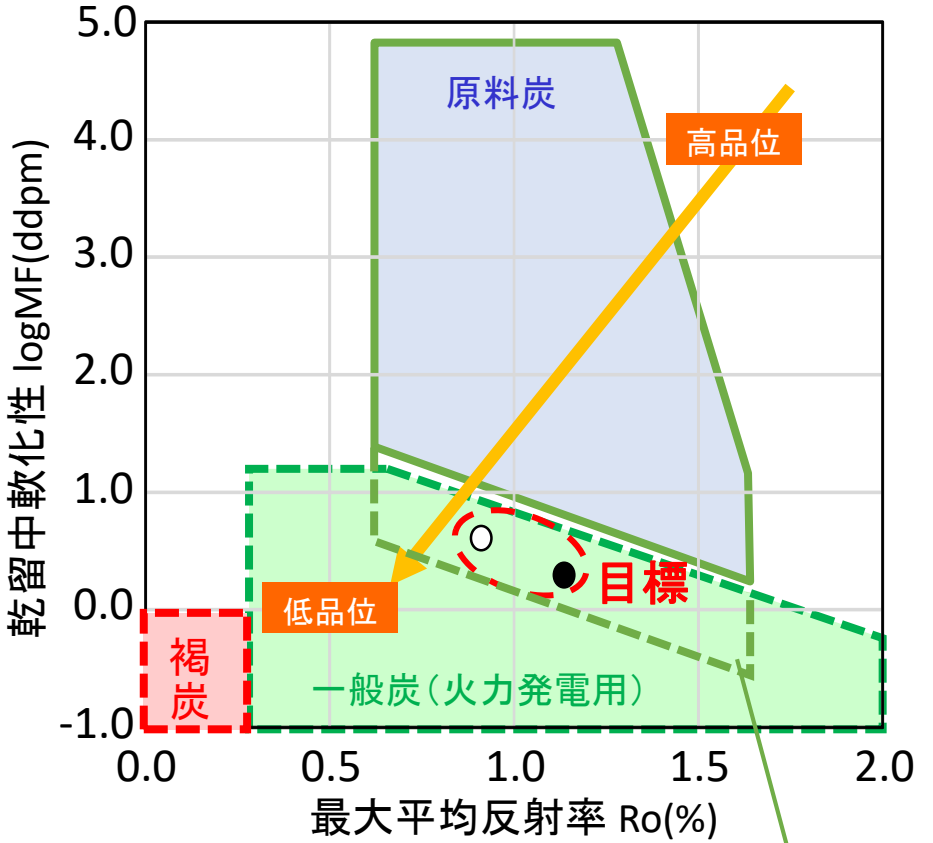
◆ 研究開発の目標と根拠

研究開発項目：一般炭、低品位原料使用時の製造技術

中間目標(2020年度)	最終目標(2022年度)	目標設定の根拠
<ul style="list-style-type: none"> ・使用可能な一般炭2銘柄及び低品位鉄鉱石2銘柄の選定を完了させる。 ・一般炭と低品位鉄鉱石、及び固形新規バインダーを用い、ラボスケールの成型試験を行い、各配合比率等の成型条件を確立する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ラボスケールでの試験結果から、原料(鉄鉱石、石炭)の絞込みを行う。これら原料がフェロコックス用原料として適していることを検証する。 	<p>➤ 設定理由(成型物の強度(I型ドラム強度): $ID30/15 \geq 85$):</p> <p>成型物強度と乾留後強度には正の相関があり、成型物強度が高い成型物は乾留後の強度も高い。</p> <p>成型物は成型後、ベルトコンベア、シュート等のジャンクションで落下衝撃を受ける。ジャンクションの高さが高ければその衝撃も大きく成型物の粉化も増加する。今回、ジャンクションの高さは工程化設備をベースに10mに設定し、その落下高さに耐えうる強度を目標値とした。</p>
<p>指標: 成型物の強度 (I型ドラム強度): $ID30/15 \geq 85$ (ラボ実験)</p>	<p>指標: 成型物の強度 (I型ドラム強度): $ID30/15 \geq 85$</p>	<p>ID30/15: I型ドラム強度</p> <p>鉄鋼業界で一般的に採用されている強度指標 (測定に供する試料数: 20個)</p>

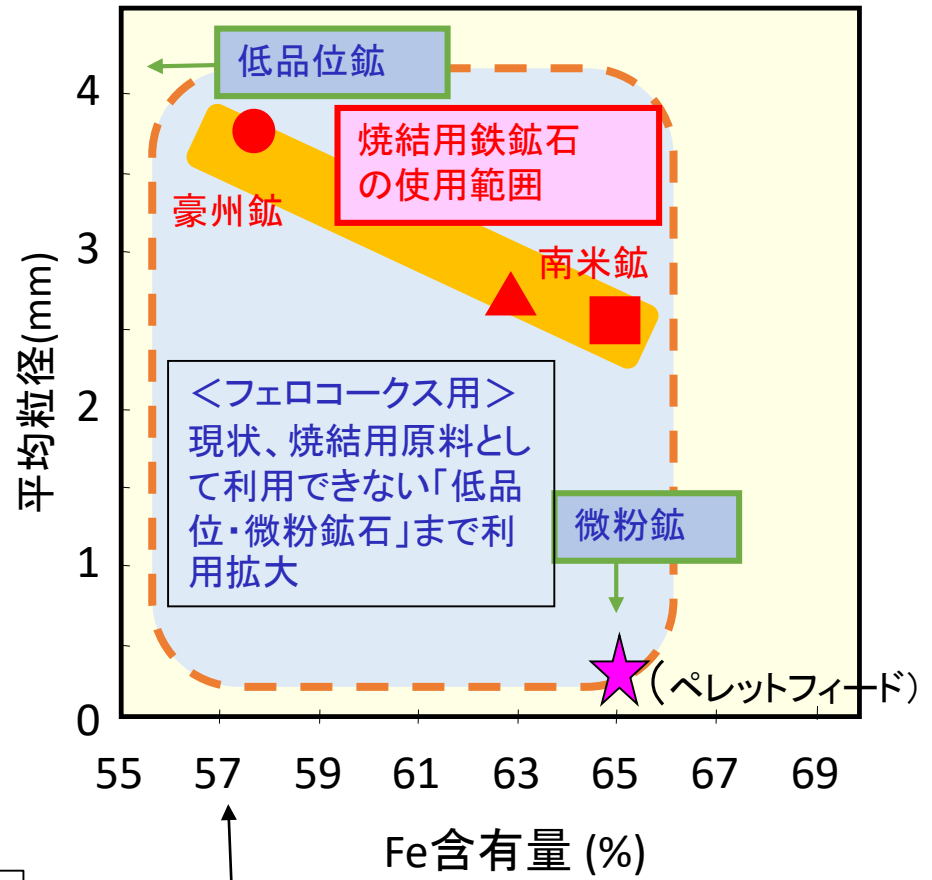
◆ 研究開発の目標と根拠

【フェロコークス用 使用石炭品位の目標】



現状製鉄業で使用できない「一般炭」領域へと拡大

【フェロコークス用 鉄鉱石品位の目標】



★ピソライト(結晶水多い鉄鉱石)を使う

◆研究開発の目標と根拠

研究開発項目: 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

中間目標(2020年度)	最終目標(2022年度)	目標設定の根拠
<p>・ラボ検討に基づきフェロコークスを実炉に装入するための適切な装入方法を提示する。 ・フェロコークスの高炉への装入設備の設置を完了させる。</p>	<p>・高炉への長期装入試験を行い、高炉の還元材比や高炉操業の安定性に及ぼす影響を評価する。また、製鉄工程における省エネ効果に及ぼす影響を把握し、フェロコークス導入効果の検証で開発した数値シミュレーションと合わせ、目標の省エネ10%を達成する。</p>	<p>➤ 設定理由(2020年度)(フェロコークスの実高炉への装入量3kg/t程度で、安定して装入できること): 冷間装入試験結果を実炉に反映させる際、炉熱変動により生産性に影響の少ない装入量から実施し、徐々に装入量を増やしていく。</p> <p>➤ 設定理由(2022年度)(連続操業試験: 30日以上):</p>
<p>指標: フェロコークスの実高炉への装入量3kg/t程度で、安定して装入できることを確認する。</p>	<p>指標: 連続操業試験: 30日以上</p>	<p>30t/dのパイロットプラントでは、成型・乾留一貫の製造は連続30日間実施したが、高炉での使用試験は、30日間作りだめしたフェロコークスを5日間で消費した。今回は、フェロコークスの製造と使用を連続的に行うため、製造および使用期間をマッチングさせる必要がある。よって、本事業では製造と使用期間を30日以上に設定した。 フェロコークス300t/dでのフル製造時の高炉装入量(原単位)は30kg/t。</p>

◆ 研究開発の目標と根拠

研究開発項目: 新バインダー強度発現実証

中間目標(2020年度)	最終目標(2022年度)	目標設定の根拠
<ul style="list-style-type: none"> ・中規模設備に供し得る新規固形バインダーを試作する。 ・液体新規バインダーの試作をおこない、タブレットスケールで所定の冷間強度を確保できることを実証する。 ・フェロコークスブリケットの冷間強度予測モデルのプロトタイプを作成を完了する。バインダー及び鉄鉱石を配合した塊成物をモデル物質として強度評価を実施し、モデル計算結果との比較を実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・新規固形バインダーの実証技術開発計画案を提示する。 ・所定の強度を実現しうる液体新規バインダー製造プロセス案を提示する。 ・フェロコークスブリケットの冷間強度予測モデルを提示する。 	<p>➤ 設定理由:</p> <p>フェロコークス普及時には従来の石油由来のバインダーであるASP(石油精製副産物)、SOP(コークス炉副産物)では量が不足することから、代替バインダーの開発を実施。バインダー特性は、フェロコークスの成型後、乾留後の強度が満足されるものと設定。</p>
<p>指標: 液体新規バインダーの製造オプションの提示。</p>	<p>指標: 成型物の強度(I型ドラム強度): ID30/15 ≥ 85 乾留後塊成物のドラム強度: DI 150/15 ≥ 80</p>	

◆ 研究開発の目標と根拠

研究開発項目：フェロコークス導入効果の検証

中間目標(2020年度)	最終目標(2022年度)	目標設定の根拠
<ul style="list-style-type: none"> ・中規模設備で製造したフェロコークスの高温性状の調査を実施する。 ・開発した新規固形バインダーと新規液体バインダーを用いてラボスケールで作成したフェロコークスの反応速度を調査し、反応モデルに組み入れる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・フェロコークスの実高炉使用時の操業結果を数学モデルを用いて高精度にシミュレートする。 ・中規模設備で製造したフェロコークスの反応速度を調査し、反応モデルを構築する。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 設定理由(2020年度): フェロコークスの高炉使用時の効果検証において、荷重軟化試験装置を用い、フェロコークス充填層を連続的にガス化昇温中に実験を中断し(例えば900℃、1200℃、1500℃など)、温度とガス化率の関係を調査評価することが、30t/dプラントの時も有効であったことによる。
<p>指標: 高温性状調査結果とフェロコークス反応モデルを反映した汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させ、ケーススタディによる物質収支誤差が許容範囲(1%程度)であることを確認する。</p>	<p>指標: 評価方法の確立と省エネ効果(目標10%)の確認(数値シミュレーションと実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証)の結果と合わせ、目標の省エネ10%を検証する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 設定理由(2022年度): 省エネ効果の検証するために、高炉内での挙動を明確化し、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの精度を向上させる。

◆ 研究開発スケジュール

技術開発項目	担当	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
① 中規模設備での製造技術実証	JFE 東北大				100t/d	200t/d	300t/d
② 一般炭、低品位原料使用時の製造技術	JFE				設計、建設	製造実証	
③ 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証	JFE				ラボスケール成型・乾留試験	成型条件	
					冷間装入試験	高炉使用・評価	
④ 新バインダーの強度発現実証	神鋼 東北大				<固形> ラボ検討	試作製造	評価
					<液体> 性状分析 基礎調査	試作製造	実プロセス検討
⑤ フェロコークス導入効果の検証の確認	日本製鉄 九大				実験室規模 サンプル評価	中規模設備 サンプル評価	
予算(億円)		8.3	20.7	25.1	25.1	(7.8)	(8.7)

