

循環経済化に沿った情報家電の製品廃棄物の回収システムの枠組みに関する研究

Take Back and Recycling of Information Technology and Electronic Appliances Consumed in Homes
Towards Cyclic Economy

盛岡 通*,*** 〇吉田 登* 下田 吉之**
Tohru MORIOKA Noboru YOSHIDA Yoshiyuki SHIMODA

ABSTRACT : Take back and recycling of used information technology (IT) and electric appliances consumed in homes were discussed from the view point of cyclic economy. First, paradigm-shift, technological development and evaluation research towards closed loop economy were reviewed. Here initiatives for industrial ecology were introduced. Second, the legislative processes and relevant circumstances were interpreted focusing on the IT equipment ordinance and foundation of working committee CYCLE within VDMA in Germany. Third, based on the interview survey, take back and recycling systems of personal computers and TVs were discussed with respect to design for environment, cleaner production process and reverse logistics as follows :

- 1) Surveys of current eco-design practices showed that technical innovation for dematerialized manufacturing, component count reduction, eliminated variation of materials and less hazardous substances use resulted in considerable decrease of disassembly time and number of the tools etc. and consequently enhanced loop closing.
- 2) Although sufficient quantitative data was not available, promoted production processes for pollution prevention were observed in order to save raw materials.
- 3) In terms of reverse logistic, major 3 types of take back scheme was proposed corresponding to the degree of the product responsibility, i.e. i) only manufacturers' organized system, ii) system with independent organizations' management and iii) shared system with manufactures and municipalities. These models were evaluated from the view point of feasibility of temporary stock yard, quality management of take back, effective market competitiveness and so on.

KEYWORDS : Closed loop economy, Information Technology, Design for environment,
Cleaner production process, Reverse logistics

1. 循環経済と産業エコロジーの潮流

近年、資源浪費型の産業社会構造を見直し、循環型の社会構築へ向けた様々な取組みがなされている(図-1)。今から約20年前、Lester Brown(1981)の着想による「エコロジカルな持続可能性」というコンセプトが地球白書(State of the World)¹⁾を通じて広まった。87年の国連環境開発委員会によるブルントラント報告には持続可能な発展(Sustainable Development)として取り入れられ、92年の地球サミット(UNCSD)で全世界に新しいパラダイムを提示した。ここで持続可能な生産と消費(Sustainable Production and Consumption)がこのUNCSDのアジェンダのキーワードとして出現し、以降WBCSDのEco-efficiency²⁾や国連大学のZero emission³⁾、Graedel & Allenbyの産業エコロジー(Industrial Ecology)⁴⁾、IHDPの産業変革(Industrial Transformation)⁵⁾、ドイツの循環経済(Kreislaufwirtschaft)などの持続可能な産業のあり方の具体的なコンセプトが提示された。

こうしたパラダイムシフトは廃棄物排出を前提とした処理(End-of-Pipe, Add-On)型から廃棄物を出さない発生抑制型(Cleaner Technology, Green Technology)の技術の推進によって支えられてきた⁶⁾。その創始の代表はUNEPのCleaner and Safer Industrial Production(1975)であり、ECのCleaner Technology(1985)や米国のPollution Prevention法(1990)などで技術の開発がなされ、米Pollution Prevention Integration NetworkやClearinghouseなどによりこれらの技術情報提供がなされてきた⁷⁾。Council of Logistics ManagementなどによるReverse Logisticsの検討(1992)もなされてきている。以上により、製品のエコデザイン(Product)、汚染回避のクリーン技術(Process)、

