

令和2年(第20回)海上技術安全研究所研究発表会

高度流体制御技術によるゼロエミッション船の実現



流体設計系
拾井隆道、川北千春、濱田達也、若生大輔



本日の発表

1. はじめに
2. 船舶の低速・大型化による推進効率向上
3. 高度空気潤滑法の開発
4. 気泡流の流場評価技術
5. まとめ

1. はじめに ゼロエミッション船の実現

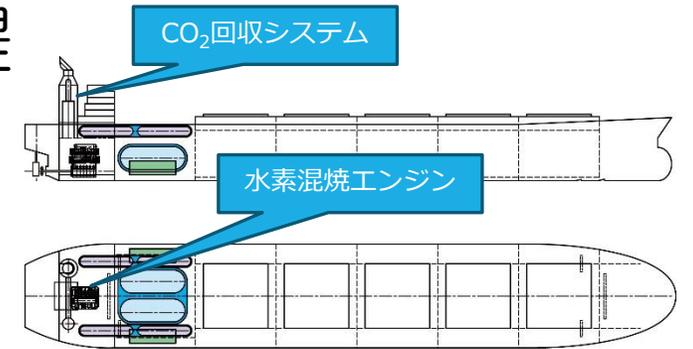
ゼロエミッション船を実現するためには・・・

- 代替燃料（水素、アンモニア等）の使用が前提

代替燃料の課題

- （現状）高価
- エネルギー密度が低い

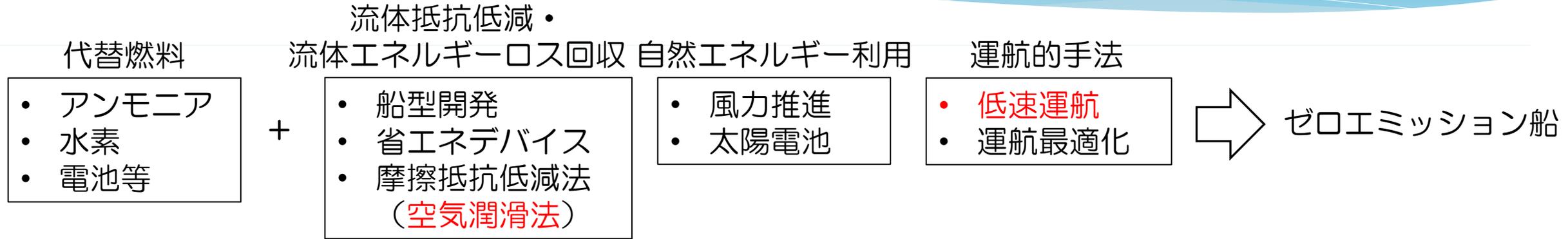
→燃料タンク容積が増加し（アンモニアで2.5倍、液体水素で4.5倍）、
輸送効率が低下する



水素燃料80,000DWTバルクキャリア

機関の取り組みと同時に推進性能を飛躍的に向上させて
燃料消費量を削減することが求められる

1. はじめに 推進効率を飛躍的に向上させるためには



低速運航

• 推進エネルギーは概ね船速の3乗に比例するため、**大幅なエネルギー削減が見込める**

空気潤滑法

• 空気の間欠吹出や気泡の小径化により抵抗低減効果が大幅に向上するとの報告
→吹出間隔や気泡径の制御により**空気潤滑法の省エネ効果が大きく向上する可能性**



Park, H. J., Tasaka, Y., Oishi, Y. and Murai, Y. : Drag Reduction Promoted by Repetitive Bubble Injection in Turbulent Channel Flows, Int. J. Multiphase Flow, Vol. 75, (2015), pp. 12-25.
Hara, K., Suzuki, T. and Yamamoto, F. : Image analysis applied to study on frictional-drag reduction by electrolytic microbubbles in a turbulent channel flow, Exp Fluids, 50, (2011), pp. 715-727.



2. 船舶の低速・大型化による推進効率向上

- ケープサイズバルクキャリア対象
- 船舶の低速化、肥大化および大型化による推進エネルギーと輸送量の変化を検討
- 主要目※の変化に伴う推進性能（抵抗係数・自航要素）の変化を考慮（抵抗自航試験データベースを使用）

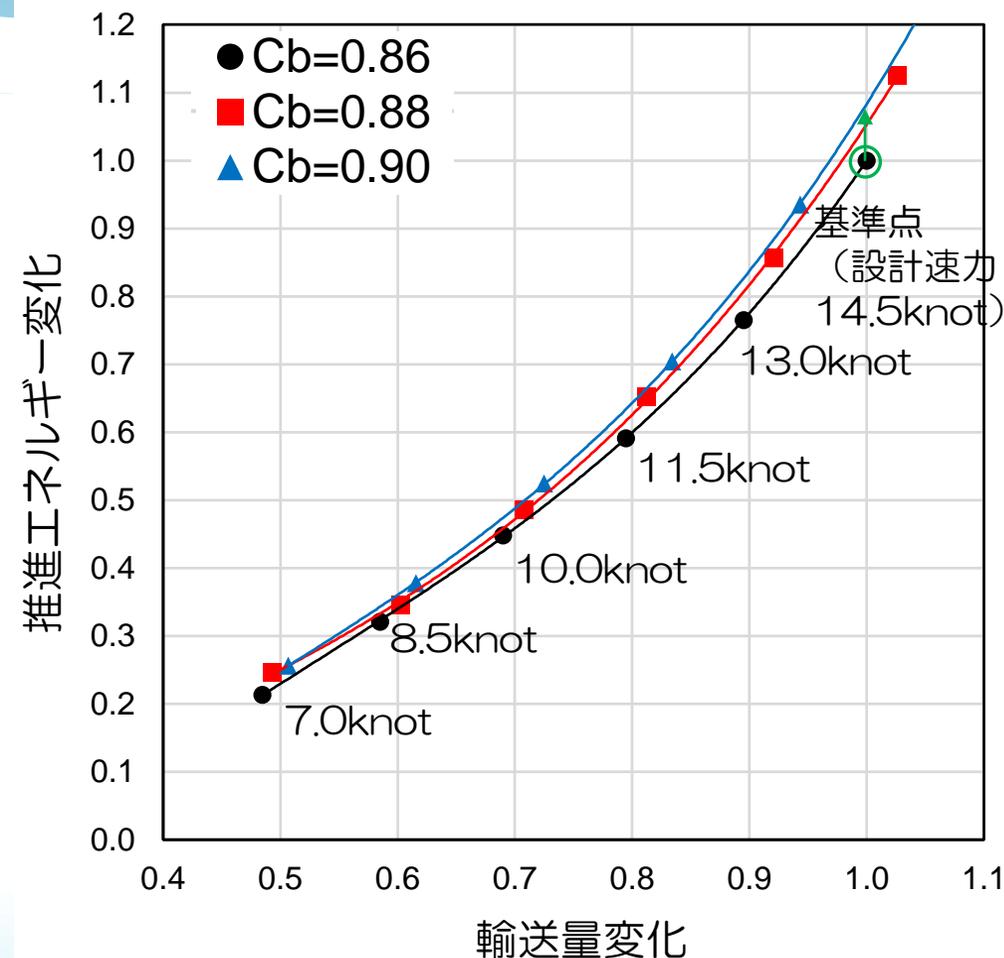
※主要目（ L_{pp} , B , d , C_b , C_M , C_W , l_{cb} , 主機MCR, 設計回転数, 許容するプロペラ最大直径, プロペラの深さ）

