

(解説)

飲料用アルミニウム缶材の技術革新

稲葉 隆

アルミ・銅カンパニー・真岡製造所・アルミ板研究部

Technical Innovations in Aluminum Beverage Can Stock

Takashi Inaba

This paper deals with the history of beverage can technologies Aluminum cans are produced at the Mooka Plant, which is part of Kobe Steel Limited's (KSL) aluminum division. In 1993, the production and sale sides of this business was transferred from KSL to KAAL, a joint venture between KSL and ALCOA. KS3004-H191 and KS5K52-H19 aluminum alloys are typical of the new can stock developed by KSL. Can technologies for KAAL are developed jointly by KSL and ALCOA. The future beverage can business is expected to expand and grow from the development of resealable aluminum bottles and an increased can recycling ratio.

まえばき = アルミニウム (以下アルミと略す) の企業化は、1886 年のホールとエルーの電気分解による精錬法確立から始まる。この 2 人には多くの共通点があり、同じ年に生まれ、同じ年に精錬法を発見して企業化し¹⁾、同じ 50 歳に世を去っている。前者のホールこと、Charles Martin Hall は、当社のパートナー、アルコア社 (Aluminum Company of America) の基礎を築いた人物である。

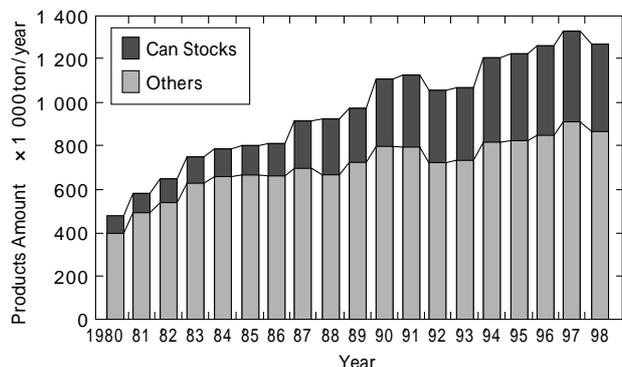
ところで、当社アルミ部門は、東洋一のアルミ総合メーカーとして現在に至っており、約 60 年の歴史を有している。アルミ板を専門で製造する真岡製造所も 30 年を経過し、アルミ板製品の技術においては、アルコアを凌ぐものと自負している。その一つに、アルミ飲料缶用材がある。日本国内はもちろん、これまで世界をリードし、1980 年代には米国市場においてアルコアと競合状態にあった。そのアルコアとは、1991 年に飲料缶材分野において包括的契約を結び、現在は共同してアルミ缶材事業を展開している。

本稿では、アルミ缶の歴史をとおして、日本におけるアルミ飲料缶の発展と当社の取組み、KAAL (KSL Alcoa Aluminum Company) によるグローバル缶材の推進、ならびに今後のアルミ飲料缶の展望について述べる。

1. 日本におけるアルミ飲料缶の発展

1.1 アルミ飲料缶の歴史

アルミ飲料缶の歴史は、米国アルミ産業が 3 ピース・



第 1 図 日本におけるアルミ板材料の生産量
Fig. 1 The amount of aluminum sheet & coil products in Japan.

スチール製食料缶に対抗し、飲料缶に絞って開発適用したことに始まる²⁾。その開発は、1950 年代後半から進められ、1963 年にアルコアは簡易蓋 EOE (Easy Open End) を、1964 年にレイノルズは DI 加工技術 (Drawing and Ironing Technology, 1955 年にカイザー社が技術確立) を実用化している。

