



Title	Optimizing Dynamic Model and Reference Trajectory on Berthing and Unberthing for a Maritime Autonomous Surface Ship
Author(s)	宮内, 新喜
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/91954
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (宮 内 新 喜)	
論文審査担当者	(職) 氏 名 主 査 准教授 牧 敦 生 副 査 教授 梅 田 直 哉 副 査 教授 飯 島 一 博

論文審査の結果の要旨

船舶の離着棧は、複数の舵や推進器、複数のサイドスラストを組み合わせた多様な操船手段の使用、外洋より相対的に影響の大きくなる風、潮流などの外乱、岸壁などの障害物の存在により、操船者の負担の大きい作業であり、その自動化が望まれている。自動離着棧システムの開発においては、制御システムの評価、検証、船級協会による承認などの作業のため、離着棧運動の数値実験（シミュレーション）の技術が必須となると考えられる。

本論文ではまず、運動シミュレーションの中核をなす操縦運動の動的モデルについて、その効率的な生成手法を新たに提案している。離着棧時には、前述の操船手段の多様化により、後進、横移動、並びにその場回頭などの多様な運動が含まれる。そのため、外洋航海時の操縦運動に対応した動的モデルに比べ、より複雑な動的モデルが必要である。従来は、試験水槽における拘束模型試験で動的モデルの係数を取得する方法が採用されることが通例であった。しかし、この方法を採用すると、動的モデルの複雑化に伴い試験点数が膨大になるという問題があった。本論文では、動的モデルの係数取得を、船の実航跡と運動シミュレーションにより得られる航跡の偏差の最小化を目的関数としたパラメータ最適化問題として定式化している。その上で、大域的最適化手法を用いて、それらの係数を求める方法を示している。提案手法により、数十分から数時間の模型船の航跡データを用いて、既存手法と同等以上の精度を持つ動的モデルを生成することが可能となっている。加えて、任意のアクチュエータ（舵、スラストなど）の構成に対して、単純な規則に従ってモデル構造を導出できる新たな動的モデルを提案している。提案した動的モデルは拡張性に優れており、任意の船に対して最適な動的モデルを生成することが可能となり、動的モデルの生成の自動化が可能となっている。

本論文では次に、離着棧の経路計画最適化にも取り組んだ。実在の港湾における離着棧では、時に入り組んだ狭い湾内の岸壁にも離着棧をする必要がある。その際は、船舶の運動性能を陽に考慮しつつ、人間の操船者がとるような障害物への適切な離隔距離を確保する経路計画手法が必要である。本論文では、最適制御理論を用いた経路計画最適化手法を拡張し、船体周りに侵入不可領域を速力に応じて変化させて設定することで、実在の港湾形状に対して適切な離隔距離を確保しつつ、本船の運動性能の観点から実現可能な解を提示するアルゴリズムを提案している。

本論文は以下の9章で構成されている。

第1章は序論であり、本論文の背景と目的について述べ、本研究の新規性について示している。

第2章では、関連する研究の歴史を整理している。

第3章では、第2章の内容に基づき本研究の新規性について詳細に述べている。

第4章では、ある内航船を対象として、対象船の数ヶ月に亘る航行データから数十回の離着棧の記録を取得及び分析し、人間の操船者による離着棧の統計的性質を示している。本章で得た内容は、本研究の主題である動的モデルの生成と経路計画の最適化を行う際の参照情報となっている。

第5章では、最適化手法による動的モデル生成の第一歩として、既存の動的モデルである Mathematical Modeling Group (MMG) モデルの係数を縮尺模型船の航跡から同定している。その結果、既存の動的モデルの適用性には限界があり、より複雑な動的モデルの構造を導入することで推定能力を向上できる可能性を示している。

第6章と第7章では、5章で示した問題点に取り組むため新たな動的モデルの提案を行うとともに、提案モデルについて最適化手法を用いたモデル係数の取得、さらにモデル構造の選択を行う手法を示している。これにより、任意の船のアクチュエータ構成に対して、アルゴリズムを変更することなく、動的モデルの構造を導出できるようになり、かつ

拘束模型試験などを用いた流体作用の再現に依ることなくモデル構造の選択を行うことが可能となっている。

第8章では、前述の实在港湾形状に対する経路計画最適化手法の提案を行っている。

第9章では、以上の内容を総括するとともに、本研究の扱う分野についての将来の発展方向を展望し、本論文の結論としている。

以上のように、本論文は、自動運航船の実現に必要な、自動離着棧の主要構成要素技術である、低速操縦運動の動的モデル生成の自動化手法、及び離着棧経路生成の自動化手法の開発に成功している。前者の成功は、コストの大きな水槽試験の必要性を減じ、これまでには実現不可能であった予測精度の動的モデリングが可能となることを意味している。後者の成功は、人間による着棧経路生成に際し、試行錯誤や人間の介在そのものの必要性を将来的には無くすることができることを意味している。これらの両自動化への有効な方法論を示した点で、本論文は、今後の工学の発展に対し、裨益するところ大なるものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。

