

研究ノート

大気圧プラズマを利用した異種材料の接合技術に関する研究

鈴木正史^{*1}、村上英司^{*1}、河田圭一^{*1}、石川和昌^{*2}、
小林弘明^{*3}、杉本貴紀^{*4}、福岡 修^{*4}、加藤正樹^{*4}

Study on Hetero-junction of CFRP and Metals
Using Atmospheric-Pressure Plasma Processing

Masashi SUZUKI^{*1}, Eiji MURAKAMI^{*1}, Keiichi KAWATA^{*1}, Kazumasa ISHIKAWA^{*2},
Hiroaki KOBAYASHI^{*3}, Takanori SUGIMOTO^{*4}, Osamu FUKUOKA^{*4} and Masaki KATO^{*4}

Industrial Research Center^{*1~3} Research Support Department^{*4}

大気圧プラズマ照射による接合強度の向上について検討した。その結果、大気圧プラズマ照射を行うことによって、アルミニウム/CFRP では 11.0MPa、チタン/CFRP では 19.3MPa の引張せん断強度が得られ、未処理の試料に比べて大気圧プラズマ照射によって、3 倍以上接合強度が向上することが分かった。

1. はじめに

近年、自動車産業や航空宇宙産業分野において、高強度化、軽量化等に大きく寄与する炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の利用拡大に伴い、金属（アルミニウムやチタン）との異種材料接合技術の開発が求められている。

そこで、本研究では大気圧プラズマに着目し、大気圧プラズマ照射によって親水化した材料表面の界面の状態評価、および、金属と CFRP の異種材料の接合強度試験を行った。

2. 実験方法

2.1 大気圧プラズマ照射による材料の表面改質

接合材料である CFRP (T300)、アルミニウム (A1100)、チタン（純チタン）を試料とし、大気圧プラズマ照射を行った。なお、試験条件は、以下に示すとおりである。

照射時間	: 0~3.0sec/mm ²
ガス種	: N ₂ (99.5%) +Air (0.5%)
ガス流量	: 5.0L/min
試料までの距離	: 1mm
プラズマ処理幅	: 20mm

2.2 金属と CFRP の接着接合

金属（アルミニウム、純チタン）と CFRP (T300) を 100mm×25mm の試験片に調製し、大気圧プラズマ照射を行った。その後、エポキシ接着剤（Huntsman 社製 Araldite 2012）を用い、金属と CFRP を 15mm×25mm 重ね合わせるように接合した。なお、接着剤が固まるまでクランプを用いて固定した。この試験片を、JIS K 6850 に準拠し万能材料試験機によって引張りせん断試験を行

った。試験条件は以下に示すとおりである。

引張速度	: 1.0mm/sec
つかみ具間距離	: 115mm
検体数	: ≥4

2.3 交流インピーダンス測定によるアルミニウム表面の状態評価

大気圧プラズマ処理によるアルミニウム表面の状態を評価するため、アルミニウムを 20mm×30mm の試験片に調製し、未処理板および大気圧プラズマ照射時間 0.5sec/mm² のアルミニウム板を用い、三電極セルによる交流インピーダンス測定をした (Solartron 社製 1280B)。なお、測定条件は、以下のとおりである。

測定面積	: 約 100mm ² (φ 8mm)
対極	: 白金線
参照電極	: Ag/AgCl (3M NaCl 室温)
電解液	: 5%NaCl 1.2ml
脱酸素方法	: バブリング (窒素ガス)
溶存酸素濃度	: 1.43mg/l
交流電圧振幅	: 10mV
測定周波数範囲	: 20kHz~2MHz

3. 実験結果及び考察

3.1 大気圧プラズマ照射による材料の表面改質

大気圧プラズマ照射した試料の接触角を測定した (図 1)。いずれの試料でも、大気圧プラズマ照射によって急激に接触角が低下し、処理時間 1.0sec/mm² で安定した。この時の接触角は、CFRP では 9.4°、アルミニウムでは 5.2°、純チタンでは 22.8° であった。

^{*1} 産業技術センター 自動車・機械技術室 ^{*2} 産業技術センター 自動車・機械技術室 (現産業労働部 産業振興課)

^{*3} 産業技術センター 金属材料室 ^{*4} 共同研究支援部 試作評価室

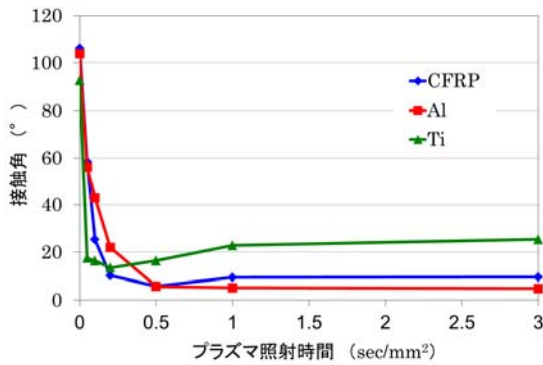


図1 大気圧プラズマ照射による接触角の変化

3.2 接着剤を用いた金属と CFRP の接着接合

アルミニウムと CFRP を接合した試験片の引張せん断試験結果を図2に示す。この結果から、プラズマ照射時間の増加に伴い、引張せん断強度が向上していることが分かる。接着剤のみで接合した場合（プラズマ照射時間 0 sec/mm²）、引張せん断強度は 2.0MPa であったが、0.25sec/mm²のプラズマ照射で9.8MPa と約5倍向上した。また、プラズマ照射時間 0.5sec/mm²では、引張せん断試験（11.0MPa）によって母材破壊が生じた。

