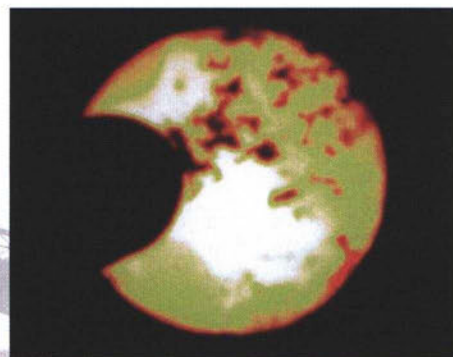


プラスチックリサイクルと鉄鋼業

幅広く使用されているプラスチックの多くは、天然資源である原油から作られる。さまざまな資源の有効利用や省資源への取組みが進むなか、プラスチックにおいてもリサイクルが進められてきた。現在実用化されているプラスチックリサイクルの手法の中には、製鉄所内での有効利用を前提としたものもあり、廃プラスチックのリサイクルに大きく役立っている。



高炉やコークス炉など製鉄所の設備を利用した廃プラスチックのケミカルリサイクルは大きな役割を果たしている。
(写真右) 高炉原料化技術でプラスチックが吹きこまれる高炉羽口付近のようす。(写真提供:JFEスチール(株))

関心が高まるプラスチックリサイクル

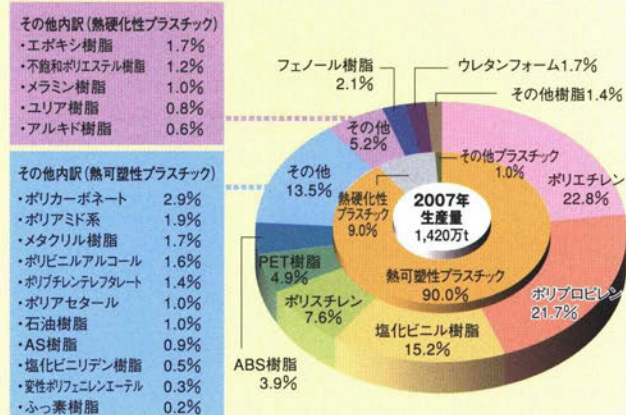
最近、全国のスーパーマーケットやコンビニエンスストアで、マイバッグを使う人が増えている。環境省では、容器包装ごみを削減するため、マイバッグを持参してレジ袋を断ることを呼びかけている。レジ袋は、消費者にとって最も身近なプラスチック製品の1つ。マイバッグによるレジ袋削減キャンペーンは、全国に広がっているが、この取組みは「プラスチックは限りある資源である」ことを再認識するきっかけづくりでもある。

そもそもプラスチックとは、主に炭素と水素でできる高分子化合物の総称である。日本では、石油や天然ガスを精製してできるナフサ(粗製ガソリン)を原料としている。プラスチックの製造では、まず原油を蒸留して得られたナフサを加熱・分解し、エチレンやプロピレンなどの低分子化合物を作る。さらに、得られた分子と分子を化学的に結合させ(重合)、ポリエチレンやポリプロピレンなど製品材料を作る。これらの材料は扱いやすいようにペレット(粒状)などの形状となって、プラスチック製品の原料となる。

現在、日本で生産されるプラスチックは年間1,445万t(2006年)である。生産量では、ポリエチレンとポリプロピレンが多く、この2つだけでプラスチック全体のほぼ半分を占める。これらは主に包装材、

建築土木用シートなどに使用される。この他にもプラスチックの種類は非常に多く、上の2つの他にも塩化ビニル樹脂、ポリスチレン、PET樹脂、ABS樹脂などがある。また、熱を加えたときの変化から、大きく2つの種類に大別され、製品を加熱すると形が変えられる「熱可塑性プラスチック」と、一度硬化すると二度と軟化しない「熱硬化性プラスチック」に分けられる。

