自然エネルギー財団
RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

鉄鋼業の脱炭素化に向けて

欧州の最新動向に学ぶ

2021年12月

目 次

1．はじめに
加速が必要な鉄鋼業の脱炭素化／脱炭素政策で先行するEU

2．先行するEU鉄鋼業　脱炭素化への動き
1）鉄鋼の脱炭素化で先行するEU－概観
2）先行するEU１－政策
3）先行するEU２－鉄鋼業界
4）先行するEU３－需要側の企業

3．脱炭素製鉄の技術オプション
1）主な脱炭素製鉄の技術オプション
2）電炉法
3）水素直接還元-電炉法
4）高炉-転炉＋CCUS法
5）主要脱炭素技術手法のコスト比較

4．おわりに

資料　COP26 グラスゴー・ブレイクスルー・アジェンダ／鉄鋼脱炭素化を目指す国際イニシアティブ／日本の製鉄の現状

略語一覧・参考文献一覧　※各出典の名称・公表年月等の詳細は、巻末の「参考文献一覧」を参照してください。

謝辞

本インフォパックの作成に当たり、ご協力いただいた皆様に感謝いたします。

特に**アゴラ・エナギーヴェンデとそのアゴラ産業チーム**には、頻繁に情報交換をしていただき、データ等をご提供いただくとともに、重要な示唆をいただきました。心から感謝いたします。

また、**ブルームバーグNEF**に、貴重なデータ・情報の使用を許可していただきました。感謝いたします。

免責事項

本レポートに記載した情報は執筆時点で入手可能な内容に基づいていますが、その正確性に関して自然エネルギー財団が責任を負うものではありません。

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

１．はじめに

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

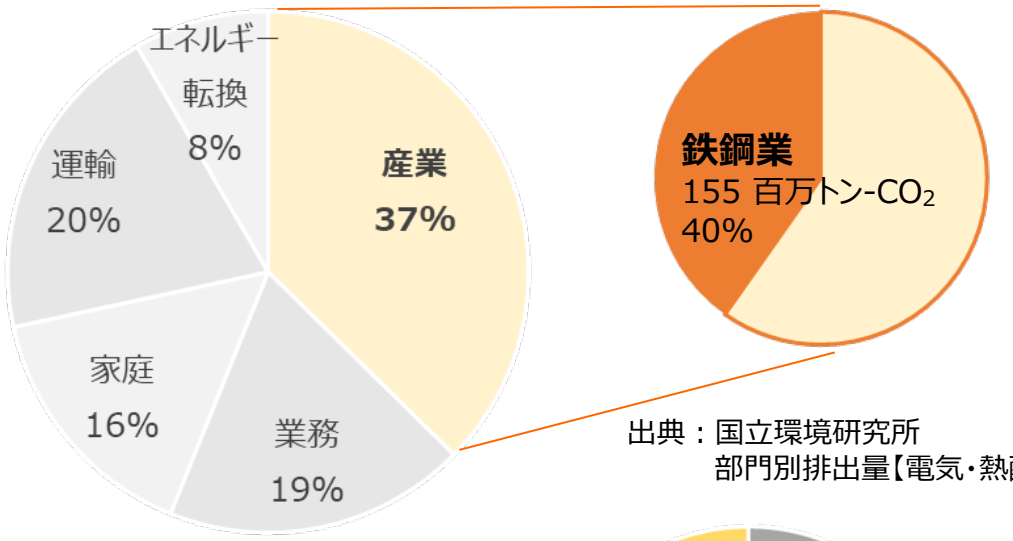
鉄鋼業の脱炭素化：2050年脱炭素化に向け、さらに加速を

- 2020年、日本は2050年までのカーボンニュートラルを宣言した。
- 日本の産業の中で最も温室効果ガス排出量が大きく、また排出の多い事業所の上位を占めるのが鉄鋼業である。鉄鋼は多くの産業で使用される素材であり、日本の工業製品のカーボンフットプリントを小さくするためにも、鉄鋼業を脱炭素化していくことが重要である。
- 高温の熱を使用することの多い素材産業は、脱炭素化が難しいと言われているが、中でも鉄鋼業は、その製造技術を炭素による還元に頼っており、製造手法を根本から変えていく必要がある。
- 日本の鉄鋼業は、エネルギー源、還元材双方で、石炭利用の比重が高く、転換には高い技術力と大きな投資を要する。
- 一方で、鉄鋼業は、素材産業中では脱炭素化の手法や実現のための技術について、方向性が見えてきている業種である。特に欧州では、鉄鋼各社は脱炭素製鉄への動きを加速させている。
- これまで脱炭素化の期限を2100年としてきた日本の鉄鋼業界も2050年脱炭素化に向けて動き出したが、2020年代前半に意思決定を行わなければならない課題が多く控えている。

以降、日本の鉄鋼の脱炭素化に関する議論に資するため、先行する欧州の最新動向をまとめた。

鉄鋼業のエネルギー起源CO_2排出（2019）

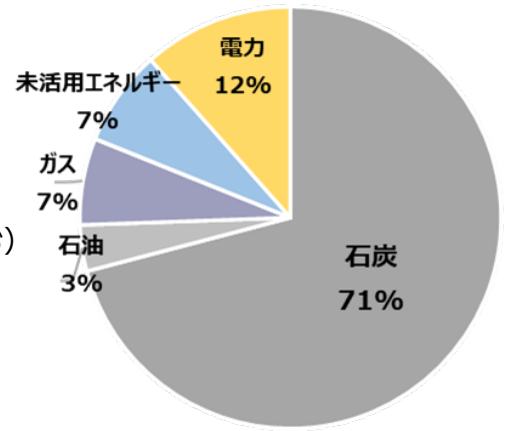
鉄鋼業の排出は1億5千万トン-CO_2であり、日本全体の排出の15%、産業全体の40%を占める最大排出業種



出典：国立環境研究所
部門別排出量【電気・熱配分後】

鉄鋼業におけるエネルギー消費（2019）（自家発電、自家用蒸気含む）

石炭の消費が多く、排出の大きさの要因となっている。



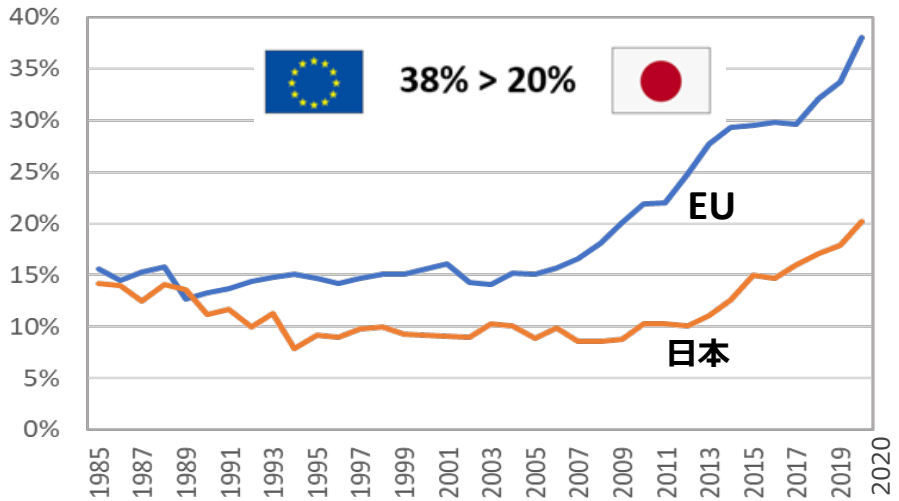
出典：経済産業省・資源エネルギー庁

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

脱炭素政策で先行するEU

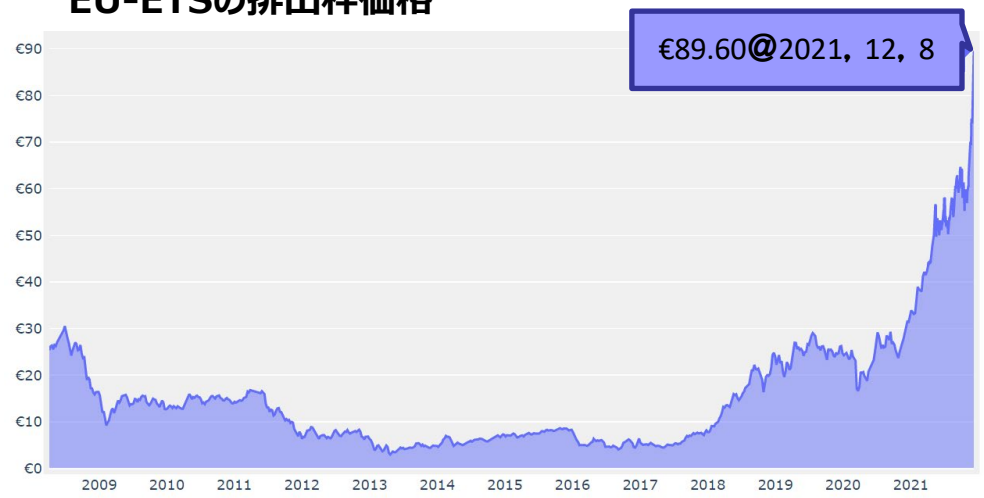
- EU全体の粗鋼生産量は、世界の8%を占め、中国（53%）に次ぐ世界第２位。第3位のインド（6%）、4位の日本（5%）を凌ぐ世界の鉄鋼業の重要なアクターである。
- 産業の脱炭素化には政策のリーダーシップが欠かせない。EUではGHG削減目標の設定をはじめ、多くの点で迅速、野心的な施策判断が行われてきた（次頁表を参照）。
- EUの2030年のGHG削減目標は55%（1990年比）。そのために目指すべき自然エネルギー電力割合は65%とされている。2020年ですでに38%まで達している。
- また、欧州排出量取引制度（EU-ETS）は早くも2005年に導入され、継続的に強化されてきた。排出枠価格は近年大きく上昇し、2021年12月8日時点で€89.60（￥11,555*）となっている。
- 近年では、EUは鉄鋼業をはじめとする産業部門の脱炭素化においても先行しており、積極的に動き始めている。2021年11月現在、世界で公表済みの低炭素製鉄プロジェクト**に占めるEUのシェアは設備容量ベースで42%にのぼる。

