

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 23 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420878

研究課題名(和文)透明模型と屈折率整合を用いた船体付加物まわりの詳細流場計測法の開発

研究課題名(英文)Development of detailed flow field measurement method about the hull adduct using a transparent model and the refractive matching

研究代表者

濱田 達也 (HAMADA, TATSUYA)

国立研究開発法人 海上技術安全研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：00608630

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：船舶の省エネルギー化として、船体に省エネ付加物を取付ける方法が考案されている。本研究では、省エネ付加物の1つであるダクトの高効率化を目指すため、ダクト模型を水と屈折率整合が可能な透明材料で製作し、ダクト外部および内部の詳細な流場を計測できる技術の開発を進めた。透明模型製作のため水の屈折率に近い材料を調査し、見つけることが出来た。さらにダクトのような3次元形状の成型方法を検討した。現状では3次元形状の製作は困難だったため、透明材料で製作した平板を用いて屈折率の違いによる流場計測への影響を調査したが差を見いだせなかった。引き続き本研究で検討した成型方法を改良し本流場計測技術の実用化を目指す。

研究成果の概要(英文)：As an energy saving of the ship, a method of installing energy saving device to the ship hull has been devised. In this study, in order to aim a high efficiency of energy saving duct, the duct model made of a transparent material that can be refractive index matched to the water, we developed a technology to measuring the duct external and internal detailed flow field. Furthermore, the forming method of the three-dimensional shape like the duct was examined. In present modeling method, production of the model of the three-dimensional shape was difficult. Therefore, to investigate the influence on the flow field measurement due to the difference in refractive index by using a flat plate made of a transparent material, but found no difference. In the future, we want to be aim at the practical application of flow field measurement technique in model internal and external flow of duct by the refractive index matching method.

研究分野：工学

キーワード：屈折率整合 熱可塑性樹脂 透明模型 船舶 省エネ付加物

1. 研究開始当初の背景

船舶の省エネルギー化は、船体形状の改良による方法が限界に近づいているため、これに代わって船体やプロペラ周辺に装置や省エネ付加物を取付ける方法が考案されている。船舶の省エネ付加物としては様々な原理や方式のものが考案されているが基本的には粘性抵抗の低減や推進効率の向上を狙ったものが多い。実際の省エネ付加物の省エネ原理と効果を確認し、その高効率化を目指すためには付加物による流れの変化を詳細に知る必要がある。

また、CFDの高精度化、高度化により船体・プロペラ・舵一体での流れのシミュレーションも行われているが詳細な流場の実験的検証は未だ不十分である。船尾複雑流れの実験的アプローチによる解析は、レーザドップラー流速計(LDV)を用いた非接触での詳細な流場計測によってその信頼性は飛躍的に向上した。しかしながら、レーザ光の届かない場所でのLDV計測は未だ困難である。レーザ光の届かない場所の1例として、省エネ付加物の1つであるダクトの内側があげられる。

本来見えないところを見る手法として屈折率整合技術がある。これまで屈折率整合技術を用いた流場計測は、水と屈折率が等しい透明材料がなかったため一般的な透明材料の屈折率(アクリルなど)に作用流体(ヨウ化ナトリウム水溶液など)の屈折率を近づけることで計測が行なわれてきた。しかしながら、水に屈折率調整用の薬品を加えると密度・粘性等が変化することや屈折率整合に用いられるヨウ化ナトリウム水溶液に毒性があるなどの問題点がある。また、屈折率調整を行なった流体を曳航水槽等の大型水槽施設に満たして実験することは安全性や費用の面から困難である。

本研究では、模型試験による省エネダクトの高効率化のため、水と屈折率整合が可能な透明材料を用いてダクトを製作し、ダクト外部および内部(本来レーザ光が届かない場所)の詳細な流場を計測する技術の開発を行う。

2. 研究の目的

本研究では、省エネ付加物の1つであるダクトの省エネ効果の高効率化を目指すため屈折率整合を用いて本来レーザ光が届かないダクト内側の詳細な流場を計測ができる技術の開発を目的としている。また、ダクト模型を水と屈折率整合が可能な透明材料で製作し、ダクト外部および内部の詳細な流場を計測できる技術の開発を目的としている。

