

家電製品のリサイクルへのLCAの適用

—冷蔵庫を例としたケーススタディ—

Application of LCA to the Home Electrical Appliances —A Case Study of the Refrigerator—

和田 安彦*

Yasuhiko Wada

1. はじめに

家電製品は耐久消費財の一つであるが、大量に生産、消費、廃棄されている製品である。特に高度経済成長期、バブル期を経て家電製品の保有率が急激に伸びた現在では、テレビ、エアコンを一世帯当たり複数個保有している世帯も珍しくない状況にあり、家電製品がその製造から処分に至るまで環境に与える影響は非常に大きい。そのため、家電製品の全ライフサイクルにおいて発生する環境負荷を定量的に分析・評価し、それに基づいて家電製品の環境影響面の問題点の解決を図ることは、人間活動に伴って発生する環境負荷を低減化するための大きなターゲットの一つである。

個々の製品がその全ライフサイクルにおいて環境に与える負荷を最小化するためにLCAを実施する場合、その直接的な目的として、

- ① ある一つの製品を評価対象とし、その全ライフサイクルで環境負荷の高いプロセスを特定し、そのプロセスにおける環境負荷低減化対策を具体化する。
- ② 同一機能を持ち、材料構成や製造方法の異なる複数の製品の環境負荷を比較することによって、その中で最も環境負荷の少ないものを選択する。

あるいは材料構成や製造方法の変更による環境負荷面での効果、問題点の洗い出しを行う。

等を設定することができる。

家電製品、自動車のような使用時にエネルギーを大量に使う耐久消費財の場合、①の目的でLCAを実施した場合、エネルギー消費に関連した項目では「使用」プロセスの全体に占める割合が8～9割と圧倒的に大きいことがこれまでの研究から知られている¹⁾²⁾。このため、このようなエネルギー消費製品の場合は、使

用時の環境負荷を低減化するための対策、すなわち、使用時の省エネルギー化が今後の環境負荷低減化のために最も重要なポイントであることがわかる。

②の目的でLCAを実施する例には、従来の特定フロンを使用した冷蔵庫と代替フロン冷蔵庫のライフサイクルにおける環境負荷を比較・評価するもの等がある。

現状のLCAでは実施主体が製造メーカーや業界団体であることが多く、LCAを行うために必要なデータを自社工場等での実績や国、業界の統計資料から得やすいため、全ライフサイクルのうち「製造」から「使用」に至るプロセスが詳細に分析・評価されることが多い。これに比べて、一旦不用となった後、廃棄されてから以降のプロセスについては、

- ・処理実態が明らかでない点が多い。
- ・処理業者の規模が小さいためにデータが蓄積されていることが少ない。

等の点から、廃棄（ここでは不用となって捨てた段階を指す）以降のプロセスについての詳細なデータ収集に基づいてLCAの分析・評価に取り入れられている事例は少ない。

しかし、廃棄以降の問題、すなわち、

- ・リサイクルのどのプロセスで環境負荷が最も高いかを特定し、そのプロセスでの環境負荷低減化のための問題解決を図る。
- ・リサイクルを行うことが実際に資源節約以外の面で環境負荷低減化効果があるのかどうかを定量的に把握する。

ことは、今後循環型社会を構築していくために非常に重要な課題である。

ここでは、冷蔵庫を対象にLCAの考え方を適用して廃棄以降のプロセスに焦点を当てて、分析・評価を行った事例を紹介する。

* 関西大学工学部土木工学科教授

〒564 大阪府吹田市山手町3-3-35

2. 家電製品のリサイクル状況²⁾

主な家電製品であるカラーテレビ、電気冷蔵庫、電気洗濯機、ルームエアコンの4品目の廃棄台数は表1の通りであり、平成4年では約1,453万台の廃家電製品が排出されたと推定されている。

表1 主要家電製品4品目の廃棄台数³⁾

	家電製品廃棄台数(推定)(万台)				
	昭和63年	平成元年	平成2年	平成3年	平成4年
カラーテレビ	495	501	509	521	538
電気冷蔵庫	332	336	339	342	345
電気洗濯機	358	360	362	366	370
ルームエアコン	171	179	185	192	201
4品目計	1,357	1,375	1,395	1,421	1,453

廃家電製品は図-1に示すように、約18%が自治体によって回収され、約82%が販売店によって回収されている。これらは、販売店からの持ち込みを含めて約34%が自治体で処理され、約66%が処理業者で処理されている。

