

卒業論文

J L C Aデータベースを用いた  
マトリクス L C A自動解析システムの開発

1 ~ 66 ページ完

平成 16 年 2 月 4 日提出

指導教官 酒井 信介 教授

30166 木村 好子

# 目次

<b>第1章 序論</b> .....	4
1.1 本研究の背景.....	5
1.2 LCA手法の概要.....	6
1.3 J L C Aデータベース.....	7
1.4 L C Aの現状.....	7
1.5 インベントリ(L C I分析手法).....	8
1.5.1 プロセス分析法(LCI based on process analysis).....	8
1.5.2 産業連関分析法(Input-output based LCI).....	8
1.5.3 ハイブリッド法(Hybrid LCI).....	8
1.6 感度分析.....	9
1.7 不確定性分析.....	9
1.8 環境影響度評価.....	10
1.9 本研究の目的.....	11
1.10 本論文の構成.....	12
<b>第2章 J L C Aデータベースとマトリクス法の併用手法の検討</b> .....	13
2.1 緒言.....	14
2.2 L C Aの問題点.....	15
2.2.1 マトリクス法の問題点.....	15
2.2.2 J L C Aデータベースの問題点.....	16
2.3 マトリクス法の自動解析への応用.....	17
2.3.1 機能単位基準線形法.....	17
2.3.2 データベースを用いた係数マトリクス構築手法.....	17
2.4 データベース参照型マトリクスL C I自動解析アルゴリズムの作成.....	18
2.5 過剰フローマトリクスを利用したデータベースの拡充.....	19
2.5.1 理論.....	19
2.5.2 適用.....	20
2.6 考察.....	21
2.7 結言.....	22
<b>第3章 J L C Aデータベースを利用したマトリクス法に基づくL C A自動解析システム の作成</b> .....	23
3.1 緒言.....	24
3.2 適用した理論.....	24
3.3 J L C Aデータベースの組み込み.....	25
3.4 解析作業とシステムフロー.....	26

3.5 考察	28
3.6 結言	28
<b>第4章 ケーススタディによるシステムの実効性検証</b>	<b>29</b>
4.1 緒言	30
4.2 乗用車のケーススタディ	31
4.2.1 緒言	31
4.2.2 解析条件	31
4.2.3 LCA解析結果	33
4.2.4 考察	37
4.2.5 結言	38
4.3 ノートパソコンのケーススタディ	39
4.3.1 緒言	39
4.3.2 解析条件	39
4.3.3 インベントリ分析結果	41
4.3.4 システム有用性の検証	43
4.3.5 結果の試験的解釈	43
4.3.6 結言	44
4.4 その他のケーススタディ	45
4.4.1 複写機の使用	45
4.4.2 PETボトル	49
4.4.3 アルミニウム	52
4.5 考察	55
4.6 結言	56
<b>第5章 結論</b>	<b>57</b>
5.1 本論文の結論	58
5.2 今後の課題	58
付録	59
謝辞	64
参考文献	65

# 第 1 章 序論

## 1.1 本研究の背景

これまで人間は、大量のエネルギー、資源を利用して様々なモノをつくり消費し続けてきた。その過程で生産者や市場が追い求めてきたのは、機能や性能、価格、生産性などであり、環境については全くと言っていいほど配慮が無かった。その結果、地球における環境問題の深刻化が進み、こうした大量生産・消費・廃棄の仕組みに起因する地球環境問題、廃棄物問題の改善に向け、新たな取組みが進められてきた。その当初から環境負荷評価が行われてきたが、製品の使用や廃棄に伴う有害物質の排出の有無、処理の容易性等一定のプロセスだけを評価範囲としたものが多かった。これでは生産過程全体として環境への負荷の低減には寄与しない製品が開発・生産されてしまう可能性が否めない。そこで、その製品に関する資源の採取から製造、使用、廃棄、輸送など全てのプロセスを通じて環境影響を定量的、客観的に評価する手法「LCA（ライフサイクルアセスメント）」が考案された。LCA導入により経済社会活動そのものを環境への負荷の削減を検討することが可能となった。LCAは国際標準化機構ISO14040において規格化されており<sup>1,2</sup>、出遅れていた日本でもLCA研究が近年急速に拡大し、LCAの概念が普及し始めている。将来的にLCAは環境側面のみならず、経済的・社会的側面を考慮する実践的手法開発にも応用されることが見込まれている。

LCAの特徴をあげると、まず評価対象としては、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可能である。また、影響度評価については、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・生態学的影響についても評価することも可能となっている。

## 1.2 LCA手法の概要

LCAは環境評価方法として完全に確立されたものではないが、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のみで有効なものであり、それを利用する際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。この時いかに信頼できるデータを収集するかが、LCA解析の信頼性に大きく関わる。

### 3. 環境影響度評価(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各環境評価カテゴリー（地球温暖化、海洋汚染等）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できる。

本論文では、LCA解析の根幹であるインベントリ分析(LCI分析)を主として言及する。LCI分析には未だ手法論に揺らぎがありながら、LCA解析全体に大きな影響を持つ作業である。

### 1.3 J L C Aデータベース

1995年10月、L C A日本フォーラムが設立された。これは日本でも産学官の関係者が、L C Aに関する情報、問題点、今後の方向性等を話し合い、情報を共有且つ交流するための組織である。1997年6月の同フォーラム政策提言で、日本におけるL C A普及のためには信頼性あるデータベースの構築が必要であることが指摘された。これを受け、経済産業省は、1998年より第1期としての5ヵ年国家プロジェクト「製品等ライフ・サイクル環境影響評価技術開発」(通称L C Aプロジェクト)を開始させた。このプロジェクトの目的の1つに、誰でも使えるパブリックデータベースの構築があがった。その成果として、L C A日本フォーラム(Life Cycle Assessment Society of Japan)によってL C Aデータベースが作られた<sup>3</sup>。以下略称でJ L C Aデータベースと記す。J L C Aデータベースには、バックグラウンドデータとして共通使用できるインベントリデータと、日本版算定型環境影響評価手法に利用するインパクト評価リスト(詳細は1.8を参照されたい)などが収録されている。

J L C Aデータベースは54工業会の参加・協力により、約550のインベントリデータが収集されている。各インベントリデータには、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、輸送に関するデータが記載されている。現在もデータの追加や修正が行われており、さらなる発展が見込まれている。

インベントリ分析に際し収集しなければならないデータは、一般的に「フォアグラウンドデータ」「バックグラウンドデータ」の2つに分けられる。フォアグラウンドデータとバックグラウンドデータについて以下のように記されている<sup>4</sup>。

フォアグラウンドデータ；L C A実施者自らの実績値・実測値をもとに自ら構築するデータ

バックグラウンドデータ；材料採掘・素材製造。購入部品製造・電力・燃料精製・輸送・リサイクル・廃棄に関するパブリックデータ

直接の評価から求まる比較的精度が高いフォアグラウンドデータを補完するものとして、J L C Aデータベースや産業関連表などのバックグラウンドデータを活用して適宜に連携をとりながら、L C Aを行うことが推奨されつつある。

### 1.4 L C Aの現状

現在までに行われたL C A解析事例の件数も増え、L C Aソフトウェアやシステムも多様に関発され始めてきた。しかし、通常のL C Aインベントリ解析では、環境負荷の積算までしか行わず、影響度評価までされていない。L C AソフトウェアもL C A手法もまだまだ改善の余地が十二分にある。

## 1.5 インベントリ（LCI分析手法）

インベントリ分析には大きく3つの手法があり、各手法の特徴を図1-1にまとめる<sup>5</sup>。

### 1.5.1 プロセス分析法(LCI based on process analysis)

#### 積み上げ法 (process flow diagram method)

長所は計算作業が簡単なこと。短所はシステムやプロセスの境界（インベントリデータの収集範囲）が必須だが、その境界設定の明確な判断基準がない。

#### マトリクス法 (matrix method)

長所は応用性が高く、システムを忠実に再現しうることであり、短所は行列計算をあつかうため計算が煩雑であること。

### 1.5.2 産業連関分析法(Input-output based LCI)

長所は国内の全サブシステムが網羅されていることである。短所は各データの単位となる各産業部門の範疇がかなり広いことがあがる。

### 1.5.3 ハイブリッド法(Hybrid LCI)

プロセス分析法と産業連関分析法を融合させた手法である。マトリクス法をベースにすると、応用可能となる。

不足したインベントリデータを補うといった観点からもハイブリッド法が優勢であることは間違いない。しかし、産業連関分析法と融合されることになるプロセス分析法の理論が確立されていないため、プロセス分析法に焦点をあてる。本論文では自動解析を行うため計算の煩雑さは厭わないため、拡張性の高いマトリクス法を扱うことにする。

表 1-1 LCI手法の比較

	プロセス分析法		産業連関分析法 (I-O表)	LCA・ハイブリッド法
	積み上げ法	マトリクス法		
必要なデータ	プロセス	プロセス	各産業部門	各産業部門とプロセス or プロセス分析法結果
必要なプログラム	一般的な表計算ソフト	行列計算に長けたソフト	一般的な表計算ソフト	一般的な表計算ソフト or 行列計算に長けたソフト
応用解析プログラム	希少	豊富	希少	手法による
作業の煩雑さ	高い	高い	低い(環境情報があれば)	手法による



## 1.6 感度分析

通常のインベントリ分析では、環境負荷の積算までで LCI 分析結果としてしまうことが多い。しかし、LCA の改善解析の段階ではシステム全体のうち、最終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が極めて重要である。このためには、感度分析を行うことが不可欠である。感度分析によって、各要素が環境負荷量に及ぼす影響の程度を数値の形で定量的に表示できるため、環境問題の改善のために重要な役割を果たす。

変動率感度としては式 1 - 1 のように定義されている。<sup>6</sup>変動率感度の計算法は主に 2 つある。1 つは直接法であり、 $a_{ij}$  が微小の値  $a_{ij}$  だけ変化した場合に、 $a_{ij}$  に伴う新たな係数マトリクス  $A$  を再構築した上で、式 2 - 1 を再度解き、環境負荷項目  $L$  の微小変動  $L$  を評価する方法である。ところが、この方法では、係数マトリクス  $A$  の逆マトリクスをその度ごとに再評価しなければならない。マトリクスのサイズと環境負荷の項目数が大きくなると、計算負荷が膨大になる。もう 1 つは摂動法を利用したマトリクス法である。この方法では一次近似によって  $s_{ij}$  を要素とする感度マトリクス  $S$  をマトリクス演算の形で表記できるように定式化した（詳細は 3 章 4.3 項を参照されたい）。

$$s_{ij} = \frac{\Delta L / L}{\Delta a_{ij} / a_{ij}} \quad \text{式 1 - 1}$$

よって、どの要素を変動させる場合であっても、逆マトリクスは 1 回のみ計算しておけばよい。一般に逆マトリクスの計算には多くの時間が必要となるため、プロセス数や環境負荷項目が増大した場合には有利となる。また、マトリクス法による LCA 評価と組み合わせることにより、一般性のある手続きにて感度値の評価が可能となる。<sup>7</sup>

## 1.7 不確定性分析

インベントリ分析の基礎となるインベントリデータは、当然データによりその信頼性は異なってくる。信頼性の異なるデータを同一条件で扱うことは、LCA の結果の信頼性を損なうことになる。つまり、本質的にかなりのばらつきを有するはずであるインベントリデータを確定的に扱うことは、本来はばらつきを有する量を 1 個の代表値に確定的に理想化してしまっているといえる。したがって、信頼性のある LCA 解析を行うためには、1.6 であげた感度分析と合わせて、インベントリデータの不確定性分析も考慮しなければならない。

不確定性分析については 2 つの手法がある。1 つは中心極限定理による概算法で、もう 1 つがモンテカルロシミュレーション法である。

不確定性分析については、インベントリデータに標準偏差等の不確定性に関わるデータがなくては実行できない。本研究におけるインベントリデータの入手先である、JLCA データベースには不確定性に関する情報がないため、不確定性分析は行わなかった。

## 1.8 環境影響度評価

1.2でのべたLCA手法の3番目の作業である。2番目の作業であるインベントリ分析にて得られたデータを環境負荷項目ごとに各環境影響カテゴリーに分類し、環境影響の大きさと重要度を分析評価する手法である。(インパクト評価とも呼ばれる)は通常分類、特性化(特徴付け)、統合化(重み付け)の3段階で実施される。

分類...評価したい環境影響カテゴリーに応じて、全ての環境負荷物質を分類する。環境負荷物質によっては複数の環境影響にカテゴライズされるものもある。

特性化...環境影響カテゴリーごとに各環境負荷物質の重要度・役割を相対的に評価する。環境負荷物質を影響カテゴリーごとに集めて影響得点を集計する。影響度(影響得点ともいう)とは各種の環境負荷物質にインパクト係数をかけて足し合わせたものである。インパクト係数とは一般的にいう重み付け係数のことで、影響カテゴリーごと各環境負荷物質に対し設定されている。

統合化...特性化されたデータの影響度を計算し、保護対象とする項目にグルーピングし、最後に重み付けをして1つの指標に統合する。統合化することで容易に性質の異なる製品間の環境影響度合いを比較することが可能となる。

JLCAデータベースに収録されているインパクト係数は日本版被害算定型影響評価手法(LIME; Life-cycle Impact Assessment Method based on Endpoint Modeling)<sup>8</sup>に基づいている。LIMEは、自然科学的知見に基づいた特性化と被害評価、および、社会科学における分析評価を利用した統合化を1つの評価体系のもとで実施することを可能にするため開発されたものである。

## 1.9 本研究の目的

本章で見えてきたように、LCI手法、マトリクス法もJLCAデータベースもまだまだ発展途上にある。日本におけるLCA普及への布石であるJLCAデータベースと拡張性に優れたマトリクス法とを融合させることで、様々な利便性を生む可能性があるがまだこのような報告はない。一方、企業に多く広まってきたLCA解析ソフトウェアの多くは、マトリクス法ではなく積み上げ法により解析を行っている。企業をはじめとして、JLCAデータベースの引用件数は急増している。しかし、現行の積み上げ法に基づくソフトウェアではプロセスフローをある一定の形にしなければならず、JLCAに掲載されている様々なライフサイクルに対応できなくなっている。特にJLCAデータベースをデータベースとする解析システムはまだ存在しない。したがってJLCAデータベースを利用したマトリクス法に基づくシステムを開発すること、またマトリクス法を利用したデータベースの整理手法を検討し実行することは、重大な意義をもつものといえる。

