

## 機能性アルミニウムと循環型社会の実現に向けた技術開発\*

上田 薫\*\*

## Technology Development for Functional Aluminum and Realizing a Recycling-Oriented Society\*

Kaoru Ueda\*\*

## 1. はじめに

2015年12月にパリで開催された国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)において、2025年もしくは2030年の温室効果ガス排出削減の枠組み・目標となるパリ協定が合意された。これを受け、日本でも2050年のカーボンニュートラルを目指し、2030年に2013年比46%の削減、可能であれば50%の削減に挑戦すると発表されている。(2021.4.22)

このような状況の中、アルミニウム産業においても、CO<sub>2</sub>削減に向けた取り組みを行っている。アルミニウムは新地金を製錬する場合と比較して、その3%のエネルギーで再生地金を製造することが可能であることから、CO<sub>2</sub>削減に向けた取り組みとして、リサイクルを推進している。さらに、最終製品としての輸送機器に適用されることで、軽量化効果が得られ、使用中のCO<sub>2</sub>削減も期待できる。このように軽く、リサイクル特性に優れたアルミニウムは、適正に利用することにより、循環型社会に大きな貢献を果たすことが期待される。そのためには、リサイクルしやすい材料の開発や、リサイクルするためのスキームの構築、さらにはリサイクル技術の開発が必要となる。

## 2. 機能性アルミニウム材料

リサイクルしやすい材料の開発事例の一つにMONOBRAZE™がある。MONOBRAZEは、従来のろう付では2種類のアルミニウム合金を貼り合わせたクラッド材を用いていたのに対し、1種類のアルミニウム合金から成る単層の材料でろう付が可能なるろう付技

術である。従来から使用されているクラッド材は、接合加熱中に溶融せずに形状を維持する心材と、接合加熱中に溶融して部材間に流動し接合する皮材(ろう材)によって構成されている。心材と皮材の合金組成や構成比を適切に設計することにより、素材に単層の材料では困難な高機能を実現できる材料である。一方MONOBRAZEに用いる材料は、1種類のアルミニウム合金で構成されている。接合加熱中に材料全体を半溶融状態に保持し、部分的に発生した液相を利用して接合を実現する。半溶融状態における固相部分にクラッド材の心材の機能を持たせ、液相部分にクラッド材の皮材の機能を持たせる手法である。

MONOBRAZEでは、クラッド材を用いる必要がないため、素材製造コストを低減できるだけでなく、リサイクル性が向上する。従来のクラッド材を使用してろう付された製品をリサイクルする際に、心材とろう

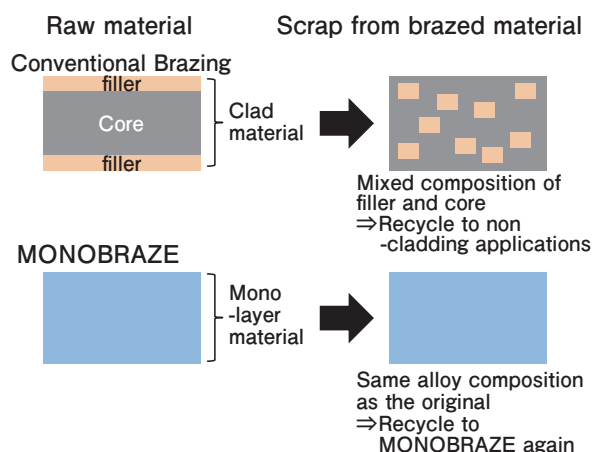


Fig. 1 Recycling process of conventional brazing materials (upper part) and MONOBRAZE (lower part)

\* 本稿の主要部はクリーンテクノロジー 32-1 (2022) 24-27 に掲載

The main part of this paper has been published in Clean Technology 32-1 (2022), 24-27.

