

ライフサイクルアセスメント (LCA) の概要

成田 暢彦

企業の環境経営手法の一つとして、環境マネジメントシステムが適用され、その結果は環境報告書などで広報されている。それに加え、自社製品の環境に及ぼす影響や環境負荷削減の効果も様々な媒体をとおして、アピールされている。ここでは、環境経営を推進し、環境経営指標を構築するためのツールである「ライフサイクルアセスメント (LCA)」の概要をまとめる。

キーワード：LCA, ISO, データベース

1. はじめに

ライフサイクルアセスメント (LCA) は、製品やサービスの①生産から廃棄まで (ライフサイクル) の物質とエネルギーの流れを一貫して計量し (インベントリ分析)、②環境への影響を評価する (環境影響評価) 手法で、環境への負荷の少ない生産へ移行することを促進するための製品・技術の評価手法である。特に、資源の採掘から製品の廃棄までの環境側面を評価する場合が多いので、「ゆりかごから墓場まで」の製品の地球温暖化などへの環境問題に及ぼす影響を評価し、新旧製品の環境影響の改善を定量的な比較主張に利用される。本稿では、LCAの特徴、ISOに基づくLCA手法、データベースについて概説する。

2. LCAの特徴と必要性

2.1 LCAの特徴

環境マネジメントシステムでは、主に工場全体を対象に環境側面が評価されるのに対し、LCAでは工場で生産される製品に着目し、サプライチェーンを考慮しての環境側面が評価されることが大きな相違点である。その事例を図1に示す。

図1は、「1,500 cc 乗用車による移動」を対象にライフサイクルでの工程連鎖と各工程でのCO₂排出量を試算した結果である[1]。乗用車を組み立てるには鉄鋼製品などの素材を消費し、鉄鋼製品を生産するには海外での石炭、鉄鉱石の採掘が必要である。組立段階では、プレス用の電力などのエネルギーが消費され

る。走行段階では、組み立てられた自動車はガソリンを消費し、必要なメンテナンスを経て、約10年の寿命で廃棄される。このライフサイクルで多様なエネルギーが消費され、それに伴いCO₂などの温室効果ガス、酸性化に影響を及ぼすSO₂などが排出される。これらの排出量をライフサイクルにわたって計量し、最終的には環境への負荷が少ない生産方式に改善することを目的にLCA手法が利用される。LCAは、製品やサービスの環境側面を対象に、環境負荷を低減するための意思決定支援ツールとして利用され、各種の環境問題の背反関係である「トレードオフ」を考慮しながら、総合的に環境パフォーマンスを評価する特徴がある[2][3]。また、図1の事例でも理解できるように、「移動」という機能を達成するためには、鉄鋼業などの素材分野をはじめ、ガソリンなどを供給するエネルギー分野など様々な異なる業界の協働が不可欠であり、業種間のサプライチェーンマネジメントも要求される。

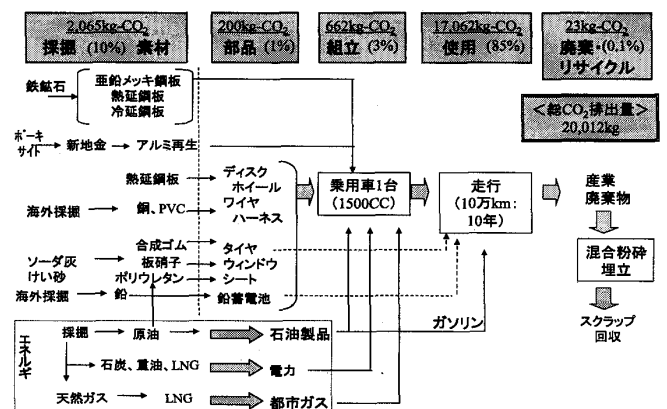


図1 乗用車のインベントリデータの連鎖と各段階のCO₂排出量の試算例

なりた のぶひこ
名古屋産業大学 環境情報ビジネス学部
〒488-8711 尾張旭市新居町 3255

2.2 LCAの背景

LCAの歴史は比較的新しく、1969年にアメリカのコカコーラ社が容器の選択に関する研究を開始したのがその始まりとされる[2]。我が国ではISOでLCAの規格化が議論されはじめた1990年代前半にLCAの研究が始まり、その後1995年に(社)産業環境管理協会を事務局とするLCA日本フォーラムが設立され、産業界でのLCA実施の支援体制が整備された。同時に、経済産業省の支援を受け、LCAプロジェクトが開始され、産業界の協力を得ながらLCAのインベントリデータの構築、インパクト(影響評価)手法の開発等を経て、2003年にはインベントリデータ、影響評価手法が公開され、LCAデータベースが構築された[4][5]。

