プラスチックにおける リサイクルの取組み*

喜多泰夫**

Present State for Plastics Recycle / Yasuo KITA

Key words: plastic waste, material recycle, chemical recycle, thermal recycle

1. はじめに

20世紀もあと数年を残すのみとなった。この世紀を材料の観点から振り返ってみると「20世紀は合成高分子、特にプラスチックの世紀」と言うことができるだろう。プラスチックは産業・農業活動はもとより日常生活のすみずみまで普及し、現代社会に不可欠なものとなっている。現在、隆盛を極めている自動車産業、電気・電子産業も、プラスチックの誕生とその発展のおかげで成り立っていると言っても過言ではない。人類は、このプラスチックの存在ゆえに、今日の物質文明を享受することが可能になったと言えるだろう。しかしその反面、プラスチック製品はあまりにも容易にまた多量に使用されるようになり、今日では逆に使い捨てられたプラスチックによる環境汚染が指摘され、大きな社会問題にさえなってきた。

例えばプラスチック廃棄物を含む都市ごみは、埋立て地不足や焼却問題から世界各国で大きな社会問題となっている。都市ごみ中に含まれるプラスチックの割合を東京都を例にとってみると、プラスチックの混入率は約8%である¹⁾。この値はアメリカやヨーロッパにおいてもほぼ同様であり、他の都市や諸外国でも7~8%の比率であることが予想される。しかし容積率に換算すると、プラスチックはみかけ比重が低いいため約30~40%にもなり、プラスチックが特に問題視される原因になっている。プラスチックは埋め立てても半永久的に腐らず、かさばって埋立て地の寿命を縮めている。また廃プラスチックは、焼却しても高熱により焼却炉を傷めたり、大気汚染やダイオキシンの

発生のおそれがあるとされている。焼却に伴って大量に発生する炭酸ガスは地球温暖化の原因にもなっている。このような現状において、我々は今こそ、このプラスチック廃棄物問題の深刻さに気づき、プラスチックの利用における発想の転換を図るべきではないだろうか。すなわち、資源の有効利用と廃棄物の低減を目的に廃棄プラスチックを回収し、原料として再びプラスチックによみがえらせる「プラスチックリサイクリングシステム」の確立である。ここでは、現在、地球環境保護対策において避けては通れないプラスチックリサイクルについて、その取組みの現状と今後の展望を述べてみたい。

2. プラスチック産業の現状

プラスチックリサイクル問題を正しく理解するためには、まずプラスチックが現代社会で果たす役割とその位置付けを正しく認識する必要があるだろう。1996年の全世界のプラスチック原材料の生産量は、1億2940万トンと推定されている。これは鉄の生産量の約1/10に相当するが、重さを考慮すると鉄とほぼ同容積のプラスチックが毎年地球上に誕生していることになる。次に、我が国のプラスチック産業の現状について見ると、1996年のプラスチック原材料の生産量は1466万トンである²⁾。そのうち、熱可塑性樹脂は約1277万トンで87.1%、熱硬化性樹脂は約189万トンで12.9%を占めている。現在プラスチックの種類は70以上あると言われているが、図1に示すようにポリバケツやゴミ袋に代表されるポリエチレン(PE)、自動車のバンパーや包装用フィルムになるポリプロピレン(PP)、水道パイプや農ビフィルムなどになる塩化ビニル樹脂(PVC)、家電製品やトロッコ箱・食品用トレイになるポリスチレン(PS)のいわゆる4大汎用樹脂でプラスチック生産量の約70%を占めている。汎用樹脂以外では、自動車業界や電気・電子業界で使用されることの多い高性能・高機能性樹脂であるエンジニアリングプラスチック

* 原稿受付 平成10年1月26日

** 大阪市立工業研究所(大阪市城東区森之宮1-6-50)

1977年大阪大学大学院工学研究科前期課程石油化学専攻修了、工学博士。1991年大阪市立工業研究所プラスチック課研究主任、現在に至る。研究分野:機能性高分子材料、反応押し

