

# 産業連関法によるライフサイクルアセスメント

## Input-Output Approach for Life-Cycle Assessment

堂野前 等<sup>\* (1)</sup> 柴田 清<sup>\* (2)</sup> 奥村直樹<sup>\* (3)</sup>  
 Hitoshi DOHNOMAE Kiyoshi SHIBATA Naoki OKUMURA

### 抄 録

地球環境問題への認識の高まりとともに、産業に対する要望は、公害や省エネルギー対策といった各産業単身の環境負荷低減から、使用や廃棄段階などを含めたライフサイクルでの総合的な環境負荷低減へと変化してきている。そのような総合的な環境負荷を定量評価する手法は、LCAの名で国際標準化されようとしており、今後の技術開発や製品開発のツールとして注目されている。本報ではLCAの概要を述べると共に、これまで新日本製鐵先端技術研究所で開発してきた産業連関法を用いたLCA手法について、その応用例と課題をレビューした。

### Abstract

With the increasing consciousness of worldwide global environmental problems, requirements for the industry have shifted from the reduction in environmental burdens of industries such as pollution prevention and energy saving measures to the reduction in overall environmental burdens on a life-cycle of a product produced by the industry including both its use and disposal phases. A method to quantitatively evaluate the total environmental loads is being internationally standardized under the name of life-cycle assessment (LCA), which have attracted attention as a tool for future technology and product development. This paper gives an outline of LCA, reviews the input-output approach for LCA which was developed by Advanced Technology Research Laboratories, Nippon Steel and discuss the application and issues of the approach.

## 1. 緒 言

地球環境問題に対する認識の高まりとともに、工業製品の評価にも従来の“価格”対“性能”という座標軸に加えて“環境への配慮度”とでもいえる軸が加えられつつある。製造業は従来の公害問題に対してはパイプエンドでの処理・管理で対応できていたが、昨今の環境問題では製品出荷後あるいは原料購入以前での環境影響にも配慮した製品の製造が求められてきている。しかしながら、“地球環境への影響”といっても、地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨、富栄養化、土壌汚染、資源枯渇化、野生生物種の減少といった様々な項目がある。個々の負荷が及ぼされる連鎖のマクロな仕組みは理解できても、現実の技術課題までの距離が大きいために対策が現実性を失ってしまう。各課題ごとに専門領域や対策の次元も手法も様々であったり、ある項目の負荷を減らすことで別の項目の負荷が増大する(トレードオフ)の可能性もある。現在の科学技術では、多様多元に広がっていて発散しやすい環境問題を正確に捕らえること自体が課題なのである。

このような背景のもとにLife Cycle Assessment(LCA)の概念が提唱され、ISO(国際標準化機構)での規格化作業が進行している。本稿ではLCAの概念を紹介するとともに、産業連関表を用いたLCA手法の可能性について検討する。

## 2. LCAの概要と本研究の意義

### 2.1 LCAとは

LCAは工業製品の製造から廃棄に至る一貫の過程(ライフサイクル)での環境影響を計量集計し、評価するとともに、その負荷の軽減策を検討する手法であると定義できる。このような手法は従来から“Resource and Environment Profile Analysis”とか“Ecobalancing”, “Cradle to Grave Analysis”とか呼ばれてもきたが、ISO化の議論の中でLCAに収束してきた。ISOのなかで標準化が検討されている実施手順は、図1に示すように目的設定及び分析範囲の設定に基づき、定量的データの収集・集計(Inventory Analysis)を行う。そして、各環境負荷項目等の影響を総合的に定量評価する指標作り(Imapct Analysis)を行い、製品なりプロセスの改善や購入す

