



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

カーボンニュートラル社会の実現に向けた鉄鋼業とその周辺地域の連携を考えて

Collaboration between the Steel Industry and the Local Area to Achieve a Carbon-neutral Society

岸本 啓

Akira Kishimoto

(株) 神戸製鋼所

技術開発本部 機械研究所

流熱技術研究室 主任研究員

1 はじめに

筆者は、株式会社神戸製鋼所 技術開発本部 機械研究所 流熱技術研究室に所属しております。2012年に中途採用で入社致しました。前職は大学研究員、それ以前には鉄鋼系エンジニアリング会社の研究員として勤務しておりました。現在の所属である機械研究所は、一見、鉄鋼プロセスとは無縁な部署ですが、ガス分離プロセスの開発、生産プロセスの省エネルギー化・CO₂削減検討、工場やその周辺地域を含めたエネルギーバランス・CO₂排出量評価モデルの開発など鉄鋼プロセス関連業務に従事しています。本稿では、鉄鋼業にとっても大きな課題であるカーボンニュートラル社会（以下、CN社会）の実現に向け、最近、私が興味を持って研究を進めているサーキュラーエコノミーの観点から、鉄鋼業がその周辺地域との連携により、どの様にCN社会の実現に貢献出来るのか、主にエネルギー利用に関し、話題提供をさせて頂ければと存じます。

2 エネルギー・マテリアル融通の概念～サーキュラーエコノミー～

エネルギー・マテリアル融通の概念の一つであるサーキュラーエコノミーについては、環境経済学者のPearce and Turnerが¹⁾、生体経済学者のBouldingの研究²⁾に基づいて概念を導入したことに始まる。Pearce and Turnerは¹⁾、経済活動とコストベネフィットの関係から、MNPB (Marginal Net Private Benefit) はMEC (Marginal External Cost) と生産活動のレベル上昇に対して相反し、最適点が従来のオープンエンドの経済システム（リニアエコノミーシステム）からサーキュラーエコノミーシステムへ移行することを報告してい

る（図1）。Ghiselliniらによると³⁾、実際にサーキュラーエコノミーシステムの実証は世界各国で行われており、特に中国や日本などのアジア圏、ドイツなどで取組みが進んでいると報告されている。SunやYuは^{4,5)}、中国でのエコインダストリアルパークの例を示している。Sunは中国のLinzhou市における産業のマテリアルとエネルギーの流れを分析することでEco-Benefit assessmentを実施している⁴⁾。

3 CN社会の実現に向けたサーキュラーエコノミーの課題

Yuは⁵⁾、中国 Rizhao市でのサーキュラーエコノミーの取組みを紹介している。1991年から開発を開始し、2011年には31の企業間連携が推進されている。結果として固体副産物

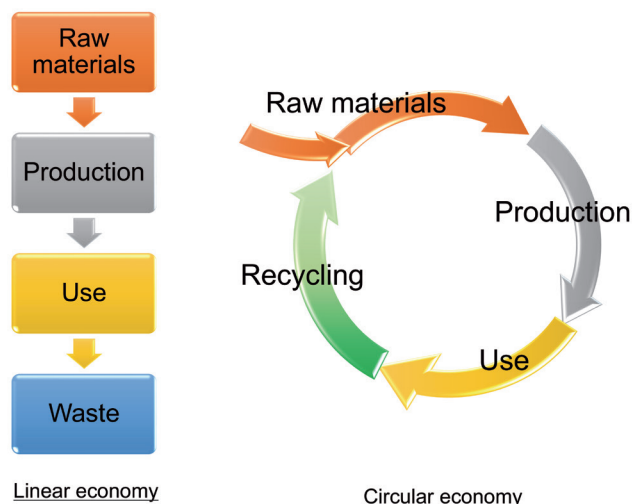


図1 (左) リニアエコノミー、(右) サーキュラーエコノミー
(Online version in color.)

