

# 「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた技術開発」

(事後評価)

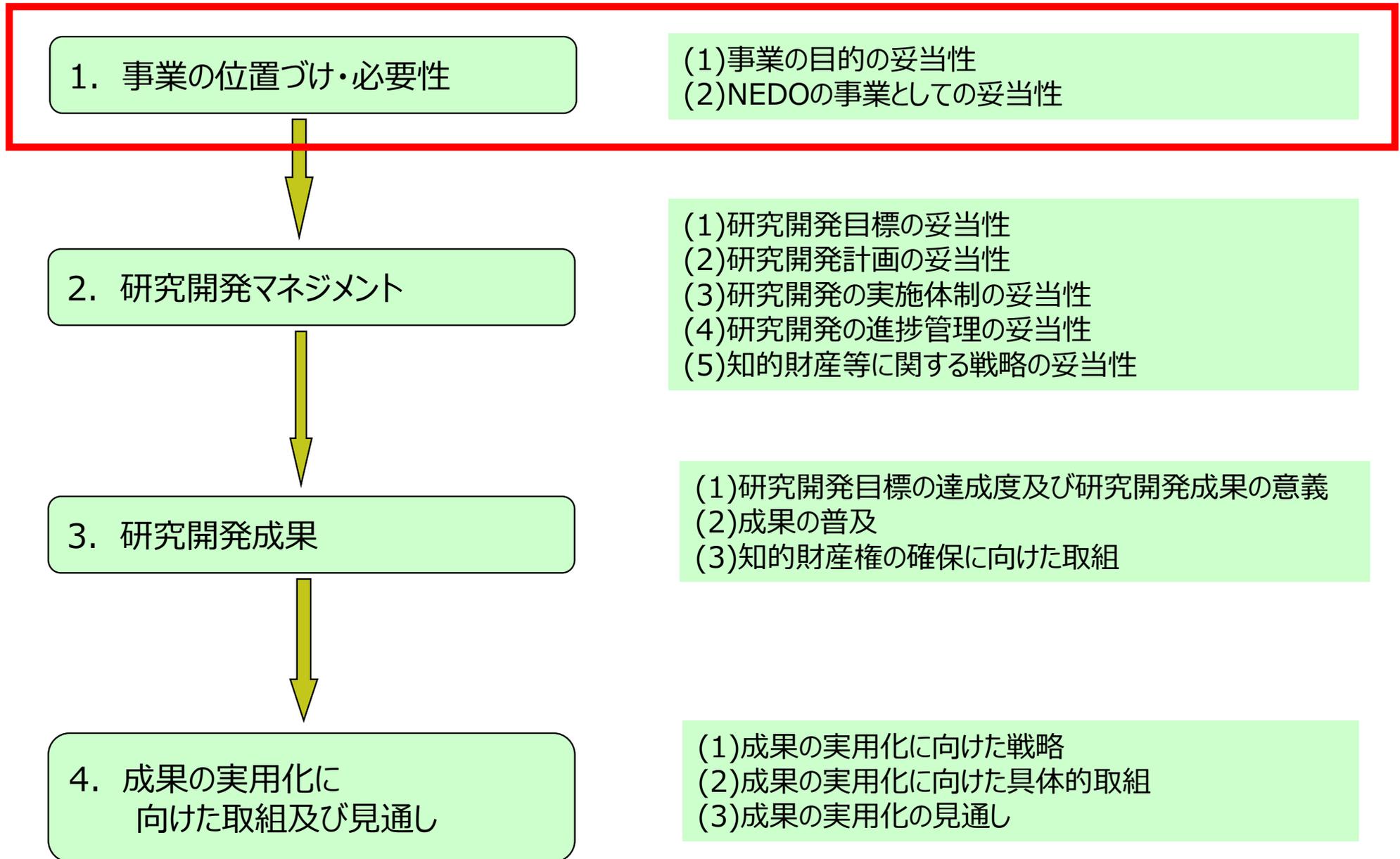
(2020年度～2021年度 2年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO

環境部

2022年12月23日



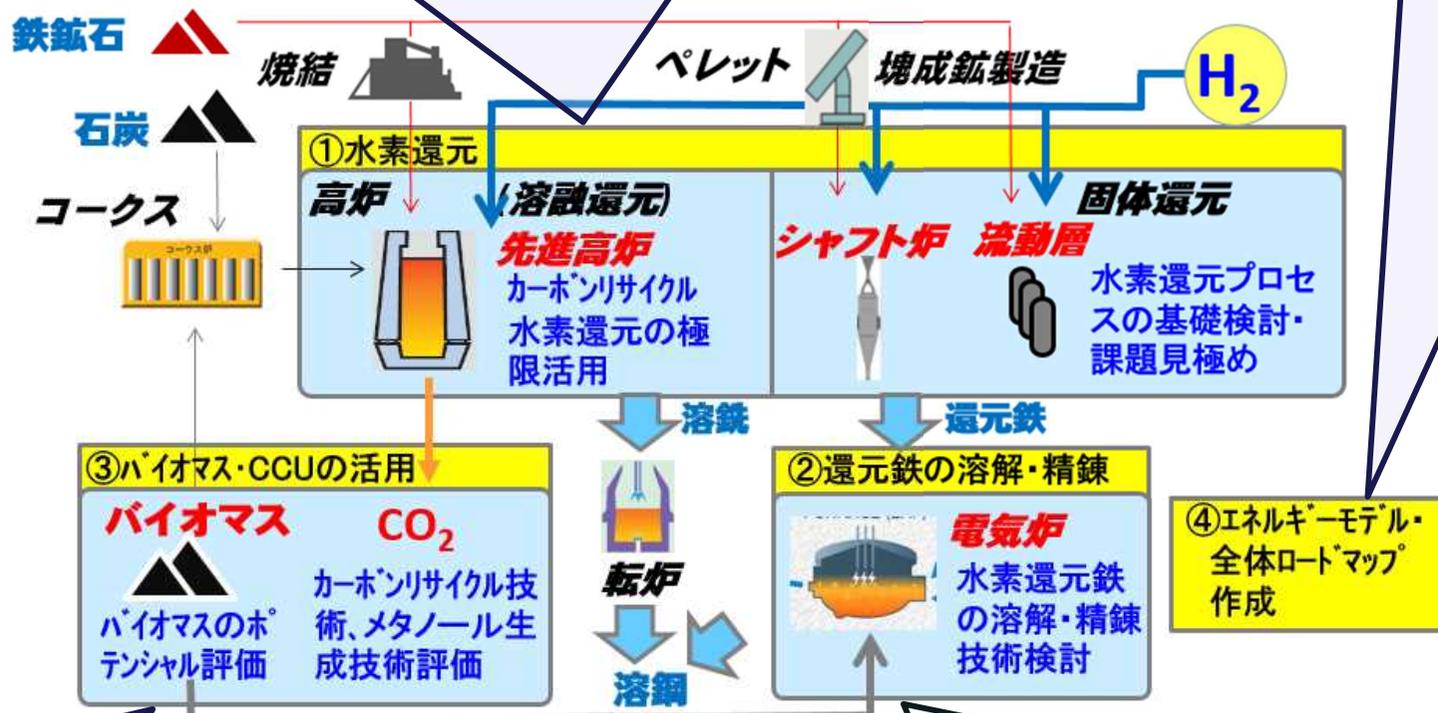
◆ 事業実施の背景と事業の目的

事業期間：2020年6月～2022年3月

ゼロカーボン・スチールの実現に向けた超革新的技術および過渡的技術として有望な技術を抽出、各技術の開発ロードマップを作成、それらを総合し、本事業後の研究開発計画を明確化する

① 水素還元に関わる技術調査および開発ロードマップの作成

④ 全体評価および全体ロードマップの作成



③ 高炉一貫製鉄所におけるCCU 技術（バイオマス含む）のポテンシャル調査とロードマップ作成

② 水素還元を前提とした還元鉄溶解・精錬に関わる技術調査および開発ロードマップの作成

## ◆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

ゼロカーボン・スチールの実現に向けた超革新的技術および過渡的技術として有望な技術を抽出、各技術の開発ロードマップを作成、総合し、本事業後の研究開発計画を明確化する



1) 水素還元、溶解・精錬に関わる技術調査、課題抽出

高炉法におけるCCU技術のポテンシャル調査

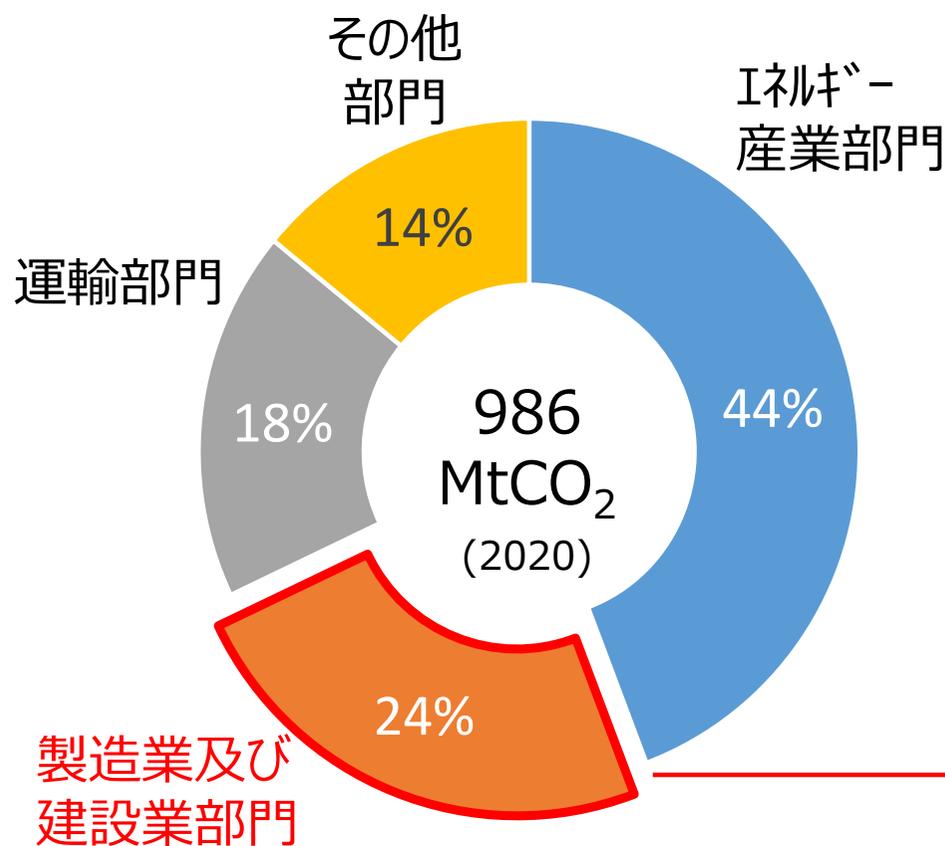
2) 「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた研究開発ロードマップの作成

参考

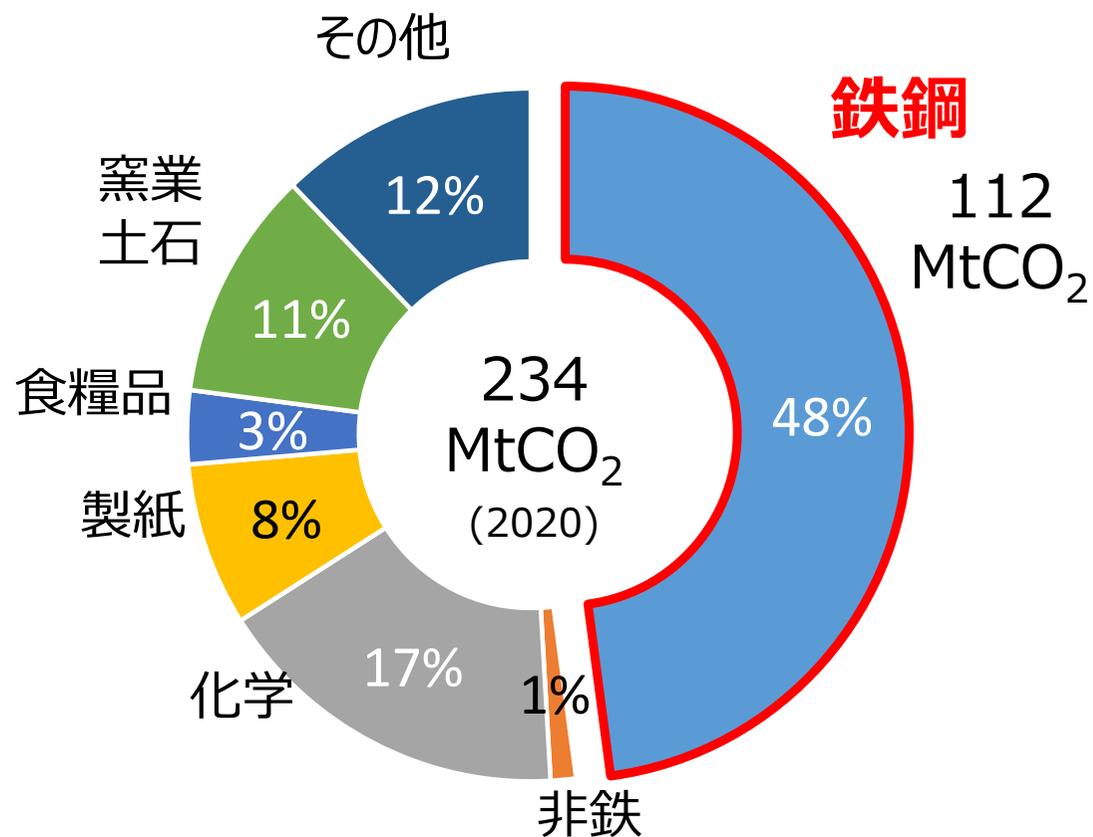
◆ 事業実施の背景と事業の目的

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CO<sub>2</sub>  
排出量に占める各業種の割合



## ◆政策的位置付け

### ■ パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略 (2019年)

今世紀後半のカーボンニュートラルに向けた基本的考え方、ビジョンとして、**革新的環境イノベーション戦略**を示す。(2020年1月) 日本の技術力による大きな貢献が可能な39テーマに『水素還元製鉄技術等による「ゼロカーボン・スチール」の実現』を設定。CO<sub>2</sub>フリー水素での鉄鉱石還元の超革新的な技術等化石資源依存からの脱却、カーボンリサイクル技術によるCO<sub>2</sub>の原燃料化が謳われる。