近年新たな環境経営指標として開発されている「環境効率」、「ファクター」などにもLCAが応用されている。さらに、LCAが適用された「タイプIII環境ラベル」に加え、経済産業省などの支援の下で、CO₂排出量を表示する「カーボンフットプリント表示制度」も試行されている[6]。図2には、カーボンフットプリントの表示統一マークを示したが、現在では米やハムなどの食料品、事務製品、衣類などにも広がっており、消費者が商品を選択する上で、今後の普及が期待されている。

2.3 LCAの必要性

製品の環境側面として、我が国では従来から地球温暖化の主要な原因であるCO₂が取り上げられ、その削減効果が示されてきた場合が多い。一方で、「環境に優しい」製品という表現は、製品の環境側面の一部だけを示すのみである場合も多く曖昧であるので、環境省は「環境表示ガイドライン」で「製品の一生全体での環境影響を考慮する」ことを求めている。

また、産業界においてはEUでの環境関連規制や国際規格に対し、製品の環境情報を的確に把握するためLCA手法や環境適合設計(DfE: Design for Envi-

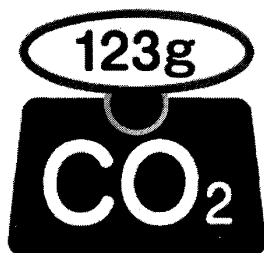


図2 カーボンフットプリントの統一マーク

ronment)[7]の適用拡大に取り組んでいる。具体的な事例として、EUのRoHS指令(Restriction of Hazardous Substances)に対応するためには、サプライチェーンをとおした製品のグリーン化が重要であることが認識されてきた。それとともに、LCA手法は自動車業界や事務機器業界をはじめとする産業界で製品開発などに活用され、サプライチェーンとしての調達部品の環境情報を調達先に求める場合も多くなってきた。2005年にはEUで上市されるエネルギー使用製品のエコプロファイルを策定するEuP指令(Energy using Products)[8]、製品の環境配慮設計を義務付けるErP指令(Energy related Products)が2009年に発効し、製品のライフサイクル全体を考慮した重要な環境因子の特定をとおしたエコデザインの必要性が高まっている。このような背景の下、LCA手法を用いた製品やサービスの環境側面の定量的な評価の必要性が高まっている。

LCAは、概念としては理解しやすいが、実際に分析を行うためにはプロセスのモデル化を実施したり、他製品と環境側面を比較するためには機能を同一としなければならないなど制約条件もあり、ISOに基づくLCA報告書を作成するには導入教育が欠かせない。そのため、LCAを多くの中小企業にまで普及しなければ、大企業の進める環境経営が成立しないことも予想され、EUへ製品輸出している企業ばかりでなく、環境経営を必要とするあらゆる産業へのLCA手法の普及が必要である。

3. ISO-LCAの概要

3.1 ISO規格

LCAは、製品やサービスの環境側面を、資源採取、製造、輸送、使用・消費、リサイクル、廃棄されるまでの段階、つまりその製品やサービスの「ゆりかごから墓場まで(Cradle to Grave)」を対象に、投入する資源やエネルギーあるいは排出環境負荷およびそれらによる地球や生態系への環境影響を定量的かつ客観的に評価し、その結果に基づいて製品やサービスの環境影響を改善するための科学的・客観的根拠を得るための手法である。

このLCA手法は、国際標準化機構(ISO)によりISO 14040シリーズとして国際規格化されている。1997年に発行・翻訳されたJIS Q 14040は、LCAの原則と枠組みとして図3に示すように「目的及び調査範囲の設定」、「インベントリ分析」、「環境影響評価」、

