技術報告

循環型社会の一翼を担う製鉄所を目指して

Aiming to Be Steelworks That Plays Part in Recycling-oriented Society

関 屋 政 洋*　Masahiro SEKIYA
小 林 一 暁　Kazuaki KOBAYASHI
野 村 誠 治　Seiji NOMURA
松 枝 恵 治　Keiji MATSUEDA
原 大 樹　Taiki HARA

抄　録

コークス・高炉プロセスは，地域や世界の循環型社会・経済を支えるポテンシャルを持つ。例えば日本製鉄(株)はこれまで，製鉄所隣接地域で発生する廃プラスチックを，コークス炉を使って化学分解・リサイクルすることで，廃プラスチック課題への対応に加え製鉄所内外での発生 CO_2 を削減してきた。加えて将来，埋立てごみを炭化・活用することで，バイオマス炭の５倍の温室効果ガス発生抑制の可能性を提案する。本スキームは，環境問題や雇用創出など多くのSDGs達成につながる意義ある取り組みにもなると推察する。日本製鉄がこれまでに培った製鉄・環境分野での技術を駆使し，地域や世界に対象を広げた持続可能な循環型社会の構築に取り組んでいきたい。

Abstract

The coke and blast furnace process has the potential to support a recycling-oriented society and economy in the region and the world. For example, we have been utilizing waste plastic and reducing CO_2 emissions inside and outside the steelworks by chemically decomposing and recycling waste plastics discharged in the area adjacent to the steelworks using coke ovens. In the future, by carbonizing and using landfill waste, we propose a possible way to reduce greenhouse gas emissions five times more effectively than using biomass charcoal. Furthermore, the scheme can be a meaningful initiative that will lead to the achievement of many SDGs such as environmental problems and job creation. By making full use of the technologies we have developed so far in the fields of steelmaking and environment, we would like to work toward building a sustainable, recycling-oriented society, both locally and globally.

1. はじめに

日本の製鉄は戦後70年近い継続的な改善活動により，世界No. 1の省エネルギープロセスになった。これに加え，地球温室効果ガス発生抑制についても，更なる燃料原単位改善やCOURSE50をはじめとする水素還元プロセスなどの取り組みを推進中である。ただ地球温室効果ガス発生抑制は，製鉄所敷地内からの排出抑制を評価するだけでは意味がなく，その名が示すように地球トータルでの排出抑制に留意すべきものと考える。この点で，我々がこれまでに培った製鉄・環境などの得意とする分野・技術で，地域や世界に対象を広げて果たせることに取り組んでいくべきと考える。ただし地球温室効果ガス発生抑制は非常に重要な目標だが，この追求だけでは不十分である。我々は温室効果ガス発生抑制を含むSDGs (Sustainable Development Goals，持続可能な開発目標) の掲げる17のGOALの内，より多くの目標を視野に入れた複合的取り組みに留意すべきである。本稿では，“循環型社会”というキーワードに注目し，今後の製鉄業の果たせる役割を考える。

2. 循環型社会に向けたこれまでの取り組み：廃プラスチック再資源化(ケミカルリサイクル)

2.1 廃プラスチック資源化への取り組み概要

昨今，廃プラスチックの海洋流入による生物影響などの地球環境問題が世界的に取り上げられているが，日本製鉄(株)は主要プロセスの一つであるコークス炉 (熱分解処理工程) に着目し，1997年から廃プラスチックの再資源化に向けて研究を行ってきた。その後，2000年秋に名古屋製鉄

* プロセス研究所　プロセス技術部長　千葉県富津市新富20-1　〒293-8511

図１　日本製鉄のコークス炉を活用した廃プラスチック処理体制[1)]
Waste plastic processing system utilizing Nippon Steel's coke oven[1)]

所，東日本製鉄所（君津地区）で設備を立ち上げ，以降全国の製鉄所に展開し国内を広範囲にカバーする廃プラスチックの受け入れ･資源化体制(図１[1)])を確立した。本スキームは単に日本製鉄だけで成し得たわけでは無く，環境省や自治体，日本容器包装リサイクル協会等の協力体制が非常に重要であったことは言うまでもない。

2.2　廃プラスチック資源化（コークス炉化学原料化法）の技術課題解決の経緯

プラスチックも石炭も，主要構成元素はC，H，Oで同じであり，コークス炉で廃プラスチックを乾留すれば，石炭と同様にコークス，タールと軽油，COGに転換できると考えられる。一方，廃プラスチックをコークス製造プロセスでリサイクルする上での重要な技術課題は，コークス炉で廃プラスチックを乾留した時の生成物歩留り，コークス品質に及ぼす廃プラスチック添加の影響，コークス炉での乾留過程における廃プラスチック中塩素の挙動である。以下これら技術課題解決の経緯について説明する[2)]。

2.2.1 コークス炉で廃プラスチックを乾留した時の生成物歩留り

実験室規模（試料100 g）の試験装置を用いて，種々のプラスチックを乾留した時の生成物歩留りを測定した結果を図２に示す[3)]。図に示すように，プラスチックの種類により生成物の歩留りは異なることがわかる。更に，廃プラスチック減容成形物（詳細は後で記載）を石炭に1～2%添加

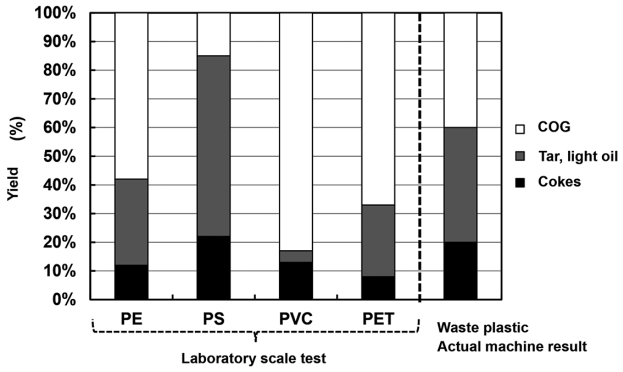

図２　コークス炉でプラスチックを乾留した時の生成物歩留り（PE：ポリエチレン，PS：ポリスチレン，PVC：ポリ塩化ビニル，PET：ポリエチレンテレフタレート）
Product yield when plastics are carbonized in a coke oven (PE: polyethylene, PS: polystyrene, PVC: polyvinyl chloride, PET: polyethylene terephthalate)