### ■ 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)

地球温暖化対応は、産業構造や経済社会の変革・成長の機会ととらえるべき。  
達成目標は、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 (2021年6月)

新しい時代をリードする、大胆な投資、イノベーションを起こす民間企業の前向きな挑戦を応援。成長が期待される産業(14分野)で、製鉄はカーボンリサイクル・マテリアル産業として設定。

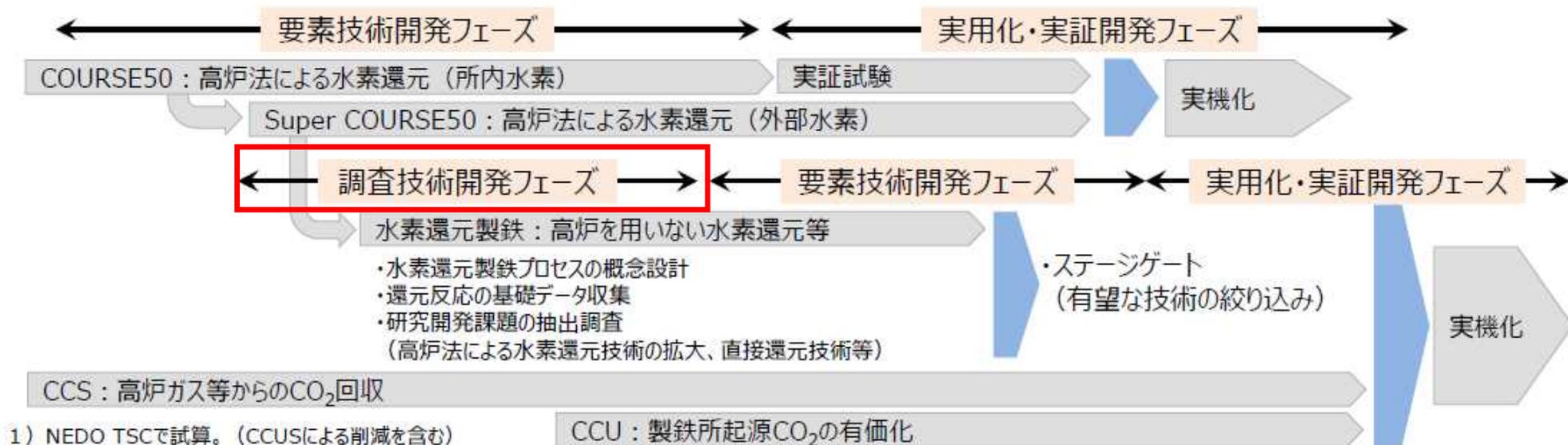
### ■ 本事業で抽出した有望な技術、作成した技術開発ロードマップを、カーボンニュートラルの加速化に対応するための**GI基金に活用**

(「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」(2021年10月)の水素還元製鉄にも合致)

◆技術戦略上の位置付け

➤ 2020年1月「革新的環境イノベーション戦略」に記載の“早期の水素還元製鉄技術の実現”に向け、本格的な研究開発事業の開始を見据え、超革新的技術、過渡的技術として有望な技術を抽出し、それらの技術開発ロードマップ作成する「**「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた技術開発**」を2020年6月に開始。

●革新的環境イノベーション戦略(2020年1月)



出典：「革新的環境イノベーション戦略」(2020年1月)

## ◆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）開発を継続してきたが、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
- 2022年度に入り日本高炉3社もカーボンニュートラルにつき発表
  - ・日本製鉄はCO<sub>2</sub>排出実質ゼロの鋼材を新ブランド「N Sカーボレックス・ニュートラル」として2023年度上期に発売
  - ・J F E スチールは高炉1基を電気炉に切り替えるなど排出削減を進め、グリーン鋼材としての販売を目指す
  - ・神戸製鋼所はいち早く低CO<sub>2</sub>高炉鋼材「コバナブル・スチール」を販売し、第1号の採用を得た

| 年代                              | ヨーロッパ  | 日本  |
|---------------------------------|--|---|
| 2009年<br>～2020年頃<br>(リーマンショック後) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・資金不足でULCOSプロジェクト中断</li> <li>・CO<sub>2</sub>排出抑制ニーズを受け新プロセスの開発を再開</li> <li>・水素還元：Hybrit、Midrex-H</li> <li>・高炉・電炉＋CCU&amp;CCS：Smart Carbonに関連するプロジェクト</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・COURSE50プロジェクトを継続、試験高炉での実験を実施</li> <li>・フェロコークス研究開発を開始</li> <li>・「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</li> </ul> |
| 2021年～現在                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・複数企業がCO<sub>2</sub>削減鋼を2030年までに商業規模での供給開始表明</li> <li>SSAB：水素DRIの2026年投入</li> <li>ティッシンクルップ<sup>o</sup>：2030年に300万ton/年</li> <li>アルセロールミittal：2025年に10万ton/年</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・フェロコークス実証フェーズ継続</li> <li>・「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</li> <li>・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</li> </ul>  |

◆ 他事業との関係

本事業とCOURSE50事業の成果を踏まえて、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～)へ発展

革新的環境イノベーション戦略  
(2020年1月)

2050年カーボンニュートラル宣言  
(2020年10月)  
グリーン成長戦略 (2021年6月)

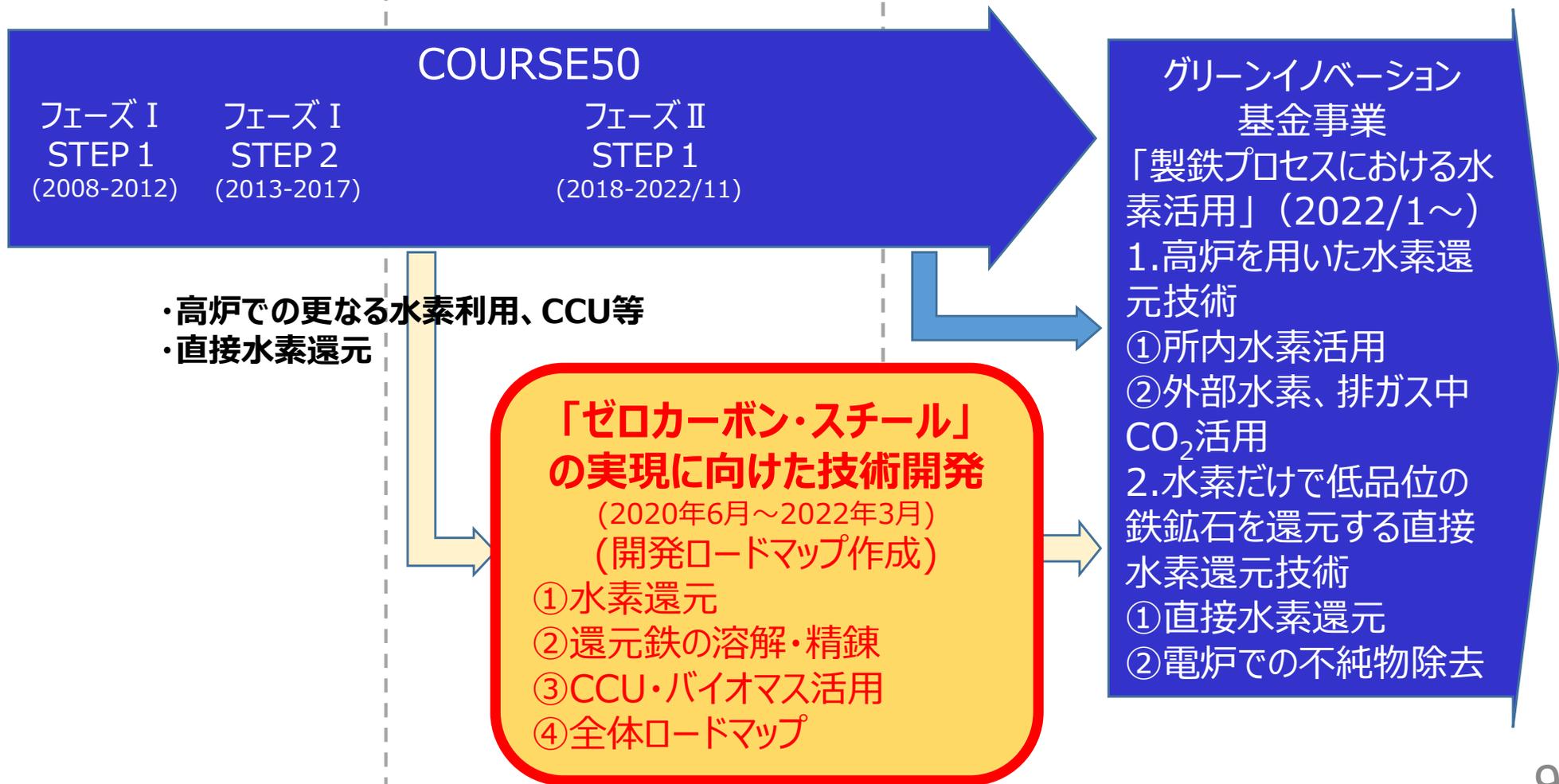
2008年

2013年

2018年

2022年

2030年



## ◆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

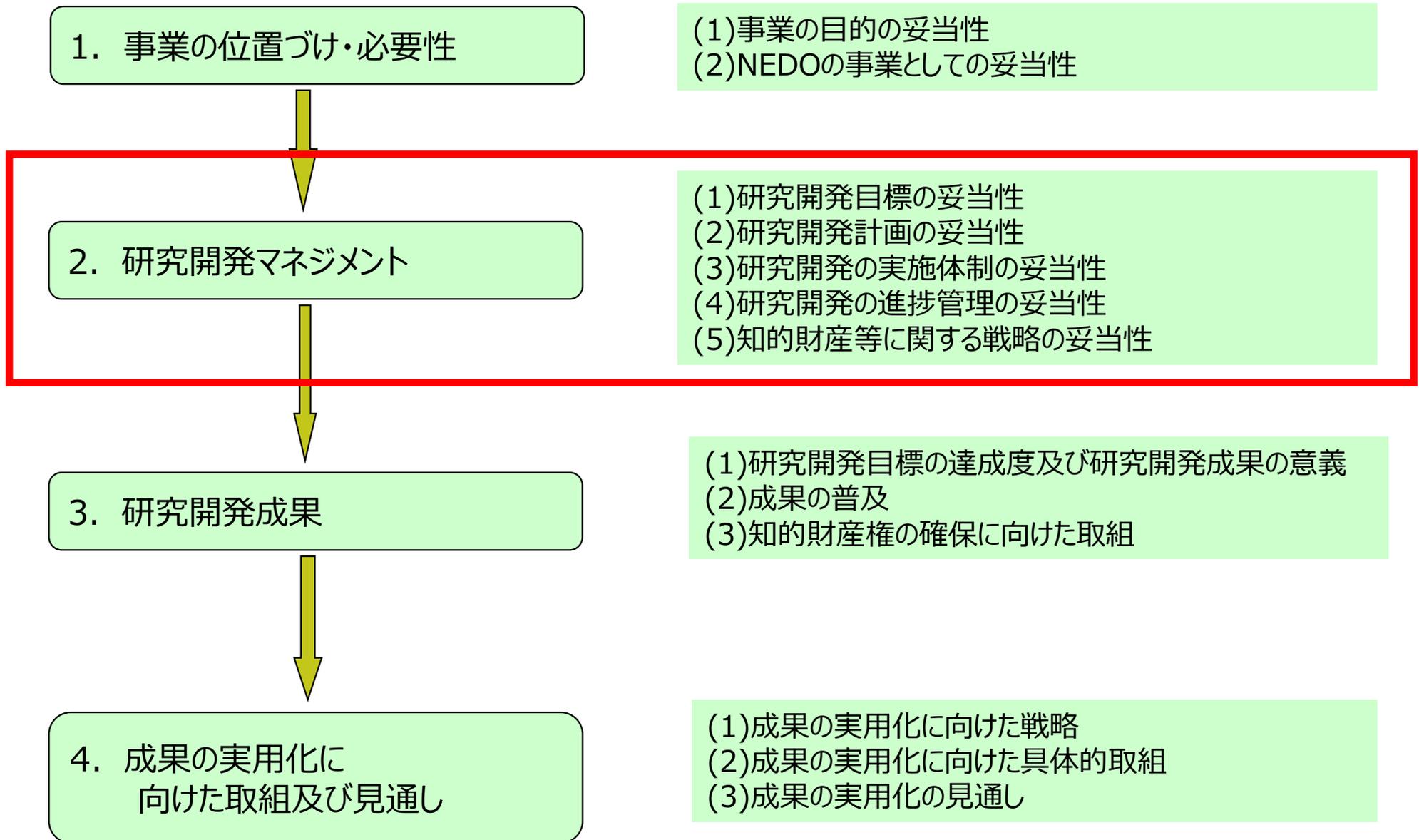
- プロジェクト費用の総額 1.91億円

### ●アウトカム

- 水素還元製鉄等による「ゼロカーボン・スチール」の実現により、  
グリーンスチール市場※の獲得に貢献

※世界のグリーンスチール市場規模（2050年時点見込み）：  
約5億トン/年（約40兆円/年）

（出典：2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（IEA推計値を基に  
平均鉄鋼価格：8万円/トンとして推算したもの））



◆ 事業の目標

● 最終目標：

- ・水素還元製鉄の技術開発や実用化における諸課題の抽出等
- ・「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた研究開発ロードマップの作成

● 目標設定の根拠：

ゼロカーボン・スチール製鉄の実現に向けた本格的な研究開発事業につなぐためには、複線的に有望な技術を抽出し、それらの技術開発ロードマップを作成することにより、本事業後の研究開発の位置づけ・目的を明確化する必要がある。

