

(解説)

自動車用アルミニウム板材およびその適用化技術

State of the Art : Application Technologies for Aluminum Alloys Sheet used in Auto Body Panels



高木康夫*
Yasuo Takaki



増田哲也*
Tetsuya Masuda



安永繁信*
Shigenobu Yasunaga

The production of lighter vehicles through overall body weight reduction has been one of the most important recent technological challenges in that field due to increased demand for higher fuel efficiency and wide ranging environment concerns. The use of aluminum sheet in auto body panels has resulted in a considerable reduction in the overall weight of an automobile. In this paper, state of the art technologies in Japan, North America, and Europe for aluminum alloy sheet for auto body panels are described.

まえばき = 近年、地球温暖化問題がよりいっそう注目され、自動車から排出される CO₂ 量の削減、燃費改善が強く求められている。一方で、衝突安全性の向上や情報機器の搭載などにより、自動車ボディの重量は年々増加する傾向にある。このような背景から、自動車ボディの軽量化技術の重要性は一層高まっている¹⁾²⁾。この軽量化技術として、自動車部品へのアルミ材の適用は、非常に有効な手段であり軽量化効果が大いことから、従来からエンジンやホイールなどにアルミ鋳物が多く使用されてきた。しかし、軽量化ニーズの更なる高まりから、この数年間でフードやトランクリッドなどの外板パネル類、およびヒートインシュレータなどのカバー類へのアルミ板材の適用が急速に増加している。

自動車外板パネルへのアルミ板材の適用には、強度・成形性などの材料特性の向上と、鋼板とは異なる特性を持つアルミ材に適した成形・接合などの周辺技術の最適化が課題であり、自動車パネル用アルミ板材料とその適用技術が開発されてきている。

本稿では、国内外の自動車パネルのアルミ化状況と、パネル用アルミ合金およびその適用技術の動向について解説する。

1. 自動車パネルのアルミ化状況

国内でのアルミパネルは、1985年にマツダ(株)RX-7のフードに初めて採用されて以降、スポーツカーや高級車を中心にアルミ化が進展した。なかでも1990年に発売された本田技研工業(株)NSXは、初めてのモノコック構造のオールアルミ車である。この後、1990年代中ごろには、日本経済の低迷に伴ってアルミパネルの採用はいったん減少した。2000年代に入って、前述の環境問題に対するソリューションとしての軽量化ニーズの高まりに

よって、再びアルミ採用が急速に増加しつつある。

表1に、国内における最近のアルミパネルの採用例を示す。これまでは、比較的少量生産であるスポーツカーへの採用例が多かったのに対し、最近ではトヨタ自動車(株)のクラウン、プリウスや日産自動車(株)のフーガ、スカイライン、富士重工業(株)のレガシーなど、量産車への採用も本格化している。また、アルミ化部位も従来主流であったフード以外に、バックドア、トランクリッド、ルーフなどにも採用が広がりつつある。

自動車パネルのアルミ化は、わが国よりも欧州・北米の方が先行しており、欧州では約200万台/年、北米では約300万台/年の自動車にアルミパネルが採用されている。これは、日本国内でのアルミパネル採用車が現状数十万台/年であることと比較すると、欧州・北米でより積極的にアルミ化が進められていることが伺える。この違いは、エンジン効率などの差異もあるものの、欧州

表1 日本国内におけるアルミパネル採用車種および適用部位
Table 1 Application of aluminum body panels in Japanese cars

Car maker	Models	Parts
TOYOTA	CROWN PRIUS SOARER	Hood Hood, Back door Hood, Roof
NISSAN	FUGA CIMA SKYLINE FZ	Hood, Trunklid, Door Hood, Trunklid Hood Hood
SUBARU	LEGACY IMPREZA FORESTER	Hood, Back door Hood Hood
HONDA	LEGEND INSIGHT	Hood, Trunklid, Fr fender All aluminum car
MAZDA	RX-8 ROADSTER	Hood, Rr door Hood
MITSUBISHI	LANCER Evolution	Hood, Fr fender, Roof
DAIHATSU	COPEN	Hood, Roof, Trunklid

*アルミ・鋼カンパニー 真岡製造所 アルミ板研究部

におけるCO₂排出自主規制や北米におけるCAFÉ規制がメーカ平均値規制であるのに対し、国内では車重量区分ごとの燃費規制（目標値）となっていることによるものと考えられる³⁾。

