

(解説)

飲料用アルミニウム缶材の開発と将来動向

Developments and Future Trends in Aluminum Can Stock for Beverage Containers



小出政俊*
Masatoshi Koide



鶴田淳人*
Kiyohito Tsuruda

Aluminum bottle cans, which were commercialized in 2000 to check the expansion of disposable plastic PET bottles, had a great impact on aluminum beverage can production. Kobe Steel developed the material technology for these new containers and commands a high percentage of the market for can bottle stock. This paper describes recent technical trends in aluminum beverage can, especially bottle cans. Environmental issues related to aluminum cans are also referred to.

まえがき = 我国のアルミニウム缶 (以下アルミ缶) の歴史は、ALCOA 社が開発した易開蓋、いわゆる EOE (Easy Opening End) が 1967 年ビールに採用されたことから始まり、1971 年には絞りとしごき加工である DI (Draw & Ironing) 成形によるオールアルミ缶が採用されたことが今日の発展の礎となっている。今日の国内アルミニウム板材出荷量に占める飲料用缶材の割合は 30% 強にまで達しており、アルミ業界にとっても当社にとっても、極めて重要な需要分野に成長した。この間、当社はアルミ缶材用新合金・新工程の開発、生産技術の高度化・合理化を積極的に進め¹⁾、アルミ飲料缶業界の発展に積極的にかかわってきた。

最近では食生活、ライフスタイルの変化により容器の役割にも大きな変化が起こり、従来の長期保存性などの基本性能だけでなく、利便性やファッション性などの機

能も要求されるようになった。特に、1996 年の小型 PET ボトルの解禁が、容器・アルミ業界に与えた影響は非常に大きい。図 1 に示すように、アルミ缶の出荷量は PET ボトルの解禁以降成長が鈍化している。この傾向は、鉄缶やガラス瓶など他の容器では更に厳しく、PET ボトルの出現により減少を余儀なくされた。PET ボトルはキャップを再栓できること (リシール性)、デザイン自由度が高いこと、中味が見える安心感などが消費者に受け入れられ、急速に需要が拡大した。

その後 PET ボトル対抗として、2000 年にオールアルミ製ボトル缶が登場した。アルミボトル缶は、従来アルミ缶の利点をそのままにリシール機能を付与したもので、上市から今日まで飛躍的な拡大を続け、アルミ缶材需要を再び活性化させている。当社は、このボトル缶分野でも積極的な開発活動を続けており、ボトル缶用素材

