

|             |                                                                                                         |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名         | う え だ じゅん<br>上 田 淳                                                                                      |
| 学位(専攻分野)    | 博 士 (工 学)                                                                                               |
| 学 位 記 番 号   | 工 博 第 2147 号                                                                                            |
| 学位授与の日付     | 平 成 14 年 3 月 25 日                                                                                       |
| 学位授与の要件     | 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当                                                                                 |
| 研 究 科 ・ 専 攻 | 工 学 研 究 科 機 械 工 学 専 攻                                                                                   |
| 学 位 論 文 題 目 | Design and Control of Stable and High-performance Mechatronic Systems<br>(安定化と高性能化を目指したメカトロニクス機器の設計と制御) |
| 論文調査委員      | (主 査)<br>教 授 吉 川 恒 夫      教 授 井 上 紘 一      教 授 足 立 紀 彦                                                  |

### 論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、高性能かつ安定なメカトロニクス機器を開発するため、機械系設計の立場から制御性を高めるための設計法、評価法について、また、制御系設計の立場から信号遅れ、摩擦、機械共振を許容する設計法、ゲイン調整法についての研究をまとめたものである。機械系と制御系において双方に明確な指針を与えることができれば、統合化された系における互いの役割を分離しつつ効果的な設計が可能になる可能性がある。そこで本論文では、高帯域の制御を可能にする機械系の評価法および設計法(第2, 3, 4章)、時間遅れのある遠隔操作システムの安定性解析と制御系設計法(5章)、開ループ調整に基づいたディスクドライブの外乱オブザーバ設計法(6章)を提案し、その効果について考察している。論文は、序論と結論を含め7章からなっている。

第1章は序論であり、メカトロニクス機器における機械系と制御系の統合化設計の重要性を紹介し、これまで研究されてきた同時最適化手法の問題点をまとめている。また、信号遅れ、摩擦、機械共振などの問題を扱った研究について紹介し、本論文で提案する手法の概説を述べている。

第2章では、一般機械構造物について、タスクの優先順位を考慮した同相化設計法を提案している。扱う振動モードが多数の場合、固有振動数の低い振動モードの同相化タスクの優先順位を高いとし、モード分解された伝達関数のレジデュと固有振動数の目標値を与え、冗長性を利用したパラメータ調整法により同相化する。同相化には不可観測通過型、不可制御通過型の2通りがあり、任意に指定可能であることを示し。この手法で整形された機械系は簡単な制御によっても高帯域で駆動できることを示している。

第3章では、ベースに柔軟性をもつマニピュレータについて、制御トルクから手先速度までの伝達関数が受動的となる一種の特異姿勢があることを示し、ロバスト腕姿勢と定義している。現在の腕姿勢からロバスト腕姿勢までの距離を計量する指標も提案している。この指標は、閉ループのロバスト性の関係を直接示すものであり、腕姿勢と制御系の安定性を直接評価できる。ロバスト腕姿勢の近傍では高いロバスト性が得られ、手先誤差フィードバック則の制御帯域を上げることができ、そうでない姿勢では不安定化しやすいことを実験で確認している。

第4章では、第3章で扱ったベースに柔軟性をもつマニピュレータについて、ロバスト性が低い姿勢に対して、そのロバスト性を改善する振動モード補償器を提案している。関節角加速度と定数マトリクス(モード整形行列)を用いた簡単な補償器であり、これを用いるとダイナミクスを大きく変更せずとも安定化できることを確認している。3章での提案指標と機械共振の固有振動数を与え、2章の結果を応用しモード整形行列を設計する手法を示している。実験によって制御系が安定化できることを確認している。

第5章では、マスタースレーブシステムに関して、伝達時間遅れが存在しても安定化可能な制御則を提案している。極限として理想応答を実現できるとともに、ダイナミクスに対して適切にフィルタを設計することで安定性を保つことができる。また、従来の制御則を用いると時間遅れ下で不安定化すること、とくに速度フィードバックとアームの質量の影響により不

安定化することを示している。パラメータの設計法を示し、実験によって安定化の効果および操作性の評価を行っている。

第6章では、大容量FDDの外乱オブザーバ設計について、計算機資源の制限から単純なモデルを使用せざるを得ずモデル化誤差の避けられない場合も、目標値応答と外乱応答の調整を簡単に行うことができる2段階開ループ設計法を提案している。下位互換モードに用いる磁気センサと光学式センサを併用し、信号不足を解消する構成を提案している。本設計法によって得られた外乱オブザーバによって、軸受の摩擦外乱が相殺され、位置決め性能が高まることを実機で確認している。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、高性能かつ安定なメカトロニクス機器を開発するために、機械系設計の立場から制御性を高めるための設計法と評価法について、また制御系設計の立場から信号遅れ・摩擦・機械共振を許容する設計法とゲイン調整法についておこなった研究をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 一般機械構造物について、タスクの優先順位を考慮した同相化設計法を提案している。この設計法は、扱う振動モードが複数個の場合に低次振動モードの同相化タスクを優先させて、冗長性を利用したパラメータ調整法により順次同相化するものである。また同相化に際しては不可観測通過型、不可制御通過型の2通りの方式があり、そのいずれかを任意に選定できる。この設計法で整形された機械系は簡単な制御によっても高帯域で駆動できるという特徴をもつ。
2. ベースに柔軟性をもつマニピュレータについて、受動性の成り立つ一種の特異的な腕姿勢があることを示し、これをロバスト腕姿勢と定義している。そして任意の腕姿勢からロバスト腕姿勢までの距離を計量する指標を提案している。またロバスト腕姿勢の近傍では高いロバスト性が得られ、手先誤差フィードバック則の制御帯域を上げ得ることを実験で確認している。
3. 2. のロバスト性が低い姿勢に対して、そのロバスト性を改善する振動モード補償器を提案している。これは関節角加速度を用いた簡単な補償器であり、これを用いると対象とする系のダイナミクスを大きく変更することなく安定化できることを確認している。
4. マスタスレーブシステムに関して、伝達時間遅れが存在しても安定化可能な制御則を提案している。システムの動特性を完全に補償できるとした極限の場合には理想応答を実現できるとともに、それ以外の場合に対しても適切にフィルタを設計することで安定性を保つことができる。
5. 大容量FDDの外乱オブザーバ設計について、モデル化誤差の避けられない場合も、目標値応答と外乱応答の調整を簡単に行うことができる2段階開ループ設計法を提案している。本設計法によって得られた外乱オブザーバによって、軸受の摩擦外乱が相殺され、位置決め性能が高まることを実機で確認している。

以上のように本論文は、今後のメカトロニクス機器の開発手法と安定性解析手法に関して基礎的かつ重要な知見を提供するものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成14年2月4日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。