

(解説)

# 自動車用アルミ合金板材に関する最近の動向と技術課題

山口正浩\*1・小林拓史\*1・市川武志\*2

## Recent Trends and Technical Challenges Regarding Aluminum Alloy Sheets for Automobiles

Masahiro YAMAGUCHI・Takufumi KOBAYASHI・Takeshi ICHIKAWA

### 要旨

アルミ合金板材は、自動車の軽量化に寄与する材料としてパネル部品を中心に採用が進んでいる。近年、カーボンニュートラルに向けて、自動車のBEVへの転換や材料製造時のCO<sub>2</sub>排出量低減の動きが活発化している。BEV特有の部品の登場や、さらなる軽量化、意匠性の追求など、アルミ合金板材においてもニーズに変化が生じており、それぞれに対応する技術開発が求められる。また、CO<sub>2</sub>排出量低減に対しては、リサイクルの促進が必要であり、不純物による特性低下の抑制や部品構成部材のモノアロイ化が課題である。本稿では、このような昨今の自動車用アルミ合金板材に対するニーズと課題、当社の取り組み事例について紹介する。

### Abstract

Aluminum alloy sheets are increasingly being adopted, primarily for panels, as a material that contributes to the weight reduction of automobiles. In recent years, efforts toward carbon neutrality have been accelerated, including the shift to BEVs in automobiles and the reduction of CO<sub>2</sub> emissions during material manufacturing. The needs for aluminum alloy sheets are also changing, due to the emergence of new parts, specific to BEVs, that necessitate further weight reduction and the pursuit of design flexibility. Now technological development is required to respond to these changes. Furthermore, to reduce CO<sub>2</sub> emissions, it is necessary to promote recycling, which involves technical challenges in suppressing the deterioration of properties due to impurities and in unifying the alloys for each component of parts. This paper introduces the current needs and challenges for automotive aluminum alloy sheets and provides examples of Kobe Steel's efforts to address them.

### 検索用キーワード

アルミニウム合金板, 自動車, リサイクル, キャラクターライン, CO<sub>2</sub>, 6000系合金, Al-Mg-Si, プレス

まえがき = アルミニウム合金 (以下、アルミ合金という) は、比重が鉄鋼材料のおよそ1/3と小さく、自動車の外板パネルに使用される軟鋼板より比強度も高いため、使用素材を鉄鋼材料からアルミ合金材へ置換することにより軽量化が可能である。この特徴により、自動車の車体軽量化による燃費向上や走行性能向上を目的に、外板パネルなどへのアルミ合金材の採用が進められてきた。

近年では、世界的なカーボンニュートラル (以下、CNという) に向けた取り組みが本格化しており、欧米、中国などでは走行時にCO<sub>2</sub>を排出しないBEV (Battery Electric Vehicle) への転換が急速に進展している。BEVはガソリン車に比べて航続距離が短い場合が多いため、その延伸が重要な課題となっており、軽量化による電費改善のためアルミ合金材の適用が拡大している。また、LCA (Life Cycle Assessment) の観点から、走行時だけでなく、自動車製造時も含め、原料調達から廃棄までを考慮したCO<sub>2</sub>排出量低減が必要であるとの考え方が一般化してきており、アルミ合金材でも製造時のCO<sub>2</sub>排出量低減が重要課題となっている。

さらに、BEVの急速な普及にともない、新興メーカーを含めた自動車メーカー各社より様々な車種が上市されており、車体のデザインが多様化している。車体表面の凹凸

を極力排除したシンプルなデザインがあるいっぽう、複雑な凹凸で加飾したデザインの車種も出てきており、外板パネルの形状によって成形課題が生じる場合がある。

本稿では、このような変化に対するアルミ合金板材の課題や当社の取り組み事例について紹介する。

### 1. BEVの普及によるアルミ合金板材へのニーズ変化

BEVは航続距離が重視されるため、車体軽量化の重要性はますます高まると考えられる。とくに大型・高級車では走行用バッテリー重量も大きくなり、軽量化は大きな課題である。軽量化を目的としたアルミ合金板材の採用事例としては、フードやドアといった外板部品が一般的であるが、骨格や補強部材など高強度が求められる部品への採用も想定される。

また、BEV固有の部品として、走行用バッテリーを搭載する電池パック部品が挙げられる。電池パック構造の一例 (当社検討例) を図1に示す。例示した構造の場合、部品側面および内部の補強材は高強度鋼板もしくはアルミ押出型材、蓋および底板は鋼板もしくはアルミ合金板でそれぞれ構成される。電池パックは、内部のバッテリーの損傷を防ぐため、車両前後、側面からの衝突だけで