図1 我が国のプラスチック原材料の生産構成 (1996年)

(以下、エンブレと略称)があるが、その1996年の全生産量は約74万トンであり、プラスチック全体に占める割合は5%程度とあまり多くない。汎用エンブレともいわれ、リサイクルでお馴染みのPET樹脂でさえ4.2%で62万トンに過ぎない。

プラスチックは、このように20世紀の物質文明に不可欠の基礎素材であり、プラスチックなしでは、現在の生活は成り立たなくなっている。その結果、その使用量は年々増大してきており、それに伴い廃棄される量も膨大なものになってきた。これまで、廃プラスチックは主として埋立てにより処理されてきたが、近年になり、その埋立て場所の逼迫、資源の保護・有効利用の観点から、プラスチックリサイクルが大きな社会問題となってきたのである。1990年代に入ってから、世界的に環境保護やリサイクルのための法的規制やインフラストラクチャの構築がなされつつある。我が国においても、1991年にリサイクル促進法が施行されてリサイクル促進がうたわれ、自動車・家電製品などについてはリサイクルを考慮した設計をするように義務づけられた。また、1995年には容器包装リサイクル法が公布され、プラスチックに関しては1997年4月からPETボトルのリサイクルが開始されている。さらに2000年4月からは、PETボトル以外の容器包装用プラスチックのリサイクルが義務づけられることになっている。このように、我が国においても、「資源リサイクル」が単にかけ声だけでなく、国の政策として動き出し、21世紀に向けて「環境調和型経済社会システム」「資源循環型社会システム」形成の動きがすでに始まっている。しかし、さらなるプラスチックリサイクルの促進のためには、プラスチックの生産量の大部分を占める4大汎用樹脂をターゲットとしたリサイクルの義務付けとリサイクル技術の開発が必要であろう。

3. プラスチックリサイクルの分類と内容

図2に示すように、我が国においては、プラスチックリサイクル技術は一般に「マテリアルリサイクル(material

図2 プラスチックリサイクルの分類と名称

recycle)」、「ケミカルリサイクル(chemical recycle)」および「サーマルリサイクル(thermal recycle)」という三つに分類されることが多い。

「マテリアルリサイクル」は、廃棄物の物質的物性を失うことなく再生利用するもので、最も典型的なリサイクル手段である。例えば、スチール缶を鉄、古紙を紙として再生利用するように、ごく一般的にリサイクルと呼ばれているものがこれに相当する。したがって、このリサイクル法は、産業廃棄物を中心とする廃プラスチックのリサイクルに最も適した技術であるといえる。プラスチックの再生利用はさらに、比較的純度の高い単一の廃棄物を回収して再生する単純再生と、種々の樹脂が混合した廃プラスチックを再生する複合再生に分けられる。単純再生の場合、回収品中に異物が混入することも少なく、そのまま再生ペレットとして市場に供給されることが多い。最近話題になっているペットボトルのリサイクルによるフリースジャケットの製造などもこれに当たる。一方複合再生では、ある程度の選別を行った後、洗浄・乾燥・粉碎し、再生品に要求される物性となるようにバージン樹脂や色々な配合剤を添加することが必要である。

「ケミカルリサイクル」は廃棄プラスチックを熱や化学薬品で分解して、各種の化学原料に変換するリサイクル方法である。現在までのところ、実用規模で成功したという報告はほとんどないが、PMMA(ポリメチルメタクリレート)やPS(ポリスチレン)の熱分解によるモノマー回収³⁴⁾、PETボトルのメタノリシスやグリコリシスによる化学原料の回収³⁶⁾などが注目されている。また、廃棄プラスチックから熱分解によって燃料となる油やガスを回収する技術も注目されている⁷⁾。例えばポリエチレンを主成分とする廃プラスチックの場合、1kgの廃棄物から0.8kgもの油状物(ガソリンや灯油・軽油など)が得られる。このような、廃プラスチックを熱分解して油やガスを回収する研究は各所で積極的になされており、その技術の高度化、特に高性能な触媒の開発が望まれている。この「ケミカルリサイクル」は、いわば究極のリサイクル技術であり、炭素資源の保存だけでなく、炭酸ガスを排出しないリサイクル法という観点からも意味深いものである。

