

## オールリサイクル飲料用アルミボトル缶の開発と実用化

岩尾 祥平<sup>1\*</sup>・丸野 瞬<sup>1</sup>・澤谷 拓馬<sup>1</sup>・鈴木 貴史<sup>1</sup>  
古柴 学<sup>2</sup>・小嶋 駿介<sup>2</sup>・実末 一<sup>2</sup>・湯田 晃典<sup>2</sup>Journal of The Japan Institute of Light Metals, Vol. 75, No. 3 (2025), 172-176  
© 2025 The Japan Institute of Light MetalsDevelopment and practical application of  
all-recycled aluminum bottles for beveragesShohei IWAO<sup>1\*</sup>, Shun MARUNO<sup>1</sup>, Takuma SAWAYA<sup>1</sup>, Takashi SUZUKI<sup>1</sup>  
Manabu KOSHIBA<sup>2</sup>, Shunsuke KOJIMA<sup>2</sup>, Hajime JITSUSUE<sup>2</sup> and Mitsunori YUDA<sup>2</sup>**Keywords:** beverage cans; aluminum bottles; recycle; used beverage can; carbon neutrality

## 1. はじめに

国内のアルミ飲料缶のリサイクル率は約97.5%、「Can to Can」の水平リサイクル率は約73.8%<sup>1)</sup>と世界的にみても高く、アルミ飲料缶はサステナブルな社会に貢献している。一方で従来のアルミ飲料缶では、市場から回収したUBC（使用済み飲料缶：Used Beverage Can）をベースとしたリサイクル材に加えて、製缶性の観点から一定のアルミ新地金の配合により成分を最適化させた材料が使用されており、リサイクル材配合率の向上が課題であった。特に今回対象のアルミボトルは飲み口の口径が小さく、一般缶に比べてボディのネック加工（縮径加工）がより厳しい<sup>2)</sup>（図1）。ボディのリサイクル材配合率が高い場合、後述のように、材料のMg含有量が高くなるため加工硬化性が増加し、製缶時においてネック部の割れ等につながる課題があった。一方で、同アルミボトルのキャップには、成形性や製品としての性能確保のため、ボディとは異なる新地金ベースの材料が用いられてきた。

これらの課題に対して、今回リサイクル材適用のため材料面ではボディとキャップにそれぞれ最適な冷間圧延と焼鈍を組み合わせることでリサイクル材特有の加工硬化性を抑制し

成形性を改善するとともに、製缶面では例えばキャップ成形金型への表面処理適用などにより製品特性を確保した。これらの開発取り組みにより、ボディ/キャップを100%リサイクル材で同一合金化（ユニアロイ化）した初のオールリサイクルアルミボトルとして国内飲料メーカーに採用され実用化した（図2）。

## 2. 開発の概要

アルテミラ株式会社およびアルテミラ製缶株式会社、MAアルミニウム株式会社が属するアルテミラグループでは、UBCの回収から casting, 圧延, 製缶, キャップ製造に至るまで一貫してグループ内で実行できる強みを生かし、「Can to Can」の水平リサイクルシステムを構築し（図3）、これまでも循環型社会をリードしてきた。このたび、更なるアルミ飲料缶の循環利用促進とCO<sub>2</sub>排出量削減に貢献するべく、オールリサイクル飲料用アルミボトル（ボディ/キャップ）の開発と実用化に取り組んだ。

ここで、飲料缶などに使用されるアルミニウム素材の製造プロセスに関して、新地金の製造部分と圧延熱処理による板材の製造部分に分けて考えると、製造時のCO<sub>2</sub>排出量は前者の新地金の製造が大部分を占めている。これは地下資源からアルミニウムを金属として取り出す際の電解精錬プロセスで大量のCO<sub>2</sub>が排出されるためである<sup>3)</sup>。このように製造時CO<sub>2</sub>排出量の多い新地金に関して、電解精錬によって得られる新地金の代わりに、市場回収などのリサイクルによって得られたUBC等を再溶解し再生塊（再生地金）を製造することでアルミニウム素材製造時のCO<sub>2</sub>発生量は大きく抑えられる（図4<sup>4)</sup>。そこで今回の開発ではUBCをベースとした100%リ



