

大気圧プラズマジェットによる電気絶縁樹脂の表面改質

浦井 一^{1*} 劉 智志² 大澤 泰樹² 沖野 晃俊² 小島 寛樹³

Atmospheric Plasma Jet for Electrical-insulation Resin Surface Treatment

Hajime URAI^{1*} Zhizhi LIU² Taiki OSAWA² Akitoshi OKINO² Hiroki KOJIMA³

1. はじめに

現在、ガス流中のギャップ放電や誘電体バリヤ放電を用いることで、比較的容易に大気圧中でプラズマを作成できるようになってきている。大気プラズマは低温のプラズマを大気中に取り出すことができ、ラジカルを用いた殺菌¹⁾などの用途や、歯科治療²⁾、止血³⁾などの医療応用に向けた研究が活発に進められている。東京工業大学の沖野研究室では、マルチガスに対応した温度制御が可能なプラズマジェット装置⁴⁾⁵⁾を開発しており、低温プラズマ照射による応用技術の研究を進めている。

大気圧プラズマジェットを金属や樹脂に照射することで、樹脂表面の親水性・疎水性のコントロールが可能であることから、本研究では、高電圧機器で用いられている樹脂製の絶縁材料の特性改善に着目している。大気圧低温プラズマ照射により樹脂表面を改質して、高電圧分野において課題となっている樹脂製絶縁物の沿面耐電圧の向上および帯電抑制/除電促進といった電気的特性に及ぼす影響の実験的検討に着手した。

現在、大気圧プラズマ発生装置を製作し、プラズマ特性計測システムと絶縁材料表面状態観測システムを構築し、プラズマ照射条件の検討を進めている。ここでは、製作したプラズマ装置の概要と、プラズマおよび樹脂表面の予備的な測定結果について報告する。

2. 大気圧プラズマジェット実験装置

図1に製作した大気圧プラズマジェット装置を示す。電源にインバータ式のネオントランスを用いた9kVの高電圧電源を製作し、コンプレッサを用いて昇圧した作動ガスをプラズマジェット部に導入して、低温プラズマを生成可能とした。

図2に空気プラズマジェットの観測例を示す。ガス流量を調整可能なシステムとして、ガス流量とプラズマ発光特性を測定するなど、樹脂材料へのプラズマ照射条件の検討を進めている。

3. 大気圧プラズマジェットの分光計測

基本的なプラズマ特性を把握するため、ガス流量および作動ガス種(O₂, N₂, CO₂, Ar, Air)に対するプラズマの発光特性を分析した。一例として、図3に空気を用いた分光計測結果を示す。今後、表面処理特性とプラズマパラメータの関係を調査して、絶縁材料の表面処理条件を決定する計画である。



図1. 大気圧プラズマジェット実験装置

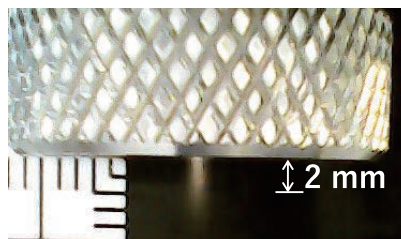


図2. 空気プラズマジェット

¹ 東洋大学 理工学部 電気電子情報工学科
Toyo University

² 東京工業大学 科学技術創成研究院 未来産業技術研究所
Tokyo Institute of Technology

³ 名古屋大学 大学院工学研究科 電気電子工学専攻
Nagoya University

*Corresponding Author: urai068@toyo.jp

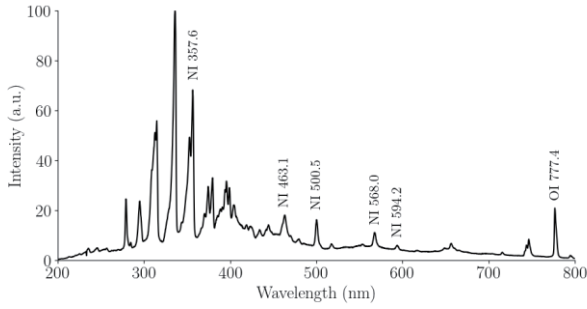


図 3. 空気プラズマジェットの見光スペクトル

4. 被照射試料の表面観測

図 4 に製作した材料表面の濡れ性計測装置を、図 5 に測定例を示す。微量の精製水を滴下して接触角を測定可能な、材料表面の濡れ性計測システムを構築し、プラズマ照射後の絶縁樹脂材料の表面観察を可能とした。

