

# LCA (ライフサイクルアセスメント)

LCA (Life Cycle Assessment)



自動車塗料本部  
海外技術部  
杉崎勝久  
Katsuhisa  
Sugisaki



品質・環境本部  
松井明  
Akira  
Matsui

## 1. はじめに

LCAは実用化の時期に入ったと言われている。わが国では、1993年LCA国際規格(ISO14040シリーズ)の制定が始められた際、欧米主要国との格差が大きいことが明確になり、その研究開発の必要性が強く認識された。それを受け、1995年からLCA日本フォーラム(産官学共同)を中心に、LCAの現状や課題について報告が活発に行われてきた。さらに1998年には、経済産業省主管のLCA国家プロジェクト「製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発」の5ヶ年計画がスタートし、データベースの構築や影響評価システムの開発等が本格化したことで、日本のLCA手法は大きく前進した(図1)。

LCAは「地球環境の保全」と「資源枯渇の回避」を目指し、次世代以降へ人類の生存と健康を保障する「持続可能な発展」を実現させるための評価手法の1つである(図2<sup>1)</sup>)。

地域	1970	1980	1990	2000	
米国	→				民間、リサーチ会社中心
欧州		→			国家機関、学会中心
日本			→		国家プロジェクト主導型

図1 日本におけるLCA取組み状況

ISO制定後には急速な気運の高まりをみせ、本手法を導入する企業は年々増加している。これにより塗料の川下産業である自動車、電機などの企業から塗料のLCIデータが要求されるケースも増えてきた。

本報告ではLCAを実用化しようとする動きと、ライフサイクル影響評価を塗料業界に適用する際の注意点、課題などを2回にわたり取り上げる。第1報(今回)ではLCAの概要について、第2報(次回)では事例を中心に報告する。

