

# 次世代電動車シャシーの信頼性向上に貢献する接合技術

## Joining Technology that Contributes to Improving the Reliability of Next-generation EV Chassis

石田 欽也\*  
Yoshinari ISHIDA

松葉 正寛  
Masahiro MATSUBA

北原 優樹  
Yuki KITAHARA

児玉 真二  
Shinji KODAMA

吉田 博司  
Hiroshi YOSHIDA

### 抄 録

次世代電動車におけるシャシー部品の信頼性向上を目的として、アーク溶接技術を基盤とした接合手法の最適化に関する最新の取り組みを紹介する。車体重量の増加に対応しつつ、軽量化や剛性、耐食性、疲労強度の確保といった課題に応えるために、疲労強度向上を図る補剛ビードの適用、高成形性 980 MPa 級鋼板の導入、ならびに塗装性・耐食性に優れた低スラグ・低スパッタワイヤを開発した。また、アーム・リンク、ラダーフレーム、サブフレームといった各構造部位に対し、構造特性に即した溶接ソリューションを提案し、実用性と生産性の両立を目指した。これらの成果は、今後の電動車シャシーの軽量化と高信頼性化に資するものである。

### Abstract

This study introduces advancements in arc welding technologies to enhance the reliability of chassis components in next-generation electric vehicles. Key developments include reinforcement beads for improved fatigue strength, high-formability 980 MPa-class steel, and low-slag, low-spatter welding wires for better corrosion resistance. Welding solutions are tailored for arms, links, ladder frames, and subframes to meet the structural demands of electrification. These approaches support both lightweight design and durability, contributing to the evolution of reliable EV chassis structures.

## 1. 緒 言

急速に推進されている排出ガス削減の取り組みの観点から、車体重量の低減が必須の課題となっており、日本製鉄(株)では高機能な高強度鋼板の開発、部材の設計・製造・評価に関するソリューションを開発し、その適用を通してニーズに応じてきた。

自動車の車体のうち、シャシー部品と呼ばれるアームやリンク、トーションビームなどのばね下部品や、サブフレームやラダーフレームなどの骨格部品には、車体の中でも比較的板厚の厚い鋼板が用いられる。これらの部品はパワーユニットや駆動系を支え、かつ路面からの入力を受け持つ役割を果たしており、長期にわたる耐久強度や剛性を必要とするからである。

走行時の CO<sub>2</sub> 排出量の削減において、電動車への転換トレンドは長期的には進むと見込まれ<sup>1,2)</sup>、高価な大容量バッテリーの搭載を前提とした車づくり、それに資する高

機能鋼板およびその使いこなし技術が求められている。車体重量の増加に対応する高剛性、高疲労強度構造、バッテリー保護のための衝突エネルギー吸収構造<sup>3)</sup>、さらには従来以上の部品コスト低減などは電動化に伴う新たな課題といえる。

シャシー部品の接合にはアーク溶接が採用されることが多い。ボディの接合で多用される抵抗スポット溶接に比べてアーク溶接は、連続溶接することができるため部材の強度・剛性を確保しやすいこと、閉断面構造の製作に適した片側アクセスでの溶接が可能なこと、板隙等の施工外乱に対する対応性が高いことなどが理由として挙げられる。しかしながら、アーク溶接部は構造上、必然的に応力集中箇所となるため<sup>4)</sup>、車重の重い電動車では従来以上に溶接部の疲労強度向上策が必要となる。また、溶接ビードの表面にはスラグの生成が不可避で、それが着着塗装不良を招き、腐食の起点となり得る<sup>5)</sup>。そこで、耐食性確保の観点から GA めっき鋼板へ転換することが考えられるものの、シャ

\* 鉄鋼研究所 接合研究部 課長 主幹研究員 千葉県富津市新富 20-1 〒293-8511

シー部品ではそれが十分に進んでいない。これは継手形式として多く用いられる重ね隅肉継手やT継手では、溶接熱で気化しためっきに起因する気孔欠陥が多発し、継手強度を低下させてしまう懸念があるためである<sup>6)</sup>。

シャシー部品に超高強度鋼板を適用し、板厚の増加抑制または最小限の板厚増にとどめ、軽量化を推進するためには、従来にも増して疲労強度を確保し、かつ耐食性を向上させ、GAめっき鋼板の適用を拡大する必要がある。そして、部材製造時の課題を解決する手法も確立することが重要と考えられる。そこで本報では、自動車のシャシー部品のアーク溶接部の疲労強度向上ならびに耐食性向上、GAめっき鋼板の適用拡大を目的に取り組んでいる最近のトピックスを紹介する。