\*1 鉄鋼アルミ事業部門 真岡製造所 アルミ板開発部 \*2 技術開発本部 ソリューション技術センター

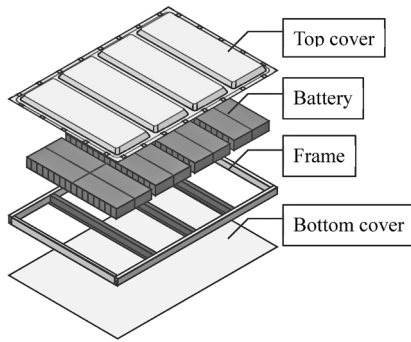


図1 電池パック構造 (当社検討例)  
Fig.1 Our study of battery pack structure

なく、車両下面からの衝撃に対する強度も求められる。例えば、走行時に縁石や落下物のような小さい物体を巻き込み、電池パック下面を突き上げる恐れがあるため、底板を高強度化する必要がある。一部のBEVでは、厚肉かつ高強度のアルミ合金板材を追加配置し、下面衝突強度を確保する構造が採用されている。

一例として示した電池パックに限らず、BEV化による新たな部品や構造変化、および重量バランス変化などにより、新たなアルミ合金材の採用ニーズや要求特性の変化が予想される。当社では、高強度材を含め、様々なニーズに対応するアルミ合金材の開発を進めている。

## 2. カーボンニュートラルに向けた取り組み

### 2.1 アルミ合金板材適用部品製造時のCO<sub>2</sub>排出量

アルミは新地金製造時の製錬での消費電力が多く、アルミ合金材製造時のCO<sub>2</sub>排出量のうち大半が新地金製造時に排出される。すなわち、アルミ合金材のCO<sub>2</sub>排出量低減については、新地金使用量の低減や製錬使用電力の再生可能エネルギーへの転換が非常に有効である。そのため、国内外のアルミメーカーでは新地金の代わりにスクラップを使用するリサイクルの促進や、製錬時に再生可能エネルギーを使用した低CO<sub>2</sub>排出量地金（グリーンアルミ）の利用が検討されている。こうした取り組みによるCO<sub>2</sub>排出量低減効果を評価するためには、再生塊を製造する際やスクラップを輸送する際のCO<sub>2</sub>排出量も考慮する必要がある。

図2に当社で実施したリサイクル材やグリーンアルミを使用した場合のアルミ合金板材適用部品（部品重量：10 kg）製造時のGHG（Greenhouse Gas）排出量試算結果を示す<sup>1)</sup>。部品製造時のプレススクラップ（プレス歩留り60%、スクラップ回収率98%と仮定）をリサイクルする場合、新地金にグリーンアルミ（地金製造時CO<sub>2</sub>を70%削減と仮定）を適用した場合、およびそれらを組み合わせた場合について試算した。ここで、材料製造時や部品製造時のCO<sub>2</sub>排出量原単位はLCIデータベースIDEA<sup>2)</sup>、および日本アルミニウム協会のデータ<sup>3)</sup>を参照した。リサイクルの場合、スクラップから再生塊を製造するまでのCO<sub>2</sub>排出量も加算しているが、おおむね新地金が置換された分に応じて部品製造にかかるCO<sub>2</sub>排出量が低減されている。また、グリーンアルミ使用の場合、地金製造時のCO<sub>2</sub>排出量低減がそのまま反映されて

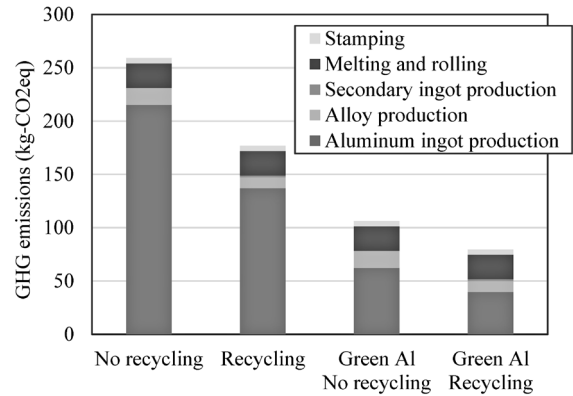


図2 アルミ合金板材適用部品製造時のGHG排出量  
Fig.2 GHG emissions during manufacturing of aluminum alloy sheet components

