

容器・包装のLCA

Packaging and LCA

沖 慶 雄*

Yoshio Oki

まえがき

環境負荷の低減の指標を得る為にLCAが有力なツールとして確立してきた。

容器・包装材料についても、環境負荷の低減の目標を設定する為にLCAを活用することが一般的に行われているが、容器・包装はその実用に当たって他の多くの商品とは異なって多くの問題がある。

容器・包装が現在の社会において単に消費者への商品の輸送に止まらず、物の移動において重要な役割を果たしていることは、物流の合理化、商品の広域流通などを指摘するまでもないが、マーケットの分野においてもCMなどの効果が包装材料の持つ情報伝達の機能によって果たす役割は大きい。

これらの多くの機能は使用目的での有用性の評価によって決まり、それはそのまま、包装材料の価値となるのである。

多くの商品が多数の製造段階を経て製造されるが、その各段階でそれぞれに包装材料が使用され、廃棄されている。

包装材料はその使用目的を達成した後は、殆どの場合、廃棄される。その使用場所において再利用されることは殆どないのである。

このような特性を持つ包装材料の評価は、包装材料の持つ機能とその使用目的にどのように合致しているかの理解がなければ成立しない。

このような諸問題を考察するには、包装業界の現状として包装材料を使用する立場の人々がどのような包装材料を求めているかの理解が必要である。

1. 包装産業の現状

包装産業は近代生活の成立に伴って大きな変化を遂

げてきた。生活に必要な商品の種類も増え、新しいライフスタイルを支える商品も次々と登場してきている。それらの商品が消費者に届く為の販売ルートや物流設備に対応して、それぞれの機能が包装材料に求められ、各種の包装材料が次々と開発され利用されるようになった。

経済的な不況は商品の流通総量に大きく関連を持っている。商品量の減少は直ちに包装材料の消費量の減少に結び付くのである。

省エネルギー、省資源化の流れは包装材料業界にもコストダウンの流れと共に押し寄せてきた。

包装産業の1998年の規模は金額で6兆4,086億円（前年6兆7,163億円：前年比95.4%）であり、数量は21,884.5千トン（前年22,600.4千トン：前年比96.8%）であった。

この数値は1998年のGDPが実質で495兆5,276億円であり、前年比は96.9%であったことを考える時、包装材料の数量消費量は前年比で96.8%であり、この相互の関係は非常に良い一致を見ることが出来る。

図1の包装産業生産量-GDPの関係は実質GDPの、1億円当たりの所要包装材料金額比率の変化を示すものである。

1992年に最も大量の包装材料が使用されたことが分かる。それ以後は年々使用比率は減少している。明らかに、包装資材の消費は、生産財のパラメーターとして捉えることができる。

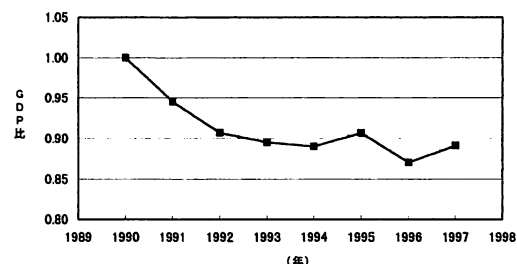


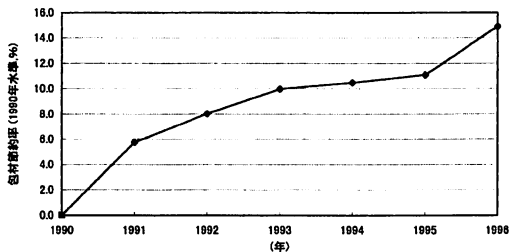
図1 包装産業（材料販売数量）-GDPの関係

* 東洋製罐(株)技術情報室長；工学博士

〒100-8522 東京都千代田区内幸町1-3-1

今日、どのような製品もまた、製造のために必要な材料も包装材料なしには流通できないことから理解できるだろう。包装産業界では、使用者の年々のコストダウンと機能向上の強い要請に応え、新しい資材の活用と使用法の改善を技術開発によって、より少ない材料での包装目的を達成することに成功してきている。

