

飲料用アルミニウム缶材料の開発

Development of Aluminum Beverage Can Stocks

鈴木 覚
Satoshi Suzuki

松本 英幹
Hideki Matsumoto

田尻 彰
Akira Tajiri

村松 俊樹
Toshiki Muramatsu

飲料用アルミニウム缶は時代とともに縮径化や缶蓋形状の改善により軽量化が行なわれてきた。

本報では、縮径化に対応した缶胴材の耳率制御技術とフルフォーム化に対応した缶蓋材の製造技術について解説する。缶胴材の耳率制御については熱間圧延板の立方体方位密度を高める必要があるため、当社福井工場の熱間仕上げ圧延機を4スタンド化し縮径化に対応できる低耳率材を開発した。缶蓋材のフルフォーム化対応は晶出物分布と最終冷間圧延率の制御が重要であり、これらを考慮した高成形性材料を開発した。

近年、缶の軽量化や材料のゲージダウンは停滞傾向にあるが、一方では環境対応、新機能、意匠性を重視した新しいアルミニウム缶が再び上市され始めており、アルミニウム素材への新たな要求特性が生まれる可能性もあると思われる。

Weight reduction of aluminum cans has been achieved, year by year, by means of reducing can end diameter and improving shell form. This paper deals with the earing control technology of can body stock corresponding to reduction in can end diameter and the manufacturing technique of can end stock corresponding to new shell forms with a high buckle resistance. In terms of the body stock, we have improved our tandem hot finishing mill in the Fukui Works from the three-stand to the four-stand, in order to obtain a high orientation density of cube in the hot band, and have developed a low-earring can body stock using this hot rolling line. In terms of the can end stock, we have developed a high-formability can end stock by controlling the second phase particles and the final cold rolling reduction. Recently, weight reduction of cans and decreasing of can stocks thickness are apparently stagnated, but new type aluminum cans have begun to appear in the Japanese market attaching importance to environmental issues, re-seal function and design. So, it is anticipated that new characteristics will be needed for these cans.

1. はじめに

アルミニウムDI (Drawing & Ironing) 缶はその軽量性、熱伝導性、高リサイクル性等から広く飲料容器として使用されてきている。これには時代とともに改良が加えられてきており、タブの散乱防止を目的としたSOT (Stay On Tab) 化や、フルフォームエンド化および縮径化等による缶の軽量化が行なわれてきている。

図1に350 mlビール缶での軽量化の推移を示す。主に縮径化による軽量化が進んできたことが分かる。近年では更なる縮径化が進む兆しは見られず、側壁板厚のゲージダウンも105 μm 近傍から進んでおらず、軽量化は15~16 g/缶程度で頭打ちになっている。

図2には国内のアルミニウム板類の生産量に占める缶材の割合の推移を示す。缶材は1980年代後半から急激に伸び始め現在では全体の1/3近くを占めている。アルミニウム缶材の市場は完全に成熟過程に達したと言えるが、今後も安定した需要量が見込まれる。

本報では当社のこれまでのアルミニウム缶材の開発への取り組みと最近のアルミニウム缶の動向について報告する。

2. アルミニウム缶材料

2.1 缶胴材料

2.1.1 合金組成および製造工程

缶胴材には、MgおよびMnをそれぞれ1%程度含む

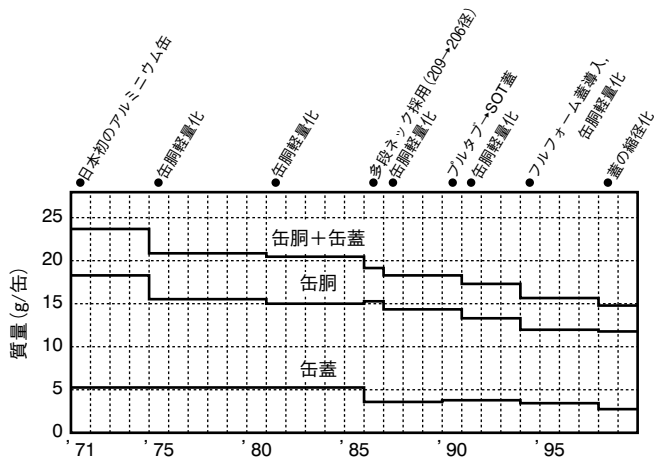


図1 アルミニウム缶の軽量化推移)
Fig.1 Trends in aluminum can weight.

