

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6593865号
(P6593865)

(45) 発行日 令和1年10月23日(2019.10.23)

(24) 登録日 令和1年10月4日(2019.10.4)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 M 10/00 (2006.01) GO 1 M 10/00

請求項の数 13 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2015-127780 (P2015-127780)	(73) 特許権者	501204525 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(22) 出願日	平成27年6月25日(2015.6.25)	(74) 代理人	100098545 弁理士 阿部 伸一
(65) 公開番号	特開2017-9527 (P2017-9527A)	(74) 代理人	100087745 弁理士 清水 善廣
(43) 公開日	平成29年1月12日(2017.1.12)	(74) 代理人	100106611 弁理士 辻田 幸史
審査請求日	平成30年6月18日(2018.6.18)	(74) 代理人	100116241 弁理士 金子 一郎
		(72) 発明者	濱田 達也 東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国立研究開発法人 海上技術安全研究所内 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 流場計測方法及び流場計測システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

水中に設けた模型の周辺にトレーサ粒子を含んだ水の流れを形成し、光源から前記模型の周辺に光を照射し、受光手段で前記トレーサ粒子の発光、又は前記トレーサ粒子からの反射光及び/又は散乱光を受光して流場を計測する流場計測方法において、前記模型を、紫外光及び/又は可視光を透過するとともに前記紫外光及び/又は前記可視光に対する屈折率が1.30から1.40のフッ素系の材料を用いて形成し、かつ前記光源からの前記光の照射時に前記模型の部品が重畳する構成の前記模型を用い、前記光源の前記光として紫外レーザー光又は可視レーザー光を用い、前記紫外レーザー光又は前記可視レーザー光をシート状にして、前記照射時に前記模型の部品の重畳する側方から照射するとともに、前記受光手段を前記模型の後方に設けて流場を計測することを特徴とする流場計測方法。

【請求項 2】

前記模型の複数の部位に対して前記光源と前記受光手段を移動させて前記流場を計測することを特徴とする請求項 1 に記載の流場計測方法。

【請求項 3】

前記受光手段として前記トレーサ粒子からの光を受光する分光カメラを用いることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の流場計測方法。

【請求項 4】

前記流場の計測に当り、多時刻追跡法を用いて真の流れの方向を推定することを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のうちの 1 項に記載の流場計測方法。

10

20

【請求項 5】

前記水と前記模型の屈折率の差を、前記水の温度の変更及び/又は前記水への添加物の添加により調整することを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のうちの 1 項に記載の流場計測方法。

【請求項 6】

前記添加物としてショ糖を用いることを特徴とする請求項 5 に記載の流場計測方法。

【請求項 7】

前記模型は、前記フッ素系の材料を成形したものを更に残留応力を除去する処理をしたものであることを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のうちの 1 項に記載の流場計測方法。

【請求項 8】

前記残留応力を除去する前記処理は、成形時に前記模型に振動を与えながら加熱及び冷却を行うことにより除去するものであることを特徴とする請求項 7 に記載の流場計測方法。

【請求項 9】

水槽と、前記水槽内に設ける模型と、前記模型の周辺にトレーサ粒子を含む水の流れを形成する水流形成手段と、前記模型の周辺に光を照射する光源手段と、前記トレーサ粒子の発光、又は前記トレーサ粒子からの反射光及び/又は散乱光を受光する受光手段とを備え、前記模型が、紫外光及び/又は可視光を透過するとともに前記紫外光及び/又は前記可視光に対する屈折率が 1.30 から 1.40 のフッ素系の材料を用いて形成され、かつ前記光源手段からの前記光の照射時に前記模型の部品が重畳する条件に構成され、前記光源手段の前記光として紫外レーザー光又は可視レーザー光を用い、前記紫外レーザー光又は前記可視レーザー光をシート状にして、前記照射時に前記模型の部品の重畳する側方から照射するとともに、前記受光手段を前記模型の後方に設けて流場を計測することを特徴とする流場計測システム。

【請求項 10】

前記模型の複数の部位に対して前記光源手段と前記受光手段をセットとして移動させる移動手段を備えたことを特徴とする請求項 9 に記載の流場計測システム。

【請求項 11】

前記受光手段として前記トレーサ粒子からの光を受光する分光カメラを用いたことを特徴とする請求項 9 又は請求項 10 に記載の流場計測システム。

【請求項 12】

前記受光手段で得られた受光データを多時刻追跡法を用いて解析する流場解析手段を更に備え、真の流れの方向を推定することを特徴とする請求項 9 から請求項 11 のうちの 1 項に記載の流場計測システム。

【請求項 13】

前記水槽は、曳航水槽又は回流水槽であることを特徴とする請求項 9 から請求項 12 のうちの 1 項に記載の流場計測システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、トレーサ粒子を用いる流場計測方法及び流場計測システムに関する。

【背景技術】

【0002】

水中に設けた模型の周辺にトレーサ粒子を含んだ水の流れを形成し、トレーサ粒子の位置を追跡することによって流場を計測する技術が知られている。

流場を計測する技術は、例えば船舶の省エネルギー化の研究に用いられる。船舶の省エネルギー化に関し、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おり、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目的としたものが多い。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

10

20

30

40

50

に知る必要があるため、模型船を用いた流場計測が行われている。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が、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、省エネ効果を目的とした船体付加物の 1 つであるダクトの内側があげられる。

レーザ光の届かない場所の流場を計測するためには、透明性の高い材料で形成した模型と作用流体の屈折率を合致させる屈折率整合技術を用いることが考えられる。屈折率整合技術を用いることによって、LDV や PIV (Particle Image Velocimetry) のような光学計測に使用するトレーサ粒子の動きも屈折率整合を行った模型を通して可視化することが可能である。

10

【0003】

ここで特許文献 1 には、屈折率が 1.30 ~ 1.40 で、かつ 250 ~ 700 nm の波長範囲の光透過率が 80 % 以上の含フッ素共重合体からなる可視化計測用もしくは光学的計測用成形体が開示されている。

また、特許文献 2 の表 2 には、300 nm での光透過率が 81 ~ 88 %、600 nm での光透過率が 91 ~ 94 %、屈折率が 1.33 ~ 1.35 の含フッ素共重合体が開示されている。

