

日本アルミニウム協会賞 令和2年度開発賞受賞

低CO₂リサイクルアルミ材の開発*

西川 直樹**, 増田 勇也***, 大竹 和実**
 蔵本 遼****, 山崎 裕貴*****, 永井 健史*****

Development of Low-CO₂ Recycled Aluminum Alloy*

Naoki Nishikawa**, Yuya Masuda***, Kazumi Otake**
 Ryo Kuramoto****, Yuki Yamazaki***** and Takeshi Nagai*****

1. はじめに

トヨタ自動車では、低燃費・低CO₂・運動性能向上を目的とした車両軽量化のため、自動車部品へのアルミニウム（以下 アルミ）合金の適用に取り組んできた。ボデーパネルのアルミ合金化はSupra（1993年）から始まり、今回発表となった新型MIRAI（Fig. 1）のフードに適用されている。

トヨタ自動車ではSDGs（Sustainable Development Goals）に掲げられた目標・ターゲットの達成に向け、「トヨタ環境チャレンジ2050」を通してライフサイクル



Fig. 1 The second-generation Mirai.

CO₂の低減に取り組んでいる。今回、特に環境性能を重視するMIRAIのフードインナに採用した新規リサイクルアルミ合金材（以下 リサイクル材）は、この取り組みの成果の1つである。このリサイクル材のボデーパネルへの適用は自動車用ボデープレス部品として初であり、アルミ素材製造時のCO₂排出量を約50%削減した。本稿では、リサイクル材の開発経緯やその特性について紹介する。

2. アルミ素材製造時のCO₂排出量

Fig. 2にアルミの原料であるボーキサイトから、自動車製造に使用される圧延コイルになるまでの工程を示す。なお、圧延コイルとは板材をコイル状に巻き取ったもので材料メーカーからカーメーカーにボデーパネル用素材として供給されるものである。アルミは、ボーキサイトを原料として電解製錬により新地金が製造され、その製錬に大量の電気を使用することから、電気の缶詰と呼ばれている。アルミ素材製造時のCO₂発生に対し実に約9割がこの製錬過程で発生している。例えば飲料用アルミ缶のように、アルミ缶のスクラップ

* TOYOTA Technical Review（和文）、66（2021）、92-95を改訂。

This paper is the revision of the paper published in TOYOTA Technical Review, 66（2021）、92-95.

** トヨタ自動車（株）モビリティ材料技術部

Mobility Material Engineering Div., TOYOTA Motor Corporation

*** トヨタ自動車（株）田原工場 エンジン製造部

Tahara Plant Engine Manufacturing Div., TOYOTA Motor Corporation

**** 京都市立京都工学院高等学校

Kyoto Municipal Kyoto Kogakuin High School

（元）（株）UACJ R&Dセンター 第二開発部

Formerly, Development Department II, Research & Development Division, UACJ Corporation

*****（株）UACJ R&Dセンター 第二開発部

Development Department II, Research & Development Division, UACJ Corporation

*****（株）UACJ 福井製造所 製品技術部

Product Design & Technology Department, Fukui Works, UACJ Corporation

をそのままアルミ缶へリサイクルすることで製錬が不要となり、アルミ素材製造のCO₂発生量は大きく削減される。一方、自動車は使用期間が長いこと、さらに近年の軽量化ニーズに伴うアルミ合金板材の使用量の増加により、スクラップの回収量がボデーパネル向けアルミ合金板材の生産量を賄うまで至っていない。

3. リサイクル材の原材料

現在までのトヨタ自動車におけるボデーパネル用アルミ合金のリサイクルへの取り組みは、Fig. 3に示す自動車製造時のプレス端材の再利用である。まずボデーパネル製造時に発生するプレス端材を分別回収し、アルミメーカーに送付する。アルミメーカーは受け取ったプレス端材を溶解・鋳造し、同一合金種の製品とすることで使用する新地金量を削減し、数%のCO₂低減に貢献している。

さらなる新地金使用量の削減、すなわちリサイクル材の配合率の向上のため、リサイクル材に使用できる原材料として、アルミメーカー内で発生する各種アルミ合金端材に着目した。この端材はFig. 4に示すように、アルミ製造に伴い日常的に発生するもので、多くはアルミメーカー内で再溶解・鋳造・圧延され製品に戻る。しかし、例えばFig. 5に示す異種合金種を積層したクラッド材と呼ばれるアルミ合金端材は、再溶解後

に各層の成分が混合するため、同じ製品に戻すことができず、アルミメーカー内では活用が困難であるため、不純物許容量の比較的大きい、エンジンプロックなどの鋳造製品に転用される場合があった。今回、これらのクラッド材を含む各種アルミ合金端材をリサイクルして、ボデーパネル用アルミ合金材とすることに着目し、新地金使用量を低減することを検討した。

