

## 一般系廃プラスチックリサイクル技術の現状と展望

(株)日本省エネ・環境製品 コンサルティング事業部  
梶 光雄

### 1. はじめに

20 世紀に、新しい素材として生まれたプラスチック、我が国でも昭和 30 年頃から使用され始め、その後消費量は、高度成長期時代の下で、どんどん増加していった。

プラスチックは、軽くて丈夫、耐薬品性で腐らない、成形加工し易い、安価であるなど多くの優れた特徴が世の中に受け入れられ、急速に日常生活のあらゆる分野に浸透し、プラスチック時代の幕開けとなった。同時に、プラスチックは安価なことから、使い捨ての時代が始まり廃棄されるプラスチックの量や種類は増大し、しかも“ごみ”として廃棄されると、軽い、かさばる、腐らないなど、廃棄処分が難しく、ごみの中の“厄介もの”と呼ばれ、廃棄物問題を引き起こす主原因物質として非難されるに至った。そして、国土の狭い我が国では、埋め立て処分地が逼迫し、早急に解決を図るべき“環境問題”の主要課題の一つになってきた。

国はかかる状況を鑑み、20 世紀から「循環型社会形成推進基本法」の基に「容器包装リサイクル法(略称)」を制定し、次いで「家電リサイクル法(略称)」「食品リサイクル法(略称)」「建設リサイクル法(略称)」「グリーン購入法(略称)」と個別物品ごとに、リサイクルに係わる法律を相次いで制定し廃棄量を抑制し、リサイクルを促進させることとした。

これらの法律の制定と相まって、廃プラスチックのリサイクル技術も急速に発展を遂げ、今年はいよいよ“使い捨ての時代”から“リサイクルの時代”への実行の年になることが見込まれる。既に、一般系廃プラスチックについては「容器包装リサイクル法」の下で、リサイクルが実施され、4 年目を迎えようとしている。そこで、我々に関係の深い家庭ごみ、特に、容器包装プラスチックに焦点をあて、リサイクル技術の現状と将来について述べてみたい。

