

令和 2 年 6 月 2 日現在

機関番号：53203

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2019

課題番号：16K14510

研究課題名（和文）インナープロペラモーターコルトノズルの基礎開発研究

研究課題名（英文）Development of Motor Driven Inner Propeller in Colt Nozzle

研究代表者

賞雅 寛而（TAKAMASA, Tomoji）

富山高等専門学校・その他部局等・校長

研究者番号：20134851

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、新しく本研究で提唱されたインナープロペラモーターコルトノズルを開発することである。インナープロペラの試作及びプロペラまわりの流動シミュレーションなどの予備解析の結果、「流速の変化に対応した最適プロペラ効率を得るため、プロペラ翼角を2つの同期モーターの回転制御によって制御する方式（インナーCPPプロペラ）」の開発を主目的とした。作成されたプロペラ翼角を2つの同期モーターの回転制御によって制御する方式（インナーCPPプロペラ）のデモモデルによる実験の結果、管内インナーCPPプロペラは通常のコルトノズルプロペラよりも流体加速機構として優れていることを定量的に明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コルトノズル内にモーターを設ける推進システム、またこのインナープロペラモーターにより、機構の簡略化・効率向上を目的とした研究例は国内外にはなく、本研究の独創性は高い（特許出願準備中）と考えられる。なおこの研究ではコルトノズルを対象としたインナープロペラモーターの基礎研究開発を行ったが、得られた研究結果は軸流ポンプなどのプラントポンプシステム、発電システムにも適用でき、研究成果の波及的意義は非常に大きいと考えられる。

研究成果の概要（英文）：A new type of Motor Driven Inner Propeller in Colt Nozzle has been developed and designed in this study. The nozzle has some special and unique features that set it apart from existing propulsion system. First, it utilizes a motor driven inner propeller without center hub which reduces propulsion efficiency. A pair of double reversal and variable pitch propeller is installed in the nozzle, which is a much higher efficiency than is possible under conventional colt nozzle propulsion systems. A modal shift to use of such high efficiency propulsion system could lead to significant reduction in environmental pollution. Another advantage of the system is the direct motor-driven propulsion system, which produces significantly less vibration and noise while the ship is running. The simulation revealed that the running cost for the Motor Driven Inner Propeller in Colt Nozzle is about 90 % that for a conventional colt nozzle with the same horsepower.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：船舶工学 海洋工学 推進・運動性能 プロペラ効率

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

コルトノズルは、船のプロペラが配置される円錐状に先細になったチューブである。ノズルはプロペラ翼と同様、翼型をしており、プロペラの回転によって生じるノズルのまわりの水流によってノズルから揚力を得、推進効率を上げることができる（図1）。コルトノズルの流体抵抗は船の速度が増加するとともにおよそ二次的に増加するので、その利点は特に大きなプロペラ推力を有する低速船（例えば引船、漁船など）に用いられている。ノズルと舵の取り合いの関係から、コルトノズルはほとんどアジマス型プロペラに用いられるが、その場合駆動をノズル支持軸からとらなければならないこと、またプロペラボス内にピニオンギアを組まなければならないことから、プロペラ単独効率が低いなどの欠点を持つ。

ここで、研究代表者らは世界初の急速充電対応型電池推進船「らいちょう I」及びこれも世界初のモーター駆動ウォータージェット船「らいちょう S」を開発建造した¹⁻³⁾。その革新性が学術的・産業的にも高く評価され、「日本シップ・オブ・ザ・イヤー2010（小型旅客船部門）」（日本船舶海洋工学会）及び「日本ポート・オブ・ザ・イヤー2010 特別賞」（日本ポート・オブ・ザ・イヤー実行委員会）を受賞している。この電池推進船らいちょうシリーズの電気推進運航研究の中で、モーターの周期制御をすることにより操舵応答性が大きく向上する技術が開発⁴⁾された。またノズル内に固定子・回転子を有するインナープロペラモーターコルトノズルの基礎研究を行ってきており、このシステムによって、駆動軸・ピニオンギア及びボスを省略することができ、機構の簡略化かつプロペラ単独効率及び推進効率を大幅に向上させることができることを計算結果から示している。

