

(解説)

自動車部品へのアルミ押出材の適用

Application of Aluminum Extrusion Materials to Automotive Parts



橋本成一
Narukazu HASHIMOTO

Recent automobiles have problems of increasing body weight due, for example, to enhanced structural strength for improving collision safety, an increase in the number of parts such as sensors and installation of large batteries. Meanwhile, it is also necessary to respond to the strengthening of fuel-efficiency regulations, and aluminum materials are being increasingly used for the purpose of weight reduction. In particular, aluminum extrusions, which enable complicated cross-sectional shapes to be obtained with relative freedom, are being increasingly applied to automotive parts such as automotive bumper systems and frame members. This paper reports on the current status and future trends of automobile parts adopting aluminum extrusions, with its main focus on a 7000-series alloy that is our main product.

まえがき = 近年、CO₂排出による地球温暖化問題や化石燃料である石油の枯渇などの環境問題がクローズアップされ、さまざまな分野で取り組みがなされている。自動車分野においても、車体の軽量化や電気自動車、燃料電池車などの開発により、燃費を向上させてCO₂発生量を抑制する努力が続けられている。たとえば、これまで、主として鉄鋼材料が使用されてきた自動車の構造部品に対して、軽量化のために、従来の鉄鋼材料の高強度化による軽量化構造の開発と並んで、アルミニウム合金の適用が進められている。アルミニウム合金は鋼の約3分の1の比重や高い比強度などの特性を持つ。さらにその品質や量産技術は、二輪車や航空機、新幹線車両などの実績に裏づけされている。

またアルミニウム合金素材の製造手段としては、鋼などでも適用されている鋳造、鍛造や圧延に加え、熱間押出加工が可能なことが大きな特長である。熱間押出加工したアルミニウム合金伸展材は、複雑な断面形状が比較的自由に得ることが可能であり、自動車用バンパシステムやフレーム部材などへの使用が増加している^{1), 2)}。

本稿では、自動車部品にアルミ押出材を適用した事例を紹介する。

1. 自動車軽量化の背景

自動車の燃費規制に関しては、古くから多くの法規制や基準があり、さまざまな取り組みが行われてきた。1997年の第3回気候変動国際枠組条約締結国会議で議決された京都議定書以降、地球温暖化の原因とされるCO₂排出量の削減を目的とした燃費向上方針が、燃費規制への大きな原動力の一つとなっている。

世界の自動車の燃費およびCO₂排出量規制動向としては、欧州と北米が規制を強化し、世界を牽引している。

日本や中国でも燃費規制は現在実施されているが、今後10年で中東、東南アジア、南米でも同様の規制が計画されている。北米のCAFE (Corporate Average Fuel Efficiency) や欧州のCO₂排出規制は、達成できない場合は罰金が科せられる非常に厳しい規制となっている。日本、欧州、中国および北米の2015年~2030年までの燃費規制の現状と将来の目標値を図1に示す³⁾。2025年以降、各自動車メーカーはCO₂排出量を現在の2/3以下にしなければならない。現状のガソリンエンジンの機構では自動車の重量を軽減することが最良の解決策であるとされており、生産台数の多い車種について、軽量化は必須となる。たとえば、北米で年間76万台(2014年実績)生産されているF-150 (Ford社) は、現行車からアルミニウムの使用量を大きく増加させ、約320kgの軽量化を達成した。CT-6 (GM社) も、アルミニウムの使用率を車体重量の62%まで増加させている。

