

実海域性能評価のための 新しい水槽試験法

星野 邦弘(流体設計系)

上野 道雄(流体性能評価系)

本日の講演

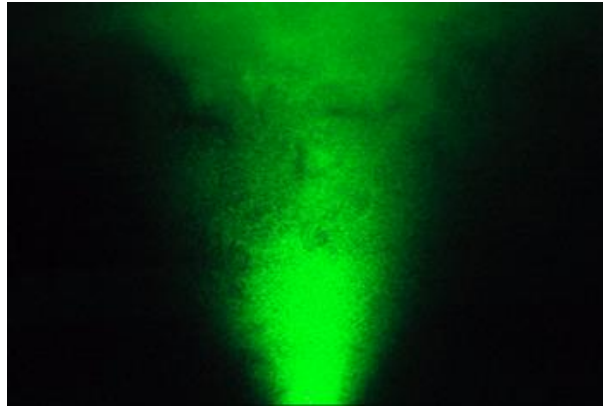
- はじめに
- 水槽試験における新しい流場計測
 - ☆ マイクロバブルをトレーサに用いたPIVシステムの開発
実船計測への適用可能性の検討
 - ☆ 屈折率マッチングの水槽試験への適用
 - ☆ 船尾複雑流れの定量可視化計測への挑戦
- 水槽試験における新しい波浪計測
 - ☆ レーザライトシート光を用いた波形の線状計測システムの開発
 - ☆ 導電性塗料による多点相対水位計測システムの開発
実船計測への適用可能性の検討(画像)
 - ☆ 球面音波による面的波浪場計測
- 実海域性能を模擬する新しい水槽試験法等
 - ☆ 主機特性を模擬した自航装置による実海域性能推定
 - ☆ ダクトファンによる補助推力装置を使った新しい水槽試験
- まとめ

水槽試験における流場計測

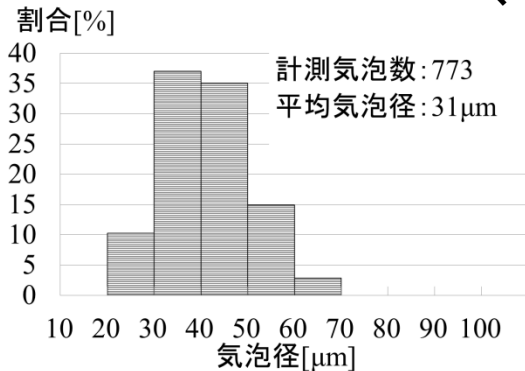
マイクロバブルをトレーサに用いたPIVシステムの開発



マイクロバブル



グリーンレーザー照射による
マイクロバブルの見え方

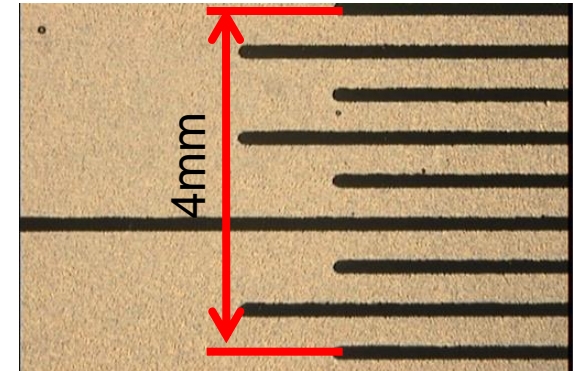


- 平均気泡径での上昇速度を
ストークスの式より推定
- 上昇速度は0.47mm/s
(水温15 $^{\circ}$ C)

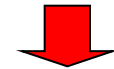
ポスターセッションで発表

PS7 「マイクロバブルをトレーサに用いたPIV計測法の水槽試験への適用」

較正用画像



気泡径計測



水槽試験における流場計測

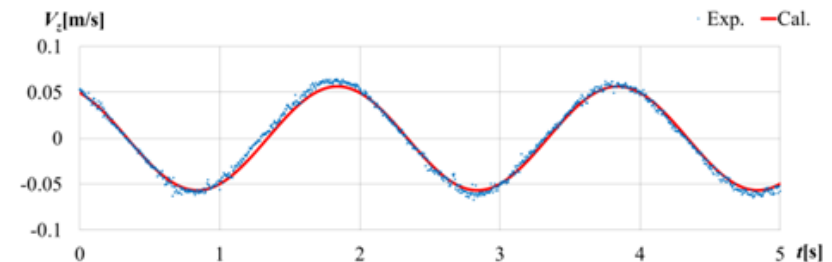
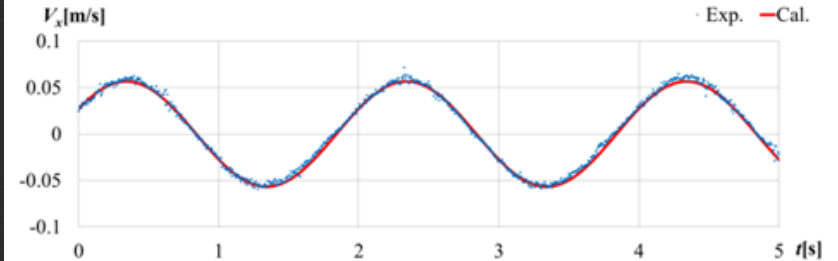
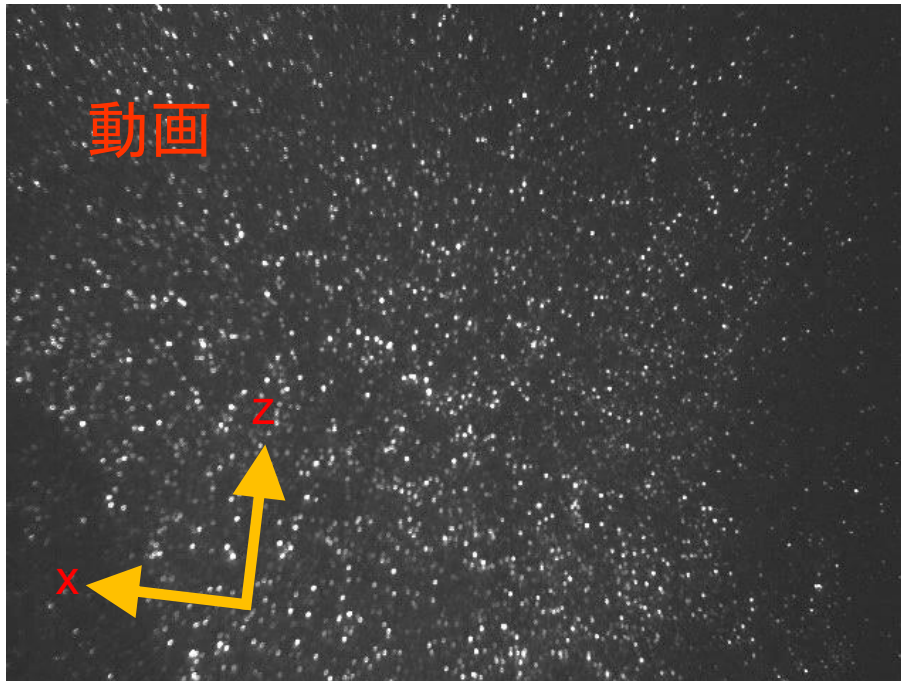
マイクロバブルをトレーサに用いたPIVシステムの開発

規則波の水粒子速度を計測

微小振幅波理論の計算結果と比較し検証

□ $H_w=0.050\text{m}$

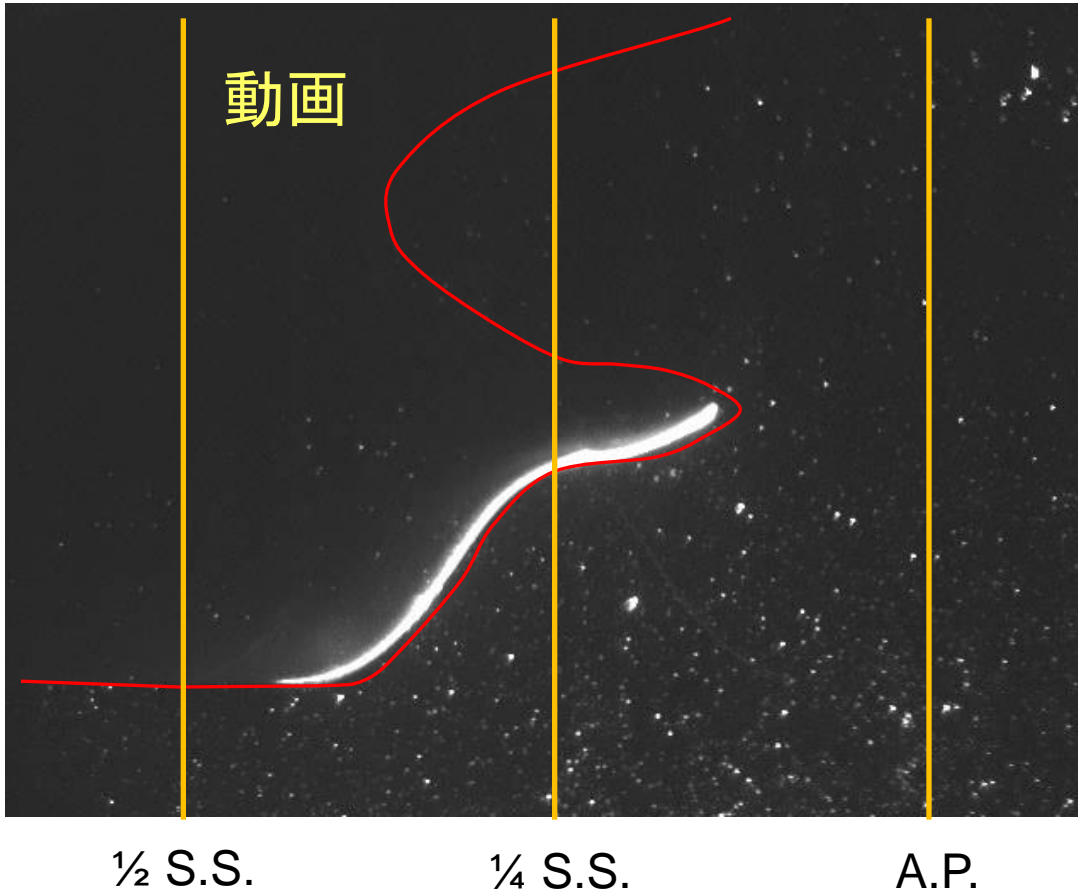
□ $T=2\text{s}$



動画

水槽試験における流場計測

船尾複雑流れの定量可視化への挑戦(1)