\* (1) 技術開発本部 先端技術研究所 新材料研究部 主任研究員 理博

\* (2) 現 東北大学 素材工学研究所

\* (3) 技術開発本部 先端技術研究所 所長 工博

る製品や原材料の選択に役立てるといえるものである。

Inventory Analysisは、ある製品のライフサイクルすなわち原料採取から素材の製造、最終製品への加工組立、流通販売と利用消費を経て廃棄あるいはリサイクルまで一にわたる各サブプロセスでの資源消費や環境への排出量を計量積算するものである(図2参照)。実際の評価手順は、まずその製品のライフサイクルにわたってのあらゆる原材料、部品、部材の投入(マテリアルフロー)を明らかにし、図3のようなデータシートにデータを埋めてゆく膨大な作業を伴う。しかも図3では原料採取や素材の製造、加工組立など、データを収集するサブプロセスが各々一つしか描かれていないが、実際のマテリアルフローでは原料側にさかのぼるほどデータを収集すべきサブプロセスが指数関数的に増えてゆく。

Impact Analysisでは、Inventory Analysisで集計した環境負荷項目ごとの積算量に、負荷項目ごとの影響度合いに応じた係数を乗じた上で加算することになる。まず、温暖化、酸性雨化、資源消費、人体や生態系への毒性などの一次影響が評価され、更に総合的な指標へとまとめられる。その方法がいくつか提案されてはいるが、最終的な指標化段階には地域や国民性に依存した環境に関する価値観が不可避的に挿入されることもあり、まだ定まっていない。

2.2 LCAの視点によるもの作り

環境問題解決へのLCA実施の意義にかんがみれば、製造業にとって自らの製品製造過程における環境負荷を軽減させることはいうまでもないが、同時に製品が使用される段階での環境への影響を考慮した製品の開発が要請される。

例えば、火力発電用ボイラー鋼管はその製造過程と、それを用いた発電過程での環境負荷を比べた場合、後者の方が圧倒的に大きい。発電過程での環境負荷を軽減できるように、高温強度を高め発電時のエネルギー変換効率を高めることができる超々臨界圧発電用ボイラー鋼管の開発はLCA的な観点からみても非常に意義のある

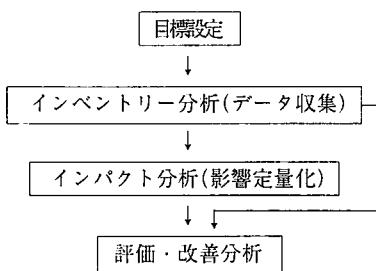


図1 LCAの手順

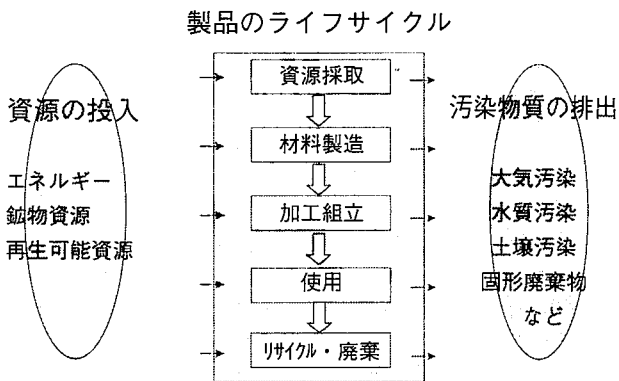


図2 LCAの概略

Inventory Analysis								Impact Analysis		
	資源採取	素材製造	加工組立	輸送	使用消費	リサイクル	廃棄	小計	重みづけ係数	小計
大気汚染	NO <sub>x</sub>									
	SO <sub>x</sub>									
	CO <sub>2</sub>									
	ばいじん									
水質汚染	COD									
	SS									
	油分									
枯渇性資源	石油									
	石炭									
微量有害物質	Pb									
	Hg									
	エネルギー									
	固形廃棄物									(+)
									合計	

図3 実際のLCA評価手順の概念図

ものである。自動車用薄板の高張力化や表面処理、低鉄損電磁鋼板など鉄鋼製品の高付加価値化は製造工程でのエネルギー消費増を伴う場合もあるが、それらが社会で使用される段階までを含めれば全体では省エネルギーへ大きく貢献している<sup>2)</sup>。このような鉄鋼製品はLCAにのっとり製品開発の先駆であるといえる。

