

## 2021年度実施方針

環境部

省エネルギー部

1. 件名：（大項目）環境調和型プロセス技術の開発

2. 根拠法

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第一号ハ及び第三号

3. 背景及び目的・目標

(1) 背景

我が国の鉄鋼業は、全ての産業部門のCO<sub>2</sub>発生量の約39%、国全体の約14%を占める（2013年度）最大のCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>排出量の削減が要求されている。

しかしながら、我が国の製鉄技術は既に世界最先端の水準にあり、廃熱や副生ガスの利用による省エネルギーも極限に達しているため、ポスト京都議定書に向け世界規模でのCO<sub>2</sub>削減を実現するためには、革新的な製鉄プロセス技術開発が必要とされている。2007年5月に発表された地球温暖化に関する総理のイニシアティブ「美しい星50（Cool Earth 50）」においても、「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。」が三原則の一つとして提言されており、「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月に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地球温暖化防止に関する長期目標の実現に向け、経済産業省において「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」が策定されている。その中において、革新的製鉄プロセスは効率の向上と低炭素化の両面から、CO<sub>2</sub>大幅削減を可能とする「重点的に取り組むべきエネルギー革新技術21」の一つとして位置付けられている。

また、その後に策定された環境安心イノベーションプログラム基本計画（2010年4月）、及びエネルギー基本計画（2014年4月）に基づくエネルギー関係技術開発ロードマップ（2014年12月）においても、革新的技術のひとつとして「環境調和型製鉄

プロセス」が選定された。

## (2) 目的

本事業の目的は、高炉法による一貫製鉄所のCO<sub>2</sub>発生量を抜本的に削減し、地球温暖化防止に貢献するため、高炉からのCO<sub>2</sub>の発生量を減少させる技術、及び発生したCO<sub>2</sub>を分離・回収する技術を開発することである。

具体的には、コークス製造時に発生する高温のコークス炉ガス(COG)に含まれる水素を増幅し、コークスの一部代替に当該水素を用いて鉄鉱石を還元する技術を開発する。また、高炉ガス(BFG)からCO<sub>2</sub>を分離するため、製鉄所内の未利用排熱を活用した革新的なCO<sub>2</sub>分離回収技術を開発する。これらの技術開発によりCO<sub>2</sub>排出量の約3割削減を目標に、低炭素社会を目指す。

これらの技術開発においては、フェーズI-STEP1(2008~2012年度(5年間))として要素技術開発を実施した。フェーズI-STEP2((2013~2017年度(5年間))において要素技術を組み合わせたパイロットレベルの総合実証試験を行った後、フェーズII-STEP1(2018~2022年度(5年間))での実用化開発を経て、最終的に製鉄所における現状の全排出レベルに比較して約30%のCO<sub>2</sub>削減を可能にする技術の確立に資する。

一方、フェロコークス技術の開発は、資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発(2009~2012年度(4年間))において要素技術開発を実施し、既に実証段階に到達しているプロセスである。本プロセスでは、一般炭と低品位鉄鉱石の混合成型・乾留により生成された金属鉄の触媒作用を利用して還元を低温で行い、還元効率を飛躍的に高めた革新的塊成物(フェロコークス)を使用することで投入するコークス量を削減できる省エネ技術開発である。本プロセス技術で得た知見や成果を、水素還元活用プロセスの中に取り込むことで省エネ、CO<sub>2</sub>削減効果を最適化できるメリットを享受できることから、2017年度より、フェロコークス技術の開発を加えて一体化することにした。本プロセスでは、今後、フェロコークス製造量300t/dの規模の中規模設備を建設し、フェロコークス製造技術を確立するとともに、中規模設備で製造したフェロコークスを溶銑製造量10,000t/dの実高炉に連続的に長期装入したときの高炉の還元材比や操業安定性(特に通気性)に及ぼす影響を確認し、最終的に製銑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に資する。

## (3) 目標

研究開発項目1. 水素還元等プロセス技術の開発(フェーズII-STEP1)

フェーズII-STEP1においては、CO<sub>2</sub>発生量を大幅に削減する、環境に調和した製

鉄プロセスの開発として、製鉄所における現状の全排出レベルに比較して総合的に約30%のCO<sub>2</sub>削減可能な技術の確立を目指し、各要素技術を統合したパイロットレベルの総合実証試験において操業条件の最適化進めるとともに、実証規模試験を行うために必要な以下の項目を目標とする。

