

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]

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-2

ALUMINUM

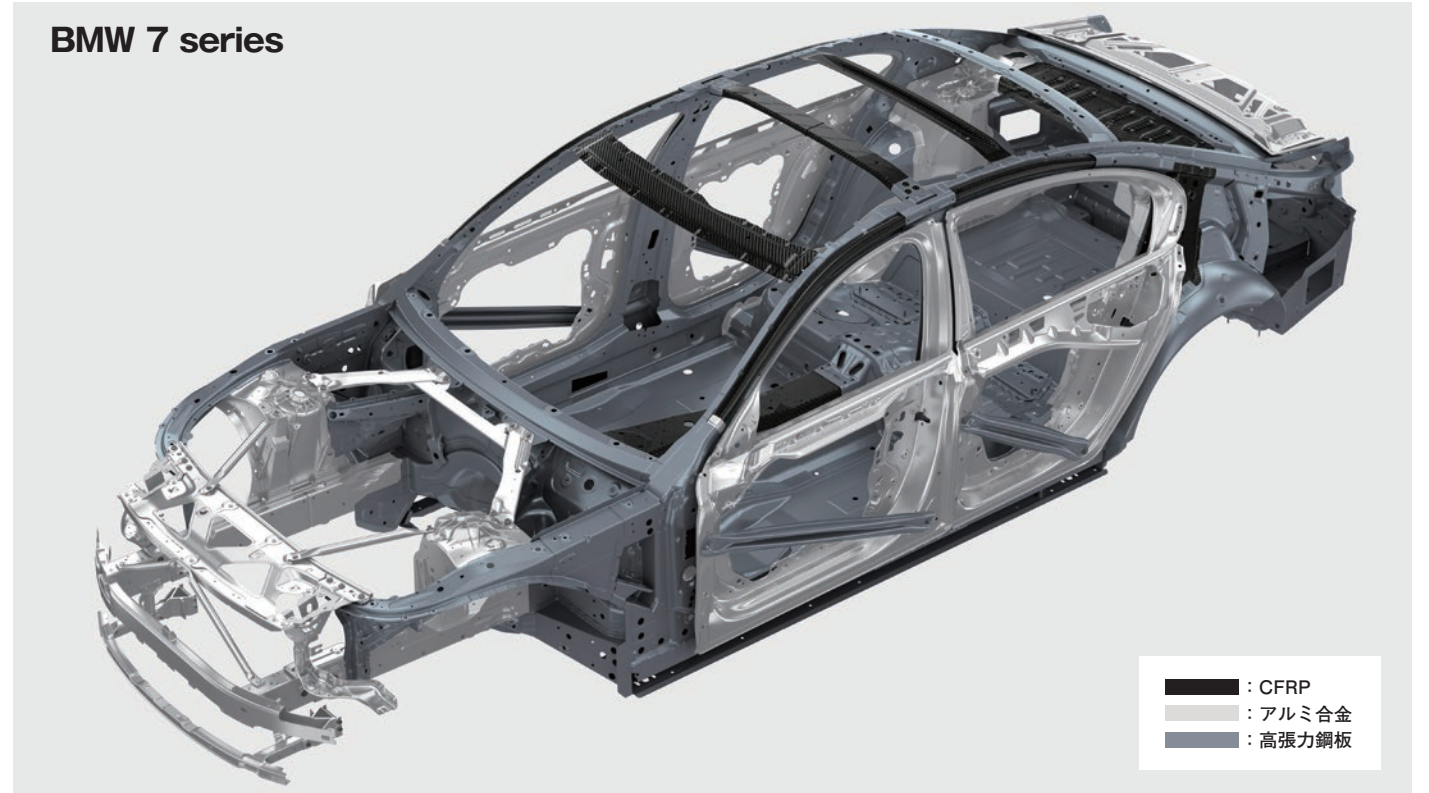
Smart Developments

Introduction

軽量化に必須なアルミ合金への 材料置換



FORD F-150



BMW 7 series

■ CFRP
■ アルミ合金
■ 高張力鋼板



■フォードF-150の衝撃

北米でもっとも売れているクルマ、それがフォードのFシリーズだ。フォードの主力大型ピックアップトラックであるFシリーズの中核モデルがF-150。このF-150が2014年のフルモデルチェンジを機に「オールアルミボディ化」されたのは、大きな話題となった。言うまでもなくアルミ合金はスチールと比較すると軽いが高価だ。そのアルミを最量販モデルに採用したフォードの目論見はふたつ。軽量化による燃費改善とオールアルミ化による車両価値のアップである。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。全体では先代との比較で約320kgを軽量化した。これによる燃費改善効果は最大20%にもなるという。北米のユーザーが「オールアルミのピックアップトラック」に付加価値を感じるかどうかにも注目だ。

■マルチマテリアルのショーケース

欧州のプレミアムメーカーでは、高張力鋼板などのスチールとアルミ合金を適材適所で使うマルチマテリアル化の動きが強まっている。新型BMW7シリーズは、その最先端をいっている。「Carbon Core」とBMWが呼ぶボディ設計技術は、スチール、アルミ、そしてCFRPを使いこなし、車体全体で先代より約130kg、ボディ骨格で約40kgの軽量化を果たした。スチールで作った閉断面の内側にCFRP製の芯材を入れているのが特徴だが、軽量化技術としてアルミ合金の採用も目立つ。ボンネットフード、ドアパネル、トランクリッドなどはもちろん、エンジン保持部材、リヤサイドシルなどもアルミ合金製だ。またボディ前部のクラッシュボックスなど前面衝突時の衝撃吸収を担う構造材にアルミ合金を多く使っているのが目立つ。



オールアルミ化 or マルチマテリアル化。軽量化が燃費規制クリアの鍵

自動車業界には「アルミ化の波」がこれまで3回あったという。1回目は1990年頃のホンダNSXに代表されるようなオールアルミ化による軽量化志向だった。2回目は2000年前後。このときは、スチールと同等の性能を持つアルミ合金を自動車に使いたい、というトレンドだったという。「30-30（サーティ・サーティ）」と言って、引張強度が300MPaで伸びが30%というアルミ合金が望まれたが、コストが課題となって思うほどアルミ化は拡がらなかった。そして

2016年のいま、「アルミ化第三の波」がきているという。

第3の波の最大のモチベーションは、CO₂削減のための軽量化だ。世界的に厳しくなる燃費規制＝CO₂排出量規制をクリアするためには、エンジンのダウンサイジングや電動化技術だけでは間に合わないのは、全自動車メーカーの共通認識だ。車両全体を軽量化することで、パワートレインのダウンサイジングもさらに進み、それによる燃費改善効果も期待できる。重たい

スチール製ボディを軽くするために、高張力鋼板やホットスタンプ材など高機能スチールを使う場合もあるが、より高い効果が期待できるのはアルミ合金への材料置換である。ボンネットフードやトランクリッドなどの外板パネルをスチールからアルミ合金へ材料置換する例はこれまでも多かったが、現在では高強度のアルミ合金を用いることで構造部材として使うクルマも登場してきた。

たとえば、フォードF-150の場合は、素材

メーカーと自動車メーカーが10年がかりで開発を進め、大きくて重い、しかも最量販モデルである人気ピックアップトラックをオールアルミ化した。これまで欧州の高級車を中心に自動車のアルミ化が進んできたが、F-150のオールアルミ化の衝撃度はその比ではない。実際、フォードは重量級のピックアップトラックをオールアルミ化することで大幅に軽量化し、最大20%にもなる燃費改善に成功。厳しくなるCAFE規制（企業別平均燃費規制）をクリアする大きな

武器になった。

第3の波に見られるもうひとつの潮流は、欧州メーカーが志向するマルチマテリアル化。スチール、アルミ合金、CFRPを含む樹脂を適材適所で使って軽量化する技術だ。いずれにせよ、目的は燃費改善だ。第1、第2の時とは自動車を巡る環境・条件が大きく違い、存在感が増すアルミ。今や軽量化は自動車メーカーにとってまさに死活問題だ。「アルミ化第三の波」は、大きなうねりになるのは間違いない。