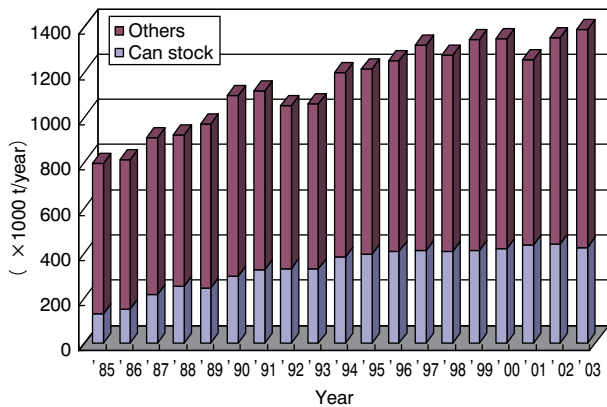


図2 日本のアルミニウム板材の出荷量の推移
Fig.2 Trends in the shipment of aluminum sheet and coil in Japan.

3004, 3104合金が主に用いられている。近年ではUBC (Used Beverage Can)の使用比率を高めるためにFe, Siの許容値が大きい3104合金を使用するケースも増えてきている。その合金成分の規格を表1に示す。

表2に代表的な缶胴材の製造プロセスを示す。当初HOTバッチ工程で製造されていたが、テアオフ発生率等の問題からしごき成形性、強度に優れた中間CAL工程が主流となった。その後ゲージダウンや縮径化が進んだことからフランジ成形性や耳率の要求が厳しくなり、HOT CAL工程、自己焼鈍工程へと改良されてきた。自己焼鈍工程はコスト、生産性に優れるうえに耳率を低く抑えることができ、フランジ成形性にも優れ、現在主流の製造方法となっている。以下自己焼鈍工程材を例として缶胴材の製造工程を説明する。

溶解鋳造された鋳塊は表面の鋳塊組織を面削して除去した後、均質化処理が施される。この均質化処理は単なる偏析の解消だけではなく、過飽和に固溶した溶質元素を析出させるとともに微細な析出物を整理し、再結晶しやすい組織とする目的がある。更に鋳造時に形成された晶出物をAl₆(Fe, Mn)から固体潤滑作用があるとされる

表1 缶胴材の合金規格
Table 1 Chemical composition specifications of alloys for can body stock. (mass%)

合金名	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
3004	0.3	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.

注) 範囲を示していない数値は許容限界値を示す

表2 缶胴材の製造工程
Table 2 Typical manufacturing process of can body stock.

工程名	工程
HOTバッチ	熱間圧延→バッチ焼鈍→冷間圧延
中間CAL	熱間圧延→冷間圧延→CAL→冷間圧延
HOTCAL	熱間圧延→CAL→冷間圧延
自己焼鈍	熱間圧延→冷間圧延

α -Al₁₂(Fe, Mn)₃Si相に変態させ、しごき成形性を向上させる。その後熱間圧延が施されるが、自己焼鈍工程の場合その巻取り温度を利用して再結晶させるため、その温度制御は重要である。また、熱間圧延条件により再結晶集合組織が変化するため、その条件選定も耳率制御に重要である。このような条件を満たした熱間圧延を施した後、冷間圧延が施され最終板厚となるが、この際冷間圧延の巻取り温度を利用して安定化焼鈍と同等な回復状態を得る。これにより更なる成形性の向上が図られる。この後フラット矯正、リオイル工程が行なわれる。

2.1.2 缶胴材の要求特性と耳率制御

缶胴の成形プロセスの模式図と各工程における問題点、要求特性を図3に示す。

この中で耳率は特に重要な要求特性の一つであり、耳が高いと成形中の搬送時に問題を起こしたり、トリミング時の欠肉を防ぐためトリミング量を大きく設定しなくてはならないため歩留りが悪くなる。また、しごき成形時に耳の先端部がちぎれダイス内に混入しピンホールやテアオフ(破胴、缶切れ)を起こす。更に近年では、縮径化によりネック後の耳高さが増加しフランジ成形後の幅ばらつきが大きくなるため更に低い耳が要求される。

