

# ビール・発泡酒用アルミ缶の LCI 分析

中澤克仁\* 片山恵一\*\* 川崎源雄\*\*\* 坂村博康\*\*\*\* 安井 至\*\*\*\*

## Life Cycle Inventory Analysis of Aluminum Can for Beer and Low-malt Liquor

Katsuhito NAKAZAWA\*, Keiichi KATAYAMA\*\*, Motor KAWASAKI\*\*\*,  
Hiroyasu SAKAMURA\*\*\*\* and Itaru YASUI\*\*\*\*

従来のアルミ DI 缶は、成形工程において潤滑剤や洗浄水を大量に消費し、この排水から発生するスラッジの処理に係わるエネルギー消費や固形廃棄物排出等が課題となっている。これらの環境負荷を低減すべく、新たにポリエステルフィルムをアルミコイルにラミネートして成形を行うアルミ缶が開発された。本研究では、このラミネートアルミ缶のライフサイクルインベントリー (LCI) 分析を試み、エネルギー消費量、CO<sub>2</sub> 排出量、水使用量、固形廃棄物排出量について調査した。

この結果、ポリエステルラミネートを施すことで潤滑剤を使用する必要がないラミネートアルミ缶は、従来のアルミ DI 缶に比べて、各環境負荷を著しく削減できることが認められた。

キーワード：LCI 分析、ラミネートアルミ缶、アルミ DI 缶、ビール・発泡酒、環境負荷

In the forming process of the aluminum DI (Drawing and Ironing) can, a large quantity of water is consumed to rinse out the coolant (lubricant and cooling agent), and a lot of the solid waste is generated from the treatment of this wastewater. To lessen these environmental loads, the aluminum can formed from the aluminum coil that was laminated by the polyester film was newly developed. In this study, the inventory for life cycle of the laminated aluminum can was analyzed, and the environmental loads such as energy consumption, CO<sub>2</sub> emission, water consumption, and solid waste were evaluated.

As a result, it was confirmed that the laminated aluminum can which need not use the lubricant was able to reduce these environmental loads compared with a conventional aluminum DI can.

Keywords : LCI, laminated aluminum can, aluminum DI can, Beer and low-malt liquor,  
Environmental loads

\*科学技術振興事業団 (〒332-0012 埼玉県川口市本町 4-1-8) :

Japan Science and Technology Corporation 4-1-8 Motomachi, Kawaguchi-shi, Saitama 332-0012, Japan

\*\*東海大学工学研究科 (〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117) :

Graduate School of Engineering, Tokai University 1117 Kitakaname, Hiratsuka-shi, Kanagawa 259-1292, Japan

\*\*\*麒麟ビール株式会社パッケージング研究所 (〒230-8628 神奈川県鶴見区生麦 1-17-1) :

Kirin Brewery Co., LTD. 1-17-1 Namamugi, Tsurumi-ku, Yokohama, 230-8628, Japan

\*\*\*\*東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1) :

Institute of Industrial Science, University of Tokyo 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8505, Japan

## 1. はじめに

現在、ビール・発泡酒用容器としてアルミ缶とガラスびんが主に使用されており、環境的観点からアルミ缶についてはアルミ二次地金の配合率向上、ガラスびんについてはリターンナブル化やガラスカレット配合の促進等の対策が積極的に進められている<sup>1) 2)</sup>。特にアルミ缶については、アルミ精錬時におけるエネルギー消費量が極めて大きいことから、使用済みアルミ缶の回収率、さらに Can to Can 率（製造されたアルミ缶が廃棄された後、再度同じアルミ缶用再生材として製造して利用する割合）の向上が重要な課題となっている<sup>3) 4)</sup>。また、アルミ製缶工程に限れば、塗装・焼き付けにおけるエネルギー消費量、大量に使用する潤滑剤の洗浄に係わる水消費量、排水処理に伴うスラッジの発生等が主な環境負荷となっている。これは、従来のアルミ缶（DI 缶：Drawing and Ironing Can）における成型工程が、アルミ無塗装板に大量の潤滑剤・冷却剤を吹き付けながら絞りしごき加工し、洗浄・乾燥後に液状塗料を缶内面にスプレー加工、さらに焼き付け作業を行うためである<sup>5)</sup>。これらの環境負荷を低減すべく、新たにポリエステルフィルムをアルミコイルにラミネートし、潤滑剤を使用せずにドライ

