

研究室めぐり

東京都立大学 システムデザイン学部
プラズマ応用研究室 (朽久保・中川研究室)



1. はじめに

東京都立大学システムデザイン学部は情報科学科, 電子情報システム工学科, 機械システム工学科, 航空宇宙システム工学科, インダストリアルアート学科の5学科で構成される工学系の学部であり, キャンパスは東京都日野市(日野キャンパス, 中央線豊田駅から徒歩20分)にある。2018年4月に行われた学部再編で機電系がシステムデザイン学部へ統合されたのを機に, 我々も理工学系電気電子工学コースから電子情報システム工学科へ転籍した。日野キャンパスに新棟(図1)が建設され, 2023年8月末に南大沢キャンパスから日野キャンパスへ移転した。現在は新しい実験室で研究に励んでいる(図2)。

当研究室のルーツは1991年に渡辺恒雄先生(本学名誉教授)によって創設された電力工学講座(工学部電気工学科)であり, 朽久保は1992年に助手として着任した。当時は小講座制であったが, その後, 大講座制, 研究室制へと変遷があり, 2007年からプラズマ応用研究室と称している。プラズマ応用研究室としては, 白井直機先生(2009~2015年度, 現北海道大学准教授), 中川雄介先生(2017年度~)と研究室の運営を行ってきた。本稿執筆時(2024年3月), 教員2名, 大学院生5名, 学部生3名が所属している(図3)。また, 内田諭先生(本学教授)の研究室とは教育研究で協力関係にある。

1992年当時, 渡辺先生が電力工学講座の方針を「環境・エネルギー工学」と定め, 有害ガス処理, 電気集じん, 水処理,



図1 日野キャンパス新棟(6号館)外観



図2 実験室



図3 研究室メンバー(6号館エントランスにて)

殺菌といった研究を開始した。朽久保は主にストリーマ放電による有害ガス処理に取り組み, 以降, 大気圧非平衡プラズマを主な研究対象としている。数値解析や分光診断等を駆使して大気圧非平衡プラズマの基礎を理解し, 応用への展開あるいは橋渡しをすることに独自性を見出すよう努めている。

2. 研究紹介

2.1 プラズマ計測

当研究室では発光分光やレーザ分光により, ラジカル計測を含むプラズマの特性評価を行っている。発光分光では, 単一光子計測法を用いた各種発光の時空間分解計測, 回転温度計測などを行っている。前者においては, 異なる励起エネルギーの発光種を計測することで電子エネルギーや電界の時空間変化に関する情報が得られる。また, 準安定種を介した励起種($N_2(A)+NO(X) \rightarrow N_2(X)+NO(A)$)を介したNO γ -bandなどの発光からは準安定種の時空間分布が得られる。

レーザ分光ではレーザ誘起法(LIF)によるラジカル計

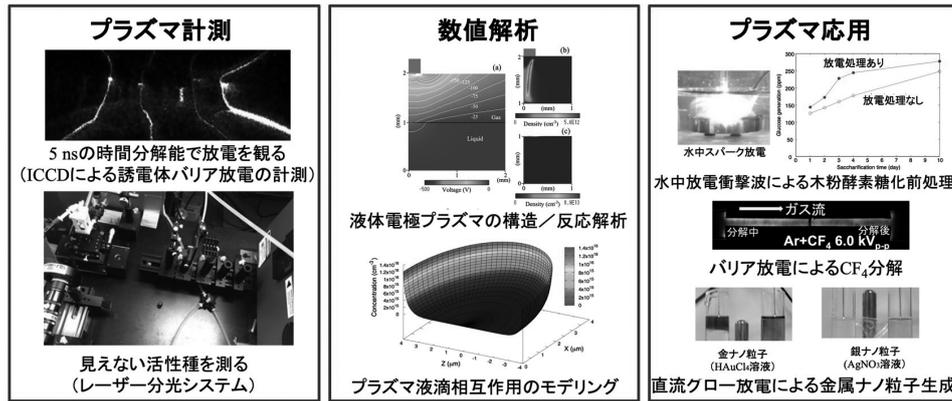


図4 研究紹介 (学部生に配布した研究室案内より抜粋)