これらはLCAの観点でみた既存の鉄鋼製品の意義であるが、反対にこのような分析から製品の改善課題が見えてくることもあり得る。例えば、飲料用のスチール缶の蓋部分はアルミニウムでできているが、缶の製造エネルギーでみれば全体の1/3近くを蓋部のアルミニウム製造で費やしており、この部分を比較的製造エネルギーの小さな鉄で置き換えることができれば省エネルギー効果は大きい。

2.3 産業連関分析によるLCAの必要性

以上述べてきたように、LCAは環境問題の解決へ向けて有効な方法であると考えられる。しかし実際の分析にあたり、Inventory Analysisの段階で以下のような問題点があり、それを補う手段も検討されなくてはならない。

2.1節で述べたように、一つの製品の“揺りかごから墓場まで”の流れを一つ一つ追う方法では、データ収集すべきサブプロセスが膨大な数になり、自ずと分析に限界や抜けが生じたり、し意的に分析境界を定めることになる。例えば、一製造業の立場でLCAの検討を実施しようとするれば、他産業における工程のデータ入手が必要となり、企業秘密や知識的な制約から、ライフサイクルを通じてのデータ精度などの整合性が確保された分析を行うことは非常に難しい。これに対しては既に市販されているLCA用データベースが存在するが、必要なデータが必ずしも存在しなかったり、やはりデータの精度や代表性などに問題がある場合が少なくない。

上記の問題点を解決する方法として、産業連関表の利用が考えられる。産業連関表とは国内における各産業間の1年間の金銭取引額をもれなく集計したものである。従って金額から逆算すれば、各産

業間のマテリアルフローをもれなく把握することが可能である。従来からエネルギー消費構造解析に用いられているが<sup>3)</sup>、LCA分析においても、その基本となるライフサイクルにわたるマテリアルフローの把握が、国内製のあらゆる製品について整合性の取れた形で可能となる。我々は、産業連関表を用いたLCA手法の適用と限界の検討結果を報告してきた<sup>4,5)</sup>。本報では、それらをレビューする。

### 3. 産業連関法によるLCA

#### 3.1 方法

##### 3.1.1 産業連関表の基本的枠組みと本研究の着眼点

産業連関法とは、もともと計量経済学の一分野である産業連関分析の理論<sup>6)</sup>を基本としている。産業連関分析の基礎となる産業連関表<sup>7)</sup>とは、日本国内における産業間の1年間のすべての金銭取引を1枚の表としてまとめたものである。金銭の流れから物の流れを推定できるので、国内製のすべての工業製品について、原材料から最終組立段階までのマテリアルフローを推定することができる。また、石油や石炭などのエネルギー製品の投入量も知ることができるので、原材料から最終組立段階までのプロセスのトータルでのエネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量を推定することができる。産業連関分析及びエネルギー分析、CO<sub>2</sub>排出分析手法については付録にまとめた。

以上のような産業連関表の枠組みをもう少し詳しく示す。日本の産業連関表は、529分類(行)×408分類(列)間の金銭取引マトリクスで構成されている<sup>7)</sup>。すなわち、日本国内を分析境界として、システム内の製品-製品間のネットワークを408×529のマトリクスで記述している。ここで日本産業システムにおいては、ある産業*k*というサブプロセスは図4のように記述されることになる：529の産業から原料として529の製品を投入され、408の産業に単一種類の製品*k*を産出する。529×408のマトリクスからすべての産業のアクティビティを一つ一つたどってゆくことができるので、すべての製品の製造段階で必要とされるあらゆる部品、部材、材料、原料の流れが把握できるのである。

上記のような産業連関表の有用性は、単に金銭、エネルギー、CO<sub>2</sub>のマクロな分析に止まらず、あらゆる環境負荷項目を含めたLCA分析を行う上での最も基礎的なデータであるマテリアルフローに関するデータを提供し得ると考えられる。その場合、マテリアルフローを記述しているメッシュの細さが問題であるが<sup>8)</sup>、529×408というメッシュは日本の産業連関表は政府13省庁が5年がかりで集計したものであり、世界的にも類を見ない詳細なものである。本研

