

卒業論文

環境負荷データベースを使ったLCAの検証

1～75 ページ完

平成 16 年 2 月 6 日提出

指導教官 酒井 信介 教授

20219 吉田 誠

目次

1 序論	5
1.1 本研究の背景	6
1.2 LCAの意義	6
1.3 LCA手法の概要	6
1.4 LCAの現状	7
1.5 マトリクスを用いたインベントリ(LCI)分析手法	8
1.6 LCAにおける感度解析の必要性	8
1.7 データベース	9
1.8 産業連関法	9
1.9 目的	10
2 理論	11
2.1 緒言	12
2.2 マトリクス法に基づくインベントリー解析	12
2.3 感度解析	14
2.3.1 摂動法を用いたプロセス量の変動率の評価	14
2.3.2 感度分析	15
2.4 感度分析ソフトEXCELバージョン	16
3 複写機のケーススタディー	17
3.1 緒言	18
3.2 インベントリフロー	20
3.3 目的と範囲	20
3.3.1 目的	20
3.3.2 範囲	20
3.4 製品組立	21
3.5 輸送	22
3.6 使用	23
3.7 消耗品製造工程	23
3.8 紙生産	24
3.9 回収、廃棄・リサイクル工程	25
3.10 CO ₂ 排出量分析結果	26
3.11 CO ₂ に対する感度解析	28
3.12 結言	29
3.13 付録	31

4	P E Tボトルのケーススタディー	35
4.1	緒言	36
4.2	インベントリフロー	36
4.3	目的と範囲	37
4.3.1	目的	37
4.3.2	範囲	37
4.4	ボトル用P E Tの製造	37
4.5	P E Tボトルの製造	38
4.6	リサイクル工程	39
4.7	C O ₂ 排出量分析結果	41
4.8	C O ₂ に対する感度解析	42
4.9	再評価	42
4.9.1	電力	43
4.9.2	プラスチック	43
4.10	結言	44
4.11	付録	45
5	アルミニウムのケーススタディー	49
5.1	緒言	50
5.2	目的	50
5.3	インベントリフロー	50
5.4	データベースによる評価	52
5.4.1	範囲	52
5.4.2	アルミニウム新地金	52
5.4.3	アルミニウム再生地金	52
5.5	C O ₂ 排出量分析結果	53
5.6	感度分析	55
5.7	再評価	56
5.8	結言	58
5.9	付録	59
6	乗用車のケーススタディー	61
6.1	緒言	62
6.2	インベントリーフロー	62
6.3	目的と範囲	63
6.3.1	(目的)	63
6.3.2	(範囲)	63
6.4	製品組立	63

6.5	乗用車の走行	65
6.6	CO ₂ 排出分析結果	66
6.7	感度解析	67
6.8	LCA 再評価	67
6.9	結言	68
6.10	付録	69
7	結論及び考察	71
7.1	結論	72
7.2	考察	72

1 序論

1.1 本研究の背景

近年、地球環境の保全、資源枯渇の回避は人類にとって解決しなければならない極めて重要な課題となっている。持続的経済発展を進める上には、環境への負荷を把握することが不可欠である。持続可能な発展の実現に向け環境への負荷を評価する手法として、ライフサイクルアセスメント(LCA)が注目を集めてきた。LCAとは、製品の原料採取から製造、使用、リサイクル、廃棄などのライフサイクルを通して環境に与える影響を分析する手法であり、循環型社会を実現する上で非常に有効な手段である。LCA手法は、まだ、新しい概念であり、実施に多くの課題を残しているが、LCA的思考方(LCAThinking)の浸透が重要である。

LCAの対象としては、単純な製品から複雑なシステムまで目的に応じて自由に設定することができる。また、環境への影響(インパクト)としては、局地的な環境負荷排出だけでなく、資源・エネルギーの消費や人体の健康・生態学的影響も含まれることが大きな特徴である。

1.2 LCAの意義

1997年12月地球温暖化を防止するための国際条約である京都議定書が採択された。京都議定書は先進国の地球温暖化の原因となる温室効果ガスを減らすための目標を含んでいる。そこで日本では国内におけるCO₂削減等の環境課題の解決に向けた種々の施策を展開し、「環境負荷最小での持続可能な社会」の実現を目指している。

そのために日本は社会全体で環境影響負荷低減活動を、さらに普及促進させることが必要であり、例えば企業等が経営等の判断材料を考える上でLCA手法を用いるなど、環境影響負荷低減にむけた活動を推進することが重要になっていて、LCAの浸透が必須になっている。

1.3 LCA手法の概要

LCAは方法論としてまだ確定的なものとはなっていないが、ISO14040に準拠して、実施手順として以下の4点が挙げられる。

1. 目的と範囲の設定(Goal and Scope Definition)

はじめに、LCAを実施する目的と範囲を明確にすることが重要である。LCA

の結果は、これらの設定によって多様な結果を生む。その結果は設定した範囲でのみ有効なものであり、それを利用するにはこれらの前提条件を踏まえた上で行う必要がある。

2. インベントリ分析(Life Cycle Inventory Analysis)
LCA 対象となる製品やサービスに関して、投入される資源やエネルギー(インプット)および生産または排出される製品・排出物(アウトプット)のデータを収集する。この時に、いかに信頼できるデータを収集するかが重要なポイントである。
3. インパクト評価(Life Cycle Impact Assessment)
インベントリ分析で得られたデータをもとに作成された製品の物量単位での環境負荷に、何らかの評価数値を掛け合わせて、個々ばらばらの環境負荷数値を格環境評価カテゴリー(地球温暖化、海洋汚染、など)で通算し、意思決定者にとって理解しやすいデータに変換する手続きである。
4. 結果の解釈(Interpretation)
インベントリ分析やインパクト評価の結果を単独にまたは統合して評価、解釈する段階である。この解釈結果は、LCA を実施した目的と範囲に対応した結論とすることが出来る。

本論文では、特に、インベントリ分析について言及する。

1.4 LCAの現状

LCAは、これまで、包装材や容器など消耗品を対象としたものが多くまた材料もプラスチック系が中心であり、リサイクルなしの一方向のみのフローを対象としていたのみであり、単なる足し合わせによる積み上げ評価でも、十分対応できるものであった。それゆえ、今までのLCAソフトウェアでは、リサイクルなどを含む複雑なライフサイクルを実現したり、何らかのパラメータを分析時に与えて実行したりすることが困難なため、素材の環境負担性評価に用いるには、十分ではなかった。

1.5 マトリクスを用いたインベントリ（LCI）分析手法

インベントリ分析手法において、積み上げ法は、各プロセスの環境負荷を積み上げ足し合わせるだけといった手法であるので、リサイクルなどを含む複雑なライフサイクルを表現したり、何らかのパラメータを分析時に与えて、実行したりすることが困難である。原田の提案するマトリクス法に基づくインベントリ分析手法は、プロセスの流れの中の基本要素として通常のプロセスデータに加えて、製品の出力や、マテリアルの分配等も含めた上で、要素としての定式化を行い、解が求まるための環境条件の処理も含めて、より一般的な評価方法であり、リサイクルなどを含む複雑なライフサイクルにも容易に対応する非常に有効な手法である。本研究では、インベントリ分析手法として、マトリクスに基づくインベントリ分析手法を採用する。

以下に積み上げ法と産業連関法の簡単な説明を示す。

積み上げ法...単位プロセスごとのデータを地道に一つずつ集計して合計を算出する手法。国際的に一般的な集計方法である。

産業連関法...産業界での生産活動に伴う財の分散状況を表した「産業連関表」を基にして、LCAの対象製品に関わるライフサイクルでの環境負荷を一括して算出しようとする手法。

1.6 LCAにおける感度解析の必要性

LCAをより有効なものにするためには、以下の2つの問題点を解決する必要がある。

1. インベントリ 解析におけるデータの不確定性の取り扱い法
2. システム全体のうち、環境負荷に最も大きな影響を及ぼす項目を特定すること。

感度解析を行うことによって、各要素が環境負荷量に及ぼす影響の程度を数値の形式で表示できるため、これらの問題点の解決のために重要な役割を果たすものと考えられる。

1.7 データベース

現代までの大量生産、大量消費、大量廃棄の反省として、製品のライフサイクル全体における環境負荷を減少させながら製品の性能あるいは経済的付加価値を高めることの重要性が指摘されることとなり、LCAが国際標準化も進められる等により、我が国でもLCA手法の普及が進められているところとなった。経済産業省では我が国におけるLCA手法の確立とLCAデータベースの構築を図ることを目的として、平成10年度より5カ年の国家プロジェクト「製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発」(通称LCAプロジェクト)を開始することを決定した。このプロジェクトにおいて構築されたLCAデータベースは今年1年試験公開され、本格的な運用のための課題抽出と改良を図っている。

データベースのデータは協力を行った22工業会の主要製品の製造、廃棄リサイクル過程、資源採掘、エネルギー、輸送に関するインベントリデータである。

1.8 産業連関法

産業連関表とは、産業部門間の取引の連関関係を表にしたものである。日本の産業連関表は、国内の特定の1年間について行われる財貨・サービスの産業部門間の取引金額を表にしたもので、総務庁など11省庁による共同作業で5年に一度発行されている。

産業連関表は、取引基本表、投入係数表、逆行列係数表から構成される。取引基本表は、各産業部門間で取引された財・サービスを金額で表したもので、狭義にはこれを産業連関表と呼ぶ。投入係数表は、ある産業部門で生産物を1単位生産するために必要な、各産業部門からの直接の投入額を示す。逆行列係数表は、投入係数表の産業部門を無限に遡及し、ある産業部門で生産物を1単位生産するために必要な、各産業部門からの直接、間接の投入額を示す。

逆行列係数表を用いれば、経済波及効果が分かる。もし、各産業部門に投入、排出されるエネルギーや物質の単位生産額あたりの量、つまり単価がわかれば、産業部門で生産物を1単位生産する時に発生する、エネルギーや物質量を求めることが可能となる。つまり産業連関法とは、逆行列係数表に基づく経済波及効果の分析手法を応用した、環境負荷の算出方法である。

1.9 目的

本研究では、LCA国家プロジェクトのデータベースについて、検討する。今年1年は、本格的な運用のための課題抽出と改良を図っているためその期間中にデータベースの問題点を見出す。さらに例題を通してデータベースの特徴を理解した上で、LCA評価においてバックグラウンドデータでLCAを概算評価し、データの優先順位を決め必要な部分をフォアグラウンドデータで補足し再評価する手法にデータベースが利用出来る事、またその有用性を示す。

2 理論

2.1 緒言

2.2 マトリクス法に基づくインベントリー解析

従来の研究によりマトリクスに基づくインベントリー解析手法及び、摂動法による感度解析はすでに定式化されている。〔1〕ここでは、マトリクス法に基づくインベントリー解析、摂動法の適用、環境負荷に対する感度解析についてその概略を示す。

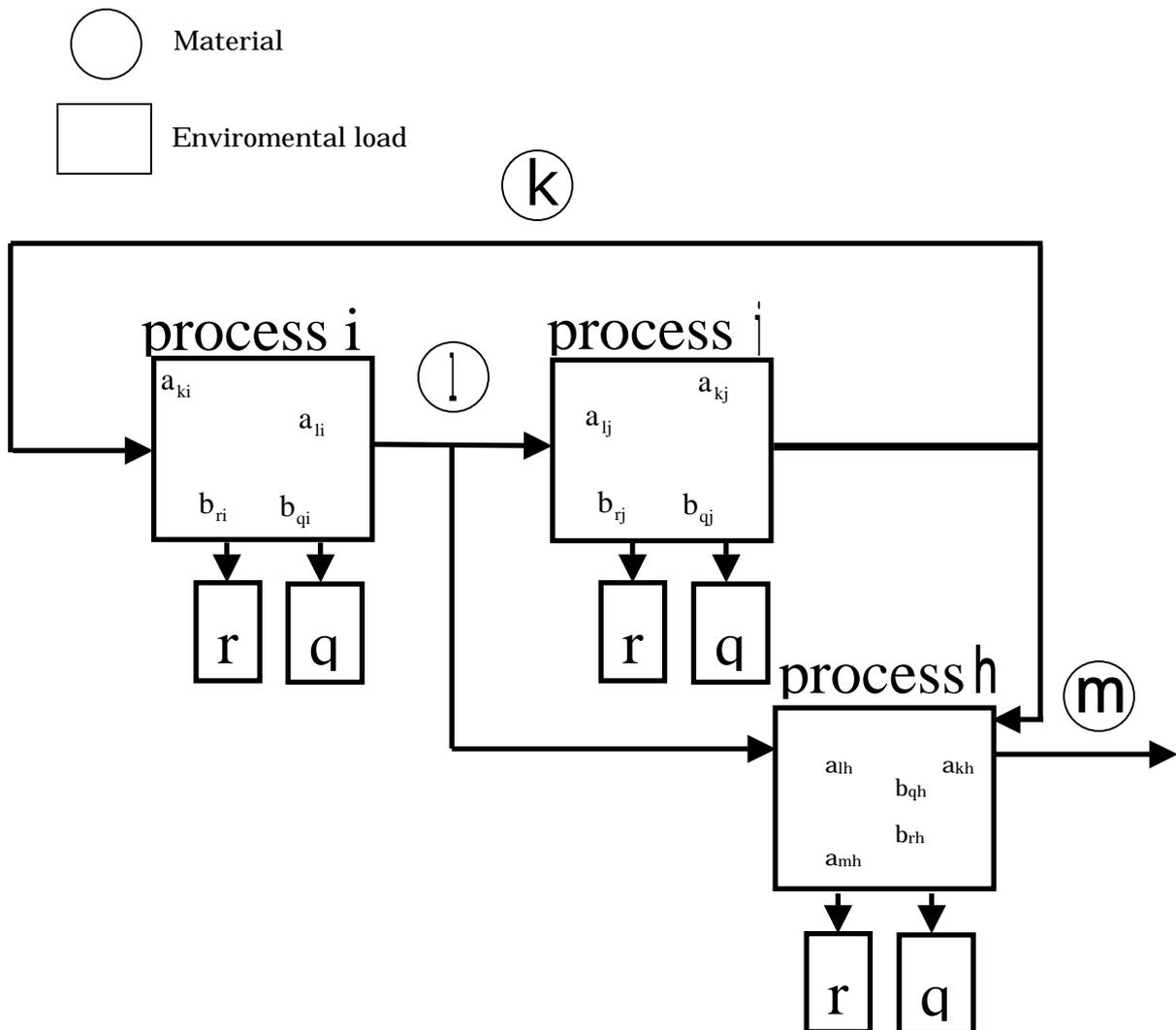


図 2-1 プロセスツリーの例

LCA でインベントリ解析を行う場合の手順は、まず最小単位であるプロセスに分解し、図のようなプロセスツリーを構成する。

図ではプロセス i 、 j 及び h から構成されている。 i 、 j 、 h はプロセス識別のためのインデックス、 r 、 q は環境負荷インデックス、 k 、 l 、 m はマテリアル識別のためのインデックスである。プロセス i において、マテリアルやエネルギーの投入量の出力製品の単位量に対する割合を (a_{ki}, a_{li}) と表現する。同様にプロセス i において、環境負荷の発生量の出力製品の単位量に対する割合を b_{ri}, b_{qi} と表現する。ただしプロセスに投入される量であるとき負、プロセスから出力される量であるとき正であるものとする。LCA の評価により、各プロセスの絶対量 p_i が計算される。各プロセスを p_i 倍することにより各プロセス内の絶対流量は得ることができる。同様に、環境負荷 r に及ぼす寄与は b_{ri} を p_i 倍することで求まる。

