OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	最適制御理論による操船の最適化と自動化の研究
Author(s)	正司, 公一
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/91799
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　（　正司公一　）	
論文題名	最適制御理論による操船の最適化と自動化の研究

論文内容の要旨

輸送機関としての船舶の大きな課題のひとつは、その操縦に多くの人員を要し、人件費の負担が大きいことである。このため、船舶の操縦の省力化、自動化が求められてきた。そのため、古典的な線型制御理論の適用は当然のこととして、近年では実運用や人工知能に基づく経験的な制御の学習が検討されているが、外洋中の保針はともかく港内での幅寄せや着桟については熟練した船員の技能によるところが実際には未だ大きい。本論文では、線型近似理論の応用や機械学習による経験則の取得ではなく、船舶の操縦運動を表現する厳密な力学的なモデルから最適な操船法を数学的に導き出すことを試みた。すなわち、最適制御理論による操船の最適化と自動化である。船体の前後、左右、旋回の３自由度非線型運動を舵、推進器などのアクチュエータで制御する操船問題を数学的に非線型微分方程式の二点境界値問題に置き換えて、ある評価関数を最小にするという条件の下で最適化問題を解くことにより最適な操船法が得られることを示した。

本論文は以下の６章で構成した。

第１章は序論で、上記の観点より、本論文の背景と目的について述べた。

第２章では、操船に対する非線型最適制御問題を定式化し、Sequential Conjugate Gradient-Restoration Algorithmを用いることで、数学的に最適な操船方法を見出した。そして、得られた非線型最適制御手法に対して、非線型解法の利点を明確にするため、変針操船法を例題として非線型解法と線型近似解法の差を明らかにした。さらに、非線型最適制御手法を実用化するために、幅寄せ操船や着桟操船など操船方法が自明でない操船について、非線型最適制御手法を用いた最短時間操船方法を求めその方法を用いて自動的に操船する方法を示した。このとき、最適解をフィードフォワード情報とし、状態量をフィードバックする制御方法を用いることにより、最適解を求めるために用いた数学モデルがオブザーバの役目を果たすので、外乱の少ない状態ではフィードバックする状態変数の数を減らすことができることを見出した。

第３章では、定常風や潮流等の外乱がある場合の最適制御問題について、外乱の定式化を示し、それぞれ例題を解くことにより外乱下における操船法の検討に本手法が利用できることを示した。実船に適用するにあたり、操舵装置、可変ピッチプロペラ（CPP）駆動装置、スラスタ装置等を使用するために考えられる制限事項を各々明らかにし、それらに対応するための応答モデルや信号処理モデルを提案した。これらの結果をもとに小型練習船による実海域実験を実施し、実船においても精度良く自動幅寄せ操船が実現できることを実証した。しかし、着桟操船ではアプローチ区間では精度の良い制御ができたものの、停船直前ではスラスタ推力モデルや低速時の船体運動モデルの推定精度が低く、しかも低船速により外乱の影響を相対的に受け易いため、良好な結果は得られなかった。

第４章では、フィードバック制御系に対する制御目標を制御入力と考え、最適制御入力として最適な制御目標を得る方法を示し、非線型最適制御手法を適用することにより最適自動操船法を得ることができた。本章では、既存の制御装置に最適な制御目標を与えることで操船を最適化するOverride Control System（OCS）の考え方を示した。そして、CPPと船首尾サイドスラスタによる船体定点保持を線型最適レギュレータで行うシステムを構築し、OCSの1適用例として、定点保持の状態から別の位置へ移動する制御を最適化できることを確認した。

第５章では、疑似逆行列を使って２基の旋回式スラスタとバウスラスタを有する船の制御系を１入力１出力系に置き換えた。これにより、多入力多出力系においても従来型の古典制御によるフィードバック制御により、操縦運動を制御できることを示した。また、最短時間操船問題を汎用の非線型計画法を使って解くことが可能であることも確認した。

第６章では、以上の内容を総括するとともに、本論文を受けてのその後の研究の発展方向を展望した。

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　正司　公一　）		
	（職）	氏　名
論文審査担当者	主査　教授	梅田　直哉
	副査　教授	鈴木　博善
	副査　准教授	牧　敦生

