

**「環境調和型プロセス技術の開発／①水素還元等プロセス  
技術の開発（フェーズⅡ－STEP 1）」（中間評価）**

**（2018年度～2022年度 5年間）**

**プロジェクトの概要 **（公開）****

1. 事業の位置付け・必要性
2. 研究開発マネジメント

**NEDO**

**環境部**

**2020年8月21日**

## 本資料の範囲

### 1. 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

### 2. 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

### 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
- (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

### 4. 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

地球温暖化対策は世界的課題



抜本的CO<sub>2</sub>排出抑制、省エネ技術の必要性

### 事業の目的

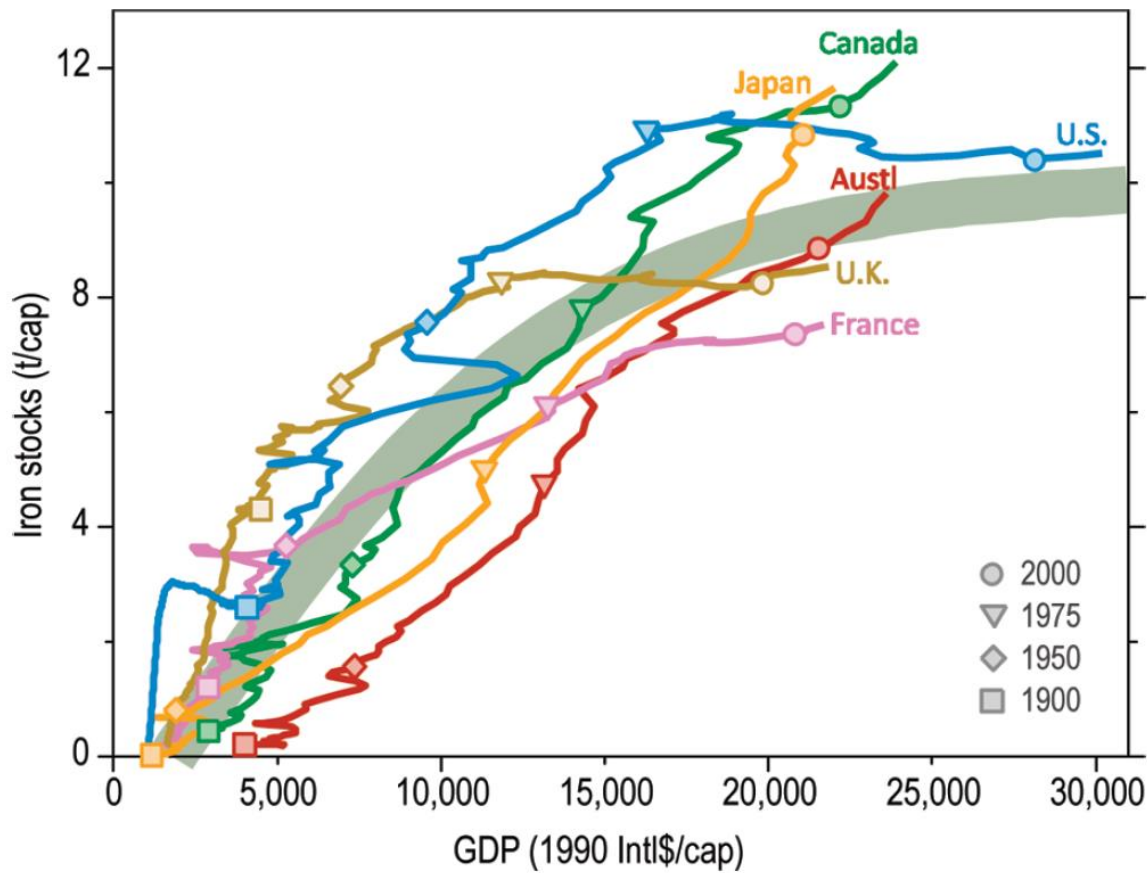
高炉からのCO<sub>2</sub>排出量を30%削減し、2030年までに初号機を実用化できる技術を確立する。



- 1) コークス改良、コークス炉ガス改質水素による鉄鉱石還元技術開発
- 2) 未利用排熱を活用した高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離回収技術開発

## ◆ 事業実施の背景と事業の目的

経済成長と一人当たりの鉄鋼蓄積量には一定の相関がある



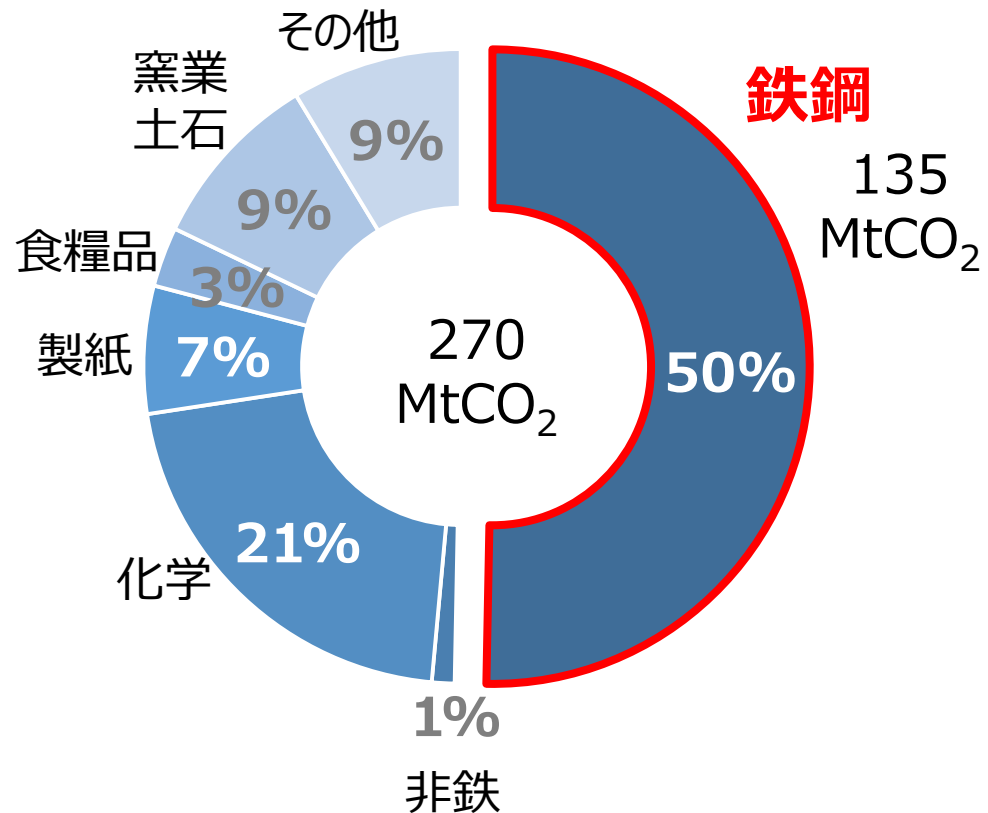
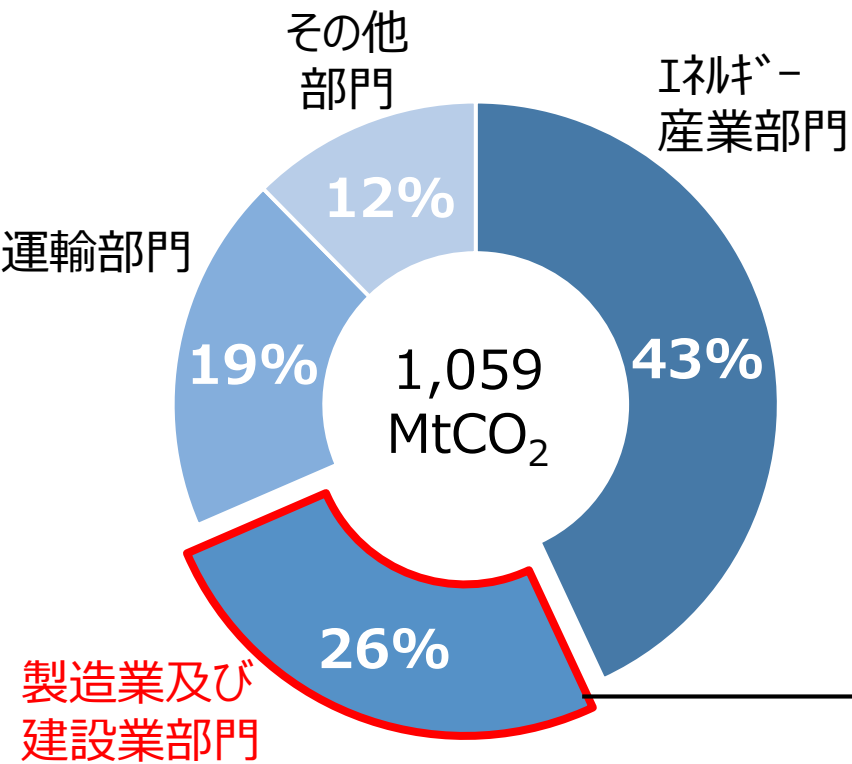
一人当たりのGDPと鉄鋼蓄積の関係

◆事業実施の背景と事業の目的

我が国のCO<sub>2</sub>排出量の約13%は鉄鋼業から

日本全体の燃料の燃焼分野に  
占める各部門の割合

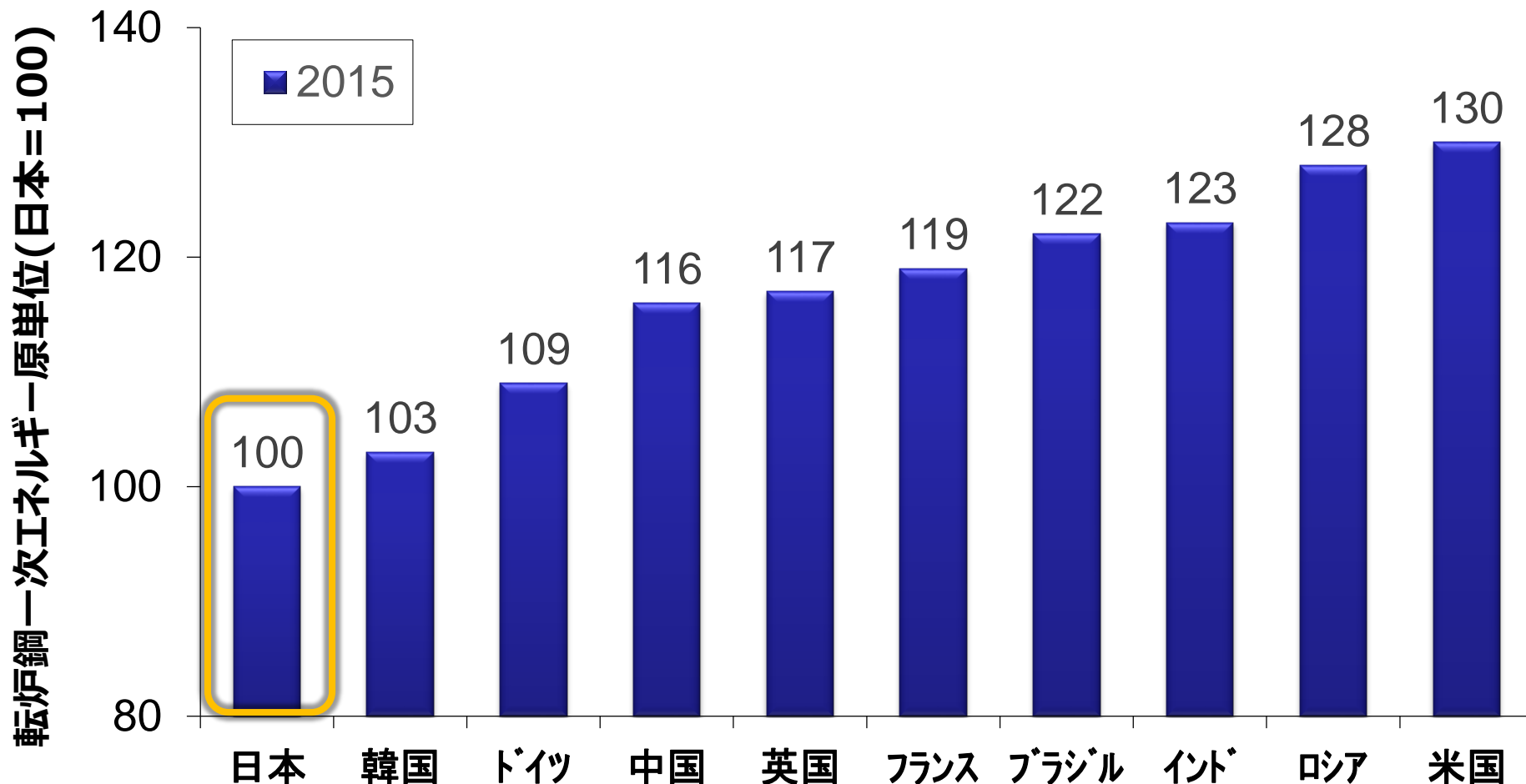
製造業及び建設業部門のCO<sub>2</sub>  
排出量に占める各業種の割合



## ◆事業実施の背景と事業の目的

日本の鉄鋼産業は、世界トップレベルの効率性で、改善の余地少ない

### 単位粗鋼量当たりエネルギー消費量



◆ 事業実施の背景と事業の目的

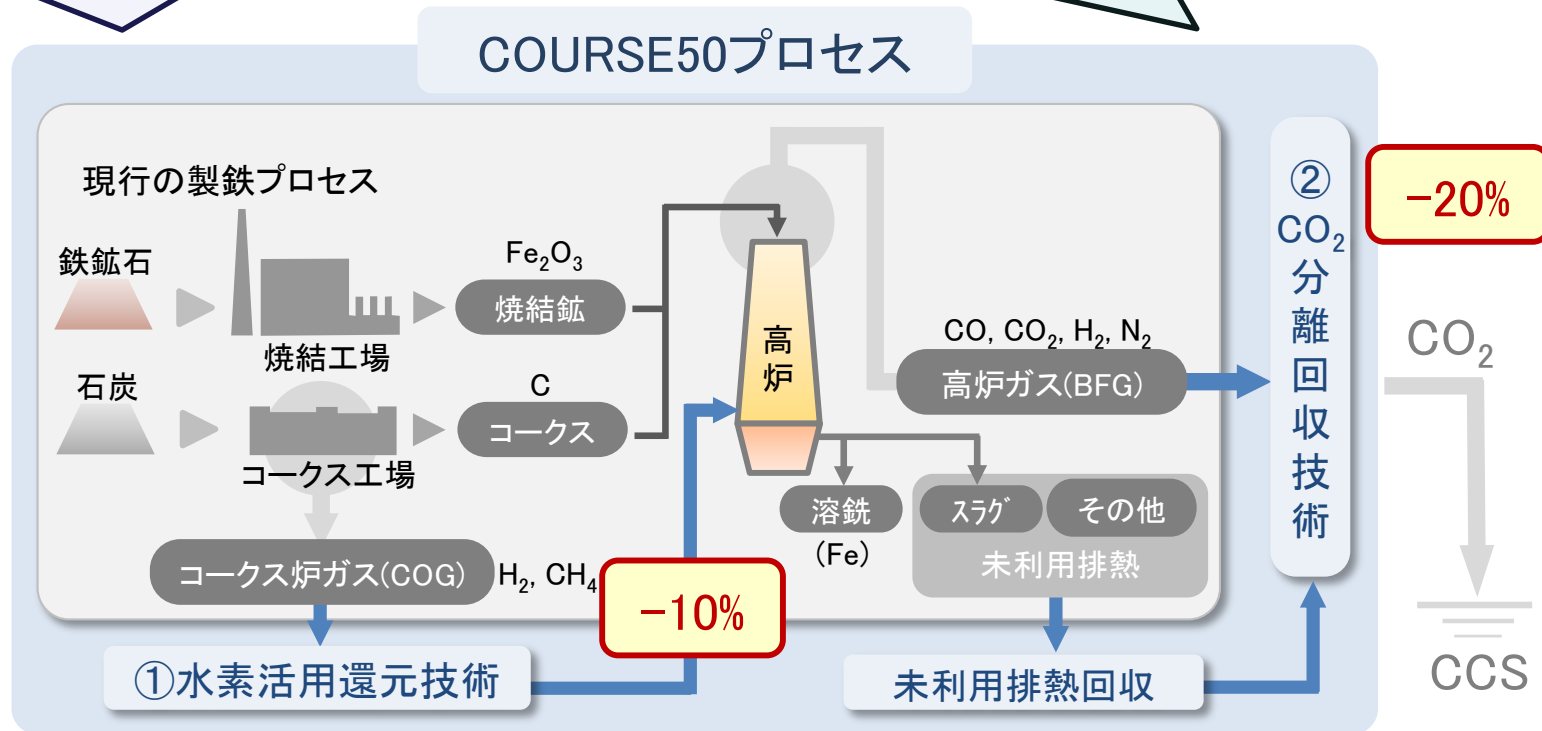
世界初の水素還元活用とCO<sub>2</sub>分離回収によるCO<sub>2</sub>排出量30%削減を目指す

