

# **Cradle CFD**

船舶·海洋編



解析事例集



# 木材チップ運搬船の風圧抵抗評価

サノヤス造船株式会社様事例紹介

# SCRYU/Tetraでチップ船の風圧抵抗を解析し、甲板上艤装品の影響を評価

### 船体風圧抵抗の改善へ向けて

船体表面圧力分布

艤装品での圧力が高く、風圧抵抗 に大きな影響を与えていること

が確認できる。

議装品間の干渉

比重の軽い木材チップを運搬するチップ船では荒天時の風によ る船速低下が問題となる。

チップ船にかかる風圧は甲板上艤装品によって大きく影響を受けることが知られており、風圧抵抗の低減には、その配置、形状の デザインが重要となる。

ここでは、CFDを用いてチップ船模型の風圧抵抗を評価し、風向の変化による風圧抵抗および艤装品の有無による風圧抵抗の増加を解析した。

右舷60度方向の風に対する圧力分布

抵抗要因の可視化

圧力 [Pa]



#### 解析結果と実測結果の比較







クレーン先端部分は、風速が遅くなっているホッパー下流に位置 することで、風圧抵抗が軽減している。

#### 艤装品の装着有無による風圧抵抗の変化



#### comment

SCRYU/Tetraを用いてチップ船の風圧抵抗を解析し、模型による試験結果との定量性の高い一致を得た。CFDの活用による風 圧抵抗解析によって最適な甲板上艤装品の配置、形状を評価することで、燃費効率向上へ向けた開発期間の短縮、開発コスト の削減が期待される。

# 肥大船の水槽試験シミュレーション [抵抗試験] (1/2)

# 肥大船の抵抗試験解析、および省エネ付加物の効果検証をSCRYU/Tetraを用いて実施

#### 解析目的

船舶の推進性能開発、また昨今省エネルギーの観点から盛んに開発が行われている省エネ付加物の検討には、模型船の水槽試験が重要な役割を果たす。

本解析では、CFDでの推進性能推定に重要なポイントとなる船尾縦渦が顕著に現れる肥大船を対象として、抵抗状態の水槽試験シミュレーションを、SCRYU/Tetraを用いて実施した。

さらにSCRYU/Tetraの重合格子機能を用いて省エネ付加物 を考慮し、抵抗試験状態でのその効果の検証を行った。

解析対象船型* 主要目		※JAPAN Bulk Carrier(JBC)		
		Model scale		
Length between perpendiculars	L <sub>PP</sub> [m]	7.0		
Length of waterline	L <sub>wL</sub> [m]	7.125		
Maximum beam of waterline	B <sub>WL</sub> [m]	1.125		
Depth	D [m]	0.625		
Draft	T [m]	0.4125		
Wetted surface area w/o ESD*	S <sub>0_w/oESD</sub> [m <sup>2</sup> ]	0.2494		
Wetted surface area with ESD*	So_wesd [m <sup>2</sup> ]	0.2504		
Service speed	Fn	0.142		
	U [m/s]	1.179		
	Re	7.46×106	* ESD:Energy Saving Devices 省エネ付加物	

※参照:Tokyo 2015 A Workshop on CFD in Ship Hydrodynamics

http://www.nmri.go.jp/institutes/fluid\_performance\_evaluation/cfd\_rd/cfdws15/index.html