燃費規制以外では、カリフォルニア州のZEV法 (ZERO

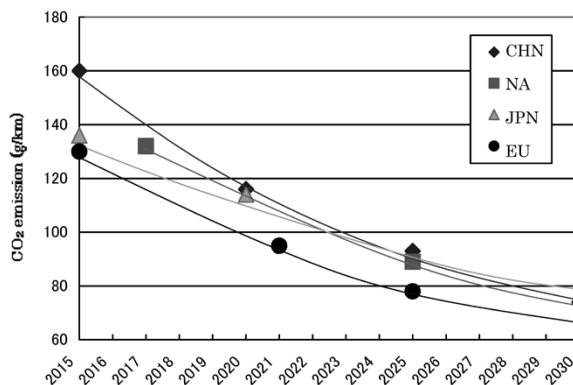


図1 日米欧中の乗用車における燃費・CO₂規準強化の動き (燃費基準はCO₂量に換算)³⁾
Fig. 1 Transition of strength of standard for fuel consumption (CO₂ criteria stricter in passenger car)³⁾

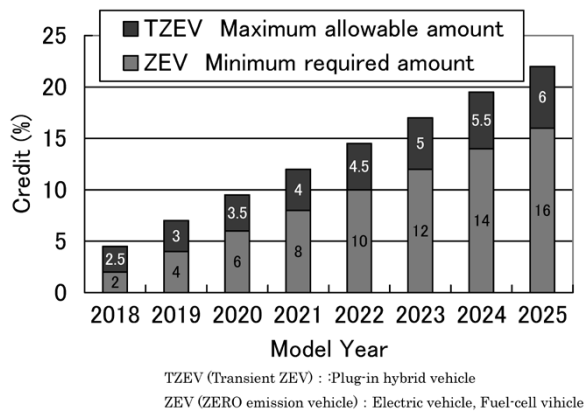


図2 ZEV規制における環境車の割り当てクレジット (LVM) ⁴⁾
 Fig. 2 ZEV credit percentage requirement for LVMs ⁴⁾

emission vehicle) ⁴⁾ や、中国が2020年以降実施を予定しているNEV法 (New energy vehicle) がある。これらの法律は、電気自動車や燃料電池車のようなCO₂を一切排出しない自動車の生産を自動車メーカーに課するもので、達成できなかった場合は罰金が科せられる。もしくは、Tesla社のように電気自動車のみを生産している自動車メーカーからクレジットを購入する必要がある。カリフォルニア州は、EV、PHEV、HEVなどのZEVの種類に応じて車両ごとに「クレジット」と呼ぶ係数を決め、販売台数に対して達成すべきクレジット基準を定めている。2018-2026のZEV規制における環境車の割り当てクレジットを図2に示す。2025年には、カリフォルニア州で電気自動車のようなCO₂を排出しない自動車が全体の15%以上を占めるように義務付けられる。

以上のような背景から、自動車構造材の軽量化ニーズはさらに強まろうとしており、鋳鉄や鉄鋼材料を高張力鋼に置き換えるにとどまらず、アルミニウムやFRPなどの軽量材料に置換する動きが本格化している。

当社においても、車体の軽量化を目的としたパネル用アルミニウム合金板の成形限界向上や、アルミニウム鍛造品の性能向上に材料技術と加工技術の両面から取り組んできた。また本稿で述べるアルミ押出材に関しても、高強度合金の開発を進めると同時に、それを活用したさまざまな自動車用安全部品を上市してきた。本稿では、そういったアルミ押出材の製品群を紹介する。

2. アルミ押出材

アルミ押出材は、エンジンの熱交換機用押出管や多穴形材などの小断面の押出素材として1960年代より適用が拡大してきた。1980年代には、鋼が主流であった車体構造材にもアルミニウム合金が適用され、板材や中空押出形材などが使用されるようになってきた。いっぽうで、適用が拡大するにつれて部品加工コストの低減や冷間加工性が課題となり、アルミニウム合金の化学組成や組織の改良によって対応してきた。さらに1990年代以降には、2次元の押出材を3次元の形状に加工させるために液圧を使ったハイドロフォーミングなどが登場している。