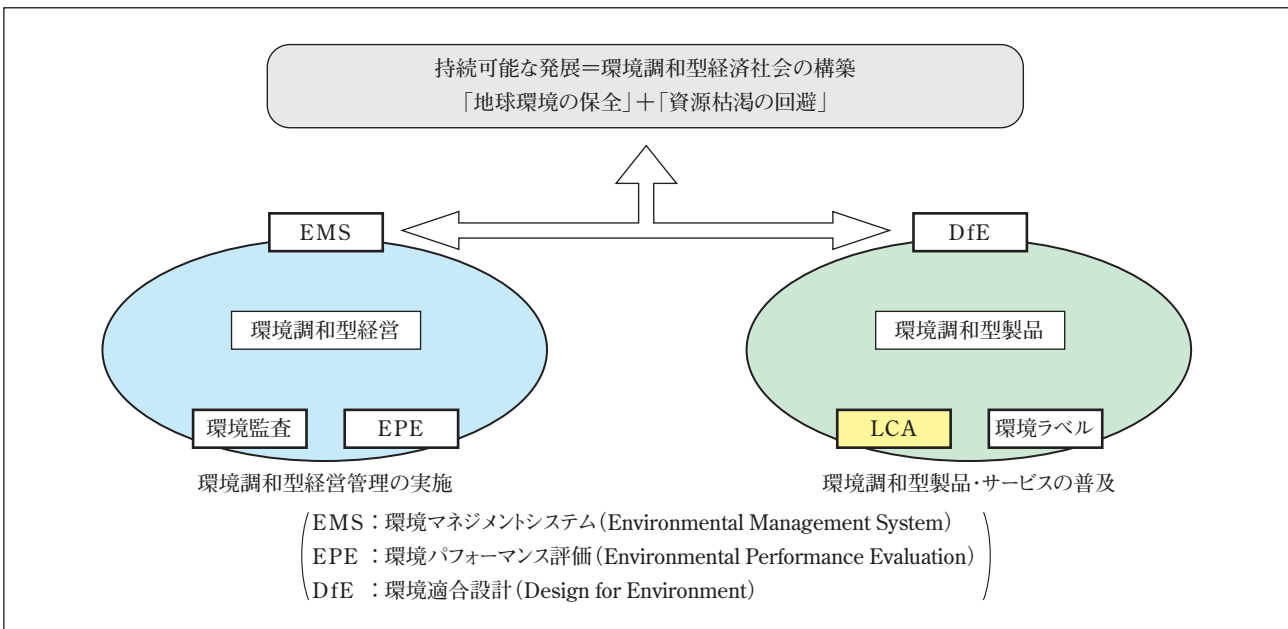


図2 持続的発展のための評価手法<sup>1)</sup>

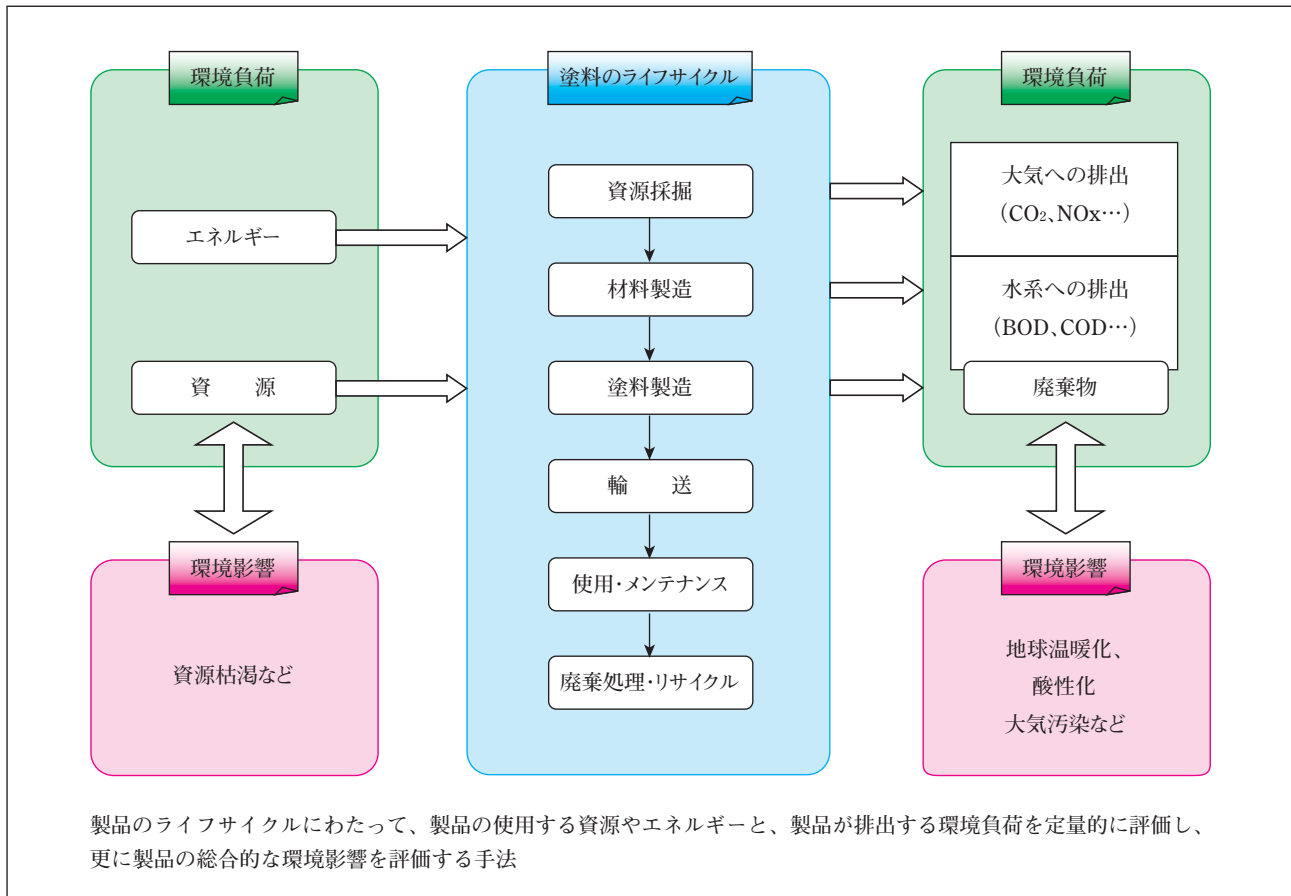


図3 LCAとは(ISO14040シリーズ)<sup>2)</sup>

## 2. LCAの概要

LCAはLife Cycle Assessment for Environmentの略であり、製品(またはシステム)がその目的とする機能を遂行するため、その「ライフサイクルにおいて排出するすべての環境負荷と資源消費」、並びに「それに伴う環境影響」を定量的に評価し、研究目的に沿ってその結果を解釈する技術である(図3<sup>3)</sup>)。

1997年にISO規格14040、次いでJIS14040が発行されたが、その中でLCAは

- 1) アセスメントの目的と範囲の設定
- 2) 製品ライフサイクルの個々の段階における原料・エネルギーのインプットと排出物のアウトプット(インベントリ)の分析
- 3) インベントリ分析結果を環境負荷として定量的・総合的に評価(インパクト評価)
- 4) 結果の解釈(インタープリテーション)

により目的を遂行する、という4段階から構成されるものと規定されている(図4<sup>3)</sup>)。またLCAは目的と範囲を明確に設定すれば、いろいろな事例やケースに応用できることが大きな特長である。

## 3. LCAの目的

LCAは、「持続可能な発展」を実現するための環境負荷低減の評価ツールとして、次の目的での利用が可能であり、企業発展を果たすための重要な手法となり得る(図5)。

- [1]企業が自社製品(システム)のライフサイクルを通じての環境負荷を評価し、製品または生産プロセスの改善を行い、結果として環境負荷の少ない社会の実現をめざす。(開発設計・生産活動、エコデザイン・エコプロセスなど)
- [2]行政などが技術システムや対象の優先順位付けを行う際に環境側面を重視し、政策による社会誘導を実施することにより、結果として環境負荷の少ない社会の実現を目指す。
- [3]製品(システム)が環境に与えるインパクトに関する情報を消費者に提供する事により、商品システム選択に影響を与え、結果として環境負荷の少ない社会の実現を目指す。(情報公開、グリーン購入、環境ラベルタイプⅢなど)

LCA手法の最大の特徴は、製品が使用される時点だけの環境影響を考えるのではなく、「ライフサイクル」つまり「1つの製品(システム)について、資源採掘から始まり、原材料の製造、製品製造、輸送、使用、廃棄処理に至るすべての環

