

# 自動車ボディにおける鋼板とアルミニウム合金板との異種金属接合技術

## Dissimilar Metal Joining Technologies for Steel Sheet and Aluminum Alloy Sheet in Auto Body

崎山 達也*	村山 元	内藤 恭章	才田 健二
Tatsuya SAKIYAMA	Gen MURAYAMA	Yasuaki NAITO	Kenji SAITA
宮崎 康信	及川 初彦	野瀬 哲郎	
Yasunobu MIYAZAKI	Hatsuhiko OIKAWA	Tetsuro NOSE	

### 抄 録

自動車車体では衝突安全性向上と軽量化要求を同時に満足させるため、アルミニウム合金板を部分的に適用したマルチマテリアル車体が検討される。本稿では、マルチマテリアル車体で必須となる鋼板とアルミニウム合金板の異種金属接合技術について述べた。スポット溶接では、接合界面で脆弱なFe-Al金属間化合物層が生成されるのを抑制するため、短時間通電を行い、継手強度を調べた。機械的接合法に関しては、自動車におけるSPR、Tog-L-Loc<sup>®</sup>、TOX<sup>®</sup>、FDS<sup>®</sup>などの適用状況を概説した後、ブラインドリベットの実適用事例を紹介し、またSPRによる冷間圧延鋼板と6000系アルミニウム合金板との継手強度検討結果について述べた。接着では、最近の自動車用接着剤を用い、冷間圧延軟鋼板と6000系アルミニウム合金板の板組みで、20MPa以上のTSSが得られることを示した。FSSWでは、スーパーダイマ<sup>®</sup>鋼板と6000系アルミニウム合金板の板組みで、継手強度に及ぼす保持時間、回転数、めっき層の影響を明確にした。また、レーザーろう付では、ふっ化物系のノコロック<sup>®</sup>フラックスを練り込んだアルミニウム合金ろう(A4043)を用いることにより、冷間圧延およびGA軟鋼板と6000系アルミニウム合金板との接合が可能であることを示した。最後に、過去の経緯を踏まえながら、今後必要とされる接合技術開発の方向性について述べた。

### Abstract

Multi-material structure of auto body partially employing aluminum alloy sheets may be adopted in order to satisfy requests at the same time improving crash safety and lightweight. This paper described the dissimilar metal joining technologies required to achieve multi-material structure. In resistance spot welding, high current & short time welding condition is conducted to avoid formation of brittle Fe-Al intermetallic compound layer at joint interface and joint strength is investigated. In mechanical joining, current application situation of SPR, Tog-L-Loc<sup>®</sup>, TOX<sup>®</sup> and FDS<sup>®</sup> methods are outlined and application examples of Blind rivet in automobile body are introduced. In addition to that, joint strengths in shear direction of SPR joints for cold rolled steel sheets and 6000 series aluminum alloy sheets are described. In adhesion bonding, it was shown that joint strength of TSS over 20 MPa is obtained by using of recent adhesive for automobile in sheet combinations of cold rolled mild steel sheets and 6000series aluminum alloy sheets. In FSSW, effects of holding time, rotating speed and coating layer on joint strength were clarified in sheet combinations of Super Dyma<sup>®</sup> steel sheets and 6000 series aluminum alloy sheets. Also, in laser brazing, it was shown that joining of cold rolled or GA mild steel sheets and 6000 series aluminum alloy sheets are possible by using 4000 series aluminum alloy filler (A4043) with fluoride type NOCOLOK<sup>®</sup> flux. Finally, direction of development needed in the future in the field of dissimilar metal joining technologies of steel and aluminum alloy was described based on past development history.

### 1. 緒 言

現在、エネルギー、造船、航空機、鉄道車両、自動車、家

電等、様々な分野で、地球温暖化防止に対する対策が取られており、自動車分野でもCO<sub>2</sub>排出量削減を目的として、車体軽量化に対する取り組みが積極的に行われている<sup>1-3)</sup>。

\* 鉄鋼研究所 接合研究センター 主任研究員 千葉県富津市新富20-1 〒293-8511

車体軽量化で最も積極的に取り組まれてきたのは、自動車部品への高強度鋼板（590～1470MPa級）の適用である<sup>4)5)</sup>。衝突安全性向上のニーズもあり、かなりの量の高強度鋼板が適用され、衝突安全性が向上するとともに、板厚低減によって軽量化も達成された。高強度鋼板を極限まで使いこなし軽量化は今後も進められていくと考えられるが、部材の剛性を考慮すると、板厚低減による軽量化にも限界があり、現行に比べ30%以上の軽量化が必要となった場合には、軽量素材を部分的に用いたマルチマテリアル化も視野に入れる必要性が出てくる<sup>6)</sup>。

軽量化を達成する材料としては、アルミニウム合金、マグネシウム合金、プラスチック、CFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastic）等があるが<sup>3)</sup>、従来の使用実績とコストを考えると、筆頭候補になるのはアルミニウム合金であろう。しかし、アルミニウム合金は、コストや構造用素材としての特性を考慮すると、必要とされる部位への部分的適用、すなわち“適材適所”が最も効果的であると考えられる。この理由から、例えば、車体ではフードやトランク、ドア、ルーフ等、強度があまり必要とされない部位に適用されてきた<sup>7)</sup>。アルミニウム合金が部分的に使用される場合には、鋼とアルミニウム合金の異種金属接合技術が必要となる。