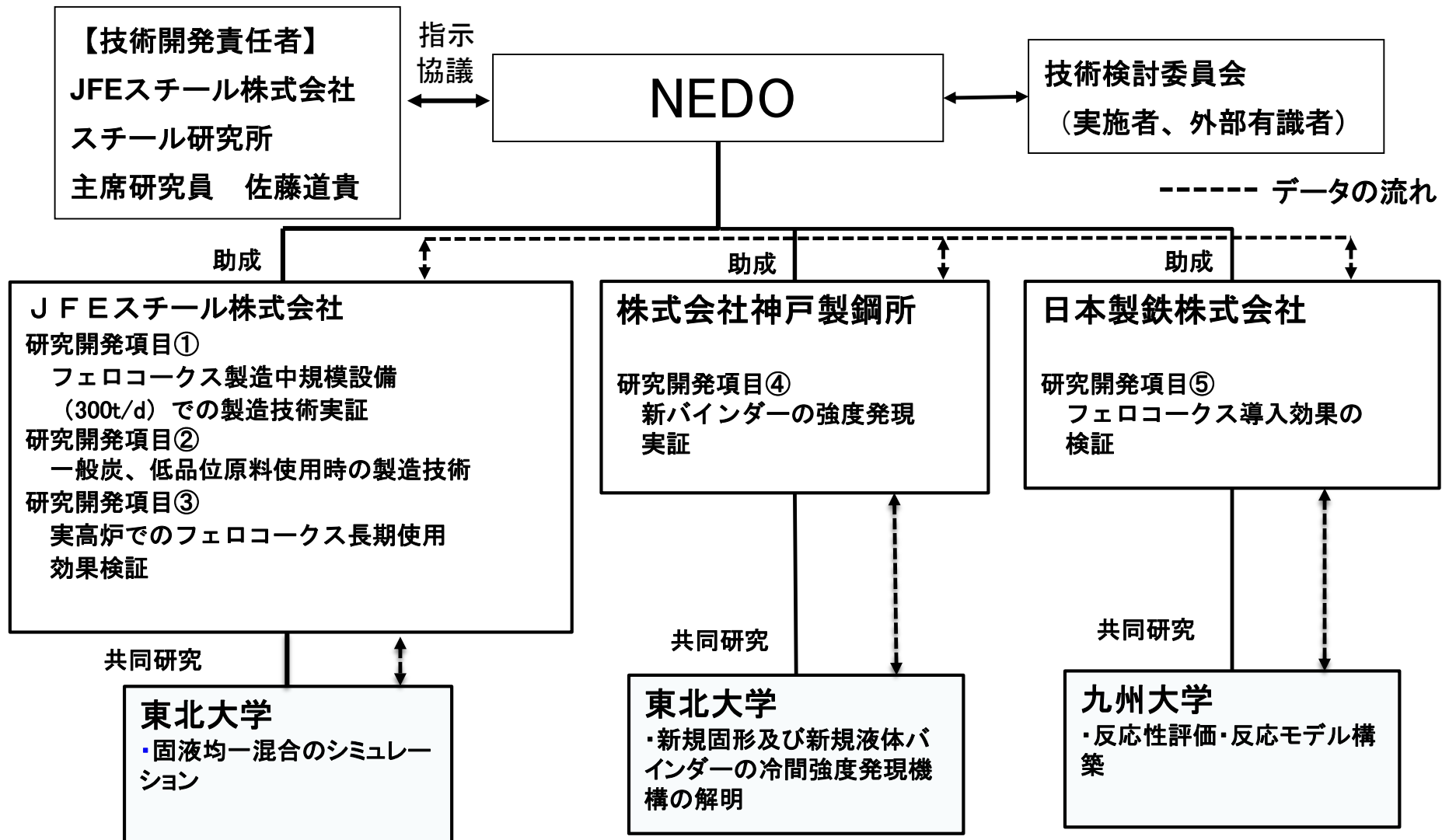
2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆プロジェクト費用

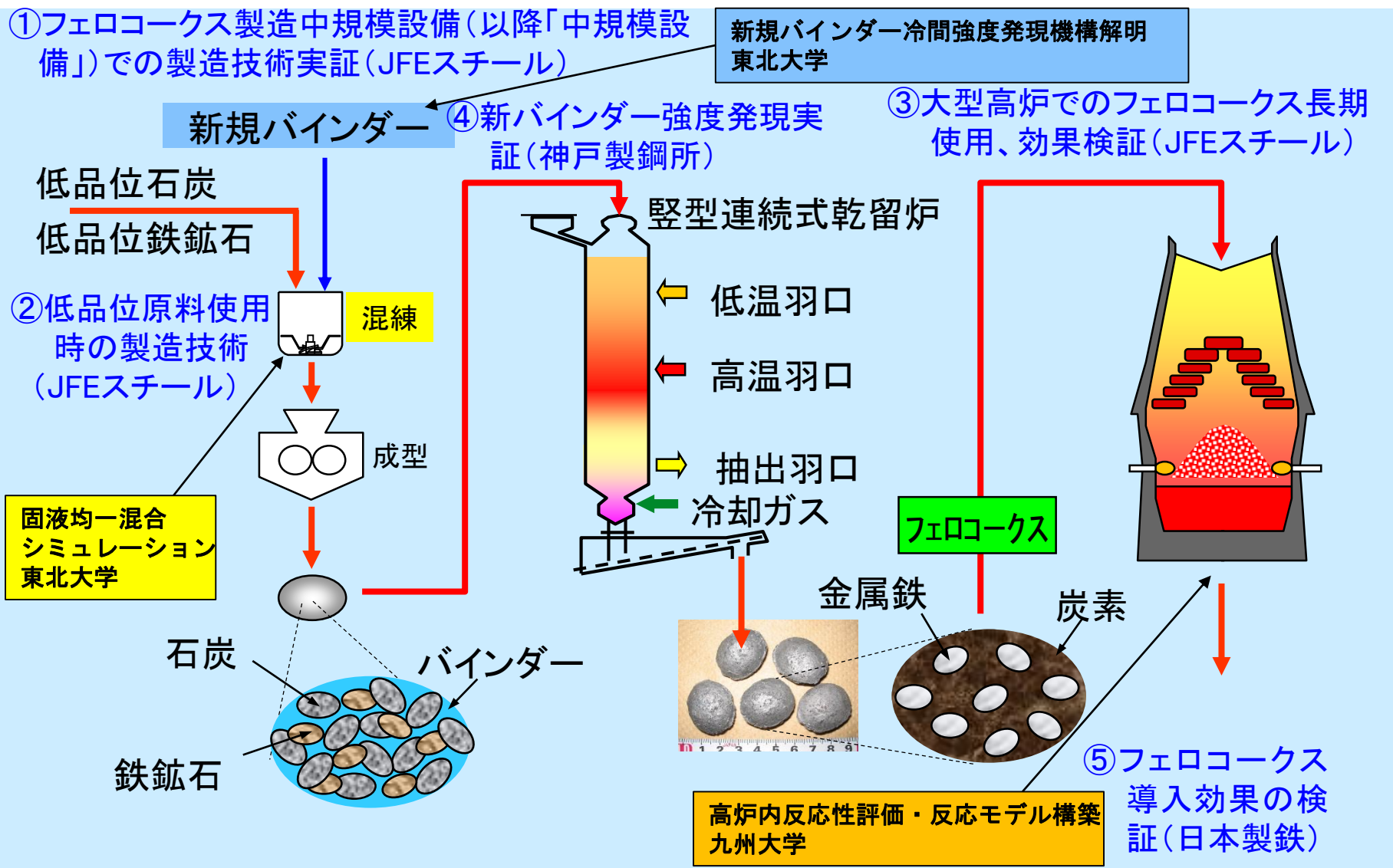
(百万円)

研究開発項目	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	合計
フェロコークス中 規模設備での製 造実証	357	822	799	895	(302)	(339)	(3,514)
一般炭,低品位原 料使用時の製造 技術	437	1193	1577	1144	(382)	(428)	(5,165)
実高炉でのフェ ロコークス長期 使用、効果検証	3	44	108	450	(76)	(85)	(766)
新バインダー強 度発現実証	29	11	16	8	(12)	(6)	(83)
フェロコークス導 入効果の検証	2	5	6	6	(8)	(8)	(32)
合計	828	2,077	2,506	2,506	(779)	(865)	(9,560)

◆研究開発の実施体制



◆研究開発の実施体制



◆ 研究開発の進捗管理

技術開発責任者(実施者)による進捗管理

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

幹事会・知財会議開催実績

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

研究会、成果報告会・アドバイザリーボード開催実績

2017年度	8月28日	3月02日	2018年度	10月31日	2月22日
2019年度	10月25日	2月21日	2020年度	11月11日	予定

◆研究開発の進捗管理

PMによる進捗管理

技術検討委員会

- ・運用： 基本4回/年を実施
- ・目的： 事業の進捗状況、進め方につき確認。

各技術検討委員会でいただいたコメントを以降の活動へ反映させ、PDCAを回す。各年度末の委員会では、共通項目で年度の活動の評価を行い、その結果を次年度計画へ反映させている。

【コメント内容の事例】

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

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

◆研究開発の進捗管理

PMによる進捗管理

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

技術検討委員会開催実績

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

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

◆ 動向・情勢の把握と対応

【海外技術動向の把握】

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

情勢・動向の把握	対応	成果
<p>フェロコークス、 COURSE50の競合技術 動向の把握及び市場動 向調査による海外展開 のための市場ポテンシャルを把握</p>	<p>「環境調和プロセス技術の開発に係る技術開発動向等の調査」の実施 2017年度～2018年度</p>	<p>競合技術: Hisarna Finex 市場ポテンシャル: ・市場の伸びが大きい⇒ インド ・省エネに対するインセンティブ大 ⇒ インド 中国 ・小型高炉の統廃合が進む ⇒ インド 中国 ・原料炭輸入国(～2040年頃) インド 中国</p>
<p>2050年を目指しCO₂削減に向けた各国の政策の動向及び水素還元製鉄の技術開発動向を整理する</p>	<p>「各国の鉄鋼業における政策・技術開発の長期見通しに係る動向調査」 2018年度～2019年度</p>	<p>政策動向: ・2050年を目指したCO₂排出量削減に向けた取組みを確認 ・欧州鉄鋼連盟のロードマップ及び各国(各社)における低炭素製鉄に向けた技術開発の状況を確認 ・高炉集約、電炉増設等の動向把握</p>

◆ 動向・情勢の把握と対応

【計画変更 2020年8月】

1. 中規模設備の実用性評価のための精度向上

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

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

2. コロナ禍による事業の遅れ

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

- 操業試験期間の短縮に伴う条件の検討

◆ 知的財産権等に関する戦略

➤ オープン／クローズ戦略の考え方

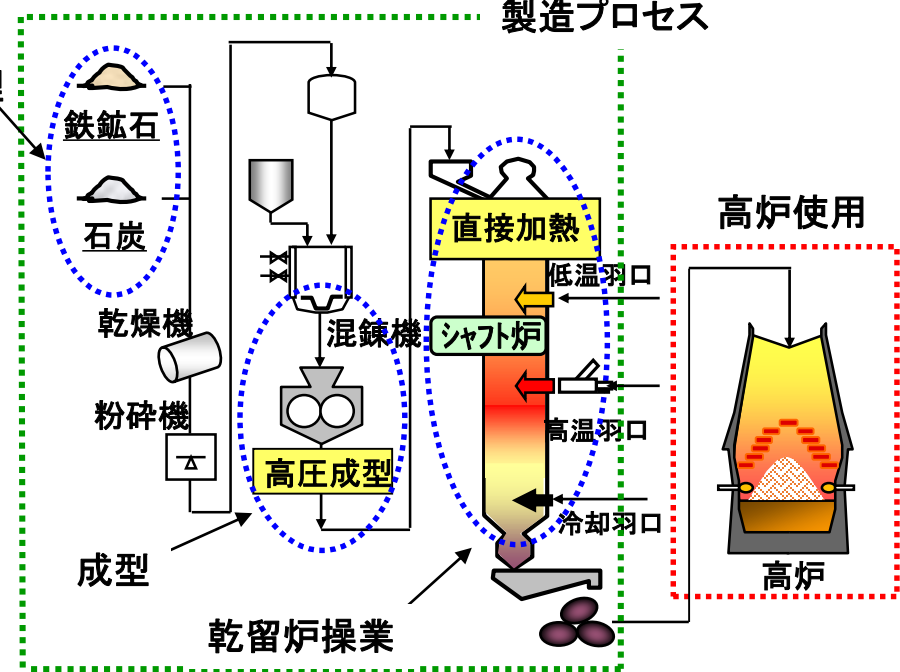
	非競争域	競争域	
公開	品質評価方法	製造技術 使用技術	積極的に 権利化
非公開		操業(運転)技術	

標準化を推進

現PJの前進である先導研究(「革新的製鉄プロセスの先導的研究」)('06~'08年度)

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

➤ 戦略的な特許取得



基本特許:

- ① 製造方法: プロセス、設備、配合条件
- ② 使用方法: 高炉での装入方法

周辺特許:

- ① 周辺システム、品質制御、副生物処理など

基本特許: 取得済 障害となる特許: 無し

◆知的財産権の確保に向けた取組

戦略に沿った具体的取組

- 技術封印:先導研究(「エネルギー使用合理化技術戦略的開発」)('06~'08年度)開始前に実施。
- 特許網構築:「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」('09~'10年度 NEDO、'11~'12は国直轄)において実施。
- 新規知的財産権:中規模設備固有のプロセス・設備、使用原料に関する特許出願

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

※2020年10月1日現在

○前段のプロジェクトにおける特許出願件数

フェロコークス製造技術、高炉装入技術などに関する特許

「革新的製鉄プロセスの先導的研究」 10件 (海外 0件)

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

◆ 知的財産管理

➤ 知的財産管理指針の策定

1) 成果に係る知的財産権の取扱い

- ・受託会社に帰属(日本版バイ・ドール法に拠る)
- ・共同受託会社間には実施許諾を前提で協議

2) 共同受託会社の既得技術の取扱い

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

3) 再委託先(大学)での成果に係る知的財産権

- ・国プロの主旨に鑑みて、再委託者、再受託者間で共有すべく協議

➤ 発明委員会(知財会議と称す)の運用

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

以上

「環境調和型プロセス技術の開発

②フェロコークス技術の開発」(中間評価)

(2017年度～2022年度 6年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO

省エネルギー一部

2020年11月17日

I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

II. 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

III. 研究開発成果

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の最終目標の達成可能性
- (3)成果の普及
- (4)知的財産権の確保に向けた取組

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し

◆研究開発の実施体制

新規バインダー冷間強度発現機構解明
東北大学

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

②低品位原料使用時の製造技術(JFEスチール)

