特別企画② 今後の建築技術の展望

日本鉄鋼業のカーボンニュートラルへの 取組み

Japanese steel industry's efforts towards carbon neutrality

平川 智久*1、吉田 敦彦*2、安永 隼平*3、笹 祐也*4

1. はじめに

一般社団法人日本鉄鋼連盟(以下「鉄連」)は、2021年2月に「我が国の2050年カーボンニュートラルに関する日本鉄鋼業の基本方針」を発表し、我が国の2050年カーボンニュートラルという野心的な方針に賛同して日本鉄鋼業もこれに貢献すべくカーボンニュートラルの実現に向け果敢に挑戦することを宣言した。本稿では、この宣言に基づく国内高炉メーカーの取組みを紹介する。

2. 日本鉄鋼業が直面する地球環境対策上の課題

2015年に採択されたパリ協定では「世界的な平均気温の上昇を産業革命以前に比べて2 により十分下方に抑えるとともに、1.5 に抑える努力を追求すること」が到達目標として示された。同協定に基づき菅内閣は2019年に日本が2050年までに温室効果ガスの排出を実質ゼロにすることを目指す「2050年カーボンニュートラル」を宣言、2030年度までに2013年度比で46%削減する中間目標も設定された。この宣言は、パリ協定の1.5 と目標に整合するものであり、国際的な気候変動対策の一環として位置づけられている。

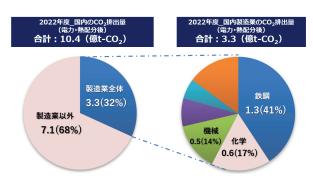


図-1 日本のCO2排出量とその内訳(2022年度)

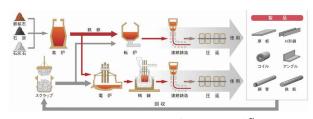


図-2 鉄鋼製品の製造プロセス (現在)²⁾

は我が国のカーボンニュートラルの実現に向けて最も優 先して取り組む必要があることがわかる。

図-2に示す通り、鉄鋼製品の材料となる粗鋼の製造 方法は、主に鉄鉱石を原料とする高炉法と主に鉄スク ラップを原料とする電炉法に大別される。

高炉法は、高炉で鉄鉱石を石炭等で還元して銑鉄を作り、転炉で炭素や不純物を除去して鋼にする。高炉や転炉には生産量の10数%の割合で鉄スクラップも装入する。一方、電炉法は電炉で鉄スクラップを電気アーク熱で融解する。主に鉄スクラップを原料としているが、品

*1 Hirakawa Tomohisa :日本製鉄株式会社 環境政策企画部 上席主幹

*2 Yoshida Atsuhiko :株式会社神戸製鋼所 鉄鋼アルミ事業部門 事業戦略部 GXグループ長

*3 Yasunaga Junpei :JFEスチール株式会社 建材センター 建材技術部 建材技術室 主任部員

*4 Sasa Yuya : JFEスチール株式会社 建材センター 建材技術部 土木技術室 主任部員

質保持のために一部銑鉄も使用する場合がある。

鉄鋼製造プロセスにおいて、最も CO_2 を排出するのが炭素を用いて鉄鉱石の還元を行う高炉工程であり、電炉法に高炉工程は存在しない(図-3参照)。それでは、鉄鉱石から鉄鋼製品を作るのを止めると問題は解決するのだろうか。以下に述べる「量」及び「質」に関する観点から、それは現実的ではない。

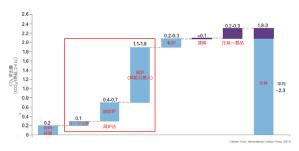


図-3 高炉法における工程別CO2排出原単位の違い3)

図-4は、2022年の世界の鉄鋼生産とその循環を示した図である(以下「鉄鋼循環図」)。世界の粗鋼生産量は18.9億tであるが、このうち鉄スクラップの供給は6.3億tのみで、残りの約2/3については鉄鉱石由来の鉄(高炉銑鉄)によって鉄鋼需給が満たされている。