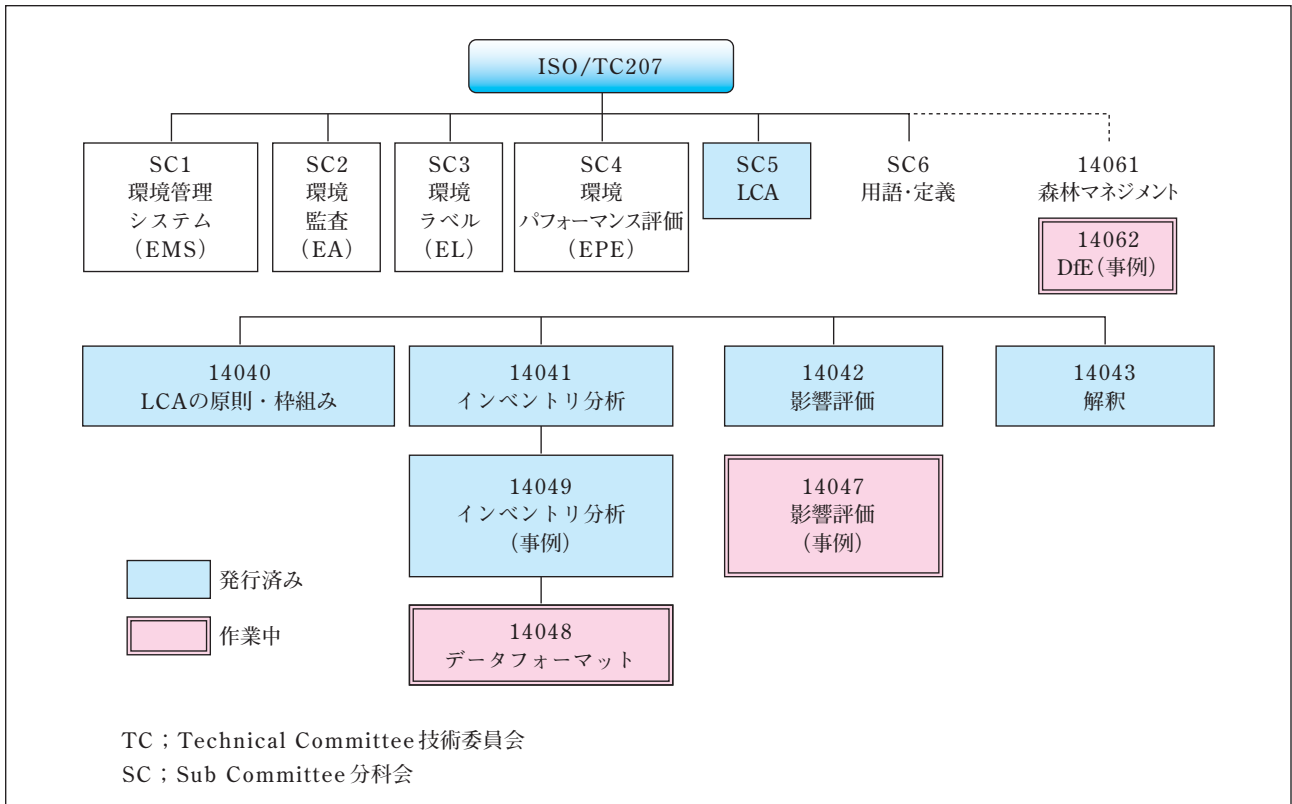


図4 ISO14000シリーズにおけるLCAの位置付け<sup>3)</sup>

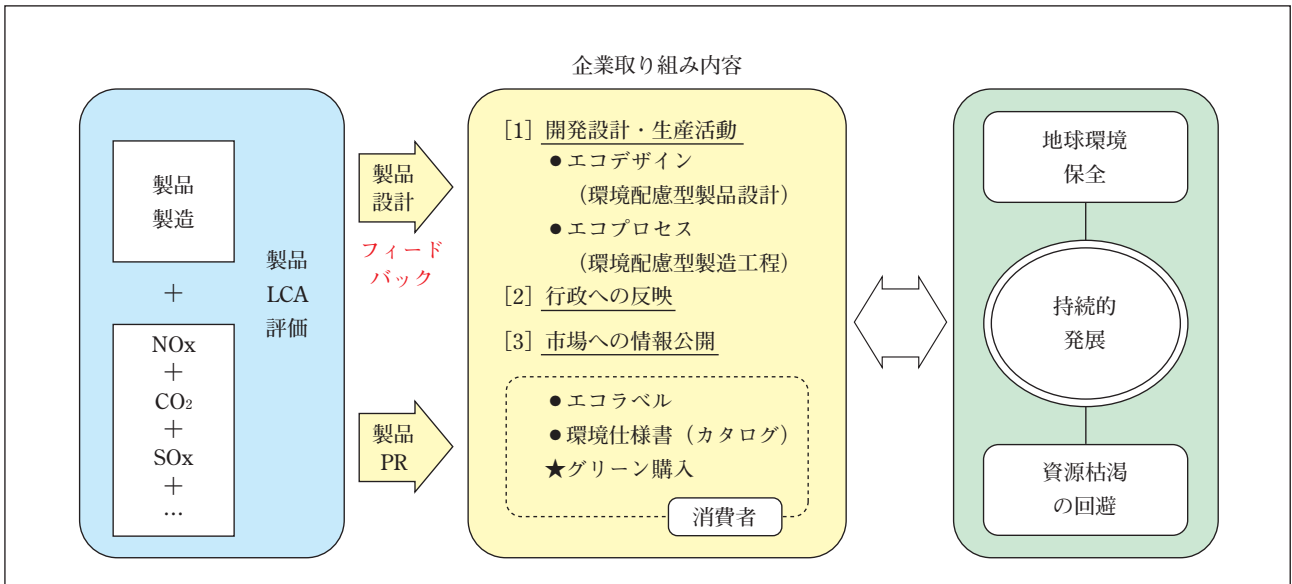


図5 LCAに取り組むねらい

境負荷を計算し評価する」というものである。ここでLCA概念に沿った「塗料製造にかかわる全ライフサイクル図」を図6<sup>4)</sup>に示す。

我々が「環境対応型新製品の開発設計」を考える場合も、1工程内の議論のみでは不十分であり、「資源採掘から廃棄に至るまでのすべての工程での環境負荷」を調べる事が重要であることが理解頂けたと思う。つまり下流工程の環境負荷対策のために、上流工程の環境負荷が増加したの

では意味がない。このように設計者が各工程のそれぞれの負荷を評価し、把握する事によって地球規模での環境負荷低減に貢献できる訳である。

本来、製品の環境対策は全工程について実施すべきであるが、目的と範囲を明確にし、特定工程に限定してLCAを使用する事もできる。範囲外工程は固定条件として取扱えばよい。

