

# 事業戦略ビジョン

実施プロジェクト名：「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクト

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

①直接水素還元技術の開発

---

実施者名：JFEスチール株式会社、代表名：代表取締役社長 広瀬 政之  
(コンソーシアム内実施者：日本製鉄株式会社（幹事企業）、  
一般財団法人 金属系材料研究開発センター)

# 目次

## 0. コンソーシアム内における各主体の役割分担

### 1. 事業戦略・事業計画

- (1) 産業構造変化に対する認識
- (2) 市場のセグメント・ターゲット
- (3) 提供価値・ビジネスモデル
- (4) 経営資源・ポジショニング
- (5) 事業計画の全体像
- (6) 研究開発・設備投資・マーケティング計画
- (7) 資金計画

### 2. 研究開発計画

- (1) 研究開発目標
- (2) 研究開発内容
- (3) 実施スケジュール
- (4) 研究開発体制
- (5) 技術的優位性

### 3. イノベーション推進体制（経営のコミットメントを示すマネジメントシート）

- (1) 組織内の事業推進体制
- (2) マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与
- (3) マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ
- (4) マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

### 4. その他

- (1) 想定されるリスク要因と対処方針

## 0. コンソーシアム内における各主体の役割分担

### 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／① 直接水素還元技術の開発

#### 日本製鉄（幹事会社）

日本製鉄が実施する研究開発の内容

- A. 低品位原料の利用技術
- B-1. 還元ガスの水素化技術  
(100%水素還元)
- C. プロセス検証
- D. スケールアップ検証
- E. 全体プロセス評価

#### JFEスチール

JFEスチールが実施する研究開発の内容

- A. 低品位原料の利用技術
- B-2. 還元ガスの水素化技術  
(カーボンリサイクル)
- C. プロセス検証
- D. スケールアップ検証
- E. 全体プロセス評価

#### 金属系材料研究開発センター (JRCM)

JRCMが実施する研究開発の内容

- E. 全体プロセス評価

プロジェクトの目的：CO<sub>2</sub>排出を50%以上削減する水素直接還元技術の確立

# 1. 事業戦略・事業計画

# 1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

## メーカーおよび消費者等の変化によりグリーン鋼材※市場が急拡大すると予想

### カーボンニュートラルを踏まえたマクロトレンド認識

#### （社会面）

- 近年頻発する異常気象等を背景に、国内外で気候変動への危機感が高まり、地球環境問題はグローバルリスクとしての位置づけが極めて大きなものとなっている。

#### （経済面）

- CN目標を実現するためのエネルギー投資が拡大し、日本の実質GDP水準は今後30年にわたり1.2%ほど押し上げられる。
- 社会のグリーン化に伴い、電磁鋼板や高張力鋼板などの高品質・高機能鋼材の要求が高まり、さらなる事業成長の機会へ

#### （政策面）

- 主要各国は、2050年カーボンニュートラルを宣言し、成長機会としての脱炭素化に向けて大規模な経済対策を実施
- 日本政府もGX推進法に基づく各種政策的支援を開始

#### （技術面）

- 水素、アンモニア等への燃料転換に向けての開発加速
- 発生CO2のリサイクル、固体化技術の進展

#### ● 市場機会：

グリーン鋼材需要の高まりによる新たな高付加価値鉄鋼製品マーケットへの参入

#### ● 社会・顧客・国民等に与えるインパクト：

材料調達を含むサプライチェーン全体と製造工程でのCO2削減に寄与。片寄せ法などのさまざまな手法が提案されている

### カーボンニュートラル社会における産業アーキテクチャ

#### グリーン社会への転換

LCA的観点でCO2排出しない・させない消費が当たり前の時代



（出典）令和2年8月 消費者庁：  
エシカル消費に関する意識調査など  
メルセデスベンツは2039年にCNなサプライチェーンを達成すると言及

#### 社会の要求

脱炭素エネルギー  
脱炭素化素材への  
ニーズの高まり

構造材として鉄を  
代替するものはない  
**グリーン鋼材**

#### ● 当該変化に対する経営ビジョン：

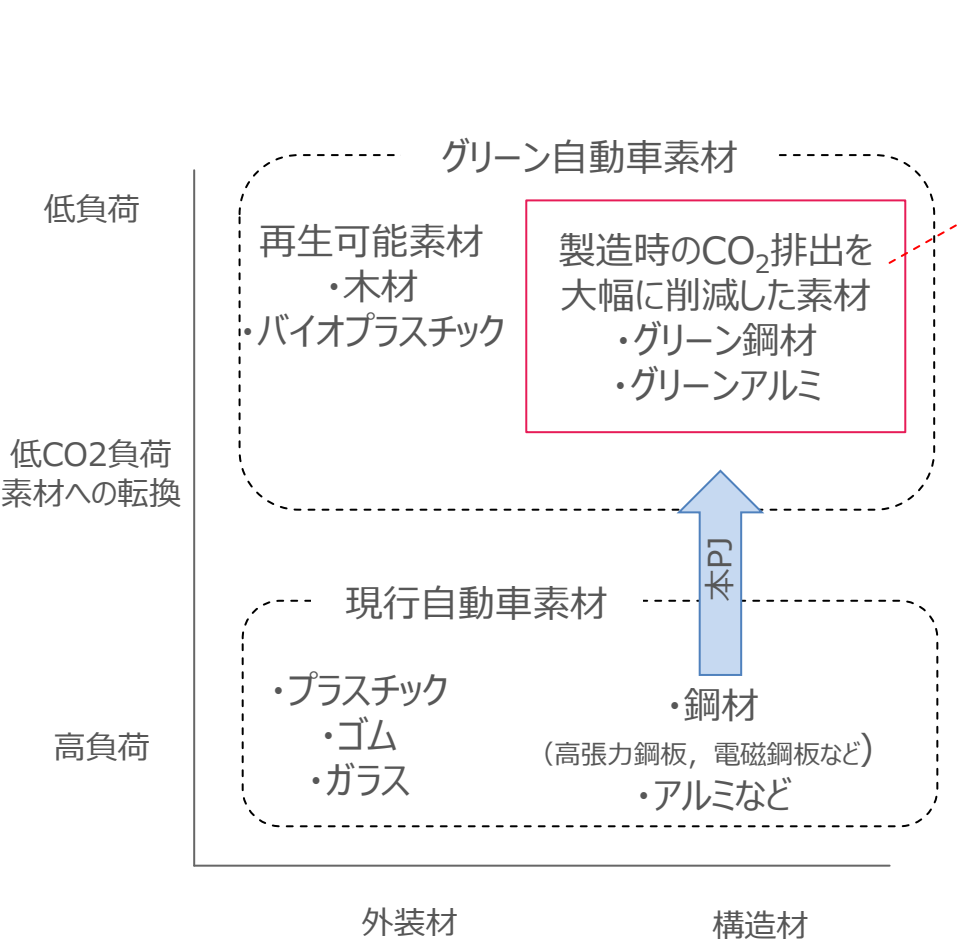
- 気候変動問題は事業継続の観点から極めて重要な経営課題と捉え、
  - ✓ 気候変動問題の解決に向け、新技術の研究開発を加速し、超革新的技術に挑戦
  - ✓ 持続可能な社会の実現に貢献する事業機会の拡大を推進し、社会全体のCO2削減に貢献することで企業価値の向上を図る

※ グリーン鉄研究会で取りまとめられた、「GX推進のためのグリーン鉄」を示す

# 1. 事業戦略・事業計画／（2）市場のセグメント・ターゲット

## 産業用素材のうちグリーン鋼材製造をターゲットとして想定

セグメント分析（自動車におけるグリーン材料調達を例示）



ターゲットの概要

技術優位性を有し、お客様から付加価値を認めていただき、汎用品を上回る収益力を持つ高付加価値商品をグリーン鋼材に転換することで、グリーン社会における製品競争力を強化これにより、政府が掲げている「2030年 1,000万トンのグリーン鋼材供給」に貢献

需要家の要求

- ・ サプライチェーンのカーボンニュートラル化を進めていくと宣言するメーカーが出現
- ・ 日本国内においても、排出削減目標を提示する動きがある

需要家	主なプレーヤー	消費量（現在）	課題
自動車	メルセデス ベンツ	自動車鋼材市場 国内 800万t/年 欧州 1600万t/年 ※自動車1台当たり0.8t の鋼材を使用と仮定	・ メルセデスベンツはサプライチェーンにかかわる75%の企業と2039年までにカーボンニュートラルな製品を提供する契約を締結
自動車	トヨタ		・ 2030年目標として、LCA▽30% および再生材比率30%以上を掲げている ・ 2050年にカーボンニュートラル達成を宣言