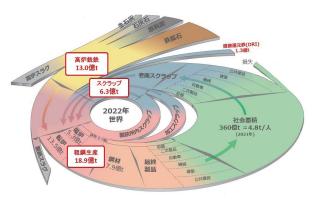


図-4 世界の鉄鋼循環図 (2022年)4)

また、国際エネルギー機関 (IEA) の分析によれば、2050年にカーボンニュートラル社会を実現するシナリオにおいても、鉄スクラップを原料とした鋼材は鉄鋼供給の半分程度 (図-5参照) であると予測しており50、今

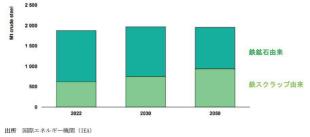


図-5 世界の鉄の投入量予測 (2050 ネットゼロシナリオ)5)

後も「量」の観点から鉄鉱石由来の鉄の生産は必須とい える。

図-6は、2022年度における日本の鉄鋼循環図である。 世界と比べ生産量や輸出入の有無に違いはあるが、それ でも鉄スクラップだけで国内の鉄鋼生産の需給を満足す ることはできない。仮に、現在輸出している鉄スクラッ プを全て国内生産向けに使用したとしても同様である。

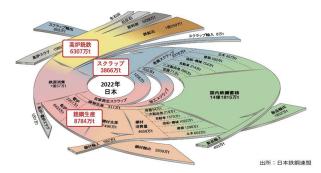


図-6 国内の鉄鋼循環図 (2022年度) 6)

図-7は、鉄鋼製品別の不純物許容濃度を示している。 鉄筋等における不純物の許容濃度は比較的高いが、近年 の研究では、国内の電炉棒鋼における Cuの濃度が中国 に比べ高いという報告事例⁷⁾もある(図-8参照)。この ような問題に対する施策として鉄鉱石由来の鉄を用いて

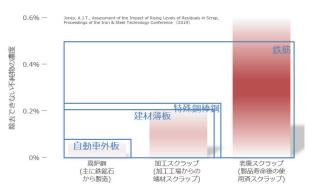


図-7 鉄鋼製品別の不純物許容濃度の比較

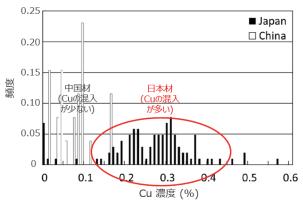


図-8 日中の電炉棒鋼中のCu濃度比較®

不純物の濃度を希釈することが「質」の観点から必要不可欠である。

以上の理由により、今後も鉄鉱石由来の鉄の製造は継続しながらカーボンニュートラルを実現することがサステナブルな社会には不可欠であるため、鉄鉱石由来の鉄の製造過程で発生する CO₂排出については、従来の製造方法を抜本的に見直して解決を図り、カーボンニュートラルな鋼材を少しでも早く市場へ供給することが高炉各社にとって重要な使命となっている。

3. カーボンニュートラルへの施策

図-9は、鉄連が掲げる2050年カーボンニュートラル 実現に向けて進めるべき技術開発のアイテムとそのロー ドマップを示す。ここで技術的な鍵となるのが「炭素還元」から「水素還元」への転換である。

従来、鉄鉱石の還元は主に石炭に含まれる炭素を用いて鉄鉱石に含まれる酸素を化学的に除去すること (炭素還元) によって行われていた。この時に多くの CO_2 が発生するが、これは発熱反応であるため、鉄は溶けた状態 (溶融鉄) で取出される。一方、水素還元は水素を用いて酸素を除去するため、 CO_2 ではなく水が発生する。これは吸熱反応であるため、鉄は固体の状態 (固体鉄) で取出される (図-10参照)。