## 2. アーム・リンク部品の接合ソリューション

アーム・リンク部品はサスペンションを構成する部品の一部で、走行性、乗り心地、安全性の観点で重要な部品である。素材には高強度鋼板が用いられることが多い。中小型車ではプレス成型による開断面構造が採用されるが、車体重量の増加に伴い剛性の観点からアーク溶接によるモノカ構造が採用される傾向にある。製造コストの観点から溶接レス化が求められており、バーリング加工を活用したブッシュ圧入部の一体成型法なども提案されている<sup>7)</sup>。また、ロアアームでは電動化に伴う車体重量の増加に対応するため、強度・剛性を確保しつつ、製造コスト低減のため極力溶接長を短くした、部分開断面構造も検討されている<sup>8)</sup>。

### 2.1 ブッシュカラー溶接部の疲労強度向上

溶接コスト削減の観点から開断面ロアアームの適用が広がると考えられるが、完全な溶接レス化には課題が残る。例えば、ブッシュが圧入されるカラーはアーム本体とアーク溶接されていることがほとんどである。図1に示す例では、アーム本体から伸びたU字状の成形部にブッシュカラーが突き当てられて溶接される。継手形式は片側T字隅肉継手で、溶接トーチのアクセス制限から突き当て部の全体を溶接することができず、溶接ビードの端部が残っている。そのため溶接ビード端部の応力集中、それに伴う疲労亀裂の発生が課題となる。

日本製鉄では、溶接ビード配置の工夫（補剛ビード）に

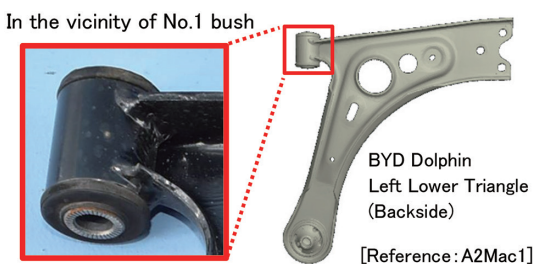


図1 開断面フロントロアアームのカラー接合部  
Joint part of bush collar in open type front lower arm

よる溶接部の疲労強度向上手法を検討しており、ここではロアアームのブッシュカラーを対象とした検討例を示す。補剛ビードとはプレス部品同士を接合するための溶接ビードに加えて、プレス部品そのものを肉盛り溶接することで当該部の板厚を部分的に増加させ、その周辺の曲げ変形を抑制し、変形に伴う応力集中を低減するものである<sup>9)</sup>。

図2に、フロントロアアームのブッシュカラーを対象に、実車を想定した荷重を作用させた際のブッシュカラー周辺の主応力分布を示す。図2(a)はフロントロアアームおよび補剛ビードのシェル要素モデル、(b)は補剛ビードの詳細形状、(c)は補剛ビード無しの応力分布、(d)は補剛ビード有りの応力分布を示す。

補剛ビードが無い場合、溶接端部に491MPaの高応力が発生する。一方、この応力集中箇所を起点とした補剛ビードを付与することで溶接端部の応力は357MPaになり約20%低下することを確認した。また、溶接条件（クレータ条件）を工夫して緩やかな形状とすることで補剛ビードの終端部の応力集中も発生しなかった。

このような溶接ビード配置の工夫は捨てビードとも呼ばれ、実車開発工程の後期で溶接部の疲労強度不足が顕在化した場合の対策として検討されることがあるが、設計段階から予め対応策を検討することで手戻りのない開発が可能となり、開発工期の短縮に寄与すると考えられる。

### 2.2 新開発980MPa級熱延高成形性鋼板の溶接部性能

前述のとおり、アーム・リンク部品では高強度の熱延鋼板が使用される。現状は780MPa級鋼板の適用が多いが、980MPa級鋼板の適用が増えつつある。日本製鉄では、良好な延性および伸びフランジ性を有し、アーム・リンク部品に適した980MPa級熱延高成形性鋼板（以下、HR980

