

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：日本製鉄株式会社、代表名：代表取締役社長 今井 正

（共同実施者：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）

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：CO₂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

2050年カーボンニュートラル実現のため、超革新的技術にチャレンジし、世界の鉄鋼業をリード

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）

- 鉄鋼業は、資源・エネルギー・土木・建築等のインフラ分野や、自動車、電機電子・造船等の製造業等のあらゆる産業の基盤の役割を果たしている。

（経済面）

- 2050年のカーボンニュートラル社会においても、鉄鋼は、電動車向けの電磁鋼板や洋上風力のモノパイル等にも利用されるなど、脱炭素化製品に必要不可欠な素材の一つである。
- IEAの見通しにおいても、2050年断面において、自動車や各インフラ、電子電気機器等で大きな需要が見込まれている。

（政策面）

- 製鉄プロセスの脱炭素化に向けた技術開発は世界各国でも行われており、日本以外の多くの海外鉄鋼メーカーも2050年カーボンニュートラルを宣言し、脱炭素化に向けた世界的技術開発競争が進められている。
- 我が国鉄鋼業の国際競争力を確保していくには、世界に先駆けて製鉄プロセスにおける脱炭素化技術を開発し、「グリーンスチール」を実現することが不可欠となる。

（技術面）

- 現行の高炉法は、エネルギー効率、生産効率、生産品質、原料条件の面で優れている一方で、コークス（石炭）を用いて還元する過程で不可避免的にCO₂が発生する。
- そのため、鉄鋼業におけるカーボンニュートラル実現のためには、原料や還元材において化石燃料から脱却するという、製鉄プロセスそのものの抜本的な転換が求められている。

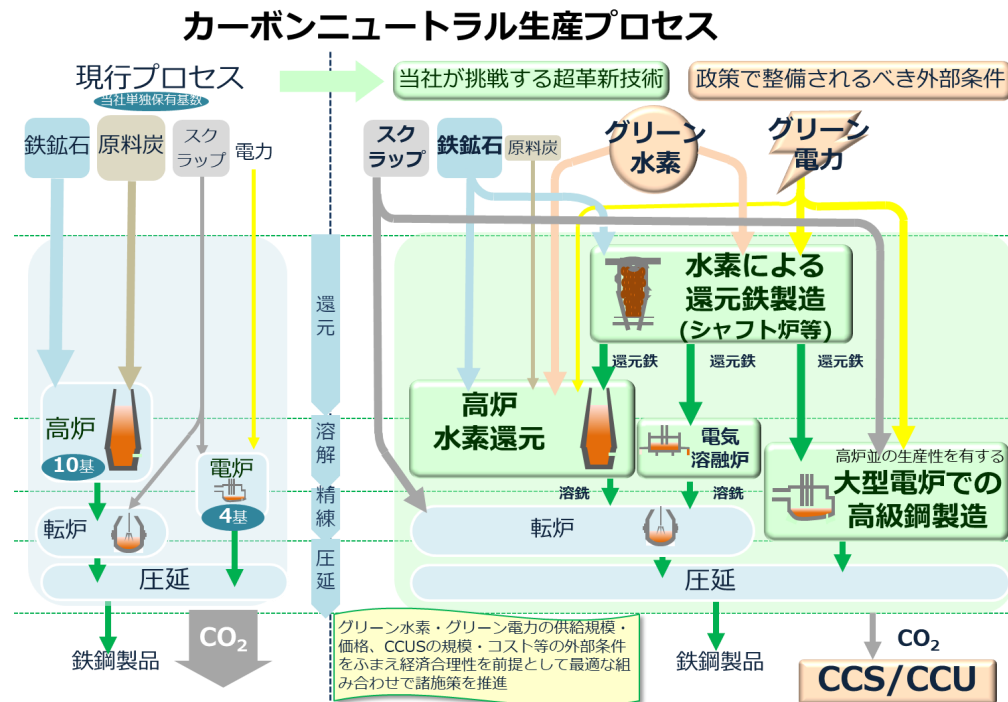
● 市場機会：

IEAは、製造工程のCO₂排出量が実質ゼロである「グリーンスチール」の市場が、2050年時点で約5億トンとの予測（2070年にはほぼグリーンスチールに代替）。本市場を獲得するためには、日本鉄鋼業が水素還元製鉄等の超革新技术を世界に先駆けて確立することが不可欠。

● 社会・顧客・国民等に与えるインパクト：

我が国鉄鋼業が、他国に先駆けてカーボンニュートラル製造プロセスを開発・実機化することにより、産業基盤として世界をリードし、グリーンスチール市場化をいち早く実現。

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



● 当該変化に対する経営ビジョン：

「日本製鉄カーボンニュートラルビジョン2050」を掲げ、経営の最重要課題として、2050年カーボンニュートラルの実現にチャレンジ

〔2030年ターゲット〕

CO₂総排出量▽30%の実現

〔2050年ビジョン〕

カーボンニュートラルを目指す



NIPPON STEEL
Green Transformation
initiative

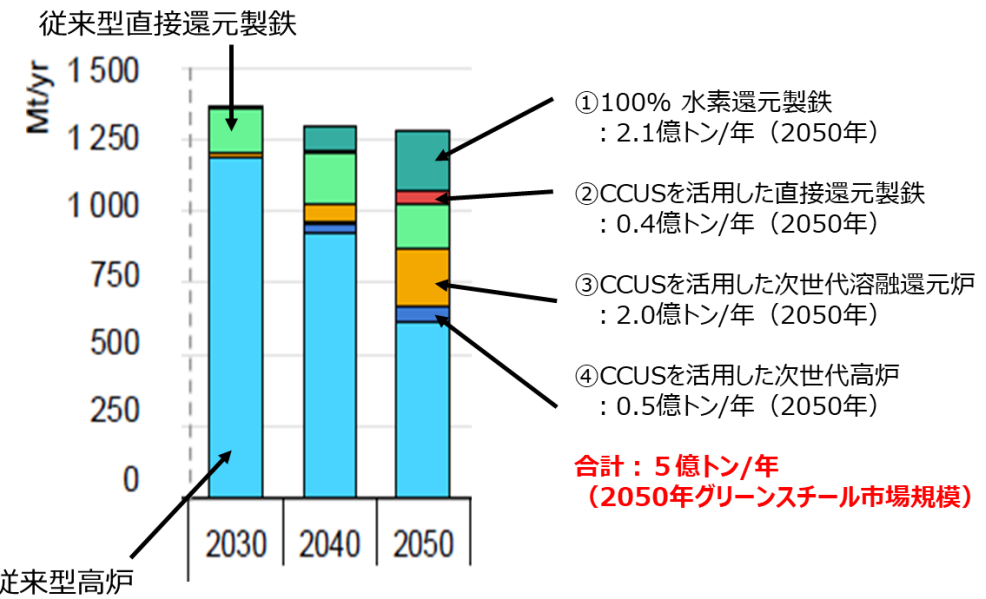
1. 事業戦略・事業計画／（2）市場のセグメント・ターゲット

世界に先駆けてグリーンスチールを開発し、日本鉄鋼業が技術的にけん引していくことが必要

セグメント分析

- ・IEAは、製造工程のCO₂排出量が実質ゼロである「**グリーンスチール**」の市場が、**2050年時点で約5億トン**との予測（2070年にはほぼグリーンスチールに代替）
- ・本市場を獲得するためには、**日本鉄鋼業が水素還元製鉄等の超革新技术を世界に先駆けて確立することが不可欠**