図-11は、従来の高炉法、COURSE50、Super COURSE50、水素直接還元製鉄について主に使用する水素の使用割合の違いに着目して比較したものである。

COURSE50 や Super COURSE50 は従来の高炉を活用し、その中に水素を供給して炭素還元の一部を水素還元に換えることによって CO_2 の排出量を低減する技術である。COURSE50 が製鉄所内で発生した水素のみ使用するのに対し、Super COURSE50 は外部水素の供給も前提としており、後者の方が CO_2 排出削減の割合は大きい。なお、両者とも炭素還元も行われており CO_2 は発生するが、これはCCUやCCS技術によって回収

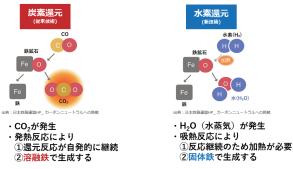


図-10 炭素還元と水素還元9)

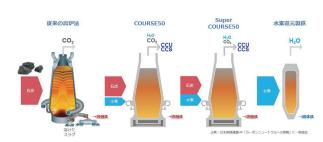


図-11 鉄鉱石の還元装置と使用水素量の違い⁹⁾



図-9 鉄連のカーボンニュートラル実現に向けた技術開発と社会共通基盤整備⁹⁾

され、再利用や地中貯留が行うことができるよう研究が 進められている。

COURSE50やSuper COURSE50は高炉法なので、 前述の通り鉄は溶けた状態で取出されるが、水素直接還 元製鉄では鉄は固体で取出される。

図-2で示した通り、鉄鉱石を還元して得られた鉄は、その後転炉で成分調整を行う必要があるため、溶融している必要がある。すなわち、水素直接還元製鉄においては、取出された還元鉄を融解する「電炉」が必要となる。図-12は水素直接還元製鉄をより詳しく示した図であるが、水素直接還元を行うシャフト炉の後に電炉が加わることになる。



図-12 水素還元製鉄の上工程の流れ9)

図-9の技術開発アイテムの1つに「大型電炉」がある。 大型電炉は鉄スクラップの利用拡大が開発目的の1つであるが、水素直接還元製鉄の工程における重要なアイテム(大量に製造される直接還元鉄を溶融しその後の工程に繋げる装置)でもある。

4. グリーンスチールの市場投入

日本鉄鋼業のカーボンニュートラルに向けた取組みが 完成に至るためには、水素還元をはじめとする新たな製 鉄技術の開発と実装が必要であり、これを実現するため には今後多くの時間と多額の資金を必要とする。カーボ ンニュートラル実現までの移行期においては、その過程 での CO_2 排出削減への取組みについてグリーントラン スフォーメーション(以下 GX_1)上の価値を与え、これを鉄鋼製品の価格に反映することで移行を促進するた めの原資とする必要がある。

鉄連は、「グリーンスチールに関するガイドライン」を2023年10月に公表した。当ガイドラインに基づくグリーンスチール(以下「GS」)とは、高炉メーカーが実施した追加性のある削減プロジェクトによる温室効果ガス(GHG) 排出削減実績量を組織内でプールし、その削減



図-13 GSの概念9)

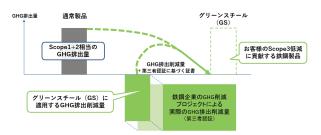


図-14 GSへのGHG排出削減量の割当てと証書の付与9)

量を特定の製品に割当て、第三者機関の認証の下で発行される証書と共に供給される鉄鋼製品のことであり、鉄鋼製品ユーザー企業のスコープ3上流排出量を削減することを可能としている(図-13、図-14参照)。

以上は鉄鋼業界によるGSの市場投入に向けた取組みであるが、現在国内でもGX市場の活性化という観点からこれに関心が持たれるようになり、経済産業省や環境省をはじめとしてGX市場導入への検討が進められている。

