

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	大気圧プラズマ生成ガスの気流および温度の活用に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	太田高志
Author(English)	Takashi Ohta
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12497号, 授与年月日:2023年6月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:沖野 晃俊,中村 健太郎,徳田 崇,佐藤 千明,田原 麻梨江,近藤 科江, 千葉 光一
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12497号, Conferred date:2023/6/30, 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：太田 高志
Student's Name

申請学位(専攻分野)：博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of Engineering
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「大気圧プラズマ生成ガスの気流および温度の活用に関する研究」と題し、プラズマを生成するガス気流およびガス温度の重要性を考慮した大気圧プラズマ装置を開発し、単一細胞分析と物質の表面処理に応用した結果をまとめたもので、6 章構成で日本語で記述されている。

第 1 章「緒言」では、医療や産業分野で広く利用されている高温および低温の大気圧プラズマの応用例およびその問題点について記述した。単一細胞分析への応用では、分析感度向上のために細胞を含んだ液滴を加熱してからプラズマに導入するが、細胞が破裂して信号が分裂する問題がある事、表面処理への応用では、プラズマ中の活性種が時間的に急激に減少するため、遠距離表面の処理が困難である問題がある事を述べた。そして、これらの克服のためには、プラズマの生成ガスの気流とガス温度を考慮した装置設計が重要である事を指摘した。

第 2 章「単一細胞分析用ドロプレット試料導入装置の評価」では、一つの細胞中の微量元素分析するためのドロプレット試料導入装置の分析精度の評価を行った。現在のところ、元素の濃度や絶対量が保証された細胞の標準物質が存在しないため、人工のマイクロ粒子を擬似的な細胞標準物質として用いる事を提案し、粒子の選定と分析実験を行った。マイクロ粒子は、大きさがヒト細胞と同程度の直径 2～5 μm 程度であり、体積の偏差が少ないこと、含有元素や熱分解特性がヒト細胞に近いことを条件として探索を行い、市販の磁性ラテックス粒子を選定した。この粒子は酸化鉄の含有率(質量分率)が 4.8 %と保証されているので、一粒子中の鉄の質量信号強度を測定し、装置由来のばらつきの評価を行った結果、ドロプレット ICP 質量分析装置由来の相対標準偏差は約 39%であると評価した。

第 3 章「ドロプレット試料用脱溶媒装置の開発」では、単一細胞中の微量元素を高感度に分析する事を目的として、プラズマへの導入前にドロプレットの溶媒を除去する装置を開発した。従来の脱溶媒装置はヒーターによる高温加熱を用いていたため、細胞が破裂して質量信号が分離し、信号の SN 比が低下するという問題があった。そこで、細胞を低温で長時間加熱するため脱溶媒装置加熱部の経路長を従来の 200 mm から 300 mm に延長させ、細胞が破裂しない脱溶媒装置内のガス温度とガス流速を詳細に調べた。単細胞藻類の単一細胞質量分析を行った結果、細胞を破裂させることなくプラズマに導入することに成功し、単細胞藻類 1 個中に平均約 57 fg 含まれるマグネシウムの信号を検出した。さらに、単一ヒト細胞の分析を行った結果、加熱温度 90℃、キャリアガス流量 100 mL/min の条件で細胞の破裂が生じないことを確認し、単一細胞中のナトリウム、カルシウム、カリウムなどの発光分光分析および質量分析に成功した。また、ドロプレット試料導入用 T 字管をモデル化し、粒子追跡機能を用いた流体解析を行った。その結果、キャリアガス流量を 0.1 SLPM、アディショナルガス流量を 1.9 SLPM に設定することで、最も効率よくドロプレット試料を ICP に導入できる事を明らかにした。

