

■ 研究論文 ■

環境適合設計のためのパソコンの ライフサイクルアセスメント

Life Cycle Assessment of Personal Computers for the Purpose of Design for Environment

宮本重幸*・天川雅文**・稲葉敦***

Shigeuki Miyamoto Masafumi Tekawa Atsushi Inaba

(原稿受付1996年2月26日, 原稿受理8月8日)

Abstract

A life-cycle assessment (LCA) case study for a desktop and a notebook personal computer was carried out in order to determine how to make environmentally conscious products. The amount of carbon dioxide emitted in the individual stages of the product life cycle and in the individual component production processes in the manufacturing stage was calculated by life-cycle inventory analysis. The largest amount of carbon dioxide among the life-cycle stages is emitted in the use stage for both products. In the manufacturing stage, the emission of the main board and the display production is larger than that of the production for the other components. Three essential points were found for making an environmentally conscious personal computer: designing the products with low electricity consumption, adopting a liquid crystal display (LCD), and designing main boards to reduce the electricity consumption of the mounting process for the electronic components on the printed wiring boards.

1. 緒言

環境問題, 特に地球環境問題への対応として, これまでの製品開発の主要な目的であったコストパフォーマンスの向上に加えて, 持続可能な社会の実現のために環境負荷の低減も考慮した, 環境適合型製品の開発が求められ始めている。環境適合型製品の開発のためには, 様々な環境負荷要因を多面的に評価する必要があるが, 最近, 製品の生産から使用, 処分に至るライフサイクル全体の環境負荷を定量的に評価する手法である, ライフサイクルアセスメント (LCA) が注目されている。LCAは, 環境負荷に関する複数製品間の比較, 製品改良の評価, 環境基準達成の可否, 問題点の抽出などの目的に利用できるため, 環境適合製品の開発のための有効な評価ツールになると期待されている。

これまで, 様々な製品についてのLCAケーススタ

ディの研究がおこなわれているが, その多くは構成材料の比較的単純な容器・包装材を対象としている。一方, 非常に多くの部品材料から構成されている製品については, 冷蔵庫^{1, 2)}やパソコン^{3, 4)}に関する報告があるが, その報告例はまだ少ない。

本論文では, 環境適合型製品の設計のための指針を明らかにすることを目的として, CRTディスプレイを含むデスクトップパソコンと, 液晶ディスプレイ (LCD) を備えたノートパソコンのLCAケーススタディを実施し, ライフサイクルの各段階別や製品のユニット別の二酸化炭素排出量を比較した結果について述べる。

2. 分析手順

2.1 対象製品とデータ作成条件

分析対象製品は, デスクトップパソコン本体とCRTディスプレイのセットと, LCDを備えたノートパソコンとした。分析対象機種仕様を表1に示す。これらの製品は, 同じ中央処理ユニット (CPU) を持ち, 演算能力において同等なものを選択した。また, 製品の梱包材, および取扱説明書などの添付物も分析の対象として含めた。

* 日本電気㈱資源環境技術研究所資源環境システム研究部主任

** " " " 資源環境システム研究部

〒261 川崎市宮前区宮崎 4-1-1

*** 資源環境技術総合研究所 エネルギー資源部

燃料物性研究室室長

〒305 つくば市小野川16-3

表1 分析対象のデスクトップパソコンとノートパソコンの仕様

項目	デスクトップ パソコン本体	CRT ディスプレイ	ノート パソコン
本体重量 (kg)	7.7	15.5	3.6
梱包重量 (kg)	9.7	18.0	5.2
中央演算処理装置	i486SX	—	i486SX
通常時消費電力 (W)	30	85	16
最大時消費電力 (W)	120	—	53