例えば、昨年8月に開催された内閣府GX実行会議(第 12回)では、GX製品の国内市場立ち上げにおいては、 当初は高コストとなる GX製品の付加価値を向上させ、 需要家が調達する具体的なインセンティブを高めつつ、 調達コスト自体も低減させるような取組みを官民が連携 して実施する必要があると整理された。前者のGX製品 のインセンティブ付与については、例えばグリーン購入 法に基づく特定調達品目に指定して、公共調達からGX 製品の優先調達を開始することや、後者の調達コスト低 減については購入補助金の対象とすること等による購入 支援を行う等の検討がなされた。なお、2025年1月28 日に閣議決定された「環境物品等の調達の推進に関する 基本方針 | には、原材料に鉄鋼が使用された物品のうち 鉄連「グリーンスチールに関するガイドライン」の手続 きに従って削減実績量が証書として付されているものは 基準値1の特定調達品目とする旨が記載されている(公 共工事分野は今のところ対象外)。

5. GSの建築物への適用事例

現在、日本の高炉各社は鉄連「グリーンスチールに関

するガイドライン」に基づき各々の商品ブランド名を冠してGSの市場投入を開始している。以下に各社の建築物へのGS適用事例を紹介する。

5. 1 日本製鉄㈱ NSCarbolex® Neutral

日本製鉄㈱では「NSCarbolex® Neutral」という名称のブランドを立ち上げ、2023年度上期にGSの販売を開始した。ここでは、今年4月に開催される2025年日本国際博覧会(大阪・関西万博)に出展される展示場建築物「コロンビアパビリオン」を紹介する。

当建築物は、板厚1.0~2.2mmのめっき鋼板を成形した形鋼からなる構造方法(薄板軽量形鋼造)を用いており、この薄板軽量形鋼にNSCarbolex® Neutralを採用した。これにより、建物全体で約53t-CO2eqのGHG排出削減に貢献するほか、一部ハイテン材使用による鋼重削減(軽量化)、基礎構造の簡素化、工期短縮、大空間でありながら外張断熱工法による高い断熱性、解体時にリサイクル可能な建築材料の使用といったGS以外の効果によって更なるGHG排出の削減も見込むことができ、建物全体が大阪・関西万博が目指す「持続可能な開発目標(SDG's)達成への貢献」に十分配慮されている。



図-15 外観パース ©株式会社MORF建築設計事務所



図-16 屋内空間(工事中)

建築物名称:コロンビアパビリオン

建築主: PROCOLOMBIA

設計:(株)MORF建築設計事務所

施工: 阪根産業(株)

工期:2024年9月着工、2025年3月竣工

構造形式:薄板軽量形鋼造 (NSスーパーフレーム工法) 階数:平屋、最高高さ:7.2 m、延べ床面積:584.44 m

5. 2 (株)神戸製鋼所 Kobenable® Steel

(株)神戸製鋼所では高炉工程における CO_2 排出量を削減した低 CO_2 高炉鋼材として「Kobenable® Steel」というブランドを立ち上げ、2022年5月に国内で初めて商品化し、GSの販売を開始した。ここでは、2022年12月に建築分野で初となる「豊洲 4-2街区開発計画 B棟」の事例を紹介する。

「豊洲4-2街区開発計画 B棟」は、東京都江東区豊洲に ある豊洲二・三丁目地区における最後の大規模再開発と して、豊洲エリア(約50.5ha)の地域に新たな魅力を創 出し、エリア全体の価値向上を目指すべく工事を進める プロジェクトとして2022年7月に着工を開始した。(株) IHI、三菱地所㈱、鹿島建設㈱と当社において、ビルに 使用される鉄骨部材として「Kobenable® Premier」が 採用されている。これは、当社独自の高炉向けCO₂低 減ソリューションを活用し、従来の品質を維持したまま で低CO2鋼材を可能とし、本物件の鉄骨の一部に採用 することにより、建材由来のCO₂排出の削減に寄与す るものである。4社共同での活動により、持続可能な開 発目標 (SDGs) を支援し、「Kobenable® Steel」を通じ て、「つくる責任、つかう責任 | を踏まえ、「住み続けら れるまちづくり」への貢献を意識し、脱炭素社会の実現 に向けた取組みを進めている。