3番目の「サーマルリサイクル」は「エネルギーリサイクル(energy recycle)」とも呼ばれ、廃プラスチックを燃焼させて熱としてエネルギーを回収し、蒸気・温水あるいは

は電気として有効利用する方法である。そもそもプラスチックは石油を出発原料としており、石油を直接ガソリン・灯油・軽油などの形で燃やしてしまう替わりに、我々にとって有用な素材として使用するもので、いわば石油の延命的利用といえる。しかも、石油が本来持っているエネルギーはそのまま保持されているので、その焼却によってエネルギー回収を図ることは石油資源の節約につながり、資源の有効利用にもなる。また、廃プラスチックの発熱量は生ごみの2倍以上もあり、これらの混合燃焼はごみ焼却を容易にするというメリットもある。家庭から排出されるプラスチック製品や容器・包装資材は汚れており、種類も多く分別や洗浄が不可能なため、このようにエネルギーにリサイクルするのが最善の方法かもしれない。すでに、廃プラスチックと紙類、木類の廃棄物とを混合し、押出し機により固形燃料(RDF(Refuse Derived Fuel)と呼ばれる)化することも試みられている⁸⁾。この場合プラスチックは接着剤としての役目も果しており、製造されたRDFは石炭もしくはそれ以上の発熱量(3000~7500 kcal/kg)を持っている。また、結果的に廃棄物が減容化され、貯蔵や輸送が可能になるなどの利点もある。ある経済研究所の推定によると、現在の廃プラスチックと生ごみを非分別燃焼すれば、1000万kWの発電能力があるそうである。これは大型の原子力発電設備9基に相当する。最近、通産省では廃棄プラスチックを利用した発電やエネルギー利用の方向を打ち出しているが、これも上記の観点からの判断といえる。

その他の近年注目されるリサイクル技術としては、製鉄用還元剤としての廃棄プラスチックの利用がある⁹⁾。この技術はすでにドイツにおいて家庭から排出されるプラスチック包装廃棄物の処理法として実施されているが、日本においても日本鋼管が廃プラスチックの製鉄用の高炉の微

粉炭の代替として利用する技術を開発している。このプロセスでは、廃プラスチックを約6mmの大きさに加工し、溶鉱炉に吹き込む。高炉に吹き込まれた廃プラスチックは、炉内で酸素によりガス化され、一酸化炭素と水素になり、これが製鉄工程において還元剤として作用するとともに熱源として働く。この技術はリサイクル技術とは呼べないかもしれないが、製鉄に伴う二酸化炭素の排出の削減という意味においても興味深い。

以上のように、廃プラスチックのリサイクルの方法は、現在なお新しい技術が次々と開発されている。このような多彩な手段を機能的に組み合わせることによって廃棄プラスチックのリサイクル率を、さらに高めてゆくことが必要であることは言うまでもない。

4. 我が国のプラスチックリサイクルの現状と将来動向

プラスチック処理促進協会の最新のデータによると、1995年の我が国のプラスチック製品のライフサイクルは図3に示すとおりである。これによると、1995年における我が国のプラスチック生産量は1403万トンである。これらは、各種プラスチック製品に加工された後、原材料として自動車・電子・電気機器などに提供されたり、フィルム・容器、日用品などの製品として直ちに消費されることになるが、比較的寿命の長い製品のなかには、事業所や家庭などに滞留するものがあるため、最終的に廃棄物として排出された量は約884万トンと推定されている。この廃棄プラスチック排出量884万トンのうち、449万トン(排出量の51%)が焼却、336万トン(排出量の38%)が埋立、36万トン(排出量の4%)が再生利用、4万トン(排出量の0.5%)が固形燃料として処理されている。再生利用の95万トン(11%)の内訳は、使用済み品再生22万トン(内一廃使用済み品1万トン)、生産加工ロス再生73万トンである。焼却熱回収等については調査未了のため記載していない。