◆研究開発目標と根拠

| 開発テーマ  |  | 最終目標   | 根拠  |
|--|--|--|---|
| ①水素還元に関わる技術調査および開発ロードマップの作成                        | <高炉、シャフト炉、流動層>還元プロセスにおけるCO <sub>2</sub> 削減技術に関する技術調査および課題抽出・要素技術洗い出し | 高炉法、シャフト炉、流動層に関する技術調査を行い、技術的な視点での課題抽出及び対応技術に関する要素技術を抽出し、各項目のロードマップ作成に反映する。                         | 開発の効率化、早期実用化のためには鉄鉱石の水素還元プロセスの候補となる、先進高炉法、シャフト炉、流動層について、技術動向を把握するとともに、水素還元に応用した際の課題の抽出と必要要素技術の洗い出しを行う必要がある。 |
|  | <シャフト炉、流動層>ボトルネック課題に関わる技術調査と基礎検討(固体還元)                               | 水素還元に応用した場合のボトルネックとなることが推定される課題についての文献調査や実験等を含めた基礎検討を行い、ボトルネック課題をブレークダウンするとともに、解決のための必要要素技術を明確化する。 | 現行の鉱石固体還元プロセスにおけるボトルネック課題について、劣質鉱石の水素還元への展開時の挙動・変化を推定し、解決のための必要要素技術を明確にしてロードマップに繋げる。                        |
|  | <高炉、シャフト炉、流動層>水素還元プロセスの概念設計のための基礎検討と開発ロードマップの作成                      | 上記の技術調査結果および抽出課題・要素技術に基づき、先進高炉・シャフト炉・流動層の各プロセスについて概念設計のための基礎検討と実施するとともに開発ロードマップを作成する。              | カーボンニュートラル製鉄における鉄鉱石還元法として超革新的技術および過渡的技術の有望技術に当たる先進高炉法、シャフト炉、流動層の技術開発ロードマップは本格的な研究開発事業につなぐためにも必須である。         |
| ②水素還元を前提とした還元鉄を前提とした還元鉄溶解・精錬に関する技術調査および開発ロードマップの作成 | 水素還元を前提とした還元鉄溶解・精錬に関する技術調査および課題抽出・要素技術洗い出し                           | 豪州産鉱石の水素還元を前提とした溶解、精錬プロセスに関する技術調査と課題を抽出する。   | 低品位の豪州産鉱石の水素還元鉄を前提として、従来の転炉法より精錬能力が劣位となる電気炉で高級鋼を製造するためには、技術課題を抽出するとともに、その知見に基づいた開発ロードマップの作成が必要である。          |
|  | 水素還元を前提とした還元鉄溶解・精錬に関する開発ロードマップの作成                                    | 水素還元を前提とした還元鉄溶解・精錬に関するロードマップを作成する。   |   |

◆研究開発目標と根拠

| 開発テーマ  |   | 最終目標   | 根拠  |
|--|---|--|---|
| ③高炉一貫製鉄所におけるCCU技術（バイオマス含む）のポテンシャル調査とロードマップ作成 | 高炉一貫製鉄所におけるCCU技術のポテンシャル調査およびロードマップ作成      | 高炉一貫製鉄所から発生する炭素の有価化という点に絞り込んで、CO <sub>2</sub> 削減ポテンシャルを評価するとともに、ロードマップを作成する。 | 製鉄所の排出ガス量や組成、立地などの実態も考慮に入れたCCUの検討例はなく、製鉄所におけるCCUの実現や将来の産業間連携などの検討のためにも必要である。                                |
|  | 主要要素技術に関わる技術調査：排ガスからのメタノール生成に関する調査および基礎検討 | 製鉄所への適用を考慮したメタノール生成プロセスに関する技術調査、実験等による課題の明確化する。                              | CCUの用途として研究開発が先行し、需要量も多いメタノールについて、製鉄所への適用を想定した検討を行う。  |
|  | バイオマス利用技術動向調査とポテンシャル評価                    | 製鉄プロセスにおけるバイオマス利用の実態調査を行い、廃プラスチック利用と比較して国内製鉄所を想定した開発課題を整理する。                 | カーボンニュートラル製鉄においても炭材は必要であり、有望炭素源であるバイオマスについて供給ポテンシャルと課題整理が必要である。   |
| ④全体評価および全体ロードマップの作成                          | エネルギー・物質収支を考慮したエネルギー簡易モデルの作成および全体評価       | エネルギー簡易モデルを作成し、CO <sub>2</sub> 排出量および製鉄所内のエネルギーバランスの定量評価する。                  | 既存プロセスからカーボンニュートラルに向けた各種新プロセスに移行する際の、CO <sub>2</sub> 削減量および製鉄所内のエネルギーバランスを評価するための製鉄所エネルギーモデルを構築する。          |
|  | 全体ロードマップの作成                               | 2050年カーボンニュートラル実現を目標に、還元、溶解精錬、CCU（バイオマスを含む）プロセスを組み合わせた全体ロードマップを作成する。         | カーボンニュートラル製鉄の実現に向けた本格的な研究開発事業につながるためには、複線的に有望な技術を抽出し、それらの技術開発ロードマップを作成することにより、本事業後の研究開発の位置づけ・目的を明確化する必要がある。 |

## 2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

### ◆ 研究開発のスケジュール

| 事業項目  | 2020年度                      |    |    |    | 2021年度                      |    |    |    |
|---|-----------------------------|----|----|----|-----------------------------|----|----|----|
|   | 1Q                          | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q                          | 2Q | 3Q | 4Q |
| <b>研究開発項目①：水素還元に関わる技術調査および開発ロードマップの作成</b>                 |                             |    |    |    |                             |    |    |    |
| ①-1 還元プロセスにおける省CO <sub>2</sub> 技術に関する技術調査および課題抽出・要素技術洗い出し | ← 技術調査・課題抽出                 |    |    |    | → 深掘り調査とまとめ                 |    |    |    |
| ①-2-1 先進高炉1 (Super Course 50) の概念設計のための基礎検討とロードマップ作成      | ← CO <sub>2</sub> 発生量低減効果検討 |    |    |    | → H <sub>2</sub> 還元限界律速因子検討 |    |    |    |
| ①-2-2 先進高炉2 (カーボンリサイクル高炉) の概念設計のための基礎検討とロードマップ作成          | ← 技術調査                      |    |    |    | → 開発ロードマップ作成                |    |    |    |
| ①-3-1 シャフト炉に関するボトルネック課題調査-1<br>-鉄鉱石の塊成化技術に関する技術調査         | ← 技術調査・課題抽出                 |    |    |    | → 深掘り調査とまとめ                 |    |    |    |
| ①-3-2 シャフト炉に関するボトルネック課題調査-2<br>-シャフト炉に関する熱流動ボトルネックの解析的調査  | ← 数学モデルによる還元・伝熱挙動評価         |    |    |    | → 粒子内還元反応解析                 |    |    |    |
| ①-3-3 シャフト炉方式の概念設計のための基礎検討とロードマップ作成                       | ← 熱供給技術検討、還元挙動評価            |    |    |    | → 開発ロードマップ作成                |    |    |    |

◆研究開発のスケジュール

| 事業項目   | 2020年度         |    |    |    | 2021年度         |    |    |    |
|--|----------------|----|----|----|----------------|----|----|----|
|  | 1Q             | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q             | 2Q | 3Q | 4Q |
| ①-4-1 流動層に関するボトルネック課題調査-<br>1 -文献調査をベースとするボトルネック課題<br>の抽出        | ← 技術調査 →       |    |    |    | ← 適用可能条件の抽出 →  |    |    |    |
| ①-4-2 流動層に関するボトルネック課題調査-<br>2 -水素還元過程で生成する金属鉄形態と<br>還元諸条件の関係定量化  | ← 実験的検討 →      |    |    |    |                |    |    |    |
| ①-4-3 流動層に関するボトルネック課題調査-<br>3 -鉍石種がスティッキング現象に与える影<br>響評価         | ← 実験的検討 →      |    |    |    |                |    |    |    |
| ①-4-4 流動層方式の概念設計のための基礎<br>検討とロードマップ作成                            | ← 流動/還元挙動評価 →  |    |    |    | ← 流動/還元挙動評価 →  |    |    |    |
|  | ← ロードマップ予備検討 → |    |    |    | ← 開発ロードマップ作成 → |    |    |    |
| <b>研究開発項目②</b> ：水素還元を前提とした<br>還元鉄溶解・精錬に関わる技術調査および<br>開発ロードマップの作成 |                |    |    |    |                |    |    |    |
| ②-1 水素還元を前提とした還元鉄溶解・精<br>錬・品質に関わる技術調査および課題抽出・<br>要素技術洗い出し        | ← 技術調査・課題抽出 →  |    |    |    | ← 深掘り調査とまとめ →  |    |    |    |
| ②-2 水素還元を前提とした還元鉄溶解・精錬<br>に関する開発ロードマップの作成                        | ← ロードマップ予備検討 → |    |    |    | ← ロードマップの作成 →  |    |    |    |

◆研究開発のスケジュール

| 事業項目  | 2020年度           |    |                 |    | 2021年度        |    |    |    |
|---|------------------|----|-----------------|----|---------------|----|----|----|
|   | 1Q               | 2Q | 3Q              | 4Q | 1Q            | 2Q | 3Q | 4Q |
| <b>研究開発項目③</b> ：高炉一貫製鉄所におけるCCU技術（バイオマス含む）のポテンシャル調査とロードマップ作成 |                  |    |                 |    |               |    |    |    |
| ③- 1 高炉一貫製鉄所におけるCCU技術のポテンシャル調査およびロードマップ作成                   | ← ポテンシャル調査 →     |    |                 |    | ← ロードマップの作成 → |    |    |    |
| ③- 2 主要要素技術に関わる技術調査：排ガスからのメタノール生成に関する調査および基礎検討              | ← 技術調査 →         |    |                 |    | ← 実機化への課題抽出 → |    |    |    |
|   |                  |    | ← 実験・シミュレーション → |    |               |    |    |    |
| ③- 3 バイオマス利用技術動向調査とポテンシャル評価                                 | ← 技術調査 →         |    |                 |    | ← ポテンシャル評価 →  |    |    |    |
| <b>研究開発項目④</b> ：全体評価および全体ロードマップの作成                          |                  |    |                 |    |               |    |    |    |
| ④- 1 エネルギー・物質収支を考慮したエネルギー簡易モデルの作成および全体評価                    | ← 簡易モデル作成→全体評価 → |    |                 |    |               |    |    |    |
| ④- 2 全体ロードマップの作成  | ← 全体ロードマップの作成 →  |    |                 |    |               |    |    |    |

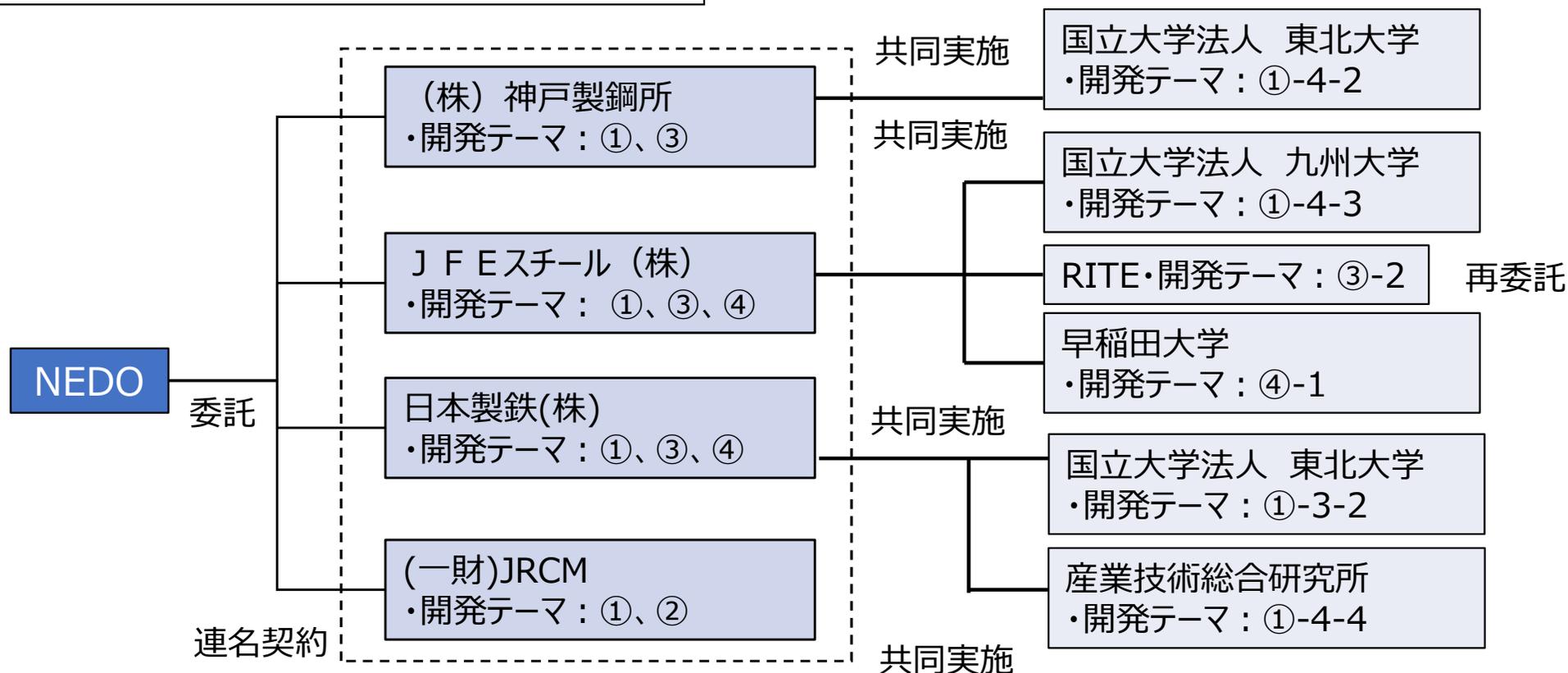
## 2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

### ◆プロジェクト費用

(百万円)

| 開発テーマ   | 2020年度 | 2021年度 | 計   |
|---|--------|--------|-----|
| 「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けた技術開発                      |        |        |     |
| ① 水素還元に関わる技術調査および開発ロードマップの作成                  | 56     | 45     | 101 |
| ② 水素還元を前提とした還元鉄溶解・精錬に関わる技術調査および開発ロードマップの作成    | 7      | 6      | 13  |
| ③ 高炉一貫製鉄所におけるCCU技術（バイオマス含む）のポテンシャル調査とロードマップ作成 | 11     | 36     | 47  |
| ④ 全体評価および全体ロードマップの作成                          | 15     | 15     | 30  |
| 計   | (89)   | (102)  | 191 |

