

自動車におけるライフサイクルアセスメントの現状

森本一史

The Current Status of Life Cycle Assessment on Automobiles

Kazufumi Morimoto

1. はじめに

地球環境問題への関心の高まりとともに、「環境に優しい」がキーワードになっている。このキーワードは、環境保全の理念を盛り上げる効果としては抜群であった。しかし、実際に行動に移すとなると何をどうすれば環境に優しくなるのか、判断に迷う場合が多い。例えば、リサイクルは容易であるが、生産に大量のエネルギーを消費する製品と、生産工程での省エネルギーは可能であっても、使用後に大量の廃棄物が排出される製品とでは、どちらが環境に優しいのか。また、清涼飲料水などを買う場合、繰り返し使用が可能なガラス容器入りと使い捨ての樹脂容器入りとではどちらが環境に優しくなるのか。

ライフ・サイクル・アセスメント (Life Cycle Assessment: 以下LCA) とは、人間活動が地球環境に与えるあらゆる負荷を生涯にわたって定量化し、総合的に評価する手法である。考え方のルーツは、1960年代後半に遡るが、著しく注目されるようになったのは、地球環境やリサイクルに関する問題が政治的にも取り上げられ始めた1990年以降である。というのは、地球環境の保全と経済社会の持続的発展とを両立させることがいまや世界的課題となっており、環境負荷を評価する手法としてのLCAに、大きな期待がよせられているからである。しかし、方法論としてはまだ十分確立されるにはいたっておらず、特にわが国においては信頼に値するデータベースですら整っていないのが実情である。

本稿では、まずLCAの研究の経緯、概念および

手法について説明し、さらに自動車関連の研究事例を紹介する。また、評価手法を国際的に規格統一する必要があるとして、1993年来ISOで議論が進行中である。今後の対応の参考とするため、現在までの経緯について簡単に触れておきたい。

なお、LCAの対象範囲としては、人間活動をすべて包括するものとされているが、ここでは特に製品に限定して言及するものとする。

2. 研究の経緯

LCAの考え方のルーツは、1968年、米国のMidwest研究所 (現在は Franklin Associate Ltd. と改称) で行われた飲料容器に関する環境影響評価にある。その後、1973年のオイルショックや消費者団体の影響を受けて、エネルギー消費を中心とした環境影響評価が行われ、米国環境保護庁 (EPA) によりREPA (Resource and Environmental Profile Analysis) としてまとめられた。ところが、公害の深刻化とともに、企業の関心が汚染物質の対策に注がれたため、LCAへの関心はやや下火となった。しかし、1979年に、化学製品や技術が環境に及ぼす負荷について研究する学際的な学会としてSETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) が設立され、今日のLCA研究の基盤ができあがった。1988年には環境問題を分析する手段として再びREPAが注目されるようになり、1990年には、製品のLCAの開発と実施の促進を目的にSETAC財団が設立された。同年このSETAC財団らにより米国バーモント州でLCAシンポジウムが開催され、LCAという名称もこのシンポジウムを機に定着するようになった。

キーワード LCA (ライフサイクルアセスメント)、環境負荷評価、エコバランス、リサイクル、自動車

一方、欧州では1985年にEC環境委員会が「飲料容器に関する政令」を発令するにおよび、加盟各国の企業が、容器に関連する資源とエネルギーの利用との監視を義務づけられた。これを契機にLCA研究が盛んに行われるようになった。また、1991年にはオランダのライデン大学・環境科学センターからLCAのマニュアルが発行された¹⁾。なお、欧州では、LCAの同義語として、エコバランス (Eco-balance) という名称も使われている。

日本では、1981年に(社)化学経済研究所が通産省の委託を受けて、新素材の消費エネルギーを分析したのが始まりとされている。この研究では、わが国の素材産業の適正なあり方を検討するため、新素材としてプラスチックとファインセラミックスとが選ばれ、それらの生涯を通しての消費エネルギーが従来の素材と比較された²⁾。その後は、一旦下火となっていたが、1991年に(社)プラスチック処理促進協会が包装材のLCAを実施し、研究が再開された。この場合は、エネルギー消費量だけでなく、用水消費量、大気汚染物質 (NO_x, SO_x, ばいじんなど)、水質汚濁物質 (BOD, CODなど)、固形廃棄物の各排出量も評価の対象とされた。また、製品処理の際の回収エネルギーも考慮された³⁾。

1992年8月には、LCAの普及と手法の標準化を検討するため、飲料、食品、化粧品、洗剤の各メーカーと流通業者等が日本LCA研究会を発足させた。また、日本生活協同組合連合会も、消費者が包装容器などの環境負荷を客観的に判断できるよう、「商品のエコロジカル・ガイドライン」の策定を目的にケーススタディを行った。

1993年11月に公布された環境基本法にもLCAを促す条文が盛り込まれ、通産省、科学技術庁、環境庁など関連省庁も現状調査を進めるとともに、手法の開発に着手した。

科学技術庁は特に材料に着目し、「材料のエコマテリアル化のための評価・設計技術の確立に関する研究」を1993年度から7年計画でスタートさせた。また、このプロジェクトとかかわって情報収集や調査などを実施する「エコマテリアル研究会」も1993年4月に(社)未踏科学技術協会内に設立された。さらに本研究会主催により、1994年10

月25日～27日、筑波でエコバランス国際会議が開催された。28件の講演発表に加えて、38件のポスターが展示され、活発な議論がなされた。2年後の1996年に日本で具体的事例の紹介をメインテーマに、第2回目が開催されることになっている。

3. LCAの概念と手法

SETACが提案しているフレーム・ワークによると、LCAは、Fig. 1に示すように、インベントリー (Inventory)、影響分析 (Impact Analysis)、改善分析 (Improvement Analysis) の3要素から構成されている⁴⁾。ここではその3要素について以下に説明する。