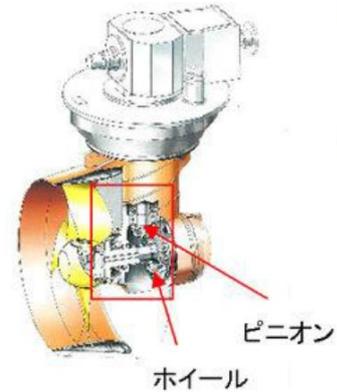


図1 コルトノズル
（アジマスプロペラ式）

2. 研究の目的

コルトノズルは、船のプロペラが配置される円錐状チューブであり、ノズルのまわりの水流によって揚力が得られ、推進効率が高い。しかしながら、駆動をノズル支持軸からとらなければならないこと、またプロペラボス内にピニオンギアを組まなければならないことから、プロペラ単独効率が低い。研究代表者らは、ノズル内に固定子・回転子を有するインナーモーターによって、駆動軸・ピニオンギア及びボスを省略することができ、機構の簡略化かつプロペラ単独効率を大幅に向上させることができることを計算結果より示した。本研究では、このインナープロペラモーターコルトノズルを実用化するために、インナープロペラの試作及びプロペラまわりの流動シミュレーションを行い、プロペラ単独効率及び推進効率の向上特性を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、専門家体制をもって、3年間の研究期間内に、1) シングル及び二重反転インナープロペラモーターの流動シミュレーションによるプロペラ効率及び推進効率の向上データを用いて、100V1kW 小型の 2) シングルインナープロペラモーターの概念設計・試作を行う。次に海洋大学の保有する回流水槽及び実験水槽を用いて 3) 流動性能計測実験を行い、この結果と流動シミュレーション結果により、4) インナープロペラモーターコルトノズルの最適化を検討する。さらにこれらの結果をもとに、5) 二重反転インナープロペラコルトノズルの設計指針を提案する。初年度である平成28年度は上記項目 1)、次年度の平成29年度は 2)、3) を最終年度である平成30年度は 4)、5) のそれぞれの項目を中心に実施するが、これら項目は互いにフィードバックする。

初年度である平成28年度は、1) シングル及び二重反転インナープロペラモーターコルトノズル（図2）の流動シミュレーション、及び 2) シングルインナープロペラモーターの概念設計・試作を行う。プロペラ回りの流動シミュレーションは、担当者（波津久）、研究補助員及び大学院生によって行われる。これまで担当者は、流動シミュレーションプログラムソフト（有限体積分法熱流体解析ソフトライセンス ANSYS Academic Research CFD）を用いた駆動体周辺の流動解析による多くの研究業績があり、ボスレスプロペラまわりの流動については予備的解析をすでに行っている（図3）。流動シミュレーションのパラメーターは、シングル及び二重反転共に、ボスポイド（プロペラ中心部の空隙）、翼枚数、回転数及びノズル長さ・角度であり、3次元流動計算によるスラスト力等より、2) シングルインナープロペラモーターの概念設計（翼枚数、スラスト軸受け構造、回転子・固定子構造等）と試作を行う（担当者：大出（研究協力者））。なおモーター構造・プロペラ構造については、事前に簡単な試算・設計が行われ、各構造に大きな問題が無いことが確認されている。またこれらモーター及びインナープロペラの試作は、これまで共同研究実績のある株式会社安川電機及びトーハツ株式会社の設計グループの協力を得て行う。

平成29年度は初年度の検討結果を踏まえ、引き続き前年同様、1) シングル及び二重反転インナープロペラモーターの流動シミュレーション、及び 2) シングルインナープロペラモーターの試作（既存の100V1kW級高トルクモーターにインナープロペラ・スラスト軸受けを付与して改

造（スラストが翼外端になるが、新しく設計製造すると高価なため、インナープロペラは既存のボス付きのプロペラを加工する）を行うとともに、回流水槽及び実験水槽を用いて 3) 流動性能計測実験を行う。基本的な設定パラメーターは回転数、回流速度（プロペラ周囲速度）などであり、計測項目はプロペラ回り流速分布船速、スラスト力、消費電力などである。実験及び評価は、担当者（賞雅）、研究補助員及び大学院生によって行われる。流動実験実施は東京海洋大学越中島キャンパスポンド回流水槽及び実験水槽、実験解析は同産学地域連携推進機構実験室・動力エネルギー工学実験室で、それぞれ行われる。前者については実験期間の専有的使用が許可されている。また上記計測項目に関する計測器など十分な精度を持った計測系のほとんどがそれぞれの実験室に既設（例えば流速分布は動力エネルギー工学教室所有の蛍光トレーサー用ダブルショットレーザー及び高速度ステレオビデオカメラによって計測される）であり、これも専有的使用が可能である。後者の各実験室は、それぞれすでに PIV 流速分布解析ソフトなどの基礎的解析系装置が装備されており、これも専有的使用が可能である。