アルミ押出材は、軽量性に加えて、鉄では困難な任意の肉厚配分を持つ複雑な断面形状を得ることが可能であるため、自動車軽量化の有効な手段として注目されている。

当社では1990年以降、バンパシステムやドアビームへのアルミ押出材の適用を手始めとして、車体構造部品への適用事例を増してきた。表1にこれまでの適用事例を示す。

3. バンパシステム

3.1 バンパシステムの概要

最近のバンパシステムには図3に示すような構造が多い²⁾。最外側には薄殻構造の樹脂部品、その内側には発泡樹脂が取り付けられる。発泡樹脂の内側に金属製のバンパ補強材がステイ (取り付け支持部品) を介して車体に取り付けられる。車種によってはバンパ補強材が車体に直接取り付けられる場合もあるが、衝突安全基準の強化に伴い、ステイ部材にエネルギー吸収特性 (以下、E/A特性という) が求められることが多くなっている⁵⁾。

バンパシステムの主たる役割は、最初に衝撃力を受け止め、変形しながらエネルギーを吸収することである。また、バンパビームで吸収できないエネルギーをステイおよび後方部材に伝える役目もある。軽量構造でより多くのエネルギーを吸収するために、高強度の材料と素材断面形状が開発されてきた。最近では、7000系 (Al-Zn-Mg系) の高強度合金 (耐力300MPa以上) が用いられ

表1 アルミニウム合金押出材の自動車構造部品への適用例
 Table 1 Applications of aluminum alloy extrusions for automotive structures

Part name	Alloy	Adoption	Required characteristic
Door beam	7000 Series	1993~	Bending strength, Energy absorption
Instrument panel reinforce		2003~	Rigidity, Bending strength
IPU guard		2012~	Bending strength
Seat back bar		2015~	Axial strength
Front side rail		2016~	Axial compressibility
Locker		2016~	Bending strength
Bumper system (Fr. Rr.)	6000 Series	1992~	Bending strength, Energy absorption
Side step		2007~	Rigidity
Back step		2014~	
Knee bolster		2005~	Compressibility in cross section
Sub flame	5000 Series	2005~	Rigidity

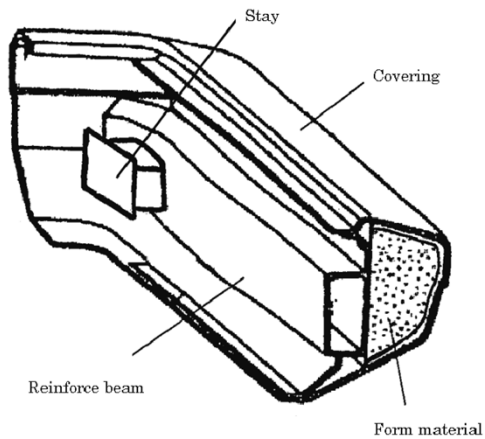


図3 バンパシステムの構造例
Fig. 3 Example of bumper structure

ようになっており⁶⁾、従来の6000系合金（Al-Mg-Si系）と比較して約30%の軽量化が実現されるなどの設計例もある。さらに、衝突基準の強化に対応して、より高強度な材料（耐力400MPa以上）も一部で求められるようになってきている。

また、バンパシステムなどのエネルギー吸収部材には、圧壊時に割れが進展し難いアルミニウム合金が求められる。このような耐圧壊割れ性に対して当社は、結晶粒径と粒内析出物が大きく関与することを明らかにし⁶⁾、材料開発に役立てている。

3.2 バンパビーム

バンパビームの断面は、「口」「日」「目」などの中空形状が基本とされている。代表的な断面形状を図4に示す。全体の形状（曲がり）は、両端曲げをはじめとして多様化してきている。全体形状の例を図5に示す。また、車体デザインに対する追随性を確保するため、図6に示すような変断面加工を施す必要性も出てきている。変断面加工は、ナローオフセット衝突のように衝突試験時のバリアと車体のラップ量が小さくなっていることへの対応としても必要である。

バンパシステムには車両を牽引するためのフックを固定する部材も取り付けられるようになってきている。衝突時の曲げ圧縮だけでなく、けん引時の引張や疲労に対する機能を織り込む必要があるため、設計の難易度は高まっている。