- 推進エネルギー：1時間あたりに1トンの貨物を1マイル輸送する際の消費エネルギー量
 $BHP [kW] / (DW [ton] \times Vs [mile/h])$
- 輸送量：1時間あたりに1マイル輸送することができる貨物量
 $DW [ton] \times Vs [mile/h]$

対象船（Japan Bulk Carrier）

2. 船舶の低速・肥大化によるエネルギー削減効果

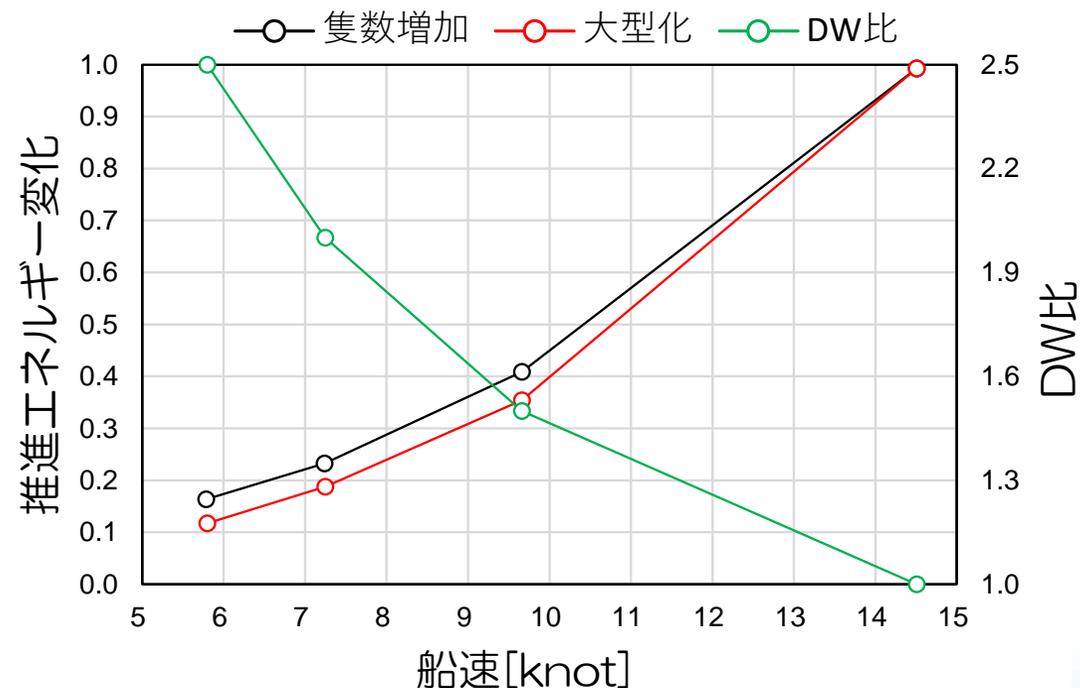
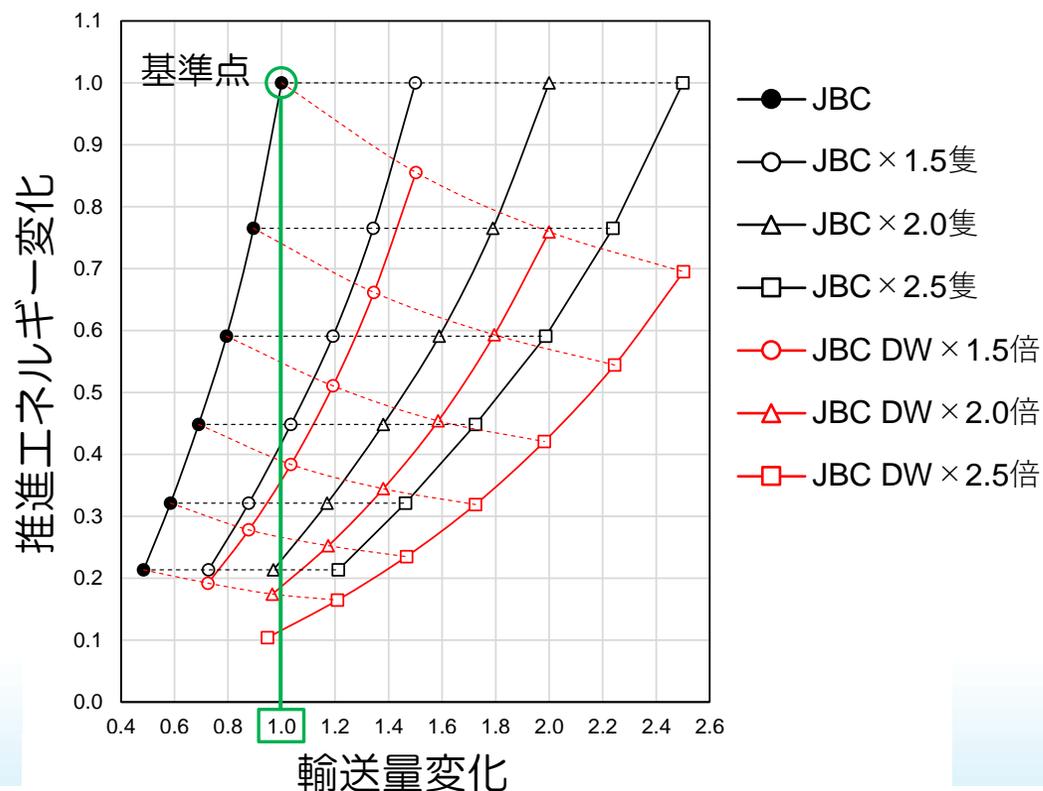
- 肥大度 C_b を0.86~0.90と変化させた
- 推進エネルギー変化・輸送量変化：基準状態（ $C_b=0.86$ 、計画速度14.5knot）でのそれとの比
- 単純に肥大度を増加させても、推進エネルギーは改善しなかった



