

目次

環境適合化技術の普及促進	1	廃棄物管理におけるLCAとその課題	8
〔会告〕	2	オランダのテレショッピング対	
LCAと不確実性	2	通常のショッピング	13
マテリアルフローコスト会計について	5	LCAインフォメーション	16

シリーズ：私の考えるLCA

環境適合化技術の普及促進

長野県工業試験場
場長 植木芳茂

20世紀の後半から浮上してきた「環境問題」により、近年は、地球温暖化、オゾン層破壊及びダイオキシン問題などに対する社会的な関心が高まっています。また、廃棄物処理の問題としては、管理型埋立処分場の残余年数がわずかとなり、国土の狭い日本では新たな立地が難しい状況にあり、問題が深刻化しています。こうした状況から、これまでの大量生産・大量消費の社会システムでは、持続的な経済発展は難しく、今後は環境にやさしいものづくりや使用済み製品の適正処理、リサイクル化が必要不可欠な課題となっております。

このような背景から、製造業においては、環境負荷の少ない製品や部品の購入を目的とした「グリーン調達」、廃棄物の完全なリサイクルを実現するための「ゼロ・エミッション」、さらにISO14000sの認証取得による「環境マネジメントシステム」の導入等が積極的に進められております。

そして、これからの社会システムでは、有限な資源の確保、住み良い住環境の確保を目標として、廃棄物処理、リサイクル問題の解決を図っていくための「循環型経済社会システム」を構築していくことが望まれます。循環型経済社会システムの構築には、資源・エネルギー消費、有限物質の使用量及び廃棄物の排出等による環境負荷の程度を評価し、製品の環境負荷低減を目指すとともに、事業者及び消費者に対して客観的な情報を提供していくことが必要といえます。

製品の持つ環境負荷あるいは環境への影響度を評価す

る手法としては、LCAが注目されています。しかし、設計の比較的初期段階すなわち概念設計段階においては、対象の設計変数が決定されていないものが多いため、LCAの実施は困難といえます。そうした理由から、実際の企業への導入促進には、初期の設計段階で使用可能な「環境適合設計 (DfE)」手法の開発が望まれます。

当工業試験場では、環境関連技術に関しては、昭和40年代から「公害防止技術」、「省エネルギー技術」について、県内企業への技術支援を行うとともに、研究開発の推進を図ってきました。そして、当県における産業界の地球環境問題への関心の高まりを受けて、平成10年度から(財)長野県テクノ財団が「長野県リサイクル設計技術研究会」を設立しました。

この研究会に対し、当工業試験場が中心となり、電機・機械製造業19社によるLCA及びDfEに関する技術習得と製品設計への導入を産学官連携により進めています。LCAでは、研究会会員企業の製品を対象にLCA分析を実施し、製品の環境への影響度を低減化するための支援を行ってきました。さらに、DfEに関しては、経済産業省による「環境調和型事業活動導入促進調査(環境調和型製品設計)」事業への参加により、独立行政法人産業技術総合研究所との連携により、日本版DfEとして「品質機能展開法(QFD)」を用いたシステムの開発を進めております。

これからの製品開発では、循環型経済社会に適應するため、QFDを製品設計の初期段階で導入するとともに、LCAによる評価を併用する設計手法を用いることによって、環境適合製品の開発が効率的かつ効果的に実施できるようになるものと思われれます。そして、今後の循環型経済社会においては、LCA、DfEをはじめとした環境適合技術がより一層重要度を増していくものと期待されます。

〔会 告〕

1. 平成13年度LCA日本フォーラム委員会・総会
日時：平成13年7月11日(水)13時～13時30分
場所：石垣記念ホール
東京都港区赤坂1-9-13
三会堂ビルディング
本年度も、委員会と総会を合同で同時開催致します。
別途案内します。
2. LCAプロジェクト報告会
日時：平成13年7月11日(水)13時30分～15時
場所：石垣記念ホール
会費：無料

LCAと不確実性

—思想決定の材料を提供するツールに向けて—

(財)電力中央研究所 経済社会研究所
主任研究員 本 藤 祐 樹

LCAは、20世紀のラストディケードにおいて脚光を浴びるようになった。この10年間に世界規模でLCAに関連する研究が盛んに実施され、我が国でもLCAに関する多くの取り組みがなされてきた。環境の世紀とも呼ばれる21世紀に入った今、まずは振り返ってみたい。いったい我々は何のためにLCAを利用しようとしているのだろうか？

意思決定の材料を提供する「LCA」

LCAの実施には様々な目的がある。しかし、突き詰めれば、「同じ機能を提供する技術や製品があった場合、現在そして将来の社会にとって、いずれを選択したら良いかについて判断材料となる環境側面からの情報を提供することにある」と考える。さらに言えば、LCAは「意思決定に際して環境側面からの情報を提供するツール」として期待されていると考える。では、いま、LCAはそのような意思決定のために適切な情報を提供するツールとして機能しているのだろうか？もしくは、それに向かって着実に進んでいるのだろうか？少なくとも、現段階でこれらの問いに自信をもって「はい」と答えることは難しいだろう。このことは、LCAを否定しているのではない。LCAが、将来、意思決定の材料を提供するツールとして確立されるのか、単なるPRの手段として終わってしまうのか、今その瀬戸際にあるということを強調したいのである。

幅広い意味を持つ言葉「LCA」

LCAと言う言葉が盛んに利用されるようになったが、その言葉が意味していることは必ずしもきちんと定まってはいる。現状では、LCAという言葉の中に多くの意味がこめられている。そもそも、LCAはコンセプトなのか、それとも、ツールなのか。ISOに深く関わっている方々は、LCAと言えばISOで規格化されているツールとして認識されるであろう。しかし、LCAがコンセプトとして捉えられている場合も多い。それは、しばしば見かける「LCA的な考え」「LCA的な分析」という言葉にも表れている。LCAはコンセプトでもあり、ツールでもある。しかし、いざ、議論という場合に、各々の頭の中にあるLCAの定義が異なるために、議論がすれ違いになることも少なくない。そこで、厳密ではないが、図1のようにLCAを大きく分類することが有効であると考えている。

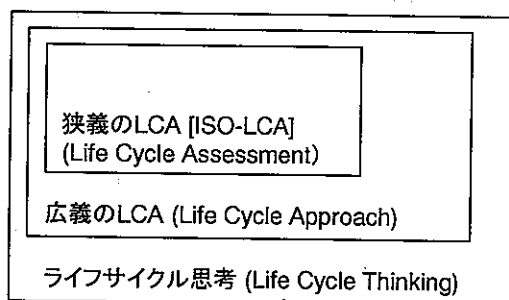


図1 LCAの分類

ライフサイクル思考がいわゆるコンセプトとしてのLCAに相当する。そして、ライフサイクルアプローチが、そのコンセプトに従って問題を解決しようとする接近法の総称と言える。具体的には、エネルギーアナリシスやMIPS(Material Intensity Per Service unit)などが含まれる。また、解決すべき問題は必ずしも環境側面に限る必要はない。例えば、ライフサイクルコスト分析や、ライフサイクルマネジメントなども含まれると言える。そして、最も狭義な意味でのLCAがISOで定義されたLCAである。

コンセプトとしてのLCAも大きな社会的な意義を持つと言えるが、以下では、ツールとしてのLCAに注目し話を進める。

今のLCAには何が必要か

LCAが意思決定の材料を提供する実用的なツールとして、社会に広く普及していくためには何が必要だろうか。逆に言えば、その普及において立ち足る壁は何だろうか。それには様々なものが考えられる。例えば、分析に投じられる費用や時間の問題がある。LCAは、特に

その土台となるインベントリ分析は、多大な時間と費用を要求することが少なくない。実用的なツールとして機能するためには、分析に必要な時間と費用の削減が重要となるであろう。また、ライフサイクルにわたるすべての関連データを収集するのは、個人は当然ながら企業などの組織においても非常に負荷のかかる作業である。LCAプロジェクトで進められている公的データベースの構築はその解決に寄与するであろう。さらに、実際の分析現場においてはヒューマンインターフェースに優れた使い易いソフトウェアの開発も重要であろう。

上述したことも含めてLCAの普及に関連するいくつかの要因があるが、ここでは「不確実性」に注目したい。LCAの主要な目的の少なくとも1つは、複数の代替案がある場合に選択の判断材料を提供することである。端的に言ってしまうと複数の代替案の比較である。それは、製品の比較であり、製品設計における改善方向の比較であり、将来に備えて研究開発を進めるべき技術の比較であったりする。その際に決定論的に得られたLCA結果の値から得られる結論は本当に信頼できるのだろうか。過去のLCAにおいては、同じ対象を同じ目的で分析しながらも逆の結論が得られる場合もあった。それでは、ツールとしての信頼性は勝ち得ない。

同じ目的で実施したLCAでありながら結論が異なるのは、前提としたモデルそしてデータの違いがあるからである。ライフサイクルとしてどの範囲を設定したか、ライフサイクルはどのように取り扱ったか、基礎データをどこから入手したかなどによって、LCA結果は大きく変わる