また、シュレッダーダストは、その約93%が安定型処分場で埋立され、約8%が管理型で埋立処分されている。廃家電のうちリサイクルされているのは約20万t/年(廃家電総重量の約32%)であるが、そのほとんどはくず鉄である。原型・圧縮埋め立ては約25万t/年(同40%)、シュレッダーダストとして埋め立て処分されているのは約17万t/年(同28%)である。

くず鉄以外では一部のアルミが渦電流等の機械選別を経て有価金属として回収されている場合もある。

中古部品、中古製品については、鉄くず価格の低迷、シュレッダーダストの処分コストの上昇等を背景に海外(主として中国、東南アジア向け)に輸出しているケースもあるが、その実態は明らかでない。

モーター、コンプレッサー等の金属複合材の部品は、そのまま部品として回収されることが多い。これらの中から有価金属を回収するための技術(低温破砕によ

る破碎剥離や非鉄金属精錬所による回収等)を可能とするにはコスト高、社会システムの未整備等の問題があり、実現されていない。

また、下取りした廃家電製品を自治体のリサイクルセンター等を通して再利用を図る取り組みがはじめられているが現状ではまだまだ少ない。

3. 冷蔵庫リサイクルへのLCAの適用事例⁴⁾

これまで述べたように、廃家電製品材料のうち、リサイクルされているのは鉄と一部のアルミ(一部の銅が再資源化されていることもある)である。

わが国のようにリサイクルするための社会システムが十分に整備されておらず、再生処理技術も未成熟、また交通事情も悪い現状で、地球環境問題に対応しつつリサイクルを促進するためには、リサイクルによる環境負荷低減化効果の有無を明確にすること、及び今後リサイクルに伴う環境負荷を低減化していくための目標を具体化することが重要な課題である。

ここではLCAの考え方を適用してインベントリを行い、冷蔵庫を廃棄物として処理処分する場合と、リサイクルする場合の環境負荷を比較し、次のことを明らかにする。

- ① 冷蔵庫のリサイクルによる環境負荷低減化効果を定量化する。
- ② リサイクル工程での環境負荷の高いプロセスを特定する。

3.1 前提条件

(1) 評価対象製品

対象製品は400リットルクラス、4扉、トップフリーザー型冷凍冷蔵庫である。

このクラスの冷蔵庫の家電メーカー各社の材料構成の平均値をもとめ、これを再資源化が可能な材料と廃棄される材料に分けて表2に示す。なお、再資源化可能な材料でも中間処理(シュレッダーによる破碎)を受けたすべての材料が回収できるわけではなく、微細な破片となったものやプラスチック等と複合しているために回収できないロスがある。これについては、こ

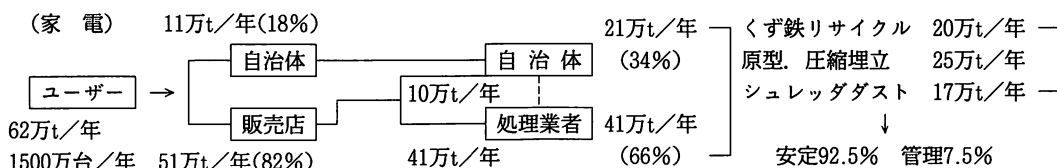


図-1 廃家電製品の処理フロー³⁾

表2 対象冷蔵庫(本体)の材料構成

材 料		材料別重量(kg)	回収率(%)	回収重量(kg)	廃棄重量(kg)
再資源化可能材料	鉄鋼	39.44	97.4	38.41	1.03
	銅	3.00	36.4	1.09	1.91
	アルミ	1.12	36.4	0.41	0.71
	小 計	43.56		39.91	3.65
廃棄材料	金属類	0.01	0.0	0.00	0.01
	熱可塑性樹脂	28.07	0.0	0.00	28.07
	熱硬化性樹脂	8.27	0.0	0.00	8.27
	冷媒(代替フロン)	0.17	0.0	0.00	0.17
	発泡剤(代替フロン)	0.74	0.0	0.00	0.74
	冷凍機油	0.29	0.0	0.00	0.29
	紙	0.06	0.0	0.00	0.06
	その他	2.86	0.0	0.00	2.86
小 計	40.47		0.00	40.47	
計		84.03		39.91	44.12

