



Title	フィードフォワード方策を活用した拘束を有するシステムの制御に関する研究
Author(s)	大原, 伸介
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/46936">https://hdl.handle.net/11094/46936</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。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">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について <a href="#">ご参照ください</a> 。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏名	おおはらしんすけ 大原伸介
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第20314号
学位授与年月日	平成18年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電子制御機械工学専攻
学位論文名	フィードフォワード方策を活用した拘束を有するシステムの制御に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 太田 快人 (副査) 教授 池田 雅夫 助教授 浅井 徹

#### 論文内容の要旨

産業用ロボットなどの多くのシステムには飽和要素などの拘束条件が存在する。そのようなシステムに対して高性能な制御系を実現することが求められている中で、システムに存在する拘束条件は制御系を実現する上でボトルネックとなる。このような拘束を有するシステムの運用には、適切なフィードフォワードコントローラの利用が有効な手だてとなる。フィードフォワードコントローラを利用した制御法としては、2自由度制御系やリファレンスガバナと呼ばれる参照入力機構を用いた方法がある。リファレンスガバナは、2自由度制御系の一般化の観点から、非線形のフィードフォワードコントローラからなる制御系と見なすことができる。本研究はフィードフォワード方策を活用した拘束を有するシステムの高性能な制御の実現に関する研究成果をまとめたものであり、以下の7章から構成される。

第1章では、拘束条件を考慮した制御法の重要性について述べ、本研究の目的を明らかにし、研究背景と研究概要について述べた。

第2章では、拘束条件を破ることで制御性能の劣化あるいは不安定化が引き起こされることを数値例により確認した。拘束を有するシステムに対する制御法である2自由度制御系とリファレンスガバナに関する研究経緯について述べ、本研究の位置づけを行った。

第3章では、産業用ロボットに対して線形制御理論の枠組みで2自由度制御系を構築した。本研究ではシリコンウエハの搬送に使われるウエハ搬送ロボットに対して2自由度制御系を構築し、実験により検証した。実験では、拘束条件を破らずに良好な制御性能が得られたことを示した。

第4章では、産業用ロボットに対して拘束条件を考慮した高性能な制御系の実現を目的として、非線形システムに対して有効な制御法であるゲインスケジューリング法にもとづいた2自由度制御系の実現法を考察した。本研究ではロボットのモデルが有する特徴に着目して、ロボットの軸間の影響を非干渉化するシンプルなゲインスケジューリングコントローラ的设计法を提案した。さらに良好な制御性能を実現するため、本研究ではコントローラの切り換えを行った。提案手法の有効性をウエハ搬送ロボットに適用し、数値例と実験により検証した。その結果、提案手法により拘束条件を達成しつつ高速運動が実現できることを示した。提案手法は制御性能の改善に対して系統だった方法である。

第5章では、参照入力集合と呼ばれる集合を利用したオンラインで計算するリファレンスガバナの実現法について

述べた。参照入力集合は拘束を破らない参照入力の集合で、本研究では参照入力集合をパラメトライズし、それにもとづいたリファレンスガバナの構成法を提案した。集合をパラメトライズすることにより、リファレンスガバナの参照入力整形の自由度が増加し、計算機の負荷の軽減が実現される。また参照入力の整形を行う計算は線形計画問題に帰着できるため、効率的に行うことができる。提案したリファレンスガバナを併合した制御系では拘束条件の達成が理論的に保証されることを示した。本研究では数値例と実験により提案手法の有効性を検証し、拘束条件の達成と良好な制御性能が得られることを示した。提案手法は任意の参照入力に対処できるリファレンスガバナである。

第6章では、第5章で提案したリファレンスガバナをRCヘリコプタの姿勢制御系に適用した。また他の研究によって提案されたリファレンスガバナを適用し、比較した。実験では、他者の手法では、拘束条件を破るが、提案手法では拘束条件を破らずに良好な制御性能が得られることを示した。また提案手法がサンプリング周期の短い機械システムに対して適用できることを実証した。

第7章では、本研究のまとめと今後の課題について述べた。

### 論文審査の結果の要旨

入力や状態に拘束をもつシステムを制御するためには、フィードバック制御に加えて適切なフィードフォワード機構を付け加えると効果的であることはよく知られている。しかしどのような機構を付け加えると効果的であるかについてシステムティックな方法に則って論述されることは、これまで十分に行われたとは言い難い。

本論文は、ロバスト制御やシステム制御理論の最近の動向を取り入れたうえで、フィードフォワード機構の構成方法を論じるものである。ロバスト制御の成果である $H^\infty$ 制御とパラメータ変化システムに対するゲインスケジュール法を用いて拘束条件を達成する2自由度制御の設計方法と参照入力を整形して拘束条件を達成する非線形フィードフォワード機構であるリファレンスガバナの新規な実現法を与えている。おもな成果を要約すると次のとおりである。

- (1) ロバスト制御の適用方法の一例として既知の手法である2自由度 $H^\infty$ 制御の枠組みにおいて、設計に必要な重み関数の選択方法に関して、拘束条件を達成するためにシステムティックな方法を新たに提案している。産業用マニピュレータに提案方法をあてはめ、拘束を満たしつつ性能改善を果たしている。
- (2) 上記産業用マニピュレータの動特性に注目して、並進運動と回転運動を非干渉化しかつ拘束条件を満たすことのできる制御系を2自由度 $H^\infty$ 制御とゲインスケジュールを組み合わせることにより達成している。
- (3) 参照入力集合と呼ばれる集合を利用したオンラインで計算するリファレンスガバナの新規な実現法を与えている。参照入力集合は連続変数によりパラメータ化されており、制御対象に状態や参照入力の大きさに応じてオンラインで線形計画問題を解くことにより任意の参照入力信号に対応する能力をもつフィードフォワード機構を構成している。

以上のように本論文は、フィードフォワード機構をシステムティックに構成して拘束をもつシステムを制御する方法を与えており学問的意義は大きい。また得られた方法は、実用的に重要であり、制御工学あるいはさらに機械工学の進歩に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。