



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Drag reduction induced by void waves propagating in turbulent boundary layers [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	田中, 泰爾
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15362号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/89408
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Taiji_Tanaka_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 田中 泰爾

審査担当者 主 査 教 授 村井 祐一
副 査 教 授 渡部 正夫
副 査 教 授 大島 伸行
副 査 准教授 田坂 裕司

学位論文題名

Drag reduction induced by void waves propagating in turbulent boundary layers

(乱流境界層を伝播するボイド波による抵抗低減効果)

海運需要の長期的な拡大に際して船舶による温室効果ガス排出量の抑制が課題となっており、船体の抵抗を従来より大幅に削減する技術が求められている。国際海事機関 (IMO) は 2050 年までに 50 パーセントの温暖化ガス排出制限、2080 年までにゼロエミッションの目標値をかかげ、この中で船舶海洋工学の技術で世界をリードしてきた我が国が率先して先端技術開発を推進すべきとして国交省や関連学協会がこれを実現するための具体的なマイルストーンを発表している。特に石油タンカー、コンテナ船、豪華客船などの大型船舶は、一隻だけで火力発電所に匹敵する重油を消費しており、抵抗低減や代替燃料、風力や太陽光発電の併用など様々なグリーン船舶技術開発への投資が開始されている。これら大型船舶では船体抵抗の約 80 パーセントを海水と船体壁面との摩擦抵抗が占める。この摩擦抵抗を軽減させる技術提案の中で、乱流境界層に気泡を注入する方法を空気潤滑法 (air lubrication method) と呼び、実用化研究の段階にある。本学位論文では、その性能向上を実現する流体制御方法と、その物理メカニズムの解明に関して一連の成果をまとめられている。

第 1 章では研究の背景と目的について述べられている。特に空気流量を周期変動させる間欠的気泡注入法が、従来の空気流量を一定にする連続的気泡注入法と比較して高い抵抗低減作用を得られることについて説明され、本研究の動機と狙いが論述されている。

第 2 章では長さ 4 m の模型船を用いて、船底に生じた乱流境界層におけるボイド波の空間発達を調査している。移流拡散方程式に基づく数理モデルを用いた評価により、ボイド波が気泡注入の位置から数十メートル以上下流まで持続可能であることが示されている。

第 3 章では、特定の空気注入周波数で抵抗低減効果が約 2 倍に増加することを発見した結果について詳述され、間欠的気泡注入の技術展開性について述べられている。

第 4 章では、長さ 36 m の模型船を 8 m/s で曳航する大規模実験において連続的気泡注入を行い、その結果について掲載されている。

第 5 章では、同様の準実船規模の環境における間欠的気泡注入の試験を行い、間欠的気泡注入は船底面の摩擦抵抗を 24 パーセント低減し、連続的気泡注入より 5 パーセント高い効果を生じたことについて述べられている。また気泡注入位置から下流に向けての局所の抵抗低減を測定し、間欠的気泡注入は 100 m 以上の下流持続性が見られることが示されている。

第 6 章では、第 4 章・第 5 章の大規模試験の結果を利用し、実船における空気吹き出し動力を含めた正味省エネルギー性能について解析を行い、空気流量の時間変動による吹き出し動力の増加を加

味しても、間欠的気泡注入が従来と比較して高い性能を発揮するという解析結果を得ている。

第7章では、36 m の長い流下距離において現れる間欠的気泡注入が引き起こす壁面摩擦の変調に注目し、空気潤滑作用の空間遷移について説明している。特に下流の領域では、壁面せん断応力の周期波形が気泡群の後半部分において顕著な抵抗低減作用をもたらすことを発見している。

第8章では、複数の実験において観測された間欠的気泡注入における局所壁面せん断応力の時間変動について流体力学的な基礎に立ち戻って理解するため、局所ボイド率の急減を与えた水平チャンネルにおける乱流構造の時間変化を計測している。その結果、乱流強度とレイノルズせん断応力がボイド率の急変時に大きく抑制され、この非定常作用が間欠的気泡注入による摩擦抵抗低減効果をもたらしているとして理由づけている。

第9章は全ての成果についてまとめた結論が述べられ、船舶の摩擦抵抗低減技術の中核となるボイド波を用いる手法について今後の重要課題と展望について論じている。

これを要するに、本論文では、船底に気泡を注入することによる摩擦抵抗低減技術の性能を向上させるため、周波数を主要な実験パラメータとした間欠的気泡注入の効果を試験し、特定の周波数で抵抗低減効果が最大化することを発見している。この効果は水平チャンネル、小型模型船、大型曳航水槽実験でそれぞれ立証され、本手法が今後の船舶における乱流境界層制御技術の展開に大きな役割を果たすことを明らかにした。この成果は、船舶における温暖化ガス排出抑制技術の発展を支援し、転じて気液二相流を活用する流体力学およびその産業利用に大きく貢献するものである。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。