可能性がある。つまり、入力データ自体そしてモデル構造が持つ不確実性によって、結果にも不確実性が生じるのである。しかし、この不確実性を完全には除去することはできない。であるならば、その不確実性を適切に評価した上でLCA結果を解釈することで、その信頼性を確保するという方向が考えられるであろう。ISOにおいても得られた結果に関する不確実性を十分吟味して解釈することが求められている。決定論的に得られた1つの値だけをもって答えとするのではなく、LCA結果にはその値の持つ不確実性に関する情報を付加することが求められる。

LCAにおける不確実性の取り扱い

自然科学の分野では、何かしらの結果が得られたときに、その不確実性を考えることは極めて自然なことである。その一方で、LCAにおいて得られた結果の不確実性についてきちんと議論されることはまだ一般的であるとは言えない。LCAに限らず、定量的な政策分析においては、不確実性を無視することが、不確実性の取り扱い方法の1つとして認められることも珍しいことではない。実際に、期待値もしくは代表値など標準的な値だけでもって意思決定者にとって十分な情報と言える場合もあるからである。しかし、対象とする問題によっては、不確実性を無視することは間違った結論を導きかねない。実際、過去においても、定量的な政策分析の分野で、様々な手法を利用して不確実性に関する分析が行われてきた。一般に、不確実性分析において採用されるべき手法

表1 LCAの各段階における不確実性の分類

Phase	Goal and scope	Inventory	Choice of impact categories	Classification	Characterisation	Weighting
Source						
Parameter uncertainty		Inaccurate emission measurements			Uncertainty in life time of substances	Inaccurate normalisation data
Model uncertainty		Linear instead of non-linear modelling	Impact categories are not known	Contribution to impact category is not known	Characterisation factors are not known	Weighting criteria are not operational
Uncertainty due to choices	Functional unit	Use of several allocation methods	Leaving out known Impact categories		Using several Characterisation methods within one category	Using several weighting methods
Temporal variability		Differences in yearly emission inventories			Change of temperature over time	Change of social preferences over time
Spatial variability		Regional differences in emission inventories			Regional differences in environmental sensitivity	Regional differences in distance to (political) targets
Variability between objects/sources		Differences in emissions between factories which produce same product			Differences in human characteristics	Differences in individual preferences, when using panel method

Huijbregts, "Application of Uncertainty and Variability in LCA", Int. J. LCA 3 (5) (1998)より引用

表2 LCAにおける各タイプの不確実性に適用可能な方法表

Types	Parameter uncertainty	Model uncertainty	Uncertainty due to choices	Spatial variability	Temporal variability	Variability in objects/sources
Probabilistic simulation	+					+
Correlation and regression analysis	+					+
Additional measurements	+					+
Scenario modelling			+		+	
Standardisation			+			
Expert judgement/peer review	+		+			+
Non-linear modelling		+				
Multi-media modelling		+		+		

Huijbregts, "Application of Uncertainty and Variability in LCA", Int. J. LCA 3 (5) (1998)より引用

は、モデルの特性、不確実性の特性、そして、分析に投入される人的・経済的資源の量に依存する。

では、LCAにおいては、どのように不確実性を取り扱うべきであろうか。不確実性の特性に依存して、その適切な取り扱い方法が異なるのであれば、LCAにおける不確実性の分類から手をつけることが1つの方法である。Huijbregts(1998)では、LCAにおける不確実性がいくつかのタイプに分類され(表1)、それぞれに適した取り扱い方法が示されている(表2)。不確実性の分類や取り扱い方法については議論のあるところではあるが、LCAにおける不確実性の取り扱い方法をまとめた研究例の1つとして取り上げた。現在のLCA研究におけるテーマの1つと伝えよう。

感度分析の有効な利用

LCA結果は多大なデータに基づいており、各データはそれぞれ何らかの不確実性を内在している。しかし、通常は、分析に投じられる人的及び経済的資源が限られており、LCA結果に与えるすべての不確実性の影響を評価することは現実的には困難である。それ故に、多数の不確実性のうちいずれかが結果に大きな影響を与えるかを明らかにすることが求められる。この目的に、式(1)に示す感度指標が有効であると考えられている¹⁾。この指標は工学においては古くから利用されてきたものであり、変動率感度 (rating sensitivity)、影響度指数(sensitivity index)、弾性値(elasticity)などと呼ばれている。

$$\frac{\Delta \hat{a} / \hat{a}}{\Delta \hat{a} / \hat{a}} \quad \text{式(1)}$$

\hat{a} : 入力量

\hat{a} : 出力量

Δ : 各量の微小変動量

変動率感度は、無次元量であるために、異なる単位の

入力量の影響度を横並びで比較できる。この指標をもって影響度の高い入力量を特定化した上で、それらの入力量の不確実性によって生じる出力量の不確実性を評価するという手順が効率的であると考えられる。変動率感度は、それぞれの入力値がLCA結果に相当する出力値へ与える影響度の大きさを示しており、出力値のばらつき自体を評価するものではない。ある入力値の影響度が大きくても、その入力値がばらつきの存在しない確定値であれば、出力値をばらつかせることはない。なお、出力値の不確実性を減少させるために各入力値の品質を向上させるという目的にも、この変動率感度は有効に利用できる。

LCA結果の不確実性

感度分析により、LCA結果に大きな影響を与える入力データが特定できたなら、そのデータに含まれる不確実性によって、結果がどの程度ばらつくかを見積もることが望まれる。いわば、LCA結果の標準値からのばらつき具合に関する情報を提供することに相当する。

LCA結果のばらつき具合を知るためには、適用できる手法には様々なものがあり、上述したように、これは不確実性の特性に依存する。

LCAにおける入力データに含まれる不確実性の結果への伝播を考える場合には、もし、その不確実性による基準値からのばらつきがそれほど大きくなければ、1次近似2次モーメント法が利用できる。端的に言えば、不確実性を期待値と分散のみで評価する方法である。ただし、基準値からのばらつきが大きい場合には、1次近似は無視できない誤差を生み出してしまう。つまり、基準シナリオまわりにおける摂動を見る場合には適しているが、大きな不確実性を取り扱うことは難しい。

他方、モンテカルロ法は、ばらつきが大きい場合でも適用可能であり、ばらつきの分布の端に興味がある場合にも有効である。モンテカルロ法は、計算負荷が高いことが弱点の1つとされているが、昨今の計算機性能の向上やサンプリング方法の適切な選択により、それほど大

1 詳細については、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、2000年を参照されたい。

きな弱点とは言えないであろう。むしろ、入力データの確率密度分布の想定が問題であろう。分布に関する何らかのデータが得られればよいが、全く得られない場合も少なくなく、その場合、専門家の判断などによる定性的な情報を基に、確率密度分布が仮定される。

以上では、入力データに含まれる不確実性のLCA結果への伝播について述べたが、配分方法の選択における不確実性などは、その特性上、1次近似2次モーメント法やモンテカルロ法よりは、離散的確率ツリー法などが有効であると考えられる。これは、配分に関する考えられる複数のシナリオとそれに対する出現確率を与えることで、LCA結果の不確実性を評価しようとするものである。配分問題に伴う不確実性はいわば価値に関する問題であり、連続的な確率分布でその不確実性を表現することは適しているとは言えない。

このように、どのような不確実性をどのように取り扱うかについては、今後の議論の対象となるであろう。

社会的関心の強い部分に関する不確実性評価

さて、一般的には、結果にあまり影響を与えない部分に関しては、不確実性を評価する重要性はあまりないとされる。上述した変動率感度で言えば、その値が小さい場合である。しかし、数値上では影響度が必ずしも小さくなくとも不確実性を評価すべき場合がある。筆者は、ライフサイクルCO₂量を基にした各種の発電技術の評価を実施してきた。これらに関して、多くの質問を受けることがあるが、その中でも多いのが原子力発電技術において発生する放射性廃棄物や使用済み燃料の取り扱いについてである。使用済み燃料の貯蔵はどのように想定しているのか、発電所の廃炉に伴う放射性廃棄物はどのように取り扱っているのか、高レベル廃棄物の処理は含まれているのか、などである。CO₂排出量という観点から評価する限りは、これらの想定の違いによる結果への影響度は小さい。しかしながら、このように社会的に強い興味もたれている部分に関しては、たとえその不確実性による影響が小さくとも、分析者としては、その想定の変化による結果への影響などをきちんと評価しておくことが肝要であろう。ある特定の部分に関する想定の違いによる不確実性の評価には、想定之差が結果にどのような影響を与えるかを分り易く表現できることから、想定したシナリオに対応する結果の幅を示すという単純な方法が有効であるかもしれない。ここでは、原子力発電技術を例に挙げたが、他の場合も当てはまると言える。

LCA結果の解釈における不確実性と表現手法

最後に、不確実性を如何に表現すべきかについて述べたい。LCAの手法論において、LCA結果の表現手法について述べられた文献を見受けることはほとんどない。しかし、この表現手法は解釈において極めて重要である。LCAの目的は数値を出すことではない。意思決定をする主体に、その結果の持つ含意を伝え、判断材料を提供することである。必ずしも、LCA実施者とその結果の利用者とは一致しない。したがって、LCA実施者は、その結果を利用者に誤解なく伝達することが重要である。