プラスチック種類別生産比率



出典:日本プラスチック工業連盟が経済産業省経済産業政策局調査統計部発表の統計月報より集計(一部表記を修正)

■廃プラスチック総排出量の内訳(2006年)



(社)プラスチック処理促進協会調べ

■プラスチックリサイクルの3つの手法

分類(日本)	リサイクルの手法	ヨーロッパでの呼び方
マテリアルリサイクル (材料リサイクル)	再生利用・プラ原料化 ・プラ製品化	メカニカルリサイクル (Mechanical Recycle)
ケミカルリサイクル	原料・モノマー化	フィードストックリサイクル (Feedstock Recycle)
	高炉還元剤	
	コークス炉化学原料化	
	ガス化 化学原料化	
サーマルリサイクル (エネルギー回収)	油化 燃料	エネルギーリカバリー (Energy Recovery)
	セメントキルン	
	ごみ発電	
	RDF*1 RPF*2	

*1: Refuse Derived Fuel (生ごみや可燃ごみや廃プラスチックなどからつくられる固形燃料)

*2: Refuse Paper & Plastic Fuel (古紙と廃プラスチック類を原料とした高カロリーの固形燃料)

出典:「プラスチックリサイクルの基礎知識2008」(社)プラスチック処理促進協会

法整備に伴いリサイクルが普及

2006年の日本のプラスチック総生産量1,445万tのうち、国内製品消費量は1,120万tであり、廃プラスチック総排出量は1,005万tであった。廃プラスチックは一般家庭から排出される一般廃棄物と、工場など事業活動から排出される産業廃棄物の2つに分けられるが、一般廃棄物と産業廃棄物の量はおおむね半々である。廃プラスチックの有効利用の方法には、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクルに加え、固形燃料化、廃棄物発電、熱利用焼却などのサーマルリサイクルなどがある。有効利用率は、1990年代に20%台だったが、最近急速に利用率が高まり72% (2006年)に達している。

廃プラスチックのうち産業廃棄物では、同じ材質の廃プラスチックがまとまりやすく品質が安定していることから140万tがマテリアルリサイクルされている。それ以外は廃棄物発電やサーマルリサイクルなどに利用されたり、焼却や埋立処分される。最近の傾向として、埋立量が減少し、マテリアルリサイクルやサーマルリサイクルが増えているが、これは工場などでゼロエミッションを進めた結果、産業廃棄物として工場外に排出されなくなったことが影響していると思われる。

一方、一般廃棄物に含まれる廃プラスチックの多くは、食料品や日用品などの容器包装類(ボトル、チューブ、パック類、カップ類、トレイ、袋、フィルム等)である。これらの廃プラスチックの処理、有効利用について定めたのが容器包装リサイクル法である。一般廃棄物に含まれるプラスチックは、自治体などで収集されてから、産業廃棄物と同様、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、サーマルリサイクルなどに使用される。

日本では「持続可能な発展」を目指し、循環型社会形成の取組みが進められ、循環型社会形成推進基本法などの法整備が進んできた。個別物品のリサイクル法として、最初に施行された

のが容器包装リサイクル法(2000年完全施行)である。容器包装リサイクルへの取組が比較的早かったのは、生活ごみの埋立処分場の容量不足が問題視されるようになったこと、廃棄物も「分ければ資源」になるという認識が浸透したこと、などが背景にあると思われる。

容器包装リサイクル法では、消費者、市町村、事業者に対し、それぞれの立場でごみの減量とリサイクルの責務を負わせている。消費者は、プラスチックやPETボトル、紙容器などの容器包装の廃棄物を分別して排出する。容器を製造、または利用する事業者は再商品化(リサイクル)する。市町村は分別収集計画に沿って必要な措置を講じている。