従って、プロセスツリー全体から評価されるマテリアルの総和 k は n をプロセス数とすると

$$k = \sum_{i=1}^n a_{ki} p_i \quad (2.1)$$

により評価される。同様に、環境負荷 r の総和 r は

$$r = \sum_{i=1}^n b_{ri} p_i \quad (2.2)$$

により評価できる。

従って k ($k=1, 2, \dots, n$) について境界条件が与えられた場合、

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{1n} \\ \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 \\ \vdots \\ n \end{Bmatrix} \quad (2.3)$$

を解くことによりプロセス量を評価することが出来る。式 (2.3) を

$$A P = \quad (2.4)$$

と表現すると、 P は

$$P = A^{-1} \quad (2.5)$$

により求まり、環境負荷ベクトル r は

$$r = B P \quad (2.6)$$

により求まる。ここに、

$$= \begin{Bmatrix} 1 \\ \vdots \\ k \end{Bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{1n} \\ \vdots & \vdots \\ b_{k1} & b_{kn} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

k は環境負荷の数、B は環境負荷マトリクスである。

2.3 感度解析

摂動法はもともと、個々の要素が微小変動するときに、応答値である出力がどのように変動するかを求める近似解析手法で Bellman が提案した方法[6]である。従来の研究で摂動法を応用することにより、係数マトリクスの要素の微小変動に伴う環境負荷の変動を近似的に評価し、予測を容易にすることが出来ることが示され定式化されている。以下に摂動法の適用と感度解析について示す。

2.3.1 摂動法を用いたプロセス量の変動率の評価

係数マトリクスAの中のij要素 a_{ij} が a_{ij} だけ微小変動したとすると、プロセス値Pも連動してPだけ変動する。プロセスの変動量は感度解析と密接な関係があり、従来の研究により以下のことが分かっている。

期待構造 \bar{A} に対するプロセス値の解を P^0 とすると変動後のプロセス値の解は

$$P = P^0 + P^I a_{ij} + P^2 a_{ij}^2 + \dots \quad (2.8)$$

とあらわす事が出来て、プロセスの変動は

$$P = P - P^0 \quad (2.9)$$

である。

ここで摂動法の手順により、確定項 P^0 、一時変動項 P^I 、二次変動項 P^2 は次式のように導くことが出来る。

$$P^0 = A^{-1} b \quad (2.10)$$

$$P^I = -A^{-1} A^I P^0 \quad (2.11)$$

$$P^2 = -A^{-1} A^I P^I \quad (2.12)$$

従って、一度逆マトリクス A^{-1} を求めて保存しておけばPの変動量は、単純なマトリクスの積で得ることが出来る。よって環境負荷の変動は

$$P = B^{-1} P \quad (2.13)$$

を計算することにより得ることが出来る。よって、環境負荷の変動の一次近似解は

$$P = -B A^{-1} A^I P^0 a_{ij} \quad (2.14)$$

と表すことが出来る。

2.3.2 感度分析

LCAをより有効なものにするためには、以下の2つの問題点を解決する必要がある。

3. インベントリ解析におけるデータの不確定性の取り扱い法
4. システム全体のうち、環境負荷に最も大きな影響を及ぼす項目を特定すること。

感度解析を行うことによって、各要素が環境負荷量に及ぼす影響の程度を数値の形式で表示できるため、これらの問題点の解決のために重要な役割を果たすものと考えられる。感度 d_{xy} は係数マトリクスAの期待値 \bar{A} の要素 a_{xy} が a_{xy} 変動したとき環境負荷に及ぼす影響度評価の指標である。k番目の環境負荷 k が、 \bar{A} 中の a_{ij} の微小変動 a_{ij} に伴って a_{ij} だけ変動するとき、感度 d_{ij}^k は以下(2.15)のように表される。

$$d_{ij}^k = \frac{\frac{\partial \bar{a}_k}{\partial a_{ij}}}{a_{ij}} = -\frac{a_{ij}}{a_{ij}} p_j^0 \sum_l b_{kl} a_{li}^{-1} \quad (2.15)$$

これにより、 P^0 と \bar{A}^{-1} が求まっていさえすれば感度を容易に求めることができる。

2.4 感度分析ソフトEXCELバージョン

実際に研究を進むにあたって LCA には明確な解析システムがないため、本研究では次の機能を持ったシステムのモデルを提示する。

- 特別なソフトウェアは使わず誰もが容易に利用可能
- 品質が検討できる

これらを満たすシステムはすでに感度分析機能を持った EXCEL システムとして開発されている。感度分析とは製品システムに含まれた、あるいは除かれた単位プロセスを見直すことである。

この EXCEL システムにさらに LCA プロジェクトデータの読み込みを可能にするシステムを作る。以下図 2-2 に解析システムのフローチャートを示す。

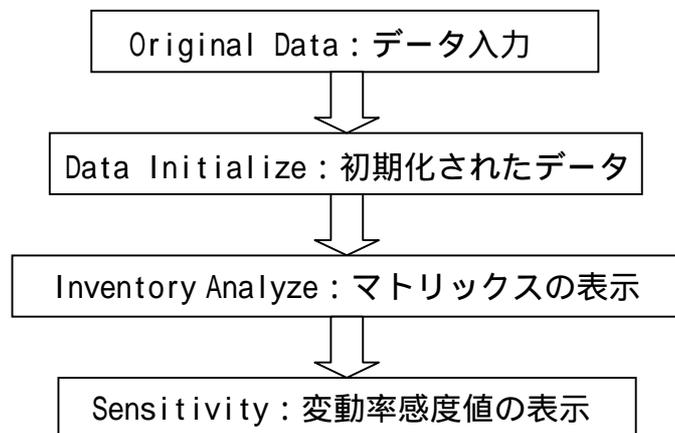


図 2-2 感度分析 EXCEL バージョンの一連の流れ

3 複写機のケーススタディー

3.1 緒言

複写機は、部品の設計・選択から、製品の組立、販売、使用時のメンテナンス、廃棄、リサイクルと製品のライフサイクルにわたる数多くの工程に関する。この点において、複写機は非常にLCAが発揮することができる製品である。しかし、複写機の部品点数が非常に多いため、LCAの実施は非常に困難なものとなっている。

OA 機器メーカー40社が加入する社団法人日本事務機械工業会の報告書〔2〕では、各部品に対し、該当する産業連関法によるCO₂排出原単位を探し出し、積算することによって各工程におけるCO₂排出量を算定している。産業連関法を使うことによって、部品点数の多い複写機のLCAを簡略化して実施することができるが、あくまでも概算値を得られるのみである。そこで感度解析を実施し、環境負荷に対する感度の大きい物に対して、詳細なデータの収集を行う方法の有効性が示された〔1〕。

つまりバックグラウンドデータを用いて、まず、LCAを実施し、感度の大きいデータについてフォアグラウンドデータの収集を行いLCAの実施を行うという手順が望ましいということである。

「フォアグラウンドデータ」という場合には、そのデータがLCA調査に関わって、実際の単位プロセスに対して直接的な調査から採取されたデータを示す。これに対して「バックグラウンドデータ」とは、そのデータがある範囲でLCAに用いることが可能であることを一般的に認められているデータを示す。

例えば、ある電機メーカーが自社の電化製品のLCA調査をとする。鉄やガラスなどの使用素材のデータや消費エネルギーとしての電力に関するデータなどを、メーカー自身で資源調達までさかのぼって追跡調査をしていては、膨大な労力をつぎ込まなくてはならなくなる。その際、例えば、日本国内での鉄素材に関する平均的なLCAデータがあれば、その電化製品のLCAに対して十分である。他の素材や電力に関しても同様のデータがあれば、それらを採用することで、その電化製品のLCA調査を十分実行できる。このようにLCAをある程度効率的に実行する際に役立つ、共通化されたデータを「バックグラウンドデータ」と呼ぶ。〔3〕

データベースのデータはバックグラウンドデータであり、産業連関法の代わ

りに用いることが出来れば、ますます容易にLCAが実施することになる。

バックグラウンドデータを用いて、まず、LCAを概算し、感度の大きいデータについてフォアグラウンドデータの収集を行い再度LCAの評価を行うという手順において、データベースがバックグラウンドデータとして十分利用できるかの調査、また産業連関法と比べ長所と短所を調べ、データベースのさらなる改善点の発見を目的にこの章では複写機のLCA評価を行う。

上のようなデータベースの利用法の概念図を以下図3-1に示す。

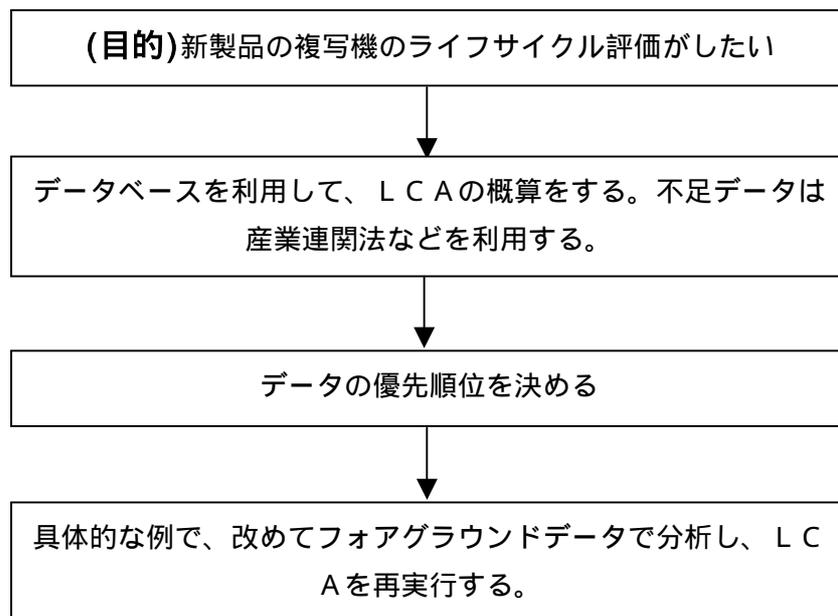


図3-1 データベース利用法概念図

3.2 インベントリフロー

ここでは、データベースが示した複写機のライフサイクルを基にLCA解析を行った。図3-2にデータベースの複写機ライフサイクルフローを示す。〔4〕

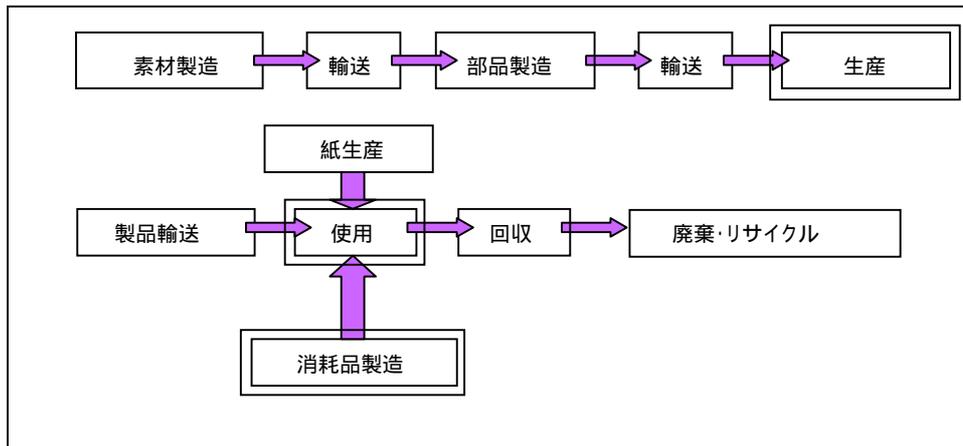


図3-2 複写機ライフサイクルフロー

二重枠のサイクルはデータベースにプロセスデータがあるプロセスである。データベースはこの二重枠内をシステム境界としている。

システム境界とは、どの範囲までの環境負荷を考えるかという境界のことである。よってそれ以外のプロセスにおいてはデータが存在せず、産業連関法と併用して行うこととする。

3.3 目的と範囲

3.3.1 目的

複写機のライフサイクルにおけるCO₂の排出量の算出

3.3.2 範囲

- 1999年または2000年に国内で製造・出荷された、デジタル中速機（複写速度30枚/分前後）
- 1台あたりのライフサイクルを評価
- CO₂のみを考慮

3.4 製品組立

生産のステージは最終組立を対象とし、「加工組立に必要な部材の納入」時点から「工場所轄倉庫からの出荷」時点までを対象とした。なお、製品に含まれる消耗品の生産に関わる環境負荷はすべて「使用」のステージで考慮し、生産のステージから差し引いた。以下、表3-1に製品組立プロセスのデータベースのデータを示す。

表 3-1 製品組立プロセスのデータ

1 デジタルモノクロ普通紙複写機(中速機)の製造				
2	O	複写機	台	1
3	I	電力	kWh	-28.253
4	I	都市ガス	m3	-0.145
5	I	灯油	l	-0.302
6	I	軽油	l	-0.067
7	I	A重油	l	-0.467
8	I	上水	m3	-0.016
9	I	工業用水	m3	-0.03
10	I	地下水	m3	-0.139
11	I	有機溶剤	kg	-0.072
12	I	潤滑油等	kg	-0.004
13	I	アルゴンガス	m3	-0.013
14	I	接着剤	kg	-0.003
15	I	水性塗料	kg	-0.085
16	I	上質紙等	kg	-0.125
17	I	ウエス	kg	-0.006
18	I	部品群	式	-1
19	L	CO2	g	2541
20	L	NOx	g	1928
21	L	SOx	g	3040
22	L	有価物	kg	0.487
23	L	再資源化物	kg	1.171
24	L	廃棄物	kg	0.551

表(3.1)のIは生産プロセスに投入されるデータ、Oは出力されるデータ、Lは出力される環境負荷を示す。今回はこの内CO₂のみを考慮する。3~18行目のインプットデータとして入力されたデータの排出原単位は別途求める必要がある。よってライフサイクルのプロセスは求めるべき物質がある限り増えつづける事になる。上の表3-1の10、12、14~17のデータは排出原単位がなかったため、概算において無視した。上に部品群とあるが、本来部品についてはシャ

ーシ、フレーム、ナットなど78個の部品からなるが、個々のデータがなく、部品群として一つにまとめた。また、部品群の排出原単位のデータはデータベースにはなく、過去の研究から複写機のライフサイクルにおいて部品群の比重は高いことから概算においても無視できないと考え、日本事務機械工業会のデータ〔3〕より得られたCO₂排出原単位 141040 g - C / 台を用いた。

LCA評価とは一般に、一つの物質が多くのプロセスで入力として現れてくる。例えば複写機ライフサイクルフローであれば電力は複写機の生産、複写機の使用、消耗品の製造、低密度ポリエチレンの製造、ナフサの製造、無水フタル酸の製造、グリセリンの製造、都市ガス製造、灯油製造、軽油製造、A重油の製造、上水の製造、エタノールアミンの製造、工業用水の製造、メタノールの製造、液体アルゴンの製造、というように16のプロセスで入力として存在する。電力や重油、原油などのエネルギーはいくつものプロセスに多く存在する。

積み上げ法を用いたインベントリ解析では、排出原単位を求めて単位プロセスを集計して合計する。積み上げ法を行う際、当然一つの物質に対し同じ単位で表現されていなければならない。データベースのデータは、現段階でデータとして必要な単位の統一が行われておらず、評価を行う者が単位を合わせなければならない。例えば原油の単位がLCAではm³、l、m³、kcal という具合に様々な単位で表現されている。

3.5 輸送

輸送は、素材製造～部品製造～生産の工程は無視し、製品輸送のプロセスには日本事務機械工業会のデータにより得られたCO₂排出原単位 4140 g - C / 台を用いた。このデータは、複写機の国内輸送により、発生するCO₂排出量を用いている。