論文内容の要旨

氏 名 (宮 内 新 喜)

論文題名

Optimizing Dynamic Model and Reference Trajectory on Berthing and Unberthing for a Maritime Autonomous Surface Ship(自動運航船の実現に向けた離着棧操船の動的モデルと経路計画の最適化)

論文内容の要旨

船舶の離着棧は、複数の舵や推進器、複数のサイドスラストを組み合わせた多様な操船手段の使用、外洋より相対的に影響の大きくなる風、潮流などの外乱、岸壁などの障害物の存在により、操船者の負担の大きい作業であり、その自動化が望まれている。自動離着棧システムの開発においては、制御システムの評価、検証、船級協会による承認などの作業のため、離着棧運動の数値実験（シミュレーション）の技術が必須となると考えられる。

本論文ではまず、運動シミュレーションの中核をなす操縦運動の動的モデルについて、その効率的な生成手法を新たに提案した。離着棧時には、前述の操船手段の多様化により、後進、横移動、並びにその場回頭などの多様な運動が含まれる。そのため、外洋航海時の操縦運動に対応した動的モデルに比べ、より複雑な動的モデルが必要である。従来は、試験水槽における拘束模型試験で動的モデルの係数を取得する方法が採用されることが通例であった。しかし、この方法を採用すると、動的モデルの複雑化に伴い試験点数が膨大になるという問題があった。本論文では、動的モデルの係数取得を、船の実航跡と運動シミュレーションにより得られる航跡の偏差の最小化を目的関数としたパラメータ最適化問題として定式化した。その上で、大域的最適化手法を用いて、それらの係数を求める方法を示した。提案手法により、数十分から数時間の模型船の航跡データを用いて、既存手法と同等以上の精度を持つ動的モデルを生成することができた。加えて、任意のアクチュエータ（舵、スラストなど）の構成に対して、単純な規則に従ってモデル構造を導出できる新たな動的モデルを提案した。提案した動的モデルは拡張性に優れており、任意の船に対して最適な動的モデルを生成することが可能となり、動的モデルの生成の自動化が可能となった。

本論文では次に、離着棧の経路計画最適化にも取り組んだ。実在の港湾における離着棧では、時に入り組んだ狭い湾内の岸壁にも離着棧をする必要がある。その際は、船舶の運動性能を陽に考慮しつつ、人間の操船者がとるような障害物への適切な離隔距離を確保する経路計画手法が必要である。本論文では、最適制御理論を用いた経路計画最適化手法を拡張し、船体周りに侵入不可領域を速力に応じて変化させて設定することで、実在の港湾形状に対して適切な離隔距離を確保しつつ、本船の運動性能の観点から実現可能な解を提示するアルゴリズムを提案した。

本論文は以下の9章で構成した。

第1章は序論であり、本論文の背景と目的について述べ、本研究の新規性について示した。

第2章では、関連する研究の歴史を整理した。

第3章では、第2章の内容に基づき本研究の新規性について詳細に述べた。

第4章では、ある内航船を対象として、対象船の数ヶ月に亘る航行データから数十回の離着棧の記録を取得及び分析し、人間の操船者による離着棧の統計的性質を示した。本章で得た内容は、本研究の主題である動的モデルの生成と航路計画の最適化を行う際の参照情報となる。

第5章では、最適化手法による動的モデル生成の第一歩として、既存の動的モデルであるMathematical Modeling Group (MMG) モデルの係数を縮尺模型船の航跡から同定した。その結果、既存の動的モデルの適用性には限界があり、より複雑な動的モデルの構造を導入することで推定能力を向上できる可能性を示した。

第6章と第7章では、5章で示した問題点に取り組むため新たな動的モデルの提案を行うとともに、提案モデルについて最適化手法を用いたモデル係数の取得、さらにモデル構造の選択を行う手法を示した。これにより、任意の船のアクチュエータ構成に対して、アルゴリズムを変更することなく、動的モデルの構造を導出できるようになり、かつ拘束模型試験などを用いた流体作用の再現に依ることなくモデル構造の選択を行うことが可能となった。

第8章では、前述の実在港湾形状に対する経路計画最適化手法の提案を行った。

第9章では、以上の内容を総括するとともに、本研究の扱う分野についての将来の発展方向を展望し、本論文の結論とした。