

異種材料接合のための新型プラズマ照射装置の開発（第4報）

— プラズマ照射による接着強度向上 —

機械電子科 稲葉彩乃 高木 誠 井出達樹 真野 毅

Development of new-style plasma irradiation equipment for bonding dissimilar materials
(4th Report)

— Improvement of adhesive strength by using plasma irradiation —

Ayano INABA, Makoto TAKAGI, Tatsuki IDE and Tsuyoshi MANO

Adhesion and technology to bond dissimilar materials using adhesive is required to reduce the body weight of electric vehicles. However, depending on the material, surface modification is essential to obtain sufficient bonding strength. Therefore, with a focus on plasma irradiation (which is known as a surface modification method), we have developed new-style plasma irradiation equipment for the manufacturing of a wide variety of products in small quantities.

In this study, we investigated trends in the plasma irradiation effect on certain materials and carried out an examination to find the optimum conditions for the new-style plasma processing system. As a result, an improvement of the adhesive strength effect was confirmed with regard to resin and metal materials using four kinds of adhesives. It was found that even if the irradiation was performed for 60 seconds or less, a high level effectiveness was obtained with epoxy adhesive. The plasma irradiation in the presence of low-pressure air produced a high level of effectiveness. On the other hand, the distance from the sample stage to the sample had no clear effect on adhesion.

Keywords : Electric vehicle, Plasma irradiation, processing system, Dissimilar materials, Surface process, Adhesive

キーワード : 電気自動車、プラズマ照射、異種材料、表面処理、接着

1 はじめに

接着剤による異種材料の接着・接合技術は、自動車の軽量化等様々な分野で注目されてきている。材料によっては十分な接合強度を得るために表面処理等の工程が欠かせない¹⁾。そこで、有望な表面処理方法の一つであるプラズマ照射²⁾に着目し、少量多品種を扱う中小企業等の生産現場向けの新型プラズマ照射装置の開発に取り組むこととした。これまでに、装置の開発と併せ、試作機を用いて予備実験を行ってきた³⁾。今回、引き続き各種材料に対するプラズマ照射の効果を試験するとともに、新たに開発した装置でのプラズマ照射条件に関して、照射時間、ガス種及び試料位置の最適な条件について検討を行った。

2 方法

2.1 樹脂材料へのプラズマ照射による接着剤を用いた接着の強度向上効果に関する検討

ポリプロピレン (PP)、ポリエチレン (PE)、ポリ塩化ビニル (PVC)、アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン共重合合成樹脂 (ABS) の試験片 (100mm×25mm×2mm) にプラズマ照射装置 (株式会社三弘による委託製作) によるプラズマ照射した。照射条件を表1 (I) に示す。照射後1分以内に、ウレタン系、アクリ

表1 プラズマ照射条件

照射条件	I	II	III
ガス種	空気	空気	空気
チャンパー内圧力 (Pa)	20	40	40
発振器電圧 (V)	100	70	70
照射時間 (秒)	180	180	60
試料位置 (mm)	8	8	8

ル系、エポキシ系、第二世代アクリル系 (SGA) 着剤を用いて2枚の試験片をそれぞれ接着しサンプルとした。接着面積は約312.5mm²とした。また、比較のため未照射の試験片を接着したサンプルも準備した。接着したサンプルは材料強度試験機 (株島津製作所: UH-500kNA) を用いてJIS K 6850に準拠し剛性被着材の引張せん断接着強さ試験を行った。それぞれのサンプル数は2とした。

2.2 金属材料へのプラズマ照射による接着剤を用いた接着の強度向上効果に関する検討

アルミニウム合金 (A5052) およびステンレス鋼 (SUS304) の試験片 (100mm×25mm×2mm) を用い、樹脂材料と同様に作製した接着サンプルで引張せん断接着強さ試験を行った。プラズマ照射条件を表1 (II) に示す。接着剤はエポキシ系、SGAの2種類を用いた。それぞれのサンプル数は2とした。

2.3 プラズマ照射時間による接着強度への影響に関する検討

PP試験片を用い2.1と同様の方法で、プラズマ照射時間の異なる8種類の接着サンプルを作製し、引張せん断接着強さを測定した。照射条件は表1 (II) とし、照射時間のみ10、20、40、60、90、120、180秒で変化させて検討を行った。接着剤はエポキシ系、SGAの2種類を用いた。それぞれのサンプル数は2とした。

2.4 ガス種の接着強度向上効果への影響に関する検討

プラズマを照射するチャンバー内のガス種として、空気、酸素または窒素の3種類を比較した。それぞれのガス種の雰囲気のもと、PPの試験片にプラズマを照射し作製した接着サンプルの引張せん断接着強さを測定した。照射条件は表1 (III) とし、ガス種のみ変更した。接着剤はエポキシ系、SGAの2種類を用いた。それぞれのサンプル数は2とした。

