

**「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）」（事後評価）**

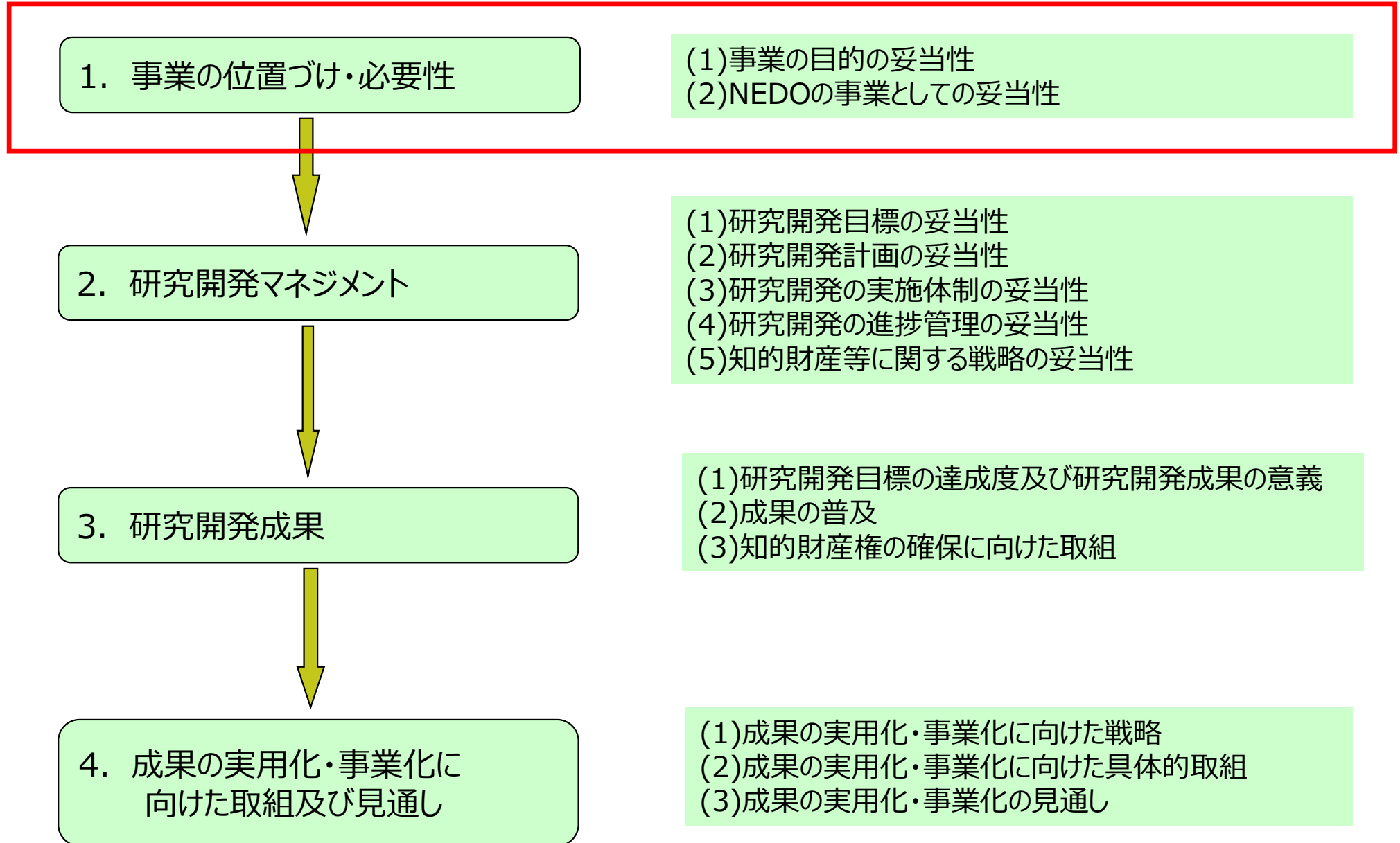
（2018年度～2022年度 5年間）

プロジェクトの概要 （公開）

NEDO

環境部

2022年12月23日

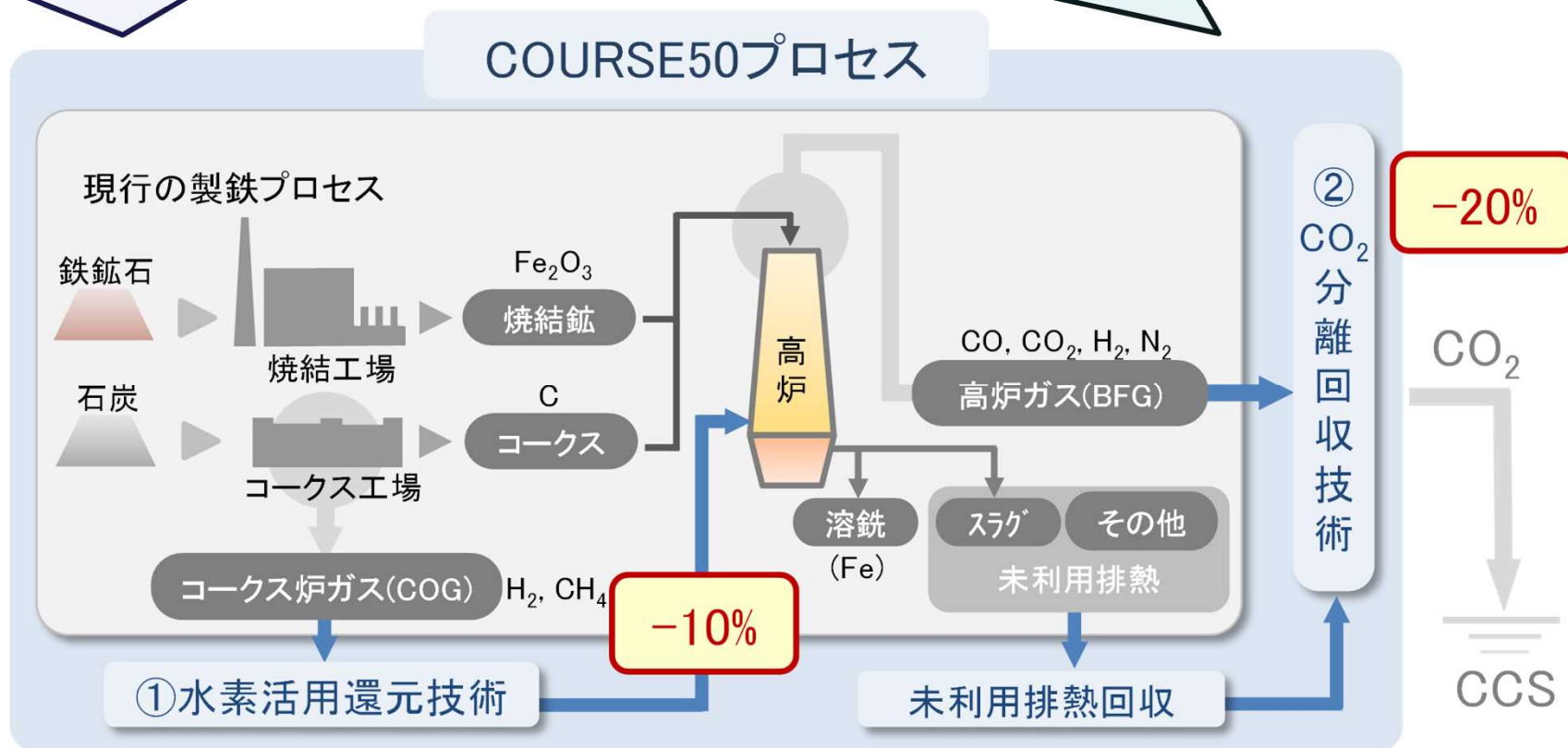


◆ 事業実施の背景と事業の目的

世界初の水素還元活用とCO₂分離回収によるCO₂排出量30%削減を目指す

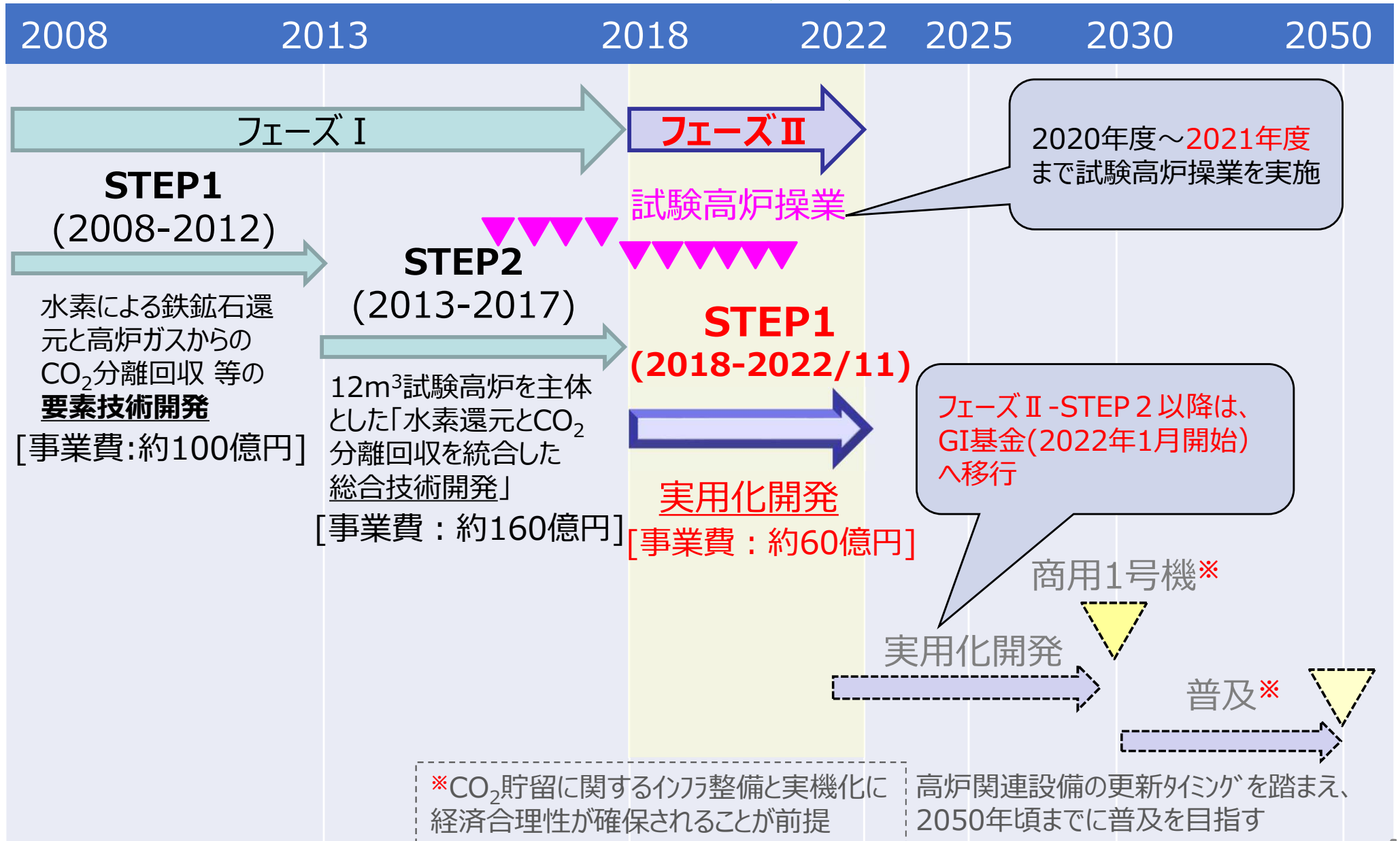
① **CO₂排出量削減技術開発**
 水素をコークスの一部代替として
 鉄鉱石を還元し、CO₂を10%削減

② **CO₂分離・回収技術開発**
 高炉ガスからCO₂を分離・回収し、
 CO₂を20%削減



◆事業の概略工程（変更後）

本事後評価の範囲（2021年度～2022年11月）



◆ 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CO₂排出抑制、省エネ技術の必要性

事業の目的

2030年の実用化開始を目指し、製鉄所における現状の全排出レベルと比較して総合的に30%のCO₂排出削減可能な技術を確立する。



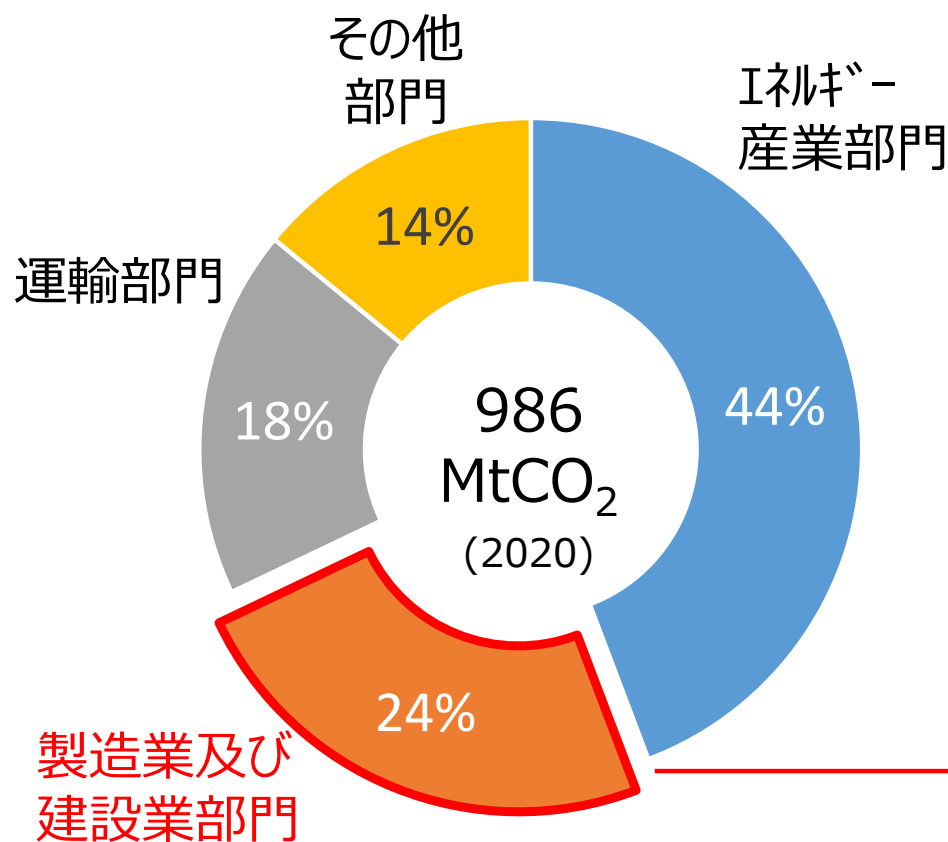
- 1) コークス改良、コークス炉ガス改質水素による鉄鉱石還元技術開発
- 2) 未利用排熱を活用した高炉ガスからのCO₂分離回収技術開発

参考

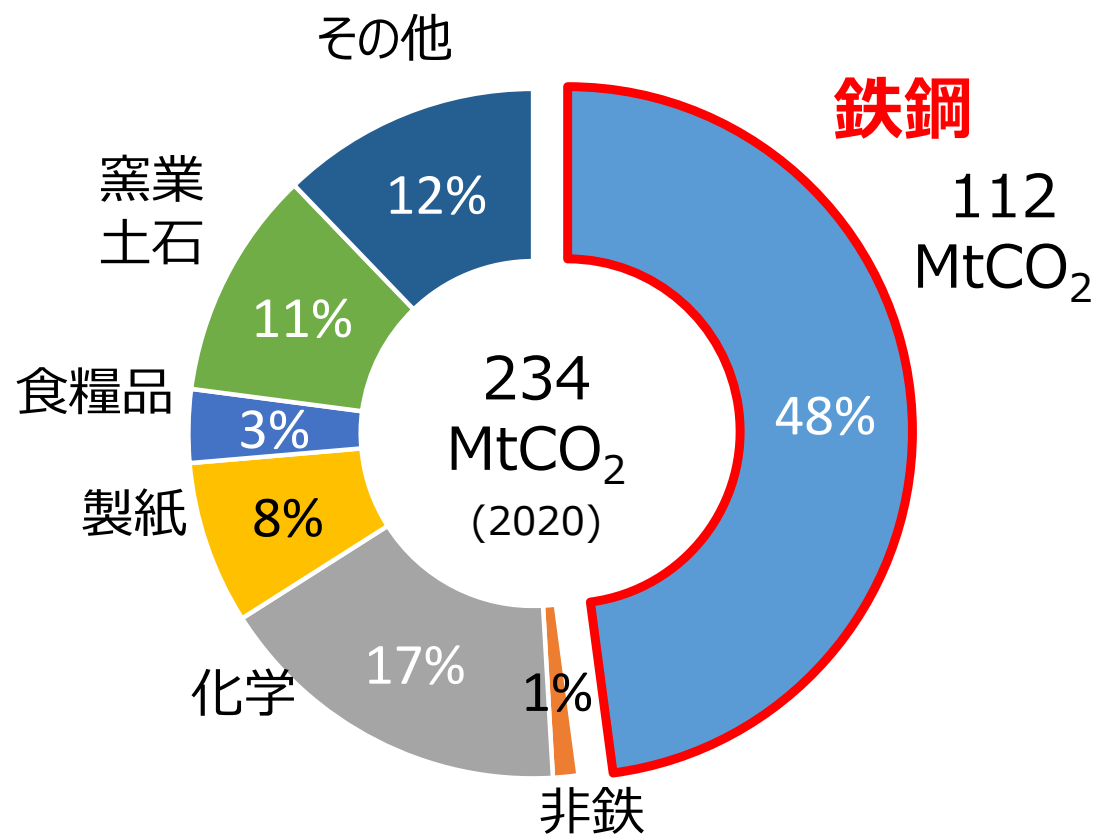
◆ 事業実施の背景と事業の目的

我が国のCO₂排出量の約12%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CO₂
排出量に占める各業種の割合



