

### 目次

垂直思考と水平的思考・・・1  
キヤノンのLCAの取組み・・・2  
新・価値基準「ファクターX(環境効率)」の実践・・・5

ICTサービスのLCA・・・7  
日本版被害算定型影響評価手法(LIME)の概要  
(後編)・・・9  
関連行事カレンダー・・・12  
お知らせ・・・12

### 巻頭言



## 垂直的思考と水平的思考

三井化学株式会社  
環境安全役員付き部長 岩本公宏

1970年代頃までの高度成長に伴う環境問題に代わって、豊かな生活の代償として廃棄物問題、資源の枯渇の恐れや地球温暖化問題がクローズアップされ、さらに、科学の進歩によりオゾン層破壊や内分泌かく乱化学物質などの新たな問題が提起され、環境・安全問題も多様化してきた。これら問題に関する社会の関心の高まりは、環境・安全に対する企業の取組み姿勢を企業価値の一要因として評価するとともに、製品についても環境にやさしい製品を選択する傾向がでてきた。

化学産業界は、“レスポンシブル・ケア”という化学製品の全ライフサイクルにわたる環境・安全に関する自主的取組みを、90年代半ばから本格的に開始してきた。自主的取組みを推進するにあたって難しい点は、経営資源投入にあたって多くの課題を適正に評価して優先順位付けをし、さらに取組みの目標を設定する事である。

環境・安全問題の多くは、相互に関連する事が多く、二律背反の関係にあるものもある。それだけに、多くの課題をいくつかの評価項目で客観的、総合的に評価し、取組みの優先順位付けをする事が大切である。これが言わば水平的な思考である。

一方、化学産業界で生産する多くの化学製品は、素材として多くのサプライチェーンでの加工、組み立てを通して、最終製品の構成材料や部品となり、消費者の使用を経て最終的には廃棄物となる。化学産業界、サブ

ライチェーンでの取り扱い段階での環境・安全への配慮だけでなく、消費者の使用段階及び廃棄段階での環境・安全への影響に配慮する事も、化学産業界としての管理の主要な項目となる。

このように全ライフサイクルを対象とし、環境負荷と安全を適正に評価し改善を考える事が垂直的な思考であり、LCAはそのための代表的ツールである。

化学産業界にとって、サプライチェーン段階での環境・安全の取組みに関しては、化学物質安全情報データシート(MSDS)を製品ごとに作成し顧客に提供してきた。これに加えて環境情報として、顧客サイドが環境負荷のより少ない製品の開発のためにLCA評価を実施する事に対応すべく、主要製品に関して産業界共通のLCIデータベースを策定し顧客に提供する試みを97年から実施し、対象とする製品数を段階的に拡大してきている。

こうした取組みにより、化学製品の安全な取り扱いに関する情報と、その製品が製造されるまでの環境負荷に関する情報がセットとなってサプライチェーンに伝わる事になっている。

これらのデータシートには、改善すべき余地が残されている。MSDSについて言えば、安全情報として確認できていない項目が部分的に残っている事、LCIデータについては作成できたのは未だ主要製品のみである事などである。

前者については、生産量の多い化学物質から優先的に国際的な連携のもとにデータ取得と評価を進めている。後者については、化学製品の材料となる他の産業界の協力を得てやっとここまでこぎつけたのが現状である。今後、データの維持とともに、サプライチェーンのニーズと個々の化学製品の環境負荷に占めるウェイトを水平的思考で評価して、必要性の高いものから拡充を目指していく。

## 事例

### キヤノンのLCAの取組み

キヤノン（株）  
環境統括・技術センター  
製品環境推進部 LCA 推進室  
石塚 明克

#### 1. 導入とその目的

複写機を中心とした事務機のメーカーは、比較的早い時期から環境問題に取り組み始め、工業会等においてもLCA評価の検討を実施してきた。その中でキヤノンは従来より「共生の理念」を打ち出し、その一環として環境問題にも企業活動と環境改善の調和という観点から、積極的に取り組んできている。1982年には、複写機やプリンタなどに使われる感光ドラムやトナーをコンパクトにまとめたトナーカートリッジを、パーソナル複写機に採用したことにより、どこでも誰でも簡単にコピーをとることが出来るメンテナンスフリーを実現し、その後も複写機やプリンタに飛躍的に拡大させてきた。

このトナーカートリッジは、中国・キヤノン大連工場においてリサイクルされ再び製品として使用されている。1993年にキヤノン社内でこのリサイクルを省資源と省エネルギーの観点からその有効性を議論する声があがった際に、環境負荷(CO<sub>2</sub>排出量)を定量的に評価するための手段として、キヤノンで初めてのLCA手法の導入が行われた。

#### 2. 環境負荷の情報公開としての活用

(タイプ 環境ラベル)

キヤノンではLCAをベースとする新しい国際的なエコラベル方式：タイプ 環境ラベルにいち早く取り組み、LCAの結果得られた環境負荷に関する情報を公開してきた。製品環境負荷を定量的、直接的に消費者・ユーザーに開示することを通して、市場との対話を深め、新しい真の価値を形成していく必要があると判断したためである。日本での推進母体である“(社)産業環境管理協会(JEMAI)”と連携し、1999年に日本で初めてタイプ 環境ラベルの開示をスタート、ISO-TC207ソウル大会で発表し一躍注目を集めた。またJEMAIプログラム ver.1からJEMAIプログラム ver.2を通した試行後に2002年4月にスタートした同じくJEMAIが推進する日本でのタイプ 環境ラベルのプログラムである「エコリーフ環境ラベル」について世界で初めて、データ集積から検証・開示までの一貫したシステム認定を取得した。このエコリーフ環境ラベルを含め過去にタイプ 環境ラベルで開示した製品数は、2005年1月現在累計で、91件(複写機;17 LBP;6 IJ;63 カメラ;5)となっており、エコリーフ環境ラベルはJEMAI及びキヤノンのホームページで公開している。

