

超音波振動で乱流抵抗を9割低減、 翼性能を10倍向上

千葉大学 大学院 工学研究院
教授 劉 浩

2025年9月30日

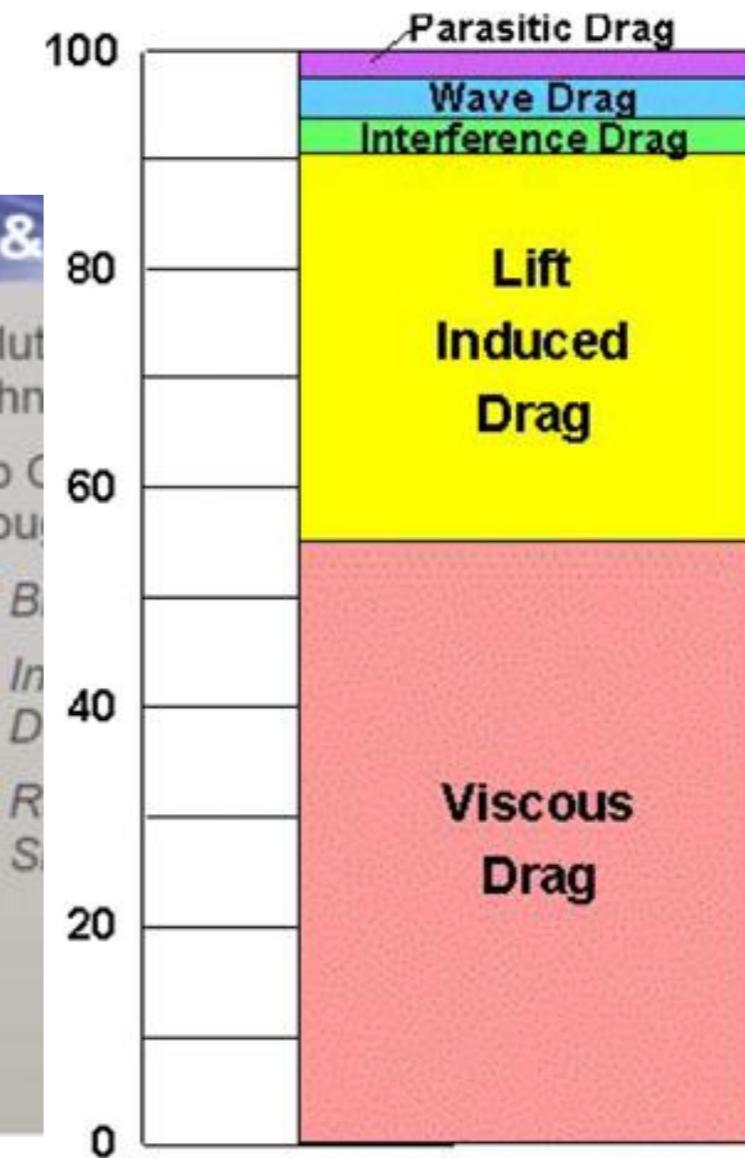
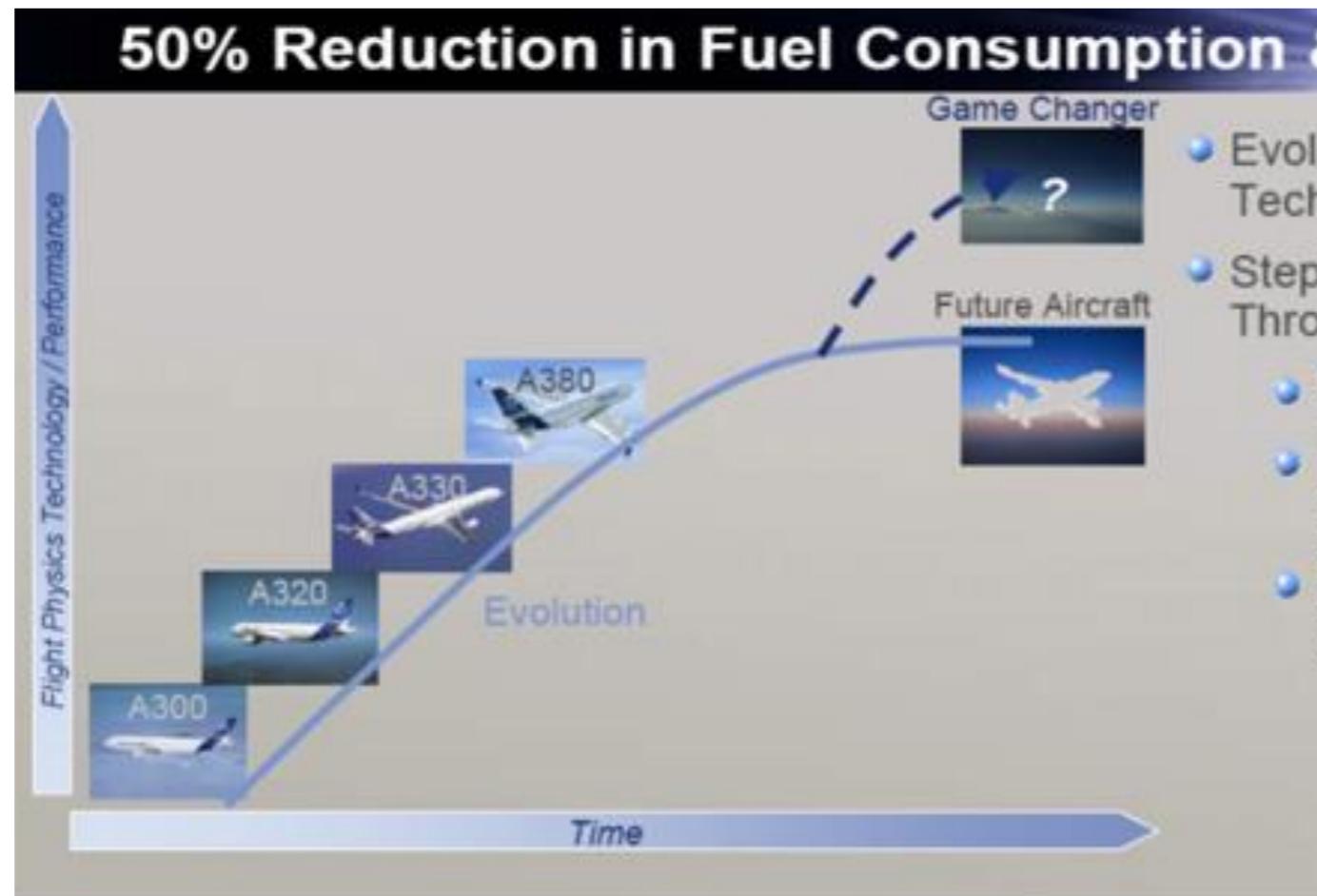
新技術の概要

