

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

**特許第6974828号  
(P6974828)**

(45) 発行日 令和3年12月1日(2021.12.1)

(24) 登録日 令和3年11月9日(2021.11.9)

(51) Int. Cl.	F I
<b>B 6 3 B 71/20 (2020.01)</b>	B 6 3 B 71/20
<b>B 6 3 H 5/07 (2006.01)</b>	B 6 3 H 5/07 Z
	B 6 3 H 5/07 C
	B 6 3 H 5/07 D

請求項の数 13 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2017-140307 (P2017-140307)	(73) 特許権者	501204525
(22) 出願日	平成29年7月19日(2017.7.19)		国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
(65) 公開番号	特開2019-18761 (P2019-18761A)		東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(43) 公開日	平成31年2月7日(2019.2.7)	(74) 代理人	100098545
審査請求日	令和2年6月25日(2020.6.25)		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】 船舶の水中騒音推定方法、水中騒音推定プログラム及び水中騒音推定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

水中における船舶による騒音を推定する水中騒音推定方法であって、前記船舶の騒音推定条件として入力された形状及び運航条件を取得する条件取得ステップと、前記船舶の前記騒音推定条件として入力された前記形状及び前記運航条件に基づいて数値流体力学(CFD)計算を行なうCFD計算ステップと、前記数値流体力学(CFD)計算の過程で前記船舶に関する試験結果として事前に取得したプロペラ性能、船尾伴流、機関特性、又はキャビテーション数の少なくとも一つを抽出する試験結果抽出ステップと、前記数値流体力学(CFD)計算の計算結果を前記試験結果に基づいて補正する補正ステップと、前記補正ステップでの補正結果に基づいて船尾変動圧を計算する船尾変動圧計算ステップと、前記船尾変動圧の計算結果を出力する出力ステップとを備え、前記船舶による水中音圧としての前記船尾変動圧を前記数値流体力学(CFD)計算と前記試験結果を併用して求めることを特徴とする船舶の水中騒音推定方法。

【請求項 2】

前記試験結果抽出ステップにおいて抽出する前記試験結果に前記プロペラ性能を含み、前記プロペラ性能は、プロペラ水槽試験により求めることを特徴とする請求項 1 に記載の船舶の水中騒音推定方法。

【請求項 3】

前記試験結果抽出ステップにおいて抽出する前記試験結果に前記船尾伴流を含み、前記船尾伴流は、船尾伴流水槽試験及び/又は船尾伴流実船試験により求めることを特徴とす

る請求項 1 又は請求項 2 に記載の船舶の水中騒音推定方法。

【請求項 4】

前記試験結果抽出ステップにおいて抽出する前記試験結果に前記機関特性を含み、前記機関特性は、機関出力試験及び／又はスラストトルク計測により求めることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の船舶の水中騒音推定方法。

【請求項 5】

前記試験結果抽出ステップにおいて抽出する前記試験結果に前記キャビテーション数を含み、前記キャビテーション数は、キャビテーション水槽試験及び／又は模型あるいは実船試験を通じた運航状態の推定により求めることを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の船舶の水中騒音推定方法。

10

【請求項 6】

前記試験結果を求めるに当たっては、前記船舶の船体姿勢及び／又は船尾波高を考慮したことを特徴とする請求項 3 又は請求項 5 に記載の船舶の水中騒音推定方法。

【請求項 7】

前記試験結果抽出ステップにおいて少なくとも前記機関特性を抽出し、前記 CFD 計算ステップで、前記機関特性に基づいてスラスト係数  $K_T$  を求めることを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の船舶の水中騒音推定方法。

【請求項 8】

前記試験結果抽出ステップにおいて少なくとも前記プロペラ性能を抽出し、前記スラスト係数  $K_T$  を目標値に収束させるために、前記プロペラ性能としてのプロペラ単独性能特性を基に前記 CFD 計算ステップを繰り返すことを特徴とする請求項 7 に記載の船舶の水中騒音推定方法。

20

【請求項 9】

前記船尾変動圧計算ステップでの前記船尾変動圧の計算結果に周波数解析を含む後処理を行い、音圧レベルを計算する音圧レベル計算ステップをさらに備えたことを特徴とする請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の船舶の水中騒音推定方法。

【請求項 10】

前記音圧レベル計算ステップで得られた前記音圧レベルを、尺度影響を考慮して修正を行う尺度影響修正ステップをさらに備えたことを特徴とする請求項 9 に記載の船舶の水中騒音推定方法。

30

【請求項 11】

前記船尾変動圧計算ステップで前記船尾変動圧を求めるに当たり、プロペラの直上の前記船尾変動圧が最も大きい位置で求めることを特徴とする請求項 9 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の船舶の水中騒音推定方法。

【請求項 12】

請求項 1 から請求項 11 のいずれか 1 項に記載の船舶の水中騒音推定方法の前記条件取得ステップと、前記 CFD 計算ステップと、前記試験結果抽出ステップと、前記補正ステップと、前記船尾変動圧計算ステップと、前記出力ステップをコンピュータに実行させるための水中騒音推定プログラム。

