

## 次世代自動車へのアルミニウムの適用と展望\*

内田 秀俊\*\*

### Application and Prospects of Aluminum Alloys for Next Generation Automobiles\*

Hidetoshi Uchida\*\*

#### 1. はじめに

車体軽量化はガソリン車ベースで検討されることが多く、車体重量別の燃費目標や自動車メーカー毎の平均燃費等で評価されてきた。2021年4月に日本政府が温室効果ガス2030年度目標を2013年度比46%削減と発表<sup>1)</sup>したのを期に、国内でも急速にCO<sub>2</sub>削減が自動車産業を中心に議論されるようになった。これまではCAFÉ規制をベースに走行時(Tank to Wheel)のCO<sub>2</sub>削減を軽量化で改善する検討が多くなされてきたが、今後はLCA(Life Cycle Assessment)に基づきすべてのプロセス(Well to Wheel)でのCO<sub>2</sub>発生を考慮する考えに変わってきている。加えて自動車の駆動エネルギーもガソリンからHEV(ガソリンと電気)、BEV(電気)、FCV(燃料電池車:水素)が実用化される中で軽量化に期待される内容が変わりつつある。このような状況下でのアルミニウムの適用事例や今後への期待などの展望について紹介する。

#### 2. 現状の適用事例

自動車ボディはプラットフォームを含めた構造体と蓋物(エンジンフードやドアなど)に大別される。古くは両者とも鋼板主体で設計されおり、軽量化のためには代替が容易である蓋物を主にアルミニウムが適用されてきた。日本では1984年にマツダのサバンナRX-7のエンジンフード<sup>2)</sup>に初めてアルミニウムが採用された。近年ではFord F150<sup>3)</sup>(2015)やRange Rover<sup>4)</sup>(2021)など構造体にもアルミニウムが適用され、蓋物

も含めたいわゆるオールアルミ車の量産事例も多い。Fordは2021年製のF150についてもアルミニウムボディを継続使用している<sup>5)</sup>。

日本では1990年代に発売されたNSXがオールアルミ車として知られる<sup>6)</sup>。蓋物を中心としたアルミパネルの採用は着実に伸びており2021年発売のトヨタランドクルーザー(ボディ構造をFig. 1に示す。)ではエンジンフード、ルーフ、全ドアが<sup>7,8)</sup>、日産ローグ(北米仕様)でもフロントフェンダー、前後のドアがアルミ化<sup>9)</sup>されている。

自動車ボディに使用されるアルミニウムはその特性バランス(強度、成形性、耐食性等)から板材は6000(Al-Mg-Si)系もしくは5000(Al-Mg)系が、押出材は6000系、7000(Al-Zn-Mg)系が使用されることが多い。車体設計のコンセプトが大きく変わらない限り、これらの材料に要求される特性は変わらないと考えられる。素材の改良・改善などの継続的な開発は進められるが、自動車ボディに必要な材料特性の詳細は浅野<sup>10)</sup>や水越<sup>11)</sup>の解説を参考にされたい。



Fig. 1 White body of Toyota Land Cruiser.

\* 主要部をアルトピア 52-1(2022), 9-14に掲載

The main part of this paper has been published in ALUTOPIA 52-1(2022), 9-14.

\*\* (株)UACJ マーケティング・技術本部 R&Dセンター, 博士(工学)

Research & Development Center, Marketing & Technology Division, UACJ Corporation, Dr. Eng.