また、特許文献 3 には、透明部材で流路の模型を形成すると共に、透明部材 (例えばガラスやプラスチック) の屈折率と略同一の屈折率を有する液体 (例えばフェノールフタレインを含有させたヨウ化ナトリウム) を模型内に流すことによって、流路内の液体の流れを観察する流動試験装置が開示されている。

20

また、特許文献 4 には、物体の内部における流体の流れをいわゆるピンぼけを起こすことなく可視化して計測するために、透明モデルを液体中に入れ、透明モデルの内部を流れる液体と外部を満たす液体との温度調節を行い、モデル材質 (例えばシリコンゴム) と液体 (例えばグリセリン水溶液) との屈折率のマッチングを図ると共に、このマッチングをレーザ装置と照射光の解析装置とを用いて判定するようにした三次元流れ場可視化装置が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2007 - 302708 号公報

【特許文献 2】特開 2004 - 217728 号公報

【特許文献 3】特開昭 61 - 148340 号公報

【特許文献 4】特開 2005 - 300515 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

これまで屈折率整合技術を用いた流場計測は、特許文献 3 又は 4 のように、一般的な透明材料 (アクリルなど) の屈折率に作用流体 (ヨウ化ナトリウム水溶液) の屈折率を近づけることで計測が行われてきた。表 1 及び表 2 に Budwig が纏めた透明材料と作用流体の屈折率を示す (Budwig, R., 1994, Refractive index matching methods for liquid flow investigations, Experiments in Fluids, Vol. 17, 1994.)。

40

表 1 は透明材料の屈折率であり、表 2 は作用流体の屈折率である。

【表 1】

透明材料	屈折率
パイレックスガラス	1.47-1.49
アクリル	1.49-1.53
エポキシ	1.56
ウレタン	1.49
シリコンゴム	1.43

【表 2】

作用流体	屈折率
グリセリン水溶液	1.33-1.47
ヨウ化亜鉛水溶液	1.33-1.62
ヨウ化ナトリウム水溶液	1.5
鉱物油	1.48

【 0 0 0 6 】

しかしながら、水に屈折率調整用の薬品を加えると密度・粘性等が変化するので、計測結果の解析が困難となる。また、屈折率整合に用いられるヨウ化ナトリウム水溶液などの高屈折率水溶液には毒性があるので、安全性の確保が必要である。また、高屈折率水溶液は1日から数日放置すると淡黄色に着色するので、透明模型が見えてしまう。また、高屈折率水溶液は排水処理を専門の処理業者に依頼する必要がある。また、高屈折率水溶液は水に比べて金属の腐食が大きいので、防錆対策が必要である。また、高屈折率水溶液は電気的な特性が変わるため、接触型の計測器は水溶液に合わせて仕様変更が必要である。また、高効率水溶液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。

また、特許文献1及び特許文献2には、水の屈折率(1.333)と屈折率が近く、透明性が高い含フッ素共重合体が開示されているが、模型船などの模型を用いたLDV又はPIVによる流場計測において、光源からの光の照射時にダクトやプロペラ等の部品が重畳して影となり光が遮られる間の部分の流場を計測する技術については何ら開示されていない。

【 0 0 0 7 】

そこで本発明は、部品が重畳する構成の模型周辺の照射光の届かない場所の流場を、高屈折率水溶液を用いることなく可視化できる流場計測方法及び流場計測システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

請求項1記載に対応した流場計測方法においては、水中に設けた模型の周辺にトレーサ粒子を含んだ水の流れを形成し、光源から模型の周辺に光を照射し、受光手段でトレーサ粒子の発光、又はトレーサ粒子からの反射光及び/又は散乱光を受光して流場を計測する流場計測方法において、模型を、紫外光及び/又は可視光を透過するとともに紫外光及び/又は可視光に対する屈折率が1.30から1.40のフッ素系の材料を用いて形成し、かつ光源からの光の照射時に模型の部品が重畳する構成の模型を用い、光源の光として紫外レーザー光又は可視レーザー光を用い、紫外レーザー光又は可視レーザー光をシート状にして、前記照射時に模型の部品の重畳する側方から照射するとともに、受光手段を模型の後方に設けて流場を計測することを特徴とする。

請求項1に記載の本発明によれば、紫外光及び/又は可視光を透過する素材で模型を形

20

30

40

50

成することによって、模型を構成する部品が重畳する間の部分、すなわち部品が照射光を遮る壁となってしまう部分であっても、その部品の奥側の流場計測が可能となる。また、模型の材料の屈折率に合わせて作用流体の屈折率を調整するのではなく、作用流体に水を用いて、その水の屈折率（1.333）に合う透明材料で模型を形成するので、水に屈折率調整用の薬品を加えることによる密度・粘性等の変化の問題、屈折率整合に用いられるヨウ化ナトリウム水溶液等が有する毒性の問題、また、屈折率調整を行なった作用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による安全性やコスト面の問題の解決ができる。なお、フッ素系の材料としては、フッ素系の樹脂やフッ素系のゴム等を用いることができる。また、トレーサ粒子の動きを捉えやすくなり、より精度良く流場計測を行うことができる。

10

【0009】

請求項2記載の本発明は、模型の複数の部位に対して光源と受光手段を移動させて流場を計測することを特徴とする。

請求項2に記載の本発明によれば、光源や光学系の再調整を行うことなく、複数の部位周りの流場を計測することができる。

【0010】

請求項3記載の本発明は、受光手段としてトレーサ粒子からの光を受光する分光カメラを用いることを特徴とする。

請求項3に記載の本発明によれば、撮像対象の分光画像を得ることができる。

【0011】

請求項4記載の本発明は、流場の計測に当り、多時刻追跡法を用いて真の流れの方向を推定することを特徴とする。

請求項4に記載の本発明によれば、多時刻にわたるトレーサ粒子の軌跡を追跡することによって流場の真の流れ方向を推定することができる。

【0012】

請求項5記載の本発明は、水と模型の屈折率の差を、水の温度の変更及び/又は水への添加物の添加により調整することを特徴とする。

請求項5に記載の本発明によれば、水と透明模型の屈折率に差がある場合にその差を調整することによって、模型を構成する部品が重畳する間の部分、すなわち部品が照射光を遮る壁となってしまう部分であっても、その部品の奥側の流場計測が精度よく可能となる。