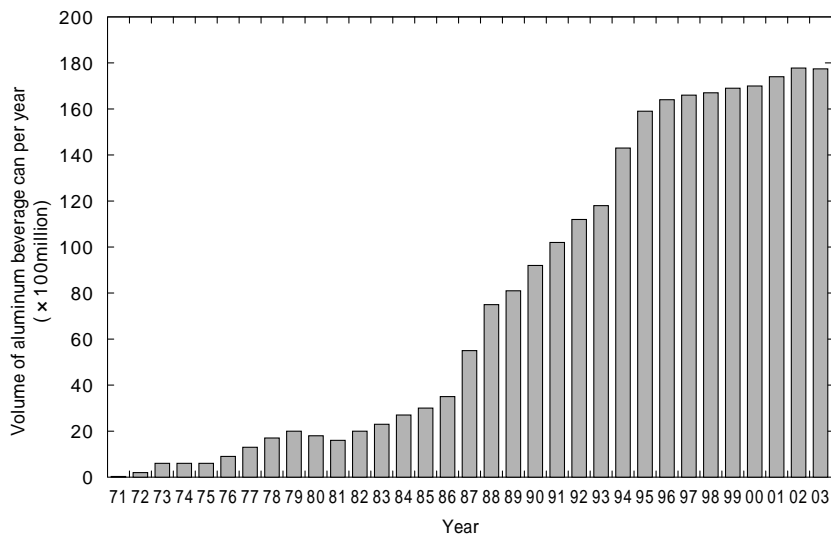


図 1 日本国内のアルミ飲料缶需要推移
Fig. 1 Market trend of aluminum beverage can in Japan

*アルミ・銅カンパニー 真岡製造所 アルミ板研究部

で約70%のシェアを維持し続けている。

本稿では、従来アルミDI缶の最近の技術動向およびボトル缶の製缶、素材技術動向に加え、アルミ缶材の環境対応についても紹介した上で、今後の展望について述べる。

1. アルミDI缶の製缶技術、材料技術の変遷

アルミDI缶の技術は米国から導入され、今日までの技術発展は米国の技術動向に追随する形で進められてきたが、それと同時に日本のライフスタイルに合わせた変化も遂げている。DI缶の歴史を薄肉・軽量化の観点から見ていくと、図2に示すように、ビール用DI缶(最多用途)では素材薄肉化、軽量化が顕著である²⁾。飲料缶用アルミ材は、実用化当初に比較すると、現在まで胴材で約35%、蓋材で約30%の薄肉化が達成されている。薄肉軽量化は様々な技術が駆使されており、詳細は専門の文献に譲るが²⁾⁻⁴⁾、高剛性化のための形状最適化と成形方法、蓋面積削減のための開口部小径化技術ならびに蓋成形方法などが開発、実用化されたことによる。

近年、米国ではクラウンコルク社が開発したスーパーエンドをきっかけに、数種の特殊形状蓋の開発が進められている⁵⁾。いずれも特殊な形状要件を取入れ、耐圧特性を維持しながら使用材料を削減できることをメリットとしている。しかしながら、特許面や互換性がないなど実用化を疑問視する声もあり、今後の動向が注目されている。

当社における材料開発は、製缶の高速大量一貫生産ラインに適合させるべく、成形性向上、更に急速加熱冷却工程を活用したベークハード型の薄肉高強度材を世界に先駆けて開発し、アルミ缶の発展に寄与してきた¹⁾。また、缶材用としては国内唯一の水溶性圧延油を用いた冷間タンデム圧延機(図3)を有し、高度な制御技術と圧延潤滑技術を融合させ品質の安定化と生産性向上を達成し、顧客満足度を高めている。

しかしながら、最近のアルミ缶材の薄肉化は停滞傾向にある。その理由としては、これ以上の薄肉軽量化は流通でのピンホールなどによる漏れの危険性が増すこと⁶⁾、PETボトルの拡大を期に容器特性として軽量化以上に利便性、機能性などが要求されるようになったことが挙げられる。前者では、DI缶側壁の破壊現象で研究が始まったばかりの段階であり^{7),8)}、今後のさらなる研究、改善が期待される。後者の具体例としては、写真1に示すような側壁加工によるアイキャッチ性を付与した数種の缶が開発、実用化されている^{9),10)}。後述するボトル缶は、その最たるものである。すなわち、容器技

