

補助事業者番号 2025M-383

補助事業名 マルチマテリアル構造体接合・分離・再接合技術の開発補助事業

補助事業者名 三重大学大学院工学研究科 川上博士

1. 研究の概要

2050年のカーボンニュートラル実現に向け、各産業分野において二酸化炭素排出削減目標が掲げられている。その解決策として車体構造のマルチマテリアル化による軽量化がある。本研究課題では、自動車車体構造の主材料であるスチールとマルチマテリアル化により軽量化をもたらすアルミニウムとの異材接合技術と同様の技術思想に基づいた分離・再接合技術について検討を行った。後者の技術は資源循環（サーキュラーエコノミー）に大きく寄与する。アルミニウム／鋼マルチマテリアル継手を1秒以内で作製することができ、アルミニウム母材破断を示す良好な機械的性質を得る高速接合技術を開発した。得られたマルチマテリアル継手に関して1秒以内にアルミニウムと鋼が界面分離する分離技術を開発した。接合技術開発で得られた知見をもとに、分離材を1秒以内に再接合させる再接合技術も開発することができた。

2. 研究の目的と背景

脱炭素化社会、資源循環型社会の基礎となる二酸化炭素ガス排出削減、カーボンニュートラル、地球資源および再生可能型エネルギーを含めたエネルギーの有効利用、サステナブルマテリアル化は、将来起こりうる問題として懸念されている地球温暖化に関連する気候変動、地球資源の枯渇、資源価格の高騰とそれらの事象が発展した資源の独占化など不可抗力な問題に対して解決策を与える。資源およびエネルギーを海外に依存している我が国において、脱炭素化社会および資源循環型社会の実現により将来に希望を与え、次世代に住みよい環境を引き渡すことができると考えた。（図1参照）

マルチマテリアル車体構造が築く未来社会

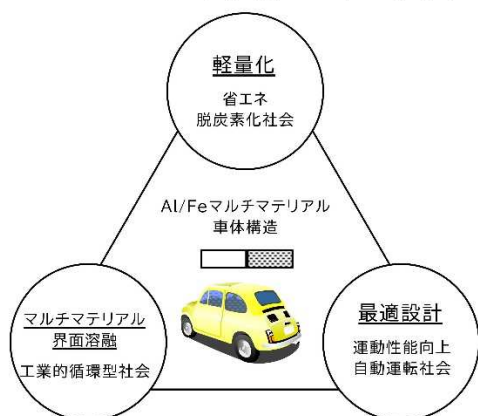


図1 マルチマテリアル構造体関連技術の社会的役割

このような研究背景のもとに、本研究課題ではマルチマテリアル軽量構造体製造技術確

立のためにアルミニウム／鋼マルチマテリアル接合プロセスへマルチマテリアル界面溶融と高速排出を導入し、高強度・高速接合技術の開発を第一目的とした。さらに、マルチマテリアル構造体再利用・再生（リユース・リサイクル）技術確立のため、分離・再接合技術の開発を第二目的とした。

3. 研究内容

マルチマテリアル構造体接合・分離・再接合技術の開発を行った。

① 接合実験装置製作・準備

図2に示す接合実験装置を設計・製作した。この接合装置を用いて分離・再接合実験も実施した。電源部は交流電源（最高電流 6000A）とした。プラテン部は独自設計の銅製電極とアクチュエーターおよびロードセルで構成され、通電発熱による界面温度上昇と加圧・分離力負荷を行うことができる。制御部はプログラムによる時間・変位・負荷に関して電源部とプラテン部の制御を行う。



図2 接合・分離・再接合装置

② 接合実験

厚さ 4mm、幅 4mm の断面を有する純アルミニウム A1050 と一般構造用圧延鋼 SS400 に関するマルチマテリアル接合実験結果を一例として示す。図3は接合条件を電流密度 $220\text{A}/\text{mm}^2$ 、加圧力 12MPa とした場合の継手強度とプラテン移動時間との関係である。プラテン移動時間 0.3s 以降でアルミニウム母材と同等の継手強度を得ることができた。