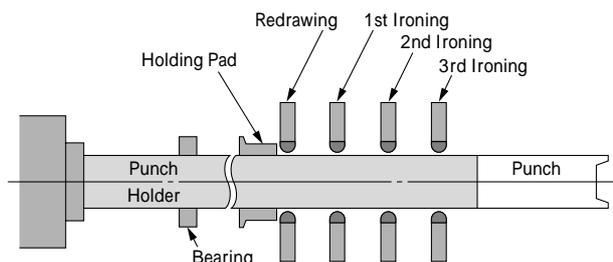
いっぽう、日本におけるアルミ飲料缶は、1967 年の簡易蓋 EOE のビールへの実用化から始まり、1971 年のオールアルミ DI 缶の採用を契機に飛躍的に発展した。現在ではビール用を中心に、年間約 170 億缶のアルミ缶が製造されるに至っている。これにより、アルミ板材における缶用材料の位置づけは非常に高くなり、第 1 図に示すように全需要量の 30% を占めるまでになっている。

1.2 アルミ飲料缶の製造技術

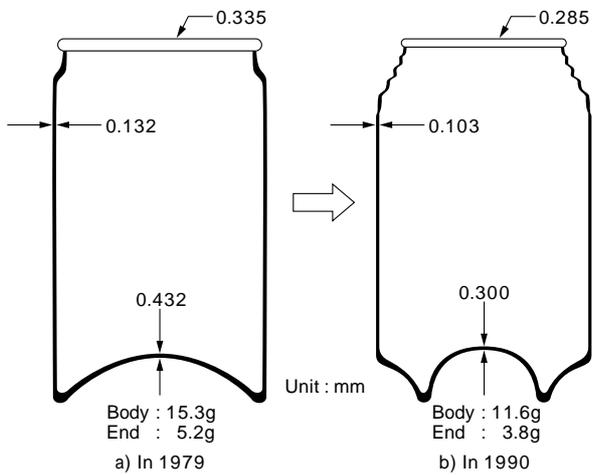
1.2.1 缶胴成形技術

飲料缶の缶胴は、主要成形である絞り、しごき加工 (第 2 図: DI 加工) からなり、その後化成処理、外面の塗装印刷、内面塗装、さらにネックおよびフランジ成形が施され完成する。一貫した工程であるため、途中に発生する不具合は、ラインの停止を招く。そのため、品質は非常に厳しく、不具合の発生率は、つねに ppm オーダ以下が要求される。

缶胴成形においては、DI 加工時の缶胴割れ (TO: Tear Off) 対策が最重要課題である。TO に限らず、課題解決には、材料面と加工面を切り離すことはできない。材料面については、次章の当社の取組みの中で述べることにし、ここでは、缶の軽量化および高機能化に影響を与え



第 2 図 再絞りおよびしごき加工の工具構成
Fig. 2 Redrawing and ironing tool arrangement



第3図 アルミ缶の形状変化

Fig. 3 Progress of aluminum can

た缶形状の変化と生産性向上を目的としたDI加工の高速化について述べる。缶の形状変化は、1980年代に始まり、缶底およびネック部は第3図に示すように変化している³⁾。缶底部はDI加工工程内で成形され、その小径化は、缶底の薄肉化を実現するとともに、スタック（積重ね）性を向上する。また、最終工程であるネック加工での小径化は蓋の薄肉化に寄与し、缶底の薄肉化と合せて缶容器の競争力強化に繋がっている。

次に、生産性向上を目的とした高速化について述べる。これは、とくにDI加工の加工速度で知ることができる。実用化間もない1970年代は、100缶/分前後であったが、その後高速化が進み、1990年代から2000年にかけては、200~300缶/分、またそれ以上へと進展しつつある。1ラインには、DI加工機が5ないし6台設置されているので、最近の1ラインあたりの生産量は1500缶/分前後以上といわれている。このときの課題は、やはりTOの発生低減である。

