

**UACJ**

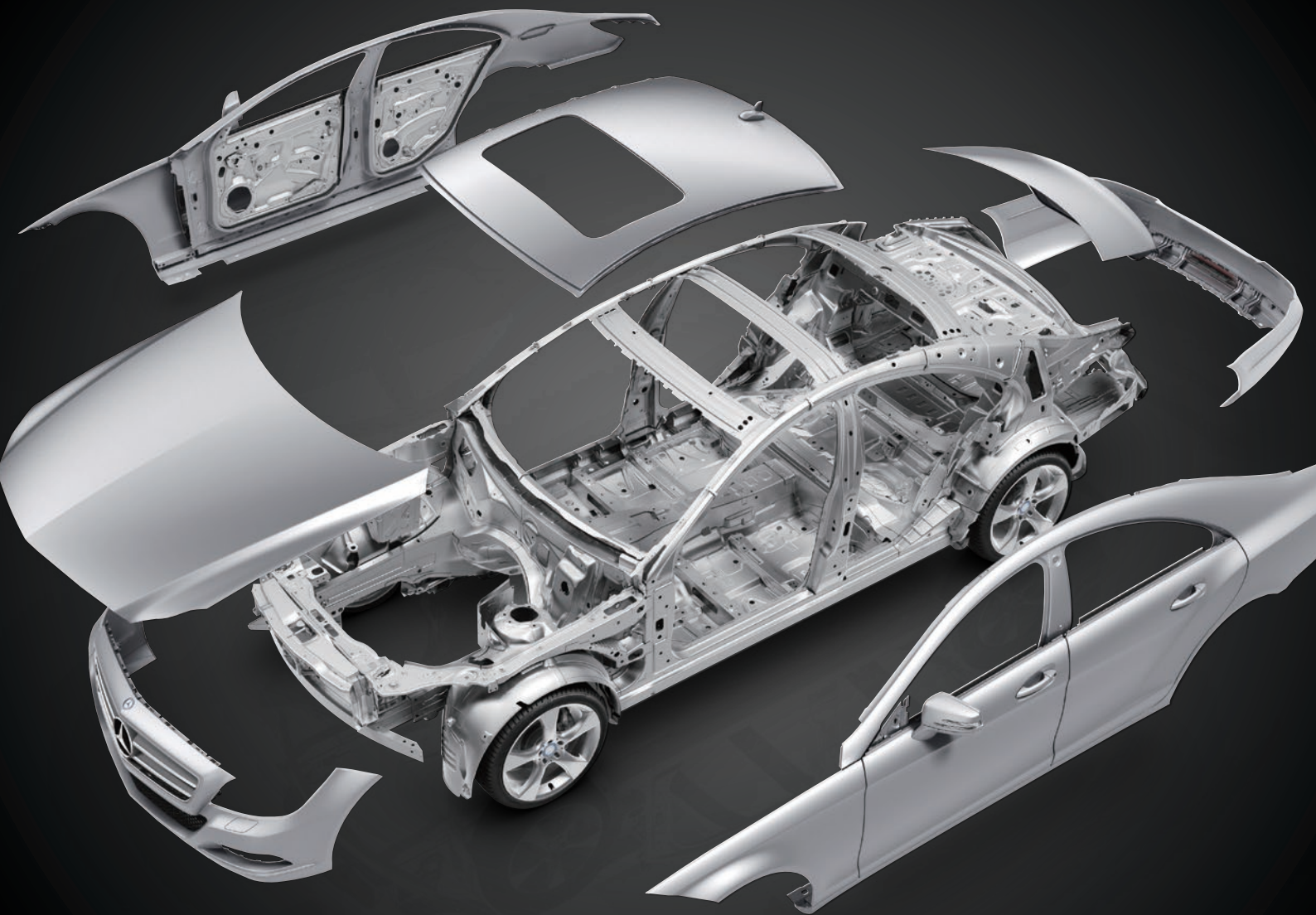
モーターファン別冊 [モーターファン・イラストレーテッド Vol.128] 特別付録

# Motor Fan

Special Edition

## illustrated

テクノロジーがわかると、  
クルマはもっと面白い



特別  
編集

アルミニウムのテクノロジー-3

# ALUMINUM

Automobile Technology



アルミ合金の自動車への利用①

# BODY & CHASSIS

[ ボディ・シャシー編 ]

世界の燃費基準はますます厳しくなる。自動車の燃費規制は、エネルギー消費とCO<sub>2</sub>排出の削減を目的とし、日米欧だけでなく新興国でも強化の動きが広がっている。欧州では、車両の重量により異なるものの2012年規制で平均130g/km以下とされ、各自動車メーカーは規制値をクリアするために燃費の向上に動いた。さらに2021年にはCO<sub>2</sub>排出量規制値は95g/km以下を達成する目標が設定された。北米では、2020年燃費規制として、乗用車35.7マイル/ガロン(15.2Km/ℓ)、小型トラック28.6マイル/ガロン(12.2Km/ℓ)が定められた。

CO<sub>2</sub>排出量規制の鍵を握っているのは「車体の軽量化」だ。自動車へのアルミ合金の採用は、エンジン部品などの鋳物から始まったが、アルミ展伸材の強度や成形性の向上によって自動車への本格的な採用が進みつつある。

**サスペンションタワー**

サスペンションアームのアップリンクやストラット式サスペンションの上端支持をする重要な構造部材。アルミ合金ダイキャストの利用が進んでいる。左右のタワーをプレスと呼ばれる押出材でつなぐことにより、車体のねじれを抑制する車体構造も増加している。

**ボンネットフード**

鉄主体の自動車づくりからの材料置換として、最も早い時期からアルミ化が始められた部材がボンネットだ。ボディパネルとしてはもっとも面積が大きい部材のため、軽量化の恩恵は大きい。高級車を中心にボンネット、ドア、フェンダー、トランクリッドなどの外板部材へのアルミ合金の採用例は多い。

**フロントバンパーレイフォースメント**

フロントバンパーレイフォースメントは、衝突エネルギーを吸収しキャビンの安全性を確保する強度部材だ。軽量性・強度を両立した7000系高強度アルミ合金押出材の採用が増加している。

**フロントサイドメンバー**

パワートレーンやサスペンション類を支持するフロントボディ構造の重要なフレーム。大きな荷重を受け止めながら、衝突時には衝突エネルギーを吸収・分散させる機能もある。大型のアルミ押出材や鋳造品が採用されている。

**フロントフェンダー**

ボンネットフードのアルミ化に次いで材料置換が進んだ外板部材。面積は小さめだが大きく湾曲するなどボンネットフードと比べて複雑なデザインが多い。このためアルミ合金のプロウ成形を採用している車種もある。

**サイドインパクトビーム**

ドア部への側面衝突の衝撃をインナードアパネルと一体となって受け止める部位。Bピラーとともに高い強度が求められる。

**ルーフパネル**

近年車高の高いSUVが増加している。ルーフパネルをアルミ合金化することで軽量化が実現できると同時に、車体の低重心化も図れる。このため車体がロールしにくくなり走行性能が向上するため注目されている。

**バックドア、トランクリッド**

ボンネットフード、フロントフェンダー、ドアパネルと同様にアルミ合金の採用が進んでいる。複雑な形状でも一体成形可能な超塑性アルミ合金のプロウ成形品の採用車種がある。

**ドアパネル**

インナー部とアウター部から構成され、インナーはドアの形状を保持し、開閉の衝撃に耐える強度が必要。振動や騒音の侵入を防ぎ、室内環境を良好に保つための工夫が求められる。インナーは5000系、アウターは6000系を使う例が多い。

- アルミ合金板材
- アルミ合金押出材
- アルミ合金鋳造品

**アルミ合金板材**

アルミニウムの比重は2.7、スチールに比べて約1/3と小さい。単位重量当たりの強度が大きく、成形性・耐食性・リサイクル性に優れるため輸送機器の構造材料として広く使われている。2000年以降スチールからアルミ合金への材料置換として、ボディパネル材、特にボンネットフードに多く採用されてきた。アルミ合金、高張力鋼板、CFRPなどを使い分けるマルチマテリアルボディ構造により軽量化を実現している車種でも、ボンネットフード、フェンダー、ドアパネル、トランクリッドなどの外板はほぼアルミ合金製だ。「車両価値の向上」というキーワードを含め、アルミ合金板を構造部材として使うクルマも登場している。

**アルミ合金押出材**

アルミ押出材は、複雑な断面形状を高精度で成形できる押出加工により製造するため、バンパービームや、シャシー構造材料など、断面が一定で長さが長い部位には最適な材料だ。大型SUVでは車体剛性の向上と低重心化を図るため、また電気自動車ではパワートレーンやバッテリーを搭載する専用プラットフォームのために、アルミ押出材スペースフレーム構造を採用する事例が多くみられる。一方、サブフレームやビーム類やブレース類などの構造部材では、円形や矩形など比較的に単純な断面形状の押出材をベースとして、二次元・三次元的な加工を加えて広く利用されている。