**【中間目標(2020年度)】**

(a) 高炉からのCO<sub>2</sub>排出削減技術開発

- ・ 高炉からのCO<sub>2</sub>排出削減量約10%達成の見通しを得る。

(b) 高炉ガス(BFG)からのCO<sub>2</sub>分離回収技術開発

- ・ 分離回収エネルギー改善としての、吸収形態改善と分極影響の緩和の両技術の改善に新規技術を見出すことで、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO<sub>2</sub>達成への要素技術を構築する。

**【最終目標(2022年度)】**

(a) 高炉からのCO<sub>2</sub>排出削減技術開発

- ・ 高炉からのCO<sub>2</sub>排出10%以上削減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。

(b) 高炉ガス(BFG)からのCO<sub>2</sub>分離回収技術開発

- ・ CO<sub>2</sub>分離回収コスト2,000円/t-CO<sub>2</sub>を実現可能な技術の充実に指向し、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO<sub>2</sub>を到達し、CO<sub>2</sub>排出削減量約20%の技術に資する。

研究開発項目2. フェロコークス技術の開発

**【中間目標(2020年度)】**

(a) フェロコークス製造中規模設備(以下、「中規模設備」という。)での製造技術実証

a-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立

a-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

- ・ 混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプを完成させ、混合均一性の計算ができることを確認する。
- ・ 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通りできることを確認する。

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

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

(b) 一般炭, 低品位原料使用時の製造技術

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

指標：成型物の強度（I 型ドラム強度）：I D 3 0 / 1 5  $\geq$  8 5（ラボ実験）

(c) 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

- ・ラボ検討に基づきフェロコークスを実炉に装入するための適切な装入方法を提示する。
- ・フェロコークスの高炉への装入設備の設置を完了させる。

指標：フェロコークスの実高炉への装入量 3 k g / t 程度で、安定して装入できることを確認する。

(d) 新バインダー強度発現実証

- ・中規模設備に供し得る新規固形バインダーを試作する。
- ・液体新規バインダーの試作をおこない、タブレットスケールで所定の冷間強度を確保できることを実証する。
- ・フェロコークスブリケットの冷間強度予測モデルのプロトタイプの作成完了。  
バインダー及び鉄鉱石を配合した塊成物をモデル物質として強度評価を実施し、モデル計算結果との比較を実施する。

指標：液体新規バインダーの製造オプションの提示。

(e) フェロコークス導入効果の検証

- ・中規模設備で製造したフェロコークスの高温性状の調査を実施する。
- ・(d) で開発した新規固形バインダーと新規液体バインダーを用いてラボスケールで作成したフェロコークスの反応速度を調査し、反応モデルに組み入れる。

**【最終目標（2022年度）】**

(a) 中規模設備での製造技術実証

a-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立

a-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

- ・生産量 3 0 0 t / d で長期間安定稼動が可能なことを実証する。
- ・高炉装入に耐えうる乾留物の最適製造条件を確立する。
- ・混合・攪拌シミュレーションモデルを用い、均一性を確保できる運転条件を提示する。

指標 1：原料の均一混合技術の確立（固体 3 種類、液体 1 種類の混合）：混合度 9 5 以上

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

(\*) 「資源対応力のための革新的製鉄プロセス技術開発」において、フェロコークス製造量  $27.5 \text{ t/d} \sim 30 \text{ t/d}$  とし、乾留炉操業 30 日間で  $740 \text{ t}$  のフェロコークスを製造した際、目標強度  $DI150 / 15 > 81$  以上の歩留りが  $93.5\%$  であった。

(b) 一般炭、低品位原料使用時の製造技術

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

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

(c) 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

- ・高炉への長期装入試験を行い、高炉の還元材比や高炉操業の安定性に及ぼす影響を評価する。また、製鉄プロセスにおける省エネ効果に及ぼす影響を把握し、(e) の数値シミュレーションと合わせ、目標の製鉄プロセスにおける省エネ  $10\%$  を達成する。

指標 : 連続操業試験 : 30 日以上

(d) 新バインダー強度発現実証

- ・新規固形バインダーの実証技術開発計画案を提示する。
- ・所定の強度を実現しうる液体新規バインダー製造プロセス案を提示する。
- ・フェロコークスブリケットの冷間強度予測モデルを提示する。

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

(e) フェロコークス導入効果の検証

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

指標 : 評価方法の確立と省エネ効果 (目標  $10\%$ ) の確認

((e) の数値シミュレーションと (c) (大型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)