◆政策的位置付け

- **温室効果ガス排出量を2050年までに半減する長期目標実現に向けた**
 - ・「CoolEarth－エネルギー革新技术計画」(2008年3月)
 - ・環境安心イノベーションプログラム基本計画(2010年4月)
 - ・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）をうけ、**CO₂排出削減のための革新的な製鉄プロセス技術開発**として、**本事業を推進。**
- 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」（2018年6月）に基づき、今世紀後半のカーボンニュートラルを目指す「革新的環境イノベーション戦略」（2020年1月）が策定され、**高炉法による水素還元**が重要技術として位置づけられた。

◆政策的位置付け

- 日本政府による2050年カーボンニュートラルの宣言（2020年10月）により、カーボンニュートラル達成目標が今世紀後半から前倒し。
- 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を経済産業省が中心となり、関係省庁と連携して策定（2021年6月）、「グリーンイノベーション基金（GI基金）」をNEDOに創設。
 - ・重点分野のうちカーボンリサイクル・マテリア分野として「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた技術開発・実証を実施する。
- 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」（2021年10月）における水素還元製鉄にも合致。
- 本事業は、カーボンニュートラルの加速化に対応するためのGI基金へ移行。

◆ 国内外の研究開発の動向と比較

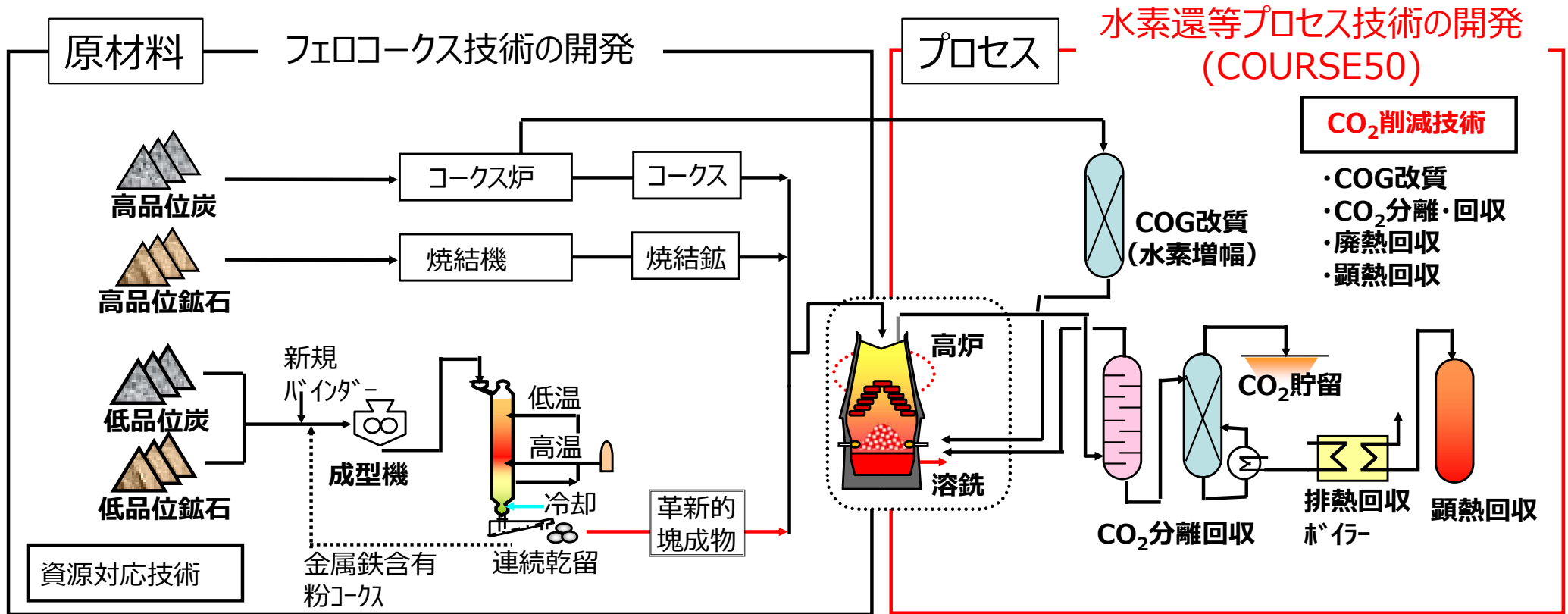
- ヨーロッパは水素直接還元技術の実証・商業化を進め、2030年までに操業開始。
- 国内では、先進高炉（COURSE50プロジェクト、フェロコークス）開発を続けてきたが、2020～21年度に「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた技術開発を実施、2022年1月からグリーンイノベーション基金事業「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクトが開始され、複線的アプローチを追求。

年代	ヨーロッパ	日本
2009年 ～2020年頃 (リーマンショック後)	<ul style="list-style-type: none"> ・資金不足でULCOSプロジェクト中断 ・CO₂排出抑制ニーズを受け新プロセスの開発を再開 ・水素還元：Hybrit、Midrex-H₂ ・高炉・電炉 + CCU&CCS：Smart Carbonに関連するプロジェクト 	<ul style="list-style-type: none"> ・COURSE50プロジェクトを継続、試験高炉での実験を実施 ・フェロコークス研究開発を開始 ・「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた技術開発に係る調査研究開始
2021年～現在	<ul style="list-style-type: none"> ・複数企業がCO₂削減鋼を2030年までに商業規模での供給開始表明 SSAB：水素DRIの2026年投入 ティッセン・クルップ：2030年に300万ton/年 アルセロール・ミタル：2025年に10万ton/年 	<ul style="list-style-type: none"> ・フェロコークス実証フェーズ継続 ・「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた技術開発をロードマップ化 ・先進高炉、水素直接還元、電炉を連携させたGI基金事業開始

◆ 他事業との関係

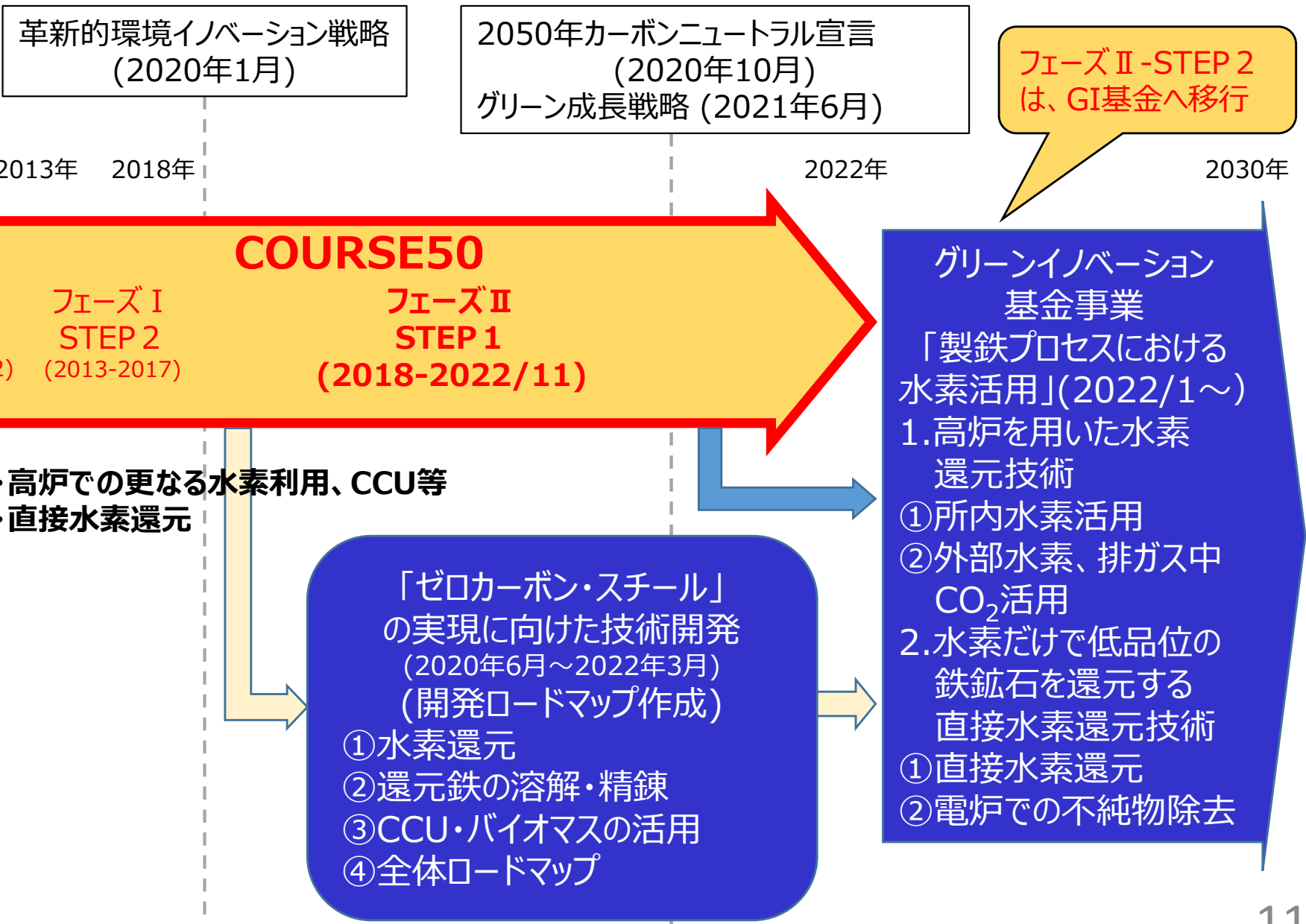
▶ 「環境調和型プロセス技術の開発」の全体概要

- ・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。



◆ 他事業との関係

本事業と「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた技術開発」事業の成果を活用し、グリーンイノベーション基金事業「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクト（2022年1月～）がスタート



・高炉での更なる水素利用、CCU等
・直接水素還元

フェーズII-STEP2
は、GI基金へ移行

◆NEDOが関与する意義

鉄鋼業としての抜本的なCO₂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CO₂削減のための政策として必要
- CO₂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、民間の開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	約320億円
フェーズⅠ-STEP1,2(2008-2017)	(2008-2022実績)
フェーズⅡ-STEP1(2018-2022)	

●アウトカム（2030年時点）

- CO₂削減効果：国内で高炉1基当たり約200万トン/年の削減
(=約400万トン/年×約1.5~2トンCO₂/トン×30%×1基=約200万トン/年)
 - ・高炉(5,000m³級) 1基当たり年間粗鋼生産量：約400万トン/年
 - ・粗鋼 1トン当たりのCO₂排出量(現状)：約1.5~2トンCO₂/トン
 - ・COURSE50技術によるCO₂削減効果：30%削減
 - ↳内訳：水素還元活用による高炉排ガス中CO₂削減：10%
高炉排ガスからのCCSによる削減：20%（※）

※経済産業省の「CCS長期ロードマップ検討会（中間とりまとめ）」（2022年5月）を踏まえ、2030年中にCCS事業が開始されると想定

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)成果の普及
- (3)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

◆状況変化への対応

状況の変化	研究開発方針の変更
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 中間評価（2020年8月）時点で、所内水素利用だけではCO₂削減効果に限界があることが分かってきたことから、高炉からのCO₂排出10%削減の実現性を高めるため、試験高炉を活用した水素使用量の効率化と水素還元の拡大を狙った新たな要素技術開発に取り組む方針とした。 ➤ 中間評価コメントとして「試験高炉では、少ない水素でCO₂削減効果を高めることに加え、水素利用上限（CO₂削減限界）を見極める試験実施を期待する。」を受けた。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 試験高炉を活用した水素使用量の効率化と水素還元の拡大を狙った要素技術開発については、目標を高炉からのCO₂削減10%以上に更新し、外部水素を追加導入して水素利用上限を見極める試験操業を実施することとした。
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 2020年10月、日本政府による「2050年カーボンニュートラル宣言」 ➤ 2021年6月、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定され、「グリーンイノベーション基金事業」がNEDOに創設された。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ フェーズⅡ-STEP2以降に計画されていた内容（実高炉実証試験等）はグリーンイノベーション基金事業へ移行し、本事業はフェーズⅡ-STEP1で終了することとした。

◆事業の目標 (中間評価時点)

項目	最終目標
(1) 高炉からのCO ₂ 排出削減技術開発	<p>・高炉からのCO₂排出約10%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。</p> <p>※高炉の実機を部分的に改造した「全周羽口吹込み」試験は、CO₂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。</p>
(2) 高炉ガス(BFG)からのCO ₂ 分離回収技術開発	<p>・CO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂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-CO₂を追求し、CO₂排出削減量約20%の技術に資する。</p>

◆事業の目標 (変更後)

項目	最終目標
(1) 高炉からのCO ₂ 排出削減技術開発	<p>・高炉からのCO₂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。</p> <p>※中間評価コメントを踏まえて、水素使用量の効率化に加え、水素還元拡大(CO₂削減10%以上)を狙った技術開発を進める目標に更新。</p> <p>※高炉の実機を部分的に改造した「全周羽口吹込み」試験は、フェーズⅡ－STEP2の開始(2023年度)以降に行うとしていたが、フェーズⅡ－STEP2以降の研究開発内容がGI基金事業へ移行したことに伴い、本事業の範囲外となった。</p>
(2) 高炉ガス(BFG)からのCO ₂ 分離回収技術開発	<p>・CO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂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-CO₂を追求し、CO₂排出削減量約20%の技術に資する。</p>

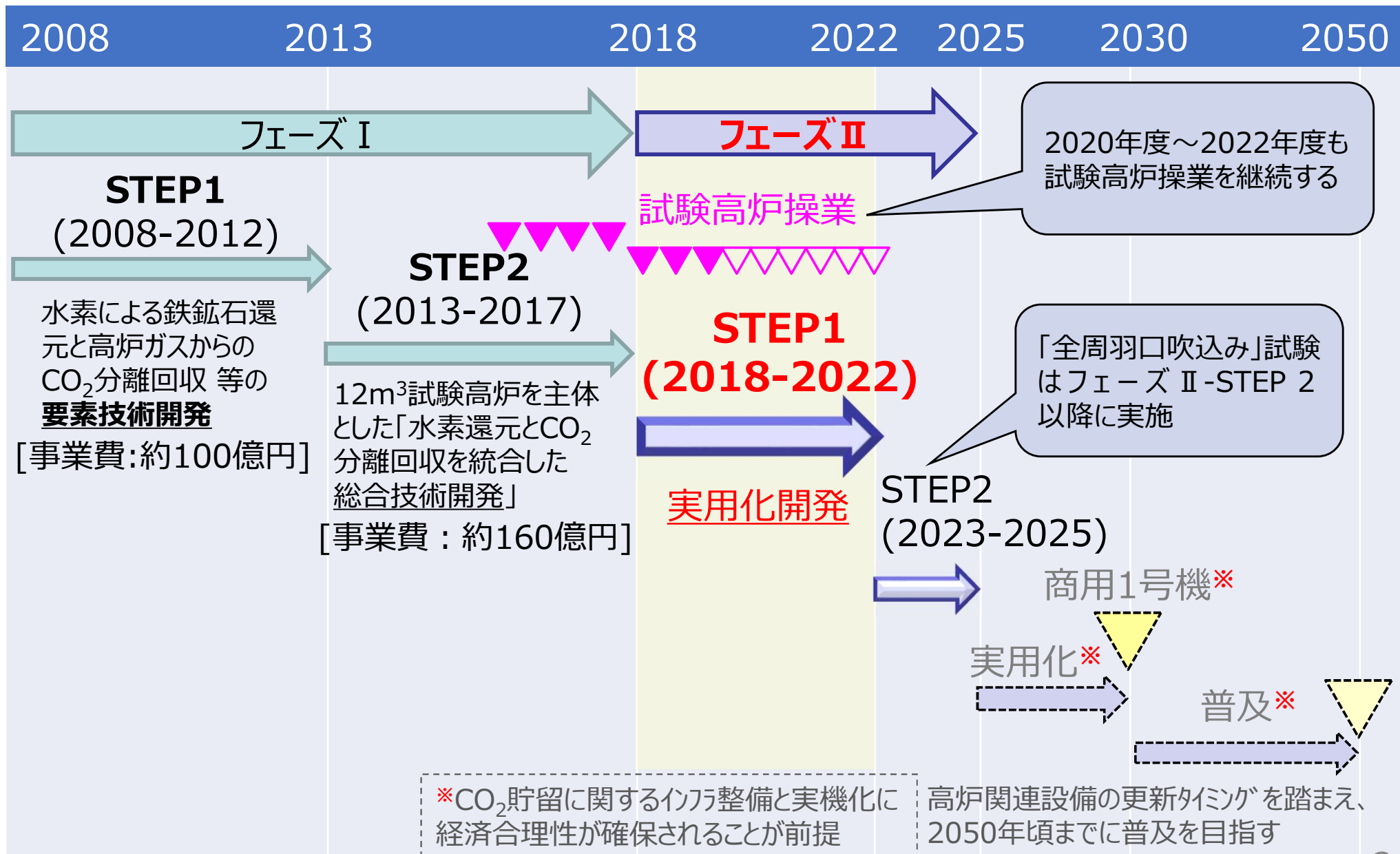
◆研究開発目標と根拠

開発テーマ(サブテーマ)		最終目標	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"> 水素富化高炉内条件下における実焼結の還元速度推定モデル構築による高精度の高炉数学モデルを開発する。 上記高炉数学モデルを用いて、高炉からのCO₂排出削減10%以上減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。 	通常高炉より高水素雰囲気の高炉の炉内反応状態を精度良く数学的に再現し、試験高炉の操業条件を効率的に設計すること、また、実高炉へスケールアップした際の炉内反応状態変化を正しく推定するためには、高炉数学モデルに組み込まれる水素還元反応モデルの推定精度向上が必要不可欠である。
	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"> 羽口内燃焼計算モデルによる還元ガス吹き込み温度が燃焼安定性へ及ぼす影響の評価 レースウェイサイズの変化を考慮した解析評価体制の構築 	COURSE50高炉特有の水素系ガスと微粉炭の複合同時吹き込み条件に対し、微粉炭燃焼挙動やレースウェイ(送風口前の炉内燃焼空間)内の反応挙動等を数学的に推定、また実験的に測定し、操業条件に及ぼす影響を検証・評価する事が必要である。
SG2 COG改質技術開発		<ul style="list-style-type: none"> BP2解体研究による材質選定の妥当性、留意点等抽出し、試験高炉における設備設計に向けた使用材料の指針を得る。 	COGガス改質に関する基本プロセスの開発は既に完了しているが、次ステップ(SuperCOURSE50)の試験高炉における実機を想定した高温水素/COG吹き込み用熱交換器設計に向けた使用材料選定に資するため高温水素系ガス雰囲気で行ったBP2設備の解体調査研究を実施。
SG3 高性能粘結材製造技術の開発		<ul style="list-style-type: none"> 高性能粘結材の安定した移送・排出を実現する熔融粘結材移送・排出装置における安定排出プロセスの実証と溶剤分離条件の最適化 	水素還元増幅下でのCOURSE50高炉の低コークス比操業に対応する強度と反応性を有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熔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 ₂ 分離回収技術開発		<ul style="list-style-type: none"> CO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂を実現可能な技術の充実を図るため、分離回収エネルギー1.6 GJ/t-CO₂を追求し、実装化に向けて、CO₂排出削減量約20%の技術に資する。 	高炉から発生する高炉ガス(BFG)からのCO ₂ 分離回収を行い、CO ₂ 排出量20%減を達成するためには、実装化に向けて、分離回収所要エネルギーの低減化と低コスト化が必要である。