し，実機コークス炉で乾留した時の生成物歩留り測定結果を同じ図に示す[3)]。廃プラスチックを石炭とともにコークス炉で乾留した場合，コークス約20%，タールと軽油約40%，COG約40%の有用な化学原料に転換されることがわかった。

2.2.2 コークス品質に及ぼす廃プラスチック添加の影響

コークス品質に及ぼす廃プラスチック添加の影響に関しては，プラスチックの種類，サイズ（大きさ，粒度），添加率の影響が検討すべき課題である。ここでは，プラスチックサイズおよび添加率がコークス冷間強度（DI^{150}_{15}，以下DIと略記する）に及ぼす影響について述べる。

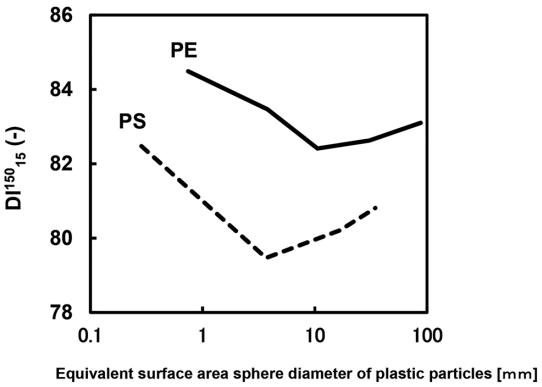

図３　プラスチックサイズがコークス強度に及ぼす影響（PE：ポリエチレン，PS：ポリスチレン）
Effect of plastic size on coke strength (PE: polyethylene, PS: polystyrene)

プラスチックサイズとDIの関係を検討した結果，図３に示すようにDIはあるプラスチックサイズで極小値を示し，サイズが大きいと低下代は小さくなることがわかった[4]。プラスチックの熱分解は石炭よりも低温で起こるため，石炭が軟化溶融して膨張する前にプラスチックは熱分解し，その痕に空隙が生じる。結果，プラスチック周囲の石炭は，その空隙に向かって自由膨張し，発泡した脆弱なコークス層となってしまう。

ここでプラスチックと石炭の界面に生成された脆弱コークス層の厚みが条件によらず一定であると仮定すると，プラスチックサイズが大きいほど総表面積が減少し，脆弱コークス層の量も減少し，コークス強度低下要因が減ることとなる。この検討結果に基づき，コークス炉までのハンドリング性なども考慮した上で直径20～30mmの廃プラスチック減容固化物として添加することとした。この条件で実機コークス炉において廃プラスチック添加がコークス品質に及ぼす影響を調査したところ，1%添加まではDIに影響しないことが確認できた。こうして廃プラスチックのコークス炉化学原料化法が実用化された。

2.2.3 コークス炉での乾留過程における廃プラスチック中塩素の挙動

廃プラスチック中には，ポリ塩化ビニル（PVC）やポリ塩化ビニリデンなどの塩素を含むプラスチックが含まれるので，コークス炉で廃プラスチックを石炭とともに乾留した時の塩素の挙動について調査を実施した[5,6]。塩素濃度450ppmの石炭に，塩素濃度約3%の廃プラスチックを1%または2%添加し，実機コークス炉で乾留し，製品中の塩素濃度を測定した。その結果，図４に示すように，廃プラスチックを添加してもコークス中塩素濃度の増加は僅かであることが明らかとなった。廃プラスチックと石炭に含まれる塩素別にコークスとガスへの分配率を精査すると，廃プラスチック中の塩素はコークスとガスにそれぞれ7%，93%で分配され，石炭中の塩素はそれぞれ43%，57%で分配された。廃プラスチック由来塩素のコークス中残留率が石炭由来塩素よりも低い理由は，塩素の存在形態によると考えられる。廃プラスチック中塩素の多くはPVCであり，石炭に添加されたPVCが乾留されて熱分解する速度は，石炭中に含まれる塩素が石炭熱分解により放出される速度よりも早い。また，放出された塩素のほとんどは，高温のCOGを冷却するためにフラッシングされる安水に吸収され，化学反応（$HCl+NH_3=NH_4Cl$）により塩化アンモニウムとして固定された。最終的に，廃プラスチック中の塩素はコークス，安水，COGにそれぞれ7%，92%，1%で分配され，石炭中の塩素は，43%，56%，1%で分配された。アンモニアの由来は石炭中に含まれるNであり，天然資源である石炭由来のNが廃棄物である廃プラスチック中の塩素の捕捉に役立っており，コークス炉での石炭と廃プラスチックの乾留は絶妙の組み合わせと言える。

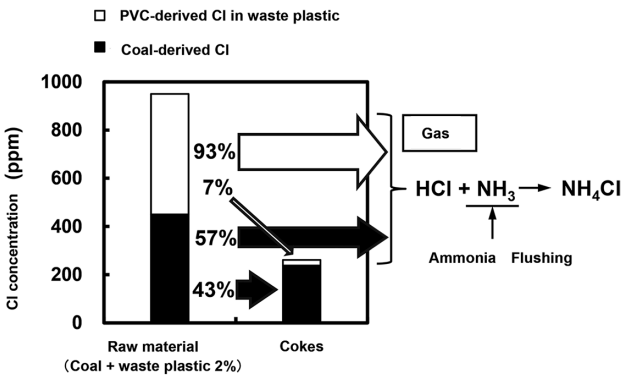

図４　石炭と廃プラスチックをコークス炉で乾留した時の塩素の挙動（廃プラスチック中塩素濃度2.5%，石炭中塩素濃度450ppm，PVC：ポリ塩化ビニル）
Behavior of chlorine when coal and waste plastic are carbonized in a coke oven (Chlorine concentration in waste plastic 2.5%, chlorine concentration in coal 450 ppm, PVC: polyvinyl chloride)