4. リサイクル材の部品適用検討

4.1 リサイクル材の成分

トヨタ自動車ではボデーパネル用アルミ合金としてマグネシウム(以下Mg)やシリコン(以下Si)を含んだ6000系アルミ(Al-Mg-Si合金)(以下従来材)を使用している。一方、リサイクル材はFig. 6に示すとおり、各種アルミ合金端材由来の、マンガン(以下Mn)、鉄(以下Fe)等の不純物元素が従来材よりも多く含まれる。CO₂低減の観点では、端材の配合率を増加させるほど効果が高い。しかしながら、上記不純物元素を多く含むと、Fig. 7に示すとおり、これらが結びつくことで形成する金属間化合物(Al-Fe-Mn-Si系および共晶Siなど)の量が増加する。この金属間化合物は、亀裂の起点および伝播経路となり延性を低下させるため、従来材と比較してリサイクル材は成形性が劣る懸念があった。

そこで圧延温度を高温にし、さらに圧延時の圧下率

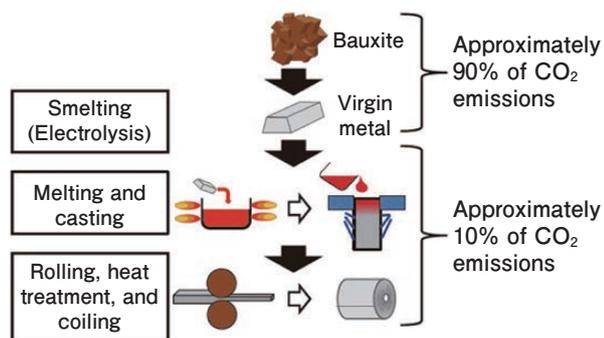


Fig. 2 Outline of aluminum manufacturing process and proportions of CO₂ emissions.

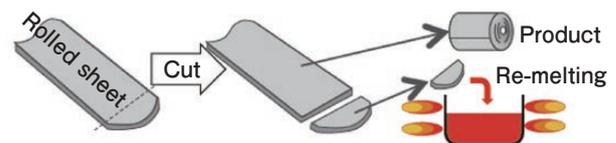


Fig. 4 Generation of aluminum scrap.

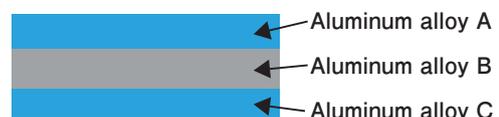


Fig. 5 Illustration of clad sheet.

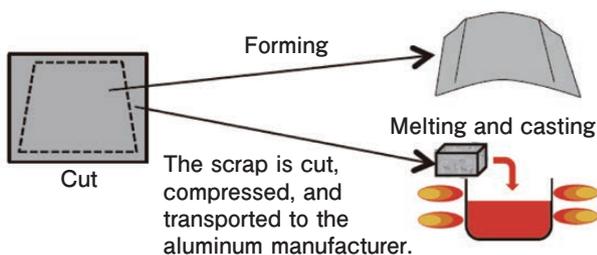


Fig. 3 Recycling of vehicle stamping scrap.

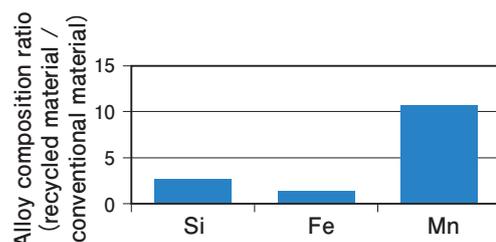


Fig. 6 Example of composition ratio of conventional and recycled materials.

を上げることで、金属間化合物の微細化を図った。改善前後の晶出物状態をFig. 7に示す。

4.2 プレス成形性

4.1節で示す様に材料製造時の工夫により改善させたものの、リサイクル材は従来材と比較して伸びが低下する傾向があるため、伸びの材料要求値の見直しを検討した。そこで成形シミュレーションを用いて、フードインナとしての部品性能を損なわないレベルで伸び低下を補う形状最適化を試みた。その結果、Fig. 8に示す様にRの拡大、成形時の高さを緩和する対策によって、伸びの必要特性を緩和することができ、Fig. 9に示す様にリサイクル材の配合率を50%まで拡大することができた。また、リサイクル材のバイクハード(塗装時の温度を利用した熱処理)後の0.2%耐力は、不純

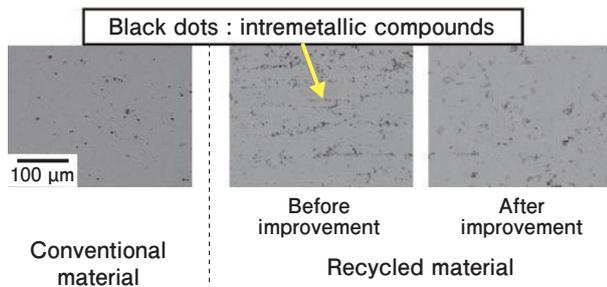


Fig. 7 Images of microstructure of conventional and recycled materials.