3. 1 インベントリー (Inventory)

インベントリー (Inventory) とは、原材料から製造、流通、販売、消費、廃棄にいたる製品や工程の全生涯を通して、消費するエネルギーや資源の量、大気や水域などへの排出量などを測定し、データベースを作成することである。Fig. 2にその概要を示す。

手法には、「積み上げ法⁵⁾」と「産業連関法⁶⁾」とがある。

「積み上げ法」では、まず製品を構成材料別に分解して重量を求め、単位重量あたりのエネルギー消費量や汚染物質排出量を乗じて製造段階での負荷値とする。さらに、組み立て段階、使用段階、廃棄段階などにおける消費量や排出量をも負荷値として同様に算出する。この方法は、理解しやすく、どのような対象物にも適用可能である。しかし、計算のための労力が大きく、計算結果もばらつきがちといった欠点がある。

「産業連関法」は、産業間の原材料や中間製品の流れを取り引き金額として示した表、すなわち

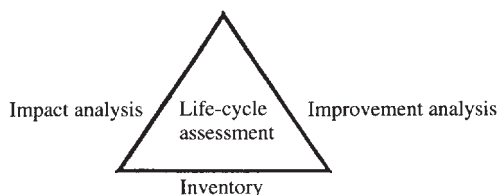


Fig. 1 Constitution of life cycle assessment⁴⁾.

「産業連関表」を用いて、生産に必要なエネルギー消費量や汚染物質の排出量を求める方法である。この方法は、産業連関表のデータがそのまま利用できるため、作業そのものに要する労力は積み上げ法に較べて少なくすむ。また、データのばらつきも少ない。しかし、商品の分類の数がせいぜい500以下であるので、その部門全体での平均値しか得られない。従って、例えばビール瓶、一升瓶など、瓶の種類別に消費エネルギーを求めようとしても無理で、せいぜいガラス瓶全体の平均の値が求められるにすぎない。また、新技術やリサイクルのような、産業として実績のないものは分析不可能である。

このように、「積み上げ法」と「産業連関法」は、性格が相反しており、いずれがよいということは一概にはいえない。従って、比較的大きな分類での商品や産業に関する計算では「産業連関法」、個

別の商品については「積み上げ法」というように補完的に利用するのが実際的と考えられる。

ちなみに、産業連関表はわが国では1955年以来5年おきに関連11省庁の共同事業によって作成されており、最新版としては1994年に1990年版が発行されている。また、こうした産業連関表を用いて環境負荷（CO₂、NO_x、SO_x）解析を試みた最近の例としては、近藤ら⁷⁾、吉岡ら⁸⁾、池田⁹⁾の研究がある。

3.2 影響分析 (Impact Analysis)

影響分析 (Impact Analysis) とは、インベントリーに基づいて環境負荷の影響をカテゴリーに分類し、その特性を把握することである。

消費エネルギーや排出物の数量に関しては、少なれば少ないほど環境に有利とする分析がよく用いられている。しかしながら、エネルギー消費と有害物の排出など、環境負荷要素のカテゴリー

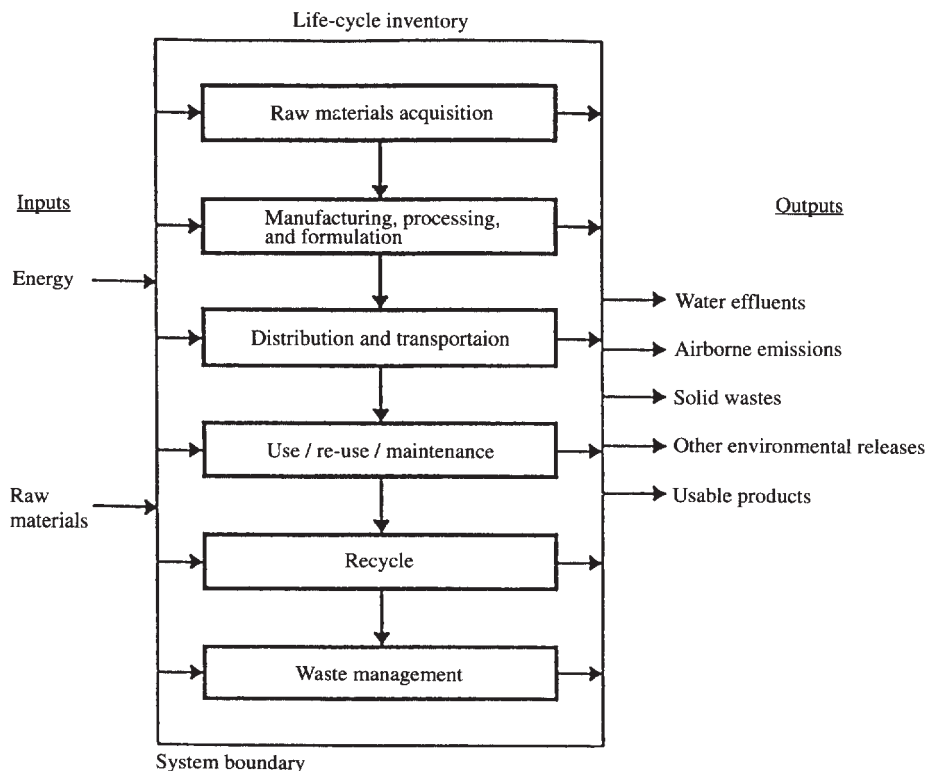


Fig. 2 Life cycle inventory⁴⁾.