【請求項 13】

請求項 12 に記載の水中騒音推定プログラムを利用した水中騒音推定装置であって、前記船舶の前記騒音推定条件を入力する条件入力手段と、前記コンピュータと、前記船尾変動圧の計算結果を出力する出力手段とを備えたことを特徴とする水中騒音推定装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、水中における船舶による騒音を推定する水中騒音推定方法、水中騒音推定プログラム及び水中騒音推定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

50

船舶等の航走体が発する水中騒音の主たる音源は、プロペラキャビテーションである。現在、船用プロペラのキャビテーション騒音は、キャビテーション水槽試験による計測、又は実船計測によって求められることが殆どである。しかし、特に実船による計測をISO基準に則って実施しようとする場合、計測に要する人的・物的コストが高くつく上に、気象海象状況によっては計測が出来ないことがある。

ここで、特許文献1には、船体表面の変動圧力を算出するにあたって、キャビテーションの計算を粘性影響を考慮する数値流体力学(CFD: Computational Fluid Dynamics)等の第1のシミュレーション計算モデルを用いて行い、このシミュレーション結果であるキャビテーション形状を用いて粘性影響を考慮しない第2のシミュレーション計算を行うことで、所定の精度を確保しながら処理の低減及び時間短縮を図ることが開示されている。

また、特許文献2には、ジェット流をCFDに基づく解析である定常RANSにより解析し、得られた定常流諸元を用いてジェット騒音を推定すること等によって音源モデルを生成し、この音源モデルを用いてジェット騒音の解析を行う方法が開示されている。

また、特許文献3には、実機計測で取得したプロペラの圧力変動データと模型試験で取得したプロペラの圧力変動データとに基づいて作成された実機計測と模型試験とのデータ相関情報を用いて、模型試験で取得したプロペラの圧力変動データに対応する実機におけるプロペラの圧力変動を推定する推定部を備えた装置が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2010-36600号公報

【特許文献2】特開2008-102095号公報

【特許文献3】特開2010-38556号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1及び2は、CFDを一部に用いるものではあるが、CFDと試験結果を併用して水中における航走体による騒音を効率的かつ精度よく推定するものではない。

また、特許文献3は、実機計測と模型試験のみに基づいてプロペラの圧力変動を推定するものであり、CFDと試験結果を併用して水中における航走体による騒音を効率的かつ精度よく推定するものではない。

【0005】

そこで本発明は、CFDと試験結果を併用して水中における航走体による騒音を効率的かつ精度よく推定する船舶の水中騒音推定方法、水中騒音推定プログラム及び水中騒音推定装置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記載に対応した船舶の水中騒音推定方法においては、水中における船舶による騒音を推定する水中騒音推定方法であって、船舶の騒音推定条件として入力された形状及び運航条件を取得する条件取得ステップと、船舶の騒音推定条件として入力された形状及び運航条件に基づいて数値流体力学(CFD)計算を行なうCFD計算ステップと、数値流体力学(CFD)計算の過程で船舶に関する試験結果として事前に取得したプロペラ性能、船尾伴流、機関特性、又はキャビテーション数の少なくとも一つを抽出する試験結果抽出ステップと、数値流体力学(CFD)計算の計算結果を試験結果に基づいて補正する補正ステップと、補正ステップでの補正結果に基づいて船尾変動圧を計算する船尾変動圧計算ステップと、船尾変動圧の計算結果を出力する出力ステップとを備え、船舶による水中音圧としての船尾変動圧を数値流体力学(CFD)計算と試験結果を併用して求めることを特徴とする。

請求項1に記載の本発明によれば、船舶が発する水中騒音をCFD計算と試験結果を併

用することにより、効率的かつ精度よく推定できる。また、船舶が発する水中騒音を、CFD計算の結果を試験結果に基づいて補正することにより、効率的かつ精度よく推定できる。

【0007】

請求項2記載の本発明は、試験結果抽出ステップにおいて抽出する試験結果にプロペラ性能を含み、プロペラ性能は、プロペラ水槽試験により求めることを特徴とする。

請求項2に記載の本発明によれば、精度が得易いプロペラ水槽試験により求めたプロペラ性能に基づいてCFD計算の結果を補正するため、水中騒音の推定精度を高めることができる。

【0008】

請求項3記載の本発明は、試験結果抽出ステップにおいて抽出する試験結果に船尾伴流を含み、船尾伴流は、船尾伴流水槽試験及び/又は船尾伴流実船試験により求めることを特徴とする。

請求項3に記載の本発明によれば、船尾伴流水槽試験と船尾伴流実船試験の少なくとも一方により求めた船尾伴流に基づいてCFD計算の結果を補正するため、水中騒音の推定精度を高めることができる。

【0009】

請求項4記載の本発明は、試験結果抽出ステップにおいて抽出する試験結果に機関特性を含み、機関特性は、機関出力試験及び/又はスラストトルク計測により求めることを特徴とする。

請求項4に記載の本発明によれば、機関出力試験とスラストトルク計測の少なくとも一方により求めた機関特性に基づいてCFD計算の結果を補正するため、水中騒音の推定精度を高めることができる。

【0010】

請求項5記載の本発明は、試験結果抽出ステップにおいて抽出する試験結果にキャビテーション数を含み、キャビテーション数は、キャビテーション水槽試験及び/又は模型あるいは実船試験を通じた運航状態の推定により求めることを特徴とする。