(スラッジ、スクラップ、石灰、古布)などは企業間利用が進んだものの、水や熱などでは連携が進んでいないと報告されている。この理由は設備インフラへの投資が課題であったと指摘されている。

またAndersenは⁶⁾、サーキュラーエコノミーの支持者は、環境と倫理の観点において、材料の再利用とリサイクルを強く支持するが、実際の市場経済(および一部の計画経済)では、材料と天然資源の価格が低すぎるため、主に鉱業において短期的な価値としての枯渇や環境コストは反映されないことを指摘している。結果、会社経営者の観点では、限られた範囲の循環オプションのみが支持されるとしている。実際、合理的に利益が発生するのであれば、リサイクルと再利用オプションは既に実現されているはずであるとも指摘している。

このように、これまでの社会ではサーキュラーエコノミーの支持は、あくまでも経済合理性の判断軸に基づいて取り組み判断がなされていたが、CN社会の達成には、経済合理性だけでは物事の判断が出来なくなると考えられる。Andersenは⁶⁾、外部費用の合理的な見積りが可能となれば、環境税などの導入により外部費用を内在化し、市場で取引が出来るようになると指摘している。実例として、Matsuno and Uetaの論文を引用し⁷⁾、1970年代に日本における硫酸化物削減の成功の背景には、外部性課税が具体化された結果であるとしている。

4 日本の鉄鋼業におけるサーキュラーエコノミーの適用化検討、社会実装事例

上記のような課題はありつつも、日本の鉄鋼業においては、1997年以降、国の主導で、廃棄物処理とリサイクル、停滞する産業の活性化を主目的に、エコタウン構想の中で鉄鋼業を含む産業間連携を題材に循環型社会の取り組みが推進され、サーキュラーエコノミーの概念が実社会に適用されてきた。Hashimotoは⁸⁾、川崎市の取り組み事例を報告しており、JFEスチールの家電プラスチックの循環利用や、鉄鋼スラグのセメント会社での活用について報告している。また日本製鉄は⁹⁾、鉄鋼インフラを活用した循環型社会への取り組みとして、広畑製鉄所での廃タイヤリサイクルを進めてきたことが報告されている。宮部と片山は¹⁰⁾、神戸製鋼所 神戸製鉄所に立地する発電所から地域の酒造会社への熱供給、それによる地域全体での省エネルギー、環境負荷低減について報告している。Matsudaは¹¹⁾、Area-Wide pinch technologyにより、日本の水島および千葉工業地帯での熱融通の検討事例について報告している。水島は35、千葉は23の工場があり(※報告当時)、工場間の熱融通で、年間の原油換算エネルギー消費量

の約22~35%を削減できると報告している。

このように日本の鉄鋼業においても、エネルギー・マテリアル融通の観点からサーキュラーエコノミーの概念が適用され、具体的な検討や社会実装が進んでいる。

5 CN社会の実現に向けた鉄鋼業とその周辺地域の連携を考えて～サーキュラーエコノミーの観点から～

我国における一貫製鉄所は、石炭、鉄鋼石などを主原料に、経済合理性の観点からエネルギー・マテリアルを使い切る高効率な大規模自立型プロセスを実現している。しかし、CN社会の実現に向けては、何の排出削減策も取らずにCO₂排出原単位の大きい石炭を還元剤として使用することは困難となる。そこで石炭の代わりに大量のCN原料(還元剤として、“CO₂排出係数ゼロ”のH₂、CH₄など)を投入するか、出てきたCO₂を回収・利用・貯留するCCUS(Carbon Capture Utilization and Storage)技術の適用が必要になる。これらの技術課題の解決に向けては、鉄鋼連盟を中心に、国費支援も頂きながら、COURSE50(CO₂ Ultimate Reduction System for Cool Earth 50)やグリーンイノベーション(GI)基金事業/製鉄プロセスにおける水素活用などの取組みにて、水素還元技術などの開発を進めている。

このような開発成果の適用に向けては、炭素強度を含めたコスト負担の考え方や、大規模インフラ構築などの問題を解決することが必要となることから、外部費用の合理的な見積りとして、炭素税などの導入により、外部費用を内在化し、市場で取引が出来るような仕組みも必要であろう。またCN化により、我が国における鉄鋼生産が海外とのコスト競争力で大きく劣位にならないよう、併せて世界各国と連携したレギュレーションの制度設計も必要になると考えられる。

それでも個社で合理的なコスト負担が見いだせない場合、境界条件を緩めて検討することも考えられる。この場合にサーキュラーエコノミーの考え方は役に立つであろう。詰まり、個社単独でCNを達成するのではなく、他社や周辺地域との連携により地域社会全体でCNを達成するのである。