低品位石炭
低品位鉄鉱石

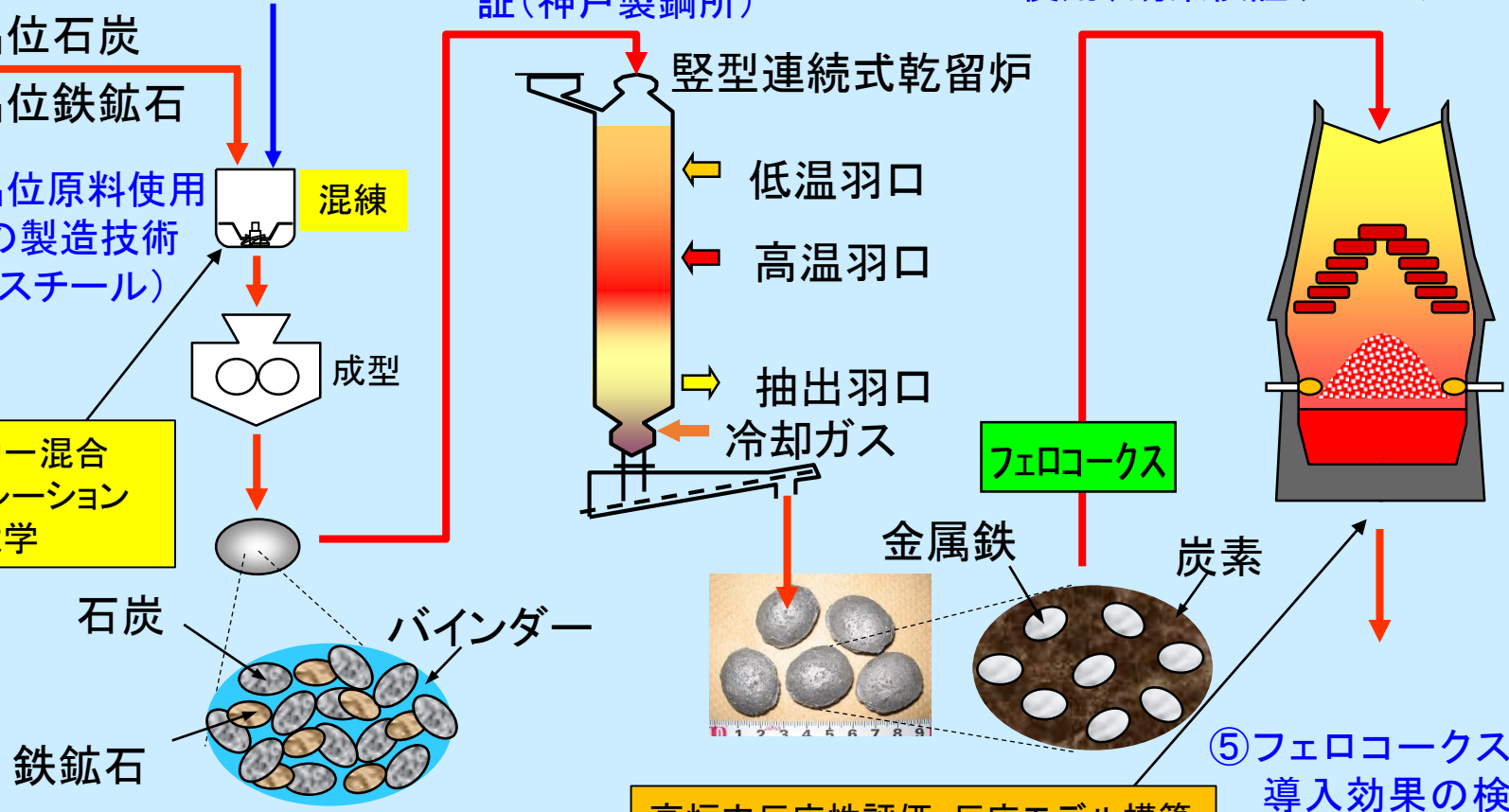
②低品位原料使用時の製造技術(JFEスチール)

固液均一混合シミュレーション
東北大学

新規バインダー

④新バインダー強度発現実証(神戸製鋼所)

③大型高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証(JFEスチール)



高炉内反応性評価・反応モデル構築
九州大学

⑤フェロコークス導入効果の検証(日本製鉄)

研究開発項目: ①フェロコークス中規模設備での製造技術実証

①-1 中規模設備の開発

①-1-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立

①-1-1 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

① -2 固液均一混合のシミュレーション

中間目標

達成度

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

○

・フェロコークスのドラム強度※: $DI150/15 \geq 80$ (ラボ乾留実験)
 (現状より劣質原料使用。中規模設備で混練成型した成型物を抜き出し、ラボの乾留炉で乾留した時に強度が確保できること。固形バインダー、液体バインダーは従来品使用)

○

※ドラム強度 $DI150/15$: JIS規格

・混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプを完成させる。

○

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

研究開発項目: ②一般炭、低品位原料使用時の製造技術実証

中間目標

達成度

- ・選定した一般炭2銘柄および低品位鉄鉱石1銘柄および従来品のバインダーを用いて、中規模設備で成型を行い、成型物強度を確認する(I型ドラム強度※: $ID30/15 \geq 85$)。
※I型ドラム強度: 鉄鋼業界で一般的に採用されている強度指標
測定に供する試料数: 20個
- ・ラボにて④で製造した新規固形バインダー使用成型試験を実施し、強度評価を行う(液体バインダーは従来品使用)。



研究開発項目: ③実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

中間目標

達成度

- ・ラボ装入模擬試験に基づきフェロコークスを実炉に装入するための適切な装入方法を提示確立する。
- ・中規模設備で混練・成型・乾留したフェロコークスを実高炉へ装入量3kg/t程度で連続的に装入でき、かつ安定して操業(通気変動がないこと)できることを確認する。
(フェロコークスの実高炉への装入量が平均3kg/t程度: 高炉の日常の炉熱変動の還元材比換算±約3kg/tの範囲内=高炉の商用生産に影響を与えない範囲)



研究開発項目: ④新バインダー強度発現実証

④-1 新規固形バインダーの性能実証

④-2 新規液体バインダー開発

④-3 新規固形および新規液体バインダーの冷間強度発現機構の解明

中間目標

達成度

・0. 3トン／日にスケールアップした設備で新規固形バインダーを製造する。
 ・製造した新規固形バインダー使用時の成型物の強度(I型ドラム強度: ID30/15 \geq 85)(ラボ成型実験)を確保する。
 フェロコークスのドラム強度: DI150/15 \geq 80(ラボ乾留実験)を確保する。



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



・圧縮成型時の石炭-バインダー-鉄鉱石の圧縮挙動予測モデルを構築し、フェロコークスに適したバインダーの添加条件を提案する。モデル解析結果の誤差: 10%以内。



研究開発項目: ⑤フェロコークス導入効果の検証

⑤-1 一般炭、低品位原料で製造したフェロコークスの高温性状評価

⑤-2 反応性評価・反応モデル構築

中間目標

達成度

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

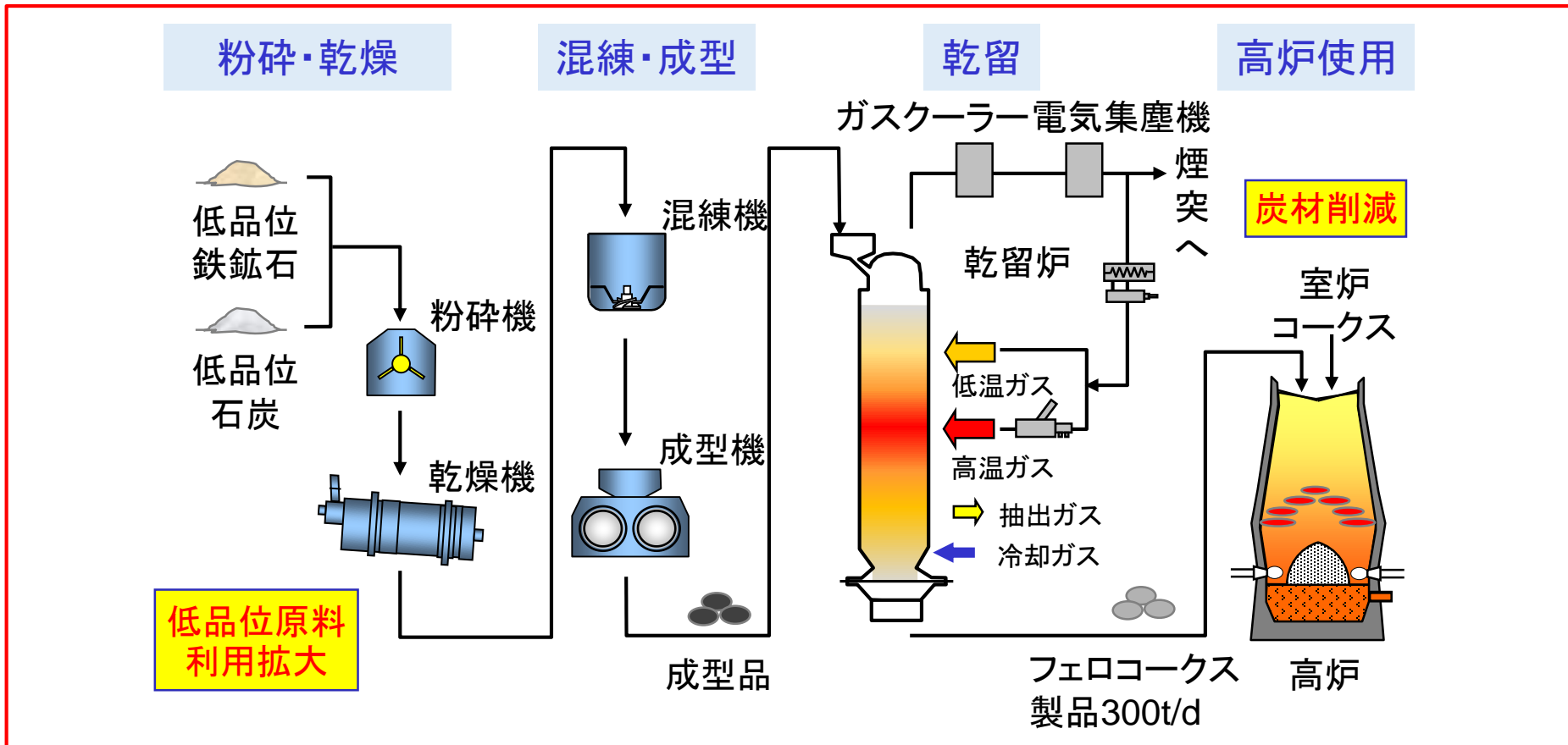


・⑤-1で得られた高温性状調査結果と⑤-2で得られたフェロコークス反応モデルを反映した、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させ、ケーススタディによる物質収支誤差が許容範囲(1%程度)であることを確認する。



① フェロコークス製造中規模設備での製造技術実証(JFEスチール、東北大)

①-1 中規模設備の開発(JFEスチール)



■ 研究開発の中間目標

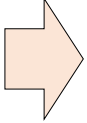
原料事前処理設備、連続混練成型設備および乾留設備の据付完了し、乾留設備までの製造能力(300t/d)を確認する。

成果

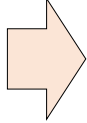
	2017年												2018年												2019年												2020年																					
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																		
全体工程	▼工事開始												基礎工事												土木付帯 段取り												据付工事(機械・制御・炉材)												試験 操作									
	既設撤去									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



撤去工事後(更地)



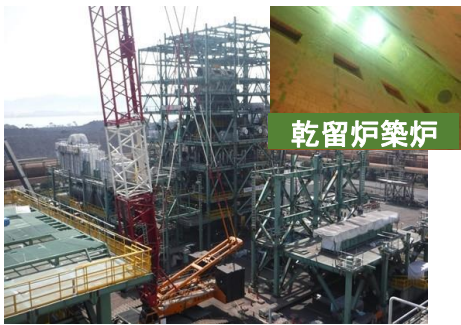
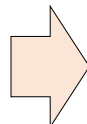
杭打ち(350本)



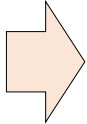
基礎工事(コンクリート4,600m3)



架构建て方



機器据付(機械重量7,000t)

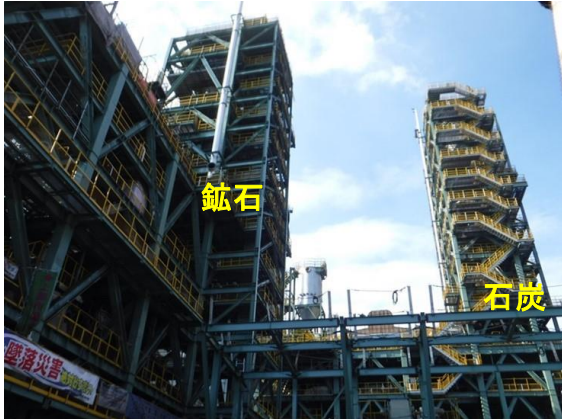


工事完了

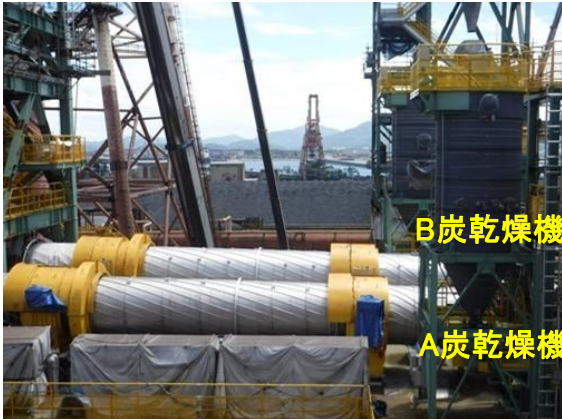
原料事前処理設備、連続混練成型設備および乾留設備の据付完了。新型コロナウイルス緊急事態宣言の発出により、負荷試運転が約2ヶ月の後ろ倒しになるも乾留設備までの製造能力(300t/d)を確認。