プラスチックリサイクルの手法

現在実用化されている廃プラスチックのリサイクル手法のうち、マテリアルリサイクルは、プラスチックの材料のまま原料として新しく製品を作る技術である。廃プラスチックの中で、種類がはっきりしている、汚れや異物が少ない、量的にまとまっている、などの場合にはマテリアルリサイクルがしやすく、これまで工場などから排出される産業系廃プラスチックが多かった。これらは、パレット、コンテナ、土木建築資材などに再生加工され、利用されている。またPETボトルや発泡スチロールなども各種再製品にマテリアルリサイクルされている。

ケミカルリサイクルは、廃プラスチックを工業原料として利用するもので、高炉還元剤利用、コークス炉化学原料化、原料・モノマー化、油化、ガス化の5つが容器包装リサイクル法で認められている。このうち高炉還元剤利用技術とコークス炉化学原料化技術は、廃プラスチックを製鉄所で利用する技術であり、炭素と水素でできたプラスチックを化学原料として再利用するものである。

製鉄所の高炉には鉄鉱石とコークスが装入され鉄を生産す

るが、このときコークスには、鉄鉱石中の酸化鉄から酸素を奪う還元材、炉内反応のための熱源、高炉内でのガス、液体及び固体の円滑な運動を保証するためのスパーサー、等の役割がある。高炉原料化では、これらの役割のうち還元材としてコークスの代わりにプラスチックを使用する。

またコークス炉化学原料化技術は、石炭からコークス炉でコークスを作るのと同じように、廃プラスチックからコークスや炭化水素油、コークス炉ガスを得る技術である。

このほか、原料・モノマー化は、PETボトルを化学的に分解し、原料やモノマーに戻した後、ふたたびPET製品に再商品化する。またガス化は、廃プラスチックに酸素と蒸気を供給してガス化し、合成ガスを製造する技術である。この合成ガスから、水素、メタノール、アンモニア、酢酸などの化学原料を精製することができる。油化は、各種プラスチックの混合物を熱分解して油を精製する技術である。

サーマルリサイクルはエネルギー回収とも呼ばれ、ごみ焼却熱利用、ごみ焼却発電、セメントキルン原燃料化、ごみ固形燃料化などの種類がある。

各リサイクル手法における環境負荷評価

これまで見てきたように廃プラスチックのリサイクルにはいろいろな手法が適用されている。容器包装リサイクル法では「マテリアルリサイクルをその他の手法に比べ一定の条件下で優先的に取り扱う」（1999年の産業構造審議会・廃棄物処理再資源化部会第13回容器包装リサイクル小委員会）とされてきた。そのため再商品化事業者による入札制度では、マテリアルリサイクルが優先受注できる仕組みとなっており、2005年頃からマテリアルリサイクルの比率が高まっている。2008年度の入札対象プラスチック量（自治体から排出された量）は約67万tであったが、このうち約40%でマテリアルリサイクルが優先された。

このような状況に対し、再商品化における費用対効果や品質の改善、環境負荷低減、技術の多様性確保などの点から、マテリアルリサイクル優先の方向性を見直すべきとの議論が起こっている。

それぞれのリサイクル手法を環境負荷の観点から評価、比較す

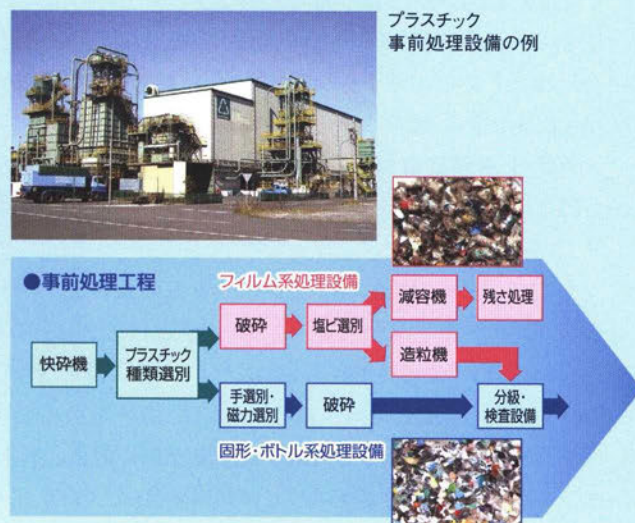
プラスチック中の炭素と水素を還元材として利用する高炉原料化技術

廃プラスチックの高炉原料化技術は、1996年にJFEスチール（株）により産業廃棄物系プラスチックのリサイクルに適用され、また2000年からは容器包装プラスチックのリサイクルに適用されている。