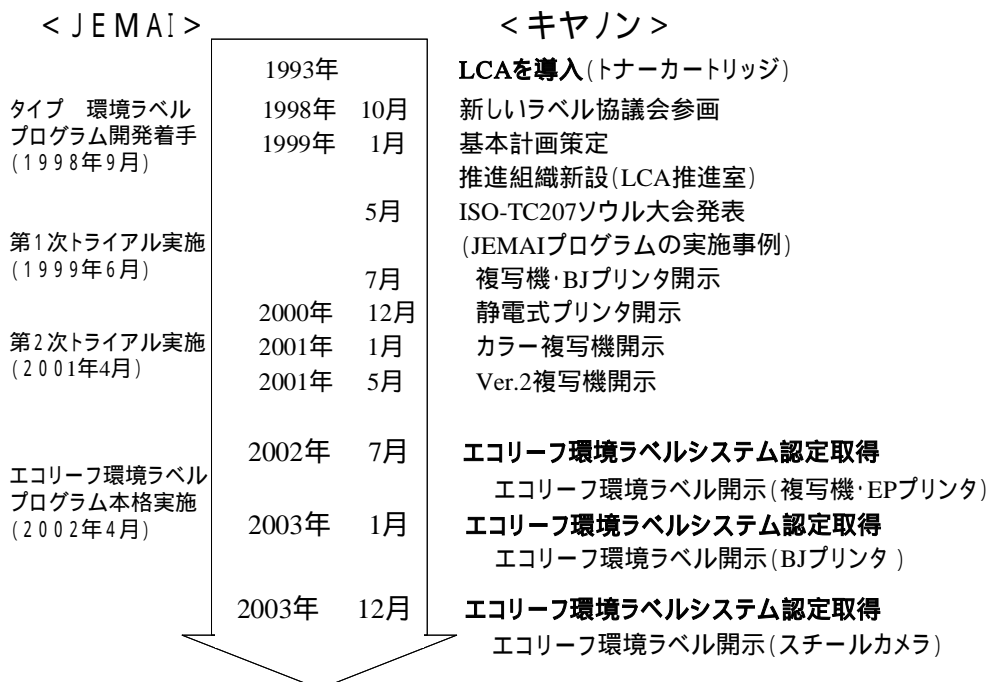


表 - 1 キヤノンのLCA導入とタイプ 環境ラベル取組み

### 3. LCA 取組みにあたっての仕組み構築と課題

これらの LCA 実施にあたり、キヤノンが実施したステップと構築した仕組みは以下のとおりである。

#### ステップ 1 ;

LCA を実施するためのデータ収集として、製品を構成する原材料について、その種類と質量のデータを把握するための仕組みは整備されておらず、収集するためには、各部品毎にその構成材料を積み上げる必要があった。そこでもっとも近道であったのは、製品自体を分解することでその構成材料毎の質量を把握する方法であった。また主要加工であるモールド・プレス・メッキなどについては独自にプロセス毎に投入エネルギー量を把握し、その結果から環境負荷推定ルールを作成した。

ここでの課題は、製品を構成する原材料のデータ収集にあたり、複写機のように何千点にも及ぶ構成部品からなる製品を分解することは大変な手間を必要としたこと、及び自社の加工データは、製品を製造するサイトへの投入エネルギーを把握し、アロケーションすることで、高い精度で把握することが可能となったが、社外については十分なデータが得られなかったことである。

#### ステップ 2 ;

これらのデータを基に、LCA 計算を実施しタイプ 環境ラベルにまとめるための自前の自動集計ソフトを開発し、LCA 計算の部分を自動化した。これは、「図 - 1」において、LCA 算出プログラムと書かれている部分である。データベースは、JEMAI プログラム Ver.2 以降は産業環境管理協会が用意したプロセス積算型の「原単位」をバックグラウンドデータとして利用することが出来、ステップ 1 で用いた「産業連関表」とは異なるデータベースで LCA 評価を実施出来る仕組みが出来上がった。

#### ステップ 3 ;

自動集計ソフトに INPUT するための設計データの自動取り込みソフトの開発により、設計データとリンクしたデータ収集を可能とした。これは、データ収集にあたっての課題に対応することと、LCA の評価を単に結果として捉えるのではなく、設計段階で把握し、環境負荷低減の具体的なアクションにつなげる必要性から必須のものとなる。この仕組みは、「図 - 1」において、開発からの「3D-CAD 情報」取り込み部分に対応している。以上のようなステップで取組みを進めてきたが、今後の課題として、より詳細な LCA を実施するためには、以下のような点からデータベースの充実が必要となる。

- 原材料（素材）や加工を中心とする種類拡張
- データ精度向上
- データベースのタイムリーなメンテナンス
- 海外のデータ

産業環境管理協会でエコリーフのために準備された原単位は、手軽に LCA を実施するためのデータベースとして役立つが、今後これらの定量的情報が増加していく中で、特にタイプ 環境ラベルとして利用するためには、製品間の環境負荷情報の「比較可能性」の追求の観点から、データベースの精度向上及び拡充が期待される。