地域	取り組み
欧州	燃費規制として2021年までにCO ₂ 排出量95g/kmという長期目標を掲げていて、この規制に対して一定量のハイブリッド車、PHEV、EVを投入して対応して行くことが予想される。
北米	2012年8月に新燃費基準と温室効果ガス排出基準を最終決定。この決定により、2025年までの新燃費基準は、走行燃費が乗用車・小型トラックで54.5m/g（約23.2km/ℓ）、CO ₂ 排出量が乗用車で143g/mi（グラム/マイル=約89g/km）となった。
日本	ガソリン乗用自動車について、2020年度を目標年度として、燃費20.3km/ℓ（JC08モード）とすることを検討。現行燃費基準17.0km/ℓ（2015年度目標）と比較して20%程度改善する見通し。

Case Study ①

Mazda Roadster

車重1t切りの軽量化でアルミ合金が果たした役割

新型ロードスターは、ライトウェイトスポーツの原点に回帰し、車重1tを切る軽量ボディ&シャシーを実現した。軽量化は①ボディ、パワートレーンのダウンサイズ化 ②構造の革新 ③軽量素材の採用の3つの領域で行なった。それぞれ30%、40%、30%の軽量化への貢献があったという。ここでは③の軽量素材の採用について解説していこう。

新型のボディ開発は、基本的にスチール・ボディの無駄を排除して材料を適正に使って性能

を満足させながら「やり切る」ことを心がけたという。その結果、ボディシェル領域では先代モデルから23kgの軽量化を果たした。高張力鋼板やホットスタンプ材の採用も効果的だったが、軽量化した23kgのうち12.1kgはスチールからアルミ合金への材料置換によるものだ。具体例を見てみよう。ボディではフロント&リアのバンパーレインフォースメントをアルミ合金化。ここでスチール比で4.1kgの軽量化を実現。フロントバンパーには国内初の7000系高強度ア

ルミ合金が採用された。またシートバックバーは先代の780MPa級ハイテン鋼材からアルミ押出材とすることで衝突安全性を上げたうえで1.9kgの軽量化を果たした。

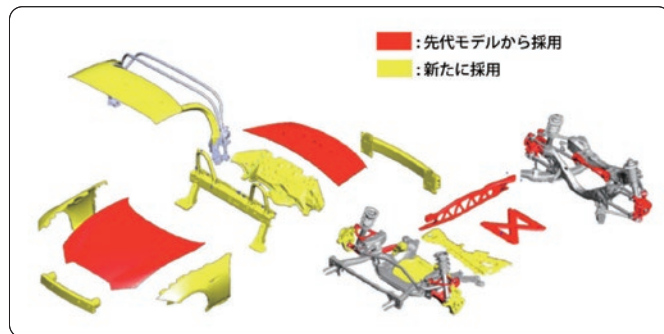
ロードスターは「グラム作戦」と呼ばれる徹底した軽量化を行なうのが伝統だ。新型でもエンジニアはその成果である軽量化したアイテムの長いリストを見せてくれたが、その多くは数グラム、数十グラムである。アルミへの材料置換効果が大きいことがわかる。

Mazda Roadster (ND型)



■フロントフェンダー(スチール→アルミ合金)

国内でのボディパネル用アルミ合金板は、1985年にマツダのRX-7のボンネットフードに初めて使用された。以降、採用部位はトランクリッド、フロントフェンダー、ドアパネル、ルーフなどに拡大した。ボディパネル用アルミ合金板には5000系合金と6000系合金が用いられる。



■ロードスターの主なアルミ材使用部位

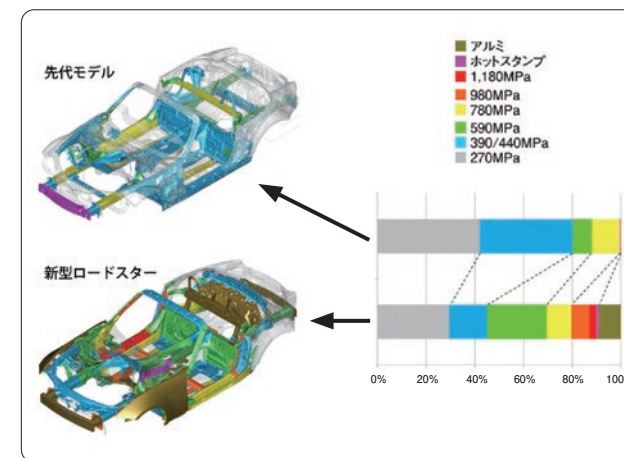
ボンネットやトランクリッドに加えてフロントフェンダー、フロント&リアバンパーレインフォースメント、シートバックバー、バルクヘッド、フロントナックルなどを新たにアルミ化した。ロードスターは「グラム作戦」で軽量化に取り組んだが、左右のフロントナックルだけで3.2kgの軽量化は大物だ。

注目を集めるスモールオーバーラップ衝突試験



スモールオーバーラップ衝突試験 (Small overlap test) は、IIHS (米国道路安全保険協会) で行なわれる前面衝突試験。従来のオーバーラップ率40%のオフセット衝突よりもさらに浅いオーバーラップ率25%で、時速40マイル (約64km/h) にてバリアに前面衝突させる。フロントサイドフレームよりも外側にバリアが衝突する試験のため、衝突のエネルギー吸収メカニズムが従来と異なりキャビンに要求される強度が高くなる。

フォードF-150は、スモールオーバーラップ含め全ての衝突試験で最高のGOOD評価。



■先代→新型 素材比較

新型は、高張力鋼板、超高張力鋼板、ホットスタンプ材、アルミ合金を積極的に使って軽くて高剛性なボディを作り上げた。アルミ合金は先代がわずか0.1%だったのに対して9%まで比率を高めている。ホワイトボディ全体では23kgの軽量化に成功した。



■アルミ合金製フロントバンパー

新型ロードスターは「グラム作戦」と呼ばれる徹底した軽量化が図られている。この期待に応えるべく新開発の7000系高強度アルミ合金が採用された。ロードスターの美しいデザインを守るためバンパーはアーチを描いている。