サプライヤーの対応

- ・ SSABは試験プラントで生産されたグリーン水素で還元された鋼材を、ボルボ社やメルセデスベンツ社などの自動車メーカー等に供給開始。
- ・ JFEスチールはCO2排出削減技術により創出した削減量を「マスバランス方式」を適用して特定の鋼材に割り当てることで、鉄鋼製造プロセスにおけるCO2排出量を大幅に削減した鉄鋼製品「JGreeX®（ジェイグリークス）」の供給を開始。

# 1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル

## カーボンリサイクル技術を用いてグリーンな鋼材を提供する事業を創出/拡大

### 社会・顧客に対する提供価値

※エシカル消費とは環境や人権に対して十分配慮された商品やサービスを選択・購入すること

- ◎エシカル消費※にかかわる消費者意識向上
  - ・自然災害や環境破壊・資源の枯渇等の問題はすべての人が可能な範囲で行動するべき ⇒57.1%
  - ・エシカル商品の提供が企業イメージ向上につながる ⇒79.6%
  - ・エシカル商品・サービスの購入時の価格アップを容認 ⇒69.0%  
(令和2年8月消費者庁：エシカル消費に関する意識調査より)

- ◎削減実績量という新しい価値を創造
    - ・GX投資により創出した削減実績量を環境価値として訴求するグリーン鋼材を提供
    - ・社会のグリーン化に必要な高品質・高機能鋼材をグリーン鋼材に転換
- ➡ 需要家製品のCFP/LCA削減に貢献

需要家の製品のGX商品価値を高めることは  
グリーン社会で“選ばれる商品”となり、  
需要家の事業成長にも貢献

最終需要家の環境への貢献満足度向上

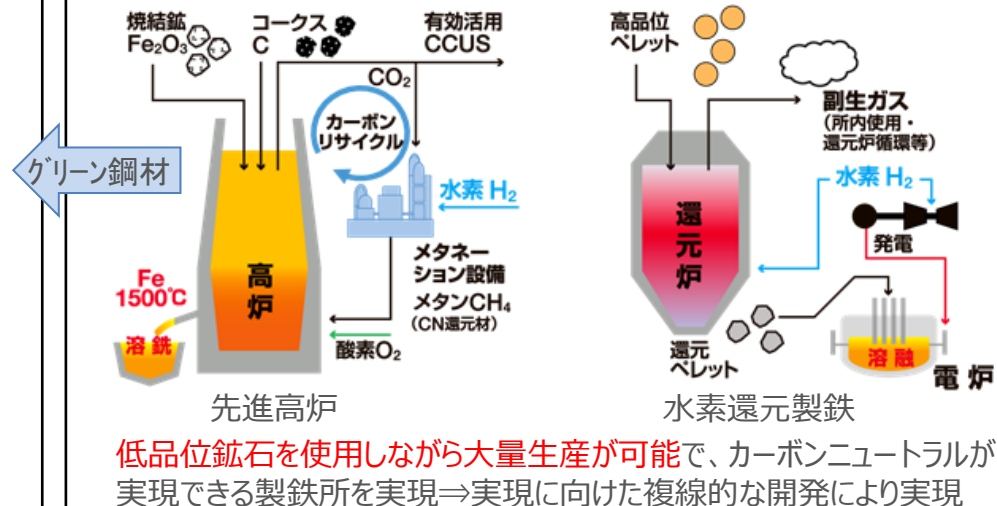
### ビジネスモデルの概要（製品、サービス、価値提供・収益化の方法）と研究開発計画の関係性

#### 自動車メーカー



アジアの大消費地への供給を担うためには大量の高品質鋼材が必要  
⇒鋼材供給能力重要なファクター

#### 鉄鋼メーカー（グリーン鋼材製造プロセス）



#### ヨーロッパ製鉄各社とのビジネスモデル差異

- ・ヨーロッパ各製鉄会社（例SSAB, アルセロールミタル、ティッセンなど）が天然ガスベースのシャフト炉還元をベースに水素還元へ変換していくことを指向している。
- ・日本国は①低品位豪州鉱石を主な原料としている、②天然ガス、水素を輸入に頼ることとなるなどの理由から、価格競争力のある先進高炉開発なども推進
- ・低品位鉱石の利用が可能になれば、国内各メーカーの鋼材価格競争力を強化することができ、幅広いユーザに対して、大量の良質鋼材供給が可能になる。

#### 原料・還元材サプライヤー

日本において主な鉱石供給国は豪州である。豪州鉱石は原料中に含まれる不純物（スラグ分）が多い反面、大量・安価に入手が可能である。





# 1. 事業戦略・事業計画／（4）経営資源・ポジショニング

## コンソーシアムの強みを活かして、社会・顧客に対してグリーン鋼材という価値を提供

### コンソーシアムの強み、弱み（経営資源）

#### ターゲットに対する提供価値（グリーン鋼材）

- 各国の自動車メーカーなどがサプライチェーンのカーボンニュートラル化を進めていくと宣言。
- 製造時のCO<sub>2</sub>発生量を低減させたグリーン鋼材の提供にかかわる要望が拡大
- エシカル消費を指向するカスタマーの満足度を向上させ、新たな価値を提供する。

#### コンソーシアムの強み

- 低CO<sub>2</sub>にかかわる技術蓄積
- 世界最高レベルの省エネ製鉄所運用
- COURSE50などの過去の低CO<sub>2</sub>プロジェクトを実行してきた経験
- 製鉄・製鋼にかかわる技術者が多く在籍
- コンビナートが周辺に立地した臨海製鉄所の保有（化学・エネルギー等の業種が周辺に立地）

#### コンソーシアムの弱み及び対応

- 周囲に高品質鉱石生産地が少ない
  - グリーン電力・水素の価格高・不足
  - 水素インフラ脆弱性
- ⇒

  - ・GI基金を活用した技術開発
  - ・公的なインフラ基盤等の整備

### コンソーシアム外の企業に対する比較優位性

#### （現状） 技術

- 過去の低CO<sub>2</sub>プロジェクトへの取り組み(COURSE50など)
- 世界最高レベルの省エネ製鉄所運用

#### 顧客基盤/サプライチェーン

- 需要家との密な連携体制
- 低価格豪州鉱石の使用

#### その他

- コンビナートに隣接した臨海製鉄所用地の保有
- 製鉄・製鋼にかかわる技術者が多く在籍

#### （将来に向けた取り組み）

- 国プロ(オールジャパン)技術開発への積極協力

- 需要家との関係強化、理解活動（コスト負担等の議論）
- 低品位・低価格豪州鉱石サプライヤーとの協力模索

- コンビナートの他業種（化学・エネルギー等）との連携模索
- 新規技術者の採用・育成強化

欧州：域内で高品質鉱石が産出され、サプライチェーン的に有利。  
⇒本プロジェクトを用いて特に豪州などで産出される低品位鉱石に関する技術開発を加速

中国：日本と同様に低品位豪州鉱を使用、宝武（Bao）で 革新高炉の開発実施中。  
  
COURSE50などの過去知見を活用しながら開発を実施。



10年間の研究開発の後、2030年頃の事業化、その後の投資回収を想定

投資計画

- ✓ 本事業終了後、2030年頃の事業化を目指す。
- ✓ カーボンニュートラル製造プロセスの研究開発・実装により、鋼材市場のグリーンスチール化に対応していく。

	2021年度	…	2030年度	
売上高	-	…	-	2030年以降の事業化、その後の投資回収を想定
研究開発費	約8,047億円（本事業の支援期間の参画企業合計）		実機化設備費用で数兆円規模を想定	
取組の段階	研究開発・実証試験			社会実装
CO <sub>2</sub> 削減効果	-	…	-	各社実装の進行に伴い 1,000万t/年規模で削減