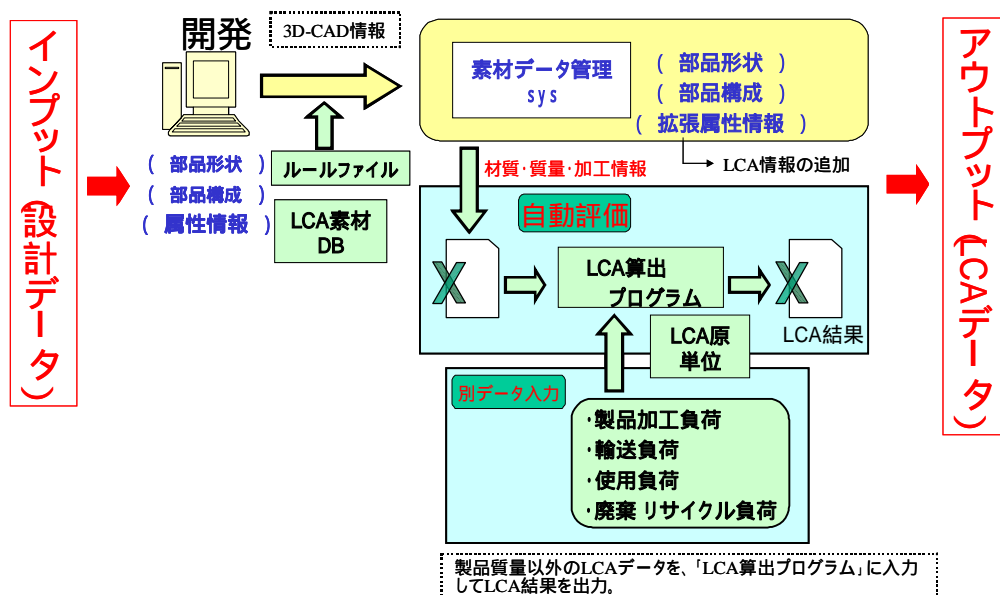


図 - 1 LCA 評価システムの仕組み

#### 4. 取組みの結果

複写機の事例をもとに、キヤノンの製品の環境負荷の内訳とその特徴について以下に紹介する。キヤノンは、加工組立てを中心とする製品が主力であるため、素材メーカーと異なりCO<sub>2</sub>排出量で見た場合に、ライフステージの中でもっとも大きな環境負荷を占めるものはキヤノン内での工場における製品製造に起因するものではなく、使用ステージがもっとも大きくそれに続くものが製品を構成する素材製造ステージの負荷であることがわかった。使用ステージの内訳は、使用時に消費される電力に伴う負荷と使用時に消費される消耗品(複写機の場合はトナーや感光ドラムがその主なもの)である。従って環境負荷の削減にもっとも有効なのは、この使用ステージの負荷を削減することであり、図-2に示すとおり新規の製品「iR3300」においては、消費電力を削減することにより使用ステージの負荷を大幅に削減し、素材製造ステージの負荷の大きさとほぼ等しいレベルまでになった。なお物流の負荷は図-2においては国内のみの物流負荷が考慮されており、全体負荷に対する比率は小さいが、グローバルに展開される製品においては、国際間の物流負荷は無視できないレベルにあることがわかっている。

#### 5. 企業ビジョンへの展開

キヤノンは先に述べた「共生の理念」に基づき、環境問題から見た対応として資源生産性の最大化という方針を打ち出してきた。その方針に対する具体的指標として、キヤノングループの環境効率の比(ファクター)を2倍にするというビジョンを掲げ、その具体的取組みを推進している。ファクターは環境効率を用いて以下のように定義している。

$$\text{ファクター} = \frac{\text{環境効率(対象年)}}{\text{環境効率(基準年)}}$$

2000年を基準として2010年の環境効率を2倍以上にする

$$\text{環境効率} = \frac{\text{価値}}{\text{環境負荷}} = \frac{\text{売上高}^1}{\text{ライフサイクルCO}_2\text{排出量}^2}$$

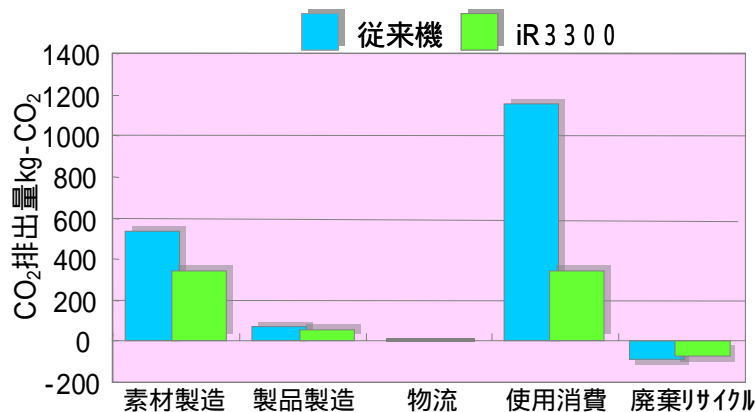


図-2 複写機の環境負荷の新旧比較

ここで分母となっているキヤノングループに関する環境負荷(CO<sub>2</sub>排出量)は、上記に述べた製品個別のLCAの応用展開として、LCA手法を用いて算出把握した。ここで環境負荷をCO<sub>2</sub>排出量に絞り込んだ理由は以下のとおりである。

製品のライフサイクルでの環境対応が求められており、それに適合している。

エネルギー消費のみでなく資源消費やリサイクルを含めた指標となり得る。

ビジネスモデルの変革にも対応可能。

特定化学物質についての評価は、基本的には使用廃絶を目的として活動しており、削減目標としては除外した。

現時点において、一般にファクターには対象を製品単位としたものが多いように思われるが、キヤノンでは個々の製品単位のファクターの検討も行いながら、より経営の視点に立った指標として使えることを目指したものとして、上記定義の通りキヤノングループ全体を対象としたファクターを策定した。このファクターの特徴は、キヤノングループ全体の企業活動と環境負荷を一本化した指標で表し、そこに目標値を設定したという点にある。このファクターは、キヤノンの外部に対し、キヤノンが取り組む環境負荷削減を数値で公開するのみでなく、キヤノンの各事業及び製品単位毎にその目標値をブレイクダウンし、キヤノン内部の環境取組みの指標及び目標値としても活用する。

またファクターに関する今後の課題として、指標としての標準化・共通化(各社間の比較など)や、統合化という観点からCO<sub>2</sub>のみでなく様々な側面を持つ環境負荷をコストなどの1本化した指標にまとめることを目指す手法についても検討していきたいと考えており、経営の視点からもLCAはそのツールのひとつとして今後より重要度を増すと考えられる。



新・価値基準  
「ファクターX（環境効率）」の実践

松下電器産業(株)  
環境本部 環境企画グループ  
主事 青江 多恵子

「ファクターX」と「エルビス・プレスリー」  
「ファクターX」を松下グループに導入してもうすぐ3年になる。2001年に東京(日本)とフライブルグ(ドイツ)で開催した「パナソニック環境フォーラム」で初めて発表し、2002年度からグリーンプロダクツの基準として松下グループで活用している。社内では業績評価に反映することにより、社外では環境ラベルタイプとしてグリーンプロダクツの開発と普及に結び付けている。さらに、ファクターXの概念普及を目的にファクターX冊子も発行した(ピンク色で女の子と男の子が登場するこの冊子は、この種の冊子を発行するちょっとしたブームの火付け役にもなっている)。図1に松下グループが提案する「ファクターX」をご紹介します。LCAをこの温暖化防止ファクターの環境影響の評価に活用しているのだが、ファクターXやLCAがグリーンプロダクツの基準として位置づけられ、研究部門ではなく、技術部門により開発現場における日々の業務の中で実施されるのは世界で初めてのことでないかと思う。この指標の導入以来、弊社グループ内の技術者、環境担当者はもとより、企業や研究機関の方々、大学生から中学生まで様々な方々に「ファクターX」のお話させて頂いた。1ヶ月ほ