成形するアルミ缶が開発され<sup>6)</sup>、ビール・発泡酒用容器として使用されている<sup>7) 8)</sup>。このアルミ缶は、ポリエステルフィルムがラミネートされているため、内面塗装や焼き付け工程が不要となり、エネルギー消費量の削減が図れる上に、これまで大量に消費されていた潤滑剤の必要がなくなる。また、この洗浄に使用されていた水消費量、排水処理から発生する固形廃棄物量の低減も考えられる。

そこで本研究では、このラミネートアルミ缶のライフサイクルインベントリー（LCI）分析を行い<sup>9)~13)</sup>、エネルギー消費量、二酸化炭素排出量、水使用量、固形廃棄物排出量について、従来型アルミ DI 缶との比較評価を試みて、ラミネートアルミ缶を採用することによる環境負荷の低減効果を確認した。

## 2. 調査範囲と前提条件

### 2.1 機能単位と対象製品

本 LCI 分析では、内容物（ビールもしくは発泡酒）の保持を機能とし、従来型 206 径蓋アルミ DI 缶、従来型 204 径蓋アルミ DI 缶、204 径蓋ラミネートアルミ缶の 3 種類について、「350 ml 缶および 500 ml 缶 1 回使用」を機能単位とした。Table 1 に、本 LCI 分析で対象とした 350 ml および 500 ml アルミ缶の

Table 1 Weight of each aluminum can and accessories.

Capacity	Aluminum can	Body (g)	End (g)	Coating and laminate (g)
350ml	Aluminum DI can (206)	12.0	3.9	0.2
	Aluminum DI can (204)	12.0	3.2	0.2
	Laminated can (204)	11.5	3.2	0.7
500ml	Aluminum DI can (206)	15.0	3.9	0.3
	Aluminum DI can (204)	15.0	3.2	0.3
	Laminated can (204)	15.0	3.2	0.9

本体および付属品の重量を示した。尚、206 径蓋は外径が 2 インチ 6/16 のアルミ缶蓋で、204 径蓋は外径が 2 インチ 4/16 のアルミ缶蓋の略称である。

## 2.2 システム境界

製造側のシステム境界は、ボーキサイト採掘、アルミナ製造、アルミ精錬、二次地金製造、二次地金輸送、圧延、製缶、充填・流通を対象として、蓋（アルミ）製造やラミネート（ポリエステルフィルム）製造も範囲に入れた。ボーキサイト採掘や原油採取等については、海外も対象範囲とした。ただし、製缶工程で使用される溶剤に係わる環境負荷については、適切なデータが得られなかったことから対象外とした。廃棄側としては、クローズド・リサイクル（Can to Can）、オープン・リサイクル（カスケード）、直接埋立、散乱を対象とした。本研究におけるアルミ缶回収率およびクローズド・リサイクル率は、2000 年度の実績を基にした。尚、内容物製造や販売什器（自動販売機・販売店での冷蔵ケース等の販売）に係わる環境負荷は対象外とした。

## 2.3 排出原単位

本 LCI 分析で使用したエネルギー種類の排出原単位および輸送における排出原単位を Table 2 および Table 3 に示した<sup>14)</sup> <sup>15)</sup>。電力消費による環境負荷は、電力製造時に発電所で排出される環境負荷（エネルギー消費、CO<sub>2</sub> 排出）を対象とした。また、海外でのアルミ製造に係わる電力消費については、アルミ新地金の国内輸入実績から加重平均した数値を引用した。さらに、日本に輸入されているアルミ地金は、主に豪州（33.7%）と北米（66.3%）から輸入されていることから、アルミ地金輸送に係わる環境負荷はこの比率で算出した。

## 2.4 環境負荷項目

環境負荷項目としては、各種エネルギー（電力・重油・軽油等）消費、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）排出、水消費、固形廃棄物を対象とした。

## 2.5 各種アルミ缶の製造・廃棄シナリオ

本 LCI 分析におけるアルミ缶の製造・廃棄フローを Fig. 1 に示した。アルミ缶の製造工程では「ライフサイクルインベントリー分析の手引き」<sup>14)</sup>、廃棄工程では「包装廃棄物

Table 2 CO<sub>2</sub> emission units of energy consumption in this LCI.

