

# LCAに取り組むための課題と方向性 ——事務機械へのLCAの応用——

Issues and Direction for Studying LCA —Applicating LCA on Business Machines—

伊藤 健 司\*  
Kenjy Itoh

## 1. はじめに

LCAは、地球環境問題等を解決する為の有力な手段と考えられている。しかし、LCAには多くの課題があり、いまだ十分にコンセンサスの得られた手法が存在しない。特に、LCAの学術的な課題に焦点が当たりがちであり、実際に運用する上での課題に関しては余り検討されていない。そこで、本論文では二つのLCA実施事例を簡単に紹介し、それらの事例を通してLCAの運用上の課題とその対応について考えを述べることにする。

## 2. インクカートリッジのリサイクルに関する事例

国内外の環境意識の高まりに配慮して、キャノンではバブルジェットプリンター用の使用済みインクカートリッジ（以下、BJCRGと略す）の回収リサイクルを開始した。お客様に01ショップに持ち込んでいただいたBJCRGは、キャノンリサイクルオペレーションセンタに輸送され、BJCRGの分解分別処理後、再生樹脂、再生金属として売却している。

このリサイクルシステムは1996年7月から開始したが、それ以前に以下の目的でLCAを実施することにした。1) このリサイクルシステムは、リサイクルしないよりも有効であるか否かをチェックする、2) このリサイクルシステムを実運営する前に、各種課題の洗い出しやシステムの再検討を行う。

図-1にBJCRGのライフサイクルフローを示す。リサイクルしない場合（以下従来型と略す）と、リサイクルする場合（以下リサイクル型と略す）で共通なライフステージがあるが、本事例の目的は二つの型の差だけを考慮すればよい為、共通なライフステージは省略した。焼却処理・直接埋立処分割合は、国内一般廃棄物処理1992年度実績<sup>1)</sup>から算出した。

検討する環境負荷項目は、CO<sub>2</sub>排出量、水圏排出物量、固形廃棄物量の三点とした。ただし、水圏排出物量は固形廃棄物量と仮定・結論がほぼ同じである為、以下割愛する。CO<sub>2</sub>排出量は、直接排出量（実測値から算出）および間接排出量を考慮した。間接排出量は、産業連関分析によるCO<sub>2</sub>排出原単位（建築学会算出原単位<sup>2)</sup>：I-A型ストック、購入者価格）を用いて算出した。資本財に関する要素、例えば破砕機、押出成形