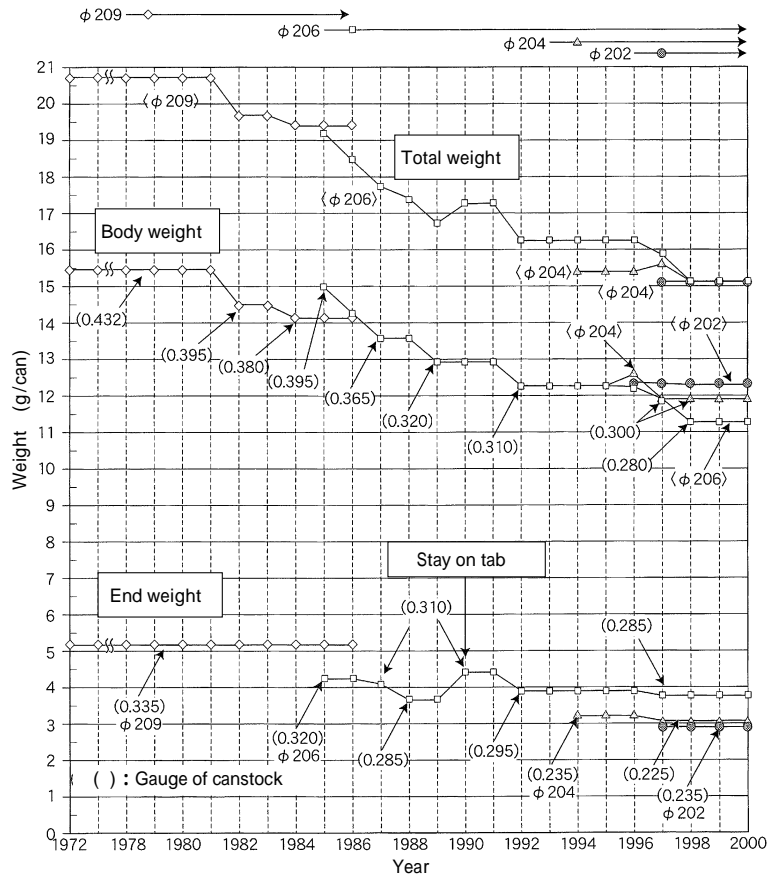


図2 ビール缶および缶材の軽量化動向

Fig. 2 Lightweight trend of aluminum can and canstock for beer product

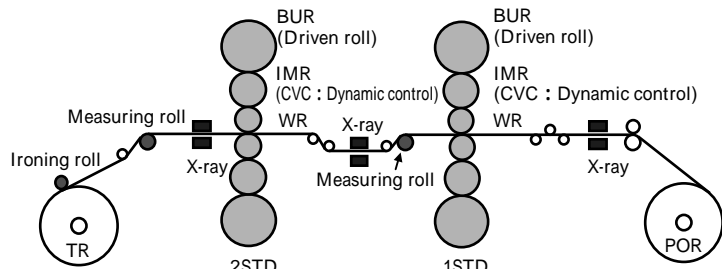


図3 当社キャン材用2タンデム冷間圧延機

Fig. 3 2 tandem cold mill for can stock in Kobe Steel, Moka Plant



写真1 側壁加工処理された最近のDI缶

Photo 1 Recent aluminum DI can with side wall reforming

術・需要は高付加価値商品にシフトしつつある現れと言える。

2. オールアルミボトル缶の製缶、材料技術動向

2.1 ボトル缶の特徴と製缶技術

2000年の春には、PETボトルに対抗して国内製缶メー



2 piece type 3 piece type

写真2 オールアルミ製ボトル缶
Photo 2 Aluminum bottle can

表1 アルミボトル缶の特徴

Table 1 Characteristics of aluminum bottle can

Component	Body & cap (2 piece)	Body, cap & bottom end (3 piece)
Bottle size (cc)	310, 360, 410, 610	300, 350, 400, 500
Cap	38mm PP	28mm & 38mm PP
Necking process	Necking up to 38mm	Top dome forming
Bodystock	As rolled	Film laminated (for dry forming)

力から写真2に示す2ピースタイプと3ピースタイプの2種のボトル缶が実用化された^{(11),(12)}。これらボトル缶の特徴を表1に示す^{(11)~(14)}。

2ピースタイプのボトル缶は、図4に示すように従来DI缶の成形工程を更に発展させている。開口部の口絞り成形を66mmの元径から38mmまで進め、口部4段加工の従来ビール缶に比較すると5倍近い縮径率となる。後述するとおり、この過酷な縮径化に耐え得る変形性能を備えた材料開発が重要となる。さらに過酷な口絞り成形への対応のため、印刷や下地塗膜なども塗料成分配合の最適化や最適塗膜厚の設計など、ボトル缶の口絞り成形は細かな改善、調整の末に成立している⁽¹²⁾。

一方の3ピースタイプのボトル缶は、フィルムラミネート材を使用してドライ成形を実現しており、図5に示すようにトップドーム成形と呼ばれる非常にユニークな成形工程が採用されている^{(11),(13)}。カップ絞り成形、DI成形が行われた後、底にあたる部分を口絞りしキャップを取付けるネジ部とするのが、トップドーム成形の名前の所以たる最大の特徴である。