3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義(個別課題)



石炭/鉬石処理



石炭乾燥機(STD)



設備全景



乾留炉

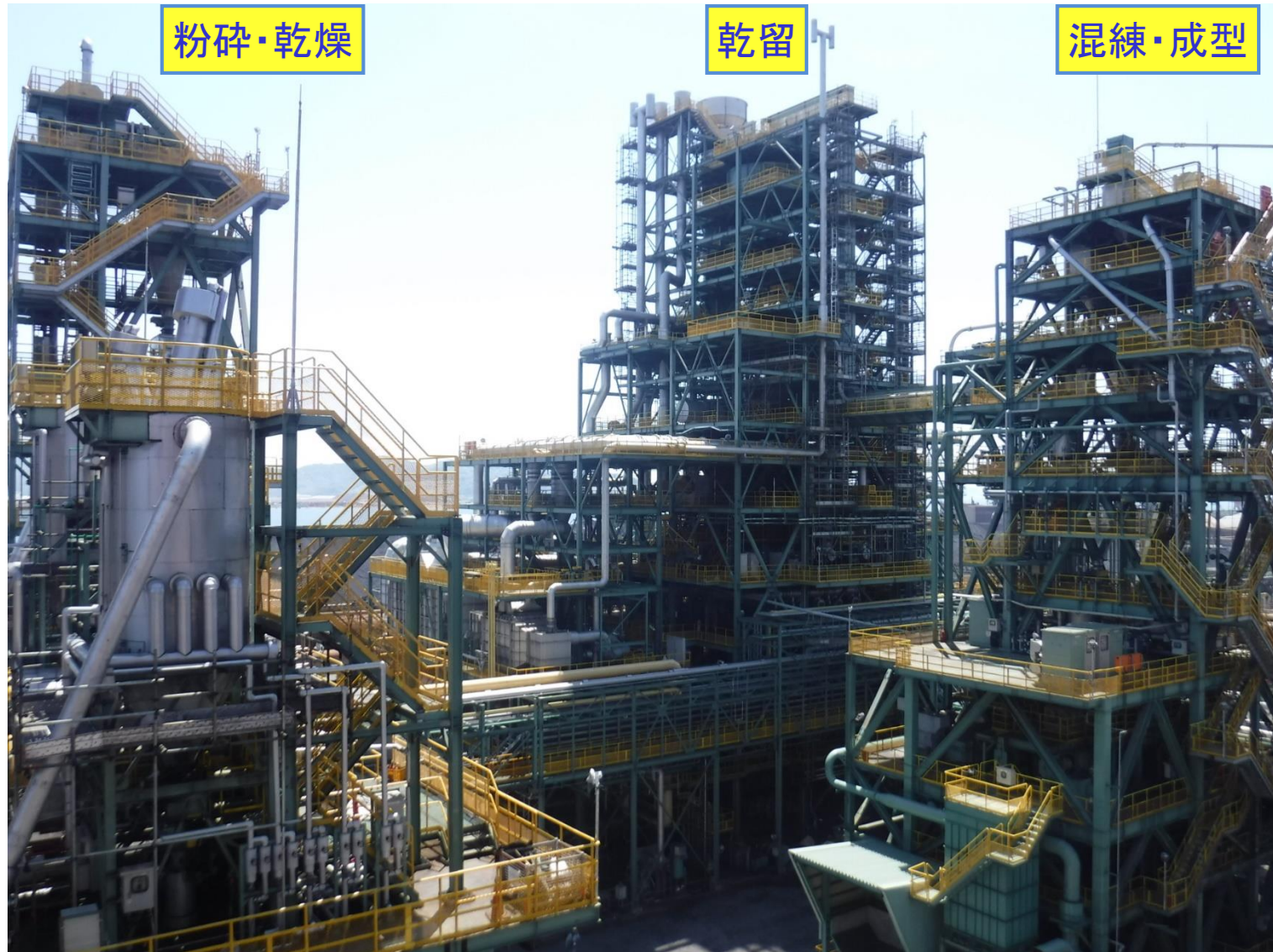


安水・タール処理

■ 今後の予定

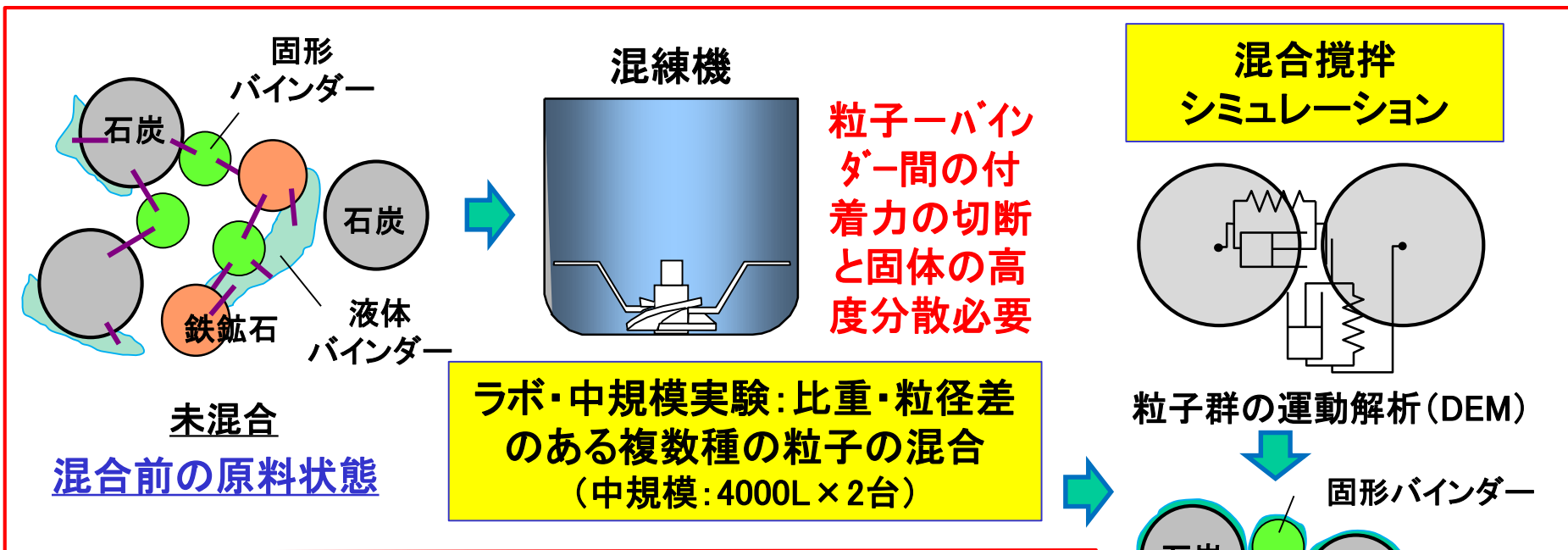
混錬機スクリーフィーダーのスクリーピッチを広げる改造を実施。2020年度中にモーター容量アップを完成させ300t/d連続運転に備える。

◆ フェロコークス中規模設備の外観



① フェロコークス製造中規模設備での製造技術実証(JFEスチール、東北大)

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



■ 研究開発の中間目標

- ・原料の均一混合技術の確立(固体3種類、液体1種類の混合): **混合度95以上**
(中規模設備で製造した混練物を評価し、確率50%で混合度95が達成できること)
- ・ **混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプ完成**

■ 成果

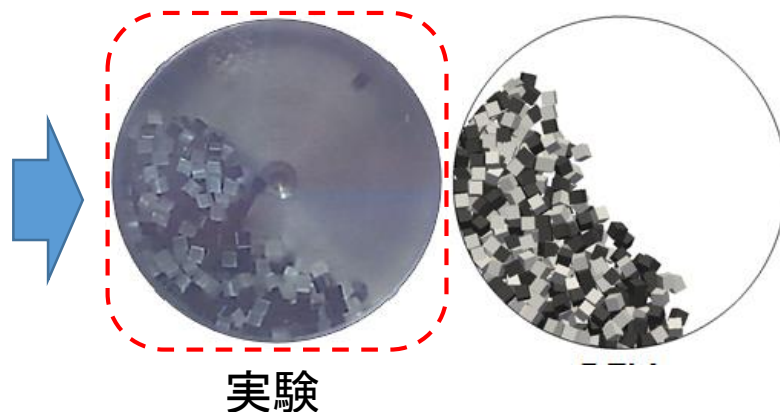
GPU(Graphics Processing Unit/画像処理装置)

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

混合条件 4000L 付着力・細粒化 成型物
 評価 着手 GPU増強 評価
 75L実験
 中規模(75L) 解析 コード改造 作業評価
 ラボコンピュータ スパコン解析 フィッティング
 操作試験

<混合攪拌シミュレーション>

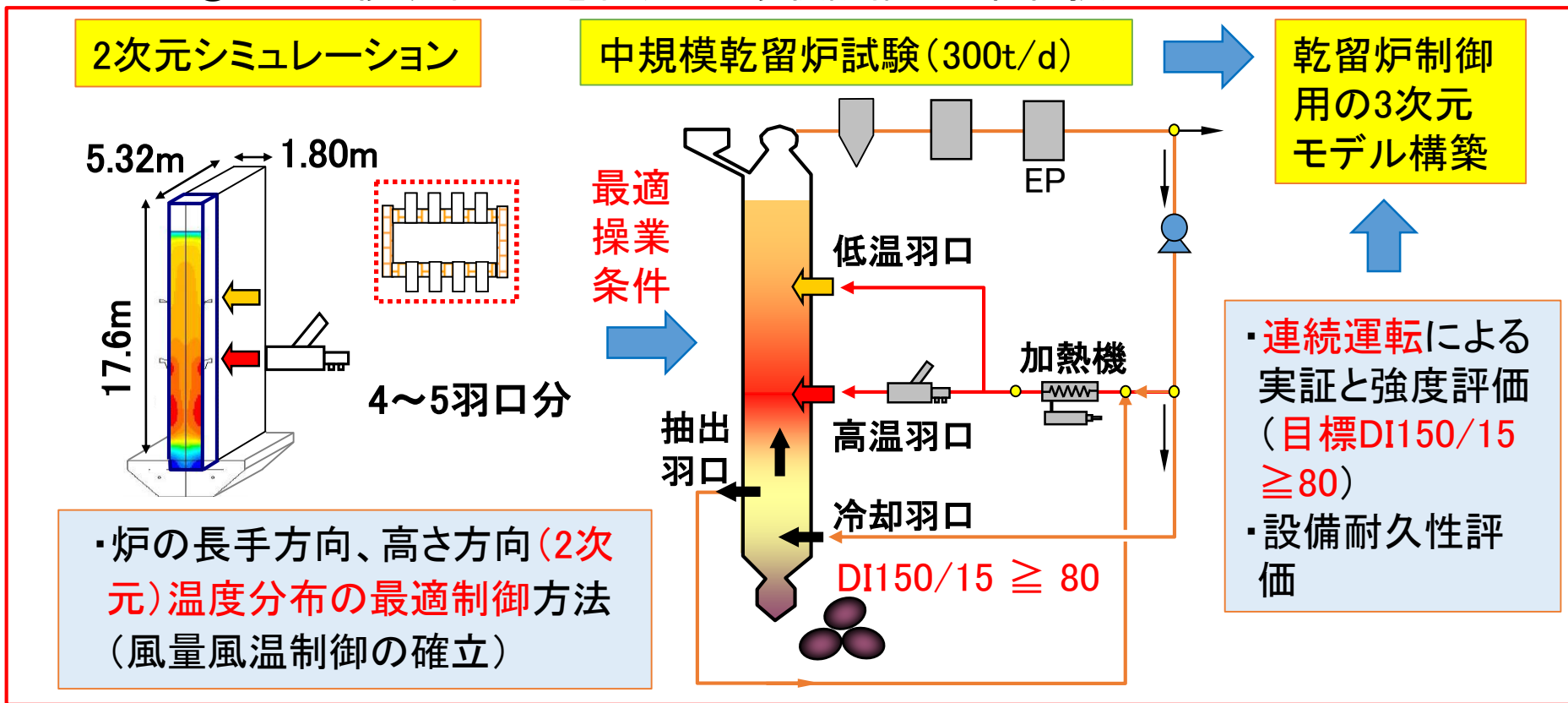
- 1) 互いに接触した粒子間に働く接触力をモデル化
- 2) 接触力が作用する個々の粒子の運動を記述する運動方程式を解き、粉体中の個々の粒子の挙動を追跡



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

① フェロコックス製造中規模設備での製造技術実証(JFEスチール、東北大)

