

乗用車のアルミ化の動向

日野光雄

神鋼アルコア輸送機材株式会社

Trends in Passenger Car Aluminization

Mitsuo Hino

Most of the aluminum materials used for automobiles are casts and die-casts. However wrought aluminum products applied to automobiles have recently been increasing gradually in North America and Europe. In the USA especially wrought aluminum is being used extensively for body panels such as hoods. Also aluminum spaceframes are being introduced into low-production vehicles such as sports cars. This paper outlines the trends and technical issues related to the application of wrought aluminum in passenger cars.

まえがき = 近年、自動車の軽量化は地球環境や資源の保護の立場からますます重要になっている。

軽量化材料としてのアルミニウムは（以下アルミと略す）コストパフォーマンスが高いこと、リサイクル性に優れることなどから、エンジンやホイールなどに鋳物として多用されてきた。しかし、最近フードやフェンダーなどのパネル類やバンパ・リインフォース（以下バンパR/Fと略す）、ドアインパクトバー、サスペンションなどの構造部品に展伸材（板、押出、鍛造）が使用され始めている。さらには、オールアルミ車を想定したスペースフレームの車体構造が欧米で提案され、量産が一部おこなわれるまでにアルミ化は進展している。

本稿では、これらの展伸材を主体としたアルミ化動向を紹介するとともに、同材料の現状と課題について概説する。

1. 日米の軽量化目的

自動車の軽量化の目的はその時代の社会的要請により異なるが、おおむね次の三つに大別できる。

燃費や排ガスなどの規制をクリアさせるため。

車として運動性能や乗り心地を向上させるため。

安全対策や装備充実などによる重量増加を軽減させるため。

これらの目的を達成させる軽量化手段として、車両構造、部品構造、工法などの合理化や材料置換が考えられるが、アルミ化という材料置換はその素材が比較的高価な

ために最後の手段として使われることが多い。

米国でのアルミ化は上述の目的の理由（CAFE 規制強化）が強いため、現在活況を呈している。いっぽう、国内ではこの数年は車の製造コスト削減を優先させたためアルミ化は停滞していたが、最近はこのニーズが強くなり、アルミ化が期待されている。

2. 自動車分野におけるアルミの需要

国内におけるアルミの総需要量（1995年）は約396万トンであり、鉄の約1/25である。これを形態別に分けると板材が約121万トン、押出材が約118万トン、鋳物・ダイキャストが約109万トン、鍛造品が約3万トンであり、残りの約50万トンは輸入品や電線が占めている。これらの需要量の中で自動車分野が占める割合は板材で6.6%、押出材で8.1%、鋳物で79.6%、鍛造品で57%である¹⁾。自動車分野に使われているアルミのほとんどがエンジンやホイールなどの鋳物であることがわかる。

しかし、最近ではアルミの使用比率が増える中で展伸材の量も増えつつある。

3. アルミ化の現状

3.1 ボディパネル

最近のボディパネルのアルミ化状況を第1表に示す。アルミ化部品は日米を問わず、まだ既存の製造設備が使えるフードなどのふた物類に限られている。国内ではスポーツ車、高級車での採用が目立つが、米国では現行の

第1表 日米におけるアルミパネルの採用状況

Table 1 Adoption of aluminum body panels in Japan and USA

Car Makers	Japan					USA		
	Hood	Removable Roof	Fender	Decklid	Car Makers	Present	1997 ~ 2000	
TOYOTA	Supra Celica	RAV-4			FORD	Lincoln Tower Car(H) Crown Victory(H,D) Lincoln Mark (H) F-150(H) Taurus/Sable(D) FN10(H)	Planning to apply aluminum to body panels in 5 or 6 models	
NISSAN	Fairlady Z Skyline GTR J-Ferry	Infinity Q45	Skyline GTR	Fairlady Z				
HONDA	NSX	NSX CR-X	NSX	NSX				
MAZUDA	RX 7, Roadster Sentia Cosmo Eunos 800				GM	Aurora/Riviera(H) U-VAN(H)	Planning to apply aluminum to body panels in 6 or 7 models	
MITSUBISHI	Lancer Rally	RVR						
SUZUKI	Cappuccino	Cappuccino	Cappuccino					