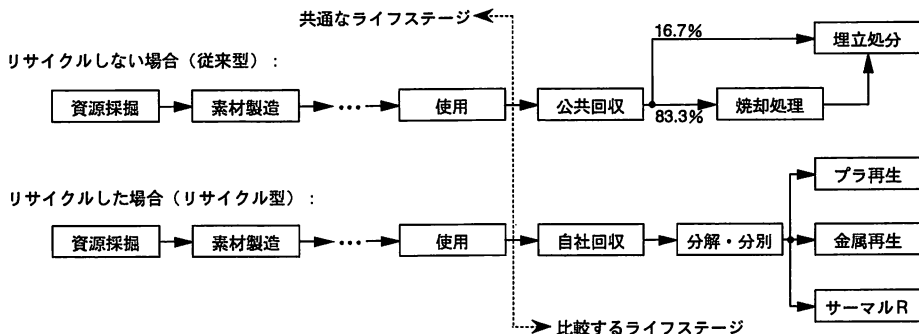


図-1 インクカートリッジのライフサイクルフロー

\* キャノン(株)環境技術センター環境企画部製品環境企画課  
〒146 東京都大田区下丸子3-30-2

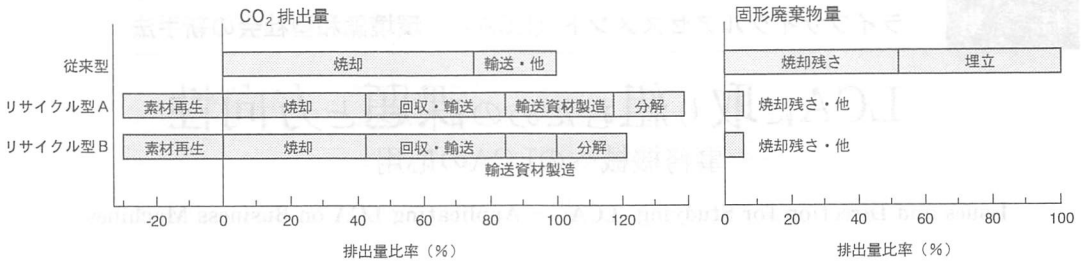


図-2 インクカートリッジのLCI結果

表1 カートリッジ事例の感度分析と改善案例

要素	感度分析値*1	改善案の例
回収箱への充填率*2	0.671	・充填率向上指示
押出成形機の購入費用	0.280	・駆動率向上検討
カートリッジ回収輸送	0.200	・回収方法の再検討
回収箱の費用	0.195	・回収箱のリユース
サーマルR委託先への輸送	0.190	・輸送前に減容化

\* 1 : 要素1%変化に対するCO<sub>2</sub>排出変化量(%) \* 2 : 60%と設定(モデル値)

機等の設備は、前述のCO<sub>2</sub>排出原単位を用いて考慮した。労働力は、労働者の通勤由来のみを考慮した。固形廃棄物量は、直接排出量及びリサイクルする為に特別に作成された設備のみを考慮し、重量で集計した。

今回は実際にリサイクルシステムが動いていない段階でLCAを実施した為、外注・売却先企業の内部にまで立ち入って調査をすることを避け、処理方法を聞き取り調査で行う程度にした。その為、外部プロセスは実際の工程よりも簡略化(モデル化)し、一部は前述のCO<sub>2</sub>排出量原単位を用いて類推した。

実測できないデータや曖昧なデータは仮定値やモデル値を設定し、データの上限・下限値を考慮して常に「リサイクル型が不利になる」ように値を決定した。例えば、BJCRGの素材再生できない部材は外部委託してサーマルリサイクルしているが、エネルギー効率が不明である為、「エネルギー利用率=0」と仮定した。

結果を図-2に示す。当初に計画されていたシステムフローで算出した結果を「リサイクル型A」として示す。リサイクル型Aに関する改善分析(表1参照)からいくつか改善案が発案され、例えば回収箱をリユースする事で、回収BJCRG一個あたりCO<sub>2</sub>排出量15%削減とコスト1円削減が可能となることがわかった(リサイクル型Bとして示す)。

結論は、1) 固形廃棄物(水圏排出物)、CO<sub>2</sub>排出の観点から、BJCRGリサイクルはしない場合と同レベル以上の効果がある、2) リサイクルシステムの各種課題を抽出し、回収箱リユース等のシステム改善

によりCO<sub>2</sub>排出量が削減されることを確かめたとした。

### 3. 複写機のLCCO<sub>2</sub>事例

モノクロ中速機を対象とし、二酸化炭素排出量に着目したLCA(以下LCCO<sub>2</sub>と略す)を実施した。LCCO<sub>2</sub>を実施した目的は、(社)日本事務機械工業会の複写機LCA検討の為にたたき台を作成することである。ここでは、結果の精度よりも単純かつ算出時間を速くすることが求められた。

算出手法は、複写機のLCC(ライフサイクルコスト:製品の一生の間に発生したコストを積算する手法)を調査し、その値にCO<sub>2</sub>排出量原単位を積算して求めた。原単位は、1985年産業連関表の183分類逆行列と同年石油等消費構造統計表等を用い、全ての化石燃料消費を輸入以降のプロセスに関して考慮し、また使用済み製品は全て焼却処理すると仮定して算出した結果<sup>3)</sup>を用いた。