このことは、包装材料の生産金額が年々低下傾向にあり、GDPとの関係においても前年比で1.5%の乖離を生じていることから理解できよう。実際の包装材料消費量の推移からこの傾向はさらに明らかになる。



包装産業の技術開発指標：1990年水準で100万円当りの商品を包装するのに必要な包装資材の節約率

作成：沖 慶雄

図2 包装産業の技術開発指標

当然のことながら、商品にとって必要な包装機能は丈夫で、保存性に優れ、取り扱い易く、見栄えがよく、安価であるなどと機能は過剰に求められても、特別の環境意識を商品に反映させるなどの営業的考慮がない限り少なくなることはない。

このような業界内において、年々の包装材料は省エネルギーと安価という二者択一を求められた結果を示すものである。

この指標は消費者と包装材料メーカーとの最低限の妥協を可能とした技術開発の程度を示していると言える。

日本における包装産業は、材料別に分類されている。最も大きな市場は紙容器・紙の市場で10年以上前には50%を占めていたが、プラスチックの進出から年々シェアを失い1998年には約41.3%となっている。

プラスチックは過去に25%のシェアを獲得したが不況とともに漸減し、最近ではプラスチックを有効に使用する技術の発展と共に23%程度に回復してきた。

2. 容器・包装システムの環境影響評価

現代の社会において、包装材料なくしては商品の流通は成立しないと述べた。

また、包装は社会基盤整備の行き届かない所では丈夫な防水包装材料や緩衝包装が求められるのに対して、道路、港湾、コールドチェーンなど完備している所での包装材料は最低限の使用で済む、すなわち、包装材料はインフラストラクチャーのレベルに応じて補完的役割を果たしているのである。

このことから分かるように、包装材料は社会との関係を無視しては効率的な使用は考えられない。

社会との関係とは、社会が受け入れられるシステムによって包装材料が機能的に使用されることを意味している。どのような社会システムが構築されているかが重要である。その社会システムが機能するために必要となる包装材料が供給されるのである。

包装材料がどのように使用されて、所定の機能を発揮できるかは社会システムが良く機能するか否かにかかっている。包装材料を改良することで社会の社会システムを改善することはできないが、社会システムの足りないところを包装材料によって補うことはできる。その結果、過度の要求が包装材料に求められて多種類の包装材料の使用や異質の包装材料の組み合わせなどが必要となり必然的に資源、エネルギーの消費が増え環境負荷の増大を招くことになる。

このように、社会の環境負荷を低減するためには社会システムを環境依存型に変化させるとともに、そのシステムにとって必要とされる包装材料との共同が欠かせぬことである。

2.1 保存性の向上と容器・包装

食品容器にとって食品の保存性は欠かせぬ機能である。どのような形態で保存するかは、我々のライフスタイルに大きく依存している。

新鮮な食品をできるだけ新鮮な状態に保つことを可能ならしめる、ガスバリアー性など包装材料の機能として重要な性質である。最近では賞味期限などの表示が決められるようになったが、これなども最も食用として望ましい期間の明示である。

保存性の向上とは、可食期間の延長であるが、このことの意味するところは、食品市場における販売期間の延長であり、販売地域の拡大を意味している。包装材料の種類によっては保存性を左右するガスバリアー性に大きな相違があるが、食品の種類によって重要度が異なるので一律に保存性を評価することは困難である。

乾燥食品には防湿性を必要とするし、油脂含有食品では酸素の透過による過酸化物の生成を酸素を透過さ

せないことで防ぐために、酸素バリアー性が必要となる。

多くの食品にとってフレーバーの変化は可食性とも関係するので、香気などの揮散防止なども欠かせぬ機能である。プラスチックの開発が進むにつれて、プラスチックの化学構造とガスバリアー性との関係が明らかになってきた。在来の包装材料では困難であった保存性の向上も可能となってきた。例えば、EVOHのような酸素遮断効果の大きい材料を中間層として用い、その一方で剛性のあるポリプロピレンなどを保形材料として使用して造られた多層容器では、従来のポリプロピレン単体ボトルで3ヶ月の保存期間であったものが4倍以上の1年以上も常温保存が可能となった。

