

## 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	難波江 佑介
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(工学), TeknD 深淵 康二
	副査	慶應義塾大学教授	Dr.-Ing. 小尾 晋之介
		慶應義塾大学准教授	Ph.D. 安藤 景太
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 小林 宏充
<p>(論文審査の要旨)</p> <p>学士(工学)、修士(工学)、難波江佑介君提出の学位論文は、「Drag Reduction Effect by Traveling Wave-Like Wall Deformation in Turbulent Channel Flow (チャネル乱流における進行波状壁面変形による抵抗低減効果)」と題し、本編6章により構成されている。</p> <p>様々な産業機器に現れる流体の流れに起因する流動抵抗はエネルギー損失の大きな要因である。このうち壁に沿う乱流の摩擦抵抗に関しては、これまでも壁面性状の工夫などの受動的な手法や、センサ・アクチュエータを用いたフィードバック制御手法などが研究されてきたものの、前者では効果が十分でなく、後者は実用デバイス製作が困難であることから、どちらもいまだ実用化には達していない。一方、ここ10年来、センサを用いず流れにアクチュエーションを加える進行波状壁面変形が精力的に研究されており、低レイノルズ数の乱流に対しては顕著な乱流摩擦抵抗低減効果が数値シミュレーションや風洞実験によって確認されている。しかしながら、実際の産業機器に現れる高レイノルズ数乱流におけるその効果は未知であり、今後実用化に向けた研究を推進するためには、高レイノルズ数乱流における制御効果を明らかにする必要がある。本論文の著者はこの点を解明すべく、異なるレイノルズ数のチャネル乱流の直接数値シミュレーション(DNS)を行うことで進行波状壁面変形による乱流摩擦抵抗低減効果を調査している。また、その効果について、レイノルズ数に依存しないスケール則を見出すことにより、高レイノルズ数乱流における制御効果を予測する半経験式を提案している。さらに、実際の進行波状壁面変形デバイスにおいて避けることが難しいスパン方向の振幅変化を考慮したDNSも行い、その効果を検討している。</p> <p>第1章では、乱流の制御に対してこれまでに提案された数々の手法を分類し、それらの長所および短所を整理し、問題点を抽出することにより、本研究を動機づけている。</p> <p>第2章では、本研究で用いるDNSの数値計算法や計算条件、および制御効果の評価手法について述べるとともに、本研究におけるDNS結果の健全性の確認を行っている。</p> <p>第3章では、スパン方向に一樣な進行波状壁面変形を対象とし、異なるレイノルズ数のチャネル乱流に対して壁面変形のパラメータである振幅、波数、位相速度を様々に変化させたDNSを行い、抵抗低減効果および乱流統計量の変化に関して詳細な分析を行っている。さらに、制御された流れの平均流速分布に関してレイノルズ数に依存しない半経験式を提案し、高レイノルズ数における抵抗低減効果を予測している。これより、実用機器における高レイノルズ数乱流においても、本制御手法で20-30%の抵抗低減が可能であることが示されている。</p> <p>第4章では、スパン方向に振幅変化がある場合の進行波のDNSを行い、そのスパン方向波長が極端に短くならない限り十分な抵抗低減効果が得られることを示し、スパン方向に一樣な進行波の場合との抵抗低減メカニズムの相違点を明らかにしている。</p> <p>第5章では、さらなる抵抗低減の可能性を探るべく、DNSとベイズ最適化を組み合わせることによって進行波パラメータの最適化を行っている。その結果、比較的低レイノルズ数のチャネル乱流に対して、周期的な流量変動を許す場合には60%の抵抗低減も可能であることが示されている。</p> <p>第6章は結論であり、本論文の結果の総括と今後の展望を述べている。</p> <p>以上の研究結果は、従来手法に比して実用化可能性の高い乱流摩擦抵抗低減手法の構築の礎となるものであり、これを発展させ実用化させることによりカーボンニュートラル社会の達成にも資することが期待され、学術的にも工学的にも極めて有意義といえる。</p> <p>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	学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査委員会委員で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。 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。		