波浪中船尾流場

$V_m[m/s]=0.887$

($V_s[knot]=15.2$)

$H_w[m]=0.026$

(実船相当 2m)

$\lambda / L_{pp}=1.1$

計測断面：C.L.

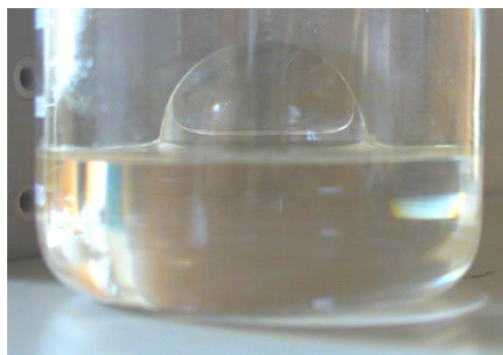
(今後)

船尾縦渦の旋回流れが
目視で観察できる！3DPTV
等による定量化を試みる。

水槽試験における屈折率整合の応用⁶

船尾複雑流れの定量可視化への挑戦(2)

プロペラとダクト、舵などを透明モデルで製作し、計測不可能な部分の流場をLDVやステレオPIVやPTVとレーザ光を用いて高速計測を行う。光学的可視化による計測を行う場合の模型材料と内部に充填した気体あるいは流体との屈折率の相違により生ずる像歪みの影響を屈折率整合により排除する。



作用流体の調整では
水槽試験への適用困難

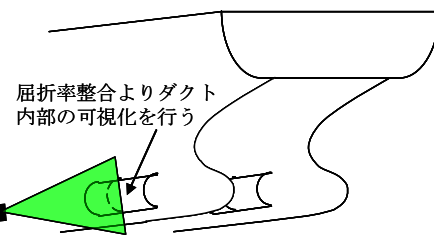
ガラスを見えなくする

屈折率の異なるシリコンオイルの混合
流体の屈折率を模型に合わせる。(星野、吉田)