① CO<sub>2</sub>排出量削減技術開発

水素をコークスの一部代替として鉄鉱石を還元し、CO<sub>2</sub>を10%削減

② CO<sub>2</sub>分離・回収技術開発

高炉ガスからCO<sub>2</sub>を分離・回収し、CO<sub>2</sub>を20%削減



## ◆国内外の研究開発の動向と比較

- ULCOSプロジェクトは中止されたが、ヨーロッパにおいても先進高炉検討は継続
- 国内においても、先進高炉（COURSE50プロジェクト、フェロコークス）開発を継続しながら、今年度より、「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた技術開発を開始

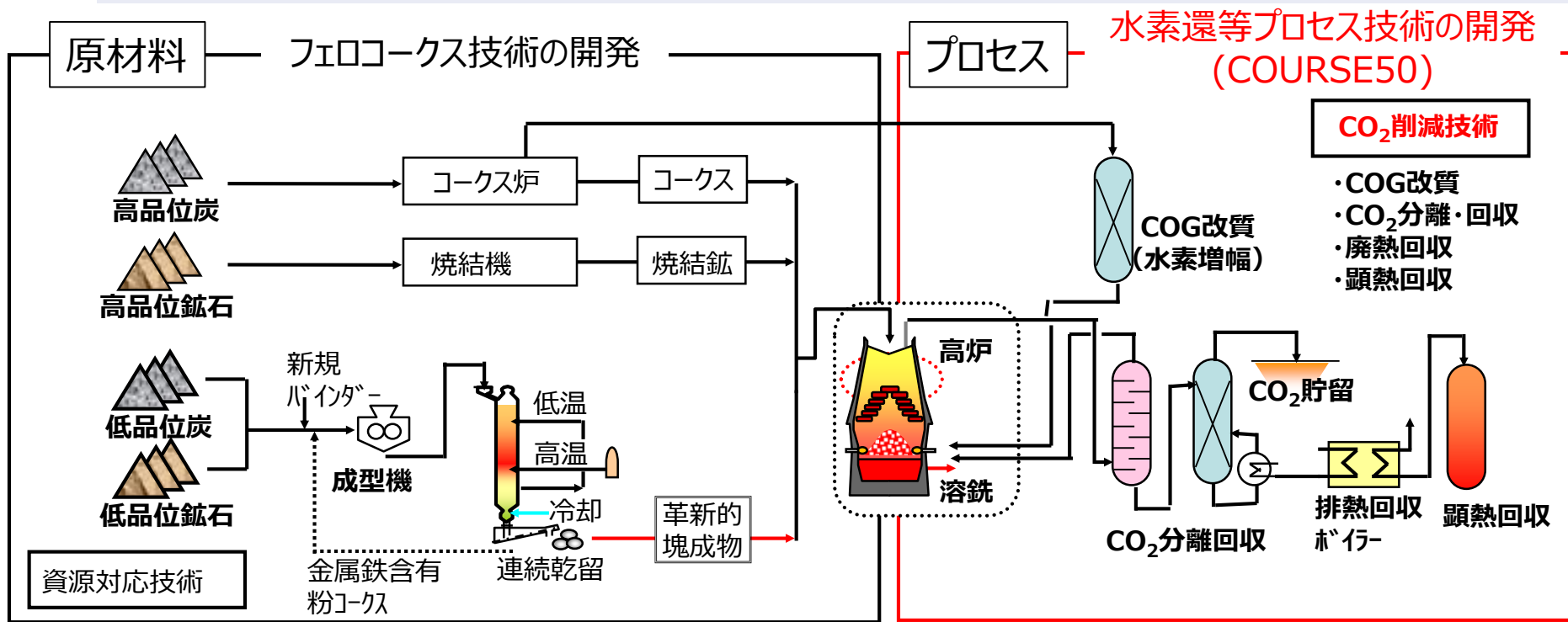
年代	ヨーロッパ	日本
2000年 ～2008年ごろ (リーマンショック前)	・ULCOSプロジェクトを実施 先進高炉(排ガス循環型酸素高炉)や Hisarna(熔融還元炉)などを開発	・COURSE50プロジェクトを実施 先進高炉（水素還元強化型） を開発
2009年 ～2016年ごろ (リーマンショック後)	・資金不足により、ULCOSプロジェクト 中断	・COURSE50プロジェクトを継続、 試験高炉での実験を実施
2017年 ～現在	・CO <sub>2</sub> 排出抑制ニーズを受けて、 各社に新プロセスの開発が再開 ・水素還元：Hybrid、Midrex-H (SSAB, AM) ・高炉・電炉 + CCU&CCS：Smart Carbonに関連するプロジェクト(ティセ ン,AM)	・COURSE50プロジェクト、フェロ コークスを継続、実証フェーズ ・「ゼロカーボン・スチール」の実現 に向けた技術開発、水素還元・ 先進高炉ともにスコープとして検 討中



## ◆ 他事業との関係

### ➤ 「環境調和型プロセス技術の開発」の全体概要

- ・プロセス開発であるCOURSE50、および原材料であるフェロコークス技術の開発から構成される。
- ・フェロコークスは、低品位炭及び低品位鉱石の比率をアップした金属鉄含有塊成物であり、金属鉄の触媒作用により、高炉内の還元効率を高めることにより、従来よりもコークス量を削減できる。



### ➤ 2050年以降 (COURSE50普及後)

委託事業「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた技術開発」を採択  
(2020年6月) 高炉を用いない水素還元製鉄

## ◆NEDOが関与する意義

鉄鋼業としての抜本的なCO<sub>2</sub>削減技術の開発は、

- 地球温暖化対策のための中長期的視野から必要
- 国のCO<sub>2</sub>削減のための政策として必要
- CO<sub>2</sub>分離回収は、エネルギー増加を招くため新たな技術との組み合わせが必要など、コスト増の要因となり、民間の発インセンティブが働きにくい

+

- 研究開発の難易度：非常に高
- 投資規模：非常に大 = 開発リスク：非常に大



民間の能力を活用してNEDOが資金負担を行うことにより  
研究開発を推進すべき事業

## ◆実施の効果（費用対効果）

### ●インプット

#### ➤プロジェクト費用の総額

①想定381億円

フェーズⅠ-STEP1,2(2008-2017)

(2008-2019実績 280億円

フェーズⅡ-STEP1,2(2018-2025)

2020-2025想定 101億円)

### ●アウトカム

#### ➤コスト削減効果予測（2050年）

②計1兆6,000億円

(800億円/年×20年)

#### ➤市場規模（国内総生産市場）

③18兆円

#### ➤CO<sub>2</sub>削減効果

4,990万ton/年

(2050年までに国内27基に適用した場合)

### ●金銭価値換算で514倍の費用対効果

(②16,000 + ③180,000) / ① 381

### 【状況の変化】

- 2018年度に開始したフェーズⅡ－STEP1において、3回の試験高炉操業を行い、高炉からのCO<sub>2</sub>削減量10%の目途を得ている。  
また、所内水素(コークス炉ガスCOG) 利用だけではCO<sub>2</sub>削減効果に限界があることが分かってきた。
- 2018年11月に日本鉄鋼連盟は「ゼロカーボン・スチールへの挑戦」を発表、将来に向け、更なるCO<sub>2</sub>削減を目指し、所内水素でなく、外部水素を利用した高炉法による水素還元の大規模技術 Super COURSE50 を掲げた。



### 【COURSE50の研究方針の変更】

- CO<sub>2</sub>排出量10%削減の実現性を高めるため、またSuper COURSE50に繋がる技術を獲得するため、2022年度まで試験高炉を継続活用し、水素使用量の効率化と水素還元の大規模を狙った新たな要素技術開発に取り組むこととした。
- 当初、2020年以降に実施を予定していた高炉の実機を部分的に改造した試験(実機部分確性「全周羽口吹込み」)については、CO<sub>2</sub>削減技術開発の状況をみながら、フェーズⅡ－STEP2の開始(2023年度)以降に行うこととした。

◆事業の目標 (変更前)

項目	【中間目標(2020年度)】	【最終目標(2022年度)】
(1) 高炉からのCO <sub>2</sub> 排出削減技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>高炉の実機を部分的に改造した「全周羽口吹込み」の設計・製作・施工を実施する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高炉からのCO<sub>2</sub>排出削減量約10%を達成する。</li> <li>高炉の実機を部分的に改造した「全周羽口吹込み」の試験操業を実施し、上記目標達成に資する。</li> </ul>
(2) 高炉ガス(BFG)からのCO <sub>2</sub> 分離回収技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>化学吸収液の吸収形態改善と分極影響緩和の改善に新規技術を見出す事で、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO<sub>2</sub>達成への目途を得る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>分離回収コスト2,000円/t-CO<sub>2</sub>を実現する技術の確度向上を図り、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO<sub>2</sub>を達成し、CO<sub>2</sub>排出削減量約20%の技術に資する。</li> </ul>

【COURSE50の最終目標】

CO<sub>2</sub>貯留に関するインフラ整備と実機化に経済合理性が確保されることを前提に、2030年までに1号機の実用化、高炉関連設備の更新のタイミングを踏まえて、2050年までの普及を目指す。(「革新的環境イノベーション戦略」2020年1月)

◆事業の目標 (変更後)

項目	【中間目標(2020年度)】	【最終目標(2022年度)】
(1) 高炉からのCO <sub>2</sub> 排出削減技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高炉からのCO<sub>2</sub>排出量約10%削減に向けて、実現性の高い技術の見通しを得る。</li> <li>高炉の実機を部分的に改造した「全周羽口吹込み」試験は、CO<sub>2</sub>削減技術開発の状況をみながら、フェーズⅡ - STEP 2の開始(2023年度)以降に行い、上記目標達成に資する。</li> </ul>
(2) 高炉ガス(BFG)からのCO <sub>2</sub> 分離回収技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>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事で、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO<sub>2</sub>達成への目途を得る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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を指向し、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO<sub>2</sub>を達成し、CO<sub>2</sub>排出削減量約20%の技術に資する。</li> </ul>

【COURSE50の最終目標】

変更なし

◆研究開発目標と根拠

開発テーマ		2020年度中間目標	根拠
SG1 鉄 鉱石還 元への水 素活用 技術の開 発	SG1-1 水素活用 プロセス技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高炉 3次元数学モデルによる試験高炉の操業諸元設計</li> <li>・同モデルにより、試験高炉操業を解析し、高炉からのCO<sub>2</sub>排出削減量▲10%達成の見通しを得る</li> </ul>	高炉からのCO <sub>2</sub> 排出量10%減を達成するためには、高炉 3次元数学モデルによる試験操業設計・解析で、試験高炉および実高炉部分検証を支援するとともに、水素還元反応モデルの精査でスケールアップ精度の向上を図ることが必要である。
	SG1-2 高炉の微 粉炭および還元ガス の燃焼挙動の調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・羽口内燃焼計算モデルによる還元ガス吹き込み量が羽口等の設備や燃焼安定性へ及ぼす影響の評価</li> <li>・実高炉対象のレースウェイ数値モデルによる、還元ガス吹き込みが微粉炭・還元ガス燃焼挙動へ及ぼす影響の解明</li> </ul>	COURSE50 特有の複合ランスに対し、微粉炭燃焼率、レースウェイ内条件等を測定し、操業条件影響を評価する事が必要である。
SG2 COG改質技術開発		・なし	基本プロセスの開発は完了し、2020年度まで実施なし。
SG3 高性能粘結材製造技術の開発		<ul style="list-style-type: none"> <li>・高性能粘結材粘度推算式 の導出</li> <li>・溶融粘結材連続移送・排出装置の試運転による移送・排出性能の確認</li> </ul>	水素還元増幅下での低コークス比操業に対応するコークス製造を可能とする高性能粘結材の工業的製造技術を確立するため、溶剤回収工程における溶融状態の粘結材ハンドリング技術の開発が必要である。
SG4 CO <sub>2</sub> 分離回収技術開発		<ul style="list-style-type: none"> <li>・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とともに、実用性の評価も行うことにより分離回収エネルギー1.6 GJ/t-CO<sub>2</sub>達成への目途を得る。</li> </ul>	高炉から発生する高炉ガス(BFG)からのCO <sub>2</sub> 分離回収を行い、CO <sub>2</sub> 排出量20%減を達成するため、分離回収エネルギーの低下と低コスト化が必要である。

