

# 「グリーン成長戦略」と 鉄鋼分野における脱炭素化に向けた取組

令和3年11月

経済産業省 金属技術室

# 目次

## 1. 「グリーン成長戦略」

## 2. 鉄鋼分野における脱炭素化に向けた取組

# 2050年カーボンニュートラル宣言

- 2020年10月26日、菅内閣総理大臣（当時）は所信表明演説において、我が国が2050年にカーボンニュートラルを目指すことを宣言。
- グリーン成長戦略の実現により、年間190兆円の経済効果と、1800万人の雇用創出を目指す。

## 菅内閣総理大臣・所信表明演説（抜粋） 令和2年10月26日

我が国は、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち**2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す**ことを、ここに宣言いたします。

## 菅内閣総理大臣・施政方針演説（抜粋） 令和3年1月18日

2050年カーボンニュートラルを宣言しました。もはや環境対策は経済の制約ではなく、社会経済を大きく変革し、投資を促し、生産性を向上させ、産業構造の大転換と力強い成長を生み出す、その鍵となるものです。まずは、政府が環境投資で大胆な一歩を踏み出します。

...

世界的な流れを力に、民間企業に眠る240兆円の現預金、更には3000兆円とも言われる海外の環境投資を呼び込みます。そのための金融市場の枠組みもつくります。**グリーン成長戦略を実現することで、2050年には年額190兆円の経済効果と大きな雇用創出が見込まれます。**世界に先駆けて、脱炭素社会を実現してまいります。

# グリーン成長戦略

- カーボンニュートラル宣言を踏まえ、経済産業省が中心となり、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を策定。

## ◆グリーン成長戦略のコンセプト

- 温暖化への対応を、経済成長の制約やコストとする時代は終わり、国際的にも、成長の機会と捉える時代に突入。
  - 従来の発想を転換し、積極的に対策を行うことが、産業構造や社会経済の変革をもたらし、次なる大きな成長に繋がっていく。こうした「経済と環境の好循環」を作っていく産業政策 = グリーン成長戦略。
- 「発想の転換」、「変革」といった言葉を並べるのは簡単だが、実行するのは、並大抵の努力ではできない。
  - 産業界には、これまでのビジネスモデルや戦略を根本的に変えていく必要がある企業が数多く存在。
    - 新しい時代をリードしていくチャンスの中、大胆な投資をし、イノベーションを起こすといった民間企業の前向きな挑戦を、全力で応援 = 政府の役割。
- 国として、可能な限り具体的な見通しを示し、高い目標を掲げて、民間企業が挑戦しやすい環境を作る必要。
  - 産業政策の観点から、成長が期待される分野・産業を見いだすためにも、まずは、2050年カーボンニュートラルを実現するためのエネルギー政策及びエネルギー需給の絵姿を示すことが必要。
  - こうして導き出された成長が期待される産業（14分野）において、高い目標を設定し、あらゆる政策を総動員。

# グリーン成長戦略

## ◆電力部門の取組

### ● 電力部門の脱炭素化は大前提。

→ 現在の技術水準を前提とすれば、全ての電力需要を100%単一種類の電源で賄うことは一般的に困難。

→ あらゆる選択肢を追求。

再エネ ……最大限導入。コスト低減、地域と共生可能な適地の確保、蓄電池活用。

→ 洋上風力・太陽光・蓄電池・地熱産業を成長分野に。

水素発電 …… 選択肢として最大限追求。供給量・需要量の拡大、インフラ整備、コスト低減。

→ 水素産業・燃料アンモニア産業を創出。

火力+CO<sub>2</sub>回収 …… 選択肢として最大限追求。技術確立、適地開発、コスト低減。

→ 火力は必要最小限、使わざるを得ない（特にアジア）。

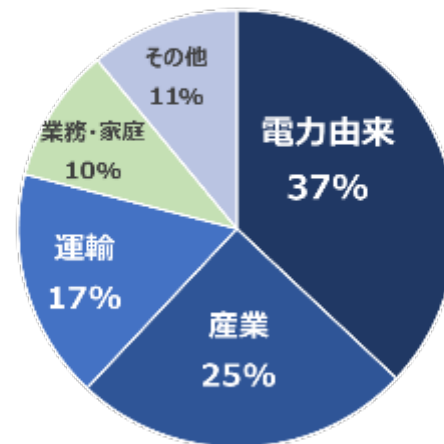
→ カーボンリサイクル産業の創出。

原子力 …… 安全性向上、再稼働、次世代炉。

→ 可能な限り依存度を低減しつつ、安全最優先での再稼働。

→ 安全性等に優れた炉の追求。

【CO<sub>2</sub>の部門別排出割合】



# グリーン成長戦略

## ◆電力部門以外の取組

- 電力部門以外（産業・運輸・業務・家庭部門）は、「電化」が中心。熱需要には、「水素化」、「CO<sub>2</sub>回収」で対応。

→ 電力需要は増加 → 省エネ関連産業を成長分野に。

産業 … 水素還元製鉄など製造プロセスの変革

運輸 … 電動化、バイオ燃料、水素燃料

業務・家庭 … 電化、水素化、蓄電池活用

→ 水素産業、自動車・蓄電池産業、運輸関連産業、住宅・建築物関連産業を成長分野に。

- 蓄電 … カーボンニュートラルは電化社会。

→ グリーン成長戦略を支えるのは、強靱なデジタルインフラ＝「車の両輪」。

→ デジタルインフラの強化 → 半導体・情報通信産業を成長分野に。

電力 … スマートグリッド（系統運用）、太陽光・風力の変動調整、インフラの保守・点検等

輸送 … 自動運行（車、ドローン、航空機、鉄道）

工場 … 製造自動化（FA、ロボット等）

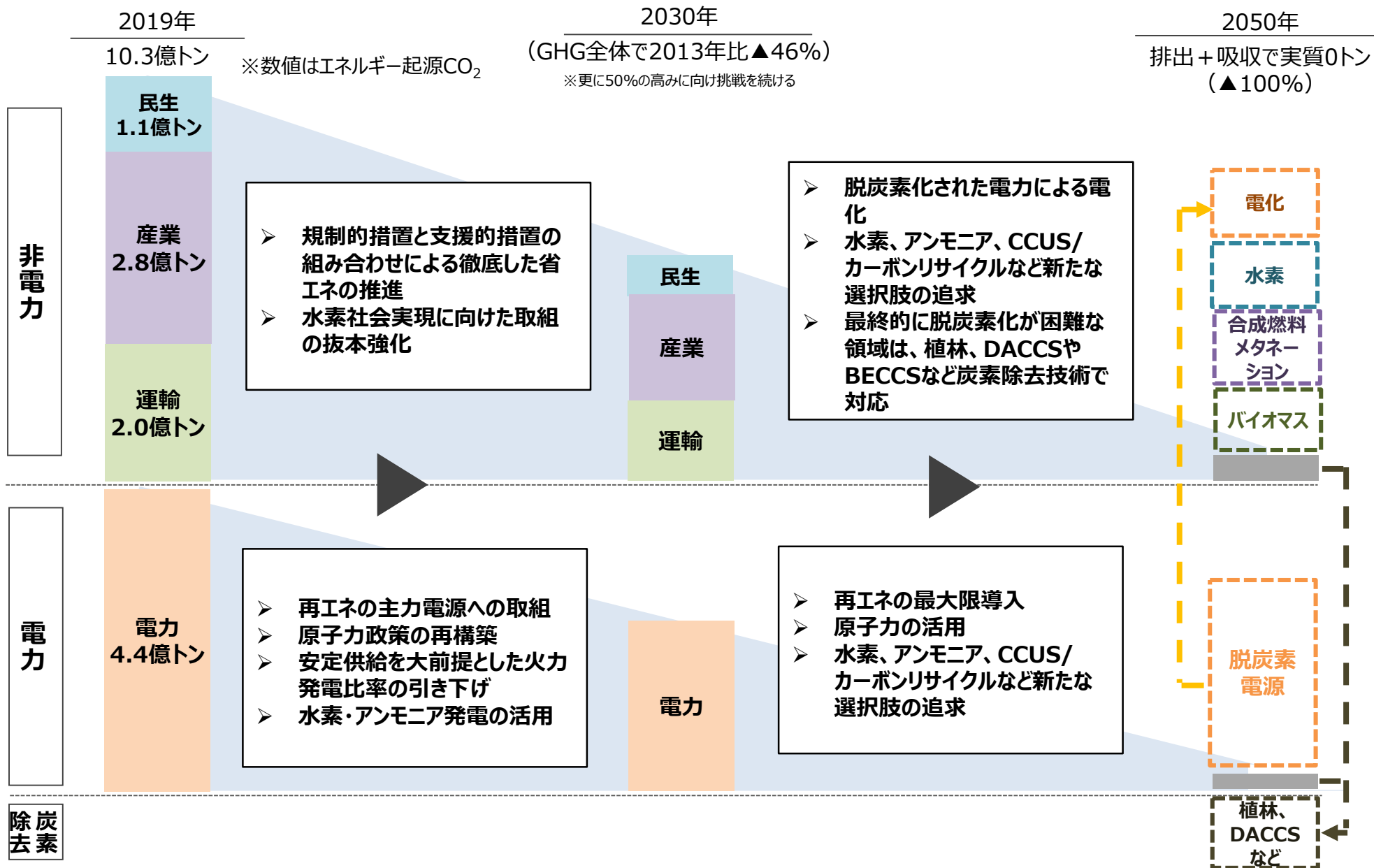
業務・家庭 … スマートハウス（再エネ＋蓄電）、サービスロボット等

→ 全ての分野において、技術開発から、社会実装 + 量産投資によるコスト低減へ。

→ この戦略により、2050年に約290兆円、約1,800万人の経済効果・雇用効果が見込まれる。

# グリーン成長戦略

## ◆2050年カーボンニュートラル実現の道筋



# グリーン成長戦略

## ◆政策の総動員

### 1 予算

- ・グリーンイノベーション基金（2兆円の基金）
- ・経営者のコミットを求める仕掛け
- ・特に重要なプロジェクトに対する重点的投資

### 2 税制

- ・カーボンニュートラル投資促進税制  
（最大10%の税額控除・50%の特別償却）

### 3 金融

- ・多排出産業向け分野別ロードマップ
- ・TCFD等に基づく開示の質と量の充実
- ・グリーン国際金融センターの実現

### 4 規制改革・標準化

- ・新技術に対応する規制改革
- ・市場形成を見据えた標準化
- ・成長に資するカーボンプライシング

### 5 国際連携

- ・日米・日EU間の技術協力
- ・アジア・エネルギー・トランジション・イニシアティブ
- ・東京ビヨンド・ゼロ・ウィーク

### 6 大学における取組の推進等

- ・大学等における人材育成
- ・カーボンニュートラルに関する分析手法や統計

### 7 2025年日本国際博覧会

- ・革新的イノベーション技術の実証の場  
（未来社会の実験場）

### 8 若手ワーキンググループ

- ・2050年時点での現役世代からの提言



# グリーン成長戦略

## ◆14の重点分野



- 2040年、3,000~4,500万kWの案件形成【洋上風力】
- 2030年、次世代型で14円/kWhを視野【太陽光】 **1**



- 2050年、2,000万吨程度の導入【水素】
- 東南アジアの5,000億円市場【燃料アンモニア】 **2**



- 2050年、既存インフラに合成メタンを90%注入 **3**



- 2030年、高温ガス炉のカーボンフリー水素製造技術を確立 **4**



- 2035年、乗用車の新車販売で電動車100% **5**



- 2040年、半導体・情報通信産業のカーボンニュートラル化 **6**



- 2028年よりも前倒しでゼロエミッション船の商業運航実現 **7**



- 2050年、カーボンニュートラルポートによる港湾や、建設施工等における脱炭素化を実現 **8**



- 2050年、農林水産業における化石燃料起源のCO<sub>2</sub>ゼロエミッション化を実現 **9**



- 2030年以降、電池などのコア技術を、段階的に技術搭載 **10**



- 2050年、人工光合成プラを既製品並み【CR】
- ゼロカーボンスチールを実現【マテリアル】 **11**



- 2030年、新築住宅・建築物の平均でZEH・ZEB【住宅・建築物】 **12**



- 2030年、バイオマスプラスチックを約200万吨導入 **13**



- 2050年、カーボンニュートラル、かつレジリエントで快適なくらし **14**

# グリーン成長戦略

## ◆マテリアル産業

### 【総論】

- ✓ 社会の基盤となる製品の材料を供給するマテリアル産業は、サプライチェーンの川上として、他の製品やサービスのプロセス全体を俯瞰し、カーボンニュートラルを見据えたものづくり全般のプロセスマネジメントの担い手となり、更なる成長が期待できる産業であるが、製造過程でCO2を多排出することが課題。
- ✓ 熱源の脱炭素化やプロセスそのものの抜本的な変更等、製造段階での脱炭素化・省CO2化と、川下段階での省資源・省エネルギー化への貢献等を通じて、環境性能の高いマテリアルの普及を拡大し、新たな市場の取り込みを図る（グリーンスチールの場合、2050年時点で最大約5億トン/年（約40兆円/年））。これにより、カーボンニュートラルと我が国のマテリアル産業の更なる成長・発展との両立を目指す。