\*\* (株) UACJ 財務本部 IR部

Investor Relations Department, Finance and Accounting Division, UACJ Corporation

材の合金成分を分離するのは非常に困難である。そのため、ろう付製品から回収されたスクラップ材を再びクラッド材には使えず、2種類の合金成分が混ざった組成でも許容可能な用途に転用される (Fig. 1 上段)。一方、MONOBRAZEでは単層材料を用いてろう付するため、MONOBRAZE適用製品から回収されたスクラップ材を再びMONOBRAZE用の材料として利用することが容易である (Fig. 1 下段)。そのため、MONOBRAZEではより高いレベルで素材循環が実現され、資源の有効活用と温室効果ガス排出量の低減が可能である。

また、新地金の使用量を削減した素材として、自動車ボディパネル用の低CO<sub>2</sub>リサイクルアルミニウム材料がある。これは、トヨタ自動車様と共同で開発した、製造時のCO<sub>2</sub>排出量を約50%削減した材料である。この材料には、リサイクル原材料として、①自動車メーカーで発生するプレス端材、②アルミニウム板材の製造工程で発生する端材を配合している。プレス端材は、同一成分のアルミ端材を分別回収・送付いただくことで、溶解・鋳造時に使用し、新地金の使用量を低減するものである。一方、製造工程で発生する端材は、ほとんどが社内で回収・リサイクルされていることから、ここでは、通常、鋳物などにカスケードリサイクルされる、前述のクラッド材を使用した。クラッド材をリサイクルの原材料に使用することにより、従来のボディパネル材と比較してリサイクル材は不純物成分が増加し、金属間化合物も増加する。粗大な金属間化合物が多数存在すると、成形性が低下するため、ボディパネルとしての適用は

困難である。そこで、製造工程を最適化し、金属間化合物を微細に分散させることで成形性改善を図った。ただし、従来材と同等までには至らず、トヨタ自動車様に形状の最適化をご検討いただき、新型MIRAIにご採用いただいている<sup>1)</sup>。

### 3. アルミニウムのリサイクル動向

アルミニウムはリサイクルの優等生と言われており、実際に製造されたアルミニウム製品の大部分はリサイクルされ、有効に使用されている。Fig. 2に2020年の日本におけるアルミニウムのマテリアルリフロー<sup>2)</sup>を示すが、用途としては輸送機器 (主に自動車) が最も多い。自動車に使われるアルミニウムは、自動車ボディシート等の展伸材も増えつつあるが、エンジンプロック等の鋳物、ダイカストが多いことが特徴である。国内でのアルミニウムスクラップの発生量は、アルミニウム製品生産量と比べて少ないが、これは自動車等のアルミニウムを使用した製品が輸出されることと、耐用年数の関係で製造と廃棄に大きな時間差があるためである。

アルミニウムスクラップはリサイクルされ、新しい製品に使用されるが、国内発生スクラップだけでは不足で、かなりの量が輸入されている。再生されて使用される用途としては、アルミニウム缶等のいくつかの例外を除くと大部分は鋳物、ダイカストであり、展伸材への展開は少ないのが現状である。この原因の一つは展伸材と鋳物、ダイカストにおける不純物の許容量

