

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-158072

(P2020-158072A)

(43) 公開日 令和2年10月1日(2020.10.1)

(51) Int. Cl.		F I		テーマコード (参考)
B 63 B 73/00 (2020.01)		B 63 B 9/00	Z	
B 63 B 71/20 (2020.01)		B 63 B 9/02		

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2019-62647 (P2019-62647)
 (22) 出願日 平成31年3月28日 (2019.3.28)

(71) 出願人 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
 (74) 代理人 100098545
 弁理士 阿部 伸一
 (74) 代理人 100087745
 弁理士 清水 善廣
 (74) 代理人 100106611
 弁理士 辻田 幸史
 (74) 代理人 100189717
 弁理士 太田 貴章

最終頁に続く

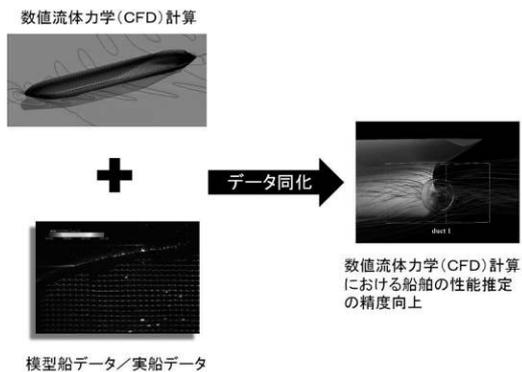
(54) 【発明の名称】 データ同化による船舶性能推定方法及び船舶性能推定システム

(57) 【要約】

【課題】 模型船又は実船から取得したデータを用いて船舶の性能推定の精度を向上させるデータ同化による船舶性能推定方法及び船舶性能推定システムを提供すること。

【解決手段】 船舶の性能推定をするための数値流体力学(CFD)計算に、船舶の模型船を使用して計測した模型船データ及び船舶の実船で計測した実船データの少なくとも1つを用いて数値流体力学(CFD)計算にデータ同化させて、数値流体力学(CFD)計算における船舶の性能推定の精度を向上する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

船舶の性能推定をするための数値流体力学（CFD）計算に、前記船舶の模型船を使用して計測した模型船データ及び前記船舶の実船で計測した実船データの少なくとも1つを用いて前記数値流体力学（CFD）計算にデータ同化させて、前記数値流体力学（CFD）計算における前記船舶の前記性能推定の精度を向上することを特徴とするデータ同化による船舶性能推定方法。

【請求項 2】

前記模型船データとして模型船流場データを用い、前記実船データとして実船流場データを用いることを特徴とする請求項 1 に記載のデータ同化による船舶性能推定方法。

10

【請求項 3】

前記データ同化のためのパラメータとして、乱流モデルの数値パラメータを用いることを特徴とする請求項 2 に記載のデータ同化による船舶性能推定方法。

【請求項 4】

前記乱流モデルの前記数値パラメータとして、MSA (Modified Spalart Allmaras) モデルの場合は渦度調整パラメータ(Cv o r)、乱流遷移位置、DES (Detached Eddy Simulation)モデルの場合はモデル定数(c d e s)、又は変化傾向を含む入力調整パラメータのいずれか1つを用いることを特徴とする請求項 3 に記載のデータ同化による船舶性能推定方法。

【請求項 5】

前記データ同化のためのパラメータとして、前記船舶の船体境界面に壁関数のパラメータを用い、前記壁関数のパラメータにより船体表面の境界条件を修正することを特徴とする請求項 2 に記載のデータ同化による船舶性能推定方法。

20

【請求項 6】

前記データ同化のためのパラメータとして、前記船舶の船体まわりの流場及びノ又は船体後の流場を計測し、境界条件としてデータ同化をすることを特徴とする請求項 2 に記載のデータ同化による船舶性能推定方法。

【請求項 7】

前記データ同化のためのパラメータとして、複数の前記船舶の前記模型流場データ又は前記実船流場データを用い、前記数値流体力学（CFD）計算の計算結果の流場から、前記数値流体力学（CFD）計算の解析対象の流場の補正を行なうことを特徴とする請求項 2 に記載のデータ同化による船舶性能推定方法。

30

【請求項 8】

船体形状を変えた複数の前記船舶の前記模型船について水槽試験により前記模型船流場データを取得し、前記船体形状を変えた複数の前記船舶について前記数値流体力学（CFD）計算を行い、前記模型船流場データの変化傾向を前記数値流体力学（CFD）計算に取り込むことを特徴とする請求項 2 に記載のデータ同化による船舶性能推定方法。

【請求項 9】

前記船舶の相似形状の複数の前記模型船について水槽試験により前記模型船流場データを取得し、レイノルズ数の影響を抽出し、前記レイノルズ数の影響を前記数値流体力学（CFD）計算に取り込むことを特徴とする請求項 2 に記載のデータ同化による船舶性能推定方法。

40

【請求項 10】

前記模型船に付加物を取り付け前記模型船の周囲の流速分布を制御してレイノルズ数の影響を抽出し、前記レイノルズ数の影響を前記数値流体力学（CFD）計算に取り込むことを特徴とする請求項 2 に記載のデータ同化による船舶性能推定方法。

【請求項 11】

前記模型船の実験を行なう試験水槽の一部に閉塞路を設け、さらに前記閉塞路にフローライナーを設けて前記模型船の周囲の流速分布を制御してレイノルズ数の影響を抽出し、前記レイノルズ数の影響を前記数値流体力学（CFD）計算に取り込むことを特徴とする

50

請求項 2 に記載のデータ同化による船舶性能推定方法。

【請求項 1 2】

前記データ同化を前記船舶の自航要素の前記性能推定に関連した範囲で行ったことを特徴とする請求項 1 から請求項 1 1 のいずれか 1 項に記載のデータ同化による船舶性能推定方法。