本発明は、イルカ皮膚表面の微細な超音波振動を模倣した壁面波動を用いることで、乱流境界層内の多重渦構造を能動的に制御できる新たな乱流制御戦略を提案した。その結果、乱流抵抗を90%以上削減し、翼の空力性能を従来比で10倍以上向上させることに成功した。

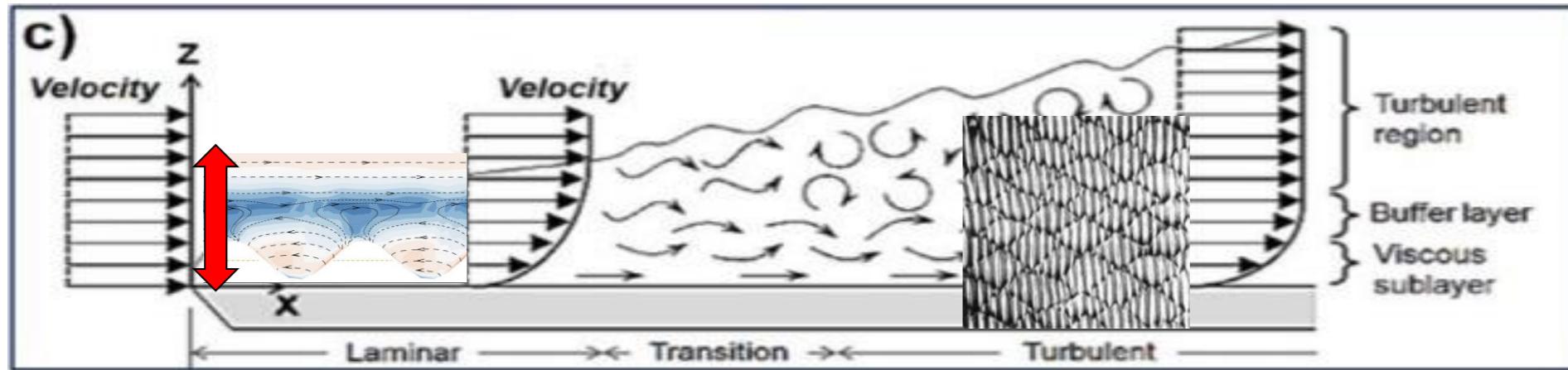
乱流抵抗低減の意義と現状

壁乱流摩擦抵抗は、航空機、船舶、電車、自動車等あらゆる乗り物の移動におけるエネルギー損失と燃料消費の重要な原因である。

Prog. Aerosp. Sci. 28(2021)



乱流抵抗低減の意義と現状



従来技術の乱流制御方法

受動的手法

壁面荒さ(micro-groove)

超疎水性表面

サメ肌規範型ribletなど

能動的手法

吹き出し/吸い込み

壁面運動

壁面スパン方向の進行波
振動(低周波数大振幅)

層流乱流遷移や乱流変動

壁乱流速度変動

従来技術とその問題点

既に実用化されている技術としては、表面荒さや超撥水性などの微細構造、および気泡を用いた静的（受動的）手法がある。

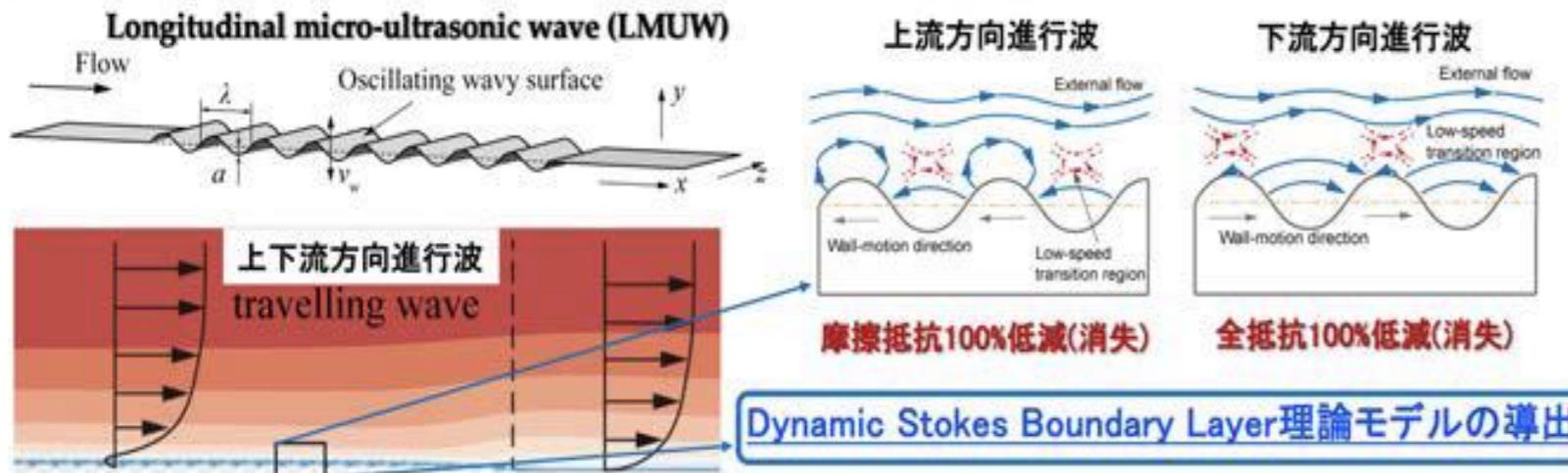
しかし、これらは実環境の複雑な流れ場に対して影響を受けやすく、乱流境界層内の渦構造を能動的に制御することができないため、