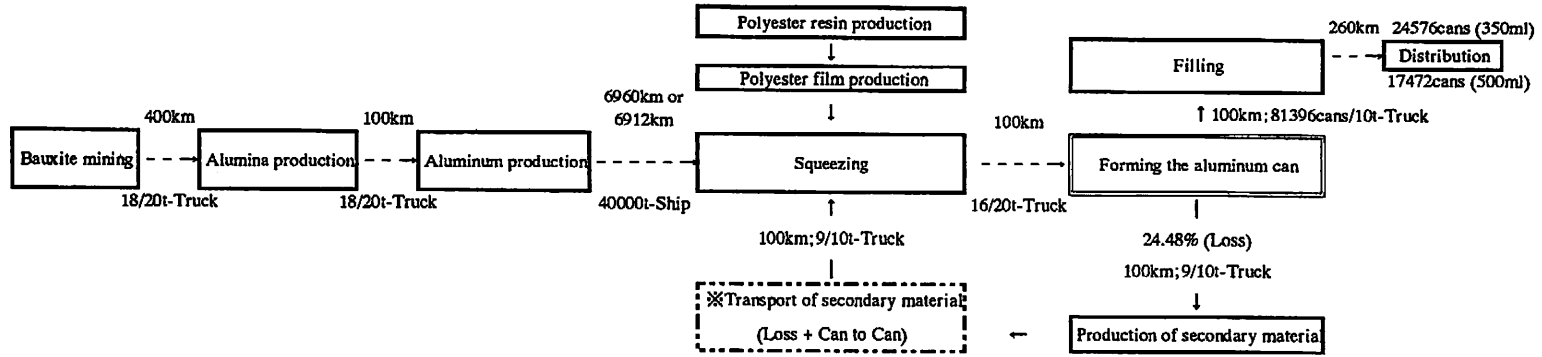
	Heavy oil (kg)	Light oil (kg)	LPG(kg)	Electricity-Japan(kWh)	Electricity-Al production (kWh)
Energy consumption (kcal)	10734	11086	12000	2228	1364
CO <sub>2</sub> emission (kg)	3.219	3.186	3.007	0.439	0.271
Reference	14)	14)	14)	15)	14)

Table 3 CO<sub>2</sub> emission units of transport in this LCI.

	40,000t-Ship (Australia)	40,000t-Ship (North America)
Heavy oil (kg)	7.937E+05	7.886E+05
CO <sub>2</sub> emission (kg)	2.555E+06	2.539E+06
Reference	14)	14)

	20t-Truck (100km)	11t-Truck (100km)	10t-Truck (100km)	4t-Truck (100km)	2t-Truck (100km)
Light oil (kg)	37.72	25.93	23.71	15.09	10.37
CO <sub>2</sub> emission (kg)	118	81.2	74.2	47.2	32.3
Reference	14)	14)	14)	14)	14)