おり、リサイクルと組み合わせることで大幅なCO<sub>2</sub>排出量低減が期待できることがわかる。本試算では、プレススクラップのリサイクルのみを考慮したが、市中スクラップも加味することで、さらなるCO<sub>2</sub>排出量低減効果が期待される。いっぽうで、自動車でのクローズドリサイクルを考慮した場合、市中スクラップを活用するためには不純物の除去や回収スキームの確立など、様々な解決すべき課題がある。

### 2.2 外板パネル用アルミ合金板材リサイクルの課題

使用済み自動車（End of Life Vehicle：以下ELVという）は一般的に、回収され再利用可能な部品や大型部品などが取り外されたのち、残ったボディはシュレッダで破碎されシュレッダダスト（Automobile Shredder Residue:以下ASRという）となる<sup>4)</sup>。アルミ部品のうち、鋳物・ダイカスト製品（Al-Si系合金）であるエンジンやトランスミッション、ホイールなどの部品は取り外され、二次合金メーカーにより鋳物・ダイカスト用二次合金地金として再生される。いっぽう、アルミ合金板材が使用される外板パネルはASRに含まれ、鉄（Fe）や銅（Cu）などと混在した状態となるが、磁力選別や渦電流選別、X線選別などによりアルミスクラップとして回収される<sup>5)</sup>。ただし、不純物として鉄や銅などの異種金属が一定量混入するうえ、外板パネル以外に使用されている品種の異なるアルミ合金材も混入しており、鋳物やダイカスト用二次合金へカスケードリサイクルされるのが一般的である。このようなアルミスクラップを外板パネル用アルミ合金板材として再利用する場合、FeやCuといった不純物含有量の上昇による性能への影響が問題となる。

Cu含有量上昇による性能変化として、耐食性の低下が知られている。図3にA6022合金をベースにCu含有量を変化させた際の糸錆長さの変化を示す。製品板相当材に化成処理と電着塗装を施した後、クロスカットを付与し、塩水噴霧を24サイクル（塩水噴霧→水洗→湿潤保持→乾燥）実施し、最大糸錆長さを測定した。図3より、Cu含有量上昇にともなって最大糸錆長さが増大しており、経年によって外板パネル表面に糸状の外観不具合が発生するリスクが高まることを示している。小澤らは、溶体化処理後に空冷処理を行った場合に比べ、冷却

速度の速い水冷処理を行った場合の方が糸錆の成長が抑制されることを示し、水冷処理によりCu含有析出物の発生抑制にともなうカソード起点減少に起因すると推定している<sup>6)</sup>。

また、Feに関しては、含有量上昇にともなって粗大な金属間化合物が増加し、曲げ性が低下することが報告されている。徳田らは、A6022合金をベースにFe含有量と凝固時の冷却速度を変化させた場合の曲げ性への影響を調査している。図4に曲げ試験後の割れ程度を示すサンプル写真を示す。凝固時の冷却速度を高めることで、Fe含有量増加にともなう曲げ性の低下は抑制傾向となるが、その効果は限定的であると報告している<sup>7)</sup>。

以上のように、ELV由来のスクラップを外板パネル材へ再利用するうえでの代表的な課題を例示したが、スクラップ使用率を向上させていくためには、不純物の無害化や他の因子による特性改善、あるいは不純物を混入さ

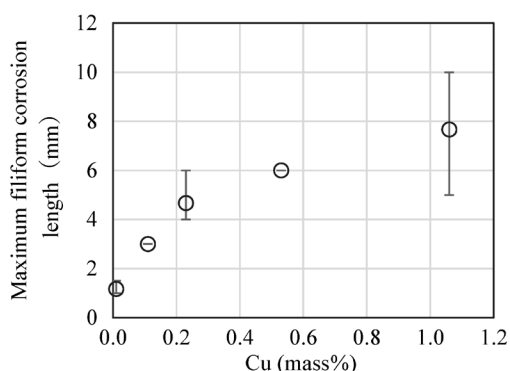


図3 最大糸錆長さに対するCu含有量の影響  
Fig.3 Effect of Cu content on maximum filiform corrosion length