2.3 廃プラスチック資源化フロー

以下，廃プラスチックの具体的な資源化フローを示す（図5[7]）。

①廃プラスチック収集

住民が廃プラスチックを市町村等自治体の指導に従って分別・排出し，各自治体は異物を除去する粗選別と，保管・運搬時の効率性を確保するために圧縮機にて圧縮梱包（ベール化）を行った上で，トラック等を使って製鉄所へ運搬する。製鉄所での処理結果から，火災等を引き起こしかねない異物混入などの品質フィードバックを行い，各自治体と日本製鉄の両者で継続的に品質改善を実施できる体制を推進してきた。

この際，住民の分別排出協力は極めて重要であることから，各自治体および関係団体と協力して環境イベントの参画等を通して住民のプラスチックリサイクルへの理解を深める活動を行っている。2019年度時点で1108の自治体が

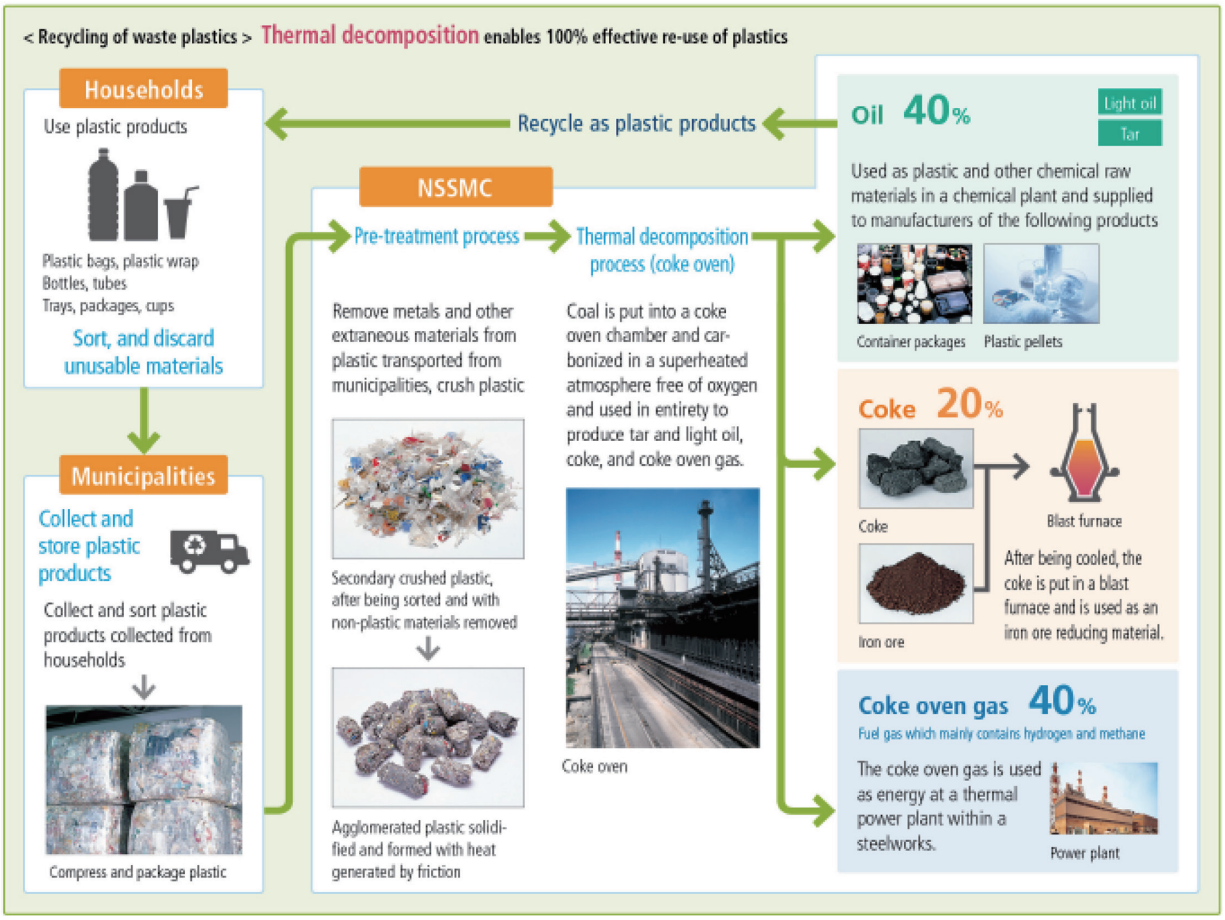

図５　廃プラスチックのリサイクルフロー[7)]
Waste plastic recycling flow[7)]

容器包装プラスチックのリサイクルに参画しているが，こうした廃プラスチックの資源化には，我々のような資源化会社だけでなく，市民と自治体合わせた取り組みが不可欠と考える。

②事前処理

容器包装リサイクルプラスチックは各種プラスチック（PE，PP，PS 等）の混合物であり，形状や化学物質は雑多なものである。また住民が分別し，各自治体で粗選別を実施しても，金属類，無機系物質（石等）などの混入をゼロにすることはできない。そこで減容成形機や熱分解処理工程（コークス炉）への悪影響回避を目的に，風力選別などで異物除去を行う。その後，20mm 程度に破砕した上で，コークス炉への輸送，装入等のハンドリング性を石炭と同様にするために数十 mm サイズの造粒物に減容成形する。

