

連携記事

JFE での使用済みプラスチックリサイクル

Waste Plastics Recycling in JFE

大垣陽二
Yoji Ogaki

JFE スチール (株)
資源循環推進部 主任部員

1 はじめに

製鉄プロセスは、鉄鉱石、石炭、水などの資源と電力、燃料などのエネルギーを利用している。JFE スチールでは、製鉄プロセスから発生する環境負荷を低減するために、従来からさまざまな技術開発や対策を実施してきた。また、産業・社会の環境負荷の低減に貢献するため、環境調和型鉄鋼製品の供給にも積極的に努めてきた。さらに、昨今の地球温暖化問題などの喫緊の課題に対しても、JFE グループ全体で取り組んでいる。

このように、JFE グループでは長年培った鉄鋼技術とエンジニアリング技術のシナジー効果を生かして、省資源・省エネルギー・環境保護を志向した、環境調和型製鉄プロセスの構築に努めている。

このような背景のなかで、都市共生・環境調和型製鉄所を目指し、都市廃棄物を循環資源として捉え、製鉄プロセスにおける原料として再利用することを追求してきた。

1991 年に制定された「資源有効利用促進法」では、廃棄物を有用な資源としてリサイクルする考え方が示され、2000 年 6 月には「循環型社会形成推進基本法」が成立し、廃棄物を「循環資源」としてリサイクルを促進し、廃棄物の発生を抑制、再使用、再生 (3R) の考えが示された。JFE グループのリサイクル事業の契機となった「容器包装リサイクル法」は 1995 年 6 月に成立し、2000 年 4 月に完全施行された。

JFE 東日本製鉄所京浜地区では、1996 年 10 月に、2000 年の容器包装リサイクル法の完全施行を睨み、塩化ビニル以外の産廃系使用済みプラスチックをコークス代替の高炉還元剤としての利用を開始し、その後、これらの法律の制定に合わせ、プラスチック製容器包装等の使用済み製品を製鉄所原料として再資源化することに取り組んできている。

2 製鉄プロセスでの使用済みプラスチックの再資源化

2.1 高炉における鉄鉱石の還元剤としての利用

製鉄用高炉ではコークスの還元作用で鉄鉱石 (酸化鉄) を鉄に還元している。使用済みプラスチックはこのコークスの代替として高炉用還元剤として利用することができる。

プラスチックを破碎・造粒した後、高炉下部の羽口部分より高炉内に吹き込むと、還元性ガスである CO と H₂ に分解され、鉄鉱石を鉄に還元する。高炉内の還元反応に使われなかったガス (約 800kcal/Nm³) は、高炉上部から回収され、製鉄所内の加熱炉や発電プラントで利用される。すなわち、高炉内に吹き込まれたプラスチックの 100% を製鉄プロセス内で有効利用することができる。また、高炉でのプラスチックの利用は、プラスチック中の H₂ による還元反応が付加されるため、コークスだけで操業する場合と比べ、CO₂ の発生量が削減できるという大きなメリットがある。

ボトルなどの固形プラスチックは、破碎機によって所定粒径に破碎し直接吹き込むことができるが、フィルム状プラスチックは粉碎したままで直接吹き込むことができないため、造粒することが必要となる。塩化ビニル等の塩素含有プラスチックは、高炉内で熱分解によって発生する HCl によって高炉設備が腐食する恐れがあるため、塩化ビニル等を除去するプロセスが必要となる。

高炉におけるプラスチックの利用は、2400℃の超高温場である羽口周辺に吹き込むため、ダイオキシン類の発生はない。さらに、炉頂部分の低温域も強還元雰囲気であるため、ダイオキシン類の生成や再合成反応は起きない。また、高炉から発生する CO₂ はプラスチック中の水素分の寄与によって、コークスを使用する場合に比べ削減されるのは前述の通りである。

さらに加えて、従来廃棄物として無駄に捨てられていた使

用済みプラスチックを鉄鉱石の還元剤として利用することによって、製鉄プロセスでの石炭資源の利用量を削減できるばかりか、使用済みプラスチックの焼却処分による、国内でのCO₂排出量の増加を回避することができる。