発電電力量に占める自然エネルギー電力の割合（EUと日本）



出典：BP

EU-ETSの排出枠価格



出典：Sandbag

* €1=￥128.96@2021.12.8

** 従来の高炉を使った製鉄と比較して、CO_2排出量を66%以上削減できるプロジェクト（スライドP.11参照）

出典：World Steel Association (1)、Sandbag、Leadership Group for Industry Transition

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

EUと日本：気候変動・エネルギー政策の主要な目標・戦略の変遷

EU	日　本
2005年: EUの**排出量取引制度（EU-ETS）**開始 現在、二酸化炭素（CO_2）1トンあたり€89.60 @2021年12月8日	
2007年: EUの2020年気候・エネルギーパッケージ提案 **2020年目標として、温室効果ガス（GHG）排出量を20%削減**（1990年比）、**自然エネルギー割合20%**（全エネルギーのうち）、**エネルギー効率の20%改善**（全エネルギー消費の）を初めて統合的に設定 （2019年には自然エネルギー割合24%で目標達成）	**2007年**: 2020年のGHG排出量削減目標を設定。1990年比で25%
	2012年: 地球温暖化対策税をすべての化石燃料使用に対して導入 現在、CO_2 1トンあたり￥289
	2013年: 福島第一原子力発電所の事故後、2020年のGHG排出量削減目標を**3.8%**（2005年比＝1990年比3.1%増）に修正。COP19に向け提出
2014年: 競争力があり安全で低炭素なEU経済のための2030年目標 **2030年目標として、GHG排出量を40%削減**（1990年比）、**自然エネルギー割合を27%**（全エネルギーのうち）、**エネルギー効率の27%改善**を設定	**2014年**: **2030年目標**として**GHG排出量26%削減**（2013年比）を設定、2015年にUNFCCCにINDC（国別約束草案）として提出 第4次エネルギー基本計画で2030年の**自然エネルギー電力の割合は、22~24%**
2018年： 2030年の**自然エネルギー目標を32%**に、**エネルギー効率目標を32.5%**に引上げ	**2017年**: 第5次エネルギー基本計画 2030年のGHG排出量削減、自然エネルギー電力目標を変更せず 2020年に国が決定する貢献（NDC）としてUNFCCCに提出
2018 年: 2050年までの気候中立ビジョン 世界の気温を1.5℃に抑えるために、**2050年までにGHG排出量をネットゼロ**にする必要があるとし、EUの実現方法を概説	**2017年**: 水素戦略策定 2030年以降の様々な目標（生産量、コスト等）を設定。当面は化石燃料由来の水素を利用し、将来的にカーボンフリー水素へ移行（グリーン水素を優先していない）
2020年：気候中立のEUのための水素戦略 EUのカーボンニュートラル達成には、自然エネルギー由来の**「グリーン」水素**が重要な役割を果たすとし、2030年までに電解装置を40ギガワット（GW）導入、グリーン水素の生産目標を1000万トンと設定	**2019年**：パリ協定に基づく長期戦略 今世紀後半の可能な限り早い時期に達成すべき究極の目標として「脱炭素社会」を掲げる。2050年までにGHG排出量を80%削減する目標を設定
	2020年: **2050年カーボンニュートラル目標**を発表
2020年: EUの2030年の**GHG排出量削減目標を55%**に引き上げることを提案（2021年に採択）	**2021年: 2030年のGHG排出量削減目標を2013年比46%に引上げ** 地球温暖化対策推進法改正で2050カーボンニュートラル目標を決定 第6次エネルギー基本計画で、自然エネルギー電力目標36~38%に

出典：欧州委員会・日本政府各種資料を基に自然エネルギー財団作成

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

2. 先行するEU鉄鋼業　脱炭素化への動き

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

鉄鋼業の脱炭素化で先行するEU－概観

1． EUの政策的リーダーシップ

鉄鋼業の脱炭素化においては、これまで進めてきた脱炭素政策、すなわち①**自然エネルギー電力**のさらなる導入とコストの削減、②実効性のある**炭素価格メカニズム**をさらに強化することに加え、近年では、③カーボンニュートラルに適合した水素（**グリーン水素**）が重要な条件となっている。EUは、このように鉄鋼の脱炭素化に求められる様々な条件整備を政策として実施している。

条件1：自然エネルギー電力

現在、自然エネルギー電力は、EU電力の38%を占め、コストも安い

2050年までにシェアを**81-85%と目標設定**、さらなる導入拡大で、電力価格の上昇を抑える

＋

条件2：EU-ETS

実効性のある炭素価格を鉄鋼業にも適用（2026年以降の無償排出枠の段階的廃止）

ただし、無償割当の廃止は制度導入当初からの共通認識*

＋

条件3 :グリーン水素

グリーン水素の導入拡大のため、2030年までに電解装置を40ギガワット整備し、グリーン水素生産量を1,000万トンとする目標を設定

2． 関連企業の活発な対応

このような政策に呼応して、供給側と需要側の双方で、先見性のある企業等の脱炭素製鉄の導入に向けた活動が始まっている。

（１）供給側ー鉄鋼業界の動き：脱炭素鉄鋼の製造プロジェクトを本格化させ、規模を拡大するなど。
（２）需要側企業の動き：自動車産業をはじめとする企業が、低炭素鉄鋼（グリーン・スチール）の調達に向け行動を開始。

＊EU-ETSの価格（排出枠価格）は、2021年12月8日現在　€89.90（￥11,555）

出典： European Commission (1) 、(2)、Sandbag

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

先行する欧州１　政策　EUの戦略

欧州委員会は、新産業戦略の一環として、2021年5月に**「競争力のあるクリーンな欧州の鉄鋼を目指して」**を発表。EUの鉄鋼の脱炭素化へのヴィジョンを提示。

- 鉄鋼は、工業化された現代の国の経済にとって不可欠な素材
- 鉄鋼業は、対策が困難とされる部門のうちで**最も早くグリーン製品を生産できるセクター**であるが、低炭素製鉄は、根本的革新が必要
- 低炭素化技術の**商用化は2030年頃**とされているが、そのためには、**今、野心的な計画を立てることが必要**
- 時間との戦い－**2050年までの投資機会は一回限り***。**多くの高炉がこの10年間に運転寿命を迎え、改修投資が必要****従って、**今後5年間が重要**

戦略発表後の重要な進展

低炭素製鉄の技術手法については、この文書では、リサイクル鉄を利用する電炉のみを成熟の段階にあるとしていた。

しかしその後、企業の取り組みの加速化により、水素を使う直接還元炉と電炉を組み合わせた手法（H_2DR-EAF）も成熟に近づいている。2025年頃には、EUで商用規模のプロジェクトが複数稼働する予定である***。

*　高炉の寿命は50年程度で、15～20年に一度はリライニング改修が必必要

**　アゴラエナギーベンデによれば、EUの高炉の70%が、2030年までに運転寿命を迎え、改修の再投資が必要。

***　設備容量が百万トン以上のものを商用／産業規模としている。具体のプロジェクトはスライドP.11を参照

出典: European Commission (3) 、 Leadership Group for Industry Transition

欧州委員会　（2021年5月）
“Towards Competitive and Clean European Steel”

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

先行する欧州１　政策　財政支援と規制等

EUの鉄鋼の脱炭素化政策は、根本において、**財政的インセンティブと規制的制度が両輪**となって実施されている。

重要！財政支援に加え、EU-ETSの無償排出枠の廃止により鉄鋼業にも炭素価格が適用、EU-ETSはイノベーション基金の原資となっている。

政策タイプ	主要な政策とその内容
財政的インセンティブ	**復興・回復ファシリティ（Recovery and Resilience Facility: RRF）：**6,725億ユーロ（2021年～2023年）を融資と助成金で利用可能。加盟国が実施する改革と投資を支援。鉄鋼などの重厚長大産業の脱炭素化を加速させる前例のない規模のファンド。
	イノベーション・ファンド：鉄鋼などのエネルギー集約型産業を含む複数のセクターを対象に、革新的な低炭素技術の実証に、2021年から2030年の間に270億～360億ユーロを提供。（EU-ETSの排出枠4億5,000万トン分のオークション収益からの資金調達を予定しており、排出枠価格をCO_2トン当たり60～80ユーロとした場合、この金額となる）また、欧州委員会は、低炭素プロジェクトの運営費もカバーするために、イノベーション・ファンドが資金を提供する**「炭素差額決済：Carbon contract for differences」**を導入することを提案。
	クリーン・スチール・パートナーシップ：カーボンニュートラルな鉄鋼生産に資する画期的な技術の研究・イノベーションに関する活動を支援。パイロット～実証段階までの活動に最大7億ユーロを拠出。
コンビネーション	**サステナブル投資のためのEU タクソノミー：**気候変動対策は主要な柱。鉄鋼業では、技術手法ごとに製品の排出基準（生産トン当たりCO_2排出量）を設定。基準に適合するサスティナブルな生産への投資を促進する。
規制等の制度	**欧州排出量取引制度（EU-ETS）（汚染者負担の原則）**：鉄鋼メーカーも対象となっている排出枠の無償割当は、2026年から2035年にかけて段階的に廃止（年率10%削減）。この措置は2021年に決定されたが、実際には当初からの共通認識であり、削減行動促進の要因となっている。また、EU-ETSのオークション収益は、上記イノベーション・ファンドにも活用されている。排出枠価格は、2021年12月8日現在　€89.60（￥11,555）
	炭素国境調整メカニズム（CBAM）　提案：　鉄鋼も対象。カーボン・リーケージ・リスクを低減することを目的に、特定品目をEUへ輸入する際、EU-ETSと同等の炭素価格を課す。当初は鉄鋼を含む計5部門が対象。EU-ETS無償割当の代替措置となる。
	産業の排出に関する指令（Industrial Emissions Directive）：　排出防止や排出削減技術導入を課す基準を設定することで、鉄鋼生産からのGHG排出を規制（導入義務／加盟国が定める適用罰則）。
	サーキュラーエコノミー・アクションプラン：　鉄鋼は、元来、寿命の長い耐久性製品であり、リサイクル、再利用、再製造に適しているという特徴から、循環型社会に向けて可能性を秘めた優先されるべき製品・材料グループの一つと位置付けられる。