(H) : Hood, (D) : Decklid, (F) : Fender



写真1 Multi-Cone 設計のフードインナ
(GMのリビエラ)

Photo.1 Aluminum hood inner panel with
Multi-cone design
(GM・Riviera)

CAFE 規制をクリアさせる一つの手段として生産量の多い車のアルミ化が1997年から1999年にかけて計画されている。とくに注目されるのは、全米で最大の生産量を誇るピックアップトラック F150 のフードがアルミ化されたことである。

アルミパネルで注目される動きとして、写真1に示すようにフードのインナ形状が従来のハット型の骨構造でなく、円錐台の大きなくぼみをつけたもの (Multi-cone) が提案されている²⁾。これは骨組みを打ち抜く必要がないのでプレス工程を1工程削減できること、インナの形状設計が容易などの特徴を持ち、GMのリビエラで採用されたのを契機に、近々、米国で採用が広がる模様である。

3.2 その他のプレス部品

フードなどのふた物以外にアルミ化された例はあまり多くないが、カバー類、ケース類での適用がある。中でも床下のヒートインシュレータは欧米ではかなりアルミが普及しており、国内でも多くなりつつある。これはアルミめっき鋼板に近い板厚でよいことと、軽量化率とコストのパフォーマンスが優れるためである。

また、最近欧州の量産車にオールアルミのラジエータサポートが採用されている。

3.3 押出部品

アルミ材料の中で押出品ほどアルミの特徴が出せるものはない。押出成形では断面形状が自由に選べて、一体成形できるため、スポット溶接などの点接合部品に比べ剛性が高く、鋼板の成形の場合に必要なプレス用金型が不要となり、加工費を含めてのコスト競争力を高めることができる。このため、バンパ補強 (バンパR/F)、ドアインパクトビーム、サンルーフや電動シートのレール類およびサンルーフなどにもちいるフレーム類などに押出材が採用されている。

写真2に押出材を使用したユニークな例を示す。バンパR/Fのステイ部に型材2型をかん合させ、しかもボディ本体への取付け用スライドレールを付加している

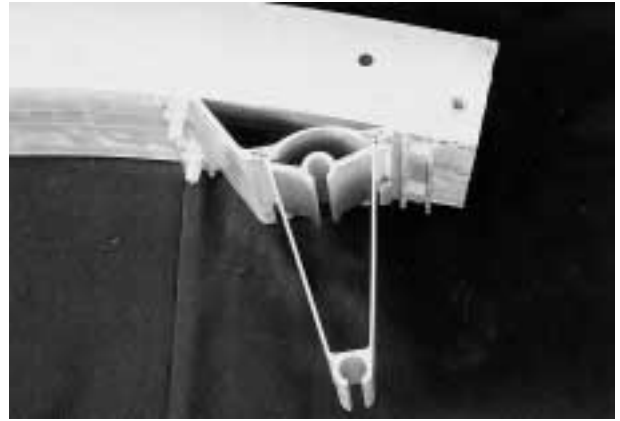


写真2 アルミ押出型材をもちいたバンパR/Fのステイ
Photo.2 Bumper R/F stay made of aluminum extrusion

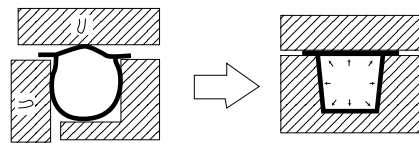


写真3 ハイドロフォーミングで試作されたフロントサイドメンバ
(フランジ付アルミパイプを使用)

Photo.3 Trial front side member produced by hydro-forming process
(Using aluminum pipe with flange)