3. 研究の方法

水の屈折率(1.333)に近い透明材料を調査し、本研究に実用可能な材料を選定する。選定した材料の試験片(平板)およびダクト模型の成形方法を検討する。

選定した材料で製作した透明模型を用いて流場計測を行い、同形状のアクリル模型との計測結果の比較を行う。

4. 研究成果

(1) 低屈折率材料の調査

水と屈折率整合ができる透明模型を製作するために、水の屈折率に近い透明材料の調査を行った。調査の結果、一般的な透明材料であるアクリルやパイレックスガラスより屈折率が非常に低い熱可塑性樹脂およびUV硬化型樹脂があることがわかった。表1に低屈折率の透明材料を示す。

表1 低屈折率透明材料

	住友 3M	DIC	AGC
製品名	THV	OP-3801	CYTOP
屈折率	1.36	1.378	1.34
光透過率	85 ~ 90%	94.4%	95%
硬化方法	熱可塑性	UV 硬化	熱可塑性

一般的な透明材料と比較して水の屈折率に非常に近く、光透過率もフィルムの厚さで90%程度あり高い透明性を有している。

本研究では、水の屈折率に近いTHVとCYTOPの2つ絞って成型方法の検討を行った。

(2) THV および CYTOP の成型方法

THV および CYTOP の光特性を把握するために試験片として平板の成型方法を検討した。

THV の形状はペレットである。そのため、加工方法は圧縮成型、射出成型、押出成型等が挙げられる。しかし、THV は成型温度における粘性が高いことから射出成型、押出成型は難しいと思われる。そのため、THV の成型方法は圧縮成型とした。また、THV は金型への癒着があったため、材料と金型の間のカプトンフィルムをはさんで金型への癒着を防いだ。製作したTHVの平板を図1に示す。

表2 THV および CYTOP の成型工程

	THV	CYTOP
	ペレット乾燥 70	80 × 12H
	150 × 5min	120 × 12H
	加圧 2.9MPa × 10sec	180 × 24H
	冷却 30 ~ 40、加圧 24.5 MPa × 1min	250 × 24H
		300 まで加熱 (10 /H の速度) し気泡を除去
		24H 掛けて常温まで冷却

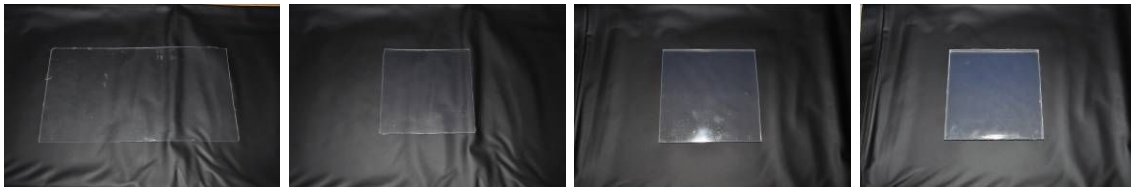


図-1 THV 平板(左から t1 mm、t2 mm、t3 mm、t4 mm)

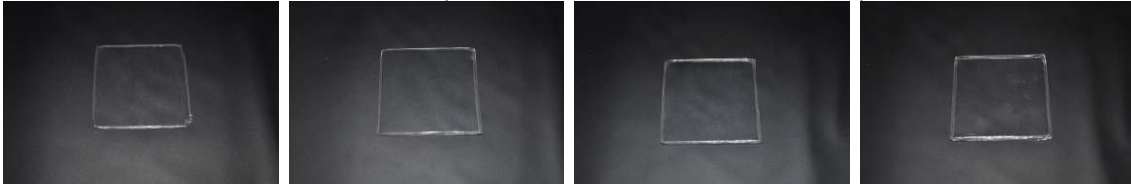


図 2 CYTOP 平板(左から t1 mm、t2 mm、t3 mm、t4 mm)

CYTOP の形状は、溶液と溶剤が混ざった混合液である。そのため、平板の成型は注型成型で行った。型は平板が癒着しないように研磨したガラス容器を使用した。製作したCYTOPの平板を図2に示す。THVおよびCYTOP平板 t4 mmの成形工程を表2に示す