#### 4. 実施内容及び進捗 (達成) 状況

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

NEDO 環境部 阿部 正道をプロジェクトマネージャーとし、プロジェクトの企画、進行管理等を実施した。

日本製鉄株式会社技術開発本部 フェロー 野村 誠治氏をプロジェクトリーダーとし、

以下の研究開発を実施した。

#### 4. 1 2020年度（委託）実施内容

##### (1) 高炉からのCO<sub>2</sub>排出削減技術開発

###### ① 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

- ・10m<sup>3</sup>規模試験高炉等による水素還元総合最適化技術開発

レースウェイ炉や燃焼基礎試験装置などの燃焼試験装置を適宜用いて、試験高炉の還元ガス吹込み条件の影響解析および試験結果を受けた吹込み条件の最適化を検討するとともに、スケールアップ時の課題抽出と解決手段を検討するためのモデル構築を行った。また、高炉数学モデルによる試験高炉の操業設計および操業データ解析を実施するとともに、スケールアップのための基本プロセスイメージを構築した。

実施体制：日本製鉄（株）－（共同実施）九州大学、JFEスチール（株）－（再委託）（一財）電力中央研究所

###### ② コークス炉ガス（COG）改質技術の開発

今年度取組項目無し。

###### ③ 高性能粘結材製造技術の開発

溶剤回収工程以降の熔融高性能粘結材（HPC）移送工程スケールアップ検証のため、熔融粘結材連続移送・排出装置の試運転を実施し、異なる石炭化度の石炭から製造されるHPCの安定した排出性能を確認した。また、コークス製造用粘結材としての性能評価を実施するため、溶剤回収までの既保有ベンチスケール設備と熔融粘結材連続移送・排出装置を利用してHPCを製造した。

実施体制：（株）神戸製鋼所－（共同実施）北海道大学、（共同実施）京都大学

##### (2) 高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離回収技術開発

###### ① CO<sub>2</sub>分離回収技術開発

- ・化学吸収法によるCO<sub>2</sub>分離エネルギー・コストの削減技術開発

2019年度に引き続き、混合溶媒系吸収液の更なる性能向上を図るため、新

規有機溶媒の探索および開発を行い、混合溶媒系吸収液としての組成最適化検討を行った。また、混合溶媒系吸収液に適した触媒の開発においては、2019年度に見出した固体触媒および水溶性触媒の効果を、小型連続試験装置（CAT-LAB）を用いて検証した。また、新吸収液の性能評価およびプロセス最適化のため、2019年度に引き続き、開発した吸収液について、CAT-LAB装置を用いてラボレベルの性能評価を実施した。更に、また、新吸収液の物性データを用いプロセスのエネルギー性能評価のためのシミュレーション手法を構築した。加えて、新吸収液の実用化研究として、耐久性、材質腐食性、環境影響等を評価し、実用化に必要な対策を検討した。

実施体制：日本製鉄（株）－（共同実施）（公財）地球環境産業技術研究機構

## ② 未利用排熱活用技術の開発

これまでに開発した排熱回収用高性能熱交換器の、製鉄所の実排ガスを用いた熱交換能力の長期的な推移を中心とした評価試験結果を踏まえ、残された課題である排熱回収用熱交換効率の長期維持に関する課題に取り組んだ。

2020年度は、排ガス性状調査および実験結果を用いて、熱交換器伝熱面に対する異物付着対策を提案した。また、実排ガスを用いた異物付着および事前処理に関する検討を継続し、さらに調査、検討した結果を用いて、実証試験におけるシステムを決定した。

実施体制：日本製鉄（株）

## (3) 試験高炉によるプロセス評価技術開発

2020年度は、水素還元の効果を見極めるため、試験高炉を用いた操業において、送風操作（純水素ガスを含む各種還元ガス吹込み）及び原料操作等を行って、各種還元ガスの使用量の効率化を含め、操業操作の可能性を追求した。

実施体制：日本製鉄（株）、日鉄エンジニアリング（株）

## (4) 全体プロセスの評価・検討

製鉄プロセス全体の最適化を検討し、製鉄所からのCO<sub>2</sub>排出量30%削減を可能にするための技術確立に対して、総合的な評価・検討を行った。また、地球温暖化課題の状況変化を的確に反映し、それに対応すべくプロジェクトの運営