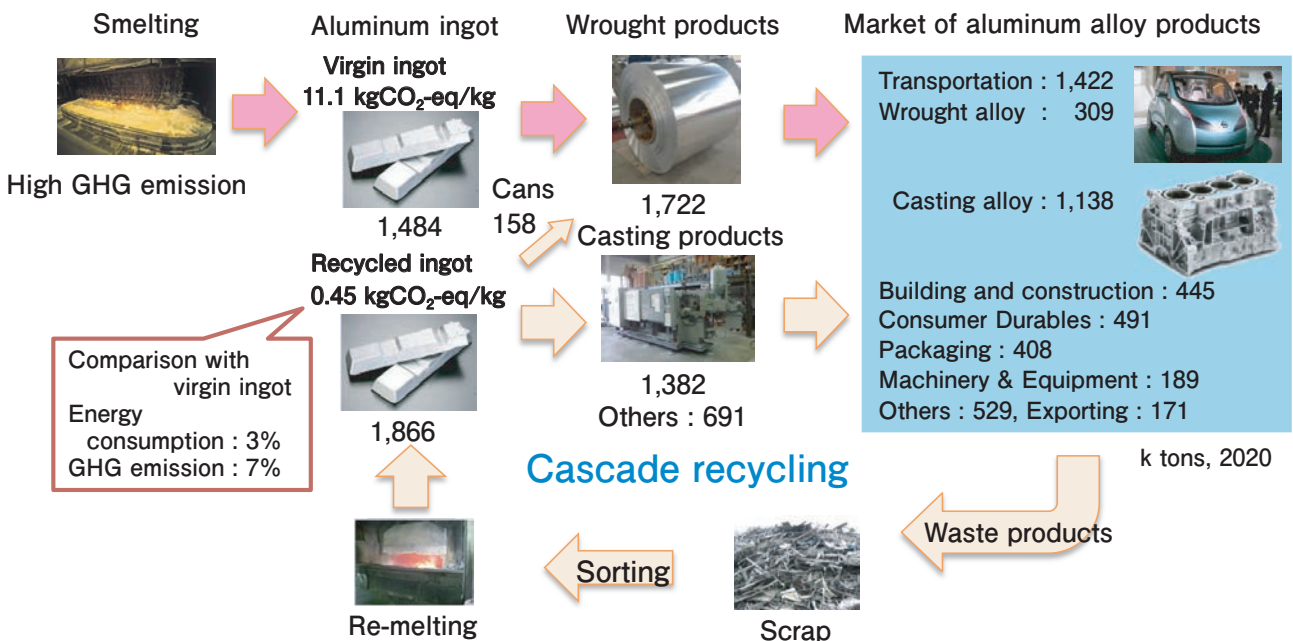


Fig. 2 Material flow of Aluminum in Japan

が異なることである。代表的な不純物であるFe, Siの例では、これらの元素は延性を低下させるため、それを必要とする展伸材では厳しく規制されるのに対して、鋳物、ダイカストでは溶湯の流動性や型離れを改善するために積極的に添加している。従って、展伸材と鋳物、ダイカストが混在するスクラップは鋳物、ダイカストには容易に展開できるが、展伸材に使用するためには厳密なスクラップの選別が必須となる。従って、現状では、展伸材スクラップも鋳物、ダイカストへ展開されるいわゆるカスケードリサイクルが成り立っている。近年、CO<sub>2</sub>発生量の削減が強く望まれており、今後は展伸材のリサイクルを進める必要がある。

### 3.1 アルミニウム缶のリサイクル

前述の通り、アルミニウム缶は展伸材としては例外的に早くからリサイクルされており、その要因を解析することは、今後、アルミニウム展伸材のリサイクルを進める上で有用である。Fig. 3<sup>3)</sup>にアルミニウム缶の最近のリサイクル率の推移を示すが、ほぼ90%以上のリサイクル率で推移しており、Can to Canの水平リサイクル率も70%程度と、非常に高い水準を示している。このように高いリサイクル率を維持しているアルミニウム缶のリサイクルのフローをFig. 4<sup>3)</sup>に示す。アルミニウム缶は自治体や学校などでの回収が多く、その後資源回収業者、二次合金メーカーを経て再生されている。このフローは経済原理的に成り立っており、まだCO<sub>2</sub>削減が注目される以前から存在している。これはアルミニウム缶スクラップの価値が高いことに起

