

## 循環型社会とリースの関わり

藤本 淳 (東京大学先端科学技術研究センター特任教授)

### 1. はじめに

最初に、わが国の環境問題を俯瞰する。年間、約17億トンの天然資源を新たに投入し、経済活動を行い、約4億5,000万トンの固形廃棄物を排出している(平成16年度環境省データ)。このうち、約4億トンが産業廃棄物(事業系から排出)、5,000万トンが一般廃棄物である(おもに家庭から排出)。廃棄物は、循環利用および減量化され、最終処分されるのは、約3,500万トンである。廃棄物問題で、目指しているのは；

- ・天然資源投入量の低減
- ・循環利用量の増加
- ・最終処分量の低減

である。最初の天然資源投入量の削減に関しては、資源生産性(=GDP/天然資源消費量)の目標値(平成22年に39万円/t)、循環利用量の削減では、循環利用率の増加(平成22年に約14%)、および最終処分量については、約2,800万トンへの削減(平成22年)に向けて、様々な対策が行われている。以上は、廃棄物の“量”的な課題であるが、“質”的な課題も存在する。それは、廃棄物に含まれる有害物質による環境汚染や、貴重資源(パラジウム、インジウムなど)の廃棄問題である。電子機器類の廃棄物の量は、全体(約4億5,000万トン)の1%にも満たないが、“質”的な側面で大きな課題となっている<sup>[1]</sup>。

次に、最近、大きな話題となっている地球温暖化防止に関して述べる。IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)の第

4次評価報告書第1作業部会報告書政策決定者向け要約(2007年2月)では、石油など化石燃料に頼って経済成長を続ける社会の場合、21世紀末の平均気温は2.4~6.4度上昇し、異常気象など大きな被害が出ると警告している。また、最近の研究では、温度上昇を比較的被害の少ない2℃以下に抑えるには、2100年以降の温室効果ガスを475ppmに、世界全体の排出量を1990年に比べ、2020年で約10%、2050年に約50%、2100年に約75%削減する必要があるとの結果が示されている<sup>[2]</sup>。これらを受け、環境省では、「わが国で2050年までに主要な温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>を70%削減し、豊かで質の高い低炭素社会を構築することは可能」で、「それを実現するための直接費用は、年間約6兆7,000億円~9兆8,000億円であり、これは想定される2050年のGDPの約1%程度である」と発表した(2007年2月)<sup>[3]</sup>。

わが国の温室効果ガス排出量は、約13億6,000万トン-CO<sub>2</sub>(2005年度)であり、京都議定書の規定による基準年の総排出量(12億6,100万トン-CO<sub>2</sub>)を8.1%上回っている。その約半数を、運輸と業務・家庭部門からの排出が占めており、これらの排出は、各部門で使用される機器類の稼働に必要なエネルギー消費に起因したものである。

本論では、地球環境問題の解決に向けて、何が根本的課題で、どんな対策が必要かを考察する。最初に、循環型社会を実現するには、ビジネス形態の大きな変革が必要であることを述べ

る。次に、温暖化対策として、製品の迅速循環の概念を提案する。この概念は、循環型社会実現とトレードオフの関係にある。そして、最近解決が急務となっている廃製品のアジア流出や京都議定書の削減目標達成の課題を取り上げる。最後にリース事業と、環境問題との接点を探る。

## 2. 循環型社会形成のキーファクター

「循環型社会」という言葉は、すでに社会的に広く定着している。しかし、その言葉でイメージするのは、主にリサイクルや 3R (reduce, reuse, recycle) ではないか。しかし、これらは手段であり目的ではない。リサイクルや 3R を実施する目的を、大きく、「化学物質によるリスクの削減」、「廃棄処分場の不足の解決」、および「資源の再利用による、天然資源の消費削減」の 3 つに分類し、それぞれの特性を考えてみた。

- ①化学物質によるリスク削減のためのリサイクル  
製品は様々な物質より構成される。製品が不適切に廃棄処分された場合、化学物質が環境中に放出され、生物や生態系に影響を及ぼす危険性（リスク）がある。製品開発において、リスクが高い物質の使用は避けられる方向にあるが、それでもリスクは存在する。「すべての物質は毒であり、毒でないものはありえないのであって、まさに用量が毒と薬を区別するのである（パラケルス：PARACELSUS 1493-1541）」という言葉からも明らかのように、安全な物質は存在しないからである。リサイクルによる物質循環は、結果として物質の環境中への放出リスクを軽減することにつながる。さらにリサイクルという管理ポイントを廃棄段階に設けることで、適正な廃棄処理を促進することが可能となる。
- ②廃棄処分場の不足への対応としてのリサイクル  
リサイクルや 3R の大きな役割の一つとして、

廃棄物の削減がある。リサイクルされた物質の廃棄量が減るのは当然であるが、その工程である解体、粉碎、溶解、燃焼などの処理は、リサイクル対象ではない物質の減容化に、結果として寄与することになる。この目的では、燃焼処理（エネルギー回収）は、重要なリサイクル方法に位置づけられる。また、リサイクル品が社会で有効に利用されなくても、すなわちリサイクルが、廃棄物を“廃棄場”ではなく社会生活の中に別の形態で（リサイクル製品）ストックするための手段となってもかまわない。

### ③資源の再利用による天然資源の消費削減のためのリサイクル（資源循環型リサイクル）

天然資源採取や自然界への物質の排出が少ない循環型社会の実現を目的とした 3R である。この場合、前述までのものとは異なり、リサイクルされた物質の“社会での利用”に重きがおかれることとなる。そしてリサイクルの効果は、リサイクルされた量ではなく、リサイクルによって削減できた天然資源の消費量によって測られる。天然資源の消費削減は、資源枯渇の抑制、地球温暖化防止および最終処分量の削減につながり、持続可能社会実現における環境面での要件を満たすことになる。しかしながら、実現までにクリアしなければならない課題も多い。原因治療が必要だからである。

## 2.1 ベルリンの壁理論

化学物質によるリスクの削減や廃棄処分場不足の解決を目的としたリサイクルは、言わば“安易”に廃棄しないための手段である。これらは、各種の規制等により、費用負担は生じるものの、実現可能であろう。しかし、循環型社会実現のためのリサイクルは、このような規制だけでは実現できない。それを、“ベルリンの壁”のアナロジーで説明する<sup>[4-7]</sup>。

現状のビジネスは、需要と供給が“市場”において調整され、需給が決まる“自由経済制度”の上で成り立っている。一方リサイクルは、供給側（廃棄者）の論理が主体であり、“需要”に応じてリサイクルを実施するのではなく、廃製品（原料）があるからリサイクルを行うという、いわば“計画経済制度”の上で成り立っているように見える。よって、動脈（ビジネス）と静

脈（リサイクル）との間の経済システムが異なり、両者の間に障壁（ベルリンの壁）が存在することになる（図1）。このような状況下で高度な循環システムを構築しようとしても、なかなか進まない。モノは増えたが、天然資源の投入は変わらない社会ストック型のリサイクル（廃棄処分場の不足への対応）に陥ることになる。