3.6 使用

使用工程におけるデータベースの前提条件を以下に示す。

使用段階は、改正省エネ法の測定条件(一時間あたり30枚複写で1日8時間、月稼働20日)に従い、5年間稼動するものとしている。複写機はリースレンタル使用が多いため、使用期間は一般的に5年間が平均的である。消費電力および消耗品の使用個数をこの条件から算出した。

以下表3-2に使用のデータベースのデータを示す。

表 3-2 複写機の使用プロセスのデータ

1 デジタルモノクロ普通紙複写機(中速機)の使用				
2	O	複写機使用年		1
3	I	電力	kWh	-208.8
4	L	CO2	g	0
5	L	NOx	g	0
6	L	SOx	g	0

3.7 消耗品製造工程

消耗品製造工程におけるデータベースの前提条件を以下に示す。

- 「消耗品」に関しては、製造工程における入力(エネルギー、水および素材)と出力(廃棄物および環境負荷物質)を製品本体1台1年間当たりのライフサイクルで使用する消耗品量を算出した。
- 消耗品の素材に関しては、現像方式が会社により微妙に異なっているために素材の種類は延べ40種以上であったが、集計の際に現像剤用8種類、ドラム用4種類、包装材2種類にまとめた。
- 消耗品の製造に関するエネルギー等の消費に関しては、本体組立と同様に算出した。

以下表3.3にデータベースの消耗品製造工程のデータを示す。

表 3-3 消耗品製造プロセスのデータ工程

1	複写機消耗品製造工程			
2	O	複写機消耗品	式	1
3	I	電力	kWh	-14.662
4	I	灯油	l	-0.03
5	I	軽油	l	-0.008
6	I	LPG	kg	-0.036
7	I	金属酸化物	kg	-0.72
8	I	シリカ	kg	-0.018
9	I	顔料	kg	-0.06
10	I	染料	kg	-0.029
11	I	樹脂	kg	-1.449
12	I	ワックス	kg	-0.057
13	I	帯電制御材	kg	-0.015
14	I	プラスチック	kg	-0.606
15	I	アルミニウム	kg	-0.148
16	I	顔料	kg	-0.002
17	I	プラスチック	kg	-0.083
18	I	有機溶剤(メタノール)	kg	-0.007
19	I	アルミ袋	kg	-0.005
20	I	段ボール	kg	-0.701
21	I	上水	m ³	-0.007
22	I	工業用水	m ³	-0.005
23	I	地下水	m ³	-0.036
24	L	CO ₂	g	200.204
25	L	NO _x	g	196.449
26	L	SO _x	g	31.963
27	L	有価物	kg	0.225092
28	L	再資源化物	kg	0.070999
29	L	廃棄物	kg	0.042274

このうち 7~13、16、17、19、20、23 はデータがなく、概算において無視した。

3.8 紙生産

紙生産工程での前提条件を示す。

- 生涯印刷枚数 A 4 換算で288000枚の印刷用紙のデータ

データベースには印刷紙のデータがなく日本事務機械工業会のデータ〔3〕C O₂排出原単位2.532 g - C / 枚を採用した。

3.9 回収、廃棄・リサイクル工程

データベースには回収、廃棄・リサイクル工程についてのデータがないため、以下の条件下と設定した。

- 両面コピー使用率を4割とする
- 紙のリサイクル率を27%とする
- 紙の処理についてデータベースのデータがないため日本事務機械工業会のデータを利用し、廃棄紙1枚の焼却でCO₂排出量は1.6g、再生紙1枚のストックCO₂排出量0.014gとする

ただし両面コピー使用率とは、両面コピー回数をコピー回数で割ったものである。例えば、288000回のコピー中57600枚（115200回コピー）両面コピーしたとき、両面使用率は4割である。

以下図3-3に紙回収、廃棄・リサイクルのライフサイクルフローを詳細に示す。

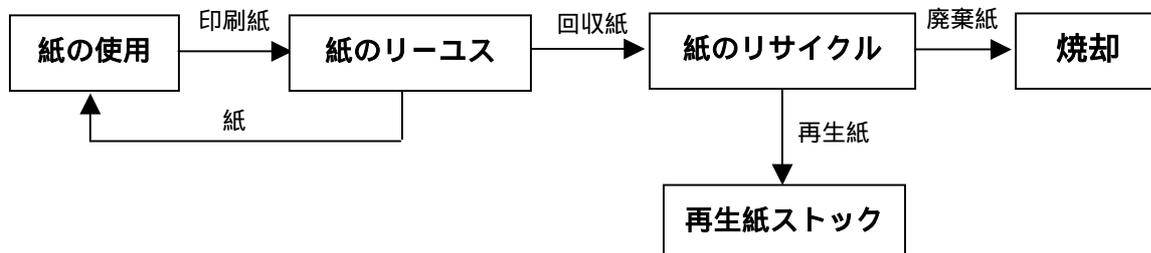


図 3-3 紙回収、廃棄・リサイクルのライフサイクルフロー

「紙の使用」によって印刷された印刷紙は「紙のリーユス」プロセスに入り、2割が両面印刷のために紙として「紙の使用」プロセスに戻る。残りの8割は回収紙として「紙のリサイクルフロー」に入り、27%が再生紙となり「再生紙ストック」へ、73%が廃棄紙となり「焼却」プロセスで焼却される。

3.10 CO₂排出量分析結果

今までの前提条件下のもと複写機ライフサイクルのLCA結果を以下に示す。
係数マトリクスAの詳細は、付録に示す。

これらのマトリクスから式により求められる複写機1台あたりのCO₂排出量は1421.558kg-Cとなった。

以下図3-4に結果を示す。

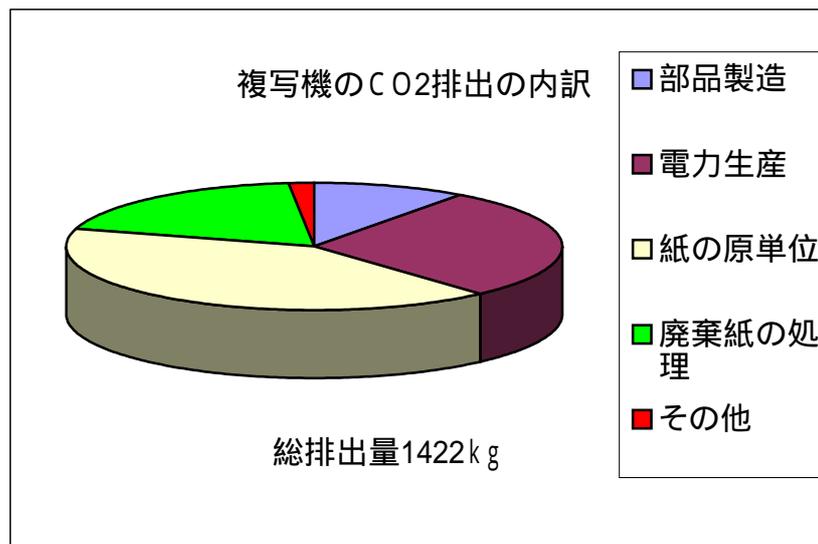


図3-4 CO₂排出分析結果

これは、日本事務機械工業会のデータを利用して行った結果〔3〕と比較した。
以下図3-5に日本事務機械工業会のデータを利用して行った文献の結果を示す。

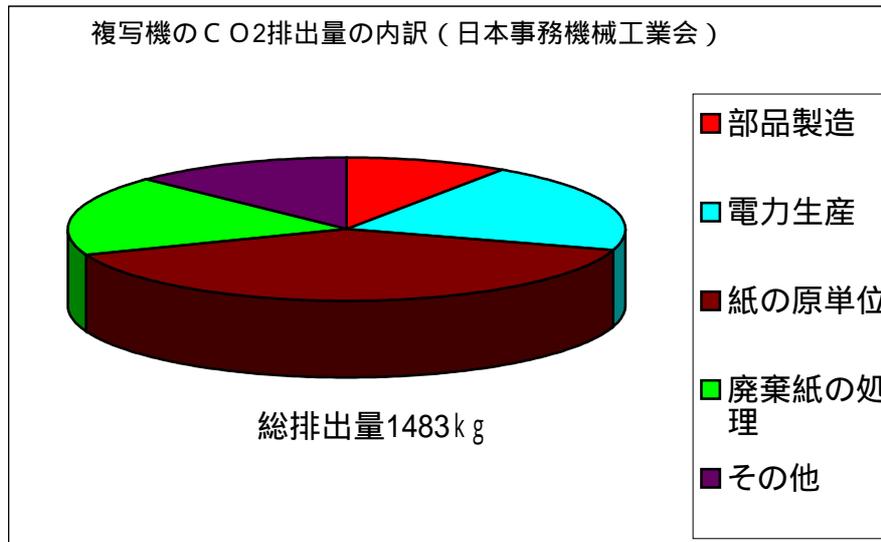


図 3-5 日本事務機械工業会のデータによる結果

二つを比較すると、総排出量やその内訳がおおまかにはほぼ一致している。ただし、細かく見ていくと、やはり誤差は生じている。データベースのデータは平均値であるので、どのデータに誤差が出るか見極めるため、概算した後、本来不確定解析が必要となってくる。しかしデータベースには標準偏差などがほとんどなく、データのばらつきが評価できないのが現状である。

3.1.1 CO₂に対する感度解析

式より、CO₂に対する感度マトリクスを求める。表3-4に感度の大きいものの順に感度値を示す。感度マトリクスDは以下の付録に示す。

表3-4 感度解析結果

	プロセス	要素	感度
1	紙使用	紙の使用	-0.6
2	紙使用	紙	0.513
3	紙生産	紙	-0.41
4	電力生産	電力	-0.286
5	複写機の使用	使用	-0.26
6	複写機の使用	電力	0.26
7	紙リユース	回収紙	0.19
8	紙のリサイクル	回収紙	-0.19
9	紙のリサイクル	廃棄紙	0.189
10	廃棄紙処理	廃棄紙	-0.189

例えば1について、紙使用プロセスの紙の使用に対する感度-0.6について説明すると、

$$d = \frac{\frac{CO_2}{CO_2}}{\frac{a}{a}} = -0.6$$

であり、a=1であるから

$$\frac{CO_2}{CO_2} = (-0.6) \times a$$

となり、 $a > 0$ のとき $CO_2 < 0$ となる。つまり、紙の消費量を減らすことが総CO₂排出量を減らすことに効果があることを示す。

2も1と同様に紙の消費量を減らすことが総CO₂排出量を減らすことに効果があることを示す。

3は紙の生産効率を上げることが総CO₂排出量を減らすことに効果があることを示す。

4は発電効率を上げることが総CO₂排出量を減らすことに効果があることを示す。

5は複写機の使用時の電力効率を上げることが総CO₂排出量を減らすことに効果があることを示す。

6 は 5 と同じ意味を示す。

7 は両面印刷率を増やすことが総CO₂排出量を減らすことに効果があることを示す。

8 は物理的に無理である。

9 はリサイクル率を上げることが総CO₂排出量を減らすことに効果があることを示す。

10 は焼却の際の効率を上げることが総CO₂排出量を減らすことに効果があることを示す。

次に、日本事務機械工業会のデータで補足したデータの感度を求める。以下表 3-5 にその結果を示す。

表 3-5 補足データの感度

	プロセス	要素	感度
1	紙使用	紙	0.518
2	紙製造	紙	-0.414
3	廃棄紙処理	廃棄紙	-0.191
4	紙リユース	紙	0.104
5	複写機製造	部品群	0.1001
6	部品製造	部品群	-0.1001
7	製品輸送	輸送	-0.00294
8	再生紙処理	再生紙	-0.00062

補足データの中には紙のように感度が高く無視出来ない物質が含まれている。複写機の評価を通して、3・8で述べたように感度の高いデータが不足していた。感度の高いデータは概算においても無視することが不可能であり、データベースのみの評価は無理である。また感度の低いデータにおいてはデータの不足は多く見られた。今回の複写機のLCA評価において、必要だったすべてのデータは178個あった。そのうちCO₂などの環境負荷、すなわちインプットデータとしてデータの必要がないものが32個なので、排出原単位が必要となるデータは146個あったことになる。そのうちデータベースのみを利用して求めることが出来たデータは23個のみであった。全データに対する、データベースで求めることが出来た割合を充足度とすると、充足度は15.8%にすぎない。

3.1.2 結言

データベースを利用してLCAの概算が出来るか、つまり産業連関法に代わりバックグラウンドデータとしての働きが十分に出来るかをLCAのライフサイ

クルフローを通して検討してみた。以下にデータベースの長所と短所を示す。

長所

(a) 産業連関法に比べ、データを容易に得ることが出来る。

短所

(b) データの不足

(c) 単位

(d) 標準偏差

(a) に関して、データベースは産業連関法と比べ、非常に容易にデータが得られることから、データが充足されれば飛躍的にLCAを行う時間が解消されることになる。

(b) に関しては、3.11で感度の高いデータの不足があったことや、充足度が30%に満たなかったことを考えると、データの不足は無視できない問題である。

(c) に関しては、3.4で触れたようにデータベースのデータは、現段階でデータとして必要な単位の統一が行われておらず、評価を行う者が単位を合わせなければならない問題点が存在している。

(d) に関しては、3.10で触れたように、概算した後、本来不確定解析が必要となってくる。しかしデータベースには標準偏差などがほとんどなく、データのばらつきが評価できないのが現状である。

データの不足を解消すればデータベースだけでバックグラウンドデータの機能を果たすことは出来るが、現状としては産業連関法との併用が望ましいとされる。次章からはこれらのデータベースの特徴に普遍性を求め、さらなる改善点を発見すべくいくつかのケーススタディーを実施する。

さらに複写機のケーススタディーでは感度の高い紙のデータをデータベースの不足から、フォアグラウンドデータで代用したため、3.1で述べたような概算後再評価する手法の有効性がはっきりと示すことができなかった。よって以後のケーススタディーで概算後再評価する手法の有効性を示す。