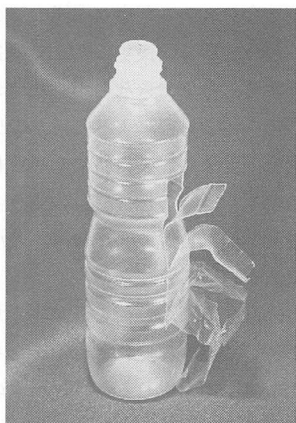


写真1 多層ボトルの剥離させた状況

生鮮食品の保存はさらに厳しい要件が求められる。生鮮食品や果実類はそれぞれの種類によって、呼吸し、排気している。第一の要件はこれらの呼吸作用を抑制することが新鮮さを失わせないように環境を調節することである。

コントロールアトモスフェア包装(CA包装)と呼ばれるのは包装内の雰囲気成分を調整する包装法である。気体成分を包装する生鮮食品や果物類の種類によって調整するCA包装はプラスチック包装材料の種類によって異なるガスバリアー性を利用して鮮度維持に成功している例である。

単にポリエチレンの袋に入れただけでも効果があり、20℃での保存ではエダマメの網袋入りが2日の可食期間であるのに対して7日の新鮮さが保持できた。このような機能はどのようにLCA的な機能評価を行えば良いのであろうか。

さらに、高度のテクニックを駆使した例として、吸水性フィルムの利用がある。生鮮魚類や肉類では表面に吸着した遊離水がうまみを損なうので、これをできるだけ早く除去することでうまみを引き出し保持できるので、この吸水性フィルムは高級生鮮食品に対しての使用が急速に拡大している。

脱臭フィルムは食品特有のにおいばかりでなく、包装材料から発する異臭、外部環境からの移り臭、など単独に又はそれらの複合臭などを主として吸着することで除去する機能を持つプラスチックフィルム類である。これらの多くはプラスチックと脱臭効果のある茶類の抽出成分やポリフェノール類のブレンドである。

この脱臭機能を持った包装材料の機能評価はどのようにしたら良いのだろうか。

2.2 輸送効率の向上と容器・包装

液体の運搬や販売に使用される各種の容器、その他の様々な商品を包む包装材料は、包装の基本的性格から商品の輸送にとって不可欠な包装材料である。

流通市場が発達するにつれて、流通システムにも変化が生まれ、流通の形態も大きな変化が自然発生的に生じてきた。その結果、市場から求められている包装材料の機能にも大きな変化が生まれ、新しい流通システムに合致した包装材料が市場に受け入れられてきた。

物の輸送に関係する包装を物流包装または輸送包装といて、機能包装とは異なったジャンルの市場と考えている。

本来、機能包装といい、輸送包装といっても包装材料に使用されている素材の性質に大きな差はない。物流包装であっても、機能包装であっても包装材料の使用目的が異なっているのであって、求められている包装の機能の重点が異なっているのである。

機能を重視した機能包装の場合には、その機能から生まれる無形の付加価値をある程度期待するのに対して、輸送包装は包装することによっての付加価値の上昇はありえない。

したがって、商品の安全な輸送にのみ目的のある輸送包装は、いかにして包装材料の節減ができるか、それによって得られるコストダウンのメリットを享受しようと必死である。

このような物流の分野において、そのシステムをうまく活用するためには物流の周辺のシステムへの対応も重要である。これらのシステムへの対応が充分でないときは、物流費用が増加するとして物流の合理化が求められることになる。

表1 各種包装材料の輸送効率より見た包装機能(輸送包材エネルギー)の比較

容器種類	仕様	容量 (ml)	空容器包材 エネルギー (kcal/本)	商品包材 (段ボール箱) エネルギー (kcal/本)	包材 エネルギー 合計 (kcal/本)	CO ₂ (g-C/本)	SO _x (g/g)	NO _x (g/g)	SW (g/g)	包装機能比 (輸送エネ ルギー比) (%)
ガラス瓶	OW	350	7.308	30.226	37.534	0.721	0.009050	0.002908	0.045954	100.00
スチール缶	DI	350	3.451	21.451	24.902	0.530	0.006689	0.002100	0.033405	66.34
PETボトル	アセブ	350	8.054	28.276	36.330	0.748	0.008280	0.004027	0.055140	96.79
パウチ	スタンディング	350	0.510	24.181	24.691	0.470	0.006147	0.001795	0.030441	65.78
紙容器	ゲープルトップ	300	0.510	11.213	11.723	0.212	0.002808	0.000815	0.013905	31.23

