

(解説)

電磁成形を利用したアルミニウム合金製バンパシステム

New Automotive Bumper System Using Electromagnetically Formed Aluminum Alloy



津吉恒武*

Tsunetake TSUYOSHI



橋本成一*

Narikazu HASHIMOTO



橋村 徹** (工博)

Dr. Toru HASHIMURA

This article describes the structural features and target performance of aluminum-alloy extrusion-products for vehicle-bumper systems. Also described is the design of bumper systems which satisfy the latest safety standards, in relation to the weight reduction of the vehicle parts. The weight reduction is another industrial concern related to environmental issues.

まえがき = 近年、CO₂の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、各分野で取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などの開発によって燃費を低減し、CO₂発生量を抑制する努力が続けられている。

自動車の構造部品には、これまで主として鉄鋼材料が使用されてきたが、軽量化のために、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1/3の比重や高い比強度などの特性を持ち、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の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展伸材は、軽量性に加え、鉄鋼部品では困難な複雑な断面形状を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適用が増加している^{1), 2)}。

本稿では、軽量化の背景およびバンパシステムを取巻く技術動向に続いて、当社におけるオンリーワン技術の一つである電磁成形を利用したバンパシステム技術の開発状況について報告する。

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取組まれてきた。最近では、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低減方針が燃費規制への大きな原動力の一つとなっている。日本、欧州および北米の2000年～

2020年までの燃費規制の現状と将来の目標値を図1に示す。欧州における燃費規制が最も厳しく、例えば各自動車メーカーの企業平均燃費は、欧州では2012年の規制値はおろか、2008年の自主規制に対しても目標に到達しているメーカーは一社もなく、また規制が緩やかな北米においても、ほとんどが到達していないのが現状である³⁾。欧州では、CO₂排出量に応じて課徴金が課せられるなどの法令化が進められているため、各自動車メーカーにとって低燃費化が必須となっている。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、自動車の各部品やボデー構造の軽量化が進められている。

一方、自動車高機能化のニーズも進展し、アンチロックブレーキシステム、パワーステアリング、カーナビゲーションなどの付加システムの搭載が進むとともに、安全装置の追加や構造部材の強化のため、逆に重量増になるという課題が浮上している。また最近では、動力源として電気を用いるハイブリッド車や電気自動車などの省エネ技術が注目を集めているが、大きな電源などを搭載することによる重量増の課題を抱えており、さらなる低燃

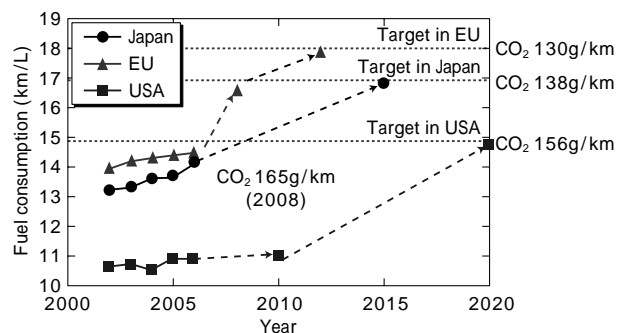


図1 自動車市場における燃費動向³⁾
Fig. 1 Fuel consumption target for vehicles³⁾

*アルミ・銅カンパニー 長府製造所 アルミ押出工場 **アルミ・銅カンパニー 技術部

費化の阻害要因となっている。この対策には、電源などの装置の軽量化とともに車体構造の合理化によって総重量の増加を最小限にとどめることが望まれる。

これらの理由から、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、鋳鉄や鉄鋼材料をアルミニウムや高張力鋼、FRPなどの軽量化材料に置換する動きが本格化している。なかでも、強度特性、リサイクル性に優れ、軽量化効果の高いアルミニウム展伸材の活用が世界的に検討され、フードやサスペンション、フレーム材などをはじめとするボデー構造体や各種部品のアルミ化が着実に進められている。