* 大阪大学環境工学科 Department of Environmental Engineering, Osaka University

** 大阪大学先端科学技術共同研究センター Cooperative Research Center for Advanced Science and Technology, Osaka University

***科学技術振興事業団 戦略的基礎研究推進事業(CREST)による「社会実験地での循環複合体のシステム構築と環境調和技術の開発」研究代表者 Research Representative, CREST

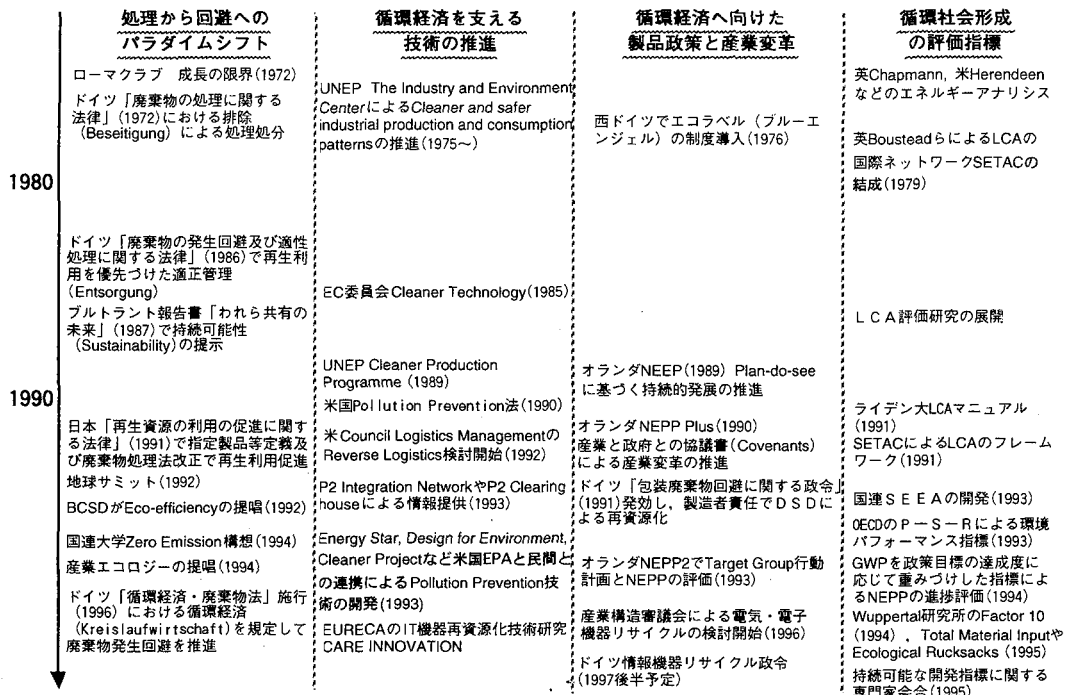


図-1 循環経済化と産業エコロジーの潮流

回収システム(Logistics)に関する技術開発の流れが読み取れる。

さらにこれらの考え方やそれを支える技術は、各国で具体的な政策や社会変革のイニシアティブとして展開されてきた。代表的な例はドイツであり、91年の包装廃棄物回避に関する政令の製造者責任でDSDによる再資源化やAG CYCLEを中心とした情報機器リサイクルへの自主的なフレームづくりによる先導的な取組みの経験は日本を始め各国の施策に多く活かされている。同じく温暖化防止などの先導的な取組みをおこなっているオランダは持続的な発展を基本的な考え方とするPlan-Do-Seeにもとづくシステムティックな国家環境政策(NEPP)を作成し⁸⁾、NEPP Plus、NEPP2と継続的な見直しを図っている。この中では、政府を横断し、幅広い産業を取り込んだ協議書(Covenants)を結んで実効性を高めていることが特徴である。これら施策推進の推進に呼応して持続可能性を評価する指標の開発がなされてきている。循環や持続可能性の形成に欠かせないLife Cycleでの環境評価についてはライデン大学やSETACなどにより評価のフレームが構築されてきた。同様の思考によるWuppertal研究所のTotal Material InputやEcological Rucksacksは低資源消費(Dematerialized)の評価指標として環境勘定体系に取り込まれ、またオランダNEPPではGlobal Warming Point(GWP)などが各ターゲットグループの目標達成を評価する指標として適用されている⁹⁾。循環形成の概念構築がそれを支える技術をともなった政策として展開されその進捗が指標研究により評価されるという一連の系譜がつながりをもった潮流として捉えられる。

2. ドイツにおける電気・電子機器を中心とする製品政策の展開

ドイツでは、法の制定を軸に生産者責任による循環形成の製品政策を進めてきた。包装廃棄物にとどまらず電気・電子機器や自動車に対しても政令の準備を進めている。ここでは、はじめに製品政策の基本となる廃棄物の概念規定の変遷を整理し、次いで情報機器政令を中心とする製品政策の展開について述べる。