請求項5に記載の本発明によれば、キャビテーション水槽試験と模型又は実船試験を通じた運航状態の推定の少なくともいずれかにより求めたキャビテーション数に基づいてCFD計算の結果を補正するため、水中騒音の推定精度を高めることができる。

【0011】

請求項6記載の本発明は、試験結果を求めるに当たっては、船舶の船体姿勢及び/又は船尾波高を考慮したことを特徴とする。

請求項6に記載の本発明によれば、船尾伴流又はキャビテーション数の精度を高め、水中騒音をより正確に推定することができる。

【0012】

請求項7記載の本発明は、試験結果抽出ステップにおいて少なくとも機関特性を抽出し、CFD計算ステップで、機関特性に基づいてスラスト係数 $K_T$ を求めることを特徴とする。

請求項7に記載の本発明によれば、スラスト係数 $K_T$ の精度を高め、水中騒音をより正確に推定することができる。

【0013】

請求項8記載の本発明は、試験結果抽出ステップにおいて少なくともプロペラ性能を抽出し、スラスト係数 $K_T$ を目標値に収束させるために、プロペラ性能としてのプロペラ単独性能特性を基にCFD計算ステップを繰り返すことを特徴とする。

請求項8に記載の本発明によれば、流速を調整しスラスト係数 $K_T$ の精度を高め、水中騒音をより正確に推定することができる。

【0014】

請求項9記載の本発明は、船尾変動圧計算ステップでの船尾変動圧の計算結果に周波数解析を含む後処理を行い、音圧レベルを計算する音圧レベル計算ステップをさらに備えた

10

20

30

40

50

ことを特徴とする。

請求項 9 に記載の本発明によれば、船尾変動圧の計算結果を基に水中騒音の音圧レベルを求めることができる。

【 0 0 1 5 】

請求項 1 0 に記載の本発明は、音圧レベル計算ステップで得られた音圧レベルを、尺度影響を考慮して修正を行う尺度影響修正ステップをさらに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、実船による騒音の音源レベルを求めることができる。

【 0 0 1 6 】

請求項 1 1 に記載の本発明は、船尾変動圧計算ステップで船尾変動圧を求めるに当たり、プロペラの直上の船尾変動圧が最も大きい位置で求めることを特徴とする。 10

請求項 1 1 に記載の本発明によれば、水中騒音をよりの確に精度よく推定することができる。

【 0 0 1 7 】

請求項 1 2 に記載に対応した水中騒音推定プログラムは、請求項 2 から請求項 1 2 のいずれか 1 項に記載の船舶の水中騒音推定方法の条件取得ステップと、CFD 計算ステップと、試験結果抽出ステップと、補正ステップと、船尾変動圧計算ステップと、出力ステップをコンピュータに実行させるものである。

請求項 1 2 に記載の本発明によれば、船舶が発する水中騒音を CFD 計算と試験結果を併用することにより、効率的かつ精度よく推定するプログラムを提供できる。 20

【 0 0 1 8 】

請求項 1 3 に記載に対応した水中騒音推定装置は、水中騒音推定プログラムを利用した水中騒音推定装置であって、船舶の騒音推定条件を入力する条件入力手段と、コンピュータと、船尾変動圧の計算結果を出力する出力手段とを備えたことを特徴とする。

請求項 1 3 に記載の本発明によれば、船舶が発する水中騒音を CFD 計算と試験結果を併用することにより、効率的かつ精度よく推定する装置を提供できる。

【発明の効果】

【 0 0 1 9 】

本発明の船舶の水中騒音推定方法によれば、船舶が発する水中騒音を CFD 計算と試験結果を併用することにより、効率的かつ精度よく推定できる。また、船舶が発する水中騒音を、CFD 計算の結果を試験結果に基づいて補正することにより、効率的かつ精度よく推定できる。 30

【 0 0 2 0 】

また、試験結果抽出ステップにおいて抽出する試験結果にプロペラ性能を含み、プロペラ性能は、プロペラ水槽試験により求める場合には、精度が得易いプロペラ水槽試験により求めたプロペラ性能に基づいて CFD 計算の結果を補正するため、水中騒音の推定精度を高めることができる。

【 0 0 2 1 】

また、試験結果抽出ステップにおいて抽出する試験結果に船尾伴流を含み、船尾伴流は、船尾伴流水槽試験及び / 又は船尾伴流実船試験により求める場合には、船尾伴流水槽試験と船尾伴流実船試験の少なくとも一方により求めた船尾伴流に基づいて CFD 計算の結果を補正するため、水中騒音の推定精度を高めることができる。 40

【 0 0 2 2 】

また、試験結果抽出ステップにおいて抽出する試験結果に機関特性を含み、機関特性は、機関出力試験及び / 又はスラストトルク計測により求める場合には、機関出力試験とスラストトルク計測の少なくとも一方により求めた機関特性に基づいて CFD 計算の結果を補正するため、水中騒音の推定精度を高めることができる。

【 0 0 2 3 】

また、試験結果抽出ステップにおいて抽出する試験結果にキャビテーション数を含み、キャビテーション数は、キャビテーション水槽試験及び / 又は模型あるいは実船試験を通 50

じた運航状態の推定により求める場合には、キャビテーション水槽試験と模型又は実船試験を通じた運航状態の推定の少なくともいずれかにより求めたキャビテーション数に基づいてCFD計算の結果を補正するため、水中騒音の推定精度を高めることができる。