当社においても、車体の軽量化のために、パネル用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、押出材を用いた安全部材として6000系、および7000系の高強度材の開発を進め、ボデー構造設計のあり方を含めた新技術を提案してきた。そのような当社における軽量化技術の代表例の一つとして、アルミニウム押出合金を用いたバンパシステムが挙げられる。

次章では、バンパシステム構造に用いられる押出形材の特徴について述べる。

2. アルミニウム熱間押出材の特徴および電磁成形

アルミニウム合金押出材の自動車への適用部位を図2に示す。アルミニウム押出材は、エンジンの熱交換器用押出管や多孔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年代に入って、それまで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始め、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。一方で、適用が拡大するにつれて部品加工コストの低減も課題となってきたが、アルミニウム合金の化学組成や組織の改良研究が進められ、機械加工性や冷間塑性加工性が向上した。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生産性/コスト比の高い加工法として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。

アルミニウム押出材は、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着目されている¹⁾。例えば、日本国内のアルミニウム押出材の全出荷量は約100万トンで横ばいの状況にあるが、自動車向けのアルミニウム押出材は着実に伸びてきており、2003年度は1995年度より約50%増加している⁴⁾。

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ニウム合金熱間押出材の適用検討を手始めとして、車体構造への適用事例を増してきた。

その結果、2003年実績でアルミニウム押出材の全出荷量（鋳造棒を含む）に対して、自動車分野向け材の比率は50%を超えている。また、1990年代から電磁力を使った電磁成形法の基礎検討を独自に始め、実用化を模索してきた。そうしたなかで、電磁成形技術を用いて拡管成形を行ったアルミニウム押出形材製のバンパシステムの実用化に世界で初めて成功した。これは、押出材の技術と電磁成形技術を融合させることによって実現できたものである。

