

令和2年(第20回)海上技術安全研究所研究発表会

# 船舶の総合性能評価にむけたCFD技術開発

流体性能評価系

大橋訓英、小林寛、坂本信晶

流体設計系

一ノ瀬康雄

横浜国立大学

日野孝則

(一財)日本造船技術センター

廣田 匡俊



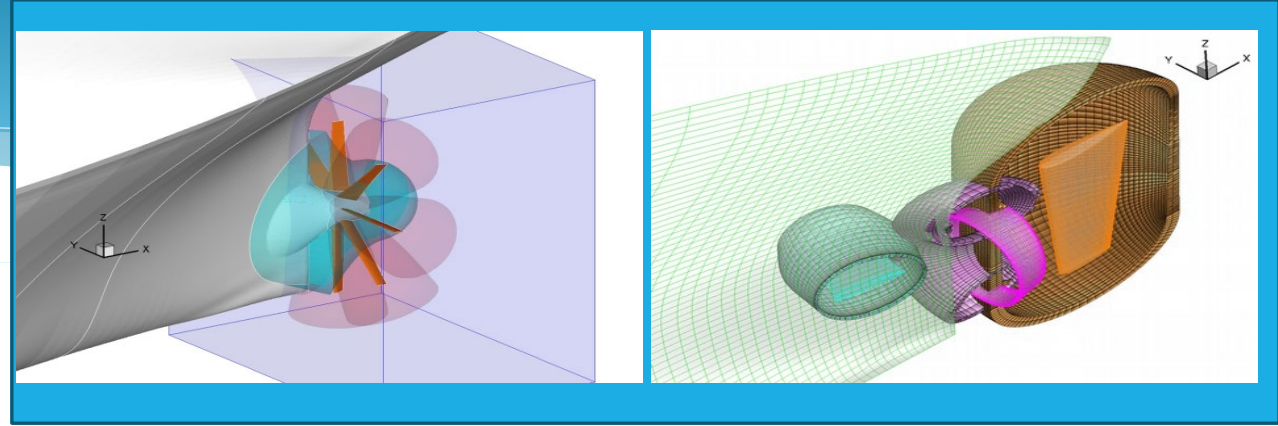
# はじめに

- \* 海上技術安全研究所では数値流体力学手法(CFD)に基づく新たな船舶の性能評価ツールを開発している。
- \* 開発内容及び将来目標(長期ビジョン)
  - ✓ マルチスケール/マルチフィジックスに基づく実海域実船スケールの高精度推定手法の確立
  - ✓ 船舶の安全性評価に向けた新規手法の開発
  - ✓ 実海域性能・安全性予測に向けたCFD統合システム開発等が主要なテーマ

# はじめに

- \*開発中の性能評価ツールを用いた成果として
    - ✓実船性能のCFDによる推定に向けた実船計算手法
    - ✓波浪中性能評価に向けた波浪中計算手法
    - ✓主機配置等を考慮した船型設計システム
- について実用化における計算のポイントを含めて紹介

# 海技研CFDシステムの概要

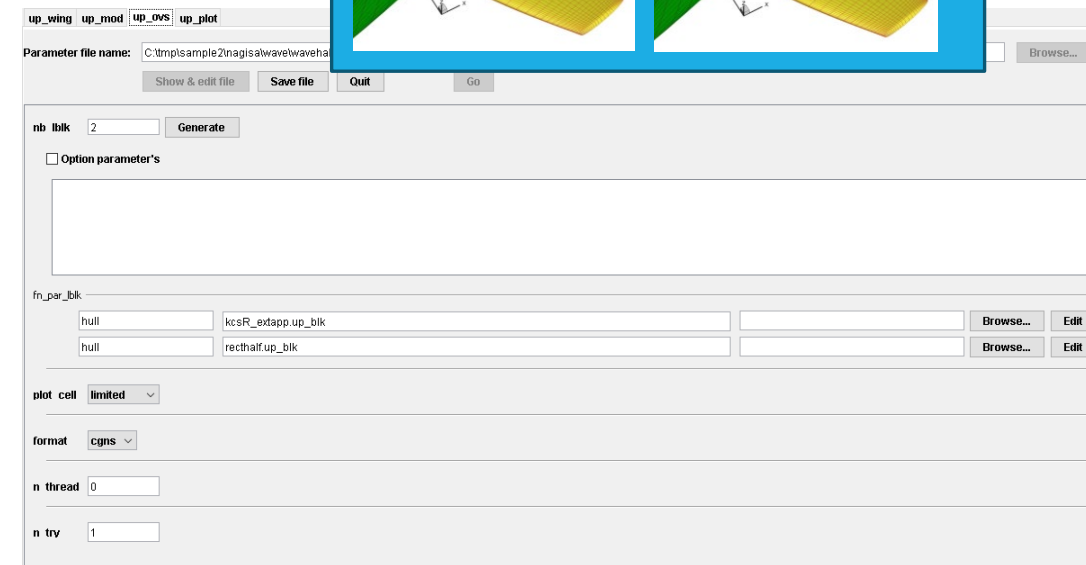
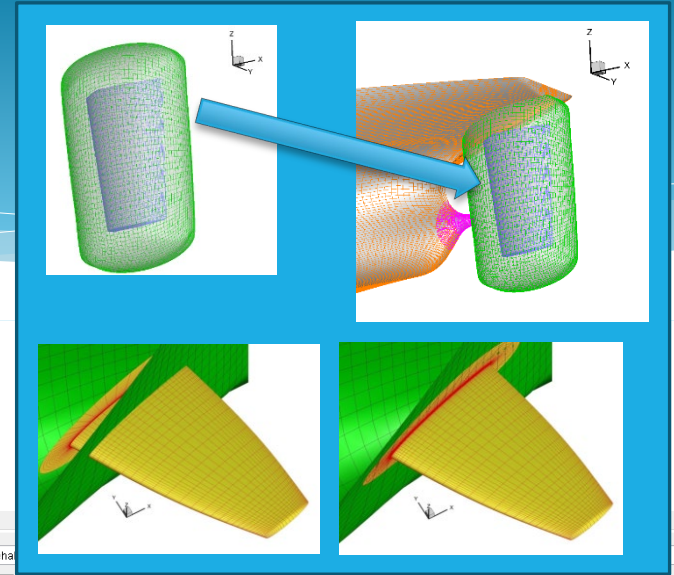


