

B-14 地球温暖化防止対策技術の総合評価に関する研究

(5) 対策の総合評価手法の開発に関する研究

研究代表者 国立環境研究所 地域環境研究グループ 清水 浩

環境庁国立環境研究所

地域環境研究グループ

(委託先)

交通公害防止研究チーム	清水 浩, 近藤美則
水環境改善手法研究チーム	森口祐一
東京大学大学院工学系研究科	石谷 久
東京大学工学部	六川修一
システム総合研究所	佐藤成生

平成6-8年度合計予算額

25,000 千円

(平成8年度予算額

8,808 千円)

[要旨]

地球温暖化問題について、内外の研究者により、さまざまな分野における対策技術が検討され、研究開発が進められてきた。そこで、対策技術の市場への導入を念頭においた包括的な評価をおこなうことが急務であるが、これにはライフサイクルアセスメント(LCA)が不可欠であると考えられる。ところが、実際のLCA手法には本質的な問題が残されており、この問題を解決する必要がある。

そこで本研究ではまず、LCA手法の中心的課題として、配分問題と波及追跡の問題に焦点を当て、これらの問題点を克服する新しいLCA手法を提案する。その上で、この新しい手法による評価モデル(ここではプロセス連関モデルとよぶ)を開発し、対策技術に投入されるエネルギー資源の採掘から最終利用までを考慮に入れたライフサイクル評価を行い、これを基に当該技術の地球温暖化対策としての有効性を評価した。

評価のための具体例として自動車を取り上げ、代替燃料車のCO₂削減策としての寄与を調査した。この際、燃料としての必要エネルギーおよび、設備の製造に必要なエネルギーをも考慮に入れた。設備の製造に必要なエネルギー量の算定には、本研究で開発されたプロセス連関モデルを用い、自動車の走行エネルギーの算定には、別途開発した走行シミュレーションモデルにより推定を行った。算定の結果、各代替燃料車のCO₂削減策としての有効性および提案したLCA手法の有効性が明らかになり、今後の地球温暖化防止対策に寄与する成果が得られたものと考えられる。

[キーワード] 地球温暖化問題、CO₂削減策、ライフサイクルアセスメント、配分問題、代替燃料車

1. 序

地球温暖化問題に対して、内外で精力的にその防止対策技術の検討、研究開発が進められてきたが、その効力、経済性などは多様であって、更に、適応時期、地域の自然特性、経済水準などの諸条件により適応性、効果も著しく変化する。現在、既に提案、検討が進められている諸技術を系統的、且つ客観的に比較評価して、個別の条件に適した対策技術を抽出し、その実現に必要な開発或はその促進策を明確にすることが急務である。そのためにはまず評価基準を明確にしてこれを定性的、定量的に評価するための手法を確立し、その上で、各種の対策技術を評価して、真の意味で推進すべき対策方を示すことが緊急に要請されている。

2. 本研究の目的

本研究では、従来のライフサイクルアセスメント(LCA)手法における問題点に対する、以下に掲げる対応を主要な目的としている。

1) 従来のLCA手法の問題点を補完する手法の構築

産業間の連関波及を一意に決定し、新技術の導入や素材代替等をプロセス毎に詳細に評価できる手法を構築すること。

2) インベントリ作成時における配分問題への対応

インベントリ作成時における最大の問題点の一つである複数製品に対するシステム全体の資源消費・環境負荷配分問題についての検討を行うこと。

3) 現実のデータに基づく詳細なLCAの実施

従来型の普通乗用車とエンジン・ボディーをアルミ化した自動車に関して上記手法とツールを用いた詳細なLCAを実施し、実際のLCA算定における各種問題点に対するそれらの有用性を検証すること。

3. LCA手法の理論的検討

3.1 本章の概要

本プロジェクトでは、複雑な加工組み立てプロセスを持つ製品に適用しうるLCA手法の開発と、開発された新しい手法による乗用車の評価をおこなってきた。これまで、多くの研究グループが多様な製品のLCAを試みているが、その手法は未だ未成熟であり、数多くの問題を残している。そこで本章では、LCA手法一般の問題点を整理・検討しつつ、本プロジェクトにおいて開発された手法を説明する。

本プロジェクトでの分析結果は、大きく自動車の加工組み立てに関する部分とその走行に関する部分に分かれる。このうち、走行に関する部分は自動車のライフサイクル評価において重要であるが、自動車に固有のものであり、一般の製品評価手法との関連は低い。一方、加工組み立て

に関する評価手法は他の製品一般にも通ずるものがある。また、本研究では、複雑な加工組み立てプロセスを持つ製品に適用しうるLCA手法の開発を重視している。したがって、本章では、自動車の加工組み立てに関する評価手法を中心に検討を進める。