(3)光透過率計測

PIV や LDV などの計測法は、トレーサからの反射散乱光を使って流速を計測するため、たとえ透明模型の屈折率が低くてもレーザー光の強度が減衰するものではトレーサを追従できず流速を計測できなくなる。そのため、THV および CYTOP 平板の厚みを変えて光透過率を計測し、厚みによる光透過率の傾向を把握した。また、実際の流場計測では、レーザー光が透明模型に垂直に当たるとは限らないため、平板に角度をつけたときの光透過率を計測し、レーザー光の角度による光透過率の傾向を把握した。それぞれの計測概要図を図3に示す。なお、透明模型は水中で使用するため、光透過率の計測は平板を水中に入れて行った。

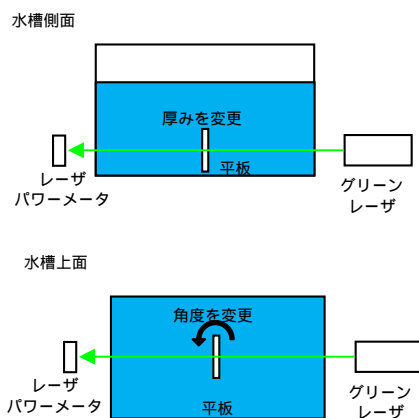


図 3 光透過率計測概要図

平板の厚さを変えた光透過率の結果を図4に示す。CYTOPとアクリルは厚さ4mm以上でも高い透過率を保っている。THV 平板は図1と見ると厚さが3mm以上では白っぽくなっている。そのため、THV は厚みを増すごとに透過率が低下している。しかし、厚さ4mm

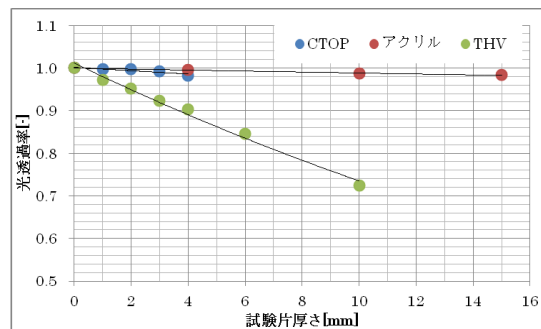


図 4 光透過率厚さ変更

でも水中での光透過率は90%程度ある。

平板の角度を変更した光透過率の結果を図5に示す。平板の厚みは全て4mmである。全ての平板で角度が大きくなるにつれて、反射による減衰と平板を通過する距離が長くなることによる減衰が大きくなるため光透過率は低下している。

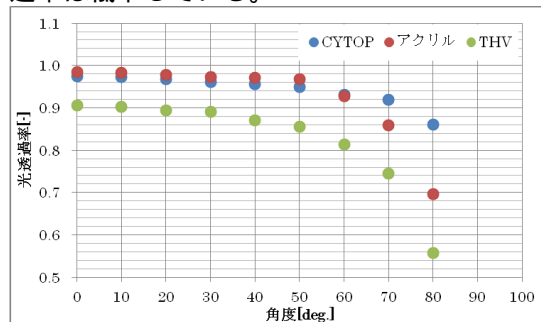


図 5 光透過率角度変更

(4)偏光歪検査

屈折率整合を行う際、透明模型内部に歪が残っていると複屈折の原因となり、透明模型の屈折率が一樣にならないため、水との屈折率整合が困難になる。そのため、屈折率整合に使用する透明模型は極力内部に歪が残らない成型加工により製作する必要がある。

今回、水の屈折率に近いTHVとCYTOPで製作した平板の歪を観測し、材料および成型方法による歪への影響を把握した。歪の観測は偏光歪検査装置を用いて実施した。観測方法は直行ニコル法を用いて実施した。さらに、鋭敏色法を用いて歪の観測を実施した。

