

文/馬場末希 本誌

自動車に採用進むアルミニウム マグネシウムも弱点を克服

原油高騰に加えてCO₂削減が求められる中、乗用車から航空機まで、燃費の改善が求められている。自動車メーカーなどはアルミやマグネシウム、そして炭素繊維複合素材といった軽量素材の活用を加速している。

アウディジャパン（東京都世田谷区）は今年7月、スポーツカー「R8」を発売した。車体には主にアルミニウム（用語解説参照）を、エンジンフレームにはマグネシウム（用語解説参照）を採用している。ユーザーの要望によっては、ドア後方の「サイドブレード」と呼ぶパネルを、炭素繊維を樹脂で固めた炭素繊維複合素材（CFRP、用語解説参照）製に置き換えることもできる。

アルミの重さは鉄の約3分の1。マグネシウムなら約4分の1だ。軽量素材を使って車体を軽くするほど、燃費はよくなる。とはいえ、R8のような軽量素材を多用した車は、いまだまれな存在。ホンダが1990年にスポーツカー「NSX」で車体のオールアルミ化を実現したが、後継は少ない。普及の壁はコストの高さだ（45ページ表）。現状では、アルミを多用するのは高級車を中心で、一般の乗用車には薄肉化で軽量化できる高張力鋼板が多く使われている。

ただ、今後アルミやマグネシウムの採用が本格化する可能性もある。

●神戸製鋼所のアルミによるバンパー部品の製造技術
電磁成形技術でバンパーと車体の取り付け部分（ステイ）をアルミに



●「787」が採用、東レの炭素繊維複合素材
来年就航予定のボーイング社787型機的全構造材の50%に東レの炭素繊維複合素材が使われている

●アウディ「R8」

2007年7月にアウディジャパンが発売したスポーツカー「R8」。車体に押出成型アルミ材を多用している



原油高騰で軽量素材に脚光 採用が最も進むアルミ

原油高騰が続く中、京都議定書の目標を達成するため、運輸部門の対策強化として、特に欧米の燃費規制が厳しくなっている。自動車メーカーはエンジン性能の向上やハイブリッド化などの技術開発に加え、鋼板よりも軽い非鉄素材の採用を加速せざるを得ない。トヨタ自動車などは新車の開発時に、グラム単位で軽量化目標を立てている。素材業界もこうしたニーズに応えるため、コスト削減に取り組む。

現在、自動車への採用が最も進んでいるのがアルミだ。2000年モデルの車1台当たりのアルミ平均使用量はEU（欧州連合）が89kg、日本は同96kgで、米国では同117kgに達する。

日本車のアルミ化は、80年代後半、車体や足回りの部品への採用から始まった。車全体の重量バランスを保つため、重くなるエンジン周辺部材のアルミ化が進んだ。現在はフードや車側面などの外板のほか、車の重心を下げるために屋根材にも使われる。

アルミが、鉄では実現できない押出成型ができる特性を生かし、バンパーへの採用も進む。押出は、ちょうどコロテンのような原理の成型法だ。数百kgのビレットと呼ばれるアルミ合金の円柱を、480℃の高温下で2000～3000tの力で金型を通す。

車が衝突した際、エンジンや乗員、歩行者への衝撃を抑えるため、バンパーは衝突エネルギーを吸収することが求められる。成形の自由度が高いアルミなら、エネルギー吸収率がより高い形を押し出で実現できる。

電磁成形で鉄より6割軽く アルミ高値でマグネ躍進か

神戸製鋼所は90年代後半から、トヨタ「マークII」や日産自動車「スカイライン」などに、押出材で生産したアルミバンパーを供給。現在、山口県の長府製造所では、月に4万～5万本を生産する。2006年9月には、バンパーを車体に取り付けるパイプ状の「ステイ」(43ページ写真)と呼ぶ部品を、低コストかつ高い生産性でアルミ化できる電磁成形工法で量産を始め、今年1月にはスカイラインに供給し始めた。

神戸製鋼は従来、鉄の板材を三角形の筒状に加工してステイを製造していた。一方で、軽量化はもとより市場の安全への要求に応え、よりエネルギー吸収力を高めるため、ステイまでのアルミ化を進めていた。

しかし、アルミにすれば価格は高くなる。そこで、「工数を減らし加工賃を下げ、高い原料価格を吸収した」(神戸製鋼アルミ・銅カンパニー

長府製造所の橋本成一主任研究員)。

工数を減らすため、溶接に着目した。従来なら、鋼材のステイは4カ所、アルミステイでも2カ所を約10分かけて溶接していた。一方、電磁成形工法によるステイ製造工程はこんな具合だ。パイプ状のアルミ押出材を穴の開いた1枚の板材に通す。大電流をコイルに流し、生じた磁場を使って10 μ 秒(μ は百万分の1)の瞬時にパイプを変形させ、板材にかしめて成形する。溶接は不要だ。