以上のような背景から、本研究ではマトリクス法に基づいて、データベース参照型LCI分析計算アルゴリズムを作成する。また、マトリクス法を用いた、データベースの整備方法を検討する。そして、これらのアルゴリズムと手法を利用し、「JLCAデータベースを用いたマトリクスLCA自動解析システム」を開発する。このシステムは、JLCAデータベースにインベントリデータが収録されている製品・サービスを指定することで、JLCAデータベースから必要なデータを抽出しマトリクス法で自動的にLCA解析するものである。このソフトウェアを作成した後、ケーススタディを行いシステムの実効性を検証する。さらに、JLCAデータベースとマトリクス法との融合から得られる事実を考察する。

## 1.10 本論文の構成

本論文の構成を以下に挙げる。

**第1章 序論** では、LCAにおける基礎的事項とLCAの現状と問題点について概説し、本研究の目的を示す。

**第2章 J L C Aデータベースとマトリクス法の併用手法の検討** では、マトリクス法とJ L C Aデータベースの問題点を提示する。その上で、データベースを参照しながら係数マトリクスを構築するアルゴリズムを作成した。また、マトリクス法解析によるデータベースの整備・拡充手法を考案した。

**第3章 J L C Aデータベースを利用したマトリクス法に基づくLCA自動解析システムの作成** では、第2章にて確立したアルゴリズム・手法を適用して、J L C Aデータベースを用いたマトリクスLCA解析のソフトウェアを実際に作成した。

**第4章 ケーススタディによるシステムの実効性検証** では、第3章にて作成したシステムを用いて、実際にLCA解析を行った。その上で、システムの実効性を検証し、J L C Aデータベースとマトリクス法との融合から見出される事柄を示す。

**第5章 結論** では、本研究で得られた結論を総括する。

## 第2章 J L C Aデータベースとマトリクス法の併用 手法の検討

## 2.1 緒言

産業連関分析法に並ぶ大きな LCI 手法にプロセス分析法があり、さらに細分してマトリクス法と積み上げ法が提唱されている。マトリクス法は複雑かつ膨大なプロセスをもつシステムにも対応可能であることが知られている。世間に流通している製品は各々独自のシステムフローを持っているので、それぞれのシステムフローに対応したプロセス分析法の解析システムを作成すべきところであるが、まだこのような LCA ソフトウェアが作成された事例はない。一方、LCA が普及するにつれ、LCA ソフトウェアの開発が進められてきたが、製品の生産に付随するシステムフローをある一定の形式に固定することが主流になりつつある。このシステムフローの形式化は、本来人間の判断によってシステムフローを組み立てることが必要とされる積み上げ法をソフトウェア化した弊害である。マトリクス法は全プロセスをマトリクスで一括して扱うことが可能であり、システムフローの形に制約はない。よって複雑かつ膨大なプロセスをもつシステムに対応した自動解析システムを、マトリクス法に基づいて開発することはきわめて重要である。

また、JLCA データベースは公開されるようになって約 2 年が経過した。日本の LCA 普及への布石としてデータベースは作られ、その目論見通り日本での LCA 普及と共に利用件数は増してきている。データベースの最大の努力目標はデータの充足にある。欠落したデータを調べるにはデータを多次元で一括して扱えるマトリクス法が適していると考えられるが、実際にマトリクス法を使ってデータベースを整備・拡張した事例は未だにない。一方、現在主流となっている積み上げ法では主観的にプロセスを追っていくので、データが存在しないことを認識できない可能性が多分にあり、本当に必要とされているデータを判断する材料としての使用は危ぶまれる。マトリクス法によりプロセスに関わっているマテリアルを洗いざらい抽出することで、より客観的な欠落データを判断できることが考えられ、マトリクス法による欠落データを判断するシステムを作成することは意義深いものといえる。

以上のような背景から、現行のマトリクス法と JLCA データベースの抱える問題点を提示した。この問題点を踏まえてマトリクス法の自動解析への適用方法を議論した。この結果を踏まえて、マトリクス LCI による係数マトリクス構築のアルゴリズムを作成した。また、JLCA データベースのデータに基づいたマトリクス法解析をデータ整備の判断基準とする手法を検討した。これらの作業を通じた考察として、JLCA データベースとマトリクス法を併用することに様々な応用の可能性が明らかとなったので、これを報告する。

## 2.2 LCAの問題点

### 2.2.1 マトリクス法の問題点

#### マトリクス法概要

LCAのインベントリ解析におけるマトリクス法は線型の仮定に基づく。その仮定とは、ある単一プロセスにおいて、経済的フロー（マテリアル、生産物、副生産物など）と環境的フロー（消費エネルギー、消費資源、排出される汚染物質など）がプロセス機能を果たす分量に比例するだろうというものである。マトリクス法によると、プロセスに投入されたり産出されたりする全ての経済的フローや環境的フローが行列の形で構築される。また行列で全ての生産システムを一括して表現できる。経済の流れは係数マトリクス  $A$  で配列され、環境の流れは環境負荷行列  $B$  に配列される。行列  $A$  と  $B$  においてともに、列がプロセスを表し、行がフローを表す。入力フローは負の係数で、出力フローは正の係数で表現される。経済的フローはマテリアルと同様に扱われる。さしあたり、生産システムの境界における経済フローの境界条件は境界ベクトル  $p$  で与えられ、製品の価値はプロセスベクトル  $p$  で与えられる。そして、以下の公式が導かれる。

$$A p =$$

$$p = A^{-1}$$

$A$  は正方行列であり、 $A^{-1}$  は  $A$  の逆行列である。最終的な環境負荷ベクトル  $p$  は環境負荷マトリクス  $B$  を使って以下のように求められる。<sup>9</sup>

$$= B p$$

$$= B A^{-1} \quad \dots\dots \text{式 2 - 1}$$

#### 係数マトリクス構築における問題点

そもそも係数マトリクス  $A$  の構築には、未だ明確な作成手順が提唱されていない。現在に至るまで、各人が様々なやり方を用いている。また式 2 - 1 にあるように係数マトリクス  $A$  は逆行列演算を行う。したがって係数マトリクス  $A$  は正方行列でなくてはならない。つまり解析対象においてやりとりされるマテリアルとその単位プロセスの数が一致しなければならない。自動的に係数マトリクスを構築するためには、明確な係数マトリクスを構築する基準を設けること、そしてこの基準を用いて一意に係数マトリクスを決定できること、この2点が達成すべき課題となる。

#### 自動LCA解析へのマトリクス法適用に伴う問題点

そもそもプロセス分析法をLCA自動解析に適用する際、願わくはプロセスフローの組み立てまでを自動化させたい。現行のLCAソフトでは、各人が評価対象としている製品のプロセスをモデル化し解析している。しかし、汎用化という意味であらゆる製品の様々なシステムフローに対応させるべきであろう。

## 2.2.2 J L C Aデータベースの問題点

### データの拡充

日本でのL C A解析事例も増えてきており、J L C Aデータベースは今後更新・拡充されていくことが求められている。L C A日本フォーラムのデータベースに関する活動は以下の4点とされている。<sup>10</sup>

- ・ 第 期L C Aプロジェクトで生まれる新規データの積極的な受け入れ
- ・ 会員各位を始めとするボランティアなデータ提供の受け入れ
- ・ J L C A自身によるバックグラウンドデータ等の調査、作成
- ・ L C A関係文献データの継続的な搭載

これらから新たなデータを掲載することに重きをおいていると考えられる。しかし、

インベントリデータを充足することは重要である。しかし闇雲に増やせばよいものでなく、新たに掲載すべきデータを判断する基準が必要になってくる。つまり、実際の解析においてどのマテリアルがデータの欠落により無視されたのかを知る必要が出てくる。



## 2.3 マトリクス法の自動解析への応用

### 2.3.1 機能単位基準線形法

マトリクス法の考え方の根幹にあるのは一次連立方程式の系統的な構築にあると述べられている。各等式は1つのマテリアルに相当し、プロセスベクトル  $p$  における各係数は1つの単位プロセスに相当する。単位プロセスにおいて、その係数は1つの経済流通だけによって決定される。この経済流通量は最も重要なものであり、他のプロセスをつなぐものとする。マトリクス法の実用案において、編集された各プロセスは主に1つの経済的流通に作用する仮定する。そしてこの経済的流通はこの論文にて機能単位フローと定義する。そうすると基準となる要素は、そして係数マトリクスは1つのプロセスにつき決められた1つの機能単位フロー要素で全て構成される。したがって係数マトリクス  $A$  は以下のように求められる。<sup>11</sup>

$$A = \begin{bmatrix} f_1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & f_2 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & \cdots & f_n \end{bmatrix} \quad \text{.....式 2 - 2}$$

この理論を適用することで、もれなく境界条件に入力された製品・サービスとつながりあるシステムフローが機械的に検索できる。また1つの機能単位を選択することで他のマテリアルに関する数量は線型仮定により一意に決定できる。機能単位基準線形法はこのシステムフローの構築、つまり係数マトリクス  $A$  の構築を機械的に行うことができるため、自動解析システムに組み込むに適しているといえる。

単位プロセスに1つだけ決定される機能単位マテリアルは、その単位プロセス独自の生産物・サービスでなくてはならない。なぜなら、副生産物については、他のプロセスにて主生産されている場合、同じ機能単位マテリアルが複数存在してしまうことになり、係数マトリクスが正方行列にならないためである。

なお「機能単位基準線型法」という名称は筆者が独自に名づけたものであることをお断りしておく。

### 2.3.2 データベースを用いた係数マトリクス構築手法

係数マトリクスを自動的に構築する手法はまだ考案されていない。しかし、マトリクス法に基づき、データベースを使ってLCA自動解析システムを作ることが可能であることが提唱されている<sup>12</sup>。この説によれば、以下の2つの手法が考えられる。

最小マトリクス；最小限の演算の煩雑さ、感度分析と不確定性分析ができる。でもマト

リクス逆行列を再構築しなければならない。

最大マトリクス；マトリクス構築逆行列計算が一度で済む、感度分析、モンテカルロシミュレーション

この2つの手法のフローチャートを図2-2, 3に示す。最大マトリクス法を採用すると係数マトリクスの次元が大きくなってしまふ。本研究では一般的な表計算ソフトウェアでの開発を試みることにするため、最大データ数を超えてしまい、処理能力を超過してしまふ。そこで本研究では最小マトリクス法を採用することとした。

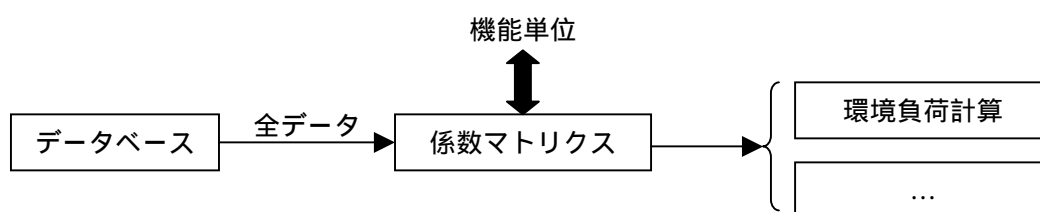


図 2-1 最大マトリクス法

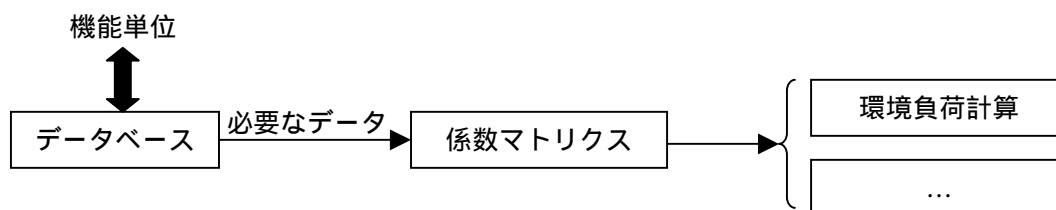


図 2-2 最小マトリクス法

## 2.4 データベース参照型マトリクスLCI自動解析アルゴリズムの作成

1.3項で取り上げた理論を適用してアルゴリズムの構築を行った。アルゴリズムのフローチャートを図2-4に示す。

各行は全て機能単位マテリアルを示し、各列はその機能単位の生産のためのプロセスとする。境界条件として評価したい1つの機能単位とその量を指定する。その機能単位のプロセス中で機能単位マテリアルであるものを見つける。今度はその新しく発見された機能単位マテリアルを生産するためのプロセスを探し、列に追加入力する...といったことを繰り返す新たに係数マトリクスに内包された機能単位がないかどうか、検索する。