【請求項 1 3】

前記船舶の前記模型船を使用して計測した前記模型船データを用いて前記数値流体力学 (CFD) 計算に前記データ同化させて、前記数値流体力学 (CFD) 計算における前記船舶の前記性能推定の精度を向上した結果を、前記船舶の実船スケールの前記数値流体力学 (CFD) 計算に適用し、前記船舶の前記実船の性能を予測することを特徴とする請求項 1 から請求項 1 2 のいずれか 1 項に記載のデータ同化による船舶性能推定方法。

10

【請求項 1 4】

前記船舶の前記実船の性能の予測結果と、前記実船で計測した実船データとを比較し、前記船舶の状態を判断することを特徴とする請求項 1 3 に記載のデータ同化による船舶性能推定方法。

【請求項 1 5】

船舶の性能推定をするための数値流体力学 (CFD) 計算手段と、前記船舶の模型船を使用して計測した模型船データ及び前記船舶の実船で計測した実船データの少なくとも 1 つを入力するデータ入力手段と、前記数値流体力学 (CFD) 計算手段にデータ同化させるデータ同化手段と、前記データ同化の結果を前記数値流体力学 (CFD) 計算手段に反映する数値流体力学 (CFD) 計算更新手段とを備え、前記船舶の前記性能推定の精度を向上することを特徴とするデータ同化による船舶性能推定システム。

20

【請求項 1 6】

前記データ入力手段に前記模型船データ及び前記実船データの少なくとも 1 つを直接又は間接的に入力するデータ通信手段を備えたことを特徴とする請求項 1 5 に記載のデータ同化による船舶性能推定システム。

【請求項 1 7】

解析対象船の船舶条件を入力する船舶条件入力手段と、前記船舶条件に基づいて前記精度を向上した前記数値流体力学 (CFD) 計算手段で前記性能推定を行った結果を出力する性能推定結果出力手段とを備えたことを特徴とする請求項 1 5 又は請求項 1 6 に記載のデータ同化による船舶性能推定システム。

30

【請求項 1 8】

遠隔地から前記船舶条件入力手段へ入力を行い、遠隔地に前記性能推定結果出力手段から出力を行なう入出力通信手段とを備えたことを特徴とする請求項 1 7 に記載のデータ同化による船舶性能推定システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、船舶の性能推定をするための数値流体力学 (CFD) 計算結果の精度を向上させるデータ同化による船舶性能推定方法及び船舶性能推定システムに関する。

40

【背景技術】

【0002】

船舶の性能予測は、実船との相似模型を使用した水槽試験からの予測が行われている。近年の数値計算技術の進展により CFD (数値流体力学、計算流体力学) でも性能計算を行うことが可能だが、まだ数値流体力学 (CFD) のみで性能予測ができるレベルには至っていない。

【0003】

ここで、特許文献 1 には、船舶に搭載した GPS と、ジャイロコンパスと、LOG 船速計と、これらの取得情報について情報取得時刻を含んだ沿岸海流個別情報として記憶するメモリと、記憶した沿岸海流個別情報を無線通信手段にて送信する通信装置と、送信され

50

た沿岸海流個別情報を受信する通信装置と、受信した沿岸海流個別情報を処理して複数の船舶の位置と時刻に対応させた沿岸海流観測データを得る沿岸海流観測データ処理部と、沿岸海流予測データ処理部を具備した海流データ同化システムが開示されている。

また、特許文献2には、第一推定値の気象予報値を観測値で修正した大気解析データに含まれる風向及び風速データを基にデータ補間してN時の波浪予報データを推算すると、これをN+ 時の波浪予測のための初期条件値として波浪推算プログラムに設定し、N+ 時の波浪を予測する波浪予測システムが開示されている。

また、特許文献3には、データ同化処理で用いる観測データを効率的に収集することを目的として、数値海洋モデルに基づいて予報対象となる海洋環境に関する物理的相関係数を算出し、算出値を利用してガウス型相関係数分布を仮定することにより物理的相関距離を算出する一方で、測定対象となる海域の水深、コリオリパラメータ、重力加速度等の特性に基づいて海洋に発生する擾乱が影響を及ぼす範囲であるロスビーの変形半径を算出し、数値海洋モデルによる物理量の予測結果、あるいはロスビーの変形半径の算出結果を計測間隔とする、あるいは相関距離とロスビーの変形半径の大小関係を比較しより小さい方を選択する海洋環境計測間隔決定方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2010-223639号公報

【特許文献2】特開2010-54460号公報

【特許文献3】特開2004-28616号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1から特許文献3は、データ同化により船舶の性能推定の精度を向上させようとするものではない。

数値流体力学(CFD)のみによる伴流係数や推力減少係数等の自航要素の推定では、2種類の船体形状の場合の結果が水槽試験値と逆の傾向を示す場合があるなど定性的にも精度が不足している。

そこで本発明は、模型船又は実船から取得したデータを用いて船舶の性能推定の精度を向上させるデータ同化による船舶性能推定方法及び船舶性能推定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】

【0006】

請求項1記載に対応したデータ同化による船舶性能推定方法においては、船舶の性能推定をするための数値流体力学(CFD)計算に、船舶の模型船を使用して計測した模型船データ及び船舶の実船で計測した実船データの少なくとも1つを用いて数値流体力学(CFD)計算にデータ同化させて、数値流体力学(CFD)計算における船舶の性能推定の精度を向上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、実船性能推定を高精度で可能とすることができる。

【0007】

請求項2記載の本発明は、模型船データとして模型船流場データを用い、実船データとして実船流場データを用いることを特徴とする。

請求項2に記載の本発明によれば、数値流体力学(CFD)計算における船舶の流場の性能推定の精度をより一層向上させることができる。

【0008】

請求項3記載の本発明は、データ同化のためのパラメータとして、乱流モデルの数値パラメータ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、乱流モデルにより流体力学の基礎方程式であるナビエ・ストークス(Navier Stokes)方程式を近似することで数値流体力学(CFD)計算