図1 アルミボトルのネック成形

<sup>1</sup> MA アルミニウム株式会社 研究開発部（〒410-1127 静岡県裾野市平松85） Products Research and Development Department, MA Aluminum Corporation（85, Hiramatsu, Susono-shi, Shizuoka 410-1127）

<sup>2</sup> アルテミラ株式会社 技術統括部（〒323-0811 栃木県小山市犬塚1-30-3） Technology Department, ALTEMIRA Co., Ltd.（1-30-3, Inuzuka, Oyama-shi, Tochigi 323-0811）

\* 責任著者 E-mail: iwao@malco.co.jp

受付日：2024年12月3日 受理日：2025年1月26日



図2 オールリサイクルボトルの開発と量産化

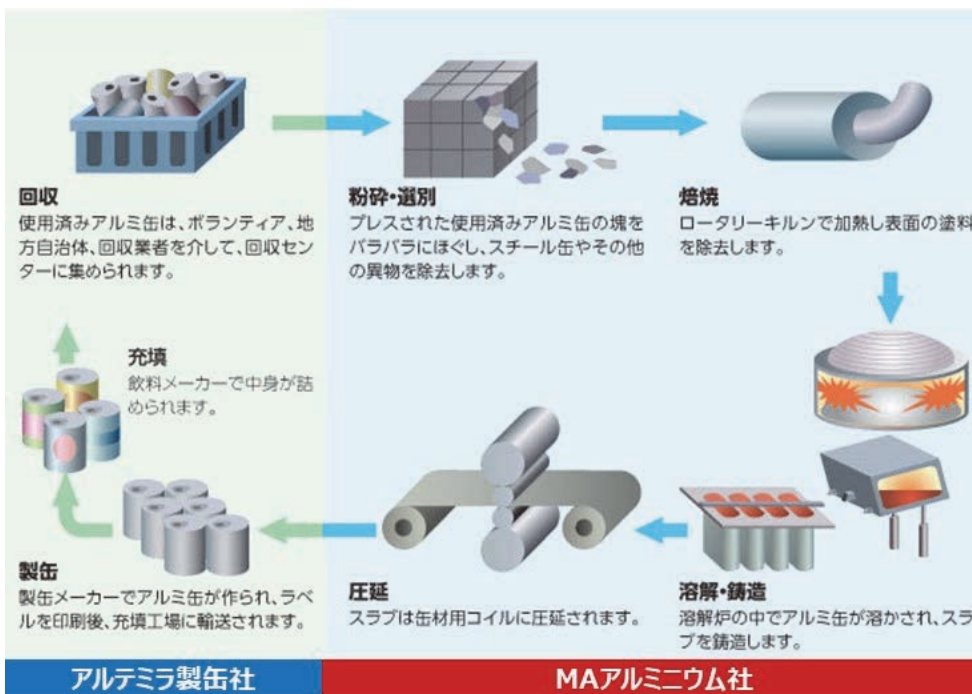


図3 アルテミラグループの「Can to Can」水平リサイクルプロセス

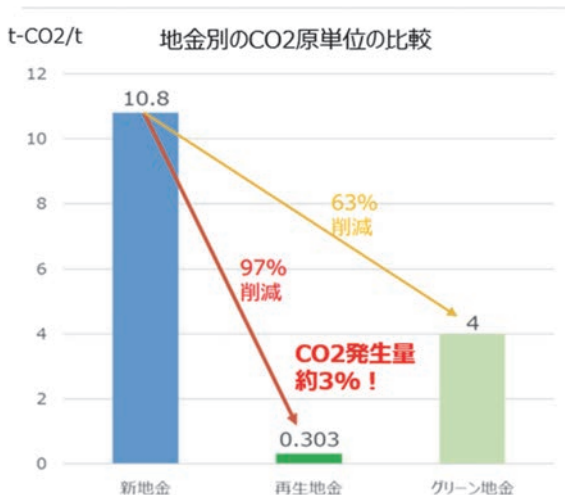


図4 地金別のCO<sub>2</sub>原単位の比較<sup>1)</sup>

サイクル材をアルミボトル（ボディ/キャップ）に適用することで省資源、省エネルギーなど環境負荷低減に貢献することを目指した。なお、リサイクル材は、市場から回収されるUBCをベースとして、製缶時に発生する工程内スクラップおよび板材製造時の工程内スクラップで構成される。