出典：European Commission (3)、Sandbagほか
各種資料を基に自然エネルギー財団作成

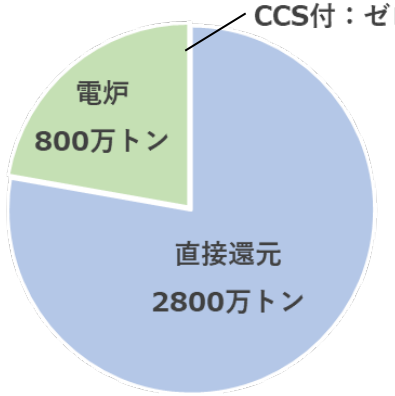
Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

先行する欧州２　脱炭素化に向けて動き始めた欧州の鉄鋼業界

EUの想定する主な技術手法と実際のプロジェクトの進展

- EUは、鉄鋼部門の脱炭素化の主要な技術手法を全て考慮： 経済と技術の進歩が勝者を決める。
  (第３部の技術的説明を参照)
  １）電炉法（EAF）リサイクル鉄の利用
  ２）(水素)直接還元-電炉法（H_2DR-EAF）
  ３）高炉-転炉法とCO_2回収・利用・貯留の組み合わせ（BF-BOF+CCUS）
- 一般的に、EUは**グリーン水素・グリーン電力を優先**：自然エネルギーは、これまでも原子力やCCS関連の技術より大きなGHG削減効果を発揮しており、今後も期待できる。
- 近年、**新規の低炭素プロジェクト***への投資がEUの各地で発表されている。
  これまでに設備容量で**3600万トン**の計画が公表されており、**電炉と、直接還元-電炉**は2020年代に産業規模の運転開始を予定している。一方、**高炉-転炉法＋CCUSの新規プロジェクトは存在しない**。

EUにおける2030年までに建設予定の低炭素鉄鋼プロジェクト（設備容量:万トン）



出典: Agora Energiewende (2)

大手鉄鋼メーカーの脱炭素製鉄の方針

近年の欧州では、2017年にスウェーデン・スチールが「2045年までに化石燃料フリーを実現」することを発表したのを皮切りに、タタ・スチール・ヨーロッパ（2018年10月）、ティッセンクルップ・スチール・ヨーロッパ（2019年7月）、アルセロール・ミタル（2020年9月）など大手鉄鋼メーカが2050年までのカーボンニュートラル方針を発表している。

これらの鉄鋼メーカーは、**2030年のGHG排出量削減の中間目標**も発表し、様々な活動を開始している。

カーボンニュートラルを目指す鉄鋼各社の中期目標

鉄鋼メーカー	2030 年目標など
アルセロール・ミタル **ArcelorMittal**（本社:ルクセンブルグ）	全社で25%排出削減 欧州では35%
スウェーデン・スチール **SSAB**（本社:スウェーデン）	2030年26%削減、 2031年34%削減、 2045年化石燃料フリー
タタ・スチール・ヨーロッパ **Tata Steel Europe**（本社：英国）	英国で30%排出削減 オランダで40%削減
ティッセンクルップ・スチール・ヨーロッパ **ThyssenKrupp Steel Europe** （本社:ドイツ）	生産工程と外部からのエネルギー使用に係る排出を30%削減

＊ 従来の高炉を使った製鉄と比較して、CO_2排出量を66%以上削減できるプロジェクト（スライドP.11参照）

出典: European Commission (3)、SSAB(1)、Agora Energiewende (2)、
Tata Steel Europe (1) & (2)、ThyssenKrupp Steel Europe (1)

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

先行する欧州２　脱炭素化に向けて動き始めた欧州の鉄鋼業界ープロジェクト

新規プロジェクトでは、水素直接還元-電炉法（H_2-DR-EAF)が主流に

- 高炉-転炉の代替として、水素直接還元炉・電炉技術を使った新規プロジェクトがEU各地で進行中。**百万トンを超え**る規模のものも出現し、2025年前後に着工、2030年までに運転開始を計画。**当初天然ガスを使用**、後に水素転換を予定するものも多い。
- 技術の選択については、2021年9月に、**タタ・スチール・ヨーロッパ**が、BF-BOF+CCUS（代替製鉄技術である「ヒサルナ・プロセス*」を含む）を検討した結果、最終的に水素直接還元-電炉（H_2DR-EAF）のみに注力すると発表したことは重要である。

プロジェクト名	国	会社名	技術手法	年間生産量	竣工	補助等出資
Boden	スウェーデン	H_2Green Steel H_2グリーン・スチール	H_2DR-EAF 水素直接還元−電炉	5 百万トン (2030まで)	2024年まで	—
Dunkerque	フランス	Liberty Steel リバティ・スチール	H_2DR-EAF** 水素直接還元−電炉	2百万トン	—	—
Gent	ベルギー	ArcelorMittal アルセロール・ミタル	H_2DR-EAF** 水素直接還元−電炉	2.5 百万トン	2030年まで	ベルギー、フランダース政府から、 11 億ユーロの支援
Gijón	スペイン	ArcelorMittal アルセロール・ミタル	H_2DR-EAF** 水素直接還元−電炉	2.3 百万トン	2025年まで	スペイン政府から 10億ユーロの支援
H_2 Hamburg	ドイツ	ArcelorMittal アルセロール・ミタル	H_2DR-EAF** 水素直接還元−電炉	1 百万トン超(2030まで) 当初は 0.1 百万トン	2025年まで	独政府から資本費の1/2、 5,500万ユーロの支援
HYBRIT	スウェーデン	SSAB スウェーデン・スチール	H_2DR-EAF 水素直接還元−電炉	商用規模（2026まで） 当初は 0.01百万トン（2020開始)	2026年まで 商用規模	スウェーデン政府から 5,300万ユーロの支援
tkH_2Steel	ドイツ	ThyssenKrupp ティセンクルップ	H_2DR-EAF** 水素直接還元−電炉	3 百万トン(2030まで) 当初は 0.4百万トン	2025年まで	—

* 鉄鉱石に最大50%のスクラップ鉄を混合し、直接銑鉄への還元を行う。排ガス中のCO_2の純度が高いため、CCSとの組み合わせに適していると言われている。

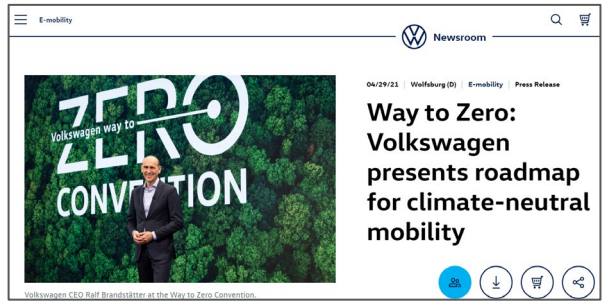
** 当初天然ガス使用、後に水素転換予定（天然ガス使用でも、従来の高炉法と比べ66%以上削減が可能なため、低炭素製鉄プロジェクトと位置付けられる。）

出典: Agora Energiewende (3)、 ArcelorMittal (2), (3), (4)、 H_2Green Steel、Liberty Steel、SSAB(2)、ThyssenKrupp Steel Europe (2)

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

先行する欧州３　脱炭素化に向けて動き始めた需要側企業

2021年、欧州の主要産業界は、相次いで脱炭素製鉄を促進する需要側からのプロジェクトを発表（脱炭素製鉄への投資や脱炭素鉄鋼製品の調達など）。自動車メーカーは特に活発。



欧州の主要な自動車メーカーが、脱炭素製鉄、グリーン鉄鋼製品の調達を促進

2021年3月 BMW　：
ボストン・メタル社が開発した革新的な脱炭素製鉄手法への投資を発表
（2020年代半ばまでに産業化を目指す）

2021年4月　ボルボ：
HYBRITプロジェクトに参加する鉄鋼メーカーSSABと協力して、世界初の脱炭素鋼を使った自動車を商品化すると発表
（水素直接還元による鉄鋼を使った最初のコンセプトカーの製造は、すでに2021年に開始）

2021年4月　フォルクスワーゲン：
鉄鋼生産を含むサプライチェーンの脱炭素化に取り組むことを発表

2021年5月　ダイムラー（メルセデス・ベンツ）　：
脱炭素製鉄に取り組むH_2Green Steel社への資本参加を発表
（早ければ2025年にもグリーンス・チールを採用した様々な車種を発売予定）

他の業界の動き

- 国際NPOクライメイト・グループのスチール・ゼロ・イニシアティブでは、遅くとも2050年までにネット・ゼロ・スチール100%（中間目標として2030年までに少なくとも50%）の達成を定めた。建設業界（ロンドンオリンピックで選手村開発を手掛けたレンドリースや英国大手デベロッパーのメイス等）に加えデンマークの電力会社オーステッドなどが参画し、コミットメントを発表している。
- その他、家電メーカーが低炭素鉄鋼の使用を始めている（ミーレ、カルドウェイなど）。

CLIMATE GROUP STEELZERO

出典：BMW、Volvo、Volkswagen、Daimler(Mercedes-Benz)、Climate Group

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

3.脱炭素製鉄の技術オプション

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

主要な脱炭素製鉄の技術オプション

	従来の主要な技術・手法			脱炭素化の主要な技術・手法		
	リサイクル（スクラップ鉄を原料）	一次製鉄（鉄鉱石を原料）		リサイクル	一次製鉄	
技術・手法	電炉法（電気アーク炉）(EAF)	直接還元-電炉法 (NGDR-EAF)	高炉-転炉法 (BF-BOF)	電炉法（電気アーク炉）(EAF)	**水素** 直接還元-電炉法 (**H_2**DR-EAF)	高炉-転炉＋**CCUS**法 **（カーボン回収・利用・貯留）** (BF-BOF**+CCUS)**
エネルギー（一部還元材）	電力	天然ガス及び電力	化石燃料主として石炭	**脱炭素電力**	**脱炭素水素 脱炭素電源**	化石燃料 **+ CCUS**
GHG 排出	低	中 (天然ガスを水素へ移行すれば、低)	高	ゼロに近い	ゼロに近い	CO_2回収、オフセット等を行えば、低
成熟度	成熟	成熟	成熟	成熟	2030年までに商用化	不確実