# グリーン成長戦略

## ◆マテリアル産業

### 【金属素材】

- ・輸送用機械のカーボンニュートラル実現には、軽量かつ強靱な金属素材や電動パワートレインの性能向上と低コスト化が不可欠。
- ・カーボンニュートラル社会を支える水素供給基盤等のインフラ整備には、材料劣化対策や日本特有の自然条件を考慮した材料が必要。



- ・高張力鋼板(ハイテン)を超える革新素材(超ハイテン)や電動化に不可欠な新合金等の革新的な金属素材の開発、複数素材の組合せ(マルチマテリアル化)により、輸送用機械の脱炭素化と高速化を実現。
- ・全く新しい高機能材料により、次世代航空機の軽量化と航空機エンジンの高効率化を実現することで、2040年において、92.8万トン/年のCO<sub>2</sub>削減を目指す。
- ・腐食に強く、価格を抑制した革新的な金属素材を開発することで、水素供給基盤の早期確立に貢献。
- ・洋上風力発電向けに、日本特有の自然条件に適した高強度かつ短工期・低コストに資する構造材やケーブル等の素材を開発。

# グリーン成長戦略

## ◆マテリアル産業

### 【精錬・圧延手法】

- ・水素還元製鉄は、技術面の課題が多く、かつ、非常に壁が高く世界的に見ても技術未確立。加えて、前提として、安価（約8円/Nm<sup>3</sup>）かつ大量（約700万トン）の水素供給が不可欠。
- ・電炉法では不純物の除去技術が未確立であり、高級鋼の供給が困難。
- ・圧延・溶解工程では、電気分解や加熱に膨大なエネルギー消費及びコストを要する。
- ・グリーン成長に向けた投資余力の確保が必要。



- ・グリーンスチールの世界市場展望として、2050年時点で最大約5億トン/年(約40兆円/年)の獲得を目指す。
- ・水素還元技術、電炉の高度化技術等の開発に加え、溶解、圧延工程における電化かつ省電力化等により、コスト競争力と脱炭素化の両立を目指す。
- ・国際協調・国際連携の下で、過剰生産能力問題の解決等により日本企業の適切な利潤を確保し、グリーン成長に向けた投資余力を確保。
- ・省エネ、CO<sub>2</sub>削減技術が適切に評価され、世界のグリーンメタル市場の獲得を促すルール形成等のビジネス環境整備、国際連携に向けた取組を推進。

# グリーン成長戦略

## ◆マテリアル産業

### 【資源の有効利用】

- ・我が国は、鉱物資源を海外に依存。カーボンニュートラルに資する金属素材の安定供給が不可欠。
- ・国内で発生するスクラップを用いたリサイクルの高度化や代替・省資源化が必要。
- ・製造時のCO<sub>2</sub>排出を考慮した、製品ライフサイクル全体の環境負荷の評価が必要。



- ・リサイクルの高度化や代替・省資源化を通じた世界の脱炭素化と資源制約の軽減の両立を実現。
  - 鉄鋼：不純物除去技術を開発し、リサイクル材を用いた高級材の製造を実現。
  - アルミニウム：アルミスクラップを自動車の車体等にも使用可能な素材へとアップグレードする技術を開発し、展伸材の資源循環率を50%に拡大。
  - 希少金属：鉱石や金属スクラップ、海洋から希少金属を抽出・回収し、再利用・再資源化するための技術を開発。希少金属の使用量を削減する技術、より希少性がない原材料への代替技術を開発・高度化する。
- ・強度や靱性等を高めた高強度材料を開発し、構造物の長寿命化を実現することで、製品ライフサイクル全体でのCO<sub>2</sub>排出量の削減を図る。
- ・製品ライフサイクル全体での環境負荷評価に向けて、国際標準化等の策定や普及に向けた取組を推進。

# グリーン成長戦略

## ◆市場メカニズムを用いる経済的手法（カーボンプライシング等）

- 市場メカニズムを用いる経済的手法（カーボンプライシング等）は、産業の競争力強化やイノベーション、投資促進につながるよう、成長に資するものについて、躊躇なく取り組む。
- マクロ経済・気候変動対策の状況や、脱炭素に向けた代替技術の開発状況等を考慮した適切な時間軸を設定する観点とともに国際的な動向や我が国の事情、産業の国際競争力への影響等を踏まえる必要がある。

### クレジット取引

政府が上限を決める**排出量取引**は、制度設計次第ではCO<sub>2</sub>排出総量削減が進むなどの利点がある一方、経済成長を踏まえた**排出量の割当方法の在り方などが課題**。引き続き専門的・技術的な議論が必要。

**自主的なクレジット取引**に関しては、日本でも、民間企業がESG投資を呼び込むためにカーボンフリー電気を調達する動きに併せ、**小売電気事業者に一定比率以上のカーボンフリー電源の調達を義務づけた上で、カーボンフリー価値の取引市場や、J-クレジットによる取引市場**を整備（更なる強化を検討）。

### 炭素税

価格が一律に定まるため、事業活動への影響等について予見可能性が高いといった利点がある一方、**企業の現預金を活用した投資を促すという今回の成長戦略の趣旨との関係や公平性、排出抑制効果の不確実性**などの課題が存在。日本が既に導入済である「地球温暖化対策のための税」や、その他のエネルギー諸税、FIT賦課金等の負担も踏まえ、**引き続き専門的・技術的に議論**を進める。

# グリーン成長戦略

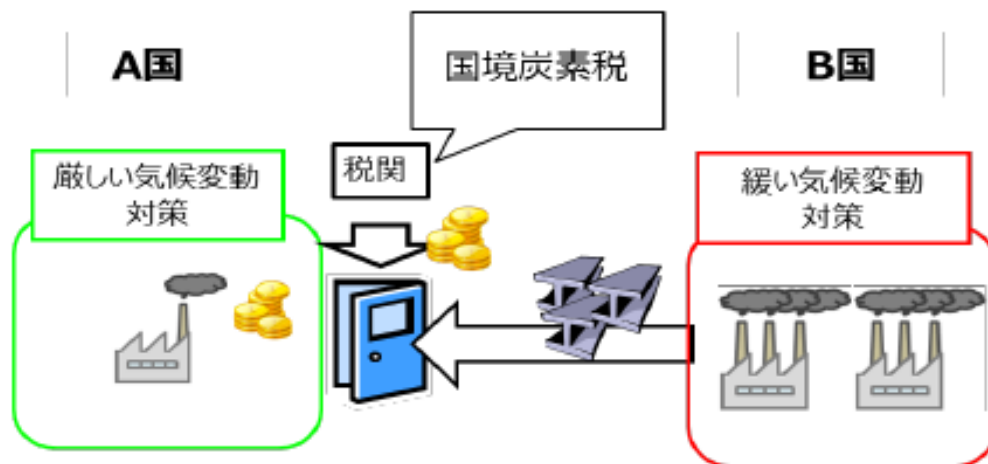
## ◆市場メカニズムを用いる経済的手法（カーボンプライシング等） 続き

### 国境調整措置

WTOルールと整合的な制度設計であることを前提に、諸外国の検討状況や議論の動向を注視しつつ、国内の成長に資するカーボンプライシングの検討と並行しながら、**製品単位当たりの炭素排出量の計測/評価手法の国際的なルール策定・適用を主導**し、対象となる製品に生じている**炭素コストを検証**する。また、カーボンリーケージ防止や公平な競争条件確保の観点から**立場を同じくする国々と連携**して対応する。

### 【参考】国境調整措置とは

- カーボンリーケージ（気候変動対策が緩い国に産業が移転することにより地球全体の温室効果ガスの排出が減らない、ないしは増加すること）を防ぐ観点から、気候変動対策が不十分な国からの輸入品に対して、調整措置（例えば炭素課金を課す等）を講じる政策手法。
- EUが、鉄を含む5分野について、2023年1月から国境調整措置の運用を開始する案を公表。