船舶の肥大化と推進エネルギー・輸送量の関係

2. 船舶の大型化・隻数増加によるエネルギー削減効果

- 低速化に伴う輸送量低下をカバーするために、大型化（主寸法（L, B, d）を同率で拡大）、隻数増加による推進エネルギーを計算
- 低速化や大型化には課題（デリバリータイムの遅延、大型化に対応する港湾設等）
→ 経済的成立可能性はシステムズアプローチを使って検討していく

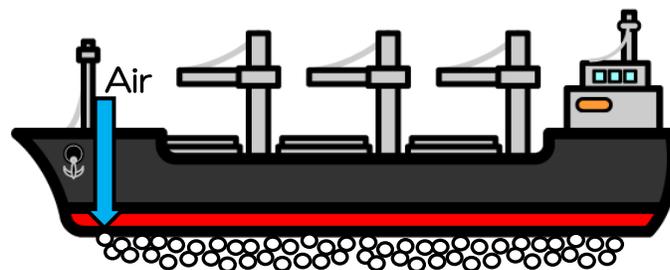


DW*Vs=1（輸送量一定）の場合の船速と推進エネルギー及びDW比の関係

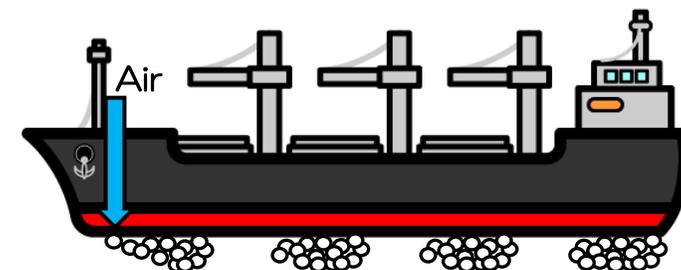
3. 高度空気潤滑法の開発

- 現行空気潤滑法の省エネ効果は最大で12%程度。一方、空気の**間欠吹出（周期吹出）**や**気泡径を制御**することにより、**抵抗低減効果が大幅に向上**する可能性がある。
- 空気吹出間隔や気泡径を制御した**高度空気潤滑法（AdAM, Advanced Air Lubrication Method）**を開発中

	現行空気潤滑法	高度空気潤滑法
空気吹出間隔	非制御（連続吹出）	制御（ 周期吹出 ）
気泡径	非制御	制御



連続吹出イメージ



周期吹出イメージ

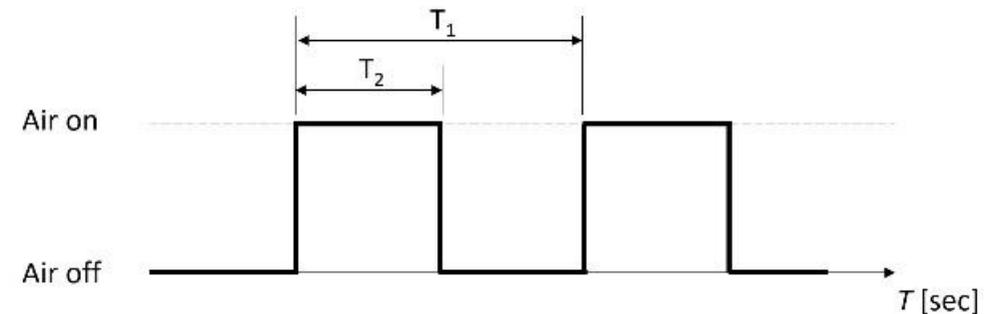
- **周期吹出**：空気を周期的に吹き出すことにより、**気泡の周期的な変動（ボイド波）**を作りだし抵抗低減効果を向上させる手法
→実船船底のような**外部流れ、高レイノルズ数での効果は未検証**

3. 高度空気潤滑法の開発

- 400m水槽において、全長36mの長尺平板模型を最大8m/sで曳航することにより実船相当の流場（外部流れ、実船レイノルズ数）を再現し、周期吹出の効果を検証
- 空気吹き出しをBangBang制御し、吹き出し周波数（ $f=1/T_1$ ）およびDuty比（ T_2/T_1 ）を変化させることにより、様々なボイド波を発生させた
- 空気流量は相当空気膜厚さ ta で整理 $ta = Q/(V_m \cdot B_a)$