論文審査の結果の要旨

輸送機関としての船舶の大きな課題のひとつは、その操縦に多くの人員を要し、人件費の負担が大きいことである。このため、船舶の操縦の省力化、自動化が求められている。その実現に向けて、古典的な線型制御理論の適用は当然のこととして、近年では実運用や人工知能に基づく経験的な制御の学習が検討されているが、外洋中の保針はともかく港内での幅寄せや着桟については熟練した船員の技能によるところが実際には未だ大きい。本論文では、線型近似理論の応用や機械学習による経験則の取得ではなく、船舶の操縦運動を表現する厳密な力学的なモデルから最適な操船法を数学的に導き出すことを試みている。すなわち、最適制御理論による操船の最適化と自動化である。船体の前後、左右、旋回の３自由度非線型運動を舵、推進器などのアクチュエータで制御する操船問題を数学的に非線型微分方程式の二点境界値問題に置き換えて、ある評価関数を最小にするという条件の下で最適化問題を解くことにより最適な操船法が得られることを示している。

本論文は以下の６章で構成している。

第１章は序論で、上記の観点より、本論文の背景と目的について述べている。

第２章では、操船に対する非線型最適制御問題を定式化し、Sequential Conjugate Gradient-Restoration Algorithm を用いることで、数学的に最適な操船方法を見出している。そして、得られた非線型最適制御手法に対して、非線型解法の利点を明確にするため、変針操船法を例題として非線型解法と線型近似解法の差を明らかにしている。さらに、非線型最適制御手法を実用化するために、幅寄せ操船や着桟操船など操船方法が自明でない操船について、非線型最適制御手法を用いた最短時間操船方法を求めその方法を用いて自動的に操船する方法を示している。このとき、最適解をフィードフォワード情報とし、状態量をフィードバックする制御方法を用いることにより、最適解を求めるために用いた数学モデルがオブザーバの役目を果たすので、外乱の少ない状態ではフィードバックする状態変数の数を減らすことができることを見出している。

第３章では、定常風や潮流等の外乱がある場合の最適制御問題について、外乱の定式化を示し、それぞれ例題を解くことにより外乱下における操船法の検討に本手法が利用できることを示している。実船に適用するにあたり、操舵装置、可変ピッチプロペラ（CPP）駆動装置、スラスタ装置等を使用するために考えられる制限事項を各々明らかにし、それらに対応するための応答モデルや信号処理モデルを提案している。これらの結果をもとに小型練習船による実海域実験を実施し、実船においても精度良く自動幅寄せ操船が実現できることを実証している。しかし、着桟操船ではアプローチ区間では精度の良い制御ができたものの、停船直前ではスラスタ推力モデルや低速時の船体運動モデルの推定精度が低く、しかも低船速により外乱の影響を相対的に受け易いため、良好な結果は得られてはいない。

第４章では、フィードバック制御系に対する制御目標を制御入力と考え、最適制御入力として最適な制御目標を得る方法を示し、非線型最適制御手法を適用することにより最適自動操船法を得ることができている。そこでは、既存の制御装置に最適な制御目標を与えることで操船を最適化する Override Control System（OCS）の考え方を示している。

そして、CPP と船首尾サイドスラスタによる船体定点保持を線型最適レギュレータで行うシステムを構築し、OCS の一適用例として、定点保持の状態から別の位置へ移動する制御を最適化できることを確認している。

第５章では、疑似逆行列を使って２基の旋回式スラスタとバウスラスタを有する船の制御系を１入力１出力系に置き換えている。これにより、多入力多出力系においても従来型の古典制御によるフィードバック制御により、操縦運動を制御できることを示している。また、最短時間操船問題を汎用の非線型計画法を使って解くことが可能であることも確認している。

第６章では、以上の内容を総括するとともに、本論文を受けてのその後の研究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、船舶における操船の最適化、自動化を念頭に、詳細な操縦運動の力学モデルに最適制御理論を適用した先駆的研究を示すものであり、最近の世界的な自動運航船の研究開発の動きを先取りするとともに、その精緻な理論構成はその後の研究のベースとなっているなど、今後の工学の発展に対して裨益するところ大である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。