THV 平板、THV チューブおよび CYTOP 平板の歪観測結果を図6に示す。なお比較のため

にアクリル平板 t4mm の結果を図-6 に示す。

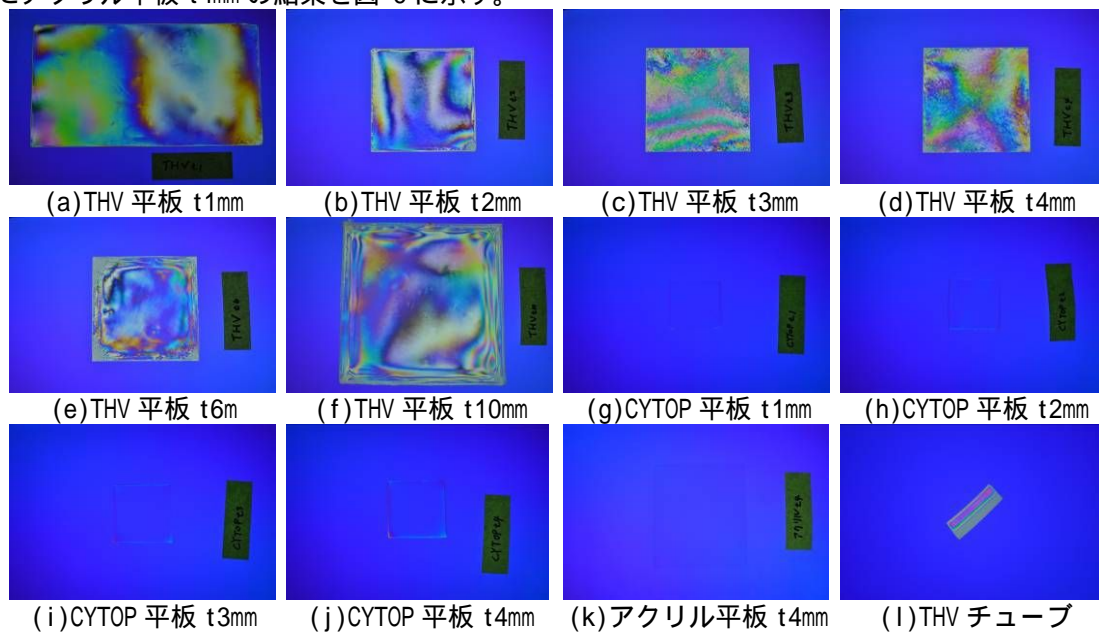


図 6 歪観測結果

THV 平板および THV チューブは歪により全体的に虹色になっているのが見られた。また、加熱時間が短かったためか厚さが 3mm、4mm ではペレットのあとのようなものが見られた。全体的に歪が見られるのは、加熱および冷却時間が短いことが歪の発生原因と思われるため、加熱時間および冷却時間を長くすることにより歪を少なくすることが可能であると思われる。

CYTOP は鋭敏色法を用いない場合は、大きな歪は見られなかった。鋭敏色法を用いた場合は、端に若干歪による色の变化が見られる。

(5) ショ糖を用いた屈折率整合

THV および CYTOP はアクリル等の透明材料に比べて水の屈折率に非常に近い透明材料である。しかし、水の屈折率と微小に異なるため完全な屈折率整合は困難である。そのため微小な屈折率の差がどの程度流場計測に影響するのかを把握するため、水中で THV と CYTOP の 4 mm 厚平板と THV チューブを通して格子を見ることにより、微小な屈折率の差による格子の歪を観察した。さらに、水にショ糖を入れ屈折率を調整し屈折率が一致したときの格子の歪を観察した。THV4mm 厚平板は強制的に湾曲させることにより、曲部の格子の歪を観察した。格子のサイズは 5×5 mm である。THV 平板の屈折率は事前に計測し、

$n_D=1.362$ であった。ショ糖水溶液の屈折率が $n_D=1.333, 1.357, 1.360, 1.362, 1.364, 1.366$ のときの平板を通した格子の歪を観察した。THV4mm 厚平板の結果を図 7～12 に、THV チューブの結果を図 13～18 に示す。

THV4mm 厚平板は、 $n_D=1.333 \sim 1.362$ で格子の歪が見られる。 $n_D=1.364$ では格子の歪は無くなっている。 $n_D=1.362$ ではなく 1.364 で歪が無くなったのは平板を強制的に湾曲させたため外部からの応力により複屈折が起きたためと思われる。

