



特集記事・3 鉄鋼業におけるリサイクルの最前線
鉄鋼業におけるリサイクルの実践-3

コークス炉を活用した廃プラスチックの再資源化技術 —コークス炉化学原料化法—

Waste Plastics Recycling Technology Using Coke Ovens

加藤健次
Kenji Kato

新日本製鐵(株)
環境・プロセス研究開発センター 主幹研究員

1 はじめに

21世紀は地球環境問題に対して資源を有効に利用する「循環型社会」の構築が非常に強く求められる時代である。

近年、リサイクルできずにゴミとして焼却される廃プラスチックの量は年々急激に増加して社会問題化しており、資源の有効利用の観点から重要な課題となっている。図1に示すように、1999年における我が国の廃プラスチック排出量は976万t/y規模の莫大な量である¹⁾。このうち、家庭から排出される一般廃プラスチックの量は490万t/年と非常に多く、その中でも容器包装品に用いられるプラスチックは一般廃プラスチックの約70%を占めており、従来は一般廃棄物として焼却や埋め立て処理が行われてきた。このような背景から、2000年4月に容器包装リサイクル法が完全施行され、容器包装品を対象とした一般廃プラスチックの再資源化が行われている²⁾。

日本鉄鋼連盟は、地球温暖化防止対策のための省エネルギー自主行動計画として、2010年までに1990年に比較して

10%のエネルギー削減に加え、100万t/年規模の廃プラスチックを製鉄原料化することによって鉄鋼業で使用される全エネルギーの1.5%に相当するエネルギー使用量を削減する目標を掲げている。鉄鋼業における廃プラスチック使用によるエネルギー使用量削減を達成し、循環型社会を構築するための技術として、高炉での還元剤としての使用技術³⁾と、新日本製鐵(株)が推進するコークス炉を使用した廃プラスチックの再資源化技術(コークス炉化学原料化法)が開発され、実機化されている⁴⁻⁷⁾。

コークス炉化学原料化法は、廃プラスチックを石炭とともにコークス炉に装入して乾留することにより、コークス品質を劣化させずに、廃プラスチックを油分、コークス、及びコークス炉ガス等の化学原料に転換して、再資源化するケミカルリサイクルする技術である。

本報では、コークス炉が有する特徴を活かした廃プラスチックの再資源化技術について述べる。

2 コークス炉における廃プラスチックの化学原料化プロセスの検討

コークス炉は、石炭を原料として高炉で鉄鉱石の還元剤として使用するコークスを製造するための設備である。コークス製造プロセスの概要を図2に示す。コークス製造プロセスでは、石炭を酸素がない密閉された炭化室内で約1100~1200℃の高温の還元雰囲気中で乾留して、コークス(固体)、タール・軽油等の油分(液体)、及びコークス炉ガス等の製品を製造する。コークス炉内で発生した高温のコークス炉ガスは、コークス炉頂部の上昇管出口で安水(ammonia liquor; 石炭をコークス炉で乾留した際に発生する水分であり、アンモニア等を含む)をフラッシングすることにより、約80℃に冷却される。さらに、ガスクーラーで約35℃程度に冷却され、凝縮した液分はタールデカンターで油水分離さ

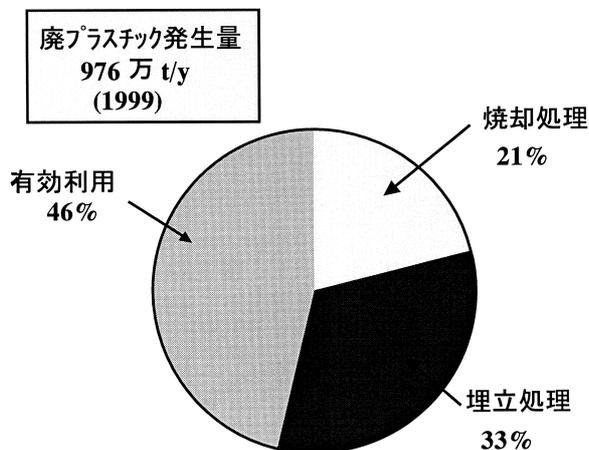


図1 廃プラスチック処理の内訳(1999年)