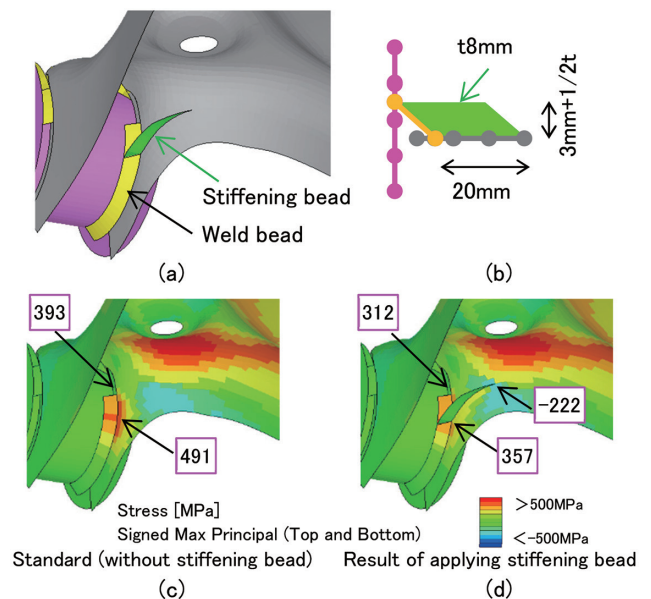


図2 カラー周辺の解析モデルと最大主応力の分布  
CAE model around the collar and distribution of maximum principal stress

	After electro-deposition coating (Coating thickness=25 μm)	After corrosion test (JASO M609 120cycles)
Standard wire (YM-24T) Standard Shield (Ar+20%CO <sub>2</sub> )	Coating defective rate : 11.6% 10mm Weld bead Coating defect	Rust rate : 41%
Low-slag wire (YM-TX) Standard Shield (Ar+20%CO <sub>2</sub> )	Coating defective rate : 2.4%	Rust rate : 14%
Low-slag wire (YM-TX) Low-CO <sub>2</sub> Shield (Ar+5%CO <sub>2</sub> )	Coating defective rate : 0.11%	Rust rate : 0.9%

図3 溶接部の電着塗装後外観性および腐食外観  
Weld bead appearance after electro-deposition coating and the corrosion test

HF)を開発した<sup>9)</sup>。以下では、日本製鉄の溶接技術を活用したHR980HFの溶接部の基礎性能として、溶接部の疲労強度、塗装後耐食性の評価結果を示す。

### 2.2.1 HR980HFの溶接部の耐食性

製造コスト低減のため溶接レス化のニーズが高いが、電動化に伴う車体重量増加に対応するためには、強度や剛性の確保に有利な閉断面構造が採用されることがある。閉断面面口アームはコの字状にプレス成形された上下部品を嵌め合わせて溶接接合されるが、閉断面構造に比べて比較的薄い高強度鋼板が適用されるため、腐食に伴う減肉を防ぐため溶接部の耐食性が重要な課題となる。

溶接部の腐食の原因は、非導電性の溶接スラグによる電着塗装不良であり、スラグ生成抑制のための低CO<sub>2</sub>シールドガス<sup>10,11)</sup>や低スラグワイヤ<sup>12,13)</sup>、後処理によるスラグ除去技術などが提案されている。日本製鉄では、溶接ワイヤ成分のSiレス化によるスラグ生成のミニマム化、スラグへの導電性付与を基本コンセプトとする低スラグソリッドワイヤ“YM-TX”を開発し<sup>14)</sup>、すでに需要家にて採用されている。

図3に、HR980HF(板厚2.6mm)の溶接部の電着塗装後の外観および複合サイクル腐食試験後の外観を示す。直流パルス溶接モードで重ね隅肉継手を作製し、標準ワイヤ(YM-24T)、低スラグワイヤ(YM-TX)およびシールドガスのCO<sub>2</sub>混合率の影響を比較した。電着塗装後外観では塗装不良部の面積を溶接ビードの面積で除した値を塗装不良率、腐食試験後外観では赤錆面積を溶接ビードの面積で除した値を赤錆面積率として各々の指標とした。

標準ワイヤの塗装不良率は10%超であったのに対して低スラグワイヤ(YM-TX)では2%程度まで低下した。さらに、シールドガスをAr+5%CO<sub>2</sub>とすると塗装不良率は1%未満となった。また、赤錆発生状況は標準ワイヤに対して低ス

