

## アルミニウム合金製車両のリサイクルに関する取り組み\*

高谷 舞\*\*, 森 久史\*\*\*, 箕田 正\*\*\*, 加藤 勝也\*\*, 田中 宏樹\*\*\*\*

## Initiatives for Recycling Aluminum Alloy Vehicles\*

Mai Takaya\*\*, Hisashi Mori\*\*\*, Tadashi Minoda\*\*\*,  
Katsuya Kato\*\* and Hiroki Tanaka\*\*\*\*

## 1. 緒言

アルミニウム合金製車両の生産量は年々増加しつつあるが、耐用年度を過ぎた車両の廃車数も増加しつつある。鉄道事業者では、耐用年度を過ぎた廃車車両は海外譲渡するか、廃棄手続き後に切断して業者に引き取ってもらっていた。しかし、近年では、社会的なりサイクルの取り組みの重要性から、部品等のリユースや構体材料の再生材料(再溶解材とする)の活用が行われるようになってきた。

本稿では、鉄道事業者の考え方、鉄道車両材の考え方、車両の運用とライフサイクルアセスメントについて簡単に説明し、鉄道事業者におけるリサイクルの重要性を示した。その後、リサイクルの一例として、廃車材の再溶解に関する検討、東京メトロでのリサイクルに関する取り組み、東京メトロで実施した東西線リサイクル車両の運用について紹介した。

## 2. 鉄道事業者におけるリサイクルの重要性

## 2.1 鉄道事業者の考え方

鉄道では車両の軽量化を目的として、車体構造にアルミニウム合金が使われるようになった。現在の高速車両(新幹線)では車体構造のすべてにアルミニウム合金が使われており、在来線車両ではその半数がアルミニウム合金を使った車両(以降、アルミニウム合金製車両とする)である。このようにアルミニウム合金製車両の生産量は年々増加しつつある。その一方、耐用年度

を過ぎたアルミニウム合金製車両の数も増加しつつある。鉄道事業者は、廃車車両を車両工場において裁断し、アルミニウム合金の屑として専門メーカーに買い取ってもらう方法を取っている。その中で、アルミニウム合金製車両の保有数が最も多い東京メトロ(旧営団地下鉄)では、車両に使われたアルミニウム合金のリサイクル化を本格的に検討しはじめ、1990年代から車両構体のアルミ化とともにリサイクル・リユースについて検討していた。以降、関東私鉄や一部のJRは、社会的なりサイクル・リユースの取り組みの一環として、ガイドラインの要望事項にリユース・リサイクルを盛り込むようになり、再生資源、再生材料の活用が望まれている時代となってきた<sup>1)</sup>。

## 2.2 車両の運用とライフサイクルアセスメント(LCA)

車両は、製造後に運用され、計画廃棄年(耐用年数:新幹線では20年使用)になれば、運用を取りやめて廃棄される。その後は、解体業者に引き渡されて、分別・屑化され、売却されていた。しかし、アルミニウム合金は、ライフサイクルで考えると、極めて有効な材料になる。例えば、再生地金を使用することによって、消費エネルギー及びCO<sub>2</sub>排出量が、新地金使用時と比べて大幅に減じられるというメリットが認められる。

鉄製車両とアルミニウム合金製車両の製造時のCO<sub>2</sub>排出量について解析を行った結果がFig. 1である。Fig. 1は、0系及び100系新幹線(鉄鋼製)及び300系新幹線(アルミニウム合金製)のCO<sub>2</sub>排出量の影響を計算した結果である。CO<sub>2</sub>排出量の計算には文献の原単位を用

\* 本稿の主要部分は、アルトピア, 52-5 (2022), 12-16 に掲載。

The main parts of this paper has been published in ALUTOPIA, 52-5 (2022), 12-16.

