

## リサイクル社会に向けて

Toward the Recycling Society

鈴木 胖\*

Yutaka Suzuki

## 1. 人類の当面する課題

われわれの社会は豊富なエネルギー・資源の供給によって支えられている。エネルギー・資源の供給と消費の現在のような姿を、いつまでも続けることができるであろうか。答は明らかにノーである。いくつかの根拠を具体的に示すことができる。

1. 現在のエネルギー供給は9割を化石燃料に依存している。その化石燃料は有限である。石油を例にとると静的耐用年数（資源量/年間消費量）は約80年である<sup>1)</sup>。消費の伸びを考慮すると耐用年数はさらに短くなる。伸びをわずかな率1%に抑えたとしても、耐用年数（動的）は60年に減ってしまう。
2. 化石燃料の大量消費の結果、大気中にCO<sub>2</sub>が蓄積されつつあり、大気中のCO<sub>2</sub>等価濃度（メタン、フロンなど他の温室効果ガスも合わせたもの）は2025年頃には倍増する。その温室効果により地球全体の平均地表気温は、現在（1990年）よりも0.7℃～1.5℃温暖化する。最も確からしいのは1.1℃と予測されている<sup>2)</sup>。
3. 資源の大量消費の結果である廃棄物の量は年々増加しており、一般廃棄物（ごみ）の捨場がなくなりつつある。例えば首都圏を例にとると、廃棄物の最終処分場は、現在計画中のものも含めて、2000年までにはほぼ満杯になると予想されている<sup>3)</sup>。市民の自然環境保護への関心が高まっており、最終処分場を確保することが困難になっている。なお、前述のCO<sub>2</sub>問題は、CO<sub>2</sub>というエネルギー廃棄物を大気に乗せてきた結果と見ることもできる。

わが国において年間どれだけのエネルギーや処女資

源が投入され、それがどのように使われ、棄てられているか、あるいは再生されているかを示したのが図-1である<sup>4)</sup>。国内から約12.3億トン（砕石や砂利など建設用のものを除くと4.4億トン）、海外から約6億トンの処女資源を投入し、10.7億トンを蓄積し（建設関係の蓄積が8.9億トン、製品等が1.8億トン）、0.8億トンを輸出し、0.8億トンを食糧として消費している。これらの活動を支えるために3.3億トンのエネルギーを消費している。これにともなって産業廃棄物2.3億トン、一般廃棄物0.4億トン（リサイクル分を除く）が排出されている。エネルギーと合わせ約6.1億トンが自然界に排出されていることになる。なお、再生利用されている資源は1.6億トンで、投入の約8%である。産業廃棄物の大半を污泥が占め、20%強が建設廃材、10%弱が鉱さいである。再生利用資源のうち主要なものは、鉄スクラップ0.5億トン<sup>5)</sup>、再生骨材0.2億トン<sup>6)</sup>、セメントへ混合される鉱さいなどである。

われわれが大量に消費している化石燃料は、地球上の生物圏を含むサイクルが数億年という年月をかけて蓄積したものである。鉱石の大部分も主に水の循環による自然の濃縮過程で作られ出したものである。たとえば岩石を細かくすりつぶし比重によって選別するという、現在の鉱山で行われている有用資源の回収方法が、急流のある河川などで自然に発生し、特定の地点に有用な鉱物が濃縮され蓄積されたのである。図-2は人類のエネルギー・資源の利用と、自然のサイクルとのかかわりを示したものである。自然のサイクルの原動力は太陽エネルギーである。太陽エネルギーによって地表から水（H<sub>2</sub>O）が蒸発し、大気中に上昇し、再び凝縮して降雨となり、地表に戻る。巨大な太陽ポンプが働いているのである。H<sub>2</sub>OとCO<sub>2</sub>を原料とし、太陽エネルギーを利用して、植物により光合成が行われる。光合成により炭水化物（CH<sub>2</sub>O）<sub>n</sub>が生産され、植物体をつくるとともに、一部は呼吸によって消費される。植物体はやがて枯死し、再びCO<sub>2</sub>として大気