◆研究開発目標と根拠

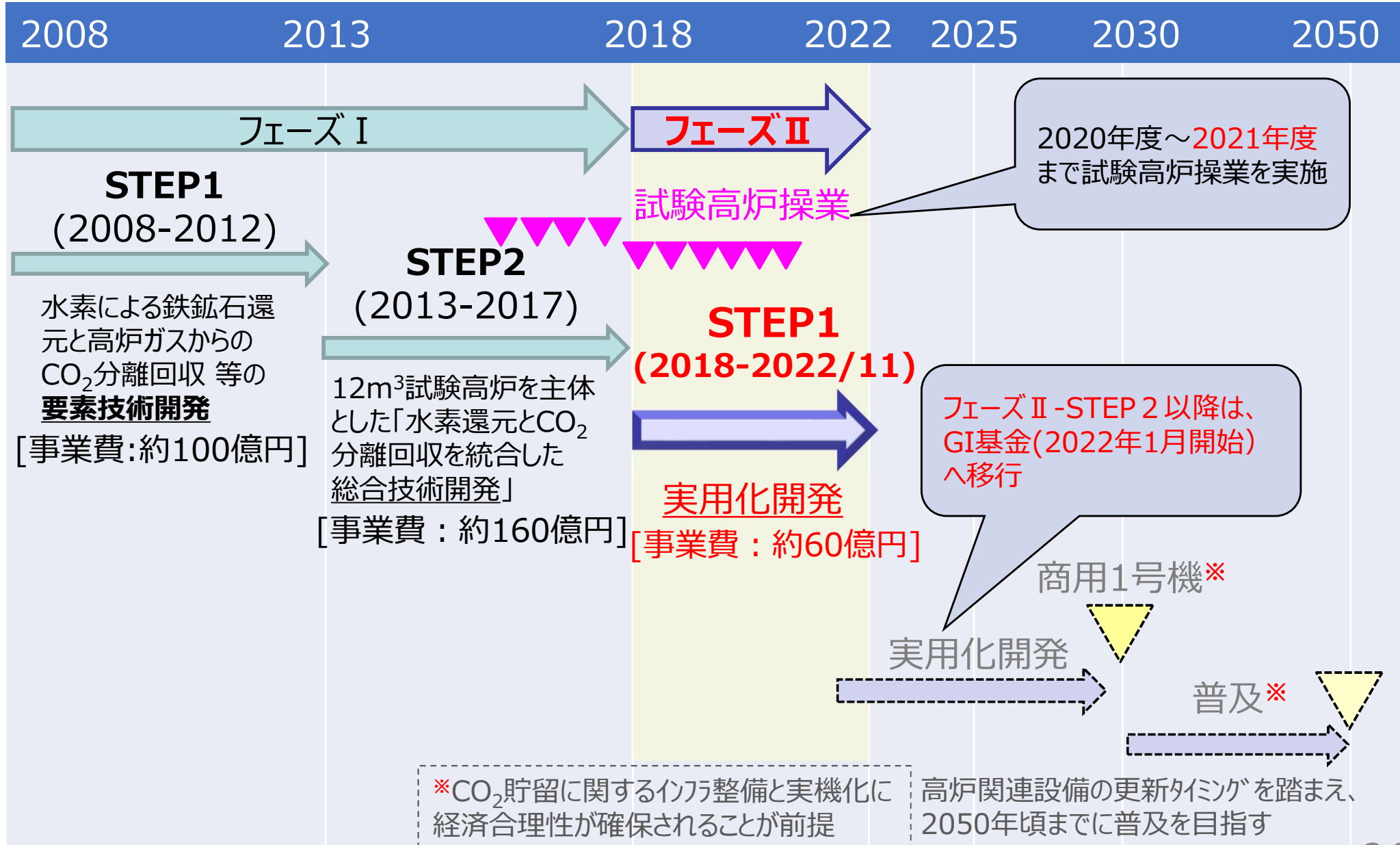
開発テーマ(サブテーマ)	最終目標	根拠
SG5 未利用低温排熱活用技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・排熱回収用熱交換器の実機スペックを明確化する。 ・これまでの製鉄所実排ガスによる試験結果を踏まえ、平均温度効率66%にて耐久性700時間相当を達成可能な熱回収システムを提案する。それを踏まえて排熱回収コストを算出する。 	<p>CO₂分離回収技術の主要な手段のひとつは化学吸収法であり、吸収液の再生には多量の熱エネルギーを必要とする。この熱エネルギーを外部エネルギーの導入なく供給するためには、製鉄所における未利用排熱を回収する省エネルギー技術の開発が必要である。</p>
SG6 試験高炉によるプロセス技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・試験高炉操業により、試験高炉規模で高炉からのCO₂排出削減量10%以上達成の実機適合化技術の見通しを得る。 ・操業結果に及ぼす操業操作の影響を高精度に評価可能な技術の確立を図り、製作する。 	<p>高炉からのCO₂排出量を10%以上削減するためには、12m³試験高炉を用いて、水素を主体とする還元ガス吹込み操作と装入物の反応性操作による実機適用に向けた操業を行い、COURSE50高炉のプロセス操作技術を確立することが必要である。そのためには、操業結果に及ぼす操業操作の影響を高精度に評価可能な技術確立も必要。</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"> ・高炉の実機部分確性「全周羽口吹込み」試験は、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－STEP1の完了以降に行い、高炉からのCO₂排出削減量10%以上達成に資する。 	<p>試験高炉を用いた高炉からのCO₂排出量10%以上削減を目指した要素技術開発に研究リソースを投入するため、COURSE50開発完了以降に実機実証試験を行う計画変更を行った。得られた事前エンジニアリング結果を踏まえ、GI基金事業で実施時期を変更して実機実証実験を行う。</p>
SG8 全体プロセスの評価・検討	<ul style="list-style-type: none"> ・製鉄プロセス全体の最適化を検討し、製鉄所からのCO₂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 ・特に、プロジェクトの最終動向についての、総合的な判断を行う。 ・CO₂削減効果については、水素還元でCOG中の水素や外部からどのタイプの水素を使用するか、経済合理性の視点から総合的に評価する。 	<p>製鉄所へのCOURSE50開発技術導入時のプロセス成立要件(CO₂削減効果、必要エネルギー・コスト、設備条件等)を製鉄所全体の物質・熱収支モデルを用いて、総合的に評価する必要がある。また、CO₂問題に関する外部環境の変化に対応するためには、上記で得られた知見を踏まえ、プロジェクトの最終動向を判断する必要がある。</p>

◆ 事業の概略工程 (中間評価時点)



◆事業の概略工程 (変更後)

本事後評価の範囲 (2021年度~2022年11月)



◆研究開発のスケジュール

フェーズII – STEP 1

➡ : 実績

		2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
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	試験高炉操業設計・解析とプロセス評価				
	SG1-2.高炉の微粉炭および還元ガスの燃焼挙動の調査	還元材燃焼性の実験的評価・数値モデルによる条件評価				
SG2.COG改質技術開発				BP2解体調査		
SG3.高性能粘結材製造技術の開発		試験装置開発・粘結材性能評価				
SG4.CO ₂ 分離回収技術開発		CO ₂ 吸収液及び触媒開発				
SG5.未利用低温排熱活用技術開発		排ガス汚損対策・熱回収システム検討				
SG6.試験高炉によるプロセス技術開発		試験高炉操業によるCO ₂ 削減効果検証				
SG7.実高炉部分検証によるプロセス技術開発		調査・事前エンジニアリング		試験時期再検討		実高炉検証はGI基金へ移行
SG8.全体プロセスの評価・検討		CO ₂ 削減効果検討・全体評価				

変更後の計画では、試験高炉操業は2021年度まで実施。実高炉部分検証試験を含むフェーズII –STEP2以降の計画内容はGI基金事業へ移行。

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

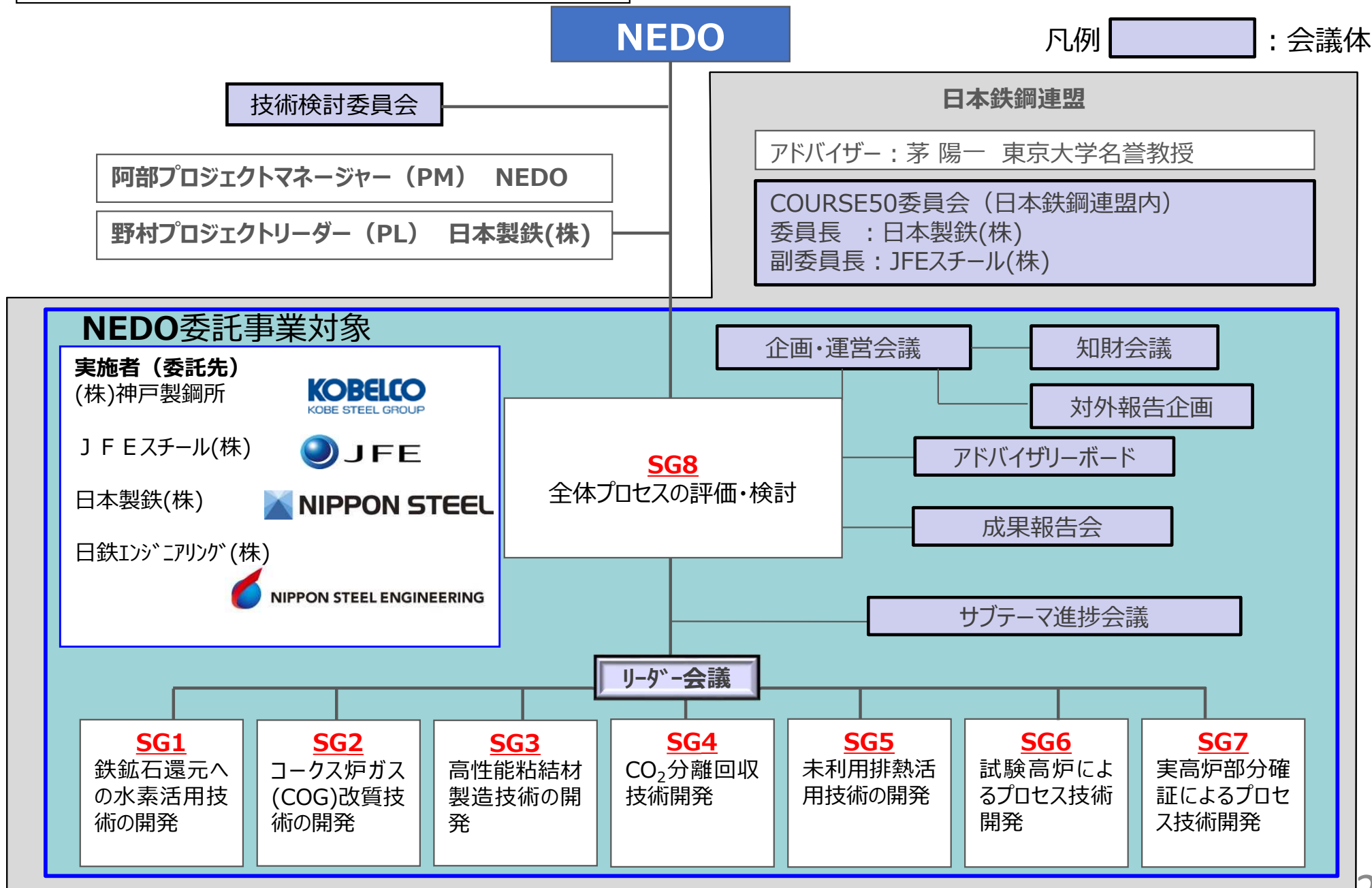
◆プロジェクト費用

フェーズⅡ－STEP 1

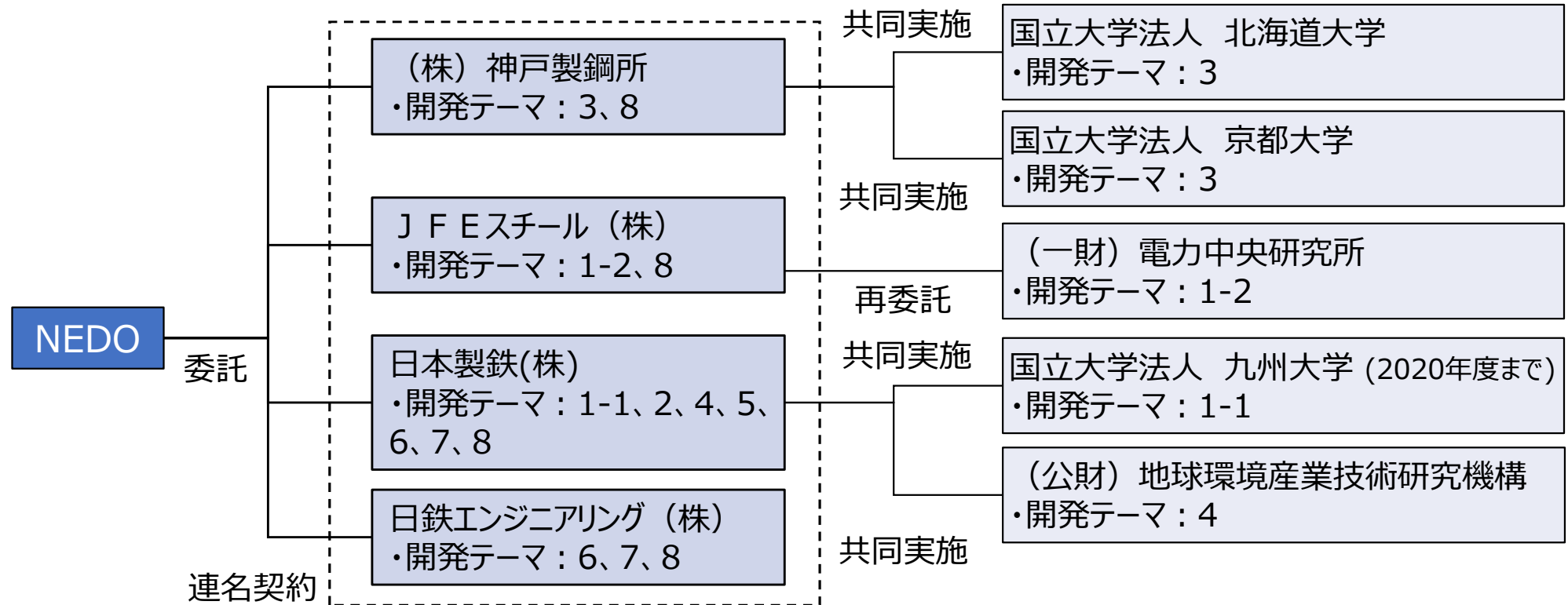
(百万円)

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	86	0	140
SG2 COG改質技術開発	0	0	0	210	0	210
SG3 高性能粘結材製造技術の開発	46	36	30	64	0	176
SG4 CO ₂ 分離回収技術開発	50	40	40	23	0	153
SG5 未利用低温排熱活用技術開発	19	10	40	28	0	97
SG6 試験高炉によるプロセス技術開発	687	1,076	1,870	1,099	492	5,224
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	3	0	45
計	830	1,341	2,020	1,513	492	6,196

◆ 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 ₂ 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

- ・PLは、事業者主催の各会議体を通じて、進捗管理を行うとともに実施者への指導・指示を行った。
- ・PMは、事業者主催の各会議体を通じて進捗を確認するとともに、NEDO主催の技術検討委員会において、外部有識者から事業の進捗や計画、目標達成の見通しなどにつき指導、助言を受け、事業計画に反映することで、より効果的な事業推進に努めた。

技術検討委員会（NEDO主催）

（2021年5月開催）

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	株式会社INPEX
	長坂工学研究科長	東北大学大学院