- \* 重合格子手法をベース
- \* 要素ごとに複数の計算格子を生成し、格子を組み合わせる重合格子情報による流場変数を補間。
- \* 計算格子を入れ替え、重合格子情報を生成するだけで様々な形状や計算条件を扱うことができる。
- \* 開発中のツールは汎用性も有している。

# 海技研CFDシステムの概要

## - 重合格子生成システム UP\_GRID -

- \* 重合情報（補間情報）を生成
- \* オフセットデータやCAD(IGES形式)データに基づく計算格子生成
- \* 格子の平行移動・回転やスケーリング等の機能
- \* 省エネ付加物等が物体表面に取り付けられている状態も、トリミング機能により正確に交差面を抽出。



## UP\_GRIDのユーザーインターフェース



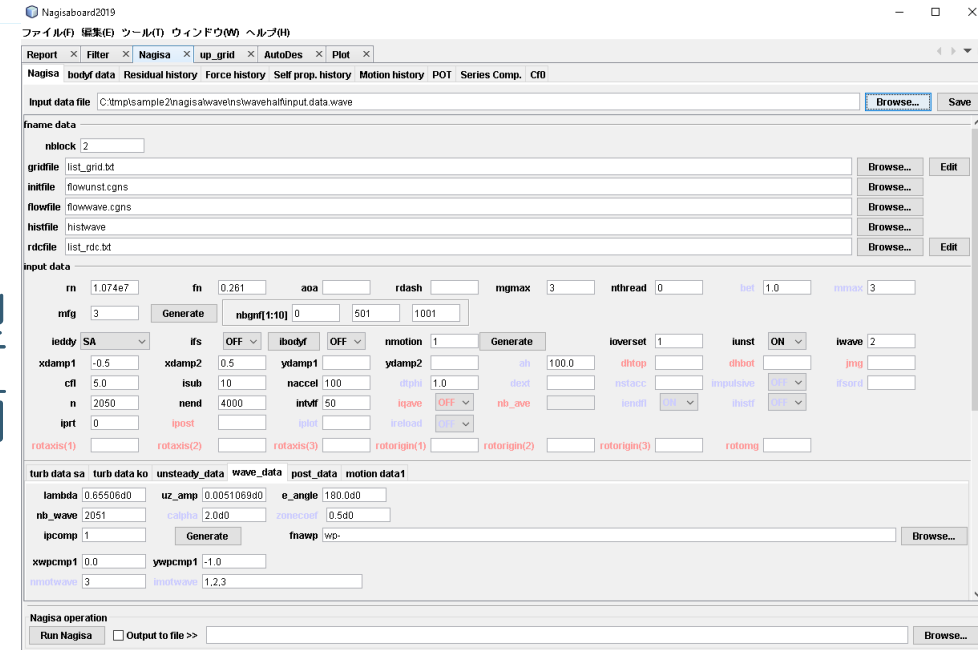
Hiroshi Kobayashi and Yoshiaki Kodama : Developing Spline Based Overset Grid Assembling Approach and Application to Unsteady Flow Around a Moving Body, Journal of Mathematics and System Science, Vol.6 (2016), pp.339-347.



# 海技研CFDシステムの概要

## - 重合格子対応ソルバー NAGISA -

- \* 支配方程式：3次元非圧縮レイノルズ平均ナビエーストークス方程式
- \* 空間離散化：構造格子による有限体積法
- \* 自由表面モデル：レベルセット法による界面捕獲型
- \* 船舶の推進状態：実形状のプロペラ格子もしくはは簡易に自航状態を再現できるプロペラモデル
- \* 規則波生成用の波浪モデル
- \* 6自由度を含む運動モデル



NAGISAのユーザーインターフェース



Kunihide Ohashi et al. : Development of a structured overset Navier-Stokes solver with a moving grid and full multigrid method, JMST, Vol.24(3) (2019), pp.884-901.