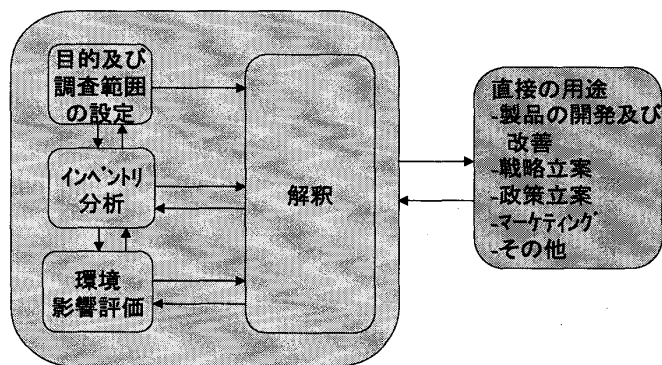


図3 ライフサイクルアセスメントの枠組みと応用

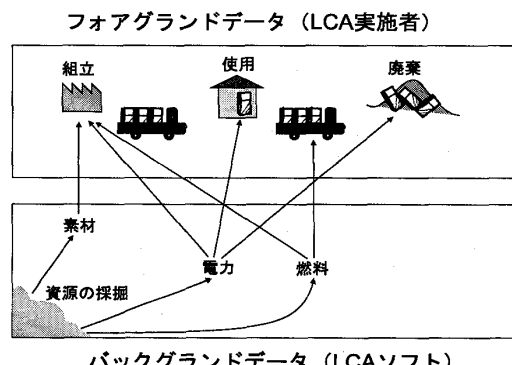


図4 LCA 実施に利用されるデータ

「解釈」の4つの手順を定めている。このISO規格は2006年に以下の2つに改定され、新規格であるISO 14040/2006とISO 14044/2006が発行されたが、LCAの原則と枠組みは代わっていない。

- ・ ISO 14040/2006：環境マネジメント—LCA—原則及び枠組み—は、実践方法の概略を示すとともに、LCAについての適用及び範囲を示している。
- ・ ISO 14044/2006：環境マネジメント—LCA—要求事項及び指針—は、インベントリ分析、環境影響評価、解釈における準備、実施に加え、クリティカルレビューなどの要求事項をまとめたガイドラインである。

3.2 ISO規格に基づくLCAの実施手順

ISOに基づくLCA手法では、製品の「機能、機能単位」に基づき「ゆりかごから墓場」までの排出量を計量する。はじめに実施される「目的及び調査範囲の設定」では、LCA実施者が対象とする環境問題(カテゴリ)を明確にするとともに、評価範囲である「システム境界」を設定する。その範囲により排出量や環境に及ぼす影響は異なることに、配慮しなければならない。この設定により、対象とするシステム全体を「製品システム」として把握する。

次の「インベントリ分析」では、設定した製品システムに対応する入出力データ(インベントリデータ)を収集し、製品システムからの排出量(例えばCO₂)や入力(例えば資源消費量)などを定量的に累積計算する。

このとき、図4に示すように、LCA実施者は自ら責任のある工程のデータ(フォアグラウンドデータ)を収集するとともに、共通的に利用できるバックグラウンドデータを利用して、インベントリ分析を実施する。図4は、冷蔵庫の組立事業者がLCA分析を実施する

場合を想定し、組立工程、使用工程に加え、廃棄工程のインベントリデータもフォアグラウンドデータとして取り扱う事例である。フォアグラウンドデータは、自らが製造する製品の環境側面を決定づけるデータであるので、必ず収集しなければならない。フォアグラウンドデータは、設定した製品の生産工程にかかわる材料やエネルギー消費量、製品の生産量を把握し、製品1個あたりの入出力としてインベントリデータに換算して作成される。このとき、多種類の製品や中間製品が一つの工程で生産される場合には、原材料・エネルギー消費量を対象とする製品に割り振り(配分)、対象製品のみに関与するインベントリデータを作成する。このとき、原材料消費量についても各工程での歩留まりなどを考慮して、実際の工場におけるマテリアルフローやエネルギーフローを工程ごとに設定し、モデル化が必要な場合もある。廃棄・リサイクル段階のフォアグラウンドデータ収集では、家電リサイクル法や自動車リサイクル法の施行に伴い、廃棄・リサイクル工程をも当該製品システムのフォアグラウンドデータとして取り扱う事例が多い。しかし、廃棄段階は多様な方法で処理されることが多いので、すべての製品のフォアグラウンドデータを収集することは困難である場合が多い。そこで、種々の考えられる廃棄シナリオを設定し、フォアグラウンドデータとして利用される場合がある。一方、冷蔵庫の組立事業者は素材やエネルギーの生産に関するデータとして、文献情報やLCAソフトウェアなどの情報から入手する「バックグラウンドデータ」も利用して、累積計算を実施する。

引き続き「環境影響評価」では、図5に示すように、対象とする環境カテゴリに対する種々の排出物などの寄与を分類化、特性化で明確にする。特性化とは、ある環境カテゴリに対して基準となる物質の排出量に換算することで、地球温暖化ではCO₂が基準物質であ