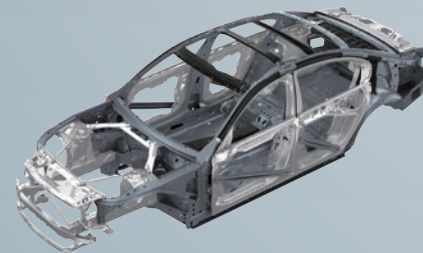
**アルミ合金鋳造品**

自動車向けのアルミ合金鋳造品としてはシリンダーブロック、トランスミッションケースやホイールが代表的な部品であるが、ボディ部材にも鋳造品が用いられる。鋳物はリブ構造をとることが容易なため、必要部分の剛性・強度を向上させ、同時に部品全体として軽量化も実現できる。このためサスペンションタワーや、クロスメンバー、フロントサイドメンバー、バルクヘッドなどの連結部分などボディやシャシーの接合部材用途に適している。



オールアルミ合金モノコック RENAULT ALPINE A110

ルマン24時間耐久レースなどで大成功をおさめ一躍世界に名前を轟かせた伝説のスポーツカーが、ジュネーブモーターショー2017で世界初公開された。アルピーヌ新型A110は、オールアルミ合金製のプラットフォームと上部ボディ構造により、車両重量は1103kgと超軽量。



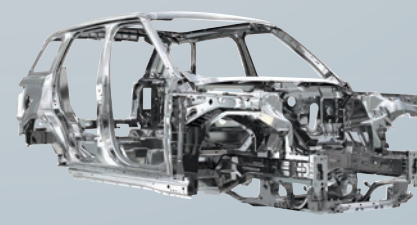
マルチマテリアルモノコック BMW 7series

新型BMW7シリーズは、アルミ合金、高張力鋼板、CFRPなどを適材適所で使うマルチマテリアルボディ構造により車体全体で先代より約130kgの軽量化を実現した。ボンネットフード、ドアパネル、トランクリッドなどの外板はすべてアルミ合金製だ。



オールアルミ合金モノコック FORD F-150

フォードの主力大型ピックアップトラックの中核モデルがF-150。オールアルミボディ化され大きな話題となった。アルミ合金を使用することで、キャビンおよび荷室部分合計で約230kgの軽量化に成功。全体では約320kgを軽量化した。これによる燃費改善効果は最大20%にもなる。



オールアルミ合金モノコック Range Rover Sport

大型で重量も高みちなSUVは、軽量化とともに走行性能を向上させるため、アルミボディにするメリットは大きい。ジャガーXJで培ったノウハウを基に、アルミ専用ボディ設計をSUVに初めて適用。高剛性と軽量化を両立させている。



AUDI Q7

オールアルミボディの先駆者と言えば、アウディ。ASF（アウディ・スペースフレーム）と呼ばれるオールアルミ合金による独特のボディ構造。アウディの最上級SUVであるQ7は、得意とするアルミ合金を活かした高剛性・低重心のボディ構造をとる。フロントサイドメンバーやフロントバンパーには強度に優れたアルミ合金押出材を多用している。イラストは、3.0ℓのV6ディーゼルとモーターで駆動するe-tronモデルだ。



アルミ合金の自動車への利用 ②

# DRIVETRAIN & POWERTRAIN

[ ドライブトレイン・パワートレイン編 ]

ドライブトレイン・パワートレインを支えるフレームには、軽量であることと同時に高い剛性が求められる。このため、骨格構造のサブフレームにパワートレインなどを搭載する構造が増えている。高剛性化によりステアリング応答性を高め、乗り心地も向上できる。これらには、高強度構造用アルミ合金の板・押出材が用いられる。アルミ合金化の流れは広がり、サスペンションをはじめ、ブレーキキャリパー、ハブキャリア、ステアリングナックルなどの鍛造品も増えている。



サスペンションアーム

重要保安部品として高品質と高い信頼性が要求される。軽量化を目指し、高強度のアルミ鍛造品の採用が増加している。

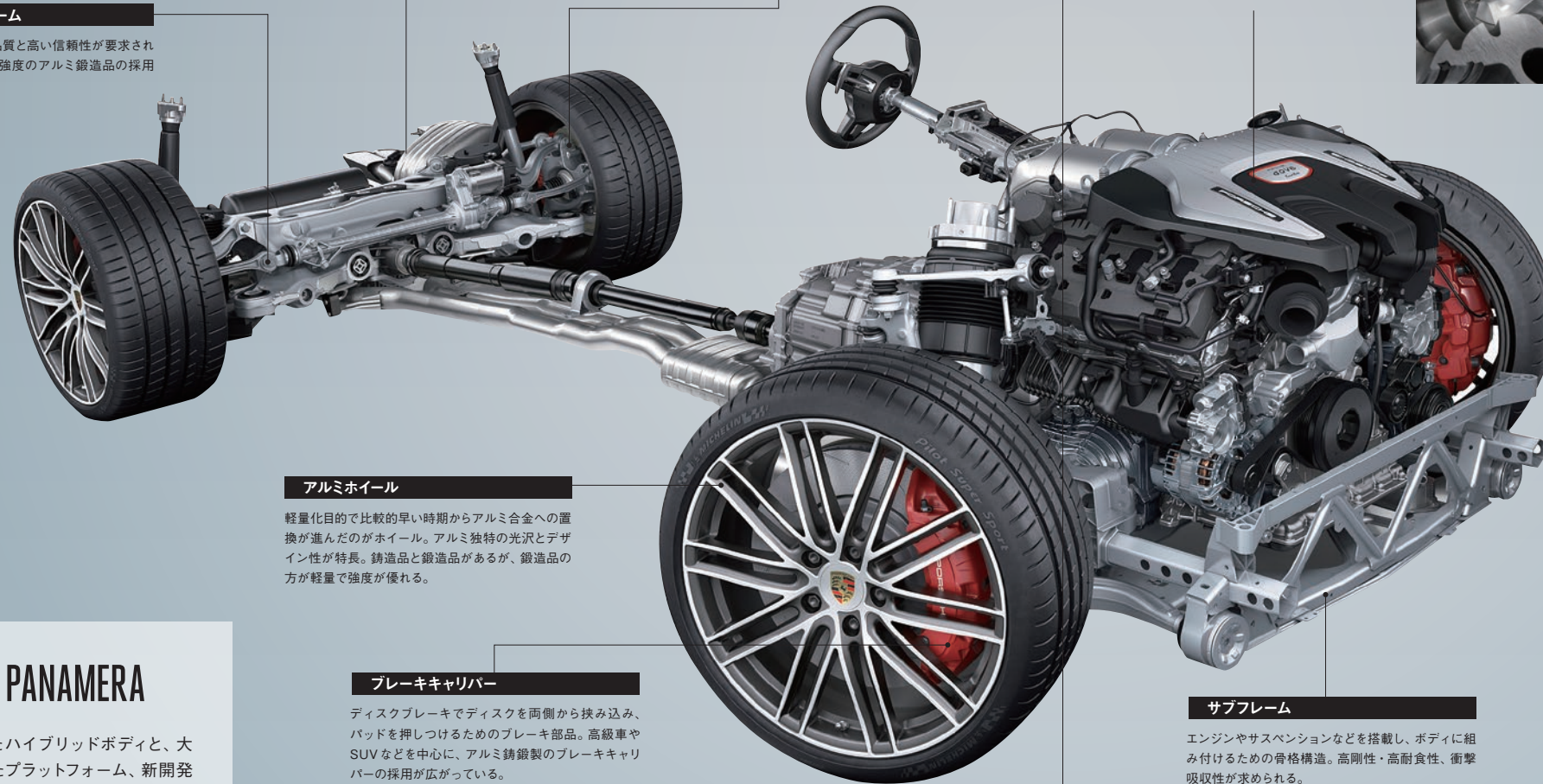


ヒートインシュレータ

エンジンの排気系の高熱から燃料系、ブレーキ系、各種センサーなどを保護するための遮熱板。アルミ合金薄板をプレス加工や深絞りによりエンボス形状をつけ、剛性・放熱性の向上を図った製品が多い。

ハブキャリア

ホイールを取り付けるハブを支えるサスペンション部品で、アルミ鋳鍛製ハブキャリアが採用されている。パネ下重量を軽量化すれば、ハンドリング性や走行性能が向上するため注目される。

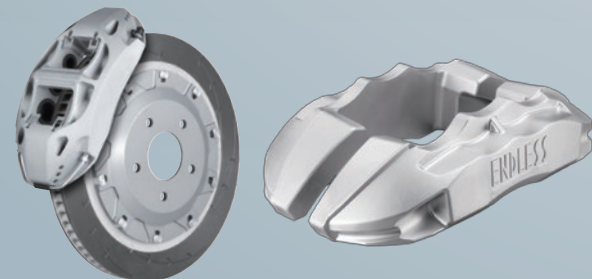


アルミホイール

軽量化目的で比較的早い時期からアルミ合金への置換が進んだのがホイール。アルミ独特の光沢とデザイン性が特長。鋳造品と鍛造品があるが、鍛造品の方が軽量で強度が優れる。