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



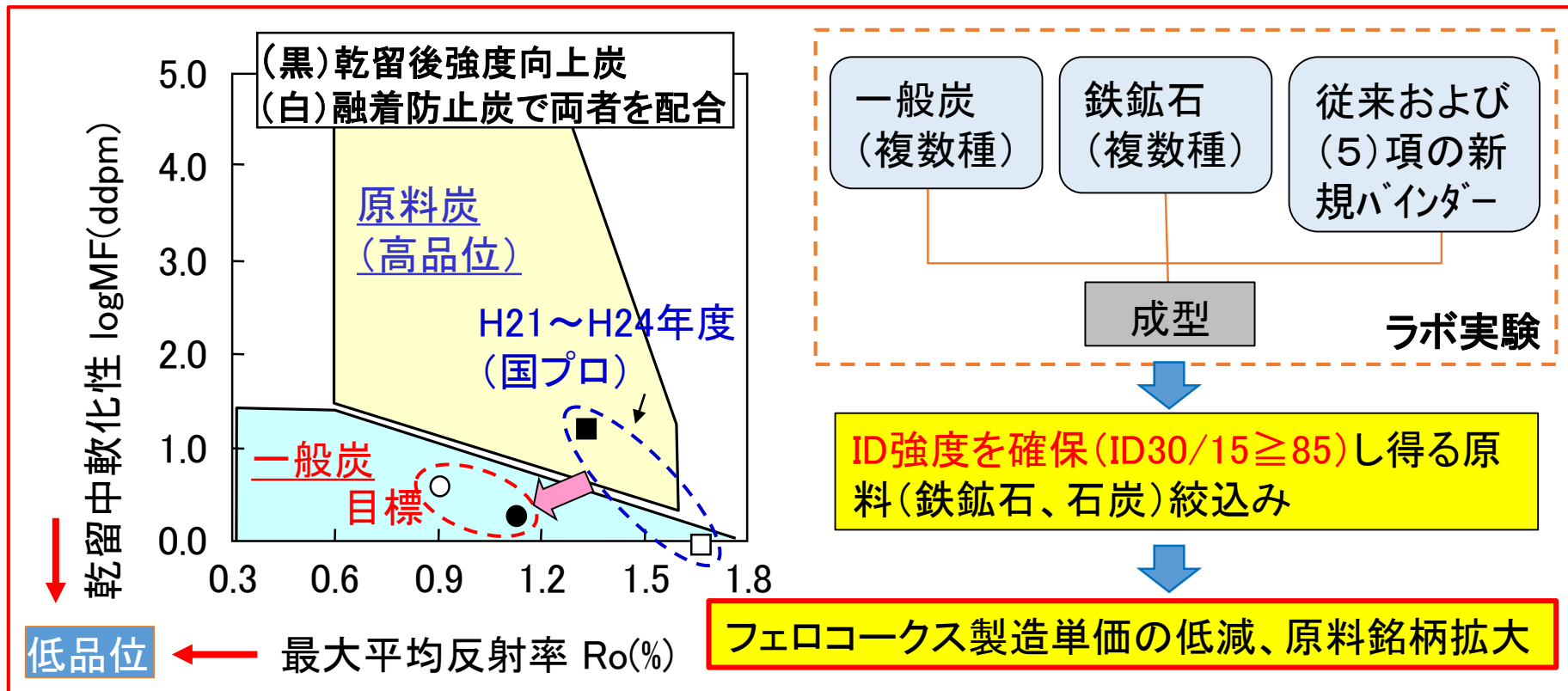
■ 研究開発の中間目標

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

■ 成果

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

②一般炭、低品位原料使用時の製造技術実証(JFEスチール)



■ 研究開発の中間目標

- ・選定した一般炭2銘柄および低品位鉄鉱石1銘柄および従来品のバインダーを用いて、中規模設備で成型を行い、成型物強度を確認する(I型ドラム強度 ※: ID30/15 ≥ 85)。※I鉄鋼業界で一般的に採用されている強度指標。
- ・ラボにて④で製造した新規固形バインダー使用成型試験を実施し、強度評価を行う(液体バインダーはSOP ※使用。※市販品)。

■ 成果

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

<低品位原料絞り込み>

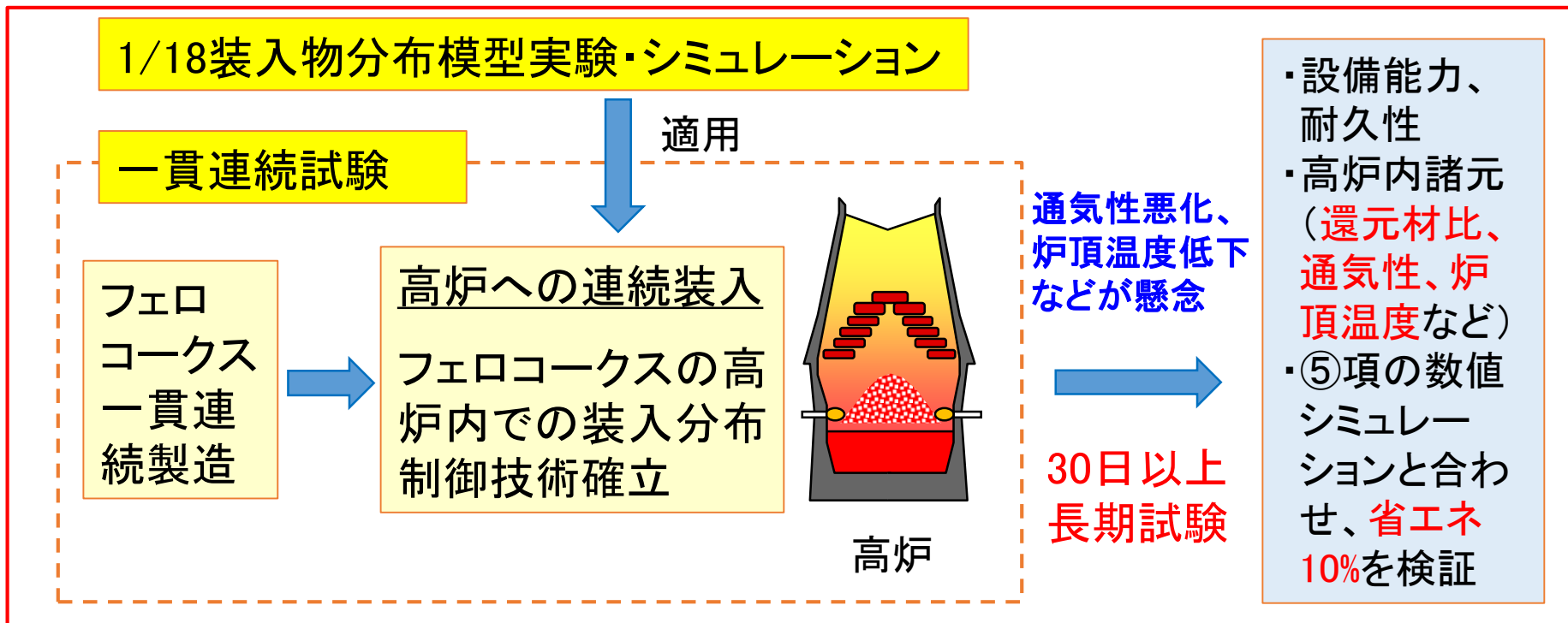
	検討銘柄	適用可能
一般炭	6銘柄	4銘柄
PCI炭	3銘柄	3銘柄
鉱石	2銘柄	2銘柄

■ 今後の予定

選定した低品位原料を使用した中規模設備での長期操業試験の実施

- ・選定した一般炭2銘柄および低品位鉄鉱石1銘柄および従来品のバインダーを用いて、中規模設備で成型を行い、成型物強度を確認した(I型ドラム強度:ID30/15 \geq 85)。
- ・ラボにて新規固形バインダー使用成型試験を実施し、強度評価を実施。

③ 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証(JFEスチール)

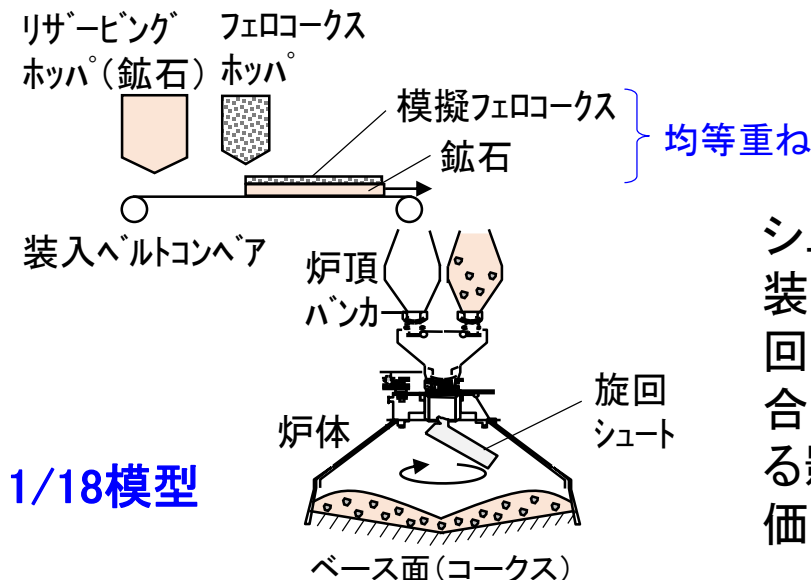


■ 研究開発の中間目標

- ・ラボ装入模擬試験に基づきフェロコークスを実炉に装入するための適切な装入方法を提示確立する。
- ・中規模設備で混練・成型・乾留したフェロコークスを実高炉へ**装入量3kg/t程度で連続的に装入**でき、かつ安定して操業(通気変動がないこと)できることを確認する(還元材比±約3kg/t=高炉の商用生産に影響を与えない範囲)。

成果

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



1/18模型

シュート角度、
 装入速度・旋
 回数等が混
 合性に与え
 る影響を評
 価

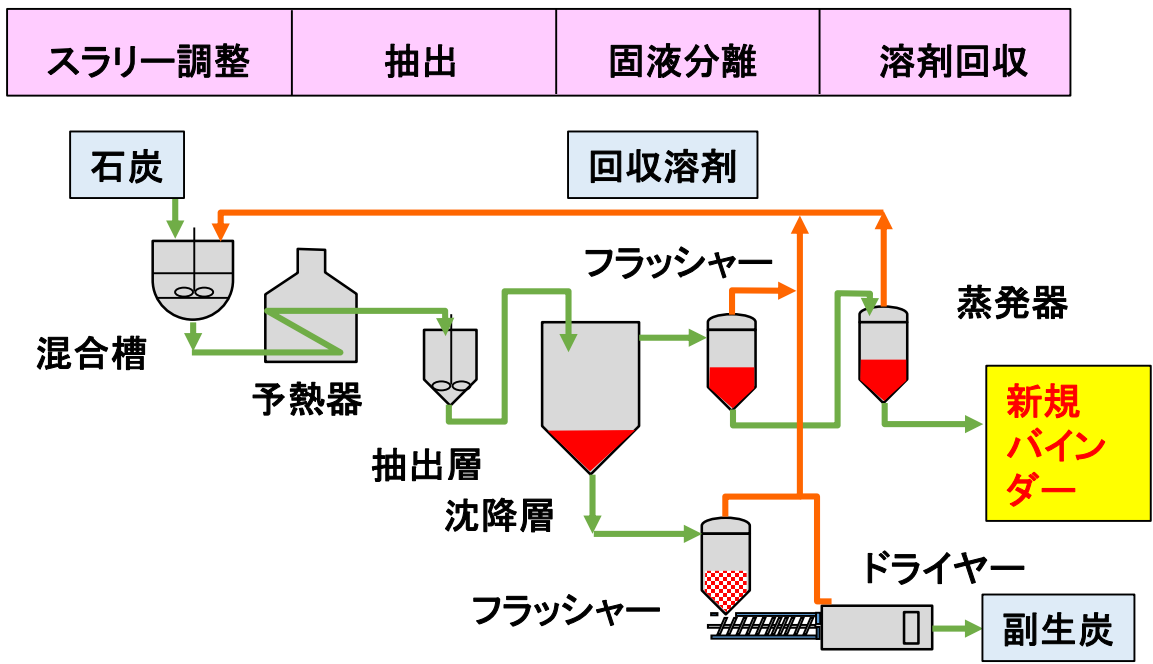
ラボ装入模擬試験に基づきフェロークスを実炉に装入するための適切な装入方法は、2019年度に完了。10月より100t/dの試験操業を開始。

今後の予定

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

④ 新バインダー強度発現実証(神戸製鋼所、東北大)

④-1 新規固形バインダーの性能実証(神戸製鋼所)



1 新規固体バインダー
 tオーダーの試作と中規模設備での性能確認、実証技術開発計画策定

2 新規液体バインダー
 1) 石炭系新規液体バインダーの高温溶剤抽出製造プロセスの提示
 2) 中規模設備から発生する中低温タールの改質による製造方法の探索 (kgオーダー)