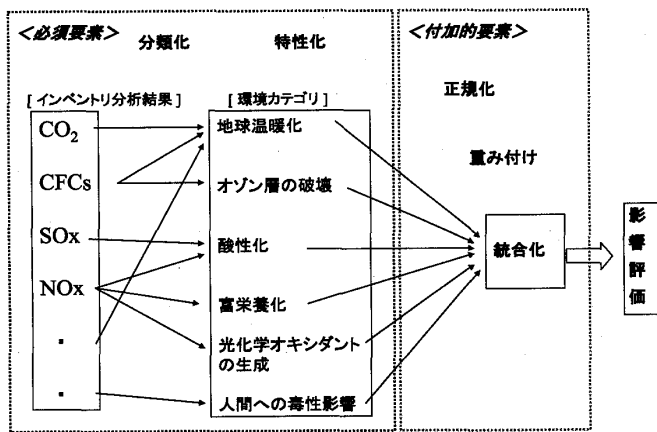


図5 環境影響評価手法の構成例

表1 主な環境カテゴリで使われる基準物質

	基準物質	特性化係数の例
地球温暖化 GWP Global Warming Potential	CO ₂	CH ₄ :23 CFC-11:3400
オゾン層破壊 ODP Ozone Depleting Potential	CFC-11	HCFC123:0.02 111TCE:0.12
酸性化 AP Acidification Potential	SO ₂	NOx:0.7 HCl:0.88
富栄養化 NP Nutrification Potential	PO ₄ ³⁻	Total N:0.42 Total P:3.06
光化学オキシダントPOCP Photochemical Ozone Creation Potential	C ₂ H ₄	VOC:0.398 phenol:0.761

る。表1にまとめた基準物質から、オゾン層破壊ではCFC 11が、酸性化ではSO₂が基準物質である。また、表中の例に記載してあるように、種々の排出物の影響の大きさは、基準物質に換算する係数(特性化係数)として与えられており、地球温暖化に対するメタン(CH₄)の特性化係数はIPCCの2001年報告書に基づけば「23」であり、メタン1kgの排出はCO₂ 23kgの排出に相当する。この特性化係数を利用して、インベントリ分析で得られた各種排出物量を各環境カテゴリの基準物質の排出量に換算する。

さらに、環境カテゴリ間の重み付けを行い、1つの指標(統合化)として環境側面が表示される場合もある。

最後に実施される「解釈」では、得られた結果を客観的に判断できることを目的としている。ここでは、①重要な問題を特定し、②採用した手法、データやモデル化の不確実性を考慮した感度点検などを実施した後、③結論、限界及び提言が行われる。

詳細なISOに基づくLCA手法については、文献[2]を参照されたい。

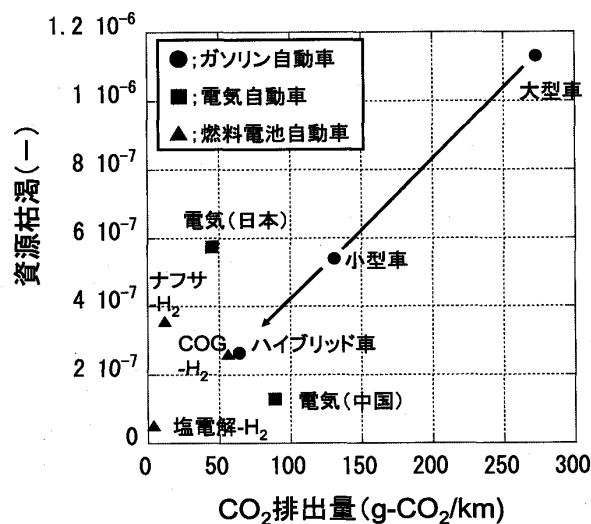


図6 ガソリン代替自動車のCO₂排出量と資源枯渇の関係

4. 具体的な分析事例

4.1 乗用車のLCA研究事例[9]

ガソリン代替自動車として電気自動車および燃料電池自動車を対象に、LCA手法を用いて各自動車用燃料の採掘から走行までのCO₂排出量および資源枯渇に着目して各自動車の環境性能を評価した。調査対象のシステム境界は、それぞれの燃料の採掘から消費までと設定し、十分にデータが公開されていない自動車本体の製造や廃棄段階は含まない。そのため、評価対象は自動車の走行段階に相当し、1km走行あたりのCO₂排出量と資源枯渇を試算した。なお、対象とするガソリン代替自動車は、上市されている自動車を対象とし、燃費は10・15モードを採用している。