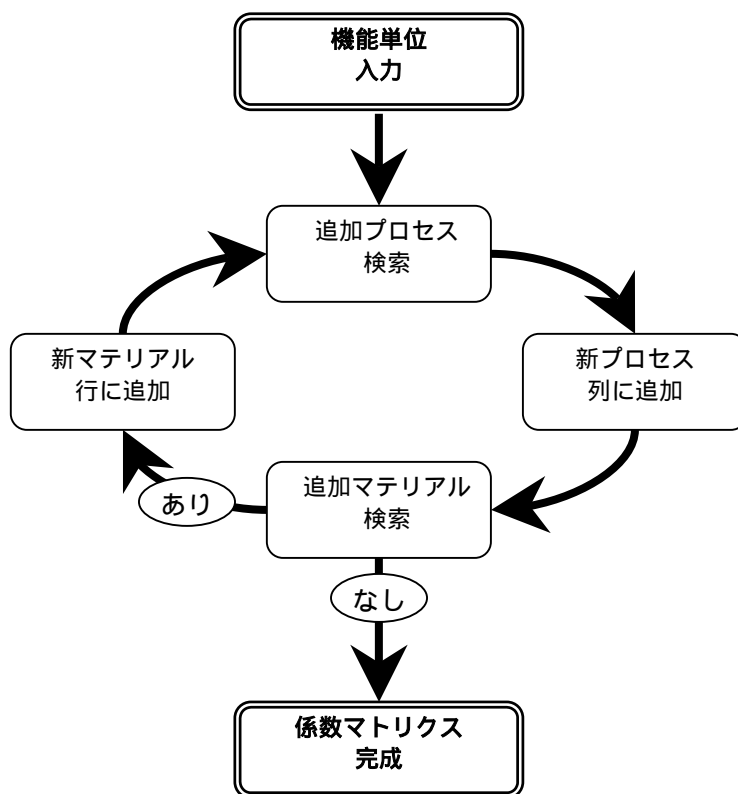


図 2-3 係数マトリクス構築アルゴリズム

## 2.5 過剰フローマトリクスを利用したデータベースの拡充

### 2.5.1 理論

データベースをマトリクス法で扱うに当たり、データベースの内容を5種類に分けて考える。その5種類は 入力フロー 出力フロー 環境負荷フロー 機能フロー 機能単位とする。環境負荷に関するものが環境負荷フロー、各単位プロセスに入力されるものが入力フロー、出力されるものが出力フローである。さらに単位プロセス中の一番重要なフローであり、このプロセスを製品システムに導入した目的を示すものが機能フローである。製品システムが提供する機能を示す性能の定量的尺度、つまり機能フローの数量を機能単位とする。これら5種類のデータに対して、必要な作業を加え（データ整理等）必要なマトリクスを構築する。1.3.1項の理論に基づけば、各単位プロセスの機能を代表する機能フローは係数マトリクス $A$ を構築する。環境負荷フローは環境負荷マトリクス $B$ を構築する。機能単位からは境界条件ベクトル を構築する。それ以外のフローは、リンクするプロセスがないため、過剰フローと定義し、過剰フローマトリクス $S$ を構築する。一般にデータベースなどで提供されるプロセスデータには、この過剰フローに相当するデータ

も区別なく混在していることも多いが、このデータはマトリクス法の解には寄与しないため、分離して取り扱う必要がある。例えば、過剰フローに関する量（環境負荷および物資量）を無視して扱うこととし、これをカットオフと表現する。すると、製品システムの機能単位当たりの最終環境負荷とカットオフされたマテリアルの総量は以下のマトリクス算式で求められる。<sup>13</sup>

$$\beta = BA^{-1}\alpha \quad \dots\dots\text{式 2 - 3}$$

$$\gamma = SA^{-1}\alpha \quad \dots\dots\text{式 2 - 4}$$

ここで、 $\beta$  はすべての機能フローの境界条件である。（1.2.1項参照）過剰フローマトリクス  $S$  の各要素がカットオフされたフローを表現している。過剰フローの要素は、システム境界の外の量として位置づけられる。つまりデータベースに取り込まれている範囲外と解釈されるものとなる。

#### 2.5.2 適用

前項で述べた通り、データベースをマトリクス法に適用すると、リンクされるべき単位プロセスでありながら、データ欠落のため無視されてしまったマテリアルがその量と共に過剰フローマトリクスにまとめられることになる。つまり、データベースが網羅する範囲を広げる足がかりが見つけれられるということだ。データが見つかった場合、見つからなかった場合でマーキングすることで一括して何が不足しているかわかる。そしてその度合いはマトリクスをみることで、頻度・量ともにわかるのでそれを用いて判断する。

## 2.6 考察

複数の製品を同じプロセスで作る場合に、機能フローは一意に設定できないという問題点がある。しかし、本研究でデータベースとして使用するJLCAデータベースでは、各システムフローと製品・サービスが1対1対応しているため、本研究に限っては問題にはならない。

また、過剰フローマトリクスの利用方法に新たな側面を見出した。データベースにプロセスデータがないマテリアルの集合が過剰フローマトリクスである。JLCAデータベースの各インベントリデータについて、産業連関法における分類を掲載することとする。こうすることでもしプロセスデータが存在しなかった場合に、産業連関法からデータを補完することが可能となる。

## 2.7 結言

- LCAの現状として、マトリクス法とJLCAデータベースについて問題点を提示した。
- マトリクス法を自動 LCI 解析に適用するため、前項で挙げた問題点に対する解決策を検討した。
  - ◇ プロセスに代表値となる機能単位フローを設定することで、係数マトリクスを自動的に正方マトリクスの形で構築することが可能になることがわかった。
  - ◇ ある1つの製品かサービスに対して LCI 解析をする際、係数マトリクスに必要な情報はデータベースを検索し必要なデータを抽出することも可能であることがわかった。
- このマトリクス法改善案を用いて、データベース参照による係数マトリクス自動構築のアルゴリズムを作成した。
- JLCAデータベースの問題点で挙げたデータベース拡充の指針がないことについて、マトリクス法の過剰フローマトリクスを利用する手法を提案した。
- 過剰フローマトリクスは産業連関法で各要素のデータを補うことが可能である。

### 第3章 J L C Aデータベースを利用したマトリクス法に基づく L C A自動解析システムの作成

### 3.1 緒言

現在ある LCA ソフトウェアプログラムに組み込み可能なデータベースとアルゴリズムができたことで、データ収集から計算までの全 LCI 作業を自動化することが可能となった。一般的な表計算ソフトを使用してマトリクス法で解析された事例も出てきている。しかし、積み上げ法におけるプロセスフローの組み立て、またマトリクス法における係数マトリクスの構築は、自分で組み立てるかある形式に則らなければならない。

以上のような背景から、まずシステムに組み込まれる理論・アルゴリズム・データベースを実際にシステムで機能できるように作業をした。これをふまえて、JLCA データベースを格納し、マトリクス法に基づき係数マトリクスが自動構築される LCA 解析システムを作成した。このシステムは LCA 解析の目的に合わせた機能フローをただ 1 つ指定し、その数量を入力することで、様々な LCA 解析結果が出力されるものである。考察としてこのシステムの特徴を報告する。

### 3.2 適用した理論

#### 係数マトリクス構築アルゴリズム

第 2 章にて作成した係数マトリクスを実際にシステムに適用する。

入力を受けて係数マトリクスを出力するこのアルゴリズムを組み込むのに必要となる事柄は 2 つある。1 つ目は、必要となる単位プロセスとその機能単位の相互検索が容易にできるようにしなければならない。2 つ目に抽出されたデータをまとめること。

1 点目については、各単位プロセスに対しその機能単位プロセスを見出し化することが必要となる。

2 点目に付いては、抽出されたプロセスの全データを一覧表にする。この中のデータを係数マトリクスに組み込まれたもの、組み込まれず過剰フローに組み込まれたものに色分けすることとする。

#### 感度分析

第 1 章 6 項で述べた通り、プロセスベクトル  $P$  と係数マトリクスの逆行列  $A^{-1}$  が計算されれば、感度係数は以下の通り容易な計算で求めることができる。摂動法による一次近似解としての感度は式 3 - 1 のように導かれる。<sup>14</sup>

$$d_{ij}^k = \frac{\Delta\beta/\beta_k}{\Delta a_{ij}/a_{ij}} = -\frac{a_{ij}}{\beta_k} p_j^0 \sum_l b_{kl} a_{li}^{-1} \quad \dots\dots \text{式 3 - 1}$$



### 3.3 J L C Aデータベースの組み込み インベントリ分析用データベース

J L C Aデータベースを実際にソフトウェアに組み込むにあたり、以下の作業を行ったので報告する。

#### 単位の統一

J L C Aデータベースでは同一材料に対し単位が統一されていないことが見られる。例えば天然ガスについては、インベントリデータ中、体積・出力・重量の各単位が使用されていた。こういった材料について、単位の統一を実行した。

#### 名称

同一材料対し、和名・英名・化学式等々で表現されていることも発見された。係数マトリクス等の構築は名称の一致・不一致を使って行われる。したがって、名称もできる範囲で統一した。ただし複数の材料が混同されて表記されていることもあり、按分の問題となるので本研究ではこれらを無視することとした。名称の修正については、第2章で提案した過剰フローマトリクスを利用したデータベース修正方法を用いた。

#### 不完全なプロセスフローの修正

1.3.1で取り上げた理論を適用するにあたって、各単位プロセスには必ず機能単位材料が必要である。しかし形を伴わないものをつくるプロセスには環境負荷以外の価値ある出力材料が存在しない。例えば製品の解体という単位プロセスにおいて、廃棄物しか出力されない場合がある。この場合には、「製品の解体」というサービスとして出力材料を仮設定することとした。

またリサイクルが行われるプロセスについては、価値があってもリサイクルされる出力材料を機能単位フローとして設定してはならない。例えば乗用車の解体については、出力される材料解体することが目的であり、リサイクルされる材料等は独自に生産するプロセスがあるので、そちらの機能単位材料になるからである。

以上2件のように、係数マトリクス正方化のため、機能単位材料が重複せず、各単位プロセスにつきただ1つ存在するようにした。

#### 影響度評価用データベース(LIME)

環境負荷物質について、データベースに実際に使われている材料の分類より細分されている。例えばフロン的一种であるHFCは、インベントリ分析用データベースでは1つのものとして統一されている。対して、影響度評価データベースに掲載されているHFCは19種類に細分されている。こういった環境負荷に関しては統計データを元に、最も市場に出回っているもの、もしくは地球上での存在確立が最も高いものとした。

### 3.4 解析作業とシステムフロー

ユーザーの作業も含めて開発中のソフトウェアの構造を以下にまとめる。データのやりとりや演算の流れは図3-1のシステムフロー図に示す。

【データベースとそのインデックス】2.2で述べたように1つのプロセスに対し、そのプロセスの目的とする材料を1つ抽出する。そしてプロセスとその目的の機能フローと単位を対にしたものをデータベース上の全プロセスについてリスト化する。内蔵するJLCAデータベースのインデックスをソフトウェアの開発段階で作成しておく。(機能フローと単位プロセスの相互検索を容易にするため)

【解析対象入力】LCAを行うにあたり最初の作業であるステップである目的と範囲の設定を事前に行う。本システムでは範囲の設定は自動的に行われるので、目的の設定のみ行う。目的の設定ができたなら、機能単位の一覧から評価対象を選び、数量を決定し、評価対象・数量を入力する。系の境界条件となる評価対象を入力する。系全体で生産しようとしている材料、製品の材料の名称とその量を入力する。名称は で作成したリストの中から選択するようにし、数値入力の際には単位のアナウンスが表示される。

#### 【係数マトリクス構築】

(ア) の入力を受けて、与えられたデータベースから必要なデータだけ抽出する。

(イ)ここではマトリクス構築に使われるプロセスの抽出が行われる。まず境界条件として入力されたプロセスがマトリクス構築用に抽出される。次にそのプロセス中でやりとりされる材料で で作成されたリストにあげられているものを抽出する。同じように、また新しくマトリクス構築用に抽出されたプロセス中の材料で のリストにあげられているものを抽出するということを繰り返していく。

(ウ)ここまでの作業で、マトリクス構築に必要とされるプロセスとその目的材料のみの $n$ 次連立方程式を作ることができる。それをマトリクスにまとめたものが係数マトリクスとなる。これは $n \times n$ の正方行列をとる。またあわせて環境負荷マトリクス  $B$ も構築される。

【環境負荷計算】 でできた係数マトリクス  $A$ と環境負荷マトリクス  $B$ を数式2-1に代入し計算する。結果、最終的な環境負荷は環境負荷ベクトル から求められる。また

各環境負荷のプロセスごとの排出量は環境負荷ベクトル の各要素となる。

【感度分析】 でできた係数マトリクス  $A$  と環境負荷ベクトル との各要素を数式 3 - 1 に代入することで感度分析が行われる。

【環境影響度評価】環境負荷ベクトル の各要素に対し、各評価目的の重み付け係数を積算していく。

【解析結果】 の解析結果が表示される。

【フィードバック】 で係数マトリクス  $A$  と同時に過剰フローマトリクス  $S$  が構築される。これを用いてデータベースの修正・拡充を行う。

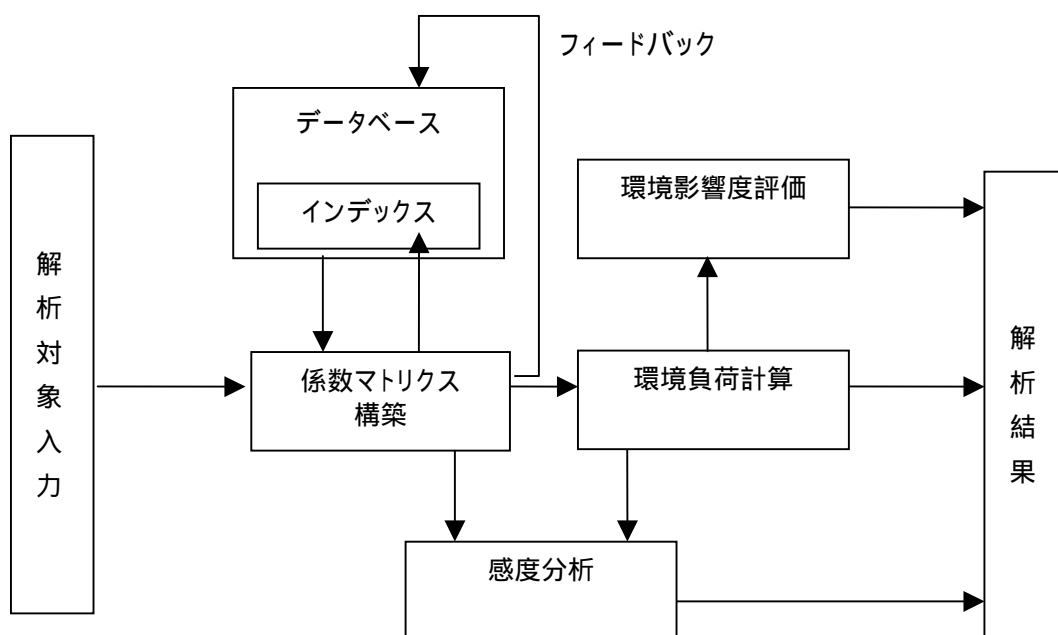


図 3-1 システムフロー図

### 3.5 考察

本システムの特徴を以下にまとめる。一般的な表計算ソフト上に多次元のマトリクス法による解析を実行できる。

また、マトリクス法と諸理論を組み合わせることで、範囲の設定なく、システムフロー図を書かずともLCA解析ができるようになっている。またデータベース整備の観点からすると、データベースに収録されている機能フローを選択して様々なLCA解析を行うことで、どのようなインベントリデータが必要とされているのか判断することができる。