# 1. 事業戦略・事業計画／（6）研究開発・設備投資・マーケティング計画

## 研究開発段階から将来の社会実装（設備投資・マーケティング）を見据えた計画を推進

	研究開発・実証	設備投資	マーケティング
取組方針	<ul style="list-style-type: none"><li>国内高炉メーカーが協力してコンソーシアムを結成。各社の知見を総合的に活用。</li><li>現在の技術レベル・日本の地政学的な特色（豪州鉱山に近いこと）に鑑み、高炉/還元炉/電気炉のすべてに対して、複線的に開発を実施</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>開発課題を解決するために小規模実験設備から大規模設備を順次建設</li><li>実験設備を各社で分担して建設</li><li>実験により得られた成果はコンソーシアム内での情報交流を実施</li><li>実装設備に関しては、グリーン鋼材需要、カーボンフリー水素/電力の調達状況、各プロセスの経済合理性に鑑みながら各社で建設を判断</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>グリーン鋼材にかかわる国内ガイドラインの整備（国際標準化に向けて）</li><li>需要家に対するグリーン鋼材に関する理解活動の実施</li><li>海外への積極的な発信、学会等での積極的な広報活動の実施</li><li>ライセンスビジネスによる技術の収益化に関しても検討</li></ul>
国際競争上の優位性	<div>▼</div> <ul style="list-style-type: none"><li>COURSE50プロジェクトの知見・設備を活用。</li><li>コンソーシアム内の協力体制により、開発を加速</li><li>各社に製鉄・製鋼にかかわる技術者が多く在籍、学識経験者の知見も活用した開発体制が構築可能</li></ul>	<div>▼</div> <ul style="list-style-type: none"><li>コンソーシアム内での情報共有により、実装化可否判断を効率的に実施</li><li>既存製鉄所インフラの一部活用</li></ul>	<div>▼</div> <ul style="list-style-type: none"><li>長期間にわたり醸成された需要家との信頼関係</li><li>鉄鋼関連の標準（ISO14030-3）などの作成過程において、議論をリードしてきた実績</li></ul>

国の支援に加えて、本事業期間において参画企業で約3,548億円の自己負担を予定

【本事業に係る事業費および負担額(参画企業合計)】

	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度	2027 年度	2028 年度	2029 年度	2030 年度	...
事業全体の資金需要	約8,047億円+ 実用化費用※2										本事業期間の 開発完了の後、 自己負担にて、 次ステップの試験 操業を実施する 予定
うち研究開発投資	約8,047億円										
国費負担※1 (委託／補助)	約4,499億円										
自己負担	約3,548億円+ 実用化費用										

※1: インセンティブ額が全額支払われた場合  
※2: 早期実用化が可能となった場合は資金需要および自己負担分はさらに増額される

## 2. 研究開発計画

## 2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

「CO<sub>2</sub>排出を50%以上削減する水素直接還元技術の確立」  
というアウトプット目標を達成するために必要な複数のKPIを設定

研究開発項目		アウトプット目標	
シャフト炉における水素直接還元技術		CO <sub>2</sub> 排出を50%以上削減する水素直接還元技術の確立	
(事業開始時のTRL: 3 ※)			
研究開発内容	KPI	KPI設定の考え方	
<ul style="list-style-type: none"><li>原料一貫で水素直接還元技術の基礎検証</li><li>A 低品位原料の利用技術</li><li>B 還元ガスの水素化技術 (B-1.水素還元/B-2.カーボンリサイクル)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>直接還元向けの原料利用範囲拡大</li><li>還元ガス水素化：CO<sub>2</sub>削減≧50%(対高炉法)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>水素直接還元シャフト炉における原料品位・性状影響の基礎検討</li><li>・更なる資源自由度拡大に向けた基礎検討</li><li>・熱供給改善によるH<sub>2</sub>還元効率化</li><li>・カーボンリサイクルによる還元ガス最適化</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>C プロセス検証</li><li>・小規模プラント試験(1t/h) (実炉1/250~1/150規模) (以下、試験シャフト炉)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・上記の目標を達成した中で小規模プラント(1t/h)安定操業</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・還元粉化／クラスタリング抑制による安定操業</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>D スケールアップ検証</li><li>・中型実証炉試験 (実炉1/5規模以上)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・上記の目標を達成した中で中型実証炉の安定操業</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・中規模シャフト炉にて水素還元の実証</li><li>・電炉使用が可能な還元鉄品質の確保</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>E 全体プロセス評価・検討</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・水素直接還元プロセスの技術・総合的合理性提示</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・エネルギー評価などを通じた合理性評価</li><li>・高炉との比較、電炉との連携を含めた一貫整理</li></ul>	

※:経済産業省製造産業局:「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 令和3年9月14日 より

## 2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

### 各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

	KPI	解決方法
低品位原料を利用した水素直接還元技術の基礎検証 A 低品位原料の利用技術 B 還元ガスの水素化技術 (B-1.水素還元/B-2.カーボンリサイクル)	・原料Fe品位 ・CO <sub>2</sub> 削減	<b>低品位原料の還元特性(還元粉化、金属化率)に応じた最適還元条件(温度,ガス成分)の見極め</b> ・さらなる低品位原料拡大のための鉱石性状基礎評価 ・水素化のための熱補償、発熱制御 -水素還元時の固体／ガスからの顕熱補償 -カーボンリサイクルによるCO発熱反応の有効利用
C プロセス検証 ・小規模プラント試験(1t/h) (実炉1/250~1/150規模) (以下、試験シャフト炉)	・生産性 ・連続操業	・還元粉化／クラスタリング抑制 炉内ヒートパターン制御による粉化抑制
D スケールアップ検証 ・中型実証炉試験 (実炉1/5規模以上)	・生産性 ・金属化率	・炉中心部の昇温／還元遅れの抑制 ・電炉使用が可能な還元鉄品質(金属化率、融点)の確保
E 全体プロセス評価・検討	・プロセス合理性	・試験・検討を通じプロセス設定・条件の設計、最適化 ・高炉操業等知見・ノウハウなど最大活用



2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（これまでの取組）

各KPIの目標達成に向けた個別の研究開発の進捗度

（太字：当社実施）

	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
<div>● 低品位原料を利用した水素直接還元技術の基礎検証</div> <div><div>A</div>低品位原料の利用技術</div> <div><div>B</div>還元ガスの水素化技術 (B-1.水素還元/B-2.カーボンリサイクル)</div>	<div>A</div> 鉱石組織-粉砕モード-単体分離度3者の関係性の解明および選鉱試験データの取得	<div>A</div> ・粉砕モード比較と選鉱の連動試験を実行、単体分離度のデータ取得 ・鉱物種により分離性が異なる事が判明	○ 当初計画通りに進行中
	<div>B-1</div> 低品位原料を利用した、CO2排出量削減50%以上（対高炉法）となる水素還元シャフト炉の諸元の明確化	<div>B-1</div> ＜水素吸熱反応を補償する熱供給技術＞ ・各種熱供給技術の相乗効果を確認し、最適な操業諸元を検討	
	<div>B-2</div> 還元炉・常圧での還元粉化やクラスタリングが発生する操業条件を把握	<div>B-2</div> ＜直接還元技術とカーボンリサイクル（CR）技術＞ ・常圧還元でのH <sub>2</sub> /CO比率や原料予熱効果の確認 ・還元炉の操業変動に対応する為の、メタネーション条件・操業の拡大検討 ・小型ベンチ試験炉の建設完了し、運転開始	
		<div>B-1/B-2共通課題</div> <div>＜還元粉化とクラスタリング抑制技術＞</div> <div>・粉化、クラスタリングのメカニズムの基礎試験と発生粉の炉内挙動の検討</div> <div>＜加炭・成型による還元鉄の品質改善技術＞</div> <div>・還元鉄の加炭反応の反応速度式の構築と反応挙動との関係を確認</div> <div>・還元鉄中の脈石量・成分と圧縮変形の関係性の確認と、モデル化の基礎データ取得</div>	