が互いに異なるものを総合的に分析する場合は、それぞれに重み付けを施す必要があると考えられる。本邦においても、若干検討された例がある¹⁰⁾が、その方法についてはまだ標準化されていない。

3.3 改善分析 (Improvement Analysis)

改善分析 (Improvement Analysis) とは、上述のインベントリーや影響分析に基づいて、原料の転換や工程の変更などを前提に、環境負荷が改善されるかどうかを分析することで、LCAの最終段階を意味している。

以上3つの要素について説明したが、最初に述べたインベントリーに比べ、後の2つの影響分析と改善分析はまだ十分検討されるには至っておらず今後の課題とされている。従って、LCAの研究もインベントリーの段階で留まっているものがほとんどである。

上述のような手順に従ってLCAを実施する場合、自明のことではあるが、まず実施目標の設定を明確にするとともに、対象範囲を限定することが肝要である。これは、LCAをどこまで厳密に考慮すべきか、どのような精度のデータを必要とするのか、がLCAの目的に依存するからである。従って、効率的にLCAを実施するには意味のない範囲を極力省略することも必要になると考えられる。

4. 研究事例の紹介

第2章の研究の経緯で述べたように、これまでのLCAの研究は、ほとんどが飲料容器などを主体

とした包装材を中心に発展してきた。従って、自動車や家電などの複雑な製品に関しては、研究もまだ諸についたばかりで、十分吟味された事例も少ないように思われる。ここでは、公表されているもののなかから、自動車全体に関する事例および自動車用材料に関する事例をそれぞれ紹介する。

4.1 自動車全体に関する事例

森口らは、環境への負荷の少ない交通体系を築く上で、自動車と環境とのかかわりを包括的にみることが重要と考え、その第一歩として、CO₂排出量のライフサイクル評価を試みた¹¹⁾。

まず「積み上げ法」により自動車の主要材料について、生産に伴うエネルギー消費量とCO₂排出量とを業種別統計などをもとに推定した。結果をTable 1に示す。これに組み立てや塗装などの製造工程に必要な直接エネルギー消費分を加えると、乗用車1台当たりのCO₂排出量は823kgCとなった。この場合のCO₂排出量の構成比をFig. 3に示す。

次に、1500ccクラスの乗用車の平均実燃費を12km/lと仮定して、10万km走行した場合のライフサイクルにおける排出CO₂量を推計すると5.3t-Cとなった。そこで、先の素材・組立でのCO₂排出量を加えると6.1t-Cとなり、その排出割合はFig. 4に示すように、生産段階では5%、素材製造では9%、利用段階では86%となることが分かった。このことから、車の製造によるCO₂排出量は無視しえない量であるが、車の利用からのCO₂排出量を削減することの方が、地球温暖化対策とし

Table 1 Raw material constitution ratio and CO₂ emission of an automobile¹¹⁾.

Materials	Weight constitution ratio (%)	Energy unit (kcal/kg)	CO ₂ emission unit (g-C/kg)	Energy consumption (Mcal/car)	CO ₂ emission (kg-C/car)	CO ₂ constitution ratio (%)
Pig iron	1.7	5200	450	88	8	1.4
Steel	72.0	5500	415	3960	299	56.2
Aluminium	4.9	38000	2405	1877	118	22.2
Other non-ferrous metals	2.5	20000	1255	500	31	5.8
Plastics	7.5	6000	440	450	33	6.2
Rubber	2.7	5300	350	144	9	1.8
Glass	3.0	3900	290	117	9	1.7
Other non-metals	5.7	6000	440	342	25	4.7
Total	100.0	—	—	7477	532	100.0

ての効果が大きいといえる。

以上のような評価をさらに厳密に行うため、森口らは、「産業連関法」により自動車の修理、消耗品の購入、燃料の精製・輸送、さらに道路の建設・補修までを含めて試算した。その結果、Fig. 5に示したように、乗用車1台当たりのCO₂総排出量8.3t-Cのうち、ガソリンの燃焼による直接排出分は64.5%、精製や原油採掘・輸送分を含めた燃料分合計では70.4%となった。また、車両関係の合計は20.0%、道路関係の合計は9.6%となった。

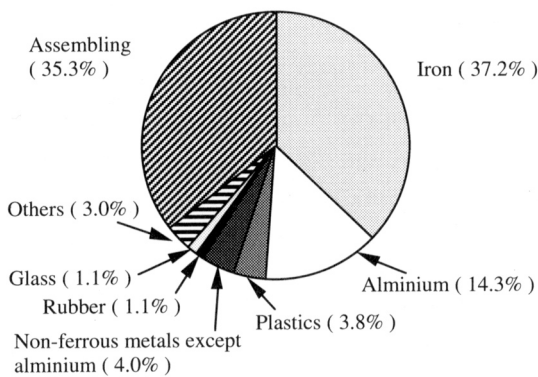


Fig. 3 CO₂ emission of an automobile¹¹⁾.

森口らは、インフラストラクチャまでを評価の対象に含めることにより、他の運転モードとの比較もより公平に行うことができるとしている。さらに、こうした一連のアプローチを鉄道などの輸送機関に同様に適用し、自動車との比較を行うことも興味深いとしている。

ハイデルベルグの環境診断研究所（UPI）は、平均的中級車（車重：1.1t、燃費：10km / ガソリン1ℓ、走行距離：13万km / 10年）を対象に、5段階（原材料調達、原材料輸送、生産、使用、スクラップ処理）での環境負荷を算出した¹²⁾。環境負荷の項目としては、一次エネルギー、排出ガス中成分、汚染大気量、廃水中成分、廃棄物などがあげられている。結果をTable 2に示す。これらの結果を基に、以下のように解析している。

1台の自動車の生涯エネルギーは、1人のドイツ人が自動車以外に熱、電気、輸送などに約6年間消費するエネルギーに相当し、これだけでインド人1人が76年間暮らせる。

生涯中に排出した有害ガスにより許可基準の最大限度まで汚染された大気を集めて100m²の塔を立てるとすると、その高さは204kmにも達する。

生涯中に26.5tの廃棄物を排出するが、その量はここで取り上げた自動車の重量（1,160kg）の

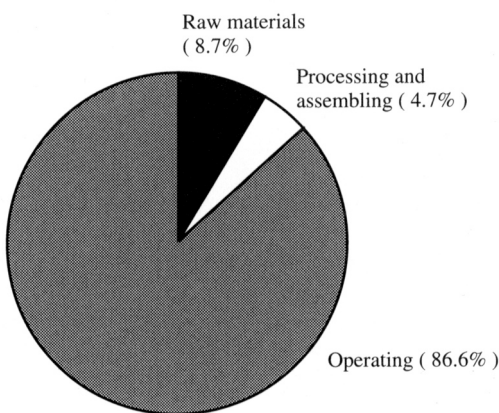


Fig. 4 CO₂ emission ratio of an automobile¹¹⁾
(100,000km mileage; 6.1t-C/car).

