

## 事業要件案

### 1. 事業名

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

### 2. 事業背景・目的

社会の基盤となる製品の材料を供給する鉄鋼業は、製造過程でCO<sub>2</sub>を多く排出することが課題となっており、実際、鉄鋼業は産業部門全体の40%ものCO<sub>2</sub>を排出している。鉄鋼業におけるカーボンニュートラル実現のためには、原料や還元剤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。現在、製鉄プロセスにおける脱炭素化のため、鉄鉱石の還元で炭素ではなく水素を用いる水素還元製鉄の研究が各国で進められているが、世界的に見ても未だ実用化の例は無いが欧州やアジアの各国も実用化を見据えた技術開発を進めている。

本プロジェクトでは、将来的に安価かつ大量の水素供給基盤が確立されることを見据え、水素還元製鉄技術を始めとした脱炭素技術の確立と社会実装に向けた研究開発を行う。

我が国の技術開発状況としては、高炉を活用した水素還元技術の開発を目的としたCOURSE50プロジェクトを2008年度より実施し、所内水素（製鉄所内で発生・製造した水素）等を活用した鉄鉱石の還元技術（高炉水素還元技術）、製鉄所内の未利用排熱を活用したCO<sub>2</sub>分離回収技術、の開発で製鉄プロセスから排出されるCO<sub>2</sub>の約3割を削減する技術を確立し、2030年までに実用化することを目指している。

現在普及している製鉄プロセスとしては、石炭を用いて鉄鉱石を還元する高炉法、鉄スクラップを原料とする電炉法、天然ガスを用いて鉄鉱石を還元し電炉などで溶解する直接還元法があるが、高炉法の脱炭素化に向けてバイオマスやCCUS技術を適用したり、直接還元法の脱炭素化に向けて還元ガスを全て水素に置き換えたりすることで、脱炭素化を実現することが可能である。

我が国の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、これら革新技術の確立や、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、複数の技術的アプローチを行っていくことが適当である。

以上のような現状及び想定される革新技術を踏まえ、製鉄プロセスにおけるカーボンニュートラルの実現に向けて、具体的に以下の技術開発に取り組んでいく必要がある。

一つ目は高炉を用いた水素還元技術（高炉水素還元技術）であり、COURSE50技術を基盤としつつ、高炉法における更なるCO<sub>2</sub>排出削減を実現するため、外部水素を活用し水素還元比率を高めていく。また、CO<sub>2</sub>を分離・回収し、回収したCO<sub>2</sub>を還元剤に転換して高炉に活用する技術等を開発することにより、既存の高炉を活かしながら大幅なCO<sub>2</sub>排出削減の実現が可能となる。

二つ目は水素で低品位の鉄鉱石を直接還元する技術（直接水素還元技術）であり、技術ハードルは高いものの、高炉・コークスを用いないため、物理的にCO<sub>2</sub>が排出されない。この方法で高級鋼を製造するには、鉄鉱石の還元に必要な直接還元炉内熱補償技術、さらに低品位鉄鉱石の利用を前提とした直接還元炉操業安定化技術、不純物除去技術や還元鉄の溶解技術等の電炉高度化技術等を開発することが必要となる。

### 3. 事業内容等

#### 【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

多量の水素を吹き込んだ高炉法における大規模な水素還元技術はまだ存在しておらず、その確立のための技術開発が必要である。一方で、水素還元による炉内温度低下や通気性の確保が課題となるため、コークス代替等としてバイオマスや還元鉄等を加熱源として一部原料として活用する技術等の開発が有効であると考えられる。また、コークスを用いた場合に CO<sub>2</sub> 削減を達成するためには、高炉排ガスから回収した CO<sub>2</sub> の還元剤等への利活技術の開発が有効であると考えられる。あらゆる技術の低炭素化技術を組み合わせたアプローチによって高炉法において製鉄プロセスから CO<sub>2</sub> を 50%削減する技術を開発する。

具体的には、試験高炉での試験により、2025~2026 年頃までに、多量の水素吹き込みによる炉内温度の低下を抑制するための手法の開発、メタン投入による反応条件の変化を踏まえた吹き込み条件の検討、コークス投入量の減少に伴う反応条件の変化への対応について検討を行う。最終的には、中規模試験高炉（実炉の 1/5 規模以上）での試験を行い、将来の実高炉導入に向けた諸課題の抽出及び CO<sub>2</sub> 削減の効果検証を実施する。

