

(解説)

次世代の自動車パネル用アルミニウム板材料

Aluminum Alloy Sheet for Automotive Body Panel



稲葉 隆
Takashi Inaba

Environmental improvement and safety are very important in the automotive industry and they sometimes result in increased car body weight. However, for fuel efficiency lighter cars are increasingly in demand. Aluminum alloys are widely used to reduce car body weight. This paper introduces general information on how aluminum body panels and aluminum alloys for body panels are used in Japan, Europe and the USA. The promotion of increased aluminum body panel use and possible recycling situations are also discussed.

まえがき = 近年、地球環境問題への対応、及び安全性向上の観点から、自動車業界では車体の軽量化を積極的に進めている。特に、欧州では2008年のCO₂排出量自主規制(140g/km以下)をクリアすべく、積極的に軽量化に取り組んでいる¹⁾²⁾。もちろん、北米においてもCAFE規制強化を目的にした官民共同プロジェクトPNGVが大幅な軽量化を目指し活動している。

一方、国内でも2010年度の燃費目標(95年比乗用車平均23%改善³⁾)が設定され、さらに2001年度からの自動車グリーン化税制の導入、2004年度施行の自動車リサイクル法の成立など、自動車業界内に大きな環境変化が生じている。

そのため、各自動車メーカーでは種々の対応が進められている。環境対応の一例として、ハイブリッド車、電気自動車の開発実用化、さらには燃料電池車の開発競争がマスコミに取上げられるなど、自動車メーカー間の競争は一段と過熱している。

そのような状況の中で、車体の軽量化が着実に進められている。軽量化方法には種々あるが、その一つに材料置換による方法があり、アルミニウム合金(以降、アルミ合金という)の採用が進められている。アルミ合金は、その軽量化効果により、板材ではフードを中心に、また押出し、鋳鍛造材はシャーシ、そのほかの骨格部材に採用され、使用量は増加している。最近量産化されたオールアルミ車 Audi A2²⁾では、スペースフレーム構造が採用され、アルミの板・押出し・鋳鍛造材が効果的に使用され、部品点数の削減が図られているほか、量産化に合わせた各種技術が採用され注目されている。

また国内でも、スペースフレーム構造車が発売されているが⁴⁾⁵⁾、生産台数の少ない車種に止まっているのが現状である。今後、どのような構造が主流になるか判断は難しいが、さらにアルミ化を促進させるためには、成

形上の困難さ及びアルミ材料の高コストという課題⁵⁾に前向きに取り組む必要がある。

本稿では、国内外の自動車パネルのアルミ化状況、パネル用アルミ合金材料及びアルミ化促進の課題と対応を紹介する。さらに、リサイクルシステムを含めて、次世代自動車用アルミ合金材料を解説する。

1. 自動車パネルのアルミ化状況

1.1 欧米のアルミ化動向

前述したとおり、欧州では図1³⁾に示すように、2008年を目標にしたCO₂排出量を自主規制している。CO₂排出量140g/km以下は、企業平均燃費16.7km/l以上に相当し、かなり厳しい規制であると言える。そのため、欧州では高級車種から大衆車種まで、アルミパネルの採用が目立っている。北米においても、CAFE規制をクリアすべく、量産車種にアルミパネルの採用が進められてい

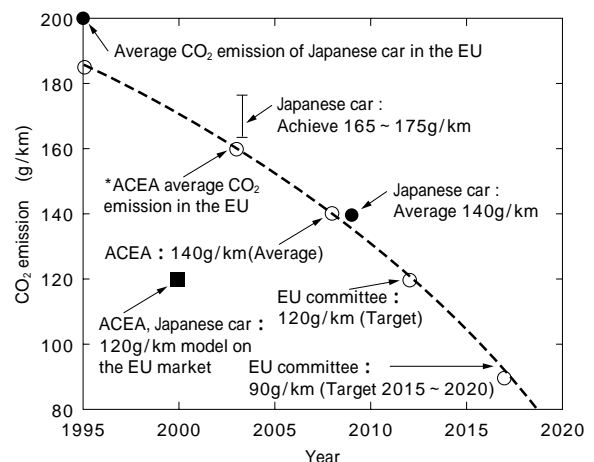


図1 欧州におけるCO₂排出量削減計画

Fig. 1 Reduction plan of CO₂ emission in Europe
(*ACEA : Association des Constructeurs Europeens d'Automobiles)