③熱分解処理（コークス炉）

形状，サイズを調整したプラスチック造粒物を石炭とともにコークス炉の炭化室に投入する。炭化室内は外気と遮断された状態でれんが壁を通して両側から間接加熱され，プラスチック造粒物は燃焼することなく乾留される。最高 1100～1200℃の高温かつ還元雰囲気で，プラスチックは概ね油分 40%，ガス分 40%，コークス分 20%に熱分解され，これらは全量有効成分として利用される。

油はタールおよび軽油が主体で，これらは化学会社へ送られプラスチックや塗料などの化学原料として生まれ変わる。ガスは水素およびメタンが主成分で発熱量も高く，発電等に利用されているが，将来的には高炉還元剤としての利用も期待されている。残った固形分のコークスは高炉で還元剤として利用される。

こうした取り組みにより日本製鉄では容器包装系の廃プラスチックを中心に，累計 328 万 t（2000～2019 年度）もの廃プラスチックを化学原料としてリサイクル（ケミカルリサイクル）してきたが，これは CO_2 削減量で 1050 万 t に相当する。現在は毎年 20 万 t 以上の資源化を担っているが，これは毎年発生する容器リサイクル廃プラスチックの概ね 1／3 に相当する（図 6[1)]）。

2.4　更なる廃プラスチックリサイクル増への期待と対応

20 万 t 以上の廃プラスチックリサイクルをしているとは言え，これは日本国内で排出される廃プラスチックのごく一部に過ぎない。図 7[8)] にある通り，2019 年度時点で 850 万 t におよぶ廃プラスチックが不要物として排出される中，これまでリサイクル比率を上げてはきたものの，過半は焼却によるサーマルリサイクルであり，日本製鉄がコークス炉インフラを活用して実施するケミカルリサイクルとして

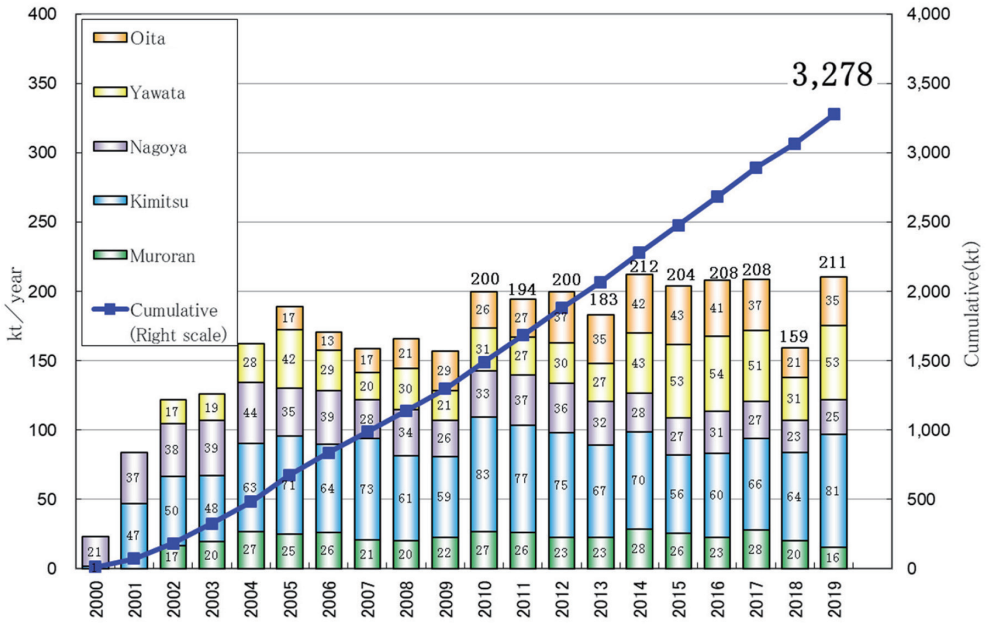

図６　製鉄所別廃プラスチック処理実績量と全社累計量（単位：千 t/ 年）[1)]
Actual amount of waste plastic processing by steelworks and company-wide cumulative amount[1)]

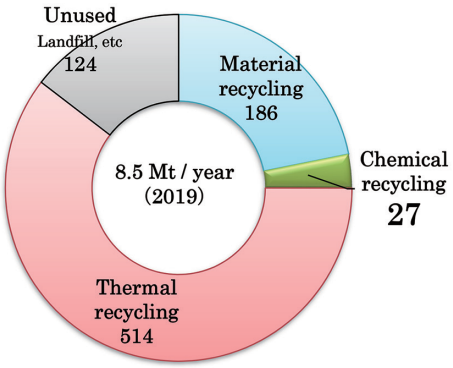

図７　2019 年の廃プラスチックリサイクル状況[8)]
Waste plastic recycling status in 2019[8)]

は更なる量の拡大が期待されている。

こうした中，2020 年 6 月 8 日，日本経済団体連合会は“チャレンジ･ゼロ”（チャレンジネット･ゼロカーボンイノベーション）の開始を発表し，日本政府と連携し，脱炭素社会の実現に向けた企業等のチャレンジするイノベーションのアクションを発信，後押ししていくイニシアティブがスタートした[9)]。そこでこうした活動の一環として，現在更なる廃プラスチックの資源化（+20%増量。追加省 CO_2：▽12 万 t/y 規模）を推進すべく，廃プラスチック減容成形物の高密度化に挑戦中である[10-13)]。高密度化により表面積一定のまま重量を増やすことができるので，コークス強度に影響を与えずに，より多量の廃プラスチックを石炭に添加することができる。

＜具体的な取り組み方針＞

- 高密度化手法の評価確認：2020～2021 年度
  - オフラインテスト装置の設計製作
  - 高密度化原理の確認テスト実施，操業条件等の確認
- オンラインテストの実施：2021～2022 年度
  - オフラインで確認されたことに基づいて，装置改造の設計製作
  - 既設改造工事，試運転調整実施
  - 高密度化成形物のコークス炉活用評価実施
- 実機実証：2022 年度～
  - 各製鉄所の既存成形プロセスを順次改造し，成形物高密度化を推進