# 目次

1. 「グリーン成長戦略」

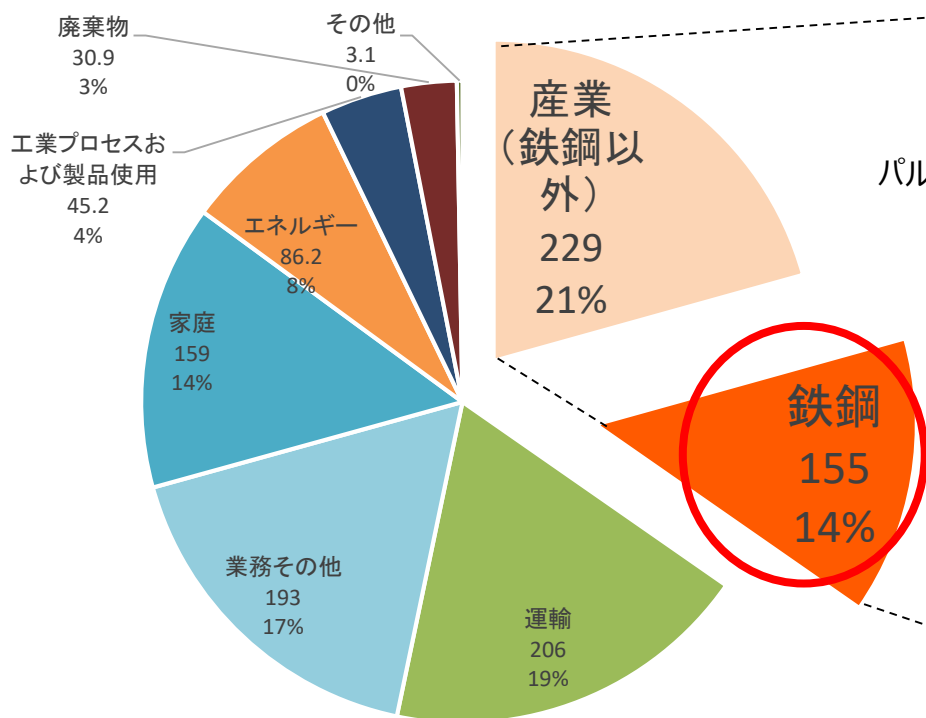
2. 鉄鋼分野における脱炭素化に向けた取組



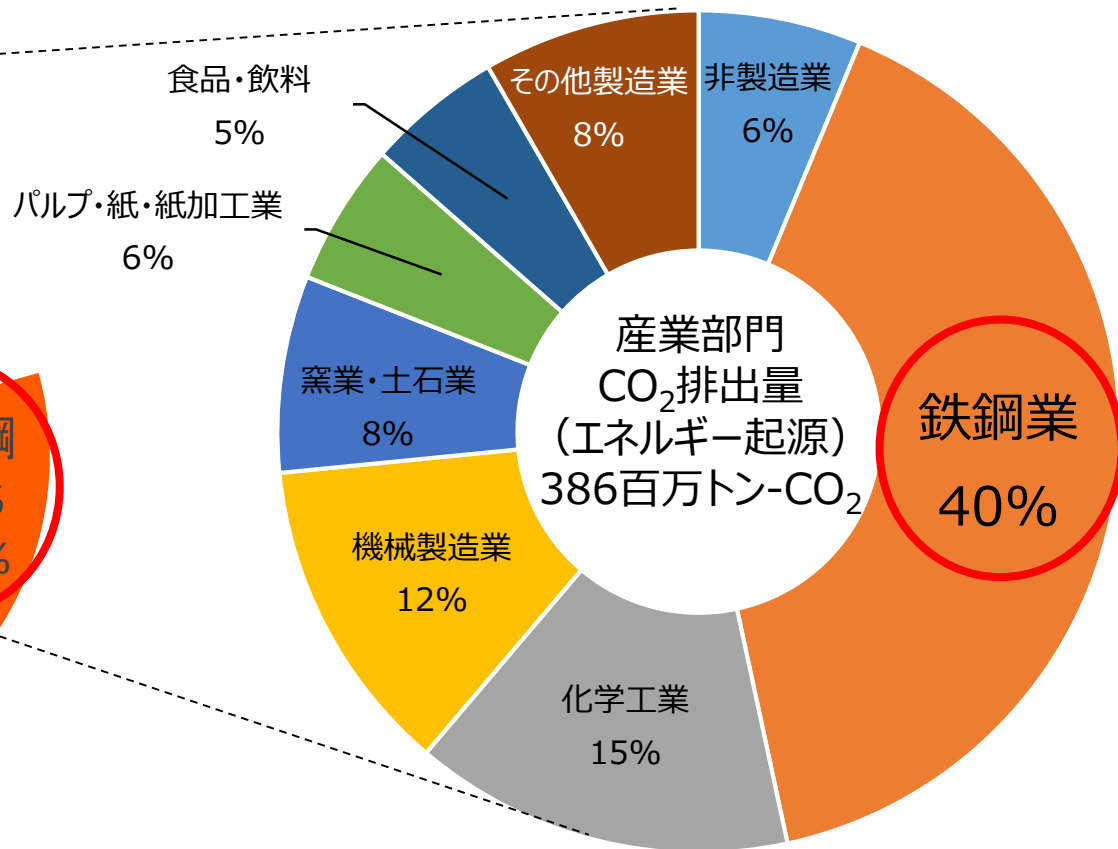
# 鉄鋼業のCO<sub>2</sub>排出の現状

- 2019年度の我が国のCO<sub>2</sub>排出のうち、産業部門のCO<sub>2</sub>排出は35%。
- 特に、産業部門のCO<sub>2</sub>排出のうち40%(国全体のCO<sub>2</sub>排出の14%)を占める鉄鋼業において、CO<sub>2</sub>排出量の削減は喫緊の課題。

我が国全体（2019年度）



産業部門（2019年度）

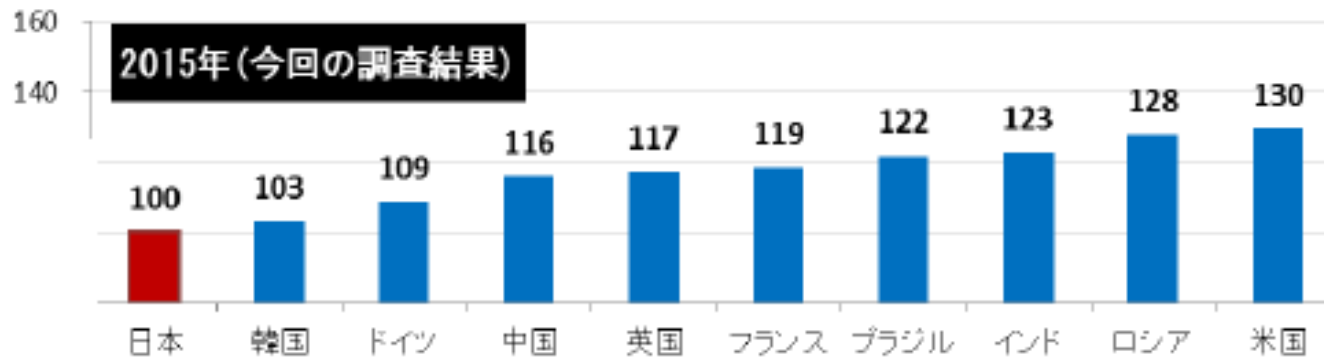


※中段の数値は二酸化炭素排出量（百万トン）

# 転炉鋼・電炉鋼のエネルギー原単位

- RITE（地球環境産業技術研究機構）のレポートによると、日本鉄鋼業は、転炉鋼・電炉鋼のいずれにおいても、世界最高水準のエネルギー効率を有している。

転炉鋼のエネルギー原単位 推定結果 (2015年、日本=100)

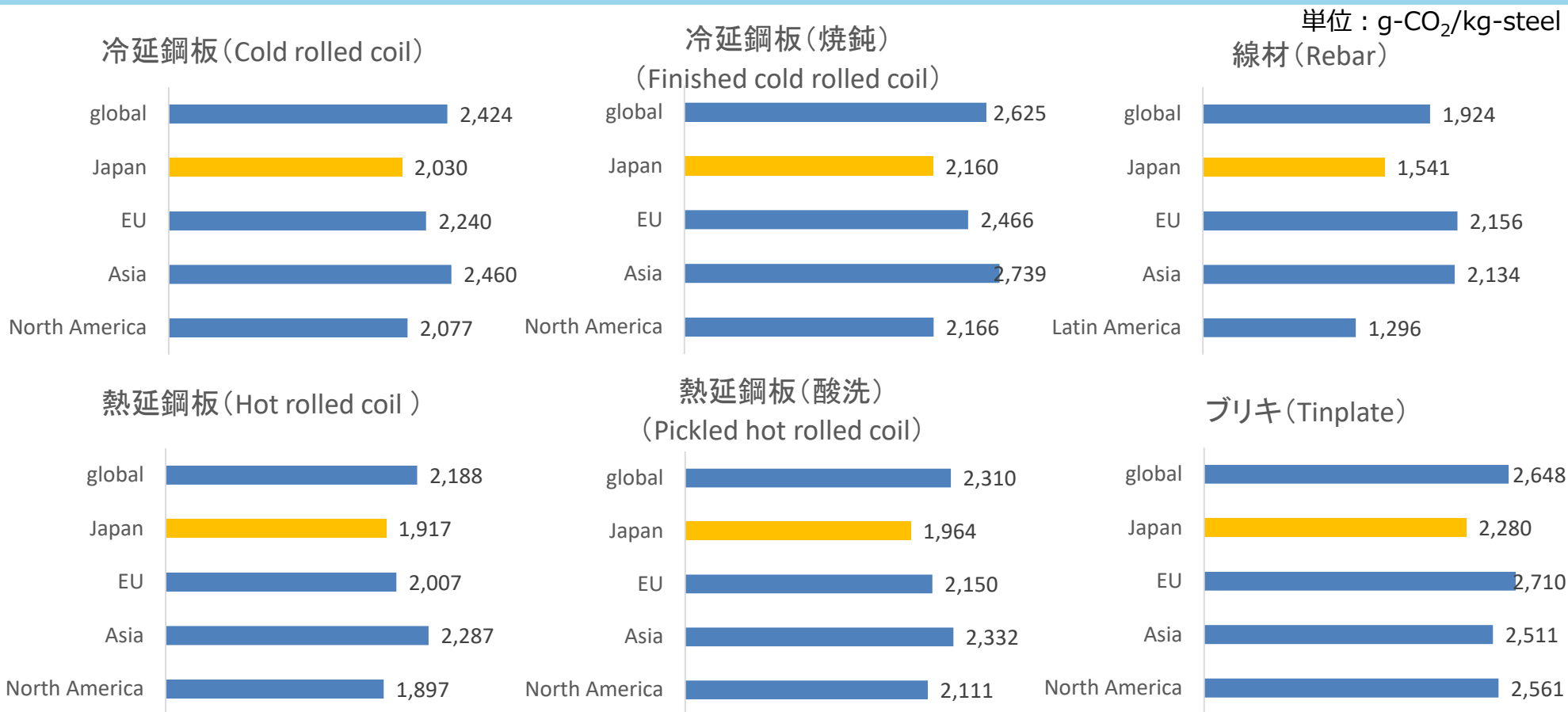


電炉鋼のエネルギー原単位 推定結果 (2015年、日本=100)



# 鉄鋼製品毎の地域別CO<sub>2</sub>排出量比較

- worldsteelの集計による鉄鋼製品毎の地域別CO<sub>2</sub>排出量比較では、**日本は、大部分の製品で、世界平均や地域別平均よりも低いCO<sub>2</sub>排出量**となっている。
- 日本の鉄鋼業は、世界で最も低炭素の製鉄を実現している。



※worldsteel「LCI DATA FOR STEEL PRODUCTS」(2014～2018年のデータを集計)、日本鉄鋼連盟(2018年4月1日～2019年3月31日のデータを集計)のデータより、経産省が作成。

※ライフサイクル全体のCO<sub>2</sub>排出データから製造断面の数値のみを取り出して集計。

集計に当たっては、国・地域ごとに異なっている製法(高炉・転炉法、電炉法等)の差異は考慮されていない点にも留意が必要。

# エコプロダクト：省エネ・CO2削減に貢献する日本の工業製品

- 低燃費自動車や高効率発電設備・変圧器をはじめとする、我が国の多くの工業製品は、その高いエネルギー効率により、これまで国内外において、省エネやCO2削減に大きく貢献してきた。
- これらの製品の機能向上に不可欠なパーツとして、高機能鋼材が多く使用されている。

## 航空機用部品

高強度かつ靱性に優れたジェットエンジンシャフトにより最大推力UP⇒航続距離向上・燃費向上



## ハイブリッドカー/電気自動車用モーター

高効率無方向性電磁鋼板による燃費向上・高出力・小型軽量化



## 自動車・産業機械部品

高強度歯車用鋼による変速機の多段化・小型軽量化⇒燃費向上



## ボイラーチューブ

高温・腐食に強い鋼管により発電効率が向上



## サスペンションギア (懸架バネ)

過酷な環境で使用される弁バネ・懸架バネの強度向上により、自動車の軽量化、低燃費化に貢献



## 発電機用部品

高温・高速回転の過酷な条件下で活躍する高効率発電用タービンの要



# エコプロダクトの貢献

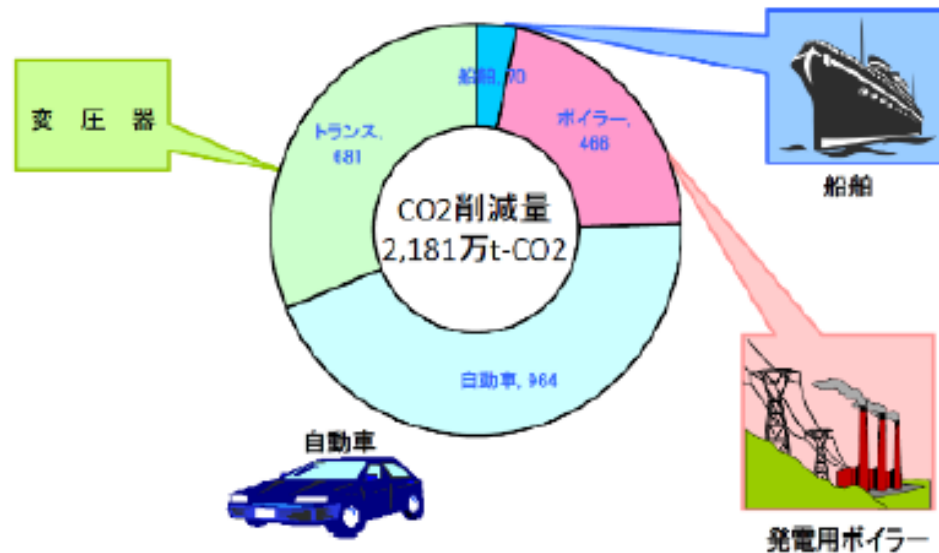
- 代表的な5品種（自動車用鋼板、方向性電磁鋼板、船舶用厚板、ボイラー用鋼管、ステンレス鋼板）に限っても、国内外での使用段階でのCO2削減効果は、合計3,194万トン（2019年度断面）に達する。