また、システムの実効性についての検証は、**第4章 ケーススタディ**にて行うこととした。

### 3.6 結言

- 第2章4項で作成したアルゴリズムをソフトウェアに組み込むため、システムに具体化し必要な作業を行った。
- 感度分析をシステムに組み込んだ。
- J L C Aデータベースのインベントリデータを、マトリクス法による解析で実際に使えるよう修正した
- J L C Aデータベースの環境影響度評価データ(LIME)を用いて、本ソフトウェアにて環境影響度評価を実行できることを確認した。
- J L C Aデータベースの全データとマトリクス法を用いたLCA自動評価システムをモデル化し、一般的な表計算ソフト上に作成した。

以上のことから

J L C Aとマトリクス法とのシナジー効果により自動解析とデータベース整理が可能となる。

## 第4章 ケーススタディによるシステムの実効性検証

#### 4.1 緒言

これまでの各章を通じて『マトリクスLCA自動解析システム』の基本的な枠組みを考案し提唱した。次にこのシステムの有用性を確認するため、具体的事例を解析することにする。LCA解析ソフトウェアの開発においては、ケーススタディを積んでシステムの実効性を確認することが慣例となっている。

以上のような背景から、本章では『JLCAデータベースを用いたマトリクスLCA自動解析システム』(以下、本システム)を用いて、数件のLCAケーススタディを行ったのでこの結果を報告する。この結果と他の手法による解析結果を比較することでシステムの実効性を検証する。その結果、JLCAデータベースとマトリクス法との融合の有用性が明らかになったので、これをまとめる。

##### ケーススタディについて

潜在的にもつ環境負荷を明らかにした。この結果を文献値と比較することで、自動解析システムの有用性を確認する。

##### ケーススタディの対象

昨年度卒業論文で取り上げられた乗用車、複写機、PET ボトル、アルミニウムについて行った。また、部品の点数が多い製品としてノートパソコンも取り上げた。

##### 考察について

感度分析が摂動法の近似により簡単にできるのはマトリクス法ならではといえる。したがって感度分析の結果を詳細に見ることとする。

影響度評価は結果のみの表示とする。なぜならLCI結果の環境負荷量に対し、係数を積算していただくだけの作業なので、マトリクス法等の考察にフィードバックしえないと判断したためである。

## 4.2 乗用車のケーススタディ

### 4.2.1 緒言

乗用車は部品の種類が多く、LCA評価が困難な製品の1つである。自動車は現代において普及率の高い製品の1つである。さらに発展途上国でも所有率増加が予想される。しかしガソリンを燃料としているため、CO<sub>2</sub>等の環境負荷物質を多く排出する。環境問題の温暖化防止への大きな関心事品の一つ。環境にやさしい自動車の開発が必須であり、自動車メーカーをはじめ各分野で取り組まれている。自動車メーカー各社でもLCAへの実践的な取り組みが始まっており、各社昨年度卒業論文でもケーススタディの対象となった。

以上の背景から、乗用車の生涯走行におけるLCA解析を行った。そして、昨年度卒業論文における乗用車のライフサイクルのケーススタディ結果との比較をすることで本自動解析システムの実効性を検証した。結果として発見された、感度係数と係数マトリクスの次元の関係とデータベースに関する問題点を報告する。

### 4.2.2 解析条件

#### 対象乗用車

解析の対象とした乗用車はデータ提供元である(社)日本自動車工業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。その主な仕様は、排気量1500ccのガソリンエンジン、FFおよびATである<sup>15</sup>。

#### LCAの目的と範囲

境界条件つまり解析の対象はファンクションを乗用車の走行、ヴァリューを1台と入力した。こう入力することで、一台の1500cc乗用車の生涯走行を機能単位(Function unit)とし、それあたりのライフサイクル中の環境負荷を計算する。環境インパクト評価の例として、100年間の地球温暖化影響度評価を考察する。最終的に感度分析を通じて、環境改善面でCO<sub>2</sub>削減の最も有効な施策を提案する。

解析対象となる乗用車は1997年製造、使用年数が10年と設定されているので、対象となる時間的範囲は1997年～2007年である。

## プロセスフロー

JLCAデータベースに基づき、乗用車ライフサイクルシステムフロー図を図4-1に示す。この図で四角が1つの境界を設定されたプロセスを示し、破線枠はシステム境界を示す。破線枠内のサイクルはJLCAデータベースに全部のプロセスデータがあるプロセスである。システム境界とは、そのプロセスにおいて環境負荷を考えている範囲を区切る境界のことである。二重枠のサイクルは単位プロセスを示している。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。一重枠のプロセスはJLCAデータベースにデータが存在しないため計算に考慮されないことになる。

しかし一重枠のプロセス中、一部の材料についてはJLCAデータベースにデータが存在することがあった。インベントリデータがある限りは計算に含むこととした。例えば、乗用車の外製部品の製造プロセスに含まれているインテークマニホールドなどがあげられる。

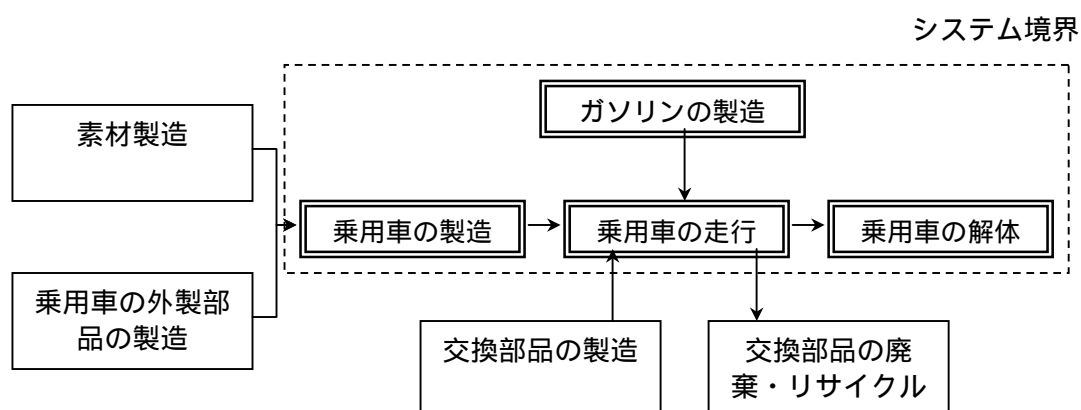


図 4-1 乗用車のプロセスフロー



#### 4.2.3 LCA解析結果

##### 環境負荷排出量分析(CO<sub>2</sub>)

本システムによって、50個の関連ある単位プロセスのプロセスデータを抽出して、乗用車のプロセスフローを構築した。環境負荷計算の代表的な結果をあげる。排気量1500ccの5人乗り4ドア・セダン型小型乗用車1台の生涯走行に伴う全過程からのCO<sub>2</sub>の排出量は約23.6ton、NO<sub>x</sub>は約39.2kg、SO<sub>x</sub>は約17.5kgであった。

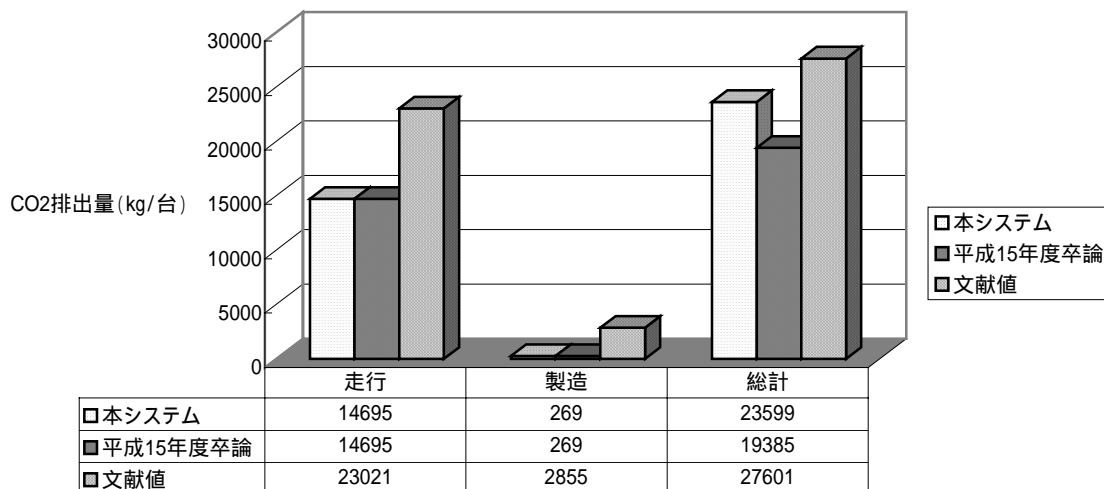
CO<sub>2</sub>の排出量の解析結果について他文献との比較をまとめたものを図4-2に示す。CO<sub>2</sub>の排出量は、乗用車の走行に関連する代表的なプロセス(走行・製造)におけるCO<sub>2</sub>排出量と乗用車の走行に潜在する総CO<sub>2</sub>排出量についてとした。

まず本システムによる解析結果と平成15年度卒業論文によるものを比較する。平成15年度の卒業論文ではJLCAデータベースのデータを元に係数マトリクスを手作業で構築し、解析を行っている。平成15年度の卒業論文に対し本システムは、明らかに図4-2の結果がより数値が大きくなっており、文献値に近づいている。この原因として、平成15年度卒業論文における乗用車LCAケーススタディでは、人間の手によって関連するプロセスを抽出し、製品ライフサイクルを構築した。その結果、16個の関連プロセスしか抽出できていない。データベースにある全ての関連プロセスを網羅することはできなかった。今回のLCAケーススタディでは、自動解析システムによって関連プロセスとして50個の単位プロセスが抽出され、より完全な製品システムを表現することができた。したがってLCI分析の結果もより正確なものとなっている。これが本自動解析システムの特徴であり、メリットとなっている。

次に文献値と比較する。この文献では関連するプロセス各プロセスについてマテリアルのやり取りを詳細に調査し積算していった結果を示している。文献値と比較して本システムの解析結果は依然として若干値が小さくなっている。その原因は過剰フローマトリクスに組み込まれたデータベースにマテリアルデータがなく、環境負荷計算において無視されたためである。

しかし総計において2者を比較すると、本システムの方がより数値が大きく、文献値に近づいている。これは考慮されたプロセス数によるものと考えられる。2者もつ数値と文献値との差は、過剰フローマトリクスに組み込まれたマテリアルデータの分とであり、係数マトリクスに組み込まれるデータが多ければ多いほど、この差は小さくなるものと考えられる。

ここから、手作業で係数マトリクスを構築することにくらべ、自動的に構築することで単位プロセスのつながりをより確実に網羅できることが実証されているといえる。つまり、係数マトリクスの構築を自動化した意義を見出すことができる。



	本システム	手作業
係数マトリクスに組み込まれたプロセス数	40	16

図 4-2 乗用車の走行の L C A 解析による CO<sub>2</sub> 排出量の比較

自動解析 L C A システムでは、最終環境負荷の計算だけでなく、すべての環境負荷の各プロセスでの排出量も表している。ここでは、簡単のため、CO<sub>2</sub> 排出だけを取り上げて説明する。乗用車の CO<sub>2</sub> 排出量を単位プロセス別にまとめたグラフを図 4 - 3 に示す。乗用車のライフサイクル中の各プロセスから CO<sub>2</sub> 排出量とその割合は図 4 - 3 に示す。乗用車走行プロセスからの排出量は 1 番多く、62% を占める。2 番目に多いのが電力生産プロセスで 11% を占める。そしてガソリン 7% と続く。動力源関係でしめて全体の約 90% を占めた。

以上のことから、乗用車走行プロセスからの CO<sub>2</sub> 排出は、ガソリンを燃焼した際の廃棄が原因であることが予測できる。したがって環境改善面での提案として、CO<sub>2</sub> 排出量を削減するために、走行距離あたりの必要なガソリン量を減らすこと、つまり燃費を良くすることが最も重要である。すなわち、高効率乗用車の開発は最重要課題といえる。もしくは排気ガスが全くでないという点で、電気自動車の開発は魅力的であるといえるのかも知れない。当然、これを断言するためには、電気自動車に対しても L C A ケーススタディを行った上で比較検討することが必要である。

CO<sub>2</sub> 削減のための 2 番目の提案としては、電力生産プロセスにおける CO<sub>2</sub> 排出量を削減することである。具体的には電力生産プロセスを改善したり、消費する電力の量自体を減らしたりすることが重要となってくる。