10

20

30

40

50

を簡略化しつつ精度を向上させることができる。

【 0 0 0 9 】

請求項 4 記載の本発明は、乱流モデルの数値パラメータとして、M S A (Modified Spalart Allmaras) モデルの場合は渦度調整パラメータ(C v o r)、乱流遷移位置、D E S (Detached Eddy Simulation)モデルの場合はモデル定数(c d e s)、又は変化傾向を含む入力調整パラメータのいずれか 1 つを用いることを特徴とする。

請求項 4 に記載の本発明によれば、数値流体力学(C F D)計算を簡略化しつつ精度を向上させることができる。

【 0 0 1 0 】

請求項 5 記載の本発明は、データ同化のためのパラメータとして、船舶の船体境界面に壁関数のパラメータを用い、壁関数のパラメータにより船体表面の境界条件を修正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、壁関数モデルを用いて境界層流れを近似することで数値流体力学(C F D)計算を簡略化しつつ精度を向上させることができる。

【 0 0 1 1 】

請求項 6 記載の本発明は、データ同化のためのパラメータとして、船舶の船体まわりの流場及び / 又は船体後の流場を計測し、境界条件を修正することを特徴とする。

請求項 6 に記載の本発明によれば、数値流体力学(C F D)計算を簡略化しつつ精度を向上させることができる。

【 0 0 1 2 】

請求項 7 記載の本発明は、データ同化のためのパラメータとして、複数の船舶の模型流場データ又は実船流場データを用い、数値流体力学(C F D)計算の計算結果の流場から、数値流体力学(C F D)計算の解析対象の流場の補正を行なうことを特徴とする。

請求項 7 に記載の本発明によれば、数値流体力学(C F D)計算における船舶の性能推定の精度をより一層向上させることができる。

【 0 0 1 3 】

請求項 8 記載の本発明は、船体形状を変えた複数の船舶の模型船について水槽試験により模型船流場データを取得し、船体形状を変えた複数の船舶について数値流体力学(C F D)計算を行い、模型船流場データの変化傾向を数値流体力学(C F D)計算に取り込むことを特徴とする。

請求項 8 に記載の本発明によれば、数値流体力学(C F D)計算における船舶の性能推定の精度をより一層向上させることができる。

【 0 0 1 4 】

請求項 9 記載の本発明は、船舶の相似形状の複数の模型船について水槽試験により模型船流場データを取得し、レイノルズ数の影響を抽出し、レイノルズ数の影響を数値流体力学(C F D)計算に取り込むことを特徴とする。

請求項 9 に記載の本発明によれば、数値流体力学(C F D)計算におけるレイノルズ数の影響を反映し、船舶の性能推定の精度をより一層向上させることができる。

【 0 0 1 5 】

請求項 10 記載の本発明は、模型船に付加物を取り付け模型船の周囲の流速分布を制御してレイノルズ数の影響を抽出し、レイノルズ数の影響を数値流体力学(C F D)計算に取り込むことを特徴とする。

請求項 10 に記載の本発明によれば、付加物により流速分布を制御して、レイノルズ数の影響を適切に取り込むことができる。

【 0 0 1 6 】

請求項 11 記載の本発明は、模型船の実験を行なう試験水槽の一部に閉塞路を設け、さらに閉塞路にフローライナーを設けて模型船の周囲の流速分布を制御してレイノルズ数の影響を抽出し、レイノルズ数の影響を数値流体力学(C F D)計算に取り込むことを特徴とする。

請求項 11 に記載の本発明によれば、レイノルズ数の影響を適切に取り込み、数値流体

10

20

30

40

50

力学（CFD）計算における船舶の性能推定の精度をより一層向上させることができる。

【0017】

請求項12記載の本発明は、データ同化を船舶の自航要素の性能推定に関連した範囲で行ったことを特徴とする。

請求項12に記載の本発明によれば、数値流体力学（CFD）計算において狂いやすい船尾周りの自航要素を精度よく推定して数値流体力学（CFD）計算の精度を向上させることができる。

【0018】

請求項13記載の本発明は、船舶の模型船を使用して計測した模型船データを用いて数値流体力学（CFD）計算にデータ同化させて、数値流体力学（CFD）計算における船舶の性能推定の精度を向上した結果を、船舶の実船スケールの数値流体力学（CFD）計算に適用し、船舶の実船の性能を予測することを特徴とする。

請求項13に記載の本発明によれば、実船の性能を高精度で推定することができる。

【0019】

請求項14記載の本発明は、船舶の実船の性能の予測結果と、実船で計測した実船データとを比較し、船舶の状態を判断することを特徴とする。

請求項14に記載の本発明によれば、例えば、実船における異常値を検出することができる。また、実船における汚損影響や、プロペラの損傷、主機の不調等を検出することが可能となる。

【0020】

請求項15記載に対応したデータ同化による船舶性能推定システムにおいては、船舶の性能推定をするための数値流体力学（CFD）計算手段と、船舶の模型船を使用して計測した模型船データ及び船舶の実船で計測した実船データの少なくとも1つを入力するデータ入力手段と、数値流体力学（CFD）計算手段にデータ同化させるデータ同化手段と、データ同化の結果を数値流体力学（CFD）計算手段に反映する数値流体力学（CFD）計算更新手段とを備え、船舶の性能推定の精度を向上することを特徴とする。

請求項15に記載の本発明によれば、実船性能推定を高精度で可能とすることができる。

【0021】

請求項16記載の本発明は、データ入力手段に模型船データ及び実船データの少なくとも1つを直接又は間接的に入力するデータ通信手段を備えたことを特徴とする。

請求項16に記載の本発明によれば、例えば、遠隔地から任意の模型船データ又は実船データを直接又は間接的に入力したデータを用いてデータ同化を行うことができる。

【0022】

請求項17記載の本発明は、解析対象船の船舶条件を入力する船舶条件入力手段と、船舶条件に基づいて精度を向上した数値流体力学（CFD）計算手段で性能推定を行った結果を出力する性能推定結果出力手段とを備えたことを特徴とする。