従来、鋼とアルミニウム合金の接合法としては、溶融接合法（スポット溶接、シーム溶接、アーク溶接等）、固相接合（爆発圧接、摩擦圧接、電磁圧接、圧延接合、拡散接合等）、ろう付（バーナーろう付、アークろう付、レーザーろう付等）、機械的接合法（SPR（Self-Pierce Riveting）、TOX<sup>®</sup>、FDS<sup>®</sup>（Flow Drill Screw）、ブラインドリベット等）、接着等が検討され<sup>8)</sup>、また、めっきやインサート材を用いた接合法も検討されている<sup>9)</sup>。温度を上げる接合法では、接合界面に脆弱な金属間化合物（IMC：Inter Metallic Compound）層が生成され、高い継手強度が得られないため、実用面では、まず金属間化合物層の生成がない機械的接合法が注目された。

一方、異なる金属同士が接触すると、イオン化傾向の差による異種金属接触腐食が起るため、接着との併用が行われた<sup>10)</sup>。その結果、機械的接合+接着がいち早く実用化され、現在でも主流となっている<sup>6)</sup>。一方、固相接合でも金属間化合物層の生成を抑制することが可能であることから、摩擦圧接によるプロペラシャフトの接合が<sup>11)</sup>、またFSSW（Friction Stir Spot Welding）によるハッチバックドアの接合が実用化された<sup>12)</sup>。このように、従来困難とされた鋼とアルミニウム合金の接合に対して、様々な方法を用いた技術開発が行われたが、近年、車体軽量化に対する強いニーズから、再びこれら技術に対するニーズが高まっている。本稿では、鋼とアルミニウム合金の接合技術として有力視される、スポット溶接、機械的接合、接着、FSSW、レーザーろう付に関して、最近の研究結果と実車での適用状

況について紹介する。

## 2. スポット溶接

鋼板とアルミニウム合金板とのスポット溶接では、溶接時に界面に形成される非常に脆い金属間化合物（IMC）が問題となる<sup>13)</sup>。この存在により、継手強度、特に剥離方向の十字引張強さ（CTS：Cross tension strength）が低い値を示すため、現在の自動車車体ではSPRやTOX<sup>®</sup>等の機械的接合と、接着剤を組み合わせた接合方法が主流となっている<sup>7)</sup>。本章では、板厚0.8mmのGA軟鋼板（合金化溶融亜鉛めっき軟鋼板）と板厚1.0mmの6000系アルミニウム合金板の重ねスポット溶接における溶接性や継手強度について検討した。

溶接機としてエア加圧式、定格容量150kVAの単相整流溶接機（電源周波数50Hz）を、電極には先端径8mmのクロム銅製DR形電極を用いた。用いた溶接条件は、スクイズ時間70cycles、アップスローブ時間2cycles、通電時間3cycles、保持時間20cycles、加圧力は5.89kNである。

図1に溶接電流値とCTSの関係を示す。溶接可能な電流範囲でのCTSは平均値で約0.7kN/spotとなった。図示した溶接可能電流範囲より低い電流値では未溶接状態となり、高い電流値ではアルミニウム合金板と電極が溶着した。また、溶接可能電流範囲は1.0kA未満であるが、この範囲での破断形態はすべてアルミニウム合金板側でのプラグ破断となった。図2に十字引張試験で得られた試験体のプラグ径とCTSの関係を示す。プラグ径とCTSの相関は不明瞭である。

CTSは、下記の(1)式で表わされる<sup>14)</sup>。

$$CTS = B \cdot t \cdot (\pi \cdot FDc) \cdot TS \cdot \sin \theta \quad (1)$$

B：係数

t：板厚

FDc：プラグ径

TS：素材の引張強さ

$\theta$ ：破断直前の破断部の素材の変形角

ここでtは、破断部の板厚（プラグ厚）である。図3に十字引張試験後の溶接部の断面マクロ観察結果を示すが、プラグの厚みはアルミニウム合金板母材厚の25%程度と

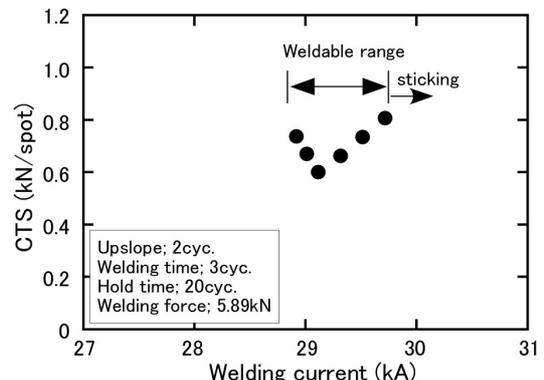


図1 溶接電流値とCTSの関係  
Dependence of cross tension strength on welding current

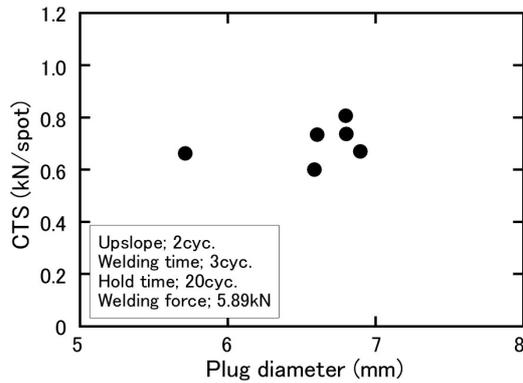


図2 プラグ径とCTSの関係

Dependence of cross tension strength on plug diameter

図3 引張試験後の溶接部断面マクロ写真(溶接電流29.5kA)  
Macro cross section of spot weld after cross tension test (welding current 29.5kA)