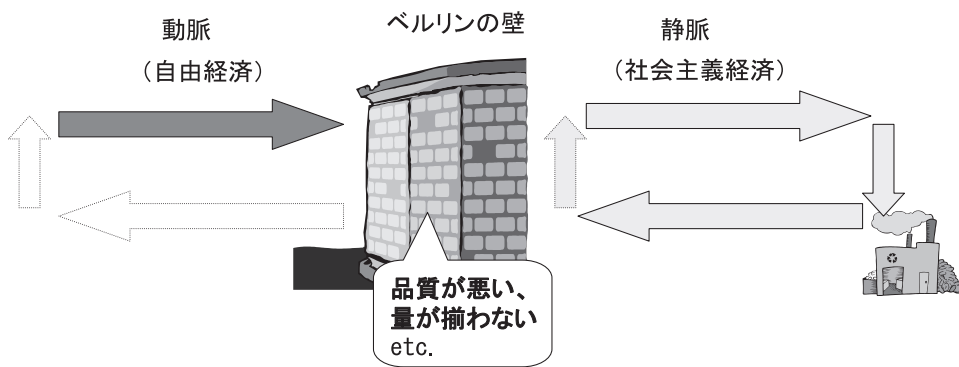


図1 現状のリサイクル

循環型社会を実現するには、動脈と静脈との“経済制度”を一致させ、障壁を取り除く必要がある。それには、静脈の“自由経済化”、すなわちリサイクルにおいて“市場”を形成し、需要と供給の適切な関係を構築しなければならない。そのような状況下は、製造メーカーから見ると、リサイクルは、バージン資源をベースとした素材や部品の生産工程と“同じ役割”を果たすことになり、一定品質のものを一定量、一定期間で調達するという QCD (Quality, Cost, Delivery) 生産管理の手法が、リサイクル素材や部品の調達においても適用されるようになる（以下、リサイクル QCD と記述）。

## 2.2 リサイクル QCD

資源循環型リユースやリサイクルが実現した

場合、廃製品から部品や材料が産出され、製品の生産に組み込まれることとなる。生産側からみれば、再生部品・材料も、バージン資源から作られた部品・材料と同じ取り扱いが必要となる。すなわち、再生部品・材料の調達においても、従来の生産管理手法 QCD (Quality, Cost, Delivery) が適用されることになり、以下のような条件を満たすことが要求される。

- 品質の一定な材料・部品等を調達できること  
（→生産の品質“Q”およびコスト“C”に関連）
  - 一定の量を、ある期間で調達できること。また原料の産出は平準化していること  
（→生産の Delivery “D”に関連）
- (1) 品質の一定な材料・部品等の調達（落ちていたチクワ問題）

管理が行われていないモノを利用するには、新たなコストが発生する。例えば、店の前に落ちている生鮮食品（例えば、チクワ）を見つけた場合を考える。拾って食べるができるであろうか。食品に記載されている“賞味期限”を見て、それが賞味期限内であっても、食べることはできないであろう。どのような状態か（高温に曝されて腐っている、毒が入っている等）わからないからである。食品に環境履歴（どの程度、高温に曝されたか等）を検出し表示するラベルが貼りつけてあったとすると、“賞味期限”と“環境履歴”との情報により、食べられる可能性は“環境履歴”がない場合に比較して、大きくなると思われる。“賞味期限”や“環境履歴”の情報がない場合、化学分析などにより安全性が確かめられれば、食べることができる。

日常生活での食品購入の例では、製品に付加された情報のみを利用し、食品に記載されている製造年月日、賞味期限などの情報を見て判断する。この場合、製造メーカーから販売店まで、メーカーが要求する方法に従って“管理されている”ことを前提としている。この前提が成り立たない、すなわち現在までの管理に疑いがある場合、様々な“情報”を取得することが必要となる。「食品がさらされた湿度や温度等の環境履歴を貯蔵する仕組が設けてあり、そこから得られた情報と製品に記載された賞味期限や保存方法等の情報により判断する」とか、「食品を化学分析して、変質や腐敗がないことを確認する」等である。製品が管理されていれば、購入の際に必要な情報量は少なく、逆に不十分であれば必要となる情報量は多くなり、またその取得のためのコストは増加する。廃製品は、新しい製品とは異なり、“管理”が十分でない状態にある。よって、資源循環型リサイクルを

促進するためには、“管理（特に使用、廃棄の段階）”できる体制を構築すること、あるいは“情報システム”を活用して“管理の不足”を補う対策が必要となる。

廃製品の“鮮度”も、管理上で考慮しなければならない項目である。“生鮮食品”に比べ“乾物”では、管理の必要性は少ないのと同様に（乾物では、保存の環境履歴など必要でない）、リサイクル品においても、時とともに劣化が生じる機能部品（生鮮品）と、劣化が生じ難い素材（乾物）とでは管理の必要性は異なる。素材（特に金属類）の資源循環型リサイクルが実現し易いのは、管理があまり必要でないためである。

## (2) 期間内での一定量の調達

原料となる使用済み製品が、どのような対象に（法人か一般か）どのような形態で（売切り、またはレンタル／リース）販売されたかによって、調達の容易さは異なる。対象の比較では、製品の分散度と、使用期間の違いが顕著となる。法人は都市部に多く集まり、各法人では製品が、ある台数まとまって存在するが、一般家庭は全国に広がり、そこでの製品は多くの場合1台しか存在しない。また使用期間についても、法人を対象としたものでは、販売後もメンテナンス等の関係性を保持し易く、使用済みとなる時期をある程度予測することが、一般向けに比較すると容易である。“売切り”と“レンタル／リース”との比較では、廃棄の時期や量、および品質把握の容易さに差が生じる。売切り製品の場合、ハードの所有権はユーザーにある。「メンテを含めてどのように製品を使うか」、「いつ廃棄するか」は、すべてユーザーの判断に委ねられる。このため、廃棄時期と量、その品質についての予測は、極めて難しい。一方、レンタル／リースの場合、廃棄時期の予測、および品質の

把握は、売切りに比較して容易である。

(3) リサイクル QCD 実現の条件<sup>8)</sup>

法人向け製品のリサイクルでは、販売の形態にかかわらず、一般向け“売り切り”製品と比較すると QCD の管理は容易であろう。一般向けの製品のリサイクルについて、販売の形態、回収を促進する法の施行、情報システムの整備などの諸条件により、QCD がどの程度進展するかをまとめた(表1)。現状(ここでは、売切り、法整備はないと仮定)では、製品をどのように使用するか、いつ廃棄するかは、ユーザーの意思に任されているため、使用済み製品(原料)の量および品質の確保は難しい。このためリサイクル QCD は実現できない。次に、回収を促進するため、例えば、「製品購入時に回収のための費用を上乗せしておき、廃棄時に返却する」というデポジット制度を導入した場合を考える。この場合、使用済み製品の流れは一元化され、回収量は明らかに増加する。回収量の増加は、リサイクルの費用(Cost)と出荷配送(Delivery)を改善する。しかし品質の確保はあいかわらず