### 2. 廃プラスチックリサイクルの現状

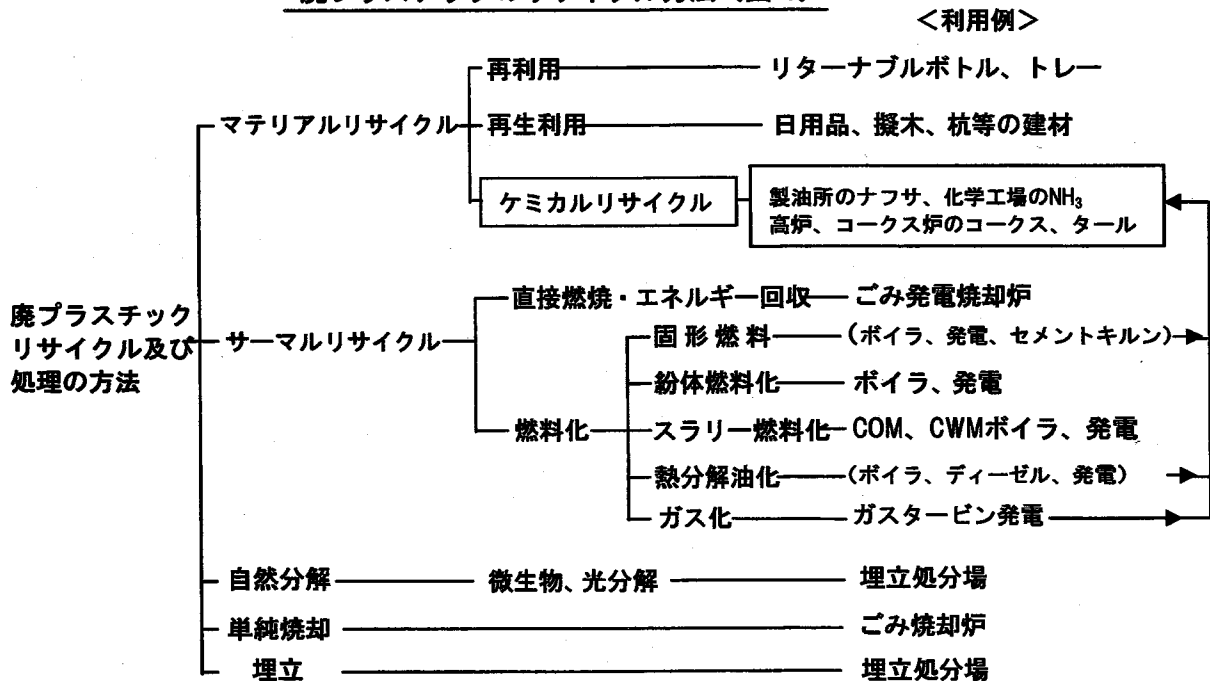
#### (1) 廃プラスチックのリサイクル方法

廃プラスチックのリサイクルには様々な方式があり、その全容を(図-1)にまとめた。

一般廃棄されたプラスチックを再度製品に替え、物として再利用する「マテリアルリサイクル」と燃焼しエネルギーとして再利用する「サーマルリサイクル」とに大別される。

マテリアルリサイクルには、廃棄されたボトル、トレーなどのプラスチックに洗浄、殺菌等をほどこし、そのまま利用する再利用方式、熱で溶融し色々な形に成形し直し、棒、杭、日用品などの用途に利用する再利用方式、及び熱で分解しガスや油に転換し石油化学原料(ナフサ、アン

廃プラスチックのリサイクル方法 (図-1)



モニア等)として利用したり、鉄高炉のコークスや石炭化学原料であるタールとして利用するケミカルリサイクル方式とに分けられる。ここで、ケミカルリサイクル方式とは、マテリアルリサイクルの中の一つの方法であり、廃プラスチックを分別した後、加工して上流の化学原料まで戻す方式で、欧米では、フィードストックリサイクルと呼ばれている。

一方、サーマルリサイクルには、ごみ発電焼却炉のように、廃プラスチックをそのまま直接燃焼してエネルギー回収する方式と、既存の石炭、石油、ガスに類似した燃料に加工した後、燃焼・エネルギー回収する燃料化方式とに分けられる。

一般に都市ごみの中身は、ガラス、金属、厨芥、紙、木屑、廃プラスチックなど種類、形状、発熱量等性状が異なるものが入りまじっているため焼却処理を主目的とした直接燃焼・エネルギー回収方式が取られることが多かった。しかし、最近、廃プラスチックの分別が進められるようになり、高いエネルギー回収効率を得られる燃料化方式やケミカルリサイクル方式が取られるようになって来た。これらを示すと(図-1)のようになる。

その他、微生物や日光の働きにより分解し土に戻す自然分解方式や減量化のために焼却処理したり、埋め立てる方式もあるが、当然、これらはリサイクルとは言わない。

## (2) プラスチックの生産量と種類、廃棄量、リサイクル率

2001年度、我が国のプラスチック生産量は、1388万t/年(100%)にのぼる。プラスチックは種類が多く、その用途も様々であるが、大別すると熱を加えると熔融せずに分解する熱硬化性樹脂(11%)と、熱により熔融し、冷却すると元のプラスチックに戻る熱可塑性樹脂(89%)とに分けられる。日常家庭で使用されているプラスチックは殆どが熱可塑性樹脂であり、主なものは、ポリエチレン(PE)、ポリプロピレン(PP)、ポリスチレン(PS)、ポリ塩化ビニール(PVC)、ポリエチレンテレフタレート(PET)の5種類であり、全生産量の約73%を占めている。

熱硬化性樹脂には、フェノール樹脂、エポキシ樹脂、ユリア樹脂、ウレタン樹脂等があり、電気製品、自動車部品、接着剤、塗料などの用途がある。生産量の中で大きなウエイトを占める前記5樹脂(73%)は、当然、廃棄される量も多いことから、廃プラスチックのリサイクル技術は、主にこの5種類を中心として研究開発が進み、実用化されている。

