容器包装業界におけるリサイクル技術と環境対応

堀 口 誠*

*東洋製罐(株) 環境対策室 (〒100-8522 東京都千代田区内幸町 1-3-1)

Recycling Technology and Environmental Countermeasures in Packaging Industry

Makoto HORIGUCHI*

*Office of Environmental Affairs, Toyo Seikan Kaisha, Ltd. (1-3-1, Uchisaiwaicho Chiyoda-ku, Tokyo 100-8522)

Key Words : Recycling, Packaging, Metal Can, PET Bottle, LCA

1. はじめに

日常的な産業活動および社会活動により発生する環境負荷が原因となる地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨などのいわゆる地球環境問題が顕在化している現状では、環境負荷の低減を図るとともに限りある資源を有効に活用し、持続可能な発展を目指してゆることが人間の社会生活あるいは企業活動の最も重要な課題となっている。

食料品や各種飲料などに幅広く使用されている包装容器は、充填された内容物の長期保存を可能にするとともに、製品の輸送性を大幅に向上させることにより、貴重な食物を腐敗から守ることなどにより、総合的な環境負荷の低減に寄与している。

しかしながら、包装容器そのものは消費サイクルが短く、また、使い捨てのイメージが強いため、使用済み容器の廃棄やリサイクル問題を中心に、環境問題の矢面に立たされることが多くなっている。このような状況下では、保存性、輸送性など包装容器が本来保有している機能を低下させることなく環境負荷を低減させるとともに、使用材料の節減、再使用およびリサイクルをできる限り推進してゆることが包装業界にとって大きな課題となっている。

ここでは、缶、ボトルなどの各種容器の消費動向について概説した後に、容器包装業界における材料リサイクルの現状および環境対応の状況について述べる。

2. 包装用材料の消費動向

包装容器には、スチール、アルミなどの金属材料、各種プラスチック、ガラス、紙類などの素材がそれぞれの特徴を活かしながら、単独あるいは複合化された状態で使用されている。それぞれの容器において使用材料や製造工程の最適化、使用材料の削減、リサイクルの推進などにより、容器性能の向上と経済性の両立、さらには環境負荷の低減が図られてきた。

1998 年にはわが国全体で約 2200 万トンの包装用材料が使用されており、その販売価格は 6 兆円を超えている。包装資材の使用量を重量ベースで比較すると、紙および板紙が最も多く包装材料全体の過半(約 1230 万トン：56%)を占めており、次いでプラスチック、金属、ガラス、木材系の材料がそれぞれ全体の 17, 11, 9, 6 %の順で続いている。

1960 年代からの長期にわたる包装用材料の消費動向の年次変化をみると、包装用材料の総使用量は年々増加しており、40 年間で約 3 倍の伸びを示している。材料別の消費量を比較すると、1960 年代には紙、木材、ガラス、金属、プラスチックの順であったものが、最近では前述のような順番になっており、プラスチック系材料の伸長が著しい。

包装用プラスチックは全体で約 300 万トンが使用されているが、材料別では PE, PP などのポリオレフィン系材料が全体の 60%以上を占め、PS, PET, PVC, EVA などの素材がこれに続いている。形態的には、フィルム・シート類が最も多く、ボトル、射出成形品、発泡品等がそれに続いている。

図 1 に 1996 年から 1999 年までの、清涼飲料容器の形態別消費動向の年次変化を示す¹⁾。本統計には牛乳およびアルコール飲料(ビールなど)が含まれていないので、これらの用途に多く使用されているガラスびんの値が飲料全体の統計と比較するとかなり小さな値になっている。1996 年以降の全体の傾向としては、高速生産性を最大の長所として飲料容器の中で第一位を占めている金属缶が徐々に減少し、それに代わって利便性、軽量性を特徴とする PET ボトルが急激に増加しており、その中でも小容量(500 mL 以下)の PET ボトルの伸びが著しいことが判る。

図 1 清涼飲料包装形態別動向¹⁾

図2 容器包装リサイクル法で定める再商品化のフロー図

3. 包装材料のリサイクル

廃棄物の処理・処分の方法の中で最も簡便なのは直接埋立であるが、わが国は国土が狭く、しかも都市部での人口密度が高いため、埋立用の土地が不足しており、処理方法の改善が望まれている。