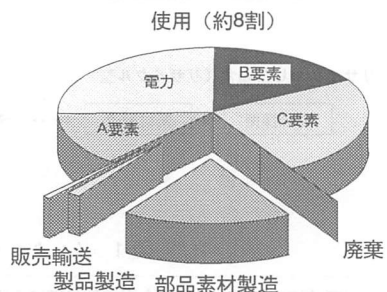


図-3 複写機のLCCO<sub>2</sub>暫定結果

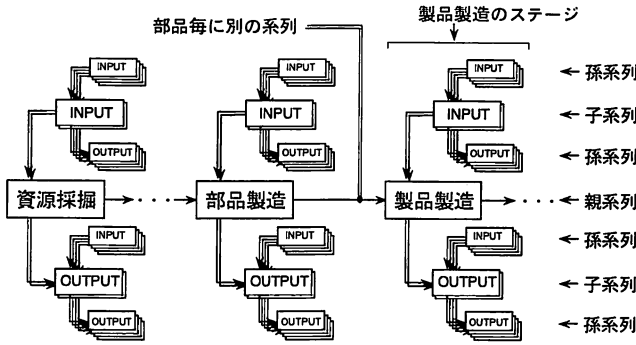


図-4 LCIのプロセス数に関する概念図

結果を図-3に示す（正確さは不十分であり、「暫定結果」であることに注意を要する）。算出には約50個のLCCデータと、約30個のCO<sub>2</sub>排出原単位を用い、必要な工数は8時間・人だった。

結論は、1) 使用工程はライフサイクルのなかで最もCO<sub>2</sub>を排出する工程の一つであり、2) 消費電力等の数少ない要素が大きく影響している。3) 部品・素材製造工程もCO<sub>2</sub>を多く排出するが、使用工程以下である。4) 製品製造、販売輸送、廃棄の三工程は無視できるほど小さいとした。

4. LCAの課題とその対応について

以上の二事例を基に、いくつかのLCAの実用上の課題とそれに対する考え方を述べる。その為に、用語を図-4に示すように定義する。「親系列」とは、例えばネジを考えると、ネジそのものを作る為に必要とされる鉱石採掘から、その廃棄・埋立までのライフサイクルプロセスとする。それに対して「子系列」とは、そのネジのライフサイクルで消費される部材（例えば

潤滑油や輸送に必要な包装資材）のライフサイクルプロセスとする。「孫系列」以下も同様に定義する。また、親系列から「一系系列」とは子系列をさし、同様に「二系系列」は孫系列、「三系系列」はひ孫系列をさす。

4.1 結果の信頼性の欠如

LCAの結果の信頼性が低いことは、LCAに用いられるデータの曖昧さや、用いられる各種仮定の設定方法が不明であることが大きな原因となっている。それらに対しては、感度分析<sup>4)</sup>や誤差分析が有効であると考えられる。特にデータの曖昧さの処理について、複写機事例を基に以下に説明する。

感度分析は、要素の重要度を明らかにする(表1参照)だけでなく、「どの要素のデータ誤差が結果に大きく影響し、また各データの精度がどの程度必要かを知る」道具にもなる。図-3の結果に対する主な感度分析を表2に示す。曖昧なデータであっても、その値の上限值(最も大きいと考えられる値)と下限値(最も小さいと考えられる値)を設定することはそれほど難しくなく、その二つの値の差の元の値に対する割合から

表2 複写機LCCO<sub>2</sub>の感度分析とデータ限界値

要素	要素データ	感度分析			データ限界値
		感度分析値*1	相対誤差	誤差影響度*2	
使用工程の仮定					
生涯印刷枚数	10万枚	0.544	40	22	6万枚
複写機の使用年数	5年間	0.257	40	10	3年間
待機・動作時の平均消費電力	×	0.257	30	8	30%減
メンテナンス基本料金	5円/枚	0.249	20	5	4円/枚
トナー使用量	×	0.131	30	4	30%減
部品素材製造工程の全仮定	-	0.175	50	9	1.5倍
製品製造～廃棄工程(除、使用)の全仮定	-	0.025	50	1	1.5倍
CO <sub>2</sub> 排出量原単位 (g-C)					
事業用電力	5.9	0.264	30	8	30%減
精密機械修理	0.8	0.249	30	7	30%減
プラスチック製品	2.0	0.183	30	5	30%増
洋紙・和紙	3.1	0.165	30	5	30%減