代表的な5品種によるCO<sub>2</sub>削減効果（2019年度断面）

## 1.国内



## 2.輸出



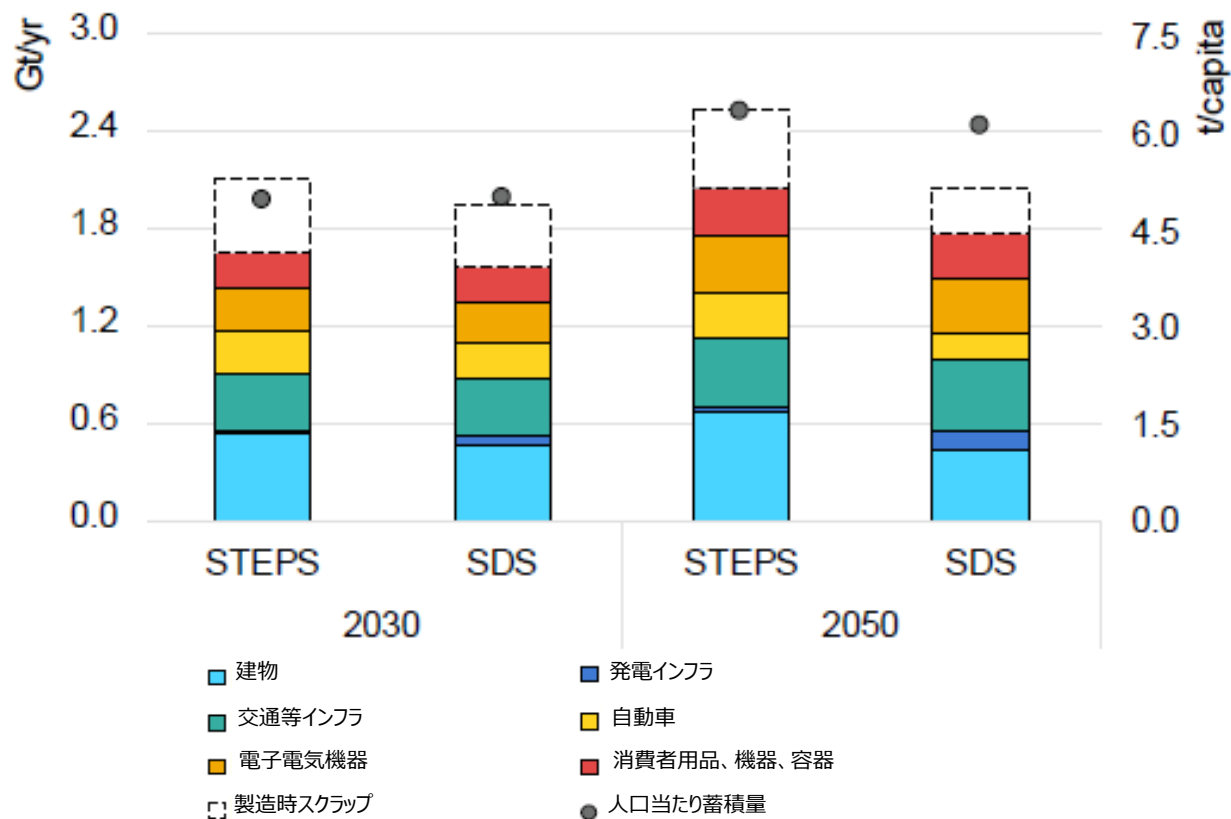
出所：日本エネルギー経済研究所

※自動車用鋼板、方向性電磁鋼板、船舶用厚板、ボイラー用鋼管、ステンレス鋼板の5品種。2019年度の国内使用は 362万t、輸出は 344万t、合計 706万t。  
 ※国内は1990年度から、輸出は自動車および船舶は2003年度から、ボイラー用鋼管は1998年度から、電磁鋼板は1996年度からの評価。

# 鉄鋼の需要見通し

- IEAの見通しにおいても、2050年断面で、自動車や各インフラ、電子電気機器等で大きな鉄鋼需要が見込まれている。
- カーボンニュートラル社会においても、鉄鋼は、資源・エネルギー・土木・建築等のインフラ分野や、自動車向けの電磁鋼板・洋上風力のモノパイル等にも利用される、必要不可欠な素材である。

## ＜鉄鋼の需要見通し＞



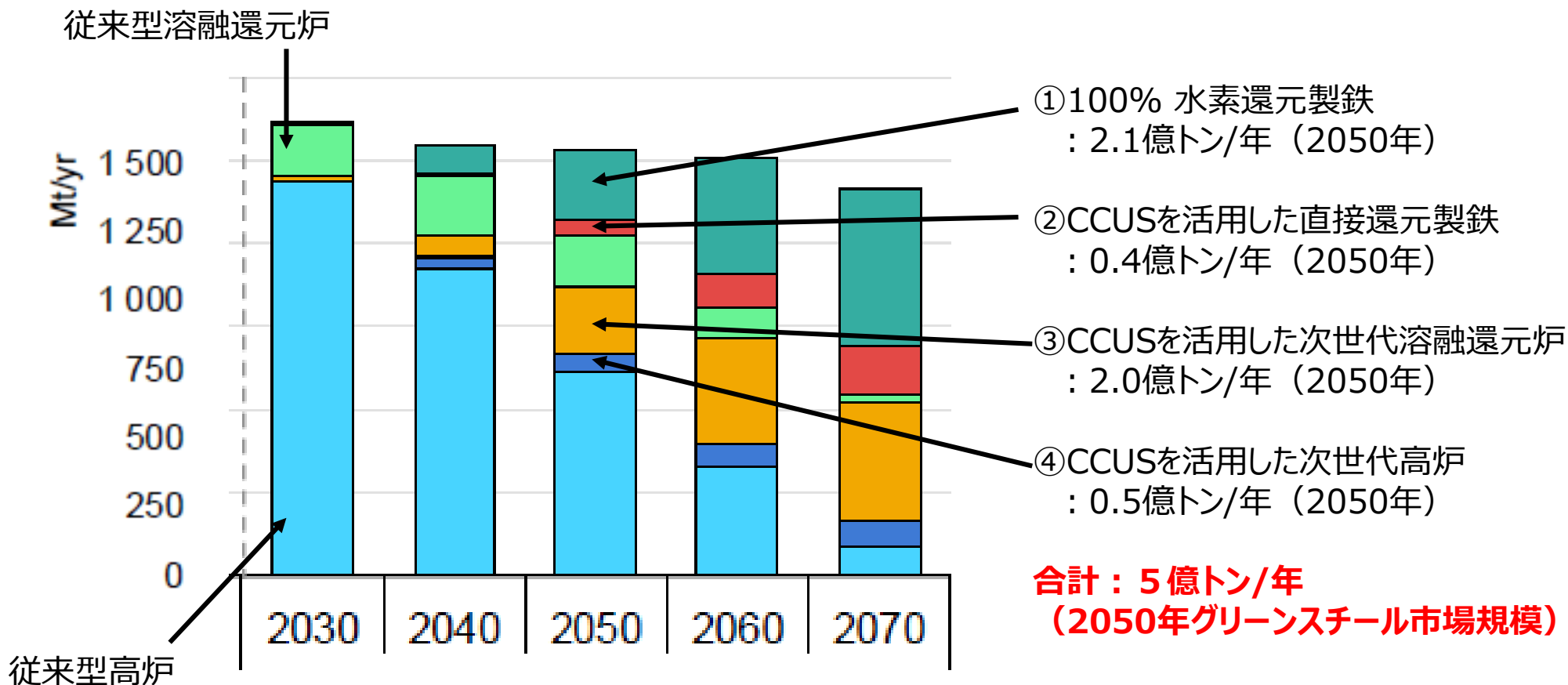
(出典) Iron and Steel Technology Roadmap (2020IEA)

※ STEPS:公表済み政策シナリオ、SDS:持続発展シナリオ

# グリーンスチールの市場規模

- IEAは、製造工程のCO<sub>2</sub>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（2070年にはほぼグリーンスチールに代替）との予測。

## 製造法別鉄鉄生産量見通し

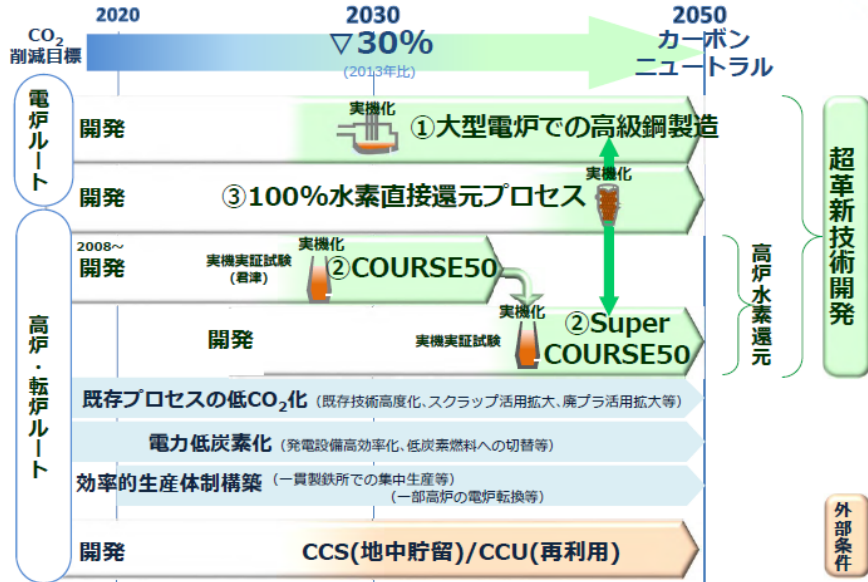


(出典) IEA Energy Technology Perspectives 2020

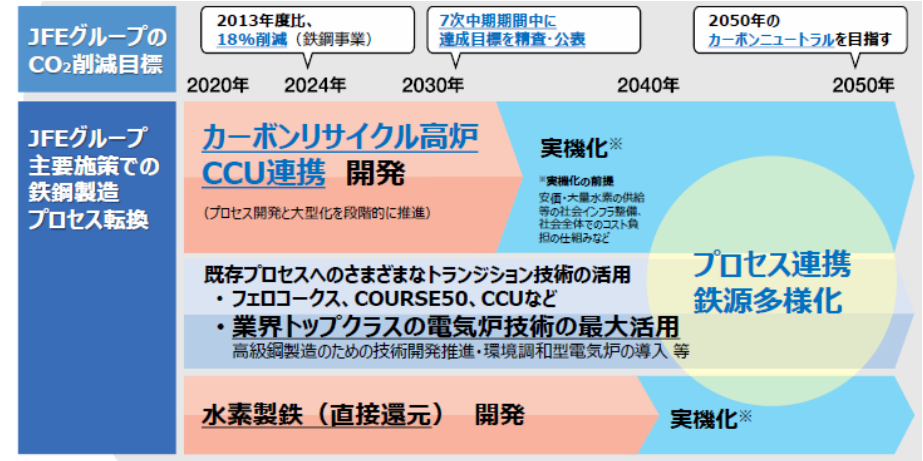
# 鉄鋼各社のカーボンニュートラル実現に向けたロードマップ

- 日本の鉄鋼各社は、2050年カーボンニュートラルを宣言し、その実現に向けたロードマップを策定・公表済み。

## <日本製鉄>



## <JFEスチール>



## <神戸製鋼所>



(出典)

日本製鉄：日本製鉄カーボンニュートラルビジョン2050（2021年3月30日）  
 JFEスチール：JFEグループ環境ビジョン2050（2021年5月25日）  
 神戸製鋼所：KOBELCOグループ（2021～2023年度）中期経営計画（2021年5月11日）