請求項17に記載の本発明によれば、解析対象船についてデータ同化した数値流体力学（CFD）計算により精度よく性能推定を行った結果を出力して得ることができる。

【0023】

請求項18記載の本発明は、遠隔地から船舶条件入力手段へ入力を行い、遠隔地に性能推定結果出力手段から出力を行なう入出力通信手段とを備えたことを特徴とする。

請求項18に記載の本発明によれば、遠隔地においても、解析対象船についてデータ同化した数値流体力学（CFD）計算により精度よく性能推定を行った結果を得ることができる。

【発明の効果】

【0024】

本発明のデータ同化による船舶性能推定方法によれば、実船性能推定を高精度で可能とすることができる。

【0025】

10

20

30

40

50

また、模型船データとして模型船流場データを用い、実船データとして実船流場データを用いる行う場合には、数値流体力学（CFD）計算における船舶の流場の性能推定の精度をより一層向上させることができる。

【0026】

また、データ同化のためのパラメータとして、乱流モデルの数値パラメータを用いる行う場合には、乱流モデルにより流体力学の基礎方程式であるナビエ・ストークス（Navier Stokes）方程式を近似することで数値流体力学（CFD）計算を簡略化しつつ精度を向上させることができる。

【0027】

また、乱流モデルの数値パラメータとして、MSA（Modified Spalart Allmaras）モデルの場合は渦度調整パラメータ（ $C_v o r$ ）、乱流遷移位置、DES（Detached Eddy Simulation）モデルの場合はモデル定数（ $c d e s$ ）、又は変化傾向を含む入力調整パラメータのいずれか1つを用いる場合には、数値流体力学（CFD）計算を簡略化しつつ精度を向上させることができる。

10

【0028】

また、データ同化のためのパラメータとして、船舶の船体境界面に壁関数のパラメータを用い、壁関数のパラメータにより船体表面の境界条件を修正する場合には、壁関数モデルを用いて境界層流れを近似することで数値流体力学（CFD）計算を簡略化しつつ精度を向上させることができる。

【0029】

また、データ同化のためのパラメータとして、船舶の船体まわりの流場及び/又は船体後の流場を計測し、境界条件を修正する場合には、数値流体力学（CFD）計算を簡略化しつつ精度を向上させることができる。

20

【0030】

また、データ同化のためのパラメータとして、複数の船舶の模型流場データ又は実船流場データを用い、数値流体力学（CFD）計算の計算結果の流場から、数値流体力学（CFD）計算の解析対象の流場の補正を行なう場合には、数値流体力学（CFD）計算における船舶の性能推定の精度をより一層向上させることができる。

【0031】

また、船体形状を変えた複数の船舶の模型船について水槽試験により模型船流場データを取得し、船体形状を変えた複数の船舶について数値流体力学（CFD）計算を行い、模型船流場データの変化傾向を数値流体力学（CFD）計算に取り込む場合には、数値流体力学（CFD）計算における船舶の性能推定の精度をより一層向上させることができる。

30

【0032】

また、船舶の相似形状の複数の模型船について水槽試験により模型船流場データを取得し、レイノルズ数の影響を抽出し、レイノルズ数の影響を数値流体力学（CFD）計算に取り込む場合には、数値流体力学（CFD）計算におけるレイノルズ数の影響を反映し、船舶の性能推定の精度をより一層向上させることができる。

【0033】

また、模型船に付加物を取り付け模型船の周囲の流速分布を制御してレイノルズ数の影響を抽出し、レイノルズ数の影響を数値流体力学（CFD）計算に取り込む場合には、付加物により流速分布を制御して、レイノルズ数の影響を適切に取り込むことができる。

40

【0034】

また、模型船の実験を行なう試験水槽の一部に閉塞路を設け、さらに閉塞路にフローライナーを設けて模型船の周囲の流速分布を制御してレイノルズ数の影響を抽出し、レイノルズ数の影響を数値流体力学（CFD）計算に取り込む場合には、レイノルズ数の影響を適切に取り込み、数値流体力学（CFD）計算における船舶の性能推定の精度をより一層向上させることができる。

【0035】

また、データ同化を船舶の自航要素の性能推定に関連した範囲で行った場合には、数値

50

流体力学（CFD）計算において狂いやすい船尾周りの自航要素を精度よく推定して数値流体力学（CFD）計算の精度を向上させることができる。

【0036】

また、船舶の模型船を使用して計測した模型船データを用いて数値流体力学（CFD）計算にデータ同化させて、数値流体力学（CFD）計算における船舶の性能推定の精度を向上した結果を、船舶の実船スケールの数値流体力学（CFD）計算に適用し、船舶の実船の性能を予測する場合には、実船の性能を高精度で推定することができる。

【0037】

また、船舶の実船の性能の予測結果と、実船で計測した実船データとを比較し、船舶の状態を判断する場合には、例えば、実船における異常値を検出することができる。また、実船における汚損影響や、プロペラの損傷、主機の不調等を検出することが可能となる。

10

【0038】

また、本発明のデータ同化による船舶性能推定システムによれば、実船性能推定を高精度で可能とすることができる。

【0039】

また、データ入力手段に模型船データ及び実船データの少なくとも1つを直接又は間接的に入力するデータ通信手段を備えた場合には、例えば、遠隔地から任意の模型船データ又は実船データを直接又は間接的に入力したデータを用いてデータ同化を行うことができる。

【0040】

また、解析対象船の船舶条件を入力する船舶条件入力手段と、船舶条件に基づいて精度を向上した数値流体力学（CFD）計算手段で性能推定を行った結果を出力する性能推定結果出力手段とを備えた場合には、解析対象船についてデータ同化した数値流体力学（CFD）計算により精度よく性能推定を行った結果を出力して得ることができる。