次章では、バンパシステムの技術的特長について概説し、4章で電磁成形技術を用いたオンリーワン技術について述べる。

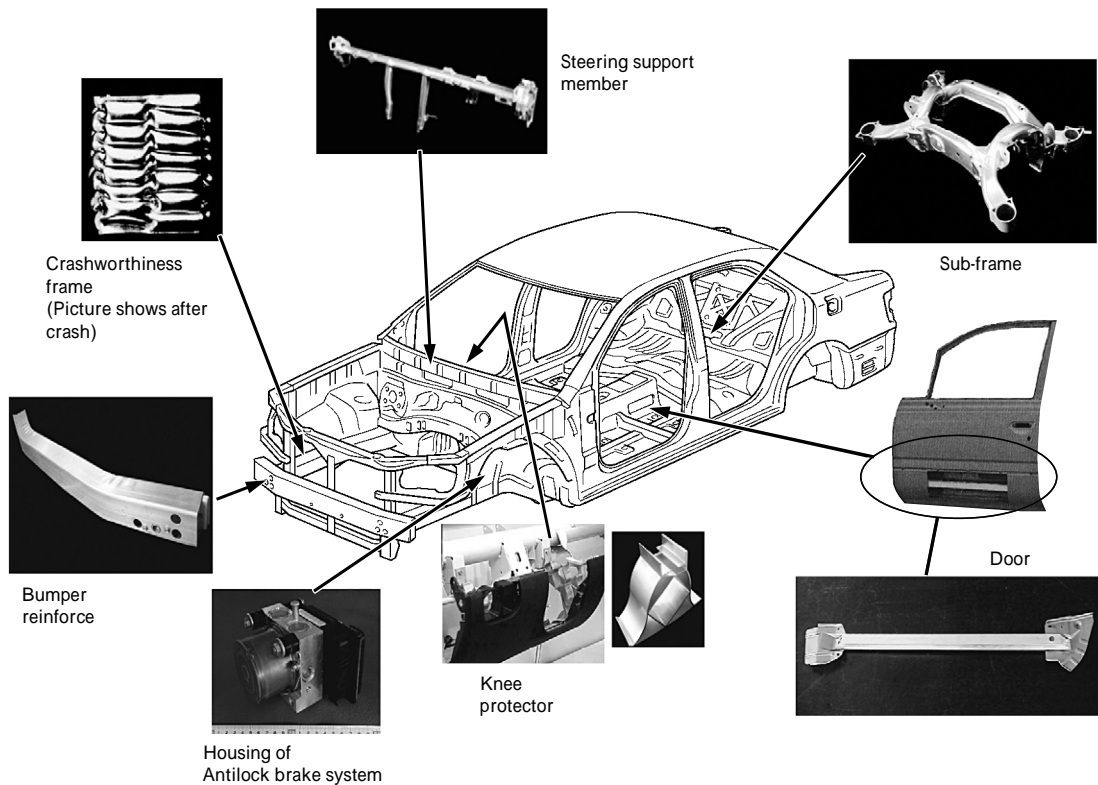


図2 アルミニウム合金押出材の自動車部品への適用例
Fig. 2 Applications of aluminum alloy extrusions for automotive structure

3. バンパシステムの構造と材料

最近のバンパシステムは、図3に示すような構造が一般的である²⁾。最外側には薄殻構造の樹脂部品が配置され、その内側には緩衝材としての発泡樹脂が埋込まれる。発泡部材の内側に、補強材としての金属製/樹脂性バンパ補強材がステイ（取付け支持部品）を介して車体メンバに取付けられる。車種によってはステイがなく、バンパ補強材が車体に直接取付けられる場合もあるが、最近の衝突安全基準の強化に伴って、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り、ステイ部材の大型化が顕著となっている。

バンパシステムには、操縦安定性を高めるための剛性付与の役割やセンサなどの部品を取付けるための機能的役割などもあるが、主たる役割は、変形しながら衝突エネルギーを吸収することであり、また、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させるため、高強度の材料と合せて工夫された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）が多く用いられるようになっており⁶⁾、従来の6000系（Al-Mg-Si系）のJIS6005（耐力220MPa以上）材を用いたビームと同等の衝突エネルギー吸収性能を持ちながら30%の軽量化が実現されるなどの設計例もある。本材料では、衝突時の割れを防ぐことと応力腐食割れ感受性の鈍化を目的として、人工時効処理によって過時効処理がなされている。最近では、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、安定した変形モードを生じて、変形時の荷重変動が小さいことが求められている。このためには、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。当社では、このような耐圧壊割れ性には、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⁵⁾、材料開発に役立っている。

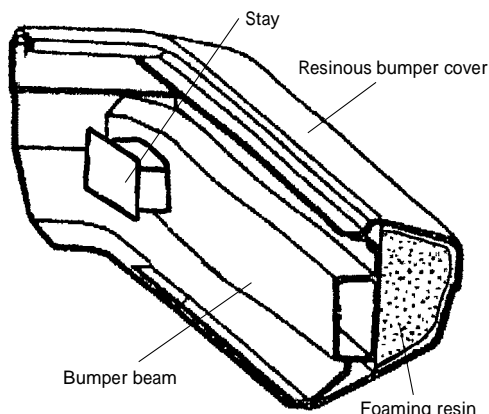


図3 典型的なバンパシステム構造²⁾
Fig. 3 Typical structure of automotive bumper system²⁾

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が、複雑化する車両デザインに対応するために多くの工夫がなされている（図4）。曲げ形状は、強化されている衝突基準に対応するため、両端曲げをはじめとして多様化してきている（図5）。

ステイは、バンパビームと車体メンバを締結することが従来からの主たる役割である。しかし、安全基準の強化に伴って、最近ではE/A特性が要求されている。衝突時の加速度による乗員への影響低減や、エアバック誤作動を防止するための加速度制御、また車両修理費低減を目的とした車体構造損傷防止などのため、潰れ方を制御するための部品（変形モジュール）となっており、バンパシステムのなかでも高い設計技術を必要とする重要な部品となってきている。

また最近では、歩行者保護の観点からバンパビームの下側に小形のビームがもう一つ取付けられた構造や、車両を牽引するためのブラケットなどが取付けられるなど、モジュール化されたバンパシステム（図6）が多くなってきている。今後もシステムの多機能化によるモジュール化は加速するものと予想される。