表2および表3に、北米と欧州における最近のアルミパネル採用車の例を示す。北米においては、アルミパネルの採用はその多くがフードで、バックドア（リフトゲート）への適用もみられるが、他のパネル部品への適用は少ない。一方、欧州ではフード以外にトランク、ド



図1 BMW 5シリーズのアルミニウム合金製フロント構造⁴⁾
Fig. 1 Aluminum front end in BMW 5 series⁴⁾

表2 北米におけるアルミパネル採用車種および適用部位
Table 2 Application of aluminum body panels in North American cars

Car maker	Models	Parts
FORD	LINCOLN LS TOWN CAR	Hood, Fenders, Trunklid
	F150	Hood
	RANGER	Hood
	EXPLORER	Hood, Fenders
	EXPEDITION	Hood, Tailgate
CHRYSLER	CONCORDE	Hood
	LHS	Hood
	PROWLER	Hood, Door, Trunklid
NISSAN	ALTIMA	Hood, Trunklid
GM	AURORA	Hood
	PARK AVENUE	Hood
	LE SABRE	Hood
	DEVILLE	Hood
	SEVILLE	Hood
	BONNEVILLE	Hood
	SILHOUETTE	Hood
	VENTURE	Hood
	MONTANA	Hood
	CADILAC-CTS	Hood
	RENDEZVOUS	Hood
	SUBURBAN	Liftgate
	YUKON	Liftgate
	TAHOE	Liftgate
ESCALADE	Liftgate	

表3 欧州におけるアルミパネル採用車種および適用部位
Table 3 Application of aluminum body panels in European cars

Car maker	Models	Parts
AUDI	A8	All aluminum body
	A2	All aluminum body
	A6	Hood, Fr fender
	TT	Hood
DAIMLER	BENZ E	Hood, Trunklid, Fr fender
	BENZ S	Hood
	BENZ CL	Hood, Roof
BMW	7 series	Hood, Fr fender
	6 series	Hood, Fr fender
	5 series	Hood, Fr fender
	Z4	Hood
VW	LUPO GTI	Hood, Fr fender, Door
	TOUAREG	Hood, Fr fender
	PHAETON	Hood, Trunklid, Door
RENAULT	LAGUNA	Hood
	VEL SATIS	Hood, Door
PEUGEOT	307	Hood
	607	Hood
	807	Roof
CITROEN	C5	Hood
	C8	Roof
VOLVO	S60	Hood, Trunklid
	V70	Hood, Backdoor
	S80	Hood
SAAB	9-3	Hood
JAGUAR	XJ	All aluminum body
LAND ROVER	RANGE ROVER	Hood, Fr fender, Door
ASTON MARTIN	DB9	All aluminum body

ア、フェンダ、ルーフへのアルミ採用例がみられる。また、特に欧州ではVW LUPOなど中・小型車へもアルミパネルの採用が広がっていること、AUDI A8に代表されるオールアルミの量産車もみられる点が特徴である。また、図1に示すBMW5シリーズのように、フード、フェンダのパネル部品のみではなく、骨格部も含めてフロント部全体をアルミ化している例もみられる⁴⁾。

2. 自動車パネル用アルミ合金板材の特徴

自動車パネル用途には、強度、成形性、表面性状、接合性など多岐にわたる特性が要求される。自動車パネルに用いられるアルミ合金は、初期には2000系（Al-Cu-Mg系）や7000系（Al-Mg-Zn系）の採用もみられたが、現在ではほとんど5000系（Al-Mg系）と6000系（Al-Mg-Si系）が用いられている。

自動車パネル用の5000系合金は、より高い成形性が指向されたわが国で特別に開発され、AA5022、5023合金として1995年に国際登録合金となり、実用化された。これまでの5000系合金の最大の課題は、成形加工時のSSマーク発生を抑制することである。特に自動車アウトパネル用の開発合金では、熱処理と加工（圧延・矯正）の組み合わせによってSSマークの発生を抑制している。一方、表面性状に対する要求が比較的低いインナパネルには、5182、5052など汎用の5000系合金も使用されている。インナパネルへの汎用5000系合金の適用は、欧州でも5182、5754が採用されている。

つぎに、自動車パネル用の6000系合金は、北米と欧州で先行して開発・実用化された。6000系合金の特徴は、塗装焼付時の加熱により強度が高くなるベークハード性（以下、BH性）を有することであり、この点で欧米と日本では事情が異なる。欧米でのベーク処理は一般に180～200度であるのに対し、日本では170程度の低温かつ20分程度と、低温・短時間のベーク条件での対応が要求されるため、従来の欧米での開発合金では、日本のベーク条件においては十分なBH性が得られなかった。