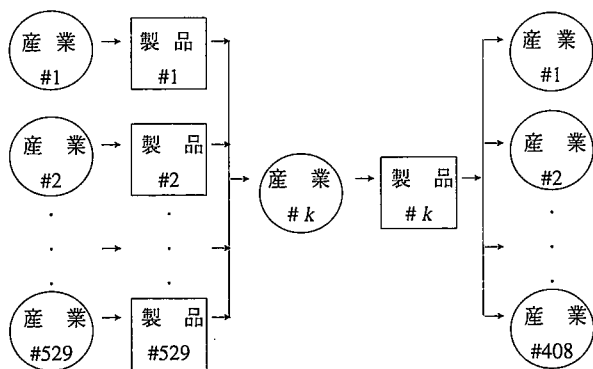


図4 産業連関表における産業*k*の定義

究の目的はそのような着眼に立ち、日本産業連関表が提供し得るマテリアルフローデータの質を検討し、日本産業連関表をベースにどの程度の精度のLCA分析が可能か、日本産業連関表をベースにLCAデータベースを構築する課題は何か、を明確化することとした。

##### 3.1.2 新規開発手法の概略

上記の着眼点は、既存の産業連関表の枠組みから出発する従来のマクロ分析の研究には見られなかった点である。本分析の特長を以下にまとめる。

##### (1) "531分類"による分析

従来の産業連関法では、列数の408分類を基本に、発電部門を1部門に統合した"406分類"での分析が行われてきた。行列計算において、まず基本表から正方向列を合成、更に逆行列計算等の操作を行うが、529×408で構成される基本表から自己無撞着に合成されるのは、この場合406×406の正方向行列だからである。本研究では、以下の手続きで531×531の成分数の正方向列を作成し、分析を行った。

(i)基本表で投入側が1部門となっている発電部門を3部門に細分化し、基本表の529行を531行にした。そのとき当該3部門の総経投入額で行成分を案分した。

(ii)各列について2~9部門に細分化し、基本表の408列を531列に拡張した。そのとき各行の総生産額で案分した。

上記の"531分類"による分析の長所と、それによって発生した課題は後述する。

##### (2) マテリアルフローに沿った環境負荷構造の分析

通常の産業連関分析では、ある製品の製造段階において間接直接にわたる各製品製造のすべての寄与の合計を求めることになる。その製品やその製品の原材料が製造されるプロセスで、どのような原料や部品が投入されているかといったマテリアルフローや、どの段階でどれだけの環境負荷があるかといった環境負荷の構造は問題にされない。本研究では、マテリアルフローに沿った環境負荷の構造を導出する手法を開発した。

今、ある製品*k*の最終製造段階での環境負荷原単位  $w_k$  (例えば、CO<sub>2</sub>排出原単位)が既知であるとする。ライフサイクルにわたる環境負荷量の算出には、製品*k*の製造に必要な原材料や部品の製造や、更にその原材料や部品の製造にさかのぼって合計しなければならない。例えば、*k*の製造に必要な原材料や部品の必要投入量は、投入係数行列Aの成分 $a_{ik}$ である(付録参照)。その段階での環境負荷量は

$$w_i a_{ik}$$

で求められる。更に一段階さかのぼって、製品*k*の製造に必要な製品*i*、その*i*の製造に必要な*j*の製造段階での環境負荷量は、

$$w_j a_{ji} a_{ik}$$

で求められる。今、製品*k*の製造に必要な製品*i*というマテリアルフローの一部を  $i \rightarrow k$ と表すとすると、上式を一般化し、 $m \rightarrow i \rightarrow \dots \rightarrow j \rightarrow i \rightarrow k$ というマテリアルフローの*m*の製造段階で環境負荷量が、

$$w_m a_{mi} \dots a_{ji} a_{ik}$$

で計算できる。同様に、 $m \rightarrow l \rightarrow \dots \rightarrow j \rightarrow i \rightarrow k$ というマテリアルフローの*m*の製造段階までの各製品製造量の合計は、

$$b_{pm} a_{mi} \dots a_{ji} a_{ik} \quad (p: 1, \dots, n)$$

で表され、トータルの環境負荷量は

$$\sum_p w_p b_{pm} a_{mi} \dots a_{ji} a_{ik}$$

で計算できる。

上記の計算をある製品のマテリアルフローのすべての部分につい

で計算し、例えばライフサイクルトータルのCO<sub>2</sub>排出量に対する寄与率の大きな原材料や部品をマテリアルフローに沿って抽出することができる(図5参照)。