1.2.2 缶蓋成形技術

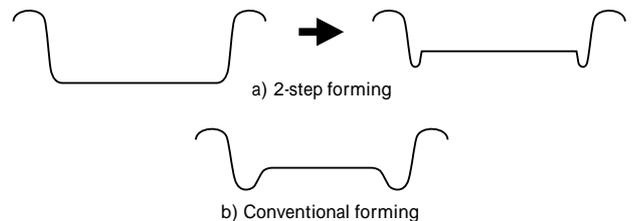
缶蓋は、機能上から飲み口部を形成するスコア加工部と開缶補助となる取っ手（タブ）部からなる。それらは別の材料（塗装コイル）から並行して加工される。飲み口を有する蓋本体は、スコア加工のほか補強のためのリブ加工、リベット部となる張出し絞り加工が施される。いっぽう、タブはピアスと曲げを主体に成形され、蓋本体の中央部に搬送されてリベット結合される。写真1にリベット部の断面形状を示す。

蓋成形技術では、開缶性に影響を与えるスコア加工・リベット加工はもちろんのこと、後述するベーシック蓋（第4図b）の状態）およびタブの加工も非常に重要である。ここでは、開缶機構の変化（タブ成形）とベーシック蓋の薄肉成形技術について述べる。1980年代後半、環境問題への意識の高まりから、従来のリングプルタブ式から、SOT（Stay on Tab）式へ急激に変化した。タブが取れないSOT式エンドは、その機構の特徴から加工が難しく、かつ開けにくいものであった。しかし、それも加工精度（タブの寸法形状、開口部の残厚など）の向上と、最適材料の組合せにより解決されて現在に至っている。



写真1 蓋リベット部の外観と断面形状

Photo 1 Rivet section of can end



第4図 ベーシック蓋の加工法の改良

Fig. 4 Improvement of shell forming

また、1990年頃にベーシック蓋の加工法変更による薄肉化が進められた。第4図に示すように、ベーシック蓋の成形を1工程から2工程にすることにより、耐圧強度に優れた蓋形状となり、10%程度の薄肉化が可能となった。しかし、実用化に際しては、成形面での材料特性の改善が大きな役割を果たした。

2. 当社の取組み

当社の開発方針は、需要家と同等の加工設備を使用し、よりニーズに合った材料開発、ならびにその加工技術を研究し提案することである。当社では、1970年代後半から設備の充実化を図り、製缶試験のすべてを可能とした。また、缶胴および缶蓋成形では、Max300缶/分の連続試験設備を保有している。さらに、加工技術においては、1980年代からFEM解析を活用しはじめ、加工技術の最適化を進めている。

2.1 缶胴材料および加工技術の開発

缶胴用材料は、Al-1%Mn-1%Mgの3004合金であり、その製造工程は、第1表の調質の差にて表現される。日本国内では、現在も3種類（当社表示で、H191、H19M、H19）が使用されている。

ところで、1970年代から1980年代初期は、DI缶の安定生産化の時期であった。TOの発生低減に関して、当社では、材料および加工の両面の研究開発を進め、加

第1表 缶胴材の製造工程

Table 1 Manufacturing process for canbody stock

Temper	Process				Remark
	Hot Coil	CR	Batch Ann.	CR	
H19 (Type A)	Hot Coil	CR	Batch Ann.	CR	—
H19 (Type B)	Hot Coil	Batch Ann.	CR	—	—
KS-H19I	Hot Coil	CR	CAL	CR	Kobe Original
KS-H19M	Hot Coil	CAL	CR	—	KAAL Product
H19	Hot Coil	CR	—	—	KAAL Product

CR : Cold Rolling, CAL : Continuous Annealing Line

第2表 当社における缶胴材の開発状況

Table 2 Development history for canbody stock

Year	Development Technology
1970	<ul style="list-style-type: none"> • 3004-H19 (Type A) • 3004-H19 (Type B) • Improved 3004-H19 for Good Ironing Formability • Recoil KR11
1980	<ul style="list-style-type: none"> • KS3004-H19I (Bake-hard Type) • High Strength KS3504-H19I • Large Scale Canbody Stock • KS3004-H19 for Good Sidewall Formability • Low Work Hard Type Canbody Stock (LW) • FEM Analysis for Bottom Profile and Thinnerwall
1990	<ul style="list-style-type: none"> • KAAL Body Stock KS3004-H19M • KAAL Body Stock 3004-H19 • KAAL Body Stock 3104-H19 • FEM Analysis for Neck Profile and Necking Process • FEM Analysis for Ironing Process • 10g/Can Technology with Alcoa • Pre-formed Cup Technology with Alcoa