2.1 廃棄物の概念規定の変遷^{10) 11)} (図-2)

後藤(1995)による、ドイツの循環経済・廃棄物法(1994年)の紹介の中で廃棄物の概念規定についての言及がなされている。それによると、1972年の「廃棄物の処理に関する法律」では廃棄物(Abfällen)を生活圏から排除(Beseitigung)することによる、具体的には埋立、焼却という狭義の概念での廃棄物処理処分を主眼とし

ていた。それが86年には法律が大幅に改正され「廃棄物の発生回避及び適正処理に関する法律」が改正法として成立した。ここでは、その第3条で「廃棄物の再使用及び再利用が技術的に可能で、市場が存在し、追加費用が適正な範囲である場合には、再生利用を他の処理方法に優先しておこなう」ことが明確に定められ、適正処理(Entsorgung)という、再資源化に向けての廃棄物処理の概念の拡張がなされた。これが統一後の1994年には、処理の概念をさらに上流側に拡張して「廃棄物発生が少ない循環経済の促進及び廃棄物の環境保全上の適正処理の確保に関する法律(循環経済・廃棄物法)」を公布し、96年10月7日に施行した。ここにおいて、まず発生回避(Vermeidung)を循環経済を促進する優先順位第1の手段として位置づけ、その上で生じた残余物(Rückstände)に対して有効利用(Verwertung)可能な二次原料(Sekundärrohstoffe)を回収してなおかつ再資源化不可能と判断されるものを廃棄物(Abfälle)として扱い適正処理(Entsorgung)をおこなうこととしている。循環経済へ向けて段階的な概念規定をおこなってきたことが分かる。

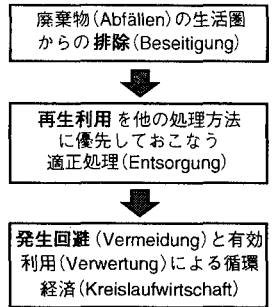


図-2 廃棄物処理概念の変遷

2. 2 情報機器政令を中心とする製品政策の展開(図-3)

ドイツでは、包装廃棄物の回避に関する政令の発効(1991年)に続き、産業システム全体の変革を余儀なくされる複合的な製品の回収に乗り出し、代表的な耐久消費財である電気・電子機器や自動車の廃棄物回避の政令準備を始めた。特に近年、世界的に急速度で普及しつつある情報機器の政令について政策の展開をみる。

(1) 1991年7月に連邦環境省が提示した政令草案¹²⁾では、①第1条の目標において、修理と分解が容易な形での構成部品(Design for Disassembly)と環境に害を及ぼさずリサイクルできる原料による生産と残さ物の適正処理(Cleaner Production)、回収率が高くなるような回収システム(Loop Closing)のProduct, Process, Logisticsのポリシーが明確に示されていることが特徴的である。②対象機器は、家電(White)、娯楽(Brown)、情報機器(IT)が全て含まれていた。③製造業者と流通業者に対する徹底した回収義務を課している。機器購入時には自社ブランドに限らない使用済み機器を回収し、新規購入に限らず販売店で販売した機器については販売店回収も義務づけた。

1991年 7月	連邦環境省が電気・電子機器廃棄物規制案を政府に提出
10月	公聴会開催
1992年10月	作業文書として草案再提出
1993年 9月	ZVEIが意見提出
1995年 3月	VDMAが共同研究グループCYCLE結成
5月	機器政令に関するCYCLEの見解提出
6月	環境省が業界との折衝資料を提出 情報機器を先行して議論する意向
1996年 2月	草案公表
1997年後半	政令制定予定

図-3 情報機器政令制定への検討経緯

(2) その後開催された公聴会(1991年10月)での変更提案をふまえて再提出され、92年10月の作業文書では、(1)のうち、③を改正し、無料引き取りを政令後に販売された国内製品に限定し、残りは有償引き取りとした。

