

自働車の革新を支える材料技術の最新動向

神鋼リサーチ（株）宮内 重明

2017年5月にパシフィコ横浜において「人とくるまのテクノロジー展 2018 横浜」が開催された。この展示会は公益社団法人自動車技術会が主催する春季学会に併設された展示会である。国内自動車メーカーをはじめとする自動車関連企業（585社）が出展しており、自動車関連の技術者・研究者など93,458人（累積）が来場した。同展示会では、自動車関連の技術動向を議論する17件のフォーラム（講演会）が企画された。これらのフォーラムのうち、材料部門委員会が企画した「自動車の革新を支える材料技術の最新動向；I（鉄鋼）、II（軽金属・化成品）」フォーラムを聴講した。

同フォーラムは、自動車に使用されている材料に関する研究開発状況、使用状況を議論するフォーラムである。これまでは自動車技術会の材料部門委員会が単独で企画・開催していたが、今年は鉄鋼材料に関しては一般社団法人日本鉄鋼協会、軽金属・化成品に関しては公益社団法人日本金属学会との合同企画として開催された。また、昨年度までの講演は、自動車メーカー、材料メーカーからの「材料・材料適用事例の紹介」が主であったが、今年は、新たに大学、公的研究機関（上智大学、東北大学、産業技術総合研究所）からの「プロセス（接合、積層造形など）」に関する報告が追加された。

自動車・自動二輪メーカーの材料適用状況に関して、スバルから10年先を見据えたプラットフォーム（スバルグローバルプラットフォーム）、ヤマハ発動機から自動二輪車の構成材料と部材製造技術が報告された。

スバルグローバルプラットフォームは「高性能を超えた感性に響く動的質感と世界最高水準の安全性能も含めた全車種のプラットフォームを一括して企画し、一つの設計思想を共有しつつ、各車種の商品特徴に柔軟に合わせた対応を可能とする」プラットフォームである。共有される設計思想は、「①まっすぐ走れる・思い通りに走れる」、「②不快な振動騒音がない」、「③快適な乗り心地」であり、これらの思想を実現するために「車体剛性の向上」、「構造用接着剤による振動抑制」、「リアスタビライザーの車体直付け固定」を行っている。また、車体剛性の向上に伴う車体重量増加に対しては、車体の部位に応じた軽量化を行っており、高張力鋼板、アルミパネル材の適用範囲を拡大し、センターピラーに **TRB**（テイラールドブランク）材を適用している。この結果、同サイズの車体の中でトップクラスの軽量ボディを実現している。

現在、電動化、自動運転化などの技術革新により、次世代自動車の開発は加速しているが、自動車に求められる環境対応、衝突安全性能の向上への要求は今後も厳しくなっている。スバルでは、車体の軽量化は自動車メーカーにとって継続的な命題であると認識している。

注) **TRB (Tailor Rolled Blank : テイラールドブランク) 材** : 薄板鋼板コイルの冷間圧延時にロール間隔を制御して、一つのプレス部品用ブランク材の中で板厚を変化させたブランク材である。

ヤマハ発動機は、コンピューター用バイクからスポーツ用バイクまで幅広い車種を取り扱っている。二輪車の構成材料は鉄鋼材料とアルミニウム材が3/4を占めているが、車種によって鉄鋼材料、アルミニウム材の使用比率が異なる。コンピューター用バイクでは、鉄鋼材料：アルミニウム材の比がほぼ3:1であり、鉄鋼材料の使用量が多くなっている。スポーツ

用バイクでは、運動性能向上のためにそれらの比が 1:1 であり、アルミニウム材の使用量が多くなっている。このように、車種によって構成材料は異なるが、自動二輪車の構成材料に要求される技術課題は小型エンジンとコンパクトな車体の実現に寄与することである。

エンジン小型化に関する技術課題として、①軽量化と高出力の両立、②燃費向上、③低コストの 3 項目が挙げられている。乗用車（メルセデス SL65AMG）、スポーツカー（ポルシェ 911 カレラ GT3 RS）、二輪車（ヤマハ YZF-R1）における出力点回転数、排気量：1 L あたりの出力を図 1 に示す。乗用車の出力点回転数：4800 rpm に対して、二輪車の出力回転数：13500 rpm であり、二輪車のエンジンは高回転により高出力を得ていることがわかる。また、排気量：1 L あたりの出力は乗用車：105 ps/L に対して二輪車：200 ps/L であり、二輪車用エンジンは排気量あたりの出力が大きく、小型エンジンで高出力を得ていることがわかる。このように、エンジンを高回転領域で動作させる場合は部品の慣性力がエンジン性能に及ぼす影響が大きくなる。したがって、高強度材料を適用して部品の重量を軽減させ、慣性の影響を軽減する必要がある。