3.1.3 付録

複写機のライフフローサイクル原単位

複写機ライフサイクル(p1)			アルミニウム新地金(p7)			グリセリン(p12)				
O	複写機ライフサイクル	1	O	アルミニウム地	kg	1	O	グリセリン	kg	1
I	複写機	台	I	エネルギー		-153.8	I	電力	kWh	-0.4448
I	複写機使用	年	I	ボーキサイト	kg	-3.68	I	都市ガス	m3	-0.33503636
I	複写機消耗品	式	I	石灰石	kg	-0.174	I	A重油	l	-0.0182
I	輸送		I	岩塩	kg	-0.054	I	蒸気	kg	-3.618
I	紙の使用	枚	I	石灰	kg	-1.67	I	動植物油脂	kg	-3.4918
複写機の製造(p2)			低密度ポリエチレンの製造(p8)							
O	複写機	台	O	ポリエチレン	kg	1	O	電力	kWh	1
I	電力	kWh	I	電力	kWh	-0.301	I	電力	kWh	-0.301
I	都市ガス	m3	I	軽油	l	-0.0701293	I	軽油	l	-0.0701293
I	灯油	l	I	A重油	l	-0.06851515	I	A重油	l	-0.06851515
I	軽油	l	I	C重油	kcal	-640	I	C重油	kg	-0.467
I	A重油	l	I	液化石油ガス	kcal	-221.9	I	液化石油ガス	kg	-0.016
I	上水	m3	I	NG L	kcal	-72.3	I	工業用水	m3	-0.03
I	工業用水	m3	I	ナフサ	l	-0.99161964	I	地下水	m3	-0.139
I	地下水	m3	I	液化石油ガス	kg	-0.02	I	有機溶剤	kg	-0.072
I	有機溶剤	kg	I	NG L	kg	-0.035	I	潤滑油等	kg	-0.004
I	潤滑油等	kg	I	添加剤	kg	-0.003	I	アルコンガス	m3	-0.013
I	アルコンガス	m3	I	ロス	kg	0.014	I	接着剤	kg	-0.003
I	接着剤	kg	I	CO2	g	980.35	I	水性塗料	kg	-0.085
I	水性塗料	kg	I	SOx	g	0.942	I	上質紙等	kg	-0.125
I	上質紙等	kg	I	SOx	g	0.217	I	ウエス	kg	-0.006
I	ウエス	kg	I	電力生産(p13)			I	部品群	式	-1
I	部品群	式	I	電力	kWh	1800	I	CO2	g	2541
I	CO2	g	I	軽油	l	190	I	NOx	g	1928
I	NOx	g	I	重油	ml	250	I	SOx	g	3040
I	SOx	g	I	石炭	g	772	I	有価物	kg	0.487
I	有価物	kg	I	原油	l	67	I	再資源化物	kg	1.171
I	再資源化物	kg	I	天然ガス	g	101.845	I	廃棄物	kg	0.551
I	廃棄物	kg	I	COG(コークス炉ガ)	g	-0.9594	製品輸送(p3)			
製品輸送(p3)			I	LPG	g	-1.72	O	輸送	1	
O	輸送	1	I	LNG	g	-49.1	L	CO2	g	4140
L	CO2	g	I	CO2	g	353	部品製造(p4)			
部品製造(p4)			I	SOx	g	0.14	O	部品群	式	1
O	部品群	式	I	NOx	g	0.18	L	CO2	g	141040
L	CO2	g	I	都市ガス13A(製造・供給)(p14)		複写機の使用(p5)				
複写機の使用(p5)			O	都市ガス	m3	0.0159566	O	複写機使用	年	1
O	複写機使用	年	O	電力	kWh	-0.00265	I	電力	kWh	-208.8
I	電力	kWh	O	LNG	MJ	-0.00152	L	CO2	g	0
L	CO2	g	O	LNG	MJ	-0.963	L	NOx	g	0
L	NOx	g	O	液化石油ガス	MJ	-0.0371	L	SOx	g	0
L	SOx	g	O	CO2	g	0.0685	L	複写機消耗品製造工程(p6)		
複写機消耗品製造工程(p6)			O	NOx	g	0.000037	O	複写機消耗品	式	1
O	複写機消耗品	式	O	灯油	l	1	I	電力	kWh	-14.662
I	電力	kWh	O	電力	kWh	-0.0075	I	灯油	l	-0.03
I	灯油	l	O	原油	l	-1	I	軽油	l	-0.008
I	軽油	l	O	CO2	g	101.845	I	LPG	kg	-0.036
I	LPG	kg	O	NOx	g	0.079	I	金属酸化物	kg	-0.72
I	金属酸化物	kg	O	都市ガス13A(製造・供給)(p14)		I	シリカ	kg	-0.018	
I	シリカ	kg	O	電力	kWh	-0.0075	I	顔料	kg	-0.06
I	顔料	kg	O	LNG	MJ	-0.963	I	染料	kg	-0.029
I	染料	kg	O	液化石油ガス	MJ	-0.0371	I	ポリエチレン樹脂	kg	-1.449
I	ポリエチレン樹脂	kg	O	CO2	g	0.0685	I	ワックス	kg	-0.057
I	ワックス	kg	O	NOx	g	0.000037	I	帯電制御材	kg	-0.015
I	帯電制御材	kg	O	灯油	l	1	I	ポリエチレン	kg	-0.606
I	ポリエチレン	kg	O	電力	kWh	-0.0075	I	アルミニウム地	kg	-0.148
I	アルミニウム地	kg	O	原油	l	-1	I	顔料	kg	-0.002
I	顔料	kg	O	CO2	g	62.979	I	プラスチック	kg	-0.083
I	プラスチック	kg	O	NOx	g	0.048	I	有機溶剤(メタノ)	kg	-0.007
I	有機溶剤(メタノ)	kg	O	SOx	g	0.06	I	アルミ袋	kg	-0.005
I	アルミ袋	kg	O	電力	kWh	-0.0075	I	段ボール	kg	-0.701
I	段ボール	kg	O	原油	l	-0.0075	I	上水	m3	-0.007
I	上水	m3	O	CO2	g	0.071	I	工業用水	m3	-0.005
I	工業用水	m3	O	SOx	g	0.087	I	地下水	m3	-0.036
I	地下水	m3	O	A重油(p17)		I	CO2	g	200.204	
I	CO2	g	O	電力	kWh	-0.0075	L	NOx	g	196.449
L	NOx	g	O	原油	l	-1	L	SOx	g	31.963
L	SOx	g	O	CO2	g	145.391	L	有価物	kg	0.225092
L	有価物	kg	O	NOx	g	0.113	L	再資源化物	kg	0.070999
L	再資源化物	kg	O	SOx	g	0.14	L	廃棄物	kg	0.042274
L	廃棄物	kg	O	電力	kWh	-0.146				
			O	燃料油	kcal	-419				
			O	無静電水	kg	-0.15				
			O	o-キシレン	kg	-0.926				
			O	冷却水	m3	-0.072				
			O	不活性ガス	m3	-0.012				
			O	無水マレイン酸	kg	0.052				
			O	CO2	g	307				

上水の製造(p18)			
O	上水	m3	1
I	電力	kWh	-0.488
I	水	m3	-1.044
I	塩素剤	kg	-0.0099
I	凝集剤	kg	-0.021
I	凝集補助剤	kg	-0.00005
I	アルカリ剤	kg	-0.0039
L	乾燥固形物換	kg	0.0164
エタノールアミン(アンモニア過剰比5:1)(p19)			
O	有機溶剤	kg	1
I	電力	kWh	-0.042
I	蒸気	kg	-1.7
I	不活性ガス	m3	-0.053
I	エチレンオキサイド	kg	-0.81
I	アンモニア	kg	-0.203
I	冷却水	m3	-0.115
L	ジエタノールアミン	kg	0.786
L	トリエタノールアミン	kg	0.524
L	CO2	g	335
L	NOx	g	0.2
原油(p20)			
O	原油	l	1
I	ガス、A重油及び高	kcal	-316
I	石油	l	-1
L	CO2	g	79.933
L	NOx	g	0.92
L	SOx	g	1.343
工業用水の製造(p21)			
O	工業用水	m3	1
I	電力	kWh	0.25
I	水	m3	-1.036
I	凝集剤	kg	-0.0306
L	廃水処理発生土(海)	kg	0.026
L	廃水処理発生土(陸)	kg	0.0117
メタノール(p22)			
O	有機溶剤(メタノール)	kg	1
I	電力	kWh	0.0004
I	天然ガス	m3	0.8619
I	工業用水	kg	0.5
L	CO2	g	399.9
L	NOx	g	0.0005
L	SOx	g	0.00005
液体アルゴン製造(p23)			
O	アルゴンガス	m3	608
I	電力	kWh	1.143
I	工業用水	kg	2.453
紙の使用(p24)			
O	紙の使用	枚	1
I	紙	枚	-1
O	印刷紙		1
紙の原単位(p25)			
L	CO2	g	2.532
O	紙	枚	1
紙のリユース(p26)			
O	紙	枚	0.2
I	印刷紙	枚	-1
O	回収紙	枚	0.8
紙のリサイクル(p27)			
O	廃棄紙	g	2.92
O	再生用紙	枚	0.27
I	回収紙	枚	-1
再生用紙の処理(p28)			
L	CO2	g	0.014
I	再生用紙	枚	-1
廃棄紙の処理(p29)			
L	CO2	g	0.4
I	廃棄紙	g	-1
BOUNDARY(p30)			
B	複写機ライフサイクル		1

4 PETボトルのケーススタディー

4.1 緒言

プラスチックの原料は石油で、主として炭素と水素からなる高分子化合物である。炭素や水素は地球上に大量に存在する元素でその意味からもプラスチックは私たちにとってごく身近な素材であるといえる。

現在、プラスチックは私たちの身の回りから、ハイテク産業に至るまでさまざまな分野で普及している。しかしプラスチックは生産量、消費量ともに増えつづけ、それに伴い排気量も年々増加している。現在、このプラスチック廃棄物の増加は資源活用、環境対策といった観点から大きな社会問題になっており、リサイクルシステムの検討が必要となっている。

そこでこの章では前章で示したデータベースの有効活用手法でプラスチックのリサイクルサイクルのLCA評価を行う。

4.2 インベントリフロー

図 4-1 にデータベースで示されたプラスチックライフサイクルフローを示す。

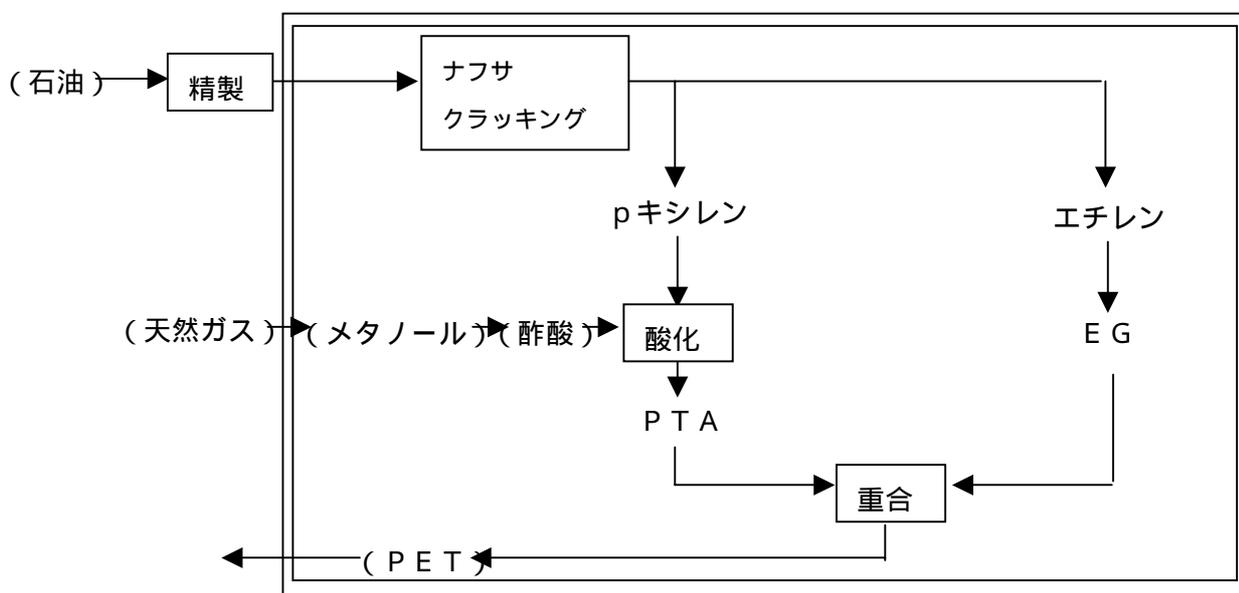


図 4-1 プラスチックライフサイクルフロー

二重枠のサイクルはデータベースのシステム境界である。プラスチックは

マテリアルサイクルフローというリサイクルフローが活用されている。マテリアルサイクルフローとは、回収されたプラスチックを単一材料にまで分別し、材料として再度製品に成形・加工をして再利用する方法である。マテリアルサイクルを図 4-1 のプラスチックライフサイクルフローに加え、図 4-2 のようにして評価する。

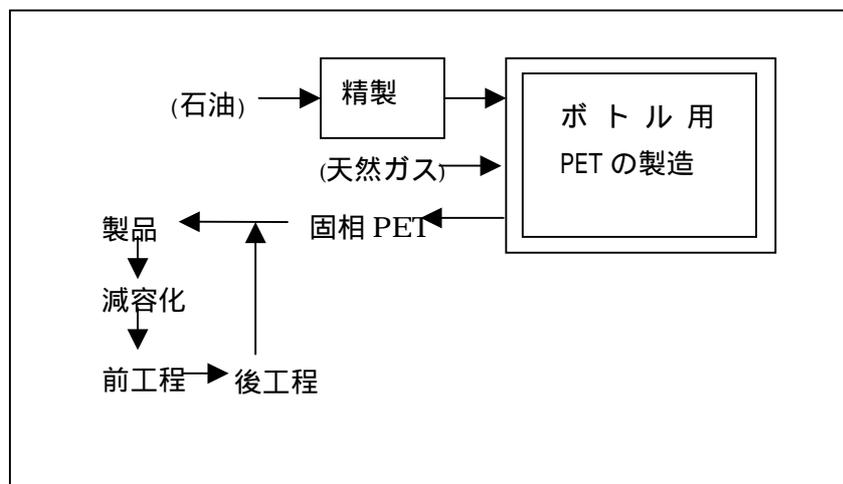


図 4-2 マテリアルサイクルフロー

4.3 目的と範囲

4.3.1 目的

プラスチックのマテリアルサイクルにおける CO_2 排出量の算出

4.3.2 範囲

- PET ボトル製品 1 kg について解析する。
- 製品として汎用樹脂を対象とした。
- CO_2 のみを考慮する。

4.4 ボトル用 PET の製造

データベースでは、データ収集は、対象となる樹脂とそれらの原材料を生産する国内全メーカー及び関係する業界団体(石油化学工業会, 塩ビ工業・環境協会, 発泡スチレン工業会, 日本化学工業協会, ペット樹脂協議会, メタノール・ホルマリン協会)が参加して実施された。

データの收拾および算出は、ホリゾンタルメソッドにより業界の 90% 以上(実質 100%) をカバーする平均値が得られた。

ホリゾンタルメソッドとは、

- 同一工程の累積アベレージデータを使用する。
- 原単位化による特異なデータのチェックが容易。
- オリジナルデータの秘密保持が保たれるためデータ提供が得られやすい。という特徴がある。

データベースのシステム境界は石油精製～固相PETの製造までを範囲としていて、ボトル用PETの原単位プロセスは以下表4-1のようになっている。

Iはプロセスに投入されるデータ、Oは出力されるデータ、Lは出力される環境負荷を示す。

表 4-1 PET製造プロセスのデータ

ボトル用PETの製造			
1	O	その他のプラスチック	kg 1
2	I	電力	kWh -0.38
3	I	軽油	l -0.06
4	I	A重油	l -0.06
5	I	C重油	l -0.05531
6	I	液化石油ガス	kcal -240.3
7	I	ナフサ	kg -0.737
8	I	液化石油ガス	kg -0.003
9	I	原油	l -0.00235
10	I	NGL	kg -0.006
11	I	酸素ガス(液化酸素を含む)	kg -0.416
12	I	水	kg -0.08
13	I	添加剤	kg -0.016
14	I	LNG(液化天然ガス)	kg -0.014
15	L	ロス	kg 0.076
16	L	CO2	g 989
17	L	NOx	g 1.07
18	L	SOx	g 1.06
19	L	廃プラスチック	mg 3490
20	L	無機汚泥	mg 1290
21	L	ばいじん	mg 855
22	L	燃え殻	mg 442
23	L	廃油	mg 170
24	L	有機性汚泥	mg 2550

このうち、6、8、10～14はデータの不足により、概算において無視した。

4.5 PETボトルの製造

4.4でPETボトルのプラスチックの部分の製造を考慮した。残りのペットボトルの部品となるキャップラベルの製造と、キャップラベルとプラスチックからPETボトルが形成される工程のデータは寺岡淳「PETボトルのリサイクルにおける環境負荷と費用負担性の評価」を参照した。〔5〕