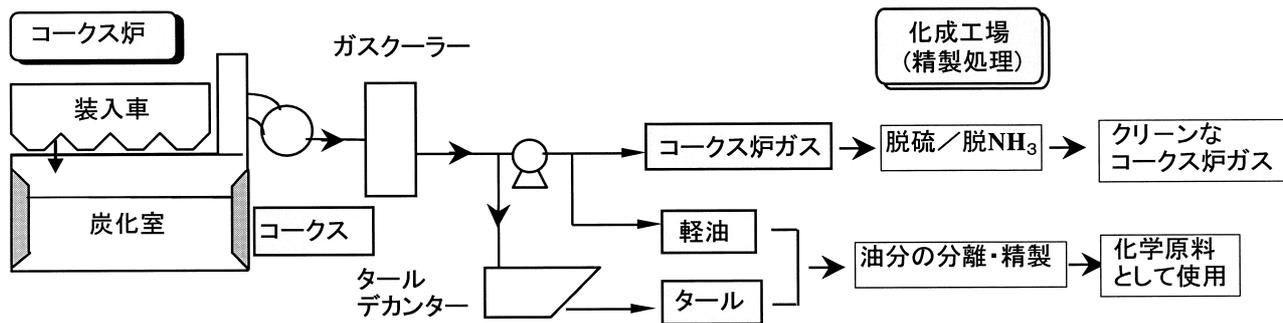


図2 コークス製造プロセスのフロー

れ、タールとして回収される。

石炭を乾留して得られるコークス炉ガスは化成工場にて、脱硫、脱アンモニア処理等のガス精製処理が施され、クリーンなコークス炉ガスに精製される。また、軽油やタールは、化成工場でお油分の分離・精製処理を行った後に化学原料として使用される。

以上のように、コークス製造プロセスは、固体である石炭を高温の還元雰囲気中で乾留して得られるコークス（固体）を高炉に搬送して還元剤として使用するとともに、副産物であるタール・軽油などの油分（液体）、及びコークス炉ガス（気体）を次工程の化成工場で精製処理する機能を有している。以上のように、コークス炉内の乾留条件が非常に高温で、かつ還元雰囲気であるために廃プラスチックを装入すると容易に熱分解されること、及び廃プラスチックを乾留して得られる各製品を精製処理する化成工場を有していることから、コークス製造プロセスは廃プラスチックの熱分解処理に適していると考えられる。

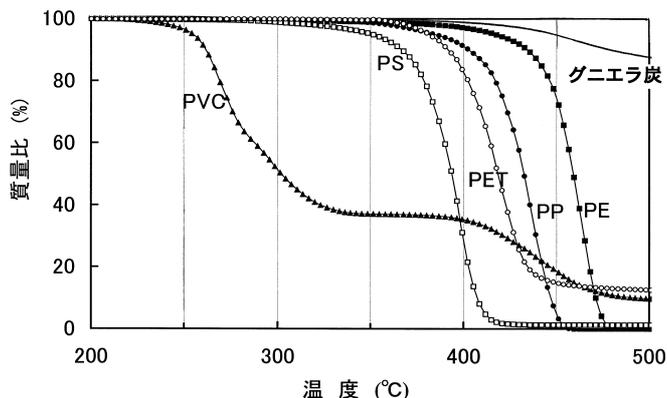


図3 各種プラスチックと石炭の重量減少曲線

表1 廃プラスチックの元素分析値と灰分量

元素分析値 (mass%, dry)				灰分 (mass%)
C	H	N	S	
72.6	9.2	0.3	0.04	5.0

表2 廃プラスチックの組成

組成 (mass%)						
PE	PS	PP	PET	PVC	PVDC	その他
21.4	24.8	13.7	15.5	5.2	0.4	19.0

3 コークス炉内における廃プラスチックの熱分解挙動の評価と各製品歩留の評価

コークス炉内における廃プラスチックの熱分解挙動を調べた実験結果の例を紹介する。図3に、各種のプラスチック、及び石炭を窒素中で加熱した場合の重量減少挙動を調べた結果を示す。プラスチックのサンプルは、ポリエチレン (PE)、ポリスチレン (PS)、ポリプロピレン (PP)、ポリエチレンテレフタレート (PET)、塩化ビニル (PVC) の試薬を用いた。石炭試料は、コークス製造用に使用されるグニエラ炭を使用した。その結果、図3に示すように、一般的なプラスチックは石炭 (グニエラ炭) より低い温度で熱分解を開始し、約 200°C~450°Cでガス化し、約500°C以上では残渣として炭化物が生成する。このことから、コークス炉の乾留条件は還元雰囲気であり、かつ約1100~1200°Cと非常に高温であるために廃プラスチックは容易に熱分解されることがわかる。