製造法別鉄生産量見通し

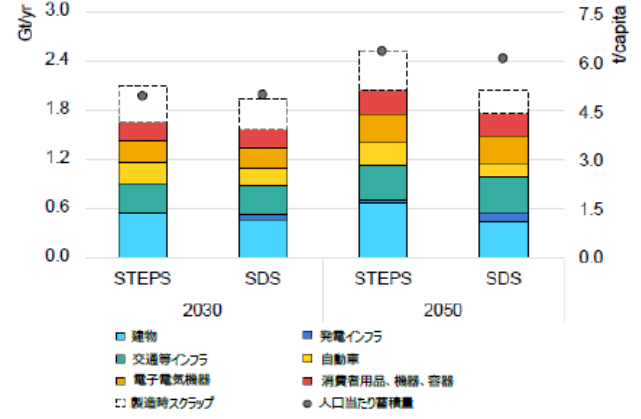


（出典）IEA Energy Technology Perspectives 2020

ターゲットの概要

- ・鉄鋼は、資源・エネルギー・土木・建築分野や、自動車向けのハイテン・電磁鋼板(EV等のモーターで使用)・洋上風力の構造体等にも利用され、**カーボンニュートラル社会においても、引き続き、必要不可欠な素材である**
- ・IEAの見通しにおいても、2050年断面で、**自動車や電子電機機器、各インフラ等で大きな需要が見込まれている**

＜鉄鋼の需要見通し＞



（出典）Iron and Steel Technology Roadmap (2020IEA)
※ STEPS:公表済み政策シナリオ、SDS:持続発展シナリオ

分野

分野動向 と 当社対応の方向性

自動車

2035年迄に乗用車新車販売を100%電動車化、2050年ライフサイクル全体でのCO₂排出ゼロ等の目標実現に向け、エコカーの生産量拡大が見込まれる。

→ハイテン材（車体の軽量化に寄与）、電磁鋼板の供給・性能向上により省CO₂に貢献

電子電機機器

電化促進に向け、省エネを実現するデバイス・機器（高効率モーター、省エネ家電 等）関連での需要拡大が見込まれる。

→電磁鋼板（高効率モーターで使用）の供給・性能向上により省CO₂に貢献

各インフラ

2050年のカーボンニュートラルに向けたグリーン成長戦略に基づき、今後、再生可能エネルギー（洋上風力発電 等）、次世代燃料(水素 等) 等での急激な需要増が見込まれる。

→再生可能エネルギー分野での洋上風力の構造部材向け、次世代燃料分野での製造-輸送-貯蔵-利用の広範囲に渡る需要に対し、高機能材を提供し貢献

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

社会・顧客に対する提供価値

「3つのエコ」

① eco PROCESS

「事業活動の全段階における環境負荷の低減」

事業活動全段階において、更なる環境保全、資源・エネルギー効率の向上、社内外の廃棄物削減とリサイクル促進を目指し、環境負荷低減に向けた活動を推進

② eco PRODUCTS

「環境配慮型製品の提供」

国内外に提供する製品のライフサイクル全般において環境負荷を低減するために、技術先進性を駆使して、環境保全・省資源・省エネルギーに資する製品を開発・提供

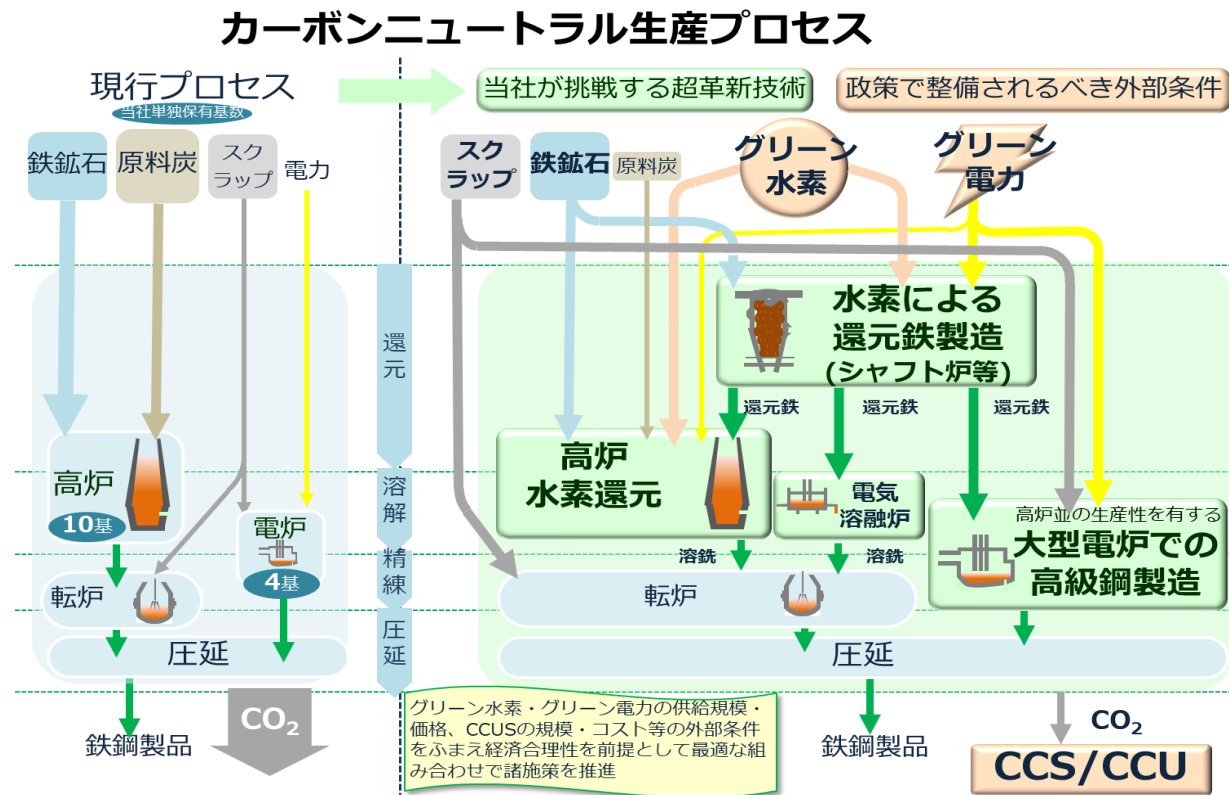
③ eco SOLUTION

「地球全体を視野に入れた環境保全への解決提案」

これまで培った環境保全・省資源・省エネルギーに資する技術や環境マネジメントシステム等をさらに向上させ、国内外に提案し、環境負荷の低減は、さらには技術移転を通じた海外の環境問題の解決に貢献