ゴミの処分に当たり、上記直接埋立、焼却に比較して優れた手段がリサイクルである。リサイクルを実施することにより、省エネルギー、省資源および廃棄物の減量・自然物化が達成され、最終的には地球環境の持続可能性に大きく寄与すると考えられている。一般廃棄物（産業廃棄物以外の廃棄物）全体に占める容器包装廃棄物の割合は非常に大きく、重量比で22.6%、容量比では55.5%に達しており、廃棄物処理全体を考える際には、容器包装廃棄物の減量化、リサイクルの推進が非常に重要であると考えられる。

3. 1 「容器包装に係る分別収集および再商品化の促進等に関する法律」（容器包装リサイクル法）

わが国では、1997年4月に本格施行され、2000年4月より完全施行された容器包装リサイクル法を中心にして、それぞれの素材に応じた容器包装のリサイクルが行われている²⁾。この法律は一般廃棄物の減量化と再資源化を目的として、容器包装廃棄物を特定し、そのリサイクルのための責務を関係者毎に定めたものである。すなわち、消費者は分別排出、市町村は分別収集、そして容器製造業者や内容物の製造業者などの事業者は再商品化の義務を負っている。

図2に容器包装リサイクル法で定める各種材料の再商品化のフロー図を示す。これらの中で、アルミ缶、スチール缶、紙パック、段ボールはすでに有価で取り引きされている事が明らかなので、事業者の再商品化義務の対象からは除外されている。金属缶（スチール缶、アルミ缶）は分別収集・選別後、それぞれの素材の原料として溶解再利用されている。また、ガラスびんは同様に収集・選別された後、さらに色毎に分別され大部分はガラスびん用素材として溶解再利用されるとともに、一部は建築資材としてそのまま再利用されている。

3. 2 素材毎のリサイクルの現状

図3に容器包装の代表として、スチール缶、アルミ缶、ガラスびん、PETボトルのリサイクル率の年次変化を示す³⁾。素材毎にリサイクル率の定義および呼称は若干異なるが、社会

図3 各種包装材料のリサイクル率³⁾

一般の環境問題への関心の高まりに後押しされて、リサイクル率は年々上昇している。特に、スチール缶、アルミ缶、ガラスびんはリサイクル率が70～80%に達しており、世界的にみてもかなり優れた値となっている。プラスチック製品の代表ともいえるPETボトルの場合、本格的なリサイクルは始まったばかりであるので、数字的には20%を超えた程度であるがその上昇率は著しく、今後の増加が予測されている。

これらの各種素材のうち、プラスチックを除く金属およびガラスは、従来からリサイクルシステムが確立されており、材料リサイクルが比較的良好に実施されている。

スチール缶の場合、多くのもの（約80%）は電炉メーカーでスクラップとして鋼材の溶解再生に使用され、建築土木用の鉄筋丸棒やH型鋼、平鋼などに再生利用されている。一部（約20%）は高炉メーカーの転炉工程で溶解再生され、薄板などに再生利用されている。これらの鋼材は、再生用途を特定することは難しいが、缶材にも再利用可能な品質を有しており、近年この用途の割合が次第に大きくなっている。一般的には、鋼材の再生利用にあたっては、品質阻害物質である銅、スズなどが濃縮すると熱間圧延性が低下するなどの問題が生じるため、転炉へのスクラップの投入割合は一定量で制限されているが、その制限を超えなければ特に大きな問題はない。

アルミ缶の場合は、図4に示すフローによりリサイクルされている⁴⁾。回収されたアルミ缶は二次合金メーカーなどで溶解再生処理され、アルミ缶（約76%）、ダイカスト、鋳物、日用品などに再生利用されており、リサイクルループを閉じさせる意味から

図4 アルミ缶のリサイクルフロー(1999年度)⁴⁾ 図5 PETボトルのリサイクルスキーム⁵⁾

アルミ缶へのリサイクル率の向上が大きな課題となっている。再生材の品質に影響を与える因子としては、缶外面に塗布された白色塗料中のチタン酸化物の濃縮があるが、これも再生利用時の成分調整を適切に行えば問題ない範囲に制御することが可能である。

一方、ガラスびんのリサイクルは、リターナブルびんの再使用(リユース)とワンウェイびんのカレットへの再生利用という2種類の方法により行われている。再生利用にあたっては、回収率の向上、再生品の品質確保およびガラス原料としてのカレット利用率の向上が課題であるが、1998年の回収率は75.4%、カレット利用率は74.0%に達しており、再生利用はかなり進んでいるといえる。