1) : 空容器は11t車燃費 ; 1.818km/l, 積載効率 : 規定積載量, 2) : 商品は4t車燃費 ; 5 km/l, 積載効率 : 80%, 3) : 輸送距離 : 空容器は片道150km (往復), 商品は片道75km (往復), 4) : OWはワンウエーの略, 5) : DIはDeepdraw and Ironing Canの略, 6) : 包装機能比はガラス瓶を基準とした。

使用される包装がそれらのシステムに合致していなければ当然として物流の合理化の改善が必要となる。

具体的に、物流システムの関与する各部門について包装との関係について述べてみよう。

輸送機関への対応としては使用する輸送機材の使用に当たって、トラックやコンテナに合理的な積載ができること、積載荷重に耐える梱包であること、積み込み、荷おろしが敏速にできること、など省人化、省時間を必要以上に妨げないような梱包重量、梱包形態であること、などが重要である。

表1は各種包装材料の輸送効率の比較を行ったものである。輸送効率が包装機能の反映であるとして考え、ここでは輸送包装材料エネルギーを同一内容量の容器で比較した。

2.3 (1) LCAによる包装材料機能改善の評価

技術開発がもたらしたプラスチック包装材料の機能改善の顕著な例は多層化技術を取り入れたガスバリアー性の改善がある。この改善によって、多くの日持ちしない商品が冷蔵庫の普及、流通システムの改善と相俟って広域商品として大幅に市場を拡大してきた。しかしながら、この材料を現在のLCAで評価しようとする、ガスバリアー性のない単体フィルムの方が、材料の使用量が少ない、加工エネルギーも少ないとして環境負荷の比較において好ましいとされてしまう。

現実には、単体フィルムよりはコストアップになるにもかかわらずハイガスバリアー性フィルムの方が市場において厳しい競争に勝ちぬいてきている。

保存性の向上、品質維持の改善がLCAの計算に反映されていない。このことはLCAを包装材料の環境評価に適用する場合の最も注意すべき問題点である。

最近の機能性包装材料として最も重要な材料であるガスバリアー性包装材料の評価について機能評価の試みがなされねばならない。

多くの食品は殺菌されている、貯蔵中に空気中の

酸素によって酸敗して、有毒物質を形成したり、フレーバーが変化して食用に供されなくなる。このために食品包装材料に酸素のバリアー性の優れた機能を持たせる研究が長年に渉り行われてきた。

ガスバリアー性のある包装材料が開発されなかった時代には、食品中の油脂が酸化し一定の過酸化物質を越えたならば市販が禁止され、市場からの回収が義務付けられていた。

バリアー性に優れた包装材料の開発によって現在の多くの食品はこの回収義務から開放されている。

このことの意味することは同一の数量を販売するための配送コストの大幅な削減であり、エネルギー依存による環境負荷の減少である。

LCA的手法でこの比較を試みてみよう。

① 多層成形容器入り味噌の例

ポリプロピレン単体容器と多層容器とのガスバリアー性機能の環境負荷に対する比較である。

従来、味噌は大気中の酸素によって保存中に褐変が進み商品とならなくなるので、2カ月以上の保存ができないでいた。多層容器はこれに代わるものとして開発され、今日では広く使用されるようになった。この多層容器は複数の機能を有するプラスチックを多層化して製造するために、使用するプラスチックの種類も増え、加工法も単体容器に比して複雑になる。このことだけを取り上げれば単体容器よりも多層容器のエネルギー消費が大きく、環境負荷が大きくなることは避けられない。

しかし、貯蔵期間の延長をもたらした多層容器のバリアー性という機能を考慮することで、物流分野での合理化が大きく寄与するため、トータルでの環境負荷が減少するという結果をもたらしている。表2にこの関係を示した。