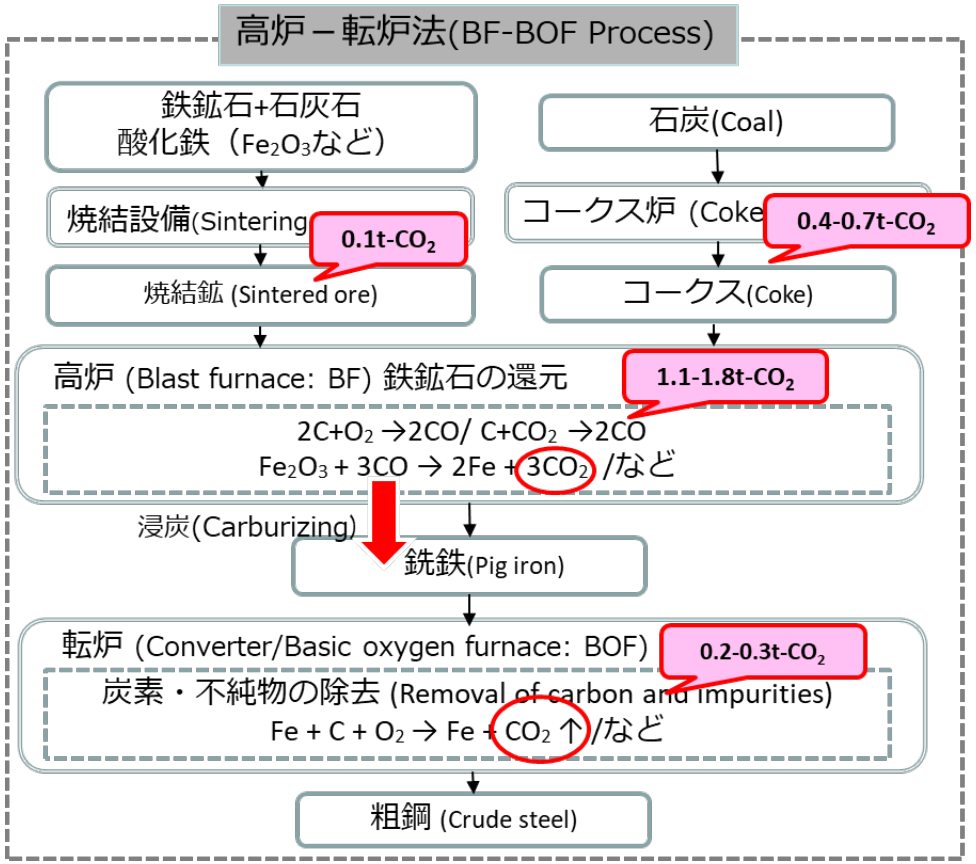
脱炭素製鉄の条件

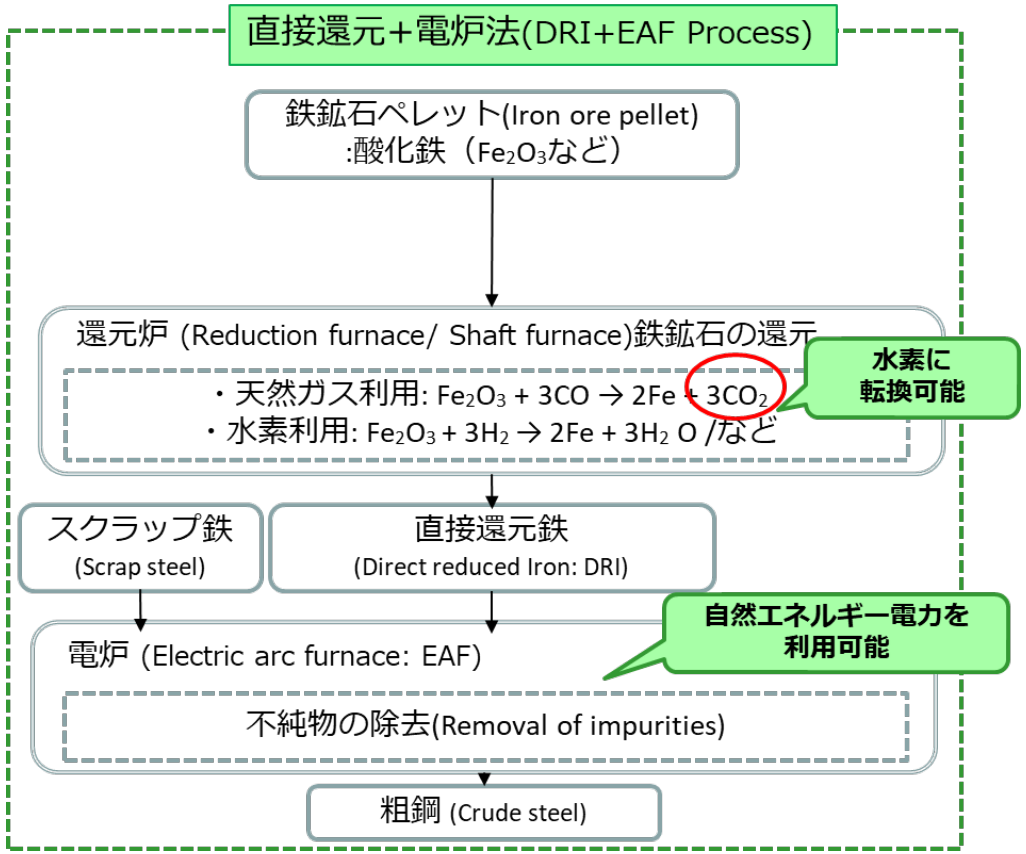
電炉法： 電力の脱炭素化
直接水素還元-電炉法： 電力および水素の脱炭素化
高炉-転炉法： 排出するCO_2を最大限回収して、一部使用、最終的には永久貯留(CCUS)。100%の回収は困難であるため、残るCO_2相当量を、DAC（大気からの直接CO_2回収）またはカーボンオフセットが必要。

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

従来の製鉄と脱炭素製鉄のプロセス

- 従来の高炉-転炉による一貫製鉄法では、石炭・コークス由来の炭素を用いて鉄鉱石の還元を行う際に、CO_2が大量に排出される。その他、焼結、コークス生成、転炉での製鋼プロセスからも排出があり、粗鋼1tにつき約2倍（1.8～2.9t-CO_2）のCO_2を排出。水素注入による高炉内での部分直接還元や副生ガス利用で排出の一部を削減できるが、排出されたCO_2の回収貯留（CCS）が必要。
- 直接還元の場合は、天然ガスを用いた場合でも、高炉法よりも排出量が低く、さらに水素への転換と電力の脱炭素化で排出をゼロにできる。





出典：各種資料より自然エネルギー財団作成、高炉-転炉法におけるCO_2排出量はCarbon Trust (2011)より

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

電炉法: 脱炭素製鉄手法として既に成熟したリサイクル製鉄

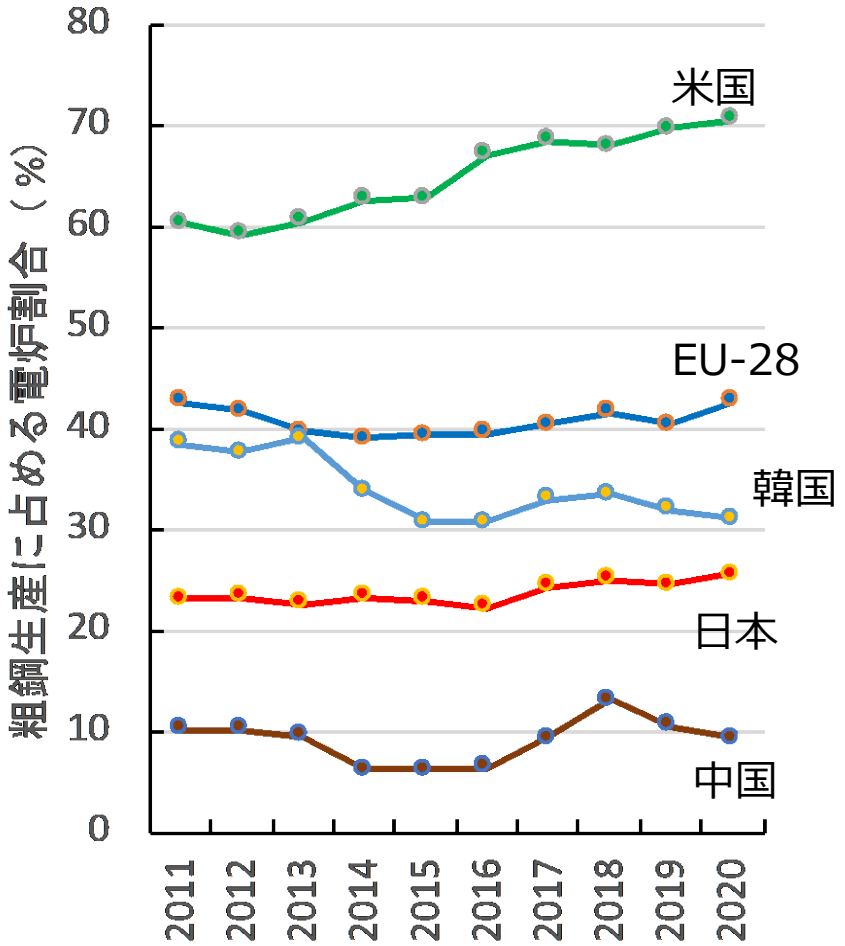
概　要:
- 鉄スクラップを利用し、脱炭素電力で稼働する電気アーク炉（EAF）で、脱炭素の鉄鋼リサイクルが可能に。
- 既に実用化されており、鉄鋼脱炭素化の最も確実な手法といえる。