#### 解析領域



#### 重合格子を用いた付加物考慮



付加物まわりに配置した重合格子

- ●船速変更試験[付加物無]
  - 自由表面影響なし(ダブルモデル)
  - 自由表面影響あり

#### ●実験データとの比較検証

- 抵抗係数: 付加物有無 設計船速
- 伴流分布: 付加物有無 設計船速
- 波高分布: 付加物無 設計船速

※いずれも、ハーフモデル



船速変更抵抗試験







船尾付加物装着による船体抵抗軽減の傾向を推定可能



船尾近傍圧力分布の比較[Cp=P/(0.5・ρ・U<sup>2</sup>)] 付加物有で船尾近傍の圧力回復が図られている

# 肥大船の水槽試験シミュレーション [抵抗試験] (2/2)

肥大船の抵抗試験解析、および省エネ付加物の効果検証をSCRYU/Tetraを用いて実施



#### comment

●肥大船を解析対象とし、推進性能推定に重要なポイントとなる船尾縦渦が、再現可能であることが確認できた。

- ●SCRYU/Tetraの重合格子機能を用いて、省エネ付加物を考慮し、その影響を解析結果として再現できることも確認できた。 省エネ付加物の形状、配置のパラメータスタティが可能。
- ●プロペラ実モデルを回転させての解析、または無限翼数プロペラ理論に基づく簡易プロペラモデルの追加考慮で、自航状態の解析へとステップを進めることができる。

# 肥大船の水槽試験シミュレーション [自航試験]

SCRYU/Tetraを用いた自航試験解析と実験結果との検証を実施

#### 解析目的

プロペラを考慮した自航試験は、船舶推進性能 分野で、重要な位置づけを占める。

本解析では、SCRYU/Tetraで、プロペラ実モデル を回転させて自航試験を模擬した解析を行い、 実験結果との検証を実施した。

対象船型は[抵抗試験]と同じ肥大船とし、本解 析では自由表面なしのダブルモデルを仮定し ている。

#### 解析内容とプロペラ近傍のメッシュ



参照:Tokyo 2015 A Workshop on CFD in Ship Hydrodynamics http://www.nmri.go.jp/institutes/fluid\_performance\_evaluation/cfd\_rd/cfdws15/index.html



#### comment

●SCRYU/Tetraを用いて、実プロペラ形状を回転させて自航試験解析を実施した。

●実験結果と比較して、船後位置でのプロペラ性能、自航状態での船体抵抗を、ほぼ精度よく推定可能である。

●計算負荷が少ない無限翼数プロペラ理論に基づく簡易プロペラモデルとの組み合わせによる自航解析も、可能である。

# 簡易プロペラモデルの実装と舵干渉問題への適用

### SCRYU/Tetra 解析事例

プロペラ・舵の干渉時性能をSCRYU/Tetraと無限翼数プロペラ理論を用いて解析

#### プロペラと舵の干渉

船舶推進性能をCFDで推定するためには、船体、プロペラ、舵の相 互干渉が重要なポイントとなる。実形状のプロペラを回転させる 解析手法も実用段階に入りつつあるが、計算負荷が高いことが障 壁となる。

そこで、計算負荷が少なく、これまでの実用例も多い無限翼数プロ ペラ理論[1,2,3]に基づく簡易プロペラモデルを、SCRYU/Tetraに搭 載した。プロペラ単独性能、さらには舵との干渉問題に適用し、実 測結果との比較検証を実施した。

> [1] 中武一明:西部造船会会報,第34巻,1967,p25-36. [2] 森山文雄:船舶技術研究報告,第16巻,第6号,1979,p361-376. [3] 玉田丈朗,安東潤:日本船舶海洋工学会講演会論文集,第21号,2015,p555-558.

#### プロペラ・舵干渉解析



#### 解析結果と実測結果の比較





[4] 大内一之,玉島正裕,川崎敏夫,恋塚初:日本造船学会論文集,第165号,1989, pp.43-53.





とらえることで、プロペラ・舵性能を評価可能

60 80

[5]富田幸雄,若林喬之:船の科学,第54巻,第12号,2001,p58-61.

#### 舵前縁近傍の旋回流と舵表面圧力分布



#### comment

SCRYU/Tetraに無限翼数プロペラ理論を適用することで、プロペラと舵の干渉状態を低計算コストで解析することが可能。解 析結果も高い精度での実測値との一致を得た。今後は、船体との干渉考慮を進め、SCRYU/Tetraにおける推進性能推定ツール としての確立を目指したい。

# 舶用プロペラの単独性能推定 SCRYU/Tetra 解析事例

# SCRYU/Tetraによる境界層遷移現象を考慮した舶用プロペラの性能推定

#### プロペラ単独効率推定

船舶における推進装置の大部分はプロペラが担っており、そ の効率が数パーセント向上するだけでも二酸化炭素排出の 大幅な削減と燃費向上による莫大な経済効果を達成するこ とができる。