これに対して日本では、低温でのBH性を向上する技術（図2）が開発・実用化され⁵⁾、パネル用合金の主流となりつつある。欧米においても、最近では低温BH性を向上した6000系合金が開発されている⁶⁾。

表4に代表的なパネル用アルミ合金のAA成分規格を示す。日本国内では、材料メーカーが独自の開発合金としてそれぞれ異なる名称を用いているのが現状であるが、

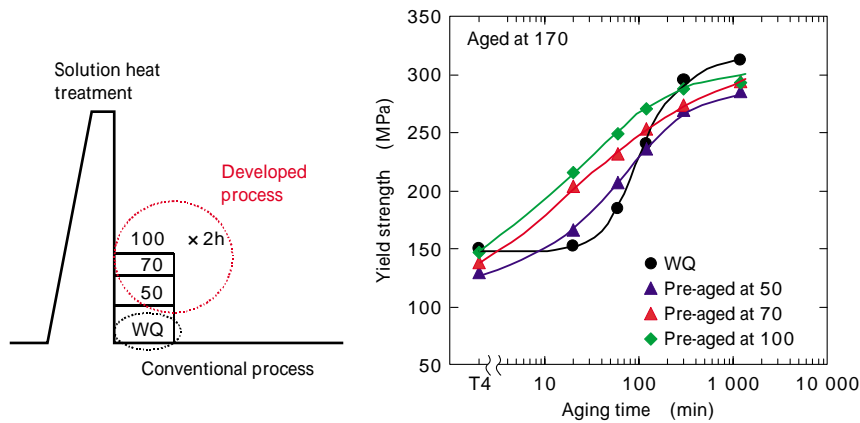


図2 6000系パネルにおける予備時効処理によるBH 性向上⁵⁾
 Fig. 2 Effect of pre-aging on bake hardenability in 6000 series alloys⁵⁾

表4 自動車パネル用アルミ合金の成分規格
 Table 4 Chemical composition of aluminum alloys for auto body panels (wt%)

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Alloy code of Kobe Steel
AA6016	1.0~1.5	<0.50	<0.20	<0.20	0.25~0.60	KS6K21
AA6022	0.8~1.5	0.05~0.20	0.01~0.11	0.02~0.10	0.45~0.70	
AA6111	0.7~1.1	<0.40	0.50~0.90	0.15~0.45	0.50~1.0	KS6K31
AA5022	<0.25	<0.40	0.20~0.50	<0.10	3.5~4.9	KS5J30
AA5023	<0.25	<0.40	0.20~0.50	<0.10	5.0~6.2	KS5J32
AA5052	<0.20	<0.40	<0.10	<0.10	2.2~2.8	5052
AA5182	<0.20	<0.35	<0.10	0.20~0.50	4.0~5.0	5182
AA5754	<0.40	<0.40	<0.10	<0.50	2.6~3.6	5754

表5 当社自動車パネル用アルミ合金の機械的性質
 Table 5 Mechanical properties of automobile aluminum alloy sheets produced by Kobe Steel

Alloy code (Kobe Steel)	Mechanical properties at T4			After baking* YS (MPa)	Suitable parts
	TS (MPa)	YS (MPa)	El.(%)		
KS6K21-1	240	125	29	200	Outer
KS6K21-2	250	130	30	165	Inner
KS6K31	275	130	32	165	Inner
KS5J30	275	135	30	155	Outer/Inner
KS5J32	285	135	33	155	Outer/Inner
5182	270	125	29	140	Inner
5052	200	95	27	105	Inner

*Baking condition : 170 for 20 min after 2% pre-strain

化学成分としてはほぼいずれかのAA規格に相当するものである。パネル用の6000系合金は、Cu添加合金6111と実質的にCuを微量しか含まない6022および6016とに大別される。北米では6111が多く採用されているのに対し、欧州では6016が主流である。日本国内では、対系さび性の点からCu無添加の合金が主に用いられているが、成形性(絞り性)で優位であるCu添加合金の採用例もある。

表5に当社の自動車パネル用合金の機械的性質を示す。パネル用5000系開発合金であるKS5J30(AA5022)、KS5J32(AA5023)は、6000系合金や汎用5000系合金よりも伸び値、引張強さが高く、成形性に優れる。一方、高BH型6000系のKS6K21-1(AA6022)では、高いベーク後耐力が得られる。また、インナパネル用として、高成形性型のKS6K21-2やCu添加合金であるKS6K31(AA6111)合金も実用に供されている。