20

30

【0013】

請求項6記載の本発明は、添加物としてショ糖を用いることを特徴とする。

請求項6に記載の本発明によれば、安全性が高く管理や排水処理が容易なショ糖を用いて、水と透明模型の屈折率の差を調整することができる。

【0014】

請求項7記載の本発明は、模型は、フッ素系の材料を成形したものを更に残留応力を除去する処理をしたものであることを特徴とする。

請求項7に記載の本発明によれば、残留応力を除去することによって残留ひずみにより屈折率に差が生じる影響をなくすることができる。

40

【0015】

請求項8記載の本発明は、残留応力を除去する処理は、成形時に模型に振動を与えながら加熱及び冷却を行うことにより除去するものであることを特徴とする。

請求項8に記載の本発明によれば、残留応力を軽減することができる。

【0016】

請求項9記載に対応した流場計測システムにおいては、水槽と、水槽内に設ける模型と、模型の周辺にトレーサ粒子を含む水の流れを形成する水流形成手段と、模型の周辺に光を照射する光源手段と、トレーサ粒子の発光、又はトレーサ粒子からの反射光及び/又は散乱光を受光する受光手段とを備え、模型が、紫外光及び/又は可視光を透過するとともに紫外光及び/又は可視光に対する屈折率が1.30から1.40のフッ素系の材料を用

50

いて形成され、かつ光源手段からの光の照射時に模型の部品が重畳する条件に構成され、光源手段の光として紫外レーザー光又は可視レーザー光を用い、紫外レーザー光又は可視レーザー光をシート状にして、前記照射時に模型の部品の重畳する側方から照射するとともに、受光手段を模型の後方に設け照射して流場を計測することを特徴とする。

請求項 9 に記載の本発明によれば、紫外光及び / 又は可視光を透過する素材で模型を形成することによって、模型を構成する部品が重畳する間の部分、すなわち部品が照射光を遮る壁となってしまう部分であっても、その部品の奥側の流場計測が可能となる。また、模型の材料の屈折率に合わせて作用流体の屈折率を調整するのではなく、作用流体に水を用いて、その水の屈折率 (1 . 3 3 3) に合う透明材料で模型を形成するので、水に屈折率調整用の薬品を加えることによる密度・粘性等の変化の問題、屈折率整合に用いられるヨウ化ナトリウム水溶液等が有する毒性の問題、また、屈折率調整を行なった作用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による安全性やコスト面の問題が無い。また、トレーサ粒子の動きを捉えやすくなり、より精度良く流場計測を行うことができる。

【 0 0 1 7 】

請求項 1 0 記載の本発明は、模型の複数の部位に対して光源手段と受光手段をセットとして移動させる移動手段を備えたことを特徴とする。

請求項 1 0 に記載の本発明によれば、光源や光学系の再調整を行うことなく、複数の部位周りの流場を計測することができる。

【 0 0 1 8 】

請求項 1 1 記載の本発明は、受光手段としてトレーサ粒子からの光を受光する分光カメラを用いたことを特徴とする。

請求項 1 1 に記載の本発明によれば、撮像対象の分光画像を得ることができる。

【 0 0 1 9 】

請求項 1 2 記載の本発明は、受光手段で得られた受光データを多時刻追跡法を用いて解析する流場解析手段を更に備え、真の流れの方向を推定することを特徴とする。

請求項 1 2 に記載の本発明によれば、多時刻にわたるトレーサ粒子の軌跡を追跡することによって流場の真の流れ方向を推定することができる。

【 0 0 2 0 】

請求項 1 3 記載の本発明は、水槽は、曳航水槽又は回流水槽であることを特徴とする。

請求項 1 3 に記載の本発明によれば、曳航水槽又は回流水槽に模型を設けて流場計測を行うことができる。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 1 】

本発明の流場計測方法によれば、紫外光及び / 又は可視光を透過する素材で模型を形成することによって、模型を構成する部品が重畳する間の部分、すなわち部品が照射光を遮る壁となってしまう部分であっても、その部品の奥側の流場計測が可能となる。また、模型の材料の屈折率に合わせて作用流体の屈折率を調整するのではなく、作用流体に水を用いて、その水の屈折率 (1 . 3 3 3) に合う透明材料で模型を形成するので、水に屈折率調整用の薬品を加えることによる密度・粘性等の変化の問題、屈折率整合に用いられるヨウ化ナトリウム水溶液等が有する毒性の問題、また、屈折率調整を行なった作用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による安全性やコスト面の問題の解決ができる。また、トレーサ粒子の動きを捉えやすくなり、より精度良く流場計測を行うことができる。

【 0 0 2 2 】

また、模型の複数の部位に対して光源と受光手段を移動させて流場を計測する場合には、光源や光学系の再調整を行うことなく、複数の部位周りの流場を計測することができる。

【 0 0 2 3 】

また、受光手段としてトレーサ粒子からの光を受光する分光カメラを用いる場合には、

撮像対象の分光画像を得ることができる。

【0024】

また、流場の計測に当り、多時刻追跡法を用いて真の流れの方向を推定する場合には、多時刻にわたるトレーサ粒子の軌跡を追跡することによって流場の真の流れ方向を推定することができる。

【0025】

また、水と模型の屈折率の差を、水の温度の変更及び/又は水への添加物の添加により調整することによって、模型を構成する部品が重畳する間の部分、すなわち部品が照射光を遮る壁となってしまう部分であっても、その部品の奥側の流場計測が精度よく可能となる。

【0026】

また、添加物としてショ糖を用いる場合には、安全性が高く管理や排水処理が容易な添加物を用いて、水と透明模型の屈折率の差を調整することができる。

【0027】

また、模型は、フッ素系の材料を成形したものを更に残留応力を除去する場合には、残留ひずみにより屈折率に差が生じる影響をなくすることができる。

【0028】

また、残留応力を除去する処理は、成形時に模型に振動を与えながら加熱及び冷却を行うことにより除去するものである場合には、残留応力を軽減することができる。

【0029】

また、本発明の流場計測システムによれば、紫外光及び/又は可視光を透過する素材で模型を形成することによって、模型を構成する部品が重畳する間の部分、すなわち部品が照射光を遮る壁となってしまう部分であっても、その部品の奥側の流場計測が可能となる。また、模型の材料の屈折率に合わせて作用流体の屈折率を調整するのではなく、作用流体に水を用いて、その水の屈折率(1.333)に合う透明材料で模型を形成するので、水に屈折率調整用の薬品を加えることによる密度・粘性等の変化の問題、屈折率整合に用いられるヨウ化ナトリウム水溶液等が有する毒性の問題、また、屈折率調整を行なった作用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による安全性やコスト面の問題が無い。また、トレーサ粒子の動きを捉えやすくなり、より精度良く流場計測を行うことができる。