高炉原料化技術の工程は次のとおりである。工場や家庭から排出された廃プラスチックは、自治体により異物が除去され圧縮・梱包された状態（バール）で、再商品化事業者に取り入れられる。再商品化事業者はバール品を解砕し、フィルムと固形プラスチックに分離する。このうちフィルムでは、塩化ビニル樹脂が混じって

いると塩化水素で高炉を傷めるおそれがあるため、遠心分離装置で比重の大きい塩化ビニル樹脂などが分離、除去され、造粒される。また固形プラスチックでは、金属などの異物を除去した後、破碎される。

造粒または破碎されたプラスチックは、高炉の下部羽口から、微粉炭とプラスチックの混合物として熱風とともに、高炉内部（2000℃）に吹き込まれる。高炉内に吹き込まれたプラスチックは鉄鉱石（ Fe_2O_3 ）と反応して鉄鉄を作り、 CO_2 および H_2O として排出される。これにより、投入した廃プラスチックバールのうち、75%が高炉原料化され還元材として利用され、10%は水分として蒸発し、15%が残さとして処理される。



●高炉におけるプラスチック原料化

プラスチックの炭素と水素が1200℃の熱風とともに、高炉の羽口から内部へ吹き込まれる。これにより鉄鉄を作るとともに、 CO_2 と H_2O を排出する。



資料提供：JFE環境（株）

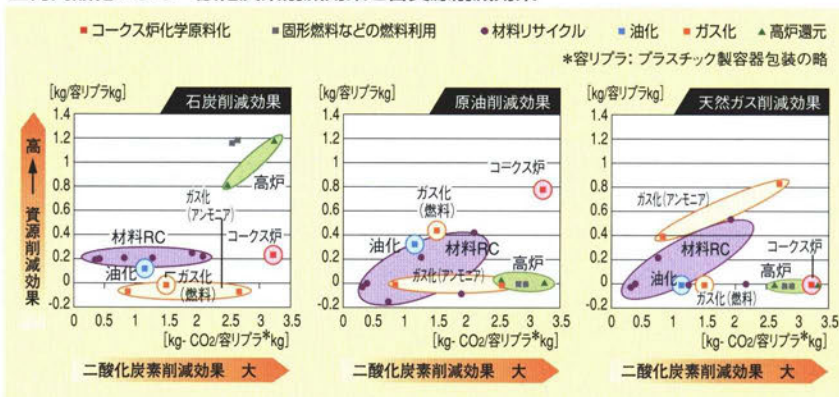
る目的で、2006～2007年に(財)日本容器包装リサイクル協会の「プラスチック製容器包装再商品化手法に関する環境負荷等検討委員会」では、各リサイクル手法について定量的な環境負荷評価を実施した。この中で石炭、原油、天然ガスの削減効果がまとめられた。

たとえばコークス炉化学原料化手法は、原油削減効果では油分とガス分による原油削減効果が大きく、他の手法と比べ最上位であった。また高炉原料化及びコークス炉化学原料化のいずれにおいても石炭削減効果が非常に大きかった。そして前述の検討委員会の評価のまとめとしては、「材料リサイクル手法が特段優れているとは言えないことが明らかになった」と発表されている。しかし現在なお「マテリアル優先」が続いている。

たとえばドイツやフランスでは、プラスチック容器のリサイクルの対象はPETボトルとポリエチレンボトルが中心でマテリアルリサイクルが行わ

れており、廃プラスチックの状態により、マテリアルリサイクルが困難なものはケミカルリサイクルやサーマルリサイクルに回される。環境と経済性とのバランスを重視した結果だといえるが、日本でも市場経済の中で今後も継続していけるシステムの整備が期待されている。