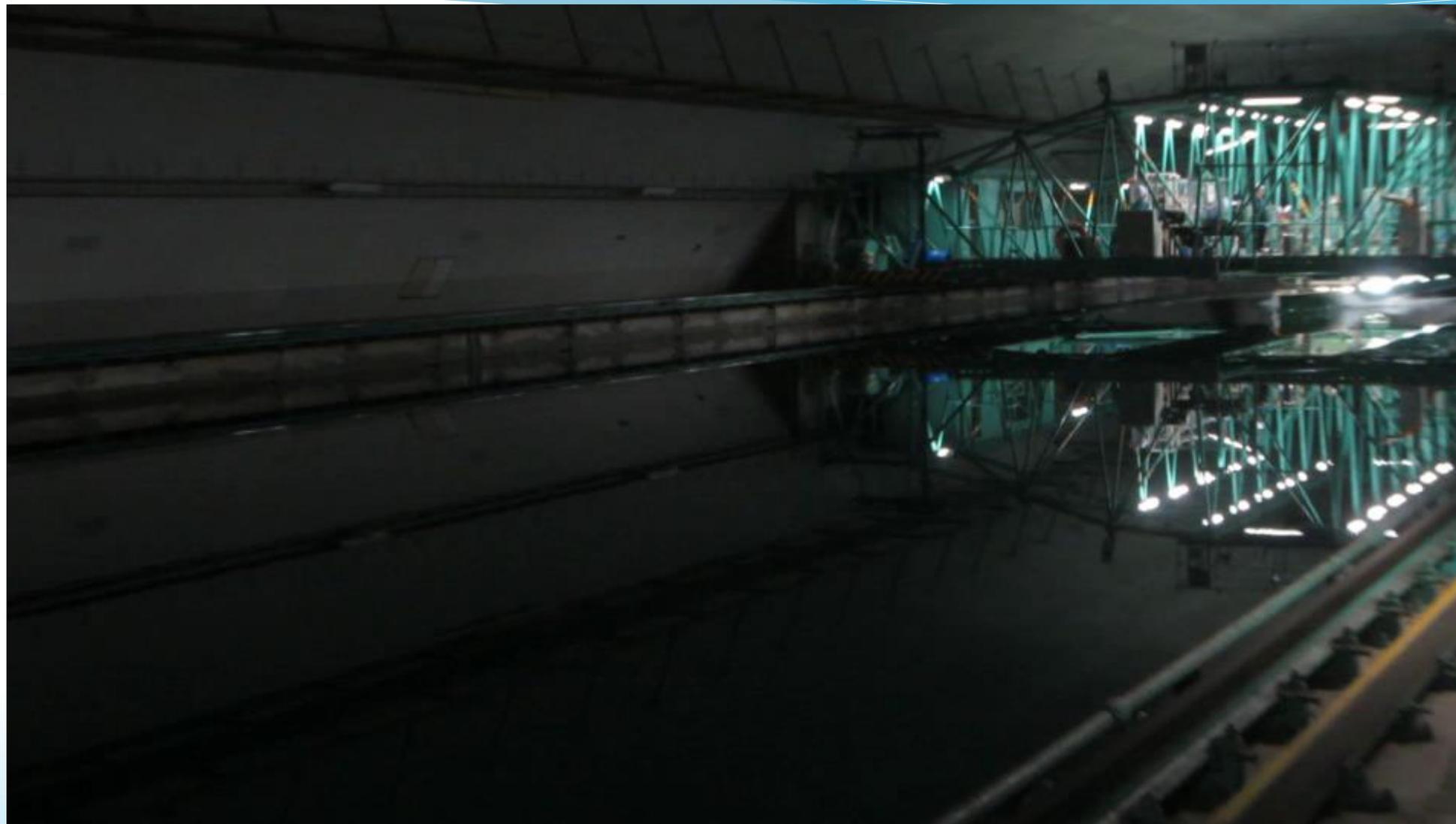


長尺平板模型



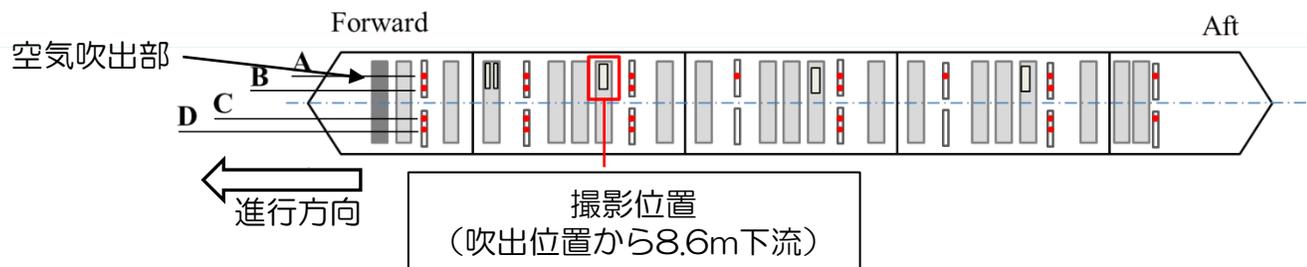
周期吹出概要

3. 高度空気潤滑法の開発 実験風景

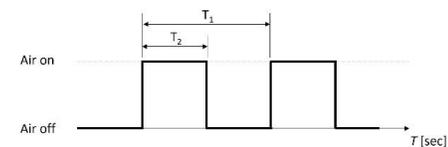


3. 高度空気潤滑法の開発 気泡流の様子

- 高速度カメラによる撮影画像を時間方向に展開することにより、ボイド波の全体像を評価
- 1周期中の総空気流量を一定にして実験を実施（空気投入エネルギーが等しい条件で評価するため）



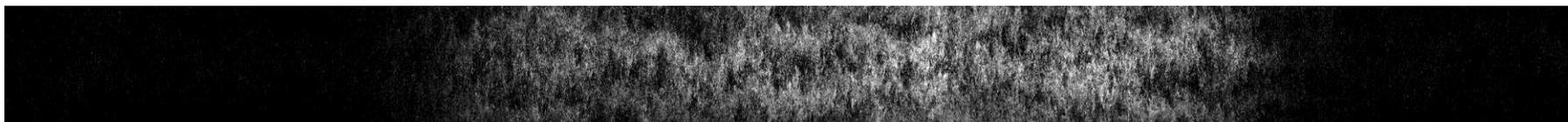
吹出周期： $f=1/T1$
 Duty比： $D=T2/T1$
 相当空気膜厚さ： $ta = Q/(V_m \cdot Ba)$