# 海外鉄鋼メーカーによる技術開発動向

- 欧州や中国、韓国の大手鉄鋼メーカーも2050年カーボンニュートラルを目指し、研究開発・実証に取り組みはじめており、国際的な技術開発競争が激化。
- 水素利用、CCUS等の組み合わせにより、2030年までに高炉製鉄からのCO<sub>2</sub>排出量30%程度削減、2050年までにカーボンニュートラル実現等の野心を掲げる。

## <欧州大手鉄鋼メーカー>

- ・高炉利用と直接還元炉の2つの技術開発シナリオを同時追及。
- ・高炉製鉄において①水素投入、②排ガスから回収した炭素を還元剤として再利用(CCU)、③CO<sub>2</sub>貯留による低炭素技術を開発中。
- ・2030年までにCO<sub>2</sub>排出量35%削減を達成する製鉄プロセスの確立を目指す。

## <中国大手鉄鋼メーカー>

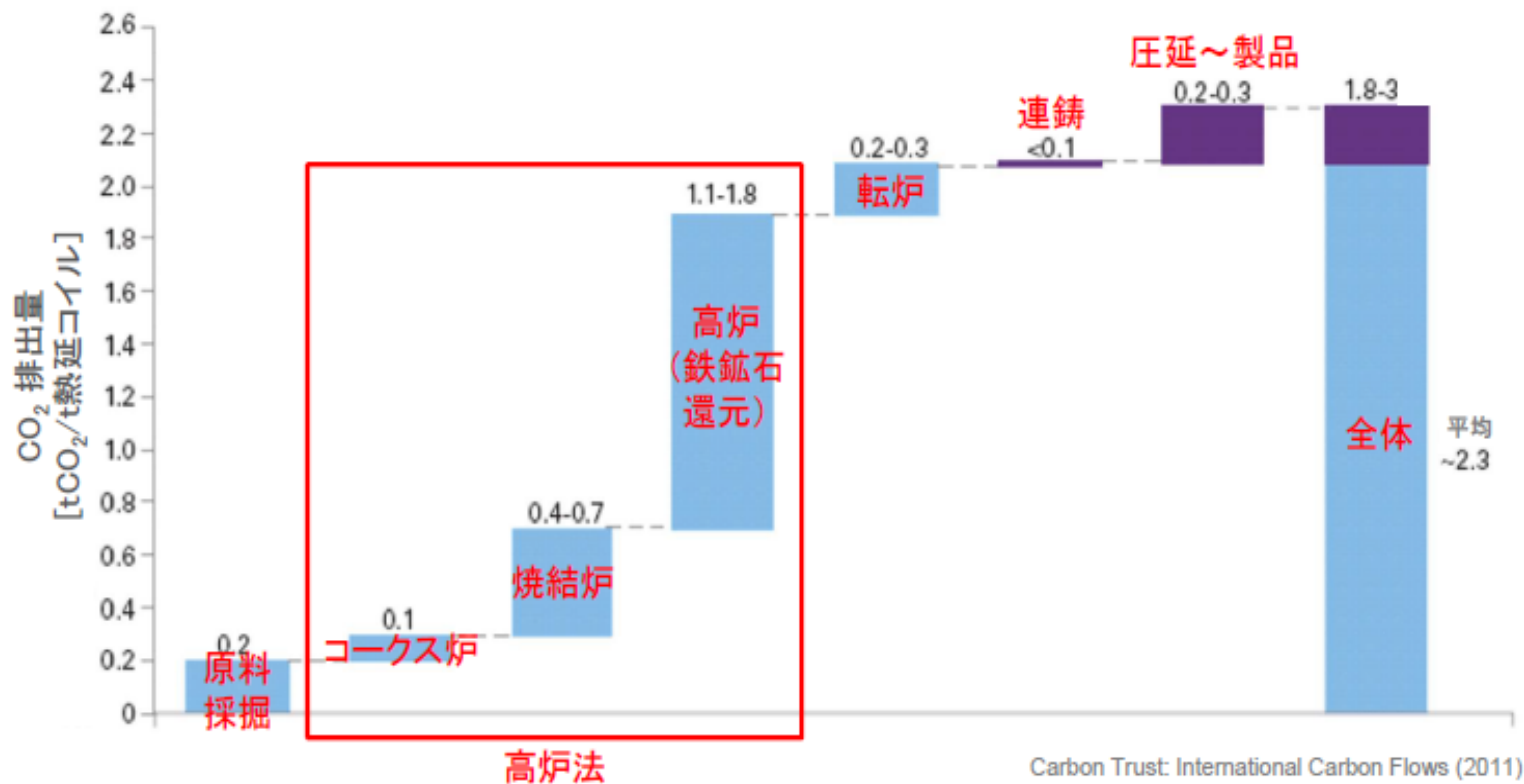
- ・熱風の代わりに純酸素を吹き込むことで石炭使用量を削減する「酸素高炉」技術を開発中。
- ・従来の高炉と比較して50%以上のCO<sub>2</sub>排出量を削減する技術の確立を目指す。

## <韓国大手鉄鋼メーカー>

- ・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。
- ・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CO<sub>2</sub>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す。

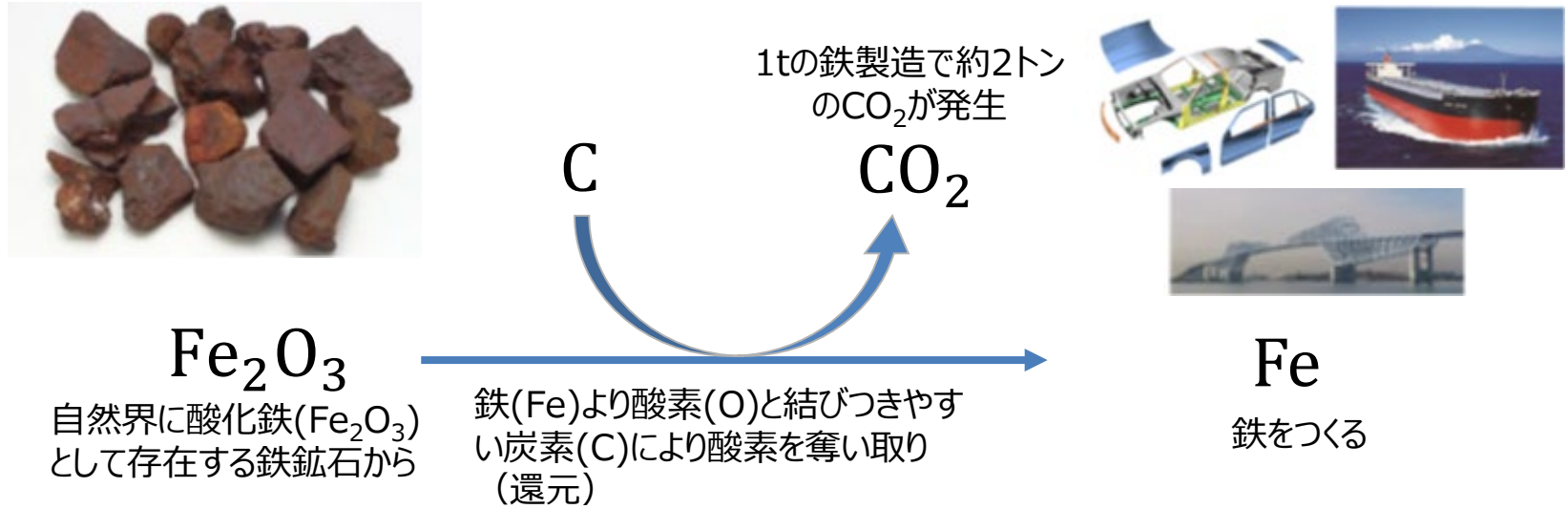
# 鉄鋼製造時のCO<sub>2</sub>排出について

- 鉄鋼の場合、現在の技術水準では、鉄鉱石の還元に炭素（コークス等）を用いざるを得ず、不可避免的にCO<sub>2</sub>が発生（1トンの鉄を製造するために約2トンのCO<sub>2</sub>が発生）。
- 高炉法では、鉄鉱石の還元プロセスにおける排出量が全体の8割を占めており、炭素に寄らない還元方法を確立することが、カーボンニュートラル実現に向けた課題。

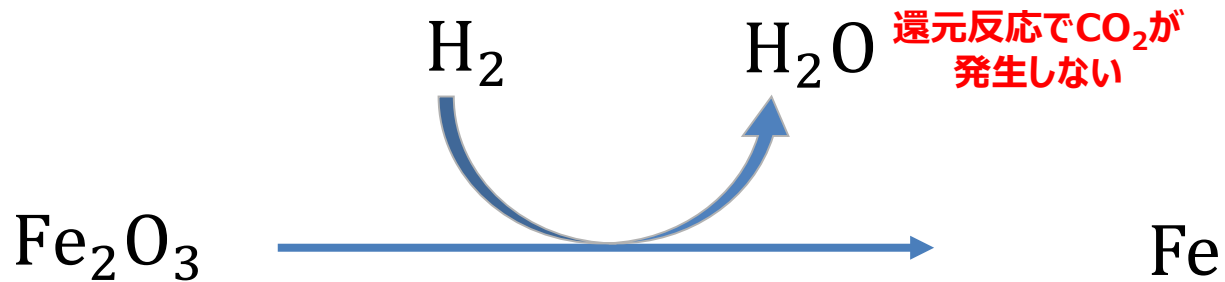


# 炭素によらない鉄鉱石の還元プロセス

- 炭素（木炭や石炭）を鉄鉱石の還元に用いる技術は古来より不変の製鉄法。
- 現行の高炉法においても、コークス（石炭）を用いて還元する過程で不可避免的にCO<sub>2</sub>が発生。