DI缶の底部は加工後も素材厚とほぼ同等の板厚が残っており、この部分を活用することでネジ成形性とネジ部の剛性を確保し、かつラミネートフィルムのダメージ抑制を図り、28mmまでの口絞り成形を可能としている。また、DI缶の開口部は若干の口絞り成形後フランジ成形が施され底蓋と巻締められてボトル缶の底部としている。これら2種類のボトル缶はその開発の成果が認められ、2001年のアルミ協会開発特別賞を受賞している。

2.2 ボトル缶の巻締め技術

アルミボトル缶の巻締め工程には、細心の注意が払われている。従来DI缶では、蓋縁部と缶胴フランジ部とを2重巻締めすることで密封し、飲み口はタブを引上げることでスコア部に亀裂を生じさせ開口する。ボトル缶ではキャップを巻締めることで密封性を保ち、かつ開口はキャップを開栓することで行う。すなわち、密封と開口を同じ部分で機能させることがDI缶とは大きく異なる点であり、ボトル缶の巻締めでは高度な制御技術が要求される。

キャップをする例としてはガラス瓶やPETボトルが一般的であり、種々のキャップがあるが、ボトル缶用キャップにはピルファブルーフ (pilfer proof: 盗用防止機能) タイプが採用されている。また、ガラス瓶は耐軸荷重性、ネジ部剛性が高く、高い軸荷重 (約180kgf) を負荷しながら巻締めが行われる。

一方、アルミボトル缶は従来DI缶並の耐軸荷重強度 (約130kgf) であり、ネジ部剛性も高くないので十分な密封性と開栓特性を得るために、飲料充填工場の巻締め設備や充填条件がより厳しくコントロールされている⁽¹⁴⁾。図6にボトル缶のキャップの巻締め方法の一例を示す。ボトル缶では飲み残しを再栓して持歩けることも