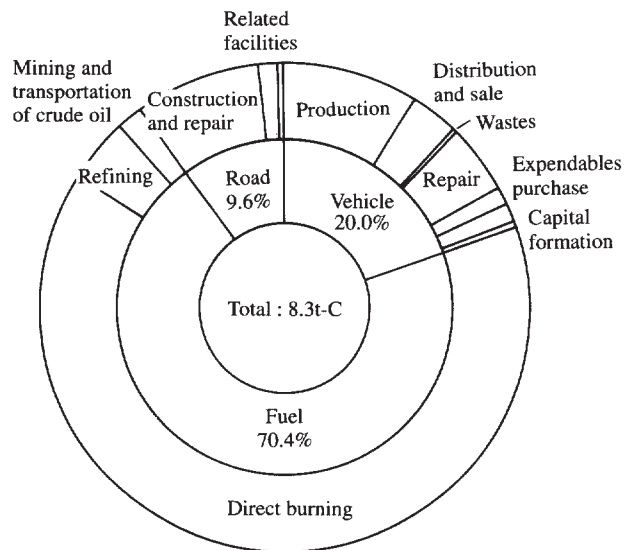


Fig. 5 CO₂ emission classification in an automobile life cycle¹¹⁾.

23倍に相当する。

自動車は一種の贅沢品で、その真価は名目価格以下に評価されるべきものであり、1台の自動車がもたらす社会的負担を市場価格に換算すると、ドライバー1人当たり年間6,000マルクもの金額に達する。

以上に述べたようなUPIの報告に対して、自動車メーカーは押し並べて批判的である。例えば、「本結果は実際の論議には役立たず、概括的な自

動車産業論を述べているにすぎない」(BMW), 「本結果が、ドイツにおける交通および環境問題の討議の現実化に貢献するとは思えない」(Mercedes-Benz) などである。しかしながら、ベルリンの連邦環境庁(UBA)は、本分析手法を正しいと認め、「本評価は称賛に値し、あらゆる局面を本質的に捉えている」と述べている。また、UPIの研究者も、「本調査の目的は、自動車のすべてのプラス面とマイナス面とを対比させて一般的な議論をす

Table 2 Environmental load of an automobile^{1,2)}.

		Raw material production	Raw material transportation	Automobile production	Operation	Dismantling	Total
	Primary energy	3.6t CU*	0.8t CU	2.1t CU	16.3t CU	0.14t CU	22.9t CU
Emission	CH	21.1kg	4.2kg	0.4kg	36.3kg	0.9kg	62.9kg
	CO	30.5kg	10.2kg	0.7kg	325.0kg	1.8kg	368.2kg
	Dust	1.6kg	1.6kg	0.4kg	0.2kg	0.4kg	4.2kg
	NO	11.4kg	22.0kg	4.2kg	46.8kg	5.1kg	89.5kg
	SO ₂	9.1kg	14.9kg	2.7kg	4.8kg	1.2kg	32.7kg
	CO ₂	9.6t	1.8t	3.5t	44.3t	0.4t	59.6t
	Pt			1.3mg			1.3mg
	Zn			0.8g			0.8g
	Ni			1.2g			1.2g
	Cu			4.3g			4.3g
	Cr			0.2g			0.2g
	Pb			85.0g			85.0g
	Brake abrasion			150.0g			150.0g
	Tire abrasion			750.0g			750.0g
	Road abrasion			17.5kg			17.5kg
	Formaldehyde			203.0g			203.0g
	Benzole			812.0g			812.0g
Polluted air		$422 \times 10^6 \text{m}^3$	$425 \times 10^6 \text{m}^3$	$75 \times 10^6 \text{m}^3$	$1016 \times 10^6 \text{m}^3$	$102 \times 10^6 \text{m}^3$	$2040 \times 10^6 \text{m}^3$
Wastes	Slag	25.0t					25.0t
	Shredder					0.2t	0.2t
	Others			1.5t			1.5t
Waste water	Crude oil		13ℓ				13ℓ
	Mineral oil				1.1ℓ		1.1ℓ
	Metals				46.4g		46.4g

*CU : Coal unit 1CU = 29,308 Joule

ることにあるのではなく、ユーザーが新車を購入する際に抱くと思われる環境に対する疑問を明らかにすることにある」と反論している。

なお、UPIではかなりのデータベースが蓄積されているようで、車量重量、燃費、リサイクルなどのファクターを変化させて環境負荷への影響を解析することも可能としている。

4.2 自動車用材料に関する事例

バルボ・カー・コーポレーションは、スウェーデン環境研究所、スウェーデン産業連盟と協同で、各種素材の環境への全体的な負荷を計算するシステムを開発した。このシステムでは、ELU(Environmental Load Unit) を用いて環境に対する影響を数値化することにより、設計者に環境影響を評価するための基礎データを提供できるとしている¹³⁾。

原材料、使用エネルギー、および汚染物質の大気、土壌、水への排出に関する環境指数の一部をTable 3に示す。これらの環境指数は、生態学に由来するさまざまな事実に基づいたエコロジカル・スコアを相互に乘じて得られたものとされている。しかし、その計算プロセスは報告されていないため、詳細は不明である。

