

川崎エコタウン内鉄鋼産業における 廃プラスチックの地域循環システムの評価

大西 悟¹・藤田 壮²

¹学生会員 東洋大学大学院 工学研究科 (〒350-8585 埼玉県川越市鯉井2100)

E-mail:ohnishi@kanbun.org

²正会員 (独) 国立環境研究所 環境技術評価システム研究室 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

東洋大学 工学部環境建設学科 (同上)

川崎エコタウンは、今後適正な施策を推進することで、より社会的便益が高い産業共生モデルを構築することが期待されている。本研究では、川崎エコタウンに立地する鉄鋼産業の廃プラスチック高炉原料化施設および製鉄施設を利用した廃プラスチック地域循環システムの環境改善効果(CO₂排出量)を算定した。その結果、循環利用しない場合(ケース0)と比較して、現状(ケース1)の削減量では、 1.7×10^5 t-CO₂/y、近郊産業および近郊都市と連携する場合(ケース3-2)では、 3.6×10^5 t-CO₂/yの削減効果があることが明らかになった。

Key Words : *Life cycle assessment, Industrial symbiosis, Waste Plastic Recycling,
The Steel Industry, Kawasaki Eco town*

1. はじめに

産業共生(Industrial Symbiosis, 以下IS)モデルは、個別産業ごとの活動の最適化だけでなく、地域内の産業・都市間が連携して物質・エネルギー循環を行う“循環複合”の形成を目指す実際的な方法論として近年注目を集めている¹⁾。日本においても、1997年以降、経済産業省と環境省が、ゼロエミッション構想を掲げ、エコタウン事業を進めてきた。2006年3月現在、26地域が承認を受け、地域の産業立地を活かしつつ環境産業の集積を進めての地域振興、および地域の独自性を踏まえた廃棄物の発生抑制・リサイクルの推進を通じた資源循環型経済社会の構築を進めている。

川崎エコタウンは、1997年に日本初のエコタウンに認証されて以降、多くの循環拠点施設が建設されたほか、既存の工場群においても循環拠点施設の整備が進むなど、高度な集積が見られる。また、新たに立地したリサイクル施設と既存の企業の間で廃棄物の相互利用が進んでいる。さらに、首都圏を含む都心地域との近接性から、近隣都市部からの一般廃棄物を循環利用できる可能性を有している。その一方で、現状では、立地企業が多量の廃棄物を地域外に排出しているうえ、循環拠点施設では多量のバージン原料や再資源化原料を地域外から受け入れており、地域循環が進んでいるのは部分的である。これらを考慮すると、今後適正な施策を推進することで、より社会的便益が高いISモデルを構築することが期待され

ている一方で²⁾⁾、その実現に向けた動きも活発化しつつある。

川崎エコタウン内の立地企業14社(2006年3月現在)が組織するNPO法人産業・環境リエゾンセンターでは、地域内での廃棄物循環を促進する活動を展開している。その中で、エコタウン周辺地域の廃棄物賦存量の十分な把握と再資源化原料の収集の実現可能性の検証がなされていない点、ISモデルによる環境改善効果・経済効果が定量的に把握する手法が確立していない点、廃棄物循環に関する情報支援体制の整備が進んでいない点といった課題が浮上してきている。それに伴い、特定の地域における循環事業を対象に、政策として実現可能な計画を策定し、その効果を算定する手法を確立する研究の発展が期待されている。

そこで、本研究では、川崎エコタウンに立地する鉄鋼産業における廃プラスチック高炉原料化施設および製鉄施設を利用した廃プラスチック地域循環システムの環境改善効果(CO₂排出量)を算定する。ここで、廃プラスチック高炉原料化施設に着目するのは、一般廃棄物と産業廃棄物の両方の受入が可能である点、高炉の生産規模から施設の物理的な受入可能ポテンシャルが大きい点、一般廃棄物系廃プラスチックは、容器包装リサイクル法にもとづいて取引がなされる現状では広域な地域間での取引が進められている点などから、地域循環を促進することで大きな環境改善効果が期待出来ることにある。

2. ISモデルの評価および鉄鋼産業での廃プラスチック循環利用のLCAの既往研究

(1) ISモデルの評価に関する既往研究

ISモデルを定量的に評価する研究は、大きく2つの方向が存在する。一つには、地域内で操業している事業について、計画・設計、建設、運用、修復、解体の各段階での経済・環境・社会的評価を行う研究がある。

例えば、経済産業省⁹⁾は、川崎エコタウン（難再生古紙リサイクル化施設）、山口エコタウン（焼却灰セメント原料化施設）、秋田エコタウン（非鉄金属回収施設）の個別事業について、その必要性、効率性、有効性について算定し、評価を行っている。