メリット：
- 電力が脱炭素化すれば、**CO_2排出ゼロが可能。**
- 技術は成熟しており、コスト競争力も高い。
- 自然エネルギー電力コストが低くなれば、その恩恵を受けられる。

課　題：
- スクラップについては、供給量の確保、品質等を考慮する必要がある。
  - 日本では、現在輸出されている鉄スクラップを国内需要に振り向ければ、現在の需要の2/３をカバーできるとされる*。
  - 質に関しては、電炉では難しいとされる自動車用構造用の高張力鋼板試作が既に2013年に成功しており、日本企業の技術向上が進んでいる**。
- 低コストで豊富に供給される脱炭素電力が必要。
  - 世界の多くの地域で、自然エネルギー電力のコストが化石燃料を使った火力発電や、原子力発電を下回り、急速に導入拡大している。

事　例： 各地で新たな導入が始まっており、世界的な展開となっている。
日本では、高炉メーカーが2つの計画を公表している。

主要国の電炉シェア
日本と中国は低い



出典: Bureau of International Recycling

出典: Bloomberg NEF、International Renewable Energy Agency、
*東京製鐵・産業技術総合研究所、**環境省

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

水素直接還元-電炉法:最も多く選択されている脱炭素一次製鉄手法

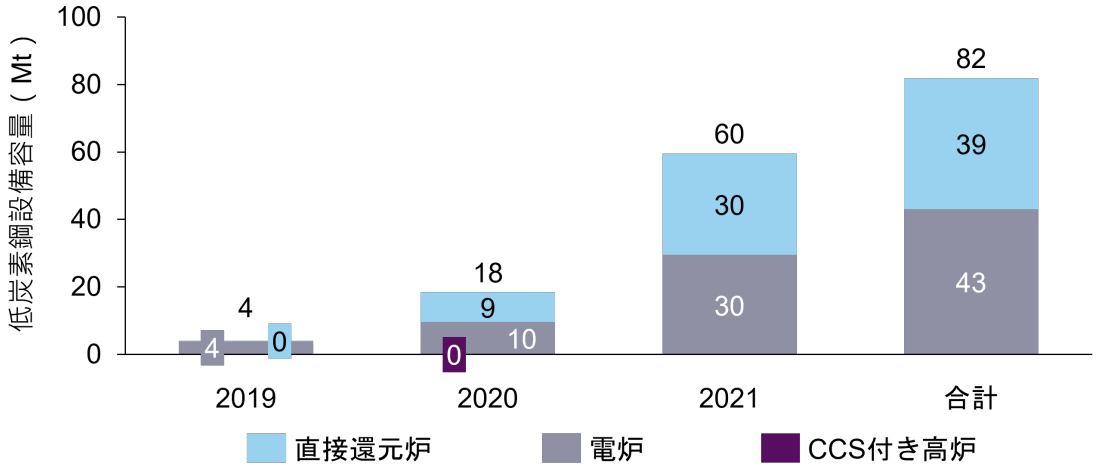
概　要：
- 従来天然ガスを使用していた直接還元法を改良し、水素を還元材と燃料として利用するもので、EUの鉄鋼会社の多くが進めている。
- 当初は天然ガスを使用しつつ、グリーン水素の利用可能性に合わせて、**設備を改修することなく100%水素還元へと転換できる。**

メリット：
- 原燃料の水素と電力が脱炭素化されていれば、**CO_2排出ゼロが可能。**
- まだ商用規模には達していないが、技術的には、ほぼ成熟している。脱炭素水素と脱炭素電力のコスト削減によっては、2050年頃には、現在の高炉-転炉法に匹敵するコスト競争力を持つことができる(P.20参照)。

課　題：
- まだ商用規模には達していないため、スケールアップが必要。
  ただし、パイロット・実証事業が始まっており、2025年頃には商用規模へ。
- 現在、高炉-転炉法と比較すると、コストギャップがある。
  そのギャップを埋めて普及を加速するために、2020年台に
  実効性のある炭素価格などの政策支援が必要。
- グリーン水素の生産と流通のための新しいインフラの導入が必要。
  ＞当初天然ガスを使用する場合は当面既存インフラが活用できる。

事　例： 2021年11月現在、欧州を中心に20以上のプロジェクトが進行中。
（例：HYBRIT、H2 Hamburg など）。

2030年までに建設を予定する
世界の低炭素製鉄プロジェクト（公表分）
電炉と還元炉が半々



出典：Agora Energiewende (1)

出典：BloombergNEF、International Renewable Energy Agency 、Leadership Group for Industry Transition

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

水素直接還元-電炉法の事例：化石燃料フリーを目指す　HYBRIT

2016年に発足したSSAB（スウェーデンの製鉄会社）、LKAB（スウェーデンの鉱業会社）Vattenfall（スウェーデン本社のエネルギー会社）による共同プロジェクト。

試運転を2020年に開始、既に化石燃料フリーの鉄鋼を生産している。
2026年の商用運転開始を目指している。

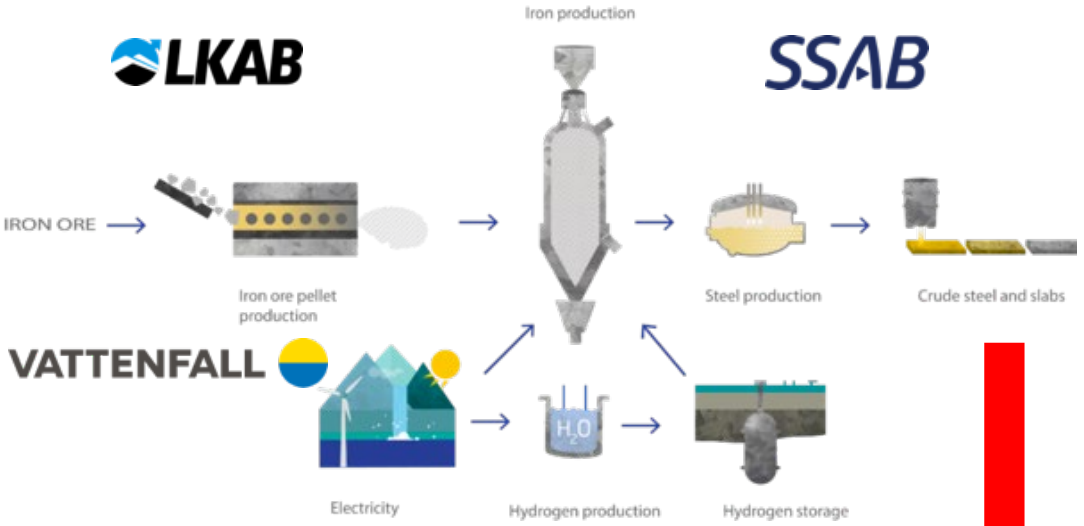
特　徴

- **鉱山から鉄鋼製品までのバリューチェーン全体**を、化石燃料を使わない鉄鉱石ペレット、電気、水素で、製鉄プロセスを**完全に非化石燃料化**することを究極目標としている。
- 化石燃料を使用する高炉は使わず、水素直接還元-電炉を使用。

製造プロセス

- 石炭や石油系オイルの代わりにバイオ・オイルから**化石燃料フリーの鉄鋼石ペレット**を製造。
- 自然エネルギー（水力、風力など）による**化石燃料フリー電力**による電解で、**化石燃料フリー水素**を生成し、これを還元材・燃料として、ペレットから**化石燃料フリーの還元鉄**を製造。
- **化石燃料フリー電力**を使う電炉で、上記の還元鉄とスクラップから**化石燃料フリーの鉄**を生産。

HYBRITのスキーム



化石燃料を使わない鉄鋼で作られたトラック

出典：HYBRIT

出典：International Renewable Energy Agency

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

高炉-転炉＋CCUS法：新規プロジェクトとしては選択されていない

概　要：
- 高炉-転炉法からの排出を低減させる技術と、排出したCO_2を回収・使用・貯留する（CCUS）技術を組み合わせる。
- 排出低減技術の例としては、高炉への水素ガスの注入や副生ガスのリサイクル、ヒサルナなどがある。
- 還元材は、一部水素を利用することもできるが、石炭利用は残る。

機　会：
- カーボンオフセット、大気からのCO_2直接回収（DAC）が実施されれば、カーボンフリーになる可能性がある。

課　題：
- 技術的には未成熟だが、開発中である。
- 排出CO_2の100%回収は難しいとされ、オフセットやDACC技術の導入が必要。
- これまでに行われているコスト予測では、高炉-転炉法＋CCUSに比べ、水素（または天然ガス）直接還元-電炉のほうが競争力があるとされている（p.20参照）。
- CO_2排出量を特定すると共に十分な容量の貯留場所を確保し、回収したCO_2を恒久的に貯留しなければならない。