このような手法を用いて、2種類の材質のバン

パーの環境負荷が比較された。

1つは、GMT (ガラス繊維強化熱可塑性樹脂) 複合材製で、素材重量は4.0kg、製品重量は3.7kg、塗装は無しである。もう1つは、亜鉛メッキ鋼板製で、素材重量は9.0kg、製品重量は6.0kg、塗装は0.6m²の範囲に施される。製造から使用を経て廃棄に至る各プロセスにおける2種類のバンパーのELUをTable 4に示す。すべてのELUを加算した総ELUは複合材では24.65、亜鉛メッキ鋼板では32.18となり、ELUの小さい複合材の方が環境に優れていると判断している。

シュツットガルト大学のプラスチック試験・プラスチック材料学研究所 (IKP) のP. Eyrerらは、製品の企画・開発において、3次元的マトリックス思考、すなわち技術、経済性、環境 (大気、水質、土壌) の面から、製品のライフサイクルを取り上げることが提案した¹⁴⁾。彼らは、従来のエコバランスが主に環境面だけに着目してきたことにかんがみ、その方法を全体的収支バランスと命名した。1990年初頭、この方法論の確立をめざして、乗用車のフェンダーを一例としたプロジェクトがスタートした。しかし、1991年2月の時点でも必要なデータが不足していたことから、欧州に

Table 3 Environmental index¹³⁾.

Raw materials (ELU/kg)	Emissions-air (ELU/kg)	Emissions-water (ELU/kg)
CO 12300	CO ₂ 0.04	Suspended matter 1E-07
Cr 22.1	CO 0.04	BOD 0.0001
Fe 0.38	NO _x 245	COD 0.00001
Mn 21	N ₂ O 0.6	TOC 0.00001
Mo 4200	SO _x 6.03	Oil 0.00001
Ni 700	CH 10.2	Phenol 1
Pb 262	PAC 600	Phosphorus 2
Pt 42000000	Aldehyde 20	Nitrogen 10
Rh 42000000	HCl	DDT 10000
Sn 4200	F 1E-07	PCB 10000
V 42	Hg 10	Dioxin 100
Oil 0.168	Cd	Al 1
Coal 0.1	Emissions-land (ELU/kg)	As 0.01
Land (ELU/m ²)	As 10	Cd 0.5
Areable land 2.93	Cd 0.005	Cr 1E-07
Forested land 1.05	Cr 10	Hg 1E-07
Residual land 0.98	Cu 1E-07	Mn 1E-07
Energy (ELU/kg)	Hg 0.001	Ni 0.01
Oil 0.33	Ni 0.00001	Pb 0.00001
Coal 0.28	Pb	Zn
Electricity (MJ) 0.014	Sn	
	Ti	

おける自動車メーカー，材料メーカー，表面処理メーカー，相手先ブランドによる生産メーカーあわせて40社に呼び掛け，データ収集のためのシステムを築いた。こうして蓄積されつつあるデータベースを用いて，フェンダー以外の部品についても試算が行われ，将来は建築物や電子製品にも広げる計画が進行中とのことである。

ここでは，フォード社の乗用車モンデオ2.0iに搭載された吸気マニホールドの例を紹介する。選ばれた材料は，Al-10wt%Si-2wt%Cu合金とガラス繊維を35wt%含むポリアミド66の2種類である。部品重量はAl鋳物製が6.5kg，樹脂製が2.6kgである。Al鋳物製では回収された使用済みのマニホールドが原料として再利用されるのに対し，樹脂製では原油もしくは天然ガスからスタートして，ヘキサメチレンジアミンやアジピン酸を経てポリアミド66が合成され，ガラス繊維と配合される。

Al鋳造品の製造時におけるエネルギー消費量は335MJ，ガラス繊維強化ポリアミド66品は332MJと大差はない。しかし，15万km走行した時の燃費をエネルギーに換算するとAl鋳造品では1021MJ，ポリアミド66品では408MJとなる。これらの関係を整理するとFig. 6のようになる。ポリアミド66品の消費エネルギーは常にAl鋳造品の消費エネルギーを下まわっており，しかも走行

距離が伸びるほどその影響が著しくなることが分かる。なお，ポリアミド66品は，使用後粉碎されて焼却ならびに埋め立てられることが前提となっており，取り外してリサイクルされるプロセスは考慮されていない。

森本らは，フェンダー（展伸材）ならびにエンジンブロック（鋳造材）における素材の種類（Fe，Al，Mg），走行距離およびリサイクル率がエネルギー消費量に及ぼす影響について知見を得るため，原料から製品製造，使用（走行）および再生に至るまでの全消費量を調査した¹⁵⁾。部品1対（台）当たりの総エネルギー量および総エネルギーバランスは次のように定義した。

総エネルギー(E_T)

$$= \text{金属素材製造}(E_1) + \text{部品用素材製}(E_2) \\ + \text{部品製造}(E_3) + \text{使用}(E_4) + \text{使用済車両処理}(E_5) + \text{金属素材再生}(E_6)$$

総エネルギーバランス(E_B)

$$= \text{総エネルギー}(E_T) - \text{再生金属の所有エネルギー}(E_R)$$

ここで， E_4 は，乗用車（2000cc級）の総走行距離を15万kmとしたときの燃料（ガソリン）消費量のうち，部品重量に相当する分とした。 E_R は素材屑も含めて任意のリサイクル率で部品を回収できたとして節約に寄与する分とし， E_1 と等価とした。

Table 4 Calculation of environmental load values¹³⁾.