**[Aluminum can production]**



**[Aluminum can waste]**

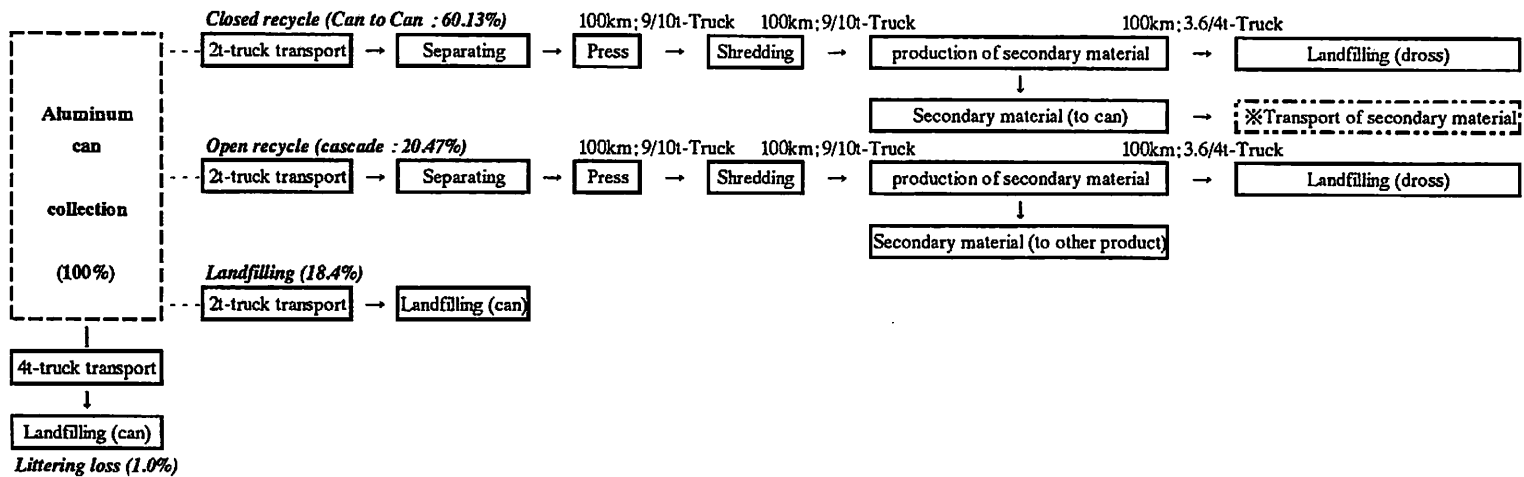


Fig. 1 Production and waste flow for the aluminum can in this LCI.

のリサイクルに関する定量的分析<sup>16)</sup>を中心にデータ収集を行った。ただし、関連メーカーからデータ提供があった場合は、そのデータを優先的に使用し、抜け落ちているデータ（流通における積載率や廃棄シナリオの配分等）は、関連団体へのヒアリング調査、もしくは関連業界から提供された書籍・資料を参考にして補充した<sup>17)~19)</sup>。本研究のアルミ缶製造工程および廃棄工程におけるデータの詳細を Table 4 に示した。

まず、アルミ缶製造シナリオのボーキサイト採掘、アルミナ製造およびアルミ精錬工程は海外で行われ、最終的に製造されたアルミ地金が日本へ運搬されるまでを対象とした（4万t船に3.8万t積載し、豪州から6,960km、北米から6,912km輸送）。また、アルミ二次地金製造工程では、製缶ロス（24.48%）からのアルミ二次地金製造を対象とし、アルミ二次地金輸送では、製缶ロスから製造されたアルミ二次地金とクロズド・リサイクルより製造されたアルミ二次地金の運搬を対象

とした。圧延工程では、アルミ新地金およびアルミ二次地金の圧延を対象とし、ポリエステル樹脂製造およびフィルム成形工程も対象とした。ただし、フィルム成形工程では、OPP成形データを使用した<sup>17)</sup>。製缶工程では、圧延されたアルミ地金からの製缶および蓋製造を対象とし、製缶メーカーでのヒアリング調査により得られたデータを用いた（輸送：10tトラックに81,396本積載し、100km輸送）。尚、アルミDI缶からラミネートアルミ缶にすることによって、製缶工程でエネルギー消費量が約53%、CO<sub>2</sub>排出量が約58%、固形廃棄物量については約99.7%削減でき、ここで発生した固形廃棄物はセメント原燃料として利用した。充填工程では、製造されたアルミ缶へのビール・発泡酒の充填を対象とし、流通工程では、充填された製品を10tトラックに350ml缶で24,576本、500mlで17,472本積載し、260km輸送を対象とした。尚、充填工程および流通工程におけるデータは、キリンビール株式会社の実測値を引用し

Table 4 Detailed data for the production and waste system of 350 ml aluminum DI can.

