



LCA日本フォーラム

ニュース

第39号

Life-Cycle Assessment Society of Japan(JLCA) 平成18年3月30日

目次

建築・都市の環境効率表示とLCA・・・・・・・・・・ 1	海外の環境ラベル
[特集：環境ラベルとLCA]	～製品環境情報スキーム：EPISの動向・・・・・・・・ 1 1
エコマーク制度と製品のライフサイクル評価・・・・ 2	マトリックス法を用いたライフサイクルアセスメント
環境ラベルの活用・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5	(第二報：感度分析と不確実性解析)・・・・・・・・ 1 4
エコリーフ環境ラベルを用いたLCA情報開示・・・・ 8	関連行事・お知らせ・・・・・・・・・・・・・・・・ 1 8



建築・都市の 環境効率表示とLCA

慶應義塾大学 理工学部
教授 伊香賀俊治

筆者が、LCA的な研究に取り組み始めて16年になる。発泡断熱材・空調冷媒用フロンガスの温暖化効果を考慮した建築物のLCCO₂評価手法を日本建築学会の2年間の委員会成果として1992年6月に提案した。その後、LCAとLCC(コスト)の同時評価手法に発展させ、日本建築学会LCA指針(1999.11発行、2003.2改訂)を定めた。現在、資源循環性評価を強化した2006年版をウェブサイト(<http://news-sv.aij.or.jp/tkankyo/s0/news.htm>)で公開しているのでご活用いただければ幸いである。また、その手法を応用した庁舎用の温暖化対策の投資効果評価手法を1999年に開発し、国土交通省「グリーン庁舎計画指針」運用ツールとして位置づけられている。しかし、一品生産の建築設計に使用するにはハードルが高く、一部の利用に留まっているのが現状である。

一方、建築物の資産価値にも影響する総合環境性能評価が、欧米のみならず、中国、韓国、台湾など近隣諸国にも急速に普及しはじめた。そのような背景から日本では、国土交通省の施策として産官学共同プロジェクト(委員長：村上周三慶應義塾大学教授、幹事：筆者)において、建築物の「環境品質・性能：Quality」を「環境負荷：Load」で除した環境効率(Q/L)で性能を表示する建築物総合環境性能評価システムCASBEE(Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency)の開発にも関わってきた(<http://>

www.ibec.or.jp/CASBEE/index.htm)

国土交通省環境行動計画(2005.6)には、CASBEEの開発・普及、第三者認証制度の創設、CASBEE専門技術者の育成(資格制度)、地方公共団体への普及などが盛り込まれ、京都議定書目標達成計画(2005.4)にもCASBEEの活用が明記された。

すでに、名古屋市(2004.4)、大阪市(2004.10)、横浜市(2005.7)、京都市(2005.10)で、一定規模以上の新築建築物に建築確認申請以前のCASBEE評価を含む計画書の提出と工事完了時の完了届けの提出が義務付けられ、その結果が各自治体のウェブサイト上に実名入りで情報開示されている。同様の制度が全国に広まりつつある。また、内閣官房都市再生本部決定(2004.12)を受けて、街区レベル、地域レベルの環境効率表示をするためのCASBEE-街区/地域も本年7月公表に向けて開発中であり、数年内に、建築・都市の環境効率表示が身近なものになるものと期待している。

さらに本年3月には、ISO/TS21931(建築の環境性能評価の枠組みに関する技術仕様)が発行された。同TSには、ISO/DIS14025(タイプラベル)、ISO/DIS 21930(建築製品のタイプラベル)などが引用され、欧州の強硬な意見に押される形でLCA色の強いものとなっている。CASBEEでは、実用性を第一に考え、チェックリストによる簡易LCA(Streamlined LCA)的な考え方を採用している。建築物は工業化住宅を除けば基本的に一品生産であり、大手の設計事務所と建設会社を除けば、ほとんどが中小・零細企業であるため、他の産業界が取り組んでいるような詳細なLCAを実務に適用することは不可能である。実用性を損なわないように、如何に簡略化してLCAをCASBEEに反映させるかが、当面の課題であると考えている。

事例

エコマーク制度と 製品のライフサイクル評価

(財)日本環境協会
エコマーク事務局
田口整司

1. はじめに

エコマークは、(財)日本環境協会が1989年2月より運営している「第三者認証による自主的な環境ラベル」、より正確に言えば、ISO14024として規格化された「タイプ Ⅰの環境ラベル制度」に属する。その目的は、日常生活に伴う環境への負荷の低減などを通じて、環境保全に役立つと認められる商品に「エコマーク」を付けることにより、商品の環境的側面に関する情報を広く社会に提供し、環境にやさしくありたいと願う消費者による商品の選択を促すことにある。

エコマーク制度において、日常用いているLCA手法には以下の4つがある。

- (1) 商品の認定基準を策定する際に、ライフサイクル全体にわたる環境負荷を考慮する(Life cycle consideration)こと
- (2) 特別な問題点についての臨時に設けられる検討会における、主として既往の文献のLCAデータに基づく検討

- (3) LCAタスクグループにおける、新しい商品類型の設定に関する検討
- (4) いくつかのエコマーク商品に関する国内市場における環境負荷低減量の推定

本報告では、エコマーク制度におけるこれらLCA手法のうち、(1)については簡単にその全容を、(2)~(4)についてはその適用事例の概略を紹介したい。

2. エコマーク制度における商品認定基準書

2.1 エコマーク商品認定基準の制定プロセス

エコマーク商品を認定するには、その商品についてまず、“該当する商品類型”として認定基準が存在することが必要である。

ISOにおける環境ラベル規格化の進展や環境庁での検討会報告書¹⁾を受けて、1996年3月にエコマークの認定基準策定方法を大きく変えた。現在の認定基準の制定プロセスは、以下の手順に従っている。まず、認定基準案の策定にあたって「WG(ワーキンググループ)」を設ける。各WGの委員構成は、ISOで推奨する「利害関係者による協議の場」を設定する意味から、当該商品に関する供給者(第一者)、購入者(第二者)および中立の立場の専門家(第三者)のバランスを取っており、ほぼ同数の参加をいただいている。このWGから基準原案を受けて、これを審議し制定する「エコマーク類型・基準制定委員会」においても同じ構成をとっており、認定基準案の策定過程で、供給者代表の産業界関係者と、購入者代表の消費者や環境NGOとが、互いに意見を戦わす

表1 商品ライフステージ環境負荷項目選定表

環境負荷項目	商品のライフステージ					
	A . 資源 採取	B . 製造	C . 流通	D . 使用 消費	E . 廃棄	F . リサイ クル
1 資源の消費						
2 地球温暖化影響物質の排出						
3 オゾン層破壊物質の排出						
4 生態系への影響						
5 大気汚染物質の排出						
6 水質汚濁物質の排出						
7 廃棄物の発生と処理・処分						
8 有害物質等の使用・排出						
9 その他の環境負荷						

場を提供している。

また、商品の認定基準を定める際に、次項2.3で述べるごとくその商品のライフサイクル全体に亘る環境影響を考慮することなども定められた。現在、エコマーク認定基準は、同一機能を有する商品の市場でのトップランナー5～30%(平均20%)程度が満たし得るレベルを目標として策定されている。

2.2 商品のライフサイクルにおける環境影響の評価

各商品についてWGにおける検討は、まず商品の製造から廃棄にわたる各ライフステージにおける環境負荷項目を、表1の「商品ライフステージ環境負荷項目選定表」を用いて洗い出す。この表は、前述の報告書¹⁾に基づいて作成されているが、JIS Q 14024(ISO 14024)の中で一例として採り上げられている「製品環境基準選定のマトリックスの例」とほぼ同じ構成となっている。

その後、検討課題として挙げた項目について、WGの中で定性的または定量的な検討が加えられ、必要とされるものについて基準案が策定される。表1および添付資料1は、商品類型No.111「木材などを使用したボード Version2.0」の認定基準書から抜き出したものである。表中 印および 印の欄は認定基準の策定にあたって、WG内で環境負荷項目が議論されたこと、そして 印は、議論の結果環境に関する認定基準が定められたことを示している。このようにして認定基準の策定経緯は、各商品タイプの認定基準書の中で「解説」として、下記枠内に一例として示すようにすべての 印および 印の項目(A-1、B-1・・・、F-9)にわたって、議論された内容の要点が示されている(例：添付資料1)。

この議論は、必ずしも定量的なLCAではないが、ISO14024の中でも位置づけられている手法であり、主要な環境負荷について、他のライフステージもしくは他の環境負荷項目への単なる負荷の移し替えになっていないこと(トレードオフの関係を見逃さないこと)が狙いとなっている。すなわち、商品のライフサイクル全体として、環境負荷の低減が実現することが重要である。また、解説の中で、WGにおける議論の要約を述べる目的は、WG内における議論をオープンにすることと、該当商品においてどのような環境影響が考えられ、エコマークにおいてどの環境影響を採り上げているかを明らかにするためである。

3. そのほかのLCA手法適用の事例

3.1 特定問題に関する検討会での議論

エコマークにおいて、個々のWGまたは委員会からの要請により、ある問題(テーマ)について環境影響を判断するために、特別に臨時的検討会を設ける場合がある。たとえば直近では、(1)「紙の扱いに関する検討・意見交換会(紙製品の認定基準における古紙配合率レベル設定の妥当性など)」や、(2)「植物由来プラスチック・生分解プラスチック等に関する検討会(類型設定のための議論)」が持たれている。これらの検討会では、委員構成は主として第三者機関からのエキスパート、有識者よりなるが、一部産業界や需要者サイドのエキスパート、有識者にも参加をお願いしている。検討会においては、既往の文献からのLCAデータに基づく検討を含め、いろいろな観点から議論がなされている。たとえば、上記(1)の紙製品に関する検討会では、以下のような検討項目が挙げられている。紙製品の環境保全に関するレビュー、国内での古紙パルプの流通に関する現状、国内の紙

