HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on modulation of flow transition by microbubble injection [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	渡村, 友昭
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11449号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55618
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Tomoaki_Watamura_review.pdf, 審査の要旨



Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　　氏名　渡村 友昭

審査担当者　主　査　教　授　村井 祐一
副　査　教　授　大島 伸行
副　査　教　授　渡部 正夫
副　査　准教授　田坂 裕司
副　査　准教授　後藤 晋　（大阪大学大学院基礎工学研究科）

学位論文題名

Study on modulation of flow transition by microbubble injection
(マイクロバブルによる流動遷移の変調に関する研究)

気泡を用いた液体の壁面摩擦抵抗の低減技術は乱流制御技術の一分野として位置づけられ, 船体模型実験を起源として工業的な実用化を主眼に置いた研究が国際的に活発に実施されている. 特に直径 100 マイクロ m 以下の気泡 “ マイクロバブル ” に限ると, 最大で 9 割近い抵抗低減効果が得られることが知られている. しかし既存研究の多くは抵抗低減の効果の報告を主題としており, 抵抗低減の流体物理学的なメカニズムの包括的な解明に到達していない. 本研究論文は, 瞬時乱流秩序渦構造と気泡の分布構造を同時に可視化し, 流動場の瞬時構造とマイクロバブルの運動との干渉について定量的な観察を施し, 抵抗低減効果を作り出す流体力学的機構について明らかにしたものである.

第 1 章では, 本研究の背景, 工学的な研究の必要性, 流体力学的な問題設定について述べている. 過去の研究が対象とした流動場と抵抗低減効果について精査し, それに基づいて本研究の目的と手段が提案されている.

第 2 章では本研究の過程で提案・開発された新しい流体計測法について述べられている. 特に, 色情報を活用した粒子追跡速度計測法 (PTV) の開発に焦点をあて, 従来の二相流計測手法を網羅的に比較しつつ, 本研究に必要な計測系とその結果の特徴について詳述されている.

第 3 章では同軸回転二重円筒間に形成されるテイラー・クエット流れを対象として, 乱流構造を模擬したモデル実験が行われている. 流れの時空間発達問題がなく, 再現性の高い流動場を選定し, 流動場に現れる波動構造とマイクロバブルの粗密分布の干渉を明らかにしている. 可視化計測結果から, マイクロバブルが粗密構造を形成し, 時空間で高度に組織化されて浮上する様子を画像計測により見出していることに新規性がある. また, テイラー・クエット流れでは, レイノルズ数の増加と共に流れ場にはカスケード的に旋回流, 渦 (テイラー渦), 周方向波動, およびその変調波動が出現し, これら流れの状態から流動モードを決定できことから, マイクロバブルの混入による流動モードの遷移レイノルズ数とモードエネルギー成長率の変化について報告している.

第 4 章は, 実験と数値計算を融合した解析手法について, その原理と利点についての説明を原点に展開している. 実験では得られる情報が流れ場を構成する変数の一部に限定されていること, 数値計算では構成方程式が複数持つ安定解のうち特殊解が偶発的に求められる性質を取りあげ, 両者の融合解析の意義を解説している. 提案された融合解析は, 両者からの情報を同時相補的に用いるスキームで, 非定常三次元三成分速度情報の取得に成功している. その結果から, テイラー・クエット流れ

におけるマイクロバブル抵抗低減効果が, 速度場の変形による成分と, 気泡分布やドリフト速度, それらの非線形効果による成分に分解して評価することが可能になったことを示している.

第 5 章は静止流体中へのマイクロバブルの注入による自由浮上気泡流の時空間発達について定量的な観察を行っている. 無数の気泡が存在する場合に生じる大規模な気泡の粗密構造と運動の時空間発達を対象としており, 気泡を連続注入あるいは間欠注入した際における流動構造を対比して議論している. 速度場解析の結果から, 気泡群の上昇に伴い駆動される液相の速度場構造により, 気泡の群同士が合一を繰り返し気泡の粗密構造と液相の速度場構造が肥大化する様子を示している.

第 6 章はマイクロバブルの存在が非定常な時空間発達流れに与える影響を, 水平乱流混合層を用いて調査している. 乱流混合層にマイクロバブルを混入した際に, 初期渦層厚さに対応する波数と同程度の波数に対応したスペクトル強度が限定的に低下すること, ならびにせん断層厚さが増加することを報告している. このことから, 気泡の粗密分布は初期乱れにより形成され, 気泡の粗密分布がその浮力によりせん断層の渦構造の肥大化を促進し, せん断層厚さの増加とスペクトル分布を変形させると結論されている.

第 7 章では各章で得られた結果を総括し, 一連の現象を鳥瞰的に整理するための指標となりうる無次元数が提示されている.

これを要するに, 本論文では, マイクロバブルの混入による流動場の変形とそれに伴う乱流遷移の変調について, 体系的な調査結果から統一的な理解に導く方法論とその成果が論述されている. この成果は, 気泡による乱流制御性能向上に関する従来からの工学的期待と, それを支配する乱流遷移の流体物理学的な本質的関心を接続するものであり, 機械工学および流体力学において永年的価値を有する成果と評される. 以上の理由から, 著者は北海道大学　博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める.