本報告ではCO<sub>2</sub>排出構造について分析した。各産業のCO<sub>2</sub>排出原単位は、森口らの方法<sup>9)</sup>に準じて1985年日本産業連関表取引基本表<sup>7)</sup>、同表付帯の物量表<sup>7)</sup>、エネルギーバランス表<sup>9)</sup>から求めた(付録参照)。ただし発電、石油製品、石炭製品、石油化学基礎製品(エチレン、プロピレン等)といった部門については、一次エネルギーと二次エネルギーの二重加算を避けるなどの理由から、上記の手続きの例外として特殊な取り扱いをした。

### 3.2 結果と考察

#### 3.2.1 製品種類の検討

従来の産業連関法では、列数の408分類を基本に、発電部門を1部門に統合した“406分類”での分析が行われてきたこと、本報告では行数の529分類を基本とした“531分類”での分析を試みていること、は前述した。“406分類”と“531分類”で定義されている製品名の違いの例を表1に比較した。“406分類”では、熱可塑性樹脂という1部門に、“531分類”におけるポリエチレン(低密度)、ポリエチレン(高密度)、ポリスチレン、ポリプロピレン、塩化ビニル樹脂の5部門がくくられてしまうなど、特に原材料の製品分類についてメッシュが粗すぎる不都合が生じる。531分類であれば、農業、サービス業などを除き、工業製品が300以上に上る。欧米で広く使われているSimapro, PIRA, Franklinの各LCAデータベースの製品数100~200を上回り、それらのデータベース以上のメッシュでマテリアルフローを記述することが可能である。

表1 408分類と531分類との製品種類の相違(例)

408分類	→ 531分類
非鉄金属鉱物	→ 銅鉱、鉛・亜鉛鉱、その他の非鉄金属鉱物
ソーダ工業製品	→ ソーダ灰、か性ソーダ、液体塩素、その他のソーダ工業製品
石油化学基礎製品	→ エチレン、プロピレン、その他の石油化学基礎製品
石油化学系芳香族製品	→ 純ベンゾール、純トルオール、キシロール、その他の石油化学系芳香族製品
脂肪族中間物	→ 合成アルコール類、酢酸、二塩化エチレン、アクリロニトリル、エチレングリコール、酢酸ビニルモノマー、その他の脂肪族中間物
環式中間物	→ スチレンモノマー、合成石炭酸、テレフタル酸(高純度)、カプロラクタム、その他の環式中間物
熱可塑性樹脂	→ ポリエチレン(低密度)、ポリエチレン(高密度)、ポリスチレン、ポリプロピレン、塩化ビニル樹脂
石油製品	→ 揮発油、ジェット燃料油、灯油、軽油、A重油、B重油、C重油、ナフサ、液化石油ガス、その他の石油製品
熱間圧延鋼材	→ 普通鋼形鋼、普通鋼鋼板、普通鋼鋼帯、普通鋼小棒、その他の普通鋼熱間圧延鋼材、特殊鋼熱間圧延鋼材
アルミニウム	→ アルミニウム、再生アルミニウム

#### 3.2.2 マテリアルフローに沿ったCO<sub>2</sub>排出構造の分析結果(例)

包装容器はLCAで最も研究が進んでいる分野である。本手法の適用例として、プラスチック容器の製造段階でのCO<sub>2</sub>排出構造の分析結果を図5に示す。図5において○が産業、□が製品を表している。プラスチック容器の製造段階でのCO<sub>2</sub>排出総量を100%として規格化し、○内の数字は正味その産業が排出するCO<sub>2</sub>、□内の数字はその製品が製造されるまでの川上で排出されるCO<sub>2</sub>の総量を表す。また排出量5%以上のところを太線で囲った。本報告では、具体的な製品名までは表記せず、例えばプラスチック樹脂としては‘plastic resin A’、‘B’、‘C’などとして、製品を区別するのみとした。