Aluminum can production			Reference	Aluminum can waste			Reference
Bauxite mining				Separating			
Electricity	0.002 (kwh/kg-bauxite)	16)		Electricity	0.49 (kwh/t-aluminum can)	16)	
Heavy oil	0.012 (kg/kg-bauxite)	16)		Press			
Alumina production				Electricity	38.57 (kwh/t-aluminum can)	16)	
Electricity	0.503 (kwh/kg-alumina)	14)		Shredding			
Heavy oil	0.294 (kg/kg-alumina)	14)		Electricity	28.5 (kwh/t-aluminum can)	16)	
Water consumption	117.0 (kg/kg-alumina)	14)		Solid waste	0.01 (kg/t-aluminum can)	16)	
Aluminum production				Production of secondary material			
Electricity	14.67 (kwh/kg-aluminum)	14)		Electricity	0.09 (kwh/kg-aluminum)	14)	
Heavy oil	0.589 (kg/kg-aluminum)	14)		Heavy oil	0.069 (kg/kg-aluminum)	14)	
Water consumption	555.6 (kg/kg-aluminum)	14)		LPG	0.01 (kg/kg-aluminum)	14)	
Squeezing				Solid waste	0.135 (kg/kg-aluminum)	14)	
Electricity	2.04 (kwh/kg-aluminum)	14)		Landfilling			
Heavy oil	0.177 (kg/kg-aluminum)	14)		Light oil	0.0013 (kg/kg-aluminum)	Measured	
Forming the aluminum can				Polyester resin production			
Electricity	0.0023 (kwh/aluminum can)	Measured		Energy	6052 (kcal/kg-polyester resin)	15)	
LPG	0.0043 (kg/aluminum can)	Measured		Water consumption	298.4 (kg/kg-polyester resin)	15)	
Water consumption	0.177 (kg/aluminum can)	Measured		Solid waste	0.003 (kg/kg-polyester resin)	15)	
Solid waste	0.0008 (kg/aluminum can)	Measured		CO <sub>2</sub> emission	1.416 (kg/kg-polyester resin)	15)	
Filling				Polyester film production			
Electricity	0.0056 (kwh/aluminum can)	Measured		Energy	5278 (kcal/kg-polyester film)	17)	
Heavy oil	0.0017 (kg/aluminum can)	Measured		Solid waste	0.059 (kg/kg-polyester film)	17)	
Water consumption	0.396 (kg/aluminum can)	Measured		CO <sub>2</sub> emission	1.196 (kg/kg-polyester film)	17)	

た。

また、アルミ缶廃棄シナリオのクローズド・リサイクル (60.13%) では、回収されたアルミ缶が施設へ運搬された後、選別 (磁選含む) →プレス→シュレッド→二次地金製造 (アルミ缶用二次地金：収率 88%) →ドロス等埋立処理までを対象とした。ここで製造されたアルミ二次地金は、上記のアルミ缶材として利用されるものとした。オープン・リサイクル (20.47%) では、選別 (磁選含む) →プレス→シュレッド→二次地金製造 (カスケード用二次地金：収率 88%) →ドロス等埋立処理までを対象とし、ここで製造されたアルミ二次地金は缶以外のアルミ材として利用されるため、評価は行わなかった。直接埋立 (18.4%) では、回収されたアルミ缶が施設へ運搬された後、アルミ缶が埋立処理されるまでを対象とした。散乱 (1.0%) では、散乱していたアルミ缶が収集されて施設へ輸送された後、埋立処理されるまでを対象とした。

以上の製造・廃棄シナリオによって算出された各種エネルギー (電力・重油・軽油等) および水消費量、製造工程・製造輸送・廃棄工程・廃棄輸送で排出される CO<sub>2</sub> 排出量ならびに固形廃棄物排出量を Table 5 に示した。