3.2 LCA分析手法

LCA分析手法として、最も基本的な手法は積み上げ法である。しかし、加工度の高い製品のLCAをおこなうには、純粋な積み上げ法は適切ではないと考えられる。そこで、本プロジェクトでは、産業連関表のような包括的データベースを用いたり、積み上げ法と産業連関法とのハイブリッド手法を用いたりしている。本節では、配分方法などLCAの最も本質的な問題に焦点を当て、各手法の特徴を述べる。

3.2.1 積み上げ法

積み上げ法は、原理的には簡潔な方法である。すなわち、評価すべきシステム内の各プロセスにおける各種の投入、産出および排出物をその種類毎に逐次評価し、文字どおり積み上げて総計し、全体の評価をおこなう。積み上げ法は、特定の技術やシステムでその連関の及ぶ範囲が限られているものを取り扱うのに適している。しかし、一般に一つの製品を製造、消費する上でも、多くの産業が関係しており、それらの無限の連関（波及）を取り扱うことは、（波及追跡に膨大な作業を伴うため）不可能に近い。この難点を解決するため、ワンステップバックルールなど連関範囲の境界を明確に規則化する試みもなされている。¹⁾ しかし、ワンステップバックルールのような境界設定には定量的な根拠はない。

積み上げ法のもう一つの難点は配分問題である。すなわち、結合生産やリサイクルを通して複数の生産品が関係する場合には、各々への資源消費、環境負荷の配分問題が発生する。この問題への対応として、各生産品の重量による重量配分やモル数によるモル配分、または、生産品の価格による価格配分などが提唱されているが、用いる配分規則により結果が大きく異なる場合がある。これらの問題点を考慮し、本研究では純粋な積み上げ法によるライフサイクルアセスメントはおこなっていない。

3.2.2 産業連関法

積み上げ法の持つ波及分析の煩雑さと包括的データ取得の困難さから、これに変わるものとして産業連関表が用いられる。産業連関表は、日本全体の製品（プロセス）を400部門強に統合し、その間の貨幣と物質の流れを行列の形式で表したものである。この投入係数行列を用いると、上述した無限の連関（波及）をレオンチェフ逆行列の演算によって作業効率良く求めることができる。

産業連関表をLCAに用いた場合の問題点の一つは、単純な産業連関分析では波及が国内に限定されるという点である。自動車のLCAでは、原材料やエネルギー資源の一部が海外からの輸入によりまかなわれている。この輸入材の採掘や輸送に伴う資源投入、環境排出に関する情報は国内の産業連関表からは得られない。

また配分問題に関しては、産業連関表の枠組みだけでは、完全な解決は困難である。元来、産

業連関表では ONE ACTIVITY-ONE COMMODITY（一つのプロセスからは一種類の製品が生産される。）の原則があり、結合生産を認めていない。また、システム内で鉄屑のリサイクルが生じた場合に、電炉鋼（リサイクル鋼）と転炉鋼（高炉一貫製鉄により、鉄鉱石から製造された鋼）に代替性が生じることも基本的には認めていない。これは、製品間に代替性を認めると、最終需要に対する各アクティビティが一意に決定されないためである。また、副産物や屑については、そこから生ずる波及を考慮して、マイナス投入方式と呼ばれる特殊な扱いを受けている。したがって、上述した場合の配分問題に適切な解を与えることは必ずしも容易ではない。ただし、産業連関表をベースにしてこうした配分の問題を解決することも可能である。吉岡らは、文献 4)においてこのような分析の実例を示している。このように、産業連関法は、産業連関分析の本質を理解した上で適切な利用をおこなえば、LCAのための強力なツールとなりうる。

3.2.3 特定の製品のLCAを産業連関表に基づいておこなう「ハイブリッド法」

「ハイブリッド法」は、産業連関表と積み上げ法の特徴を組み合わせたLCA手法である。³⁾

「ハイブリッド法」は、特定の乗用車のライフサイクル評価を、その素材構成データと、一般の乗用車の平均を表すと考えられる産業連関表を利用して導くという点において興味深い方法である。この方式によるLCAの手続きを以下に簡単に説明する。