（所属、肩書きは当時のもの）

◆ 動向・情勢の把握と対応

動向・情勢	対応
<ul style="list-style-type: none">➤ 2020年10月、日本政府による「2050年カーボンニュートラル」の宣言➤ 2021年6月、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定され、「グリーンイノベーション基金事業」がNEDOに創設➤ 2022年1月、グリーンイノベーション基金事業「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクトが開始	<ul style="list-style-type: none">➤ グリーンイノベーション基金事業への移行を前提に、本事業で得られた研究開発・技術開発の成果を基金事業へ円滑に引き継げるようマネジメント➤ 特に、一部の研究開発設備については、その設計手法の確立及び製作を本事業の目的としつつ、グリーンイノベーション基金事業で活用することを想定し製作

◆ 中間評価結果への対応

中間評価における主な指摘事項とその対応

	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	本事業は国際貢献、国際競争力等の観点からも重要な事業なので、 競合対象国の技術開発動向に十分な配慮が必要 であると思われる。	製鉄業における競合対象国の技術開発動向については、2019年度に調査を実施済みであり、引き続き事業者の協力も得て最新の情報を収集する。 関連事業である「ゼロカーボン・スチール実現に向けた技術開発（2020～2021年度）」 で対応。
研究開発 マネジメント	研究開発費の費用対効果の試算を入れて、アウトカムを精査することが望まれる。	水素の大量使用によるCO ₂ フリー水素市場の増大とコスト増、およびコークス削減量を考慮して アウトカムの精査 を行い、 基本計画書に反映した 。
研究開発成果	試験高炉では、少ない水素でCO ₂ 削減効果を高めることに加え、 水素利用上限（CO₂削減限界）を見極める試験実施を期待する 。	試験高炉においては、少ない水素でCO ₂ 削減効果を高めるだけでなく、 水素還元の拡大（CO₂削減10%以上）を狙った技術開発を進める目標に更新し、外部水素を追加導入して水素利用上限を見極める試験操業を実施した 。
成果の実用化に向けた取組及び見通し	CO ₂ 分離プロセスに必要な熱量の低減をプロセスから見直して、 熱回収プロセスへの負荷を低減することが望まれる 。	CO ₂ 分離・回収技術については、引き続き 熱量の低減化を実施し、実験室レベルで目標数値を達成し成果を上げた 。

◆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

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)成果の普及
- (3)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CO₂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年頃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CO₂大幅削減 ※製鉄工程は製鉄所において約7割のCO₂を排出

① 高炉からのCO₂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CO₂回収貯留

- 1) CO₂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CO₂直接回収の必要エネルギー低減。

◆ COURSE50事業の開発テーマ

① 高炉からのCO₂排出削減(-10%) 水素活用還元技術開発

SG7:実高炉部分検証によるプロセス技術開発
スケールアップ技術開発

SG6:試験高炉によるプロセス評価技術
水素還元技術の実験検証

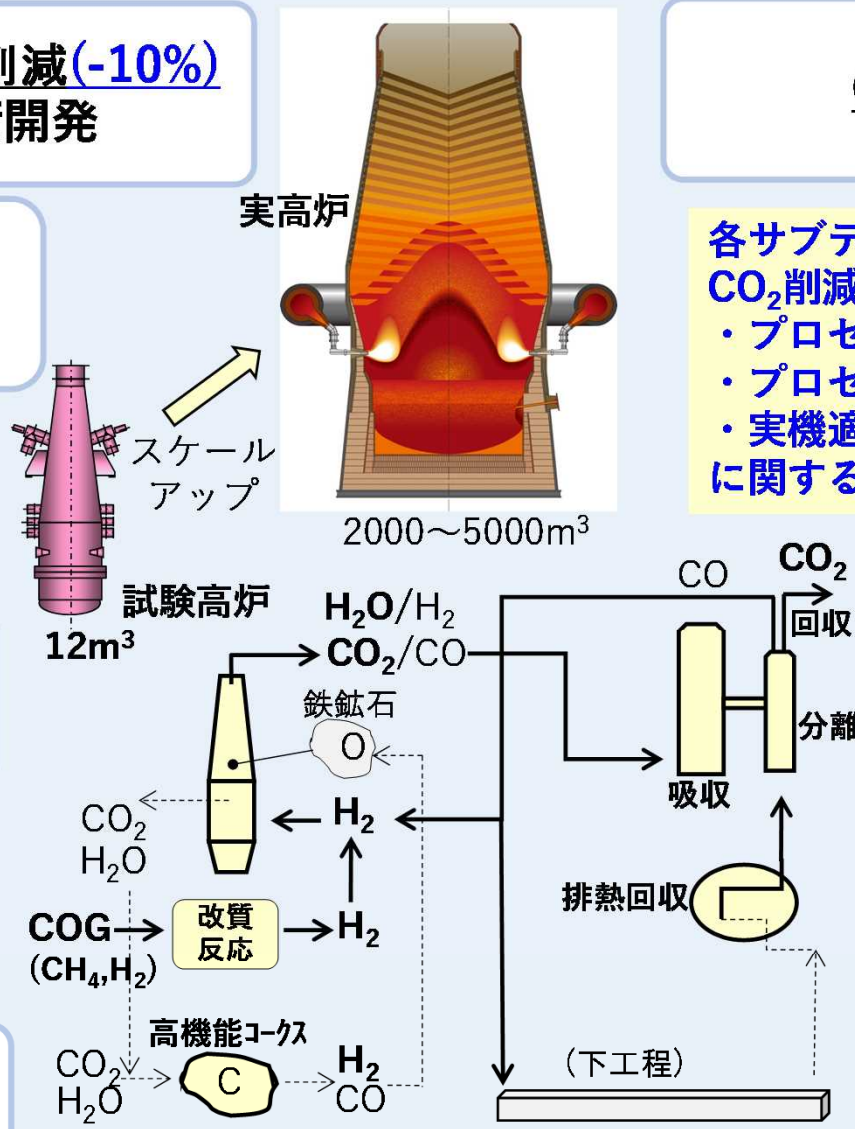
SG1:鉄鉱石還元への水素活用技術
水素還元技術の理論検証

SG2: COG改質技術
水素増幅技術(フェーズ I)

実機材質検討(BP2解体研究)

SG3:高性能粘結材(HPC)製造技術開発

HPC製造スケールアップ技術開発
(水素還元高炉用コークス製造用)



SG8:全体プロセス評価・検討(-30%)

② 高炉ガスからのCO₂分離回収(-20%) 技術開発

各サブテーマでは、実用化に向けて、CO₂削減効果、設備実装性を念頭に、

- ・プロセス技術確立
- ・プロセス性能向上
- ・実機適合化

に関する技術開発に取り組んできた。

SG4:CO₂分離回収技術
分離所要エネルギー低減追求

SG5:未利用廃熱回収技術
熱交換器の開発と熱交換システムの開発

プロセス全体の総合評価

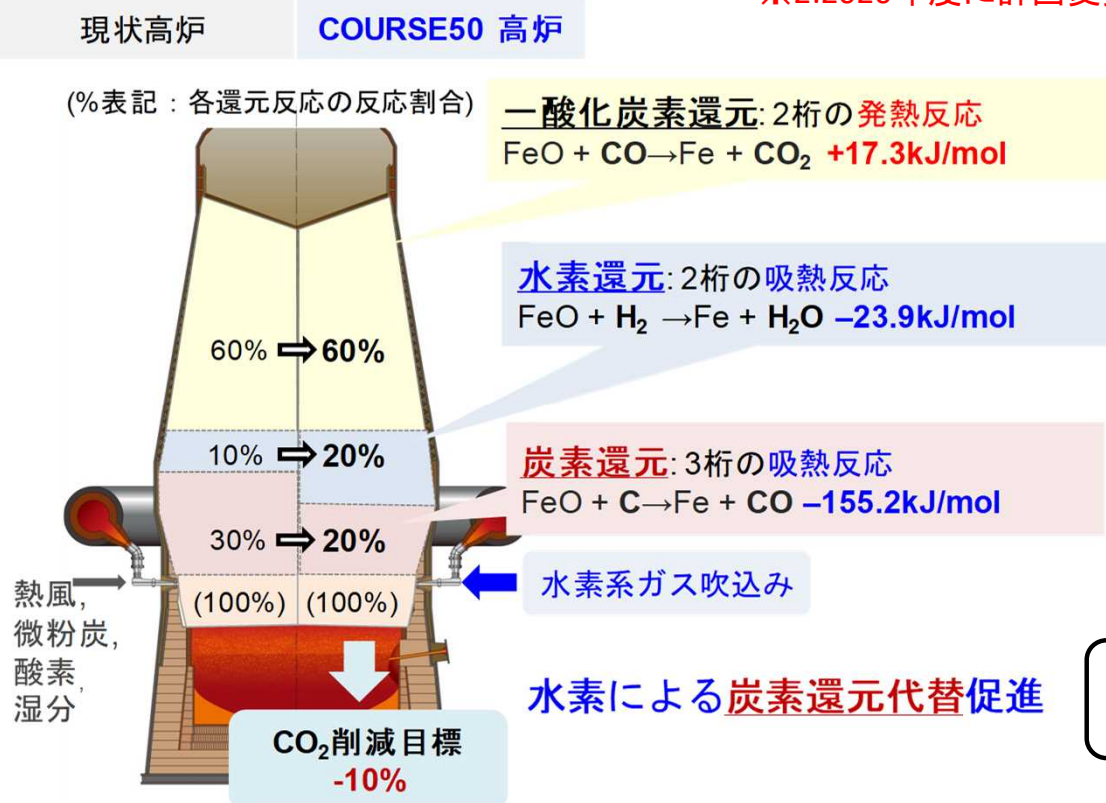
◆①水素活用還元技術の開発概要

【フェーズⅡ-STEP1最終目標】

- ・高炉からのCO₂排出10%以上減※1の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。
- ・高炉の実機部分確性「全周羽口吹込み」試験は上記CO₂削減技術開発の状況をみながら、フェーズⅡ-STEP1の完了以降※2に行い、上記目標達成に資する。

【 COURSE50高炉の概念】

※1:2021年度に計画変更
 ※2:2020年度に計画変更



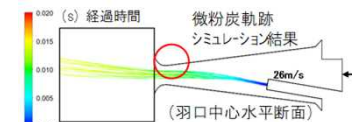
【 開発技術】

SG6: 試験高炉によるプロセス技術開発
 ・プロセス操作の実験検証

SG3: 高性能粘結材製造技術の開発
 (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の開発

- ・プロセス操作の理論検証
- ・水素系ガス吹込燃焼挙動調査



理論検証

実験検証

SG2: コークス炉ガス(COG)改質技術の開発
 ・ベンチプラント設備解体調査

高炉数学モデル

12m³試験高炉

SG7: 実高炉部分検証によるプロセス技術開発

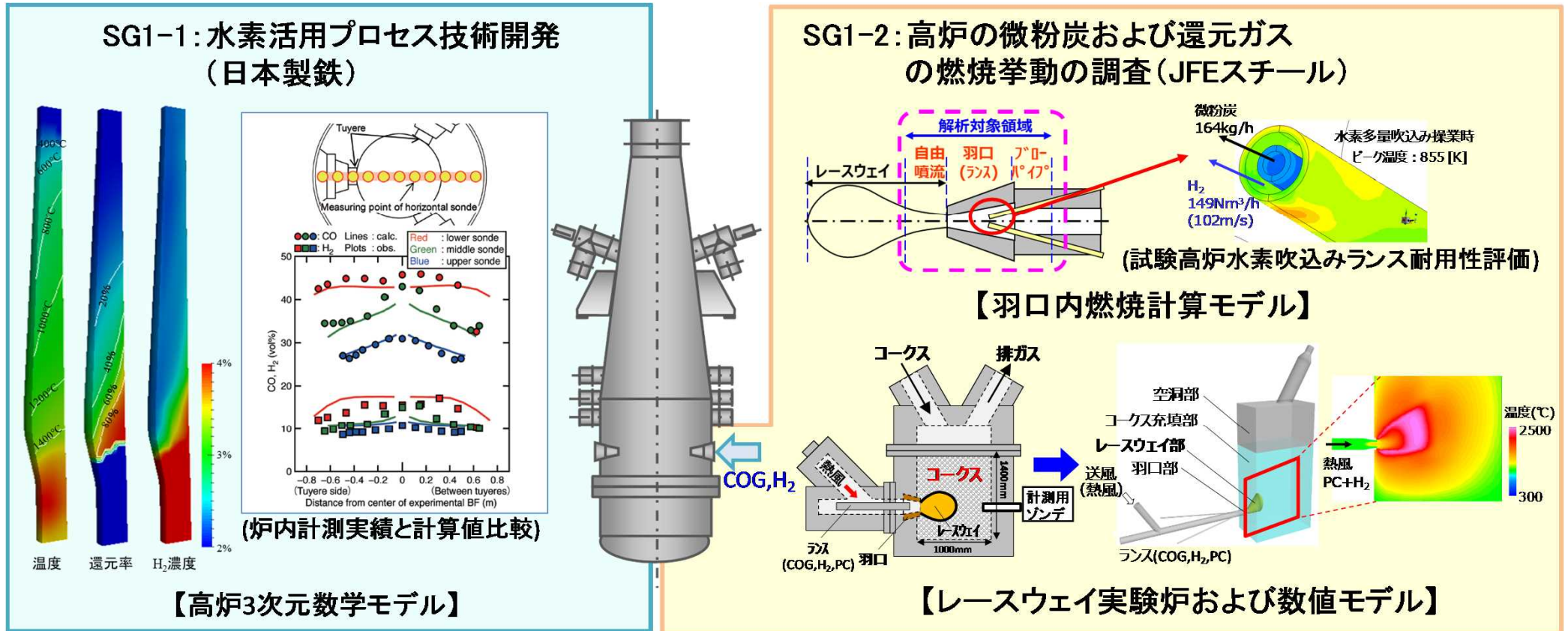
- ・プロセス操作の実機検証⇒実施時期変更※2

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況：SG1:鉄鉱石還元への水素活用技術

研究開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
SG1全体	高炉からのCO ₂ 排出削減10%以上減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。	数学モデルのシミュレーション技術により、CO ₂ 削減効果を精度よく予測することにより、高炉からのCO ₂ 排出削減10%以上減の見通しを得た。	○	
SG1-1:プロセス解析技術	水素富化高炉内条件下における実焼結鉱の還元速度推定モデル構築による高精度の高炉数学モデルを開発し、高炉からのCO ₂ 排出削減10%以上減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。	高炉数学モデルにより、CO ₂ 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、最終目標を達成した。	○	
SG1-2:羽口複合吹込み技術	羽口内およびレースウェイ内の燃焼解析モデルを構築し、還元ガス吹き込みによる影響を評価。	・羽口内燃焼計算モデルおよびレースウェイ数値モデルを構築完了。 ・還元ガス吹込み影響の評価完了。	○	

◎ 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

◆各個別テーマの成果と意義：SG1:鉄鉱石還元への水素活用技術



【成果】COURSE50高炉の炉内状態を数値的に高精度に再現可能な高炉数学モデルを開発し、同モデルを用いて、試験高炉で実施する試験の操業諸元を設計・解析し、高炉からのCO₂排出削減10%以上減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得た。

⇒GI基金事業「製鉄プロセスにおける水素活用プロジェクト」(以降、GI基金事業と表記)の解析技術として展開・活用する。

◆研究開発項目毎の目標と達成状況：SG2:コークス炉ガス(COG)改質技術開発

研究開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
SG2:コークス炉ガス(COG) 改質技術開発	BP2※解体研究による材質選定の妥当性、留意点等抽出し、試験高炉における実炉を想定した高温水素/COG吹込み用熱交換器の設計に向けた使用材料の指針を得る。	<ul style="list-style-type: none"> ・BP2を解体し、主要機器の鋼材(SUS310S、インコロイ800H、耐熱鋳鋼など)をサンプリング。 ・断面観察、組織観察、EPMA分析等から、粒界腐食、浸炭、脱炭、硫化などの進行を調査し、いずれも板厚に対してごく軽微(表層200μm以下)で健全であり、800℃程度の条件においてSUS310S、インコロイ800Hは材料として使用可能と判断。 ・本分析結果は、試験高炉の設計にも共有化し、今後の高温水素/COG吹込み用熱交換器設備に資する成果である。 	○	

BP2※：高温COGを原料に、触媒改質と無触媒部分酸化による水素製造長期試験が可能なベンチプラント試験装置

◎ 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

◆各個別テーマの成果と意義:SG2:コークス炉ガス(COG)改質技術開発

【COG改質長期試験設備(BP2※)】

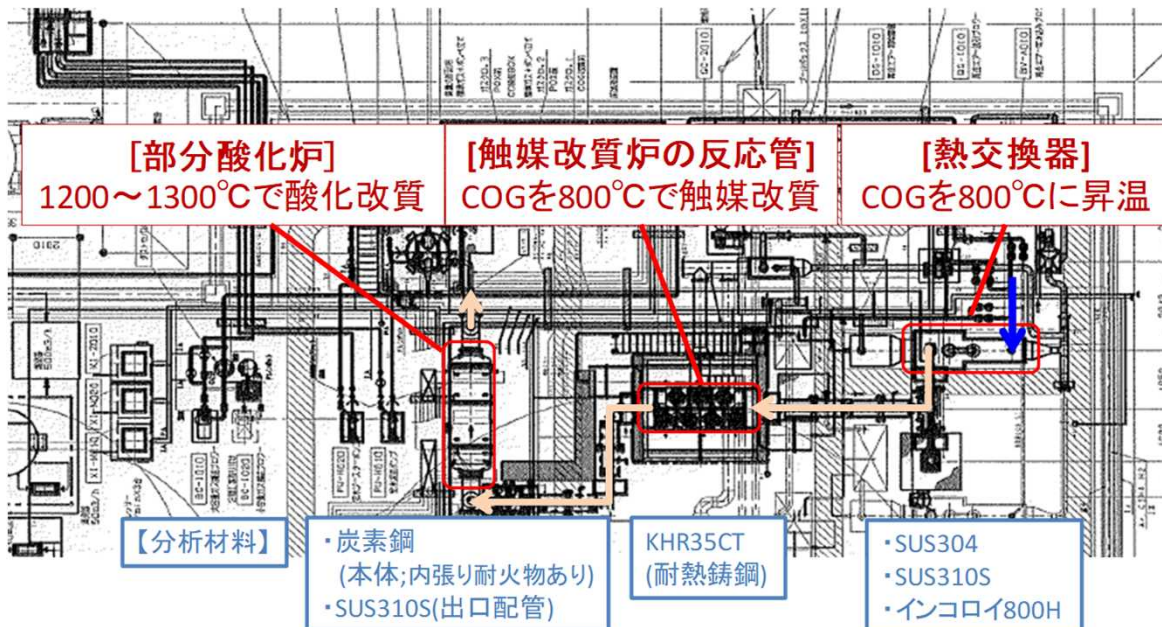


※フェーズ I におけるBP2試験成果:

高温COGを原料に、触媒改質と無触媒部分酸化による水素製造長期試験を実施。その結果、水素増幅率 ≥ 2 倍、耐久性 ≥ 500 hを達成。

【フェーズ II 実施内容】

次ステップ(Super COURSE50)の試験高炉における実機を想定した高温水素/COG吹込み用熱交換器設計に向けた使用材料選定に資するため、BP2設備の解体調査研究を実施。



【成果】高温水素系ガス吹込み実機想定設備設計に必要な材料データを取得するため、設備解体後、COG昇温熱交換器、触媒改質炉、部分酸化炉の高温COG流通部分の材料分析を行った結果、粒界腐食、浸炭、脱炭、硫化等の進行は、いずれも板厚に対してごく軽微(表層200 μ m以下)であり、800 $^{\circ}$ C雰囲気条件では、SUS310S、インコロイ800Hは、使用可能と判断。

【BP2の解体調査研究(材料分析/評価)】

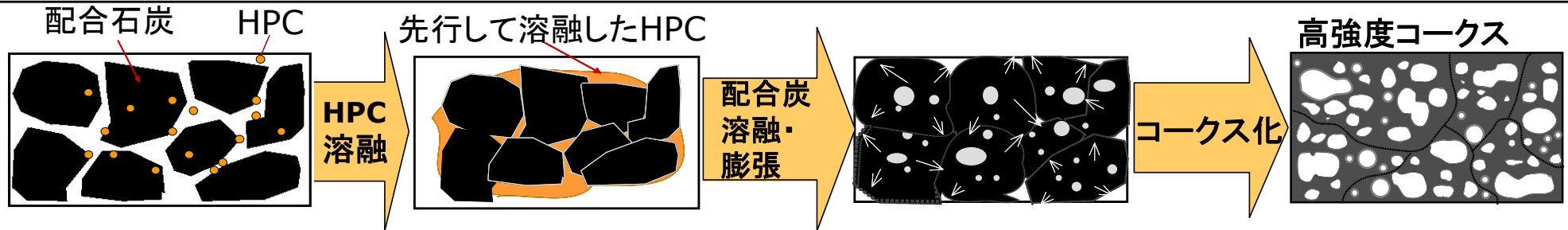
◆研究開発項目毎の目標と達成状況：SG3:高性能粘結材製造技術の開発
(COURSE50高炉用コークス製造技術)

研究開発項目	最終目標	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・排出装置における安定排出プロセスの実証と溶剤分離条件の最適化	高性能粘結製造プロセスにて、溶剤回収工程中の粘結材を安定移送可能な装置の仕様を策定し、プロセスベンチスケール設備で装置性能を確認した。	○	
	炭種を拡大して※高性能粘結材の連続製造試験を行い溶融粘結材の粘度変動幅を把握して溶融粘結材連続移送・排出装置の適用幅、炭種変動に対するプロセスロバスト性を確認する。 ※製鉄所で使用されている軟化溶融特性の異なる原料炭を追加する。	・炭種変動に対する高性能粘結材の粘度変動幅を把握し、その粘度推算式が温度、揮発分により整理できることを明らかにした。 ・2軸スクルー方式連続移送・排出装置は、原料石炭炭種の変動に対し、溶剤回収性能目標(溶剤留分濃度1%未満)を達成、十分な移送・排出性能も有し、その高いロバスト性を確認した。	○	
	新規製造した高性能粘結材の特性評価およびコークス性能評価を実施する。	上記連続移送・排出装置を使用して製造した高性能粘結材を利用して、COURSE50高炉に要求されるスペック(強度と反応性)のコークス製造が可能であることを確認した。	○	

◆各個別テーマの成果と意義：SG3:高性能粘結材製造技術の開発

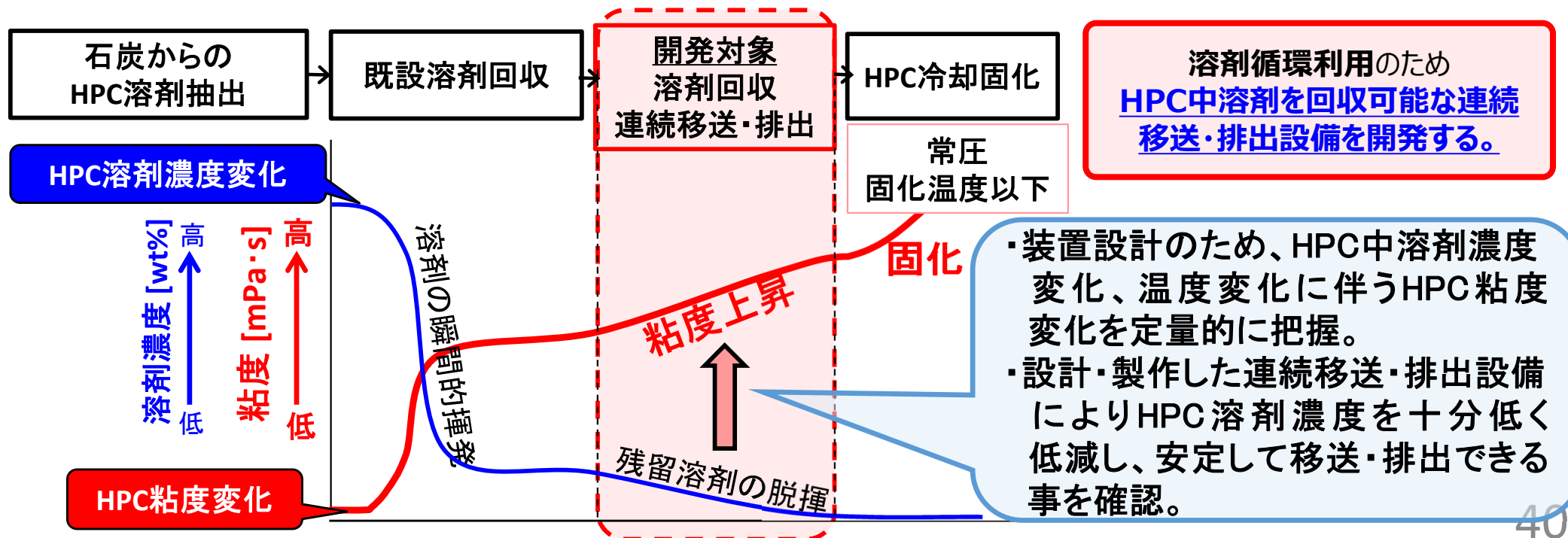
○高性能粘結材製造の狙い：

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高性能粘結材(HPC)を開発する。



○本技術開発の狙い：

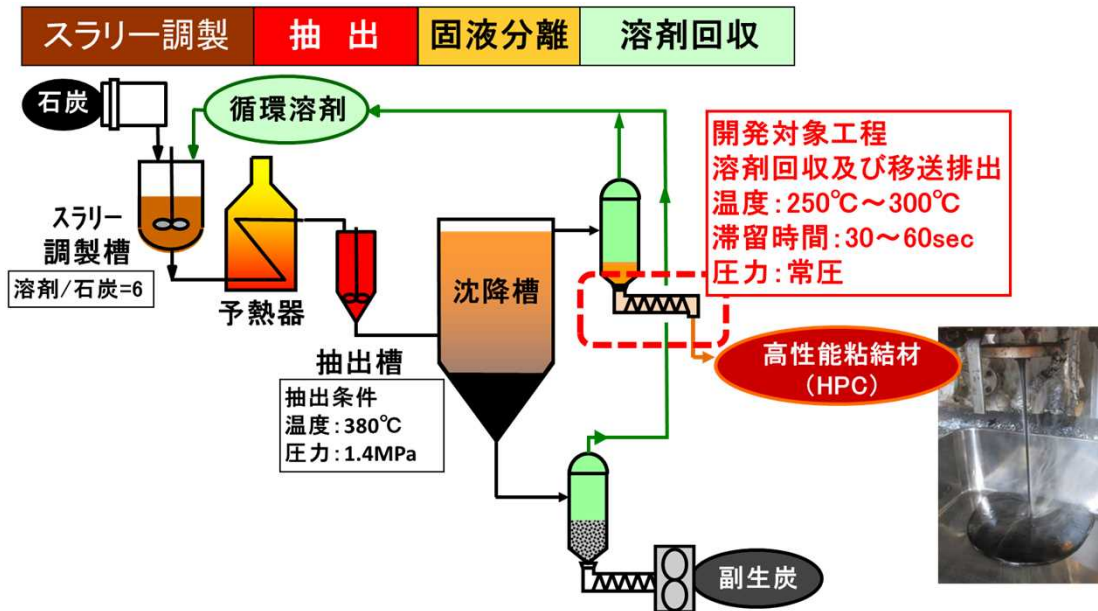
COURSE50高炉に対応可能な品質のコークス製造に必要なとなる、HPC製造プロセスのスケールアップ技術開発を推進し、HPCの工業的製造技術を確立する。



◆各個別テーマの成果と意義：SG3:高性能粘結材製造技術の開発

●溶剤回収工程の連続移送・排出試験

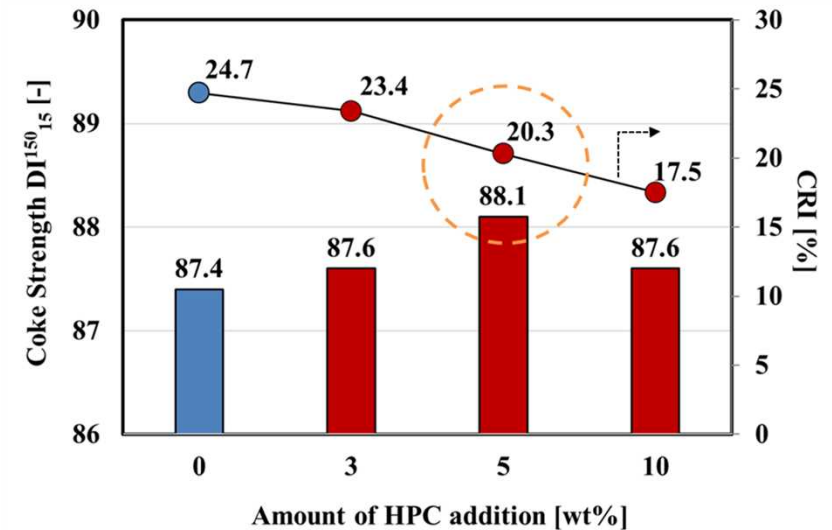
2軸スクリー装置を適用したプロセスベンチスケール設備の連続試験を実施。原料石炭炭種の変動に対する溶剤回収性能の目標の達成と、十分な移送・排出性能を有し、高いロバスト性を確認。



【HPC製造プロセス概要と開発工程(2軸スクリー装置適用)】

●コークス性能評価

2軸スクリー装置を使用して製造した高性能粘結材を利用したコークス性能評価において、COURSE50高炉に要求されるスペック(強度と反応性)のコークス製造が可能であることを確認。



【HPC添加率とコークス強度 ($DI_{150_{15}}$) および反応性 (CRI) の関係】

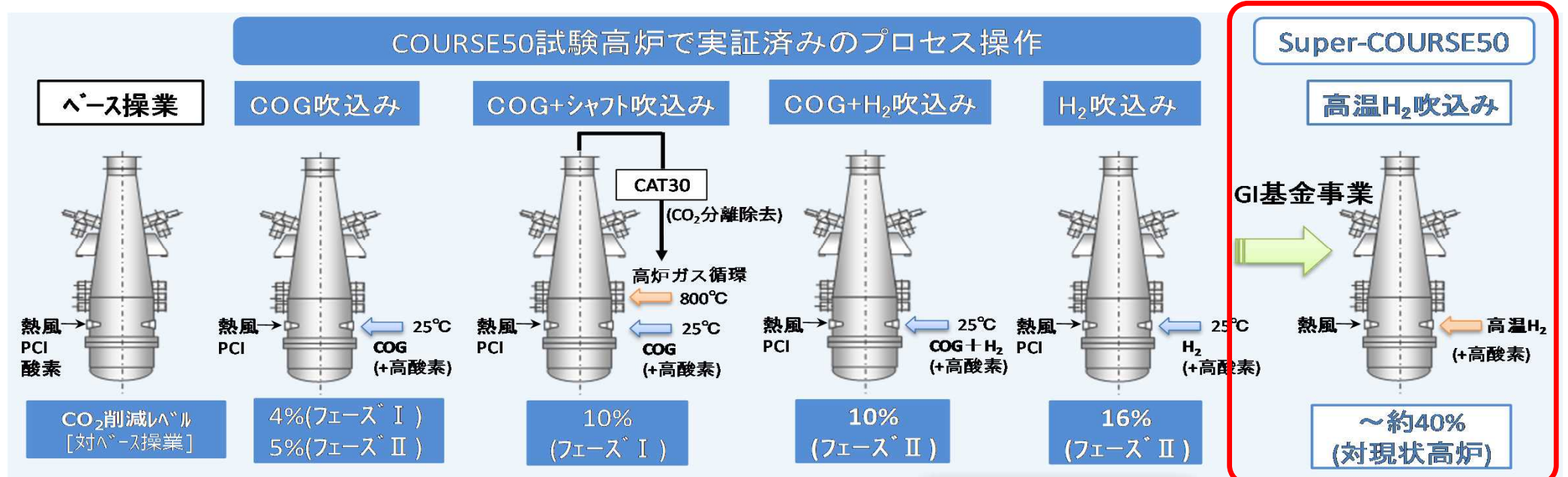
【成果】HPC製造プロセスにて、溶剤回収工程中の粘結材を安定移送可能な2軸スクリー装置の仕様を策定し、プロセスベンチスケール設備で装置性能を確認した。製造HPCを利用して、目標のコークス強度 ($DI_{150_{15}}$) 88以上、反応性 (CRI) 20程度の低反応性高強度コークスを製造可能であることを確認した。

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況：SG6:試験高炉によるプロセス評価技術

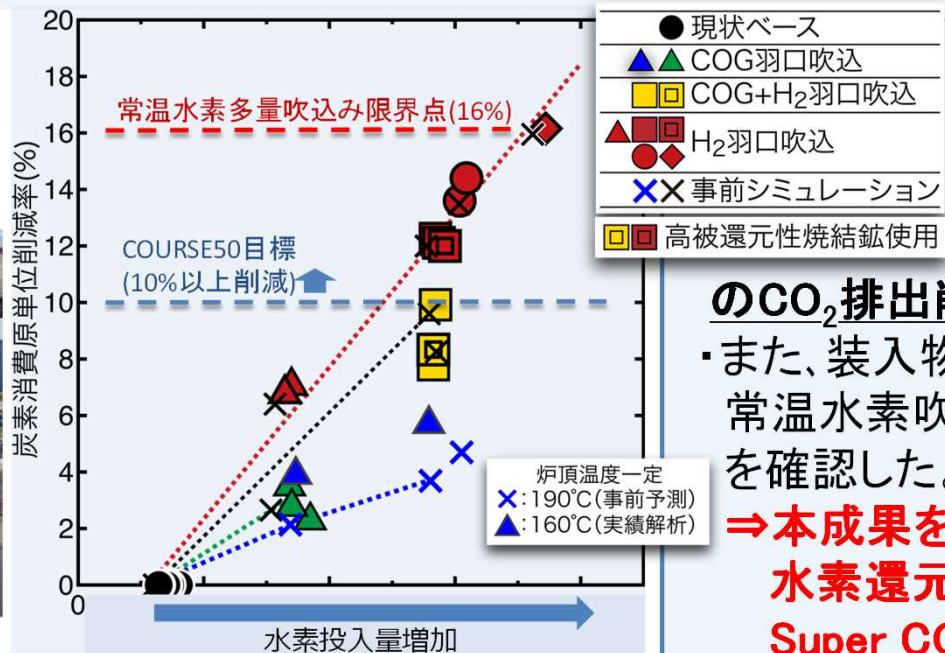
研究開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と 解決方針
SG6:試験高炉による プロセス評価技術	試験高炉操業により、試験高炉規模で高炉からのCO ₂ 排出削減量10%以上達成の実機適合化技術の見通しを得る。	試験高炉規模で高炉からのCO ₂ 排出削減量10%以上を前倒しで大きく上回って達成し、実機適合化技術の見通しを得た。 (達成時期：2019/10)	◎	
	操業結果に及ぼす操業操作の影響を高精度に評価可能な技術の確立を図り、製作する。	<ul style="list-style-type: none"> ・新型羽口の設計・製作を計画通り実行し、試験高炉へ設置完了。 ・高温水素吹込設備の設計・製作を完了し、試験高炉へ設置完了。 ・コークス水分を制御する設備の設計・製作を完了し、設置完了。 ・水素多量吹き込みに伴う炉内状態変化(温度・ガス組成・燃焼空間の変化)を実観測可能な設備についても、設計手法の確立・製作を完了し、試験高炉へ設置完了。 ・新冷却方式の送風設備、および送風量低下時に発生する送風効率低下を回避するための高気密設備の設計・製作を完了。 	○	

