

社会トレンドに着目した環境負荷将来予測

Lifecycle Inventory Analysis of Environmental Pollutant Load Focussing on the Transition of Social Systems

城戸由能*

細井由彦*

○山根絹代**

KIDO Yoshinobu, HOSOI Yoshihiko* and YAMANE Kinuyo***

ABSTRACT : Life Cycle Assessment (LCA) is expected to become powerful techniques for total estimation of environmental impact from products and services. Establishment of database about unit load factor of some environmental pollutants and standardization of scheme of evaluation of Lifecycle Inventory Analysis (LCI) are required for more accurate evaluation. In this study, lifecycle pollutant loads of more than 30 household products and services were evaluated by some surveys and reviews of references about LCA/LCI. And some transitions of social systems are estimated to bring more or less environmental impact. The future scenario was prepared in order to forecast the environmental pollutant load brought by the transition of social systems. And statistical data was used for design of trends of some household appliances and services. Preliminary estimation of 4 trial cases shows that increasing of environmental pollutant was beyond result from macro analysis of transition of social systems. And expected effects of decreasing of environmental pollutant load by transition of social systems were estimated relatively small.

KEYWORDS : Lifecycle Assessment, Lifecycle Inventory Analysis, Transition of Social System

1. 研究の背景と目的

現在の我々のライフスタイルは物質的な豊かさや快適性を追い求め、大量消費と大量廃棄によって成り立っており、これらに起因する資源・エネルギーの消費、各種の環境負荷の発生と長年にわたるそれらの蓄積が、温暖化現象・オゾン層破壊などの地球環境問題や水質汚濁・大気汚染・廃棄物問題などの地域環境問題を引き起こしている。近年このような環境負荷の総体的な算定評価手法としてライフサイクルアセスメント(LCA)に関する研究が国内外で広く進められている¹⁾²⁾。また、人々のライフスタイルを環境に配慮した行動様式へ変更するためのさまざまな取り組みもこれまでに多くおこなわれてきた³⁾⁴⁾⁵⁾。しかしながら、環境に配慮した生産や消費生活の様式が定着し、将来的に環境負荷が低減する道筋は見通せていないのが現状である。

一方、我々を取りまく社会環境は大きく変化し、人々のライフスタイルはこの社会構造の変遷(社会トレンド)に沿って21世紀に向けて大きく変貌しようとしている。そして、これらのライフスタイルの変化に付随して購入・消費される製品やサービスの数・種類、使用形態が当然変化し、排出される環境負荷も大きく増減することが予想される。従来このような現象は、経済成長のようなマクロな指標に集約して評価されてきたが、個々の製品やサービスの性能や仕様が変化することも考慮すれば、社会トレンドは大きな環境負荷の増加要因となりうる。そこで、本研究ではいくつかの社会トレンドを対象としてとりあげ、社会トレンドに伴い増減する環境負荷を、消費される代表的な製品やサービスの変化に基づいて算定評価する。評価指標としての7つの環境負荷をとりあげ、各製品・サービスについて基本的な算定を実施し、環境負荷の増減の特色の分析と考察をくわえるとともに、将来的な製品・サービス需要の伸びと機器の性能向上を考慮した上で、有限の製品・サービスに基づく評価ではあるが、将来的な環境負荷の増減を予測し、既存予測値との比較評価をおこなった。

* 鳥取大学工学部社会開発システム工学科, Dept. of Social Systems Eng., Tottori University

** 鳥取県庁, Tottori Prefectural Government

2. 社会トレンドに着目した評価の視点

消費生活に伴う環境負荷の算定評価を議論する上で、社会トレンドは大きな要素である。一人一人の行動の変化がライフスタイルを形成し、社会構造にも広がりを見せるとともに、社会トレンドによって一人一人の生活時間や消費行動が変更され、必要とされるエネルギー消費機器の数や大きさ、それらの稼働時間も変化する。また、社会トレンドが新しいエネルギー機器のニーズも生み、家事のあり方や就業状態を変化させ、生活者のライフスタイルを変化させるとともにエネルギー消費やライフサイクルを通じた環境負荷の排出を大きく変化させようとしている。例えば、24時間都市の出現はエネルギー産業や流通業界の構造を大きくかえるとともに、人々の生活時間や消費する製品・サービスの種類や数量に大きな変化を与えることが予測される。