\*\* (株)UACJ マーケティング・技術本部 R&amp;Dセンター 第一研究部

Research Department I, Research &amp; Development Center, Marketing &amp; Technology Division, UACJ Corporation

\*\*\* (株)UACJ マーケティング・技術本部 R&amp;Dセンター 第一研究部 博士(工学)

Research Department I, Research &amp; Development Center, Marketing &amp; Technology Division, UACJ Corporation, Ph. D. (Eng.)

\*\*\*\* (株)UACJ マーケティング・技術本部 R&amp;Dセンター 第一研究部 博士(工学)

Research Department I, Research &amp; Development Center, Marketing &amp; Technology Division, UACJ Corporation, Dr. Eng.

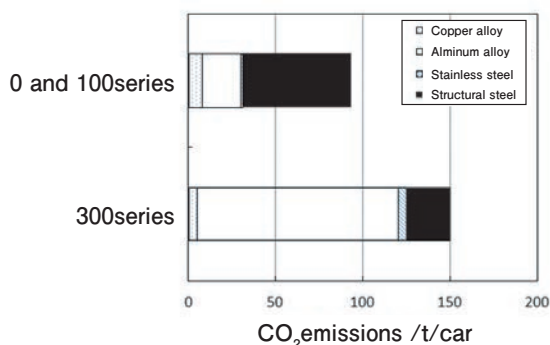
いた<sup>2)</sup>。走行時のCO<sub>2</sub>排出量は、0、100及び300系新幹線ではほとんど変化なく、構体の素材には関係なく、走行速度に影響することがわかった。しかし、製造時にCO<sub>2</sub>排出量は300系新幹線が0、100系新幹線よりも多く認められ、鉄系車両に比べてアルミニウム合金製車両が製造時に排出するCO<sub>2</sub>は大きいことになる。これは、アルミニウム合金の素材の製造段階で、CO<sub>2</sub>排出量が鉄に比べて大きいためであることが推察される。



(a) 0 series Shinkansen



(b) 300 series Shinkansen.



(c) CO<sub>2</sub>emissions per railway vehicle manufacturing.

Fig. 1 Comparison of CO<sub>2</sub> emissions per manufacturing 0, 100 and 300 series Shinkansen.

ここで文献<sup>3)</sup>を参考にし、用いるアルミニウム合金に、リサイクルによる再地金を活用すると見込めば、車体の製造時におけるCO<sub>2</sub>排出量が削減できることになる。従って、リサイクルを行って再地金が適用できれば、アルミニウム合金のリサイクル性の優位性がさらに認められると考えられる (Table 1)。

### 2.3 鉄道車両構体材料について

鉄道車両の構体に用いられる材料、特にアルミニウム合金については、Fig. 2に示すように、引張強度、耐力等の特性が必要になる。また、近年ではメンテナンス性に示される、材料のリサイクル性、イニシャルコストに関する機能に示される、環境負荷コストも機械的特性と同様に重要な課題になっている。

ここに示されているリサイクル性や環境負荷コストについては、特にJISでは具体化されておらず、車両メーカーや鉄道事業者の仕様によって異なってくる。そこで、材料供給にあたり、車両メーカーや鉄道事業者と設計段階で議論しておく必要がある。

## 3. リサイクルの取り組みの紹介

### 3.1 廃車材の再生リサイクルの取り組み<sup>5)6)7)</sup>

廃車材について最初に再生リサイクルが取り組まれたのは、営団地下鉄(現、東京メトロ)廃車材の再地金の作製から始まる<sup>5)</sup>。この時は5083、6005C、7204の分別が極めて難しかった他、再溶解の際に再地金を作製する際に、新地金の大量使用が問題となった。そのため、車両材への展開は難しいと判断され、ADC12やAC2Cの casting 品に再溶解され、自動車の casting 部品に再利用された。また、札幌地下鉄もリサイクルによる合金再生の試みが行われた<sup>6)</sup>。

札幌地下鉄では、基本構体である7204の押出材の廃棄屑を溶解して再生塊とし、再生塊に成分調整を行って、7204の再生材を作製するものであった。屑を溶解して得た再生塊の成分分析結果をTable 2に示す。屑を溶解して得た再生塊の成分はFe、Cr、Znが規格値から離れていることが分かった。そこで、再生材の作製に向けて、新地金を配合して成分調整が行われた。その結果、7204相当の材料として再生することが可能

Table 1 Comparison of energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions of new and recycled aluminum alloy ingots.