難しいため、品質の変化が少ない“乾物”のリサイクル、すなわち金属など素材のリサイクルが拡大するとこととなる。さらに、製品のリサイクルに関連した情報をリサイクル工程に提供するシステムや、製品の使用状態(環境履歴)をモニタするシステムなどの情報インフラが整備された場合、最適な処理方法や使用済み製品の“品質”に関する情報がある程度得られるようになるため、リサイクルにおける“品質”の管理が容易となる。これにより、使用年数とともに機能が低下する“生鮮品”の資源循環リサイクルは拡大するであろう。最後は、製品提供の形態を“売切り”から“レンタル/リース”に変えた場合である。契約により、使用済み製品の回収時期や量を把握できるため、結果としてリサイクル費用(Cost)と出荷配送(Delivery)を、大きく改善できる。また契約中、提供した製品の使用状態を把握することも可能となるため、使用済み製品を構成する材料・部品の余寿命判定が容易となる。これにより、リサイクルの品質(Quality)を大きく改善できる。

表1 リサイクル QCD の実現

一般向け製品

	売り切り			リース/レンタル
	現状	現状+法規 (デポジット)	現状+法規+情報インフラ	
Q	×	×	△	○
C	×	△	△	○
D	×	△	△	○

### 2.3 ビジネスモデル

廃製品からの部品や材料を利用して新製品をつくる、部品の交換により製品の性能向上をはかり長期間製品を使用できるようにする等、部品や材料の循環を制御し、循環型社会を実現するには、現状のビジネス形態（売り切り）を基本に対応しても限界があろう。製品のライフサイクル管理を容易にする新しいビジネスモデルの創造が必要である。それは、ユーザーへ、製品というハードウェア自体ではなく、製品の有する“機能”と、個々のユーザーの状況に合わせた細かなカスタマイズ、状況変化に合わせたアップグレードなどのサービスを提供するビジネスである。この場合、対価はハードウェアではなく、提供する機能・サービスに対して支払われ、ハードウェア自体はリース／レンタルのような形式で提供されることが好ましい。これにより、ライフサイクルの管理と使用済み製品の回収が容易となると同時に、企業とユーザーとの間に“製品”に関連した密接なコミュニケーションが生まれ、新たなビジネスチャンスにつながる可能性もある。

#### (1) 新しいビジネスモデルのイメージ

現在までに提案されている、あるいは実際に実施されているビジネスを以下で紹介する。

##### ① サービス指向ビジネス（コンセプト）<sup>[4~8]</sup>

現状、家庭用ファクシミリ・パソコン・プリンターなどに代表される情報機器は、製品販売が主流である。サービス指向型ビジネスでは、ハードウェアのレンタル・リースを基本としている（図2）。企業は、提供するサービス内容をユーザーに提示する。ユーザーは、自分にとって必要なサービスを選択し、企業よりそのサービスを実現するために必要なハードウェア（機能モジュールの組み合わせ）を借り受け、ある期間使用した後、ハードウェアを企業に返却する。ハードウェアは、モジュール単位で検査された後、再び組み合わせられて、別のユーザーへ提供される。このようなシステムにより、企業は変化するユーザーニーズに対応したサービスをタイムリーに提供することができ、ユーザーは、好みのサービスを常に享受できるようになる。図3は、サービス指向型ビジネスに適した製品モデルである（サービス指向型製品）。家庭における情報サービスを想定し、FAX付電話機をベースに試作している。コンセプトモデルは、必要最小限の資源投入で多様なサービスコースに対応した製品を実現するため、独立した機能部品（モジュール）の組み合わせで構成されている（図3）。

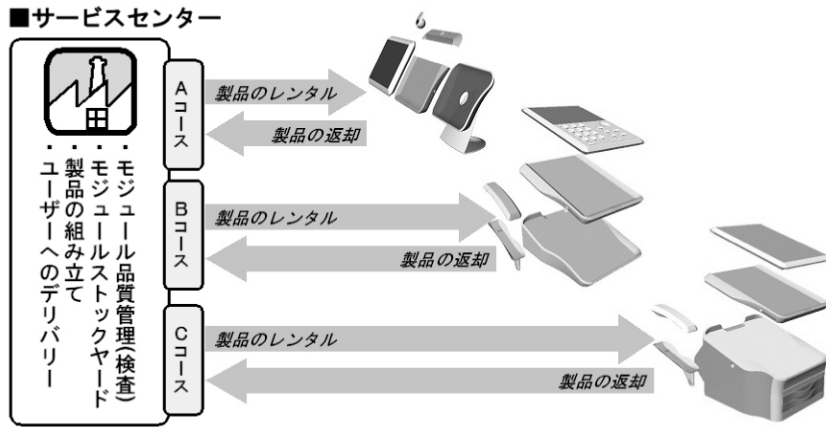
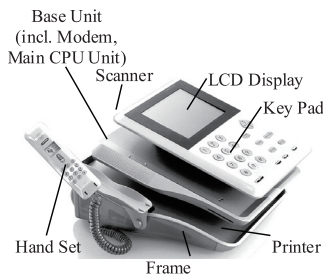
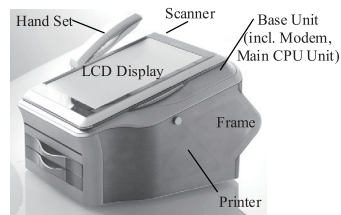


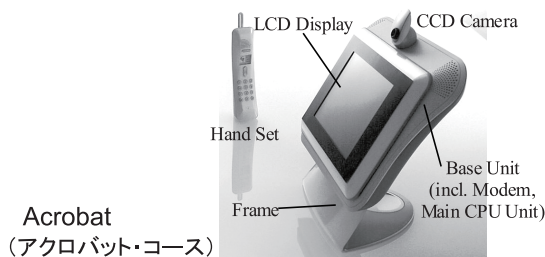
図2 サービス指向型ビジネス



CirCus (サーカス・コース)



BariBari (バリバリ・コース)



Acrobat  
(アクロバット・コース)

図3 サービス志向型ファクシミリのコンセプトモデル

②永久家電 (コンセプト) <sup>[9]</sup>

Aさんの家庭では、テレビ、ビデオ、洗濯機、冷蔵庫、掃除機、電子レンジなど家庭内

の電気製品を一括してレンタル会社のX社からレンタルしている。これらの機器はホームネットワークによって結ばれており、ホーム

サーバーがこれらの機器の運用状態をモニタリングしており、X社と結ばれている。

X社とのレンタル契約は、機器に対してではなく、各機器の機能に対して契約しているため、使用状態に応じて、適宜X社から機器変更の案内が来る。Aさんの家では子供が下宿することになったので、冷蔵庫をひと回り小さいものに変更した。また、機器が故障した場合は、ホームサーバーから自動的にX社に連絡が行って、担当者が飛んで来て、修理、交換してくれる。製品も相当工夫されており、メンテナンスやアップグレードが簡単に行えるようだし、リユースがやりやすくなっているようだ。X社はホームサーバを通じて、各機器の劣化を管理しているため、リユースするために適切な時期を選んで、機器を回収しに来てくれる。不用な家電品を不用意に捨てることなど考えられない。回収された製品は、リユースされてどこかの家庭でまた役に立っているだろう。設置されている機器は、必ずしも新品とは限らないけれど、新品同様にびかびかだし、家庭の状況、我が家の趣味に合わせた最適なパッケージを用意してくれるし、メンテナンスサービスも完璧なので安心だ。おまけに、自分で家電品を購入して、高い処分費を払って廃棄することを考えると、トータルのライフサイクルコストと機能の満足度の点で、ユーザーが得するように設定されている。