(3) 1993年にはドイツ電気・電子機器工業連盟(ZVEI)がこの作業文書に対して意見提出。主として処理コストの内部化が困難、機器引き取りの問題(エコデザインはリサイクルコストには反映しても機器回収コストには反映しない、家庭からの完全回収は製造業者間の協力を強いる一方でカルテル法抵触の問題あり)、素材原料製造業者を含めた回収義務が資源循環に不可欠など、循環形成の視点からの本質的な批判が提示された。

(4) 1995年3月にドイツ機械連盟(VDMA)に廃棄物問題の共同研究グループCYCLEが結成され、5月には機器政令に関する見解書を提示。これをふまえて環境省は6月に業界との折衝資料を提示した¹³⁾。そこでは対象機器からVDMA関連の情報機器を分離して先行して検討する方向とした。VDMAの積極的な参加について、州政府などの独自法制化の前に、環境と経済を連動させてライフサイクルを考えた投資をすることがリサイクルコストの低減につながる市場メカニズムの形成に結びつくので実施を急ぎたいとの理由が強調されている。

(5) 1996年2月に草案が公表された。リサイクル費用の販売価格への内部化はなされる見込み。家庭系の廃コンピュータについてはCYCLEのモデルに準じて自治体が回収し、製造業者または輸入業者が回収製品の無料引き取りとリサイクルの義務を負う。CYCLEのモデルでは回収分別のOperationとその費用負担についてShared Responsibilityの考え方を一部採り入れている。厳格な規範型ではないが、現在の製品Logisticsの中での生産者

(Manufacturers) と自治体 (Municipalities) の役割に沿ってシェアリングをおこない、費用削減のインセンティブと製品設計へのフィードバックを考えたシステムが模索されている。

3. 情報機器の回収システムの評価

これまで述べたように、循環経済を構成する産業エコロジー (Industrial Ecology) やそこでの持続可能な生産 (Sustainable Production) は製品のエコデザイン (Product), in-processの廃棄物回避 (Process), Take Backシステム (Logistics) の3つの循環形成の工学技術的側面から捉えられる。図-4に示すようにこのそれぞれの側面に対して関連、類似した様々な概念が用いられている。以下、事例調査にもとづき、ドイツのコンピュータ情報機器および付随してTVを対象に製品回収・再資源化の産業エコロジーへの取組みの評価を試みた。¹⁴⁾

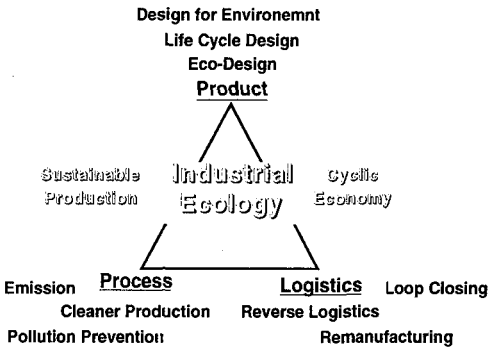


図-4 産業エコロジーの構成要素

3. 1 回収と再資源化 (Closed Loop) へ向けたエコデザインの効果

Siemens Nixdorf製パソコンとSony Deutschland製TVのエコデザインを示す^{15) 16)} (表-1)。

Siemens Nixdorfは1980年代始めからパソコン、汎用機、現金自動支払い機などの全ての種類の廃製品についてStrict Responsibilityにもとづいた完全回収を目指している。1990年、Paderbornに約40人が解体作業を行い5000㎡の解体再資源化、3000㎡の部品貯蔵スペースをもつリサイクルセンター (WVM) を再構築した。95/96年の1年間で4936 tを全国42箇所まで20～850DMで回収し、95/96年のリサイクル率86%を達成している。特にDfD (Design for Disassembly)へのフィードバックによりプラスチックの種類は6種に限定され、リサイクル材比率25%で原料製造会社 (全2社) で全量マテリアルリサイクルされている。87年から96年の9年間に素材数1/2、部品数1/8などのエコデザインが解体時間1/9を経て88年のリサイクル率35%から95/96年の86%に寄与し、さらにライン数1/2、組立時間1/4と製造段階へのフィードバック効果をもたらしている。Sony DeutschlandはEUREKAプロジェクトに関連した欧州の電子機器リサイクルのプラットフォームCARE VISION2000などへのイニシアティブをとる中、1996年3月には29DMのラベル方式によるShared Responsibilityのコンピュータモニターの回収システムを開始

