

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.206] 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

電動化時代の
アルミニウム
再発見



特別
編集

アルミニウムのテクノロジー9

ALUMINUM

Smart Developments

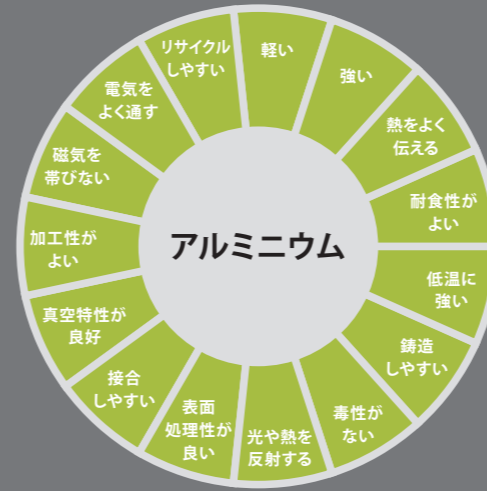
電動化時代のアルミニウム再発見 クルマの軽量化素材の代表格「アルミニウム」を知ろう。

Lightweight and Sustainable Material for Future eMobility

電動化技術や、カーボンニュートラルに向けた取り組みが進む自動車業界。CO₂排出量の低減と持続可能な社会の構築に向けて、電気自動車へのシフトなど、自動車技術は大きな変革期を迎えている。その鍵となるのは車体の軽量化だ。アルミニウムは軽量化だけでなく、衝撃エネルギーの吸収性にも優れ、衝突安全性の向上をもたらす。車体の軽量化は、パワートレイン、バッテリー、ブレーキなどの主要な部品の小型化につながり、航続距離を伸ばす好循環を生み出す。

電動パワートレイン、スケートボードアーキテクチャー、バイワイヤー技術などの新技術の活用が進む中、アルミニウムの持つ自動車用の構造材料としての優れた加工性、接合性、表面処理性などの特性が活かされている。さらに、伝熱特性・電気特性にも優れるため、バッテリーのサーマルマネジメントにも貢献している。アルミニウムは何度でも再生が可能な金属材料で、リサイクルに必要なエネルギーは一次金属の生産に比べて数%のわずかなエネルギーで再生できる。

近年、自動車メーカーでは、クローズド・ループ・リサイクルが進みつつある。世界的なエネルギー価格の高騰に直面する中、再生アルミニウムはエネルギーを節約し、環境負荷の低減にも寄与している。アルミ合金は自動車部品の製造において重要な役割を果たし、素材開発・接合技術・製造プロセス技術の向上を通じて、その特性に磨きをかけている。環境に優しい金属、アルミニウムは、持続可能なモビリティ社会の実現に貢献し、さらに信頼性の高い軽量材料として進化を続けている。



> アルミ板材

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、ボディパネルは、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も用いる。

> アルミ押出型材

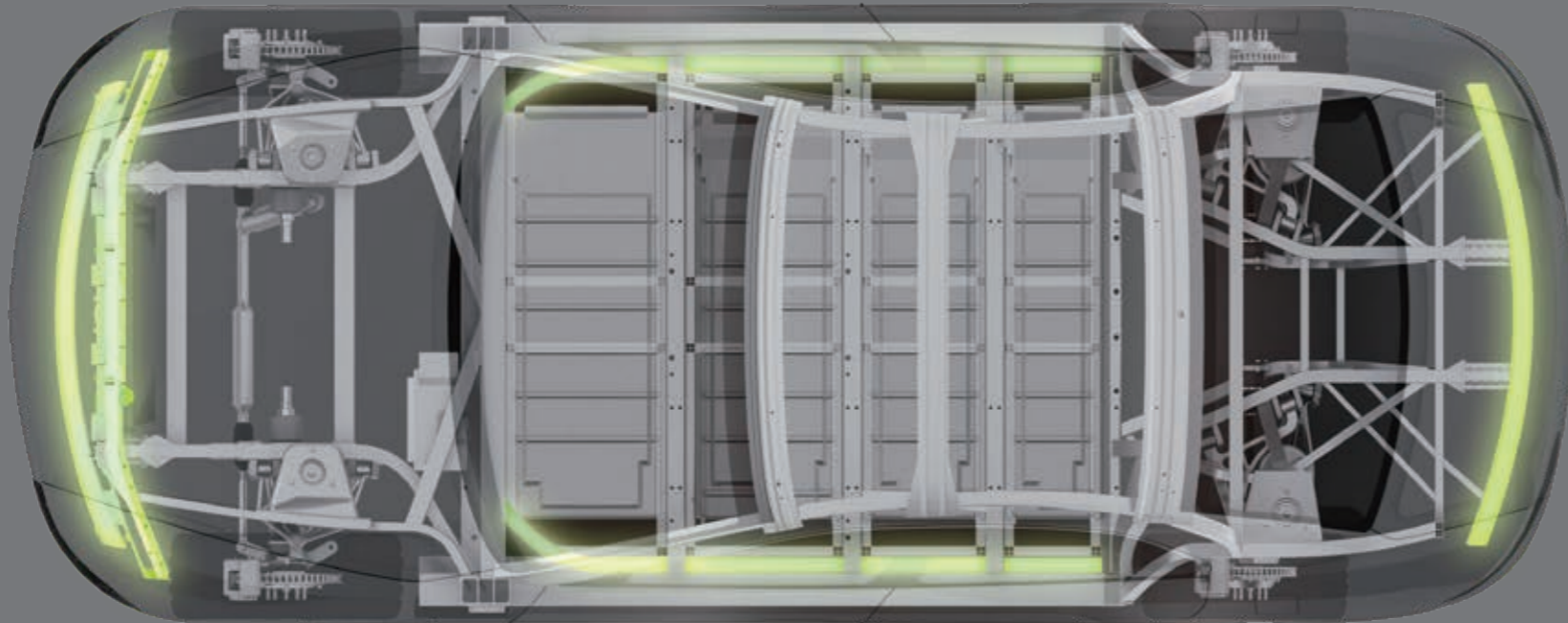
アルミ押出型材は、複雑な断面形状を高精度で成形できる押出加工により製造するため、バンパービームや、シャーシ構造材料など、断面が一定で長い部品には最適の材料だ。大型SUVでは車体剛性の向上と低重心化を図るため、また電気自動車ではパワートレインやバッテリーを搭載する専用プラットフォーム化のために、アルミ押出型材のスペースフレーム構造を採用する事例が多くみられる。一方、サブフレームやビーム類、ブレース類などの構造部材では、円形や矩形など比較的単純な断面形状のアルミ押出材をベースとして、二次元・三次元的な加工を行ない広く利用されている。

> 鍛造アルミ

アルミ鍛造品は、軽量で高強度といった優れた特性を持つアルミを鍛造することで、鉄鋼に匹敵する強度や靱性に高めたアルミ部品だ。アルミ鍛造品は、サスペンションアームなどの自動車の足まわり部品、ブレーキキャリパーなどのブレーキシステムなど、重要保安部品に広く用いられている。熱間鍛造では約300℃～480℃程にアルミ素材を加熱し圧力を加えて製造することにより、高い強度と靱性を得るため、鉄鋼部品と比べて約1/3の重量に軽量化できる。ブレーキキャリパーは、高温・高圧にさらされるブレーキングに耐える優れた制動性・耐久性を実現しており、サスペンションアーム類では、安定したサスペンション特性やハンドリング特性を実現することができる。

> 鋳造アルミ

アルミ鋳造品は、複雑な形状や内部構造を容易に実現できるため、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に代表される多くの部品に利用されている。鋳物はリブ構造をとることが容易で、部品に求められる機能上の条件を満たす剛性や強度を確保しながら、不要な部位を削減することが可能だ。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、ボディやシャーシの接合部材などの用途に適しており、自動車全体として軽量化が実現できる。



マルチマテリアル・モノコックボディ

> Tesla Model-Y

テスラ・モデルYの基本構造は、モデル3を踏襲しており、構成部品の約54%が共通部品だ。最大の特長はリアセクションの構造で、「ギガキャスト」と呼ばれる大型のダイカストマシンを用いて、画期的な構造部品用ダイカストアルミ合金製の2つの大型アンダーボディで構成されている。



