地球環境時代におけるリサイクル*

平 岡 正 勝**

Recycle as the Global Environmental Problem

Masakatsu HIRAOKA

1. 地球環境問題と廃棄物問題

近代工業が盛んになったこの約150年の間に、人類は資源を地球規模で移動させるようになり、大量の資源を消費する産業活動により、大量の排出物、廃棄物が地球環境へ放出してきた。例えば、通産省等の資料によると、わが国は昭和62年度において、国内資源約13億5千万トン消費し、4億8千万トンの資源及び6千万トンの製品を輸入し、3億6千万トンのエネルギーを消費して、大気環境に放出し、11億2千万トンのものを生産し、6千6百万トンの製品を輸出し、11億1千万トンの製品を消費あるいは耐久材として、ストックし、2億2千万トンを再生資源として再利用し、4億5千万トンの廃棄物を排出していることになる。すなわち、資源(100)が投入された結果、70.3が財(処女資源+再生資源)として生産され、残りが(廃ガス+廃棄物)となっている。このような工業先進国からの廃ガス、廃棄物の排出量は、各国の環境容量を越え、最終的に環境汚染の影響が地球規模で広がってきたことが認識されるようになってきた。現在、地球環境問題としては、具体的に次のような問題があげられている。1) オゾン層の破壊、2) 地球の温暖化、3) 酸性雨、4) 有害廃棄物の越境移動、5) 海洋汚染、6) 野生動物の種の減少、7) 熱帯林の減少、8) 砂漠化、9) 開発途上国の公害問題。最近になって、このような地球環境問題は様々な局面で顕在化しているが、これはまさに、産業革命以来の無秩序な人類の技術開発のつけがまわってきたと言っても過言ではない。

2. 地球環境問題のとらえかた—静脈系—

私達がさまざまな活動を行っている社会、環境を含めた全体のシステムを図1のように、大きく人間活動を主

体とした人間生態システムと環境の場としての自然生態システムとに分けて考えてみよう。各生態系を流れ系として考えてみると、物質、エネルギーは媒体であり、システムを相互に結び、全体としてみると一つのサイクルを形づくっている。これを環境サイクルと呼んでいる。私達は人間生態システムでの存在理由(raison d'être)を強調しながら、自然生態系との強い相互干渉による動的な平衡の上から初めて存在しているのだということを十分認識する必要がある、この認識が環境問題を考える上での第一歩であろう。媒体の流れをもう少しマクロな社会システムとしてとらえてみよう。筆者は自然生態システムからの入力として、物質、エネルギーを取り入れ、事業活動および生活活動の場で消費した後、種々の排出物を出力として出すシステムを社会動脈系と定義し、動脈システムからの排出物を入力として取り入れ、資源化、再生および処理、処分を行うシステムを社会静脈系と定義している。大気汚染防止も水質汚濁防止も、汚染物質を媒体の流れの中において、最終的には低拡散

図1 静脈系の概念

資源処理技術

* 平成5年11月25日本会第91回例会において発表

** 京都大学工学部衛生工学科

平成5年10月13日受理

系の廃棄物へ移行していくことを考えるとき、環境汚染防止と環境保全は、動脈システムと静脈システムをつなぐサイクル（リサイクル）および人間生態システムと自然生態システムとのサイクル（環境サイクル）を形成することによって始めて完全なものになるといえよう。これら二つのサイクルが形成されれば、生産プロセスは自ら排出物を最小限に抑制するクローズドプロセスへ指向することになるだろう。このように、技術開発においても十分に注意深く計画的に生態系との調整を考えていかなければ、地球環境問題に対処することは困難である。

また、資源、エネルギーと環境保全とは裏腹の問題であることを十分に認識する必要がある。このような観点から、筆者は、1) 環境サイクルの保全に貢献する技術、2) リサイクルの推進する技術、3) 生産プロセスのクローズド化に貢献する技術、をエコテクノロジーとよんでいる。