なお、再資源化可能材料のうち銅は海外で再資源化が実施されているとみられており、そのフローが不明確であるため、本試算では銅の再資源化による環境負荷は除外している。

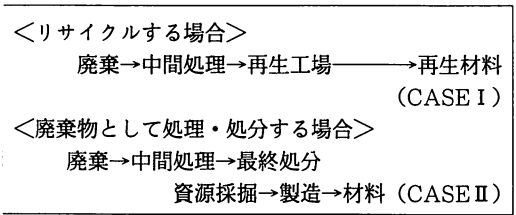


図-2 各CASEの評価範囲

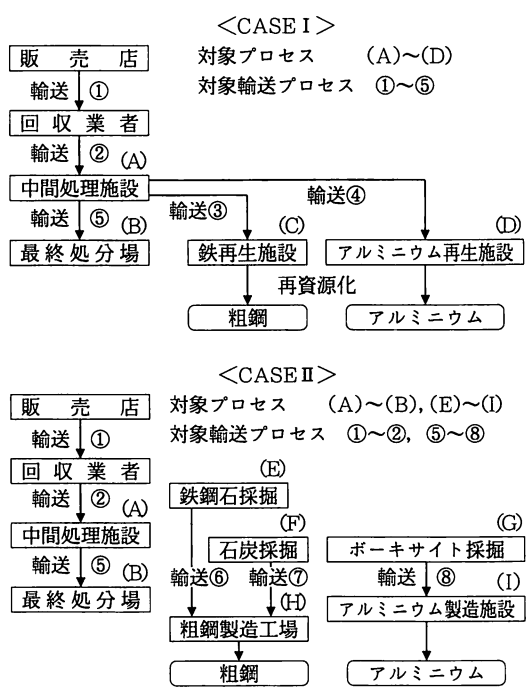


図-3 各CASEのフロー

ここでは破碎処理実験結果からもとめた回収率から、実際に回収できる重量とロス分(廃棄重量)をもとめた。

(2) リサイクル効果定量化の考え方

ここでは廃冷蔵庫1台を中間処理後リサイクルする場合(CASE I)と最終処分する場合(CASE II)の環境負荷を比較する。リサイクルする場合に再資源化する材料は鉄とアルミとする。

ここで、CASE I, CASE IIとも製品製造から廃棄(消費者が捨てる場所まで)の環境負荷は同等であるため、この間のプロセスの環境負荷の比較は省略し、販売店に回収されてから以降のプロセスを比較する。

なお、この場合、再資源化を二次材料の製造工程と考えると、廃棄物として処理処分された場合には同量の材料を得るためには新たな資源から製造しなければならない(再生材料と新たな資源からの材料は等価とし、質の差はないと考える)。このため、廃棄物として処理処分する場合には新たな資源からの製造プロセスを追加し、CASE IとCASE IIの評価範囲を図-2のように設定して環境負荷の差をもとめる。

CASE IとCASE IIのフローは図-3に示すとおりであり、中間処理(他の製品との混合破碎)に関する環境負荷原単位、各プロセス間の輸送距離及び輸送にかかわる原単位は、(財)家電製品協会が主体となって東京都内で行われている廃家電回収支援システムについて実態調査することによって得たデータを用いた。

また、最終処分に関するデータは、ある大都市における最終処分に関するデータをヒヤリング調査により

表3 環境負荷評価項目

材料資源消費量	原料炭, 鉄鋼石, ポーキサイト, 石灰石, 水 等
エネルギー資源消費量	電力, 軽油, 重油, 石炭 等
エネルギー消費量	
CO ₂ 排出量	
大気汚染物質排出量	SO _x , NO _x , SO ₂ , CO 等
水質汚濁物質排出量	BOD, COD, SS
固形廃棄物排出量	汚泥, ダスト 等

収集して用いた。

(3) 評価項目

評価項目は表3に示した各項目である。

3.2 評価結果

(1) リサイクル効果

CASE I, CASE IIの評価範囲の全フローにおける環境負荷, 及び「リサイクル効果」を定量化した結果は表4に示したとおりである。ここで「リサイクル効果」は(CASE I) - (CASE II)の結果であり, 7項目以外ですべて(-)となっている。これは, CASE I (廃棄物として処理処分+バージン資源からの製造)の方が相対的に環境負荷が高く, リサイクルした方が環境負荷が少ないことを示している。