Materials & processes		Production			Product use			Waste								
								Disposal			Incineration			Reuse		
		(ELU/kg)	(kg)	(ELU)	(ELU/kg)	(kg)	(ELU)	(ELU/kg)	(kg)	(ELU)	(ELU/kg)	(kg)	(ELU)	(ELU/kg)	(kg)	(ELU)
GMT-composite	GMT	1.58	4.0	6.32							-0.061	3.7	-0.22	-1.58	0.3	-0.47
	Petrol				0.64	29.6	18.94									
	Compression moulding	0.021	4.0	0.084												
	Total sum															
Galvanized steel	Galvanized steel	1.02	9.0	9.18										-0.92	9.0	-8.28
	Petrol				0.64	48.0	30.72									
	Spot welding	0.0028	48	0.13												
	Painting (m ²)	0.082	0.6	0.05												
	Steel stamping	0.042	9.0	0.38												
	Total sum															

なお、素材、製品製造およびリサイクル時に使用する補助材料と労働力に相当するエネルギーは割愛した。

フェンダーに関する結果をFig. 7に示す。

アルミニウムおよびマグネシウムは、それらの素材製造に要する消費エネルギーが鋼に比べて大きい。従って、リサイクル率が零の場合は、走行距離がかなり長くなると総エネルギーバランスは小さくならない。このことから、部品重量の軽減による省エネルギーの効果を期待するためには、リサイクル率の向上が前提であることが示唆される。

森本らは、樹脂製バンパーに関して適切なリサイクル方法を選択する際の指針を得るため、塗装されたPPならびにPUバンパーについても同様に原油から出発して、原料製造、部品製造、使用、再生に至る各エネルギー消費量を算出した¹⁶⁾。これらのうち、リサイクルエネルギーと回収可能エネルギーを比較した結果をFig. 8に示す。ここで、リサイクルエネルギーとは、リサイクル工程で新たに必要となるエネルギーであり、回収可能エネ

ルギーとは、マテリアルリサイクルではリサイクル率に応じて節約できる原料製造エネルギー、サーマルリサイクルでは素材そのものの発熱量を100%の熱効率で回収できるエネルギーとした。

PPバンパーでは、ケミカル、サーマルリサイクルとも、素材そのものの発熱量から判断してマテリアルリサイクルの場合の約半分に相当するエネルギーしか回収できない。従って、マテリアルリサイクルによって、同等グレードのPPペレットに100%リサイクルされることが最も有利であると考えられる。

一方、PUバンパーでは、マテリアル、ケミカルとも現状の技術では10%程度しか原料に戻せないため、むしろサーマルリサイクルにより熱エネルギーとして回収する方が有利と考えられる。

なお、PPバンパーのリサイクルに関して、当所はトヨタ自動車(株)と共同で、塗装皮膜をつけたまま粉碎し、熔融混練工程で塗膜を無害化する技術を開発した¹⁷⁾。これにより、従来困難とされていたバンパーからバンパーへの高品位リサイクルが比較的低コストで可能になるとしている。

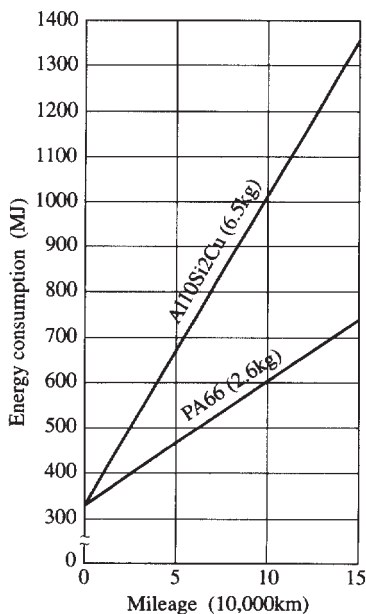


Fig. 6 Relationships between energy consumption and mileage¹⁴⁾ (intake manifold).

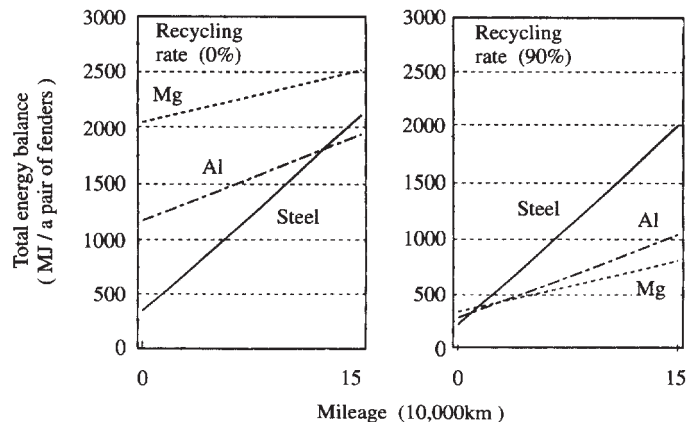


Fig. 7 Relationships between mileage and total energy balance on automobile fenders¹⁵⁾.