ビジネスモデルの概要と研究開発計画の関係性

- ・ 左記「3つのエコ」を継続する中で、カーボンニュートラル製鉄プロセスの研究開発・実装化を行うことにより今後2050年に向け段階的に移行が進展すると想定される「グリーンスチール化」へ他国に先駆けて対応。
- ・ 広範な顧客の生産を維持する観点から、現有する鉄鋼一貫製造プロセスでの生産を継続しつつ、新プロセス実装や関連設備改造等を全国の製造拠点にて順次実行。
- ・ 今回の新プロセス開発・実装に伴い、鉄鋼の一貫製造プロセス自体は大きく変わらないことから、既存の川上・川下システムは基本継続。



1. 事業戦略・事業計画／（4）経営資源・ポジショニング

一貫製鉄製造設備にカーボンニュートラルプロセスを実装することにより、
社会・顧客に対してグリーンスチールという価値を提供

自社の強み、弱み（経営資源）

ターゲットに対する提供価値

- ・「製鉄プロセスにおける水素活用」を開発し、既存の一貫製鉄製造設備を活用しつつ実装することにより、「グリーンスチール」という環境価値を提供





自社の強み

- ・多岐に渡る高品質の鉄鋼製品を高炉法により安価かつ大量に生産する一貫製造設備（メガインフラ）
- ・自動車等の主要ユーザーにおいて国内トップシェアを長年に渡り堅持しており、国内外に豊富な顧客基盤・サプライチェーン網を保有
- ・国内随一の研究開発者・設備技術者数を配しており、本プロジェクトへ機動的かつ重点的に投入可能
- ・試験高炉への製鉄所内発生ガス吹込み技術等に関し COURSE50プロジェクトにおいて世界に先駆け成果発揮

自社の弱み及び対応

- ・原料権益や電力・天然ガス等の外部条件について、日本鉄鋼業にアドバンテージがあるとは言えない状況
- ・また日本鉄鋼業においてカーボンニュートラルスチールを社会実装していくための社会の制度スキームがまだ整っていない状況

他社に対する比較優位性

	技術	顧客基盤・サプライチェーン
自社	<p>・（現在）高炉法</p> 	<p>・自動車等の主要ユーザー国内トップシェア</p> <p>・国内外に豊富なサプライチェーン網を保有</p> 
競合社	<p>・以下 3 つの超革新技术に加え、電気溶融炉を用いた水素還元製鉄技術の研究開発を行い、競合他社に先駆けて社会実装することにより、グリーンスチールを提供</p> <p>1) 大型電炉での高級鋼製造</p> <p>2) superCOURSE50高炉</p> <p>3) 水素による還元鉄製造</p> <p>＜欧州大手鉄鋼メーカー＞</p> <p>・各社が高炉法からDRI・電炉プロセスへの転換を計画</p> <p>・①原料の水素直接還元、②排ガスから回収した炭素を還元剤として再利用(CCU)、③CO₂貯留による低炭素技術を開発中。</p> <p>＜中国大手鉄鋼メーカー＞</p> <p>・熱風の代わりに純酸素を吹き込むことで石炭使用量を削減する「酸素高炉」技術を開発中。</p> <p>・宝武は、HyCROF技術（酸素吹込み、炉頂ガス循環、循環ガス加熱と水素添加を組合せた技術）実装に向けて2023年9月末より2,500m³ の八一鋼鉄現有高炉を使った試験を実施。同年12月に「二酸化炭素排出量15%低下、2025年から宝武の各製鉄所へ展開する」と公表。</p> <p>＜韓国大手鉄鋼メーカー＞</p> <p>・所内排ガスの有効活用、AI技術等の活用による高炉操業の高効率化・省エネを進めると同時に、低品位原料が活用可能な流動層型の直接還元技術を開発中。</p> <p>・高炉から直接還元へ段階的に移行を進めることで、2030年までにCO₂排出量を20%削減、2040年までに50%削減、2050年までにカーボンニュートラル実現を目指している。</p>	<p>・顧客にも気候変動対策が求められる中で scope3も含めたサプライチェーン全体のCO₂削減に貢献</p> <p>・広範な顧客の生産を維持する観点から、現有する鉄鋼一貫製造プロセスでの生産を継続しつつ、新プロセスの実装や関連設備の改造等を全国の製造拠点にて順次実行</p>

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 ₂ 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

- 鉄鋼業におけるカーボンニュートラルの実現に向け
ては、革新技術の確立や、水素供給を始めとする
社会インフラの整備状況までの時間軸等を踏まえ、
高炉法と電炉法の双方に関する技術革新、及び
直接還元法を含めた複線的な技術開発アプロ
ーチが不可欠。
- 技術開発の実施においては、海外の動向も注視
しつつ、共同研究により技術開発の加速が見込ま
れる分野においては海外連携も視野に入れて早
期の実用化を目指す。

- 広範な顧客の生産を維持する観点から、現有する鉄鋼一貫製造プロセスでの生産を継
続しつつ、新プロセス実装や関連設備改造等を全国の製造拠点にて順次実行。
- 水素バリューチェーンやCCUS技術などのプロジェクトと連携して社会インフラを整備すると
ともに、鉄鉱石輸入国等も含めたサプライチェーン全体、更にはコンビナート等における他
産業とも連携してトータルコストの低廉化を図る。
- カーボンニュートラルスチールの価値を顧客へ訴求していくためのブランディング施策として、
日本製鉄はマスバランス法によるカーボンニュートラルスチール製品ブランド
「NSCarbolex® Neutral」を立上げ、2023年9月より販売開始。
- 製鉄コストが上昇した場合においても、グリーンスチールの環境価値が適切に評価され、
社会全体でコストを負担していく仕組みが必要。

国際競争 上の 優位性

- 世界の鉄鋼メーカーの中でも有数の規模となる研
究開発部門（人的資源・研究実績）の活用
- 一貫製鉄所（メガプロセス）における長期に渡る
総合的な技術開発の蓄積

- 各種主要ユーザーに差別化製品を多数提供しており、国内トップシェアを保持。また、
国内外に豊富な顧客基盤・サプライチェーン網を有している。カーボンニュートラルス
チールを世界に先駆けて開発し、これらを最大限活用し顧客に提供
- 一貫製鉄所（メガプロセス）における長期に渡る総合的な設備技術・操業技術の
蓄積

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

「CO₂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 ₂ 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">原料一貫で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.カーボンサイクル)	<ul style="list-style-type: none">直接還元向けの原料利用範囲拡大還元ガス水素化：CO₂削減≧50%(対高炉法)	<ul style="list-style-type: none">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更なる資源自由度拡大に向けた基礎検討熱供給改善によるH₂還元効率化カーボンリサイクルによる還元ガス最適化	
<ul style="list-style-type: none">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)	<ul style="list-style-type: none">・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	<ul style="list-style-type: none">・還元粉化／クラスタリング抑制による安定操業	
<ul style="list-style-type: none">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)	<ul style="list-style-type: none">・上記の目標を達成した中で中型実証炉の安定操業	<ul style="list-style-type: none">・中規模シャフト炉にて水素還元の実証・電炉使用が可能な還元鉄品質の確保	
<ul style="list-style-type: none">E 全体プロセス評価・検討	<ul style="list-style-type: none">・水素直接還元プロセスの技術・総合的合理性提示	<ul style="list-style-type: none">・エネルギー評価などを通じた合理性評価・高炉との比較、電炉との連携を含めた一貫整理	

