

レーザーブレイジングを用いた異材接合の検討

Study of Laser Brazing of Dissimilar Materials

遠藤翔太 Shota ENDO
河田直樹 Naoki KAWADA
吉澤正皓 Masaaki YOSHIZAWA

鉄道車両や自動車の業界では車体の軽量化が重要視されている。鉄道車両では高速化（運転速度の向上）を実現する上で軽量化が着目されている。軽量化を達成する上で部位ごとに最適な材料を配置するマルチマテリアル化が進められている。マルチマテリアル化を実現する方法の一つに異材接合がある。

異材接合には機械締結、構造用接着材、クラッド材を用いた接合がある。ここでは、レーザーブレイジング（レーザーによるろう付け）が持つ金属間化合物の抑制や接合品質の管理がしやすいといった点に着目し、レーザーブレイジングによる異材接合を検討した。

1 はじめに

鉄道車両や自動車の業界では車体の軽量化が重要視されている。鉄道車両では高速化（運転速度の向上）を実現する上で軽量化が着目されている。また、自動車では燃費や運動性能の向上のため、例えばボンネットのアルミニウム合金化、ルーフのマグネシウム合金化などが着目されている。

軽量化を達成する上での一つの方法が部位ごとに最適な材料を配置するマルチマテリアル化であり、それを実現する方法の一つに異材接合がある。自動車では異材接合には機械締結、構造用接着材、FSW、レーザー溶接、クラッド材を用いた接合などの工法がある。ここで取り上げるレーザーブレイジングは既存のレーザー溶接システムを使用することで自動化が容易で接合品質の管理がしやすい特徴がある。さらに接合条件の最適化により、接合時の温度を極力抑え金属間化合物の生成を抑えることによって⁽¹⁾、剥離強度を向上させることができる。このためレーザーブレイジングは鉄道車両のハイブリッド構体⁽²⁾へ適用できる可能性がある。

また、レーザーブレイジングはぬれ性が良いため、図1に示すように在来工法のレーザーによる水密溶接⁽³⁾に比べギャップ裕度の向上が期待できる。

例えば、在来工法である抵抗スポット溶接法は、その形態が点接合であるために、溶接部間の隙間から水が浸入する懸念がある。

それゆえ、樹脂シールなどで水密性を確保する必要がある。樹脂シールは劣化するためメンテナンスが必要であり、この部分に後述するレーザーブレイジングを適用できる期待がある。

以上により、レーザーブレイジングを用いた異材接合について検討する。

2 レーザーブレイジング

レーザーブレイジングは被接合材料の表面上に、レーザーを照射しフラックスを活性化させてろう材を供給する接合方法である。ろう付けはぬれ性がよいため確実に面を接合でき、既存の設備を利用できるため、比較的安価に施工できる方法である⁽⁴⁾。

そのためレーザーブレイジングは点接合の抵抗スポット溶接や線接合のレーザー溶接やアーク溶接と比較して、有利である。

2. 1 レーザーブレイジングを可能とした異材接合用フラックスコアードワイヤ

現在、当社で使用している異材接合用のろう材はナイス株が開発した新開発のフラックスコアードワイヤのレーザーブレイジング用（Alu S4Le φ1.2）であり、構造はワイヤの中心にフラックスを配置してその周囲を皮材

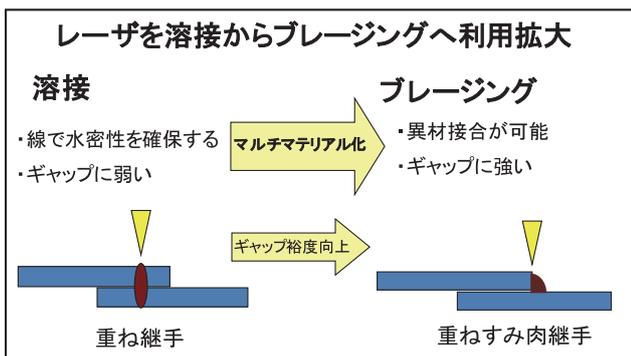


図1 レーザ溶接とブレイジングの比較

(ろう材)でコーティングした2層構造になっている。特徴は、内部のフラックスに特殊な素材を充填しており、皮材も特殊なAlで構成されている点である。フラックス(種類/量)、成分条件および接合条件を最適化することによって接合時の温度を極力抑え、金属間化合物の生成を抑えている⁽¹⁾。特に剥離強度においてAl/GA鋼板の異材接合の場合、従来の技術では接合界面の破断となっていたものが溶着金属等での破断となるデータが示されている⁽¹⁾。