# 最新の成果の紹介

## - 実船計算のポイント -

- \* 実船スケールでも模型スケールでの計算法は有効で、自由表面モデル、プロペラモデルや乱流モデルも活用できる。
- \* 1つ目の注意点：物体表面での最小格子間隔

$$\frac{y}{L} = \frac{y^+}{Re_L \sqrt{\frac{C_{f0}}{2}}}$$

$y/L$ ：最小格子間隔、 $y^+$ ：無次元距離

$Re_L$ ：船長ベースのレイノルズ数、 $C_{f0}$ ：相当平板の摩擦抵抗係数

- ✓ 低レイノルズ数型： $y^+=1$ で $y/L$ は $10^{-8}$ から $10^{-9}$ のオーダー
- ✓ 壁関数： $y^+$ は30から200程度に緩和。 $y/L$ は模型スケールの $y^+=1$ 相当の $10^{-6}$ のオーダーで模型スケールの計算格子を実船スケール計算に使える。

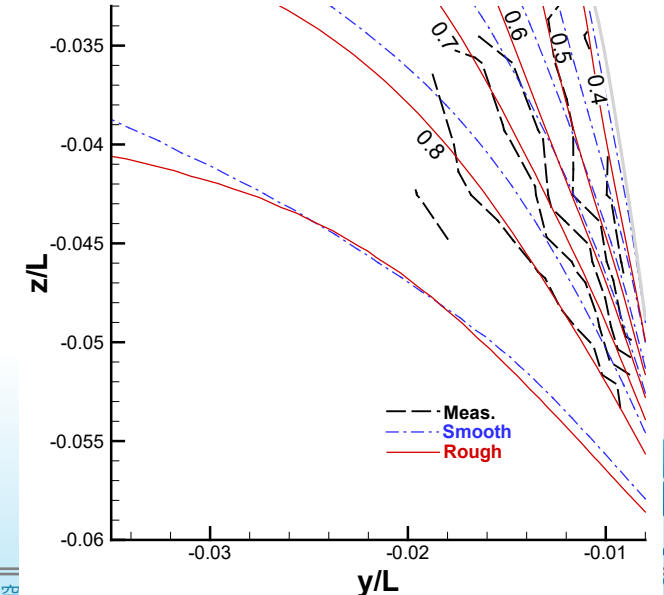
- \* 2つ目の注意点：物体表面の粗度

- ✓ 粗度モデルの導入により物体周りの流れ場、摩擦抵抗値も変化



Kunihide Ohashi : Numerical Study of Roughness Model Effect Including Low-Reynolds Number Model and Wall Function Method at Actual Ship Scale, JMST, (2020).

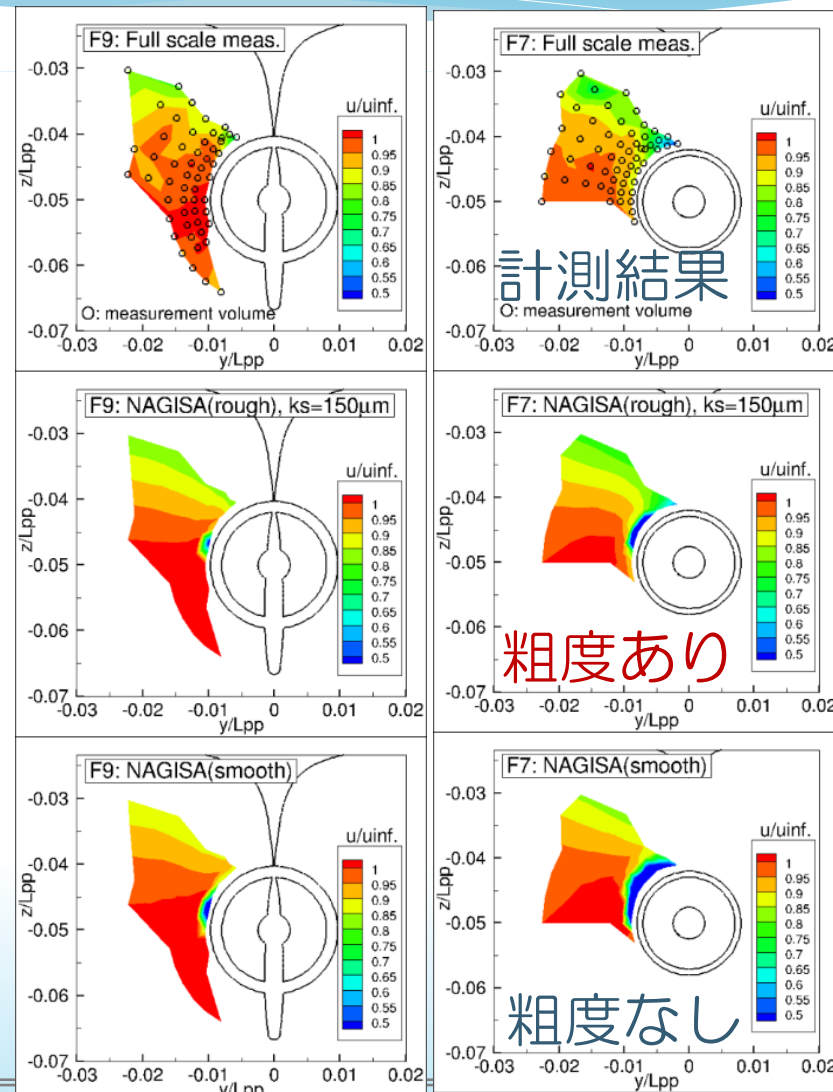
表面粗度を考慮した計算例



# 最新の成果の紹介

## - 付加物(ダクト)付き外航ばら積み船における検証 -

- \* 世界初のダクト周りを含む実船流場PIV計測
- \* 船尾ダクト等の各要素の重合格子によるシミュレーションと実船流場データとの比較。
- \* 粗度を考慮することで実船流場と概ね一致。



Takamichi Hiroi et al. : Full-scale on-board measurements of wake velocity profiles, underwater noise and propeller induced pressure fluctuations, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第29号, (2019).