### 3. 結果および考察

各種アルミ缶のライフサイクルにおけるエネルギー消費量 (Table 2 のエネルギー換算値から算出) の結果を Fig. 2 に示した。ここでは、206 径蓋アルミ DI 缶を 350 ml 缶および 500 ml 缶の基準として、それに対するエネルギー消費率で示した。この結果より、350 ml 缶においてアルミ蓋を 206 径から 204 径にした場合、エネルギー消費量を 3.2% 削減でき、さらにアルミ DI 缶をラミネートアルミ缶にした場合、エネルギー消費量を 15.3% 削減できることが確認された。また、500 ml アルミ缶については、アルミ蓋を 206 径から 204 径への変更で 2.5%、アルミ DI 缶からラミネートアルミ缶への変更で 13.3% のエネルギー消費量が削減できることが明らかとなった。アルミ蓋の変更によるエネルギー消費量の削減は、アルミ材使用量が減少 (軽量化) したことに起因していることから、残りの 12.1% (350 ml 缶) と 10.8% (500 ml 缶) がアルミ缶の成形工程の違いによる効果として考えられる。

また Fig. 3 に、各種 350 ml アルミ缶のライフサイクルにおける水消費量、CO<sub>2</sub> 排出量、固形廃棄物排出量の結果を 3 軸法で表した。ここでも上記と同様に、206 径蓋アルミ DI

Table 5 Input (energy and water consumption) and output (CO<sub>2</sub> and solid waste) for life cycle of several kinds of aluminum cans.

	350ml laminated can(204)	350ml aluminum DI can(204)	350ml aluminum DI can(206)	500ml laminated can(204)	500ml aluminum DI can(204)	500ml aluminum DI can(206)
Can weight (kg)	0.0154	0.0154	0.0161	0.0191	0.0185	0.0192
INPUT						
Electricity (kWh)	0.1650	0.1862	0.1936	0.2085	0.2284	0.2357
Heavy oil (kg)	0.0142	0.0151	0.0157	0.0181	0.0184	0.0191
Light oil (kg)	0.0039	0.0039	0.0040	0.0052	0.0052	0.0052
LPG (kg)	0.0022	0.0043	0.0043	0.0030	0.0043	0.0063
Total Energy (tozal)	503.5	575.3	594.4	643.3	722.4	741.2
Water consumption (kg)	6.036	6.454	6.728	7.546	7.781	8.052
OUTPUT						
Production CO <sub>2</sub> (kg)	0.1171	0.1375	0.1424	0.1476	0.1715	0.1763
Production-Transport CO <sub>2</sub> (kg)	0.0111	0.0112	0.0112	0.0149	0.0150	0.0151
Waste CO <sub>2</sub> (kg)	0.0036	0.0036	0.0037	0.0044	0.0043	0.0045
Waste-Transport CO <sub>2</sub> (kg)	0.0016	0.0016	0.0016	0.0019	0.0019	0.0019
Total CO <sub>2</sub> (kg)	0.1333	0.1538	0.1590	0.1689	0.1925	0.1978
Solid waste (kg)	0.0051	0.0058	0.0060	0.0064	0.0071	0.0073