測 (OH, NO) を 2000 年代に行った。中川先生の着任以降、二光子吸収レーザー誘起蛍光法 (TALIF) で O 原子や N 原子の計測を行っている。最近、レーザーシート光と ICCD の組み合わせで、O 原子密度の二次元分布計測も可能となったので、今後も様々な条件で計測を進める予定である。

マッハ・ツェンダー干渉計を用いた大気圧グロー放電のガス温度計測も行っている。これはジュール加熱によるガス密度変化を屈折率変化として計測するもので、陰極降下領域での急峻なガス温度上昇を確認できている。

2.2 プラズマシミュレーション

大気圧プラズマに限らず、放電プラズマ中の電子やイオン、ラジカルの計測は、しばしば困難さを生じる。特に、大気圧プラズマでは放電自体が局所的となり、加えて化学反応も高速かつ複雑なために計測を難しくする。適切にモデル化されたプラズマシミュレーションは、プラズマ中の諸量のダイナミクスや因果関係を定量的に与えるので、現象の理解を深める。当研究室では、電子・イオンや中性粒子の輸送過程を流体として扱う流体モデルをベースに、コロナ放電、誘電体バリア放電、大気圧グロー放電など、様々な大気圧非平衡プラズマのシミュレーションを行い、放電のダイナミクスを明らかにしてきた。最近ではガスや液体、熱の輸送過程を考慮した連成解析を進めている。

2.3 プラズマ-液体相互作用

水面や水中での気体放電を用いた水処理や材料プロセスが広く研究されている。これは液面へ輸送されたプラズマ中の荷電粒子やラジカルを起点として液中反応を誘起するものであり、応用研究が先行する一方、プラズマ-液体界面での現象理解は未だ不十分である。当研究室では液体電極を有する大気圧直流グロー放電をプラズマ電極を有する電解反応と位置付け、プラズマから液面への荷電粒子照射に伴う液中界面現象を実験とシミュレーションより研究した。その結果、界面から数 nm 程度の領域で起こる反応が重要であることがわかり、現在は比表面積の大きな液滴の

利用によるプラズマ-液滴相互作用の研究を進めている。

2.4 準大気圧プラズマ

高ガス密度、高プラズマ密度である大気圧非平衡プラズマは高ラジカル密度を実現できる一方、高反応性ゆえにラジカルの寿命は短く、放電も局所的であるため、効率的にラジカルを輸送できていない。この改善策として、20~95 kPa 程度の減圧下でのプラズマ生成、TALIF によるラジカル挙動の解析を行っている。パルスストリーマ放電において、減圧によるストリーマ形状の拡張、密度を維持したままでのラジカルの長寿命化など、準大気圧プラズマの有効性を確認できている。

2.5 環境・エネルギーへの応用

プラズマを用いた水中の Cu-EDTA、Pb-EDTA などの金属錯体除去に関する研究を進めている。これはバングラデシュからの留学生である Tauhida さんが始めた研究であり、いかに効率的に EDTA を酸化するかが鍵となる。現在、除去過程を確認するとともに、その効率化手法の検討を行っている。

セルロース系バイオエタノール製造では、セルロース系バイオマスを糖化しやすいよう前処理が施される。糖化は酵素の添加で行われるため、セルロースと酵素の接触面積を増やすことが一つの解決策となる。当研究室では水中放電衝撃波を用いた前処理による糖化の加速を確認した。また、プラズマ化学反応による前処理についても取り組んでいる。

なお、ここで紹介した2つの応用研究は学生の提案により始めたものであることを付け加えておく。

3. おわりに

プラズマ応用研究室と称しているが、大気圧非平衡プラズマの基礎過程にも重点をおいた研究を進めてきた。今後も原子・分子スケールで非平衡プラズマの科学を究め、学術基盤や新たな応用を創成することで、科学技術の発展や持続可能な環境調和型社会の創成に少しでも貢献したいと考えている。お近くへお越しの際は、是非、お立ち寄りください。

(朽久保 文嘉)