しかし、社会トレンドに付随して増加する環境負荷については生活必需的なものもあり、一律に削減することは必ずしも適切ではない。社会トレンドは人々に何らかの効用をもたらすものであり、とりわけ高齢化の進行など社会的に不可避な現象も含まれる。このような現象に伴う環境負荷の増大を単純に受益者の負担のみで一方的に削減することは不適切であり、個人あるいは社会システム全体で請け負うべきものである。高齢化社会の進行に対応して新たに開発・整備される在宅ケア・サービスや高齢者の3輪電動車利用などの高付加価値製品やサービスの増大を決して否定することはできないのである。社会経済システムのマクロな構造変革とともに、個々の社会トレンドがもたらす将来的な環境負荷の増大を定量的に予測し、このような不可避的な環境負荷の増大分を考慮した上で、さまざまな観点から環境負荷の削減策を検討するべきである。

3. 研究方法の概要

3.1 社会トレンドの将来シナリオ

本研究では、このような社会トレンドの進行により具体的に増大しているエネルギー消費や環境負荷の放出を算定することを中心的課題としている。そこで社会トレンドとして、「高齢化社会」、「女性の社会進出」、「情報化社会」、「生活のパーソナル化」をとりあげ、関連する事象をまとめ、将来的に起こりうる行動の変化を予測してシナリオを作成し、社会トレンドを考慮した環境負荷の算定評価をおこなった。まず、上述の社会トレンドに伴い起こりうる事象と製品やサービスの質的量的変化をブレンストーミングにより抽出した。一例として「女性の社会進出」の関連事象と行動変化を図1に示す。ついで、過去20年程度を目安にしてそれらの製品やサービスに関わる各種統計資料を収集整理してその挙動を把握し(図2)、将来予測のためのシナリオを作成する。