Bijl等⁹⁾は、Kwinana Industrial Area (Perth, Australia) におけるRegional Synergy（異なる産業間でのマテリアル・エネルギー・ユーティリティの連携）のポテンシャルを明らかにした上で、実現性の高い水再利用施設、コージェネレーションシステム、石膏副産物利用事業について、Triple Bottom Line Accounting評価を試みている。

もう一つには、地域を特定し、製品の原料調達、製造、消費、廃棄、再利用といったライフステージに着目し、地域内の資源循環構造の把握やその経済・環境・社会的効果を評価する研究がある。

鶴田等⁹⁾は、環境会計とLCAを連携させた地域資源循環施策評価手法を構築し、北九州エコタウンを対象に、循環資源とバーজন資源、ユーティリティの投入と再生利用資源、リサイクル残渣や環境負荷の発生の関係をマテリアルフロー表としてまとめ、エコタウンが都市の資源循環構造に及ぼす影響を考察している。

産業技術総合研究所⁷⁾は、LCA手法を地域の施策に適用し、地域のシステム作りや産業振興、並びにそれらに関する地域住民との対話を支援する手法として「地域LCA」の開発を進めている。例えば、千葉県全域を対象としたケーススタディでは、全市町村の一般廃棄物処理の可燃ごみシステムについて、現状個別処理システム、費用最小化時適正処理システム、GHG費用最小化時適正処理システムの3つのシナリオを想定し、環境負荷物質（CO₂、CH₄）、固形廃棄物1種を評価している。

大西・藤田等⁹⁾は、川崎エコタウン内に立地する循環型セメント施設を核とした地域循環事業を計画し、そのライフサイクルCO₂を算定し、エコタウンの既存産業を利用することで期待される環境改善効果のポテンシャルを評価している。

(2) 廃プラスチック循環利用のLCAに関する既往研究

(社)プラスチック処理促進協会は⁸⁾、廃プラスチックのサーマル・リサイクル（RDF製造システム、セメント

原料燃料化システム、ガス化システム）、ケミカル・リサイクル（油化、高炉原料化、塩化高炉原料化、DMT再生化システム）を対象としたLCAによる環境影響評価を行っている。なお、高炉原料化の場合のシステム境界は、一般廃棄物の輸送・分別収集、再資源化施設への輸送、再資源化、残渣輸送、残渣埋立を想定している。この報告では、高炉がシステム境界に含まれていない。

浅沼等は⁹⁾、高炉における熱収支、物質収支モデルを用いて、溶銑1tに対して高炉に吹き込むプラスチック量を50kgとした場合の有効利用率を、還元剤として51%、燃料として29%、全体として80%と算定している。また、2002年度のプラスチック利用実績である12万tをコークス代替した場合、コークス利用の減少分およびプラスチックの水素含有量がコークスよりも大きいことによる還元効果により、約10万t-Cの炭酸ガスが削減されたとしている。さらに、高炉におけるプラスチックの最大リサイクル量として、レースウェイ（羽口先）温度から溶銑1tあたり125kg/thmと算出している他、プラスチックがレースウェイ内で完全に燃焼・ガス化しない場合、溶銑1tあたり最大で250kg/thmまで吹込み可能と推定している。

稲葉等は¹⁰⁾、その他プラスチック製容器包装の管理システム（ごみ焼却発電によるサーマル・リサイクル、鉄鋼産業におけるコークス炉原料化および高炉原料化によるケミカル・リサイクル）のLCAについて適切なシステム境界の設定方法を検討している。この研究では、プラスチックや都市ゴミの収集、輸送、焼却発電、埋立処分および前処理といった自治体が担うプロセスのみならず、製鉄所内でのコークス炉、高炉から鑄造・圧延、自家発電までのプロセスの物質・エネルギー収支を考慮する必要性を指摘している。

嶋田等は¹¹⁾、愛知地区（豊田、名古屋、豊橋、三重、岐阜、浜松）から発生する112,000t/yの産業廃棄物系廃プラスチックについて、鉄鋼産業の高炉あるいは電気炉で利用した場合とRDF化、油化、焼却発電を行った場合のCO₂排出量、エネルギー使用量、コストを評価し、比較している。高炉モデルの構築に当たっては、廃プラスチックのコークス代替プロセスについて、燃焼熱・化学量論などに基づいた推定している。その結果、1tの廃プラスチックで約1.5tの炭素を代替するとしている。

(3) 本研究の位置付け

本研究は、川崎エコタウン内に立地する鉄鋼産業における廃プラスチック高炉原料化施設および製鉄施設の転換技術を利用した、政策的に実現可能なエコタウン周辺地域の循環システムを想定し、その環境改善効果のポテンシャルを評価することを目的としている。

