

自動車のLCAの現状

Car Life Cycle Assessment

小林 紀*

Osamu Kobayashi

1. はじめに

自動車のLCAについても、1990年以降、いくつかの論文が提出されている。本稿では、これらの文献をもとに、自動車のLCAの現状を紹介するとともに、自動車のLCAにおける課題について簡単に触れる。

2. 自動車のLCAの概要

図-1に自動車のLCAで考慮すべき段階を示す¹⁾。原料の採掘から始まって、素材製造、部品・車両製造、使用を経て廃棄・リサイクルされるまでが対象となる。自動車の部品点数は2万~3万といわれている。部品の多くは関連部品メーカー（ラジエータ、ワイパーなど）、専門メーカー（タイヤ、蓄電池など）などで製造されている。自動車メーカーはおもにエンジンを製造し、車体を組立て、部品をアッセンブルしている。

3. 検討例の紹介

3.1 現行車のLCA

(1) 積み上げ方式による車全体のLCA

図-2に、近藤（国立環境研究所）らが行った1500

ccガソリン乗用車のCO₂排出に関するLCI（ライフサイクルインベントリ）の結果を示す²⁾。同図にみられるように、材料起源（素材製造）、加工組立起源（部品・車両製造）および運行起源（走行）の三つを検討範囲としている。

素材製造段階のエネルギー原単位は、日本自動車工業会（自工会）の“普通・小型車における原材料構成比（1988年版）”をもとに、材料を自工会分類の32種類から8種類に統合し通産省の鉱工業統計などをもとに計算している。また、部品および車両製造段階の計算には業種別にまとめられている石油等消費構造統計を用いている。走行段階は燃費を12km/l、総走行距離を100,000kmとおいて計算している。

この検討事例を参考に、小林は走行時の燃料であるガソリンの製造段階（石油精製）と車両廃棄段階（シュレッダー処理）を検討範囲に加え、エネルギーとCO₂のLCIを行なっている¹⁾。結果を図-3に示す。ただし、素材の計算には自工会の“普通・小型車における原材料構成比（1990年版）”を用いた。また、日本車平均として2000ccガソリン車を選び、燃費を11.15 km/lとして計算している。

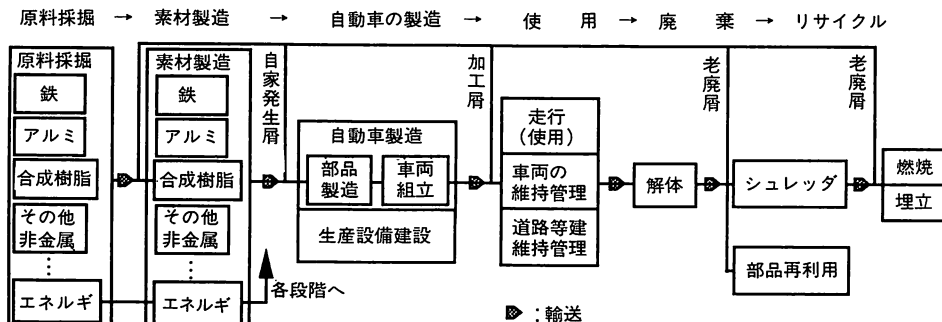


図-1 自動車のライフサイクルで考慮すべき段階

* 日産自動車(株)総合研究所

社会・商品研究所環境・エネルギー研究室主任研究員
〒237 横須賀市夏島町1

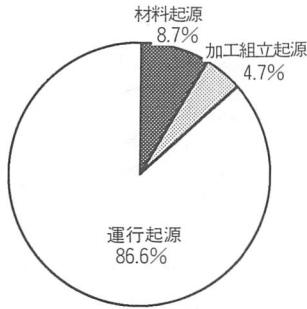


図-2 自動車のCO₂排出割合¹⁾ (10万km走行時)

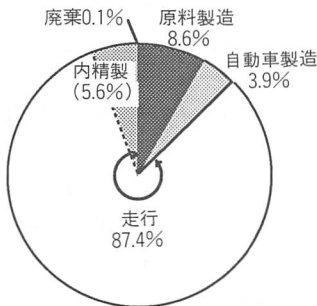


図-3 CO₂LCAの結果²⁾ (10万km走行時)