表-1 回収・再資源化へのエコデザインの効果 (Siemens NixdorfのPCとSony DeutschlandのTV)

製品		パソコン (Siemens Nixdorf)		TV (Sony Deutschland)		
		1987	1996	6年前	第1世代Eco 4年前	第2世代Eco 2年前
指標	尺度					
耐用性、拡張性 (Durability, Upgradability)	モジュール設計の有無	CPU, メモリ, プラ グイン等の モジュール設計	CPU, メモリ, プラ グイン等の モジュール設計	N. A.	N. A.	N. A.
省資源 (Less Material Input)	総重量 (小型化の程度) 使用素材数	16kg 40	8kg 23	51.30kg 8 (キャビネット)	48.40kg 5 (キャビネット)	43.82kg 1 (キャビネット)
解体容易性 (Ease of Disassembly)	解体容易な結合 工具数 部品数 解体時間	ネジ式 N. A. 87 18min	クリップ式 N. A. 11 2min	接着 解体不可 N. A.	はめこみ 3(機器) 0(スピーカー) N. A.	なし 2(機器) 0(スピーカー) N. A.
部品、材料の再利用 (Reuse of Component, Material)	素材認識	規定コード	規定コード + 製造者からのリ サイクル引名、製造日 会社名、製造ID + 部品リストNo.	N. A.	N. A.	N. A.
再資源化容易性 (Ease of Remanufacturing)	接着剤使用有無 複合材使用有無 ラベル	接着剤使用 混合プラ使用 シール	不使用 不使用 laser labeled	PVC コントロールラベル 接着	PVC コントロールラベル 接着	印刷物 接着なし
生産性へのフィードバック (Feedback to Productivity)	組立時間 ライン数	33min 13	8min 6	N. A.	N. A.	N. A.

している。これに遡る6年前よりTVのエコデザインを始め、2年毎にエコデザインのモデルチェンジをおこなって現在では第3世代のエコTVがある。6年前の機種に比べ現在の第2世代TVでは使用プラスチック数は2に半減し、キャビネットの素材数は8から1に減少し、重量は15%削減した。難燃材のハロゲンフリーを達成し、解体不能な機器およびスピーカーから機種は2種の工具で、スピーカーは工具なしで解体可能に至っている。

3. 2 製造工程での廃棄物の発生回避の評価

パソコンの素材重量比は鉄(38.6%)、プラスチック(17.8%)、プリント板(14.9%)、非鉄(9.3%)、ガラス(9.0%)でありこの5種の物質材料についての再資源化がポイントとなる。これらの素材においてそれぞれのProduct Chainにおける環境負荷および廃棄物の発生回避評価のプロセス(図-5)が一般に考えられる¹⁷⁾が、これに沿って計量提示された定量的なデータは得られなかった。その中でも製造工程での廃棄物の発生回避につながる取組みが行われたプラスチックとガラスの例を示す。

(1) Siemens Nixdorfでは前述のプラスチックを6種に限定するDfDに呼応してこれを識別し比重分離等でソート、ペレット化するような回収工程の編成を1989年からおこなっており、1999年には識別できない混合プラスチックは0%とする見込みである。これ以外の要因も併せ、すでに前述のようにライン数1/2といった工程の簡素化がなされており、現状の生産量に対する回収率の割合でも1/3以上まで高まっている。この製品回収率の上昇とプラスチックの資源化率の上昇により、単位サービスあたりの物質投入(MIPS)は低減していることが容易に推定される。

(2) EU内市場に出回るTVの約80%が西ヨーロッパで製造されたブラウン管およびブラウン管ガラスからできているという物質収支の特徴に注目し、ドイツ電気・電子工業連盟(ZEVI)は、ブラウン管ガラス(ファンネルガラス)の再利用に対して最終的にはEU内のファンネルガラスの1/2をリサイクルする計画を進めており、リサイクルのためのファンネルガラスの基準規格を提示した¹⁸⁾。リサイクルに伴う生産工程への波及、特に品質管理のためのプロセスの変化は必然であり、廃棄物回避と再資源化に伴う他の環境インパクトを併せた評価が課題である。