### 3. 次世代の適用に向けた展望と課題

#### 3.1 アルミニウム適用の現状と将来の予想

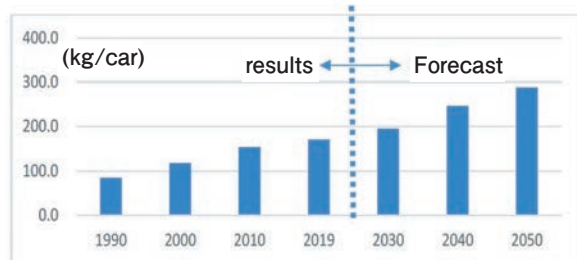
従来より車体軽量化は燃費向上のためだけでなく、安全性向上のための設計からくる重量増加を補填する意味でも多くの取り組みがなされてきている。2050年までの日本での自動車1台当たりのアルミニウム使用量はTable 1, Fig. 2に示す量が試算<sup>12)</sup>されており、2050年まで右肩上がりの使用量が予想されている。2019年に比べ2050年には1台当たり使用量がアルミニウム板材で49kg、押出材で31kgの需要増が予想されている。重量的にはアルミニウム鋳物の需要量が依然として大きいですが、2030年以降の需要増は鋳物より板材の方が大きいと予想されている。日本での自動車生産台数が2019年と同じ968万台と仮定した場合の需要増は、2019年比でアルミニウム板材は47万トン、アルミニウム押出材は30万トンとなり現状の生産能力を大きく超えるものとなる。ただしこの予想は2021年4月の政府によるCO<sub>2</sub>削減目標の発表前の試算であり、その後の各国や各自動車メーカーのCO<sub>2</sub>削減目標やそのための施策により状況が大きく変化していることもあり、今後の状況に注視が必要である。その中でも従来の燃費向上で考えられていた走行時のCO<sub>2</sub>だけでなく、車両製造やエネルギー生産時のCO<sub>2</sub>も考慮した試算が必要となっており、その規制や開発動向が注目されている。

従来のアルミニウム製錬（ホール・エルー法）は電気分解によるものが主流でCO<sub>2</sub>排出量はその電気エネルギー

**Table 1** Forecast of application amount of aluminum per one automobile. (kg/car)

Year	Sheet	Extrusion	Casting	Heat exchanger	Total
2000	2.6	5.6	98.2	11.7	118.1
2010	6.1	8.5	126.3	13.7	154.6
2019	11.1	10.1	138.3	12.1	171.6
2030	18	14	150	13	195
2040	43	29	162	13	247
2050	60	41	174	13	288

\* Sheet and extrusion excluded heat exchanger



**Fig. 2** Forecast and historical results for aluminum application amount per one automobile.

ギーがどのようなプロセスで生み出されたかで大きく値が異なる。石炭火力発電では大きく、再生可能エネルギーでは小さくなることは想像に難くない。電力供給はこれらの平均的な値を用いてCO<sub>2</sub>排出量が試算<sup>13)</sup>されている。アルミニウム新地金は9.24 (kg-CO<sub>2</sub>/kg)であるのに対して再生地金は0.309(kg-CO<sub>2</sub>/kg)であり、再生地金の使用により原料由来のCO<sub>2</sub>排出量は3%にまで低減できる計算となる。

アルミニウム板材の製造（ここでは鋳造～圧延～仕上げ工程）におけるCO<sub>2</sub>排出量は製錬時のそれより比較的小さく、アルミニウム新地金100%を使用した場合は板製造のCO<sub>2</sub>排出量は10%程度と試算されている<sup>8)</sup>。このようにアルミニウム板材のCO<sub>2</sub>排出を削減することは如何に新地金使用率を下げるかが現状で最も効果的な方法といえる。同様にアルミニウム押出材においても新地金使用率削減は最も有効な方法である。

#### 3.2 アルミニウムのCO<sub>2</sub>排出削減課題

##### 3.2.1 クローズドループリサイクル

アルミニウム板のプレススクラップは鋳物に使われることが多く、CO<sub>2</sub>排出量の観点からは板の素材原料に戻すことが望ましい。この考えに基づいて進められているシステムがクローズドループリサイクルであり、アルミニウム採用の多い車種においてはすでに実施されている。一例をFig. 3に示す。トヨタランドクルーザー、日産ログ、Ford F150などがその例となる<sup>8,9,3)</sup>。このシステムによりアルミニウム板素材供給時のCO<sub>2</sub>排出量は、新地金100%での製造に比べてスクラップリターン率の割合（厳密にはその約90%）でCO<sub>2</sub>排出量が削減されていることになる。同じ合金種であれば異材混入の管理ができていればそのまま原料として使用できるので非常に効率がよい。