最近では、歩行者保護の観点からバンパビームの下側にもう一つ小型のビームが取り付けられることもある（図7）。バンパシステムに対しては今後も多機能化の要求は加速していくと予想される。

3.3 バンパステイ

バンパステイは、安全基準の強化に伴ってエネルギー吸収（E/A）特性が要求されるようになってきており、衝突時の潰れ方を制御しなければならない部品となっている。

鋼製ステイは溶接で箱状に製作され、アルミニウム製バンパビームとは機械的に締結される。また、一般的なアルミニウムステイの場合も溶接構造体が主流であるが、溶接後のひずみや溶接品質の保証が難しく、鋼製と比較して高コストとなってしまう。

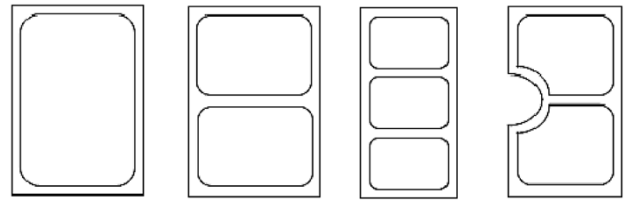
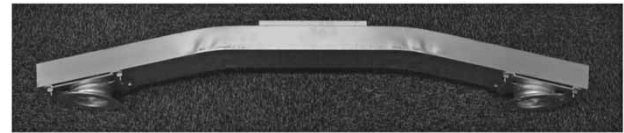


図4 バンパビーム代表断面
Fig. 4 Typical section type of bumper beam



a) Both end bending shape



b) Round shape

図5 バンパビーム曲げ形状
Fig. 5 Typical bending type of bumper beam



図6 両端部が成形されたバンパビーム
Fig. 6 Both-ends-formed bumper beam

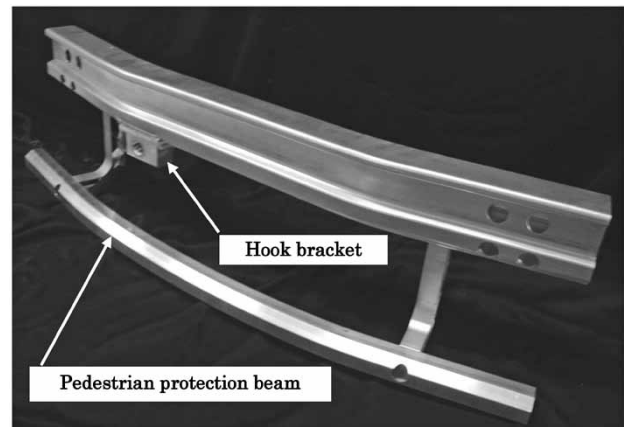


図7 フロントバンパシステムの例
Fig. 7 Example of front bumper system

当社は、電磁成形によるかしめ工法を用いたバンパステイを開発した。

3.4 電磁成形を利用したバンパシステム

電磁成形は、大容量のコンデンサに充電した高電圧の電流を一挙に電磁コイルに流すことにより、瞬間的に生じる高磁場を利用して被成形材を加工する技術であり、アルミニウムや銅のような高導電性材料の成形に適している。非接触で成形力を負荷することができるため、プレス成形法と比較して金型点数の削減が可能である。さらに、成形と接合との同時加工による工程削減や、複雑形状の成形も期待できるため、実用化に向けた研究が行われてきた⁷⁾。

いっぽうでコイルは、被加工物を成形する際に成形力とは逆の電磁的な反力を受ける。このため、コイルの寿

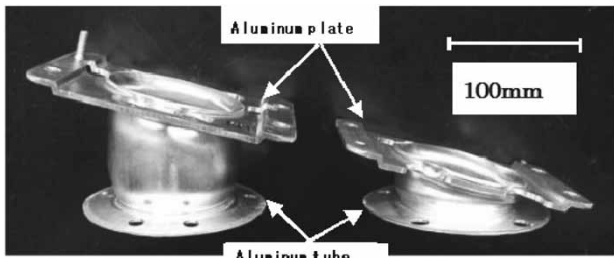


図8 電磁成形法により成形されたアルミステイ
Fig. 8 Bumper stays produced by electro-magnetic forming method