### 3. 技術課題と開発のポイント

#### 3.1 アルミボトルボディ

はじめにアルミボトルのボディに関して、リサイクル材を

適用する場合の技術課題について述べる。従来、ボトルのボディには製缶性の観点から、新地金の投入により成分を最適化させた3000系合金（Al-Mn系合金）の材料が用いられてきた。これに対して、今回の開発では同3000系合金ではあるものの、新地金を使用せずUBCベースのリサイクル材のみを原料とすることを目指した。ここで、アルミ飲料缶は一般的にボディとエンドの2ピースで構成されているが、エンドには成形性や製品物性を満足させるため、3000系合金に比べてMg添加量の高い5000系合金（Al-Mg系合金）の材料が適用されてきた。つまりアルミ飲料缶のエンドも含まれたUBCベースのリサイクル材を適用する場合、従来の成分調整されたボディ材の化学成分に比べて、材料中のMg含有量が高くなるため加工硬化性が増加し、特にネック部の縮径加工の大きいアルミボトルでは、製缶工程における当該ネッキング加工工程にて、当該部に割れなどの成形不良が多発する課題があった。

上記のリサイクル材活用による成形加工性低下の課題を解決するために材料面の改良について検討した。はじめにアルミボトル（ボディ）の製缶工程を図5に示す。アルミボトルは飲料缶向けに物性を最適化させたアルミ板材を打ち抜きカップを成形し、さらにDI加工（絞り加工としごき加工：Drawing and ironing）により細長い円筒形に成形する。その後印刷、塗装、焼き付けを経て、最終のネッキング加工では飲み口の縮径加工、キャップを巻き締めるためのネジ加工などを経て、最終的に1枚の板から飲料缶のボディ部分が成形さ