\*大阪大学工学部情報システム工学教室教授  
〒565 吹田市山田丘2-1

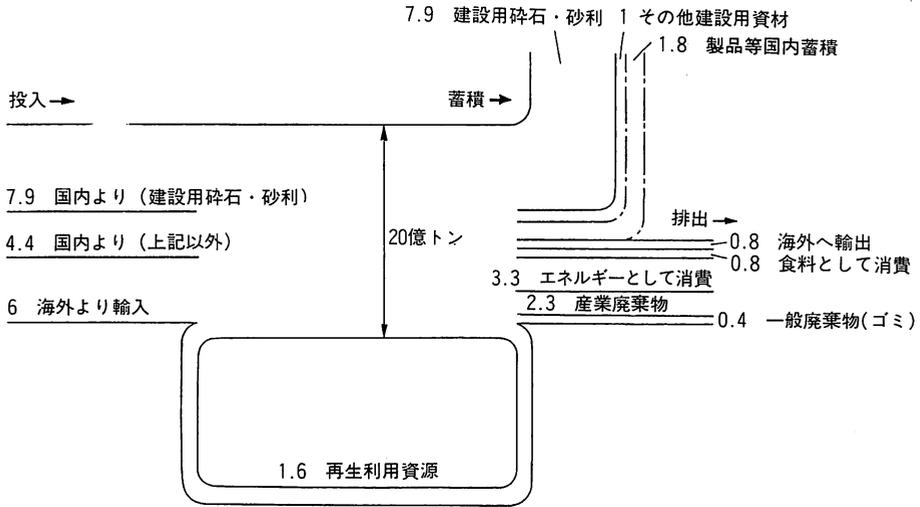


図-1 わが国のマテリアル・バランス (1987年) 単位：億トン

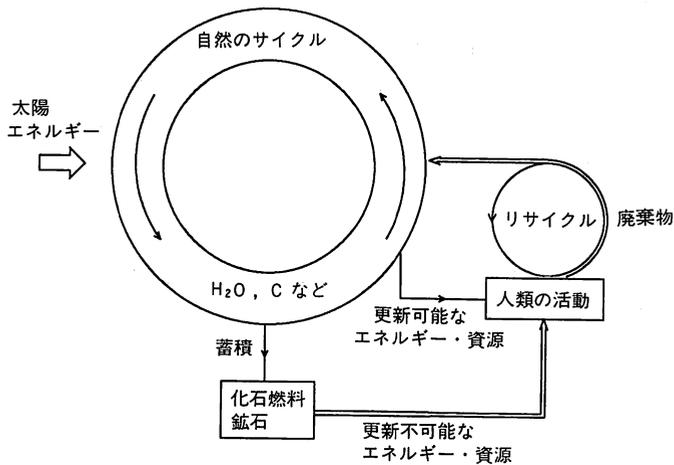


図-2 エネルギー・資源の利用と自然のサイクルとのかかわり

や水中に排出される。人間を含む動物は植物に寄生して生存している。この光合成生産物のごく一部が長い年月をかけて蓄積され、化石燃料という埋蔵物となった。

図-2に示すように、人類は当初更新可能なエネルギーや資源を用いて、日々の生活を営んでいた。薪で火を起こし、木材で家や船を作り、風を利用して船を動かしていた。人類は自然のサイクルの中で、自然と仲良く暮らしていたのである。産業革命以後、化石燃料を大量に消費するようになり、わずか200年ほどの間に、現在の大量生産・大量消費の社会が出来上がってしまった。現在われわれが利用しているエネルギー・資源の大部分は更新不可能なエネルギー・資源である。

大量消費の結果、おびただしい廃棄物が自然界に排出され、自然のサイクルにまで影響を及ぼしつつある。化石燃料の燃焼から排出されるCO<sub>2</sub>による地球気候の温暖化は、まさにその例である。

現代国際社会の課題である持続可能な成長 (Sustainable development) をどう達成するかは、図-2を見れば殆ど自明である。すなわち

1. 更新不可能なエネルギー・資源の利用を抑制し、更新可能なエネルギー・資源の利用を推進する。
  2. 廃棄物の排出を抑制し、リサイクルを推進する。
- 更新可能なエネルギーの利用は、具体的には水力、風力、バイオマス、それに太陽エネルギーの直接利用である。リサイクルは、図-1の例にもあるように、まだ

細い糸である。人工の循環ループすなわちリサイクル・ループを太くし、更新不可能なエネルギー・資源への依存度をできるだけ減らすよう努力しなければならない。

以下では本特集の主旨に沿ってリサイクルに焦点を当てていく。

## 2. 廃棄物排出の抑制とリサイクル

### 2.1 廃棄物排出の抑制

廃棄物の自然界への排出を抑制するには、まず廃棄物の発生そのものを減らすこと、そして止む得ず発生した廃棄物はできるだけ回収し、再利用することに努めなければならない。そして排出の抑制は、直接にエネルギー・資源の消費の抑制、別の表現をすれば、エネルギー・資源の有効利用につながるの、広い効果が期待できる。

### 2.2 廃棄物の発生低減

廃棄物の発生そのものを減らすには

#### 1. むだを省く。

資源利用に関し、より効率的なシステムを作る。これには技術進歩の寄与が大きい。

#### 2. 製品を長持ちさせる。

製品の耐用年数が長くなれば、廃棄物はそれに逆比例して減少する。これには生産者側の技術進歩のほか、消費者側に長持ちするものを選択し、大事に使うという姿勢が必要である。

なお技術進歩により製品の本質的な機能の向上が著しいときには、効用や効率の点からみて長持ちさせるのが良いとは限らないので注意が必要である。一つの判断基準としてライフサイクル・エネルギー、すなわち製造に要するエネルギーと使用期間で消費するエネルギーを合わせたもの、が考えられる。

製品の効用など定量的に測れないものもあり、どこまで長持ちさせるべきかを判断することが難しい場合がしばしばある。技術進歩が期待できる部品については、取り替え可能な構造とするのは一つの解決策である。すでにパーソナルコンピュータでは、そのような方策が一部で取り入れられている。

