

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月12日現在

機関番号：35403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21760340

研究課題名(和文) 強風時棧橋停泊のための CPP 翼角制御法の開発 ―一般化最小分散制御法の適用―

研究課題名(英文) Consideration regarding Automation of Controllable Pitch Propeller for Mooring Pier in Stormy Weather - Applying Generalized Minimum Variance Control -

研究代表者

土井 正好 (DOI MASAYOSHI)

広島工業大学・工学部・准教授

研究者番号：10442477

研究成果の概要(和文)：

係留索引張ロードを計測するロードセル及びセンサインターフェースを導入した。実験はCPP（可変ピッチプロペラ）翼角設定に対する係留索ロードを計測した。また強風時にかかる係留索のロードを計測した。次に船舶推進及び強風影響による係留索のロードモデルを設計し、MATLABシミュレーションによって一般化最小分散制御を適用し、その有効性を検証した。実験の結果、CPP翼角推進には明確なむだ時間があることを確認し、予測制御法の一手法である一般化最小分散制御を適用することによって、速応性のある目標値追従性を達成し、強風時などの悪天候において係留索にロードがかからない操船法を確立した。

研究成果の概要(英文)：

The purpose of this study is a design of an automatic peering system with a Controllable Pitch Propeller (CPP) in the case of the stormy weather. A velocity response of CPP has a delay time. Especially, this study verifies the ship's propelling force against the CPP angle and detects the delay time by analyzing the data of the propelling force. The CPP angle is controlled by Generalized Minimum Variance Control (GMVC). This study arranges the GMVC for the automatic mooring system. The proposed GMVC has wind and a tidal effect's terms. The wind effect's term is considered by the ship's drift with the wind. The predicted wind velocity is calculated by the AR model of wind change. The AR model of wind is used for the GMVC of the peering system.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2009年度 | 1,100,000 | 330,000 | 1,430,000 |
| 2010年度 | 1,300,000 | 390,000 | 1,690,000 |
| 2011年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,000,000 | 900,000 | 3,900,000 |

研究分野：若手研究(B)

科研費の分科・細目：電気電子工学

キーワード：可変ピッチプロペラ、推進運動モデル、ロードセル、係留索、一般化最小分散制御、翼角制御、むだ時間、潮流

1. 研究開始当初の背景

船舶は、エンジンを駆動させて得られるプ

ロペラ回転により推力を発生する。従来の船舶では、船速を調整するためにエンジンの回

転数を増減させる必要があった。しかしながら、エンジン回転数の頻繁な増減はエンジンに負担を与える。そこで、エンジン回転数を一定としてプロペラピッチ角度を可変構造とした可変ピッチプロペラが開発された(1961年)。この方式により、停止状態でもエンジンは定格回転を維持し、エンジン回転数を変えることなくプロペラピッチを調整することにより前後進・増減速が容易となった。現在、多くの船舶がCPPプロペラ方式を採用している。

最近においてCPPが普及したことにより、強風時でも棧橋停泊可能な操船法²⁾が試されるようになった。CPPを利用することによって、強風時に係留策にテンションがかかる状況において操船者は風の来る方向と強さを判断しながら風に対抗するCPP翼角を指示する。この方法では、船舶が棧橋を離岸する必要がなくなるものの、操船者は風向・風力を観察し、対抗可能なCPP翼角の判断を悪天候回避まで常に求められる。

2. 研究の目的

台風が近づくような強風時において、棧橋の係留策が強風の張力に耐えられないことから棧橋を離れ海上沖へ錨泊する操船法が一般的である。しかしながら、本操船法は沖での錨泊準備に際して乗組員を全員配置させる必要があり、沖に出ても強風により錨が流され(走錨)、海上に錨泊錯綜する近接船舶と衝突する危険性がある。このため、船舶乗組員は天候が安定するまで常に走錨を監視する労力を強いられる。最近、新たな操船法として、強風により係留索が引張られる方向に対して反対側の推進力を与え、係留索への負荷を軽減する操船法が試みられている。また、近年において係留索の材料強度が向上したことも本操船法の信頼性にも繋がった。従来において船舶推進力の増減はエンジン回転数により調整した。一方、最近の船舶は可変ピッチプロペラ(Controllable Pitch Propeller)を搭載する。CPP推進ではエンジン回転数を一定としてプロペラ翼角を可変とすることによって推進力が得られる。CPPは従来エンジンの回転数調整よりも速やかに推進力が得られる。よって、船舶への風圧を相殺するための棧橋停泊操船法は応答性のよいCPP推進の船舶において可能である。しかしながら、風速・風向を見ながらそれに対応したCPP翼角を調整することはベテラン操船者の経験と力量に頼る。もし、風速の急激な変化を見過ごしたならば、プロペラ推進によって係留索の負荷がかえって増大することとなる。そこで、本研究は強風下の棧橋停泊のCPP翼角調整をその時々風の風速・風向を検知しながら自動でCPP翼角を調整する制御系を設計する。ここでCPP翼角推進は従来