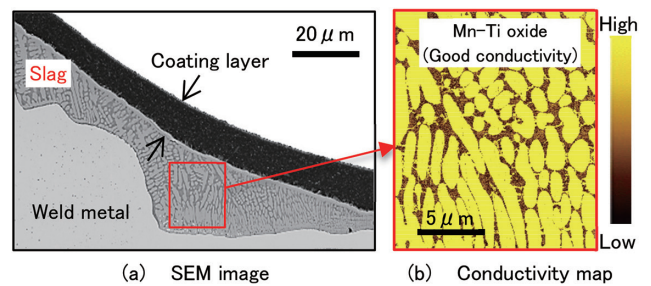


図4 スラグ断面のSPM分析結果  
SPM analysis result of slag cross section

ラグワイヤでは約1/3程度の赤錆面積率となり、さらに、シールドガスのCO<sub>2</sub>混合率を下げることで赤錆面積率が大幅に低下した。

図4に電着塗膜形成部のSEM画像および走査型プローブ顕微鏡によるCITS(Current Imaging Tunneling Spectroscopy)画像を示す<sup>15)</sup>。CITSは各測定点の電流強度を示すもので導電性の指標となる。別途調査した塗装不良部のスラグは非晶質のSi-Mn系酸化物が主体で導電性を一切示さなかったが、塗膜形成部のスラグは複数の酸化物で構成され、Mn<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub>であることが判った。電着塗膜の形成に必要な導電性は、このMn-Ti系酸化物がスラグの導電性に寄与することを確認した。

### 2.2.2 HR980HFの溶接部の疲労強度

アーク溶接部の疲労強度に影響を及ぼす因子として、溶接残留応力、形状による応力集中、亀裂発生部のマイクロ組織などが挙げられる。疲労強度向上手段として、ショットピーニングや超音波衝撃処理技術(UIT: Ultrasonic Impact Treatment)<sup>16)</sup>等の圧縮残留応力の付与、プラズマ・アークハイブリッド溶接技術<sup>10,17)</sup>や“MX-MIG”プロセス<sup>18)</sup>等の扁平な溶接ビード形状を得るためのアーク溶接プロセス、また、溶接ワイヤの高強度化<sup>5)</sup>などが提案されている。

しかしながら、いずれの手法も製造コストの増加につな

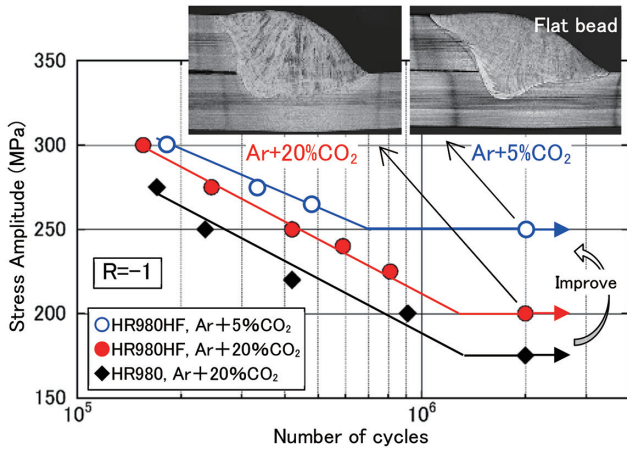


図5 980MPa級熱延鋼板の疲労特性  
S-N characteristics of 980MPa class hot-rolled steel sheet

がるため自動車部品として広く採用されるには至っておらず、前述の補剛ビードのような現状の生産工程や設備を前提とした疲労強度の向上策が望まれている。

ここでは、HR980HFの利点として溶接部の疲労強度の向上効果について、溶接部の耐食性確保の観点から溶接ワイヤには低スラグワイヤ(YM-TX)を用い、重ね隅肉継手の両振り曲げ試験で疲労強度を評価した<sup>19)</sup>。図5に従来の980MPa級熱延鋼板(以下、HR980)およびHR980HFの溶接部の疲労強度の比較を示す。HR980とHR980HFの比較では、溶接ビード形状が同等であるにも関わらず、200万回疲労限の応力振幅が175MPaから200MPaに増加し、250MPa付近の疲労寿命も約2倍に増加することが判った。さらに、HR980HFにてシールドガスをAr+5%CO<sub>2</sub>とした場合はAr+20%CO<sub>2</sub>に比べて溶接ビードの止端部が緩やかな形状となり、大幅な疲労強度向上効果を示した。