ブレーキキャリパー

ディスクブレーキでディスクを両側から挟み込み、パッドを押しつけるためのブレーキ部品。高級車やSUVなどを中心に、アルミ鋳鍛製のブレーキキャリパーの採用が広がっている。



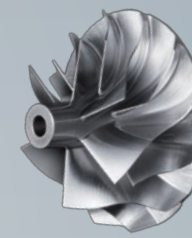
サブフレーム

エンジンやサスペンションなどを搭載し、ボディに組み付けるための骨格構造。高剛性・高耐食性、衝撃吸収性が求められる。

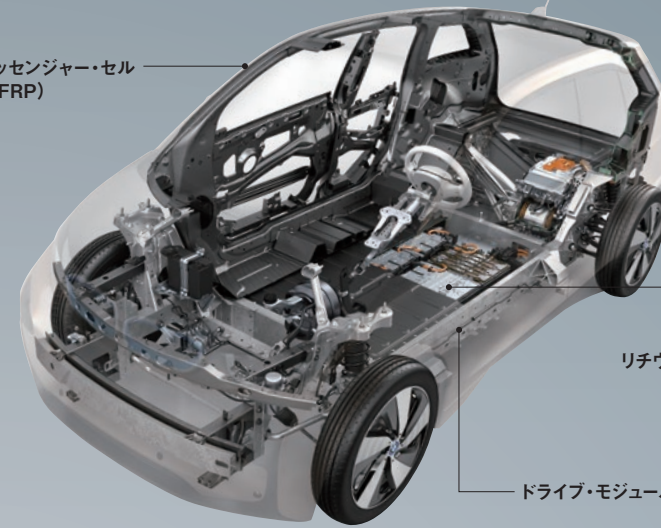


ターボチャージャー・コンプレッサーホイール

空気を圧縮する羽根車。羽根車は高速回転するため軽量・高精度なアルミ精密鋳物製や切削製が用いられる。UAGJ鋳鍛が世界トップシェア。



パッセンジャー・セル (CFRP)



リチウムイオン・バッテリー

ドライブ・モジュール(アルミ合金製シャーシ)

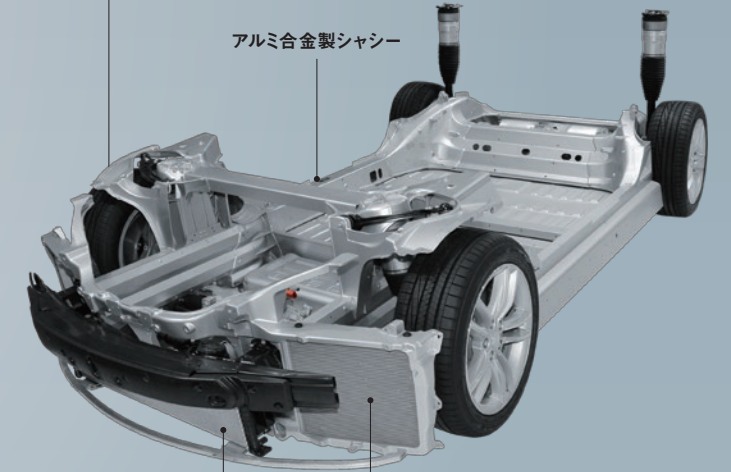
## BMW i3

BMWの電気自動車。車体をふたつの独立したユニットで、上部のユニット(パッセンジャー・セル)にはカーボン・ファイバー強化樹脂(CFRP)製のモノコックボディを採用し、下部のユニット(ドライブ・モジュール)にはアルミ合金押出形材を用いたラダー型スペースフレーム構造としている。下部のユニットには、バッテリー、駆動システムの全パーツが搭載される。また、CFRP製のドアパネルにはアルミ押出形材のフレームを内蔵して車体強度を確保している。

## TESLA MODEL-S

EV専用のプラットフォームとして設計されたテスラモデルSのシャーシは、アルミ押出形材を多用したオールアルミフレーム構造だ。フラットなフロアの下には、バッテリーセルを数千個並べて配置して低重心化を図り、優れた走行性能を実現している。ボディパネルもアルミパネルを採用している。

アルミ合金製シャーシ



熱交換器

## PORSCHE PANAMERA

アルミ合金を多用したハイブリッドボディと、大掛かりな改良を加えたプラットフォーム、新開発パワーユニットのスポーツカー。プラットフォームには、パナメーラ、ベントレー・コンチネンタルGT系モデルに共通で使われるMSBと呼ばれる標準化モジュール(ドイツ語のModularer Standardantriebs-Baukasten)が採用されている。アルミ化率を高め、従来モデルよりも衝突安全性を高めた上で軽量化された。

## 鍛造用アルミ合金

素材を油圧や機械プレス、またはハンマーなどで鍛錬し、粘りと強さを与えながら必要な形にしていく工法を鍛造という。鍛造で造られたアルミ合金は強度が高く、繰り返し応力にもよく耐えられ信頼性も高いことから、鍛造アルミホイールやサスペンションアームなどの構造部品に使われる。ひと口に鍛造用アルミ合金と言っても、熱間鍛造、冷間鍛造、自由鍛造や型打ち鍛造など工法が様々あり、用途や部品の要求特性に合わせて2000系、4000系、6000系など各種のアルミ合金が用いられる。





自動車に使われるアルミ素材：1

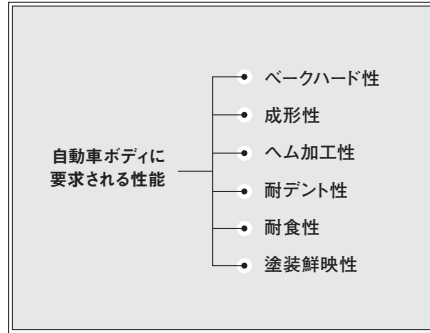
# アルミ合金板

## ALUMINUM SHEET PRODUCTS

成形性と強度にすぐれるアルミ合金板材が、車両価値の向上に貢献する。

### ▶ 6000系ボディパネル用アルミ合金

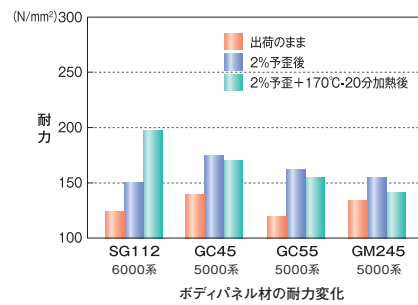
ボンネットフードやバックドア、ドア、ルーフなどのボディパネルをアルミ合金にすると、軽量化・燃費向上に大きな効果がある。ここで登場したのが6000系アルミ合金と称する、アルミにMg、Siを添加した中強度で成形性が良好な熱処理型の三元合金で、塗装焼付け時の加熱により強度が上がる塗装焼付硬化性（ベークハード性）という特性がある材料だ。成形加工の際は強度が低いため成形性にすぐれ、塗装後には高強度になる材料で、ボディパネル用アルミ合金の主流になっている。



自動車用ボディ材に要求される性能は多様だ。成形性と耐食性はもちろん、塗装焼付硬化性（BH性）のほか、外観で使われるため塗装鮮映性も重要だ。同じ6000系でも合金によって特性はさまざまだ。耐デント性とは凹みにくさのこと。

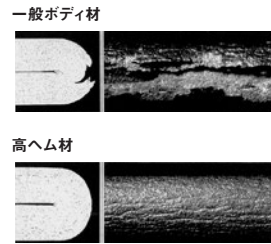
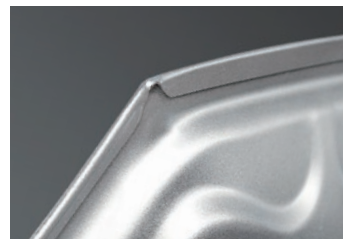
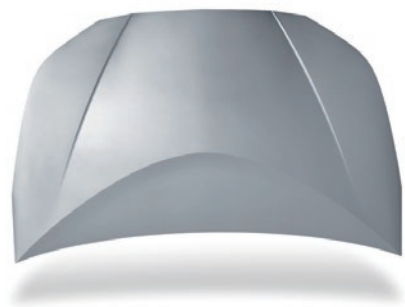
#### アルミ合金板の耐力の変化