マルチマテリアル・モノコックボディ

> BMW 7series

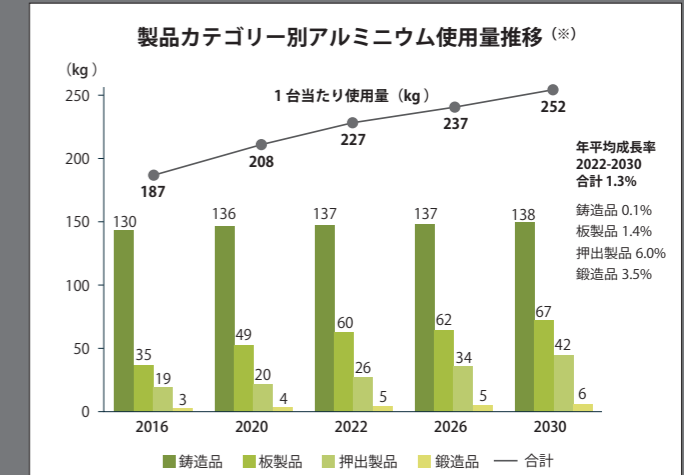
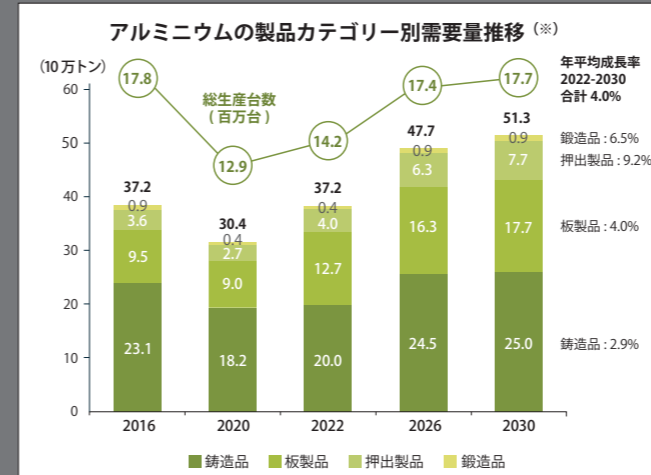
新型BMW7シリーズは、アルミ合金、高張力鋼板、CFRPなどを適材適所で使うマルチマテリアルボディ構造により、車体全体で先代の7シリーズより約130kgの軽量化を実現している。ボンネットフード、ドアパネル、トランクリッドなどの外板はすべてアルミ合金製ボディパネルを採用している。



オールアルミ・モノコックボディ

> JAGUAR XE

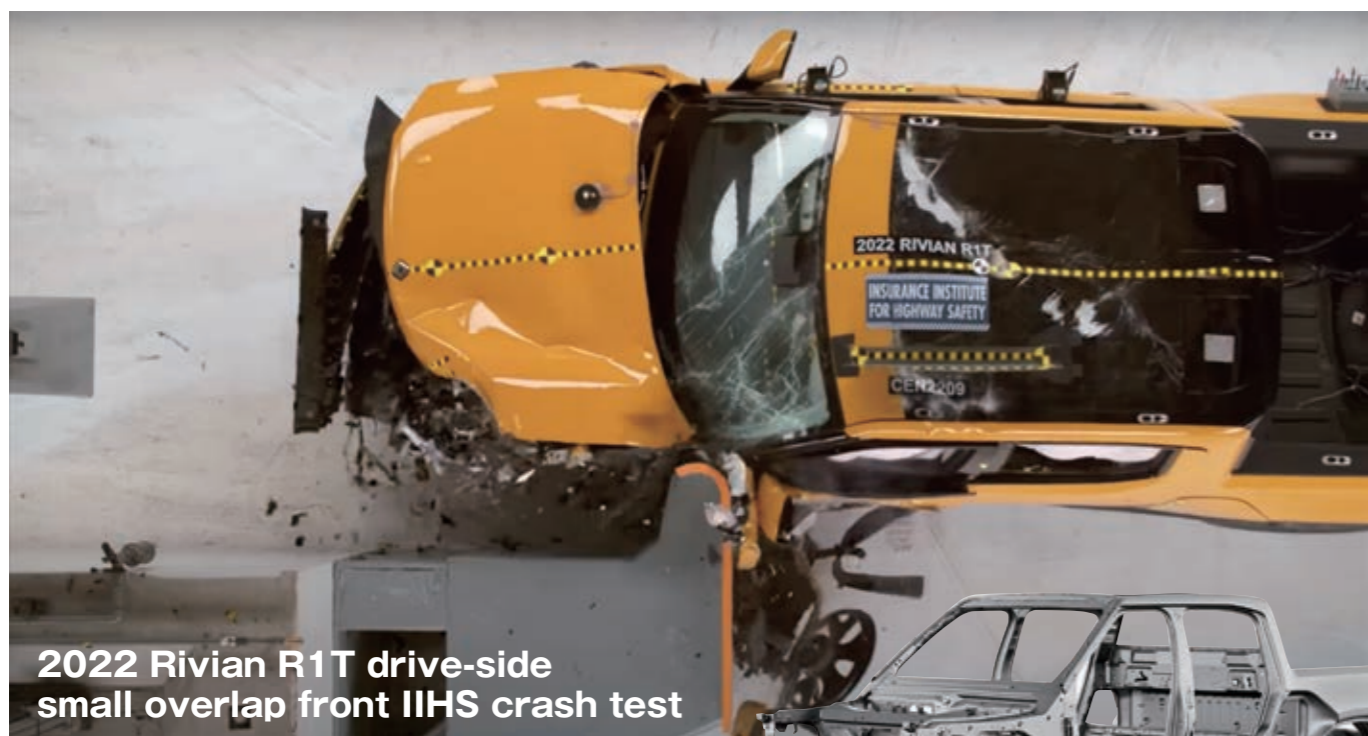
ジャガーはフォード傘下時代の2003年にXJをオールアルミボディにシフトして以来、アルミボディ製作の造詣が深い。最新のXEはジャガー&ランドローバーの共通プラットフォーム第一弾で、フロアと井桁構造をメインとしたオールアルミ合金モノコックを採用している。



未来に向けて進化するEVプラットフォーム

米国運輸省道路交通安全局 (NHTSA)、米道路安全保険協会 (IIHS)、欧州のEURO NCAP (欧州新車アセスメントプログラム)、日本のJNCAPなど、自動車の安全評価のアセスメントは国や地域で個別に実施されている。欧州のEURO NCAPは2年ごとに試験内容や方法を更新しており、2020年には新しい衝突試験を導入した。これまでのオフセット前面衝突試験に代わり、新たに「ムービングバリア」と呼ばれる台車を走行させて、テスト車両と前面衝突させる厳しい内容だ。この前面衝突試験で

は、車内の乗員の保護性能を評価するだけでなく、自動車のフロントエンドの構造体が衝突相手の傷害にどのように影響するかも評価するもので、同時に、側面衝突試験でのムービングバリアの衝突速度・質量を増加させている。米国では、NHTSAによるU.S. NCAPのほか、IIHSによる安全評価基準がある。IIHSでは、2023年から、実際にSUVが引き起こすダメージをより忠実に模倣して、より重いバリアが高速で走行する新基準を採用した側面衝突試験に加えて、予防性能試験を実施している。

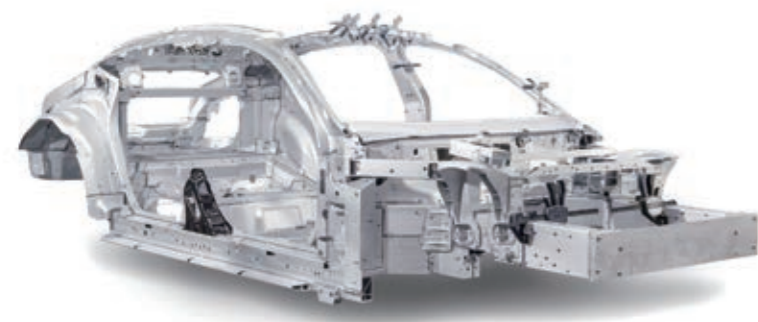


2022 Rivian R1T drive-side small overlap front IIHS crash test

リビアン・オートモーティブの電動ピックアップトラック「R1T」、電動SUV「R1S」に共通のスケートボード・プラットフォームおよびボディは、アルミ合金、高張力鋼板、カーボンファイバーのマルチマテリアル構造だ。



Polestar 5 次世代の接着アルミ・ユニボディ



ポルスターの接着アルミ・ユニボディ技術は、従来の製造工程で通常使用されていたマルチマテリアル構造やアルミ部材の接合用に使用される4,000個にもおよぶリベットをなくし、接着剤とオープンによる硬化を利用した一体構造だ。大きなメリットがある一方で、労働集約的で、品質を犠牲にすることなく規模を拡大するのが難しく、大量生産が困難とされていたが、ポルスターUKの研究開発チームは、フォーミュラ1や特注スポーツカーの世界で培った経験を生かし、技術革新により、ボディとプラットフォームを一体的に開発した。

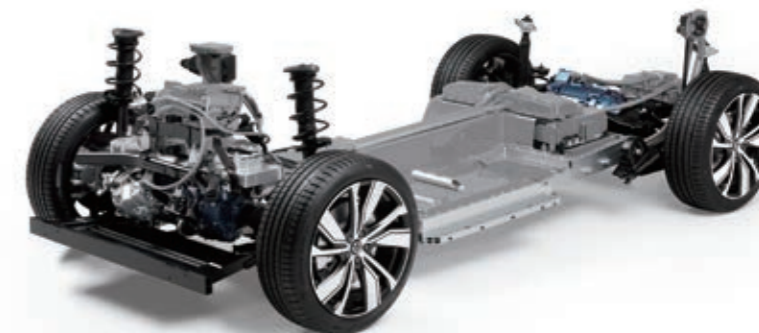
ポルスター5のユニボディ技術は、プラットフォームとボディを組み合わせることで、車重は大幅に軽くなり、航続距離と応答性が向上し、同時に、最高の安全水準が維持されると期待されている。さらに、異なるホイールベースなどの要素に対する調整が容易に行なえ、設計の柔軟性が高くなるという。