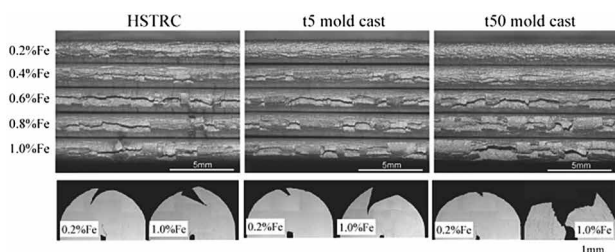


図4 曲げサンプルの外観(上段)と断面(下段)<sup>7)</sup>  
Fig.4 Appearances of specimen surface (upper) and cross section (lower) after bending test<sup>7)</sup>  
HSTRC (high-speed twin-roll cast) : cooling rate 1200 k/s, t5 mold cast : cooling rate 93 k/s, cooling rate 3.0 k/s

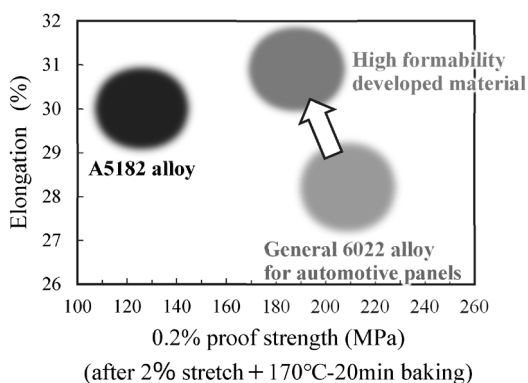


図5 当社高成形性開発材の特性  
Fig.5 Characteristics of high formability developed material

せないための、例えばLIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) ソータ<sup>8)</sup>などの高度分別技術が必要であり、産学官にて様々な取り組みが進められている。

また、外板パネルは主にアウトパネルとインナパネルで構成され、アウトパネルはAl-Mg-Si合金である6000系合金の適用が一般的であるが、ドアインナなどの高い成形性が要求される部材については、Al-Mg合金である5000系合金が適用される場合がある。この場合、アルミスクラップのMg含有量が6000系合金に比べ高い水準となってしまうこと、また、自動車メーカーで発生するプレススクラップを、外板パネル用アルミ合金板材として制限なく再利用する場合には、合金品別管理や分別が必要になる。そのため、アウトとインナを6000系合金へ統一するモノアロイ化が進められている。

当社では、インナパネルに使用される代表的な5000系合金であるA5182合金と同等の延性を狙った高成形性6000系合金材を開発した。図5にA5182材と開発材の伸びと塗装焼き付け模擬処理後(バークハード後)耐力を示す。開発材は、合金成分と溶体化処理時の温度制御によりA5182合金同等の延性と高いバークハード後耐力を実現している。現在5000系合金を適用している部品や、高い成形性が要求される部材などへの適用が期待される。

### 3. キャラクタラインによる意匠性向上

#### 3.1 キャラクタラインとその課題

近年、自動車車体の付加価値を高めるため、複雑な意匠の外板形状が求められている。その中でも、ドアやフェンダなどの意匠面に設定される曲率半径(R)の小さい凸部(キャラクタライン)の先鋭化は、意匠自由度を高める手段としてニーズが高い技術である。

しかしながらキャラクタラインを先鋭化、すなわち凸部の曲率半径を小さくすると、材料の割れや線ずれと呼ばれる外観不良が発生しやすくなる。割れの抑制や線ずれの対策には金型やしわ押さえの微妙な調整が必要となり、大きな課題となっている。

#### 3.2 キャラクタラインの成形性

キャラクタラインのR部では、プレス成形時の下死点付近で張力を受けながら金型の凸Rに沿って曲率が付与される、曲げと引っ張りの複合変形が生じている。このR部の複合変形を模擬した試験方法として、図6に示すブランクホルダにて張力を付与しつつ先端にRの付いたパンチで突き上げる方法を試行した。図7に当社開発の延性の高い高成形性材と高曲げ性材、およびアウトパネル用汎用材について破断発生までの限界成形高さ(H)

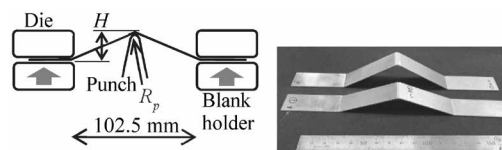


図6 キャラクタライン模擬成形試験方法(左)と試験後サンプル(右)

Fig.6 Test method simulating character line forming (left), and post-test samples (right)