例え、分析において適切に不確実性を取り扱い、十分に検討したとしても、その結果がLCA利用者に伝わらなければ、その意味を失ってしまう。これらの不確実性の表現手法については、採用した不確実性の評価手法にも依存するであろう。今後、不確実性の評価手法に関する検討とともに、その表現手法についても検討していくべきであろう。

代わりに

まずは、最後までお読みいただいた読者の皆様の寛大さに感謝する次第である。多少言い訳がましいことを言わせていただければ、十分な吟味をするだけの時間がなかったため、文字通りの拙稿となってしまった。筆者の言わんとするところをご理解いただくためには、読者の皆様の見識に頼らざるを得ないのが心苦しい次第である。本論に関する忌憚のないご意見をいただければ幸いである。(連絡先：hondo@criepi.denken.or.jp)

マテリアルフローコスト会計について —環境負荷削減指向かつ経済性向上指向の環境マネジメントツール—

関西大学商学部助教授
中 島 道 靖

1. はじめに

経済産業省からの委託により(社)産業環境管理協会において、「環境ビジネス発展促進等調査—環境会計—」に関する委員会(委員長：神戸大学大学院経営学研究科 國部克彦教授)が組織されており、本調査(3年計画)の2年目としてその委員会のもとに4つのワーキンググループが設定され、2000年度調査・研究が進められた。その1つが「マテリアルフローコスト会計」に関するワーキンググループ(委員長：高崎経済大学 水口剛助教授)であり、その調査の一環として2000年秋にドイツ・オーストリア調査(アウグスブルグ及びウィーン)に赴いた。

ドイツのアウグスブルグでは、環境負荷削減と経済性向上を同時に指向する環境マネジメントツールである新たな原価計算手法のマテリアルフローコスト会計(以下略して、フローコスト会計と記す)を開発し、その導入コンサルティング(現在2、30社)に携わる経営環境研究所(Institut für Management und Umwelt: IMU)を訪ねた。研究所の設立者であるワグナー教授(Prof. Dr. Wagner, B.)とストローベル氏(Dr. Strobel, M.)に、フローコスト会計がいかなるコンセプト並びに手法であるか、またどのような導入効果が表れているかなどを具体的に聞き取り調査するとともに、日本企業においてフローコスト会計を試験的導入するために必要な知識を得ることを目的とした。ドイツにおいて、このフローコスト会計は既に地方自治体や国家の環境に関するプロジェクトに加えられており、また最近の情報では2001年秋に出される予定のドイツ環境省のガイドラインにも具体的手法として入れられているとのことである。

また、ウィーンにおいては、オーストリア環境省並びにIMUと同じく民間機関である環境経済研究所(Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung: IÖW)で聞き取り調査を行い、オーストリアでの環境行政面での具体的な動向やヨーロッパでの環境に関する研究の動向、さらにエコバランスやフローコスト会計などに代表される経営管理面での新たな動向について情報を得るとともに意見交換を行った。

特に本稿では、昨今注目されているフローコスト会計について、上述の海外調査と2001年4月に来日したストローベル氏との意見交換を踏まえて、そのコンセプトと手法について説明・紹介することとする。

2. フローコスト会計とは

ワグナー教授の説明によれば、フローコスト会計を発想した背景には、次のような経験があった。1990年代初めにドイツの繊維業者クネルト社(Kunert AG)などでエコバランスの開発・導入研究に携わり、その一連の調査・研究を通して企業のインプットとアウトプットを物量で測定・表示するエコバランスでは見ることができない企業内のプロセス、例えば企業への物質のインプットがどのようなプロセスで企業からのアウトプットとして出てきているのかを明らかにする必要を感じ、物質の企業内部でのフロー(流れ)を把握しようとした。また、エコバランスでは物量データの情報が中心であるが、経営行動のインセンティブ、例えば環境負荷削減活動へのインセンティブとして経済(貨幣)評価された数値が必要であり、直接的には企業利益に関連するような数値(目標)

の提示が望まれた。さらにこの企業調査を通じて発見された最も重要な点は、原材料のロス(廃棄)分が物量的にも多く貨幣価値的にも大きかったことである。

その結果このような経験を踏まえて、企業への代表的なインプットであり、かつ多くのロスが生じるマテリアル(原材料)の企業内でのフローに注目するとともに、加工プロセスでの価値評価システムである原価計算システムに関して現状調査が行われた。そして、ドイツ製造業において一般的にマテリアルコスト(原材料費)は製造総原価の60%近くを占めており、伝統的原価計算においてマテリアルコストは、概して投入金額がそのまま製品原価に算入され、残りの製造原価である労務費や製造間接費からなる加工費はその発生場所を反映させようと部門別計算などを通じて配賦によって製品原価に配分されていた。加工費の処理に対して、マテリアルコストの計算はほとんどそのフローを分析せず、そのまま製品に直課していた。したがって、物量的にも貨幣価値的にもマテリアルフローの透明性は確保されておらず、その情報を提供するシステムも存在していなかった。

この不透明性の問題の解決策として、新たな原価計算手法であるフローコスト会計が開発されたのである。まず、マテリアルの企業内でのフロー全体を表すフローモデルを作成し物量単位のフローが把握され、次いで各マテリアルのフローに関して価値評価するためのコスト計算がなされる。次に簡単なフローコスト会計システムの流れを見ることとする。

(1) マテリアルフローの追跡並びにフローモデルの作成

マテリアルが企業に入り製品や廃棄物として企業から出て行くまでを追跡するのであるが、各マテリアルの品目ごとにナンバリングをして、それぞれのマテリアルごとに追跡をする。また、重要な属性としてマテリアルごとに1つの単価を設定する(一物一価)。ただし、加工されても物量と価値レベルにおいても合算せずに、その加工品に各マテリアルがどれだけ含まれているかを個別に追跡する。この場合、物量や単価などのような属性を含めて多くのデータを収集並びに処理する必要がある。このようなデータの記録・収集・処理にはSAPやSSAなどのようなERP(Enterprise Resource Planning)システムが最適であると考えられるが、企業にある既存の情報システムを使うことをフローコスト会計導入時の前提とし、必ずしも新たな情報システムの導入は必要としない。次に簡単なフローモデルの例を示す。(破線はマテリアルロスを示す。)

図1のようなフローモデルの作成と同時に、フローを物量単位で測定し把握するポイント(例えば、図1の「原

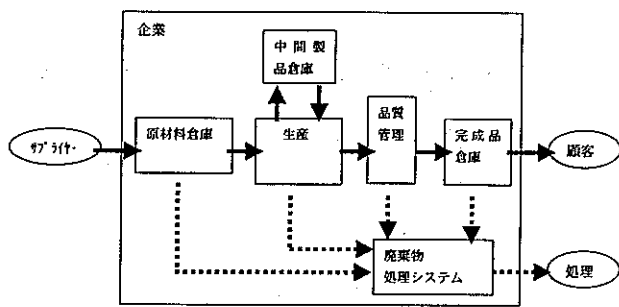


図1 フローモデル

材料倉庫」が明らかになるとともに必要に応じて測定ポイントを設定する。このようなポイントを物量センター (Quantity Center) と呼ぶ。

(2) マテリアルフローの物量単位測定

次いで、各物量センターでのマテリアルフローの物量を測定する。通常、企業の情報システムにおいて、プロセス内におけるインプット量・アウトプット量・在庫量は測定されている。そのデータをそのまま使ったり、または加工し、物量センターのフローを測定する。具体的に次のように質量保存の法則を前提にマスバランスで測定する。

図2のように次の物量センターへのフローとその物量センターでの在庫量・マテリアルロスが算定され、フローモデル全体に展開される。

(3) マテリアルフローコストの計算

伝統的な原価計算とは少し違った次のような3つの原価要素で各マテリアルフローコストの算定をする。

- ①マテリアルコスト：既に説明したようにマテリアルごとに一定単価（過去の平均値など）が設定されており、この単価に各物量センターで算定された物量の単位数を掛け合わせて算定する。各フローに対してマテリアルコスト総額として合算表示されたりするが、その総額値の基礎にはマテリアルごとに物量と貨幣評価額がデータとして存在している。
- ②システムコスト：労務費と製造間接費を合わせた加工費をさし、システムコスト内でそれぞれ特性に応じて分類し、各コストグループで配賦基準を設定しマテリアルフローに配分する。例えば、配賦方法と

して活動基準原価計算 (Activity Based Costing: ABC) が適切であると考えられる。ただし、配分されてもマテリアルコストに合算されるのではなく、各フローに対してシステムコストとして単独で表示される。

③配送及び廃棄物処理コスト

製品の配送費や廃棄物の輸送費や処理費用で、同じくこのようなコストが発生した場合に、フローに対して、合算されずに単独で表示される。

以上のような3つのコストが各フローに対して算定され、マテリアルフローモデルのフローを示す矢印ごとに表記される。

3. フローコスト会計の意義

このようなプロセスでフローモデルが作成され、各フローでコスト計算されるのであるが、このフローコスト会計の主要な目的は、製品原価がいくらであることを示すのではなく、各物量センターで生じたマテリアルロスの物量とその貨幣価値を示すことであることを忘れてはならない。