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（これまでの取組）

各KPIの目標達成に向けた個別の研究開発の進捗度

（太字：当社実施）

	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
<div>C</div> <div>プロセス検証</div> <div>・小規模プラント試験(1t/h) (実炉1/250~1/150規模) (以下、試験シャフト炉)</div>	<div>C</div> <div>小規模試験炉の設計、製作</div>	<div>・2024.2月 土建工事着工、2024.6月 機械工事着工 現時点では工事進捗は概ねオンスケ ・試験操業条件を数学モデル・基礎試験で検証 ・2025.2月海外実機での操業トレーニングの実施 ・2025年度下期 試験操業開始予定</div>	<div>○</div> <div>当初計画通りに 2025年度下期試験 操業開始に向けた 工期遵守のため、 メーカーとの工程確 認会議を強化</div>
<div>D</div> <div>スケールアップ検証</div> <div>・中型実証炉試験 (実炉1/5規模以上)</div>	<div>D</div> <div>中型実証炉の概念設計及 びメーカー選定</div>	<div>・本体および付帯設備の概念設計・基本仕様を検討開始</div>	<div>△</div> <div>※水素調達課題あり</div>
<div>E</div> <div>全体プロセス評価・検討</div>	<div>E</div> <div>シミュレーション結果を活用し、 基礎試験結果なども反映して 水素還元シャフト炉単独 におけるCO<sub>2</sub>排出削減効果 の推算結果を定量的に評価</div>	<div>・シミュレーションモデルを改良し、解析結果を活用して未利用廃熱の有効利用方を提示 ・直接水素還元プロセスの工程ごとの解析モデルを作成</div>	<div>○</div> <div>当初計画通りに進 行中</div>

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（今後の取組）

個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

（太字：当社実施）

	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
<ul style="list-style-type: none"><li>低品位原料を利用した水素直接還元技術の基礎検証</li></ul> <div>A 低品位原料の利用技術</div> <div>B 還元ガスの水素化技術 (B-1.水素還元/B-2.カーボンリサイクル)</div>	<div>A 選鉱試験データ追加取得および最適な選鉱プロセスフローの構築</div> <div>B-1 水素還元鉄のC 濃度向上、HBI の密度向上可能な条件の確立</div> <div>B-2 ・還元炉での還元粉化やクラスタリングを抑制する最適な操業条件把握 ・還元炉の炉頂ガスのメタネーション適用に向けたガス清浄プロセスフロー構築</div>	<div>A 低品位鉱石からのゲーサイト・脈石の除去率向上</div> <ul style="list-style-type: none"><li>・湿式粉砕手法の検討</li><li>・湿式粉砕によるゲーサイトの選択的な破碎・除去の検討</li></ul> <div>B-1 &lt;水素吸熱反応を補償する熱供給技術&gt;</div> <ul style="list-style-type: none"><li>・各種熱供給技術の最適条件（加算効果含む）検討</li></ul> <div>B-2 &lt;直接還元技術とカーボンリサイクル（CR）技術&gt;</div> <ul style="list-style-type: none"><li>・小型ベンチ試験炉での常圧還元でのH<sub>2</sub>/CO比率や原料予熱効果の確認と最適操業の検討</li></ul> <div>B-1/B-2共通課題</div> <div>&lt;還元粉化とクラスタリング抑制技術&gt;</div> <ul style="list-style-type: none"><li>・粉化、クラスタリング発生の基礎メカニズム解明および抑制技術の検討</li></ul> <div>&lt;加炭・成型による還元鉄の品質改善技術&gt;</div> <ul style="list-style-type: none"><li>・還元鉄加炭の基礎知見および反応速度式の数学モデル化</li><li>・還元鉄中の脈石量・成分と圧縮変形・破壊の関係性の明確化およびシミュレーションモデルの改良</li></ul>	問題なし

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（今後の取組）

個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

（太字：当社実施）

	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
<div>C</div> <div>プロセス検証</div> <div>・小規模プラント試験(1t/h)</div> <div>（実炉1/250～1/150規模）</div> <div>（以下、試験シャフト炉）</div>	<div>C</div> <div>小規模試験炉を活用した</div> <div>100%水素還元シャフト炉</div> <div>の試運転完遂</div>	<div>・工期順守のための工程管理強化（海外メーカー要因含）</div> <div>・操業方法の習熟と操業方案の詳細検討</div> <div>・2025年度下期 試験操業開始（予定）</div>	<div>○</div> <div>・メーカーの試運転責任者との協議強化</div> <div>・2025年7月試験機で操業トレーニングの実施</div>
<div>D</div> <div>スケールアップ検証</div> <div>・中型実証炉試験</div> <div>（実炉1/5規模以上）</div>	<div>D</div> <div>100%<math>H_2</math>還元時の中心部</div> <div>昇温遅れの解決手法提示、</div> <div>および中型実証炉の基礎仕様決定</div>	<div>・本体および付帯設備の概念設計、基礎仕様を継続検討</div>	<div>△</div> <div>※水素調達課題あり</div>
<div>E</div> <div>全体プロセス評価・検討</div>	<div>E</div> <div>・小規模試験炉の試験結果を反映して<math>CO_2</math>排出削減効果の精度向上</div>	<div>・試験結果の反映による解析結果の精度向上</div> <div>・<math>CO_2</math>排出削減効果の正確な評価に向け、電力・水素など外部の影響評価（社会情勢や国内外動向の情報収集）</div>	<div>○</div> <div>・水素還元シャフト炉試験結果の反映</div> <div>・外部水素に関する技術調査実施</div>

## (参考) 研究開発内容2-①

### 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 ①直接水素還元技術の開発

#### 事業の目的・概要

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1/5規模以上）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。