日本製鉄は，製鉄プロセスを使った廃プラスチックリサイクルにより，地域の循環型社会の一構成要素としての役割を果たすとともに，製鉄所の中か外かにこだわらず，地域社会トータルでの温室効果ガス発生抑制に寄与してきた。廃プラスチックリサイクル分野においては，今後も，国内廃プラスチック取り扱いルールの拡大などと並行して，更なるリサイクル増に尽力していきたい。

3.　循環型社会に向けた将来構想：海外埋立てごみの利材化～SDGs実現において日本鉄鋼業が果たせる可能性～

3.1　世界で見られるごみの埋立て処理の影響

温室効果ガスは CO_2 だけではなく，N_2O（一酸化二窒素）や天然ガスの主成分である CH_4（メタン）などが挙げられるが，単位重量当たりの地球温暖化影響は N_2O で CO_2 の 298 倍，CH_4 は 25 倍あるとされている[14)]。ここで注目したいのはメタンガスである。メタンガスは食物くずや紙くずといった有機系のごみや死骸などの生物分解作用によっても生じており，図８[15)] のように地球トータルでの影響は CO_2 と比べて劣りはするものの決して小さくない。

メタンガスは自然界における生態系の循環でも発生する

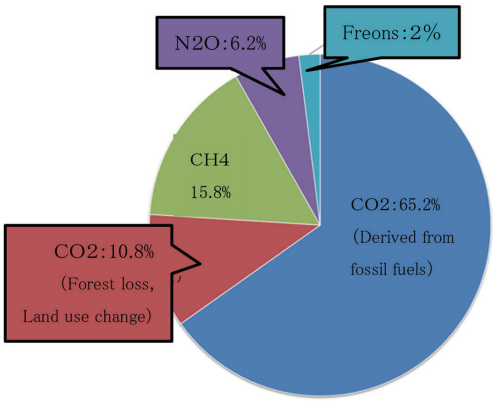

図８　人為起源の温室効果ガスの総排出量に占めるガスの種類別の割合[15)]
※ 2010 年の二酸化炭素換算量での数値
Percentage of total anthropogenic greenhouse gas emissions by gas type[15)]
※ Numerical value in terms of carbon dioxide equivalent in 2010

が，ここで問題視すべきは人間活動により発生する多量のごみ，特に有機系ごみの埋立て行為に起因するものである。日本国内では 1990 年代後半までに全国の焼却場の整備が行われ，燃えるごみの埋立てはほぼ解消されたが，世界の多くの国々では近年においても埋立てやオープンダンプによる処理がなされている[16)]。

この結果，有機系ごみはメタン発酵して温室効果ガスの発生源になるのみならず，埋立て地周辺は悪臭と飛散物で住みにくい街となり，雨水は汚水となって地下水や河川・海洋にそそぐことになる。更にこうした国々の中には，貧困故に子供たちが埋立て廃棄物の中に入り込み，金属類などの有価物を拾い集めて生活の糧にしていることも知られている[17)]。

今後鉄鋼業は廃プラスチックのみならず，こうした世界の有機系ごみをも資源化し，活用することにも貢献できるのではないかと考える。具体的には，世界各国でごみの利材化会社（組織）を構築し，国内でも実績を有する燃えるごみ炭化プロセス[18)]を導入する。次いで収集される燃えるごみを現地で炭化・精製し，得られた炭化物を日本の製鉄所で石炭代替として活用することを提案する。

3.2　埋立てごみ利材化による温室効果ガス発生抑制上の意義

この意義を，まずは地球温室効果ガス発生抑制の観点から見てみたい。結論から言うと，メタン発生抑制影響が大きいことから，埋立てごみ炭化物により石炭を置換した場合の温室効果ガス削減効果は，通常のバイオマス炭による置換効果と比較して 5 倍にもおよぶ。別の言い方をすると，製鉄所における実質ゼロカーボン（ネット・ゼロカーボン）を一般的なバイオマス炭で達成するには石炭全量を置換する必要があるが，埋立てごみ炭化物であれば 1／5 の石炭を置換するだけで達成できることを意味する。

この考え方を石炭 1t，もしくは石炭 1t を置換するために必要な埋立てごみ質量を基準として説明する。図９に対策前後でのマテリアルフローとその影響を，図 10 に国内製鉄所で使用する石炭 1t に対応する温室効果ガス（CO_2 換算）増減を示す。

❶：国内製鉄所および海外ごみ埋立て場における現状での温室効果ガス発生量

- 国内では石炭由来の炭材を使用しており，石炭 1t 当たりの CO_2 発生量は 2.6t-CO_2 となる。
  ※資源エネルギー庁の“標準発熱量・炭素排出係数”を基に，石炭の炭素含有率を 70％と置いた。
- 海外において埋立て処理される有機系ごみからは生物分解作用によりメタンガスが発生する。本稿では詳細割愛するが，“石炭と熱量等価なごみ炭化物”を得る上で必要なごみの量は 12.8t-wet と試算され，当該有機系ごみから発生するメタンガス量は 0.75t-CH_4 となる。これは CO_2 換算量で 18.6t-CO_2 に相当する。
  ※ごみの組成と得られる炭化物の熱量は松藤ら[19)]の結果を用いた。またメタン発生量の算出については環境省によるマニュアル[20)]を参照。
  ※ここでは石炭 1t を置換する上で必要な埋立てごみの量を炭化物の精製歩留り 100％として試算したが，実際の歩留りを考慮するとその量は更に増え，それに比例してメタン発生量も増加する。
- 両者を合計すると，国内外トータルで 21.2t-CO_2 相当の温室効果ガスが発生している。