を行った。

実施体制：日本製鉄（株）、J F E スチール（株）、（株）神戸製鋼所、日鉄日新製鋼（株）、日鉄エンジニアリング（株）

#### 4. 2 実績推移

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
実績額（百万円）						
需給勘定	2,730	5,080	5,126	2,100	1,630	830
特許出願件数（件）	7	14	10	8	2	5
査読有り論文発表数（報）	12	1	12	7	2	2
査読無論文発表数（報）	3	1	1	4	2	0
その他外部発表（件）	29	15	42	40	13	65

	2019	2020				
実績額（百万円）						
需給勘定	1,360	2,020				
特許出願件数（件）	6	1				
査読有り論文発表数（報）	7	5				
査読無論文発表数（報）	1	2				
その他外部発表（件）	63	42				

#### 研究開発項目 2. フェロコックス技術の開発

フェロコックス技術の開発は、NEDO 省エネルギー部 田村 順一をプロジェクトマネージャーとし、プロジェクトの企画、進行管理等を実施した。

#### 4. 1 2020年度（助成）実施内容

##### （1）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



2020年度は混練成型設備までの製造能力(300t/d)を確認し、また、据え付けた原料予備処理設備および混練成型設備について、設備能力・稼働率等、設備耐久性(攪拌羽根、成型ロールの磨耗状況)等の実証を行い、原料(固体3種類、液体1種類の混合)の混合度95以上を確認した。

実施体制：JFEスチール(株)

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

2020年度は乾留設備の製造能力(300t/d)を確認し、また、原料事前処理設備、連続混練成型設備および乾留設備を含めた連続操業を模擬した負荷運転を行った。この負荷運転により設備の長期間稼働安定性や耐久性(シール弁、断熱材の劣化等)などの課題を抽出し、設備の不具合を是正した。また、中規模設備に用いる原料と同一原料でラボ乾留実験も行い、乾留後塊成物のドラム強度：DI150/15 $\geq$ 80(ラボ実験)を確認した。さらに、ガス処理系において発生ガス、ダスト・タールの長期間安定処理(排ガスから効率的にダスト・タールが分離でき、かつ配管閉塞がないことなど)を可能とすべく設備改善を行い、安定操業ができることを確認した。液体バインダー開発のため、ガス処理系で凝縮されたフェロコークスタールを供給した。

実施体制：JFEスチール(株)

① -2 固液均一混合のシミュレーション

2020年度は、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した。また、混合・攪拌シミュレーションモデルのプロトタイプを用い、運転条件とのすり合わせに着手した。

実施体制：JFEスチール(株)ー(共同実施)東北大学

(2) 一般炭、低品位原料使用時の製造技術実証

2020年度は、試運転で使用した一般炭、鉄鉱石および従来品のバインダーを用いて、成型物強度を確認した(I型ドラム強度：ID30/15 $\geq$ 85)。また、選定した一般炭2銘柄および低品位鉄鉱石2銘柄を使用し、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)。

実施体制：JFEスチール(株)

### (3) 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

2020年度は、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した。また、フェロコークスの高炉への装入設備の設置を完了させた。

原料乾燥・成型の負荷運転による設備の不具合是正工事により、操業試験期間が短くなるも、生産量 100t/d で 1 週間の操業試験を 3 回実施し、2021年度実施予定である生産量 200t/d での操業試験を前倒しで実施した。

また、2022年度に実施予定である実機 FS の精度を向上させるため、フェロコークスの作りだめを行い、高炉への多量配合試験（フェロコークス装入原単位 45 kg/t 以上）を実施する。それに備え、フェロコークスの仮置き場（約 800m<sup>2</sup>）を整備した。

実施体制：JFEスチール(株)

### (4) 新バインダー強度発現実証

#### ① 固形新規バインダーの性能実証

2020年度は、新規固形バインダーの製造条件および新規バインダー中に混入する副生炭（RC）濃度による強度向上効果への影響について検討した。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を提示し、更に新規固形バインダー中の副生炭（RC）濃度を10%以下にすることで、既存固形バインダー（ASP）と同等以上の強度向上効果が得られることを確認した。また同新規固形バインダーを用いたラボ試験炉評価において、成型物およびフェロコークスの強度目標を達成した（成型物の強度：ID30/15 $\geq$ 85、フェロコークスの強度：DI150/15 $\geq$ 80）。

実施体制：(株)神戸製鋼所

#### ② 液体新規バインダー開発

2020年度は、フェロコークスに適した新規液体バインダーを製造するため、フェロコークスタールの改質試験の探索を実施した。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を既存液体バインダー（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。