※: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 ₂ 削減	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 ・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
<ul style="list-style-type: none">低品位原料を利用した水素直接還元技術の基礎検証 <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>	<p>A 鉬石組織-粉碎モード-単体分離度3者の関係性の解明および選鉬試験データの取得</p> <p>B-1 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</p> <p>B-2 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</p>	<p>A ・粉碎モード比較と選鉬の連動試験を実行、単体分離度のデータ取得 ・鉬物種により分離性が異なる事が判明</p> <p>B-1 <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</p> <p>B-2 <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H₂/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</p> <p>B-1/B-2共通課題 <還元粉化とクラスタリング抑制技術> ・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 <加炭・成型による還元鉄の品質改善技術> ・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 ・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</p>	<p>○ 当初計画通りに進行中</p>

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 土木工事着工、2024.6月 機械工事着工</div> <div>現時点では工事進捗は概ねオンスケ</div> <div>・試験操業条件を数学モデル・基礎試験で検証</div> <div>・2025.2月海外実機での操業トレーニングの実施</div> <div>・2025年度下期 試験操業開始予定</div>	<div>○</div> <div>当初計画通りに</div> <div>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CO₂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</div> <div>・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
<div><ul style="list-style-type: none">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)</div>	<div><p>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</p><p>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</p><p>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</p></div>	<div><p>A 低品位鉱石からのゲーサイト・脈石の除去率向上 ・湿式粉砕手法の検討 ・湿式粉砕によるゲーサイトの選択的な破碎・除去の検討</p><p>B-1 <水素吸熱反応を補償する熱供給技術> ・各種熱供給技術の最適条件（加算効果含む）検討</p><p>B-2 <直接還元技術とカーボンリサイクル（CR）技術> ・小型ベンチ試験炉での常圧還元でのH₂/CO比率や原料予熱効果の確認と最適操業の検討</p><p>B-1/B-2共通課題 <還元粉化とクラスタリング抑制技術> ・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</p><p><加炭・成型による還元鉄の品質改善技術> ・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 ・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</p></div>	<div><p>問題なし</p></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
<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%H_2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CO_2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>・CO_2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CO₂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）

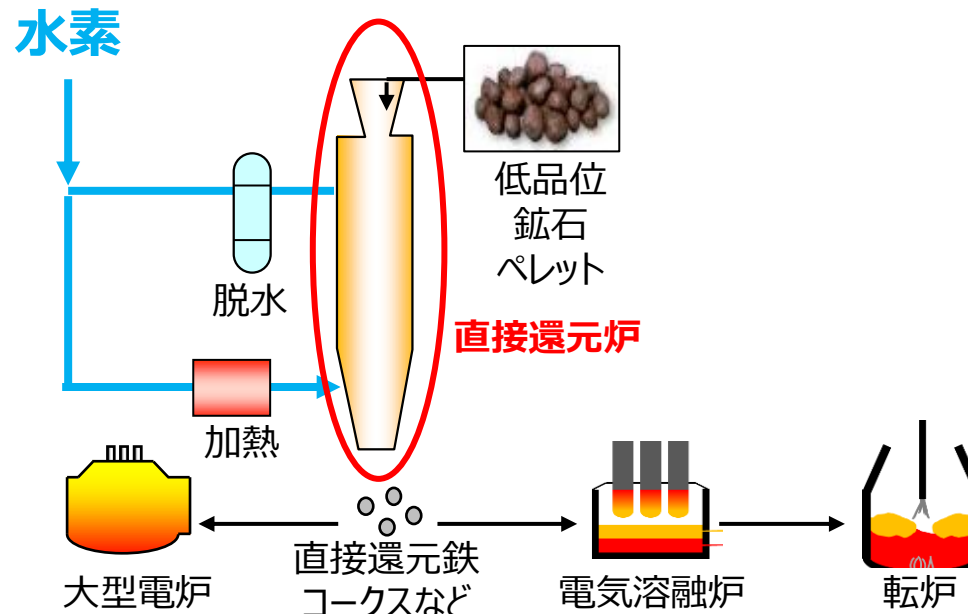
事業規模等

- 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%）

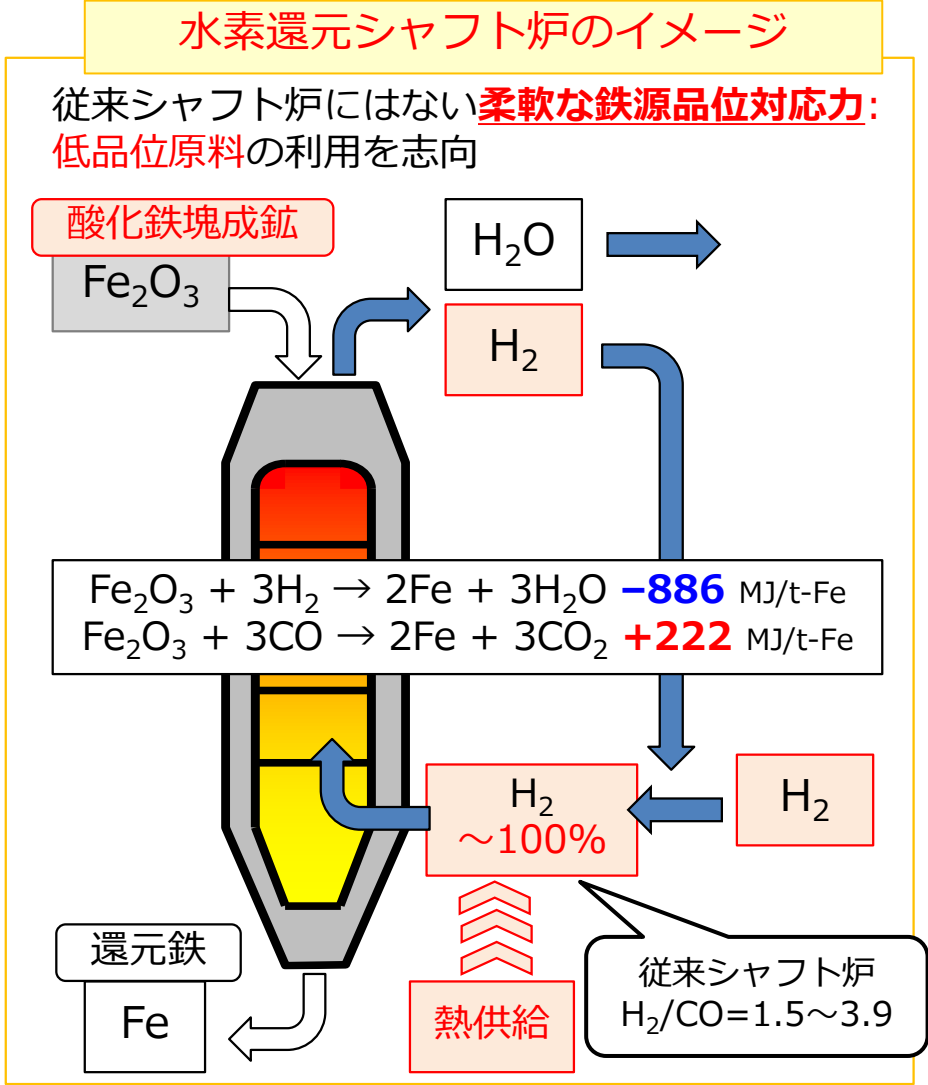
事業イメージ



(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 ₂ 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