3.3 プラスチック系包装材料のリサイクル

プラスチック製品には包装容器のように使用後直ちに廃棄されるものばかりでなく、耐久消費財のように長年の使用の後に廃棄されるものがあるので、廃棄プラスチックの総排出量は総生産量の70%程度に留まっている。プラスチック系廃棄物は発生源からの分類では一般廃棄物と産業廃棄物に分かれ、量的には両者がほぼ同量になっている。処理処分の方法としては再生利用(マテリアルリサイクル)、固形燃料化、油化、高炉原料化、発電付き焼却、熱利用焼却、単純焼却および埋立があるが、埋立、単純焼却が最も多く全体の33、23%になっており、未利用分が合計で56%と過半を占めており、再生利用率の向上が当面の課題である。

3.3.1 PETボトルのリサイクル

容器包装リサイクル法により第二種PETボトル(酒類を除く飲料またはしょう油が充填された物)のリサイクルが1997年4月から全国で実施されている。図5にPETボトルのリサイクルスキームを示す⁵⁾が、すでに示したように消費者による分別排出、自治体による分別収集および事業者による再資源化が基本的な役割となっている。PETボトルのPET樹脂への再生は再生工場において、図中に例示するようなフローで行われており、混入物としての塩化ビニル製ボトル、着色PETボトルおよび金属類の除去が確実に行われなければならない。

PETボトルの再商品化方法は、現在では材料をそのまま再利用するマテリアルリサイクルに限られている。その用途内訳は繊維製品が過半を占め、ボトルへの再使用はわずか1%程度に留まっており、その用途も非食品に限られているので、再商品化用途の拡大が現在の最重要課題である。

PETボトルのリサイクルにおいても、リサイクルループを閉じさせる観点から食品用ボトルへの再利用が望まれている。再生PET樹脂を食品用ボトルにリサイクルする方法として、再生樹脂をそのまま中間層として使用し多層化する方法(マテリアルリサイクル)、再生フレークを超洗浄した後再利用する方法(メカニカルリサイクル)および再生PET樹脂をモノマーまたはオリゴマーまで解重合し、再度PET樹脂を合成し再利用する方法(ケミカルリサイクル)などが提案・検討されている。

マテリアルリサイクルでは、再生PET樹脂を中間層とし、両

側にはバージン材を使用するため、再生樹脂が内容物に接触する事はないので衛生性・安全性の面で理解が得られやすい。しかしながら、この方法は生産スピードが通常の成形方法より低下するとともに成形機械への新たな投資が必要であり、コスト的な問題点を抱えている。

メカニカルリサイクルでは、使用後の PET 樹脂を機械的または化学的方法により超洗浄した後、そのままかあるいはバージン樹脂と混合して通常の方法で成形を行う。そのため、容器生産工程での問題点は存在しないが、再生樹脂が内容物と直接接触するため再生樹脂中に含まれる不純物の除去の徹底と衛生性、安全性の確認が必要であり、わが国での実用例は現在のところ無い。

ケミカルリサイクルでは再生樹脂を一度モノマーまたはオリゴマーまで解重合し再度 PET 樹脂を合成するので、再生された樹脂はバージン材と同等の性能を確保することが可能であり、商業的プロセスを経た再生樹脂の品質・安全性が確認できればボトルへの再利用の可能性が大きく、今後の成り行きが注目されている。この方法は上記マテリアルリサイクルに置きかわる物ではなく、回収樹脂を原料としてナフサの消費に置きかえようとするものとして位置づけられている。代表的な方法としては、TPA(テレフタル酸)、DMT(ジメチルテレフタレート)、BHET(ビス-β-ヒドロキシエチル-テレフタレート)などへ分解した後、重合再生する方法が提案されているが、再生素材の精製や副生成物の発生などいくつかの問題点が指摘されている。また、この手法に関しては実証プラントが 2000 年 7 月に稼働したばかりであるので、性能やコストの確認も待たれている。

3. 3. 2 プラスチック製容器包装のリサイクル

2000 年 4 月より容器包装リサイクル法の全面施行によりリサイクルが始まったばかりで、実績の蓄積や問題点の抽出はまだ行われていない段階である。表 1 に各種再商品化手法毎の処理能力および 2000 年度の落札量(処理量予定量)を示す⁶⁾。

一般プラスチック製容器の中でマテリアルリサイクルが積極的に行われているのが個別包装用の皿などに使用されている PS(ポリスチレン)製の発泡トレイであり、量的には少ないがほぼ全量がマテリアルリサイクルされている。一方、発泡 PS トレイ以外では直接材料を再利用するマテリアルリサイクルもある程度(約 20%)行われているが、高炉還元剤およびコークス炉での間

