

フェロコークス活用製鉄プロセス 事前評価用補足資料

平成28年12月5日

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

省エネルギー部

目次

1. 事業の概要
2. 事業アウトカム
3. 事業アウトプット
4. NEDO(国)が実施することの必要性
5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ
6. 研究開発の実施・マネジメント体制等
7. 費用対効果

1. 事業の概要

鉄鋼業は我が国産業部門の中でCO₂発生量の約39%、国全体の約15%を占める(2010年度)最大のCO₂排出業種であり、その中でも特に排出量の多い高炉法による製鉄プロセスにおいては地球温暖化対策として抜本的なCO₂排出量の削減が求められている。

しかしながら、我が国の鉄鋼業についてみると、製鉄技術は既に世界最先端の水準にあり、廃熱や副生ガスの利用による省エネルギーも極限に達しているため、ポスト京都議定書に向け世界規模でのCO₂削減を実現するためには、革新的な製鉄プロセス技術開発が必要とされている。平成19年5月に発表された地球温暖化に関する総理のイニシアティブ「美しい星50(Cool Earth 50)」においても、示された三原則の一つとして「省エネなどの技術をいかし、環境保全と経済発展とを両立すること。」が提言されており、「革新的技術開発」の一例として本技術開発が位置付けられているところである。

上記のイニシアティブを踏まえて2008年3月、全世界の温室効果ガス排出量を現状に比べて2050年までに半減するという長期目標実現に向け、経済産業省にて「Cool Earth - エネルギー革新技术計画」が策定されている。その中において革新的製鉄プロセスは効率の向上と低炭素化の両面から、CO₂大幅削減を可能とする「重点的に取り組むべきエネルギー革新技术21」の一つとして位置付けられている。

また、直近の政府「長期エネルギー需給見通し」「地球温暖化対策計画」にも鉄鋼業の対策の一つとして言及されている。

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

その削減方法として、水素還元活用製鉄プロセス技術とフェロコークス活用製鉄プロセス技術が挙げられ、この2つを環境調和型製鉄プロセス技術開発(COURSE50)で進めていく。

水素還元活用製鉄プロセス技術は、コークス製造時に発生する還元ガス(COおよびH₂)を用い、H₂による間接還元の比率を高めることで直接還元の比率を低減させ、還元材を削減できるCO₂削減技術開発である。(進行中)

フェロコークス活用製鉄プロセス技術は、低品位の石炭(一般炭)と低品位の鉄鉱石の混成型・乾留により生成された金属鉄の触媒作用を利用して還元を低温で行うことで還元効率を飛躍的に高めた

(鉄鉱石の還元により発生するCO₂($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} \rightarrow 2\text{FeO} + \text{CO}_2$)を、コークスのガス化反応($\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$)でCOを発生させる。) 革新的塊成物であり、これを使用することで投入するコークス量を削減できる省エネ技術開発である。

1つのプロジェクト (COURSE50)として運営する理由

両事業の目的は、高炉からのCO₂の発生量削減と、省エネルギーを実現する技術開発であるが、その手段と実機適用時期が異なる。

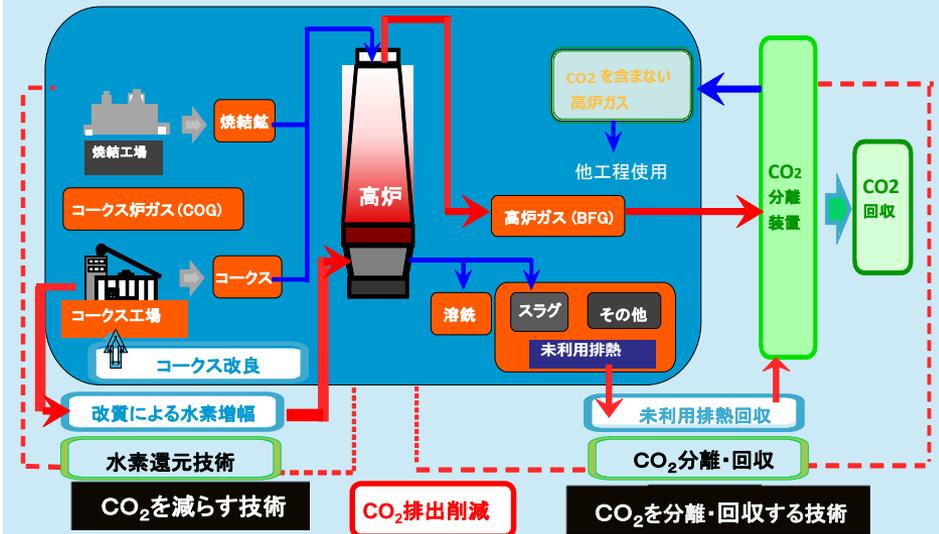
水素還元活用製鉄プロセス技術開発では、CO₂排出量の30%削減を目標にしている。しかし、本技術の適用には、技術的課題が多く、実高炉の改造を伴うため、実機適用は2030年を目指している。そのため、それまでの間のCO₂削減と省エネルギー技術として早期に適用でき、かつ水素還元活用製鉄プロセス技術適用後も併用して適用できる技術を開発することで、谷間なく効果を得ることができる。