写真4 アルミパイプをハイドロフォーミングしたシートフレーム
Photo.4 Seat frame made of aluminum pipe by hydro-forming process

点など工夫された例である。同じく、衝突エネルギー吸収体としてドアビームに、ねじれながら変形する断面形状に設計されて使用されている。また Audi A8 のフロントサイドメンバにもアルミが使われたが³⁾、国内でも写真3に示すように鋼管ではできないフランジ付パイプをもちいてハイドロフォーミングでフロントサイドメンバが試作され、鋼車体への部分的使用として、今後の採用が期待

されている。

このハイドロフォーミングを利用して、座席のフレームを試作した例を写真4に示す。類似のものがGMの電気自動車EV1に使用されている。

4. 欧米の新しい動き

4.1 オールアルミサスペンション

サスペンション系におけるアルミ化は従来、アーム類ナックル、クロスメンバなどの部分的な適用にとどまっていたが、写真5に示すように、昨年BMWが新5シリーズでサスペンションをすべてオールアルミ化した⁴⁾。単なる軽量化だけでなくNVH (Noise, Vibration and Harshness) 性が改善されているとして注目されている。工法として前述のハイドロフォーミングを採用しており、プレス品をスポット溶接して組み合わせた従来品にくらべ、高い剛性がえられてるものと考えられる。

4.2 アルミスペースフレーム車体

3.3節で述べた押出型材の鋼板に対する優位性を利用して、押出型材を車体のフレームにもちいたアルミスペースフレーム(以下、ASFと略す)構造の車体が提案され、実用化が始まっている。この構造はプレス加工部品の数を減らして金型コストを低減させることがねらいで、軽量でかつデザイン変更への柔軟性があるため生産台数が少ない車に対して優れていると評価されている。また、段階的な投資に適しているため、新工場を建設する場合にはとくに有利であろう。

最近のASF車を含むオールアルミ車体のリストを第2表に示す。これらのASF車体はまず、試作コスト低減、軽量化アピールのためコンセプト車によく使用されてきたが、最近やっと実用化される段階になってきた。1994年に世界で初めてASFがAudi A8の車体で採用された⁵⁾ことは記憶に新しいが、Audi社はその後もASFの本格的な研究・開発を重ね、100名に近い研究陣容を擁する研究所を設立し、1999年にASFの小型量産車を生産すると発表している⁶⁾。

また、クライスラー社はアルコア社と共同開発したASF車のProwlerを1997年に発売するとしている。この車に採用される第1図の押出型材をもちいた継手が非常にユニークである。また、ルノー社がASF車のSpiderの生産を、またロータス社もEliseの生産を少量であるが始めている。

ところでASFとは別に、アルミメーカーのアルキャン社は車メーカーと共同でウェルドボンド接合を多用したアルミ・モノコック構造を提案しており、GMのEV1に採用



写真5 BMW 528iのオールアルミサスペンション
Photo.5 All-aluminum suspension in BMW 528i

第2表 海外の最近のオールアルミボディ車
Table 2 Current status for all aluminum body vehicle

Country	Car Maker	Model	Body * Structure	Production Status	Supplier
Germany	Audi	A 8	ASF	Under Production	Alcoa
		A 2	ASF	Release in 1999	
	Opel	MAXX	ASF		Hydro
	BMW	E1 Z-13	ASF		Hydro
Just 4/2		ASF		Hydro	
France	Renault	Spider	ASF	Under Production	Hydro
UK	Lotus	Elise	ASF	Under Production	Hydro
Italy	Pininfarina	Ethos	ASF		Hydro
		Zic	ASF		
Norway	PIVCO	City Bee	ASF	Under Production	Hydro
USA	GM	EV 1	Monocoque	Under Production	Alcan
	Ford	AIV Synthesis	Monocoque		Alcan
		Chrysler	Prowler	ASF	Release in 1997
	Neon-Light	Monocoque		Reynolds	