一方、鋼製および一般的なアルミニウムステイの場合、溶接構造体が主流であるが、前述の如く当社では、溶接を用いない新しい接合技術として電磁成形法を用いたステイを世界で初めて実用化した。

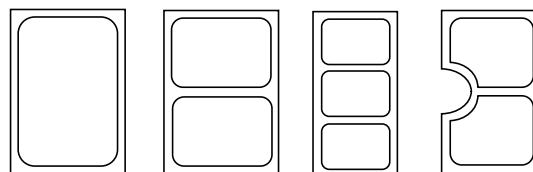


図4 バンパビームの代表的な断面形状
Fig. 4 Typical section type of bumper beam



図5 代表的なバンパビーム曲げ形状
Fig. 5 Typical bending shape of bumper beam

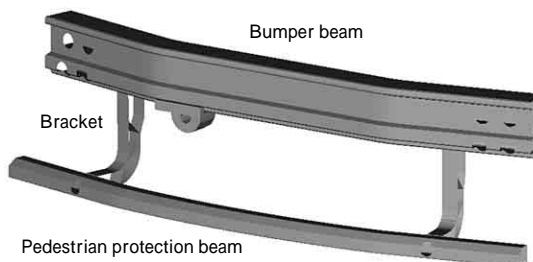


図6 フロントバンパシステムの例
Fig. 6 Example of front bumper system

4. 電磁成形技術と実施例

電磁成形は磁場を利用して被成形材を加工する技術であり、磁場は、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インダクタに流すことによって発生させる。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削減が可能であり、成形と接合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)~9)}。

一方で、インダクタ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ため、インダクタの寿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、拡管インダクタの実用実験にテクノ電気と共同で着手し、10余年にわたる改善の積み上げによって実用的電磁拡管工法の確立と実生産適用を実現した⁷⁾。さらには、拡管時の電磁力分布を予測し成形状態を求める計算シミュレータの開発¹⁰⁾など、高度なシミュレーション技術を活用し、ステイの形状設計を進める等により、電磁成形ステイを用いたバンパシステムが実用化された⁶⁾。

実用化した電磁成形ステイを図7に示す。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7の電磁成形ステイは、アルミニウム合金製中空円管をステイ胴材に用い、一端(部品の上部)は端板を取付け、中空円管を電磁拡管することにより両者がかしめ結合される。また他端(部品の下部)は、電磁拡管する時に張出し成形され、同時に取付け部位(フランジ面)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、かしめることにより溶接が不要となり、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。図7の電磁成形ステイは、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⁶⁾。

このほか、電磁拡管成形のバリエーションとして、当社では多くの開発検討例を持っている。図8は、フィッティングフランジ加工の原理である。受け金型の形状を接合する相手と同じ形状にしておくことにより、電磁拡管後の被成形体形状を接合する相手に密着する形状とすることが可能であり⁷⁾、接合品質を向上させることができる。この成形法をバンパステイに適用し、さらに部品点数の削減と軽量化を図った開発例が図9である。

また、フレーム類の電磁かしめ締結工法(図10)も検討している。結合する二つの部材にあらかじめ貫通穴を

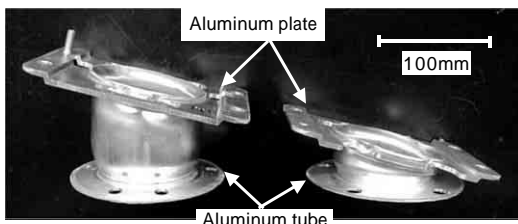


図7 電磁成形法により成形されたアルミステイ
Fig.7 Stays for bumper systems produced by electromagnetic forming method

設け、穴に中空円管(素管)を通し、その中にインダクタを挿入して電磁拡管成形を行う。素管外面と部材穴内面がかしめられ、二つの部材が締結される。この工法を用いることで、フレーム部材の結合が溶接レスで行える。