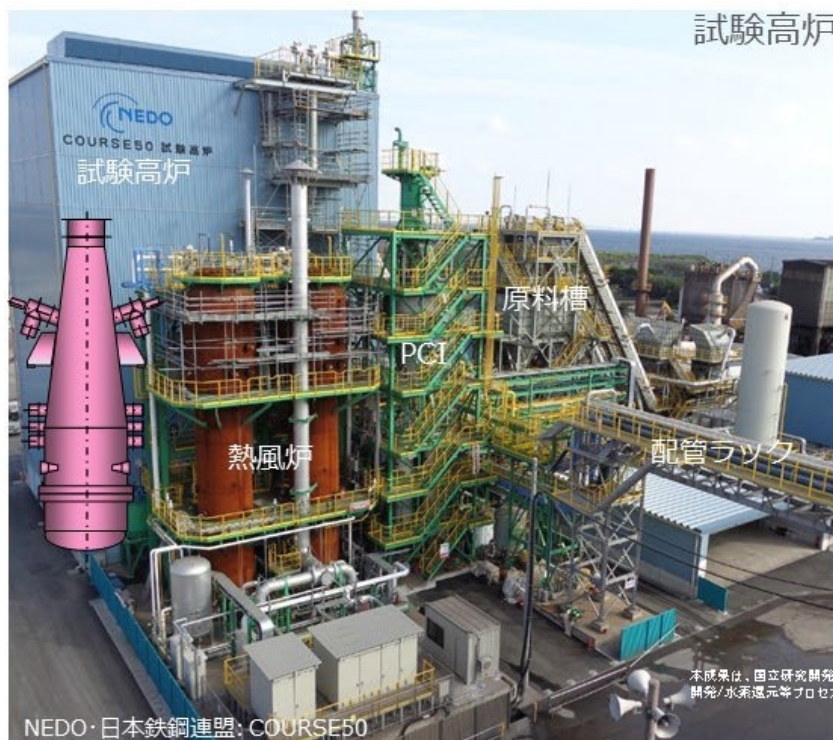
➡ 炭素ではなく、**水素**で鉄鉱石を還元する製法が「**水素還元製鉄**」



# 水素還元製鉄の技術開発に関するこれまでの成果

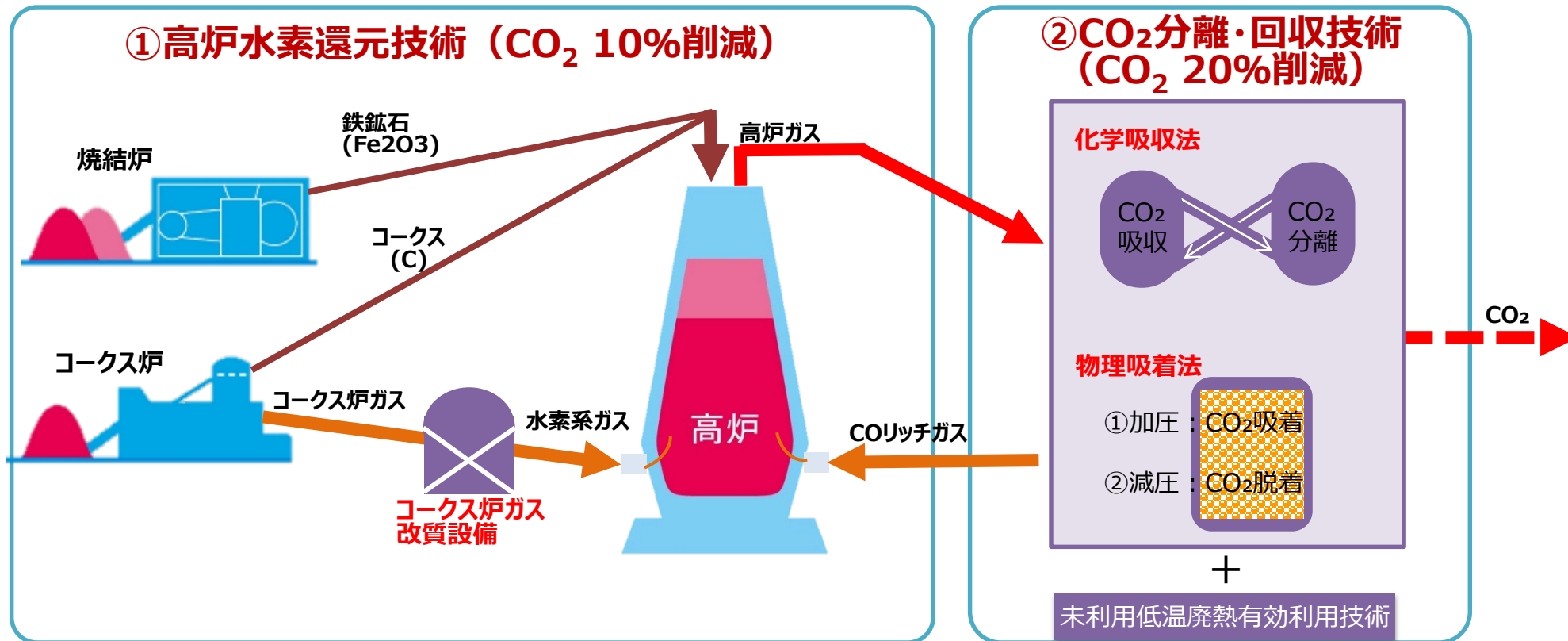
- 我が国は、世界に先駆けて水素還元製鉄の技術開発（COURSE50プロジェクト、次項参照）を開始。
- 2013年度から試験高炉（12m<sup>3</sup>、実機の約1/400）を用いた試験を開始し、還元工程におけるCO<sub>2</sub>排出量10%減が達成可能であることを世界で初めて検証。CO<sub>2</sub>排出量の更なる削減に向けた技術開発を進行中。
- また、製鉄所内の未利用排熱を利用することで、CO<sub>2</sub>の分離・回収に必要な外部エネルギーを軽減する技術（化学吸収方法）を確立。更なる省エネルギー化を推進中。

COURSE50プロジェクト 試験高炉・CO<sub>2</sub>吸収設備



# (参考) COURSE50 (CO<sub>2</sub> Ultimate Reduction System for Cool Earth 50) の概要

- 日本製鉄、JFEスチール、神戸製鋼所等が参加し、**製鉄所から発生するCO<sub>2</sub>の約30%を削減**可能とする革新的な低炭素製鉄プロセス技術の確立を目指すプロジェクト。(2008年度～)
- 酸化鉄を還元するために用いるコークスの一部代替として、**①水素を活用した鉄鉱石の還元技術(高炉水素還元技術)**、**②CO<sub>2</sub>を多量に含む高炉ガスからCO<sub>2</sub>を分離するため、製鉄所内の未利用廃熱を利用したCO<sub>2</sub>分離・回収技術等**の開発を実施中。



# カーボンニュートラル実現に向けた候補となる革新技術

- **高炉法**は、高炉において還元と溶解を一貫で行う技術。脱炭素に向けて、**水素を直接吹き込む技術**（COURSE50プロジェクトで採用）や、水素を（高炉ガスから分離した）CO<sub>2</sub>と反応させて生成した**メタンを吹き込むカーボンリサイクル技術**などが想定。
- **直接還元法**は、直接還元炉で鉄鉱石を固体のまま還元した後、電炉で溶解を行う技術。脱炭素に向けて、**水素を用いて還元した上で、原料である低品位鉄鉱石に含まれる不純物を電炉法で除去する技術**が想定。

	高炉法		直接還元法
	COURSE50技術	カーボンリサイクル技術	水素直接還元技術
構成	<p>コークス バイオマス DRI</p> <p>CCUS</p> <p>酸素</p> <p>水素 空気</p> <p>BOF</p>	<p>コークス</p> <p>CCUS</p> <p>水素 メタネーション</p> <p>メタン(CH<sub>4</sub>)</p> <p>酸素</p> <p>BOF</p>	<p>水素</p> <p>低品位鉄鉱石</p> <p>脱水</p> <p>加熱</p> <p>水素</p> <p>DRI</p> <p>発電</p> <p>大型電炉</p>
技術特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水素直接吹き込み</li> <li>・水素予熱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水素間接吹き込み</li> <li>・純酸素吹き込み</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水素直接吹き込み</li> </ul>

# カーボンニュートラルの実現に向けた複数のアプローチ

- 高炉法は、還元と溶解まで一貫で行うためエネルギー効率に優れている上、鉄鉱石原料の活用範囲が広く、不純物（製品に影響を及ぼす成分）除去技術が確立されているため高級鋼の製造が可能。水素還元やCCUS技術を適用することで、現在普及している高炉システムを生かして脱炭素を実現することが可能。
- 直接還元法は、還元と溶解で別の炉が必要なためエネルギー効率が低い上、不純物除去ができず原料制約が存在。他方で、還元ガスを全て水素に置き換えるとともに、電炉での不純物除去技術を確立することで、CCUなどの周辺技術がなくとも脱炭素を実現することが可能。
- 技術確立や水素供給基盤の確立までの時間軸等を踏まえ、複数の技術的アプローチによるカーボンニュートラルの実現を目指す。

	現行	革新技術
高炉法	<ul style="list-style-type: none"> <li>○鉄鉱石原料の活用範囲が広い</li> <li>○溶解まで行う高いエネルギー効率</li> <li>○不純物除去による高級鋼製造が可能</li> <li>×石炭（コークス）を利用するためCO<sub>2</sub>排出量が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○鉄鉱石原料の活用範囲が広い</li> <li>○溶解まで行う高いエネルギー効率</li> <li>○不純物除去による高級鋼製造が可能</li> <li>×最低限必要なコークスが残るため製鉄プロセスからCO<sub>2</sub>が発生</li> </ul>
直接還元法	<ul style="list-style-type: none"> <li>○天然ガスを利用するため高炉法よりもCO<sub>2</sub>排出量が少ない</li> <li>×不純物除去ができず原料制約あり</li> <li>×溶解プロセスが別途必要なためエネルギー効率が低い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○100%水素還元によりCO<sub>2</sub>排出ゼロが可能</li> <li>○電炉で不純物除去を行うことで、高炉法で利用している低品位鉄鉱石も利用が可能</li> <li>×溶解プロセスが別途必要なためエネルギー効率が低い</li> </ul>

# カーボンニュートラル実現に向けた課題（①水素還元の高いハードル）

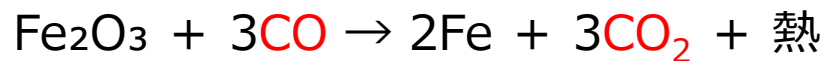
- 鉄鉱石の還元には炭素ではなく水素を用いる水素還元製鉄は、古来より不変であった製鉄法を根本から変える史上初のチャレンジ。
- 水素還元製鉄は、以下に掲げるような技術面でのハードルが非常に高い。
  - 水素による還元反応は熱を吸収（吸熱反応）し、高炉が冷えてしまうため、連続的に還元するのに必要な熱をどう補填するか（コークス由来の一酸化炭素での還元時は自ら発熱）
  - コークスの役割の一つである反応ガスの通気に必要な炉内の隙間をどう作るのか 等

※技術が確立した場合でも、多額の設備導入費用が必要になることに加え、現在と同等の価格・生産量を維持するには安価（約8円/Nm<sup>3</sup>）かつ大量（約700万トン）の水素供給が不可欠。

