

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	マルチガス温度制御プラズマジェットの開発と医療および植物工学への応用
Title(English)	
著者(和文)	末永祐磨
Author(English)	Yuma Suenaga
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11819号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:沖野 晃俊,中村 健太郎,北本 仁孝,佐藤 千明,赤塚 洋,岩澤 篤郎, 伊藤 典彦
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11819号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース：電気電子系
Department of Graduate major in ライフエンジニアリング コース
学生氏名：末永祐磨
Student's Name

申請学位(専攻分野)：博士(工学)
Academic Degree Requested
指導教員(主)：沖野晃俊
Academic Supervisor(main)
指導教員(副)：
Academic Supervisor(sub)

要旨(和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「マルチガス温度制御プラズマジェットの開発と医療および植物工学への応用」と題し、大気圧下で様々なガス種のプラズマの安定生成とプラズマのガス温度制御を同時に実現するマルチガス温度制御プラズマジェットを開発し、医療と植物工学に応用した結果をまとめたもので、全 7 章で構成される。

第 1 章「序論」では、大気圧低温プラズマが医療や産業分野で広く応用されていることを紹介し、応用範囲の拡大や処理効果の向上を実現するために、プラズマのガス種の選択とガス温度の制御が重要であることを述べた。

第 2 章「従来の大気圧低温プラズマの生成とプラズマのガス温度制御」では、従来の大気圧低温プラズマの生成方法を記述するとともに、近年開発されている新しい機能や構造を持った大気圧低温プラズマを紹介した。また、これまでに開発されたガス温度制御機能を有するプラズマ装置について述べ、既存のプラズマ装置では様々なガス種でのプラズマ生成とガス温度の制御を両立することが不可能であった点を指摘した。

第 3 章「マルチガス温度制御プラズマジェットの開発と特性測定」では、様々なガス種のプラズマの安定生成とガス温度の制御を両立させたマルチガス温度制御プラズマジェットの設計および製作を行い、温度制御性能と生成される活性種等の特性を評価した結果を述べた。開発した装置は、プラズマ生成部の筐体を介して温度制御流体とプラズマ生成前のガスとの間で熱交換を行い、プラズマ生成前のガスの温度を制御する方式となっている。これを実現するため、数値流体解析を用いて温度制御流体用とガス用の 2 つの流路を持つプラズマ生成部を設計し、金属の 3D プリンタで製作した。そして、製作した装置では二酸化炭素、窒素、アルゴン、酸素のプラズマのガス温度をそれぞれ 29～108℃、28～108℃、3～85℃、17～106℃の範囲で制御できることを示した。各ガス種のプラズマによって生成される活性種はガス種によって異なり、例えば窒素プラズマでは 15 秒間の照射で約 130 μM の OH ラジカルが照射した液中に生成される事を示した。また、プラズマのガス温度の上昇によって、特に二酸化炭素プラズマでは一重項酸素の生成量が増加し、ガス温度が 90℃では 30℃の 8 倍以上の 812 μM が生成される事を明らかにした。

第 4 章「マルチガス温度制御プラズマの殺菌への応用」では、マルチガス温度制御プラズマを利用した液中殺菌手法の開発について記述した。菌懸濁液にプラズマを直接照射する方法では、90℃の二酸化炭素のプラズマを 10 秒間照射することで 10⁸ CFU/mL の *S. aureus* を検出下限値以下まで低下させる殺菌効果が得られた。そして、この殺菌効果はプラズマのガス温度が 30℃のときの約 7 倍であることを示し、プラズマのガス種の選択性およびガス温度制御がプラズマの処理効果向上に重要であることを述べた。そして、二酸化炭素のプラズマ照射では、殺菌効果の向上と相関関係が見られた一重項酸素が殺菌効果に寄与したと考察した。プラズマを液中に直接導入して殺菌を行うプラズマバブリングでは、眼科分野で問題となっている細菌および真菌に対して殺菌効果が得られることを示した。さらに、付着菌殺菌のために超音波併用プラズマバブリング法を提案した。ステンレス板上および医療器具上の *P. aeruginosa* に対して高い殺菌効果を示し、提案手法の有効性を確認するとともに、プラズマ処理と超音波、ファインバブルなどと組み合わせることでより高い処理効果が得られる可能性がある事を述べた。

第 5 章「マルチガス温度制御プラズマの歯科分野への応用」では、マルチガス温度制御プラズマを歯科材料の接着等に応用した結果について記述した。歯科用補綴剤に使用されているジルコニアの表面に窒素プラズマを 10 秒間照射する事で、未処理の約 1.9 倍となる 18.5 MPa のジルコニア-レジンセメント間接着強度が得られた事を示した。処理したジルコニアの表面を X 線光電子分光法で分析すると C-C および C-H 結合の割合が減少しており、表面の有機物汚染が除去されたことが接着強度の向上に寄与したと考察した。

第 6 章「マルチガス温度制御プラズマの植物工学への応用」では、プラズマ処理を用いた植物のゲノム編集について記述した。タバコ葉へのプラズマ照射では、20℃前後の窒素プラズマを 5 秒以内照射することで、植物に損傷を与えない処理が可能であり、この条件で実験を実施する事の必要性を示した。2 秒間の窒素プラズマ照射後に Cas9/sgRNA 溶液に浸す操作で処理したタバコ葉から、ゲノム編集が行われたことを示すハイグロマイシン耐性遺伝子の発現を確認した。この部位を採取してゲノム配列を読み取った結果、想定した切断位置の 2 塩基下流で 4 塩基欠損のゲノム編集が行われている事を確認し、プラズマ処理を用い植物のゲノム編集が可能であることを示した。

第 7 章「結論」では、本論文で得られた成果を総括するとともに、マルチガス温度制御プラズマジェットの実用化における展望を記述した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース：電気電子系
Department of Graduate major in ライフエンジニアリング コース
学生氏名：末永 祐磨
Student's Name

申請学位(専攻分野)：博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員(主)：沖野 晃俊
Academic Supervisor(main)
指導教員(副)：
Academic Supervisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis, entitled "Development of the multi-gas temperature-controllable plasma jet and applications to medical and plant engineering" describes development of a plasma jet source that simultaneously achieves stable plasma generation of various gas species and plasma gas temperature control under the atmospheric pressure, and the results of applications to medical field and plant engineering.

In recent years, atmospheric low temperature plasma has been widely applied in the medical and industrial fields. To obtain a high treatment effect without thermal damage to the targets in atmospheric low temperature plasma application, it is necessary to control the plasma gas temperature and generate plasmas with various gases. Thus, in this study, a multi-gas temperature-controllable plasma jet source that can control the plasma gas temperature of various gases over a wide temperature range was developed. Using the developed plasma jet source, stable plasmas of argon, oxygen, carbon dioxide, and nitrogen were generated, and the plasma gas temperature was controlled between a minimum of 3°C and a maximum of 108°C.

Plasma gas species and temperature were varied to evaluate the reactive species produced and the treatment effect of plasma. In carbon dioxide plasma, the amount of singlet oxygen produced and the bactericidal effect was significantly improved by increasing the plasma gas temperature. The bactericidal effect can be introduced into the water by plasma bubbling, and it showed high bactericidal effect on adherent bacteria when combined with sonication. In the nitrogen plasma, a large amount of OH radical was produced compared to other gases. This nitrogen plasma was applied to the bonding of dental materials. Nitrogen plasma treatment was showed 1.9 times higher bonding strength between zirconia and dental resin cement than non-treatment. By irradiating tobacco with nitrogen plasma at approximately 20°C, the Cas9/sgRNA was introduced and genome editing was achieved.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).