■再商品化による二酸化炭素削減効果と各資源削減効果



出典：「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報告書」(財)日本容器包装リサイクル協会、2007年6月

コークスの変わりに使用できる廃プラスチック コークス炉化学原料化技術

コークス炉化学原料化技術は、2000年に新日本製鐵(株)によって実用化され、2008年5月には同社5製鉄所の引取り実績の累計が100万tに達した。

自治体から引き取った容器包装プラスチックは圧縮・梱包され(ベール)、事前処理工程で破碎、異物除去された後、粒状に加工される。これが破碎・整粒された石炭と1～2%の混合割合で、コークス炉の炭化室に充てんされる。炭化室内の充てん物は加熱され、約20時間で1200℃まで乾留昇温される。ほとんどのプラスチックは250～480℃でガス化し、500℃以上では炭化物が残される。



プラスチック
事前処理設備の例

●事前処理工程

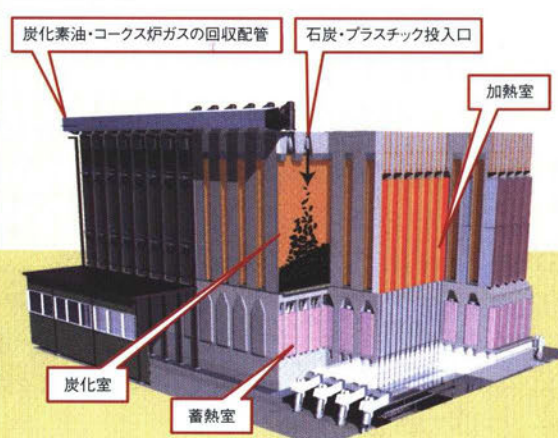


さらに石炭乾留終了温度の1000℃では、有機化学系物質はすべて分解される。またプラスチックや石炭に含まれる塩素成分は冷却水中のアンモニアと反応して無害化される。

プラスチックから分離された高温ガスは、石炭高温ガスとともに冷却・精製され、常温で高カロリーガスと油分に分離される。これにより、40%の油分、20%のコークス分、40%のガス分が得られる。得られた油分はプラスチックなどの原料となり、コークス分は高炉で還元材として利用され、ガス分は製鉄所内の加熱炉や発電所などの熱源となる。

●コークス炉における化学原料化

石炭とプラスチックを混合し、コークス炉の炭化室に投入する。炭化室内の充てん物は約20時間、1200℃まで加熱、昇温されると、プラスチックは熱分解される。



資料提供：新日本製鐵(株)

塩化ビニル樹脂の処理とリサイクル

塩化ビニル樹脂は、プラスチック生産量全体の約15%を占めるが、廃棄物焼却炉における塩化ビニル樹脂の焼却がダイオキシン^{*1}の発生源とされ、1980年代ごろから問題視されるようになった。

これに対し1997年にダイオキシンの抑制ガイドラインが実施され、2000年にはダイオキシン類対策特別措置法が施行された。この法律では、ダイオキシン類の一日摂取量、環境基準、排出ガスおよび排出水に関する規制が定められ、また廃棄物焼却炉についても、排出基準が定められた。この後、ダイオキシンの排出量は減少し、環境省の調査によれば、廃棄物焼却施設からのダイオキシン類推定総排出量は117g-TEQ^{*2} (2006年度) で、1997年に比べ98%の削減を達成している。

現在では、焼却物中の塩素量と発生するダイオキシンの量に必ずしも相関関係はない、と考えられており、適切な焼却条件で焼却すればダイオキシンの発生を十分に抑制することが可能となっている。

一方、使用済みの塩化ビニル樹脂は、製鉄所の原料としても



塩化ビニル処理装置
(JFEスチール(株) 東日本製鉄所(京浜) 構内)



