

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13714

研究課題名（和文）グリーンITの実現に向けた次世代大容量ハードディスクドライブの開発に関する研究

研究課題名（英文）Study of development of large capacity hard disk drives for realization of green IT

研究代表者

藪井 将太 (Shota, Yabui)

名古屋大学・工学研究科・助教

研究者番号：90800756

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、グリーンITに向けた次世代大容量のハードディスクドライブ（以下、HDD）を実現する技術開発を行った。IT社会を支えるデータセンターの消費電力を抑えるために有効な手段は、データを格納している1台あたりHDDの記録密度を増大し、必要台数を減らすことである。そこで、本研究ではHDDの磁気ヘッド位置決め精度を向上する制御技術を開発した。データセンター環境下で高精度位置決め精度の阻害要因となる外部振動を補償し、ディスク上のより小さな領域でデータの読み書きをすることができる。実測データを基にした予測結果から、開発した制御手法は従来手法と比較して約30%位置決め精度を向上できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、グリーンITに向けた次世代大容量のハードディスクドライブ（以下、HDD）を実現する技術開発を行った。IT社会を支えるデータセンターの消費電力を抑えるために有効な手段は、データを格納している1台あたりHDDの記録密度を増大し、必要台数を減らすことである。そこで、本研究ではHDDの磁気ヘッド位置決め精度を向上する制御技術を開発した。データセンター環境下で高精度位置決め精度の阻害要因となる外部振動を補償し、約30%記録密度を向上していることを確認した。よって、本提案手法を用いることで、HDDの必要台数が減少しデータセンターの消費電力を抑制できると期待される。

研究成果の概要（英文）：In this research, we have developed the control system to realize the large capacity hard disk drive (HDD) for green IT. To reduce the power consumption of data centers that support the IT society, increasing the recording density of HDDs to decrease the number of HDDs in the data centers. For this purpose, we developed a control technology to improve the positioning accuracy of the HDD magnetic head. The proposed method can compensate for external vibrations caused by the datacenters which is obstacle for high-precision positioning. As the results, the head positioning control system designed by the proposed method can read and write data in a smaller area on the disk. The proposed control method improved the positioning accuracy by about 30% compared to the conventional method, and it can be concluded that the results of this study contributed to the improvement of the recording density.

研究分野：制御工学

キーワード：磁気ディスク装置 位置決め制御 振動制御 適応制御

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

クラウドサービス、IoTなどを基盤とする超高度情報化社会の到来を迎えるにあたり、大量のデータを保存できる HDD の果たす役割は大きく、**Google** や **Facebook** といった企業のデータセンターの構築を支える産業製品である (図1参照)。そのデータセンターの稼働にあたり、消費電力の増大が懸念されている。データセンターの消費電力の内訳は HDD の駆動や、HDD を冷却するためのファンなどの空調による部分が多い (図2参照)。近年、地球環境への負荷を抑えるため、データセンターの消費電力を抑え、**グリーン IT** を実現する技術開発が盛んに行われている。HDD に関しては必要台数を減らすことで消費電力を抑える、すなわち1台あたりの記録密度向上に関する技術開発が求められている (図3参照)。



図1 データセンター内に格納された HDD : HDD は密集して配置されている (図は15台) ため、動作時の発熱や動作時における振動が互いに影響を受けやすい環境となっている。