#### 3. 使い棄て製品を抑制する。

使い棄て製品がすべて悪いというようにきめつけることはできない。例えばインスタントに調理可能な食品や紙おしめは、多くの働く女性

にとって必須の製品である。

輸送用のコンテナやパレット、飲料などの容器は繰り返して利用することが可能（リターナブル）である。近年使い棄て（ワンウェイ）の容器が普及しつつあるが、後で述べるようにこれが廃棄物増大の大きな原因になっており、対策が必要である。

#### 4. 過剰包装を抑制する。

過剰包装は明らかに資源の無駄使いであり、廃棄物の増大につながる。消費者がこれを拒否する姿勢をとることが最も効果がある。

### 2.3 リサイクルの促進に関する法制度

発生した廃棄物をできるだけ回収し、再び有効に利用するような仕組みを社会の中にセットしなければならない。廃棄物は図-1に示したように一般廃棄物と産業廃棄物に大別される。1970年に制定された「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（廃棄物処理法、厚生省所管）では一般廃棄物、いわゆるごみの処理は市町村の責任であり、産業廃棄物は規制基準に基づいて排出事業者が自己処理することを原則としている。一般廃棄物には、家庭の生ごみから、新聞や古雑誌、包装紙、びん、プラスチック容器などの各種包装材、使い古した家具や家電製品などの粗大ごみ、事務所や商店からのごみなどあらゆるものが含まれている。

残念ながら現在のわれわれの社会には、廃棄物をリサイクルするための積極的な仕組みが、まだ組み込まれていない。生産者は、製品が使われる時の機能のみに目標をおいて製品開発を行い、それが棄てられた後の処理についてはほとんど配慮をしていない。消費者は、使用時の効用のみを考えて商品の選択を行い、使って棄てた後の始末は、公共に任せきりである。公共は、日々発生する廃棄物をとにかく処理すれば責任を果たしたことになり、必要な費用は税金に依存している。生産から消費に至るシステムと廃棄以降のシステムが分断されており、社会を構成する主体が環境への影響や資源の保全をトータルに考えずに行動しているというびつな社会ができ上がっている<sup>9)</sup>。

故紙のリサイクルや鉄スクラップのリサイクルは、これまでも行われてきた。しかし、それはあくまで経済的動機にもとづくもので、景気の変動で故紙や鉄スクラップの相場が下落すると、すぐにリサイクルが停滞するという現象が見られ、リサイクルを恒常的に維持する仕組みは存在してない。

このような状況とごみの急激な増大に対処するため、

わが国では1991年4月26日に「再生資源の利用促進に関する法律」(リサイクル法)が公布され、10月25日に施行された。この法律は通産・建設・農林・大蔵・厚生・運輸の6事業所管省と環境庁との共管法である。さらに「廃棄物の処理及び清掃に関する法律の一部を改正する法律」が1991年10月5日に公布され、1992年7月4日に施行された。この法律は厚生省所管であるが、最終処分基準の設定等は環境庁の所管である。前者は再生しやすい製品の製造、分別回収のための表示、再生資源の利用の促進について、主に事業者に対する措置を講じる法律であり、後者は廃棄物処理法を大幅に強化し、この中で地方公共団体による廃棄物の再生を促進させることを狙っている。この2つの法律の関係を分かり易く図示すると図-3のようになる<sup>4)</sup>。なお図-3の左側にある製造というボックスにある〈第一種指定製品〉、〈第二種指定製品〉、〈特定業種〉、およびその右にある〈指定副産物〉の内容は(1)～(4)の表に示す通りである。

リサイクル法の内容を見ると、いろいろな事項について指導、助言、勧告、勧告に従わなかった場合の公表、勧告にかかわる措置をとるべきことを命ずるとあり、命令に違反した場合の罰則は50万円以下の罰金となっている。したがって、リサイクル法がリサイクル

社会の形成にどのような効果を果たすかは、その運用次第であると言えよう。

2.4 リサイクル推進のための技術と制度

リサイクルを徹底させるには、使って棄てられた製品のすべてをリサイクルするという心構えが必要である。

まず技術対策としては、以下のものが挙げられる。

1. 解体性を考えた設計。

設計段階から組立工程だけでなく、解体工程の効率も考えて設計する。

2. 使用する素材の種類をできるだけ限定し、マークや色で識別できるようにする。

これにより収集や解体後の分別を効率的に行うことが可能になる。

3. プラスチックは熱可塑性のあるものを使用し、複合材の使用は避ける。

プラスチックには多くの種類があり、しかもプラスチック廃棄物の分別、再利用は技術的に難しい。このため複合材の使用を避け、分別をやり易くするとともに、再利用が容易な熱可塑性のあるものを使用する。

