

Techno Scope



自動車の マルチマテリアル化に 貢献する異種材料接合

自動車ボディでは、高張力鋼板とアルミニウム合金板のように、材料を適材適所で組み合わせる「マルチマテリアル化」が進んでいる。しかし異種材料の接合は鉄同士のように容易にはできない。そこで、従来の接合に代わる新しい接合技術が注目され、開発されている。

EASW(Element Arc Spot Welding、後述)によるバンパーの接合工程。高い接合強度を持つEASWは、アーク溶接と機械的接合を組み合わせた接合技術で、小型のロボットを使えるという利点がある。

(資料提供：(株)神戸製鋼所)

ヨーロッパから広がったマルチマテリアル化

「自動車は鉄の塊」と言われることがある。自動車では、ボディの骨格やパネルに多くの鉄鋼材料が使用されてきた。鉄鋼材料は、優れた強度、長寿命、コストパフォーマンスの高さなど他材料にない特徴を持つ。

近年、地球温暖化問題が深刻化したのをきっかけに、燃費向上、排ガス規制対応のために、自動車軽量化の要請が高まっている。一方、自動車事故に対する安全強化や、IT装備の搭載、EVやハイブリッド車に必要な装備の搭載などにより、車両は重くなる傾向にあり、これに応えるためにも、軽量化の技術開発は不可欠である。

軽量化のニーズが高まるにつれ、鉄鋼材料を高強度化した高張力鋼（ハイテン鋼）が開発され、薄肉で軽量の部材が多く使われるようになった。最近ではボディに使われる超ハイテン鋼は1.5 GPa級まで実用化され、これを用いた新しい自動車の設計が現実のものとなっている。

日本では、高強度化した鉄鋼材料でボディを構成するのが主流であるが、欧米では、車体の軽量化を図るために、鉄以外の材料を使用する取り組みが以前から進められてきた。たとえ

ば1990年代から2000年代前半には、ヨーロッパを中心に高級車にフルアルミボディを採用することが大きなトレンドとなり、1994年には、従来からあるモノコックボディではなく、アルミ構造に適したスペースフレーム方式のAudi A8が発表された。これ以外にも、自動車の中の使用箇所に応じて最適な素材を採用した自動車が多く登場するようになった。いわゆる「マルチマテリアル化」であり、欧米の高級車や車両の重い自動車でもマルチマテリアル化が進んでいる。ここ数年、日本やアジアなどでもマルチマテリアル化が進められており、ドイツなどヨーロッパで開発された接合技術が導入され、広く普及している。

鉄鋼材料とアルミニウム合金を接合する

自動車で多く見られるマルチマテリアル化と言えば、鉄鋼材料とアルミニウム合金との組み合わせである。これまで自動車製造で鉄鋼材料同士を接合する場合、ほとんどは溶接によって組み立てられ、ボディ骨格では抵抗スポット溶接、シャーシではアーク溶接法などが適用されてきた。しかし鉄鋼材料とアルミニウム合金を溶接すると、脆い金属間化合物が生成してしまい、接合部の強度は得られない。

溶接以外で研究が進められている接合技術に、摩擦攪拌接合 (FSW:Friction Stir Welding)がある。FSWでは、材料を溶融させず固相のまま接合する。接合ツールを回転させながら材料中に挿入し、ツールと材料との間で発生する摩擦熱と材料の加工発熱によって、軟らかくなった材料がツール周りを流動し、攪拌することにより接合する。さらに自動車ボディパネルの抵抗スポット溶接に替わる技術として開発されたのが、摩擦攪拌点接合 (FSSW:Friction Stir Spot Welding)技術である (図1)。材料の上からツールを挿入し摩擦熱により材料を軟化、攪拌して、両方の材料を接合するが、溶接と違い低温で接合できるため、接合部の脆化を抑制することができる。

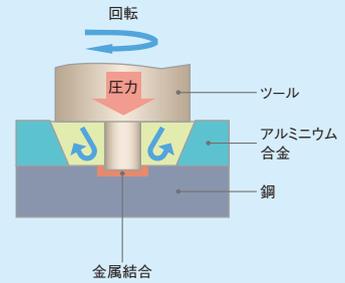
代表的な機械的接合、SPRとFDS

このほかにも自動車に適用される異種材料接合技術には多くの種類があるが、金属結合を利用する溶接系接合法の実用化例は極めて少なく、機械的接合と接着剤の併用が多く採用されている。