実施体制：(株)神戸製鋼所－(共同実施) 東北大学

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

2020年度は、フェロコークス成型時の粒子同士の滑り、再配置による成型物の構造変化を捉えるため、石炭-バインダー-鉄鉱石共存ケースにおける圧縮応力の実験値と離散要素法を用いたモデル解析結果の比較を行い、圧縮応力最大値の誤差が10%以内となる圧縮挙動予測モデルを構築した。また成形物構造を反映した剛体バネモデルによる破壊解析を行い、圧縮により生じる破壊を概ね表現可能なモデルを構築した。

実施体制：(株)神戸製鋼所－(共同実施) 東北大学

(5) フェロコークス導入効果の検証

① 2020年度は、中規模設備で製造したフェロコークスを用い、荷重軟化試験装置内に1回の実験当たり直径約70mm、高さ約100mmの充填層を敷設し、昇温ガス化実験の中断試料を作成し、温度とガス化率の関係を評価した(実験室規模)。また、この高温性状調査結果と②で得られたフェロコークス反応速度を定式化した結果を反映した、汎用高機能高炉内反応シミュレーターの試作品作成を完了させるとともに、試作品の完成度向上を図り、高炉操業ケーススタディ(フェロコークス100t/d使用規模)による物質収支誤差が許容範囲(1%程度)であることを確認した。

実施体制：日本製鉄(株)

② 2020年度は、一般炭、低品位原料および新規固形バインダーを使用したフェロコークス及び、一般炭、低品位原料および新規液体バインダーを使用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。

実施体制：日本製鉄(株)－(共同実施) 九州大学

4.2 実績推移

	2017	2018	2019	2020
実績額 (百万円)	830	2,170	2,554	

需給勘定				2,700
特許出願件数 (件)	0	0	1	1
査読有り論文発表数 (報)	0	0	2	1
査読無論文発表数 (報)	0	0	1	2
その他外部発表 (件)	0	4	4	12

## 5. 事業内容

### 研究開発項目1. 水素還元等プロセス技術の開発 (フェーズⅡ-STEP1)

NEDO 環境部 阿部 正道をプロジェクトマネージャーとし、プロジェクトの企画、進行管理等を実施する。

日本製鉄株式会社技術開発本部 フェロー 野村 誠治氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施する。

#### 5. 1 2021年度 (委託) 実施内容

##### (1) 高炉からのCO<sub>2</sub>排出削減技術開発

###### ① 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

- ・ 10 m<sup>3</sup>規模試験高炉等による水素還元総合最適化技術開発

羽口・レースウェイ部を模擬した数値シミュレーションを適宜用いて、試験高炉の還元ガス吹込み条件の影響解析を受けた吹込み条件の最適化を検討するとともに、スケールアップ時の課題抽出と解決手段の検討を行う。また、高炉数学モデルによる試験高炉の操業設計および操業データ解析を実施するとともに、スケールアップのためのプロセスイメージを深化させる。

実施体制：日本製鉄（株）、JFEスチール（株）－（再委託）（一財）電力中央研究所

###### ② コークス炉ガス（COG）改質技術の開発

高温のCOGを流通させ長期使用したBP2設備を解体し、触媒炉内耐火物、熱交換器、触媒反応筒、部分酸化炉内耐火物等の主要設備の材料解析等を行い、材質選定の妥当性、留意点等を抽出し、試験高炉での還元用高温ガス製造の熱交換器設備の設計・製作に向けた使用材料の指針を得る。

④ 高性能粘結材製造技術の開発

溶剤回収工程以降の熔融高性能粘結材（HPC）移送工程スケールアップ検証のため、炭種枠を拡大して熔融粘結材連続移送・排出装置の溶剤回収性能を確認するとともに、製造したHPCのコークス製造用粘結材としての性能を評価して配合設計技術の向上を図る。また、シミュレーション等を活用し溶剤回収工程の最適化を検討する。

実施体制：（株）神戸製鋼所－（共同実施）北海道大学、（共同実施）京都大学

(2) 高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離回収技術開発

① CO<sub>2</sub>分離回収技術開発

・化学吸収法によるCO<sub>2</sub>分離エネルギー・コストの削減技術開発

2020年度までの研究成果をもとに、高性能な新規混合溶媒系吸収液と吸収・放散促進触媒との組み合わせ等による一層の高性能化を検討する。また、新吸収液の性能評価およびプロセス最適化のため、2020年度に引き続き、開発した吸収液について、CAT-LAB装置を用いてラボレベルの性能評価を実施する。更に、また、2020年度までに構築した新吸収液の物性データを用いプロセスのエネルギー性能評価を行うためのシミュレーション手法について、液循環装置などを含めた解析モデルを新たに付加し、CO<sub>2</sub>分離回収コストに関係する設備仕様等を検討する。加えて、新吸収液の実用化研究として、耐久性、材質腐食性、環境影響等の評価し、実用化に必要な対策を検討する。