一般に20%以上の抵抗低減や翼性能の大幅な向上を達成することは困難である。

イルカが拓く革新的な乱流制御・流体抵抗低減法



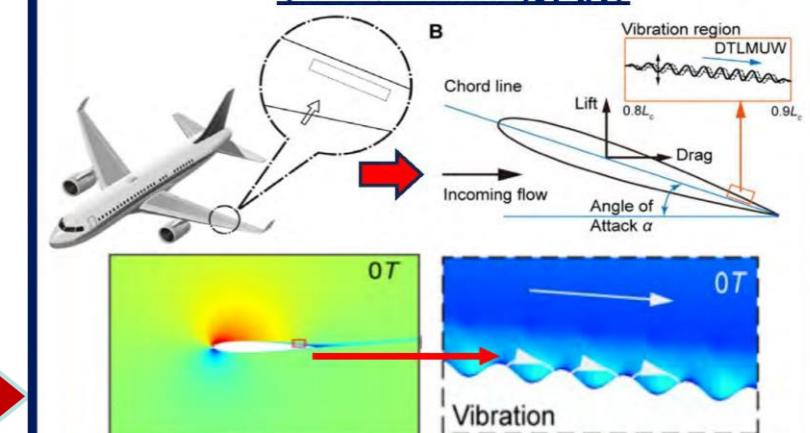
発見: イルカ規範型マイクロ超音波振動による能動的乱流制御と流体抵抗低減/消失



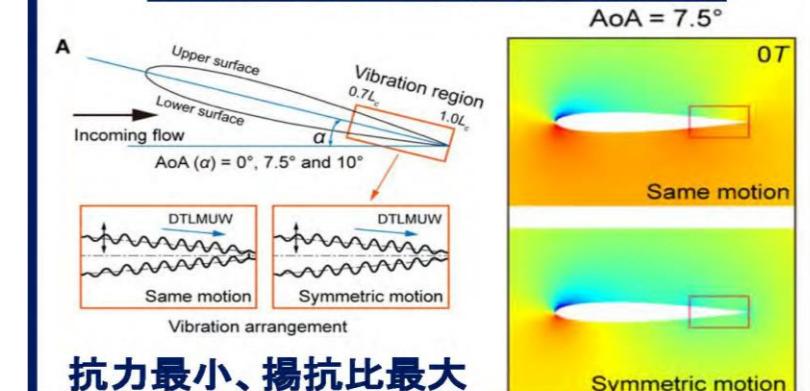
特開2023-57879, Phys. Fluids.36 (2024)

翼の空力性能の革新

翼周り複雑流れへの有効性検証
(LES/RANS解析)



翼空力性能の革新的最適化
(LES/RANS解析と深層学習)



特願2024-118446, Sci. Rep.15 (2025)

イル力が拓く革新的な乱流制御・流体抵抗低減法

Physics of Fluids

ARTICLE

pubs.aip.org/aip/pof

www.nature.com/scientificreports/

Turbulent drag reduction using dolphin-inspired near-wall ultrasonic microvibrations

Cite as: Phys. Fluids **36**, 051910 (2024); doi: [10.1063/5.0209761](https://doi.org/10.1063/5.0209761)