4. 分別技術の研究・開発。

一括収集されたごみ、破断された廃棄物を分

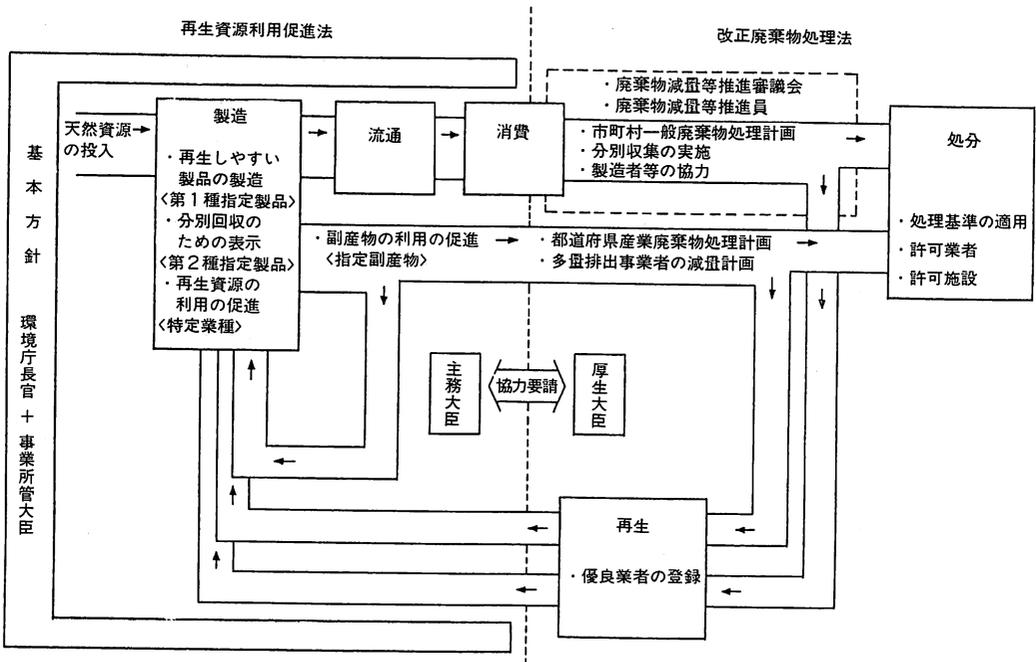


図-3 リサイクル法と改正廃棄物処理法の関係

- (1) 特定業種〔再生資源を利用することが技術的かつ経済的に可能であり、かつ、これを利用することが当該再生資源の有効な利用を図る上で特に必要な業種〕

特定業種	再生資源の種類	勧告・命令等の対象となる要件	命令をかける際に意見を聴く審議会
紙製造業	古紙	年間の紙の生産量が1万トン以上であること	産業構造審議会
ガラス容器製造業	カレット	年間ガラス容器の生産量が2万トン以上であること	産業構造審議会
建設業	土砂、コンクリートの塊、アスファルト・コンクリートの塊	年間の建設工事の施工金額が50億円以上であること	中央建設審議会

- (2) 第一種指定製品〔一度使用され、又は使用されずに収集され、若しくは廃棄された後その全部又は一部を再生資源として利用することを促進することが当該再生資源の有効利用を図る上で特に必要な製品〕

第一種指定製品	勧告等の対象となる事業者の要件	主務大臣
自動車（原動機付自転車を含む。）	年間の生産台数が2万5千台以上であること	製造は通産大臣 修理は運輸大臣
ユニット型エアコンディショナ	年間の生産台数が5万台以上であること	製造は通産大臣
テレビジョン受像機	年間の生産台数が5万台以上であること	製造は通産大臣
電気冷蔵庫	年間の生産台数が5万台以上であること	製造は通産大臣
電気洗濯機	年間の生産台数が5万台以上であること	製造は通産大臣

- (3) 第二種指定製品〔一度使用され、又は使用されずに収集され、若しくは廃棄された後その全部又は一部を再生資源として利用することを目的として分別回収をするための表示をすることが当該再生資源の有効な利用を図る上で特に必要な製品〕

第二種指定製品	命令をかける際に意見を聴く審議会	主務大臣
鋼製又はアルミニウム製の缶であって、飲料（酒類を除く）が充てんされたもの	産業構造審議会（缶を製造する事業者） 食品流通審議会（缶に飲料を充てんする事業者及び飲料が充てんされた缶であって自ら輸入したものを販売する事業者）	製造の事業については農林水産大臣及び通産大臣 輸入されたものの販売の事業については農林水産大臣
鋼製又はアルミニウム製の缶であって、酒類が充てんされたもの	産業構造審議会（缶を製造する事業者） 中央酒類審議会（缶に酒類を充てんする事業者及び酒類が充てんされた缶であって自ら輸入したものを販売する事業者）	製造の事業については大蔵大臣及び通産大臣 輸入されたものの販売の事業については大蔵大臣

- (4) 指定副産物〔副産物であって、その全部又は一部を再生資源として利用することを促進することが当該再生資源の有効な利用を図る上で特に必要なもの〕

副産物の種類	業種	勧告・命令等の対象となる要件	命令をかける際に意見を聴く審議会
スラグ	高炉による製鉄業及び製鋼・製鋼圧延業	年間の粗鋼又は銑鉄の生産量が3千トン以上であること	産業構造審議会
石炭灰	電気業	年間の電力の供給量が1億2千万kwh以上であること	産業構造審議会
土砂、木材 コンクリートの塊 アスファルト・コンクリートの塊	建設業	年間の建設工事の施工金額が50億円以上であること	中央建設審議会