従来のろう付けでは活性化させたフラックスとろう材を被接合材料表面上に供給する難しさがある。さらに自動機でろう付けを行うためには、フラックスの塗布、活性化の制御、およびろう材供給の難しさがある。

一例を挙げるとフラックスが十分に活性化しない状態でろう材を供給するとフラックスの持っているぬれ性を促進する作用が得られず、ろう材とワークが馴染まずろう材が飛散することがある(図2)。

一方、ナイス(株)のろう材はフラックスコアードワイヤであるため、フラックスをあらかじめワークに塗布する必要がない。そのため、フラックスと皮材を同時に供給することが可能である。これによりフラックスが活性化したと同時に皮材が溶着金属となり、フラックスのぬれ性を促進する効果が十分に発揮できると考えられる。

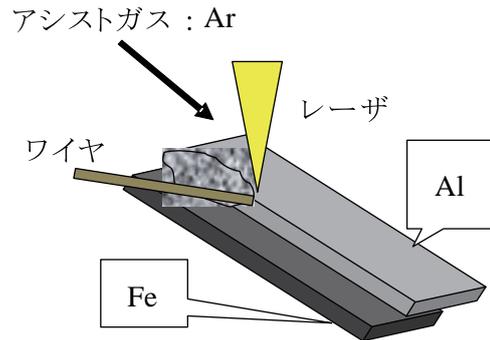
以上により、フラックスコアードワイヤを用いることで従来法に比べフラックスの活性化とワイヤ供給のタイミングの制御が容易にでき、安定したビードを形成できると言える。



図2 フラックスが活性化しない場合

2.2 レーザブレイジングの異材接合の原理

軟鋼(以下Fe)と/アルミニウム合金(以下Al)の異材接合を例に図3で説明する。レーザーブレイジングはFeを溶かさず、Alにレーザーを当てAlの溶融池にフラックスコアードワイヤ(以下ワイヤ)を投入して接合する方法である。この例ではAlを溶融させるために3kW以上(推奨4kW以上)のCWレーザーの使用が好適であると報告されている⁽⁵⁾。



ワイヤをレーザー照射部に供給

図3 レーザブレイジング

3 レーザブレイジングによる異材接合試験

本検討ではテストピースによる異材接合の基礎試験を実施した。また、レーザーブレイジングの特徴の一つである面接合はレーザー溶接などの線接合に比べ接合部の密閉性が高いため塩水の侵入を防ぎ、応力腐食割れや粒界腐食の発生を抑制できると考えられる。したがってその優位性を確認するため、耐食性試験を合わせて実施した。

3.1 試験方法

当社のレーザーブレイジングシステムを使用した試験方法について述べる。レーザー発振器は波長940nmで出力6.0kWの半導体レーザー(DDL)を使用しており、図4と図5に示すように進行方向後方からガスノズルによりアシストガスを吹き付け、進行方向前方からワイヤ供給装置によりワイヤを供給する装置構成としている。本試験ではステンレス鋼(以下SUS)とAlの異材接合について検討した。継手の形態は図5に示す重ね隅肉継手である。なお、SUSはSUS304 t1.5でAlはA6061-T6 t2.0を用いた。