### ③あかり安心サービス（ビジネス）<sup>[10]</sup>

蛍光灯を売るのだけでなく、“あかり”という機能を売るサービスが開始された。蛍光灯には、微量な水銀が含まれており、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃棄物処理法）」によって、工場やオフィスなどから棄てられ

る使用済みランプ類についても排出者への責任が厳しく問われている。このサービスでは、蛍光灯の所有権はサービス会社のままなので、排出者責任が利用者に及ばず、マニフェスト管理も不要となる。またこのサービスにより、あかりというソフトの提供により大きな信頼を得ることができ、ほかの製品などの販売にもプラスになるシナジー効果が生まれている。

## 3. 温暖化防止と循環

家庭・業務および運輸部門での、CO<sub>2</sub>排出に大きく係わるのが、製品使用段階で消費されるエネルギーであり、車での軽油・ガソリン、家電製品や情報機器での電力消費がそれに相当する。例えば、民生部門では、二酸化炭素排出の約50%が、電力消費に伴うものである。よってこれら部門からの二酸化炭素排出を抑制するには、エネルギー消費の少ない製品の使用が重要な対策となる。一般的に、製品のエネルギー消費は、新しいものほど少ないので、CO<sub>2</sub>排出抑制の観点から言えば、なるべく製品は新しいもの（エネルギー消費の少ないもの）に置き換えた方が好ましい。

製品を長く使い、使い終わった製品の部品や材料を再度活用することは、廃棄物を増やさない有効な手段であると、一般的には言われているが、いろいろな矛盾につきあたる。製品を長く使えば使うほど、部品や材料の傷みはひどくなり、また最新製品との機能ギャップが大きくなるため、部品や材料の再利用が難しくなる。さらに環境問題を廃棄物だけでなく地球温暖化問題まで拡大して考えると、エネルギー消費の大きい旧製品を長く使い続けるよりは、省エネが進んだ最新の製品を使う方が、好ましいのではないかという疑問もわく。



### 3.1 迅速循環の概念<sup>[11,12]</sup>

迅速循環とは、二酸化炭素排出面も考慮して、適切な期間で（必ずしも短期ではない）製品を循環させることを目指すコンセプトである。廃棄物削減面だけ考慮して、製品を可能な限り長期使用する長寿命化との概念とはまったく異なる。迅速循環の概念が、検討されるべき製品群は、以下の条件を満たすものである。

- ①製品が世の中に多く普及し、頻繁にかつ長期にわたって使用される
- ②製品使用にはエネルギー消費を伴い、かつその量が多い
- ③技術革新により、製品のエネルギー消費が継続的に改善されている

このうち、特に③の条件は重要であり、製品使用時の消費電力が多いものでも、技術が飽和してエネルギー消費改善が少ないものは、迅速循環には適さない。

#### (1) 迅速循環による二酸化炭素削減効果の例<sup>[8]</sup>

製品としてエアコン、冷蔵庫、テレビおよび乗用車の4品目を選び、それらの1991~2000年における製品特性データ等を用いて、迅速循環と（5年を想定）、従来製品の平均使用期間に近い10年周期で製品の入れ替えを行った場合との、2000年時点でのCO<sub>2</sub>排出量の比較を行った。

対象には、使用段階で多くのエネルギーが消費され、その総量が国内のCO<sub>2</sub>排出量に少なからず影響を与える製品を選択した。まず着目したのが、乗用車の燃料消費に伴うCO<sub>2</sub>排出である。これは、国内総排出量の10%以上を占める。電力由来のCO<sub>2</sub>排出では、電気・電子機器の使用に伴う電力消費が問題である。この内、主な家電製品の使用で排出されるCO<sub>2</sub>量は、年間約8,000万トンと、国内総排出量の約6%を占めている。製品で言えば、エアコン、冷蔵庫および

テレビの寄与が大きく、これらで排出量のほぼ半分を占める。これらを踏まえ、今回の対象製品には、乗用車、エアコン、冷蔵庫、そしてテレビの4品目を選択した。

試算は、“将来予測”ではなく、過去のデータに基づき、“現在5年周期で買い替えられる社会であったら”というシナリオにもとづき実施した。

対象4品目、1985~2000年の15年間分の、1) 製品特性（代表型式と市場流通量、消費電力など）と、2) 環境関連データ（各製品の廃棄を含めたLCI、廃棄量、リサイクル率など）を文献等から取得した。取得データをみると、各製品で多くの型式があり、また同じ型式でもメーカーにより消費エネルギーが異なることが明らかであった。さらに乗用車で10モードから10.15モード燃費への移行のように、消費エネルギーの表記方法が年代により異なる場合があった。そこで、計算を簡略化するために、各製品で代表製品を定め、その製品が市場の大半を占めるという仮定を用い、消費エネルギーについては最新の表記方法に過去のデータを補正して利用した。またライフサイクルインベントリー（LCI）データについては、調査対象製品を製造している企業や、文献から収集した。対象製品のデータが取得できない場合は、類似品の値を、対象製品との重量比で補正して利用した。

図4に、4製品の2000年時点の市場流通台数（どれだけ使われているか）と平均使用年数を示す。市場流通量は、経済企画庁の消費動向調査にある100世帯当たりの保有台数に世帯数を乗じて算出した。例えばエアコンの場合、2000年時点で、冷房用約2,500万台、冷暖房用約7,000万台が市場に流通していることが明らかとなっ

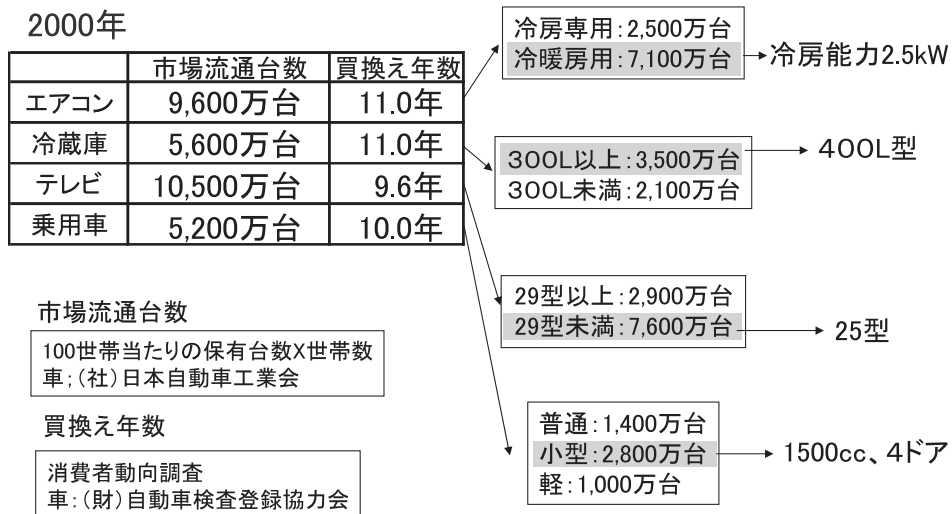


図4 市場流通台数と対象品

た。代表として、冷暖房用であって冷房能力が2.5kW（7～10畳）の製品を選んだ。すなわち、国内一社が、冷暖房用2.5kWのエアコンを供給し続けた結果、2000年時点で7,000万台の冷暖房用エアコンが使用しているという仮定である。他の製品についても同様な仮定を行った。