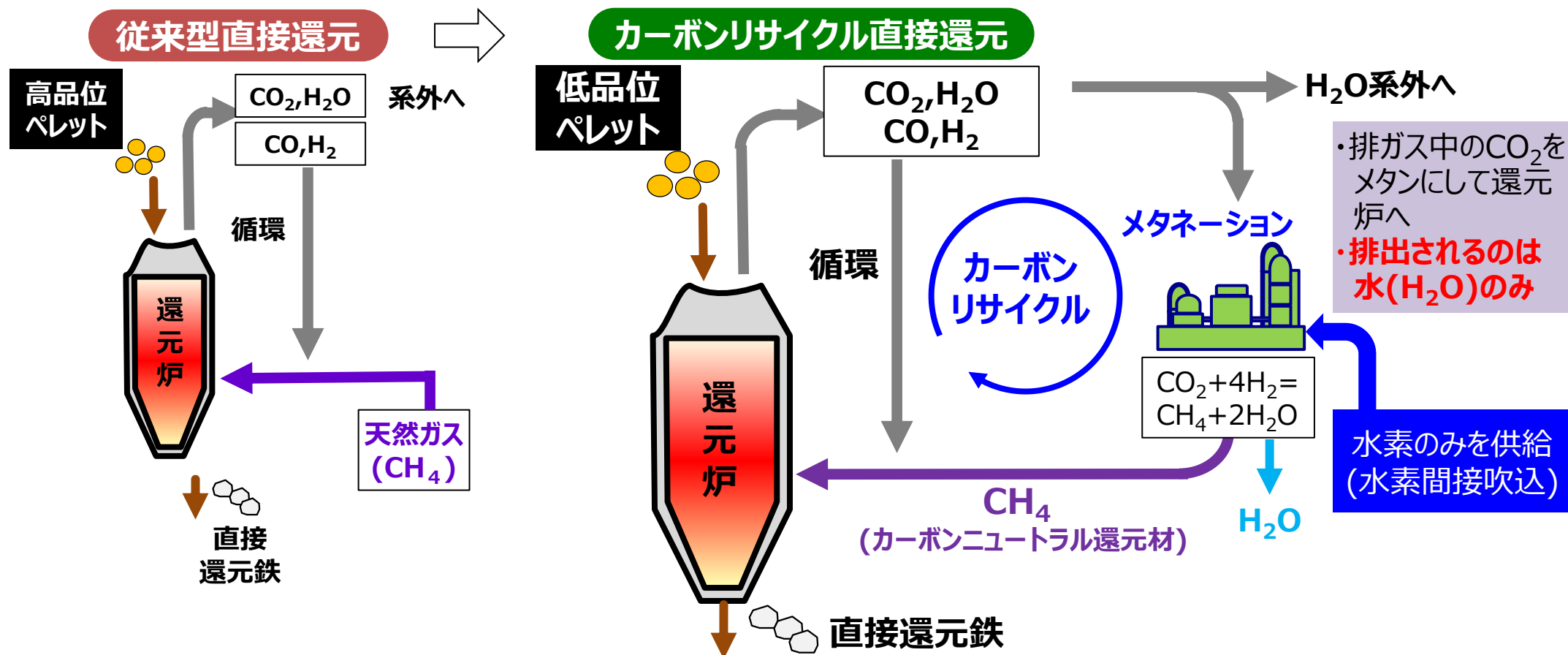


水素のみで酸化鉄を還元する技術開発にチャレンジ
低品位鉱石を利用できる水素還元プロセスを柱とした
シャフト炉と電気炉の一貫操業製鉄技術の確立
⇒資源自由度の拡大による競争力の確保

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

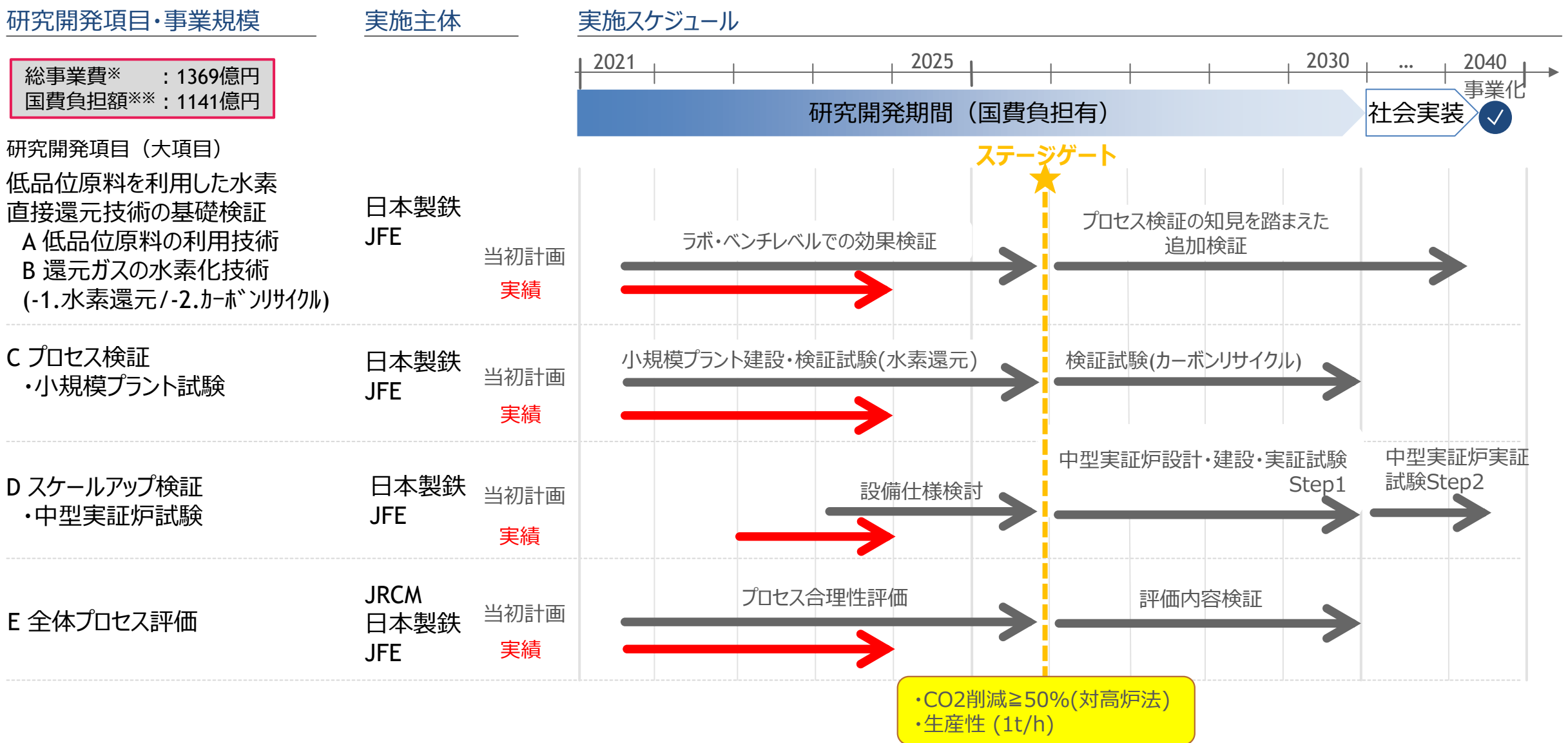
メタネーション反応を利用して、カーボンをプロセス内で循環再利用することで、水素還元の課題を克服