	New ingot	Recycled ingot
Energy per 1000kg (MJ)	140.9	1.32
CO <sub>2</sub> emissions (kg)	9.218	0.31

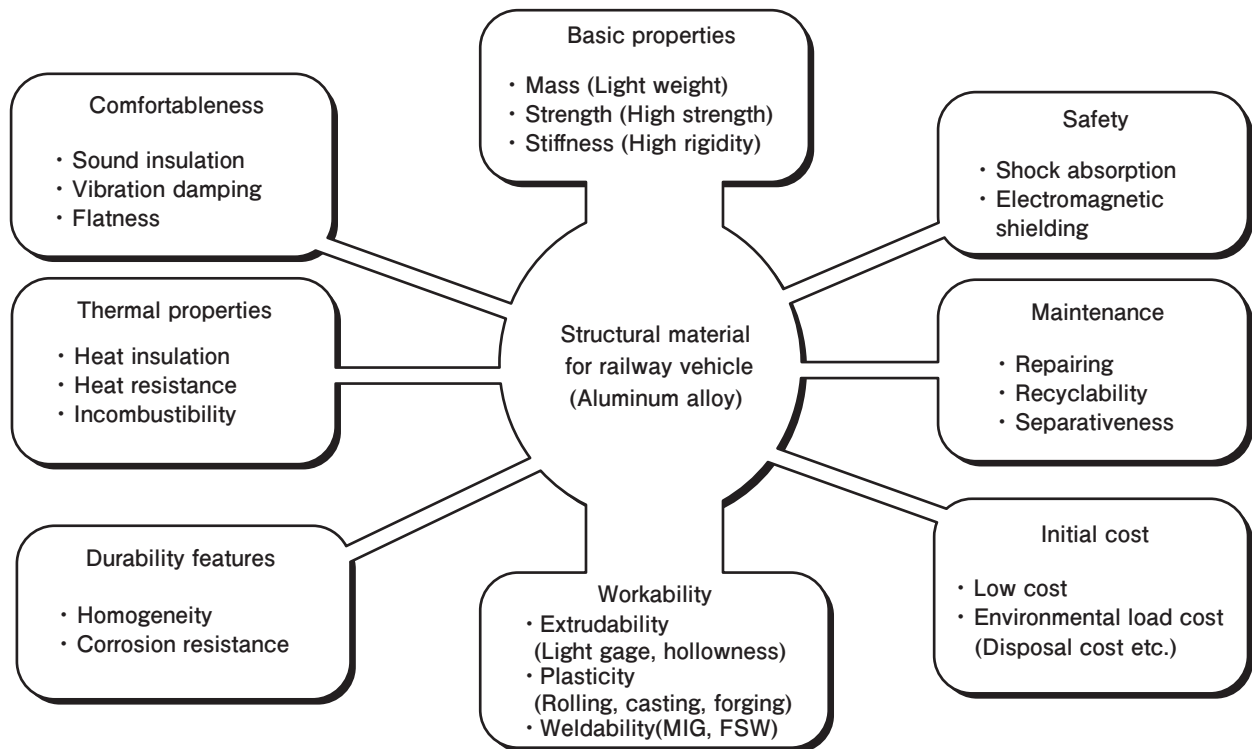


Fig. 2 Requirements of material properties for aluminum railway vehicles<sup>4)</sup>.

Table 2 Chemical composition of re-melted alloy on Sapporo subway and 7204 JIS standard<sup>6)</sup>.