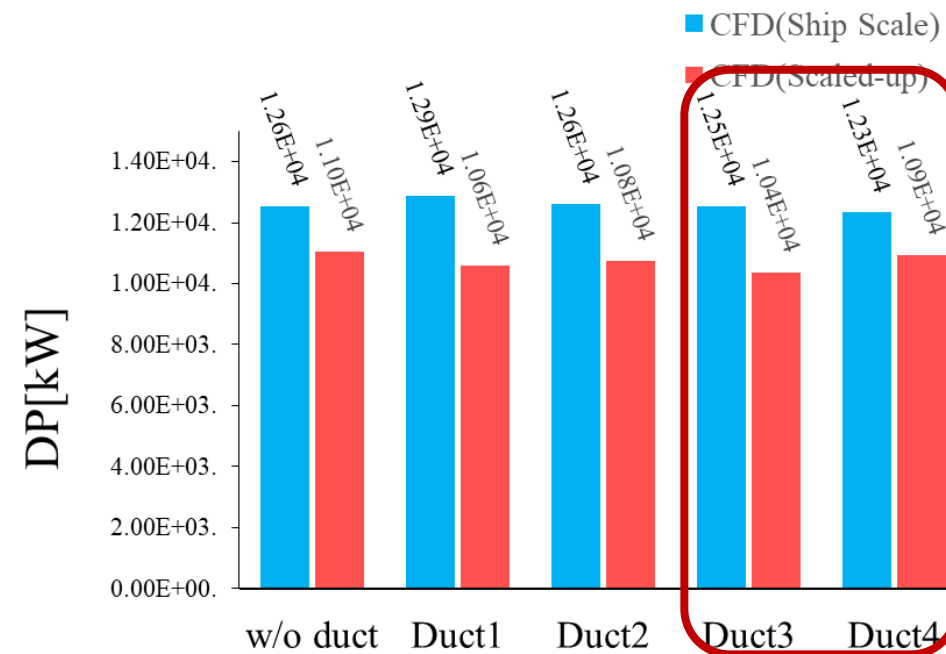
Nobuaki Sakamoto et al. : Overset RaNS Computation of Flow around Bulk Carrier with ESD in Full Scale and its Validation, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第29号, (2019).



# 最新の成果の紹介

## - JBC船型における実船スケールで有効なダクト形状の検討 -

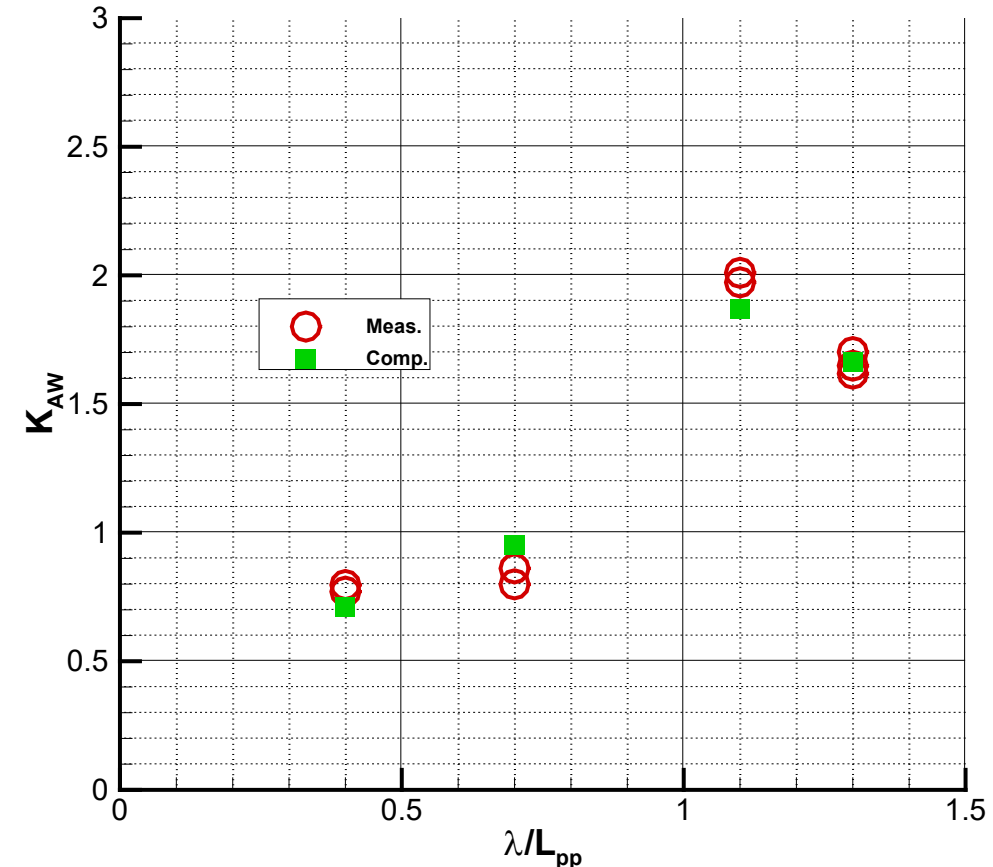
- \* 従来の模型スケールから実船スケールへの外挿法による実船馬力では、ダクトによる省エネ効果が見られたが、CFDにより実船計算を行うと、実船馬力はダクトなしより悪化。
- \* 実船では船尾伴流が模型と変わるため、模型スケールで有効なダクト形状が実船では効果が得られない可能性。
- \* 実船スケールで検討し、実船でも有効なダクト形状を提案。
- \* 実船との相関においても新たな知見。