最終年度である平成 30 年度は、これまでのシミュレーション及び実験結果を最終的に取りまとめ（担当者：賞雅・大出・波津久）、4) インナープロペラモーターコルトノズルの最適化を検討し、これらの結果をもとに、5) 二重反転インナープロペラモーターコルトノズル（図 2）の設計指針を提案する。また前述のように、プラントなどの流動ポンプ及び流動発電機を二重反転インナープロペラモーター化（図 4）することにより、流動ダクト直管化、ボスレスによる流体抵抗低減及びプロペラ回転エネルギーの吸収が可能になり、大幅なプラントエネルギー効率の向上を図ることができる。したがってプラントのポンプ・発電機への適用研究も次段階研究として行う。

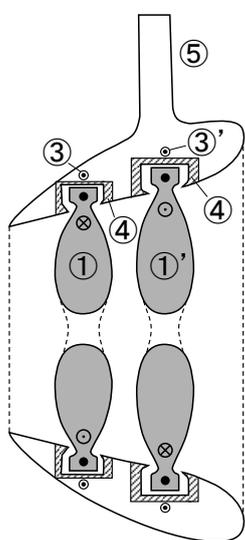


図 2 二重反転インナープロペラモーターコルトノズル

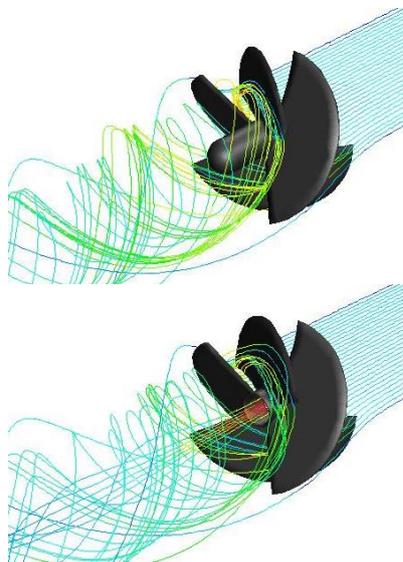


図 3 ボスの有無による流動パターン

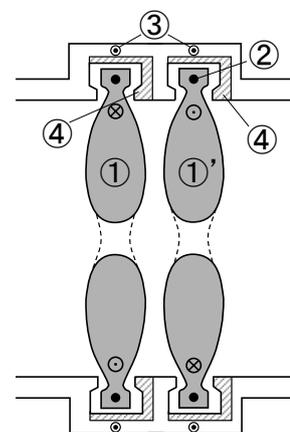


図 4 二重反転インナープロペラモーター軸流ポンプ

4. 研究成果

(1) 成果概要

前述のように本事業の目的は、新しく本事業で提唱されたインナープロペラモーターコルトノズルを実用化するために、インナープロペラの試作及びプロペラまわりの流動シミュレーションを行い、プロペラ単独効率及び推進効率の向上特性を明らかにすることであり、期間全体として下記項目を行った。

- ① シングル及び二重反転インナープロペラモーターコルトノズルの流動シミュレーション。
- ② シングルインナープロペラモーターの概念設計・試作。プロペラ回りの流動シミュレーションは、予備研究でも使用されていた流動シミュレーションプログラムソフト（有限体積法熱流体解析ソフト）を用い、3次元流動計算によるスラスト力等より、シングルインナープロペラモーターの概念設計（翼枚数、スラスト軸受け構造、回転子・固定子構造等）を行った。
- ③ 「流速の変化に対応した最適プロペラ効率を得るため、プロペラ翼角を 2 つの同期モーターの回転制御によって制御する方式（インナーCPP プロペラ）」に限定し、これについての動作シミュレーションを行った。
- ④ 3D-printer により、プロペラ翼角を 2 つの同期モーターの回転制御(図 5)によって制御する方式（インナーCPP プロペラ）のデモモデルを製作し、その動作が有効であることを確認した(図 6)。また 2 重反転機構の解析も行った(図 7)。動作結果をもとに、インナーCPP プロペラモーターの概念設計（スラスト軸受け構造、回転子・固定子構造等）を行った(図 8)。