【0030】

また、模型の複数の部位に対して光源手段と受光手段をセットとして移動させる移動手段を備えた場合には、光源や光学系の再調整を行うことなく、複数の部位周りの流場を計測することができる。

【0031】

また、受光手段としてトレーサ粒子からの光を受光する分光カメラを用いた場合には、撮像対象の分光画像を得ることができる。

【0032】

また、受光手段で得られた受光データを多時刻追跡法を用いて解析する流場解析手段を更に備え、真の流れの方向を推定する場合には、多時刻にわたるトレーサ粒子の軌跡を追跡することによって流場の真の流れ方向を推定することができる。

【0033】

また、水槽は、曳航水槽又は回流水槽である場合には、曳航水槽又は回流水槽に模型を設けて流場計測を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】本発明の一実施形態による流場計測システムの基本構成を示す概略構成図

【図2】同流場計測システムの流場計測範囲の説明図

【図3】チューブを通して格子を観察した様子を示す図

【図4】本発明の他の実施形態による流場計測システムにおける流場計測範囲の説明図

10

20

30

40

50

【図5】従来の流場計測システムにおける流場計測範囲の説明図

【図6】従来の流場計測システムにおける流場計測範囲の説明図

【発明を実施するための形態】

【0035】

以下に、本発明の実施形態による流場計測方法及び流場計測システムについて説明する。

【0036】

図1は本発明の一実施形態による流場計測システムの基本構成を示す概略構成図である。

図1は、水が満たされた水槽10内に設けた模型船20を下方から見た図であり、船底21が見えている。模型船20の船尾側には、模型プロペラ31及び模型舵32が設けられている。また、模型プロペラ31の前方に近接する位置には、省エネ付加物の一つである模型ダクト33が取り付けられている。模型プロペラ31、模型舵32及び模型ダクト33（以下これら三つの部品を纏めて「模型部品30」と称する）は、水中に設けられている。

水槽10は曳航水槽であり、模型船20は曳航手段（図示無し）によって水槽内を移動する。

【0037】

模型部品30周辺の流場を計測するために、模型部品30の周辺にトレーサ粒子を含む水の流れを形成する水流形成手段（図示無し）が設けられている。水流を形成する点からは、曳航手段も水流形成手段の一部を構成している。模型船20の船尾側の一方の側方には、紫外光を照射する光源手段であるレーザ装置40が配置され、模型船20の後方にはレーザ装置40からの照射光を浴びたトレーサ粒子から戻る光を受光する受光手段である複数の分光カメラ50が配置されている。

レーザ装置40は、紫外光として紫外レーザ光41を用い、紫外レーザ光41はシート状に模型部品30周辺に照射される。なお、図1においては、模型ダクト33の断面をとるように模型ダクト33の側面に向けて紫外レーザ光41が照射された状態を示している。紫外レーザ光41をシート状に照射することで、トレーサ粒子の動きを捉えやすくなり、より精度良く流場計測を行うことができる。

また、分光カメラ50は、可視光用のカメラである。複数の分光カメラ50を異なる位置に配置することで、三次元的に流場計測を行うことができる。なお、二次元的に流場計測を行う場合には、分光カメラ50は一台であってもよい。

【0038】

トレーサ粒子にはローダミンB等の蛍光性物質を用いる。レーザ装置40から照射されたシート状の紫外レーザ光41により励起されたトレーサ粒子は可視光の蛍光を発光する。このように紫外励起で可視光発光を得ることによって光の波長を異ならせ、トレーサ粒子の追跡を容易としている。なお、紫外レーザ光は連続光でもパルス光でもよい。また、励起用のレーザ光は可視光であってもよく、トレーサ粒子も水用に用いられる各種のトレーサ粒子が利用可能である。

分光カメラ50はトレーサ粒子の可視光を受光する。分光カメラ50を用いることによって、撮像対象である流場の分光画像を得ることができる。なお、分光カメラ50の代わりに一般の撮像手段と光学的フィルタを組み合わせたものを使用してもよい。

【0039】

レーザ装置（光源手段）40とカメラ50（受光手段）とは、互いの位置関係を保ったまま模型部品30の複数の部位（模型プロペラ31、模型舵32及び模型ダクト33）に対してセットとして移動することができるように、船舶20の前後方向又は幅方向に移動可能な共通の台に配置されること等によってユニット化されている。レーザ装置（光源手段）40とカメラ50（受光手段）に至る光学系とをセットで移動させることによって、光学系の再調整を行うことなく、複数の部位（模型プロペラ31、模型舵32及び模型ダクト33）周りの流場を計測することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 0 】

レーザー装置 4 0 及び複数の分光カメラ 5 0 は、流場解析手段であるパーソナルコンピュータ 6 0 と接続している。分光カメラ 5 0 で得られた受光データを流場解析手段（パーソナルコンピュータ）6 0 で解析することによって、省エネ付加物の一つである模型ダクト 3 3 を設けたことによる流れの変化を知ることができる。

流場解析手段 6 0 は、分光カメラ 5 0 で得られた受光データを多時刻追跡法を用いて解析する。すなわち、所定の時間間隔で連続する時刻にわたってトレーサ粒子の位置を追跡する。なお、2 時刻だとトレーサ粒子の位置が虚偽である可能性があるため、3 時刻又は 4 時刻にわたってトレーサ粒子の位置を追跡し、トレーサ粒子の虚偽の位置を排除して正しい軌跡を得ることが好ましい。これによって流場の真の流れの方向を推定することができる。なお、流場解析には、異なる時刻における画像を比較する手法（パターンマッチング）や、個々のトレーサ粒子の位置を追跡する手法（トラッキング）を用いることができる。

【 0 0 4 1 】

図 2 は本実施形態による流場計測システムにおける流場計測範囲の説明図であり、図 5 は従来の流場計測システムにおける流場計測範囲の説明図である。なお、図 2 (a) 及び図 5 (a) は模型船を他方の側方から見た図であり、図 2 (b) 及び図 5 (d) は模型船を後方から見た図である。図 2 及び図 5 において、レーザー装置 4 0 は、模型船の船尾側の他方の側方に配置されている。