塗料産業の重要顧客である自動車、電機などの大手企

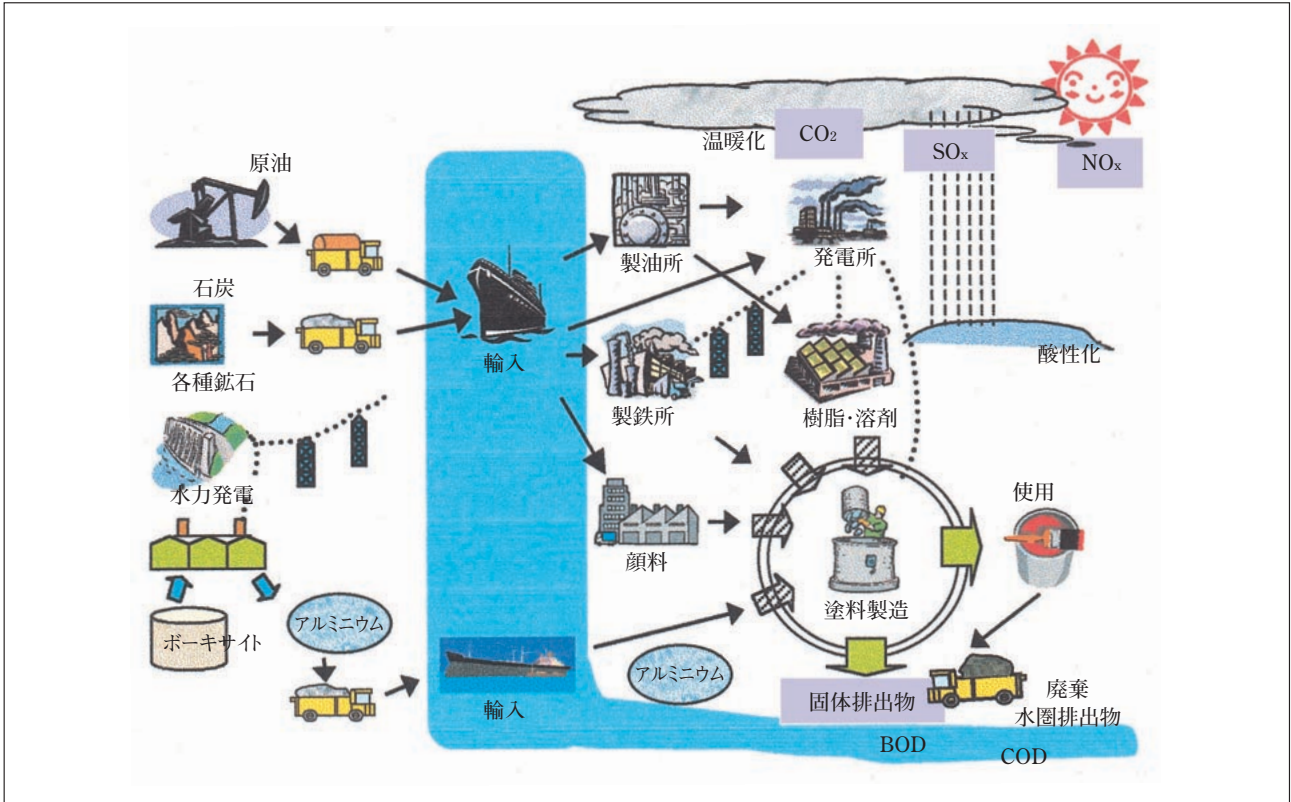


図6 塗料製造にかかわるLCA概念図<sup>4)</sup>

業では、すでに国内で先進的な取組みを果たしており、今後これに遅れることなく製品の全ライフサイクルを考慮した「環境対応製品の開発設計」を目指すことが必要である。

4. LCAの歴史

LCA研究は米国コココーラ社の容器の環境影響評価が概念の発端といわれている。米国および欧州のSETAC

(Society of Environmental Toxicology and Chemistry)の設立とともに1980年代より研究活動が本格化した(図7)。

欧州ではスウェーデン、スイス、オランダ、ドイツ、フランスなどの国々で研究が活発となり、オランダのライデン大学に本拠をおく欧州SETACの活動も盛んになった。こうした欧米の活動を背景として、1993年にISO/TC207(環境管理)においてLCAの標準化作業が始まり、1997年にはISO14040が発行された。

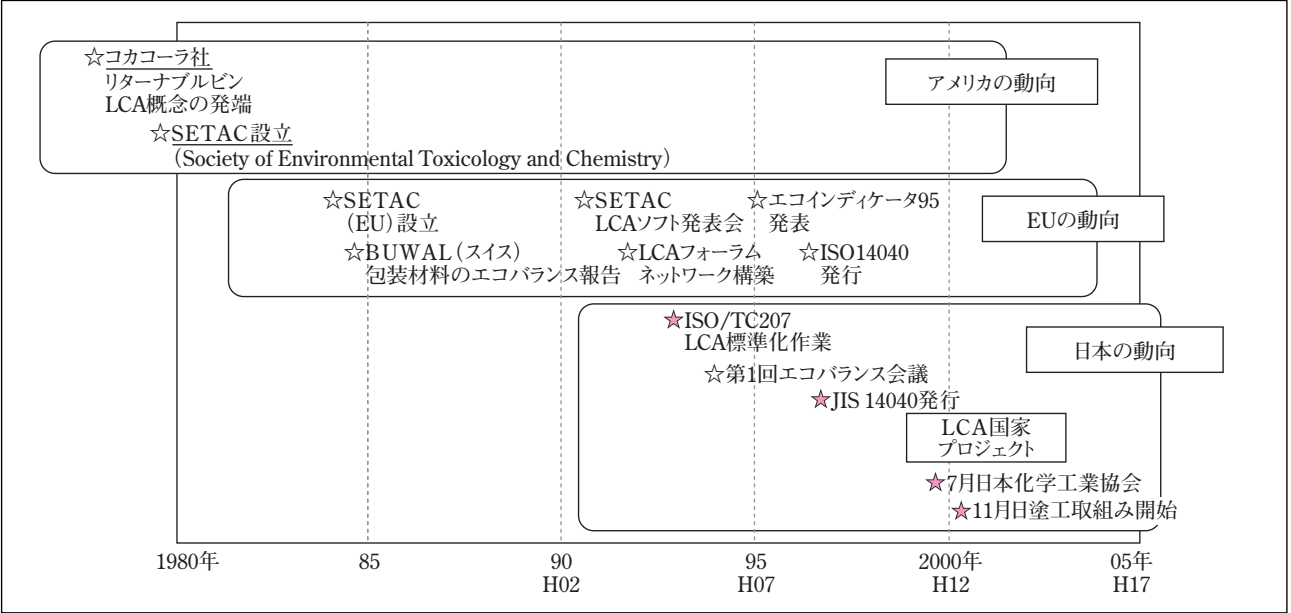


図7 LCAの動向 (米国・欧州・日本)

日本ではISOの標準化を契機としてLCA研究が進展した。産官学による包括的検討体制の構築が不可欠との強い要望により、経団連をはじめ30の工業会からなる産業界と、大学、研究所などの学協会の賛同、および通商産業省の支援を得て、1995年に「LCA日本フォーラム(JLCA :Life Cycle Assessment Society of Japan)」が設立された。

LCA日本フォーラムの活動目的は、

- 1) 国内外のLCA情報の流通促進
- 2) LCA手法の課題抽出、検討、および提言
- 3) LCA標準データベースの構築・維持・管理の在り方の検討、および提言
- 4) LCA応用上の社会制度的問題の抽出、検討、および提言などである。

本活動の結果、LCAのより実的な展開が必要と判断されたため、1998年に設立されたLCAプロジェクト(国家プロジェクト)によって、①LCA手法の開発 ②LCAデータベ