なっていることが分かる。このように鋼板とアルミニウム合金のスポット溶接では、アルミニウム合金の減肉が激しいことから、継手強度は単にプラグ径だけでは整理できず、プラグ厚も考慮する必要がある。

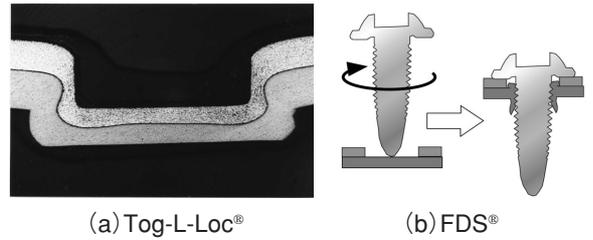
### 3. 機械的接合

#### 3.1 機械的接合法の動向

機械的接合法には種々あるが<sup>15)</sup>、自動車分野では従来から使われてきたボルト・ナット、ねじ等に加え、近年ではSPR、ブラインドリベット、TOX<sup>®</sup>、Tog-L-Loc<sup>®</sup>やFDS<sup>®</sup>が適用されている<sup>6, 16-19)</sup>。機械的接合法は、接合部の品質が良く自動化が可能のため、SPRやTOX<sup>®</sup>の適用が検討され<sup>20-23)</sup>、いち早く高級車等で実用化されてきた。

SPRは継手強度は高いが、表面への損傷が大きいため、主に継手強度が必要とされる部位に適用される。ブラインドリベットは、片側からのアクセスが可能で損傷が少なく継手強度も高い。SPRやブラインドリベットでは高い継手強度が得られるが、リベットのコストが相対的に高く、また後者では事前の穴あけが必要という欠点もある。

これに対して、TOX<sup>®</sup>やTog-L-Loc<sup>®</sup>は、ポンチとダイスで加圧して板同士をかして接合する技術である<sup>17)</sup>。継手強度はあまり高くないが、表面への損傷が少ないため外観や耐食性が必要な部位に適用される。また、最近提案されたFDS<sup>®</sup>は、ねじを高速回転させて押し込むことにより摩擦熱でねじと母材とを溶着させる方法である<sup>6)</sup>。Tog-L-Loc<sup>®</sup>でGA軟鋼板と6000系アルミニウム合金板を接合し

図4 鋼板とアルミニウム合金板の機械的接合法の例  
Examples of mechanical joint for steel sheet and aluminum alloy sheet

た時の断面マクロ構造を図4 (a)に、また、FDS<sup>®</sup>の接合過程を図4 (b)に示す。TOX<sup>®</sup>やFDS<sup>®</sup>は、マルチマテリアル化の代表とされるAudiの車体で使い分けられている<sup>6)</sup>。

各種異種金属接合法における継手強度を図5に示す<sup>24)</sup>。なお、図5において、Fは冷間圧延(以下冷延)軟鋼板、A2は5000系のアルミニウム合金板、F(A)はアルミめっき軟鋼板、FAはアルミクラッド鋼板、SPはスポット溶接、MCはTog-L-Loc<sup>®</sup>接合、SRはSPR接合、RJはリベット接合、ADは接着接合を示す。これらの機械的接合法は、スポット溶接の欠点を補う目的で使用されているが、静的強度や疲労強度の向上、異種金属接触による耐食性劣化防止のために接着との併用も行われ、すでに実用化されている。

機械的接合法は、BMW、Daimler、Audi等の欧州自動車メーカーがアルミニウム合金板や異材の接合で適用し<sup>6, 25, 26)</sup>、日本メーカーも使用している<sup>27, 28)</sup>。今後、マルチマテリアル化が進むと、熔融溶接を適用できない異種金属接合箇所については、機械的接合法やその接着との併用がさらに進むと考える<sup>6)</sup>。以下、国産車で見られたブラインドリベットの使用例を紹介し、SPR継手の強度特性について述べる。

#### 3.2 ブラインドリベットの適用例

別論文(本号“自動車ボディの接合技術における最近の課題とその対策技術—後編”)で示したように、ブラインドリベットは事前の穴あけが必要という欠点とリベット分の質量増加とコスト増が発生するが、片側アクセスが可能で損傷も少なく、継手強度はスポット溶接に比べて遜色がない。特に鋼板とアルミニウム合金板との異種金属接合において、高い継手強度を要求される場合、脆い金属間化合物が生成しないリベットによる接合は魅力的であり、必要に応じて選択されるべきものと考えられる。図6に、RX-8<sup>®</sup>のアルミニウム合金製リアドアにおいて使われているリベットを示す。鋼製のドアインパクトビームの固定に使われた例である。