また、プラスチックの廃棄量は、2001年の場合、1016万tで、488万tが産業廃棄物として、528万tが家庭ごみなどの一般廃棄物として捨てられている。

これらの内、147万t(14%)が再利用され、368万t(38%)が主に、ごみ発電焼却炉で、直接燃焼・エネルギー回収されており、ケミカルリサイクルは、油化、高炉還元、コークス炉化学原料化等の21万t(2.0%)で少なく、合わせてリサイクル率は54%となっている。然し、21世紀は、ケミカルリサイクルが主体となり、この方法での処理が増加してくると思われる。再生利用147万tの大部分は、ポリ袋やPSトレーなどのプラスチック成形加工工場から排出される汚れの少ない単一プラスチックで、マテリアルリサイクルしやすい品質のものである。埋立や単純焼却など、リサイクルされていないものは481万tで46%を占めている。(社)プラスチック処理促進協会の資料)

## (3) リサイクル技術の現状

### ① ごみ発電焼却炉

最近のリサイクル技術について述べてみると、直接・燃焼エネルギー回収は、ごみ発電焼却炉で得られた熱を蒸気や電気に転換し、温水プールの熱源や照明、工場の動力源などに利用されているが、排ガス中のダイオキシンが問題となり、これらを除去・無害化する技術が開発されている。大気汚染防止法の規制値であるダイオキシン濃度(0.1ng/Nm<sup>3</sup>TEQ・新設炉)をクリアさせるために、バグフィルター、活性炭吸着、ダイオキシン分解触媒などの研究開発が盛んで、昨年施行されたダイオキシンの新規制に対応させるための改造も行われている。また廃プラスチックを約400°Cでガス化し、そのガスを1000°C以上に高温で完全燃焼させることによりダイオキシンの生成をおさえると同時に、焼却灰を熔融させ無害化させるガス化熔融炉の開発、実用化も盛んに行われている。

しかし、廃プラスチックを直接燃焼させることは、ダイオキシンの他に、排水、臭気、炭酸ガスなどの問題があり、焼却炉周辺の住民からの苦情が多く、今後、焼却炉を新設することが難しくなっている。このような状況下、国は、「容器包装リサイクル法」に、焼却しないマテリアルリサイクルを基本とした処理技術を再商品化の手法として定めた。21世紀は、一般系廃プラスチックについては、これら5つの手法がリサイクル技術の主体となって行くであろう。これらの手法について以下に述べる。

### ② プラスチック原材料等

技術的には前述の再生利用方式で、既存のプラスチックの成形加工技術が採用されており、よく分別された異物の混入や汚れの少ないポリ袋、発泡スチロールレー、PETボトルなどを、洗浄、乾燥した後、熔融・成形加工し、板、杭、擬木などの土木建設用資材をはじめ文房具や日用品として利用されている。

### ③ 油化

一般廃棄物中のプラスチックは種類が多くしかも異物が入り混じっているため油化することが難しかった。このため(社)プラスチック処理促進協会及び(財)廃棄物研究財団は、国の補助を受け、一般廃棄物を対象とした油化技術の開発に力を入れ、実用規模のプラントを新潟市に6000t/y、立川市に3000t/yを建設し、平成10年実証実験を行い問題ないことを実証した。

これらの油化プロセスは、まず、前処理工程で家庭から排出された廃プラスチックから、金属、ガラス等異物を取り除き、次に、温度を約300°Cに上げ塩素分を熱分解除去した後、更に約400°Cに上げてプラスチックを完全に熱分解し炭化水素油を得る方法で、油の変質を向上させる目的で改質触媒工程を付加している。いずれのプラントも無公害で廃プラスチックの処理が可能であり、且つ良質の生成油が得られ、ボイラーやディーゼル発電など既存のエネルギー回収設備を利用可能なことが実証されている。

また、国は、この生成油の利用を推進するため、JIS規格のもととなる「ボイラー用及びディーゼル用燃料TR原案」を作成した。またグリーン購入法への導入も検討している。