接合・分離・再接合実験により得られた試験材外観を図4に示す。本図は試験材厚さ 2mm、幅 7mm の断面を有する純アルミニウム A1050 と冷間圧延鋼 SPCC を用いた結果である。接合体は界面共晶反応による界面溶融と融液排出により、本図①に示すように接合実験直後の接合試験片では融液排出が認められる形状となる。接合状況を外観観察において確認するために融液排出部を取り除くと、本図②のように接合界面部の健全性が確認できた。この状態で引張試験を行うと、図3に示した継手強度と同じ継手強度を示し、アルミニウム

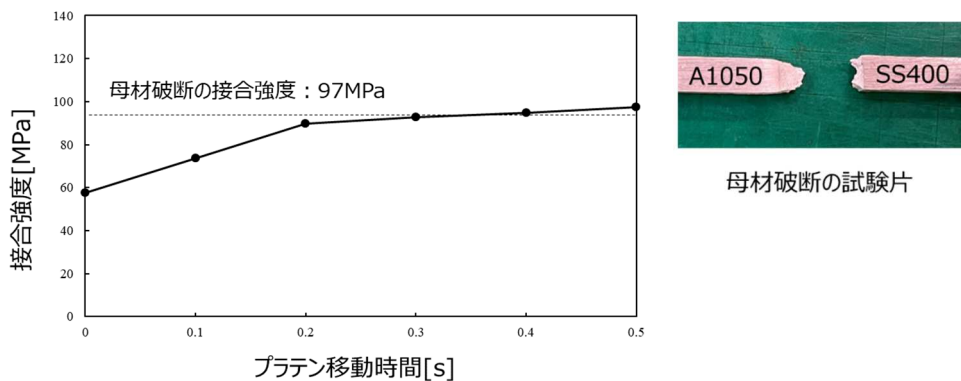


図3 継手強度とプラテン移動時間との関係

側で母材破断する。この機械的性質を有する試験片に対してマルチマテリアル界面溶融技術を利用した分離実験を行うと、本図③に示すように、部材はアルミニウム側と鋼側に接合界面を境界として分離した。分離材は図に示すように平滑面を有している。そのため、再度接合実験を行うことで、本図④に示すように再接合体を得ることができた。再接合体も接合体と同様にアルミニウム側母材破断を伴う高い継手強度を示した。

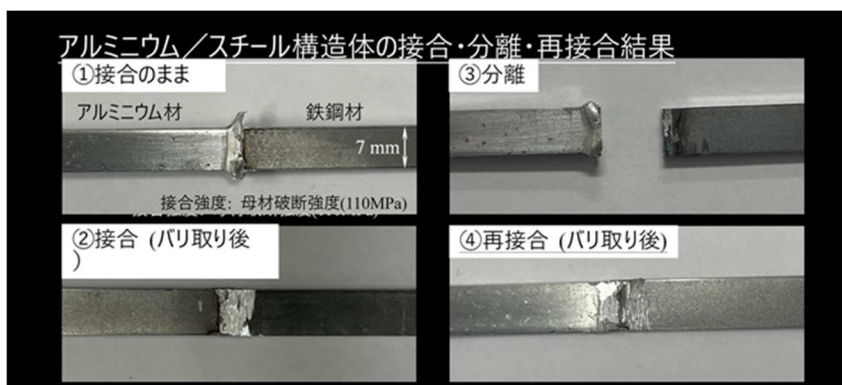


図4 マルチマテリアル構造体の接合・分離・再接合外観観察結果

③ 評価分析

母材破断した試験片 (A1050/SS400) の接合界面を走査透過電子顕微鏡 STEM によるミクロ観察結果とエネルギー分散型 X 線分析 EDX による各元素の面分析結果の一例を図5に示す。観察視野は厚さ $4\mu\text{m}$ 程度の界面反応層のうち、SS400 境界周辺領域である。反応層を構成する主元素はアルミニウム (Al) と鉄 (Fe) であることがわかり、SS400 の合金元素であるシリコン (Si)、マンガン (Mn)、硫黄 (S) は反応層に存在しても微量であることがわかった。これより、マルチマテリアル界面溶融現象はアルミニウムと鉄の共晶反応による溶融現象と考えられる。今後も継続して接合プロセスの詳細解明を行う必要がある。