実施体制：日本製鉄（株）－（共同実施）（公財）地球環境産業技術研究機構

② 未利用排熱活用技術の開発

これまでに開発した排熱回収用高性能熱交換器の、製鉄所の実排ガスを用いた熱交換能力の長期的な推移を中心とした評価試験結果を踏まえ、残された課題である排熱回収用熱交換効率の長期維持に関する課題に取り組む。

2021年度は、製鉄所排ガス使用時の熱交換器伝熱面への付着物を評価し、排熱回収用熱交換器の実機スペックを明確化する。また、製鉄所排ガスを用いた熱交換の長期性能実証試験を行うための準備作業を行う。

実施体制：日本製鉄（株）

### (3) 試験高炉によるプロセス評価技術開発

2021年度は、水素還元の効果を見極めるため、試験高炉を用いた操業において、送風操作（純水素ガスを含む各種還元ガス吹込み）及び原料操作等を行って、各種還元ガスの使用量の効率化を含め、操業操作の可能性を追求する。

実施体制：日本製鉄（株）、日鉄エンジニアリング（株）

### (4) 全体プロセスの評価・検討

2021年度は製鉄プロセス全体の最適化を検討し、製鉄所からのCO<sub>2</sub>排出量30%削減を可能にするための技術確立に対して、総合的な評価・検討を行う。また、地球温暖化課題の状況変化を的確に反映し、それに対応すべくプロジェクトの運営を行う。

実施体制：日本製鉄（株）、JFEスチール（株）、（株）神戸製鋼所、日鉄日新製鋼（株）、日鉄エンジニアリング（株）

## 5. 2 2021年度事業規模

エネルギー対策特別会計（需給） 1,800百万円

事業規模については、変動があり得る。

## 研究開発項目2. フェロコークス技術の開発

フェロコークス技術の開発は、NEDO 省エネルギー部 田村 順一をプロジェクトマネージャーとし、プロジェクトの企画、進行管理等を実施する。

### 5. 1 2021年度（助成）実施内容

#### (1) 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

2021年度は、生産量200t/dでのフェロコークス製造の操業試験を実施し、操業条件の選定を行い、30日以上フェロコークス製造の操業試験を実施する。また、高炉への多量配合試験（フェロコークス装入原単位45kg/t以上）を実施するため、フェロコークスの作りだめを行う。

実施体制：JFEスチール（株）

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

2021年度は、成型物のドラム強度（DI150/15）の測定と同時に、フェロコークスのCO<sub>2</sub>との反応後強度（50%CO<sub>2</sub>-50%N<sub>2</sub>中、1100℃×2H反応後の成型物の圧潰強度）の測定を行い、製造条件（原料、乾留条件）とドラム強度（DI150/15）、反応後強度のデータを蓄積し、高炉装入に耐えうるフェロコークスの最適製造条件を確立する（DI150/15 $\geq$ 80）。

また、新規液体バインダー開発のため、ガス処理系で凝縮されたフェロコークスタールを提供する。

実施体制：JFEスチール(株)

①-2 固液均一混合のシミュレーション

2021年度は、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。

実施体制：JFEスチール(株)－（共同実施）東北大学

(2) 一般炭、低品位原料使用時の製造技術実証

2021年度は、一般炭2水準以上の配合での長期操業試験を行い、連続製造フェロコークスの強度と反応性（高炉適用性）の評価を実施する。

実施体制：JFEスチール(株)

(3) 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

2021年度は、2022年度に実施予定である実機FSの精度を向上させるため、フェロコークスの作りだめを行い、高炉への多量配合試験（フェロコークス装入原単位45 kg/t以上）を実施する。それに備え、フェロコークスの仮置き場（約2,500m<sup>2</sup>）を追加整備する。

実施体制：JFEスチール(株)

(4) 新バインダー強度発現実証

① 新規固形バインダーの性能実証

2021年度は、新規固形バインダーの作り溜めを継続し、ラボ・中規模設備試験用として提供する（1～2t）。新規固形バインダーの実証技術開発計画案策定のため、実証機（PP）および商業機（CP）の概念設計に着手する。