図 5 において、模型船 3 2 0 の模型プロペラ 3 3 1、模型舵 3 3 2、及び模型ダクト 3 3 3 は不透明材料で形成されている。レーザー装置 4 0 は、カメラ 5 0 との位置関係を保ったまま模型船 3 2 0 の前後方向に移動し、模型プロペラ 3 3 1、模型舵 3 3 2、及び模型ダクト 3 3 3 のそれぞれの断面をとるように紫外レーザー光 4 1 を照射する。例えば、まず模型ダクト 3 3 3 に向けて紫外レーザー光 4 1 を照射し、その後後方に移動して模型プロペラ 3 3 1 に向けて紫外レーザー光 4 1 を照射し、さらにその後後方に移動して模型舵 3 3 2 に向けて紫外レーザー光 4 1 を照射する。

しかしながら、レーザー装置 4 0 からの紫外レーザー光 4 1 の照射時に模型プロペラ 3 3 1、及び模型ダクト 3 3 3 が重畳する構成のため、紫外レーザー光 4 1 が遮られてしまい、模型プロペラ 3 3 1 のプロペラ面、及び模型ダクト 3 3 3 の内側の流場を計測することができない。すなわち、模型プロペラ 3 3 1 にあっては、レーザー装置 4 0 側から見て模型プロペラ 3 3 1 の複数の羽根が重なる状況があり得る構成であり、模型ダクト 3 3 3 にあっては、模型ダクト 3 3 3 の手前側と奥側、また間に介在するスターンチューブが重なる構成である。模型プロペラ 3 3 1、及び模型ダクト 3 3 3 は不透明材料（レーザー光を透過しない材料）で形成されているため、これらの部品が重畳する間の部分の流場は、部品が紫外レーザー光 4 1 を遮る壁となり、その部品の奥側の流場は、例え 1 8 0 度反対側から観察を行ったとしても計測することができない。また、表 1 に示すような一般的な透明材料を用いてこれらの部品を形成した場合は、紫外レーザー光 4 1 は透過するが、部品の屈折率と水の屈折率との差が大きいため、位置に狂いが生じて正確な観察ができない。したがって、模型プロペラ 3 3 1、及び模型ダクト 3 3 3 を構成する部品が重畳する間の部分の流場は、部品の屈折率が水の屈折率と異なるため光が直進せず正確な流場計測ができない。

また、模型舵 3 3 2 の奥側の流場は、1 8 0 度反対側から観察を行わなければ計測することができない。したがって、レーザー装置 4 0 を模型船 3 2 0 の他方の側方に移動させる必要がある。

【 0 0 4 2 】

一方、図 2 において、レーザー装置 4 0 がカメラ 5 0 との位置関係を保ったまま模型船 2 0 の前後方向に移動し、模型プロペラ 3 1、模型舵 3 2、及び模型ダクト 3 3 のそれぞれの断面をとるように紫外レーザー光 4 1 を照射することと、レーザー装置 4 0 からの紫外レーザー光 4 1 の照射時に模型プロペラ 3 1、及び模型ダクト 3 3 が重畳する構成であるのは模型船 3 2 0 と同様であるが、模型プロペラ 3 1、模型舵 3 2、及び模型ダクト 3 3 が、紫外光を透過するとともに、紫外光に対する屈折率が 1 . 3 0 から 1 . 4 0 のフッ素系の樹

脂を用いて形成されている点が模型船320と異なる。なお、水の屈折率1.333と等しい屈折率を有するフッ素系の樹脂を用いることが好ましい。また、場合によっては、屈折率が1.30から1.40のフッ素系のゴムであってもよい。

このように模型部品30を透明かつ水の屈折率に合致する屈折率を有する材料で形成した場合には、模型部品30を水中で見えなくすることができるので、レーザ装置40からの紫外レーザ光41は水と模型部品30の境界で屈折することなく直進し、模型部品30に遮られることなく、狂いを生ずることなく模型部品30の奥側を可視化することができる。したがって、模型プロペラ31のプロペラ面、模型舵32の舵まわり（奥側を含む）、及び模型ダクト33の内側、すなわち重畳する部品の間の部分の流場を計測することができる。

10

なお、この図2に示す模型部品30のうち、レーザ装置40からの紫外レーザ光41の照射時に、模型部品30の部品が重畳する構成とは模型プロペラ31と模型ダクト33が相当する。すなわち模型プロペラ31にあっては、レーザ装置40側から見て模型プロペラ31の複数の羽根が重なる状況があり得る構成であり、模型ダクト33にあっては、模型ダクト33の手前側と奥側、また間に介在するスターンチューブが重なる構成である。上述のように、従来、これらの模型部品30を構成する部品が重畳する間の部分の流場は、光が遮られることや屈折率の違いから計測することが困難であった。

また、透明模型の屈折率に合わせてヨウ化ナトリウム水溶液等の作用流体の屈折率を調整するのではなく、作用流体に水を用いてその水の屈折率に合う透明材料を選定するので、水に屈折率調整用の薬品を加えることによる密度・粘性等の変化の問題、屈折率整合に用いられるヨウ化ナトリウム水溶液等が有する毒性の問題、また、屈折率調整を行なった作用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による安全性やコスト面の問題解決ができる。

20

【0043】

模型部品30の材料となるフッ素系の樹脂としては、例えば表3に記載のものを用いることができる。これらのフッ素系の樹脂は、表1に示す一般的な透明材料より屈折率が非常に低い熱可塑性樹脂又はUV硬化型樹脂である。なお、屈折率は可視光での計測値である。

【表3】

	DIC株式会社		スリーエム ジャパン 株式会社	三井・デュポン フロロケミカル 株式会社	旭硝子株式会社 AGC化学品カンパニー
商品名	OP- 3801	OP- 4003	THV	AF1600	CYTOP
屈折率	1.378	1.40	1.36	1.31	1.34

【0044】

なお、模型部品30は、フッ素系の樹脂を成形したものを更に残留応力を除去する処理をしたものであることが好ましい。残留応力を除去することによって残留ひずみにより屈折率に差が生じる影響をなくすることができる。

40

例えばフッ素系の樹脂による成形時に模型部品30に振動を与えながら加熱及び冷却を行うことによって、残留応力を除去する処理を行う。ここで成形時とは、樹脂成形機（圧縮成形機又は射出成形機）において樹脂を注入して成形するとき、又は成形品が冷えて常温になるまでの間を含み、切削品においては部品として検査を受けるまでの間を含むものとする。成形時に模型部品30に振動を与えながら加熱及び冷却を行うことによって、残留応力を軽減することができる。