今回のLCAケーススタディは、分析対象製品の製造・流通・使用・処分の全工程、および製品を構成する部品・材料の製造工程を対象とし、これらの各工程についてデータ作成をおこなった。製品および部品の製造や、製品の流通・使用・処分は、すべて日本国内で実施されるとした。また、日本国内での製品生産の場合、製品を構成する材料の多くは海外で生産されると考えられる。理想的には、海外で行われる原材料採掘工程および材料製造工程を考慮すべきであるが、これらの工程を追跡し調査することは困難であるので、これらは今回は文献⁵⁾と同様に考慮しなかった。

輸送については、材料の海外から日本への輸入に伴う燃料消費と、製品の流通・処分の際の輸送に伴う燃料消費を考慮した。日本国内の材料・部品の輸送に伴う燃料消費は考慮しなかった。また、輸入に必要な燃料の生産については、生産国によってその工程が異なるので考慮しなかった。

ある工程が複数の生産物を生産する場合、その工程で発生する環境負荷の各生産物への割り当て（アロケーション）が必要である。このような場合は、次のいずれかの方法で処理した。

(1) 主生産物以外の副生産物が、数量や価値の点で主生産物の生産に付随するものであり、かつ副生産物の生産が無視できるほど小さい場合は、この工程で発生する環境負荷はすべて主生産物に割り当てた。具体的には、副生産物の重量が主生産物の重量の100分の1以下にこの方法を適用した。

(2) 主生産物以外の副生産物が、主生産物の生産に付随するものであるが、副生産物の生産が無視できず、かつその副生産物を単独で新規に生産する手段がある場合は、主生産物の生産に伴う環境負荷は、この工程で発生する環境負荷から、副生産物を新規に生産した場合に発生する環境負荷を減じたものとした。

(3) ある生産物以外の生産物を単独で新規に生産する手段がない場合、すなわち複数の生産物のうち主

生産物を決めることができない場合は、各生産物の重量によって環境負荷を配分した。

2.2 材料構成分析

分析対象製品の材料製造工程のデータ作成のために、製品を構成する部品・材料の量を分析する材料構成分析を実行した。分析は、実際の製品を解体することによって実行した。まず、製品を各部品に解体し、各部品の材料を決定するとともに重量を測定した。得られた部品が解体可能でありかつ単一材料と見なせない場合は、更に解体、重量測定を繰り返した。部品の材料は、その部品の製造工程の調査や、その部品に記載されている材料表示によって求め、それ以外は推定した。実際の製造段階で投入される部品・材料の量は、材料構成分析で求められる量よりも多く、残りは製造段階で処分されるが、今回これらについては無視した。

また、今回のLCAケーススタディでは、電子部品製造工程の環境負荷を考慮するため、部品実装基板について詳細に分析した。プリント配線基板（PWB）は面積を測定し、基板に実装されている半導体素子（IC、トランジスタ、ダイオードなど）、受動部品（抵抗、コンデンサ、コイルなど）、コネクタ、LCD、ブラウン管はそれらが使用されている個数を求めた。また電線は、これに含まれている銅線の重量を測定した。

2.3 データ作成とインベントリ分析

分析対象製品のライフサイクルの各工程について、原料及びユーティリティの種類とその使用量、大気汚染物質、水質汚濁物質及び固体廃棄物の種類とその排出量を、主として文献により調査した。製品や部品の組立てなどの、文献により入手できないデータは、生産ラインの現地調査及び聞き取り調査によって得た。

作成したデータを用いて、積み上げ法によりインベントリ分析を実行した。インベントリ分析の計算には、著者らが開発したLCAソフトウェアECOView³⁾を用いた。ECOViewは、製品のライフサイクルの各工程を入力し、各工程における生産物量と環境負荷を入力することにより、積み上げ法によるインベントリ計算を実行するソフトウェアである。このソフトウェアは、製品のライフサイクルを、ルートプロセスから上流側に伸びる製造側ツリーと、同じルートプロセスから下流側に伸びる処分側ツリーによって表現するため、複雑なライフサイクルをわかりやすく記述できる特徴を持つ。