システム境界とほぼ同様であるが、鑄造・圧延工程に関しては、銑鉄あたり必要となる熱・電力供給は一定であると仮定し、副生ガスである COG および BFG により熱・電力供給を行うこととしている。この際、過不足が生じた場合、外部から熱・電力を購入あるいは売却するものと仮定する。なお、基準となる機能単位は、銑鉄製造量とする。余剰電力およびコンクリート型枠用ボード生産については、それぞれ火力発電施設による電力、新規材料からのプラスチック製型枠ボードの生産工程と比較する。また、廃プラスチックを循環利用しない場合には、焼却処分され最終処分場に運ばれると仮定する。ただし、焼却処分時には、焼却発電施設で熱利用される。

対象にする廃プラスチックは、その他プラスチック容器包装に加え、産業廃棄物系廃プラスチックとする。これらの発生分布・収集法および循環利用割合については、4 章でケース設定を行う。

(2) 鉄鋼産業廃プラスチック循環のサブシステム

a) コークス炉の操業モデル

コークス炉では、原料炭から高炉用コークスを製造工程で、副産物として COG、タール、粗軽油、粉コークス等が発生する。これらのうち、COG 以外は外販され、製鉄プロセス以外の用途として利用される。そのため、CO₂ を算定する際には、副産物としては COG のみを考慮する。さらに、動力系からの CO₂ の算定に際しては、電力使用、BFG、COG を考慮する。

コークス炉の操業データのマテリアルフローを図-2 に示す。なお、データは 2004 年における国内製鉄メーカーの平均値を解析し、塊コークス 1t 当たりの原単位で整理したものである^{12) 13)}。

b) 高炉の操業モデル (Rist モデル)

高炉における CO₂ 発生源は、熱風製造 (BFG, COG, LNG 使用)、送風動力、酸素富化、微粉炭製造時の使用電力、銑鉄に含まれる炭素、微粉炭に含まれる炭素、高

炉ダストに含まれる炭素、BFG がある。廃プラスチックを高炉利用する場合、これら全ての発生源について考慮する必要があり、廃プラスチックの利用前後での詳細な操業データの変化を定量的に把握する必要がある。

高炉の操業データの把握には、実用的な高炉解析モデルとして有用性が高く評価されている Rist モデルを用いる¹⁴⁾。Rist モデルは、高炉をシャフト部と溶解帯に分け、それぞれを集中定数系として扱うモデルで、高炉全体の物質収支、熱収支および還元平衡への達成度を定式化することで、単位銑鉄製造あたりの廃プラスチック投入量、コークス投入量、微粉炭投入量のバランスを算定することが可能になる。モデルに用いられるパラメータとして還元平衡への達成度を表すシャフト効率と熱損失があるが、2004 年 7 月の国内高炉操業データからパラメータを決定し、それぞれ 94%、160Mcal/thm とした。ここで、シャフト効率とは、高炉モデルで利用する酸素交換線図 (酸化鉄の向流移動層内で還元される際の酸素交換における保存則を表す図) において定義されるパラメータであり、還元平衡への到達度を表す。また、熱損失は、炉上部および炉下部分からの熱の損失量を表す。その他の操業条件であるスラグ比、スラグの温度・組成、原燃料の化学組成、熱保存帯温度、送風条件 (温度、湿度、酸素富化)、熱物性変数についても、2004 年 7 月の国内高炉操業データを用いた。

廃プラスチックを高炉利用する場合、コークスまたは微粉炭を代替することになる。これらの代替割合は、一元的に定まるものではないが、本研究では、廃プラスチックの全てがコークスを代替した場合を想定している。なお、浅沼等は¹⁰⁾は、廃プラスチックの最大吹込み可能量を 250kg/thm と推定しているが、Rist モデルの適応範囲は、高炉の操業に影響がない範囲と言われており、50kg/thm 程度での適応を前提としている¹⁵⁾。

c) 廃プラスチック高炉原料化施設

川崎エコタウン内に立地する廃プラスチック高炉原料化施設では、産業廃棄物系廃プラスチック及び容器包装リサイクル法に基づくその他プラスチック製容器包装を受入、破碎・造粒し、高炉原料とコンクリート型枠用ボード製造用原料を製造している。施設の歩留まり率、電力使用量に関しては、ヒアリングを通じて入手したデータを用いている¹⁶⁾。現状施設の最大稼働時の処理能力は、一般廃棄物系と産業廃棄物系ともに年間 5 万 t である。

d) 廃プラスチックコンクリート型枠用ボード製造施設

生産されるコンクリート型枠用ボードは、ウレタン塗装したベニヤ合板と比べても、非常に耐久性に優れ、ベニヤ合板と同じ様に加工が可能という特徴を持つ。パネルは外装とコア層の 3 層構造になっており、外装部分はバージン原料のプラスチックからなり、中心部であるコア層が一般廃棄物