わが国の廃棄物問題の歴史的背景

わが国の都市ごみ処理のシステムづくりは、昭和29年の清掃法の制定に始まった。即ち、この法律は清掃事業の実施主体を市町村におき、特別清掃区域の制度を設けて処理区域を明確にすることにより、処理体系を充実し、都市ごみ、し尿を衛生的に処理、処分することを目的につくられたものである。

昭和37年頃までは、都市ごみの量は人口の増加に比例して増加したが、図2の示すように、経済成長の始まりと共に国民総生産に比例して増加し始めた。昭和38年に、厚生省は第一次整備5ヶ年計画を策定し、都市ごみは原

図2 ごみ排出量とGNP

則として焼却処理をした後、残査を埋立処分する方針を示した。これにより、各都市にごみ焼却炉が建設され、都市ごみの焼却率は平成元年度で約74%である。

経済成長と共に事業活動に伴って排出される廃棄物が問題になり、昭和45年の公害国会において、清掃法の改正が行われ、「廃棄物処理及び清掃に関する法律（廃棄物処理法）」が成立した。廃棄物処理法が国会で成立後、厚生省に政省令を定めるための処理技術委員会が設置され、私も委員の一人として、昭和46年9月まで、処理基準づくりに参画した。廃棄物処理法は昭和46年9月24日から施行されたが、すでに20年経過し、ようやく全面的改正が行われ、1991年10月5日に公布され、1992年7月4日に施行された。廃棄物処理法の改正に先だって、「再生資源の利用促進に関する法律」（リサイクル法）が制定され、平成3年4月26日に公布され、10月25日に

廃棄物の分類

（有価物）（鉄くず、アルミサッシ、紙、ガラスびん等）

（注：カッコ内の数字は（排出量→最終処分量），単位：万トン，87年度のもの）

図3 廃棄物処理・再資源化の現状（クリーンジャパンセンター資料より）

表 1 一般廃棄物の主要ガイドラインの進捗状況（要約）

品 目	ガ イ ド ラ イ ン の 進 捗 状 況 等
紙	<ul style="list-style-type: none"> ・「リサイクル55計画」の推進（古紙利用率 平成6年度 55%） ・古紙の利用促進、再資源化設備の導入、技術開発の推進等（リサイクル法特定業種に指定予定） ・グリーンマーク事業の推進 ・オフィス古紙回収マニュアルの作成、啓発普及の実施 ・オフィス古紙回収モデル事業の実施、今後、地方展開を図る。
スチール缶	<ul style="list-style-type: none"> ・スチール缶リサイクル計画の策定（再資源化率 平成7年 60%） ・分別のための材質表示（リサイクル法第二種指定製品に指定予定） ・あき缶処理対策協会による自治体支援事業の実施 ・散乱缶回収実験の実施
アルミ缶	<ul style="list-style-type: none"> ・アルミ缶リサイクル行動計画の策定（再資源化率 平成6年度末 60%） ・分別のための材質表示（リサイクル法第二種指定製品に指定予定） ・アルミニウムの再資源化技術開発等に関する研究計画の策定 ・回収ルートの拡大
ガラスびん	<ul style="list-style-type: none"> ・ガラスびんリサイクル55計画の策定（カレット使用率 平成7年度 55%） ・カレットの利用促進、再資源化設備の導入、技術開発の推進（リサイクル法特定業種に指定予定） ・統一規格びんの採用 ・回収マニュアルの作成及び普及啓発
家電製品	<ul style="list-style-type: none"> ・処理の容易化・再資源化に配慮した構造設計・組立方法等の事前対策（リサイクル法第一種指定製品に指定予定） ・家電製品協会に、製品アセスメント委員会を設置 ・家電業界において、回収支援事業を試行的に実施、今後、全国展開を図る
大型家具	<ul style="list-style-type: none"> ・日本オフィス家具協会において、回収窓口を設置
スラッグ 入りマットレス	<ul style="list-style-type: none"> ・全日本ベッド工業会に廃棄物処理対策委員会を設置
プラスチック	<ul style="list-style-type: none"> ・PETボトル協議会が中心となり、PETボトル回収実験を実施 ・日本プラスチック工業連盟において、プラスチック容器の材質表示につき検討 ・発泡スチロール 再資源化協会（魚箱、家電梱包材）及び発泡スチロール工業会（トレ）において加工業界とともに回収・再資源化を促進 ・プラスチック処理促進協会において、廃棄物発電等エネルギー回収設備の導入促進策について検討 ・生分解性プラスチックの研究開発を実施
自動車	<ul style="list-style-type: none"> ・処理の容易化・再資源化に配慮した構造設計・組立方法等の事前対策（リサイクル法第一種指定製品に指定予定） ・自治体の放置自動車の回収・処理に対する協力体制の整備 ・ユーザーの廃棄希望自動車の引取体制の整備
乾電池	<ul style="list-style-type: none"> ・マンガン乾電池等の無水銀化の達成（アルカリ乾電池は、平成3年末に無水銀化達成の見込み） ・水銀電池の回収事業の実施
カセットボンベ 及び エアゾール 缶	<ul style="list-style-type: none"> ・「使い切って捨てる」旨の周知徹底 ・流通在庫、大量使用先からの回収の促進