別するための技術を開発することが必要である。磁気選別、比重選別などのほか、色や形による選別法を開発すべきである。

5. 再生技術の研究・開発。

故紙、カレット、鉄スクラップ、アルミ・スクラップ、廃プラスチックなどの再生技術について、一層の研究開発が必要である。例えば、わが国では、鉄スクラップの投入量は生産される鉄鋼の40%に達しており（1990年）、鉄スクラップ中の不純物を除去することが重要な課題になっている<sup>5)</sup>。新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）では、1991年より、これに関連する研究を開始している。

6. 廃棄物からエネルギーを回収する技術の開発

再利用が技術的に困難な廃棄物で可燃性のものは、エネルギーとして有効利用する道が残されている。これはマテリアル・エネルギー・カスケード利用である。

廃プラスチックを燃料化する技術、故紙、バイオマス、廃プラスチック等を燃焼させ、エネルギーを効率よく回収する技術の開発が必要である。

リサイクルの推進は技術的対策だけでは進まない。前項のようなリサイクルのための法制度の整備は重要であり、とくに意志決定者への影響が大きい。現在緊急に必要なのは、有用な廃棄物が確実に回収・分別され、資源として再利用されることを保証するような仕組みである。デポジット制はその一つの例である。ドイツとフランスでは、パッケージ廃棄物（飲料の容器などもパッケージの一種である）のリサイクルについて、

新しい制度がすでに導入されている。

筆者が委員長を務める、エネルギー・資源学会の「リサイクルの総合的推進に関する調査研究」プロジェクトでは、本年（1993年）7月、ドイツ、フランスを中心に海外調査を行った。ドイツ、フランスにおけるパッケージ廃棄物処理への取り組みをつぎに紹介する。

3. パッケージ廃棄物の問題

3.1 パッケージ廃棄物の増大

ごみに占めるパッケージ廃棄物の増大は先進国に共通して見られる現象である。わが国の主要3都市における一般廃棄物（ごみ）の組成を示したのが図-4である<sup>6)</sup>。年度は異なるが、京都市については、ごみに大きな比率を占める紙類とプラスチック類、そしてガラス類のさらに細かい組成についてのデータがある。それを図-5に示す<sup>7)</sup>。図-5から明らかなように、容積比で紙類の大半、57.5%が容器包装材である。プラスチック類では、実に92.4%が容器、包装材である。ガラス類でも56.4%を占めている。ごみ処理において容器、包装材の増大がいかに大きな問題になっているのかが推察されよう。欧米では容器、包装材を含めてパッケージと呼んでいる。

3.2 ドイツにおけるパッケージ廃棄物への取り組み

ドイツでは増大するパッケージ廃棄物に対処するため、1990年にパッケージ廃棄物政令が提案され、1991年6月12日に公布された。この政令では、輸送のためのパッケージ、販売時のパッケージ等について、引き取り再利用を義務づけている。この政令の提案を受けて、1990年9月28日に、緑のポイント、デュアルシス

〔大阪市、横浜市（昭和63年度）、京都市（昭和62年度）〕

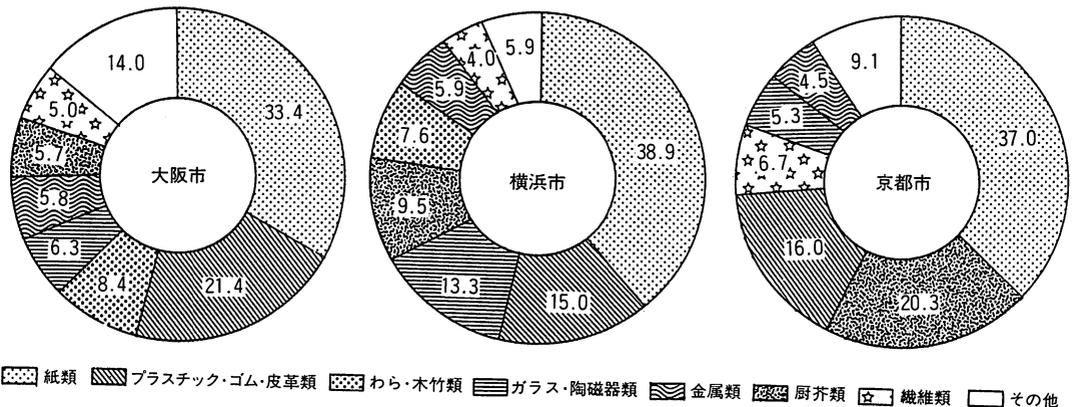


図-4 一般廃棄物の組成 (乾ベース)



How THE DUALES SYSTEM OPERATES  
(ONE-WAY/RETURNABLE PACKAGING)