この工法をバンパステイに適用した新型バンパシステムの例が図11である。バンパとステイが一体となって

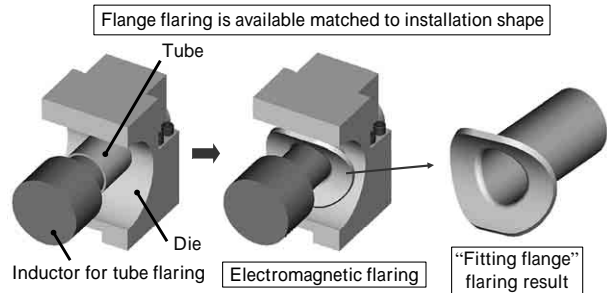


図8 フィッティングフランジ加工
Fig.8 "Fitting flange" electromagnetic flaring



図9 バンパステイへの適用例
Fig.9 Example of electromagnetic flaring for bumper stay

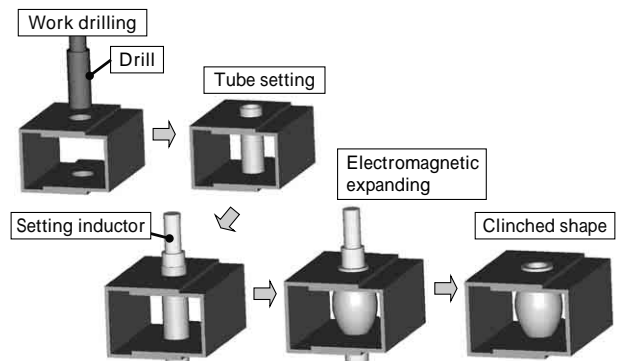


図10 電磁かしめ締結工法
Fig.10 Electromagnetic clinching method

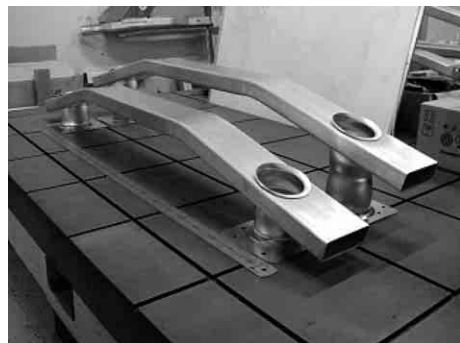


図11 電磁かしめ締結工法の適用例
Fig.11 Example of electromagnetic clinching for bumper system

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に軽量化が達成されている⁷⁾。

むすび=アルミニウム合金製バンパシステムは，自動車の軽量化アイテムとして大きな役割を担っていることに加え，衝突安全性能を向上させる手法の一つとして適用が拡大してきた。今後も，衝突安全基準が厳しくなるのに伴って，衝突モジュールとしてのバンパシステムの構造は複雑・大型化していくことが予想される。他方，燃費向上を目的とした車体構造の軽量化要請も強いことから，バンパシステムのさらなる軽量化が求められている。こうした相反するニーズを両立させることが必要になることから，アルミニウム押出材を用いた構造設計技術や合金設計の高度化技術と，電磁成形を発展させた新しい成形・結合技術とを融合させることによって軽量化や部品点数削減などを実現することが重要となってくる。

アルミニウム合金製部品の適用拡大のためには，さらに特長ある加工方法の開発が望まれている。当社は今後

とも，アルミニウム合金の材料技術や加工技術，設計技術，シミュレーション技術を総合してアルミニウム合金の用途開発を推進し，軽量化およびコストダウンを図ることによってお客様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，Vol.52, No.3(2002) p.83.
- 2) 橋村 徹ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.52, No.3(2002) p.98.
- 3) 櫻井健夫：R&D 神戸製鋼技報，Vol.59, No.1(2009) p.121.
- 4) 稲葉 隆ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.55, No.2(2005) pp.66-74.
- 5) 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.
- 6) 橋本成一ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.57, No.2(2007) p.65.
- 7) 今村美速：Automotive Technology,(2009) pp.138-143.
- 8) Jausen, H. et al.:IEEE Trans, Ind. Appl, IGA-4(1968) pp.428-432.
- 9) Al-Hassani et al.:J.Mech.Eng.Sci., Vol.16, No.1(1974) pp.1-9.
- 10) 細井寛哲ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.58, No.3(2008) p.87.