工硬化特性の最適化 (n 値小が優れる)⁴⁾⁵⁾、潤滑補助剤 (リオイル) の開発実用化などをおこなってきた。これまでの開発状況を第2表に示す。とくに、当社においては、1980年代初期に開発実用化したバークハード型の缶胴材⁶⁾がもっとも重要であると考えている。それは3004-H191材と呼ばれるものであり、材料の特性比較を第3表に示す。3004合金は、非熱処理型合金であるが、不純物であるCuに着目して熱処理型合金 (Al-Cu-Mgの析出硬化) にしたことがポイントであり、世界でもまったく新しい缶用材料である。本材料は結晶粒も微細であり、高強度 (バーク後) に加えて高成形性を有し、前述の缶底部の形状改善とを合せて、大幅な薄肉化に貢献した。その後も、この技術は継続されて、当社表示のH

19M材⁷⁾に引き継がれている。

また当社は、加工技術においても、他社にないものを提供しており、その一例を紹介する。それは、FEM解析と実験評価をうまく組合せたものであり、TOのメカニズムの一つを明らかにしている⁸⁾。このTOは、DI加工の高速化で増長した偏肉部 (薄肉部) の変形強度 (偏肉とともに上昇) が破断強度を越えて生じるものであり、第5図にDI加工の高速化にともなう偏肉の増加と、偏肉にともなう変形強度の増加を示す。そのほか、FEM解析については、ネック成形の変形挙動⁹⁾、形状改善による耐圧強度の向上、落下試験での変形挙動の解析¹⁰⁾などに活用し、需要家の満足を与えている。

2.2 缶蓋材料および加工技術の開発

缶蓋は本体とタブに分けられ、本体は用途により合金種が異なる。ビールおよび炭酸飲料用には、Al-4.5%Mg系の5182合金が、非炭酸用にはAl-2.5%Mg系の5052合金が使用されている。また、タブ材としては、一般的に5182合金が使用され、いずれも圧延硬質材である。使用形態は塗装コイルであり、おのおの成形され、リベット接合されて蓋になる。

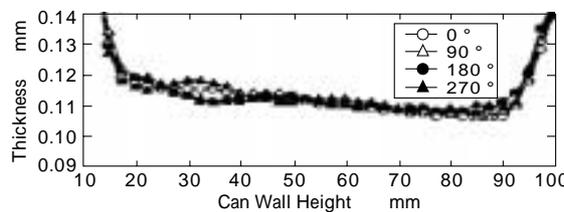
当社は、塗装コイルの実験ラインを1975年にいち早く設置するとともにその実用化を果たし、塗装コイルの蓋材をリードしてきた。第4表に、これまでの蓋材の開発状況を時系列的に示したが、缶胴材と同じくアルミ缶の発展に貢献してきている。蓋材開発の大きな変化は、1980年後半以降のSOT化、薄肉化のための小径化と成形技術の進展に対応している。ここでは、とくに重要と考えているSOT化にともなって開発した非炭酸用蓋材¹¹⁾、当社表示の5K52材を紹介する。

これは、Al-2.5%Mgの5052合金とベースは同じであるが、必須添加元素をCrからMnに替え、蓋材として必要な開缶性を確保したものである。SOT化で課題となる開けづらさを、Al-Fe-Mn系の化合物分布を適正化して解決したのがポイントであり、蓋材料の薄肉化に適