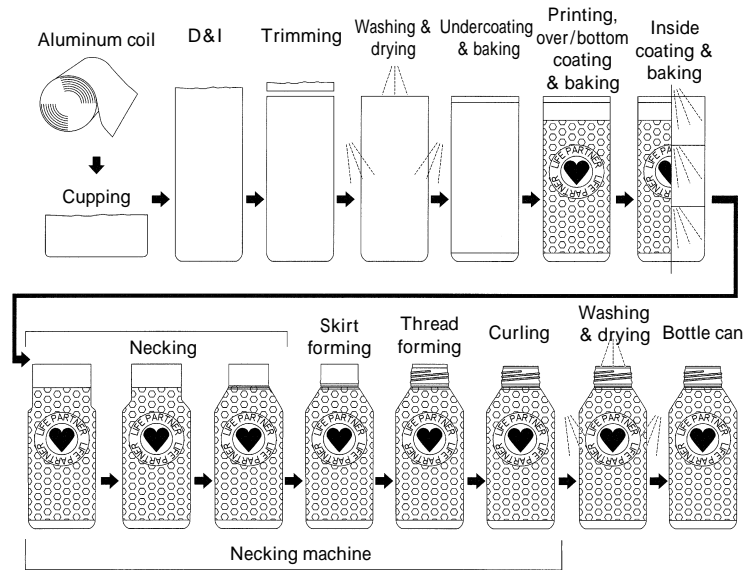


図4 2ピースボトル缶の製缶工程

Fig. 4 Manufacturing process of 2 piece aluminum bottle can

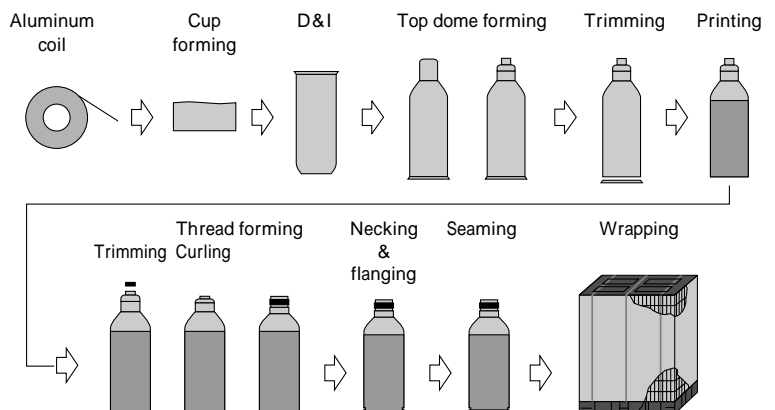


図5 3ピースボトル缶の製缶工程

Fig. 5 Manufacturing process of 3 piece aluminum bottle can

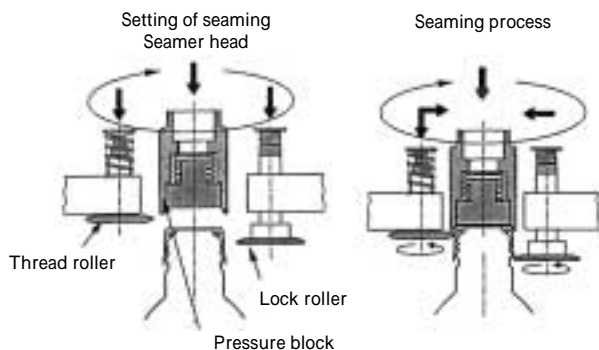


図6 アルミボトル缶の巻締め工程
Fig. 6 Seaming process of aluminum bottle can

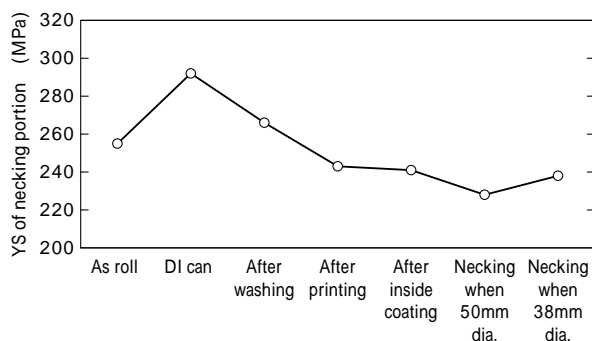


図7 ボトル製缶工程中のネック部強度変化
Fig. 7 Strength change of necking portion during bottle forming

特徴であり、容易に開栓できることはもちろん、再栓がスムーズに行えることも要求される。このため、瓶用とは異なるネジ形状に改善する¹²⁾など、ボトル缶の巻締めは実に繊細な調整、改善の末に成立している技術と言うことができる。またボトル缶用材料にも、必然的に厳しい特性が要求されることになる。

2.3 ボトル缶用材料技術

当社は、ボトル缶の開発、実用化を開発初期段階から需要家と協力して進め、素材開発、改善提案を積極的に推進してきた。すなわち、量産品質安定化の観点から、従来のDI缶材の工程をベースに大幅に変えることなく、ボトル缶に合わせた材料特性の最適化を図ってきた。しかしながら、ボトル缶は新しい技術であり、かつ2種類の加工方法があるため、おのおのに対して材料開発が必要となった。ここでは前項のボトル缶加工方法の特徴を紹介しながら、ボトル缶材の開発のポイントについて説明することとしたい。

ボトル缶に使用されているアルミ素材の例を表2に示す。胴材としては、従来DI缶材と同様3004または3104合金が使用されているが、要求特性に応じて成分範囲を最適化している。3ピース缶の底蓋材でも、従来缶蓋と同様の5182合金が採用されている。キャップ材は口径に応じて2種の合金が採用されている。38mm径キャップの場合、その面積分の内圧耐性が求められることから、28mm径用キャップ材よりも高い強度の材料が選定されている¹³⁾。

2ピースのボトル缶では、図4のとおり過酷な口絞り成形性が要求される。ボトル缶成形中の開口部付近の強度変化を図7に示す。DI加工で加工硬化した後、洗浄・乾燥、印刷や塗装の焼付工程で開口部は軟化し、口絞り成形工程に進む。口絞りは縮みフランジ成形であり、DI加工で引張方向の残留応力が縮みフランジ成形で相殺されるため、成形初期は見かけ上強度が低下するが、その