このように、高炉での使用済みプラスチックの利用は、化石資源の有効活用と環境への負荷を極力抑えた、優れたリサイクルシステムであり、循環型社会の形成にとって適したプロセスであると言える。

2.2 プラスチック製容器包装の処理

2000年4月に容器包装リサイクル法に基づく、プラスチック製容器包装の再商品化が開始された。

プラスチック製容器包装を再資源化するための高炉原料化処理フローを図1に示す。高炉原料化設備では、自治体が収集し、圧縮固縛した分別基準適合物（バール品）を解砕した後、揺動式プラスチック種類選別機に掛け、固形・ボトル類とフィルム類に分離するとともに、混入した異物の除去を行う。固形・ボトル類は手選別ラインを通し、再商品化不適物を除去した後、破碎機で所定の粒径に破碎し、高炉用還元剤とする。

一方、フィルム類は破碎機によって所定粒径に破碎後、プ

ラスチックの比重差を利用した遠心式比重分離装置によって塩化ビニル類を取り除く。塩化ビニル類が分離されたフィルム類は造粒機で所定の粒径に造粒し高炉用還元剤とする。

2000年4月から施行されたプラスチック製容器包装の再商品化に対応して、東日本製鉄所京浜地区（川崎市）および西日本製鉄所福山地区（広島県）の両製鉄所に、高炉原料化設備を建設した。2005年からはJFE環境（株）に再商品化事業を継承し、JFEスチールは製造された高炉用還元剤の高炉利用を行っている。

2.3 塩化ビニルの加熱脱塩素処理

塩化ビニル類は、酸素を遮断した雰囲気の中で300℃～400℃に加熱することによって熱分解しHClを発生する。この性質を利用して、図2に示す外熱式のロータリーキルン内で、塩化ビニルを媒体とともに攪拌し、熱分解を行った後、熱分解物を冷却後破碎し、製鉄用原料として利用する。媒体としては製鉄所内の原料である粉コークスを用いており、熱分解物の塊状化防止及びキルン内壁への付着防止の役割を果たしている。キルン内は還元雰囲気であるため、ダイオキシン類は発生しない。また、熱分解ガスはキルンから排出後、高温燃焼を行い、同伴する炭化水素類を燃焼分解してお

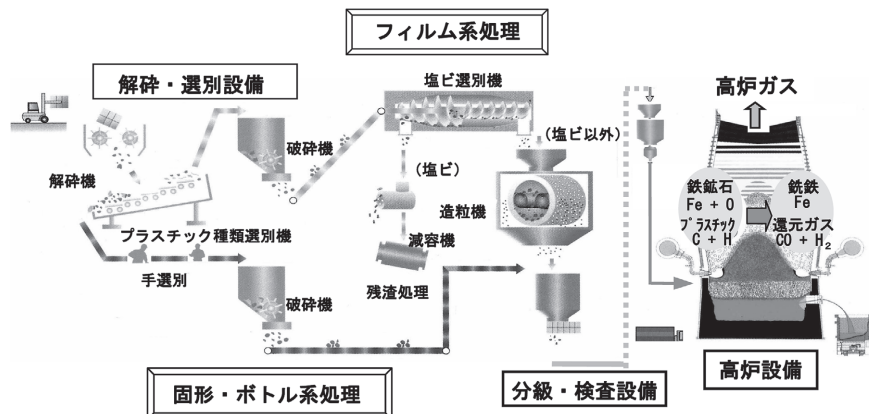


図1 容器包装プラスチックの高炉原料化フロー

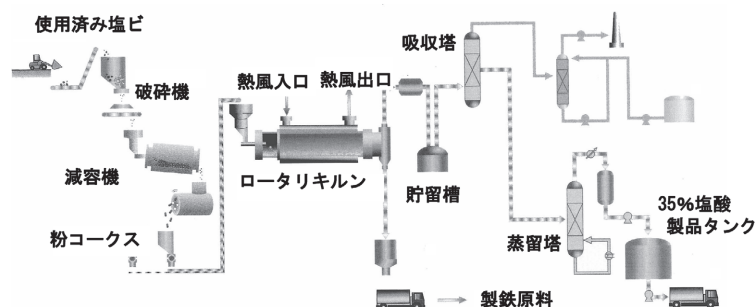


図2 塩化ビニルの製鉄原料化フロー

り、環境への炭化水素類の排出はない。

熱分解によって生成したHClは吸収塔で水に吸収させた後、精留し、工業用塩酸として回収する。回収塩酸は、製鉄所内で鉄鋼製品の酸洗浄ラインで塩酸として有効利用している。