< 添付資料1 >

A 資源採取段階

A-1(資源の消費) 本項目では以下の点が検討された。

- (1)木質部の原料として、再・未利用木材の配合率が100%であること
- (2)・・・・・・・・

(1)については、未利用資源の有効利用、木材の再利用を通じて森林の保全に資する観点から、製品の原料に再・未利用木材を100%使用していることが望ましい。従って、本項目は基準を策定する項目として選定された。用語の定義にあるとおり、再・未利用木材の範囲について明確化させた。保護すべき森林が、成長量を超えた伐採によって劣化したり、減少したりしている状況を鑑みると、利用されずに放置されている材料を技術革新などによって、加工し利用していくことは意義があるといえる。

また、JIS A 5905「繊維板」およびJIS A 5908「パーティクルボード」においても・・・

製品に関するLCA報告書のレビュー、² 同海外のレビュー、³ 報告書に基づく紙製品へのLCA適用の課題、持続可能な森林認証の現状、紙製品に要求される機能特性。

3.2 新しい商品類型の設定に関するLCAタスクグループの活動

エコマーク類型・基準制定委員会において、2005年度より、新商品類型として提案のあったリユース製品を新たに採り上げるか否かを検討する際に、LCAを用いた予備検討を行うことになった。その際には、図1に示すようにあらかじめLCAエキスパートの方々にご協力を仰いで、随時LCA検討タスクグループを立ち上げて検討することになった。これまでの検討例として、デジタル印刷機、防塵マスク用ろ過材カートリッジおよび流体ポンプの検討を実施し、前二者についてはタスクグループからの答申を基に、認定基準が作られることになった。例えば、ろ過材カートリッジは10回の繰り返し使用により、フィルタ洗浄工程で余分なCO₂が発生するものの、トータルとしては1使用あたりのCO₂発生量は、ワンウェイ製品に比べて約7割削減される結果を得た。

3.3 いくつかのエコマーク商品に関する環境保全効果の推定

エコマークの認定を受けているボールペン、シャープペン、マーキングペン、修正用品およびノートの文具5

品目について、2001年度の国内市場全体における環境負荷低減量を推定した²。環境負荷は、原料採取から廃棄、リサイクルにいたるライフサイクルを対象としたが、効果の計算において主要な寄与は、エコマークの認定基準の再生材料の使用に起因している。筆記具4品目については、エコマーク商品の非認定商品に比べてのCO₂低減量は、トータルで約2,600トン/年と推定された。一方、ノートについては、バイオマス由来のCO₂を含めたトータルのCO₂低減効果は大きいものの、化石燃料由来のCO₂発生量はむしろ増加する結果となった。

4. まとめ

エコマーク制度においては、利害関係者が等しく参加し、商品のライフサイクル全体にわたる環境負荷を考慮して議論・検討し、商品認定基準を定めている。このほかにも、LCAの手法は商品類型の検討段階やエコマーク商品認定による環境負荷低減量の推定などに用いられている。

参考文献

- 1)環境庁検討会：“環境保全型製品の新たな展開について”(1995)
- 2)日本環境協会：“エコマーク認定「文具5品目」商品の環境保全に関する調査報告書”，(2005)

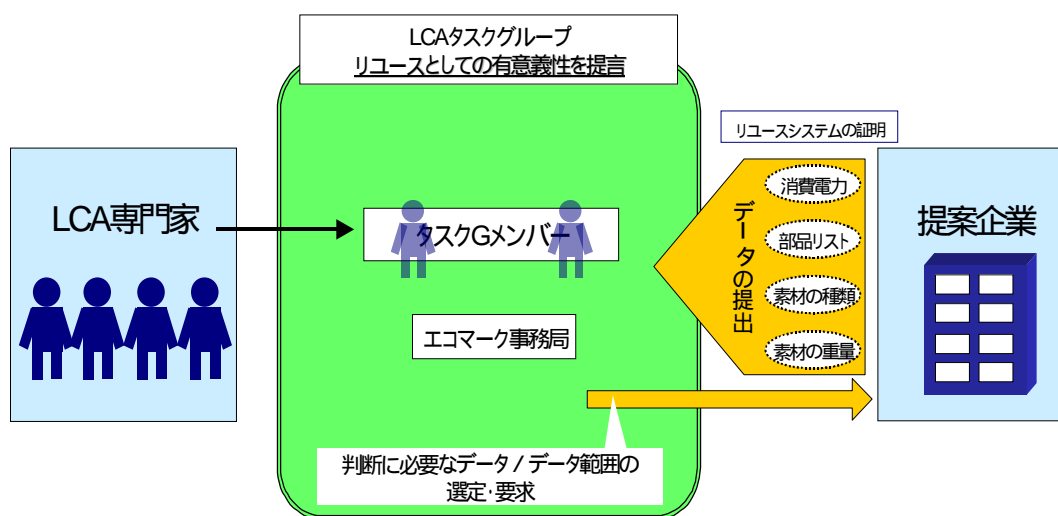


図1 LCAタスクグループの機能、エコマーク事業における位置づけ

環境ラベルの活用

東洋製罐（株）
資材・環境本部 環境部
小松郁夫

1. はじめに

東洋製罐では、地球環境への負荷や影響を低減しつつ、限りある資源を有効に活用する資源循環型社会の形成を目指して努力している。

弊社は環境配慮型金属容器として、樹脂ラミネートした材料を使い、水を使用しない「ドライフォーミング」で成形された2ピース缶「TULC」、「aTULC」を開発した。

東洋製罐ではTULC等のラミネート材を使用した金属容器の環境優位性を直接消費者にアピールするとともに、内容物の充填メーカーに対し拡販することを目的に環境ラベルの付与活動を行ってきた。

ここでは環境配慮型金属缶「TULCシリーズ」の環境ラベルの活用事例について紹介する。

2. 環境配慮型金属缶「TULC」

従来のDI缶(絞りしごき缶)は多量の潤滑・冷却剤を使用して成形し、その後の塗装・焼付け工程では溶剤の排出およびエネルギーの消費と製造工程での大きな環境負荷の低減が課題となっていた。東洋製罐ではこの問題を解決するために表面処理鋼板の両面にポリエステル樹脂

を予めラミネートした素材を用い、ドライフォーミングで成形したTULCを開発した。この成形法では従来のような潤滑・冷却剤を使用する必要がなく、また、内外面の塗装も必要としないので、缶製造工程で発生する環境負荷が著しく低減された。

図1にTULCとアルミDI缶(ADI缶)の製缶時の主な環境負荷の比較を示す。TULCでは樹脂ラミネート材を用いて成形加工するため、製缶後の缶体内面の塗装および焼き付けが不要となり、その結果、二酸化炭素の排出量が、従来のDI缶製造時の約1/3以下に抑えることが可能となった。これは、焼付け工程が不要になったことによりエネルギー消費量が減少することおよび排燃処理時の溶剤の燃焼による二酸化炭素の排出がなくなる事に起因している。

また、この製缶システムでは多量の潤滑・冷却剤を使用していないため、成形後の洗浄および洗浄水の排水処理が不要となり、水使用量は実質的にはゼロになった。さらに、排水処理に伴うスラッジの発生がなくなるため、製缶工程での固形廃棄物の発生量は極端に少なくなった。

3. 環境ラベルの活用

東洋製罐ではTULCの発売当初から環境優位性を積極的に得意先へ紹介するとともに、学会、講演会、展示会等でプレゼンテーションを行うとともに、パンフレットを配布するなどして、普及活動を行ってきた。これらの活動はどちらかというと当社の顧客である内容物を充填するメーカーに対するものが主であり、一般の消費者へ向けたものではなかった。また、当社は容器メーカーであ

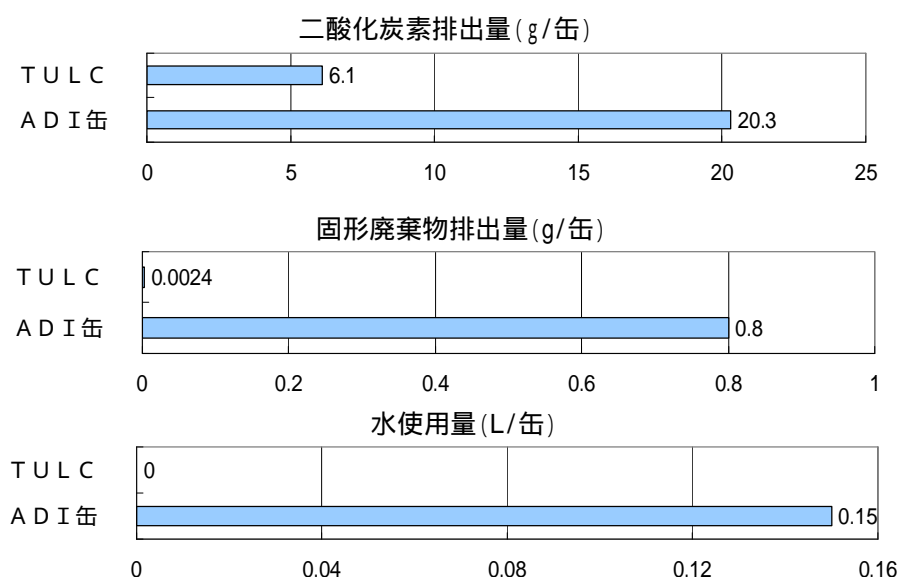


図1 製缶時の環境負荷の比較 (350ml缶 1缶当たり)