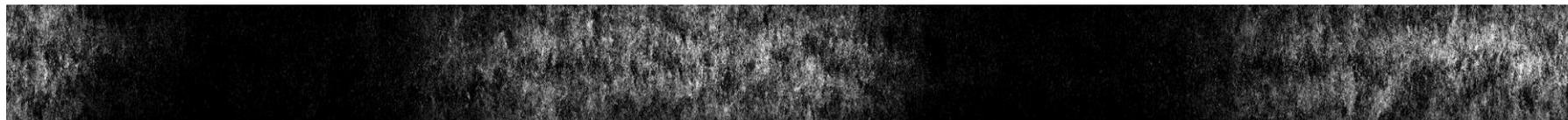
連続吹出



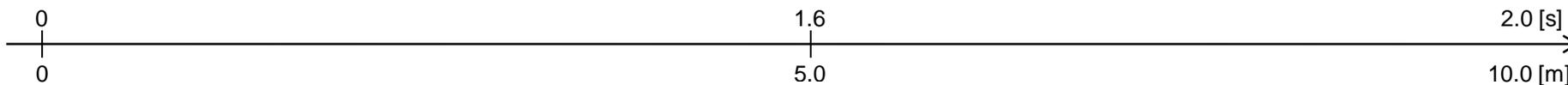
周期吹出
0.5Hz



周期吹出
1.0Hz



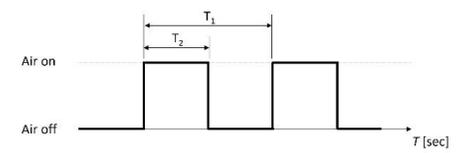
周期吹出
2.0Hz



吹出周期が異なる場合のボイド波 (U=8 m/s, $ta=1.5\text{mm}$, Duty比50%)

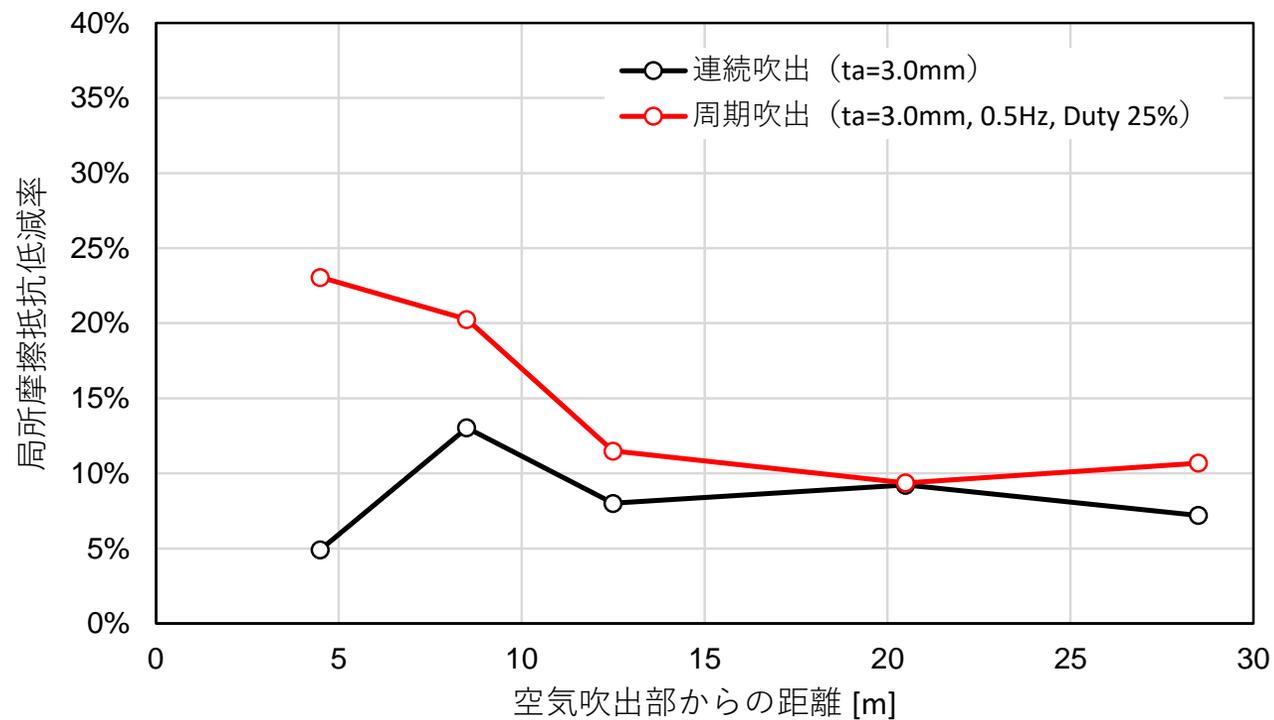
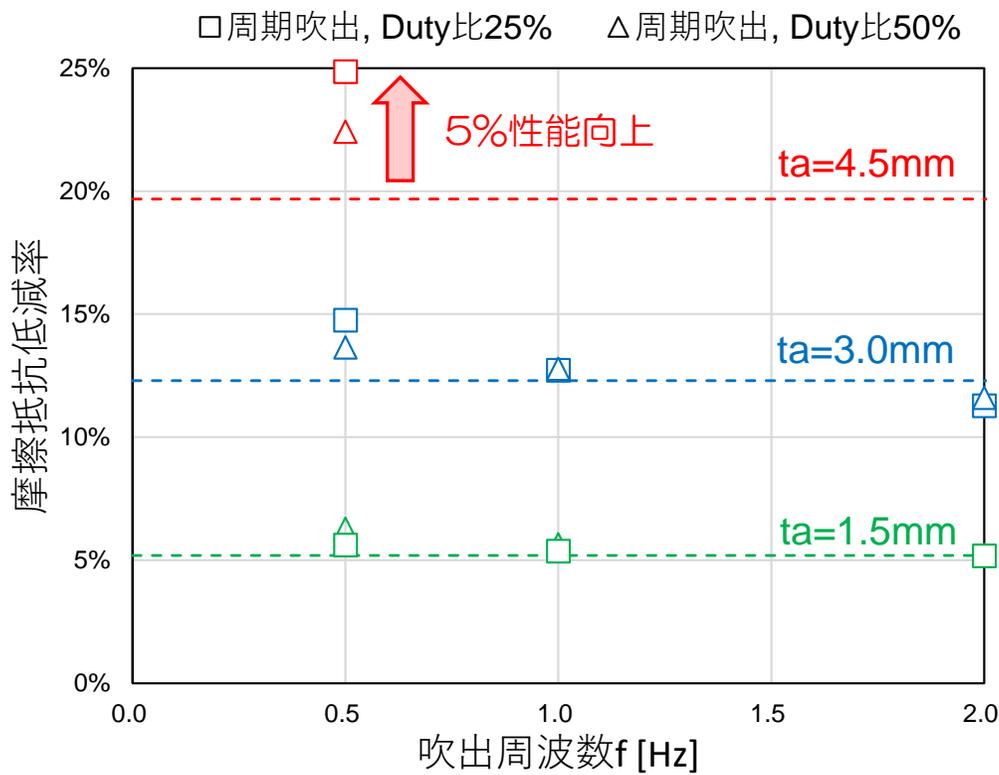
3. 高度空気潤滑法の開発