3. データの作成

デスクトップパソコン本体、CRTディスプレイ及びノートパソコンの材料構成と電子部品構成を、それぞれ表2、3に示す。これらの結果をもとに、製造工

表2 デスクトップパソコンとノートパソコンの材料構成

材 料	重量 (kg)			
	デスクトップ パソコン本体	CRT ディスプレイ	デスクトップ パソコン合計	ノート パソコン
ABS樹脂	0.12	0.00	0.12	1.01
PBT	0.06	0.00	0.06	0.00
PET	0.03	0.00	0.03	0.01
PVC	0.24	0.37	0.60	0.13
SBR	0.03	0.04	0.06	0.02
アクリル樹脂	0.00	0.00	0.00	0.17
アルミニウム	0.13	0.24	0.36	0.15
エポキシ樹脂	0.16	0.14	0.30	0.15
カドミウム	0.00	0.00	0.00	0.07
ガラス	0.17	7.41	7.58	0.34
スズ	0.02	0.02	0.04	0.02
スチール	5.35	2.61	7.96	0.63
ステンレス	0.00	0.22	0.22	0.04
ダンボール	1.40	2.15	3.54	1.04
ニッケル	0.01	0.01	0.02	0.16
フェライト	0.03	0.48	0.51	0.07
ポリオキシメチレン	0.00	0.00	0.00	0.07
ポリカーボネート	0.36	0.18	0.54	0.08
ポリスチレン	0.66	2.94	3.60	0.00
ポリプロピレン	0.00	0.00	0.00	0.03
鉛	0.01	0.01	0.02	0.01
紙	0.50	0.10	0.59	0.54
銅	0.37	0.70	1.07	0.41
合計	9.26	16.90	26.16	4.73

表3 デスクトップパソコンとノートパソコンの電子部品構成

部 品	単 位	数 量			
		デスクトップ パソコン本体	CRT ディスプレイ	デスクトップ パソコン合計	ノート パソコン
PWB	m ²	0.14	0.12	0.26	0.12
半導体素子	個	65	93	158	101
受動素子	個	515	760	1275	623
コネクタ	個	23	17	40	49
LCD	個	0	0	0	1
ブラウン管	個	0	1	1	0
電線	kg	0.14	0.31	0.45	0.07

表4 製品・部品組立段階及び筐体部品製造段階の各工程における電気使用量

工 程	電気使用量 (kWh)			
	デスクトップ パソコン本体	CRT ディスプレイ	デスクトップ パソコン合計	ノート パソコン
製品組立	0.0	—	0.0	0.0
主基板実装	116.0	—	116.0	176.0
FDD組立	0.4	—	0.4	0.4
ディスプレイ組立	—	0.8	0.8	0.7
筐体部品製造	4.8	7.4	12.2	3.5
合計	116.4	0.8	117.3	177.1

程のデータを作成した。

3.1 製品・部品組立段階

CRTディスプレイを含むデスクトップパソコンと、LCDを備えたノートパソコンを組み立てる段階や、これらの製品を構成する、主基板を実装する段階やフロッピーディスクドライブ (FDD)、CRTディスプレイ、LCDを組み立てる段階のデータは、生産ラインの調査によって求めた。表4に、製品及び部品組立段階の電気使用量を示す。なお、今回の分析対象製品にはハードディスクドライブは含まれていない。また、電源部の組立段階のデータは収集しなかった。

3.2 部品製造段階

筐体部品の製造段階は、材料であるプラスチックや金属を成形・加工する工程であるが、これらのデータは、製品・部品組立段階と同様に生産ラインの調査によって求めた。なお、筐体のめっきや塗装のデータは含まれていない。表4に筐体部品製造段階の電気使用量を付記した。

電子部品の製造段階のデータは、電子部品をPWB、半導体素子、受動部品、コネクタ、LCD、ブラウン管、電線に分類し、これらの各々について、文献^{6、7)}をもとに作成した。表5に、電子部品製造段階の各工程における二酸化炭素排出原単位を示した。