(1) 産業連関表に項目として存在する（平均化された）自動車の素材構成を次のような部門モデルにより求める。

- 産業連関表の品目を原材料、中間素材、最終製品、エネルギー、サービスその他の5種類に分類する。
- 投入係数行列におけるある製品（例えば自動車）の列に原材料か中間素材が投入された場合は、これがその製品の中に物理的に取り込まれたものとする。
- 投入係数行列におけるある製品（例えば自動車）の列にエネルギー、サービス、もしくは最終製品が投入された場合は、これらは製品の中に物理的に取り込まれたのではなく、加工のために必要とされたか、もしくは間接的に必要とされたものとする。
- 原材料の項目の列に原材料が投入された場合も、物理的な投入ではなく、間接的な投入であるとする。
- 各製品の製造プロセスから排出される屑の量を東京都、および日本全体の集計データから推計している。この屑は、（当然のことながら）製品の中には取り込まれない。
- レオンチェフ逆行列によって評価されるのが、最終製品一単位の需要により、直接、間接に必要とされる財の構成であるのに対し、上の仮定から評価されるのは、最終製品一単位当りに物理的に含まれる財の構成である。

(2) (1)によって求められた構成素材の各々に、次のプロセスモデルを適用することにより、自動車一単位当りに必要とされた直接、間接エネルギーを割り当てる。

- 投入係数行列においてある（エネルギー以外の）製品の品目に投入される直接、間接に投入されるエネルギーは、製品に直接投入される財と、それに直接、間接に投入されるエネルギーの積の総和に等しい。
 - 上の法則を用い、自動車に直接投入される財の中、構成素材とならないエネルギー、サービス、最終製品に関しては、これらに直接、間接に投入されるエネルギーを構成素材の重量に応じて比例配分する。
 - 自動車に直接投入される財の中、原材料については、各原材料（以下、原材料A）に直接、間接投入されるエネルギーに直接投入される原材料Aの投入係数を乗じることにより、自動車を構成する原材料Aに配分すべきエネルギーが決定される。
 - 自動車に直接投入される財の中、中間素材については、中間素材のエネルギー配分量が未知数となるため、産業連関表を基に全ての中間素材のエネルギー配分量を未知数とした連立方程式を導き、これを解くことにより、中間素材へのエネルギー配分量を求める。これより、自動車に直接投入される中間素材へのエネルギー配分が決定される。
- (3) 上記の手続きにより、産業連関表の部門を構成する自動車の平均構成素材と、各構成素材に配分されるエネルギーおよびCO₂量（各構成素材のエネルギー、CO₂原単位）が決定されれば、以下の手続きにより、特定の車種の製造、加工に起因するエネルギーおよびCO₂発生量を算定する。
- 特定の自動車Bの素材構成を基に、各構成素材1kgに配分されるエネルギーおよびCO₂量が(2)で決定された値と同じであるとして、自動車Bに配分されるエネルギーおよびCO₂を算定する。

上のハイブリッドLCA手法は、特定の製品の素材構成情報と産業連関表の一般情報を組み合わせて、任意の製品のLCAをおこなうという点において注目すべき手法である。

3.2.4 プロセス連関分析法

上述したように、各手法の抱える共通の問題点として配分問題がある。配分問題は、LCAの中心課題であるので、本項ではこの問題への対応に焦点を当てた手法について述べる。

既に述べたように、結合生産やリサイクルを通して複数の生産品が関係する場合には、各々への資源消費、環境負荷の配分問題が発生する。この問題への対応として、各生産品の重量による重量配分やモル数によるモル配分、または、生産品の価格による価格配分などが提唱されているが、用いる配分規則により結果が大きく異なる場合がある。

例えば、図3-1のようにプロセス1からの排出物が処理プロセスを経て製品Bとなる場合を考える。例としてプロセス1が自動車の生産であるとすれば、製品Aが自動車で、排出物2が生産工程からの鋼板の加工屑に相当する。加工屑は回収されて電気炉（廃棄物処理プロセス）に投入され、新たに建設用鋼材（製品B）となる。このとき、自動車と加工屑には、プロセス1における資源消費と環境排出をどのように配分すべきか、という問題が生ずる。屑に配分された資源消

費と環境排出は電気炉を通して建設用鋼材に付加される。したがって、上の配分次第で、自動車および建設鋼材のLCA指標が大きく変化する可能性がある。

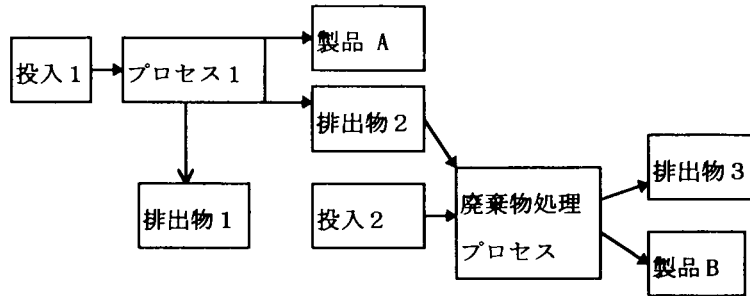


図3-1. リサイクルがある場合のLCA配分

この場合、一般の積み上げ法においては、重量、モル数、価格などの比により環境負荷の配分をおこなうが、それでは、個々の製品への環境負荷配分とシステム全体の環境負荷との間に整合性がとれない場合がある。(例えば、LCAによる製品間比較でCO₂排出の少ない製品が市場に普及した場合、却ってシステム全体のCO₂排出が増加する可能性がある。)