6000系合金の課題は、5000系合金や鋼板と比較して成形性が低い点である。とりわけ、最近ではアウトパネルに対するヘム加工性が強く要望され、この課題に対す

る曲げ性を向上する開発が活発に進められている^{7,8)}。欧州では、用途、要求特性に合わせて成分や熱処理条件を微調整することにより、高BH用材料、高曲げ性用材料など特性を作り分けて適用する動きもでてきている⁹⁾。このような考え方は、国内アルミメーカでは従来から行われてきたことであるが、今後これら特性をより一層併せ持つバランス型の材料の開発が必要と考えられる。

3. アルミ合金板材の自動車パネルへの適用技術

3.1 成形加工技術

アルミ合金板材では、鋼板と比較して成形性が低いことから、成形可能な形状即ち自動車ボディのデザインが制約されてしまう点が大きな問題である。この改善には、アルミ材料自体の成形性の向上と合わせて、アルミ材に適した成形・加工技術などの周辺技術の開発が不可欠である。

まず、アルミ材での成形限界を向上する加工技術として、塑性変形の温度依存性、即ち常温での変形と比較し

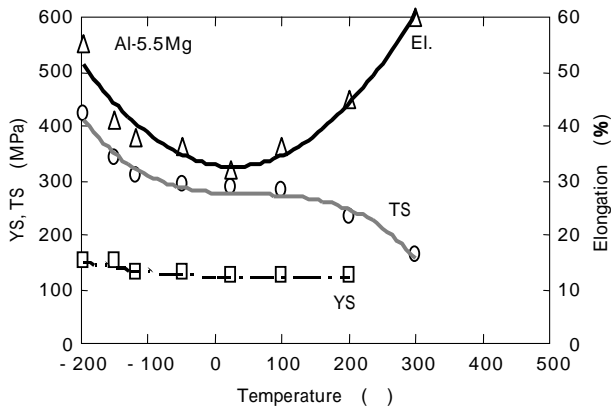


図3 Al-5.5%Mg 材における機械的性質の変形温度依存性
Fig. 3 Temperature dependence on mechanical properties in Al-5.5% Mg alloys



写真1 成形試験用 1000ton 大型油圧プレス機
Photo 1 1000 ton hydraulic press for forming test

て高温あるいは低温で伸び値が高くなる特性を利用した手法が挙げられる。Al-Mg 合金の機械的性質に及ぼす温度の影響を図3に示す。アルミ材の高温での高い延性を利用した高温ブロー成形法は、従来からごく少量生産の自動車パネルに適用されてきたが、最近その生産性を向上する開発がなされ、量産車にも適用されている⁹⁾。一方、極低温で延性が増加するアルミ材特有の性質を利用した低温成形技術も開発されている¹⁰⁾。

つぎに、鋼板と比較して、特に局部伸びが小さいアルミ材においては、成形加工時に均一変形領域で成形を行うことが重要であり、この点から高い潤滑性を持つ固形潤滑剤の適用や液圧成形の適用も、アルミ材の成形限界向上に有効な手法である。欧州でのアルミパネル成形では、その多くにワックスタイプや乾燥フィルムタイプの固形潤滑剤が用いられている^{6),11)}。これらの固形潤滑剤は、あらかじめアルミメーカーにてアルミ素材に塗布した状態で供給され、プレス成形後に脱脂工程で除去される。現在欧州で用いられているこれらの固形潤滑剤は、日本国内の自動車メーカーにおける通常の脱脂条件では十分に除去できない点が問題と考えられている。

当社では、アルミ材料の開発、アルミ材に適した成形・



図4 セルフピアシングリベット (SPR) の模式図
Fig. 4 Schematic illustration of self piercing rivet (SPR)

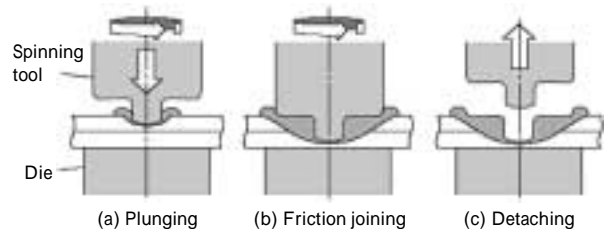


図5 FSW 接合 (点接合) の模式図
Fig. 5 Schematic illustration of FSW (spot joining)