- ① 要素技術開発および小規模試験炉（実炉の1/250～1/150規模）での検証試験
- ② 中規模直接還元炉（実炉の1/5規模以上）試験による実証実験

#### 実施体制

日本製鉄株式会社、JFEスチール株式会社、  
一般財団法人金属系材料研究開発センター

※太字: 幹事企業

#### 事業期間

2021年度～2030年度（10年間）

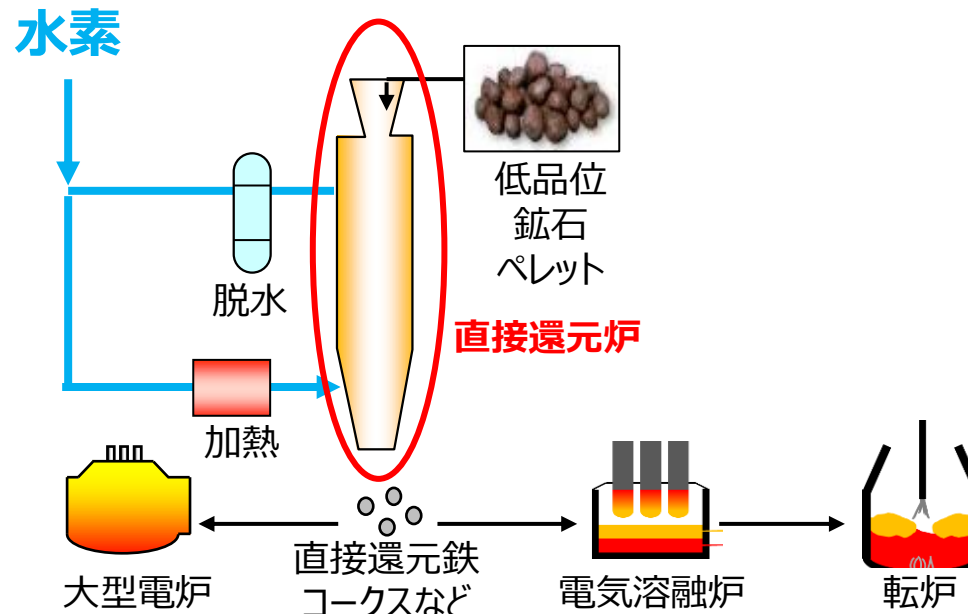
#### 事業規模等

- 事業規模（①＋②） \* : 約1,369億円
- 支援規模（①＋②） \* \* : 約1,141億円

\*事業規模は支援規模と補助率より計算。

\*\*インセンティブ額を含む。今後ステージゲートで事業進捗などに応じて変更の可能性あり  
補助率など: ①委託 → ②2/3補助（インセンティブ率は10%）

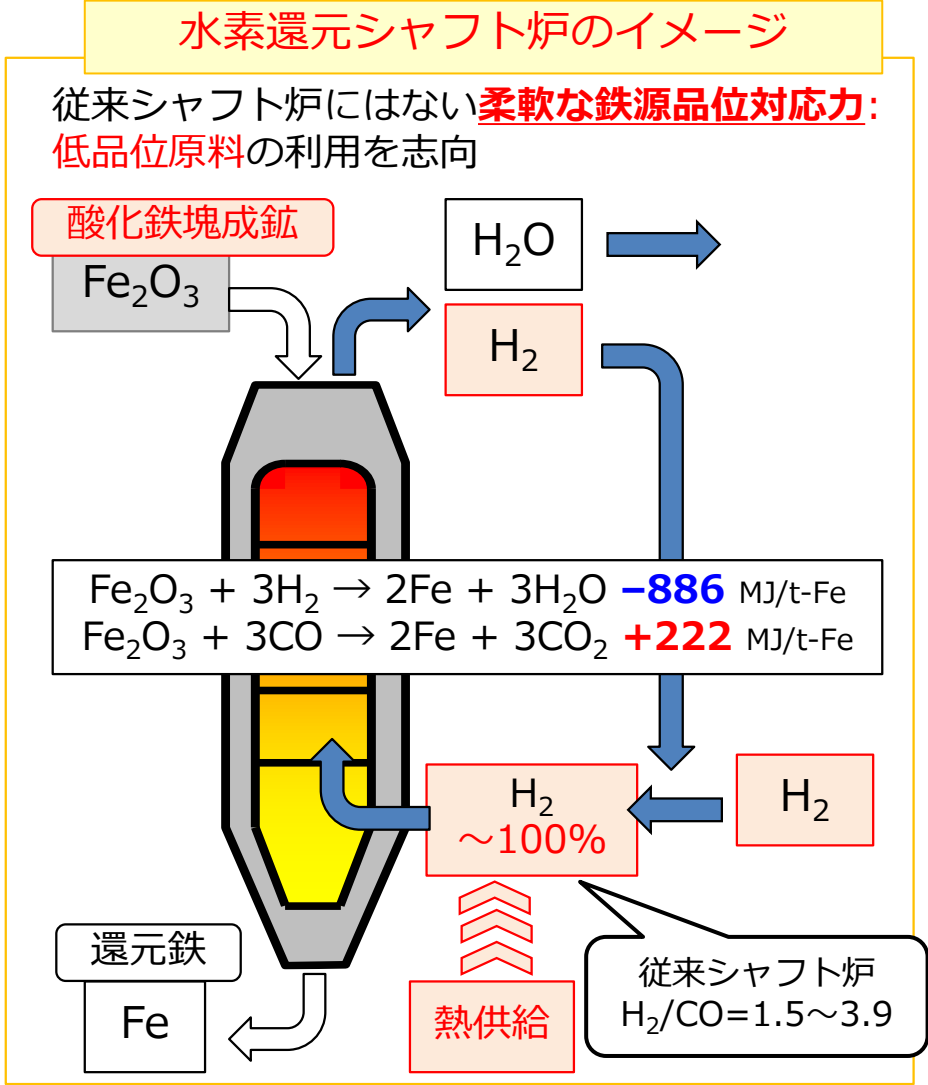
#### 事業イメージ



# (参考資料)本事業での取り組み【B-1】シャフト炉における水素直接還元技術

既存のシャフト炉プロセスとの比較

	既存 シャフト炉	水素還元 シャフト炉
還元材	天然ガス	水素
H <sub>2</sub> 濃度	60~80%	~100%
熱供給	天然ガス・排ガス 燃焼による還元ガス温度制御	水素外部加熱等 による還元ガス温度制御
原料	高品位 ペレット	低品位原料



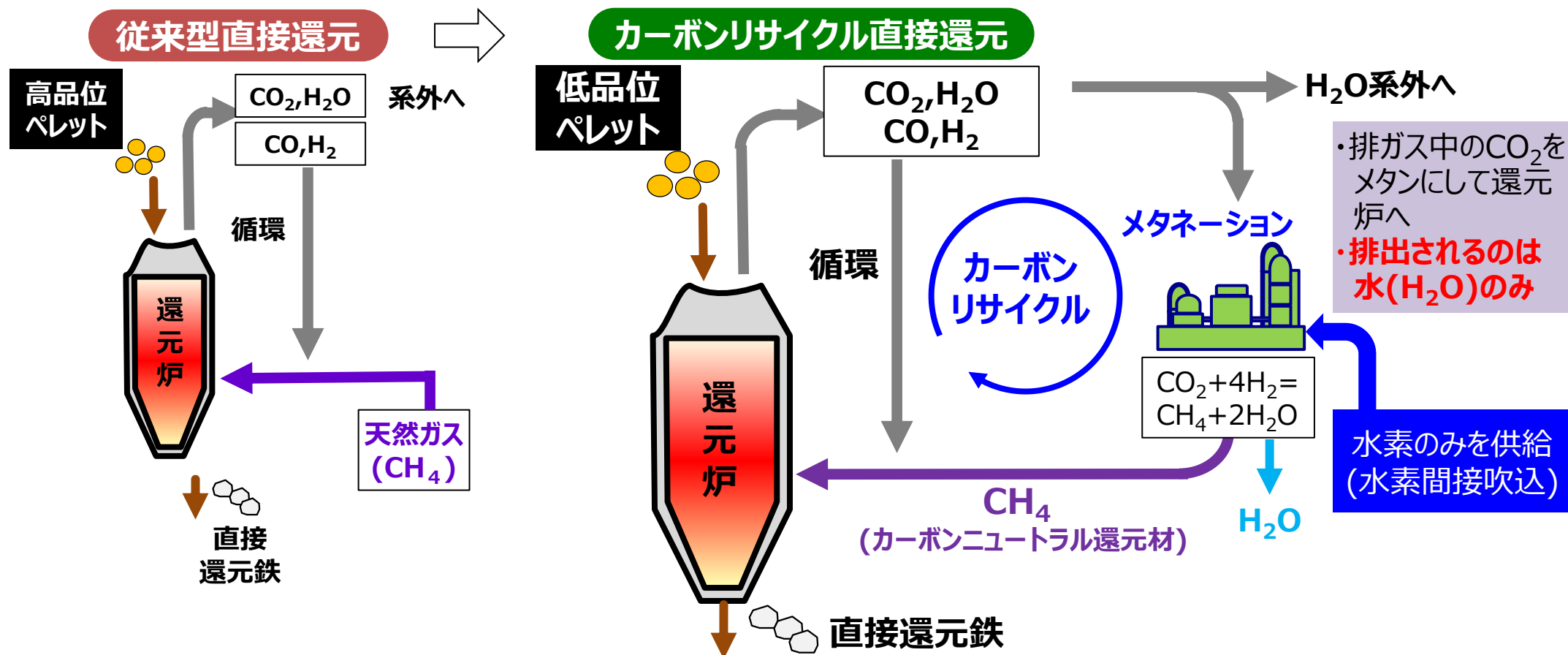
水素のみで酸化鉄を還元する技術開発にチャレンジ  
低品位鉱石を利用できる水素還元プロセスを柱とした  
シャフト炉と電気炉の一貫操業製鉄技術の確立  
⇒資源自由度の拡大による競争力の確保