ラボ試験による基礎検討を行った上で、表1及び表2に性状を示す容器包装品を対象とした一般廃プラスチックを用いて、実機のコークス炉による実炉試験を行い、廃プラスチックを石炭とともに乾留した場合の各製品への転換歩留を調べた。

図4にフローを示す廃プラスチックの事前処理設備を用いて、一般廃棄物系の容器包装品プラスチックを粗破砕機、磁力選別機、風力選別機で選別して異物を除去した後、ハンド

リング性を向上させるために径が約25 mmのサイズに減容処理して塊成化した。廃プラスチックの塊成化物を石炭に対して質量比で1~2%添加して、コークス炉に装入して乾留し、各製品への転換率を評価した。

その結果、図5に示すように、一般廃プラスチックを石炭に1~2%添加して、石炭とともにコークス炉で乾留することにより、油分(タール、軽油)約40%、コークス約20%、コークス炉ガス約40%等の化学原料に転換され、廃プラスチックのほぼ全量が有効利用されることが実機のコークス炉で確認された⁴⁻⁶⁾。

4 コークス強度に対する影響の評価

我が国の鉄鋼業でコークス製造用に使用される石炭の使用量は年間で約5000万tである。もし、コークス製造用の原料である石炭に対して1 mass%の廃プラスチックの添加が可能となれば、コークス炉で年間約50万t規模の廃プラスチックを処理することが可能となる。この廃プラスチック処理量は、日本鉄鋼連盟が廃プラスチック有効利用による省エネルギー目標で掲げた処理量の約50%に相当する量である。

そこで、廃プラスチックを石炭に添加することにより、コークス品質にどのような影響を与えるかについて、実炉試験を行って評価した。コークス強度の指標としては、常温でのコークス強度を示すJIS K 2151で規定されたドラム強度(DI^{150/15})とコークスの熱間反応後強度(CSR)を調べた。その結果、廃プラスチックを添加しない場合と同等のコークス品質を確保できることがわかった(図6、7)^{4,5)}。以上の結果から、コークス品質を劣化させることなく、廃プラスチックの処理が可能であることが実証された。

但し、廃プラスチックを石炭に2%超添加した場合には、石炭の粘結性が低下するとともに、コークス塊内に廃プラスチックに由来する空隙が形成され、コークス強度が低下することが予測されるので、廃プラスチックを多量に添加する場合には、さらに検討が必要である⁸⁻⁹⁾。