より高効率のプロペラを開発するためには開発段階におけ る高い精度での性能予測が必要であり、CFDのツールとして の有用性を実験との比較印から調査した。

[1] 藤山 他, ターボ機械, 第40巻, pp.212-217, 2012



#### LKE *k-k*<sub>L</sub>-ω モデル

乱流モデルとして境界層の層流から乱流への遷移を考慮することが可能 な LKE k-k,-ω モデル<sup>[2]</sup>を用いた。



[2] Walters, D.K., et. al., ASME J. of Fluids Engineering, 130, 121401, 2008 [3] Coupland, J., ERCOFTAC Special Interest Group on Laminar to Turbulent Transition and Retransition,



#### comment

SCRYU/Tetraを用い境界層の乱流遷移を考慮できる乱流モデルを適用することで、舶用プロペラの単独性能を精度よく推定 できた。これにより更なる高効率なプロペラ設計において、開発段階での的確な評価・検討を行うことが可能となる。

# 舶用プロペラにおけるキャビテーション予測

### SCRYU/Tetra 解析事例

SCRYU/Tetraを用いチップボルテックス領域を含むプロペラキャビテーションの発生を予測

### キャビテーション解析

流体機械においてキャビテーションは性能低下や振動、エロー ジョン(壊食)を引き起こす原因となる。そのため、CFDにより キャビテーション発生範囲を予測することは流体機械の設計開 発において重要となる。

そこで本事例では船舶用プロペラ周りのキャビテーションについて、特にチップボルテックス(翼端渦)キャビテーションの再現に主眼をおいてCFDを用いて予測を行い、その結果と実験との比較評価<sup>[1]</sup>を行った。

<sup>[1]</sup> Fujiyama, K. et al, smp'11 Workshop on Cavitation and Propeller Performance, 2011

# キャビテーション発生範囲の予測 実験結果 = 1.019= 1.269 $\sigma_n = 2.024$ $\sigma_n = 1.424$ 解析結果 キャビテ ーション 発生範囲 Case 1 Kт Case 2 0.3750 (スラスト値) 0.2064 +0.67% 対 実験値 -3.59%

キャビテーション発生範囲と スラスト値を高精度に推定

#### 解適合解析によるメッシュ作成

#### Potsdam Propeller Test Case(PPTC)



#### comment

SCRYU/Tetraを用いることによって、舶用プロペラ周りで起こるキャビテーション発生範囲やそれに伴うスラスト変化を高精度 で予測することができた。また、解適合解析機能によるメッシュ自動微細化により、チップボルテックスキャビテーションのよう な局所的な現象を再現することも可能となる。

# SCRYU/Tetraによる船尾変動圧力の推定

キャビテーション解析 事例紹介

# SCRYU/Tetraによる船体を考慮したプロペラ周りの非定常キャビテーションと船尾変動圧力の推定

#### 船尾変動圧力の推定

船体後流の不均一性に起因する非定常のプロペラキャビテーション現象は、船体振動や騒音源、またエロージョンの原因となるため、設計段階での予測が重要である。

そこで、模型船によるキャビテーション試験<sup>(1)</sup>と同条件下でSCRYU/Tetraによる解析 <sup>(2)</sup>を行い、非定常キャビテーション発生状態の予測と、それに伴う船尾変動圧力の推 定精度の検証を行った。

#### 船体およびプロペラの形状・解析概要



m+frxy家 船体: 青雲丸 プロペラ: HSP-II, CP-II スケール: 1/16.293 解析条件は両プロペラとも実船 163rpm条件



[1]Kurobe, Y., et al., "Measurement of Cavity Volume and Pressure Fluctuation on a Model of the Training Ship" 'SEIUNMARU' with Reference to Full Scale Measurement (in Japanese)", SRI Report, 1983

[2]Fujiyama, K., "Investigation of Ship Hull Pressure Fluctuation induced by Cavitation on Propeller using Computational Fluid Dynamics", Proc. of the 17th Cavitation Symposium, 2014

