

京都大学教育研究振興財団助成事業
成 果 報 告 書

令和2年 4月 15日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団

会 長 藤 洋 作 様

所 属 部 局 工 学 研 究 科

職 名 教 授

氏 名 蓮 尾 昌 裕

助 成 の 種 類	令和元年度 ・ 研究活動推進助成		
申請時の科研費 研究 課 題 名	ヘリウム準安定原子の2光子励起蛍光分光によるプラズマ3次元時空間診断法の構築		
上記以外で助成金を 充 当 した 研 究 内 容			
助成金充当に関 わる共同研究者	(所属・職名・氏名)		
発表学会文献等	(この研究成果を発表した学会・文献等) "Dynamics Observation of an Atmospheric Pressure and Low Temperature Helium Plasma Jet by Laser Spectroscopy on the 2^3S Atoms" M. Hasuo, J. Kakutani, S. Takagi, K. Ueno, K. FUJII, and T. Shikama, The 28th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research, 5th-8th November 2019, Toki, Japan. 他、国内学会発表2件		
成 果 の 概 要	研究内容・研究成果・今後の見通しなどについて、簡略に、A4版・和文で作成し、添付して下さい。(タイトルは「成果の概要／報告者名」)		
会 計 報 告	交付を受けた助成金額	1,000,000 円	
	使用した助成金額	1,000,000 円	
	返納すべき助成金額	0 円	
		費 目	金 額
		旅 費	398,620
		学会参加費	38,400
		(今後の使用見込)	
		旅 費	470,000
	学会参加費	70,000	
	消耗品	22,980	
当財団の助成に つ い て	(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。) ボトムアップの研究をご支援くださり、誠にありがとうございました。令和元年度の学会中止などにより、本研究に関する発表を、やむを得ず令和二年度の国内学会(日本物理学会秋季大会、9月、熊本、日本分光学会年次講演会、10月、東京)および国際会議(ICAMDATA2020、9月、イタリア・バーリ)でさせていただきたく願います。また、海外航空券料金が不確定なため、概算との差額を消耗品として使用見込みにしています。新型コロナウイルス感染症拡大の今後の状況で予定が変わる可能性があります、その際にもご配慮いただけると大変ありがたく思います。		

研究の背景

プラズマ診断の有効な手法の 1 つとしてプラズマ分光が活用されているが、その中でもレーザー分光計測は、必ずしも使い勝手が良い手法としてプラズマ診断に定着していない。また、通常の線形 (1 光子) 吸収計測ではレーザービームに沿って積分された光吸収値が計測されるので、局所値を得るにはレーザービームと異なる視線から励起蛍光を観測する必要がある。しかしプラズマ計測においては、一般に観測窓の制約があるため、レーザービーム入射と観測視線を独立に用意することは簡単ではない。これらを克服するため、プラズマに対する 2 光子励起蛍光の分光計測を、プラズマ維持・反応に大きな寄与をしていることが知られているにも関わらず、これまで 2 光子励起として対象とされてこなかったヘリウム準安定原子 (2^3S 原子) を計測対象に行うことを提案した。

研究室の現有設備上、提案手法を実際に行うことが容易ではないため、本研究ではプラズマ科学における必要性や他分野への波及効果を多くの研究者に認知してもらうことを目指すこととする。具体的には、熱負荷が小さく反応性が高いという特徴から薄膜生成プロセスや生体医療等の各種応用が注目されており、ミリメートル以下、マイクロ秒以下の空間・時間スケールでプラズマパラメータ (準安定原子密度、ガス温度、電子密度、電場) が変化する大気圧低温プラズマジェットに対して、1 光子レーザー吸収分光計測のデータ解析を押し進め、その意義を明らかにする。その成果を様々な学会や国際会議で報告する。

実験方法

図 1 に実験装置の概略図を示す。内径 1.8 mm、肉厚 0.675 mm のガラス管と冷陰極管インバータ (RSA-1020) を用いた誘電体バリア放電 (電圧振幅 375 V、放電繰返し約 39 kHz) により生成し、大気中に噴出したヘリウムプラズマジェットに対して、DFB 半導体レーザー (Toptica LD-1083-0070-DFB-1) を用いて吸収計測を行った。具体的には、レーザー駆動電流を 100 s にわたり線形変化させることでレーザー光の周波数を掃引しつつ、放電繰返しに同期して放電電流とプラズマを透過したレーザー光強度の時間変化を記録した。