試行された。静脈系の概念で述べたように、廃棄物の処理・処分は人間生態系と自然生態とのバランスを保つ環境サイクルを護るために行われるものであるが、リサイクルは人間生態系の経済活動の場で行われるものである。基本的には概念の異なるものである。もしリサイクルが市場経済の場で成り立つものであれば、すでに行われているはずである。したがって、リサイクルを推進するには基本的な理念に基づいたインセンティブを与える必要がある。すなわち、強力な誘導政策が必要である。この観点からは、リサイクル法は不十分と言わざるを得ない。しかし、廃棄物処理法とリサイクル法とは車の両

輪であり、新しく制定された「産業廃棄物の処理に係る特定施設の整備の促進に関する法律」と共に、廃棄物問題解決の方向を示すものである。

4. リサイクルへの取り組み

前述のように昭和38年の厚生省の第一次整備5ヶ年計画以来、都市ごみ処理は焼却炉を中心に行われてきている。焼却処理は基本的には、減容化、安定化、無害化を目指すものである。しかし、地球環境問題の高まりと共に、各分野でリサイクルの活動が行われている。現状では、図3に示すようにリサイクルは十分とは言えないが、

表2 産業廃棄物のガイドライン（要約）

業 種	現 状	対 策
鉄 鋼 業	主な産業廃棄物は、鉱さい（スラグ）3,616 万トン、ばいじん（ダスト）476 万トン、汚泥52万トンで、転炉スラグ及び電炉スラグの再資源化率は、それぞれ80％、65％	・転炉スラグ及び電炉スラグの再資源化を促進
紙・パルプ製造業	主な産業廃棄物は、汚泥 115万トン、ボイラー灰等80万トン、製紙かす39万トンで、総量 339万トンのうち最終処分量は、222万トン	・汚泥について、脱水・焼却による減量化を促進するほか、再資源化用途の拡大を推進
化学工業	主な産業廃棄物は、汚泥 1,081万トン、廃酸 208万トン、廃油25万トンで、最終処分量は 251万トン	・汚泥等の減量化・再資源化及び有害性の廃棄物等の適正処理
板ガラス製造業	主な産業廃棄物は、汚泥 205万トンで最終処分量は12万トン	・磨き砂汚泥の再資源化用途の拡大
繊維工業	_____	・産業廃棄物の減量化及び再資源化の促進
非鉄金属製錬業	主な産業廃棄物は、スラグ210 万トンで、再資源化率は82％	・スラグの高付加価値利用技術開発及び製品化の促進
電気事業	主な産業廃棄物は、燃えがら（石炭灰）357 万トン、汚泥（排脱石膏）101 万トンで、石炭灰の最終処分量は、191 万トン	・石炭灰の再資源化促進
自動車製造業	主な産業廃棄物は、鉱さい54万トン、廃油 8 万トン、廃プラスチック 5 万トンで、最終処分量は32万トン	・最終処分量の減量、廃プラスチックの再資源化の促進
半導体製造業	主な産業廃棄物は、汚泥 5.0万トン、廃アルカリ 3.2万トン、廃油 2.0万トン	・廃棄物の減量化・再資源化及び適正処理の促進
石油精製業	主な産業廃棄物は、汚泥 18 万トン、廃油 7 万トン、ダスト 6 万トン	・汚泥等の減量化及び廃油等の有効利用の促進