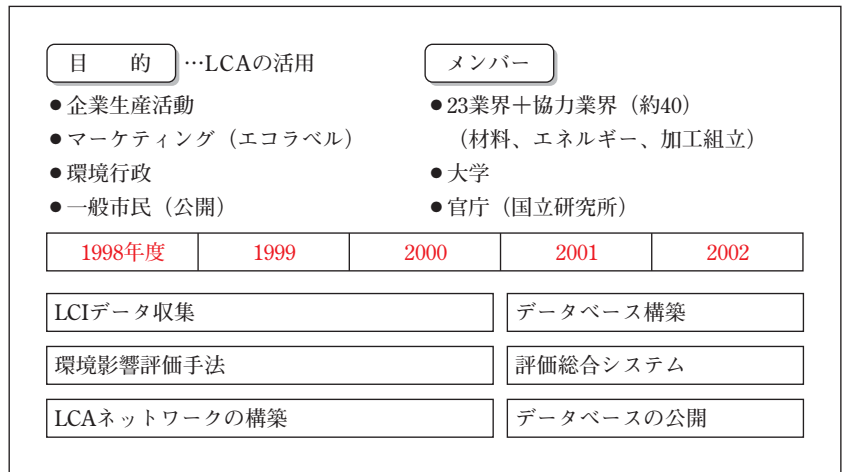


図8 LCAプロジェクト (経済産業省)

ースの構築 ③LCAネットワークシステムの構築など、LCAの実務展開が行われることとなった(図8)。

具体的には①インベントリ研究会(インベントリデータベースの構築等) ②データベース研究会(データベースシステムの仕様設計等) ③インパクト評価研究会(環境影響物質の分類化、特性化、統合化手法の開発等)の3つの研究会にて開発が進められている(図9<sup>5)</sup>)。