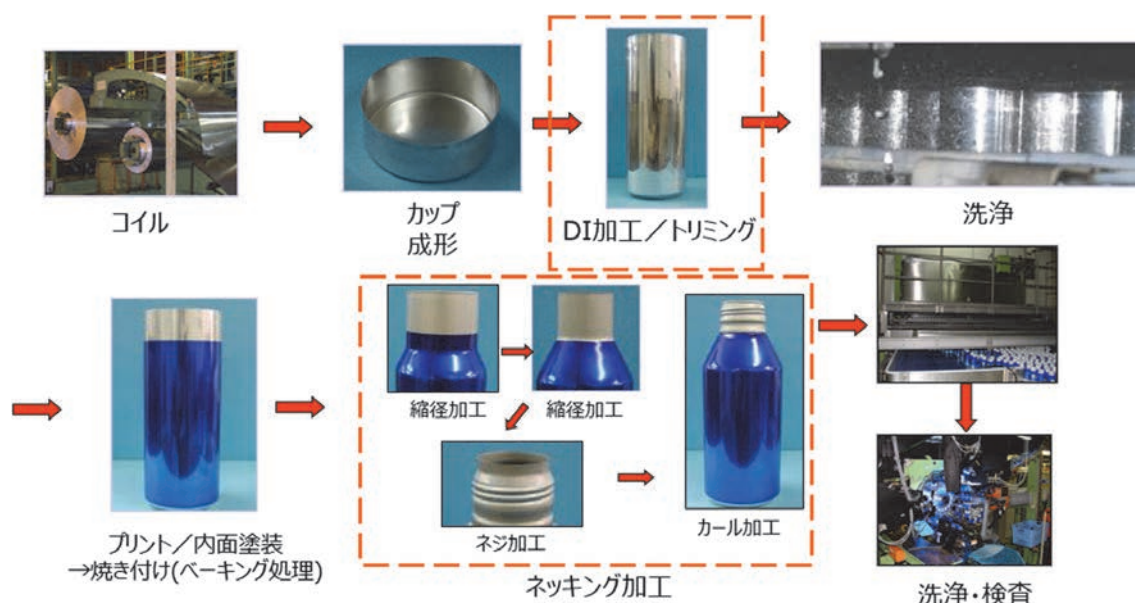


図5 アルミボトル（ボディ）の製缶工程

れる。大規模な生産設備にて大量かつ高速度で生産される飲料缶において、各製缶工程で不具合がないことが求められる。ここで図6に従来のボディ材とリサイクル材を適用したボディの製缶工程における強度変化をそれぞれ示す。従来材（黒線）で示されるように、素材強度からDI加工による加工硬化により材料強度が上昇するが、その後の塗装焼き付け処理にて200°C前後の熱が付加されることにより軟化した後、最終のネッキング加工に移行する。これに対して、よりMg含有量の高いリサイクル材をアルミボトルに適用すると（赤点線）素材自体が高強度化するとともにDI加工での加工硬化が著しく、その後塗装焼き付け処理による軟化はあるものの高い強度を維持したままネッキング加工に移行され成形不良につながる事がわかる。

そこで材料面からの改善を検討した。図7に一般的な飲料缶用材料の製造工程（圧延熱処理工程）を示す。飲料缶用の材料はスラブといわれる鋳塊から熱間圧延、冷間圧延を経て、板厚0.3 mm前後の板材となる。今回のリサイクル材では冷間圧延途中の所定の板厚において、適正な条件にて連続焼鈍（急速加熱冷却の熱処理）を付加する工程を適用させた。冷間圧延途中で焼鈍を付加することにより図6（赤線）で示されるように素材の強度を大きく低下させることができる。一方で、焼鈍温度が高温となるほど素材の強度低下効果は大きくなるものの、高温の焼鈍では材料中のMg, Si, Cuなど各添加元素のAlマトリクスへの固溶がより進むため、その後の製缶工程における200°C前後の塗装焼き付け処理において、これら固溶原子が材料に蓄積された転位の動きを制限し、所望の回復軟化が得られにくくなる<sup>5)</sup>。そこで今回は、素材強度の低下と製缶工程における塗装焼き付け時の回復軟化を両立するための最適な焼鈍条件を検討しリサイクル材に適用させることで従来アルミボトルと同等のネック強度を確保するに至った。

また飲料缶用材料の成形性に関して、DI加工等で耳といわれる材料の異方性に起因した端部のうねりが大きい場合、製缶中に除去欠けやちぎれた端部の製缶ラインへの混入など大きな問題を引き起こすことから、材料の集合組織を最適化さ

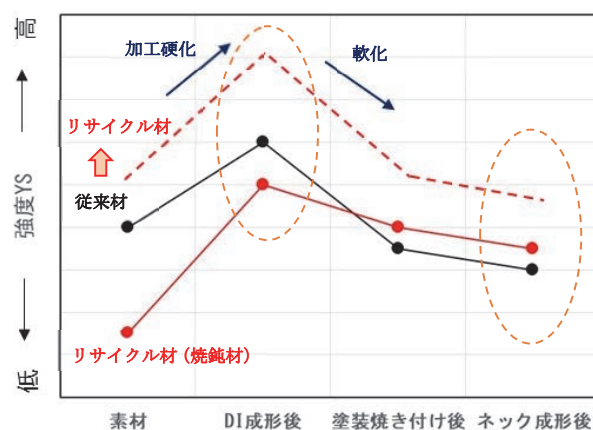


図6 製缶工程におけるボディの材料強度推移

せて耳を低減させることが一般に求められる。今回適用した冷間圧延途中の焼鈍付加は、材料の集合組織適正化にも寄与し成形性へのプラスの効果も考慮した。

またネック部の割れ抑制に関して、製缶メーカーであるアルテミラ株式会社にて製缶条件の最適化に取り組んだ。技術ポイントはネッキング加工中のトリム加工条件の最適化である。図5に示されるアルミボトルのネッキング工程において、縮径加工の後、不要となった縁部を切断除去するトリム加工が入る。今回ネック部の割れ原因を詳細に調べたところ、縮径加工時に生じた縁部の加工しわが起点となり、その後の加工で当該の割れに進展することがわかった（図8）。図9にネッキング加工時のしわ発生位置としわ深さの関係を示すが、加工しわは材料の圧延方向に対して、0°および45°位置に顕著に発生することがわかる。このようにトリム端部から離れた位置に発生した深いしわがトリム加工によって除去しきれず、割れの起点となる。そこで今回トリム加工条件の適正化に取り組み、割れの起点となる加工しわをトリム加工でしっかり除去することでネック部割れの抑制を達成した。

### 3.2 アルミボトルキャップ

従来アルミボトルのキャップには一般缶のエンドと同様に新地金ベースの5000系合金（Al-Mg系合金）が使われてきた。

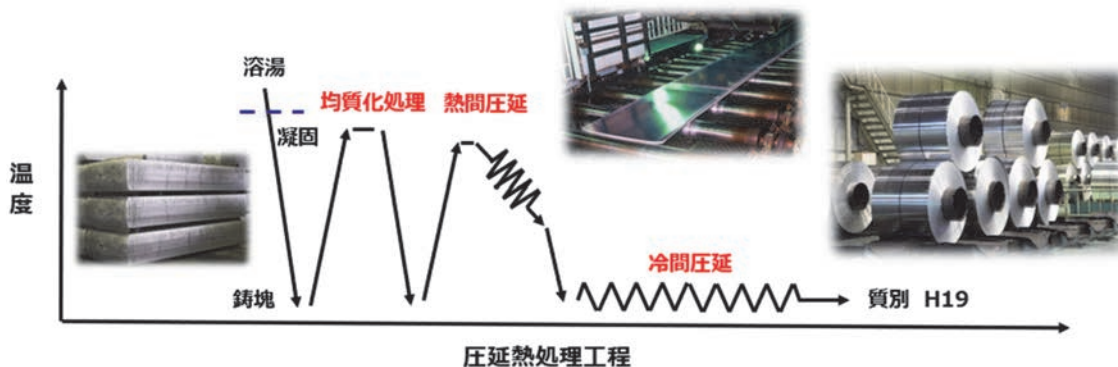


図7 飲料缶用材料の製造工程

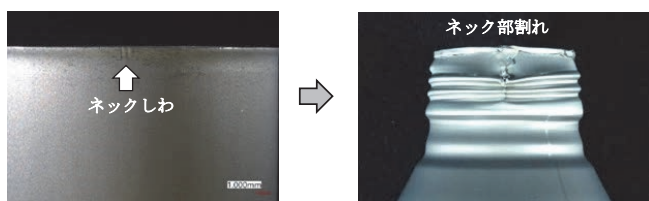


図8 アルミボトルのネック部割れ

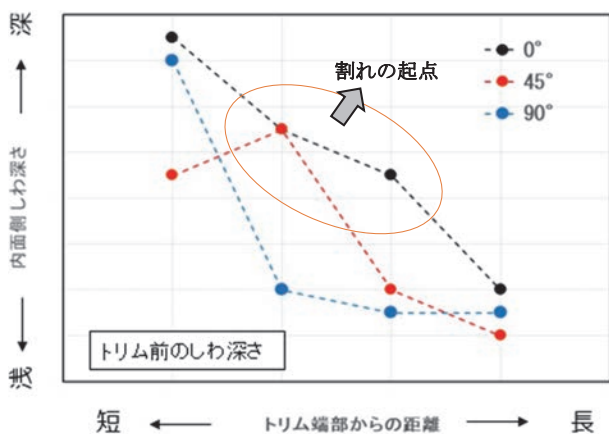


図9 アルミボトルの縮径加工時のしわ深さ



図10 リサイクル材適用キャップの耐圧試験前後の外観観察

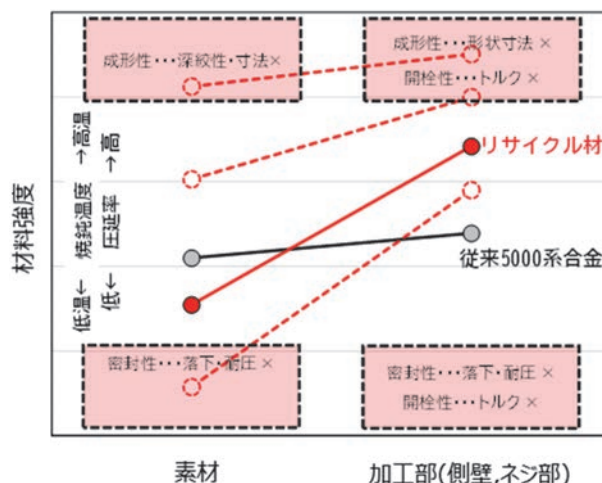


図11 キャップの素材および加工後の強度

今回はキャップにも3000系合金である100%リサイクル材を適用しボディとキャップをユニアロイ化することを目指した。キャップへのリサイクル材適用の技術課題として、1つ目はキャップの深絞り加工性およびキャップの耐圧性能の低下が確認された(図10)。また、2つ目としてキャップ成形時のトリム端部に従来キャップではみられなかった表面ザラツキが発生する問題が生じた。

まず1つ目の課題に対して、キャップ材の材料製造工程において、焼鈍工程と冷間圧延の最適な組み合わせを検討した。

図11にキャップの素材と加工後の材料強度を示すが、前述した同ボディ材と同様に、冷間圧延途中の所定の板厚において焼鈍を付加する製造工程を適用させるとともに、焼鈍温度と冷間圧延率を最適化することでキャップとしての深絞り性および耐圧強度、さらにはその他キャップ特性を満足する強度バランスを得ることができた。また製缶面から、キャッピング条件の最適化や内面塗料の変更など各種製缶条件を見直し、リサイクル材を使用した当該キャップに適用することで従来キャップと同等の製品特性を確保するに至った。

続いて2つ目の課題であるトリム端部のザラツキに関しては、トリム切断金型への表面処理により改善を試みた。図12および図13にトリム加工の概略図およびトリム端部の外観観察結果をそれぞれ示す。キャップはプレス機にてブランキング→絞り→トリムの一連の加工を経てキャップ形状が作られる。端部ザラツキの発生メカニズムは、トリム金型と材料間の摩擦力が大きいことにより、破断過程で当該部に強制的に伸び変形が生じるため、5000系合金の従来キャップ材に対して金属間化合物の多い3000系合金のリサイクル材では化合物を起点として破断が進むことにより端部ザラツキにつながるがわかった。そこで今回、当該金型へ特定の表面処理を施すことにより、加工摩擦を低減させて破断面の平滑化を達成した。

なお、従来アルミボトルのキャップには塗装の下地処理としてノンクロム下地 Super-Ecoat® (図14) を適用している。

Super-Ecoat<sup>®</sup>はクロムフリーで環境安全性に優れるとともに高耐食性や高密着性など高性能を有する独自技術である<sup>6)</sup>。