# 最新の成果の紹介

## － 波浪中計算のポイント －

- \* 実海域実船性能評価プロジェクトでの向波中の実用的波浪中抵抗増加CFD計算法
- ✓ 1波長を50分割以上
- ✓ 波高(両振幅)を短波長では17分割、それ以外では13分割。
- ✓ 時間刻みは出会い周期の1/30を基本
- ✓ 物体表面には壁関数を適用
- ✓ サージは固定して実用上問題なし



波浪中抵抗増加量の計算例



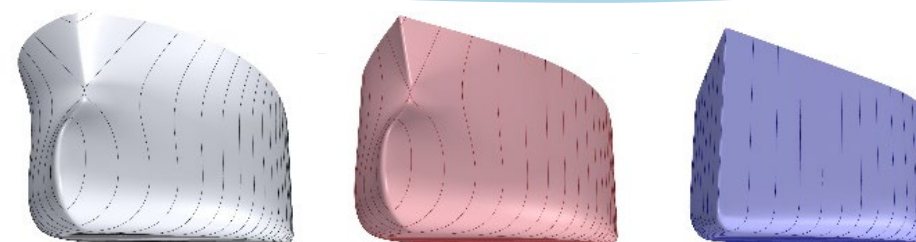
小林寛他：向波中の波浪中抵抗増加CFD計算における計算条件の設定について－RANS計算のパラメトリックスタディー，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第29号，(2019)。



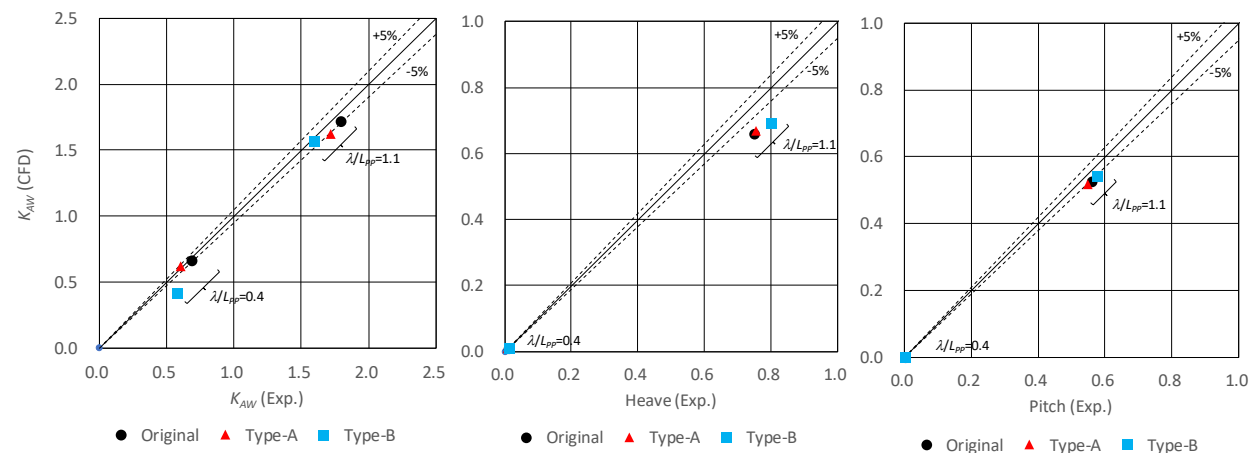
# 最新の成果の紹介

## － JBC船型における船首部形状変更計算 －

- \* 実海域実船性能評価プロジェクトでの実用的計算法に基づき船首部形状の変更計算。
- \* オリジナルの船首部形状、水面付近から上のフレア角を減少させたタイプA、ブラントネス係数を大きく減少させたタイプBの2種類。
- \* 抵抗増加量、ヒープ・ピッチ運動振幅について定性的かつ概ね定量的にも水槽試験結果と良い一致。



オリジナル タイプA タイプB



波浪中抵抗増加量 ヒープ運動振幅 ピッチ運動振幅



久米健一他：船首部形状変更と波浪中抵抗増加の関係について－水槽試験によるCFD計算の検証－，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第30号，(2020).