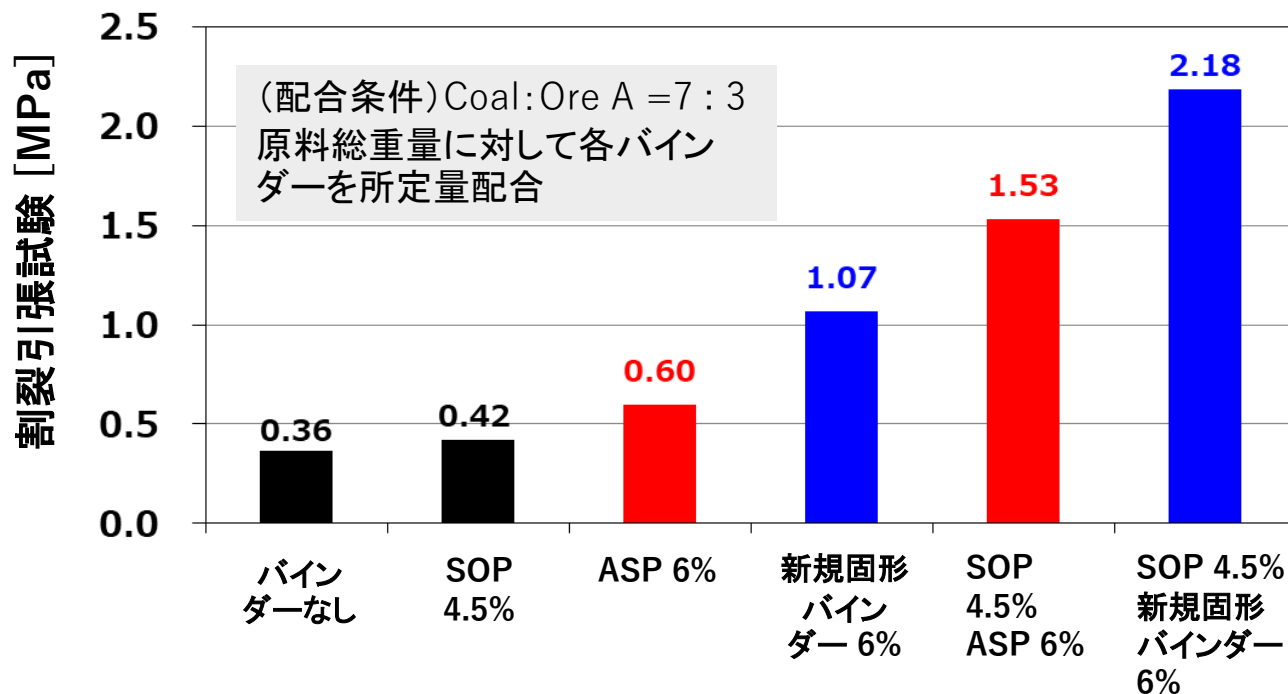
3 新規固形および新規液体バインダーの冷間強度発現機構の解明
 成型体構造に及ぼす石炭、バインダーの影響明確化、フェロコックスブリケットの冷間強度予測モデル開発

■ 研究開発の中間目標

- ・0.3t/dにスケールアップした設備で新規固形バインダーを製造する。
- ・製造した新規固形バインダー使用時の成型物の強度(I型ドラム強度: ID30/15 \geq 85) (ラボ成型実験)を確保する。
- ・フェロコックスのドラム強度: DI150/15 \geq 80 (ラボ乾留実験)を確保する。

■ 成果

◆ 新規固形バインダーの性能実証



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

■ 今後の予定

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

・工業的に最大の新規固形バインダー収率が得られる製造条件として、抽出温度380°C、昇温速度150°C/minを提示した。

・新規固形バインダー中の副生炭(RC)濃度を10%以下に規定した。ラボ試験炉において、成型物およびフェロコックスの強度目標を達成した。

④ 新バインダー強度発現実証(神戸製鋼所、東北大)

④-2 新規液体バインダー開発(神戸製鋼所)

■ 研究開発の中間目標

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

■ 成果 <フェロコークスタールの改質方法検討>

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

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

■ 今後の予定

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

④ 新バインダー強度発現実証(神戸製鋼所、東北大)

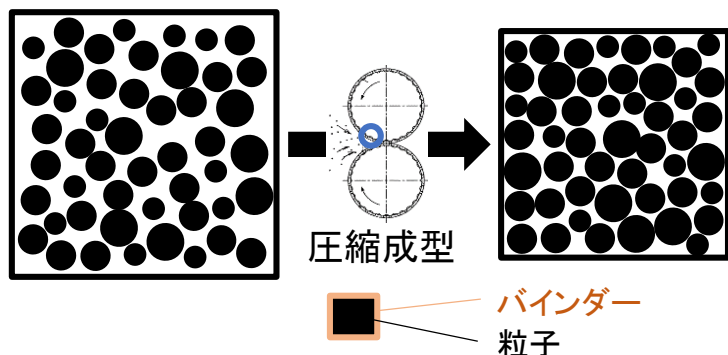
④-3 新規固形および新規液体バインダーの冷間強度発現機構の解明(東北大)

■ 研究開発の中間目標

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

■ 成果

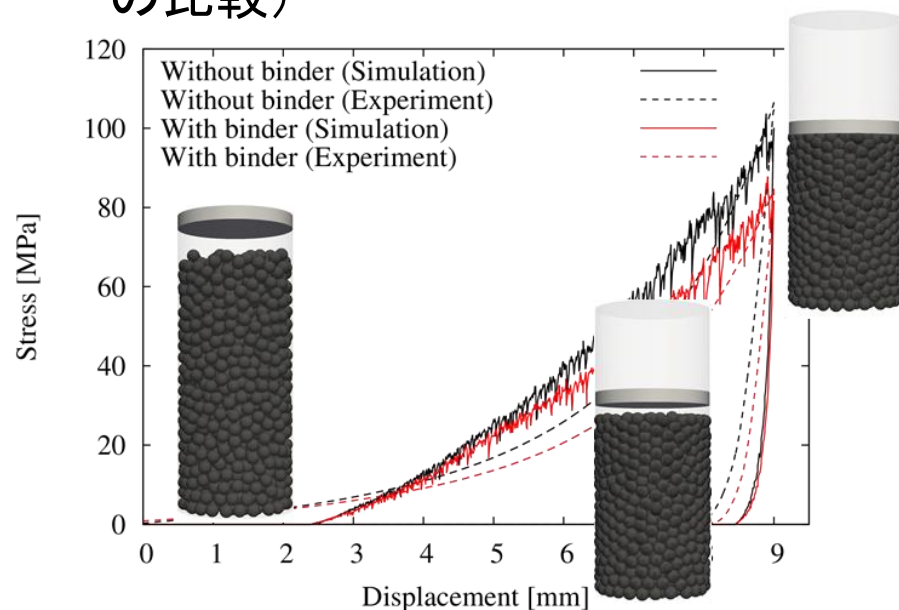
◆ フェロコークスブリケットの冷間強度予測モデル



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

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

◆ 圧縮応力の変化(実験値と解析値の比較)



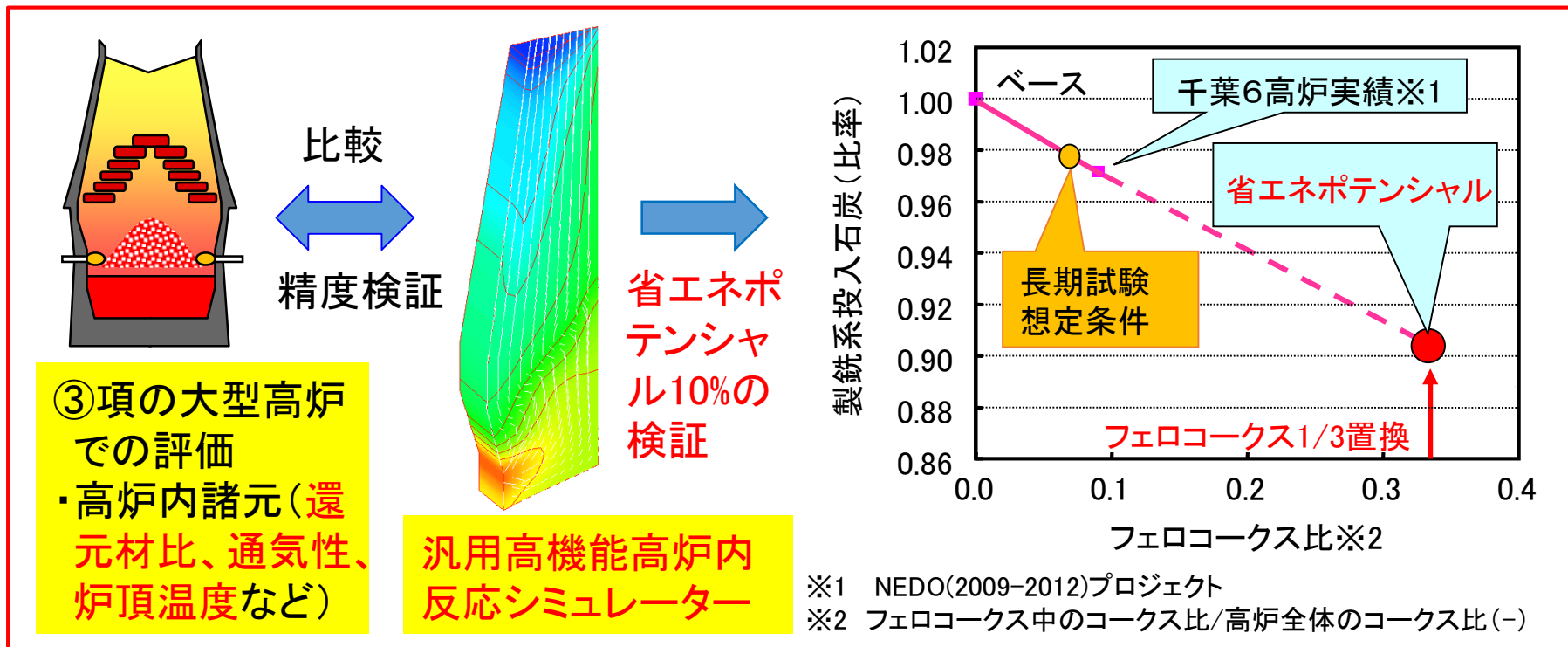
固形バインダーの配合に伴う応力の減少傾向を良好に表現

■ 今後の予定

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

⑤ フェロコークス導入効果の検証(日本製鉄、九大)

⑤-1 一般炭、低品位原料で製造したフェロコークスの高温性状評価(日本製鉄)

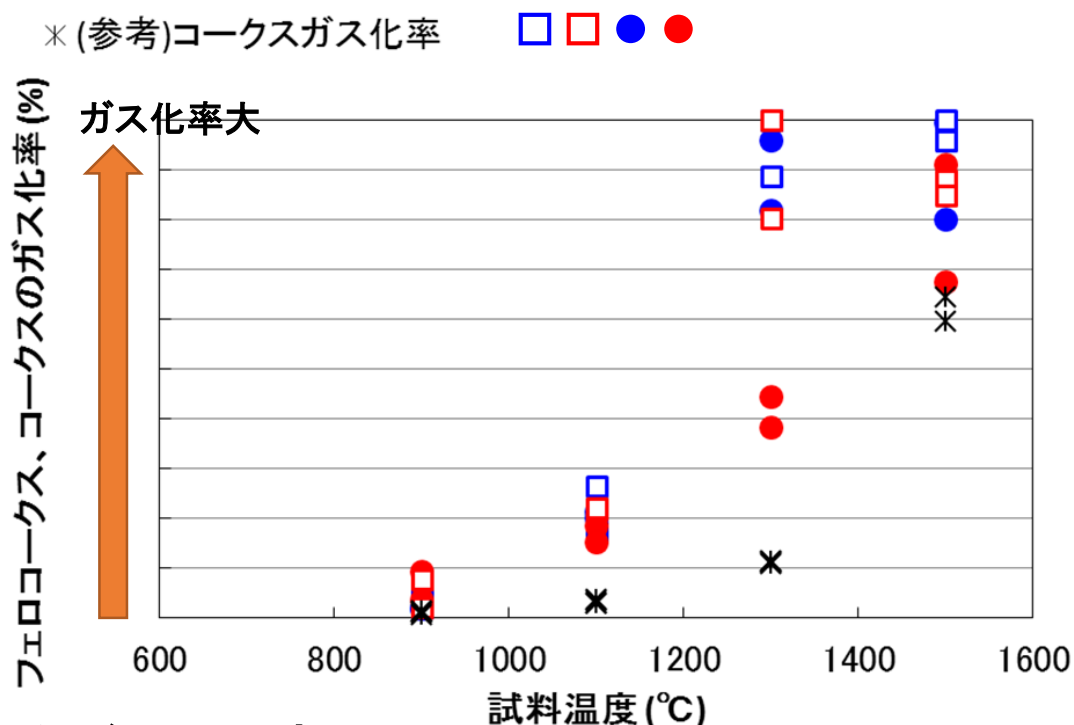


■ 研究開発の中間目標

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

■ 成果

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



コークスと比較して低温からガス化反応が生じることを確認。

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

■ 今後の予定

一般炭、低品位原料で製造したフェロコークスの高温性状を調査し、温度とガス化率の関係を評価する。また、汎用高機能高炉内反応シミュレータに⑤-2で得られた知見を反映し、ケーススタディを実施し、物質収支誤差が許容範囲であることを確認することで、達成できる見込み(2021年2月達成見込み)。

⑤ フェロコークス導入効果の検証(日本製鉄、九大)

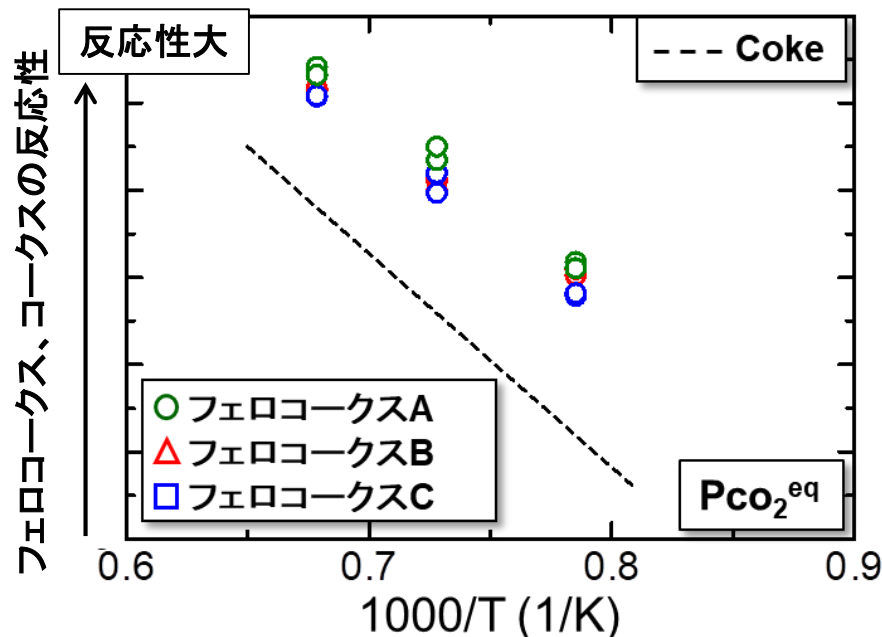
⑤-2 反応性評価・反応モデル構築(九大)