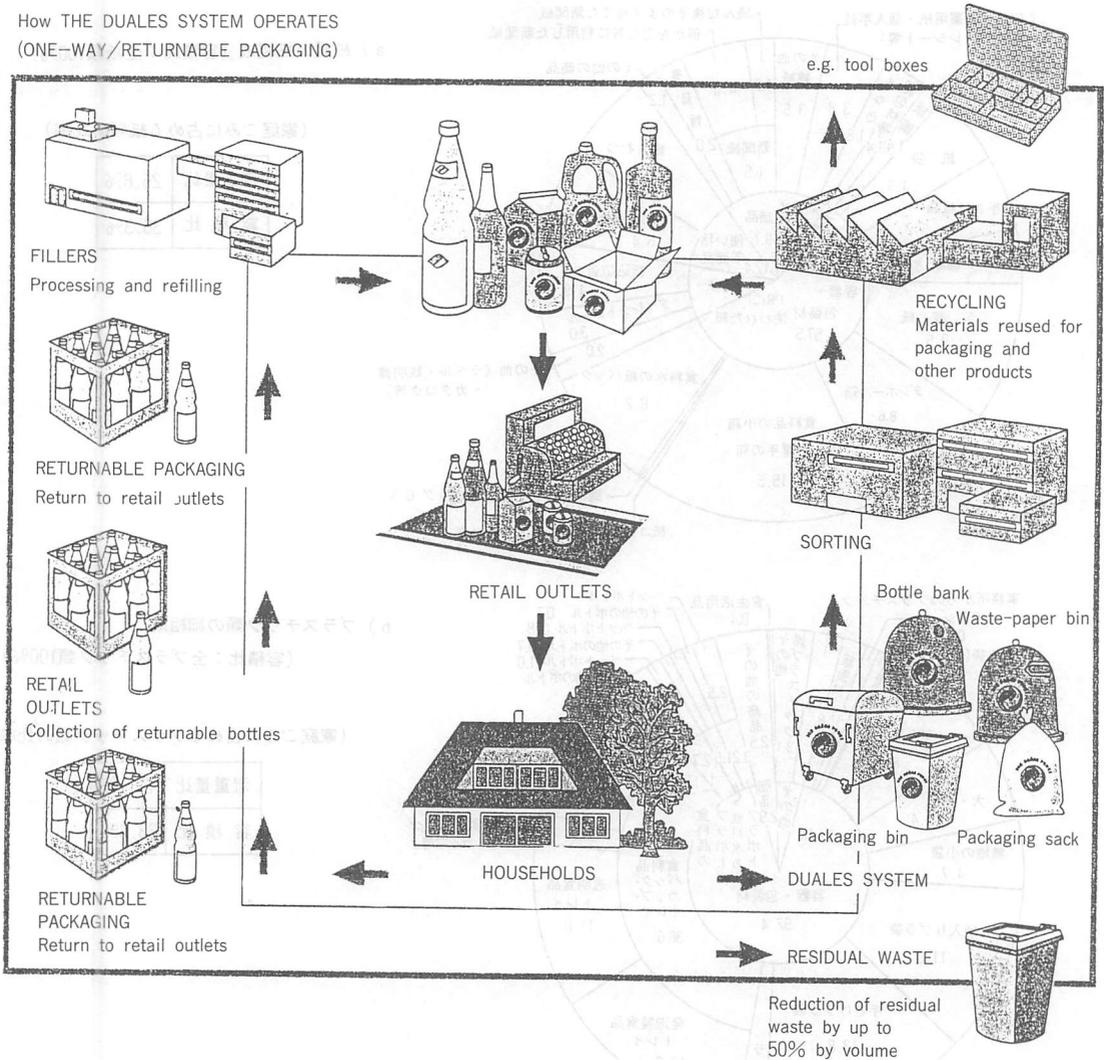


図-6 デュアル・システムの役割 (ワンウェイ/リターナブル・パッケージ)

テム・ドイツ社(Der Grüne Punkt. Duales System Deutschland-Gesellschaft für Abfallvermeidung und Sekundärrohstoffgewinnung mbH, 略称DSD)がボンに設立された。DSDは小売業、消費財産業、パッケージ産業95社の協同で設立された。

DSDと契約を結んだ小売業者、商品、飲料、洗剤などの消費財メーカー、パッケージ・メーカーなどが、パッケージに「グリーネ・ポイント(緑のポイント)」と名付けたマークを印刷し、DSDはこのマークの付いたパッケージを回収し、素材ごとに分類し、再利用をはかる。これに要する経費はパッケージ・メーカー、消費財メーカーが支払う「グリーネ・ポイント」マークの使用料でまかなわれる。デュアルは2番目という意味で、都市ごみ処理システムに並行して、パッケー

ジ廃棄物を収集・分別するシステムが新たにつくられることを示している。図-6はワンウェイ/リターナブルパッケージに付いて、その流れと Duales System の役割を分かり易く示したものである。図-7は、各種パッケージがどのように収集・分別され、具体的にどのようなリサイクル企業に渡されているかを説明している<sup>8)</sup>。

デュアル・システムが完全に普及すると、住民 500 人あたり一つずつボトル収納庫と廃紙ごみ箱が行き渡る予定である。1992年3月現在、230を越える都市と地区の、3000 万人以上が Duales System につながっている。各種材料の収集と分別の達成目標は、図-8に示すとおりである。Duales System 内における分別とリサイクルの状況は、常に技術検査協会 (Technic