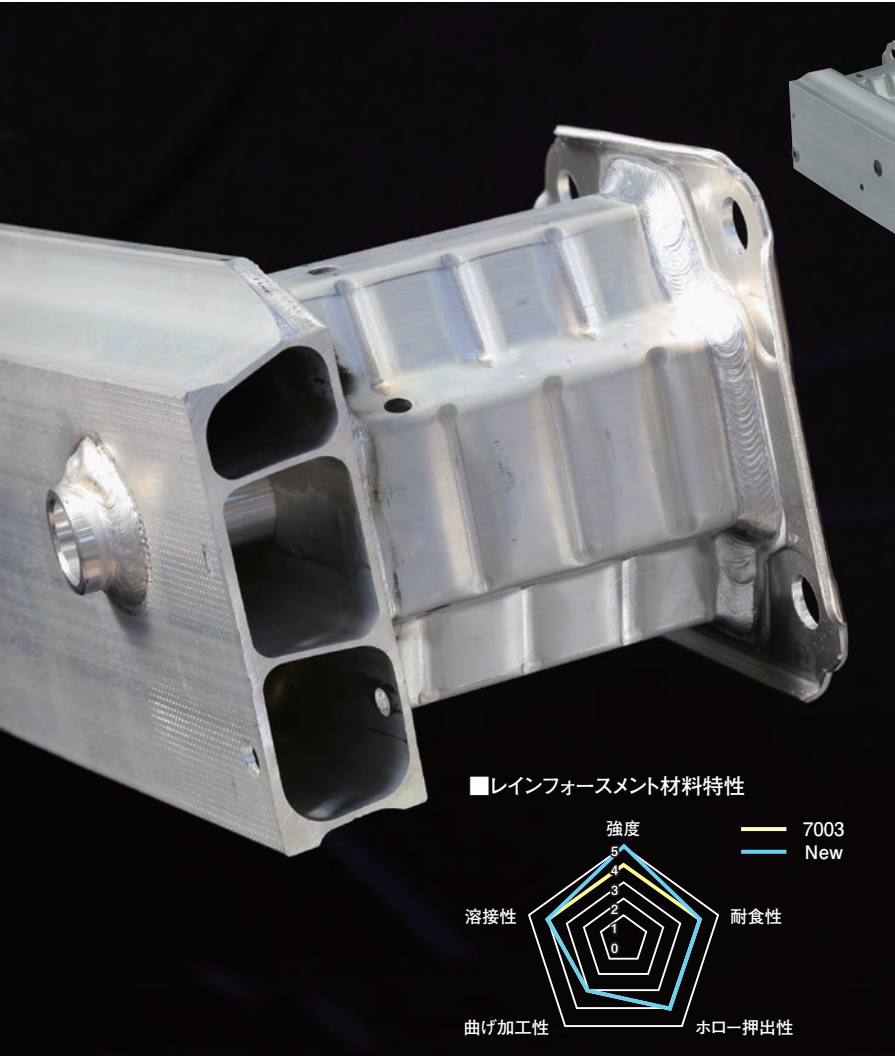
■アルミ合金製パワープラントフレーム

ロードスターでは代々使われているパワープラントフレームはアルミの厚板材をプレス成形したあと三角形を抜いてトラス構造にしている。板厚は1.5ℓ版は6mm、北米向け2.0ℓ版は7mmだ。1.5ℓ版は「お金をかけて別の金型を作って6mmで作った」というこだわり様だ。

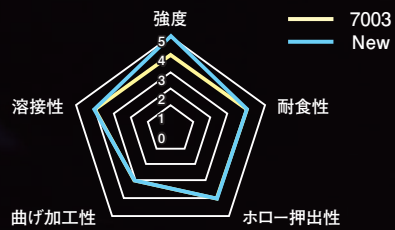
Case Study ②

Aluminum Bumper

ロードスター用アルミ合金製バンパー補強部材の開発



■レインフォースメント材料特性

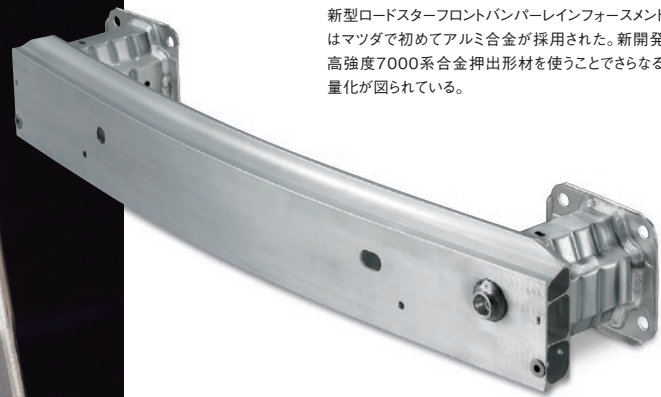


■7000系高強度アルミ合金製レインフォースメント

マツダとUACJが共同開発した7000系高強度押出材のアルミ合金製フロントバンパーレインフォースメントは、衝突エネルギー吸収性に優れるが、加工が難しい。中柱が2本あって、押出材には高度な技術が必要だ。フロントバンパーの高強度アルミ化の流れは燃費規制も絡んで進んでいく傾向だ。

■ND型ロードスター用フロントバンパー アルミ製:4.2kg

新型ロードスターフロントバンパーレインフォースメントにはマツダで初めてアルミ合金が採用された。新開発の高強度7000系合金押出材を使うことでさらなる軽量化が図られている。



■NC型ロードスター用フロントバンパー スチール製:5.8kg

先代ロードスターはコンパクトなボディでフルラップ衝突とオフセット衝突に対する乗員保護と軽量化を考えたホットスタンプの鋼製を採用していた。重量は5.8kgとアルミ合金製よりかなり重い。



■NB型ロードスター用フロントバンパー スチール製:2.86kg

1998年デビューの2代目ロードスター(NB型)のフロントバンパーは、2.86kgと非常に軽い。スチールに樹脂のカバーがついた簡単な構造だが、当時の衝突安全基準はこれでクリアできた。 (ND型、NC型はクラッシュ部材が付いた重量)



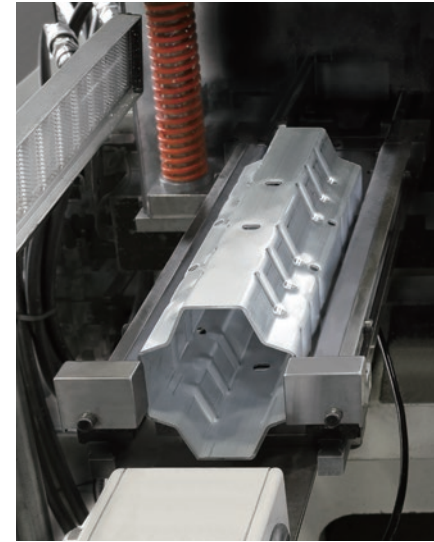
新型ロードスターは多くの部品をアルミ合金化したが、そのなかでも注目したいのが、フロントバンパーレインフォースメントだ。このバンパーはマツダとUACJが共同開発した。

厳しくなる衝突安全基準をクリアするために、フロントバンパーに要求される性能は高くなる一方で新型ロードスターでは、最高レベルの安全性能を確保しながら、軽量化もしなくてはならなかった。車体重心からもっとも遠くにあるフロントバンパーの軽量化は、燃費改善だけ

でなく運動性能のアップにも効いてくる。そこでマツダが採った手段が7000系高強度アルミ合金の採用だ。ロードスター以外のSKYACTIVボディで採用しているホットスタンプ材を単純にアルミ合金に材料置換しても、材料強度は鋼材の30%程度で大幅な軽量化は難しい。そこでマツダとUACJはアルミの優位性を最大限に活かすために、工法を含めてゼロベースで見直しを行なった。

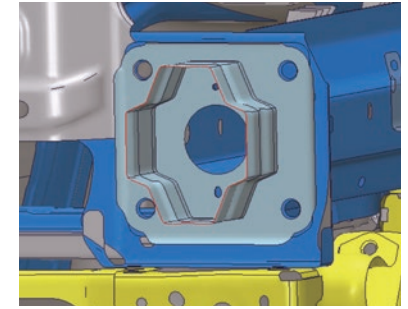
バンパーレインフォースメントはプレスから

押し加工に変更。強度上必要な部位を厚く、不要な部位を適正断面形状化することで大幅な軽量化を達成した。また通常の押し加工では単純な形状になるところを、ストレッチバンド工法を採用することでロードスターの美しいフロントデザインの中に収めることにも成功した。実はリヤのバンパーレインフォースメントは、北米の燃料タンク保護要件をクリアするためにもともと7000系を使うことが多いという。一方のフロントバンパーは衝突エネルギー吸収性能が