◎ 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

◆各個別テーマの成果と意義：SG6:試験高炉によるプロセス評価技術



【試験高炉設備外観】



【試験高炉の操業結果】

【成果】

- 試験高炉規模で常温水素ガス羽口吹込み操作により、高炉からのCO₂排出削減10%以上を達成した。
- また、装入物昇温遅れに起因する常温水素吹込みの操業限界領域を確認した。

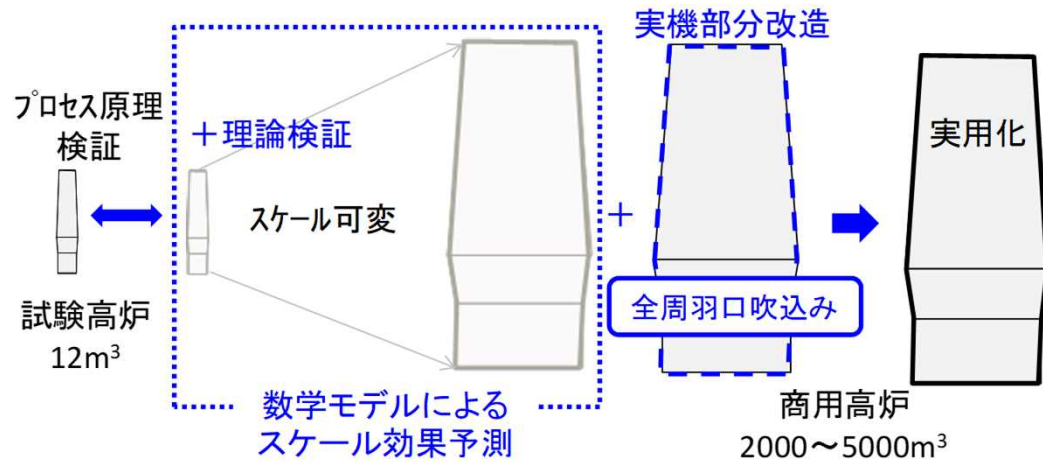
⇒本成果を踏まえGI基金事業で水素還元の最大化を狙ったSuper COURSE50開発に移行する。

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況：SG7:実高炉部分検証によるプロセス技術開発

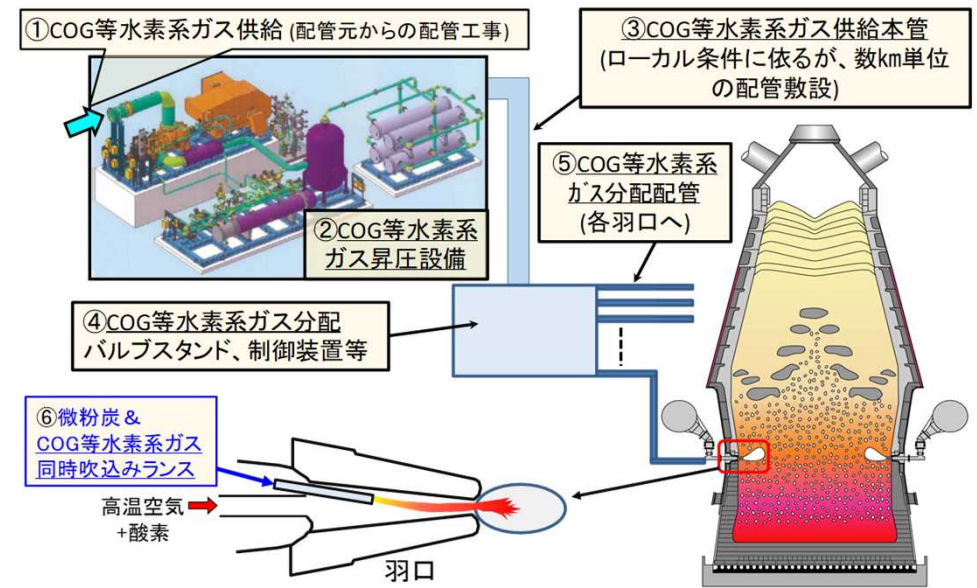
研究開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
SG7:実高炉部分検証によるプロセス技術開発	高炉の実機部分確性「全周羽口吹込み」試験は、鉄鉱石還元への水素活用技術の開発ならびに試験高炉によるプロセス技術開発の開発状況をみながら、フェーズⅡ－STEP1の完了以降に行い、高炉からのCO ₂ 排出削減量10%以上達成に資する。	高炉2基を有し、COGを高炉多用時下工程にエネルギー供給手段を備える製鉄所を前提に、事前エンジニアリングを実施し、CO ₂ 削減効果及び実機化に必要な設備基本構成等を把握した。 ※開発計画変更前：中間評価時点の成果	○	

◎ 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

◆各個別テーマの成果と意義：SG7:実高炉部分検証によるプロセス技術開発



- 【全周羽口吹込み試験】**
- ・CO₂削減効果検証
 - ・実炉操業技術確立
(不確实现象の検証と対応技術の確立)
 - ・水素系ガス吹込み実設備開発



【実機実証試験に必要な設備構成】

【実機実証試験の概要】

【成果】高炉2基を有し、COGを高炉多用時下工程にエネルギー供給手段を備える製鉄所を前提に、事前エンジニアリングを実施し、CO₂削減効果及び実機化に必要な設備基本構成等を把握した。⇒ 得られた知見を踏まえ、GI基金事業で実機実証試験を行う。

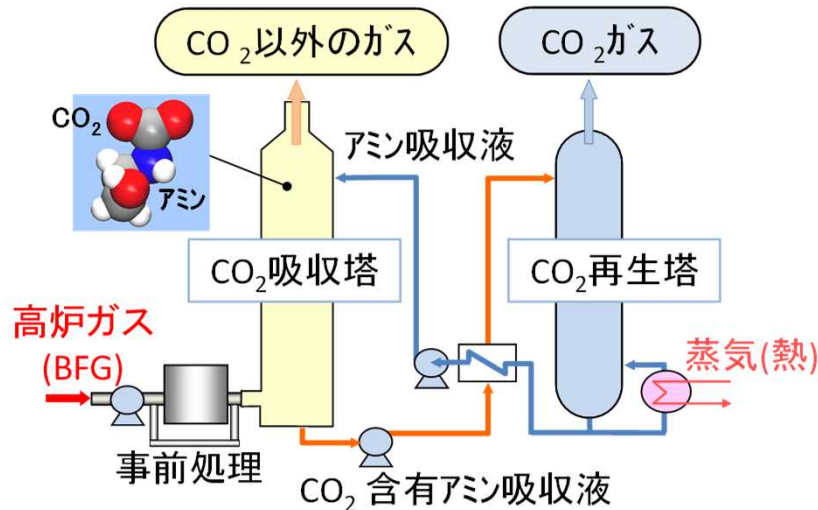
◆②CO₂分離回収技術の開発概要 【フェーズⅡ-STEP1最終目標】

・CO₂分離回収コスト2,000円/t-CO₂を実現可能な技術の充実を図るため、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO₂を追求し、CO₂排出削減量約20%の技術に資する。

【開発技術】

SG4-1: 化学吸収法によるCO₂分離回収技術

・高性能化学吸収液・プロセスの開発



CO₂分離回収所要熱エネルギー低減

(従来)4.0⇒(フェーズⅠ成果)2.0⇒(目標)1.6GJ/t-CO₂

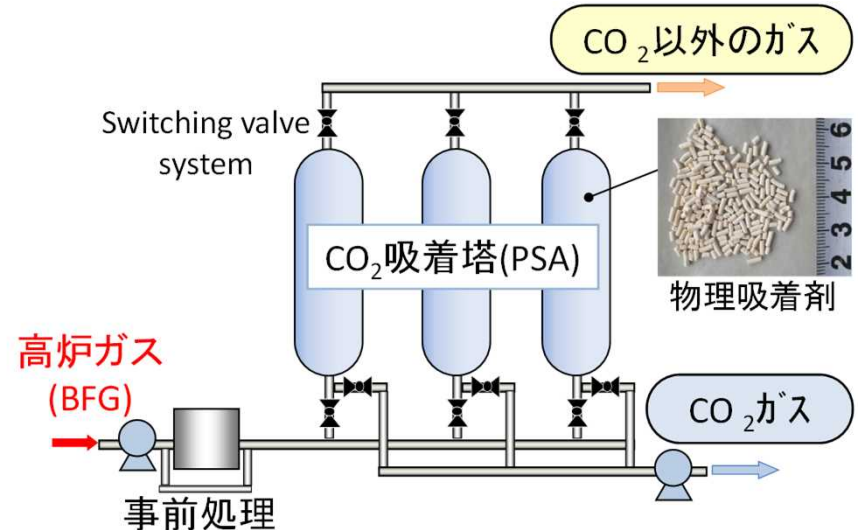
↑ CO₂再生に必要な熱を供給

SG5: 未利用排熱活用技術の開発

・排熱回収用の高効率な熱交換器開発
・性能を長時間維持可能な熱回収システムの開発

SG4-2: 物理吸着法によるCO₂分離回収技術*

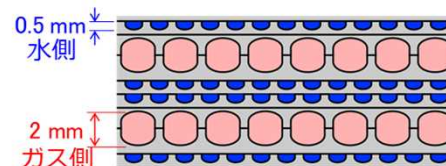
・吸着塔高効率化、新規吸着剤開発



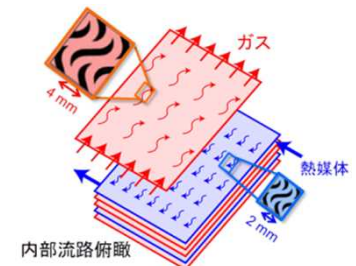
CO₂分離回収所要電力低減

(従来)300⇒フェーズⅠ(STEP1)145⇒(STEP2)130kWh/t-CO₂

※: COURSE50 フェーズⅠで開発完了



マイクロ熱交換器断面図例



内部流路俯瞰

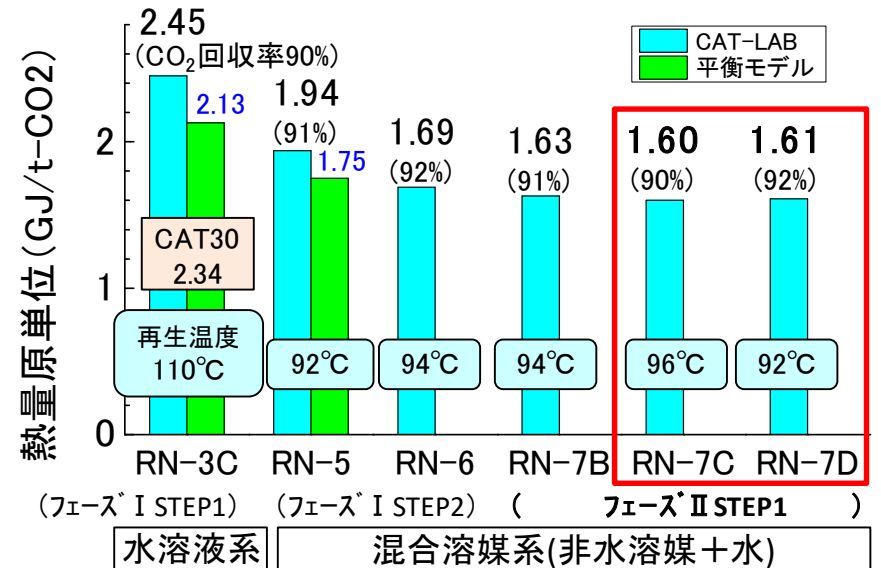
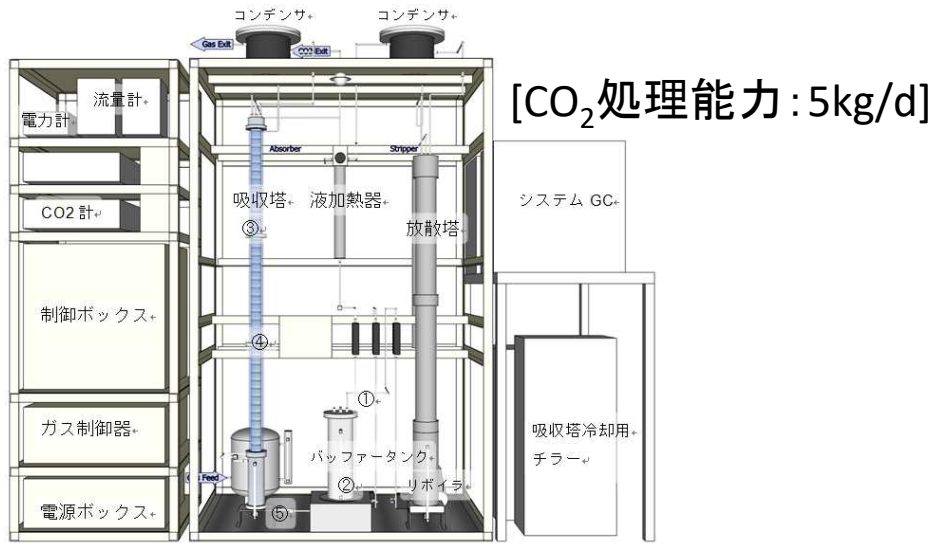
◆研究開発項目毎の目標と達成状況：SG4:CO₂分離回収技術開発

研究開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と 解決方針
SG4:CO ₂ 分離回収技術 開発	CO ₂ 分離回収コスト2,000円/t- CO ₂ を実現可能な技術の充実を 図るため、分離回収エネルギー1.6 GJ/t-CO ₂ を追求し、CO ₂ 排出削減 量約20%の技術に資する。	<ul style="list-style-type: none"> ・RN-7系新吸収液のCAT-LAB※ 試験による組成最適化を進め、RN- 7C吸収液で分離回収エネルギー 1.60GJ/t-CO₂に到達した。 ・水溶性の吸収促進触媒材につい て、COURSE50で開発した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。 ・RN-7系新吸収液は、従来の水溶 液系と比較して、耐久性や安全性 は同程度、金属腐食性はやや大き いが、実用化可能な範囲にあるこ とを確認した。 	○	

CAT-LAB※：CO₂処理能力：5kg/d小型連続CO₂分離回収試験装置

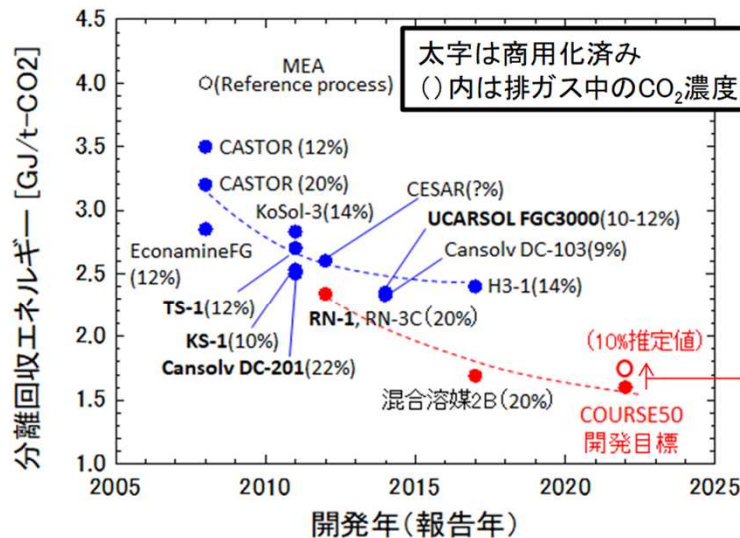
◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み（中間）／一部達成（事後）、×未達

◆各個別テーマの成果と意義：SG4:CO₂分離回収技術開発



【CAT-LAB:小型連続CO₂分離回収試験装置】

【CAT-LABを用いた新吸液の開発結果】



代表的な排ガス中のCO₂濃度(常圧)
BFG 22%
 石炭火力発電 14%
 LNG火力発電 7-10%

RN-1D吸収液のCAT-1熱量原単位

CO ₂ 濃度 (%)	熱量原単位 (GJ/t-CO ₂)
10	3.2 (約10%増)
22	2.9
30	2.7 (約7%減)

出典：日鉄エンジニアリング 第38回サブテーマフォーラム会議

【成果】CAT-LAB装置を用いた混合溶媒系新吸収液の組成最適化試験を進め、事業目標の分離回収エネルギー1.60GJ/t-CO₂に到達した。
⇒ 今後はベンチスケールで組成最適化し、確実に1.60 GJ/t-CO₂を保証できる実用吸収液を完成させる。(GI基金事業で実施)