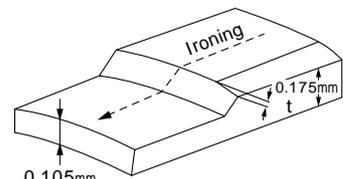
第3表 KS3004-H19I材の機械的性質

Table 3 Mechanical property of KS3004-H19I

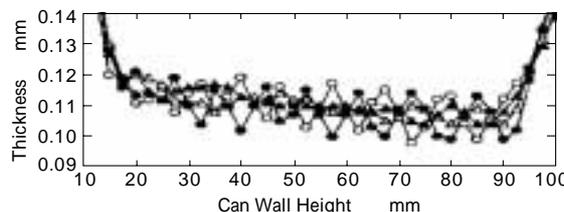
Temper	As Rolled			After Baking (200 °C × 20min)		
	TS N/mm ²	YS N/mm ²	El. %	TS N/mm ²	YS N/mm ²	El. %
KS-H191	300	285	3.5	320	280	8
H19 (Type A)	300	285	3.5	275	245	7
H19 (Type B)	310	295	3.0	275	245	7



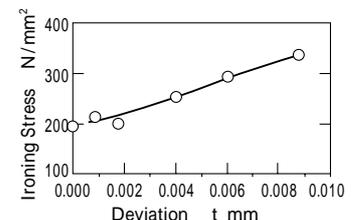
a) Wall Thickness Deviation at 250 spn



c) 3-Dimension Model for FEM



b) Wall Thickness Deviation at 300 spn



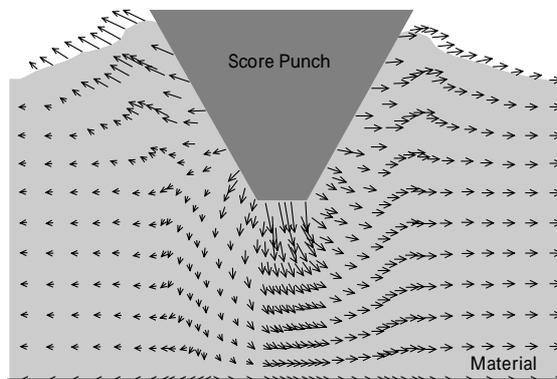
d) Relation between Deviation and Ironing Stress (FEM Analysis)

第5図 しごき応力に及ぼす高速しごき加工による偏肉の影響

Fig. 5 Effect of increase of deviation caused by high speed ironing on ironing stress

第4表 当社における缶蓋材の開発状況
Table 4 Development history for canend stock

Year	Development Technology
1970	<ul style="list-style-type: none"> • 5182-H39 for Beer and Softdrink • 5052-H39 for Coffee • Coil Coated Endstock
1980	<ul style="list-style-type: none"> • High Anti-corrosion Endstock for 3P Can • KS5182-H19I (Bake-hard Type) • KS5K52 for Coffee • High Formability Tab Stock for SOT • Large Scale Canend Stock • Low Earing Endstock • FEM Analysis for Rivet Profile
1990	<ul style="list-style-type: none"> • KAAL End Stock KS5K52-H19 • KAAL End Stock 5182-H19 • KAAL Tab Stock 5182-H19 • Water Based Coating Endstock • FEM Analysis for Shell Profile • FEM Analysis for Riveting Process • Convolute Cut Edge Technology with Alcoa • New Shell Forming Technology with Alcoa



第6図 FEMによるスコア加工解析時のメタルフロー
Fig. 6 Metal flow at score forming analyzed by FEM

している。本系合金は、近年循環型材料を研究中である日本アルミニウム協会の委員会推奨されている¹²⁾。

加工技術面では、スコア加工部のFEM解析があり、当社開発の剛塑性解析ソフトをもちい、スコア加工時の変形挙動、最適スコア形状¹³⁾の提案に活用している。その解析例を第6図に示す。そのほか、汎用ソフトを使用して実施している耐圧強度の解析やリベット加工の成形解析は、蓋材の薄肉化に重要であり、缶胴材の対応と同じく、これらが当社の特徴と強みになっている。