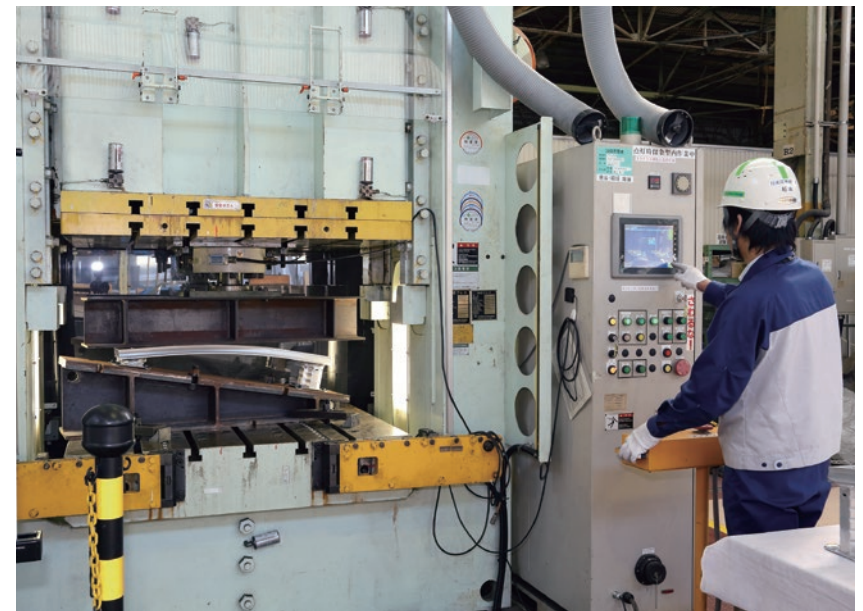
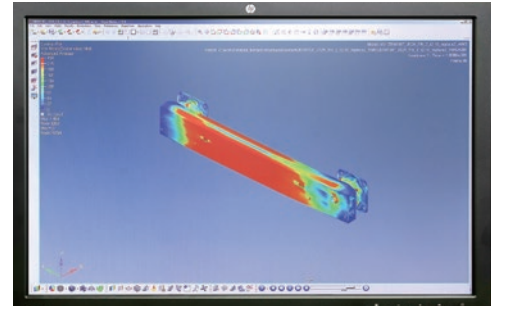
■十字断面形状

フロントフレームのクラッシュボックスには十字断面形状を採用している。これはCX-5から採用している形状だが、ロードスターに合わせて形状を最適化している。



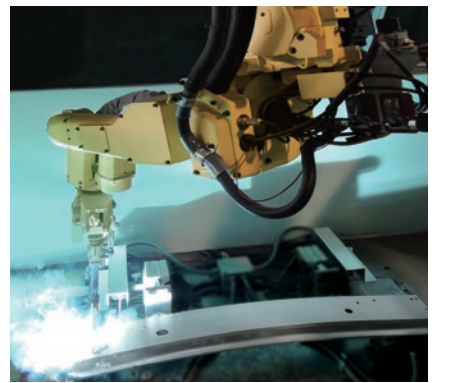
■バンパービームのCAE

シミュレーション技術は進化している。CAEにより変形メカニズムを解析し、強度やエネルギー吸収特性にすぐれたアルミ押出材の断面形状が検討された。製品の試作数や評価試験数を削減することも可能だ。



■性能評価試験

大型油圧プレス試験装置に実装されたフロントバンパーレインフォースメント。クラッシュボックスが完全につぶれるまでの静的試験の実験データを収集し、衝撃試験データ、CAEによる解析値と比較検討する。



■アルミ押し加工からの一貫製造ライン

UACJグループのUACJ押し加工名古屋(愛知県安城市)でバンパーレインフォースメントは生産されている。アルミ合金の新規開発から、形状設計・加工技術の開発・製造までの一貫体制がUACJの強みだ。

求められる。実際、新型ロードスターの場合、同じ性能をスチール製で達成しようとしたらおそらく8-9kgになってしまうという。アルミ合金化したことで重量を約4kg軽くすることができたわけだ。

バンパー本体には、十字断面のクラッシュボックスと呼ばれるパーツが接合されている。ここでフロントサイドメンバーと繋がって衝突エネルギーを効率よく吸収するわけだ。新型では、クラッシュボックスもアルミ合金製になった。衝突

エネルギーを、クラッシュボックスが蛇腹状に潰れて吸収するのだが、その形状を最適に設計し、加工するのは簡単ではない。そこにはシミュレーション技術、素材・加工技術など高度なノウハウが必要だ。

フロントバンパーのアルミ合金化の流れは高級車から始まっている。オフセット衝突などの安全基準の強化に対応するためだけでなく、燃費向上にも効果があり全自動車メーカーが取り組んでいる。

Case Study ③

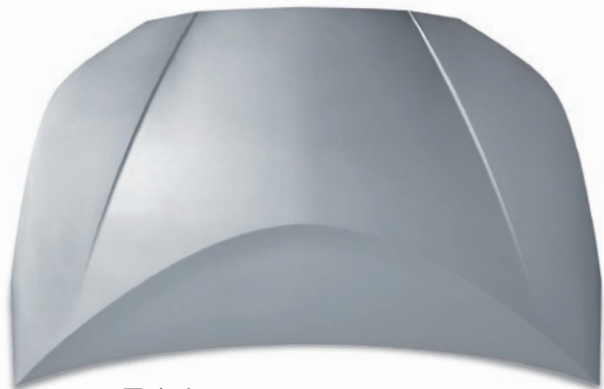
Toyota Prius

世界最量販HEVにアルミ合金が採用される理由

TOYOTA PRIUS



2015年にデビューしたトヨタの4代目プリウスは、世界最高水準の燃費性能を持つ世界最量販ハイブリッド車だ。TNGAという新世代モジュラープラットフォームを採用した新型プリウスは、3代目と同様に、ボンネットフードとリヤゲートがアルミ合金製だ。いわゆる「ふた物」と呼ばれるパーツだが、アルミ合金化による軽量化の恩恵は大きい。



■ボンネットフード

4代目プリウスのボンネットフード。微妙なカーブが美しい。インナーもアウターも素材は6000系アルミ合金だ。6000系アルミ合金はアルミニウムにマグネシウム(Mg)、ケイ素(Si)を添加した中強度で成形性に優れた合金だ。



■リヤゲート

先代プリウスのリヤゲート。アウター／インナーとも6000系。使われる6000系合金は焼付塗装での加熱により耐力が向上する「ベークハード性」という特性を持つ。また、アウターとインナーの接合は折り曲げ(ヘム)加工で行なう。

プリウスのボンネットフードとリヤゲートは、先代も新型も6000系アルミ合金が採用されている。ボディの上部・前後端部の大きなパーツであるボンネットやリヤゲートは、スチールからアルミ合金化することで軽量化・燃費改善に大きな効果がある。燃費チャンピオンとして世界最高水準の燃費性能が常に要求されるプリウスにとっては、どうしてもアルミ合金化したい部分なのだ。自動車の外板パネルをアルミ化するのはいまや珍しくないが、超高級スポーツカー

と違って、多くの人が普通に使う量販モデルの燃費を向上させるためにアルミ化することは非常に有意義だ。自動車用ボディ材に要求される性能は、もちろん軽さだけではない。美しいデザインを実現するための成形性、アウターとインナーを折り曲げて接合するヘム加工性、耐デント性、耐食性、塗装鮮影性などさまざまな性能を満たさなくてはならない。スチールより軽いアルミニウムだが、成形性