吹出周期: $f=1/T_1$
 Duty比: $D=T_2/T_1$
 相当空気膜厚さ: $ta = Q/(V_m \cdot B_a)$



- 実船相当流場でも抵抗低減効果の向上を確認
- 吹出周波数が小さく、Duty比が短いとき抵抗低減率が大きく、**最大5%抵抗低減効果が向上**

- 吹出直後は摩擦抵抗低減効果が高いが、下流では連続吹出と同程度となる



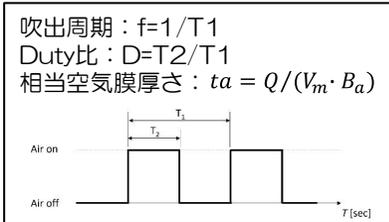
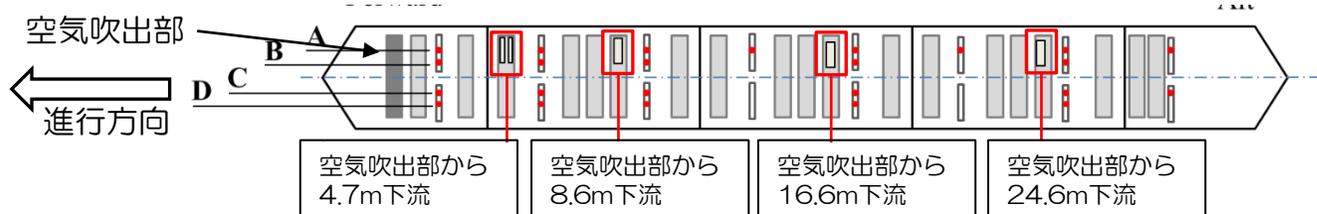
摩擦抵抗低減率

局所摩擦抵抗低減率

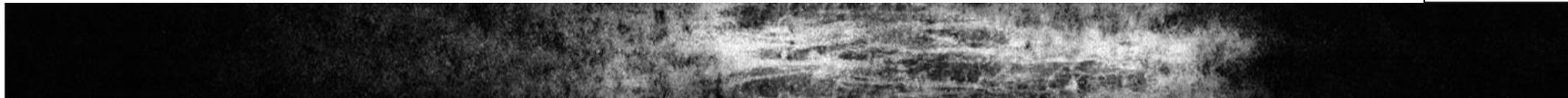


3. 高度空気潤滑法の開発

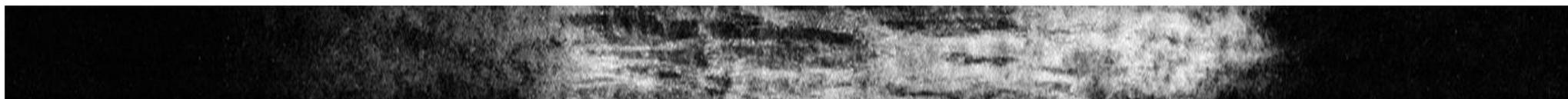
- 吹出直後は周期吹出によって形成されたボイド波により高い抵抗低減が発生するが、**下流に行くにしたがって、気泡が一様な分布**となり連続吹出と同様な摩擦抵抗低減率となったと考えられる。
- 今後は下流においても抵抗低減効果が持続するよう吹出パラメータの検討を実施する予定



空気吹出部から
4.7m 下流



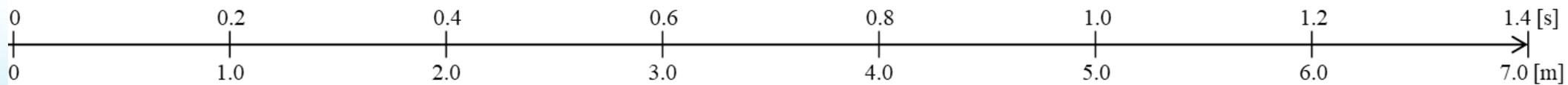
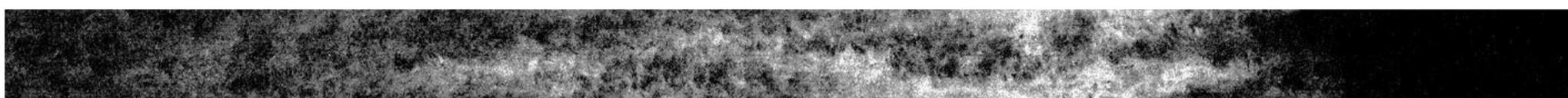
空気吹出部から
8.6m 下流



