

論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	甲 第 号	氏 名	栗 山 怜 子	
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学）	佐藤 洋平
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士	菱田 公一
		慶應義塾大学教授	工学博士	岡 浩太郎
		慶應義塾大学准教授	博士（工学）	田口 良広
		慶應義塾大学専任講師	Ph. D.	安藤 景太
(論文審査の要旨)				
<p>学士（工学）、修士（工学）栗山 怜子 君提出の学位請求論文は「Non-intrusive Measurements of Microscale Thermal Flow Field by Spontaneous Raman Imaging（自発ラマンイメージングによるマイクロスケール熱流動場の非侵襲計測）」と題され、7章から構成されている。</p> <p>近年発展の目覚ましいマイクロ熱流体システムにおいて、その効率や機能性は微小流れ場のベクトル量およびスカラー量分布に依存する。従って、システムの高効率化・多機能化に向けて、マイクロスケールの熱流動場を正確に把握するための計測法が不可欠である。しかし現在最も一般的な計測法（マイクロ粒子画像流速計やマイクロレーザ誘起蛍光法）は、流体中に蛍光物質を添加する必要があることから、試料特性や流れ場への潜在的影響が懸念されている。一方で、ラマン分光法は無標識かつ化学種選択的な顕微分析を実現するが、流れ場の二次元的な可視化には殆ど適用されていない。本研究では、微小流動場に適用可能な非侵襲二次元計測法の確立に向けて、自発ラマンイメージングに基づく、温度・速度ならびに壁面極近傍濃度分布計測法の開発を目的としている。</p> <p>第1章では、研究の背景および従来の研究を概説し、研究目的を述べている。</p> <p>第2章では、マイクロ流れに関する基礎事項、ラマンイメージングや顕微計測に関連する光学の基礎事項、ならびに流路作製方法について概説している。</p> <p>第3章では、定常温度場の非侵襲二次元計測に向けて、光学フィルタとカメラを利用したラマンイメージングの開発を行っている。水分子のOH基伸縮振動に起因する自発ラマン散乱光のうち、対照的な温度依存性を示す2つの波長帯（水素結合状態によりHB（hydrogen-bonded）及びNHB（non-hydrogen bonded）と分類する）に着目して、両者の強度比から温度を算出することにより、非一様な励起光強度の影響を低減し、$12.8 \times 12.8 \mu\text{m}^2$の空間分解能を有する温度分布計測に成功している。</p> <p>第4章では、非定常温度場の非侵襲二次元計測に向けて、二波長ラマンイメージングの開発を行っている。2台のカメラと2種類のフィルタから成る光学システムを構築することで、HB及びNHB領域の散乱光の同時計測を可能にし、励起光の時空間的な揺らぎの補正を実現している。本手法による時系列温度計測結果を熱電対と比較したところ、約0.3 K以内の良好な一致が確認されている。</p> <p>第5章では、非侵襲速度計測法の開発に向けて、二波長ラマンイメージングによる温度マーカー追跡に基づく速度算出法を提案している。温度分布計測におけるばらつきに注目し、提案手法の実現性について考察している。光電子増倍ゲインや空間平均処理法などの条件を変更しながら散乱光画像の取得を行い、各パラメータが温度のばらつきに与える影響について実験的に検証している。</p> <p>第6章では、界面極近傍濃度場の非侵襲二次元計測に向けて、全反射ラマンイメージングの開発を行っている。物質界面を選択的に励起可能なエバネッセント波を用い、ラマン散乱光強度と分子数との比例関係を利用することで、界面に特化した濃度計測を可能としている。ダブルプリズム式の全反射顕微鏡とラマンイメージングシステムを組み合わせた装置を新たに構築し、水と重水が非一様に混合するマイクロ流路内のガラス・溶液界面において、各成分濃度の可視化を実現している。</p> <p>第7章では、本論文全体の結論を述べている。</p> <p>以上要するに、本論文では自発ラマンイメージングに基づく画期的な計測技術を提案することにより、微小空間における輸送現象について非侵襲な二次元計測を実現したものであり、マイクロ熱流体工学分野において、工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>				
学識確認結果	<p>学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査会委員および総合デザイン工学特別研究第2（システム統合工学専修）科目担当者で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。</p> <p>また、語学（英語）についても十分な学力を有することを確認した。</p>			