#### 3.3 SPR

前章で述べたように鋼板とアルミニウム合金板のスポッ

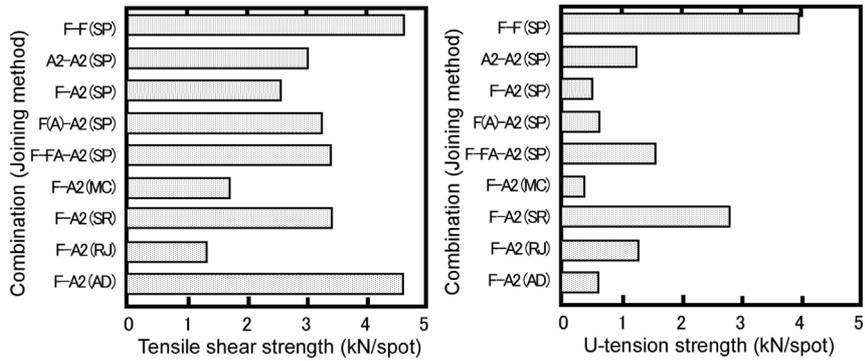


図5 鋼板とアルミニウム合金板を接合した継手の強度比較  
Comparison of joint strength of steel and aluminum alloy sheet joints

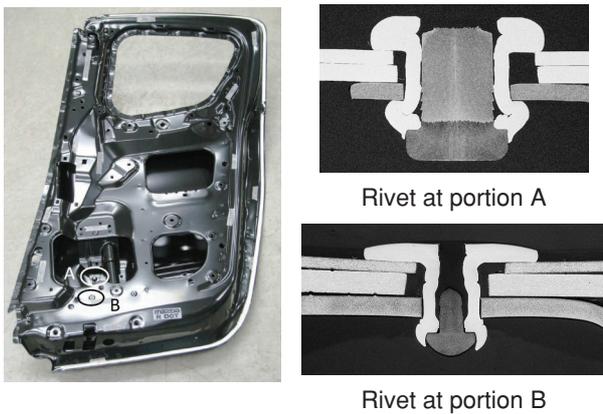


図6 アルミニウム合金ドアに使われているリベットの例  
Examples of blind rivet joints in aluminum alloy door

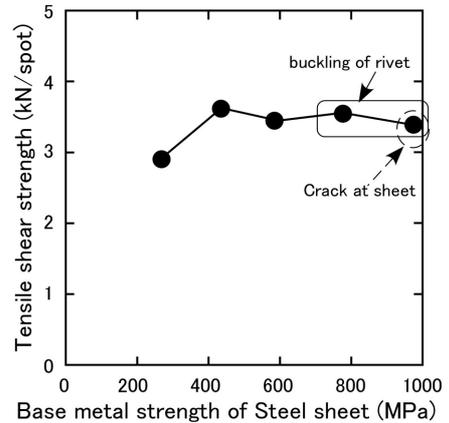


図7 各種鋼板とアルミニウム合金板とのSPR接合継手のTSS  
Tensile shear strength of SPR joints for steel sheets and aluminum alloy sheet

ト溶接では接合界面への金属間化合物の生成による継手強度低下と異種金属接触腐食が問題となるが、SPRまたは接着との併用によってこれらの問題が解決され<sup>10, 29-32)</sup>、ハイブリッド構造が実現されている。

ここでは板厚1.0mmで母材の引張強さが270~980MPaの鋼板と板厚1.2mmの6000系アルミニウム合金板を用いて作製したSPR接合継手の引張せん断強さ(TSS: Tensile shear strength)を検討した結果を紹介する。用いたリベットは直径5mmの鋼製リベットである。打釘はアルミニウム合金板から行った。図7に示すように、母材の引張強さが590MPa級までは継手のTSSは増加傾向が見られ、780MPa級以上では590MPa級とほぼ同等か微減する傾向が見られた。また、図7中に記載したように、780MPa級では図8に示すように挿入したリベットが座屈し、また980MPa級ではダイス側に配置した鋼板に割れが生じた。高強度鋼板とアルミニウム合金板の組合せでのSPR接合においては、リベットやダイスとの組み合わせ条件選定が重要であるが、本検討結果では590MPa級鋼板までは良好な継手を得られることを示した。

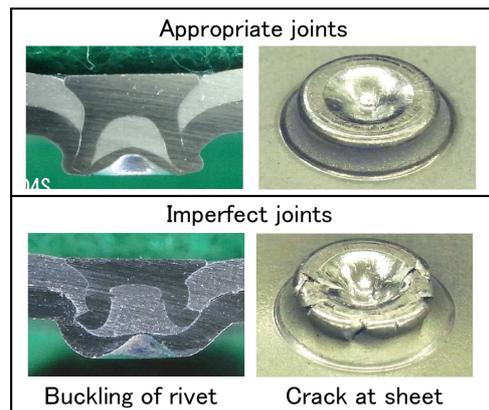


図8 SPR接合部の例  
Examples of SPR joints

#### 4. 接着接合

マルチマテリアル構造での接合方法として、接着接合は非溶融接合法の代表的なものである。ここでは、板厚0.8mmの270MPa級冷延鋼板と板厚1.2mmのアルミニウム合金板(A5182およびA6022)との接着継手にてTSSを検