## ④高炉還元

家庭から排出された廃プラスチックは、異物や塩化ビニールが分離除去され、高炉に吹き込まれ、鉄鋼石の還元用コークスの代替として使用される。高炉に微粉炭と共に廃プラスチックを均一に吹き込むために、廃プラスチックは一定のサイズに造粒される。

## ⑤ガス化

熱分解油化と同様に前処理工程で異物を除去し、石炭に廃プラスチックを混ぜ高温、高圧下でガス化する。一段目では廃プラスチックを、圧力約 40atm、約 600°C で熱分解すると同時に混入する金属類(アルミ缶、スチール缶等)を分離回収し、二段目でさらに温度を約 1300°C に上げ、水素、一酸化炭素を主成分とするガスを発生させ塩素分を除去した後、このガスをメタノールやアンモニアの原料として使用する。一段目で除去出来なかった廃プラスチックに伴伴するガラス、金属、砂などの異物は、二段目の分解槽で高温溶融し、スラグ状になり無害化され、レンガや道路舗装用の骨材としての利用が検討されている。

## ⑥コークス炉化学原料化

製鐵所では石炭をコークス炉で還元し、コークスと揮発分であるタール、軽油、ガス等に分離し、これらの揮発分から様々な化学工業用の原料を製造している。廃プラスチックは異物を分離し塩素分を取り除いた後、石炭と一緒にコークス炉にフィードすることにより、タール収率が向上する。廃プラスチックは熱分解されてタール、軽油、ガスとして回収され、熱分解時に生成する残渣はコークスとして利用される。

前記の③～⑥についてプロセスフローと実用化されている主な企業を(図-2)に示す。

これらの技術についてまとめると、

- ① 一般廃棄物中の塩素分を含んだ多種類プラスチックの処理を対象としている。
- ② 熱分解油化は、窒素還元雰囲気下で、又ガス化、高炉還元、コークス炉化学原料化は、どれも高温下で処理されるためダイオキシン発生の心配がなく、無公害型のリサイクル施設である。
- ③ 油化やガス化は、塩素分を分離回収し、工業用に塩酸や肥料として有効利用する。
- ④ どれも廃プラスチックを工業用原料に戻す方式で、油化は石油の代替として、ガス化、高炉還元、コークス炉化学原料化は石炭の代替として再利用される。

## 3. 廃プラスチックリサイクルの展望

## (1)プラスチック原料へのケミカルリサイクル

プラスチックは石油を原料として作られており、これらを熱分解油化すれば、ガソリン、ナフサ、灯油、軽油、重油と言った元の石油と同じ成分に戻ることから、基本的には廃プラスチックは、原油に似たもので油化した生成油は石油と同じ用途に利用出来ると考えてよい。

我が国に輸入された原油は、製油所で熱分解し精製され、約 85%がガソリン、灯油、軽油、重油などの燃料となり、残りの約 15%がナフサなど、化学原料として石油化学プラントへ供給されている。石油化学プラントでは、このナフサをエチレン、プロピレン、スチレン、キシレンなど、

様々な化学原料に転換し、多くの化学製品を作り出している。また、これらの化学原料からの重合工程を経ることにより、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレンなどの中間製品が生れ、これを化学繊維やプラスチックなどの原料として使用している。

更にプラスチックは成形加工工場で、ボトル、フィルム、トレーなど様々な形に成形加工された後、飲料、食品、衣料などの容器包装材として使用され消費者にわたっている。

これらは(図-3)の上部に示す様に動脈産業と呼ばれている。原油からプラスチック容器包装材ができるまでのシステムは、大量生産によるコスト低減が図られ、世の中への普及が進められて来たものの、一方では、大量消費、大量廃棄の時代を生み出し、廃棄物問題の一因となって来た産業と言われている。

これとは逆に、消費者が廃棄した廃プラスチックをリサイクルし資源として再利用する新産業を静脈産業と呼び、我が国の循環型社会形成に必要な新しい産業構造になることが期待されている。