のエンジン回転数調整の推進よりも応答性に優れるものの、それでもCPP翼角設定から推進が始まるまでに10秒程度のむだ時間を含むことを確認した。そこで本研究では、設計制御法として予測制御法の一つである「一般化最小分散制御(GMVC: Generalized Minimum Variance Control)」を採用する。

3. 研究の方法

本研究は、風に対抗する推力を得るためのCPP翼角制御法を検討する。また、制御法はむだ時間システムに対して有効な一般化最小分散制御(GMVC)を設計する。ただし、GMVCを設計するには制御対象を一般的にはCARMAモデルにより表現する必要がある。そこで、制御系設計の前段階としてCPP推力及び風に対する船体運動のモデリング情報を弓削丸航海実験により収集解析する。本対象についてCARMAモデルを構築した上で、GMVC制御系設計の検討に進むことができる。このため、平成21年度はモデリングに必要なデータを収集し、制御対象のCPP翼角によって異なる「むだ時間」を特定する。平成22年度は航海実験から得られた船体運動データに基づいてCARMAモデルを構築する。平成23年度は制御対象のCARMAモデルについてGMVC制御則を導出し、CPP翼角制御系を設計する。さらに、モデル誤差に対して設計GMVCのロバスト性を検証する。

4. 研究成果

係留索引張ロードを計測するロードセル及びセンサインターフェースを導入した。実験はCPP(可変ピッチプロペラ)翼角設定に対する係留索ロードを計測した。また強風時にかかる係留索のロードを計測した。次に船舶推進及び強風影響による係留索のロードモデルを設計し、MATLABシミュレーションによって一般化最小分散制御を適用し、その有効性を検証した。

Fig. 1及びFig. 2はCPP翼角制御にGMVCを適用した結果である。Fig. 1が操作量であるCPP翼角、Fig. 2が制御量である船速の時間応答結果を示す。Fig. 1及びFig. 2は操作量重み $Q=0$ 、 $Q=0.5$ 、 $Q=3$ の結果を比較する。GMVCの操作量重み $Q=0.5$ は実線で示され、船速が 0.2m/sec まで抑えられている。点線の操作量重み $Q=0$ では、船速を 0.1m/sec まで抑えるもののCPP翼角が最高で 20.7° を指示するため現実には適用できない。一方、一点鎖線の操作量重み $Q=30$ では、操作量重みが大き過ぎるために船速抑制効果が得られず、船速は 0.7m/sec までしか抑えられない。これより、本制御対象では操作量重み $Q=0.5$ が最も応答性良く、船速も 0.2m/sec 以下に抑えることを確認した。なお、Fig. 1及びFig. 2の丸点線は、GMVCの風速項及び潮流項についてサーボ系に構成しなかった場合