また, エネルギー消費量, CO₂排出量の項目についてCASE I, CASE IIを相対的に比較した結果は図4-

表4 再資源化による環境負荷低減化の効果

	単位	CASE I	CASE II	リサイクル効果
原料炭	kg/台	1.9E+00	2.6E+01	-2.4E+01
粉鉱石	kg/台		4.6E+01	-4.6E+01
鉄鉱石	kg/台		9.4E+00	-9.4E+00
鉄くず	kg/台	3.8E+01	2.1E+00	3.6E+01
ポーキサイト	kg/台		1.7E+00	-1.7E+00
石灰石	kg/台		3.1E-02	-3.1E-02
苛性ソーダ	kg/台		1.5E-01	-1.5E-01
陽極カーボン	kg/台		1.5E-01	-1.5E-01
陽極ピッチ	kg/台		4.0E-02	-4.0E-02
フッ素アルミ	kg/台		6.5E-03	-6.5E-03
水晶石	kg/台		2.4E-02	-2.4E-02
水	kg/台		2.9E+00	-2.9E+00
エネルギー消費量	kcal/台	5.3E+04	1.8E+05	-1.3E+05
電力	kWh/台	1.8E+01	7.5E+00	1.1E+01
軽油	リットル/台	6.3E-01	9.6E-01	-3.3E-01
コークス	kg/台	7.3E-02		7.3E-02
コークス炉ガス	Nm ³ /台	2.6E-02		2.6E-02
蒸気	kg/台	9.9E-01		9.9E-01
A重油	リットル/台	2.7E-02	1.4E-01	-1.1E-01
C重油	リットル/台		4.0E-01	-4.0E-01
液化石油ガス	kg/kg	3.6E-03		3.6E-03
ガソリン	リットル/kg		2.2E-04	-2.2E-04
灯油	リットル/kg		4.0E-02	-4.0E-02
液化水素油	リットル/台		6.1E-02	-6.1E-02
液化水素ガス	kg/kg		3.6E-03	-3.6E-03
石油コークス	kg/kg		5.8E-02	-5.8E-02
石炭	kg/kg		2.1E-02	-2.1E-02
天然ガス	m ³ /台		7.2E-03	-7.2E-03
その他	kcal/台	1.6E+03		1.6E+03
FeCl ₂	kg/台	5.8E-03	1.1E-02	-5.2E-03
高分子	kg/台	1.2E-04	2.2E-04	-1.0E-04
メタノール(50%)	kg/台	3.8E-03	7.1E-03	-3.3E-03
活性炭	kg/台	7.1E-03	1.3E-02	-5.9E-03
CO ₂	kg-C/台	3.6E+00	1.6E+01	-1.3E+01
NO _x	kg/台	4.9E-03	5.8E-02	-5.3E-02
SO _x	kg/台	1.9E-03	9.7E-02	-9.5E-02
SO ₂	kg/台	1.1E-04	1.5E-04	-4.3E-05
N ₂ O	kg/台	5.3E-05	7.5E-05	-2.2E-05
CO	kg/台	5.3E-05	7.4E-05	-2.1E-05
C _x Hy	kg/台	3.5E-05	4.9E-05	-1.4E-05
Particle	kg/台	1.7E-06	2.4E-06	-7.4E-07
BOD	kg/台	1.2E-03	2.3E-03	-1.1E-03
COD	kg/台	3.0E-03	5.7E-03	-2.7E-03
SS	kg/台	2.7E-03	5.0E-03	-2.3E-03
集塵ダスト	kg/台	7.7E-05	7.7E-05	
ダスト	kg/台	4.4E+01	8.4E+01	-4.0E+01
汚泥	kg/台	7.1E-02	1.3E-01	-5.9E-02