【0045】

また、形成した模型部品30と水槽10内の水の屈折率に若干の差がある場合は、水の

50

温度の変更及び / 又は水への添加物の添加によって調整する。このように温度及び / 又は添加物によって水と模型部品 30 との屈折率を整合させることで、模型プロペラ 31 のプロペラ面、及び模型ダクト 33 の内側といった通常見えない部分の流場を計測することができる。

水の屈折率は、水温を上げると低くなり、水温を下げる则会高くなる。但し、水温の上下による水の屈折率の変化量は小さいので、水温の上下に代えて又はそれと併用して、水に添加物を添加する。水への添加物としてはショ糖を用いることができる。表 4 は、Brix (%) と屈折率 (n_D^{20} D線 = 589 nm) の関係を示す図である (出典元: ICUMSA (国際砂糖統一分析委員会))。

【表 4】

Brix(%)と屈折率(n_D^{20})の関係

%	n_D^{20}	%	n_D^{20}	%	n_D^{20}
0	1.33299	35	1.39032	70	1.46546
1	1.33442	36	1.39220	71	1.46790
2	1.33586	37	1.39409	72	1.47037
3	1.33732	38	1.39600	73	1.47285
4	1.33879	39	1.39792	74	1.47535
5	1.34026	40	1.39986	75	1.47787
6	1.34175	41	1.40181	76	1.48040
7	1.34325	42	1.40378	77	1.48295
8	1.34477	43	1.40576	78	1.48552
9	1.34629	44	1.40776	79	1.48811
10	1.34782	45	1.40978	80	1.49071
11	1.34937	46	1.41181	81	1.49333
12	1.35093	47	1.41385	82	1.49597
13	1.35250	48	1.41592	83	1.49862
14	1.35408	49	1.41799	84	1.50129
15	1.35568	50	1.42009	85	1.50398
16	1.35729	51	1.42220	86	1.5067
17	1.35891	52	1.42432	87	1.5094
18	1.36054	53	1.42647	88	1.5122
19	1.36218	54	1.42863	89	1.5149
20	1.36384	55	1.43080	90	1.5177
21	1.36551	56	1.43299	91	1.5205
22	1.36720	57	1.43520	92	1.5234
23	1.36889	58	1.43743	93	1.5262
24	1.37060	59	1.43967	94	1.5291
25	1.37233	60	1.44193	95	1.5320
26	1.37406	61	1.44420		
27	1.37582	62	1.44650		
28	1.37758	63	1.44881		
29	1.37936	64	1.45113		
30	1.38115	65	1.45348		
31	1.38296	66	1.45584		
32	1.38478	67	1.45822		
33	1.38661	68	1.46061		
34	1.38846	69	1.46303		

【0046】

ここで例として図 3 に、表 3 のうちスリーエムジャパン株式会社の商品名 THV のチューブを通して格子を観察した様子を示す。事前に THV 2 mm 厚の平板の屈折率を計測し、肉厚にしたときの屈折率を調査した。2 mm 厚の平板の屈折率は $n_D = 1.362$ と若干大きくなっていた。作用流体は砂糖水の濃度により屈折率整合の調整を行った。水温は 20 に調整している。図 3 (a) は砂糖水の濃度 (Brix) が 0% [屈折率 $n_D = 1.333$]、図 3 (b) は砂糖水の濃度 (Brix) 20% [屈折率 $n_D = 1.364$]、図 3 (c) は砂糖水の濃度 (Brix) 24.2% [$n_D = 1.371$] である。図 3 (a) と図 3 (c) のときは屈折率整合ができていないので格子が歪んで見える。図 3 (b)

のときには歪が完全になくなった。本来砂糖水の濃度 (B r i x) 19% [n D = 1 . 3 6 2] で屈折率が一致するはずであるが、これはシヨ糖ではなく食用の砂糖を使用したためと思われる。なお、水への添加物として塩を用いることも可能であるが、水槽やその他設備の腐食が懸念されるため、水へ添加しても毒性のないシヨ糖を用いることが好ましい。

【 0 0 4 7 】

なお、上記実施形態では、光源手段は紫外レーザー光 4 1 を照射するレーザー装置 4 0 とし、トレーサ粒子は蛍光性物質とし、受光手段は紫外レーザー光 4 1 によって励起され可視光発光するトレーサ粒子から戻る光を受光する可視光用の分光カメラ 5 0 とするものとして説明したが、光源手段は同じく紫外レーザー光 4 1 を照射するレーザー装置 4 0 であって、トレーサ粒子は紫外光を反射及び / 又は散乱する物質とし、受光手段は紫外レーザー光 4 1 を浴びたトレーサ粒子からの反射光及び / 又は散乱光を受光する紫外光用の分光カメラとしてもよい。

また、上記実施形態では、紫外光のほうが可視光よりも水と透明模型との屈折率を整合させやすいので、光源の光として紫外光を用いているが、光源手段は可視レーザー光を照射するレーザー装置とし、トレーサ粒子は蛍光性物質あるいは可視光を反射及び / 又は散乱する物質とし、受光手段はトレーサ粒子から戻る光を受光する可視光用の分光カメラ 5 0 とすることもできる。この場合は、模型部品 3 0 は、可視光を透過するとともに、可視光に対する屈折率が 1 . 3 0 から 1 . 4 0 のフッ素系の樹脂又はゴムを用いて形成する。

【 0 0 4 8 】

また、水槽 1 0 は、曳航水槽でなく、回流水槽であってもよい。回流水槽は、水槽の水に流れがあり模型船 2 0 の位置が固定されるものである。回流水槽は曳航水槽に比べて寸法を小さくしやすいので、水槽 1 0 を回流水槽とした場合には、水への添加物 (シヨ糖など) の量を少なくすることができる。

【 0 0 4 9 】

また、複数の部位を計測する場合に、レーザー装置 4 0 を動かすのではなく、測定部位ごとに照射するレーザー光の波長、又はトレーサ粒子に懸濁する物質を変え、所定位置のレーザー装置 4 0 から測定対象の複数の部位に向けて複数のレーザー光を同時に照射する方式とすることもできる。

