The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	船舶用オートパイロットの実践的設計手法
Author(s)	羽根, 冬希
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/92975
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　羽　根　冬　希　）	
論文題名	船舶用オートパイロットの実践的設計手法

論文内容の要旨

船舶用オートパイロットは高速航行中，舵角指令によって方位制御と航路制御を実現する。方位制御は設定方位に船首方位を，航路制御は計画航路に船体位置をそれぞれ追従させる。双方とも保持と旋回の機能をもつ。

本論文は，船舶用オートパイロットの制御システムを設計する手法を提案した。その制御システムは実適用性（実際の操船に適用できる），適応機能（運航状況や海象環境に適応できる）と制御性能（制御仕様を満足できる）の特性を有し，通常操船状態から船体パラメータや制御ゲインなどを自動調節できる自己完結型を目指した。制御仕様はレギュレータ問題（閉ループ安定性と外乱除去性）とサーボ問題（追従応答性）から設定した。

本設計手法は上記特性を獲得するため，次の手段を講じた。

・実適用性のため，制御対象を船体モデルと外乱モデルから構成した。前者はyaw運動，sway運動と操舵機の各モデルで設定した。運動モデルは１次応答モデルを定め，新規性のあるswayモデルを導入した。外乱モデルの波浪モデルは方位信号の波浪成分除去に利用した。さらに，操舵機モデルは指令舵角とその舵速度に入力制限を与えた。

・適応機能のため，制御対象のパラメータをロバスト推定する同定手法を提案した。同定手法は船体モデルと波浪モデルの各パラメータをバッチ処理で算出した。バッチ処理は高精度な数理演算の利用を可能にした。

・制御性能のため，レギュレータ問題を閉ループ制御の方位保持と航路保持に，サーボ問題を開ループ制御の方位旋回と航路旋回にそれぞれ分離して課題の解決を図った。前者では，閉ループ安定性はパラメータ不確かさを考慮したロバスト制御で，外乱除去性は波浪モデルのノッチフィルタ効果や潮流補償でそれぞれ解決した。後者では変針条件を満足する参照方位を用いた軌道追従方式と参照方位に基づく航路誤差修正で解決した。

本論文は以下の13章で構成した。

第1章は緒言で，本論文の目的，技術背景，設計のアイデア，方針と方策，および本文構成について示した。

第2章では，本設計手法の特徴を制御技術の見地から，現行技術と比較して明らかにした。

第3章では，制御対象において船体，波浪と操舵機の各モデルに加えて舵角バイアスや潮流モデルも考慮した。

第4章では，船体同定において，yawとswayの船体パラメータを変針時の時系列データから同定する手法を，船速に対応するノミナル値を同定値から更新する手法をそれぞれ提案し，それらの有効性を確認した。

第5章では，波浪同定において，波浪パラメータを保持状態の時系列データから同定する手法を，ノミナル値を同定値から平滑する手法をそれぞれ提案し，それらの有効性を確認した。

第6章では，方位保持においてパラメータ不確かさをもつ制御対象の閉ループ安定性が明瞭に設計できる固有値解析手法を提案した。手法は閉ループ安定性を決定する要因が推定器の固有周波数であることに着目した。

第7章では，航路保持において第6章に基づき，閉ループ安定性では航路や推定の各ゲインの解法と設計変数の妥当性を，外乱除去性では潮流成分による航路誤差を閉ループ解析し潮流誤差の修正策をそれぞれ明らかにした。

第8章では，方位旋回において角速度一定を参照方位とフィードフォワード制御から実現した。参照方位は軌道計画から生成し，軌道計画に参照方位の初期値や操舵機の入力振幅特性を加えて変針軌道や飽和対策を実現した。

第9章では，航路旋回において半径一定を実現するために航路誤差の発生を抑制する方策を示した。方策は第8章に基づき，横流れ速度や潮流成分による航路誤差を旋回角速度，斜航角とリーチ量の各修正によって実現した。

第10章では，ウォータジェット推進船の不感帯補償のハの字方策に本設計手法を応用し，有効性を確認した。

第11章では，風力推進船での制御システムの評価に本設計手法を応用し，風力推進による船体運動を評価した。

第12章では，大圏航路用制御システムの評価に本設計手法を応用した。大圏航路の方位変化が時間当たり1度以下であることに着目して，大圏航路を目標軌道に設定してそれに船位を追従させる航路保持システムを提案した。

第13章では，本論文を総括し，その目的と成果，技術的貢献と限界，今後の課題と将来の方針を示した。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　羽　根　冬　希　）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　教授	牧　敦生
	副 査　教授	鈴木　博善
	副 査　教授	箕浦　宗彦