5 コークス炉を活用した廃プラスチックのリサイクルプロセス

コークス炉化学原料化法のプロセス概要を図8に示す。廃プラスチックを破碎し、異物を除去してから粒状に減容化処

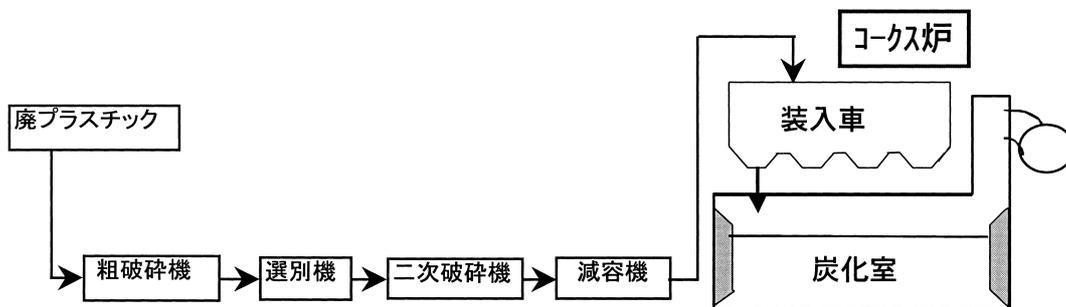


図4 廃プラスチックの事前処理フロー

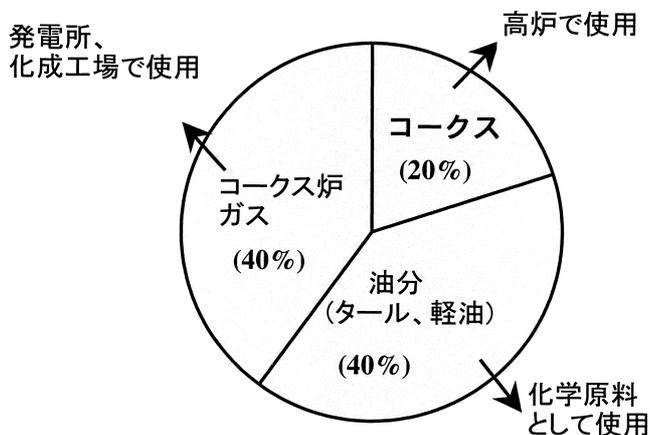


図5 廃プラスチックの各製品への転換率

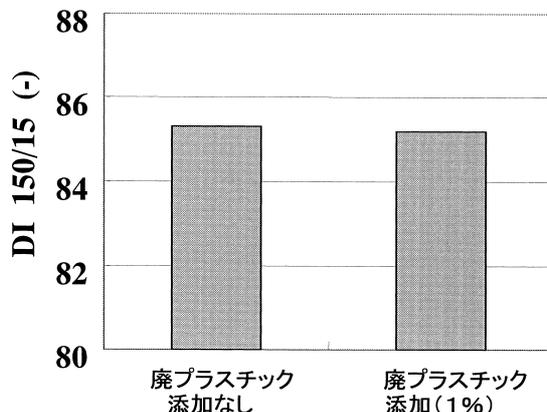


図6 廃プラスチック添加のDI^{150/15}への影響

理した後に、石炭とともにコークス炉に装入して最高約1200℃の高温、無酸素状態で乾留することによって、コークス約20%、タール・軽油等の油化物約40%、コークス炉ガス(水素リッチなガス)約40%に熱分解する。コークスは鉄鉱石還元剤として高炉で使用され、油化物はプラスチック等の化学原料として、コークス炉ガスはクリーンエネルギーとして発電所等で利用される。

コークス炉化学原料化法は、鉄鋼業のインフラであるコークス炉設備を活用して、廃プラスチックを熱分解するとともに、廃プラスチックを熱分解して生成する油分およびガスを既設のラインによって精製処理し、化学原料として循環使用するプロセスを構築したものである。本プロセスの特徴は、鉄鋼業の既存の大規模なインフラであるコークス炉を使用することによって、廃プラスチックが効率良く熱分解されると

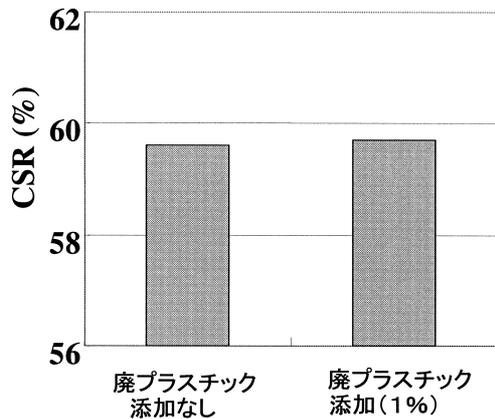


図7 廃プラスチック添加のCSRへの影響

ともに、廃プラスチックがほぼ完全にリサイクル使用が可能なことである。

コークス炉化学原料化法による廃プラスチックの受け入れ、事前処理、コークス炉による廃プラスチック処理、及び各製品の使用フローを図9に示す。

コークス炉化学原料化法は容器包装リサイクル法におけるケミカルリサイクルとしての再資源化技術の認定を受けている。2000年の容器包装リサイクル法の完全施行とともに、実機の第1号機として、2000年より新日本製鐵(株)の名古