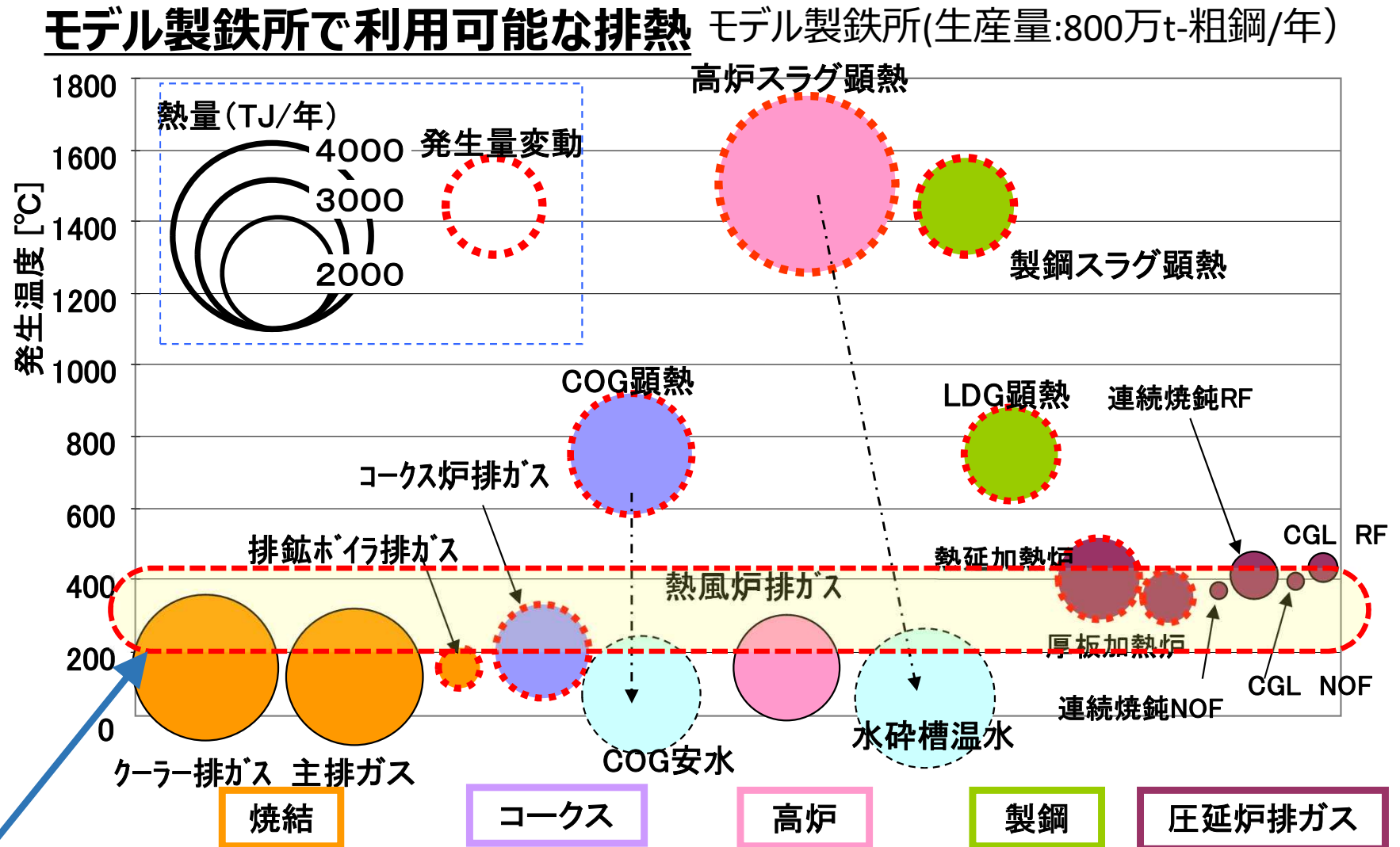
【吸収液性能比較:本プロジェクト外吸収液性能は世界トップレベル】

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況：SG5:未利用排熱活用技術の開発

研究開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
SG5:未利用排熱活用技術の開発	製鉄排ガスによる伝熱面の汚損状態の調査及び対策の検討： 排熱回収用熱交換器の実機スペックを明確化する。	<ul style="list-style-type: none"> ・製鉄所実排ガスの分析を実施し、熱交汚損原因となるコールタール成分は特定成分であることを確認した。 ・ラボ試験により実機稼働時の温度条件ではその特定成分の揮散速度が大きいことを確認し、実操業での付着防止の可能性を見出した。 ・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熱交換器3号機を設計、製作し、熱媒体に対応できる耐圧を有し、目標伝熱性能である温度効率66%を達成することを確認した。以上の結果より実機にて用いるべき熱交換器の諸元が明確化された。 	○	
	性能を長時間維持可能な熱回収システムの検討： 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。	<ul style="list-style-type: none"> ・製鉄所実排ガスを用いて伝熱面温度および材質を変化させた際の付着物状況を調査し、熱交換器の操業条件では付着物の発生を防止できることを確認した。 ・汚れ付着による性能劣化程度を試算し、汚れ付着を考慮しても目標とする高温側温度効率66%で700時間相当の熱回収性能を維持できることを確認した。 ・化学吸収プロセスの最近の開発成果を踏まえて排熱回収コスト全体を再評価し、CO₂回収コスト目2,000円/t-CO₂に必要な蒸気製造コストを達成可能であることを示した。 	○	

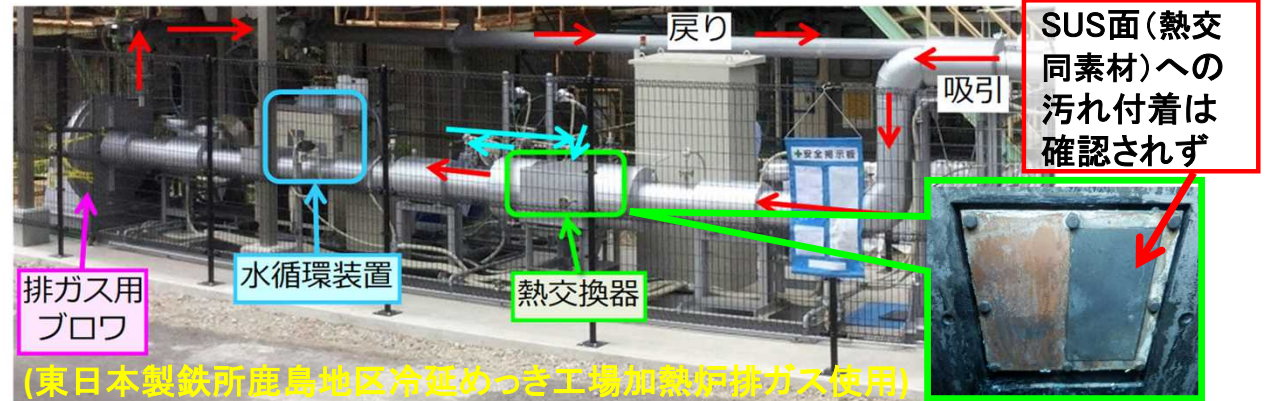
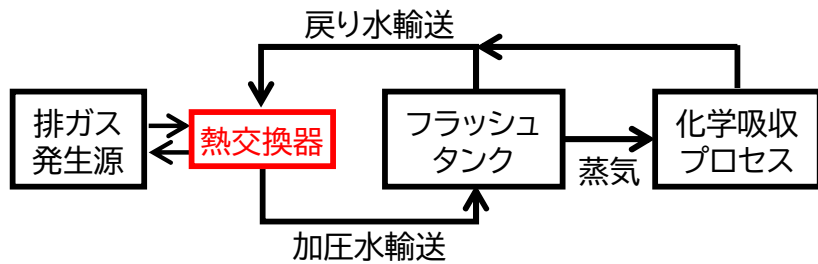
◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 達成見込み（中間）／一部達成（事後）、× 未達

◆ 各個別テーマの成果と意義： **SG5:未利用排熱活用技術の開発**



現在は大気放散されている200～400℃程度の排熱を回収し、CO₂化学吸収プロセスにおける熱源として活用する。

◆各個別テーマの成果と意義：SG5:未利用排熱活用技術の開発



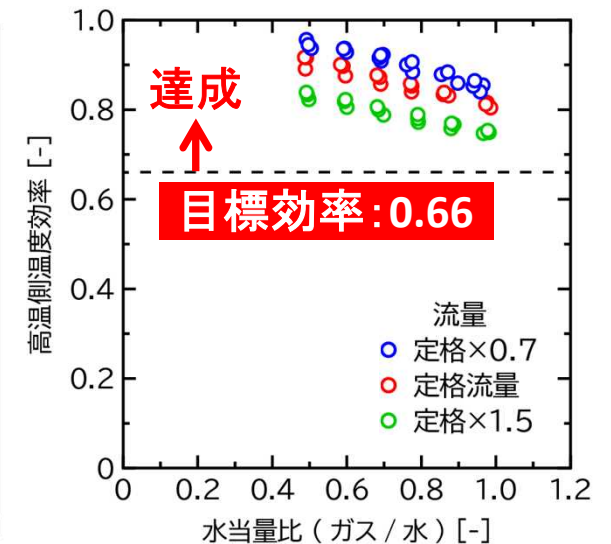
(東日本製鉄所鹿島地区冷延めっき工場加熱炉排ガス使用)

【提案した排熱回収システム】

【製鉄所実排ガスを用いた熱交汚れ付着特性の評価】

	熱交換器1号	熱交換器2号	熱交換器3号
目的	基本性能評価	ガス側付着低減	製作コスト低減
断面模式図			
フィン形状			
	ガス側(S字) 水側(S字)	ガス側(ストレート)水側(S字)	ガス側(ストレート) 水側(オフセット)

【高性能熱交換器の開発推移】



【熱交3号の伝熱性能】

【成果】低温排ガス熱回収に適し、加圧水に対応する高性能熱交換器の開発、および製鉄所実排ガスによる熱交換器汚れ付着特性の実証実験を行い、平均温度効率66%にて耐久性700時間(1ヶ月)相当を達成可能な熱交換器と排熱回収システムを開発した。

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況：SG8:全体プロセス評価・検討

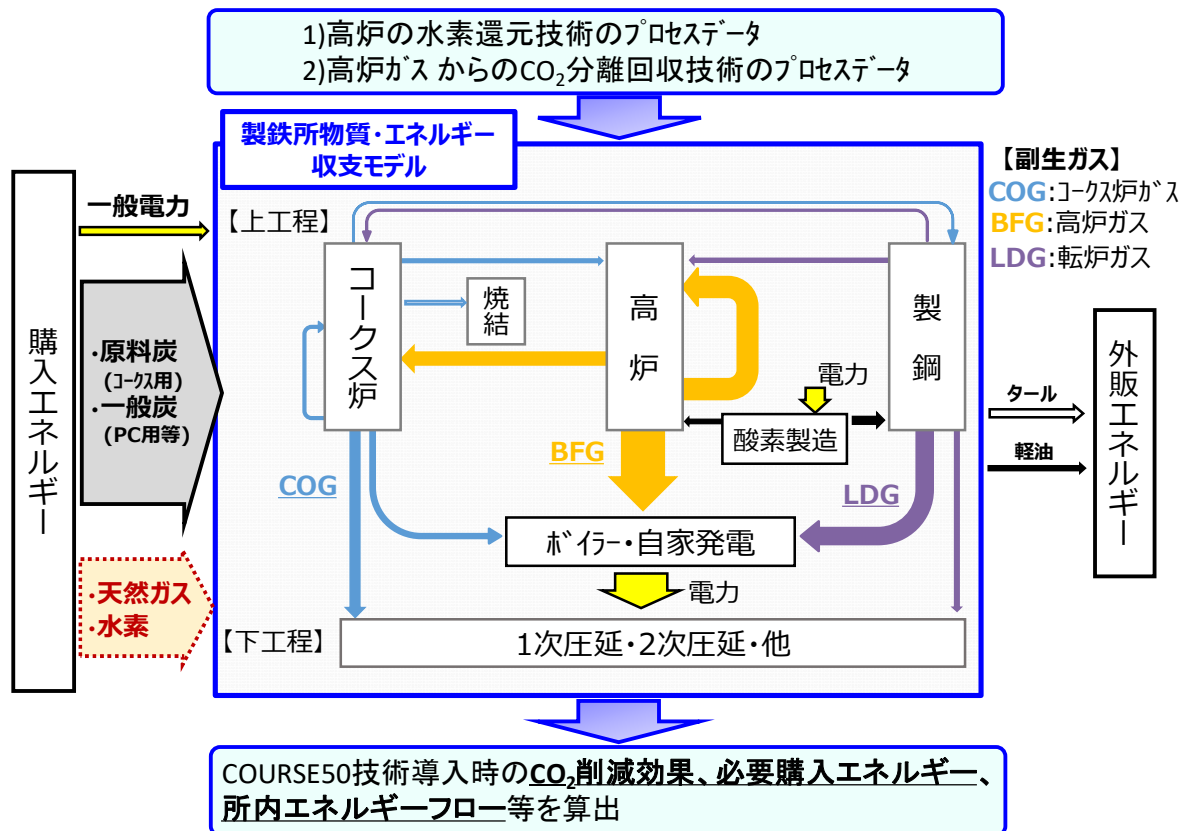
研究開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
SG8:全体プロセス評価・検討	製鉄プロセス全体の最適化を検討し、製鉄所からのCO ₂ 排出量30%削減を可能にするための技術確立に対して、総合的な評価、検討を行う。	COURSE50で開発した高炉水素還元技術およびCO ₂ 分離回収技術を製鉄所に導入すれば、製鉄所全体でPJ目標CO ₂ 約30%削減は達成可能であるとの見通しを得た。	○	
	特に、プロジェクト最終動向についての、総合的な判断を行う。	外部環境の変化に対応して、開発方針の変更(水素使用量の効率化と水素還元の拡大を狙った要素技術開発)を行い、事業を推進した。今後、COURSE50で獲得した技術を足掛かりに、GI基金事業において、2030年COURSE50実用化、2050年カーボンニュートラルに向けたGI基金事業の技術開発を進める。	○	
	CO ₂ 削減効果については、水素還元でCOG中の水素や外部からどのタイプの水素を使用するか、経済合理性の視点から総合的に評価する。	経済性の観点から、現行の炭素ベース製鉄所に、COURSE50技術を導入してCO ₂ 低減を図るためには、水素価格の大幅低減が必要であることが示唆された。	○	

◆各個別テーマの成果と意義：SG8:全体プロセス評価・検討

【製鉄所全体のCO₂削減効果検討】

【前提】

- ・粗鋼生産量：800万トン/年モデル製鉄所
- ・鉄鉄生産量：782万t/年(高炉2基体制)
- ・購入エネルギー：石炭、一般電力、天然ガス、水素(C-free)
- ・電力：所内の主要電力は、副生ガス利用による自家発電電力を使用、不足分を一般電力で補う。
- ・副生ガスに余力が出た場合、発電量増加が可能とする。



【成果】

【CO₂削減効果検討】

- ・COURSE50で開発した高炉水素還元技術およびCO₂分離回収技術を製鉄所に導入すれば、**製鉄所全体でPJ目標CO₂約30%削減は達成可能**であるとの見通しを得た。
- ・現行の炭素ベース製鉄所COURSE50技術を導入してCO₂低減を図るためには、水素価格の大幅低減が必要であると試算された。

【状況変化に応じたプロジェクト運営】

外部環境の変化に合わせて、開発方針の変更(水素使用量の効率化と水素還元の拡大を狙った要素技術開発)を行った。今後、**GI基金事業**において、**2030年COURSE50実用化、2050年カーボンニュートルに向けた技術開発に発展的に移行する。**

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

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

- ・COURSE50フェーズⅡ-STEP1は、2018年度から2022年度の5カ年、試験高炉操業の完遂を初めとして、各サブテーマとも計画通り開発を実行した。
- ・2020年度には、NEDO中間評価を受け、プロジェクトの中間目標を計画通り達成した。
- ・政府の「2050年カーボンニュートラル宣言」(2020/10)に代表される「地球温暖化課題の状況変化」を的確に反映し、それに対応したプロジェクト運営を行うため、高炉の水素還元技術については、2020年度に開発計画の見直しと2021年度に新たな開発方針を策定した。具体的には、高炉の水素使用量の効率化に加えて更なるCO₂低減を指向した水素還元の拡大化を図るため、高炉からのCO₂排出削減技術の事業目標を当初の「約10%削減」から「10%以上」に目標変更して開発を推進し、下表に示すように、事業の最終目標を達成した。
- ・今後は、COURE50で開発した高炉水素還元技術およびCO₂分離回収技術の成果・知見を足掛かりに、GI基金事業において2050年カーボンニュートラルに向けた革新技术開発に取り組む。

研究開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①【水素活用還元技術】 研究開発項目(a) 高炉からのCO ₂ 排出削減技術開発	・高炉からのCO ₂ 排出10%以上減の実現性を技術的に最大化する技術の見通しを得る。	・実験(試験高炉)と理論(数学モデル)の両面から、常温水素系ガス吹込み操作による高炉からのCO ₂ 排出10%以上削減が技術的に可能であることを立証した。 ⇒GI基金事業において水素還元の最大化を狙ったSuper COURSE50開発を行う。 ・実機を用いた「全周羽口吹込み」試験については、GI基金事業において実施する。	○	
②【CO ₂ 分離回収技術】 研究開発項目(b) 高炉ガス(BFG)からのCO ₂ 分離回収技術開発	CO ₂ 分離回収コスト2,000円/t-CO ₂ を実現可能な技術の充実を図るため、分離回収エネルギー1.6GJ/t-CO ₂ を追求し、CO ₂ 排出削減量約20%の技術に資する。	・混合溶媒系の新吸収液を開発し、ラボ連続試験において熱量原単位1.60GJ/t-CO ₂ に到達した。⇒GI基金事業において実用吸収液を開発する。 ・開発した吸収液と熱交換器を用いて排熱回収コストを試算し、CO ₂ 分離回収コスト目標は達成可能であることを確認した。	○	

◎ 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

◆成果の普及：論文、外部発表等の件数

年度	2018	2019	2020	2021	2022	計
論文(査読有)	1	8	6	6	4	25
論文(査読無)	1	1	1	8	6	17
研究発表・講演	66	43	35	74	65	283
受賞実績	0	0	0	1	0	1
新聞・雑誌等への掲載	4	2	6	5	7	24
展示会への出展	0	1	1	0	0	2

◆成果の普及：成果報告会・シンポジウムの開催、新聞報道等

1. 一般メディアへの掲載例
2021年6月「日経ものづくり」水素還元製鉄
2. 講演会、シンポジウム等におけるCOURSE50成果の紹介
2021年12月 CUUTE-1（地球環境のための炭素の究極利用技術に関するシンポジウム）
・試験高炉操業状況及び各研究成果
2022年3月 日本鉄鋼協会九州支部/日本金属学会九州支部共催 2022年度春季講演会
・湯川記念講演「日本鉄鋼業におけるカーボンニュートラルへの取組」及びCOURSE50研究成果
2021年9月RITE主催「未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西」、10月
PCCC-6(6th Post Combustion Capture Conference)、11月化学工学会：第10回
日中化工シンポジウム、等
・CO₂吸収液に関する成果等の報告、講演等
3. 受賞
・2021年度：第54回市村地球環境産業賞
「工場排ガス中CO₂の低エネルギー分離回収システムの開発」