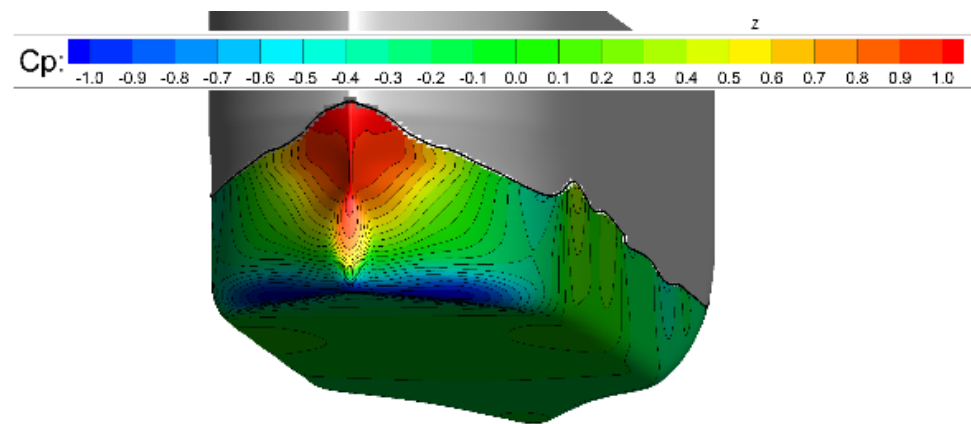
# 最新の成果の紹介

## － 肥大船における船首形状変更 －

- \* CFDの実設計への利用を目的に、造工中手造船所を主体としたShip Performance Calculation Group委員会が(一財)日本造船技術センターにより主催されている。
- \* 波浪中抵抗増加量の導出手順や解析方法が示され、抵抗増加量等で船型差を定性的に再現。
  - ✓ 規則波の短波長と長波長で造波用の格子を使い分ける。
  - ✓ 抵抗増加量を導出するために基準となる平水中での姿勢変化有の計算を、波浪中と同じ運動方程式に基づいた非定常計算を行う。



A.オリジナル B.船首バルブ無 C. B+フレア小



波浪中船体表面圧力分布

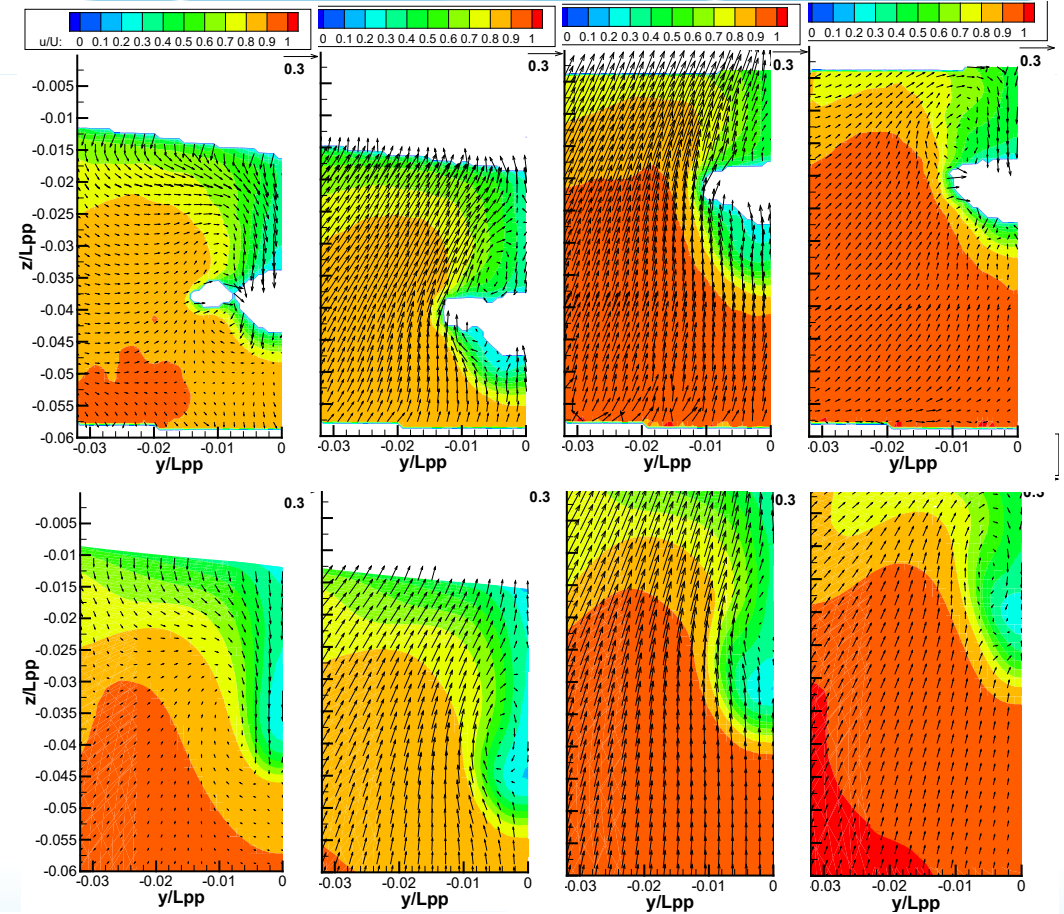
# 最新の成果の紹介

## - コンテナ船型での波浪中における伴流推定 -

- \* 伴流の時系列変化を計算できることもCFDの利点。
- \* 向波で波長船長比=1.15での船尾伴流の時系列をSPIV計測結果と比較
- \* 入射波と船体運動の干渉により船尾伴流は大きく変動。
- \* 計測結果における変動をCFDにより再現。