空気吹出部から
16.6m 下流



空気吹出部から
24.6m 下流

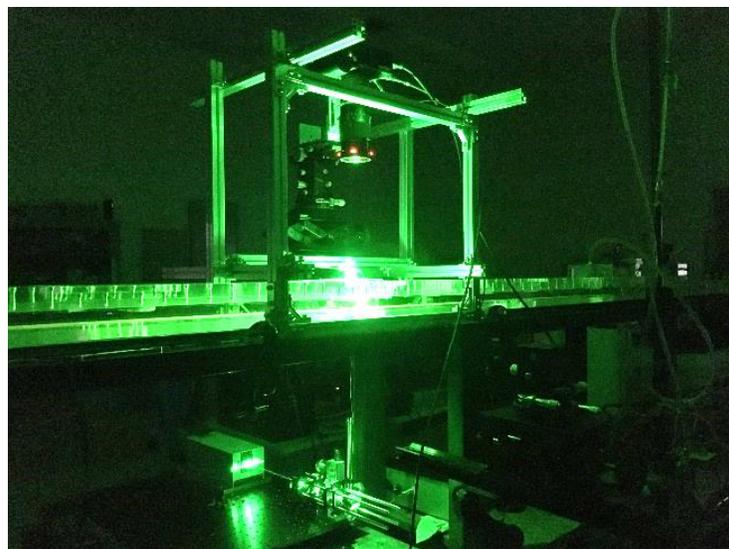
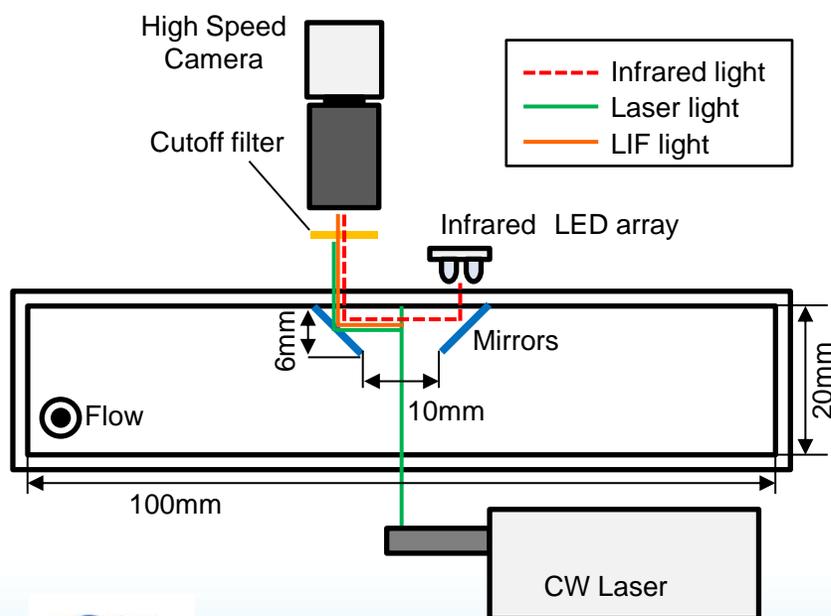


流れ方向に対するボイド波の変化 (ta=3mm, 吹出周期0.5Hz, Duty比25%)

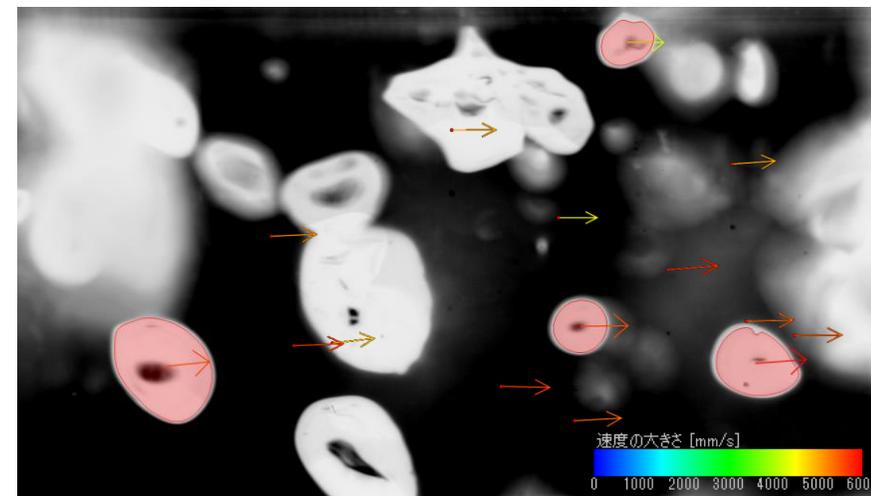


4. 気泡流の流場評価技術

- 高度空気潤滑法の更なる性能向上のためには、摩擦抵抗の主要因となる乱流境界層中の壁面近傍の気泡流の流場を把握し、抵抗低減に至る機構を明らかにする必要がある
- 気泡の阻害による非常に計測は困難
- 高速度カメラ等を用いた気泡流中の液相速度及び気泡形状、速度を評価可能な時系列PTV (Particle Tracking Velocimetry) システムを開発し、水平チャンネルにおいて計測を行った。