#### 変動圧力の分析 変動圧力振幅の解析と実験の比較 31 deg Time 翼通過一次周波数成分 プロペラ直上の変動圧力振幅 圧力 [Pa] 2000 0.06 0.06 0.05 0.05 0.04 0.04 -2000 0.03 0.03 0.02 0.02 2000 [Pa] 1000 0.01 0.01 Pressure 0 0 0 P2 P1 53 1st 2nd 3rd C S1 4th -1000 -2000 - HSP - CP - HSP ---- CP 0 18 36 54 0 • HSP Exp • CP EXp ••• HSP Exp ••• CP EXp Angle [deg]

#### comment

SCRYU/Tetraを用いることで、船体を考慮した非定常プロペラキャビテーション現象とそれに起因した船尾変動圧力を高精度 で予測することができた。この設計段階における高い精度での現象予測は、より高度な船体・プロペラ形状の最適化を行える 可能性がある。

### キャビテーションパターンの比較

#### CP-II 163rpm Condition



# 小型船舶の自由表面解析による船体姿勢の評価

ヤマハ発動機株式会社 様 事例紹介

自由表面とダイナミカル機能で航行中の船体姿勢を解析

#### 解析目的

航行中の安定性を評価するために、船体移動を考慮した解析を 実施した。計算手法として、自由表面はVOF法、物体の移動はダイ ナミカル機能を用いている。船体姿勢の評価は、船側のフィンな し(Shape1)とフィンあり(Shape2)の2タイプで、重心位置から重 りを移動させたときのヒール(横傾斜)を比較した。



#### 解析結果と実測との比較



#### 粒子による水飛沫の再現

流体の体積率の輸送により自由表面を捉えるVOF法では、水面から飛び散った水飛沫を再現することは難しい。そこで、造波による水飛沫を質量粒子により再現した。右図で2方向から見た VOF値0.5界面と粒子の様子である。VOF法で捉えられていない水飛沫を粒子で再現できていることがわかる。





上左図は、重りを図右方向に移動させた解析のヒールを比較 したものである。図中の基準位置はヒール角が0[deg]の船体 位置を表している。上右図はヒール角を相対比較したグラフ である。これらの結果から、フィンによる船体姿勢の安定効果 が確認でき、実測とも相関が取れていることがわかる。



#### comment

SCRYU/Tetraを用いて小型船舶の航行中の姿勢を解析し安定性を評価した。解析により船側に取り付けられたフィンの効果が確認でき、得られたヒール角は実測と相関が取れていることがわかる。トリムについても同様に評価を行うことが可能である。

# 曝気槽における空気吐出量割合の予測

大晃機械工業株式会社 様 事例紹介

分散混相流解析機能を用いて気液二相流れを評価

#### 解析の目的



船舶用汚水処理装置は超小型かつ高効率なことが要求される。装置内部の高性能化の一環 として、右図内にあるような散気管においては曝気量の均等化が重要となる。そこで、 SCRYU/Tetraの分散混相流解析機能を用いた気液二相流れの予測によって爆気量の評価を 行い、その結果から最適な散気管形状設計について検討した。

形式	SBH-15	SBH-25	SBH-40	SBH-65
汚水量 (L/日)	900	1500	2400	3900
最大汚水量 (L/h×回/日)	94×1	156×1	250×1	406×1
BOD負荷 (g/日)	202.5	337.5	540	877.5
ブロワ風量 (m³/min)	0.1	0.255	0.40	0.59
排出ポンプ 流量(m³/h)	4 (60Hz)		3 (50Hz)	



タイコーシップクリーン SBHシリーズ

標準仕様概要



#### 解析実施例



ある流入条件下における、散気管からの噴出空気 量分布の解析結果が左図である。感覚的には空気 源に近い方から多く空気が吹き出すと考えていた が、一度空気が充満された場合には、想定とは違う 現象となっていた。これは下図にあるような散気 管内の流速分布が空気噴出穴径やその配置から影 響を受け、結果として噴出後の空気の広がり分布 に変化を与えるためと考えられる。