事　例：
- 2021年11月現在、公表された低炭素製鉄プロジェクト計画の中には、高炉＋CCUS法を選択した事例はない。

2030年までに建設を予定する
世界の低炭素製鉄プロジェクト
高炉＋CCSはゼロ

出典：Bloomberg NEF、International Renewable Energy Agency

出典：Agora EnergieWende(1)のグラフに財団加筆

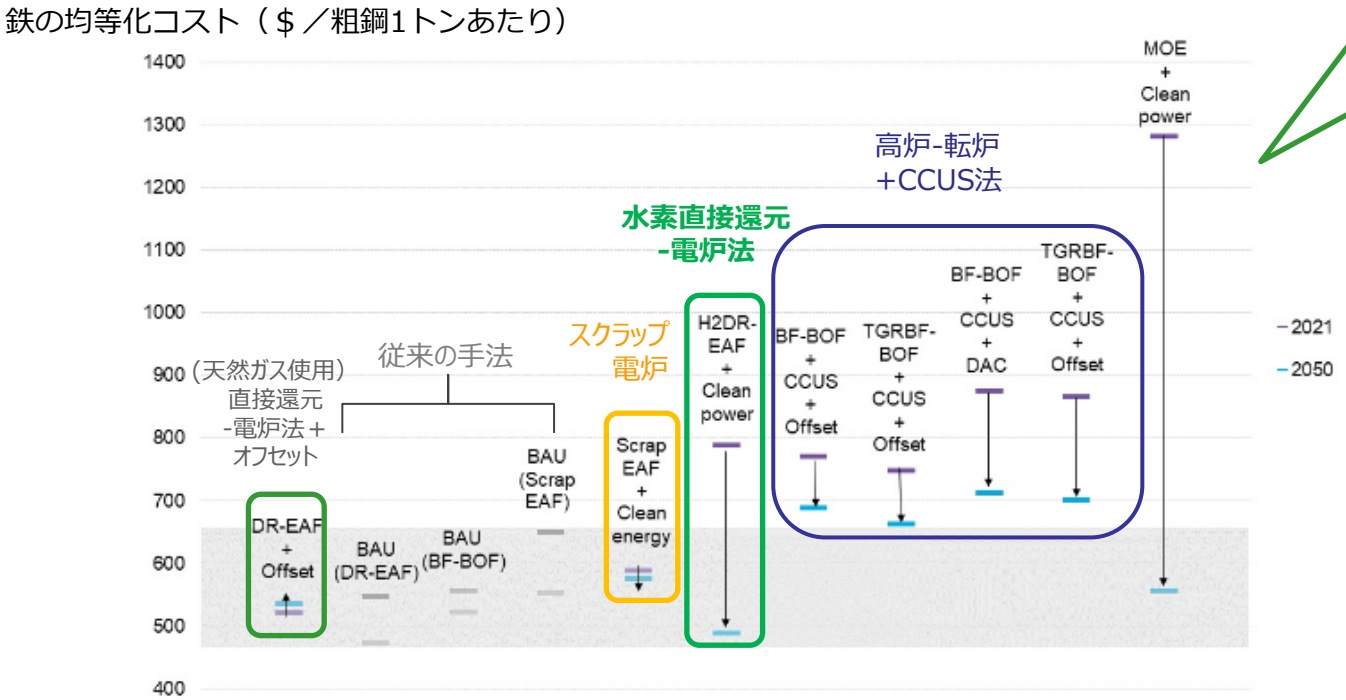
Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

主要な脱炭素技術手法のコスト比較

ブルームバーグNEFのコスト予測によると、2050年には

- 直接還元-電炉法は、天然ガスを使用する場合でも、水素を使用する場合でも、従来の既存技術と比較して競争力を持つ。
  （天然ガス使用の還元法は低炭素ではあるが、ネットゼロ・スチールとするには、カーボンオフセットが必要となる。）
- 高炉-転炉＋CCUS法は他より高コスト。

ネットゼロ・スチールの平均均等化コストの変化
既存技術のBAUコストとネットゼロ技術のコスト、および2021年と2050年の比較



出典：BloombergNEFのグラフに財団加筆

- 鉄鋼のコストに影響を与える要素としては、運営経費（エネルギーや還元材、原材料などの経費）がある。
- また、炭素価格の導入は、従来の排出量は高いが低コストな技術と、クリーン技術の間のコスト差を埋めるのに役立つ。

凡例：

BE-BOF	高炉-転炉
DR-EAF	直接還元-電炉
TGR	副生ガス・リサイクリング
DAC	CO_2の直接大気回収
H_2	水素
MOE	溶融酸化物電解（下記）
CCUS	炭素回収・使用・貯留

※溶融酸化物電解（Molten oxide electrolysis：MOE）
本インフォパックでは紹介していないが、鉄鉱石を直接電気分解する手法。コスト的には有望だが、技術面での成熟度合いは直接還元-電炉法に比べ遅れている。

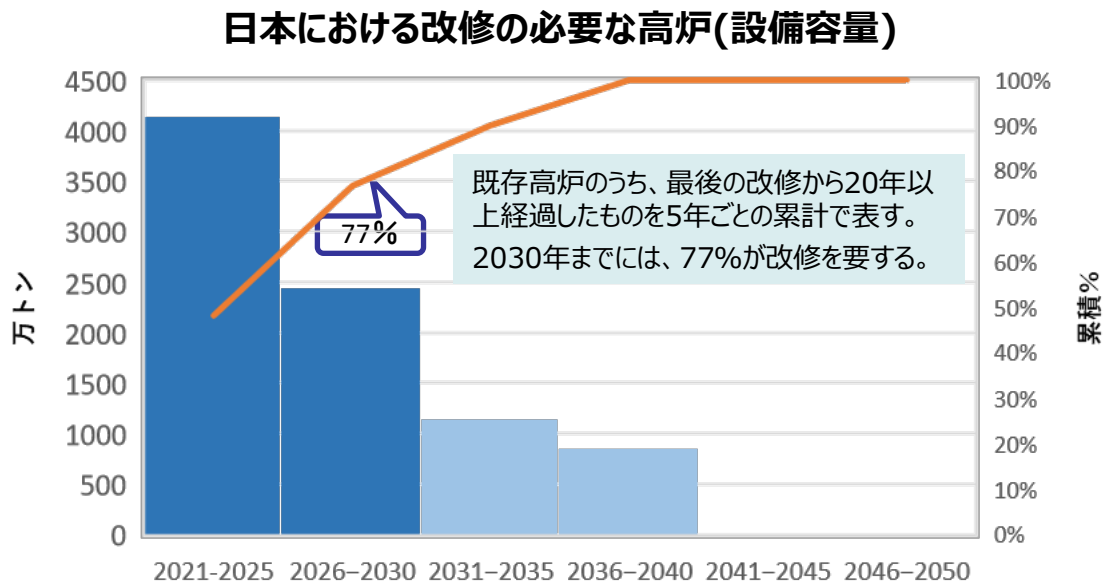
Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

4.おわりに

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

まとめ：鉄鋼業脱炭素化への決断の時

- ここ数年、世界中で鉄鋼業の脱炭素化が加速しているが、特にEUでは、野心的な温室効果ガス削減目標のもと、**財政的インセンティブと規制的制度が両輪**となってダイナミックな**変化が始まっている。**
- 先見性のあるビジネスプレイヤーは、**供給側**では脱炭素製鉄を可能とする技術革新、**需要側**ではグリーン・スチールの調達を求める新たなビジネスモデルの構築に向けて行動を開始している。
- 脱炭素化製鉄の技術手法としては、**電炉（リサイクル製鉄）と直接還元-電炉（一次製鉄）**が最も可能性の高い手法であると考えられるようになってきた。直接還元-電炉の場合、当初は天然ガスを使用することが可能で、設備改修等を行わずに、最終的にはグリーン水素を使用し、ゼロエミッションを達成することができる。
- 脱炭素製鉄には、コスト競争力のある豊富な脱炭素電力と脱炭素水素が利用できることが重要であり、欧州では**自然エネルギー電力**と自然エネルギー由来の**グリーン水素**がその役割を中心的に担っている。
- 実証実験から商用プロジェクトへの移行は重要な課題であり、**今後数年間のうちに、フルスケール**での脱炭素製鉄のプラントが竣工するとみられる。
- 日本でも改修が必要な高炉は多いが、低炭素プロジェクト*への転換は進んでいない**。いったん改修・新増設してしまうと、2050年までの再投資の機会は少なく、石炭使用が固定化される。**2020年台の早い段階で、脱炭素化へのギアチェンジとなる投資判断が必要である。**



出典：Agora Energiewende(2)

* 従来の高炉法と比較して、CO_2排出量を66%以上削減できるプロジェクト。

** 2021年12月現在、電炉プロジェクトが2件公表されている。

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

資料

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

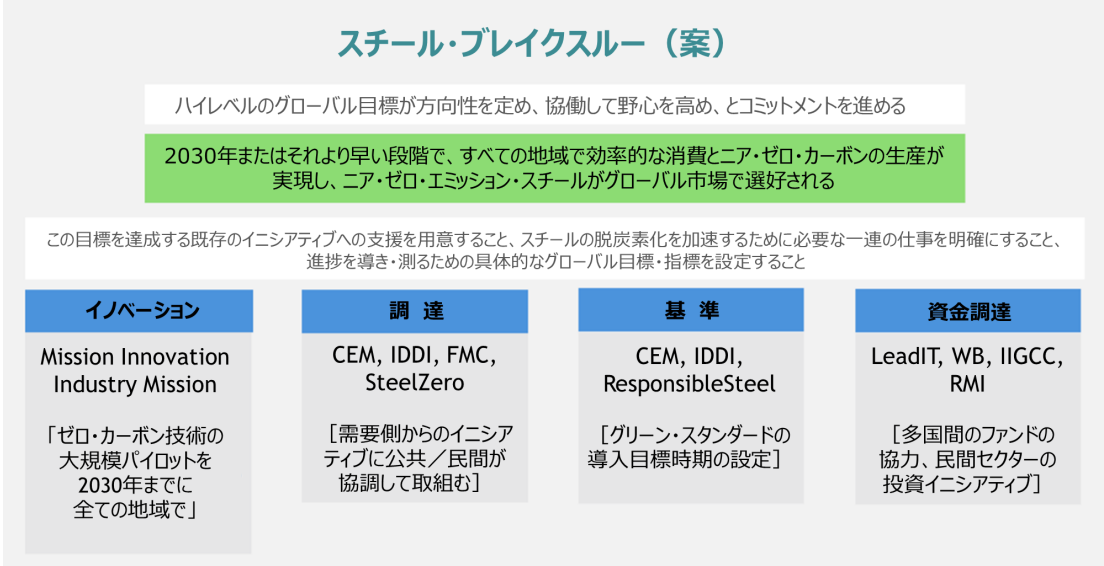
COP26 グラスゴー・ブレイクスルー・アジェンダ: 鉄鋼業の脱炭素化の加速を目指す

- 2021年11月に開催されたCOP26で、各国政府が直接参加するハイレベルの国際協力イニシアティブ、「ブレイクスルー・アジェンダ」が発足。その最初として「グラスゴー・ブレイクスルー・アジェンダ」は、鉄鋼など、対策が困難とされるセクターに焦点を当てる。
- 鉄鋼のアジェンダには、日本を含め26か国が参加。

「2030年またはそれより早い段階で、すべての地域で効率的な消費とニア・ゼロ・カーボンの生産が実現し、ニア・ゼロ・エミッション・スチールがグローバル市場で選好される」ことを目指す」とした*。