図5の分析結果から得られる知見について述べる。まず環境負荷が高いサブプロセスや原材料を知ることができる。例えば図5によれば、プラスチック製容器を製造する最終プロセスの寄与は6%に過ぎず、残りの大半が‘plastic resin A’~‘H’の素材製造プロセスで排出されるCO<sub>2</sub>の寄与である。そこから製品改善の指針として、CO<sub>2</sub>排出の小さな原材料に置き換えることが効果的であることが解る。部品や素材を置き換えるなら、図中の□内の数字が新しい部品や素材の数字と置き換わることになる。ちなみに、プロセスだけを変更するなら、○内の数字が新しいプロセスの数字と置き換わることになる。原材料の一つ‘plastic resin A’の製造段階について新たに分析を加え、図に併記している。‘organic chemical B’、‘C’(具体的にはモノマーや可塑剤)、‘Oil & coal A’(ナフサ製造プロセス)の製造プロセスでの排出が大きく、プロセスを改良することが効果的であることが分かる。

#### 3.2.3 問題点

これまで“531分類”で定義されている531の製品についてCO<sub>2</sub>排出構造の分析を行い、本手法の問題点の抽出を行った。

##### A. 誤ったマテリアルフローが得られる製品があること

例えば、ポリスチレンの分析結果では、ポリスチレンの製造プロセスにエチレン、プロピレンなどが原料投入される結果が導出された。408部門の列数を531部門に拡張したときに、熱可塑性樹脂という1部門をポリエチレン(低密度)、ポリエチレン(高密度)、ポリスチレン、ポリプロピレン、塩化ビニル樹脂の5部門に細分化しているが、各5部門の総生産額比例する仮定のもとに案分した。その際、熱可塑性樹脂の原料として、上記5種類の樹脂の原料がすべて合計して投入されており、ポリスチレンの原料として、その他4種の樹脂の原料が割り付けられたことから上記のような誤りが生じている。列数の531部門への拡張に際しては、要所要所で原料合成の知見や他のデータソースからのデータの合成が必要である。

##### B. マテリアルフローの記述にそぐわない製品があること

缶製品の分析結果によると、鉄鋼シャースリット製品の製造段階の寄与が大きい。しかし鉄鋼シャースリット製品の産出先のうち缶製品は13.3%にすぎないので、缶製品用の鉄鋼シャースリット製品の原料構成とはかなり違っている可能性がある。上記についてはそのような部門は廃止し、他の部門にマテリアルフローを割り付け直す必要がある。

##### C. 輸入品の国外での環境負荷の扱い

また輸入製品のCO<sub>2</sub>排出量を適正に評価して計算に加味する必要がある。現在の計算では輸入品のCO<sub>2</sub>排出量はゼロとしている。例えばアルミニウムと鉄を比較するとき、新地金の精錬プロセスを100%近く海外に依存しているアルミニウムは、地球