堤(2008)は¹²⁾、エクセルギー再生を適用した物質とエネルギーの併産プロセス(コプロダクション)として、それによる大幅なエネルギー有効利用と、鉄鋼プロセス含む産業連携によるバリューチェーン構築、新産業クラスターの形成を提案している。具体的には産業間連携で物質とエネルギーを融通しながら、天然ガスやバイオマス、廃棄物を、天然ガスリフォーミング、ガス化、熱循環技術を用いて、電力や水素、燃料、オレフィン製造などを行うプロセスを提案している。このような考え方はCN社会の実現において大変重要な考え

方である。近年ではCN社会の実現に向けた過渡期（トランジション）において、特に鉄鋼プロセスからのブルー水素（石炭など化石燃料由来のガスからCCUSプロセスと組合せて精製・製造される水素）を他産業に供給することも期待されている。このような連携を考える際にも、サーキュラーエコノミーの考え方は重要な示唆を与えてくれる。

6 おわりに

本稿では、エネルギー・マテリアル融通の概念の一つであるサーキュラーエコノミー、また鉄鋼業とその周辺地域におけるサーキュラーエコノミーの社会実装事例紹介、さらに今後のCN社会の実現に向けたサーキュラーエコノミーの適用可能性について述べた。

我が国においても、古くから鉄鋼業とその周辺地域におけるサーキュラーエコノミーの検討、適用事例が存在し、その考え方が実社会に取り込まれてきたことが報告されている。但し、経済合理性の観点から、その適用範囲は限定的であることも示されている。特にエネルギーについては原材料の中でも比較的単価が安く、適用範囲から漏れやすい。サーキュラーエコノミーの適用拡大においては、コスト負担の境界条件を緩めることで解が得やすくなる可能性がある。具体的には個社単独でCNを達成するのではなく、他社やその周辺地域との連携により社会全体でCNを達成するのである。

鉄鋼プロセスは巨大な化学プロセスである。我が国の鉄鋼プロセスはCN社会の実現に向け、COURSE50での開発成果の実装や、GI基金事業での先進的技術開発を推進し、さらなるプロセスの進化を遂げようとしている。筆者は、このような我が国の鉄鋼プロセスが、地域のエネルギー・マテリアル融通のハブとして、CN社会の実現に向けたサーキュラーエコノミーの導入における重要な社会インフラの役割を果たせるのではないかと考えている。

最後になりましたが、この様な執筆の機会を与えてくだ

さった、先生方、上司や同僚に感謝いたします。本稿の内容が、鉄鋼業のCNに関し取り組んでおられる方々、またCNにご興味をお持ちの方々にとって、少しでもご参考になれば幸いです。

参考文献

- 1) D.W.Pearce and R.K.Turner: Economics of Natural Resources and the Environment, The Johns Hopkins University Press, (1989).
- 2) K.Boulding: Environmental Quality in a Growing Economy, ed. by H. Jarrett, Resources for the Future/Johns Hopkins University Press, Baltimore, (1966), 3.
- 3) P.Ghisellini, C.Cialani and S.Ulgiati: J. Clean. Prod., 114, (2016), 11.
- 4) L.Sun, H.Li, L.Dong, K.Fang, J.Ren, Y.Geng, M.Fujii, W.Zhang, N.Zhang and Z.Liu: J. Clean. Prod., 119 (2017), 78.
- 5) F.Yu, F.Han and Z.Cui: J. Clean. Prod., 87 (2015), 339.
- 6) M.S.Andersen: Sustain. Sci., 2, (2007), 133.
- 7) Y.Matsuno and K.Ueta: 2000. 京都大学経済学部 Working Paper, 43 (1999), 1.
- 8) S.Hashimoto, T.Fujita, Y.Geng and E.Nagasawa: Resour. Conserv. Recycl., 50 (2010) 10, 704.
- 9) NIPPON STEEL MONTHLY: 136 (2004), 1.
- 10) 宮部善之, 片山昌人: 神戸製鋼技報, 53 (2003) 2, 14.
- 11) K.Matsuda, Y.Kansha, C.Fushimi, A.Tsutsumi and A.Kishimoto: Advanced Energy Saving and its Applications in Industry, (2013), 63.
- 12) 堤敦司: 第7回コプロワークショップ, (2008). https://www.energy.iis.u-tokyo.ac.jp/html_seminar/20080229/20080229tsutsumi.pdf