【0024】

また、試験結果を求めるに当たっては、船舶の船体姿勢及び/又は船尾波高を考慮した場合には、船尾伴流又はキャビテーション数の精度を高め、水中騒音をより正確に推定することができる。

【0025】

また、試験結果抽出ステップにおいて少なくとも機関特性を抽出し、CFD計算ステップで、機関特性に基づいてスラスト係数 $K_T$ を求める場合には、スラスト係数 $K_T$ の精度を高め、水中騒音をより正確に推定することができる。

【0026】

また、試験結果抽出ステップにおいて少なくともプロペラ性能を抽出し、スラスト係数 $K_T$ を目標値に収束させるために、プロペラ性能としてのプロペラ単独性能特性を基にCFD計算ステップを繰り返す場合には、流速を調整しスラスト係数 $K_T$ の精度を高め、水中騒音をより正確に推定することができる。

【0027】

また、船尾変動圧計算ステップでの船尾変動圧の計算結果に周波数解析を含む後処理を行い、音圧レベルを計算する音圧レベル計算ステップをさらに備えた場合には、船尾変動圧の計算結果を基に水中騒音の音圧レベルを求めることができる。

【0028】

また、音圧レベル計算ステップで得られた音圧レベルを、尺度影響を考慮して修正を行う尺度影響修正ステップをさらに備えた場合には、実船による騒音の音源レベルを求めることができる。

【0029】

また、船尾変動圧計算ステップで船尾変動圧を求めるに当たり、プロペラの直上の船尾変動圧が最も大きい位置で求める場合には、水中騒音をよりの確に精度よく推定することができる。

【0030】

また、本発明の水中騒音推定プログラムによれば、船舶が発する水中騒音をCFD計算と試験結果を併用することにより、効率的かつ精度よく推定するプログラムを提供できる。

【0031】

また、本発明の水中騒音推定装置によれば、船舶が発する水中騒音をCFD計算と試験結果を併用することにより、効率的かつ精度よく推定する装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0032】

【図1】プロペラのキャビテーションパターンの例を示す図

【図2】数値流体力学(CFD)計算による水中騒音推定方法の手順を示す図

【図3】プロペラ単独性能曲線の例を示す図

【図4】船尾伴流の例を示す図

【図5】船速馬力曲線の例を示す図

【図6】プロペラ単独性能曲線の例を示す図

【図7】CFD計算上の受音点の説明図

【図8】CFD計算による水中騒音推定結果を示す図

【発明を実施するための形態】

【0033】

以下に、本発明の実施形態による航走体の水中騒音推定方法、水中騒音推定プログラム及び水中騒音推定装置について説明する。なお、本実施形態における航走体は船舶としているが、本発明は、航走体が水面を航走可能な浮体、水中を航走する潜水艦、又はAUV

(自律型無人潜水機)等である場合にも適用できる。

【0034】

図1はプロペラのキャビテーションパターンの例を示す図であり、図1(a)はプロペラAのキャビテーションパターン、図1(b)はプロペラBのキャビテーションパターンである。各図において、色の濃い部分がキャビテーションの発生箇所を示している。なお、プロペラAはCP(Conventional Propeller)、プロペラBはHSP2(Highly Skewed propeller)である。

船舶による水中騒音の主たる原因はプロペラキャビテーションである。したがって、本実施形態ではプロペラキャビテーションにより発生する水中騒音を推定する。

【0035】

図2は、本実施形態による数値流体力学(CFD)計算による水中騒音推定方法の手順を示す図である。

まず、事前準備を行う。事前準備では、船体やプロペラ等の形状条件及び運航条件を入力し、水槽試験等により船舶についての試験を行った試験結果や計測結果として、プロペラ性能、船尾伴流、機関特性及びキャビテーション数に関するデータを取得し、取得したデータをHDD(Hard Disk Drive)等の記憶装置に記録する。本実施形態におけるプロペラ性能は、プロペラ単独性能であることが好ましい。また、本実施形態における機関特性は、機関出力試験及びスラストトルク計測により求めた機関出力及びスラストトルクであることが好ましい。

なお、試験結果として船尾伴流又はキャビテーション数を求めるに当たっては、船舶の船体姿勢と船尾波高を受け異なってくるところ、精度を高めるため、船舶の船体姿勢と船尾波高の少なくとも一方を考慮することが好ましい。

【0036】

事前準備においては、対象船舶のプロペラ形状及びプロペラ回転数といった試験条件を、キーボード、マウス又はタッチパネル等の入力手段を用いてコンピュータに入力し(プロペラ試験条件入力ステップS101)、CFD計算による解析を行い、又は上記の条件に基づいてプロペラ水槽試験を実施し、得られた結果に対して必要に応じて修正式を用いた修正を行うことにより(プロペラ試験ステップS102)、プロペラ単独性能を取得する(プロペラ試験結果取得ステップS103)。取得したプロペラ単独性能特性(POC)は、プロペラ単独性能曲線で表す。なお、CFD計算による解析結果を、プロペラ水槽試験結果をもって合わせ込むことを繰り返すことにより、CFD計算だけでもプロペラ水槽試験結果と同等のプロペラ単独性能を取得することが可能になる。このCFD計算で得られるプロペラ単独性能もここでは試験結果として扱う。