Submitted: 22 March 2024 · Accepted: 9 May 2024 ·

Published Online: 28 May 2024



Dongyue Wang (王冬月)^{1,2}  and Hao Liu (劉浩)^{1,2,a} 

AFFILIATIONS

¹Shanghai Jiao Tong University and Chiba University International Cooperative Research Center (SJTU-CU ICRC), 800 Dongchuan Road, Minhang District, Shanghai 200240, People's Republic of China

²Graduate School of Engineering, Chiba University, 1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522, Japan

^aAuthor to whom correspondence should be addressed: hliu@faculty.chiba-u.ac.jp

ABSTRACT

The skin-friction drag generated by wall-bounded turbulent flows can potentially be reduced by a wall-parallel oscillatory motion. Inspired by microvibrations and the high sensitivity of dolphin skin, we examine whether wall-normal undulating motion actuated by longitudinal micro-ultrasonic waves (LMUWs) with ultrasonic-frequency oscillations and micro-size amplitudes significantly alters the multi-eddy motion on the surface, thereby reducing skin-friction drag. Simulations of the LMUW-induced turbulent flows are performed in an open channel at a Reynolds number of 1.24×10^6 for three motion modes, i.e., two traveling waves (downstream and upstream) in the streamwise direction and a standing wave. It is verified that the wall-normal turbulent fluctuations are markedly altered within the viscous sublayer of the turbulent boundary layer, resulting in a reduced velocity gradient. This leads to lower or even extinguished friction drag, which is strongly associated with the LMUW-excitation mode. Informed and validated by numerical results, we further derived a theoretical model for the dynamic boundary layer. This model is based on Fourier series expressions of the velocities and is used to elucidate the underlying mechanisms in association with the LMUW-excited turbulent flow and active friction drag reduction. The results indicate that upstream traveling waves enable 100% friction drag reduction, while downstream traveling waves are capable of overcoming the trade-off between friction and pressure drag, accomplishing 100% total drag reduction. This study thus provides a novel active and controllable method for turbulent drag reduction.

Published under an exclusive license by AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0209761>

29 May 2024 02:07:47

scientific reports



OPEN A novel aerodynamic drag-reduction mechanism using dolphin-inspired ultrasonic microvibrations

Dongyue Wang^{1,2} & Hao Liu^{1,2} 

Aerodynamic drag, particularly viscous drag, is a significant source of energy loss in aircraft, with its reduction being critical for improving overall aerodynamic performance. Here we introduce a novel strategy to reduce drag while enhancing lift-to-drag ratio by utilizing dolphin skin-inspired downstream-traveling longitudinal micro-ultrasonic waves (DTLMUWs). A turbulent drag reduction system was developed by applying DTLMUWs to the upper and lower surfaces of a NACA 0012 airfoil. Turbulent simulations at varying angles of attack (AoA) from 0° to 10° reveal that DTLMUWs excite a dynamic boundary layer that actively modulates turbulent velocity fluctuations within the viscous sublayer. This mechanism enables up to 90% reduction in total drag (friction and pressure drag), with minimal perturbation to the macro-flow around the airfoil. Consequently, a substantial increase in pressure-based lift is achieved, resulting in a more than tenfold improvement in lift-to-drag ratio at an AoA of 7.5° , and further enhancements at lower AoAs (2° to 5°) in level flight. These results present a transformative approach to drag reduction that could significantly advance aerodynamic design in aviation.