THV チューブは、 $n_D=1.333 \sim 1.360$ で格子の歪が見られる。 $n_D=1.362 \sim 1.364$ の間で格子の歪は無くなっている。THV 平板に比べ広い範囲で格子の歪が無くなっている。これは THV チューブにかかる外部からの応力がないためと思われる。

CYTOP4mm 厚平板では、ショ糖水溶液の屈折率を $n_D=1.333, 1.338, 1.340, 1.342$ にしたときの平板を通した格子の歪を観察した。CYTOP4mm 厚平板の結果を図 19～23 に示す。 $n_D=1.333 \sim 1.338$ で格子の歪が見られる。 $n_D=1.340 \sim 1.342$ の間で格子の歪は無くなっている。

外部からの応力および内部応力が小さければ屈折率の差は 0.002 程度の許容範囲があることが分かった。

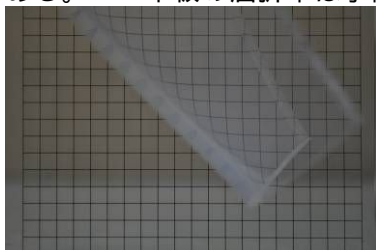


図 7 THV4 mm厚平板
($n_D=1.333, \text{Brix}=0.00$)

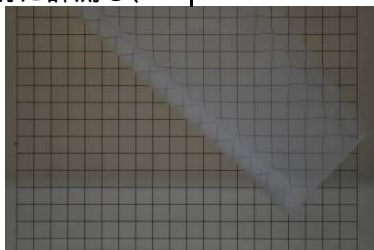


図 8 THV4 mm厚平板
($n_D=1.357, \text{Brix}=16.4$)

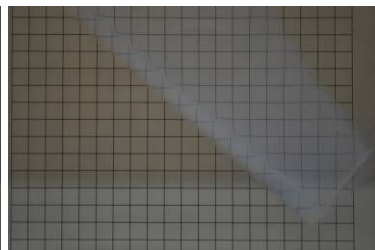


図 9 THV4 mm厚平板
($n_D=1.360, \text{Brix}=18.1$)

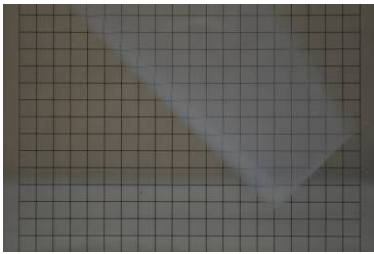


図 10 THV4 mm厚平板
(nD=1.362, Brix=19.3)

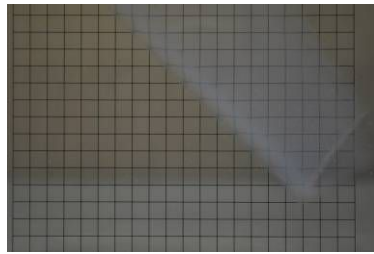


図 11 THV4 mm厚平板
(nD=1.364, Brix=20.5)

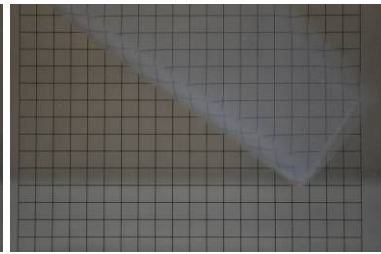


図 12 THV4 mm厚平板
(nD=1.366, Brix=21.8)

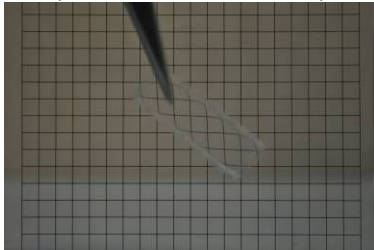


図 13 THV チューブ
(nD=1.333, Brix=0.0)

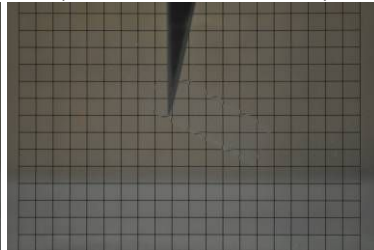


図 14 THV チューブ
(nD=1.357, Brix=16.4)



図 15 THV チューブ
(nD=1.360, Brix=18.1)