プロセス連関分析は、上述の問題を解消するために考案された手法である。[3-4]

以下では、分析すべきシステムの各プロセスの入出力から、システム全体の入出力を算定するプロセス連関分析の基本的な方法について述べる。まず、各プロセスに必要な入力、出力の数学的表記について説明する。図3-2に記したプロセス例はその下に加えたように、これを一つのプラントとして捉えることもできる。したがって、プロセスの統合および分離の度合は、分析の目的と境界設定にしたがって決定すれば良い。

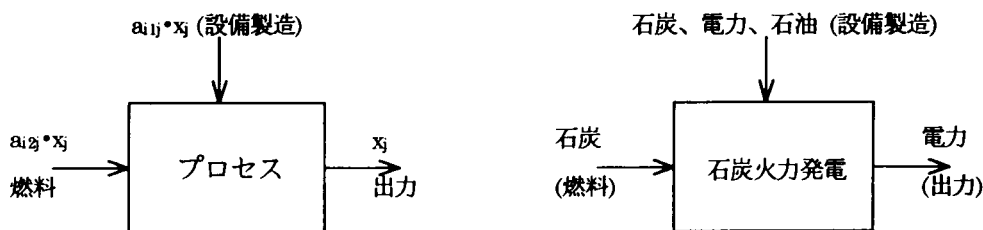


図3-2. プラントの入出力のモデル化の概念

図3-2より、プロセスjの出力 x_j に必要な全ての入力 ($i=1, \dots, n$) は下のようなベクトル形式で表される。

$$input = a_j x_j \tag{3-1}$$

したがって、全てのプロセスの全ての出力に必要な全ての入力は(3-2)式のように表される。

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = Ax \quad (3-2)$$

一方、当該プロセス（プラント）からの主産物、副産物または排出物については、中間投入と同様に以下のような数学表現を取る。ここで、いわゆる産業連関分析と本分析との概念の相違が明らかになる。上記のように、LCAにおいては、単一のプロセスから生じる複数の産物および排出物を評価に含め、複数の産物間の資源投入や環境排出の配分をおこなう必要がある。ところが、産業連関分析は、One activity–One commodityの原則で構成されており、副産物はマイナス投入方式による特殊な扱いを受けている。多様なシステムに対応するLCA分析をおこなうためには、このOne activity–One commodityの原則を崩すことが必要である。そこで、(3-2)、(3-3)式のベクトル x は、物質ではなく、プロセスであることを明示し、 Ax および Ex は各プロセスに投入もしくは産出される物質であることを明示する。これにより、(3-3)に単一のプロセスからの複数の産出物または排出物（ex. CO_2 , NO_x , SO_x , 重金属）を含めることができる。

$$y = Ex = \sum_{j=1}^n e_j x_j \quad (3-3)$$

これにより、 f を最終需要ベクトルとすると、以下の不等式が得られる。

$$\begin{aligned} Ex &\geq Ax + f \\ (E - A)x &\geq f \end{aligned} \quad (3-4)$$

ここで、システム全体の状態、すなわち x を決定するには、現実のシステムに相当する最適化の評価基準、またはロジック関数などのシミュレーション原理が必要である。例えば、現実のシステムが総費用の最小化という原理で決定されている場合、 $cx \rightarrow \min.(\max.)$ を目的関数として最適化することにより、解 x が一意に定まる。このときの最適基底を B とすると、

$$x = B^{-1} f \quad (3-5)$$

$$\frac{\partial x_j}{\partial f_i} = B^{-1}_{ji} \quad (3-6)$$

(3-6)、(3-3)式より、需要部門 i の製品1単位当たりの部門 k の資源投入または環境排出は(3-7)式で算定される。

$$\frac{\partial y_k}{\partial j_i} = \sum_{j=1}^n \left(E_{kj} \times B^{-1}_{ji} \right) \quad (3-7)$$

すなわち、システム内部に代替性が存在する場合でも、何らかの評価基準によりシステムの状態が決定されるならば、このときの最適基底逆行列を用いて、資源消費、環境排出を各製品に配分可能である。この配分原理を B^{-1} を用いることから、B I (Bインバース, 限界)配分とよぶ。また、あるプロセスから他のプロセスに代替した場合の改善量は以下のように考えられる。

$$\begin{aligned} \Delta x &= -B_0^{-1}b_1 \\ \Delta y &= -EB_0^{-1}b_1 \end{aligned} \quad (3-8)$$