## ◆ 研究開発の実施体制



| 開発テーマ |  |   |  |
|-------|--|---|--|
| ①     | 水素還元に関わる技術調査および開発ロードマップの作成               | ③ | 高炉一貫製鉄所におけるCCU 技術（バイオマス含む）のポテンシャル調査とロードマップ作成 |
| ②     | 水素還元を前提とした還元鉄溶解・精錬に関わる技術調査および開発ロードマップの作成 | ④ | 全体評価および全体ロードマップの作成                           |

## ◆研究開発の進捗管理（2020年6月～2022年3月）

- ・事業者毎に、四半期毎の検査時に研究開発の進捗、予算使用の妥当性、正当性を確認・管理
- ・下記各種会議にて4事業者による研究開発の進捗を確認・調整・管理

### 内容

- ・全体会議（研究開発推進委員会）：開催回数 3（NEDO参加）
- ・①-3シャフト炉関連進捗報告会：開催回数 3（2021年1、6月、2022年1月）
- ・①-4流動層関連進捗報告会：開催回数 3（同上）
- ・②溶解精錬関係進捗関係者議論：開催回数 3（同上）
- ・CCUS関連デロイト技術調査報告会：開催回数 2
- ・調査外注報告会
- ・技術調査報告会
- ・シャフト炉関連調査報告会

◆ 動向・情勢の把握と対応

【動向・情勢】

- 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



【対応】

- 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」プロジェクトの開発指針として、本事業の成果を活用

## ◆ 知的財産権等に関する戦略

- ① NEDO知財方針を踏襲し、知財及びデータの取り扱いについての合意書を締結、知財運営委員会を設置
- ② 先導研究であり、ノウハウの流出や早期公知化の弊害を懸念し、対外公表や出願に対しては慎重に判断

### 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

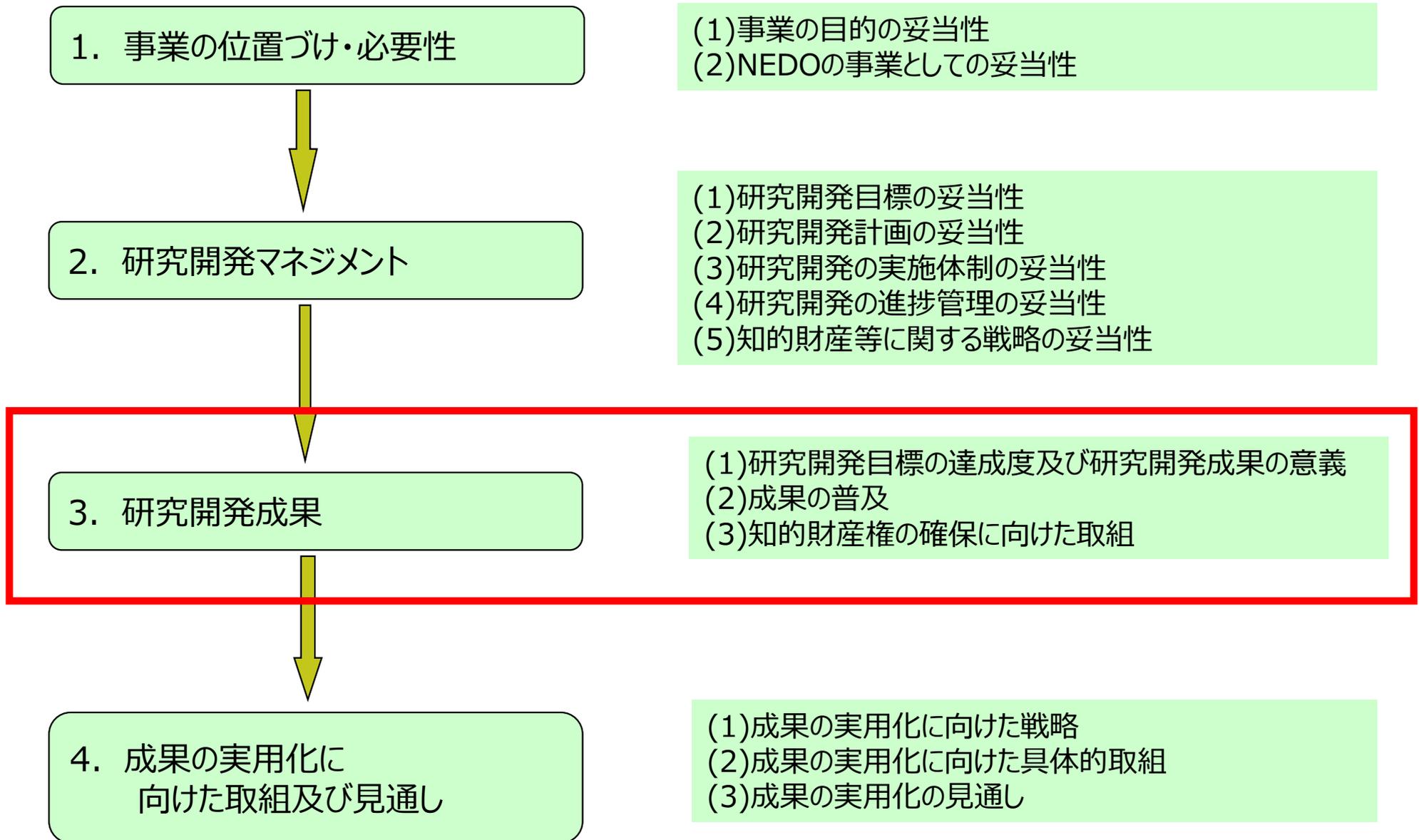
- バイ・ドール調査と調査への協力

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

- ・ 出願手順等は事前に規定、出願の是非、出願内容等を審議する体制を構築。
- ・ 海外への技術流出防止を意識。

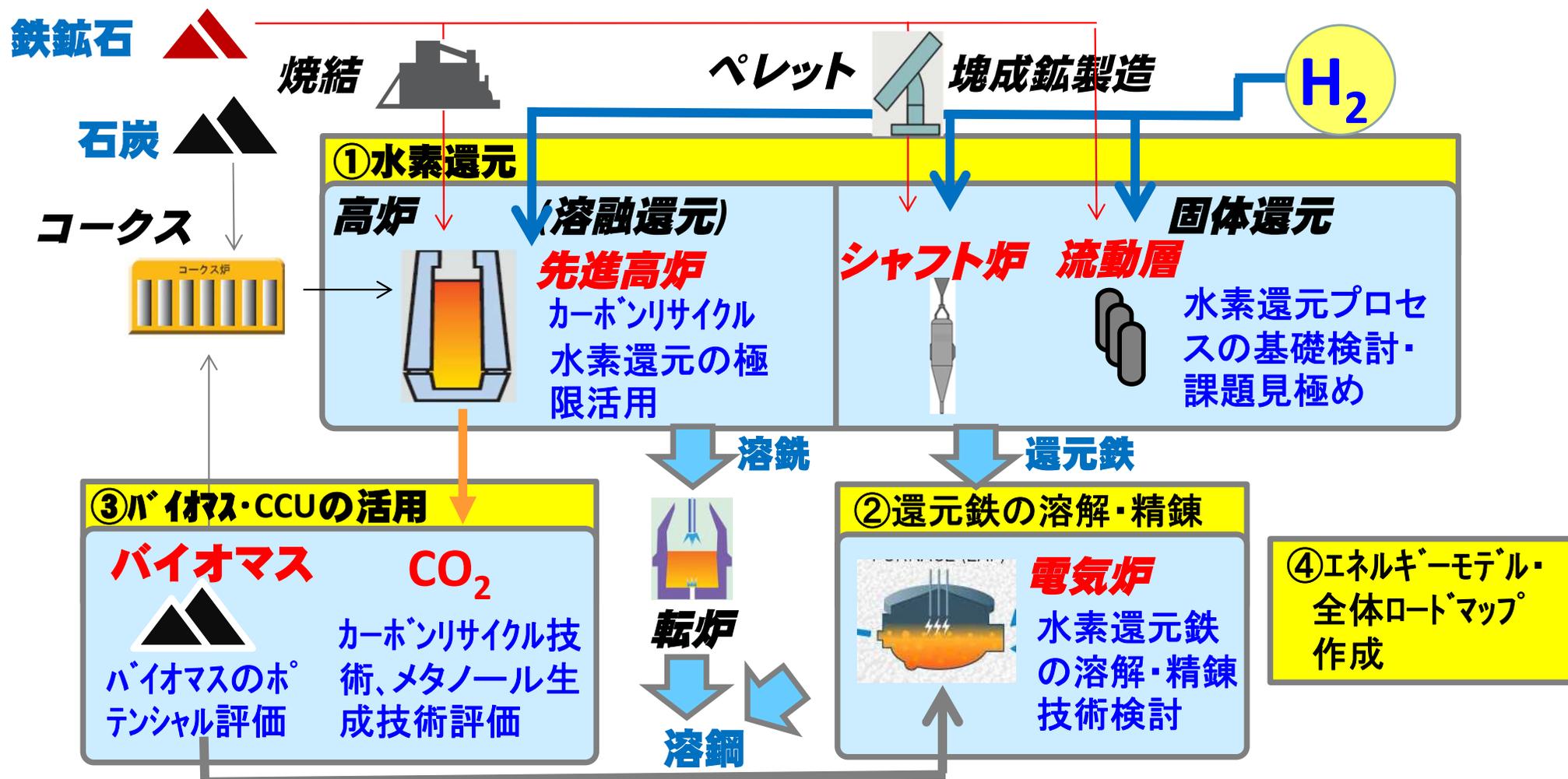
◆ 知的財産管理

- 知財及びデータの取り扱いについての合意書を締結
  - ・出願手続き等について規定
  - ・知財権は発明者主義を採用
  - ・プロジェクト実施者間では  
第三者より有利な条件での許諾を明記



◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

■ 研究開発内容の概要



## ◆研究開発項目 (1)

|        |   |
|--------|---|
| ①      | 水素還元に関わる技術調査および開発ロードマップの作成                            |
| ①-1.   | 還元プロセスにおける省CO <sub>2</sub> 技術に関する技術調査と課題抽出・要素技術洗い出し   |
| ①-2.   | 先進高炉に関わる技術調査と開発ロードマップの作成                              |
| ①-2-1. | 先進高炉1 (Super Course 50) の概念設計のための基礎検討とロードマップ作成        |
| ①-2-2. | 先進高炉2 (カーボンリサイクル高炉) の概念設計のための基礎検討とロードマップ作成            |
| ①-3.   | シャフト炉に関わる技術調査と開発ロードマップの作成                             |
| ①-3-1. | シャフト炉に関するボトルネック課題調査-1<br>- 鉄鉱石の塊成化技術に関する技術調査          |
| ①-3-2. | シャフト炉に関するボトルネック課題調査-2<br>- シャフト炉に関する熱流動ボトルネックの解析的調査   |
| ①-3-3. | シャフト炉方式の概念設計のための基礎検討とロードマップ作成                         |
| ①-4.   | 水素還元流動層プロセスの概念設計のための基礎検討と開発ロードマップの作成                  |
| ①-4-1. | 流動層に関するボトルネック課題調査-1<br>- 文献調査をベースとするボトルネック課題の抽出       |
| ①-4-2. | 流動層に関するボトルネック課題調査-2<br>- 水素還元過程で生成する金属鉄形態と還元諸条件の関係定量化 |
| ①-4-3. | 流動層に関するボトルネック課題調査-3<br>- 鉱石種がスティッキング現象に与える影響評価        |
| ①-4-4. | 流動層方式の概念設計のための基礎検討とロードマップ作成                           |

## ◆研究開発項目 (2)

|  |
|--|
| ②. 水素還元を前提とした還元鉄溶解・精錬に関わる技術調査と開発ロードマップの作成        |
| ②-1. 水素還元を前提とした還元鉄溶解・精錬・品質に関わる技術調査と課題抽出・要素技術洗い出し |
| ②-2. 水素還元を前提とした還元鉄溶解・精錬に関する開発ロードマップの作成           |
| ③. 高炉一貫製鉄所におけるCCU技術(バイオマス含む)のポテンシャル調査とロードマップ作成   |
| ③-1. 高炉一貫製鉄所におけるCCU技術のポテンシャル調査とロードマップ作成          |
| ③-2. 主要要素技術に関わる技術調査:<br>排ガスからのメタノール生成に関する調査と基礎検討 |
| ③-3. バイオマス利用技術動向調査とポテンシャル評価                      |
| ④. 全体評価および全体ロードマップの作成                            |
| ④-1. エネルギー・物質収支を考慮したエネルギー簡易モデルの作成と全体評価           |
| ④-2. 全体ロードマップの作成                                 |

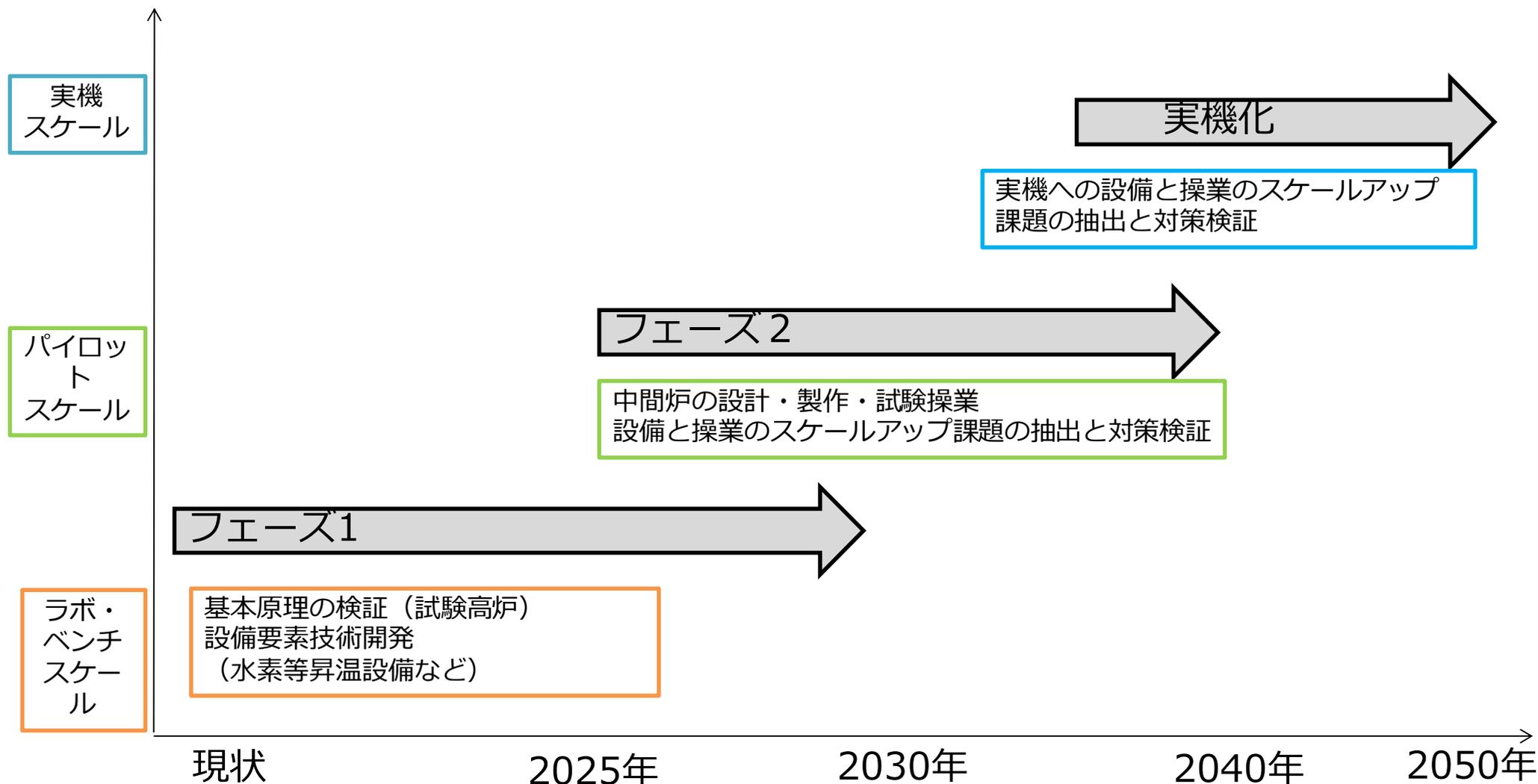
## ◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況(1)