るという性格上、最終製品は内容品のブランドとして販売されるために、一般消費者へ向けた広告宣伝をほとんど行ってこなかった。

そこで我々は一般消費者が購入時の選択手段の一つとして、環境配慮製品であることを理解してもらうことが重要であると考え、環境ラベルを製品に明示し、ブランドオーナーとともにアピールすることによって拡販を行うことにした。

まず、第1にタイプ 環境ラベル(エコマーク)の取得を検討したが、現状では金属缶にエコマークの認定基準(商品類型)を認めてもらうのが困難であったことから、自己宣言型であるタイプ 環境ラベルの付与を行った。

3.1 タイプ 環境ラベル

タイプ 環境ラベルは事業者が自己責任において製品などの環境優位性を主張するためにラベルを付けるものである。東洋製罐では2003年からキューピー株式会社と共同で環境ラベルのロゴを採用し、ミートソース、料理用ソースの缶詰につけている。ここでは容器として用いているTULCの環境優位性についての説明文とともに、缶の外面に印刷を施している。このロゴマークは全ての得意先で採用いただいているTULC製品に記載可能となっている。

ここでは「製缶時に排出されるCO2を従来の缶に比べて少なくし、水を汚さずに成形できる缶」であることを明記した。

しかし、タイプ 環境ラベルは単なる自己宣言であるために、より信頼のできる環境情報を提供すべきと考え、続いてタイプ 環境ラベルの取得に向けた取り組みを開始した。

3.2 タイプ 環境ラベル

タイプ 環境ラベルは第三者機関が定めた一定の基準に従って、環境情報を公開するとともに、ラベルをつけるものである。日本では(社)産業環境管理協会が認定する「エコリーフ」が有名である。消費者は、ホームページで登録番号を検索することで、その製品の環境情報を閲覧することができる。このラベルは、製品の優劣を判定するものではないが、環境情報の開示は企業の社会的責任として不可欠であり、タイプ 環境ラベル取得の動きも世界的に広がりつつある。

東洋製罐では、容器についても環境情報を公開することが重要であると考え、「飲料および食品用金属缶」という分野での製品分類別基準(PSC)の作成を提案し、その制定のための活動を行った。

PSCの作成には約10社がワーキンググループに参加し、エコリーフ用のLCA評価の詳細な基準についての議論が繰り返された。(2004.2~2005.5)

ここでは、環境省が2002年度から2004年度まで実施した「飲料容器のLCA調査事業」と同様の手法を提案し、特にリサイクル材料の取り扱いを明確に定義し、容器の種類により不公平が生じないように配慮した。従来は飲料容器から飲料容器にリサイクルされるクローズドループリサイクルのみを評価する手法も提案されていたが、それでは評価が片手落ちになると考え飲料容器以外の用途に再利用されるいわゆるオープンループリサイクルも正當に評価できるよう努めた。

さらに、今までは内容物が多岐に渡るために内容品の充填工程での負荷を計上してないのが一般的であったが、将来に充填メーカーが内容品の製造・充填工程の負荷を含めたエコリーフを検討できるように、今回は2種類のシナリオ(炭酸飲料、レトルト飲料)で充填負荷を計上することになった。



図2 タイプ 環境ラベルと採用製品例

PSC制定後(2005年5月制定)東洋製罐のTULC、aTULCが金属缶としては初めてエコリーフ環境ラベルを取得した。現在までにTULCシリーズ製品(TULC、aTULC、TEC200)17缶種で取得し、産業環境管理協会のホームページにて環境情報を公開している(図4、5)。また、本年3月にはエコリーフのマークが印刷された製品が発売となる予定である。

(産業環境管理協会ホームページ)

http://www.jemai.or.jp/CACHE/ecoleaf_prodbycmp_companyobj68.cfm

4. まとめ

我々は環境性能の優れた容器の情報を公開することが、「お客様の信頼に応えるもの」と考えており、TULCシリーズ製品を採用いただいている得意先(充填メーカー)に対し、製品に「エコリーフマーク」を入れていただくよう活動を続けている。



No. BC-05-001

図3 エコリーフ環境ラベル

登録番号	製品名	缶型名
BC-05-001	TULC200ml低バキューム	J200TF2-S
BC-05-002	TEC200	J200TF2R38
BC-05-003	aTULC350ml 204径蓋巻	B350TL14
BC-05-004	aTULC500ml 204径蓋巻	B500TL14
BC-05-008	TULC160ml低バキューム	J160TF2-S
BC-05-009	TULC175ml低バキューム	J175TF2-S
BC-05-010	TULC250ml低バキューム	J250TF2-S
BC-05-011	TULC280ml低バキューム	J280TF16-S
BC-05-012	TULC280ml通常バキューム	J280TF16
BC-05-013	TULC280ml食缶用	J280TF18
BC-05-014	TULC350ml低バキューム	J350TF16-S
BC-05-015	TULC350ml通常バキューム	J350TF16
BC-05-016	TULC200ml陽圧	C200TF2HF
BC-05-017	TULC280ml陽圧	C280TF16
BC-05-018	TULC350ml陽圧	C350TF16
BC-05-019	aTULC350ml 206径蓋巻	B350TL16
BC-05-020	aTULC500ml 206径蓋巻	B500TL16

図4 エコリーフ取得缶種 (2006年2月現在)



TULC(スチール缶)



aTULC(アルミ缶)



TEC(スチール缶)

様式1(F-01e-02)

製品環境情報

Product Environmental Aspects Declaration

製品環境情報
http://www.jemai.or.jp

飲料および食品用金属缶 (適用PSC番号:BC-01)

TOYO SEIKAN

東洋製罐株式会社
資材・環境本部 環境部
Tel 03(3508)-2158
<http://www.toyo-seikan.co.jp/>

TULC200ml 低バキューム (J200TF2-S)

容量:200ml	全ステージ合計
主な用途:コーヒー、茶等低酸性飲料	118.5g
材質(缶胴):スチール、蓋:アルミ	(91.4g)
缶種:スチール2ピースラミネート缶	0.238g
缶胴径:202径(52.3mm)、高さ:104.6mm	(0.243g)
アルミSOT蓋、蓋径:200径(50.8mm)	
質量:31.7g	

※()内はリサイクル効果**を含まない環境負荷を示します。

ステージ	直接影響	間接影響
素材製造	73.7	
製品製造	24.2	
物流	5.7	
使用	14.7	
廃棄	0.2	
リサイクル効果		-27.1

・本ラベルの公開内容には、飲料・食品等内容物の製造に関わる環境負荷は発注工程のエネルギー以外を含んでおりません。
 ・各工程毎の計上にはISO14001認定の「環境工程/対策」(低酸性飲料の例)を用いています。

(注) 1. 基礎データは、製品環境情報開示シート(PEDS)並びに製品データシートに記載されています。
 2. データ算出のための統一基準は製品分類基準(PSC)を参照してください。詳細は <http://www.jemai.or.jp> をご覧下さい。
 3. 「リサイクル効果」は、他製品へ及ぼす環境負荷の間接的な影響を示します。

【その他環境関連情報】

・本製品の缶胴製造および缶蓋製造は ISO14001 認証取得工場にて行われています。

図5 TULCのエコリーフ環境ラベル公開例

事例

エコリーフ環境ラベルを用いた LCA 情報開示

産業環境管理協会
神崎昌之

1. はじめに

LCAは、企業が環境適合設計などを通じて製品・サービスのライフサイクルにおける環境負荷を低減させるときの評価手法として使われる。同時にLCAの結果を環境情報として開示する意向を多くの企業が持つ。企業が開示する目的としては企業理念のアピール、競合他社との差別化など様々であるが、根幹にある目的の一つはユーザーに製品環境情報としてLCA情報を提示し、環境配慮製品を買ってもらうことであろう。ライフサイクル全体にわたって環境配慮された製品でも売れなければその環境配慮は実現しない。このとき企業 購買者間において製品の環境情報を使ったコミュニケーションが必要である。そのLCA情報の開示のツールとして、日本で運営するタイプ 環境ラベル、エコリーフは2002年に運営を開始して現在4年目に入っている。ラベル登録公開数は着実に増え、2006年1月末の時点でラベル登録公開数は350件(累計406件) ラベル公開企業37社となっている。製品分類も着実に増え製品分類数47に至っており、素材・中間製品も増え始めている(図1および表1)。本稿では、はじめに企業がLCAを実施しその情報を開示するときどのような点を考える必要があるかを概観する。ついで、エコリーフがそれらの課題に対してどのように手助けとなっているのかを考察する。

2. LCA 情報開示に際して考慮すべきこと

企業の環境適合設計において、開発の初期における主要環境側面の洗い出し、あるいは環境適合設計の効果の確認など、様々なフェーズにおけるLCAの活用が考えられる。このLCAの結果を積極的に購買者に開示するにあたって考慮すべき事項を概観する。

【情報開示におけるLCA実施基準】

購買者が環境配慮製品を選んで買うためには、イメージ広告のような情報ではなく、個々の製品・サービス単位で具体的にどのくらいの環境負荷が発生するのか、新規に市場に出た製品がどのくらい環境性能が向上しているのか、という製品のLCA情報が必要である。こうした定量的情報を購買者に開示する以上、その情報が一定の具体性をもったLCA実施基準に基づいていることが望ましい。