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	V
Sapporo subway	0.13	0.46	0.07	0.35	1.09	0.40	2.49	0.07	0.05	0.01
JIS standard	≤ 0.30	≤ 0.35	≤ 0.20	0.20-0.7	1.0-2.0	≤ 0.30	4.0-5.0	≤ 0.20	≤ 0.25	≤ 0.10

となったが、屑からの再生が高々7%～8%であり、調整に対して92～93%の新塊を投入する必要がある、屑の再生利用は実用に対して難しいと判断された。

### 3.2 構体材からの再生材の研究

東京メトロでは、初期型の車両および中期型の車両の再生について研究を進めてきた。検討初期には、前述したように、溶解、調整において様々なブレイクスルーすべき課題があったが、現在では、基礎研究によって得られた知見から、高品質の鋳物材の再利用材が得られている。しかし、展伸材から展伸材へのリサイクルは、いまだ、困難である。

#### (1) 初期型の車両(7204, 5083がベースの車両)

7204を多く含む台枠部位と5000系アルミニウム合金を多く含む側・妻構体・屋根構体に2分割して解体・分別。これに大量の新地金を混ぜて成分調整。これにより、台枠、側・妻体・屋根構体部材は5000系・7000系ダイカスト材、側・妻体・屋根構体は5000系高品質鋳物材として再利用されている。

#### (2) 中期型の車両(7204, 6005Cがベースの車両)

7204を含む台枠と6005Cを多く含む台枠(中央)、側・妻体・屋根体に5分割して解体・分別。これに少量の新地金を混ぜて成分調整。これにより、台枠(両端)は7000系ダイカスト材、台枠(中央)、側、屋根構体は6000系高品質鋳物材、妻構体は5000系高品質鋳物材として再利用されている。

### 3.3 リサイクル車両の開発

東京メトロでは、構体材料の再生化とともに、車両部品のリユースの検討も進めていた。

Fig. 3は東京メトロ 東西線 第24編成車両であり、「アルミ・リサイクルカー」と呼ばれている車両であった。前面および側面にアルミ・リサイクルカーのステッカーが貼られており、鉄道車両の装飾で元素記号が示された初めての事例である。

この車両は、東西線5000系5453号の廃車(1993年8月)に伴い、回収されたアルミニウムの内装品等を再び車体各部の部材として再利用したものである。再利用された部品は、吊り手棒受け、荷棚支え材、腰掛受け、

屋根上冷却系シールゴム受け、屋根構体縦桁、屋根構体垂木、ラインディア受け、床下機器吊り枠であった。これらの再利用にあたり、部材部品の残留強度、残留機能、疲労特性等について調査し、大きな経年劣化が認められなかったことから適用された。

#### 4. 検討中のプロジェクト

2020年にハリタ金属がLIBS（レーザー誘起ブレイクダウン分析法）を使用して車体材の回収後の分別を行い、廃車された700系新幹線電車のダブルスキン構体からN700系の荷棚へ水平リサイクルするプロジェクトが示された<sup>7)</sup>。Fig. 4に当該プロジェクトの5000系及び7000系の再溶解の状況を示した<sup>7)</sup>。現在、リサイクル率は十分ではないが、これからの技術開発によって大きく期待が持てると考えられる。

#### 5. まとめ

アルミニウム合金製車両およびそれら部品の廃車および廃棄に伴うリサイクルについて、旅客鉄道会社側でも、車体開発と同様に今後の重要な課題となっている。そこでは、東京メトロで行われているような再溶解材の開発やアルミニウム合金製部品のリユースの限界について検討していく必要があると考えられる。特に再溶解材の開発では、展伸材から展伸材への展開に強く期待が持たれており、今後の課題になると考えられる。

本稿主筆の森 久史氏は、2023年5月31日に急逝された。関係各位の生前のご厚情に深謝するとともに、氏の多大な功績を偲び、ご冥福を心よりお祈りする。



Fig. 3 Tokyo Metro Tozai Line 05 series vehicle and the sticker on the vehicle sides. (source : Tokyo Metro Co., Ltd. and Japan Aluminium Association)