\* 1 : 要素1%変化に対するCO<sub>2</sub>排出変化量(%) \* 2 : 感度分析値と誤差割合の積(単位なし) × : 伏せデータ

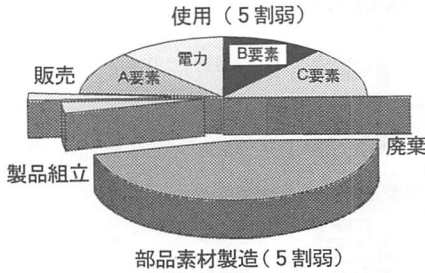


図-5 複写機LCCO<sub>2</sub>に関する誤差分析例

相対誤差を求めた。感度分析値は、それぞれのデータが1%変化した時の結果の変化率から求めた。誤差影響度は、感度分析値と相対誤差の積で、この値が大きい要素（生涯印刷枚数等）ほど精度を必要としていることがわかる。また、誤差影響度が同等になるように上限値、下限値を再設定することで、必要なデータ精度を求めることができる。

誤差分析は各種結論の検証に用いる。例えば、仮説「部品・素材製造工程で排出されるCO<sub>2</sub>排出量は、使用工程で排出される量よりも少ない」を検証する。前記仮説が不利になるように、各データの上限值/下限値のどちらかを選択し、これをデータ限界値（表2参照）とする。この値で再計算した結果が前記仮説を満たしていれば、データの曖昧さに関わらず仮説が正しいといえる。再計算した結果を図-5に示す。前記二工程で同程度のCO<sub>2</sub>排出量になっていることから、前記仮説は正しくないことがわかる。前記仮説を正しく成り立たせる為にデータを再調査する事もできるが、本

事例では「LCAの概略を知ること」が目的であることからこれ以上の調査は断念し、結論を「部品・素材製造工程は、使用工程排出量以下である」と言い換えた。このように、LCAは計算された結果（この場合は図-3）から直接結論が導けるものではなく、場合によっては「分析の結果、このLCA結果からはなんら結論を引き出せなかった」となる場合もありうる。

以上の感度分析と誤差分析は、仮定の設定の違い（アロケーションの設定等）にも応用できる。また機密データを直接公表することなく、LCAの結果に最も影響している要素を端的に示すことができる為、LCAの利用者への情報としても重要と考えられる。

#### 4.2 膨大なLCI実施コスト

理想的なLCI（ライフサイクルインベントリー：データ収集段階）を実施しようとする時、コスト（工数）が非常に大きくなる。特に部品点数が多い製品は不可能に近い。例えば複写機の場合を考えてみる。

1) 部品点数は千点、2) 資源採掘→素材製造→部品製造→製品製造→販売・輸送→使用→廃棄（リサイクル）の7ステージを考慮、3) 全てのプロセスに二つずつのインプット、アウトプットプロセスがあると、孫系列まで考慮（図-4参照）、4) 環境負荷項目として8つの項目を考慮、5) 調査時間はデータ一件当たり5分、6) 経費は一時間当たり1000円、とそれぞれ仮定して試算すると、考慮すべきデータ数は  $(21 \times 1000 \times 3 + 21 \times 4) \times 8 = \text{約}50\text{万件}$  となる。また、工数は約5千日・人、経費は約4千万円となり、現実にはそ

表3 LCI簡略法と適応事例

簡略法	完全なLCIイメージ	簡略法適応事例	
		複写機事例	カートリッジ事例
1) ライフサイクルの一部のステージを制限	資源採掘→素材製造→部品製造→販売・輸送→使用→廃棄・リサイクルを考慮	輸入以前のステージは考慮せず	使用以前のステージは共通である為考慮せず
2) 親系列からの系列数で制限	親系列から3系列前後までを考慮（感度分析で系列数を決定）	(用いない)	固形廃棄物、水圏排出物質は1系列以上考慮せず
3) 寄与度の低いプロセスを制限	環境負荷寄与度が1%程度以上を考慮（感度分析で割合を決定）	(用いない)	ドライバー等の小型工具のLCIを考慮せず
4) 資本設備製造等の特定のプロセスを考慮せず	製造設備の製造～廃棄の影響や、労働力に関する環境影響を考慮	金型以外の資本設備、及び労働力は考慮せず	労働力は通勤のみ考慮
5) データベースを使用	実施者が実測したデータを用いる（外部データベースは誤差分析できる場合のみ使用）	産業連関法を部品製造・廃棄及び子系列プロセスに適用	自社外プロセスは産業連関法等使用
6) 環境負荷項目を制限	資源・エネルギー消費量、大気圏・水圏排出物量、固形廃棄物量、毒性廃棄物量等を考慮	CO <sub>2</sub> 排出量のみ考慮	CO <sub>2</sub> 排出量、固形廃棄物、水圏排出物のみ考慮

