

# 審査の結果の要旨

氏名 大野敬太郎

近年のデジタル家電需要の増大に伴って、その主要要素である磁気ディスク(HDD)の需要は大幅に伸びており、市場が求める更なる高記録密度大容量化に対応するため、これまで記憶密度は毎年驚くほど向上してきた。今世紀に入り、新しい磁気記録方式の実用化に目処が立ち、記録密度は更なる向上が期待されている。しかし、高密度大容量化は磁気記録方式の改善だけで実現できるものではない。記録密度の向上は、トラック狭小化を意味するため、ヘッド位置決め制御が大きな鍵を握り、その精度の改善が焦眉の急を告ぐ課題となっている。一方で、家電需要の増大は、より厳しい環境での動作保証を意味するため、制御系のロバスト制御性能も重要な要素となっている。

本論文は、「Input Multi-rate Digital Robust Control for Precise Head Positioning of Hard Disk Drives (磁気ディスクの高精度ヘッド位置決めのための入力マルチレートデジタル制御)」と題し、家電市場を睨んだ将来の高密度大容量 HDD の実現に必要なヘッド位置決め制御系の系統的な設計手法の具体的・実践的な提案を行っている。本論文は3部構成であり、それぞれ HDD 制御の主要な課題とされるシーク制御(第1部「Track-seeking Control」)、フォロイング制御(第2部「Track-following Control」)、共振モード補償(第3部「Resonant Mode Compensation」)の各問題を扱っている。

第1章「Introduction」では、本論文の背景と動機と目的を述べ、これに続く第2章「Digital Robust Control for Hard Disk Drives」では、HDD の機構と制御系を解説している。

次の第3章および第4章で構成される第1部では、高速ロバストシーク制御を実現する方法を提案しており、今後の非線形性の影響の増大にも十分対応できる手法を確立したと結論付けている。

第3章「Multi-rate Variable Structure Estimator(MRVSE)」では、マルチレート状態推定器と可変構造推定器の長所を組み合わせ、状態推定精度の改善を通じてシーク制御のロバスト性を確保する方法を提案し、理論的な考察を行っている。可変構造フィードバックを状態推定器内部に発生させ、マルチレート化することにより、可変構造制御の問題点が排除でき、不確かさが存在しても安定な状態推定を行えることが示されている。

第4章「Robust Seeking Control with MRVSE」では、前章で提案した方法の具体的な設計例を示し、解析及び実験により効果を実証している。種々の非線形性がアクチュエータに存在することを想定した応答評価や、保証動作温度範囲の限界近傍で実際に発生するアクチュエータピボット非線形性によるシーク後残留振動の応答評価を行い、モデル化が困難な非線形性に対しても、同方法によってシーク応答を改善できることを実証している。

次の第5章および第6章で構成される第2部では、フォロイング制御における位置決め精度改善の新たなブレークスルーとして、ホールド自体を設計する方法を提案し、今後の高密度大容量化にも十分対応できる手法を実現したと結論づけている。

第5章「 $H^\infty$  Control with Generalized Hold Function」では、周波数重み関数によるシステムティックな設計が可能なサンプル値  $H^\infty$  制御設計による一般化ホールド (GHF) の HDD への導入を検討している。GHF は極度に振動的な解になる可能性を指摘されていたが、 $H^\infty$  設計手法によって十分実用的なホールド関数が得られるため、HDD への GHF の導入は十分有用であると結論づけられている。

第6章「Nonuniform Multi-rate Sample-data Hold」では、GHF の実装方法について検討を加えている。GHF は部分連続関数であり、通常そのまま実機に実装することは困難であるため、GHF を不均等時分割された区間一定関数で近似することを考え、近似誤差が最小となるような不均等時分割ホールドを SQP 法を用いて得る手法を提案している。実験により位置決め精度の改善が可能なことのほか、マルチレート倍率の低減による演算処理負担の軽減の1手法としても有用であることが指摘されている。

次の第7章および第8章を構成する第3部では、機械共振モードの存在が制御系のネックになっていることを踏まえ、この機械共振の周波数を簡単に適応推定できる適応ノッチフィルタを提案し、位置決め精度改善に寄与することが結論付けられている。

第7章「An Adaptive Resonant Modes Compensation」では、制御入力の周波数重み付き分散値のみから共振周波数を容易に推定できる全く新しい適応ノッチフィルタを提案している。従来の手法は、リアルタイム適応性、適応動作のためのテスト信号が必要、演算コストが高いなどの実用上の問題点があったことが指摘されている。

第8章「Temperature-dependent Multi-rate Robust Controller」では、共振周波数が高い温度依存性を有することから、それらの相関をモデル化した上で、温度センサを用いた温度依存フィルタを  $H^\infty$  制御器から設計する方法を提案しており、従来の制御系より高精度な位置決めが可能で、演算処理の負担軽減が可能であることも示されている。

第9章「Conclusions」では、本論文のまとめとして、提案した各手法が有効であり、今後の家電市場の需要と高密度化に十分対応するものであると結論付けている。

以上を要するに、本論文は高密度大容量HDDの実現に必要な不可欠なヘッド位置決め制御系の系統的な設計手法を具体的に提案し、実機を用いた実験によりその有用性を検証したもので、工学上貢献するところ大である。よって本論文は、博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。