② 生産性とLCA

一つの製品であっても、その使用によって定量化さ

表2 多層容器のLCA的考察

	単位	PP単体容器	多層容器	備考
材料エネルギー	Kcal	106.153	112.646	EVAL中間層 ダイレクトプロ-
容器製造エネルギー	Kcal	130.828	134.749	
輸送エネルギー	Kcal	215.385	71.795	
総エネルギー消費量	Kcal	452.366	319.19	
CO ₂ 発生量	g-C/g	35.899	22.211	
SOx発生量	g/g	0.247	0.197	
NOx発生量	g/g	0.279	0.136	

れねばならない機能は多様である。それらは互いに複雑に関連しあっている。それらの中で定量化し難いとして評価の対象範囲から排除されている幾つかの例を挙げて説明しよう。

生産性は中でも特定の製品にLCA考察を行う場合に避けて通りたい代表であろう。これらについて説明しよう。

包装を行う作業は包装によって付加価値を上げることができないこともあって、できるだけ簡素化が望ましい。包装機械の自動化は間違いなく人力より優れたものと言えよう。この生産工程での省力化こそ利益を生み出す源泉でもある。しかし、現在までのLCAの計算では人力と自動機械との比較は行われていない。

一例を示すと、人力を我々のライフスタイルを維持するために必要とするエネルギーをパラメーターとして採用して比較してみよう。

この比較には当然のこととして、同一のライフスタイルを示す労働力での比較であるという前提が必要である。

この考えは、一般的には労働生産性として考察される。

どのような優秀な設備を導入しても、その導入は生

表3 自動機導入のLCA

	従来型製造 (労働力評価せず)	従来型製造 (労働力評価)	自動化評価 (機能を評価)
生産数量 (個/時)	200	200	500
労働力 (人)	12	12	1
労働力エネルギー (Kcal)	0	0	3,050
設備エネルギー (償却：8年, Kcal)	131	131	2,615
稼働エネルギー (Kcal)	22.5	22.5	33,750
トータルエネルギー (Kcal/個)	0.77	183.76	78.83

(注) *従来型製造設備は最低の100万円、自動機は2,000万円。*設備償却は8年。*労働力1人当たり3,050Kcal/時。*稼働エネルギーは従来型設備で2kWh、自動機で15kWhとした。

産コストの低減を目的としているために設備の耐用年数と価格、生産性が重要な動機である。

労働力をエネルギー評価のパラメーターとして使用するには、日本のような全国一律的ライフスタイルを持っている国においては年間総消費エネルギーを人口で除すことで時間当たりのエネルギーを算出できる。

この方法では、各国のGDPのライフスタイルの相違から重み付け係数などでの国際間の比較はできない。なぜなら、現実のライフスタイルを変更することはデータそのものを改変することを意味しているからである。労働生産性の相違は単位時間当たりの生産量の相違を意味しているから、本来はライフサイクルコストアセスメントの手法として重要であった。どこの国に生産を移転したら良いかと言う場合に重要なのが人件費である労働賃金と、生産量に直接関係する労働力の質で

表4 海外主要諸国の労働力エネルギー

(1996年現在)

	総人口 (100万人)	一次エネルギー 消費量 (Mtoe)	一人当たりエネ ルギー消費量 (Gcal)	一人当たり労働力エ ネルギー (Kcal/時)	一人当たりGDP (\$/人一年)
中国	1,211	851	7.02	802	523
日本	126	510	40.55	4,629	40,632
韓国	45	163	36.31	4,145	8,111
台湾	22	65	29.77	3,399	10,484
マレーシア	20	36	18.07	2,063	3,227
シンガポール	3	21	71.57	8,170	18,361
ベトナム	73	8	1.05	120	131
インドネシア	193	113	5.86	669	860
オーストラリア	18	94	52.19	5,958	18,609
米国	269	2,135	79.39	9,063	26,913

*労働力エネルギーは一人当たり消費エネルギーを年間総時間8,760時間で割った数値

*toe：石油換算トン

出典：Energy Statistics and Balances Non-OECD Countries より作成

表5 デザインによる包装形態変更の環境負荷 (単位: %)