フェロコークス活用製鉄プロセス技術は、これらの要求に対応でき、既の実証段階に到達している。

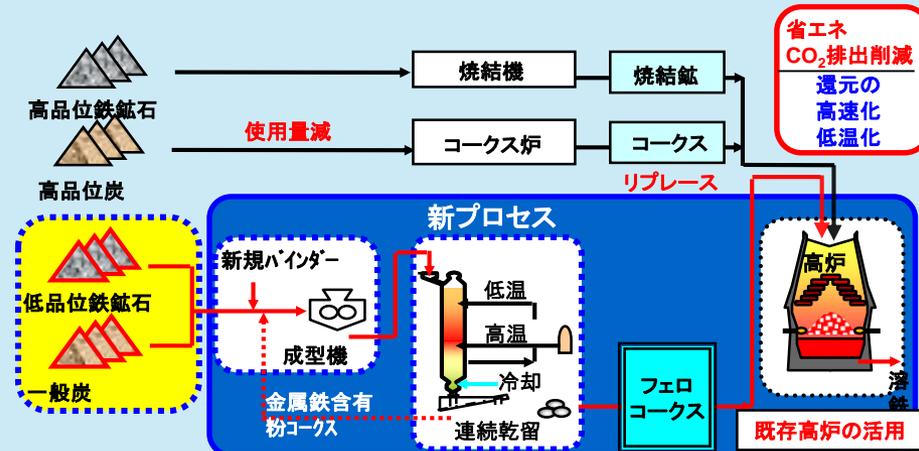
両技術の開発事業を1つのプロジェクトとして運営するメリットは、フェロコークス活用製鉄プロセス技術開発で得た知見や成果を水素還元活用製鉄プロセス技術の中に取り込むことが可能で、CO₂削減と省エネルギー効果を最適化できる点である。

事業イメージ

水素還元活用製鉄プロセス技術の開発事業



フェロコークス活用製鉄プロセス技術の開発事業



フェロコークス活用製鉄プロセス技術開発事業は、平成34年(2022年)頃までに実機(1基)において、製鉄プロセスのエネルギー消費量の約10%削減する技術の確立を目指す。

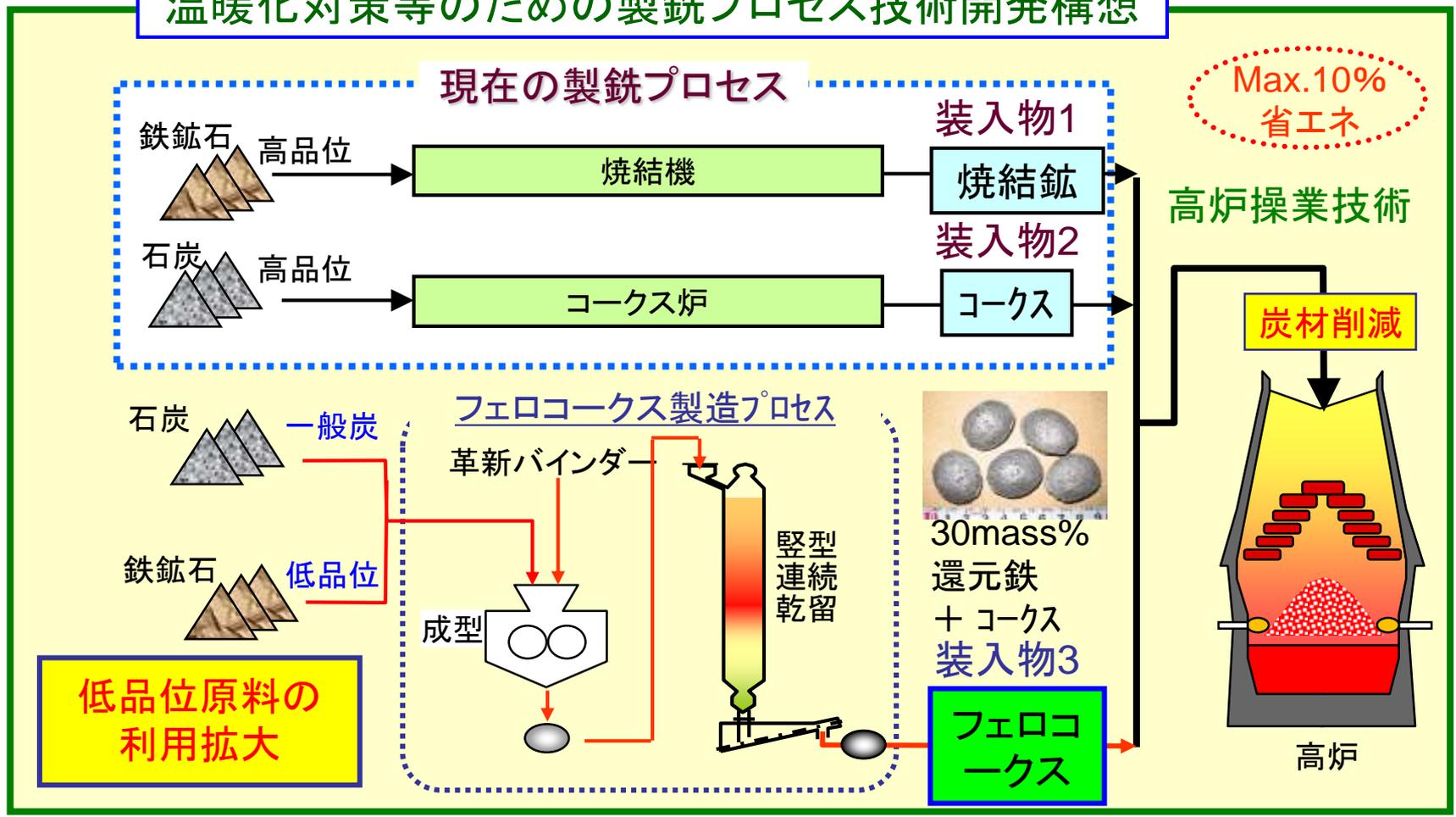
実機設備(フェロコークス製造量1500トン/日規模)の前段階である、300トン/日規模(実機の約1/5スケール)の中規模設備を開発し、一貫実証研究を行って、フェロコークス製造技術を確立する。さらに製造したフェロコークスの実高炉における使用効果の検証を行い、製鉄工程における省エネ効果(約10%)を検証するものである。このために下記5項目の研究開発を行う。