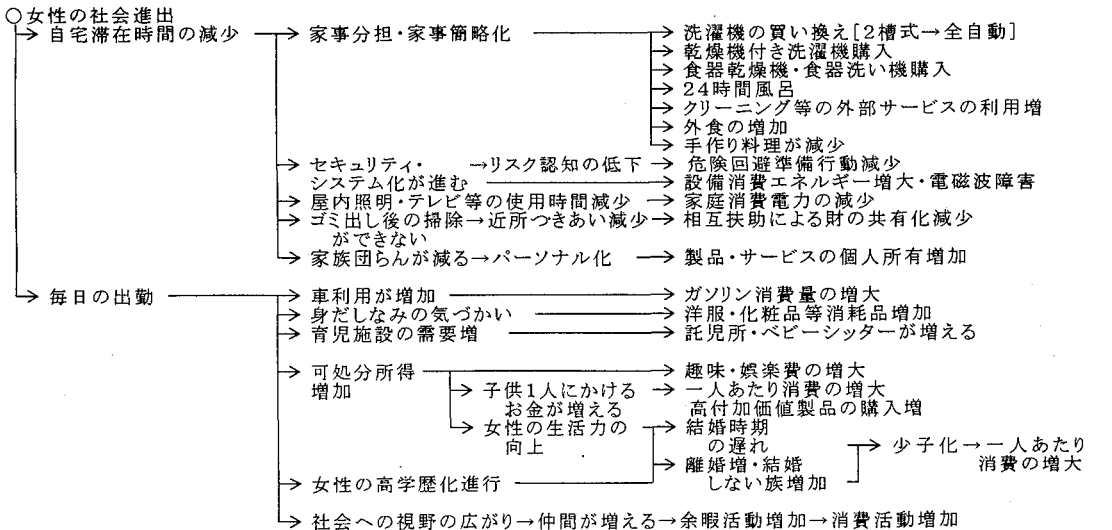


図1 女性の社会進出をとりまく社会現象の変化

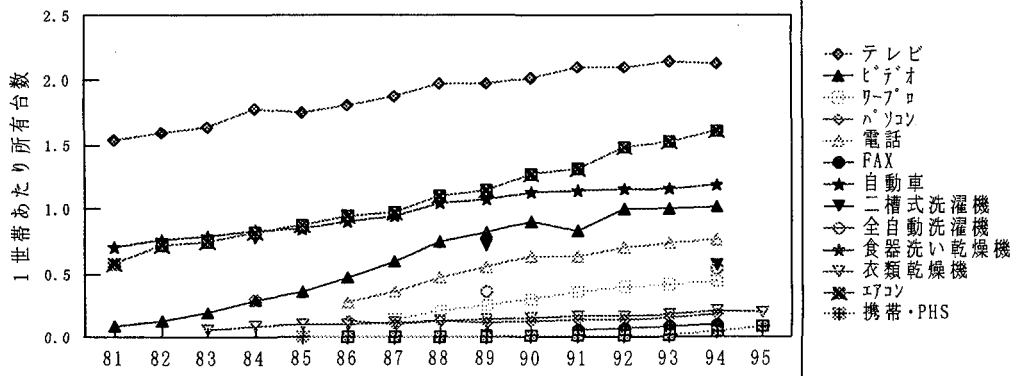


図2 家電製品等の一世帯あたりの保有台数の推移

3.2 LCI実施のための原単位の収集と整理

評価指標として、地球規模の環境問題の指標としてエネルギーとCO₂、地域環境問題として大気汚染の指標であるSO_x、NO_x、水質汚濁の指標としてBOD、COD、SSの7つを対象として排出負荷量の算定をおこなった。使用段階の直接的な環境負荷のみならず、生産や廃棄過程における間接的な環境負荷を同時に評価することを念頭に置いている。これらの環境負荷の算定については、統計資料や既存研究から、産業連関分析にもとづく産業部門別の原単位やプロセス調査にもとづく素材や工程別の原単位を収集整理し、対象となる製品やサービスの環境負荷量の算定評価をおこなった。近年の地球環境問題に対する多くの研究者の取り組みにより、エネルギー消費やCO₂の負荷原単位については、多くの素材や製造業種別に複数年度にわたって算定されている。また、水質環境負荷については、下水道整備のために業種別の負荷原単位が複数年度での調査結果がまとめられており、NO_xやSO_xについては、自動車の排ガス規制に関わる調査等のデータに限定されている。全ての対象製品・サービスのLCEとLC環境負荷算定のための完全な原単位データは同レベルでそろえることは実質的に困難であるが、1990年を算定の基本年次とし、できるだけ細かい業種分類の排出負荷原単位に基づいて算定できるように、内挿補間するなどいくつかの仮定に基づいて複数年次にわたって利用可能な原単位データを作成した(表1)。