ど前は、企業の方々、研究者、弊社の技術者と立て続けにお話させて頂く機会に恵まれたのだが、その折にある変化に気づいた。みなさんのご様子はいつもとそんなに変わらなかったのだが、弊社技術者の反応があきらかに変わってきていて、「環境」が設計・開発現場にビルトインされていっているのを確信した。『"ファクターX効果"とでも言うべきか、「ファクターX」そのものというより、「ファクターX」により「環境」が設計・開発現場にビルトインされていっているように感じた。』そんなことを、ファクターX冊子の協力者である元ダンディー(ここでは言うておきます)なディレクターにお話したら、そのディレクターは、エルビス・プレスリーのお話をしてくれた。「黒人が黒人音楽を歌っている間は、黒人音楽は世界に認知されなかったが、エルビス・プレスリーが黒人音楽を歌うことによって黒人音楽は世界(つまり社会一般)に認知されていった。環境側面だけではなく、生活価値と環境側面の両面を言及するファクターXは、企業活動に環境側面の価値を組み込ませていく上で、エルビスと同じような役割を果たしているのかな。」エルビス・プレスリーは、社会的意義も大きいらしく、その音楽活動のインパクトを「社会現象」としてとらえた書籍も出版されているということである。とにもかくにも、このところ、経営企画部門、R&D部門、広報部門などからの関心も高まる一方である。「環境影響の削減」と言っても、「製品・サービスの価値を向上させながら環境影響を削減」と言ってみても、結局、環境影響を削減するという取り組みは同じなのであるが、随分受け止められ方が違うようである。そして、コンセプトではなく、数値化が必須なのだということもわかってきた。

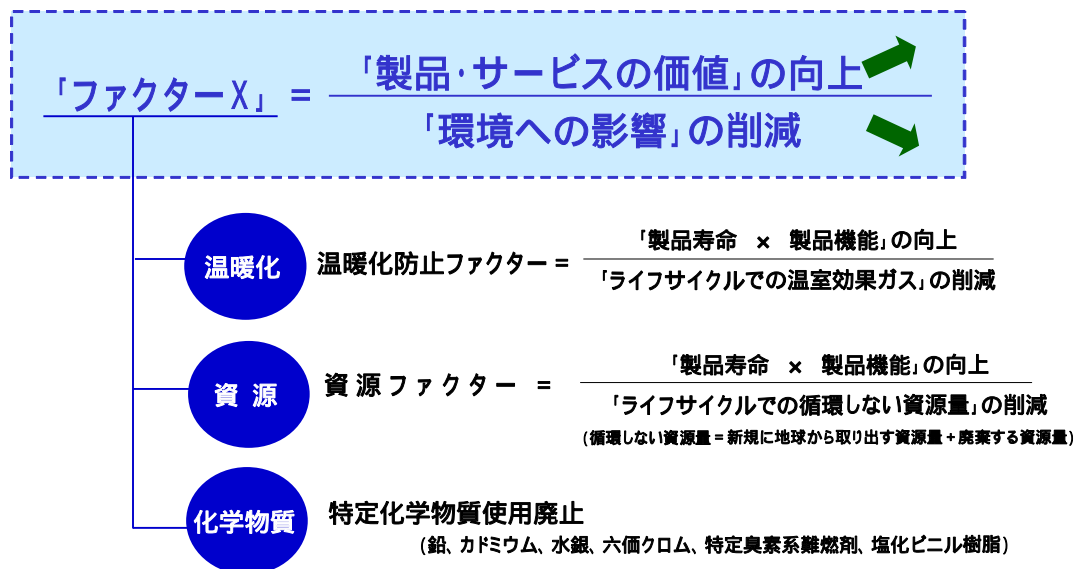


図1 松下グループが提案する「ファクターX」

コンセプトではなく、数値化されなければならないというのは、実は本指標導入前も、グリーンプロダクトを「基本品質・性能＋環境品質・性能」と定義し、製品・サービスの価値と環境の両面をコンセプトとして掲げていた。しかし、数値化はされておらず、環境側面にのみ数値目標を設定していた。「ファクターX」導入後は「生活価値（製品・サービスの価値）と地球環境の一体化」をコンセプトに掲げ、生活価値（製品・サービスの価値）と環境側面の両面を定量評価しその目標値を設定している。つまり、導入前後の違いはコンセプトではなく定量評価しているかどうかである。この定量評価により「ファクターX」のコンセプトが理解され、「環境」が設計・開発現場に受け入れられやすくなったようである。コンセプト自体を広めるよりも「測定する」という考え方の方がわかりやすく広まりやすいようだ。

#### 「ファクターX」開発裏話

この指標は、技術部長や課長などが委員として参画する「製品アセスメント部会」での議論を基に開発した。こっそり裏話をご紹介する。環境本部からただ一人事務局として出席していた筆者は、「省エネやったら3インチのテレビでええんか?」「水や電気を使わへんかったら汚れが落ちへん洗濯機でええんか?」「環境本部さんは経営のことを何も考えへんでええねんからええなー。」などなど温かいご意見（環境行政への鬱積された不満?!）を一身に受ける中で、「よい技術・商品開発につながりますように」という思いで考えて部会に提案した

指標である。その当時、弊社で実施していた「松下製品アセスメントVer.5」の定量化を図る過程で、技術進歩を評価、促進することを目的に、製品機能を含めた評価へと発展させることで開発した指標である。結果的にファクターXの概念と一致し、この概念をより有効に現実化することにつながった。東京大学の山本良一教授にもご指導を頂いた。

#### 「ファクターX」の算出事例のご紹介

紙面の関係上、少ししかご紹介できないが、図2に機器ごとファクターXと図3に家まるごとファクターXの算出事例をご紹介する。家まるごとファクターXは2003年に東京で開催されたパナソニック環境フォーラムで初めて発表された、世界で初めての試みである。ここでご紹介するのは2004年版であり、今後とも継続していくつもりである。

#### おわりに

まだまだ解決すべき課題は山積しているが、活用実績を基に新たな方針が制定されるなど、確実に進化発展してきている。この指標の導入により、目標の明確化とその管理を可能にし、課題を抽出、方針や施策へ反映するといったフィードバックループを構築することができた。3年間の活用実績から思うことであるが、使ってみなければその有用性はわからないし、使ってみて初めてわかる課題もある。事業場間でレベル差はあるが、先進



図2：機器ごとファクターX

事業場では、ファクター X や LCA を設計改善に活かし、かつ具体的な指標の改善も提案してくることからもわかる。現状、研究者は研究することに熱心で、企業は現場では使えないと言っている。企業の設計・開発者がファクター X や LCA を活用してエコデザインされた製品・社会システムを開発し、活用することによって抽出された課題を研究者は解決、精度や操作性を向上させ、その進化したファクター X や LCA を用いて設計・開発者がエコデザインされた製品・社会システムを開発し・・・という好循環を形成したいものである。だから、松下グループでは今日も現場で実践している。

最後になりましたが、先述の温かいご意見(不満?)の発言者は、松下電器グループ・環境経営報告 2004 の 32 ページに筆者と一緒に仲良く写真に写っている 2 人の技術者で、今ではどんなに忙しくても必ず惜しまぬ協力をしてくれる仲間達なのです。