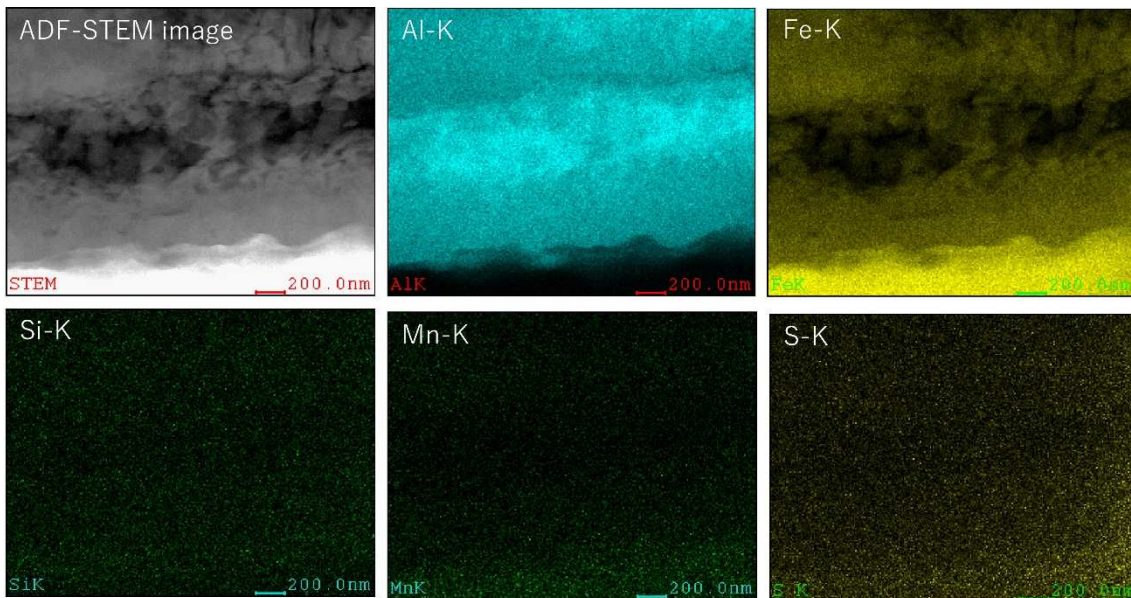


図5 STEM 観察と EDX 面分析結果

4. 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

本研究課題では高強度・高延性の機械的性質を示す異材継手作製し、その継手を同一設備にて分離・再接合させることができた。すなわち、マルチマテリアル化による軽量化と再利用・再生機能を構造体部材に与えることができた。この機能は、脱炭素化社会、資源循環型社会に合致する。しかしながら、研究対象とした継手は突合わせ継手であり、機械的性質を適正に評価できたが、自動車車体構造への適用には重ね継手用技術開発が必要である。その際には本研究課題で得られた事実と知見は不可欠な知識となると考えられる。

5. 教歴・研究歴における今回研究の位置づけ

共晶反応による界面溶融現象を利用したアルミニウムの大気中接合に関する研究活動を行ってきた。アルミニウム表面酸化膜が強固であることから、界面における固相拡散からの共晶溶融までに時間（～10分）を必要としていた。今回の装置開発によって、接合時間を1秒以下の短時間化できるとともに高強度接合体を得ることができた。また、このマルチマテリアル界面溶融技術を用いることで、リユース・リサイクルに繋がる接合体の分離と分離材による再接合技術を開発することができた。今後は自動車車体構造である重ね継手を対象とした技術開発を行っていきたいと考えている。

6. 本研究に係わる知財・発表論文等

- 1) Al/Fe マルチマテリアル構造のためのサブ秒接合, 川上 博士, 舘村 誠, 大本 泰成, 日本金属学会 2026 年春期(第 178 回)講演大会講演概要集, 252, 2026
- 2) アルミニウムを用いたマルチマテリアル構造の接合・分離・再接合技術検討, 舘村 誠, 浅

井 郁也, 川上 博士, 日本金属学会 2026 年春期(第 178 回)講演大会講演概要集, 253, 2026

7. 補助事業に係わる成果物

(1) 補助事業により作成したもの
なし

(2) (1) 以外で当事業により作成したもの
なし

8. 事業内容についての問い合わせ先

団体名：三重大学大学院工学研究科

住所：〒514-8507

三重県津市栗真町屋町1577

担当者：教授 川上博士

担当部署：機械工学専攻 材料機能設計研究室

E-mail：kawakami@mach.mie-u.ac.jp

URL：http://www.met.mach.mie-u.ac.jp/index.html