フローコスト会計により、これまで伝統的な原価計算上、不透明であったマテリアルロスの存在とその発生場所、そしてその物量と貨幣換算された場合の価値が明らかとなる。そして、その後の経営改善によるマテリアルロスの物量レベルでの削減は廃棄物の削減となり環境負荷の低減につながるとともにマテリアルコストの削減にもつながる。これまで製品原価に含まれていたマテリアルロスの一部が削減されれば、短絡的ではあるが、即その部分が利益改善につながることを意味するとも考えられる。

例えば、図3に示すフローコスト会計において作成されるフローコストマトリックスは、企業に対して環境負荷の低減と同時にコスト削減による利益獲得機会を提示している。

このマトリックスによって、マテリアルコスト自体の比率の大きさと、同じくマテリアルロスの占める割合の大きさが判明し、現状においてどれだけのマテリアルロスという見えない損失を出しているか、または潜在的な

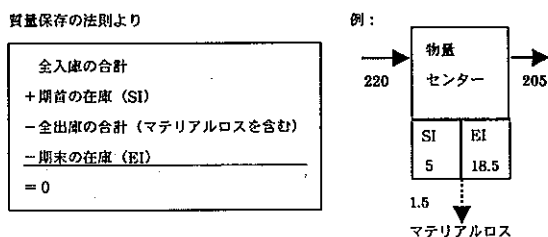


図2 マテリアルロス

生産コスト	マテリアルコスト	システムコスト	配送処理コスト	計
製品	120	25	0.2	145.2
包装	40	25	2.5	67.5
マテリアルロス	21.5	6.4	1.5	29.4
計	181.5	56.9	3.9	242.3

マテリアルコストがかなりの%である。(ここでは、生産コストの75%)

コストのかなりの部分は、マテリアルロスが原因である。(ここでは、生産コストの10%以上)

図3 フローコストマトリックスの一例 (単位:金額)

利益獲得機会が存在しているかが明らかとなる。

このようにして企業は具体的なインセンティブを与えられることにより、マテリアルロス発生の改善を通じて、環境負荷低減と原価削減が同時に達成され、その成果が具体的に物量と貨幣価値で評価されるのである。

4. おわりに

フローコスト会計について説明したが、理論的にも具体的ツールとしてもまだまだ発展段階にあり、解決しなければならない問題もある。また、ドイツでの導入例すべてで完璧にフローコスト会計システムが導入されているとは言えず、完成されたシステムとしてパッケージ化するには時間と経験が更に必要であろう。しかしながら、環境負荷の低減と同時に企業行動への強力なインセンティブとなる原価削減(利益向上)をもたらす具体的なマネジメントツールとして非常に意義深いと考えられる。したがって、今後のケーススタディを通じた展開は十分注目に値するであろう。

最後に、本稿においてフローコスト会計に関するIMU独自の理論と経験を説明するとともに、日本でのフローコスト会計導入テスト(日東電工(株)の豊橋事業所において)を通して得た経験とIMUとの意見交換によって生み出された考えも含めて説明していること付記しておく。また、本稿で十分詳しく説明できているとはいえ、更に詳しくは以下の参考文献を参照していただきたい。

(参考文献)

・ Strobel, M. and Redmann, C., Flow Cost Accounting (October 2000), Institut für Management and Umwelt. (中島道靖・水口剛・國部克彦・大西靖「IMUマテリアル・フロー・コスト会計」神戸大学大学院経営学研究科ディスカッションペーパーNo.2001-2)

・ 國部克彦「外部報告から内部マネジメントへ - サプライチェーンとマテリアルフロー」『経理情報』pp.23-26, No.929, 2000年9月20日。

・ 倉阪智子「材料の流れを徹底的に把握する - マテリアルフロー・コスト会計で資材のムダを省く」『日経エコロジー』pp.70-73, 3月号, 2001年。

(注)本文での図はすべて参考文献に挙げたディスカッションペーパーの図を参考としながら、独自に加工したものである。

この研究所は民間研究所で1992年にアウグスブルグ大学のワグナー教授(Prof. Dr. Wagner, B.)とストローベル氏(Dr. Strobel, M.)によって設立された。現在20名程のスタッフで環境関連のコンサルティング並びに調査を行っている。詳しくは、この研究所のホームページ(www.imu-augsburg.de)を参照されたい。

廃棄物管理におけるLCAとその課題

国立環境研究所

循環型社会形成推進・廃棄物研究センター

大迫政浩

1. LCAの方法論と総合的廃棄物管理

1.1 LCA適用の目的設定における留意点

LCAは特定のモノ(product)だけでなく、システムや活動(activity)を評価対象とする。したがって、総合的廃棄物管理(Integrated Solid Waste Management)のための最適システム設計を目的とする場合においては、通常、廃棄物の廃棄時点を出発点としてその後の流れで環境負荷を積算し、システムの選択を行うことが多い。しかし、より上流側に遡って対応を考えれば、更に低環境負荷型のシステムが見つかるはずである。

一方、Product LCAを目的とする場合は、これまで環境負荷要素として「廃棄物」を固形廃棄物量としてカウントするのみであったが、廃棄物処理・リサイクル過程における環境負荷までを対象としなければ「廃棄物」自身のもつ潜在的な環境負荷の多様性を反映できないことから、PLCAでも廃棄物処理・リサイクル過程を1つのプロセスとして評価するようになった。しかし、ライフサイクルエネルギーやライフサイクルCO₂の積算では、ほとんどの場合、製造・消費段階までの負荷が格段に高く、製造・消費段階での負荷削減のための対応が重視された。確かにエネルギー消費やCO₂排出では廃棄物処理過程の負荷は相対的に小さいが、他の負荷要素、例えばモノに含まれる保存性物質である重金属類や、処理過程で非意図的に排出される有機汚染物質などによる負荷は、環境との最終的な境界面である廃棄物処理・リサイクル過程にモノが集積することによって生じている。

このような意味から、低環境負荷型のモノの設計製造を目的とする場合も、様々な廃棄物の最適な処理・リサイクルシステム設計を目的とする場合も、上流から下流までを考慮しなければ、実施者が偏った情報や視点でしか判断ができなくなる可能性があり、LCAの適用目的を明確にして、比較代替シナリオを設定することが大切である。

1.2 機能とシステム範囲

シナリオあるいはシステム比較を行う場合は、「機能」を明確にしなければならない。廃棄物のリサイクルの場合には、新たな価値を生み出すだけでなく、同時に「廃棄物処理」の機能を有している。したがって、公平な比

較のためには「機能拡張」を図り、機能を統一するか、ヴァージン原料から同機能を生み出す過程で生じる負荷を回避したと見なして差し引く方法が取られる。

サーマルリサイクルの場合には、ヴァージン原料から製造される燃料や発電所で生成される電力を代替したと考える。また、フィードストックリサイクル（ケミカルリサイクルなど）としてのプラスチックの油化やガス化では、各種化学工業原料を代替したと考える。マテリアルリサイクルとして、有機性廃棄物の堆肥化は複合肥料などの代替として、PET ボトルからの繊維製品製造はヴァージン合繊原料からの製品の代替として扱うことになる。リサイクルではオープンループリサイクル（カスケードリサイクル）がほとんどであるので、リサイクル製品とヴァージン原料からの製品が必ずしも同一の機能を持たない場合も多く、また、機能がほぼ同じでも厳密に言えば品質は同じでない場合も多いが、可能な限り機能を近づける必要がある。以上は、機能を統一するための機能拡張によるシステム範囲設定における留意事項であり、オープンループリサイクルにおける負荷の配分問題を避けるための手法である。

システム範囲を設定する場合のもう1つの問題は、混合廃棄物から特定の廃棄物をリサイクルする場合の残りの性状変化である。例えば、一般廃棄物の可燃ごみからプラスチックを分別しリサイクルした場合に、残った可燃ごみは水分を含む厨芥ごみがリッチになり、低位発熱量は約 1500kcal/kg 程度まで低下するため、可燃ごみの焼却プロセスでの運転条件が変化する可能性がある。つまり、1つの工程の追加・変更が他の工程にも影響を及ぼすため、影響を受ける範囲まで評価対象システムを広げなければならない。

1.3 評価時間の問題

廃棄物処理過程の LCA を考える場合に問題点として挙げられるのが、埋立処分過程の評価時間の問題である。埋立処分場は汚染物の保管・集積場であり、易分解性廃棄物は時間とともに分解・無機化し、環境中に放出されるが、難分解性廃棄物は半永久的に残存することになる。総合的廃棄物管理に関する LCA の国際専門家グループ¹⁾では、埋立による負荷の評価時間を観測可能期間 (surveyable time: ST) と残存期間 (remaining time: RT) に分けて、ST は表面的に安定な状態になるまでの期間とし、100 年間でデフォルト値として与えている。しかし、RT までを考慮して潜在的な最大汚染負荷まで評価すべきとの議論もある。