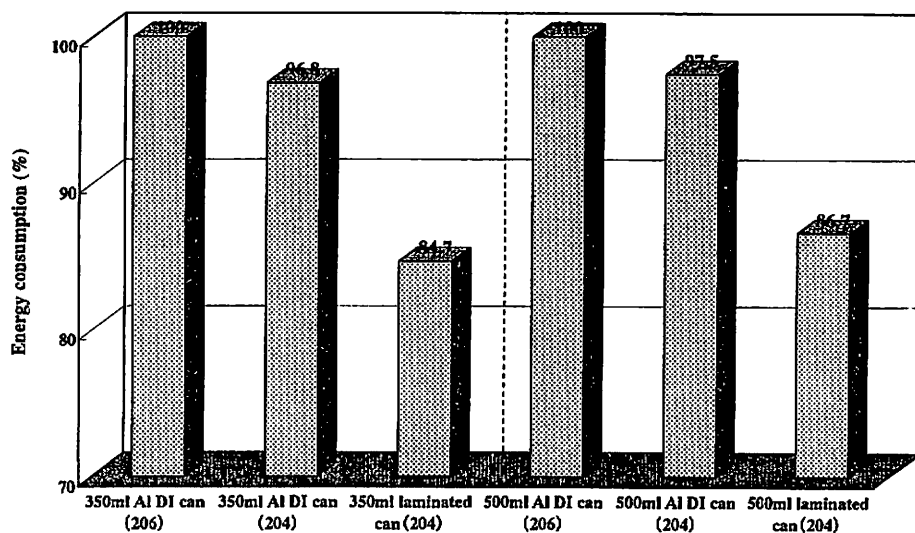


Fig. 2 Relative ratio of energy consumption for life cycle of several aluminum cans on the base of aluminum DI can (206).

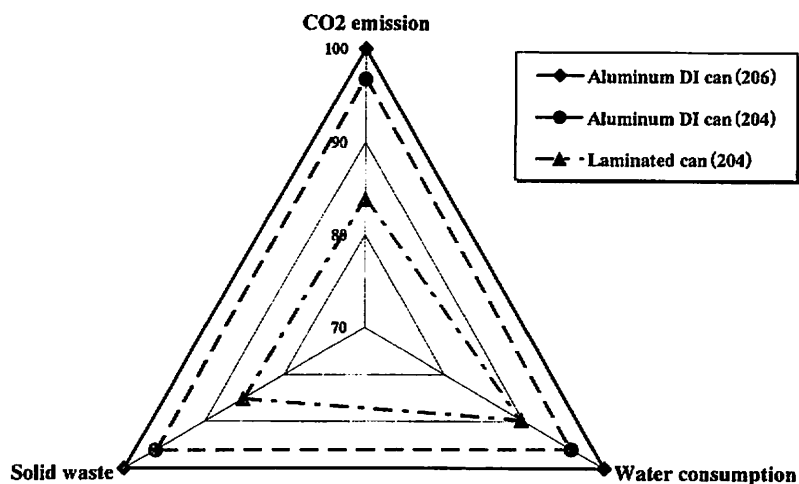


Fig. 3 Comparison among environmental loads for life cycle of three kinds of 350 ml aluminum cans on the base of aluminum DI can (206).

缶を基準として、それに対する各環境負荷量の割合を示した。この結果からも、アルミ蓋を206径から204径への変更、またアルミDI缶からラミネートアルミ缶への変更により、水消費量、CO<sub>2</sub>排出量、固形廃棄物排出量の環境負荷が削減できることが確認された。

水消費量ではアルミ蓋の変更により4.1%、ラミネートアルミ缶への変更により10.3%削減され、CO<sub>2</sub>排出量ではアルミ蓋の変更により3.3%、ラミネートアルミ缶への変更により16.2%の削減が認められた。固形廃棄物排出量については、アルミ蓋の変更により3.9%、

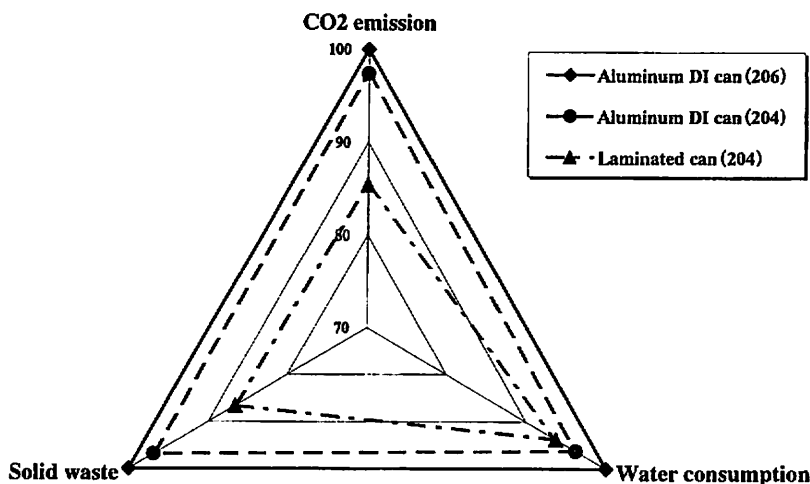


Fig. 4 Comparison among environmental loads for life cycle of three kinds of 500 ml aluminum cans on the base of aluminum DI can (206).