下のグラフは、成形加工時と、塗装後の強度変化のグラフ。5000系に比べ6000系は強度が明らかに向上している。



#### トヨタ・プリウスのボンネットフード

トヨタ・プリウスのボンネットフードは、アウターパネル、インナーパネルともに6000系アルミ合金板で作られている。



#### ヘム加工

ボンネットフードのインナーとアウターの接合は、上の写真のように曲げ加工して接合している。アウターパネルとインナーパネルを接合するために行なわれる曲げ加工は、ヘム加工（ヘミング）と呼ばれる。アルミ合金の伸びは鋼板に比べると低いため、ヘム加工をすると割れやすく180度曲げるフラットヘム加工は難しいとされてきた。UACJではフラットヘムより厳しい密着曲げが可能な6000系ボディパネル用アルミ合金を実用化している。（断面写真は密着曲げ加工の比較）

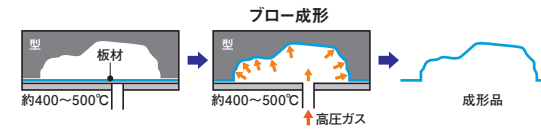
### ▶ 5000系ボディパネル用アルミ合金

5000系アルミ合金は、非熱処理合金のなかでもっとも高強度で、プレス成形性もすぐれるためボディパネル用合金として幅広く利用されている。元々アルミ合金の成形性は鋼板に比べると劣るが、Mgの添加量や微細な金属組織制御によって鋼板に近い成形性が実現された。



### ▶ 超塑性アルミ合金板

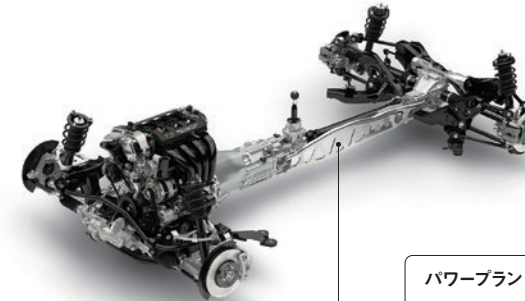
超塑性アルミ合金とは、400-500℃の高温で数百%以上の高い伸びが得られる合金のことである。この性質を生かして、ブロー成形（加熱したアルミ合金板を高圧空気で型に押しつける方法）でプラスチック成形のように自由なデザインを実現できるのが特長だ。従来、複数のプレス部品を溶接して作っていたものを、超塑性アルミ合金を用いてブロー成形すれば一体成形ができるのがメリット。Al-Mg系合金がベースだから耐食性も高く、溶接性も良い。UACJの超塑性アルミ合金板は「アルノービ」という商標で商品化されて広く使われている。



テスラModelSでは、複雑な曲面デザインのトランクリッドのパネルを高温ブロー成形により一体成形している。小ロットでもデザインの自由度を高められるのがメリットである。

### ▶ 高強度構造用アルミ合金板

高強度構造用アルミ合金板とは、自動車の骨格構造部材に適した強度と耐久性のあるアルミ合金で、求められる性能に応じて2000系、5000系、6000系、7000系など多くの種類がある。このなかで、もっとも引張強度と耐力、せん断強さ、疲れ強さがすぐれるのが7075合金。いわゆる超々ジュラルミンである。高い強度が求められるシャシーやサブフレームに使われる。軽くて強いアルミの良さが発揮できる素材だ。マツダ・ロードスターのパワープラントフレームには、6061合金の高強度構造用アルミ合金が使われている。

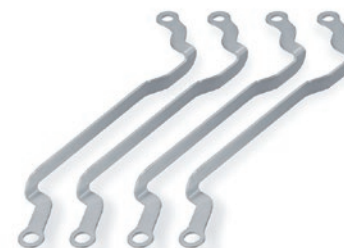
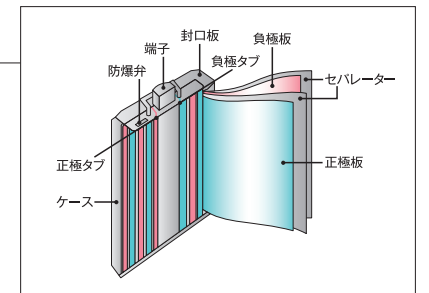
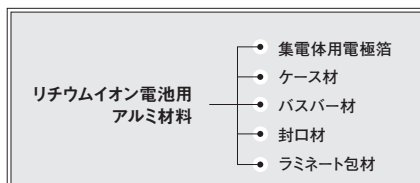


#### パワープラントフレーム

ロードスターで採用されているマツダ独自のフレーム構造。トランスミッションケースとデフケースを強固に結合し、駆動系の剛性を高める高強度アルミ合金製フレーム。

### ▶ リチウムイオン電池材料

電動化は、大量のバッテリーを自動車に積むことを意味する。バッテリーの主流はリチウムイオン電池へと移り変わってきている。そのリチウムイオン電池にもアルミ合金は使われている。バッテリーの集電体用電極箔（正極用）、ケース、封口材から、バスバーなどの周辺部材など、リチウムイオン電池材料でアルミ合金は不可欠な存在だ。



アルミ合金バスバー



リチウムイオン電池セル・モジュール





自動車に使われるアルミ素材：2

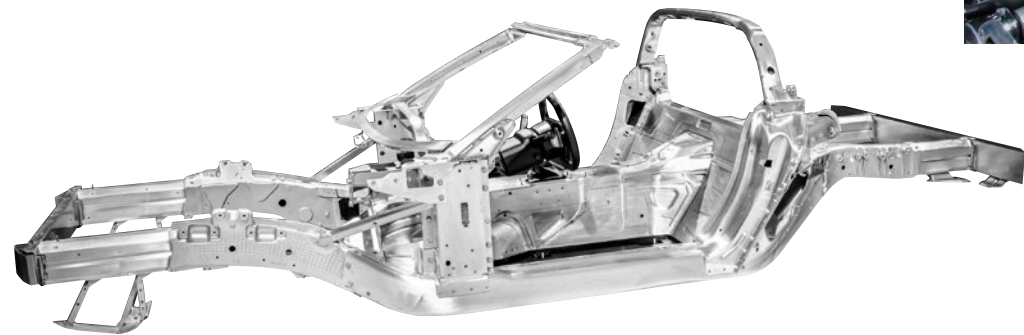
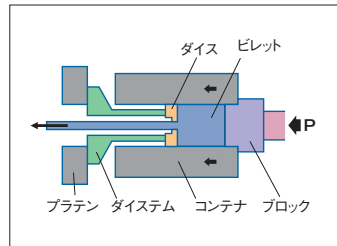
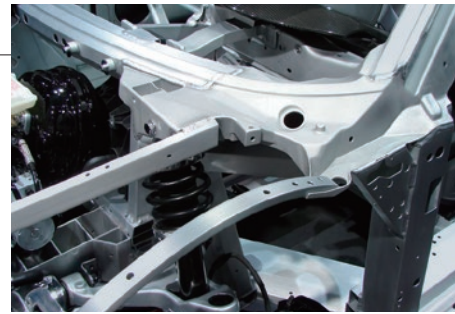
## アルミ合金押出材

ALUMINUM EXTRUDED SHAPES

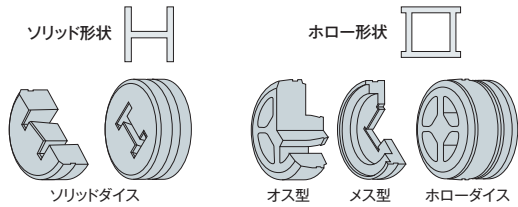
フレキシブルなアルミ押出材が軽量車体構造を支える。

## ▶ アルミ合金押出材

アルミ押出加工は、複雑な断面形状の長尺な製品など他の方法では成形が難しい製品を高精度で製造することができる加工方法だ。押出加工は400～500℃に熱した円柱状のアルミ合金の材料（ビレット）を押し出し機により強い圧力を加えてさまざまな形状のダイスに押しつけ・押し出して、必要とする断面形状の製品を連続的に製造していく。中空断面や、複雑な形状の断面の製品でも一度の押出工程で造り出すことができる。アルミ押出材はスペースフレーム構造にはうってつけの材料だ。

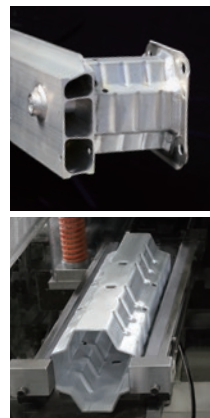


シボレー・コルベットの車体は、アルミ押出材のスペースフレーム構造を採用している。前後50:50の重量バランスを実現し、従来モデルから45kgの軽量化を図りながらも、剛性を57%も向上させた強靱なボディ構造になっている。これらにより衝突安全性、ドライバビリティが飛躍的に高まっている。



## マツダ・ロードスターのバンパー・クラッシュボックス

自動車用バンパーレインフォースメントでは高強度の6000系合金が使われることが多かった。マツダ・ロードスターではマツダとUACJが共同開発した高強度7000系合金のホロー形状アルミ押出材を使ってさらなる軽量化が図られている。