模型の屈折率を限りなく水に近づける

例えば



例えば

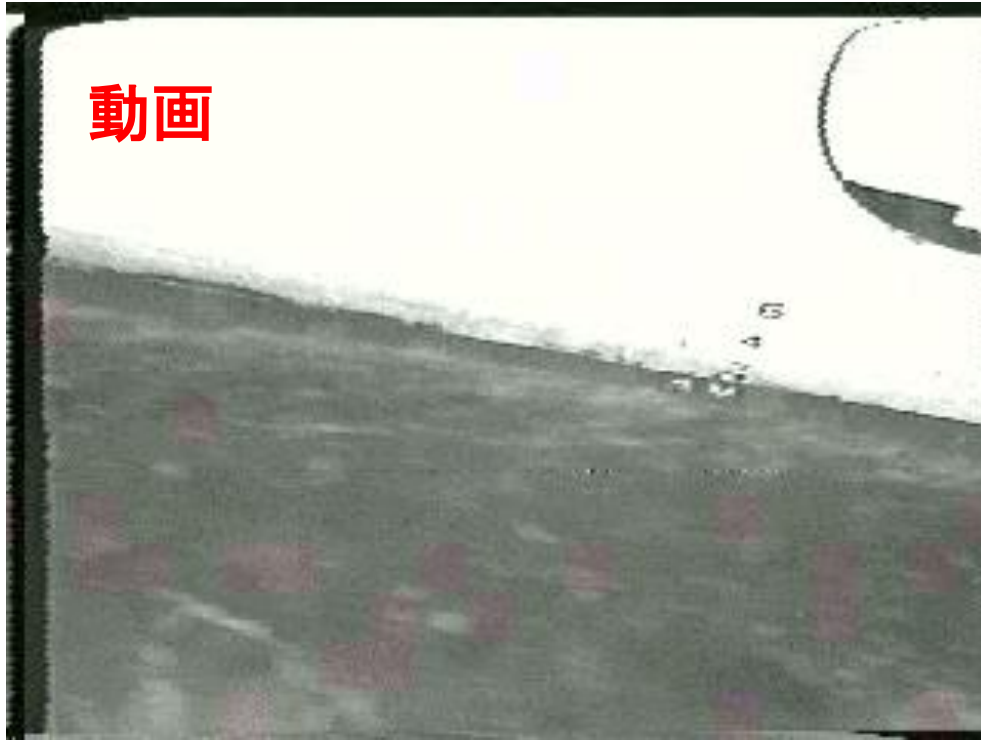
回転するプロペラを不可視として回
転するプロペラ周りの流れを計測

※ 新しい模型材料および加工法の開発を実施

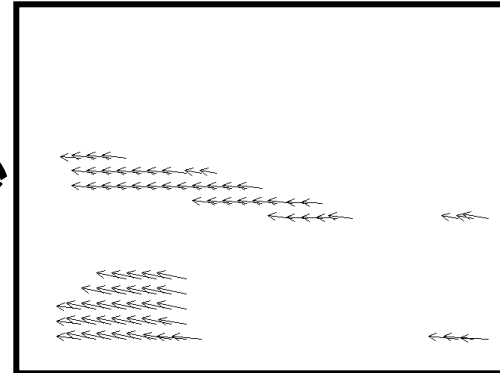
実船周りの流場計測例

実海（汐路丸）での相対的海面速度計測
海面上の泡立ちをトレーサとして

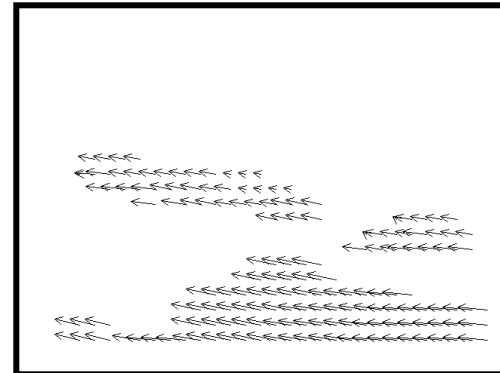
動画



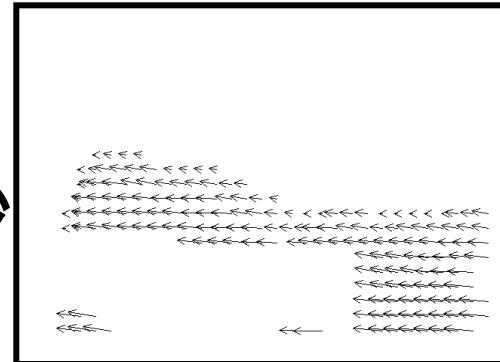
t = 0秒



t = 1秒



t = 2秒



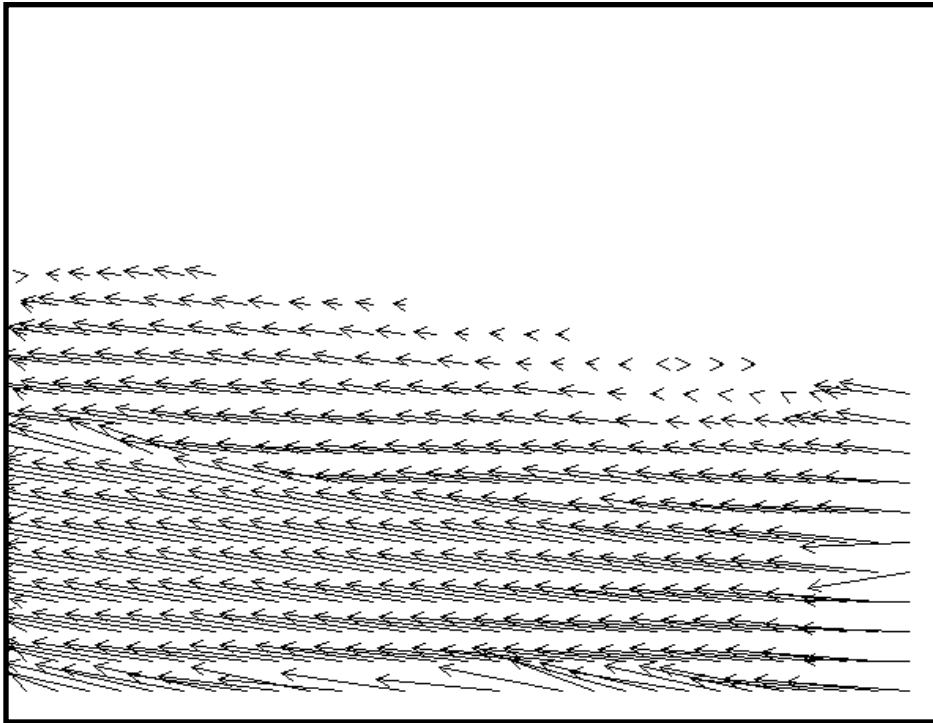
加納、星野 特許登録番号: 4677637

「船用対水速度計測装置」

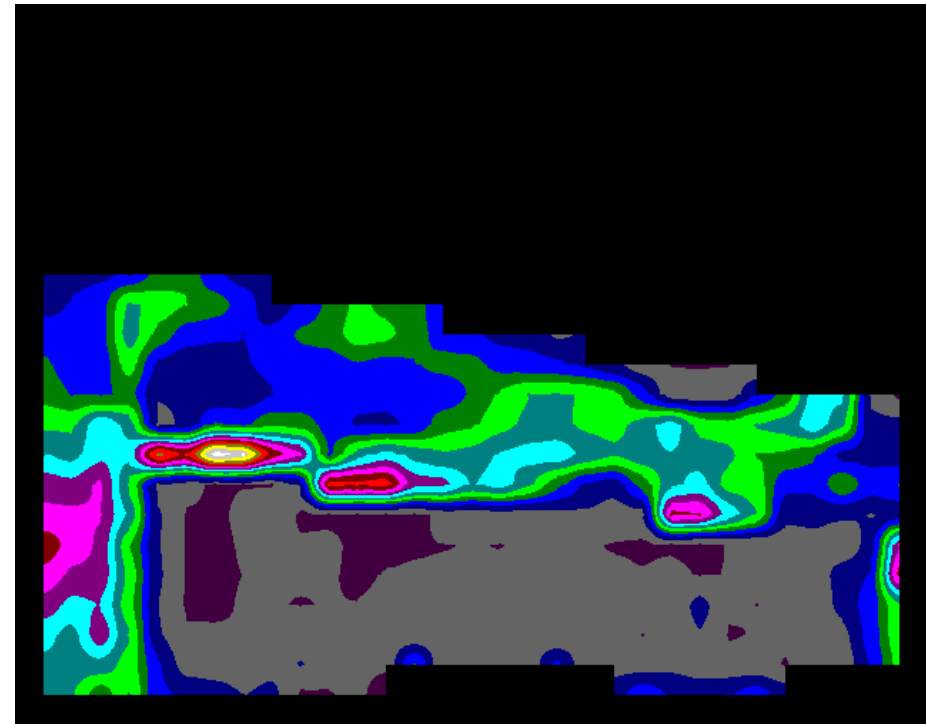
実船周りの流場計測

実海（汐路丸）での相対的海面速度計測

85時刻2.8秒間の平均速度と速度乱れ度



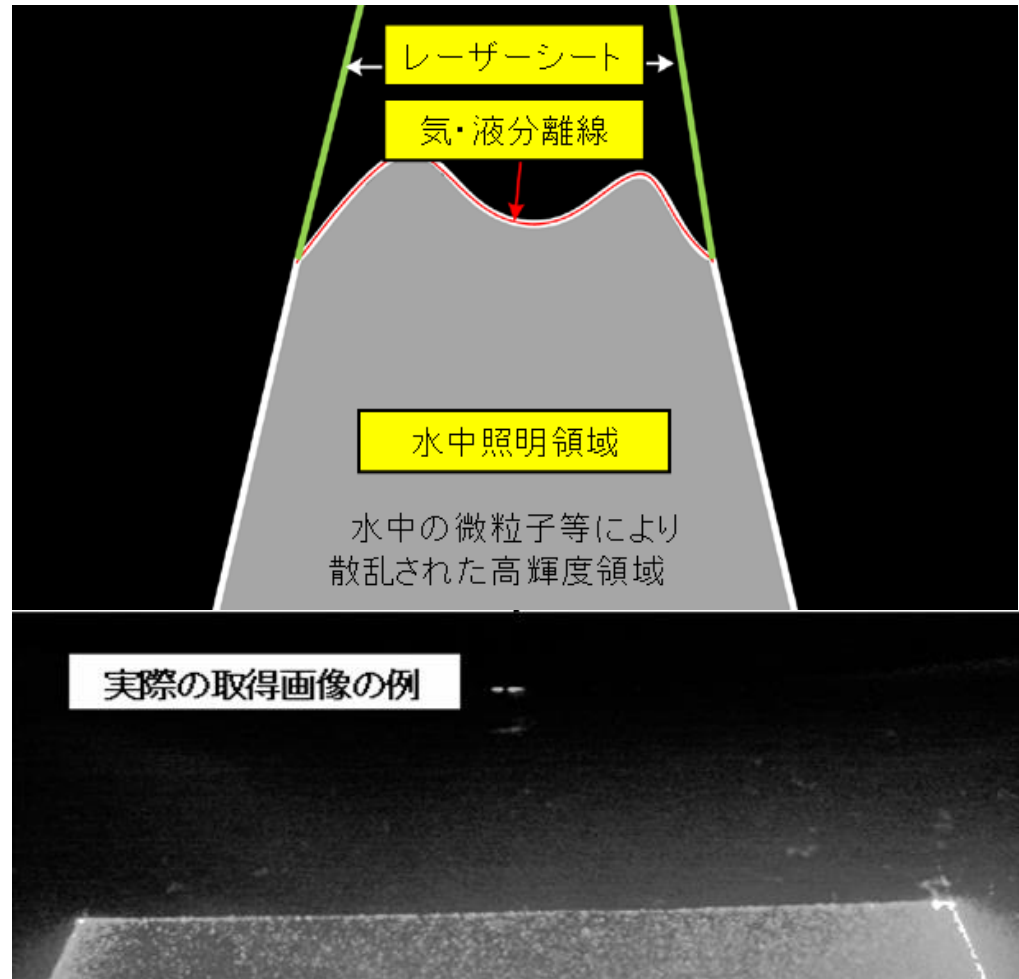
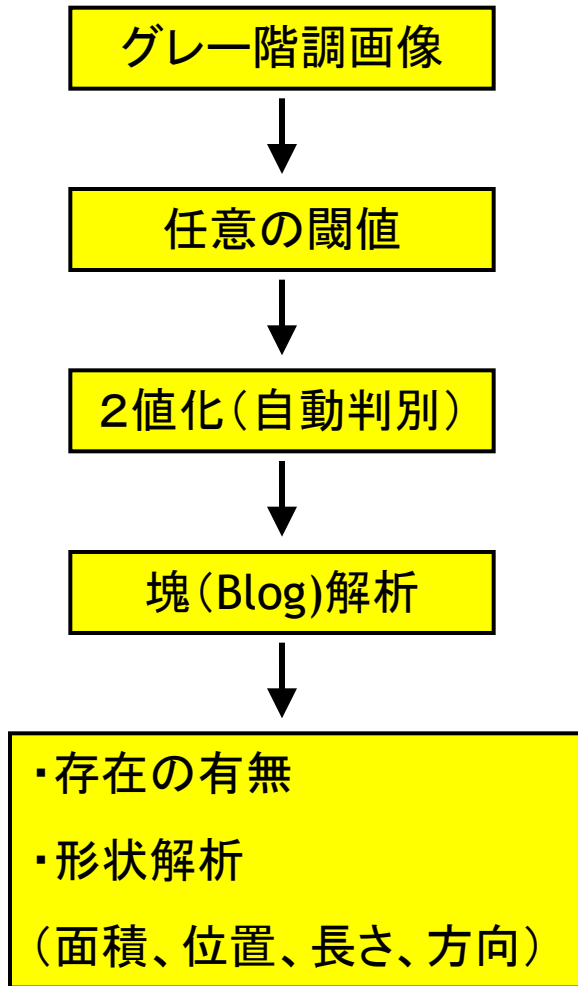
平均速度



速度乱れ度

水槽試験における波浪計測（1）

レーザライトシート光を用いたBLBO解析 による波形計測



水槽試験における波浪計測 (1)

レーザーシート光を用いたBLBO解析
による波形計測

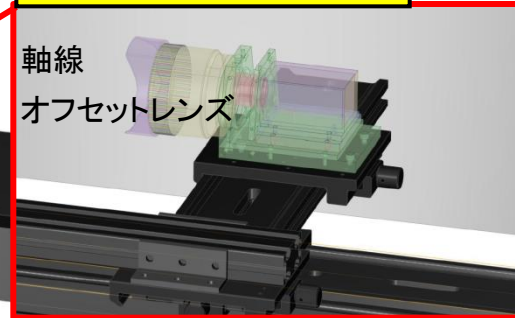
レーザーシート形成部



シリンダリカルレンズ

カメラおよびレンズ

軸線
オフセットレンズ



Wavelength 532nm
Output Power 2000mW
Working Mode CW
Beam Diameter 2~3mm

撮像素子 インターライン型CCD
光学サイズ 2/3in.
有効画素数 1392 x 1040(V)
走査方式 順次走査 30~113fps
記録 デジタル 10bit

