

氏 名	山田 大将		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	博 甲 第 8 5 3 9 号		
学位授与年月日	平成 3 0 年 3 月 2 3 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	多元的特性計測による血液凝固を促進する低エネルギー大気圧プラズマに関する研究		
主 査	筑波大学 准教授（連携大学院） （産業総合技術研究所）	博士（工学）	榊田 創
副 査	筑波大学 教授	博士（工学）	阿部 豊
副 査	筑波大学 准教授	博士（工学）	藤野 貴康
副 査	産業技術総合研究所 主任研究員	博士（工学）	加藤 進
副 査	産業技術総合研究所 主任研究員	博士（工学）	清水 鉄司

論 文 の 要 旨

審査対象論文の主な目的は、低エネルギー大気圧プラズマ“LEAPP”が有するプラズマ特性を各種計測器を駆使して明らかにすることとしている。

第 1 章では研究背景が述べられている。プラズマによる血液凝固促進現象において、使用する装置によって現象に相違が生じること、そして血液凝固促進現象の作用機序は未解明であることから、LEAPP を多元的に計測することでプラズマ特性を明らかにすることを目的としている。第 2 章では、本研究で用いた産総研が開発したプラズマ装置の概要が述べられている。当該装置は他の装置と比較して多くの種類の血液成分を凝固促進させることができる。第 3 章ではガス流とプラズマの相互作用に関する研究が述べられ、LEAPP に対して外部静電場を印加した際、電場方向にガス流が屈曲することを明らかにし、その要因を数理モデル解析により考察している。第 4 章では高時間分解画像計測による LEAPP の発光伝播に関する研究が述べられ、照射物がない場合に、ストリーマ放電部の後続領域に現れる発光の縞模様（ストリーション）現象を見出している。更に照射物がある場合に、照射距離の短縮に伴って発光伝播現象が変化することを見出している。第 5 章では LEAPP が生成する活性種（発光分光により計測）の振る舞いに関する研究が述べられ、照射物表面近傍の強い発光領域においても、作動ガスを Ar とした場合では N_2^+ の発光が現れないことを見出し、 N_2^+ 生成は準安定 He によるペニング電離が重要であることを考察している。第 6 章では LEAPP 照射による血清アルブミンの凝集現象に関する研究が述べられ、プラズマと血清アルブミン凝集の関係について、NO、OH、及び準安定 He は凝集の主要因子である可能性が低いことを示している。その一方で、荷電粒子の寄与について考察している。以上、本論文は、低エネルギー大気圧プラズマの特性を各種計測器を駆使して、新たな現象を見出すと共に、そのメカニズムを考察した研究について記述したものである。

審査の要旨

【批評】

審査対象論文は、タイトルの通り、低エネルギー大気圧プラズマが有するプラズマ特性を各種計測器を駆使して明らかにすることを目的としている。プラズマ源としては、他のプラズマ装置と比較して多くの種類の血液成分を凝固促進させることが可能な産総研が開発した低エネルギー大気圧プラズマ“LEAPP”装置を用いて研究が行われている。

1) ガス流とプラズマの相互作用に関する研究について、シュリーレン法によるガス流の可視化を行っている。特に、外部静電場を印加した場合に、電子の一部がガス流から離脱してイオンが加速され中性粒子へのマクロな運動量移行が生じることがガス流屈曲の要因であると推測し、簡易モデル解析を行うことで実験と整合性のある結果を得ている（査読付き国際誌掲載済み）。

2) 高時間分解画像計測による LEAPP の発光伝播に関する研究について、ストリーマ放電部の後方に出現するストリーション現象を見出している。また、照射対象物存在下における照射距離短縮に伴う発光伝播を計測し、特に照射距離 5mm では、正負ストリーマが交互に出現する倍周期現象が現れ、その原因がストリーマ伝播開始直前の残留電荷量の多寡による影響であると考察している（論文投稿中）。

3) 発光分光計測による LEAPP が生成する活性種の振る舞いに関する研究について、Ar ガスの LEAPP では、照射物表面近傍の強い発光領域においても N_2^+ の発光は計測されないことを見出している。そして、窒素混合量の多い領域では電子温度が低下するため、 N_2^+ 生成は準安定 He によるペニング電離が支配的であると考察している（査読付き国際誌掲載済み）。

4) LEAPP 照射による血清アルブミンの凝集現象に関する研究について、血液の主成分である血清アルブミン溶液に異なる作動ガスを照射して実験を行っている。その結果、計測された幾つかの活性種は凝集に関して主要因子ではないことを明らかにしている。そして、荷電粒子が関与している可能性があることを考察している。更に、荷電粒子の単位時間あたりの投入量、不安定な放電、及び溶液の流体的な乱れが凝集作用を阻害する要因となる可能性があることを見出している（論文投稿予定）。

以上本論文の成果として、プラズマによるタンパク質凝集の機序に関する知見を得、生物活性を失わずにタンパク質加工を制御する新たな剤形加工研究につなげている。山田君は、当該分野において学術的に新しい重要な知見を見出し論文化していることから、博士（工学）に値すると評価する。

【最終試験の結果】

平成30年2月8日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。