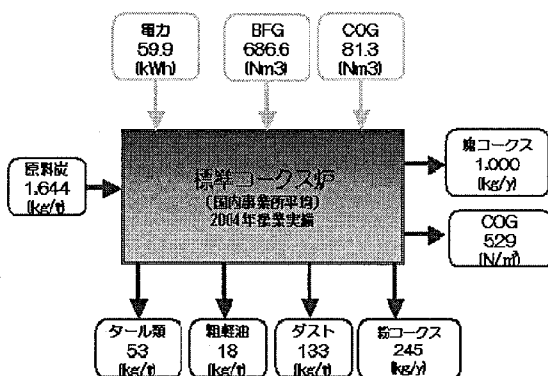


図-2 コークス炉のマテリアルフロー

由来の廃プラスチックにより製造されている。施設の歩留まり率、電力使用量に関しては、同様にヒアリングを通じて入手したデータを用いる¹⁰⁾。

4. 廃プラスチック受入ケースの設定

(1) 廃プラスチックの受入ケースの設定

廃プラスチックの受入に当たって、次の6ケースを設定した(図-3)。なお、ここでのケース設定は、川崎市が容器包装プラを分別していないこと、容リ協ルートにより行き先が指定できないことから、今回のケース設定は、すぐに実現可能なものではないが、現行の制度に縛られず、エコタウン立地施設の環境改善ポテンシャルを算定することに主眼を置いている。

ケース0：従来型（ベースライン）

製造プロセスと廃棄物処理が完全に分離した場合を想定する。製造プロセスでは、全てバージン原料（原料炭、一般炭）を利用し、産業廃棄物は広域処理され、一般廃

棄物は自治体区内で処理され、最終処分場に輸送されると想定する。

ケース1：現状受入型

産業廃棄物系廃プラスチック広域循環利用およびその他プラスチック容器包装広域循環利用している現状(2004年度実績)を想定する。

ケース2-1：地域内産業共生型

前述のNPO法人産業・環境リエゾンセンターの活動等を通じ、今後地域循環が進展する実現可能性が高い川崎市の産業廃棄物系廃プラスチックを優先的に受入れる場合を想定する。なお、現実的には、廃プラスチックの性状（塩素含有量、形状、異物混入率等）により受入が出来ない場合があるが、本研究では、全量受入が可能であると想定している。その他プラスチック容器包装は、2004年度実績の受入状況を想定する。

ケース2-2：周辺地域産業共生型

川崎市の産業廃棄物に加え、今後連携が期待されている近隣都市（横浜市）の産業廃棄物を優先的な受入を想定する。その他はケース3と同様の仮定を用いる。



図-3 受入ケースの設定

ただし、産業廃棄物系廃プラスチックの受入量は、産業廃棄物系廃プラスチック高炉原料化施設の最大稼働能力である年間 50,000t までとする。

ケース 3-1：地域内都市産業共生型

産業廃棄物の受入は、ケース 4 と同様の仮定を想定する。一般廃棄物の受入に関しては、川崎市において、将来的にその他プラスチック容器包装の分別が行われることを想定し、それらを全量優先的に施設が受入る場合を想定する。

ケース 3-2：周辺都市内都市産業共生型

産業廃棄物の受入は、ケース 4 と同様の仮定を想定する。一般廃棄物の受入に関しては、川崎市のその他プラスチック容器包装に加え、近隣都市（横浜市）のその他プラスチック容器包装を優先的に受入る場合を想定する。

(2) 周辺地区の廃プラスチック発生データ

a) 川崎市および横浜市の産業廃棄物データ

川崎市および横浜市の産業廃棄物データには多量排出事業者データを用いた。多量排出事業者とは、年間排出量 1000t 以上の企業を指す。廃掃法に基づき、前年度の産業廃棄物の年間排出量が 1000t 以上（特別管理産業廃棄物にあって 50t 以上）の事業所は、産業廃棄物の処理に関する計画を策定し、自治体の首長へ提出するとともに、計画の実施状況について報告することが定められている。川崎市内に立地する多量排出事業者は、134 社である（平成 14 年度実績値）。ただし、自主的に報告をしている年間 1000t 以下の企業も含んでいる。これらのデータは、種類別に地理情報システム化し、循環利用する産業廃棄物集していないため、一般廃棄物発生量および発生割合か

の発生状況を空間情報として把握できるよう加工した。

b) 川崎市および横浜市の一般廃棄物データ

川崎市は、現状では一般廃棄物のプラスチックを分別収から賦存量を推定した¹⁷⁾¹⁸⁾。また、現状の一般廃棄物収集システムと同様の輸送手段を用いてベール化され、対象施設まで輸送されると仮定した。

横浜市は、容器包装リサイクル法に則り、その他プラスチック容器包装を分別収集し、ベール化している。2004 年度の取引実績¹⁹⁾から、その他プラスチック容器包装ベールの発生分布を把握した。