3. 3 回収システムの評価

製品の逆流通システム(Reverse Logistics)によるLoop Closingの戦略について、事例調査をもとにいくつかの代替案を抽出、整理した(表-2)。代表的な回収システムの候補として、自治体の回収によりストック・ヤードに搬入された製品廃棄物をメーカーごとの回収ボックスに区分して貯留しメーカーの工場への搬送を義務づける自治体との分担型、回収および分別などのプロセスをDSDのような特定共同機関に代行させ、要した費用を分担する第三者委託型、メーカーの販売拠点で店頭持ち込みを含めて最終ユーザーからの回収を自らおこない、それぞれのメーカーのロジスティクスを復路として利用する製造・販売業者引き取り型が挙げられる。これには厳格責任を押し進めたリース・保守契約型や販売店が中継する販売店回収型、第三者機関委託型の応用としての宅配利用型などの応用が含まれる。回収拠点確保の容易さと再資源化志向の異なる多様なメーカーの活動方針を尊重したリサイクル推進の点からは自治体との分担型が優れ、エコ・デザインの面や責任の厳密性や透明性の面では製造・販売業者引き取り型が優れている。第三者委託型では市場への新規参入や独占防止などの面で複数の特定共同機関の関与が望ましいが、他に比較して生産側への直接的なフィードバックが弱く廃棄物回避が二義的にならないための工夫が課題である。

4. 結論

本研究では、循環経済の概念構築、技術、政策、評価の側面からこれらが連動する産業のエコロジー化へ向けた潮流を整理し、次に循環経済と廃棄物回避へ向けた情報機器政策を中心とする製品政策の展開を回収システムの論点をふまえて示した。その上で、事例調査にもとづき、情報機器の製品政策の展開について①解体容易性など6つの指標ごとにエコ製品デザインの進展を整理して再資源化や生産性への効果を示し、②製造プロセスでの廃棄物回避の評価プロセスに関連づけてプラスチックとガラスの再資源化の取組みを延べ、③製品の逆

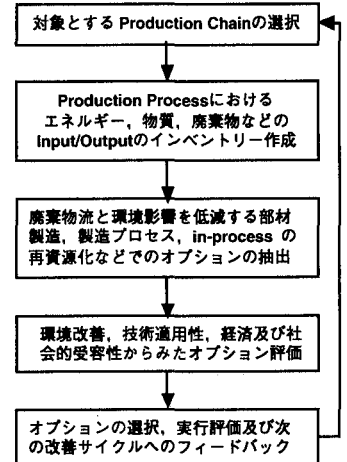


図-5 生産過程における環境負荷と廃棄物発生回避の評価プロセス

表-2 製品責任からみた回収システム代替案の比較

回収システムの 類型	Responsibility		
	Strict 製造・流通業者引き取り型	第三者委託型	Shared 自治体と製造・流通との分担型
概念図			
生産者責任から みた特徴	製造から再資源化に至る厳しい製造者責任の一貫としての回収責任	生産者責任を原則としつつも現実をふまえた実用的なアプローチ	製造物への責任を自治体（消費者）と製造流通（生産）とで分担
回収場所の確保	販売拠点、店頭などに引取品保管場所の確保が困難	ヤードをもった回収分別業者などに委託することにより運用可	自治体が確保するヤードを中継するた、運用は比較的しやすい
回収ロジスティクスと品質管理	製品納入の戻り便などのロジスティクス利用で安定運用	物流業者などへの委託を伴って安定した品質管理も可	費用的にみてカーブサイドが現実的だが品質管理が難しい
市場の透明性	純粋な生産市場への内部化で透明性高い	第三者機関下で新規参入難しいが複数競争では全体の安定性低下も	公共機関関与で透明性高い
エコデザインへの フィードバックと 産業エコロジー (Closed Loop) の形成	生産、流通を含め Product Chain 全体からのフィードバック、素材生産、製品製造（組立加工）、輸送を含めた幅広い循環型の産業システム形成の可能性	静脈側の主体分離によりフィードバックが困難。発生抑制を伴わないダウンリサイクルが容認されやすく、Closed Loop形骸化もありうる	自主努力によるので、製造業者間での格差広がることも実際の分、Strict型よりは緩慢な産業変革が予想される
業界、製造業者 の志向	Siemens Nixdorf, ドイツ IBM のエコ製品（他は Shared）	ドイツ SONY はラベル方式で DSD の役割	VDMA/CYCLE の提案