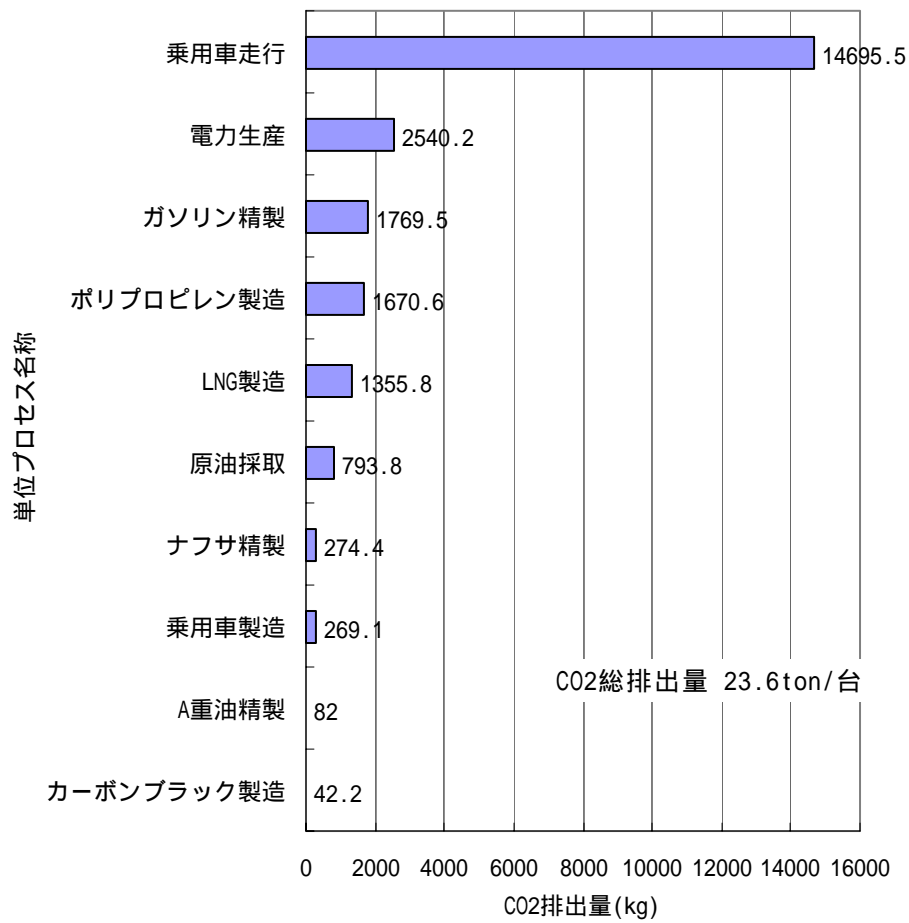


図 4-3 乗用車1台の生涯走行に潜在するCO2排出源の内訳

## 環境負荷感度分析（CO<sub>2</sub>）

本システムによってCO<sub>2</sub>に対する感度分析を行い、その結果を絶対値の大きいものから順に代表的感度を表4-1に示す。この表では、全ての感度値が絶対値について降順に並べられているため、CO<sub>2</sub>排出量に最も影響が大きい項目を特定することが簡単にできる。また各プロセスデータの優先順位を決めることも容易となっている。

1位の感度は、乗用車の製造プロセスにおいて、乗用車の生産効率を1%向上させることがCO<sub>2</sub>排出量を0.27%減らすことに効果があることを示す。

2位の感度は、乗用車の走行プロセスにおいて、乗用車の生涯走行距離を1%増加させることがCO<sub>2</sub>排出量を0.27%減らすことに効果があることを示す。

3位の感度は、ドアトリムの生産プロセスにおいて、ドアトリムの生産効率を1%向上させることがCO<sub>2</sub>排出量を0.20%減らすことに効果があることを示す。

「ポリプロピレンの製造>ポリプロピレン」や「乗用車の走行>自動車ガソリン」の感度が高いことは、ポリプロピレンの製造効率を高めることや走行におけるガソリンの燃費を向上させること等がCO<sub>2</sub>削減に効果があることを示唆している。

表 4-1 乗用車に関するインベントリデータのCO<sub>2</sub>排出量に対する感度

順位	要素名称 (プロセス>マテリアル)	感度
1	乗用車の製造>1500cc ガソリン乗用車	-0.27
2	乗用車の走行>1500cc ガソリン乗用車	0.27
3	ドアトリム>ドアトリム	-0.20
4	乗用車の製造>ドアトリム	0.20
5	電力生産>電力	-0.12
6	ポリプロピレンの製造>ポリプロピレン	-0.10
7	ガソリン>自動車ガソリン	-0.10
8	乗用車の走行>自動車ガソリン	0.10
...	...	...
18	ガソリン>原油	0.02

開発されたシステムはバックグラウンドデータによる解析が目的とされているので、データの正確さはさほど重要と考えられてはいない。フォアグラウンドデータを収集した上で再調査が必要となってくる。

マトリクス法で乗用車のLCAを算出するには、約40の生産プロセスとそこでやりとりされる約200のマテリアルのデータ要素が必要とされる。これらのデータを全て再調査することは非常に労力が大きい。しかし、LCAに用いる全てのデータの不確かさが結果

に大きく影響するわけではない。結果に対する感度の大きなデータを優先的に再調査することで、再調査に必要な労力を大幅に削減することが可能と考えられている。

「乗用車1台の生涯走行当たりのCO<sub>2</sub>排出量」に対する各データの「感度」<sup>16</sup>を算出した結果を表1に示す。

感度の絶対値の総合計に対する各データ要素の感度の割合を見ると、上位12要素で感度の総合計の約8割を占め、また上位18要素で(総データ数の10%)で約9割を占めていることがわかった。注目すべきデータを絞ることの必要性が実証されているといえるだろう。

製品の改善点を抽出する観点から見ると、感度が大きいデータ要素は環境負荷削減に大きく寄与する要素であることがわかる。これを利用して製品設計においてどこに注目すべきかの優先項目を抽出することができる。

### 影響度評価結果

環境影響度評価を温室効果ガスの地球温暖化係数で行ったので、結果を表4-2にまとめる。

表 4-2 乗用車の環境影響度評価（地球温暖化係数(100年)）

環境負荷項目	環境負荷総排出量(g)	特性化係数
CO <sub>2</sub>	23598993.38	1
CH <sub>4</sub>	2086301.247	23
N <sub>2</sub> O	33.01621332	296
HFC	150.093547	1300
GWP		71788816.46

#### 4.2.4 考察

##### その他の感度分析の利用について

乗用車のような多くの部品から構成される組み立て機械のLCAを実施する場合は、様々な簡易化を試みることになるが、安易な簡易化は誤った結果を導きかねず、常に簡易化の効用とその限界を考慮する必要がある。

「データの曖昧さが結果に与える影響の大きさ」をLCA結果の読み手に伝えるために、感度分析を利用することもできる。感度の大きなデータ要素を感度値と共に公開するとよいだろう。

ある公開されたLCAについて、使用される主要な原単位を任意の値に変更したときのLCA結果を推定することができる。従来は、複数のLCA結果を比較/マージする際に、使用した原単位を任意の値に統一することがデータの機密の関係から難しいようだ。

### 解析結果の用途について

この事例から、どのようなデータであっても少なからず曖昧さがあるが、「データの曖昧さをコントロールしながら有用な情報を得る」努力が重要であることが理解できた。よって感度分析や誤差分析を活用して意義あるデータを得られるようにすべきだろう。

しかしながら、解析では個々のデータのシステム境界や割り付け等の詳細が疑わしい。これらが次のステップでの課題となる。

### その他

境界条件に近い単位プロセスは感度に大きな影響を与えるので、明確な基準をもって設定すべきである。

動力源系の感度係数は係数マトリクスに考慮されるプロセス数に応じて大きく変動する。今回の解析の場合、考慮するプロセス数にあわせて増加する傾向がみられた。

## 4.2.5 結言

### システムの実効性について

乗用車1台に対し、開発したシステムを使いLCA解析を試みた事例を紹介した。LCAの各ステップが実行できることが確認できた。係数マトリクスの構築を手作業による同様の解析に対してより精度の高い解析が行われることが確認された。

乗用車の生涯走行に対し、開発したシステムを使いLCA解析を試みた事例を紹介した。係数マトリクスの構築を手作業による同様の解析に対してより精度の高い解析が行われることが確認された。

## 4.3 ノートパソコンのケーススタディ

### 4.3.1 緒言

ノートパソコンも乗用車と同様に部品の種類が多く、LCA評価が困難な製品の1つとなっている。先進国で出荷台数も急増中で、IT革命という言葉も流行ったようにIT機器はますます増加の一途をたどるだろう。発展途上国でも出荷台数増加が見込まれる。破竹の勢いでIT産業が発達しパソコンの入れ替えも頻繁になっていながら、現状でパソコンはほぼ使い捨てである。このことに対処して3R法施行が始まっており、環境問題への話題となる製品の1つである。

このような背景から、ノートパソコンの生涯使用におけるLCA解析を行った。そして、

### 4.3.2 解析条件

#### 対象パソコン

解析の対象としたパソコンはA4サイズのもので、CPUはセレロンの250MHzとなっている。<sup>17</sup>

#### 境界条件(目的と範囲)

境界条件つまり解析の対象はファンクションをノートパソコンの使用、ヴァリューを1台と入力した。この入力で前項にて述べたノートパソコン1台の生涯使用が潜在的に与える環境負荷を知ることができる。

ノートパソコンの使用条件はオフィスでの使用を仮定してある。1日9時間、年240日稼働するものとする。耐用年数は法定の4年とした。1日の消費電力は表のように実際の使用条件に忠実に仮定して計算すると、166.5Whと概算される。

解析対象となるノートパソコンは2000年当時市場に出ていたもので、コンピュータ生産メーカー4社の単純平均値が用いられている。これらのデータ元の市場占有率は、当時50%程度と概算されている。使用年数が10年と設定されているので、対象となる時間的範囲は1997年～2007年である。

表 4-3 ノートパソコンの1日当たりの消費電力

ノートパソコンの状態	電力(W)	時間(時間)
通常稼働	35	3.5
待機時	17	1.0
低電力時	6	4.5
1日の総消費電力	166.5(Wh)	9.0

## プロセスフロー

J L C A データベースに基づき乗用車の走行に関するライフサイクルを抜粋して図 4 - 5 にフロー図で示す。この図で四角が 1 つの境界を設定されたプロセスを示し、二重枠のサイクルは J L C A 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、そのプロセスにおいて環境負荷を考えている範囲を区切る境界のことである。一重枠のプロセスは J L C A データベースにデータが存在しないため計算に考慮されないことになる。しかし一重枠のプロセス中、一部の材料については J L C A データベースにデータが存在する。これらは計算に含むこととした。

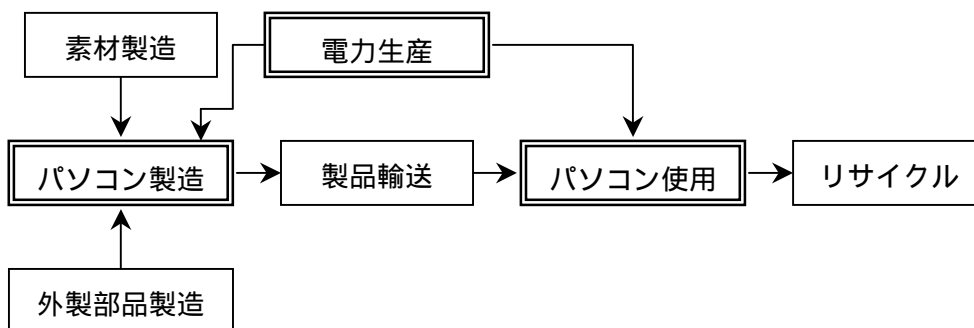


図 4-4 ノートパソコンのプロセスフロー



### 4.3.3 インベントリ分析結果

#### 環境負荷排出量分析 (CO<sub>2</sub>)

『マトリクスLCA自動解析システム』により作成した1台のノート型パソコンの生涯使用に関する環境負荷を表4-5に示す。排気量1500ccの5人乗り4ドア・セダン型小型乗用車の生涯走行に伴う全過程からのCO<sub>2</sub>の排出量は約20.0kgであった。

CO<sub>2</sub>の排出量について、プロセスごとの内訳を図4-に示す。乗用車の走行に関わるCO<sub>2</sub>排出量が62%、電力生産が11%、ガソリンが7%と続き、動力源関係でしめて全体の約90%を占めた。

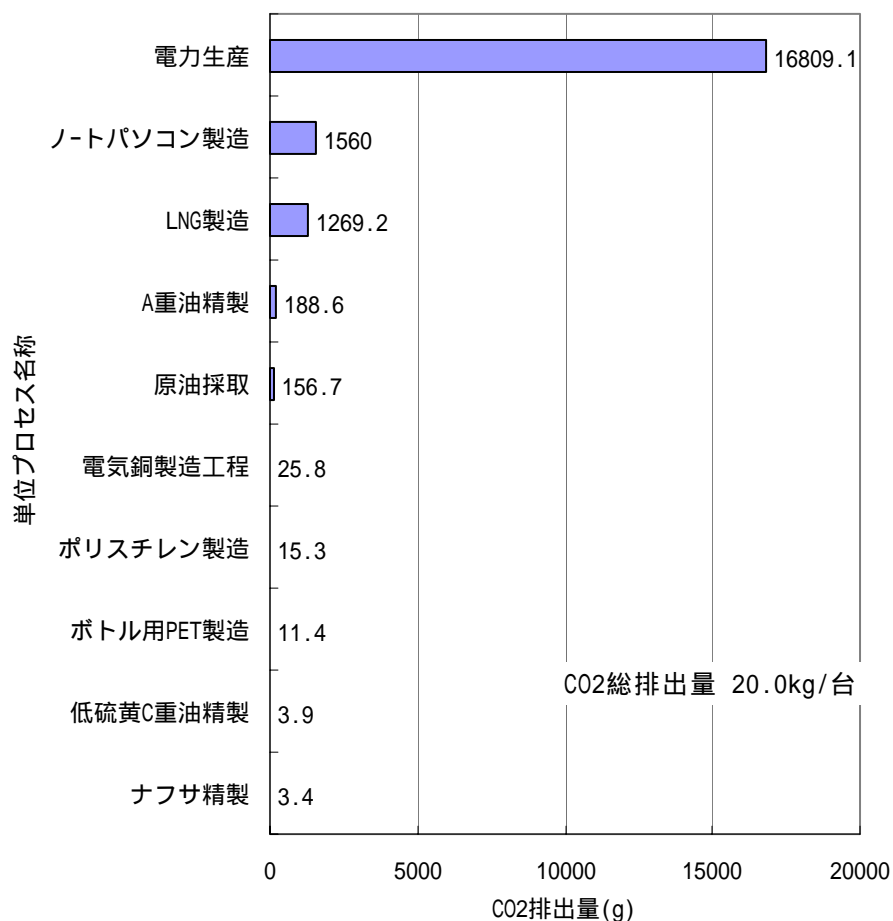


図 4-5 ノートパソコン1台の生涯使用に潜在するCO<sub>2</sub>排出源の内訳

### 環境負荷感度分析（CO2）

CO2 に対する感度係数行列を求め、表 4 - 4 に絶対値の大きいものから順に代表的感度を示す。

1 位の感度は、電力生産プロセスにおいて、電力の生産効率向上が CO2 排出量を減らすことに効果があることを示す。

2 位の感度は、ノートパソコン使用プロセスにおいて、ノートパソコンの消費電力を減らすことが CO2 排出量を減らすことに効果があることを示す。

表 4-4 デスクトップパソコン 1 台の生涯使用当たりの感度

順位	要素名称 (プロセス>マテリアル)	感度
1	電力生産>電力	-0.91
2	ノート型パソコン使用>電力	0.77
3	ノート型パソコン使用>ノート型パソコン	-0.23
4	ノート型パソコン製造>ノート型パソコン	0.23
5	ノート型パソコン製造>電力	0.15
6	LNG (都市ガス 13A 用) > LNG	-0.06
7	電力生産>LNG	0.06
8	A 重油>A 重油	-0.02
...	...	...
11	ノート型パソコン製造>A 重油	0.007