注) 出力点回転数：最高出力が得られるエンジン回転数である。

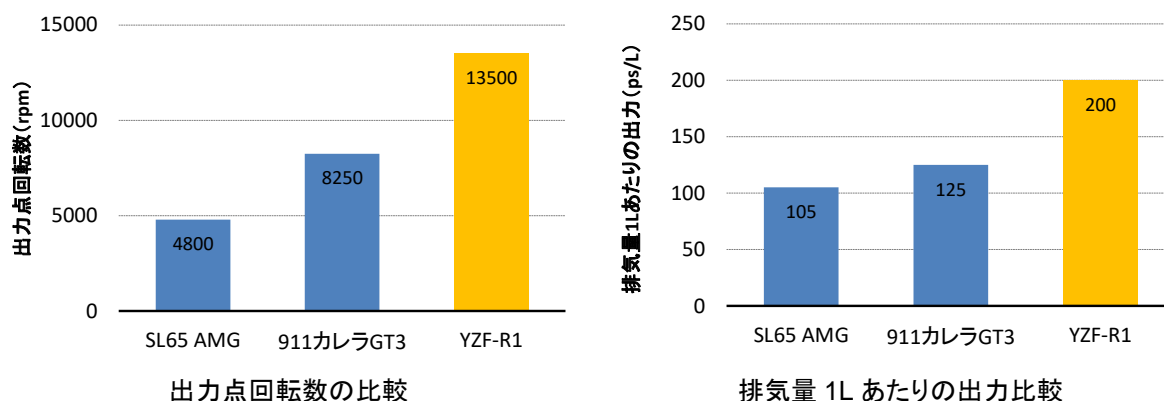


図 1 自動車用エンジンと自動二輪車用エンジン特性比較

出展：2018 人とくるまのテクノロジー展 春季大会フォーラム「自動車の革新を支える材料技術の最新動向 I（鉄鋼）、II（軽金属・化成品）」講演資料を基に神鋼リサーチでグラフ作成

自動二輪車用エンジン部品への高強度材の適用例としてアルミニウム制御鍛造ピストンが紹介された。このピストンは 1990 年台にレース用バイクで初めて採用されたが、2010 年にはコンピューター用原付バイクをはじめとするほぼすべての機種に採用されている。また、同社はマフラーへのチタン材の適用、エンジンシリンダへの DiASil（ダイアジル：Die casting Aluminum-Silicon、ダイキャスト用アルミシリコン合金）の適用などにより軽量化対策を行っている。

コンパクト・軽量車体に関しては、アルミニウムの大物薄肉鋳造技術（「ヤマハ CF アルミダイキャスト技術」）を開発して車体フレームに適用しており、部品点数の削減に成功している。また、同技術によりフレームの一体成形が可能となったことから、溶接箇所が減り寸法精度が向上して、軽量、高精度車体フレームの量産を達成している。このようなアルミニウム製フレームの製造技術は、当初はスポーツ用バイクに適用されていたが、現在はコンピューター用バイクのフレームまで適用が拡大している。

自動二輪車の電動化に関しても、モーター、バッテリーの課題として、「高出力化（モーター）」、「大容量化（バッテリー）」、「コスト低減」、「積載性（小型化）」が指摘されている。

このうち、バッテリーの大容量化については、EVとは異なるアプローチ（Gogoro（台湾の企業）におけるレンタル方式の着脱式バッテリーの採用）が紹介されており、興味深い。

自動車軽量化に資する材料の接合方法に関しては、新日鐵住金から高張力鋼板の抵抗スポット溶接、東北大学から鉄鋼材料-アルミニウム材料の異種金属接合が報告された。

自動車の車体製造においては、ボディー外板の接合に抵抗スポット溶接（3,500～5,000点）、ボディーフレームの接合にアーク溶接、レーザー溶接が適用されている。スバルからも報告されたように、自動車ボディーに対して高張力鋼板の適用が進んでいるが、高強度化に伴う被接合面のなじみ悪化や、プレス加工後のスプリングバック増大によりスポット溶接性が悪化している。特に、継ぎ手強度評価法の一つである十字引張試験においては、鋼板の高強度化に伴う強度低下が著しい。これは、金属溶融部（ナゲット）の硬化・脆化によるものであり、ナゲット内で亀裂が進展して部分プラグ破断、界面破断を引き起こしている。このようなナゲット部の靱性低下を防止するために、「後通電処理」が新日鐵住金から報告された。「後通電処理」は溶接通電の0.04～0.12秒後に再び通電加熱する処理であり、溶接部の熱処理に相当する。