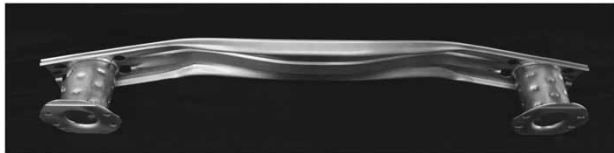


図9 ステイ一体型バンパシステム
Fig. 9 Bumper system combining stay to beam

命を高めることが量産のためのポイントの一つであった。当社では、拡管時の電磁力分布を予測する計算シミュレータの開発⁸⁾など、高度なシミュレーション技術を活用し、コイルの耐久性を高める技術開発などを進めて量産用製造工程への適用を図った結果、電磁成形ステイを用いたバンパシステムを実用化した⁹⁾。

従来の鋼製ステイは部材を溶接するため、工数とコストがかかり、また完成品に溶接ひずみが残留する問題もある。図8に示した電磁成形ステイは、アルミニウム合金製中空円管をステイ胴材に用いる。円管の一端に端板を取り付け、中空円管を電磁拡管することによって両者がかしめ結合する。また他端は、電磁拡管時に張り出し成形を受け、同時に取り付け部位が形成される。

部品形状にもよるが、電磁力でアルミニウムを拡管し、かしめることによって溶接が不要となり、作業工程数はおよそ半分に減少する。また溶接ひずみが生じることもなく、さらにステイを構成する部品点数も削減することができる。電磁成形ステイは、同じ強度性能を持つ鋼製の従来品と比較して約1/2以下の質量となった。

さらに、バンパビームとステイの結合にプレートを経さず、直接電磁成形で結合したバンパシステムの例を図9に示す。バンパとステイが一体となっかしめ結合されており、部品点数削減、溶接レスによりさらなる軽量化が達成されている。

4. ドアビーム

ドアビームは自動車の側面衝突から乗員を保護するための最も重要な安全部材の一つであり、現在ではほとんどの自動車のドアに装着されている。ドアビームの一例を図10に示す。

ドアビームには衝突時のエネルギーを吸収する能力とドアの大変形を防止する機能が要求される。側面衝突に対する最終的な性能は実車テストで評価されるが、ドアビーム単体は、通常両端を単純支持した梁の3点曲げ試験で評価される。ドアビームの形状は、最大曲げ荷重およびエネルギー吸収量を要求特性として設計される。

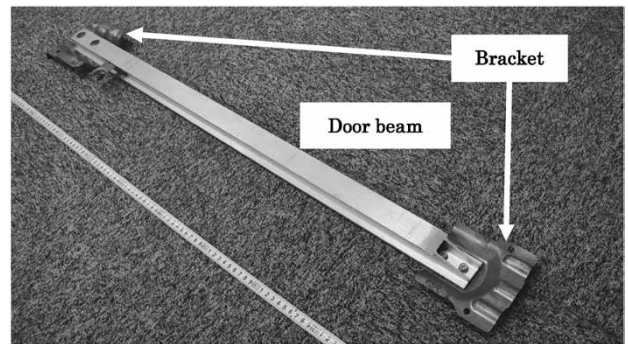


図10 アルミ製ドアビーム
Fig.10 Aluminum door beam

当社が設計するドアビームは、曲げ効率が最も良いIIの字断面が基本構造となっている。E/A量を同等とした場合、現状のハイテンパイプと比較して約30%の軽量化が得られる。

最近の傾向としては、衝突時の空走距離を短縮することを目的として大R形状に曲げ加工を施したものや、ドアインナへの取り付け性を改善するためにドアビーム端部につぶし加工を施す場合がある。これら加工が加えられることは少なからず残留応力が発生することを意味している。当社は、加工で発生した残留応力を制御することによってSCCのリスクを低減し、実用化につなげている。また、ドアビームには高い形状精度が求められており、加工精度を向上させることが今後の課題になっている。