の数倍～数十倍は必要となる為、簡易化手法を導入せざるを得ないことがわかる。

LCI簡易化手法として、表3に示すような6つのパターンが考えられ、それぞれの効用と限界について以下に簡単にまとめる。これらの簡易化手法を明確化することで、1) 一貫方針で複数の人がデータを収集できる、2) データの抜けや誤りをチェックしやすい、3) 結果利用者のLCIイメージを助ける等のメリットもある。

#### (1) ライフサイクルの一部のステージを制限

BJCRG事例で用いた様な共通ステージの省略は、よく用いられる簡略法である。また、最も環境影響が大きいと考えられるステージだけを考慮（ボトルネックLCA）することもある。

更に、産業連関表は輸入以前を考慮していない為、複写機事例で用いた様な産業連関法を用いると、海外生産を考慮していないことになる。ただし、海外生産を国内生産したものと仮定して推計することは可能であり、BJCRG事例ではこの仮定の基に計算された原単位を用いている。この場合は、アルミ精練等の国内産業で代替することが難しい生産物の原単位の誤差は大きい<sup>9)</sup>ことに注意する必要がある。

この簡易化手法の限界は、除外ステージからの、あるいは除外ステージへの影響がわからないことにある。また、そもそも「ライフサイクルをアセスメント」していないことから、LCAと区別すべきとの意見もある。厳密には前述のBJCRG事例も「廃棄リサイクルステージアセスメント」とするのが望ましいだろう。

#### (2) 親系列からの系列数で制限

製品に直接関係のあるプロセス（親系列）のみに限ってLCAを実施することは、恐らく最も多用される簡易化手法の一つと思われる。

米国環境保護庁が作成したインベントリーガイドライン<sup>9)</sup>で、固形石鹼を例にこの簡易化手法を紹介している。“一ステップ後退ルール”（二系列以上を考慮しない）と呼ばれるその簡易化手法の誤差は、データ精度を考えれば十分無視できるとしている。一方、乗用車の資源調達～製品製造プロセスでは、二系列以上を無視すれば約9割のCO<sub>2</sub>排出量を無視することになる（産業連関法で分析）との報告<sup>9)</sup>がある。“一ステップ後退ルール”は、乗用車のような高付加価値製品には適応し難く、ケース毎に適応の可否を決める必要がある。

#### (3) 寄与度の低いプロセスを制限

先に示したガイドラインに“1%ルール”が紹介されている。あるプロセスの環境負荷が全システムの1%以下の寄与度しかない場合に、それ以降の系列を考慮しない手法だが、いくつか試算した結果、前述の二手法に比べて効果的であることが確かめられている。ただ、事前に寄与度を調査する必要があるのが難点となる。環境負荷の代わりに、製品重量や価格といった指標を用いる（BJCRG事例ではリサイクル総費用の10万分1以下の工具類を無視した）ことも可能だが、産業連関法によるプレLCAを利用するのが、より望ましいだろう。

#### (4) 資本設備製造等の特定のプロセスを制限

多くの事例では、労働力や資本設備（例えば、電力を作る為の発電所や、固形石鹼を作る為のプラント設備等）の製造～廃棄時の環境負荷を考慮しないことが多い。それらを無視しても、結果にあまり影響を与えない為と説明<sup>9)~11)</sup>されている。

しかし、BJCRG事例では、資本設備の一つである押出成形機が2番目に大きな影響を与えている（表1参照）。また同事例のLCC、LCA結果で、最も相反する要素は労働力であった。リサイクル実施費用の約8割が労働に由来する一方で、労働に関して排出されるCO<sub>2</sub>排出量は、全体の約1割しかない。資本設備と労働力の制限に関しては、今後更なる検討が必要と思われる。