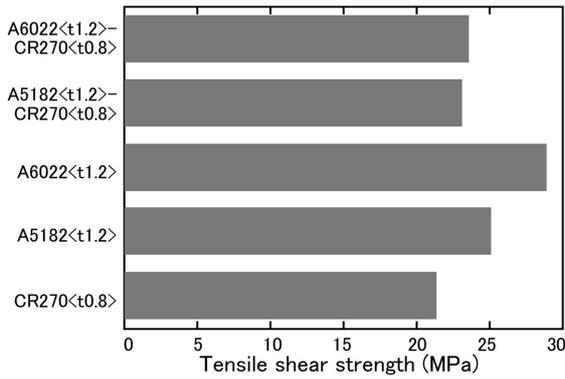


図9 鋼板とアルミニウム合金板の各種接着継手のTSS  
Tensile shear strength of adhesive joints for steel sheets and aluminum alloy sheets

討した。用いた接着剤は住友スリーエム(株)製一液加熱硬化型エポキシ系構造用接着剤である。接着継手の作成に際し、長さ100mm×幅25mm×板厚の試験片に防錆プレス油を塗布した後、塗油状態がほぼ同一条件となるように一定時間放置した。塗油後の被接合体に接着剤を塗布し、接着剤厚みを維持するため0.1mm径のステンレス鋼ワイヤを敷設して重ね代10mmで重ね合わせ、大気炉にて170℃×20分で加熱硬化させた。引張試験における引張速度は50mm/minである。

図9に各種被接合材を組み合わせたときのTSSを示す。この組合せでは全て20MPa以上の接着継手強度が得られ、その破断形態は接着剤の凝集破壊であった。なお、ここで示すTSSはせん断荷重を接着面積で除した値である。図9より接着継手のTSSは、母材の引張強さ×厚さに依存し、この積が高い素材ほど高くなる事が分かる。

### 5. FSSW (Friction Stir Spot Welding)

低入熱の固相接合法として注目を集め、アルミニウム合金同士の重ね点接合技術としては数多くの実績を有する摩擦攪拌点接合<sup>33-36)</sup>を利用して、めっき鋼板とアルミニウム合金板の異材接合を試みた。

供試材には、6000系アルミニウム合金板(板厚:1.0mm)と、スーパーダイマ®(Zn-11%Al-3%Mg-0.2%Si合金めっき鋼板、板厚:0.7mm)を用いた。接合ツールはSKD61製で、図10に示すように、ピン長0.8mm、ピン径4mmで径10mmのフラットショルダを有したものである。接合時には、アルミニウム合金を上、鋼板を下に配置して摩擦攪拌点接合を行った。ツールの挿入深さは0.9mm(ショルダ部が0.1mmアルミニウム合金板側に挿入される深さ)であり、荷重制御によりアルミニウム合金板のみを攪拌した。またツール回転速度、およびツールが設定した深さに到達した後の保持時間(以降、保持時間と表記)を変えて継手を作成した。荷重設定値は保持時間で変え、保持時間

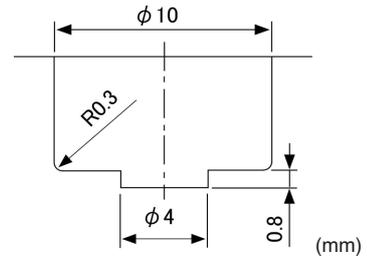


図10 接合ツール先端形状  
Schematic illustration of welding tool

1sで6.0kN、2sおよび3sでは5.5kN、4sで5.0kNとした。挿入深さに達した後、荷重一定の保持時間を設けたため、ツール挿入深さは最終的に、0.91~1.02mmとなった。

引張せん断試験を行った結果を図11に示す。保持時間よりも回転数の方が強度向上に有効であり、高回転になるほど継手強度が高くなる事が分かる。CTSを図12に示す。回転数が高く、保持時間が長くなるほど継手強度は高くなるが、最大でも0.3~0.4kNであった。なお、破断形態はいずれの場合も界面破断となった。