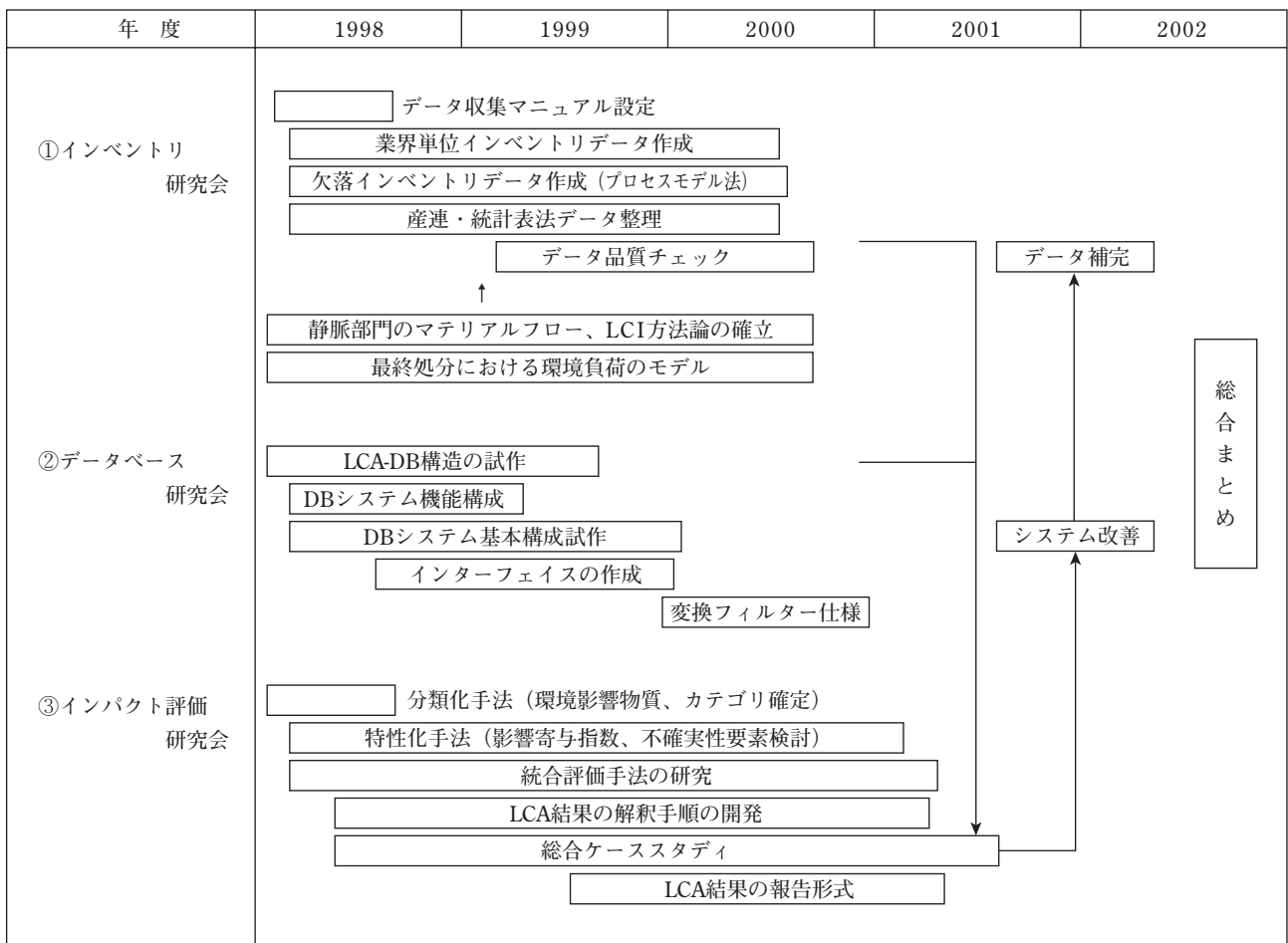


図9 LCA国家プロジェクトの研究会<sup>5)</sup>

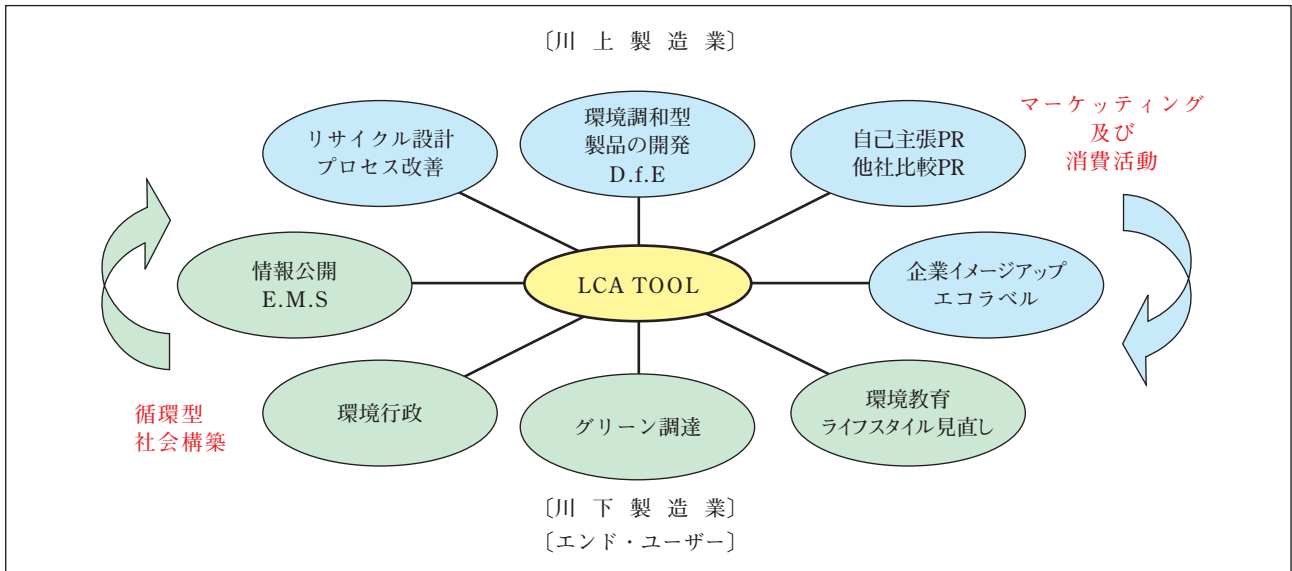


図10 LCAプロジェクトの成果

このプロジェクトの成果としては、

- 1) 企業生産活動への活用;エコデザイン、エコプロセス、エコプロダクツへの活用
- 2) マーケティングへの活用;エコラベルタイプⅢ、環境報告書の発行
- 3) 環境行政への反映;循環型社会構築、グリーン調達への応用、などが挙げられる(図10)。

## 5. LCA評価手法

ISOの手順に基づき、以下の4ステップから構成される(図11<sup>6)</sup>)。

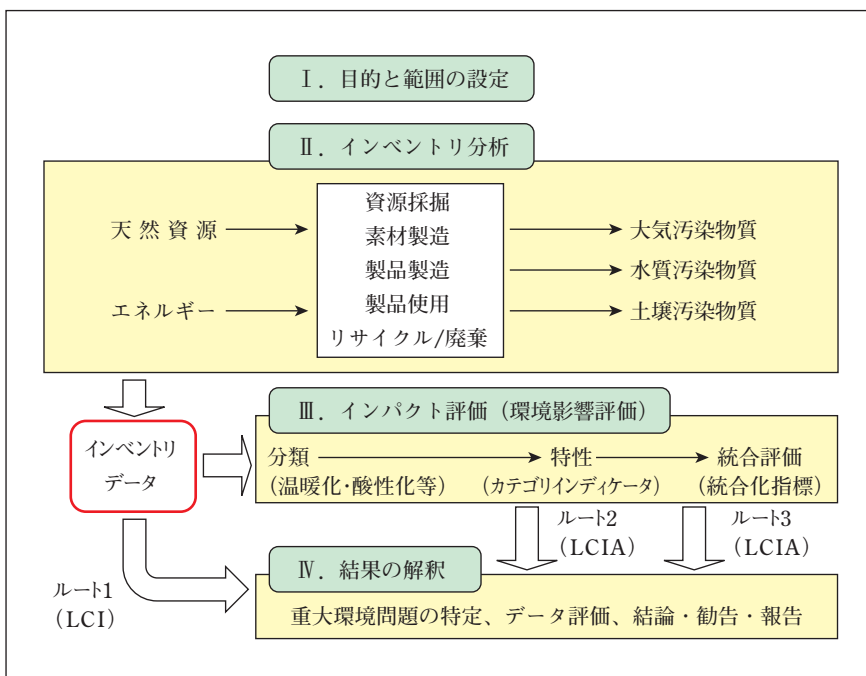


図11 LCAの構成(ISO14040)<sup>6)</sup>

### I) 目標と対象範囲の明確化

まず目標や目的を明確にする。そしてそれに基づいて製品、ライフサイクルの範囲や評価項目を十分に検討して絞り込みを行う。この絞り込みが以下のステップの実行時間や評価結果の質に大きく影響するので、その評価結果とともに目標や目的を明記する必要がある。

### II) インベントリ分析

決定された目的や製品とライフサイクル「資源採取から原料製造、製品(塗料)製造、運搬、塗装(使用)、廃棄、リサイクル」の対象範囲に基づき、各工程の資源消費量や大気、水質や土壌への環境排出物質を、項目毎に計算する。資源採取には鉄鉱石、ボーキサイトやエネルギー用の石炭、原油、LNG等があり、環境への排出物

には大気ではCO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>やフロンなど、水質ではBOD(生物学的酸素要求量)、COD(化学的酸素要求量)、SS(浮遊物質または懸濁物質)などがあげられる。計算精度は用いるデータ類の信頼性に影響されるため、用いたデータの根拠、出典などの明示が必要である。

### III) インパクト評価

インベントリ分析の結果を使って環境影響の重要性を評価する。インベントリデータを特定の環境影響と関連付けて各影響領域毎に割り振り、特性化係数を用いて共通単位に換算し集計する。さらに複数の影響領域で特性化した結果に統合化係数を用い、一つの指標に統合化

する。統合化の手法は開発されたいくつかの手法があるが、主観的な要素が入るため算出方法やLCAの目的など十分な考慮が必要である。

IV) 結果の解釈

インベントリ分析やインパクト評価の結果を単独または総合して評価、解釈する。

6. LCA利用の課題

欧米主要国による手法研究に始まり、わが国でもLCA日本フォーラム、LCAプロジェクトのような包括的な検討体制によって、LCA手法開発やデータベース構築の準備が進め