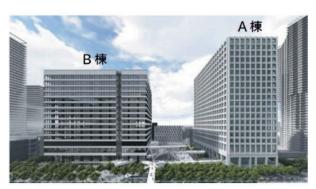


図-17 「豊洲4-2街区開発計画」外観

事業者:株式会社IHI、三菱地所株式会社

設計者・施工者: 鹿島建設株式会社

所在地:東京都江東区豊洲二丁目14-2,4,5

工 期:2022年7月着工、2026年7月竣工 (予定) 建物用途:事務所、インキュベーション施設、店舗、

シェア企業寮、駐車場など

5.3 JFEスチール(株) JGreeX®

JFEスチール(株)では「JGreeX®」というブランドで23 年度上期からGSの販売を開始し、住友商事株が開発するオフィスビル「(仮称) 水道橋 PREX」において採用された。

本物件では、主要鉄骨部材およそ400tのうち約半分の鋼材に「 $JGreeX^{\$}$ 」が採用され、 CO_2 排出量削減効果は約400t(建物新築時の排出量全体に対して1割以上)を見込んでいる。住友商事㈱と設計・施工者である㈱熊谷組にとって、GSの採用は初となり、また、JFEスチールとしても、不動産・建築業界における「 $JGreeX^{\$}$ 」採用は初めてであった。今後もカーボンニュートラル社会の実現に向けて、脱炭素化の取り組みを推進する。



図-18 「(仮称) 水道橋 PREX」 イメージ図

事業者:住友商事株式会社

設計者・施工者:株式会社熊谷組

所在地:東京都文京区本郷1丁目23-2(地番)

建物規模:鉄骨造 地上10階建て

工期:2024年1月着工,2025年5月竣工(予定)

建物用途:事務所、店舗、駐車場

6. おわりに

国内の高炉各社は、今後も鉄鉱石から鉄を作り続けていくことが持続可能なカーボンニュートラルの実現に向けて不可欠であることを認識し、従来の製造技術を抜本的に見直した革新的な技術開発と新設備の導入を推進中である。カーボンニュートラル実現までの移行期においては、GHG排出削減への取組みに価値を与え、国全体でGX市場を活性化させることが必要である。建築市場においてもGSの価値が認められ、今後多くの建築物に使用されていくことを期待したい。

【参考文献】

- 1) 国立環境研究所:日本の温室効果ガス排出量データ1990~ 2022年度
- 2) 日本鉄鋼連盟:鉄の輪がつなぐ人と地球, p.8
- 3) Carbon Trust: International Carbon Flows (2011)
- 4) 日本鉄鋼連盟:世界の鉄鋼循環図 (2022年)
- 5) 経済産業省: GXのためのグリーン鉄研究会とりまとめ, p.14, 2025年
- 6) 日本鉄鋼連盟:国内の鉄鋼循環図 (2022年)
- 7) 日本鉄鋼連盟:日本鉄鋼業におけるカーボンニュートラル の実現に向けた取組み, p.12, 2024年
- 8) 醍醐市朗:鉄鋼材における不純物元素濃度の日中間比較, 鉄と鋼, Vol.100 No. 6, p.756, 2014年
- 9) 日本鉄鋼連盟:日本鉄鋼業におけるカーボンニュートラル の実現に向けた取組み, pp.14-17, pp.21-22, 2024年

【執筆者】





*1 平川 智久 *2 吉田 敦彦 (HIRAKAWA Tomohisa) (YOSHIDA Atsuhiko)





*3 安永 隼平 (YASUNAGA Junpei)

*4 笹 祐也 (SASA Yuya)