【 0 0 5 0 】

次に図 4 及び図 6 を用いて、本発明の他の実施形態による流場計測方法及び流場計測システムを説明する。図 4 は本実施形態による流場計測システムにおける流場計測範囲の説明図であり、図 6 は従来の流場計測システムにおける流場計測範囲の説明図である。また、図 4 及び図 6 は模型船を後方から見た図である。なお、上記した実施形態と同一機能部材には同一符号を付して説明を省略する。

図 6 において、模型船 4 2 0 は、船尾に一方の模型スケグ 4 2 1 a と他方の模型スケグ 4 2 1 b の二つの模型スケグを有し、一方の模型スケグ 4 2 1 a には一方の外側模型ダクト 4 2 2 a o 及び一方の内側模型ダクト 4 2 2 a i を備え、他方の模型スケグ 4 2 1 b には他方の外側模型ダクト 4 2 2 b o 及び他方の内側模型ダクト 4 2 2 b i を備える。一方の外側模型ダクト 4 2 2 a o と一方の内側模型ダクト 4 2 2 a i とは形状が異なり、他方の外側模型ダクト 4 2 2 b o と他方の内側模型ダクト 4 2 2 b i とは形状が異なる。一方の模型スケグ 4 2 1 a、他方の模型スケグ 4 2 1 b、一方の外側模型ダクト 4 2 2 a o、一方の内側模型ダクト 4 2 2 a i、他方の外側模型ダクト 4 2 2 b o、及び他方の内側模型ダクト 4 2 2 b i は不透明材料で形成されている。なお、レーザー装置 4 0 は、模型船 4 2 0 の船尾側の一方の側方に配置している。

レーザー装置 4 0 からの紫外レーザー光 4 1 の照射時に一方の模型スケグ 4 2 1 a、他方の模型スケグ 4 2 1 b、一方の外側模型ダクト 4 2 2 a o、一方の内側模型ダクト 4 2 2 a i、他方の外側模型ダクト 4 2 2 b o、及び他方の内側模型ダクト 4 2 2 b i が重畳する構成のため、この場合は、一方の模型スケグ 4 2 1 a、他方の模型スケグ 4 2 1 b、一方の外側模型ダクト 4 2 2 a o、一方の内側模型ダクト 4 2 2 a i、他方の外側模型ダクト

4 2 2 b o、及び他方の内側模型ダクト4 2 2 b iの内側の流場を計測することができない。

【0 0 5 1】

一方、図4において、模型船1 2 0は、一方の模型スケグ1 2 1 a、他方の模型スケグ1 2 1 b、一方の外側模型ダクト1 2 2 a o、一方の内側模型ダクト1 2 2 a i、他方の外側模型ダクト1 2 2 b o、及び他方の内側模型ダクト1 2 2 b iを備え、レーザ装置4 0を模型船1 2 0の船尾側の一方の側方に配置しているのは模型船4 2 0と同様であるが、一方の模型スケグ1 2 1 a、一方の外側模型ダクト1 2 2 a o、及び一方の内側模型ダクト1 2 2 a iを、紫外光を透過するとともに、紫外光に対する屈折率が1 . 3 0から1 . 4 0のフッ素系の樹脂を用いて形成している点が模型船4 2 0と異なる。

10

このように一方の模型スケグ1 2 1 a、一方の外側模型ダクト1 2 2 a o、及び一方の内側模型ダクト1 2 2 a iを透明かつ水の屈折率に合致する屈折率を有する材料で形成することで、レーザ装置4 0からの紫外レーザ光4 1は、一方の模型スケグ1 2 1 a、一方の外側模型ダクト1 2 2 a o、及び一方の内側模型ダクト1 2 2 a iに遮られることがない。したがって、一方の模型スケグ1 2 1 a、一方の外側模型ダクト1 2 2 a o、及び一方の内側模型ダクト1 2 2 a iの内側、すなわち重畳する部品の間の部分の流場を計測することができる。

なお、一方の模型スケグ1 2 1 aは、フッ素系の樹脂で全体を無垢に形成してもよく、表面のみをフッ素系の樹脂を用いて形成して内部に水を満たしておいてもよい。

【0 0 5 2】

20

なお、図示は省略するが、省エネ付加物の一つとして模型フィンを取り付けた場合も、その模型フィンを紫外光を透過するとともに、紫外光に対する屈折率が1 . 3 0から1 . 4 0のフッ素系の樹脂を用いて形成することで、フィン（船体・舵・ボスキャップ）まわりの流場を計測することができる。

【産業上の利用可能性】

【0 0 5 3】

本発明の流場計測方法及び流場計測システムは、プロペラ・舵・付加物自体が壁となってしまう可視化をすることが困難な場所、すなわちダクトの内側外側、舵まわり、回転しているプロペラ面内、その他ダクトプロペラのプロペラ面、船体・ボスキャップ・舵に取付けたフィンまわり等について、光源の配置を変えことなく紫外光又は可視光が届くため、P I V 又はL D Vによる流場計測の可視化範囲を拡大することができる。また、船舶関係のみならず水中で部品が重畳する模型を用いて流場を計測する、多くの用途に適用が可能である。