Keywords Turbulent drag reduction, Dolphin, Ultrasonic microvibrations, Aerodynamic performance, Airfoil design

特願2024-118446, Sci. Rep.15 (2025)

特開2023-57879, Phys.Fluids.36 (2024)

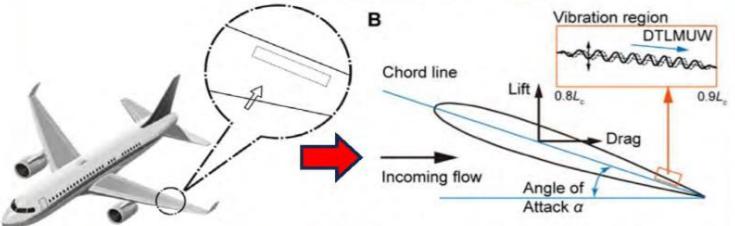
新技術の特徴・従来技術との比較

- ・イルカ皮膚表面の微細な超音波振動に着想を得た壁面波動振動を応用することで、乱流抵抗を能動的に大幅低減あるいは完全に消失させることが可能であることを発見した。
- ・本技術を航空機の翼表面に適用し、マイクロ超音波振動システムを組み込むことにより、乱流抵抗を90%以上低減し、翼の空力性能（揚抗比）を従来の10倍以上に向上させることができる。

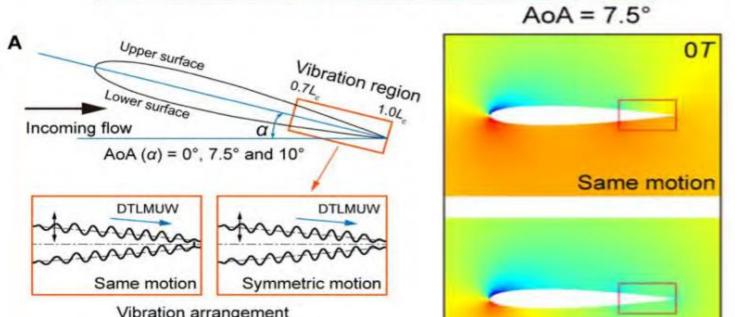
新技術の特徴・従来技術との比較

翼の空力性能の革新

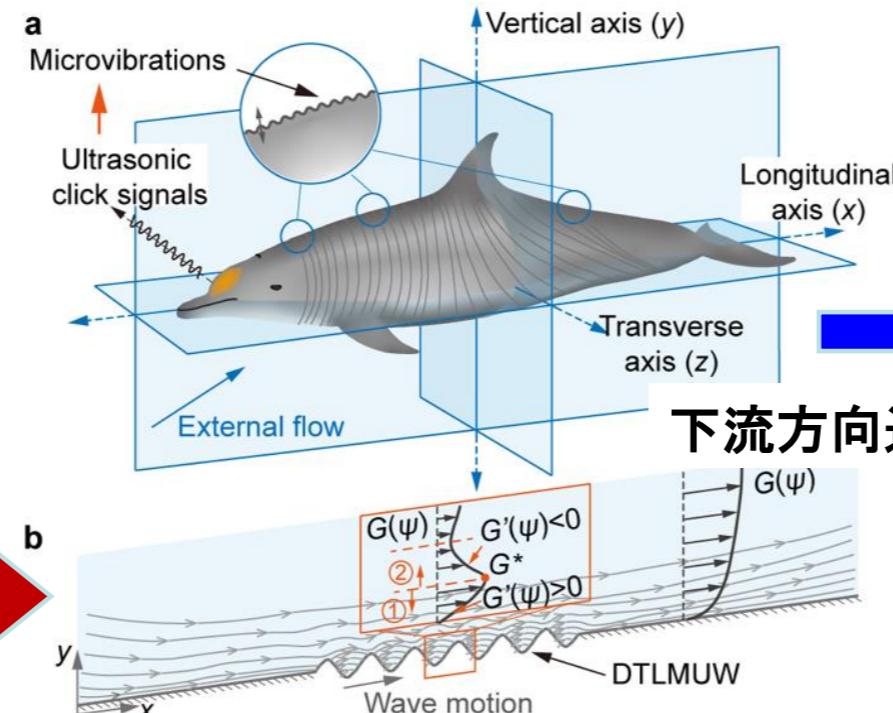
翼周り複雑流れへの有効性検証 (LES/RANS解析)