因しており、最近の資源回収業者の買取価格を見てもアルミニウム缶は100円/kg程度と数円/kg程度であるスチール缶やペットボトルと比較して著しく高い。アルミニウム缶スクラップの価値が高い原因はいくつか考えられるが、特に①どのメーカーの缶であっても合金は同じで3104系のボディと5182系のエンドである②缶という外観が分かりやすく、分別、選別が容易である③生産されてから消費、廃棄されるまでの期間が短く、生産量に見合ったスクラップ量が確保できることが大きい。逆にアルミニウム缶以外の展伸材は、同一用途であっても製品ごとに細かく合金が分かれており、外観では分別、選別が難しく、製造されてから廃棄までの期間が長く生産量とスクラップ量が釣り合わないために、リサイクルが困難となっている。カスケードリサイクルが回っている鋳物、ダイカストでは不純物の許容量が多いことに加えて合金の種類が少ないことも有利に働いており、特にダイカストではADC12系の合金が全体の90%以上を占めており、合金の統一化が進んでいる。

### 3.2 自動車用アルミニウム材のリサイクル

前述の通り、鋳物、ダイカストのリサイクルは十分になされており、今後増えることが予想されているアルミニウムボディパネル等の展伸材のリサイクルを進めることが課題である。そもそも自動車ボディにアルミニウムを使うことの目的は、主に燃費を向上させ、走行中に発生するCO<sub>2</sub>を減らすことである。従って自動車製造も含めたLCAの観点からはアルミニウム