第 4 章「赤外線を用いたドロプレット試料用脱溶媒装置の開発」では、ドロプレット試料中の細胞破裂を防ぎつつ高速に脱溶媒を行うため、赤外線を用いた脱溶媒装置の開発を行った。ドロプレットが飛行する経路に、石英ガラス管の外部から赤外線を照射することで、高速かつガスを加熱しない脱溶媒装置を開発した。発光長 140 mm の赤外線ランプから赤外線を反射集光光学系を用いてドロプレットの飛行経路上に集光した場合、550 W ヒーター電気出力では、150 Hz で射出されたドロプレットの脱溶媒を完了できることを蛍光顕微鏡で確認した。このとき、石英ガラス管内のキャリアガス温度は 70℃程度であり、ガスを 100℃以上に加熱することなくドロプレットの溶媒を気化除去できること示している。さらに、1,000 W のランプ出力では、540 Hz で射出されたドロプレットの脱溶媒が可能である事を示した。

第 5 章「遠隔表面処理のための超音速パルスプラズマジェットの開発」では、プラズマ装置から遠距離の表面処理や高速の表面処理を実現するため、超音速パルスプラズマジェットを製作して基礎特性の測定と表面処理の実験を行った。開発したプラズマジェットは、低速のプラズマ生成用ガスを放電部に供給することで高密度プラズマを生成する事を確認している。次に、生成された高密度プラズマを、超音速のパルスジェットで外部に噴出させることができる。そのため、この装置では、高密度なプラズマを、処理対象に高速に輸送することができ、通常のプラズマ生成時に比べてガス流速が大幅に増大するため、プラズマ中の高密度な活性種が失活する前に遠方の対象に照射させることができた。また、プラズマの噴出速度を調べるため、シュリーレン法を用いて各ガス種のパルスプラズマジェットの流速を測定した結果、全てのガス種でマッハ 1.6～1.7 の超音速流れを確認した。また、試作した装置の表面処理効果を評価するため、銅板の親水化処理を行った。プラズマのガス種の違いによる親水性の向上について調べた結果、遠距離の表面処理ではヘリウム超音速プラズマが有効である事を明らかにした。このことから、ガス気流を制御しながら、遠方の対象に照射させることが重要であることを明らかにした。

第 6 章「結論」では、本論文で得られた成果を総括し、大気圧プラズマ装置の性能を十分に発揮させるためには、従来考慮されてきた放電方法や放電条件の他に、プラズマを生成するガス流と、その温度が重要なパラメータである事を記述するとともに、大気圧プラズマの各種応用における展望を記述した。

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：太田 高志
Student's Name

申請学位(専攻分野)：博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of Engineering
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 'Study on control of plasma gas flow and temperature in atmospheric plasma', describes development of atmospheric plasma application devices that takes into account the importance of controlling the gas flow and the gas temperature that produce the plasma, and summarises the results of its application to single cell analysis and surface treatment of materials.

In recent years, high and low temperature atmospheric plasma has been widely applied in medical and industrial fields. However, flow and temperature of the plasma generation gas have not been considered in design and development of plasma devices.

For analytical applications, droplet plasma emission/mass spectrometer have been developed to analyze elements in single cell. In this study, to realize high sensitive analysis of single plant/human cells an infrared light-concentrating desolvation device was developed, which to evaporate and remove the droplets at low gas temperature. And based on tracking particles by fluid analysis of the gas flow, a sample introduction path was designed and fabricated to achieve higher efficient cell introduction. And a sample introduction system was designed and fabricated to highly efficient introduction of desolvated droplets by designing the flow path, tracking particles by fluid analysis and considering the gas flow. As a result, it was shown that control of plasma gas temperature is important to avoid cell rupture, and desolvation is possible injection frequency up to 540 Hz at the heater electric power of 1,000 W.

For surface treatment applications, a supersonic pulsed plasma jet device was developed to realise surface treatment at long distances and high speed. The results of hydrophilic treatment of copper plates using this device showed that helium plasma was effective for treating surfaces at a distance of more than 20 mm, while nitrogen plasma was effective for treating surfaces at a distance of a few mm.

In this study, by simulations and experiments it was shown the flow and temperature of the plasma generation gas are important for improving the performance of atmospheric plasma devices, in addition to the discharge methods and conditions that have been considered.

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).