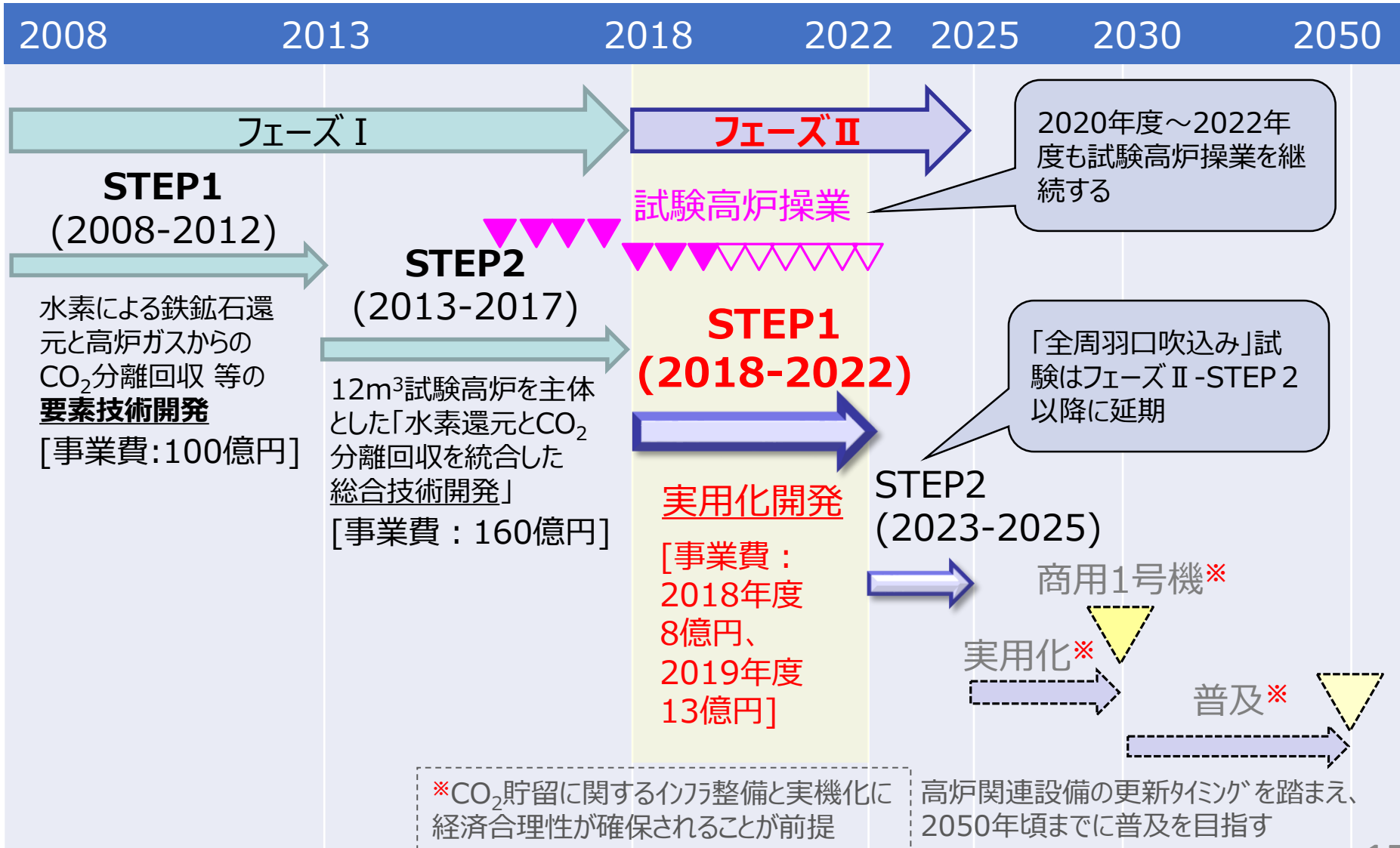


◆研究開発目標と根拠

開発テーマ	2020年度中間目標	根拠
SG5 未利用低温排熱活用技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・排ガス性状調査による熱交換器汚損物質の性状把握を行い、熱交換器伝熱面に対する異物付着対策を提案する。</li> <li>・実証試験における高性能熱交換器基本仕様を提案する。</li> <li>・熱交換性能を維持させるためのシステムを調査、検討し、実証試験におけるシステムを決定する。</li> </ul>	<p>CO<sub>2</sub>分離回収技術の主要な手段のひとつは化学吸収法であり、吸収液の再生プロセスには多量の熱エネルギーを必要とする。この熱エネルギーを供給するため、製鉄所における未利用排熱を回収する技術の開発が必要である。</p>
SG6 試験高炉によるプロセス技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試験高炉操業により、試験高炉規模で高炉からのCO<sub>2</sub>排出削減量10%達成の見通しを得る。</li> </ul>	<p>12m<sup>3</sup>試験高炉を用いて、水素還元の効果を最大限に享受する高炉プロセス操作を見極めるため、水素を主体とする還元ガス吹込み操作と装入材料の被還元性操作等とを組み合わせた総合最適化操業を行うことが必要である。</p>
SG7 実高炉部分検証によるプロセス技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・（当初目標）実高炉を用いた水素系ガス「全周羽口吹込み試験」の設計を行い、製作に着手する。</li> </ul>	<p>鉄鉱石還元への水素活用技術の開発ならびに試験高炉によるプロセス技術開発の開発状況をみながら、フェーズⅡ-STEP2の開始（2023年度）以降に行うことに計画を変更。</p>
SG8 全体プロセスの評価・検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul>	<p>基本構成が完成したモデル製鉄所物質熱収支モデルに対して、各要素技術の進捗やプロセス改善を織り込んだ境界条件に対して、物質熱計算を行い、不明鋼の極小化も含め、全体プロセスの総合最適化を行うことが必要である。</p>



◆ 事業の概略工程



◆研究開発のスケジュール（変更前）

フェーズⅡ - STEP 1

開発テーマ		2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
高炉からのCO2排出削減	6.試験高炉によるプロセス技術開発	操作及び解体調査				
	1.鉄鉱石水素還元技術開発 7.実高炉部分検証によるプロセス技術開発	対象選定	設計	製作	改造・据付工事	試験
	3.高性能粘結材製造技術の開発	粘結材粘性計測	連続試験装置改造	検証試験／運転・検証	改造装置による製造粘結材の性能評	改造装置による製造粘結材の性能評
	2.コークス炉ガス(COG)改質技術の開発				吹込みハード検討(ノズル設計)	吹込みハード検討(チャンバー全体設計)
高炉ガスのCO2分離・回収	4.CO2分離・回収技術開発	新吸収液開発、吸収形態改善	新吸収液開発、溶媒分極影響の緩和	新吸収液開発、触媒相乗効果の評価	新吸収液開発、量子科学計算による対策	新吸収液開発、反応熱の到達度総合評価
	5.未利用排熱回収技術開発	付着特性ラボ調査	付着対策ラボ検証	付着対策設計	閉塞対策ラボ総合検証	閉塞対策スケールアップ検討
8.全体プロセス評価・検討		操作1結果・全体プロセス反映検討	操作2結果・全体プロセス反映検討 操作3結果解析	2030年対応方針の再整理(1) 全周羽口吹込特性の影響事前評	2030年対応方針の再整理(2)	次ステップ検討 全周羽口吹込特性の影響一次評

当初計画では、試験高炉操業は2019年度まで、実高炉部分確性は2020年度から製作予定であった。

◆研究開発のスケジュール（変更後）

フェーズⅡ－STEP 1

	開発テーマ	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
高炉からのCO2排出削減	6.試験高炉によるプロセス技術開発	[2018年度末～2022年度末]				
	1.鉄鉱石水素還元技術開発 (数学シミュレーション)	対象炉検討・設備条件調査		事前設計	[2020年度末～2022年度末]	
	3.高性能粘結材製造技術の開発	粘性計測	試験装置改造	検証試験	性能評価	
	2.コークス炉ガス(COG)改質技術の開発	[2018年度～2019年度]			吹込みハード検討	
高炉ガスのCO2分離・回収	4.CO2分離・回収技術開発	[2018年度～2019年度]			新吸収液開発	[2020年度～2022年度]
	5.未利用排熱回収技術開発	付着特性ラボ調査		付着対策設計	ラボ総合検証	スケールアップ検討
7.全体プロセス評価・検討	7.全体プロセス評価・検討	全体プロセス評価検討(開発結果反映)			[2020年度～2022年度]	
					2030年対応方針の再整理	次ステップ検討

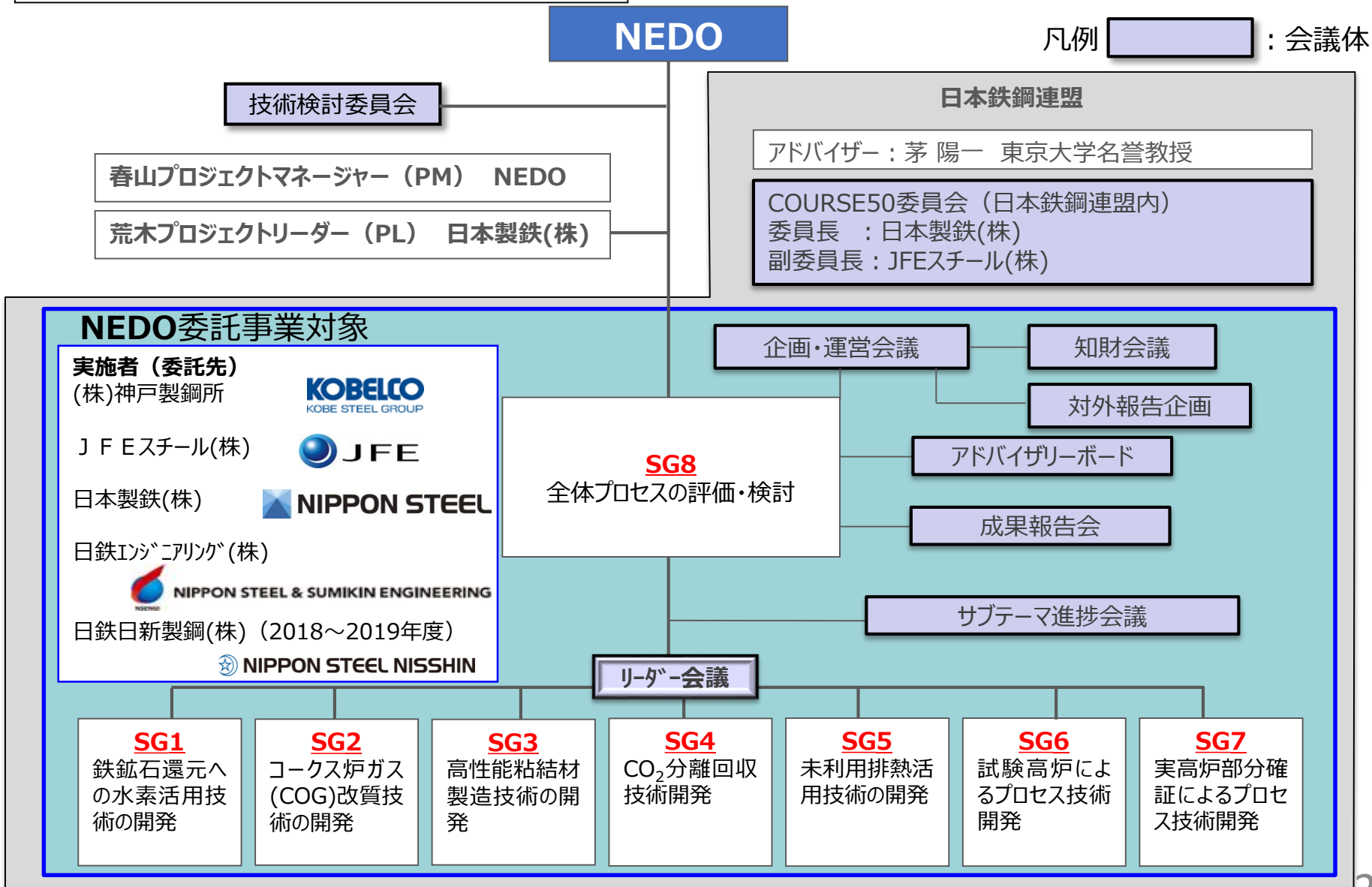
変更後の計画では、試験高炉操業は2022年度まで実施、実高炉部分確性はフェーズⅡ－STEP2以降に延期。

## ◆プロジェクト費用

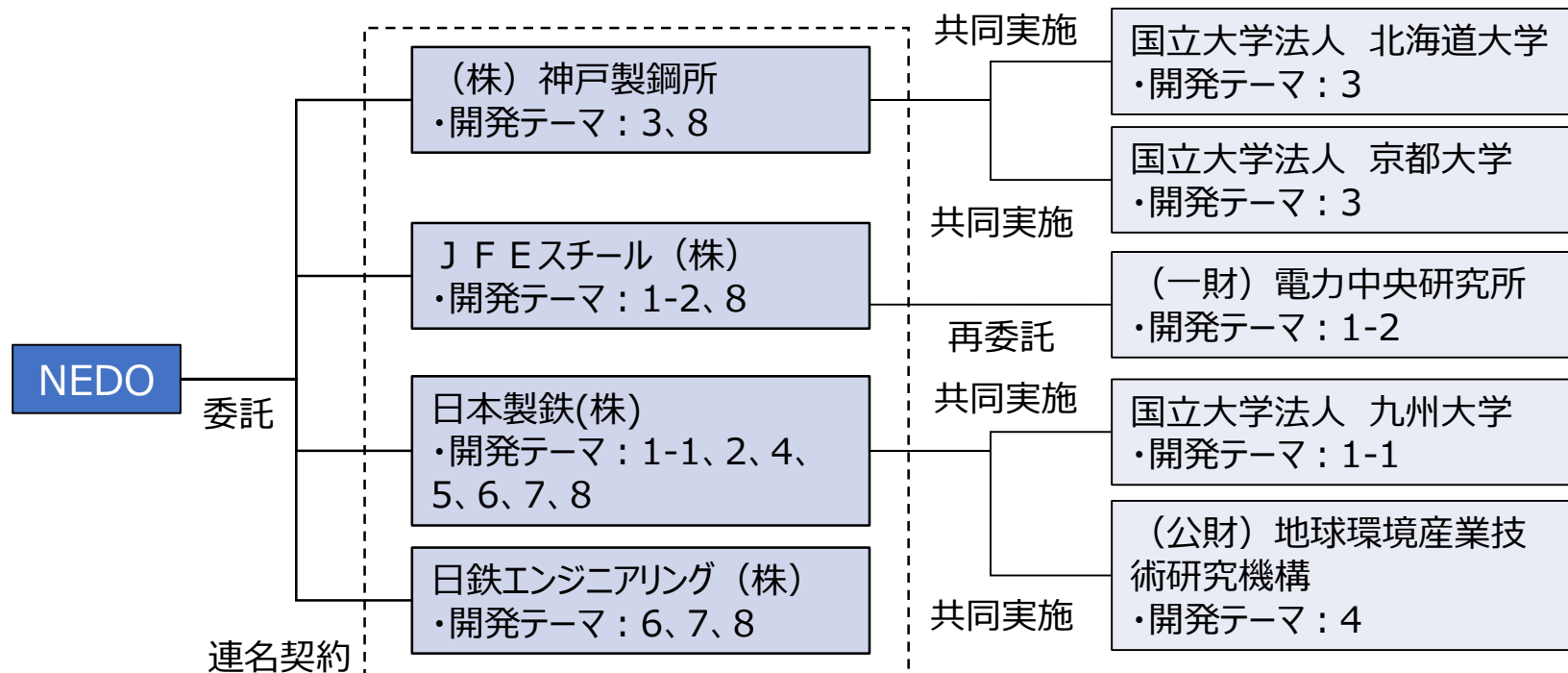
(百万円)

開発テーマ	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	計
SG1 鉄鉱石還元への水素活用技術の開発	18	18	(18)	(18)	(18)	90
SG2 COG改質技術開発	0	0	(0)	(80)	(200)	280
SG3 高性能粘結材製造技術の開発	46	36	(30)	(30)	(30)	172
SG4 CO <sub>2</sub> 分離回収技術開発	50	40	(40)	(30)	(30)	190
SG5 未利用低温排熱活用技術開発	19	10	(40)	(40)	(40)	149
SG6 試験高炉によるプロセス技術開発	687	1,076	(1,870)	(1,880)	(1,660)	7,173
SG7 実高炉部分検証によるプロセス技術開発	0	151	(0)	(0)	(0)	151
SG8 全体プロセスの評価・検討	10	10	(22)	(22)	(22)	86
計	830	1,341	(2,020)	(2,100)	(2,000)	8,291

# ◆ 研究開発の実施体制



## ◆ 研究開発の実施体制



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

## ◆研究開発の進捗管理

技術検討委員会にて、外部委員より技術面と実用面に関して助言をいただく

### 目的

専門的知見を有する外部有識者から、目標達成に向けたコメント、助言を得て、効率的な研究開発を行う

### 委員リスト

委員長	亀山名誉教授	東京農工大学
委員	伊藤教授	早稲田大学
	小林教授	東北大学
	巽テクニカルコンサルタント	国際石油開発帝石株式会社
	月橋教授	東京大学大学院（～2020年3月）
	長坂教授	東北大学大学院