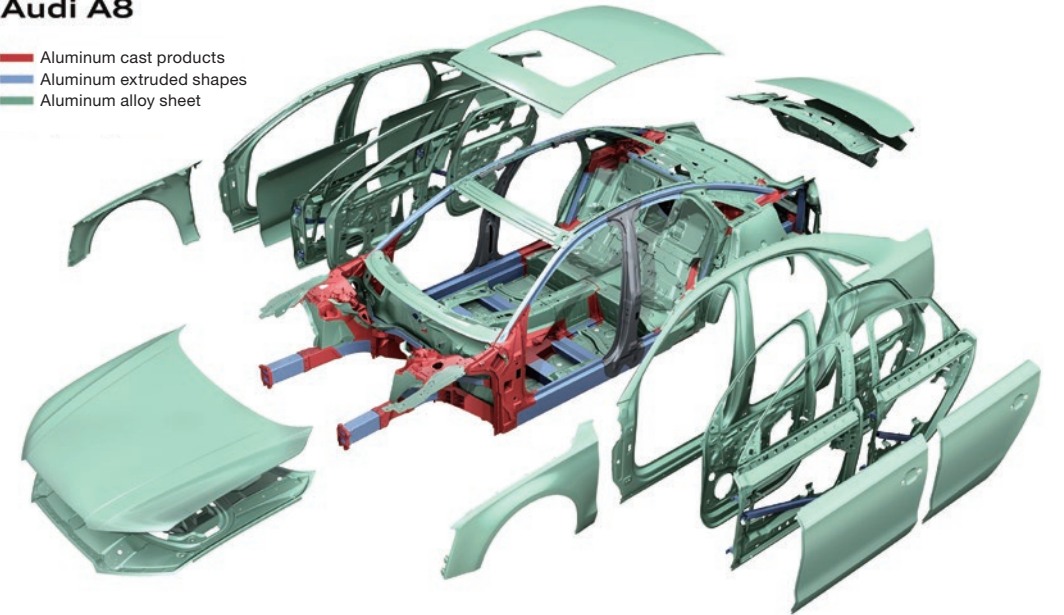
ではスチールには勝てない。しかし、自動車のスタイルに直結する外板パネルでは美しいデザインは商品性に直結する。軽くて強く加工しやすく美しいという背反する要素を高いレベルで実現しないと自動車メーカーには採用されない。UACJが製造している6000系アルミ合金板は、焼付塗装後に耐力が向上するベークハード性に優れ、ボンネットフードなどの自動車ボディ材に最適化されたアルミ合金だ。

■AUDI A8のアルミ合金採用部位

強度と剛性の両立を図りつつ、軽量化も求めたい。そうした欲張りなニーズに対してはアルミ合金の鋳造部材は好適。大入力を受けた際に曲がっては困るところ、歪みでは用をなさない部位には肉厚を稼ぎ、応力をさほど受けにくい部分は肉を盗むという構造が容易に作れるからだ。右図ではストラットのマウント部やAピラー根元などに適用されている。押出成形材は、肉厚と相談しながら強度とバランスし、軽量化を図る。グリーン部分はアルミ板材で、ドアやトランクリッド、ボンネットフードなど大部分の外板パネルに使われる。

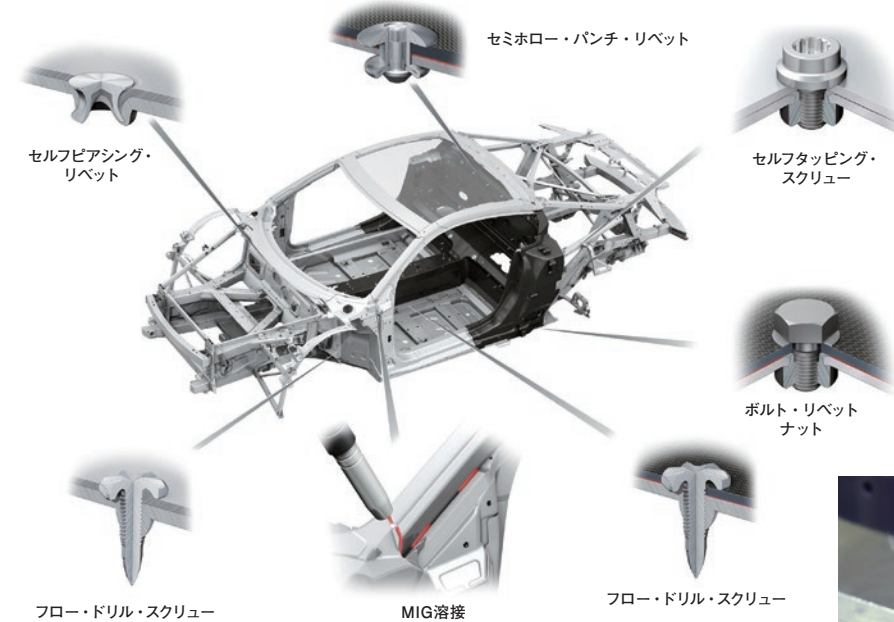
Audi A8

- Aluminum cast products
- Aluminum extruded shapes
- Aluminum alloy sheet



アルミ合金の可能性を広げる接合技術

Audi R8 Coupé

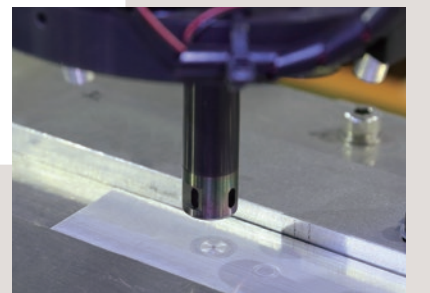


■AUDI R8の例

アルミの接合は、MIG溶接、YAGレーザなどの溶接から、メカニカル接合、接着まで多種多様な接合方法が開発・実用化されてきた。アルミ材料のスポット溶接は、航空機や鉄道車両で古くから実績のある接合方法だが、アルミは鉄鋼と異なり電気抵抗が低いため、接合には大電流を流し、加圧も必要となる。AUDI R8では、フロー・ドリル・スクリュー、パンチ・リベット、メカニカル・クリンチング、MIG溶接、接着などを使い分けている。

■FSW・FSSW

摩擦攪拌接合は、先端に突起のある円筒状工具を回転させながら部材に貫入し摩擦熱により母材を軟化させ、接合部周辺の塑性流動により練り混ぜる接合法。異種素材の接合にも有用。FSW: Friction Stir Welding(摩擦攪拌接合)、FSSW:Friction Stir Spot Welding(摩擦攪拌点接合)



Development

素材から加工法まで、アルミの未来を研究するR&D

UACJは、2013年に旧住友軽金属工業株式会社と古河スカイ株式会社が経営統合して発足したアルミニウムの圧延メーカーだ。国内最大手、グローバルでもアルコア社、ノベリス社に次ぐ世界第3位のメーカーだ。UACJとしてまだ日は浅いが、その前身となった会社はそれぞれ100年以上の長い歴史を持つ。旧住友軽金属

の前身・住友伸銅場が大阪に開設されたのは1897年。旧古河スカイの前身・古河電工がアルミニウム電線の研究を始めたのが1910年というから、UACJの歴史はそのまま日本のアルミニウム圧延品の歴史と言ってもいいだろう。

零式艦上戦闘機、いわゆる零戦の主翼桁材に適用された超々ジュラルミン材は、36年に住

友金属工業（当時）の五十嵐博士が発明したものだ。日頃あまり意識しないが、アルミニウムは鉄と違って工業化されてからわずか百数十年という若い金属だ。アルミニウムが素性としても優れた性質を実際に製品に仕上げていくにはさまざまな技術が必要だった。UACJの技術開発は、アルミ合金による最先端の輸送・建築、

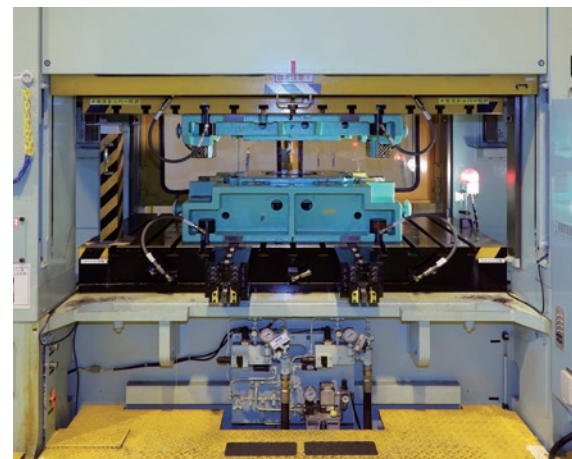
容器包装、電機などのものづくりを支えている。思いつくままに書き連ねても、新幹線、航空機、アルミ飲料缶、ノートパソコン、スマートフォンなどアルミ合金が使われている製品は数多い。その裏には、エンジニアたちによる絶え間ない技術革新があるのだ。現在、アルミ化が注目されているのは自動車分野である。