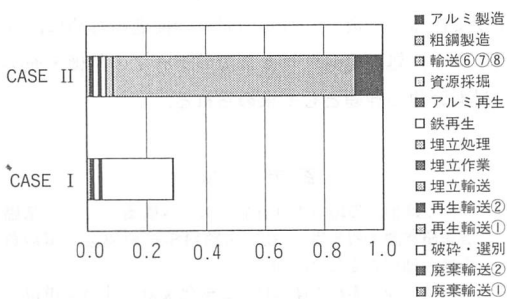


図-4 エネルギー消費相対比較

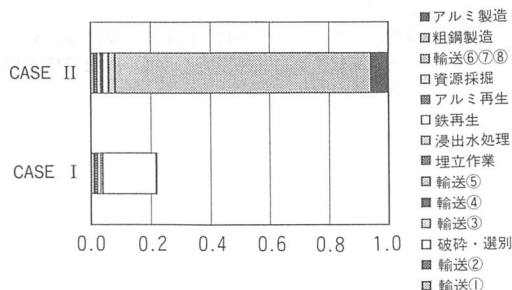


図-5 CO₂排出相対比較

5のとおりである。これによると, エネルギー消費量ではCASE IはCASE IIの約1/3程度であり, CO₂排出量では1/5程度である。

(2) リサイクルする場合の環境負荷の高いプロセス

エネルギー消費量, CO₂排出量の項目についてCASE I (リサイクルする場合)の工程別環境負荷の割合を示したものが図-6, 7である。これによると, エネルギー消費量, CO₂排出量とも, 約8割が鉄再生

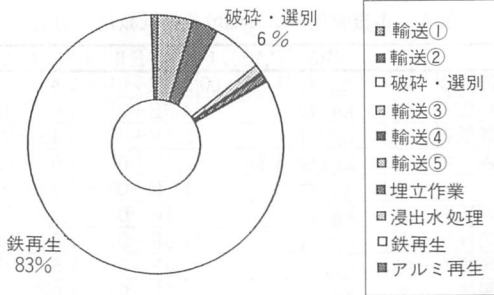


図-6 リサイクルする場合の工程別エネルギー消費量

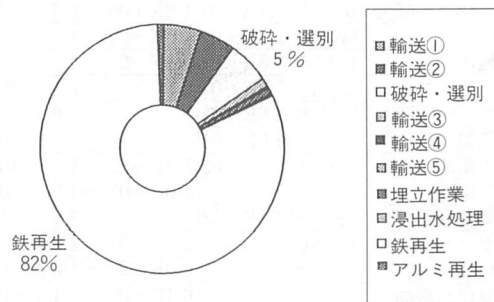


図-7 リサイクルする場合の工程別CO₂排出量

工程で占められており、破碎・選別工程は5～6%にすぎない。

(3) 考察

本ケーススタディでは、リサイクルした方が、廃棄物として処理処分（リサイクルで得られるのと同量の材料を新たな資源から製造するプロセスを含む）するより環境負荷がほとんどの項目で少ないという結果が得られた。

同時に、リサイクルする場合に最も環境負荷の高いプロセスは「鉄再生工程」であり、今後リサイクルを促進しながら環境負荷を低減化していくためには、このプロセスの環境負荷低減化が求められることを明らかにすることができた。

4. おわりに

冷蔵庫を対象に廃棄以降のプロセスに焦点を当ててLCAの考え方を適用した事例を紹介した。今後様々な家電製品を対象としたこのようなケーススタディを積み上げることによって、次のような課題に取り組む必要がある。

- ① リサイクルの環境負荷の高いプロセスを様々な家電製品について明らかにし、家電製品リサイクルについての環境負荷低減化のための目標を明確にする。
- ② 特定された環境負荷の高いプロセスにおける環境負荷低減化技術を開発する。
- ③ 環境負荷の少ないリサイクルを行うために、製品及び材料設計に求められる要素を明らかにする。
- ④ 環境負荷低減化のための各プロセスごとの対策を組み合わせた全ライフサイクルにおける環境負荷を定量化、比較検討し、最も環境負荷低減化効果の大きいリサイクルシステムを選択する。

この事例のようにLCAの考え方を適用することによってリサイクルを「環境に与える影響」という切り口で分析・評価することができる。環境負荷の少ない循環型社会の構築に向けて、このような考え方、事例研究はリサイクル技術の開発目標の明確化、社会システムの改善、環境調和型製品の開発等のために非常に重要である。今後、これらの研究の促進のために、リサイクル、処理処分プロセスでのデータの整備・充実が最も緊急の課題として求められる。

参考文献

- 1) 和田安彦他, 環境負担性評価システム構築のための基礎調査研究調査報告書, (社)未踏科学技術協会・環境負担性評価調査委員会, 1995.
- 2) 森口祐一他, 素材生産に伴う二酸化炭素の排出原単位と自動車生産過程への適用, 第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス論文集, 1992.
- 3) 家電リサイクルプラントの基礎調査報告書, (財)家電製品協会, 1995.
- 4) 和田安彦他, エネルギー使用合理化手法国際調査, 新エネルギー・産業技術総合開発機構・(社)産業環境管理協会, 1995.