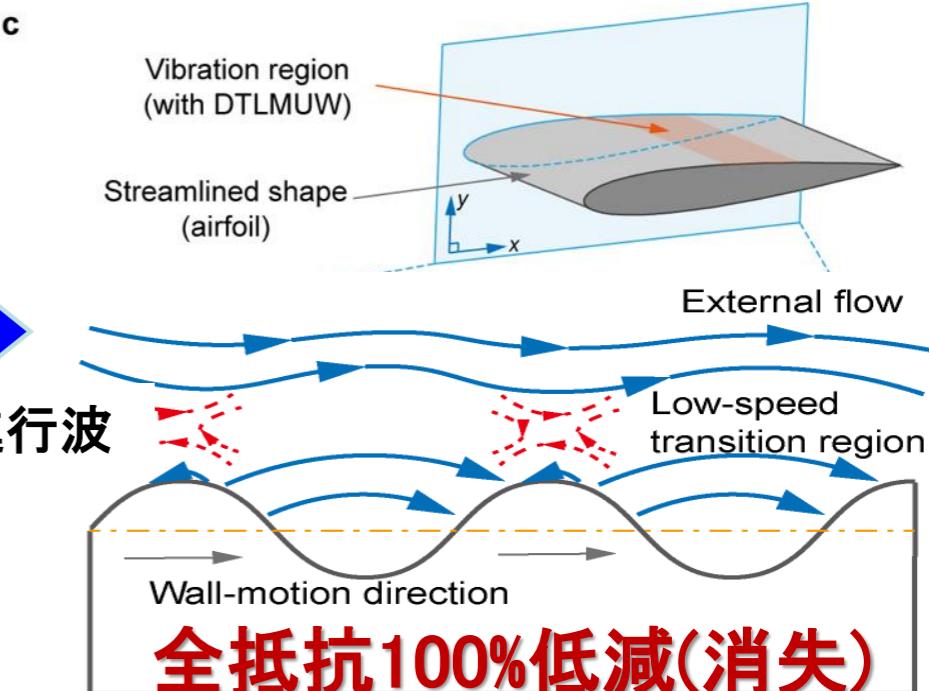
翼空力性能の革新的最適化 (LES/RANS解析と深層学習)



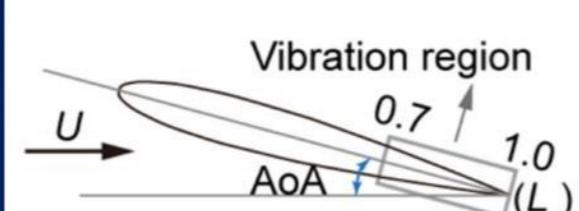
抗力最小、揚抗比最大



下流方向進行波

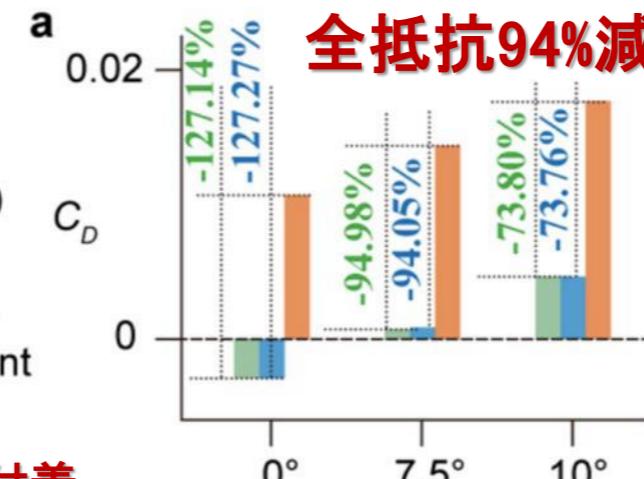


全抵抗100%低減(消失)