### 影響度評価結果

表 4-5 環境影響度評価（地球温暖化係数）

	総排出量(g)	係数
CO2	20045.07168	1
CH4	1823.58248	23
SF6	0.002095245	22200
N2O	0.100266326	296
HFC	150.093547	0.00061905
GWP		62063.7549

#### 4.3.4 システム有用性の検証

##### CO2 排出量分析結果による検討

本システムと同様に J L C A データベースを用いマトリクス法により手計算された値<sup>18</sup>と、文献値<sup>19</sup>との比較を以下の図表にまとめた。

平成 15 年度卒業論文では、乗用車の製造プロセスの部品群が産業連関表により補われて計算されている。本システムにおいては部品群のうち J L C A データベースに計算されているもののみ考慮し、解析を行った。

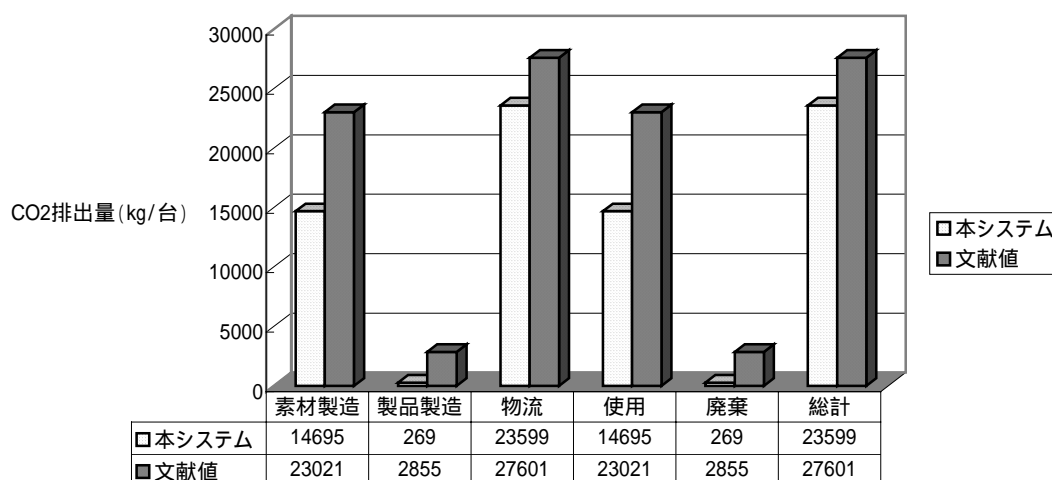


図 4-6 CO2 排出量によるシステムの検証

#### 4.3.5 結果の試験的解釈

##### L C A への利用

このシステムはバックグラウンドデータによる解析が目的とされているので、データの正確さはさほど重要と考えられてはいない。フォアグラウンドデータ...積み上げ法や産業連関方式などによる再調査が必要となってくる。

マトリクス法でパソコンの L C A を算出するには、約 20 の生産プロセスと各プロセス中でやりとりされる約 70 のマテリアルのデータ要素が必要とされる。これらのデータを全て再調査することは非常に労力が大きい。しかし、L C A に用いる全てのデータの不確実さが結果に大きく影響するわけではない。結果に対する感度の大きなデータを優先的に再調査することで、再調査に必要な労力を大幅に削減することが可能と考えられている。

「パソコン 1 台の生涯走行当たりの CO2 排出量」に対する各データの「感度」<sup>20</sup>を算出した結果を表 1 に示す。

感度の絶対値の総合計に対する各データ要素の感度の割合を見ると、上位 6 要素で感度

の総合計の約9割を占め、また上位15要素で(総データ数の1%、実際に入出力のデータの10%)で99%を占めていることがわかった。注目すべきデータを絞ることの必要性が実証されているといえるだろう。

### 改善要素分析への利用

製品の改善点を抽出する観点から見ると、感度が大きいデータ要素は環境負荷削減に大きく寄与する要素であることがわかる。これを利用して製品設計においてどこに注目すべきかの優先項目を抽出することができる。表○の感度分析の結果において、「電力生産>電力」や「ポリスチレンの製造>ポリスチレン」の感度が高いことは、ポリプロピレンの製造効率を高めることや走行におけるガソリンの燃費を向上させること等がCO<sub>2</sub>削減に効果があることを示唆している。

### その他の感度分析の利用について

#### 4.3.6 結言

##### システムの実効性について

パソコンの生涯使用に対し、開発したシステムを使いLCA解析を試みた事例を紹介した。手作業による同様の解析に対してより精度の高い解析が行われることが確認された。

##### 解析結果の用途について

この事例から、どのようなデータであっても少なからず曖昧さがあるが、「データの曖昧さをコントロールしながら有用な情報を得る」努力が重要であることが理解できた。よって感度分析や誤差分析を活用して意義あるデータを得られるようにすべきだろう。

しかしながら、解析では個々のデータのシステム境界や割り付け等の詳細が疑わしい。これらが次のステップでの課題となる。

## 4.4 その他のケーススタディ

### 4.4.1 複写機の使用

#### 解析条件

対象製品は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（複写速度約30枚/分）である。これは2000年において国内出荷台数及び売上額で、デジタル中速機（16～40枚/分）は複写機全体の4割以上を占めており、その中での平均的な機種として30枚機が選定されている。生涯使用については、改正省エネ法の測定条件（1時間あたり30枚複写で1日8時間、月稼働20日）に従い、5年間稼働するものとして算出されている。<sup>21</sup>

上記複写機1台の生涯使用の潜在的環境負荷・影響度探ることを目的とする。

#### 結果

以下に乗用車とノートパソコンのケーススタディと同じように、解析結果と、解析結果と文献値との比較をまとめたものを図表に示す。文献として用いたのは昨年度卒業論文となっている。

図4-7は複写機1台の生涯使用に潜在するCO<sub>2</sub>排出量を各单位プロセスについてグラフ化したものである。複写機の生涯使用においては電力の消費量が多く、その電力ゆえの二酸化炭素排出がほとんどであることが見て取れる。電力生産における二酸化炭素排出量の縮小、また各プロセスにおける電力消費量を削減していくことが、二酸化炭素の削減策として第一に考えられる。

また表の4-6は感度分析の結果となっている。

図4-8はリコー株式会社のLCAリーフレットからの値との比較となっている。その手法は明かされていなかったが、おそらく積み上げ法と考えられる。

図4-9は図4-3と同様に他のLCA解析手法による結果との比較になっている。

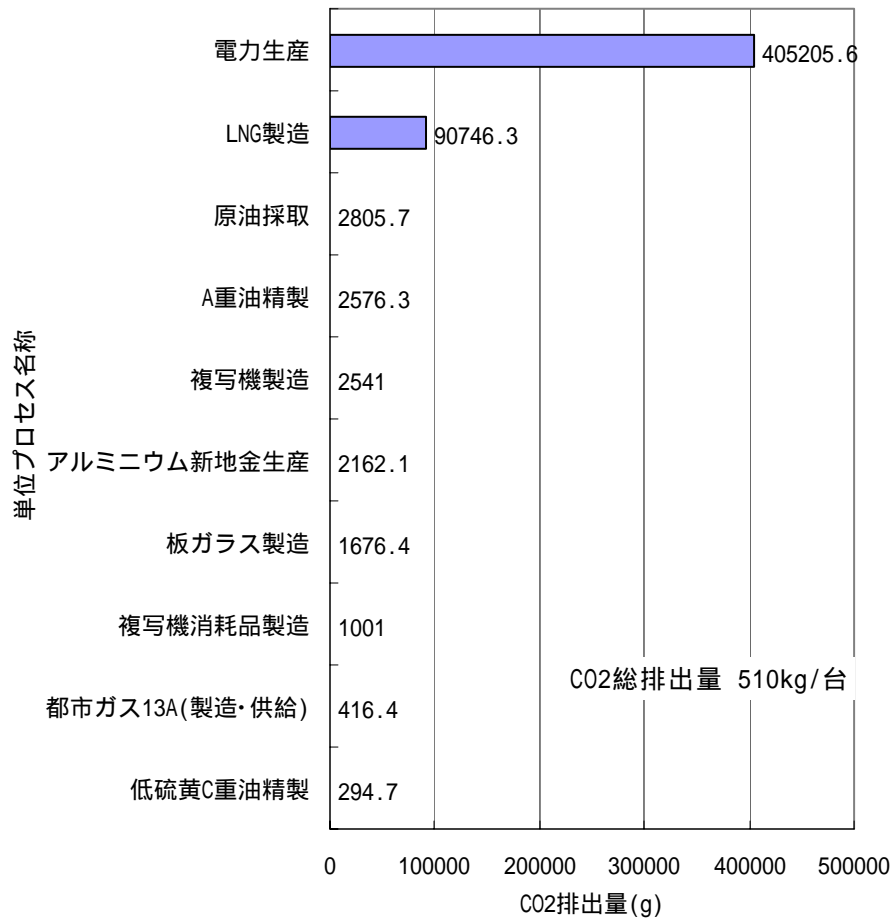


図 4-7 複写機 1 台の生涯使用に潜在する CO2 排出源の内訳

表 4-6 複写機 1 台の生涯使用における CO2 の感度

プロセス名	マテリアル名	感度係数
複写機(中速機)の製造	複写機	-0.840414534
複写機(中速機)の使用	複写機	0.840414534
複写機(中速機)の製造	レーザースキャナ	0.812169496
レーザースキャナ素材構成	レーザースキャナ	-0.812169496
レーザースキャナ素材構成	アルミニウム地金	0.812157161
アルミニウム新地金	アルミニウム地金	-0.812157161
電力生産	電力	-0.163557717
複写機(中速機)の使用	電力	0.148757188
LNG(都市ガス 13A 用)	LNG	-0.03360681
都市ガス 13A(製造・供給)	都市ガス	-0.022602608
...	...	.
複写機(中速機)の使用	複写機消耗品	0.010828277

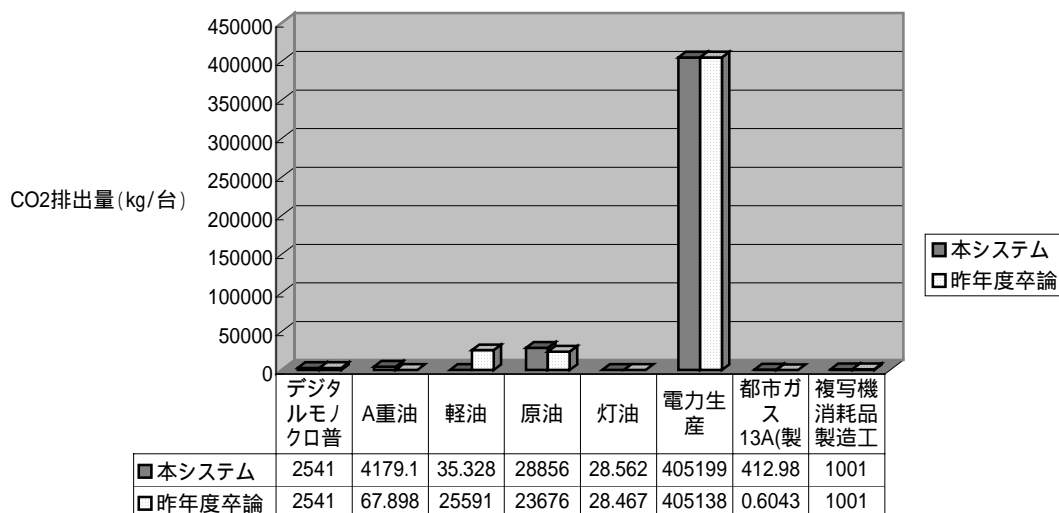


図 4-8 複写機の使用に関する各単位プロセスにおける CO2 排出量解析結果の比較

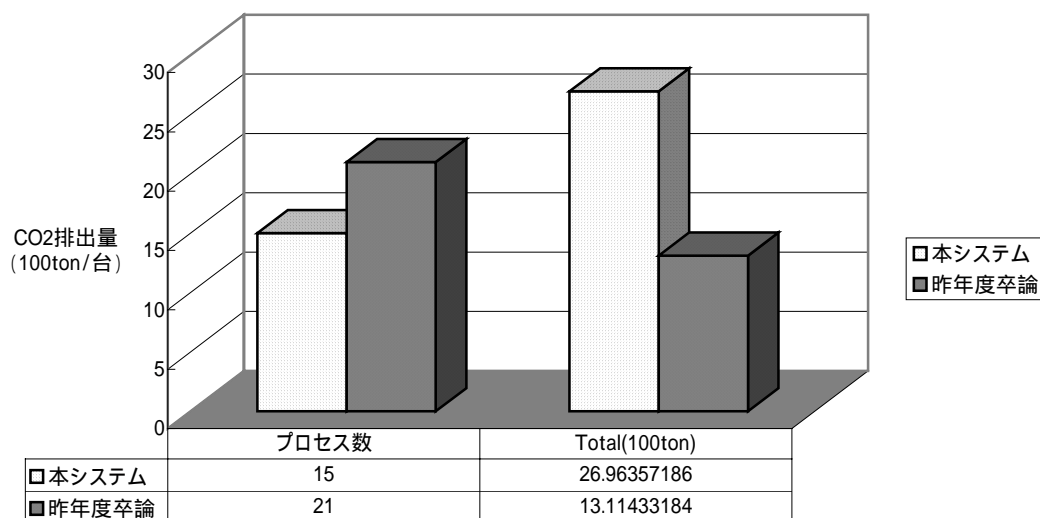


図 4-9 解析範囲に含まれたプロセス数と CO2 総排出量解析結果の比較

(複写機の使用のケーススタディ)