計測  
結果

計算  
結果

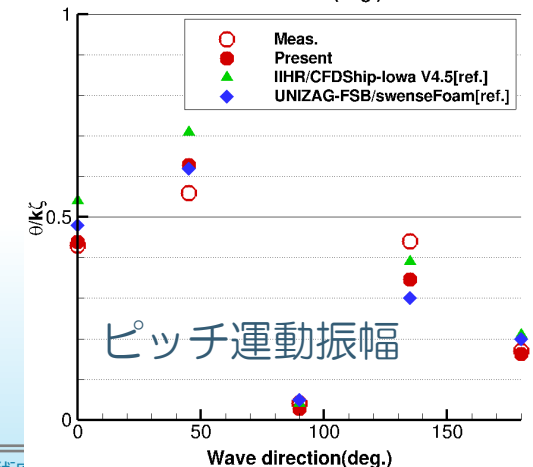
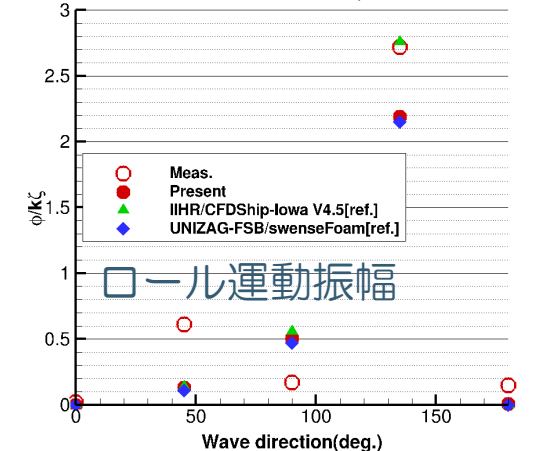
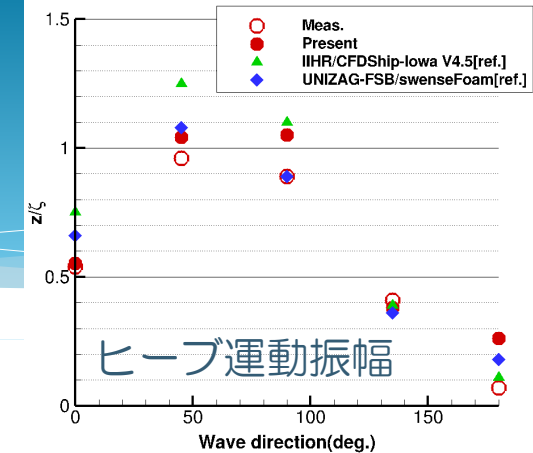
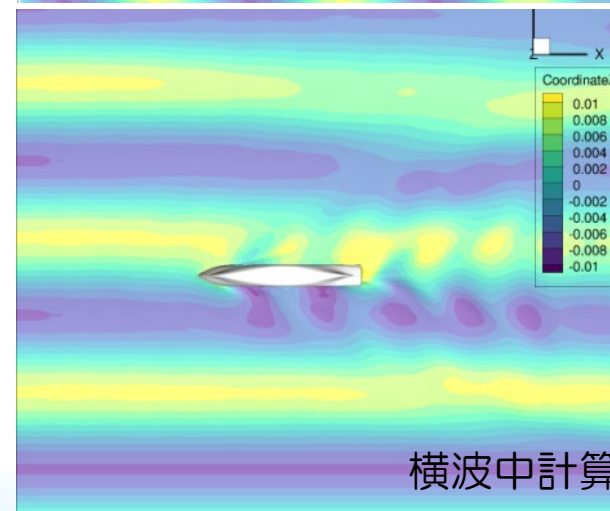
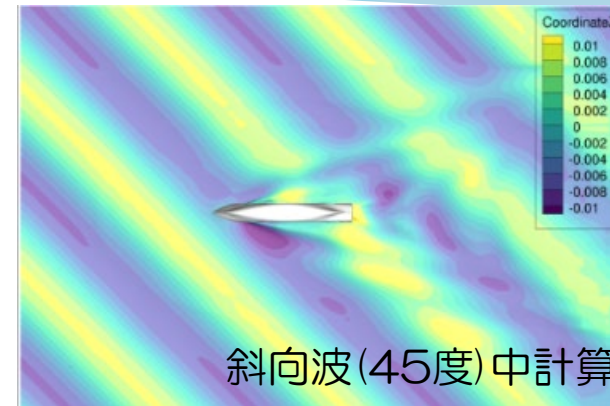


t/Te 0.175 0.425 0.675 0.925

# 最新の成果の紹介

## - KCS船型での波向き変更計算 -

- \* 入射波の波向きから造波する領域と境界条件を設定。
- \* 波向きにより計算領域の大きさは変わり、進行波の反射をさけるために流出側に1船長もしくは1波長以上大きくとる。
- \* 海技研CFDシステムによる計算結果(図中Present)は実験結果や他機関の計算結果と比較しても、精度良く運動を推定。