### 内容(例)

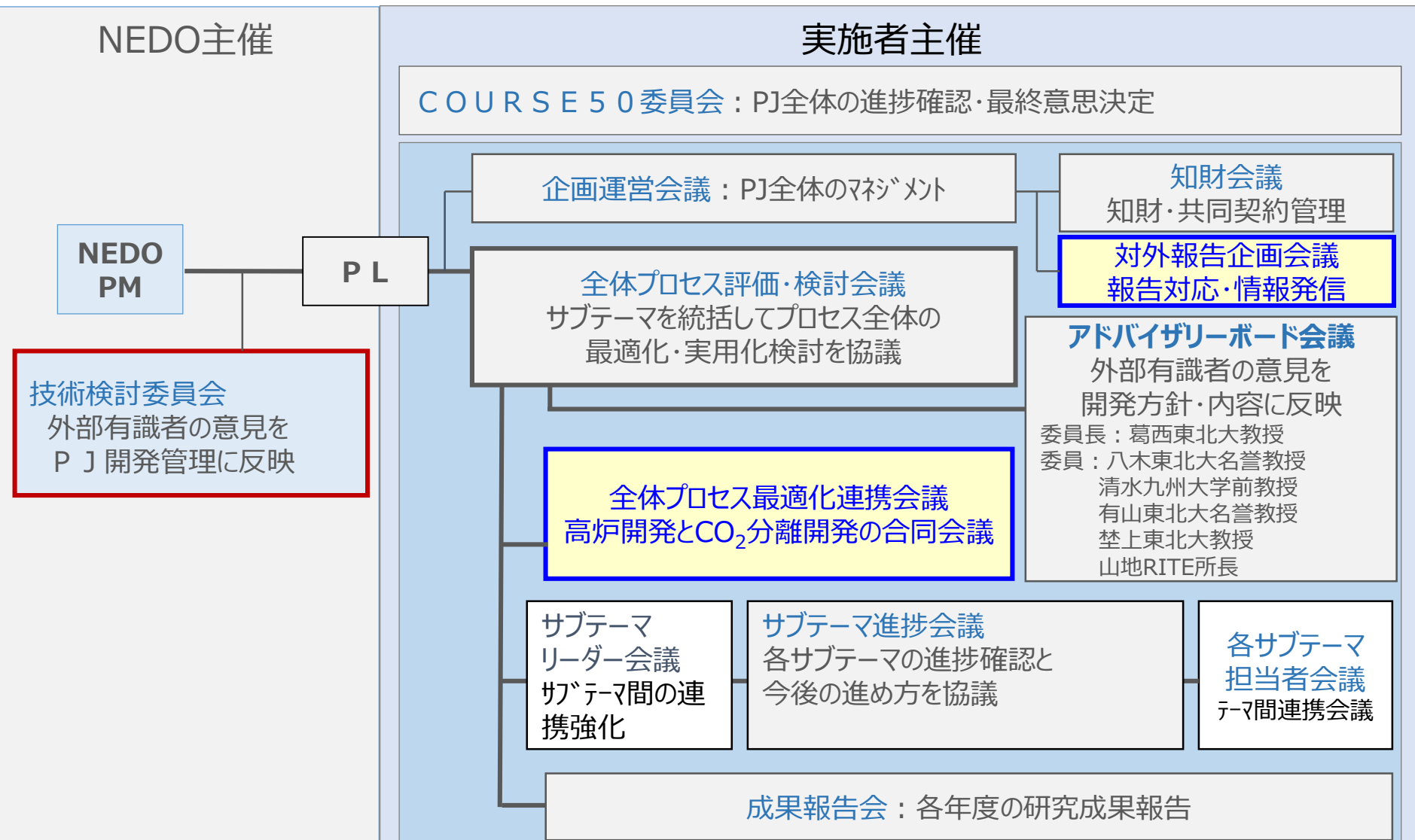
2回/年 NEDO主催で開催

コメント例

- ・定量的なマイルストーンを設定すること
- ・長期の事業であり、外部環境の変化に合わせて事業を進めること
- ・確立した技術があれば、製鉄以外の分野でも実用化する様検討すること
- ・高炉内の現象のシミュレーション技術を、リスク、トラブル予見に活用できないか

今後の研究開発に活用

◆ 研究開発の進捗管理





### ◆ 動向・情勢の把握と対応

- 「環境調和型製鉄プロセス」は、2007年5月「美しい星50(Cool Earth 50)」における革新的技術開発として位置付けられる。
- 2014年12月「エネルギー関係技術開発ロードマップ」にも記載。
- 2019年6月「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」策定。
- 2019年6月「カーボンリサイクル技術ロードマップ」策定。  
CO<sub>2</sub>排出抑制技術について目標・課題等がまとめられた。
- 2020年1月「革新的環境イノベーション戦略」策定。  
2050年以降のできるだけ早い時期に水素還元炉を用いた製鉄技術を実現する。



### 【対応】Super COURSE50の要素を一部取入れCOURSE50で開発を継続する

鉄鋼分野における技術開発		2020	2030	2040	2050	2100
COURSE50	所内水素(COG)利用による高炉内の水素還元比率アップ 高炉ガスからのCO <sub>2</sub> 分離	R&D	導入			
Super COURSE50	外部水素利用による高炉によるさらなる水素還元比率アップ (大量の水素供給が可能となる前提)		R&D	導入		
水素還元製鉄	石炭を利用しない水素還元製鉄		R&D	導入		
CCU	副生ガスからのカーボンリサイクル		R&D	導入		
CCS	副生ガスからのCO <sub>2</sub> 回収	R&D	導入			

フェーズ I – S T E P 2 前倒し事後評価における指摘事項とその反映

	分科会での指摘事項	指摘事項に対する対応
事業の位置付け・必要性	費用対効果の算出は、今後本事業成果が実用化できるかの判断基準となるものなので、もっと厳格に行うべきである。	基本計画の全体プロセスの評価・検討に、「本事業の実現化を図るために、本事業適用時の市場規模、コークス投入量低減によるコスト削減など経済的効果を詳細に検討する」を追加した。 主に S G 8 で対応。
研究開発マネジメント	製鉄所全体のエネルギー収支を慎重に検討し、プロセス成立性を明確に示すことが必要。	基本計画の全体プロセスの評価・検討に、「また、商用高炉と COURSE 50 高炉の熱物質収支を比較し、プロセスの成立性・妥当性を検討する」を追記した。主に S G 8 で対応。
研究開発成果	基本特許だけでなく周辺特許も積極的に出願することが望まれる。	基本計画の全体プロセスの評価・検討に、「その際に技術優位性の確保を図るように強固な特許網を構築するために知的財産マップを作成し、基本特許を中心とした抜け漏れのない周辺特許出願を効果的に進める。」を追記した。 知財管理 W G で対応。
成果の実用化に向けた取組及び見通し	プロセスの実用化に向けた開発において、20%CO <sub>2</sub> の回収に必要な熱エネルギーの確保が最も重要。熱回収プロセスの実用化に積極的に取り組む必要がある。	基本計画の未利用排熱活用技術の開発に、「本技術の水平展開を図り、他分野への早期実用化に取り組む」を追記した。 主に S G 5、S G 8 で対応。

## ◆知的財産権等に関する戦略

- ① NEDO知財方針を適用し、知財合意書、知財会議を整備
- ② 知財会議で各サブテーマ毎の知財戦略を策定
- ③ 開発した重要技術については権利化を推進

### NEDO知財方針の概要

#### プロジェクトを支える効果的な知財マネジメントの実施

- 参加者の総力を結集したシナジー効果の発揮
- 技術情報等流出防止

#### 未利用成果等の活用促進

- バイ・ドール調査と調査への協力

知財合意書 } 整備  
知財会議 }  
→ 出願効率化  
知財戦略策定、等

- ・出願手順等を定め、出願効率化
- ・海外出願を含めた出願の是非、出願内容等を審議。
- ・実用化が相当先である技術に対して、安易に出願を行わないよう、出願戦略を議論。
- ・海外への技術流出防止を意識した知財戦略を構築。

## ◆ 知的財産管理

### ➤ 知財合意書を策定

- ・出願手続き等について規定
- ・特許権は4社で共有
- ・持分割合は、出銑量により決定

### ➤ ノウハウの管理

- ・権利化すべき技術とノウハウは、SGリーダーが決定
- ・ノウハウを特許出願による損出を考慮して秘匿するものと、データ群等の技術成果に関する集大成、に区分け
- ・ノウハウ毎に登録シートを作成するとともに、ノウハウリストを作成

**「環境調和型プロセス技術の開発/  
①水素還元等プロセス技術の開発  
(フェーズⅡ-STEP1) 」(中間評価)  
(開始2018年度～終了予定2022年度 5年間)**

3. 研究開発成果
4. 成果の実用化・事業化に向けた  
取組及び見通し

2020年8月21日

## 1. 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

## 2. 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

本資料の範囲

## 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
- (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

## 4. 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

## ◆ COURSE50事業の開発目標と開発概念

### 【開発目標】

製鉄所からのCO<sub>2</sub>排出量を約30%削減し、2030年頃までに初号機を実用化できる技術を確立する。

### 【開発前提】

2030年ごろまでに技術開発を完了し、実用化を目指すこと、また、大型高炉による鉄鋼一貫プロセスである日本での対策のため、開発期間、プロセスを考慮し、高炉法を前提とした開発を指向する。

### 【開発概念】

**製鉄工程※におけるCO<sub>2</sub>大幅削減** ※製鉄工程は製鉄所において約7割のCO<sub>2</sub>を排出

#### ① 高炉からのCO<sub>2</sub>排出量低減

- 1) 所内発生水素源の高炉の還元材利用による炭素還元の低減
- 2) 開発した技術を将来の水素還元技術のさきがけとして活用する

#### ② 高炉ガスからのCO<sub>2</sub>回収貯留

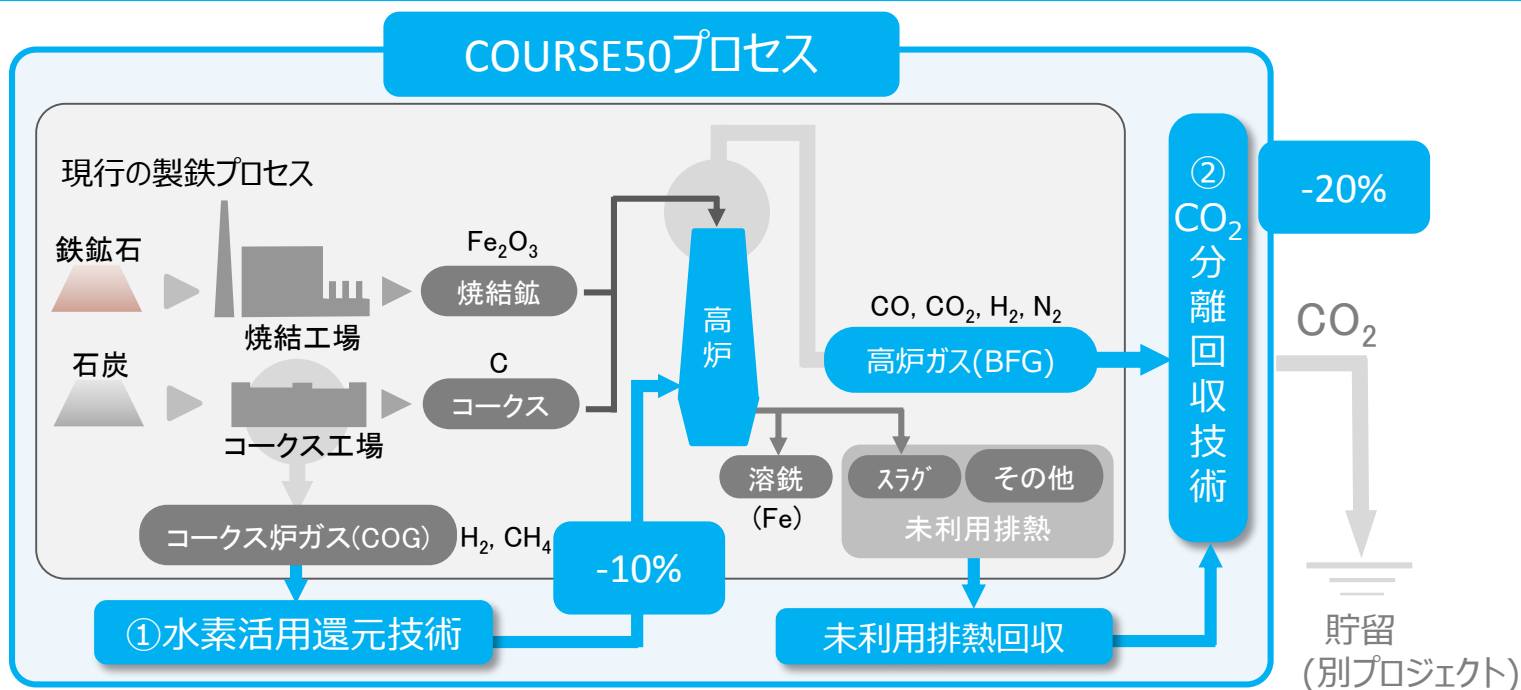
- 1) CO<sub>2</sub>の直接回収※ ※貯留技術は事業対象外(別プロジェクトでの開発)
- 2) 所内排熱利用によるCO<sub>2</sub>直接回収の必要エネルギー低減

## ◆ COURSE50事業の開発概要

一貫製鉄所の既存インフラを最大限活用することを前提に、

- ① コークス炉ガス中の水素等を用いた高炉の鉄鉱石還元への水素活用還元技術(炭素代替技術)
- ② 製鉄所内の未利用排熱を利用した高炉ガスに含まれるCO<sub>2</sub>を分離・回収する技術

を開発し、これらの主要技術により総合的に製鉄所からのCO<sub>2</sub>排出量の約30%を削減する。



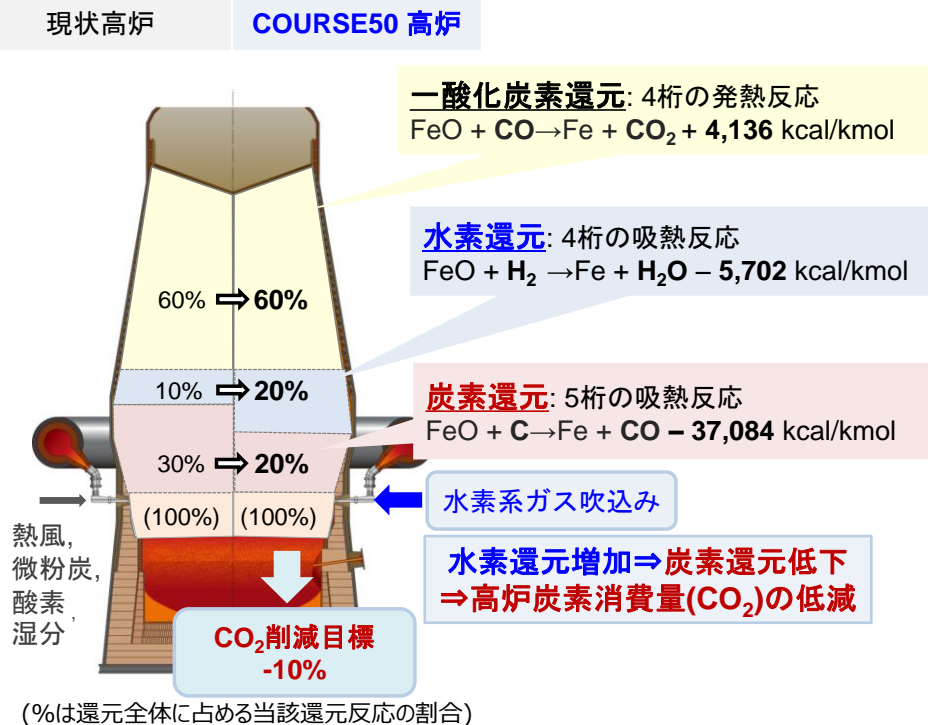
NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization) : 100%委託事業  
 実施会社 : 高炉3社 + 日鉄エンジニアリング