(3) 廃プラスチックの排出分布と循環資源利用割合

ケース毎に廃プラスチック排出量の空間分布（川崎市、横浜市、神奈川県、関東、国内）についての循環資源利用量と焼却処理量を表-1 に整理する。

5. 積上法によるライフサイクル CO₂ の算定

(1) 算定対象とするライフステージ

前述したシステム境界から発生するライフサイクル CO₂ 排出量を算定するに当たり、算定対象とするライフステージを表-2 に整理する。一般的な LCA では、原料採取、輸送、生産、消費、廃棄、再資源化を算定対象とするが、本研究では、対象となる物質フローが複数にまたがるため、単純に全てのライフステージを対象にするのではなく、ケース設定によって変化が生じるものを選定する必要がある。具体的には、鉄のライフサイクルについて、原料採取・輸送および製造工程のみを算定対象

表-1 ケースごとの廃プラスチックの排出分布と循環資源利用割合

産業廃棄物	対象 廃棄物量	ケース0		ケース1		ケース2-1		ケース2-2		ケース3-1		ケース3-2	
		循環 資源 利用量	廃棄物 処理量	循環 資源 利用量	廃棄物 処理量	循環 資源 利用量	廃棄物 処理量	循環 資源 利用量	廃棄物 処理量	循環 資源 利用量	廃棄物 処理量	循環 資源 利用量	廃棄物 処理量
国内	8,000	0	8,000	8,000	0	8,000	0	0	8,000	0	8,000	0	8,000
関東 (神奈川以 外)	3,000	0	3,000	3,000	0	3,000	0	0	3,000	0	3,000	0	3,000
神奈川県	42,875	0	42,675	5,000	37,675	5,000	37,675	42,675	0	42,675	0	42,675	0
横浜市	7,325	0	7,325	2,000	5,325	7,325	0	7,325	0	7,325	0	7,325	0
川崎市	7,325	0	7,325	2,000	5,325	7,325	0	7,325	0	7,325	0	7,325	0
総計	61,200	0	61,000	18,000	43,000	23,325	37,675	50,000	11,000	50,000	11,000	50,000	11,000
一般廃棄物	対象 廃棄物量	ケース0		ケース1		ケース2-1		ケース2-2		ケース3-1		ケース3-2	
		循環 資源 利用量	廃棄物 処理量	循環 資源 利用量	廃棄物 処理量	循環 資源 利用量	廃棄物 処理量	循環 資源 利用量	廃棄物 処理量	循環 資源 利用量	廃棄物 処理量	循環 資源 利用量	廃棄物 処理量
国内	18,000	0	18,000	18,000	0	18,000	0	18,000	0	0	18,000	0	18,000
関東 (神奈川以 外)	7,000	0	7,000	7,000	0	7,000	0	7,000	0	4,528	2,472	0	7,000
神奈川県	52,767	0	52,767	23,000	29,767	23,000	29,767	23,000	29,767	23,000	29,767	52,767	0
横浜市	22,472	0	22,472	0	22,472	0	22,472	0	22,472	22,472	0	22,472	0
川崎市	22,472	0	22,472	0	22,472	0	22,472	0	22,472	22,472	0	22,472	0
総計	100,239	0	100,239	48,000	52,239	48,000	52,239	48,000	52,239	50,000	50,239	75,239	25,000

表-2 算定対象とする鉄及びプラスチックのライフサイクル

	原料採取	輸送	製造 プロセス	廃棄 (産業廃棄物)	輸送	消費	廃棄 (一般廃棄物)	分別・収集	輸送	再資源化 ・処理
鉄のライフ サイクル	(a)		(b)	-	-	-	-	-	-	-
プラスチックの ライフサイクル	-	-	-	(c)		-	(d)			(e)

とし、製造工程以降のライフステージは、製造量を一定と想定するため、同一のものとして算定対象とはしない。また、プラスチックのライフサイクルに関しては、製造工程からの廃棄および消費後の廃棄以降のライフサイクルを考慮し、原料採取・輸送、製造工程は、同一のものとして算定対象外とする。再資源化・処理工程については、製鉄プロセス利用、コンクリート型枠用ボード製造、焼却発電施設の3つを考慮する。

(2) 各ライフステージの算定式

a) 原料採取および輸送から排出されるCO₂量の算定

原料採取および輸送については、廃プラスチックが代替する石炭（原料炭、一般炭）のみを対象とした。単位重量あたりのCO₂排出量を算定した報告のうち、本研究では、原料採取段階の電力・燃料消費については、BUWAL²⁰⁾の算定値を用いた。また、輸送段階については、輸送距離を算出した電力中央研究所²¹⁾の研究を基に、2004年度の鉄鋼産業の石炭輸入状況を考慮し、算出した。なお、海上輸送に伴うCO₂排出量は、(財)シップ・アンド・オーシャン財団²²⁾から原単位を求めた。これらを表3に示す。ただし、原料採取地での陸上輸送に伴うCO₂排出量は考慮していない。

b) 製造プロセスから排出されるCO₂量の算定

製造プロセスにおけるCO₂排出量では、製鉄所に入ってくる炭素源および購入電力由来で包括的に算定する方法を採る。廃プラスチックの高炉原料利用に伴う、CO₂削減量の算定に当たっては、以下の前提を仮定する。