接的な材料利用が主流となっている。

プラスチック製包装容器の再生化手法のうちで最も期待されているのが高炉還元剤への利用である。鉄鋼生産の最初の段階である高炉では、鉄鉱石とコークスなどが供給され鉄鉱石の溶解と還元が行われ銑鉄が製造されている。このときコークスは鉄鉱石の主成分である酸化鉄の還元と高炉の高温加熱の役割を担っているが、炭素および水素が主成分であるプラスチックはコークスの代わりとしての利用が可能である。ここでは、廃プラスチックは不燃物や金属を取り除いた後、粉碎・減容化し、さらに、脱塩化水素工程を経た後コークスとともに高炉に吹き込まれ還元剤として利用される。

プラスチック廃棄物のその他の処置方法である油化、コークス炉化学原料化、ガス化技術では、廃プラスチックを粉碎・分離・分別などの前処理を行った後に、高温での熱分解を利用して、再利用可能な各種油、タール、コークス炉ガス、各種ガスなどを生成している。

プラスチック製容器包装には、さまざまな種類の内容物が保存されているため、汚れなどの除去が困難であり、廃棄物の再生品としての品質が低いことがリサイクルを進める上での最大の問題点である。

4. 包装容器の環境対応

4. 1 LCA

産業活動などによる環境負荷を普遍的な概念のもとに定量的に評価する方法としてライフサイクルアセスメント(LCA)がある。LCA では、製品またはシステムの原料製造から使用後の廃棄までのライフサイクルに渡るインプット・アウトプットを与え、エネルギー消費量や二酸化炭素の環境への排出物などの環境負荷量を求めた後に、地球温暖化やオゾン層の破壊など環境への影響を総合的に評価する。包装容器に LCA を適用することにより、包装容器製造の各工程毎の環境負荷や製品の各要素項目の環境への影響程度が明確になるので、得られた結果を活用することにより容器の改良や将来的な環境対応型容器のコンセプトの構築が可能となる。

LCA の最終目標は、あくまでも製品あるいはシステムの環境影響を定量的に評価することであるが、環境影響評価の方法論については統一された手法が確立されているわけではないので、実際の適用では環境負荷の定量化である LCI(ライフサイクルインベントリー)分析にとどまっている例が多い。

4. 2 容器包装のリサイクルの LCA 評価

これまでも金属缶^{7)~9)}、ガラスびん¹⁰⁾、PET ボトル^{11),12)}、紙容器¹³⁾など幅広い容器包装を対象に多くの研究者により LCA が実施され、各種容器間の比較、影響因子の抽出(材料、重量、工程等)などが行われ、環境負荷低減のためには材料節減、容器のリユース、材料のリサイクル、製造システムの変更等が重要であることが報告されている。

図 6 に DI 缶(SDI：スチール製 DI 缶、ADI：アルミ製 DI 缶)のライフサイクルエネルギー消費量に与えるリサイクル率および缶材への再生割合の影響を示す¹⁴⁾。缶種によりその程度は異なるが、リサイクル率の増加にともないエネルギー消費量が減少すること、さらには高品質が要求される缶材への再生割合がエネルギー消費量の低減に大きな影響を持っていることが判る。このこ

表 1 プラスチック製容器包装の再商品化手法の処理能力と落札量⁶⁾

(2000 年実績)				
区 分	手 法	処理能力 (t/年)	落 札 量	
			(t/年)	構成比(%)
発泡 PS トレイ	材料リサイクル	7,000	2,220	2.1
	油 化	不明	33	0.0
	小 計	7,000	2,253	2.1
発泡 PS トレイ以外	材料リサイクル	18,000	21,147	19.9
	高炉還元	85,000	43,993	41.3
	油 化	25,000	10,907	10.2
	ガス化	5,000	5,219	4.9
	コークス炉	13,000	22,899	21.5
	小 計	146,000	104,165	97.9
合 計		153,000	106,418	100.0

図6 金属缶のライフサイクルエネルギー消費量に与えるリサイクル率の影響¹⁴⁾

とから、包装容器の環境負荷の低減には、リサイクルシステムの構築とリサイクル率の向上および再生材の品質向上が重要であるといえる。

4.3 環境対応型飲料容器 TULC の開発

従来から飲料用に大量に生産されている金属缶(DI缶)は、原材料としてぶきあるいはアルミの無塗装板を使用し、成形工程で大量のクーラント(潤滑・冷却剤)をかけながら加工(絞りしごき加工)し、洗浄・乾燥後に液状の塗料を用い缶内面をスプレー塗装した後、焼き付け固化して内容物の保存性を向上させている。