Photo: IIHS, Rivian, Polestar, Watt Electric, e.Volution/RWTH Aachen

Polestar 2 CMA platform

ポルスターは、世界でもっとも安全なクルマのひとつと言われる。2021年最初のEURO NCAPのテストにおいて「ポルスター2」には、最高となる5つ星の安全評価が与えられた。「ポルスター2」は、スウェーデンのボルボ・セーフティ・センターで開発され、ボルボXC40と同じコンパクト・モジュラー・アーキテクチャー (CMA) プラットフォームを採用している。

プラットフォームには、正面衝突時にフロント側クラッシュゾーンの機能を高めるためのFront Lower Load Path (FLLP)やSevere Partial Offset Collision (SPOC)と呼ばれるアルミ合金製の衝撃吸収部材が設置され、ホイールなどが室内へ侵入するのを防ぎ、同時に乗員への衝撃を緩和することで、最高レベルの安全性を実現している。バッテリーハウジングの構造は、中空のある断面のアルミ押出型材・チタン板・中空のない断面のアルミ押出型材の3層構造とすることにより、衝撃エネルギーを分散し、残留エネルギーを吸収し、27個のモジュールで構成されるバッテリーパックを保護している。



商用車向け 新EVプラットフォーム「eCV1」



英国のワット・エレクトリック・ビークル・カンパニーは、3.5トンクラスの商用車向けのオールアルミ合金製の新EVプラットフォーム「eCV1」を開発した。「eCV1」は、2021年2月に発表したワット社のプラットフォーム「PACES」をベースに、シャーシとドライバーキャブで構成される。新アーキテクチャーは、テスラのバッテリー向けの最新アプローチと同様に「cell-to-chassis = CTC (セル・トゥ・シャーシ)」方式を採用し、これにより、バッテリーパックはシャーシの構造要素となり、車体剛性の最適化、重量の軽減、積載量の最大化を図っている。110 kWhのバッテリーで航続距離は、290マイル (約467 km)。ドライバー用の中央の座席と1~3人乗りの座席をサポートするオールアルミプラットフォームだ。

50年間使用できる次世代モビリティ アルミ押出型材フレーム

ドイツの「RWTHアーヘン」(アーヘン工科大学・生産加工研究室)と同じくドイツの新興企業「e.Volution」は、アルミ合金押出型材製のフレームをベースに、50年使えるサーキュラーエコノミー型の電気自動車を開発した。汎用性のあるアルミ押出型材のフレームをベースとすることで、少量多品種の自動車

をよりコスト効率よく生産することができる。バッテリー、ヘッドライト、ディスプレイ、センサー、車両コンピューター、エクステリア、シート、インテリアなど、車両を構成するほぼすべてのコンポーネントは「再組立工場」で交換可能とし、5年ごとに車両の改修作業やアップグレードを循環的に実施できる。



電動化時代のアルミニウム再発見 1

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び、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合金と呼んでおり、その諸特性は添加する元素の種類や添加量によって大きく変化する。アルミ合金は、大きく分けて「展伸材用アルミ合金」と「鋳物用アルミ合金」に分類され、それぞれの分類で、さらに熱処理で材料の性質を調整する「熱処理型合金」と、熱処理を行わない「非熱処理型合金」に分けられる。展伸材用アルミ合金は、1000番台の純アルミニウムから7000番台のAl-Zn-Mg系合金まで、添加元素の種類により、千の位で

示される合金シリーズに分類される。展伸材は、ロールを用いた圧延加工による板・箔や、押出加工による形材・管・棒など、さまざまな形状に加工される材料で、鍛造品もこれらに含まれる。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二つの系統がある。通常ダイカストは熱処理をしない。このページの体系図では、鋳物用合金の方が展伸材用合金より種類が多いように見えるが、実際は展伸材用合金の種類は非常に多く、利用目的や用途、部材の形状によって使い分けされており、AA(米国アルミニウム協会)では、4桁の番号でその材料を示している。

アルミ展伸材用合金の一般的性質

1000系アルミニウム

1000系はアルミニウムの成分が99.00%以上の工業用純アルミニウム系材料で、1100、1200が代表的な合金だ。1050、1070、1085はそれぞれのアルミニウム純度が99.50%、99.70%、99.85%以上の純アルミニウムであることを示しており、数字が大きいほど純度が高くなる。

この系の材料の強度は低いが、耐食性、加工性、表面処理性に非常に優れており、食品、化学品、日用品、電気機器、装飾品、器物など、その用途範囲は非常に広い。1060、1070は、導電性と熱伝導性に優れるため、送配電用機器や放熱部品用として幅広く用いられている。

また、表面処理性にすぐれ、陽極酸化処理(アルマイト)によりアルミ独特の美しい色調が得られ光沢の低下も少ないことから、ネームプレートや反射板などに最適な材料となっている。1100は微量のCuの添加により、アルマイト処理後の良好な光沢や白っぽい外観が得られる独特な材料だ。

2000系合金

Al-Cu系の熱処理型合金は、ジュラルミン、超ジュラルミンの名称で知られる2017、2024が代表的な合金だ。鋼材に匹敵する優れた強度と良好な切削加工性が特長だが、耐食性の点で劣るため、厳しい腐食環境での用途では十分な防食処理を必要とする。一例として、航空機用としての利用では母材に純アルミニウムを両表面に合わせて圧延したクラッド材が使用されている。

この合金系は切削性が良く、2011をはじめとする快削合金は、高速加工性に優れるため、自動旋盤用として輸送機器や機械部品に幅広く用いられている。2014は鍛造用材料の代表的な合金で、強度が高く、成形性も比較的良好なため、車両や自動車部品のほか構造材に用いられる。

なお、溶接性は他の系に比べ劣るため、接合方法は主にリベット、ボルトなどの機械的接合や抵抗スポット溶接などが用いられる。

3000系合金

Al-Mn系の非熱処理型合金は、3003、3004が代表的な合金だ。Mnの添加により、純アルミニウムの優れた加工性、耐食性は同等のまま、強度を1000系より10~20%高めており、深絞り性にも優れている。このため、器物、建材、容器、オフセット印刷板などの分野で広く用いられている。

3004、3104は、3003に相当する合金に1%程度のMgを添加して、さらに強度を高めた合金で、代表的な用途としては、DI缶(DI: Drawing and Ironing = 絞りしごき)と呼ばれる飲料用アルミ缶のボディ材(胴の部分)のほか、ヒートシンク、屋根、パネル材などの建材にも用いられている。

また、3003、3004は熱交換器用のクラッド材としての利用も多い。自動車の熱交換器用には、3003を芯材に、4343を皮材としてクラッド圧延したブレージングシートが使用されている。

4000系合金

Al-Si系の非熱処理型合金は、4032、4043が代表的な合金だ。4032はSiの添加により熱膨張率を抑えるとともに耐摩耗性を高め、また微量のCu、Ni、Mgの添加により耐熱性を向上させた合金で、鍛造材料として自動車のエンジン部品、サスペンション部品に広く用いられている。また熱膨張率が低いため、シリンダー、バルブ、軸受類にも使用されている。

4043は5%のSiを含有する代表的な溶接材料だ。溶融温度が低く溶着する金属の高温割れに対する抵抗が強いため、高温割れの発生しやすいAl-Mg-Si系合金やアルミ鋳物の溶接に適しており、MIG/TIG用溶接ワイヤ、溶接棒などの溶加材、ブレージングシートなどとして使用されている。他方では、4043はアルマイト処理により美しいグレー発色が得られるため、ビル建築の外装用パネルにも使用されている。

5000系合金

Al-Mg系の非熱処理型合金は、Mg含有量が0.4%~5%の合金で、耐食性、表面処理性にも優れ、その含有量により種類がとて多く利用範囲も広い。Mg含有量の少ない合金は装飾材や器物用に、Mg含有量の多い合金は強度が高く構造用材料や建材として使用される。

Mg含有量の少ない代表的な合金の5110は装飾材や器物用、5005は車両の内装材や建材用に利用されている。Mgを2.5%程度含有する中程度の強度の5052は、汎用的な5000系合金として幅広く用いられている。Mg含有量の多い5083は、溶接構造用合金とも言われ、非熱処理合金の中で最高の強度をもち、溶接性・耐海水性・低温特性にも優れている。このため、船舶部品、車両部品、低温タンク、圧力容器などに使用されている。なお、Mg含有量が多い5000系合金は、応力腐食割れを生じることがあるので留意することが大切だ。