日本製鉄 波崎研究開発センターに小規模試験シャフト炉  
(1t/hr) 建設、2025年度下期より試験開始予定



# (参考資料)本事業での取り組み【B-2】カーボンリサイクル(CR)シャフト炉技術

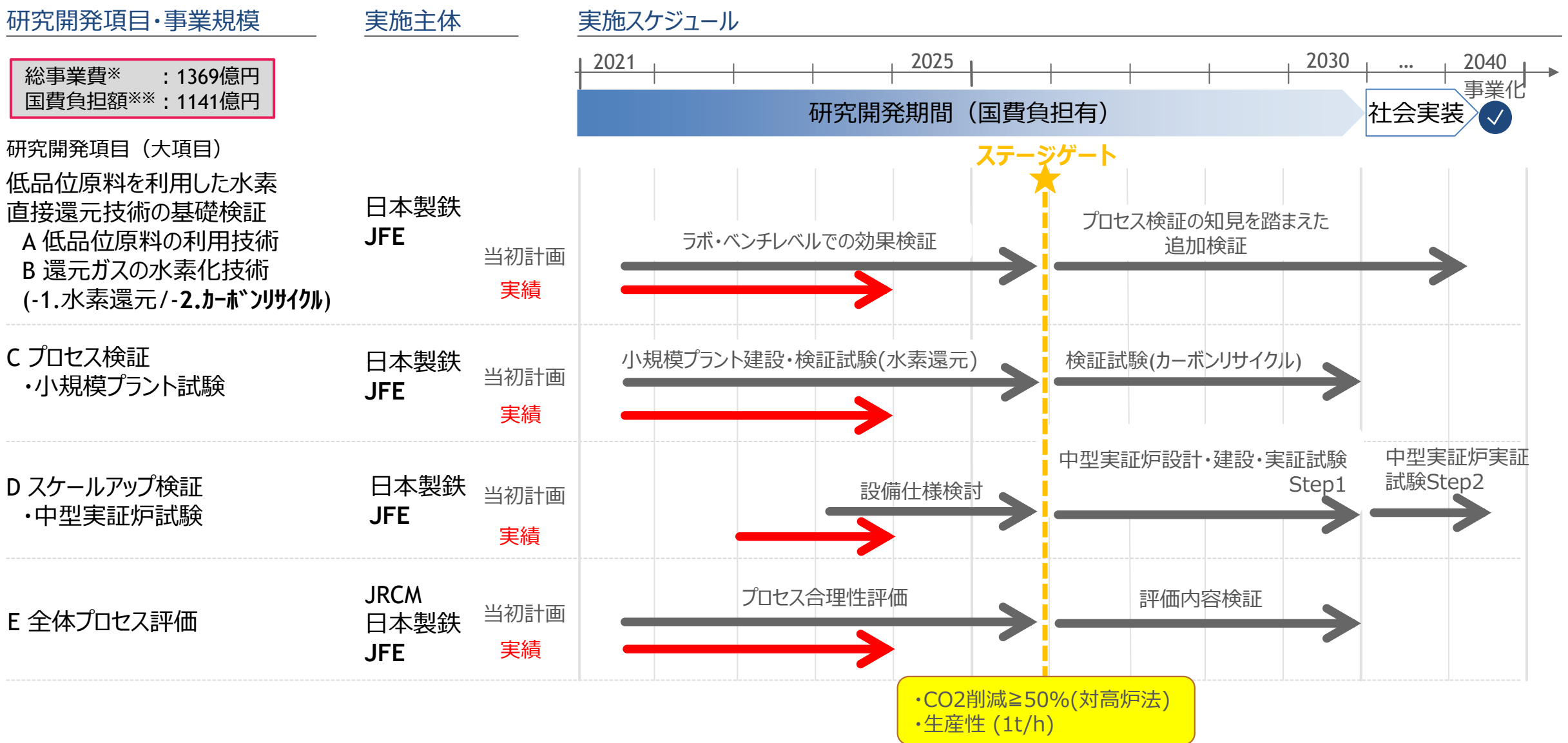
メタネーション反応を利用して、カーボンをプロセス内で循環再利用することで、水素還元の課題を克服



東日本製鉄所千葉地区において小型ベンチ試験炉建設・2024年度運転開始

2. 研究開発計画／（3）実施スケジュール

研究分野：シャフト炉における水素直接還元技術

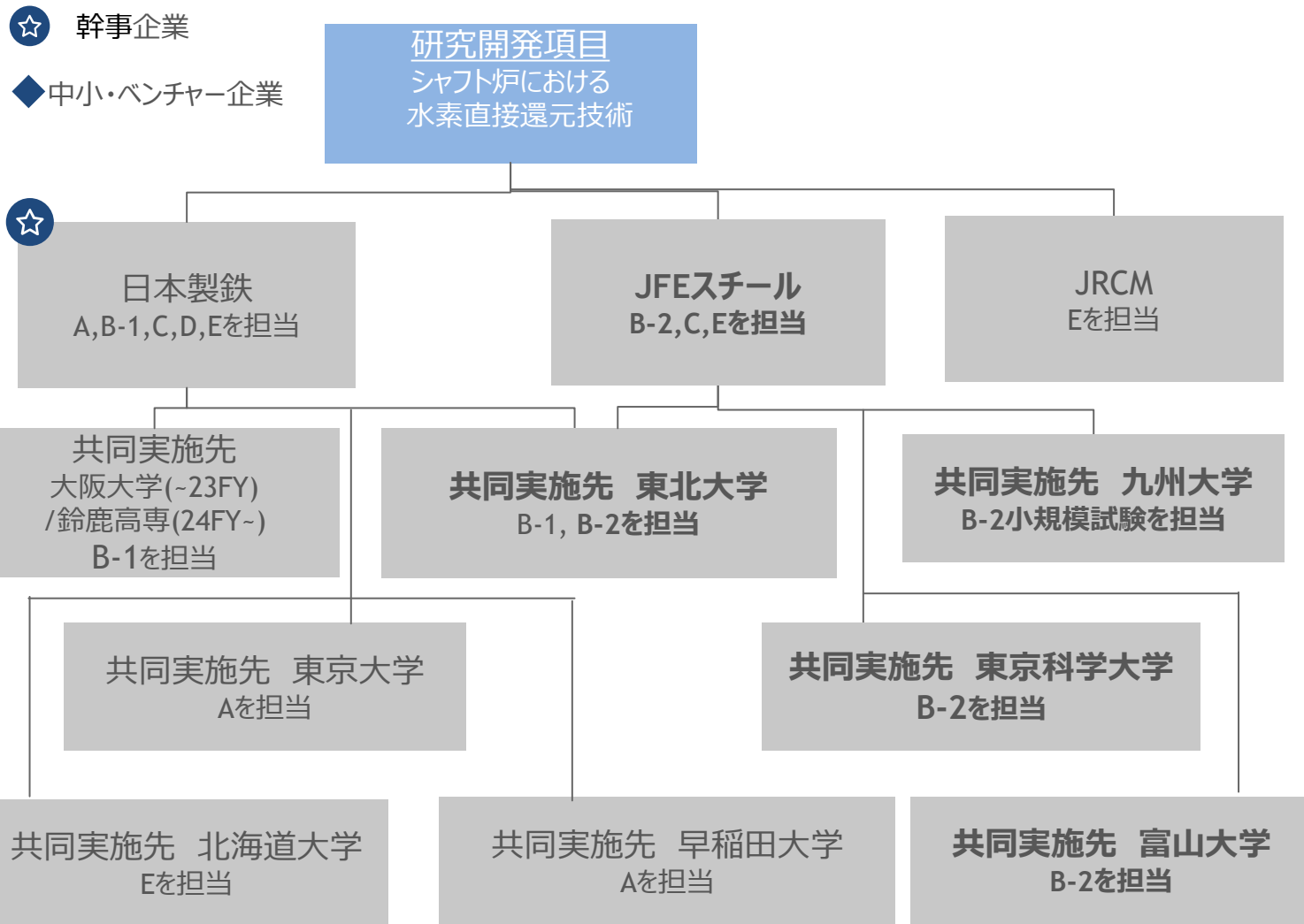


※事業規模は支援規模と補助率より計算。※※インセンティブ額を含む。今後ステージゲートで事業進捗などに応じて変更の可能性あり

## 2. 研究開発計画／（4）研究開発体制

### 各主体の特長を生かせる研究開発実施体制と役割分担を構築

#### 実施体制図



#### 各主体の役割と連携方法

##### 各主体の役割

- 研究開発項目全体の取りまとめは、日本製鉄が行う
- 日本製鉄は、A,B-1,C,D,Eを担当する
- JFEスチールは、B-2, C,Eを担当する**
- JRCMは、Eを担当する
- 東北大学は、B-1, B-2を担当する**
- 九州大学は、B-2を担当する**
- 鈴鹿高専は、B-1を担当する
- 東京大学は、Aを担当する
- 東京科学大学は、B-2を担当する**
- 早稲田大学は、Aを担当する
- 富山大学は、B-2を担当する
- 北海道大学は、Eを担当する

##### 研究開発における連携方法

- 定例打合せの実施（従来プロジェクトと同様）
- 共通サンプル/試験装置を活用した研究開発連携
- 課題が類似するテーマ間でサブグループ（SG）を設定し、企業、大学の連携を強化