したがって、新プロセス b_1 を単位当り導入したときの改善量は、 $EB_0^{-1}b_1$ で表される。

本項での検討の核心は、結合生産または屑のリサイクル、カスケーディングが生じた場合の配分および新技術導入によるシステム全体の改善量評価にある。すなわち、屑または副産物が生産された場合の主産物との間の資源投入、環境排出の配分を、(3-1)～(3-8)式に示したように、システム全体の需給関係に応じて変化させることがプロセス連関分析の特徴である。これにより、個々の製品への環境負荷配分とシステム全体の環境負荷との間に生ずる矛盾（LCAによる製品間比較でCO₂排出の少ない製品が市場に普及した場合、却ってシステム全体のCO₂排出が増加するなどの事例）を防止するのである。他方、屑や副産物の生成されるプロセスのみをみて、重量配分や価格配分などの特定の配分方式を当てはめたのでは上述の矛盾が生ずる可能性があることも明らかである。

プロセス連関分析による自動車のLCA評価結果は、自動車の構成素材である鋼材やアルミのリサイクル状況によって評価指標が大きく変化し、これはシステム全体の動向と整合している。

4. 自動車に関する具体的なLCAの算定

本章では、3章において述べたプロセス連関モデルに基づくLCA手法と各種のLCA算定補助ツールを用いて、現実のデータによる自動車のLCA算定を行っている。LCAの対象として自動車を選択した理由としては、自動車産業が我が国における代表的な産業であるため様々な産業と相互に連関をもち、産業間の連関を含めたシステム的な評価を行う対象として適していると考えられることと、様々な工程を含む巨大な産業であるためにLCAに関する様々な問題点を含んでおり、LCA手法の検証を行う上でそれらの問題点を総合的に取り扱うことができるためである。

4.1 従来型自動車に関するLCA算定

自動車に関するLCA算定の第一段階として、本節では従来型自動車について図4.1-1に示す概念図に沿って算定を行った。対象車種を表4-1に示す。また、以下に素材製造、加工・組み立て、運用、解体処理・リサイクルの各段階について算定の詳細を述べる。

表 4-1 LCA 対象車種

LCA 対象車種	'84 年式マークII
車重(解体時)	1159kg

4.1.1 素材製造・加工組み立て部門

1) 直接投入分に関する算定

自動車の素材構成重量比から各素材の各種原単位を乗じることによって得られるエネルギー消費量や各種の物量、それに伴うCO₂排出量等について、製品を構成している物量から直接得られるという意味で、本研究では製造時の直接投入分として算定を行っている。

実際の算定は、上記のLCA対象車を部品レベルに解体し、各部品毎に素材の重量構成比を計測することによって素材別重量表の作成を行い、3章において述べた階層型のデータベースを用いて448品目からなる素材別重量構成データベースを作成することによって行われる。三階層の階層を設けることにより、次節で述べる連関表を用いた間接投入分の算定において連関表との対応がとりやすく、また、下層の個別部品レベルにおいて、新素材等による代替評価を詳細に行うことができる。2、3各階層目における部品、素材の代替による重量構成比の変化は、全体の算定においては一階層目の3部門に集計され、それぞれ各素材毎の原単位によってエネルギー消費量が算定される。また、次節で述べる間接投入分については、一階層目の各部門とそれらの各部門から自動車を組み立てる際についての間接投入が算定される。

2) 間接投入分に関する算定

加工・組み立て時に各プロセスに投入される間接投入分に関しては、製品を構成素材別に分解して得られる素材別重量構成から直接算定することはできず、また、加工・組み立てを行うプロセスへの投入データを別途入手することは非常に困難であることが多い。そのため、本研究では3章で述べた産業連関表を利用して間接投入エネルギーを推算する手法を用いて自動車製造時の間接投入分算定を行っている。

4.1.2 運用部門の算定

運用部門においては、走行時のエネルギー消費量について走行シミュレーションを行うことによって車種毎の燃費を算定し、それに平均走行距離と平均耐用年数を乗じることによって生涯総走行エネルギー消費量を算出している。シミュレーションの詳細は紙面の関係で省略する。

4.2 従来型自動車に関する算定結果

前節までに述べた各部門での算定を統合し、3章で述べた手法に則って全体の算定を行った結果を以下の図4-1、2に示す。図4-2の各プロセス毎のエネルギー消費量内訳をみると、運用時のエネルギー消費が大きく全体の約74%を占め、また、製造時における加工組み立て等の間接投入が製造時の全エネルギー消費に対して約49%を占めており、間接的なエネルギー消費も無視できないことが分かる。