接合部界面の組織写真を図13に示す。中心から4mm位置までは、鋼板表面に存在していためっき層は見られな

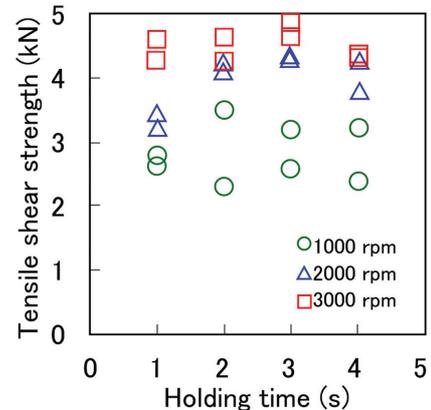


図11 引張せん断試験結果  
Effect of tool rotational speed and holding time on TSS

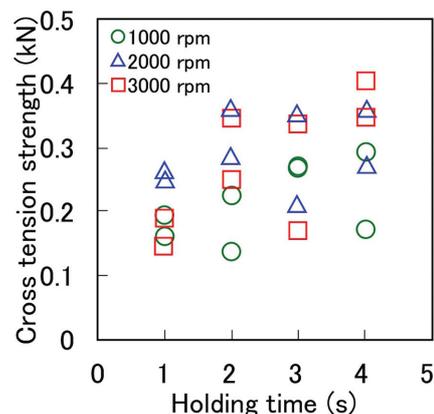


図12 十字引張試験結果  
Effect of tool rotational speed and holding time on CTS

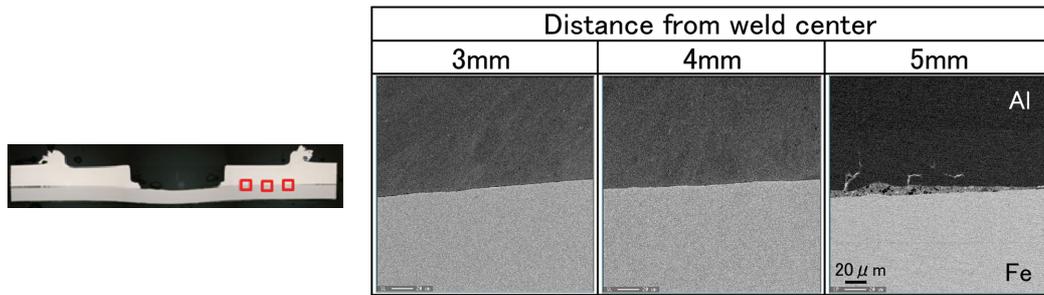


図13 継手強度が高い条件(フラットショルダ, TSS:4.2kN相当, 3000rpm-4s)における接合部界面組織の観察結果  
SEM images of the interface between Al and steel (Welding conditions: 3000rpm-4s, TSS corresponding to 4.2kN)

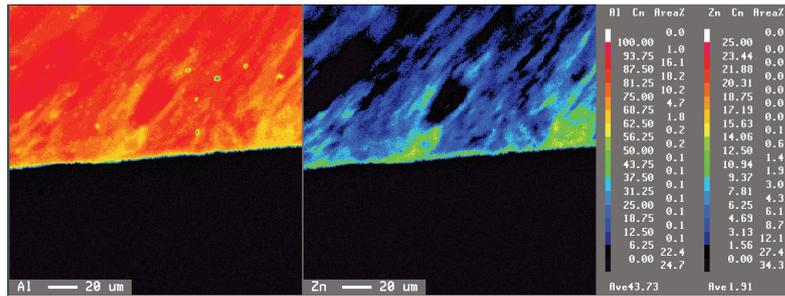


図14 中心から3mm位置における接合部界面のEPMA観察結果(継手強度が高い条件:フラットショルダ, TSS:4.2kN相当, 3000rpm-4s)  
EPMA images of interface at 3mm from the weld center (Welding conditions: 3000rpm-4s, TSS corresponding to 4.2kN)

かった。また、コントラストが異なり、アルミニウム合金側に伸びた“ひげ状”の領域が観察された。中心から5mm位置(ショルダの肩直下)では、めっき層が確認されたが、中心から5mmまでの広い範囲において、強度が低い条件および高い条件ともSEM観察では界面に金属間化合物層は確認できなかった。

継手強度が高い場合において、ひげ状に見えた領域のEPMA観察結果を図14に示す。ひげ状の部分は、めっき金属中のZnがアルミニウム合金側に固溶した部分であることが分かる。継手強度が低い場合には、このひげ状領域のZn濃度が高く、また広範囲に分布していた。さらに、破断した試験片の接合部マクロ断面において、き裂がひげ状の領域を走っている場合も観察された。従って、継手強度を高くするためには、板厚方向に薄い金属間化合物層を広範囲に得るだけでなく、接合時に、めっき金属をすみやかにアルミニウム合金板側に固溶させ、広範囲かつ均一に分散させることが重要であると推察された。

## 6. レーザろう付

鉄とアルミニウムと一緒に熔融すると、鉄とアルミニウムの脆い金属間化合物の生成が避けられないため、一般に熔融溶接は困難である。一方ろう付は母材より融点の低い金属を用いて、母材同士の間隙を埋めて接合するため、母材をほとんど熔融させないことから脆い金属間化合物の生成を避けることが可能である。ところでアルミニウムの場

合表面には強固な酸化被膜が存在するが、この酸化被膜があると、ろうがアルミニウム合金の表面に濡れていかない。また、継手強度を確保するためには、ろう材自身の強度が要求される。こうした事情から、酸化被膜を熔融除去するためにふっ化物系フラックスを用い、ろう材にはアルミニウム合金を用いたレーザーろう付を試みた。

用いたろう材は、トーヨーメタル(株)(本社、大阪府堺市)ショーラックス®(Sholux®)(表1)で、図15に示すようにノコロック®フラックスがろうに練り込まれた構造を持っている。ろう材にはAl-Si系4043を用い、比較用に同材質のソリッドワイヤとフラックスコアードワイヤ(FCW)を用いた。供試鋼板は、板厚0.8mmの合金化溶融亜鉛めっき(GA)鋼板および冷延鋼板で、ともに母材の引張強さが270MPa級の軟鋼である。アルミニウム合金には、板厚1.2mmのAl-Mg-Si系6000系アルミニウム合金板を用いた。これらを20mm重ねて、重ね隅部にろう材を供給しつつ、レーザーろう付を行った。レーザー光源は半導体レーザーであり、集光径3mmに集光して実験に供した。ろう付条件は、加工点レーザー出力4kW、加工速度2m/min、ろう材供給速度3.5m/min(1.2mm径のワイヤの場合、6m/min)である。