* ASF : Aluminum Space Frame

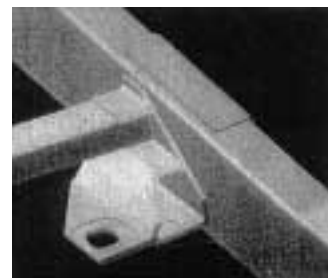
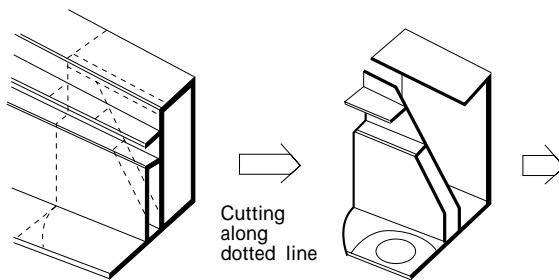
されている。

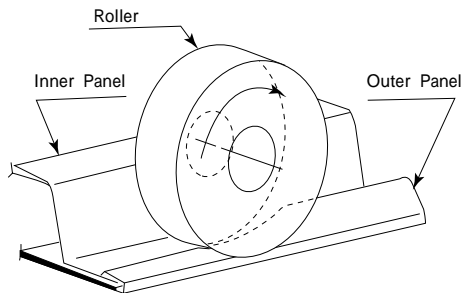
5. アルミ化の支援技術

現在、車体や部品のアルミ化は現行の鉄で確立された自動車の製造ラインで使用できる部品から始まっている。したがって、鉄の製造ラインに適合させるために、製造加工上の種々の開発がなされている。

アルミ板の大きな課題はプレス成形性と接合であろう。アルミ板は鋼板にくらべ成形限界が低くスプリングバックが大きいなど、プレス成形性が劣る。現在、プレス成形性の向上のため、アルミ板のしわを防ぎながら極力金型に流れ込ませるプレス成形法が採用されている。少量生産向けに対向液圧成形法が一部採用され、生産性が期待できるしわ押さえ(BHF)制御プレス法も検討されている⁷⁾。本プレス工法は最適のプレス工程が設定できるが、最適条件を見いだすためには試行錯誤が必要のため、今後、成形シミュレーション技術の発達とともに注目されよう。

第1図 アルミ押出型材をもちいた継手
Fig. 1 Joint node made of aluminum extrusion





第2図 ローラ・ヘミング法
Fig. 2 Roller-hemming system

また、アルミ板は伸びが小さいため、ヘミング加工で割れやすく、フラットヘム変形がむずかしい。しかし、最近第2図に示すような少量生産に適したローラヘミング法⁸⁾が開発され、容易にフラットヘムができるようになり、一部アルミフードの製作に適用されている。

アルミ板の接合においては、まず、もっとも利用頻度の高い抵抗スポット溶接の開発からスタートされた。材料の表面酸化皮膜の除去、電極の改善、電源の開発などによりスポット溶接性が改善されたが、まだ鋼板並みのスポット溶接性までには至っていない。したがって、欧米では機械的接合、接着およびそれらの併用に開発の主力が注がれている。

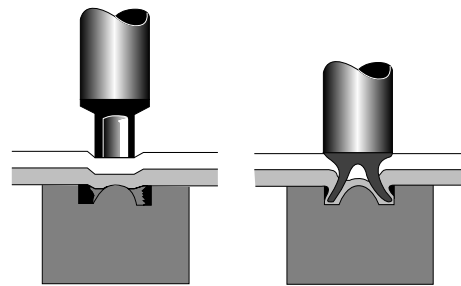
機械的接合では第3図に示すセルフピアシングリベットがせん断強度や疲労強度などに優れ⁹⁾ Audi A8、クライスラー社のProwlerや前述のBMW 528iのラジエータサポートなどに多用されている。また、接着やそれと機械的接合との併用接合がコンセプトカーや試作車で検討されており、実用化も間近と思われる。また、アルミと鋼板のスポット溶接での異種金属接合が研究されている。第4図に示すように、アルミ板と鋼板の間にアルミ-鋼のクラッド板を挿入して溶接するものであり、ボルボ社のトラックで実用化試験がおこなわれ¹⁰⁾、良好な結果がえられている。