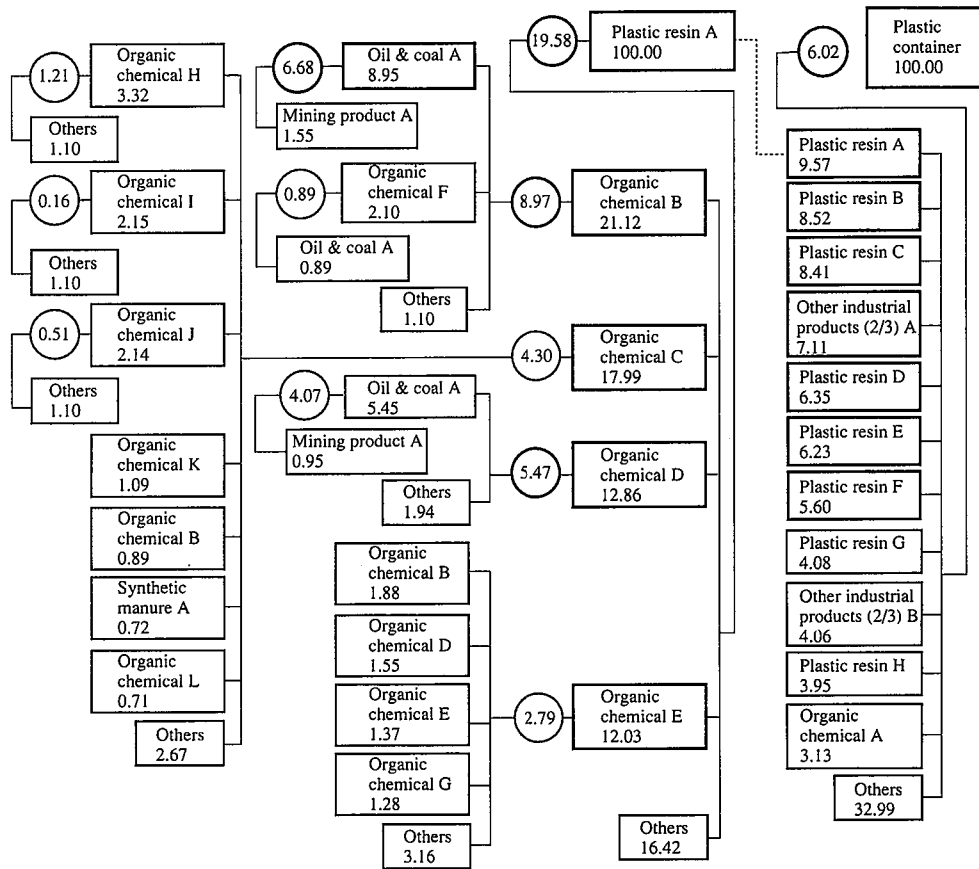


図5 プラスチック容器のCO<sub>2</sub>排出構造

規模で見ればエネルギー多消費にもかかわらず非常に有利な結果が導かれる。この場合、輸入品と国内生産品を全く別々に取り扱い、531×2種の製品数で計算すればよく、理論的には問題ない。

#### 4. 結 言

日本産業連関表をベースに“531分類”を用いれば、欧米のLCAデータベースに匹敵する詳細なマテリアルフローを描くことが可能である。ただし、3.2.3項で述べたいくつかの問題点を克服するために、表そのものの若干の修正や、他のデータソースの情報を組み込むことが必要である。

マテリアルフローのデータはLCA評価を行う上での最も基礎となるデータである。国内でのマテリアルフローがいったん記述されれば、その上に様々な環境負荷原単位のデータを矛盾無く積み上げて行くことが可能となり、質のそろったデータベースを構築することが可能となる。現在、表の修正や外部データの組み込みにかかわるノウハウを蓄積中である。

#### 参考文献

- 1) 柴田清 ほか：材料とプロセス.8(4), p.1147, (1995)
- 2) 篠原慶章：鉄鋼界.(9), p.40(1995)
- 3) 例えば Hredeen, R. A. et al., Energy Impact of Consumption Decisions, Proc. IEEE, 63(1976)3, 茅陽一(編)：エネルギーアナリシス, 初版, 東京, 電力新報社,(1980), 科学技術庁資源調査会：衣食住のライフサイクルエネルギー(1979)など
- 4) Dohnomae, H. et al.: Advanced Materials 93, V/A: Ecomaterials. p.97(1994)

- 5) Dohnomae, H. et al.: Proceedings of International Conference on EcoBalance. p.137 (1994)
- 6) 総務庁, 1985年産業連関表
- 7) Loentief, W.: Input Output Economics. Oxford Univ. Press, NY, (1936). 宮沢健一：産業連関分析入門. 日経新聞社(1985)など
- 8) 森口ほか：エネルギー資源. 14(1993)32.
- 9) 資源エネルギー庁：総合エネルギー統計(平成4年度版).