30

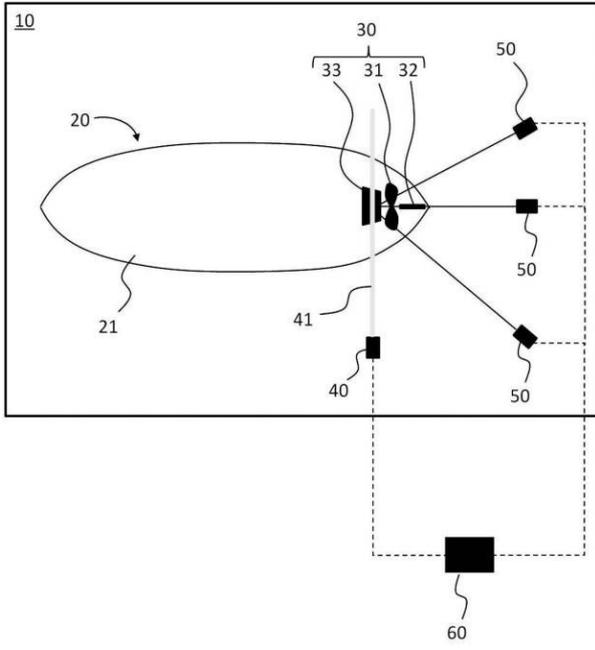
【符号の説明】

【0 0 5 4】

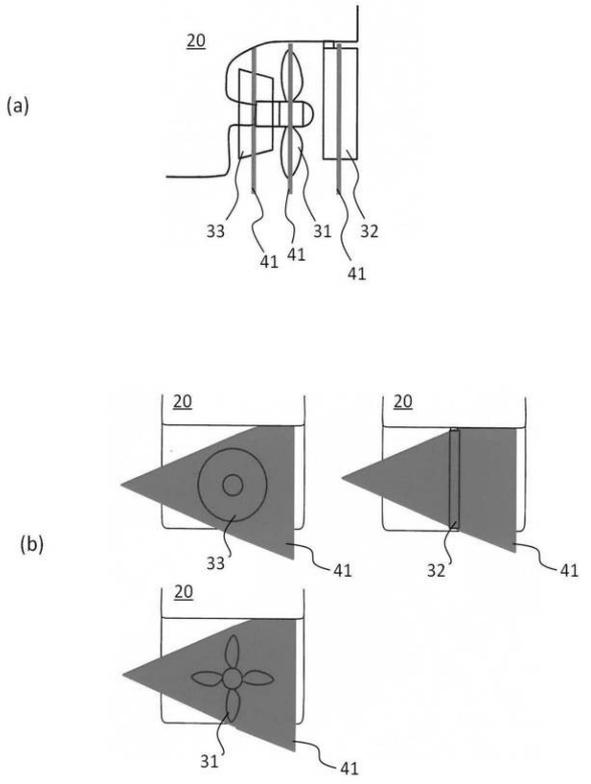
- 1 0 水槽
- 2 0 模型船
- 3 0 模型部品
- 3 1 模型プロペラ
- 3 2 模型舵
- 3 3 模型ダクト
- 4 0 レーザ装置（光源手段）
- 4 1 紫外レーザ光
- 5 0 分光カメラ（受光手段）
- 6 0 パーソナルコンピュータ（流場解析手段）

40

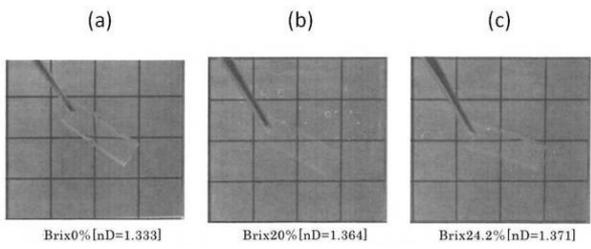
【図1】



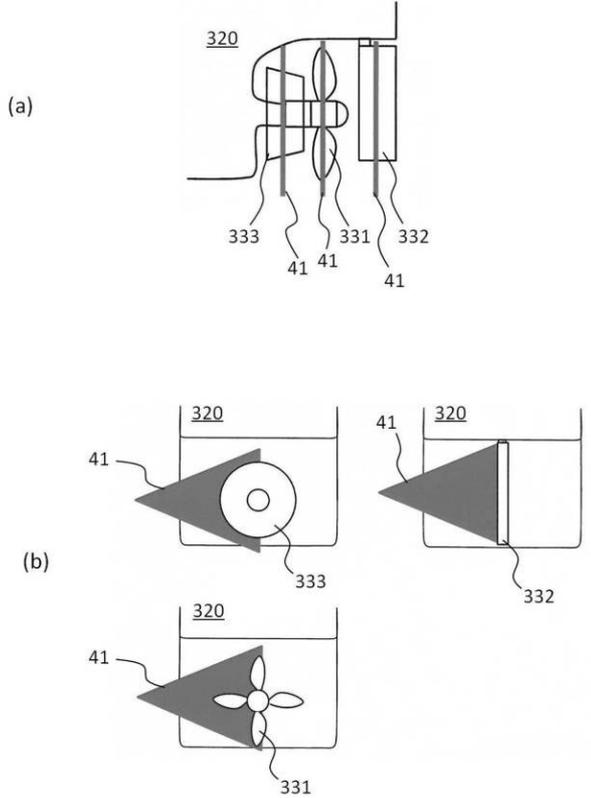
【図2】



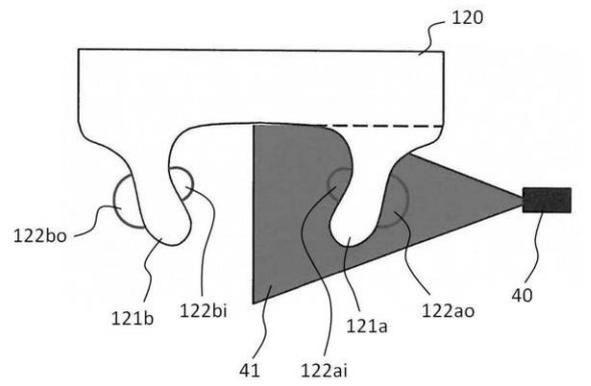
【図3】



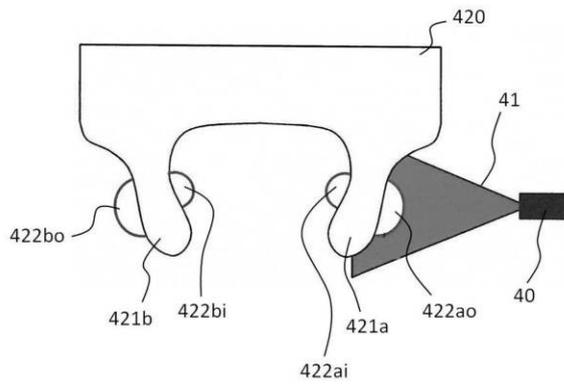
【図5】



【図4】



【 図 6 】



フロントページの続き

(72)発明者 星野 邦弘

東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国立研究開発法人 海上技術安全研究所内

(72)発明者 川並 康剛

東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国立研究開発法人 海上技術安全研究所内

審査官 福田 裕司

(56)参考文献 特開2007-302708(JP,A)

特開2000-329782(JP,A)

特開2013-156140(JP,A)

特開2005-300515(JP,A)

特開2012-018309(JP,A)

特開平10-019919(JP,A)

特開2012-251877(JP,A)

特開2014-044142(JP,A)

実開昭51-120155(JP,U)

特開2009-264772(JP,A)

特開2005-147744(JP,A)

江藤 剛治 他, 水流の可視化に必要な関連技術の開発 - 比重整合・屈折率整合・多波長計測 -
 , 土木学会論文集, 1996年 2月, No. 533/II-34, 87~106頁

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01M 10/00