- ①中規模設備での製造技術実証
- ②一般炭,低品位原料使用時の製造技術
- ③大型高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証
- ④新バインダー強度発現実証
- ⑤フェロコークス導入効果の検証

1. 事業の概要① 製造と利用に関する全体フロー

革新的塊成物による省エネ+資源対応力強化（低品位製鉄原料の利用拡大）

温暖化対策等のための製鉄プロセス技術開発構想



1. 事業の概要② 製造と利用に係わる課題

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)

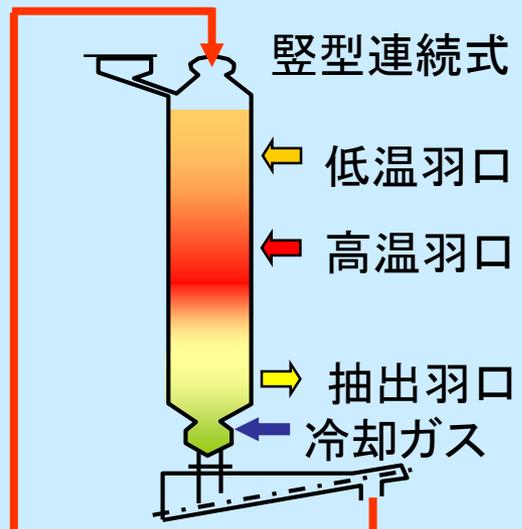
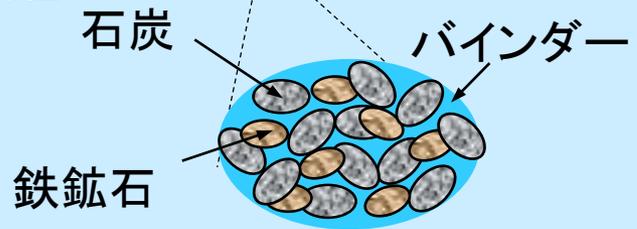
③大型高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