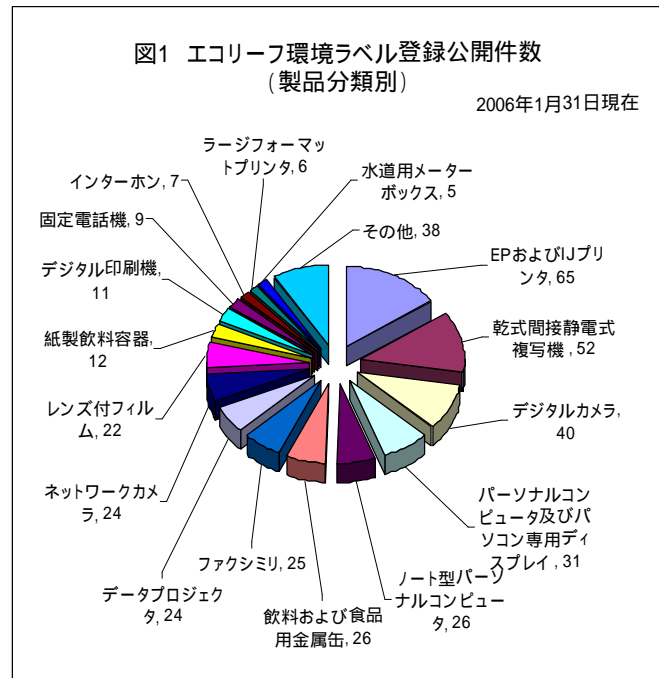


表1 エコリーフ環境ラベル登録公開件数 (図1の「その他」内訳)(2006年1月31日現在)

製品分類名称	件数	製品分類名称	件数
カメラ(銀塩フィルム用)	4	フォトプリントスキャナ	1
発泡ポリスチレン系バラ状緩衝材	3	ファクシミリ用外付け節電装置	1
熱転写方式カードプリンタ	3	卸電力	1
電子黒板	3	タイルカーベット	1
インスタント写真方式プリンタ	3	電子投票システム	1
光ディスクドライブ	3	PBXシステム	1
低圧モーターコントロールセンタ	3	POSターミナル	1
系統電力	2	通信コード	0
面ファスナー	2	インターネットデータセンターシステム	0
水道用メーターユニット	2	発泡ポリスチレンシート	0
温水洗浄暖房便座	1	金属閉鎖型スイッチギヤ(高圧盤)	0
構造用骨材	1	小型DCブラシ付モーター	0
排水ます蓋	1		

【LCAの実施】

企業にとっては、データ収集、データ加工処理、データ検証さらにはLCA情報開示などの諸機能を有したシステムを社内外にあらかじめ構築しておく効率的である。自社における組立工程のデータを直接収集することは比較的可能であるが、サプライチェーン上の上流データを直接収集することが難しい場合が多い。

【情報の客観性】

LCA情報の受け手にとって第三者の認証があると安心して情報を受け入れることができる。たとえ消費者に対して企業が信頼性を獲得していても第三者認証はさらなる信頼性の向上につながる。また企業によってはLCA情報のなかから、環境適合設計の効果として特にアピールポイントになる点を切り出して環境報告書などで開示する。このとき、そのデータが第三者認証を受けていることを示していれば、消費者への説得力はより向上する。

【LCA情報開示のフォーマット】

自治体・企業購買部門など大口購買者が、購買のためにLCA情報を読むとき、その情報が整理された形でフォーマット化され、一つのウェブサイトなどで種々の製品についてまとめて読むことが出来るとありがたい。製品は最終製品だけではない。素材・中間部品メーカーがセットメーカーに向けてLCA情報を発信するケースが増えてきている。この場合にもフォーマット化は重要である。さらに一般消費者がLCA情報を読むとき、LCA概念に不慣れであること、また情報量が多いことゆえに、LCA情報の中で特に重要な結果がはじめに伝達され、あとは読み手の必要に応じて深い内容に入っていくようにLCA情報が整理されていることが重要である。

【LCAの普及】

循環型社会の形成のためにLCA環境情報のコミュニケーションをもとにした製品市場を育み、社会の中にしっかりと根付かせる必要がある。漠然とした“環境にやさしい”というイメージだけではなく、具体的情報としてLCAの結果を一般消費者に受け取ってもらうことは難しい。先進的な企業や購買者はLCA情報を用いた環境コミュニケーションを始めており、今後さらに普及を推し進めることが求められている。

3. エコリーフの特長

以上概観したようにLCAを企業が実施するにあたり様々な点を考慮する必要があるが、ここからはエコリーフがそれらの点でどのように役立っているかについて検討する。

(1) LCA情報開示における製品分類別基準

LCA情報開示の信頼性を高めるための重要なエコリーフの仕組みの一つが製品分類別基準である。国際規格ISO14025(2006年発行予定)において、エコリーフをはじめとするタイプ環境宣言のプログラムには、利害関係者の討議を経て製品分類別基準(PCR、Product Category Rule)を作成しそれを踏まえて環境宣言を開示することが求められている。企業間などの合意形成のもとに作成される基準を用いる点でエコリーフは企業独自のLCAと異なるのである。エコリーフの製品分類別基準は業界団体、企業など利害関係者が討議の上で基準案を作り、学識経験者、消費者団体代表、LCA専門家などの有識者で構成される委員会にて審議・承認される。

製品分類別基準の主な目的は二つある。ひとつは、LCA情報に付随する多くの前提・仮定条件を読み手に対してLCA情報と一緒に開示することである。エコリーフ情報は製品分類別基準と対になっており、読み手は必要に応じて各ラベルに対応する製品分類別基準をホームページ上で参照することができる。

もうひとつの目的はLCA手法などの共通化である。サプライチェーンにおいてLCA情報の共有性を高めること、あるいは複数製品のエコリーフラベルを見るとき読み手の混乱を防ぐこと、などの観点に立つと、一般的には製品分類ごとにLCA手法やバックグラウンドデータを共通化しておくことが望ましいといえる。例えば直接収集データの領域を固定、バックグラウンドデータは特定の共通原単位のみ限定、物流や廃棄リサイクルのシナリオを一つに限定、などの強い共通化を行うとすれば、異なる製品ラベル上のデータの差異が直接収集データに由来したものであることが明確になる。しかしこのような強い共通化は製品環境情報のためには必ずしも得策ではない。なぜなら、共通化が強いほど個々の製品ライフサイクルの実体と共通ルールとの間の乖離の度合いが製品ごとにばらばらになってしまい、企業の環境配慮が共通ルールにしばられて表現されないことになりかねないからである。逆にこれらの共通ルールをなくして、自由な基準でラベル作成できるとした場合には、個々の製品において環境配慮に応じたきめ細かい数値表現ができるかもしれない。しかし、この場合には製品ラベルのデータ差異の要因が多くなるためその解釈が難しくなる。つまりは、LCA手法やバックグラウンドデータの共通化とLCAの詳細な表現性は、一面ではトレードオフの関係でありどこにバランスを置くかという調整が必要となるのである。エコリーフでは製品分類基準の策定プロセスを通じてこの調整を行っている。共通原単位に関して、エコリーフではプログラム全体で共通の原単位を現時点で148種類用意しているが、この他に製品分類内でのみ共

通の原単位および製品個別の原単位も必要に応じて使用可能となっている。また基準の改訂を通して、製品技術動向、LCA研究動向や社会のニーズなどを都度反映させることが可能である。

(2) エコリーフ原単位および専用ソフトによるLCA実施の支援

エコリーフは原則として、ライフサイクル全体を評価の対象とする。しかし上流の直接収集データが入手できなくとも、部品表上の構成要素ごとの重量を測定しさえすれば、それぞれをエコリーフ共通原単位に当てはめればよいという簡易LCAの仕組みとなっている。さらにエコリーフデータは開示部分と非開示部分に分かれており、企業はラベルを作成するにあたりまず、非開示部分に部品表の情報や自社内直接収集データを記載する。ひとたび非開示データが入力されれば、開示ラベルの多くの部分はラベル作成支援システム(専用ソフト)により自動生成される。エコリーフは他国の環境ラベルプログラムに比べて、フォーマットおよび記載項目が比較的統一されている。これは、読み手にとって見やすいだけでなく、ラベル作成作業の簡便化、検証作業の効率化に結び付いている。さらに見やすさの点では検証および判定の段階において、ラベルが読み手に分かりやすい表現となっているかも確認され、都度改善されている。

(4) 第三者認証とラベル取得のスピード・コストとの両立

タイプ 環境ラベルでは情報の客観性のためのデータ検証に一定の時間とコストが発生する。エコリーフでは、企業の作成したエコリーフラベルごとに外部検証員による第三者検証およびその検証結果のレビューパネルによる判定を経てラベルが認証される。この仕組みを外部検証と呼んでいる。しかし企業にとって製品ラベルの発行にかかる期間とコストが重要であることはいまでもなく、企業が開示を希望する製品が多いときには特に問題となる場合がある。そこでエコリーフでは、外部検証とは異なるもう一つの認証ルートとして、システム認定に基づく内部検証という仕組みを用意している。システム認定とは事業者が定量的な環境情報データを集積するシステムを保有しているか否かを確認し、そのシステムが適切、有効かつ継続的に機能していることを審査し、認定するものである。システム認定を受けたならば、その後のラベル発行ごとの外部検証は不要となる。この場合、企業にとっては第三者認証に必要なパネル審議のタイミングを考慮する必要がなく、多くのラベルを発行する場合に経済的に有利になるメリットがある。システム認定による内部検証の場合、個々のラベル認証の第三者性は三年ごとに実施されるシステム審査によって担保される。