プラスチック原料へのケミカルリサイクルとは、(図-3)の静脈産業の流れの①～④に示す様に、廃棄されたプラスチックを、上流の石油製油所や石油化学工場に原料としてリサイクルし、「廃棄飲料用ボトルを飲料用ボトルへ」、「廃棄食品用トレーを食品用トレー」へと、元の同じプラスチック製品に戻す「永続的な完全循環方式」であり、最も好ましい再商品化手法と言われている。このリサイクルシステムには次のようなメリットが考えられる。

1. システムは、エネルギーへのリサイクルとは異なり、物から物へのマテリアルリサイクルに位置付けられ、石油化学原料として再利用、再々利用されれば、資源の永続的で効果的な循環・活用が図られる。
2. 製油所やプラスチックの製造プラントなど、既設の設備が利用できるため、設備費や人件費などの削減が図られ、処理コストが低減し経済性について大きく改善される。
3. 廃プラスチックは、製油所内ではナフサに、プラスチックの製造プラントでは、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、PET 等、既存の製品に転換され、既存のルートで流れて行くため、新たに販売・流通システムや製品用途を開発する必要がない。
4. 製油所や石油化学工場は、全国に散在しており(製油所は 41 箇所)、廃プラスチックの収集・運搬の点で有利である。
5. 廃プラスチックの熱分解油化方法として、製油所で行っている水素化分解法が採用できるので、残さ(炭素)が炭化水素油に転換できる分、現行の方式に比べ生成油収率の向上が期待できる。
6. ごみ焼却炉で焼却量が減少する分、炭酸ガス削減やダイオキシン削減に寄与する。

## (2)ケミカルリサイクルの課題

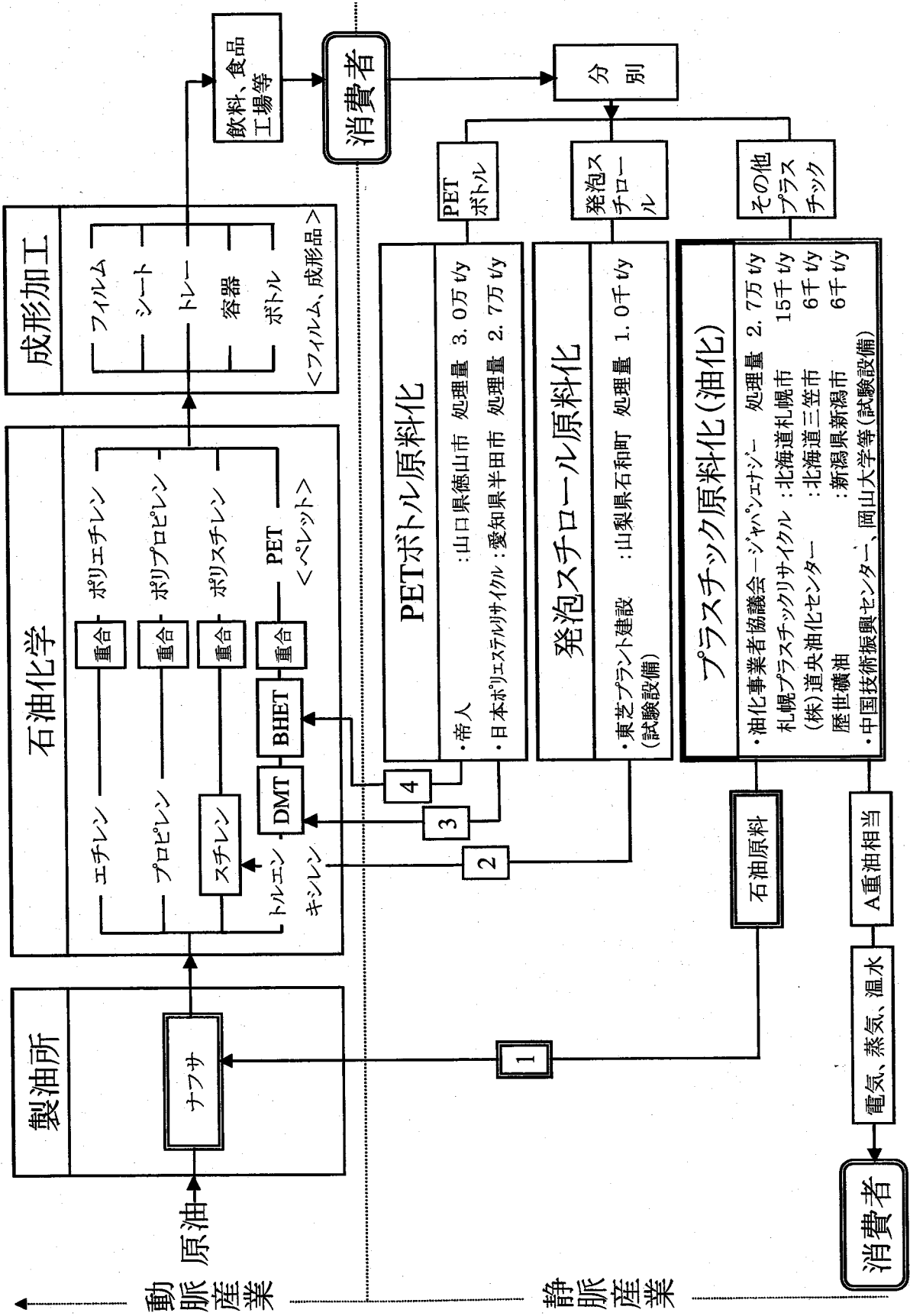
しかし、廃プラスチックを既存の製油所や石油化学工場に持ち込んで処理するには、現行の製造プロセスに支障をきたさないことを実証する技術的な裏付けが必要である。