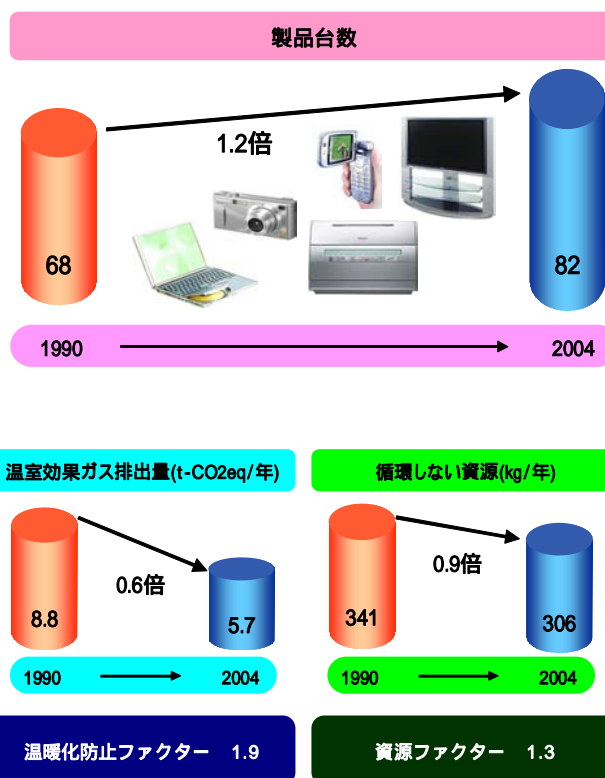


図 3：家まるごとファクター X 2004

## 事例

### ICT サービスの LCA

日本電信電話(株)  
 情報流通基盤総合研究所  
 環境経営推進プロジェクト  
 西 史郎

#### はじめに

1990 年代後半から情報通信技術 ( ICT : Information Communication Technology ) が急速に発展し、従来の固定電話から携帯電話、インターネットが広く使われるようになった。ICT サービスの特長の一つは距離と時間の克服であり、ICT を活用した業務では離れた場所や任意の時間に業務を行うことができるようになる。二つ目の特長としては、簡単に膨大な情報にアクセスできるだけでなく関係者と情報を共有することにより、判断や意思の決定、伝達が迅速になり、生産や物流などの活動の効率化が図れる。三つ目の特長は、情報をデジタル化し電子化することにより、紙などの記憶媒体の脱物質化が図れることである。これまでパソコンや電話機などの ICT 機器に関して LCA が実施されていた。最近、ICT 機器だけでなく ICT サービスに関しても LCA が実施されるようになってきた。ここでは、ICT サービスの代表的な事例である TV 会議サービスのインベントリー分析について紹介する。

#### TV 会議サービスの評価

TV 会議を東京と名古屋で実施し、TV 会議装置としてフェニックス F と 25 インチモニターが両地点にあるものとする。通信は B フレッツビジネスタイプを用い、1 回 60 分の会議を週 1 回行った場合の 1 年間の二酸化炭素排出量を評価した。評価結果を図に示す。ここで用いた TV 会議装置は普及型の装置であるが、当該 TV 会議にしか利用しない専用品のため製造負荷が大きくなり、全体の製造負荷の 84% を占める。一方、TV 会議装置の消費電力は比較的小さく、使用時負荷の 5% 程度である。廃棄時の負荷は製造や使用段階に比べて極めて小さい。合計の二酸化炭素排出量は 220kg になった。このうち、TV 装置に起因するものは 53% である。通信設備に関しては、B フレッツを TV 会議専用として評価しているため、環境負荷が大きくなっている。

同一の TV 会議装置を用いた場合、環境負荷が変動すると思われるのは、会議の開催頻度、会議時間、開催場所がある。もちろん製造負荷や廃棄時の負荷は 1 年間で単位としているため同じ値になる。ここでは、開催頻度と会議時間、開催場所を 1 つだけ変えたものを評価した。

まず、東京と名古屋での TV 会議で開催頻度を週 1 回から月 1 回に変えた場合を評価した。結果を図に示す。

TV会議装置の消費電力は1/4になっている。通信設備の使用時環境負荷は、加入者設備が常時稼働している部分（固定分）と情報量或いは使用時間に応じて算出する部分（変動分）からなっている。このため、週1回のTV会議を月1回に減らしても、使用時負荷は1/4にならず、47%に留まっている。

次に、開催頻度は週1回であるがTV会議の時間を1時間から2時間に変えた場合を評価した。結果を図に示す。上記の理由により通信設備分の環境負荷が単純に2倍にならない。従って使用段階の環境負荷も2倍にならず、1時間の使用時の環境負荷の69%増に留まっている。

TV会議の開催場所を名古屋から福岡に変えて評価した結果を図に示す。なお、電力の二酸化炭素排出原単位は全国平均を使っているため地域による差分はない。今回はBフレッツを使ったため、ネットワークの環境負荷の距離依存性が殆どないため、使用時負荷はほぼ同じ値となっている。通信手段をインターネットのBフレッツからISDNやアナログの回線交換に変えると距離に応じて環境負荷が変動するが、回線交換の場合はアクセス系の環境負荷が中継系の環境負荷よりも圧倒的に大きいため、環境負荷の距離依存性は小さい。

#### 比較サービスの評価

TV会議サービスの比較としては、TV会議装置を変えることが考えられる。ここで、フェニックスFの代わりに大型のTV会議装置（30人規模のTV会議システム）を用いるとTV会議装置の製造負荷は50倍、消費電力は20倍位になる。東京と名古屋のTV会議で週1回1時間の会議を行うとすると、1年間の二酸化炭素排出量は6300kgとなり、28倍の環境負荷となる。通信の環境負荷は変わらないため、全体の環境負荷のうち、TV装置に起因するものは98%まで高くなる。

