

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	A Study on Continuum Emission Electron Diagnostics in Atmospheric Pressure Plasma
著者(和文)	VanDer Gaag Thijs
Author(English)	Thijs Van Der Gaag
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12176号, 授与年月日:2022年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:赤塚 洋,小栗 慶之,片淵 竜也,筒井 広明,長谷川 純
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12176号, Conferred date:2022/9/22, 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

(博士課程)

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		Thijs van der Gaag	
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	赤塚 洋	准教授	審査員	長谷川 純	准教授
	審査員	小栗 慶之	教授			
		片渕 竜也	准教授			
		筒井 広明	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「A study on continuum emission electron diagnostics in atmospheric-pressure plasma」(大気圧プラズマにおける連続スペクトル発光電子診断に関する研究)と題し、5章から構成されている。

第1章「Introduction」では、近時様々に応用されている低温大気圧プラズマ (Cold atmospheric-pressure plasma; CAPP) の、電子エネルギー分布関数(Electron energy distribution function; EEDF)計測の必要性を述べている。現状のプラズマ計測技術を概観し、プローブ計測は原理的に利用できず、Thomson 散乱計測は実用性に乏しく、線スペクトル計測でも測定困難と述べている。この現状を克服するため、連続スペクトルの発光分光計測に注目し、測定される連続スペクトルと EEDF の数学的関係を吟味することで EEDF を求める手法を開発することが本研究の目的であると述べている。

第2章「A machine learning method to invert incomplete Volterra-like integral equations」では、CAPP 中の連続スペクトルとして、電子-原子制動放射が可視波長領域で卓越することを述べ、その連続スペクトルが、既知のカーネル関数と EEDF の積を電子エネルギーで積分したもので与えられる理論を提示し、連続スペクトル発光分光放射率から EEDF を求める問題は、逆問題の一つである第1種 Volterra 積分方程式に相当することを明らかにしている。そして、実測波長が分光計測機器の波長感度の制限上、有限の範囲に限られることから、不完全 Volterra 積分方程式として扱われるべきことを指摘している。その解法を比較検討して、遺伝的アルゴリズムをベースにした機械学習手法が最適であることを見出し、自ら確立した一連の具体的計算手法を詳述し、得られた EEDF の精度とエネルギー空間における解像度を検討し、可視域制動放射反転法(Visible Bremsstrahlung Inversion; VBI)として新しく提案している。更に実際の EEDF 計測模擬問題として、Druyvesteyn EEDF に対応する連続スペクトルから、提案手法によって適切に元の EEDF が求められることを確認し、精度とエネルギー空間解像度を議論している。

第3章「Optical emission spectrum acquisition and analysis for continuum spectrum diagnostics」では、連続スペクトル測定の実験的課題とその解決に焦点が当てられている。発光分光計測の基本として、プラズマ発光スペクトル取得と光学機器の波長感度校正のための実験装置が紹介されている。ついで、第2章で提案した手法の実行に対し望ましくない雑音発光源が、実験においては不可避免的に重畳することを確認している。そして、望ましくない線スペクトルの分離除去に関する数理的な手法を新たに提案しその有効性を検証し、その条件設定手法を実験により確認し精度を検証している。

第4章「Practical electron diagnostics using the VBI method」では、実験で得られた Ar-CAPP の発光スペクトルから、第3章の手法に基づき連続スペクトルを抽出し、その連続スペクトルを入力として、第2章で考案した VBI 法を用いて不完全 Volterra 積分方程式を解き、実機 CAPP の EEDF を導出している。その結果を考察して、多くの場合に Ar-CAPP の EEDF が2温度 Maxwell 分布へと簡略化でき、それによって容易に電子の高エネルギーテール成分と低エネルギーバルク成分の温度・密度を議論できることを見出している。その後、本 VBI 手法により得られる EEDF の、Ar-CAPP の放電電圧依存性、及び Ar/He 混合 CAPP の Ar/He 混合比依存性を実験的に精査し、電子エネルギー緩和過程の立場から注目すべき結果が得られていることを指摘し、本研究で確立した VBI 法の有効性を確認している。

第5章「Conclusions and recommendations」では、各章において得られた結果を総括し、本論文の結論としている。

以上を要するに本論文は、簡便な可視域分光器により電子-原子制動放射に起因する大気圧プラズマの連続スペクトルを測定し、それを入力とした不完全 Volterra 積分方程式から機械学習手法に基づき電子エネルギー分布関数を導出する手法を与えたものであり、基礎科学および理学的上貢献するところが大きい。よって本論文は博士(理学)の学位論文として十分に価値あるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(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。