##### 3.2.2 適用原料の拡大

アルミニウムメーカーでは様々な合金の材料が製造されている。その中には日常的に発生するものの、同じ製品に戻すことができない材料も存在する。例えば異種合金を積層したクラッド材と呼ばれるアルミニウム板材は、積層後の端材を同じ製品に戻すことが出来ず活用が困難とされてきた。これらの材料は不純物許容度の大きいエンジンブロックなどのアルミニウム鋳物製品に使用される場合が多かったが、これらの端材を板材に戻して活用できればCO<sub>2</sub>排出量が削減される。この視点で開発された材料がトヨタMIRAIのエンジンフードインナーに採用<sup>14)</sup>され、CO<sub>2</sub>排出量を約50%削減している。ただし現状では製造プロセスの適正

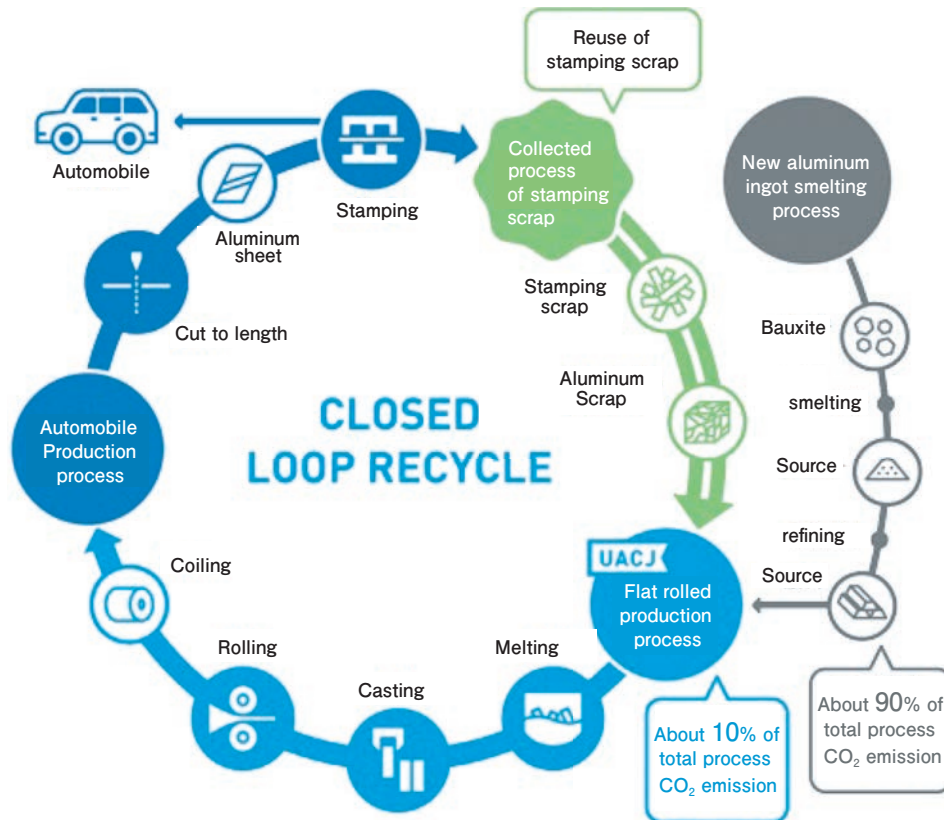


Fig. 3 Closed loop recycle.

化はされているものの量産材に比べて伸びが低下しており、成形高さの緩和など部品形状の最適化も検討することで量産適用が可能となっている。

### 3.2.3 スクラップの選別技術

アルミニウムは多くの合金が存在しその成分管理が非常に重要となる。したがってアルミニウムベースのスクラップ原料を、いかに高度に分別して必要な素材の原料とできるかがポイントとなる。アルミニウムとその他の材料の選別としては、磁力選別、重量選別、浮遊選別などが適用される。アルミニウムベースのスクラップを、その合金種や化学成分量に応じて分別する装置としてLIBSソーター機 (LIBS: Laser-induced breakdown spectroscopy) がある。この技術は新幹線の車両の水平リサイクルにも採用<sup>15, 16)</sup>されており今後、自動車産業への活用も期待される。