20

【0041】

また、遠隔地から船舶条件入力手段へ入力を行い、遠隔地に性能推定結果出力手段から出力を行なう入出力通信手段とを備えた場合には、遠隔地においても、解析対象船についてデータ同化した数値流体力学（CFD）計算により精度よく性能推定を行った結果を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

30

【0042】

【図1】本実施形態のデータ同化による船舶性能推定方法の概念図

【図2】同船舶性能推定システムの概要図

【図3】同壁関数を用いた境界条件修正の説明図

【図4】同船体まわりの流場及び船体後の流場の計測値を境界条件として使用することの説明図

【図5】同複数の船舶の模型流場データと数値流体力学（CFD）計算の計算結果の流場を用いて数値流体力学（CFD）計算の解析対象の流場の補正を行なうことの説明図

【図6】同水槽試験に用いる試験水槽の断面図

【図7】同他の水槽試験に用いる試験水槽の断面図

40

【図8】同更に他の水槽試験に用いる試験水槽の断面図

【図9】同更に他の水槽試験に用いる試験水槽の断面図

【発明を実施するための形態】

【0043】

以下に、本発明の実施形態によるデータ同化による船舶性能推定方法及び船舶性能推定システムについて説明する。

【0044】

図1は、本実施形態のデータ同化による船舶性能推定方法の概念図である。図2は、同船舶性能推定システムの概要図である。

船舶性能推定システム10は、船舶の性能推定をするための数値流体力学（CFD）計

50

算手段 1 1 と、船舶の模型船を使用して計測した模型船データ及び船舶の実船で計測した実船データの少なくとも 1 つを入力するデータ入力手段 1 2 と、数値流体力学 (CFD) 計算手段 1 1 にデータ同化させるデータ同化手段 1 3 と、データ同化の結果を数値流体力学 (CFD) 計算手段 1 1 に反映する数値流体力学 (CFD) 計算更新手段 1 4 と、データ入力手段 1 2 に模型船データ及び実船データの少なくとも 1 つを直接又は間接的に入力するデータ通信手段 1 5 と、解析対象船の船舶条件を入力する船舶条件入力手段 1 6 と、船舶条件に基づいて精度を向上した数値流体力学 (CFD) 計算手段 1 1 で性能推定を行った結果を出力する性能推定結果出力手段 1 7 とを備える。

数値流体力学 (CFD) 計算だけでは、自航要素推定に難があり、船型差の評価が困難である。そこで、模型船 1 0 を用いた水槽試験における計測により取得した模型船データ、又は実船モニタリングにより取得した実船データを、数値流体力学 (CFD) 計算に取り込む。

このように、船舶の性能推定をするための数値流体力学 (CFD) 計算に、船舶の模型船を使用して計測した模型船データ、及び船舶の実船で計測した実船データの少なくとも 1 つを用いて数値流体力学 (CFD) 計算にデータ同化させて、数値流体力学 (CFD) 計算における船舶の性能推定の精度を向上することで、実船性能推定を高精度で可能とすることができる。

また、データ入力手段 1 2 に模型船データ又は実船データを直接又は遠隔等から間接的に入力するデータ通信手段 1 5 を備えることで、例えば、遠隔地から任意の模型船データ又は実船データを直接又は間接的に入力したデータを用いてデータ同化を行うことができる。実船データは、複数の船舶で得られた各種データをネットワーク (図示は省略) とデータ通信手段 1 5 を介して収集し、入力することもできる。また、模型船データであっても遠隔地の水槽で得られた各種データをネットワーク (図示は省略) とデータ通信手段 1 5 を介して収集し、入力してもよい。

また、船舶条件入力手段 1 6 と、性能推定結果出力手段 1 7 を備えることで、解析対象船についてデータ同化した数値流体力学 (CFD) 計算により精度よく性能推定を行った結果を出力して得ることができる。

なお、図示は省略するが、遠隔地に性能推定結果出力手段 1 7 から出力を行なう入出力通信手段を設け、遠隔地から船舶条件入力手段 1 6 へ入力し遠隔地に出力を行うこともできる。これにより、遠隔地においても、解析対象船について条件入力を行い、データ同化した数値流体力学 (CFD) 計算により精度よく性能推定を行った結果を得ることができる。

【0045】

データ同化に用いる模型船データ又は実船データとしては、抵抗値等の積分値を用いることもできるが、模型船データとして模型船流場データを用い、実船データとして実船流場データを用いることが好ましい。これにより、数値流体力学 (CFD) 計算における船舶の流場の性能推定の精度をより一層向上させることができる。なお、模型船流場データは、PIV (Particle Image Velocimetry = 粒子イメージ流速) 計測法等により取得する。

また、データ同化のためのパラメータとして、乱流モデルの数値パラメータを用いることが好ましい。例えば、流体力学の基礎方程式であるナビエ・ストークス方程式 (NS: Navier Stokes equations) をレイノルズ平均モデル (RANS: Reynolds Averaged Navier Stokes) にする際に乱流モデルを用いて近似する。その際、乱流モデルの数値パラメータの未定乗数を水槽試験の結果をもって合わせ込む。このように乱流モデルを用いて近似することで数値流体力学 (CFD) 計算を簡略化しつつ精度を向上させることができる。

また、乱流モデルの数値パラメータとして、以下のいずれか 1 つを用いることが好ましい。これにより、数値流体力学 (CFD) 計算の結果の精度をより一層向上させることができる。

(1) MSA (Modified Spalart Allmaras) モデルの場合：渦度調整パラメータ (Cv or r)

10

20

30

40

50

(2) 乱流遷移位置

(3) D E S (Detached Eddy Simulation)モデルの場合：モデル定数(c d e s)

(4) 変化傾向を含む入力調整パラメータ

【 0 0 4 6 】

また、流場データを用いる場合のデータ同化のためのパラメータとして、船舶の船体境界面に壁関数のパラメータを用い、壁関数のパラメータで境界条件を修正することが好ましい。