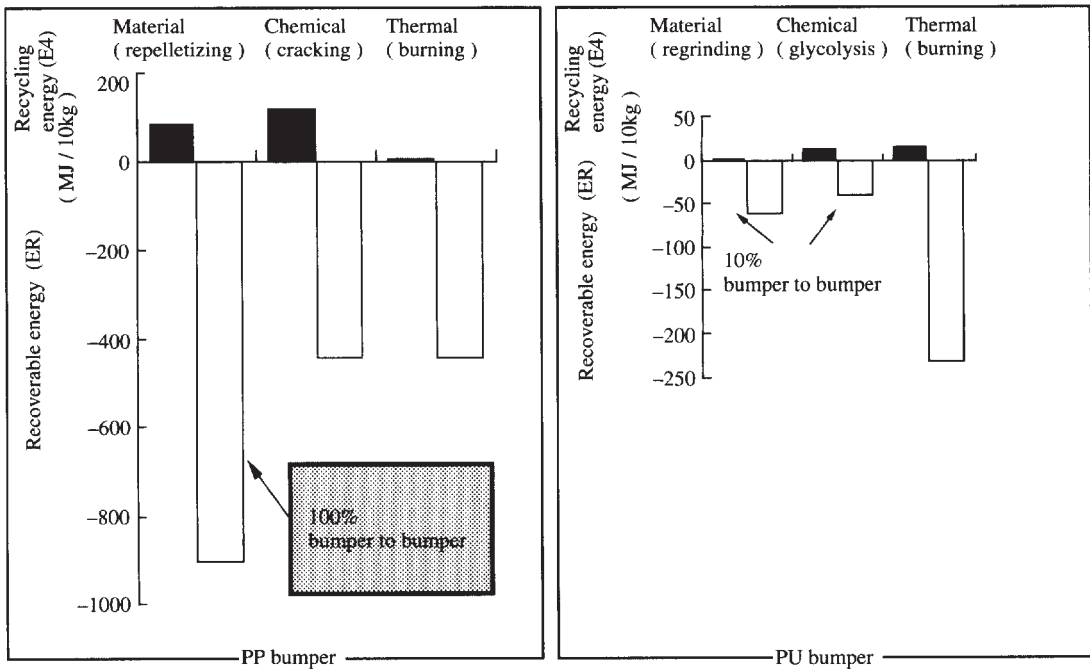


Fig. 8 Energy balance in recycling of plastics bumper¹⁶⁾.

5. 国際標準化の動向^{18, 19)}

5. 1 ISO / TC207設立の経緯

ISOに委員会TC207が設立された発端は、1992年6月にブラジルで開催された地球サミットに産業界として対応するため、その1年前の1991年6月に「持続可能な開発のための産業界会議」(The Business Council for Sustainable Development: BCSD)が創設されたことによる。BCSDでは、企業が自主的に一層の環境対策を行うためには、環境パフォーマンス、製品のライフサイクル解析などに関する国際規格の策定が重要との結論が得られ、ISOに検討が依頼された。これを受けて、ISOでは、「環境に関する戦略的アドバイザリーグループ」(Strategic Advisory Group on Environment: SAGE)が1991年7月に創設され、「環境管理システム」や「環境監査」などの7つのサブグループを設けて、規格化することの是非や意義などが議論された。その結果、具体的な規格作りのために新たに「技術委員会」(Technical Committee: TC)

を設置することがISOに勧告され、1992年9月ISO理事会にてTC207の設立が承認された。

TC207の第1回の会合は、1993年6月、カナダ・トロントにて開催され、環境管理システム、環境監査、環境ラベル、環境パフォーマンス評価、ライフサイクルアナリシス、用語と定義といった6つの分科会(Sub Committee: SC)と製品規格の環境側面に関するワーキンググループ(WG)が設置され、それぞれの幹事国を決めて具体的な規格案作りに着手した(Table 5)。参加者は、ヨーロッパを中心に26ヶ国とUNEP(国連環境計画)など5機関の代表者約200名であった。

第2回のTC207の会合は、1994年5月オーストラリア・ゴールドコーストで開かれた。環境管理システム(SC1)の策定をめぐって、規格に具体性をもたせることで環境保全効果を上げようとする欧州勢と、規格が裁判での判定基準になることを恐れる米国とが激しく対立、規格の本文については一般的な記述にとどめることになった。また、付属文書の内容に関しても議論が紛糾したため、

Table 5 Sub-group and secretary in TC207.

	Sub-group	Secretary
SC1	Environmental management systems (EMS)	U. K.
SC2	Environmental auditing (EA)	Holland
SC3	Environmental labelling (EL)	Australia
SC4	Environmental performance evaluation(EPE)	U. S. A.
SC5	Life cycle analysis (LCA)	France
SC6	Terms and definitions (T&D)	Norway
WG1	Environmental aspects in product standards (EAPS)	Germany

結論は先送りとなった。その後、1994年7月に、具体的なチェック項目は、規格本文ではなく、強制力のない付属文書に入れるという案で双方が譲歩、1994年9月にウィーンで開催されたSC1の全体会議で委員会案として採択された。今後は、議論に参加した各国の意見を最終調整後、1995年6月のTC207総会で国際規格案として採択されれば、全ISO加盟国の投票を経て1996年1月に発効される予定である。

欧州では、1993年3月に制定されたEC独自の「環境管理・監査規格」(Eco-Management and Audit Scheme: EMAS)がISO規格に先立って1995年4月に発効する。EMASでは、環境管理システムの導入、監査の実施、環境声明書による結果の公表などで構成され、環境管理システムについては、欧州連合が指定する他のシステムで代用可能となっている。欧州の期待より一般的な内容に留まったISOの環境管理システムが欧州連合の指定を受けることができるかどうか問題ではあるが、議論が振り出しに戻ることはないであろうといわれている。従って、ISOの原案を巡って、欧州と米国が対立していた頃に米国や日本側で懸念されていた二重規格の発効は回避されたとの見方が強い。

5.2 SC5

前節で述べたように、LCAはSC5で検討されることになり、フランスを幹事国として発足した。

第1回の会合は1993年11月パリで開催され、SC5の中を5つのWGに分け、各WGでそれぞれのタイトルの決定、作業範囲や計画などが検討された (Table 6)。なお、LCAは、当初ライフサイク

Table 6 ISO / TC207 / SC5 : LCA-WG.