のシミュレーション結果を示す。Fig. 2の結果から、風速項や潮流項についてサーボ系を構成しないとオフセットが残る。

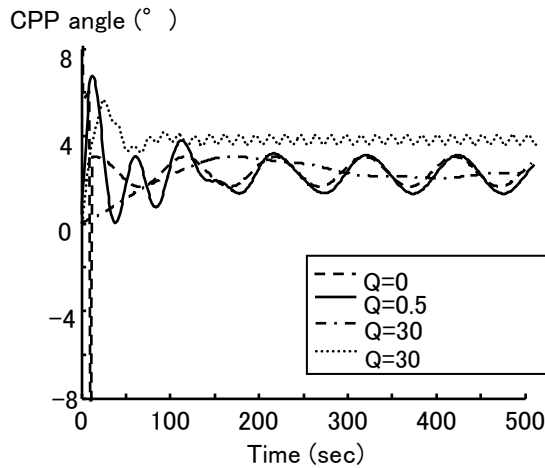


Fig.1 CPP control with GMVC

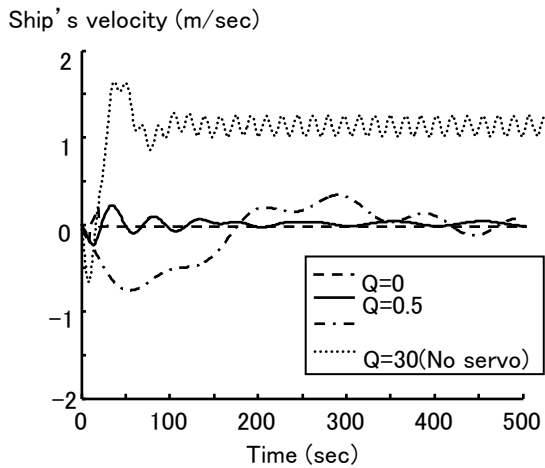


Fig.2 Velocity with GMVC

本研究では、CPP 翼角による船速応答の関係を ARMA モデルとして表現し、船体運動の実測値よりモデル推定を行った。また、風影響による船体漂流速を計測し、風速値に対する漂流速の関係を明らかにし、CPP 推進の ARMA モデル上で表現した。次に、制御対象をむだ時間システムとして捉え、風に対して船体漂流を抑える CPP 翼角制御のための GMVC 制御系を設計した。なお、設計 GMVC ではむだ時間先の風速値を用いるため、風速変化 AR モデルから風速予測値を算出した。最後に、シミュレーションにより GMVC を適用した棧橋停泊のための CPP 翼角制御法は、PID 制御よりも応答性を改善することを確認した。実験の結果、CPP 翼角推進には明確なむだ時間があることを確認し、予測制御法の一手法である一般化最小分散制御を適用することによって、速応性のある目標値追従性を達成し、

強風時などの悪天候において係留索にロードがかからない操船法を確立した。設計制御系の有効性はシミュレーションによる検証を行った。

当初の計画では設計制御則の計算結果を船舶に搭載した PC モニターに表示して CPP 翼角制御の効果を確認する予定であったが、本実験は台風通過の限られた気象条件における実験であるため、実適用可能な機会には遭遇できなかった。しかしながら、シミュレーション結果は、手動操船に替わる自動の CPP 翼角制御を実適用するための説得材料には繋がるため、今後において実験の機会を狙う予定である。

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 5 件)

- ① 土井正好、永本和寿、出縄憲一、森泰親、船舶の低速航行時における操舵応答性を改善する一般化最小分散制御の設計、計測自動制御学会論文集、査読有、47巻、2011、396-403
- ② 田島淳一、土井正好、森泰親、連続時間型一般化最小分散制御における部分的モデルマッチング法の提案、電気学会 電子・情報・システム部門誌、査読有、130巻、2010、1979-1986
- ③ 土井正好、森泰親、時変系のための一般化最小分散制御-直接擬似変換法による雑音特性の改善-、計測自動制御学会論文集、査読有、45巻、2009、298-304
- ④ 森泰親、高木彰浩、土井正好、異なるむだ時間を含む多入出力2自由度一般化最小分散制御、電気学会 電子・情報・システム部門誌、査読有、129巻、2009、1569-1575
- ⑤ 別所哲、土井正好、森泰親、Generalized Minimum Variance Control for MIMO System with Multiple Sampling Periods、SICE JCMSI、査読有、3巻、2009、145-150

[学会発表] (計 5 件)

- ① 土井正好、森泰親、Continuous-time Generalized Minimum Variance Control with Double Controller、8th Asian Control Conference (ASCC)、査読有、2011、1419-1423
- ② 土井正好、大阪穰、森泰親、船舶可変ピッチプロペラによる強風時棧橋停泊のための基礎実験、電気学会全国大会、査読無、2010、343-344
- ③ 土井正好、竹平哲也、永本和寿、大阪穰、森泰親、Applying Generalized Minimum

Variance Control for Ship's steering control system、SICE2010 in Taiwan、
査読有、2010、477～483

- ④ 土井正好、竹平哲也、森泰親、Generalized Minimum Variance Control with Pseudocommutation Applying Sylvester Matrix for Time Varying System、
ICCAS-SICE2009 in Fukuoka、査読有、2009、1A07-4
- ⑤ 土井正好、竹平哲也、永本和寿、森泰親、
Time Delay of Propelling force with Ship's Controllable Pitch Propeller (CPP)、
ICCAS-SICE2009 in Fukuoka、査読有、2009、1B06-1

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土井 正好 (DOI MASAYOSHI)
広島工業大学・工学部・准教授
研究者番号：10442477

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：