Collection and Sorting Diagram  
Consumer

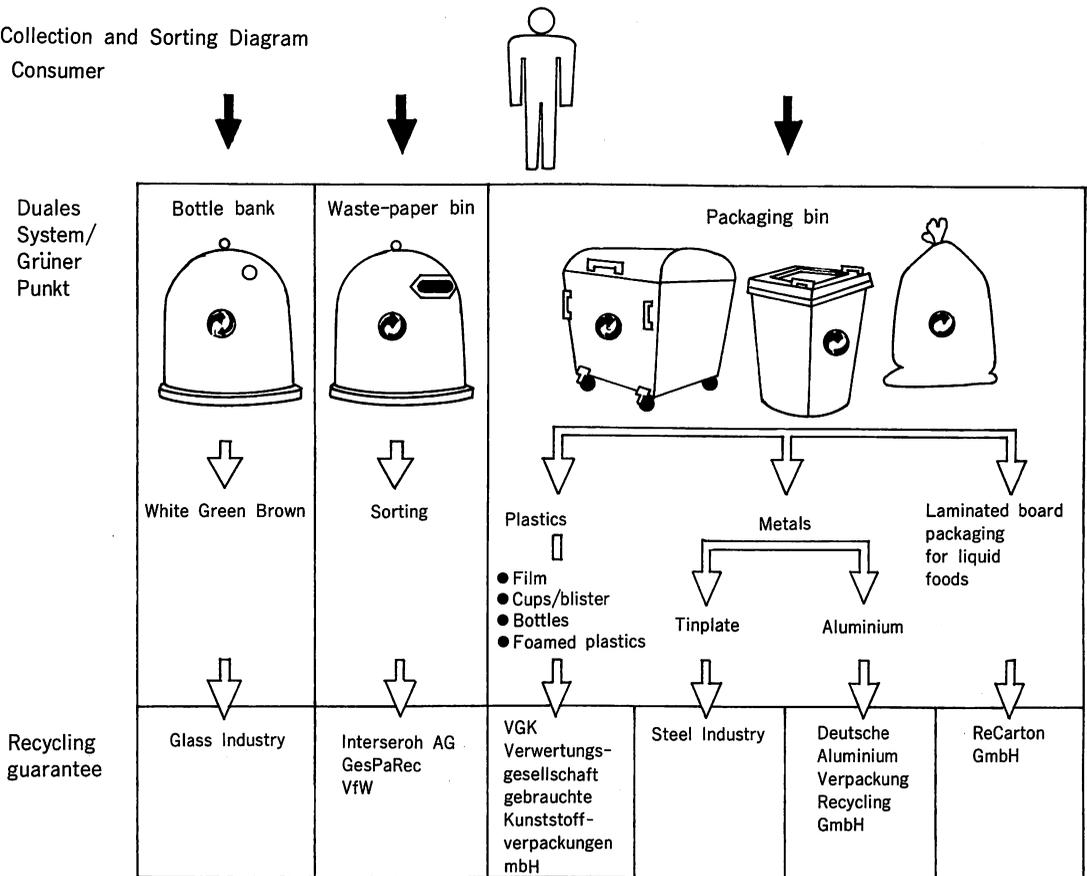


Diagram of the separate collection channels and the forwarding of materials to recycling industries.