表5 電子部品製造段階の各工程における二酸化炭素排出原単位

部 品	単 位	二酸化炭素排出原単位	文献
PWB	kg-CO ₂ /m ²	0.020	6, 7
半導体素子	kg-CO ₂ /個	0.054	6, 7
受動部品	kg-CO ₂ /個	0.0030	6, 7
コネクタ	kg-CO ₂ /個	0.000014	6, 7
LCD	kg-CO ₂ /個	1.43	6, 7
ブラウン管	kg-CO ₂ /個	18.8	6, 7
電線	kg-CO ₂ /kg	2.39	7

3.3 材料製造段階

製品を構成する材料の製造工程のデータは、主に文献から求めた。スチレンブタジエンゴム (SBR) は文献⁸⁾、ポリブチレンテレフタレート (PBT)、アクリル樹脂、ポリオキシメチレン、ポリカーボネートは文献⁹⁾、カドミウム、鉛は文献¹⁰⁾、スズ、紙は文献¹¹⁾を参考にした。また、エポキシ樹脂については独自に調査した。その他の材料やこれらの材料を生産するのに必要な原料の製造工程のデータは、文献⁵⁾を利用した。表6に、材料製造段階の二酸化炭素排出原単位を示す。なお、電源部のトランスの芯などの構成材料であるフェライトの製造工程については、データが得ら

表6 材料製造段階の二酸化炭素排出原単位

材 料	二酸化炭素排出原単位 (kg-CO ₂ /kg)	文献
ABS樹脂	2.54	5
PBT	3.18	9
PET	2.78	5
PVC	1.48	5
SBR	4.15	8
アクリル樹脂	1.99	9
アルミニウム	2.02	5
エポキシ樹脂	3.41	—
カドミウム	1.92	10
ガラス	1.93	5
スズ	4.85	11
スチール	1.29	5
ステンレス	3.27	5
ダンボール	0.65	5
ニッケル	2.96	5
ポリオキシメチレン	0.41	9
ポリカーボネート	5.87	9
ポリスチレン	1.58	5
ポリプロピレン	0.83	5
鉛	1.87	10
紙	1.45	11
銅	1.26	5

表7 軽油燃焼, 電気使用, シュレツダ工程における二酸化炭素排出原単位

工 程	単 位	二酸化炭素排出原単位	文献
軽油燃焼	kg-CO ₂ /l	3.28	5
電気製造	kg-CO ₂ /kWh	0.42	5
シュレツダ	kg-CO ₂ /kg	0.0040	5

れなかったので今回は無視した。また、製品・部品組立、筐体部品製造、流通、使用、処分の段階の各工程における軽油燃焼、電気使用、シュレツダ工程における二酸化炭素排出原単位を表7に示す。

3.4 流通段階

流通段階の環境負荷は、梱包された製品を販売店に輸送する際に消費する燃料の量から求めた。流通段階の輸送は様々な輸送経路が考えられ、実態を把握することが困難であるので、梱包されたデスクトップパソコン9.7kg、CRTディスプレイ18.0kg、ノートパソコン5.2kgを、積載率60%、燃費3.5km/lの10tトラックで、東京-大阪間往復に相当する輸送距離1000kmを輸送すると仮定し、この時に消費される軽油量からデータを作成した。

3.5 使用段階

パソコンの使用段階の環境負荷は、電気の使用に伴うと考えられるので、製品の消費電力と総使用時間から、使用段階の総電気使用量を算出した。製品の消費電力はデスクトップパソコン本体が通常時30W、最大

時120W、CRTディスプレイが85W、ノートパソコンが通常時16W、最大時53Wであった。デスクトップパソコン本体とノートパソコンについては、通常時と最大時の平均値を用い、CRTディスプレイについてはこの値をそのまま用いた。製品の総使用時間は、文献¹²⁾に記載された条件を用いた。全体の40%を占める個人ユーザーは、1日の平均使用時間2時間、1年365日、平均使用年数7年とし、一方60%の法人ユーザーは、1日の平均使用時間8時間、1年247日、平均使用年数5年と仮定した。これらの消費電力と総使用時間の積から総電気を算出した。