後再び硬化に転じる。課題は口絞り成形性とシワ発生の抑制であり、口絞り成形前の強度を適度に低く抑えること、更に口絞り成形中の加工硬化を抑制することが重要となる。

一方で巻締めでの軸荷重、ロール荷重に耐える剛性を確保することも要求される。当社では、この要求特性に適する製造工程としては直通（高冷延）工程と考え、最適な合金成分の配合、冷間タンデム圧延機の活用による延性向上を組み合わせ、2ピースボトル缶の口絞り成形に対応し得る素材を開発、実用化した。この材料は当社独自のものであり、以降需要家の高強度化要求に応えながらさらに進化を遂げ、需要家の満足を得るとともに権利化を推進している¹⁵⁾。

なお、従来DI缶においても、口絞り成形では材料の塑性異方性（耳発生）に起因する問題があり¹⁶⁾、縮径率の高いボトル缶ではその影響はさらに大きなものとなる。材料耳率はそれを低位安定化させることが必要である。成分・製造工程の最適化に加え工程の厳格管理によりなし得るものであり、ボトル缶材技術を影で支える重要な要素となっている。

3ピースボトル缶では、フィルムラミネートや加工後フィルムの非晶質化¹³⁾のために加えられる熱により、材料や缶体の軟化が進み易くなるため、強度確保に重点をおいた材料設計を採用している。ところで、従来DI缶は、しごき加工により缶体表面は新生面が出現し、印刷前の側壁は金属光沢のある表面となる。3ピースボトル缶ではフィルムラミネート材が採用されたことにより、DI加工ではフィルムを介してしごき加工されるため、工具と素材とが直接接触しない。従ってDI加工後も素材表面がそのまま缶体表面として残るため、要求される表面品質は従来缶以上に厳しい。

当社では、ボトル缶の実用化と同時期に表面品質異常に関する分析システムを構築した。このシステムは、過

表2 ボトル缶用アルミ合金
Table 2 Aluminum alloy for bottle can

	Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
Body	3004	0.30	0.7	0.25	1.0/1.5	0.8/1.3	-	0.25	-	bal.
	3104	0.6	0.8	0.05/0.25	0.8/1.4	0.8/1.3	-	0.25	0.10	bal.
End (for 3 piece bottle)	5182	0.2	0.35	0.15	0.20/0.50	4.0/5.0	0.1	0.25	0.1	bal.
Closure (for 28mm)	3105	0.6	0.7	0.30	0.30/0.8	0.20/0.8	0.20	0.40	0.10	bal.
Closure (for 38mm)	AA5151	0.2	0.35	0.15	0.1	1.5/2.1	0.1	0.15	0.1	bal.

去に発生した異常を形態、有機・無機成分、金属組織などの面から科学的に分析し、データ蓄積する。このシステムにより、新たに発生した異常の発生源を早期に特定して対策をとることにより異常の拡大を防ぐこと、更には発生防止の恒久対策を打つことで、品質異常の低減・撲滅に絶大な効果を発揮している¹⁷⁾。この効果は、ほかのアルミ板材の品質向上にも波及している。

材料特性の最適化のみならず、操業中での表面品質の維持・向上が今日のボトル缶材を支えており、当社ボトル缶材の高シェアの裏付けとなっている。

2.4 ボトル缶の発展

ボトル缶は実用化当初ビール、発泡酒用として採用されたが、その後茶系飲料や機能性飲料にも採用が拡大した。また、ボトル缶はコーヒーを始めとするレトルト飲料にも適用された¹⁸⁾。ここでは、腐敗、漏れの検査として超音波による缶体の内圧検査が入れられているが、材料的には超音波検査に適した特性改善が実用化を少なからず後押しした形となった。最近では、100cc程度の小容量の機能性飲料にも展開が始まった。軽量、リサイクル性などアルミ容器の特徴を武器に、ガラス瓶代替としての需要が期待される。

日本のボトル缶の普及状況を見て、海外でもボトル型缶の開発・実用化が最近始まっている¹⁹⁾²⁰⁾。その一例を写真3に示す。いずれも未だ日本ほどの規模での商品化実績はないが、今後の動向が注目される。従来DI缶では、海外動向を見て日本での技術展開がなされていたが、ボトル缶はまさに日本発進の技術といっても過言ではなく、今では海外が日本の動向を注視している。