6000系合金

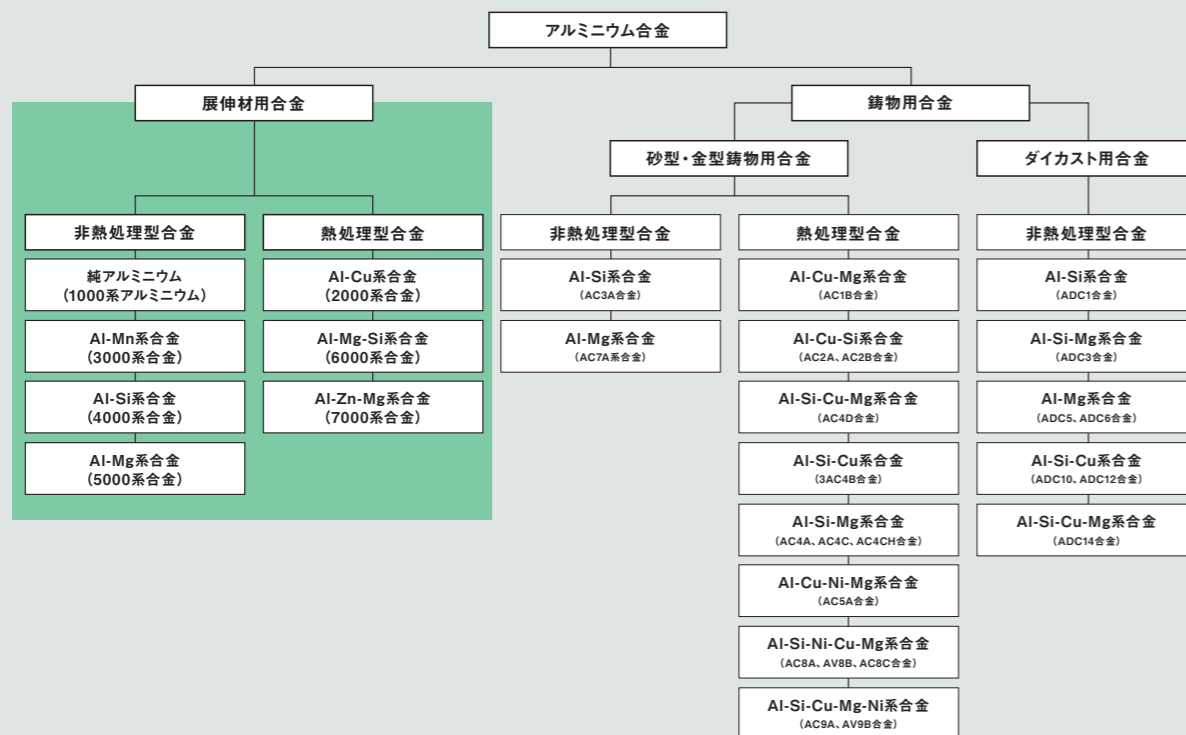
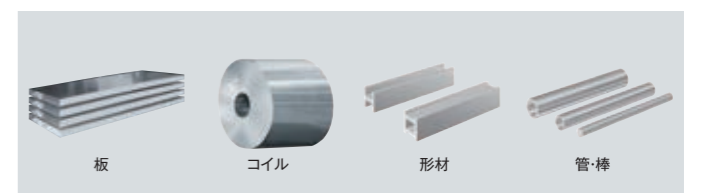
Al-Mg-Si系の熱処理型合金は、強度、耐食性、表面処理性に優れている。6061、6063はその代表的な構造用材料だ。6061はCuを微量に添加して強度を高めた板材、6063は押出形材として挙げられ、特に6063はアルミ押出形材の代表的な合金として、建築用サッシなどの建材、自動車部品、車両部品・電気製品などに幅広く採用されている。押出加工性に優れ、中空のある複雑な断面形状でも高精度・高品質に成形でき、形材のほか、管・棒などさまざまな材料形状で提供されている。

この系の合金は自動車のボディパネル用としての利用も進んでいる。6000系材料は塗装焼付処理工程後に強度が増加するベークハード性(BH性)という性質を持ち、同時にへこみにくさの指標となる耐デント性も向上する。これらの特性により、アルミ板の薄肉化と軽量化を実現できるとして現在のボディパネル用アルミ合金板の主流となっている。

7000系合金

この系の合金は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のAl-Zn-Mg合金に分類でき、高強度で軽量化を必要とする部品に利用されている。7075は超々ジュラルミンと呼ばれるAl-Zn-Mg-Cu系の代表的な熱処理型合金で、航空機の構造材や航空宇宙機器、輸送用機器など軽量強度の構造材料として使用されている。超々ジュラルミン(7075)は、1936年に住友伸銅所の五十嵐勇博士により開発された材料だ。

7204はAl-Zn-Mg系の代表的な溶接構造用の熱処理型合金で、強度が高く、また溶接後の熱影響部も自然時効により母材に近い強度に回復する優れた継手効率が得られるため、新幹線などの鉄道車両や航空機などの構造物などに用いられている。なお、熱処理が適切でない場合などで応力腐食割れを生じることがあり留意が必要だ。



オールアルミ・モノコックボディ
> FORD F-150 Lightning

オールアルミボディ化された大きな話題となった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。アルミ合金を使用することで、キャビンおよび荷室部分の合計で約230kgの軽量化に成功。車両全体では約320kg軽量化されている。F-150ライトニングは、その電動モデルだ。



オールアルミ合金プラットフォーム
> TESLA MODEL S

EV専用のプラットフォームとしてテスラが設計した「モデルS」は、アルミ材料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部には、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。外板のボディパネルもアルミ合金板を採用している。



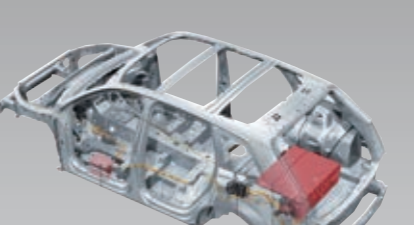
オールアルミ・モノコックボディ
> JAGUAR I-PACE

ジャガー初のバッテリー式電気自動車「JAGUAR I-PACE」は、高度なリベット接合と接着技術により、強靱で高剛性の軽量オールアルミ・ユニボディ構造で、車体の軽量化を図っている。これにより優れたドライビングダイナミクス、高い衝突安全性を実現し、航続距離も470kmまで伸ばしている。



オールアルミ・モノコックボディ
> Range Rover Sport

大型で重量も嵩む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。設計メソッドは鋼板モノコックとは異なっている。「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に初めて取り入れて、高剛性ボディと軽量化を両立させた車両だ。



オールアルミ合金スペースフレーム
> Audi Q7

オールアルミボディの先駆者と言えば、アウディ。アウディ・スペースフレーム(ASF)と呼ばれるオールアルミ合金による独特のボディ構造を探る。最上級SUVのQ7は、得意のアルミ合金を活かしたボディ構造で、フロントサイドメンバー、フロントバンパーにはアルミ合金押出材を採用している。



オールアルミ・モノコックボディ
> RENAULT ALPINE A110

アルピーヌA110は、2017年に復活した伝説のアルピーヌブランドのライトウェイトスポーツカー。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。オールアルミ合金製のプラットフォームに上部オールアルミボディ構造で、車両重量は1,103kgと超軽量。

電動化時代のアルミニウム再発見 2

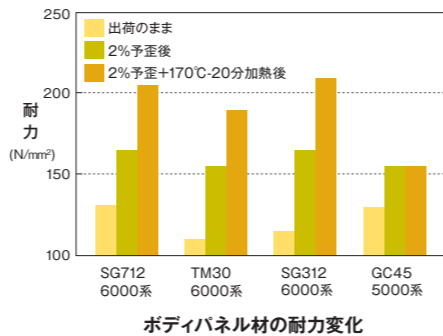
アルミ合金板 強度と成形性にすぐれるアルミ合金板が、車両価値の向上に貢献する

アルミ合金板はその軽量性と強度特性から、電動化時代においても、動力性能の向上や航続距離の延長、部品の小型化で重要な役割を果たしている。また車体を軽量化するとパワートレインやバッテリー、ブレーキなどの主要なコンポーネントも小型化できる好循環「エンジェルサイクル」を生み出すことができる。

今、アルミ合金板の「クローズド・ループ・リサイクル」が各地域で進みつつある。アルミニウムは、極めて優れたリサイクル性を持ち、リサイクルにより、新しく製造する際に必要なエネルギーの90%以上を節約できる。アルミ合金板は、モビリティの軽量化と環境負荷の低減だけでなく、車両価値の向上にも貢献している。

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変換すると、軽量化・燃費向上に大きな効果がある。そこで登場したのがアルミにMg、Siを添加した中強度で成形性が良好な6000系アルミ合金板だ。熱処理型の三元合金で、塗装焼付けの際の加熱により強度が向上するベークハード性（塗装焼付硬化性）という特性がある。成形加工の際は強度が低く成形性にすぐれ、塗装焼付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。

- 自動車ボディ材に要求される性能
- 耐デント性
 - 成形性
 - ヘム加工性
 - ベークハード性
 - 塗装鮮映性
 - 耐食性



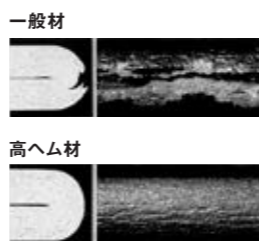
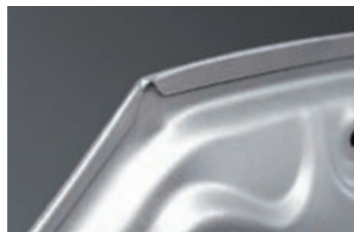
Lexus LS500 ドアパネル (インナー/アウター)



LEXUS LSのドアを横から見ると、インナーパネルの絞りの深さがよくわかる。通常インナーパネルをアルミ化する際は、成形性に優れた5000系を使うが、LSでは絞りが深く難しいパネルの一体成形を達成し、インナー/アウターともに6000系を採用している。部品点数を削減し一体成形により精度を高くできる。