■ 研究開発の中間目標

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

■ 成果

- ◆ 熱天秤試験におけるフェロコークスのガス化率の温度依存性

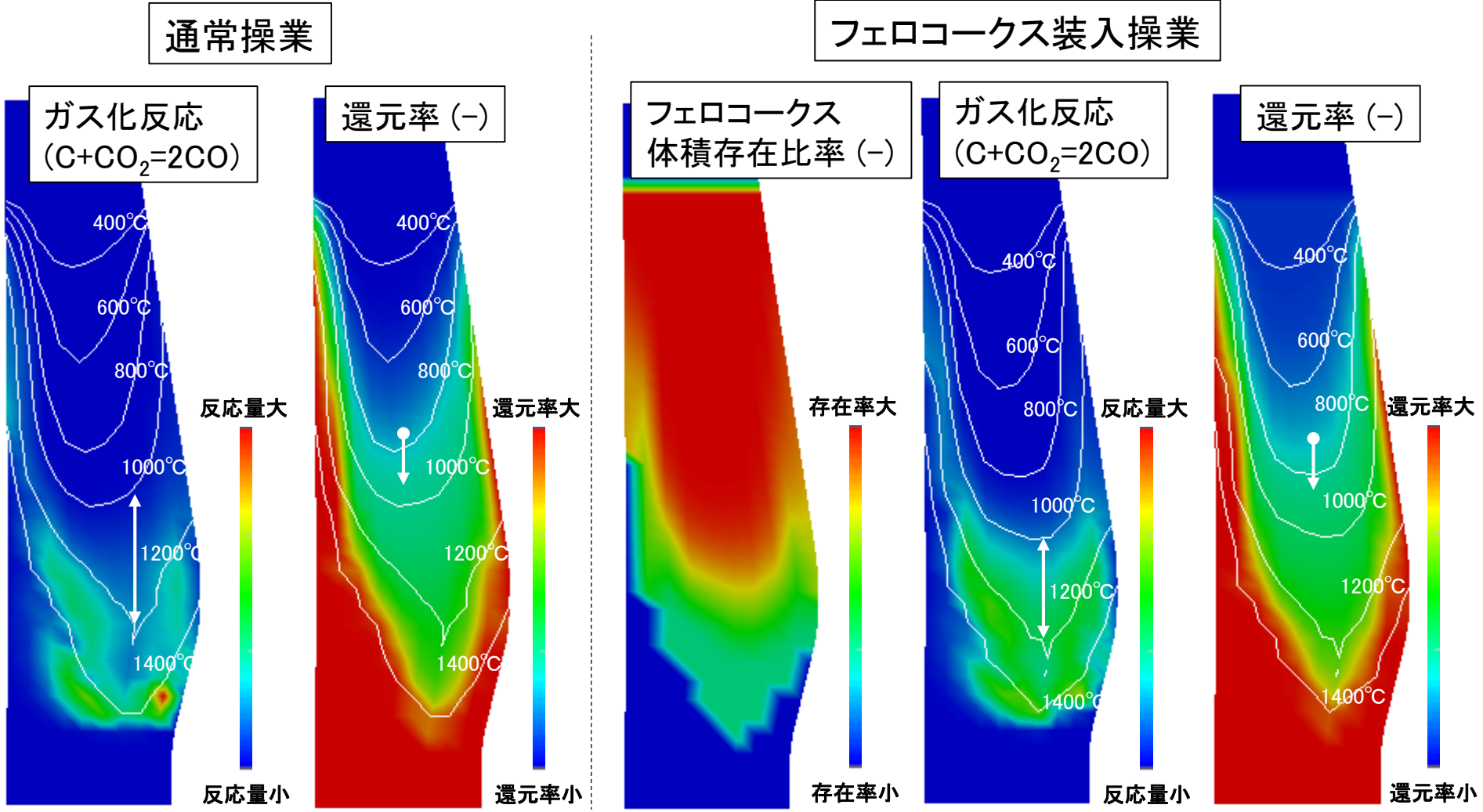


測定した反応速度をアレニウス型反応速度式として定式化し、フェロコークス製造条件が頻度因子、活性化エネルギーに及ぼす影響を評価。

一般炭、低品位原料で製造したフェロコークスの反応速度を調査し、測定した反応速度をアレニウス型反応速度式として定式化し、フェロコークス製造条件が頻度因子、活性化エネルギーに及ぼす影響を評価した。

◆ フェロコークス装入に伴う炉内状況変化

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



研究開発項目: ①フェロコークス中規模設備での製造技術実証

①-1 中規模設備の開発

①-1-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立

①-1-1 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

①-2 固液均一混合のシミュレーション

最終目標(2022年度)

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

達成見通し

中規模設備の生産量300t/dでの連続運転を実施し、結果の解析を実施することで、目標を達成する見通し。

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

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

研究開発項目: ②一般炭,低品位原料使用時の製造技術

最終目標(2022年度)	達成見通し
<p>・ラボスケールでの試験結果から、原料(鉄鉱石、石炭)の絞込みを行う。これら原料がフェロコークス用原料として適していることを検証する。</p>	<p>ラボスケールにおける原料(鉄鉱石、石炭)の絞込みについては完了。これら原料を中規模設備において使用試験を実施し、フェロコークス用原料として適していることを検証する見込み。</p>

指標: 成型物の強度 (I型ドラム強度): **ID30 / 15 ≥ 85**

研究開発項目：③実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

最終目標(2022年度)

・高炉への長期装入試験を行い、高炉の還元材比や高炉操業の安定性に及ぼす影響を評価する。また、製鉄工程における省エネ効果に及ぼす影響を把握し、フェロコークス導入効果の検証で開発した数値シミュレーションと合わせ、目標の省エネ10%を達成する。

達成見通し

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

指標：連続操業試験：30日以上

研究開発項目：④新バインダー強度発現実証

最終目標(2022年度)	達成見通し
<ul style="list-style-type: none"> ・新規固形バインダーの実証技術開発計画案を提示する。 ・所定の強度を実現しうる液体新規バインダー製造プロセス案を提示する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・成型物・フェロコークスの目標強度は、ラボ試験炉評価において確認済み。 ・中規模設備投入条件についてはJFEスチールと協議して実施。 ・SOP代替となる性能を有する新規液体バインダーの改質方針を決定予定。最終目標達成見込み。 ・21年度に試作品を用いたタブレットによる強度評価(JFEスチール)に基づき製造条件の最適化を進め、新規液体バインダーの製造プロセス案に反映。
<ul style="list-style-type: none"> ・フェロコークスブリケットの冷間強度予測モデルを提示する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・離散要素法をベースとした圧縮挙動の予測モデルの高精度化は達成見込み。成型物の構造を高精度で予測できれば、冷間強度の推算についてもモデルの構築ならびにモデルパラメーターのチューニングにより最終目標を達成できる見込み。

指標:

成型物の強度 (I型ドラム強度): $ID30 / 15 \geq 85$

乾留後塊成物のドラム強度: $DI150 / 15 \geq 80$

研究開発項目: ⑤フェロコークス導入効果の検証

最終目標(2022年度)

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

達成見通し

フェロコークス製造条件が頻度因子、活性化エネルギーに及ぼす影響を評価し、その知見を⑤-1の汎用高機能高炉内反応シミュレータに適用し、評価方法を確立する。

また、③(実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証)の結果を汎用高機能高炉内反応シミュレータを用いて解析することで、**省エネ効果を確認し、最終目標を達成できる見通し**。

指標: 評価方法の確立と**省エネ効果(目標10%)**の確認
(数値シミュレーションと実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証)の結果と合わせ、目標の省エネ10%を検証する。

◆ 成果の普及

※2020年度10月31日現在

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

論文

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

口頭発表

○2018年度12月(独)日本学術振興会学振54委員会(平成30年度12月期;第193回)
「フェロコークス製造・利用技術のこれまでの開発経緯と今後の展開」

雑誌掲載

○週刊東洋経済(8/1号)

新聞発表

○10/12～15 鉄鋼新聞、日経新聞電子版 など

◆ 知的財産権の確保に向けた取組

【戦略に沿った具体的取組】

- **技術封印**：先導研究（「エネルギー使用合理化技術戦略的開発」）（'06～'08年度）：開始前に実施。
- **特許網構築**：「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」（'09～'10年度 NEDO、'11～'12はMETI直轄）において実施。
- **新規知的財産権**：中規模設備固有のプロセス・設備、使用原料に関する特許出願
- **外国出願**：海外展開の可能性が高い国に優先的に出願。

※2020年度10月31日現在

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

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

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

「実用化・事業化」の考え方

実用化とは

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

事業化とは

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

◆実用化・事業化に向けた戦略

【具体的方針】

1) 実用化：中規模設備(300t/d)による工業化課題の克服

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

2) 事業化

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

◆実用化・事業化に向けた具体的取組

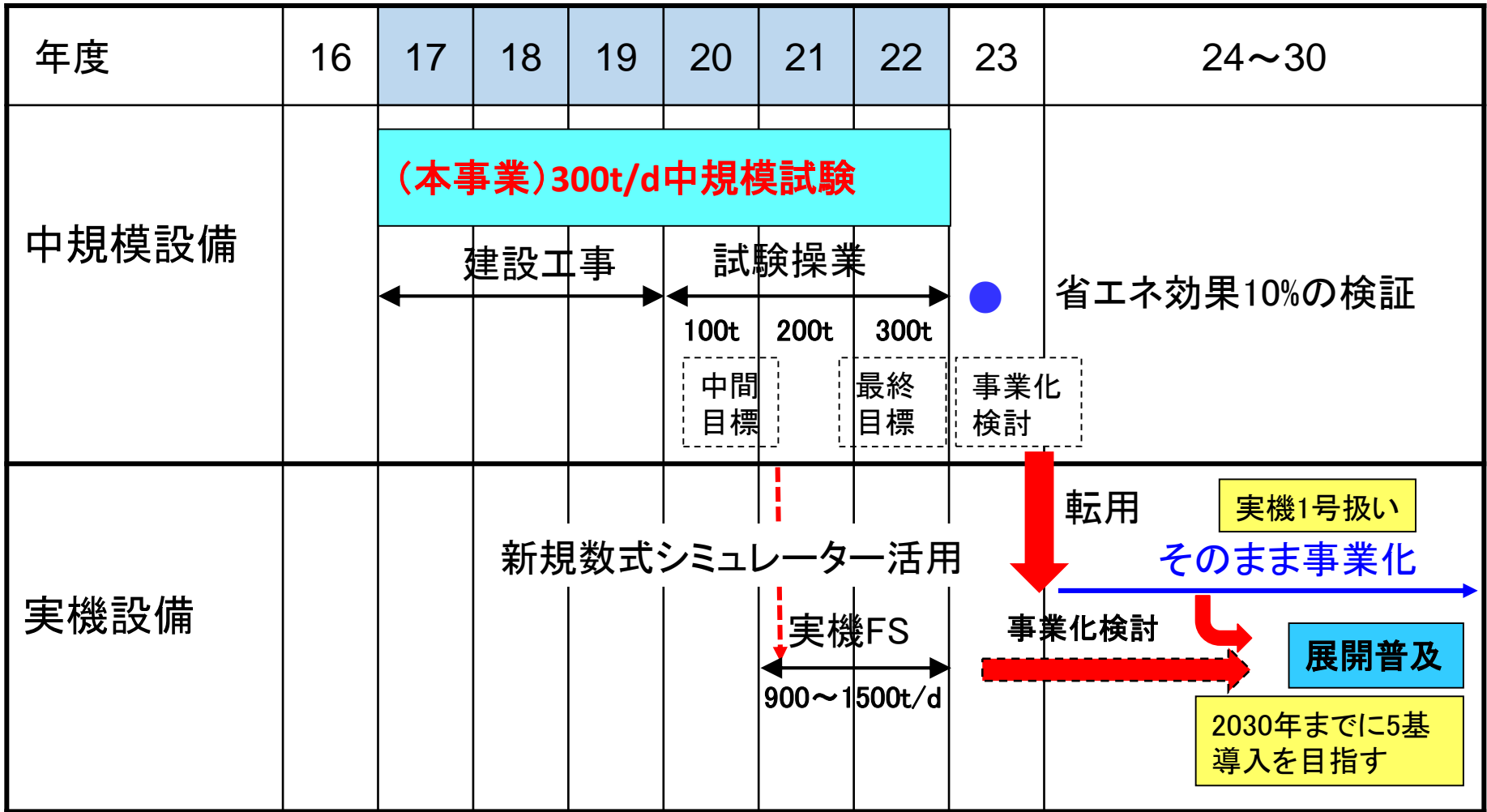
【実用化・事業化活動の実施者】

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

【実用化・事業化の計画及びマイルストーン】

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

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組



● : 基本技術確立

◆ 成果の実用化・事業化の見通し

【実用化・事業化に向けての課題とその解決方針】

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

◆ 成果の実用化・事業化の見通し

【研究成果のニーズと経済性の確保】

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

◆海外展開

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

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

1) 社会的要因調査

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

2) 技術的要因調査

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

3) 経済的要因調査

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

4) 環境的要因調査

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

5) 政治的要因

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

◆波及効果

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

以上

補足資料

研究開発項目毎の目標と達成状況

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、
△ 達成見込み（中間）、× 未達

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

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、
△ 達成見込み（中間）、× 未達

研究開発項目		中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(1) 中規模設備での製造技術実証	① -1-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立	・原料の均一混合技術の確立(固体3種類、液体1種類の混合): 混合度95以上 (中規模設備で製造した混練物を評価し、確率50%で混合度95が達成できること)	成型物の強度測定結果から、目標強度80以上を確認。成型物強度と混合度の関係から、混合度95以上と推測。	○	