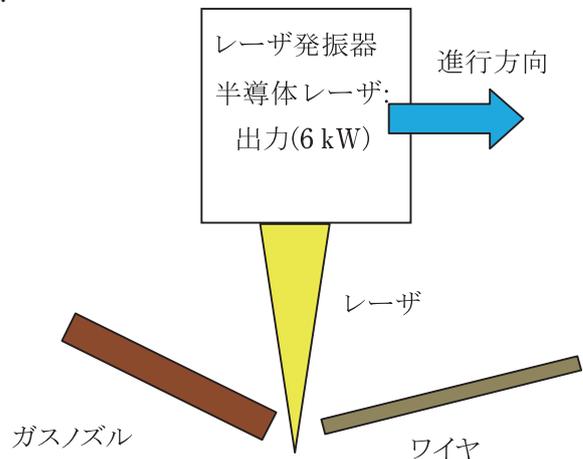
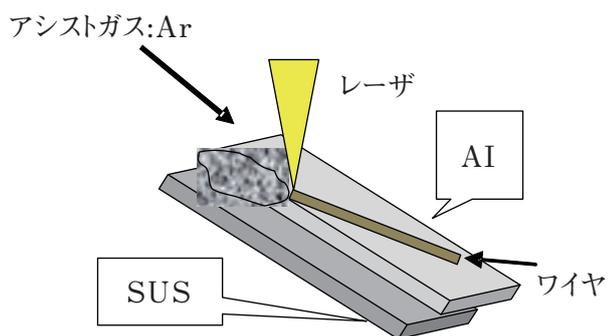


図4 装置構成



ワイヤをレーザー照射部に供給

図5 SUS/AIの異材レーザーブレイジング概略

ここでのポイントは、Al側は熔融させSUS側は熔融させない接合条件を選定すること⁽¹⁾、レーザーの狙い位置及びワイヤの供給角度である。試験では図6に示すようにAl材を上配置しレーザー照射位置はAlの端面とした。

また、ワイヤの狙い位置は図7に示すようにワイヤをレーザーで溶かして滴下する方法と図8に示すようにAlを溶かすことによって発生する熔融池にワイヤを供給する2通りのワイヤ供給方法を検討した。その他の接合条件を共通条件として次に示す。

共通条件

Al : A6061-T6 t2.0 100×300

SUS : SUS304 t1.5 100×300

レーザー照射位置 : Al端面

板材の重ねしろ : 50mm

3.2 試験結果

試験の結果からワイヤをレーザーで溶かして滴下する方法は表1に示す通りワイヤが爆ぜるもしくは玉状に固まってしまう、良好な接合ができなかった。

一方でAlを溶かした熔融池にワイヤを供給する方法は表2に示すように安定したビードを形成する接合が可能となった。

この結果からワイヤの供給方法は図8に示すように Alを溶かすことによって発生する熔融池にワイヤを供給する方法が良いことが分かった。また、レーザーブレイジングにおいてはワイヤの供給条件の管理が重要事項であることが分かった。

4 異材接合継手の評価

異材接合で起きる問題として電位差による腐食がある⁽¹⁾。電位差による腐食を確認するため、レーザーブレイジング

により重ね隅肉継手を製作して、接合部の耐食性試験を実施した。試験は自動車用材料腐食試験方法であるJASOの複合サイクル試験を用いた。図9に複合サイクル試験の概要を示すが、複合サイクル試験とは塩水噴霧、乾燥、湿潤を1サイクル8時間で繰り返すものであり、通常の塩水噴霧試験に比べより過酷な試験である。この複合サイクル試験を72時間まで実施し24時間ごとに外観を観察した。

比較用としてフィラワイヤ（溶加材）を投入したSUSのレーザー溶接サンプルも併せて上記の耐食性試験を実施した。

表3に示す72時間後の外観からSUS/AIのAl母材と接合部の比較をした場合にどちらも発錆等は認められなかった。この結果から、接合部の電位差による接触腐食は発生の可能性が低いと考えられる。さらに錆が認められないため粒界腐食の発生の可能性も低いと考えられる。