船体表面には摩擦があるため境界層で粘性の影響を受けて流体の速度に変化が生じる。数値流体力学(CFD)計算において壁関数モデルを用いて境界層流れを近似することで計算を簡略化することができる。また、壁関数のパラメータについて模型船流場データ又は実船流場データを用いて同定することで、計算精度を向上させることができる。

ここで図3は、壁関数を用いた境界条件修正の説明図であり、縦軸を流体の速度(無次元)、横軸を物体壁面からの距離(無次元)としている。

図3の を結ぶ曲線は数値流体力学(CFD)計算により求めた速度である。3本の直線は理論値であり、 を結ぶ曲線は、3本の直線のうちの中央の実線の一部に接している。ここでは壁関数のパラメータについて模型船流場データ又は実船流場データを用いて合わせ込む。合わせ込む一つ目のパラメータは縦軸の切片である。壁面の粗さによって速度の切片の程度が決まる。例えば壁面が滑らかであれば切片を下方へ移動させ、壁面の粗さが大きければ切片を上方へ移動させる。合わせ込む二つ目のパラメータは、速度が一定となる壁面からの距離である。

このように流場データを用いる場合のデータ同化のためのパラメータとして、船舶の船体境界面に壁関数のパラメータを用い、壁関数のパラメータにより船体表面の境界条件を修正することで、数値流体力学(CFD)計算を簡略しつつ精度を向上させることができる。

【 0 0 4 7 】

また、流場データを用いる場合のデータ同化のためのパラメータとして、船舶の船体まわりの流場又は船体後の流場の少なくとも一方を計測し、境界条件としてデータ同化をすることが好ましい。

ここで図4は、船体まわりの流場及び船体後の流場の計測値を境界条件として使用することの説明図である。

図4においては、船首を図の左側を向けて流れの中を航走する船舶20を示している。例えば、船舶20のプロペラの前の流れを数値流体力学(CFD)計算により計算するにあたって、従来は解析対象だけでなく計算空間全体を計算対象としていたが、本実施形態では、解析対象の前側(船体まわり)の流場及び後側(船体後)の流場を計測し、計測した模型船流場データ又は実船流場データを境界条件として使用し、解析対象だけを計算する。これにより、数値流体力学(CFD)計算を簡略しつつ精度を向上させることができる。なお、船体まわりの流場又は船体後の流場の一方のみを計測し、その計測結果からもう一方を推定してもよい。

【 0 0 4 8 】

また、データ同化のためのパラメータとして、複数の船舶の模型流場データ又は実船流場データを用い、数値流体力学(CFD)計算の計算結果の流場から、数値流体力学(CFD)計算の解析対象の流場の補正を行なうことが好ましい。

ここで図5は、複数の船舶の模型流場データと数値流体力学(CFD)計算の計算結果の流場を用いて数値流体力学(CFD)計算の解析対象の流場の補正を行なうことの説明図である。

図5においては、数値流体力学(CFD)計算による流場を左側に示し、模型流場データを右側に示している。また、上側から船型1、船型2、船型3・・・船型nというように船型を異ならせている。それぞれの船型における数値流体力学(CFD)計算による流場と模型流場データとを合わせ込むことで、解析対象の流場補正を行う。これにより、数値流体力学(CFD)計算における船舶の性能推定の精度をより一層向上させることがで

10

20

30

40

50

きる。

なお、ディープラーニング等の機械学習手法の技術を用いて、数値流体力学（CFD）計算による流場から模型流場データを推定してもよい。

【0049】

図6は、水槽試験に用いる試験水槽の断面図であり、模型船を背面側から見ている。試験水槽30の水面を航走する模型船Aに向けて試験水槽30の底面側からレーザー光をシート状に当てPIV計測を行っている。

図6に示すように、船体形状が互いに異なる模型船A～Cを準備しておき、水槽試験で流場を計測する。同じくそれぞれの船体形状について数値流体力学（CFD）計算を行い、水槽試験の船体形状による変化傾向（傾斜）を数値流体力学（CFD）計算に取り込む（データ同化）。なお、本実施形態では、船体形状のなかでも特に流場への影響が大きい船尾形状を変えるため、船尾取り替え式としている。また、船体形状は3パターン以上変えて試験することが好ましい。

このように、船体形状を変えた複数の船舶の模型船について水槽試験により模型船流場データを取得し、船体形状を変えた複数の船舶について数値流体力学（CFD）計算を行い、模型船流場データの変化傾向を数値流体力学（CFD）計算に取り込むことで、数値流体力学（CFD）計算における船舶の性能推定の精度をより一層向上させることができる。

【0050】

図7は、他の水槽試験に用いる試験水槽の断面図であり、模型船を背面側から見ている。試験水槽30の水面を航走する模型船A2に向けて試験水槽30の底面側からレーザー光をシート状に当てPIV計測を行っている。

図7に示すように、大きさが互いに異なる相似形状の模型船A1～A3（ $A1 < A2 < A3$ ）を用いて水槽試験を行い、レイノルズ影響を取得して数値流体力学（CFD）計算に取り込む。

このように、船舶の相似形状の複数の模型船について水槽試験により模型船流場データを取得し、レイノルズ数の影響を抽出し、レイノルズ数の影響を数値流体力学（CFD）計算に取り込むことで、数値流体力学（CFD）計算におけるレイノルズ数の影響を反映し、船舶の性能推定の精度をより一層向上させることができる。

【0051】

図8は、更に他の水槽試験に用いる試験水槽の断面図であり、模型船を背面側から見ている。試験水槽30の水面を航走する模型船Aに向けて試験水槽30の底面側からレーザー光をシート状に当てPIV計測を行っている。

図8に示すように、流場を実船に対して合わせるために、模型船Aの船尾の船体外に舵板状の付加物40を複数取り付け、レイノルズ数影響を考慮して流速分布をコントロールする。なお、抵抗は実船に対して合わなくてよい。