5. 絶縁物表面の電気特性測定

電気的特性として、表面抵抗および帯電量を測定する計画である。帯電量の測定には名古屋大学早川・小島研究室で開発した針電極に高電圧を印加させて帯電量を測定する装置⁶⁾を用いる。

6. おわりに

プラズマ装置および計測装置の導入が完了した。今後、表面処理とプラズマパラメータの関係調査、プラズマ照射条件と材料表面濡れ性の定量化、処理後の電

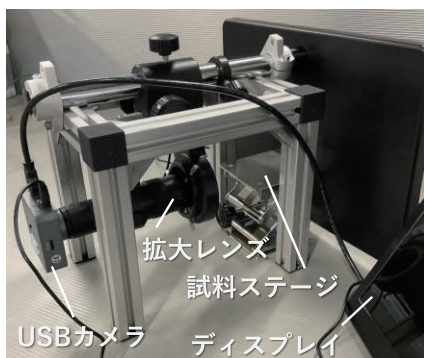


図 4. 表面濡れ特性の測定装置

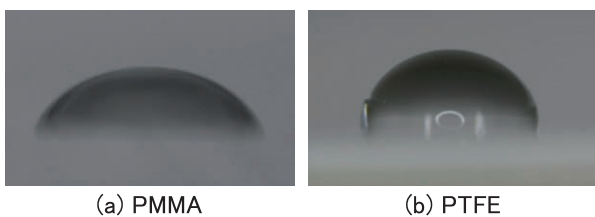


図 5. 表面濡れ特性の観測例

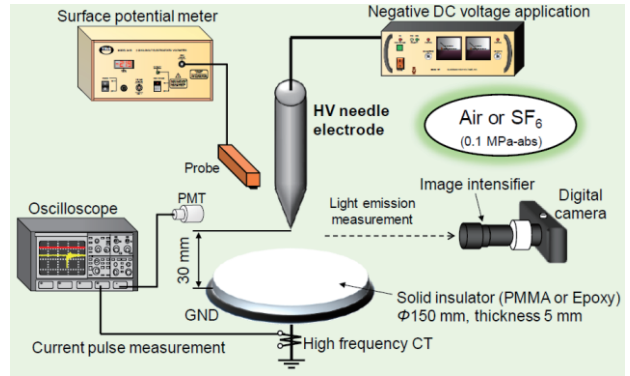


図 6. 固体絶縁物表面の電荷蓄積過程の測定⁶⁾

気特性(表面抵抗、帯電)の調査を進める。

謝辞

本研究は科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)課題番号:22K04057の助成を受けたものである。また、2023年度生体医歯工学共同研究拠点共同研究の助成により医療応用に向けた研究を進めている。

参考文献

- 1) 大澤泰樹・沖野晃俊:「大気圧低温プラズマを用いた殺菌・ウイルス不活化技術(特集 進化する抗菌・抗ウイルスの化学)」, 化学と工業 Vo. 75, No.1, pp. 14-16 (2022)
- 2) S. Cha, Y-S Park: “Plasma in dentistry”, Clinical Plasma Medicine, Vol. 2, No. 1, pp. 4-10 (2014)
- 3) 宮本健司:「大気圧低温プラズマを利用した血液凝固における電流とヘモグロビン濃度の相関」 横浜国立大学大学院博士論文 (2020)
- 4) Y. Suenaga, T. Takamatsu, T. Aizawa, S. Moriya, Y. Matsumura, A. Iwasawa, A. Okino: “Plasma Gas Temperature Control Performance of Metal 3D-Printed Multi-Gas Temperature-Controllable Plasma Jet”, Applied Sciences, Vol. 11, No. 24, 11686 (2021)
- 5) T. Takamatsu, H. Hirai, R. Sasaki, H. Miyahara, A. Okino: “Surface Hydrophilization of Polyimide Films Using Atmospheric Damage-Free Multigas Plasma Jet Source”, IEEE Trans. Plasma Science, Vol. 41 No. 1, pp. 119-125 (2013)
- 6) 中根龍一:「直流高電圧(HVDC)電力機器の複合絶縁構成における電荷挙動と電界推移に関する研究」 名古屋大学博士論文 (2021)
- 7) R. Nakane, H. Kojima, N. Hayakawa, “Time Transition of Activated Conductivity Distribution in Air and Charge Accumulation in Air-solid Composite Insulation Systems under DC Partial Discharge”, IEEE Trans. Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 28, No. 3, pp. 822-828