4.3 アルミ化自動車に関するLCA算定

前節で算定を行った従来型の普通乗用車のLCA算定を基礎として、本節ではアルミ化自動車についてLCA算定を行った。自動車のLCA的な消費エネルギーとして、運用時に消費されるエネルギーが支配的であるとの仮定から、製造時のエネルギー消費が多少増大しても自動車の車体重量を軽量化することによって運用時の燃費を改善し、全体の消費エネルギーを逡減させることを目的とする様々な軽量化の手段が講じられているが、その一つとして車体やエンジン等の車体重量の中で大きな割合を占める部品をアルミ化することによって軽量化を行う方法がある。本研究では自動車のLCA評価の一環として、アルミ化自動車のLCAを行うことにより、従来車との総合的な比較を行った。自動車部品のアルミ化については、下記の表に従ってエンジンとボディフレームについてアルミ化を行うものとし、走行時の燃費は前述の走行シミュレータによって算定を行った。その他の部分については基本的に前節までの従来車と同様の算定を行っている。なお、電力は2250kcal/kWh換算である。

表4-2 アルミ化による軽量化比率

	軽量化比率
エンジン	50%
ボディ	40%

(出典:自動車低燃費・軽量化の現況と将来予測、株式会社アイアールシー)

4.4 アルミ化自動車に関する算定結果

従来車と同様に算定結果を図4-2に示す。前節の結果と比較すると、車重の軽量化によって走行時の消費エネルギーが従来車に比べて約6%減少しているが、製造時のエネルギー消費量増大によって、総消費エネルギーはほぼ同等となっている。