経済企画庁の消費者動向調査によれば、各製品の買換え年数は、エアコン8～11年、冷蔵庫

10～11年、テレビ9～10年、および乗用車9～10年となっている。計算を簡略化するため、これら製品の買換え年数は、すべて10年とした（従来シナリオ）。一方、迅速循環のシナリオでは、各製品の買換えが、従来の半分の5年で生じる仮定して計算した。

試算方法を図5に示す。図は、エアコンが2000年時点で市場流通台数が10台であった場合を

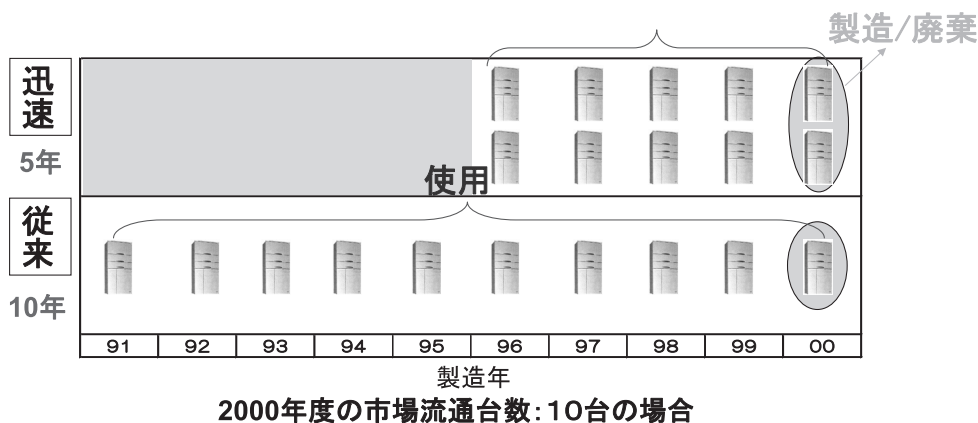


図5 迅速循環（5年）

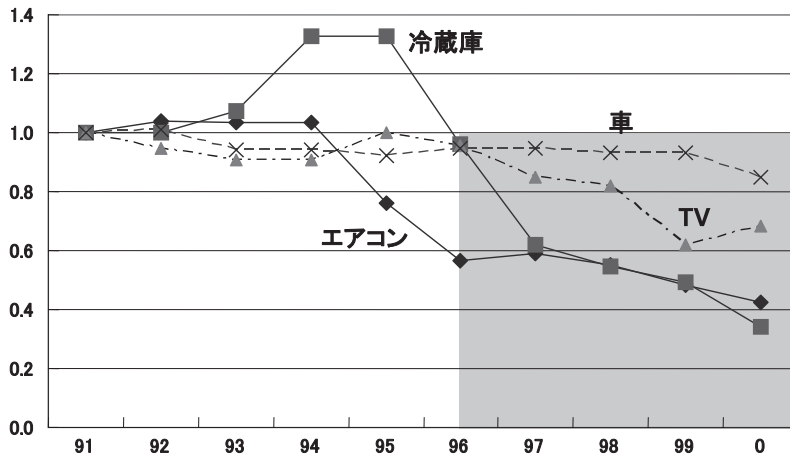


図6 省エネの進展

示している。従来シナリオでは、1991年から2000年製までの製品が各1台ずつ市場に存在することになる。2000年では1台の製品が生産され、1台廃棄されることになる。一方、迅速循環（5年）では、1996年から2000年製の製品が2台ずつ市場で使われ、2000年には、2台の製品が生産され廃棄されることとなる。

2000年時点でのエアコンに係わる二酸化炭素排出量は、迅速循環の場合、1996年から2000年製の製品をそれぞれ一定の時間使う際の消費電力と、2000年時点で生産および廃棄される際に消費されるエネルギーから計算できる。当然のことながら迅速循環での生産および廃棄の消費エネルギーは、従来のシナリオ（10年使用）

の2倍となる。

図6に、各製品の消費エネルギーの推移を表す。エアコン、冷蔵庫では95年あたりから消費電力の大幅な改善が見られる。表2に、迅速循環（5年）と、従来の製品使用（10年）との、CO<sub>2</sub>排出量と最終処分量の比較を示す。表中の処分量差分は、2000年時点の廃棄台数に、それぞれ対象期間（10年、5年）における製品重量の平均をかけ合わせて廃棄重量Wを求め、各製品のリサイクル率から最終処分量を求め比較した値である。

エアコンでは、迅速循環により、使用時のCO<sub>2</sub>排出削減量は、1,120万トンとなり、製造・廃棄における増加分92万トンを差し引いても、約

表2 試算の結果

2000年時点におけるCO2排出量差分

	CO2排出量 (tCO2/年)			処分量差分
	使用時差分	製造・廃棄差分	差分計	
エアコン	-1,120万	92万	-1,028万	11万トン
冷蔵庫	-418万	74万	-344万	15万トン
テレビ	-49万	57万	+8万	9万トン
自動車	-99万	990万	+891万	60万トン

1,030 万トンの削減効果が得られた。同様に冷蔵庫でも、344 万トンの削減が得られた。これら 2 製品での CO<sub>2</sub> 排出削減量、約 1,400 万トンは、国内総排出量の 1% 以上に相当し、京都議定書での削減目標から考えると、小さな値とは言えない。他方、テレビや自動車では、使用段階での CO<sub>2</sub> 削減よりも、製造・廃棄にともなう CO<sub>2</sub> 増加の方が大きく、迅速循環は、結果として CO<sub>2</sub> 排出増加につながった。特に、自動車では 890 万トンの大幅増加となった。一方、廃棄物の最終処分量は、当然のことながら、迅速循環によってすべての製品で増加した。家電製品で、10 万トン前後、自動車においては、60 万トンの増加となった。

これらの数値は、大胆な仮定に基づき算出したものであるため、その値を詳細に議論することに、あまり意味はない。この結果が示す重要なポイントは、

- ①迅速循環により、国内 CO<sub>2</sub> 排出量を 1% のオーダーで削減できる可能性がある、
- ②地球温暖化防止の観点から考えると、製品を長く使うことは、必ずしも好ましくない、
- ③製品によって、CO<sub>2</sub> 排出削減につながる場合と、増加する場合がある、
- ④増加か削減かは、使用段階での消費エネルギーの改善割合と、製品の製造に必要なエネルギーとの大きさで決まる、

である。このうち③と④の結論は、製造におけるエネルギー使用量と、使用段階での省エネ進展度の関係により、CO<sub>2</sub> 排出量の面で最適な製品更新年数が存在することを示唆している。

## (2) CO<sub>2</sub> 排出量からみた最適更新年数<sup>[8, 13]</sup>

まず、消費エネルギーに関する基礎式を導入する。なお、ここでは計算を単純化するため、

以下の仮定を置く。

- ①毎年同率で使用段階の省エネルギー化が進む。
- ②製造・廃棄段階で使用するエネルギーは変化しない。
- ③毎年の製造台数および廃棄台数は一定。
- ④すべての製品が同一の使用期間後に更新される。