#### 考察

文献と比較して、プロセス数が少ないにもかかわらず CO2 総排出量が多く算出されているのは、単位プロセス設定の違いによるものと考えられる。リサイクル等循環に関するプロセスを独立させているためと考えられる。



#### 4.4.2 PETボトル

##### 解析条件

ボトル用PET、つまりボトル用ポリエステル樹脂を対象とする。<sup>22</sup>

上記ボトル用PET0.962kg(製品化したPETボトル1kgに使用される分量)の製造の潜在的環境負荷・影響度探ることを目的とする。

##### 結果

以下に解析結果と、この結果と文献値との比較をまとめたものを図、表に示す。文献として用いたのは昨年度卒業論文と1998年度卒業論文<sup>23</sup>(以下、文献と記す)となっている。

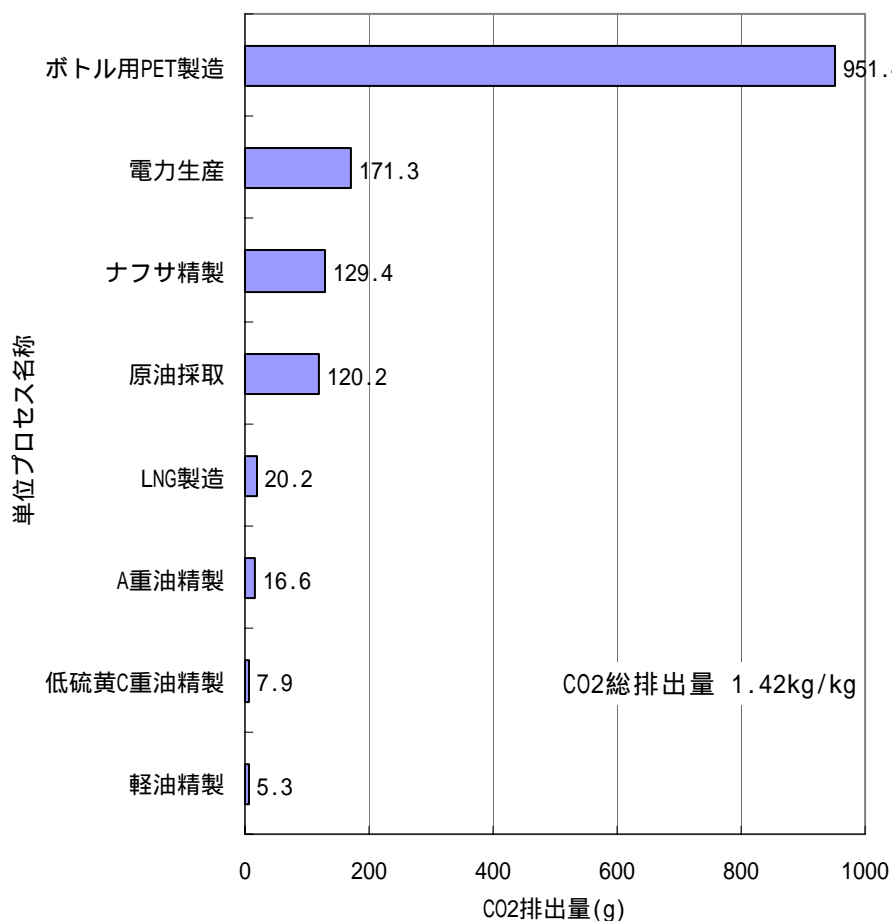
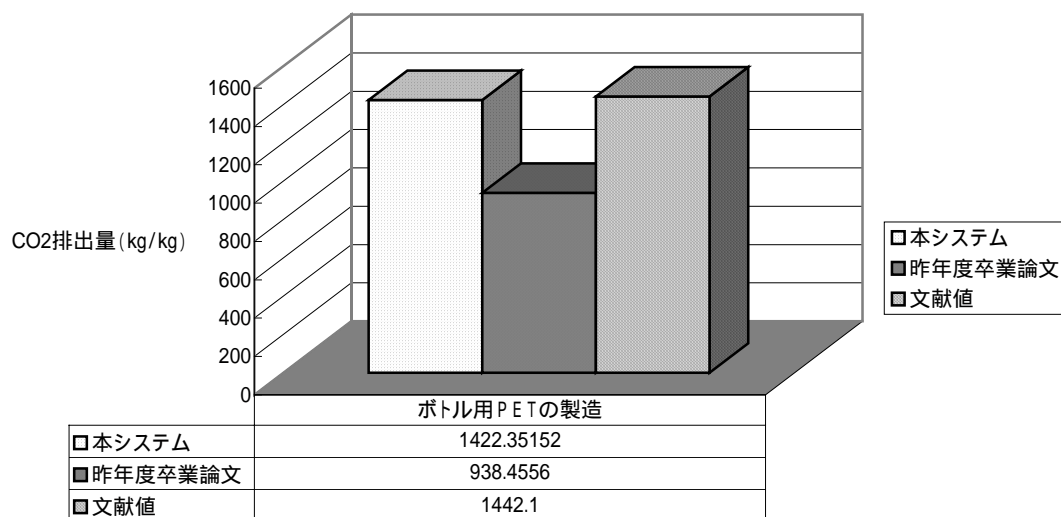


図 4-10 ボトル用PET 1kg分のPET生産に潜在するCO2排出源の内訳

表 4-7 PETボトル1kg分PET製造におけるCO<sub>2</sub>の感度

プロセス名	マテリアル名	感度係数
ボトル用PETの製造	ナフサ	0.172042176
ナフサ	ナフサ	-0.172042176
電力生産	電力	-0.131068289
ボトル用PETの製造	電力	0.098743067
原油	原油	-0.092982228
ナフサ	原油	0.078518423
酸素ガス製造	酸素ガス	-0.029294469
ボトル用PETの製造	酸素ガス	0.029294469
酸素ガス製造	電力	0.029294469
A重油	A重油	-0.019001419
...	...	
ボトル用PETの製造	C重油	0.008916865

図 4-11 ボトル用PET生産に潜在するCO<sub>2</sub>総排出量解析結果の比較

### 考察

本システムの解析結果は文献値と比較して、かなり接近している。電力をはじめとした動力源、また天然ガス・石油を大量消費する生産過程で必要とする製品は、係数マトリクスを自動的に構築することでよりこれらのバックグラウンドに近いデータを拾うことができるといえよう。

### 4.4.3 アルミニウム

#### 解析条件

日本で輸入しているアルミニウム新地金 1 kg について LCI データの収集が行われた。このアルミニウム新地金は JIS H 2102 と称されているものである。<sup>24</sup>

#### 結果

以下に解析結果と、この結果と文献値との比較をまとめたものを図、表に示す。文献として用いたのは昨年度卒業論文と平成十年度修士論文<sup>25</sup>となっている。なお本システムでは国内でのリサイクルを考慮せず解析を行ったので、比較の際に文献の値はリサイクルを除いて再計算を行ってある。

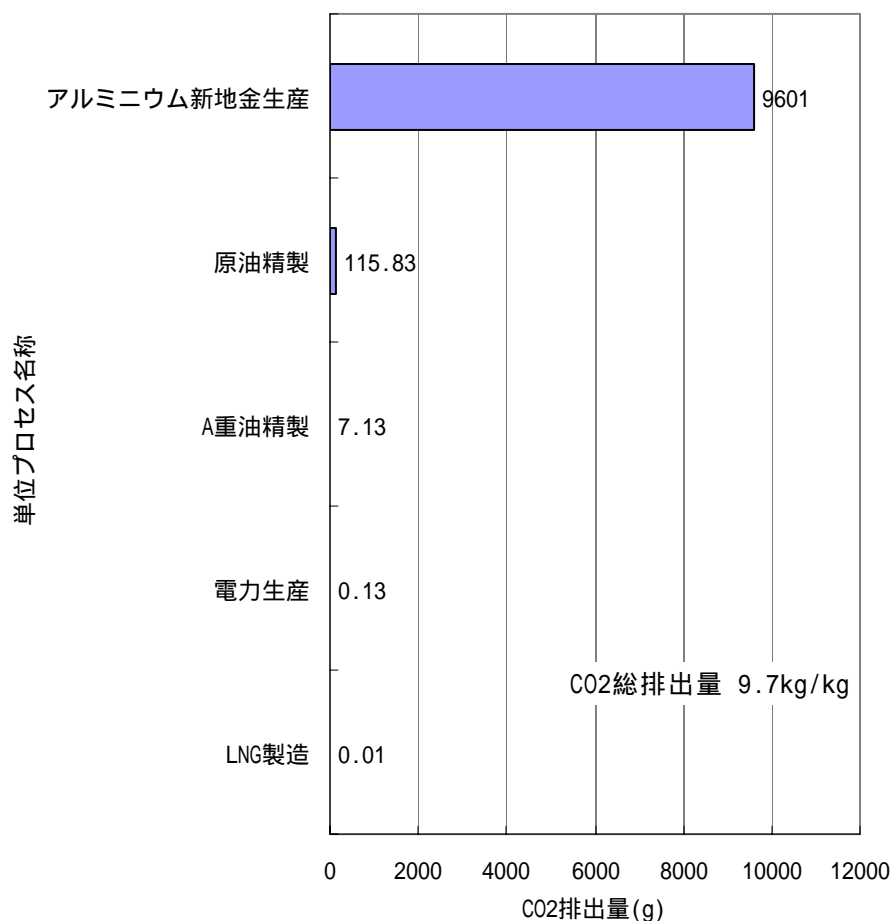


図 4-12 アルミニウム新地金 1 kg 生産に潜在する CO2 排出源の内訳

表 4-8 アルミニウム新地金 1 kg 製造における CO2 の感度

プロセス名	マテリアル名	感度係数
原油	原油	-0.013101923
アルミニウム新地金	原油	0.012658583
A 重油	A 重油	-0.001190862
原油	A 重油	0.001190737
A 重油	原油	0.000443297
電力生産	電力	-1.4528E-05
A 重油	電力	1.4528E-05
LNG(都市ガス 13A 用)	LNG	-1.01188E-06
電力生産	LNG	1.01188E-06
電力生産	A 重油	1.24952E-07

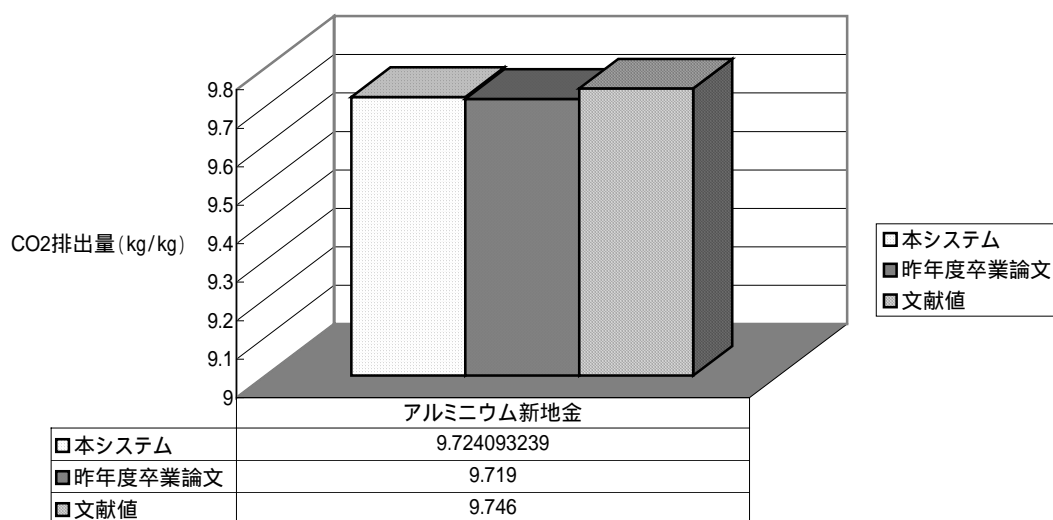


図 4-13 アルミニウム新地金 1 kg 生産に潜在する CO2 総排出量解析結果の比較

**考察**

アルミニウム新地金については僅差となっている。これはアルミニウムが電気の缶詰といわれるように、アルミニウムの生産プロセスで多大な電力を消費することに付随して大きな環境負荷が生じているためと解釈できる。

#### 4.5 考察

入力データも出力データも各プロセス完全に表現されていることは少ない。

自動解析することによりもれなく係数マトリクス構築ができる。過剰フローマトリクスがあるため、データベース改善にも有用といえる。

感度を比較するためには、単位プロセスの設定に明確な基準を設けることが必須である。

多くのプロセスデータが捕まえられて何がよいのかというと、ミクロな視点では考えられなかった意外な結果を捕まえられるかもしれない。

#### 4.6 結言

- 以下の2つの製品について詳細なケーススタディを行った。
  - 乗用車の走行
  - ノート型パソコンの使用
  
- 以下の3つの製品については簡易的なケーススタディを行い、主要な結果のみを掲載した。
  - 複写機の使用
  - ボトル用PETの製造
  - アルミニウム新地金の製造

これら5つのケーススタディからマトリクス法とデータベースとの融合の利点を以下のように結論付ける。

- 手作業では見落としが発生する可能性が高い関連する単位プロセスの検索を自動化することで、より精度の高い係数マトリクスが構築される。
- データベースのどのデータを拡充すればよいかも、マトリクス法によるLCA解析で判断可能である、



## 第 5 章 結論

## 5.1 本論文の結論

マトリクス法の自動解析アルゴリズムを作成した。

JLCAデータベースを利用してマトリクス法による自動LCA解析システムを実際に作成した。

環境負荷排出量、環境負荷項目の感度、環境影響度評価の値を文献値と比較し、システムの実効性を検証した。

JLCAとマトリクス法の融合の利点を実証した。

## 5.2 今後の課題

### マトリクス法

単位プロセスの設定に明確な基準を設ける必要がある。

感度分析及び感度係数と係数マトリクスの次元数との関連性について詳細な観察を行うと、さらにデータベースのデータ拡充が的を射たものになるような、挙動が見受けられている。このことの実証を行いたい。