図16に、ろう付後の断面写真を示す。フラックスがない場合に比較して、フラックスを用いると、GA鋼板の場合および冷延鋼板の場合ともろうの濡れ性が改善され、ろう付幅が広がっていることが確認できる。また図17に示

表1 用いたろう材  
Brazing filler employed in this study

Diameter (mm)	Type of brazing filler	Flux content (%)	Flux
1.2	—	—	—
1.6	Sholux®	5	KAIF <sub>4</sub> , K <sub>2</sub> AlF <sub>5</sub> · H <sub>2</sub> O, K <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> Al : 16.0 ~ 19.5% F : 45 ~ 54.5% K : 26.5 ~ 32.5%
		7	
		12	
	18	K : 26.5 ~ 32.5%	
	FCW	12	KAIF <sub>4</sub> , K <sub>2</sub> AlF <sub>5</sub> · H <sub>2</sub> O

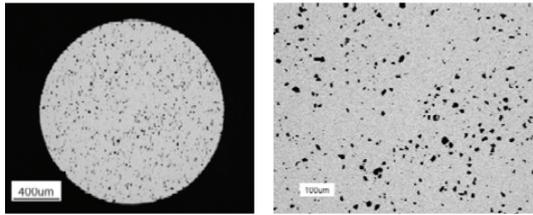


図15 ショーラックス®ろうの断面構造  
Cross-sectional structure of brazing filler "Sholux"

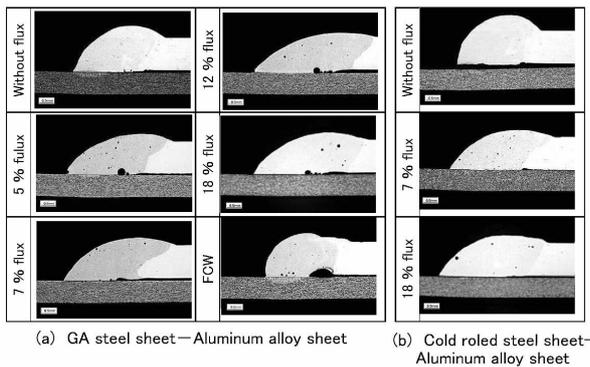


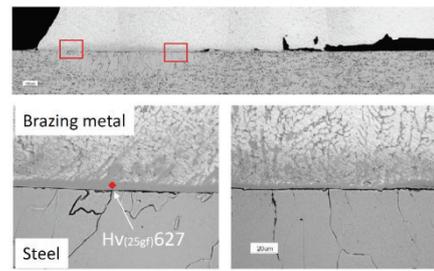
図16 ろう付部の断面  
Cross-section of brazed joint

すように、ろう付界面において、フラックスを用いると鉄とアルミニウムの金属間化合物の生成が抑制された。FCWの場合、ろう付幅の広がり認められず、フラックスが有効に働かなかったと考えられた。

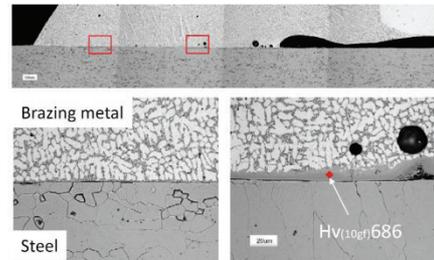
継手強度を調べるために、引張せん断試験を行った。その結果を図18に示すが、フラックスを用いると継手強度が向上することが分かる。本継手では残念ながら、ろう付界面での破断となったが、熱源をもう少し広げ、ろう付幅を広げることで界面破断は避けられると考えられる。また、フラックスを用いなかった場合の継手強度は、冷延鋼板に比較してGA鋼板で優れており、亜鉛めっきはろう付性を改善するものと考えられた。

## 7. 結 言

鋼とアルミニウム合金の接合技術としてスポット溶接、



(a) Without flux



(b) With flux of 7%

図17 フラックス有無によるろう付界面構造の違い  
Comparison of brazed interface structures without flux and with flux

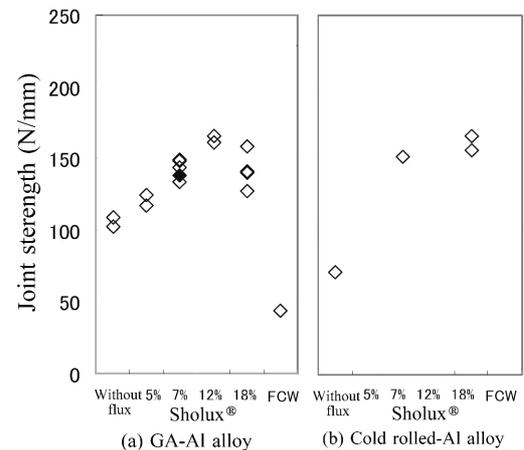


図18 ろう付継手のTSS  
Tensile shear strength of brazed joints

機械的接合、接着、FSSW、レーザろう付に関して、最近の開発・適用状況を述べた。これら技術は、20年前に、車体のアルミニウム化が叫ばれた際、積極的に検討された技術である。そして、a) 金属間化合物層の生成抑制、b) 異種金属接触腐食に対する対策の容易さから、機械的接合法+接着、FSSWが先行して実用化されてきた。しかし、スポット溶接やアーク溶接等、従来、車体で主として使われ、低コストで品質・信頼性が高い接合方法に対するニーズも依然として高い。