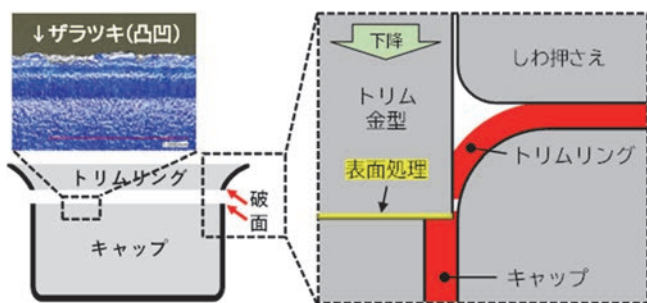


図12 キャップのトリム加工概略図

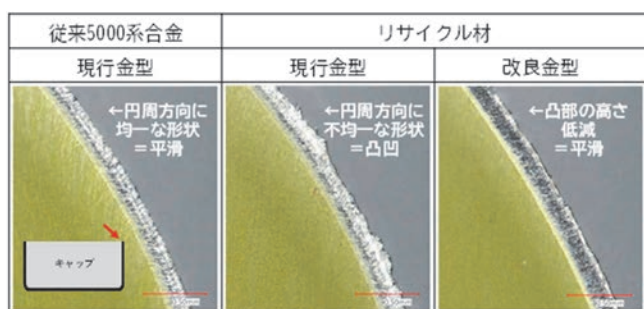


図13 キャップのトリム端部外観



※「Super-Ecoat<sup>®</sup>」はMAアルミニウム株式会社の登録商標

図14 高密着・環境対応型表面処理Super-Ecoat<sup>®</sup>

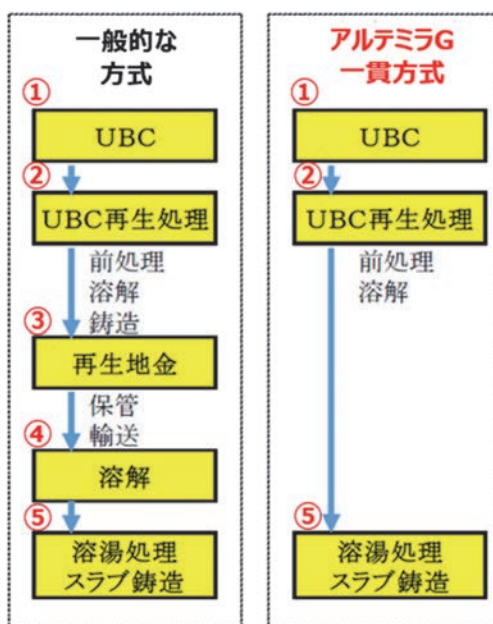


図15 アルテミラグループのUBC～スラバー貫りサイクルシステム

今回のリサイクルボトルキャップにも従来キャップ同様に下地処理としてSuper-Ecoat<sup>®</sup>を適用させた。

#### 4. 環境負荷低減の効果と今後の発展性について

アルテミラグループでは、回収したUBCから直接スラブを製造する国内唯一の一貫りサイクルシステムを有している(図15)。一貫りサイクル方式では、一度再生塊を経由してスラブを製造する一般的な方式に比べて、スラブ製造時のCO<sub>2</sub>排出量を大きく低減できる。今回開発を進めたオールリサイクルアルミボトルについても当該一貫りサイクル方式を適用した。

また、ボディ/キャップを100%リサイクル材でユニアロイ化したオールリサイクルアルミボトルは、従来のアルミ新地金を使用したアルミボトルに比べて、生産時1缶あたりのCO<sub>2</sub>排出量を約37%削減し、より環境負荷が少ないアルミ飲料缶として量産中であり、今後のさらなる拡大採用が見込まれている。

将来的に、飲料缶のボディとキャップおよびエンドの材料に関して、UBCベース組成でのユニアロイ化が進むことにより、回収UBCの再溶解時における新地金投入による成分調整が抑えられると考えられ、環境負荷の少ない「Can to Can」の水平りサイクルの更なる促進につながると期待される。

#### 5. まとめ

(1) ボディ/キャップ含めてすべて100%リサイクル材からなるオールリサイクル(リシール)飲料容器を国内で初めて量産化した。従来のアルミボトルに比べて、生産時1缶あたりのCO<sub>2</sub>排出量を約37%削減し、より環境負荷の少ないオールリサイクル飲料缶を実用化した。

(2) 材料面ではボディとキャップにそれぞれ最適な冷間圧延率と焼鈍条件を組み合わせることでリサイクル材特有の加工硬化性を適正に制御し、成形加工性を改善した。製缶面では例えばボディのネッキング加工におけるトリム条件改良やキャップの成形金型への表面処理の適用等により、オールリサイクル飲料缶の成形性および製品特性を確保した。

以上のように、製缶メーカーとアルミ素材メーカーの共同開発によりオールリサイクル飲料用アルミボトルの開発と実用化に貢献した。アルテミラグループの特徴でもあるリサイクルシステムに新たにキャップ製造も加わることで「Can to Can」を継続し、環境負荷の少ない製品の供給と使用拡大を進める。

#### 参考文献

- 1) Japan Aluminum Can Recycling association, recycle 2023 data. <https://www.alumi-can.or.jp/pages/98/>
- 2) H. Murakami, Y. Asai, M. Tanaka, Y. Kanou and O. Kume: J. Japan Inst. Light Metals, **68** (2018), 152-158.
- 3) T. Ohnishi: Journal of Japan Foundry Engineering Society, **69** (1997), 995-1002.
- 4) Japan Aluminum association, aluminum cans and environment. [https://www.aluminum.or.jp/global\\_warming/pdf/sustainable.pdf](https://www.aluminum.or.jp/global_warming/pdf/sustainable.pdf)
- 5) T. Kudo, H. Yoshida and H. Tanaka: J. Japan Inst. Light Metals, **72** (2022), 585-592.
- 6) K. Yamaguchi, M. Yamamoto, M. Ida, Y. Hanabusa and H. Muto: J. Japan Inst. Light Metals, **63** (2013), 118-124.