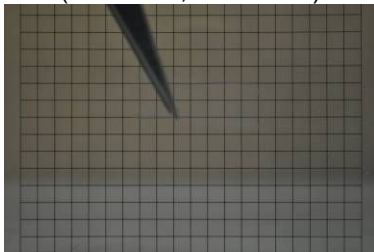


図 16 THV チューブ
(nD=1.362, Brix=19.3)

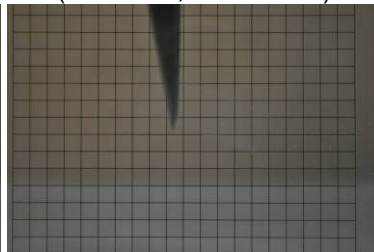


図 17 THV チューブ
(nD=1.364, Brix=20.5)

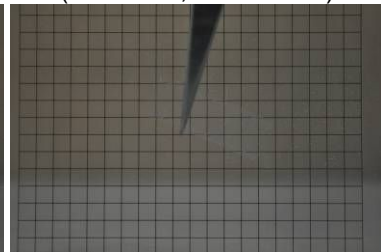


図 18 THV チューブ
(nD=1.366, Brix=21.8)

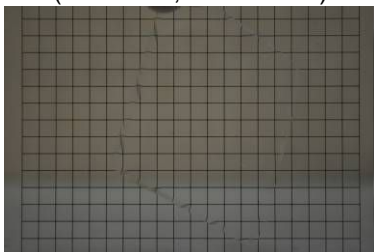


図 19 CYTOP4 mm厚平板
(nD=1.333, Brix=0.0)

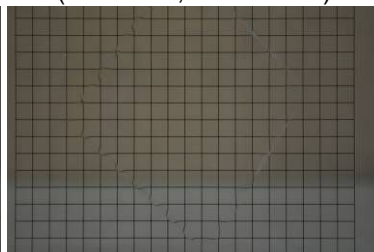


図 20 CYTOP4 mm厚平板
(nD=1.338, Brix=21.8)



図 21 CYTOP4 mm厚平板
(nD=1.340, Brix=21.8)

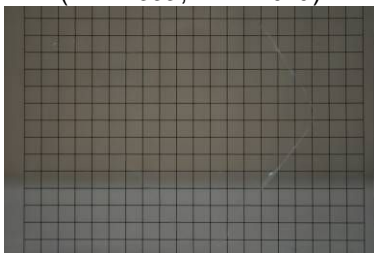


図 22 CYTOP4 mm厚平板
(nD=1.342, Brix=21.8)



図 23 CYTOP4 mm厚平板
(nD=1.344, Brix=21.8)

(6)THV およびアクリルダクトの PIV 計測
3 次元的な形状の成型方法を検討したが現状では、成型した模型の離型に改良が必要、また成型用の型がガラス製であることから 3 次元的な型の製作が困難なことからダクトのような 3 次元的な形状の製作が困難であった。そこで、熱交換器の簡易モデルに見たて THV 平板を用いて矩形ダクトを組立て内部にアクリルの円柱を取付け、円柱から出るカルマン渦を小型回流水槽(パソタン)で PIV により計測した。比較のため矩形ダクトを屈折

率が高いアクリルにし、PIV 計測を行った。試験状態を表 3 に示す。

表 3 試験状態

一様流 U[m/s]	0.060
レイノルズ数[-]	480

ダクトの寸法は長さ L が 100mm、幅 W が 100mm、高さ H は 82、60、30 mm の 3 つである。さらに、高さが 82 mm でダクトの上下なしの

状態も計測を行った。円柱の直径 d は 10 mm である。カメラ、レーザ、ダクトの配置図を図 24～25 に示す。また、THV ダクトの計測画像を図 26 に示す。

透明模型の屈折率の違いが流場計測に及ぼす影響をストローハル数の算出により行った。ストローハル数 St は、

$$St = f * d / U \quad (1)$$

となる。 f は渦発生周波数[1/s]、 d は円柱の直径[m]、 U は一様流[m/s](ここでは、小型翼車流速計の計測値)である。

ストローハル数の結果を図 27 に示す。THV とアクリルで比較したところ、ダクトの高さに関係なく、ほぼ同じ値となり屈折率の違いによる流場計測への影響が見られなかった。