(2023年2月22日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

立命館大学 理工学部 機械工学科 教授

山末 英嗣

現在の製鉄産業は「製鉄」と名を冠してはいるものの、その実態としては電力メーカー、非鉄メーカー、あるいは化学メーカーであるだけでなく、種々の廃棄物を受け入れることで社会の資源循環を支える役割も担っている。その意味で製鉄産業は、広義のインフラ業と見なせることは言うまでも無く、今後、カーボンニュートラルといった制約においてその業態の大きな変化は余儀なく求められるものの、依然として製鉄産業が社会の「インフラ」として重要な役割を果たし続けることは間違いないだろう。

このような産業の将来を考えると、いわゆる「冶金」といった自然科学だけでなく、様々な学問領域を効果的に組み合わせた学際的な研究開発が重要になってくる。筆者の同世代には、東北大学環境科学研究科の松八重一代教授がいる。彼女は2003年ごろに経済学者として鉄鋼業に飛び込み、計量経済学に製鉄産業が抱える概念を巧みに組み込むことで、今後取り組むべき課題を次々に明らかにしてきたキーパーソンの1人である。今後、このような新しい視点から製鉄産業のあり方を指摘できるような人材が益々望まれることは言うまでも無いだろう。

前置きが長くなったが、岸本啓氏はこのような新しい視点から製鉄産業を分析できる希有な存在である。私が

最も興味を持った氏の研究は、製鉄所とその周辺地域において、エネルギーや材料を融通しあうことにより地域全体での二酸化炭素排出量削減やその対策コストの低減を分析するというものであり、この研究を通じて地域経済循環を提言するだけでなく、製鉄の新しい社会価値という「プレゼンス」問題にまで切り込んでいる。また、スクラップの活用方法についても素晴らしい慧眼をもたれており、トランプエレメントの影響の最小化やスクラップ循環利用のための方策についても深い議論を進めている。氏におかれては、今後も一つの分野に留まることなく、製鉄に関わる横断的研究、特に従来ほとんど研究がなされていない超学際分野を開拓していただき、鉄鋼産業がもたらす「機能」を大きな枠組みで評価されることを心から期待している。

日本鉄鋼協会においては、サステナブルシステム部会が氏の研究領域に最も近い部会かも知れないが、他の部会におかれてもこのような学際領域にも目を向けていかなくてはならない時期が来ているように思われる。協会においては、部会間の橋渡し役を担っていただき、氏のような学際領域研究者をサポートして下さることを期待している。

JFEスチール(株)スチール研究所 主任研究員

茂木 康弘

小職、十数年前に岸本さんと一緒に研究開発をしておりました。岸本さんが大学へ移られた後は、鉄鋼とはあまり関係のない学会などでお会いしたこともありましたが、近年はオンラインでの参加ばかりで、なかなかお目にかかっておりませんでした。カーボンニュートラル関連セミナーなどの参加者リストを見て、「また参加されているなあ」と思っていました。さて、今回、「カーボンニュートラルに向けた鉄鋼業とその周辺地域の連携を考えて」を読んで、僭越ながらコメントさせていただきます。

一読後の感想は、「ああ、岸本さん変わってないなあ」というものです。岸本さんは一貫して「エネルギー」に関する研究開発を進められてきたかと存じます。鉄鋼に限らず全てのプロセスにおいて必要なエネルギーを、定量的に捉え、無駄をなくし、全体最適を目指す。そのような取り組みを、継続されていらっしゃると思います。特筆すべきは、その先見性です。以前より鉄鋼の中だけでのプ

ロセスを良しとせず、外部との連携というものを常に考えられていました。本文中には、「個社単独でCNを達成するのではなく、他社や周辺地域との連携により地域社会全体でCNを達成する」と述べられています。「経済合理性の判断軸に基づいて取り組み判断がなされていた」業界において、サーキュラーエコノミーの概念をいち早く取り入れ、深化させてきた岸本さんの活動は素晴らしいものがあります。この「躍動」の記事も、あらためて多くの読者に重要な示唆を与えるものになっているかと存じます。

2050年にカーボンニュートラルを達成し、またCO₂以外の物質においてもサーキュラーエコノミーを目指した取り組みが世界的に進展している現在、鉄鋼業という硬い殻の中に籠ってはいは、企業は存立しえない状況になりました。このような時代にこそ、岸本さんの力が必要です。先頭を走り、かつ後進を育てながら、ますますご活躍されることを期待いたします。