### JLCAデータベース

単位等のデータスタイルの統一と不確定性や産業連関表とのリンク情報の搭載を促す。

理論的なデータベースの拡充及び補修を明確な手法化する。

## 付録

**J L C Aデータベースを用いた**

**マトリクスL C A自動解析システム概要**

## システム概要

### 利用環境

Excel のマクロ機能を使って L C A 解析を行う。出力はすべて Excel Worksheet 上にされる。各 Worksheet の名称と内容一覧を表 A に示す。

表 A 本システムにおける Excel Worksheet の構成

シート名	内 容
Original_Data	J L C A データベースの格納
Data_Extracted	係数マトリクス構築のために抽出されたデータ
Inventory_Analysis	係数マトリクスと最終環境負荷を計算
Sensitivity_Analysis	感度係数マトリクス一覧
Environmental_Load	結果（環境負荷）
Load_sensitivity1	結果（感度分析 ）
Load_sensitivity2	結果（感度分析 ）
Impact_Assessment	結果（環境影響度評価結果）
Function_List	プロセスとその機能単位の一覧

### 計算手法

計算は後述するシステムフローに則ってプロセス行列が作成され、マトリクス法により解析が実施される。

### 原単位データ

J L C A - L C A データベース 2004 年度 2 版（社団法人 産業管理協会）

## インタフェース

### 入力

#### インベントリ分析

図 A に示すウィンドウで L C A 解析したい機能単位とその数量を入力する。図中の Material 欄には評価できる機能単位が一覧になっており、この中から L C A 評価の対象とする製品・サービスを選択する。すると選択した製品・サービスの本システムでの単位が Unit 欄に表示される。次に表示された単位にあわせて Value 欄に L C A 評価の対象とする数量を入力し、Enter ボタンをクリックすると解析が始まる。

### 出力

#### インベントリ解析

計算が終わると各 Worksheet に解析結果が表示される。

ワークシート「Inventory\_Analysis」には係数マトリクスとその逆行列、過剰フローマトリクス、環境負荷マトリクス、最終環境負荷ベクトルが表示される。

ワークシート「Environmental\_Load」には各環境負荷項目の総排出量と排出源別の排出量を示す表が作成される。このワークシートの一部を図 B に示す。

#### 感度分析

ワークシート「Sensitivity\_Analysis」には各環境負荷に対する感度係数マトリクス一覧が作成される。

ワークシート「Load\_sensitivity1」「Load\_sensitivity2」には選択した環境負荷項目の感度分析結果を表・グラフ化して表示される。このワークシートの一部を図 C , D に示す。

#### データベース

ワークシート「Original\_Data」にはデータベースを格納する。

ワークシート「Data\_Extracted」には係数マトリクス構築のために抽出されたデータの一覧が作成される。係数マトリクスに組み込まれたデータは水色で表示される。過剰フローマトリクスに組み込まれるものは色がつかない。

ワークシート「Function\_List」には機能フローとその単位プロセスの一覧が作成される。この一覧が機能フローと単位プロセスとの相互検索を容易にする。

☆Define the Function Unit☆

Material  
NaCl

Unit  
g

Value  
300

Enter ↵

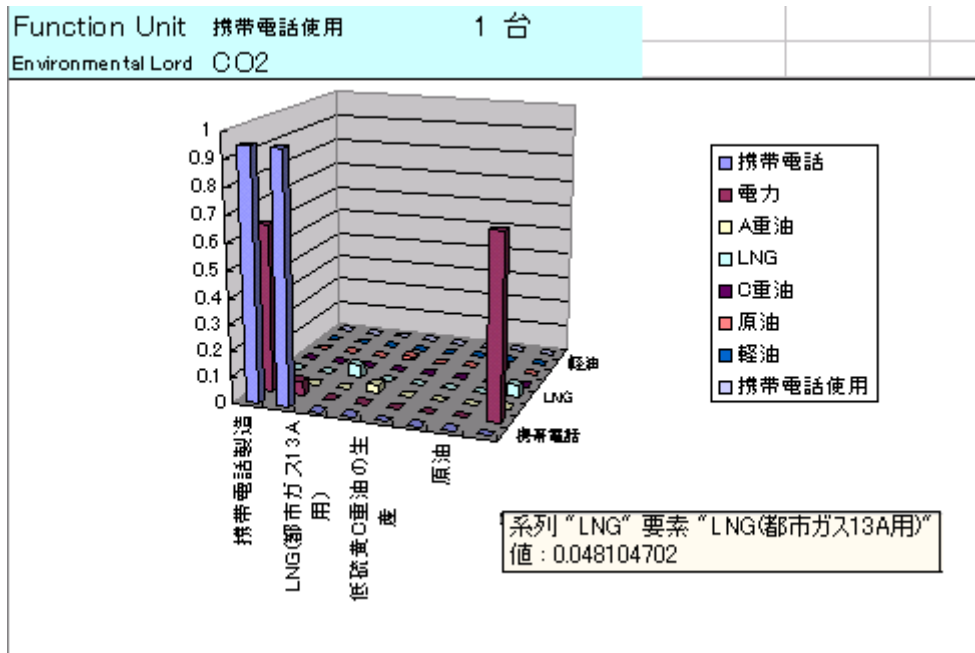
図A 解析対象の入力ウィンドウ

Function Unit	携帯電話使用	1台								
Load	Unit	携帯電話製造	携帯電話使用	LNG(都市ガス13A用)	A重油	低硫黄C重油の生産	軽油	原油	電力生産	Total Sum
CO2	g	500	0	83.922378	33.925406	0.208699	0.0701838	21.944612	1111.5146	1751.5858
NOx	g	0.38	0	0	0.0263673	0.0001627	5.473E-05	0.2525746	0.566778	1.2259372
SOx	g	1.73	0	0	0.0326675	0.0002008	6.706E-05	0.368704	0.4408273	2.5724666

図B 解析結果の表示（環境負荷）

Function Unit	携帯電話使用	1台				
Environmental Load	CO2					
プロセス名	マテリアル名	感度係数	絶対値	感度の寄与割合(%)	感度の寄与累積割合(%)	
携帯電話製造	携帯電話	-0.945822319	0.945822319	27.33424837	27.33424837	
携帯電話使用	携帯電話	0.945822319	0.945822319	27.33424837	54.66849674	
電力生産	電力	-0.690659372	0.690659372	19.96004369	74.62854043	
携帯電話製造	電力	0.636094236	0.636094236	18.38311223	93.01165265	
携帯電話使用	電力	0.054177681	0.054177681	1.565734041	94.57738669	
LNG(都市ガス13A用)	LNG	-0.048104702	0.048104702	1.39022504	95.96761173	
電力生産	LNG	0.048104702	0.048104702	1.39022504	97.35783677	
A重油	A重油	-0.031465096	0.031465096	0.90934073	98.2671775	
携帯電話製造	A重油	0.024272474	0.024272474	0.701474058	98.96865156	
原油	原油	-0.013780867	0.013780867	0.398266803	99.36691836	
A重油	原油	0.011712842	0.011712842	0.338500921	99.70541928	
電力生産	A重油	0.005940181	0.005940181	0.171671132	99.87709042	
電力生産	原油	0.001958333	0.001958333	0.056595783	99.9336862	
原油	A重油	0.001252442	0.001252442	0.03619554	99.96988174	

図C 解析結果の表示（感度分析）



図D 解析結果（感度分析）

## 謝辞

卒論提出の目処が立ちこの1年を振り返ってみると、あっという間だったなあと思えません。この研究室に配属させて頂き、数々の貴重な体験をさせていただいたように思います。

この卒業研究を完成させるにあたり、盧さんにはとってもお世話になりました。盧さんは不勉強・不真面目な私の相談に、いつも親身になってのって下さいました。本当に申し訳ない限りです。大変感謝しております。

酒井先生には自分で收拾つけられないひどい状況であった私の研究相談に耳を傾けて助言を下されたこと感謝しております。泉先生からは、楽天家の私に良い刺激な鋭いご指摘を頂戴しました。岩崎さんはほのぼのとした雰囲気での確なアドバイスを頂きました。何より、ご結婚おめでとうございます。末永くお幸せに！浅川さんとは普通の何気ない会話で和ませて頂いておりました。

諸先輩方には、ときどき暖かいお言葉を頂いたこともありました。もう少し色々とお話できたらよかったなと今さら後悔しております。

また席が近かった M1 の先輩方には、振り返ってみると、研究室生活を送る上で色々な意味で支えになって下さっていたように思います。

同じ学年のみんなにはよい刺激を与えられたし、楽しい思い出をいっぱいもらいました。進む道はそれぞれだけど、充実した人生を送れますようお祈りいたします。

楽しい充実した1年を過ごせたのは、あたたかく見守って下さった皆様のお陰です。本当にどうもありがとうございました。またお世話になる機会がありましたら、その時も何卒よろしくお願い致します。



## 参考文献

- 1 ISO14040 Life cycle assessment – Principles and framework
- 2 JIS Q 14040 環境マネジメント - ライフサイクルアセスメント - 原則及び枠組み
- 3.10 社団法人 産業環境管理協会 LCA日本フォーラムHP  
(<http://www.jemai.or.jp/lcaforum/index.cfm>)
- 4 LCA日本フォーラム・社団法人産業環境管理協会、「LCA日本フォーラム報告書」1997年6月、114ページ
- 5 Sangwon Suh and Gjalt Huppes, “Methods for Life Cycle Inventory of a product”, Journal of Cleaner Production, 2004
- 6 酒井信介、機械製品の環境負荷評価への感度解析技術の応用(1)、機械の研究、第52巻、第6号、622ページ、2000年
- 7 酒井信介、感度分析ソフトEMLCAの技術的背景、13ページ、2005年、社団法人 未踏科学技術協会 エコマテリアル研究会
- 8 独立行政法人 産業技術総合研究所 ライフサイクルアセスメント研究センターHP  
(<http://unit.aist.go.jp/lca-center/lime/lime.top.html>)
- 9 Weizhe Lu\*, Shinsuke Sakai, Yasunari Matsuno and Satoshi Izumi “Practical Approach for Matrix Based LCI”, School of Engineering, University of Tokyo, 2004
- 13 酒井信介、感度分析ソフトEMLCAの技術的背景、13ページ、2005年、社団法人 未踏科学技術協会 エコマテリアル研究会
- 14.25 横山晃治、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、修士論文、東京大学大学院、1998年
- 15 自動車のLCIデータの概要、(社)日本自動車工業会、2004年3月31日
- 16 社団法人 電子情報技術産業協会、パーソナルコンピュータのLCIデータの概要、2003年
- 18 吉田誠、環境負荷データベースを用いたLCAの検証、2004年
- 19 Ryuuji Matsushashi “Life Cycle of CO2-Emissions from Electric Vehicles and Gasoline Vehicles Utilizing a Process-Relational Model”
- 21 社団法人 ビジネス機械・情報システム産業協会LCA - WG、複写機のLCIデータ概要、2003年
- 22 社団法人 プラスチック処理促進協会、日本化学工業協会のLCIデータの概要、2003年
- 23 津本篤、LCAを用いたプラスチック製造プロセスの環境負担性評価、卒業論文、東京大学1998年
- 24 社団法人 日本アルミニウム協会、アルミニウム新地金および展伸材用再生地金のLCIデータの概要、2003年

以上

1 ~ 66 ページ完

卒業論文

平成 16 年 2 月 4 日提出

30166 木村 好子

## 参考文献

- <sup>1</sup> ISO14040 Life cycle assessment – Principles and framework
- <sup>2</sup> JIS Q 14040 環境マネジメント - ライフサイクルアセスメント - 原則及び枠組み
- <sup>3</sup> 社団法人 産業環境管理協会 LCA日本フォーラムHP  
(<http://www.jemai.or.jp/lcaforum/index.cfm>)
- <sup>4</sup> LCA日本フォーラム・社団法人産業環境管理協会、「LCA日本フォーラム報告書」1997年6月、114ページ
- <sup>5</sup> Sangwon Suh and Gjalt Huppes, “Methods for Life Cycle Inventory of a product”, Journal of Cleaner Production, 2004
- <sup>6</sup> 酒井信介、機械製品の環境負荷評価への感度解析技術の応用(1)、機械の研究、第52巻、第6号、622ページ、2000年
- <sup>7</sup> 酒井信介、感度分析ソフトEMLCAの技術的背景、13ページ、2005年、社団法人 未踏科学技術協会 エコマテリアル研究会
- <sup>8</sup> 独立行政法人 産業技術総合研究所 ライフサイクルアセスメント研究センターHP  
(<http://unit.aist.go.jp/lca-center/lime/lime.top.html>)
- <sup>9</sup> Weizhe Lu\*, Shinsuke Sakai, Yasunari Matsuno and Satoshi Izumi “Practical Approach for Matrix Based LCI”, School of Engineering, University of Tokyo, 2004
- <sup>10</sup> J L C AのHP
- <sup>11</sup> Weizhe Lu\*, Shinsuke Sakai, Yasunari Matsuno and Satoshi Izumi “Practical Approach for Matrix Based LCI”, School of Engineering, University of Tokyo, 2004
- <sup>12</sup> Weizhe Lu “Presentation 2004-01-05 Improvement of the Matrix-based Hybrid Method in LCI”
- <sup>13</sup> 酒井信介、感度分析ソフトEMLCAの技術的背景、13ページ、2005年、社団法人 未踏科学技術協会 エコマテリアル研究会
- <sup>14</sup>
- <sup>15</sup> 自動車のLCIデータの概要、(社)日本自動車工業会、2004年3月31日
- <sup>17</sup> 社団法人 電子情報技術産業協会、パーソナルコンピュータのLCIデータの概要、2003年
- <sup>18</sup> 吉田誠、環境負荷データベースを用いたLCAの検証、2004年
- <sup>19</sup> Ryuuji Matsuhashi “Life Cycle of CO<sub>2</sub>-Emissions from Electric Vehicles and Gasoline Vehicles Utilizing a Process-Relational Model”
- <sup>21</sup> 社団法人 ビジネス機械・情報システム産業協会LCA - WG、複写機のLCIデータ概要、2003年
- <sup>22</sup> 社団法人 プラスチック処理促進協会、日本化学工業協会のLCIデータの概要、2003年
- <sup>23</sup> 津本篤、...、1998年
- <sup>24</sup> 社団法人 日本アルミニウム協会、アルミニウム新地金および展伸材用再生地金のLCIデータの概要、2003年
- <sup>25</sup>