回収された使用済み
塩化ビニル樹脂製
品(パイプ類)の例

利用されている^{*3}。塩化ビニルは150℃以上の熱でロータリーキルンで蒸し焼きにして熱分解した後、脱塩素化物と塩化水素に分離し、製鉄原料と塩酸に再資源化することができる。このうち塩酸は製鉄所の酸洗工程などで有効利用される。

*1 ダイオキシン(ダイオキシン類):ポリ塩化ジベンゾ-para-ジオキシン(PCDD)とポリ塩化ジベンゾフラン(PCDF)、コプラナ-ポリ塩化ビフェニール(Co-PCBs)を合わせた総称

*2 TEQ:Toxic Equivalent(等価毒性量)、ダイオキシンの毒性の強さを表す表示

*3 本事業はNEDOの助成金を受け、塩ビ工業・環境協会、(社)プラスチック処理促進協会とJFE環境(株)が共同して技術開発を行ったものである。

資料提供:(社)プラスチック処理促進協会、JFEスチール(株)

地球温暖化対策としてのプラスチックリサイクル

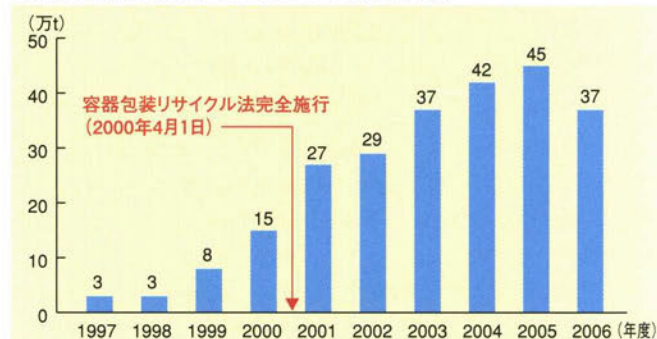
鉄鋼業にとって、プラスチックリサイクルは地球温暖化対策としても大切な役割を持っている。

鉄鋼業は、日本の最終エネルギーの約11%を占めており、これまでエネルギー使用効率の向上に積極的な取組みを行ってきたことは周知の事実である。(社)日本鉄鋼連盟では、地球温暖化防止対策の重要性を認識し、省エネルギー対策の取組みに 대응するよう、1996年12月に「鉄鋼業の環境保全に関する自主行動計画」を策定した。この中で鉄鋼業のエネルギー消費量削減目標は、1990年度の2,527PJ(ペタジュール)に対して2010年度に10%削減(粗鋼生産1億tレベルを前提)とされ、またCO₂排出量は、1990年度の203.7百万t-CO₂に対して2010年度に185.4百万t-CO₂まで削減するという目標が立てられた。さらに追加的取組みとして、2010年度に高炉等において廃プラスチック等を100万t(ただし集荷システムの整備等を前提とした場合)活用することを目標に掲げている。

鉄鋼各社では、産業廃棄物系の廃プラスチックの利用は1997年以降、一般廃棄物系は容器包装リサイクル法の全面施行を契機に2000年以降に廃プラスチックの利用が進展した。2006年度には、廃プラスチック利用実績は37万tに達している。

日本の鉄鋼業は70年代以降、工程の連続化や効率向上、廃熱

鉄鋼業の廃プラスチック・廃タイヤ等利用実績



(社)日本鉄鋼連盟資料より作成

回収など、工程のすみずみまでを見直し、省エネ・CO₂削減に取り組んできた。その結果、世界最高のエネルギー効率を達成している。プラスチックリサイクルを含め、日本の鉄鋼業が培ってきた、幅広い環境対策技術は、温暖化対策の視点からも重要な役割を果たすことが期待される。

●取材協力 (社)プラスチック処理促進協会、JFEスチール(株)、JFE環境(株)、新日本製鐵(株)

●文 杉山 香里