# ◆①水素活用還元技術の開発概要

## 開発目標：

実験と理論の両面から高炉からCO<sub>2</sub>を10%削減するプロセス操作を総合的に検証・評価し、水素を活用した還元反応制御技術を確立する。



## 水素活用還元技術の概念

## 開発テーマ(要素技術)

SG6: 試験高炉によるプロセス評価技術

・プロセス操作の実験検証

SG3: 高性能粘結材製造技術開発

(COURSE50高炉用コークス製造技術)

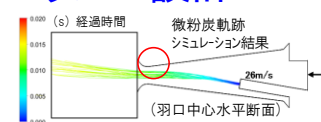
・水素還元に適したコークス製造

SG1:

鉄鉱石還元への水素活用技術

・数学モデルによるプロセス操作の理論検証

・水素系ガス吹込ランス設計



理論検証

実験検証

高炉数学モデル

12m<sup>3</sup> 試験高炉

SG7: 実高炉部分検証によるプロセス技術開発

・プロセス操作の実機検証

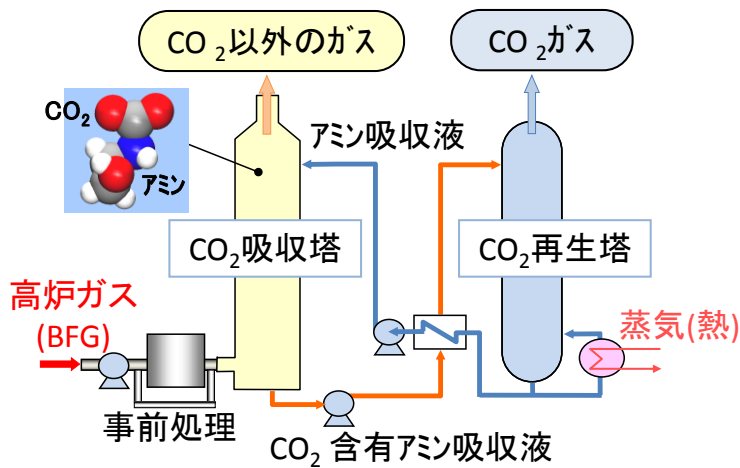
## ◆②CO<sub>2</sub>分離回収技術の開発概要

**開発目標：**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**高炉ガスに適した分離回収技術を開発し、CO<sub>2</sub>排出削減量約20%の技術を確立**する。

### 開発テーマ(要素技術)

#### SG4-1：化学吸収法によるCO<sub>2</sub>分離回収技術

・高性能化学吸収液の開発

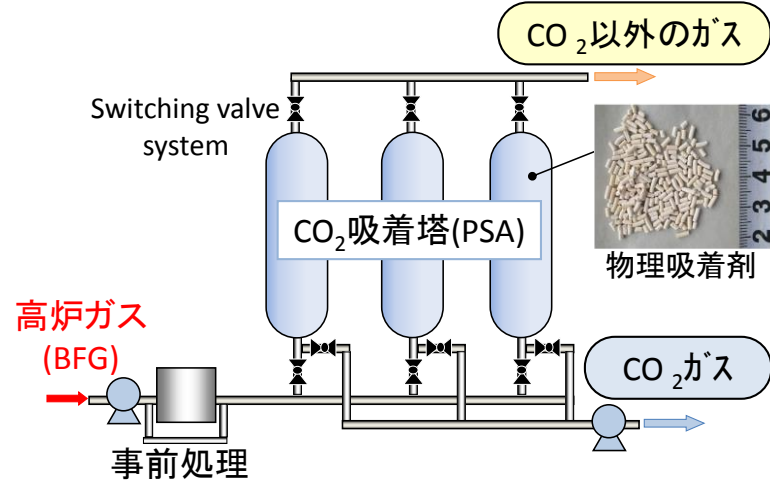


CO<sub>2</sub>分離回収所要エネルギー低減  
(従来)4.0⇒(フェーズ I 開発)2.0⇒(目標)1.6GJ/t-CO<sub>2</sub>

↑ CO<sub>2</sub>再生に必要な熱を供給

#### SG4-2：物理吸着法によるCO<sub>2</sub>分離回収技術\*

・吸着塔高効率化、新規吸着剤開発

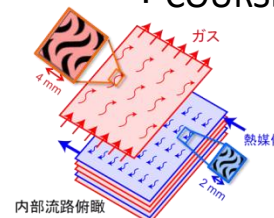
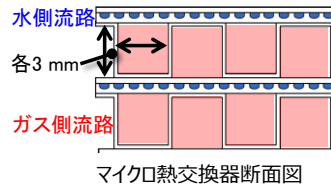


CO<sub>2</sub>分離回収所要電力低減  
電力原単位：145⇒(目標)130kWh/t-CO<sub>2</sub>

※：COURSE50 フェーズ I で開発完了

#### SG5:未利用排熱回収技術

・排熱回収用の高効率な熱交換器開発

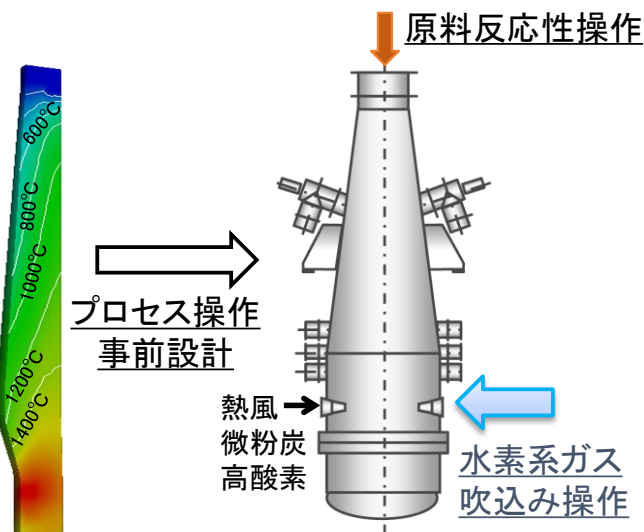


## ◆プロジェクト(COURSE50フェーズⅡ STEP1)の開発課題

プロジェクト開発目標	COURSE50フェーズⅠ (2008～2019)	COURSE50 フェーズⅡ -STEP1 (2018～2022)
	主な開発成果	開発課題
<b>①【水素活用還元技術】</b> 高炉からCO <sub>2</sub> 排出量約 <b>10%</b> 削減する技術を確立する	COG羽口吹込みとシャフト吹込みの統合操作で、約10%削減が原理的に可能であることを実験(試験高炉)と理論(数学モデル)の両面から実証した。	2030年頃の実用化を目指し、CO <sub>2</sub> 10%削減をより確実にする実機適合技術の開発・検証が重要課題。
<b>②【CO<sub>2</sub>分離回収技術】</b> 高炉ガスからCO <sub>2</sub> 排出量約 <b>20%</b> 削減する技術を確立する	<ul style="list-style-type: none"> <li>高性能な化学吸収液、物理吸着剤を開発、パイロットプラント試験を通じてCO<sub>2</sub>分離回収効果を実証。</li> <li>高性能な排熱回収熱交換器を開発。</li> </ul> これらにより、高炉ガスからCO <sub>2</sub> 20%削減と分離回収コスト≤2,000円/t-CO <sub>2</sub> 達成の見通しを得た。	<ul style="list-style-type: none"> <li>吸収液の性能向上により、分離回収エネルギー-1.6GJ/t-CO<sub>2</sub>達成への目途を得て、分離回収コスト≤2,000円/t-CO<sub>2</sub>の技術確度を高める。</li> <li>熱交換器付着物を効率よく除去することで、熱交換性能の維持を図り、実用に耐える熱交換器システムを構築する。</li> </ul>

## ◆プロジェクトの実施内容：①水素活用還元技術

### ①-1 SG1：鉄鉱石還元への水素活用技術, SG6：試験高炉によるプロセス評価技術



SG1:プロセスシミュレーション SG6:試験高炉試験

実用化に向けて、**10%CO<sub>2</sub>低減操作の選択肢拡大** (水素活用技術拡充)を目的として、**羽口からの水素投入量および原料反応性の影響を見極める**試験を実施する。

### ①-2 SG7：実高炉部分検証によるプロセス技術開発

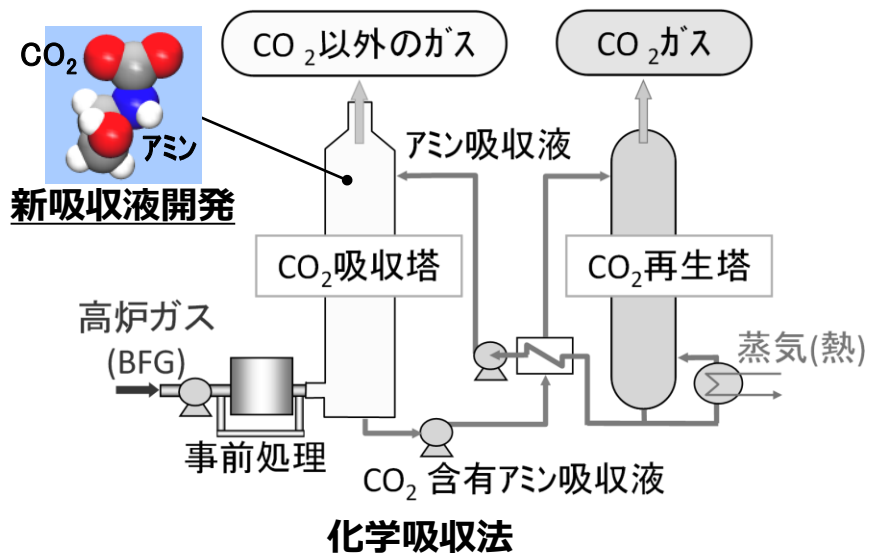
COURSE50高炉の基盤技術である**実炉を用いた水素系ガス全周羽口吹込み試験**を行い、CO<sub>2</sub>削減効果、操業性等を検証・評価し、実機化に向け、技術の適合性を確認する。

### ①-3 SG3：高性能粘結材製造技術開発 (COURSE50高炉用コークス製造技術)

COURSE50高強度コークス用の**高性能粘結材(HPC)製造スケールアップ試験**を行い、工業的製造技術確立に資する。

◆プロジェクトの実施内容：②CO<sub>2</sub>分離回収技術

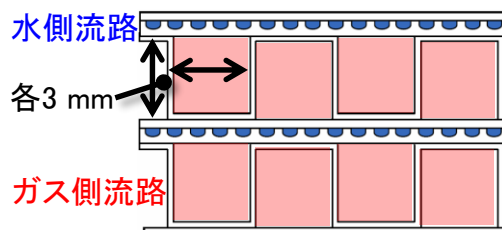
②-1 SG4：CO<sub>2</sub>分離回収技術



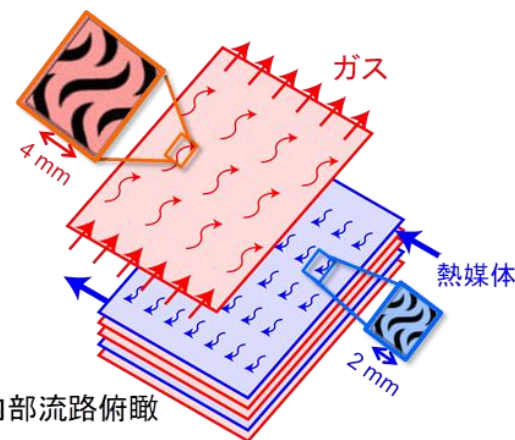
**新吸収液開発により**、化学吸収法の熱量原単位の極限低減を図り、理論限界に肉薄する**1.6 GJ/t-CO<sub>2</sub>**を達成し、**2,000円/t-CO<sub>2</sub>のコスト目標確保**の技術確度を向上させる。

②-2 SG5：未利用排熱回収技術

熱交換器伝面に対する異物付着対策により**長期に渡って目標伝熱性能を維持** (温度効率平均値 $\geq 0.66$ ) **可能な熱交換器および熱回収システム**を構築する。



マイクロ熱交換器断面図



内部流路俯瞰

## ◆プロジェクト中間目標の達成状況と研究成果の意義

研究開発項目	中間目標	成果	達成度
①【水素活用還元技術】 研究開発項目(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.	実用化に向けて高炉の水素活用還元技術の選択肢拡大のため、常温水素系ガスの羽口吹込み単独操作で、約10%のCO <sub>2</sub> 削減が達成可能であることを実験(試験高炉)と理論(数学モデル)の両面から実証した.	○
②【CO <sub>2</sub> 分離回収技術】 研究開発項目(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事で、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO <sub>2</sub> 達成への目途を得る.	・理論限界に近い分離回収所要エネルギー-原単位を目指し、新吸収液開発に着手し、ラボ連続試験装置においてこれまでの最高性能のエネルギー-原単位1.63GJ/t-CO <sub>2</sub> を達成した。 ・実排ガスの性状調査により、耐久性を考慮した排熱回収設備構成を提示した.	○



## ◆プロジェクトの最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
<p>①【水素活用還元技術】</p> <p>研究開発項目(a) 高炉からのCO<sub>2</sub>排出削減技術開発</p>	<p>実用化に向けて高炉の水素活用還元技術の選択肢拡大のため、常温水素系ガスの羽口吹込み単独操作で、12%のCO<sub>2</sub>削減が達成可能であることを実験(試験高炉)と理論(数学モデル)の両面から立証し、高炉からのCO<sub>2</sub>排出削減量約10%達成の見通しを得た。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高炉からのCO<sub>2</sub>排出約10%減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。</li> <li>・高炉の実機部分確性「全周羽口吹込み」試験は上記CO<sub>2</sub>削減技術開発の状況をみながら、フェーズⅡ-STEP2の開始以降に行い、上記目標達成に資する。</li> </ul>	<p>試験高炉を継続活用した実機適合技術の開発により、最終目標を達成できる見込み。</p>
<p>②【CO<sub>2</sub>分離回収技術】</p> <p>研究開発項目(b) 高炉ガス(BFG)からのCO<sub>2</sub>分離回収技術開発</p>	<p>新吸収液を開発し、ラボ連続試験において、熱量原単位1.63 GJ/t-CO<sub>2</sub>に到達し、最終目標達成の目途を得た。</p>	<p>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>を達成し、CO<sub>2</sub>排出削減量約20%の技術に資する。</p>	<p>新吸収液で既に達成目途を得ており、更なる組成最適化や触媒添加等により、最終目標を達成できる見込み。</p>

## ◆SG1:鉄鉱石還元への水素活用技術 中間目標の達成状況と研究成果の意義

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
SG1全体	試験高炉操業の設計・解析を通じて、高炉からのCO <sub>2</sub> 排出削減量▲10%の見通しを得る	・試験高炉の送風・装入諸元設計と操業解析、還元ガス・微粉炭の燃焼安定性評価により、高炉からのCO <sub>2</sub> 排出削減量▲10%の見通しを得た	○	
1.水素活用プロセス解析技術	高炉3次元数学モデルによる試験高炉の操業諸元設計を行う  同モデルにより、試験高炉操業を解析し、高炉からのCO <sub>2</sub> 排出削減量▲10%達成の見通しを得る	・左記モデルを用いて、試験高炉操業諸元を事前設計(第5,6,7,8回)  ・左記モデルを用いて、試験高炉操業諸元を解析(第5,6,7回)し、モデルのシミュレーション精度の妥当性を確認  ・常温H <sub>2</sub> 吹込みにより、高炉からのCO <sub>2</sub> 排出▲10%達成の見通しを得た	○	
2.高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査	羽口内燃焼計算モデルによる還元ガス吹き込み量が羽口等の設備や燃焼安定性へ及ぼす影響の評価  実高炉対象のレースウェイ数値モデルによる、還元ガス吹き込みが微粉炭・還元ガス燃焼挙動へ及ぼす影響の解明	・羽口内燃焼計算モデルを用いて、還元ガス吹き込み量が羽口等の設備や微粉炭・還元ガス燃焼性におよぼす影響を評価  ・実高炉対象のレースウェイ数値モデルを作成し、還元ガス吹き込みが微粉炭・還元ガス燃焼挙動へ及ぼす影響を評価	○	

