



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Repetitive bubble injection for control of turbulent boundary layers [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	朴, 炫珍
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12306号
Issue Date	2016-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/61741
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Hyun_Jin_Park_review.pdf, 審査の要旨



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 朴 炫珍

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 教 授 深淵 康二 (慶應義塾大学・理工学部)
 副 査 准教授 田坂 裕司

学位論文題名

Repetitive bubble injection for control of turbulent boundary layers

(乱流境界層の制御のための反復気泡注入法)

乱流境界層の制御は輸送機関の効率向上の改善を目的として数多くの研究がある。特にパイプラインや船舶などの長距離輸送システムにおいては駆動力の大半を摩擦抵抗で消耗しており、摩擦抵抗の低減はそれらの効率改善に直結する。液体を媒体とする輸送システムにおいては、この摩擦抵抗を低減させる技術として気泡を用いる手法が有用視され、40 年以上研究されてきた。しかし動力効率や効果の再現性などの問題点が解決されておらず、普及を阻害している。

本論文の第 1 章では、気泡による摩擦抵抗低減に関する先行研究を引用し、気泡による摩擦抵抗低減法の今日までの問題点を説明している。特に、気泡流中に自然発生するボイドの粗密構造が抵抗低減効果を左右する重要因子であると推論し、これを人工的に制御する反復的気泡注入法 (Repetitive Bubble Injection, 以下略称 RBI) を本研究の本題として提案している。以後の章では、RBI に関して異なる流れ体系の五種類の実験により、その流体力学的な基礎、下流持続性、実用化に当たって必要となる計測機材の開発について述べられている。

第 2 章では、RBI によって生じたボイド率分布が、境界層中を下流にどう移流するかを可視化する実験について述べている。本研究のために製作された、曳航平板モデル船による大型水槽実験の結果から、RBI では下流側に制御周波数どおりのボイド波が移流すること、それに伴い周期的な局所抵抗低減が得られることを確認している。一方、従来の連続気泡発生法 (Continuous Bubble Injection, CBI) でも準周期的なボイド波が下流で自然成長することや、高周波数の RBI では複数のピークを有するボイド率変動スペクトルを呈することが発見されたとしている。総じて、片側平板境界層を使った外部流れとしての RBI は正常機能すると結論している。

第 3 章では単一パルスで発生した気泡群が、乱流構造をどう変化させるかについてチャンネル流を利用した可視化実験の結果が述べられている。可視化には、微量のフレーク粒子を懸濁させた液体に、2 色のレーザーシートを境界層内に照射する新しい方法を提案している。その結果、RBI 操作中の単一ボイドパルスは、単相領域で存在した境界層内の縦渦を、分散気泡群の下側に潜り込ませ、長時間存続させることを発見している。すなわち乱流摩擦の原因となる縦渦崩壊、いわゆる乱流バーストの発生頻度の低下が、RBI における抵抗低減促進の一要因を担っていると考察している。

第 4 章では、前章の可視化結果をもとに、超音波ドップラー流速分布計 (Ultrasound Velocity Profiler, UVP) によって、瞬時液相速度ベクトル場を計測し、瞬時構造および位相平均の乱流統計量

の特徴について述べている。この計測では2つの超音波計測線によるドップラーとエコー情報から、気液界面を識別しながら液相乱流構造を抽出するという実験的技術も提唱している。この結果、CBIに比べRBIでは平均ボイド率が低い条件でも高い抵抗低減率を保持することや、その理由が、気泡群周辺に形成される固有のレイノルズせん断応力場にあることを突き止めている。この結果は第3章で述べられた定性的結果を定量化するものであり、最終的にRBIによる抵抗低減効率の向上は、気泡群と縦渦の過渡的な干渉に起因すると結論している。

第5章では、RBIにより水平チャンネル内を周期的に移流する気泡群の下流成長過程を計測し、その結果を統計的に分析して、ボイド率の時空間変動を一次元空間発展方程式としてモデリングする試みについて述べている。気泡群の計測には、近接する2本のレーザー散乱を利用した新しい壁面ボイド率計測技術を提案している。統計解析の結果、RBIによるボイド波は、移流拡散方程式に非線形移流項と分散項を追加したKdV-Bergers方程式により内外挿推定が可能であると提唱している。

第6章では、RBIの船舶等への実用化を念頭に、水平壁面を沿って移流する気泡の超音波による新しい高解像度モニタリング技術の開発について述べられている。超音波エコーの実験値と、波動方程式の数値解析から、壁面に近接して移流する液体中の個々の気泡を、反対側壁面からの超音波トランスデューサの設置により定量可視化することに成功している。この技術は、船舶やパイプラインなどにおいて外部から非侵襲で気液二相乱流境界層を定量把握することが可能となったとして、将来的な実用性を論じている。

第7章では、本研究の結論及び、船舶等への応用にあたっての今後の課題と展開について述べている。

以上を要するに、本論文は、乱流摩擦抵抗を低減するための新しい気泡注入制御法の提案と、その実際の効果、ならびに流体力学的な内部機構を論述したもので、さらにその手段として、超音波やレーザーによる新しい二相流計測技術を提唱している。これらの研究成果は、気液二相流ならびに乱流制御に関わる流体力学に対して貢献するところ大なるものがある。よって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。