

2021 年度 若手・女性研究者奨励金 レポート

研究課題	微小領域の 3 次元温度速度同時計測法の開発
キーワード	①細管内熱流動場の可視化、②機能性マイクロ粒子、③温度速度同時可視化計測

研究者の所属・氏名等

フリガナ 氏名	イシイ ケイコ 石井 慶子
配付時の所属先・職位等 (令和3年4月1日現在)	青山学院大学 理工学部 助教
現在の所属先・職位等 (令和4年7月1日現在)	青山学院大学 理工学部 助教
プロフィール	学部生時代より JAXA で光学計測法研究に従事、東京理科大学修士課程で応力発光体を専門、東京大学博士課程で熱流体の可視化計測を専門にする。現在は青山学院大学理工学部機械創造工学科にて熱流体の可視化計測を通して種々のエネルギーデバイス開発や物理現象解明に従事。青山学院大学ジェロントロジー研究所客員研究員併任。新型コロナウイルスのエアロゾル感染の予防のための呼気可視化計測などを行った成果がアメリカ物理学会でプレスリリースされる。

1. 研究の概要

微細管を持つエネルギー機器の内部液の温度速度場を正しく理解することは、機器設計や物理現象の理解のために重要である。しかし、微小領域の温度速度場を計測する技術は確立できていない。そこで、本研究では申請者独自のカプセル化技術を用い、高輝度な感温マイクロ粒子を合成する。発光の情報から温度、粒子軌跡から速度を同時に計測することで、微小領域に適応可能な 3 次元温度速度同時計測手法の開発をする。この手法を用いて、実際に微細管をもつエネルギー機器内部流動を明らかにする。

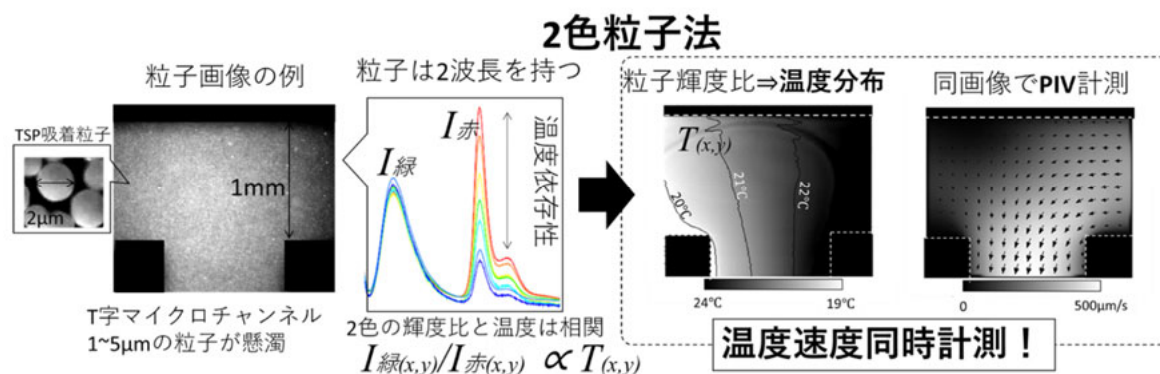
2. 研究の動機、目的

(温度・速度場計測の必要性) 管内面積の向上が高効率化に有効であるため、熱交換機など各種エネルギー機器は微細管を持つものが多い。管内の流体は気液界面を有し、相変化・濃度変化・温度変化を伴う複雑な非定常流れ場となる。微小領域では粘性や表面力が支配的になるため、流れと温度が相関を持つ。非定常流動場を理解するには、温度と流れを別に測るのではなく、同時に計測する必要がある。