図3 プラスチック製品・廃棄物・再資源化フロー図 (1995年)

出典: (株)プラスチック処理促進協会

万トン（排出量の11%）である。さらに、焼却処理されているもののうち、122万トン（排出量の14%）については、発電や蒸気発生などによってエネルギー回収されている。

このように我が国では、国内に多くの焼却処理設備があるうえ、排ガス処理比率が1986年時点ですでにほぼ100%に達しているため、焼却の依存度が大きく、その結果リサイクルへの関心も欧米ほど高まらず、もちろん廃棄されたプラスチックの回収システムも構築されていないのが現状である。現在、各種廃棄物の再資源化の検討は、古紙、スチール缶、アルミニウム缶、ガラスびんなど種類別に設立されたリサイクル協会によって行われている。プラスチックについては、1971年11月に設立された通産省傘下のプラスチック処理促進協会において検討されている。各種廃棄物のリサイクルの現状をみると、プラスチック廃棄物のリサイクル量は先に述べたように年間95万トンで、リサイクル率は11%と推定される（有効利用を考慮した場合は221万トンで25%）。これは他の廃棄物である古紙、スチール缶、アルミニウム缶やガラスびんの約50%もしくはそれ以上に比べてはるかに劣ったものである。また1993年5月に、通産省は今後の廃プラスチック施策のあり方の基本的な方向を「廃プラスチックの処理に関する21世紀ビジョン」として打ち出しているが、それによると「マテリアルリサイクル」「サーマルリサイクル」「単純焼却」「埋立て」の4つの方法を合理的に組み合わせて効果を上げるとし、21世紀初頭までに埋立て処分を可能な限り減らすと同時に、単純焼却をなくし、焼却処理する物についてはすべてエネルギー回収を伴うものにするとしている。基本的には、図4に示すように、21世紀初頭においては有効利用率を90%にして、最終処分の埋立て処理は10%以下にするとしている。この90%の有効利用率のうち、「マテリアルリサイクル」は再生利用の約20%、残りの約70%は「サーマルリサイクル」で、発電・固形燃料化・油化などによるエネルギー回収としている。また、中間目標として、2000年での目標をエネルギー回収約50%、再生利用約15%としている。1995年の実績では先に述べたように、エネルギー回収が約14%、再生利用が約11%であり、まだまだ目標値にはほど遠いと言わざるを得ない。

廃プラスチックのリサイクル率の低さには様々な要因が考えられるが、最大の理由はプラスチックの多様性にあると思われる。すでに述べたように、現在、プラスチック製品は非常に多くの種類のプラスチックによって構成されており、一般消費者がこの種類を見分けることは不可能であろう。プラスチック廃棄物の大半を占める一般家庭ごみ中のプラスチック、いわゆる一般廃棄物の再利用は、現在まで専業として発展するに至っていないが、これも一般家庭ご

図4 通産省の廃プラスチックの処理に関する21世紀ビジョン（通産省資料）

み中のプラスチックがその種類があまりにも多様で回収後に経済的に分別することが不可能であり、またそのため再生プラスチックの品質が非常に悪く、その利用が難しいためと考えられる。このような一般廃棄物としての廃棄プラスチックのリサイクル効率を上げるためには、プラスチック・紙・金属やガラスなどの分別はもとより、プラスチック廃棄物自身も種類ごとに分別収集するのが理想であろう。この課題に対応するために、アメリカプラスチック工業協会ではプラスチック製品に図5に示すようなマークをつけて消費者に識別させ、分別廃棄してもらうことを1988年4月より推奨している。我が国においても同様なコード化システムの導入と、一般消費者に対し、プラスチックに関する知識を向上させる啓蒙活動が最近活発に行われるようになってきた。またこの分別収集を基礎とする一般家庭ごみ中のプラスチックリサイクルシステムの確立も急務であろう。こうした一連の回収システムの実現によってプラスチックごみ処理に占めるリサイクル率の向上が望まれる。