(社)プラスチック処理促進協会と塩ビ工業・環境協会と共同で、実証試験を経て、2004年4月から事業を本格的に開始した。2005年からはJFE環境(株)へ事業継承した。

2.4 使用済みプラスチックの熱処理微粉化

プラスチックは破砕機によって微粉碎しようとする、発生する摩擦熱によって熔融軟化する。このため、1mm以下に粉碎するためには、冷凍破砕技術等特殊な技術を適用することが必要となり、使用済みプラスチックの再資源化技術としては、実用化されていなかった。しかしながら、塩化ビニルや混合プラスチックの熱処理脱塩素化技術を開発していく過程において、非常に貴重な知見が得られた。

すなわち、使用済みプラスチックに加熱処理を加えることによって、プラスチックは脆化し、冷凍破砕をしなくても、常温で微粉化できることを見出した。この原理を応用し、使用済みプラスチック熱処理微粉化プロセス(APR (Advanced Plastic Recycling) プラント)を建設し、2007年4月より稼働させた(図3)。

APRプラントは、容器包装プラスチックを熔融・脱塩素する工程と微粉碎する工程で構成している。まず混合プラスチックを加熱熔融・脱塩素・混練し、冷却固化させる。この熱処理過程で脆化したプラスチックを常温で粉碎することで、製品粒径が200～400 μ mの微粉プラスチックの製造が可能となった。

製造された微粉プラスチックは、従来使用していた製品プ

ラスチック粒に比べ、高炉内での反応性が高いため、使用済みプラスチックを高炉でより効果的に利用することができる。

また、本APRプラントは、熱処理過程で脱塩素機能を有していることから、プラスチック製容器包装の材料リサイクル過程で発生する塩素含有プラスチックを多く含んだ、残渣プラスチックを有効活用することも可能となる。

2.5 ガス化改質炉による燃料ガス製造

JFEグループは可燃性廃棄物のガス化熔融技術として、高温ガス化直接熔融炉とサーモセレクト方式ガス化改質炉の2種類のガス化熔融炉技術を保有している。

ジャパンリサイクル(株)では、1999年9月に東日本製鉄所千葉地区に図4に示す、サーモセレクト方式ガス化改質炉を稼働させ、産廃系可燃性廃棄物やプラスチック製容器包装を対象にガス化し、製造した燃料ガスを製鉄所へ供給している。

サーモセレクト方式の特徴は約1200℃の高温で可燃性廃棄物をガス化し、ガス改質・精製過程を経ることによって、ダイオキシン類の発生を極限まで抑制したクリーンな燃料ガスを回収できる点にある。また、無機物はスラグ、メタル、金属水酸化物、硫黄等として再資源化ができる。