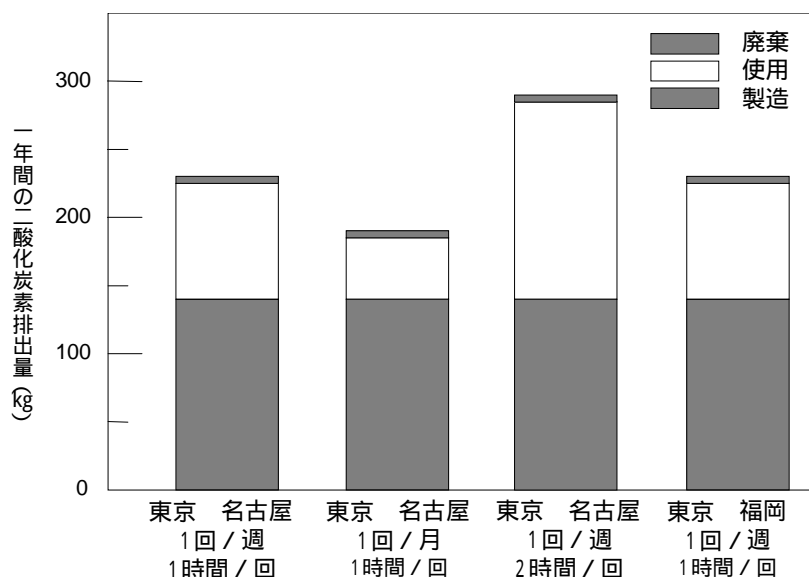
比較サービスとして、TV会議の代わりに人間が移動して行う対面会議が挙げられる。対面会議とTV会議では「会話の理解度」や「話の弾み具合」など全く同じではないが、ここでは同じ価値をもつものとする。この場合の環境負荷は移動するときの手段である交通機関から発生すると考えられる。例えば、東京と名古屋のTV会議では、名古屋から東京に電車で移動しバスで2km乗車して最終目的地に到着するモデルを考える。週1回1人が移動すると考えると、1年間の二酸化炭素排出量は1500kgとなり、TV会議の6.7倍にも相当する。人間が移動する場合は、開催頻度や移動人数に比例して環境負荷が変化する。また、福岡から東京に行く場合は飛行機を使うのでさらに環境負荷が増え、1人が週1回移動すれば1年間で29トンの二酸化炭素が排出されることになる。これは、TV会議の130倍にもなる。

おわりに

ICTサービスの環境に対する効果については、単純に比較サービスを評価するだけでなくリバウンド効果などの波及効果についても評価されている。高橋らは移動中の活動やTV会議により節約できた時間の活動をアンケートにより集計し、環境負荷を算出している(1)。詳細は文献を参照にされたい。ICTサービスの環境負荷は、サービスの内容だけでなく、サービス受益者の行動により大きく環境負荷が変わる。ICTサービスのLCAに関しては課題も多いが、日本環境効率フォーラムでITソリューション研究会が発足し、評価手法の共通化を検討し始めており、その成果が期待される。

#### 参考文献

(1) Takahashi et al, Proc. 2004 IEEE Int. Symp. Electron. Env., p13(2004)





## 日本版被害算定型影響評価手法(LIME)の概要(後編)

(独)産業技術総合研究所  
ライフサイクルアセスメント研究センター  
LCA手法研究チーム  
チーム長 伊坪 徳宏

はじめに

前稿においては、LIMEの概要に続き、特性化と被害評価に関する評価手法とその利用方法について解説した。本稿では、LIMEの最終ステップである統合化の手法論とその利用方法、海外におけるLCIA手法との関係、今後の課題について紹介する。

### 1. 統合化係数の開発

環境影響(被害量)の統合化は、LCIAのみならず環境会計や環境報告書を通じた企業評価での利用が近年注目されているが、その中でも統合化指標を経済指標で表すための手法開発が特に望まれている。このような要求に応える方法として、LIMEではコンジョイント分析に着目した。コンジョイント分析によれば、評価対象(例えば自動車)を構成する属性(例えば排気量、最高速度)のウェイトを住民等のアンケート調査結果を基に算定することができる。環境経済学では、環境を構成する要素(例えば干潟の生物多様性やレクリエーション効果)の効用を測る方法として、同手法は最先端の手法として特に注目を集めているが、LCIAにおいて実際に利用された例はこれまでになかった。LIMEでは、コンジョイント分析を採用してアンケート調査の回答結果を統計解析することで保護対象の重み付け係数を得て、統合化係数を算定した。

ここでは本調査の実施に先立って、回答者が理解しやすい調査票を作成するための議論とプレテストを重ねた。20～50歳代の男女400人を対象としたアンケート調査では回答者の理解を促すため面接調査を採用し、年齢構成や性別、年収に偏りが出ないように工夫した。得られた結果は、統計的有意性、分析に利用したロジットモデルの説明力のいずれも良好であり、社会的合意性が高く、かつ、汎用的利用に耐える統合化係数を開発することができた。

LIMEでは、下記の三種の統合化係数を算定し、提示した。

- (1)コンジョイント分析から得た外部費用を測るための係数(ver.1)、
- (2)コンジョイント分析から得た無次元統合化を行うための係数(ver.2)、
- (3)AHPから得た無次元統合化を行うための係数(ver.3)

実施者はこれらの中から目的に整合した係数を選択したり、統合化係数の違いによる評価結果の感度分析に利用したりすることができる。

### 統合化係数リストの利用方法

統合化係数リストは先述の通りVersion 1～3の三種類のリストがある。コンジョイント分析とAHPの詳細は、LCAプロジェクト成果報告書に記載しているので、そちらを確認いただきたい。LCAプロジェクトインパクト評価研究会では、推測統計学に基づいており、母集団に回帰することができるコンジョイント分析を利用した統合化係数リスト(Version 1もしくは2)を推奨している。実施者は、これら三種のリストから自分が利用したい統合化係数リストを選択し、影響評価に利用することができる。ISO 14043(ライフサイクル解釈)では、影響評価用の係数の選択による算定結果の差異についてチェックしておくことを要件として挙げている(これを感度分析と呼びます)。したがって、一つだけのリストに基づくのではなく、複数のリストを利用した上で、計算結果の間にどの程度の差異があるのかについて調べておくことを推奨する。

以下に統合化係数リストを利用した影響評価の計算方法を示す。

はじめに、統合化を行うためのリストをVersion 1から3の中から選択する。次いで、インベントリデータとこれに該当する統合化係数を抽出する。その後で、以下の式に示すように、インベントリデータとこれに対応する統合化係数との積和により評価を行う。

$$I = \sum_i \sum_s (\text{Inv.s} \times \text{IF}_{i,s})$$

I: 環境影響の統合化結果(例えばVersion1のリストを利用した場合 Yen)

Inv.s: 環境負荷物質sのインベントリデータ(例えばNOxの場合 kg, 廃棄物の場合はm<sup>3</sup>若しくはkg)

IF<sub>i,s</sub>: 影響領域iに含まれる環境負荷物質sの統合化係数(例えばVersion 1の場合 Yen/kg)

複数の影響領域に渡って環境影響を与える物質、例えばSO<sub>2</sub>(酸性化、都市域大気汚染)は影響領域ごとに統合化係数が示されているので、それぞれの影響領域に対する計算結果を足し合わせることで統合化を行う。