世界有数規模のUACJの技術開発研究所では自動車向けアルミ合金開発が進められている。UACJの技術開発研究所は、名古屋市の研究開発業務部、第一～六研究部と埼玉県深谷市の深谷センターを擁する。自動車分野の研究を主に担当するのは第六研究部の自動車材料開発室、加工技術開発室だ。ほかにも第五研

究部で空調熱交換材料やトライボロジーの研究、第一研究部の鋳造、第二研究部の箔材や表面化学、第三研究部の塑性加工や押出・鋳鍛材料開発など、アルミニウムに関する総合的な研究開発を全方位で行なっている。アルミ合金素材だけではなく、異材接合などの接合技術も重要な開発テーマだ。



アルミ材料を電界放射型透過電子顕微鏡 (FE-TEM) を使って結晶構造を観察・分析していた。金属材料の微細組織をナノスケールで制御する取り組みだ。(深谷センター)



深谷センターでは、大型サーボプレス試験機を用いて、主にボディパネル材をアルミ化する際に必要とされる金型形状・加工プロセスなどのノウハウを蓄積している。これまで実現が困難だったデザインが可能になるのは、こうした研究の成果だ。

■株式会社UACJ 技術開発研究所

所在地:愛知県名古屋市港区千早3-1-12

UACJ技術開発研究所では、自動車の軽量化に貢献するために様々な自動車材料の研究開発が行なわれていた。特にボディパネル用の材料では、6000系合金の開発に国内でいち早く取り組んだ世界トップレベルの実力だ。部材に応じた材料開発・利用技術開発も推進され、UACJ独自のCAE技術を用いてアルミの合金材料、表面処理、加工の最適化を追求している。

■技術開発研究所 深谷センター

所在地:埼玉県深谷市上野台1351

FE-TEM、SEMなどの分析装置をはじめ、引張試験機、大型プレスなどの評価装置、FSW接合機、実験用圧延機などの試作機器を備えアルミ材料の基盤技術開発を行なっている。



技術開発研究所



技術開発研究所 深谷センター

ベンチマークで形状や部品の接合を正確に見るのも開発では重要な。非接触式3次元測定器を使って部品の断面形状や板厚の部分なども計測。正確な3D図面を作成して解析する。

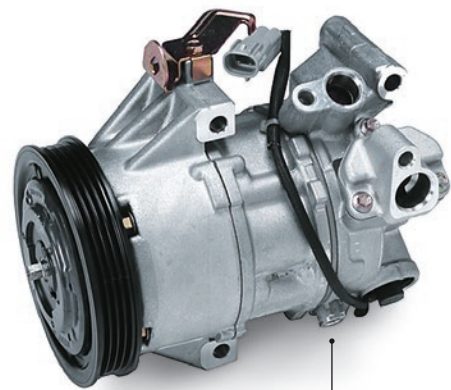


アルミ合金が使われる自動車用部品

自動車の外板材だけでなく、エンジンや補機類、サスペンション関係にも軽量のアルミ合金材が使われている。ここではアルミ合金が多用される自動車用パーツについて解説する。

【エアコン】 Air Conditioner

自動車用エアコンの心臓部のコンプレッサーには、斜板式・ペーン式・スクロール式などの形式があり、アルミダイカスト品が多用されている。最も普及している斜板式コンプレッサーのピストンには、高強度アルミ鍛造製品が用いられ小型・高性能化に貢献している。エアコンは、エンジン駆動によってコンプレッサーを回して冷媒ガスを圧縮し、コンデンサーで凝縮・液化して室内側のエバポレーターに送り、エバポレーターに設けられたバルブにより冷媒を一気に噴射・気化させ、周囲の熱を奪って冷却する装置。気化した冷媒をコンプレッサーに戻すサイクルが繰り返される。コンデンサー・エバポレーターには高強度・高耐食の熱交換器専用のアルミ合金板・押出材料が用いられる。

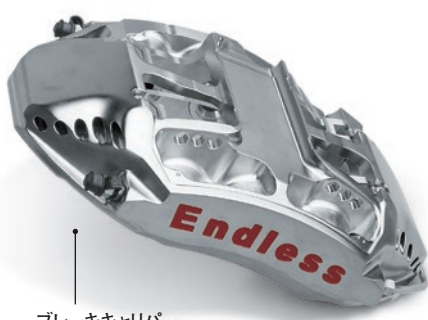


エアコン用コンプレッサー

【ブレーキ・キャリパー】 Brake Caliper

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機構。パッドを直接押すピストンが片側にだけあるフローティング（スライディング）キャリパー、両側に複数ある対向ピストンキャリパーなどに分類される。F1をはじめ、国内最高峰のスーパーフォーミュラ・スーパーGTなどのレーシングカーや高級スポーツカーでは、超高速・高負荷・高温制動時に高いブレーキ性能を実現するアルミ鍛造ブレーキキャリパーが用いられている。欧州を初

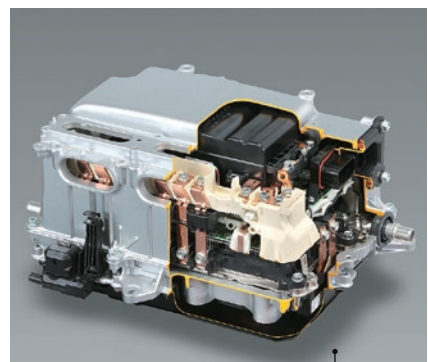
めとしてメーカー各社は、モータースポーツ活動によって培ったノウハウを量産車両の開発に生かしているが、その開発の波は現在、大型SUVや高級車にまで広がってきた。ブレーキング時のパッドとローターの摩擦熱により高温にさらされるブレーキキャリパーなどのブレーキ部品には、高温時高強度で耐摩耗性・意匠性に優れたアルミ鍛造材料が開発・量産されている。



ブレーキキャリパー

【パワーコントロールユニット】 Power Control Unit

直流・交流を変換し、電源・電圧を適切に調整する装置。モーターを用いて走行するハイブリッド車や電気自動車では、インバーター・昇圧コンバータ・DC/DCコンバータなどから構成される「パワーコントロールユニット」を搭載し大電力を制御している。インバーターとは直流を交流に変換する装置のことであり、逆に交流から交流に変換する装置をコンバーターと呼ぶ。自動車の軽量化のニーズにより、パワーコントロールユニットも小型化・高出力化される



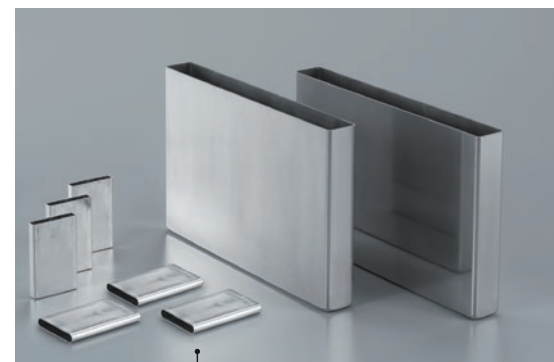
インバーター/コンバーターユニット

など、高密度な集積が進行している。これらを支えているのが、自動車熱交換器向けアルミ合金製のパワーモジュール用積層型冷却器だ。積層型冷却器は、カーエアコン用エバポレーターの様に成形したアルミ板を積み重ねてろう付し、クーラントの出入口となるアルミパイプを接合した構造だ。

【リチウムイオンバッテリー】 Lithium-ion Battery

正極、セパレーター、負極の三層から構成され、電極間をリチウムイオンが移動することで充電や放電を行なう二次電池。リチウムイオンバッテリー（LIB）は現在実用化されている他の二次電池と比べ、小型・軽量で高電圧が得られるため、スマートフォン・ノートPCなどの情報機器から、EV、HV、鉄道車両、航空機などの輸送機器まで広く利用されている。正極の集電体にアルミ箔、正極の活物質にリチウム金属酸化物を、負極の集電体に銅箔、負極の活物質に炭素材料を用いる。アルミ箔に代替できる正極集電体材料は現在存在しない。電池ケースには、深絞り成形性・耐膨れ性高強度アルミ合金板を用いる。