5. 車体骨格材

バンパシステムやドアビームのアルミ化は約20年前から取り組んできており、車体軽量化の手法としてはほぼ確立されたものとなっている。しかしながら、今後の軽量化ニーズを考えた場合、車体骨格材への高強度アルミ押出材の適用が期待される。

Euro Car Body 2015において発表されたCadillac CT6には、多くのアルミ押出材が適用された¹⁰⁾。クラッシュカン、フロントサイドレール、ロックの3部品には当社の7000系合金が採用され、約100kgの車体軽量化の一要素となった。適用部位を図11¹⁰⁾に示す。これまでも6000系合金が車体骨格材に使われることがあったが、7000系合金の適用例は今回が最初である¹⁰⁾。

ロックなど車体前後方向に配置される骨格材のほか、車体幅方向に配置される骨格材への適用も始まっている。たとえば、シートバックバー(図12)と呼ばれるクロスメンバにも7000系合金が適用された事例がある。780MPaのハイテン材が使用された前モデルから衝突安全性が高まったことに加えて、約1.9kgの軽量化を実現している¹¹⁾。

車両に大型電池が搭載されるようになり、バッテリーフレームもアルミ化されるようになってきた。当社では、ガードフレームと呼ばれる製品も製作した。これは、後突時にバッテリーが後部座席に貫入しないようにするための部材であり、バッテリーフレームの一種である。強度が必要なため、7000系合金を適用している。

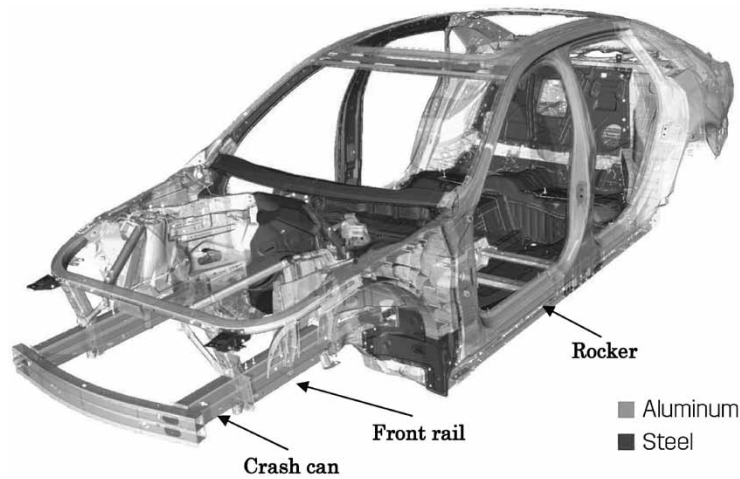


図11 量産車の骨格に適用された7000系押出材¹⁰⁾
 Fig.11 7000 series alloy extrusion applied to frames of production vehicles¹⁰⁾

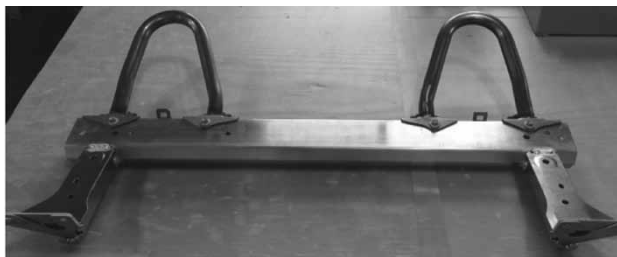


図12 シートバックバー
 Fig.12 Seat back bar

7000系合金は6000系合金の1.5倍以上の強度を有しており、軽量化に対しては有利である。しかしながら、今後さらなる7000系合金の適用を進めていくためには、残留応力制御によるSCC抑制、異材接合方法や部品構造の最適化などの課題を解決していくことが重要である。