この計算結果は実験との相関もよく取れていたため、解析を試行しながらより最適な散気管形状に ついて設計を行った。



#### comment

SCRYU/Tetraを用いたことで、実際に水槽によるモデルテストを実施することなく、船舶用汚水処理装置内の散気管を設計することができた。さらに実装置におけるテスト結果からは、実際にほぼ均等に曝気できていることが確認され、開発設計段階におけるSCRYU/Tetraの高い有用性が実証された。

# 船舶用エンジンの冷却性能評価

ダイハツディーゼル株式会社 様 事例紹介

SCRYU/Tetraで船舶用ディーゼルエンジンのウォータージャケットを解析し、冷却性能を検証

### ディーゼルエンジン DE-18



ダイハツディーゼル製DE-18は、IMO2次規制はもちろんのこと、将来の更なる排 気ガス規制の強化も視野に入れ、省エネとメンテナンスコストの削減を実現した、 経済性に優れた次世代型環境対応ディーゼルエンジンである。ダイハツディーゼ ルが培ってきた長年の技術に裏付けされた高信頼性と耐久性を維持しつつ、環境 調和と高性能を実現した。

そのウォータージャケットの設計においては、シリンダヘッド近傍の冷却水通路 形状は大変複雑である上に、十分な冷却効果を発揮しなければならない。実際の製 品は大型であり製品や試験機を用いた計測・試験の繰り返しは非常に困難である ため、解析による性能の検証を行った。

#### シリンダー間の比較

全気筒モデルで解析し、各気筒間の差異に着目した

#### 別型式との比較

運転中高温となる部品について 別型式(機種)と解析結果を比較した



#### comment

船舶用ディーゼルエンジンのウォータージャケット設計にSCRYU/Tetraを活用することで、冷却性能の向上に大きな役割を果 たした。また現物は大型であり実機での試行錯誤が困難な対象ではあるが、シミュレーションでの予測を重ねることで実機の 試作をわずか1回に抑えることに成功し、結果として設計期間及び試作コストの大幅な圧縮につながった。

# 潮流発電用「レンズ水車」の性能検証

九州大学 様 事例紹介

水車のタービンに「レンズ」を付けることでパワー係数が増大することをSCRYU/Tetraで確認

#### 背景

潮流発電は、海洋再生エネルギーの中でも実用化が 近いと期待されており、そのエネルギー効率につい て研究が進められている。

九州大学応用力学研究所の大屋教授の発明による風 レンズ風車はタービンブレードの外側にリング状 ディフューザを配置するものであるが、エネルギー 効率の向上に効果があることが知られている。その 技術を潮流発電に応用した【レンズ水車】でも同様の 効果が期待される為、【レンズ水車】とタービン単独 の【レンズなし水車】の解析を行い、その結果から流 れ分布やパワー係数を比較する。





#### シミュレーションによる解析結果



増えることが実験・解析双方で確認された

#### comment

SCRYU/Tetraの移動メッシュ機能を用いて【レンズありモデル】と【レンズなしモデル】の解析を行い、レンズのディフューザ効 果による流速の違い、圧力分布の違いを可視化して検証することができた。タービン発電効率の指標となるパワー係数をCFD 計算結果から求めて比較したところ、【レンズありモデル】の方が最大約2倍の数値が出ることが予測された。実験値において も概ねそのような傾向が確認できた為、レンズ水車の性能をCFDによって検証できることが分かった。









Hexagon はセンサー、ソフトウェア、自律型テクノロジーを組み 合わせたデジタルリアリティのグローバルリーダーです。当社は産 業、製造、インフラ、公共部門、モビリティアプリの全域でデータ を活用することで効率、生産性、品質および安全性を高めています。

当社のテクノロジーは生産と人に関連するエコシステムを形成し、 接続と自律化を拡大し続け、スケーラブルで持続可能な未来を保証 します。

HexagonのManufacturing Intelligence 事業部は、設計とエンジニ アリング、製造、および計測分野のデータを活用し、製造をよりス マートにするためのソリューションを提供しています。

Hexagon(ナスダック・ストックホルム HEXA B) についての詳細 は、hexagon.com をご覧ください。また @HexagonAB をフォロー してください。