現在問題とされているのは、塩化ビニールの塩素やプラ

図-2 一廃系プラスチック ケミカルリサイクル技術一覽

プラント設置場所と処理能力	新設プロセスフロー	既存プロセス
<p>&lt;油化&gt; 能力: 26,800 t/y ・新潟県新潟市 (0.6 万t/y) ・北海道札幌市 (1.48 万t/y) ・北海道三笠市 (0.6 万t/y) (歴世礦油(株)) (札幌プラスチックリサイクル(株)) (株)道央油化センター)</p>		
<p>&lt;高炉還元&gt; 能力: 90,000 t/y ・広島県福山市 (3.0 万t/y) ・神奈川県川崎市 (産廃: 6.0 万t/y) (NKK(株))</p>		
<p>&lt;ガス化&gt; 能力: 10,000 t/y ・山口県宇部市 (宇部興産(株))</p>		
<p>&lt;コークス炉化学原料化&gt; 能力: 174,000 t/y ・北海道室蘭市 (2.9 万t/y) ・千葉県君津市 (5.8 万t/y) ・愛知県名古屋 (5.8 万t/y) ・福岡県八幡市 (2.9 万t/y) (株)新日本製鐵)</p>		

図-3 廃プラスチックリサイクルの展望 (完全循環方式)



ストックに添加されている添加物で、特に、塩素、臭素、フッ素などのハロゲン化合物である。本来原油には、このハロゲン元素は極微量しか入っておらず、これらの元素が製油所や石油化学の製造プロセスに持ち込まれると装置の腐食、触媒被毒などのトラブルが懸念されるからである。このため、前もって廃プラスチックからハロゲン元素を完全に除去することが、主要な技術課題になっている。

(財)中国技術振興センターや岡山大学では、中国经济産業局の委託を受け、廃プラスチックの高度脱ハロゲン技術の確立、製油所へのリサイクルを目指し、研究開発に取り組み、今年、実用化を計画している。また、ジャパンエナジー(株)は、\*容器包装プラスチック油化事業者協議会(油化事業者協議会と呼ぶ)と共同で、油化プラントで発生するナフサ留分を製油所にリサイクルする計画を立案し実施に踏み切ろうとしている。