## ① 水素還元に関わる技術調査と①-2先進高炉関連項目

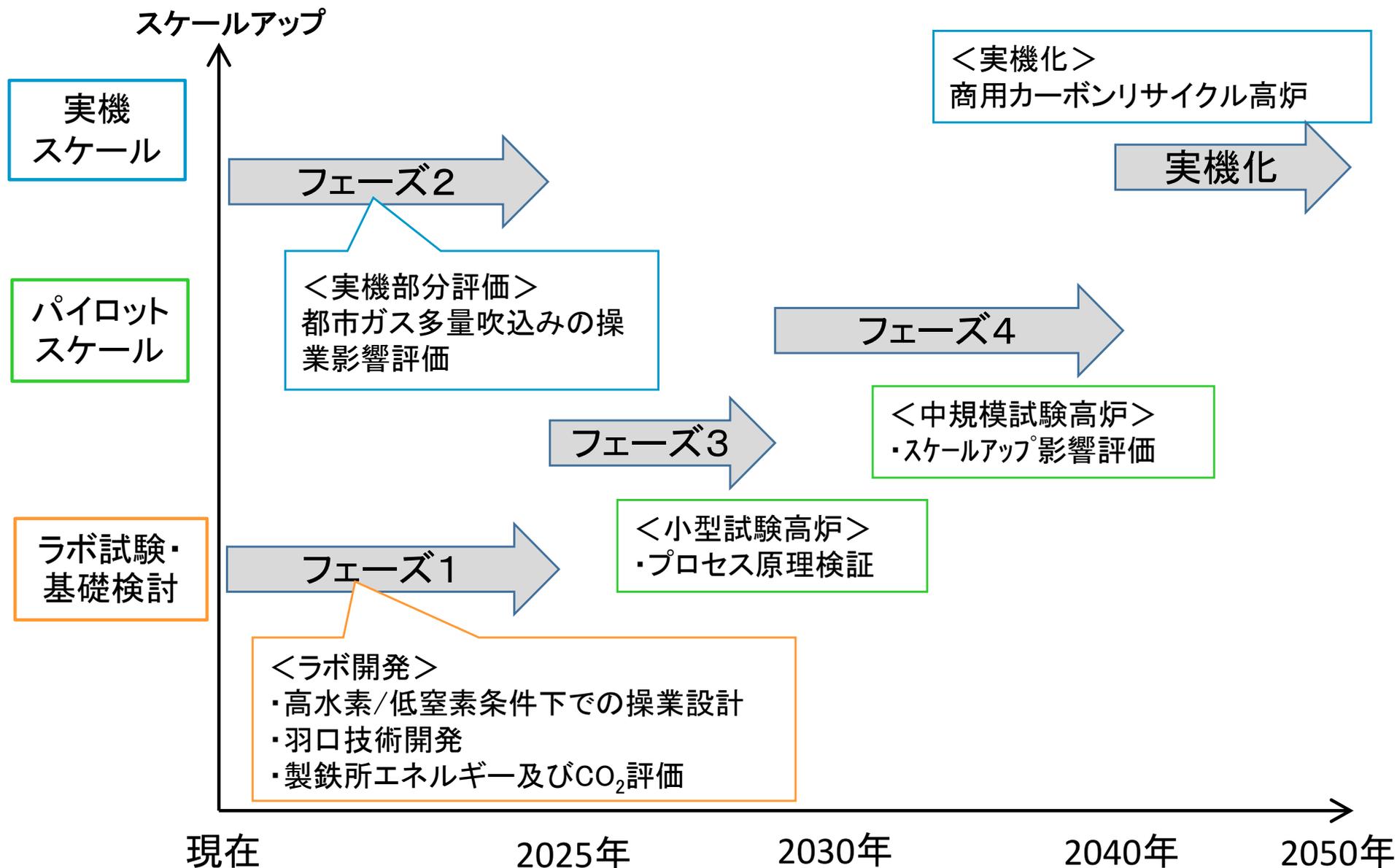
| 研究開発項目  | 目標  | 成果  | 達成度 |
|---|---|---|-----|
| ①-1 還元プロセスにおける省CO <sub>2</sub> 技術に関する技術調査および課題抽出・要素技術洗い出し | 高炉法、シャフト炉、流動層に関する技術調査と課題抽出                                | 先進高炉法、シャフト炉、流動層について国内外技術調査し、ボトルネック課題を整理、各項目のロードマップ作成に反映     | ○   |
| ①-2-1 先進高炉1 (Super Course 50) の概念設計のための基礎検討とロードマップ作成      | 水素還元拡大の律速因子の解明と開発課題の明確化と課題解決に向けたロードマップの作成                 | 水素還元拡大の律速因子が熱供給であることを知見し、先進高炉1の開発課題を明確化し、課題解決に向けたロードマップを作成  | ○   |
| ①-2-2 先進高炉2 (カーボンリサイクル高炉) の概念設計のための基礎検討とロードマップ作成          | カーボンリサイクル高炉のCO <sub>2</sub> 発生量削減が最大となる操業諸元の設計及びロードマップの完成 | CO <sub>2</sub> 発生量削減を最大化するカーボンリサイクル高炉の操業諸元を提示し、ロードマップ作成に反映 | ○   |

◎ 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

## 先進高炉1 (Super COURSE 50) 開発ロードマップの概略



# 先進高炉2(カーボンリサイクル高炉)開発ロードマップの概略



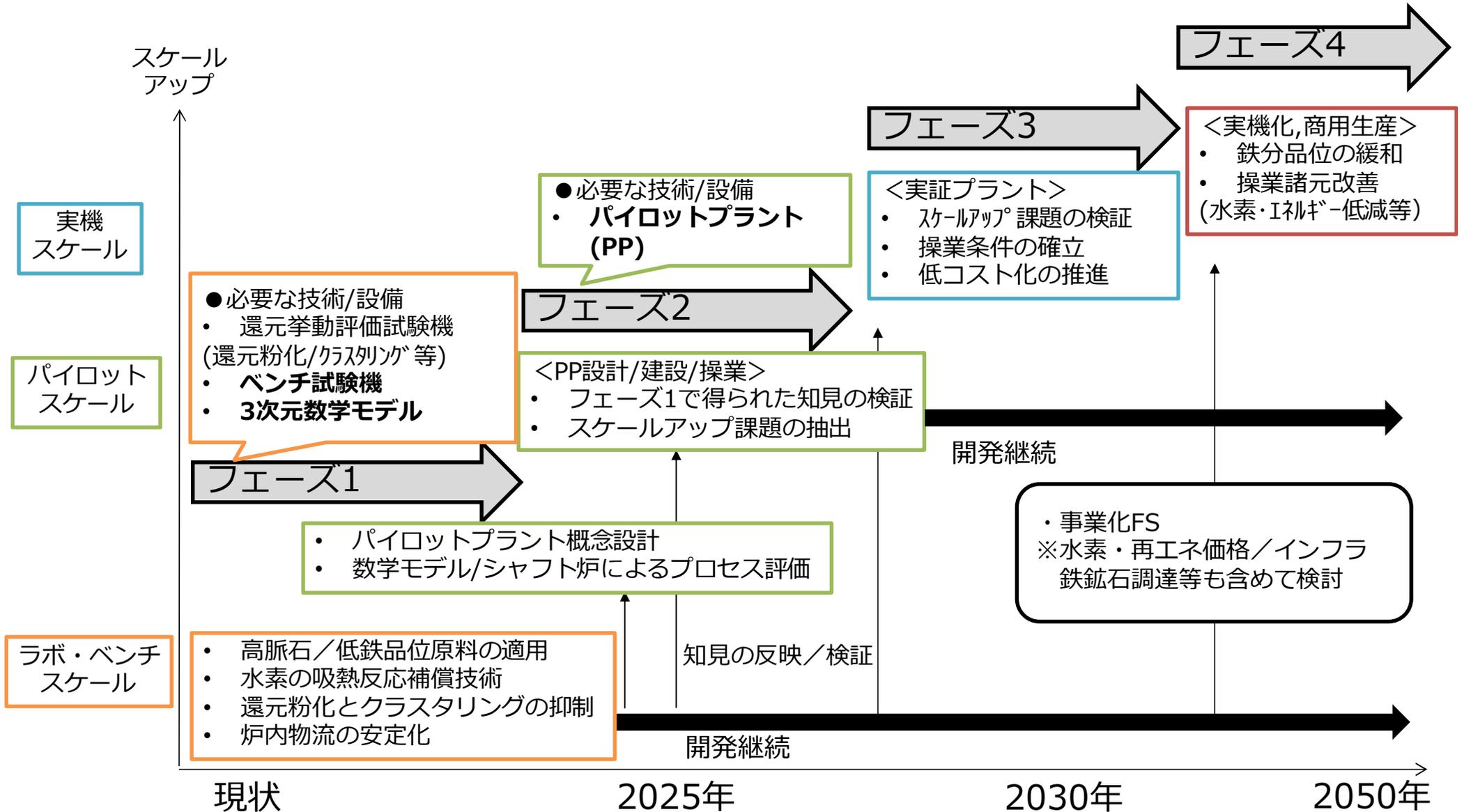
## ◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況(2)

## ①-3. シャフト炉関連項目

| 研究開発項目   | 目標   | 成果   | 達成度 |
|--|--|--|-----|
| ①-3-1 シャフト炉に関するボトルネック課題調査-1<br>-鉄鉱石の塊成化技術に関する技術調査        | 鉄鉱石の塊成化に関する技術調査と課題抽出                       | 技術調査に基づき水素還元適用時挙動や課題を抽出し、課題対応技術に係る情報を収集・整理     | ○   |
| ①-3-2 シャフト炉に関するボトルネック課題調査-2<br>-シャフト炉に関する熱流動ボトルネックの解析的調査 | シャフト炉方式でのボトルネック課題の一つである熱流動挙動に対する必要要素技術の明確化 | 数値シミュレーションによるシャフト炉熱供給手法、および粒子内の反応解析の結果を定量的に提示  | ○   |
| ①-3-3 シャフト炉方式の概念設計のための基礎検討とロードマップ作成                      | シャフト炉方式での水素還元プロセス開発に関するロードマップ作成            | 整理した技術開発課題と実験による基礎検討結果から、開発ステップ及び検証項目のロードマップ作成 | ○   |