6. 外装部品

当社は、アルミ押出材と樹脂や鉄製部品とを組み合わせた外装部品として、乗員昇降用のサイドステップ(図13)やバックステップを生産している。デザインが重視される外観にはPP樹脂が使用され、踏み台として必要な剛性は6000系のアルミ押出材が受け持つ構造である。両者はねじやクリップによって機械的に取り付けられている。

ブラケットにはコスト的に有利な鉄プレス品が適用されており、アルミ押出材との異材接合部分にはカチオン塗装によって電食対策が施されている。構成される部品にはそれぞれ異なった性能が要求され、その特性に最も適した材料を配置した。サイドステップは適材適所で設計した自動車部品の一例である。

軽量化とコストミニマムを両立させるために、今後異種材料の組み合わせによる部品が増加していくと考える。

むすび = 7000系アルミ押出材は高強度化が可能であり、中空断面を形成できることから強度部材としての利用価値が高まってきている。いっぽうで、板のプレス加工のような複雑な成形は難しく、外観形状を似せただけの単なる材料置換だけでは適用が困難な場合も多い。まずは部品に求められる機能を理解した上で、アルミ押出材に

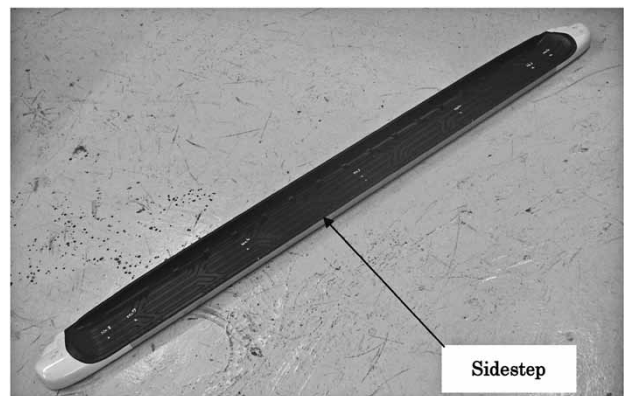


図13 サイドステップ
 Fig.13 Sidestep

適した形状に最適化していくことが重要である。

今後、自動車部品へのアルミ押出材の適用が増加するにしたがってさまざまな材料との組み合わせが考えられる。接合方法や表面処理などの技術も今後ますます重要となってくると考える。

当社は今後とも、アルミニウム合金の材料技術、加工技術、設計技術、シミュレーション技術、接合技術を総合してアルミ押出材の用途開発を推進する。軽量化およびコストダウンを図り、顧客に喜ばれるオンリーワン技術のさらなる発展を目指す所存である。

参考文献

- 1) 相浦 直ほか. R&D神戸製鋼技報. 2002, Vol.52, No.3, p.83.
- 2) 橋村 徹ほか. R&D神戸製鋼技報. 2002, Vol.52, No.3, p.98.
- 3) 富岡恒憲ほか. Nikkei Automotive. 2016.3, p.43.
- 4) State of California AIR RESOURCES BOARD. PROPOSED 2014 AMENDMENTS TO THE ZERO EMISSION VEHICLE REGULATION. 2014-09-02, p.8.
- 5) 橋本成一ほか. R&D神戸製鋼技報. 2002, Vol.52, No.3, p.99.
- 6) 川井 仁ほか. 軽金属学会第100回春季大会講演概要集. 2001, p.19.
- 7) Al-Hassani et al. J. Mech. Eng. Sci. 1974, Vol.16, No.1, p.1-9.
- 8) 細井寛哲ほか. R&D神戸製鋼技報. 2008, Vol.58, No.3, p.87.
- 9) 橋本成一ほか. R&D神戸製鋼技報. 2007, Vol.57, No.2, p.65.
- 10) Cadillac CT6 Elevates the Science of Mass Efficiency. http://media.gm.com/media/us/en/cadillac/racing/news_archive.detail.html/content/Pages/news/us/en/2015/mar/0313-cadillac-ct6.html. (参照2015-03-13).
- 11) 内堀 佳ほか. マツダ技報. 2015, No.32, p.148.