### 3. ラダーフレームの接合ソリューション

ラダーフレーム車はモノコック車よりも過酷な環境で使用され、かつ使用年数や走行距離も長い傾向であるため、

ラダーフレームには強度や剛性に加えて高い疲労耐久性が求められる。そのためサイドフレームやクロスメンバーの板厚は厚く、さらに各所にリフォースが加わり、ラダーフレームの総重量は300kg程度以上に達することがある。したがって板厚低減やリフォースの削減による軽量化の期待効果は大きい。そこで、レーザ・アークハイブリッド溶接による非線形TWB構造や突き合わせ溶接による重ね代分の重量低減、適所に超高張力鋼板が採用されるなどしている<sup>20,21)</sup>。ラダーフレーム車の電動化に際しては、バッテリーの搭載空間確保のために、キャビン下のクロスメンバーの本数を減らすなど構造が大きく変化してきている<sup>22,23)</sup>。このため、例えばクロスメンバーとサイドメンバーの結合部の疲労特性の要求値が高まり、板厚の増加や新たなロアフレームを追加するなど、重量が増加する場合は考えられる。

そこで、クロスメンバーとサイドメンバーの結合部の応力低減、それに伴う疲労特性向上を目的に、2.1節にて述べた補剛ビードの効果を検討した。図6(a)に解析モデルおよび境界条件を示す。ここでは公開されている解析モデルChevrolet Silverado2014<sup>24)</sup>を用い、右フロントのサスペンションタワー部に上向きに荷重をかけた際のクロスメンバーとサイドメンバーの結合部分の最大主応力を比較した。代表的な結合部として、溶接ビードの屈曲部(図中①)およびクロスメンバーの切り欠き部(図中②)に着目した。

図6(b)に、着目した位置における最大主応力の分布を補剛ビードの適用前後で比較し、その低減効果を百分率で示す。補剛ビードはオリジナルモデルでの最大主応力の発生源を起点に最大主応力の方向に付与した。評価位置①ではクロスメンバーがサイドメンバー側面に突き当たるように配置されている。最大主応力は溶接ビードの屈曲部に生じており、補剛ビードの適用により最大主応力は78%まで低減した。評価位置②では切り欠きのあるクロスメンバーの天面がサイドメンバーの天面に重なるよう配置されてお

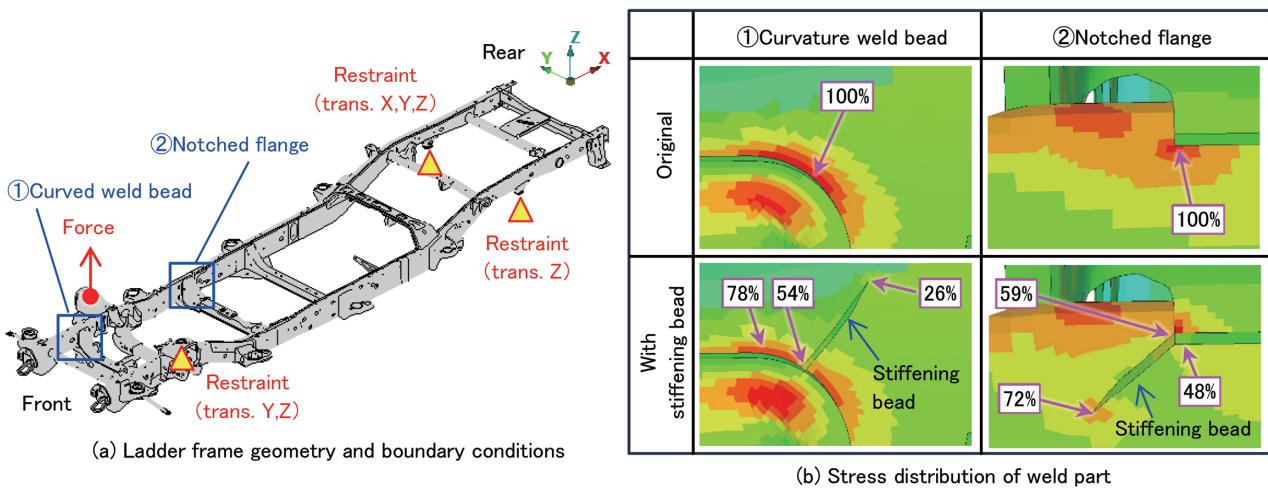


図6 ラダーフレームへの補剛ビードの適用効果  
Effect of applying stiffening bead to ladder frames

り、溶接ビードが途切れる形となっている。最大主応力の発生点は途切れた溶接ビードの端部であり、補剛ビードを適用すると、最も高い位置でも72%まで低減し、ここでも補剛ビードの効果を確認することができた。このように補剛ビードは適所に効果的に配置することによってアーク溶接部周囲の応力を低減できるため、電動化に伴う車重の増加や構造の変化に起因する疲労信頼性の課題を解決するための有効な技術であると考えられる。