西日本製鉄所倉敷地区でも水島エコワークス(株)が2005年度より、一般廃棄物や産業廃棄物を対象としたPFI*ガス化事業へ参画し、製鉄所に燃料ガスを供給している。

3 使用済みプラスチックの材料リサイクル

3.1 コンクリート型枠用ボードの製造

プラスチック製容器包装等の使用済みプラスチックの中に

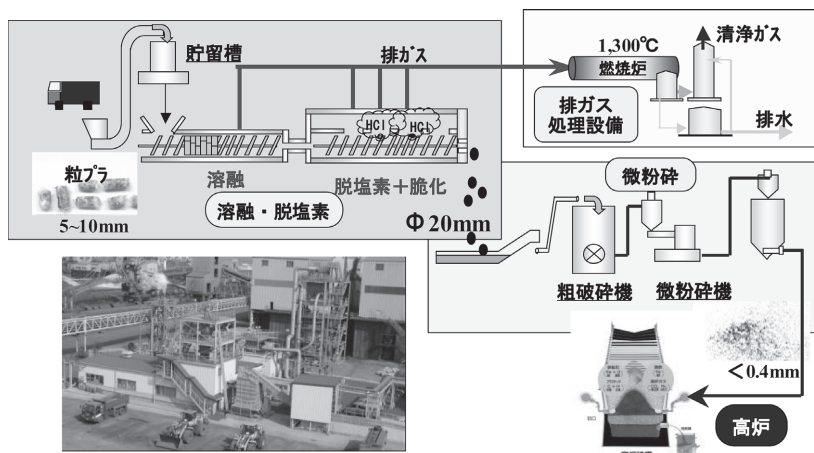


図3 使用済みプラスチックの熱処理微粉化による高炉吹き込みフロー

* PFI：Private Finance Initiative 民間資金等活用事業。

は材料リサイクルに適した比較的良質なプラスチックが含まれている。これらの良質プラスチックを効率的に取り出し、夾雑物を取り除いた再生樹脂を用いて『コンクリート型枠用ボード (NF ボード®)』を製造する技術を開発し、2002 年 9 月より事業を開始した。2005 年からは上述の高炉原料化事業と同様に、JFE 環境 (株) が事業を行っている。

また、2004 年 9 月からは、図 5 に示す通り、会員制販売と使用済みボードを有価買取する、NF ボード® リサイクルシステムを構築した。このリサイクルシステムでは、使用済みプラスチックから製造した NF ボード® は建設工事現場でコンクリート型枠用ボードとして数回使用される。使用済みのボードは回収した後、製鉄原料等に利用している。

また、前述の通り、再資源化に伴い発生する残渣の APR プラントでの処理について検討を進めている。

4 使用済みプラスチックの再資源化に伴う環境影響

4.1 廃棄物利用時の CO₂ 排出量の取り扱い

(社) 日本鉄鋼連盟は地球温暖化対策自主行動計画¹⁾において、鉄鋼業のエネルギー削減目標を、1990 年度に対して、2010 年度にはエネルギー消費量を 10%削減 (粗鋼生産 1 億トンレベルを前提) するとともに、追加的取り組みとして、集荷システムの整備等を前提に、高炉等において廃プラスチック等を 100 万トン活用することとしている。廃プラスチック等の製鉄プロセスにおける原燃料の代替としての利用は、前述したとおり、化石燃料系資源の利用削減と廃プラスチックの単純焼却と埋め立て回避による、CO₂ 発生抑制と最終処分場の延命化を目的としたものである。

一方、地球温暖化対策の推進に関する法律によって、温室効果ガス算定・報告・公表制度が温室効果ガスを一定量以上排出するものに義務付けられ、2007 年度より実施されてい

る。この報告制度においては、廃棄物を高炉原料化等、製品の製造用途に使用する場合、エネルギーの使用に伴って発生する二酸化炭素 (エネルギー起源) やそれ以外の二酸化炭素 (非エネルギー起源) とは区別して、別の表 (第 2 表) に記入して、発生量を報告することとなっている²⁾。尚、“この取り扱い、廃棄物の有効利用や化石燃料起源の CO₂ 排出削減の観点から、製造業を営む者その他の事業者において、積極的に廃棄物を化石燃料の代替燃料として、あるいは、製品の原材料として用いる場合を区分する”と明記されている。

4.2 再資源化による環境負荷評価

(財) 日本容器包装リサイクル協会はライフサイクルアセスメント研究の第 1 人者で構成した、“プラスチック製容器包装再商品化手法に関する環境負荷等検討委員会”³⁾を組織し、2007 年 6 月に報告書を纏め、環境省および経産省が合同で主催する、“プラスチック製容器包装に係る再商品化手法専門委員会”で報告した。