水槽試験における波浪計測（1）

レーザーシート光を用いたBLBO解析 による波形計測

軸線オフセットレンズはレーザーシート光により切断された平面の座標と撮像素子（CCD）面の座標は線形関係を保っている。故に計測される波面高さは次式で計算される。

$$h_i(t) = [y_i(t) - y_i(t_0)] \times S$$

i : 横方面画素番号

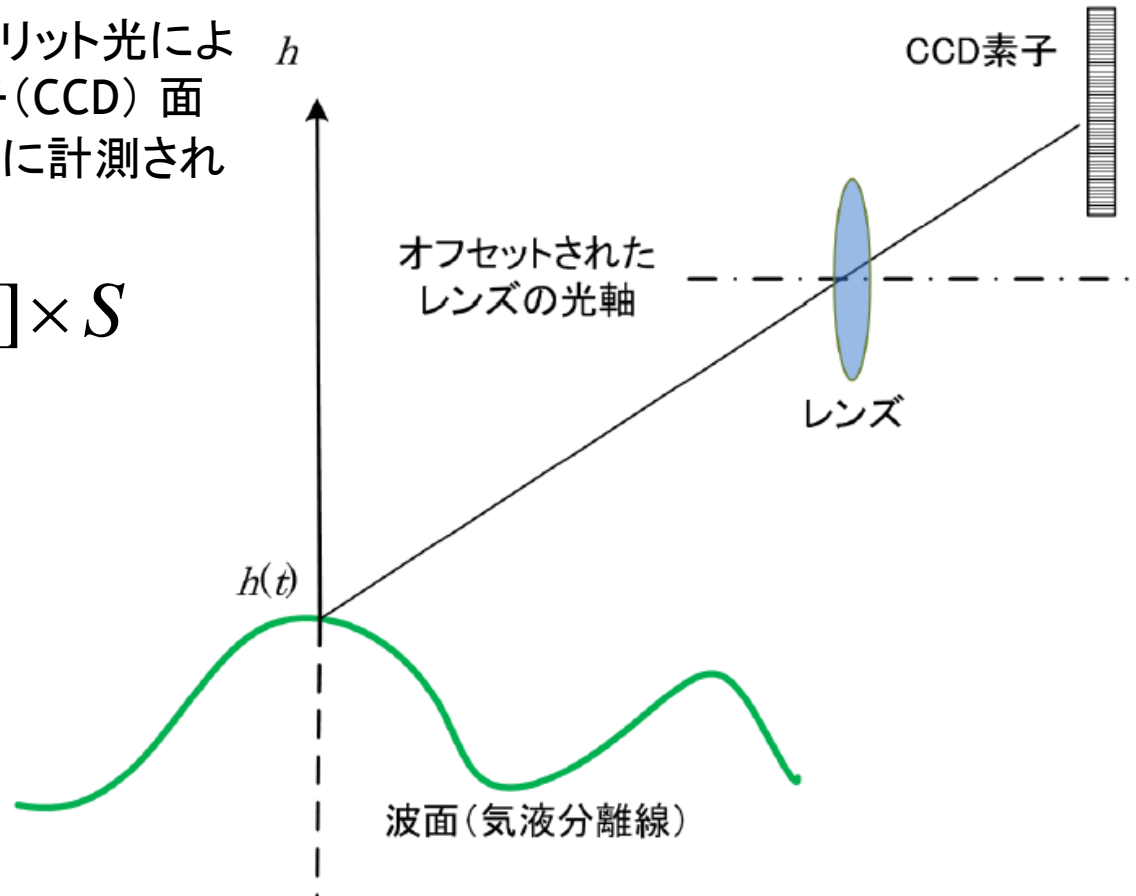
t_0 : 静止状態の画像

t : 画像撮影時刻

y : 画素の縦座標(Pixel)

h : 水面座標(mm)

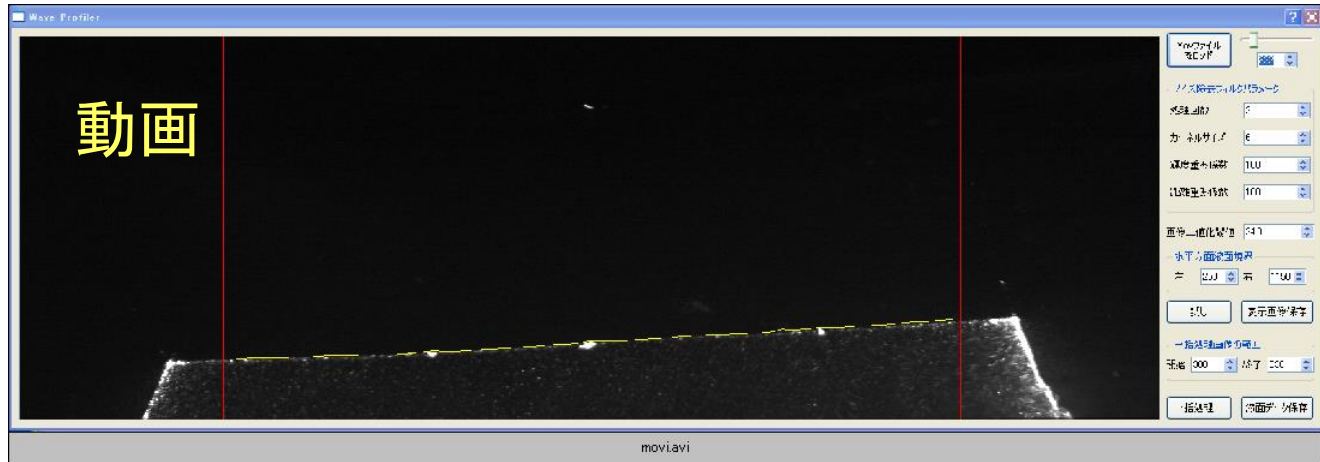
S : スケーリングファクター



水槽試験における波浪計測（1）

レーザライトシート光を用いたBLBO解析
による波形計測

連続波形処理
の一例（動画）

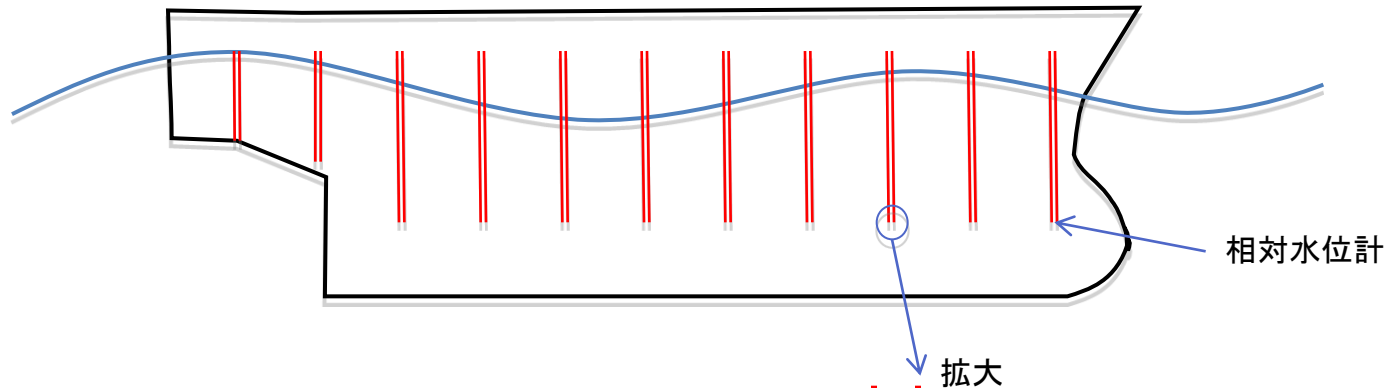


スプラッシュの
ある場合



水槽試験における波浪計測 (2)

導電性塗料による多点相対水位計測



計測方式

抵抗方式(交流・直流)

容量方式(交流)