①焼結機

焼結機で使用するCO₂発生源は、粉コークス、無煙炭、COG、消費電力および高炉ダストがあるが、原料炭中の炭素の製鉄利用率に影響を与える粉コークス以外は、廃プラスチックの高炉原料利用にかかわらず一定である。

表-3 原料採取・輸送から排出されるCO₂に原単位

	原料採取	海上輸送
原料炭	3.19kg-CO ₂ /t	6.15kg-CO ₂ /t
一般炭	4.24kg-CO ₂ /t	6.10kg-CO ₂ /t

②コークス炉

前述のコークス炉操業モデルで示したように、コークスで、粉コークス由来のCO₂のみを考慮する。コークス炉では、CO₂発生源として、塊コークスの他に動力系としてCOGとBFGがある

このうち、BFGは、廃プラスチックの吹込みによる組成の変化に伴い単位熱量が変化するので、基準操業モデル時のBFG（686.6 Nm³/t-coke）の有する潜熱量（522.5Mcal/t-coke）を一定として算出する。

③高炉

高炉では、廃プラスチックの吹き込みにより、各操業諸元が変化する。変化量に関しては前述のRistモデルを用いて、算出する。その際に以下の仮定をおく

- ・ 鉄鉄の生産量は、年間400万tと想定する。
- ・ 酸素富化率を一定とする。
- ・ 酸素製造には、深冷分離法を用いその消費電力は、0.4kWh/Nm³・O₂とする。
- ・ 送風温度は、国内高炉平均温度を1,164℃を想定する
- ・ 高炉での消費電力について送風製造、環境集塵機、微粉炭製造工程について算定する。

④自家発電施設

COG、BFGを利用した自家発電施設は、ヒアリング結果等から、発電効率を32%と仮定した。買電または売電によるCO₂発生量または削減量は、石油火力発電との比較を仮定し、0.742kg-CO₂/kWh²³⁾とする。

c) 産業廃棄物系廃プラスチックの輸送の排出CO₂量算定

産業廃棄物の輸送は、全て10tトラックを利用すると仮定した。循環利用される際の輸送距離は、発生場所から、川崎エコタウン内鉄鋼産業施設までの直線経路と仮定した。また、焼却処理される際の輸送距離は、(社)プラスチック処理促進協会²⁴⁾の報告から、処理施設まで84.9km、処理施設から最終処分場までを30.0kmと想定した。なお、算定に当たっては、トンキロ法を用い、CO₂発生量原単位として7.8kg-CO₂/km/t²⁴⁾を用いた。

d) 一般廃棄物系廃プラスチックの輸送の排出CO₂量算定

川崎市から発生する廃プラスチックのうち循環利用されるものについては、各区域内から生活環境事業所までの収集に伴うCO₂排出量および各生活環境事業所から川崎エコタウン内鉄鋼産業施設への輸送に伴うCO₂排出量を算定対象とした。各区域内から生活環境事業所までの

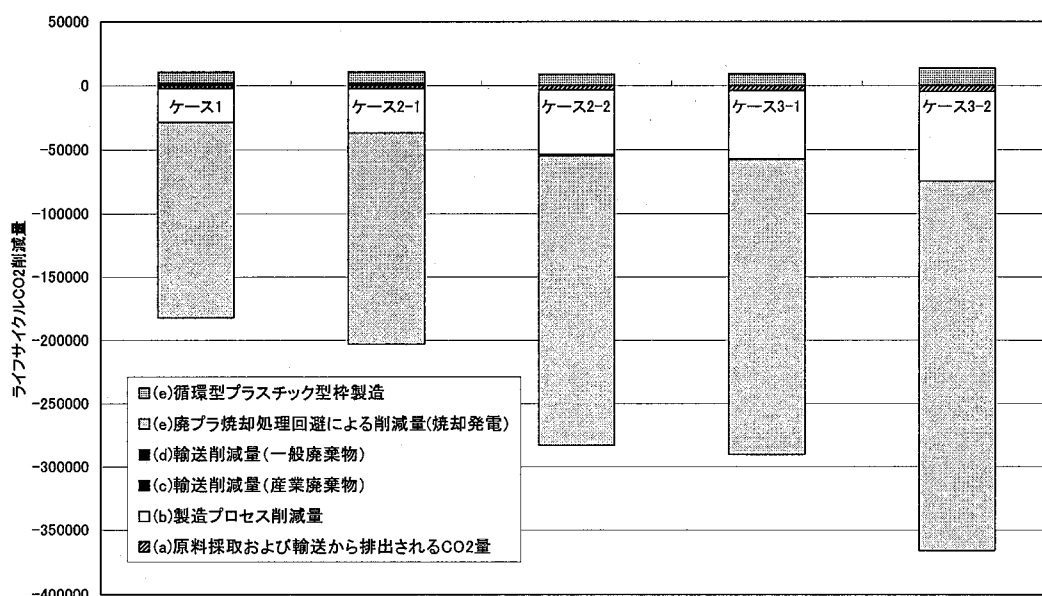


図-4 ケースごとのライフサイクルCO₂排出量の削減量

収集に伴うCO₂排出量は、川崎市温暖化ガス排出量算定業務報告書に示されている収集車（パッカー車）ごとの燃料使用量から算定した²⁵⁾。各生活環境事業所から川崎エコタウン内鉄鋼産業施設への輸送は、全て10tトラックを利用すると仮定した。