2.5 試料台高さによる接着強度向上効果への影響に関する検討

チャンバー内の試料を設置する位置を、ステージ上0mm (高さなし)、12mm、30mmの高さに設定し、PPの試験片にプラズマを照射した。照射条件は表1 (II) のとおりである。エポキシ系、SGAの2種類の接着剤を用い接着サンプルを作製し、引張せん断接着強さ試験を行った。照射条件は表1 (III) とし、試料位置のみ変更した。それぞれのサンプル数は3とした。

3 結果及び考察

3.1 樹脂材料へのプラズマ照射による接着強度向上の効果

プラズマ照射と未照射のサンプルの試験結果を図1に示す。ほとんどの樹脂でプラズマ照射による接着強度増加を確認した。今回検討した中で、最も高い接着強度が得られた組合せは、PVCとSGAであり、8.5MPaで材料破壊する結果となった。材料破壊の場合、接着強度が材料強度を上回り材料が破壊されているため、接着強度自体はより高い値が期待できると考えられる。一方アクリル系接着剤を用いた場合は照射により接着強度は向上したものの、接着剤自体の強度が低く、2~3MPaの範囲での凝集破壊となった。今回検討した4種類の接着剤の中では、エポキシ系接着剤、SGAを使用した場合に高い接着強度が得られたため、以降の検討では、この2種類を用いて検討を行うこととした。

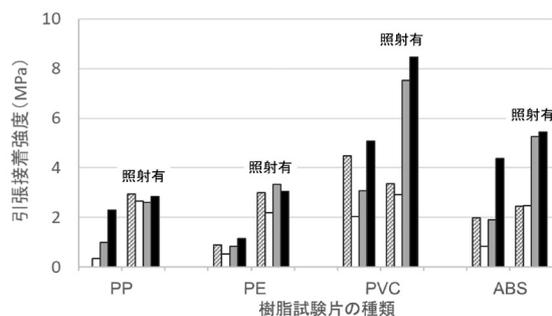


図1 接着サンプルの引張せん断接着強さ (樹脂材料)
アクリル系接着剤を用いたPPの接着サンプルの引張接着強度は0MPaであった
■アクリル系接着剤 □ウレタン系接着剤 ■エポキシ系接着剤 ■SGA

3.2 金属材料へのプラズマ照射による接着強度向上の効果

照射と未照射のサンプルの試験結果を図2に示す。エポキシ系接着剤、SGAいずれの場合も、アルミニウ

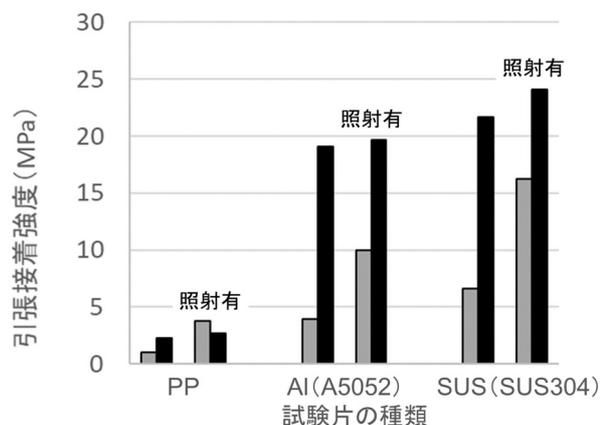


図2 接着サンプルの引張せん断接着強さ (金属材料)
■エポキシ系接着剤 ■SGA

【報告】

ム合金A5052、ステンレス鋼SUS304ともにプラズマ照射による接着強度上昇を確認できた。SGAよりもエポキシ系接着剤を用いた場合、プラズマ照射の効果がより顕著であった。これらの差は照射により改質された表面と接着剤との結合に由来するものと推測しており、今後照射前後の材料表面の元素分析等を行う予定である。

3.3 プラズマ照射時間による接着強度向上効果への影響

照射時間の異なる8種類の接着サンプルの引張せん断接着強さの試験結果を図3に示す。今回試験した範囲では照射時間と接着強度向上効果には相関は認められなかったが、エポキシ系接着剤を用いた場合は60秒以内の照射でも高い効果が得られた。そこで、次の検討では照射時間を60秒とした。一方、SGAを用いた場合は照射時間に関わらず、接着強度向上は認められなかった。