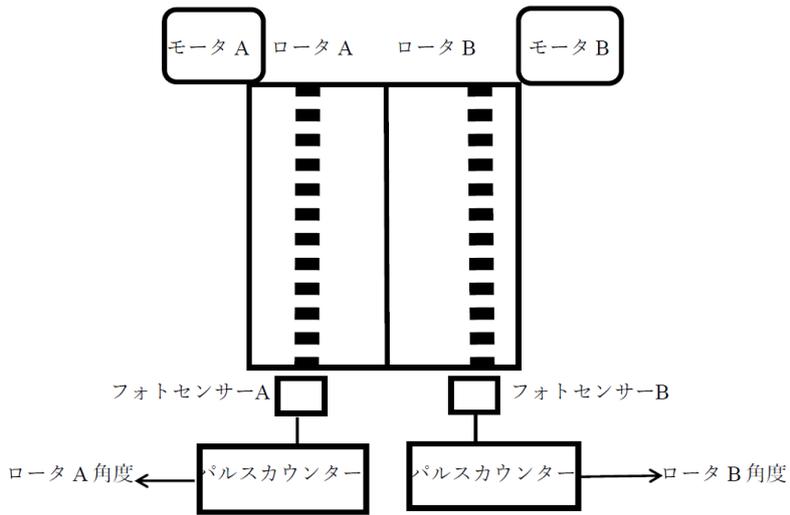
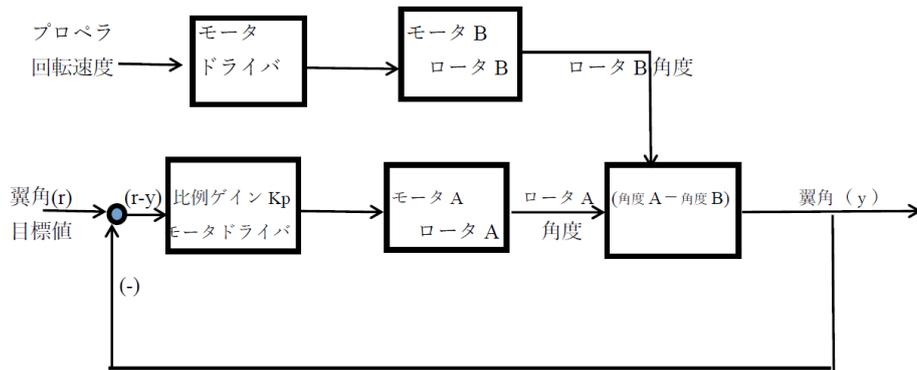
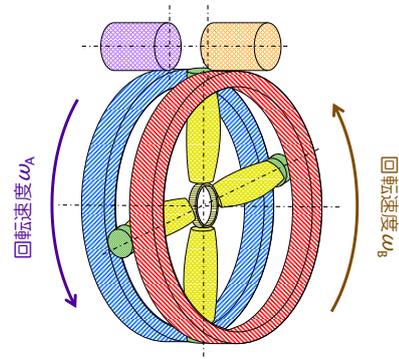
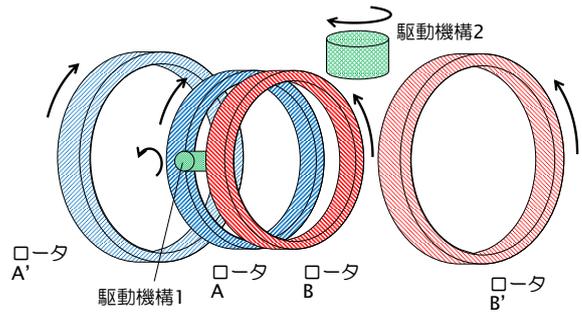


図5 同期モーター回転制御



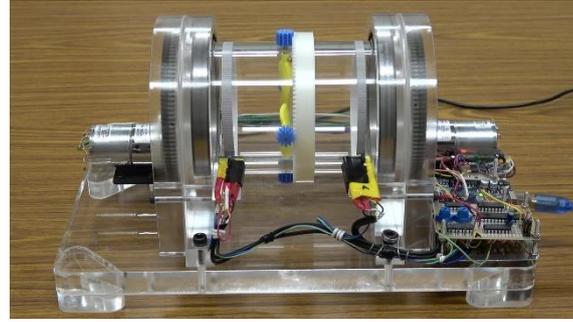
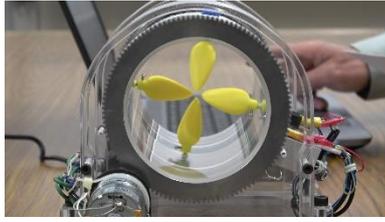
- 駆動機構にてロータを回転
- ロータの位相を検知しながら目的の速度でプロペラを回転
- ロータ間の回転速度を変化させることで位相をずらし内部のプロペラピッチ角を変化させる
⇒ 例えば、ピッチ角を変化させる時には、目的の位相差になるまで $\omega_A \neq \omega_B$ で駆動