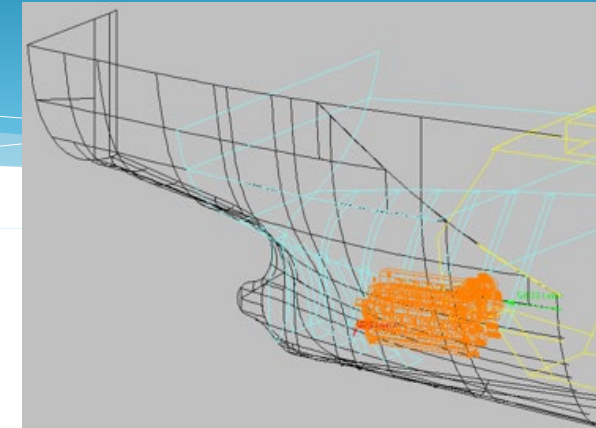


# 最新の成果の紹介

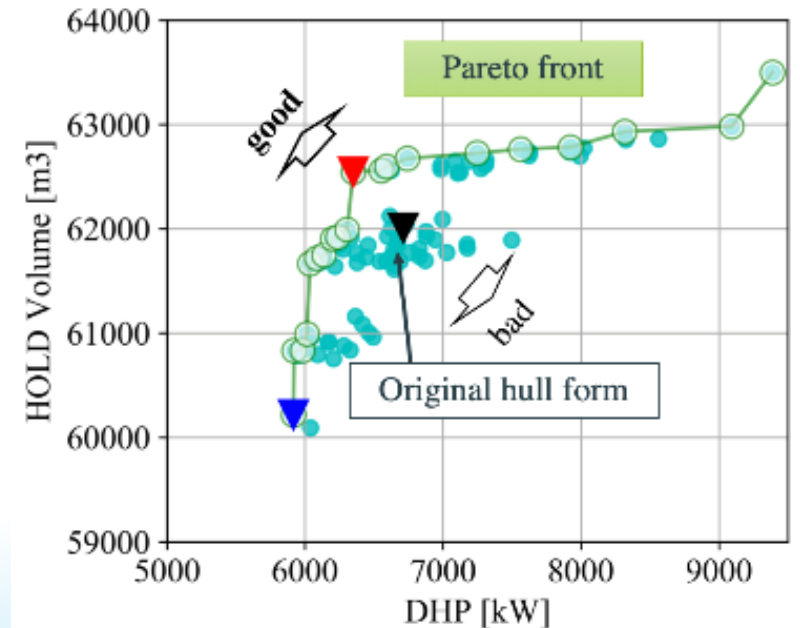
## - 多目的最適化 -

- \* エネルギー効率指標EEDIの計算式の簡略化から出てくる機関出力と載荷重量が目的関数。
- \* 船舶用CADシステムNAPAを利用し、主機配置のクリアランス等の制約条件のもと、貨物倉容積の自動計算と海技研CFDシステムを組み合わせ船型設計システムを構築。
- \* 船型変形には浮心位置 $l_{cb}$ 、船体後半部のCPカーブ、船尾フレームライン形状をパラメータとしてNAPAの機能を使用。
- \* 両者によるパレートフロントを確認でき、オリジナルの船型から馬力と載荷容積のバランスのとれた船型と馬力最小の船型等が得られた。

## CADによる主機配置の確認



## 馬力と載荷容積のパレート解



# まとめと今後の課題

- \* 開発中のCFDに基づく新たな性能評価システムを使用した成果として実船計算と波浪中計算手法について、実用化における計算のポイントを含めて概要を示した。
- \* 実船計算では実船流場計測データの取得により、計算手法開発と結果の検証が大幅に進んだ一方で、水槽試験との検証数と比べるとかなり少なく、実船馬力との比較や粗度データの蓄積を含めて、より多くの適用例と検証が必要。
- \* また、エネルギー効率設計指標については段階的に規制値が厳しくなるスケジュールであり、今後は超低速船も想定される中、CFD計算手法を活用した実船ベースの設計法や試運転状態での馬力推定等は、国際標準化も視野に重要な開発テーマになるものと考えられる。



# まとめと今後の課題

- \* 向波中での計算については標準的計算法が構築され、船首形状変更においても有効であることが示された。より実用的な船首形状等への適用が期待される。波向き変更についても実用化の目途がつきつつあり、より複雑な問題への適用に伴う計算負荷の増大に対応すべく、並列計算手法の新規開発も進めている。
- \* 海技研CFDシステムを組み合わせた船型最適化や生産性も同時に評価できる船型設計プロトタイプシステムについては、今後、設計現場での実用化に向けた検討が進められる。
- \* 主に船舶の性能評価に関連する事例を紹介したが、開発中のツールは汎用性も有していることから、波浪荷重評価や流体構造連成システムの開発、海洋開発関連への適用等、関係各所の協力を得て、適用分野の拡大も進めている。

# 謝辞

- \* 付加物付き外航ばら積み船については国土交通省海事局からの請負研究「実船の流場計測等による船舶の高度性能評価システムの構築のための調査研究業務」により実施しました。関係各位に深く御礼申し上げます。
- \* JBC船型に関する波浪中での検証については海事クラスター実海域実船性能評価プロジェクトにおいて実施されました。関係各位に謝意を表します。
- \* 肥大船における船首形状変更計算は(一財)日本造船技術センターが主催する造工中手造船所を主体としたSPCG及びHRC委員会において実施されました。関係各社に深謝いたします。
- \* 最後に本講演の一部はJSPS科研費JP16K06919、JP19K04869及びJP17K06975の助成を受けたものです。記して謝意を表します。