2. 海外の研究事例との比較

表3にLIMEの特徴を他の手法(EPS(2), ExternE(3), Eco-indicator'99(4))と比較したものを示す。これらは全て被害算定型を採用しており、インベントリとエンドポイントを関連付け、エンドポイントの重み付け又は経済価値化により統合化を行うという評価の枠組みは同一であるといえる。しかし、評価対象とする物質や影響領域、評価ステップの種類など様々な点において大きく異なっている。以下に特に重要な相違点について述べる。

(i) 被害量を算定する対象であるエンドポイント(保護対象)と被害指標

人間健康においては、損失余命に関わる係数を被害指標として利用することは共通点として挙げられる。しかし、生態系についてはいずれも評価対象とする一方で、生態系のどの部分に注目するのか、生態系が受ける被害をどのように表現するかについては、手法間で大きな差異がある。EPSは一年間における生物種の絶滅に対する寄与度(割合)を、Eco indicator'99は生物種(維管束植物種)が消失する割合を、LIMEは絶滅種数の期待値を被害指標として利用している。すなわち、他の手法は割合といった無次元の指標を利用するが、LIMEでは生物種の数をカウントする点で異なる。健康影響を除く人間社会への影響(資源、材料、農作物

など)についての考え方も手法によって大きく異なる。LIMEでは、人間社会において有価物として取り扱うもの(非生物系資源、農作物、水産資源、森林資源)を包括したものとして、保護対象「社会資産」を設定する。EPSはそのほかに土壌の酸性化の緩衝に利用されるカチオンも含め、保護対象を「資源」と「生産能力」の二つに区分している。Eco-indicator'99では、農作物や水産資源などは含めずに、鉱物資源と化石燃料に限定した「資源」を保護対象としている。ExternEでは建材などの「材料」を算定の対象としているが、保護対象に関する明確な定義はない。

一次生産(植物生産)に対する影響は、LIMEとEPSでは考慮しているが、Eco indicator'99とExternEは算定の対象としていない。また、LIMEは、「一次生産」を保護対象として定義する一方で、EPSでは、本項目は「生態系の生産能力」の構成要素の一つとしており、保護対象の対象範囲の点で両手法は異なる。

(ii) 影響領域

EPSやExternEにおいてはISO14042でいう影響領域(例えば、地球温暖化、オゾン層破壊など)の設定がされていないので、影響領域の対象範囲について直接比較することは困難であるが、概ね共通しているものと考えら

表3：環境影響統合化手法間の特徴の比較

手法名	EPS	ExternE	Eco indicator '99	LIME			
開発国、公表年次	スウェーデン (2000年改定)	EC (1998年改訂)	オランダ (2000年改定)	日本 (2003)			
被害算定型 or 問題比較型	被害算定型	被害算定型	被害算定型	被害算定型			
考慮されている環境負荷物質	250物質、5土地利用態様	13	550物質、10土地利用態様	1000物質、80土地利用態様			
評価可能ステップ	統合化	統合化	被害評価、正規化、統合化	特性化、被害評価、統合化			
影響評価対象地域	スウェーデン	ヨーロッパ	ヨーロッパ	日本			
保護対象と被害指標	人間健康 資源	定義なし (人間健康、生態系、 材料への被害を考慮)	人間の健康	DALY	人間の健康	DALY	
	生物多様性		NEX(一年での生物種の絶滅に対する割合)	生態系の質	PDF(生物種の消失割合)	社会資産	Yen
	生産能力		kg	資源	超過エネルギー	生物多様性	EINES(絶滅した生物種数の増分期待値)
	審美性		計量せず			一次生産	ton
影響領域	上記五項目を影響領域として定義	定義なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>資源・地球温暖化</li> <li>オゾン層破壊・発癌性物質</li> <li>呼吸器系疾患・生態毒性</li> <li>酸性化/富栄養化</li> <li>土地利用・放射線</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地球温暖化・オゾン層破壊</li> <li>都市域大気汚染・有害化学物質</li> <li>生態毒性・酸性化・富栄養化</li> <li>光化学オキシダント</li> <li>土地利用・非生物資源・廃棄物</li> </ul>			
評価プロセス	インベントリ カテゴリエンドポイント 単一指標	インベントリ カテゴリエンドポイント 単一指標	インベントリ 保護対象 正規化 単一指標	インベントリ 特性化 カテゴリエンドポイント 保護対象 単一指標			
統合化方法	市場価値があるもの：市場額 市場価値がないもの：CVM引用	CVM(文献)	パネル法	コンジョイント分析、AHP			
単一指標	ダメージコスト	ダメージコスト	無次元指標(三種類：階層主義者、平等主義者、個人主義者)	ダメージコスト(コンジョイント分析)、無次元指標(コンジョイント分析、AHP)			
統合化での調査サンプル数と調査方法	引用のみで実地調査なし	不明	80名(回収率20%)、郵送調査	400名、面接調査			
統合化係数の統計的有意性	不明	不明	検証なし	検証済み			

れる。異なる点としては、Eco indicator '99では放射線を考慮していること、LIMEでは廃棄物を影響領域として含めることが挙げられる。

### (iii) 統合化結果の表示方法と重み付けの手法論

統合化のアプローチは大きく、外部経済評価(ExternE, EPS, LIME(コンジョイント分析))とパネル法(Eco indicator '99, LIME(AHP))に分けられる。統合化の結果としては、前者を利用したときは金額(EURO 又は日本円)で表されるが、後者の場合は無次元の指標で表現される。コンジョイント分析によれば、重み付けの対象項目の中に貨幣単位で表現されるものが含まれることを条件に、金額と無次元の両方の係数を得ることができる。

LIMEにおけるコンジョイント分析が他の統合化手法と最も異なる点は、検定により統計的有意性が検証することができることにある。アンケート結果を元に得た分析結果を母集団に回帰する場合は、推測統計学などの理論が活用される。推測統計学によれば、社会全体における重み付けを推定するのみでなく、それらの統計的有意性について検定されるので、推定値の社会的代表性について検証することができる。環境経済学では、推測統計学の理論に基づいた解析が行われ、得られた推定値は検定を通過したもののみが汎用的な利用に耐えられるものとして取り扱われるのが通常である。コンジョイント分析は上記のような推測統計学の理論に基づいている。LIMEにおいて採用された統合化係数は、検定を通過しており、かつ、モデルの説明力が高いことも検証済みである。よって、社会の環境思想を反映しており、汎用的に利用することができるという統合化係数において重要な要件を満たしているといえる。統計的有意性を担保した統合化係数を得るためには、十分なサンプル数の確保と回答者によるアンケート調査票の理解促進が必要不可欠であるが、LIMEは400名の面接調査に基づくなどこれらに対する配慮が十分行われている。