◆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

○NEDO知財方針を適用し、知財合意書、知財会議を整備

→COURSE50事務局を中心として出願・権利化状況を管理

○知財会議で各サブテーマ毎の知財戦略を策定

→知財マップの作成と出願が必要な技術の洗い出しなどを実施

→基幹技術確保対応(国内・外国出願・権利化)、防衛的対応(国内公開のみ)、

高度ノウハウ技術秘匿(非公開)など、技術レベル・目的に応じた対応実施

→効率的な出願国の選定(大型高炉を保有または火力発電の盛んな国など)

特許出願	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	計
国内	5	5	3	3	1	17
海外	1	1	2	0	0	4

※2022年11月17日現在

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)成果の普及
- (3)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

◆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、本事業の成果により、水素還元等を活用した高炉、及び未利用排熱を活用した高炉ガスからのCO₂分離回収を、製鉄所に実現する技術を確立することである。

事業化とは、上記技術が製鉄事業に組み込まれることである。

◆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】

- ・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等)を実施した。
- ・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った。(参考資料参照(65p))
- ・COURSE50で開発した高炉水素還元技術およびCO₂分離回収技術の成果・知見を足掛かりに、GI基金事業においてCOURSE50技術の実用化・事業化に取り組むとともに、2050年カーボンニュートラルに向けた高炉の革新技術開発に挑戦する。

【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、高炉を用いない水素還元技術の提案がなされているが、本手法による多量の鋼材が生産されるのは、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CO₂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】

- ・本開発の成果は本事業を実施した国内高炉メーカーおよびエンジニアリング会社により、実用化・事業化活動を行う。
- ・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】

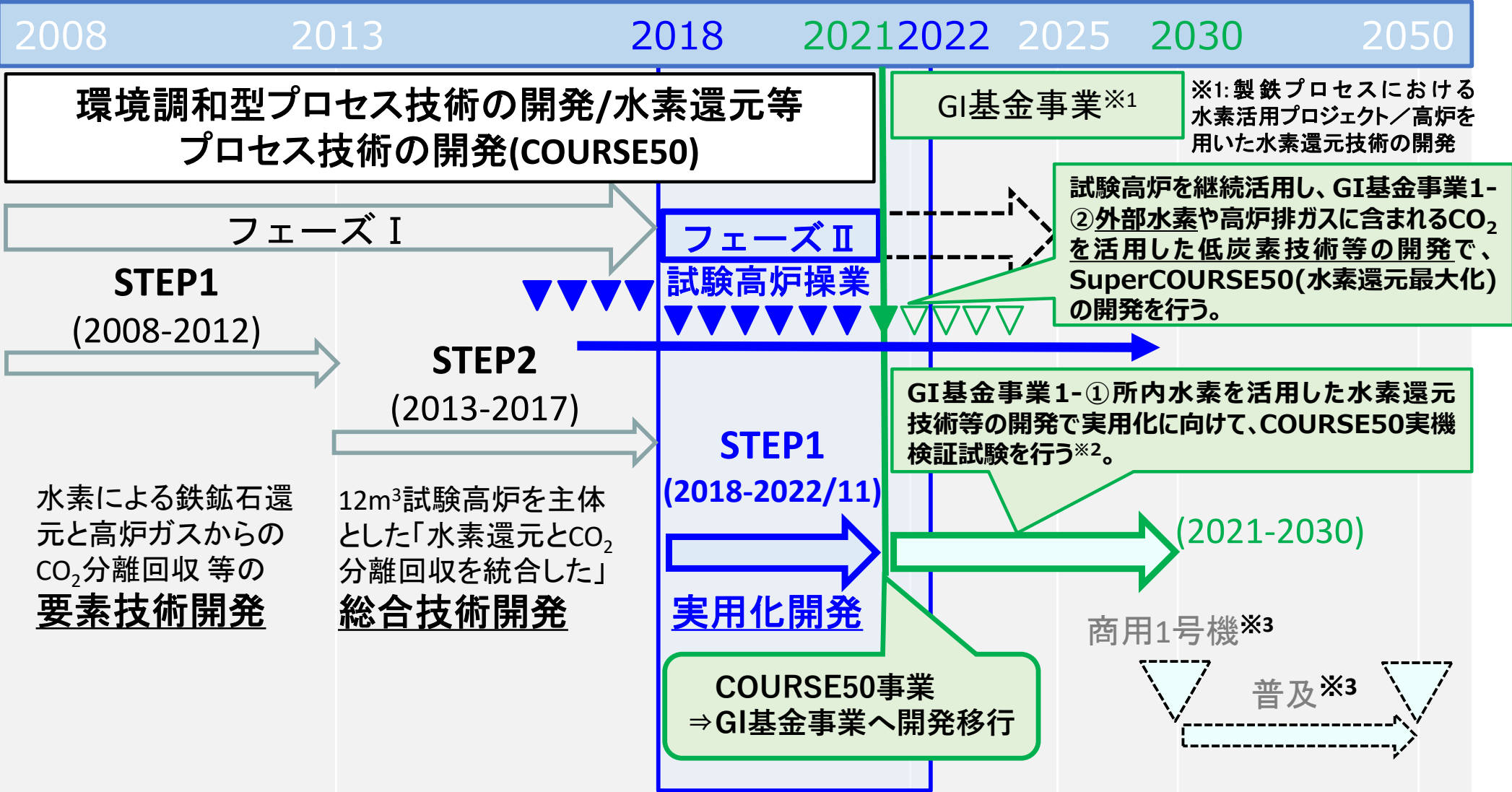
- ・本事業成果の社会実装化および本事業成果を活用したカーボンニュートラル技術開発への展開のため、GI基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発」の中で、COURSE50技術の実用化への取組を継続するとともに、2050年カーボンニュートラルに向けた高炉の革新技術開発に挑戦する。

【高炉の水素活用還元技術の継続・展開】GI基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発:1-①所内水素を活用した水素還元技術等の開発」で、実機実証試験を行い、その結果を踏まえ、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。また、GI基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発:1-②外部水素や高炉排ガスに含まれるCO₂を活用した低炭素等の開発」で、水素還元の最大化を狙ったSuperCOURSE50高炉の開発を行う。

【高炉ガスからのCO₂分離回収技術の継続・展開】GI基金事業「高炉を用いた水素還元技術の開発:1-②外部水素や高炉排ガスに含まれるCO₂を活用した低炭素技術等の開発」で、CO₂分離回収コスト低減のための新規高性能吸収液の実用化開発を行うとともに、高炉以外での実用化を進めながら、将来CCSやCCUの技術が確立したタイミングで、製鉄所導入に向けた具体的なエンジニアリングを行う。

(次項62p:開発計画概要)

◆ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討



※2:日本製鉄(株)東日本製鉄所君津地区第二高炉において常温水素系ガス吹込み設備導入、2025年度下期実機実証開始予定。

※3:実用化には、CO₂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が前提。2030年頃までに1号機の実機化、高炉設備の更新 タイミングを踏まえ、2050年頃までに普及を目指す。

◆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CO₂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】

- ・水素還元などのカーボンニュートラル技術は開発期間が長期にわたるため、本成果は早期のCO₂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等）により、CO₂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、グリーン電力・水素価格の低下などを加味して、経済効果の最適化を追求していく。

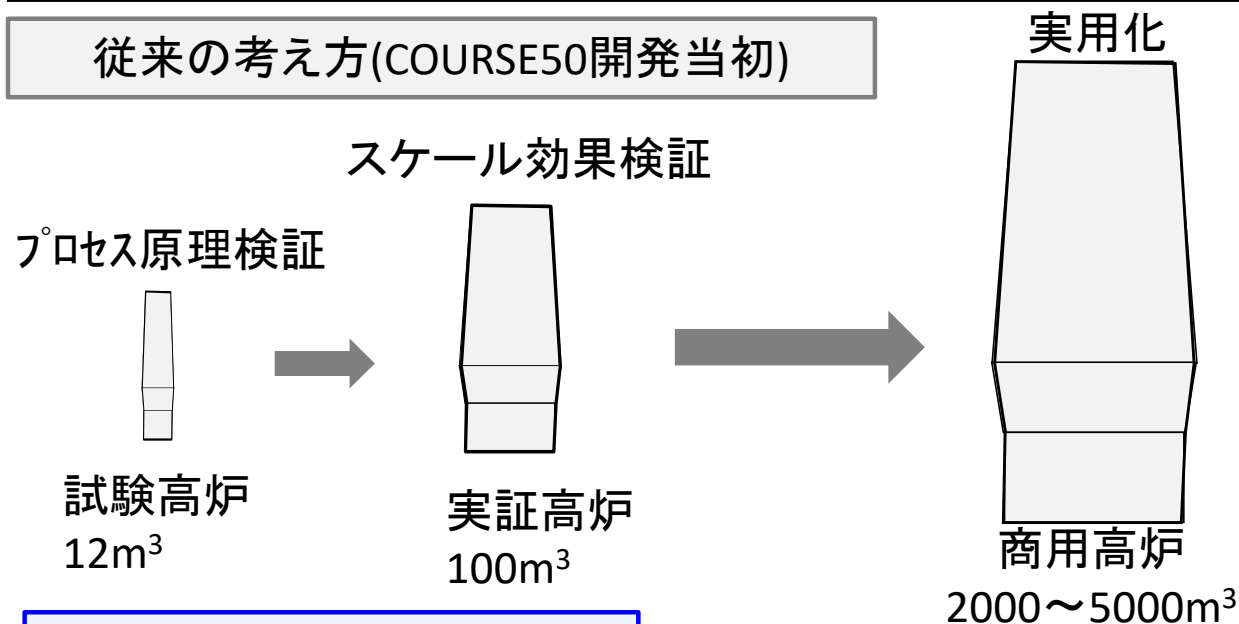
【波及効果】

- ・CO₂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、積極的に技術を活用することで、社会に貢献している。(参考資料参照(66p))

參考資料

◆ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討:スケールアップの考え方

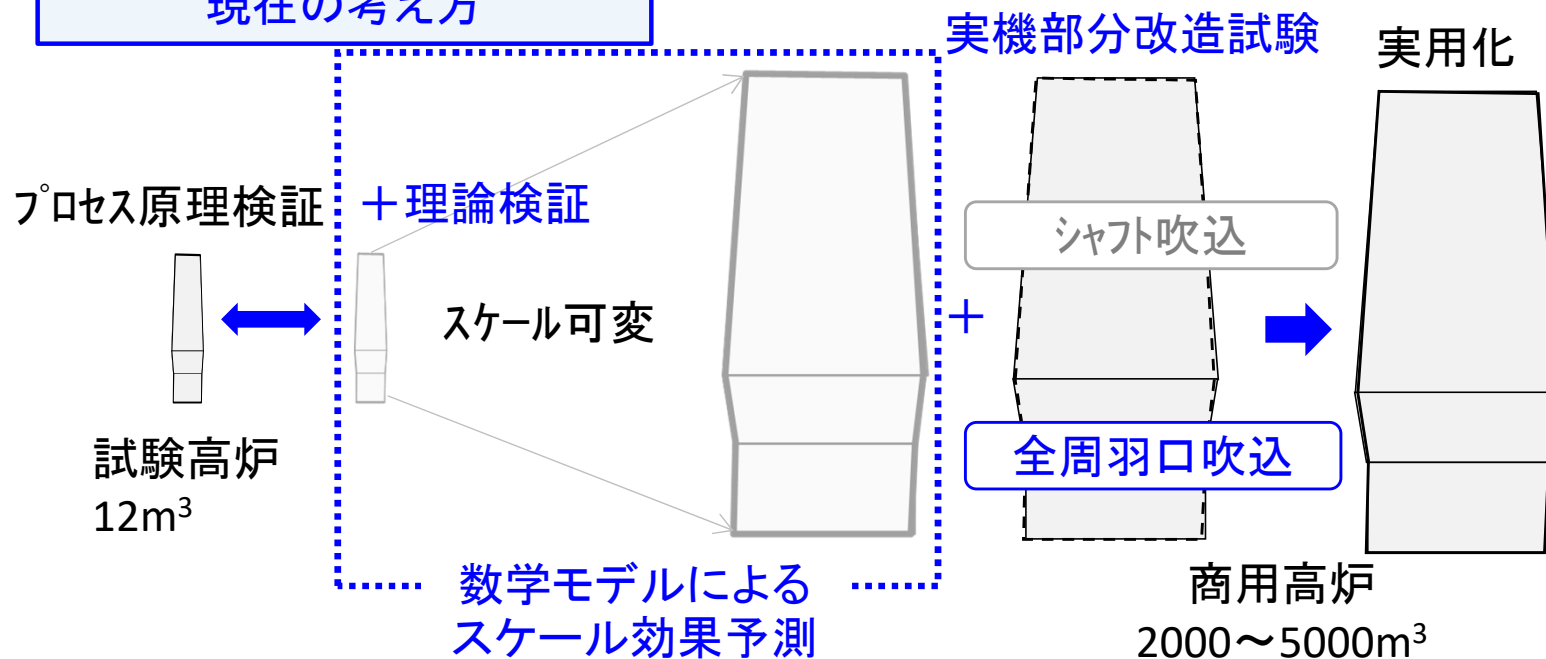
従来の考え方(COURSE50開発当初)



従来の考え方では、多大な費用と時間を要す。

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「スケールアップ検証方法の変更」により、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った。

現在の考え方



スケールアップ評価技術

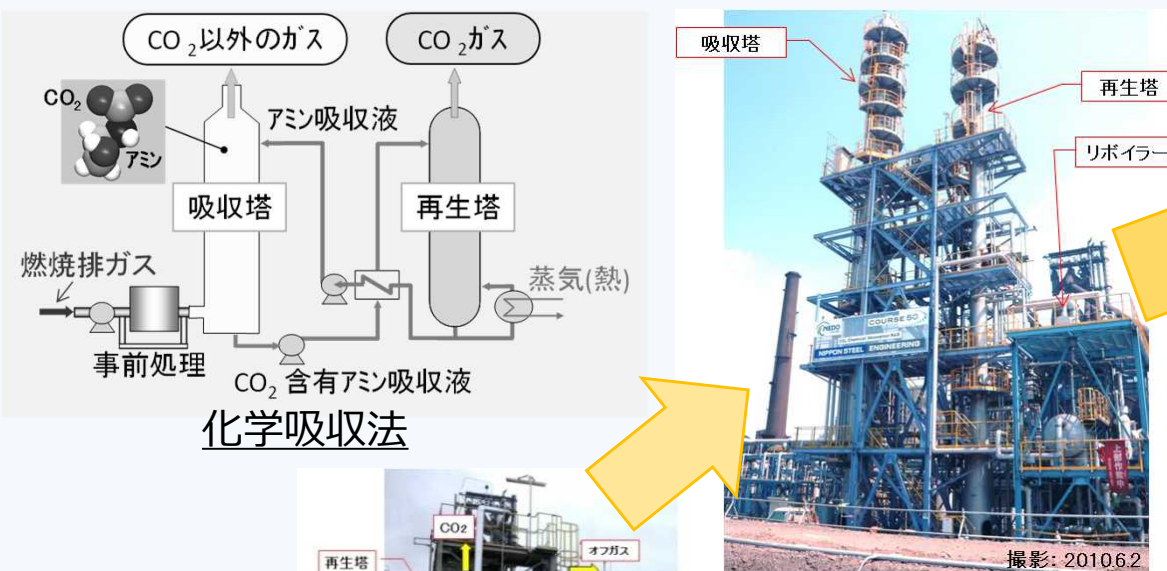
- ・試験高炉によるプロセス原理検証
- ・数学モデルによる理論検証
- +
- 実機部分改造試験
- ・不確実性現象の確認

⇒実用化を目指す。

◆波及効果：COURSE50技術成果の早期商用化

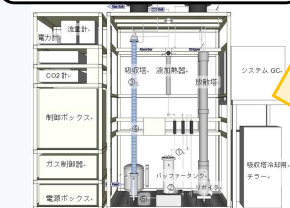
COURSE50で開発した化学吸収法のCO₂分離回収技術は製鉄以外の分野で早期商用化を行っており、積極的な技術活用を行うことで、社会貢献に寄与している。

COURSE50研究開発設備:CO₂分離回収(化学吸収法)



CAT30
30t-CO₂/d パイロットスケール
実高炉排ガス(BFG)を使用してCO₂分離回収

サンプルガス使用
CO₂分離回収



CAT-LAB
5kg-CO₂/d ラボスケール



CAT1
1t-CO₂/d ベンチスケール

ESCAP™※ 商用化:2基



製造CO₂ 純度:
>99.9 vol%

- ・化学吸収液：日本製鉄 & RITE
- ・化学プロセス：日鉄エンジニアリング

CO₂分離回収商用設備

(写真:エアウォーター炭酸(株)設備、室蘭製鉄所構内)

- ・適用先：1)エアウォーター炭酸(株)：120t-CO₂/d
2)住友共同電力(株)新居浜西火力発電所：143t-CO₂/d

・ESCAPの進展状況：

- ①製鉄所への導入へ向けた具体検討を実施中
(室蘭とは異なる種類の製鉄ガス。用途は食品向け含む。)
- ②その他、化学工場、焼却施設からの回収、及びメタン原料等への有効利用、海外EOR(石油増進回収)向けの適用検討を実施中。

※ESCAP(Energy Saving CO₂ Absorption Process) は、日鉄エンジニアリング(株)の登録商標。