特に、電気自動車では電源構成が大きく異なる日本および中国での利用を想定した。燃料電池自動車の燃料である水素は、①ナフサ改質 ②鉄鋼業のCOG分離 ③塩電解法から得られると設定した。これらの自動車燃料の製造に用いられる資源消費量をインベントリ分析から求め、可採埋蔵量の逆数で規格化することにより、資源枯渇の影響を求めた。

特に、ガソリン代替自動車ではCO₂排出量が小さいことが注目されているが、CO₂排出量と資源枯渇の関係をもとめた結果、図6が得られた。この図から、ガソリン自動車のCO₂排出量は、自動車の小型化、ハイブリッド化によって削減されており、ガソリン消費量の削減により資源枯渇への影響も小さくなる。一方、電気自動車は日本での使用を想定すれば、ハイブリッド車よりもCO₂排出量は小さいが、資源枯渇の影響はハイブリッド車よりも大きい。一方、中国での

電気自動車使用を想定した場合には、CO₂ 排出量は増大するが、資源枯渇への影響は小さい。これは、電気自動車を日本で使用する場合には、ウランの資源枯渇に及ぼす影響が大きいのに対し、中国では資源が豊富な石炭が主な発電燃料であるので、資源枯渇への影響が小さいためである。燃料電池自動車では、水素製造方法にも依存するが、ガソリン自動車に較べてCO₂ 排出量は小さいが、資源枯渇の影響はハイブリッド車とほぼ同等である。

この事例は、自動車の環境側面はCO₂ 排出によって引き起こされる地球温暖化だけでなく、資源枯渇の観点からも評価が必要であることを示している。

4.2 サービスのLCA 研究事例

前述した「カーボンフットプリント」におけるCO₂ 排出量の把握には、小売り段階での排出量の算定が欠かせない[10]。冷凍食品には、小売りにおける冷蔵での電力消費が加算されねばならない。また、廃棄後のごみ処理においても、単にごみ燃焼だけを考えればよい場合もあるが、溶融によるリサイクル効果を考えなければならない場合もある[11]。使用済み資源を利用するリサイクルについても、様々なりサイクル形態があるので、環境負荷削減、天然資源消費量の削減のためにはどのようなリサイクルが望ましいのかを検討した事例も数多く研究されている[12]。

5. LCA データベース

バックグラウンドデータとして文献情報やLCA ソフトウェアなどの情報が利用できる。以下、バックグラウンドデータとして利用可能なLCA データベースについて説明する。

5.1 バックグラウンドデータの種類

インベントリ分析の実施に必要なデータベースは、消費した資源量などの物理的な値を基礎に算定する「積み上げ法による環境負荷データ（以下、積み上げ法）」と、総務省が5年ごとに発行する産業連関表を基に物量統計と組み合わせる価格あたりの環境負荷を推算する「産業連関表に基づく環境負荷データ（以下、産業連関法）」に大きく分けられる。ここで、産業連関法では約400種類の産業分類ごとに100万円あたりの環境負荷（例えば、CO₂ 排出量）が算定されている。また、1つの産業分類での環境負荷を定めれば、その産業分類に属する各種製品の単価を把握することによって、見かけ上物量あたり（例えば、製品kgあたり）の環境負荷に換算することも可能である[1]。

一方、積み上げ法では物量原単位に基づいてデータが作成されているので、質量や体積などの物理量でデータが構築されている。積み上げ法では物理量でデータが記載されているので、分かりやすいという特徴があるが、不足データがある場合には上流に遡及するデータベースを作成する必要がある。これらデータ種類の特徴を踏まえて、LCA 実施者がインベントリ分析するためのデータベースを選択する必要がある。

5.2 代表的なLCA データベース

我が国では経済産業省およびNEDOが主体となり、(株)産業環境管理協会を委託先としてLCA プロジェクト（1998～2003年）を実施し、LCA データベースの整備を進めた[4]。このLCA データベースの構築をとおして、我が国では産業界へのLCA 普及が促進されており、このデータベースは有料会員制で、LCA 日本フォーラムのweb上で公開されている[5]。以下に、インベントリデータの概要を示す。

インベントリデータは、製品生産および廃棄・リサイクル工程を対象に収集され、特に前者は工業会が自主的に提供したデータで構成されていることに特徴がある。産業界で生産される製品は、資源の採掘から素材生産、自動車などの組み立てなど分野が多岐にわたっているため、データ収集マニュアルを策定し、できるだけ共通の手法でインベントリデータを収集することを目指した。このマニュアルでは、工業会に所属する企業のインベントリを収集した上で平均することを原則としている。その結果、高い信頼性がある日本におけるバックグラウンドデータを収集した。