表1 欧米におけるアルミパネル採用事例

Table 1 Adoption examples of aluminum body panels in Europe and USA

| Area | Carmaker | | Item |
|----------|----------|------------------|-----------------------|
| Europe | BENZ | S class | Hood |
| | | E class | Hood, Fender, Decklid |
| | AUDI | A8 | All aluminum car |
| | | A6 | Hood |
| | | A2 | All aluminum car |
| | VOLVO | S60 | Hood |
| | | S70 | Backdoor |
| VW | LUPO | All aluminum car | |
| USA | RENAULT | LAGUNA | Hood |
| | PEUGEOT | 307 | Hood |
| | CITROEN | C5 | Hood |
| | GM | Cadillac Seville | Hood |
| | | C/K Truck | Hood |
| | FORD | Lincoln | Hood |
| Ranger | | Hood | |
| F150 | | Hood | |
| CHRYSLER | Prowler | All aluminum car | |
| | Jeep | Hood | |

る。従って、アルミパネルについては欧米主導で採用されているのが現状である。表1に欧米のアルミパネル採用車種の一列を示す。

1.2 国内のアルミ化動向

日本国内のアルミパネルは、1985年のマツダRX-7のフードから始まり、1990年のオールアルミ車ホンダNSXが続く。当初は一部のスポーツカーに限られ使用されてきた経緯がある。しかしながら、近年日本国内においても、量産車へのアルミパネルの採用が始まっている。富士重工業㈱のレガシー、日産自動車㈱のセドリックなどであり、その採用部位もフードだけではなく、日産シーマではトランクリッド、トヨタ自動車㈱のアルテッツァワゴンではバックドアにアルミパネルが採用されている。さらにアルミパネルの採用は軽自動車にも波及しており、ダイハツ工業㈱のコペンではフード、ルーフ、トランクリッドにアルミパネルが採用されている。表2に国内のアルミパネル採用車の一列を示す。

2. パネル用アルミ合金材料

パネル用アルミ合金の開発は、1970年代から始まり、欧米先行で進められてきた。その開発経緯は、自動車メーカーのニーズの違いから、欧米と日本では異なる道を行ってきた⁶⁾。国内では鋼板と同等の成形性が要求され、特殊な5000系合金(5022, 5023)の開発が優先され実用化された。一方欧米では、ベークハードによる高強度薄肉化が指向され、2000系合金から始まり6000系合金に移行してきた。しかし、近年のアルミ成形技術の進展及びグローバル調達の関係により、アウタ材については、日欧

表2 日本国内におけるアルミパネル採用事例

Table 2 Adoption examples of aluminum body panels in Japan

| Carmaker | | Item |
|------------|--------------|---------------------|
| TOYOTA | SOARER | Hood, Roof, Decklid |
| | ALTEZZA GITA | Hood, Roof |
| NISSAN | CEDRIC | Hood |
| | CIMA | Hood, Decklid |
| | SKYLINE | Hood |
| HONDA | S2000 | Hood |
| | INSIGHT | All aluminum car |
| MAZUDA | RX - 7 | Hood |
| | ROADSTER | Hood |
| MITSUBISHI | LANCER EVO | Hood, Fender |
| SUBARU | LEGACY | Hood |
| | IMPREZA | Hood |
| DAIHATSU | COPEN | Hood, Roof, Decklid |

米で同じ合金系(Al-Mg-Si系の6000系合金)になりつつある。ただし、同じ6000系合金でも日欧間で若干差異が認められる。北米ではCu量の多い6111合金が主体で、今後Cu量の少ない6022合金の増加が予測される。また欧州では、Cu量の少ない6016合金に絞られ採用されている。日本国内では、Cu量の少ない合金(6016, 6022系)主体の中で、Cu量の多い合金(6111系)も採用されている。表3に代表的なパネル用アルミ合金を示す⁶⁾。

また、パネル材に要求される特性をまとめると、表4⁶⁾のとおりである。アウタパネル材には、強度、ヘム重視の成形性、表面性状(歪模様抑制)、耐食性(耐系錆性)などが要求され、基本的には6000系合金が適している。その6000系合金もヘム性改善の観点から、高ベークハード材(成形時は低強度)が要求されている。そのため6000系合金においては、溶体化処理後に予備時効^{7) 8)}や復元

表3 自動車パネル用アルミ合金

Table 3 Chemical composition of aluminum alloys for body panel

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

表4 パネル材に要求される特性

Table 4 Properties required for aluminum body panel

| Panel | Properties |
|-------|--|
| Outer | <ul style="list-style-type: none"> • Yield strength after baking (200MPa at 170 for 20min after 2% strain) • Flat hemming property • Surface condition (SS-mark free) • Anti-corrosion (Anti-filiform corrosion) |
| Inner | <ul style="list-style-type: none"> • Deep drawing property • Welding property • Adhesion property |

表5 当社自動車用アルミパネル材の機械的性質

Table 5 Mechanical properties of aluminum alloys for body panel produced by Kobe Steel
Note : Baking was conducted at 170 for 20min after 2% strain.