PETボトル販売におけるデータも上と同じ文献から抜粋した。〔5〕

以下表 4-2 にデータを示す。

表 4-2 キャップラベル、PETボトル、消費プロセスのデータ

キャップラベル			
O	キャップラベル	kg	1
I	原料	kg	-26.316
I	電力	kWh	-37.275
PETボトル製造			
O	製品	kg	1
O	製品の製造	kg	1
I	電力	kWh	-2.087
I	キャップラベル	kg	-0.038
I	その他のプラスチック	kg	-0.962
消費			
O	使用済製品	kg	1
I	製品	kg	-0.825
I	電力	kWh	-4.726

4.6 リサイクル工程

使用済み製品を分別する際、リサイクル率を 1.8%とする。以下表 4-3 にリサイクルフローの原単位を示す。リサイクルにおいても、データベースには存在しないため、文献より抜粋した。〔4〕〔6〕

表 4-3 リサイクルフローのデータ

減容化			
O	ペール	kg	1
I	r-PET	kg	-1.111
I	電力	kWh	-0.042
前工程			
O	フレーク	kg	1
I	電力	kWh	-0.436
I	ペール	kg	-1.427
I	A重油	l	-0.073
後工程			
O	その他のプラ	kg	1
I	フレーク	kg	-1.05
I	電力	kWh	-0.221
I	A重油	l	-0.087

4.7 CO₂排出量分析結果

今までの前提条件下のもとPETボトルライフサイクルのLCA結果を以下に示す。係数マトリクスA₁の詳細は、付録に示す。

これらのマトリクスから式により求められるPETボトル 1kgあたりのCO₂排出量は4.525kg-Cとなった。

以下図4-3に結果を示す。

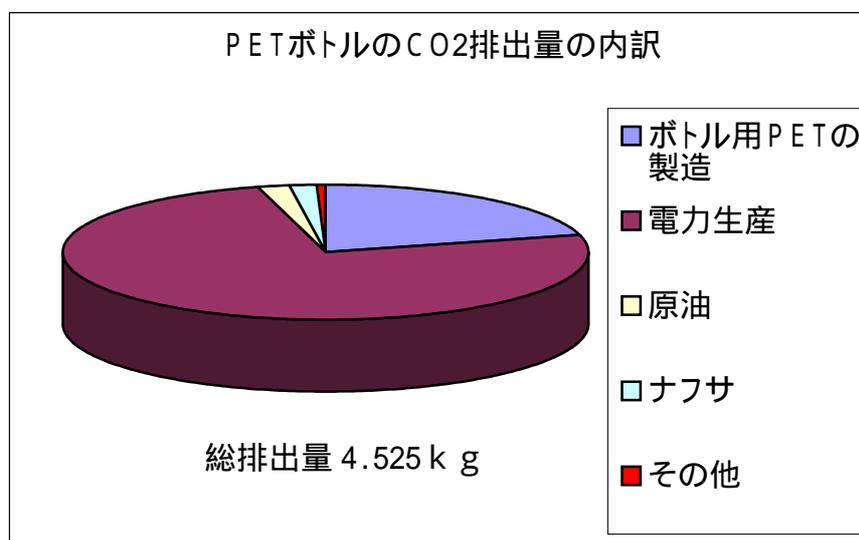


図 4-3 CO₂排出量分析結果

4.8 CO₂に対する感度解析

式より、CO₂に対する感度マトリクスを求める。表4-3に感度の大きいものの順に感度値を示す。感度マトリクスDは以下付録に示す。

表4-3 感度解析結果

	プロセス	要素	感度
1	電力生産	電力	-0.7518
2	消費	電力	0.448
3	PETボトル製造	製品	0.445
4	消費	製品	-0.445
5	PETボトル製造	その他のプラスチック	0.28
6	ボトル用PETの製造	その他のプラスチック	-0.28
7	キャップラベル	電力	0.11
8	PETボトル製造	キャップラベル	0.11
9	キャップラベル製造	キャップラベル	-0.11

1 は、発電効率を上げることが、CO₂総排出量を減らすことに効果があることを示す。

2 は、消費時の節電がCO₂総排出量を減らすことに効果があることを示す。

7 は、キャップラベル製造時に電力を減らすことがCO₂総排出量を減らすことに効果があることを示す。

8 はPETボトルにおいて、キャップラベルを減らすことがCO₂総排出量を減らすことに効果があることを示す。

PETボトルの評価においては、2の消費時の電力量と7や9に関するキャップラベルのプロセスのデータが不足していた。さらに今回のPETボトルのLCA評価において、必要だったすべてのデータは42個であった。このうち排出原単位が必要となるデータが33個で、データベースを利用できたものが14個であった。42%はデータベースで評価できたという結果になった。

4.9 再評価

データベースをバックグラウンドデータとして概算に利用した。概算の際キャップラベル製造と、消費とリサイクル時の必要な電力量は既存のデータを利用した。

概算をした後、4.6で求めた感度の高いデータをフォアグラウンドデータとして集め、データの精度を上げることでどのくらいの精度が求まるか評価する。

4.9.1 電力

一番感度の高かった発電プロセスについてまず取り扱う。

データベースのデータでは、電力1kwh発電あたり原油0.0124l、CO₂排出原単位353gであった。これに比べ、電力中央発電所(1991)のデータ〔5〕は電力1kwh発電あたり原油0.291l、CO₂排出原単位733gである。

4.9.2 プラスチック

プラスチック1kgが生成されるとき電力とCO₂排出量について取り扱う。

データベースではプラスチック1kg生成するとき、電力0.38kwh、CO₂排出原単位989gである。このデータをプラスチック1kg生成するとき、電力1.08kwh、CO₂排出原単位1520gと置き換えた。〔4〕〔6〕

以上のデータのみを置き換え、他の状態はそのままとして再解析を行った。津本篤 卒業論文「LCAを用いたプラスチック製造プロセスの感興負担性評価」平成10年〔7〕の結果（電力中央発電所(1991)〔5〕のデータと、寺岡 淳「PETボトルのリサイクルにおける環境負荷と費用負担性の評価」のデータをもとに評価した）と再解析の結果を比較する。

係数マトリクスA₂は付録に記載する。

PETボトルのマテリアルサイクルのプロセスに従い以下に実施すると、9.397kgであり文献値は9.614kgと近い値が得られた。以下図4-2に概算、再評価、文献を比べる。

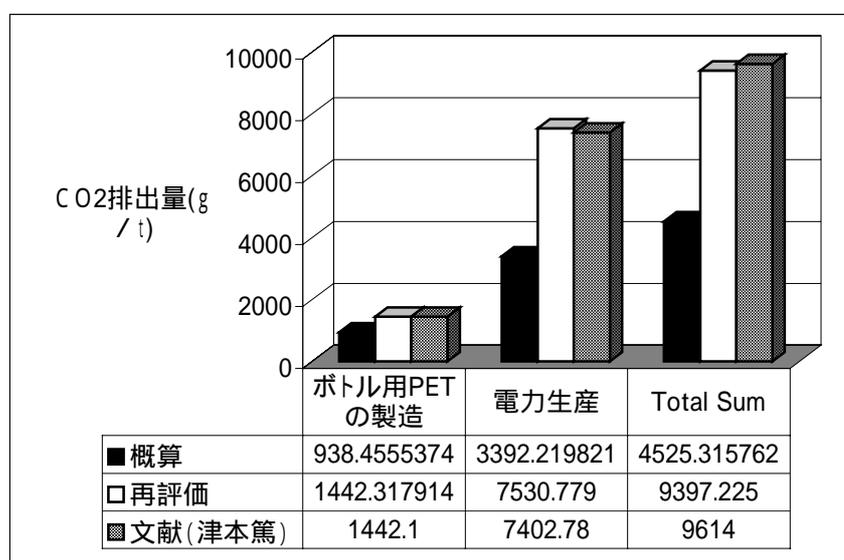


図 4-4 概算と再評価の比較

再評価したものは概算よりもかなり精度があがっている。再評価はほぼ文献と近い値が得られた。

4.10 結言

3.12章で述べたようにデータベースの長所として、LCA評価を行う際に比較的容易にデータを収集出来ると言える。しかし短所も複写機の場合と同様に概算をする際に、データの不足は否めない。データの不足を産業連関法で補いデータベースを主として概算し感度を解析し、感度の大きいもののデータのみフォアグラウンドデータを利用する手法は有効利用できると言える結果が得られた。

今回のPETボトルの評価から、CO₂に影響の大きい要素は発電プロセスであることが分かった。電力に非常に頼っているこの現代において、発電効率の向上は環境問題を飛躍的に解決するものと思われる。

4.1 1 付録

データベースのPETボトルの原単位

ペットボトルライフサイクル(p1)				低硫黄C重油(p7)			
O	ペットボトルライフサイクル		1	O	C重油	l	1
I	製品の製造	kg	-1	I	電力	kWh	-0.0075
ボトル用PETの製造(p2)				原油			
O	その他のプラスチック	kg	1	L	CO2	g	147.55
I	電力	kWh	-0.38	L	NOx	g	0.115
I	軽油	l	-0.06	L	SOx	g	0.142
I	A重油	l	-0.06	ナフサ(p8)			
I	C重油	l	-0.05531	O	ナフサ	kg	0.85
I	液化石油ガス	kcal	-240.3	I	電力	kWh	-0.0075
I	ナフサ	kg	-0.737	I	原油	l	-1
I	液化石油ガス	kg	-0.003	L	CO2	g	101.845
I	原油	l	-0.00235	L	NOx	g	0.079
I	NGL	kg	-0.006	L	SOx	g	0.098
I	酸素ガス(液化酸素を含む)	kg	-0.416	キャップラベル(p9)			
I	水	kg	-0.08	O	キャップラベル	kg	1
I	添加剤	kg	-0.016	I	原料	kg	-26.316
I	LNG(液化天然ガス)	kg	-0.014	I	電力	kWh	-37.275
L	ロス	kg	0.076	PETボトル製造(p10)			
L	CO2	g	989	O	製品	kg	1
L	NOx	g	1.07	O	製品の製造	kg	1
L	SOx	g	1.06	I	電力	kWh	-1.007
L	廃プラスチック	mg	3490	I	キャップラベル	kg	-0.038
L	無機汚泥	mg	1290	I	その他のプラスチック	kg	-0.962
L	はいじん	mg	855	消費(p11)			
L	燃え殻	mg	442	O	使用済製品	kg	1
L	廃油	mg	170	I	製品	kg	-0.825
L	有機性汚泥	mg	2550	I	電力	kWh	-4.726
電力生産(p3)				分別(p12)			
O	電力	kWh	1	O	waste	kg	0.982
I	軽油	l	-0.000245	O	r-PET	kg	0.018
I	重油	ml	-13.99	I	使用済製品	kg	-1
I	石灰	g	-57.21	減容化(p13)			
I	原油	l	-0.01239	O	ペール	kg	1
I	天然ガス	g	-0.7025	I	r-PET	kg	-1.111
I	COG(コークス炉ガス)	g	-0.9594	I	電力	kWh	-0.042
I	LPG	g	-1.72	前工程(p14)			
I	LNG	g	-49.1	O	ブレード	kg	1
L	CO2	g	353	I	電力	kWh	-0.436
L	SOx	g	0.14	I	ペール	kg	-1.427
L	NOx	g	0.18	I	A重油	l	-0.073
軽油(p4)				後工程(p15)			
O	軽油	l	1	O	その他のプラスチック	kg	1
I	電力	kWh	-0.0075	I	ブレード	kg	-1.05
I	原油	l	-1	I	電力	kWh	-0.221
L	CO2	g	91.051	I	A重油	l	-0.087
L	NOx	g	0.071	waste/廃棄(p16)			
L	SOx	g	0.087	I	waste	kg	-1
A重油(p5)				L	CO2	g	0
O	A重油	l	1	BOUNDARY			
I	電力	kWh	-0.0075	B	ペットボトルライフサイクル		1
I	原油	l	-1				
L	CO2	g	145.391				
L	NOx	g	0.113				
L	SOx	g	0.14				
原油(p6)							
O	原油	l	1				
I	ガス、A重油及び高硫黄C	kcal	-316				
I	石油	l	-1				
L	CO2	g	79.933				
L	NOx	g	0.92				
L	SOx	g	1.343				

5 アルミニウムのケーススタディー

5.1 緒言

日本では、現在、アルミニウム新地金を約 250 万トン使用し、アルミニウム再生地金を約 160 万トン使用している。新地金 250 万トンのうち日本で製造している量は 2 万トンほどであり、そのほとんどは輸入に頼っている。

アルミニウムは他の金属と比べると酸化しにくく、融点が低いため、使用済みのアルミ製品を溶かして、簡単に再生することが出来る。しかも再生地金を作るのに必要なエネルギーは新地金を作る場合に比べ少なくすみ、品質的にも新地金とほとんど変わらないものが製造できる。

アルミニウムは飲料缶、建材、自動車、日用品など広く使われており、アルミニウムの再資源化は全国各地で行われており、省資源・省エネルギーを果たすとともに、地球環境保護、ごみ減量化の批准にも大きな役割を担っている。

5.2 目的

アルミニウムのライフサイクルを通して、データベースによる L C A 評価の制度の検証する。環境負荷は CO_2 のみとする。フォアデータは 1991、1992 年にヨーロッパアルミニウム連盟がヨーロッパの主なアルミニウムメーカーから収集したデータを使用し、どれほどこの文献値の値に近づくことが出来るかを検討する。

5.3 インベントリフロー

データベースのアルミ再生地金とアルミニウム新地金のライフフローを以下図 5-1 に示す。二重枠はデータベースのシステム境界である。

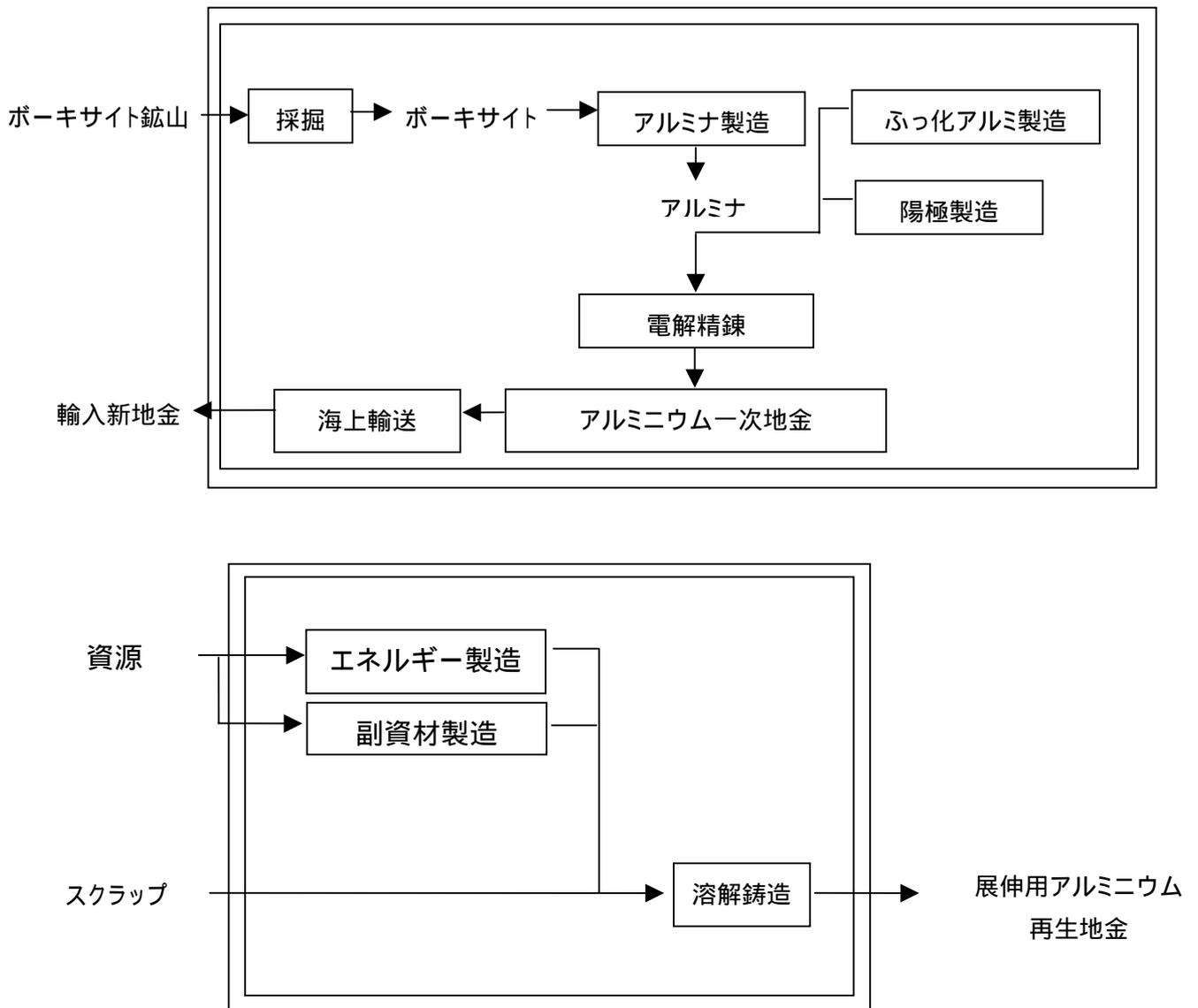


図 5-1 アルミニウムライフフロー

5.4 データベースによる評価

5.4.1 範囲

- 回収率は日本におけるデータを用いる。
- アルミニウム 1kg あたりを評価
- CO₂のみを考慮

5.4.2 アルミニウム新地金

- 海外におけるボーキサイト採掘からアルミニウム新地金製造およびわが国までの海上輸送を対象サブシステム範囲として調査した。
- わが国の輸入アルミニウム新地金の平均値(1998年度)
- 1998年度輸入実績に基づいて、生産国の電源構成を考慮。

