

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Control of Microdroplet Deformation and Dispersion in The Non-Isothermal Field by Laser Heating
著者(和文)	Mu'minGea Fardias
Author(English)	Gea Fardias Mumin
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12072号, 授与年月日:2021年9月24日, 学位の種別:課程博士, 審査員:齊藤 卓志,花村 克悟,野崎 智洋,伏信 一慶,田中 智久,西迫 貴志
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12072号, Conferred date:2021/9/24, 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		Gea Fardias Mu'min	
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	齊藤卓志	准教授	審査員	田中智久	准教授
	審査員	花村克悟	教授		西迫貴志	准教授
		野崎智洋	教授			
		伏信一慶	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文の題目は「Control of microdroplet deformation and dispersion in the non-isothermal field by laser heating」であり、以下の全五章より構成されている。

第一章「Introduction」では、高分子材料加工や食品加工で頻出する異種材料の混合時に見られる分散挙動について概説し、水と油のように相互に溶け合わない非相溶系において、最終的な分散状況が混合物の特徴や機能に大きく影響することを紹介している。特に混合の初期段階において、材料間の粘度差が大きい場合、分散相の変形や分散の進展が阻害されることを指摘し、その解決の必要性を述べている。その上で、流動様式の工夫や、相溶化剤（界面活性剤）の添加といった、現状での分散促進技術を紹介し、それらが基本、等温場を前提とした手法であるため、材料間の粘度差を解消できないと指摘している。一方、全く異なるアプローチとして、外部から導入された近赤外レーザーにより、分散相のみを局所的に加熱することでその粘度を低下させる手法を提示し、そのような系における分散相の変形と分散状況の進展の解析を行い、レーザー加熱が与える分散促進への影響を定量的に議論することが本研究の目的であるとしている。

第二章「Investigation of the thermal radiation requirement for realizing the viscosity ratio modification in immiscible fluid system」では、本論文の研究で用いる材料の選定と、それらの物性測定結果をまとめている。すなわち過去の類似研究を参考に、ポリブテン（以下PB）を分散相、ポリジメチルシロキサンオイル（以下シリコンオイル）を母相として採用した。可視光領域から中赤外領域（0.4~7.5  $\mu\text{m}$ ）に至る吸収分光分析により、ふく射吸収係数の波長依存性を定量化し、分散相となるPBが、全ての波長範囲においてシリコンオイルよりも高い吸収係数を持つことを確認した。その上で、分散相と母相のふく射吸収係数に明確な差を与えるため、以降ではPBに色素を添加して検討を行った。さらに、コーン&プレート型のレオメータを用いて、PBおよび粘度の異なる数種類のシリコンオイルのせん断粘度を、室温から100°Cの温度範囲で測定した。得られた結果から粘度の温度依存性を整理し、室温付近において分散相を母相で除した粘度比が4.3あるいは17.7となるPBとシリコンオイルの二つの組み合わせを検討対象とした。以上を踏まえて、分散相であるPBのみが選択的に近赤外レーザーにより加熱された場合、いずれの組み合わせでも、材料の熱分解温度より低い温度で粘度比が1となり、分散相の変形が容易に進展する条件が存在することを見出した。これにより、本論文で狙いとする近赤外レーザー加熱による分散相の変形および分散促進が可能となることを確認している。

第三章「Droplet deformation of an immiscible fluid system by infrared laser heating」では、対向回転する二重円筒（ポリカーボネート製の外筒は実験で用いる近赤外レーザーに対し透明、内筒はアルミニウム製）装置内の円筒クウェット流れを対象とし、拡大光学系を用いて分散相である微小液滴（直径300~800  $\mu\text{m}$ ）変形の可視化実験を行っている。室温で粘度比が4.3あるいは17.7となる材料組み合わせにおいて、レーザー加熱を行わない場合、円筒クウェット流れにおけるせん断速度が30~40  $\text{s}^{-1}$ に至っても液滴の変形は僅かであり、分散は全く生じなかった。これに対し、近赤外レーザー（発振波長1.07  $\mu\text{m}$ 、最大レーザー強度87.3  $\text{W}/\text{cm}^2$ ）による加熱を行うことで、粘度比4.3の材料組み合わせにおいて液滴が大きく変形するだけでなく、引き伸ばされた液滴が分裂し、分散が進展する様子を捉えた。また、粘度比がさらに大きい17.7においても、レーザー加熱により液滴が大変形することを捉えたとともに、加熱を停止すると一旦は変形した液滴が元の球形に戻る様子や、レーザー強度が過度な場合には液滴内部にトラップされていた微細気泡の急激な膨張による激しい発泡現象を観察した。以上より、外部からの近赤外レーザー加熱により、せん断流れ場にある微小液滴の分散挙動を遠隔的に操作できることを実験的に検証している。

第四章「Droplet breakup of a high viscosity ratio system in a non-isothermal field under laser irradiation」で

は、数値シミュレーションソフトウェア (ANSYS) を用いて、近赤外レーザー加熱が行われた状況での微小液滴内部およびその周囲の温度分布、ならびにそれらの時間変化を推定することで、レーザー加熱の効果を最大限に引き出す指針を明らかにするとともに、実験で得られた事象の解釈を行っている。その結果、液滴サイズが大きい場合にはレーザー強度を小さくすることで液滴の過熱を防ぐことができ、逆に液滴サイズが小さい場合にはレーザー強度を大きくすることで熱拡散の影響を抑制した加熱が行える、という指針を得た。また、分散進展の可否の判定基準となる臨界キャピラリ数と粘度比のマップ上において、実測された粘度とシミュレーションに基づく温度から、対象とする微小液滴のデータ点がレーザー加熱により分散不可の領域から分散可能な領域に移動する状況を定量的に説明できることを示した。以上より、近赤外レーザー加熱により遠隔的に母相と分散相の粘度比を制御する、非相溶系材料の新しい混合法が成立した、と結論づけている。

第五章「Conclusion and outlook for future works」では本研究により得られた成果、知見をまとめるとともに、今後の研究として残された課題に触れ、本研究の発展の方向性について述べている。

以上を要するに、本論文では、せん断変形する母相液体中に存在する分散相である微小液滴を近赤外レーザーにより加熱することで、液滴の変形と分散が促進されることを可視化実験と伝熱シミュレーションにより解析し、その状況が臨界キャピラリ数と粘度比のマップ上で定量的に議論できることを明らかにした。以上の知見は、高分子材料の熔融混合プロセスや二相流中の液滴ハンドリングに幅広く応用可能であり、工学上および工業上貢献するところが多い。よって本論文は、博士 (工学) の学位論文として十分な価値を有す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。