研究開発内容②は、研究開発・社会実装計画（改定案）に示された研究開発内容①と相互に強い関連性・連続性を有するため、既存事業者と相互協力できることが望ましい。

#### 【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

製鉄プロセスからの CO<sub>2</sub> 排出量の削減のために、コークスを原料とする高炉製鉄法に代わる方法として海外で実用化されている天然ガスによる鉄鉱石の直接還元法は、コークスと比べて CO<sub>2</sub> 排出が少ないが、CO<sub>2</sub> 排出がなくなるわけではなく、グリーンスチールとは言えない。そこで、天然ガスだけではなく水素を利用する直接還元法を開発する。

具体的には、我が国で主流となっている豪州産鉄鉱石や南米産鉄鉱石など、一般的に直接還元炉で使われている鉄鉱石と比べて品位が劣るとされている鉄鉱石の利用を前提に、原料条件、還元条件及び成品条件から適切なプロセスの構築を目指し、約 5 年間、粉化・固着化防止に有効な機能を追加した小規模試験炉（実炉の 1/250~1/150）での要素技術開発を行う。2026 年頃から中規模直接還元炉（実炉の 1/5 規模以上）の装置製作後、実証試験を行い、水素と天然ガスを併用しつつ、50%以上の CO<sub>2</sub> 削減が可能となる条件設定を行う。その際、数学モデルも活用し、速やかな技術開発を進める。

##### 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（不純物対策、大型化、効率化）

直接水素還元製鉄により生産される製鉄原料は、高炉法と異なり溶解していないため、後段で電炉による溶解工程が必要となる。電炉法は製鉄プロセスから発生する CO<sub>2</sub> が高炉法と比較して大幅に少ないものの、高級鋼生産に必要な不純物除去ができないという課題を抱えている。

既存の高炉・転炉プロセスを直接還元炉・電炉プロセスに置き換えるためには、低品位鉄鉱石の利用を前提とした電炉の不純物除去技術（加炭等）を開発する必要がある。併せて、高品質な銑鉄を大量に生産することが可能な既存の高炉-転炉プロセスの生産性や競争力を維持しつつ直接還元炉-電炉で置換するに際しては、電炉の規模を転炉と同等の容量約300トン規模（国内の一般的な規模の電炉の約2倍）に大型化する必要がある。しかし、大型化すると炉内全体を均一かつ十分に攪拌させることが難しくなり、温度ムラも生じやすくなるため、不純物除去の難易度は上昇する。このような課題に対応するため、事前処理から事後処理までプロセス全体で、直接還元鉄を活用した電炉の不純物除去技術を開発する。

具体的には、2025年頃までに電気炉法での溶鋼において、リンを0.015%以下、窒素を40ppm以下とするための要素技術開発を進める。2025年頃までに、より溶解・精錬に有効な機能を追加した小規模試験電炉（容量10～20トン規模）を設置。2026年頃からは大規模試験電炉を設置して、大型電気炉法での溶鋼において、リンを0.015%以下、窒素を40ppm以下とするための要素技術実証試験を水素還元鉄使用模擬条件下等で行い、実機設備仕様や操業設計に必要な諸条件を設定する。

研究開発内容①及び②は、各内容に対して異なる事業者が別々に申請することも可能であるが、相互に強い関連性を有するため、採択後に相互協力できることが望ましい。

#### 【社会実装に向けたその他の取組】

本プロジェクトを実施する企業等に対しては、技術開発の進捗状況や、社会インフラの整備状況を踏まえたサプライチェーンの将来像を想定し、必要に応じて研究開発の内容を見直すとともに、製鉄プロセス以外も含めた事業活動全体でのカーボンニュートラル化も視野に、政府の水素供給コスト目標を前提とした持続可能なビジネスモデルを構築していくことを求める。

本プロジェクトを実施する企業等には、「グリーンイノベーション基金事業の基本方針」及び「GX実現に向けた基本方針」に基づき、当該分野の取組に対する経営者のコミットメントを求めることとする。また、参画企業等には、2031年以降も着実に社会実装に繋げていくための取組の継続を求める。