- 1=PET（ポリエチレンテレフタレート）
- 2=HDPE（高密度ポリエチレン）
- 3=V（塩化ビニル）
- 4=LDPE（低密度ポリエチレン）
- 5=PP（ポリプロピレン）
- 6=PS（ポリスチレン）
- 7=Other（その他）

図5 リサイクルのためのプラスチックコード化およびラベル表示

5. お わ り に

これまで廃棄プラスチックのリサイクルの現状について紹介してきた。大量生産、大量消費による物質文明を謳歌してきた先進国では、莫大な資源、エネルギーを浪費し、様々な廃棄物を環境に惜しげもなく放出している。そしてこれが、地球温暖化を始め我々の生存環境を脅かす様々な状況を招いた要因であることは否定できない。そして今日では、環境汚染と資源擁護の観点から、プラスチック廃棄物のリサイクルが大きな課題となってきた。またリサイクルにかかわる社会環境も世界全体で大きく変わろうとしている。市民レベルの意識の高まりもさることながら、国内および国際間における各種法制化の動きも顕著になってきた。すでに述べてきたように、プラスチック廃棄物問題は、豊かさ、便利さ、快適さをひたすら追及してきた近代文明のある種のひずみであり、プラスチック自身は決して悪者ではなく、それを悪者ならしめているのは、プラスチック廃棄物を有効再利用できない人類の無能さであると言える。人類は歴史的には実に多様な材料を用いてそれまでできなかった多くの夢を実現し、その活動圏を広げてきた。しかしその結果として、活動の規模が地球上の自然現象に比べ無視できない大きさに達した。我々は今こそ、この量的拡大による破綻を回避する義務がある。

すでにお気づきであろうが、現在のリサイクル技術はい

ずれも廃棄物が生まれてからそれをいかに処理するかという、いわゆる“end of pipe”テクノロジーであり、これらの技術開発に頼らざるを得ない限りにおいては我々に明るい未来はない。残された時間の短さを考えると、すでに生み出された多くの材料のリサイクル技術の研究開発とともに、自然と調和し、環境と共生できる材料および技術の開発、またあらゆる製品の製造と使用において廃棄物を生み出さない完全クローズドシステムを目指した、いわゆる“zero emission”や“emission minimum”技術の研究開発に、今後は全力をあげる必要があろう。

参 考 文 献

- 1) 東京都清掃事業概要（平成8年度版）。
- 2) 日本プラスチック工業連盟編：統計でみるプラスチック工業の一年，プラスチック，48，6（1977）10。
- 3) 久保直紀：トレイのリサイクル燃焼化システム，プラスチックエージ，37，8（1991）158。
- 4) 積水化成工業株式会社資料。
- 5) Lian-Chun Hu, A. Oku, E. Yamada and K. Tomari：Alkali-Decomposition of PET in Mixed Media of Nonaqueous Alcohol and Ether, Study on Recycling of PET, Polymer J., 29, (1997) 708.
- 6) 三宅 彰：ペットボトルのケミカルリサイクル，プラスチックエージ，40，7（1994）82。
- 7) 桜田秀夫：廃プラスチック油化プロセスの開発，プラスチックエージ，43，7（1997）81。
- 8) 宮代一利：プラスチック混入家庭ごみの固形燃料化とその応用，プラスチックエージ，43，7（1997）86。
- 9) 協本一成：廃プラスチックの製鉄用還元剤としての利用，第4回リサイクル技術研究発表会講演論文集，（1997）93。