加工技術の開発に加えて、実働プレスでの材料の塑性変形を知るために、写真1に示す大型プレス試験機を始めとした各種成形試験装置を用いて、高温成形および低温成形、対向液圧成形、しわ押さえ制御技術に取り組んでいる。実部品サイズでのアルミ材成形性評価、種々の潤滑剤の成形評価が行えることから、精度の高いFEM成形シミュレーション技術の高精度化に活用している。さらにこの解析技術を活用して、アルミ材に適した金型設計技術の開発にも取り組んでいる¹²⁾。

3.2 接合技術

アルミパネルを接合する際、国内では従来から、鋼板と同様に抵抗スポット溶接 (以下、RSW) が主に用いられてきた。これに対し、欧州では抵抗スポット溶接に代わる接合方法として、セルフピアシングリベット (図4、以下 SPR) や TOX などの機械的接合が多用されてきている。また、最近発表された JAGUAR XJ や BMW 5 シリーズでは、SPR と接着を併用したりブボンドの採用もみられる。国内においても、マツダの RX-8 では RSW に代わって FSW 接合 (図5) による点接合を採用しており、使用エネルギー、設備投資の低減効果が得られたと紹介されている²⁾。

当社では、成形技術と同様にこれらの新しいアルミ材に適した接合技術についても開発に取り組んでおり、自動車アルミ化の促進に注力している¹³⁾。

4. 今後の自動車アルミ化展望

自動車ボディの軽量化ニーズから、今後ともアルミ化の動きは継続するものと考えられるが、更なるアルミパネルの拡大には、これまで述べてきた成形自由度を高めるための材料開発、成形技術開発と合わせてアルミ材の低コスト化が必要である。このためには、パネル用合金の品種統合とリサイクルの推進が必要になる。

現状自動車メーカーで生産時に発生するプレスクラップは、アルミメーカーに回収されて同合金の自動車材として再生される。自動車の廃車時に発生するアルミスクラ

ップも、合金（化学組成）が統合もしくは分別されていれば、プレススクラップ同様に容易にリサイクルが可能となる。

しかしながら現在、自動車部品として使用されているアルミ合金は、板材、押出材、鋳造材で異なっており、かつ板材に限っても前述のとおり 5000 系と 6000 系合金が混在しているため、分別されないと混合されたスクラップとなってしまう。また、鋼材などの混入もあり、これらの混合スクラップは低品位の鋳物用合金としてリサイクルされることになる。従ってリサイクルメリットを追求するためには、廃車スクラップからのアルミ材の分別を合金ごとに確実にを行い、板材・押出材の展伸材は展伸材へ、鋳造材は鋳造材へリサイクルできるシステムの構築が必要である。このリサイクルシステムの構築には、自動車メーカーとアルミメーカーが協力して推進していく必要がある。

むすび＝自動車パネルのアルミ化は本格化する時期を迎えている。本稿では、アルミ板材料とその適用技術の最近の動向を紹介した。自動車のアルミ化は、今後とも着実に進展していくと期待される。当社はアルミ素材の供

給のみではなく、自動車アルミ化のための周辺・支援技術を開発・協力できるメーカーとして、よりいっそう自動車メーカー、部品メーカーとの連携を強め、アルミ化を促進していきたい。

参 考 文 献

- 1) 佐藤章仁ほか：塑性と加工，Vol.44（2003）p.202.
- 2) 岩下智伸ほか：アルトピア，Vol.34，No.1（2004）p.9.
- 3) 日野光雄：アルトピア，Vol.32，No.1（2002）p.17.
- 4) BMW 広報資料（2003）.
- 5) 櫻井健夫ほか：軽金属学会第 87 回講演概要集（1994）p.185.
- 6) W. Miller et al.：Mat. Sci. Eng. A280（2000）p.37.
- 7) 高木康夫ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.47，No.2（1997）p.6.
- 8) 浅野峰生ほか：軽金属，Vol.52（2002）p.448.
- 9) C. Kim et al.：TMS（2004）p.77.
- 10) 野田研二：軽金属セミナー予稿（2000）p.50.
- 11) M. Meiler et al.：Wear Vol.255（2003）p.1455.
- 12) 小西晴之ほか：平成 11 年度塑性加工春季講演会講演論文集（1999）p.347.
- 13) 江間光弘ほか：軽金属溶接 Vol.41（2003）p.308.