我が国では、一般廃棄物の場合には焼却残渣と不燃物

の埋立が主体であり、表面的な安定までに要する期間は、生ごみを埋め立てている欧米に比較して短いと考えられる。処分場の隔離機能・浸出水処理機能の耐用年数は実質的には数十年程度であろう。また、廃棄物処理法では、浸出水原水が安定的に放流水基準を満たし（処理しなくても基準を満たし）、ガス発生がなく表面的に安定な状態になれば「廃止（廃棄物処理法上の「処分場」でなくなる）」できるとされており、無機物主体の埋立地であれば、廃止基準を満たすまでに長い期間は要しないと考えられる。以上から、我が国の場合の ST は、無機物主体の埋立処分場であれば、数十年程度の設定が妥当であろう。

しかし、残渣中の重金属類は保存性物質であり半永久的に残存し、ダイオキシン類等の残留性有機汚染物質も長期的に残存する。したがって、「廃止」後も跡地の表面利用を制限したり、ある程度の環境モニタリングを行うことが義務づけられるべきであろう。

現在筆者らは、埋立地内の有害物質の超長期的挙動に関する地球化学的なモデル化を検討しており、LCA における評価時間の設定に対しても、一定の考え方を提示できるものと期待している。

2. 廃棄物処理・リサイクル過程におけるインベントリデータベースの構築

2.1 データの範囲

廃製品が廃棄物処理過程にインプットされた場合の廃製品に係る環境負荷データは、図-1 のような構造をもつことになる。実際に LCA を実施する場合には、間接投入・排出負荷までを積算することになり、積み上げ法の場合はシステム範囲の設定に留意し、産業連関表に基づく原単位を用いたハイブリッド法の場合は、原単位の精度等を踏まえた結果の解釈が必要である。現在、経済産業省で進められている LCA プロジェクトでは、図の破線枠内の範囲におけるインプット及びアウトプットデータを収集し、生産工程等で整備されるであろう環境負荷データ項目との整合を勘案して、データベースに含むべき

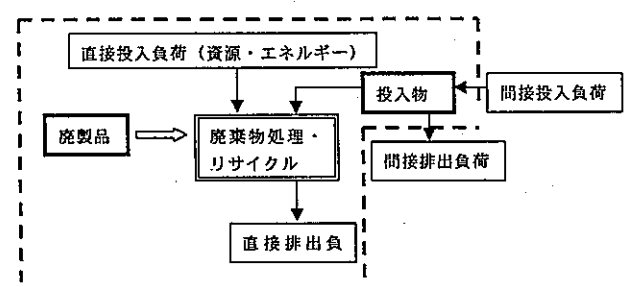


図-1 廃棄物における直接負荷と間接負荷の関係

項目が議論されている。

もう1つのデータ範囲の問題は、廃棄物処理における一工程（施設）のライフサイクル範囲の問題である。一つの工程は図-2のように建設、運用、施設の解体廃棄処理の3段階に分けられ、それぞれの段階における投入資源及び投入物（製品）のライフサイクルまでが対象範囲とみなされる（ただし、各投入資源及び投入物（製品）の処理処分は解体廃棄処理でカウントされる）。一般に、原料から一次製品を加工製造するプロセス（動脈側プロセス）では、原料に対して、分離・精製・選別・抽出・濃縮などの操作を施し、多量の資源・エネルギーを投入するため、通常そのプロセスにおける施設建設時及び解体廃棄処理時のエネルギー消費や二酸化炭素排出は、運用時に比較して無視できるほど小さい。したがって、運用時の環境負荷をそのプロセス自体のライフサイクルの環境負荷とみなしても大過ない。

しかし、廃棄物処理の各プロセス（静脈プロセス）について、例えば資源・エネルギー消費量を積算すると、施設建設時の消費量が、運用、解体廃棄処理までを含んだ全消費量の中でかなりの割合を占め、加工製造の動脈プロセスに比較すると建設時の負荷は格段に大きい。その理由として、分かり易い例で説明すると、ごみ焼却施設の場合は基本的にはごみの保有する熱エネルギーで自然するプロセスであり、ごみは有価ではないので、エネルギー消費量としてカウントされないことから、運用時のエネルギー消費は少なく（運用時には、補助燃料や排ガス処理などにかかる電力、投入物などが負荷としてカウントされるだけであり、ごみ発電による電力回収分をカウントすると、正味のエネルギー消費量はさらに小さくなる）、相対的に建設時の負荷が無視できなくなる。ただし、焼却プロセスだけをみると、エネルギー保存則が成り立っていないことになり、有価か無価かの判断における取り扱いや、エネルギー消費あるいは化石資源としてカウントする範囲など、慎重に議論する必要がある。

また、埋立処分場の場合では、多少の浸出水処理における負荷はかかるものの、基本的にはごみの保管・隔離機能を役割とすることから、保管・隔離するための器を建設することが環境へのインパクトの主要因であり、運用時の維持管理に要する資源・エネルギー消費のウェイトは動脈プロセスと比較して格段に小さい（前述の評価時間の問題の扱いによってはウェイトは変わる）。

以上のように、焼却や埋立などの静脈プロセスでは、プロセスへのインプットである廃棄物（廃製品）にエネルギーを投入して加工等を施すプロセスではない場合もあり、動脈プロセスに比較して運用時の負荷のウェイト



図-2 廃棄物処理の一工程（施設）におけるライフサイクル

が小さく、逆に建設時の負荷が無視できない。この点は、特に静脈側システムの代替案比較の場合に問題となり、建設時の負荷も含めた原単位データの提示について議論する必要がある。

なお、同じ静脈側プロセスでも、灰溶融施設など、ほとんど無機物となった安定した焼却灰に、さらにエネルギーを投入してガラス質のスラグを製造するプロセスなどは、静脈プロセスの中でもエネルギー多消費型であることから、運用時の負荷のウェイトが大きくなるものと考えられる。

2.2 データのレベル

インプットされる廃製品ごとに処理・処分方法は異なるため、環境負荷データも製品別に細かく示されなければ、製品ごとの適正な評価はできない。しかし、廃棄物処理過程においては、多種多様な廃製品が混合されて処理され、また金属や合成樹脂（プラスチック）等の複数の素材から構成される複合製品では、素材ごとに処理・再資源化される方法が異なることが多い。後述する複数入力の問題と併せて、廃製品の質の多様性にデータベースをどこまで整合させるかは、今後の課題である。

表-1（一般廃棄物の場合）及び表-2（産業廃棄物の場合）には、環境負荷データベースを作成する際に、対象となる廃棄物の組成や廃製品、素材の階層的な分類を示す。素材レベルの詳細な分類での原単位が提示されれば、ライフサイクルアセスメントを行う際に製品レベルの精度の高い評価が可能になる。例えば可燃ごみとして収集されたプラスチック製品の場合、可燃ごみとして一律の原単位を用いて、単に重量で配分する場合（分類Ⅰ）、プラスチックの持つ熱量や元素組成などを加味して熱量や含有炭素量などで配分して単位重量当たりの原単位を提示する場合（分類Ⅱ）、さらに含有塩素量などを勘案して塩化水素対策プロセスでの環境負荷を配分する場合（分類Ⅲ）、のような階層的なレベルがあり、理想的にはデータベースのユーザーが製品のプラスチック樹脂の種類などを基に自ら積算する分類Ⅲのレベルが求められる。

このように、原単位を提示する対象をどこまで詳細化できるかが今後の課題であるが、現実的には、分類Ⅰ及び分類Ⅱまでの原単位の詳細化は可能であると考えられ

表一 一般廃棄物における環境負荷データベースの作成対象分類の階層化例

分類Ⅰ	分類Ⅱ	分類Ⅲ	留意点と詳細化の可能性
可燃ごみ	厨芥類		厨芥類の組成（肉や野菜くず等）のデータもあるが、詳細化は困難。必要性も不明。
		紙類	インキ中の含有物質などに留意。
	プラスチック類	含塩素プラスチック	揮発性塩素量から塩化水素発生量を推定。ダイオキシンの負荷については要検討。
		非含塩素プラスチック	添加剤に留意。臭素化合物なども将来問題化。
	布類		詳細化不要
	草木類		詳細化不要
不燃ごみ	陶磁器類		詳細化不要
	ガラス類（ビン類含）		詳細化不要
	金属類（缶類含）		詳細化不要
	プラスチック類		樹脂の種類や添加剤に留意
資源ごみ	ペットボトル		再資源化の方法に留意
	ガラス瓶		色について詳細化
	スチール缶		詳細化不要
	アルミ缶		詳細化不要
	古紙		古新聞と古雑誌などルートの違いに留意。
粗大ごみ	家電製品・情報機器類	家電R対象4品目	素材ごとに詳細化が理想。製品として負荷を出す場合、年代やサイズによっても、素材構成比やCFCとHFCの違いなどがあり、留意が必要。再資源化方法ごとに、性状と環境負荷の関連付けが必要。
		その他	製品ごとに性状と環境負荷との関連付けが必要
	家具類（再使用不能）		木製品などであれば、特に詳細な分類化は不要。
	スプリング入りマットレス		詳細化は不要
	廃タイヤ		詳細化は不要。再資源化方法はいくつかある。
	有害ごみ	蛍光管	
その他（乾電池など）			電池の種類により有害金属の含有量が異なる。種類別の詳細化が理想。