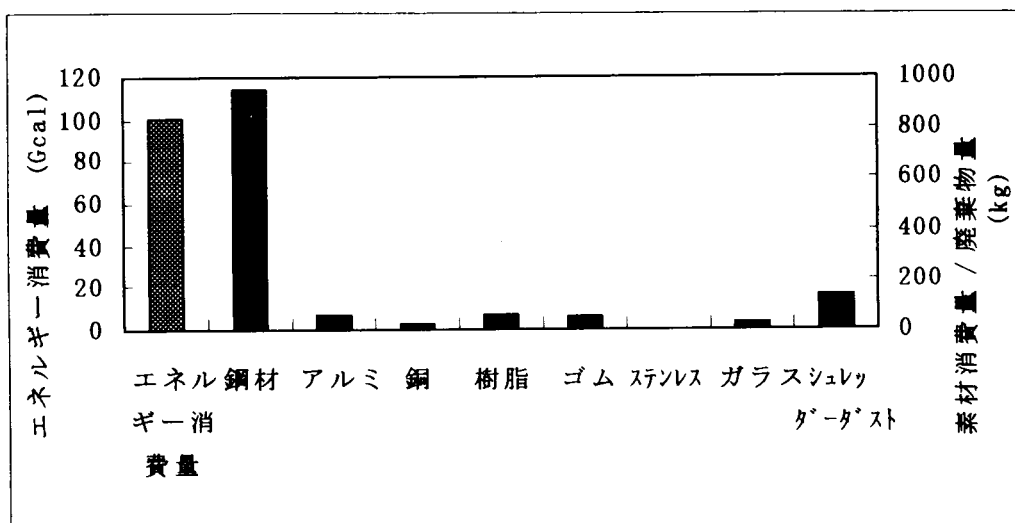


図 4-1 従来型自動車一台あたりの素材・エネルギー消費/廃棄物量

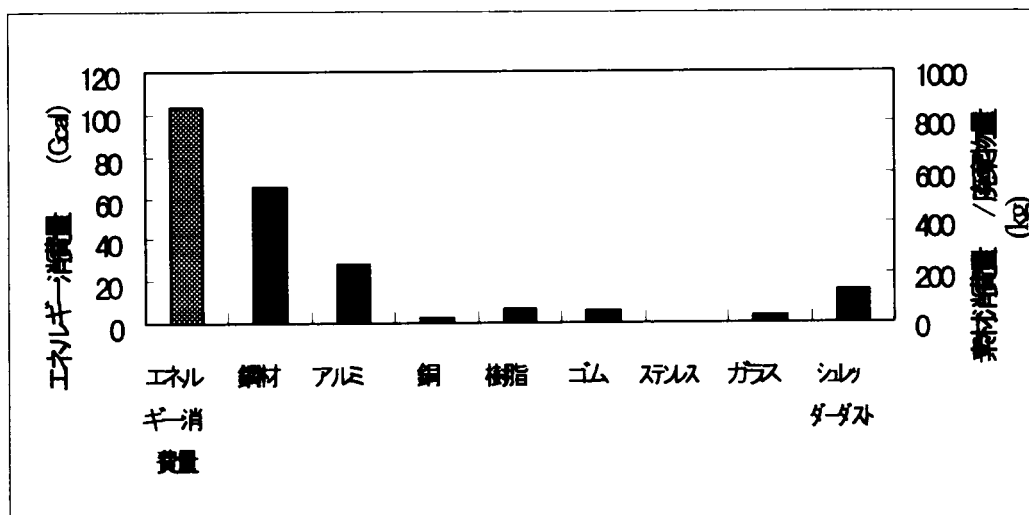


図 4-2 アルミ化自動車一台あたりの素材・エネルギー消費/廃棄物量

4.5 車種間の比較と配分問題の検討

本節では3章で述べた配分問題に対するB I配分の有用性を現実のシステムにおいて検証するため、前節までに述べた自動車の詳細なLCA算定モデルを用いて、自動車スクラップから建設用鋼材と再生アルミ材が再利用される状態を仮定し、自動車、建設用鋼材、再生アルミ材の間でシステム全体からのCO₂排出が配分される場合について、従来型自動車とアルミ化自動車の比較を行った。

算定結果を見ると、図4-3のB I配分では需給バランスの均衡点が明確に示されるのに対し、図4-4の重量配分では需給バランスが明確に反映されていないことが分かる。このことから、システム全体の最適化を本来の目的とするLCAにおいて、B I配分は有用であると考えられる。

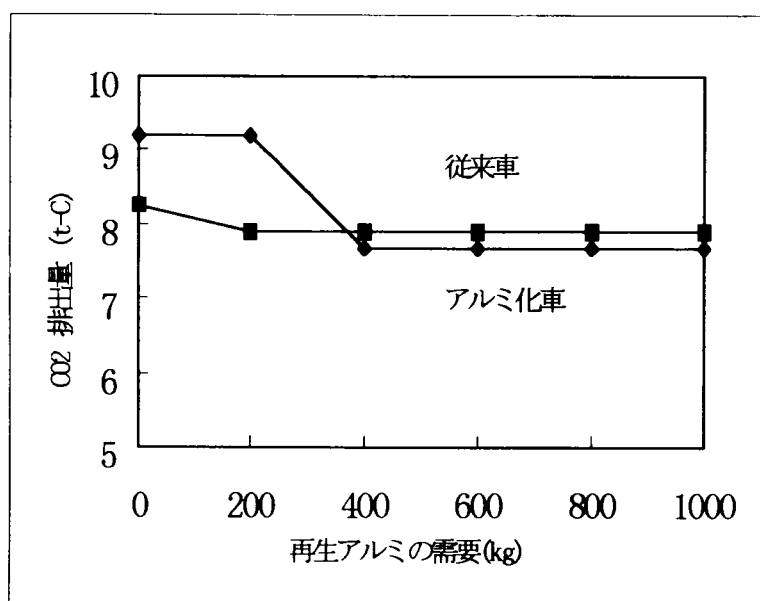


図 4-3 従来車、アルミ車一台の CO₂ 排出量比較
(BI 配分、建設用鋼材の需要 1t 時)

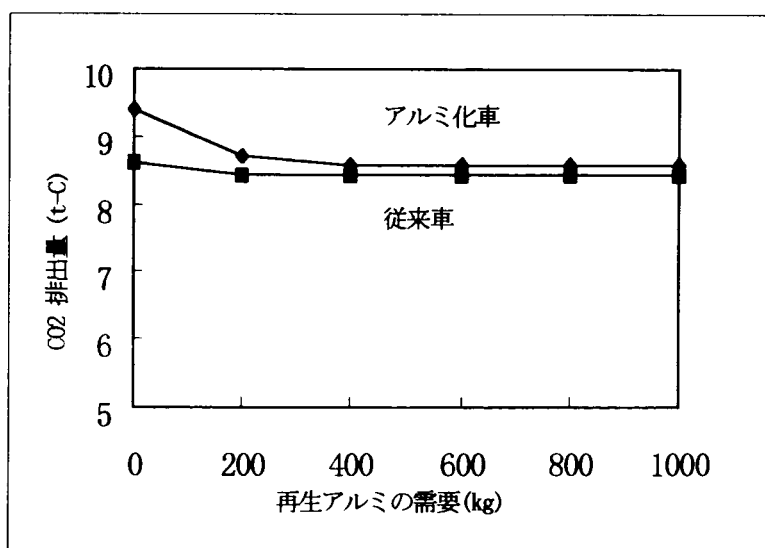


図 4-4 従来車、アルミ車一台の CO₂ 排出量比較
(重量配分、建設用鋼材の需要 1t 時)