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、
△ 達成見込み（中間）、× 未達

研究開発項目		中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(1) 中規模設備での製造技術実証	① -1-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立	<p>・フェロコークスのドラム強度※： DI150/15 \geq 80 (ラボ乾留実験)</p> <p>(現状より劣質原料使用。中規模設備で混練成型した成型物を抜き出し、ラボの乾留炉で乾留した時に強度が確保できること。固形バインダー、液体バインダーは従来品使用)</p> <p>※ドラム強度 DI150/15: JIS規格</p>	中規模設備で混練成型した成型物を抜き出し、ラボの乾留炉で乾留し、強度を確認 (DI150/15 \geq 80をクリアー)。	○	

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、
△ 達成見込み（中間）、× 未達

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

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

◎ 大きく上回って達成、○達成、
△達成見込み(中間)、×未達

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(2) 一般炭、低品位原料使用時の製造技術実証	<p>・選定した一般炭2銘柄および低品位鉄鉱石1銘柄および従来品のバインダーを用いて、中規模設備で成型を行い、成型物強度を確認する(I型ドラム強度※: ID30/15\geq85)。 ※I型ドラム強度: 鉄鋼業界で一般的に採用されている強度指標測定に供する試料数: 20個 ・ラボにて④で製造した新規固形バインダー使用成型試験を実施し、強度評価を行う(液体バインダーは従来品使用)。</p>	<p>選定した一般炭2銘柄および低品位鉄鉱石1銘柄および従来品のバインダーを用いて、中規模設備で成型を行い、成型物強度を確認した(I型ドラム強度: ID30/15\geq85)。 ラボにて新規固形バインダー使用成型試験を実施し、強度評価を実施。</p>	○	<p>選定した低品位原料を使用した中規模設備での長期操業試験の実施</p>

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、
△ 達成見込み（中間）、× 未達

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
<p>(3) 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証</p>	<p>・ラボ装入模擬試験に基づきフェロコークスを実炉に装入するための適切な装入方法を提示確立する。 ・中規模設備で混練・成型・乾留したフェロコークスを実高炉へ装入量 3kg/t程度で連続的に装入でき、かつ安定して操業（通気変動がないこと）できることを確認する（フェロコークスの実高炉への装入量が平均 3kg/t程度：高炉の日常の炉熱変動の還元材比換算±約3kg/tの範囲内＝高炉の商用生産に影響を与えない範囲）</p>	<p>ラボ装入模擬試験に基づきフェロコークスを実炉に装入するための適切な装入方法は、2019年度に完了。10月より100t/dの試験操業を開始、実高炉へ装入量3kg/t程度で連続的に装入でき、かつ安定して操業（通気変動がないこと）できることを確認</p>	<p>○</p>	<p>実高炉へ装入量 3kg/t程度で連続的に装入でき、かつ安定して操業（通気変動がないこと）できることを確認する。</p>

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、
△ 達成見込み（中間）、× 未達

研究開発項目		中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(4) 新バインダー強度発現実証	④-1 新規固形バインダーの性能実証	<ul style="list-style-type: none"> ・0.3トン／日にスケールアップした設備で新規固形バインダーを製造する。 ・製造した新規固形バインダー使用時の成型物の強度(I型ドラム強度:ID30/15\geq85)(ラボ成型実験)を確保する。 フェロコークスのドラム強度:DI150/15\geq80(ラボ乾留実験)を確保する。 	<p>工業的に最大の新規固形バインダー収率が得られる製造条件として、抽出温度380°C、昇温速度150°C/minを提示した。新規固形バインダー中の副生炭(RC)濃度を10%以下に規定した。ラボ試験炉において、成型物およびフェロコークスの強度目標を達成した。</p>	○	<p>新規固形バインダーを用いたフェロコークス製造試験を継続。新規固形バインダーの製造条件の改善。ASPと新規固形バインダーの比較より、新規固形バインダーの強度向上メカニズムや優位性を明確化する。</p>

3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、
△ 達成見込み（中間）、× 未達

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
<p>(4) 新バインダー強度発現実証</p>	<p>④-2 新規液体バインダー開発</p>	<p>・中規模設備から得られたフェロコクスタールの化学構造や分子量分布を把握する。 ・試作した新規液体バインダーを用いた成型物の冷間強度をタブレットスケールで測定する。成型物の強度目標：割裂引張試験において、既存液体バインダー(SOP)と同等以上。上記結果に基づく新規液体バインダーの製造オプションを提示する。</p>	<p>軽質成分を多く含むフェロコクスタールの改質方法を提案し、液体バインダーの軟化点および粘度(成型温度範囲)をSOP並みに調製することで、SOPと同等の強度向上効果を有する新規液体バインダーを試作した。</p>	<p>○</p> <p>中規模設備で製造されたフェロコクスタールの化学構造、分子量分布の評価および改質方針に沿った新規液体バインダーの試作を行う。新規液体バインダーを用いた成型物強度の評価結果に基づいて新規液体バインダーの製造オプションを提示する。</p>

3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、
△ 達成見込み（中間）、× 未達

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
<p>(4) 新バインダー強度発現実証</p>	<p>④-3 新規固形および新規液体バインダーの冷間強度発現機構の解明</p>	<p>・圧縮成型時の石炭-バインダー-鉄鉱石の圧縮挙動予測モデルを構築し、フェロコークスに適したバインダーの添加条件を提案する。モデル解析結果の誤差：10%以内。</p>	<p>石炭-バインダー共存ケースの圧縮挙動予測モデルを構築した。実験結果とモデル解析の比較を通してモデルの予測精度の向上を目指すとともに石炭-バインダー-鉄鉱石共存ケースの圧縮挙動予測モデルを構築する。</p>	<p>○</p> <p>鉄鉱石や液体バインダーを含む成型物の実験データの取得を神戸製鋼と共同で進め、石炭-バインダー-鉄鉱石が共存する圧縮挙動予測モデルを構築する。</p>

3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、
△ 達成見込み（中間）、× 未達

研究開発項目		中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(5) フェロコークス導入効果の検証	⑤-1 一般炭、低品位原料で製造したフェロコークスの高温性状評価	・⑤-1で得られた高温性状調査結果と⑤-2で得られたフェロコークス反応モデルを反映した、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させ、ケーススタディによる物質収支誤差が許容範囲(1%程度)であることを確認する。	一般炭、低品位原料で製造したフェロコークスの高温性状を調査し、温度とガス化率の関係を評価した。また、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させ、ケーススタディを実施した。	○	一般炭、低品位原料で製造したフェロコークスの高温性状を調査し、温度とガス化率の関係を評価する。また、汎用高機能高炉内反応シミュレータに⑤-2で得られた知見を反映し、ケーススタディを実施し、物質収支誤差が許容範囲であることを確認することで、達成できる見込み(2021年2月達成見込み)。

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、
△ 達成見込み（中間）、× 未達

研究開発項目		中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(5) フェロコークス導入効果の検証	⑤-2 反応性評価・反応モデル構築	・⑤-1で得られた高温性状調査結果と⑤-2で得られたフェロコークス反応モデルを反映した、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品を完成させ、ケーススタディによる物質収支誤差が許容範囲(1%程度)であることを確認する。	一般炭、低品位原料で製造したフェロコークスの反応速度を調査し、測定した反応速度をアレニウス型反応速度式として定式化し、フェロコークス製造条件が頻度因子活性化エネルギーに及ぼす影響を評価した。	○	

成果の最終目標の達成可能性

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(1) 中規模設備での製造技術実証	①-1 中規模設備の開発	原料事前処理設備、連続混練成型設備および乾留設備の据付完了。新型コロナウイルス緊急事態宣言の発出により、負荷試運転が約2ヶ月の後ろ倒しになるも乾留設備までの製造能力(300t/d)を確認。	<ul style="list-style-type: none"> 原料の均一混合技術の確立(固体3種類、液体1種類の混合): 混合度95以上(中規模設備で製造した混練物を評価し、確率100%で混合度95が達成できること) フェロコークスのドラム強度※: DI150/15 ≥ 80(中規模設備) (現状より劣質原料使用時に強度確保。 	中規模設備の生産量300t/dでの連続運転を実施し、結果の解析を実施することで、目標を達成する見通し。
	①-1-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立	成型物の強度測定結果から、目標強度80以上を確認。成型物強度と混合度の関係から、混合度95以上と推測。		

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

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

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
<p>(2) 一般炭、低品位原料使用時の製造技術実証</p>	<p>選定した一般炭2銘柄および低品位鉄鉱石1銘柄および従来品のバインダーを用いて、中規模設備で成型を行い、成型物強度を確認した(I型ドラム強度:ID30/15\geq85)。ラボにて新規固形バインダー使用成型試験を実施し、強度評価を実施。</p>	<p>・成型物の強度※(I型ドラム強度): ID30/15\geq85(中規模設備) ※鉄鋼業界で一般的に採用されている強度指標 測定に供する試料数:20個 (現状より劣質原料使用時に強度確保。 ④で製造した新規固形バインダー使用、液体バインダーは従来品使用)</p>	<p>ラボスケールにおける原料(鉄鉱石、石炭)の絞込みについては完了。 これら原料を中規模設備において使用試験を実施し、フェロコークス用原料として適していることを検証する見込み。</p>

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

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

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(4) 新バインダー強度発現実証	④-1 新規固形バインダーの性能実証	工業的に最大の新規固形バインダー収率が得られる製造条件として、抽出温度380°C、昇温速度150°C/min、滞留時間40分を提示した。既存固形バインダー(ASP)と同等以上の強度向上効果を達成可能な新規固形バインダー中の副生炭(RC)濃度を10%以下に規定した。また新規固形バインダーを用いたラボ試験炉による製造評価(JFEスチール)において、成型物およびフェロコークスの強度目標を達成した(20年度追加評価を実施中)。	<ul style="list-style-type: none"> 新規固形バインダー使用時の成型物の強度(I型ドラム強度): ID30/15 \geq 85(中規模設備)。(作り溜めした上で、中規模の混練・成型機に数バッチ分投入し、成型物のI型強度を測定する。成型品は乾留炉、高炉に投入。ただし、量が少ないため、乾留後強度、高炉評価はできない) 	<ul style="list-style-type: none"> 成型物・フェロコークスの目標強度は、ラボ試験炉評価において確認済み。 中規模設備投入条件についてはJFEスチールと協議して実施。

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

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

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(4) 新バインダー強度発現実証	④-3 新規固形および新規液体バインダーの冷間強度発現機構の解明	石炭-バインダー共存ケースにおいて、圧縮応力の実験値との誤差が10%以内となる圧縮挙動予測モデルを構築した。実験結果とモデル解析の比較を通してモデルの予測精度の向上を目指すとともに石炭-バインダー-鉄鉱石共存ケースの圧縮挙動の予測モデルを構築する。	・フェロコークスブリケットの冷間強度予測モデルの最適化を行い、工業的に低負荷となるフェロコークスの圧縮成型条件を提案する。モデル解析結果の誤差:10%以内。	・離散要素法をベースとした圧縮挙動の予測モデルの高精度化は達成見込み。成型物の構造を高精度で予測できれば冷間強度の推算についてもモデルの構築ならびにモデルパラメーターのチューニングにより最終目標を達成できる見込み。

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(5) フェロコークス導入効果の検証	⑤-1 一般炭、低品位原料で製造したフェロコークスの高温性状評価	一般炭、低品位原料で製造したフェロコークスの高温性状を調査し、温度とガス化率の関係を評価した。また、汎用高機能高炉内反応シミュレータの試作品を完成させ、ケーススタディを実施した。	・評価方法の確立と省エネ効果(目標10%)の確認 (⑤-1の数値シミュレーションと③(実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証)の結果と合わせ、目標の製鉄プロセスにおける省エネ10%を検証する)。	フェロコークス製造条件が頻度因子、活性化エネルギーに及ぼす影響を評価し、その知見を⑤-1の汎用高機能高炉内反応シミュレータに適用し、評価方法を確立する。また、③(実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証)の結果を汎用高機能高炉内反応シミュレータを用いて解析することで省エネ効果を確認し、最終目標を達成できる見通し。
	⑤-2 反応性評価・反応モデル構築	一般炭、低品位原料で製造したフェロコークスの反応速度を調査し、測定した反応速度をアレニウス型反応速度式として定式化し、フェロコークス製造条件が頻度因子、活性化エネルギーに及ぼす影響を評価した。		

成果の普及

8/1

週刊東洋経済

9/15

日本経済新聞電子版

10/12

日本経済新聞電子版

10/13

鉄鋼新聞

日刊工業新聞

日刊産業新聞

日本金属通信

山陽新聞(地方経済面)

10/14

日経ビジネス電子版

中国新聞

10/15

日刊自動車新聞

海外展開

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

1) 社会的要因調査

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

2) 技術的要因調査

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

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

3) 経済的要因調査

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

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

4) 環境的要因調査

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

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

5) 政治的要因

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