機械的接合は、形状的な拘束や摩擦力を締結力とするもので、カシメ (金属の塑性変形を利用して材料同士をつなぎ合わせる方法) やねじを利用した接合方法である。代表的な方法にSPR (Self Piercing Rivet)がある。SPRは、穴の開いていない板材を重ね合わせ、上側から下側に向かって、パンチでリベットをダイの中に押し込んで機械的に接合する (図2)。リベットの先端は下側の板内で広がり、噛合い代により接合強度を確保する。上側の板には穴が開くが、下側の板に穴は開かない。そのため、接合部の水密性が保たれ、設計の自由度が高いという特徴がある。SPRは元々、建材で鉄同士を接合

● FSSWの異種材料接合メカニズム (図1)

FSWは接合ツールを回転させながら材料中に挿入し、軟らかくなった材料がツール周りを流動し、攪拌することにより接合する。FSWを点接合にしたFSSWは、抵抗スポット溶接に替わる技術として開発された。



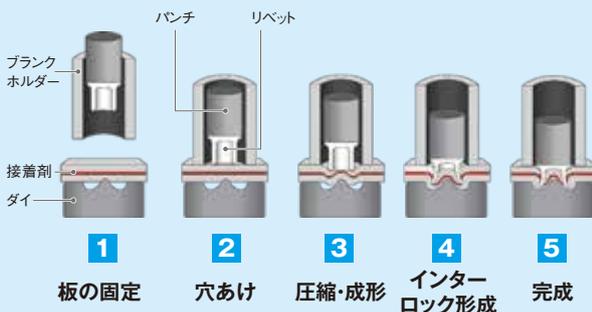
する目的で開発された。その後、一般産業向けにアルミニウム合金同士や鋼とアルミニウム合金とを接合する技術として適用が拡大し、1990年代には自動車製造でも適用されるようになった。

1994年発売のAudi A8への採用が、SPRの本格的な普及のきっかけとなった。オールアルミボディのAudi A8では、アルミニウム合金製の押出材やダイカスト部品を使用し、従来の鋼製ボディに比べ約40%の軽量化が図れ、約1,100点のSPRが使用された。鋼とアルミニウム合金の接合の例として、2003年発売のBMW5シリーズE60がある。軽量化のためフロント部にアルミニウム合金を多く使用し、鋼製部材との接合にSPRを多用したハイブリッド構造を採用して注目を集めた。現在SPRシステムはすでに世界で1万台以上が稼働し、年間約80億個のリベットが消費されている (2018年度) (図3)。

同じ機械的接合でも、ねじをエレメントとして利用したFDS (Flow Drill Screw)の適用も近年数多く見られる。FDSは、先端の尖った特殊形状のねじを高速・高荷重で材料表面で

● SPRの接合プロセス (図2)

1 重ね合わせた板をダイにセットし、2 3 パンチでリベットを上から下へ押しこむ。4 下側の板内でリベットの先端が広がり噛合い、接合される。



● SPRによる接合風景と使用されるリベット (図3)

SPRは、全世界で年間約80億個のリベットが消費されているといわれる。1台の自動車で2,000箇所以上適用された例もある。自動車材料により最適なリベットの開発がすすめられ、ハイテン材への対応も進められている。



リベット

SPR接合風景

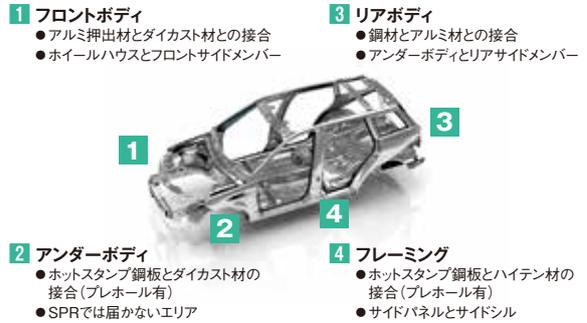
(資料提供: アトラスコプロ(株))

● FDSの接合プロセス(図4)

- 1 ねじを高速回転させて材料を加熱し、
- 2 柔らかくなった材料をねじが貫通し、
- 3 4 ねじ山を生成し、5 6 ねじを締め付ける。



● FDSの自動車適用箇所の例(図5)



(資料提供：アトラスコプロ(株))

回転させることにより、材料を塑性流動させ、貫通して、ねじ山を生成し、材料を締め付ける技術である(図4)。FDSは片側から接合できるのが大きな特徴で、スポット溶接のように板の両側から挟み込む必要がなく、パイプなどの閉断面構造に対しても一方向の接合が可能となる。またダイカスト材など、厚手材料の接合を行うことができるメリットもある(図5)。