鋼とアルミニウム合金の接合では、上記の他にも、a) 施工面での課題、b) 接合部の変形量低減、c) 両金属の熱膨張差への対応、d) コスト低減等の課題も解決する必要性がある。今後は、こうした側面をより強く意識した開発が必要とされるであろう。

## 参考文献

- 1) 中西栄三郎:溶接学会論文集. 23 (1), 151 (2005)
- 2) 栗山幸久:溶接学会論文集. 23 (1), 157 (2005)
- 3) 保田芳輝:自動車技術. 64 (11), 4 (2010)
- 4) 高橋 学:ふえらむ. 7 (11), 34 (2002)
- 5) 末廣正芳:自動車技術. 65 (6), 23 (2011)
- 6) Proceedings of 12th EuroCarBody 2010. 2010
- 7) 大宮良信, 佐野豊和, 箕浦忠行:神戸製鋼技報. 57 (2), 2 (2007)
- 8) 今泉重威:軽金属溶接. 34 (2), 67 (1996)
- 9) 及川初彦, 斉藤 亨:軽金属溶接. 36 (8), 367 (1998)
- 10) 新時代を担う構造接着技術—Part 2 自動車技術会シンポジウム. No.9408, 1994, p. 34
- 11) 自動車の部屋—アルミ化トピックス. 日本アルミニウム協会ホームページ
- 12) 玄道俊行, 西口勝也, 麻川元康:自動車技術会学術講演会前刷集. (18-06), 2006, p. 1
- 13) 武田実佳子, 漆原 亘, 松本克史, 加藤 淳:神戸製鋼技報. 57 (2), 69 (2007)
- 14) 船川義正, 樺沢真事:十字引張強さの推定式の導出. 54, 256 (1994)
- 15) 石川晴雄, 中西栄三郎, 小島昌治, 他:軽金属溶接. 41 (8), 345 (2003)
- 16) 加藤 亨, 安部洋平, 森謙一郎:軽金属溶接. 45 (12), 553 (2007)
- 17) 安部洋平, 岸本和也, 加藤 亨, 森謙一郎:塑性と加工. 51 (593), 592 (2010)
- 18) 安部洋平, 森謙一郎, 加藤 亨:塑性と加工. 52 (603), 419 (2011)
- 19) 新版 接合技術総覧. 第8章 機械的締結. 産業技術サービスセンター, 1994, p. 613
- 20) 自動車のアルミ化技術ガイド—接合編—. 6章 機械的接合. 軽金属協会, 1991, p. 77
- 21) 安部洋平:ふえらむ. 16 (9), 32 (2011)
- 22) 加藤 亨, 森謙一郎:塑性と加工. 47 (541), 119 (2006)
- 23) 崎山達也, 宮崎康信:溶接学会秋季全国大会講演概要. 89, 58 (2011)
- 24) 谷川久男:軽金属溶接. 40 (10), 530 (2002)
- 25) 笹部誠二:溶接技術. 53 (6), 60 (2005)
- 26) Peizheng, L., 小松健, 小久保邦雄:塑性加工春季講演会講演論文集. 203 (2009)
- 27) Hoang, N., Porcard, R. et al.: Int. J. Solids Struct. 47 (3-4), 427 (2010)
- 28) 及川初彦:大阪大学学位論文. 2000, p. 232
- 29) Henn, J.: Advanced Technologies & Processes IBEC '97. 50 (1997)
- 30) Zeitzmann, D.: Advanced Technologies & Processes IBEC '97. 78 (1997)
- 31) 松村吉修, 三崎利次, 吉田智美 ほか:三菱自動車テクニカルレビュー. (18), 69 (2006)
- 32) 森 清和, 松岡 孝:アルミニウム. 15 (71), 12 (2008)
- 33) 加藤喜久生, 坂野律男:軽金属溶接. 42 (11), 8 (2004)
- 34) 藤本光生, 附柴祐一, 野村浩二:溶接学会誌. 80 (3), 227 (2011)
- 35) 藤本光生:素形材. 52 (7), 15 (2011)
- 36) 古賀信次, 瀬田良孝:溶接技術. 52 (7), 139 (2004)
- 37) 佐藤 裕, 塩田敦朗, 粉川博之, 中川成幸, 宮本健二:溶接学会全国大会講演概要. 84, 48 (2009)



崎山達也 Tatsuya SAKIYAMA  
鉄鋼研究所 接合研究センター 主任研究員  
千葉県富津市新富 20-1 〒293-8511



宮崎康信 Yasunobu MIYAZAKI  
鉄鋼研究所 接合研究センター 主幹研究員



村山 元 Gen MURAYAMA  
鉄鋼研究所 接合研究センター 主任研究員



及川初彦 Hatushiko OIKAWA  
鉄鋼研究所 接合研究センター 主幹研究員  
工博



内藤恭章 Yasuaki NAITO  
鉄鋼研究所 接合研究センター 主任研究員  
工博



野瀬哲郎 Tetsuro NOSE  
鉄鋼研究所 接合研究センター所長  
工博



才田健二 Kenji SAITA  
八幡技術研究部 主任研究員