実施体制：(株)神戸製鋼所

## ② 新規液体バインダー開発

2021年度は、既存液体バインダー（SOP）と同等以上の成型物の冷間強度を確保できるフェロコークスタールを原料とした新規液体バインダーの製造方法を提示するとともに、サンプル2kg程度を試作し、フェロコークスの反応性評価用として提供する。また、東北大学の冷間強度予測モデルの計算結果をフェロコークスの圧縮成型条件に反映して、タブレットスケールでの成型物の冷間強度評価を行う。さらに、所定の強度を実現しうる新規液体バインダー製造プロセス案の策定に着手する。成型物の強度：既存液体バインダー（SOP）と同等以上。

実施体制：(株)神戸製鋼所—（共同実施）東北大学

## 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

2021年度は、石炭-バインダー-鉄鉱石が共存する成型物の冷間強度試験を継続し、実験値と剛体ばねモデルを用いた解析値の比較より引張挙動予測モデルを構築する（モデル解析結果の誤差：10%以内）。更に圧縮挙動予測モデルと引張挙動予測モデルを組み合わせることで、成型時の粒子同士の滑り、再配置による成型物の構造変化を考慮した冷間強度予測モデルを提案する（モデル解析結果の誤差：15%以内）。

実施体制：(株)神戸製鋼所—（共同実施）東北大学

## (5) フェロコークス導入効果の検証

### 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

2021年度は、中規模設備で製造したフェロコークスを用い、荷重軟化試験装置内に1回の実験当たり直径約70mm、高さ約100mmの充填層を敷設し、昇温ガス化実験の中断試験料を作成し、温度とガス化率の関係を評価する（実験室規模）。また、高炉操業ケーススタディ（フェロコークス200t/d使用規模）を実施し、前年度の結果との比較からフェロコークス使用量増加の高炉操業への影響を評価する。

実施体制：日本製鉄(株)

### ② 反応性評価・反応モデル構築

2021年度は、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、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する。

実施体制：日本製鉄(株)—（共同実施）九州大学

## 5. 2 2021年度事業規模



エネルギー対策特別会計（需給） 1,000百万円

事業規模については、変動があり得る。

## 6. その他重要事項

### 6. 1 運営・管理

本事業については、技術検討委員会を設置し、研究項目、研究開発計画、研究課題の精査、経済的な評価と目標設定、マネジメント手法等に対し、外部有識者の意見を適切に反映し、着実な運営を図る。

また、NEDOはプロジェクトで取り組む分野について、内外の技術開発動向、市場動向等について調査し、本事業の技術優位性を明確化すると共に市場ポテンシャルを検討する。なお、調査等を効率的に実施する観点から委託事業として実施する。

水素還元等プロセス技術の開発（フェーズⅡ－STEP1）及びフェロコックス技術の開発の両事業間の連携を図るために、上記委員会等への相互参加、及び技術交流会を開催し、連携内容を議論・共有する。

### 6. 2 複数年度契約の実施

研究開発項目1. 水素還元等プロセス技術の開発（フェーズⅡ－STEP1）

2018～2021年度の複数年度契約を行う。

研究開発項目2. フェロコックス技術の開発

2021～2022年度の複数年度交付を行う。

### 6. 3 知財マネジメントにかかる運用

研究開発項目1. 水素還元等プロセス技術の開発（フェーズⅡ－STEP1）

「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に従ってプロジェクトを実施する。

## 7. その他の重要事項

研究開発項目1 水素還元等プロセス技術の開発（フェーズⅡ－STEP1）

### （1）プロジェクトの中間評価の実施

NEDOは技術的、政策的観点から研究開発の必要性、効率性、有効性（意義、目標達成度、社会・経済への波及効果等）について外部有識者による中間評価を2020年8月に実施した。

## 研究開発項目2フェロコークス技術の開発

### (1) プロジェクトの中間評価の実施

NEDOは技術的、政策的観点から研究開発の必要性、効率性、有効性（意義、目標達成度、社会・経済への波及効果等）について外部有識者による中間評価を2020年11月に実施した。