以下表 5-1 にアルミニウム新地金製造におけるデータベースのデータを示す。I は生産プロセスに投入されるデータ、O は出力されるデータ、L は出力される環境負荷を示す。

表 5-1 アルミニウム新地金製造プロセスデータ

1		アルミニウム新地金		
2	O	アルミニウム地金	kg	1
3	I	エネルギー		-153.8
4	I	ボーキサイト	kg	-3.68
5	I	石灰石	kg	-0.174
6	I	岩塩	kg	-0.054
7	I	石炭	kg	-1.67
8	I	原油	kg	-1.26
9	I	天然ガス	kg	-0.49
10	L	CO ₂	g	9601
11	L	NO _x	g	18
12	L	SO _x	g	58
13	L	固形廃棄物	kg	1.192

アルミニウム新地金の原単位プロセスのうち 3~7、9 はデータの不足により、概算において無視した。

5.4.3 アルミニウム再生地金

スクラップ溶解・鋳造工程を対象サブシステムとした。スクラップおよび再生地金の輸送は輸送形態を特定できず、対象システムの範囲外とした。

リサイクルは70%とした。
以下表 5-2 にアルミニウム再生地金のデータベースのデータを示す。

表 5-2 アルミニウム再生地金プロセスデータ

1	アルミニウム再生地金		
2	O	アルミニウム再	kg 1
3	I	r-アルミニウム	kg -1.05
4	I	エネルギー	-5.7
5	I	ボーキサイト	kg -0.0045
6	I	石灰石	kg -0.0003
7	I	岩塩	kg -0.0002
8	I	石炭	kg -0.033
9	I	原油	kg -0.024
10	I	天然ガス	kg -0.033
11	I	ウラン鉱石	kg -0.000003
12	L	CO2	g 309
13	L	NOx	g 0.46
14	L	SOx	g 0.84
15	L	固形廃棄物	kg 0.0013

アルミニウム再生地金の原単位のうち、4～8、10、11 はデータの不足により、概算において無視した。

5.5 CO₂ 排出量分析結果

今までの前提条件下のもとアルミニウムライフサイクルの L C A 結果を以下に示す。係数マトリクス A_1 の詳細は、付録に示す。

これらのマトリクスから式により求められるアルミニウム 1t あたりの CO₂ 排出量は 5.96 k g - C となった。

以下図 5-2 に結果を示す。

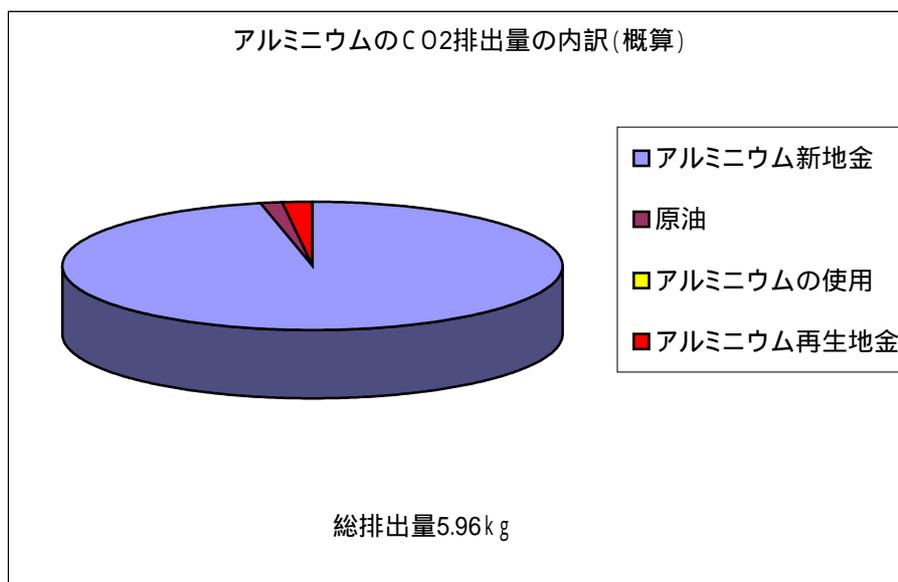


図 5-2 CO₂排出量分析結果

この結果は 1991、1992 年にヨーロッパアルミ連盟がヨーロッパのアルミメーカーから収集したデータ〔7〕に基づく結果と近い値である。ヨーロッパアルミ連盟がヨーロッパのアルミメーカーから収集したデータに基づく値はアルミニウム 1t あたり CO₂5.39kg であった。以下図 5-3 にそのライフフローサイクルを示し、結果を図 5-4 に示す。

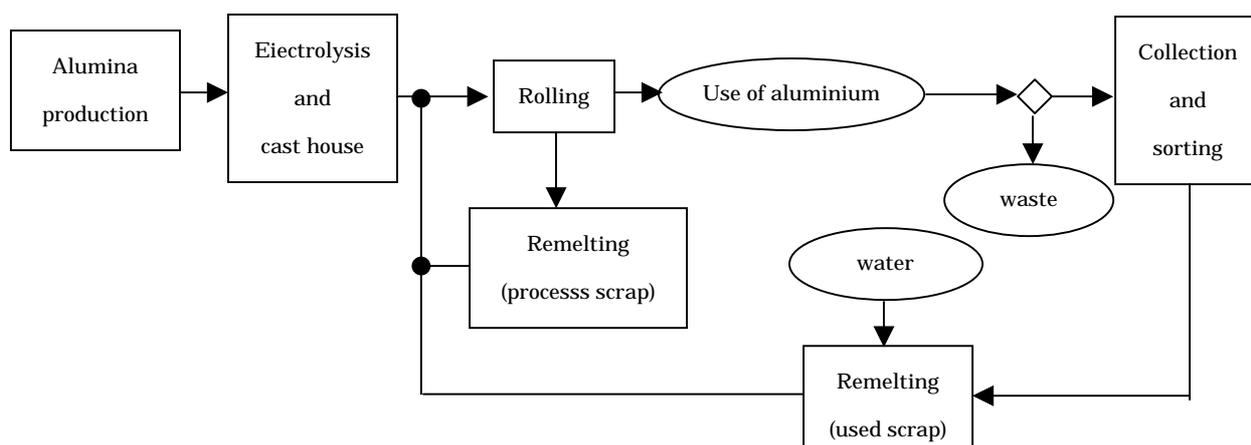


図 5-3 アルミニウムライフフロー

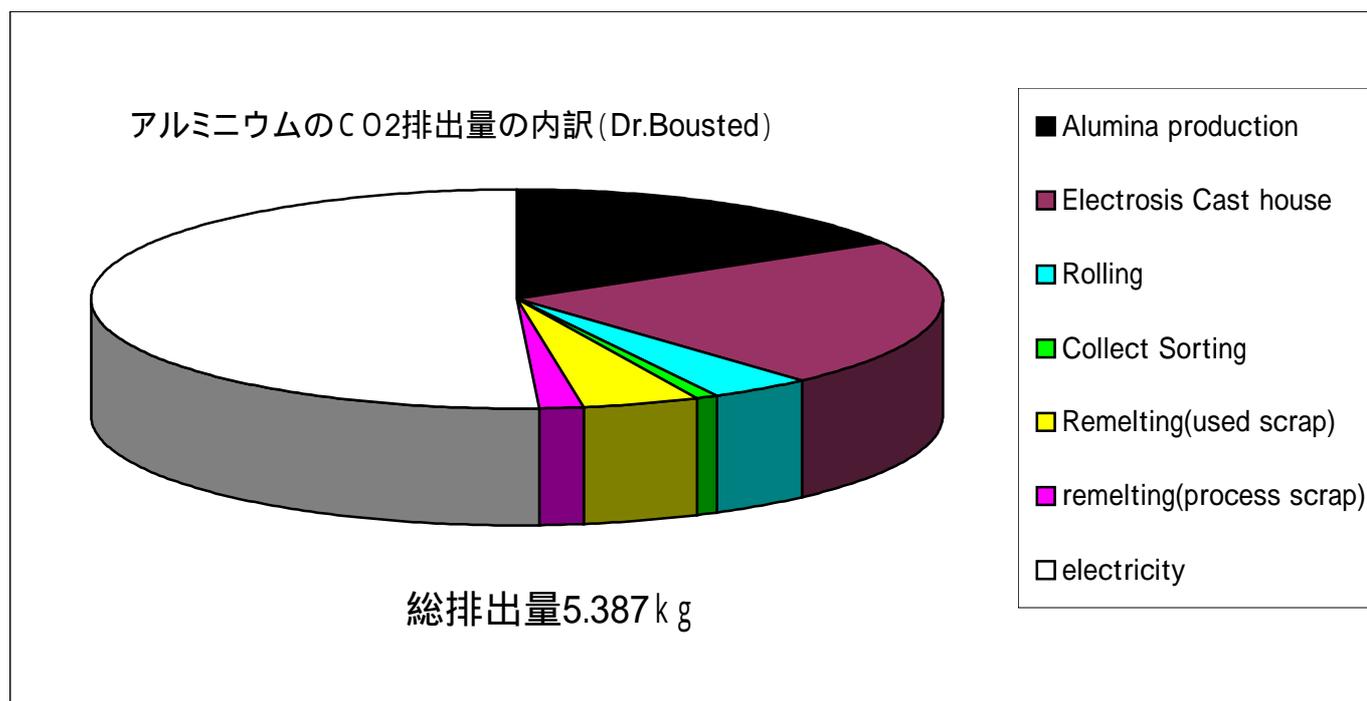


図 5-4 CO₂排出量分析結果

大まかには、アルミニウム新地金プロセスが Alumina production,Electrosis Cast house,Rolling,electricity プロセスにあたるから、内訳も似ていると思われる。

5.6 感度分析

以下表 5-3 に感度分析の結果を示す。感度マトリクスDは付録に示す。

表 5-3 感度分析の結果

	プロセス	要素	感度
1	アルミニウム新地金	アルミニウム地金	0.98
2	アルミニウムの使用	アルミニウム地金	-0.98

感度分析の結果、アルミニウム新地金プロセスとアルミニウム使用プロセスのアルミニウム要素が非常に大きかった。

感度が大きい要素がアルミニウム地金のみなので、感度の大きいデータの不足は特になかった。今回のアルミのLCA評価において、必要だったすべてのデータは18個あった。そのうちCO₂などの環境負荷、すなわちインプットデ

ータとしてデータの必要がないものが4個なので、排出原単位が必要となるデータは14個あったことになる。そのうちデータベースのみを利用して求めることが出来たデータは4個のみであった。22.2%の充足度である。

5.7 再評価

アルミニウム新地金プロセスのアルミニウム地金の感度が大きかったため、正確なデータを求める際は、新地金に関わる Alumina production,Electrolysis Cast house,Rolling,Remelting(process scrap)の四つのプロセスについて、まずフォアグラウンドデータを求める。それ以後はデータベースのデータを利用して評価してみる。

新地金を詳しく 1991、1992 年にヨーロッパアルミ連盟がヨーロッパのアルミメーカーから収集したデータに基づいてLCA評価するため、新地金製造プロセスを以下の表5-4のようにフォアグラウンドデータで置き換える。

表 5-4 ヨーロッパアルミ連盟のデータ

Alumina production(p1)			
O	alumina	kg	1
I	oil-electricity	kwh	-0.0335
I	coal-electricity	kwh	-0.0802
I	gas-electricity	kwh	-0.02387
L	CO2	g	921
Electrolysis Cast house(p2)			
O	ingots	kg	1
I	oil-electricity	kwh	-0.3403
I	coal-electricity	kwh	-3.877
I	gas-electricity	kwh	-0.9706
I	alumina	kg	-1.91
L	CO2	g	2358
Rolling(p3)			
O	aluminium	kg	1
I	oil-electricity	kwh	-0.02949
I	coal-electricity	kwh	-0.03407
I	gas-electricity	kwh	-0.02537
O	PlainScraps	kg	0.392
I	ingots	kg	-1.392
L	CO2	g	219
remelting(process scrap)(p6)			
O	ingots	kg	1
I	PlainScraps	kg	-1.03
I	oil-electricity	kwh	-0.0271
I	coal-electricity	kwh	-0.04836
I	gas-electricity	kwh	-0.0233

表 5-4 のデータを新地金製造に利用し、再生プロセスはデータベースのまま利用した。以下結果を図 5-5 に示す。係数マトリクス A_2 は付録に示す。

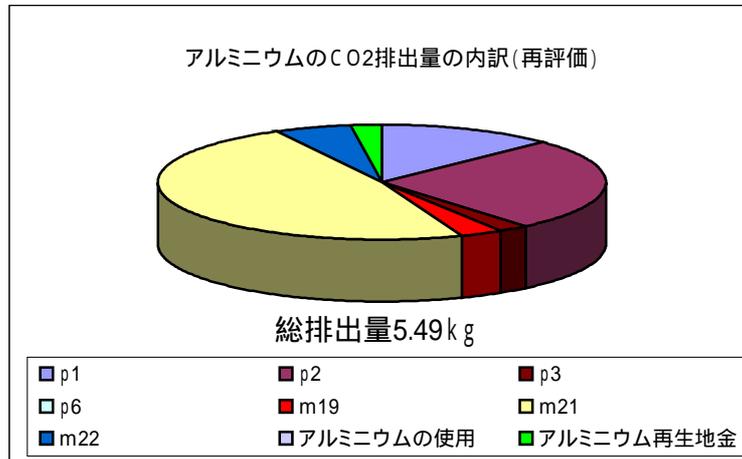


図 5-5 再評価の結果

よって感度の高いデータをフォアグラウンドデータで補えば、ほぼ近い値が算出されることを示した。以下図 5-6 に 3 つを見比べる。

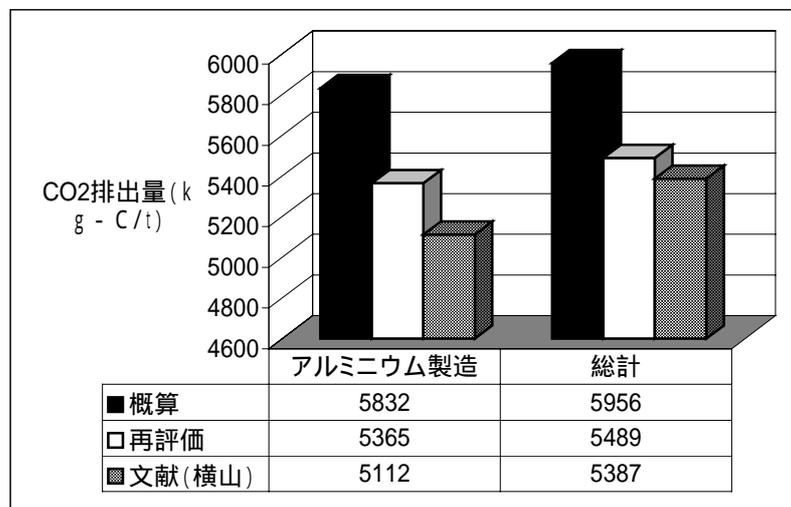


図 5-6 再評価の検証

5.8 結言

アルミニウムのケーススタディーを通して、データベースの長所、短所共に複写機のケーススタディーと同じ特徴が見られた。また、データベースのデータを用い概算値を得て、感度解析を実施し、環境負荷に対する感度の大きい物に対して、詳細なデータを収集する方法が実施できることを示した。