新規ハインダー

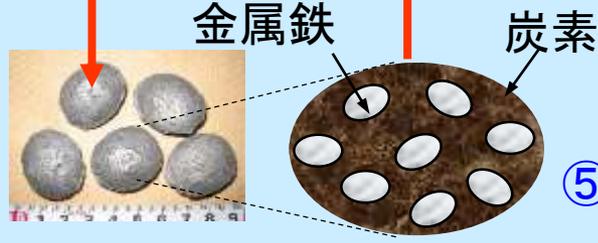
一般炭
低品位鉱石

②一般炭,低品位原料使用時の製造技術

④新ハインダー強度発現実証



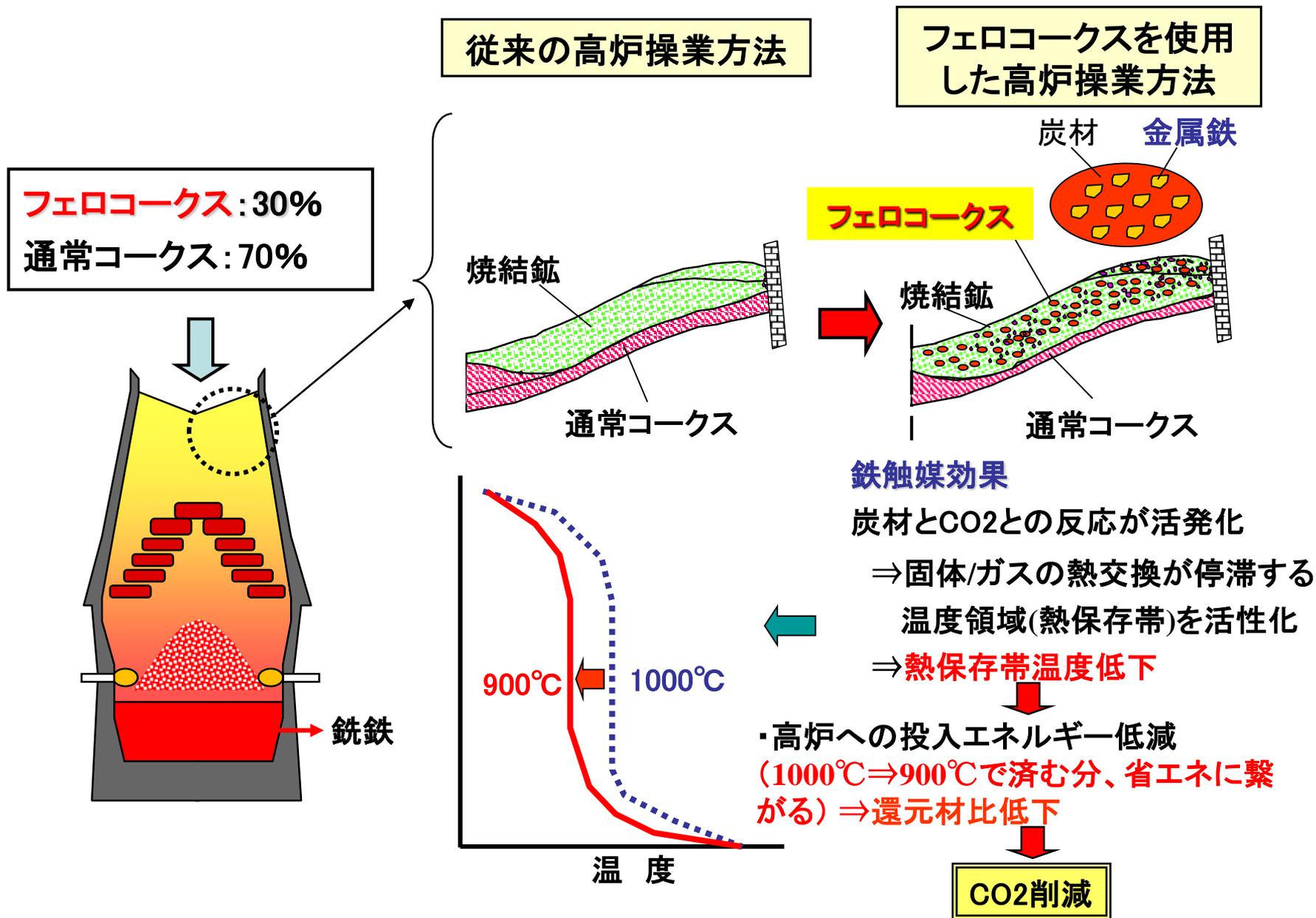
フェロコークス



⑤フェロコークス導入効果の検証

1. 事業の概要③ 従来操業 vs フェロコークス操業

1. 事業の概要④ フェロコークスのCO2排出量(還元材比)削減のメカニズム⁹



2. 事業アウトカム

鉄鋼業におけるCO₂排出量は、我が国産業の製造部門の排出量の約40%を占めており、高炉による製鉄プロセスで発生するCO₂排出量の削減は喫緊の課題となっている。他方、CO₂排出量を大幅に削減するためには、既存の省エネルギー技術の更なる改良のみでは限界があり、革新的な技術の開発が必要とされている。特に製鉄プロセスは、製鉄所全体の約7割のCO₂を発生することから、省エネ、CO₂削減の意義はきわめて大きい。このため、これまで経済性が成立する主要要素技術については、率先して導入してきた経緯がある。しかるに、さらなる省エネ、CO₂削減を目指した革新的な技術の開発を行うに際しては、経済性・開発リスクの観点から、産学官の強力な連携が不可欠である。

なお、本技術開発は、鉄鋼連盟の「低炭素社会実行計画」の中で、以下のように記載されている。

○革新的製鉄プロセス技術開発

- ✓ 通常のコークスの一部を「フェロコークス(一般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)に置き換えて使用することで、フェロコークス中の金属鉄が還元反応の触媒となり、還元材比の大幅な削減が期待でき、CO₂排出削減、省エネに寄与する。(高炉1基当たりの省エネ効果量は原油換算で約3.9万kL/年)。
- ✓ 2030年頃までに最大で5基導入を目指す。

本技術は、省エネルギー技術として、一般炭と低品位の鉄鉱石の混合成型・乾留により生成されるフェロコークス中に含まれる金属鉄を触媒とし、高炉内の鉄鉱石の還元を低温化・高効率化する技術の開発を行うものである(フェロコークス活用製鉄プロセス技術の開発事業)。

本開発事業では、これまでの研究開発によって得られた要素技術ごとの成果について、下記の研究開発を実施する。

- ①中規模設備(原料予備処理、乾留炉、成型設備を主要設備とする300t/d規模プラント)にスケールアップし、外乱変動対応技術(原料乾燥、粒度制御、均一配合等)、操業技術の確立、設備耐久性実証を行う。
- ②さらに、5000m³クラスの高炉(1基)において、フェロコークスの長期使用効果検証(実証・シミュレーション試算)、および設備・操業コストの経済性の検討等を行う。

これらが立証された際には、そのまま実機化する2022年頃まで)。

本開発事業完了後、以下を推進する。

- ①実機(中規模設備の約5倍の約1500t/d)については、製造設備構成・操業技術、および高炉使用技術(原料の装入技術、配置等)の最適化検討を行い、設備・操業コスト及び使用エネルギーの評価を行う。
- ②2022年以降、コークス炉更新時期を迎える国内の高炉操業の製鉄所等において、順次本技術を導入を図り、2030年までに最大で5基の導入を目指す。