図6 組立図・機構説明

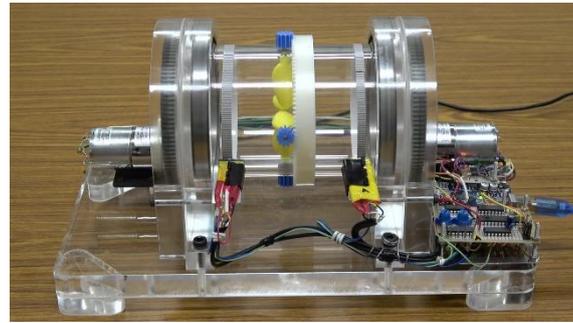
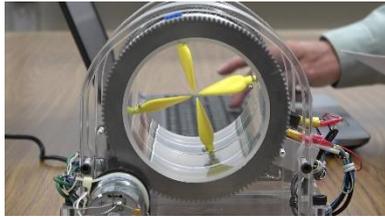


- ロータ A, B の外側にある駆動機構 2 (駆動機構 1 と反転) にてアウターロータ A', B' を回転
- ロータ A-A' 及び B-B' 間の回転速度を変化させることで位相をずらし、内部のプロペラピッチ角を変化させる

図7 二重反転 CPP



(1) プロペラピッチ小



(2) プロペラピッチ大

図8 インナープロペラ模型

これらのシミュレーション及びデモ機実験の結果、管内インナーCPP プロペラは通常の管内ボス式プロペラよりも流体加速機構として優れていることを定量的に明らかにした。特に水平管内の気液分離流は、管内ボス式プロペラによる液相の加速は気液界面の乱れを生じるために難しいが、インナーCPP プロペラの場合、入出水角度を界面近傍の液流速に合わせられるために、界面の乱流エネルギー生成を抑制することができ、著しく効率を上げられることを示した。

水平管内気液分離流による発電においても、プロペラの入出水角度を液流速に合わせられれば、発電効率は著しく高くなる(図9)。水平管内気液分離流はインフラ設備内に多く見られる流れであるので、適用範囲は広い。

管内インナーCPP プロペラの動作機構についての特許出願のために、研究論文の発表は、期間全体を通して行っていない。

(2) 特許出願及び発表

当初令和2年3月に特許出願手続きを終える予定であったが、学内外知財手続きが遅れているため7月ごろの出願になる予定である。特許出願後の研究論文3報の投稿準備を終えている。

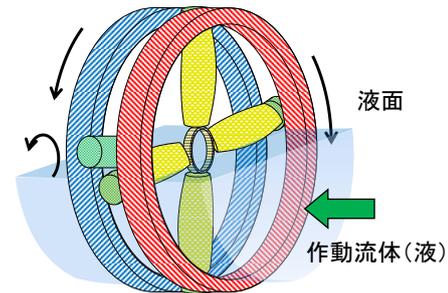


図9 水平管内気液分離流の加速

<引用文献>

- 1) 賞雅寛而, 波津久達也, モーター駆動ウォータージェット推進船の開発, 混相流, 27巻, 1号, pp. 30-37, 2013.
- 2) 賞雅寛而, 急速充電対応型電池推進船「らいちょうI」の開発, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第47巻, 第1号, pp. 9-16, 2012.
- 3) 賞雅寛而, 大出剛, 急速充電対応型電池推進船(モーター駆動ウォータージェット推進船)「らいちょうS」の開発, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第47巻, 第1号, pp. 17-22, 2012.
- 4) 田島宏一, 波津久達也, 清水悦郎, 大出剛, 賞雅寛而, モーター駆動ウォータージェット推進船の周期制御による旋回性能の向上, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第50巻, 第3号, pp. 101-106, 2015.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

急速充電対応型電池推進船開発プロジェクト
<http://www2.kaiyodai.ac.jp/~takamasa/kaiyodai-ees-project/>
 東京海洋大学 海洋工学部 動力エネルギー工学研究室
<http://www2.kaiyodai.ac.jp/~takamasa/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	波津久 達也 (HAZUKU Tatsuya) (60334554)	東京海洋大学・学術研究院・教授 (12614)	