(5) 購買者へのLCA普及における貢献

冒頭で述べたようにLCAは開発時に環境負荷を漸次的に削減していくための評価ツールとして使用される一方で、購買時の環境情報伝達としての目的も高まっている。ライフサイクル全体における環境負荷の低減を実現するには、企業のみならず、購買者の参画が不可欠なためである。エコリーフはその環境情報伝達のためのツールである。エコリーフを積極的に活用している購買者としては、企業や自治体などの大口調達者やグリーンコンシューマーと呼ばれる環境意識の高い一般消費者などがおり、エコリーフ普及の原動力となっている。一方、大多数の一般消費者にとってはエコリーフのベースとなる製品・サービスのライフサイクルという概念自体が新しく紹介されるべきものとなっている。逆にまた、ライフサイクルという考え方の普及のために、具体的で身近な製品情報であるエコリーフは格好のツールである。一般消費者に向けたグリーン購入のセミナーやメディア上の商品情報記事におけるエコリーフの活用など、先進的購買層から一般消費者へとライフサイクル思考の普及の輪を広げてゆくための基盤としてもエコリーフは重要である。

4 おわりに

本稿では、製品・サービスのLCA情報を購買者に開示するときにエコリーフ環境ラベルがどう役立っているか、という観点からエコリーフの特長について述べた。さらに詳細なエコリーフの全体的な仕組みやラベル取得の手順などは、産業環境管理協会(JEMAI)のホームページから参照されたい。

<http://www.jemai.or.jp/ecoleaf>

(お問合せ先 ecoleaf@jemai.or.jp)

海外の環境ラベル

～ 製品環境情報スキーム:EPISの動向

産業環境管理協会
中庭知重

1. 環境ラベルの定義について

環境ラベルについて、日本では狭義に ISO14020 シリーズにおける環境ラベルの分類から説明される場合が多いように見受けられる。しかし、その形態は様々であり、ISOの分類でカバーされない環境ラベルもあることを最初に述べておく。また最近はこのような類のものを環境ラベルと定義するより、製品環境情報、すなわち環境配慮型製品、サステナブル・プロダクト/サービスの促進を支援するツールの一つとして、欧州では特にEPIS(Environmental Product Information Scheme)として捉えることが多くなってきている。背景にはEUがヨーロッパの第6次環境行動計画の基盤として2001年IPP(The Integrated Product Policy:包括的製品政策)に関するグリーンペーパーがある。これまで生産プロセスが環境管理規制の主な対象になっていたが、さらに範囲を拡大して製品をその対象とする点がIPPの注目すべき点である。このIPPは、マーケットを最大限活用し、環境に優しい製品・サービスが市場で有利な立場となるよう配慮し、インセンティブを創出していくことを目指しており、そうなるとIPPの主な手法と具体的行動内容として、環境ラベル(eco-labelling)、環境宣言(environmental declaration)、製品情報(product information)は、製品の環境情報を消費者に提供し、環境面での製品の差別化を計ることで、環境意識の高揚、環境配慮製品の普及を促進する新たなコミュニケーションツールとして総合的にその効用が期待されているのである。

ISO以外の環境ラベルを含む分類方法としては、アメリカEPAの分類が使われることが多かった。この分類

は製品ベース以外の企業ベースの環境ラベルも含まれていることなどから、製品に特化した分類として新しい提案がなされている(図1.1)。環境政策・環境経営に製品環境情報を効果的に組み込み、活用するためには、貼付が法律で義務化された強制的なラベル、トレードマーク、適合性評価ラベル等も含めたこの図で網羅されている製品環境情報スキームの多角的視点が必要となる。

上記分類で環境ラベルを定義した場合、欧米等と比較して日本で遅れているのは、有機栽培等食品関係、ツーリズム等の分野のラベルであろう。この件は別の機会に触れることとして、本稿では、LCAの情報開示をベースとした製品環境情報スキームに焦点を当てその動向を紹介する。

2. LCAの情報をベースとした環境ラベル(製品・サービス全般)

2.1 ISO14025に準拠した環境ラベル

海外のLCAベースのタイプIII環境ラベルプログラムを表2.1.1に記す。いずれのプログラムもあらゆる製品・サービスを対象としている。ISOに準拠するプログラムとして、ライフサイクルベースのデータを適用しているか、プログラム体制が整備されているか、プログラム設立に広範囲の利害関係者を関与させているか等以下の解釈で纏めている。

- (1) 定量的に表された環境データ
- (2) 予め設定されたパラメータ(PCRで定めている等)
- (3) プログラムベース(政府、公的機関、企業等)
- (4) データの品質の保証(独立した検証、PCRレビュー)
- (5) 利害関係者の参画
- (6) ライフサイクルベース(ISO14040シリーズ適用)

実際には、まだプロジェクト段階のもの、広範囲な利害関係者を参画させずに、クローズドで運営・情報開示しているものなど、ISOに厳密に該当しないものもある。

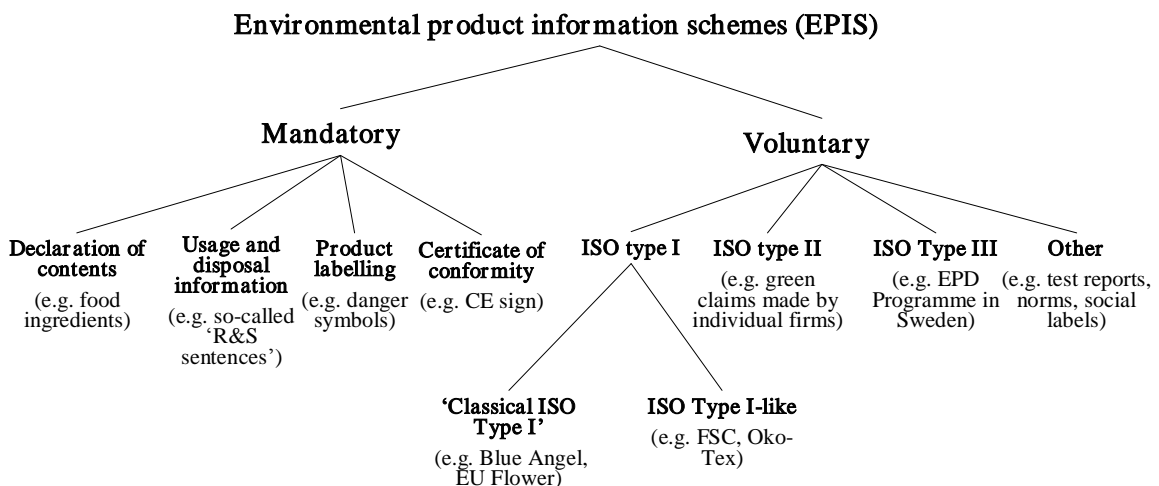


図1.1 製品環境情報スキームの分類

アメリカのSPPC(Sustainable Product Purchasers Coalition 持続可能な製品購入の連合)ではライフサイクルデータを提供する企業が標準化されたフォームでデータを提供することを目的としているが、元々、持続可能かつ環境配慮型製品を好む個人の大規模なマーケット開発に関心のある企業に対して、最新の市場調査結果を提供していくことをねらいとしているため、データは原則クローズドである。しかしSPPCで集約した購買力が、市場に対して、検証可能な製品環境データを提供することの価値を示せると考えている。

2.2 タイプIII 環境宣言 (ISO14025) に関する国際ネットワーク

ISO14025の正式発行後は、上記以外の国からも、ナショナルプログラムが設立されることが予想される。

いずれの既存プログラムもISO14025に準拠するとはいえ、歴史は浅く、その運営形態、フォーマット、検証方法、活用方法等、常に改善を試みている状態である。プログラム実施機関及び正式プログラムの立上げには至っていないがプロジェクトを実施している国が集まり、1999年、情報交換、プログラムの活性化に関する意見交換、相互認証に関する検討を主な目的としてGEDnet(Global Type III environmental product declaration network)という国際ネットワークを設立した。GEDnetは2001年 ISO TC207/SC3/WG4 Aリエゾンメンバーとなり、ISO14025の規格制定作業に大きな貢献をした。現在日本を含む5カ国(スウェーデン、ノルウェー、デンマーク、ドイツ、韓国)のプログラム運営機関・プロジェクト実施国の本メンバーとして参加している。また準メンバーとして、アメリカ(SCS - Scientific Certification Systems社)、オーストラリ

表2.1.1 世界のタイプIIIプログラム(ISO/DIS14025 にほぼ準拠していると考えられる)

	スウェーデン	ノルウェー	韓国
プログラム	EPD (Environmental Product Declaration)	NHO Type III	EDP(Environmental Declaration of Product)
運営機関	SEMCO (Swedish Environmental Management Council)	NHO (Confederation of Norwegian Business and Industry)	KOECO (Korea Eco-Products Institute)
製品群	主に電化製品等 70	主に建材,エネルギー等 5	主に電化製品,家電製品等 24 (表 2.1.2 参照)
宣言数	約 100(2005年9月)	50 (2005年9月)	273 (2005年11月)
設立年	1998年	-	2000年
特徴	イタリア,ベルギー,日本,ノルウェー,フィンランド,ポランドなど海外企業も認証し国際的。参加企業約 55社と多い	-	環境省が総括となり、環境技術促進法に基づき、運営されている。Samsung, LG など大企業の取得に限られている。
ウェブ	http://www.environdec.com/	http://www.nho.no	http://www.koeco.or.kr