ところで、異種材料接合で気をつけなければならないのが電食対策である。鉄鋼材料とアルミニウム合金のように導電性を持つ異種の材料が接する場合、電位差により片方の材料(鉄鋼とアルミニウム合金の場合にはアルミニウム合金側)で腐食が進行する。これを防ぐために最も重要なのは接触面に水分を寄せ付けけないことである。機械的接合を異種金属の接合に適用する場合には、前もって接着剤を接合面に塗布することにより、接合時に接着剤が広がり、接触面を瞬間的にシールすることが可能であり、電食防止の点でも有利である。

超ハイテン化に適した新しい接合技術

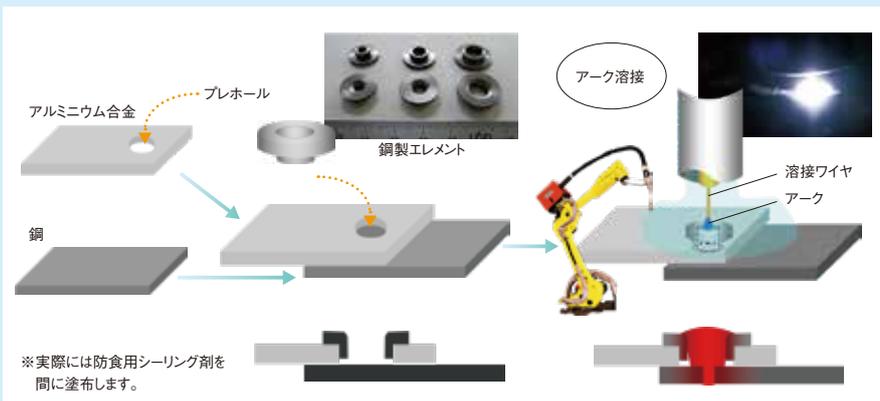
近年、自動車用鉄鋼材料のさらなる高強度化が進んでおり、冷間成形鋼板、熱間成形鋼板ともに引張強度が1.5 GPa級まで実用化されている。しかし高強度になったことにより、カシメや穴を開けたりする既存の機械締結型の接合技術では、鋼板の塑性変形や貫通させることが難しくなる。そこで、超ハイテン鋼に適した新たな接合技術へのニーズが高まっている。

その一例として、(株)神戸製鋼所が開発したEASW(Element Arc Spot Welding)を紹介する。

EASWでは、穴あけしたアルミニウム合金板を鋼板の上に重ね、アルミニウム合金板の穴あけ部に鋼製エレメント(リベット)を差し込み、鋼製エレメントの中央穴部に溶接ワイヤを送り込みながらアーク溶接を行い、鋼製エレメントと鋼板を強固に接合する(図6)。アーク溶接するのは鋼板と鋼製エレメントで、

● EASWの接合プロセス(図6)

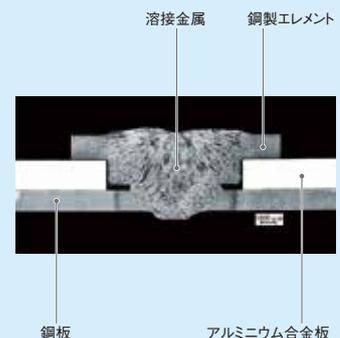
予め穴あけしたアルミニウム合金板を鋼板に重ね、上から鋼製エレメントを差し込み、鋼製エレメントの中央穴にアーク溶接を行って、鋼板と鋼製エレメントとを接合する。



※実際には防食用シーリング剤を間に塗布します。

● EASWの断面(図7)

鋼板と鋼製エレメントは溶接され、アルミニウム合金板は機械的に固定されている。

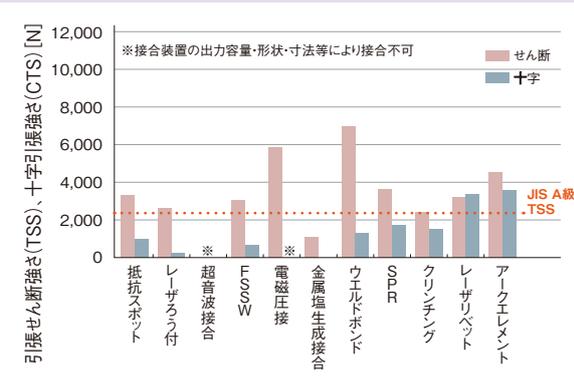


(資料提供：(株)神戸製鋼所)