DI缶の、製造工程をLCA的手法により評価した結果、洗浄処理による水の使用、廃水処理にともなうスラッジ(固形廃棄物)の発生、塗料焼き付けにともなう環境負荷物質の発生などが、主な環境影響項目であることが判った。これらの環境負荷の低減策を種々検討した結果、ポリエステルフィルムを金属板の両面にラミネートし、潤滑剤を使用しないドライフォーミングで生産可能な新しい飲料缶TULC(Toyo Ultimate Can)が開発された。

図7に、TULCと従来からあるDI缶(ST:スチール製DI缶、AI:アルミ製DI缶)の缶製造工程における環境負荷の比較を示す。TULCでは内外面にポリエステルフィルムをラミネートしたTFS(Tin Free Steel:電解クロム酸処理鋼板)を用いて成形加工するため、製缶後の塗装・焼き付けが不要であり、その結果、地球温暖化の原因であるといわれている二酸化炭素の排出量が、従来のDI缶製造時の約1/3以下に抑えることが可能となった。また、この製缶システムでは潤滑・冷却剤を使用していないため、成形後の洗浄および洗浄水の廃水処理が不要となり、水使用量は零に、固形廃棄物の発生量は極端に少なくなった。さらに、製造工程ばかりでなく全体のライフサイクルを評価する総合的なLCAにおいても、TULCは従来缶と比較して優れた値が得られている¹⁵⁾。

5. おわりに

各種容器包装の消費動向、材料リサイクルの現状および環境対応技術について紹介した。

容器包装業界では、従来型のガラスびん、金属容器からプラスチック容器への急速な転換が生じている。これは容器の持つ重要

図7 缶製造工程の環境負荷

な特性である利便性に対する消費者の意識が大きく変化したことが、一因となっている。このような状況の中で、PETボトルを代表とするプラスチック容器においては、使用済み容器のリサイクルシステムの確立および再生材の品質向上が環境対応上非常に重要な命題となっている。

また、製品やシステムの環境負荷を定量的に評価する手法であるLCAを適用した結果、容器包装のライフサイクルにおける環境負荷の低減には、使用済み容器のリサイクルを適切に推進することおよび材料選択を含めた製造システムの変更が有効であることが判った。

(2001-2-13 受理)

文 献

- 1) 東洋製罐(株)資料 (1999)
- 2) (たとえば)紹介します! 容器包装リサイクル法平成12年度版; 通商産業省 (2000)
- 3) あき缶処理協会, アルミ缶リサイクル協会, PETボトル協議会, 日本ガラスびん協会資料 (1999)
- 4) アルミ缶リサイクル協会資料 (2000)
- 5) 木村将弘; プラスチック材料の環境対応, 色材協会講演会「21世紀へのチャレンジ, 環境対応における最新技術」予稿集, p. 16 (2000)
- 6) 財団法人容器包装リサイクル協会資料 (2000)
- 7) 田代 泰, 軽金属, 46, 607 (1996)
- 8) 沖 慶雄; 日本包装学会誌, 6, 97 (1997)
- 9) 堀口 誠; リサイクルを考慮した飲料容器のLCI分析, 日本包装学会第8回年次大会要旨集, p. 60 (1999)
- 10) 大川隆司; LCIソフトを使用したガラスびんの分析, 第2回エコバランス国際会議講演集, p. 251 (1996)
- 11) 寺園 淳; PETボトルのリサイクルにおける環境負荷と費用負担の評価, 第3回エコバランス国際会議講演集, p. 483 (1998)
- 12) PETボトル協議会LCA分科会; PETボトルのLCI分析データ調査報告書, PETボトル協議会, (2000)
- 13) 元川浩司; 醤油, 牛乳, ビールの各種容器のライフサイクル分析, 第3回エコバランス国際会議講演集, p. 383 (1998)
- 14) 堀口 誠; 包装容器のLCA, 日本包装学会誌, 9, 69 (2000)
- 15) 石川雅紀; LCAを利用した製品開発の現状-飲料缶, '97国際食品工業展アカデミックプラザ研究発表要旨集VOL. 4, p. 104 (1997)