二輪車のフレームやフロントフォークはアルミ合金押出材が使われる。とくにフロントフォークのアウトチューブには、7050番のアルミ合金が使われる。UACJはここで世界トップシェアを持っている。

自動車に使われるアルミ素材：3

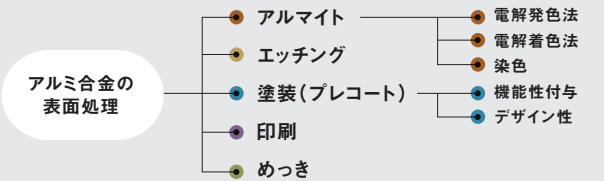
## アルミ合金の表面処理

SURFACE TREATMENT

表面処理で表情を変えるアルミは美しい！

## ▶ 意匠用光輝アルミ合金

アルミニウムの大きな特長にデザイン性にすぐれることが挙げられる。モール、装飾部材、照明用反射板などは、電解研磨、化学研磨によってすぐれた光沢性が得られる光輝アルミ合金が用いられる。アルミニウムの表面は、酸化皮膜で保護されていて無処理でも耐食性に優れるが、さまざまな使用環境に適合するように表面処理により各種特性を高めて利用される。アルミの美しさを際立たせる表面処理の技術がある。



## デザインアルミ合金板インテリアの例

ヘアラインなどの表面研磨処理したアルミ合金パネルはインテリアでよく使われるが、高級車のインテリアは、さらにアルミの美しさを前面に押し出したパーツが用いられている。コンソールパネルやドアトリムなどには、非常に繊細で美しい表面加工・表面処理を施したアルミ合金パネルが使われている。



スポーティな演出で欠かせないアルミ合金製のパーツ類。本物指向のモノ創りが叫ばれるなか、リアルメタルの採用が増えている。その美しい輝きが樹脂ではなくアルミを選ばせるインセンティブだろう。



## アルマイト処理(陽極酸化皮膜処理)

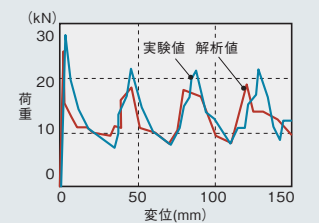
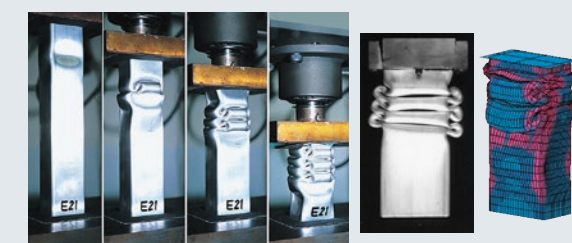
電気めっきはめっきするモノを陰極にして電解液中の金属イオンを還元析出させるが、アルマイトはアルミニウムを陽極にして電解し、酸化アルミニウムの強固な皮膜を形成する処理。UACJでは化学研磨、電解研磨によってすぐれた意匠性が得られる上に、アルマイト性を確保している世界でも僅少な光輝アルミ板材料を製造している。



## 評価・分析・解析技術がアルミを進化させる

自動車部品の開発には、評価分析技術とシミュレーション技術が欠かせない。アルミ合金の部材開発ではCAEによる衝突解析、流体解析、熱解析などが広く利用されている。右のグラフは、衝突時にクラッシュボックスに負荷する圧縮荷重により、クラッシュボックスが圧壊する過程を実験とCAEによる解析で比較したもの。実験値と解析値が一致していることがわかる。

## クラッシュボックスのシミュレーション





# アルミ合金の接合技術

JOINING TECHNOLOGY

マルチマテリアル化の流れでも存在感を高めるアルミニウム。

アルミ合金の接合で主流を占めるのは、現在も過去も熔融溶接法である。なかでもMIG(メタル-不活性ガス)溶接、TIG(タングステン-不活性ガス)の2種類があるアーク溶接が一般的だ。軽量化のためにアルミ合金が使われるようになり、自動車製造でのアルミ接合技術は飛躍的に進化した。レーザー溶接をはじめ、部材を溶融

させずに接合するFSW(Friction Stir Welding = 摩擦攪拌接合)も広く使われるようになった。メカニカル接合と呼ばれる部材どうしをリベットやボルト、ねじ類を用いて締結する技術では、セルフピアシング・リベットなどが進化を遂げている。メカニカル・クリンチングと呼ばれるリベット類を用いずにかしめる技術もある。マ

ルチマテリアルのボディ構造が増加する背景には、構造用接着剤の広がりや、アルミと鋼材、アルミと樹脂のような異種材料の接合技術の深化がある。接合技術はアルミ合金の利用拡大だけでなく、軽量ボディやシャシー構造そのものを変えてしまえるトレンドな技術と言えるだろう。

## ▶ さまざまな接合技術

### パンチ・リベット

穴の開いていない2枚の板材に対してくさび状の円柱部材を強制的に押し込み締結する。加工面がフラットになるため、ルーフやピラー周りで用いられる。



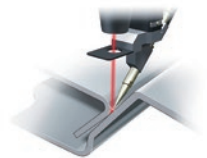
### フロー・ドリル・スクリュー

いわゆるねじ留め的一种。母材には穴を開けておく必要があるが、ねじ留めのため、締結部分を再び外すことができるのも利点である。



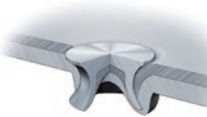
### レーザー溶接

発信器から出たレーザー光を集束光学系にて高エネルギー密度の微小スポット熱源として接合部に照射し熔解して溶接する方法。



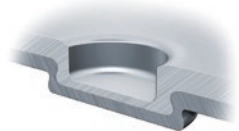
### セルフピアシング・リベット

リベットの脚部を母材に食い込ませ、変形させることで抜けない構造とする接合。予め穴を明けると必要がないため強度低下しない。



### メカニカル・クリンチング

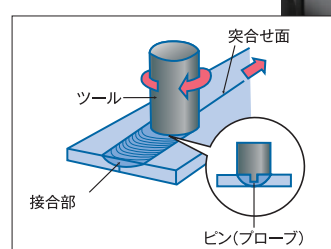
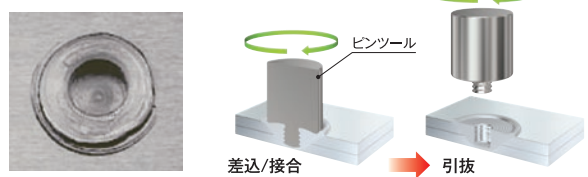
リベットなどを使わずに、接合箇所の板材を上下からダイスで絞って機械的に接合する方法。リベット接合より簡単で低コスト。



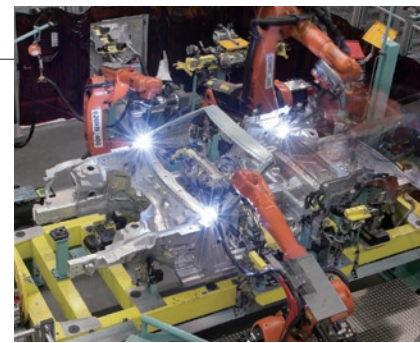
## ▶ FSW・FSSW

摩擦攪拌接合=FSW(Friction Stir Welding)は、従来の溶接に代わる接合方法だ。高回転するツールと部材の間に発生する摩擦熱を利用するが、アルミの融点よりもはるかに低い温度で接合が行なわれるため、歪みや残留応力が少ない、スパッタなどによる汚れがない、熱影響による強度低下が少ないなどメリットが多い。FSSW(Friction Stir Spot Welding)は、FSWによる点接合。UACJが開発した複動式FSSWでは穴やバリが残らない。

### FSW点接合(FSSW)

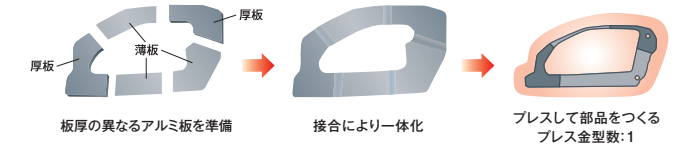


摩擦攪拌接合の原理



リベットなどを使わずに、接合箇所の板材を上下からダイスで絞って機械的に接合する方法。リベット接合より簡単で低コスト。

## ▶ テーラードブランク



テーラードブランクを最初に市販車に採用したのがアウディR8(初代)。フロアパネルのセンタートンネル部分だ。

テーラードブランクとは、板厚や材質の異なる複数の素材を接合してからプレス成形する技術である。必要に応じて板厚を最適配置できるため軽量化に効果がある。また部品形状に近い材料取りが行なえるため歩留まりも向上し、部品点数を減らし、金型の数も削減できる。テーラードブランクで重要なのは接合部だ。熱影響部が少なく継手形状が滑らかでプレス成形に影響が少ない接合方法が適していると言える。