3. 事業アウトプット

本事業では、下記5項目の開発を行う。

①中規模設備での製造技術実証

①-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立（固体3種類、液体1種類の混合）

①-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

②一般炭,低品位原料使用時の製造技術

・ ラボ・中規模設備での一般炭を使用した成型技術の確立

③大型高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

・ 長期操業試験を行い、設備能力・耐久性の確認

④新バインダー強度発現実証

・ 新バインダーの開発（液体バインダー：数kg製造と評価、固形バインダー：数tオーダー製造と評価）

⑤フェロコークス導入効果の検証

・ 製鉄工程における省エネ効果約10%の検証

3. 事業アウトプット(1)

研究開発項目

①中規模設備での製造技術実証

- ①-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立
(固体3種類、液体1種類の混合)

指標: バインダーの分散性確認: 混合度95%以上

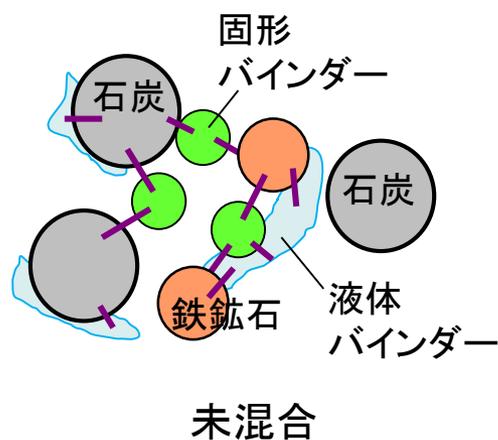
(アウトプット評価は混合度95%に向けた総合的な技術開発の達成率)

事業開始時(29年度): -

中間評価時(31年度): 中間目標: 達成率50%

事業終了時(33年度): 最終目標: 達成率100%

混合前の原料状態

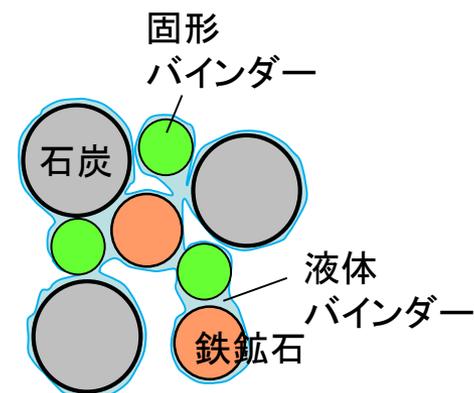


比重・粒径差のある複数種の粒子の混合



粒子-バインダー間の付着力の切断と固体の高度分散必要

混合後の原料状態



3. 事業アウトプット(2)

研究開発項目

①中規模設備での製造技術実証

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

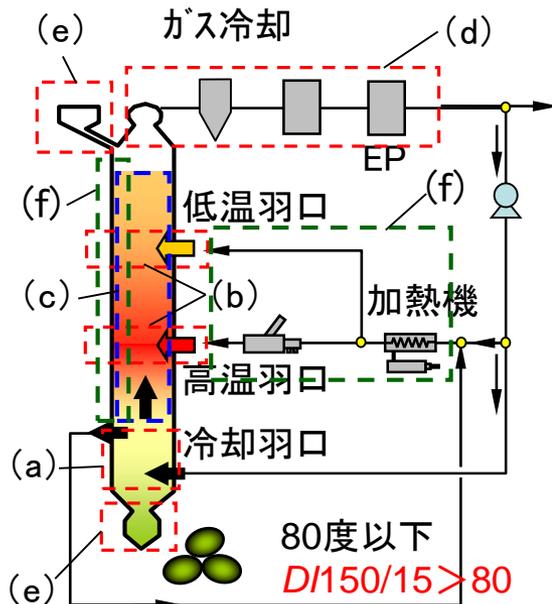
指標:ドラム強度: $DI150/15 \geq 80$

(アウトプット評価はドラム強度: $DI150/15 \geq 80$ に向けた総合的な技術開発の達成率)

事業開始時(29年度): -

中間評価時(31年度): 中間目標: 達成率50%

事業終了時(33年度): 最終目標: 達成率100%



	課題と目標
スケールアップ	生産速度増に伴う乾留物の冷却能力(排出80°C以下へ);(a)
	炉サイズ拡大に伴う羽口間(b)、高さ方向炉内温度(c)の評価(数式モデル構築と精度向上のための测温位置最適化)
長期操業	粉・タール発生量増加に伴うガス冷却系(d)の閉塞
	連続運転による実証と強度評価(目標 $DI150/15 > 80$)
	長期運転に伴うシール弁(e)、耐火煉瓦(f)、断熱材劣化

3. 事業アウトプット(3)