❷❸：炭化プラントを導入したことによる海外での温室効果ガス発生量の変化

- 炭化プラントにて有機系ごみを炭化・精製処理し，炭化物を得る。これによりメタンガス発生が回避されるため，温室効果ガス発生量は 18.6t-CO_2 削減される。
- 一方で炭化処理に必要な熱を発生させるため，CO_2 が 5.0t-CO_2 発生する。
  ※この熱はごみを乾留した際に発生する可燃性ガスを燃焼させて得ることを想定した。
  ※ごみおよび炭化物に含まれる炭素量については廃棄物資源循環学会による調査結果[21)]ならびに山本ら[22)]の結果を用いた。またこれらの炭素量の差分を，乾留時に発生する可燃性ガスが含む炭素量とした。

❹❺：国内製鉄所での温室効果ガス発生量の変化

- 製造された炭材を日本に輸入し石炭代替として活用することで，石炭由来の温室効果ガス 2.6t-CO_2 の発生抑制を図る。
- ただしごみ炭化物を還元材として活用するため，2.8 t-CO_2 の温室効果ガスが発生する。
  ※同一熱量であるのに CO_2 発生量に違いが出るのは，炭材成分差（H 量影響）によると推察。

❻：バイオマス由来の温室効果ガスの影響キャンセル

- 有機系ごみにはバイオマス（動植物）由来の炭素と廃プラスチック等の化石燃料由来の炭素が混在している。
- この内，バイオマス由来の炭素は CO_2 発生量として考慮する必要がないことから，バイオマス由来の CO_2 発生量 3.8 t-CO_2（海外 1.3＋国内 2.5）をキャンセルする。

※バイオマス由来の炭素を燃焼させてはいるが，もしメタンのままであったら長い年月分解されないところ

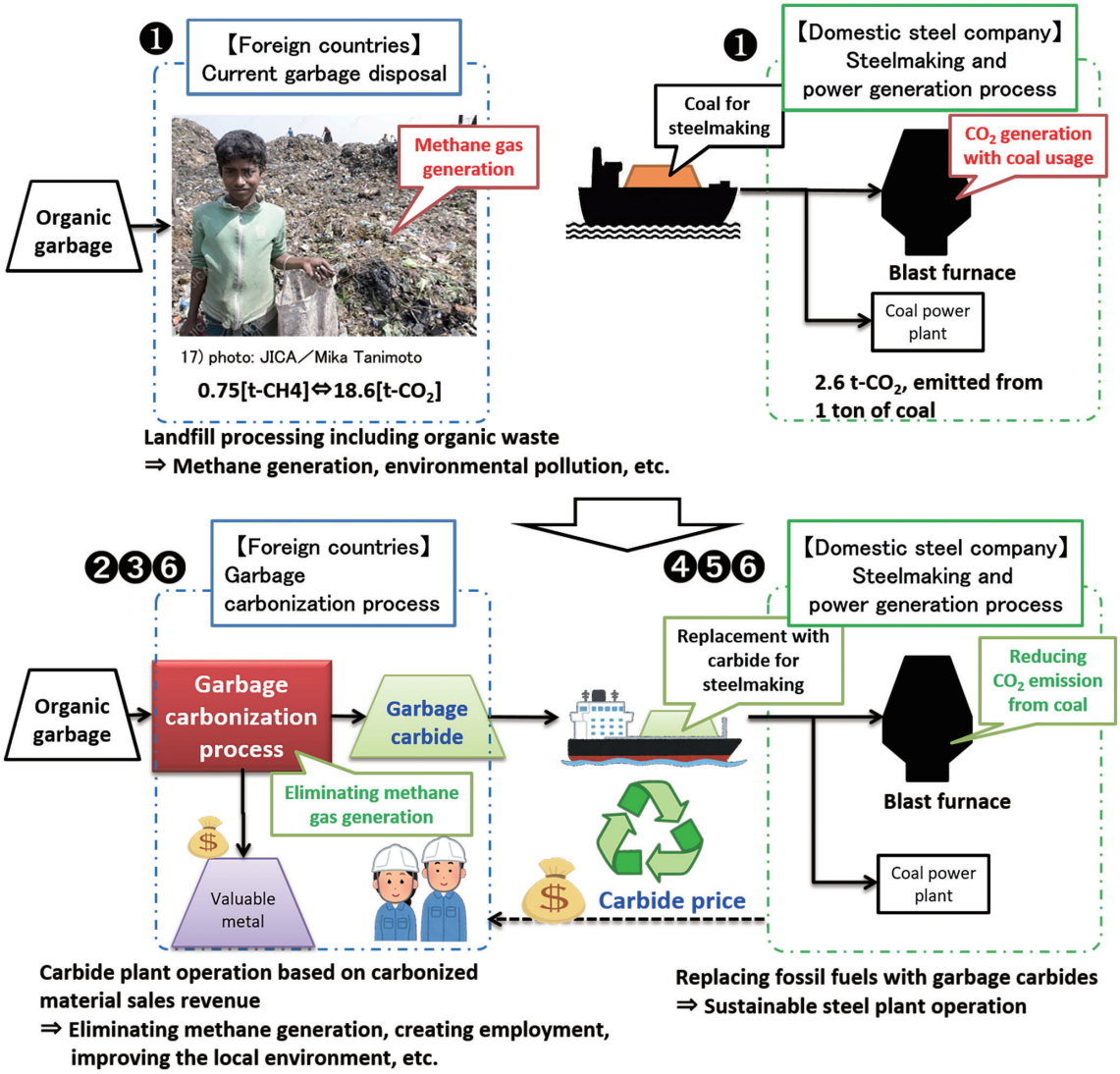

図９　対策前後でのマテリアルフローとその影響
Material flow before and after countermeasures and its impact