実験風景



解析例



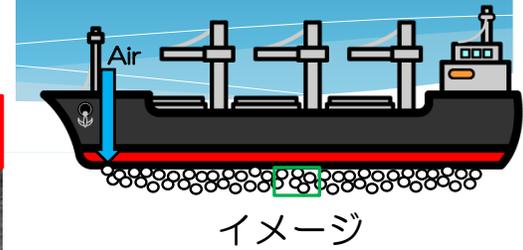
気泡流中時系列PTVシステム



4. 気泡流の流場評価技術

- 断面内平均速度5m/s、空間平均ボイド率0.5% (連続吹出)
- 壁面から5mm程度の範囲を40,000fpsで撮影

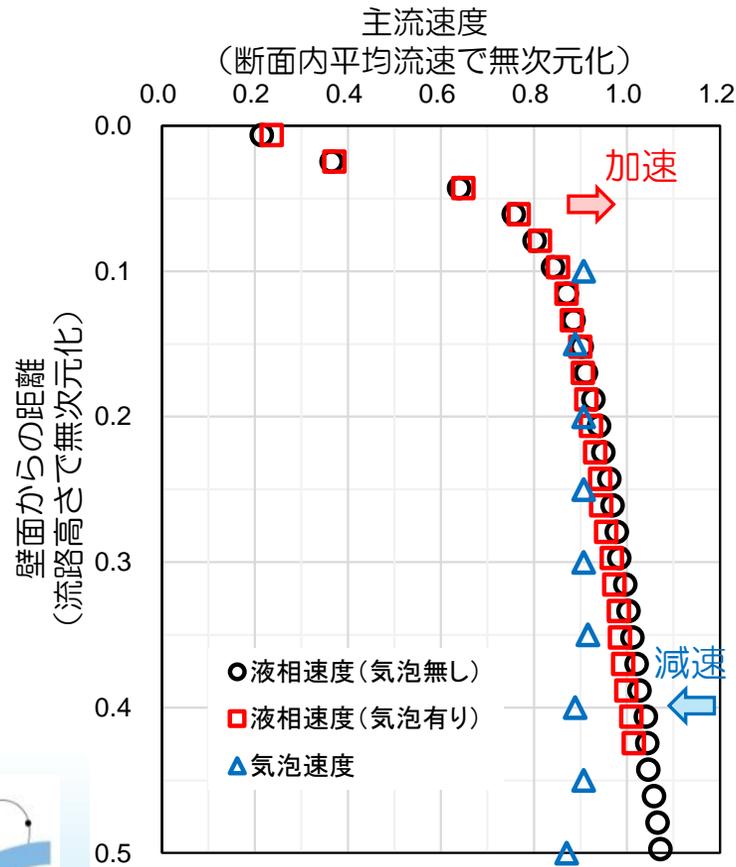
流路上壁



1/4000の速度で再生

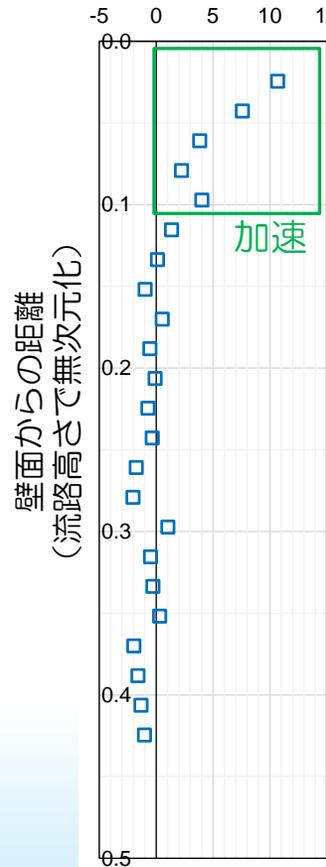
4. 気泡流の流場評価技術

- 断面内平均流速1m/s、平均ボイド率0.5%（連続吹出）における計測結果
- 気泡乱流の壁面近傍の流場評価が可能となり、気泡形状により液相流場が変形されることが明らかになった→周期吹出のメカニズム解明に適用予定

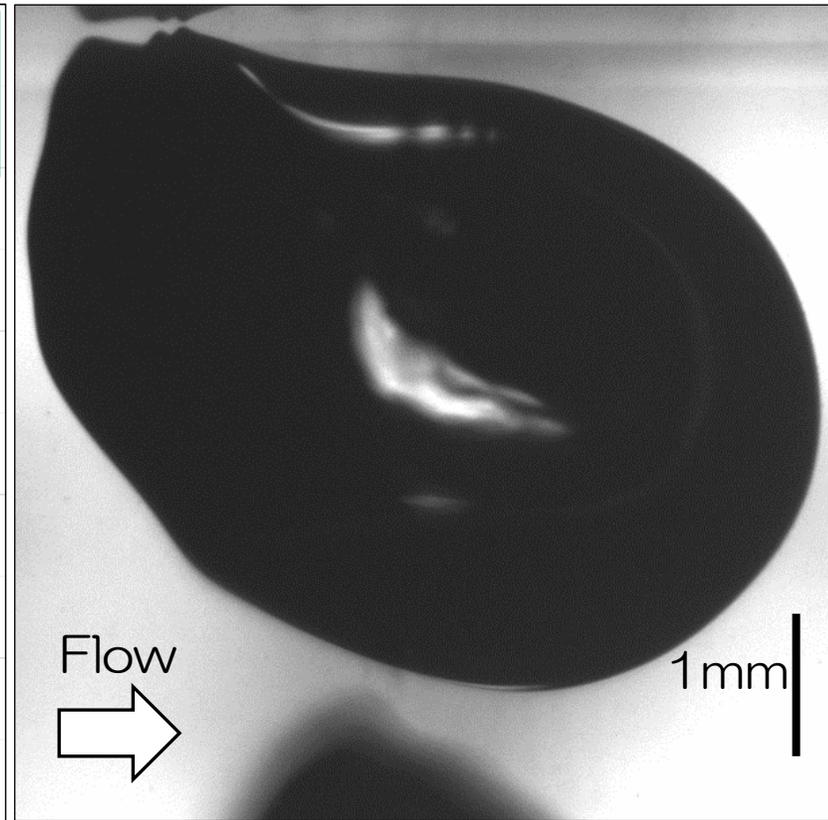
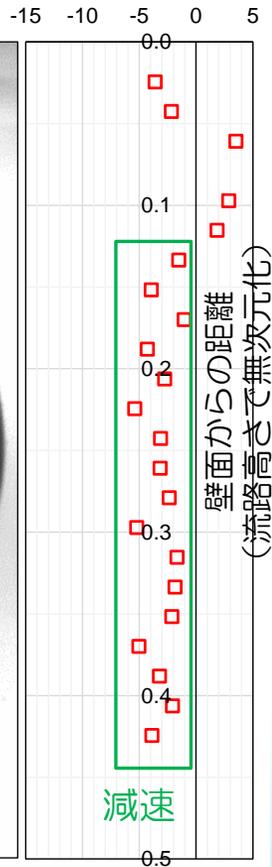


主流方向平均速度分布

気泡有無による液相主流速度比% (正のとき加速)



気泡有無による液相主流速度比% (正のとき加速)



気泡前後の主流方向平均速度分布変化

5. まとめ

本研究ではゼロエミッション船を実現するために、推進効率を飛躍的に向上させる手法として、船舶の低速化、空気潤滑法の高度化について検討した。

1. ケープサイズバルクキャリアを対象に低速化によるエネルギー削減効果と肥大化・大型化・隻数増加による輸送量の確保について検討を行った。
2. 空気吹出を制御する高度空気潤滑法の評価試験を実施した。吹出周期が長く、Duty比が短いとき抵抗低減率が大きくなった。実船相当の流場において連続吹出に対し最大5%の抵抗低減効果の向上を確認した。
3. 空気潤滑法の性能向上のために気泡流中PTVシステムを開発した。これにより気泡流中壁面近傍の時系列流場変化が評価可能となり、気泡の形状により液相流場が変形されることを確認した。

謝辞

本研究の船舶の低速化・大型化によるエネルギー削減効果の検討は（一財）日本造船技術センターと共同で実施しました。

また空気潤滑法の研究の一部は、JSPS科研費17H01245の助成を受けたものです。研究実施にあたり北海道大学工学研究院村井裕一教授、朴炫珍助教、室蘭工業大学もの創造系領域大石義彦助教より貴重なご指導や助言を頂きました。心よりお礼申し上げます。



Thank you for your listening!!

National Maritime Research Institute
National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology