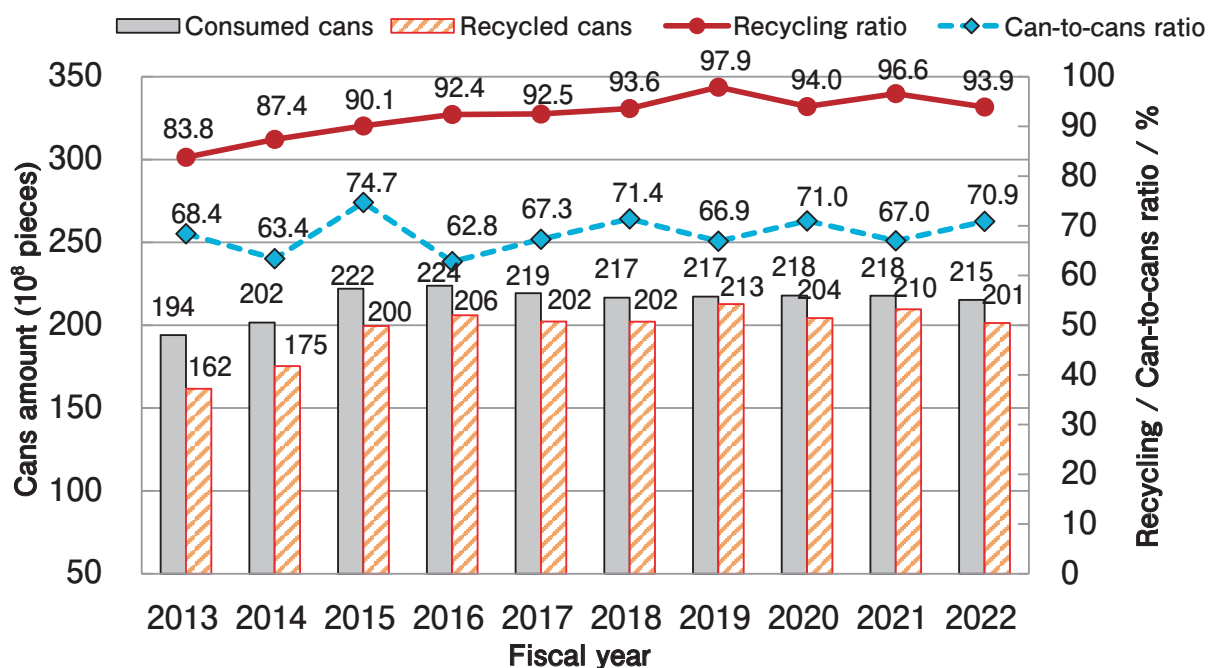


Fig. 3 Recycling ratio of Aluminum cans in Japan

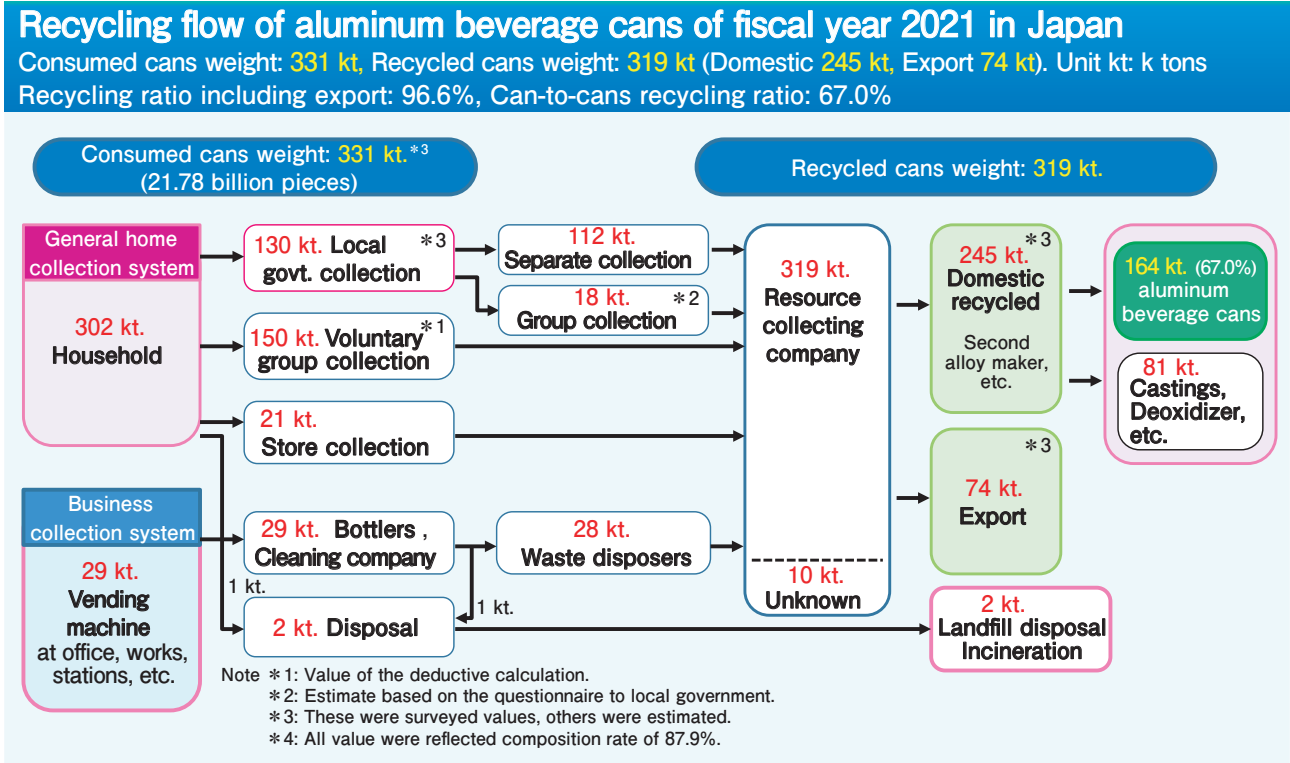


Fig. 4 Recycling flow of Aluminum cans in Japan

ボディパネルを製造する際に発生するCO<sub>2</sub>を削減することが欠かせず、その一例が前述のトヨタ自動車様のMIRAIに採用されたりサイクル合金である。自動車へのアルミニウムの適用が日本より先行している欧米では展伸材のリサイクルがより進んでおり、その例としてFig. 5<sup>4)</sup>にJaguar Land Roverの取り組みを示す。これは当面はプレス端材をリサイクルさせることで原料の50%を賄い、25%をアルミニウム缶スクラップ、将来的には廃車リサイクルで賄うことで新地金の比率を25%まで下げている。このシステムは市場に流通しない自動車のプレス端材や選別が容易な廃車からのスクラップが利用できるために成り立っている。

### 3.3 循環型社会実現に向けた技術開発

アルミニウム缶や自動車は展伸材の中ではリサイクルに適した特徴を有しているが、その他のアルミニウム展伸材のリサイクルは非常に困難であり、新たな発想による技術開発が必須である。今後自動車の電動化が進むと、今までのカスケードリサイクルを支えていた鋳物、ダイカストの比率が下がることが予想されており、展伸材への水平リサイクル、さらには鋳物、ダイカストスクラップを含む多種多様なアルミニウムスクラップから展伸材へ展開するアップグレードリサイクルシステムの構築が望まれる。その中心となるのは、多様なアルミニウムスクラップから展開できる統合さ

れたアルミニウム展伸材合金体系の構築である。この構想の元に2019年度から2020年度にかけてのNEDO先導研究、それに続く2021年度からのNEDO助成事業が業界全体として進められている。Fig. 6<sup>5)</sup>にNEDO先導研究の概略を示す。これは不純物の多い合金を、新たなプロセス技術で特性を向上させ、広い用途に汎用的に使用する構想であり、必ずしもすべての特性が現在の展伸材と同等になるわけではない。従って実際に使っていただくユーザー企業も巻き込み、要求特性を精査しつつ開発していく予定である。

現在のアルミニウムの用途として、航空機材、コンデンサ箔、メモリーディスク等、どうしても不純物を減らす必要がある製品がある。これらの製品に対しては、スクラップに含まれる不純物を取り除き、より高純度に精製する技術が必要である。それを受けてイオン液体を使ったハイアップグレードリサイクルの研究開発も実施されている。これは、イオン液体中にアルミニウムスクラップを溶解し、アルミニウムのみを電析させ、99.9%程度の高純度再生地金を精製させる技術であり、ISMAの革新的新構造材料等研究開発の中で研究開発が行われ、実用化に向けたさらなる進展が期待されている。