表2.1.2 韓国のタイプIII 環境宣言 EDP 内訳(2004年12月時点)

製品グループ	宣言数	製品グループ	宣言数
家庭用冷蔵庫	162	エアコン	30
TFT-液晶モニター	2	ビデオデッキ	1
プラズマテレビ	16	携帯電話	2
CRT ガラス	2	レーザープリンタ	4
ティッシュ	1	自動車タイヤ	1
光学ドライブ	5	天然ガス	1
電子レンジ	1	TFT-液晶板ガラス	5
洗濯機(ドラムタイプ)	32	TFT-液晶モジュール	1

表2.1.3 タイプIII環境ラベルプロジェクト及びタイプIII類似のプログラム

国名	スキーム名	運営機関
デンマーク	Pilot Project EPD	DEPA Danish Environmental Protection Agency
フランス	Experimental standard on type III environmental declarations	AFNOR -Association Francaise de Normalization
イタリア	Pilot EPD Programme EU-LIFE INTEND Project-Pilot international EPD system	ANPA(2000-2001) (2003-2005)
カナダ	EPDS-Environmental Profile Data Sheet	FPAC-Forest Product Association of Canada, with Terrachoice
アメリカ	CEP-Certified Eco-Profile Programme SPPC's product eco-profile	SCS-Scientific Certification Systems SPPC(Sustainable Product Purchasers Coalition)

ア(Australian Environmental Labelling Association Inc.),中国(Environmental Certification Center of China State Environmental Protection Administration)他も参加している。(http://www.gednet.org)

GEDnetにおける最近の関心はタイプIIIの相互認証の実現化である。タイプIでは既に実現された相互認証だが、タイプIIIの相互認証の検討は緒に着いたばかりである。ようやく各国のPCR制定の際の製品分類及び定義づけの方法について調査を開始した段階である。各国のPCRは対象範囲、製品仕様、機能単位の定義、システム境界の設定、カットオフルール、アロケーションルール、各ライフステージのデータ計上方法等概ね同じ項目からの構成となっているが、ISO14025ではPCRに含めるべき項目を列挙するのみで、具体的な計算方法まで標準化していない。したがってプログラムの相互認証には、データ品質、算出範囲、ルールの調整が必要になる。これまで同じ製品種類のタイプIIIは数少なく、異なるプログラム間で同じ製品群のPCRを開発した事例は殆どない。したがって詳細に比較した事例はないが、今後重要な検討項目である。

3. LCAをベースとしたセクター別の環境情報の動き

3.1 建築業界を主とした動き

製品のライフサイクルベースでの環境負荷低減を図るため、業界として環境宣言の作成に合意し、企業間で情報の流れを作りだすことは、製品環境情報の活用に非常に効果的である。あらゆる製品群をカバーしたプログラム、プロジェクト、ビジネスは前述した通りであるが、欧州では建築業界がセクターとしてのLCAベースの環境宣言の活用に熱心である。ISO14025に基づくセクター別の規格ISO21930(持続可能な建物) ISO/DIS 21930(Sustainability in building construction) Environmental declaration of building productsが現在制定準備中で、更にISO21930を基にした製品環境宣言に関する統一規格がCEN(欧州標準化委員会)で検討されるためである。このように他の規格においてもLCAをベースとした新た

表3.1.1 既存のセクター別タイプIII環境宣言

国名	スキーム名
フランス	AIMCC (建築)
フィンランド	RTS (建築), Paper profile
ドイツ	AUB (建築)
オランダ	MRPI (建築)
スウェーデン	Volvo Cars EPDs (自動車) Volvo Trucks EPDs (自動車) IT Eco Declaration (情報通信技術) Byggarudeklaration (建築) Teko Environmental Declarations (繊維製品)
イギリス	BRE environmental profiles (建築)
スイス	SIA (建築)
-	IVN "better best" (繊維製品)

な製品環境情報スキーム(製品環境宣言)が検討されていることに今後留意する必要がある。

3.3 電機業界

以上、図1.1中右側のvoluntaryな海外の環境ラベルの動向について、LCAを扱ったスキームに焦点を当てて述べた。最近、左側のmandatoryな製品環境情報にもLCAやライフサイクルをベースとした情報が活用される動きがみられる。2005年に発効されたEuP指令(EuP Energy Using Products, エネルギー使用製品に対するエコデザイン要求事項設定のための枠組みを設けることに関する欧州議会及び理事会指定提案)がその一例といえよう。2007年から施行されるEuP指令では、ライフサイクル全体の環境側面を考慮し環境負荷削減の向上に関する要求事項が定められている。ライフサイクルの情報がどのように使われるのか、その程度はまだ明らかにされていないが、製品のエコロジカル・プロフィールを作成する手法の確立、環境パフォーマンス向上の目標設定、評価等の過程においてLCAもしくはLCAに近い情報収集・情報提供が要求されることになる点、今後注目される。

4. 今後の展望

製品をその対象とする環境管理規制が主流になるにつれ、ライフサイクル思考(life cycle thinking)、政策ツールへの展開、利害関係者間・サプライチェーン間の円滑な情報のやりとり、市場メカニズムの活用を促進する手段として、製品・サービスの環境情報は、今後重要性を増してくると思われる。

ISOタイプI型の環境ラベルなど従来型の環境ラベルの事例や研究論文は数多く、テーマが深く掘り下げられ、経験・知識が蓄積されている。一方、特にLCAをベースとした環境ラベルの適用例、研究論文はまだ少ない。環境管理という観点からだけでなく、セグメント化、サステナビリティへの展開、CSRの配慮等、製品環境情報スキームの役割の方向性が拡大する見込みのため、当面、広範な情報収集が求められることになりそうである。本稿では、一部の紹介となってしまったが、LCAをベースとした海外の環境ラベル(製品環境情報スキーム)の現状について理解を深めていただければ幸いである。

- 1) http://europa.eu.int/comm/research/environment/newsanddoc/article_2385_en.htm
- 2) The future of eco-labelling
- 3) PCR=Product Category Rule (製品群別のLCA計算ルール)
- 4) <http://europa.eu.int/comm/enterprise/construction/internal/essreq/enviro/1cahome.htm>
- 5) Journal of European environment "the use of ecolabels a review of the literature"

マトリックス法を用いた ライフサイクルアセスメント (第二報：感度分析と不確実性解析)

東京大学大学院工学系研究科
機械工学専攻
酒井信介
(sakai@fml.t.u-tokyo.ac.jp)
盧 偉哲
(lu.weizhe@fml.t.u-tokyo.ac.jp)

1. 感度分析の原理

第一報の式(1)で、マトリックス法によるマテリアルバランス式が以下で表現されることを述べた。

$$A p = \quad (1)$$

このように表現する段階では、係数マトリックスAや境界条件ベクトルには、ばらつきのような不確実性は考慮していなかった。しかし、現実にはインベントリデータの多くは不確実性を有しており、本来、統計的取扱いについても評価が求められる。マトリックス法は、このような不確実性の取扱いにおいては、極めて有効な手段となる。何故なら、摂動法と結びつけることにより感度分析が容易となり、その結果、不確実性解析と結びつけられるからである。その学術的な詳細は、文献[1]に、解説記事は文献[3]に記載しているので参照していただきたい。ここでは、その結果のみを要約することにする。

ある特定の係数 a_{ij} の環境積算値 β に対する感度は、次式で定義する。

$$s_{ij} = \frac{\Delta\beta / \beta}{\Delta a_{ij} / a_{ij}} \quad (2)$$

ここで、 β は β の変化量を示し、 $\Delta\beta$ はこれに応じて変化した β の変化量である。つまり、 s_{ij} の値は β の変動率に対する環境負荷総排出量の変動率の割合を示していることになる。従って、 s_{ij} が大きい場合、 a_{ij} は環境負荷値の評価に大きな感度を持つことを示し、まさにLCA評価の精度を高めるための優先度の高い要素であることが分かる。 s_{ij} の相対比較によって、重要度の高いインベントリデータを抽出できることになる。実は、文献[1]に記載されている定式化を用いることにより、 s_{ij} を要素とする感度マトリックス S がマトリックス演算の形で表記することが可能となる。

$$S = E^T P^{0T} \otimes A \quad (3)$$

ここに、

$$E = -\frac{1}{L} B^T A^{-1} \quad (4)$$

であり、 \otimes は次式で定義されるマトリックスの演算子である。

$$\begin{aligned} [z_{ij}] &= [x_{ij}] \otimes [y_{ij}] \\ z_{ij} &= x_{ij} \otimes y_{ij} \end{aligned} \quad (5)$$

つまり、単なるマトリックスの演算によって、全要素の感度が導出される。この手順を用いると、個々の要素ごとにパラメータを振って感度を求める場合と比較して圧倒的に労力が少なくて済む。汎用LCAシステムEMLCAには、この手順によって、要素の感度を評価する機能が付加してある。なお、 s_{ij} が求まると、第二章の中心極限定理に基づく評価の際に必要な β の一次微分値は次式により評価できる。

$$\frac{\partial\beta}{\partial a_{ij}} \approx \frac{\Delta\beta}{\Delta a_{ij}} = s_{ij} \frac{\beta}{a_{ij}} \quad (6)$$