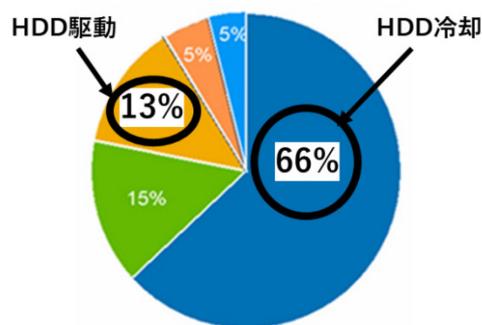


図2 データセンター消費電力内訳 : HDD の安定動作のため、ファンや空調による冷却が必須であり、膨大な HDD を駆動させるための必要電力も大きい。

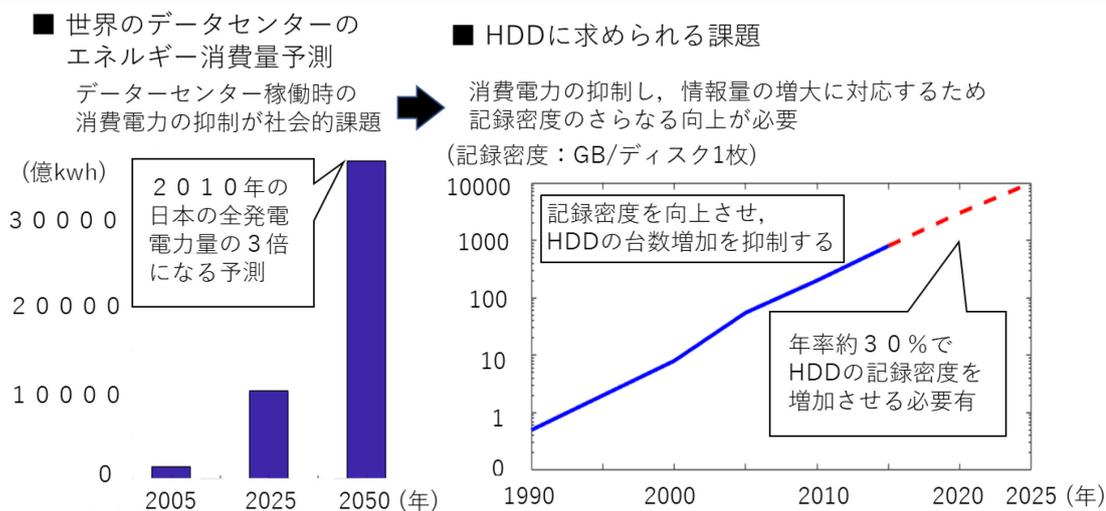


図3 データセンターも消費電力と HDD への要求 (グリーン IT 推進協議会資料参考)

## 2. 研究の目的

本研究では、**グリーン IT** に向けた次世代大容量のハードディスクドライブ (以下、HDD) を実現する技術開発を行う。超高度情報化社会の到来を迎えるにあたり、インターネット上のあらゆる情報を格納するデータセンターの建造が世界各地で進められている。そのデータセンターの稼働にあたり大きな課題となる

のが、消費電力の大きさである。その消費電力は年々増え続けており、地球環境への悪影響が懸念されている。消費電力を抑えるために最も有効な技術は、データを格納している1台あたりHDDの記録密度を増大し、HDDの必要台数を減らすことである。これにより、HDDの駆動に必要な電力、および冷却に必要な空調に要する電力を大幅に減らすことができる。HDDの記録密度を増大させるためには、ディスク上でデータを書き込む磁気ヘッドの位置決め精度の向上が必要である。そこで、本研究ではヘッド位置決め精度に悪影響を及ぼす振動を解析し、それを補償する磁気ヘッドの位置決め制御技術を開発することで、次世代大容量HDDの実現に資することを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究ではHDDのヘッド位置決め阻害要因となる下記3つの振動問題に注目した。

#### ・ヘリウム漏れによる流体起因振動の増大

現行のHDDは流体起因振動を補償するため大気より気体密度の小さいヘリウムが封入されている。ヘリウムを封入することでHDD内部のヘッドやディスクの流体起因振動が大きく低減された。ヘリウム封入型HDDは2015年から導入がすすめられているが、近年のHDDの容量増大に最も貢献した要因の一つである。しかしながら、経年とともにヘリウムが漏れる可能性がある。ヘリウム漏れは流体起因振動を増大につながり、HDDのヘッド位置決め精度が悪化する。その結果、HDDのヘッド動作量が大きくなり消費電力が増大する。

#### ・データサーバにおける音起因の外部振動の発生

データサーバ内で稼働するHDDにおいて、機器動作時に発生する動作音や異常を知らせるブザー音などで突然の外部振動に晒される可能性がある。それによりHDDの磁気ヘッドが振動し、ヘッドの動作量の増加に伴う電力消費量の増大が懸念される。