アルミニウムは新地金を製造する際には、環境負荷を大量に伴うが、再生地金は新地金に比べると非常に少ない。わが国では再生地金の製造が非常に多く、わが国におけるアルミニウム製造量の内、新地金はわずか1%に過ぎない。日本国内では、アルミニウムの再生地金の製造が環境にさほど影響がないため、アルミニウム自体を環境問題として取り扱わないという観点も存在する。

しかし、新地金を輸入することから、日本国内ではなく地球規模の環境問題の観点から見ると、アルミニウムは非常に環境問題を引き起こしていることから、環境問題として取り上げるべきだという意見もある。LCAはこのように、どこまでを範囲として見るかで結果が大きく変わってくるので、利用者は範囲を十分確認せねばならない。

5.9 付録

アルミニウム排出原単位

アルミニウムライフサイクル			
O	アルミニウムライフサイクル		1
I	waste	kg	-180
アルミニウム新地金			
O	アルミニウム地金	kg	1
I	エネルギー		-153.8
I	ボーキサイト	kg	-3.68
I	石灰石	kg	-0.174
I	岩塩	kg	-0.054
I	石炭	kg	-1.67
I	原油	kg	-1.26
I	天然ガス	kg	-0.49
L	CO2	g	9601
L	NOx	g	18
L	SOx	g	58
L	固形廃棄物	kg	1.192
原油			
O	原油	kg	0.85
I	ガス、A重油及び高硫黄C重油	kcal	-316
I	石油	l	-1
L	CO2	g	79.933
L	NOx	g	0.92
L	SOx	g	1.343
アルミニウムの使用			
O	r-アルミニウム	kg	0.7
O	waste	kg	0.3
I	アルミニウム地金	kg	-1
アルミニウム再生地金			
O	アルミニウム再生地金、アルミニウム合金	kg	1
I	r-アルミニウム	kg	-1.05
I	エネルギー		-5.7
I	ボーキサイト	kg	-0.0045
I	石灰石	kg	-0.0003
I	岩塩	kg	-0.0002
I	石炭	kg	-0.033
I	原油	kg	-0.024
I	天然ガス	kg	-0.033
I	ウラン鉱石	kg	-0.000003
L	CO2	g	309
L	NOx	g	0.46
L	SOx	g	0.84
L	固形廃棄物	kg	0.0013
BOUNDARY			
B	アルミニウムライフサイクル		1

係数マトリクスA₁

	Total	新地金	原油	アルミニウムの使用	再生地金	Total Sum
M アルミニウム地金	0	1	0	-1	0	0
M 原油	0	-1.26	0.85	0	-0.024	0
M r-アルミニウム	0	0	0	0.7	-1.05	0
M waste	-180	0	0	0.3	0	0
B アルミニウムライフサイクル	1	0	0	0	0	1

係数マトリクスA₂

	Total	Sump1	p2	p3	p6	m19	m21	m22	アルミニウムの使用	アルミニウム再生地金
aluminium	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0
PlainScraps	0	0	0	0.392	-1.03	0	0	0	0	0
r-アルミニウム	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	-1.05
waste	-180	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0
alumina	0	1	-1.91	0	0	0	0	0	0	1
oil-electricity	0	-0.0335	-0.3403	-0.0295	-0.0271	1	0	0	0	0
coal-electricity	0	-0.0802	-3.877	-0.0341	-0.0484	0	1	0	0	0
gas-electricity	0	-0.0239	-0.9706	-0.0254	-0.0233	0	0	1	0	0
ingots	0	0	1	-1.392	1	0	0	0	0	0
アルミニウム	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

感度マトリクスD

[CO2]	Total Sum	新地金	原油	使用	再生地金
アルミニウム地金	0	-0.9791	0	0.979097	0
原油	0	0.011936	-0.012	0	0.000151569
r-アルミニウム	0	0	0	0.020903	-0.020903068
waste	1	0	0	-1	0
アルミニウムライフサイクル	-1	0	0	0	0

6 乗用車のケーススタディー

6.1 緒言

乗用車も複写機同様に様々な部品からなり、LCA評価が困難とされている製品である。自動車は現在目まぐるしく普及し、先進国では約2人に1台所有している状況である。自動車はその便利さから今後ますます利用が増え、発展途上の国でも利用が増えていくと思われる。しかし化石燃料の増大によるCO₂排出から環境問題を深刻にするといった一面もあり、環境にやさしい自動車の開発が必須になってきている。

6.2 インベントリフロー

以下図6-1にデータベースの乗用車のライフサイクルフローを示す。同様に二重枠のサイクルはデータベースにプロセスデータがあるプロセスである。データベースはこの二重枠内をシステム境界としている。ここでは、容易にLCA評価できることから基本的にはデータベースのデータを利用することにする。

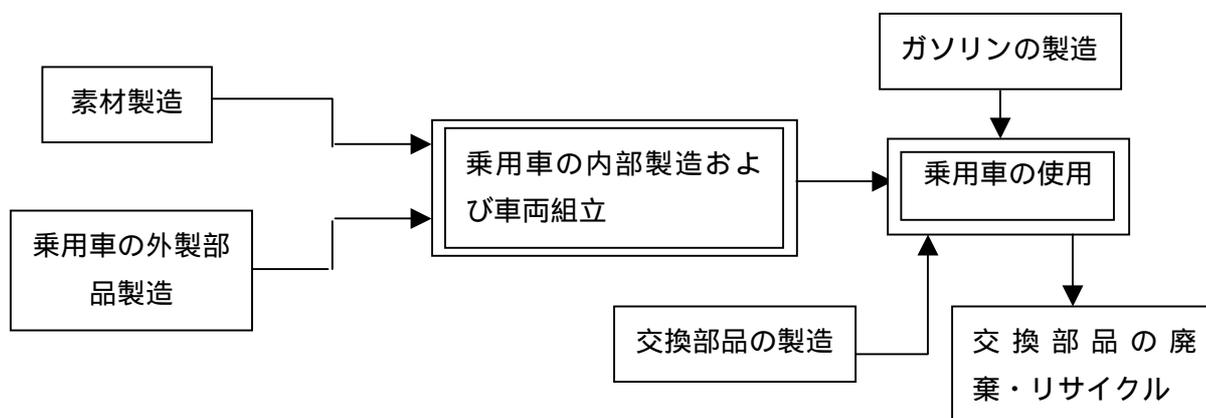


図 6-1 乗用車のライフサイクルフロー

6.3 目的と範囲

6.3.1 (目的)

乗用車のライフサイクルにおけるCO₂の排出量の算出

6.3.2 (範囲)

データベースの範囲を以下に示す

- 対象車には、自工会会員である国内乗用車メーカー8社の参加を考慮して、各社が生産している共通性の高い小型乗用車クラスを選択した。すなわち、1997年製造の5人乗り4ドア・セダン型小型乗用車を対象車とした。
- 乗用車一台あたりのライフサイクルを評価
- CO₂のみを考慮
- 1997年製造，使用年数10年とおいたので，対象となる時間的範囲は1997年～2007年である。

6.4 製品組立

生産工程におけるデータベースの前提条件を以下に示す。

- 内製部品製造と完成車組立を対象とする。

以下表6-1にデータベースのデータを示す。

表 6-1 乗用車製造プロセスデータ

5	I	コークス	kg	-3.04
6	I	自動車ガソリン(航空ガソリンを含む)	l	-2.03
7	I	灯油	l	-6.8
8	I	軽油	l	-0.01
9	I	A重油	l	-34.16
10	I	LPG	kg	-17.92
11	I	都市ガス13A	m3	-12.17
12	I	都市ガス6A	m3	-6.33
113	I	給水	m3	-9.22
14	I	鑄鉄	kg	-39.8
15	I	棒鋼	kg	-1.09
16	I	厚中板(厚さ3mm以上)	kg	-3.84
17	I	熱延薄板	kg	-141.27
18	I	普通鋼冷延広幅帯鋼(幅500mm以上でコイル)	kg	-67.35
19	I	高張力鋼板	kg	-6.44
20	I	亜鉛めっき鋼板	kg	-253.66
21	I	その他の普通鋼	kg	-1.22
22	I	構造用特殊鋼	kg	-76.45
23	I	アルミニウム再生地金、アルミニウム合金	kg	-48.83
24	I	輸送機械用プラスチック製品	kg	-1.32
25	I	輸送機械用プラスチック製品	kg	-7.24
26	I	塗料	kg	-12.26
27	I	合成ゴム	kg	-0.08
28	I	部品群	式	-1
29	L	鉄鋼	kg	208.39
30	L	アルミ	kg	20.82
31	L	樹脂類	kg	0.13
32	L	CO ₂	g	269107
33	L	NO _x (as NO ₂)	g	437
34	L	SO _x (as SO ₂)	g	300
35	L	全窒素(T-N)	g	27
36	L	全リン(T-P)	g	14
37	L	浮遊物質(SS)	g	36
38	L	鉄鋼	kg	722.939
39	L	アルミ	kg	76.967
40	L	銅	kg	11.099
41	L	鉛	kg	7.66
42	L	その他の非鉄金属	kg	1.654
43	L	プラスチック	kg	107.087
44	L	ゴム	kg	28.343
45	L	ガラス	kg	30.479
46	L	その他の材料	kg	51.243

複写機と同様に、乗用車はマフラーやホイールなど多くの部品からなる。本来その数は122個となるが、これら部品の排出源単位はデータベースにはなかった。122の部品を一つの部品群としてまとめ、部品群の排出原単位は1725000g-C/台を用いた。〔7〕また、10~15、17、19~22、26、27はデータの不足のため概算において無視した。

6.5 乗用車の走行

走行における前提条件を以下に示す。

- 走行パターンおよび走行時の周辺環境は様々であり、ここでは統計値をもとに使用年数10年、総走行距離10万km、10・15走行モードとした。10・15走行モードはエンジン等が暖機状態の室内試験値であり、平均速度は22.7 km/hである。
- 使用段階における交換部品および交換頻度の一覧を表6-2に示す。交換距離はメーカー推奨の平均値である。

表 6-2 使用段階の交換部品と交換頻度

	交換部品	交換距離(万km)	交換回数(回)
部品	タイヤ(4個で1セット)	4	1.5
部品	バッテリー	5	1
部品	オイルフィルター	1.28	6.79
部品	エアークリーナー	4.75	1.11
部品	燃料フィルター	8	0.25
液類	エンジンオイル	1	9
液類	ラジエーター液	2.7	2.7

データベースのデータを表 6-3 以下に示す。

表 6-3 走行プロセスのデータ

1	乗用車の走行		
2	O	乗用車の走行	km 100000
3	I	自動車ガソリン(航空ガソリンを含む)	l -6369
4	I	乗用車用タイヤ	本 -6
5	I	自動車用鉛蓄電池	個 -1
6	I	オイルフィルター	個 -6.79
7	I	エアークリーナー	個 -1.11
8	I	燃料フィルター	個 -0.25
9	I	エンジンオイル	l -35.1
10	I	LLC	l -4.46
11	L	CO2	g 14695478
12	L	NOx (as NO2)	g 25000
13	L	使用済み乗用車	台 1

走行プロセスにおいて、6～10はデータの不足のため、概算において無視した。

以上を踏まえて、乗用車のLCA評価を行う。乗用車に関して必要だったすべてのデータは217個あった。そのうちCO₂などの環境負荷、すなわちインプ

ットデータとしてデータの必要がないものが 25 個なので、排出原単位が必要となるデータは 192 個あったことになる。そのうちデータベースのみを利用して求めることが出来たデータは 14 個のみであった。全データに対する、データベースで求めることが出来た割合を充足度は 7.29% に過ぎない。

6.6 CO₂ 排出分析結果

今までの前提条件下のもと乗用車ライフサイクルの LCA 結果を以下に示す。係数マトリクス A_1 の詳細は、付録に示す。これらのマトリクスから式により求められる乗用車 1 台あたりの CO₂ 排出量は 19385.443 kg - C となった。以下図 6-2 に詳細を示す。

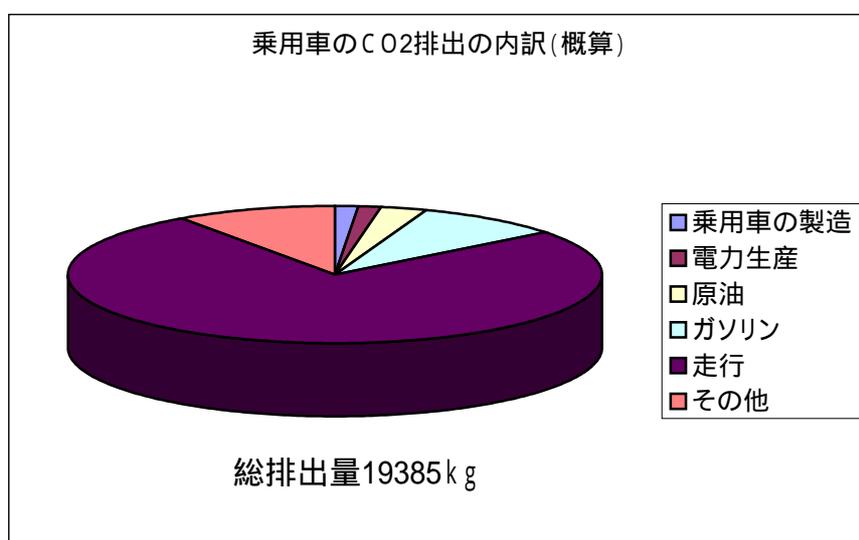


図 6-2 乗用車の CO₂ 排出量分析結果

日産自動車株式会社環境・安全技術部の報告では、乗用車 1 台の CO₂ 排出量は 25 t となっている。

Ryuji Matsuhashi の Life Cycle of CO₂-Emissions from Electric Vehicles and Gasoline Vehicles Utilizing a Process-Relational Model の報告によると、乗用車は同じ車で同じ走行距離でも、走行モード（平均速度）によって CO₂ 総排出量は大きく異なる。よって、LCA を再評価する際は、平均速度と感度の高い要素について詳しく見る必要がある。