3.6 処分段階

処分段階の実態は把握が非常に困難であるので、処理業者への聞き取り調査及び文献¹²⁾を参考にして3つのケースを仮定した。

ケース1は、個人ユーザーからの廃棄である。全体の40%に当たる個人ユーザー所有の製品は、一般廃棄物として自治体により収集、20km輸送され、その後粉碎処理され、更に10km輸送されて最終処分場で埋め立てられる。ケース2は、法人ユーザーからの廃製品のうち再利用される場合であり、全体の6%を占める。ここでは、製品は回収業者により回収、50km輸送された後再利用される。残り54%のケース3は法人ユーザーからの廃棄である。ここでは、製品は中古業者により収集、50km輸送されて処理業者に渡り、処理業者により50km輸送された後産業廃棄物として粉碎処理される。更に、100km輸送されて最終処分場で埋め立てられる。

各ケースでの輸送は積載率60%、燃費8.0km/lの2tトラックで輸送されるとした。また、粉碎処理に伴う電気使用量は、シュレツダが1kgの廃棄物を処理するのに0.01kWhの電気を消費するとして計算した。これらの結果から、輸送に伴う軽油量及び粉碎処理に伴う電気使用量からデータを算出した。

表8に、流通、使用、処分段階の各工程における軽油及び電気使用量をまとめた。

表8 流通、使用、処分段階の各工程における軽油及び電気使用量

工 程	単 位	数 量			
		デスクトップ パソコン本体	CRT ディスプレイ	デスクトップ パソコン合計	ノート パソコン
流通段階の軽油消費量	l	0.467	0.859	1.326	0.248
使用段階の電気使用量	kWh	598	339	937	275
処分段階の軽油消費量	l	0.126	0.231	0.357	0.067
処分段階の電気使用量	kWh	0.092	0.170	0.262	0.49

4. 結果及び考察

CRTディスプレイを含むデスクトップパソコンと、LCDを備えたノートパソコンについて、製造、流通、使用、処分のライフサイクルの各段階における二酸化炭素排出量を図にしたものを図-1に示す。デスクトップパソコン、ノートパソコンとも、使用段階の電気使用に伴う二酸化炭素排出量が最大であった。また、デスクトップパソコンとノートパソコンの使用段階の排出量を比較すると、消費電力の小さいノートパソコンの使用段階の排出量は大幅に小さく、製造段階のそれとほぼ等しかった。二酸化炭素排出量という点では、ノートパソコンのような低消費電力型の製品が環境適合性が高いといえる。

次に、製造段階の二酸化炭素排出量について分析した。図-2に、デスクトップパソコンとノートパソコンの製造段階における、ユニット別二酸化炭素排出量を示す。この図より、主基板とディスプレイの製造に伴う排出量が、他のユニットの製造に伴う排出量よりも大きい。つまり、環境適合製品を設計するためには、主基板とディスプレイについて注目する必要がある。

ディスプレイ製造についてデスクトップパソコンとノートパソコンを比較すると、前者が後者の12倍大きい。これは、デスクトップパソコンのCRTディスプレイがノートパソコンに採用されているLCDよりも構成材料量や部品数が多いためである。更に、本ケーススタディでのCRTディスプレイとLCDの消費電力はそれぞれ85,9Wであり、LCDの採用は、前述した低消費電力型製品の設計という点からも有利である。LCDとCRTディスプレイは、画面解像度や描画速度などの点で提供する機能が異なり、単純には比較できないが、二酸化炭素排出量という点では、LCDがCRTディスプレイよりも優れていることが示された。