### 3. 今後行われるべき研究課題

LIME開発に向けた研究活動を通じて明らかになった今後の課題を以下に整理した。また、各課題の検討の優先度を、高いものからA, BおよびCの3段階で表した。以下に示されるように、LCIA手法の課題は未だ山積しており、今後も継続して研究レベルの向上に向けた検討が求められる。

データおよび適用モデルに由来する不確実性の定量化(優先度A)。

影響評価結果に対する寄与が大きい項目の感度分析に

よる抽出(優先度A)。

不確実性が大きい、また寄与が大きい項目の推計精度の向上(優先度B)。

影響領域間での利用データを統一(例: 気象, 植生, 農業生産, 生産者価格)するための基礎データセットの整備(優先度A)。

利用データの随時の最新化(優先度A)。

推計手法の随時の見直し、また開けた議論に基づく改良(優先度A)。

因果関係の時間遅れの考慮(例: オゾン層破壊における、累積的なUV-B量の増加による累積影響と皮膚癌発ガンや白内障発症との時間差)(優先度C)。

被害と便益が共存する影響の評価手法の検討(例: 窒素飽和がもたらす富栄養化と栄養塩供給の両側面)(優先度B)。

カテゴリエンドポイントの見直し(例: 重視すべきエンドポイントを軽視しない)(優先度B)。

複数の保護対象にまたがる同一のエンドポイントの取り扱いの調整(例: 一次生産としての森林のNPPと、社会資産としての木材生産)(優先度B)。

二次的な影響の検討(被害評価に含めるべきかという根本的な議論を含む)(優先度C)。

無作為抽出法に基づく統合化係数の社会的合意性の向上(優先度A)。

影響領域の網羅性の更なる向上(室内空気質大気汚染や騒音などの追加)(優先度B)。

事例研究の積み上げと評価結果に基づくフィードバックの促進(優先度A)。

### 参考文献

- (1)ISO14042: Environmental management. Life cycle assessment. Life cycle impact assessment, (2000)
- (2)BENGT STEEN: A Systematic Approach to Environmental Priority Strategies in Product Development (EPS). Version 2000 Models and Data of the Default Method, 1999
- (3)EUROPEAN COMMISSION: ExternE Externalities of Energy, 1995
- (4)Pre Consultants: The Eco-indicator 99 A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, 1999

## LCA インフォメーション

### 関連行事カレンダー

日本LCA学会 設立シンポジウム	2005.3.1	全日通ホール (東京)	日本LCA学会 <a href="http://ilcaj.sntt.or.jp/">http://ilcaj.sntt.or.jp/</a>
タイプIII活用国際セミナー	2005.3.15	全日通ホール (東京)	(社)産業環境管理協会 <a href="http://www.jemai.or.jp/">http://www.jemai.or.jp/</a>
化学工学会 第70年会	2005.3.22 ~ 24	名古屋大学	化学工学会 <a href="http://www.scej.org/">http://www.scej.org/</a>
SETAC Europe 15th Annual Meeting	2005.5.22 ~ 26	Lille, France.	SETAC EUROPE <a href="http://www.zuova.cz/setac2004/">http://www.zuova.cz/setac2004/</a>
環境資源工学会第114回例会	2005.6.2 ~ 3	京都大学 吉田キャンパス	環境資源工学会 <a href="http://www.nacos.com/rpsj/">http://www.nacos.com/rpsj/</a>
ISIE 2005 Conference	2005.6.12 ~ 15	Stockholm, Sweden	International Society for Industrial Ecology <a href="http://www.ima.kth.se/isie2005/index.htm">http://www.ima.kth.se/isie2005/index.htm</a>
第14回日本エネルギー学会大会	2005.8.4 ~ 5	関西大学	日本エネルギー学会 <a href="http://www.jie.or.jp/">http://www.jie.or.jp/</a>
6th Asia Pacific Roundtable for Sustainable Consumption & Production	2005.10.10 ~ 12	Melbourne, Australia	APRSCP <a href="http://www.6aprscp.com/">http://www.6aprscp.com/</a>
ISWA General Assembly and Annual Congress	2005.11.6 ~ 10	Buenos Aires, Argentina	ISWA <a href="http://www.iswa.org/">http://www.iswa.org/</a>
SETAC North America 26th Annual Meeting	2005.11.13 ~ 17	Baltimore, Maryland, USA	SETAC <a href="http://www.setac.org/">http://www.setac.org/</a>
日本LCA学会年会(第1回研究発表会)	2005.12.1 ~ 2	産業技術総合研究所 (つくば市)	日本LCA学会 <a href="http://ilcaj.sntt.or.jp/">http://ilcaj.sntt.or.jp/</a>

### お知らせ

#### < LCA 日本フォーラムセミナー >

第3回セミナー講演資料をHPへアップしました。  
第4回セミナーが開催されます  
(2005/3/23/13:00-17:00)  
2月10日より受付開始しています。

#### < 総会 >

平成17年度LCA日本フォーラム総会を開催します  
(2005/4/25/13:30-14:30)  
全日通霞ヶ関ビル8F大会議室にて  
同時開催でJLCAセミナーを行います。  
テーマ: EuP指令について(仮題)

#### < データベース >

データベースの版が「2004年度4版」になりました。  
一部のデータが修正されました。  
データベースの活用事例(2件)を追加掲載しました。

### 編集後記

京都議定書が2月16日に発効しました。「やっと」「ついに」「とうとう」と思いは人それぞれでしょうが、約束事は約束事。守らなければなりません。さて、個人的なことですが、これを機に婚姻届を出してきました。「やっと」「ついに」「とうとう」・・・思うところはあるのですが、きっと先にあるは幸せな将来だと信じて、前進するしかないのですね。(K.N)

### [報告]

< 第1回LCA日本フォーラム表彰結果 >  
(平成16年12月10日:東京ビックサイトにて表彰)

- ・会長賞  
トヨタ自動車株式会社 環境部
- ・奨励賞  
大日本印刷株式会社 包装総合開発センター  
富士通株式会社 環境本部  
社団法人プラスチック処理促進協会  
新光電気工業株式会社 開発統括部  
独立行政法人産業技術総合研究所  
ライフサイクルアセスメント研究センター  
日本建築学会 LCA 指針策定小委員会
- ・功労賞  
高松 信彦氏

#### < 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: jlca@jemai.or.jp  
URL <http://www.jemai.or.jp/lcaforum/>  
(バックナンバーが上記URLからダウンロードできます)