ヘム加工

ボンネットフードのアウターパネルとインナーパネルは、アウターパネルの周囲の縁を内側に向けて折り曲げ、成形加工したインナーパネルの縁と合わせて押しつぶす、ヘム加工（ヘミング）と呼ばれる加工方法で接合している。アルミ材料は鋼板に比べて伸びが低いために、ヘム加工するとアウターパネルの折り曲げ部に割れが生じやすい。UACJでは、より厳しい条件の密着曲げも可能な6000系ボディパネル用アルミ合金を実用化している。



ボディパネルのクローズド・ループ・リサイクル

世界的にカーボンニュートラルな自動車製造を目指し、メーカー各社の生産拠点では、重要な資源を節約して、原材料も地域でリサイクルされる活動が進行中、アルミニウムの「クローズド・ループ・リサイクル」が目ざされている。リサイクルにより品質が低下しないアルミニウムは、環境に優しいクローズド・ループ・プロセスに特に適しており、エネルギー消費を大幅に削減することができるため、サプライチェーン全体での持続可能性を高める。これにより、年間数千トンのCO₂排出量を削減している自動車メーカーの製造拠点もある。

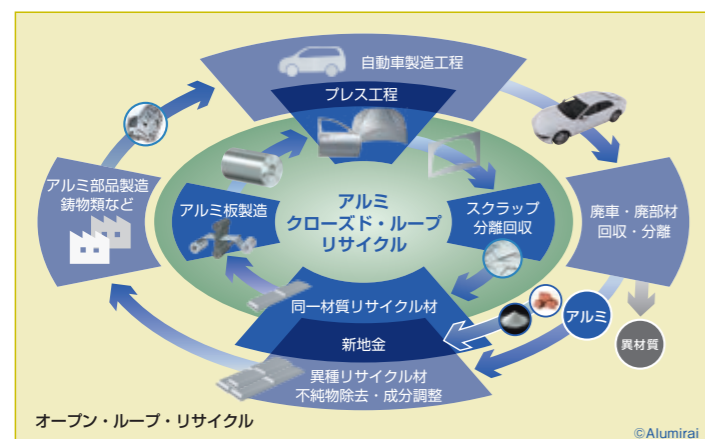


Photo: Toyota, UACJ, Chevrolet, Honda, Mercedes-Benz, Volkswagen

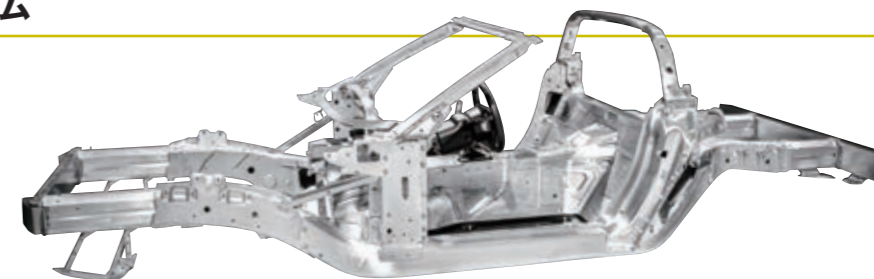
アルミ押出型材 フレキシブルなアルミ押出材が軽量車体構造を支える

アルミ押出加工は、複雑な断面形状の長尺な製品や中空断面、複雑な形状の製品を他の方法に比べて高精度で製造できる加工方法だ。このプロセスでは、円柱状のアルミ合金の材料（ビレット）を高温（400～500℃）で加熱し、それを押出機で高い圧力を加えてさまざまな形状を持つダイスに押しつけ・押し出す。

これにより、必要な断面形状の製品を連続的に製造することが可能で、効率的な量産や複雑な設計にも貢献している。軽量で優れた強度を持つアルミ押出型材を用いたスペースフレーム構造は、外部からの衝撃エネルギーを吸収し、効果的に分散・緩和することにより、乗員や重要な構造部品を保護している。

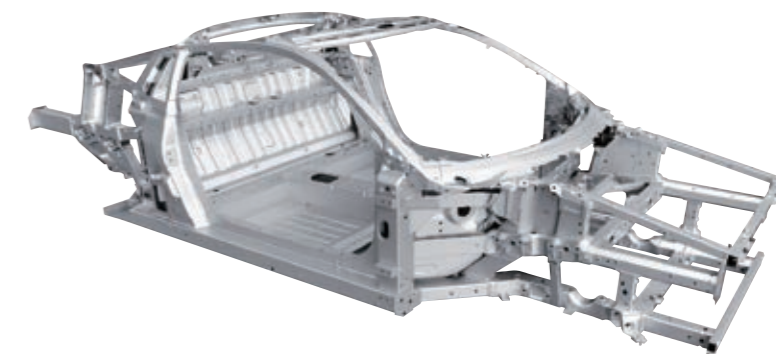
アルミ押出型材スペースフレーム

シボレー・コルベットのC7の車体は、アルミ押出型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フレーム構造になっている。これらにより衝突安全性、ハンドリング性能やコーナリング性能が飛躍的に向上している。

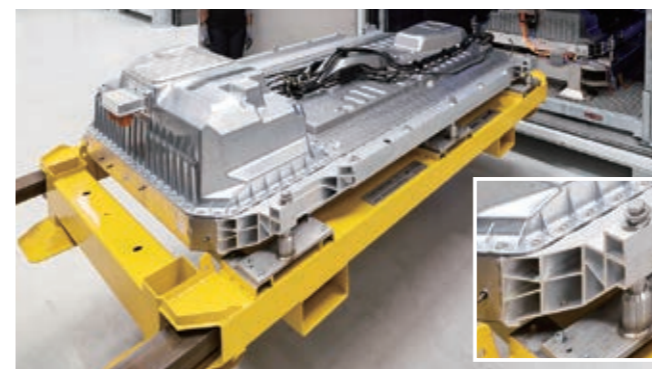


複合素材を用いたスペースフレーム

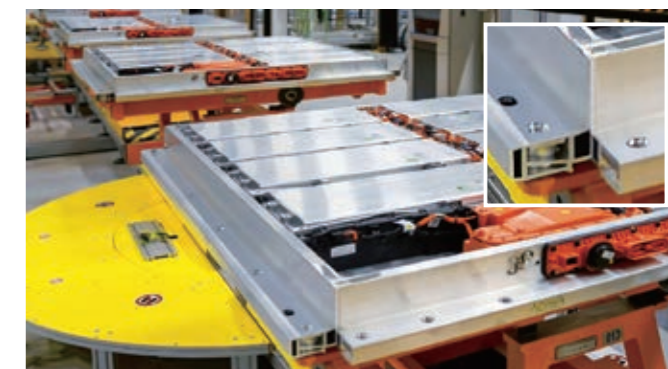
ホンダ・NSXはオールアルミフレームではなく、アルミ、超高張力鋼板、樹脂など複合素材によるスペースフレーム構造を採用している。しかし、高強度のアルミ押出型材が中心のスペースフレーム構造で、フレーム全体に占めるアルミ材料の比率は約79%、スチールが13.5%、樹脂が7.4%だ。前後のクラッシュゾーンには、アルミ押出型材ビームを用い、自動車業界として世界初のアブレーション構造アルミ部材をその接合部分に採用している。



アルミ押出型材によるEVバッテリーハウジング



EVバッテリーハウジングは、バッテリーセルを衝撃や振動から保護し、発生する熱を効率良く放散する熱伝導性を備え、重いバッテリーを安定的に保持できる強度が必要なことから、多くの電気自動車でアルミ合金押出型材が用いられている。(写真はメルセデス・EQC)



フォルクスワーゲン ID.4のアルミ合金製バッテリーハウジングは、クラッシュフレーム、バッテリーセル、冷却用システム、電気回路を搭載し、MEBプラットフォーム用のバッテリーモジュールとして完成する。衝突時のバッテリー保護を最優先にアルミ合金押出型材が使われている。