◎ 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

# シャフト炉プロセス開発ロードマップの概略

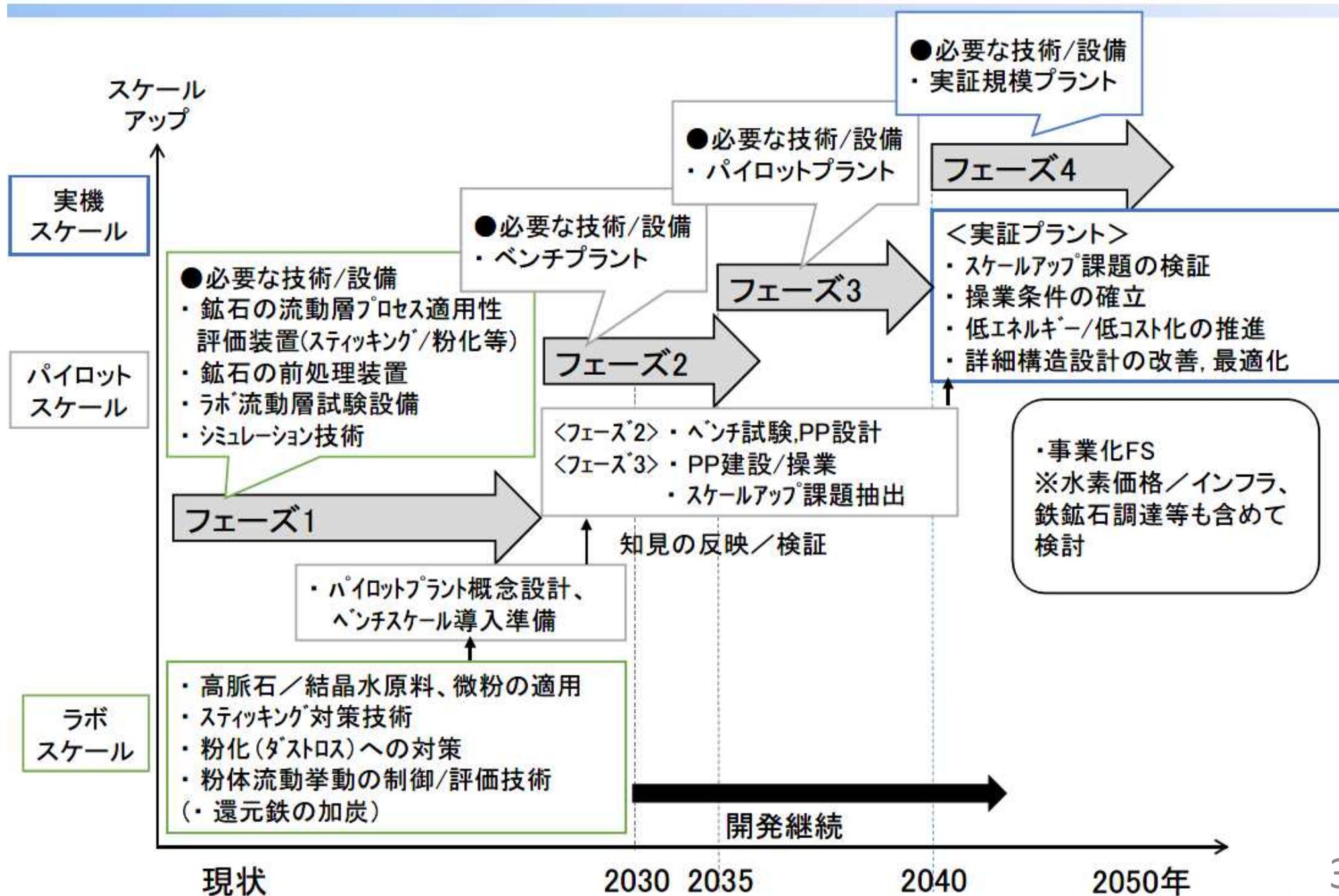


## ◆研究開発項目毎の目標と達成状況(3)

## ①-4. 流動層関連項目

| 研究開発項目   | 目標  | 成果  | 達成度 |
|--|---|---|-----|
| ①-4-1 流動層に関するボトルネック課題調査-1<br>-文献調査をベースとするボトルネック課題の抽出       | 水素還元のリトルネック課題が従来同様に流動化不能(スティッキング・シンタリング)かを明らかにし、開発すべき技術対象を明確化 | 水素還元はスティッキング抑制に有利も、流動化不能を完全には回避できない。高速操作・粒子循環・多段化等の技術開発が必要                  | ○   |
| ①-4-2 流動層に関するボトルネック課題調査-2<br>-水素還元過程で生成する金属鉄形態と還元諸条件の関係定量化 | 水素還元過程で生成する金属鉄の形態と還元諸条件の関係を定量化し、スティッキングやシンタリングの抑制条件を提示        | Wustiteの還元速度とFe <sup>2+</sup> の拡散速度の関係から繊維状金属鉄の生成条件を整理し、スティッキング抑制可能なプロセスを提案 | ○   |
| ①-4-3 流動層に関するボトルネック課題調査-3<br>-鉍石種がスティッキング現象に与える影響評価        | スティッキングやシンタリング現象を抑制する条件の提示                                    | スティッキングやシンタリングの原因となるウイスキーが生成しにくいガス条件と鉍石条件の組み合わせを提示                          | ○   |
| ①-4-4 流動層方式の概念設計のための基礎検討とロードマップ作成                          | 流動層方式での水素還元プロセス開発に関するロードマップ作成                                 | 整理した技術開発課題と実験による基礎検討結果から、開発ステップ及び検証項目のロードマップ作成                              | ○   |

# 流動層プロセス開発ロードマップの概略



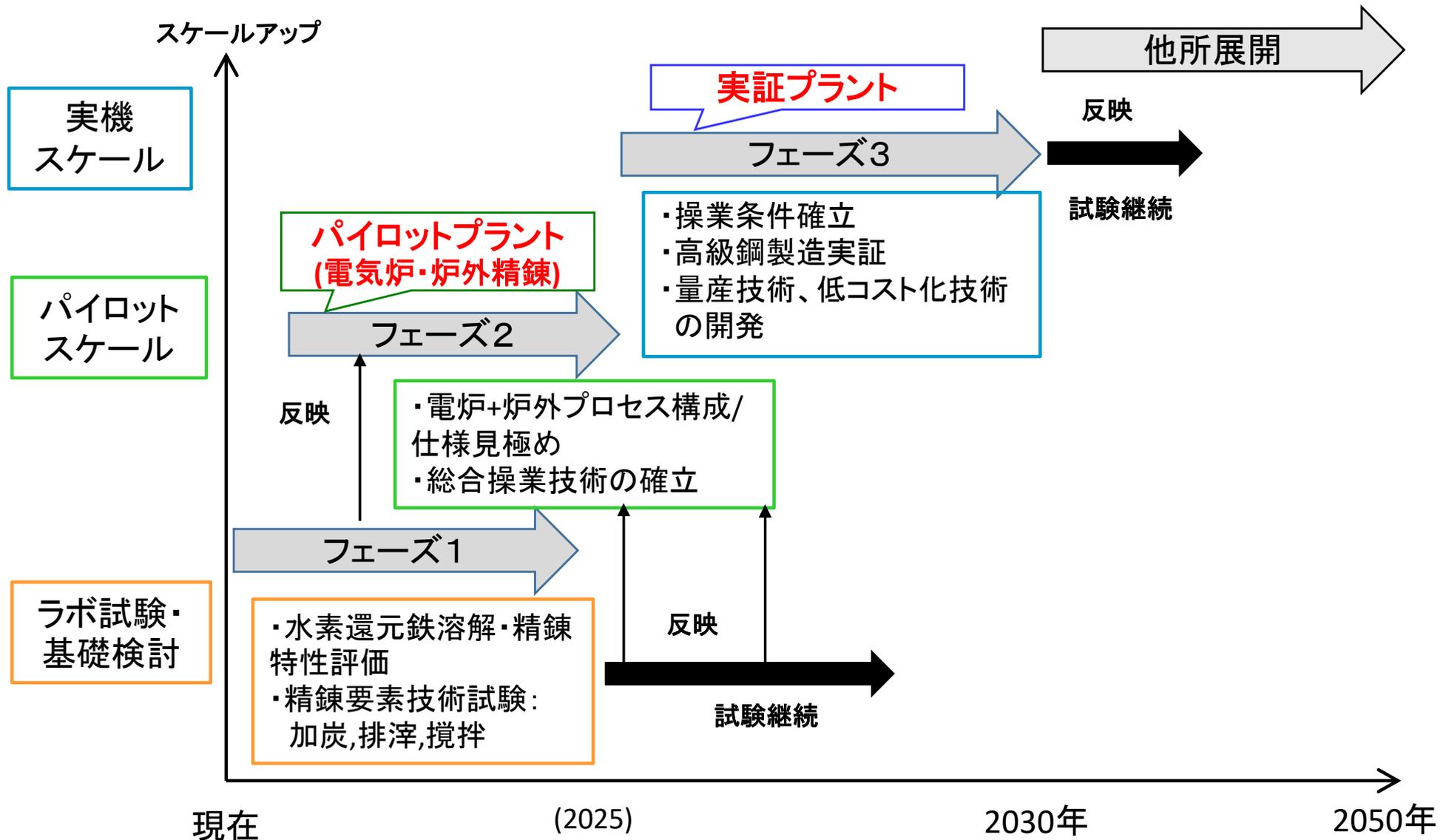
## ◆研究開発項目毎の目標と達成状況(4)

### ②水素還元を前提とした還元鉄溶解・精錬関連項目

| 研究開発項目  | 目標                                     | 成果  | 達成度 |
|---|--|---|-----|
| ②-1 水素還元を前提とした還元鉄溶解・精錬・品質に関わる技術調査および課題抽出・要素技術洗い出し | 豪州産鉱石の水素還元を前提とした溶解、精錬プロセスに関する技術調査と課題抽出 | 劣質鉱石から高級鋼製造のためには溶解精錬工程における脱りん負荷と多量スラグ発生が課題と判明     | ○   |
| ②-2 水素還元を前提とした還元鉄溶解・精錬に関する開発ロードマップの作成             | 水素還元を前提とした還元鉄溶解・精錬に関するロードマップ作成         | 上記課題を踏まえ開発項目を整理し、要素技術試験、小型試験炉、実証炉の3ステップのロードマップを作製 | ○   |

◎ 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

# 溶解・精錬プロセス開発ロードマップの概略



## ◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況(5)

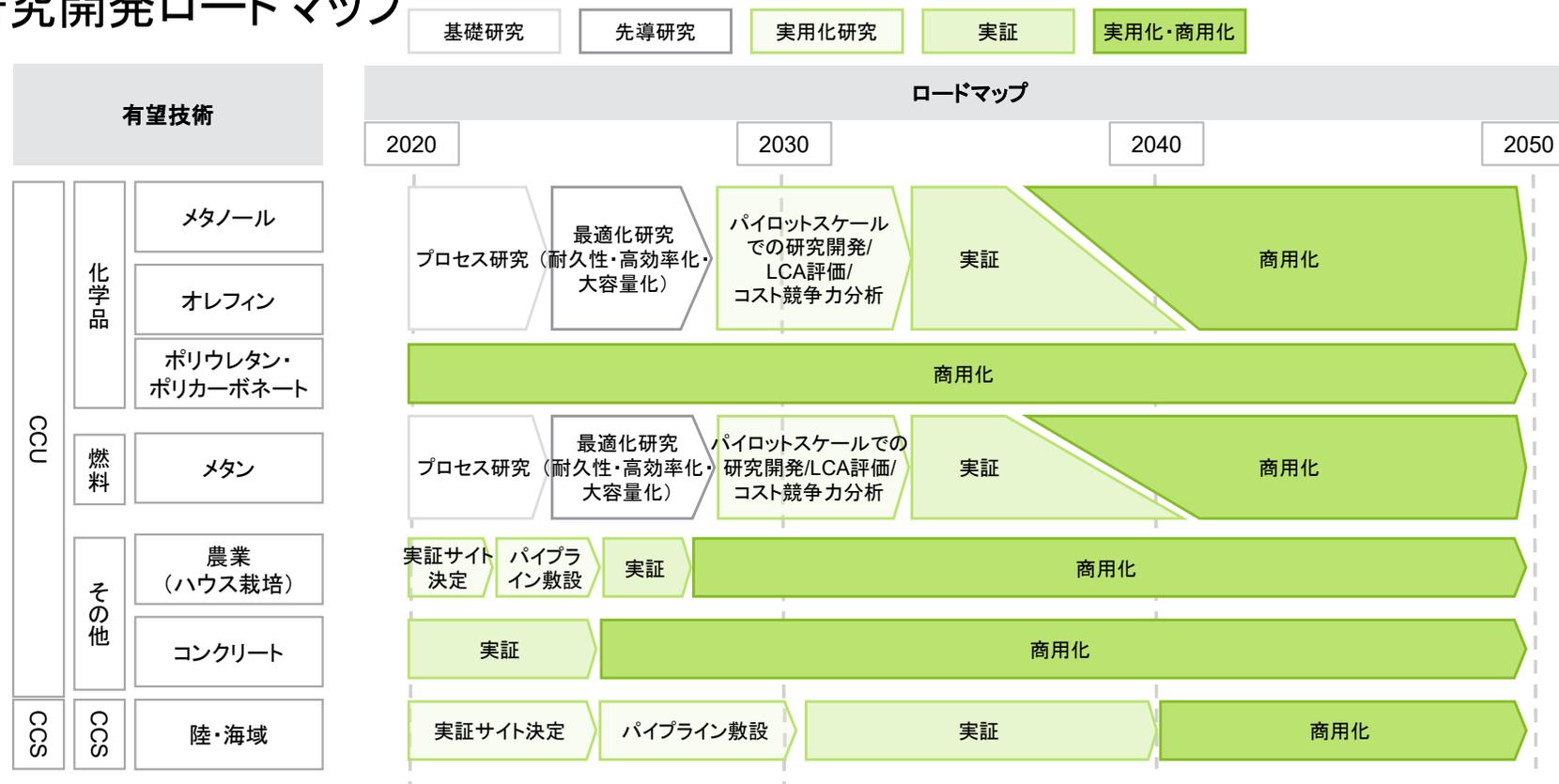
## ③. 高炉一貫製鉄所におけるCCU技術(バイオマス含む)関連項目

| 研究開発項目  | 目標  | 成果  | 達成度 |
|---|---|---|-----|
| ③-1 高炉一貫製鉄所におけるCCU技術のポテンシャル調査およびロードマップ作成      | 高炉一貫製鉄所から発生する炭素の有価化という点に絞り込んで、CO <sub>2</sub> 削減ポテンシャルを評価するとともに、ロードマップを作成 | CO <sub>2</sub> 削減のコストとポテンシャルの視点から、国内一貫製鉄所に適合するCCU技術のロードマップを作成        | ○   |
| ③-2 主要要素技術に関わる技術調査：排ガスからのメタノール生成に関する調査および基礎検討 | 製鉄所への適用を考慮したメタノール生成プロセスに関する技術調査、実験等による課題の明確化                              | 最適全体プロセスに関する最新調査、実験・シミュレーションによるスケールアップ・実機化に向けた課題抽出・明確化を実施、ロードマップ作成に反映 | ○   |
| ③-3 バイオマス利用技術動向調査とポテンシャル評価                    | 製鉄プロセスにおけるバイオマス利用の実態調査を行い、廃プラスチック利用と比較して国内製鉄所を想定した開発課題を整理                 | 最大の課題は調達安定性であり、需要に対して水生植物や廃棄物の変換技術を期待<br>高炉微粉炭代替に対して燃焼制御技術が重要         | ○   |