同様に72時間後のSUSのレーザー溶接サンプルも錆の発生は認められない。

以上のことから72時間まではSUSのレーザー溶接サンプルと同等の耐食性能を持っていると言える。

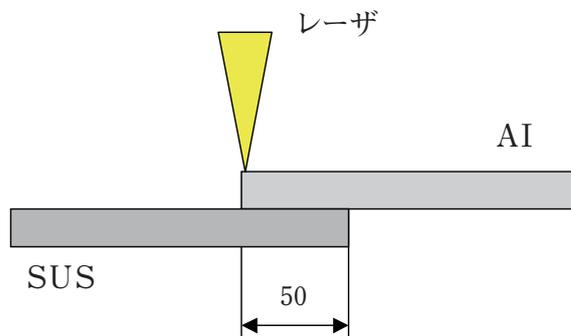


図6 ワークとレーザーの狙い位置の関係

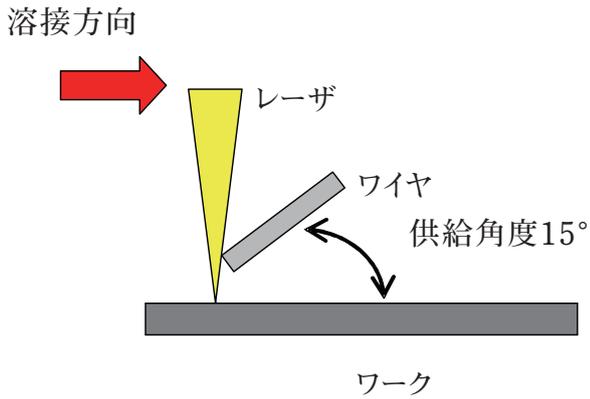


図7 ワークに滴下するためのワイヤ供給方法

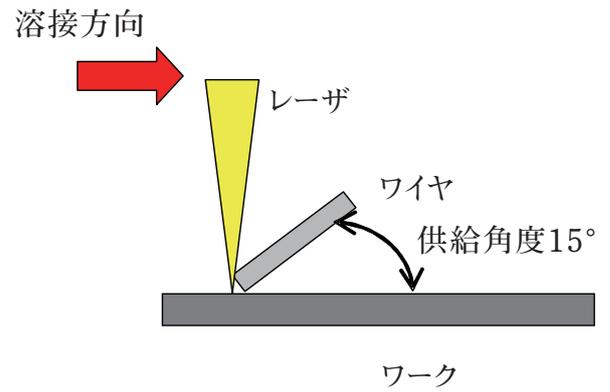


図8 ワーク (Al) の溶融池にワイヤを供給する方法

表1 ワイヤをワークに滴下した結果

試験 No	出力(kW)	溶接速度(m/min)	ワイヤ供給速度(m/min)	ワイヤ供給比	ワイヤ供給角度
1	3.0	3.0	5.0	1.7	約 15°

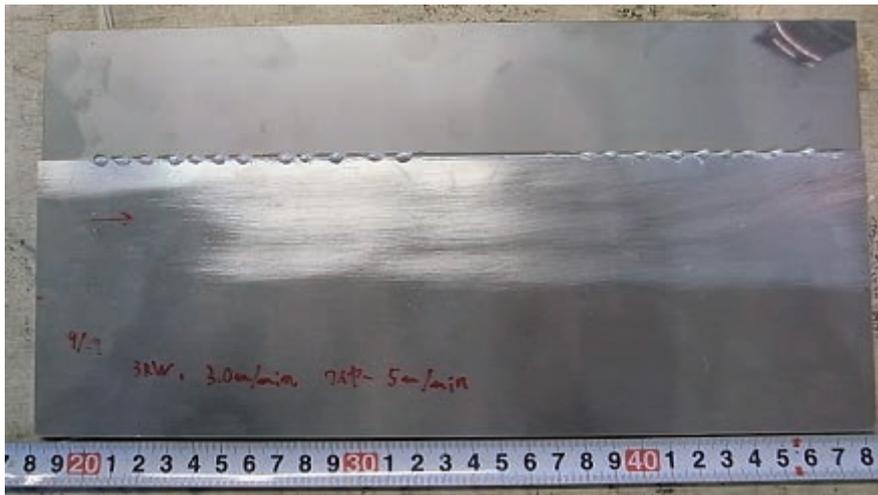


表2 ワイヤをワーク (Al) の溶融池に供給した結果

試験 No	出力(kW)	溶接速度(m/min)	ワイヤ供給速度(m/min)	ワイヤ供給比	ワイヤ供給角度
2	2.0	0.96	2.5	2.6	約 15°



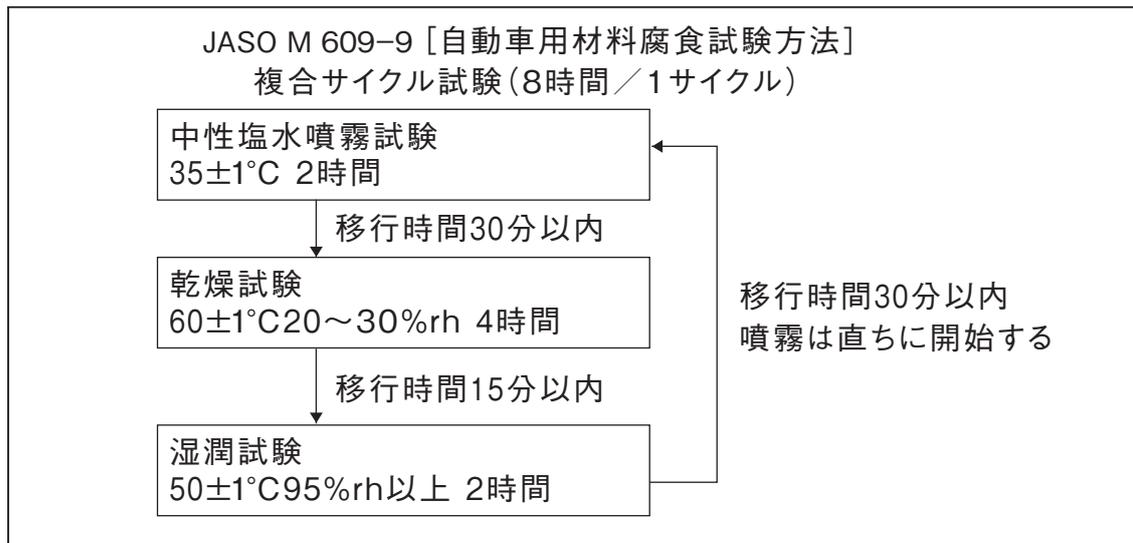


図9 複合サイクル試験の概要

表3 0～72時間まで SUS/SUS, SUS/AI の耐食性試験結果

時間	SUS/SUS (フィラワイヤ(溶加材)使用)	SUS /AI(フラックスコアードワイヤ使用)
0	<p style="text-align: center;">試験開始前</p>	<p style="text-align: center;">試験開始前</p>
72	<p style="text-align: center;">72時間後</p>	<p style="text-align: center;">72時間後</p>

5 おわりに