瞬時に大量のエネルギーを使うが、「溶接と比べるとステイ1個当たりのエネルギー消費量は少ない」(神戸製鋼)。溶接の加工賃を無くし、エネルギー消費量を抑えて鉄のステイに比べて1.2～1.3倍のコスト増を抑えた。重量も鉄が1セット(2個)で2kgのところ600gにまで軽くした。

長府製造所は電磁成形工法でスカイラインと、他の車種向けの量産を進める。今年8月のアルミステイ生産量は2万個。「バンパーの安全性の向上には一層の大型化が必要。

軽量化は避けられず、アルミのバンパーとステイの採用が広がりそうだ」(同製造所の畑山直史主任研究員)

一方で、自動車と半導体向けアルミ需要の拡大を背景にアルミ地金の価格が上昇。マグネシウム業界は、アルミとの価格差が縮まったことを追い風に自動車への採用拡大を狙う。

マグネシウムは現在、日本車ではハンドルやエンジンのシリンダーヘッドのカバー、座席の骨組みに使われる。しかし、1台当たりの平均使用量は1kgにも満たない。採用が最も進む米国車でも4kg程度だ。

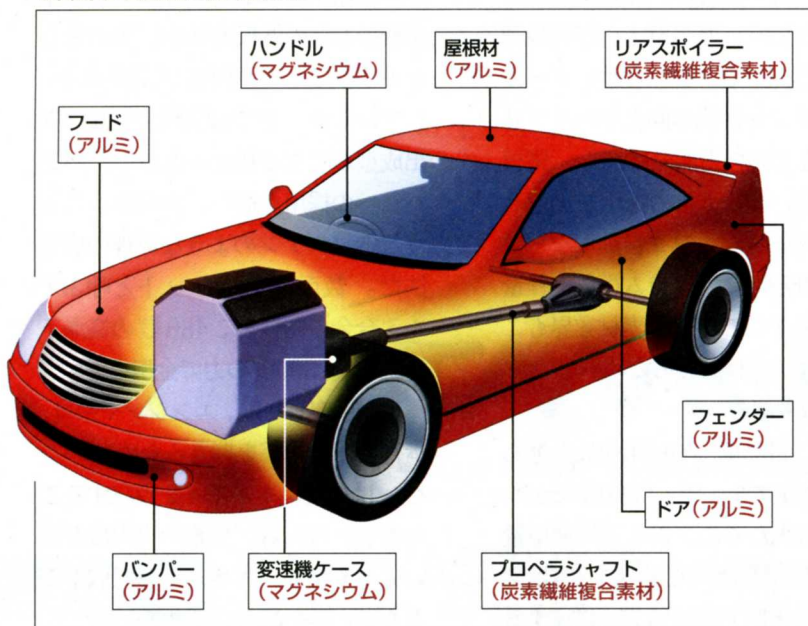
マグネシウムの採用が進まないのは、原料価格が高く、また他の素材に比べて耐熱性に劣るからだ。

部品メーカー各社が進めるコスト削減策は主に2つある。1つは、歩留まりを上げること。各社とも製造時に排出する端材の再利用に取り組む。もう1つは、工数を減らすため、部品を構成する複数の部材を一体成形し、部材点数を減らすことだ。

耐熱性向上にもめどが立っている。純マグネシウムの融点は650 $^{\circ}$ Cで、鉄に比べて低い。それは、溶解して成形する時のエネルギー消費が相対的に少なく済み、加工しやすいという長所でもある。しかし、自動車への採用拡大には、エンジン周辺では150 $^{\circ}$ C以上になる車体環境に対応した耐熱性と強度が必要だ。

マグネシウムのもう1つの弱点は、腐食しやすいこと。そこで、従来のマグネシウム合金には、腐食を防ぐためアルミが添加されたものがある。これにレアアース(希土類)とカルシ

●自動車の軽量素材の採用例



イラスト/タジマヤスタカ

素材・部品メーカーが自動車部品用に供給した例を基に作図。実際に図と同じように採用した車は無い。この図で示した部品以外で採用していたり、別の軽量素材を採用している部品もある

ウムを添加して耐熱性を高めた合金が、エンジン下部の「オイルパン」など高温になる部分に採用された例もある。ところが、この合金ではカルシウムの性質上、割れやすくなるなどの問題もあった。