自工会でも、海上輸送をシステムバウンダリとして、原料採掘・素材製造、部品・車輛製造、走行、維持管理そして廃棄・リサイクルおよび各段階間の輸送

の6段階を範囲とする、エネルギーとCO₂のLCIを行なっている³⁾。原料採掘・素材製造段階の計算は通産省・資源環境技術総合研究所のLCAソフトを活用している。車両組立を10工程に細分化し一次エネルギーごとに消費を評価していること、部品の交換を考慮していることが特徴である。また、改善分析の一例として、走行環境が改善されたときの影響を検討している。結果は1996年11月に筑波で行なわれるエコバランス国際会議で報告される予定である。

海外では、ハイデルベルクの環境診断研究所 (UPD) が平均的なガソリン乗用車を対象に、原材料製造、原材料輸送、自動車製造、走行そして分解処理の5段階を範囲とするLCAを行なっている⁴⁾。環境負荷として一次エネルギー、排出物 (HC, CO, CO₂, などの排気, Pt, Znなどの金属排出物およびタイヤやブレーキの磨耗粉など)、汚染空気、廃棄物そして廃水を挙げ評価している。結果の一部 (一次エネルギー消費と排出物) を表1に示す。

海外の自動車メーカーでは、BMW, FORDなどが1995年のSAE (米国自動車技術会) で報告している。

BMWは、ホワイトボディ (部品がアッセンブルされる前のボディ単体) を対象に、原材料の採取、材料製造、ボディ製造そして走行の4段階で計算している⁵⁾。評価項目はエネルギーとCO₂で、材料変更

表1 Environmental load of an automobile⁴⁾

	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	

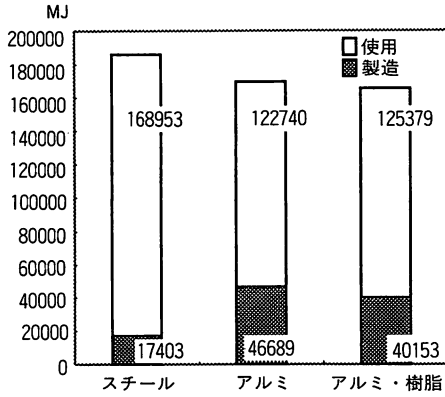


図-4 エネルギー消費量

(鉄を基本材料としアルミおよびアルミ&樹脂への置き換え)による軽量化の影響を検討している。図-4に示すように、軽量化の効果は、検討した範囲では材料構成によらず、鉄の場合に比べて約10%エネルギー消費が減少するとしている。

(2) 産業連関方式による車全体のLCA

森口(国立環境研究所)らは産業連関方式でも計算している。1985年の産業連関表を用いた検討もある⁶⁾が、ここでは、1990年の産業連関表をもとにした結果を図-5に示す。平均的なガソリン乗用車を対象として、車両は生産、流通販売(輸送を含む)、廃棄、補修・補填および資本形成(工場建設)、燃料は走行時の直接燃焼分と石油精製分そして道路は建設・補修と関連施設を検討範囲としている。修理や輸送などの自動車本体に関するものに加え、道路の建設や補修など広い範囲の評価が可能となっている。

また、吉岡ら(慶応大学)は、軽、小型、普通乗用車を対象にCO₂排出を評価項目とするLCIを行なっている⁷⁾。海外でのCO₂排出の評価を別途行なっているのが特徴としてあげられる。

(3) 積み上げ、産業連関併用による車全体のLCA

石谷ら(東京大学)は、積み上げ方式に産業連関データを活用する方式でエネルギー消費とCO₂排出に関するLCIを行なっている⁸⁾。自動車を内燃機関(エンジン)、車体(本体)、部品という三つに分類し、最終的には448部品に細分化し素材別に重量構成を求めている。そして、原材料の製造段階と部品・車両の加工・組立段階についてはエネルギー消費原単位を産業連関表から求め、エネルギー消費とCO₂排出を推算している。この方式でアルミ化の影響を評価している。