#### 4. サブフレームの接合ソリューション

サブフレームはサスペンション形式、駆動方式、車格などの要求性能によってさまざまな特性が求められるが、比較的薄い鋼板が用いられることが多い。そのため、防錆性能の観点から適用鋼板の板厚に制限が設けられると共に、北米向けなどの塩害地仕様として亜鉛めっき鋼板を適用するなどの対策がなされている。加えて、バッテリー保護の観点から、フロントサブフレームにも第2バンパーおよびクラッシュボックスといった、衝撃吸収構造が追加されるなど、電動化に対応した構造へと変化している。これらの変化に対応するため、日本製鉄では衝撃吸収エネルギーかつ成形性に優れた超高強度冷延およびGAめっきEA鋼板を開発した<sup>9)</sup>。

##### 4.1 溶接部の水素脆化特性を踏まえた溶接ワイヤの選定

超高強度鋼板の適用に際しては溶接部の水素脆化割れに注意を払う必要がある。特にアーク溶接では、溶接時に生成するプラズマによって鋼板の防錆油や大気中の水分が乖離するなどして溶接部へ水素が侵入する。標準的なアーク溶接時の拡散性水素量は1~1.5ppmであり、ボディで多用される抵抗スポット溶接に比べて多い。橋梁や圧力容器などの厚板の溶接では、水素脆化抑制のための溶接部の硬さ基準(例えばピッカース硬さ350以下<sup>25)</sup>)が定められたり、水素脆化防止のための極低水素ワイヤ<sup>26)</sup>が開発されたりしている。一方、590~780MPa級鋼板が主流であったサブフレームの溶接では、水素脆化に特別な注意を払わずに使用することができたが、980MPa級鋼板さらには1180MPa級鋼板の適用を想定すると水素脆化特性を理解した上での適用検討が必要と考えられる。以下では、日本製鉄の水素脆化評価事例を紹介すると共に高強度薄鋼板に適する溶接ワイヤについて紹介する。

図7に980MPa級鋼板の重ね隅肉継手を対象とした溶接部の水素脆化割れ特性を示す。水素脆化の指標として、厚板の溶接を参考に $P_C$ 値を用いた<sup>25)</sup>。

$$P_{CM}(\%) = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B \quad (1)$$

$$P_C = P_{CM} + t/600 + H/60 \quad (2)$$

$P_C$ 値は溶接金属の化学組成から求める $P_{CM}$ 、板厚 $t$ 、拡散性水素量 $H$ から求めた。 $P_{CM}$ 、 $t/600$ 、 $H/60$ は各々溶接金

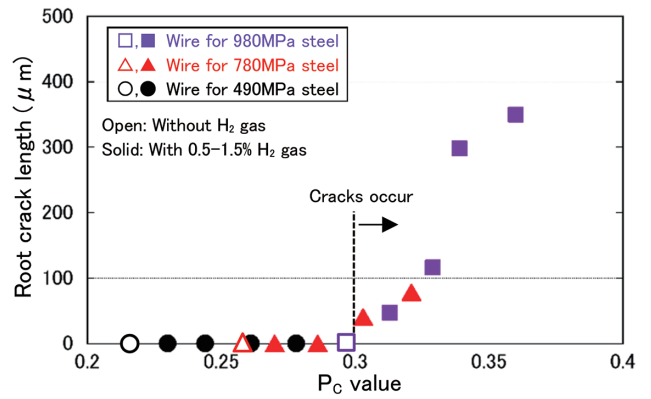


図7 ルート部の割れ長さに及ぼす $P_C$ 値の影響  
Effect of  $P_C$  value on root crack length

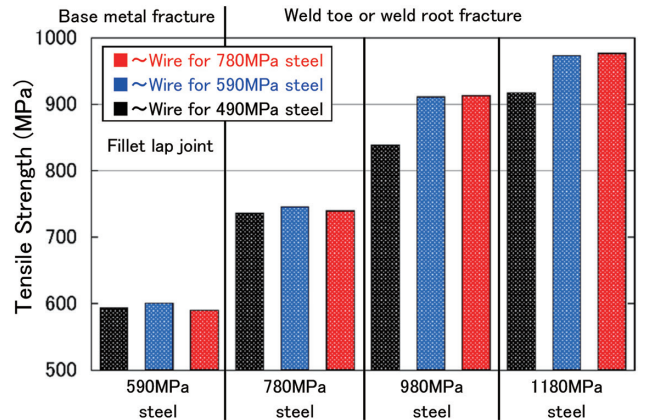


図8 重ね隅肉継手の引張強さ  
Tensile strength of lap fillet joints

属の水素脆化感受性、拘束度、拡散性水素の影響を示す。

$P_C$ 値が高まるほど割れリスクが上昇し、0.3程度以上で割れが生じる結果となった。厚板での $y$ 形溶接割れ試験では、 $P_C$ 値が約0.3以上で割れ率が高まるとされており、本評価の薄鋼板の重ね継手の結果と概ね一致する。