算定式に当たっては、トンキロ法を用い、CO₂発生量原単位として7.8kg-CO₂/km²⁴⁾を用いた。また、川崎市から発生する廃プラスチックのうち焼却処理されるものは、現状の廃棄物処理システムを想定し、廃プラスチックの重量比で按分したCO₂排出量を想定した。なお、算定に当たっては、川崎市温暖化ガス排出量算定業務報告書に示されている収集車（パッカー車）ごとの燃料使用量を用いた²⁵⁾。

横浜市から発生する廃プラスチックのうち循環利用されるものは、福原等²⁶⁾の研究成果を用い、川崎エコタウン内鉄鋼産業施設までの輸送に関して単位廃プラスチックあたり0.0135t-CO₂/tと想定した。また、横浜市から発生する廃プラスチックのうち燃焼処理されるものは、積載量4t、燃料軽油、往復輸送距離50kmと仮定した。

e) 廃プラスチックの再資源化・処理プロセスから排出されるCO₂量の算定

①製鉄工程での廃プラスチック利用プロセス

製鉄工程での廃プラスチック利用に伴うCO₂排出量は前述した通りである。ここでは、前処理プロセスでの電力使用に伴うCO₂排出量のみを対象とする。

②コンクリート型枠用ボード製造プロセス

コンクリート型枠用ボード製造施設における電力使用によるCO₂排出量を対象とする。なお、比較単位となる新規プラスチックによるボード製造によるCO₂排出量は、新規プラスチック（ポリプロピレン100%と仮定）製造に伴うCO₂排出量は1.39t-CO₂/t²⁷⁾とし、ボード製造のCO₂排出量は、循環型の製造施設と同様とする。

③焼却発電施設

一般廃棄物の焼却発電施設の発電効率率は、10%と仮定した。なお、化石燃料（C重油と仮定）の平均発熱量は総合エネルギー統計²⁸⁾の値を、化石燃料および廃プラスチックの発熱量あたりのCO₂排出原単位は環境省温室効果ガス排出量算定方法検討会²⁹⁾が示した値を適用した。

(3) ライフサイクル CO₂の算定結果

ケースごとのライフサイクルCO₂排出量を算定した結果を図-4に示す。現状（ケース1）での削減効果は、 1.7×10^5 t-CO₂/yで、最大となるケース3-2を見ると、製造プロセスのみで 6.9×10^5 t-CO₂/y、廃プラスチックの焼却削減分を加算すると 3.6×10^5 t-CO₂/yの削減効果があることが確認できた。コンクリート型枠用ボードの製造についても、新規プラスチックの型枠材の製造と比較しても、焼却される廃プラスチック量の削減を考慮すれば、CO₂環境負荷が減少する結果となる。また、輸送に伴うCO₂排出量は、他の排出要素と比較して、著しく小さな値となる。

6. まとめ

本研究により、川崎エコタウンに立地する廃プラスチック高炉原料化施設および製鉄施設を利用した地域内の廃プラスチック循環事業を計画し、その環境改善効果を定量的に明らかにすることが出来た。地域内で廃プラスチックの受入量を増大させることが可能であり、その環境改善効果は年間およそ $3.6 \times 10^4 \text{ t-CO}_2$ の削減効果があることが確認された。

ただし、地域循環による効果は確認できたが、輸送距離の減少に伴うライフサイクル CO_2 の削減効果は、全体の削減効果と比較して小さい。これは、輸送と比較して、製造プロセスおよび焼却による CO_2 排出量が大いことに起因している。今後は、コストなどライフサイクル CO_2 以外の指標を用いて評価を行うことが課題となる。また、循環型セメント施設等も含めた川崎エコタウン全体の最適化構造を探る研究も進めていくことを予定している。

謝辞：本研究はNPO法人産業・環境創造リエゾンセンターと川崎市経済局・環境局・総合企画局のご協力をいただき実施している産業共生立地調査の一部を紹介するものである。また、本研究は文部科学省私立大学研究高度化資金産学連携研究および環境省廃棄物科研費の一部として行われた。