また前述の自工会のLCIでは、輸送段階に産業連関

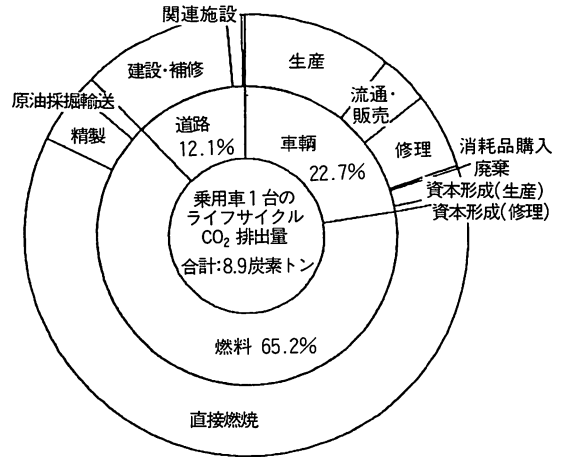


図-5 乗用車のライフサイクルCO₂排出量の内訳

データを活用している³⁾。すべての段階の間の輸送を考慮しており輸送に要する平均的なエネルギーを求めるのが困難と考えられたためとしている。

3.2 部品を対象としたLCA

海外では、ドイツのシュツットガルト大学ポリマー試験・ポリマー化学研究所(IKP)の声掛けに、欧州の自動車メーカー、材料メーカー、表面処理メーカー部品製造メーカーなど40社が応じグループが形成され、自動車のLCAのためのデータ収集が行われた。フェンダーや給気マニフォールドを対象としたLCAが行われている。給気マニフォールドの例ではアルミ鋳造品と樹脂品が比較されている。国内でもバンパーなどを対象とした研究が行われている。

3.3 代替エネルギー車のLCA

代替エネルギー車に関するLCAも散見されはじめてきている。FORDは、ガソリン車とナトリウム/硫黄電池を搭載する電気自動車について、エネルギー消費や排出に関するLCIを行なっている¹⁰⁾。電気自動車は、加速性や一充電走行距離などで劣るが、エネルギー消費は24%少ないとしている。また、表2に示すように、COやROGのように減少する排気もあるが酸性雨の原因となるNO_xやSO_xは増加する結果になったとしている。例えば、小林らは、エネルギーの採掘から走行

表2 生涯の排気評価¹⁰⁾(単位lb)

	NO _x	SO _x	CO	ROG
内燃機関自動車	170	12	920	185
電気自動車	315	710	16	7

までを考慮したLCI検討により、米国の現状の発電事情のもとでは、電気自動車の普及によりCO₂は減少するが、NO_xやSO_xは増加することを確認している¹⁾。

4. LCAの目的と検討の考え方

自動車のLCIの目的には、日本車平均的なLCI（自動車と他の交通機関との比較、いいかえると産業同志の比較）とその対極の製品のLCI（車種別のLCI）、そして両者の中間となる企業あるいは工場単位のLCIなどが考えられる。LCIの目的によって、考慮すべき段階、用いるべきデータ、手法を考える必要があると思われる。

4.1 日本車平均的なLCI

自動車と鉄道を比較するときの日本車平均的なLCIであれば、資源の採掘、素材の製造、部品・車両の製造、走行（使用）、車両の維持管理（補修・補填）、廃棄・リサイクルおよび各段階の間の輸送に加え、図-6に示す工場の建設やインフラ（自動車なら道路、鉄道なら線路）などの建設、維持管理まで対象とする必要があると思われる。

データは、積み上げ方式であれば通産省の鉱工業統計やエネルギー消費動態統計などの統計データを用いることができる。産業連関方式ならもちろん産業連関データをもとに物量表やエネルギー消費動態統計を採用することが考えられる。

4.2 製品のLCI（車種別のLCI）

自動車の車種ごとに環境保全性能を評価するようなときのLCIと考えられる。自動車同志の比較となるので、道路などのインフラの建設、維持管理段階は共通として省略されることもあると考えている。

個々の車種ごとに、燃費性能はもちろん製造段階で

使われる材料の種類、量あるいはエネルギーの種類、量は異なる。したがって、図-6に示すように、部品・車両製造段階および走行段階のデータには車種ごとに実測されたデータを用いないと製品のLCIにはならないと考えられる。また、易解体性やリサイクル性を評価することになれば廃棄・リサイクル段階まで実測データが求められることになる。

したがって、基本的には積み上げ方式に実測データを用い、可能なところで鉱工業統計や産業連関データなどの統計的なデータを用いることが考えられる。

これらの模様を概念的に図-7に示す。

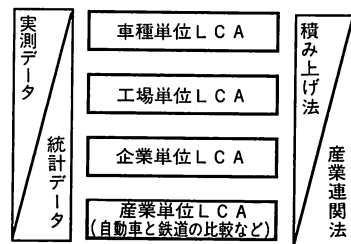


図-7 LCAの手法とデータ

5. 自動車のLCAにおける課題

5.1 製品LCAの難しさ

自動車メーカーは、一つの自動車工場で複数の車種を混流生産していることが多く、また、前述したように部品点数が多いことに加えて部品の多くを自動車関連部品メーカーや専門メーカーに負っている。これらの事情が、車種ごとのLCIの実施を難しくしていると考えられる。実施にあたっては部品メーカーとの協力が必須となる。