リチウムイオンバッテリー



バッテリーケース

【自動車用熱交換器】 Heat Exchangers for Automobiles

自動車用熱交換器はアルミ合金製が主流で、ラジエーター・コンデンサー・インタークーラーなどが車両の小型・軽量化、高機能化に貢献している。アルミ合金製の熱交換器の多くは伝熱性能や耐腐食性の観点より、アルミフィン材と細径のアルミチューブ材をろう付によりたくみに接合して製造されている。ラジエーター（Radiator）は、エンジンの熱を放出し温度をほぼ一定に保つ熱交換器。アルミフィン材と細径のアルミチューブ材を並べたコア部と両サイドのタンクで構成され、不凍液や腐食防止剤などを含む水により熱交換を行なっている。チューブに使う芯材には犠牲材とろう材を積層したクラッド材を用い、犠牲材の層が腐食することで、腐食の進行から芯材を保護している。同様にヒーターコア（Heater core）はエンジンの熱を利用する小さなラジエーター。コンデンサー（Condenser）はエアコンサイクルの構成部品で、高温高圧状態の冷媒ガスの熱を放出し、凝縮（液化）させる熱交換器。押出加工により微細な穴を多数設けたアルミ合金製の偏平多穴チューブが用いられている。使用する冷媒は地球温暖化対策によるフロンガス規制により環境負荷の少ない新冷媒へと移行している。一方、エバポレーター（Evaporator）は、液化した冷媒を蒸発（気化）させる熱交換器だ。インタークーラー（Charge air cooler）は、過給機付きエンジンの補機で、過給機の圧縮により温度上昇した空気を冷却して単位体積当たりの酸素量を高めている。



ヒートエクスチェンジャー

【ショックアブソーバー】 Shock Absorber

モータースポーツやスポーツカー向けに、高強度アルミ合金製のショックアブソーバーが開発されている。ショックアブソーバーは、オイルの流路抵抗で減衰力を得る筒型が現在の主流だ。単筒式はシリンダー内部が単層構造で、オリフィスを設けたピストンがロッドによりオイル室内を上下動し減衰力を得る構造。筒内部はフリーピ

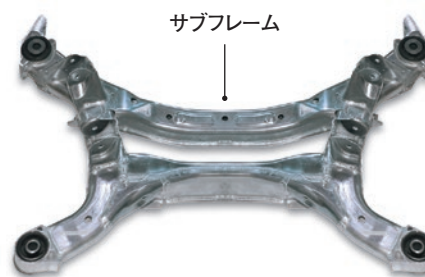
ストンによりオイル室とガス室が直列に分離されている。複筒式は外筒・内筒の二重構造で、伸びる時にはピストンバルブによる減衰力、縮む時は内筒底部に設けた内外筒間のバルブにより減衰力を得る構造。内筒・外筒下部にオイル、外筒上部にはガスが充填される。二輪車のフロントフォークやショックアブソーバーには高強度アルミ合金製がすでに多用されている。



ショックアブソーバー

【サブフレーム】 Subframe

パワートレイン・ドライブトレインなどを搭載し、ブッシュを介して車体フレームに結合される骨格構造体。路面からの上下・前後方向の荷重や旋回時における車幅方向の荷重などを受け持つため、サブフレームには軽量化と高剛性化が求められる。高強度構造用アルミ合金の板・押出材を用いた溶接構造品が開発・製造されている。アルミ合金とスチールをFSW（摩擦攪拌接合）により接合したハイブリッド構造品もある。サスペンションからの入力弾性体ブッシュで吸収されるため、高剛性化によりステアリング応答性を高めながら、快適な乗り心地も両立でき、静粛性向上にも貢献している。



サブフレーム

【サスペンション・アーム/リンク】 Suspension Arm / Link

車輪の位置を決め、車輪からの力を車体に伝達し、サスペンションの動きを形づくり車体を安定させる構造部材。メルセデスAMG-GTでは、高強度鍛造用アルミ合金製のダブルウィッ

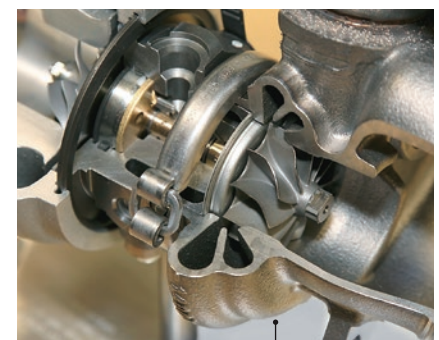
シュボーン式四輪サスペンションを採用している。強度・剛性を最大化し、ばね下重量を大幅に軽減できるため、アルミ合金化の流れは広がり、ハブキャリア、ステアリングナックルなどのアクスル部品へも適用されている。

サスペンション・アーム



【ターボチャージャー】 Turbocharger

主に排出ガスの流れを利用して排気側タービンを回転させ、その回転力により吸気側コンプレッサーホイールを回転させ、吸入する空気を圧縮して密度を高める過給機。自動車排出ガス規制や、低燃費化のための排気量のダウンサイジングなどに対応してターボチャージャーが採用されている。コンプレッサーホイールは、アルミ合金の精密鋳物製が主流で、UACJ鋳鍛の製品が世界トップシェアだ。切削加工によるコンプレッサーホイールもある。ダウンサイジング・低回転化の流れと異なり、AUDIでは排気量を落とさず、出力・トルク・燃費などをカバーできる「ライトサイジング」というコンセプトに基づき、2.0L 4気筒ガソリン直噴ターボエンジンを2015年に開発している。



ツインスクロールターボ



コンプレッサーホイール

代表的な自動車用アルミ合金の種類と 機械的性質・適用部位

自動車用部品には、使用部位に必要とされる強度・加工性・耐食性などの諸特性に基づいて様々なアルミ合金が用いられる。アルミ合金は元素の添加と、熱処理や加工により特性を変化させる調質（質別）との組み合わせにより、優れた特性の材料が開発・製造されている。