今回製作した数ミリ厚の平板では、屈折率の違いによる流場計測への影響が見られなかったため、引き続き本研究で検討した水の屈折率に非常に近い透明材料の成型方法を改良し、ダクトのような 3 次元形状の透明模型製作および水との屈折率整合を用いた船舶試験水槽での流場計測を目指す。

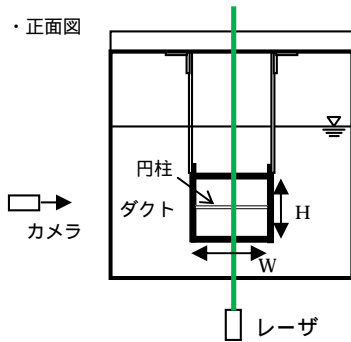


図 24 カメラ、レーザ配置図

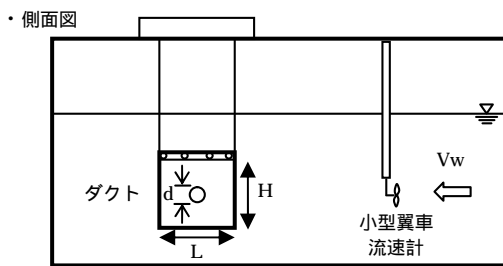


図 25 ダクト配置図

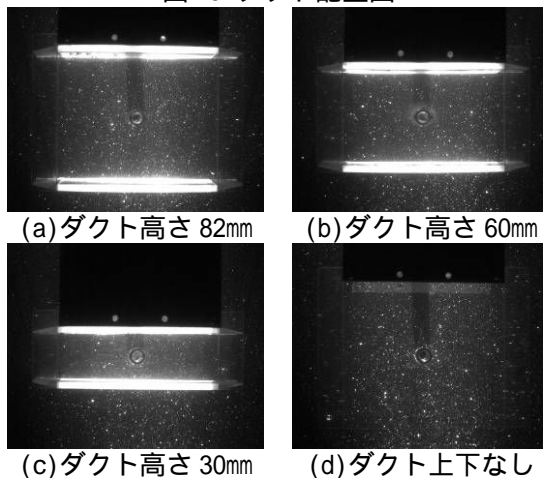


図 26 THV ダクトの計測画像

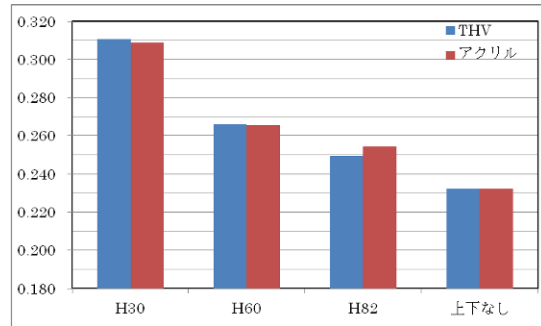


図 27 THV とアクリルダクトのストローハル数の比較

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

濱田, 星野, 川並, 屈折率整合技術の水槽試験への応用 - 水槽の中で模型を見えなくする - , 平成 27 年度(第 15 回)国立研究開発法人海上技術安全研究所 研究発表会講演集, 第 15 巻, pp.190-191, 2015

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: 流場計測法及び流場計測システム

発明者: 濱田達也, 星野邦弘, 川並康剛

権利者: 国立研究開発法人海上技術安全研究所

種類: 特許

番号: 特願 2015-127780

出願年月日: 2015 年 6 月 25 日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

濱田 達也 (HAMADA TATSUYA)

国立研究開発法人海上技術安全研究所・その他部局等・研究員

研究者番号: 00608630

(2) 研究分担者

星野 邦弘 (HOSHINO KUNIHIRO)

国立研究開発法人海上技術安全研究所・その他部局等・研究員

研究者番号: 40399514

川並 康剛 (KAWANAMI YASUTAKA)

国立研究開発法人海上技術安全研究所・その他部局等・研究員

研究者番号: 00373423

大場 弘樹 (Ooba HIROKI)

国立研究開発法人海上技術安全研究所・その他部局等・研究員

研究者番号: 40636833