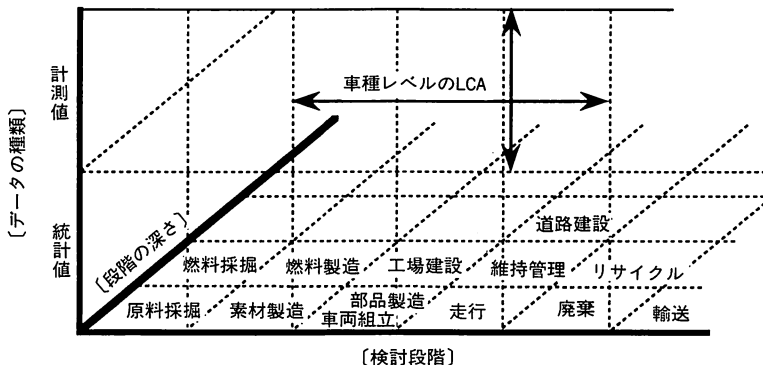


図-6 LCAの目的と検討段階、データ

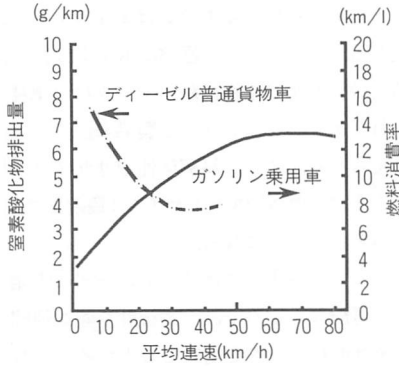


図-8 平均車速と燃費およびNO₂排出

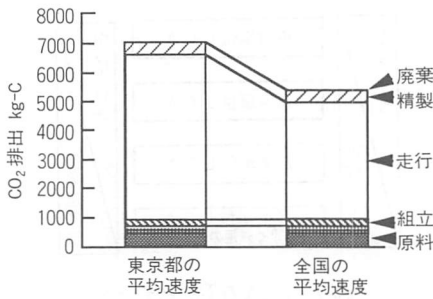


図-9 平均速度の違いによるエネルギー消費の相違

5.2 走行モードの差

走行段階は、これまでの多くのLCIの結果で生涯のエネルギー消費、CO₂排出の7割から多いものでは9割を占めている。したがって、走行段階をどう評価するかが重要になる。

自動車の平均速度と燃費、NO_x排出の間には図-8に示すような関係がある。図-8から、1990年の東京都の平均速度および全国平均の平均速度に対応する燃費を求め、生涯のエネルギー消費を比較した結果が図-9である。約25%近い相違がある。自動車は全国津々浦々で用いられており、いろいろな使われ方をしている。走行段階の評価にどのような燃費性能を用いるのがよ

いか、今後、議論になるものと思われる。

6. おわりに

自動車のLCA、特にLCIについて、現状と課題を紹介してきた。求められているのは、データの整備と思われる。また、すでに製品の宣伝にLCIが用いられている例もあり、LCAの目的に応じたルール（用いるべきデータと考慮すべき段階）作りも急務と思われる。

参考文献

- 1) 小林 紀, 自動車のLCAに関する一検討, 第11回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 1995.1, 149~152
- 2) 近藤美則ら, 素材生産に伴う二酸化炭素の排出原単位と自動車生産過程への適用, 第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 1992.1, 309~31
- 3) 小林 紀ら, 自動車のLCA研究, 第2回エコバランス国際会議, 1996.11 (予定)
- 4) "Erstmals Wurde die Oeko-Bilans Eines Autoserrechnen von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung", Stern, 6/5 (1993), 174
- 5) Harald A. FRANZE et al., Environmental Impact Calculations of Automotive Parts by Life-Cycle Analysis, SAE Paper951843 (1995)
- 6) 森口ら, 自動車による温室効果ガス排出のライフサイクル分析, 環境衛生工学研究, 第9巻第3号 (1995), 11~16
- 7) 吉岡完治ら, 自動車のLCA-産業分析-, 生涯環境影響調査方法の開発 (平成7年度), (社)産業環境管理協会
- 8) 石谷 久ら, LCA研究会報告書草案, 生涯環境影響調査方法の開発 (平成7年度), (社)産業環境管理協会
- 9) Manfred Schuckert, 製品の環境影響度を定量化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
- 10) Jhon L. Sullivan et al., Life Cycle Energy Analysis for Automobiles, SAE Paper951829(1995)
- 11) O. Kobayashi et al. Environmental and Economic Evaluations of Electric Vehicles, SAE Paper952793 (1995)