次に、以下のように製品特性パラメータを定義する。

$n$  : 対象製品の使用期間 (年)

$\alpha$  : 使用段階の消費エネルギー改善率/年

$P$  : 製造・廃棄エネルギー/使用段階の年間消費エネルギー

$n$  は、対象とする工業製品の使用期間である。 $\alpha$  は、製品の省エネルギー設計によって年あたりに改善される使用段階の消費エネルギーの削減率である。例えば、 $\alpha = 0.01$  とは、10 年前に 200W だった消費エネルギーが 1 年後に  $200 \times (1 - 0.01) = 198W$  になるということである。この関係によると、逆に今年度の消費エネルギーを 1 とすると、1 年前は  $1 \div (1 - 0.01) \approx 1.01$  となる。これを一般化すると、 $i$  年前の消費エネルギーは式(1)となる。

$$\frac{1}{(1-\alpha)^i} = (1-\alpha)^{-i} \quad (1)$$

$P$  は、当該年度の使用段階の年間消費エネルギーに対する、製造・廃棄段階で必要とするエネルギーの割合である。

以上の仮定および定義の下で 1 台の製品が 1 年あたりで消費するエネルギーの平均値は以下の式(2)で求めることができる。ただし、この値は、当該年度の使用段階の年間消費エネルギーを 1 としたときの相対値である。この式で第 1 項は  $n - 1$  年前から今年までの各年に必要とする使用段階の年間消費エネルギーを使用年数で

割り、1年あたりの平均値を求めている。第2項は、今年度の使用段階の年間消費エネルギーに対する、製造・廃棄段階で必要とするエネルギーを使用年数で割り、1年あたりの値を求めている。

以降では、この式を利用して評価、考察を行う。

$$T = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} (1-\alpha)^{-i}}{n} + \frac{P}{n} \quad (2)$$

$$= \frac{1-(1-\alpha)^{-n}}{n(1-(1-\alpha)^{-1})} + \frac{P}{n}$$

式(2)をnで微分し、その微分値が0になるnを求めると、この値はTを最小にする値であり、最適更新年数となる。この計算を行い、使用段階の消費エネルギー改善率α、当該年度1年分の使用段階の消費エネルギーに対する製造・廃棄段階の消費エネルギーPを変化させて最適

更新年数を求めたものが表3である。

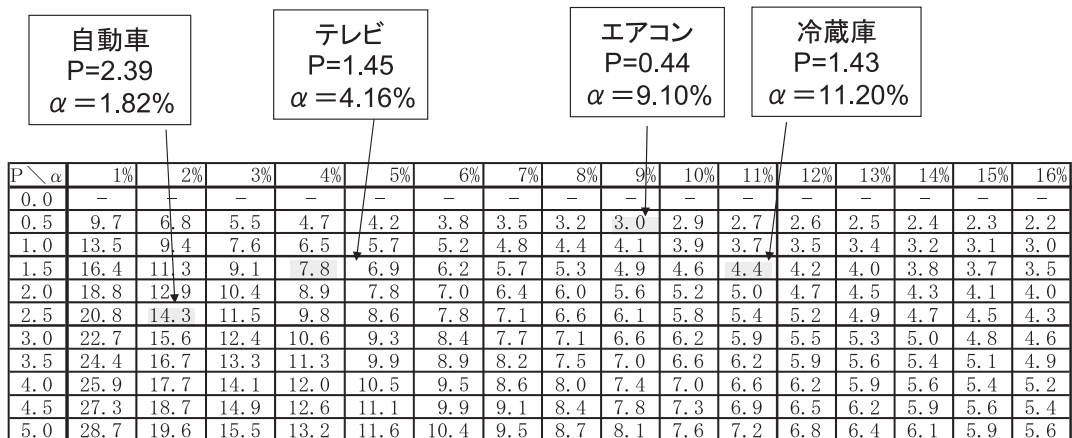
この結果を見ると、α、すなわち省エネ改善率が大きいほど、また使用段階でのエネルギー消費が製造・廃棄段階で消費されるエネルギーよりも大きいほど(Pが小さい)最適更新期間が短いという予想通りの結果がわかる。5年程度が最適な製品も存在するが、計算した範囲だけでも、最短で2.2、最長で28.7年と大きく振れることがわかる。表には、代表的な製品をマッピングしてある。この結果を見ると、1990年代の省エネ進展度から計算される。各製品の最適更新年数は、エアコン3年、冷蔵庫4年、テレビ7年、自動車14年程度であることがわかる。

(3)迅速循環ライフサイクルの重要性

製品の新機能の享受と環境負荷の削減を両立する“迅速循環”の概念は、二酸化炭素排出量削減の観点からは、充分有効である。省エネが進展する製品について、迅速循環の概念を適用すれば、国内二酸化炭素総排出量の1%前後の削減が可能となる。この場合の副作用として年

表3 最適な製品更新年数

CO2排出がミニマムになる更新年数



α : 利用段階の消費電力改善率/年  
P : 製造廃棄エネルギー/利用段階の年間消費エネルギー

間数十万トンの廃棄物量の増加を引き起こすが、これは廃棄物の年間排出量に比較すれば充分小さな値であり、このマイナス面も、高度リユース・リサイクルが促進されれば、改善可能であろう。

製品を長く使うことは、常に正しい”と盲目的に信じることは、社会の環境負荷削減、さらに環境による経済の活性化の面で、大きな障害になる。地球温暖化問題だけでなく、廃棄物問題から考えても、適切な製品の循環により、トータルとして材料や部品の寿命が延びることもありえる。重要なことは、製品を長期間使い続けることでは、それを構成する材料・部品を長く使い続けることなのである。迅速循環は、地球温暖化対策の圧力が高まる今後の環境対策で、重要な概念となる。

#### 4. 直面する課題

最近、廃棄物と地球温暖化問題で直面している課題について述べる。

##### 4.1 アジア循環（見えないフロー）

従来、材料や部品の製造、製品組立て、その使用と廃棄は、ほとんどすべて国内で行われていた。しかし、最近の経済のグローバル化に伴い、産業の国際分業化が着実に進展し、中国での組立て、東アジア地域での部品製造など分業形態が形成されつつある。このような分業化は、市場（製品の使用・廃棄）と生産地域の違いを生み、最近構築されつつある資源循環システムに少なからず影響を与えている。例えば、家電リサイクル・システムでテレビに使用されるブラウン管が年間約 350 万台分回収される。ブラウン管ガラスのリサイクルにより、ブラウン管を再び製造することは技術的には可能である。しかし、ブラウン管テレビの国内での生産が終