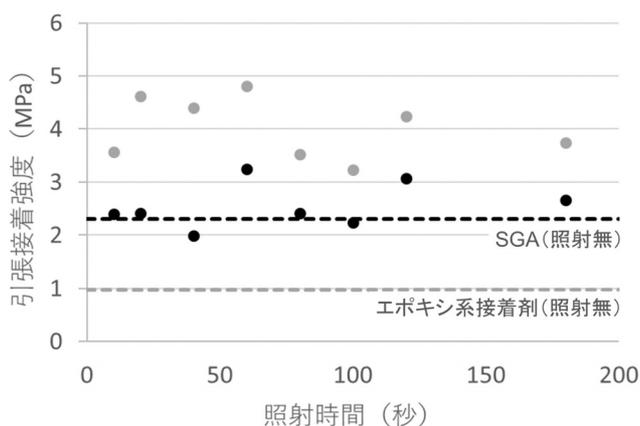


図3 プラズマ照射時間による引張せん断接着強さ変化

●エポキシ系接着剤 ●SGA

3.4 ガス種の接着強度向上効果への影響

空気、酸素、窒素の3種類のガス種について比較した結果を図4に示す。空気、酸素、窒素の順に高

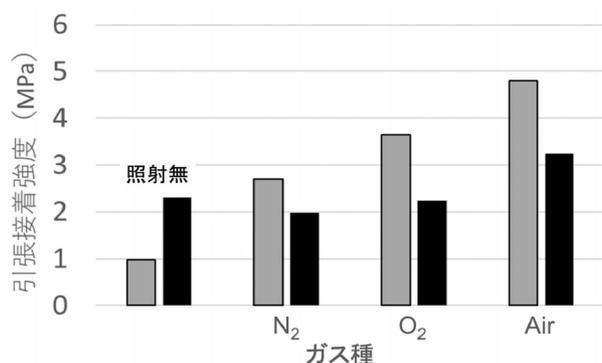


図4 ガス種による引張せん断接着強さの変化

■エポキシ系接着剤 ■SGA

い接着強度向上効果が得られた。SGAを使用した場合は、空気をガス種としたときのみプラズマ未照射時の接着強度を上回る結果となった。プラズマを照射するチャンバー内のガス種として空気をを用いると、PPに対して最も高い効果が得られるということが分かった。

3.5 試料台高さによる接着強度向上効果への影響

今回の検討ではSUS304の試験片をSGAで接着した場合に特に顕著な差が認められたが(図5)、試験片材質や接着剤によってそれぞれ異なる傾向を示したことから、試料台高さによる明らかな影響は確認できなかった。今後、様々な材料や接着剤を用いさらにデータを収集し傾向を調査する予定である。

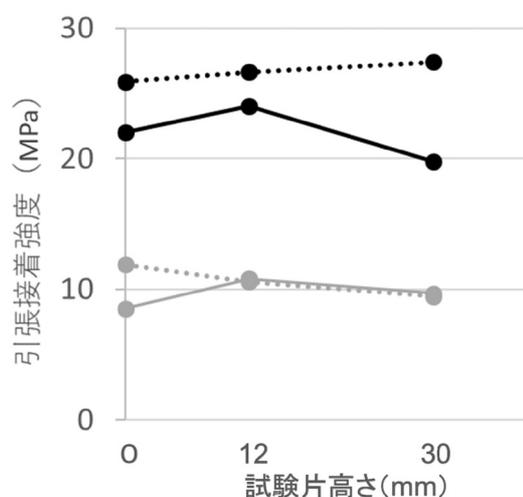


図5 試験片高さによる引張せん断接着強さ変化

●エポキシ系接着剤 ●SGA

破線：SUS304 実線：Al5052

4 まとめ

樹脂材料、金属材料に対するプラズマ照射による接着強度向上効果を確認できた。今回検討した接着剤の中では、エポキシ系接着剤、SGAの2種類を用いたとき、高い接着強度が得られた。

プラズマ照射条件に関して、照射時間、ガス種及び試料位置の3点について最適な条件を探る検討を行った。照射時間に関しては60秒以内の照射でも、エポキシ系接着剤を用いた場合には高い効果が得られることが分かった。ガス種としては空気をを使用したときに最も高い接着強度が得られた。試料位置についてステージ上からの高さを変えて検討を行ったが、材料や接着剤によって異なる傾向を示した。

今後、他の照射条件についても検討を行い、新型プラズマ照射装置での最適な照射条件を探るとともに、

さらに多くの材料や接着剤を用い様々な組み合わせでデータを収集する予定である。

参考文献

- 1) 原賀康介, 佐藤千明: 「自動車軽量化のための接着接合入門」, 初版 (㈱日刊工業新聞社, 東京), 9-35 (2015).
- 2) 電気学会・プラズマイオン高度利用プロセス調査専門委員会: 「プラズマイオンプロセスとその応用」, 初版 (㈱オーム社, 東京), 193-291 (2005).
- 3) 稲葉彩乃 他: 異種材料接合のための新型プラズマ照射装置の開発 (第2報), 静岡県工業技術研究所研究報告, 第11号, 106-107 (2018).