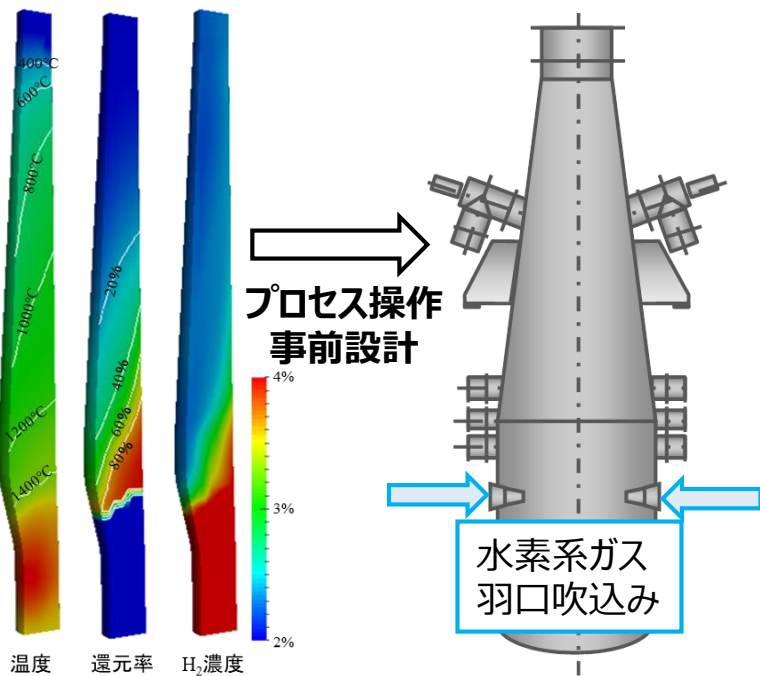
◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達



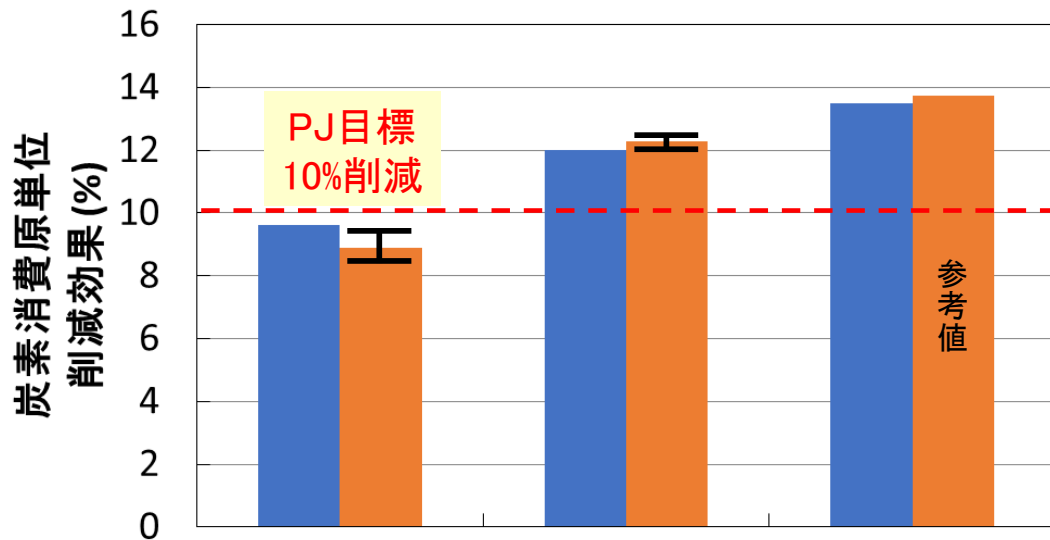
### ◆SG1:鉄鉱石還元への水素活用技術 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
SG1全体	試験高炉の送風・装入諸元設計と操業解析、還元ガス・微粉炭の燃焼安定性評価により、高炉からのCO <sub>2</sub> 排出削減量▲10%の見通しを得た	高炉からのCO <sub>2</sub> 排出削減▲約10%の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る	開発モデルのシミュレーション技術により、CO <sub>2</sub> 削減効果を精度よく予測することにより達成できる見込み
1.プロセス解析技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>高炉3次元数学モデルを用いて、試験高炉操業諸元を事前設計(第5,6,7,8回)した。</li> <li>上記モデルを用いて、試験高炉操業諸元を解析(第5,6,7回)し、モデルのシミュレーション精度の妥当性を確認。</li> <li>常温H<sub>2</sub>吹込みにより、高炉からのCO<sub>2</sub>排出▲10%達成の見通しを得た。</li> </ul>	高炉数学モデルを用いて、高炉からのCO <sub>2</sub> 排出削減▲約10%の実現性評価	高炉数学モデルにより、CO <sub>2</sub> 削減効果に及ぼす操業操作の影響を精度よく予測することにより、最終目標を達成できる見込み
2.羽口複合吹込み技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>羽口内燃焼計算モデルを用いて、還元ガス吹込み量が羽口等の設備や微粉炭・還元ガス燃焼性におよぼす影響を評価</li> <li>実高炉対象のレースウェイ数値モデルを作成し、還元ガス吹き込みが微粉炭・還元ガス燃焼挙動へ及ぼす影響を評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>羽口内燃焼計算モデルを用いて、各種送風条件が羽口等の設備や微粉炭・還元ガス燃焼性におよぼす影響を評価</li> <li>レースウェイ数値モデルを用いて、各種送風条件が微粉炭・還元ガス燃焼挙動におよぼす影響を評価</li> </ul>	モデル解析を通じた各種送風操作の効果を評価することにより達成できる見込み

◆ SG1:鉄鉱石還元への水素活用技術 検討成果と意義



■ 高炉数学モデル事前設計結果 ■ 試験高炉操業実績



常温水素系ガス吹込み量増

高炉3次元数学モデルと試験高炉操業による炭素削減効果

試験高炉操業解析により、高炉からのCO<sub>2</sub>排出▲10%達成の見通しを得た。  
 今後、実機適合性を踏まえた還元ガス吹込み量、還元ガス種の検討を行う。

## ◆SG6:試験高炉によるプロセス評価技術 中間目標の達成状況と研究成果の意義

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
SG6: 試験高炉 によるプロセス 評価技術	試験高炉操業により、 試験高炉規模で高炉 からのCO <sub>2</sub> 排出削減 量10%達成の見通し を得る。	実用化に向け、高炉の水素 活用還元技術の選択肢 拡大のため、試験高炉で 常温水素系ガスの羽口 吹込み操業を行った結果、 高炉からのCO <sub>2</sub> 排出削減量 <u>12%のCO<sub>2</sub>削減を達成</u> した。	◎  (2%過達のため、 過達と評価)	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み（中間）／一部達成（事後）、×未達

### ◆SG6:試験高炉によるプロセス評価技術 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
SG6: 高炉からのCO <sub>2</sub> 排出量 削減技術開発	試験高炉操業における 常温水素の羽口吹込 操業結果より、高炉から の排出CO <sub>2</sub> 削減量10% の見通しを得た。	試験高炉操業により、 試験高炉規模で高炉 からのCO <sub>2</sub> 排出削減量 約10%達成の実機適合 化技術の見通しを得る。	高温水素系ガスの羽口 吹込操業により、試験 高炉からの排出CO <sub>2</sub> 削減10%のための課題を 見極め、実機適合化 技術を達成見込み。

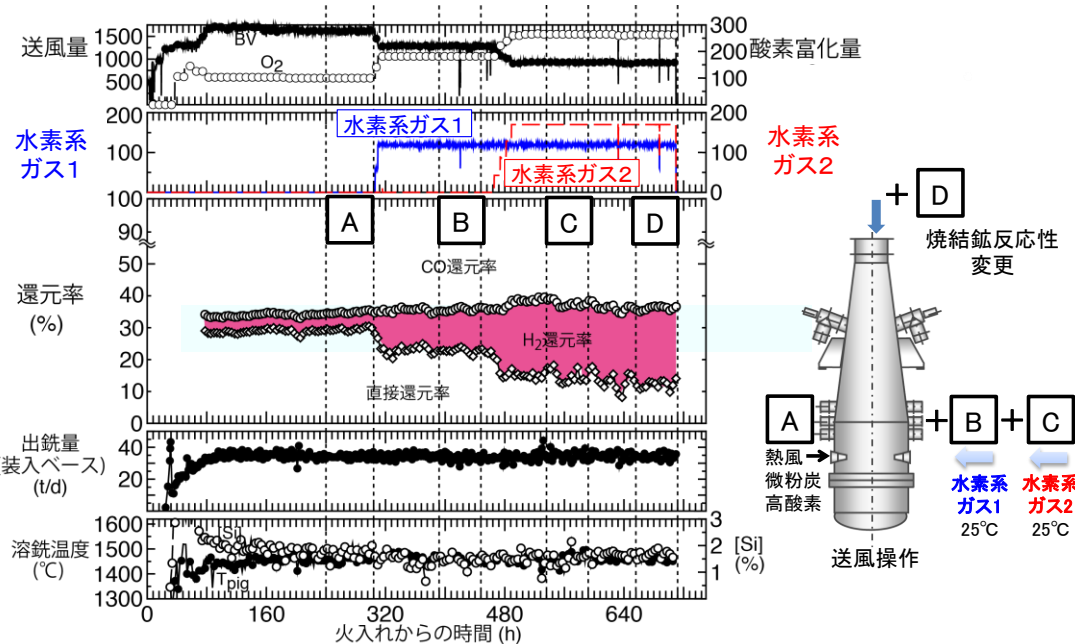
# ◆SG6:試験高炉によるプロセス評価技術 検討成果と意義

**【研究開発概要】** 12m<sup>3</sup>試験高炉を用いて、実機適用性の観点から、水素還元の効果を最大限に享受する高炉プロセス操作を見極めるため、水素系ガスを主体とする還元ガス吹き込み操作と装入原料の被還元性操作等とを組み合わせた総合最適化操業を行い、試験高炉規模で高炉からのCO<sub>2</sub>排出削減量約10%の高炉プロセス操作を確立する。



12m<sup>3</sup> 試験高炉  
(生産速度34t/d)

出鉄状況 (溶銑温度: 1473℃)



試験高炉外観

試験高炉操業結果(水素系ガス羽口吹き込み操業例)

日本製鉄(株) 東日本製鉄所君津地区構内(敷地面積3200m<sup>2</sup>)

A:ベース操業から、B:羽口水素系ガス1吹き込み ⇒ C:羽口水素系ガス1+水素系ガス2同時吹き込みにより、水素投入量を増加 ⇒ 狙い通り、水素還元の上昇と炭素還元(直接還元率)の低下を確認。

## ◆SG7:実高炉部分検証によるプロセス技術開発 中間目標の達成状況と研究成果の意義

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
SG7: 実高炉部分検証によるプロセス技術開発	実高炉を用いた水素系ガス「全周羽口吹込み試験」の設計を行い、製作に着手する。	高炉2基を有する製鉄所を前提に事前エンジニアリングを実施し、CO <sub>2</sub> 削減効果及び実機化に必要な設備構成・概算コストを把握した。	× (計画変更のため)	実機部分検証については、事前エンジニアリング結果を基に、設計等を進めつつ、試験高炉の開発状況を見ながら試験時期については再検討する。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み（中間）／一部達成（事後）、×未達

◆SG7:実高炉部分検証によるプロセス技術開発 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (2023年度以降)	達成見通し
SG7: 実高炉部分検証によるプロセス技術開発	実機試験に向け、高炉2基を有する製鉄所を前提に事前エンジニアリングを実施し、CO <sub>2</sub> 削減効果及び実機化に必要な設備構成・概算コストを把握した。	実高炉を用いた水素系ガス「全周羽口吹込み試験」を実施し、高炉からのCO <sub>2</sub> 排出量約10%達成に資する。	鉄鉱石還元への水素活用技術の開発ならびに試験高炉によるプロセス技術開発の開発状況をみながら、 <b>フェーズⅡ-STEP2開始(2023FY)以降に実施し、目標達成を目指す。</b>



◆SG3:高性能粘結材製造技術開発(COURSE50高炉用コークス製造技術)  
中間目標の達成状況と研究成果の意義

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と 解決方針
SG3: 高性能粘結材 製造技術の開発	高性能粘結材粘度推算式 の導出(精度向上)	商業機にて想定される最大温度、滞留時間数分範囲で、熔融HPCは粘度変化を示さないことを確認し、温度、溶剤含有率と粘度の関係式を導出した。	○	HPC原料炭種変動によるHPC粘度の影響を把握する。
	熔融粘結材連続移送・排出装置の試運転による移送・排出性能の確認	製作した装置は、安定して熔融HPCを移送、排出できることを確認した。供給HPC溶剤濃度に対し、排出HPCの溶剤濃度は十分低い濃度まで低減できることを確認した。	△ (2021年 2月)	溶剤回収性能向上の検討を進め、排出HPCの溶剤含有率目標値を達成するための条件を20年度中に決定する。