#### (5) データベースの使用

系列やステージを直接たどって調べるかわりに、既に調べられたデータを用いることができる。これは最も使われかつ最も期待されている手法だが、現実的に使用できるデータベースはかぎられ、CO<sub>2</sub>排出量以外は信頼性が乏しい<sup>9)</sup>とされる。

この手法の限界は、文献によってデータのばらつきがあり<sup>9)</sup>、また代表性が何等かの形で確保されていないことにある。従って、1) プロセスの集合体（データを直接取得、あるいは直接推計したプロセスと、それを得るまでに経由したプロセス群）としてデータを取得する、2) できるだけ誤差（あるいは上限、下限値）が明確なデータを利用する、3) できるだけデータを得る為の諸条件（取得日時、取得者、測定/推定条件等）が明確なデータを利用する等が望まれる。

いわゆる産業連関法はこの手法の一種で、完成度が高いデータベースの一つと考えられる。ただし、データ算出する為の条件設定がいくつか必要（排出源、輸入品及び廃棄焼却の処理等）で、現状では目的毎に原

単位を算出して使用する等の工夫を要する。

#### (6)環境負荷項目の制限

いくつかの環境負荷項目間に相関が認められる為、主要な環境負荷項目を調べることで、他のいくつかの環境負荷項目を代表させることが可能である。例えば、CO<sub>2</sub>はエネルギー消費に伴って排出されることが多く、CO<sub>2</sub>排出量とエネルギー消費量は強い相関があると考えられる。CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>排出量も、同様の理由により比較的相関があると考えられ、以上を代表してCO<sub>2</sub>排出量を選択することは可能である。ただし、非鉄金属精練は主要なSO<sub>x</sub>排出源であるが、そのような多量に特定排出物が出るプロセスが親系列（～子系列?：感度分析等でマクロ的に調査する必要がある：以下同じ）にある場合は、この近似は使えないだろう。また、あらゆる経済活動にはエネルギー消費（CO<sub>2</sub>排出）が考えられる為、他の環境負荷項目、例えば水圏排出物及び固形廃棄物は、CO<sub>2</sub>排出量と弱い相関があると考えられないことはない。しかし、オゾン層破壊物質、毒性廃棄物等のごく微量で大きな環境負荷を与え、かつ排出源が限られている環境負荷項目は、CO<sub>2</sub>排出量とはほとんど相関がないだろう。特に、これらを排出するプロセスが親系列等にある場合は、CO<sub>2</sub>排出量等だけで全てを代表することは難しい。

前記二事例と同等目的であれば、「主な環境負荷項目（CO<sub>2</sub>排出量、固形廃棄物量、COD（またはBOD）の3項目程度）に対する定量的な調査と、主な系列に対する定性的な調査を併用する」等の現実的な手法を検討する必要があるだろう。

#### 4.3 簡易化手法の乱用

従来の多くのLCA事例は、製品の複雑さに関わらず何らかの簡易化手法を用いているが、安易な簡易化は誤った結果・運用を招きやすい。それに対しては、1) データ、仮定、簡略法を結果とともに明示することで、

限界以上の使用がなされないように内部チェックする、2) LCC等の他の評価手法を併用する（LCCを併用すると、プロセスのつながりが「財の移動」を通して把握しやすい為、LCAのプロセス脱落等のミスを発見しやすく、LCAの結果を理解する助けにもなる）、等が望まれる。更に、将来的には国を代表する機関やISO等で簡易化手法の規格化が望まれるが、それまでは、それぞれの手法の限界から以下に示すように用途別に対応するのが望ましい。

LCA簡略化手法の誤用によって社会に与える影響度の違いから、最も影響が小さい「クラスI」から、最も影響がある「クラスIV」までの4クラスに、用途例を便宜的に分類する（表4参照）。クラスIは、前述の複写機事例の様な非常におおざっぱな用途を考えている場合で、特に手法を限定する必要は無いと思われる。ただし流用される数値は公表せず、図-3、5のような変形円グラフ等を利用することが望ましい。クラスII以上の用途では、例えば前述のBJCRG事例で示したように、曖昧なデータ・仮定を、常に結論が不利になるように設定する等の「目的によって結果を変える」工夫が必要と思われる。それによって結果の誤用による影響を最小限にできる（内部利用でも、LCA実施担当者の手から離れると、結果だけが一人歩きしやすい）。クラスIII以上の用途では、感度分析や誤差分析を実施し、簡易化手法を用いたことによる影響度を公表することが望まれる。クラスIVは、LCAの結果がダイレクトに社会活動に反映される用途で、上記標準ができるまでは簡易化手法を原則的に用いない等の強い制限が必要である。