自動車用ボディパネルにおける各種接合方法の比較例

工法	接合能率(速度 m/min)		引張特性	接合品質		接合コストイメージ	
	1mm同厚	1mm/2mm差厚		成形性	成形性	接合装置	シールドガス
FSW	○	○	○	○	○	○	○
	2.0~4.0	2.5~3.5					
YAGレーザー	○	○	○	○	○	△	△
	2.0~4.0	2.0~4.0					
アーク溶接	△	△	○	×	○	○	△
	~1.2	~1.2					

○優 ○良 △可 ×要検討

## ▶ 接着

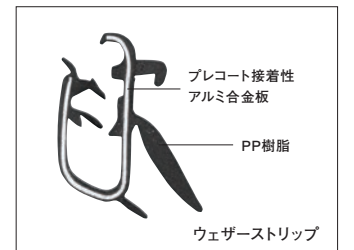


軽量化のためにアルミ合金と樹脂の異種素材を組み合わせたステアリング・ハンガービーム。



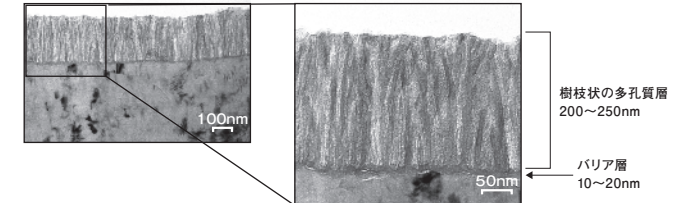
### プレコート接着性アルミ合金板

ウェザーストリップの強度を支えるのは、塗膜密着性のための下地処理を行ない、樹脂との接着性の高い塗装を施したアルミ合金板。



### 高接着性表面処理アルミ板 [KO処理]

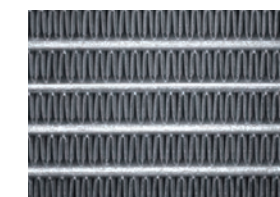
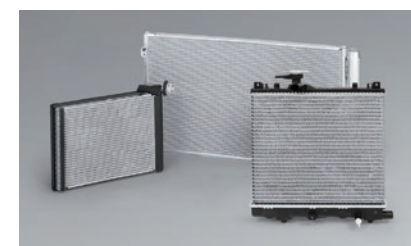
KO処理は、アルミ板をアルカリ性の電解液中で交流電解処理することで、多孔質で樹枝状の複雑な形状の酸化皮膜を形成する処理。通常の陽極酸化皮膜の厚みは2~10μm、KO処理の厚みは200~250nm(KO処理は陽極酸化処理の1/10~1/40と非常に薄い)。



樹枝状の多孔質層  
200~250nm  
バリア層  
10~20nm

## ▶ ろう付

ラジエーター、ヒーターコア、コンデンサー、エバポレーターといった自動車用の熱交換器は1960年代にアルミ合金製が登場してから、軽量化・小型化が推進され、現在ではアルミ製が主流だ。自動車用の熱交換器は、アルミ押出材の多孔チューブやクラッド管とアルミ板材のコレクター状にしたプレージングシートを組み立て、ろう付で一体化している。



### 水冷式インタークーラー

インタークーラーのコア部はアルミ合金製で、フィンとチューブは一体ろう付される。



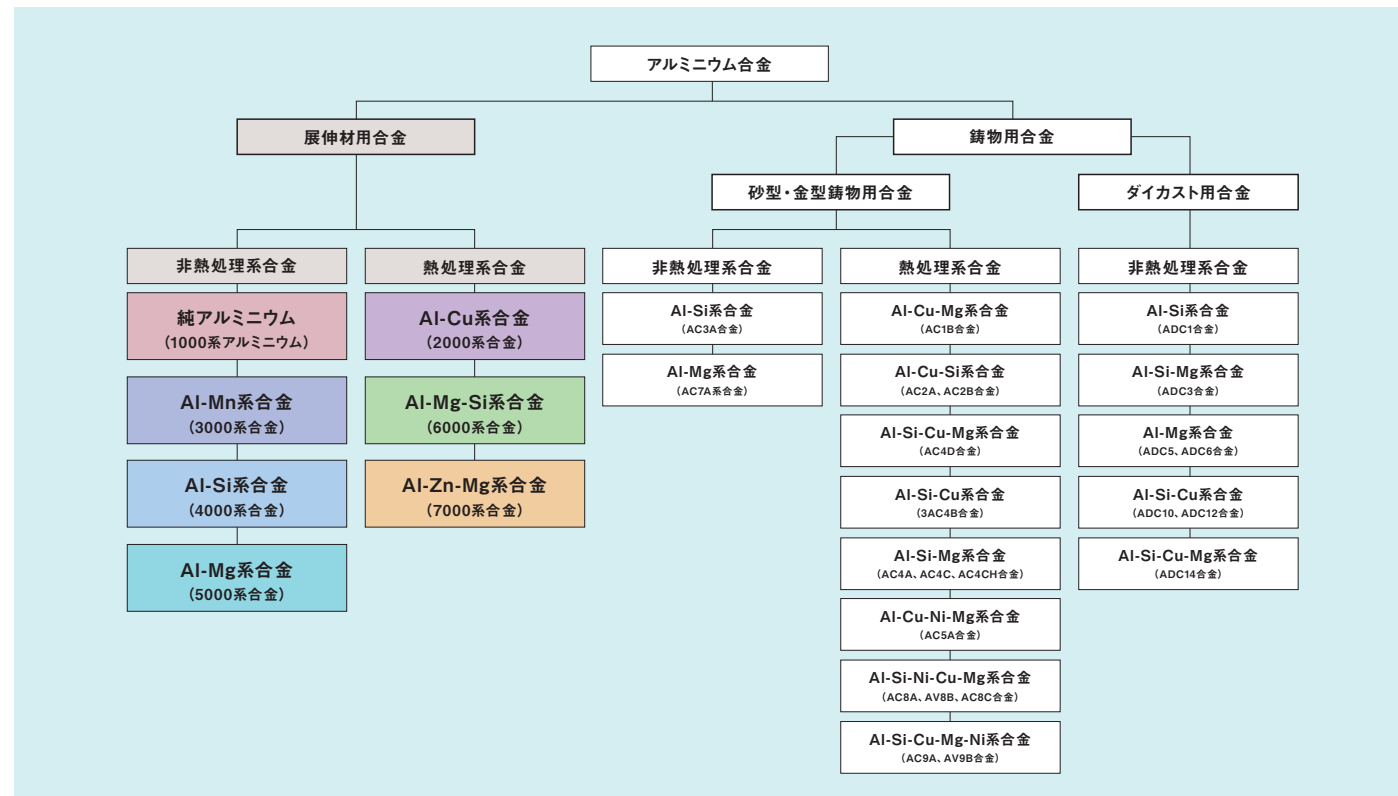
# アルミニウム合金の基礎知識

軽くて強いというアルミニウムの基本的な性質に、マグネシウムやマンガン、銅、ケイ素、亜鉛などを添加することで合金にすると、さまざまな特長を持ったアルミ合金が生まれる。強度・耐食性・成形性にすぐれて美しいアルミ合金は、自動車用素材として数多くのバリエーションがある。

アルミニウムのうち、純度99%以上のものを純アルミニウムと呼ぶ。さまざまな元素を添加して強度を高めるなど性質を改善したものをアルミニウム合金（アルミ合金）と呼ぶ。アルミ合金は展伸材用合金と鋳物用合金に大別され、それぞれに非熱処理型合金と熱処理型合金に分けられる。

展伸材用アルミ合金は、圧延加工や押出加工によって板、箔、型材、管、棒などの形状に加工し、ボディ・シャシーなどの構造材料として用いられる。鋳物用アルミ合金は、砂型・金型鋳物用合金とダイカスト用合金の2系統があり、パワートレーン部品に利用している。アルミ合金の特性は、添加元素の種類や添加

量、熱処理などによって大きく異なる。下図を見ると、鋳物用合金の方が展伸材用合金より種類が多いように思えるが、実際は展伸材用合金の種類は四百数十種類と非常に多く、部位や特性の優先順位に応じて選択し利用する。（P14-P15に示すのは、自動車へ適用されるアルミ合金の一例）



## 展伸材用合金記号の例



JIS規格では、個々のアルミ合金に番号を付けてその種類を区分している。圧延用アルミ合金については、22カ国・24団体の協定によって国際合金記号化制度がとられており、日本からは、日本アルミニウム協会がこの制度に参加している。この合金記号は4桁の数字方式によって表され、合金を構成する添加元素の種類とその添加量および不純物元素の種類と、その許容限界値の違いによって細かく区分されており、現在四百数十種類のアルミニウムおよびアルミ合金が登録・管理されている。したがって、たとえばJIS規格のA5052合金とヨーロッパ規格のENAW-5052合金の4桁の数字部分(5052)が同じであれば、合金の化学成分はまったく同じであることを表している。このようにアルミニウムの展伸材用合金は、他の金属材料では見られない国際性を備えた材料といえる。