また、対象船舶の船体形状及び船速といった試験条件を、入力手段を用いてコンピュータに入力し(船体試験条件入力ステップS201)、CFD計算による解析を行い、又は上記の条件に基づいて、水槽試験、実船試験(計測)を実施し各種相関を用いることにより(船体試験ステップS202)、船体姿勢、船尾波高、船尾伴流、機関出力及びスラストトルクを取得する(船体試験結果取得ステップS203)。なお、船尾伴流は、船尾伴流実船試験により求めた実船スケール伴流であることが好ましいが、船尾伴流水槽試験により求めた模型スケール伴流であってもよい。

なお、CFD計算による解析結果を水槽試験結果、実船計測結果をもって合わせ込むことを繰り返すことにより、CFD計算だけでも水槽試験結果、実船計測結果と同等の船体姿勢、船尾波高、船尾伴流、機関出力及びスラストトルク結果を取得することが可能になる。これらのCFD計算で得られる船体姿勢、船尾波高、船尾伴流、機関出力及びスラストトルクもここでは試験結果として扱う。

ここで、図3はプロペラ単独性能曲線の例を示す図である。図3において、 $K_T$ はスラスト係数、 $K_Q$ はトルク係数、 $\eta_p$ はプロペラ単独効率、 $J$ は前進常数である。

また、図4は船尾伴流の例を示す図である。

【0037】

事前準備の後、図2に示すように、CFDによるプロペラキャビテーションシミュレー

10

20

30

40

50

ションを行う。

まず、入力手段を用いて、船舶の騒音推定条件をコンピュータに入力する（条件取得ステップS10）。騒音推定条件は、船体及びプロペラの形状等に関する形状条件、並びに船速、波浪、機関出力、又はプロペラ回転数等の運航条件である。コンピュータには、本実施形態による水中騒音推定方法を実行するプログラムがインストールされている。

コンピュータは、条件取得ステップS10で取得した騒音推定条件に基づいて、数値流体力学（CFD）計算によるプロペラキャビテーションシミュレーションを行う（CFD計算ステップS20）。CFD計算ステップS20は、第1のCFD計算ステップS21と、第2のCFD計算ステップS22と、第3のCFD計算ステップS23とからなる。

CFD計算の過程では、事前準備で取得した試験結果を抽出し（試験結果抽出ステップS30）、CFD計算へ反映して補正を行う（補正ステップS40）。試験結果抽出ステップS30は、第1の試験結果抽出ステップS31と、第2の試験結果抽出ステップS32と、第3の試験結果抽出ステップS33とからなる。また、補正ステップS40は、第1の補正ステップS41と、第2の補正ステップS42とからなる。

【0038】

まず、騒音推定条件に基づいてCFD計算を行い（第1のCFD計算ステップS21）、船尾伴流を算出する。

また、船体試験結果取得ステップS203で取得した試験結果から船尾伴流のデータを抽出する（第1の試験結果抽出ステップS31）。

【0039】

第1のCFD計算ステップS21及び第1の試験結果抽出ステップS31の後、騒音推定条件及び試験結果としての船尾伴流に基づいてCFD計算を行い（第2のCFD計算ステップS22）、スラスト係数 $K_T$ を算出する。

また、船体試験結果取得ステップS203で取得した試験結果から機関出力及びスラストトルクのデータを抽出する（第2の試験結果抽出ステップS32）。

【0040】

第2のCFD計算ステップS22において、スラスト係数 $K_T$ は、機関特性に基づいて下式（1）から算出する。

【数1】

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad \dots(1)$$

ここで、 $T$ はプロペラに働く推力、 $\rho$ は水の密度、 $n$ はプロペラ回転数、 $D$ はプロペラ直径である。

【0041】

プロペラに働く推力 $T$ は、実船試験で得られた試運転データ等により例えば図5に示すような船速馬力曲線が与えられている場合は、この船速馬力曲線を用いて算出することができる。船速馬力曲線から制動馬力（BHP）を求め、下式（2）、（3）からプロペラに働く推力 $T$ を算出できる。

【数2】

$$THP(kW) = BHP \cdot \eta_T \quad \dots(2)$$

【数3】

$$T(N) = \frac{THP \cdot 1000}{V_S} \quad \dots(3)$$

10

20

40



ここで、 $T H P$ は伝達馬力、 $\tau$ は船舶の伝達効率、 $V_s$ は船速である。

なお、船速馬力曲線が与えられていない場合は、 $C F D$ 計算又は水槽試験によって制動馬力( $B H P$ )を推定する。

【0042】

第2の $C F D$ 計算ステップ $S 2 2$ 及び第2の試験結果抽出ステップ $S 3 2$ の後、算出したスラスト係数 $K_T$ が目標値である所定のスラスト係数( $T a r g e t \ K_T$ )の範囲内にあるか否かを判断する(スラスト係数判断ステップ $S 5 0$ )。

スラスト係数判断ステップ $S 5 0$ において、スラスト係数 $K_T$ が目標値の範囲内ないと判断した場合は、スラスト係数 $K_T$ を目標値に合わせるために、プロペラ試験結果取得ステップ $S 1 0 3$ で取得した試験結果としてのプロペラ単独性能曲線を基に前進常数 $J$ を調整し(第1の補正ステップ $S 4 1$ )、第1の $C F D$ 計算ステップ $S 2 1$ に戻り、再度船尾伴流を算出する。