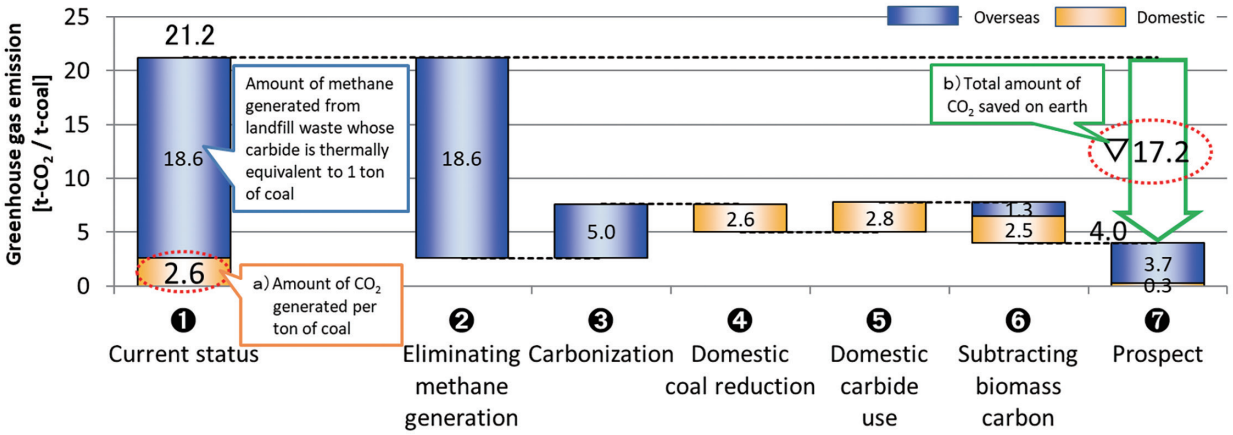

図 10　国内製鉄所で使用する石炭 1 t に対応する温室効果ガス（CO_2 換算）増減
Increase/decrease in greenhouse gas (CO_2 equivalent) corresponding to 1 ton of coal used in domestic steelworks

を，炭化・燃焼によって二酸化炭素にすることで光合成により分解できるようになることにも留意したい。

※ごみに含まれるバイオマス由来および化石燃料由来の炭素の割合は，組成の異なるごみの工業分析結果[19]における固定炭素より試算。

❼：地球トータルでの温室効果ガス発生抑制総括

- 残った温室効果ガス（廃プラスチック等の化石燃料起因）は，4.0t-CO_2（海外 3.7+国内 0.3）となる。
- 元々，国内製鉄所からは石炭 1t に起因する温室効果ガス：(a) 2.6t-CO_2 が出ていたが，これを埋立てごみ炭化物に置き換えることで，地球トータルでは CO_2 換算で，(b) 17.2t-CO_2（=21.2−4.0）の削減が可能となる。すなわち 17.2÷2.6=6.6>5 倍以上の効果があると言える。

3.3 埋立てごみ利材化の更なる意義と SDGs

ここまでで温室効果ガス発生抑制の意義について述べたが，本スキームの意義・価値は，もっと広範囲におよぶと考える。想定される意義とその関係を SDGs が掲げる 17 の目標とともに図 11 に示す。

(A) 機械化された先進炭化プラントがあれば，ごみの資源化という意義ある仕事を性別に寄らずに果たすことができるようになる。

(B) これにより雇用が創出されるので，子供たちはごみ山で金属類等を拾い集めるような危ない仕事から解放されるとともに，教育の機会均等化が促進。こうして教育水準が向上し，様々な職業につきやすくなることなどから犯罪等の少ない平和な暮らしの実現に一歩近づけることができると考える。

(C) またごみに起因した汚水の流出や，悪臭，廃プラスチックをはじめとするごみの飛散などもなくなり，地下水，河川，海，そして大地が衛生的となり心身ともに健康的な生活環境となる。

(D) これらに加えて海外ではメタンの発生が回避されるとともに，日本の製鉄所ではごみ炭化物により石炭追い出しがなされ，結果，地球トータルで温室効果ガス発生抑制が図られる。

(E) 以上の望ましい流れは，日本の製鉄所と海外の各地域との間での炭材取引を通じたパートナーシップにより持続可能となる。(A → D → E → A → … の好ましい循環)

大切な点は，単に海外にごみ処理プラントを建設するだけでは問題解決にはならないことである。温室効果ガス抑制効率の良い炭材を日本の鉄鋼業が相応しい対価で購入し，この利益があってはじめてごみ炭化プラントの建設だけでなく，維持・運営費用を稼ぎ出すことができる。すなわち日本の製鉄業との間で経済循環（サーキュラーエコノミー）の流れが合わさってはじめて持続可能なスキームとなるのである。