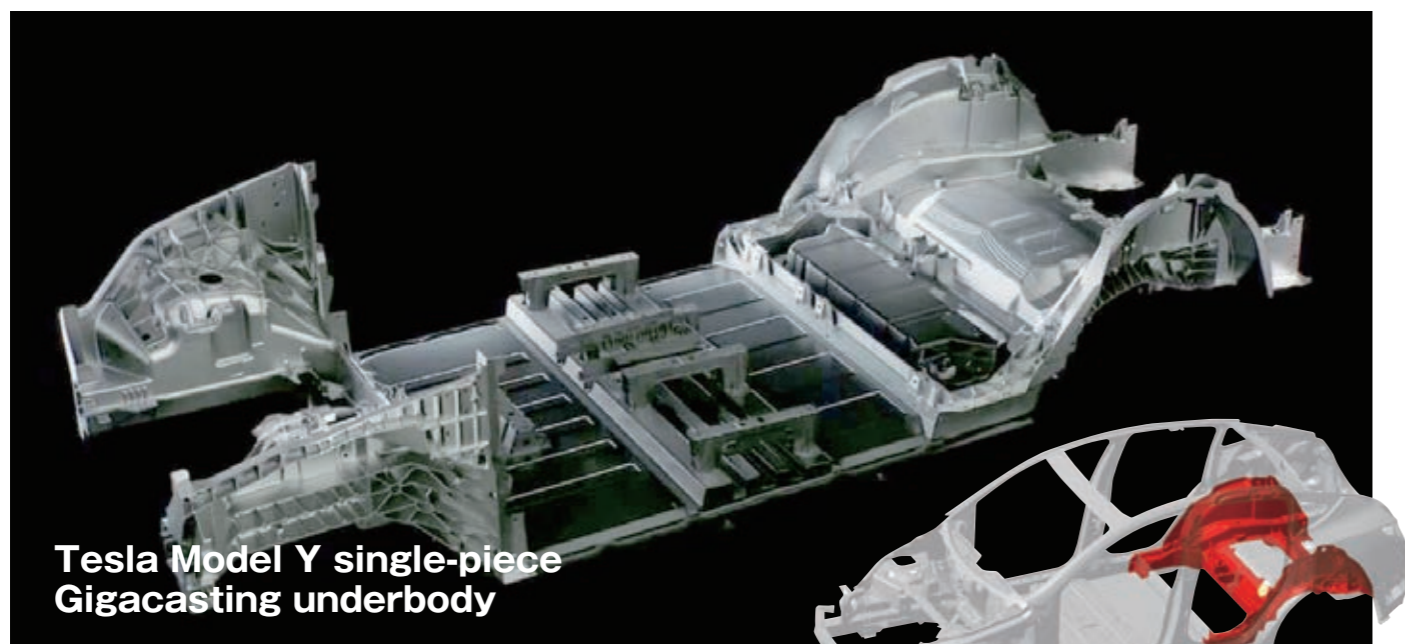
電動化時代のアルミニウム再発見 3

アルミダイキャスト製品 次世代シャーシ構造への進化を支える

近年、EV車体構造において注目されているのが、大型のアルミダイキャスト品の車体構造への利用だ。テスラは、「ギガプレス」とよばれる、車体部品を一体成形できる巨大なダイキャストマシンを使って、リヤ部アンダーボディを製造している。アルミダイキャスト部品は複雑な形状を実現することができるため、軽量でありながら強度を必要とする部品の製造に適している。大型のアルミダイキャスト部品を車体構造に使用することで、従来の構造部材の一体化が可能のため、部品点数および溶接などの接合作業が削減され、同時に車体製造コストも削減できる。

アルミダイキャスト部品の製造工程では、まずアルミ合金を660℃程の高温で溶かし、ダイキャスト機に注入する。注入された熔融金属は金型内に高速高圧で充填され、冷却により金型内で凝固して所定のアルミ部品形状が完成する。その後金型から取り出し、必要に応じて表面処理や加工を施して完成する。

大型のアルミダイキャスト品をつくるためには、金型の設計・試作、耐久性のある金型製造、材料の選定、金型の冷却などや完成した製品の搬送などにさまざまな課題がある。特に中空断面のダイキャスト品の製造は、現在の技術では難しいとされる。



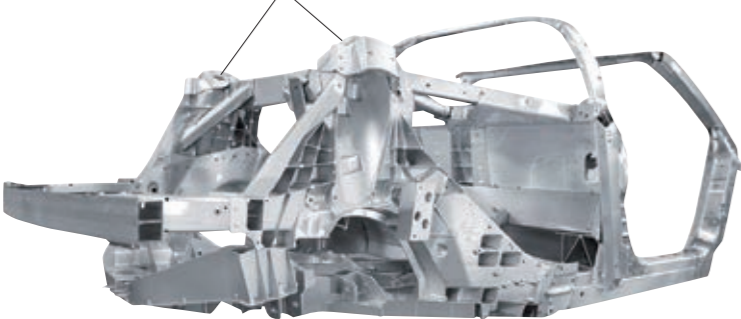
Tesla Model Y single-piece Gigacasting underbody

アルミ押出型材と「ギガキャスティング」によるシャーシ構造

テスラは、6,000トンから9,000トンのクランプ圧を持つ巨大なプレス機を使用する「ギガキャスティング」プロセスのパイオニアだ。アンダーボディの生産をアルミダイキャスト工程に切り替え、「Model Y」などのリヤフレームを一体生産できるようにし、従来構造の171個の部品と1,600箇所の溶接作業をふたつの大型部品に置き換えしている。

シボレー・コルベットのC8は、リヤストラットタワーなどに6つの大型アルミダイキャスト品を採用した。高強度のアルミ合金押出型材と組み合わせ接合したスペースフレームで、フレーム剛性を高め、軽量化を図っている。材料比率は、アルミ合金押出型材が40%、アルミ合金板が39%、アルミダイキャスト品が18%、その他3%となっている。

リヤストラットタワー



シボレー コルベット C8 アルミ合金スペースフレーム

Photo: Tesla, GM, UACJ, Endless

アルミ鍛造品 自動車の重要保安部品に用いる信頼性と安全性

アルミ鍛造品は、自動車のサスペンションパーツや、ブレーキパーツなどに広く使用され重要な役割を果たしている。アルミ合金の自動車材料は、軽量でありながら優れた強度特性を持ち、鍛造プロセスによってその強度や耐久性をさらに高めた複雑な形状の部品を生み出すことができる。アルミ鍛造サスペンションは、車の走行性を安定させ、乗り心地やハンドリング性を向上させる。アルミ鍛造ブレーキキャリパーは、高速ブレーキング性能を高め、同時にばね下重量を軽減して自動車の運動性能の向上に寄与し、燃費・電費の向上にも大きな効果が期待できる。

アルミ鍛造品は、展伸材用アルミ合金の中で、鍛造用の熱処理型アルミ合金を主に使用する一方、アルミダイキャスト品は、鋳物用合金の中で、ダイカスト向けの非熱処理型アルミ合金を使用する。鍛造用の熱処理型アルミ合金は、鍛造や熱処理によって結晶の方向が整い結晶粒が微細化されて、高い強度と耐久性を持ち広く自動車用構造材に利用される一方、鋳物用アルミ合金は、溶融して金型に射出された後、急冷され凝固するため、結晶構造がより粗く強度は低い傾向となる。このため、パワートレーンの筐体などの複雑な形状の部品を製造するのに適する。

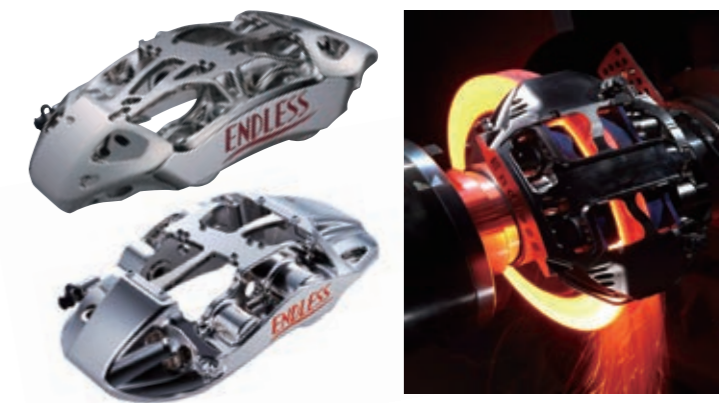


アルミ型打鍛造品の製造工程

鍛造に使用するアルミ合金は、強度・靱性・耐熱性などの特性を考慮し、製品の要件や用途に合わせて選定する。アルミ鍛造品は、材料の選定、鍛造、熱処理、仕上げ加工、表面処理といった工程を経て製造される。金型を用いる熱間鍛造（型打鍛造）では、アルミ合金を400℃程度に加熱した後、鍛造プレスの金型にセットし所定の形状に成形する。この加熱・鍛造・T6処理（時効硬化処理）によってアルミ合金の結晶構造や結晶粒の微細化などを最適化し、強度・硬度・疲労特性を向上させる。仕上げ加工では、CNCマシニングセンターなどで機械加工を行ない、鍛造品の形状を最終的な寸法に仕上げる。その後、必要に応じて鍛造品の表面に塗装、めっき、アルマイト処理などの表面処理が施される。

鍛造アルミ合金製ブレーキキャリパー

UACJ製の高温高強度アルミ合金を用いた鍛造ブレーキキャリパー。エンドレスブランドのブレーキシステムは、国内外のレース関係者から、その耐久性・信頼性が高く評価されている。EV化やSUVなど車体の大型化・高性能化により、軽量・高剛性のアルミ鍛造部品の採用が広がっている。鍛造用アルミ合金は、鍛造性に加え、高強度・高耐摩耗性・高温強度などの要求特性に応じた合金が開発されている。高温高強度アルミ合金は、UACJ鋳鍛の航空宇宙向けの鍛造プロセスのノウハウに基づき製造されている。