を測定した結果を示す。高成形性材と高曲げ性材のいずれも汎用材に比べ高い破断限界成形高さを示し、パンチ先端R ( $R_p$ ) が3 mmの場合は高成形性材の方が、パンチ先端R ( $R_p$ ) が1 mmの場合は高曲げ性材の方がより高い破断限界成形高さを示した。この結果より、キャラクターライン成形時の張力とパンチ先端R部の曲げのバランスが変化し、成形に適した材料特性が変化すると考えられる。キャラクターラインの先鋭化による成形不具合が生じた場合、R部の変形状態に合わせて材料を選択することも対策の一つとして有効であると考えられる。

### 3.3 線ずれ発生メカニズムと評価方法

線ずれとは図8に示すように、キャラクターラインなどの金型凸部で板が初期に成形されたあと、張力のバランス変化により凸部と直交方向に板がずれることで、初期当たり部に形状が残ってしまう成形不良現象とされている<sup>9)</sup>。

評価は主に官能検査で行われ、ゼブラパターンのライトを当てた際に光の線が歪んだ場合、線ずれが発生したとみなされる。線ずれ発生時の板表面の形状変化は数 $\mu\text{m}$ から数十 $\mu\text{m}$ 程度と微量であることが多く、有限要素解析 (Finite Element Analysis : FEA) などで変形を直接予測する事は難しい。これを補うため、市販のプレス成形解析ソルバには、金型の凸部に接触した板要素、あるいは一定の面圧が発生した板要素を記録し、線ずれとして表示する機能を備えたものもある。また、一定の測定幅における板表面の曲率変化、高低差といった様々な評価手法が提案されている<sup>10), 11)</sup>。

### 3.4 線ずれ抑制手法

成形不良として扱われる線ずれに対し、板をずらさないという観点から様々な抑制手法・工法が考案されてい

る。基本的には、板押さえ荷重を調整する、あるいは、製品部外に余肉を盛るなどして、凸部近傍の張力バランスを調整する手法が一般的である。だが、キャラクターラインは外板の中央付近を通ることもあり、金型外周部の調整では解決できず、凸部Rを拡大して意匠性と引き換えに線ずれを目立たなくすることも多い。

キャラクターラインの位置によらない工法として、二工程成形が挙げられる。一工程目では本来の製品形状よりも緩やかな形状を成形し、二工程目で製品形状を成形する。

例として、図9に線ずれ抑制工法の一例を示す<sup>12)</sup>。この例で示したキャラクターライン先端Rが2 mmの金型は、一工程で成形した場合、10 mm以上板のずれが発生する形状である。このずれを抑制するために、まず一工程目でキャラクターラインRを、板が成形中にずれても痕が残らない形状 (R100 mm) に設定し、さらに二工程目でキャラクターライン部に張力を付与するため、製品形状より10 mm程度浅く成形した。その後二工程目で製品形状を成形するが、キャラクターライン部にさらに張力をかけ、かつ板ずれを最小限にするため、大きな凸R部を先行パッドで押さえてから成形した。

図10に線ズレ抑制工法の実機試験結果を示す。供試材には板厚1.0 mmのA6022相当合金板材を使用し、キャラクターライン先端Rは2 mmとした。一工程成形では板ずれ方向に線ずれと思われる痕がキャラクターラインと平行に入っているのに対し、二工程成形では多少Rが拡大したものの目立った線ずれは観測されなかった。このことから二工程成形は線ずれ抑制に有効な手法であると言える。

今後も複雑な意匠面を持つ外板の成形需要は高まって

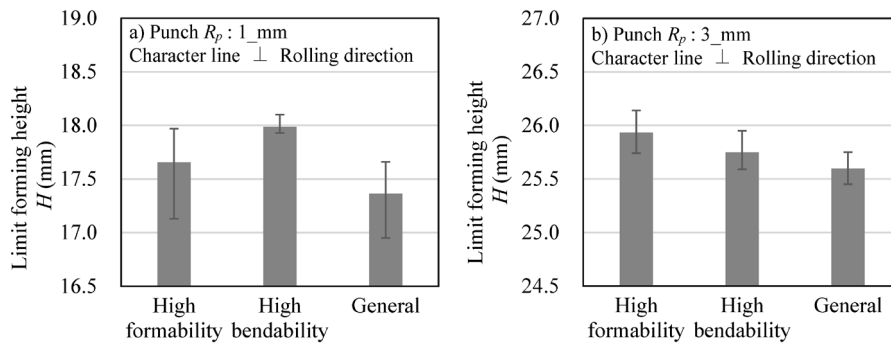


図7 特性の異なる材料の成形限界高さ比較  
Fig.7 Comparison of forming limit height of materials with different properties