6.7 感度解析

以下付録に感度マトリクスDは記載する。

感度が高い要素は、乗用車の走行プロセスにおける走行が-0.96 と飛びぬけて高かった。次のガソリンが 0.13 であり、残りの感度は 0.1 未満であり、他に高い感度は見られなかった。

乗用車の走行プロセスにおける走行が-0.96 というのは乗用車において、走行距離が少なくすることが総CO₂排出量を減らすことに効果があることを示す。

乗用車の走行プロセスにおけるガソリンが 0.13 というのは、ガソリンの走行効率向上が総CO₂排出量を減らすことに効果があることを示す。

感度の高いデータはデータベースに存在した。しかし上で述べたように乗用車は走行モードの差で大きく変わるのに対して、走行モードが 10・15 モード(平均速度 22.7 km/h)のみしかデータベースには記載がない。このため様々な状況に対応した評価はデータベースでは困難である。

6.8 LCA再評価

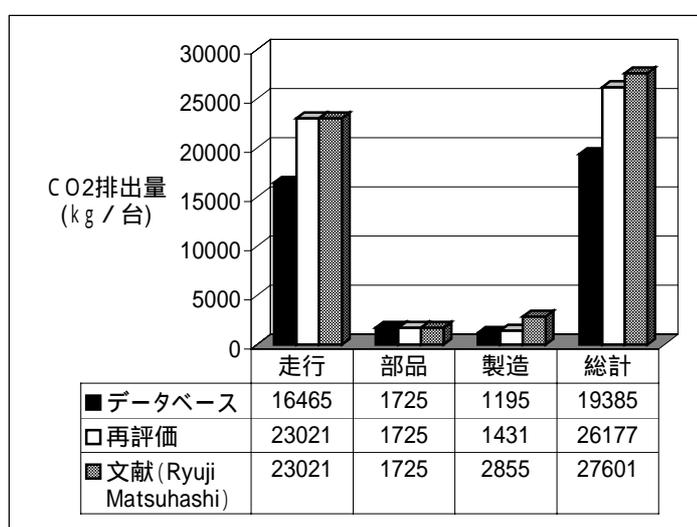
データベースにおける 10.15 モードは 0.064 L / kmであった。以下表 6-4 に平均速度とガソリン消費の関係を示す。Ryuuji Matsuhashi「Life Cycle of CO₂-Emissions from Electric Vehicles and Gasoline Vehicles Utilizing a Process-Relational Model」より〔9〕

表 6-4 平均速度とガソリン消費の関係

平均速度(km/h)	エネルギー消費(L/km)
4.62	0.378
8.35	0.222
11.66	0.166
14.63	0.137
17.96	0.115
18.47	0.113
23.65	0.0922
28.5	0.0787
34.73	0.0669
44.34	0.0536

ここでは、走行モード 10.15 に近いことから平均速度を 23.65 km/h とする。平均速度に環境省の CO₂ 排出原単位 2359 g-CO₂/L を乗じて、このうち CO 排出分を差し引いて排出原単位を求める。その結果乗用車 1 台あたりの CO₂ 排出量は 26176.689 kg-C となった。〔8〕のデータと〔9〕のデータから得られた乗用車の LCA 評価の結果と見比べた。再評価についての係数マトリクス A₂ は以下付録に記載する。以下表 6-5 に 3 つの結果を示す。

表 6-5 再評価の検証



バックグラウンドデータのみでは、大きく異なっているが、感度の高いデータを加え再評価することにより、かなり近い値がでている。

6.9 結言

乗用車のケーススタディーにおいても、データベースのデータを用い概算値を得て、感度解析を実施し、環境負荷に対する感度の大きい物に対して、詳細なデータを収集する方法が実施できることを示した。

乗用車などの多くの部品からなる製品に対しても、感度の高いデータを詳しく調べることで、LCA 評価が出来ることを示した。この手法を利用すれば、全てのデータをさかのぼって解析する手法と比べ、飛躍的に容易に出来る。

6.10 付録

乗用車原単位フロー

乗用車ライフサイクル(p1)			A重油(p6)			ルーフライニング(p13)					
O	乗用車ライフサイクル	1	O	A重油	1	O	輸送機械用プラスチック	kg	1200		
I	乗用車の走行	km	-100000	電力	kWh	-0.0075	電力	kWh	-1.28		
I	1500ccガソリン乗用車	台	-1	原油	l	-1	ABS樹脂	kg	-0.016		
乗用車の製造(p2)			L	CO2	g	145.391	その他熱可塑性樹脂	kg	-0.863		
O	1500ccガソリン乗用車	台	1	NOx	g	0.113	ポリエステル長繊維	kg	-0.314		
I	電力	kWh	-675.63	SOx	g	0.14	繊維	kg	-0.004		
I	一般炭	kg	-25.82	原油(p7)	l		埋立	g	318		
I	コークス	kg	-3.04	O	原油	1	乗用車の走行(p14)				
I	自動車ガソリン(航空ガソリン)	l	-2.03	I	ガス、A重油及び高硫黄C	kcal	-316	O	乗用車の走行	km	100000
I	灯油	l	-6.8	I	石油	l	-1	I	自動車ガソリン(航空)	l	-6369
I	軽油	l	-0.01	L	CO2	g	79.933	I	乗用車用タイヤ	本	-6
I	A重油	l	-34.16	L	NOx	g	0.92	I	自動車用鉛蓄電池	個	-1
I	LPG	kg	-17.92	L	SOx	g	1.343	I	オイルフィルター	個	-6.79
I	都市ガス13A	m3	-12.17	ガソリン(p8)			I	エアークリーナー	個	-1.11	
I	都市ガス6A	m3	-6.33	O	自動車ガソリン(航空ガソリン)	1	I	燃料フィルター	個	-0.25	
I	給水	m3	-9.22	I	電力	kWh	-0.0075	I	エンジンオイル	l	-35.1
I	鋳鉄	kg	-39.8	I	原油	l	-1	I	LLC	l	-4.46
I	棒鋼	kg	-1.09	L	CO2	g	277.827	L	CO2	g	14695478
I	厚中板(厚さ3mm以上)	kg	-3.84	L	NOx	g	0.215	L	NOx(as NO2)	g	25000
I	熱延薄板	kg	-141.27	L	SOx	g	0.267	L	使用済み乗用車	台	1
I	普通鋼冷延広幅帯鋼(幅50)	kg	-67.35	灯油(p9)			乗用車用タイヤ製造工程(p15)				
I	高張力鋼板	kg	-6.44	O	灯油	l	1	O	乗用車用タイヤ	本	1
I	亜鉛めっき鋼板	kg	-253.66	I	電力	kWh	-0.0075	I	電力	kWh	-4.215
I	その他の普通鋼	kg	-1.22	I	原油	l	-1	I	都市ガス	l	-0.121
I	構造用特殊鋼	kg	-76.45	L	CO2	g	62.979	I	灯油	l	-0.006
I	アルミニウム再生地金、アルミ	kg	-48.83	L	NOx	g	0.048	I	A重油	l	-0.025
I	輸送機械用プラスチック製	kg	-1.32	L	SOx	g	0.06	I	C重油	l	-0.509
I	輸送機械用プラスチック製	kg	-7.24	厚板の製造(p10)			I	石炭	kg	-0.46	
I	塗料	kg	-12.26	O	厚中板(厚さ3mm以上)	kg	1	I	廃タイヤ	kg	-0.264
I	合成ゴム	kg	-0.08	I	(r)石炭	kg	-0.527	I	ペトロコークス	kg	-0.016
I	部品群	式	-1	I	(r)石灰石	kg	-0.302	I	再生油	l	-0.003
L	鉄鋼	kg	208.39	I	(r)鉄鉱石	kg	-1.481	I	天然ゴム	kg	-1.37
L	アルミ	kg	20.82	I	(r)天然ガス	kg	-0.0352	I	合成ゴム	kg	-1.74
L	樹脂類	kg	0.13	I	(r)原油	kg	-0.0578	I	カーボンブラック	kg	-1.76
L	CO2	g	269107	I	(r)ウラニウム	kg	-0.00000326	I	オイル	kg	-0.38
L	NOx(as NO2)	g	437	I	鉄くず	kg	-0.028	I	有機薬品(硫黄、老)	kg	-0.29
L	SOx(as SO2)	g	300	I	工業用水等	l	-6.01	I	無機薬品(亜鉛華、)	kg	-0.16
L	全窒素(T-N)	g	27	L	CO2	g	1380	I	ポリエステルコード	kg	-0.14
L	全リン(T-P)	g	14	L	NOx	g	1.47	I	ナイロンコード	kg	-0.03
L	浮遊物質(SS)	g	36	L	SOx	g	1.083	I	スチールコード	kg	-0.41
L	鉄鋼	kg	722.939	L	固形廃棄物	kg	0.047	I	ビードワイヤ	kg	-0.23
L	アルミ	kg	76.967	冷延鋼板の製造(p11)			L	CO2	g	3648	
L	銅	kg	11.099	O	普通鋼冷延広幅帯鋼(幅50)	kg	1	L	NOx	g	7.016
L	鉛	kg	7.66	I	(r)石炭	kg	-0.535	L	SOx	g	8.492
L	その他の非鉄金属	kg	1.654	I	(r)石灰石	kg	-0.298	L	リサイクル	g	211.7
L	プラスチック	kg	107.087	I	(r)鉄鉱石	kg	-1.458	L	その他	g	143.5
L	ゴム	kg	28.343	I	(r)天然ガス	kg	-0.0389	L	リサイクル	g	48.39
L	ガラス	kg	30.479	I	(r)原油	kg	-0.0617	L	その他	g	13.49
L	その他の材料	kg	51.243	I	(r)ウラニウム	kg	-0.00000389	自動車用鉛蓄電池の製造(p16)			
部品群製造(p3)			I	鉄くず	kg	-0.028	O	自動車用鉛蓄電池	個	1	
O	部品群	式	1	I	工業用水等	l	-7.72	I	電力	kWh	-10.99
L	CO2	g	1725000	L	CO2	g	1432	I	都市ガス(13A)	m3	-0.15
電力生産(p4)			L	NOx	g	1.49	I	A重油	l	-0.0353	
O	電力	kWh	1	L	SOx	g	0.907	I	上水	kg	-3.462
I	軽油	l	-0.0002448	L	固形廃棄物	kg	0.049	I	鉛地金	kg	-7.905
I	重油	ml	-13.99	アルミニウム再生地金(p12)			I	リグニン	g	-6.5	
I	石炭	g	-57.21	O	アルミニウム再生地金、アル	kg	1	I	カーボンブラック	g	-2.3
I	原油	l	-0.01239	I	エネルギー	kg	-5.7	I	ポリエステル	g	-2
I	天然ガス	g	-0.7025	I	ホーキサイト	kg	-0.0045	I	ハリウム化合物	g	-21
I	COG(コークス炉ガス)	g	-0.9594	I	石灰石	kg	-0.0003	I	ポリエチレン	g	-216
I	LPG	g	-1.72	I	岩塩	kg	-0.0002	I	ポリプロピレン	g	-898
I	LNG	g	-49.1	I	石炭	kg	-0.033	I	硫酸(98%換算)	g	-969
L	CO2	g	353	I	原油	kg	-0.024	L	CO2	kg	0.42
L	SOx	g	0.14	I	天然ガス	kg	-0.033	L	NOx	g	0.331
L	NOx	g	0.18	I	ウラン鉱石	kg	-0.000003	L	SOx	g	0.339
軽油(p5)			L	CO2	g	309	BOUNDARY				
O	軽油	l	1	L	NOx	g	0.46	B	乗用車ライフサイクル	1	
I	電力	kWh	-0.0075	L	SOx	g	0.84				
I	原油	l	-1	L	固形廃棄物	kg	0.0013				
L	CO2	g	91.051								
L	NOx	g	0.071								
L	SOx	g	0.087								

7 結論及び考察

7.1 結論

今研究の目的はデータベースの問題点を見出す事と、データベースの利用法の考察であった。そのため複写機、PETボトル、アルミニウム、乗用車の4つのケーススタディーを実施した。

複写機のケーススタディーからデータベースの問題点としてデータの不足が一つにあげられ、感度の高いデータの不足もあったことからデータの補足が求められる結果となった。さらにバックグラウンドデータとしての信頼性を評価する必要性も出たきたので標準偏差等の記載も必要である。

さらに利用者がミスなくスムーズに使えるように単位の統一も実施が期待される。

他の3つのケーススタディーでも上と同じ3つの問題点に遭遇した。特に複写機、乗用車など多くの部品からなる製品にはデータの不足は顕著に表れた。

次にPETボトル、アルミニウム、乗用車の3つのケーススタディーを通してデータベースの利用法を考察した。

利用法として、概算する際に利用できることを示すことが出来た。概算から感度の高いデータのみをフォアグラウンドデータで置き換える手法の精度はPETボトル、アルミニウム、乗用車の3つのケーススタディーともに高い精度が出た。よってこの手法は有効活用できるといえる。

現状ではデータの不足があるので概算において産業連関法等と併用することが望ましい。しかしデータベースは容易さにデータが得られること、またその手法の精度の高さからも、データベースで概算し、感度の高いデータのみをフォアグラウンドデータで補足する手法は精度が高く、その利用価値は高いと言える。

7.2 考察

現在LCAは統一的な手法がないというのが現状であり、さらに統一された信頼性の高いバックグラウンドデータもない。今回の研究ではバックグラウンドデータでLCAを概算し、データの優先順位を決め必要な部分をフォアグラウンドデータで補足し再評価する手法という手法の有効性を示した。今後データベースのデータが充足され、データベースのみで概算が出来るということになれば、LCAは非常に容易になり、ますます有効的なものとなるだろう。

環境問題が注目視されている現代において、LCAは統一された手法の開発や信頼あるデータの普及が期待される。早い段階でのデータベースのデータの充実が期待される。

謝辞

酒井・泉研究室に配属され、今回の卒業論文に書くに至って、酒井先生にはご丁寧に指導いただき、大変なご迷惑をかけたと思います。ありがとうございました。

廬さんにはLCAを1から親切丁寧に教えていただきました。研究室内での分からないことは、いつも原さんが親切に教えてくれました。本当にお世話になりました。

ここで名前を挙げることは出来ませんでした。横山さん、三宅さんをはじめ酒井・泉研究室の皆さんには本当によくしていただきました。皆さんのおかげで今回卒業論文を無事終わることが出来ました。本当にありがとうございました。

参考文献

- 〔1〕横山晃治 修士論文「ライフサイクルアセスメントにおける感度及び不確定性解析」平成 10 年
- 〔2〕社会法人 日本事務機械工業会「複写機へのライフサイクル適用事例報告書」
- 〔3〕社会法人 産業環境管理協会「L C A 実務入門」
- 〔4〕「L C A 試験公開データベース」産業環境管理協会（2003）
- 〔5〕寺岡 淳「PET ボトルのリサイクルにおける環境負荷と費用負担性の評価」 第三回エコバランス国際会議講演集 P 483-486、1998
- 〔6〕電力中央発電所 「発電プラントのエネルギー収支分析」1991
- 〔7〕津本篤 卒業論文「L C A を用いたプラスチック製造プロセスの感興負担性評価」平成 10 年
- 〔8〕Dr.Bousted 「 Ecological profile report for the european aluminium industry」
Technical report,European Aluminum Association,1992
- 〔9〕日産自動車株式会社環境・安全技術部「ユーザー企業における環境保全と化学物質自主管理の事例」
- 〔10〕Ryuji Matsuhashi 「Life Cycle of CO₂-Emissions from Electric Vehicles and Gasoline Vehicles Utilizing a Process-Relational Model」
The International Journal of Life Cycle Assessment P306-312, 2000

以上

1～75 ページ 完

卒業論文

平成 16 年 2 月 6 日提出

20219 吉田 誠