#### 4. 実施期間

1-② 中規模試験高炉の実証機建設から実証試験完了までの期間。

2-① 中規模直接還元炉の実証機建設から実証試験完了までの期間。

2-② 大型電炉の実証機建設から実証試験完了までの期間。

※時期の目安、内容については研究開発・社会実装計画（改定案）4. 実施スケジュール参照。

※事業終了後も引き続き社会実装に向けて取り組むことを求める。

5. 事業実施要件

研究開発項目毎に以下の要件を満たすことを求める。

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>要件</p> | <p>● 【研究開発項目 1】 高炉を用いた水素還元技術の開発(目標：CO<sub>2</sub>排出を 50%以上削減する高炉水素還元技術の確立)</p> <p>② 2030 年までに、中規模試験高炉（実炉の 1/5 規模以上）において、製鉄プロセスから CO<sub>2</sub> 排出 50%以上削減を実現する技術を実証</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. (研究開発・社会実装計画（改定案）に定める)上記の技術について実証すること（実施場所に国内を含むこと）。</li> <li>2. 実証した技術の実装を、国内を含む場所において行うこと。</li> <li>3. 研究開発・社会実装計画（改定案）4. 実施スケジュールから大きく逸脱しないスケジュールで実施可能であること。（特に、社会実装時期の後ろ倒しは避けること。）</li> <li>4. 試験用の高炉設備(実炉の 1/5 規模以上)および用地を準備すること。</li> <li>5. 試験に必要な材料(鉄鉱石、水素等)を準備すること。</li> <li>6. 試験設備の運転に必要な周辺関連設備（受配電設備、水および廃ガス処理設備等）を準備すること。</li> <li>7. 試験設備の運転に必要な用役（電力、水等）を準備すること。</li> <li>8. 試験に必要な人員を準備すること。</li> <li>9. 本研究開発を遂行するための能力（具体的な実績、国際競争力、経営資源）を有していること。</li> </ol>                                              |
| <p>要件</p> | <p>● 【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(目標：CO<sub>2</sub>排出を 50%以上削減する直接水素還元技術の確立)</p> <p>① 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）において、現行の高炉法と比較して CO<sub>2</sub> 排出 50%以上削減を達成する技術を実証。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. (研究開発・社会実装計画（改定案）に定める)上記の技術について実証すること（実施場所に国内を含むこと）。</li> <li>2. 実証した技術の実装を、国内を含む場所において行うこと。</li> <li>3. 研究開発・社会実装計画（改定案）4. 実施スケジュールから大きく逸脱しないスケジュールで実施可能であること。（特に、社会実装時期の後ろ倒しは避けること。）</li> <li>4. 試験用のシャフト炉設備(実炉の 1/5 規模以上)および用地を準備すること。</li> <li>5. 試験に必要な材料(低品位鉄鉱石、水素等)を準備すること。</li> <li>6. 試験設備の運転に必要な周辺関連設備（受配電設備、水および廃ガス処理設備等）を準備すること。</li> <li>7. 試験設備の運転に必要な用役（電力、水等）を準備すること。</li> <li>8. 試験に必要な人員を準備すること。</li> <li>9. 本研究開発を遂行するための能力（具体的な実績、国際競争力、経営資源）を有していること。</li> </ol> |
| <p>要件</p> | <p>② 2030 年までに、低品位の鉄鉱石の水素直接還元-電炉一貫プロセスにおいて、自動車の外板等に使用可能な高級鋼を製造するため、大規模試験電炉（容量約 300 トン規模）において、不純物の濃度を高炉法並み（例えばリン 0.015%以下）に制御する技術を実証。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. (研究開発・社会実装計画（改定案）に定める)上記の技術について実証すること（実施場所に国内を含むこと）。</li> <li>2. 実証した技術の実装を、国内を含む場所において行うこと。</li> <li>3. 研究開発・社会実装計画（改定案）4. 実施スケジュールから大きく逸脱しないスケジュールで実施可能であること。（特に、社会実装時期の後ろ倒しは避けること。）</li> <li>4. 試験用の電炉設備(容量約 300 トン規模)および用地を準備すること。</li> <li>5. 試験に必要な材料(低品位鉄鉱石の水素還元鉄、スクラップ等)を準備すること。</li> <li>6. 試験設備の運転に必要な周辺関連設備（受配電設備、水および廃ガス処理設備等）を準備すること。</li> <li>7. 試験設備の運転に必要な用役（電力、水等）を準備すること。</li> </ol>                                                                                                                                                       |

8. 試験に必要な人員を準備すること。
9. 自動車の外板等に使用可能な高級鋼の製造能力を有し（需要家への納入実績を有するなど）、高級鋼であることの検証能力を有していること。
10. 本研究開発を遂行するための能力（具体的な実績、国際競争力、経営資源）を有していること。