PETなどの単一樹脂については、廃PETボトルから飲料用PETボトルへリサイクルする技術が確立し、帝人(株)や(株)アイエスなどで実用化されており、発泡スチロールについてもスチレンに戻す原料化の試験が東芝プラント建設(株)等で行われている。また、塩化ビニールは、(株)トクヤマ、塩ビ工業・環境協会、塩化ビニール対策協議会、(社)プラスチック処理促進協会と共同で廃塩化ビニールを熱分解し、得られた塩酸を再び塩化ビニール原料に戻す方法を、パイロットプラントで実験している。

このように、廃プラスチックを石油へ、そしてプラスチックへと元の同じ製品に戻す「閉ループ完全循環方式」確立のための技術開発が盛んに行われ始め実用化段階にある。

### (3) 産業系廃プラスチックのリサイクル

産業系廃プラスチックについては、最近、焼却炉のダイオキシン規制(ダイオキシン類対策特別措置法)により、各企業が行っていた小型焼却炉での処理が難しくなり、また、ISO-14001を取得するために、従来の埋立や焼却処理を止め、小型油化装置などを自社内に設置し、蒸気や電気エネルギーに転換し、「省エネ・炭酸ガス削減」を図る企業が増加している。

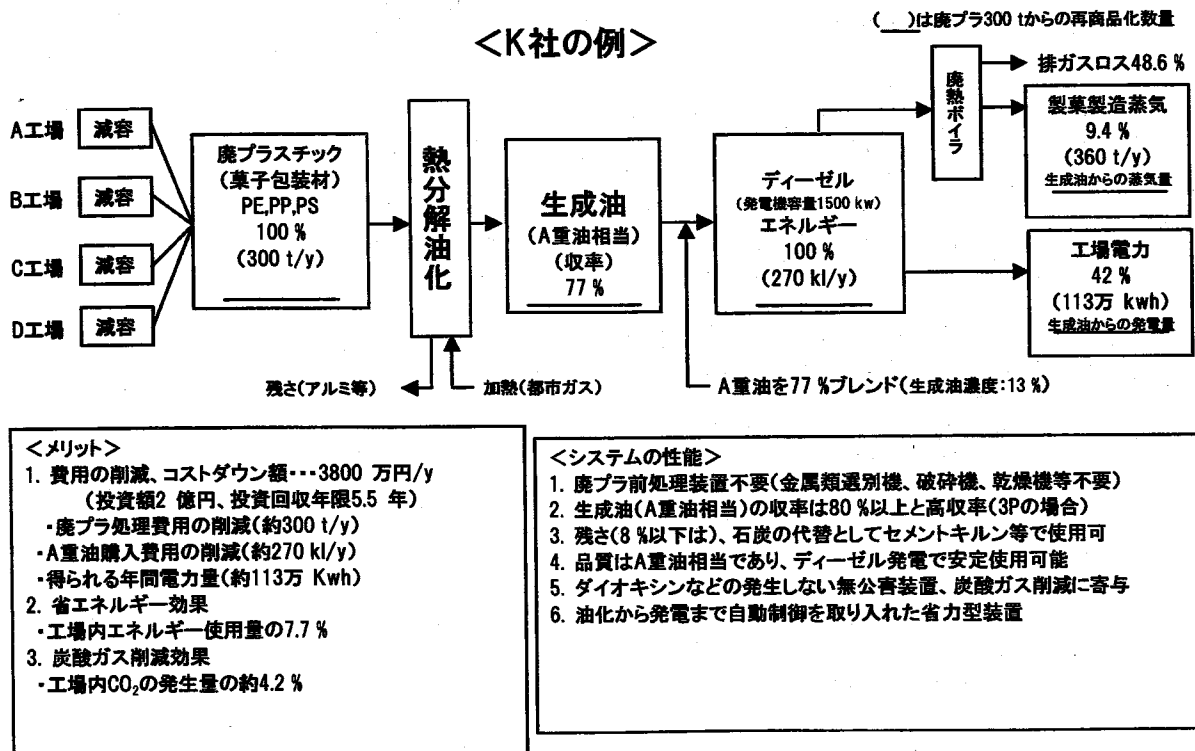
その例を(図-4)に示す。

これまで述べてきた事業は、我が国で、また、世界でも大きな関心が寄せられており、21世紀に、静脈産業の中の一つの新しい産業として大きく花開くことが期待されている。

これらを普及させるためには、リサイクルに係わる経済性を如何に向上させるかがキーポイントとなる。それには、設備などのハード面の他に、廃プラスチックの分別、収集から再商品化、再利用までの合理的なシステムや規制の緩和などソフト面からの見直し改善も必要である。