表1 LCA手法の課題

仕組み、手法が未完成	1)	インベントリデータが不十分 (原材料、製品)	LCAプロジェクト →各業界の協力必要
		国際的に公認された 基本データが未集成	基本データの 整備必要
2)	影響評価、総合評価 の手法が未確立	各業界による 手法研究	
本質的な問題	3)	価値判断を含む評価方法	評価、解釈は要注意 境界の明確化必要
	4)	マイナス評価手法 (ネガティブスクリーニング)	他方法との 併用、活用

られてきた。各企業の環境報告書からみても、年々LCA導入企業が増加してきており、環境ラベルタイプⅢなどLCA手法そのものが実用段階に至った例もある。このように今後も手法の開発、インフラの整備などが進み、さらにLCAの重要性が増すとみられるが、現時点での課題を以下に取り上げた(表1)。

1) インベントリーデータが不十分

LCAの最大の特徴である「資源採掘から廃棄までの製品の全ライフサイクル」を通じた環境負荷を評価し解釈するためには、製品の製造、販売など自社の関係する工程だけでなく、上流、下流のすべてのデータが必要になる。LCAプロジェクトでもこの点を最重要視して仕組みを作り、最終年度の2002年には各業界の代表製品のデータを登録、格納する計画になっている。しかし、塗料のように多くの原材料を使用している製品では、上流の工業会の足並みも揃いにくく、未だ緒についたばかりの状況にある。

LCAの利用はデータの精度も含め、十分な配慮をしながら進める事が必要である。

2) 影響評価、総合評価の手法が未確立

インベントリーデータについては、考え方も方法も確立されてきているが、影響評価・総合評価の手法については欧州、日本で幾つかの方法が提唱されている段階であり、まだ固まっていない。影響評価については製品の種類によって考え方も変わり、各工業会で製品に応じた評価方法の確立が必要とみられる。

3) 価値判断を含む手法

インパクト評価(環境影響評価)では、インベントリーデータの分類化(温暖化・酸性化など)や特性化を行い、場合によっては統合化指標を用いて統合評価する(図12<sup>7)</sup>)。この方法は価値判断を含む主観的な方法である。2)項で述べた各工業界での評価方法の確立の場合にも、どのよう

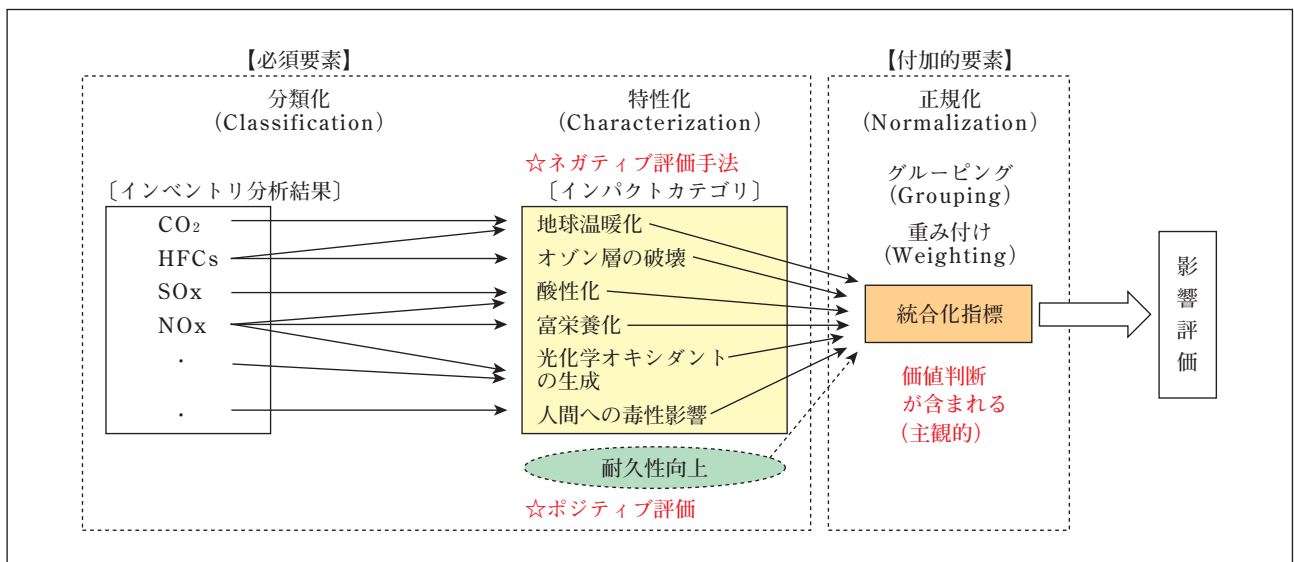


図12 ライフサイクル影響評価<sup>7)</sup>

な価値判断をして評価方法を設定するかがポイントとなる。

#### 4) マイナス評価手法(ネガティブスクリーニング)

LCAでは環境会計、DfE(環境適合設計:Design for Environment)、環境ラベルなどと同様、製品(システム)がその目的とする性能を発揮するのに、「環境に対する負荷がどれだけあるか」だけを計算し、「ネガティブ要因」のみを評価する。現在の手法の範疇では、環境負荷量の合計(マイナス点の積み重ね;ネガティブスクリーニング)であり、積極的に環境を浄化する塗料を作って展開するなら兎も角も、LCAの中にプラス評価を組み入れるのは困難である。つまり、高性能塗料が高いレベルの耐久性(防食性)を持ち、抜群の美粧性を保持していても「ポジティブ効果」としては評価されず、環境負荷だけが計算されるため、製品、技術の選択や産業全体での活用には不向きであると言える。

一方、塗料は通常の消費財とは異なる。例えば大型橋梁を想像していただきたい。耐久性維持のために定期的にメンテナンス(塗装)を繰り返す耐久財といえる。塗料の場合には、メンテナンスを含むLCAへと発展させることも課題であろう。最近LCA手法とは別に、こうしたポジティブ効果を取り入れた評価方法の研究が始められている。具体的には、環境効率、資源効率を「製品性能」と「環境負荷」の比で表した指数により、その製品(システム)がいかに資源を有効利用し、資源生産性をどれほどの倍率に高めることができるかを表した「ファクターX」の評価手法(図13)やLCA評価にLCC(ライフサイクルコスト)、耐久性寿命のフローの概念を組み入れた手法(図14)などがあげられる。