レーザブレイジングによるSUS/AIの異材接合試験を実施し、安定したビードを形成する異材接合の継手が得られた。

また、試験の結果から、ワイヤの供給条件の管理が重要であることが分かった。さらに耐食性試験の結果から72時間までSUS/SUSのレーザ溶接サンプルと同等の耐食性能を持つことが分かった。

以上より鉄道車両へのレーザーブレイジングを用いた異材接合の可能性を得た。

今後は機械的特性（静的強度、疲労強度、剥離試験など）を中心に評価を進める。

さらに当社は過去にSUS/Alの異材接合を用いたハイブリッド構体⁽²⁾を検討しており、材料間の接合にはクラッド材やボルト等を使用していた。その上で今後は材料間の接合にレーザーブレイジングを用いたハイブリッド構体を検討する。

最後に、本解説を執筆するにあたり多大なご協力を頂いたナイス株式会社各位に感謝の意を述べる。

参考文献

- (1) 大西武志：「レーザー，ミグブレイズ用溶接材料による鉄鋼とアルミニウム合金の異材金属接合」，溶接技術7月号，46-49，(2014)，産報出版（株）
- (2) 松岡茂樹：「鉄道車両のハイブリッド構体の構体結合構造」，軽金属溶接Vol27，No.10，17，(1989)，（一社）軽金属溶接協会
- (3) 遠藤翔太，他：「sustinaステンレス構体水密化のためのレーザーすみ肉溶接技術の開発」，総合車両製作所技報 第2号，12-17，(2013)，（株）総合車両製作所
- (4) 宮澤靖幸：「最近の低環境負荷へ向けたろう付け技術」，溶接技術6月号，55，(2014)，産報出版（株）
- (5) 大西武志：「鉄鋼とアルミニウム合金の異種金属溶接用フラックスコアードワイヤ」，軽金属溶接，Vol.52，No.11，5，(2014)，（一社）軽金属溶接協会

著者紹介



遠藤翔太
生産本部
技術部（接合技術センター）



河田直樹
博士（工学）
生産本部
技術部（接合技術センター）主査



吉澤正皓
生産本部
技術部（接合技術センター）