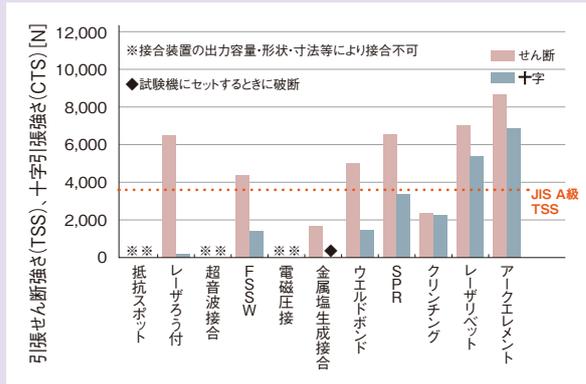
● アルミニウム合金板/鋼板の異種材接合継手の引張せん断強さ (TSS) と十字引張強さ (CTS) の比較

経済産業省で策定された未来開拓プロジェクトの一つである「革新的新構造材料等研究開発プロジェクト」でも、自動車軽量化に貢献する構造材料の材料開発とともに、各種の材料を適材適所に採用するマルチマテリアル構造に対応する接合技術開発を行っている。当プロジェクトにおいて、各種の異種材料接合の継手性能の比較を行い、アルミニウム合金板/鋼板のパネル2枚組と骨格2枚組において引張せん断強さ (TSS) と十字引張強さ (CTS) を比較した。骨格においてSPRやアークエレメント (EASW) は、JIS A級をクリアしている。

● パネル2枚組 A5052_1.2 mm/SPCC-GA_0.8 mmの場合 (図8)



● 骨格2枚組 A5052_2.0 mm/980DP-GA_1.4 mmの場合 (図9)



(出典：平田：異材接合継手の性能比較 —NEDO/ISMAプロジェクトにおける接合技術開発(2)—、溶接学会誌、Vol89 (2020) No.3、pp11-19)

同じ鉄同士のため接合強度が高い。これらがアルミニウム合金板を挟み込んで固定する (図7)。

EASWの最大の特徴は、接合強度が高いことである。接合継手の強度は、せん断 (水平方向)、剥離 (垂直方向) のどちらも優れ、数ある異種材料接合技術の中では極めて高い。経済産業省による「革新的新構造材料等研究開発プロジェクト*」においても、各種の異種材料接合の中で接合強度に優れることが明らかになった (図8、9)。とくに超ハイテン鋼の接合で高い強度が得られることは大きな特徴である。

また材料の板を、電極や金型で挟む必要がなく、板の片側から接合ができるのも大きな特徴である。これにより、板+板、板+パイプという組み合わせでも、1種類のロボットで接合でき、少ないロボット台数での生産が可能となる。なお鋼製エレメントは一般的な炭素鋼であり、鍛造で安価に生産が可能である。

自動車産業で広く適用されるため、各種接合技術のロボットシステム化が進められている。自動車メーカーでは、高い生産効率を維持しながら超ハイテン鋼を使用しなければならない。超ハイテン鋼を機械的接合するには大きな負荷がかかるため、そのツールを搭載するロボットはどうしても巨大化する傾向にある。しかしながら生産ライン内の限られたスペースに収めようとすると、

ロボットはできるだけコンパクトにしたいという要望がある。

EASWにおいては、通常のアーク溶接ロボットを活用したシステムが検討されている。これは、予めアルミニウム合金板に穴を開けておき、ロボットはアーム先端の画像センサーによって穴の位置を瞬時に感知し、鋼製エレメントを正確な位置に設置し、溶接を行うものである (ロボットはファナック (株) が開発)。ロボットシステムにおいては、画像センサーによる接合箇所的位置検出や、ロボットの正確な移動、加圧、エレメントの送給と嵌合、アーク溶接、といった一連の動作を高速かつ自動で行う。現在、実用化を目指してさらなる研究が進められている。

現在、世界の自動車業界は100年に1度ともいわれる変革期を迎えている。EV、自動運転、コネクテッドカーなどの開発がクローズアップされ、マルチマテリアル化の取り組みは、ややトーンダウンしている印象もある。

しかし自動車にとって、燃費規制対応に直結する軽量化は永遠のテーマである。今後さらに軽量化のためのマルチマテリアル化が進めば、信頼できる接合技術の開発は重要となる。世界の多くの企業や研究機関が、様々なアイデアを出し異種材料接合を生み出している。次世代の自動車にどんな接合技術が採用されていくか興味深い。

*革新的新構造材料等研究開発プロジェクト:2013年度から開始したプロジェクトで、輸送機器の軽量化を通してエネルギーを節約し、CO₂排出量を削減することを目指している。

●取材協力 アトラスコプコ(株)、(株)神戸製鋼所
●文 杉山香里