そこで、アルミやマグネシウムのダイカスト製品を主力製品とするアーレスティは、長岡科学技術大学などと共に2002年、耐熱性に優れ加工性も高めた合金を開発した。

カルシウムやレアアース、加工性を向上させるアルミや亜鉛の添加割合を調整して、175℃の環境下に100時間放置してもゆがみが生じず、変速機ケースの複雑な形でもダイカスト製造できる合金を開発。この耐熱マグネシウムを応用した合金が、ホンダ車の変速機ケースで採用された。

非鉄金属が自動車に適用範囲を広げる中、金属よりさらに軽く強いCFRPの活用は足踏みの状態だ。炭素繊維は鉄に比べ、重さは4分の1、強度は10倍だ。2008年の就航に向け、生産が進む米ボーイング社の次期主力機787型機は、機体重量の5割に東レのCFRPを採用した。その結果、従来機に比べて燃費は2割改善した。

CFRPの本格採用は10年後？ 熱可塑性樹脂の検討も進む

しかし、車への採用例は、F1車やスポーツカーの外板のほか、ホンダ「レジェンド」や三菱自動車「パジェロ」のプロペラシャフトなどにとどまる。その理由はやはりコストと成型性の問題だ。現在は787型機への採用で需給が逼迫した売り手市場で価格が高止まりしている。

加えて、自動車向けの従来の成型方法では、成型に数時間がかかる。日産自動車と東レは、NEDO（新エ

●代表的なアルミ合金、マグネシウム合金の特徴

	アルミ	マグネシウム	鋼板	炭素繊維(参考)
重さ(t/m ³)	2.7	1.8	7.8	約2
比強度(T.S./ρ)10 ⁶ mm	10	13.3	4.2	—
比剛性(E/ρ)10 ⁶ mm	2600	2500	2700	—
融点(℃)	577～638	470～595	約1530	—
1t当たりの価格(円)	30万	30万	8万	6万

注：アルミは合金5182-0、マグネシウムは合金MDC1A、鋼板はSPCC（日本アルミニウム協会の資料）。比強度は引っ張りに対する強さ、比剛性は壊れにくさ。値が大きいほど強い。価格はおよその相場

ネルギー・産業技術総合開発機構)の委託で高速成型技術を開発した。この成型法では、炭素繊維への樹脂の含浸に要する時間を従来の10分の1以下に短縮、ドアパネルの成型時間を従来の160分から10分に縮めた。

しかし、「自動車メーカーの工場での生産性の高さを考えると10分でも長い」と東京大学の高橋淳准教授は指摘する。この短縮のため、高橋准教授は熱可塑性樹脂の活用を期待する。

従来のCFRPに使われるのは、主に熱硬化性のエポキシ樹脂だ。加熱して液状で成型し、いったん固まれば強度が高く耐熱性もある。これをポリプロピレンなどの熱可塑性樹脂に換えれば、強度はアルミやマグネシウム程度に落ち、耐熱性も劣るが、成型速度が上がり、コストは下がる。NEDOは2008年度にも、熱可塑性樹脂を使った開発を始める。

高橋准教授の試算によれば、1350kgの車体と内外装、シャーシなどに熱可塑性樹脂のCFRPを採用すれば、約6割の810kgに軽量化できるという。しかし、そこまでの本格採用には、「数年から10年はかかりそうだ」（高橋准教授）。

運輸部門のCO₂削減圧力を背に受け、今後、複数の軽量素材が競い合うことになりそうだ。

技術事始・用語解説

【アルミニウム】

ボーキサイトを電気分解して生産する。この高純度のアルミを円柱形に成型したアルミ地金は、世界で1年間に約4000万t生産されている。地金生産国1位は中国で約800万t。素材メーカーは商社などを介して調達した地金に、マグネシウムやマンガンなどを加えて機能性を持たせた合金を生産したり、板材や押出材、鍛造ダイカストに加工する

【マグネシウム】

マグネシウムの主力の生産方法は、海水などから生成した塩化マグネシウムを電解精製するもの。世界のマグネシウム地金の年間生産量は約37万t、生産量1位は約8万tの中国。地金を素材メーカーが調達し、加工して自動車メーカーに供給するケースが多い

【炭素繊維複合素材(CFRP)】

炭素繊維自体はアクリル繊維を数回、炉で焼成して生産する手法が主流だ。この炭素繊維に樹脂を含ませたシートが、「プリプレグ」と呼ぶ複合素材。一般的には熱硬化性のエポキシ樹脂が使われる。航空機などの部材は、複数のプリプレグを積層させ、「オートクレーブ」と呼ぶ釜で高温・高圧下で成形する