このように、模型船に付加物40を取り付け模型船の周囲の流速分布を制御してレイノルズ数の影響を抽出し、レイノルズ数の影響を数値流体力学（CFD）計算に取り込むことで、付加物40により流速分布を制御して、レイノルズ数の影響を適切に取り込むことができ、付加物40の実船効果が評価（少なくとも逆転しないように）できる。

なお、速度又は喫水状態により、付加物40を可働させることも可能である。また、付加物40は、試験水槽30の水を模型船の内部に吸い込んで吐出するものとする事もできる。

【0052】

図9は、更に他の水槽試験に用いる試験水槽の断面図であり、図9（a）は模型船を背面側から見た図、図9（b）は模型船を側面側から見た図である。試験水槽30の水面を航走する模型船Aに向けて試験水槽30の底面側からレーザー光をシート状に当てPIV計測を行っている。

図9に示すように、試験水槽30内の一部に一对の壁31を設置することにより閉塞路32を設けている。閉塞路32内には壁31沿って一对のフローライナー33を設けてい

10

20

30

40

50

る。これにより実船における縮流を再現することができ、レイノルズ数影響を考慮して流速分布をコントロールすることができる。

このように、模型船の実験を行なう試験水槽 30 の一部に閉塞路 32 を設け、さらに閉塞路 32 にフローライナー 33 を設けて模型船の周囲の流速分布を制御してレイノルズ数の影響を抽出し、レイノルズ数の影響を数値流体力学 (CFD) 計算に取り込むことで、レイノルズ数の影響を適切に取り込み、数値流体力学 (CFD) 計算における船舶の性能推定の精度をより一層向上させることができる。

【0053】

また、データ同化を船舶の自航要素の性能推定に関連した範囲で行うことで、数値流体力学 (CFD) 計算において狂いやすい船尾周りの伴流係数や推力減少係数等の自航要素を精度よく推定して数値流体力学 (CFD) 計算の精度を向上させることができる。

10

【0054】

また、船舶の模型船を使用して計測した模型船データを用いて数値流体力学 (CFD) 計算にデータ同化させて、数値流体力学 (CFD) 計算における船舶の性能推定の精度を向上した結果を、船舶の実船スケールの数値流体力学 (CFD) 計算に適用し、船舶の実船の性能を予測することで、実船の性能を高精度で推定することができる。

【0055】

また、船舶の実船の性能の予測結果と、実船で計測した実船データとを比較し、船舶の状態を判断することで、例えば、実船における異常値を検出することができる。また、実船における汚損影響や、プロペラの損傷、主機の不調等を検出することが可能となる。

20

なお、データ同化は、平水中のみならず波浪を伴う流場や、さらに風の影響を考慮した大気流場についても展開が可能である。

【産業上の利用可能性】

【0056】

本発明は、水槽試験等で船体まわりの流場データを取得し、この流場データと数値流体力学 (CFD) 計算を同化させることで、実船性能推定を高精度で可能とし、実船馬力推定等の高度化に資することができるため、実船性能評価や、GHG (温室効果ガス) 削減で競争力を持つ船舶の建造等に活用できる。

【符号の説明】

【0057】

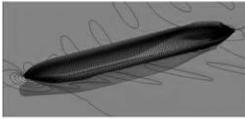
30

- 10 船舶性能推定システム
- 11 数値流体力学 (CFD) 計算手段
- 12 データ入力手段
- 13 データ同化手段
- 14 数値流体力学 (CFD) 計算更新手段 14
- 15 データ通信手段
- 16 船舶条件入力手段
- 17 性能推定結果出力手段
- 20 船舶
- 30 試験水槽
- 32 閉塞路
- 33 フローライナー
- 40 付加物
- A 模型船