### 3.2.4 新製錬プロセス

従来のアルミニウム製錬 (ホール・エルー法) は多くの電力を消費するため、その削減が課題となっている。そのためにエネルギー効率に優れた新製錬プロセスとして室温電解製錬 (イオン液体法) の開発が進められている<sup>17)</sup>。アルミニウムの析出電位は水の水素発生電位よりかなり卑であるため、金属のアルミニウムを電気

化学的に生成するには非水系の電解液が必要となる。この点はホール・エルー法と同じであるが、イオン液体法は室温での電解製錬でありこの点でもCO<sub>2</sub>排出削減に有効である。室温電解製錬では生成されるアルミニウムは固体であるため、連続的に槽外に取り出す必要がある。これについてもカソードドラムを回転させながらアルミニウムを回収する Fig. 4 に示す技術の開発も進めている。

### 3.2.5 溶融状態での不純物除去

金属の凝固過程の特性を利用してアルミニウムの溶融状態で流動を付与することによる、平均成分より低濃度のアルミニウムを生成させ電磁力で分離する方法の開発が進められている<sup>12)</sup>。この手法が確立されると、従来では不純物が多くアルミニウム鑄物の原料にしか使われなかったスクラップやアルミニウム鑄物のスクラップ自体が低不純物として再生できることになる。これによりアルミニウム板などの低不純物の原料として活用される、いわゆるアップグレードリサイクルが可能となる。将来はアルミニウム鑄物のスクラップが余剰になるとの試算もあり注目される技術である。

### 3.2.6 製造プロセスによる不純物無害化

リサイクル促進によって従来より不純物量が多くな



る場合を想定して、新しい製造プロセスによって高不純物を許容できるようにする開発も進んでいる。1つは高速双ロール casting で、従来の連続 casting よりさらに急凝固させることで高不純物であっても晶出物を微細にすることでその影響を低減する方法である。もう1つは巨大ひずみ加工により晶出物を微細分断化し、さらに結晶粒微細化によりナノレベルで析出物を制御することで素材の高強度、高延性化を目指して開発が進められている。これらの2つの製造プロセス開発は、スクラップの高度選別技術と熔融状態での不純物除去技術と合わせて Fig. 5 に示す NEDO (新エネルギー産業技術総合開発機構) のアルミニウム素材の高度資源循環システム構築として2025年度までの開発が進められている<sup>18)</sup>。

#### 4. まとめ

以上のように自動車へのアルミニウム適用は2050年まで大きく増加する予想がなされているが、CO<sub>2</sub>の排出規制、炭素税の導入や競合素材の開発動向によって大きく左右されると考えられる。アルミニウム適用の促進においては、素材自体の改良、低コスト化を進めるとともに製錬を含む製造時のCO<sub>2</sub>排出量を削減することが最重要課題と位置づけられ、特に新地金使用率の削減が必要となる。そのためには①プレス加工時のスクラップを素材メーカーに戻す“クローズドループリサイクル”の促進、拡大②スクラップ選別技術の高精度化、低コスト化、③新製錬技術の開発が必要であり、これらの課題の推進、実用化により自動車へのアルミニウム適用は広がると考えられる。

#### 参考文献

- 1) <https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210422/k10012991191000.html>
- 2) 宗藤修義, 西村嘉彦: 日経ニューマテリアル, Apr. 7 (1986), 63.
- 3) EuroCarBody 2015 presentation document: Ford F150.pdf
- 4) EuroCarBody 2021 presentation document: Range Rover.pdf
- 5) <https://www.lightmetalage.com/news/industry-news/automotive/2021-ford-f-150-sticks-with-all-aluminum-body/>
- 6) 小松泰典ら: Honda R&D Technical Review, **3** (1991), 27-36.
- 7) [https://toyota.jp/landcruiser/feature/?padid=from\\_landcruiser\\_top\\_navi-menu\\_feature](https://toyota.jp/landcruiser/feature/?padid=from_landcruiser_top_navi-menu_feature)
- 8) <https://www.uacj.co.jp/release/20210805.htm>
- 9) <https://global.nissannews.com/ja-JP/releases/release-47bd1d4c8b3256fcee533e433e0ad50a-210122-01-j>
- 10) 浅野峰生ら: UACJ Technical Reports, **2** (2015), 107-127.
- 11) 水越秀雄ら: UACJ Technical Reports, **2** (2015), 128-132.