## 8. 実施方針の改訂履歴

(1) 2021年1月 制定

(2) 2021年5月 改訂。4. 実施内容及び進捗（達成）状況、5. 事業内容における研究開発項目1のPM変更。

(3) 2021年11月 改訂。3. 背景及び目的・目標（1）（3）におけるフェーズII-STEP2に係る参考情報の削除。

(別紙)「水素還元等プロセス技術の開発 (フェーズⅡ-STEP1)」実施体制

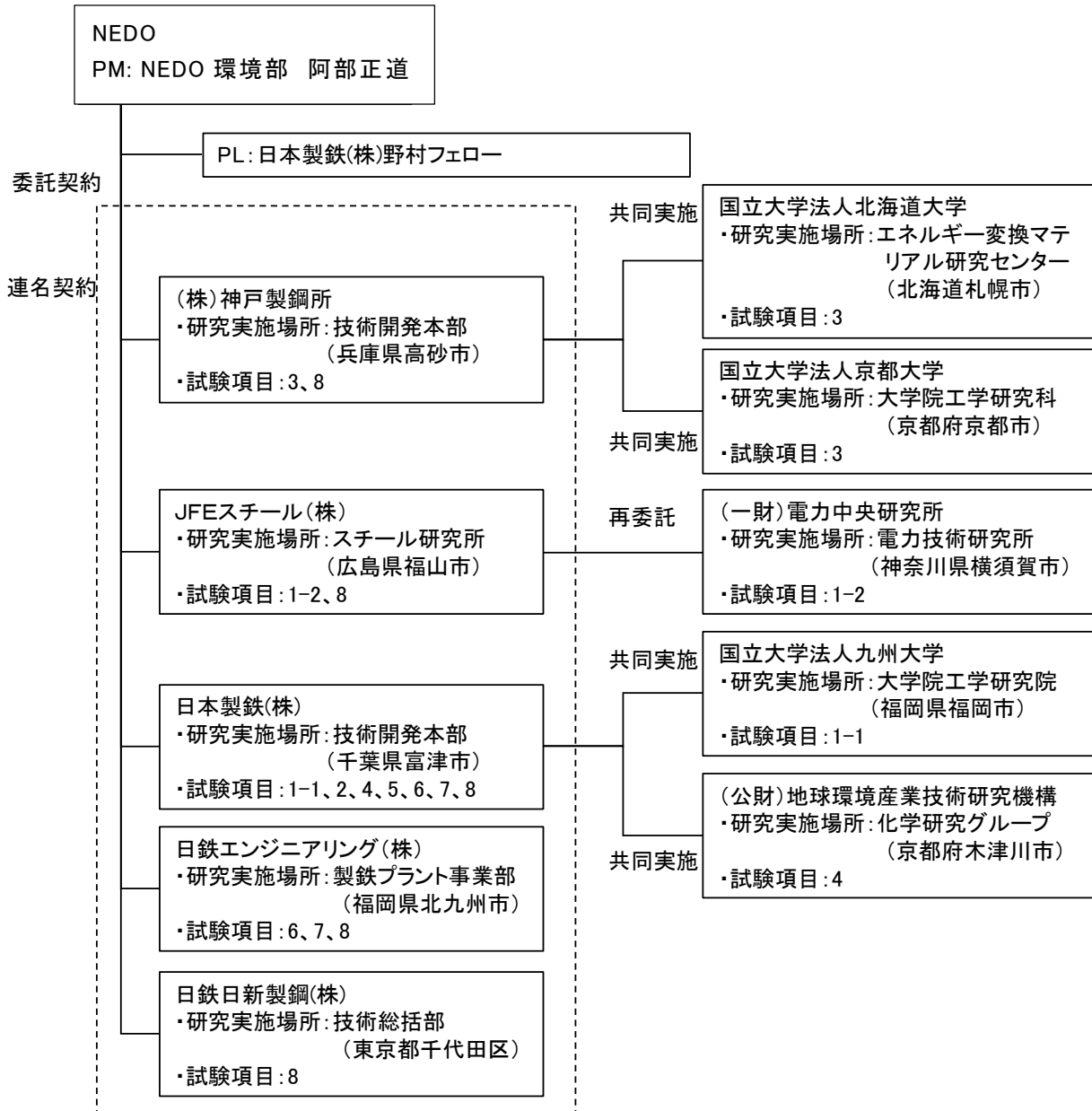


表 開発テーマ一覧

開発テーマ	
1	鉄鉱石還元への水素活用技術の開発
	1-1 水素活用プロセス技術開発
	1-2 高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査
2	COG改質技術の開発
3	高性能粘結材ハンドリング技術の開発
4	CO <sub>2</sub> 分離・回収技術開発
5	未利用低温排熱活用技術開発
6	試験高炉によるプロセス技術開発
7	実高炉部分検証によるプロセス技術開発
8	全体プロセスの評価・検討

(別紙)

「フェロコークス技術の開発」  
実施体制