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

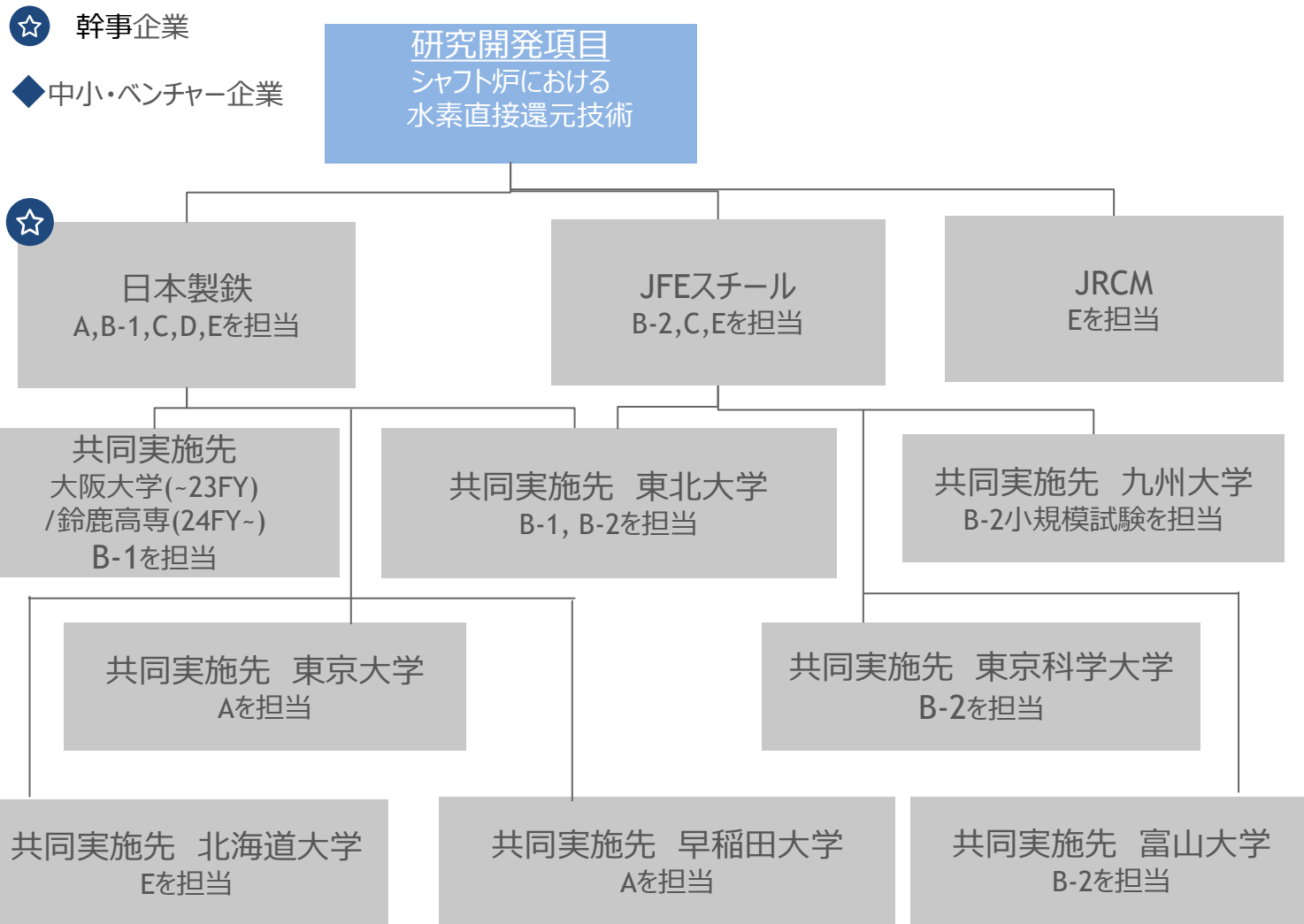


※事業規模は支援規模と補助率より計算。※※インセンティブ額を含む。今後ステージゲートで事業進捗などに応じて変更の可能性あり

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">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（水素還元/カーボンサイクル）	<ul style="list-style-type: none">低品位鉱石の評価、利用技術（焼結分野）数値シミュレーション技術（高炉分野）塊成鉱の水素還元技術（高炉－焼結分野）塊成鉱の還元粉化抑制技術（高炉－焼結分野）還元鉄の加炭技術（高炉分野）一貫製鉄のエネルギー評価技術	<p>優位性</p> <ul style="list-style-type: none">低品位鉱石（豪州、南米等）の評価、利用技術を保有。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。 <p>リスク</p> <ul style="list-style-type: none">世界最高のエネルギー効率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低炭素負荷エネルギーの環境整備安価で安定的なエネルギー源（水素・電力）の活用
	<ul style="list-style-type: none">C プロセス検証・小規模プラント試験	<ul style="list-style-type: none">小規模試験機操業技術（試験高炉）	
	<ul style="list-style-type: none">D スケールアップ検証・中型実証炉試験	<ul style="list-style-type: none">実機高炉操業技術（高炉分野）	
	<ul style="list-style-type: none">E 全体プロセス評価	<ul style="list-style-type: none">プロセス解析・エネルギー評価技術（高炉分野等）	