表1 各種環境排出負荷原単位データ作成の概要

負荷 LCA過程	消費エネルギー	CO2	NOx	SOx	BOD	COD	SS	備 考
素材生産	各素材別 原単位 ⁱ⁾	一部の素材で消費エネルギー 原単位と同比率に配分			業種別負荷原単位に年度別の 平均生産金額とデフレーター			主要素材:金属・プラスチック などの原単位はほぼ収集
製造組立	産業連関分析による406業種別負荷 排出原単位使用 ⁱⁱⁱ⁾	23分類の業種別 排出負荷原単位 ^{iv)} を使用			を用いて算出 ^{ii)v)}			年度別平均生産金額と デフレーターを使用 ^{v)}
輸 送	軽油の各種環境負荷原単位、輸送原単位、各製品重量より算出 ^{ii)～iv)}							全国平均輸送距離と ディーゼル車平均燃費使用
使 用	自動車:平均消費ガソリン量とガソリンの各排出負荷原単位を使用 他製品:使用段階の消費電力と電力の各排出負荷原単位を使用 ^{ii)～iv)}							電力消費については 実効率を考慮
廃 棄	廃棄物輸送[消費軽油]+破碎機[電力]+焼却[電力・重油]+埋立[軽油] と軽油・電力の各排出負荷原単位を使用 ^{ii)～iv)}							処理処分の4段階で消費 される電力・軽油に基づく
備 考	製品の標準的な使用年数及び使用状況を設定して算出 ^{vi)vii)}							

i) 城戸他:財のライフサイクルエネルギー算定に関する研究,第47回土木学会中国支部研究発表会講演概要集,pp.125-126,1995

ii) 建設省編:流域別下水道整備総合計画調査指針と解説,(社)日本下水道協会,1974,1981,1990

iii) (財)電力中央研究所:産業連関分析による財・サービス生産時のエネルギー消費量とCO₂排出量,電力中央研究所報告,pp.38-55,1996

iv) 八千代エンジニアリング:環境保全システム解明調査報告書,pp.19-32,1991

v) 通商産業大臣官房調査統計部:工業統計表品目編,大蔵省印刷局,1989~1995

vi) 経済企画庁経済研究所:国民経済計算年報,大蔵省印刷局,1994,1996

vii) (財)日本統計協会:全国消費実態調査報告,1991,1994,1996

4. 社会トレンドに着目した排出負荷量の将来予測

4.1 LCIによる排出負荷量の算定

4つの社会トレンドに関連する現象の中から代表的な製品やサービス等を選び、7項目の環境負荷についてLCIによる算定をおこなった。表2に代表的な製品の排出負荷量の算定結果を示す。製品ごとの環境負荷の排出特性をみると、エネルギー消費に代表される使用時の排出負荷量に比べて間接的な排出負荷量の割合が高かったのは、ワープロ・パソコン等の情報機器および洗濯機・電子レンジ・オープンなどであり、特に、エネルギー消費に対して水質汚濁物質（BOD、COD、SS）の排出負荷量割合でみると上位7製品まで情報機器が占めた。逆に、エアコンやテレビ、食器・衣類乾燥機等は間接的な負荷の排出割合が低い。このように直接的に排出する負荷よりもNO_xやBOD等の間接的に排出する負荷の方が大きい製品の場合には、消費電力の小さなものに早期に買い替えることよりも、少しでも長く所有製品を使用しつづけることの方が環境負荷削減に効果があるといえる⁹。さらに、標準的な所有台数のもとで1家庭の家電製品起源のLCEおよびLC-環境負荷の構成比をみると、LCE、CO₂、NO_x、SO_x、CODではエアコン、冷蔵庫、衣類乾燥機が上位を占め、3機器で全体量の50%を超える。BOD、SSではエアコン、冷蔵庫の占める割合は低くなり、かわってデスクトップ・パソコン、テレビが上位に位置する。

一方、テレビや冷蔵庫といった製品のように年を追うごとに大型化しているものや、情報機器のように高機能化しているものについては、複数年次での機器仕様に基づいて、製品のLC-環境負荷の算定をおこなっている。例として普通自動車の経年的な重量増加や素材構成の変化に基づいた年度ごとの環境負荷排出量の算定結果を図3に示す。他の製品についても同様の計算を行い各年次の排出負荷量の変化を求めている。自動車・テレビ・冷蔵庫などでは近年の購入製品の大型化が顕著にみられる反面、エアコン・ビデオ・情報通信機器は小型化が図られており、1台あたりのLCEやLC-環境負荷は減少している。

