

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月25日現在

機関番号：50102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22760316

研究課題名（和文） スーパーハイビジョン用次世代光ディスクシステムの  
高速高精度サーボ系の開発研究課題名（英文） High Speed and High Precision Tracking Servo System  
for Next Generation Optical Discs

研究代表者

佐沢 政樹 (SAZAWA MASAKI)

苫小牧工業高等専門学校・電気電子工学科・助教

研究者番号：10556666

研究成果の概要（和文）：

近年、光ディスクは Blu-ray ディスクが実用化され、トラック幅が狭くなることで、DVD に比べ記憶容量が大幅に増加している。さらに、次世代光ディスクではトラックピッチ幅がより狭まり、ディスクの回転数は 15,000 [rpm] に達すると予想され、記憶容量の大容量化や転送速度高速化の要求から、次世代光ディスク装置のトラッキング制御系は、より高精度な制御が求められる。そこで本研究では、周期外乱に含まれる高次高調波やオフセット成分の抑圧のための高次高調波成分とトラッキング誤差オフセットの抑圧制御系を提案し、その有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：

This research proposes a control system for suppressing tracking error offset and multi harmonic disturbance in high speed optical disk systems. Residual tracking error consists of primary harmonics, high-order harmonics, and offset. Therefore, this research proposes a tracking control system for suppressing residual tracking error, including primary harmonics, high order harmonics disturbance, and offset. The experimental results show that the proposed system enables an optical disk system to achieve a fine tracking performance.

交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2010年度 | 1,200,000 | 360,000 | 1,560,000 |
| 2011年度 | 1,400,000 | 420,000 | 1,820,000 |
| 2012年度 | 500,000   | 150,000 | 650,000   |
| 年度     |           |         |           |
| 年度     |           |         |           |
| 総計     | 3,100,000 | 930,000 | 4,030,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学，制御工学

キーワード：制御工学，モーションコントロール

1. 研究開始当初の背景

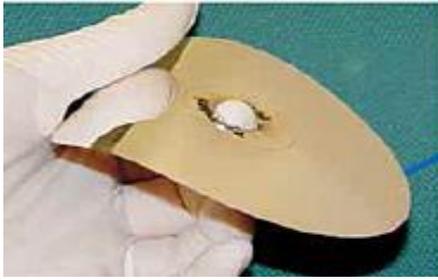


図1. 厚さ0.1mm 超薄型光ディスク

近年、映像再生装置は、臨場感の高い映像と音声を取り扱えるようになるなど、急速な発展を遂げている。このようなハイビジョン装置の開発は日本を代表する技術分野である。2025年に実施予定のスーパーハイビジョンの大容量映像情報を高品位・軽量・安価に提供するためには、高速大容量の光ディスク記録装置の開発は非常に重要な課題である。スーパーハイビジョンの伝送速度は約250Mbps以上を実現する必要がある。これは現在の第3世代光ディスクのBlu-Ray Discの標準転送レート(54Mbps)の約5倍以上の高速転送である。250Mbpsの伝送速度を実現するには光ディスクを毎分15000回転させる必要がある。

現在の光ディスクの回転数は、ディスクの媒体の材質強度のために、毎分10000回転が限界である。図1のように光ディスクの材質をガラスから樹脂にし、さらに0.1mmの超薄型のディスク厚とすることで、毎分10000回転以上の高速回転が可能となった。また、光ディスクの材質を樹脂にすることで、デンプンを原料にして製造することが出来る。そのため、石油などの資源の枯渇を考えると、地球環境に配慮した電子情報媒体となる。こ

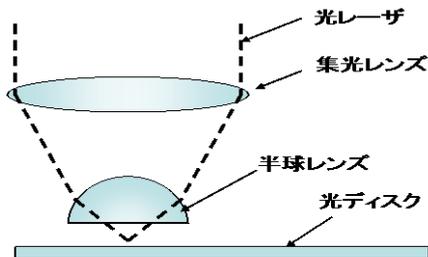


図2. 近接場光ピックアップ

れまでに、共同研究機関のNHK放送技術研究所は、光ディスク面の均一性を極力維持したものを使用し、且つ、光ディスクの中心位置にスピンドルモータの軸が正確に配置されるようにして、世界初の毎分15000回転での高速トラッキング制御を2007年に実現した。しかしながら、光ディスクは着脱式であるので、面の均一性と装着させたときの中心位置からのズレ(偏芯)により、最大振幅50 $\mu$ mの正弦波状の周期的外乱を発生する。その外乱の大きさと位相はディスクを装着させる度に異なり、毎分15000回転の場合

250Hzの正弦波状の外乱となる。このことが、光ディスクの高速高精度トラッキング制御を難しくする要因となっている。さらに、光ディスク1枚に2時間のスーパーハイビジョンの映像情報を記録するためには、トラックピッチをBlu-Ray Discの1/7の約50nmとしなければならず、可視光の波長よりも短くなる。このような非常に小さいトラックピッチに対応できるレーザスポット径を得る手法として、図2に示す近接場光ピックアップ技術を用いる必要がある。近接場光ピックアップを用いるためには、近接場光がレンズ表面に発生する特性から、光ディスクとレンズの距離を従来の光ディスク装置に比べて1/100以下の極近距離まで近接させるナノスケールの高精度なヘッド制御が要求される。以上のように、情報転送レートを250Mbpsに向上させるために、光ディスクの回転速度を15000rpmとし、且つ最大振幅50 $\mu$ mの250Hz正弦波外乱に対するトラッキングエラーをトラックピッチ50nmの1/10の5nm以内にする必要がある。従来の制御系の延長線上の設計でこの目標を達成することは不可能である。そこで、研究代表者の佐沢がこれまでに開発してきた高速高精度なサーボ技術の研究成果をより発展させて、従来にない全く新しい次世代光ディスクの高速高精度サーボ系を開発し、実現する。