5. 結論

本研究は、近年、環境問題への対応策を策定する上での有力なツールとして注目されている LCA を取り上げ、従来の一般的に行われてきた手法の問題点を補完する手法であるプロセス連関モデルを開発することを主たる目的として行われたが、以下に序論において述べた目的の順序に即してその成果を述べる。

従来の LCA 手法における問題点であるプロセス間の連関波及算定や、プロセス毎の詳細な技術評価、結合生産やリサイクルの明示的な取り扱い等に対して、プロセス連関

モデルを構築することにより体系的なLCA手法が整備された。

また、LCAの基本となるインベントリの作成において、最も重要な問題の一つである配分問題に関して、システム全体の需給バランスを考慮した配分手法であるBI配分の提案を行った。

次に、現実の製品に関するLCAとして、複雑な加工組立工程を持ち、多くの産業と関連する自動車を取り上げ、詳細なインベントリ作成を行った結果、上記手法とツールの有用性を確認された。また、自動車から建設用鋼材、再生アルミ材がリサイクルされるモデルを用いて、BI配分が従来の重量配分に比してシステム全体の需給バランスに鋭敏な指標であり、システム全体の最適化を目的とするLCAにおいて有用な指標であることが示された。

参考文献

- 1) ライフサイクルアセスメント、インベントリのガイドラインとその原則、社団法人産業環境管理協会、監訳:石谷久、松橋隆治
- 2) ライフサイクル影響評価のための概念的枠組み、インパクトアセスメント、社団法人産業環境管理協会、監訳:石谷久、松橋隆治
- 3) 本藤祐樹、内山洋司:産業連関表を用いた製品の素材消費量に関する分析、エネルギー資源学会第13回研究発表会講演論文集、pp.85~90、1994
- 4) 吉岡完治、外岡豊、早見均、池田明由、菅幹雄:環境分析のための産業連関表作成、Keio Economic Observatory Occasional Paper、No.26、1992

研究発表の状況

1.研究論文

- 1) ○ Ryuji Matsuhashi and Hisashi Ishitani, Model Analyses for Sustainable Energy Supply under CO2 Restrictions, IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 10, 730-735(1995)
- 2) ○ CO2放出量の抑制のためのシステム的対応策の検討、吉田好邦、石谷久、松橋隆治、シミュレーション14巻,1号, pp52-57(1995)
- 3) ○ Hisashi Ishitani, Ryuji Matsuhashi and Yoshikuni Yoshida et. al., Environmental and Economic Evaluations of Electric Vehicles, SAE Technical Paper 952793(1995)
- 4) ○ Hisashi Ishitani, Ryuji Matsuhashi and Yoshikuni Yoshida et. al., Environmental and Economic Evaluation of Electric Vehicles, World Energy Council 16th Congress(1995)
- 5) ○ Ryuji Matsuhashi, Koichi Hikita and Hisashi Ishitani, Model Analyses for Sustainable Energy Supply Taking Resource and Environmental Constraints into Consideration, Energy Conversion and Management, Vol.37, pp1253-1258(1996)

- 6) ○ 松橋隆治、疋田浩一、石谷久、超長期におけるエネルギーシステムの持続可能性の研究、シミュレーション、15巻、2号、pp 57-63 (1996)
- 7) ○ 吉岡理文、石谷久、松橋隆治、線形計画法によるライフサイクルアセスメント手法の研究、シミュレーション、15巻、1号、pp72-78 (1996)
- 8) ○ H. Ishitani, Y. Miyoshi, R. Matsubashi, MITIGATION OF GLOBAL WARMING UNDER SUSTAINABILITY CONSTRAINTS, Energy, Vol.22, No.2/3, pp223-227(1997)
- 9) ○ R. Matsubashi and H. Ishitani, Assessment of CO2 removal utilizing the concept of sustainability limitations, Energy Conversion and Management, Vol.38, s635-s641(1997)

2.学会発表

- 1) 吉岡理文・石谷久・松橋隆治、線形計画法を用いた自動車のLCA検討、第十一回エネルギーシステム経済コンファレンス(1995)
- 2) 松橋隆治・疋田浩一・石谷久、持続可能な超長期資源利用シナリオの検討、第十一回エネルギーシステム経済コンファレンス(1995)
- 3) 松橋隆治・安井一博・疋田浩一・石谷久、エネルギーシステムの持続可能性評価、第十二回エネルギーシステム経済コンファレンス(1996)
- 4) 吉岡理文・石谷久・松橋隆治、プロセス連関モデルを用いたLCA手法の検討、エネルギー資源学会第15回研究発表会(1996)
- 5) 松橋隆治・須藤修・石谷久・中根圭介・中山哲・安井英斉、地球規模・地域規模の持続可能性を考慮したライフサイクルアセスメント、第十三回エネルギーシステム経済コンファレンス(1997)