| Alloy code (Kobe Steel) | Before forming | | | After baking | Panel |
|-------------------------|----------------|----------|---------|--------------|-------------|
| | TS (MPa) | YS (MPa) | El. (%) | YS (MPa) | |
| 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 |

処理⁹⁾を施す技術が研究されている。

一方インナパネル材では、主として絞り成形性、接合性（溶接、接着）が要求されるので、必ずしもアウトと同じ6000系合金材料がベストとは限らない。特に国内では成形性重視の観点から、これまでも特殊な5000系合金が採用されている。また、欧州では低コスト化の観点から、6000系から5000系の汎用合金5182への移行が見られ、インナ材について言えば、合金系の統合にはまだ時間がかかる状況である。ただし、廃車時のリサイクル対応を考えると、早期にシステム作りを進めていく必要がある。表5には当社自動車用アルミパネル材の機械的性質を示す。

3. アルミ化促進の課題と対応

アルミパネルの用途拡大には、デザインの自由度向上と材料の低コスト化が重要である。前者では、材料自身の性能向上と材料に適した加工技術の組合わせが、後者では継続的に合金の統合、工程の合理化、そしてリサイクルの推進（後述）が必要である。これらはいずれも自動車メーカーとの共同推進が必須となる。

(1) パネル材料の性能向上

現状のアルミパネル材は鋼板の性能には劣るものの、徐々にではあるが満足できる段階に近づきつつある。ただし、その性能のわずかな差もデザインの自由度に制約を与え、アルミ化を限定しているのが実状である。特にアウト材では、デザインを満足する成形能と見栄えからくるフラットヘム性が重要特性である。加えてアウトパネルとインナパネルを結合する際に問題となるスプリングバックの解決も、アルミ化促進に重要である。これら特性の改善については、材料単独では非常に困難であり、加工法との組合わせが必要と考えられる。

一方インナ材では、高成形性（絞り性）が要求され、現状特殊な5000系材料（表3の5023, 5022: Al-Mg系合金）を使用すれば、ほぼ満足できるものと考えられる。ただし、これら特殊材料は高コストであり、6000系あるいは5000系汎用材にて高成形性化が必要となる。しかし、高成形性化を達成するための製造工程の追加は、大きなコストアップにつながり、できる限り回避すべきで

ある。そのためには、アルミ材料の加工技術を蓄積するとともに、新たな発想でアルミ材料に適した加工技術を研究開発する必要がある。

(2) アルミ合金材に適した加工技術

以上のことから、当社では写真1に示す大型プレス試験機を設置し、加工技術の研究を進めている。実加工を通じて材料を評価するとともに、アルミに適した加工条件の研究¹⁰⁾¹¹⁾、FEM解析を活用した金型設計技術¹¹⁾¹²⁾のほか、アウトパネルの面歪抑制（シワ押え制御）、極低温加工、液圧成形などに取組み、アルミ化促進に注力している。今後はさらに材料特性をカバーする潤滑技術¹³⁾、デザインの自由度を高める新しい加工技術及びスプリングバック対策技術が重要になるものと思われる。

4. 自動車材のリサイクルシステムについて

アルミ合金は、リサイクル性に優れた材料として知られている。2001年のアルミ飲料缶のリサイクル状況は回収率83%、Can to Canは68%（残りは鋳物などに使用）である。飲料缶は缶胴（3004）と缶蓋（5052, 5182）からなり、回収された飲料缶（混合）は缶胴材の3004合金に戻される。このシステムは自動車材にも参考になると



写真1 自動車用1000トン大型プレス試験機
Photo 1 Test press for automotive panel (1000ton)

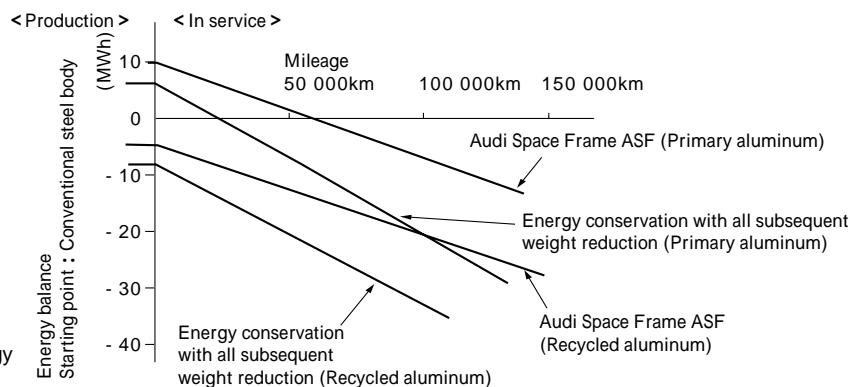


図2 Audi ASF オールアルミ車の省エネ効果
Fig. 2 Effect of all aluminum car on saving energy (Audi ASF)