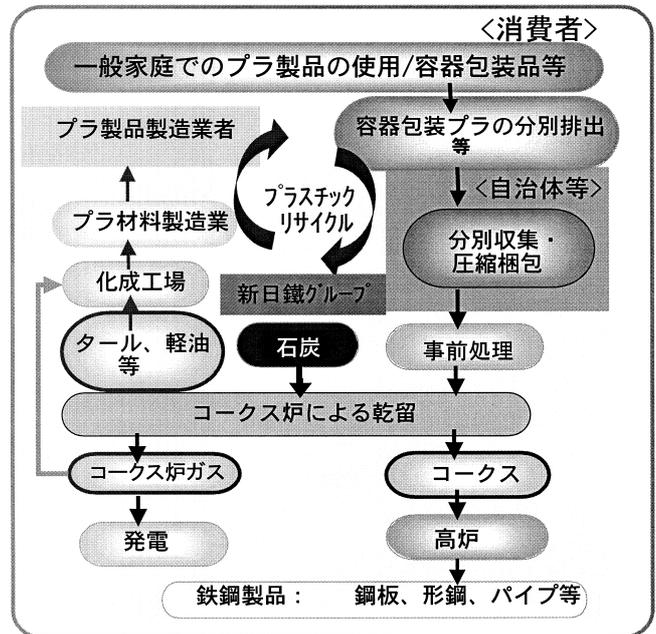


図9 コークス炉化学原料化法による廃プラスチックの受け入れ～リサイクル処理フロー

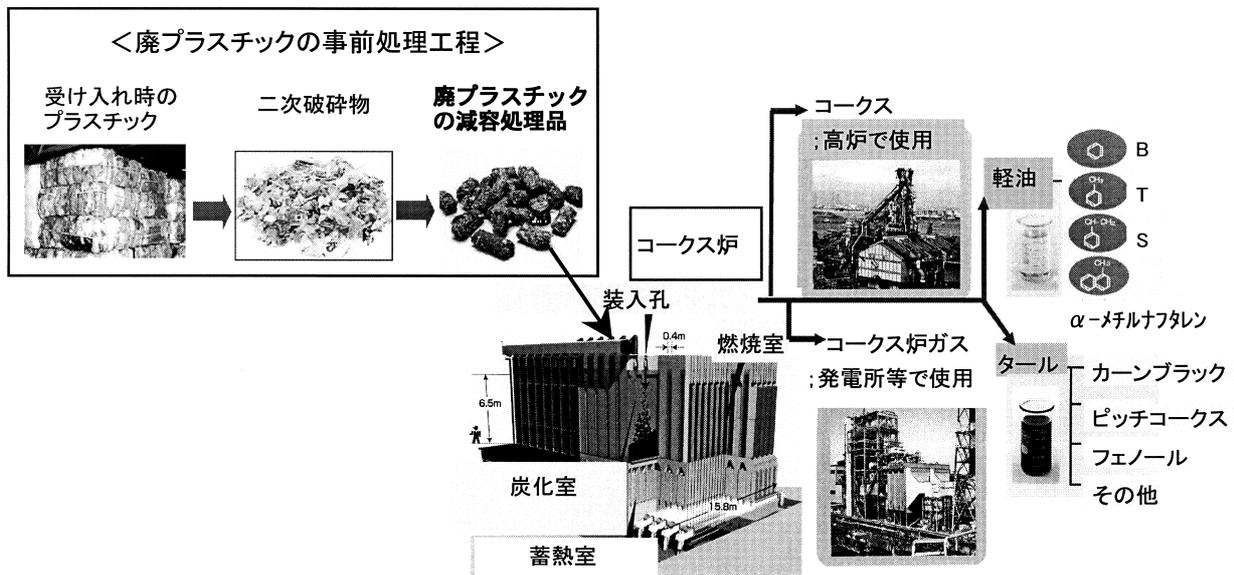


図8 コークス炉化学原料化プロセスのフロー

屋製鐵所および君津製鐵所において各4万t/年規模の廃プラスチック処理設備の稼働を開始し、さらに、2002年より八幡製鐵所及び室蘭製鐵所において各2万t/年規模の廃プラスチック処理設備の稼働を開始した(図10)。

コークス炉化学原料化法による廃プラスチックの処理量は年々、着実に増加している。2002年度は上記の4箇所の製鐵所で1年間に合計で12.1万tの廃プラスチック処理を実施しており、2003年度は12.3万tの廃プラスチックのリサイクルを実施する予定である(図11)¹⁰⁾。