ここで、図6(a)はスラスト係数 $K_T$ を目標値に収めるために使用するプロペラ単独性能曲線の例であり、図6(b)は、図6(a)を用いて再現したスラスト係数 $K_T$ の例である。プロペラキャビテーションシミュレーションを行う上で、スラスト係数 $K_T$ は、目標値である所定のスラスト係数( $T a r g e t \ K_T$ )に対し、4%以内の精度で再現することが好ましく、3%以内の精度で再現することがより好ましい。

このように、スラスト係数 $K_T$ を目標値に収束させるために、プロペラ性能としてのプロペラ単独性能曲線を基に第1の $C F D$ 計算ステップ $S 2 1$ 及び第2の $C F D$ 計算ステップ $S 2 2$ を繰り返すことで、流速を調整しスラスト係数 $K_T$ を精度よく再現し、プロペラキャビテーションシミュレーションを正確に行うことができる。特にプロペラ試験結果取得ステップ $S 1 0 3$ において取得したプロペラ性能が、プロペラ水槽試験により求めたプロペラ単独性能である場合には、精度が得易いプロペラ水槽試験により求めたプロペラ単独性能に基づいて $C F D$ 計算の結果を補正するため、水中騒音の推定精度を高めることができる。

【0043】

スラスト係数判断ステップ $S 5 0$ において、スラスト係数 $K_T$ が目標値の範囲内にあると判断した場合は、次の $C F D$ 計算を行い(第3の $C F D$ 計算ステップ $S 2 3$ )、水中音圧としての船尾変動圧を算出する(船尾変動圧計算ステップ $S 2 4$ )。船尾変動圧の計算結果は、プリンタやモニタ等の出力手段に出力される。

【0044】

船尾変動圧を $C F D$ 計算により算出するにあたっては、キャビテーション数 $\sigma_n$ を決定する。キャビテーション数 $\sigma_n$ は、下式(4)から算出する。

【数4】

$$\sigma_n = \frac{p_0 - p_v}{\frac{1}{2}\rho(nD)^2} \quad \dots(4)$$

ここで、 $p_0$ は基準圧力、 $p_v$ は飽和蒸気圧である。基準圧力 $p_0$ は下式(5)から算出する。

【数5】

$$p_0 = p_{atm} + \rho g(I - 0.7R) \quad \dots(5)$$

ここで、 $P_{atm}$ は大気圧、 $g$ は重力加速度、 $I$ はプロペラ没水深度、 $R$ はプロペラ半径である。

【0045】

キャビテーション数 $\sigma_n$ を正確に求めるため、式(5)において、プロペラ没水深度 $I$ は、船体姿勢及び船尾波高を考慮して求めることが好ましい。コンピュータは、船体試験結果取得ステップ $S 2 0 3$ で取得した船体姿勢及び船尾波高を抽出し(第3の試験結果抽

出ステップ S 3 3)、CFD 計算により算出した船体姿勢及び船尾波高を、抽出した船体姿勢及び船尾波高で補正する(第2の補正ステップ S 4 2)。これにより、算出した船体姿勢及び船尾波高の精度を高めることができる。

なお、キャビテーション数は、キャビテーション水槽試験、模型試験を通じた運航状態の推定、及び実船試験を通じた運航状態の推定の少なくとも一つによりキャビテーション数を求め、第3のCFD 計算ステップ S 2 3で算出したキャビテーション数を補正してもよい。これにより、水中騒音の推定精度を高めることができる。

#### 【0046】

図7はCFD 計算上の受音点の説明図であり、図7(a)は船尾変動圧を評価するための船体船尾部に相当する平板(FLAT PLATE)を投入した試験水槽中の側面図、図7(b)は図7(a)の平板の平面図である。

船尾変動圧計算ステップ S 2 4において水中音圧としての船尾変動圧を推定する際には、プロペラの直上(プロペラ上端と船体との隙間であるチップクリアランス位置)の船尾変動圧が最も大きい位置を特定し、その位置においてシミュレーション結果を使用して水中音圧を推定することが好ましい。これにより、水中音圧を的確に精度よく推定できる。なお、水中音圧は、船尾変動圧が最大となる点からプロペラ半径に相当する距離までの所定範囲内の位置で推定することが好ましく、プロペラの直上の船尾変動圧が最大となる点において推定することがより好ましい。船尾変動圧が最大となる点からプロペラ半径に相当する距離よりも離れた位置で推定した場合は、水中音圧を的確に精度よく推定することが困難となる。

#### 【0047】

船尾変動圧計算ステップ S 2 4の後、周波数解析を含む後処理を行い(後処理ステップ S 6 0)、周波数ごとの音圧レベルを計算する(音圧レベル計算ステップ S 6 1)。これにより、船尾変動圧の計算結果を基に水中騒音の音圧レベルを求めることができる。

本実施形態におけるCFD 計算は、模型スケールで行っているため、音圧レベル計算ステップ S 6 1の後、得られた音圧レベルを、尺度影響を考慮して修正を行う(尺度影響修正ステップ S 7 0)。これにより、実船による騒音のプロペラキャビテーション音源レベルが推定できる(実船音源レベル推定ステップ S 7 1)。なお、模型-実船の尺度影響修正は、ITTC(国際試験水槽委員会)で定められている方法やLevkovskiiの方法など、公知の方法を用いて行うことができる。