40

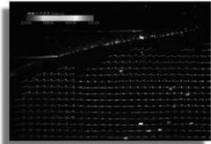
【図1】

数値流体力学(CFD)計算

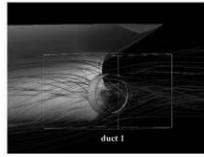


+

データ同化

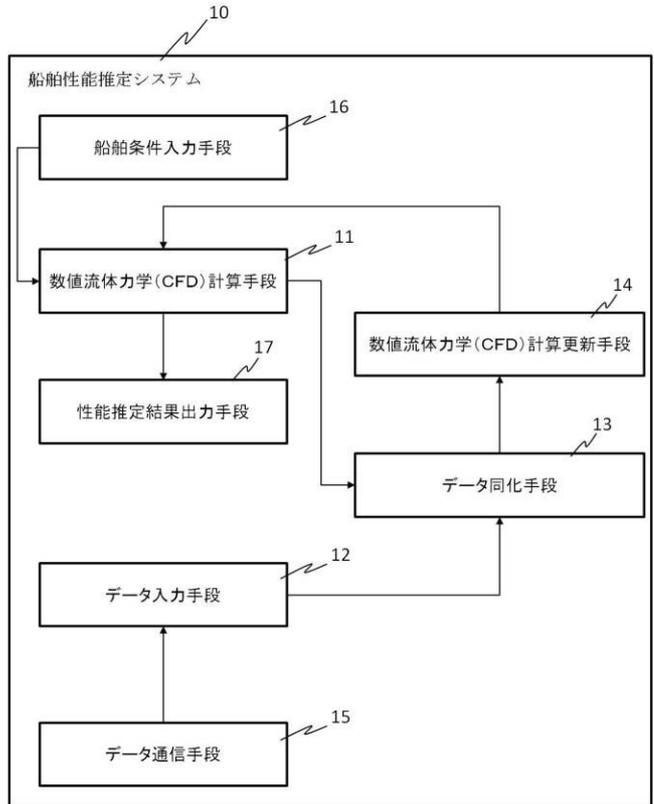


模型船データ/実船データ

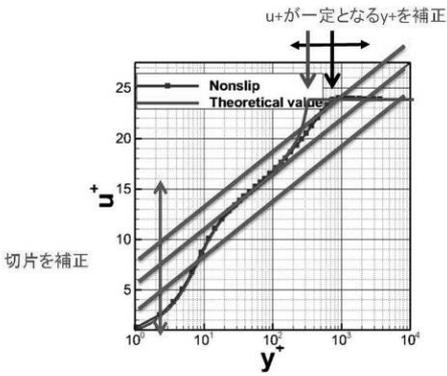


数値流体力学(CFD)計算における船舶の性能推定の精度向上

【図2】

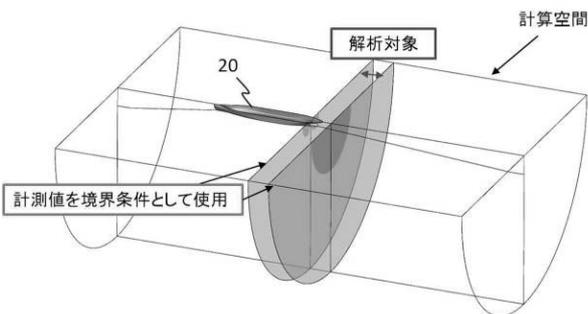


【図3】

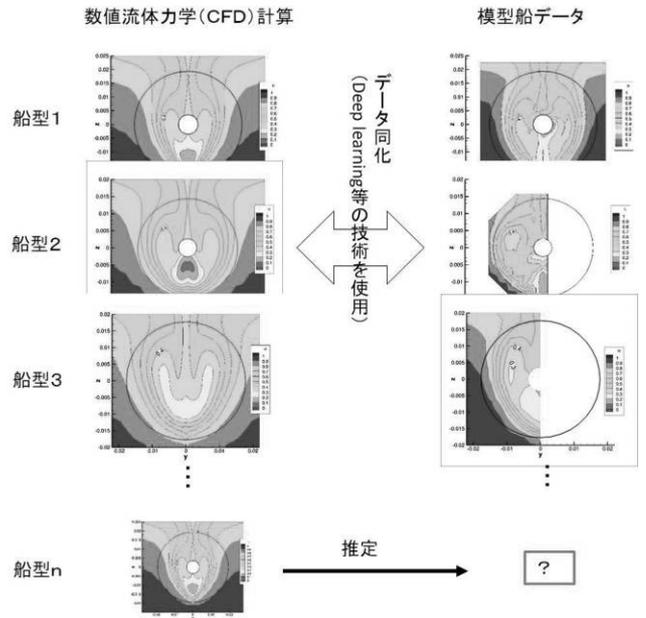


ここで、 $y^+ = yu_\tau/\nu$ 、 $u^+ = u_y/u_\tau$ である。yは物体壁面からの距離、 ν は動粘性係数、 u_τ は物体壁面に平行な速度成分、 u_τ は摩擦速度を表す。

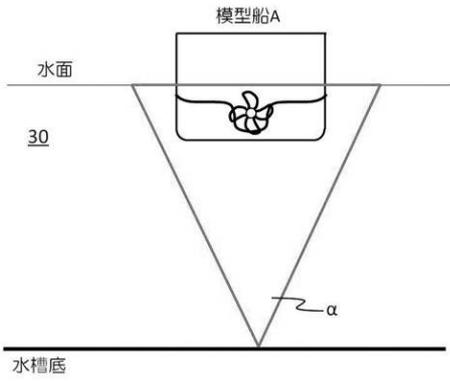
【図4】



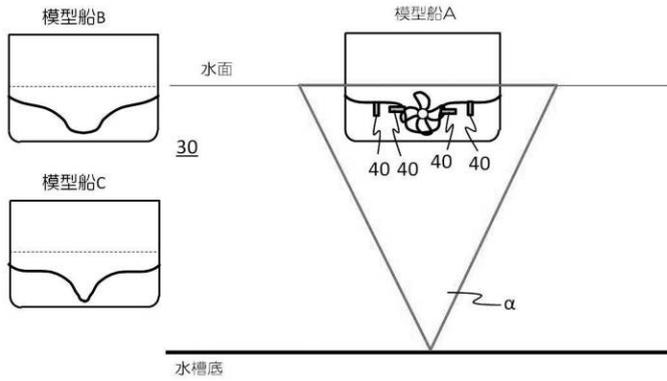
【図5】



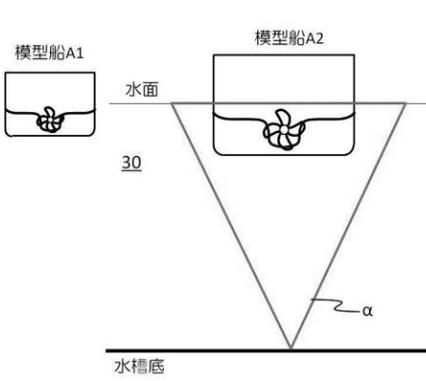
【 図 6 】



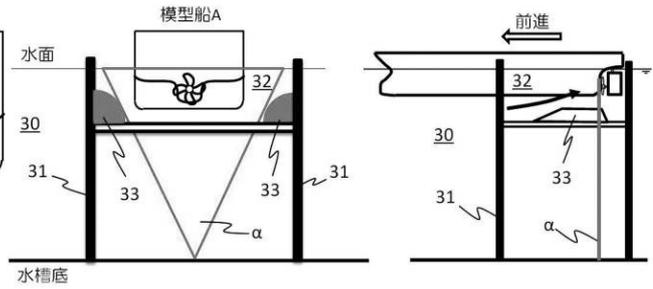
【 図 8 】



【 図 7 】



【 図 9 】



フロントページの続き

(72)発明者 辻本 勝

東京都三鷹市新川6丁目3番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

(72)発明者 一ノ瀬 康雄

東京都三鷹市新川6丁目3番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内