##### 中小・ベンチャー企業の参画

- なし

## 2. 研究開発計画／（5）技術的優位性

### 国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
シャフト炉における水素直接還元技術	<ul style="list-style-type: none"><li>低品位原料を利用した水素直接還元技術の基礎検証</li><li>A 低品位原料の利用技術</li><li>B 還元ガスの水素化技術（水素還元/カーボンサイクル）</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>低品位鉱石の評価、利用技術（焼結分野）</li><li>数値シミュレーション技術（高炉分野）</li><li>塊成鉱の水素還元技術（高炉－焼結分野）</li><li>塊成鉱の還元粉化抑制技術（高炉－焼結分野）</li><li>還元鉄の加炭技術（高炉分野）</li><li>一貫製鉄のエネルギー評価技術</li></ul>	<p>優位性</p> <ul style="list-style-type: none"><li>低品位鉱石（豪州、南米等）の評価、利用技術を保有。</li><li>世界最高水準の高級鋼一貫製造技術を保有。今回開発技術によってグリーンスチールにおいても優位性を維持。</li><li>世界最高のエネルギー効率</li></ul> <p>リスク</p> <ul style="list-style-type: none"><li>天然ガスの直接還元炉の操業実績を持つ競合他社に対して早期のキャッチアップが不可欠</li><li>低炭素負荷エネルギーの環境整備</li><li>安価で安定的なエネルギー源（水素・電力）の活用</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>C プロセス検証</li><li>・小規模プラント試験</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>小規模試験機操業技術（試験高炉）</li></ul>	
	<ul style="list-style-type: none"><li>D スケールアップ検証</li><li>・中型実証炉試験</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>実機高炉操業技術（高炉分野）</li></ul>	
	<ul style="list-style-type: none"><li>E 全体プロセス評価</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>プロセス解析・エネルギー評価技術（高炉分野等）</li></ul>	

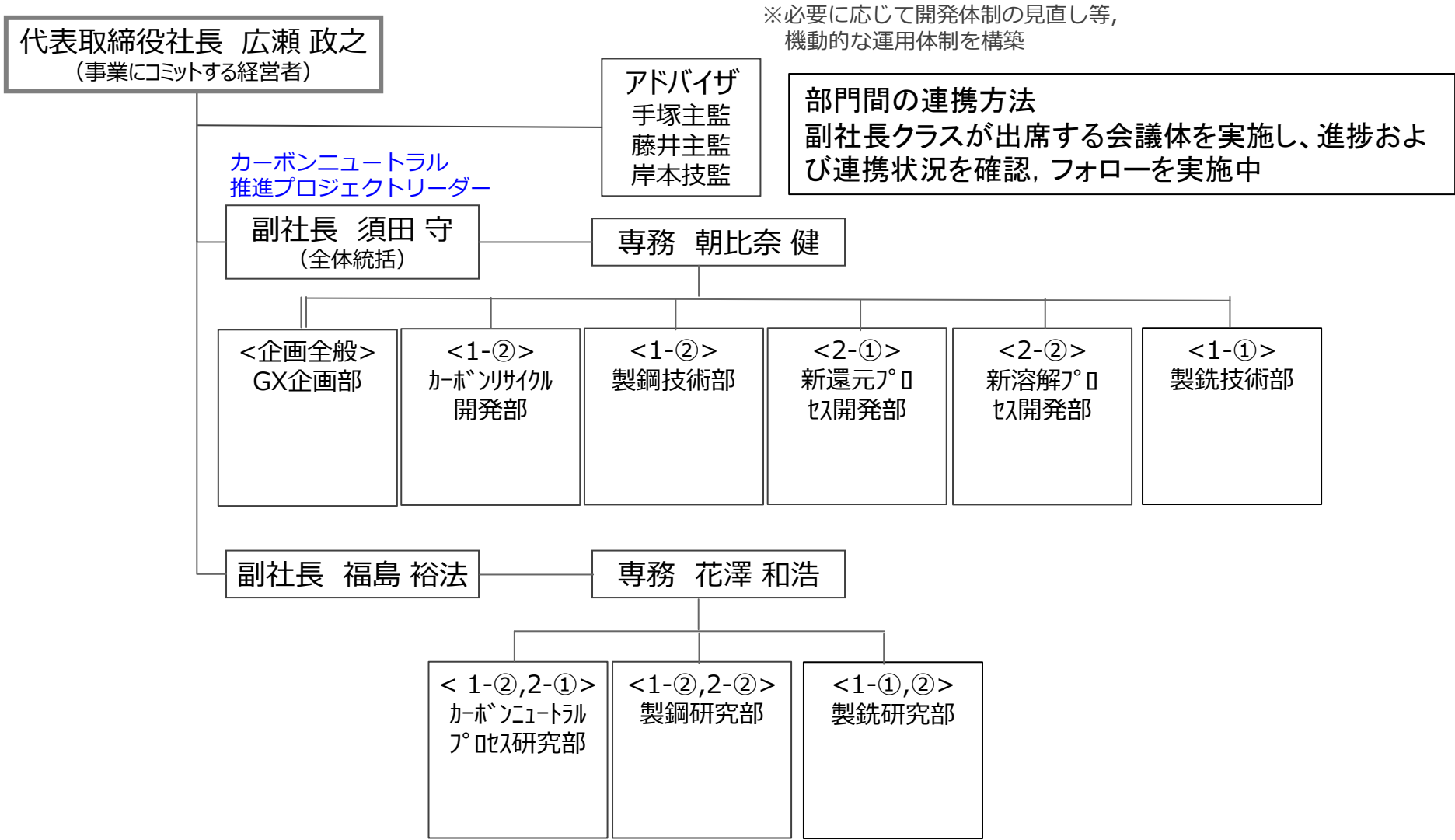
# 3. イノベーション推進体制

(経営のコミットメントを示すマネジメントシート)

### 3. イノベーション推進体制／（1）組織内の事業推進体制

## 経営者のコミットメントの下、専門部署に複数チームを設置

組織内体制図（構想図）





### 3. イノベーション推進体制／（2）マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与

## 経営者等による「カーボンニュートラルの実現に向けた取り組み」への関与の方針

### 経営者等による具体的な施策・活動方針

- 経営者のリーダーシップ
  - 気候変動問題への対応は事業継続の観点から極めて重要な経営課題であると認識し、中期経営計画の最重要課題に掲げるとともに、2050年カーボンニュートラルの実現に向けた当社のロードマップを「JFEスチール カーボンニュートラル戦略説明会」として社内外の幅広いステークホルダーに経営者自ら公表（2023年11月8日公表、参考-1）
  - ✓ 2028年度 倉敷地区への革新電気炉導入を機関決定
  - ✓ 超革新高炉に必要となる水素サプライチェーン構築に向けて、水島コンビナートの立地を活かし、西日本製鉄所（倉敷地区）に隣接するENEOS（株）と水素利活用に関する共同検討を行っています。
  - 東日本製鉄所（京浜地区）の土地利用構想「OHGISHIMA2050」を策定
  - 第8回 GX実行会議において、日本鉄鋼業のカーボンニュートラルに向けた取組とその実現に向けた官民連携の必要性・重要性を提言（2023年11月7日公表、参考-2）
- 事業のモニタリング・管理
  - 経営層主導による事業推進の仕組み経営会議メンバーで構成されるGX戦略会議を24年度は5回開催、カーボンニュートラルに係る各組織・プロジェクトの重要課題を一元的に審議し、方針決定を行った。
  - 社内外の幅広い意見の反映（参考-3）「GXリーグ基本構想」に賛同するとともに、「グリーン商材の付加価値付け検討WG」に参画し、グリーン商材・低炭素商材の価値創生に関わる異種業界に共通するルール策定に関する提言を取り纏め。
  - GXリーグダッシュボードを活用した事業モニタリング・管理の導入GX-ETSフェーズ1におけるCO2排出削減目標を公表

- KPIの設定
  - ✓ 2024年度末のCO2排出量を2013年度比で18%以上削減達成
  - ✓ 「2024年度末のCO2排出量を2013年度比で18%以上削減」において、省エネ/技術開発によるCO2削減目標306万トンの100%の達成
  - ✓ グリーン鋼材需要喚起による、JGreeX®採用拡大

### 経営者等の評価・報酬への反映

- 役員報酬の基本方針及び構成
  - 社グループの持続的な成長に向けた健全なインセンティブとなるよう、各取締役および執行役員の役割、責務等に応じて基本報酬と業績に連動する報酬（年次賞与、株式報酬）の割合を適切に設定
  - 気候変動問題への取り組みを加速させるインセンティブとして、役員の業績連動報酬に気候変動に関する指標を導入を決定（2023年度より適用、業界初）