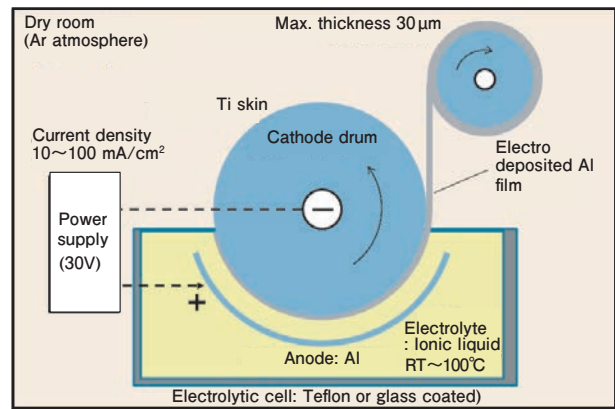


Fig. 4 Continuous electrodeposition system by ionic liquid method.

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

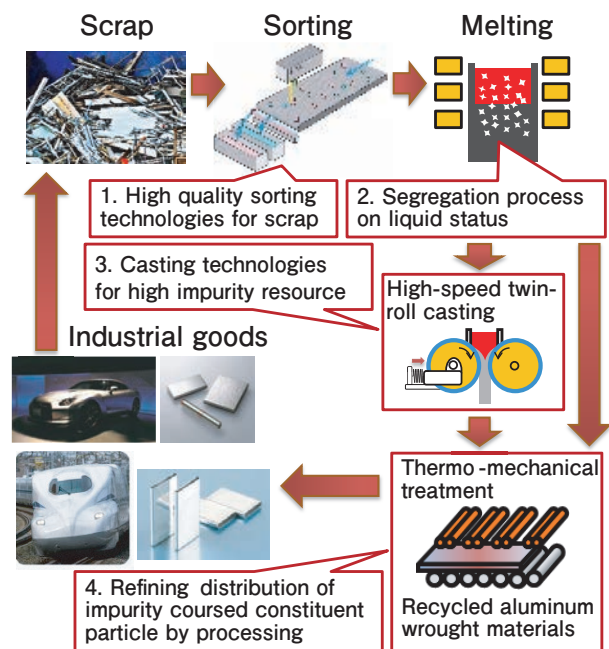


Fig. 5 High quality circular resource system for aluminum materials.

- 12) 日本アルミニウム協会: Aluminium Vision 2050, [https://www.aluminum.or.jp/vision2050/pdf/VISION2050\\_main.pdf](https://www.aluminum.or.jp/vision2050/pdf/VISION2050_main.pdf)
- 13) 日本アルミニウム協会: 自動車用アルミ材料のCO<sub>2</sub>原単位の試算 (Ver. 3), [https://www.aluminum.or.jp/environment/pdf/2-3-10\\_190731.pdf](https://www.aluminum.or.jp/environment/pdf/2-3-10_190731.pdf)
- 14) 西川直樹ら: TOYOTA Technical Review **66** (2021), 92-95.
- 15) <https://material.st-grp.co.jp/news/mate20200613.html>
- 16) <https://www.harita.co.jp/technology/advanced-recycling/lib/>
- 17) 洪江和久: UACJ Technical Reports, **5** (2018), 2-13.
- 18) [https://www.nedo.go.jp/koubo/EV3\\_100226.html](https://www.nedo.go.jp/koubo/EV3_100226.html)



内田 秀俊 (Hidetoshi Uchida)  
(株)UACJ マーケティング・技術本部  
R&D センター  
博士 (工学)