地方公共団体では、市民参加による、1) 定期収集におけるリサイクル、2) 集団回収によるリサイクル、3) 粗大ごみの処理・再資源化によるリサイクル等の努力が行われており、紙、缶、びん、家電等の各業界では、表1、表2に示すような通産省のガイドラインに沿って、リサイクルの努力、さらに、生産の段階からリサイクルを考えた設計を指向するなどの努力がなされている。

5. 廃棄物処理・再資源化技術開発

廃棄物の再資源化技術の本格的な開発は、昭和48年に始まった通産省工業技術院による都市ごみ再資源化技術の開発であった。この国家プロジェクトは、phase I において要素技術の開発を行い、phase II において“Demonstration Plant”を建設して、都市ごみから、コ

ンポスト、紙、燃料ガスあるいは油、及び鉄等の金属類を回収する技術の開発と実証を行おうとする、“Stardust '80”として知られた、野心的なものであった。

私は工業技術院のプロジェクト担当の方々の熱心な誘いを受けて、昭和47年の準備期間からこのプロジェクトに参画し、「資源再生技術システムの評価研究」を行う委員会のメンバーとして、終了迄深くかかわってきた。昭和48年の第一次石油危機、昭和53年の第二次石油危機を経験して、石油価格が当時の36ドル／バーレルからさらに50ドル／バーレルにまで上昇が予想される中で、Stardust '80 は十分な技術開発の成果をあげて終了した。しかし、石油価格は予想の反して、1バーレル30ドル台から10ドル台にまで下落したため、資源化技術は部分的には実用されているが、全的に採用したプラントはな

図4 廃棄物の資源化・処理プロセスの分類

い。最近のイラクのクウェートへの侵入に端を発した中東情勢の変化から再び石油価格が高騰しようとしている。もう一度廃棄物の資源化技術の開発を見直すべきではないだろうか。現在までに開発されてきた廃棄物の資源化、処理技術を筆者なりにまとめて示したのが図4である。

最近、下水道の普及整備に伴って、污水处理プロセスより排出される汚泥が増加し、その処理・処分が大きな社会問題となっている。汚泥の処理についても様々な技

術の開発が行われている。前述の図3に示した廃棄物の再資源化・処理の技術は汚泥にも適用が可能であるが、泥状であるため、脱水、乾燥プロセスとの組み合わせが必要である。汚泥処理のプロセスを筆者なりにまとめて示したものが図5である。最近、熔融処理、スラグ化再利用の技術が実用化され、注目を集めている。特に、日本下水道事業団が昭和61年度よりエースプランと呼ばれる近畿圏下水汚泥広域処理処分事業に着手して、熔融プ

図5 汚泥処理プロセスシステムの構成

プロセスを採用したのがきっかけで、汚泥の熔融処理の開発研究が急速に進んでいる。埋立処分地の確保がますます困難になっているので、若干エネルギーを余分に必要とするが、熔融スラグが建設材料、路盤材等として有効利用が可能のため、トータルシステムとしては有利となる。