後通電処理は通電時間により下記の3種類に分類される。

- (1) 短時間偏析緩和後通電（0.1～0.2 s）
- (2) 中時間オートテンパ促進型後通電（0.2～1 s）
- (3) 長時間テンパ後通電

これら「後通電処理」の効果として、短時間後通電によるナゲット端部の偏析緩和、オートテンパ促進型後通電によるHAZ部の炭化物析出が確認されており、十字引張強度の向上が報告されている。

また、同社では、実部材の変形挙動を模擬するために、スポット溶接を適用したハット型部材による三点曲げ挙動を評価している。オートテンパ促進型後通電処理を施すことにより、溶接部破断を伴わずに部材が曲げ変形することが確認されている。さらに、後通電処理を施さなかった部材は部材の曲げ変形開始後、溶接部破断により急激に抗力が減少するのに対して、後通電処理を施した部材は変形中も抗力を保持していることが確認されており、スポット溶接後通電は自動車ボディーの強度向上に寄与することが明らかになっている。同社では、アーク溶接における強度向上方法も報告している。

車体における軽量化と安全性の両立は今後とも求められる不変の課題であり、これらの課題に対して「高強度鋼板の適用拡大」、「高強度鋼板の特性を生かしたマルチマテリアル構造」がますます重要になると考えられる。したがって、高強度鋼板、マルチマテリアル構造に対応する新たな接合技術を継続して開発する必要があるとしている。

自動車軽量化のためには、ボディー構成材料への高強度部材適用、マルチマテリアル化が推進されており、鉄鋼材料とアルミニウム材料が共用されるようになっている。鉄鋼材料-アルミニウム材料異種金属接合（Fe-Al異種金属接合）の問題として、接合部に脆弱なFe-Al系金属間化合物（IMC）形成されることが挙げられる。従来IMC層厚の低減による接合強度の向上が試みられており、このため、低入熱溶接法、固相接合法が研究・開発されている。これに対して、東北大学では、IMC層形成に及ぼす添加元素の影響を解明し、IMC相の組織制御による接合強度向上を図っている。

接合金属（Ni、Cr、Ti、Mgなどを添加したアルミニウム合金、IF鋼）をTIG溶接して接合強度（剪断引張試験）を評価している。この結果、アルミニウムへのNi添加により引張剪断強度が増加することが明らかになっている（3.5 at %添加により約27 MPa⇒約61 MPa）。

Ni添加材、Ni無添加材ともにIMCとして形成された Fe_2Al_5 相内で破断が生じており、破断面性状、IMC相の組成、厚さについては両者の間で著しい差異はない。一方、 Fe_2Al_5 結晶組織は接合界面に垂直方法に成長した柱状組織であり、Ni添加材では結晶粒幅の減少が認められる。破断亀裂は柱状晶を横切って進展するため、接合強度の向上は結晶粒幅の減少（亀裂が横切る結晶粒数の増加）によると推測されている。その他、Cr、Ti、Mg添加材も含めて Fe_2Al_5 結晶粒幅と引張剪断強度の関係を整理した結果、 Fe_2Al_5 結晶粒幅と引張剪断強度にはよい相関があり、結晶粒幅が減少すると引張剪断強度が増加することが明らかになっている。このように、IMC層の厚さに加えて、結晶組織も接合強度に影響する重要な因子であることがわかり、Fe-Al異種金属接合の接合強度向上の方法として溶接部の結晶組織も考慮すべきとの提案がなされている。

本フォーラムでは、この他、「鉄鋼材料の水素脆化」（高井健一氏：上智大学）、「自動車用耐熱材料・技術の最新動向」（高林宏之氏：大同特殊鋼）、「加圧式金型鋳造法によるアルミニウム厚肉品製造技術の開発」（古田昌伸氏：リョービ）、「軽金属プロセス全般に関わる3Dプリンターの変遷と展望」（岡根利光氏：産業技術総合研究所）、「回転ベルカップ塗装における曳糸性の微粒化への影響」（石橋清貴氏：日本ペイント・オートモーティブコーティングス）が報告された。

自動車関連技術においては、電動化（HEV、EV、FCV）、自動運転、情報化が注目されており、これらの技術課題に対しては精力的な取り組みが進んでいるが、軽量化は今後とも必要不可欠な検討項目と認識されている。このような情勢の下、本フォーラムは自動車メーカー・材料メーカーの取組事例の紹介に留まらず、基礎材料物性、製造プロセスに関する情報交換の場として有意義と考えられる。今後とも本フォーラムに定期的に参加して、情報発信をしていきたい。

以上