研究開発項目

②一般炭、低品位原料使用時の製造技術

指標: I型ドラム強度: $ID30/15 \geq 85$

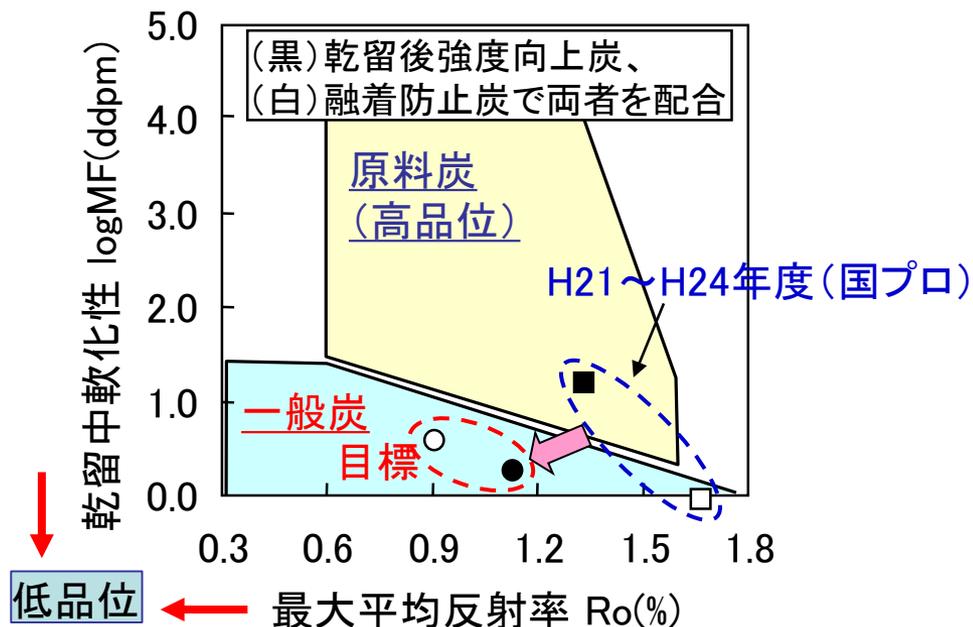
(アウトプット評価は $ID30/15 \geq 85$ に向けた総合的な技術開発の達成率)

事業開始時(29年度): —

中間評価時(31年度): 中間目標: 達成率50%

事業終了時(33年度): 最終目標: 達成率100%

30t/dパイロット試験で使用した石炭品位と本事業における目標範囲



一般炭100%使用して製造した成型物のID強度 ($ID30/15$) ≥ 85

次工程におけるハンドリング性確保
乾留後強度確保

フェロコークス単価の低減

3. 事業アウトプット(4)

研究開発項目

③大型高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証
(長期操業試験を行い、設備能力・耐久性の確認)

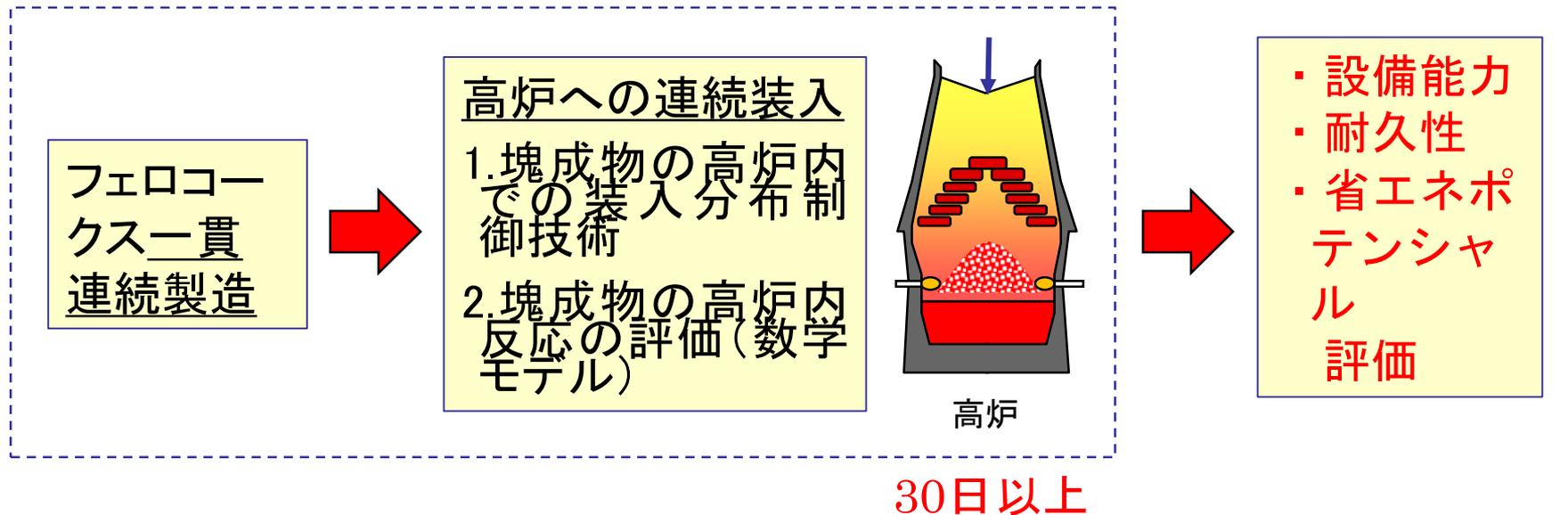
指標:連続操業試験:30日以上

(アウトプット評価は連続操業試験30日以上に向けた総合的な技術開発の達成率)