# 一貫高炉製鉄所に有望なCCU技術のロードマップ

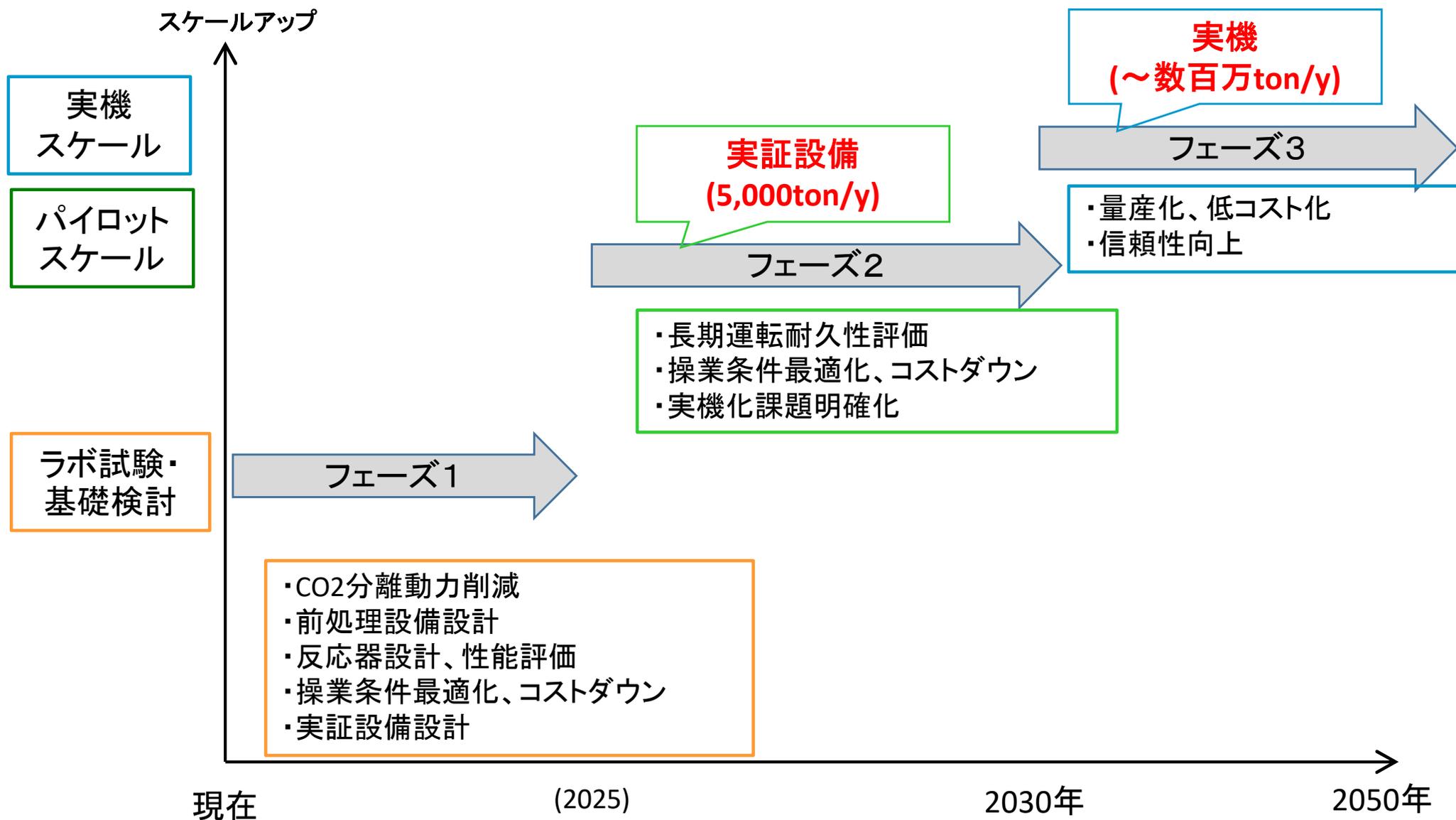
- ポリウレタン・ポリカーボネートとコンクリートのように水素を必要としないCCU製品から実用化が進むと考える。
- 農業用途も有望であり、実証サイトの選定とパイプラインの敷設、実証を得て、2020年代の後半には商用化することが期待される。
- 一方で、水素を必要とするCO<sub>2</sub>利用ポテンシャルが大きいメタノール、オレフィン、メタンは、2040年以降の商用化が期待される。

## 要素別の研究開発ロードマップ



メタン製造は、共電解を利用した固体酸化物型電解セルによるメタン製造システムを想定

# 排ガスからのメタノール生成 開発ロードマップの概略



## ◆研究開発項目毎の目標と達成状況(6)

## ④全体評価および全体ロードマップ作成関連項目

| 研究開発項目                                  | 目標  | 成果  | 達成度 |
|---|---|---|-----|
| ④-1 エネルギー・物質収支を考慮したエネルギー簡易モデルの作成および全体評価 | エネルギー簡易モデルエネルギーモデルを作成し、CO <sub>2</sub> 排出量および製鉄所内のエネルギーバランスを定量評価  | 提案する先進高炉が実現すれば、作成したモデルから投入エネルギーは24%増加するが、CO <sub>2</sub> 排出量は22%削減可能であることを定量的に明確化 | ○   |
| ④-2 全体ロードマップの作成                         | 2050年カーボンニュートラル実現を目標に、還元、溶解精錬、CCU（バイオマスを含む）プロセスを組み合わせた全体ロードマップを作成 | 先進高炉＋CCUSルート、水素直接還元＋溶解精錬ルートの開発ロードマップを作成し、2050年に向けて必要な技術開発項目・開発レベルを提示              | ○   |

◎ 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

## ◆プロジェクトとしての達成状況

### ●本プロジェクトの目的

- ・ゼロカーボン・スチールの実現に向けた本格的な研究開発事業を見据え、本事業では、超革新的技術および過渡的技術として有望な技術を抽出し、それらの技術開発ロードマップを作成する。
- ・技術開発ロードマップの作成に必要な調査や基礎実験・研究等の先導的研究も実施し、各技術の開発ロードマップを総合し、本事業後の研究開発の計画を明確化する。

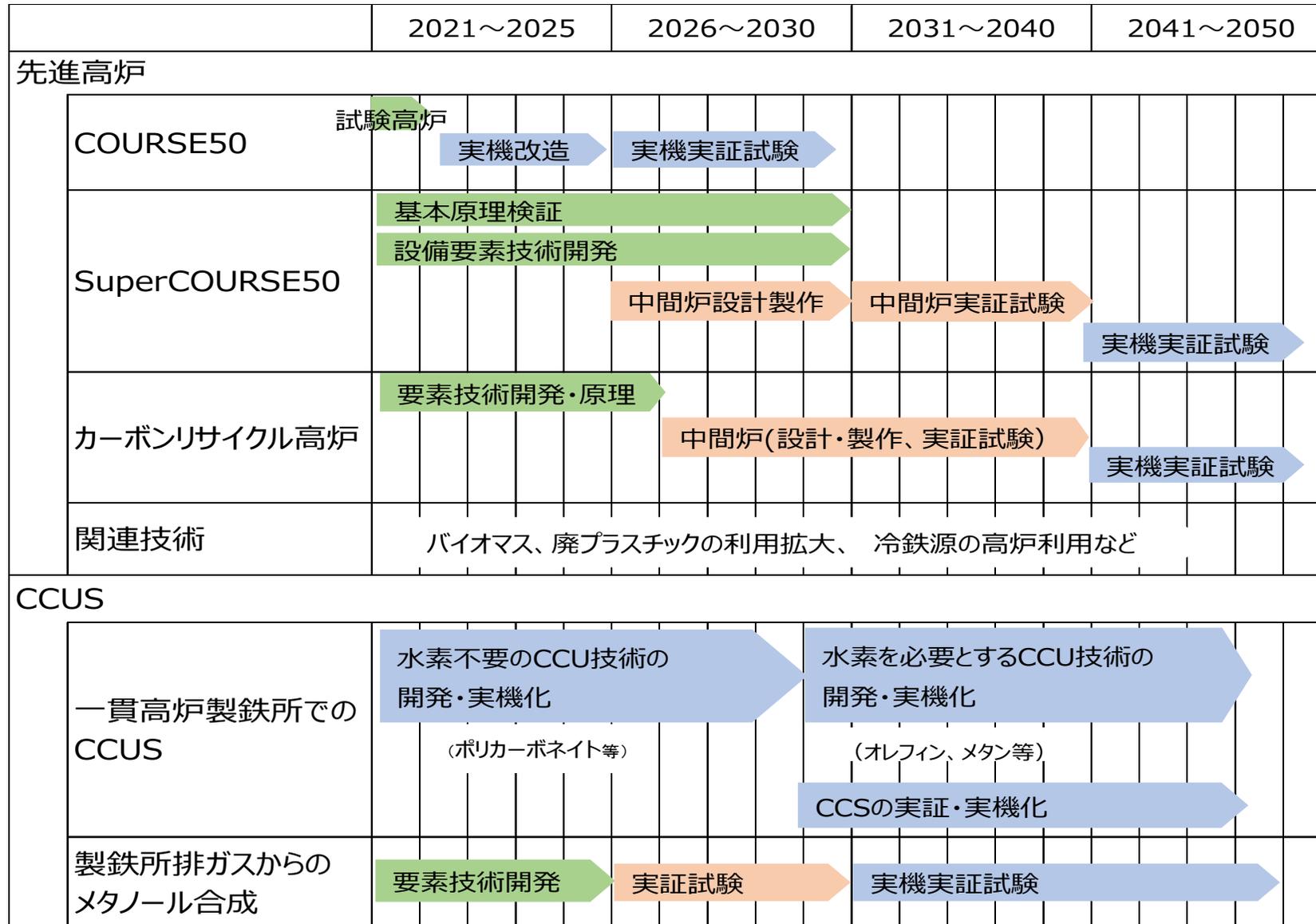


予定通り有望な技術を抽出、本事業後の研究開発の計画を組み入れた技術開発ロードマップを作成

# ◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

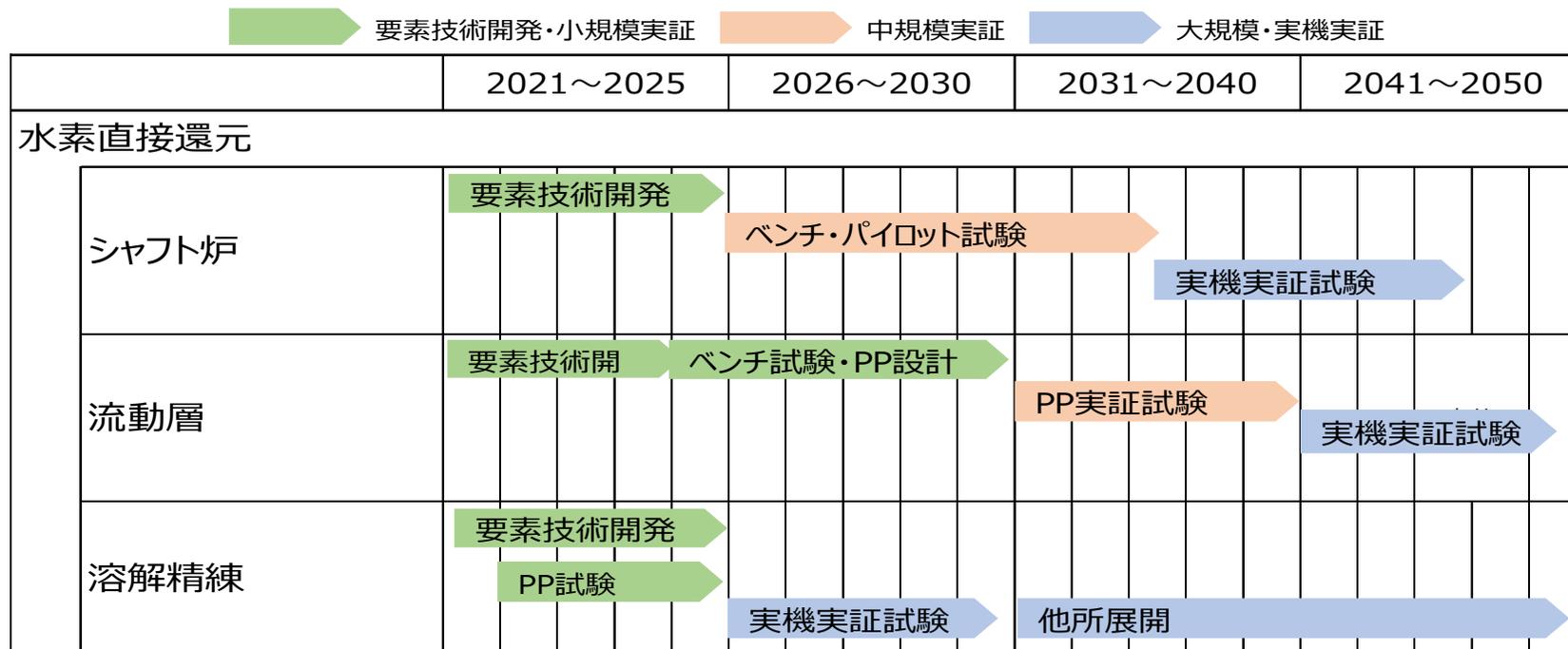
## 作成した全体ロードマップ<sup>°</sup> (1) 先進高炉+CCUSルート

➡ 要素技術開発・小規模実証   
 ➡ 中規模実証   
 ➡ 大規模・実機実証



◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

作成した全体ロードマップ<sup>o</sup> (2) 水素直接関連ルート



### ◆プロジェクトとしての成果の意義

- 文明と経済活動を支える基幹素材として、鉄鋼の必要量生産の継続とカーボンニュートラルを両立するための、粗鋼製造技術とその技術的課題を整理し、2050年に向けて実行すべきロードマップを提案した。
- 我が国の外貨獲得の要である製造業のサプライチェーン最上流産業として、日本鉄鋼業固有の課題（相対的に劣質の鉬石を使用して高級鋼を製造し「ものづくり」を支える）に対応する技術開発整理を実施した。社会実装できれば世界的に業界をリードし、競争力の維持向上が可能と考える。

## ◆各個別テーマの成果と意義

### ①-1全体調査：

世界各国で行われている鉄鋼業における温暖化対策技術を整理し、日本鉄鋼業としてとりくむべき技術を選定

### ①-2先進高炉開発：

日本鉄鋼業の強みを活かし、トランジット期間での供給責任と経済活動を果たしながら、最大鉄鋼生産地であるアジアの低炭素化にも貢献する技術を構築

### ①-3水素還元シャフト炉開発：

海外で生産量が拡大する天然ガス固体還元シャフト炉プロセスを、これまで使用できなかった劣質鉄鉱石を対象とした100%水素還元技術へ進化させ、日本鉄鋼業の調達性を確保しつつ、ゼロカーボン・スチール技術を構築