包 装	洋 酒 外 装		エ ア コ ン 外 装		化 粧 品 外 装	
	改良前	改良後	改良前	改良後	改良前	改良後
総エネルギー	100.0	68.4	100.0	75.8	100.0	49.8
CO ₂ (g-C/本)	100.0	68.4	100.0	99.1	100.0	33.2
SO _x (g/g)	100.0	68.4	100.0	102.9	100.0	66.6
NO _x (g/g)	100.0	68.4	100.0	104.5	100.0	56.8
SW (g/g)	100.0	60.7	100.0	119.7	100.0	45.4

出典: エコパッケージデザイン指導書 (日本パッケージデザイン協会: 通産省依頼研究, 1998)

ある。

この労働生産性はまた、労働者が製品の生産に使用する加工機械設備の能力に大きく関係する。設備の価格と耐用年数の前提としての設定が必要となる。生産数量の決定はエネルギー原単位を定めることとなる。

すなわち、労働生産性は時間のエネルギー換算を行うことを意味している。このことは時間のエネルギー換算に各種の換算値が存在することを念頭に置きながら、LCAの考察を行うシナリオを構築する時、前提として採用した各種の換算値を明示しなければならない。

2.3 (2) 包装のエコデザインの現状と課題

環境負荷を低減させる目的での実施されている容器のエコデザインの現状は、未だ満足できる状況ではない。これから急速な改善は容器・包装の設計やデザインを担当している多くのデザイナーの置かれている立場、いかにしてデザインによって販売力を高めるかが第一目的で評価される現状はデザイナーの環境意識が低いということではない。

販売戦略上、容器・包装のデザインの持つ価値が高く、安易なデザイン変更は商品の生命を絶つことを引き起こしかねない。したがって、デザインの力点は新製品の発売時や販売不振に陥った製品の起死回生を図ることに置かれる。

長寿命のヒット商品のデザイン変更は、それが環境負荷を減少させるという理由であったとしても、長年かけて培った消費者のイメージ変更を強制するため、更なる販売増の期待よりも消費者に忘れさられる危険が大きく、却って販売減を引き起こしかねない危険が大きく、それゆえにアンタッチャブルな聖域とされるのである。

各種の商品について使用している包装材料の環境負荷を減少させようとした改善例が報告された。それらが当初の目的のように環境負荷が減少していたかについては、個別の計算では全体像を把握することは困難

である。資源の採取から廃棄までのトータルでの評価をしようとするならばLCAの手法を採用せねばならない。

LCAの手法には使用の目的に応じた前提が明確でなければならない。容器・包装のエコデザインの事例研究が通産省デザイン政策室の委託によって日本パッケージデザイン協会によって調査が実施された。本報告書に記載された事例でのLCAの適用には多くの問題点があったが幾つかの例を示す。

よかれと思って行った改善が所期の目的である環境負荷の減少が得られない場合も多かったが、この例に見られるように、単純に包装材料を変更するだけで大幅な環境負荷の低減ができる場合も多い。しかし、各社が環境に良かれと思って採用した環境対応容器・包装が必ずしも所期の目的を達成していない場合も数多く見られた。

本報告書の解析はあくまで環境負荷軽減を目的として採用した考え方が、計算方法、前提でどのように大きく変わるかの事例研究でもあった。

包装はこのように様々な機能を持ち存在しているので、単純な比較はたとえそれがLCAの手法を採用していたとしても、その前提の妥当性などの詳細な検討が大切である。

文 献

- 1) 野村総合研究所: 「包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析」, (1995)
- 2) 石川雅紀: 資源環境対策, Vol. 31, No. 11, 51, (1995)
- 3) 沖 慶雄: 塑性と加工, Vol. 36, 112, (1995)
- 4) 日本機械工業連合会: 環境調和型素材の研究開発促進のための先導的基盤整備に関する調査研究報告書, (1996)
- 5) 日本包装技術協会: 包装技術便覧, 2571, (1995)
- 6) 石川雅紀: 化学工学, 59, (1), 33 (1995)
- 7) 日本デザイン協会: 通産省委託調査「エコパッケージデザインへの取り組み」, (1997)
- 8) 日本デザイン協会: 通産省委託調査「エコパッケージデザインへの広がり」, (1998)