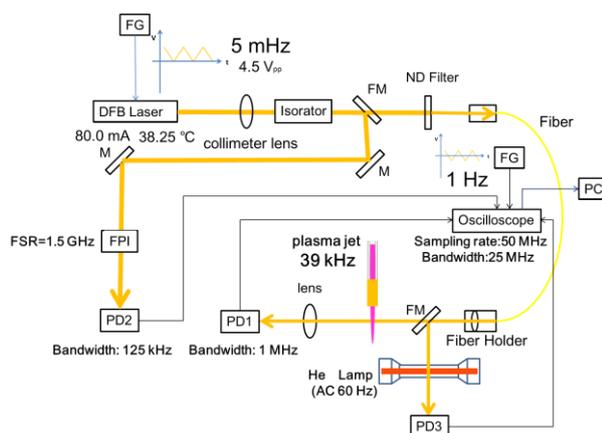


図 1 実験装置図

このデータからレーザー光各周波数での吸光度の時間変化を求め、さらにそれら全体のデータから放電電流ピークからの各時刻における吸収スペクトルを求めることができる。また、レーザー光がプラズマジェットを透過する位置を変えて同様の計測を行うことで空

間分布情報を得ることもできる。

結果

得られた吸収スペクトルの面積から 2^3S 原子の線積分密度を評価し、そのアーベル逆変換を行うことで図に示すような局所密度の空間分布を求めた。その結果、プラズマジェット中を噴出し方向 (z 方向) に約 15 km/s の速さで伝播する電子プルームにより 2^3S 原子が生成されていることが分かった。

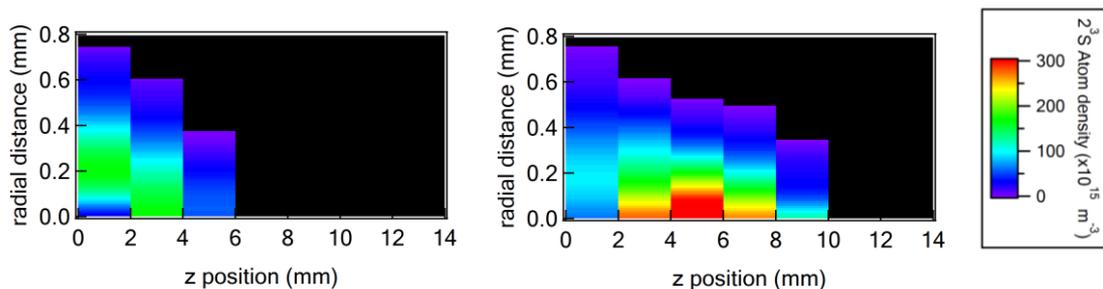


図2 放電電流ピークから (左) $1.0 \mu\text{s}$ 後 (右) $1.4 \mu\text{s}$ 後の 2^3S 原子密度の空間分布

図2のように各時刻で得られた 2^3S 原子密度の空間分布から、 $z=1 \text{ mm}$ 、 $r=1 \text{ mm}$ (動径方向を r 方向とする) における 2^3S 準安定原子密度の時間変化を求めた。その結果を図3に示す。密度は対数で表示している。減衰の傾きからその時定数 $0.96 \mu\text{s}$ が評価でき、減衰が主に空気分子との衝突によること、さらにこの位置でのヘリウムガスに対する空気の混入割合が約 0.025% であることを推定し、その値の位置依存性についても考察した。

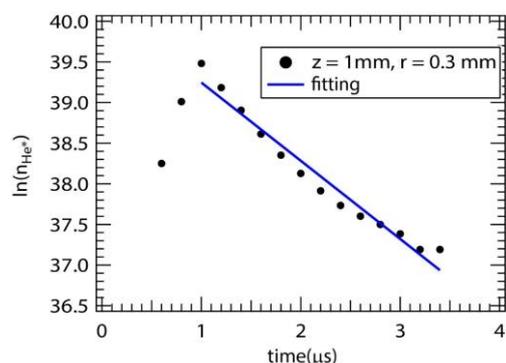


図3 ヘリウム 2^3S 準安定原子密度の時間変化

まとめ

本研究により、図2、図3に示すようなミリメートル以下、マイクロ秒以下の空間・時間スケールで変化するプラズマ中の 2^3S 準安定原子密度から空気混入割合を定量的に評価し、局所計測の重要性を確認することができた。また、その成果を成果報告書に記載した国際会議および以下の国内学会で発表した。

- ・レーザー吸収分光による大気圧低温プラズマジェット中ヘリウム 2^3S 原子のダイナミクス計測：蓮尾昌裕、角谷仁郎、高城翔矢、上野佳祐、藤井恵介、四竈泰一、2019年9月5-6日、原子衝突学会第44回年会 ホットトピック講演
- ・大気圧低温プラズマジェット中ヘリウム 2^3S 準安定原子の時空間挙動の吟味：蓮尾昌裕、角谷仁郎、高城翔矢、上野佳祐、藤井恵介、四竈泰一、2019年9月10-13日、日本物理学会2019年秋季大会