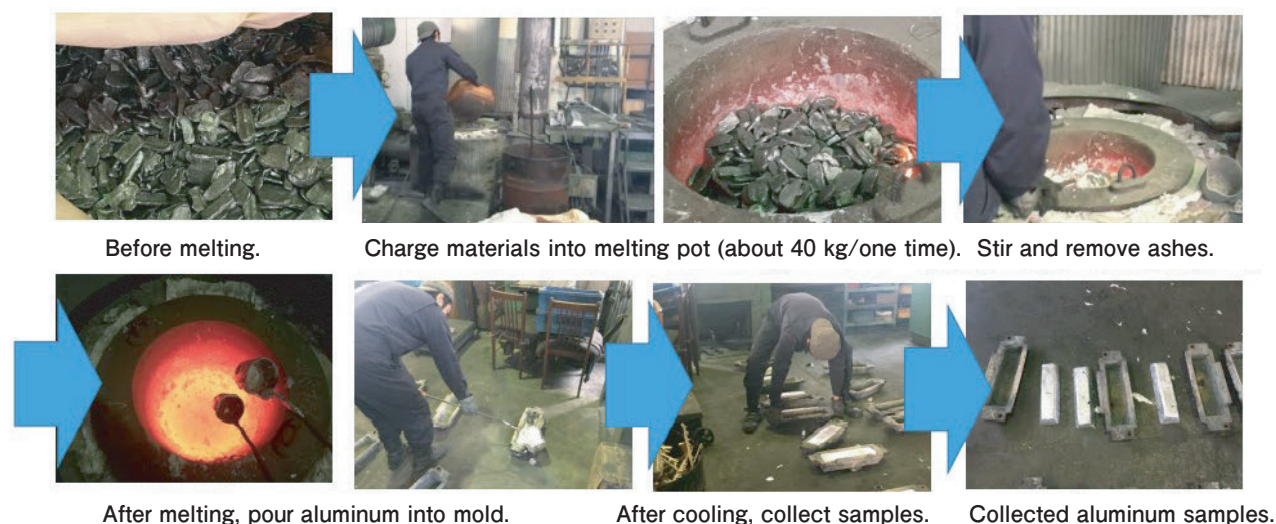


Fig. 4 Re-melting process of scraped of 5000 and 7000 series aluminum alloys<sup>7)</sup>.

### 参考文献

- 1) 東海旅客鉄道株式会社 グリーン調達ガイドライン参照
- 2) 畑山博樹, 醍醐市朗, 松野泰也: 第7回日本LCA学会研究発表会講演要旨集 (D2-08), 2012年3月, 244-245.
- 3) 日本アルミニウム協会: アルミニウム新地金および展伸材用再生地金のLCIデータの概要, (社)日本アルミニウム協会社内会議, 2005, 1-15
- 4) 日立製作所 笠戸工場 川崎氏 私信
- 5) 留岡正男: 日本機械学会誌, Vol.112 No.1086, (2009), 77-77.
- 6) 鉄道総研 札幌市営地下鉄 委託事業報告書
- 7) 張田 真: 第17回講演会 アルミ車両 技術と情報, 2019年8月, きゅりあん, 東京



高谷 舞 (Mai Takaya)  
(株)UACJ マーケティング・技術本部  
R&D センター 第一研究部



森 久史 (Hisashi Mori)  
(株)UACJ マーケティング・技術本部  
R&D センター 第一研究部  
博士 (工学)



箕田 正 (Tadashi Minoda)  
(株)UACJ マーケティング・技術本部  
R&D センター 第一研究部  
博士 (工学)



加藤 勝也 (Katsuya Kato)  
(株)UACJ マーケティング・技術本部  
R&D センター 第一研究部



田中 宏樹 (Hiroki Tanaka)  
(株)UACJ マーケティング・技術本部  
R&D センター 第一研究部  
博士 (工学)