いては、原単位を乗じる前の投入物量の推定方法を示していることになる。

① 設計書、内訳書、実績報告書などに基づく推定方法

精密なケーススタディを行う場合に用い、設計書や内訳書、実績報告書などからの実績データをそのまま用いる。

② 全国ベースの実績データ解析から作成した統計的モデルなどの経験的モデルに基づく推定方法

(環境負荷量)

$$= f(\text{ごみ性状パラメータ1, ごみ性状パラメータ2, } \dots, \text{施設条件パラメータ1, 施設条件パラメータ2, } \dots)$$

環境負荷に関連するごみ性状や施設条件に関する説明変数（入力パラメータ）を統計的に抽出し、経験則に基づく回帰モデル（定量的な説明変数には重回帰モデル、カテゴリーデータには数量化Ⅰ類などが有効）で関連付ける。あるごみ性状や施設条件を当てはめれば、回帰モデルにより環境負荷の推定が可能となる。必要とされる精度やパラメータの入手可能性を基に、統計的

にパラメータの数を絞ることで、比較的簡略化されたモデルになる。

①のケーススタディを集積すれば、回帰モデルの作成は可能となるが、膨大なケースデータが必要になる。説明変数（入力パラメータ）となるごみ性状や施設条件パラメータ

表二 産業廃棄物における環境負荷データベースの作成対象分類の階層化（例）とその可能性

分類Ⅰ（大分類）	分類Ⅱ（中分類）	分類Ⅲ（小分類）
燃え殻・汚泥・建設廃材・鋳さい・廃プラスチック・ガラス陶磁器くず・木屑・紙屑・繊維屑・金属屑などの産業廃棄物分類19品目、シュレッダーダストや感染性廃棄物も分類として追加も可能	汚泥：有機性汚泥・無機性汚泥、廃プラ：合成繊維・FRP・熱可塑性樹脂・熱硬化性樹脂・廃タイヤなど、ガラス陶磁器屑：ガラス屑・陶磁器屑・石膏ボード・石棉など、燃え殻：燃え殻・廃活性炭・廃カーボンなど、その他19品目ごとに中分類化	有機性汚泥：排水処理汚泥・製紙汚泥・活性汚泥など、無機性汚泥：めっき汚泥・研磨汚泥・水酸化アルミ汚泥など、FRP：繊維強化プラ・FRP船など、熱可塑性樹脂：PE・PS・PPなど、熱硬化性樹脂：フェノール樹脂・エポキシ樹脂・ウレタン樹脂など、陶磁器屑：セラミック屑・れんが・かわら・土管・タイルなど、燃え殻：石炭殻・コークス灰・重油灰など、シュレッダーダスト：廃自動車破砕物・廃電気機械器具破砕物など

る。後述する複数入力の配分問題において、環境負荷との関連付けが論理的にできれば、分類Ⅲまでの詳細化も可能である。

2.3 環境負荷データの推定方法と複数入力の配分問題

1) 推定方法の分類

環境負荷量（原単位）を推定する方法を類型化して説明する。なお、図一に示した間接投入・排出負荷につ

が、統計情報として存在すれば、全国ベースの平均的な環境負荷などが推定可能となり、また、入力パラメータに関する統計情報の更新によって、全国ベースの平均的な環境負荷推定値も自動的に更新される（回帰モデルが変化しないことが前提）。

モデルの一例として、ごみ焼却施設からのダイオキシンの排出量を推定するモデルについて検討した。旧厚生省のホームページから、1998年11月30日現在の排ガ

ス中のダイオキシン類の濃度測定値とその他施設条件に関するデータを入手し、(社)全国都市清掃会議の出している全国の一般廃棄物処理事業実態調査(平成7年度)からプラスチック組成割合などのデータを入手して、数量化I類による解析を行った。その結果、以下のようなモデルが導出された。

(ダイオキシン類濃度) = f(炉形式, ばいじん除去設備, プラスチック組成割合)

説明変数は離散的なカテゴリーデータであり、全連や機械化バッチなどの炉形式、電気集塵機やバグフィルターなどのばいじん除去設備、大まかなプラスチック組成が分かれば、ダイオキシン濃度が推定できる。また、変数の中ではプラスチック組成の寄与は小さく、得られたモデルは後述する物質由来というよりはプロセス由来のモデルの性格が強い。

③ 処理過程における反応モデル等の理論的あるいは半経験的モデルによる推定

処理過程における物質の反応モデル等に基づく理論的モデルや、多くの科学的知見(実験データなど)、文献・ヒアリングデータなどに基づき、科学的論理構成が明確な客観的部分と技術者などの相場としての経験的部分を合わせて構築した半経験的モデルを用いて環境負荷を推定する。論理的に必要なパラメータを考慮しているため、パラメータの数が多くなる場合もあり、①のケーススタディで得た実施データの当てはめや感度解析、②の統計モデルによる結果との比較検討などにより、簡略化(どの入力パラメータが効いているのか)が必要な場合もある。文献、ヒアリング情報の妥当性確認が必要で、複数のケーススタディの結果を用いて、施設実績データなどと比較検討を行うべきである。

なお、この場合も入力パラメータについての全国ベースの統計情報等があれば、全国平均値の推定が可能となる。

ここで、この種のモデルとして、すでに完成度の高いモデルが北海道大学(「都市ごみの総合管理を支援する評価計算システムの開発に関する研究」(北大・工・廃棄物資源工学講座、1998))から提供されている。廃棄物処理・リサイクルを構成する施設に関する環境負荷の推定モデルは、施設条件に関するパラメータを入力すれば、投入するユーティリティ等の量が推定され、コストや環境負荷としてエネルギーと二酸化炭素が推定できる。施設条件等の一部のデータがなくても相互に推定できるようになっており、直接ユーティリティなどのデータを用いてもよい。

北大モデルは一般廃棄物処理に関わるすべてのプロセ

スを網羅しており、今後、環境負荷項目を追加し、精度をさらに高めれば、環境負荷データ推定の基礎モデルとなりうると考えられる。

以上、厳密な分類ではないが、廃棄物処理過程において発生する環境負荷を推定する場合に用いられるモデルを3つに分類して述べた。経済産業省のプロジェクトの目的である全国ベースの環境負荷データベースを構築する場合には、a. 廃棄物処理過程にインプットされる組成あるいは廃製品ごとにある程度環境負荷の推定ができること、b. 数少ないパラメータでいくつかの施設条件ごとの推定や全国ベースでの平均推定値への外挿ができること、などを満たすことが必要である。そのためには、③のアプローチ(主に北大モデル)を基本にしながら、①のケースデータによる環境負荷発生要因の寄与度の検討による負荷発生要因項目の省略、感度解析によるパラメータの少数化を図り、③のアプローチでカバーできない場合には、部分的に①のケーススタディの積み重ねや②のアプローチを補完的に行う考え方が現実的であろう。

2) 複数入力の配分問題における物質由来とプロセス由来の環境負荷

廃棄物処理プロセスには、複数の廃製品が混合されてインプットされることから、前述の推定方法のうち③のアプローチを行う場合に、プロセスにおける環境負荷を個々の廃製品に配分する方法論が問題となっている。これが複数入力の配分問題である。妥当な配分を考えるためには、個々の環境負荷要素が物質(廃棄物・廃製品)の性状に依存する物質由来か、プロセスの条件に依存するプロセス由来か、あるいは両方に依存するかを明らかにすることが必要である。それらの依存性が科学的に関連付けられる場合は、先に述べたとおり、物質の性状あるいはプロセスの条件がわかれば、推定モデル(反応モデル等)により環境負荷の推定が可能である。

一般に、物質由来の場合には、由来物質の含有量や保有熱量等の製品性状に応じて配分を行う。プロセス由来の場合には、重量などに応じて配分する考え方などがあろう。

なお、一般に環境負荷項目の中で環境規制値がある場合には、処理過程から直接排出される負荷量は規制値により左右され、インプットとなる製品(廃棄物)の性状には左右されず、一律に環境規制値まで除外設備により低減される。しかし、その直接排出負荷を配分する場合には、製品(廃棄物)の性状と排出負荷の発生との関連付けにより、製品性状に応じた適正な配分が必要である。

また、直接排出負荷は製品性状に影響されなくても、

除外設備の入口負荷は製品性状により大きく影響され、環境規制値を満たすために必要な除外設備や維持管理に必要な投入物が大きく変化することになる。すなわち、環境規制値が存在する項目では、間接投入・排出負荷分が製品（廃棄物）の性状に応じて配分される。

2.4 炭素の評価の問題

二酸化炭素の排出由来には、化石燃料の再生不能な炭素とバイオマスの再生可能な炭素とがあり、再生可能な炭素由来の二酸化炭素は評価の範囲に含めないとの議論がある。一方、埋立処分過程では、バイオマス由来の炭素が温暖化指数の高いメタンに変換される場合の取り扱いや、長期間にわたって処分層内に残存する分を carbon sink として評価する考え方もある。いずれにしても、再生可能な炭素を無視するのではなく、時系列的な排出量をなどを考慮しながら、両者を区別して計上しておくことが当面必要とされる。