次に自己焼鈍材の耳率制御について説明する。

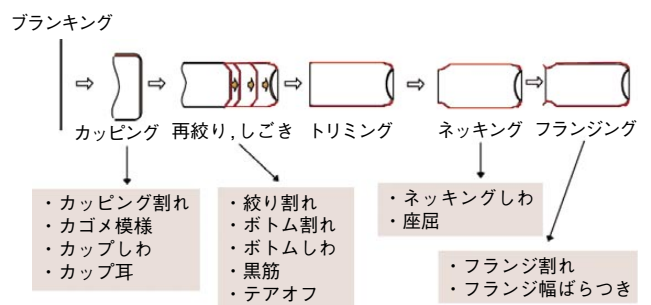


図3 缶胴の成形工程の模式図と問題点
Fig.3 Schematic diagram and problems of the forming process for can body.

図4に最終冷間圧延率と耳率の関係を示す²⁾。冷間圧延率が増えるに従い45°耳が強くなる。これは冷間圧延率が増すとともにCu方位 {112} <111>, S方位 {123} <634>, Bs方位 {110} <112>を主成分とする圧延集合組織の発達によるものである³⁾。自己焼鈍工程材においては、最終板の耳率を低く抑えるためには再結晶後すなわち熱間圧延終了後に適度に0/90°耳成分すなわち立方体方位 {100} <001>を発達させ、その後の冷間圧延で発達する45°耳成分と混在させバランスさせる必要がある。

図5にはタンデム式熱間仕上げ圧延機の総圧下率と熱間圧延板に占める立方体方位密度の関係を示す²⁾。また図6には熱間仕上げ圧延機の最終スタンドの圧延速度と立方体方位密度の関係を示す。高い冷間圧延率が施される場合、熱間圧延板には非常に高い立方体方位密度が要求されるので熱間仕上げ圧延では高い総圧下率、ひずみ速度が必要である。よって熱間仕上げ圧延機はスタンド数が多くパワーが大きいものが必要である。

一方、立方体方位以外の再結晶粒の制御も考慮する必要がある。晶出物周りの変形帯 (deformation zone) から特定の優先方位を持たないランダム方位の再結晶粒が核生成することが知られている⁴⁾。ランダム方位の再結晶粒の割合が増えると相対的に立方体方位の割合が減少し

最終板の耳が45°耳方向にシフトする。前述のように一般的に缶胴用3004合金では1 μmを超える晶出物が多数存在するが、例えばFe量等を変化させて晶出物分布を変化させると熱間圧延板の再結晶粒に占めるランダム方位の割合が変化し耳率に変化する⁵⁾。図7にはFe量が異なる3004材をほぼ同一の熱間圧延条件で製造した時の最終板のカップ耳プロフィールを示す。Fe量の少ない試料は強い0-180°耳を示し、逆に多いものは45°耳が強くなっている。これは上述の効果の影響である。

また、この自己焼鈍材はフランジ成形性にも優れている。図8に最終冷間圧延率とフランジ成形性の関係を示すが、最終冷間圧延率が高いほどフランジ成形性が良好であることが分かる。自己焼鈍工程材は中間焼鈍工程材に比べ高い最終冷間圧延率をとることになりフランジ成形性を高くすることができるが、このような対応は前述の熱間圧延板の集合組織制御によって可能となった。

当社では、1997年に熱間仕上げ圧延機を4タンデム化し増強することで生産性の向上およびコイルの大型化に対応するとともに従来に比べ総圧下率を高くすることを可能とした⁶⁾。これにより、自己焼鈍型の缶胴材の耳率制御技術を向上させてほぼノンイヤーといえる材料を提供している。