表2 製品1台あたりの排出負荷量

(単位)	(Mcal/台・年)	(kg-CO ₂ /台・年)	(g/台・年)	(g/台・年)	(g/台・年)	(g/台・年)	(g/台・年)
環境負荷項目	エネルギー	CO ₂	SO _x	NO _x	BOD	COD	SS
テレビ(19型)	394.26	75.67	71.06	158.63	5.42	12.45	79.76
テレビ(21型)	505.78	96.11	73.45	138.14	3.94	13.81	57.89
テレビ(24型)	604.03	115.09	92.77	185.00	5.65	17.17	84.60
テレビ(33型)	815.48	156.13	140.23	304.89	10.16	25.01	149.54
ビデオ(1992)	361.52	148.94	72.11	234.01	2.48	5.45	26.00
ビデオ(1996)	145.21	27.92	39.01	156.90	1.57	6.42	16.38
エアコン	4777.90	901.14	530.26	720.51	21.47	125.30	27.18
エアコン	3631.04	683.87	409.87	568.58	18.13	97.46	23.02
電子レンジ	281.67	59.61	137.75	626.86	12.05	30.99	65.05
電子オープン	86.53	17.08	26.96	108.66	1.80	5.31	5.93
オープンレンジ	375.49	73.10	82.72	287.70	4.95	18.21	24.24
冷蔵庫(170L)	581.43	113.55	136.37	492.74	15.03	29.66	17.76
冷蔵庫(253L)	843.53	163.95	184.18	640.45	19.23	40.11	22.71
冷蔵庫(410L)	837.39	163.49	232.06	894.09	27.96	50.35	33.04
二槽式洗濯機	77.10	16.98	46.24	214.85	5.82	9.83	7.90
全自動洗濯機	260.39	52.76	92.33	411.58	11.49	22.75	17.14
衣類乾燥機	663.85	128.73	141.06	480.37	4.82	30.10	37.81
食器洗い乾燥機	649.44	124.73	112.56	332.66	5.18	24.69	28.41
ワープロ(1992)	59.58	14.25	28.52	69.01	24.09	11.58	17.75
ワープロ(1996)	25.08	5.43	19.52	46.54	16.06	7.83	11.84
ノート・パソコン(1992)	167.06	38.16	40.30	83.40	23.62	18.22	27.08
ノート・パソコン(1993)	152.62	35.32	30.53	59.95	23.03	17.38	26.17
デスクトップパソコン	358.55	76.36	129.16	345.58	32.19	29.24	214.25
電話機(1992)	16.26	3.43	4.59	17.17	1.95	0.94	0.92
ファックス(1992)	204.29	40.95	28.78	45.77	13.06	7.96	4.84
ファックス(1993)	99.53	19.27	19.25	32.95	10.69	5.56	3.96
電話ファックス(1996)	81.70	16.45	18.89	37.24	6.26	3.80	2.48
携帯電話・PHS(1996)	29.54	6.69	2.74	2.08	6.09	3.63	4.02
普通自動車	13949.13	4875.79	1769.60	6563.37	616.73	1074.65	1443.33
軽自動車	6568.83	2161.25	1465.24	4214.31	561.89	931.95	1304.40