図8に重ね隅肉継手の引張強さの例を示す。引張時には上板と下板の板厚中心のずれに起因した変形によって、溶接金属そのものではなく、溶接部から離れた母材もしくは止端部やルート部といった溶接金属近傍の熱影響部から破断した。高い継手強度の確保および $P_C$ 値抑制の観点から、超高強度鋼板に対しても590MPa級鋼板用の溶接ワイヤを選定することが望ましいと考えられる。

##### 4.2 スパッタ低減型低スラグワイヤ

サブフレームの板厚はアームやラダーフレームに比べると薄い傾向であるため、アーク溶接時の穴開きや溶け落ちといった溶接欠陥を防ぐため、電流を下げた小入熱溶接条件が適用される。溶接部の耐食性向上の観点から、低スラグワイヤの適用が望ましいと考えられるが、低スラグワイヤは小入熱溶接時にスパッタが増加する傾向であった。

図9にスパッタが付着した溶接部の塗装後耐食性の評価例を示す。スパッタ付着部の電着塗膜は平坦部に比べて

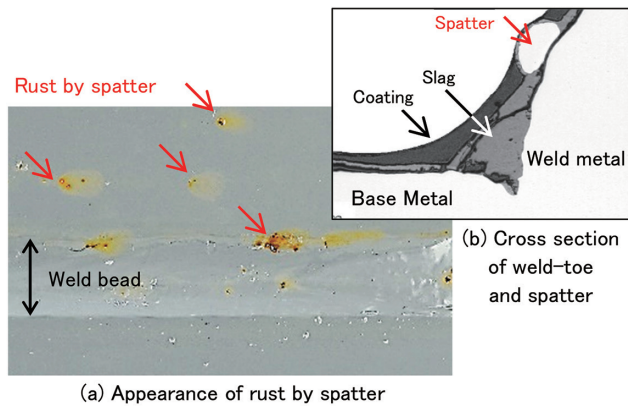


図9 スパッタが付着した溶接部の腐食試験後外観  
Appearance of welded part with spatter after corrosion test

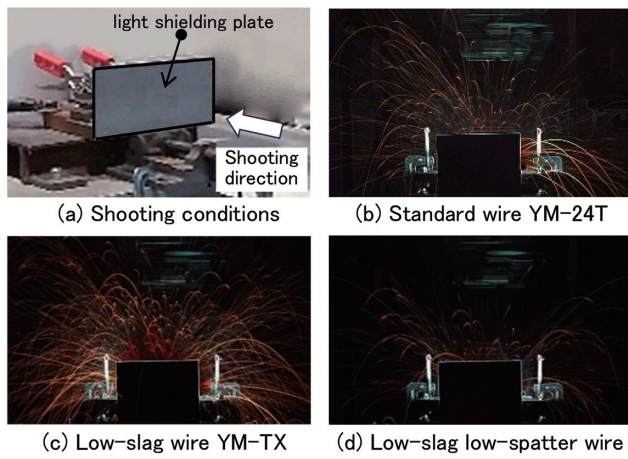


図10 スパッタの飛散状況の比較  
Comparison of spatter scattering conditions

薄くなるため、スパッタ付着部が赤錆の起点となる傾向がある。スパッタの除去には多大な工数を必要とするため、溶接部の耐食性、溶接施工コスト低減の観点からも低スラグワイヤの低スパッタが望まれていた。

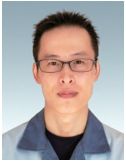
そこで、低スラグワイヤの小入熱時のスパッタ発生量を抑制した、低スラグ・低スパッタワイヤを開発した。図10にスパッタ低減効果の例を示す。シールドガスにAr+20%CO<sub>2</sub>を用いた直流パルス溶接モードで、溶接電流200Aにて平板にビードオンプレート溶接を行った。アーク光を遮る板を手前に置いて、溶接開始後5秒間をデジタルカメラで撮影し、エッジ強調などの画像処理を行ってスパッタが飛散した軌跡を比較した。標準ワイヤに比べて低スラグワイヤのスパッタ飛散量は多かったものの、低スラグ・低スパッタワイヤの飛散量は大きく減少し、標準ワイヤの飛散量に近づいた。なお、本評価では電流のパルス波形は溶接電源の初期値のままとしたが、パルスピークの電流・時間など、波形を最適化することで標準ワイヤから置き換えるのに支障がない程度までさらに飛散量を抑えることが可能となる。