ブレーキング耐久試験状況：株式会社エンドレスアドバンス

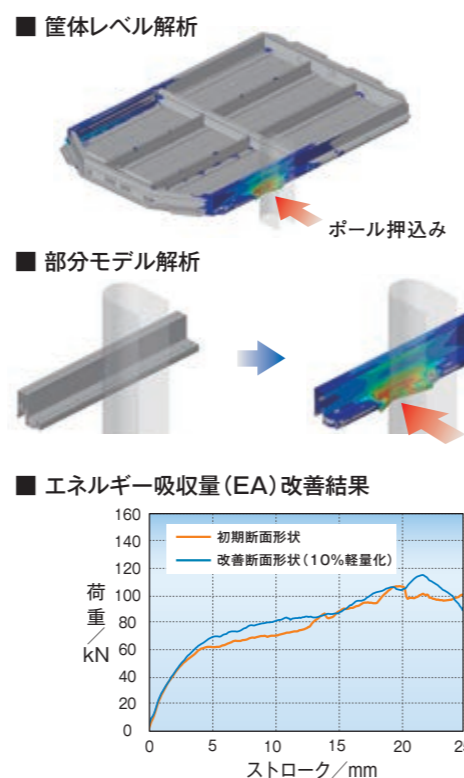
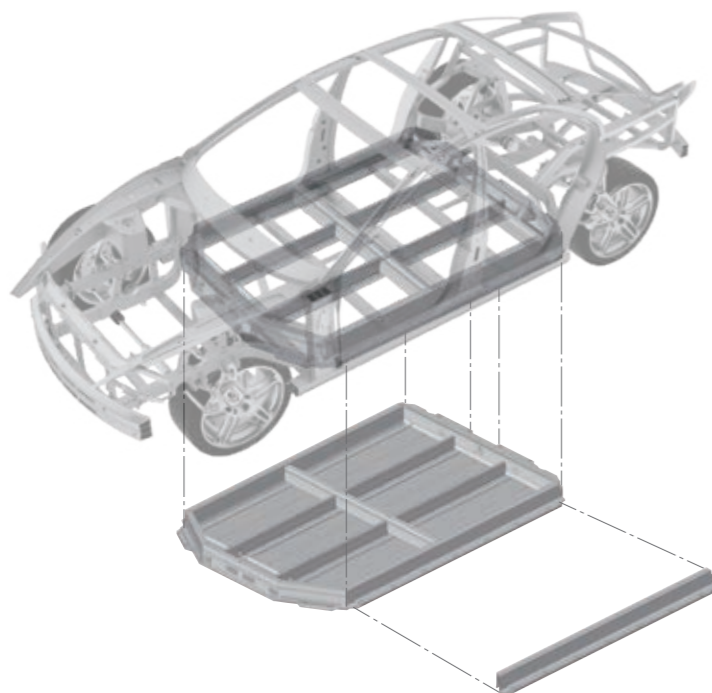


電動化時代のアルミニウム再発見 4

アルミ合金製コンポーネンツ開発の現場 株式会社UACJ

アルミ自動車部品の開発は、軽量化、電動化、自動運転、安全性向上、デジタル化、持続可能性など多岐にわたる要素を背景に、効率的で安全な次世代のコンポーネンツを目指す取り組みが進行している。車両の燃費向上や電動化への対応は、革新的な技術と持続可能性の観点から急速に進化した。また、排出ガス削減や再生可能エネルギーの活用、部品のリサイクル性や廃棄物削減にも力を入れている。UACJの自動車部品の開発では、ベンチマーキングなどを基にし、アジャイル開発の手法を取り入れ、顧客からの要求変更に対応し、効果的なソリューションを提供している。それらの成果は、電動化時代のサプライヤーにとって重要な要件だ。

世界有数のアルミニウム総合メーカーの株式会社UACJは、長年培ってきた自動車部品用アルミ材料の技術とノウハウを結集し、2020年に「モビリティテクノロジーセンター（MTC）」を開設した。MTCは、技術リサーチから技術戦略の立案や事業化の仕組み作りを担う技術企画から、材料開発、先行開発、製品開発、生産技術開発などを一貫体制で行っている。ベースとなる評価技術や要素技術は、UACJのR&Dセンターとの連携より、アルミ材料の専門性とアルミ部材開発の総合力を駆使している。電動化の流れの中で、アルミ構造部材に求められる要求特性はますます高度化しており、同時に対応のスピードアップも求められている。



UACJモビリティテクノロジーセンターの活動

MFi: バッテリーハウジングにアルミ部材が用いられていると聞きますが。

新倉: 現在主流の電気自動車のバッテリーハウジングには、アルミ合金の押出材が多く利用されています。これらのアルミ構造部材は、安全性の面でもバッテリーの温度管理の面でも重要な役割を果たしています。特に、車両の側面衝突時には、主に中空断面のアルミ押出材の断面形状が衝突荷重を受けて変形することにより衝撃エネルギーを吸収しますが、この押出材の断面形状やその構造によって、衝突エネルギー吸収特性が大きく変化します。

MFi: 衝突エネルギー吸収性能というのはどのようにして高めるのでしょうか。

新倉: バッテリーハウジングの側面衝突では、側面に加わる衝突荷重を他の構造部材へ分散することが難しく、バッテリーハウジングのサイドフレームが、それ

らの衝突エネルギーを吸収する必要が生じます。このため、必要とされる衝撃吸収性能を満たしながら、軽量化を追求することが重要になります。このための手法として、UACJ独自のノウハウによる衝撃エネルギー吸収シミュレーション技術を確立して、アルミ構造部材の開発を行っています。

MFi: 衝撃エネルギー吸収シミュレーションは、一般的な構造解析でしょうか。

新倉: UACJには、アルミ材料メーカーとして、長年培ってきたアルミ材料の豊富なデータが揃っています。これらをシミュレーションソフトに取り込み、衝撃吸収性能を向上させながら、断面形状や質量を最適化したアルミ押出材を開発しています。特に、開発した断面形状の押出材の製造を行なうためには、適合するアルミ材料の強度や延性、成形性、コストなどのバランスでさまざまなノウハウが必要です。製造に最適な材料や軽量化・薄肉化の



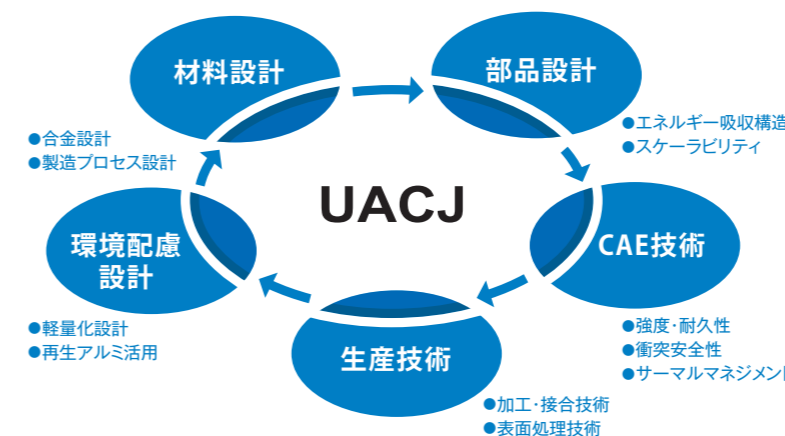
株式会社UACJ
マーケティング・技術本部
モビリティテクノロジーセンター
副センター長 博士(工学)

新倉 昭男
Akio NIIKURA

レビューなども多角的・立体的に行なうことで、線形の構造解析だけでなく非線形性の強い高度な解析を行ない、CAEの精度を向上させています。

MFi: 今後のMTCの部品開発はどのように展開されますか。
新倉: UACJでは、クラッシュゾーンへの衝撃吸収部材の代表格である、バンパービームやクラッシュボックス、電池筐体サイドフレームなどを共同開発し、国内やグローバルな製造拠点で製造を

行なって、技術情報を蓄積してきました。今後は、クラッシュゾーンに対応したアルミ合金押出材による構造部材のモジュール化などを推進したいと思っています。また、電池冷却体の冷却回路などのサーマルマネジメントの開発を並行して行なってきました。これらUACJ独自のノウハウによるシミュレーション技術をさらに高めて、自動車メーカーの推進するスケラブルなプラットフォームに対応したアルミ部材の開発・製造のご要望に応じて行きたいと考えています。



UACJのグローバル展開

UACJは、グローバルにバンパーなどの衝撃吸収部材や骨格部品などを自動車メーカーと共同開発し量産化している。車両の各部位に適した材料を長年開発してきたが、環境負荷を低減したアルミ部材の製造プロセスの開発にも注力している。

UACJの米国現地法人、ミシガン州に本社があるUACJ Automotive Whitehall Industries, Inc. (UWH) は、新興EVメーカーの創生期より、UACJのアルミ構造部材を多数生み出し提供している。伝統的な自動車メーカーのEV化部材への需要も旺盛で、

UWHは、ミシガン州の主力工場アルミ押出プレスを増強し、アリゾナ州では自動車部品の新工場を建設した。これらの生産体制により、アルミの衝撃吸収特性を生かしたクラッシュゾーン向けの重要なコンポーネンツの製造を強化している。

ND型ロードスター用
フロントバンパー
アルミ製 : 4.2 kg

NC型ロードスター用
フロントバンパー
スチール製 : 5.8 kg

ライトウェイトスポーツの本流 Mazda MX-5 アルミ合金製バンパー補強部材の開発

マツダ・ロードスター (MAZDA MX-5) は多くの部品をアルミ合金化したのが、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ND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ボディなど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い約30%軽量化したバンパーを完成させた。