3. おわりに一循環型社会システムの設計・評価に向けて

循環型社会形成推進基本法の条項の中でも、LCA 的な評価に基づくシステム設計と評価の重要性が示されたが、現在のLCAの枠組みにより評価すると、リサイクルなどの手を加えたプロセスほどエネルギー消費や温暖化ガスの排出負荷が大きくなり、そのまま埋め立てて何もしないほうがよいという結果が出てくる場合が多い。

そのような問題意識から、現状の焼却処理と残渣埋立のワンウェイシナリオの評価は妥当ではないのではないかと、との疑問が投げかけられ、埋立処分場をある意味で汚染サイトとして位置づけ、現在の最善技術で原状回復するために要する、例えば溶融技術で無害化・安定化するのに要する環境負荷を上乗せするなどの考え方も議論されている。しかし、基本的には、埋立処分に関する評価時間の問題に対して科学的アプローチから妥当な解答を出すこと、さらに、エネルギー消費や温暖化ガス以外の他の負荷項目を可能な限り示し、空間消費などの新たな項目の評価も含めて、インパクトアセスメントの統合化の段階で慎重かつ合理的な議論をすることが良いように思われる。

最後に、本稿の執筆にあたっては、廃棄物管理のLCAに関する国際専門家グループの議論1)と経済産業省のLCA研究プロジェクトで議論されている内容を参考にしている。議論が散漫になったが、廃棄物管理に関するLCAの方法論に関しては、寺園の総説2)が詳しいので参照されたい。

参考文献

- 1) G. Finnveden et al.: Life Cycle Assessments of Energy from Solid Waste, Stockholms Universitet/Systemekologi OCHFOA (2000)
- 2) 寺園 淳: LCAにおける廃棄物の考え方, 日本エネルギー学会誌, 77, 948-955 (1998)

オランダのテレショッピング対通常のショッピング

Bart Krutwagen, Ines Freire, Michella van Kampen

Researchers/consultants at IVAM Environmental research, University of Amsterdam

Early 1999, IVAM Environmental Research started the project 'Environmental Benefits from the Dematerialization of Services' with the help of the AT&T Industrial Ecology Faculty Fellowship. The focus of this project is not primarily on the results of the case studies that are being carried out but especially on the methodology for the assessment of environmental benefits of ecoservices. Online applications (Internet services) and home delivery services are expanding fast and for this reason Internet/home delivery shopping is chosen as one of the case studies. (以下、日本語訳)

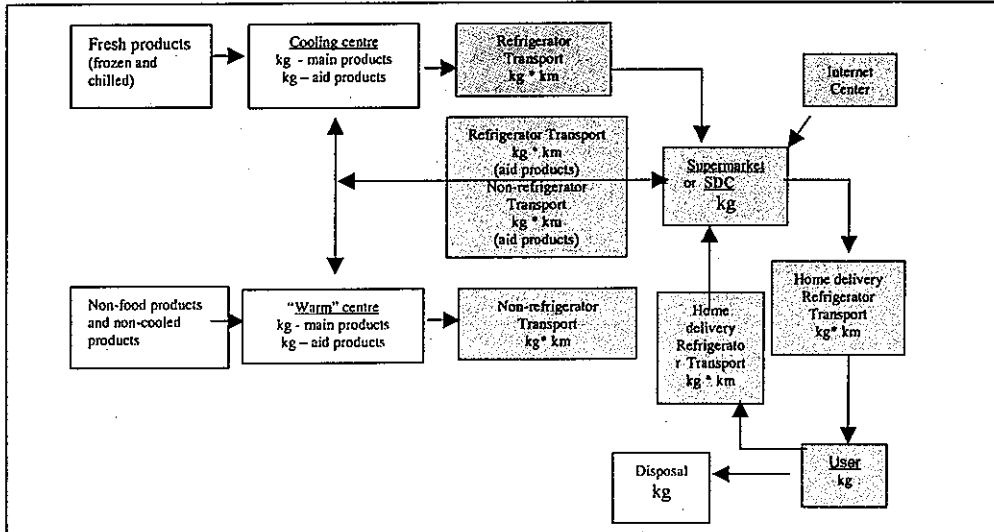
1. 序論

インターネットショッピングあるいは宅配ショッピングは、客が自宅に居ながらにしてインターネットで結ばれた宅配施設を経由して品物を注文することである。宅配サービスは、多くの客がマイカーでスーパーマーケットに来ることに取って代わるため、おそらく環境にやさしい状況を作り出すであろう。この状況をLCAによって検討した。オランダの大規模小売店による現在のサービスをもとに、まず2つの宅配サービスのシナリオが考えられた。

対象は、1世帯当たり年50回、いろいろな食料品及びその他の消耗品として100オランダギルダー(約5,000円)分である。宅配ショッピングの場合のシステムバウナダリは図1のアミの部分である。通常のスーパーマーケットの場合、宅配部分は自動車か徒歩か自転車でスーパーマーケットに出入りする消費者の輸送と置き換えられ、インターネットセンターはないとする。

ショッピング形態として3つのシナリオ、すなわち、これまでのスーパーマーケットショッピング、スーパー

figure 1. System boundaries of the LCA study(darker boxes)



Researchers/consultants at IVAM Environmental Research, University of Amsterdam, P.O. Box 18180, 1001 ZB Amsterdam, The Netherlands, Phone : +30 20 525 5080, Fax : +31 20 525 5850, Email: bkruwagen@ivambv.uva.nl

の配達の場合より長いことを意味する。冷蔵トラックの冷蔵設備は、その重量とエネルギー消費から、宅配の全環境負荷に大きく影響する。(SDCの場合73%、スーパーマーケットの場合97%) SDCの運転はスーパーマーケットよりエネルギーは食わないと仮定された(Box 1参照)。しかしながら、このプラスの環境への効果は、より長い距離の宅配輸送から生じるマイナスの環境負荷より少

なくなっている。通常のスーパーマーケットのショッピングの2つのシナリオを比較すると、結果は自動車50%自転車50%による通常のショッピングは少なくとも環境に優しいシナリオであることを示している。主な負荷は自動車による輸送から生じている(全負荷の64%)。主な他の負荷はスーパーマーケットのエネルギー消費で生じている(32%)。トラックによる宅配の場合、全環境負荷に対する輸送の相対割合はより少なくなる。すなわち、43%(それによって、スーパーマーケットの相対的割合が増加)。スーパーマーケットから宅配サービスのトラックで配達されると、通常のショッピング(自動車50%自転

なくなっている。

通常のスーパーマーケットのショッピングの2つのシナリオを比較すると、結果は自動車50%自転車50%による通常のショッピングは少なくとも環境に優しいシナリオであることを示している。主な負荷は自動車による輸送から生じている(全負荷の64%)。主な他の負荷はスーパーマーケットのエネルギー消費で生じている(32%)。トラックによる宅配の場合、全環境負荷に対する輸送の相対割合はより少なくなる。すなわち、43%(それによって、スーパーマーケットの相対的割合が増加)。スーパーマーケットから宅配サービスのトラックで配達されると、通常のショッピング(自動車50%自転

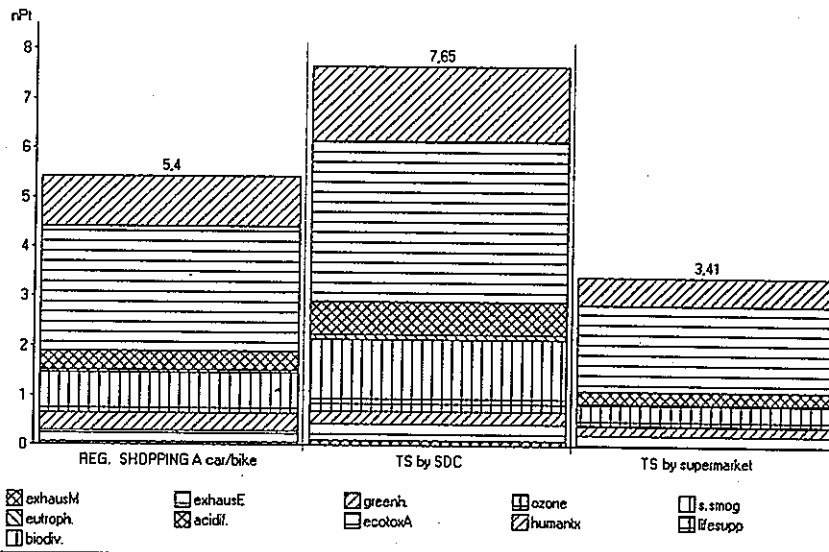
2. 宅配ショッピングの環境評価結果

図2に3つのシナリオの影響評価の結果を示す。図2からこの研究においては、SDCによる宅配ショッピングはいちばん環境負荷が大きいということが明らかである。SDCの場合、配達トラック(van)は通常のスーパーマーケットの宅配ショッピングと比較してかなり長い距離を走ることになっている。その理由は、スーパーマーケットが配達区域内にあるのに、SDCの場所が配達区域から27km離れていることからである。これはまた、要求される低温保持時間がSDC