2. 中心極限定理による不確実性解析

LCAの各段階に多種多様な不確実性(uncertainty)が存在する。例えば、入力データの不確実性、システムモデルの不確実性、時間的と空間的な変動性などである[3,4]。正確なLCA結果及び明確なLCA結果解釈のために、LCAでの不確実性は無視してはいけない問題である。しかし、今までのLCAでは、これまでのところ、統計学上の取扱いが十分に行われていない状況である。ここでは、プロセスデータの不確実性に起因するLCI結果の不確実性に着目し、統計学的な取扱い法について述べる。

まず、不確実性の代表的な表現方法であるばらつきの評価にあたっては、マトリックス法がおおいに威力を発揮する。その理由は、マトリックス空間のLCIを用いることにより、感度分析と中心極限定理による不確実性解析とを結びつけることが可能となるからである。一般に複数の確率変数が独立である場合、その和で評価される確率変数は変数の増加とともに正規分布に近づく、というのが中心極限定理である。一般に、LCIでは、製品システムを構築するのに必要なプロセスデータ量は数多く、またほとんどの場合にはそれらのデータはお互いに独立であるので、それらの線形和で

評価される出力変数である環境負荷の統計的性質は、中心極限定理によって、正規分布で近似できるものと推案される。その場合、k番目の環境負荷項目 β_k の正規分布の平均値は、第一報の式(4)で評価されることになるが、標準偏差 $\sigma[\beta_k]$ については以下の式によって計算されることになる。

$$\sigma[\beta_k] = \sqrt{\left(\frac{\partial\beta_k}{\partial a_{11}}\right)^2 (\sigma[a_{11}])^2 + \left(\frac{\partial\beta_k}{\partial a_{12}}\right)^2 (\sigma[a_{12}])^2 + \dots + \left(\frac{\partial\beta_k}{\partial a_{ij}}\right)^2 (\sigma[a_{ij}])^2 + \dots} \quad \dots(7)$$

ここに、 $\sigma[a_{ij}]$ は a_{ij} の標準偏差である。また、感度分析の結果式(6)を式(7)に代入すると、最終環境負荷 β_k の標準偏差は以下の式によって計算される。

$$\sigma[\beta_k] = \sqrt{\sum_j \sum_i \left(\frac{\partial\beta_k}{\partial a_{ij}} S_{ij}^k\right)^2 (\sigma[a_{ij}])^2} \quad (8)$$

即ち、中心極限定理による最終環境負荷不確実性の概算評価にあたり感度分析の結果 S_{ij}^k を利用できる。このようなLCAにおけるばらつき評価に対する中心極限定理の適用性の可否については、小野らがすでに数理的な検討を行っている[2]。

3. モンテカルロシミュレーションによる不確実性解析

中心極限定理は、インベントリデータのばらつきが平均値と標準偏差程度の大雑把なデータ程度が与えられている場合の、出力のばらつきを概算評価する場合に有効な方法である。一方で、もし入力パラメータのばらつきが、統計分布形状のような形で与えられているのであれば、より精度の高い不確実性分析が可能になる。この場合、中心極限定理ではなく、モンテカルロシミュレーション法を適用すればよい。モンテカルロシミュレーションでは毎回の試行において、事前に決められた各入力パラメータの確率分布に従うよう乱数を発生させ、試行を繰り返すが、その際にマトリックス法による評価手順が有効に機能する。多くのLCI計算の試行結果を集積することにより、LCI結果のばらつき分布を得ることができる。ただし、分布の裾野にいたるまで正確に評価するためには、非常に多くの試行回数が必要となる。

このように、モンテカルロ法は解析においてかなりの柔軟性を有するといえるが、であるからといって全てのパラメータについて乱数を設定して解析するのではあまりにも無駄が多い。そこで、実用性を考慮した上で考えられる不確実性分析の一般的な手順を図1に示す。つまり、1章で述べた感度分析とモンテカルロ法を組み合わせることが有効である。

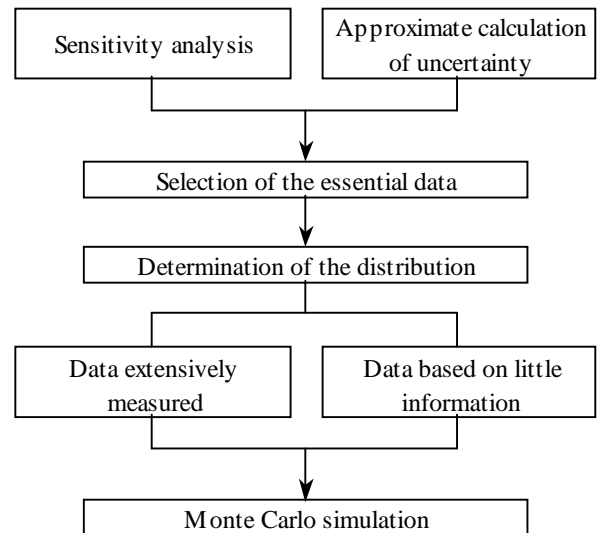


Fig. 1 Uncertainty analysis procedure in LCA [6]

まずは主要パラメータをスクリーニングするために感度分析もしくは不確実性概算評価の結果からキーデータを特定する。キーデータは最終環境負荷に大きな影響を及ぼすデータである。選択されたキーデータに対して、確率分布を定める。最後に乱数を発生させて、モンテカルロシミュレーションを実行し、LCI分析結果の不確実性解析を行う。

中心極限定理は簡易評価、モンテカルロ法は詳細評価の位置づけとなる。ただし、現実には個々のパラメータの統計分布が求まっていることはほとんどないと思われるので、実際的には中心極限定理程度の評価が実際的であると思われる。モンテカルロ法は、統計分布形状の影響などの、研究レベルでの活用にも有効に利用されることが期待される。

2. マトリックス法によるシステム化

上記の不確実性分析手法は、いずれもマトリックス法と組み合わせることで効率化されるため、第一報で紹介した汎用LCA解析システムEMLCAにも感度分析と不確実性解析の機能を付加している。

感度分析は、酒井らが摂動法を用いて開発した感度分析公式(式3)を利用している。EMLCAにおいて、最終環境負荷を計算した後、感度分析の機能を選択することにより直ちに解析が実行される。すべての計算はマトリックス代数に基づき実行され、分析結果もワークシート上でマトリックスの形で表示される(図2)。すべてのプロセスデータのLCI結果に対する感度が表示され、しかも各感度値のチェックや追跡が容易になっている。感度分析では、何らかの不都合で解析結果に異常があることがあり、このような場合に容易に解析経過を追跡できるこ

とが重要になる。

EMLCAにおいて、最初にプロセスデータを入力する際、プロセスデータの標準偏差の記入欄があり、ここにデータが書かれている場合には感度分析を行った後、中心極限定理による不確実性解析を実行することができる。実行結果のワークシートの例を図3に示す。

	A	B	C	D	E	F
1						
2	[solid waste]					
3		Plate Rolling	Can Production	Can Use		
4	can material	-1	1	0		
5	can	0	-1	1		
6	used can	0	0	-1		
7	solid waste	1	0	0		
8						
9	[CO2]					
10		Plate Rolling	Can Production	Can Use		
11	can material	-0.22222222	0.22222222	0		
12	can	0	-0.44444444	0.44444444		
13	used can	0	0	-1		
14	CO2	0.22222222	0.22222222	0.55555556		
15						

Fig. 2 Worksheet for sensitivity analysis by EMLCA

EMLCAではリスク分布ソフトであるCrystal Ball [5]と組み合わせることにより、マトリックス法を用いたモンテカルロシミュレーションを極めて容易に実現することができる。LCI分析ワークシート上の各マトリックスにおいて、プロセスデータの確率分布を決定し、評価する環境負荷項目を選び、また試行回数を設定した後、モンテカルロシミュレーションによる不確実性解析を行うことができる。モンテカルロ解析の結果、最終環境負荷の確率分布図と各統計量を出力することができる。モンテカルロシミュレーションの解析結果の例を図4に示す。

	A	B	C	D	E	F
1						
2	Load	solid waste	CO2			
3	Mean	1	45			
4	Sd(A)	0.2236068	5.5			
5	Sd(B)	0.1	2.87228132			
6	Sd	0.244949	6.20483682			
7						
8	Matrix(SdA)					
9		Plate Rolling	Can Production	Can Use		
10	can material	0.1	2	0		
11	can	0	0.1	0.1		
12	used can	0	0	0.1		
13						
14	Matrix(SdB)					
15		Plate Rolling	Can Production	Can Use		
16	solid waste	0.005	0	0		
17	CO2	0.05	1	2.5		
18						