了している現在、水平リサイクル（もとの製品で再利用）を実現しようとする、廃ブラウン管ガラスカレットをブラウン管の生産国に輸出する必要が出てくるが、これには有害廃棄物の越境移動を禁止したバーゼル条約の制約をクリアしなければならない。廃棄された製品からの回収された資源を生産に再利用するという“わが国の循環型社会”のコンセプトが、国内という閉じた世界では成立しなくなっている<sup>[4]</sup>。これが、“アジア循環”の必要性が提唱される理由の一つである。環境を市場競争力と捉え、製品へのリサイクル材の適用など積極的に環境配慮製品の開発を進めている産業界からの要求が高い。また、国際分業が進む主要因である各国間での賃金格差は、リサイクル側面でも優位に働く。国内の賃金ではコスト高でリサイクル価値に見合わず、廃棄するしかない部材でも、低賃金な労働力を活用することで、資源として再利用できる可能性がある（コストの削減）。さらに、経済発展が著しいアジア諸国では、資源消費量が急増しており、リサイクル材が国際市場の平均価格よりも高く取引されることも多い（経済価値の増加）。

反面、グローバルではなく、各国内での資源循環を重視すべき理由も存在する。第一に、環境汚染の防止の拡大である。各国のリサイクルや廃棄処理の技術レベルは、わが国に比較して高くはない。このような状況でグローバル循環を推進すれば、わが国の廃棄物で他の諸国の環境汚染を引起す可能性がある。使用した製品は、自分達がリスクを負って処理するのが、公平性の観点から重要であろう。第2は、わが国のリサイクル・システムの保護の視点である。経済的な変動や社会情勢の変化により成立しなくなる恐れのあるグローバル循環に、わが国のリサ

イクルを依存するのは、大きなリスクを生む。国内のリサイクル・システムの整備と維持は不可欠である。この場合、海外に廃棄物が流れ、国内での量の確保が難しくなれば、今まで構築してきたリサイクル・システムの維持に多大な社会的投資が必要となる。第3は、資源の安定供給の視点である。資源を持たないわが国は、多くの鉱石を輸入して製品を生産している。最近のマテリアルフローの研究では、中古品として海外に流出する製品に含まれる鉛・銅・銀の金属の量は、わが国の輸入資源量の30~40%となるという推計が示されている<sup>[15]</sup>。グローバル循環により、廃製品や部品の海外への流出が拡大した場合、鉱石輸入量の増大や、廃棄物の形態でのストック資源の低減といった資源供給面で影響が生じる可能性がある。

(1) リサイクルコスト比較<sup>[15, 16]</sup>

リサイクルによって得られる収入（材料売却益）と、それに係る費用（分解手作業、輸送費、

土地・建物代、廃棄費用）との差分をリサイクル利益とし、その利益が最大となるプロセスを計算より求めた。例えば、国内で“製品”を廃棄する場合、輸送費と廃棄費用がかかり、収入はないので、利益は当然マイナスとなる。製品を分解・分別し、材料を売ると、収益は材料売却により得られるが、分解・分別費用が新たに発生する。分解・分別で発生する廃棄の処理費用は製品を廃棄する費用より減少する。このような計算を繰り返して行い、利益が最大となるプロセスを求めた。計算は、家電リサイクルプラントのような設備を利用した解体・分別・回収ではなく、主に人手で行うこととし、中国沿岸部と国内で行う場合とで比較した。中国沿岸部で行う場合、輸送費（手続き費用、海上輸送費等）は増加するが、人件費および廃棄費用は減少することになる。図7にその結果を示す。縦軸は、リサイクル利益であるが、冷蔵庫、テレビ、エアコン、およびPCすべての製品で、国内リサイクルの場合、利益はすべてマイナス

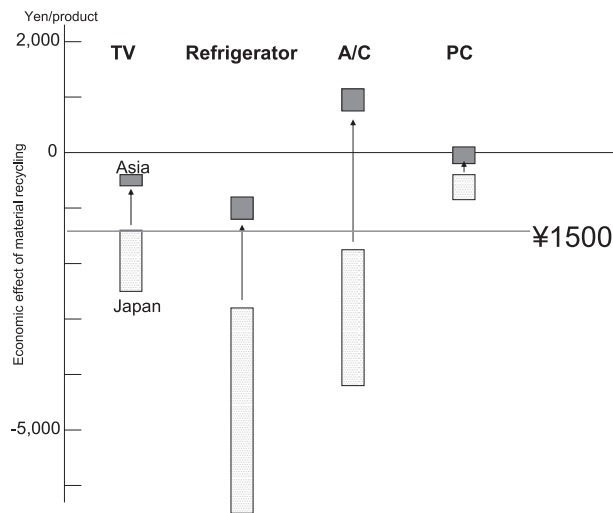


図7 マテリアルリサイクル費用の比較

となっている。数値の幅は、解体時間に 10～20 分と幅を持たせたことに起因する。一方、中国沿岸部（アジア）で実施した場合、国内より利益は大きく、エアコンおよび PC で利益がプラスに転じる可能性がある。資源回収率も中国の方が大きく<sup>[17]</sup>、輸送コストが余分にかかっても、人件費の安さにより、製品の細部まで分解・分別を行い、多くの材料を売却できることを表している。図 7 には、リサイクル費用 1,500 円を徴収した線を描いてある。これから明らかのように、1,500 円程度の徴収で、中国沿岸部でのリサイクルは、すべての製品において、プラスのリサイクル益をあげられることがわかる。この 1,500 円という額は、家電リサイクルで廃棄時に実際徴収されている額に比較して、小さい。ここでは、国内比較として、中国沿岸部を取り上げたが、ベトナム、タイ、マレーシアなど東

南アジア諸国で実施しても同様な結果となる。

(2) 見えないフロー

現在、家庭やオフィスから排出される家電 4 品目や PC の廃棄台数は、2004 年の推計で、それぞれ約 2,000 万台（家電 4 品目）と約 700 万台（PC）となっている<sup>[18]</sup>。実際に明らかとなっている家電リサイクルプラント等での処理台数は、1,120 万台<sup>[19]</sup>と 90 万台<sup>[20]</sup>である（図 8）。多くの廃製品が、どこかに消えていることになる。図 7 のリサイクル利益の比較から推測できるように、中古品の輸入規制や廃棄物の越境移動に関して、様々な規制が行われているにも関わらず、国外へ流出している可能性が高い。国間の経済格差が存在する限り、また、廃製品の処理が個人裁量に委ねられている限り、このフローが消滅する可能性は極めて低い。