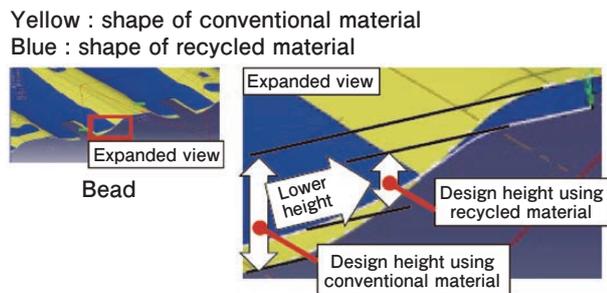


Fig. 8 Optimum design of inner hood.

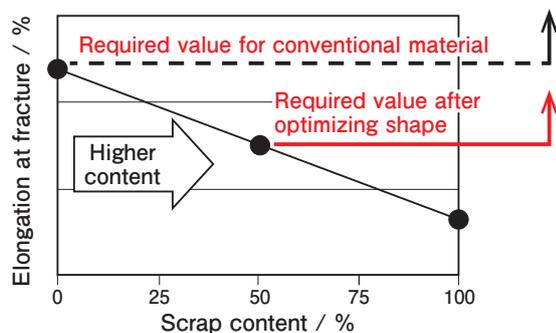


Fig. 9 Relationship between proportion of aluminum scrap content and elongation at fracture.

物元素を多く含みながらも、強度に寄与する成分を特定・最適添加し、従来の6000系合金と同等とすることができた。

4.3 塗膜密着性

リサイクル材をフードインナとして用いるための要件として耐食性及び見栄えがある。その要件を満たすため、塗膜を従来材の要求値同等に密着させ耐食性を含む性能を確保することを検討した。Fig. 10に塗装下地処理である化成処理皮膜の表面状態をそれぞれ示す。その結果、化成処理の状態は基準値を満足し、表面状態も従来材と同等レベルであることを確認した。

続いて化成処理後の表面に塗装を施し、塗膜の密着性を確認した。Fig. 11に塗膜に基盤目状の亀裂を与え、所定の時間水中に全没させ、テープにより表面を剥がす力を加えた後のサンプル写真を示す。その結果、リサイクル材は剥がれが無く、従来材と同等の塗膜密着性を有していることが確認できた。さらに量産ラインでの実証を経て、耐食性を確認し市場における適合性ありと判断した。

5. まとめ

今回開発したボデーパネル用リサイクルアルミ合金材は、アルミメカ内で発生する各種アルミ合金端材を約50%使用することで、従来のアルミ材と比較して、素材製造時のCO₂排出量を約50%削減することができた。

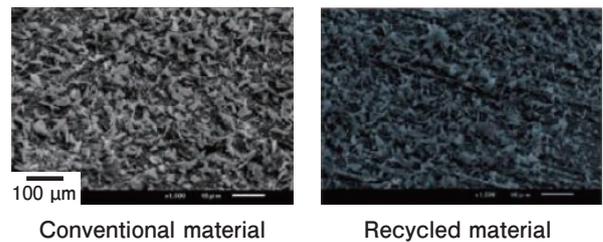


Fig. 10 Surfaces of conventional and recycled materials after pretreatment.

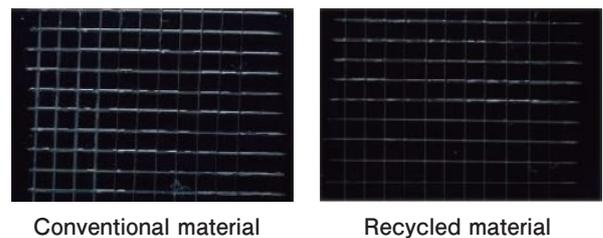


Fig. 11 Surfaces of conventional and recycled materials after adhesion confirmation.

6. おわりに

近年、ライフサイクルCO₂の削減は重要課題であり、今回のリサイクル材の採用は、課題解決の大きな一歩となった。これらの課題解決のためには、今回のアルミメーカーの例のように、会社の枠を超えた協力体制・取り組みが不可欠である。今後も同様の取組みを継続し、さらなるCO₂低減や環境負荷軽減につながる開発を推進してゆく。

お問い合わせ

(株)UACJ 板事業本部 自動車材営業部
〒460-0022 愛知県 名古屋市中区
金山1丁目13番地13号(金山プレイス)
TEL : 052-324-4710 FAX : 052-324-4730

UACJ Corporation,
Automotive Materials Marketing &
Sales Department
Flat Rolled Products Division
Kanayama Place, 1-13-13, Kanayama, Naka-ku,
Nagoya, Aichi Prefecture 460-0022, Japan
TEL: +81-52-324-4710 FAX: +81-52-324-4730



西川 直樹 (Naoki Nishikawa)
トヨタ自動車(株) モビリティ材料技術部



増田 勇也 (Yuya Masuda)
トヨタ自動車(株) 田原工場 エンジン製造部



大竹 和実 (Kazumi Otake)
トヨタ自動車(株) モビリティ材料技術部



蔵本 遼 (Ryo Kuramoto)
京都市立京都工学院高等学校
(元) (株)UACJ R&Dセンター 第二開発部



山崎 裕貴 (Yuki Yamazaki)
(株)UACJ R&Dセンター 第二開発部



永井 健史 (Takeshi Nagai)
(株)UACJ 福井製造所 製品技術部