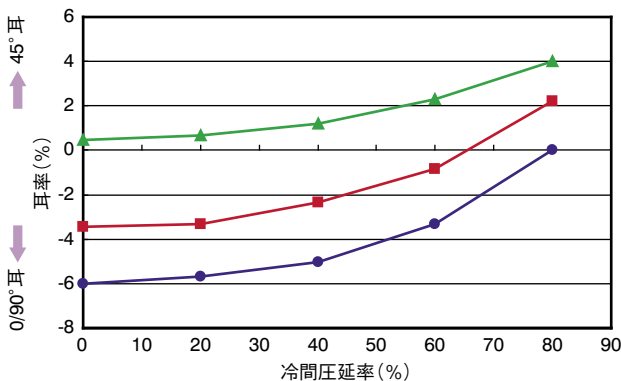


図4 集合組織の異なる試料の冷間圧延率と耳率の関係
Fig.4 Relationship between earing of cold rolled sheet and cold rolling reduction.

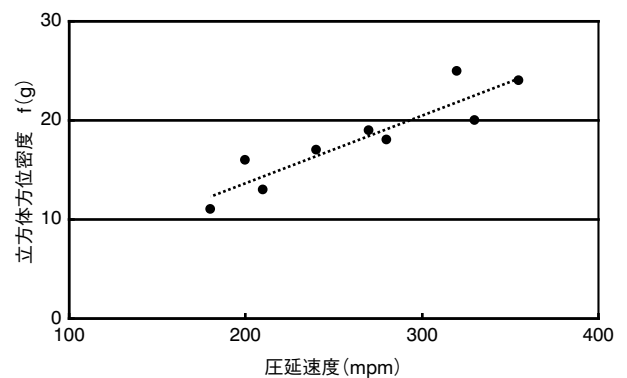


図6 タンデム式熱間仕上げ圧延時の最終スタンドの圧延速度と立方体方位密度との関係

Fig.6 Relationship between rolling speed in the tandem hot finishing mill and orientation density of cube in hot band.

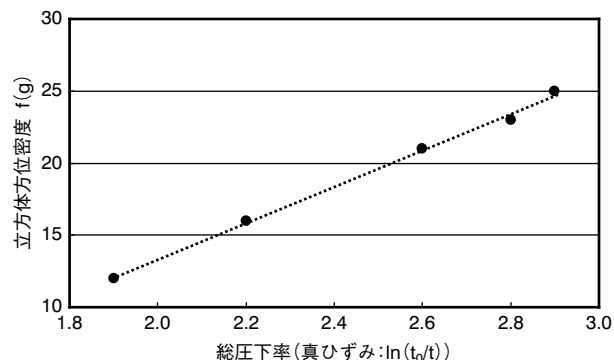


図5 タンデム式熱間仕上げ圧延時の総圧下率と立方体方位密度の関係

Fig.5 Relationship between total rolling reduction in the tandem hot finishing mill and orientation density of cube in hot band.

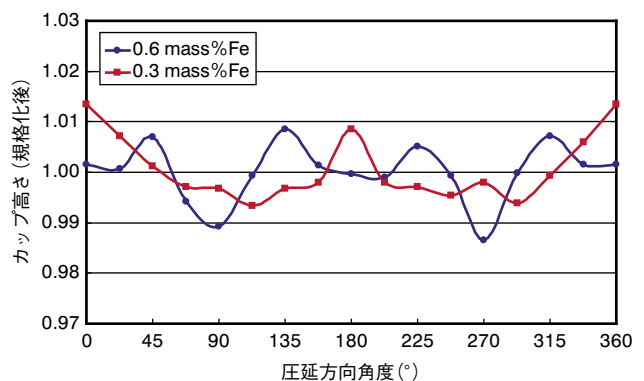


図7 Fe量の異なる試料の最終板カップ耳プロフィール
Fig.7 Profile of drawn cups with different Fe contents.