(1)ファクターX 例;ファクター4 (F4)

人口20%の先進国が世界の資源の80%を使用している現状から先進国は直ちに資源エネルギー消費量を1/4に削減し、資源効率を4倍に増加させるべきであるとの主張 (Weizscker)

(2) 資源効率の定義:

$$\text{環境効率 (Eco Efficiency)} = \frac{\text{[製品の性能]}}{\text{[環境への影響・負荷]}}$$

資源を有効利用し、資源生産性をどれほどの倍率に高められるかが持続可能な社会を実現する鍵である

図13 ファクターXの評価手法

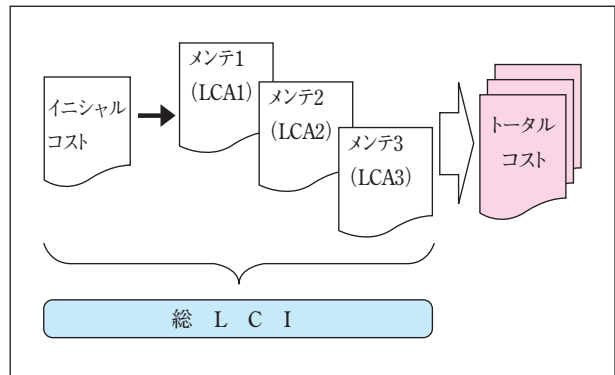


図14 LCCフロー組み込みの概念

LCAは環境負荷評価方法として貴重であり、応用の気運が盛り上がっているが、まだまだ未完成な部分もあり、その課題等を理解して使用することが重要である。今回は具体的な実施例や評価手法の解説を中心に報告する。

#### 引用文献

- 1) 社団法人産業環境管理協会:「LCA教育プログラムテキスト」、p.5(2001)
- 2) トヨタ自動車:「モノづくりとエコデザイン(LCA)の取り組み」展覧
- 3) 社団法人産業環境管理協会:「LCA教育プログラムテキスト<第1部LCAの概要と意義>」、p.12(2001)
- 4) 社団法人産業環境管理協会:「JEMAI-LCAプログラム」
- 5) 通商産業省、新エネルギー産業技術総合開発機構、社団法人産業環境管理協会のパンフレット
- 6) 「LCA教育プログラムテキスト<第1部LCAの概要と意義>」、p.16(2001)
- 7) 社団法人産業環境管理協会:「LCA教育プログラムテキスト」、p.97(2001)

#### 参考文献

- 1) LCA日本フォーラム、社団法人産業環境管理協会:「平成12年度LCAプロジェクト報告」、(H13.7.11)
- 2) 青木良輔:「LCA利用目的と限界」、環境管理,Vol.33, No.4, p.7(1997)
- 3) 須田茂:「LCAの現状とLCA日本フォーラムの活動」、環境管理,Vol.33, No.4, p.1(1997)
- 4) 小関康雄:「製品へのLCA実施例」、ECO Analysis,Vol.1, No.5, p.41(1996)



# 【LCA関連用語の解説】

LCAで使われる用語については一般になじみが薄いものであり、ここでISO14040及び14041に準拠した定義を以下に記述した。

## 【ライフサイクル】(life cycle)

原材料の採取又は天然資源の産出から最終処分までの、連続的で相互に関連する製品システムの段階

## 【ライフサイクルアセスメント】(LCA, life cycle assessment)

製品システムのライフサイクルを通じた入力、出力及び潜在的な環境影響のまとめ並びに評価

## 【インベントリ分析】(ライフサイクルインベントリ分析 life cycle inventory analysis; LCIと呼ぶ)

対象とする製品システムに対する、ライフサイクル全体を通しての入力及び出力のまとめ並びに定量化を行うライフサイクルアセスメントの構成段階

## 【インベントリ】

製品システムに関連する入力及び出力を定量化するためのデータ収集と格納の意味

## 【影響評価、インパクト評価】(ライフサイクル影響評価 life cycle impact assessment; LCIAと呼ぶ)

製品システムの潜在的な環境影響の大きさ及び重要度を理解し評価することを目的とした、ライフサイクルアセスメントの構成段階

## 【基本フロー】(elementary flow)

1. 調査対象のシステムに入る物質又はエネルギーで、事前に人為的な変化を加えず環境から取込まれたもの
2. 調査対象のシステムから出る物質又はエネルギーで、事後に人為的な変化を加えず環境へ排出されるもの

## 【環境側面】(environmental aspect)

環境と相互に影響し得る、組織の活動、製品又はサービスの要素

## 【入力と出力】(input, output)

入力は単位プロセス又はサブシステムに入る物質又はエネルギー(物質には原材料及び製品を含む場合もある。)であり、出力は単位プロセス又はサブシステムから出る物質又はエネルギー(物質には原材料、中間製品、製品、排出物及び廃棄物を含む場合もある。)を意味する。

## 【製品システム】(product system)

一つ又はそれ以上の定義された機能を果たす、物質的及びエネルギー的に結合された単位プロセス又はサブシステムの集合体(“製品”という用語は、製品システムだけでなくサービスシステムを含む場合がある。)

## 【原材料】(raw material)

製品を製造するために使用される一次又は二次材料

## 【システム境界】(system boundary)

製品システムと、環境又は他の製品システムとの境界

## 【廃棄物】(waste)

製品システムからの出力で、当該サブシステム、又は単位プロセスで処分されるもの(本廃棄物と、処理を業者に委託する廃棄物とを区別するため、自家処理廃棄物、処理委託廃棄物とに区別する場合もある。)

## 【中間製品】(intermediate product)

単位プロセスからの入力又は出力をいい、更に加工や変化が必要なもの

## 【最終製品】(final product)

使用前に、それ以上加工や変化を必要としない製品

## 【DfE = 環境適合設計】(Design for Environment)

現状のLCAは、現在ある製品の評価という利用方法が多いが、将来的には環境負荷の少ない製品の開発・普及に役立つツールとして発展することが期待される。環境負荷の少ない製品またはその開発は、エコデザイン、DfE、環境調和型製品設計などと呼ばれる。