各製鐵所の廃プラスチック再商品化設備およびコークス炉はともに順調に操業中である。

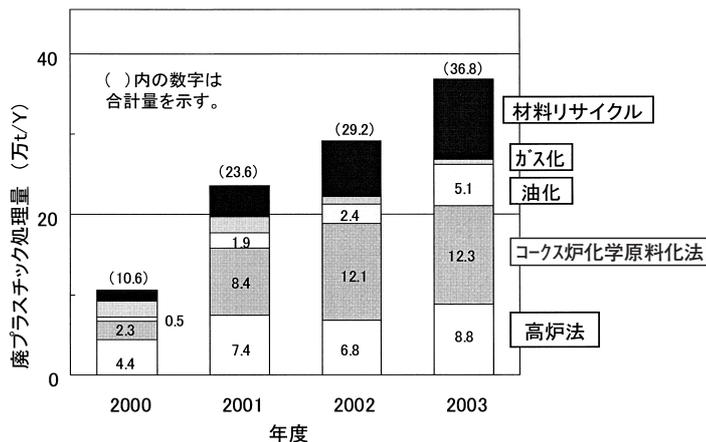


図10 処理法別に見た廃プラスチック処理量の推移

6 まとめ

製鐵用コークス炉を活用して、一般廃プラスチックを石炭とともに熱分解処理することにより、コークス、タール・軽油、ガスに効率良く転換し、ほぼ全量が化学原料として有効利用されるケミカルリサイクルプロセスを開発した。コークス炉化学原料化法は、日本特有の大型の都市型製鐵所の既設インフラを活用して、循環型社会の構築に向けての鉄鋼業の取り組みのひとつとして開発され、実機化されたものである。

現在、新日本製鐵(株)はコークス炉化学原料化法により、名古屋、君津、八幡、室蘭の4箇所の製鐵所で、1年間に合計約12万tの廃プラスチック安定的に処理している。

今後も鋭意検討を進めることにより、安定的に持続可能な循環型社会の構築に向けての社会的なシステム作り、及び地球温暖化防止対策に対して、さらに貢献することが期待されている。

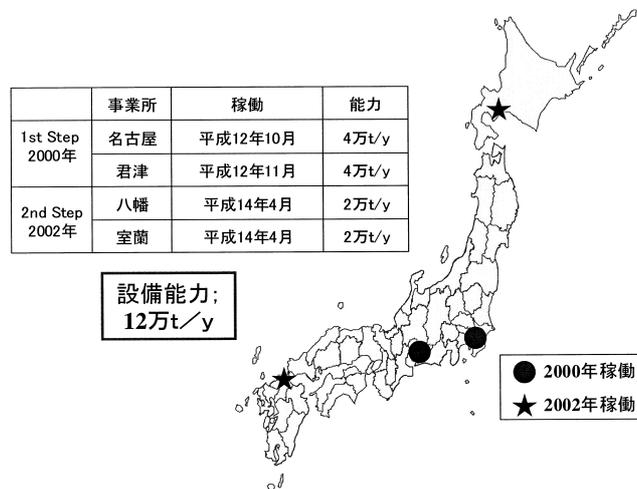


図11 コークス炉化学原料化法による廃プラスチック処理の実施状況

参考文献

- 1) 荷福正隆：日本エネルギー学会誌，81 (2002) 3，154.
- 2) 例えば，平成13年度循環型社会白書，環境省編，(2001)，103.
- 3) 浅沼 稔，有山達郎，山田 裕，藤井益弘，大河内巖，炭竈隆志，徳田正則：日本エネルギー学会誌，77 (1998) 5，423.
- 4) 加藤健次，古牧育男，植松宏志：金属，71 (2001) 4，331.
- 5) K. Kato， S. Nomura and H. Uematsu： ISIJ International Supplement， 42 (2002)， S10.

- 6) 加藤健次：日本エネルギー学会誌，81 (2002) 3，174.
- 7) 近藤博俊， 欽取英宏， 祖山薫：日本エネルギー学会誌，81 (2002) 2，81.
- 8) 野村誠治， 加藤健次， 中川朝之， 古牧育男：日本エネルギー学会誌，81 (2002) 8，728.
- 9) 野村誠治， 加藤健次：J. Jpn. Inst. Energy， 82 (2003) 3，143.
- 10) 日刊工業新聞，(社)日本容器包装リサイクル協会，2003.6.11.

(2003年9月2日受付)