3. KAALによるグローバル缶材の製造と技術開発

アルコアとの合併会社であるKAALでは、1993年に缶胴材の生産を、1998年に蓋材の生産を開始している。KAALで製造する缶材のコンセプトは、品質と生産性を考慮し、グローバル化に対応した材料を提供することである。その工程は、簡素化を特徴としており、缶胴材では、H19材（焼鈍のない直通材）を意味する。H19化を実現するためには、材料面はもちろんのこと、加工面の対応がとくに重要であり、需要家と共同して推進する必要がある。なおH19化では、強度の低下をとまなうため、形状および加工法の研究開発が重要となる。当社とアルコア社は、KAALの要請により、上記を含めて需要家ニーズに応える新しい技術の開発と実用化を進めている。

いっぽう、蓋材でも同じ考え方で、直通工程材の実用化を目的に、需要家と共同して進めている。従来から使用されている材料とは、特性に差異があるが、着実に直通工程材が増加している。それは、特性の差を減少させる加工技術の発展と採用があるためであり、需要家との共同推進の成果と考えている。

さらにKAALは、アルミ缶の拡大を目指して、アルミ缶の競争力向上など、新しい技術の開発と提案および情報の提供を進めている。

4. 今後の展望

アルミ飲料缶の生産量は、ここ数年伸び悩んでいる。その大きな原因は、PETボトルの攻勢にある。消費者

は利便性を追究しており、これに応えることがアルミ缶の拡大につながるものと考えている。また、スチール缶の牙城である3ピース缶（非炭酸缶）へのアルミ缶普及も重要な課題である。おのおの難しい側面を有しているが、アルミ飲料缶は着実に歩んでいる。とくに前者においては、リシール可能なアルミボトルが市場にでてきており、大いに期待できる状況にある。

また、アルミ飲料缶の拡大には、環境問題への対応も重要である。アルミ缶リサイクル協会¹⁴⁾では、2002年度に回収率およびCan to Can率ともに、80%を目標と定め活動しており、これを確実に実行していくことが必要である。さらに、缶の塗料についても、環境対応を関係メーカーが協力していけば、今後とも、アルミ飲料缶の発展は確実であり、大いに期待できるものと考えられる。

むすび=アルミ飲料缶の歴史をとおして、当社の取組みを述べてきた。当社としては、アルミ飲料缶をさらに発展させるため、材料開発はもちろんのこと、消費者ニーズおよび地球環境問題について積極的に取組み、アルミ飲料缶の発展に貢献していきたい。

参考文献

- 1) J. D. Edwards et al. : The Aluminum Industry, (1930) p.16, Mcgraw-Hill Book .
- 2) 浅野秀次郎：アルミニウム，第7巻，第36号(2000)，p.118 .
- 3) 川島敏彦：軽金属，Vol.40, No.11 (1990) p.856 .
- 4) 碓井栄喜ほか：軽金属，Vol.34, No.6 (1984) p.236 .
- 5) 碓井栄喜ほか：軽金属，Vol.34, No.6 (1984) p.317 .
- 6) 稲葉 隆ほか：軽金属，Vol.39, No.1 (1984) p.3 .
- 7) たとえば，特許，第2933501 .
- 8) 正田良治ほか：第87回軽金属学会春期大会 (1994) p.309 .
- 9) 正田良治ほか：軽金属，Vol.48, No.1 (1998) p.30 .
- 10) 竹内久司ほか：第82回軽金属学会春期大会 (1992) p.123 .
- 11) たとえば，特許，第2783311 .
- 12) 東海林了：第98回軽金属学会春期大会 (2000) p.61 .
- 13) 竹内久司ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.41, No.1 (1991) , p.103 .
- 14) 矢野一也：Beverage Japan, No.211, (1999) p.80 .