思われる。

次に自動車用アルミ材のリサイクルについて述べる。現状、自動車メーカーで発生したプレス屑（スクラップ）は、基本的にはアルミメーカーで同じ種類の自動車材に生まれ変わる。そして10年後に発生する廃車のスクラップも、合金品種が明確で統合されていれば、リサイクルも容易となる（ただし、異材混入防止は前提）。しかしながら、自動車部材として使用されているアルミ合金は、品種、使用形態（板、押出し、鋳造材）が様々である。例えば板材ではAl-Mn-Mgの3000系、Al-Mgの5000系、Al-Mg-Siの6000系合金が、押出し材では主として6000系合金が、鋳造材（品）では高Siの4000系合金が使用されている。そのため、リサイクルメリットを追求するのであれば、車体の解体及びアルミ合金の選別を確実に進め、リサイクルシステムを構築する必要がある。特に、高Siの鋳造品については分別回収を徹底し、鋳造品に戻すことが前提となる。それ以外も分別再利用することが望ましいが、必ずしも容易ではないため、その混合スクラップの活用を検討する必要もある。発生量に見合った混合スクラップ材を自動車部品にすることができれば、Car to Carとなり、飲料缶のようなリサイクルシステムが完成する。ただし、これには自動車メーカーの協力なしでは非常に難しい。

図2¹⁴⁾はAudi社が試算したもので、アルミスペースフレーム（ASF）車の製造時及び走行時の消費エネルギーを、スチール車と比較したものである。アルミの再生地金使用（図中の ）及びアルミ使用による二次軽量化効果（同 ）を加味すると、アルミの優位性がより鮮明になるものと思われる。

5. 次世代の自動車用アルミ材料

アルミ合金材はその特長から、将来の自動車材として大いに期待されている。それに応えるためには、前述したアルミ合金材料の性能向上と低コスト化、及びリサイクル性を考慮した合金設計とそのシステム作りが必要である。加えて、グローバル調達と将来的に安定して供給できる生産体制（低コスト工程）も検討していくことが必要である。その中で、次世代のアルミ合金材料について考えると、アウトパネル材は若干の成分相違（Cu有無）

はあるものの、6000系合金に進むものと思われる。

一方、インナパネル材については、北米では6000系合金に、欧州及び日本国内では、低コスト化の要求が強くなれば、6000系合金以外に汎用材（5052, 5182材）あるいは前述した混合スクラップ材の活用が浮上してくる。ただし、それらを採用するためには、インナパネルの設計見直しや使いこなす加工技術の蓄積が必要となる。

ところで、オールアルミの自動車は別として、通常の自動車には鋼板、アルミ、マグネシウム、樹脂などの各種材料が使用され、その特長を活かした材料でのハイブリッド車となる。材料は自動車に要求される性能面、安全環境面、コスト面の釣合いで決定されるものと思われる。従って、アルミ材料メーカーとしては性能、品質、コスト、リサイクル面で、一つ一つ着実な改善を図り、21世紀にふさわしい自動車用アルミ材料に仕上げていきたいと考えている。

むすび=既にグローバル化され、厳しい競争の中にある自動車業界、アルミ業界において、自動車のアルミ化は避けて通れない大きな課題になっている。これに対応するためには、両業界がこれまで以上に連携し、アルミ合金の特長を活かしていくことが必要である。

参考文献

- 1) M. Winterkorn et al.: ATZ, 101(1999) p.24.
- 2) W. Leitermann et al.: Sonderausgabe von ATZ und MTZ (Audi A2) p.68.
- 3) 秦 清之:自動車技術, 54-9(2000) p.11.
- 4) 杉山隆司ほか:軽金属第60回シンポジウム(2000) p.12.
- 5) 斉藤政昭ほか:軽金属第58回シンポジウム(2000) p.26.
- 6) 稲葉 隆:アルトピア, Vol.31, No.1(2001) p.25.
- 7) 櫻井健夫ほか:軽金属第87回秋期大会概要 p.185.
- 8) 佐賀 誠ほか:軽金属第87回秋期大会概要 p.187.
- 9) 内田秀俊ほか:軽金属, Vol.46, No.9(1996) p.427.
- 10) 野田研二ほか:軽金属第97回秋期大会概要 p.167.
- 11) 吉田正敏ほか:軽金属第89回秋期大会概要 p.159.
- 12) 小西晴之ほか:平成11年度鋳加工春期大会 p.347.
- 13) 林 央:軽金属第53回シンポジウム(1998) p.1.
- 14) 軽金属協会:第17回自動車のアルミ化調査報告.