Box1. Assumptions made in the three investigated scenarios

- Scenario A: traditional supermarket shopping (Regular Shopping car/bike)
- distance from cooling or 'warm' storage centre to supermarket is 14 km (28 ton truck, cooling unit 370 kg)
 - average distance to supermarket: 2 km
 - mode of transport: 50% by car and 50% by bike
 - electricity consumption supermarket: 250 kWh/m², gas consumption: 32 m³/m²
 - corresponding supermarket area for 25 kg of goods: 0,1 m²
- Scenario B: Home delivery shopping through Special Distribution Centre (SDC) (TS by SDC)
- distance from cooling or 'warm' storage centre to SDC is 30 km (28 ton truck, cooling unit 370 kg)
 - average distance from SDC to delivery circuit is 27 km
 - distance travelled within delivery circuit is 25 km and average number of deliveries is 10
 - mode of transport for delivery: refrigerated van with total maximum weight of 3,5 ton
 - cooling unit refrigerated van weighs 70 kg and consumes 0,8 kg diesel per hour
 - 1 kg of packaging
 - SDC uses 88% less energy and 48% less gas than supermarket
 - corresponding distribution centre area for 25 kg of goods: 0,5 m² (incl. walking area)
- Scenario C: Home delivery shopping through supermarket (TS by supermarket)
- distance from cooling or 'warm' storage centre to supermarket is 14 km (28 ton truck, cooling unit 370 kg)
 - average distance from supermarket to delivery circuit is 0 km
 - distance travelled within delivery circuit is 13 km and average number of deliveries is 16
 - mode of transport for delivery: refrigerated van with total maximum weight of 3,5 ton
 - 5 kg of aid products (crates etc.)
 - cooling unit refrigerated van weighs 70 kg and consumes 0,8 kg diesel per hour
 - electricity consumption supermarket: 250 kWh/m², gas consumption: 32 m³/m²
 - corresponding supermarket area for 25 kg of goods: 0,1 m²

Figure2. Results impact assessment of three scenario's for shopping



Compare boxes: Method: Eco-Quantum beta(SULCA) / EQNLglVAM9394 / indicator

訳注) life supp : life support/Erwin Livdeijerによって提唱された land use 指標の1つである。

注1) 消費者は自転車の場合 25kg より軽く、車の場合 25kg より重い買い物をするであろうが、輸送モードに無関係に平均 25kg が採られた。

注2) オランダにおける妥当な情況

車 50%) の場合のスーパーマーケット出入りの輸送の負荷は 64% から 43% に減じることができる。輸送モードが通常ショッピングで自動車 100% の場合、結果は宅配ショッピングに対する 2 つのシナリオに有利に働いている。

3. 経済的・社会的利益

スウェーデンの研究によれば、宅配サービスは多くの必須条件が合えば、経済的にこれまでの商店と競争できる (Andersson & Winther 1997)。もっとも重要な必須条件とは市場規模、すなわち 1 日当たりの注文数である。宅配施設の固定費は高いが、運転費は通常のスーパーマーケットより少ない。これは、宅配施設では労務費が余りかからないためである。すなわち、ここでは通常のスーパーマーケットのように品物を展示する必要はないのである。したがって、注文が多ければ多いほど扱うオーダー当たりのコストは安くなる。スウェーデンの研究によれば、平均的な注文の損益分岐値は、スウェーデンの大手スーパーマーケットチェーンの平均的店と競争するためには約 US \$ 250 (約 28,000 円) である。

宅配商品の価格は、一時的に宅配施設の低い商品回転率のためにスーパーマーケットにおけるよりも高くなるであろうと予測できる。通常のスーパーマーケットと競争するために、たぶん宅配施設はより品質の良い製品の提供又はサービスに取り組みなくてはならないであろ

う。商品価値のアップ、迅速な配達、インターネットアクセスの補助が消費者を魅せる手段となる。

オランダでインターネットコンサルタントやオンラインショッピング施設の設立者などが、ユーザーにアンケート調査を行った (Mol 1999)。この調査によれば、平均的なオンラインの顧客は大きな都市に住み、平均以上の収入のある教育レベルの高い人達である。購入商品は主に CD、CD-ROM、ハードウェア、ソフトウェアである。時間が無いことが店へ買物に行かずにテレショッピングを選ぶ主な理由である。

オランダのもっとも大きなスーパーマーケットチェーン Albert Heijn は 1999 年初めに宅配サービスを始めた。客はコンピュータ、ファックス又は電話で Albert Heijn の商品を注文することができる。注文の最小のコストは \$ 40 (約 4,500 円) で、宅配コストは \$ 3 ~ 4.5 (約 450 円) である。ウィークデーは 9 時 ~ 21 時の間、土曜日は 17 時までに指示のあった時刻に配達される。テレショッピングのコストはたいへん安く、購買される商品に係る全コストの最大 11% のコストで済んでいる。

このように通常のショッピングに比べ宅配ショッピングはたぶん他に負けない価格で長期間にわたって顧客に快適さを提供するであろう。しかしながら、宅配ショッピングの環境上のベネフィットははっきりしない。技術的パラメータ (配達トラックの冷蔵設備のエネルギー消費量)、経済的パラメータ (市場の大きさによるトラック 1 台当たりの配達の数)、そして社会的パラメータ (客が自動車を使う程度や客の余暇時間の程度) によって結果が変わるからである。(日本語訳 M.M)

[筆者紹介] Bart Krutwagen 氏は 1998 年 Twente 大学で LCA インパクト評価で学位を取得。1999 年チェーンマネジメント分野の研究者として、IVAM 及び Amsterdam 大学で活動。食品とエコサービスのいくつかの LCA プロジェクトに係わり、現在の研究は LCA の Input Output 分析、sustainability indicator 及び環境回復効果の統合に焦点を当てている。

LCAインフォメーション

◆関連行事カレンダー

行事名称	開催日	開催場所	主催者/問合せ先
Eco-design for competitive advantage 1st regional conference for manufacturing companies	2001.6.28	London /England	The Centre for Sustainable Design/The Surrey Institute of Art & Design TEL : +44 (0) 1252 892773 FAX : +44 (0) 1252 892747 E-mail mcharter@surrart.ac.uk http://www.cfsd.org.uk
LCM-2001 Copenhargen 1st International Conference on Life Cycle Management	2001.8.27~29	Copenhargen /Denmark	dk-Teknik Energy & Environment TEL : +45-39-555-999 FAX : +45-39-69-6002 E-mail aajenseu@dk-teknik.dk http://www.lcm2001.org 発表者のアブストラクト受付5月15日まで
Toward Sustainable Product Design 6th International Conference	2001.10.29~30	The Netherlands Amstredam	The Centre for Sustainable Design/The Surrey Institute of Art & Design TEL : +44 (0) 1252 892773 FAX : +44 (0) 1252 892747 E-mail mcharter@surrart.ac.uk http://www.cfsd.org.uk
第5回エコマテリアル国際会議	2001.10.2~4	Hawaii/ USA.	(社) 未踏科学技術協会 TEL : 03-3503-4681 FAX : 03-3597-0535 E-mail mitoh@sntt.or.jp URL:http://www.sntt.or.jp/ecomaterial
eco2001	2001.12.3~5	Paris/France	Colloquium Eco2001 TEL:+33(0)144 64 1515 FAX:+33(0)144 64 1516 http://www.eco.2001.org アブストラクト締切4月中 仏、英、日本語の同時通訳付
Eco Design 2001	2001.12.12~15	東京	エコデザイン学会連合 申し込み:学会事務センター TEL:03-5814-1430 FAX:03-5814-5845 E-mail van@bcasj.or.jp http://www.bcasj.or.jp/Ecodesign/

◆文献・情報紹介

文献名	著者名	発売(行)者(連絡先)	発行年月
ISO14041/TR14049 対訳&解説 ライフサイクルアセスメント -インベントリ分析&適用事例	監修 石谷久 赤井誠	発行 (社)産業環境管理協会 TEL 3832-7084 発売 (財)日本規格協会 TEL 3583-8004 定価2,200円+税	2001年5月7日

〔編集後記〕

外国からの記事を日本語訳していて、著者にいろいろ質問した中に、“Bike”があった。著者からの返事は次のとおりであった。山坂多い我が国でも環境を意識して自転車が多くなるようになるだろうか。

Bike is in this case short for bicycle. Dutch people use the bicycle(or on foot which has the same low environmental impact) for about 50% to do their shopping and about 50% by car. Mopets or motorcycles are hardly used for shopping in the Netherlands.

なお、本ニュース編集担当も50才代となって批判と嫌味が言いたくなる年齢となったため、2世代若い人に引

継ぐことにしました。(M.M)

本号より編集局を担当させていただくこととなりましたM.Yです。今さらながらLCA研究者の研究対象に対する着眼点の広さには驚かされます。実に幅広い分野での研究がなされているのだと感じています。

発行 LCA日本フォーラム/(社)産業環境管理協会
〒110-8535 東京都台東区上野1-17-6 広小路ビル
電話 03-3832-7085 FAX 03-3832-2774
URL http://www.jemai.or.jp