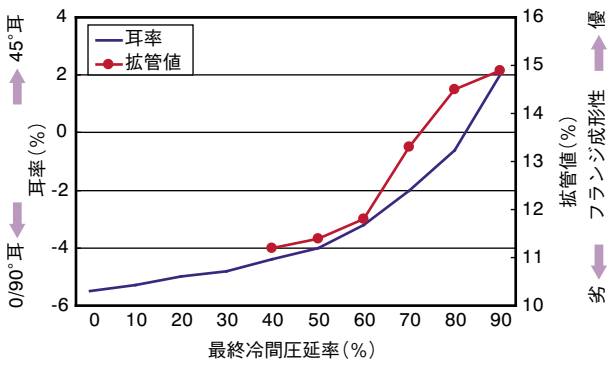


図8 最終冷間圧延率と耳，フランジ成形性の関係
Fig.8 Relationship between final cold rolling reduction and flange formability.

2.2 缶蓋およびタブ材料

2.2.1 合金組成および製造工程

缶蓋材にはビール，炭酸飲料といった内圧がかかる陽圧缶およびタブ材にはMgを4~5%含む5182材が，コーヒー等の若干の負圧になっている陰圧缶にはMgを2.5%程度含む5052材が主に使われてきていた。近年では強化元素としてCrではなくMnに置き換えた5021材も使用され始めている。この場合，同じAl-Mg-Mn系である5182材と肩が共用できるメリットがある。表3に成分規格をまとめたものを示す。

缶蓋材の製造工程は，国内のほとんどが中間CAL工程である。熱間圧延までは缶胴材と同様のプロセスを経て製造されるが，その後冷間圧延の途中工程で連続焼鈍ライン (Continuous Annealing Line) で中間焼鈍が施される。その後再び冷間圧延が施された後塗装ラインでフラット矯正，下地処理，塗装焼付等が施される。

2.2.2 缶蓋材料の要求特性とフルフォームエンド対応

図9に蓋の成形工程を示す。最初にブランキングされた後シェル成形される (No.1)。この後，外周部をカールさせるカーリング工程 (No.2) を経た後シーリング用コンパウンドの塗布焼付が行なわれる (No.3)。次いでコンバージョンプレスにてリベット加工，スコア加工，タブ加工，タブ付け等が行なわれる (No.4)。缶蓋材はリベット成形性，開口性，フェザリング性，耐圧強度，耐食性等が要求される。また近年では塗料の水性化が進行しており当社ではこれに対応した合金組成，製造工程の見直し

表3 缶蓋材およびタブ材の合金規格
Table 3 Chemical composition specifications of alloys for can end and tab stocks. (mass%)

合金名	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
5182	0.20	0.35	0.15	0.20-0.50	4.0-5.0	0.10	0.25	0.10	bal.
5052	0.25	0.40	0.10	0.10	2.2-2.8	0.15-0.35	0.10	-	bal.
5021	0.40	0.50	0.15	0.10-0.50	2.2-2.8	0.15-0.35	0.15	-	bal.

注) 範囲を示していない数値は許容限界値を示す

No.	成形加工内容	形状
1	ブランキング	ブランク
	シェル成形	アンカールシェル
2	カーリング	カール シェル
3	コンパウンドライニング	コンパウンド
4	リベット成形 タブ成形 スコア成形	タブ リベット エンド

図9 缶蓋の成形加工1)
Fig.9 Schematic diagram of end forming process.

を行なってきた。

缶蓋の軽量化には縮径化の影響が大きい，それ以外にもフルフォーム化による形状的な耐圧強度向上効果によるゲージダウンも大きく寄与している。図10に従来型エンド形状とフルフォームエンドの形状の比較を示す。ただし従来の材料を使用した場合，フルフォームエンドは内圧により反転した際，カウンターシンク近傍で亀裂が発生する確率が高い問題があった。

図11には5182ベースでFe量と，耐亀裂性の代替評価である曲伸強度の関係を η ，またこれを晶出物個数で整理しなおしたものを図12に示す η 。図13には最終冷間圧延率と曲伸強度の関係を示す η 。晶出物の増加，最終冷間圧延率の増加により内圧による反転時の耐亀裂性が悪化することが分かる。これらはそれぞれ曲げ加工時の晶出物間の亀裂伝播性，不均一変形の影響によるものであると考えている。よってフルフォームエンド用としては不純物を規制し最終冷間圧延率を低減化することが有効であり，更に工業的にはMg，Cuといった固溶強化成