論文審査の結果の要旨

船舶用オートパイロットは高速航行中，舵角指令によって方位制御と航路制御を実現する。方位制御は設定方位に船首方位を，航路制御は計画航路に船体位置をそれぞれ追従させる。双方とも保持と旋回の機能をもつ。本論文は，船舶用オートパイロットの制御システムを設計する手法を提案している。その制御システムは実適用性（実際の操船に適用できる），適応機能（運航状況や海象環境に適応できる）と制御性能（制御仕様を満足できる）の特性を有し，通常操船状態から船体パラメータや制御ゲインなどを自動調節できる自己完結型を目指している。制御仕様はレギュレータ問題（閉ループ安定性と外乱除去性）とサーボ問題（追従応答性）から設定している。

本設計手法は上記特性を獲得するため，次の手段を講じている。

・実適用性のため，制御対象を船体モデルと外乱モデルから構成している。前者は yaw 運動，sway 運動と操舵機の各モデルで設定している。運動モデルとしては１次応答モデルを用い，さらに新規性のある sway モデルも導入している。外乱モデルの波浪モデルは方位信号の波浪成分除去に利用している。さらに，操舵機モデルは指令舵角とその舵速度に入力制限を与えている。

・適応機能のため，制御対象のパラメータをロバスト推定する同定手法を提案している。同定手法は船体モデルと波浪モデルの各パラメータをバッチ処理で算出している。バッチ処理は高精度な数理演算の利用を可能にしている。

・制御性能のため，レギュレータ問題を閉ループ制御の方位保持と航路保持に，サーボ問題を開ループ制御の方位旋回と航路旋回にそれぞれ分離して課題の解決を図っている。前者では，閉ループ安定性はパラメータ不確かさを考慮したロバスト制御で，外乱除去性は波浪モデルのノッチフィルタ効果や潮流補償でそれぞれ解決している。後者では変針条件を満足する参照方位を用いた軌道追従方式と参照方位に基づく航路誤差修正で解決している。

本論文は以下の 13 章で構成されている。

第 1 章では，本論文の目的，技術背景，設計のアイデア，方針と方策，および本文構成について示している。

第 2 章では，本設計手法の特徴を制御技術の見地から，現行技術と比較して明らかにしている。

第 3 章では，船体，波浪と操舵機の各モデルを説明している。

第 4 章では，yaw 運動と sway 運動の船体パラメータを変針時の時系列データから同定する手法を提案し，それらの有効性を確認している。

第 5 章では，波浪パラメータを保持状態の時系列データから同定する手法と，同定値から更新値を算出する手法をそれぞれ提案し，それらの有効性を確認している。

第 6 章では，方位保持において，パラメータ不確かさをもつ制御対象の閉ループ安定性が明瞭に設計できる固有値解析手法を提案している。この手法は，閉ループ安定性を決定する要因が推定器の固有周波数であることに着目したものとなっている。

第 7 章では，航路保持の閉ループ安定性について，各制御ゲインの算出方法とそれら設計変数の妥当性を示している。また，外乱除去性についても潮流成分による航路誤差を閉ループ解析し潮流誤差を修正する方法を示している。

第 8 章では，角速度一定の方位旋回を，現実的な参照方位の設定とフィードフォワード制御を用いることで実現している。参照方位は軌道計画から生成しており，入力の飽和対策もとられたものとなっている。

第 9 章では，半径一定の航路旋回を，航路誤差の発生を抑制する方策のもとで実現している。

第 10 章では，ウォータジェット推進船の不感帯補償のハの字方策に本設計手法を応用し，有効性を確認している。

第 11 章では，風力推進船での制御システムの評価に本設計手法を応用し，風力推進による船体運動を評価している。

第 12 章では，大圏航路用制御システムの評価に本設計手法を応用している。

第 13 章では，本論文を総括し，その目的と成果，技術的貢献と限界，今後の課題と将来の方針を示している。

以上のように，本論文は， 船舶の大洋航行における基幹技術である船舶用オートパイロット技術について，方位制御と航路制御の二つの観点から検討を行っている．申請者の提案したアルゴリズムは，針路不安定なものも含んだほとんどの船舶について有効なものとなっている。また，制御のパラメータは同定の対象となっており，事前に入力の必要もない。その意味で，申請者の提案した設計手法は，大洋航行する船舶の安全運航を支えるオートパイロット技術のさらなる発展に貢献するものであり，さらには自動運航技術の開発の促進に資するところも大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。