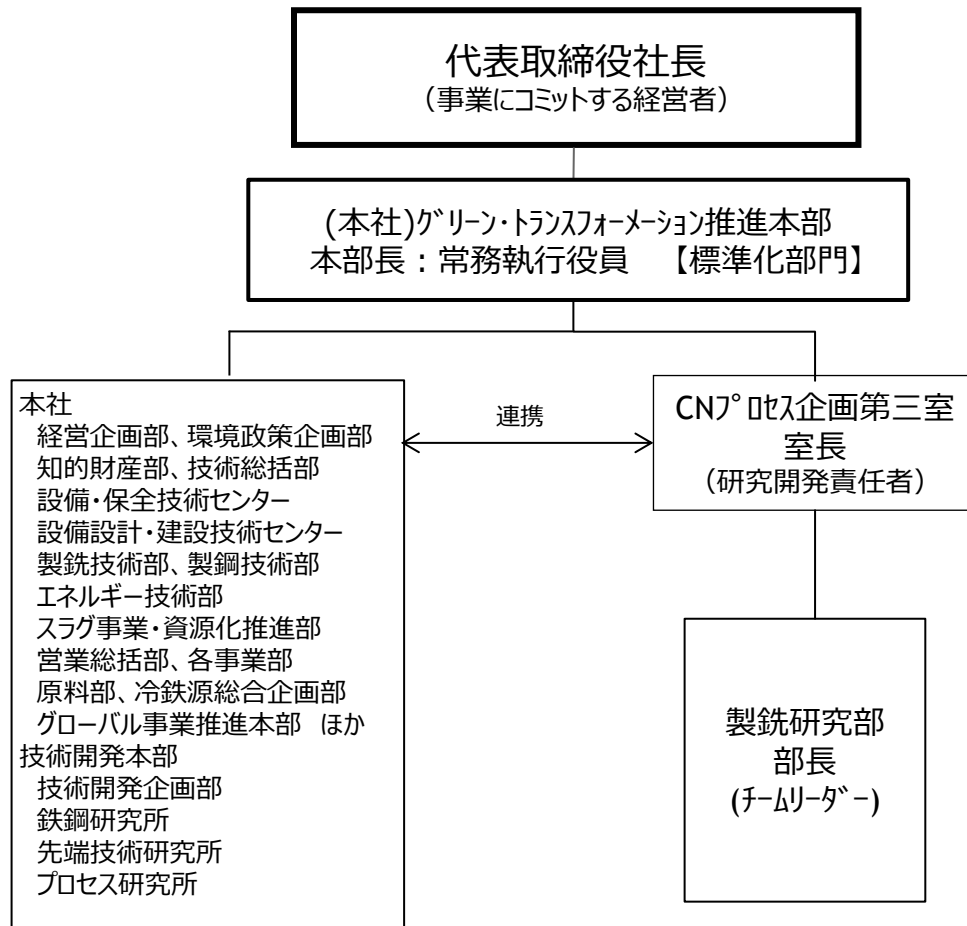
3. イノベーション推進体制

(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



組織内の役割分担

研究開発責任者と担当部署

- 研究開発責任者
 - CN7°プロセス企画第三室長：直接水素還元技術開発における企画・調整を担当
- 担当チーム
 - CN7°プロセス企画第三室：シャフト炉における水素直接還元技術開発（専任1人、併任5人規模）
- チームリーダー
 - 製鉄研究部長：研究開発内容等の実施

部門間の連携方法

- 全副社長および関係する部門長全てが出席する「グリーン・トランスフォーメーション推進委員会」を定期的開催し、推進本部全体の進捗を管理
- 本部長以下の定例会議を毎週開催し、分野別課題・進捗を管理
- 推進本部付には社内関係部門のライン長を兼務させ社内関係部門間の調整を随時実施

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

経営者による環境基本方針、カーボンニュートラルへの関与の方針

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**
 - **環境基本方針**
 - ・日本製鉄「環境基本方針」を制定し、HPやサステナビリティ・レポート等において社内外に開示。
『当社は「環境経営」を基軸とし、環境への負荷の少ない環境保全型社会の構築に貢献します。このため、良好な生活環境の維持向上や廃棄物削減・リサイクルの推進など地域における環境保全の視点を踏まえた事業活動を行うとともに、地球温暖化問題への対応や生物多様性の維持・改善など、地球規模の課題にも取り組みます。』
 - **日本製鉄カーボンニュートラルビジョン2050**（以下、CNビジョン2050）
 - ・2021.3に「CNビジョン2050」を制定し社内外に公表。
 - ・2030にCO₂総排出量を30%削減するターゲットと、2050にカーボンニュートラルを目指すシナリオを提示。
 - ・ビジョン達成のために、当社として超革新的技術開発に取り組むことと、社会との3つの連携が必要であることを、社内外に発信。
 - ・CNビジョンをサステナビリティ課題におけるマテリアリティ（重要課題）として特定。
 - **グリーン・トランスフォーメーション推進本部**（社内組織）
 - ・2021.4に「CNビジョン2050」を推進するための専任組織を設定。
 - ・2022.4に恒久組織に改組するとともに、約90名体制に強化（2025年3月：約170名）。
 - ・本部長（常務執行役員）を組織の長として、経営のリーダーシップの下、プロジェクトを強力に推進。
- **事業のモニタリング・管理**
 - **取締役会・経営会議**
 - ・下記、「グリーン・トランスフォーメーション推進委員会」の内容について、取締役会・経営会議へ報告することとしており、社外取締役も含めた、社内外からの幅広いモニタリングを実施。
 - **委員会による半期サイクルのモニタリング・管理**
 - ・副社長を委員長とし、関係役員・部長が出席する、「グリーン・トランスフォーメーション推進委員会」を定期的に開催し、「CNビジョンの課題進捗、環境政策動向等」について確認。
 - **より短期のモニタリング・管理**
 - ・グリーン・トランスフォーメーション推進本部の本部長は推進本部メンバーおよび関係職制との週次ミーティングを実施しており、上記委員会と併せ、短期・中期双方のPDCAサイクルを実行。
 - ・また、課題の進捗に応じ、担当役員の指示により、関係役員以下出席による課題検討会議を開催し、時々状況変化へタイムリーに対応。
- **事業進捗管理**
 - ・グリーン・トランスフォーメーションの進捗管理に当たっては、基本的には、ラボ開発→小規模試験炉→中規模・大規模試験炉・実機試験炉のステップ毎に進捗管理を実施。
 - ・具体的な実行に当たっては、より詳細なスケジュール・KPI等を設定しながらPDCAを実施。

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

経営戦略の中核においてカーボンニュートラルスチールの実現を位置づけ、広く情報発信

取締役会等での議論

● カーボンニュートラルに向けた全社戦略

- グリーン・トランスフォーメーション推進委員会において、戦略立案および進捗管理を実行中。
- 「日本製鉄カーボンニュートラルビジョン2050」を策定し、2021.3に公表（以下、「CNビジョン」と表記）。
経営の最重要課題として2050カーボンニュートラルの実現に取り組むこと、および3つの超革新技術とCCUS等による2050にカーボンニュートラルを実現するシナリオを提示した上で、各々の技術課題や3つの社会的連携にも言及。
- 「グリーン・トランスフォーメーション推進本部」：2021.4に設置した役員直轄組織を、2022.4に恒久組織へ改組し、約90名体制に強化実施済（2025年3月:約170名）。