	Title	Secretary
WG1	Life cycle assessment-general principles and procedures	U. S. A.
WG2	Life cycle inventory analysis - general	Germany
WG3	Life cycle inventory analysis - specific	Japan
WG4	Life cycle impact assessment	Sweden
WG5	Life cycle improvement assessment	France

ルアナリシスとされていたが、このパリの会合にてライフサイクルアセスメントとして正式決定された。

一般原則と手続きに関するドラフト作成作業は、WG1からの要請により、各WGが協力する形で進められ、9月のニースの第2回目の会合でほぼ完成、ISO - CD (Committee Draft) 14040となった。WG1は、1994年12月までに各国からのコメントを受けて、1995年2月ベルリンでほぼその内容を固め、6月オスロの会合でCDにまとめる予定である。一方、WG2～WG5も、1995年2月のベルリンでの会合を経て、6月オスロの会合でWD (Working Draft) として固める予定である。

日本が幹事国になっているWG3も、具体的なインベントリー分析の事例に基づいた、より現実には則した手順なり手法となるよう、標準化作成に向けて議論をつくす予定となっている。

従って、TC207の結果がISO14000として規格化されるのに伴い、SC5は、ISO14040 (一般原則と手続き)、ISO14041 (インベントリー解析)、ISO14042 (影響アセスメント)、ISO14043 (改善アセスメント) で構成されることになる。

6. おわりに

地球環境問題への取り組みに関し、環境庁は「地球規模で考え、足元からの行動」(Think globally, Act locally)を呼びかけている。これは、国民一人ひとりが自らの活動や生活が環境とどう関わっているかを十分認識して具体的な行動をとらない限り、この問題が解決されないことを示唆

していると解釈できる。

具体的行動の指針を得る場合、本稿で述べてきたLCAが有用なツールの1つとなると考えられる。当初マスコミ等でこのLCAが紹介されたときは、あたかも「魔法の杖」のようにとらえられ、関係者もややフィーバー気味であった。しかし、その後調査と討議が進むにつれて、LCAがごくあたりまえの地道な作業に裏付けられたものであることが明らかになってきた。しかも、解析に必要なデータの中には、すでに過去から蓄積されているものもあるように思われる。ただ、これらのデータが誰でも使えるような形で公開されていないことにむしろ問題があると考えられる。

現在、国際標準化の観点から議論が重ねられており、一般的原則に関する大枠もきまりつつある。主観的なデータを用いた個別の思惑がからんだLCAがはびこることは是非とも回避したいものである。

LCAとは一言でいえば、地球環境への負荷を低減するために生活全般を見直すことである。まずは利害関係を乗り越える意識改革から始まって、それぞれの立場で、技術的課題なり政策的課題なりを解決すべくケーススタディを積み重ねることが重要と考えられる。

参 考 文 献

- 1) [a]Heijungs, R. : Environmental Life Cycle Assessment of Products Guide, (1992), Centre of Environmental Science, Leiden, 96
[b]Heijungs, R. : Environmental Life Cycle Assessment of Products Backgrounds, (1992), Centre of Environmental Science, Leiden, 130
[c]戦略LCA研究フォーラム訳 : LCA製品の環境ライフサイクルアセスメント, (1994), サイエンスフォーラム, 265
- 2) 新素材導入に伴う省エネルギー効果の分析について, (1981), (社)化学経済研究所
- 3) 廃プラスチックの処理・再資源化に関する環境影響評価, (1992), (社)プラスチック処理促進協会
- 4) A Technical Framework for Life-Cycle Assessment, (1991), Soc. of Environmental Toxicology and Chem. and SETAC Foundation for Environmental Education, Inc., Washington, DC
- 5) 茅陽一編 : エネルギーアナリシス, (1980), 電力新報社
- 6) 宮沢健一編 : 産業連関分析入門, (1993), 日本経済新聞

社

- 7) 近藤美則, 森口祐一, 清水浩 : "産業連関表によるCO₂排出構造の経時的分析と分析における部門数別誤差の解析", エネルギー・資源, 15-2(1994), 199
- 8) 吉岡完治, 早見均, 池田明由 : "環境分析のための産業連関表", イノベーション&I-Oテクニク, 2-3(1991), 14
- 9) 池田明由 : "環境と経済システムの相互関係に関する実証的研究", 東海大学教養学部紀要, No.22(1991), 145
- 10) 環境庁 : 環境への負荷の評価に関する予備的検討 (1993), 日本エコライフセンター, 97
- 11) 森口祐一, 近藤美則 : "自動車の地球環境負荷を考える", 金属, 63-6(1993), 48
- 12) "Erstmals Wurde die Oeko-Bilanz Eines Autos errechnet-von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung", Stern 6/5(1993), 174
- 13) Volvo Car Corporation : Environmentally Compatible Product Development with the EPS system, (1991)
- 14) "製品の環境影響度を評価するライフサイクルアナリシス", 日経メカニカル, No.411(1993), 44
- 15) 森本一史, 藤田浩紀, 宮本康司 : "自動車用金属部品の製造, 使用および再生に要するエネルギー消費量", 第115回日本金属学会講演概要, (1994), 57
- 16) Morimoto, K. and Miyamoto, Y. : "Recycling Technology and Ecobalance of Automotive Plastics Components", Proc. of Int. Conf. on EcoBalance, (1994), The Soc. of Non-Traditional Tech., 234
- 17) 猪飼忠義, 佐藤紀夫他 : "塗装PPバンパリサイクル技術の開発", 自動車技術会1993年春季大会学術講演会前刷集, No.931(1993), 137
- 18) 野口聡 : "環境管理規定策定の動向について", 環境管理, 30-10(1994), 1
- 19) 吉澤正 : "環境管理の国際標準化動向", 標準化と品質管理, 47-12(1994), 5

なお、LCA全般に関する解説書として代表的なものを以下に挙げる

- 1) 日本におけるLCA研究の現状と将来の課題, (1994), (社)未踏科学技術協会, エコマテリアル研究会, 122
- 2) LCAの現状と推進への課題, (1994), 日経産業消費研究所, 111
- 3) "LCA - 地球環境へのやさしさの尺度", 日本の科学と技術, 35-273(1994), 日本科学技術振興財団, 92p

著 者 紹 介



森本一史 Kazufumi Morimoto

生年 : 1946年。

所属 : 情報特許部。

分野 : 技術動向調査。

学会等 : 自動車技術会, 日本金属学会会員。