製造段階における各ユニットの中で、最も二酸化炭素排出量が多い主基板製造については、ディスプレイとは反対にノートパソコンがデスクトップパソコンよりも大きかった。図-3は、デスクトップパソコンとノートパソコンの二酸化炭素排出量を、主基板製造を材料製造段階、部品製造段階、部品実装段階に分類して示した図である。材料製造段階と部品製造段階における、デスクトップパソコンとノートパソコンの排出量はほぼ等しい。一方、部品実装段階においては、ノートパソコンはデスクトップパソコンの1.5倍の排出量を示した。これは、ノートパソコンは基板の小型化の

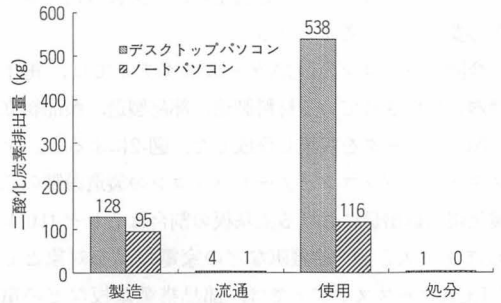


図-1 デスクトップパソコンとノートパソコンのライフサイクル各段階の二酸化炭素排出量

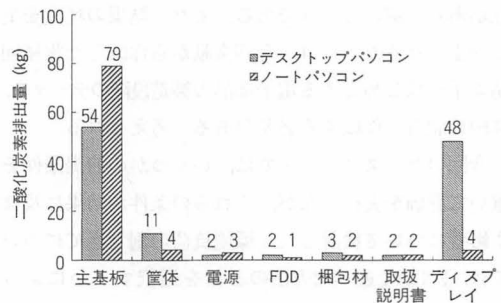


図-2 デスクトップパソコンとノートパソコンの製造段階のユニット別二酸化炭素排出量

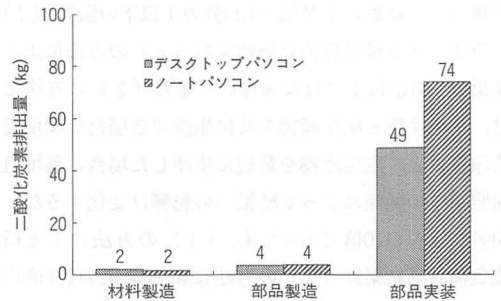


図-3 デスクトップパソコンとノートパソコンの主基板製造の各段階における二酸化炭素排出量

ため、複数枚の基板を使用したり高密度の実装を行っており、このことがノートパソコンの部品実装段階における電気使用量を大きくしているためと考えられる。

以上の結果より、二酸化炭素排出量の少ないパソコンを設計するためには、(1) 低消費電力型の製品を設計すること、(2) ディスプレイにLCDを採用すること、(3) 主基板の部品実装段階の電気使用量を削減するように主基板を設計すること、が必要であることが明らかになった。これらの指針のうち(1)、(2)は、ノートパソコンによって実現されているが、(3)

については、今後の環境適合型の部品実装技術の確立が必要であると考えられる。

今回のパソコンのLCAケーススタディでは、電子機器に使用されている材料製造、部品製造、製品組立に関するデータを収集し作成した。図-2によると、デスクトップパソコンとノートパソコンの製造段階の二酸化炭素排出量における主基板の割合はそれぞれ0.4、0.8であり大きい。冷蔵庫などの家電製品を対象としたLCAケーススタディでは、部品搭載基板などの電気部品を無視しているものが大多数であるが、パソコンなどの電子機器製品のLCAケーススタディでこれらを無視することは、環境負荷を過小に見積もる可能性があり、避けるべきである。また、結果の精度を更に向上させるためには、今回文献から作成した集積回路素子をはじめとする電子部品の製造段階のデータを、詳細に調査し作成する必要があると考えられる。