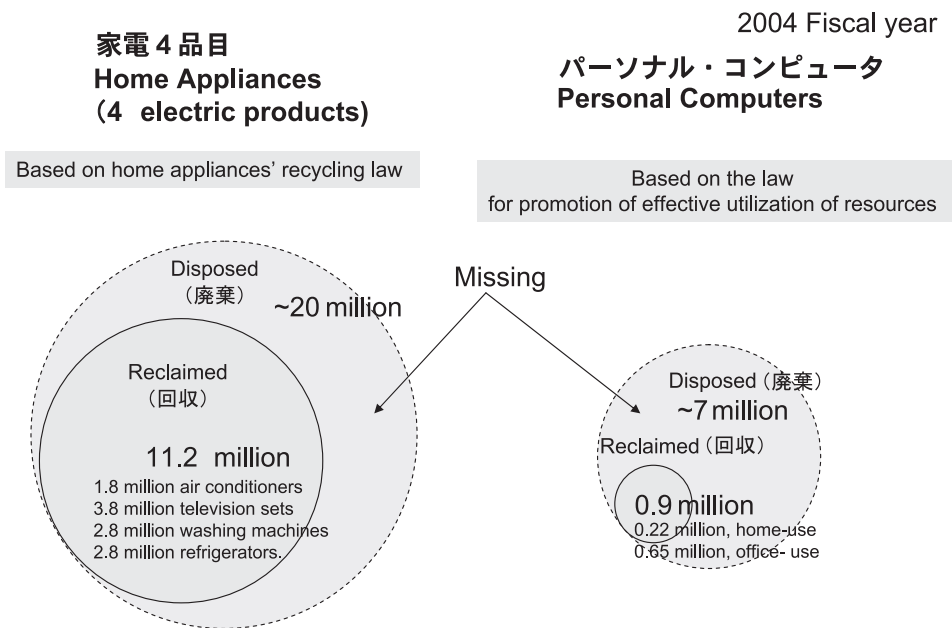


図 8 廃製品の見えないフロー



## 4.2 家庭部門の温暖化対策

温暖化対策は、京都議定書の目標達成期間(2008-2012)が近づくとともに、ポスト京都議定書の動きも活発化している(1. はじめにを参照)。これらを受けて、地方自治体に民生(業務・家庭)部門のCO<sub>2</sub>削減対策が、強く求められるようになった。業務部門では、工場やビルの省エネルギーに関する包括的なサービスであるESCO事業(**E**nergy **S**ervice **C**ompany)の活用、省エネ機器への代替等の促進である。家庭部門では、新築時の省エネ住宅の選択、太陽電池パネルや高効率給湯器の導入(エコキュート、エコジョーズなど)、省エネ家電の選択あるいは代替である。このうち、省エネ家電への代替については、3.1の迅速循環で述べたように、製品の長期使用の問題である。家電リサイクルプラントでの回収実績を見ると、10~15年前の製品が多く、製品の品質向上からか買い替え周期は長くなっている可能性もある。迅速循環に逆行している。また、迅速循環の計算では、製品の消費電力は、“何年使用しようと購入時と変わらない”と仮定したが、実際には材料の劣化や機器の汚れにより、性能が低下している可能性は高い。本来ならば、家電製品のおいても車検制度のような点検義務の導入が望ましい。しかし、このような制度も、ユーザーが製品の”所有権”をもつ現状、実現へのハードルは高い。

## 5. おわりに

環境問題は、大量な製品を絶え間なく市場に投入することで利益を生む産業界、大量なモノとエネルギーの消費に支えられたライフスタイルなど、現在社会・経済活動の副作用と言える。副作用への対応では、新たに薬を投入して副作用の症状を緩和するよりも(対症療法)、活動そ

のものを副作用の少ないものに変えていくこと、すなわち社会・経済活動の根本的な変革(原因治療)が必要である。

原因療法の一つとして、本論で提案したのは、ユーザーが製品(モノ)を“所有”する形態から、製品が提供する機能・サービスの“所有”への変革である。モノをユーザーが“所有”する限り、循環型社会形成や地球温暖化防止への道りは険しい。

リース物件の取扱高を見ると、情報サービス機器、事務用機器、輸送用機器、商業およびサービス業用機器で、全体の7割を占める(平成17年度)<sup>[1]</sup>。これら機器の背景に存在する環境問題は、廃棄物においては“質的”課題、温暖化においては、運輸と業務・家庭部門からの温室効果ガス排出に関連し、機器稼働時のエネルギー削減(省エネ)である(1. はじめにを参照)。

モノの“所有”が、環境問題発生の一要因となっているのであれば、リース事業の環境問題への貢献は、決して小さなものではない。例えば、リース品のライフサイクル管理への積極的な関与がある。機器使用中のメンテナンスや省エネ機器代替の促進、リースバック品の適切な廃棄物処理等である。また、省エネ設備普及のための、積極的なリース活用の啓蒙も考えられる。また将来的には、家庭におけるリース/レンタルも視野に入ってくるのではないか。これには、リース事業のノウハウを生かしながら、異業種との適切な連携が必要となろう。

## 注

[1] 産業構造審議会資料

[http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/admin\\_info/committee/j.html](http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/admin_info/committee/j.html)

- [2] [http://2050.nies.go.jp/index\\_j.html](http://2050.nies.go.jp/index_j.html)
- [3] <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=8032>
- [4] 藤本他、エコデザイン 2000 ジャパンシンポジウム論文集、pp.240-243、2000
- [5] J.Fujimoto et.al., Proposal of Service-Oriented Products Based on the Inverse Manufacturing Concept ( 1st Report), Proc. of Electronics Goes Green 2000+, 2000
- [6] Y.Umeda et.al., Proposal of Service-Oriented Products Based on the Inverse Manufacturing Concept ( 2nd Report), Proc. of Electronics Goes Green 2000+, 2000
- [7] Jun Fujimoto, Yasushi Umeda, Tetsuya Tamura, Tetsuo Tomiyama, and Fumihiko Kimura, Development of Service-Oriented Products Based on the Inverse Manufacturing Concept, Environmental Science & Technology, Vol. 37, No. 23, pp. 5398 – 5406, ACS Publications, 2003
- [8] 「エコデザイン革命－環境とビジネスの両立－」、エコデザイン推進機構編、丸善株式会社、2003
- [9] インバース・マニファクチャリングとライフサイクル設計、インバース・マニファクチャリング・ライフサイクル設計委員会、(財) 製造科学技術センター
- [10] <http://matsushita.co.jp/environment/2003/highlight/hig04.html>
- [11] 平成 13 年度 インバースマニファクチャリングフォーラム調査研究報告書、(財) 製造科学技術センター、2002
- [12] 藤本淳ほか: 「迅速循環による地球温暖化防止の可能性の検討 第 1 報:コンセプトと評価結果」、エコデザイン 2002 ジャパンシンポジウム講演論文集、pp. 268-271, 2002
- [13] 梅田靖ほか、「迅速循環による地球温暖化防止の可能性の検討 第 2 報:最適更新年数のモデル化」、エコデザイン 2002 ジャパンシンポジウム講演論文集、pp272-275, 2002
- [14] 産業構造審議会 環境部会・リサイクル小委員会、持続可能なアジア循環経済社会圏の実現へ向けて、2004 年 10 月
- [15] 平尾、中本、各種はんだに利用される金属のマテリアルフロー調査と鉛フリー化の影響、エコデザイン 2004 ジャパン、pp222-225、2004
- [16] 藤本淳ほか、アジア循環システムのエコデザインと実現化ロードマップ作成、2005 年度 精密工学会春季大会学術講演、pp257-258, 2005
- [17] 桑谷雅之、ほか、アジア循環の経済的視点からの評価、2005 年度精密工学会秋季大会学術講演 (京都大学)
- [18] 財団法人 廃棄物研究財団 HP 「家電・OA 機器等に係る化学物質に関する調査」、平成 11 年—13 年
- [19] 家電製品協会 (<http://www.aeha.or.jp/>) 「平成 16 年度版 家電リサイクル年次報告」
- [20] JEITA ([http://www.pc3r.jp/r\\_data.html](http://www.pc3r.jp/r_data.html)) 「使用済み PC 回収実績」平成 16 年度
- [21] リースハンドブック