図-7 デュアル・システムの収集分別のフロー

100% COLLECTING AND SORTING QUOTAS

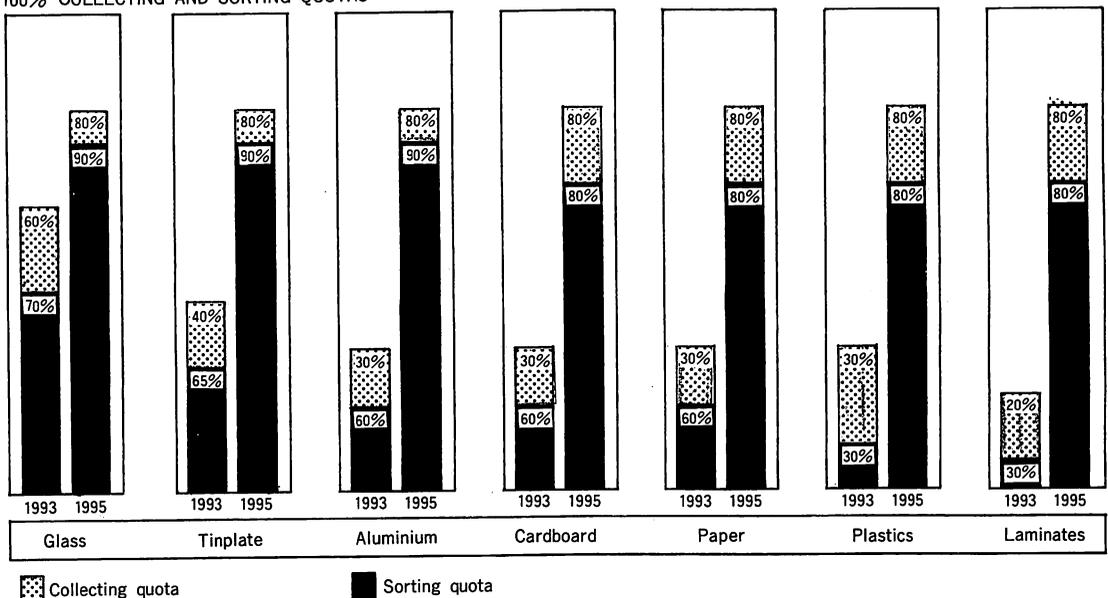


図-8 デュアル・システムの収集分別の目標値

al Inspection Agency : TÜV) によって監査され、材料の出入りについて定期的に報告が出されている。

Duales System への加入会社は現在約 600 社であり、一般消費者に対しては“リサイクルは貴方の協力にかかっています”(Recycling depends on your participation : Recycling lebt vom mitmachen) というキャッチフレーズで訴えている。

ドイツ連邦環境省でのヒアリングによれば、パッケージ廃棄物政令は、廃棄物の減量、パッケージの改善に相当の効果をもたらしたが、プラスチックのリサイクルは大きな問題をかかえているとのことであった。プラスチック廃棄物が計画以上に収集された、それにもかかわらず分別技術、リサイクル技術の両方がまだ確立されていない、プラスチックの焼却処理については住民の強い反対がある、などで集められた廃プラスチックが山積みになっている。

ドイツ連邦環境省ではパッケージ廃棄物政令について電気・電子製品、自動車の廃棄物政令(案)を提案している。この政令に対しては、産業界の反対が強く、それに景気の低迷もあって、政令の制定・施行についてはまだめどが立っていないとのことであった。

### 3.3 フランスにおけるパッケージ廃棄物への取り組み

フランスでは、ドイツに準じてフランス独自のパッケージ廃棄物政令が1992年4月1日に制定され、1993年1月1日より施行された。パッケージを市販するファイラー(充填集荷業者)パッカー(包装出荷業者)および輸入業者は、パッケージ廃棄物のリサイクル推進を目的とする国によって許可された組織(後述のエコ・アンバラージュ社)に加入し、定められたルールに従って課金を支払うか、あるいは自前で家庭からパッケージ廃棄物を回収する(国に対してそれを実証しなければならない)ことを義務づけられる。エコ・アンバラージュ社(Eco Emballage, エコ・パッケージの意味)は環境省の要請を受けて、産業界が提案してつくられた組織である。

エコ・アンバラージュ社は、地方自治体がパッケージ廃棄物を分別して得られた、ある一定の要件を満たす有用物を、地方自治体から一定価格で購入し、それをパッケージおよびパッケージ材料の製造業者によってつくられたリサイクル団体に供給する。エコ・アンバラージュ社から地方自治体に支払われたお金は、既

存の回収・分別システムを強化したり、新しいシステムを開発するのに使われる。また最初の3年間は集められた有用物はリサイクル団体に無料で供給されることになっている。これは隣国のドイツのDuales Systemに対抗するためである。

課金はパッケージ1ユニットあたり、平均3チーム(最初の年は1サンチーム、2年目は2サンチーム、3年目は3サンチーム)で、パッケージにつけるマークの使用料という形で支払われる。このマークがあれば、回収、リサイクルが保証されるというわけである。

エコ・アンバラージュ社の最初の3年間(1995年まで)の目標は、500万の新しいユーザにあらゆるタイプの選別・収集システム(コンテナ、従来のごみ箱の側に置く第2のごみ箱、コンテナとごみ箱の併用システム)を提供し、リサイクルされるパッケージ廃棄物の量を、重量で50%増加させることを目標としている。

そのほかエコ・アンバラージュ社は、現在焼却されていてリサイクルが難しい材料(プラスチックおよび多層複合材料)のリサイクル経路の開発、および一般消費者に情報提供を行うことになっている。

ドイツのDuales SystemとフランスのEco Emballageの違いは、フランスでは対象とするパッケージ廃棄物を、当面家庭からのものに限定していること、あくまで廃棄物の収集と分別は地方自治体にまかせ、その推進を援助するという形をとっていることで、従ってマーク使用料も現在のところドイツの半分以下となっている。またフランスでは、焼却しエネルギーを回収することも廃棄物のリサイクルの方法の一つとして認めている点が、ドイツと違っている。

### 参考文献

- 1) World Energy Statistics等より筆者推計。
- 2) IPCC第2作業部会(影響評価作業部会)報告。1990, 8.
- 3) 首都圏廃棄物対策協議会, “首都圏における一般廃棄物(ごみ)処理の長期的見通しに関するアンケート調査結果について”, 1988.
- 4) 環境庁リサイクル研究会, “リサイクル新時代”中央法規, 1911, 1.
- 5) エネルギー・資源学会, “リサイクルシステムの総合的推進に関する調査研究プロジェクト”, 第12回調査委員会資料, 1993, 5.
- 6) 同上, 第10回調査委員会資料, 1993, 3.
- 7) 京都市清掃局, “家庭ごみ細組成調査報告書”1990, 3.
- 8) Duales System Deutschland, Information Brochure, 1992, 8.