## 【水素還元においては熱補填が必要】

## 【コークス減少により炉内の通気に問題】

### ①既存技術：炭素の利用（発熱反応）



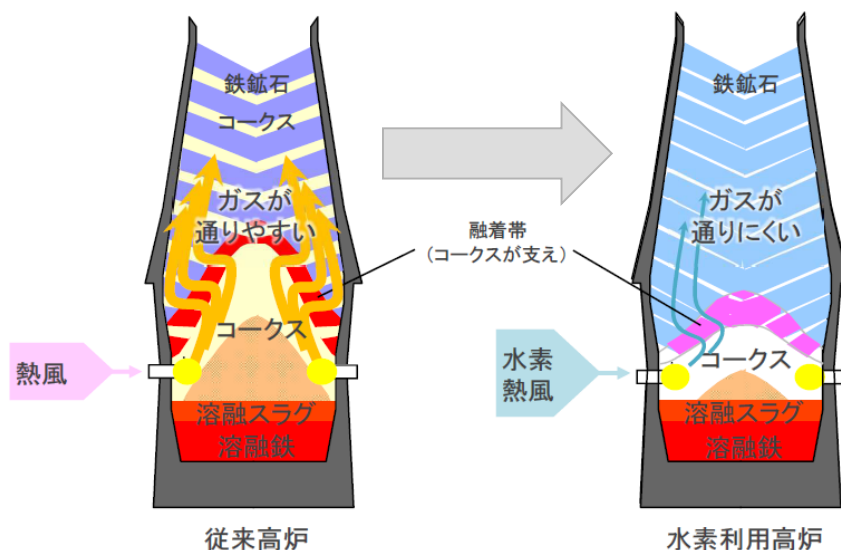
鉄鉱石 コークス由来の一酸化炭素 二酸化炭素

※高炉内の反応は、炭素での直接還元（吸熱反応）もあるが、通常高炉では、COでの間接還元が6割を占めるため、炉内全体では、発熱反応となる。

### ②革新技术：水素の利用（吸熱反応）



鉄鉱石 水素（加熱が必要） 水

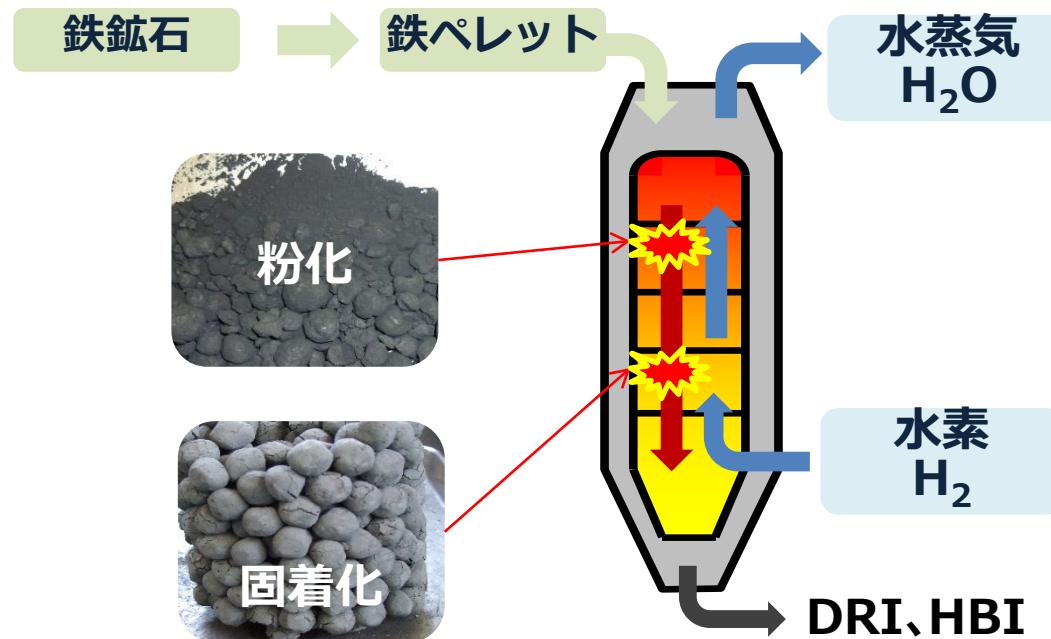




# カーボンニュートラル実現に向けた課題（②直接還元炉の活用とその課題）

- 高炉における水素還元製鉄では、最低限のコークスが必要となるため、バイオマスやCCUSの組み合わせが必要となる一方で、直接還元炉（シャフト炉） + 電炉を用いることで、コークスを投入せずに還元するプロセスを実現することが可能。
- しかし、直接還元炉では、以下の技術的課題が存在。
  - 我が国の高炉・転炉法で使用される豪州産等の低品位鉄鉱石では、粉化（鉄ペレットが細かく砕けて粉状となる現象）や固着化（ペレットが塊となり目詰まりを起こす現象）が生じてしまう。
  - 還元剤として水素を用いると、吸熱反応により、粉化や固着化がより発生しやすくなる。

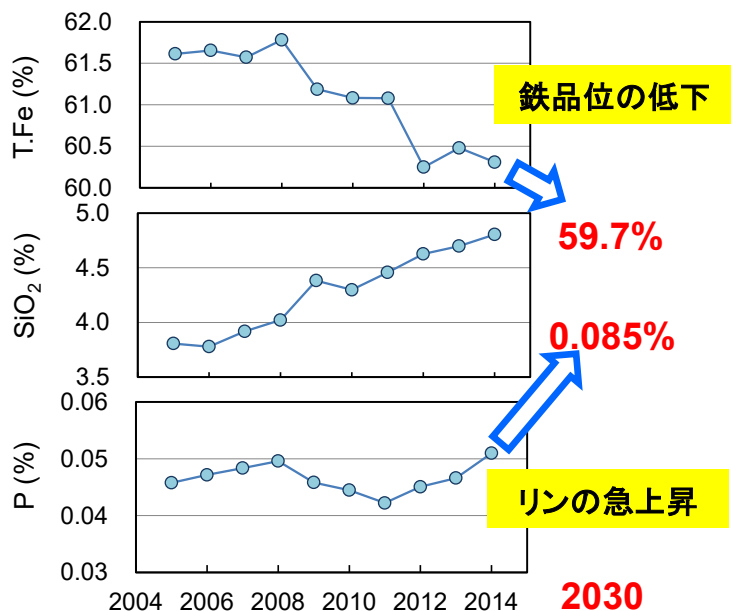
## シャフト炉における粉化・固着化



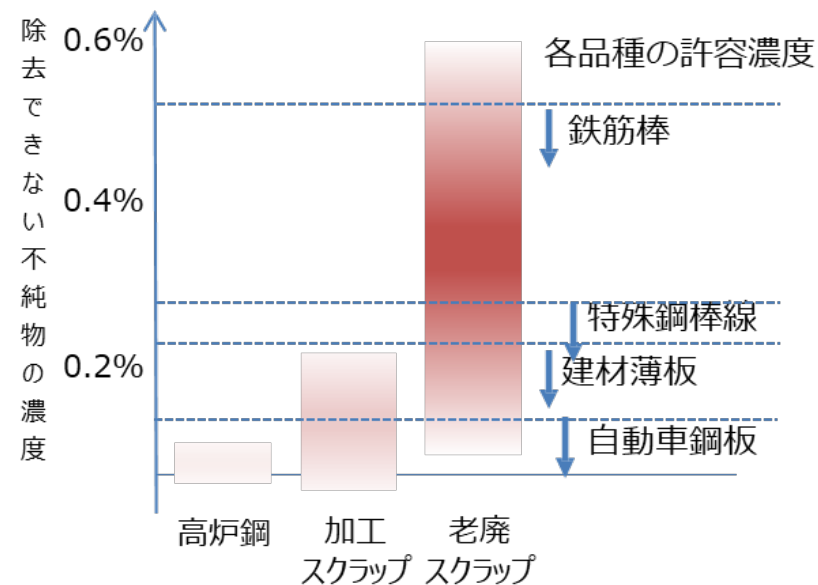
# カーボンニュートラル実現に向けた課題（③電炉の活用拡大とその課題）

- 直接還元炉との組み合わせで電炉を活用する際には、以下の技術的課題が存在。
  - 現状の直接還元で使用される高品位ペレットから、高炉・転炉法で使用される豪州産等の **低品位鉄鉱石へ活用範囲を広げて行く必要性あり。**
  - 低品位鉄鉱石を用いた直接還元鉄やスクラップには、**不純物（製品に影響を及ぼす成分。以下同じ。）が含まれるため、既存の電炉では、高炉で生産している高級鋼の製造が困難。**
- 併せて、高級鋼を大量生産している既存の高炉・転炉プロセスと置き換えても生産性や競争力を維持するためには、**電炉の規模を、転炉と同等の処理量約300トン規模（国内の一般的な規模の電炉の約2倍）に大規模化する必要。**

豪州産鉄鉱石に含まれる成分の推移



各素材の不純物濃度及び品種ごとの許容濃度



(出典) NEDO PJ「鉄鉱石の劣質化に向けた高級鋼材料創生のための革新的省エネプロセスの開発」にて整理

(出典) Jones, A.J.T., Assessment of the Impact of Rising Levels of Residuals in Scrap, Proceedings of the Iron & Steel Technology Conference (2019)

# 製鉄プロセスにおける水素活用（グリーンイノベーション基金）

- グリーンイノベーション基金を活用し、製鉄プロセスの脱炭素化を実現するための研究開発を、官民が一体となって推進。
- 2021年9月に『「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』を策定・公表※<sup>1</sup>。2030年度までの10年間で、国費負担額として1,935億円（上限）を支援。 ※<sup>1</sup> : <https://www.meti.go.jp/press/2021/09/20210914002/20210914002.html>

## 【1-①】所内水素を活用した水素還元技術等の開発

140億円

- 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及びCO<sub>2</sub>分離回収技術等により、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。

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

1,214億円

- 2030年までに、中規模試験高炉（500m<sup>3</sup>級以上）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。

## 【2-①】直接水素還元技術の開発

345億円

- 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）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。

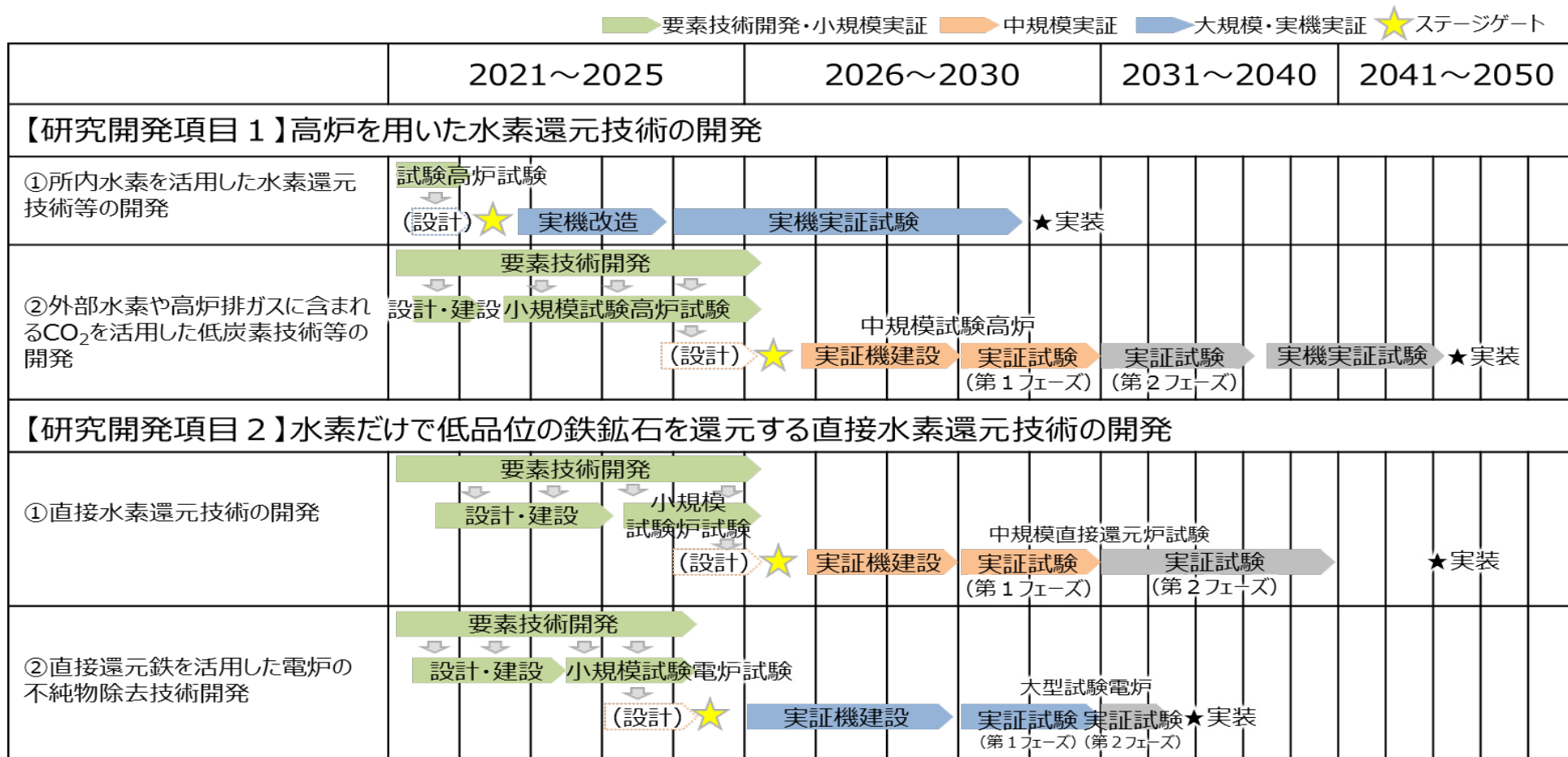
## 【2-②】直接還元鉄を活用した電炉の不純物除去技術開発

236億円

- 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（処理量約300トン規模）において、不純物（製品に影響を及ぼす成分）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。

# 想定スケジュール

- プロジェクト実施企業には、2030年以降も継続して研究開発に取り組むことを求め、2040年代には、それぞれの技術について社会実装することを目指す。



# 水素還元製鉄技術の社会実装に向けた取組

- 技術が確立した際に、**水素価格を始めとする市場環境によらず、水素還元製鉄技術を普及させていく**ため、社会実装に向けた以下の取組を推進。
  - ①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**を図る。
  - ②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、需要家も含めたサプライチェーン全体でコストを負担していく仕組みを構築**する。

## ①社会インフラ整備



- 他プロジェクトや他産業との連携  
(水素以外にもメタン・バイオマス・CCS等の関連技術を総動員)
- 鉄鉱石輸入国 (豪州等) との連携

## ②環境価値の適切な評価



- 製品に含まれるCO<sub>2</sub>の計算方法の確立
- 国際的な評価制度づくり  
(特に、我が国が強みを持つ高品位鋼のクオリティ認証 等)
- グリーンスチール市場の創出