### 事業の継続性確保の取組

- 本事業の推進にあたり、代表取締役社長以下、代表取締役5名全員が参画するGX戦略会議において、コンセンサス方式で事業戦略の意思決定することで、継続性を担保。

### 3. イノベーション推進体制／（3）マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ

## 経営戦略の中核に「カーボンニュートラルの実現に向けた取り組み」を位置づけ、広く情報発信

#### 社内経営戦略としての位置付け

- カーボンニュートラルに向けた全社戦略
  - 2050年 カーボンニュートラルに向け、高品質鋼材をグリーン鋼材に転換し、経済社会がグリーン化する中で、サプライチェーン全体の競争力向上に貢献
  - 2023年度より、G Xリーグに本格的に参画。「グリーン商材の付加価値付け検討WG」に参画、製品のGX価値として『削減実績量』を指標化
  - 「排出削減が困難な産業におけるエネルギー・製造プロセス転換支援事業」の採択を受け、2025年3月に革新電気炉へのプロセス転換を機関決定
  - 世界的に需要の高まるEV・HEV等の主機モーターに使用されるトップグレードの無方向性電磁鋼板の増産や洋上風力向けの大単重厚鋼板「J-TerraPlate™」により、グリーンエネルギー拡大に向けた取り組みを推進し、社会全体の脱炭素化に貢献
- 事業戦略・事業計画の決議・変更
  - 経営課題としての長期的な事業戦略ビジョン策定およびコミットメント  
JFEスチール経営会議および取締役会にて、2050年カーボンニュートラルの実現に向けた長期ビジョンとしての研究開発計画を審議・決定。加えて、JFEホールディングスのグループ経営戦略会議でも審議し、取締役会で決議。
  - 定期的フォロー、見直しの機会  
経営会議メンバーで構成されるGX戦略会議を5回開催し、カーボンニュートラルに係る重要課題に対する方針、実行の意思決定を実施
  - 社内周知（Jマガ掲載実績、参考-4）  
年6回発行の社内報において、毎回カーボンニュートラルに関する記事を掲載「カーボンニュートラル戦略」を推進プロジェクトリーダーが対面で説明し周知
- 決議事項と研究開発計画の関係
  - 事業戦略・事業計画の一部としてグ、リーンイノベーション（GI）基金事業で超革新技術開発を推進中

#### ステークホルダーに対する公表・説明

- 情報開示の方法
  - 2019年5月、TCFD提言への賛同を表明し、TCFDの理念を経営戦略に反映し、TCFD提言に沿った情報開示を実施。
  - 統合報告書、CSR報告書において、TCFD等のフレームワークを活用し、事業戦略・事業計画の内容を明示的に位置付け。
  - TCFDが提言している「シナリオ分析」を用いて気候変動問題に対する課題を特定するとともに、持続的な成長に向けた戦略として、7次中期経営計画において、JFEグループ環境経営ビジョン2050を策定し、2050年カーボンニュートラルに向けたプロセス開発のロードマップを公表。（2021年5月）
  - JFEスチール カーボンニュートラル戦略として、2030年CO2排出量削減30%、2050年カーボンニュートラルに向けた社会実装ロードマップを公表。
- ステークホルダーへの説明（参考-5）
  - 上記の情報開示に加え、マスコミインタビューやニュースリリース、投資家向け説明会、株式との個別面談、株主通信等を通じて、ステークホルダーへ具体投資家・債権投資家・金融機関的な取り組みと事業の将来見通しやリスクを積極的に説明。
  - 「JFEスチールのGXへの挑戦」について動画を公開（22年6月20日）
  - 各四半期決算発表にて、カーボンニュートラルの実現に向けた取り組みの最新の進捗を積極的に公表しステークホルダーへ説明。  
（24年5月、8月、11月、25年2月、5月）  
当社Webサイトのニュースリリースにおいて、エコプロセス、エコプロダクト等、気候変動問題解決に資するトピックスを発信。

### 3. イノベーション推進体制／（4）マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

## 機動的に経営資源を投入し、着実に社会実装まで繋げられる組織体制を整備

#### 経営資源の投入方針

- 実施体制の柔軟性の確保
  - 事業推進における柔軟性確保  
提案にかかる事業は、実施技術・経済・社会等の面において不確実性が高い内容である。したがって、様々な超革新的技術開発には複線的にアプローチし、必要に応じ、体制や手法の見直しを実施。  
また、責任者、チームリーダーへの権限移譲を行い、追加リソース投入等機動的な運用体制を構築する。
  - 外部リソースの活用  
2050年にカーボンニュートラルを実現する新技術の早期確立は個社単独では困難である。したがって、他業界や研究機関等の連携も視野に入れ積極的に外部リソースを活用し開発を推進。
- 人材・設備・資金の投入方針
  - 人的資源  
本事業は、超革新的な技術開発への挑戦と位置付け、カーボンニュートラル推進プロジェクト体制を構築。適宜、社内横断的な検討チームやハード組織を新設し人材を投入。  
GX戦略本部の新設に伴い、23年4月対比で倍増
  - 既存設備活用  
研究・実証に必要なインフラ整備期間の短縮、費用の圧縮を図るため、可能な範囲で既存設備を活用し、新技術の早期確立を目指す。
  - 資金投入方針  
2023年9月 GX戦略の推進を機動的かつ確実に実行し、持続的な利益成長を続けるため、公募増資・CB発行(新株式発行、自己株式処分、転換社債発行)により総額2,045億円を調達。

#### 専門部署の設置

- 専門部署の設置
  - 2021年7月 カーボンリサイクル高炉およびCCUメタノール合成の要素技術開発等の推進を目的として「カーボンリサイクル開発部」を設置  
また、直接還元法に適した原料の開発およびCO2削減に資する外部鉄源の確保の推進を目的として、原料部に「グリーン原料室」を設置。
  - 2021年10月 直接還元鉄を活用した電気炉プロセス技術開発やスクラップ等の鉄源を溶解する新プロセスの研究開発の加速を図るべく「新溶解プロセス開発部」を設置。
  - 2022年1月 直接水素還元技術の研究開発の加速を図るべく「新還元プロセス開発部」を設置。
  - 2023年5月 倉敷電気炉建設検討班を新設。具体的検討開始。
  - 2023年6月 電力/燃料の非化石化、CCUS活用の加速を図るべく、GXインフラ開発部を新設。
  - 2024年4月付 より効率的な組織体制への変更が必要と判断し、GX戦略本部を設置（参考-6）
- 若手人材の育成
  - 育成機会の創出  
専門グループには若手人材を多く配置するとともに、関連する海外研究機関との交流を行い、中長期を見据えた育成機会を提供。
  - 社外組織との連携  
革新プロセスの開発にあたり設備仕様、スケールアップ、操業諸元の設計には、専門性の高いシミュレーション解析による検討が必要である。  
関連する学会、研究会のみならず、他分野とも連携し、当該解析技術を有する大学、研究機関の若手研究者と共同研究を推進。

## 4. その他



## 4. その他／（１）想定されるリスク要因と対処方針

### リスクに対して十分な対策を講じるが、自然災害等の事態に陥った場合には事業中止も検討

研究開発（技術）におけるリスクと対応	社会実装（経済社会）におけるリスクと対応	その他（自然災害等）のリスクと対応
<ul style="list-style-type: none"><li>ハードルの高い技術課題を解決できず開発目標を達成できない場合 ⇒コンソーシアムメンバー会社で連携して対処するも解決策が見いだせない場合は開発を中止する。</li><li>開発技術を凌駕する新技術の出現 ⇒将来のCNに対して社会実装までの期間やコスト面において有効である場合は、中止も含めた検討を行う。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>安価でクリーンな水素の入手が困難となる ⇒開発は進めるが社会実装に関しては延期する。 なおコスト評価は継続して行い、社会実装のタイミングを見極める。</li><li>水素、電力価格が高く、かつグリーンスチールの評価が低く鋼材生産の収益性が見込まれない ⇒商品の価値を適正に価格に反映し受け止めてもらえるよう国、お客様に働きかける。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>自然災害（地震、津波等）による設備破損等のリスク ⇒近年の風水害による被害や行政のハザードマップ等の最新の情報に基づいた、対策の見直しを実施する。</li><li>COVID-19の再拡大等のパンデミックにより、開発に大幅な遅れが生じる場合 ⇒全体スケジュールの再調整も含め検討する。</li></ul>



● 事業中止の判断基準：

- ハードルの高い技術課題を解決できず開発目標を達成できない場合
- 開発技術を凌駕する新技術が出現し、将来のCNに対して社会実装までの期間やコスト面において有効である場合
- 水素、電力、バイオマスの価格が高く、かつグリーンスチールの評価が低く鋼材生産の収益性が見込まれず事業継続できなくなった場合
- 大規模震災等の自然災害により、事業の継続が困難となった場合