● 事業戦略・事業計画の決議・変更

- 「CNビジョン」への対応を含む中長期経営計画を経営会議にて決議。
- 「CNビジョン」に関する課題進捗については、全副社長および関係する部門長全てが出席するグリーン・トランスフォーメーション推進委員会を定期的に開催し、進捗をフォローするとともに、同内容を経営会議・取締役会に報告。
- 「CNビジョン」に関する進捗については、適宜プロジェクト推進に必要な社内関連部門へ共有を実施。

● 決議事項と研究開発計画の関係

- 「CNビジョン」の中で、3つの超革新技術実現のための研究開発が必須であることを明確に位置付け。
- 研究開発計画を最重要課題としてフォロー実施。

ステークホルダーに対する公表・説明

● 情報開示の方法

- 統合報告書、中期計画や決算発表等のIR資料、HP等において、TCFD等のフレームワークも活用し、事業戦略・事業計画・進捗等の内容を積極的に開示。
- ESG説明会、CNビジョン説明会、GX説明会（見学会含む）、機関投資家・マスコミを対象にした説明会等を実施。
- 本事業採択時にプレスリリースを実施（2022年1月9日）
- 本事業実施事業者合同で記者会見を実施し、実施事業の内容および今後の取り組みについて説明を実施（2022年6月15日）
- 本事業1-①における大型高炉実機を用いた高炉水素還元の実証試験の開始決定（東日本製鉄所君津地区第2高炉 水素系ガス吹込み技術の実証設備導入）についてプレスリリース実施（2023年2月9日）
- 本事業1-②におけるSuper COURSE50試験炉 加熱水素吹込みにより当時世界最高水準のCO₂排出量削減効果22%確認（2023年8月4日）、同33%確認（2024年2月6日）、更に上回るCO₂排出量削減効果43%確認（2024年12月20日）

● ステークホルダーへの説明

- 事業の将来の見通し・リスクに関し、中長期事業計画や決算に関する発表内容を、以下のステークホルダーとの各種接点を通じて情報提供。
 - ◆ 金融機関・投資家との各種エンゲージメントの機会等
 - ◆ 需要家からのサプライチェーン全体のCO₂削減に関する問合せ等
 - ◆ 株主総会、エコプロダクツ展、GX説明会、工場見学会等
 - ◆ 政府、関係省庁、行政等
- 「CNビジョン」の内容について、各所媒体を通じて広く周知活動を実施。新聞・TV等に加え、ネット媒体等での周知についても拡大し、当社チャレンジの社会価値について広く情報発信を行っている。

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**
 - **推進本部体制による短・中期PDCAサイクルによる柔軟な対応の実施**
 - ・常務執行役員を本部長とした、社内の専門組織内で、短期・中期にプロジェクト管理のPDCAサイクルを回すことにより、開発現場からのフィードバックや外部環境変化等を踏まえながら、必要に応じて体制変更や追加リソース投入を実施（併せ、社外リソースの活用も判断）。
- **人材・設備・資金の投入方針**
 - **人材確保**
 - ・2021.4にプロジェクト実行のための専任組織を設置済。
 - ・副社長をプロジェクトリーダーとし、専任者10名、併任者約60名を配置。
 - ・2022.4に、専任者20名、併任者70名に体制強化（2025.3：専任者約30名、併任者約140名）
 - ・今後もプロジェクトの推進状況に応じ、必要なメンバー補充を随時実行。
 - **設備・土地**
 - ・基本的には当社敷地内で既存設備を最大限活用し開発・試験を実施。
 - **研究開発のための必要資金**
 - ・本事業の実行に必要な資金需要に加え、2031～50年の設備実装のためには更に4～5兆円規模の実機設備投資が必要と想定。
 - ・これらは当社の「カーボンニュートラルビジョン2050」実行のために最低限必要な投資であり、短期的な経営指標の如何に関わらず、機動的に実行していく。

専門部署の設置

- **専門部署の設置**
 - **グリーン・トランスフォーメーション推進本部の設置**
 - ・2021.4に「CNビジョン2050」を推進するための専任組織を設定。
 - ・2022.4に恒久組織に改組し、専任者20名、併任者70名に体制強化（2025.3：専任者約30名、併任者約140名）
 - ・本部長（常務執行役員）を組織の長として、経営のリーダーシップの下、プロジェクトを強力に推進。
 - ・推進本部内では、進捗管理のための週～半期単位の各種会議体を配し、課題の状況に応じた臨機応変な対応が可能な実行体制を担保。
- **若手人材の育成**
 - **若手人材への育成機会の提供**
 - ・本プロジェクトはプロセス刷新というチャレンジングな開発であり、既存プロセスを原理原則に立ち返って深く理解し直した上で、新プロセス開発に取り組むことが必要であり、若手人材の育成にとって非常に有用。
 - ・本研究・開発に当たっては、中堅・若手の研究者・技術者を配し、将来的な鉄鋼製造プロセスの変革に向けた研究開発・実装化を経験することによる育成機会を付与。
 - **外部機関の活用**
 - ・研究開発推進に当たっては、外部機関の活用にも常に門戸を開き、適任者がいれば若手研究者等にも共同研究に適宜参画いただく。

4. その他

4. その他／（１）想定されるリスク要因と対処方針

十分なリスク対策を講じるが、自然災害等で事業継続困難となった場合には事業中止も含め検討

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">● 研究開発に想定外の技術困難性が生じるリスク → 研究開発の各ステージで詳細な実行計画を策定することにより事前にリスク抽出● 開発技術の陳腐化リスク → 本案件は国際的な開発競争に晒されており、計画通り最速のスケジュールで開発→社会実装を着実に進めることにより、日本製造業の国際競争力を担保● 知財・情報漏洩リスク → 事前検討段階から知財・法務部門の専任者によるチェックを行うことによりリスクをミニマム化	<ul style="list-style-type: none">● 安価でクリーンな水素調達や安価電力の確保が困難となった場合 → 日本国内での水素・電力等の調達に関し、諸外国並みの価格での確保が困難な場合は、日本製造業における国際競争力維持の観点も踏まえた必要な対策について政府に要望● 日本国内のCO₂排出に関する税制 → 鉄鋼業へのカーボン・プライシング適用等、当社が想定する社会実装コストに、追加負担が上乘せられる場合は、社会実装の採算性の再評価が必要。選択肢をこれから開発する分野への先行課税は、CO₂削減という目的に合致していないのみならず、産業国際競争力に甚大なる悪影響あり	<ul style="list-style-type: none">● 自然災害（地震・津波等）による設備破損等のリスク → 事前のアセスメント等により対応● 感染症等のパンデミック拡大により、開発・実装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
<div>▼</div> <ul style="list-style-type: none">● 事業中止の判断基準：<ul style="list-style-type: none">・大規模震災等の自然災害により、当事業の継続が困難となった場合・現在想定されない、革新的な他のプロセスが確立され、本プロジェクトの実装採算性が折り合わないことが明らかとなった場合・現時点で想定されないような経営環境変化により、当社が事業継続できなくなった場合		