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達

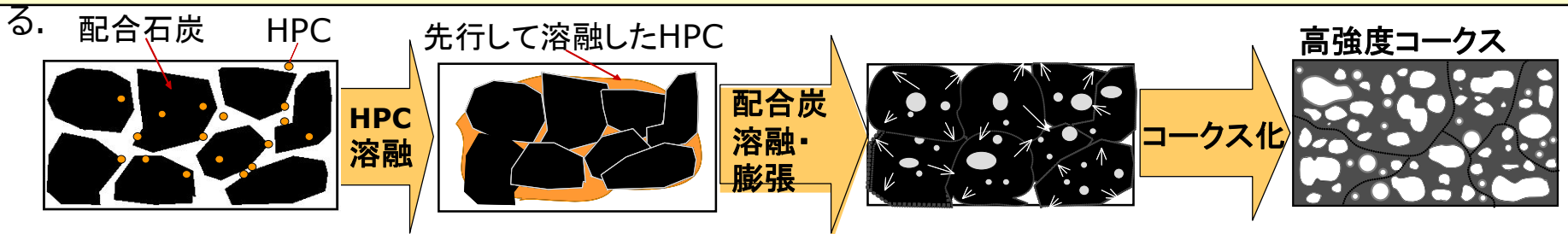


### ◆SG3:高性能粘結材製造技術開発(COURSE50高炉用コークス製造技術) 成果の最終目標の達成可能性

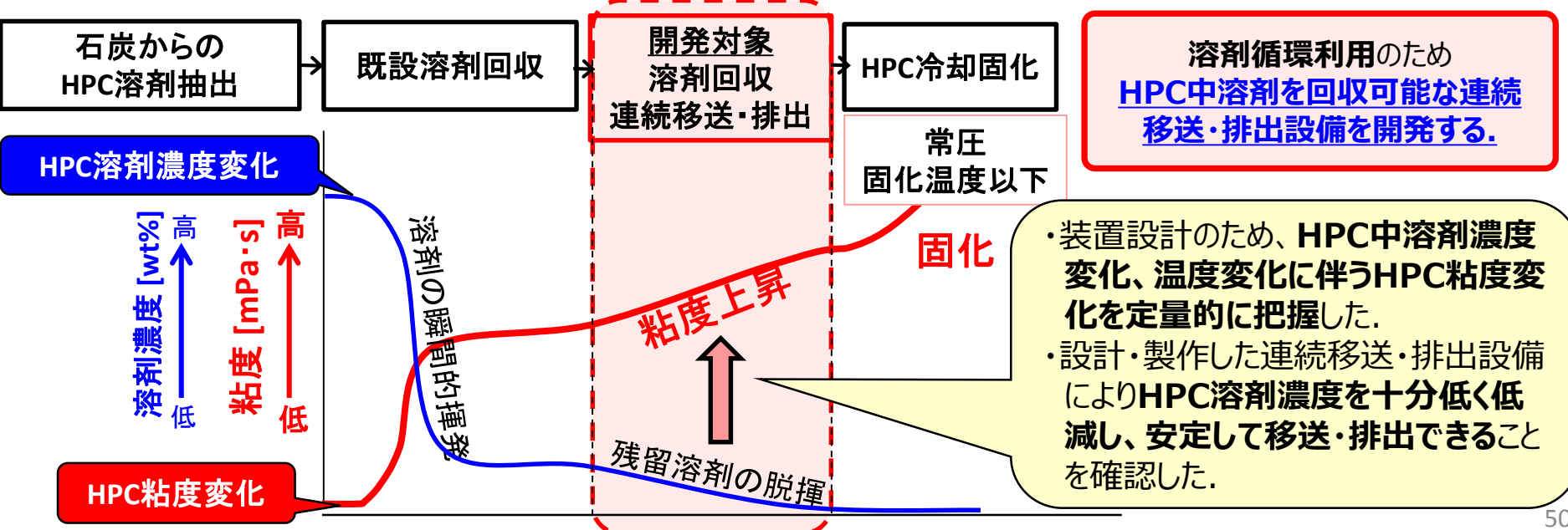
研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
<b>高性能粘結材製造技術の開発</b>			
神戸製鋼所: ①高性能粘結材粘度推算式の導出(精度向上) ②溶融粘結材連続移送・排出装置の試運転による移送・排出性能の確認	①温度、溶剤含有率と粘度の関係式を導出した。 ②移送・排出性能および溶剤回収能力を確認し、20年度末までに目標とする溶剤回収性能を達成する見込み。	高性能粘結材の安定した移送・排出を実現する溶融粘結材移送・排出装置、プロセスの実証と溶剤回収条件の最適化	溶融HPC粘度の温度、溶剤含有率による変化については推算式を導出できた。溶融HPCの移送・排出装置の移送・排出性能が確認できた。溶剤の回収も供給時の溶剤濃度から十分低い濃度まで低減できることを確認できており、装置内での溶融HPC滞留条件、溶剤回収脱揮条件を最適化することより、目標濃度までの安定した溶剤回収性能と移送・排出性能を有する装置およびプロセスの実証、最適化を達成できる見込み。
北海道大学:プロセス因子が、溶融HPCの粘度、分子運動性に与える影響を把握する	溶剤回収工程加熱条件で分子運動性は温度に対して可逆性を示し、物性変化を示さない事が分かった。		
京都大学:分子量分布、化学構造変化と溶融HPC粘度の関係性を把握する	溶剤回収工程で想定される最大温度で処理したHPCは分子構造に変化が認められないことを把握した。		

◆SG3 :高性能粘結材製造技術開発(COURSE50高炉用コークス製造技術) 検討成果と意義

●SG3技術開発 (HPC製造技術開発) の狙い :  
 COURSE50高炉(低還元材比)に必要な高強度コークス製造に必要なHPC(高性能粘結材)を開発す



●フェーズII技術開発の狙い :  
 水素還元高炉操業に対応できる品質のコークス製造に必要となる、HPC製造プロセスの **スケールアップ技術開発を推進し**、HPCの工業的製造技術を確立する。



### ◆SG4:CO<sub>2</sub>分離回収技術 中間目標の達成状況と研究成果の意義

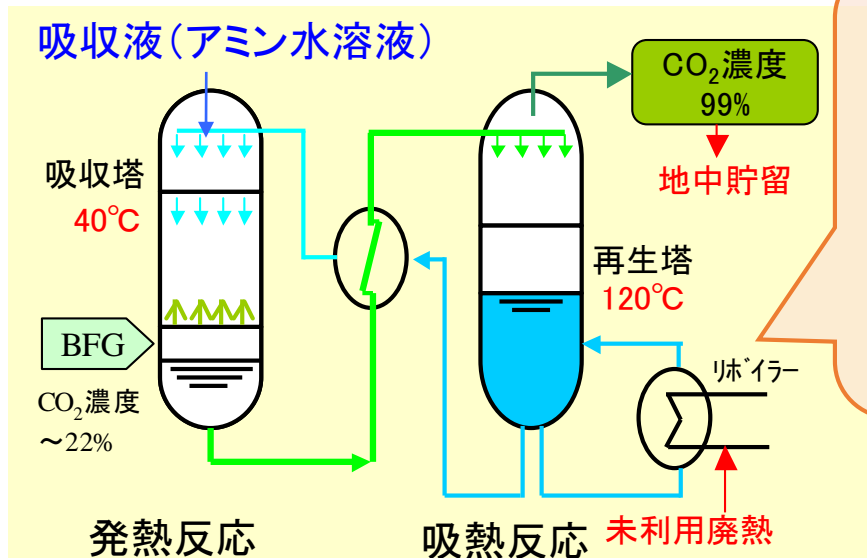
研究開発項目	目標	成果	達成度
SG4: 高性能吸収液 の開発	分離回収エネルギー改善としての、吸収形態改善と分極影響の緩和の両技術の改善に新規技術を見出すとともに、実用性の評価も行うことにより、分離回収エネルギー1.6 GJ/t-CO <sub>2</sub> 達成への目途を得る。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安価で高性能の混合溶媒系3吸収液を開発し、CAT-LAB連続試験において、これまでの最高性能である熱量原単位1.63 GJ/t-CO<sub>2</sub>を達成した。</li> <li>・当該吸収液は、消防法上の非危険物であり、RN-1吸収液と同程度に低腐食性であるため、実用性も高いと期待できる。</li> <li>・新規の吸収促進触媒について、RN-1吸収液への添加効果をCAT-LABにより評価し、分離回収エネルギーの5～10%低減を確認した。</li> </ul> 論文5件、特許2件	○

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み（中間）／一部達成（事後）、×未達

### ◆SG4:CO<sub>2</sub>分離回収技術 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
SG4: 高性能吸収液 の開発	新規の混合溶媒系吸収液を開発し、CAT-LAB連続試験において、熱量原単位1.63GJ/t-CO <sub>2</sub> に到達、最終目標達成の目途を得た。	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を指向し、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。	新規の混合溶媒系吸収液で既に達成目途を得ており、更なる組成最適化や触媒添加等により、最終目標を達成できる見込み。

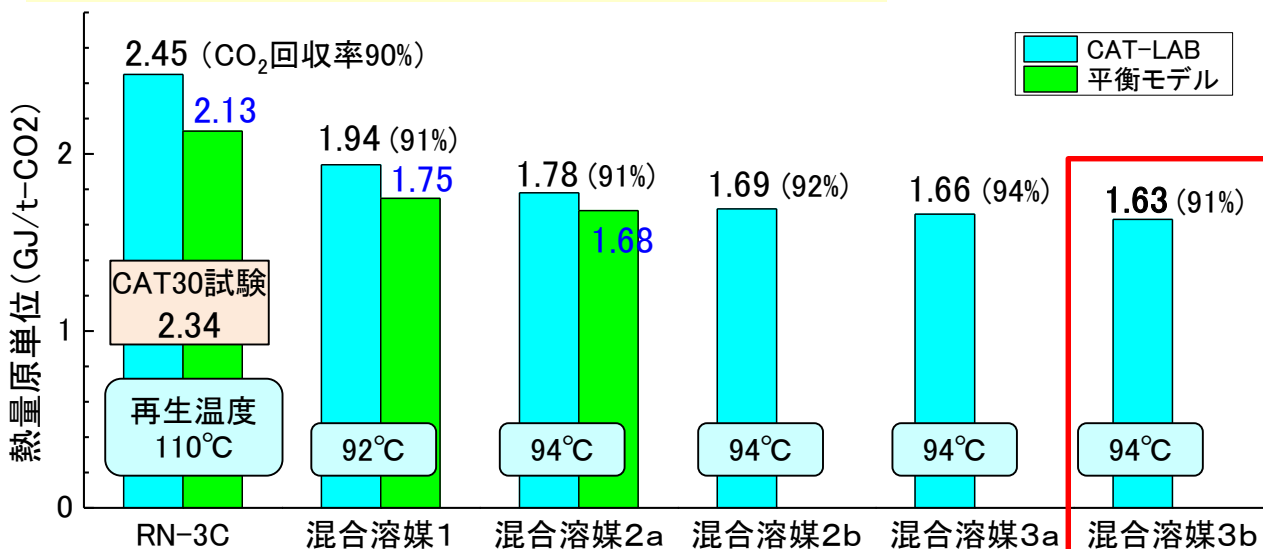
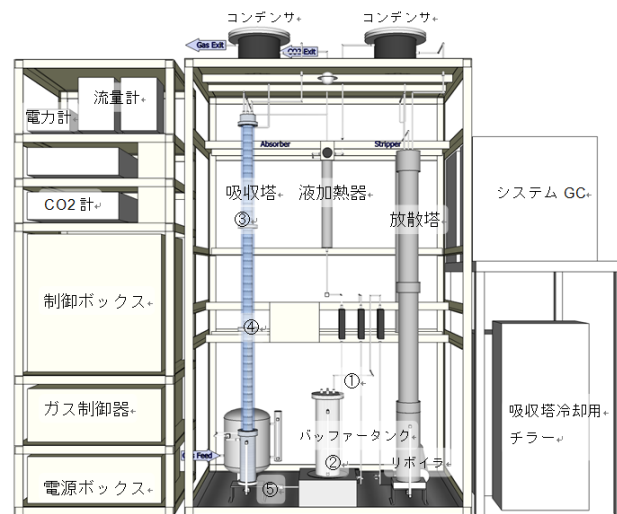
### ◆SG4:CO<sub>2</sub>分離回収技術 検討成果と意義



【狙い】  
 吸収液の特性改善により、  
 分離回収エネルギーを大幅に  
 低減し、分離回収コストを  
 削減する。

CAT-LAB:小型連続試験装置

CO<sub>2</sub>処理能力: 5kg/d



混合溶媒系新吸収液を開発し、最終目標達成への  
 目途を得た。  
 ⇒中間目標達成。

シミュレーション検討による高性能発現要因の明確化  
 (2020年度)

### COURSE50における新吸収液の開発推移

### ◆SG5:未利用排熱回収技術 中間目標の達成状況と研究成果の意義

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
高性能熱交開発	実証試験における熱交換器基本仕様を提案する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 製作コストを低減し、社会実装を進めることを目的として、長期性能実証試験に用いる熱交換器の形状検討を数値解析により行った。</li> </ul>	○	高温化・耐圧仕様の熱交換器について試作し性能評価を行う。
性能を長時間維持可能な熱回収システムの検討	実証試験における熱回収システムを決定する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 製鉄所実排ガスの詳細な分析を行い、熱交伝面に付着した物質の特定を進めた。</li> <li>● 熱交伝面温度を上昇させることで付着量が大きく低減する可能性をラボ試験により示した。</li> <li>● 製鉄所実排ガスを用いて長期性能評価を行うための試験装置を設計・製作した。</li> </ul>	△ (2021年3月達成予定)	製鉄所実排ガスを用いた評価を行い、実証試験設備を検討する。

◎ : 大きく上回って達成, ○ : 達成, △ : 達成見込み (中間) / 一部達成 (事後) , × : 未達

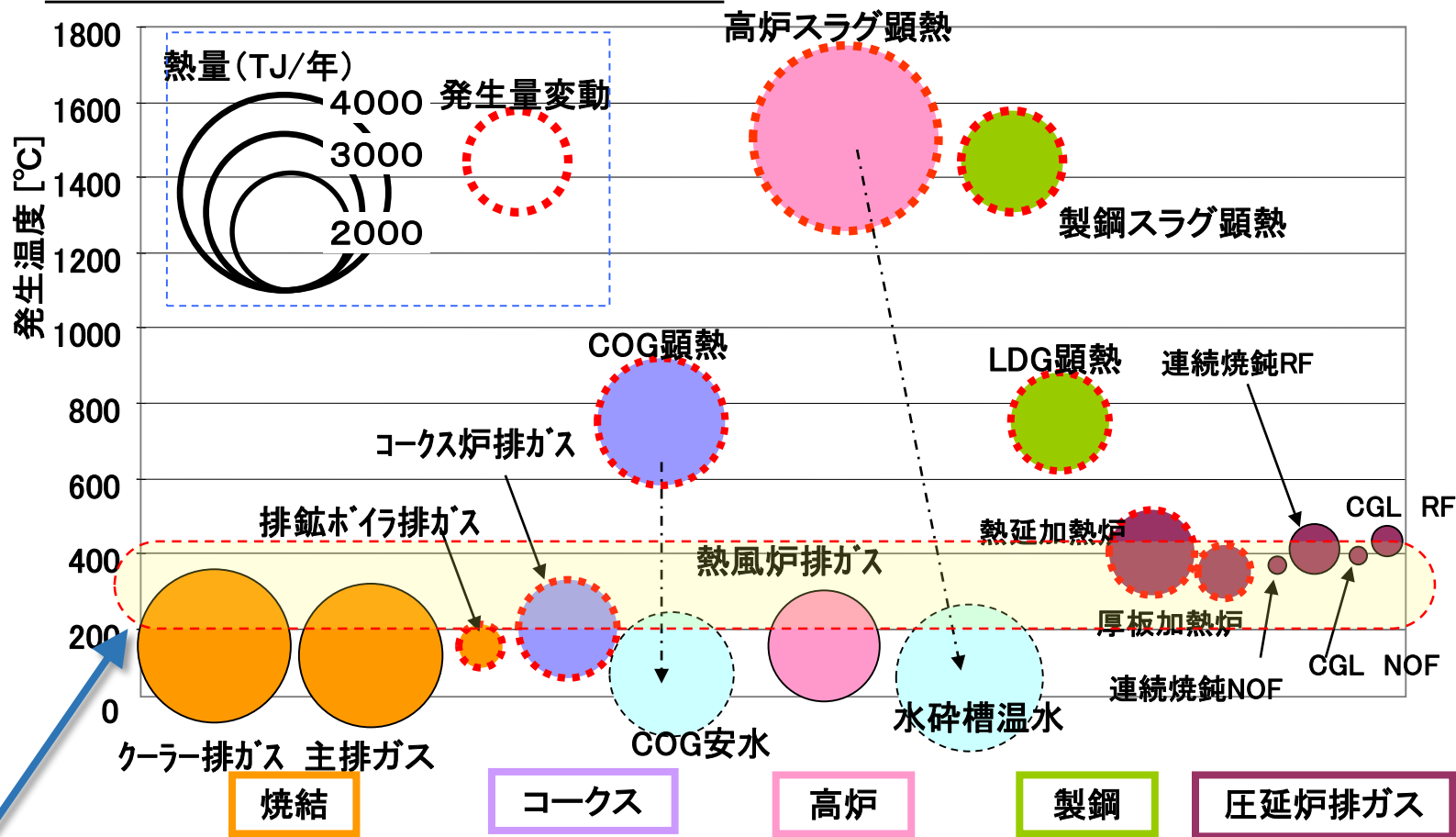
### ◆SG5 :未利用排熱回収技術 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
高性能熱交開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 製作コストを低減し、社会実装を進めることを目的として、長期性能実証試験に用いる熱交換器の形状検討を数値解析により行った。</li> </ul>	排熱回収用熱交換器の実機スペックを明確化する。	加圧水を適用可能で、目標性能を満たす排熱回収用の熱交換器の試作および評価を行う。
性能を長時間維持可能な熱回収システムの検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 製鉄所実排ガスの詳細な分析を行い、熱交伝面に付着した物質の特定を進めた</li> <li>● 熱交伝面温度を上昇させることで付着量が大きく低減する可能性をラボ試験により示した。</li> <li>● 製鉄所実排ガスを用いて長期性能評価を行うための試験装置を設計・製作した</li> </ul>	製鉄所実排ガスによる熱交換の実証実験を行い、平均温度効率66%にて耐久性700時間を達成可能な熱回収システムを提案する。それを踏まえて排熱回収コストを算出する。	製鉄所実排ガスを用いた長期間の実証試験を行う。