#### 【0048】

図8はある船舶に、異なる2つのプロペラ(CP: Conventional Propeller, HSP2: Highly Skewed propeller)のCFD 計算による水中騒音推定結果を示す図である。

図8において、横軸は1/3オクターブバンド中心周波数、縦軸は音圧レベルであり、実線でCFD 計算の結果を示し、四角記号を連ねる実線で実船計測の結果を示している。何れの結果も、CFD 計算の結果と実測値が近似していることが分かる。

#### 【0049】

以上説明したように、本実施形態による水中騒音推定方法は、船舶等の航走体の騒音推定条件を入力し、航走体の騒音推定条件に基づいて数値流体力学(CFD) 計算を行ない、数値流体力学(CFD) 計算の過程で航走体に関する試験結果を抽出して数値流体力学(CFD) 計算へ反映して補正を行い、航走体による水中音圧としての変動圧を数値流体力学(CFD) 計算と試験結果を併用して求めることで、航走体が発する水中騒音を効率的かつ精度よく推定することができる。

また、水中騒音推定方法の各ステップをコンピュータに実行させるための水中騒音推定プログラムを提供できる。

また、船舶の騒音推定条件を入力する条件入力手段と、コンピュータと、船尾変動圧の計算結果を出力する出力手段とを備え、水中騒音推定プログラムを利用した水中騒音推定装置を提供できる。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0050】

10

20

30

40

50

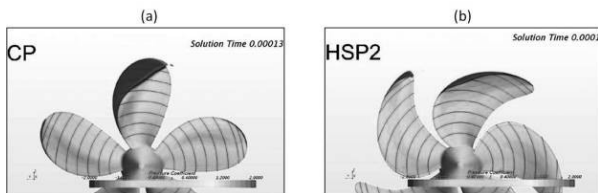
本発明の航走体の水中騒音推定方法、水中騒音推定プログラム及び水中騒音推定装置は、航走体が発する水中騒音をCFD計算と試験結果を併用することにより効率的かつ精度よく推定することができるため、例えば、水中騒音が水中生物に与える影響を調査する際のツールとして使用することができる。

【符号の説明】

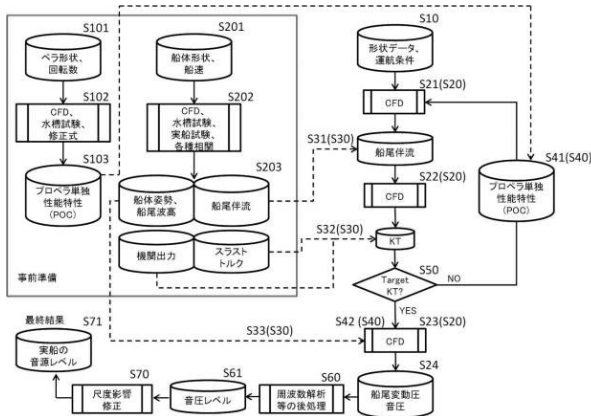
【0051】

- S10 条件取得ステップ
- S20 CFD計算ステップ
- S24 船尾変動圧計算ステップ
- S30 試験結果抽出ステップ
- S40 補正ステップ
- S61 音圧レベル計算ステップ
- S70 尺度影響修正ステップ

