JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	構造的な不確かさを考慮した磁気軸受のロバスト性解析・設計に関する研究
Author(s)	堀川, 徳二郎
Citation	
Issue Date	1999-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1225
Rights	
Description	Supervisor:藤田 政之, 情報科学研究科, 修士

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

構造的な不確かさを考慮した磁気軸受のロバスト性解析・設計に関する研究

堀川 徳二郎

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1999 年 2 月 15 日

キーワード： 磁気軸受，モデリング，構造的な不確かさ，ロバスト制御，μ-解析.

本研究では，4 軸制御横軸形磁気軸受に対して構造的な不確かさを考慮したモデルの一例を提案する．また，提案するモデルがロバスト性解析，設計に対して有効なものであるか解析，シミュレーション結果から検討を行う．

磁気軸受は回転体を磁気的な力により非接触で支持する軸受である．回転体を完全非接触で支持することができれば，摩擦・摩耗がない，超高速回転が可能，振動・騒音が小さい，潤滑油を必要としないといった長所を期待できる．その一方で価格が高い，心理的な不安があるといった短所もあるが，ターボ分子ポンプ，人工衛星姿勢制御用フライホイールなど実用例も多い．しかし，磁気軸受は本来不安定な系であるので，その実現のためにはフィードバック制御による安定化が不可欠である．さらにフィードバック制御を適用することで軸受剛性や減衰特性を望ましく設定することができるなどその役割は大きい．

フィードバック制御を磁気軸受に適用するためには実在する磁気軸受を数式モデルとして表現する必要がある．数式モデルは制御対象の情報をうまく表現することが望まれるが，数式モデルを導出する際には何らかの理想化や簡略化が行われるのが常である．したがって，数式モデルが制御対象の挙動を忠実に表現することは困難であり，何らかの不確かさが存在することになる．このような不確かさの原因としてはパラメータの誤差，無視した非線形性，モデル化されなかったダイナミクス，制御装置の実装に伴う不確かさなどが挙げられる．これに加えて磁気軸受においては回転数の変化や負荷の変動なども考えられる．これらの不確かさが存在しても制御系の安定性を保持し，制御性能を劣化させない制御手法がロバスト制御であり，近年盛んに研究が行われている．磁気軸受においても $\mathcal{H}_\infty$ 制御を中心としたロバスト制御の適用例が数多くある．ロバスト制御ではモデルの不確かさを陽に考慮した制御系設計が行われる．ゆえに実システムと数式モデルの間に存在する不確かさをどのように表現するかが優れた制御系を得るための鍵となる．

Copyright © 1999 by Tokujiro Horikawa

数式モデルに存在する不確かさは，従来複素数の摂動を用いて非構造的に表現されることが多かった．このように表現することで，特に高周波でモデル化されないダイナミクスを覆うように不確かさを記述することができ，また一般的で容易な解析法を展開することができる．しかし種々の不確かさの要因をひとまとめにする非構造的な記述は保守的であり，得られる制御系の解析結果も保守的であると考えられる．これに対して存在する不確かさを出来るだけありのままに表現し，構造的に記述することで保守性の軽減が期待される．構造的な不確かさを考慮したモデルに対するロバスト性解析には構造化特異値 μ が用いられる．構造化特異値 μ の計算法については，近年，数多くの研究がなされ，また制御系 CAD の発展もあって比較的容易に取り扱うことができるようになった．磁気軸受と類似した系である 1 入出力系のつり下げ形磁気浮上系では不確かさを構造的に記述して，制御系の解析，設計を行った研究がある．しかし，磁気軸受は多入出力系であるから複数の自由度の相互作用などを考慮することも必要となり，これまでの研究結果を単純に適用することはできない．そこで，本研究では以下のことを行った．

始めに，不確かさを考慮した磁気軸受のモデルを提案するために数式モデルを導出する．磁気軸受における不確かさを検討するためには，不確かさを考慮しないノミナルモデルの導出に関しても十分な検討を行う必要がある．ここで得られた数式モデルは回転体のジャイロ効果についての情報を含むモデルで，ロータの回転速度に依存するジャイロ効果の影響が考慮されている．本研究では，ロータが停止しているとき，磁気軸受はジャイロ効果の影響がなく 2 つの 2 入出力系の並列システムと考えることができることを利用してノミナルモデルを定義した．このノミナルモデルと実システムの間に存在する不確かさについての検討を行う．ここでは，パラメータの不確かさとして負荷質量の変動とジャイロ効果に影響する回転速度の変化，線形化による不確かさとして電磁石吸引力特性の線形化誤差，複雑な動特性を有する電磁石部についてモデル化されないダイナミクスを考えた．これらの検討から，構造的な不確かさを考慮した磁気軸受のモデルの 1 例を提案した．

次に，提案したモデルとコントローラから閉ループ系を構成し，構造化特異値 μ を用いてロバスト性解析を行った．ここで，解析に用いたコントローラは非構造的に不確かさを記述し，μ-設計法によって設計したコントローラである．この解析において非構造的な不確かさを記述した場合のロバスト安定性およびロバスト性能に関する保守性について検討した．これによると，設計時に設定した不確かさよりも大きな不確かさについてロバスト安定性およびロバスト性能が保証されていることがわかる．また，それぞれの不確かさの要因が磁気軸受に対してどのように影響するかについても検討した．

最後に，提案したモデルおよび解析結果が妥当なものであるか検証するため，磁気軸受の浮上シミュレーションを行った．シミュレーション結果からロバスト性解析の結果の有効性と非構造的な不確かさの記述の保守性を確認することができた．ただし，ロバスト安定性については μ-解析によって不安定と結論づけられるような不確かさに対しても安定性を保つ場合がある．したがって，不確かさを考慮したモデルについては今後も検討が必要であり，一方で信頼性の高いシミュレーションを行うためのモデルについての考察が必要であるとも考えられる．