### ①-4水素還元流動層開発：

将来的技術としての劣質な粉鉱石の100%水素還元プロセスの課題と実現のための開発ステップを提示し、複線的アプローチを強化

### ◆各個別テーマの成果と意義

#### ②水素還元を前提とした還元鉄溶解・精錬：

劣質鉱石の水素固体還元プロセスを実現するための日本独自の精錬プロセス構築

#### ③高炉一貫製鉄所におけるCCU技術（含バイオマス）：

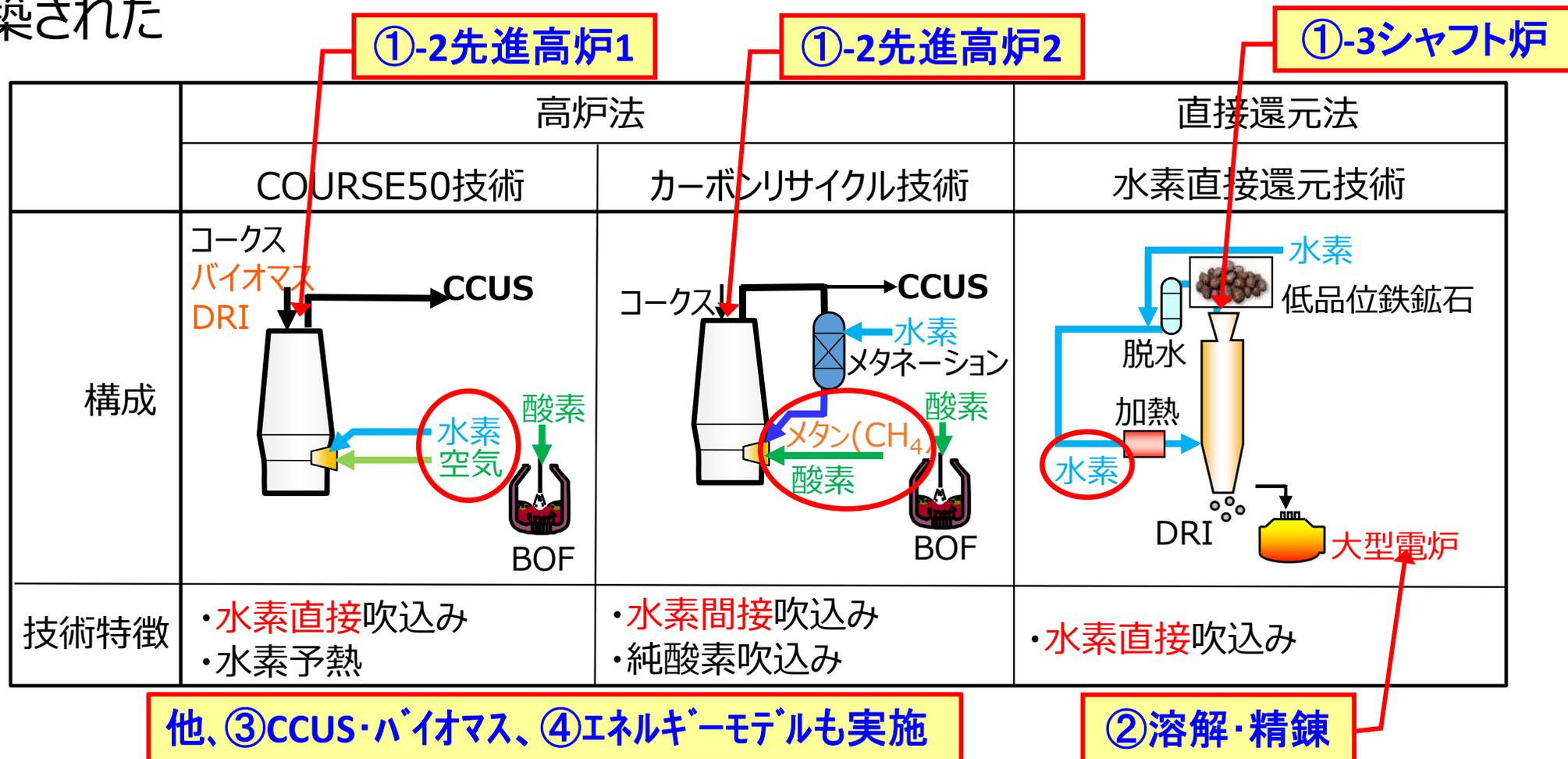
エネルギーコストの高い我が国の競争力確保のためのシナリオ（先進高炉+CCUS）実現に向けた、導入コスト、CO<sub>2</sub>削減コストの低い有望技術の選定による産業間連携推進、構築

#### ④全体評価および全体ロードマップの作成：

2050年までにゼロカーボン・スチール実現の為の全体ロードマップによる、本事業後の研究開発の位置づけ・目的の明確化

◆各個別テーマの成果と意義

本事業の成果を活用し、グリーンイノベーション基金事業の実施計画が構築された



図は METI「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画より転用

図 GI基金「製鉄プロセスにおける水素活用」PJ実施概要と本先導研究検討課題のつながり

◆ 成果の普及

※2022年12月23日現在

|                   | 2020年度 | 2021年度            | 計 |
|-------------------|--------|-------------------|---|
| 研究発表・講演           | 0      | 7                 | 7 |
| 新聞・雑誌等への掲載        | 0      | 2 <sup>1,2)</sup> | 2 |
| その他（学生鉄鋼セミナーでの紹介） | 0      | 1                 | 1 |

- 1) 鉄鋼新聞 記事掲載 2021年5月31日  
 2) JRCM NEWS 2022年8月号 記事掲載

その他の内容

- ・日本鉄鋼連盟ニュースリリースへの掲載：  
 「ゼロカーボン・スチール」実現に向けた技術開発事業の受託について(2020年 6月17日)  
<https://www.jisf.or.jp/business/ondanka/zerocarbonsteel/documents/japanese.pdf>
- ・日本鉄鋼連盟HPに「ゼロカーボン・スチールへの挑戦！」を掲載 <https://www.carbon-neutral-steel.com/>
- ・日本製鉄 統合報告書2020への記載  
[https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/nsc\\_jp\\_ir\\_2020\\_all\\_a3.pdf](https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/nsc_jp_ir_2020_all_a3.pdf)
- ・JFEスチール JFEグループ CSR報告書 2020への記載  
[https://www.jfe-holdings.co.jp/csr/pdf/2020/2020\\_05.pdf](https://www.jfe-holdings.co.jp/csr/pdf/2020/2020_05.pdf)
- ・神戸製鋼 KOBELCOグループ 統合報告書2020への記載  
[https://www.kobelco.co.jp/about\\_kobelco/outline/integrated-reports/2020/files/integrated-reports2020.pdf](https://www.kobelco.co.jp/about_kobelco/outline/integrated-reports/2020/files/integrated-reports2020.pdf)

**◆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

- 発明者主義を採用しつつも事業者間の優先使用を明記
- 個社の事情を反映し項目ごとに参画有無を規定、技術コンタミを防止すべく運営

※2022年12月23日現在

|              | 2020年度 | 2021年度 | 計     |
|--------------|--------|--------|-------|
| 特許出願（うち外国出願） | 0(0)   | 1 (1)  | 1(1)件 |

## 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. 成果の実用化に向けた取組及び見通し

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

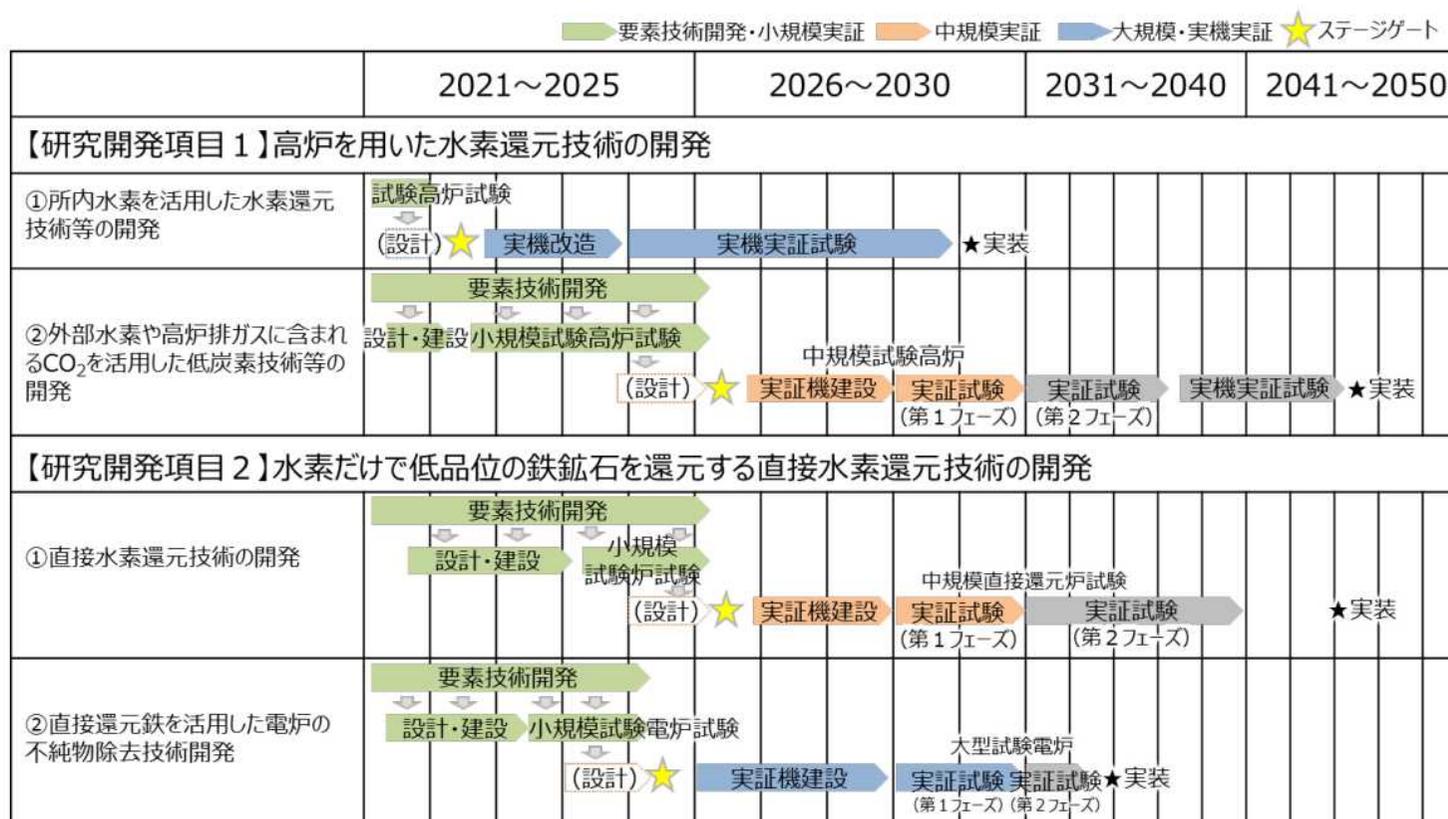
◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

本事業における実用化とは、

ゼロカーボン・スチールの実現に向けて抽出した有望な技術や  
作成した各技術の開発ロードマップにより、取り組むべき  
技術開発の位置づけ・目的が明確化されるとともに、  
その成果が本格的な研究開発事業につながることである。

## ◆ 実用化に向けた戦略・具体的取組、実用化の見通し

- ・2050年までに実装、実用化が必要な技術について、ボトルネックとなる課題や重要要素技術、また、それらの開発ロードマップに就き、明確化と進め方を示した。
- ・これらが、2021～2030年の研究開発事業である、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」プロジェクトに既に活用され、下記スケジュールにて研究開発事業が推進中。



参考

◆ 実用化に向けた戦略・具体的取組、実用化の見通し

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」プロジェクト概要

- 製鉄分野のカーボンニュートラル実現に向けた革新技術の特徴や水素供給等の社会インフラの整備までの時間軸等を踏まえ、「高炉法」と「直接還元法、電炉法」について、複数の技術開発アプローチを進める。

研究開発項目 1

高炉を用いた水素還元技術の開発

研究開発内容①

所内水素を活用した水素還元技術等の開発

研究開発内容②

外部水素や高炉排ガスに含まれるCO<sub>2</sub>を活用した低炭素化技術等の開発

研究開発概要

2030年までに、所内水素を活用した高炉における水素還元技術およびCO<sub>2</sub>分離回収技術などにより、製鉄プロセスからCO<sub>2</sub>排出を30%以上削減する技術の実装を目指す。

2030年までに、中規模試験高炉（500m<sup>3</sup>級以上）において、外部水素や高炉排ガスに含まれるCO<sub>2</sub>を活用した低炭素技術の開発に加え、バイオマスや還元鉄などを一部原料として活用するなど、あらゆる低炭素化技術を組み合わせることにより、高炉法において製鉄プロセスからCO<sub>2</sub>排出を50%以上削減を実現する技術を実証する。

研究開発項目 2

水素だけで低品位の鉄鉱石を還元する直接水素還元技術の開発

研究開発内容①

直接水素還元技術の開発

研究開発内容②

直接還元鉄を活用した電炉の不純物除去技術開発

2030年までに、低品位の鉄鉱石を水素で直接還元する技術により、中規模直接還元炉（実炉の1/25~1/5規模）において、現行の高炉法と比較してCO<sub>2</sub>排出を50%以上削減を達成する技術を実証する。

2030年までに、低品位の鉄鉱石の水素直接還元鉄を活用した電炉プロセスにおいて、自動車の外板等に使用可能な高級鋼を製造するため、3-10t規模、300t以上の試験設備における高効率脱りん、脱窒要素技術開発により鋼中りん濃度、窒素濃度をそれぞれ150ppm以下、40ppm以下を実証する。



アウトプット目標

- <研究開発項目 1> 水素還元技術やCO<sub>2</sub>分離回収技術などを組み合わせ、製鉄プロセスからCO<sub>2</sub>排出を30%以上削減する技術を実装する。さらにCO<sub>2</sub>排出を50%以上削減を実現する技術を実証する。
- <研究開発項目 2> CO<sub>2</sub>排出を50%以上削減する水素直接還元技術を確立する。また、大型電炉一貫プロセスにおいて、不純物の濃度を高炉法並み（りん150ppm以下、窒素40ppm以下）に制御する技術を実証する。

## ◆波及効果

- 開発成果の社会実装が進めばわが国のCO<sub>2</sub>排出削減に大きく貢献
- 開発成果を展開することにより他の産業分野にも効果が波及し、さらに効果が拡大する可能性
- 本事業および本事業の成果が活用されたGI基金事業では多数の大学等と共同研究を実施することで、研究開発の促進と効率化を図るのみでなく、わが国の製鉄関連研究分野の研究開発基盤の拡充と人材育成にも大きな寄与