アルミボトル缶と、アルミ・スチールDI缶およびPETボトルの重量差を整理したデータを表3に示す²¹⁾。

重量的にはアルミDI缶が最も軽量であり、アルミボトル缶はPETボトルより全体としてやや軽量であるが、アルミDI缶との重量差は未だ大きい。アルミボトル缶



写真3 オールアルミ製ボトル缶
Photo 3 Aluminum bottle can in US

表3 代表的容量の市販容器重量 (蓋, キャップを含む)
Table 3 Container weight of typical size (including end and closure)

Size	Steel	Aluminum		PET bottle			
	DI can	DI can	Bottle can	For aseptic filling	For carbonated	Heat resistance	Heat & pressure resistance
350cc	29.7	13.4 - 16.7	21.3	25	-	26.0 - 33.5	-
500cc	43.7	18.9 - 21.0	24.8	22.5 - 25.0	31.2 - 35.7	26.0 - 37.8	32 - 34

(g/can or bottle)

は新しい技術であり、材料特性、形状、成形方法などの改善により一層の軽量化が期待できる。当社が得意とする構造解析を活用し、この課題にも取り組んでいきたい。

3. アルミ缶材の環境対応

3.1 アルミ缶のリサイクル性

図8に最近10年の使用済容器の回収率の変遷を示す(各容器のリサイクル協会などが毎年公表する回収率データを集計)。2000年以降のアルミ缶回収率は80%を越え、リサイクルシステムが十分機能していることが伺える。その点では鉄缶、ガラス瓶も80%以上の回収率となっており、PETボトルのリサイクル率に大きく水をあけた形となっている。

一方、図9には容器別のリサイクルコストの比較の一例を示す²²⁾。このデータによれば、リサイクルコストはアルミ缶が最も安いということになる。一部の自治体では、アルミ缶のリサイクルで収益が出るケースも報告されている。スクラップ価格の変動要因や比較の方法など議論があるところであるが、概して使用済アルミ飲料缶(Used Beverage Can: 以下 UBC)はスクラップ価値が高

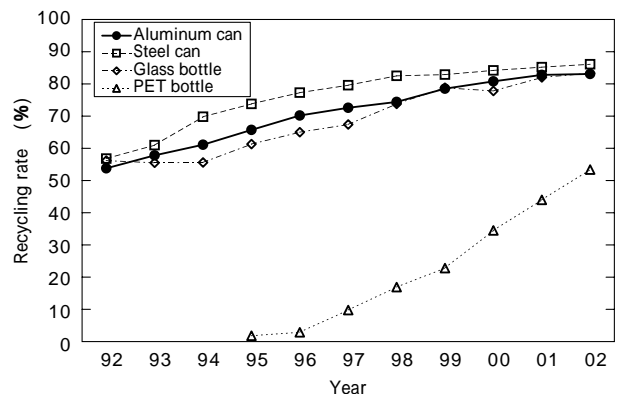


図8 使用済飲料容器のリサイクル率
Fig. 8 Recycling ratio of used beverage containers

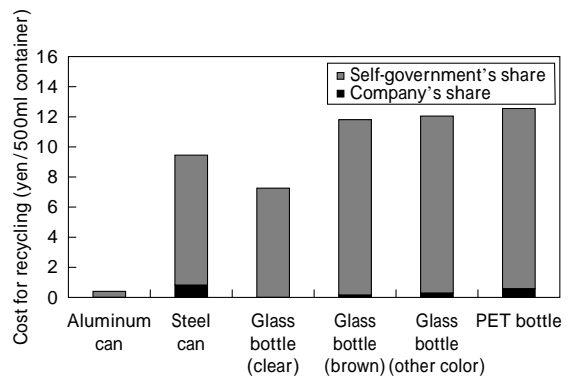


図9 使用済飲料容器のリサイクルコスト
Fig. 9 Total recycling cost of used beverage containers

く、自治体の負担軽減に貢献しているものと考えられる。

今年には容器包装リサイクル法が成立し10年目に当たる。そのシステムの評価、見直しが行われる予定であるが、上記リサイクル性や自治体費用負担も踏まえ、アルミ缶優位性の向上が期待される。