(既存の熱流動可視化計測技術) 既存の微小領域の熱流動計測法のうち、速度計測法についてはマイクロ PIV 法が 3 次元でも確立されている。しかし、温度場計測については未だ確立されていない。ピエゾアクチュエータ、共焦点顕微鏡と 2 色レーザー誘起蛍光法を用いた温度場計測法は、微小流れの三次元温度分布計測法としてこれまでに提案された唯一の手法である。しかし長い測定時間を要するため、非定常場の測定には適さない。溶解させた 2 色素間では発光の再吸収が発生し、この光吸収量が温度依存する場合、3 次元計測精度が低下する。速度場も計測できない。この他には任意断面の温度分布を精度良く計測できる方法はな

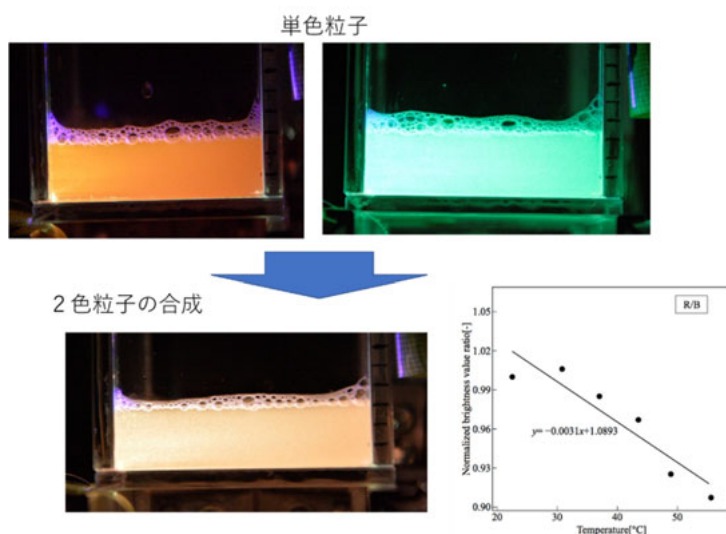
く、温度速度同時計測法については勿論確立されていない。そこで、報告者は以前より、感温性を持つ燐光分子(Temperature Sensitive Paint: TSP)を利用している。TSPは錯体であるため、溶媒に溶解させなくても蛍光を発する。トレーサー粒子にTSPを吸着させ、任意の作動流体に分散させ、利用可能である。発光強度の情報から温度、粒子の移動から速度が同時に計測できる。蛍光の再吸収も起きにくいいため、高精度な三次元計測が可能である。

これまでに、市販の多孔質粒子へTSPを化学的に吸着させたトレーサー粒子を用いて温度速度同時計測を行ってきた。しかし、発光強度が十分でないため、微小領域での高精度計測は実現できなかった。そこで、本研究では近年申請者が独自に開発したカプセル化技術を用い、任意の固形燐光体、顔料、量子ドット等を感じ温センサーとして封入した、高輝度な感温性マイクロ粒子の合成を行う。高シグナルな粒子を得られれば、微小領域の温度速度場の高精度計測が実現できる。さらに、本手法は粒子に任意の物質を封入できるため、相変化物質や磁性流体などを封入し、同時に蛍光標識をすれば、これまで光学計測が難しかった不透明液体の熱流動場を初めて可視化することができ、各種エネルギー機器の内部熱流動場を明らかにできる。



3. 研究の結果

同一の光源で励起できながら、発光波長のスペクトル分離性にすぐれた染料、量子ドットを選定して2色粒子を合成した。カラーカメラのRとBの2色の比から感度を算出したところ、1°C当たり0.31%の変化があり、温度計測に使用可能であることが示唆された。2台のカメラで撮影し、適切な分光を行えばより感度が高くなると考えている。この粒子をもちいて、実際に管路内部の磁性粒子流動場の計測を行った。この結果について、特異な流れを明らかにした。



4. 研究者としてのこれからの展望

開発した手法を壁面を脱着する磁性粒子に適応し、温度と流れの関係を明らかにすることで、複雑熱流動現象に有用なツールや数値計算手法を提供する。

5. 支援者（寄付企業等や社会一般）等へのメッセージ

ご支援のおかげで、必要でありながら手が出にくかった試薬を購入することができ、本手法の有効性を示すことができました。