事業開始時(29年度):-

中間評価時(31年度):中間目標:達成率50%(技術開発計画の工程進捗率。以降、同じ。)

事業終了時(33年度):最終目標:達成率100%



3. 事業アウトプット(5)

研究開発項目

④新バインダー強度発現実証

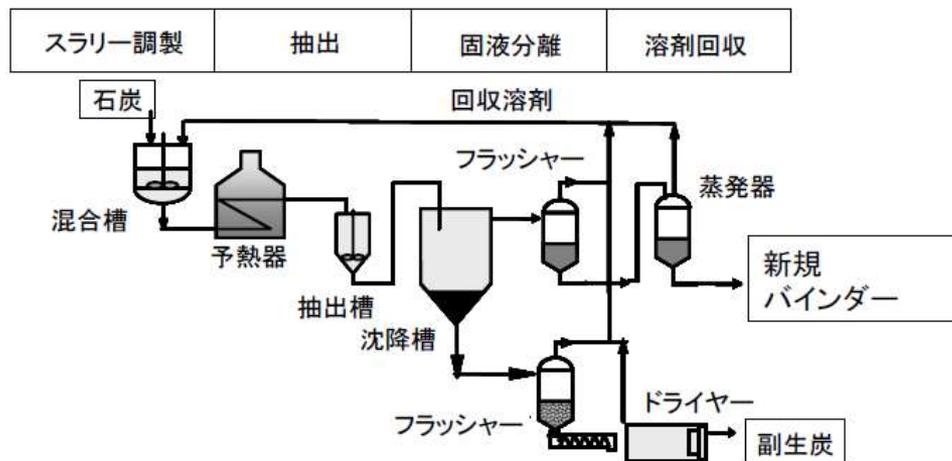
- ・液体新規バインダー：数kg製造と評価
- ・固形バインダー：数tオーダー製造と評価)

指標：①-1、および②の達成に資するものであり、指標その他は①-1、②と同じ

事業開始時(29年度)：-

中間評価時(31年度)：中間目標：達成率50%

事業終了時(33年度)：最終目標：達成率100%



①新規固体バインダー

平成33年度マイルストーン：製造設備実機化に不可欠な実機概念設計とコスト評価

流動性の高いフェロコークス用新規固体バインダーの原料・製造方法に関わる最適化技術を開発。最終年は300t/d中規模設備で評価(成型体強度確保可否)、並びに実機の概念設計・コスト評価を実施

②新規液体バインダー

平成33年度マイルストーン：実製造プロセス検討

基礎調査から開発をスタートし、実験室規模での試作製造と評価(バインダー性状の評価)を経て、実製造プロセス検討を実施

3. 事業アウトプット(6)

研究開発項目

⑤フェロコークス導入効果の検証（省エネ効果約10%の検証）

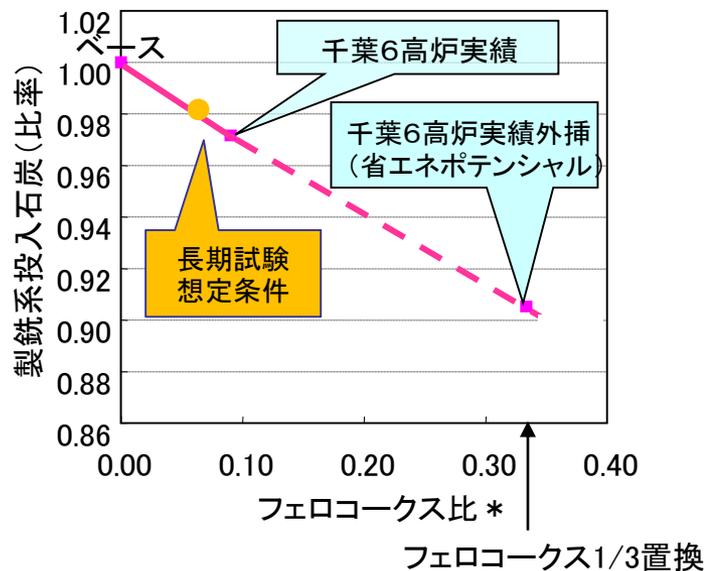
指標:省エネ効果：約10%

(アウトプット評価は省エネ効果10%に向けた総合的な技術開発の達成率)

事業開始時(29年度)：－

中間評価時(31年度)：中間目標:達成率0%

事業終了時(33年度)：最終目標:達成率100%



* フェロコークス比
=フェロコークス中のコークス比/高炉全体の
コークス比(-)

NEDO(H21-24)プロジェクトの成果

千葉6高炉での一週間の高炉使用試験(フェロコークス原単位をコークスの約1/10)により、高炉の還元材比の低減を確認。
フェロコークス原単位をコークスの1/3を置換する原単位まで外挿し、約10%の削減ポテンシャルがあることは確認。



他方、フェロコークスの長期使用をした場合は、①高炉内の通気性の悪化、②炉頂温度低下などの省エネルギー効果への影響が懸念されるため、
省エネルギー効果約10%の確証のため、実際に長期的試験を実施して実証する。