一方、鋳物用アルミ合金については、まだ展伸材用合金のような国際合金登録制度がとられていないため、その合金記号は各国それぞれである。

第1位 アルミニウムおよびアルミ合金を表す「A」で、JIS独自の接頭語である。2C～5Cの4桁の数字は国際登録合金だ。

第2位 純アルミニウムについては数字「1」、アルミニウム合金については主要添加元素によって下記の数字1～8に区分する。  
 [1]工業用純アルミニウム  
 [2]Al-Cu系合金  
 [3]Al-Mn系合金  
 [4]Al-Si系合金  
 [5]Al-Mg系合金  
 [6]Al-Mg-Si系合金  
 [7]Al-Zn-Mg系合金  
 [8]その他の合金

第3位 を表し、「1～9」まではその改良型合金を登録の順に付ける(例えば2024合金の改良型合金を2124、2224、2324合金と表す)。なお、日本独自の合金は「N」を付けて表す。6N01合金は国際合金登録され、6005Cという名前がついている。

第4位 純アルミニウムについては、アルミニウムの純度の小数点以下2桁(たとえば1050は純度99.50%を表す)、合金の場合は特に意味はない。

第5位 4桁の数字に続いて1～3個のローマ数字が付されるが、これは製造方法とも関係する材料の形状を表す記号であり、右表のような意味がある。

第6位 数字0～9を用い、次に続く第4位および第5位の数字が同じ場合、「0」は基本合金

記号	意味
P (PS)	板、条、円板 (同左特殊形状)
PC	合せ板
BE (BES)	押出棒 (同左特殊形状)
BD (BDS)	引抜棒 (同左特殊形状)
W (WS)	引抜線 (同左特殊形状)
TE (TES)	押出継目無管 (同左特殊形状)
TD (TDS)	引抜継目無管 (同左特殊形状)
TW (TWS)	溶接管 (同左特殊形状)
TWA	アーク溶接管
S (SS)	押出型材 (同左特殊形状)
FD	型打鍛造品
FH	自由鍛造品
H	箔
BY	追加棒
WY	溶接ワイヤー

## アルミニウム合金の一般的性質

### 1000系アルミニウム

1000番台の表示は工業用純アルミニウムを示し、1100、1200が代表的で、いずれも99.00%以上の純アルミニウム系材料である。1100は陽極酸化処理(アルマイト)後光沢を良好にするCuが微量添加されている。1050、1070、1085はそれぞれ純度99.50、99.70、99.85%以上の純アルミニウム材料であることを示す。

この系の材料は加工性、耐食性、溶接性にすぐれるが、強度が低いので構造材には適さない。しかし、強度を要しない家庭用品、日用品、電気器具に多く用いられる。

純アルミニウムに含まれる主な不純物はFe、Siであるが、不純物が少なくなるにしたがって耐食性が向上し、陽極酸化処理後の表面光沢が改善される。このため、化学、食品、工業用タンク、装飾品、ネームプレート、反射板などに使われる。また、Fe、Siの量によってプレス成形性が影響されるため、その量、比率を合金元素と同じように制御することも行なわれる。

なお電気伝導性、熱伝導性にも優れるため、1060、1070は送配電用材料、放熱材として多く用いられている。

### 2000系合金

ジュラルミン、超ジュラルミンの名称で知られる2017、2024が代表的なもので、鋼材に匹敵する強度をもつ。しかし比較的多くの銅を含むため耐食性に劣り、腐食環境にさらされる場合には十分な防食処理を必要とする。航空機用材料として防食を目的に表面に純アルミニウムを合わせ圧延したクラッド材が使用されている。2014は高強度鍛造材として広い用途をもっている。

溶融溶接性は他のアルミ合金に比べて劣るため接合には主にリベット・ボルト接合などのメカニカル接合や、抵抗スポット溶接が行なわれる。切削性は良好で、特にPb、Biを添加した2011はすぐれた快削性合金として機械部品に多く用いられている。

### 3000系合金

3003は3000系の代表的合金で、Mnの添加により純アルミニウムの加工性、耐食性を低下させることなく、強度を向上させた材料である。器物、建材、容器などに広く用いられている。3003に相当する合金にMgを1%程度添加した3004、3104は、さらに強度を増加させることができるためカラーアルミ、アルミ缶ボディ、屋根板、ドアパネル材などの材料として利用されている。

### 4000系合金

4032はSiの添加により熱膨張率を抑え、耐摩耗性の改善を行なったもので、さらにCu、Ni、Mgなどの微量添加により耐熱性を向上させ、鍛造ピストン材料として用いられる。4043は熔融温度が低く、溶接ワイヤー、ブレージングろう材として使用される。また、この合金はSi粒子の分散により陽極酸化処理皮膜が高級感のある独特のグレー色を呈するためビル建築のカーテンウォール(外装パネル)にも使用されている。

### 5000系合金

5000系合金は種類が多い。Mg添加量の比較的少ないものは装飾用材や器物用材に、多いものは構造材として使用される。

Mg添加量の少ない合金としては装飾用材、高級器物として用いられる5N01、車両用内装天井板、建材、器物材として用いられる5005が代表的なものである。中程度のMgを含有するものとしては5052が代表的で中程度の強度の材料として代表的合金である。5083はMg含有量の多い合金で非熱処理合金としてはもっともすぐれた強度をもち、溶接性も良好である。このため、溶接構造材として船舶、車両、化学プラントなどに使用されている。

この系の合金は冷間加工のままで強さがやや低下し、伸びが増加するという経年変化を示すため安定化処理が施される。海水や工業地帯の汚染雰囲気にも強く、外観を問題にしなければ防食処理を施す必要は比較的少ない。また、5083のようにMgを多く含むものは、過度の冷間加工を与えたまま高温で使用すると、応力腐食割れを生じることがあるので、通常、構造材としては軟質材が使用される。

### 6000系合金

6000系の合金は強度、耐食性とも良好で、代表的な構造用材として挙げられる。ただ、溶接のままで継手効率が低く、ビス、リベット、ボルト接合による構造組立が行なわれることが多い。6061-T6は耐力245N/mm<sup>2</sup>以上でSS400鋼に相当し、設計上、たわみを問題としなければ、同等の許容応力がとれるという利点があり、鉄塔、クレーンなどにも用いられる。6063はすぐれた押出性を備え、建築用サッシを中心に、6061ほど強度を必要としない構造材として使用される。6N01は6063と6061の中間の強度を有する合金で1982年にJISに登録している。

### 7000系合金

アルミ合金のなかでもっとも高い強度をもつAl-Zn-Mg-Cu系合金と、Cuを含まない溶接構造用Al-Zn-Mg合金に分類できる。後者はいわゆる三元合金として親しまれている。Al-Zn-Mg-Cu系合金の代表的なものは7075で、航空機、スポーツ用品類に使用されている。Al-Zn-Mg合金は比較的高い強さをもち、溶接後の熱影響部も自然時効により母材に近い強さに回復するため、すぐれた継手効率が得られる。7N01がその代表的合金で溶接構造用材料として鉄道車両などに用いられている。

7000系合金は熱処理が適切でない場合には応力腐食割れを生じることがあるので注意が必要がある。このためにJISに示された標準熱処理条件よりは過時効となる条件で焼きもどしが行なわれることもある。

### その他の合金

アルミニウムにLiを添加すると、密度が小さくなり、ヤング率は増大するため、理想的な低密度・高剛性材として航空機その他大型構造用などとして注目され、Al-Li系、Al-Li-Mg系、Al-Li-Cu系、Al-Li-Cu-Mg系などが開発されている。ほかに8000系合金として国際登録されている粉末冶金合金やその他の新技術の研究開発とともに新合金が数多く開発されている。

## アルミニウム合金の表面程度と特性

表面程度	表面光沢度 (%)			平均表面粗さ (μRa)	特性
	横正反射率	縦正反射率	拡散反射率		
XL	83	85		0.02	超高光沢、鏡面を有する。鏡面をそのまま生かして反射板、ネームプレートに使用(クリアー塗装はよいが、陽極酸化処理は不適)。
SL	83	85	4以下	0.02	元板の光沢は最高で、アルマイト後の光沢低下が極めて少ない。電解(化学)研磨処理なしで、光沢を必要とする場合に適する。
LF	74	79	6以下	0.03	電解(化学)研磨処理をほどこす場合、および元板の光沢を残す場合に適する。
HB	67	74		0.05	ネームプレート用アルミニウム板として、標準的表面であり最も適用範囲が広い。
BF	55	65		0.1	全面印刷、一般的アルマイト処理に適する。エッチング処理をする場合に適する。
MF	15	40		0.35	光沢のない機械的前処理(水ヘアーライン加工など)を施す場合に適する。エッチング処理をする場合に適する。