具体的には、各工業会は傘下の企業における素工程の入出力データを1つのサブシステムのデータとしてまとめ、工業会が収集したデータをデータ収集マニュアルとの整合性を確認し、公開データベースを準備した。各工業会のインベントリデータのシステム境界は、図7に示したように、「Gate to Gate（入口～出口）」

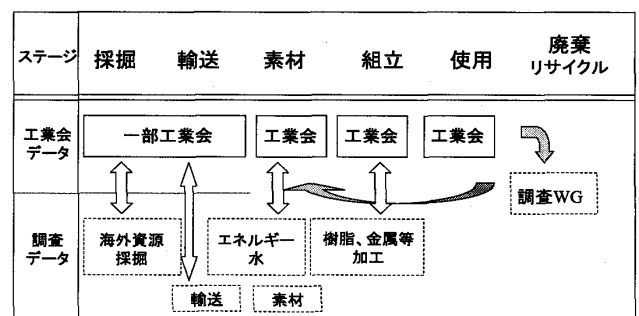


図7 インベントリデータの構成

に対応している。

LCAプロジェクトでは、鉄鋼、アルミなどの素材や自動車、家電製品などの組立にかかわる50以上の工業会が総計で約300項目のインベントリデータを提供した。ここで、環境排出物質項目については14物質（大気圏：CO₂, CH₄, HFC, PFC, N₂O, SF₆, NO_x, SO_x, ばいじん, 水圏：BOD, COD, 全リン, 全窒素, 懸濁物質）を収集目標とした。また、工業会が提供したインベントリデータに加え、プロジェクト独自の調査を行い、製品に共通に利用できるインベントリデータとして、資源採掘、エネルギー、輸送に関するデータおよび金属・プラスチックの加工プロセスデータを調査収集した。

LCAデータベースは、現在は「LCA日本フォーラム」が有料年間会員制の下で運営している[3]。多くの産業界や研究者などがこのデータベースに登録し、我が国で共通利用できるバックグラウンドデータとして利用している。

今後、世界の物流フローを考慮したLCAを実施するためには、世界各国でのバックグラウンドデータの整備が必要であり、東南アジアを含めた各地域でのインベントリデータの整備が望まれる。システム境界や地域性、信頼性などの各データベースの特徴を把握して、利用することが必要である。

6. おわりに

LCAの必要性、ISO-LCAの手順、研究事例、データベースについて概説した。LCAは環境科学の一分野として発展してきたが、ライフサイクルシンキン

グの必要性は環境マネジメントシステム、環境ラベルなどに導入されるようになってきた。しかし、LCAは広く消費者に普及しているとはいえないので、普及や新たな評価指標の開発に取り組んでいきたい。

参考文献

- [1] 成田暢彦, 生田優司, 中野勝行, 山脇昌子, 青木良輔, 日本LCA学会誌, 1(2), 96-101, (2005).
- [2] 伊坪徳宏, 田原聖隆, 成田暢彦, LCA概論, 産業環境管理協会, (2007).
- [3] 伊坪徳宏, 稲葉敦編著, ライフサイクル環境影響評価手法, 産業環境管理協会, (2005).
- [4] Narita, N., Nakahara, Y., Aoki, R., Morimoto, M. and Soda, S., International Journal of Life Cycle Assessment, 9(6), 355-359, (2004).
- [5] 産業環境管理協会ホームページ, <http://www.jemai.or.jp/lcaforum/index.cfm>
- [6] CFP ホームページ, <http://www.cfp-japan.jp/>
- [7] 坂尾知彦, 増井慶次郎, 笠井肇, 環境適合設計ツールの活用入門, 日科技連出版社, (2006).
- [8] 市川芳明, 齋藤潔, 傘木和俊, EuP 指令入門, 産業環境管理協会, (2006).
- [9] 欽海, 成田暢彦, 菅井径世, 小川克郎, 第5回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, 横浜, (2010).
- [10] 本下昌晴, 工藤祐揮, 稲葉敦, 第4回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, 北九州, (2009).
- [11] 鳥居雅隆, 成田暢彦, 小川克郎, 日本LCA学会誌, 4(3), 270-278, (2008).
- [12] 関根有, 福田耕一, 加藤健次, 足立芳寛, 松野泰也, 日本LCA学会誌, 5(4), 486-500, (2009).