4. NEDO（国）が実施することの必要性

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

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

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

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

5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

本開発事業では、これまでの研究開発によって得られた要素技術ごとの成果について、下記の研究開発を実施する。

①中規模設備(原料予備処理、乾留炉、成型設備を主要設備とする300t/d規模プラント)にスケールアップし、外乱変動対応技術(原料乾燥、粒度制御、均一配合等)、操業技術の確立、設備耐久性実証を行う。

②さらに、5000m³クラスの高炉(1基)において、フェロコークスの長期使用効果検証(実証、シミュレーション試算)、および設備・操業コストの経済性の検討等を行う。

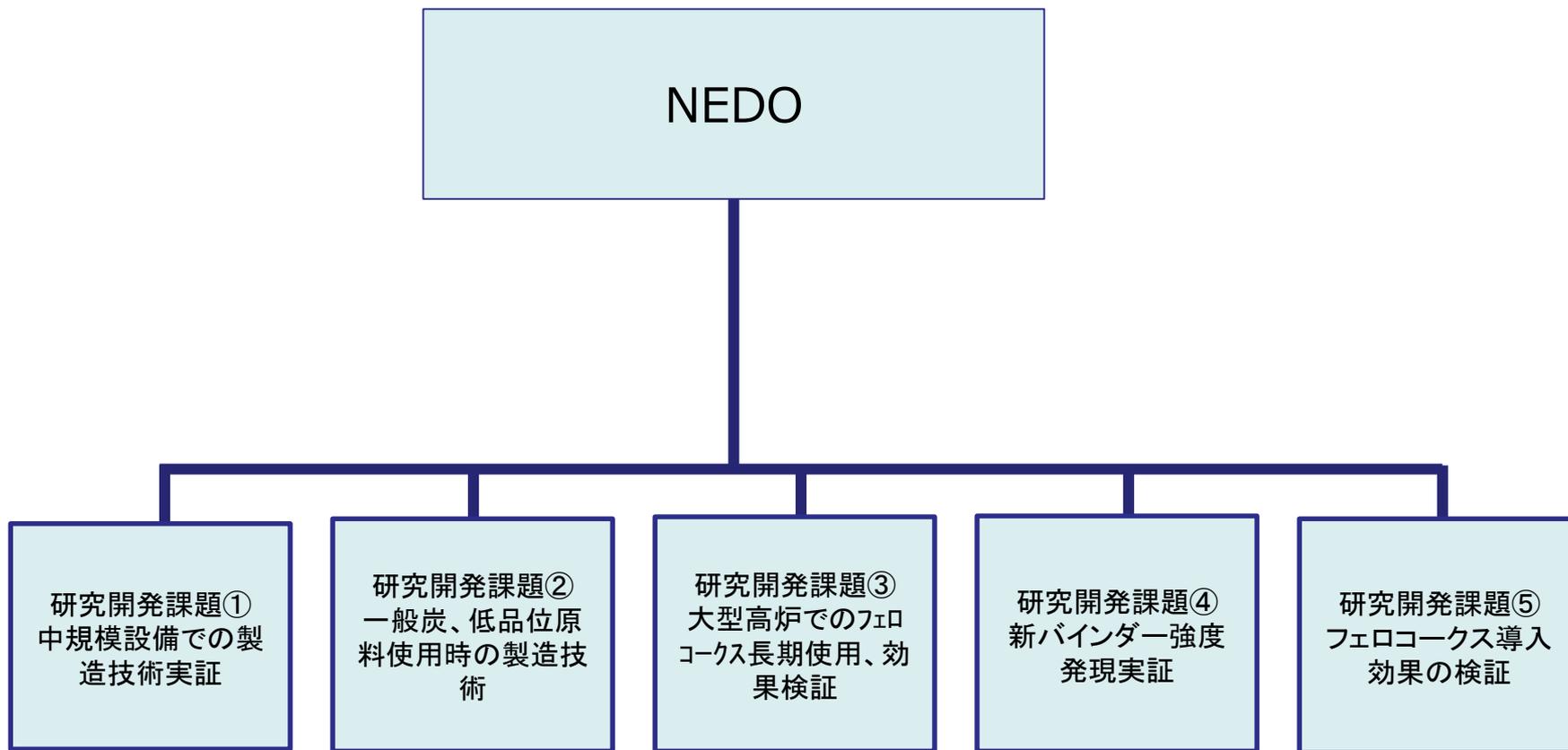
これらが立証された際には、中規模設備を増強し、実機化する(2022年頃まで)。

本開発事業完了後、以下を推進する。

①実機(中規模設備の約5倍の約1500t/d)については、製造設備構成・操業技術、および高炉使用技術(原料の装入技術、配置等)の最適化検討を行い、設備・操業コスト及び使用エネルギーの評価を行う。

②2022年以降、国内の高炉操業の製鉄所等において、順次本技術を導入を図り、2030年までに最大で5基の導入を目指す。

6. 研究開発の実施・マネジメント体制等



7. 費用対効果

投入する予定の国費総額：101.5億円（H29～H33の5年間）

- ・省エネ 原油変換：19.4万kl/年（5基）
- ・CO₂削減量は、82万t/年（5基）

#2030年時点での省エネルギー量、及び、CO₂削減量