#### 付 録

産業連関分析及びエネルギー分析, CO<sub>2</sub>分析手法について

産業連関分析は、産業連関表を用いて景気動向などの予測に広く使われている計量経済学の一理論である。この業績でノーベル経済学を受賞したW. Leontiefが、1936年にアメリカの経済分析のために提唱したものである。一国の産業間の金銭取引をマトリクス形式に表にまとめた産業連関表は、現在では各国政府が集計し、数年おきに発表している。産業連関分析による環境負荷分析は、1973年にイギリスのR. Heredeemがエネルギー分析に用いたのが初めである<sup>3)</sup>。以後日本でもエネルギー分析や環境負荷分析の研究が盛んになったが、基本的にLeontiefの考案した産業連関分析の枠組みを利用して、以下にまず産業連関分析そのものを解説する。

今、 $k$ という種類の製品を生産する産業 $k$ の1年間の総生産額を $x_k$ とする。 $x_k$ の産出先は各産業(の原料として)及び市場(最終製品として)であり、産出額は $x_{k1} \cdots x_{kn}$ 及び $f_k$ であるとする。逆に産業 $k$ は $x_k$ 産出するのに原料(部品や燃料など)を各産業から $x_{1k} \cdots x_{nk}$ だけ投入されることを必要とする。

投入計数マトリクスAを

$$A = \begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & a_{kj} & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \frac{x_{kj}}{x_j} & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix}$$

で定義し、

$$X = \begin{pmatrix} \cdot \\ x_k \\ \cdot \end{pmatrix}, F = \begin{pmatrix} \cdot \\ f_k \\ \cdot \end{pmatrix}$$

と表すと、

$$X = AX + F$$

が成立することから、

$$X = BF$$

ここで  $B = (I - A)^{-1}$  (Leontiefの逆行列)

上式を用いれば、Aがあらかじめわかっているならば、あるFの生産に直接間接に必要な製品投入量の合計Xが求められる。

Leontiefの逆行列Bを展開すると、

$$B = A^0 + A^1 + A^2 + A^3 + \dots$$

とも表現できる。右辺第1項は最終製品それ自身の投入、第2項は最終製品の原材料の投入、第3項は第2項の製品それぞれを製造するのに必要な原材料の投入、・・・となる。ある製品が単位量製造されるにあたり、原材料としてのさまざまな製品が他産業へ波及するが、無限遠方までの波及の合計が、Bを求めることで一義的に決まる。これが産業連関分析のもっとも大きな特徴である。例えば、土木関連の公共投資が他産業にどれだけの需要を波及するかといった

分析が可能になる。

産業連関分析によって、ある製品の製造までに消費するエネルギーの合計、排出するCO<sub>2</sub>の合計を求めることができる。産業連関表基本表から各産業kに投入されるエネルギー商品(原油、石油製品、石炭、石炭製品、天然ガス、電力)の投入金額が求められる。更に単価や単位物量当たりのエネルギー(熱量)含有量、炭素(C)含有量から、“各産業での各製品の単位生産にかかるエネルギー消費量、ないしはC排出量”という“エネルギー消費原単位”“C排出原単位”がすべての産業kについて求められる。例えば、産業kの“エネルギー消費原単位”を  $w_{energy,k}$  と定義すると、すべての産業kについての  $w_{energy,k}$  が既知なので、

$$W_{energy} = (w_{energy,1} \quad \dots \quad w_{energy,n})$$

として、ある生産Fにおけるmについての環境負荷の合計は、

$$W_{energy} X$$

$$\text{ここで、} X = B F$$

として求められる。

もしエネルギー、CO<sub>2</sub>以外の環境負荷項目mについても、すべての産業についての負荷原単位が既知であれば、負荷原単位を

$$W_{load} = (w_{load,1} \quad \dots \quad w_{load,n})$$

として、ある生産Fにおけるmについての環境負荷の合計は、

$$W_{load} X$$

$$\text{ここで、} X = B F$$

として求められる。