流通システムによるクローズド・ループの戦略について、生産者責任からみた回収システムの代替案を比較し、回収ヤード確保のし易さやテイクバックの品質管理など4つの評価軸から各代替案の特徴と循環形成上の課題を示した。

本研究は、科学技術振興事業団 戦略的基礎研究推進事業（CREST）「社会実験地での循環複合体のシステム構築と環境調和技術の開発」（研究代表：盛岡通）の助成を受けおこなわれたものである。

参考文献

- ¹⁾ Lester Brown et al. : State of the World 1996, W.W.Norton & Company, 1996-邦訳 浜中裕徳監訳；地球白書1996-97, ダイアモンド社, pp.1-393, 1996
- ²⁾ Eco-efficiencyの概念はBCSDのレポート"Changing Course"(1992)で初めて提示された。World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) and United Nations Environment Programme (UNEP) : Eco-efficiency and Cleaner Production, pp.1-18 (delivered by URL: <http://www.wbcsd.ch>) などによる。
- ³⁾ Fritjof Capra and Gunter pauli ed. : Steering Business Toward Sustainability, UNU Press, 1995-邦訳 赤池学監訳；ゼロエミッション, ダイアモンド社, pp.1-240, 1996
- ⁴⁾ T.E.Graedel & B.R.Allenby : Industrial Ecology, Prentice Hall, 1995-邦訳 後藤典弘訳；産業エコロジー, トッパン, pp.1-452, 1996
- ⁵⁾ Pier Vellinga et al. ed. : Industrial Transformation - An Inventory Research -, IHDP-IT no.8, pp.1-87, 1997
- ⁶⁾ 群篤孝：ポリューション・プリベンションと環境保全的な経済発展, 環境研究No.97, pp.81-91, 1995
- ⁷⁾ 小林光：米国における「汚染根絶」政策, 環境研究No.95, pp.92-98, 1995や前掲2)のURLなど
- ⁸⁾ 西岡秀三：オランダシステムで中国の環境問題を封じこめるか, 国環研地球環境センターニュース Vol.4 No.9, pp.2-5, 1993
- ⁹⁾ 環境庁：平成8年版環境白書（総説）, 大蔵省印刷局, pp.256-277, 1996など
- ¹⁰⁾ Frank Petersen : Abfallrecht -Textausgabe mit Einführung und Schlagwortverzeichnis, Nomos, 1996
- ¹¹⁾ 後藤典弘：ドイツの「循環経済・廃棄物法（1994年）」, 環境研究No.97, pp.73-80, 1995
- ¹²⁾ 田中勝・杉山涼子：リサイクル世界の先進都市から, リサイクル文化社, p.164-168, 1996
- ¹³⁾ (財)家電製品協会：「廃家電品一貫処理リサイクルシステム開発」欧州視察ミッション'95報告書, pp.9-14, 1996
- ¹⁴⁾ 盛岡・下田・吉田：ドイツにおける情報処理機器循環システム調査報告書, CREST「環境低負荷型の社会システム」研究領域, 循環複合体研究プロジェクト (CCP), pp.1-101, 1997
- ¹⁵⁾ Siemens Nixdorf : Environment and PCs : getting on well together, pp.1-12, 1996
- ¹⁶⁾ Sony Deutschland GmbH : Entwicklungsstufen einer Geräteserie (un published)
- ¹⁷⁾ Lucas Reijnders : Environmentally Improved Production Processes and Products : An Introduction, Environment & Management Vol.6, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, pp.1-98, 1996
- ¹⁸⁾ ZVEI : EU内のブラウン管。ブラウン管ガラス製造業者の環境活動, 1996