

論文要旨

区分	甲・乙	氏名	大坪和久
論文題名	線形パラメータ変動制御技術の海洋工学分野への応用に関する研究		

論文内容の要旨

産業分野ではこれまで、動特性が大きく変化する制御対象に対する有効な手段として、ゲインスケジューリング (Gain Scheduling: GS) 制御が用いられてきた。GS 制御とは、コントローラをいくつか前もって準備し、あるパラメータの変動に対して、コントローラを随時変えていく制御手法である。この方法の応用例の報告は数多く行われている。しかしながら、その方法の1つの問題点は、閉ループ系の時変系としての安定性を理論的に保証できない点にあった。ところが、1990年代から急速に発展した線形行列不等式 (Linear Matrix Inequality: LMI) に基づく制御系設計法の登場により、閉ループ系の時変系としての安定性を理論的に保証することが可能になった。具体的には、制御対象の運動方程式から線形パラメータ変動 (Linear Parameter Varying: LPV) モデルを導出し、LMI を使ってゲインスケジューリングコントローラを設計する。このような制御方式、すなわち LPV 制御技術については、これまで主に理論的な研究が行われてきており、近年その成果を応用する段階に入りつつある。

船舶海洋工学分野における制御問題の特徴は、制御対象が流体力学と絡み合った複雑なシステムであることである。この点が他分野における制御問題と大きく異なる点である。それらの取り扱いを適切に行うことにより、対象のより良い運動制御性能を実現することが可能である。もちろん従来から、船舶海洋工学分野においても、適応制御などの Lyapunov 関数ベースの制御系設計法に関する研究が行われている。しかしながら、それらの設計法は解析的であるために、難解な数学や安定性理論の知識を要する制御工学を熟知した技術者でなければ応用することは困難である。一方、LPV 制御技術は線形制御理論を基本とするため、難解な知識を改めて必要とはせず、成熟した線形制御理論をそのまま利用することができる。また、設計の際には LMI を利用し数値的に処理するために、深い制御工学の知識を有さない技術者でも、適切な制御系 CAD がインストールされた計算機環境が手元があれば、それらを援用することにより、所望のコントローラを容易に設計することが可能である。したがって、船舶海洋工学分野の諸問題に対して、LPV 制御技術の有効性や問題点を明確化し、その設計技術を確立させていくことは非常に意義があることと考えられる。

本論文は、以上述べた研究背景を踏まえ、2つの船舶海洋工学分野における問題、すなわち風力発電の回転数制御による高効率化、および大水深ライザー管リントリー作業の自動化の問題に対して LPV 制御技術を適用し、数値シミュレーションと検証実験によりその有効性を実証することを目的として行った研究成果をまとめたものである。

第1章では、LPV制御技術の応用の重要性について述べ、本論文で取り扱う問題、風力発電の回転数制御による高効率化、および大水深ライザー管リエントリー作業の自動化についての研究背景について説明している。

第2章では、本論文のアプローチであるLMIに基づいたLPV制御系設計法について述べている。まず、LMIの概要について述べ、いくつかの制御仕様をLMIによって表現し、極配置制約条件付きの H_∞ 制御系設計法について説明している。そして、ゲインスケジューリング制御の考え方、および、その具体的な制御方式について説明している。その中で特に、LPV制御方式に着目し、構成上の特徴と安定性等について説明している。最後に、LMIに基づいたLPV制御系設計法について述べている。

第3章では、固定ピッチ型水平軸風車の高効率化を目的とした可変速制御に対して、LPV制御技術を応用した研究成果をまとめている。まず、風力発電の高効率化の必要性、およびその改善を目的とした従来研究について述べている。次に、風力発電機の運転モード、対象とする風レンズ風車の数学モデルを説明し、動作点周りで線形化することにより状態方程式を導出している。そして、すべての運転モードの中から2つのモードに着目し、それぞれの運転モードに対応するLPVモデルを求め、LPVコントローラの導出を行っている。その制御方式の性能検証のために数値シミュレーションを実施し、従来制御方式と比較することにより、LPV制御方式の有効性を示している。さらに、フィールド試験の困難さを考慮して、新たに風車シミュレータと呼ぶ風力発電機開発支援装置を提案し、その装置を用いた検証実験により、LPV制御方式の有効性を実証している。最後に、本章の研究成果と今後の課題について述べている。

第4章では、大水深ライザー管のリエントリー作業の自動化に対して、LPV制御技術を応用した研究成果をまとめている。まず、ライザー管のリエントリー作業の現状とその自動化の必要性、またそれを目的とした従来研究について述べている。次に、大水深ライザー管の運動方程式を導出し、モード展開近似と微小変位の仮定を施すことによりLPVモデルを求めている。そして、そのLPVモデルの動特性解析を行った後、LPVコントローラを導出している。その制御方式の性能検証のために、数値シミュレーションを実施し、複数モデルに基づくロバスト制御方式と比較することにより、LPV制御方式のリエントリー作業の自動化に対する有効性を示している。さらに、九州大学応用力学研究所深海機器力学実験水槽においてリエントリー実験を行い、LPV制御方式の有効性を実証している。最後に、本章の研究成果と今後の課題について述べている。

第5章では、各章で得られた研究成果をまとめて本論文の結論としている。