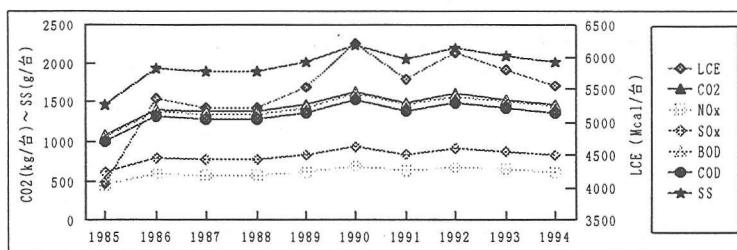


図3 普通自動車1台あたりの年度ごとの素材生産と製造過程でのライフサイクル環境負荷量

4.2 社会トレンドに伴う排出負荷量の変化

以上、製品・サービスの消費の過去からの経年的な動向と社会トレンド予測に基づく将来的な変動、機器仕様の経年的な変化にもとづくLCEおよびLC-環境負荷の算定結果をもとに、社会トレンドに基づく環境負荷の将来予測の計算をおこなった。予測年度のスケールは1985年から2005年までの20年間とした。「高齢化社会」については、テレビの視聴時間の増加やシルバードライバーの増加、社会福祉サービスの増加、「女性の社会進出」については、家事の時間を短縮する製品の所有台数増加や調理食品、洋服、化粧品の購入量の増加、「生活のパーソナル化」としてテレビ、ビデオ、電話、エアコンの所有台数増加、「情報化社会」については、パソコン、ワープロ、FAX、移動電話等の情報関連機器の所有台数の増加とそれに伴う情報関連サービスおよび国内通信事業の増大、を代表事象とした。さらに、既往の文献⁹⁾より国内全体の排出負荷量の将来予測がおこなわれている二酸化炭素について、本研究の予測結果との比較評価をおこなう。各シナリオの製品・サービスの消費量の変化率が過去のまま直線的に推移する場合をケース2とし、変化率が1/2の場合をケース1、変化率が2倍となった場合をケース3として排出されるCO2の予測計算をおこなった。4つの社会トレンドに伴うCO2排出負荷量の予測結果を図4に示す。

「情報化社会」では1985年から2005年の20年間にケース1では1985年の2.3倍、ケース3では3.6倍に増加する。さらに、「高齢化社会」では2005年時点でどちらのケースも1985年のCO2排出量の4倍を越え、ここ数年間の急激な変化が近未来における大幅な環境負荷増大をもたらすことが予測された。

また、環境庁の推計⁹⁾によると1985年の二酸化炭素排出量は8.29(t-CO2/人・年)、1990年では9.53(t-CO2/人・年)、2000年で9.82(t-CO2/人・年)で10年間で約3%の伸びとなっている。「情報化社会」のケース3の結果では1990年時点で環境庁予測全体の0.44%、2000年時点では環境庁予測値全体の0.89%を占め、情報化を代表する一部の財・サービスの予想される伸びだけに基づいた算定でも、環境庁の推計値の伸び全体の数%を占める。また、「情報化社会」と「高齢化社会」は環境庁推計の全体で予測されるCO2排出量の伸びの10数倍の割合で今後増加することが予測される。