特徴

実船へ搭載可能

多点計測可能

高精度

安価でかつメンテナンスフリー

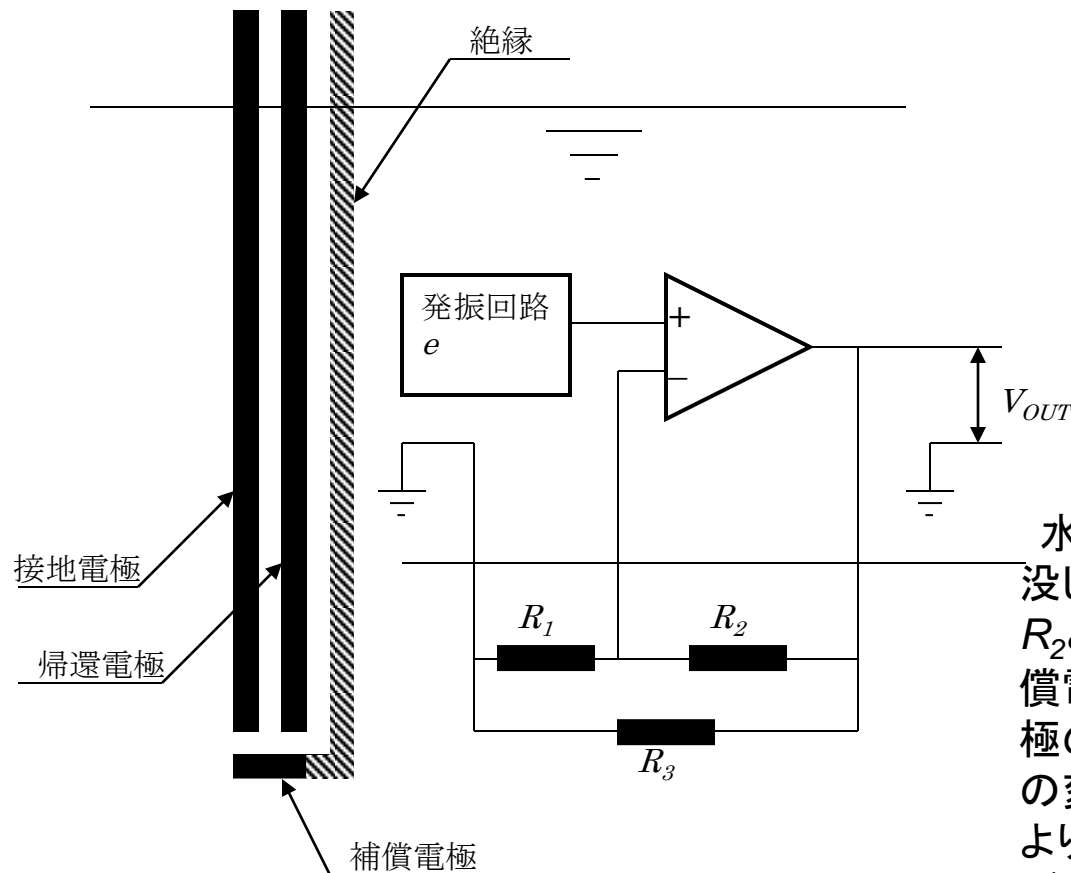
導電性塗料で描いた
2本のライン間の抵抗
もしくは容量変化から
相対水位を計測



水槽試験における波浪計測 (2)

導電性塗料による多点相対水位計測 (計測原理)

(水の電気伝導度変化の補償回路を含む水位計測法)



R_1 : 接地電極と帰還電極間の電気抵抗
 R_2 : 帰還電極と補償電極間の電気抵抗
 R_3 : 接地電極と補償電極間の電気抵抗

本回路の出力電圧 V_{OUT} は

$$V_{OUT} = e \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

水位が変動すると接地電極と帰還電極間の水没した部分の長さが増減し抵抗 R_1 が変化する。 R_2 と R_3 も水面変動により僅かに変化するが補償電極が常に水没し、かつ接地電極と帰還電極の下端部の近くに配置されているために、その変化量は無視できる。温度や水質の違いにより水の電気伝導度が変わったとしても各抵抗が同じ割合で変化するために計測値は水の電気的性質の影響を受けない。

水槽試験における波浪計測 (2)

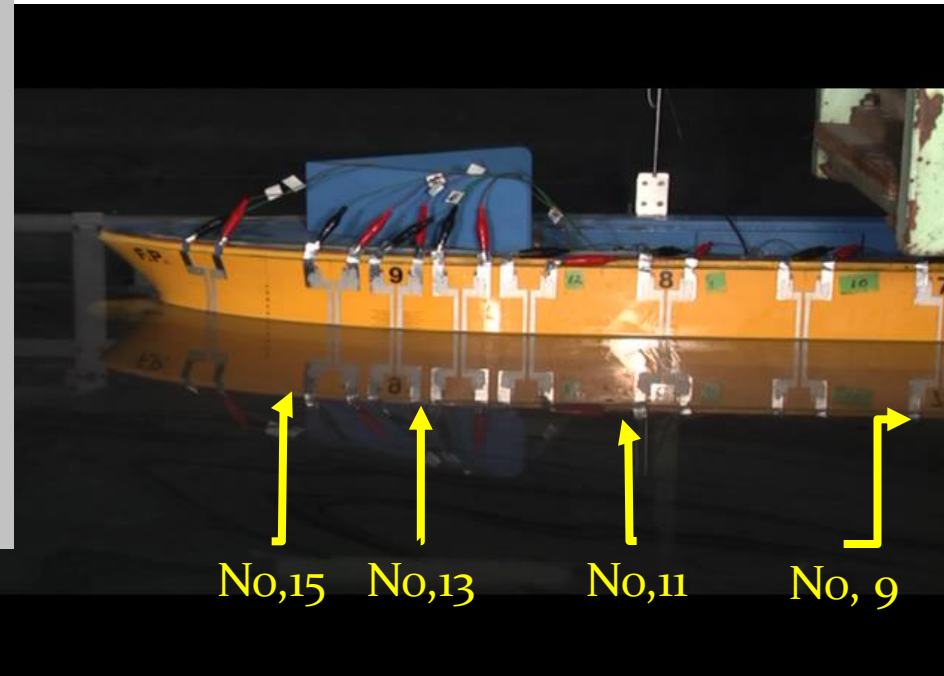
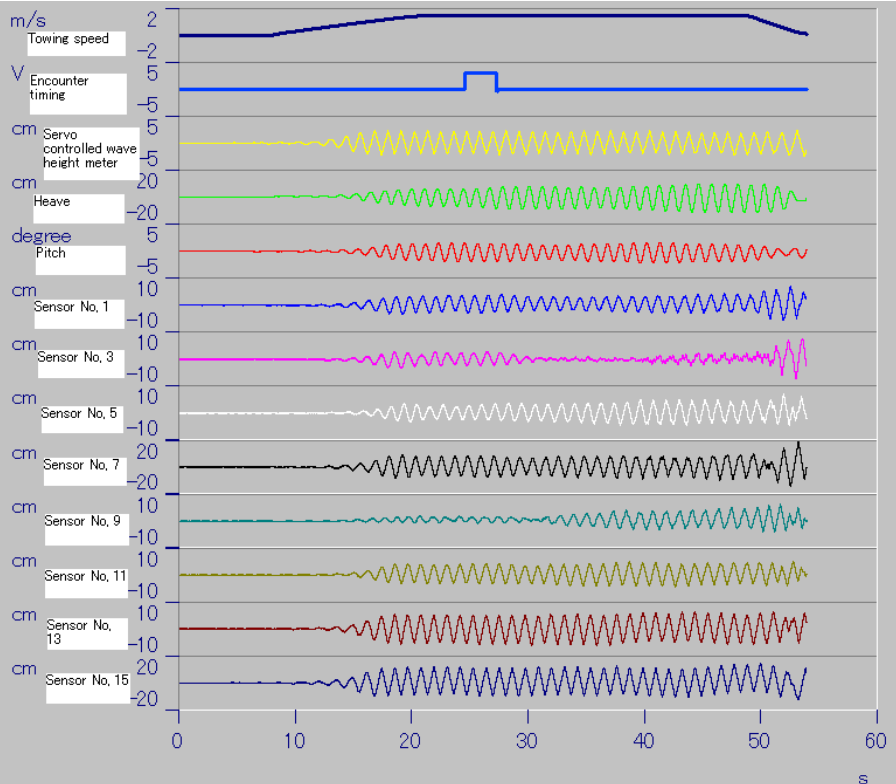
導電性塗料による多点相対水位計測 (計測結果)

実験条件

規則波:

波長 = 3m

波高 = 0.05m

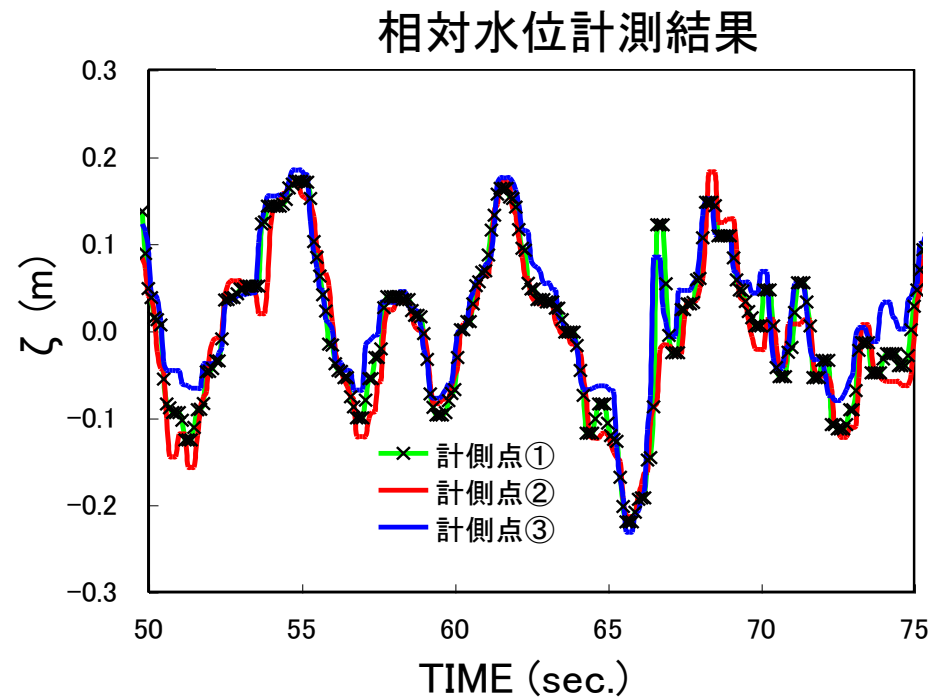
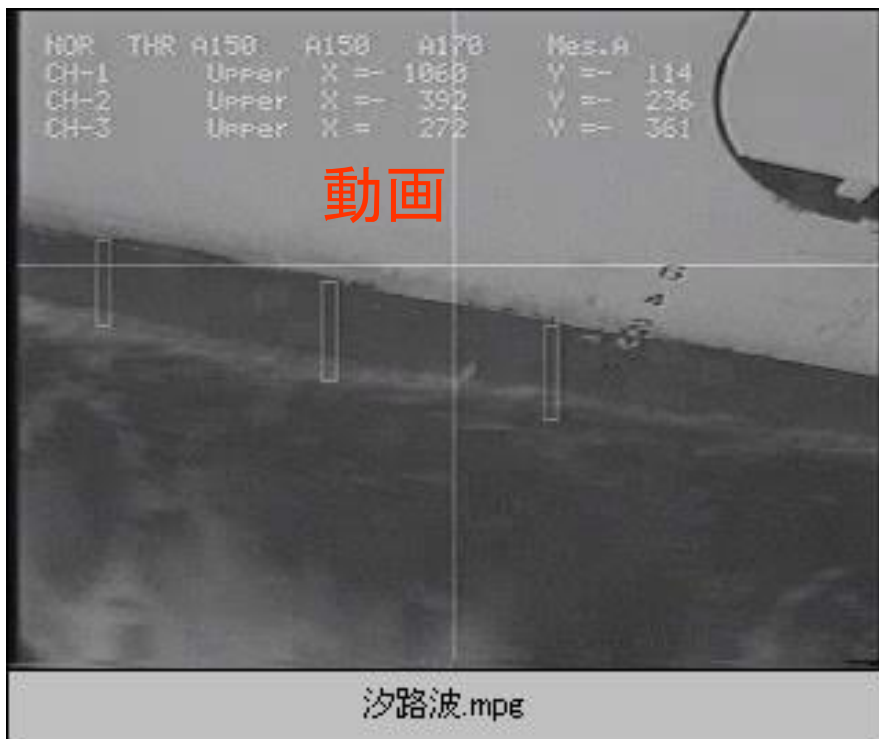


実船周りの多点相対水位計測

撮影: Sony 家庭用デジタルビデオカメラ

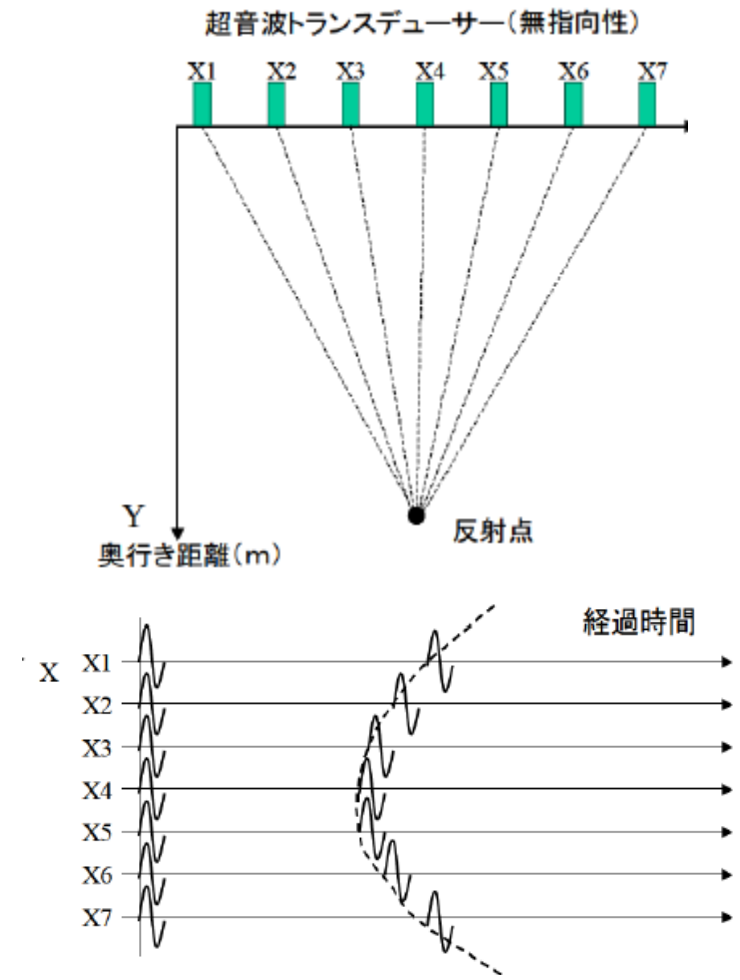
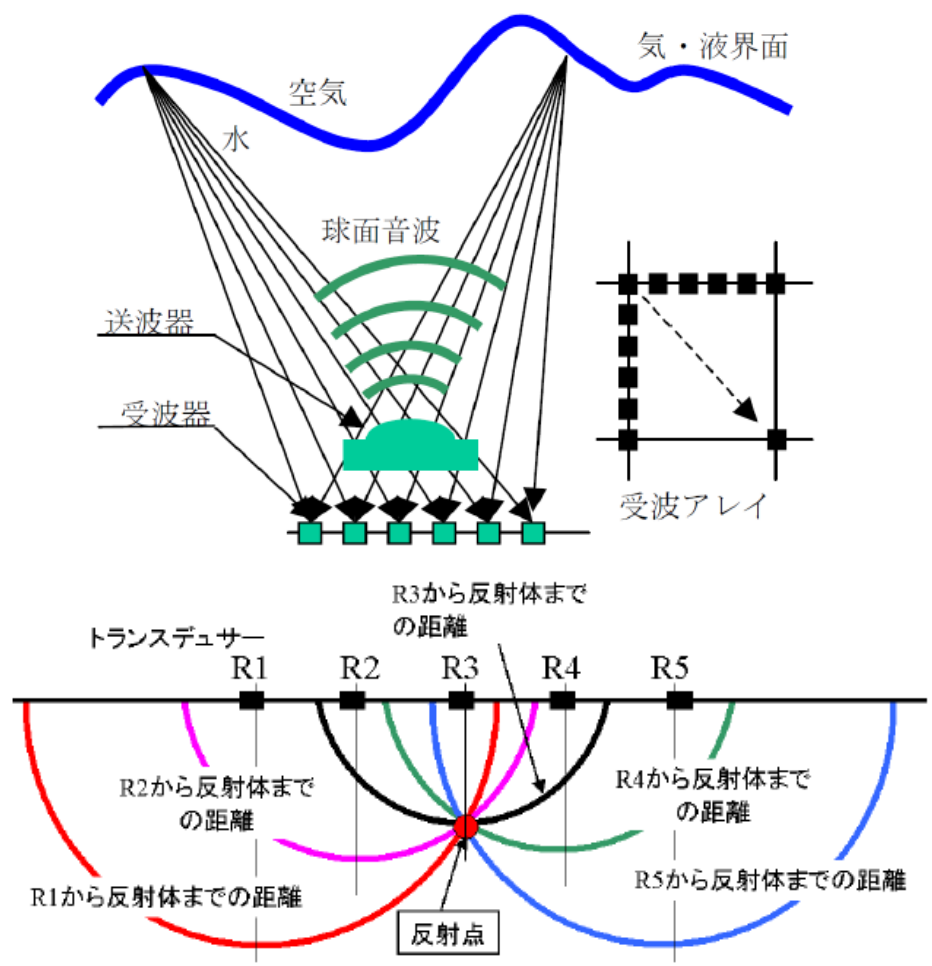
検出ポラリティ: ポジティブ、2値化レベル: 自動、2値化方式: Binary

計測範囲: Width、位置計測(Upper、Upper、Upper)



水槽試験における波浪計測 (4)

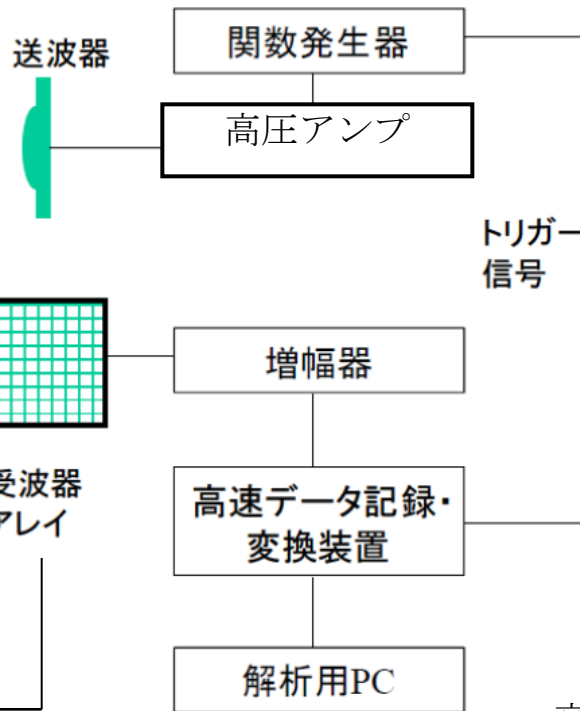
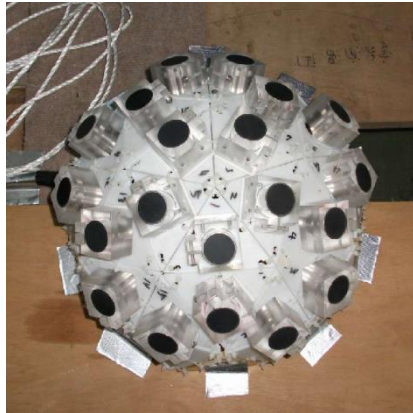
球面音波を用いた面的波浪場計測 (概念)



$$s = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

水槽試験における波浪計測 (4)

計測システムの構成



関数発生器



高圧アンプ

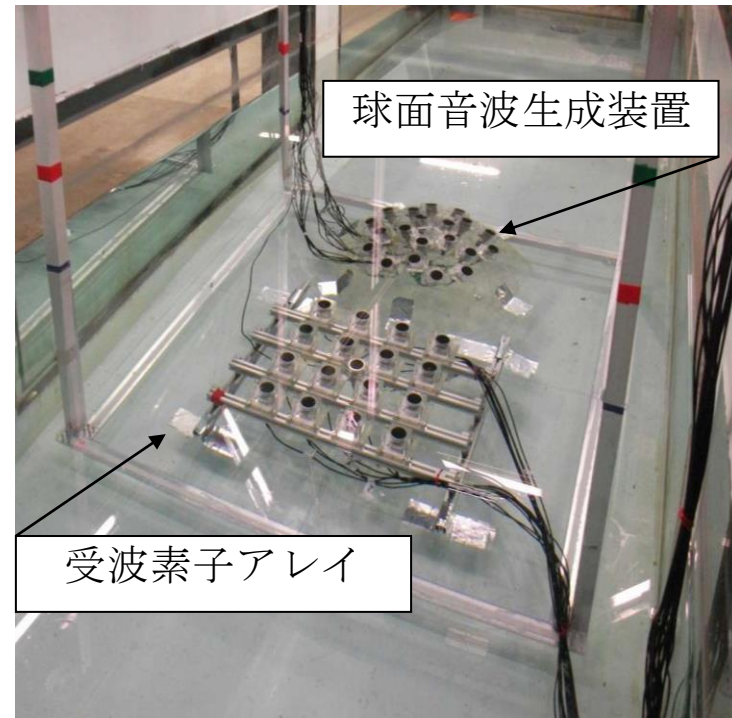
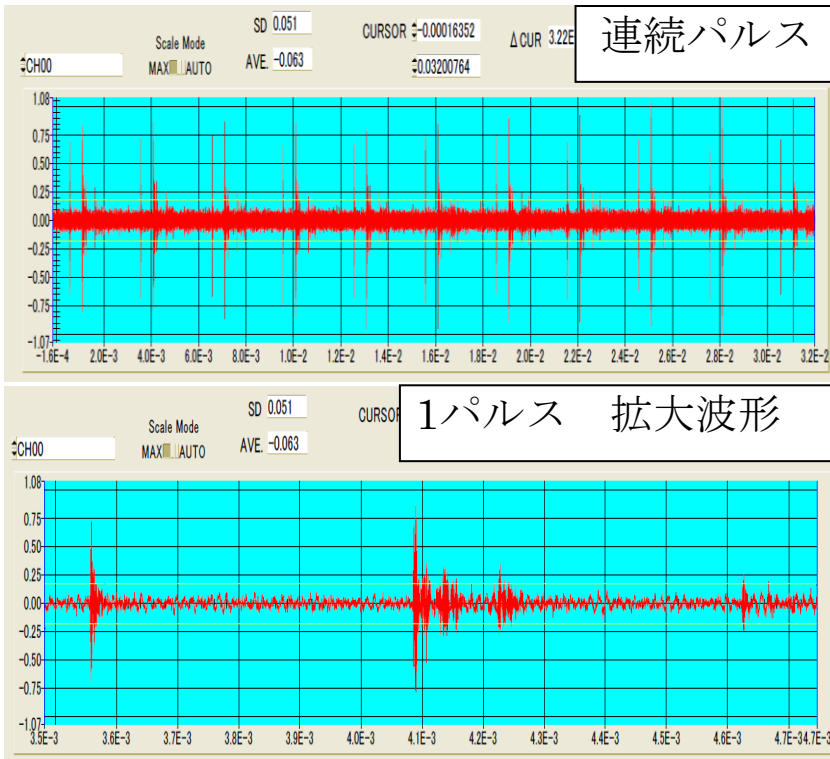


高速A/D 解析用PC



水槽試験における波浪計測（４）

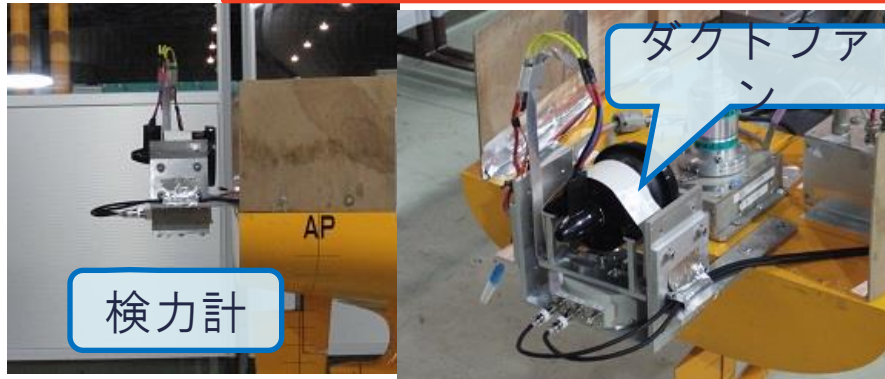
計測データと問題点と今後の対応



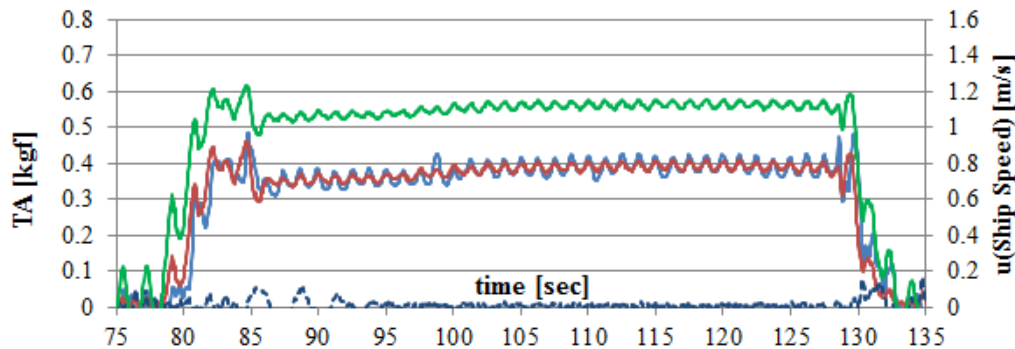
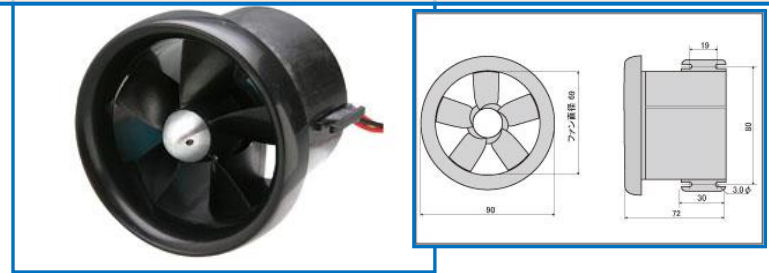
計測システムが完成 > リアルタイムに近い面的波浪場解析システムの完成を目指す。

補助推力装置の開発

自由航走する模型船に任意の補助推力を与える



例: ファン直径69mm 推力1[kgf]以上

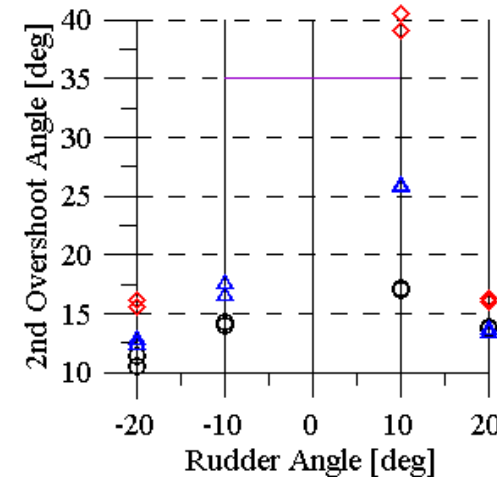
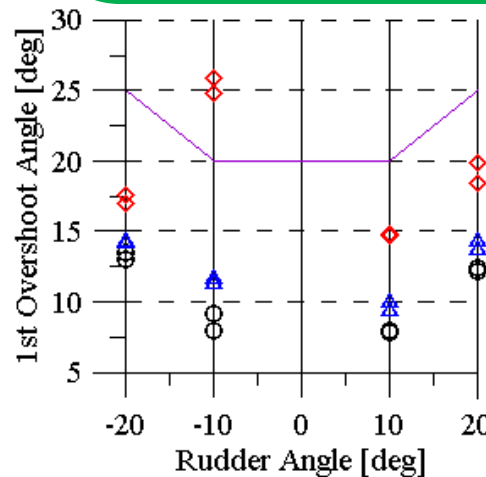
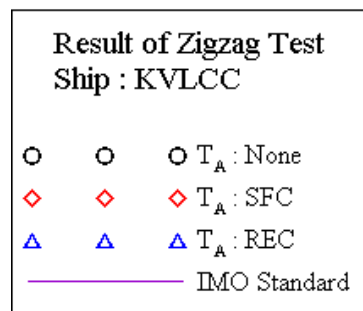
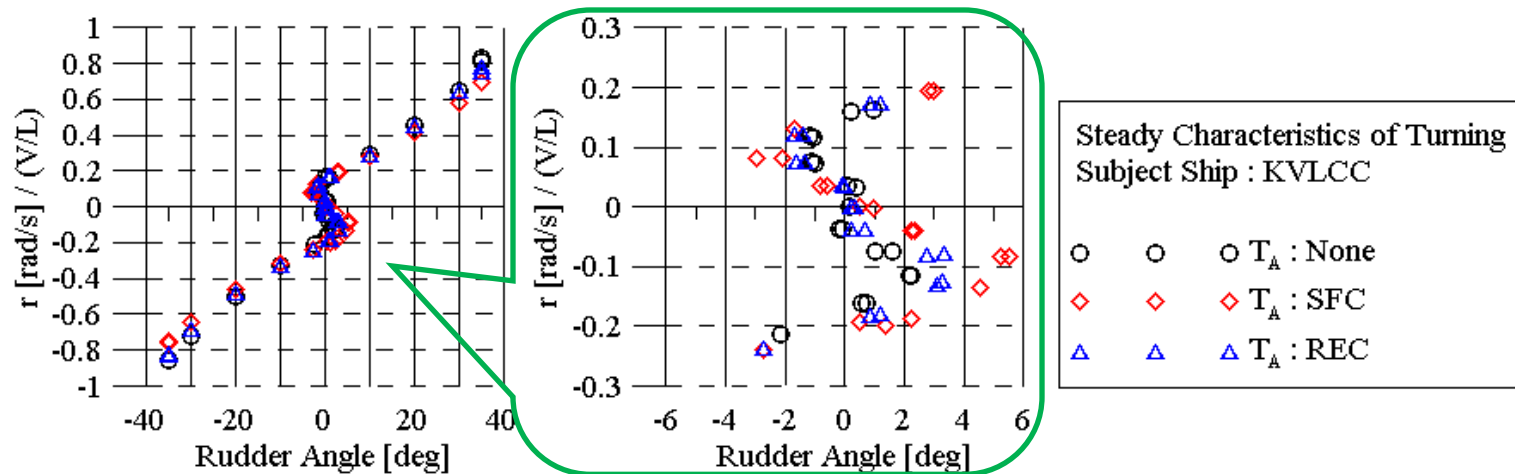


補助推力量時系列
(規則波向波中)
⇒平均誤差 0.3%程度!

“特徴”

- 任意の目標推力を設定可能 (例: 船速に応じて変化する摩擦修正量)
- 検力計計測値をフィードバックすることでファン回転数を制御、精度よい目標推力を実現

補助推力装置 操縦性試験の使用例



None:プロペラ推力のみ SFC:プロペラ荷重度が実船相当 REC:舵効きが実船相当

従来の方法より実船相当の操縦性能を確認可能！

主機特性自航装置の開発

“コンセプト”
 模型船自航装置で実船主機の応答特性を再現する

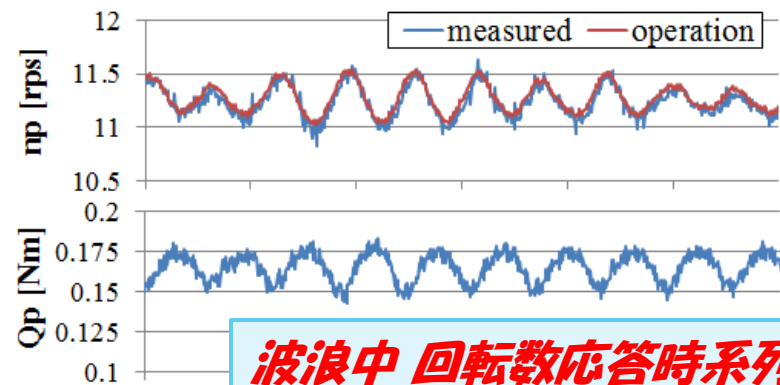
主機応答計算 &
 回転数応答値
 指令出力



トルク・回転数計測
 & モータ制御



- ✓ 実船の主機応答特性数学モデルを模型スケールに補正して実装
- ✓ 負荷変動による回転数変動や燃料消費量を模型試験で計測可能!



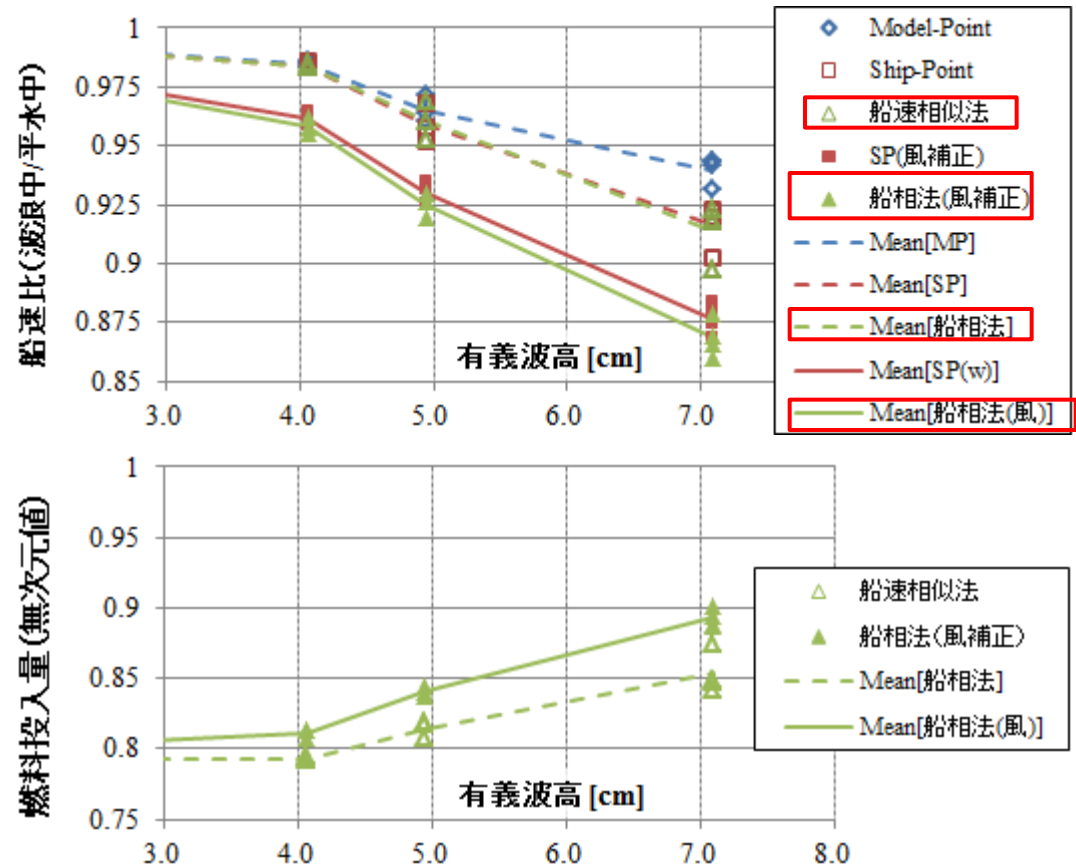
波浪中 回転数応答時系列

模型船で実船の実海域性能を直接計測 できる水槽試験法（船速相似法）

- ①主機特性自航装置
- ②補助推力装置による摩擦修正量の付与
- ③主機特性自航装置への入力値（トルクと回転数）を
実船相当に補正する方法
(実船馬力推定法の応用)

⇒波浪航走中の模型船速を合理的に実船とフルード則に則って相似にする試験法
⇒実船と相似な船速・トルク・燃料消費量が計測可能となった！

多方向不規則波中(BF6,7,8 相当)
主方向への速力試験@実海域再現水槽



まとめ

実海域性能評価のための新しい水槽試験に使う道具立てとして海技研で開発している非定常流場計測法、波浪中動揺時の船側波形の動的計測を含む各種波浪場計測法について概説した。これらの計測法について実船への計測法の展開についても述べた。また、船尾複雑流れの定量可視化への挑戦についても述べた。実用に達していない部分についてはさらに完成度を高めていく予定である。

新しい水槽試験法として以下の船速相似法と関連した2つの装置を開発した。

○ 補助推力装置：任意の推力を自走する模型船に与える補助推力発生装置を開発した。本装置により船速で変化する摩擦修正量を与えることも可能である。

○ 主機特性自航装置：主機応答特性に基づいて回転数変動を与える模型船自航装置を開発した。

○ 船速相似法：主機特性自航装置と補助推力装置を併用してプロペラ推力を主機応答を考慮して合理的に実船と相似にすることで、模型船の船速を実船と相似にする方法を開発した。