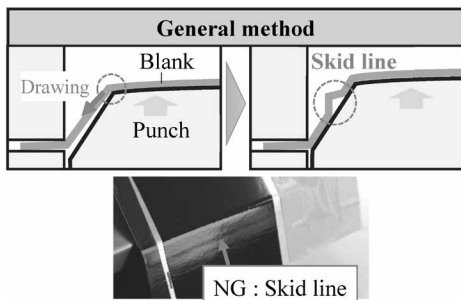


図8 線ずれ発生メカニズム  
Fig.8 The mechanism of generating skid line

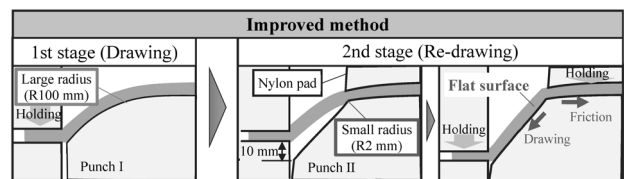


図9 線ずれ抑制工法  
Fig.9 The improved method for preventing skid line

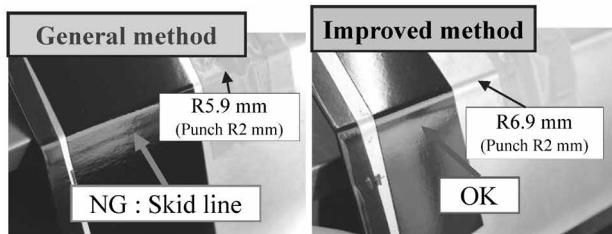


図10 線ずれ抑制工法の実機試験結果  
Fig.10 The effect of the improved method for skid line

いくと予想される。とくにキャラクタライン先鋭化により、線ずれのみならず、R部での割れも課題になるため、当社の材料開発とも歩調を合わせた工法技術の開発を進めていく。

むすび=CNに対する社会的ニーズの高まりに端を發し、自動車を取り巻く環境は大きく、かつ急速に変化している。本稿でも一部触れたようにアルミ合金板材に対するニーズも変化しており、当社ではこの変化に対応するため、材料開発にくわえ、成形技術や接合技術、部品構造の開発にも取り組んでおり、それらを組み合わせた提案も検討している。このような技術を実用化するためには、自動車メーカーや部品メーカーといったお客様との協働が重要となる。また、リサイクルにおいても、材料や成

形方法といった技術開発のほか、資源循環の仕組みづくりも重要と考えられる。このように、大きな変化に対応していくためには一企業の枠を超えた取り組みが必要である。今後も取引先との関係を強化し、サプライチェーンを通じて社会ニーズに応えていきたい。

#### 参考文献

- 1) 加嶋寛子ほか. 自動車技術会 2024年春季大会 学術講演会予稿集(春). 公益社団法人自動車技術会. 講演番号293.
- 2) LCIデータベース IDEA Ver.3.3  
国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 IDEAラボ
- 3) 一般社団法人日本アルミニウム協会. 各種アルミニウム圧延製品のLCIデータの概要～アルミニウム板材～. 2006-02-10. <https://www.aluminum.or.jp/environment/pdf/1-2-2.pdf>. (参照2024-05-29).
- 4) 公益財団法人自動車リサイクル促進センター. 自動車リサイクルの紹介.  
<https://www.jarc.or.jp/automobile/index/>. (参照2024-5-22)
- 5) 大瀧光弘. 軽金属. 2009, Vol.59, No.11, p.612-619.
- 6) 小澤敬祐ほか. 材料と環境. 2018, Vol.67, No.5, p.208-210.
- 7) 徳田健二ほか. 軽金属. 2007, Vol.57, No.10, p.444-449.
- 8) 古屋仲茂樹ほか. 軽金属. 2022, Vol.72, No.9, p.561-568.
- 9) 中野伸哉ほか. マツダ技報. 2013, No.31, p.38-43.
- 10) 日産自動車株式会社. 山口信幸. 線ズレ評価方法. 特許第6447247号. 2019-1-9.
- 11) 岸上靖廣ほか. 塑性と加工. 2023, Vol.64, No.745, p.34-40.
- 12) 株式会社神戸製鋼所. 小林拓史ほか. プレス成形品の製造方法, プレス成型, およびプレス成型品. 特開2022-163527. 2022-10-26.