6. エネルギーとしてのリサイクル

焼却処理は都市ごみ処理の中心的な方法として各地方自治体で定着し、ごみの発熱量の増加と共に、焼却熱エネルギーの電力としての回収が行われるようになってきた。都市ごみの発熱量の増加は著しく、最近では、平均低位発熱量は 2,000 (kcal/kg) を越えており、貴重な都市エネルギーである。電力会社もようやくごみ焼却発電に前向きになってきたので、今後都市ごみの焼却発電によるエネルギーとしての有効利用は飛躍的に伸びるものと期待している。このためには、現在、10-14%程度の焼却発電効率を耐触材料等の技術開発により飛躍的に上げる必要がある。そして都市ごみ焼却工場を都市のエネルギー供給センターとして位置づけし、都市静脈系に組み込む必要がある。

7. リサイクル社会への変革

最近の内需拡大による好景気ともなって都市ごみ及び産業廃棄物は再び増大の傾向を示している。世界情勢の急激な変化により石油価格も上昇の気配を示している。最近の地球環境問題の感心の高まりから、廃棄物の

リサイクルも大きな関心呼びつつある。過去の石油危機は突発的な現象としてではなく、まさに地球資源有限時代の到来の象徴的な現象として捉えるべきであり、省エネルギーの努力を怠ってはならない。私達の暮らしは廃棄物と密接不可文な関係を有している。ここまで述べてきた様々な要因をはらんだ廃棄物問題に的確に対処するためには、その前提として、生産、流通、消費、排出、処分に至る各段階における人々の合意形成が必要である。そして、その合意が有効性を得るためには、それを支援する「各段階での廃棄物への取り組みを意識した新たな社会システム」を構築する必要がある。

わが国の省エネルギー化は世界的にみてもかなり進んでいるが、大量の資源消費の産業構造、物質消費の生活様式は基本的には変わっていない。前述のように資源→生産→消費→廃棄の一方通行のシステムは何れ行き詰まることになる。社会のシステムをリサイクルを組み込んだ仕組みに変える努力を怠ってはならない。廃棄物の処理と再資源化を組み入れた自然生態系と人間社会の環境サイクルを示したのが図6である。このような形に社会を変革してゆく必要があるというのが、私の主張である。

8. お わ り に

地球環境問題は、1960年代の公害問題のように、目に見える形の被害が直ちに現れる問題ではなく長期的な取り組みを要するので、一般の人には理解しにくい点もあるが、今や企業にとっても私達の次世代への責任問題として自覚すべき時代になってきたと言えよう。リサイクル社会構築に向けて努力するべきである。

参 考 文 献

- 1) 平岡正勝：産業廃棄物処理技術のシステム化，PPM, No. 6, pp. 16-21 (1971)
- 2) 平岡正勝：都市廃棄物とエネルギー，エネルギー・資源，Vol. 10, No. 5, PP. 51-57 (1988)
- 3) 平岡正勝：廃棄物エネルギーの利用，基礎講座リサイクル1，資源・テクノロジー，No. 221, pp. 74-81 (1985)
- 4) 平岡正勝：バイオマスの利用，基礎講座リサイクル2，資源・テクノロジー，No. 222, pp. 86-94 (1985)
- 5) 平岡正勝：水のリサイクル，基礎講座リサイクル3，資源・テクノロジー，No. 223, pp. 83-90 (1986)
- 6) 平岡正勝：粗大ごみの処理とリサイクル，基礎講座4，資源・テクノロジー，No. 224, pp. 92-97 (1987)
- 7) 平岡正勝：環境保全と有害物質の制御，論文特集「地球環境および地球と化学」，日本化学会誌，No. 5, pp. 559-573 (1991)
- 8) 平岡正勝：地球環境時代におけるエコテクノロジー，日立造船技報巻頭論説 (1992年6月)

図6 廃棄物処理システムを組み入れた自然と人間の環境サイクル