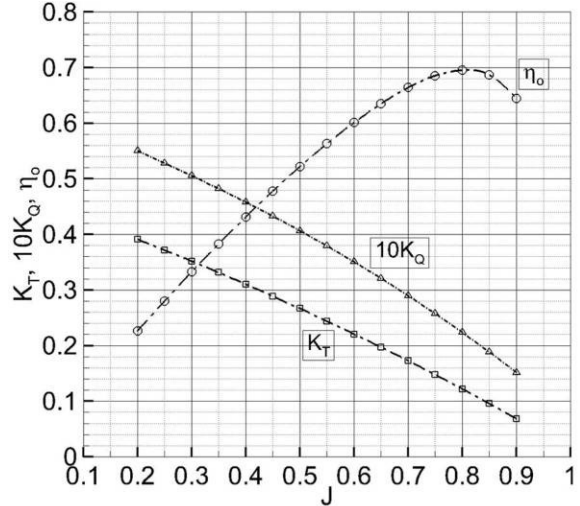
【図1】



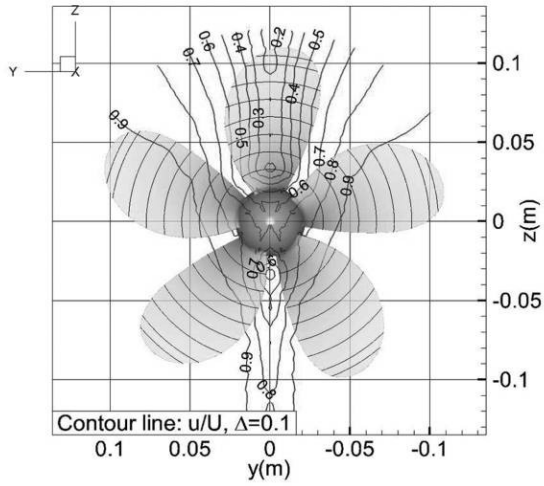
【図2】



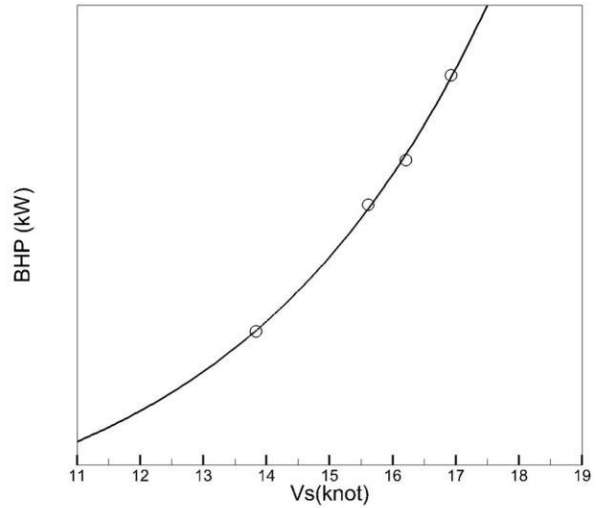
【図3】



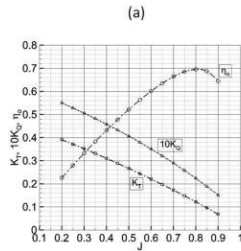
【 図 4 】



【 図 5 】



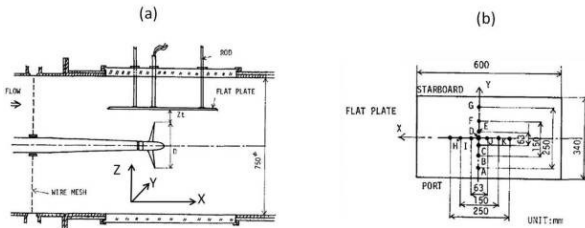
【 図 6 】



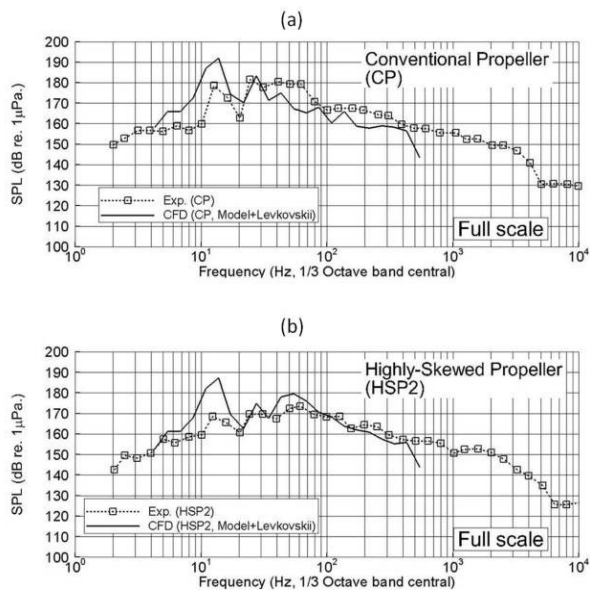
(b)

	$K_t$ (target)	$K_t$ (achieved)
プロペラA	0.207	0.210
プロペラB	0.201	0.200

【 図 7 】



【 図 8 】



## フロントページの続き

(72)発明者 坂本 信晶

東京都三鷹市新川 6 丁目 3 8 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 上入佐 光

東京都三鷹市新川 6 丁目 3 8 番 1 号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

審査官 結城 健太郎

(56)参考文献 特開 2 0 1 0 - 3 6 6 0 0 ( J P , A )

特開 2 0 1 0 - 3 8 5 5 6 ( J P , A )

川村隆文, " 連載 船舶CFDの最前線 第 3 回 推進器シミュレーション ", KANRIN ( 咸臨 ), 日本, 日本船舶海洋工学会, 2015年09月10日, 第62号, p.43 46, DOI:10.14856/kanrin.62.0 43 , ISSN 2424 161X(online), 1880 3725(print)

上入佐光, 後藤英親, " 気泡力学による船舶水中雑音予測法の開発 ", 三井造船技報, 日本, 三井造船株式会社, 2005年06月30日, 第185号, p.38 44, ISSN 0026 6825

Thomas Lloyd, Douwe Rijpkema, Erik van Wijngaarden, " Marine propeller acoustic modelling: comparing CFD results with an acoustic analogy method ", Proceedings of Fourth International Symposium on Marine Propulsors, smp'15, 米国, smp chair committee, 2015年 , p.678 689, ISBN 978 0 9964594 4 0

大橋訓英, 日野孝則, 坂本信晶, " 推進器影響を考慮した波浪中船体周り流れのシミュレーション ", 数値流体力学シンポジウム講演予稿集, 日本, 日本流体力学学会, 2013年12月, 第27回, p. 1 5

黄鎮川, 川村隆文, 竹腰善久, 藤井昭彦, 木村校優, 竹谷正, " 翼端荷重度の異なる船用プロペラに発生する非定常キャビテーションに関する数値シミュレーション ", 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 日本, 日本船舶海洋工学会, 2009年05月, 第8号, p.309 312, ISSN 1880 6538

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)

B 6 3 B 7 1 / 1 0 - 7 1 / 2 0 ,

B 6 3 H 5 / 0 7