

日本鉄鋼業 低炭素カーボンイープン50の時代を生き抜く道

鉄の新時代 2021年11月&12月インターネット資料収集 2021.12.21.作成

◎ 日本の鉄鋼業は 世界が突き進む脱炭素社会に生き残れるのか

日本の鉄鋼生き残りをかけた脱炭素カーボンニュートラル取組現況

2021年 11月・12月 インターネット閲覧で気になった資料・ニュース 採録

1. 分が悪すぎる日本の脱炭素 これから「苦難の10年」が始まる

Wedge Infinity より

山本隆三（常葉大学名誉教授）

先行する欧米と日本・アジア諸国との脱炭素イープンの取組の温度差と国情の違いを意識せねば
先行する欧米にすり寄り一辺倒では 日本は何も出来ない
脱炭素の具体的な道筋を真剣に検討しなければ、目標が高くなる環境下で困難が増すばかり
気になる日本の取組状況を解説する一文をインターネットでみつけました

◎脱炭素の具体的な道筋を真剣に検討しなければ、

目標が高くなる環境下で困難が増すばかり

2021.12.20. From Kobe Mutsu Nakasishishi

◎日本の鉄鋼業は世界が突き進む脱炭素社会にいきのこのれるのか

日本の鉄鋼生き残りをかけた脱炭素社会に生き残れるか? 資料収集リスト 2021.11月

2. 日本製鉄カーボンニュートラルビジョン2050 目標と取組要約

日本製鉄 2021 年中間報告書 日本製鉄カーボンニュートラルビジョン2050 より

3. 日本製鉄 カーボンニュートラルビジョン2050 ゼロ・カーボン スチールへの挑戦

日本製鉄 カーボンニュートラル取組説明会の資料 2021.3.30

1. ゼロカーボン・スチールに向けたシナリオ
2. 鉄鋼製造プロセスからのCO₂発生
3. 超革新技术開発① 大型電炉での高級鋼製造
4. 超革新技术開発② 高炉水素還元
5. 超革新技术開発③ 100%水素直接還元
6. CCUS
7. 超革新技术開発の技術課題と外部条件

(参考) カーボンプライシングについて

各国におけるエネルギー・環境関連税
ドイツと日本の電気料金比較
EU排出量取引制度(EU-ETS)の実態(欧州全体)
EU排出量取引制度(EU-ETS)の実態(鉄鋼全体)
中国排出量取引制度の概要
カーボンプライシング
国境調整措置

4. 鉄鋼業の脱炭素化に向けて 欧州の最新動向に学ぶ

自然エネルギー財団 2021年12月

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ー概観
 - 2) 先行するEU 1ー政策
 - 3) 先行するEU 2ー鉄鋼業界
 - 4) 先行するEU 3ー需要側の企業
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

先行する欧米と日本・アジア諸国との脱炭素イブンの取組の温度差と国情の違いを意識せねば
先行する欧米にすり寄り一辺倒では 日本は何も出来ない
脱炭素の具体的な道筋を真剣に検討しなければ、目標が高くなる環境下で困難が増すばかり
気になる日本の取組状況を解説する一文をインターネットで見つけました



分が悪すぎる日本の脱炭素 これから「苦難の10年」が始まる

山本隆三（常葉大学名誉教授）

<https://wedge.ismedia.jp/articles/-/24924>

英国グラスゴーで開催されていた国連気候変動枠組み条約第26回締約国会議（COP26）の最終日、アロック・シャルマ議長は悔し涙を流した。英国が目論んでいた「石炭火力と化石燃料への補助金の段階的廃止（Phase-out）」が、インド、中国、他の化石燃料への波及を恐れた産油国の反対に遭い、197カ国による最終合意文書、グラスゴー気候合意では「対策が取られていない石炭火力の段階的縮小（Phasedown）と非効率な化石燃料補助金の段階的廃止」となったからだった。



悔し涙を流したアロック・シャルマ議長（左）、英国のボリス・ジョンソン首相にとっては
"してやったり、だったのか（代表撮影/ロイター/アフロ）

グラスゴー気候合意とは

石炭火力については思い通りにはならなかったものの、パリ協定で合意された「気温上昇を2度、可能であれば1・5度に抑制する目標」は、英国の狙い通り実質的に1・5度目標に置き換えられた。グラスゴー合意では、2030年までに10年比二酸化炭素（CO2）を全世界で45%削減、今世紀半ばに脱炭素達成の必要があるとされた。そのため、今後の10年が決定的な10年になるとし、各国は目標の強化に努めるとされた。

グラスゴー合意では、先進国が途上国の温暖化対策に拠出するとしていた20年1000億ドル（11兆円）が達成されなかったことが遺憾とされ、できるだけ早く年間1000億ドルを達成し、25年まで継続することが要求されている。先進国は今後さらに資金を拠出することになりそうだ。

環境活動家のグレタ・トゥーンベリさんは、COPでは無駄話ばかりとして、グラスゴー合意を酷評した。だが、開催国英国の声明文で、ボリス・ジョンソン首相は、やるべきことは多くあるとしながらも、「石炭の段階的縮小をCOP史上初めて合意文章に記載したことと1・5度への道筋をつけたことは大きな前進であり、気候変動問題の終わりの始まり」と成果を誇っている。温暖化対策に熱心な英国にすれば、実際には「してやったり」ではないのだろうか。

石炭、天然ガス生産量が急減している英国は、原子力発電所の新設を進める一方、再生可能エネルギー（再エネ）に舵を切り、温暖化対策を進めながら経済成長を狙うことが可能な国だ。温暖化対策の負担は他国ほどではない。

しかし、英国に代表される欧州の主要国と日本の事情は大きく異なる。英国が簡単にできた、あるいは、できることも、日本には困難な取り組みになる。日本はこれから気候変動問題に取り組む「決定的な 10 年」ではなく、「苦難の 10 年」を歩むことになる。

脱石炭も楽勝な英国

英国は石炭火力発電所の閉鎖を進めている。石炭火力発電が経済性を失っているという簡単な事実を反映した動きだ。英国の産業革命を支えたのは石炭だ。石炭生産は 18 世紀後半の産業革命から伸び続け 20 世紀初めには 3 億トンの年産数量に達する。しかし、その後取り扱いが容易な石油、天然ガスにシェアを奪われ生産数量は減少した。

それでも今世紀初めまで国内の発電を支える燃料だったが、坑内掘り炭鉱の採炭条件の悪化による生産数量減（図-1）と石炭火力発電所の老朽化により急速に石炭火力発電量は減少する（図-2）。英国に見られるように、欧州主要国の石炭火力発電の減少をもたらしたのは、国内炭鉱の採炭コスト上昇により石炭火力発電が経済性を失ったという問題だった（「実は減らない世界の石炭火力発電、欧米の石炭火力を減らしたのは市場の力」）。



日本をはじめとしたアジアの国の事情は大きく異なる。1960 年代から国内炭鉱の採炭条件が悪化し生産数量減少に直面していた日本は、80 年代から豪州を中心とした石炭産出国から輸出される石炭を燃料とする石炭火力発電所を大型港湾と共に、日本の各地に建設した。韓国、台湾も同様のことを行い、最近東南アジアの国も石炭火力発電所を建設している。条件のよい海外の炭鉱から輸出され大型船で運ばれる石炭は価格競争力を持ち、多くのアジアの国において石炭火力は最もコスト競争力を持つ電源になった。

欧州主要国の国内炭鉱からの石炭を燃料とする発電所とは、発電所の建設時期も燃料供給の構造も異なり、当然コスト競争力にも大きな違いがある。欧州主要国が簡単に進めることが可能な脱石炭は、アジアの国には電力コスト上昇を引き起こし、さらには安定供給に影響を与えることになる。アジアにおいては脱石炭は簡単にはできない。

「抵抗勢力」インドが抱える苦悩

COP の席上で、インドは石炭使用と化石燃料への補助金の段階的廃止に強く反対した。多くの西側のマスメディアは「抵抗勢力はインド」と取る報道を行った。

インドの環境大臣は「途上国が石炭利用を廃止する約束ができると、どうして思えるのか。インドは貧困層に対し支出している天然ガスに関する補助金を止めることはできない」と発言した。世界の CO2 排出量の 7% を占め、中国、米国に次ぐ世界第 3 位の排出国インドが、温暖化対策を進めない、けしからんと見ることもできるが、インドの現実はどうだろうか。

インドの都市の街中を歩いていると、やせ細った物乞いに 2 重、3 重に囲まれることがある。皆両手を前に差し出した姿勢で迫ってくるのは、ちょっとした脅威だ。だが、この人たちはアウトカースト（不可触民）と呼ばれる人たちなので、外国人に触れることはない。歩き出せば、両手を前に差し出したまま道を開けてくれる。

インド第2位の都市ムンバイの海岸線は、「女王の首飾り」と呼ばれる綺麗な夜景でも有名だ。だが、そのすぐ近くの路上では日没後どこからともなく持ち出したマットレスが並べられ、多くの人が就寝の準備を始める。

課題は温暖化だけではない

路上で生まれ、路上で死ぬということは本当にあると実感させられる。以前インド滞在中にたまたま目にしたローカル紙に、満腹感を味わったことがあるかとのアンケート結果が掲載されていたが、8割の人が生まれてから一度も満腹感を味わったことがないと答えていた。

14億人近い人が暮らし、「世界飢餓レポート2021」によると、人口の15.3%、2億人以上が栄養失調状態にあり、5歳以下の発達阻害率が34.7%とされる国の温暖化対策への取り組みの遅れを、先進国は責めることができるのだろうか。世界の課題は温暖化だけではない。COP会場で、「気候正義」「脱石炭」を掲げた日本の高校生はインドの主張を理解できないのだろうか。脱石炭を求めCOP会場に集まった数万人の環境団体の人たちは、自分たちが利用する航空機のCO₂排出量を考えたことがあるのだろうか。

脱炭素の切り札を持つ英国

英国の天然ガス生産量も石炭ほどのスピードではないが、減少している(図-3)。英国の北海からの天然ガス生産は、20年前のピーク時には輸出を行うほどだったが、埋蔵量が枯渇してきている。最近ではピーク時の3分の1程度まで生産量が落ち、国内需要量の半分程度を供給する程度だ。化石燃料の生産の落ち込みによる自給率低下の中で、英国が再エネと原子力により安定供給維持と温暖化対策を進めるのは当然とも見える。

英国はCOP26開催直前10月17日に、2035年までに電源の脱炭素化を行うと発表した。その狙いは、先進7カ国(G7)の中で最も早く電源の脱炭素化を行い、電気自動車(EV)、原子力発電設備、蓄電装置などで競争優位な地位を作り出し、海外から民間資金を呼び集めることと新規雇用を創出することにある。そのため、EV関連から新型原子炉まで多くの分野に政府資金の投入が行われることも発表された。

その英国の脱炭素の大きな切り札が洋上風力発電だ。いま、英国の洋上風力設備は世界一の1038万⁺ワットあり(図-4)、20年の電力供給量のシェアは13%だった(図-5)。これを30年に4000万⁺ワットにするとジョンソン首相が1年前に発表していたが、35年脱炭素目標に沿い、6000万⁺ワット、あるいは7500万⁺ワットに、一段と引き上げられることになる報道されている。35年には電化の進展と電力利用の水素製造もあり、電力需要は今から40%程度伸びるとされているが、洋上風力が半分程度の供給を行う目論見になる。

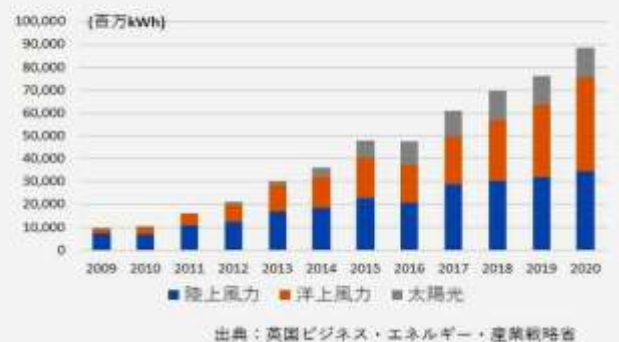
図-3 英国天然ガス生産量推移



図-4 英国の風力・太陽光設備量推移



図-5 英国の風力・太陽光発電量推移



原発も大いに活用

洋上風力に加え、太陽光、陸上風力、さらに蓄電池の導入も想定されているが、安定的な脱炭素電源として原子力も活用される。英国で仏電力公社（EDF）が現在建設中のヒンクリーポイントC原発に、中国資本が参加している。その後の新設計画にも中国資本の参加が予定されているが、英国では人権問題などから中国資本排除の意見が出ており、大型原発の建設には不透明感が出ている。

一方、ロールス・ロイスが中心になり開発している47万^{平方}ワットの小型モジュール炉（SMR）には政府補助金2億1000万^{ポンド}（320億円）の投入が発表された。ロールス・ロイスは、設計認証審査を申請するための手続きに入ると発表した。30年までに1号機の運転を開始し、35年までに10基の操業を目指すとしている。英国は洋上風力とSMR主体に35年電源の脱炭素を図ることになる。そのコストはまだ見通せないが、英国政府は安定的で競争力のある価格を提供可能と述べている。

日本も再エネと原子力によるCO₂削減の道筋を立てているが、英国と大きく異なるのは、発電コストが高いことと原子力発電比率の実現可能性が見えないことだ。

それでも日本は風力発電を進めるのか

日本の第6次エネルギー計画では、図-6の通り、30年再生可能エネルギーにより36%から38%の電力を供給する計画だ。太陽光は今の2倍、風力は今の5倍の供給量になる。洋上風力の目標設備量は1000万^{平方}ワットだ。

英国ほどの導入量ではないが、洋上風力が大きな役割を担う計画だ。ただ、海岸線が遠浅の英国では着床式が主体だが、日本ではコストが高い浮体式が主体になる。さらに、英国北海と日本では風量が異なる。北海では利用率50%超えもあるが、日本では30%台だ。

日本の洋上風力の発電コストは、英国をはじめ北海、バルト海を利用する欧州の国より明らかに劣ることがはっきりしている。要は、同じ洋上風力を進めれば日本の発電コストは欧州主要国より高くなり、産業の競争力は大きな影響を受けることになる。洋上風力設備も太陽光パネルと同様、競争力のある中国製が日本市場を席捲する可能性も高い。

エネルギー基本計画で20%から22%と想定されている原子力発電についても不透明

感が高い。再稼働が行われたとしても、設備の新設、更新がなければ、この数字を達成することは困難だ。

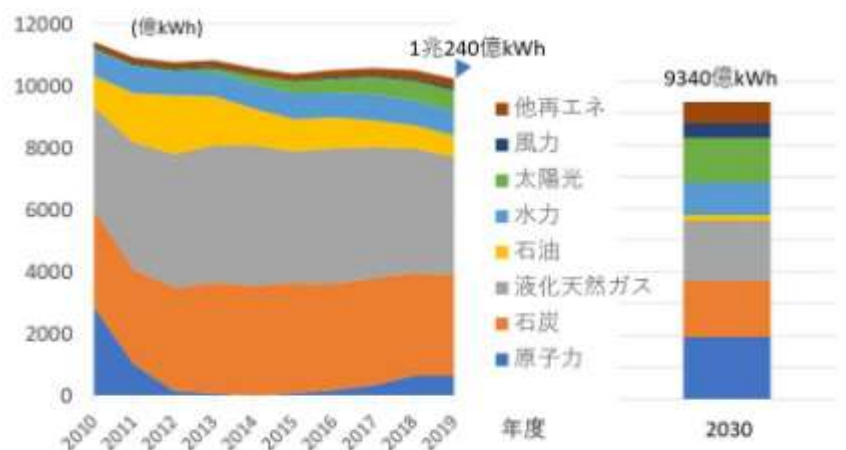
具体的な道筋が明らかになっていない日本

中国資本の原発参加という問題に直面した英国は、自国開発のSMRに活路を見出し、脱炭素を実現しようとしている。日本では、計画を実現する具体的な道筋が明らかではない。絵に描いた餅で終わればまだしも、30年46%削減を実現するためコストが高い政策を進めれば、国民と産業はますます苦しくなる。

COP26の結果を受け、先進国は、さらに目標を高めることを迫られる可能性もある。日本はこれから苦難の10年を歩み、歩み終わった後の生活はさらに苦しくなっているだろう。

脱炭素の具体的な道筋を真剣に検討しなければ、目標が高くなる環境下で困難が増すばかりだ。

図-6 日本の電源別発電実績と計画



先行する欧米と日本・アジア諸国との脱炭素イープンの取組の温度差と国情の違いを意識せねば

先行する欧米にすり寄り一辺倒では 日本は何も出来ない

脱炭素の具体的な道筋を真剣に検討しなければ、目標が高くなる環境下で困難が増すばかり

2021.12.20. From Kobe Mutsu Nakasinishi

脱炭素カーボンイープンで先行するヨーロッパとアメリカ・日本そしてアジア諸国とでは国情が大きく異なり、先行するヨーロッパに追従できない国情がクローズアップされている。

例えば 先行するヨーロッパ諸国ではすでに石炭産業は縮小され、風力等の自然エネルギーの活用はその立地の利点もあって大いに進んでいる。既に電力エネルギーの石炭火力の依存度は大きく軽減しており。風力等の自然エネルギーや原子力電力への転換が進んでいる。アメリカも原子力や太陽エネルギーを含めた自然エネルギーへの転換が進んでいる。

一方 日本はじめインド・中国そしてアジア諸国の石炭火力への依存度は極めて高い。目標高く取り組みが始まっているといえどもおいそれと全面転換できる国情にはない。日本にしても同じである。

例えば、風力発電について言えば かつて鳴り物入りで多くのメーカーが進出した大型風力発電装置メーカーは既に今日本には一つもなく、立地も大きな課題となっている。大きく異なっている。

また、産業界で電力と並び大量のCO2を排出する鉄鋼業においても アジア諸国と欧米との違いが大きい。

既に主力産業だった石炭産業やアジアの高炉操業による大量低価格鉄鋼製品におされた鉄鋼業のリストラを終えた欧米の鉄鋼産業は既に鉄鋼製品の高級化と大型電気炉での製造転換が図られており、日本・インド・中国・韓国の大型高炉操業から脱却し、鉄鋼残響の深刻度は小さい。アジアの鉄鋼業界ではいずれにしろ膨大な研究開発・設備転換と建設への膨大な投資に直面。

ソフトランディング出来なければ、各国の中核産業のいちはもちろん存続すら危ぶまれている。

また、タブー視されてきた原子力の利用は小型コンパクトで安全性の高い原子炉の利用がこころみられはじめ、従来の紋切型の電力エネルギーの分野の取組の裾野が広がっているのも事実。

旧態依然とした過去に囚われた取組から新しい産業創生としてこの低炭素カーボンイープン取組をしないともう元に戻れぬ地球暴走の次第に直面するシナリオにも・・・・・・・・

風来坊 的外れの勝手な暴論かもしれませんが、なにか日本の社会が虚しく感じる今

いま一度よく考えねばならぬ聴きとけとめねばと・・・・

お許しください。

また、今もっとも深刻なのは瞑想する火力発電の取組。

火力発電の自由に即座に移動時期を変更できる魅力は大きく、また効率の良い大型石炭火力発電所の建設は現存する多数の小型発電所を代替することで、石炭使用量・CO2発生量を大幅に削減できる魅力がある。

超々臨界圧ボイラーによる発電等日本の最も得意とする分野である。日本を始めアジア諸国では 脱炭素カーボンイープンの目標達成のための過程では、悩ましくも不可欠の技術とする考え方がある。

奇しくもwith コロナの中で 経済再建が叫ばれ、経済活動が休診する2021年本年 世界の火力発電によるCO2排出量は今までの最高になっている。

火力発電・原子力の依存度の高い日本の政府は 未だに日本の立ち位置・道筋がはっきりしていない。

「脱炭素カーボンニュートラル」の達成計画書は声高に叫んではいるが、具体的な道筋と具体的現況のアプローチ報告がない。

ゆあば 絵に書いた餅 信頼度がない。

前記の日本の脱炭素カーボンニュートラルの取組にヨーロッパ諸国から一番後ろ向きと相手にされなかった所以である。

また日本国内の各分野取組実情は当初 政府のスローガン発表を受け、ポストコロナ 低炭素社会の新時代への取組として多くの企業がカラフルなSDGs(持続可能な開発目標)バッジをつけて企業イメージの宣伝に使った。

でも 理解なしの口先スローガン取組では 「この地球温暖化による気象激変のストップがかからぬ瀬戸際にいる今」 どうにもならない。一企業の狭い範囲に限定した取組ではどうにもならない。企業マスコミ等がよく言う原材料・サプライチェーン全体を含め、すべてのトータルシステム全体で低炭素イープンを評価していないとの手厳しい批判が生じた。

中国製の衣料品の海外・日本販売がこの視点で大きな批判を受け、不買運動が起こってよく知られることとなった。

丸投げの得意な古い日本の企業人・政治家の一番不得意とするところである。

また、2年ぶりに開かれた気候変動枠組条約の締約国会議・COP26で存在感を示せなかった日本の所以である。

いつもずるいなぁとおもうのですが、自己宣伝に終止する某自動車メーカーのコマーシャル

もう後出しジャンケンはやめろと。

でも 日本においても、即物的な一部を取り上げての取組は全く評価されない事がわかり、最近では具体的な取組がやっと数多く発表されるようになってきた。

そんな今 私を育ててくれた 鉄鋼はどうなのか・・・

そんな目で 鉄鋼の取組をベースに この11月 低炭素カーボンイープンに関する資料をインターネットで目にとまった資料・ニュースを採録。現況把握の資料になればと。

自分勝手な採録リストですが、これからの新しい時代へ みなさまのお役ににたてば・・・と。

新しい鉄の時代へ 模索する鉄鋼界 ガンバレ!!とエールを送りつつ。

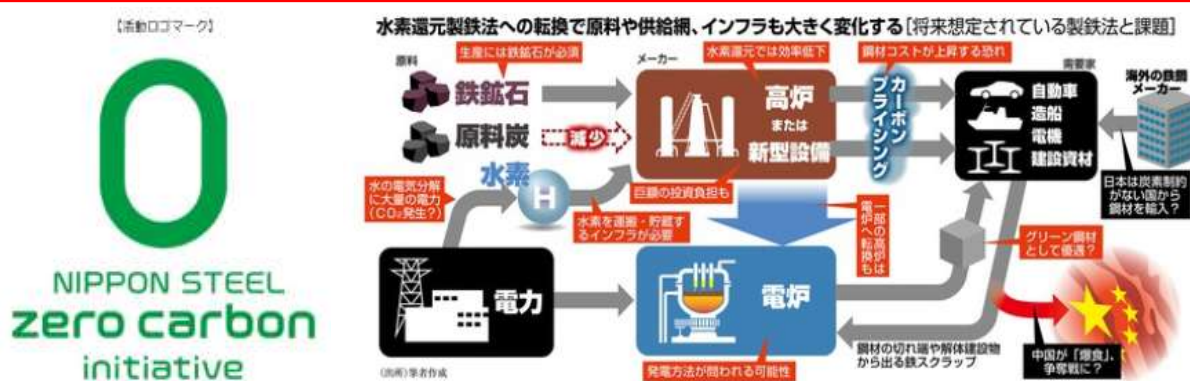
2021.12.20. From Kobe Mutsu Nakanishi

◎ 日本の鉄鋼業は 世界が突き進む脱炭素社会に生き残れるのか

日本の鉄鋼生き残りをかけた脱炭素カーボンニュートラル取組現況

2021年 11月・12月 インターネット閲覧で気になった資料・ニュース 採録

by Mutsu Nakanishi



1. 採録「WEDGE Infinity」 分が悪すぎる日本の脱炭素 これから「苦難の10年」が始まる

<https://wedge.ismedia.jp/articles/-/24924> ~ /24924=4

2. 採録 日本製鉄のカーボンニュートラル取組目標と現況の概況

日本製鉄 2,021 中間業績発表資料より

3. 採録 2021.3.30. 46 ページに渡る日本製鉄取組現況説明会資料

カーボンニュートラル ビジョン 2050 ゼロカーボン・スチールへの挑戦

https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20210330_ZC.pdf

参考1 【動画】 日本製鉄 カーボンニュートラル ビジョン 2050 説明会の会社説明動画 再生 45 分

取組現況 具体的取組状況とその課題 具体的な取組状況説明の貴重な図等多数あり

<https://nipponsteel01.extide.mediasite.co.jp/Mediasite/Play/b8e210ee274b4c659cfcde684caf6fd71d>

参考2 【動画】【NIPPON STEEL】カーボンニュートラル動画(6分ver.) - YouTube

<https://www.youtube.com/watch?v=88mZhMoXlhQ>

参考3 【動画】 化石燃料を使わぬ鉄鋼生産 Bloomberg home page より 再生 3 分

SSAB スウェーデンスチール(株)ほか鉄鋼三社の共同プロジェクト

<https://www.bloomberg.co.jp/news/videos/2021-11-24/R32DADTOG1KW01>

上記動画は ホームページ内二採録出来ませんので、上記リンクより御覧ください。

11月-12月 脱炭素カーボンニュートラル関連 ニュース・資料リスト

◎ 会社PR 的ニュースから 具体的な取組発表へ

日本各ビジネスの取組状況発表がここ数ヶ月大きく変化してきている

- ◎ 1.コンクリート・セメントで脱炭素社会を築く！？ 技術革新で資源もCO₂も循環させる 資源エネルギー庁
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/concrete_cement.html#m
- ◎ 2.CO₂削減の夢の技術！進む「カーボンリサイクル」の開発・実装 | スペシャルコンテンツ | 資源エネルギー庁
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/carbon_recycling2021.html
- ◎ 3. 未来ではCO₂が役に立つ？！「カーボンリサイクル」でCO₂を資源に 資源エネルギー庁
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/carbon_recycling.html
- ◎ 4.水素はTWh分を大量地下貯蔵 チタン鉄系水素吸蔵合金も課題解消
<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/01855/00011/>
- ◎ 5.ナノ化鉄チタン水素吸蔵合金タンクの実用化 ―再生可能エネルギーの電力を水素で貯蔵―
https://www.jst.go.jp/tt/journal/journal_contents/2016/12/1612-05_article.html
- ◎ 6.水素吸蔵合金による水素貯蔵
http://www.f-suiso.jp/bunkakai/H23bunkakai/2nd/2nd/H23_2_6.pdf
- ◎ 7.無機固体電解質を用いた全固体リチウム二次電池の開発 _ 東レリサーチセンター
<https://www.toray-research.co.jp/technical-info/trcnews/pdf/201806-01.pdf>
- ◎ 8. GE 日立がカナダで受注、「小型原子炉」が世界から注目を集めるワケ
<https://news.yahoo.co.jp/articles/488d03e0dfaab5f48f065f12e2002198f672d5da>
- ◎ NHK ニュース 石炭火力の発電量 過去最高の見通し “憂慮すべき兆候” IE
<https://www3.nhk.or.jp/news/word/0001906.html>
- ◎ アンモニアが“燃料”になる？！（前編）～身近だけど実は知らないアンモニアの利用先 資源エネルギー庁
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/ammonia_01.html
- ◎ アンモニアが“燃料”になる？！（後編）～カーボンフリーのアンモニア火力発電 資源エネルギー庁
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/ammonia_02.html
- ◎ Bloomberg home page より【動画】化石燃料を使わぬ鉄鋼生産
 SSAB スウェーデンスチール（株）ほか鉄鋼三社の共同プロジェクト
<https://www.bloomberg.co.jp/news/videos/2021-11-24/R32DADTOG1KW01>



水素による還元とCO₂の分離・回収によって、CO₂の30%削減を目指すプロジェクトの試験高炉

日本の高炉水素吹き込み操業 COURSE50

欧州系鉄鋼メーカーのCO₂対策

社名	概要	ポイント
アルセロール・ミタル (ルクセンブルク)	水素還元製鉄の新型プラントを神戸製鋼所子会社と開発中	巨額の設備投資と水素の確保が必要
ディッセンクルップ (ドイツ)	高炉での水素還元製鉄を研究。新型プラントへの転換も計画	同上
ザルツギッター (ドイツ)	高炉を全廃する方針を表明。水素還元製鉄の新型プラントへ転換	鉄鋼の大量生産を志向していない
SSAB (スウェーデン)	水素還元製鉄のパイロットプラントを稼働。電力会社と組み水素を生産	同上
フェストアルビーネ (オーストリア)	三菱重工業子会社から新型の水素還元製鉄プラントを購入予定	同上



水素還元による海綿鉄製造

日本製鉄カーボンニュートラルビジョン2050 ～ゼロカーボン・スチールへの挑戦～



脱炭素社会に向けた取組みにおいても欧米・中国等との開発競争に打ち勝ち、引き続き世界の鉄鋼業をリードするべく、政府の各種施策とも連携しながら、新たなCO₂削減技術の開発・実機化に果敢に挑戦し、2030年に2013年対比30%のCO₂排出削減、2050年のカーボンニュートラルを目指します。加えて、当社の技術力・商品力を活かし、車体軽量化のための超ハイテン鋼板や電動車で使われる駆動モーター用高性能電磁鋼板等の高機能商品の開発・供給能力増強等を通じて、わが国のカーボンニュートラル実現に貢献します。



ゼロカーボン・スチール実現に向けた日本製鉄のチャレンジ

現状の高炉・電炉プロセスでは、大量、安定、安価で効率的な鉄鋼製造を行えますが、鉄鉱石の還元には炭素を使っているため、CO₂が不可避免的に発生します。したがって、鉄鋼製造時のCO₂発生を抜本的に削減するためには、還元材を見直す必要があります。また、鉄スクラップを原料とする電炉プロセスでは、より少ないCO₂排出量で製造できますが、設備の大型化が難しく大規模大量生産に向かない、スクラップに含まれる不純物が原因で高級鋼の製造が難しい等の課題があります。

私たちは、脱炭素化に向けたこれらの課題を乗り越えゼロカーボン・スチールを実現するため、これまでの鉄の製造プロセスを見直し、カーボンニュートラルを目指します。当社が考える「ゼロカーボン・スチール生産プロセス」は、電炉ルートと高炉・転炉ルートの特性を活かし組み合わせるものですが、それぞれのルートで大きなチャレンジが必要となります。

3つの チャレンジ

- ① 電炉ルート : 電炉の大型化による生産性向上、高級鋼製造のための不純物除去技術の開発
- ② 高炉・転炉ルート : 高炉水素還元 (COURSE50^{*1}、Super COURSE50高炉) + CCUS^{*2}の実機化
- ③ 100%水素直接還元プロセス : 水素により還元鉄を製造し、両ルートで原料の一部として使用

*1 CO₂ Ultimate Reduction System for Cool Earth 50 *2 Carbon Capture, Utilization and Storage

電炉ルートでは、既に還元されている鉄スクラップを活用するため、還元に伴うCO₂が発生せずCO₂排出量削減につながります。この電炉の大型化を追求し効率生産を目指すとともにカーボンフリー電力を活用することにより、さらなるCO₂排出量削減が可能となります。

高炉・転炉ルートでは、既存高炉を一部改造したCOURSE50やそれをさらに進化させたSuper COURSE50高炉において、還元材の原料炭(コークス)の一部を水素で代替することで還元時の発生物の一部をH₂Oとし、CO₂排出量を削減することが可能です。

さらに、いずれのルートにおいても、原料の一部に100%水素直接還元プロセスで製造した直接還元鉄を活用することにより、さらなるCO₂排出量削減を目指します。

当社は、この①大型電炉での高級鋼製造 ②COURSE50高炉・Super COURSE50高炉 ③100%水素直接還元プロセス 一 の超革新技術開発にチャレンジします。ただし、カーボンニュートラルを達成するためには、残る発生CO₂をオフセットするためのCCUS、カーボンフリーの水素、カーボンフリーの電力という3つの外部条件の実現が必要になります。



NEDO・日本鉄鋼連盟 COURSE50

ゼロカーボン・スチール実現のための社会との連携

ゼロカーボン・スチールの実現に向けたイノベーションに対し、当社では今後5,000億円規模の研究開発費と4兆～5兆円規模の設備投資が必要になると考えており、2050年段階での電力や水素価格等を含む外部条件が最も整ったケースでも粗鋼製造コストは現状の倍以上になると想定しています。

そのため、ゼロカーボン・スチールの実現には、鉄鋼業界のチャレンジだけでなく、非連続的イノベーション等の研究開発や設備実装に対する長期かつ継続的な政府の支援、安価・安定かつ大量の水素供給インフラの確立、国際競争力のあるコストでのカーボンフリー電源の実現、経済合理的なCCUSの開発・実用化のための国家プロジェクトの推進、国際競争におけるイコールフットingの確保、莫大なコストを社会全体で負担する仕組みの構築等、社会との連携が必須となります。こうした課題に対し、当社はその考えを関係省庁や有識者へ丁寧に説明するとともに、日本経済団体連合会や当社が主導的な立場で参画する日本鉄鋼連盟を通じ、政府各省の審議会・委員会において、パリ協定を踏まえたわが国の気候変動対策やエネルギー政策に関する様々な提言を行っています。

サステナビリティレポートのご紹介

「日本製鉄カーボンニュートラルビジョン2050～ゼロカーボン・スチールへの挑戦～」を含む、当社の環境・社会への取組みについて「サステナビリティレポート2021」に取りまとめております。当社ウェブサイト (<https://www.nipponsteel.com/>) よりご覧いただけます。



日本製鉄
カーボンニュートラル
ビジョン2050
ゼロカーボン・スチールへの挑戦



2021年3月30日

日本製鉄株式会社

目次

2

1. ゼロカーボン・スチールに向けたシナリオ	P. 3
2. 鉄鋼製造プロセスからのCO ₂ 発生	P. 9
3. 超革新技术開発① 大型電炉での高級鋼製造	P.17
4. 超革新技术開発② 高炉水素還元	P.22
5. 超革新技术開発③ 100%水素直接還元	P.31
6. CCUS	P.36
7. 超革新技术開発の技術課題と外部条件	P.43
(参考) カーボンプライシングについて	P.46

日本製鉄カーボンニュートラルビジョン2050 ～ ゼロカーボン・スチールへの挑戦

人類の存続に影響を与える重要課題である気候変動問題に対する
当社独自の新たな取り組みとして
「日本製鉄カーボンニュートラルビジョン2050～ゼロカーボン・スチールへの挑戦」
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

キーフレーズ

活動ロゴマーク



日本製鉄は、ゼロカーボン・スチールの実現を経営上の最重要課題として、積極的に取り組むことを決意し、環境経営を総括する「キーフレーズ」と、その活動を表徴する「活動ロゴマーク」を、「環境ブランドマーク」として新たに制定しました。極めて困難な課題に対して、総力戦で取り組んでまいります。

ゼロカーボン・スチール ～ 当社のCO₂排出削減シナリオ⁵

2030年ターゲット

CO₂総排出量▽30%の実現

現行の高炉・転炉プロセスでのCOURSE50の実機化、既存プロセスの低CO₂化、効率生産体制構築等によって、対2013年比▽30%のCO₂排出削減を実現

2050年ビジョン

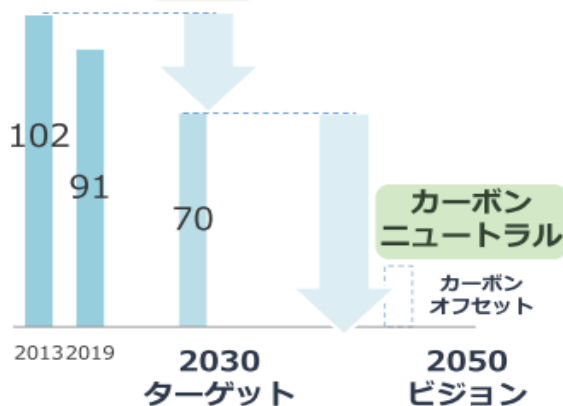
カーボンニュートラルを目指す

大型電炉での高級鋼の量産製造、水素還元製鉄（Super COURSE50による高炉水素還元、100%水素直接還元）にチャレンジし、CCUS*等によるカーボンオフセット対策なども含めた複線的なアプローチでカーボンニュートラルを目指す

当社CO₂総排出量（百万t/年）

（2013年起点）

▽30%
削減



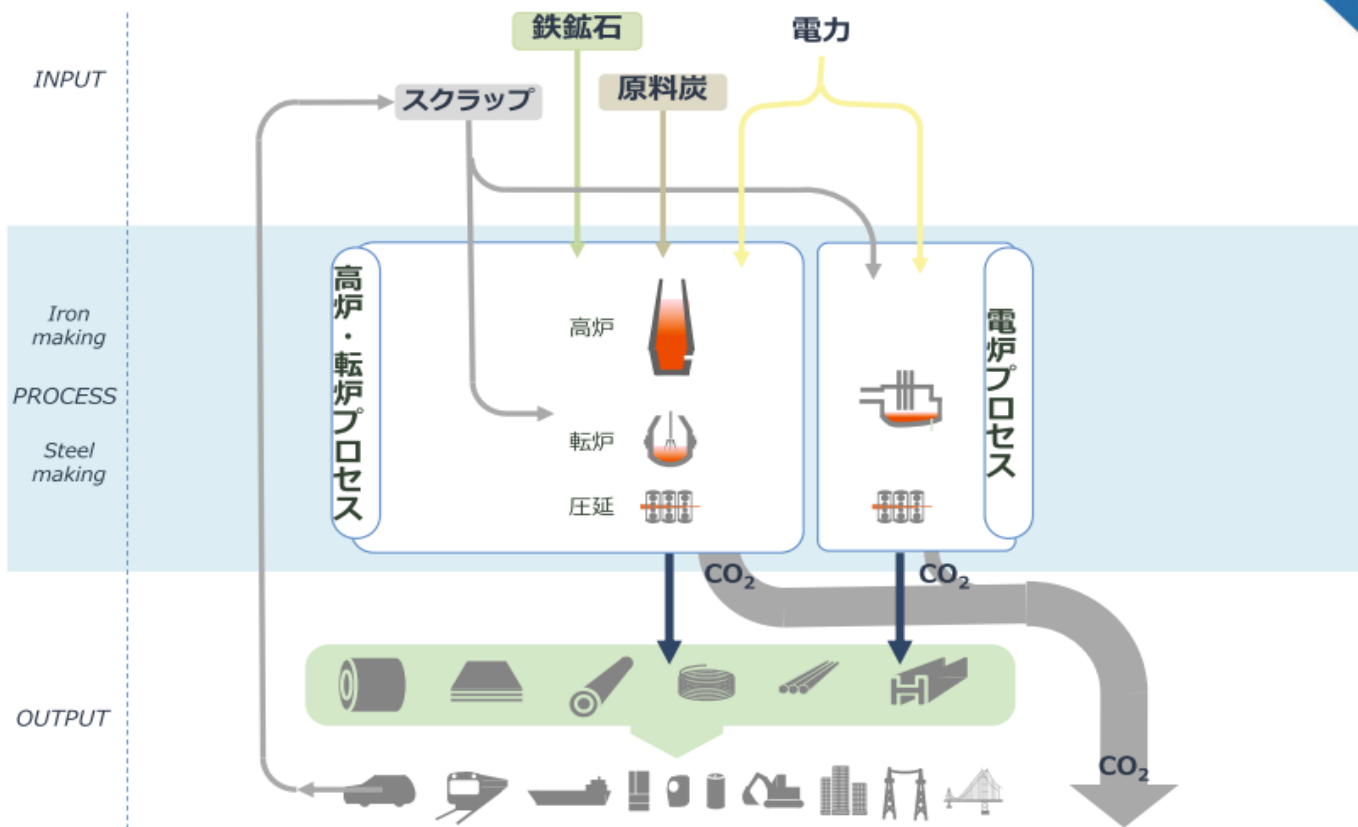
【シナリオ範囲】

国内
SCOPE1+2
（原料受入～製品出荷 + 購入電力製造時CO₂）

* Carbon Capture, Utilization and Storage

現状製鉄プロセス

6

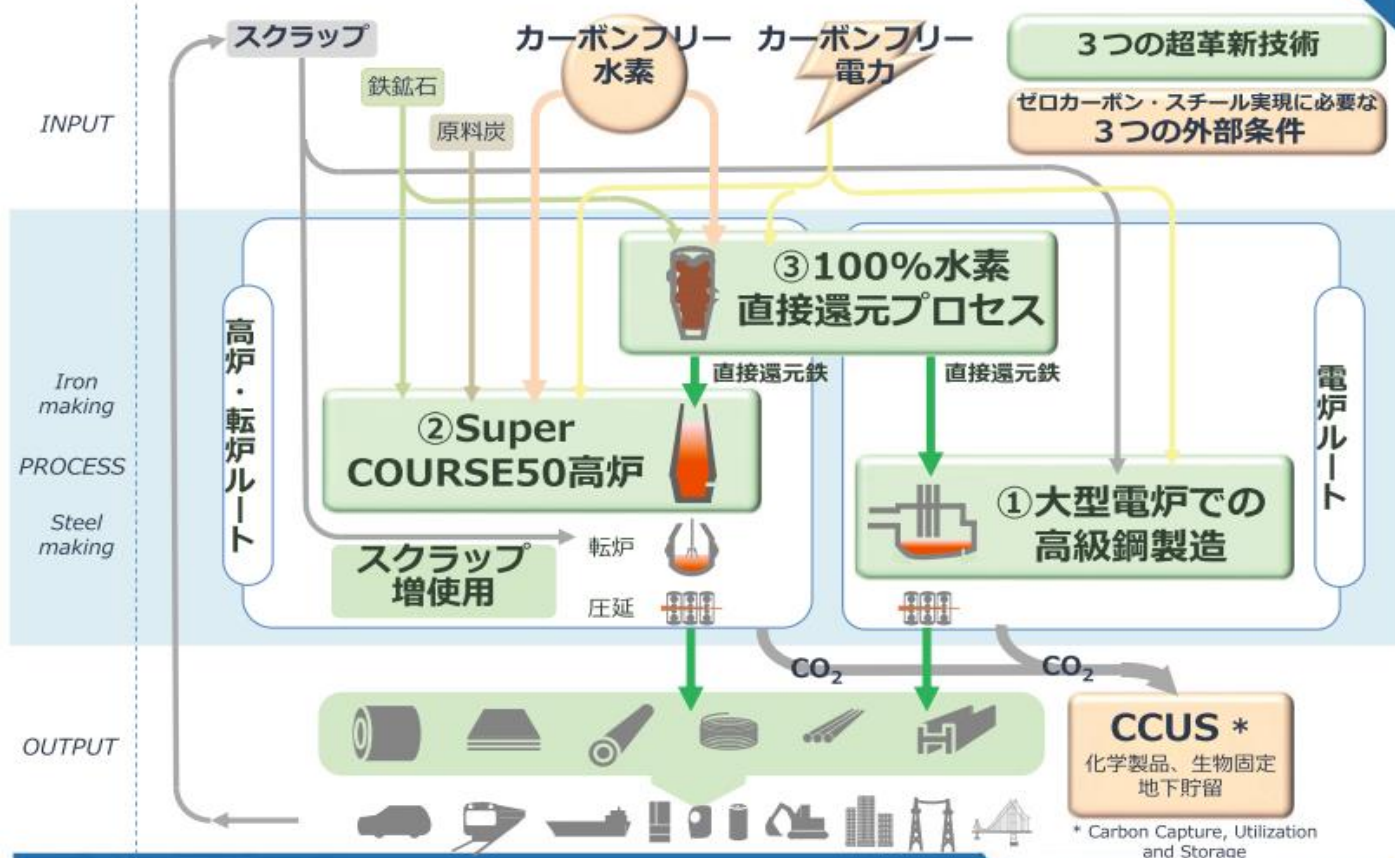


NIPPON STEEL

© 2021 NIPPON STEEL CORPORATION. All Rights Reserved.

カーボンニュートラル製鉄プロセス

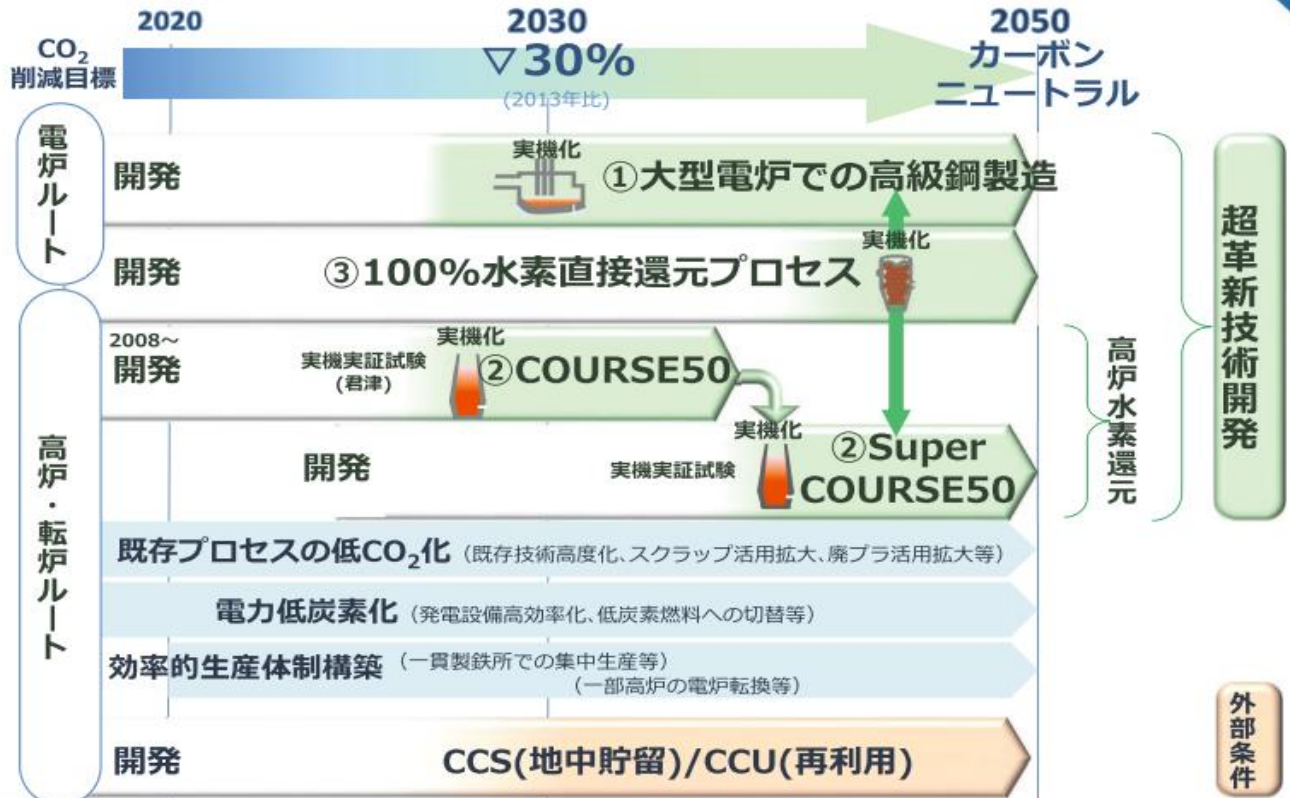
7



NIPPON STEEL

© 2021 NIPPON STEEL CORPORATION. All Rights Reserved.

当社のCO₂排出削減施策ロードマップ

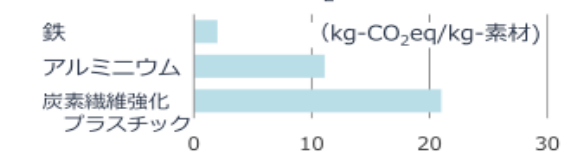
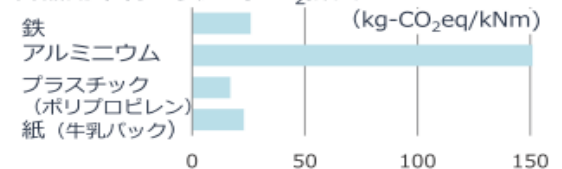


2. 鉄鋼製造プロセスからのCO₂発生

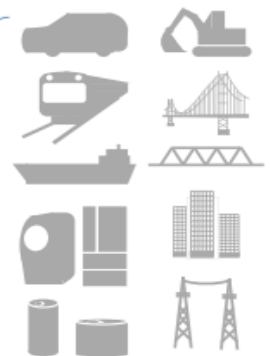
鉄鋼製造プロセスからのCO₂発生

鉄は他素材に比べ、
製造時の生産単位あたりのCO₂発生が少なく、
リサイクル性に優れライフサイクルでの
CO₂発生も少ない「地球に優しい素材」

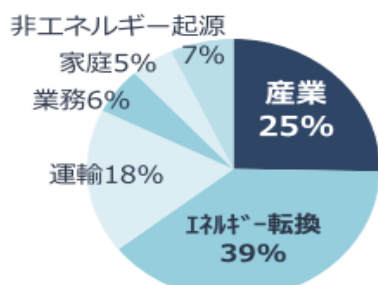
鉄は他素材に比べ、
圧倒的に用途が幅広く大量に使用されるため、
鉄鋼業からのCO₂発生の総量は多い

自動車用素材 製造時CO₂排出量容器用素材 製造時CO₂排出量

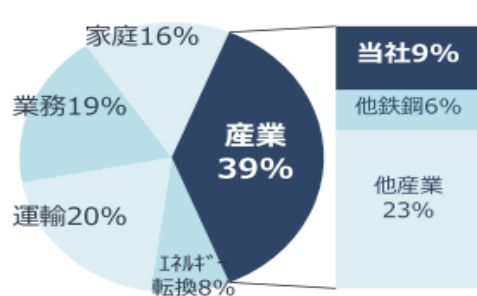
鉄鋼製品の多様な用途

日本のセクター別CO₂排出量

発生セクター別



使用セクター別



データ出典: 環境省「温室効果ガスインベントリ(2020)」

鉄鉱石は還元が必要

自然界において鉄は、酸化された鉄鉱石として存在。

鉄鋼製品を作るためには、鉄鉱石から酸素を除去(=還元)することが必要。

大量・安定的かつ安価に鉄鉱石の還元を行うには、炭素(石炭)を用いる方法が最適。
炭素が鉄鉱石に含まれる酸素を奪うことによりCO₂が発生。

自然界に酸化鉄(Fe₂O₃等)
として存在する
鉄鉱石から

鉄(Fe)より酸素(O)と
結びつきやすい
炭素(C)等により
酸素を奪い取り(還元)

鉄をつくる



Fe₂O₃

1tの鉄製造で
約2tのCO₂が発生

C

CO₂

還元

熔融

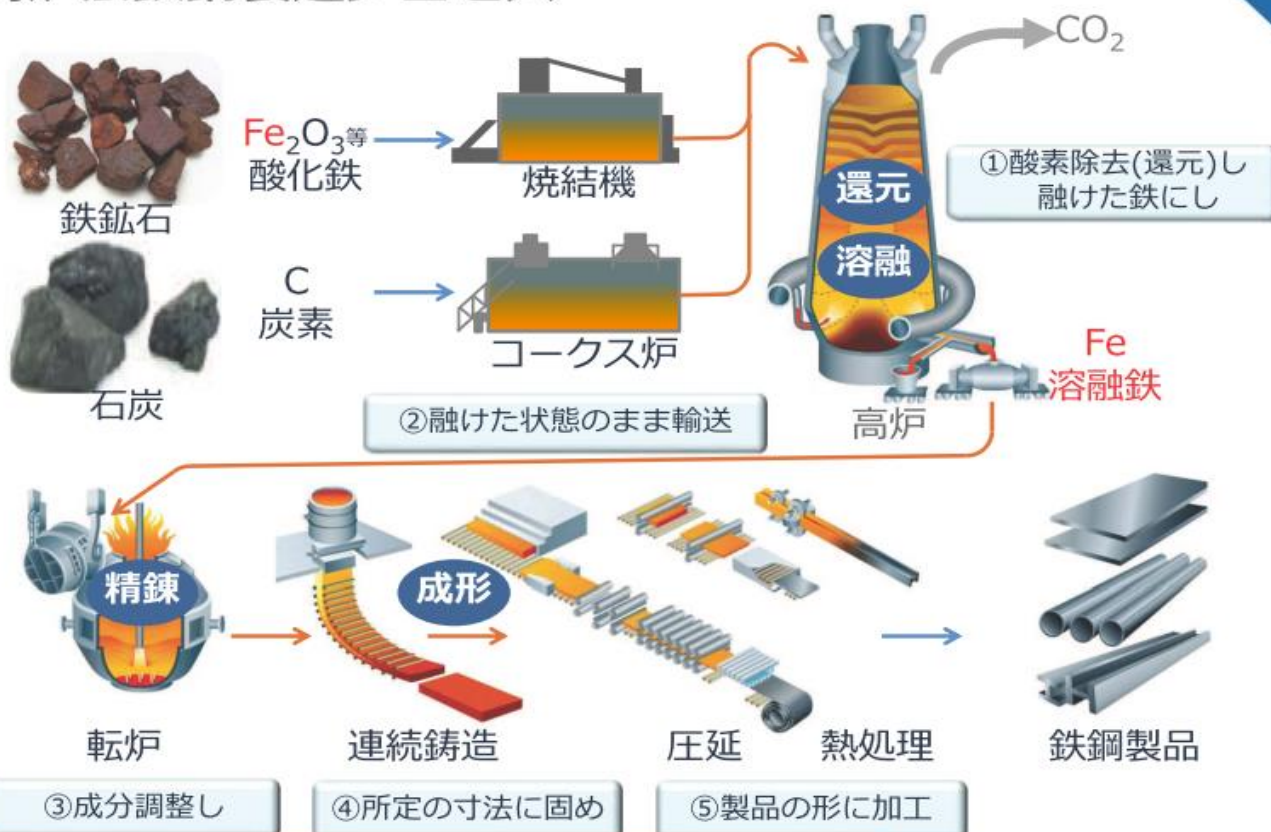
精錬

成形

Fe



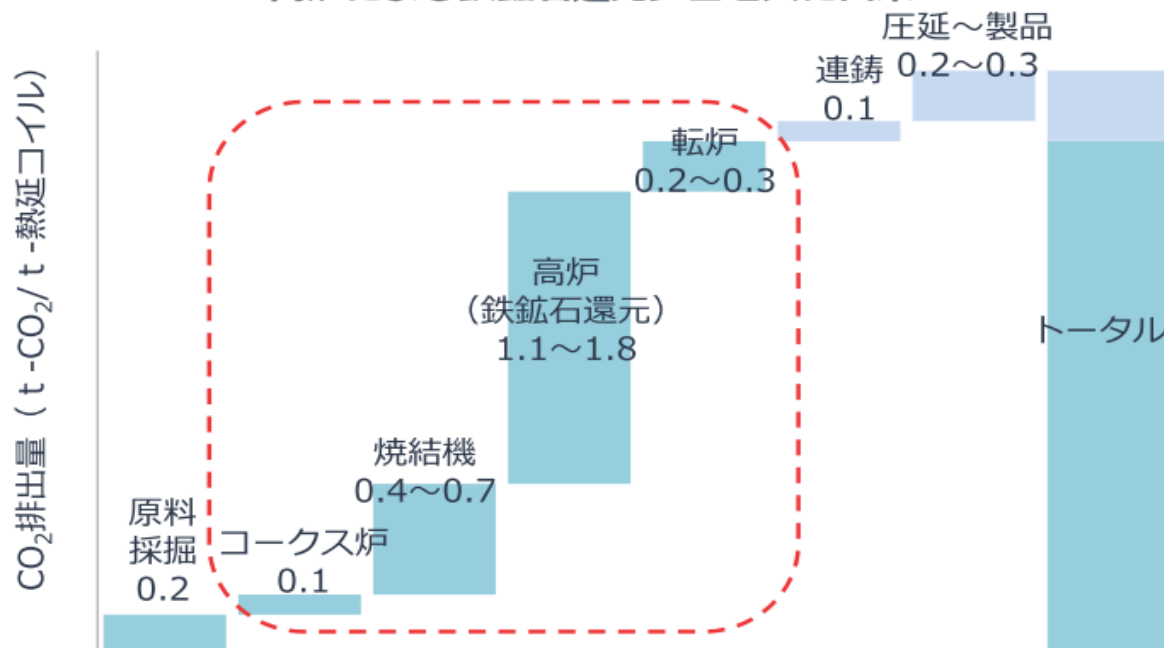
高炉法鉄鋼製造プロセス



鉄鋼製造プロセスからのCO₂発生

13

鉄鋼製造プロセスでのCO₂発生の大部分は
高炉による鉄鉱石還元プロセスに由来



出典 : Carbon Trust: International Carbon Flows (2011)

NIPPON STEEL

© 2021 NIPPON STEEL CORPORATION. All Rights Reserved.

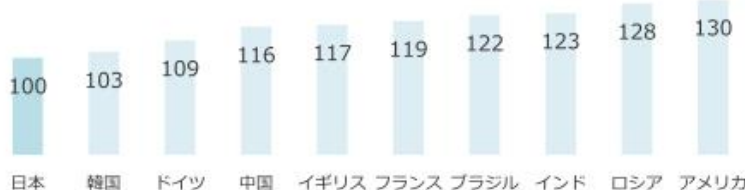
3つのエコによる気候変動対策への取り組み

14



エコプロセス (つくるときからエコ)

世界最高のエネルギー効率による鉄鋼製造プロセス



転炉鋼エネルギー消費原単位 (日本=100) 出典: RITE

更に
超革新的技術の開発により
カーボンニュートラルの
実現へ



エコプロダクツ® (つくるものがエコ)

多様な高機能鋼材の供給を通じて、最終製品として使用される段階で排出削減に貢献

自動車用ハイテン鋼板



軽量化による燃費
向上と安全性・加
工性を両立

電磁鋼板



モーター・変圧
器のエネルギー
ロスを低減

高圧水素用ステンレス鋼 HRX19®



水素インフラの
強度・安全性・
施工性・寿命の
向上



エコソリューション (世界にひろげるエコ)

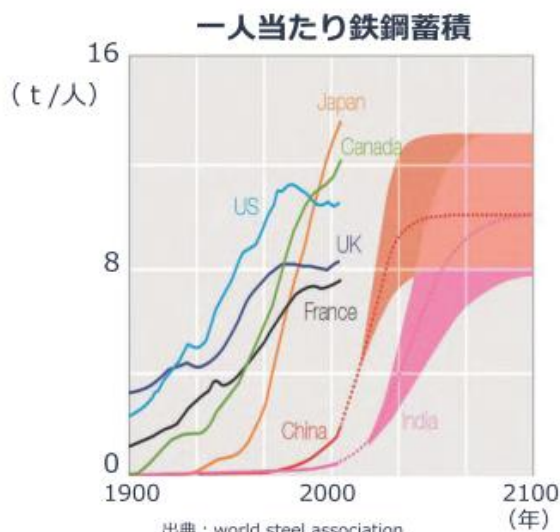
世界最高水準の省エネ技術を途上国を中心に移転・普及

NIPPON STEEL

© 2021 NIPPON STEEL CORPORATION. All Rights Reserved.

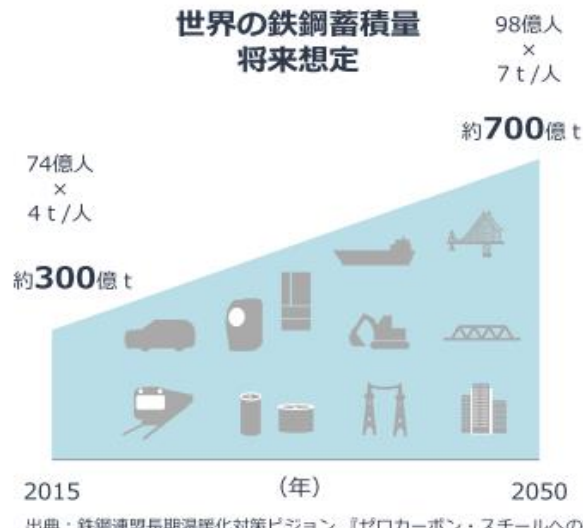
世界の鉄鋼蓄積量は将来にわたって増加

15



ビルや橋などのインフラ、工場や船舶などの産業関連設備、自動車や家電製品等の耐久消費財等、最終製品の形で社会に蓄積された鉄鋼は、世界全体で足元約300億tで人口一人あたり世界平均で4t/人程度。先進国では8~12t/人程度。今世紀前半には中国、今世紀中にはインドも10t/人までの蓄積が想定される。

世界の鉄鋼蓄積量 将来想定

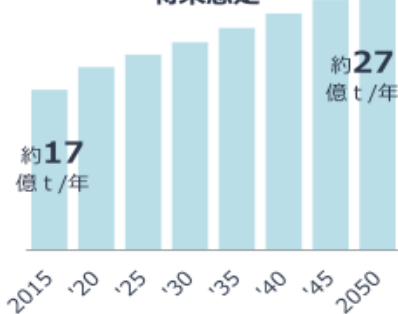


今後、世界の人口が増加(2015年:74億人⇒2050年:98億人)するとともに、新興国の経済成長と、SDGsへの取り組み等により2050年には世界平均一人あたり7t/人の鉄鋼蓄積量が必要になると仮定すると、2050年の世界の鉄鋼蓄積量は約700億t。

鉄鋼蓄積の増加に必要な鉄鋼生産のためには 将来にわたって鉄鉱石の還元による製鉄が必要

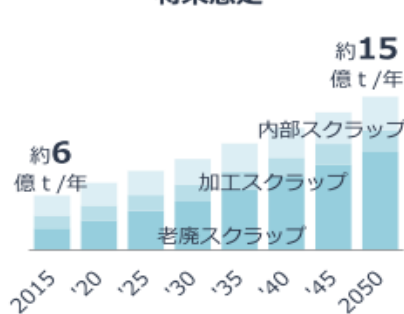
16

世界の粗鋼生産量 将来想定



世界の鉄鋼蓄積の増加を満たすのに必要な粗鋼生産量は、今後も増加

世界のスクラップ発生量 将来想定

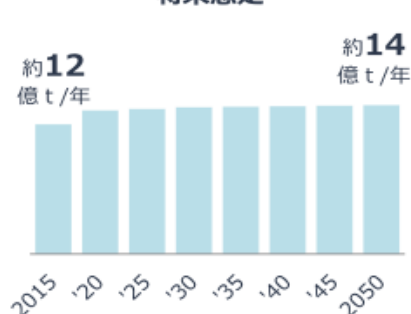


鉄鋼蓄積の増加に伴い、スクラップの発生が増加。

老廃スクラップ: 最終製品が寿命を終えてから発生
加工スクラップ: 鋼材を最終製品に加工する工程から発生
内部スクラップ: 鉄鋼製造プロセスから発生

出典: 日本鉄鋼連盟長期温暖化対策ビジョン『ゼロカーボン・スチールへの挑戦』

世界の銑鉄生産量 将来想定



スクラップを全量リサイクルしても、年々必要となる粗鋼生産を満たすには不足しており、鉄鉱石をからの製鉄は将来にわたって足元と同程度の規模が必要。

ゼロカーボン・スチール実現のためには、スクラップリサイクルだけでなく鉄鉱石還元からのCO₂発生抑制が必要

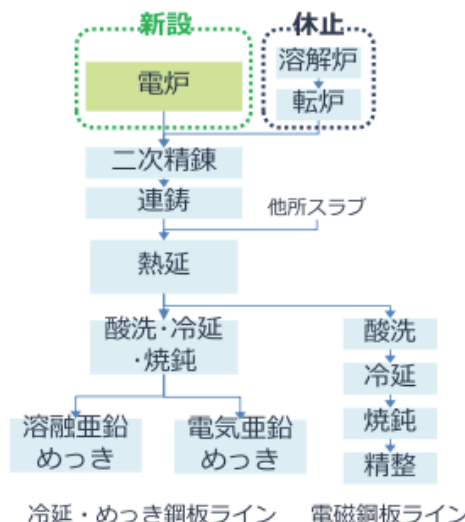
現在の電炉での高級鋼製造への取り組み

18

瀬戸内製鉄所広畑地区に電気炉新設

2019.11公表 2022上期立ち上げ予定

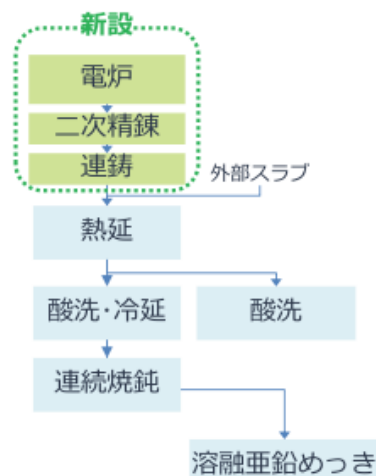
電磁鋼板をはじめとした高純度で高品質な
薄板ハイグレード商品を製造



米国 AM/NS Calvert に電気炉新設

2020.12公表 2023上期立ち上げ予定

第3世代超ハイテン(980MPa以上)、IF鋼(自動車外板向け深絞り加工用鋼板)等の高付加価値商品の電気炉からの一貫製造を予定



当面は型鉄や内部スクラップ・加工スクラップから高級鋼を製造

大型電炉での高級鋼製造

19

鉄スクラップは既に還元されているため、
再生利用する際に還元に伴うCO₂が発生せず、
CO₂発生原単位が小さい。

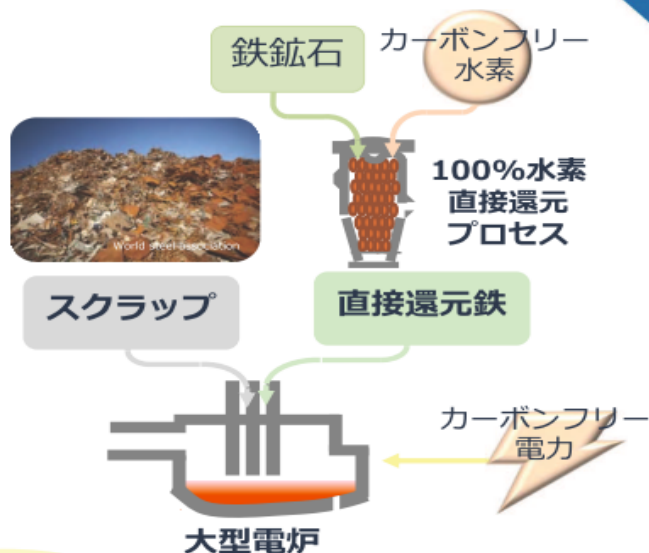
高炉～転炉法による鉄鉱石還元
約2.0t-CO₂/t-Steel

電炉法によるスクラップ溶融
約0.5t-CO₂/t-Steel

国内の一部高炉を電炉に置換

スクラップに加え、直接還元鉄を使用
(天然ガス還元～最終的には100%水素還元)

カーボンフリー電力の活用により
発生CO₂を極小化



課題

スクラップ中の不純物や溶融時の窒素混入による品質制約、
設備規模・生産性の向上が課題

Challenge

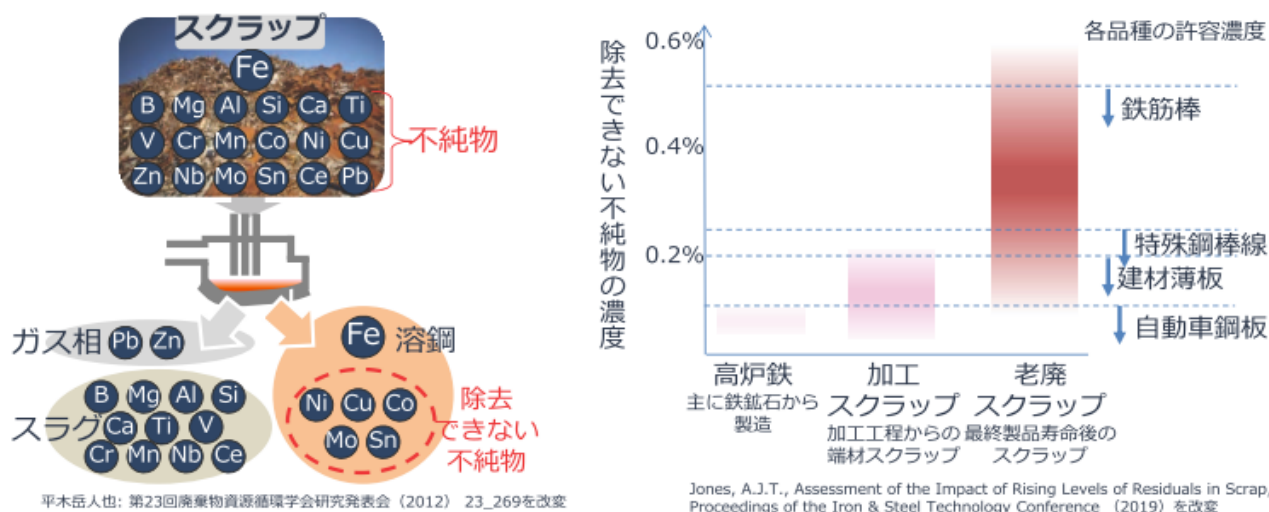
大型電炉での高級鋼製造技術の開発にチャレンジ

大型電炉での高級鋼製造 技術課題（１）不純物

20

課題

- ① スクラップに混入している銅などの不純物による品質制約
 - ② 窒素の混入による品質制約
- により、電炉で製造できる鋼種には制約があり、高級鋼の製造は困難



Challenge

混入する材質有害元素の無害化技術確立による
電炉での高級鋼製造にチャレンジ

大型電炉での高級鋼製造 技術課題（２）生産性

21

課題

- ① スクラップ等の冷鉄源からの電気アークによる初期溶融時間や電気炉内自然対流攪拌での精錬時間増等、転炉(酸素ジェットによる強制攪拌)に対して生産性が大きく劣る。特に容積の大きな大型電炉ではこれら(溶融、精錬時間)の影響が顕著になる。
- ② 還元鉄(DRI)の溶融においては、脈石や空隙が多い事から熱が伝わり難く、溶融に時間がかかる。また、脈石成分が多い事から精錬負荷も高く、効率低下が想定される。

これらにより、電炉、特に大型電炉かつ一定量のDRIを使用する高級鋼製造時の生産性には課題が大きい。

電炉の平均サイズ < 100t/チャージ (≒70万t/年・基)

当社高炉の平均サイズ(構造対策後)
≒ 4,900m³/基 (≒400万t/年・基)

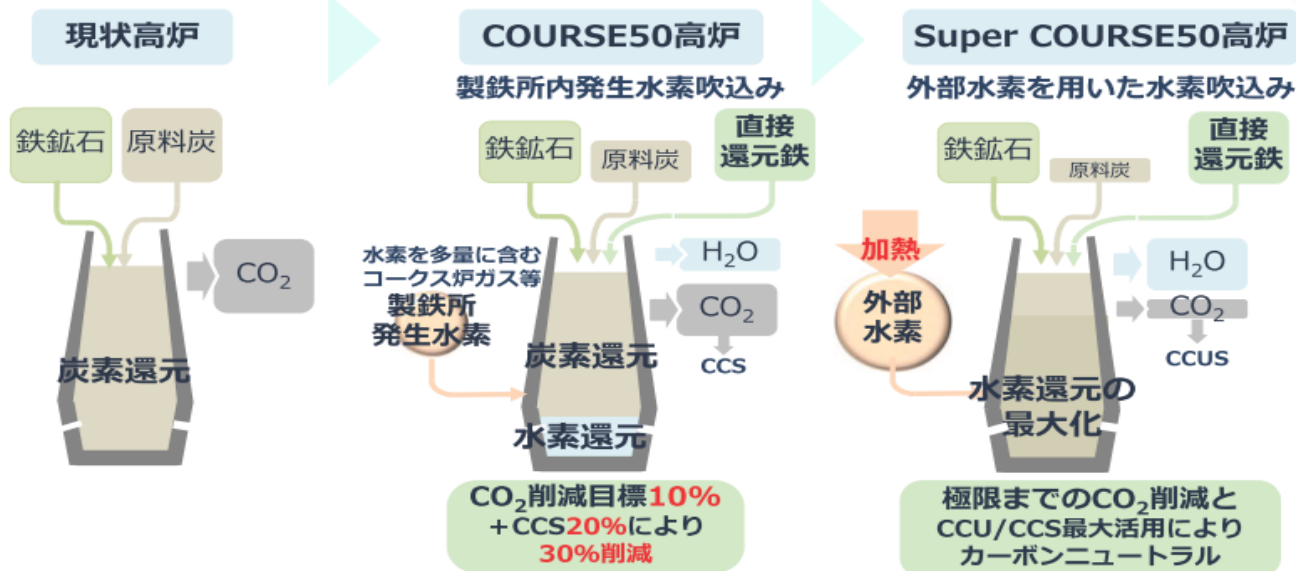
Challenge

高炉プロセスに置換しうる高効率大型電炉での
高生産性の実現にチャレンジ
(還元鉄併用時の溶融・精錬技術の確立等)

4. 超革新技术開発② COURSE50～Super COURSE50による 高炉水素還元

22

高炉水素還元（COURSE50～ Super COURSE50）²³



既存高炉を一部改造したCOURSE50～Super COURSE50高炉で、
還元材の原料炭(コークス)の一部を水素で代替
さらに、鉄鉱石の一部を直接還元鉄に代替

NIPPON STEEL

© 2021 NIPPON STEEL CORPORATION. All Rights Reserved.

水素による鉄鉱石の還元

24

水素還元の特徴

還元材の原料炭(コークス)を水素で代替
還元からの発生物はH₂OのみでCO₂は発生しない



世界と日本での水素還元の現状

世界的には、水素を多量に含む天然ガスを用いた直接還元製鉄法が稼働

日本は天然ガスに乏しいため、国内での直接還元製鉄による生産の事例はなし
またコスト競争力のあるレベルでH₂を製造することが困難なことから、高炉製鉄法でH₂を用いた還元の事例はなし

Cf.1 経済産業省「水素基本戦略」のシナリオ

	水素コスト	水素供給量
現状：	～100円/Nm ³	200万 t
2030年：	30円/Nm ³	300万 t
2050年：	20円/Nm ³	2,000万 t

Cf.2 コークスによる還元と等価となる

水素コストレベル ≒ 8円/Nm³

Cf.3 現在の国内鉄生産量（7,500万t/年）を生産するのに必要な水素量

≒ 750億Nm³/年（約700万t/年）

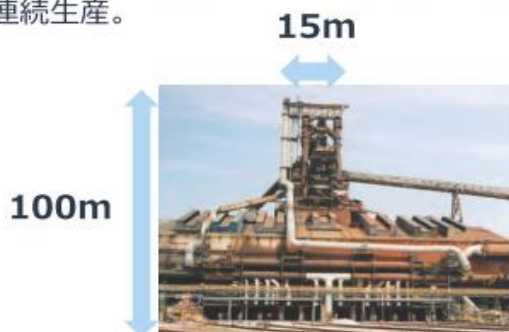
NIPPON STEEL

© 2021 NIPPON STEEL CORPORATION. All Rights Reserved.

高炉の機能とコークスの役割

高炉は超大型反応容器

高炉は、鉄鉱石から連続的かつ効率的に鉄を生成する超大型化学反応器。羽口から吹き込まれた酸素によりコークスが燃焼し高温還元ガスが発生。上部から装入された常温の鉄鉱石が高温の還元ガスと接触する事で鉄へと還元され、溶融鉄として下部から連続的に取り出される。1日1万トン(車1万台分)の還元された鉄を連続生産。



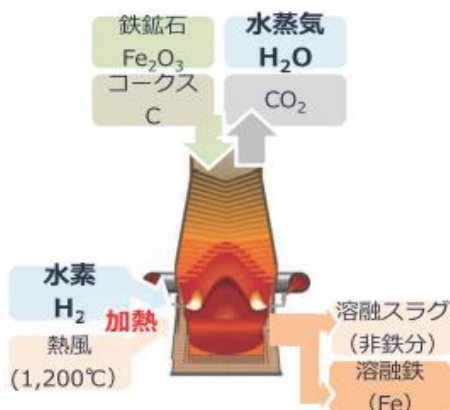
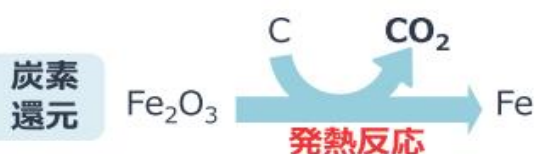
内容積
5,000m³



コークスの役割

- ① 還元材(炭素C)
- ② 熱の供給源(燃焼により発熱)
- ③ 高温でも固体のままで原料を支え、炉内での通気性を維持
- ④ コークス製造時の副生ガスを製鉄所内でエネルギー活用(発電、加熱炉燃料等)

高炉水素還元の技術課題 (1) 加熱



課題

炭素による還元は発熱反応であるのに対し、水素による還元は吸熱反応で温度低下するため、水素還元比率を増加させるには水素の加熱が必要

	従来高炉	水素高炉
加熱気体 (爆発リスク)	空気 (無し)	水素 (有り)
送風量	数千Nm ³ /分	左記に加えて 大量の加熱水素 吹込みが必要
加熱方式	熱風炉 (直接加熱した耐火 煉瓦との熱交換)	安全確保のため 間接加熱の新規技術 開発が必要 (加熱効率に課題)

Challenge

高温の可燃性気体を大量に炉内に投入する
吹き込み技術にチャレンジ

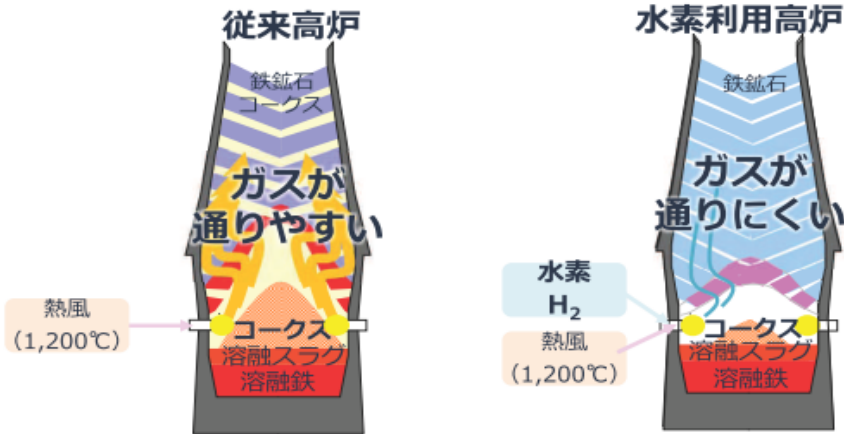
高炉水素還元の技術課題（２） 通気

高炉は①昇温、②還元、③溶融(非鉄成分分離)を連続的に行う反応容器

課題

高炉で還元材に、炭素(コークス)を減らして水素を増やしていくと、

1. コークスが支える隙間が無くなり、還元ガスが通りにくくなる：還元できない
2. 高温の還元ガスとの接触が不十分となり、溶融しづらくなる



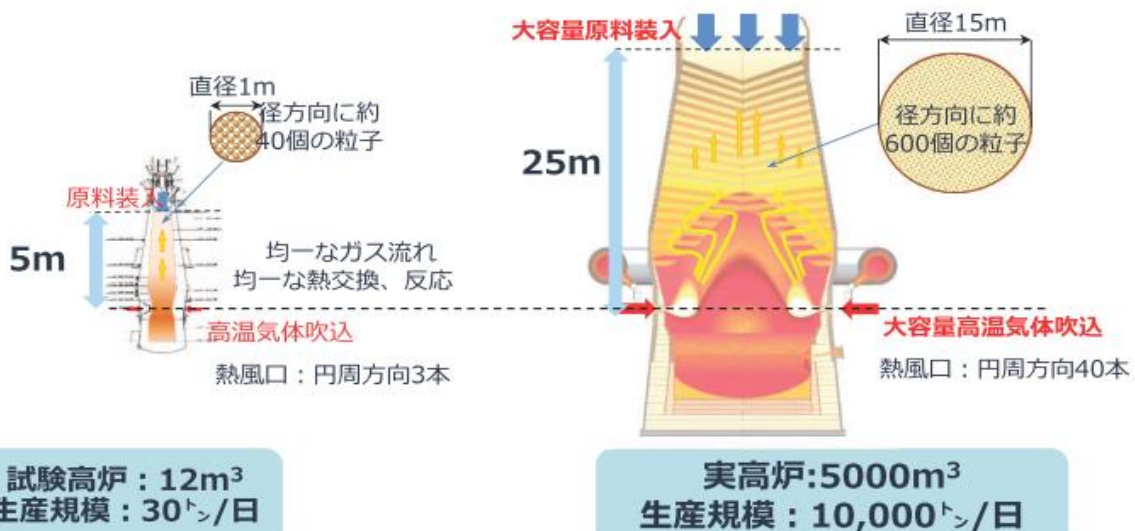
Challenge

高炉内のコークス量が減少する中での
最大限の通気性確保と安定的な還元・溶融にチャレンジ

高炉水素還元の技術課題（３） スケールアップ

課題

実機は試験機の数百倍の規模。スケールアップには超大型炉における通気性の確保、熱分布制御、原料・生成物の固化・付着対策、溶融物流れ等、が課題



Challenge

実機反応の推測技術の高度化等、スケールアップに向けた検証にチャレンジ

COURSE50プロジェクトの概要

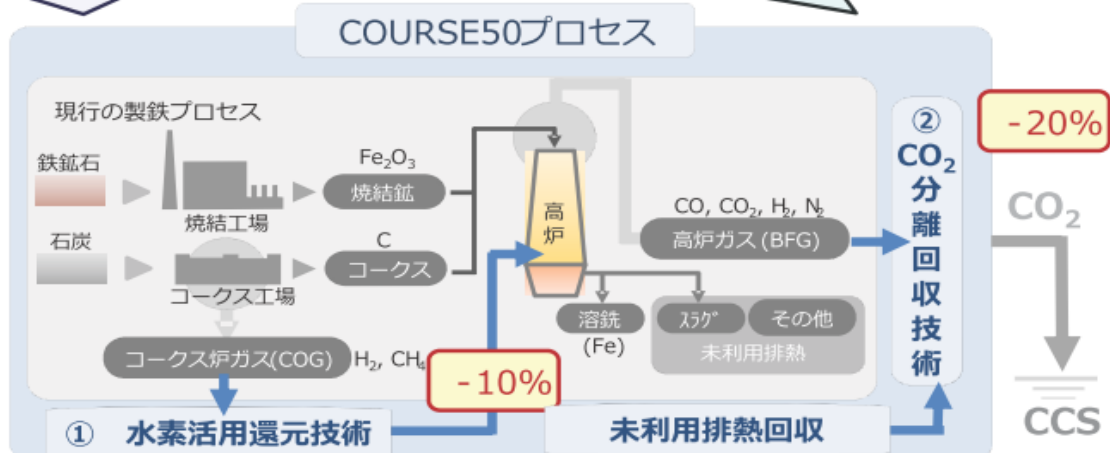
世界初の水素還元活用とCO₂分離回収によるCO₂排出量30%削減を目指す

① CO₂排出量削減技術開発

水素をコークスの一部代替として鉄鉱石を還元し、CO₂を10%削減

② CO₂分離・回収技術開発

高炉ガスからCO₂を分離・回収し、CO₂を20%削減



COURSE50 : CO₂ Ultimate Reduction System for Cool Earth 50 Project ; 本事業の略称

NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization) : 100%委託事業

実施会社 : 高炉3社+日鉄エンジニアリング

COURSE50プロジェクトへの取り組み

2008年から当社を含む高炉3社と日鉄エンジニアリングで開発着手
水素還元技術については東日本製鉄所君津地区の試験高炉にて10%削減を実証



COURSE50 試験高炉



COURSE50 CO₂分離回収設備

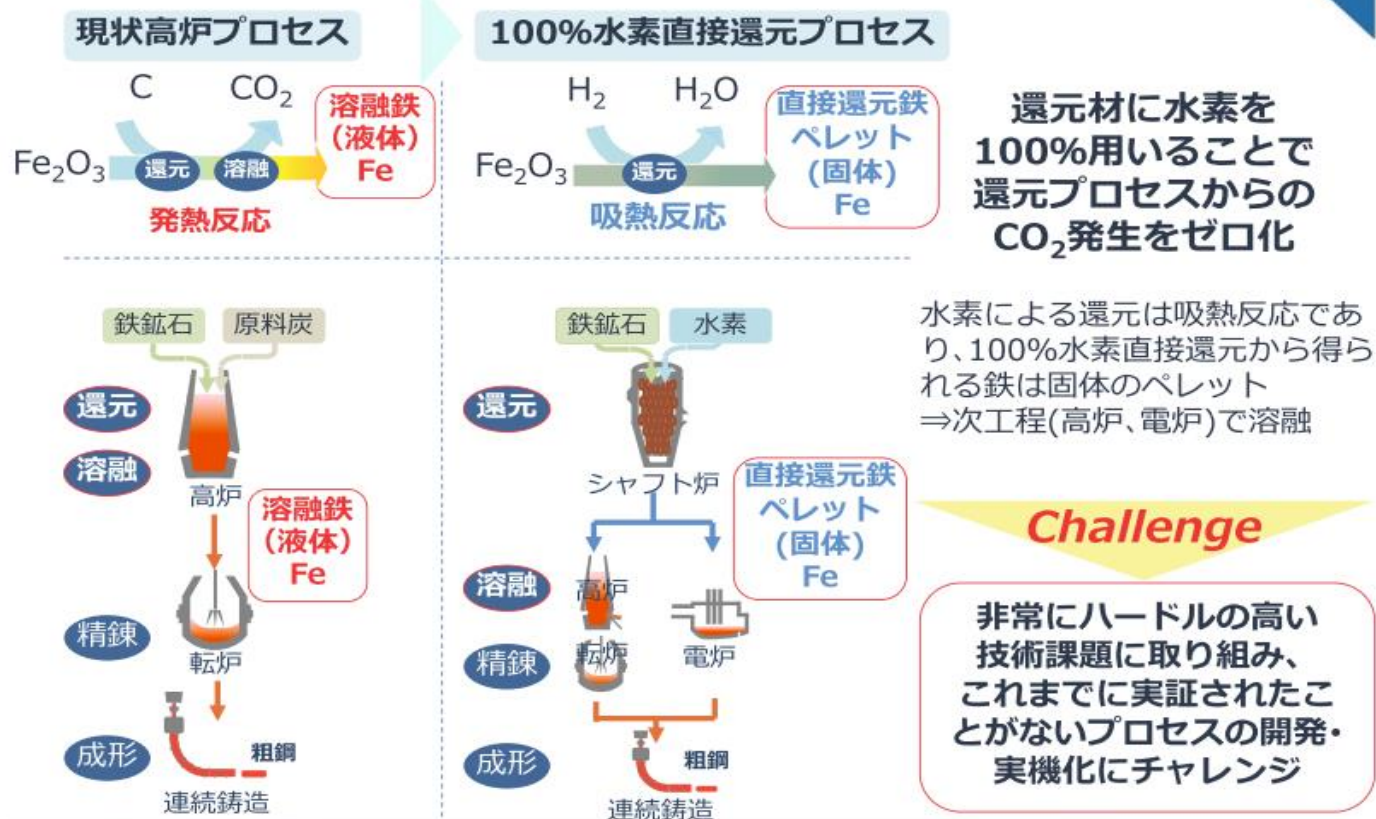


5. 超革新技術開発③ 100%水素直接還元

31

100%水素直接還元プロセス

32



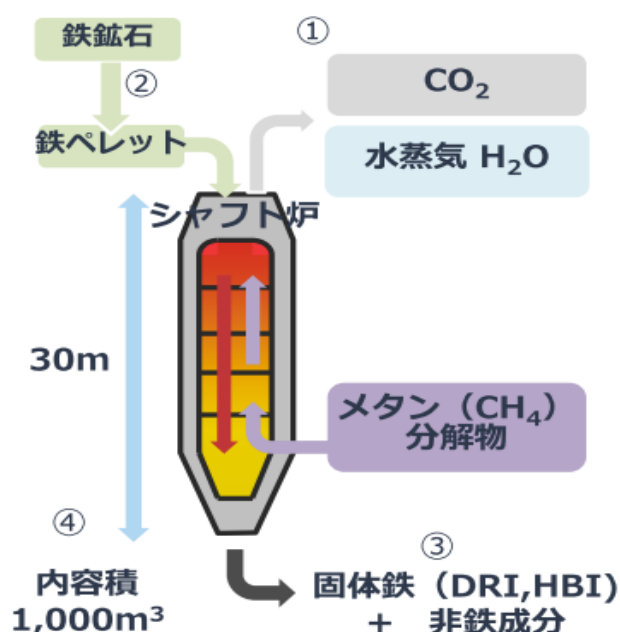
NIPPON STEEL

© 2021 NIPPON STEEL CORPORATION. All Rights Reserved.

直接還元法の技術課題

33

既存の直接還元法は、還元材に石炭ではなくメタン(天然ガス)を使用。



課題

- ① メタンにCが含まれるため一定量の CO_2 が発生
- ② 事前の選鉱、ペレット化処理が必要
- ③ 還元された鉄分は液体ではなく固体のため、次工程(電炉、高炉・転炉)での加熱溶融と非鉄成分分離が必要
電気炉で使う電力製造時の CO_2 も考慮要
- ④ 高炉法と比べると生産性が低い
直接還元炉: ~約0.5万t/日
高炉: ~約1万t/日

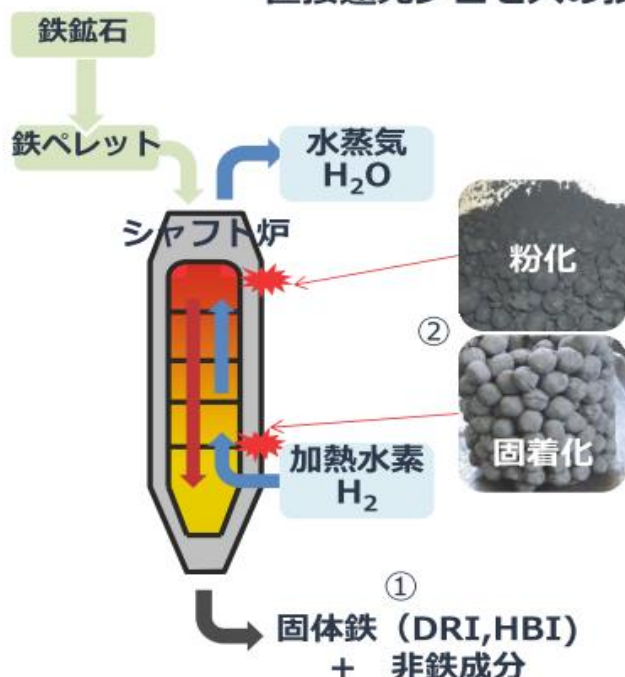
Cf. 現在実機化されている直接還元炉の事例
MIDREX(神戸製鋼)、FINEX(POSCO) 等

NIPPON STEEL

© 2021 NIPPON STEEL CORPORATION. All Rights Reserved.

100%水素直接還元プロセスの技術課題

還元材にメタン(天然ガス)ではなく水素を100%使用する
直接還元プロセスの技術開発にチャレンジ



課題

既存の直接還元法の課題に加え

- ① 水素還元は吸熱反応
⇒水素の加熱が必要
- ② 温度低下時の原料の粉化・生成物の固着化が起こりやすい
⇒粉化、固着しにくい鉄鉱石(流通量の約1割)のみ使用可能であり、原料が限定的。

Challenge

高温の可燃性気体を大量に炉内に投入する技術開発と原料ソースを拡大する操業技術開発にチャレンジ

(参考) 海外における水素還元製鉄の動向

欧州は再エネ水素が比較的入手容易で、水素による直接還元の研究開発が一部で始まっている。

ArcelorMittal, Hamburg (独)

既存天然ガス直接還元商用プラントを使った
水素還元製鉄法の開発(10万トン/年)
建設費€ 1億1千万 (約130億円)

SSAB (スウェーデン) HYBRITプロジェクト

天然ガス直接還元試験プラント(新設)を使った
水素還元製鉄法の開発 (7,000トン/年)
建設費 € 1億5千万 (約180億円) Swedish Energy Agency補助
2026年から130万トン/年の生産計画を発表

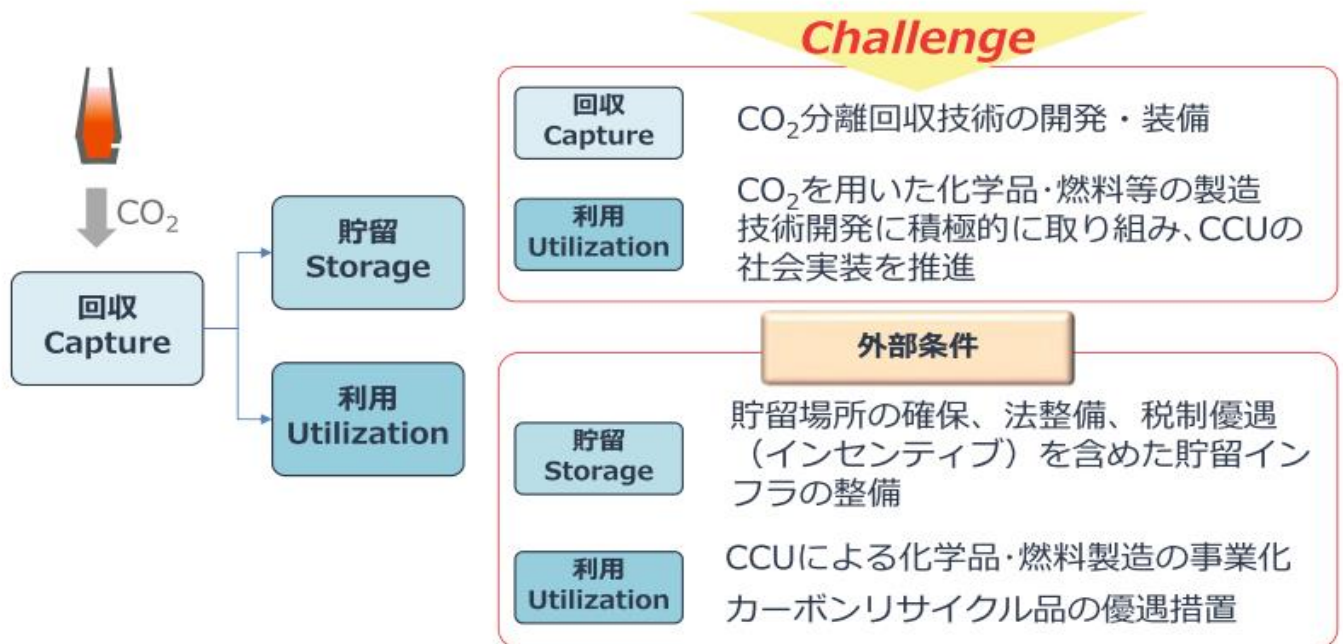
宝武鋼鉄(中国)

中国低炭素冶金技術革新同盟を開始
低炭素冶金革新研究所を設立
新疆の既存400m³高炉で水素還元製鉄の産業化研究

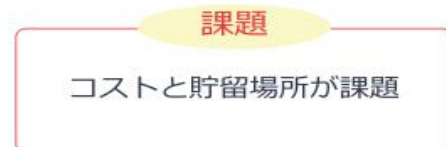
6. CCUS (Carbon Capture Utilization and Storage) ³⁶

CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage) ³⁷

CO₂発生を極小化した後でもなお鉄鋼製造プロセスから発生するCO₂を分離・回収(Capture)し、地中に埋めて貯留(Storage)、あるいはCO₂を直接ないし他の物質に変換して利活用(Utilization)



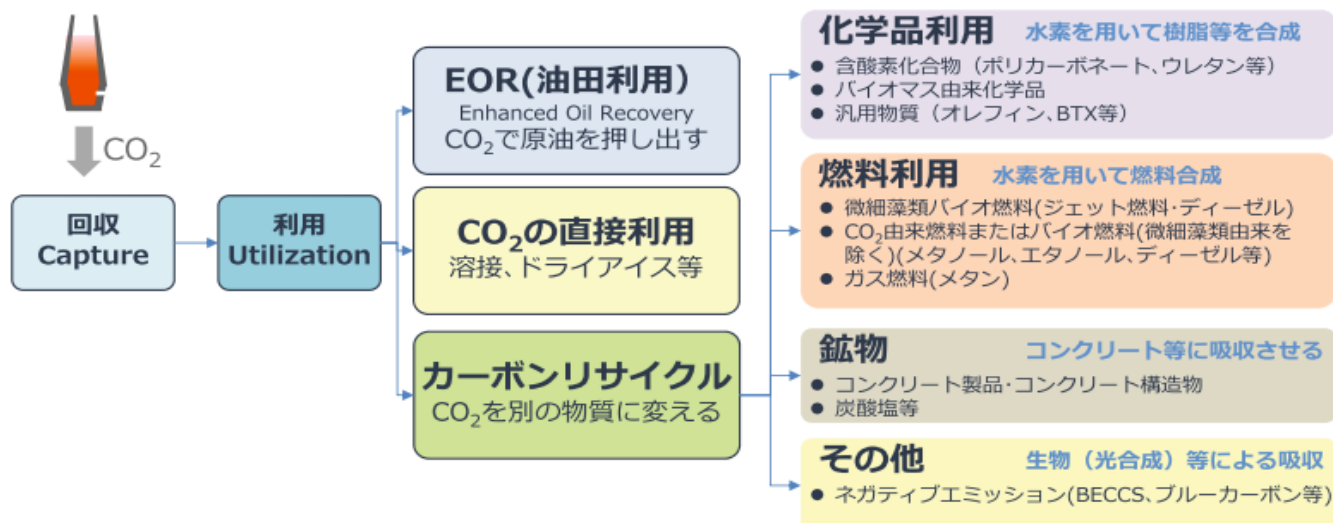
CCS(Carbon Capture and Storage) : CO₂の地中貯留 ³⁸



CCU(Carbon Capture and Utilization) : CO₂の再利用³⁹

CO₂を化学品等の原料に使う有価化。

経済産業省、カーボンリサイクル技術ロードマップ(2019)



課題

- ・ 変換コストは比較的高額。
- ・ CO₂は化学的に安定。化学変換(これも還元)には大量のカーボンフリー水素が必要。
- ・ 鉱物化以外は固定期間が短く、いずれは燃焼や分解によりCO₂として大気に再放出。
- ・ 化学品等の利用量が限られており、CO₂固定量に限界がある。

NIPPON STEEL

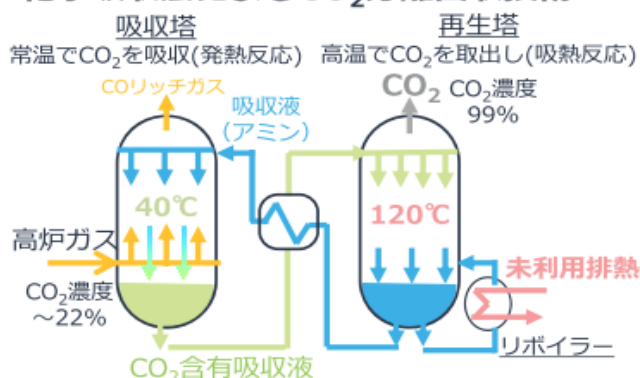
© 2021 NIPPON STEEL CORPORATION. All Rights Reserved.

当社のCCUSの取り組み (COURSE50プロジェクト)

40

回収 CO₂分離回収技術の開発

化学吸収法によるCO₂分離回収技術



- ・ 高性能な化学吸収液を開発
- ・ 高性能な排熱回収熱交換器を開発
- ・ パイロットプラント 試験を通じてCO₂分離回収効果を実証

理論限界に近い分離回収所要エネルギー効率達成の見通しを得た

分離回収コスト ≤ 2,000円/t-CO₂ 達成の見通しを得た

未利用排熱回収技術



現在は大気放散されている200~400℃程度の排熱を回収し、化学吸収法によるCO₂分離回収の熱源として活用することで、分離回収コストを低減

高温度効率且つ低圧損を実現できる高性能マイクロ熱交換器を開発

出典: NEDOのURLを基に当社作成

NIPPON STEEL

© 2021 NIPPON STEEL CORPORATION. All Rights Reserved.

当社のCCUSの取り組み（実機化済技術）

回収

省エネ型二酸化炭素回収設備「ESCAP®」

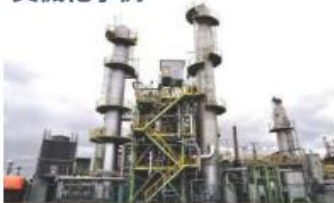


日鉄エンジニアリング株式会社

ESCAP® (Energy Saving CO₂ Absorption Process)

- ・ COURSE50(環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス技術の開発)で開発した省エネ型二酸化炭素回収技術を基に、日鉄エンジニアリング(株)にて独自技術を加えて産業用途に商品化。
- ・ 当社とRITE(公益財団法人地球環境産業技術研究機構)が共同開発した吸収液を使用し、CO₂を含むガスから少ないエネルギーで高純度のCO₂を分離・回収可能
- ・ 化学吸収法を用いた設備で、汎用技術と比べ熱消費量を4割以上削減し、不純物の多い原料ガスから、食品用途を含む高純度のCO₂を製造することが可能
- ・ 化学原料用途、化学プロセスにおけるCO₂除去用途、EOR(石油増進回収)、およびCCS(CO₂地中貯留)向けにも適用可能

実機化事例



エア・ウォーター炭酸(株)/省エネ型二酸化炭素回収設備(ESCAP®)
(当社室蘭製鉄所構内)

竣工：2014年11月

生産量：120t-CO₂/Day、純度：99.9vol.%以上

製鉄所の熱風炉燃焼排ガスをCO₂回収源とする化学吸収法による世界初の商業設備

実機化事例



住友共同電力(株)/省エネ型二酸化炭素回収設備(ESCAP®)

竣工：2018年7月

生産量：143t-CO₂/Day、純度：99.9vol.%以上

石炭火力発電の燃焼排ガスから食品用途レベルの二酸化炭素を分離・回収する日本初の商業設備

出典：日鉄エンジニアリング(株)ホームページ

NIPPON STEEL

© 2021 NIPPON STEEL CORPORATION. All Rights Reserved.

当社のCCUの取り組み（開発中技術）

化学品利用

CO₂を原料とするパラキシレン製造

NEDOプロ「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発/CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発/化学品へのCO₂利用技術開発」(2020~23FY)



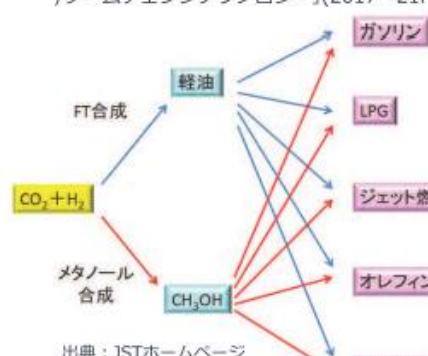
出典：日本製鉄

実施者：富山大学、千代田化工建設(株)、日鉄エンジニアリング(株)
日本製鉄(株)、ハイケム(株)、三菱商事(株)

燃料利用

CO₂を原料とするオレフィン・灯軽油製造

JSTプロ「地球規模課題である低炭素社会の実現/ゲームチェンジテクノロジー」(2017~21FY)



出典：JSTホームページ

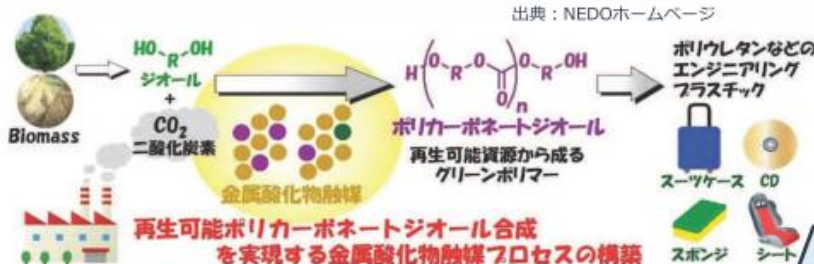
実施者：富山大学、日本製鉄(株)

化学品利用

CO₂を原料とするポリウレタン中間体製造

NEDOプロ「未来チャレンジ2050」
(2018~22FY)

実施者：大阪市立大学、東北大学、日本製鉄(株)



出典：NEDOホームページ

NIPPON STEEL

© 2021 NIPPON STEEL CORPORATION. All Rights Reserved.

超革新技术の技術課題と必要外部条件

44

大型電炉での高級鋼製造

技術課題

- スクラップ：材質有害元素の無害化技術確立、還元鉄併用
- 電炉の生産性向上、大型化・効率化

外部条件

- コスト競争力のあるカーボンフリー電力の供給

高炉水素還元（COURSE50・Super COURSE50）

技術課題

- 水素還元吸熱に対応する水素加熱吹込み技術確立
- コークス使用を最小化した中での通気性確保
- 超大型高炉へのスケールアップに向けた実機化検証
- 残る発生CO₂のオフセット技術確立(CCUS)

外部条件

- CCU(再利用)・CCS(地中貯留)の実現
- 大量のカーボンフリー水素の供給

100%水素 直接還元プロセス

技術課題

- 水素による直接還元法の確立

外部条件

- 大量のカーボンフリー水素の供給

ゼロカーボン・スチール実現への挑戦と社会との連携

45

当社は日本の鉄鋼業が引き続き世界をリードし日本の産業全般の競争力を維持・強化するために必須である、ゼロカーボン・スチールの実現に向けた**超革新技术の他国に先駆け**た開発・実機化に、経営の最重要課題として果敢に挑戦

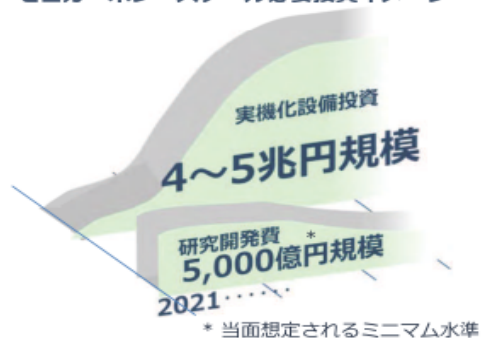
ゼロカーボン・スチール実現に伴う 3つのコストアップ

- ① 巨額の研究開発費
- ② 実機化のための巨額の設備投資
- ③ 安価なカーボンフリー水素・カーボンフリー電力が調達できた場合においても、操業コストが上昇
粗鋼の製造コストは現状の倍以上となる可能性

ゼロカーボン・スチール実現に必要な 3つの連携

- ① 「環境と成長の好循環」を実現する国家戦略
非連続的イノベーション等の研究開発に対する長期かつ継続的な政府の支援
安価安定大量の水素供給インフラ確立、国際競争力あるコストでのゼロエミ電源の実現、
CCUS等の開発・実用化のための国家プロジェクト推進
- ② 国際競争におけるイコールフットING確保、産業競争力強化、
ビジネスチャンスにつながる政策の一体的実現
- ③ 社会全体でコスト負担するコンセンサスの形成
研究開発や既存設備の転換を伴う設備投資、大幅な製造コスト上昇等、
ゼロカーボン実現に伴うコストを社会全体で負担するしくみの構築

ゼロカーボン・スチール必要投資イメージ



* 当面想定されるミニマム水準

各国におけるエネルギー・環境関連税

47

- ✓ 石炭に課税する国が複数あるが、そのほとんどは民生暖房用などに限定（産業用石炭課税の場合も還付や同率のtax incentiveで実質非課税）
- ✓ 鉄鋼製造用石炭、コークス、副生ガスに課税している国は実質的にはない

国名	税の性格	石炭への課税	石炭への減免や優遇制度
スウェーデン	炭素税	SEK2,976/t	製鉄用、発電用は免税
ノルウェー	炭素税	課税対象外	—
ドイツ	エネルギー税	0.33g/GJ	業務用暖房用途のみ課税、ETS対象企業は免税
イタリア	エネルギー税	€4.6/t（業務） €9.2/t（家庭）	暖房用途のみ課税
イギリス	気候変動税	£ 0.03174/kg	原料および還元材などは免税
フランス	石炭税	€0.01462/7.2kWh	原料や還元材は免税、ETS対象企業は免税
スペイン	炭化水素税＋電気税	€0.15/GJ（業務） €0.65/GJ（家庭）	製鉄用、発電用、一部産業は免税
ベルギー	エネルギー税	€0.3715/t	原料や還元材は非課税、ETS対象企業は一部免税
米国	エネルギー税	非課税	—
中国	エネルギー税	非課税	—
韓国	エネルギー税	46ウォン/kg （個別消費税）	発電用石炭に対してのみ
インド	無し	非課税	—
豪州	無し	非課税	—

（鉄連調査に基づき当社作成）

ドイツと日本の電気料金比較

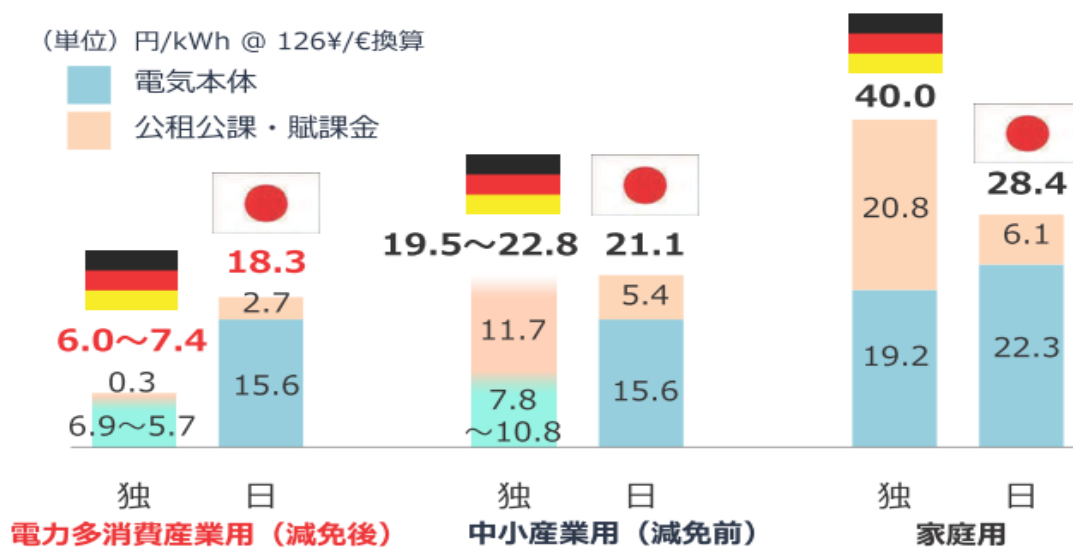
48

- ✓ ドイツの電力多消費産業用電気料金は日本の産業用電気料金の約1/3
- ✓ 様々な減免制度があり、電力多消費産業向けでは、ほとんどの公租公課・賦課金と託送料金が減免されている

（単位）円/kWh @ 126¥/€換算

電気本体

公租公課・賦課金



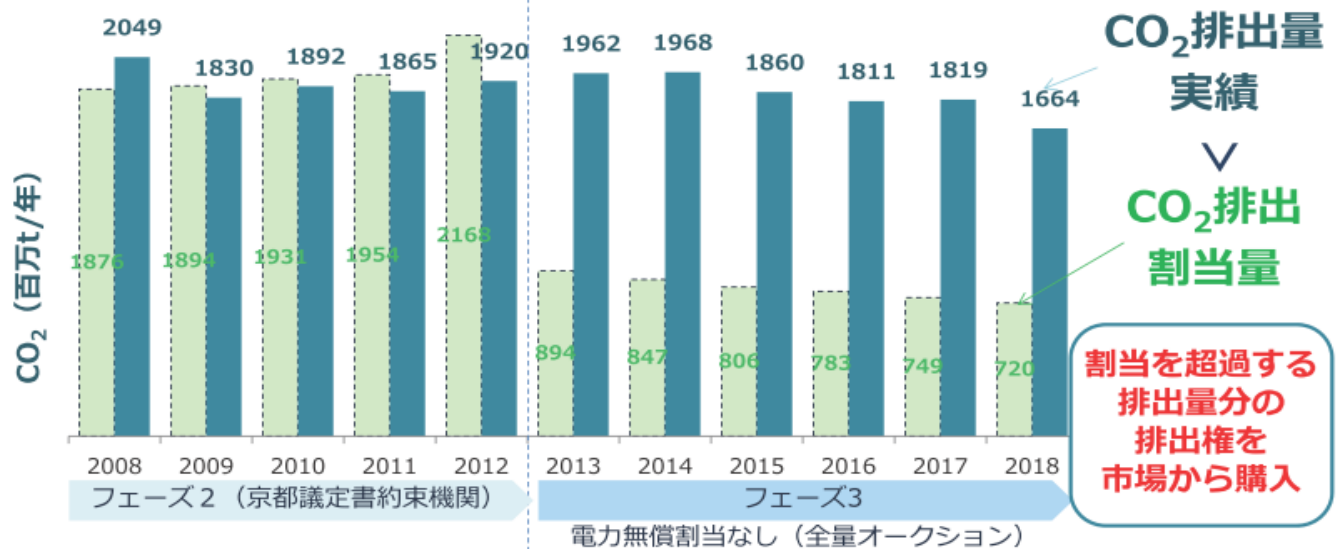
※日本：特別高圧産業用の60kV・4MW契約、100万kWh/月の前提。家庭用は40A契約、400kWh/月の前提。減免はFIT賦課金8割減免の前提
 ※独：中小産業用は16~2000万kWh/年。ほとんどの製造業は何らかの減免措置があり平均は€8.46 (¥10.56)/kWh

（日鉄総研調査に基づき当社作成）

EU排出量取引制度（EU-ETS）の実態（欧州全体）

49

- ✓ 欧州全体でのEU-ETS対象の排出量は約20億トン/年
- ✓ フェーズ2期間(2008～2012年)は無償割当量と排出量実績が概ねバランス
- ✓ フェーズ3期間(2013年以降)は、電力への無償割当が廃止されたこと、年率削減率が拡大されたこと等により、無償割当量と排出量実績が大きく乖離(CO₂排出枠が不足)



データ出典：(EU) Emissions Trading System (ETS) data viewer (European Environment Agency) form EU Transaction Log (EUTL)

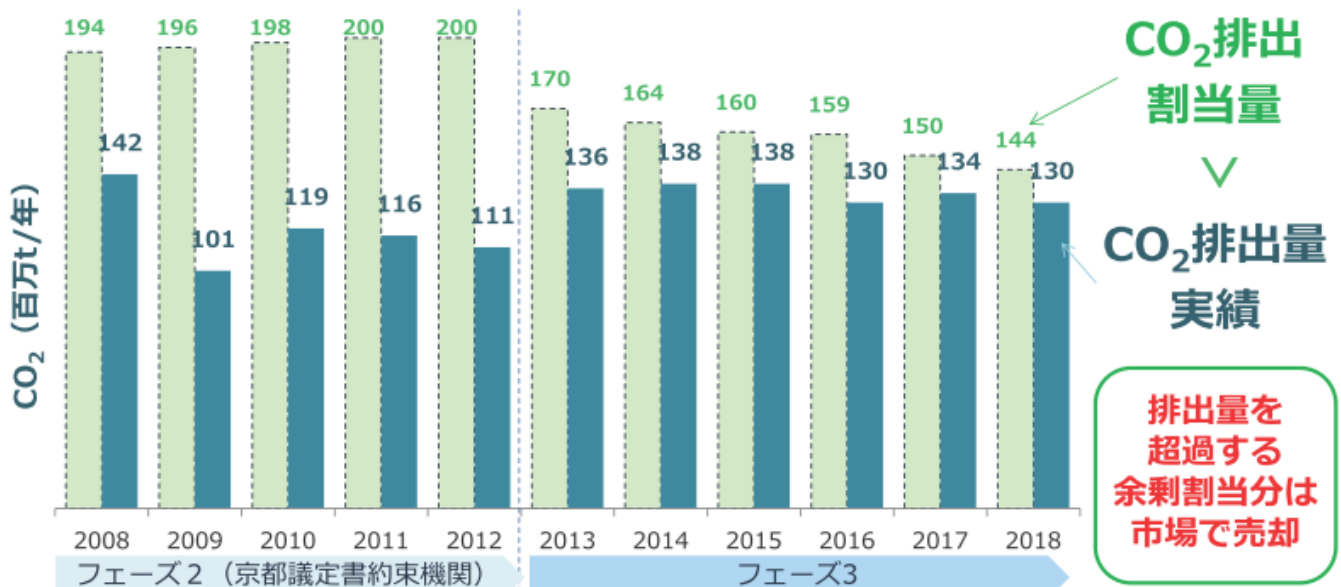
NIPPON STEEL

© 2021 NIPPON STEEL CORPORATION. All Rights Reserved.

EU排出量取引制度(EU-ETS)の実態(鉄鋼全体)

50

- ✓ 欧州の鉄鋼業全体での排出規模は約1.5億トン/年レベル
- ✓ 全体として過剰割り当ての状況が継続、排出量実績は減っていない



データ出典：(EU) Emissions Trading System (ETS) data viewer (European Environment Agency) form EU Transaction Log (EUTL)

NIPPON STEEL

© 2021 NIPPON STEEL CORPORATION. All Rights Reserved.

- ✓ 世界最大の排出国である中国は、2060年までの脱炭素経済の実現を目指して2021年2月1日より、排出量取引を全国で開始
- ✓ 温暖化ガスの年間排出量が多い発電業者から始め、今後5年間で鉄鋼・建材・石油化学・化学・非鉄金属・製紙・航空も対象に加える方針
- ✓ 当面、政府は無償排出枠を割り当て、「状況に応じて適切な時期に」オークション枠を開始する予定

＜参考＞CISA執行会長の発言

「CO₂排出量取引を含む制度設計のときに、利益が外部ではなく業界の優れた企業に流れるようにすることを考慮し、優れた企業が主導権を握るようにする必要がある。炭素排出量の削減は業界の競争力を低下させるのではなく、企業間の競争力の向上を促進することを期待する。」

カーボンプライシング

- ①我が国鉄鋼業が負担しているエネルギーコストは国際的に見て既に高い水準にあるため、追加的負担を伴う炭素税や排出量取引制度などのカーボンプライシングは、国際競争力上、甚大な影響を与える。我が国の鉄鋼業が競争力を喪失することは日本の高機能鋼材を使用して世界で戦っている全てのモノづくり産業の土台を揺るがすことにつながる。

産業用電気料金の国際比較
(USD/MWh)



出典：中国以外はIEA(2019)、中国は日鉄総研調べ。江蘇省は220kV以上。

高額な電気料金は国際競争における大きなハンディキャップ

- ②我が国のグリーン成長戦略を実現する上で、鉄鋼業の「ゼロカーボン」は重要な意味を持つが、ゼロカーボン技術は世界中どこにも確立されておらず、非常にハードルの高い技術開発にゼロからチャレンジしていくことが必要。ゼロカーボンの実現には、長期にわたる研究開発投資に加え、その技術を実装する際の新たな設備投資、既存設備の転換費用等、莫大なコストが必要であり、カーボンプライシングのような更なる負担が課せられた場合、こうした脱炭素に向けたイノベーションの原資を奪われることになる。鉄鋼業は各社、既に経営の最優先課題に位置付けており、その推進のためのカーボンプライシングは不要。

- EUやアメリカでは、気候変動対策の不十分な国からの輸入品に対して国境調整措置を検討するなどの動きが見られる。

＜国境調整措置＞

- ✓ 国境調整措置とは、炭素排出量に応じて水際で調整措置を講じる政策手法
- ✓ 例えば、排出量の多い国からの輸入について、国境において関税を賦課することが考えられる。

(欧州)

- ✓ グリーンディールにおいて、EU域外からの特定の品目について、炭素価格を課すとしている。2021年6月までに制度詳細を提案、2023年までに導入を目指すと発表。

(米国)

- ✓ バイデン大統領は、公約に組み込む。(民主党要綱に記載)

＜国境調整措置の問題点＞

1. **WTOルールとの整合性** (ex.国境調整措置はEU-ETSと平仄をとる必要があるが、EU-ETSの無償枠が継続されればEU域内への過剰な補償となり、WTOルールに整合しない可能性がある。)
2. 製品における**炭素集約度計測手法・データの透明性の確保のための国際的ルール不存在**

＜参考＞ 欧州議会における国境調整措置に関する拘束力のない予備的採決

- ・ 国境調整措置に伴うEU-ETS無償枠の継続・廃止が焦点

2/5時点：EUETS無償枠廃止 ⇒ EUROFERは「死刑宣告」と同じと猛反発

3/10時点：無償枠継続が僅差で可決 ⇒ EUROFERは国境調整措置を歓迎

本資料は、金融商品取引法上のディスクロージャー資料でなく、その情報の正確性、完全性を保証するものではありません。また、本資料に記載された将来の予測等は、説明会の時点で入手可能な情報に基づき当社が判断したものであり、不確定要素を含んでおります。従いまして、本資料のみに依拠して投資判断されますことはお控えくださいますようお願い致します。本資料利用の結果生じたいかなる損害についても、当社は一切責任を負いません。



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EU 1－政策
- 3) 先行するEU 2－鉄鋼業界
- 4) 先行するEU 3－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。

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。

謝辞

本インフォバ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。

特にアグラ・エナジー・ヴェンデとそのアグラ産業チームには、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。

1. はじめに

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

2

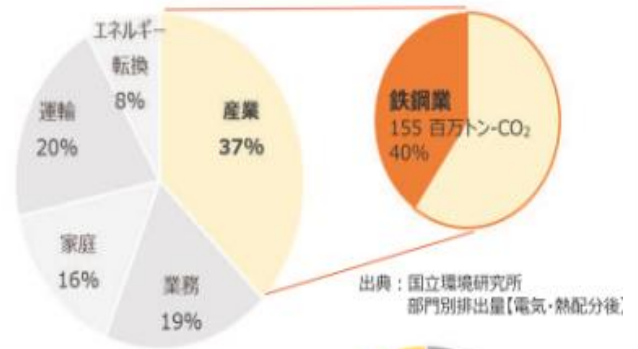
鉄鋼業の脱炭素化：2050年脱炭素化に向け、さらに加速を

- 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。

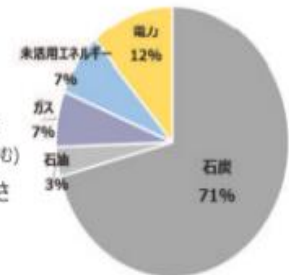
鉄鋼業のエネルギー起源CO₂排出 (2019)

鉄鋼業の排出は1億5千万トン-CO₂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



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。



Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

出典：経済産業省・資源エネルギー庁

3

脱炭素政策で先行するEU

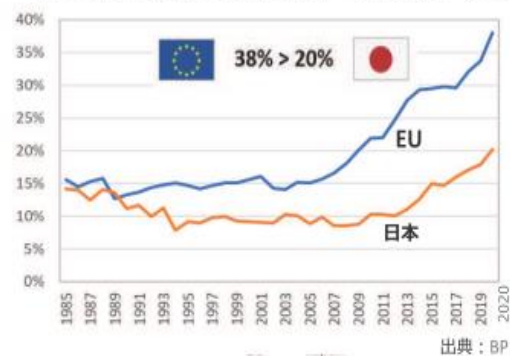
- EU全体の粗鋼生産量は、世界の8%を占め、中国（53%）に次ぐ世界第2位。第3位のインド（6%）、4位の日本（5%）を凌ぐ世界の鉄鋼業の重要なアクターである。
- 産業の脱炭素化には政策のリーダーシップが欠かせない。EUではGHG削減目標の設定をはじめ、多くの点で迅速、野心的な施策判断が行われてきた（次頁表を参照）。
- EUの2030年のGHG削減目標は55%（1990年比）。そのために目指すべき自然エネルギー電力割合は65%とされている。2020年ですでに38%まで達している。
- また、欧州排出量取引制度（EU-ETS）は早くも2005年に導入され、継続的に強化されてきた。排出枠価格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。

* €1=¥128.96@2021.12.8

** 従来の高炉を使った製鉄と比較して、CO₂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

発電電力に占める自然エネルギー電力の割合（EUと日本）



EU-ETSの排出枠価格



Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

4

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: 2020年のGHG排出量削減目標を設定。1990年比で25%
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）	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
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	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
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	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: 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: 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
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	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: EUの2030年のGHG排出量削減目標を55%に引き上げること提案（2021年に採択）	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
	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

6

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－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

7

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
- 時間との戦いー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（H₂DR-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年に一度はライニング改修が必要

** アグ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

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved



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

8

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

9

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 (H₂DR-EAF)
 - 3) 高炉-転炉法とCO₂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)

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

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ーが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。

* 従来の高炉を使った製鉄と比較して、CO₂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

10

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—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 (H₂-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 (H₂DR-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 ₂ Green Steel H ₂ グリーン・スチール	H ₂ DR-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 ₂ DR-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 ₂ DR-EAF** 水素直接還元-電炉	2.5 百万トン	2030年まで	ベルギー、フランドル政府から、 11 億ユーロの支援
Gijón	 スペイン	ArcelorMittal アルセロール・ミタル	H ₂ DR-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 ₂ DR-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 ₂ DR-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 ₂ Steel	 ドイツ	ThyssenKrupp ティッセンクルップ	H ₂ DR-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、直接鉄銑への還元を行う。排ガス中のCO₂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%以上削減が可能のため、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), H₂Green 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H₂Green 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）。



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

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

12

3. 脱炭素製鉄の技術オプション

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

13

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

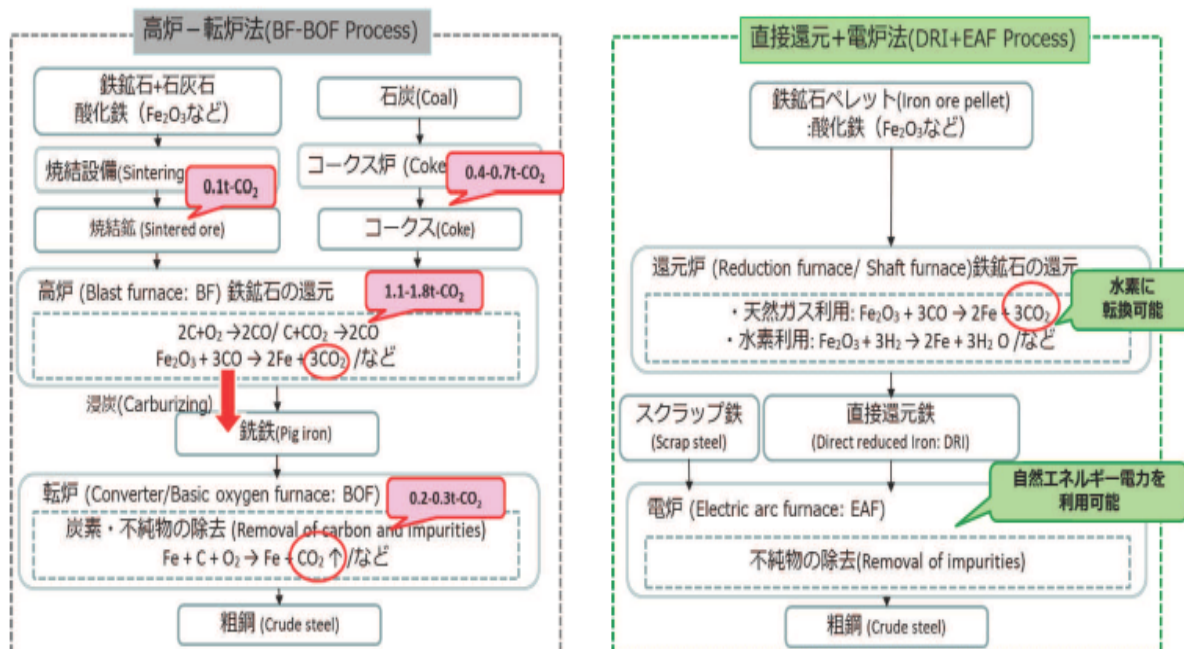
高炉-転炉法： 排出するCO₂を最大限回収して、一部使用、最終的には永久貯留(CCUS)。100%の回収は困難であるため、残るCO₂相当量を、DAC（大気からの直接CO₂回収）またはカーボンオフセットが必要。

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

14

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、CO₂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-CO₂）のCO₂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CO₂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CO₂排出量はCarbon Trust (2011)より

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

15

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：

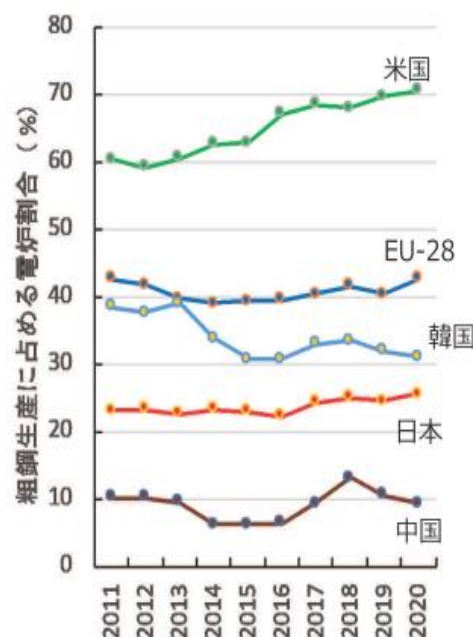
- 電力が脱炭素化すれば、CO₂排出ゼロが可能。
- 技術は成熟しており、コスト競争力も高い。
- 自然エネルギー電力コストが低くなれば、その恩恵を受けられる。

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、
*東京製鉄・産業技術総合研究所、**環境省

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

16

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:

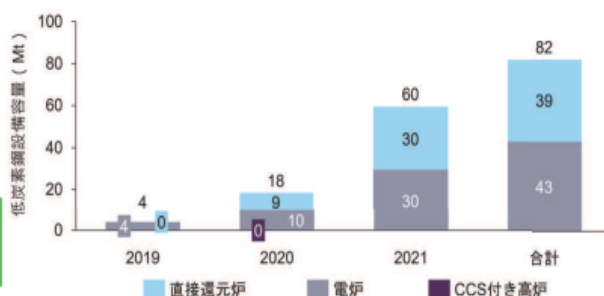
- 原燃料の水素と電力が脱炭素化されていれば、CO₂排出ゼロが可能。
- まだ商用規模には達していないが、技術的には、ほぼ成熟している。脱炭素水素と脱炭素電力のコスト削減によっては、2050年頃には、現在の高炉-転炉法に匹敵するコスト競争力を持つことができる(P.20参照)。

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

17

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。

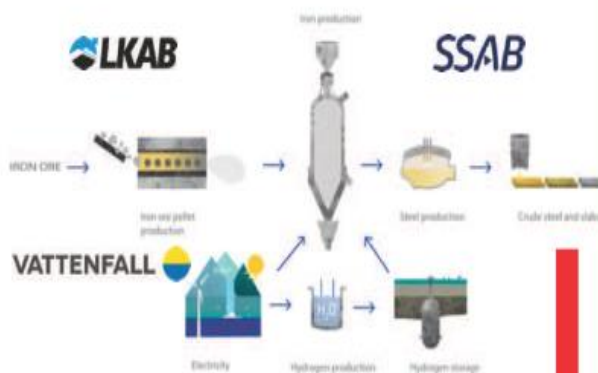
特徴

- 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

18

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CO₂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CO₂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。

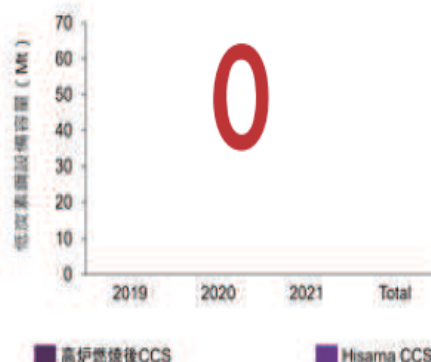
課題：

- 技術的には未成熟だが、開発中である。
- 排出CO₂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）。
- CO₂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CO₂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

19

主要な脱炭素技術手法のコスト比較

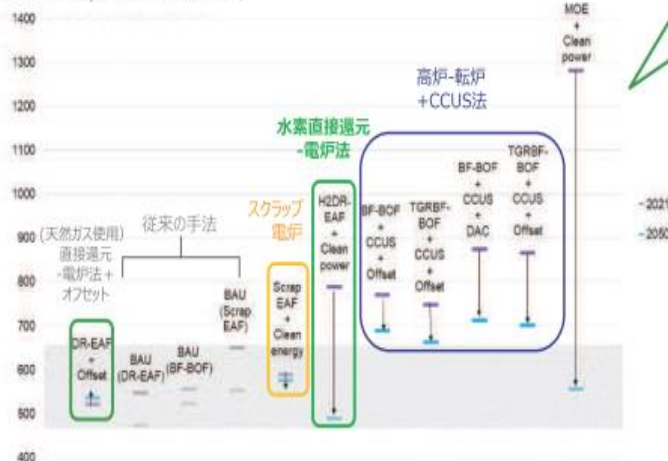
ブルームバーグNEFのコスト予測によると、2050年には

- 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

鉄の均等化コスト（\$ / 粗鋼1トンあたり）



- 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、グ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・リサイクル
	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）
本インフォバ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。

出典：BloombergNEFのグラフに財団加筆

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

20

4.おわりに

Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

21

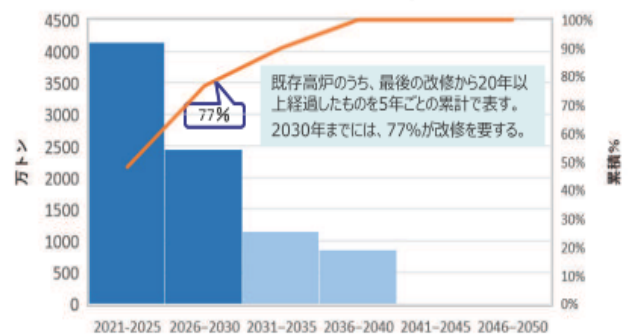
まとめ：鉄鋼業脱炭素化への決断の時

- 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の制度が両輪**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・新增設してしまうと、2050年までの再投資の機会が少なく、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**。

* 従来の高炉法と比較して、CO₂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。

日本における改修の必要高炉(設備容量)



Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

出典：Agora Energiewende(2)

22

資料

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

24

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、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ならない。
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指す、官民の調達を促進。
First Movers Coalition (FMC)	米国防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。クリー・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%以上をコア・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イクホルダーの基準、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ス・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

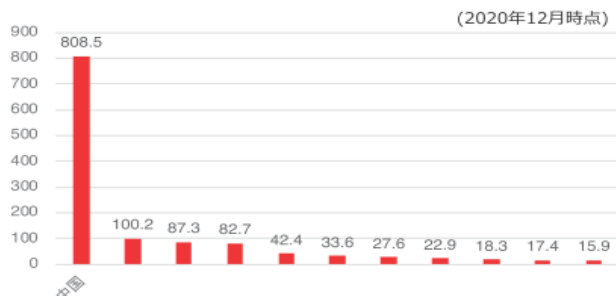
Copyright © 2021 Renewable Energy Institute. All Rights Reserved

25

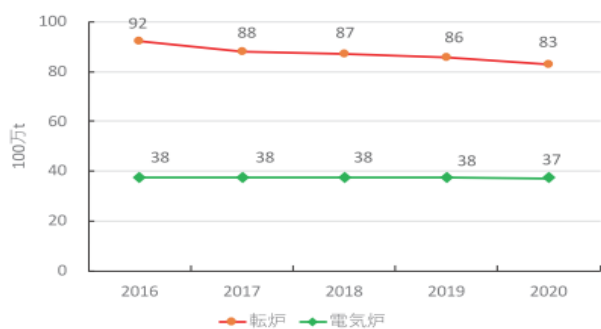
日本の製鉄の現状 – 概観

- ・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、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



日本の転炉と電炉の容量



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

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

26

略語一覧・参考文献一覧

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

28

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 CO₂-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

29

参考文献一覧 2

- H₂ 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-world-first-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

30

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/site_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/iqjm1000000zgedu-att/UNFCCC-GHG_J_210729.xlsx



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

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。

本インフォバックが使っている情報の一部は、アグラ・エナジーヴェンデ/アグラ・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