合金系	JIS呼称	AA [*] 相当合金	UACJ呼称・質別	引張強さ (N/mm ²)	耐力 (N/mm ²)	伸び (%)	板	押出	自動車への適用
1000系	1085	1085	A85-H26	120		15	○		光輝意匠用合金板 表面程度 LF, HB
			A370-O	85		40	○		光輝意匠用合金板 表面程度 BF, MF
			A370-H24	120		23	○		光輝意匠用合金板 表面程度 BF, MF
2000系	2014	2014	114S-T6	480	410	13	○		高強度構造用合金 せん断強さ290N/mm ²
	2017	2017	17S-T4	425	275	22	○		高強度構造用合金 せん断強さ260N/mm ²
	2024	2024	24S-T3	480	340	18	○		高強度構造用合金 せん断強さ275N/mm ²
	2013	2013	113S-T6	400	375	12		○	押出用高強度合金 ホロー押出性良好
	2014	2014	2014-T4	420	285	20		○	押出用高強度合金
	2014	2014	2014-T6	480	410	13		○	押出用高強度合金
	2017	2017	2017-T4	440	275	22		○	押出用高強度合金
	2024	2024	2024-T4	470	325	19		○	押出用高強度合金
	2014	2014	2014-T6	480	410	13		○	高強度鍛造用合金 鍛造性・切削性最良
			2618-T6	440	370	10		○	高温強度鍛造用合金 鍛造性・切削性最良
		CG29-T6	520	400	14		○	高温強度鍛造用合金 鍛造性・切削性最良	
3000系	3003		3003-O	115	40	40		○	配管用合金 ホロー押出性良好
4000系	4032	4032	4032-T6	380	315	9		○	耐摩耗性鍛造用合金 鍛造性・切削性・耐食性良好
			TF068-T6	380	245	10		○	耐摩耗性鍛造用合金 鍛造性・切削性・耐食性良好
			SC100-T6	440	390	8		○	耐摩耗性鍛造用合金 鍛造性・切削性・耐食性良好
			TF128-T6	430	380	8		○	耐摩耗性鍛造用合金 鍛造性・切削性・耐食性良好
5000系	5052	5052	52S-O	205	105	28	○		ボディパネル用合金 n値 ^{*2} =0.26, r値=0.70
	5182	5182	GM145-O	270	120	28	○		ボディパネル用合金 n値 ^{*2} =0.33, r値=0.55
		5022	GC45-O	280	140	32	○		ボディパネル用合金 n値 ^{*2} =0.31, r値=0.70
		5023	GC55-O	285	130	34	○		ボディパネル用合金 n値 ^{*2} =0.35, r値=0.80
	5052	5052	52S-O	205	105	28	○		高強度構造用合金 せん断強さ120N/mm ²
		5454	D54S-O	225	100	27	○		高強度構造用合金 耐力力腐食割れ性最良
	5154	5154	A254S-O	240	115	27	○		高強度構造用合金 耐力力腐食割れ性良好
	5083	5083	183S-O	290	145	24	○		高強度構造用合金 せん断強さ170N/mm ²
	5N01	5110A	257S-O	110		30	○		光輝意匠用合金板 表面程度 HB, BF, MF
	5N01	5110A	257S-H24	150		15	○		光輝意匠用合金板 表面程度 HB, BF, MF
	5657	5657	F57S-H26	170		12	○		光輝意匠用合金板 表面程度 LF, HB, BF
	5252	5252	B152S-H24	220		10	○		光輝意匠用合金板 表面程度 BF
	5154	5154	254S/5154-O	240	117	27		○	押出用高強度合金
	5083	5083	5083-O	290	145	25		○	押出用高強度合金

合金系	JIS呼称	AA [*] 相当合金	UACJ呼称・質別	引張強さ (N/mm ²)	耐力 (N/mm ²)	伸び (%)	板	押出	自動車への適用	
6000系		6016	SG112-T4	230	120	27	○		ボディパネル合金 高BH型 ベーク後耐力 195N/mm ²	
		6016	SG212-T4	240	130	28	○		ボディパネル合金 高BH型 ベーク後耐力 205N/mm ²	
		6016	SG212-T4	245	135	30	○		ボディパネル合金 高成型型 ベーク後耐力 170N/mm ²	
		6111	SG312-T4	245	120	30	○		ボディパネル合金 高BH型 ベーク後耐力 200N/mm ²	
		6005	TM30-T4	210	110	27	○		ボディパネル合金 高BH型 ベーク後耐力 195N/mm ²	
		6111	TM66-T4	240	115	29	○		ボディパネル合金 高BH型 ベーク後耐力 210N/mm ²	
		6111	TM67-T4	255	120	29	○		ボディパネル合金 高BH型 ベーク後耐力 215N/mm ²	
		6111	TM67-T4	285	145	29	○		ボディパネル合金 高成型型 ベーク後耐力 175N/mm ²	
		6061	6061	561S-O	120	45	34	○		高強度構造用合金 耐力力腐食割れ性良好
		6061	6061	561S-T6	315	275	17	○		高強度構造用合金 せん断強さ205N/mm ²
		6111	SG09-T6	260	315	16	○			高強度構造用合金 耐力力腐食割れ性良好
		6N01	6005C	6N01-T5	260	220	12		○	押出用高強度合金 ホロー押出性良好
		6061	6061	6061-T6	315	275	19		○	押出用高強度合金 ホロー押出性良好
		6061	6061	661S/CM61-T6	340	300	18		○	押出用高強度合金 ホロー押出性良好
7000系			SG109-T6	310	270	14		○	押出用高強度合金 ホロー押出性良好	
			GS310-T6	390	365	19		○	押出用高強度合金 ホロー押出性良好	
		6061	6061	6061-T6	315	275	19		○	高強度鍛造用合金 鍛造性・耐食性最良、切削性良好
		6082	6082	6082-T6	325	300	18		○	高強度鍛造用合金 鍛造性・耐食性最良、切削性良好
				SG210-T6	400	360	18		○	高強度鍛造用合金 鍛造性・耐食性最良、切削性良好
		7003	7003	ZK141-T7	360	280	16	○		高強度構造用合金 せん断強さ190N/mm ²
		7075	7075	75S-T6	570	510	11	○		高強度構造用合金 せん断強さ330N/mm ²
		7003	7003	7003-T5	310	260	16		○	押出用高強度合金 ホロー押出性良好
		7204	7204	7N01-T5	360	320	14		○	押出用高強度合金 ホロー押出性良好
		7204	7204	K70Y-T5	415	360	16		○	押出用高強度合金 ホロー押出性良好
				ZK55-T6	420	380	14		○	押出用高強度合金 ホロー押出性良好
			7046	ZK170-T6	450	420	14		○	押出用高強度合金 ホロー押出性良好
				ZK80-T6	500	470	14		○	押出用高強度合金 ホロー押出性良好
		7075	7075	7075-T6	590	540	14		○	押出用高強度合金
	7050	7050	7050/ZG62-T6	620	570	13		○	押出用高強度合金	
			ZC80-T6	630	580	13		○	押出用高強度合金	
			ZC88-T6	650	600	13		○	押出用高強度合金	

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

*2 2%から最大荷重までの平均値

※BH型ボディパネル合金のベーク条件: 予ひずみ2%付与後、170℃×20min後の試験値

注記: 一覧表は合金系毎に、自動車へ適用部位を優先して整理してあります。従って材質の表示が一部重複して表示されます。数値の表示は代表値で、保証値ではありません。



epilogue

Aluminum Material for Automobiles

アルミニウムを賢く使いこなすのが、次世代車のキーになる

アメリカの未来学者アルビン・トフラー(Alvin Toffler)は、1980年に出版した著書『第三の波』の中で、人類の大変革の波について、

第一の波は農業革命、第二の波は産業革命、そして第三の波は情報革命による脱産業社会と唱えた。

その予想は現実となり、現代はグローバルなネットワーク化・リアルタイム化が進み、誰でもITを利用できる社会へ変貌した。

ドイツではIndustrie4.0といった「産業革命」に匹敵するような変化も起こっている。

これらは第四次産業革命と位置づけられ、ネットワークで連携し、少量多品種・高付加価値の製品を大量生産する取り組みである。

いま、アルミにも「第三の波」が訪れている。第三の波の最大のモチベーションとなっているのは、燃費規制=CO₂ 排出量規制である。

米Ford社は、2015年型ピックアップトラック「F-150」に大量のボディパネル用アルミ合金を全面的に採用し、

それにより1台当たり230Kgの軽量化を実現して、世界の自動車メーカーや関係者を驚かせた。

ボディパネルへのアルミ合金の全面採用は、これまで生産量が少ない高級車が中心だったが、

「F-150」は毎年数十万台が売れる人気の車種である。

世界的に厳しくなる燃費規制=CO₂ 排出量規制をクリアするためには、エンジンのダウンサイジングや電動化技術だけでは間に合わないのは、

全自動車メーカーの共通認識であるが、ボディパネルへのアルミ合金の全面採用の衝撃は大きかった。

車両全体を軽量化すると、パワートレインのダウンサイジングも進み、さらなる燃費改善効果も期待できるため、

高強度のアルミ合金を構造部材として用いるクルマも登場してきた。

アルミ化の「第三の波」では、自動車メーカーと連携したアルミ合金の開発、利用に関するソフト面の充実が重要になる。

自動車用アルミニウムの開発現場では、「スマート開発」(自ら考える研究開発)を目指した

データの収集や分析、素材開発・利用技術開発が行なわれている。