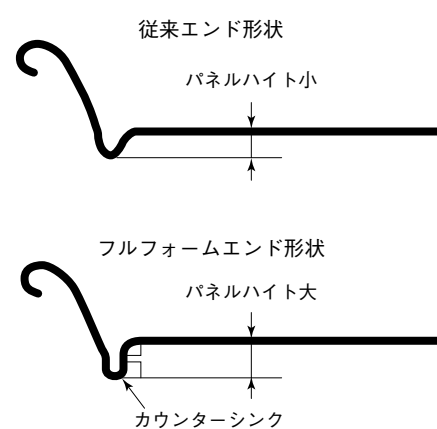


図10 エンド形状
Fig.10 Cross sections of end.

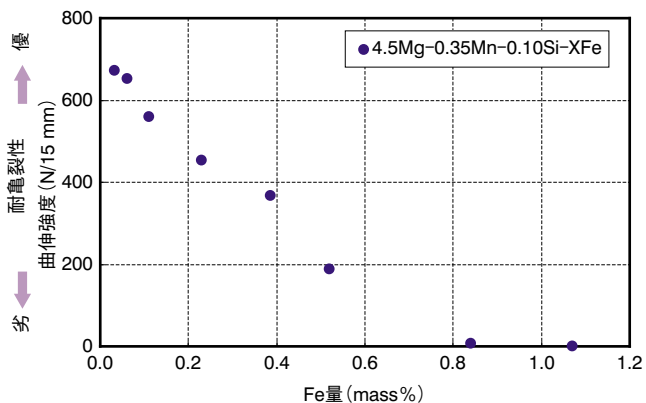


図11 Fe量と曲伸強度との関係
Fig.11 Relationship between Fe content and bend-stretch strength.

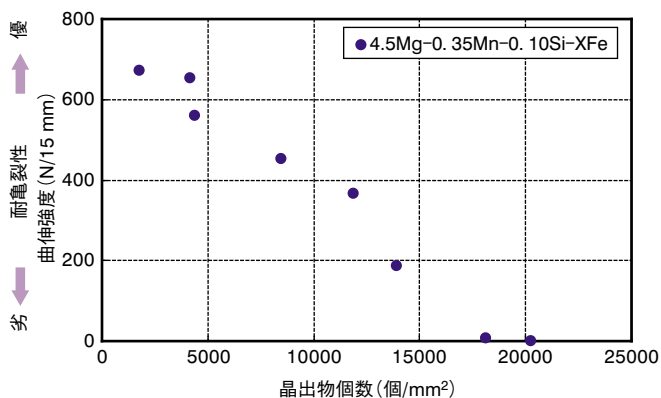


図12 晶出物個数と曲伸強度との関係
Fig.12 Relationship between the number of second phase particles and bend-stretch strength.

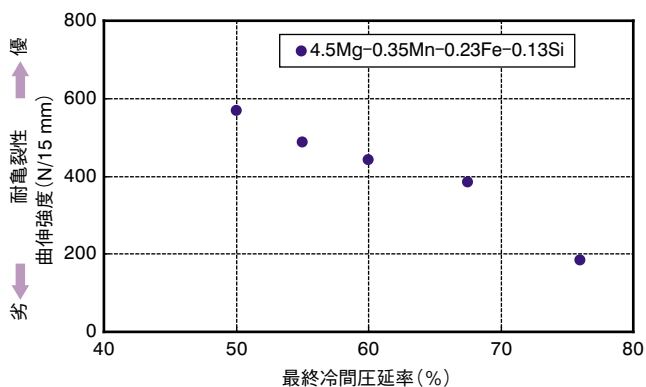


図13 最終冷間圧延率と曲伸強度との関係
Fig.13 Relationship between final cold rolling reduction and bend-stretch strength.

分を増量することで、従来材と同等強度とし耐圧強度を確保しながら内圧による反転時の耐亀裂性が良好な材料を提供している。

3. 今後のアルミニウム缶の動向

日本市場における縮径化は一部を除けば204径(2+4/16インチ)にとどまっており、海外のような極端な縮径化が進むきざしは見られていない。むしろ機能や

意匠性で差別化を図ろうとする動きがみられ、代表的なものについて以下に列記する。

3.1 ラミネート缶

ラミネートしたアルミニウム板から製造される2ピース缶(図14に示すaTULC)が登場している。ラミネートには両面に押し出しコートする方式(DEC)が採用されている。この缶はドライ成形することにより洗浄工程を省き、塗装焼付等も省略できるため環境負荷が極めて少ない特徴を有する。またラミネートしているためフレーバー性に優れ、ビスフェノールA等の有害物質の溶出が無く、更に突き刺し強度が高い特徴を有しているため容器特性も高く評価されている⁸⁾。

3.2 ボトル缶

近年のPETボトルの台頭に対抗しアルミニウム缶にもリシール機能をもたせたボトル缶が登場している。これには図15に示す缶胴と缶底が別ピースになっているニューボトル缶⁹⁾と、図16に示す缶胴と缶底部が一体となっているTD缶がある¹⁰⁾。ニューボトル缶についてはPETフィルムをラミネートしており環境面や内容物の保護面に優れている。開発当初28φのキャップが使われていたが現在ではTD缶と同じ38φのキャップ仕様のもので存在する。またアルミニウム缶ではないが、コーヒー用にTULCベースにリシール機能を持たせた図17に示すTEC200が開発され、これにもアルミニウム製の38φキャップが使用されている。

これらの缶は金属缶がもともと持っている優れた遮光性、耐酸素透過性に加え、PETボトルと同等のリシール機能を持たせたことが評価され、市場での伸びが著しく今後も更に伸びていくものと考えられる。更にこれらの影響でキャップ材の使用量が増えていくものと考えられる。

3.3 異形缶

低アルコール飲料に採用されて大ヒットとなった図18に示すダイヤカット缶に代表されるような異形缶が近年増加傾向にある。他にも図19、図20に示すような



図14 aTULC (2ピースラミネート缶)
Fig.14 aTULC (two-piece laminated can using extrusion coatings).



図15 ニューボトル缶
Fig.15 New bottle can.



図16 TD缶
Fig.16 TD can.



図17 TEC200
Fig.17 TEC200.



図18 ダイヤカット缶
Fig.18 Diamond cut can.



図19 スパイラルビード缶
Fig.19 Spiral bead can.



図20 FP缶
Fig.20 FP can.

スパイラルビード缶, FP缶が市場に出ており今後もこういった意匠性を重視した缶が出てくる傾向は続くものと思われる。

4. おわりに

アルミニウム缶は従来の縮径化等による薄肉軽量化から環境問題や新機能, 意匠性を重視した新しい容器への志向が高まっている。当社はユーザーのニーズに応え, これら新容器用に素材開発を進めアルミニウム缶の進歩に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 大西健介：アルミニウムの製品と製造技術, 軽金属学会50周年記念事業実行委員会記念出版部会編 (2001), 59.
- 2) 小山克己ほか：古河電工時報, no. 102, (1998), 76.
- 3) N.Hansen and D. J. Jensen : Met. Trans. A, **17A** (1986), 253.
- 4) A.Oscarsson, B. W. Hutchinson, and A. Karlsson : 8 Internationale Leichtmetalltagung, (1987), 531.
- 5) A. Karlsson, A. Oscarsson, B. Lehtinen, and W. B. Hutchinson : Homogenization and Annealing of Aluminum and Copper Alloys edited by H.D.Merchant et al., The Metallurgical Society, (1988), 99.
- 6) 広野浩己ほか：古河電工時報, no. 102, (1998), 81.
- 7) 鈴木覚ほか：古河電工時報, no. 104, (1999), 94.
- 8) 今津勝宏ほか：塑性と加工, **45** (2004), 979.
- 9) 橋本浩二：包装技術, **39** (2001), 509.
- 10) 大橋一郎ほか：包装技術, **38** (2000), 868.



鈴木 覚 (Satoshi Suzuki)
技術研究所



松本 英幹 (Hideki Matsumoto)
技術研究所 マネージャー



田尻 彰 (Akira Tajiri)
技術研究所 マネージャー



村松 俊樹 (Toshiki Muramatsu)
技術研究所 室長