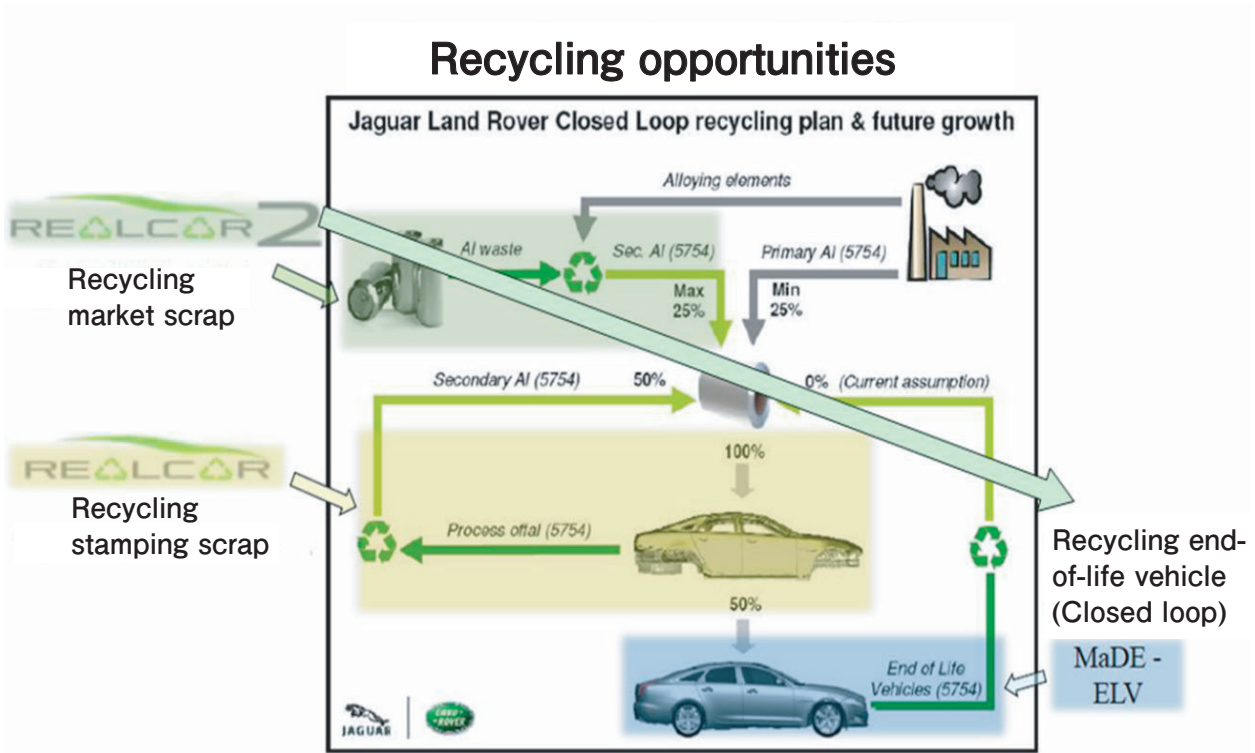


Fig. 5 Aluminum Recycling initiatives to Jaguar Land Rover

**Systematized techniques to enable use of recycled aluminum in wrought products**

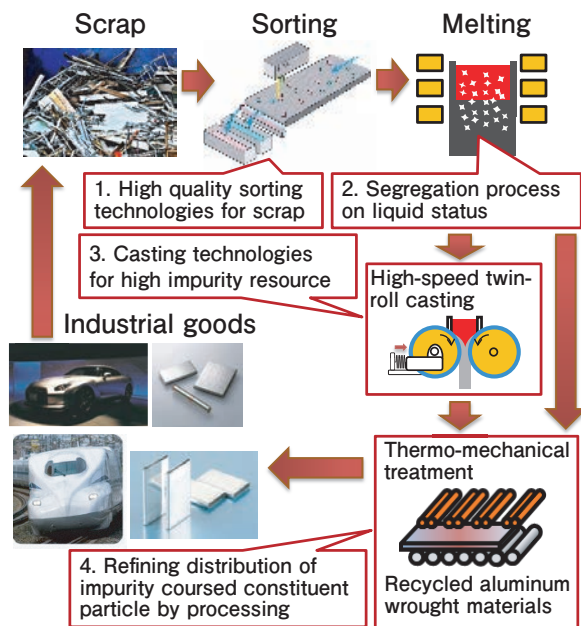


Fig. 6 Overview of Development of Advanced Recycling System for Aluminum Materials (2019-20 NEDO Feasibility Study).

4. おわりに

先日のCOP26では、各国の取り組みによって、今後の気温上昇2度未満が見えてきたと言われている。このような中で、我々は、軽量なアルミニウムの適用による市場でのCO<sub>2</sub>排出量削減に寄与するとともに、さらなるリサイクル率向上に向けた技術開発により、製造時におけるCO<sub>2</sub>削減を推進していきたい。

参考文献

- 1) 西川直樹, 増田勇也, 大竹和実, 蔵本 遼, 山崎裕貴, 永井健史: TOYOTA Technical Review, **66** (2021), 92-95
- 2) Shinji Kumai: Materials Transactions, **64** (2023), 319-333
- 3) アルミニウム缶リサイクル協会HP <http://www.alumi-can.or.jp/publics/index/62/>
- 4) Materials in car body engineering 2017
- 5) 日本アルミニウム協会 アルミニウム VISION 2050



上田 薫 (Kaoru Ueda)  
(株)UACJ 財務本部 IR部