- ニア・ゼロ・エミッション・スチールの定義は、**従来の高炉－転炉による生産と比べ、90%以上の削減を意味し、スクラップ鉄の利用も含むとされる**。**
- 鉄鋼の脱炭素化については、最近、多くの国際的なイニシアティブが開始されており、アジェンダは、その連携を強化して解決に向かおうとするものである。

鉄鋼のブレイクスルーの概要
技術革新、調達、基準投資、そして横断的な取組にフォーカス、様々な国際イニシアティブの連系調整して、さらに国際協力を促進しようとしている。



出典：UK政府資料、財団翻訳

出典：* UNFCCC, ** World Steel Association

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

鉄鋼業の脱炭素化の加速を目指す国際イニシアティブが続々と発足

特　徴
- **鉄鋼業をはじめとする**「対策が難しい」と言われる**高排出分野**を「次のフロンティア（エネルギー産業の次）」としてターゲットに
- 2050年までの脱炭素化を目指すが、2030年までが最重要として、**この10年**が活動の焦点
- **生産**だけでなく、**需要、投資、供給**すべての面からの多様な取組を促進
- **政府、企業、投資家、NGO、アカデミック**も含む多様な主体の協働体を形成

イニシアティブ	オーガナイザー、メンバー	内　容
Mission Possible Partnership Net-Zero Steel Initiative	Energy Transitions Commission、RMI、We Mean Business Coalition、World Economic Forumがコア団体。	鉄鋼など高排出７産業を対象に、脱炭素化に向け、産業のCEO、需要家、サプライヤーでコミュニティを形成、推進。この10年でゼロカーボン一次製鉄技術を市場化、スクラップベースの製造を促進、2030年以降には高炭素排出施設を造らないことを目指す。
Leadership Group for Industry Transition (LeadIT)	スウェーデンとインド政府により2019年のUN気候アクションサミットで発足、World Economic Forumがサポート、16か国、19社がメンバー。	LeadITのメンバーは2050年までのゼロエミッションを目標に、エネルギー集約産業の低炭素化を進展させねばらなない。
Clean Energy Ministerial（CEM)/ Industrial Deep decarbonization initiative	日本を含む29か国が形成する国際フォーラムCEMの官民協働イニシアティブ。英・印が主導、独・加・UAEが参加、MI、LeadIT、IRENA、世銀と協働。	UNIDOと連携して低炭素の鉄、セメントのマーケットを作ることを目的とし、官民の調達を促進。
First Movers Coalition (FMC)	米国国務省と世界経済フォーラムによる、官民パートナーシップ。ケリー米・気候変動担当大統領特使がリード。	2030年までに、鉄鋼など高炭素排出４分野の低炭素の製品・サービスの初期需要を高め、ソリューションの拡大を図る。メンバーは2030年までに鉄鋼調達の10%以上をニア・ゼロエミッション・スチールとする。
Climate Group's Steel Zero	RE100を主催するClimate Groupによる国際イニシアティブ。オーステッドなど15社が参画。	鉄鋼の調達、選定、貯留を、2030年までに50%、2050年までに100%ネットゼロスチールとすることにコミットする企業を集結。市場と政策の転換に需要側からの強いシグナルを送る。
Mission Innovation/ Industry Mission	パリ協定と同時に発足した22か国と欧州委員会が参加する国際イニシアティブ。2021年に、より行動志向の2.0に発展、Net Zero Industries Mission を開始。	クリーンエネルギーをこの10年間で、全ての人に、手ごろなコストで魅力的、かつ利用しやすいものにするための研究・開発・実証と、それに対する投資を促進。
Responsible Steel	鉄鋼業を対象とするマルチスティクホルダーの基準、認証イニシアティブ。ブルースコープ・スチール、アルセロール・ミタルが創立ファウンダー。	2050年鉄鋼業のネットゼロをミッションに、鉄鋼のサプライチェーン全体を対象とした基準・認証を目指す。2021年に生産と加工に適用されるレスポンシブル・スチール・スタンダードV.1.1を発表。

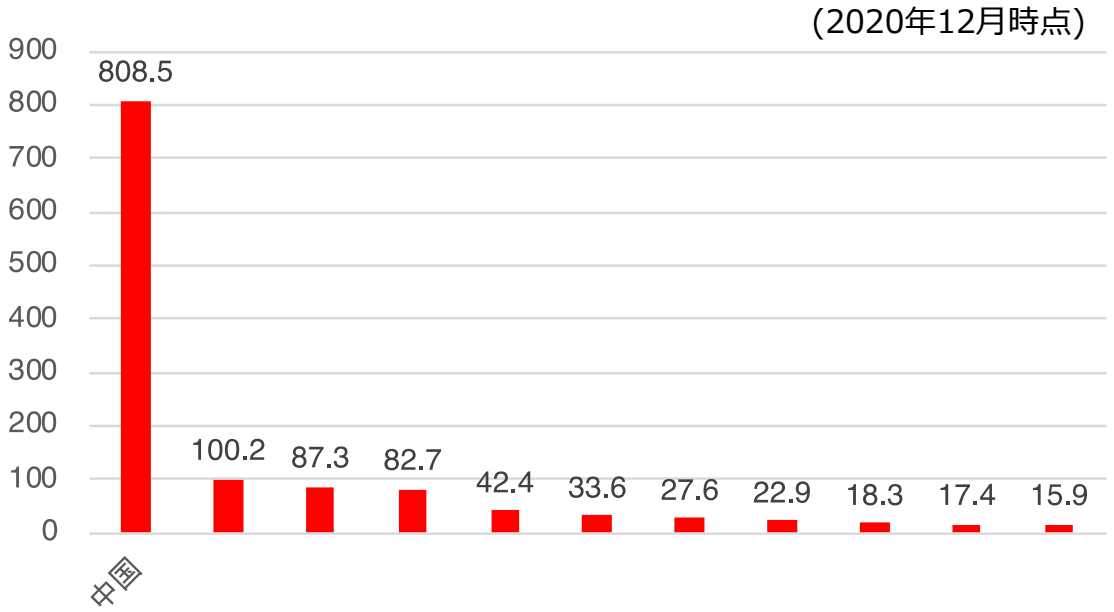
*出典：各イニシアティブのホームページより財団作成

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

日本の製鉄の現状 – 概観

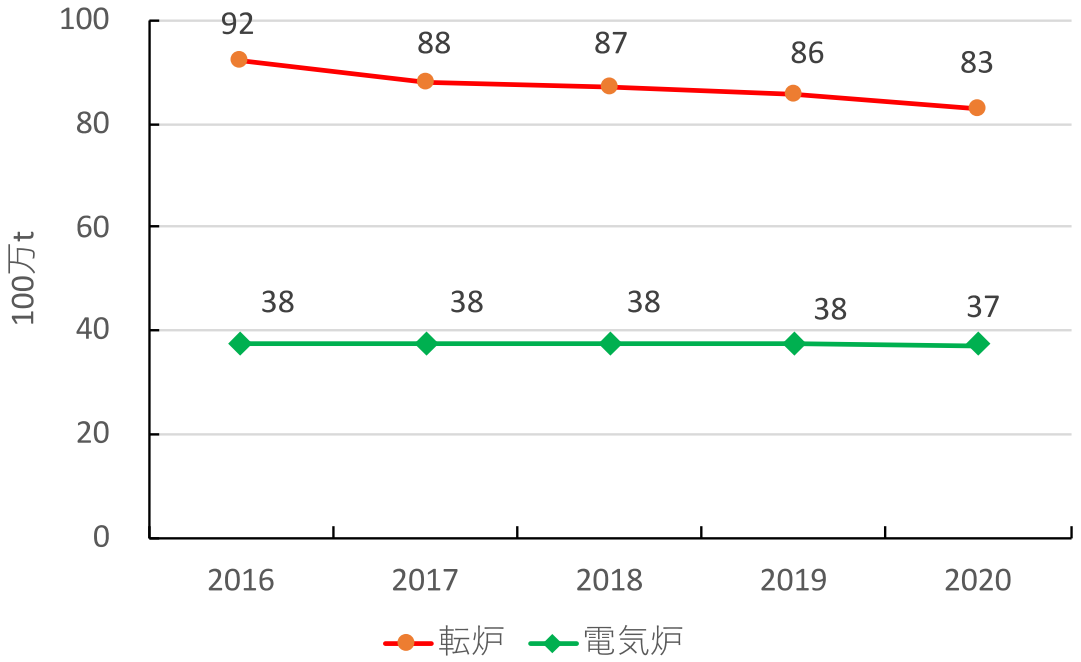
- 2020年12月現在、全国の12拠点で24基の高炉が稼働している。
- 統廃合により、高炉を使用している3社（日本製鉄、JFEスチール、神戸製鋼所）のみ。
- 日本の高炉の総能力は約8,300万トンで、世界第4位である（EU28を含む場合）。
- 一方で、電炉の能力も3,700万トンとかなり大きいが、直接還元鉄のプラントは現在のところ存在しない。

世界の高炉の容量トップ10



出典：Agora Energiewende(2)（EU28）、経済産業省（日本）、Global Steel Tracker（他各国）

日本の転炉と電炉の容量



出典：2020年経済産業省生産動態統計年報　鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計編

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

略語一覧・参考文献一覧

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

略語一覧

略語	英語	日本語
BF	Blast furnace	高炉
BF-BOF	Blast furnace - basic oxygen furnace	高炉-転炉（酸化炉）
BF-BOF+CCUS	Blast furnace - basic oxygen furnace combined with carbon capture, utilization and/or storage	高炉-転炉＋CCUS：二酸化炭素回収・利用/貯留装置付きの高炉-転炉（酸化炉）
BOF	Basic oxygen furnace	転炉（酸化炉）
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism	炭素国境調整措置
CCS	Carbon capture and storage	二酸化炭素回収・貯留
CCUS	Carbon capture, utilization and/or storage	二酸化炭素回収・利用・貯留
COP	Conference of the Parties	国連気候変動枠組条約締約国会議
CO_2	Carbon dioxide	二酸化炭素
DAC	Direct air capture	大気からの(CO_2）直接回収
DR	Direct reduction	直接還元
DR-EAF	Direct reduction - electric arc furnace	直接還元-電炉
EAF	Electric arc furnace	電炉（電気アーク炉）
ETS	Emissions Trading System	排出量取引制度
EUROFER	European Steel Association	欧州鉄鋼連盟
GHG	Greenhouse gas	温室効果ガス
H_2	Hydrogen	水素
H2DR-EAF	Hydrogen-based direct reduction - electric arc furnace	水素直接還元-電炉
Mt	Million tons	百万トン
MWh	Megawatt-hour	メガワットアワー
NGDR-EAF	Natural gas-based direct reduction - electric arc furnace	天然ガス直接還元-電炉
RE	Renewable energy	自然エネルギー（再生可能エネルギー）
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change	国連気候変動枠組条約

