

日本製鉄と水素：

Super COURSE50が気候危機に逆行する理由

日本製鉄は「Super COURSE50」というブランドを掲げ、高炉への加熱水素吹込みと炭素回収を組み合わせることで、製鉄所からのCO₂排出を削減し、気候変動対策を実施しているとしている。

しかし、いくら環境への配慮を約束し、入念なブランド戦略を進めても、同社は根本的に気候変動対策に乏しい計画を支持している。日本製鉄は、水素を利用し石炭を使った鉄鋼生産を継続しようとしているのだ。

日本製鉄には、石炭に依存しない未来に向けたより良い道がある。グリーン水素を使用して直接還元鉄（DRI：Direct reduced iron）を生産し、石炭を燃やす高炉が寿命を迎えると同時に、リライニング改修を行わずに廃止するという選択である¹。

日本製鉄と水素における重要な論点とは？

日本製鉄が、脱炭素化に真剣に取り組み、水素を使った鉄鋼生産を推進していると主張すると、多くの人は、同社が気候変動対策に真剣に取り組む技術的なリーダーだと捉えるだろう。しかし、鉄鋼業におけるグリーン水素を利用した真の脱炭素化と、日本製鉄が推進している水素の使用方法には明確な違いがあることを理解しなければならない。

本文書では、以下を明らかにする：

- 日本製鉄が鉄鋼生産で水素利用を語る時、1) 高炉への加熱水素吹込みと、2) 水素直接還元製鉄（H₂-DRI）の2種類があり、これらは本質的に異なる技術であり、気候対策効果も大きく異なること。
- 日本製鉄が計画している、石炭を使って高炉に水素を吹き込むSuper COURSE50が、真の気候変動対策ではない理由。
- 日本製鉄や他の鉄鋼メーカーが「水素」を語る際、「グリーン水素」や「化石燃料フリー水素」であるか否かに留意しなければならない理由。

¹ 日本製鉄は11基の高炉を稼働させている。うち2基は2030年までに閉鎖される予定。残り9基は、前回のリライニング改修からの寿命を20年と仮定すると、2030年までにリライニング改修が必要となるリスクがある。

「鉄と水素で世界の空気と未来を変えていく」と、日本製鉄は述べている²。

これは、誤解を招く主張だ。鉄鋼生産に石炭を使用している時点で、世界の気候変動に拍車をかけている。日本製鉄が計画している水素の使用方法では、その流れを止めることはできない。

鉄鋼生産における最良の水素利用は「水素直接還元製鉄」である

鉄鋼生産では毎年約4 Gt（ギガトン）の温室効果ガスが排出される。この排出量の大部分を占めるのが、石炭を使用する高炉で、鉄鉱石を銑鉄に変える工程（製銑工程）である。石炭は、鉄鉱石に含まれる酸化鉄を「還元」し、金属鉄を生産するために使用される。

現在開発中の数多くの脱炭素化技術の中で、石炭を完全に排除し、鉄鋼生産をほぼゼロエミッションに近づけることができ、かつ商業化が目前に迫っている技術はひとつしかない。それが、水素直接還元製鉄（H₂-DRI）である。この技術では、直接還元炉（DRI炉）で鉄鉱石を直接還元鉄（DRI）に変える際に、グリーン水素を使って酸化鉄と反応させる³。

石炭を使用する高炉で生産された鉄鋼は、鉄鋼1 t（トン）あたり約2 tのCO₂を排出する。これに対して、水素直接還元製鉄（H₂-DRI）を使用し、水素生成、製鉄工程、製鋼工程に再生可能エネルギーを使用した場合、鉄鋼1 tあたりわずか0.05 tのCO₂しか排出されない⁴。

石炭を使用する高炉から、グリーン水素を使用する水素直接還元製鉄（H₂-DRI）に転換することで、使用する水素1 kgあたり25 kgのCO₂を削減できる⁵。

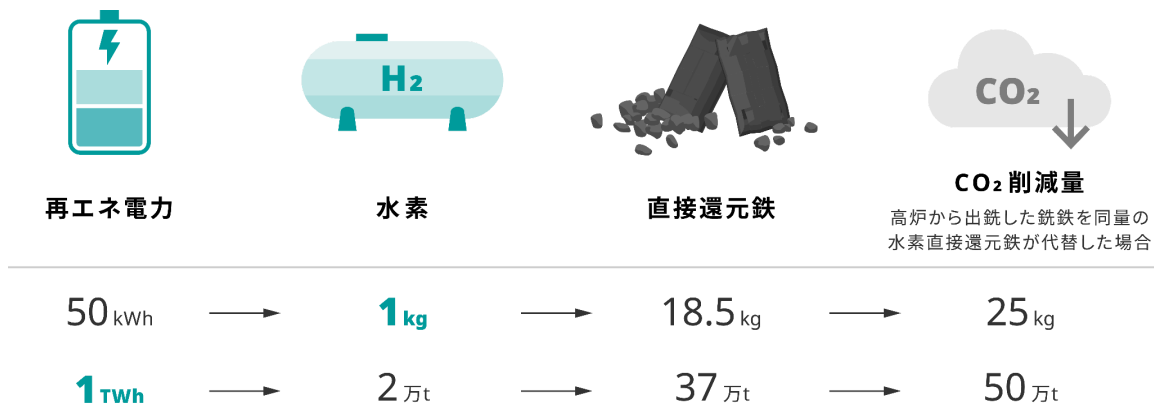
² 日本製鉄,【NIPPON STEEL】カーボンニュートラル動画(60秒ver), YouTube, 2022年7月1日。

³ HYBRIT, Fossil-free steel production ready for industrialisation. Summary of the HYBRIT pilot phase report, August 2024.

⁴ HYBRIT, Fossil-free steel production ready for industrialisation. Summary of the HYBRIT pilot phase report, August 2024.

⁵ スティールウォッチ, グリーン水素と鉄鋼の脱炭素化: 気候変動の視点から見る重要性和その背景, 解説シリーズ, 2024年10月. (英語版)

図1：

鉄鋼生産におけるCO₂排出削減の可能性：水素1kgもしくは再エネ電力1TWhを単位とした場合

高炉から水素直接還元製鉄（H₂-DRI）への移行は一夜にして実現するものではない。しかし、鉄鋼生産は2050年までにゼロエミッション経済の一端を担う必要がある。2050年までわずか25年しか残されていない今、企業はこの移行に向けた計画をすでに進めているべきである。

外部水素を高炉へ吹き込むことは、無駄な使い道だ

日本製鉄のほかにも、[アルセロール・ミッタル社](#)、[クリーブランド・クリフス社](#)、[タタ・スチール社](#)、[ティッセン・クルップ社](#)などの鉄鋼メーカーが、鉄鋼生産における水素利用について語っているが、真の脱炭素化とはかけ離れている。これらの企業が注目しているのは、**高炉に加热水素を吹き込むことで、石炭の使用を継続する方法である。**

この高炉への加热水素吹き込みが、日本製鉄の Super COURSE50の中核を成している。この技術では、石炭由来の還元剤（コークスや微粉炭）の一部を水素で代替し、CO₂排出量を部分的に削減する。

しかし、高炉では、石炭由来の還元剤を水素で完全に代替することはできない。その理由は以下の通りである：

- コークスは、還元反応を促進する役割に加え、高炉の中で積層されても簡単には崩れず、還元ガスや溶けた鉄の通路を確保する役割も果たしている。
- 石炭由来の還元剤による鉄の還元と違って、水素による鉄の還元は吸熱反応（周囲の熱を吸収する反応）であるため、水素の割合が一定量を超えると、還元反応で消費されるエネルギーを補うために、追加のエネルギー（場合によると、より多くの石炭由来の還元剤）が必要になる。

高炉への加熱水素吹込みの利点は、技術の大幅な変更を必要とせず、単に高炉への投入物に水素を追加するだけで済むことだ。もし、グリーン水素を使用すれば、ある程度のCO₂を削減することができる。しかし、多くの場合、グリーン水素は使用されておらず、プロセスガスから回収された水素や、グリーン水素または化石燃料フリー水素とは認められない工程で生成されたものを使用している。

本質的な問題は、この技術が石炭の採掘と使用を延命させ、気候変動を1.5°Cで食い止めるために必要な、真にクリーンで化石燃料に依存しない鉄鋼生産への変革を妨げていることにある。

日本製鉄や他の鉄鋼メーカーは、高炉への加熱水素吹込みに関する技術的な詳細をほとんど提供しない傾向にある。

特に、水素の原料及び生成方法⁶、実際の消費量、それに伴うCO₂排出削減量といった重要な情報が省かれる傾向にある。代わりに、多くの鉄鋼メーカーが提供するの、ベースラインを示さずにCO₂排出量が何%削減されたか、あるいは削減されるかという値であり、時には石炭由来の還元剤の使用をどれだけ削減できたか、数量や割合で示すこともある。日本製鉄は、削減量や定義なしに「30%削減」といった単一のCO₂削減率を示す傾向にある。

しかし、学術文献のレビューによると、Yilmazら(2017)⁷およびShatokha (2022)⁸は、**高炉に吹き込まれた水素1kgあたり約10kgのCO₂排出量が削減される**という推計値で一致している。

これに対し、水素直接還元製鉄（H₂-DRI）のために水素を使用すれば、水素1kgあたり25kgのCO₂が削減される。

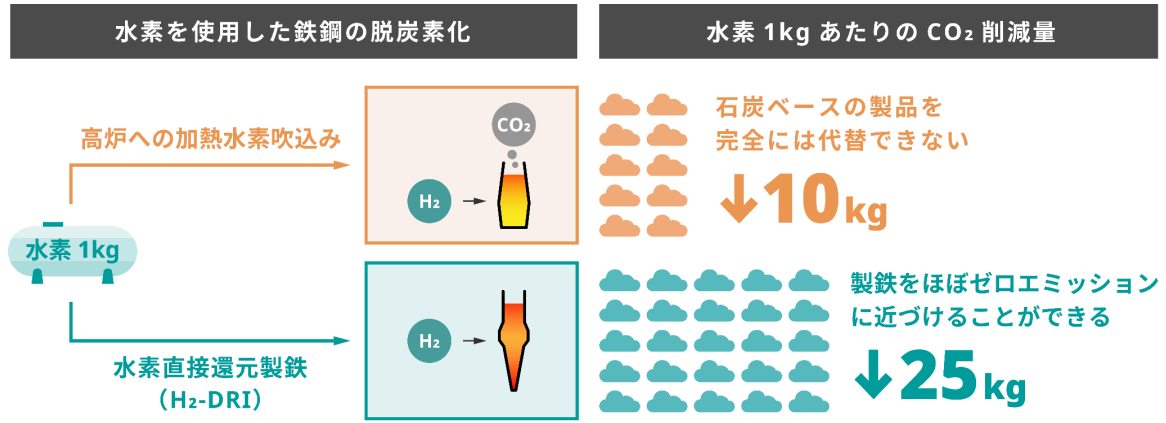
⁶ [Bellona](#), *Hydrogen in steel production: what is happening in Europe – part one*, March 2021.

⁷ [Yilmaz, C., J. Wendelstorf and T. Turek](#), Modeling and simulation of hydrogen injection into a blast furnace to reduce carbon dioxide emissions, *Journal of Cleaner Production*, 15 June 2017.

⁸ [Shatokha, V.](#), Modeling of the effect of hydrogen injection on blast furnace operation and carbon dioxide emissions, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 22 August 2022.

図 2：

高炉への加熱水素吹込みまたは水素直接還元製鉄（H₂-DRI）におけるグリーン水素使用とCO₂削減量の比較



どの水素を使う？気候対策には、グリーン水素でなければならない

鉄鋼メーカーが「水素」の使用について語る時、どの種類の水素を使っているか明記していないことが多い。グリーンと明記していない限り、グリーン水素である可能性は低い。日本製鉄も「水素」を語る時、どの種類の水素を使用しているかを明らかにしていないため、あたかもグリーン水素を使用しているかのように受け取られてしまい、同社の戦略がグリーンなのではないかという誤った印象を与えてしまう。

現在、世界中で生成されている水素はほぼすべて、化石燃料から生成されている⁹。そのため、水素分子（H₂）自体は物理的に炭素を含まないものの、その生成プロセスでは温室効果ガスが大量に排出されている可能性がある。したがって、水素が真の脱炭素化の手段となるためには、その生成プロセス全体を通じて、ニア・ゼロエミッションでなければならない。今日それは、再生可能エネルギーによる電力（再エネ電力）を動力源とする電解装置で水から生成される水素を指し、グリーン水素または化石燃料フリー水素として知られている。

⁹ IEA, *Global Hydrogen Review 2023*, 2023, p. 64.

日本製鉄のSuper COURSE50：石炭高炉で浪費される水素

COURSE50と呼ばれる高炉水素還元技術の開発には、すでに（2024年時点で）16年の歳月が費やされてきた。これは、日本の三大鉄鋼メーカーである日本製鉄、JFEスチール社、神戸製鋼所が参加し、2008年に研究プロジェクトとして始まったものである¹⁰。このプロジェクトは国立研究開発法人である新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の支援を受けている¹¹。

COURSE50は、石炭由来の還元剤の一部を、高炉－転炉法（BF-BOF）の製鉄所で生じるオフガスに含まれる水素で代替することにより、高炉からのCO₂排出量の削減を目指している。日本製鉄は、COURSE50の目標として、2030年までに高炉からのCO₂排出量を30%削減することを掲げている。そのうち、わずか10%が、オフガスに含まれる水素を高炉に吹き込むことによるCO₂排出削減分であり、残りの20%は炭素回収・利用・貯留（CCUS）によって達成するとしている¹²。

COURSE50が、2015年のパリ協定の目標と比べて不十分であることから、日本鉄鋼連盟は2018年に「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けたビジョンを示し、新たに「**Super COURSE50**」をロードマップに組み込んだ¹³。Super COURSE50の研究開発は、2020年にNEDOからの政府支援を受け¹⁴、「グリーンイノベーション基金」から資金提供などの継続的な支援を受けている¹⁵。

COURSE50とSuper COURSE50の違いは、Super COURSE50では、オフガスから回収された水素に加えて、高炉に吹き込むために生成された外部水素が使用される点である。この追加の外部水素により、Super COURSE50では高炉からのCO₂排出量を、COURSE50の30%削減に対し、50%以上の削減の達成を目指している（図2参照）。

日本製鉄は2024年2月¹⁶、「世界最高水準の更新となる、高炉本体からのCO₂排出量33%の削減を確認しました」と発表した。しかし、この33%の算出方法を示す具体的な排出量のデータは公開されていない。さらに、これらの試験は、商業用高炉の400分の1のサイズである12m³の小型の試験炉でしか実証されていない。

日本製鉄は、このプロセスを大型高炉にスケールアップする取り組みを進めており、2040年代の確立を目指している。一方で、同社は高炉の規模の違いがもたらす課題をはっきりと認めている。

¹⁰ 一般社団法人日本鉄鋼連盟, 研究体制 - COURSE50, <https://www.greins.jp/course50/research/>

¹¹ 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO), NEDOについて, (参照 2024-09-13)

¹² 水素製鉄コンソーシアム, 高炉のCO₂を減らす技術 - GREINS, (参照 2024-09-13)

¹³ 一般社団法人日本鉄鋼連盟, 日本鉄鋼連盟長期温暖化対策ビジョン『カーボンニュートラルへの挑戦』2018年11月公表, 2019年9月修正追記.

¹⁴ 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO), ゼロカーボン・スチールの実現に向けた技術開発, 2021年5月.

¹⁵ 経済産業省, グリーンイノベーション基金, (参照 2024-09-13)

¹⁶ 日本製鉄, 高炉水素還元技術Super COURSE50の試験炉において加熱水素吹き込みにより、世界最高水準となる高炉CO₂排出量33%削減を確認, 2024年2月6日

同社は、将来Super COURSE50で、高炉に使用される外部水素がグリーン水素となるかどうか、これまで明示していない¹⁷。それがグリーン水素でないならば、この技術によるCO₂排出削減量は、高炉で使われる水素の生成に伴う追加的なCO₂排出量を考慮し、差し引いて評価されるべきだ。

たとえグリーン水素を使用する場合でも、他の選択肢と比較しながら、再生可能エネルギーを賢く使う必要がある。真に有効な気候対策であるかどうかは、慎重に判断されるべきだ。しかし、日本では現在、再生可能エネルギーの不足により、グリーン水素の生成能力が限られている¹⁸。加えて、グリーン水素をアンモニアの形で輸入すると、変換時にエネルギーを浪費することを考えると、その実現には疑問が残る。この貴重なグリーン水素を、水素直接還元製鉄（H₂-DRI）ではなく、高炉への加熱水素吹込みに使用することは、無駄遣いであると言わざるを得ない。

日本製鉄のSuper COURSE50：数十年に渡る誤った選択

スティールウォッチは、日本製鉄のSuper COURSE50で水素を使用する計画を批判している¹⁹。その理由は主に以下の4点である：

1. 排出削減があまりにも遅く、不十分である：環境負荷の高い石炭を使用する設備からの排出を2050年までに50%削減するという目標は、気候変動対策に必要な水準から大きくかけ離れている。
2. 石炭の使用を延命させる：石炭を使用する高炉からの排出量をいくら削減したところで、石炭から脱却し、クリーンな未来へ移行させることにはならない。むしろ、石炭の採掘、使用、そして石炭による汚染を永続させることになる。
3. 根本的に非効率である：化石燃料由来の水素を使用する場合、単に、環境破壊をもたらすシステムにさらなる排出量が追加されるだけだ。グリーン水素を使用する場合でも、その貴重な資源を無駄にしてしまう。そのグリーン水素を、高炉一転炉（BF-BOF）でなく水素直接還元製鉄（H₂-DRI）に使用していれば、水素1kgあたり25kgのCO₂を削減できた可能性がある。これは、高炉で使用した場合に削減できる量の2.5倍に相当する。
4. 技術と投資の誤った選択：Super COURSE50の開発には、これまですでに16年が費やされ、商業化には少なくともさらに16年は必要とされ、完全な実装は2050年を目指している。気候変動問題の根本的な解決策とはなり得ない技術に次の四半世紀をかけることは、日本を代表する鉄鋼メーカーのイ

¹⁷ 日本政府は2030年までに年間300万tの水素を使用する目標を掲げているが、それがグリーン水素かどうか、またどこで生産されるのかについては明らかにしていない。

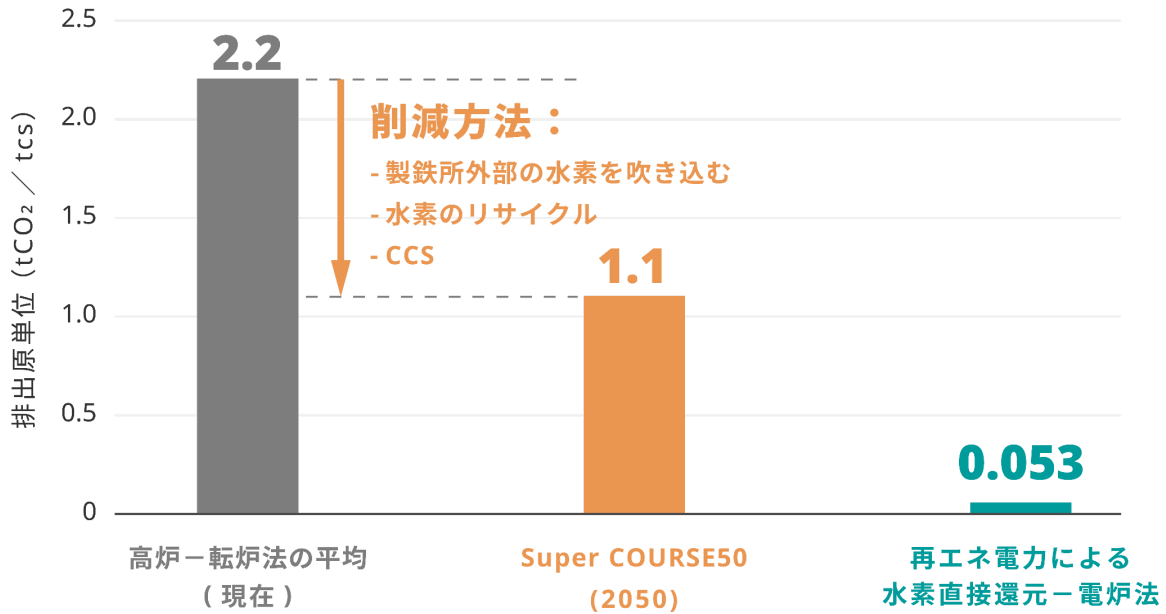
¹⁸ 自然エネルギー財団, 日本におけるグリーンスチールへの道: 脱炭素製鉄への転換を目指して, 2022年11月.

¹⁹ スティールウォッチ, あまりに遅く、不十分: 日本製鉄の気候変動対策の検証, 2024年.

ノーションと投資の大きなロスである。もし、日本製鉄がその技術力を真の脱炭素化に向けて投じていたならば、すでに違った道が開けていたかもしれない。

図3：

日本製鉄の既存および計画中の生産技術と水素直接還元製鉄（H₂-DRI）における排出原単位の比較



何が求められているのか？

正しい理解を：メディア、政府職員、投資家、その他のステークホルダーが知らなければならないことは、日本製鉄が水素を使って鉄鋼の脱炭素化を進めていると語る時、それはグリーン水素の使用を明言しているわけではなく、石炭燃焼から脱却しているわけでもない。さらに、今から30年経っても排出削減量はごく一部に過ぎないということを理解する必要がある。

高炉への加熱水素吹込みは、日本製鉄が石炭を使用する鉄鋼生産への依存を永続させる手段に過ぎない。

日本製鉄は、真の脱炭素化技術に投資する必要がある。同社がもし、水素直接還元製鉄（H₂-DRI）を選択すれば、グリーン水素1kgあたりの気候変動対策の効果ははるかに大きくなる。オーストラリアのような、再生可能エネルギーと鉄鉱石が豊富な国で、グリーン・アイアン（iron）を生産し、それをホッ

トブリケットアイアン（HBI：Hot briquetted iron）として日本に輸送することも可能である²⁰。製鋼工程は引き続き日本で行うことができ、輸入するのが鉄鉱石ではなく還元鉄になるという違いである。

1.5度目標に沿った気候変動対策のために、日本製鉄は高炉のリライニング改修ではなく、廃止計画を積極的に進め、今後10年以内に石炭を使用する鉄鋼生産から脱却しなければならない。

主要用語

高炉（BF） 高炉－転炉法（BF-BOF）	高炉では、鉄鉱石を石炭と混ぜて溶鉄を生成する。その後、転炉で銑鉄を鋼鉄に加工する。この鉄鋼生産プロセスを高炉－転炉法と呼ぶ。
COURSE50 Super COURSE50	COURSE50は、高炉への加熱水素吹込みと炭素回収の2つの技術を組み合わせて、高炉からのCO ₂ 排出量を削減することを目的に、2008年に開始した日本政府支援の研究プロジェクトである。2018年に開発に着手したSuper COURSE50は、COURSE50を改良したもので、排出量削減目標が30%から50%に引き上げられている。技術的には、COURSE50では製鉄所内で発生するオフガスから回収された水素を使用するのに対し、Super COURSE50では高炉への吹込みを行うために生成した外部水素を使用する。
水素 グリーン水素	水素（H ₂ ）は、高エネルギーかつ炭素を含まない分子である。しかし、自然界では単体でほとんど存在せず、化石燃料や再生可能エネルギーなどの一次エネルギー源を使って生成しなければならない。 水素の気候変動対策への効果は、その生成方法によって異なる。脱炭素化の手段として効果的な水素は、ニア・ゼロエミッションの工程で生成される必要がある。現在、再生可能エネルギーによる電力（再生電力）を動力源とする電解装置で水から生成される水素を意味し、これはグリーン水素または化石燃料フリー水素と呼ばれている。

²⁰ Transition Asiaによると、日本の現行の発電構造を考えると、国内で水素を生産して直接還元鉄（DRI）を製造し、それを電気炉で使用する場合（H₂-DRI-EAF）、トンあたりの粗鋼の排出原単位は高炉－転炉（BF-BOF）ルートよりも高くなるとされている。[Transition Asia](#)、日本の第7次エネルギー基本計画：電炉による製鉄拡大へ再生可能エネルギーの優先を、2024年8月21日。

直接還元製鉄（DRI法）
水素直接還元製鉄（H₂-DRI）

直接還元製鉄（DRI法）は、高炉に代わる製鉄技術である。高炉は、石炭を必要とするが、直接還元製鉄（DRI法）では石炭、天然ガス、水素など幅広い材料を使用して酸化鉄を還元できる。

現在、直接還元製鉄（DRI法）は主に天然ガスを使用して行われている。しかし、グリーン水素を使用することで、CO₂排出量をゼロに近づけることができる。この、水素を使用して鉄の直接還元を行う工程は、水素直接還元製鉄（H₂-DRI）と呼ばれている。

炭素回収・利用・貯留
（CCUS）

炭素回収・利用・貯留（CCUS）は、鉄鋼業界にとどまらず多種多様な業界に見られる幅広い技術である。CCUS技術は、CO₂を回収し、商品生産に利用したり長期間貯留したりすることを目的としている。