参考文献

- 1) 盛岡通 編著：「産業社会は廃棄物ゼロをめざす」, 森北出版, 1998
- 2) Tsuyoshi FUJITA, Looi Fang WONG Kiyomitsu KURIHARA : Framework of environmental evaluation of industrial symbiotic collaboration in Eco-Industrial Estates, 環境システム研究論文集, pp.75-80, 2004
- 3) 大西悟, 藤田壮, 長澤恵美里, 村野昭人：循環型産業システムの計画とその環境改善効果の算定 - 川崎エコタウンにおける循環型セメント事業のケーススタディ -, 環境システム研究論文集, pp.367-376, 2005
- 4) 経済産業省：エコタウン補助事業に関する事後評価書, 2003
- 5) Biji Kurup, William Altham, Rene van Berkel: Triple bottom line accounting applied for Industrial Symbiosis, 4th ALCAS Conference, 2005
- 6) 鶴田直, 松本亨, 柴田学, 垣迫裕俊, 篠原弘志：環境会計とLCAの連携による地域資源循環施策の評価手法の開発, 環境システム研究, pp.223-228, 2004
- 7) (独) 産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメント研究センター：二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業／製品等ライフサイクル二酸化炭素排出評価実証等技術開発／LCAのケーススタディ：三重県, 千葉県, 岩手県におけるLCA手法の研究開発報告書, 2005
- 8) (社) プラスチック処理促進協会：プラスチック廃棄物の処理・処分に関するLCA調査研究報告書, 2001
- 9) 浅沼稔, 有山達郎：高炉を利用した使用済みプラスチックの高効率リサイクル技術, 日本エネルギー学会誌, pp.252-256, 2004
- 10) 稲葉陸太, 橋本征二, 森口祐一：鉄鋼産業におけるプラスチック製容器包装リサイクルのLCA - システム境界の影響 -, 廃棄物学会論文誌, pp.39-52, 2005
- 11) 嶋田雅俊, 宮本教一, 平尾雅彦, 中村崇：鉄鋼産業における廃プラスチック利用のライフサイクルインベントリとコスト評価, 鉄と鋼, pp.184-191, 2005
- 12) 日本鉄鋼連盟：鉄鋼統計要覧, 2005
- 13) 日本エネルギー学会：コークス・ノット 2004 年版, 2005
- 14) 小野陽一：Rist 操業線図(Ⅰ)(Ⅱ), 鉄と鋼, 1993
- 15) JFE テクノリサーチ：プラスチック循環利用検討のためのインベントリ調査, 2006
- 16) 株式会社 JFE スチールへのインタビュー結果
- 17) 川崎市環境局：市民ごみ排出実態調査平成 15 年度版, 2003
- 18) 川崎市：川崎市一般廃棄物処理基本計画 - かわさきチャレンジ・3R, 2005
- 19) (社) プラスチック処理促進協会：2004 度容器包装プラスチック取引実績, 2005
- 20) Swiss Federal Office of Environment, Forest and Landscape : Ecobalance of Packaging Material State of 1990., 1991
- 21) 本藤祐樹, 外岡豊, 内山洋司：産業連関表を用いた我が国の生産活動に伴う環境負荷の実態, 電力中央研究所報告書, 1998
- 22) (財) シップ・アンド・オーシャン財団：平成 12 年度船舶からの温室効果ガス(CO_2 等)の排出削減に関する調査研究報告書, 2001
- 23) 電力中央研究所：産業連関表を利用した LCA データベース, 2002
- 24) (独) 建築研究所：建築研究報告 NO.140 木造建築物の再資源化資源循環化技術の開発, p.116
- 25) 川崎市環境局：川崎市温室効果ガス排出量算定業務報告書, 2004
- 26) 福原一朗, 鈴木朗, 本藤祐樹：横浜市のプラスチック製容器包装の資源化による環境負荷低減効果, 第 1 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 2005
- 27) (社) プラスチック処理促進協会：プラスチック廃棄物の処理・処分に関する LCA 研究報告書, 2005
- 28) 資源エネルギー庁：総合エネルギー統計：通商産業研究社, 2000
- 29) 環境省温室効果ガス排出量算定方法検討会：温室効果ガス排出算定に関する検討結果, 2002

EVALUATION OF INDUSTRIAL SYMBIOSIS PROJECT: CASE STUDY ON THE WASTE PLASTIC RECYCLING PROJECT UTILIZING THE STEEL FURNACE PLANT IN KAWASAKI ECO-TOWN

Satoshi ONISHI, Tsuyoshi FUJITA

Kawasaki Eco-Town is expected to establish the more beneficial Industrial Symbiosis model by appropriate policies. The purpose of this study is to evaluate the industrial symbiosis project that is the waste plastic recycling utilizing the steel industry in Kawasaki Eco-Town. The results of CO₂ emission reduction were 170 thousands t-CO₂/y (“actual situation”), 270 thousands t-CO₂/y (“local industrial wastes recycling”) and 360 thousands t-CO₂/y (“local industrial and general wastes recycling”) compared with “without any waste recycling (baseline)”