6. 今後の課題

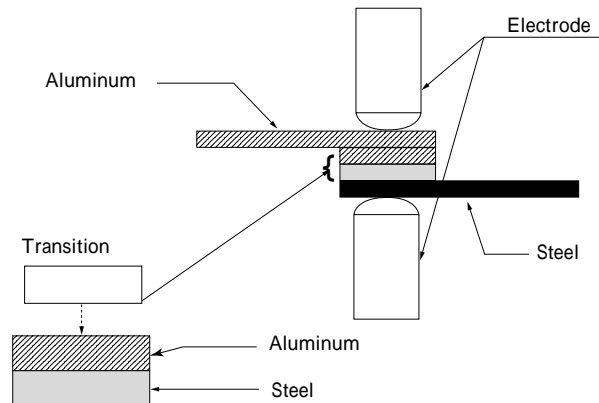
アルミ化の課題は技術とコストの両面にある。技術課題は前述の5章で述べたが、アルミ展伸材を使う経験が少ないために残る課題も多い。たとえば、車の補修性など未知の分野であり、データも少ない。また、寸法精度の良い溶接構造物を多量に生産することはアルミ分野にとって初めてのことであり、溶接歪みの防止対策など大きな課題が残されている。

次に、コストの面であるが、これが最大の課題である。鋼とのコスト差を縮める観点として、次の三つが考えられる。

- (1) アルミは耐食性に優れるため、塗装・めっきが省略できる。
 - (2) 鋼板と同等の板厚でよい場合がある。
 - (3) プレス品の集積部品をアルミ鋳鍛品やアルミ押出型材に置換する。
- (1)については、カバー類、ブラケット類、ケース類



第3図 セルフピアシングリベット法
Fig. 3 Self-piercing riveting system



第4図 アルミ/鋼クラッドをもちいてのアルミと鋼の抵抗スポット溶接

Fig. 4 Resistance spot welding of aluminum to steel using aluminum clad steel transition material as an insert

などが考えられる。(2)については、前述のヒートインシュレータなどがある。(3)については、パンパR/F、クロスメンバやサイドシルなどが良い例である。

さらに、将来のコスト低減として溶湯から直接板にする薄板連鑄法、薄肉大型ダイキャスト法などが検討されている。

むすび=以上述べてきたように、アルミを使いこなすにはかなりの技術開発とそのための時間が必要である。自動車のアルミ化技術に関しては欧米に遅れを取らないように車メーカーと材料メーカーの一層の協力が必要となるであろう。

参考文献

- 1) 日本アルミニウム連盟：平成7年アルミニウム統計表
- 2) W. C. Herbein et al. : SAE Paper No.810783 (1981)
- 3) Aluminum, Vol.70, No.3/4 (1994), p.144.
- 4) 第56回 IAA ショウ (1995年フランクフルト) での展示物
- 5) F. J. Paefgen : IBEC1994 Automotive Body Design & Engineering, p.6.
- 6) Automotive News, Feb.19, 1996.
- 7) 林 央：自動車技術, Vol.49, No.5 (1995), p.11.
- 8) 倉田龍治ほか：薄鋼板成形技術研究会資料 : No.94-38.
- 9) He. J. Corniller Jr. : IBEC1993, Automotive Body Design & Engineering, p.14.
- 10) R. Baboian : IBEC1994, Light Truck Body Engineering & Manufacturing, p.12.
- 11) A. J. Gesing : SAE Paper No.960163 (1996)