ラミネートアルミ缶への変更により 14.8% の削減が明らかになった。したがって、アルミ缶の成形工程の違いによる低減効果は、水消費量が 6.2%、CO<sub>2</sub> 排出量が 12.9%、固形廃棄物排出量が 10.9% となった。

さらに、各種 500 ml アルミ缶のライフサイクルにおける水消費量、CO<sub>2</sub> 排出量、固形廃棄物排出量の割合について、206 径蓋アルミ DI 缶を基準とした 3 軸法で示した (Fig. 4 参照)。500 ml アルミ缶についても各環境負荷の削減が同様に確認され、アルミ缶の成形工程の違いにより、水消費量で 2.9%、CO<sub>2</sub> 排出量で 12.0%、固形廃棄物排出量で 10.2% の低減効果があることが確認された。

以上のように、ポリエステルフィルムをラミネートしてドライ成形するアルミ缶は、製缶工程だけでなく、アルミ缶のライフサイクル全体においても環境負荷の低減に効果的であると考えられる。

## 謝辞

本研究を遂行するのにあたり、データの提供やご助言を頂いた東洋製罐株式会社に深く感謝し、ここに記します。

## <参考文献>

- 1) 坂村博康、森下 研、田中浩二、安井至、飲料用アルミ缶のリサイクルによる環境負荷低減効果、環境科学会誌、13(4)、469 (2000)
- 2) 坂村博康、宇都野太、安井 至、産業活動によって生じる地球環境インパクトの定量的評価法—例として、ビールびんの LCA—、生産研究、47 (4)、209 (1995)
- 3) 容器間比較研究会、LCA 手法による容器間比較報告書 (2000)
- 4) 容器間比較研究会、LCA 手法による容器間比較報告書・改訂版 (2001)
- 5) 堀口 誠、容器包装業界におけるリサイ



- クル技術と環境対応、表面技術、52 (3)、250 (2001)
- 6) TULC : Toyo Ultimate Can、東洋製罐株式会社資料
- 7) キリンビール株式会社ホームページ、  
<http://www.kirin.co.jp>
- 8) 日経エコロジー 4月号、容器包装リサイクル法の行方-拡張するリサイクルコストに克つ-、日経BP社 (2002)
- 9) 社団法人産業環境管理協会、LCA 実務入門、丸善 (1998)
- 10) 社団法人未踏科学技術協会・エコマテリアル研究会編、LCA のすべて-環境への負荷を評価する-、工業調査会 (1995)
- 11) 環境庁規格調整局環境研究技術課監修、財団法人環境情報センター編、ライフサイクルアセスメントの実践-環境負荷低減を目指して-、日刊工業日報社 (1996)
- 12) 坂村博康、宇都野太、安井 至、LCA 手法による環境負荷評価、生産研究、46 (6)、320 (1994)
- 13) 石川雅紀、赤井誠監修、社団法人日本機械工業連合会編、富士総合研究所環境・資源エネルギー研究部著、企業のためのLCA ガイドブック、日刊工業新聞社 (2001)
- 14) 環境庁企画調整局環境研究技術課監修、財団法人環境情報センター編、ライフサイクルインベントリー分析の手引き (1998)
- 15) 社団法人プラスチック処理促進協会、石油化学製品の LCI データ調査報告書 (1999)
- 16) 包装廃棄のリサイクルに関する定量的分析研究会、野村総合研究所編、包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析 (1995)
- 17) アルミ缶リサイクル協会ホームページ、  
<http://www.alumi-can.or.jp>
- 18) 社団法人プラスチック処理促進協会、樹脂加工におけるインベントリデータ調査報告書-汎用樹脂加工製品を中心として- (2000)
- 19) 社団法人全国都市清掃会議、日本の廃棄物 (1997)

(原稿受付 2002 年 4 月 25 日)

(審査受理 2003 年 1 月 24 日)