#### ・データサーバにおける冷却用ファンによる外部振動の発生

現行のHDDは位置決め精度の向上のため、Voice coil motor (VCM) と piezoelectric actuator (PZT) を用いた2段アクチュエータ方式が用いられている。データサーバ環境下においては、発熱を抑えるためのファンから発生する振動に晒される。それらの振動により微動用のPZTアクチュエータの動作量が増大し、最大ストロークを超える制御信号が要求される可能性がある。それを防ぐためには、PZTアクチュエータの制御ゲインを下げる必要があるが、制御ゲインの低減により位置決め精度の悪化し、動作量増大に伴う電力消費量増加につながる。

### 4. 研究成果

前述の3つの振動問題に対し、下記の結果を得た。

#### ・ヘリウム漏れを考慮した流体起因振動を補償する制御系設計

ヘリウム漏れにより流体起因振動の振動モデルはゲインと減衰比が変化するという点に注目し、ゲインと減衰比学習機能付き adaptive feedforward cancellation を考案した。提案手法はヘリウム漏れ量に応じて制御系の特性を適切に更新することで、位置決め精度への悪影響を最小限に抑えることができる。提案手法に

より、ヘリウム漏れ発生時の位置決め精度を約 50%向上できることを確認した (図 4 参照).

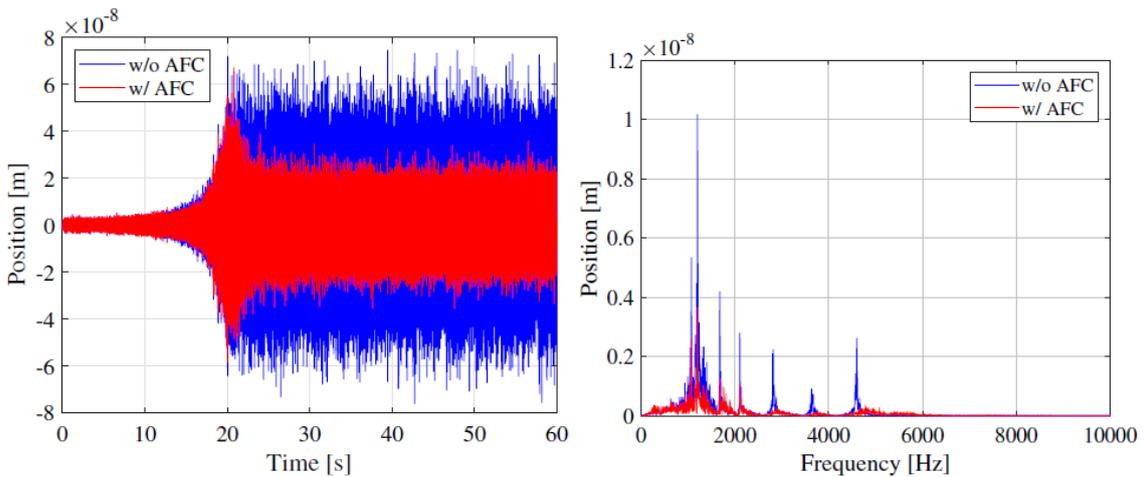


図 4 ヘリウム漏れ発生時 (20 秒付近) のヘッド位置の時間応答と振幅スペクトル

【掲載論文】 Shota Yabui, Tsuyoshi Inoue: Adaptive feedforward cancellation with gain and damping control system considering helium leakage in HDDs, Journal of SN Applied Sciences, 1(10), 2019

・音による振動変化に対応可能な制御系の開発

ブザー音発生時の HDD 全体の振動に合わせて磁気ヘッド動作させ、目標位置とヘッド位置の相対誤差を最小化することでヘッド動作量を小さくする制御系を開発した。ヘリウム漏れで考案した AFC を応用し、ブザー音発生時の振動振幅の変化に応じて出力を変化させるアルゴリズムを導入した。提案手法により、ブザー音に起因する相対誤差を補償できることを確認した (図 5 参照)。