3.2 アルミ缶材製造における環境対応

昨今、ライフサイクルアセスメント(LCA)による様々な商品の環境対応性評価が進められている。消費エネルギー試算においては、どこまでをその商品の製造プロセスの枠内と見るか考え方も様々で、また企業の内部データによる部分もあることから、商品ごとの直接比較は難しい。従って、第三者機関による公平な評価が必要となるが、具体的なデータは今後の報告に譲ることとしたい。

アルミ缶材の製造では、使用するアルミ地金の製造に膨大な電気エネルギーを必要とするが、リサイクルシステムが現在以上に機能し、Can to Can 化すれば使用エネルギーは地金製造に比較して約3%で済む。リサイクル率の向上を図ることが、アルミ缶のLCA向上の鍵を握っているといっても過言ではない。

当社では、栃木県真岡市の真岡製造所にてアルミ板材を生産している。当製造所では、1997年よりゼロエミッション活動を展開している。一例として、回転式アーク炉による溶さい中アルミ分の効率的回収技術を開発、実用化している²³⁾。アルミの溶解で発生する溶さいはアルミを60~80%含有しているが、当社では極めて高温の電気アークを活用した回転アーク炉を開発し、90%近いアルミ分回収を達成、産業廃棄物の削減に貢献している。この技術は内外から高い評価を受け、2004年の経済産業大臣賞を受賞した。また、UBCの塗料剥離技術として溶剤による化学的剥離方法を活用した塗料剥離装置などの開発、実用化も手がけている²⁴⁾。なお、当製造所では2000年にISO14001を取得し、環境負荷軽減を更に強化して活動を継続している。

むすび=アルミ缶、特にアルミボトル缶の技術動向を中心に、アルミ缶の環境対応なども含めて最近の動向を述べた。ボトル缶も含めアルミ缶の今後の発展の鍵を握るのは、機能性向上と環境対応と言っても過言ではない。アルミ板材メーカーとして、新たな技術分野の開拓も視野に入れながら、更なるアルミ缶の発展に寄与できるよう努めていきたい。

参考文献

- 1) 稲葉隆：R&D 神戸製鋼技報，Vol.50，No.3（2000）p.54.
- 2) 西山貞雄：Packpia，Vol.2（2001）p.10.
- 3) 大西健介：金属，Vol.65，No.5（1995）p.379.
- 4) 大西健介：(社)軽金属学会，「アルミニウムの製品の製造技術」(2001) p.59.
- 5) THE CANMAKER：January（2005）p.28.
- 6) 中瀬勝彦：第12回アルミニウムシンポジウム（1993）p.55.
- 7) M. R. Hackworth et al.：Engineering Fracture Mechanics，65（2000）p.525.
- 8) 鶴田淳人ほか：軽金属学会第107回秋期大会講演概要（2004）p.229.
- 9) Packpia：Vol.7（2001）p.23.
- 10) Packpia：Vol.6（2003）p.13.
- 11) 辻本和弘：Packpia，Vol.11（2000）p.56.
- 12) 大橋一郎：Packpia，Vol.12（2000）p.16.
- 13) 伊藤哲夫ほか：軽金属，Vol.52，No.2（2002）p.82.
- 14) 伊藤隆一：Packpia，Vol.6（2003）p.16.
- 15) たとえば，公開特許：平14-256366.
- 16) たとえば，北尾吉延ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.32，No.2（1982）p.27.
- 17) 信濃昇：日本鉄鋼協会第146回秋期講演大会予稿集（2003）p.1117.
- 18) たとえば，Packpia，Vol.10（2002）p.28.
- 19) THE CANMAKER：July（2004）p.15.
- 20) THE CANMAKER：September（2004）p.6.
- 21) 鶴丸迪子：白石記念講座，(2002) p.57. (社)日本鉄鋼協会.
- 22) 吉田陽：アルミニウム，Vol.9（2002）p.55.
- 23) 西村友伸ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.47，No.3（1997）p.31.
- 24) 高橋俊充ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.47，No.3（1997）p.35.