◆SG5:未利用排熱回収技術 検討成果と意義

モデル製鉄所で利用可能な排熱 モデル製鉄所(生産量:800万t-粗鋼/年)

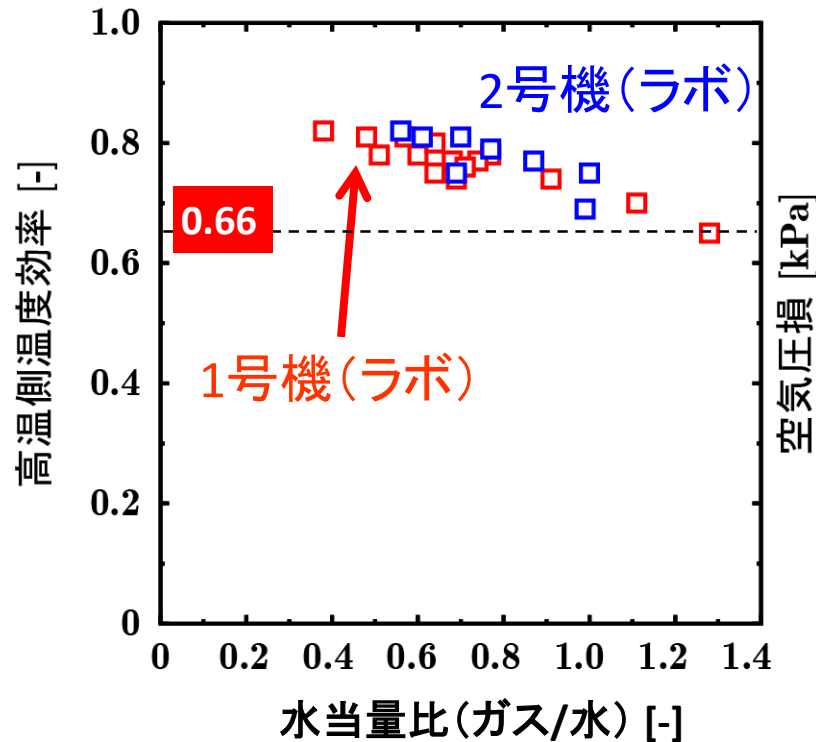


現在は大気放散されている200~400 °C程度の排熱を回収し、CO<sub>2</sub>化学吸収プロセスにおける熱源等で活用

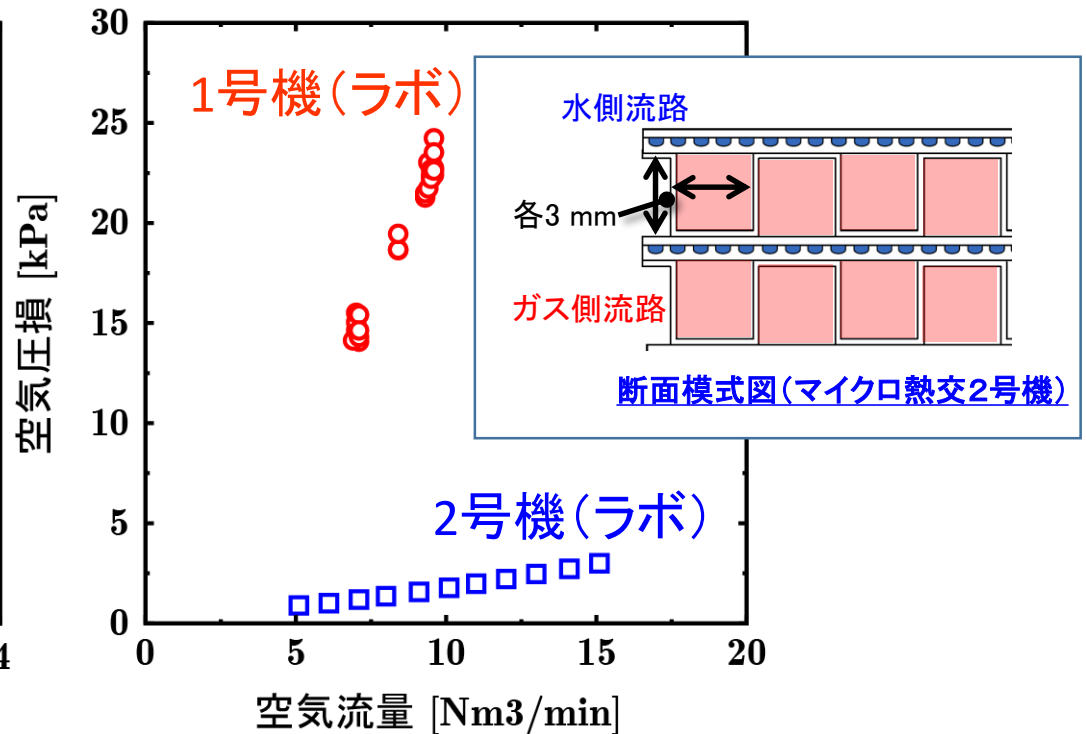


◆SG5:未利用排熱回収技術 検討成果と意義

(熱交性能指標) 温度効率



ガス圧力損失



- 前述の熱回収を行うための必要条件である、**温度効率0.66を達成する熱交換性能**を有する熱交換器を試作できた。
- 圧力損失は1号機と比較して2号機では大きく低下**(約1/10)**。

高温度効率且つ低圧損を実現できる高性能マイクロ熱交換器を見出した

### ◆SG8:全体プロセスの評価・検討 中間目標の達成状況と研究成果の意義

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
SG8: 全体プロセス 評価・検討	<p>・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。</p> <p>・特に、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。</p>	<p>・粗鋼生産量800万トン/年のモデル製鉄所を前提に、製鉄所全体の物質・エネルギー収支モデルを用いて、<u>試験高炉で開発中の各種水素系ガス吹込み技術の高炉適用時のCO<sub>2</sub>削減効果を解析した結果、CO<sub>2</sub>分離回収技術導入によるCO<sub>2</sub>削減20%と併せると製鉄所全体でPJ目標約30%削減可能との見通しを得た。</u></p> <p>・<u>2030年頃の実機1号機の実現性を技術的に最大化させるべく、より少ない水素で高炉10%CO<sub>2</sub>削減を実現する新たな要素技術開発方針を提示した。</u></p>	○	<p>日本鉄鋼連盟の長期温暖化対策ビジョンの水素還元開発構想を踏まえ、<u>水素活用技術開発</u>については2020FY以降、<u>試験高炉を継続活用した実機適合化開発(水素使用量低減技術)</u>に注力すると共に、<u>実機部分検証は、設計等を進めつつ、試験高炉の開発状況を見ながら試験時期については再検討する。</u></p>

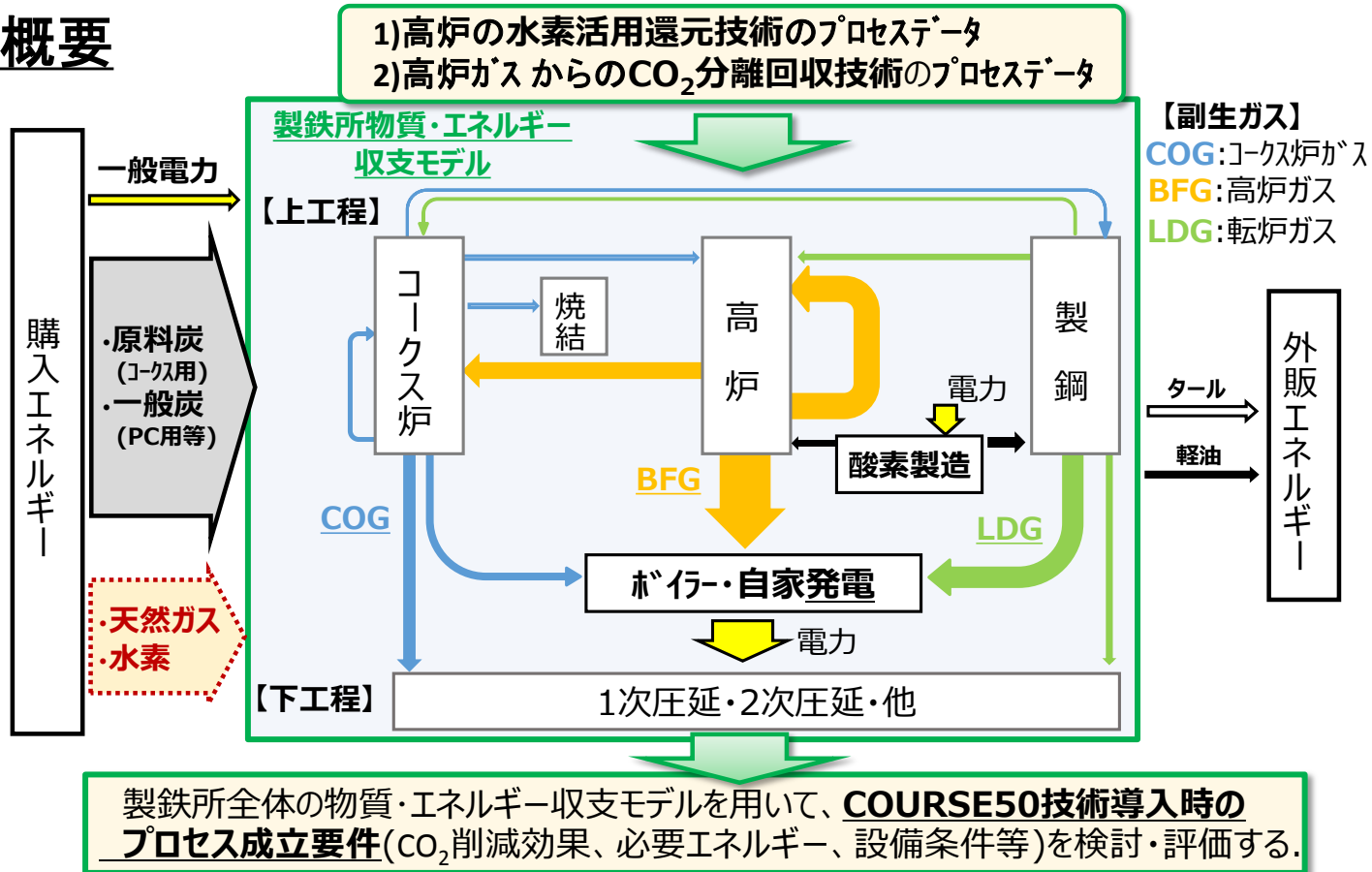
◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み（中間）／一部達成（事後）、×未達

### ◆SG8:全体プロセスの評価・検討 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標	達成見通し
SG8: 全体プロセス 評価・検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試験高炉で開発中の COURSE50 高炉を製鉄所に適用すれば、高炉からの CO<sub>2</sub> 排出10%と高炉ガスからの CO<sub>2</sub> 分離回収20%の計30%削減は可能であるとの見通しを得た。</li> <li>・高炉からの CO<sub>2</sub> 削減技術開発については、2030年頃の実機1号機の実現性を技術的に最大化させるべく、2020年度以降も試験高炉を継続活用した実機適合化開発(水素使用量低減技術)に注力する開発方針変更を行った。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・特に、プロジェクト最終動向についての、総合的な判断を行う。</li> </ul>	これまでの COURSE50 開発で獲得した、また、今後の開発で得られる各サブテーマのプロセス諸元・設備条件に基づく製鉄所プロセス全体の最適化検討と試験高炉を継続活用した実機適合化開発により、最終目標を達成できる見込み。

◆SG8 : 全体プロセスの評価・検討 検討成果と意義

実施概要



製鉄所全体の物質・エネルギー収支モデルを用いて、試験高炉で開発中の各種水素系ガス吹込み技術の高炉適用時のCO<sub>2</sub>削減効果を解析した結果、CO<sub>2</sub>分離回収技術導入によるCO<sub>2</sub>削減20%と併せると製鉄所全体でPJ目標約30%削減可能との見通しを得た。

◆事業全体の成果の普及

	2018 年度	2019 年度	計
論文	7	4	11
研究発表・講演	77	60	137
受賞実績	0	0	0
新聞・雑誌等への掲載	1	1	2
展示会への出展	0	1	1

※2020年3月31日現在

◆事業全体の知的財産権の確保に向けた取り組み

	2018 年度	2019 年度	計
特許出願 (うち外国出願)	4 (1)	6 (1)	10件

( )内は外国出願件数

※2020年3月31日現在

## ◎本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

実用化とは、本事業の成果である水素活用還元、高性能粘結材を活用した高炉、及び未利用排熱技術を活用した高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離回収技術により、製鉄所からのCO<sub>2</sub>排出量の削減を実現する事である。

事業化とは、上記技術が製鉄事業に組み込まれる事である。

## ◆成果の実用化・事業化に向けた戦略

### 【成果の実用化・事業化の戦略】

- ・水素高炉：フェーズⅡでの実証終了後、2030年ごろの商業1号機の建設に向けて、具体的なエンジニアリングを行う。
- ・CO<sub>2</sub>分離回収：高炉以外での実用化を進めながら、製鉄所導入に向けたエンジニアリングを行う。
- ・コスト低減、経済性の確保のために本PJ計画変更（試験高炉研究継続、水素活用還元技術の深化による水素使用量低減）を行う。
- ・数学モデルの活用により、実証高炉(100t/d)を行わずに実証研究を推進することで、本PJ計画変更による実用化計画の遅延防止と開発費用の削減を図る。

### 【想定する市場の規模・成長性等】

- ・全世界の粗鋼生産の7割は高炉転炉法で作られている。昨今、水素還元技術の提案がなされているが、実用化は2050年以降であり、今後も、先進高炉技術（既存、製鉄所におけるCO<sub>2</sub>削減技術）の市場は存在する。

## ◆ 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

### 【実用化・事業化活動の実施者】

- ・本開発の成果は日本鉄鋼連盟を中心に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】

- ・本実証研究のマイルストーンに加えて、2030年ごろの商業1号機、2050年の国内普及を実用化・事業化に向けたマイルストーンとして検討を継続する。



## ◆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とCO<sub>2</sub>削減コストの低減であり、その解決（必要水素量低減など）を目指してPJの計画変更を実施した。

### 【研究成果のニーズと経済性の確保】

- ・水素還元などのゼロカーボン技術は開発期間が長期にわたるため、本成果は早期のCO<sub>2</sub>削減ニーズを満たすものである。
- ・本PJの計画変更（試験高炉研究継続、水素活用還元技術の深化）により、CO<sub>2</sub>削減コスト低減、経済性の確保を模索。（今後の鉱石・石炭・鋼材の価格動向、炭素税などの負担増、グリーン電力・水素価格の低下などを加味して、経済効果の最大化を検討。）

### 【波及効果】

- ・CO<sub>2</sub>分離回収技術は製鉄以外の分野で早期商用化を行っており、積極的な技術活用を行うことで、社会貢献に寄与している。