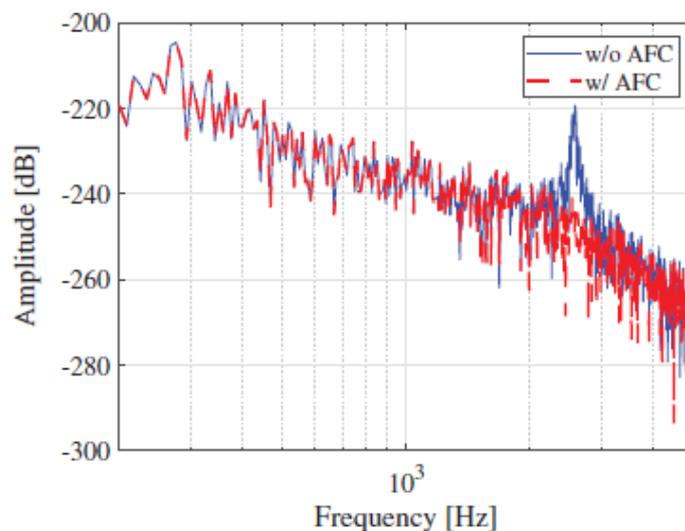


図 5 ブザー音発生時の目標位置とヘッド相対位置の振幅スペクトル

【掲載論文】 Shota Yabui, Takenori Atsumi, Tsuyoshi Inoue, AFC with gain adjustment in control system in HDDs for compensation of speaker-induced vibration, IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering, online first, 2020

・相互作用を考慮した2段アクチュエータ方式の制御系設計による性能向上  
従来の制御系設計では VCM と PZT の相互作用を除去し、それぞれのアクチュエータに対して独立に設計していたが、本研究では相互作用を積極的に利用した制御系設計手法を考案した。従来手法と比較して設計は複雑になるが、位置決め精度とストローク量の低減を同時実現できる。提案手法により制御系を設計したところ、ストローク量を約 32%低減し、位置決め精度を約 31%改善することを確認した（図6参照）

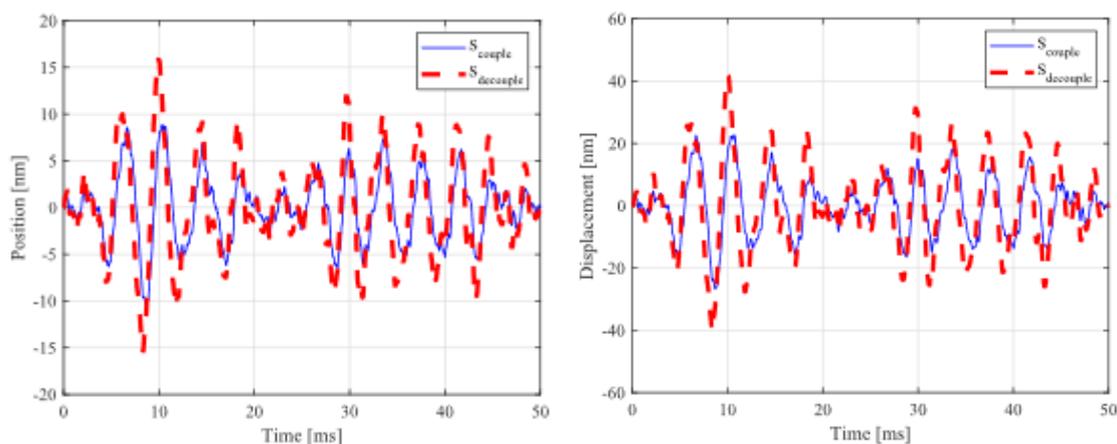


図6 提案手法（青線）と従来手法（赤破線）の比較結果：  
左 ストローク量, 右 ヘッド位置

【掲載論文】 S. Yabui, T. Atsumi and T. Inoue, Coupling controller design for MISO system of head positioning control systems in HDDs, in IEEE Transactions on Magnetics

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

|  |                   |
|--|-------------------|
| 1. 著者名<br>Shota Yabui, Tsuyoshi Inoue  | 4. 巻<br>印刷中       |
| 2. 論文標題<br>Adaptive Feedforward Cancellation with Damping Control System in Head Positioning Systems of HDDs | 5. 発行年<br>2019年   |
| 3. 雑誌名<br>Microsystem technologies   | 6. 最初と最後の頁<br>印刷中 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし  | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>該当する      |

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>敷井将太   |
| 2. 発表標題<br>ハードディスクドライブのヘッド位置決め制御系における外乱補償のための拡張適応フィードフォワード制御の開発 |
| 3. 学会等名<br>メカトロニクス制御研究会. 精密サーボシステムと制御技術                         |
| 4. 発表年<br>2018年   |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

| 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|