# トランジション・ファイナンス

- グリーンか否かの2元論ではなく、**脱炭素に向けた省エネやエネルギー転換などの「移行」に焦点**を当て、そこに資金供給を促す取組が「**トランジション・ファイナンス**」。
- 2020年12月の国際原則を踏まえて、**2021年5月**、金融庁・環境省・経産省で、トランジション・ボンドやトランジション・ローンとラベリングするための「**基本指針**」を策定※1。
- ※1 : <https://www.meti.go.jp/press/2021/05/20210507001/20210507001.html>
- 今後、多排出産業が脱炭素に向けた道筋を描くための**分野別の技術ロードマップ**を策定予定。

## トランジション・ファイナンスで期待される4つの開示要素

### 要素1 資金調達者のクライメート・トランジション戦略とガバナンス



#### トランジション・ファイナンスの目的

- パリ協定の目標に整合した目標や脱炭素化に向けて、事業変革をする意図が含まれたトランジション戦略の実現

#### トランジション戦略とガバナンスの開示

- TCFD提言などのフレームワークに整合した開示も可能

### 要素3 科学的根拠のあるクライメート・トランジション戦略（目標と経路）



#### 科学的根拠のある目標と経路

- 科学的根拠のある目標とは、パリ協定の目標の実現に必要な削減目標（Scope 1～3が対象）
- 短中期目標は長期目標の経路上に設定
- 目標は地域や業種の特長など様々な事項を考慮して設定するため、経路は多様

### 要素2 ビジネスモデルにおける環境面のマテリアリティ



#### トランジション戦略の対象となる取り組み

- 現在及び将来において環境面で重要となる中核的な事業活動（気候変動を自社のマテリアリティの一つとして特定している資金調達者の事業活動を含む）

### 要素4 実施の透明性



#### 投資計画の対象

- 設備投資だけでなく、業務費や運営費
- 研究開発費（R&D）、M&A、解体・撤去費用

#### 投資計画の実行による成果とインパクト

- 可能な場合には定量的な指標。定量化が困難な場合には、定性的な指標として外部認証を利用

# 「トランジションファイナンス」に関する鉄鋼分野における技術ロードマップ

- 2021年10月、有識者等による検討会での議論を経て、『「トランジションファイナンス」に関する鉄鋼分野における技術ロードマップ』を策定・公表※1。

※1 : <https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211027002/20211027002.html>

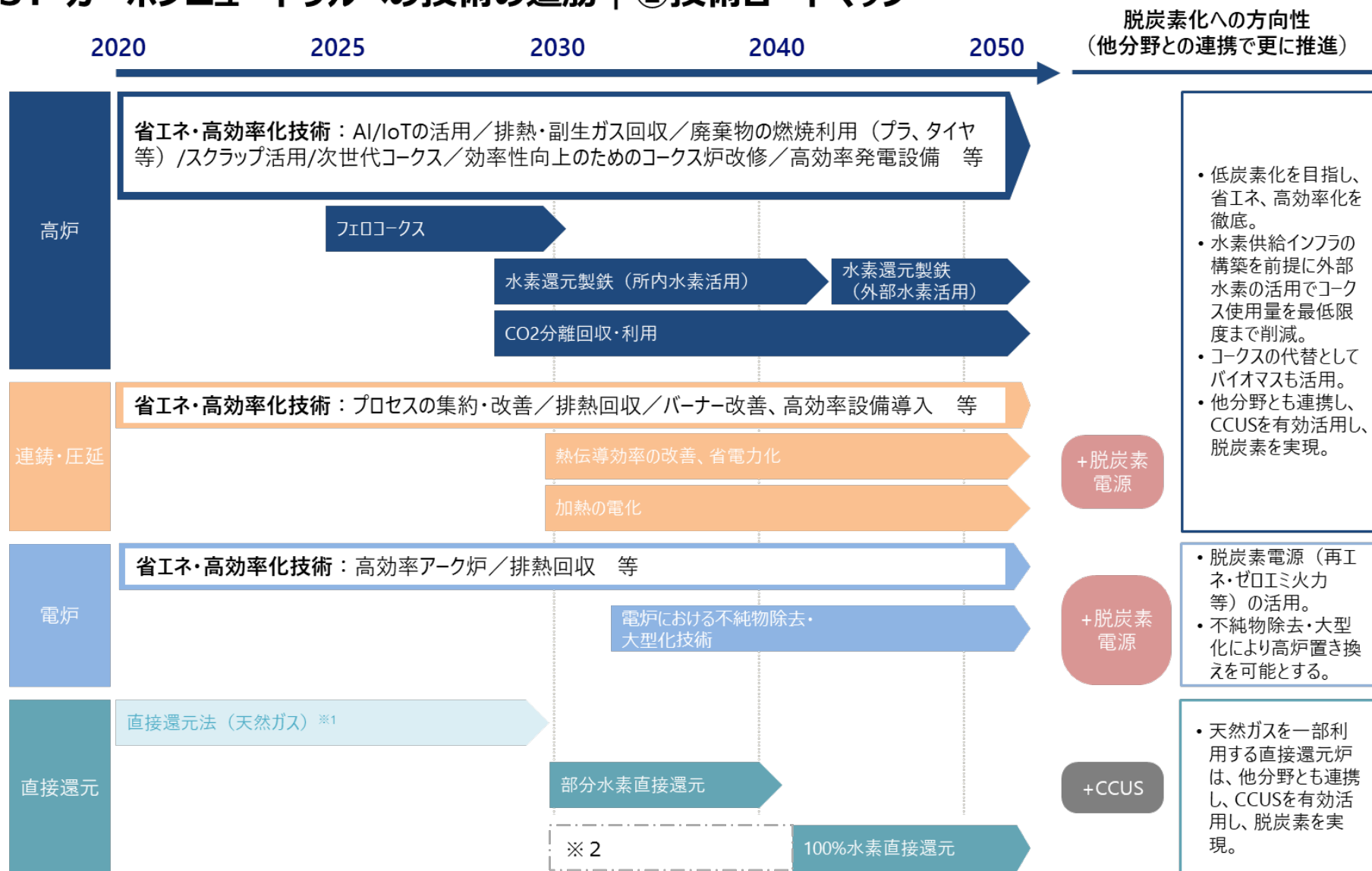
- 鉄鋼分野に関して、現時点で想定されている低炭素・脱炭素技術を選択肢として示すとともに、これら技術の実用化のタイミングについてイメージを示すことで、我が国鉄鋼業が、トランジション・ファイナンスを活用した気候変動対策を検討する際に参照することを想定している。

## 鉄鋼分野における技術ロードマップ目次

章	節	概要
1. 前提		<ul style="list-style-type: none"><li>● 鉄鋼分野における技術ロードマップの必要性</li><li>● 技術ロードマップの目的・位置づけ</li></ul>
2. 鉄鋼業について		<ul style="list-style-type: none"><li>● 鉄鋼業の生産規模、世界的な将来動向</li><li>● 国内の生産量や製鉄プロセス、CO2排出量、等</li></ul>
3. カーボンニュートラルへの技術の道筋	①CNに向けた低炭素・脱炭素技術	<ul style="list-style-type: none"><li>● カーボンニュートラル実現に向けた短中長期の技術オプションの内容</li></ul>
	②技術ロードマップ	<ul style="list-style-type: none"><li>● カーボンニュートラル実現に向けて国内で必要となる技術と想定される技術開発を2050年までの時間軸にマッピング</li></ul>
	③科学的根拠／パリ協定との整合	<ul style="list-style-type: none"><li>● 本技術ロードマップで想定する技術およびCO2排出についてパリ協定との整合を確認</li></ul>
4. 脱炭素化及びパリ協定の実現に向けて		<ul style="list-style-type: none"><li>● 脱炭素電源、水素供給、CCUSなど他分野との連携</li><li>● 本技術ロードマップの今後の展開</li></ul>

# 「トランジションファイナンス」に関する鉄鋼分野における技術ロードマップ<sup>°</sup>

## 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | ②技術ロードマップ<sup>°</sup>



※1 国内では諸条件（品質や生産規模、コスト等）が満たされておらず導入されていない

※2 IEAでは2030年に導入想定に記載があるが、本技術ロードマップでは水素供給インフラの構築を考慮した社会実装年を記載

※3 P8 に示すような脱炭素に貢献する製品（エコプロダクト）は、鉄鋼分野の低・脱炭素化を扱う本技術ロードマップの対象とはしていないが、トランジション・ファイナンスの対象にはなりうる。



# 「トランジションファイナンス」に関する鉄鋼分野における技術ロードマップ

## 3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | ③科学的根拠/パリ協定との整合

- 本技術ロードマップは、2050年カーボンニュートラルの実現を目的とした我が国の各政策やパリ協定と整合している。
- 我が国鉄鋼業の競争力を維持・強化しつつ、着実な低炭素化と革新技术の実現・導入により、2050年カーボンニュートラルを実現していく。

### 参照先・作成根拠

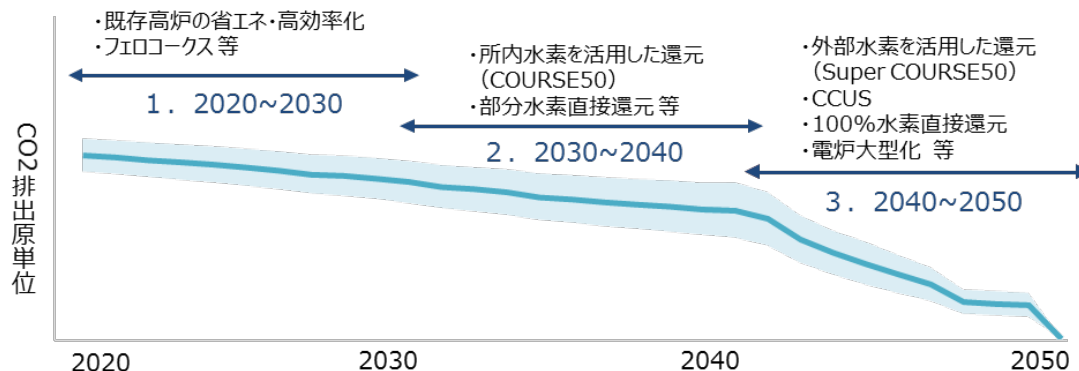
#### 各種政府施策

- ✓ 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（カーボンリサイクル・マテリアル産業）
- ✓ 「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
- ✓ 革新的環境イノベーション戦略
- ✓ エネルギー基本計画
- ✓ 地球温暖化対策計画
- ✓ カーボンリサイクル技術ロードマップ

#### パリ協定と整合する、海外のシナリオ・ロードマップ等

- ✓ Clean Energy Technology Guide (IEA)
- ✓ Energy Technology Perspective 2020 (IEA)
- ✓ Industrial Transformation 2050 (Material Economics)
- ✓ Science Based Target initiative

### CO2排出の削減イメージ※



- 2020~2030  
既に我が国鉄鋼業は世界最高水準のエネルギー効率を達成しているが、引き続き、高炉法の省エネ等による着実な低炭素化を図っていく。また、需要が見込まれるエコプロダクツ等、競争力の源泉である高級鋼を生産。その収益をもとに、将来的な脱炭素技術の研究開発・実証に取り組む。
- 2030~2040  
更なる省エネ・高効率化に加え、COURSE50等の新技术を導入。また、研究開発・実証を継続し、脱炭素に向けた革新技术の確立を目指す。
- 2040~2050  
水素供給インフラやCCUS等が整備されることを前提に、水素還元製鉄等の革新技术の導入により、2050年に向けたCO2の大幅な削減により、カーボンニュートラルを実現。

※我が国鉄鋼業全体としての削減イメージであり、実際には鉄鋼各社は各々の長期的な戦略の下でカーボンニュートラルの実現を目指していくことになるため、各社に上記経路イメージとの一致を求めるものではない。

**ご静聴、ありがとうございました。**