\*代表値。表面光沢度は、材質、質別、板厚により異なるが、およそ代表値の±5～10% (正反射率)。



SL: Super Luster finish

LF: Luster finish

HB: High Bright finish

BF: Bright finish

MF: Mill finish

# アルミニウム合金の種類と自動車への適用

アルミ合金は、1000番台の工業用純アルミニウム、銅を添加した2000番台、マンガンを添加した3000番台、ケイ素を添加した4000番台、マグネシウムを添加した5000番台、マグネシウムとケイ素を添加した6000番台、そして亜鉛とマグネシウムを添加材とした7000番台まで、多種多様だ。

合金系	合金呼称			特長	自動車への適用
	AA呼称	JIS呼称	UACJ呼称		
1000 Al	1050	1050	A50	加工性、表面処理性がすぐれ、耐食性はアルミ合金中最良	ヒートインシュレーター
	1100	1100	A30	アルミ純度が99.0%以上の一般的な用途のアルミ	ヒートインシュレーター、ナンバープレート
	1200	1200	A0	陽極酸化処理後の外観がやや白っぽくなる以外はA50と同一	ヒートインシュレーター
2000 Al-Cu	2014	2014	14S	Cuを多く含むため、耐食性はよくないが強度が高く、構造材として使用	2輪車ハンドル、ABS
	2017	2017	17S		ショックアブソーバー、ハンドル
	2024	2024	24S		スポーク、コンロッド
	2219	2219	B19S	強度が高く、低温および高温特性、溶接性もすぐれるが、耐食性は劣る	ローター
			CG29	2618合金の高温強度を改良した合金	コンロッド、ピストン
			CB156 CB256 KS26	鉛フリー快削合金	ATバルブ
	2618	2618	2618	高温下でも高い強度を発揮	ターボ用コンプレッサーホイール、ピストン
3000 Al-Mn			20A1	鍛造、切削加工にも適している	
	3003	3003	303S D3S	1100より強度が約10%高く、加工性、耐食性も良好	配管類
4000 Al-Si	3004	3004	304S 4S	3003より強度が高く、深絞り性にすぐれ、耐食性も良好	カウルグリル、ヒートインシュレーター
	4032	4032	32S	耐熱性、耐摩耗性にすぐれ、熱膨張係数が小さい	ピストン
			SC100	耐摩耗性、鍛造性にすぐれた4032より高強度の合金	パワーステアリングハウジング、コンプレッサースクロール、バルブリフター
			SC300	SC100の強度アップした合金	
			TF06B TF08 TF10B	耐摩耗性、鍛造性にすぐれた4032より高強度の合金	
			TF12B	過共晶合金で、鍛造性を向上させた合金	
5000 Al-Mg					コンプレッサーローター
	5052	5052	52S	中程度の強度を持った合金で、耐食性、加工性が良好 疲労強度も高い	メーター表示板、ATドラム、エアバッグインフレーター、各種カバー類
	5454	5454	D54S	5052に比べ、強度が20%高い 耐食性が良好	ホイールリム、サスペンション部材
	5083	5083	183S	溶接構造用合金 非熱処理合金の中で最も強度が高い	タンク類、ポンペ
			383S	183Sの成形性を向上させた合金 超塑性特性も優れる	
			483S NP5/6	5083の押出用合金	ラッシングレール
	5182	5182	A82S	5083に近い強度を持ち、加工性、耐食性が良い合金	ダストカバー、シートフレーム、エアクリナーケース、スプリングシート
			GM145	成形性、耐応力腐食割れ性が良好	ボディパネル(インナー)
	5154	5154	A154S	5052合金に対し、20%高強度化した合金 成形性良好	ホイール、足回り、駆動関係 サスペンション部材
A254S			5052合金に対し、20%高強度化した合金 成形性良好 耐応力腐食割れ性を考慮した合金		
GC32			成形性、耐応力腐食割れ性が良好		

AA: The Aluminum Association (米国アルミニウム協会)

合金系	合金呼称			特長	自動車への適用
	AA呼称	JIS呼称	UACJ呼称		
5000 Al-Mg	5022		GC45	高強度、高成形性のボディパネル用合金で、 焼付塗装による耐力低下が少ない	ボンネット、サンルーフ、ドア、センターピラー、 オイルパン、フロアー、オイルハウス、 リアフェンダー、クロスメンバー、エアクリナーケース
			TG19		
			GC150	GC45よりもやや強度の高い合金	ボディパネル(インナー)
	5023		GC55 TG25	成形性をさらに改良したボディパネル用合金	ボンネット、ルーフ、トランクリッド、シートバック、 インストルメントパネル、ニープロテクター
5110A	5N01	257S	強度は3003と同等の高光輝合金 深絞り性、耐食性良好	モール、トリム、反射板、 ヘッドランプバルブシェード	
5056	5056	356S	耐海水性のすぐれた非熱処理系溶接構造用合金	ブレーキピストン、フェルデルリバーパイプ、 エアバッグインフレーター	
6000 Al-Mg-Si			SG112 SG212 TM30 TM55	ベークハード型ボディパネル合金	ボンネット、リヤフェンダー、フロントフェンダー、 センターピラー、ホイールハウス、サンルーフ、 ドア、クロスメンバー
			SG312 TM66 TM67		
	6061	6061	61S 161S	熱処理型の耐食性アルミ合金	ABS、防振ゴム用金具、ホイール、プロペラシャフト、 アーム類、リンク、エアバッグ、根太、レシーバータンク、 足回り、バンパーレインフォース、ダンパーブッシュ、 インストルメントパネルビーム
			561S		
	6013		SG210	高強度鍛造用アルミ合金	ササアーム
	6063	6063	63S 163S Y63	代表的押出用合金 6061より強度は低い が 押出性にすぐれ、複雑な形状が可能	モール、シートフレーム、トラックアオリ、 サンルーフレール、各種配管パイプ
	6005C	6N01	465S L55	中強度押出合金 6061と6063の中間の強度を有し、 耐食性と溶接性が良好	バンパーレインフォース、サイドシル、 スペースフレーム、エンジンマウントブラケット、 シートフレーム、ABS、ショックアブソーバー外筒
			SG109	高強度合金 曲げ加工性、耐食性が良好 ホロー押出可能	バンパーレインフォース、 スペースフレーム
			SG10 SG310	足回り等に使用される中高強度の耐食性材料	ホイール、プロペラシャフト、アーム類、リンク
			GT209 KS69S	鉛フリー快削合金	ATバルブ
7000 Al-Zn-Mg	7075	7075	75S	高強度合金 航空機用の代表的合金	シートベルトヒンジ、ボビン、リトラクター
	7178	7178	A78S	アルミ合金で最高の強度を有する合金 耐食性は劣る	キー
	7003	7003	ZK60 K73	溶接構造用押出合金7N01より押出性良好	バンパーレインフォース、シートスライダ、2輪車リム、 オートバイフレーム、ドアインパクトビーム
	7204	7N01	ZK141 K70	溶接構造用合金 溶接部の強度が常温時効により 母材強度近くまで回復	ジャッキ、ステアリング、クロスメンバー、ハンドル芯金、 ブレーキペダル、バンパーレインフォース
	7204	7N01	ZK147 K70Y		ジャッキ
			ZK55	7N01よりも高強度な合金 溶接可能	バンパーレインフォース、インパクトビーム、 オートバイフレーム、オートバイリム
	7046		ZK170	ホロー押出可能	
	7050	7050	ZG62	高強度アルミ合金	フロントフォーク
		ZC88			

AA: The Aluminum Association (米国アルミニウム協会)





## epilogue

Aluminum Material for Automobiles

### 次世代のクルマ創りを支える環境金属アルミニウム

いま自動車開発の最大の課題はCO<sub>2</sub>排出量削減＝燃費規制への対応だ。  
 そのために、自動車メーカーはエンジンの燃費改善やパワートレインの電動化を進行している。  
 とはいえ、CO<sub>2</sub>排出量削減にもっとも効くのはやはり車体の「軽量化」だろう。  
 そこで注目されるのがアルミニウムである。鉄の比重が7.8に対しアルミは2.7。アルミは「軽い」のだ。  
 比強度(単位重量当たりの強度)が大きいアルミは軽くて「強い」素材でもある。  
 加工性・耐食性が良く利用しやすいなど、アルミが持つ本来の特性も自動車にとって魅力的だ。  
 エンジンブロックなど鋳物から始まった自動車への展開は、ボディパネルやシャーシなど  
 さまざまな部位に採用されて、自動車構造材料の中心的な役割さえ演じている。  
 アルミニウムに金属元素を添加することで、さまざまな特性をもつアルミ合金を創り出せる。  
 加えて、僅かなエネルギーで何度もリサイクルができる環境に優しい金属だ。  
 アルミニウムは、素材製造・成形・接合・表面処理性などで一段と高度化を遂げている。  
 マルチマテリアル化のクルマ創りでも欠かせない素材になっていくだろう。