## 5. 結 言

自動車のシャシー部品の電動化対応技術として、アーム・リンク部品、ラダーフレーム、サブフレームの溶接技術に関する最近の取り組み事例を概説した。いずれの部品に対してもアーク溶接継手の耐食性向上、疲労強度向上が共通の要素技術となるが、ますます要求の高まる高強度化・薄板化のニーズに応じていくためには、材料技術のみならず生産工程や部品形状に踏み込んだ、低コストで信頼性の高い部品を提案し続けることが重要と考える。今後とも、アーク溶接のメリットを活かした信頼性の高い継手を実現すると共に、新たな接合プロセス開発を通じた新工法の提案によって自動車の軽量化に貢献することを目指す。

### 参考文献

- 1) 李雪連：丸紅経済研究所 レポート. 2025年4月30日
- 2) 西村海生 ほか：財務省 ファイナンス. (710), 69 (2025/01)
- 3) 岡村純也 ほか：SUBARU 技報. (49), 39 (2022)
- 4) 瀬戸厚司 ほか：新日鉄技報. (393), 55 (2012)
- 5) 児玉真二 ほか：日本製鉄技報. (412), 78 (2019)
- 6) 山崎圭：日本溶接協会 溶接情報センター WE-COM マガジン. (11), (2014/01)
- 7) Volkswagen ID.3 (2020) A2Mac1 : <https://ibp.a2mac1.com/data/product/000000AN8AYLEU02>
- 8) 大塚研一郎 ほか：日本製鉄技報. (425), 68 (2025)
- 9) 弘中諭 ほか：日本製鉄技報. (425), 15 (2025)
- 10) 木谷靖 ほか：JFE 技報. (41), 55 (2018)
- 11) 田中正顕 ほか：マツダ技報. (41), 172 (2025)
- 12) 木梨光 ほか：R&D 神戸製鋼技報. 72 (1), 79 (2023)
- 13) 古川尚英 ほか：R&D 神戸製鋼技報. 73 (2), 88 (2024)
- 14) 岩上友勝：日鉄溶接工業 びいど. (69), 8 (2020)
- 15) 吉村雅満：応用物理. 79 (4), 336 (2010)
- 16) 野瀬哲郎：溶接学会誌. 77 (3), 6 (2008)
- 17) 片岡時彦 ほか：JFE 技報. (34), 64 (2014)
- 18) 鈴木励一 ほか：R&D 神戸製鋼技報. 63 (1), 60 (2013)
- 19) 児玉真二 ほか：新日鉄住金技報. (409), 63 (2017)
- 20) 森津圭太 ほか：トヨタテクニカルレビュー. 70 (1), 34 (2024)
- 21) 恵良哲生 ほか：日本溶接協会 LMP シンポジウム 2025
- 22) Ford Authority : <https://fordauthority.com/2022/06/2022-ford-f-150-lightning-frame-live-photo-gallery/>
- 23) Chevrolet Silverado EV : <https://www.chevrolet.com/electric/silverado-ev>
- 24) Center for Collision Safety and Analysis : <https://www.ccsa.gmu.edu/models/2014-chevrolet-silverado/>
- 25) 糟谷正：溶接学会誌. 70 (6), 32 (2001)
- 26) 齋藤雅哉：日鉄溶接工業 びいど. (76), 9 (2023)



石田欽也 Yoshinari ISHIDA  
鉄鋼研究所 接合研究部 課長 主幹研究員  
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



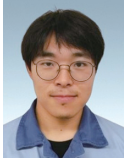
児玉真二 Shinji KODAMA  
鉄鋼研究所 接合研究部 室長  
博士(工学)



松葉正寛 Masahiro MATSUBA  
名古屋製鉄所 品質管理部 主査



吉田博司 Hiroshi YOSHIDA  
鉄鋼研究所 接合研究部長  
博士(工学)



北原優樹 Yuki KITAHARA  
鉄鋼研究所 鋼材ソリューション研究第一部