#### 4.4 インパクトアセスメントに関する取り扱い

LCA結果を、一つのあるいは幾つかの数字にまとめることに関して様々な意見が対立しているが、この問題に直接触れずに以下のような対応も可能と考える。

表4 LCAの用途例

LCAの目的	用 途 例			
	I	II	III	IV
・環境負荷概要を調査	・ブレLCA ・啓蒙活動資料	・公共の教育	・消費者への情報伝達 (タイプIII等環境ラベル)	
・改善のための課題抽出	・改善提案用		・政策決定の為の資料	
・変更後の環境影響変化の評価	・基準達成度の評価	・設定変更、行動指針の為の資料		
・製品間、企業間の比較	・製品アセス基準決定		・消費者へのアピール (比較広告)	・法律、環境ラベルの基準決定

小 ←————— 誤用時の影響度 —————→ 大

1) 環境負荷項目間に、ある程度の相関があることを考え合わせると、全ての環境負荷項目が改善する「画期的相違」を目指すことは可能である。よって、主要な環境負荷項目が互いに相反する結果を示した場合は、「少なくとも画期的な違いはなく、現状のLCAの精度等を考慮すると結論がでない」とする。

2) 継続的な環境改善の為にLCAを使うのであれば、経済の分野で実際に用いられている手法が参考になる。例えば景気を判断をする為の「一致指数」は、現在11個の要素から構成されるが、それらは重み付けして一つの数字にせず、11個のうちいくつか好転しているかの割合で判断されている。毎月発表される指数の「好転の割合」の推移で、実際の景気動向を判断する様に、いくつかの環境負荷項目の「好転の割合」の推移から環境改善動向をつかむことができる。

## 5. おわりに

LCAを運用してみると、算出過程で得られる様々な知見（潜在的問題の発見等）が役に立つことが多い。「LCAは環境問題を理解する為に使われるシミュレーションの一種である」と言い換えた方が、LCAの実

態に近いと思われる。今後ともLCAを「まず使ってみる」ことを通して、更なる議論、研究が進むことが期待される。

最後になりましたが、有益な議論をしていただいた（社）日本事務機械工業会並びにLCA日本フォーラムの委員の方々に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 日本の廃棄物処理—平成4年度版—(1995), 厚生省生活衛生局水道環境部環境整備課
- 2) ライフサイクルCO<sub>2</sub>で建物を測る—建物の環境負荷評価の手引き—(1996), 日本建築学会
- 3) 佐藤泰文; トナーカートリッジの炭酸ガス排出量ライフサイクル分析, リサイクル技術研究発表会講演論文集(1993)
- 4) 戦略LCA研究フォーラム翻訳; LCA 製品の環境ライフサイクルアセスメント(1995), サイエンスフォーラム
- 5) 生涯環境影響調査方法の開発報告書(1995), 産業環境管理協会
- 6) 米国環境保護庁作成編集; ライフサイクルアセスメント—インベントリーのガイドラインとその原則—(1994), 産業環境管理協会
- 7) 吉岡ら; 環境分析用産業連関表のLCAへの適用, Keio Economic Observatory Occasional Paper, No.29(1993)
- 8) 稲葉敦; LCAにおける基礎素材の製造に関するCO<sub>2</sub>の排出原単位, 化学経済, 7月号(1996), 49~57

協賛行事ごあんない

金属学会セミナー

## 「金属間化合物の基礎と応用」

〔日 時〕 1996年11月28日(木), 29日(金)

〔申込先〕 〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉

〔場 所〕 専売ビル8階ホール (港区芝5-26-30)

(社)日本金属学会

TEL 022-223-3685, FAX 022-223-6312