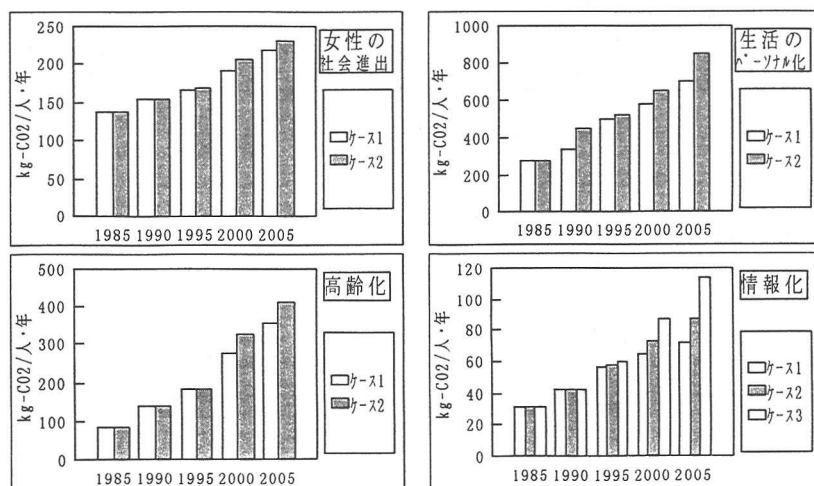


図4 社会トレンドに伴うCO2排出量の将来予測結果

4.3 社会トレンドがもたらす負荷削減効果との比較

「情報化社会」の進展に伴いもっとも期待される環境負荷の削減は、オフィスにおけるペーパーレス化であり、その効果の評価を試みた。1990年における全国の印刷・情報用紙の生産量は約900万トン、このうち一般のコピー用紙は約40万トンといわれている⁹⁾。上質紙の単位重量あたりのLCEおよびLC-環境負荷を算定し、情報機器の導入によりオフィスのペーパーレス化が実現して、OA用紙が削減された場合のCO₂排出量の削減効果の試算結果を表3に示す。先に示した「情報化社会」の進展で予測されるCO₂排出量の増加に匹敵するのは、全印刷・情報用紙を50%以上削減することであり、オフィスにおけるコピー用紙の削減だけでは、情報機器の増大による環境負荷の増加を吸収する効果は期待できない。

表3 「情報化社会」の進展でOA用紙が削減された場合のCO₂排出量削減効果(kg-CO₂/人・年)

	CO ₂ 排出量 (kg/人・年)	ペーパーレスによるCO ₂ 削減効果			「情報化社会」の進展で 予測されるCO ₂ 増加量
		25%削減	50%削減	75%削減	
コピー用紙	5.16	1.29	2.58	3.87	56.77(ケース2)
印刷・情報用紙	116.20	29.05	58.10	87.15	

5. まとめ

本研究では、対象とした4つの社会トレンドに基づいた、製品・サービスの消費の伸びとLCIを用いた環境負荷の算定結果から、環境負荷の将来予測をおこなった。社会トレンドが引き起こすさまざまな現象のうち一部の代表財に基づく算定ではあるが、将来的に社会が大きく進展し、それに伴って特定の製品やサービスが増えれば、現在のマクロな経済成長に基づいて予測されたCO₂の予測値の伸びを大きく上回る環境負荷が排出される可能性を示した。しかし、社会トレンドは我々の生活に多くの効用をもたらすものでもあり、それによる環境負荷の増加はもたらされた効用の代価として負担すべきものである。例えば、試算したようにオフィスのペーパーレス化だけでは「情報化社会」の進展に伴うCO₂増加を吸収するには不十分であるが、情報機器の個人所有化の必要性の再検討と複数人員による情報機器のシェアリングやSOHOの実現など、さまざまな主体が構成するシステム上の断面・階層で負荷削減が期待できる施策の効果を積み上げて評価することが、ライフサイクル・コストの低減の側面のみならず、将来的な低負荷型の生産・消費システムの構築のために必要である。

【謝辞】本研究の一部は文部省科学研究費補助金基盤研究(A)(課題番号08305021)の補助を受けたことを記して謝意を表す。また各種負荷量原単位の収集にあたりご支援を賜った国立環境研究所森口祐一氏と大阪大学下田吉之氏にあわせて謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 戦略LCA研究フォーラム監訳：製品の環境ライフサイクルアセスメント、(株)サイエンスフォーラム、1994
- 2) (社)環境情報科学センター編：ライフサイクルアセスメントの実践、化学工業日報社、1996
- 3) 盛岡 通：身近な環境づくり、日本評論社、1986
- 4) 和田安彦他：ライフスタイル自己診断システムの開発と評価、環境システム、Vol.22、pp.300-305、1994
- 5) 城戸由能他：ライフスタイルの変更を支援するライフサイクルエネルギー算定評価システムの開発、環境システム研究、Vol.24、pp.315-320、1996
- 6) 城戸由能他：耐久消費財の買い換えに伴う環境負荷削減効果の評価、環境システム研究、Vol.25、1997(印刷中)
- 7) (社)空気調和・衛生工学会：地球環境時代における建築設備の課題、pp.14、1995
- 8) 環境庁：環境白書(平成9年版)、大蔵省印刷局、1997
- 9) 通商産業省環境立地局：産業環境ビジョン、(株)産業資料調査会、1994