尚、JFE スチールはこの検討委員会に全面的に協力し、使用済みプラスチックの高炉原料化に係る環境負荷を評価するための、基礎データの提供を行った。

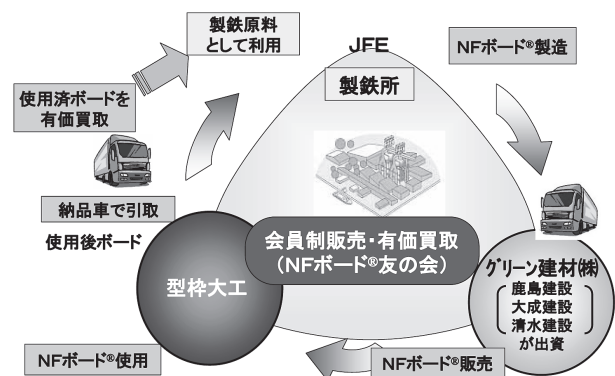


図 5 NF ボード® のリサイクルシステム

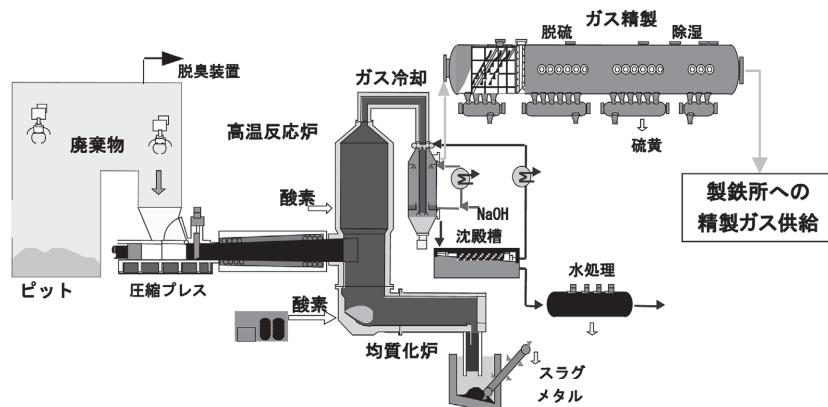


図 4 サーモセレクト方式による可燃性廃棄物のガス化フロー

表1に各再商品化手法における、環境負荷として、同報告書に記載されている、CO₂削減効果と残渣発生量を示す。

高炉原料化法は残渣発生量が容器包装プラスチックペール1トンを利用する場合、174kgと、他のケミカルリサイクル法に比較して多いものの、CO₂削減効果は3.3トンCO₂/トンペール（コークス代替）と高い値を示し、高炉でのプラスチックの利用が非常に効果的であることが示されている。

2008年度のプラスチック製容器包装の落札量は67万トンであり、その内分けは、材料リサイクル40万トン、ケミカルリサイクル27万トンであった⁴⁾。このデータを元に、CO₂削減効果と残渣発生量の試算を行った。

材料リサイクルによるCO₂削減効果は55万トンCO₂、残渣発生量は17万トンに対して、ケミカルリサイクルでは、CO₂削減効果は82万トンCO₂、残渣発生量は1万トンとなり、落札量の少ない、ケミカルリサイクルの数値の方が、CO₂削減効果は高く、残渣量は少ない試算結果となった。

図6に過去3年間の変化を2006年度を100として示す。落札量は3年間で13%増加しているのに対して、CO₂削減効果

は2%の増加に過ぎず、2008年度は2007年度より悪化している。一方、残渣発生量は3年間で30%急増しており、リサイクルの推進とともに、環境負荷は悪化している結果になっている。

この原因は、材料リサイクル占有率が増加しているためと考えられる。

5 プラスチック製容器包装を取り巻く環境変化

自治体が収集するプラスチック製容器包装の再資源化は再商品化事業者が日本容器包装リサイクル協会に毎年入札することによって行われている。入札に際しては、材料リサイクルの優先入札が運用上、行われている。

2006年度以降、材料リサイクルの占有率が増加したため、2008年度には一定の再商品化品質基準（塩素含有量0.3%以下、主成分90%以上等）を満たしたもののだけが優先入札権を得ることができる資格制度が導入された。しかしながら、この制度の導入によっても、優先材料リサイクルの占有率は40%になったものの、非優先材料リサイクルがケミカルリサイクルと競争し、材料リサイクル合計は59%となり、対前年9%増加した。

図7に地域別の落札状況を示した。関東圏は落札量合計（自治体収集量）は24万トンと最も多く、材料比率も42%と低く、比較的全手法のバランス良い再商品化が実施されていると考えられる。

しかしながら、西日本、特に九州、四国、中国圏は落札合計（自治体収集量）もそれぞれ3～5万トンと少ない上、材料比率は70～90%と全国平均の59%を大きく上回っており、再商品化手法間のバランスが大きく欠けている結果となっている。