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

参考文献一覧　1

Agora Energiewende (1): Global Steel at a Crossroads (November 2021).
https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021-06_IND_INT_GlobalSteel/A-EW_236_Global-Steel-at-a-Crossroads_WEB.pdf
Agora Energiewende (2): Global steel transformation tracker (accessed December 6, 2021).
https://www.agora-energiewende.de/en/service/global-steel-transformation-tracker/
Agora Energiewende (3): Breakthrough Strategies for Climate-neutral Industry in Europe: Policy and Technology Pathways for Raising EU Climate Ambition (April 2021).
https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_10_Clean_Industry_Package/A-EW_208_Strategies-Climate-Neutral-Industry-EU_Study_WEB.pdf
ArcelorMittal (1): ArcelorMittal publishes second group climate action report – July 29, 2021 (accessed December 6, 2021).
https://corporate.arcelormittal.com/media/press-releases/arcelormittal-publishes-second-group-climate-action-report
ArcelorMittal (2): ArcelorMittal signs letter of intent with the Governments of Belgium and Flanders, supporting €1.1 billion investment in decarbonisation technologies at its flagship Gent plant – September 28, 2021 (accessed December 6, 2021).
https://corporate.arcelormittal.com/media/press-releases/arcelormittal-signs-letter-of-intent-with-the-governments-of-belgium-and-flanders-supporting-1-1-billion-investment-in-decarbonisation-technologies-at-its-flagship-gent-plant
ArcelorMittal (3): ArcelorMittal signs MoU with the Spanish Government supporting €1 billion investment in decarbonisation technologies – July 13, 2021 (accessed December 6, 2021).
https://corporate.arcelormittal.com/media/press-releases/arcelormittal-signs-mou-with-the-spanish-government-supporting-1-billion-investment-in-decarbonisation-technologies
ArcelorMittal (4): German Federal Government commits its intention to provide €55 million of funding for ArcelorMittal's Hydrogen DRI plant – September 7, 2021 (accessed December 6, 2021).
https://corporate.arcelormittal.com/media/news-articles/german-federal-government-commits-its-intention-to-provide-55-million-of-funding-for-arcelormittal-s-hydrogen-dri-plant
BloombergNEF: Decarbonizing Steel: Technologies and Costs (August 2021) [subscription required].
BMW: BMW Group invests in innovative method for CO_2-free steel production – March 12, 2021 (accessed December 6, 2021).
https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0327511EN/bmw-group-invests-in-innovative-method-for-co2-free-steel-production?language=en
BP: Statistical Review of World Energy 2021 (July 2021).
https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html
Bureau of International Recycling: World Steel Recycling in Figures 2016-2020 (May 2021).
https://www.bir.org/publications/facts-figures/download/821/175/36?method=view
Climate Group: SteelZero members (accessed December 6, 2021).
https://www.theclimategroup.org/steelzero-members
Daimler: From 2025: "Green" steel for Mercedes-Benz – May 27, 2021 (accessed December 6, 2021).
https://www.daimler.com/sustainability/climate/green-steel.html
European Commission (1): A Clean Planet for All: A European Strategic Long-term Vision for a Prosperous, Modern, Competitive and Climate Neutral Economy (November 2018).
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773&from=EN
European Commission (2): A Hydrogen Strategy for a Climate-neutral Europe (July 2020).
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf
European Commission (3): Towards Competitive and Clean European Steel (May 2021).
https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/swd-competitive-clean-european-steel_en.pdf

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

参考文献一覧　2

H_2 Green Steel: On course for large-scale fossil-free steel production from 2024 (accessed December 6, 2021).
https://www.h2greensteel.com/on-course-for-large-scale-fossil-free-steel-production-from-2024
International Renewable Energy Agency: Reaching Zero with Renewables (September 2020).
https://www.irena.org/publications/2020/Sep/Reaching-Zero-with-Renewables
Leadership Group for Industry Transition: Green Steel Tracker (November 2021).
https://www.industrytransition.org/green-steel-tracker/
Liberty Steel: LIBERTY, Paul Wurth and SHS – Stahl-Holding-Saar to develop major hydrogen-based steel making plant in France (accessed December 6, 2021).
https://libertysteelgroup.com/news/liberty-develop-hydrogen-steel-making-plant/
Sandbag: CO2 emission allowance (accessed December 9, 2021).
https://sandbag.be/index.php/carbon-price-viewer/
SSAB (1): Annual Report 2020 (March 2021).
https://www.ssab.com/company/investors/reports-and-presentations#first=10&sort=%40customorder%20descending
SSAB (2): HYBRIT's world-first pilot plant wins energy agency's backing (accessed December 6, 2021).
https://www.ssab.com/news/2018/06/hybrits-worldfirst-pilot-plant-wins-energy-agencys-backing
Tata Steel Europe (1): Carbon neutral steelmaking is a major challenge for the steel industry worldwide (accessed December 6, 2021).
https://www.tatasteeleurope.com/sustainability/carbon-neutral-steel
Tata Steel Europe (2): Tata Steel opts for hydrogen route at its Ijmuiden steelworks – September 15, 2021 (accessed December 6, 2021).
https://www.tatasteeleurope.com/corporate/news/tata-steel-opts-for-hydrogen-route-at-its-ijmuiden-steelworks
ThyssenKrupp Steel Europe (1): ThyssenKrupp sets clear targets: Group aims to be climate neutral by 2050 – 30 percent emissions reduction planned for 2030 – July 2, 2019 (accessed December 6, 2021).
https://www.thyssenkrupp.com/en/newsroom/press-releases/thyssenkrupp-sets-clear-targets--group-aims-to-be-climate-neutral-by-2050------30-percent-emissions-reduction-planned-for-2030-12803.html
ThyssenKrupp Steel Europe (2): Electrical hot metal from blast furnace 2.0: ThyssenKrupp presents Federal Economics Minister Altmaier and State Premier Laschet innovative concept for green transformation of Duisburg steel mill – August 28, 2020 (accessed December 6, 2021).
https://www.thyssenkrupp.com/en/newsroom/press-releases/pressdetailpage/electrical-hot-metal-from-blast-furnace-20--thyssenkrupp-presents-federal-economics-minister-altmaier-and-state-premier-laschet-innovative-concept-for-green-transformation-of-duisburg-steel-mill-86635
Tokyo Steel & National Institute of Advanced Industrial Science and Technology: LCA of EAF Routes and Material Flow Analysis of Ferrous (March 2019).
Volkswagen: Way to zero: Volkswagen presents roadmap for climate-neutral mobility – April 29, 2021 (accessed December 6, 2021).
https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/way-to-zero-volkswagen-presents-roadmap-for-climate-neutral-mobility-7081
Volvo: Volvo Group and SSAB to collaborate on the world's first vehicles of fossil-free steel – April 8, 2021 (accessed December 6, 2021).
https://www.volvogroup.com/en/news-and-media/news/2021/apr/news-3938822.html
World Steel Association (1): Steel Statistical Year Book 2019 Data
https://www.worldsteel.org/
World Steel Association (2), Andrew Purvis: Blog: COP26 - steel in the Glasgow breakthroughs programme – November 8, 2021 (accessed December 8, 2021).
https://www.worldsteel.org/media-centre/blog/2021/COP26-steel-in-the-Glasgow-Breakthroughs-Programme.html

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

参考文献一覧　3

一般社団法人日本鉄源協会「鉄源年報　第32号（2021）」（2021年8月）
http://www.tetsugen.or.jp/hakkou/index.htm

環境省「国内初となる電炉での自動車構造用鋼板の試作成功について」（2013年４月25日）
http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=16583

経済産業省 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」（2019年度）
https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/xls/stte_2019b.xlsx

経済産業省 大臣官房調査統計グループ「経済産業省生産動態統計年報 鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計編（2020年）」（2021年5月28日公表）
https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/gaiyo/resourceData/01_tekko/nenpo/h2daa2020k.pdf

国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ確報値」（2019年度）
https://www.nies.go.jp/gio/aboutghg/index.html,
https://www.nies.go.jp/gio/archive/ai-ghg/jqjm1000000zgedu-att/UNFCCC-GHG_J_210729.xlsx

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

鉄鋼業の脱炭素化に向けて
欧州の最新動向に学ぶ
2021年12月

執筆者

ロマン ジスラー： 自然エネルギー財団　上級研究員
西田 裕子： 自然エネルギー財団　シニアマネージャー
相川 高信： 自然エネルギー財団　上級研究員

自然エネルギー財団とは

自然エネルギー財団は、東日本大震災および福島第一原子力発電所の事故を受けて、孫正義（ソフトバンクグループ代表）を設立者・会長として2011 年 8 月に設立されました。安心・安全で豊かな社会の実現には、自然エネルギーの普及が不可欠であるという信念から、自然エネルギーを基盤とした社会の構築することを目的として活動しています。

本インフォパックが使っている情報の一部は、アゴラ・エナギーヴェンデ/アゴラ・インダストリーとの協力により得たものです。この協力には連邦経済エネルギー省の支援を得ました。

公益財団法人　自然エネルギー財団

〒105-0001　東京都港区虎ノ門1-10-5　KDX虎ノ門一丁目ビル11F　TEL: 03-6866-1020（代表）

info@renewable-ei.org

www.renewable-ei.org

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved