

## 3000年ぶりの技術イノベーションは実現するか？

2022.10.1 発行

### 刀剣ブームと「玉鋼」

刀剣ブームだそうですね。「刀剣乱舞」というゲームをきっかけに、日本刀に興味を持つ人が急増。「刀剣女子」なるワードも登場しているようです。確かに「長曾祢虎徹」とか「へし切長谷部」とか「和泉守兼定」とか「菊一文字則宗」とかは名前からして格好いいですね。

日本刀の材料となるのが「玉鋼(たまはがね)」と言われる鉄です。古代から伝わる「たたら製鉄」と言われる製鉄法で作られるものですが、日本刀はこの玉鋼でないと作れない、現代製鉄法ではいまだにこの玉鋼と同じものを作れないというのが本当に不思議なところですね。現在、国内でたたら製鉄の操業をしているのは島根県奥出雲地方の1か所だけですが、一度現場見学をしたことがあります。下の写真がその際お土産にもらった玉鋼です。我が家に来て10年以上になりますが、今でも錆びることなく、当初の輝きを保っています。



(出所)筆者撮影

人類が製鉄を始めたのは今から3000年以上前になります。資源が豊富で安価に大量に作ることができ、加工も容易であることから、鉄は人類の進化に大いに貢献してきました。一方、欠点もあります。例えば、「重い」、「錆びる」といったところですが、人類は絶え間ない技術開発でこれらをカバーする方法を発明してきました。

しかし、ここへきて新たな欠点が明確になってきました。地球温暖化の要因となっている温室効果ガス、二酸化炭素を製造時に大量に発生させることです。

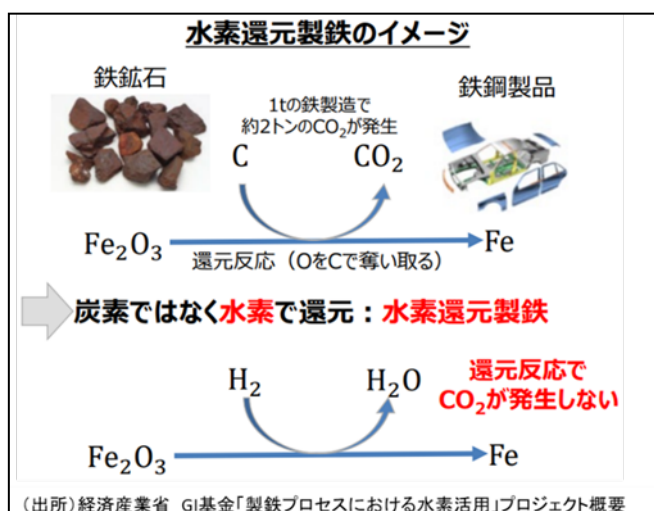
### 製鉄プロセスと二酸化炭素

製鉄とは、地中から掘り出される鉄鉱石を還元して鉄にするプロセスのことです。鉄鉱石は鉄(Fe)と酸素(O)が強く結びついた状態ですので、鉄として使うには酸素を鉄から引きはがす必要があります。引きはがすには酸素が鉄よりもくっつきやすい還元材が必要ですが、古くから使われていたのが炭素(C)です。冒頭にお話ししたたたら製鉄では木炭、現在主流となっている高炉法では石炭が使われています。また最近話題に上がるようになってきた直接還元製鉄法では、天然ガスが使われています。酸素(O)を鉄(Fe)から引き離して炭素(C)とくっつけるわけですから、必然的に二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)が発生するメカニズムになっています。

当資料は、ホームページ閲覧者の理解と利便性向上に資するための情報提供を目的としたものであり、投資勧誘や売買推奨を目的とするものではありません。また、当サイトの内容については、当社が信頼できると判断した情報および資料等に基づいておりますが、その情報の正確性、完全性等を保証するものではありません。これらの情報によって生じたいかなる損害についても、当社は一切の責任を負いかねます。

### 「水素還元」は夢の製鉄法？

CO<sub>2</sub>の排出をゼロにする「夢の製鉄法」と言われるのが「水素製鉄」です。炭素(C)の代わりに水素(H)を還元材に使用するもので、酸素(O)とくっついて水(H<sub>2</sub>O)になるわけですから、理論上はCO<sub>2</sub>排出量ゼロになります。もし本当に実現すれば、3000年以上ぶりとなる製鉄法の大転換となることは間違いないでしょう。ただし、水素は常温で気体ですので、固体である石炭の代替は不可能です。高炉法で100%水素還元を行うことは難しいでしょう。そこでいくつかの方法が考えられています。



一つは、高炉の中に水素を吹き込むことで石炭の使用量を下げる方法です。日本製鉄が中心となって実証試験が行われています。

もう一つは、高炉から発生する二酸化炭素に水素を加えてメタンに転換し、このメタンを高炉に戻して還元材として活用する「カーボンリサイクル高炉」です。JFE スチールが中心となって実証実験が行われる予定です。

以上の2つは、現在の高炉設備をできるだけ活用した上でカーボンニュートラルを達成しようという試みです。大量に安いコストで生産できることが強みの高炉を活用できるメリットがあります。ただし、これらの方法のみでは二酸化炭素の排出をゼロにはで

きないので、CCUS(二酸化炭素回収・貯留)技術と組み合わせて、カーボンニュートラル達成を目指すことになります。

そして、現在世界でもっとも数多く実用化に向けた研究が行われているのが「100%水素直接還元プロセス」です。直接還元鉄プラントで現在還元材として使われている天然ガスを水素に置き換えることで鉄を作ろうというもので、同じ気体であること、天然ガスに水素が含まれていることから石炭よりは転換が容易と考えられます。国内の高炉メーカーも技術開発を行っているとのことですが、世界トップのアルセロールミタル、スウェーデンのSSAB社なども、既に既存プラント、試験プラントを活用し100%水素還元製鉄に向けた実証実験に着手しています。ちなみに、既存の天然ガス直接還元製鉄プラントの設置で世界シェア6割を持つ米ミッドレックス社は神戸製鋼所の100%子会社で、同社にとっては今後のビジネス展開が期待されるどころです。直接還元製鉄の場合、後工程に電気炉が必要になりますが、100%水素還元でカーボンフリー水素とカーボンフリー電力を使えば、カーボンフリー製鉄が達成できることとなります。ただし、プラントの性質上高炉に比べると小規模になってしまいますので、製鉄コストが大幅に上がってしまうこと、直接還元に適した鉄鉱石が少ないことが実用化にあたっての難点となっています。

いずれの方法も共通の課題があります。一つは、現在の石炭による還元が発熱反応であることに対し、水素は吸熱反応であり、設備内の温度が下がってしまうことです。温度が低いと還元がなかなか進まず、生産効率が低下してしまいますし、炉内で鉄が固まると設備トラブルになってしまいます。原料や水素をあらかじめ加熱して炉内に投入することが考えられていますが、水素爆発の危険性もあり、さらに研究を続ける必要があります。

当資料は、ホームページ閲覧者の理解と利便性向上に資するための情報提供を目的としたものであり、投資勧誘や売買推奨を目的とするものではありません。また、当サイトの内容については、当社が信頼できると判断した情報および資料等に基づいておりますが、その情報の正確性、完全性等を保証するものではありません。これらの情報によって生じたいかなる損害についても、当社は一切の責任を負いかねます。

もう一つは、大量の安い水素が調達できるかということです。CO2 排出量ゼロを目指す以上、原料となる水素は化石燃料からでなく、電気分解で作るなどカーボンフリーである必要がありますが、製鉄に使用されるレベルの大量の水素が安価に安定的に供給できるかは今後大きな課題になると考えられます。

### 激化する技術開発競争

いずれにしても、グローバルの有力鉄鋼メーカーは2050年のカーボンニュートラル達成に向けて走り始めました。世界最大の鉄鋼生産・消費国である中国は政府が10年遅れの2060年カーボンニュートラル達成を公約していますが、現地の大手鉄鋼メーカーはこれをさらに前倒しすべく技術開発を進めています。地球温暖化というグローバルでの課題に対して、世界中でカーボンフリー製鉄に向けた技術開発競争が始まったと言えるでしょう。

日本鉄鋼メーカーもこの競争に勝ち抜くべくプランを発表し、既に動き始めています。今回お話した水素還元に加え、大型電気炉の導入、カーボンリサイクル(二酸化炭素を原料に化学品や燃料を製造)

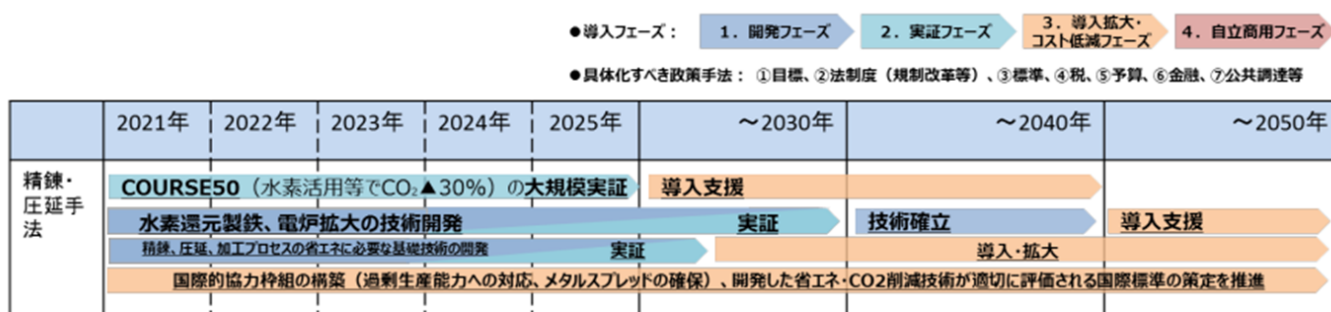
についても研究開発を進めており、日本政府もGI(グリーンイノベーション)基金を通じて支援に乗り出しています。

しかし、これらの研究開発、実機化には莫大な投資資金がかかります。欧米や中国などに比べると日本は公的支援がまだ少ないといった声もあります。また、今よりも高価な鉄鋼製品を消費者が長期的に甘受せざるを得ないと言った問題もあります。長期の課題となりますが、3000年以上の鉄の歴史から見れば超短期なのかもしれません。アンテナを高く上げてウォッチを続けたいと考えています。

ちなみに、冒頭お話した玉鋼の石言葉は「あなたを負の環境や感情から護る」なんだそうです。我が家が円満なのは玉鋼のおかげ？はてさてどうでしょうか。

責任投資部企業調査グループ  
シニア・リサーチ・アナリスト(鉄鋼担当)  
竹元 宏和

GI基金事業「製鉄プロセスにおける水素活用」社会実装スケジュール



(注)「COURSE50」とは、水素還元とCO2分離回収によりCO2排出量▲30%を目指すプロジェクトのこと  
(出所)経済産業省 GI基金「製鉄プロセスにおける水素活用」研究開発・社会実装計画

当資料は、ホームページ閲覧者の理解と利便性向上に資するための情報提供を目的としたものであり、投資勧誘や売買推奨を目的とするものではありません。また、当サイトの内容については、当社が信頼できると判断した情報および資料等に基づいておりますが、その情報の正確性、完全性等を保証するものではありません。これらの情報によって生じたいかなる損害についても、当社は一切の責任を負いかねます。