Fig. 3 Worksheet for uncertainty analysis by EMLCA

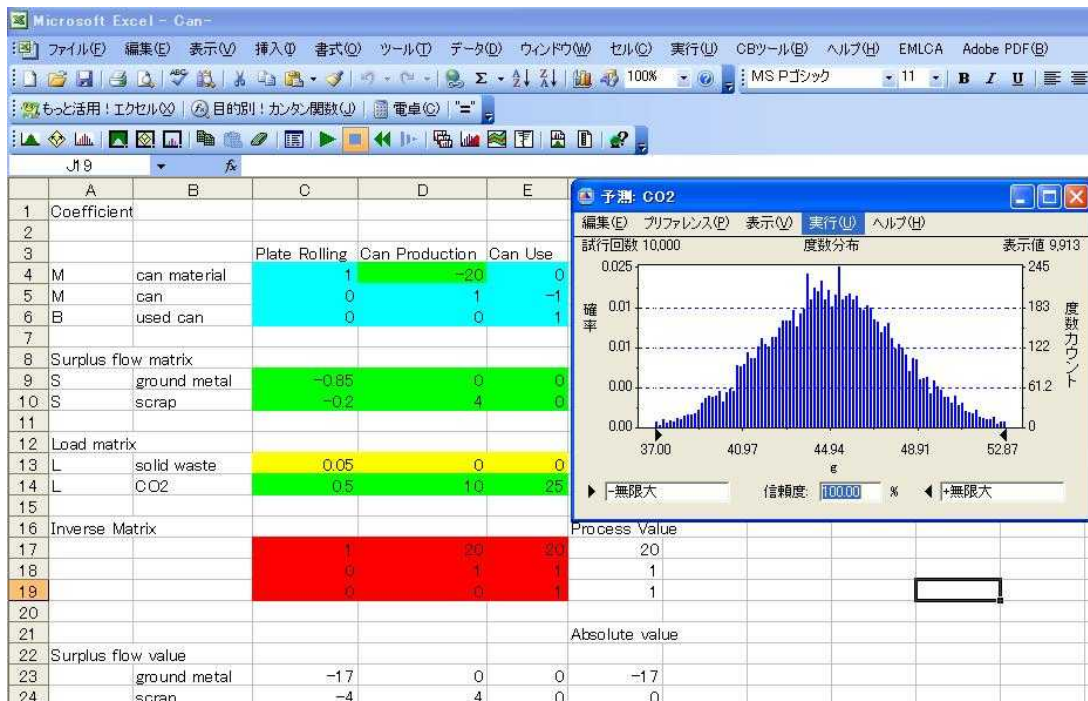


Fig. 4 Worksheet for Monte Carlo simulation by EMLCA

3. 適用例

不確実性分析の例題として、第一報のアルミ缶のLCAに対して、マトリックス法に基づく感度分析と不確実性解析を行った例を示す。第一報によると、係数マトリックスAは：

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{Plate Rolling} & \text{Can Production} & \text{Can Use} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{can material} \\ \text{can} \\ \text{used can} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & -20 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (9)$$

である。環境負荷としては、CO₂とSolid wasteを取り上げた。すると、感度分析の結果、マトリックスAの各要素の最終CO₂とSolid waste排出量に対する感度は以下のように評価される。

$$S_{CO_2} = \begin{pmatrix} -0.222 & 0.222 & 0 \\ 0 & -0.444 & 0.444 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$S_{\text{solid waste}} = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

感度マトリックスにおける各数値を解釈すると、例えば、マトリックスS_{CO₂}の一番目のデータは、ほかの全てのデータを一定にした場合、Plate Rollingプロセスのcan materialの生産量を1%増加すると、最終CO₂排出量は0.222%削減できることを示している。

また、全てのプロセスデータの変動係数は0.1だという仮定に基づいて、式(8)を用いて中心極限定理による不確実性解析を行った結果、最終CO₂排出量の平均値は45g

Table 1 Statistics result of Monte Carlo simulation for uncertainty analysis

統計量	値
試行回数	10000
平均値	45.74
中央値	45.20
標準偏差	5.76
分散	33.23
歪度	0.65
尖度	3.84
変動係数	0.13
範囲下限	29.99
範囲上限	74.53
範囲	44.54
平均標準誤差	0.06

であり、標準偏差は6.20gであった。最終solid waste排出量の平均値は1gであり、標準偏差は0.245gであった。

また、式(10)によって、感度値が非ゼロであるプロセスデータの確率分布が正規分布である場合、それらのデータのばらつきに起因する最終CO₂排出量の確率分布をモンテカルロシミュレーション法によって評価した。試行回数は10,000に設定した。得られた最終CO₂排出量の確率分布を図5に示す。さらに、各統計量を表1に示す。このように、統計量の評価を極めて容易に実現することができる。

4. 結言

本報では、マトリックス法がLCAの感度分析と不確実性解析に有効に活用できることを述べ、その基礎原理と応用手法について報告した。また、その定式化をEMLCAの機能として容易の実現できることを述べ、最後に適用例を紹介した。LCAでの確率論的評価は、これまでのところ必ずしも十分に行われていない状況にあるが、今後インベントリデータ量が増加するとともに避けて通れない課題であると思われる。本報が、確率論的取扱いの研究の一助になれば幸いです。

参考文献

- [1]. Shinsuke Sakai, Koji Yokoyama: Clean Techn Environ Policy, 4, (2002), pp. 72-78;
- [2]. 小野崇也, 酒井信介: JCOSSAR2000 論文集, pp. 509-512 [in Japanese];
- [3]. 酒井信介: 機械の研究, 52(6), (2000), pp. 619-624 [in Japanese];
- [4]. Guido W. Sonnemann, Marta Schuhmacher, Francesc Castells: Journal of Cleaner Production, 11, (2003), pp. 279-292;
- [5]. Crystal Ball, <http://www.decisioneering.com/>;
- [6]. Weizhe Lu, Shinsuke Sakai, Satoshi Izumi and Makoto Yoshida, Proc. 6th Int. Conf. EcoBalance, Tsukuba, Japan (2004), pp. 447-450;

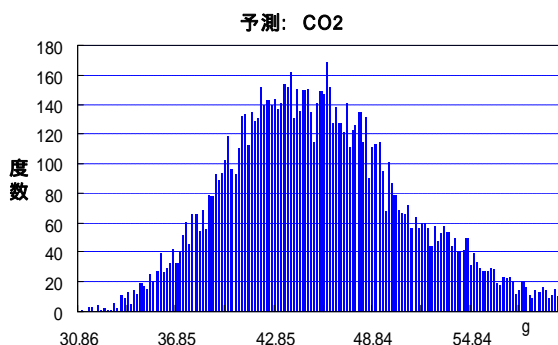


Fig. 5 Probability distribution of final CO₂ emission

LCA インフォメーション

イベントカレンダー

化学工学会第71年会	2006.3.28 ~ 30	東京工業大学	化学工学会 http://www.scej.org/
SETAC Europe 16th Annual Meeting Controversies and Solutions in Environmental Sciences	2006.5.7 ~ 11	Hague, Netherlands	SETAC http://www.setaceumeeting.org/thehague/
International Symposium on Electronics and the Environment	2006.5.8-11	San Francisco, USA	IEEE http://www.regconnect.com/content/isee/
第25回エネルギー・資源学会研究発表会	2006.6.8 ~ 9	大阪国際交流センター	エネルギー・資源学会 http://www.jser.gr.jp/
2nd International Conference on Quantified Eco-Efficiency Analysis for Sustainability	2006.6.28 ~ 30	Egmond aan Zee, Netherlands	荏原製作所/CML, Leiden University http://www.eco-efficiency-conf.org/
第3回環境経済学会世界大会	2006.7.3 ~ 7	京都国際会館	環境経済・政策学会/AERE/EAERE/ALEAR http://www.worldcongress3.org/
第15回日本エネルギー学会大会	2006.8.3 ~ 4	工学院大学(新宿)	日本エネルギー学会 http://www.jie.or.jp/

【イベント】第7回エコバランス国際会議
~ 私たちの将来社会をシステム思考で設計する ~
開催日：2006年11月14日 ~ 11月16日
場所：つくば国際会議場「エポカルつくば」

セッション

1. 特別セッション

- A) Energy and Sustainability
 - A1) Methods for Energy Technology Assessment
 - A2) Application to Choice of Energy Systems and Technologies
- B) Eco Efficiency for Information and Communication Technology
- C) Eco Industrial Development
- D) Flow Management for Process Innovation and Sustainability

2. 一般セッション

- 1) Method: Life Cycle Assessment
- 2) Method: Life Cycle Thinking
- 3) Application: Products (including recycling & reuse) & Services
- 4) Application: Sustainable Consumption
- 5) Application: Public Services and Infrastructure

スケジュール

2006年3月1日	オンライン発表申込開始
5月1日	発表申込締切
6月1日	発表受理通知
7月1日	オンライン参加登録開始
9月1日	プロシーディング原稿締切
9月10日	早期参加登録締切

参加登録費

会員 * 30,000円 **, 40,000円
非会員 40,000円 **, 50,000円
学生 10,000円 **, 20,000円

* 主催団体の会員(団体会員を含む)

** 早期登録(2006年8月31日までに振込み完了)

言語：原則として英語。

主催：日本LCA学会

(社)未踏科学技術協会/エコマテリアルフォーラム

(独)農業環境技術研究所

(社)産業環境管理協会/LCA日本フォーラム

(財)建築環境・省エネルギー機構

(社)環境情報科学センター

事務局：未踏科学技術協会

E-mail: iceb7@sntt.or.jp

<http://www.sntt.or.jp/ecobalance7/>

編集後記

DfE, EuP, CSR, CDM, LCC, そしてLCAととかく横文字が多い世の中。無理やり日本語にできないかと調べてみたところ、国立国語研究所がLCAを『製品の循環過程における環境影響評価』と言い換えを提案していることがわかりました。ある意味わかりやすいのですが、、、いかがでしょうか？(ちなみに中国語では『生命周期評価』と表記するようです。)(K.N)

<発行 LCA日本フォーラム>

〒101-0044

東京都千代田区鍛冶町2-2-1

三井住友銀行神田駅前ビル

社団法人 産業環境管理協会内

Tel.: 03-5209-7708 Fax: 03-5209-7716

E-mail: lca-project@jemai.or.jp

URL <http://www.jemai.or.jp/lcaforum/index.cfm>

(バックナンバーが上記URLからダウンロードできます)