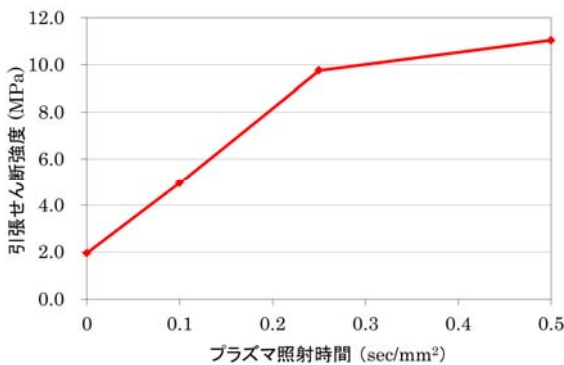


図2 アルミニウムと CFRP 接合体の引張せん断強度

また、チタン/CFRP 接合体の引張せん断試験の結果は、図3に示すとおりである。

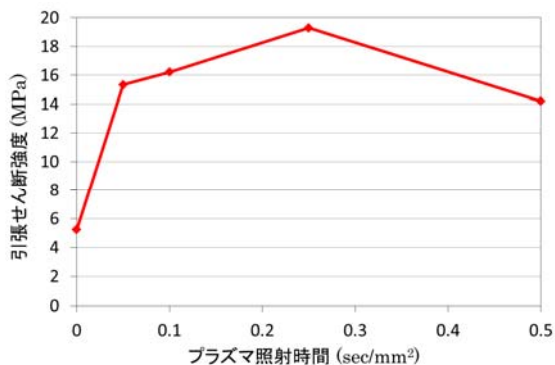


図3 チタンと CFRP 接合体の引張せん断試験

チタンは、プラズマ照射時間 0sec/mm²でも、アルミニウムに比べて高い引張せん断強度（5.2MPa）を有することが分かった。また、プラズマ照射を 0.05sec/mm²行うことで、15.3MPa と極めて高い接合強度となった。さらに、プラズマ照射時間 0.25sec/mm²において 19.3MPa の引張せん断強度を示した。それ以上のプラズマ照射では、逆に接合強度が低下することが分かった。

3.3 交流インピーダンス測定によるアルミニウム表面の状態観察

アルミニウムの交流インピーダンス測定により得られたボード線図を図4に示す。

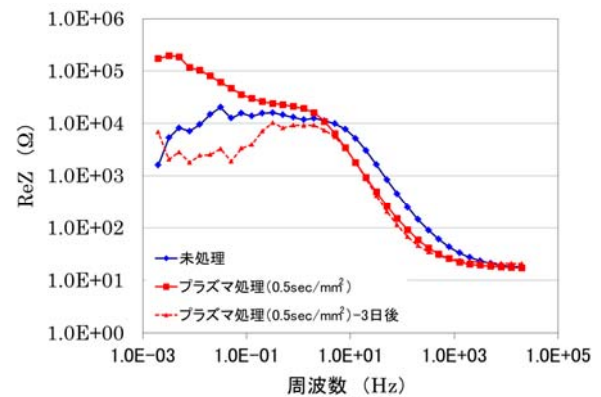


図4 ボード線図（アルミニウム）

未処理のアルミニウムに比べて、プラズマ照射時間 0.5sec/mm² のアルミニウムの抵抗値が高いことが分かる。しかし、3 日後に再度交流インピーダンス測定を行うと、低周波において、大気圧プラズマ照射直後より抵抗値が低下した。一般的に、酸化皮膜などの不導体膜が形成した場合、抵抗値が高くなるが、酸化被膜は極めて安定であるため、上記結果のように数日で酸化被膜が消失することは考えられない。

従って、大気圧プラズマ照射によってアルミニウム表面に水酸基などの層が形成されることで抵抗値が高くなるが、この層は不安定であるため空气中で数日放置することで、水酸基が消失したと考えられる。

4. 結び

本研究によって、大気圧プラズマ照射が、異種材料の接合強度向上に寄与することが明らかとなった。今後、接合メカニズムの解析を行う予定である。

付記

本研究は、愛知ナノテクものづくりクラスター成果活用促進事業（大気圧プラズマを利用した異種材料の接合技術の確立）の研究開発として実施した内容の一部である。