今回のケーススタディでは、いくつかの前提条件を置いて評価を実行したが、これらの条件が結果に及ぼす影響について検討した。環境負荷の割り当てについては、2.1節で述べた方法のどれを選択するかによって結果に影響を及ぼす可能性がある。特に(1)の方法は、(2)や(3)の方法と比較して、環境負荷を過大に評価する可能性がある。しかし、副産物の生産量が主産物の生産量の100分の1以下の場合、(1)の方法による環境負荷評価結果は(3)の方法による結果の1.01倍以上にはならない。また(2)の方法では、主産物と副産物を共に生産する場合の環境負荷原単位と、副産物を新規に生産した場合の環境負荷原単位の関係によって結果への影響は変化するが、前者が後者の10倍であっても、(1)の方法による環境負荷評価結果は(2)の方法による結果の1.1倍以上にはならない。つまり、副産物の生産量が主産物の生産量の100分の1以下の場合に(1)の方法を選択することは、得られる結果に重大な影響を及ぼさないと考えられる。

また、輸送段階については、積載率60%、燃費3.5 km/1の10tトラックで、東京-大阪間往復に相当する輸送距離1000kmを輸送するという条件を仮定した。輸送段階の二酸化炭素排出量は、これら輸送条件により変化するが、デスクトップパソコンとノートパソコンの、輸送段階の二酸化炭素排出量は、ライフサイクル全体の二酸化炭素排出量のそれぞれ0.5%、0.3%であり、全体への寄与は無視できるほど小さい。すなわち、輸送条件の仮定は、ライフサイクル全体の二酸化

炭素排出量に大きな影響を及ぼさないことが明らかになった。但し、製品の海外からの輸送など、輸送に伴う二酸化炭素排出量が大幅に増加しライフサイクル全体への寄与が無視できなくなった場合は、輸送条件の仮定がライフサイクル全体の二酸化炭素排出量に影響を及ぼす可能性がある。

5. 結論

本論文では、環境適合型製品の開発のための指針を得るために、パソコンのデスクトップパソコンとノートパソコンのLCAケーススタディを実施し、ライフサイクルの各段階別や製品のユニット別の二酸化炭素排出量を比較した。その結果、製品のライフサイクルにおける二酸化炭素排出量の削減という観点でパソコンの環境適合型設計を実行するためには、低消費電力型の製品を設計すること、ディスプレイにLCDを採用すること、主基板の部品実装段階の電気使用量を削減するように主基板を設計することが必要であることが明らかになった。

引用文献

- 1) エネルギー使用合理化手法国際調査小委員会；冷蔵庫のライフサイクルインベントリー，環境管理，Vol. 31，No. 7 (1996)，755～761.
- 2) 稲葉敦；家電製品のライフサイクルアセスメントの実施とその問題点，環境管理，Vol. 32，No. 9 (1996)，1096～1108.
- 3) 宮本重幸，藤本淳，稲葉敦；パソコンを対象としたライフサイクルアセスメントケーススタディ，日本機械学会第5回環境工学シンポジウム'95講演論文集，No.95-23 (1995)，167～169.
- 4) 天川雅文，宮本重幸，稲葉敦；パソコンとディスプレイのLCAケーススタディ，第2回エコバランス国際会議論文集 (1996)，543-546.
- 5) エネルギー使用合理化手法国際調査小委員会；ライフサイクルアセスメントにおける基礎素材の製造データ，環境管理，Vol. 31，No. 6 (1995)，616～628.
- 6) 電子部品産業環境ビジョン報告書 (1995)，日本電子機械工業振興協会.
- 7) 通商産業大臣官房調査統計部編；平成6年機械統計年報 (1995)，通産統計協会.
- 8) '94日米化学品の価格とコスト (1994)，シーエムシー.
- 9) 基礎素材のエネルギー解析調査報告書 (1993)，(社)化学経済研究所.
- 10) 通商産業大臣官房調査統計部編；平成6年資源統計年報 (1995)，通産統計協会.
- 11) Pira Environmental Management System, Pira International.
- 12) 社会・環境システムに関する調査研究報告書 (1995)，日本電子機械工業振興協会.