

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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	末永祐磨
		氏 名	職 名	
	主査	沖野晃俊	准教授	氏 名
				職 名
論文審査 審 査 員		中村健太郎	教授	赤塚 洋
	審査員	北本仁孝	教授	岩澤篤郎
		佐藤千明	教授	東京医療保健 大学・教授
				伊藤典彦
				鳥取大学・ 准教授

論文審査の要旨（2000 字程度）

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、7 章構成で日本語で記述されている。

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ている。

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ている。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事が不可能であった点を指摘している。

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ている。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 プリンタで製作している。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ている。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ている。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ている。

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ている。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と記述している。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ている。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ている。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ている。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ている。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により高い処理効果が得られる可能性がある事を述べている。

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ている。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ている。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ている。

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ている。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ている。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ている。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た植物のゲノム編集が可能である事を実証している。

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實用化における展望を記述している。以上を要するに、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に応用する研究についてまとめたもので、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。