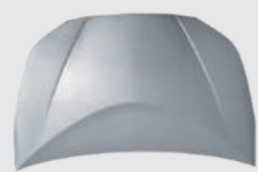
自動車用アルミ合金の用途指針

*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				
1000	1050	1050	A50	加工性、表面処理性がすぐれ、耐食性はアルミ合金の中で最良	ヒートインシュレータ		
	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、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		
2000	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	二輪車ハンドル、ABS		
	2017	2017	17S		ショックアブソーバ、ハンドル、スポーク、コンロッド		
	2024	2024	24S				
	2219	2219	B19S	強度が高く、低温および高温特性、溶接性も優れるが、耐食性は劣る	ロータ		
	2618	2618	2618	高温下でも高い強度を発揮 鍛造、切削加工にも適している	ターボ用コンプレッサーホイール、ピストン		
3000	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		
	3004	3004	304S 4S	3003より強度が高く、深絞り性に優れ、耐食性も良好	カウルグリル、ヒートインシュレータ		
	4032	4032	32S	耐熱性、耐摩耗性に優れ、熱膨張係数が小さい	ピストン		
	4000	-	-	SC100	耐摩耗性、鍛造性に優れた4032より高強度の合金	パワーステアリングハウジング、コンプレッサスクロール、バルブリフト	
SC300				SC100の強度を向上させた合金			
TF06B TF08 TF10B				耐摩耗性、鍛造性に優れた4032より高強度の合金			
5000	-	-	TF12B	過共晶合金で、鍛造性を向上させた合金	コンプレッサロータ		
			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	メータ表示板、ATドラム、ヒートインシュレータ、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、サスペンション部材、オイルパン
			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、ボディパネル(超塑性成形)
383S	183Sの成形性を向上させた合金 超塑性特性にも優れる						
483S NP5/6	5083の押出用合金	ラッシングレール					
5000	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・ナケース、スプリングシート		
			GM145	成形性、耐食性が良好	ボディパネル(インナー)、ヒートインシュレータ		
	-	-	GM47	383SやGM145よりも強度が高く、超塑性成形に優れる	ボディパネル(超塑性成形)		
	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、足まわり、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 成形性が良好で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	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	ボディパネル(アウター・インナー)、ヒートインシュレータ
	5110A	5110	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	耐海水性に優れた非熱処理系溶接構造用合金	ブレーキピストン、フェUELデリバライバブ、エアバッグインフレーター
6000	-	-	SG712	ベークハード型(BH型)ボディパネル合金	ボディパネル(アウター・インナー)
			TM30	ベークハード型(BH型)ボディパネル合金 SG712より強度は低いが曲げ加工性に優れる	
			SG312	ベークハード型(BH型)ボディパネル合金 SG712より強度が高く、深絞り性に優れる	
			SM28	ベークハード型(BH型)ボディパネル合金 アルミスクラップを活用した低CO ₂ リサイクル合金	
6063	6063	63S 163S Y63	代表的な押出用合金 6061より強度は低いが押出性に優れ、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、クラッシュボックス	
6005C	6005C	465S L55	中強度押出合金 6061と6063の中間の強度が有り、 耐食性と溶接性が良好	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外筒	
6000	6061	6061	61S 161S	熱処理型の耐食性アルミ合金	ABS、防振ゴム用具、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、レシーバタンク、足まわり、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、電池周辺部材
			561S		パワープラントフレーム
			-	-	SG109
6082	6082	SG10 SG710	6061同等あるいはそれ以上の強度が有り、耐食性が良好	アーム類、リンク、スペースフレーム、バンパーレインフォース	
6110	-	-	6082よりもさらに高強度の合金	バンパーレインフォース	
-	-	-	SG210 GS310	高強度鍛造用アルミ合金	サスペンションアーム、ホイール
-	-	-	GT209 KS69S	鉛フリー快削合金	ATバルブ
7000	7003	7003	ZK60 K73	溶接構造用押出合金7204より押出性が良好	バンパーレインフォース、シートスライダ、ドアインパクトビーム
	7204	7204	K70 ZK147 K70Y	溶接構造用合金 常温時効により、溶接部の強度が母材強度近くまで回復する	ジャッキ、ステアリング、クロスメンバ、ハンドル芯金、ブレーキペダル、バンパーレインフォース、オートバイフレーム
	-	-	ZK55	7204よりも高強度な合金、溶接可能 ホロー押出可能	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&ホイールリム
	7046	-	ZK170		
	-	-	ZK80	ホロー押出可能で最高強度、溶接不可	オートバイホイールリム
	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
-	-	-	ZC88	高強度アルミ合金	フロントフォーク



ボンネットフード(アウター・インナー)



ドア(アウター・インナー)



ルーフ・ハードトップ



ドアパネル



バンパーレインフォース



ブレーキキャリア



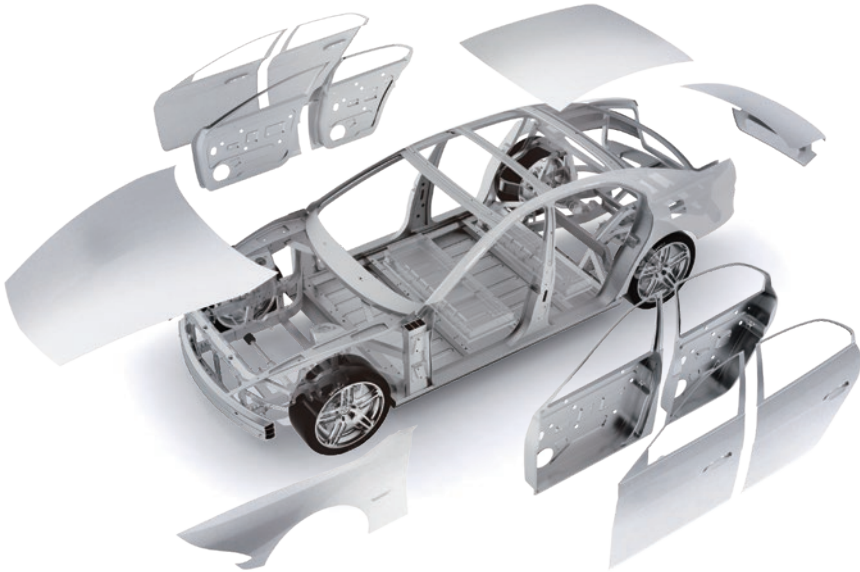
サブフレーム



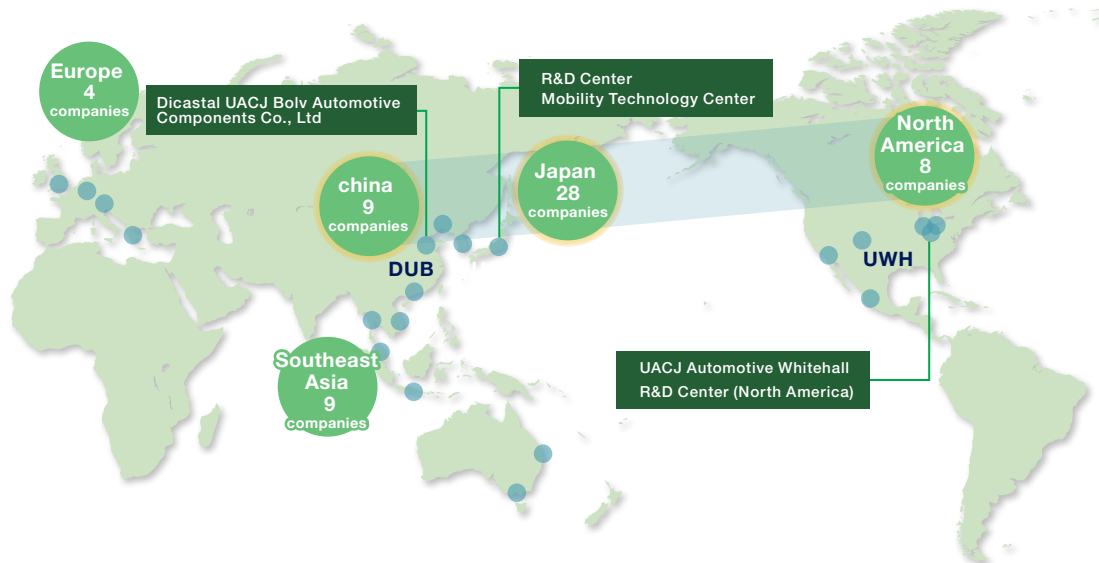
サスペンションアーム

Advanced Aluminum Technology for the Automobiles of the Future

世界の自動車業界は100年に一度の変革期を迎えたとされる。環境規制の強化に伴い、CO₂排出量の削減に向けた取り組みは、軽量化・電動化の流れを鮮明にし、純電気自動車(BEV)へのシフトも本格化している。今、自動車メーカー各社は、CASEの時代を見据えながら次世代型モビリティの開発を進めている。地球にやさしい環境金属アルミニウムはこれらに最適なソリューションといえる。UACJは多岐にわたり蓄積したノウハウに基づき、軽量化・電動化を支援する材料・構造の応用開発を精力的に進めている。目指すは、誰もがまだ見ぬ新しいアルミニウムの姿だが、それは同時にクルマの未来でもある。



- Aluminum Alloy Sheets & Plates
- Aluminum Alloy Extruded Shapes
- Aluminum Forged Products
- Aluminum Materials for Lithium-ion Batteries



株式会社UACJ

【本社】〒100-0004 東京都千代田区大手町1丁目7番2号 東京サンケイビル 自動車部品事業本部
 【中部支社】〒460-0022 愛知県名古屋市中区金山1丁目13番13号 金山プレイス 自動車部品事業本部