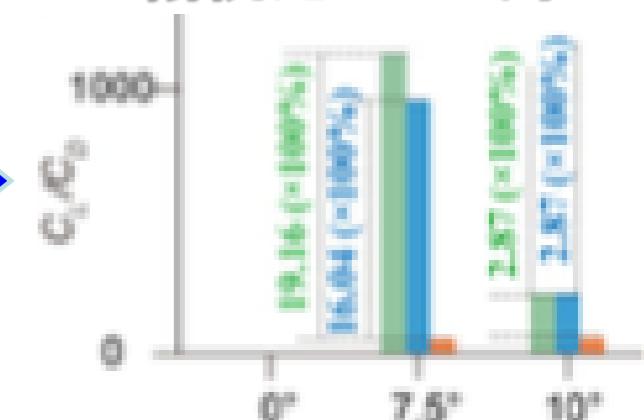
- In-phase arrangement
- Symmetric arrangement
- No vibration

翼後縁上下面振動ユニット付着



全抵抗94%減

揚抗比1916%向上



想定される用途

- あらゆる有人無人航空機の革新的な燃費向上
- あらゆる船舶の革新的な燃費向上
- あらゆる電車や自動車の革新的な燃費向上
- 他の回転流体機械等への応用も期待される。

実用化に向けた課題

- 現在、イルカ規範型マイクロ超音波振動による乱流制御手法および航空機の空力性能向上に関する力学的原理は、シミュレーションおよび理論モデルを通じて解明済み。
- 今後、この原理に基づいた実現可能なデバイスの開発を進め、風洞実験を通じてその科学的妥当性を実証する予定。
- 実用化に向けては、マイクロ超音波振動システムの技術開発を行い、航空機の翼をはじめとする各種壁面における乱流抵抗低減への応用を可能とする技術の確立が求められる。

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	・マイクロ超音波振動乱流制御法の原理が解明	
現在	・マイクロ超音波振動システムの設計が進行中	
1年後	・マイクロ超音波振動システムの設計 ・マイクロ超音波振動デバイスを開発	デバイスのデモンストレーション実施 JSTの研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)事業へ応募し研究資金獲得
2年後	・マイクロ超音波振動システムの開発 ・開発したシステムによる壁面乱流制御の風洞試験を実施 ・現象の再現による乱流制御法の原理を検証	実用化を目指すマイクロ超音波振動システムのコンパクト化および最適化 実験による現象の再現デモが実現
3年後	・翼にマイクロ超音波振動システムを適用し空力性能向上を確認 ・航空機に本技術を適用し、実用化に向けた有効性を確認	翼への応用のデモンストレーション実施 航空機翼の空力性能の革新的向上の実現

企業への期待

- ・イルカの皮膚に着想を得たマイクロ超音波振動システムの実現には、高周波かつ微小振幅の壁面進行波技術の開発が鍵となる。
- ・現在、この要素技術の開発に向けて、産業界との共同研究を積極的に推進したいと考えている。
- ・特に、乱流制御技術に关心のある企業や、航空機・船舶などの運輸機械分野において次世代の流体制御を目指す企業にとって、本技術は革新的なソリューションとなる可能性が高い。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は、運輸機械分野において革新的なエコシステムを構築し、企業や社会に対して大きな経済的価値を提供することができると確信している。
- 導入に向けては、必要な実証実験を通じて、技術の理論的な確立と実用性の検証を進めることができる。
- 実用化に向けては、製造現場や適用分野への具体的な技術支援と指導が求められる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 翼
- 出願番号 : 特願2024-118446
- 出願人 : 千葉大学
- 発明者 : 劉浩、王冬月

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 摩擦抵抗低減装置、移動体及び
摩擦抵抗低減方法
- 出願番号 : 特願2021-167610
- 出願人 : 千葉大学
- 発明者 : 劉浩

产学連携の経歴

- 2012年-2021年 株式会社テラルと共同研究実施
- 2023年-2025年 三井化学株式会社と共同研究実施

お問い合わせ先

千葉大学
学術研究・イノベーション推進機構 (IMO)

TEL 043-290-3048
e-mail ccrcu@faculty.chiba-u.jp