このため、西日本地域に位置している、ケミカル事業者は

表1 各再商品化手法におけるCO₂削減効果^{3,4)}

再商品化手法		CO ₂ 削減効果 ³⁾ tCO ₂ /tペール	残渣発生量 ³⁾ kg/tペール	08年度落札量 万t ⁴⁾	CO ₂ 削減効果 万tCO ₂ /年	残渣発生量 万t/年
材料	パレット ワンウェイ	1.33	417	20*	26.4	8.3
	型枠ボード 繰返し2.5倍	0.76		4*	3.0	1.7
	コンパウンド 樹脂50%代替	1.59		16*	25.2	6.6
	材料計			39.7	54.7	16.6
ケミカル	油化	1.26	26	0.5	0.6	0.0
	ガス化アンモニア製造	2.63	26	5.8	15.3	0.2
	ガス化燃焼	1.48	26	0.9	1.3	0.0
	高炉コークス代替	3.31	174	2.5	8.3	0.4
	コークス炉	3.24	32	17.4	56.4	0.6
	ケミカル計			27.1	81.9	1.2
総計				66.8	136.5	17.7

* 斜字は推算値

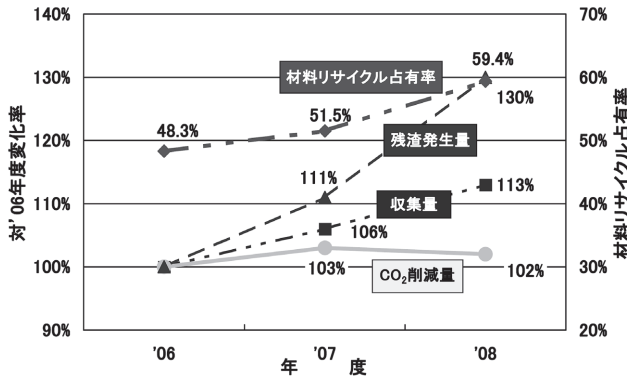


図6 再商品化による環境負荷の経年推移

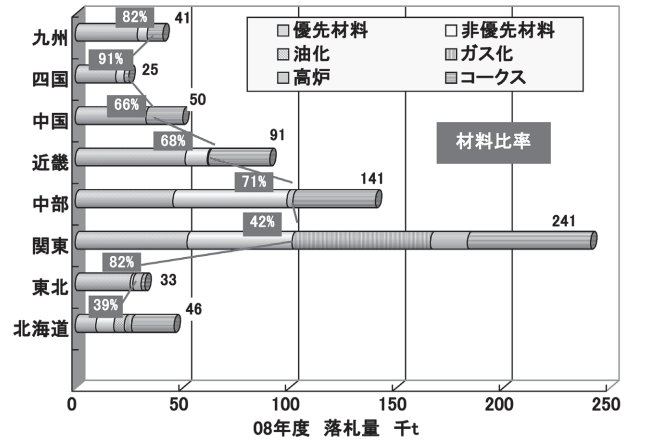


図7 地域別の落札結果⁴⁾

近畿圏は勿論のこと、中部圏あるいは遠く関東圏まで入札を行っても、落札量を確保することが非常に困難な状況にあると言える。

今後、再商品化に伴う環境負荷影響や手法間のバランス等を考慮した入札制度が望まれる。

6 おわりに

製鉄所は既存の鉄鋼生産プロセスを利用することによって、使用済み製品を循環資源として生まれ変わらせ、これらを製鉄用原料として有効利用することが可能となった。

JFEグループでは、今後も、技術開発を尚一層進め、資源循環型社会の形成に向けて、枯渇天然資源の有効利用と地球温暖化防止に向け、積極的に行動して行きたいと考えている。

参考文献

- 1) 自主行動計画の基本的考え方と数値目標, (社) 日本鉄鋼連盟ホームページ: <http://www.jisf.or.jp/business/ondanka/kihon/index.html>
- 2) 温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル, 環境省, 経産省, (2008), II -62.
- 3) プラスチック製容器包装再商品化手法に関する環境負荷等の検討, (財) 日本容器包装リサイクル協会, (2007)
- 4) リサイクル(再商品化)に関するデータ, (財) 日本容器包装リサイクル協会ホームページ: <http://www.jcpra.or.jp/archive/cycledata/index.html>

(2008年7月22日受付)