※海外でごみが埋立て処理されている理由の一つは，自治体をはじめごみ処理にコストをかけられないことが挙げられる[16]。

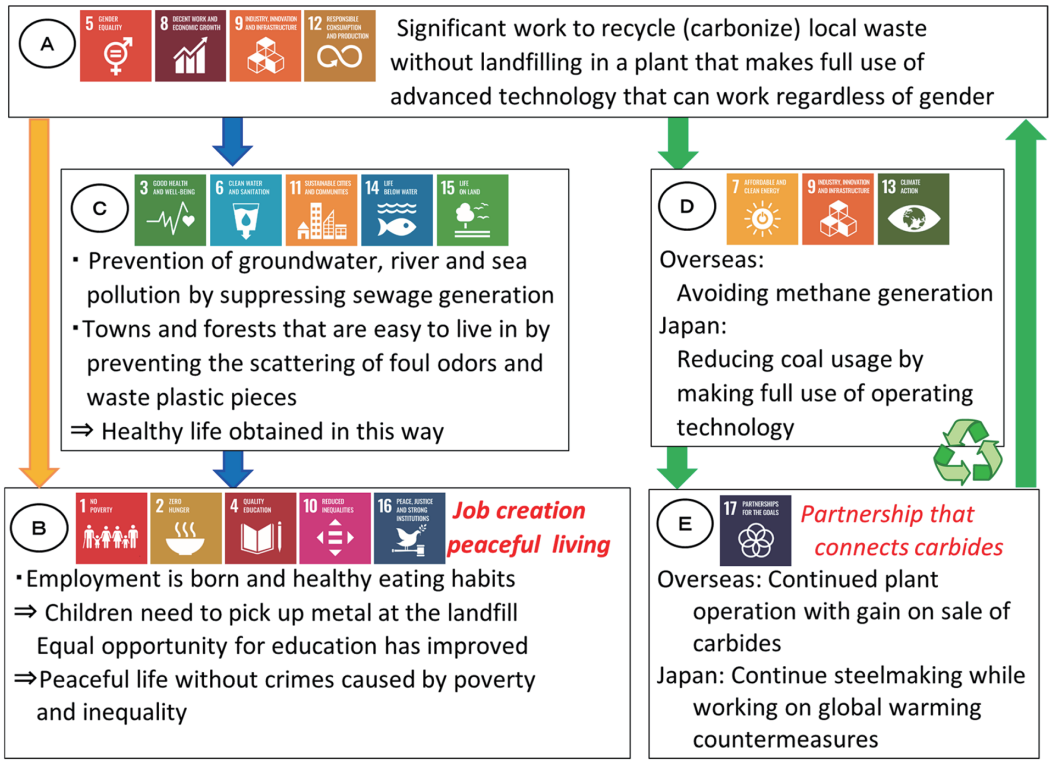

図 11　今回提案のスキームから想定される意義と SDGs との関係
Relationship between significance assumed from scheme proposed and SDGs

4. まとめ

“循環型社会（経済）”というキーワードに注目し，廃プラスチック利材化に関するこれまでの取り組みと，海外埋立てごみの炭化など今後製鉄業の果たせる可能性・役割について考えた。

- 日本の鉄鋼業，特にコークス高炉法は，循環型社会を支える重要な一機能となりえる。
- 既に廃プラスチックリサイクルでの評価に見られるように，CO_2 等の地球温室効果ガス削減は製鉄所の中か外かは重要ではなく，地球トータルでの削減を考え取り組むべきである。
- 加えて，温室効果ガス発生抑制のみならず，より多くのSDGs 達成にも目を向けるべきであり，各企業もこうした取り組みトータルで評価される社会であって欲しいと願う。

日本製鉄がこれまでに培った製鉄・環境などの得意とする分野・技術を駆使し，対象を製鉄所近隣地域から世界に広げた上で，持続可能な循環型社会の構築に取り組んでいきたい。

参照文献

1) 日本製鉄 HP：https://www.nipponsteel.com/csr/env/circulation/waste.html
2) 野村誠治，松枝恵治：ふぇらむ．25 (12)，(2020)
3) Kato, K., Nomura, S.,Uematsu, H.: ISIJ Int. 42, Supplement S10 (2002)
4) Nomura, S., Kato, K.: Fuel. 85, 47 (2006)
5) Nomura, S.: J. Sustainable Metallurgy. 1, 85 (2015)
6) 加藤健次，野村誠治：鉄と鋼．90，776 (2004)
7) 日本製鉄サステナビリティレポート 2020：https://www.nipponsteel.com/csr/report/
8) 一般社団法人プラスチック循環利用協会：2020 年 12 月発行 生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況より数値適用
9) 日本経済団体連合会：チャレンジ・ゼロ https://www.keidanren.or.jp/policy/2020/052.html (accessed 2020-08-04)
10) 山本哲也，小水流広行：チャレンジゼロ：廃プラスチック再資源化の効率性向上 https://www.challenge-zero.jp/jp/casestudy/217
11) 鉄鋼新聞：「日本製鉄 コークス炉での廃プラ再資源化 処理量 2 割増目指す」，2020/6/10
12) 日本経済新聞:「日鉄，廃プラを原料･樹脂に 処理能力 2 割増，出光も参入」，2020/7/24
13) 日刊工業新聞：「鉄鋼大手，技術開発加速 容器包装プラ，再資源化進む」，2020/7/27
14) 環境省，経済産業省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル ver. 4.6 第 II 編．2020，p. 13
15) 気象庁：知識・解説，地球温暖化，温室効果ガスの種類 https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/chishiki_ondanka/p04.html
16) 小川人士，中山裕文，松藤敏彦，吉田英樹，吉田充夫：第 15 回廃棄物学会研究発表会講演論文集．2004，p. 11
17) Photo：JICA ／ Mika Tanimoto
18) 清水正也，松末一博，浦島真人，小竹正人，内田博之：都市清掃．69 (334)，553 (2016)
19) 松藤敏彦，田中信壽，角田芳忠，東條安匡，松尾孝之：廃棄物学会論文集．15 (5)，408 (2004)
20) 環境省，経済産業省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル ver. 4.6 第 II 編．2020，pp. 116-119
21) 廃棄物資源循環学会，廃棄物試験・検査法研究部会 1999 年度報告書．2000，pp. 38-44
22) 山本勝彦，三沢真一，肥塚和彦，三村良平:廃棄物学会論文集．11 (4)，195 (2000)

関屋政洋　Masahiro SEKIYA
プロセス研究所　プロセス技術部長
千葉県富津市新富20-1　〒293-8511

小林一暁　Kazuaki KOBAYASHI
プロセス研究所　プロセス技術部
主幹研究員

野村誠治　Seiji NOMURA
先端技術研究所長　Ph.D

松枝恵治　Keiji MATSUEDA
設備・保全技術センター
プラントエンジニアリング部（コークス）
部長代理

原　大樹　Taiki HARA
スラグ事業・資源化推進部　資源化企画室
主査