廃プラスチックの焼却や埋立費用は、今後、さらに高騰していくことが予測されるが(現状、30円~40円/kg)、廃プラスチックを年間約500万t焼却、埋立処理したと仮定すると、毎年、約2000億円以上の費用を費やしながら、その結果、ダイオキシンや埋立地の逼迫と言った環境問題を引き起こしてきたことになる、このあたりで、我々国民は「使い捨て、そして焼却・埋立」の時代から「リサイクル」の時代へと変わりつつあることを認識し「物の大切さ」について今一度考え直してみたいものである。

図-4 産業系廃プラのリサイクルによる省エネ・炭酸ガス削減システム



**<協力企業>**

(株)前田製作所、(株)日本省エネ・環境製品、出光エンジニアリング(株)、千代田工販(株)他

#### 4. おわりに

廃プラスチックは、そのままの状態では“ごみ”であるが、分ければ“石油資源”であり、狭くて資源に乏しい我が国は、いずれ必ず石油資源の枯渇という時代に遭遇するであろう。

また、ごみの埋立やダイオキシン問題を抱える我が国で、我々は、将来を見据え、廃プラスチックの再資源化の方向性を、今、考えて置くことが重要である。その点、廃プラスチックを石油に戻すケミカルリサイクルは、我が国にとって、非常に好ましいリサイクル方法の一つと言える。「地球は皆のもの、21世紀、皆で考えよう地球環境問題」を最後の言葉として、筆を置くことにしたい。これまで述べてきたことが皆様のお役に立てば幸いである。

#### まとめ

##### 1. 廃プラスチックリサイクルの現状

- (1) 2001年、プラスチックの年間生産量は約1390万トンで約1016万トンが廃棄されており、産業系と一般系廃プラスチックはおおよそ半々である。
- (2) リサイクル率は約54%で、再生利用(材料リサイクル)が約14%、ケミカルリサイクルは2%、サーマルリサイクルが38%である。
- (3) リサイクルされているプラスチックの種類は、PE、PP、PS、PVC、PETの5種類(73%)が主体である。

##### 2. リサイクル技術の現状

- (1) 一般系廃プラスチックについては、容器包装リサイクル法で定める、①材料リサイクル、②油化、③高炉還元、④ガス化、⑤コークス炉化学原料化のケミカルリサイクルと呼ばれる5つの方法が、これまでの焼却、埋立に代わり、廃プラスチック処理の主体になる。
- (2) これらは、ダイオキシンなどの出ない無公害型のリサイクル方法であり、廃プラスチックリサイクルの主体となっている。

##### 3. リサイクル技術の展望

- (1) プラスチックの原料である石油(ナフサ)やモノマーに戻すケミカルリサイクル技術が研究開発され、実用化され始めた。「廃棄飲料用PETボトルを同じ飲料用PETボトルへ」「廃棄食品用トレーを同じ食品用トレー」へのリサイクルが可能となる。既設のプラスチック製造設備を利用しながらリサイクルする方式なので経済性についても有利である。
- (2) これらは、永続的に資源の循環・活用が可能になるため、世界が注目している技術であり、我が国では実用化段階にある。今後、上記2のケミカルリサイクルの中核になることが期待される。(静脈産業の発展)
- (3) 産業系プラスチックについては、焼却炉のダイオキシン規制に伴い、外部処理は止め、油化など、省エネ・炭酸ガス削減を目的として、電気や蒸気のエネルギーに転換し、自社内でリサイクルする企業が増加する。(ゼロエミッション)