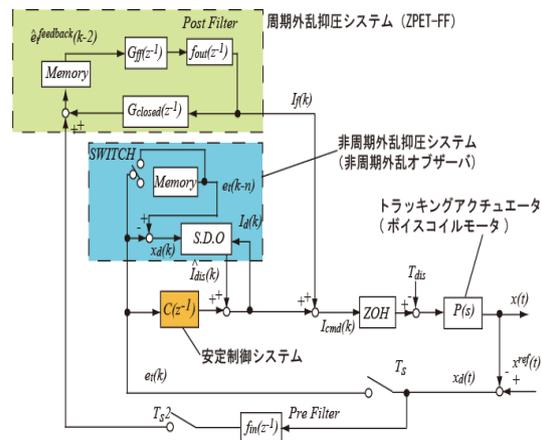


図3. エラー予測型

ロバストフィードフォワード制御系

## 2. 研究の目的

これまで、図3の数回転前の周期的なトラッキングエラー信号から次の回転周期のトラッキングエラー信号を予測して、制御信号を決定する「エラー予測型ロバストフィードフォワード制御系」を構成した制御系によって、良好な応答性能を上げてきている。回転数が15000rpmに増加すると、周期外乱の帯域も高くなり、トラッキングアクチュエータのサーボ系だけでは、高速高精度応答の実現が困難になる。そのため、トラッキングアク

チューエータ、フォーカスアクチュエータ、トラバースアクチュエータの3つのサーボ系すべて(3次元サーボ)に対して、トラッキングエラーが 5nm 以下となる高速高精度トラッキングサーボ制御を行う必要がある。本研究では、従来にない新しい3次元エラー予測型高速高精度サーボ系の構成法を提案し、その実現と検証を行う。

- (1)最初に、各サーボ系のエラー予測型ロバストフィードフォワード制御系の構造に、マルチサンプリング制御系の最も追従特性の良いパーフェクトトラッキング制御(PTC)系を導入する。さらに新しいゼロ位相誤差フィルタを挿入して追従特性を劣化させずに安定性を確保し、超薄型光ディスクのトラック位置に完全追従させる制御系を実現する。
- (2)偏芯・面ぶれを持つディスク表面のトラックに3次元的にビームスポットを追従させるために、図4のようにトラッキング制御におけるエラー予測制御部分を1自由度から3自由度に拡張する。光ディスク装置における3次元エラー予測型高速高精度サーボ系を新しく実現することにより、ナノスケールの高速高精度なトラッキング制御技術を確立する。
- (3)提案する高速高精度トラッキングサーボ系において、1 $\mu$ sec以下の高速マルチサンプリング演算周期を実現させるために、インターフェース回路の高速化及び DSP と FPGA の最適実装を図る。これにより、近接場光を用いた超薄型光ディスクシステムの高速高精度追従を実現する。

### 3. 研究の方法

本研究課題を3年間で完遂するために、平成22年度は、これまでの基本波抑圧のみで設計されたエラー予測型FF制御系に、高調波抑圧ループを適用した「高調波抑圧を考慮したエラー予測型FF制御系」を構成し、基礎実験と理論的な検証を行った。高調波成分の抑圧のために、これまでの基本波抑圧のみで設計されたエラー予測型フィードフォワード制御系の構造を、マルチサンプリング制御系の最も追従特性の良いパーフェクトトラッキング制御(PTC)系に適用し、これに高調波成分を抑圧する機構を追加することで、「高調波抑圧を考慮したエラー予測型FF制御系」を構成した。

提案する「高調波抑圧を考慮したエラー予測型FF制御系」の有効性を確認するために、既存のCD実験装置と、新たに導入したDVD実験装置にて実証実験を行い、従来の手法に比べ、トラッキングエラーの抑圧に対して有効であることを確認した。基本波抑圧に加え、高調波抑圧を考慮した制御系を提案し、これ

まで到達出来なかった、高速高精度なトラッキング制御系を実現する。

平成22年度の研究成果に基づいて、平成23年度は、高精度な制御を実現するフォーカス制御系を提案した。制御系はフィードバック制御器である高ゲインサーボコントローラ(HGSC)と、フィードフォワード制御器である零位相誤差追従(ZPET)制御器から構成される。また、トラッキングアクチュエータ、フォーカスアクチュエータ、トラバースアクチュエータの3つのサーボ系すべて(3次元サーボ)に対して、高速高精度トラッキングサーボ制御を行う制御系をDVD実験機に対して設計した。さらに、実機実験の結果から提案した制御系の有効性を確認した。微細なトラックピッチに対応したレーザースポット径を得られる近接場光ピックアップが使用できないため、従来のDVD実験装置による実験を行っている。新しく3次元エラー予測型高速高精度サーボ系を開発し、偏芯・面ぶれを持つディスク表面のトラックに3次元的にビームスポットを追従させることで、高速高精度なトラッキング制御を実現した。

平成23年度は回転数10000rpmで新しい超薄型光ディスクを駆動し、次世代高密度光ディスクのトラッキング制御における誤差予測制御部分を1自由度から3自由度に新しく拡張し、従来の10倍のデータを高速・高精度で制御する。次世代光ディスク装置における3次元エラー予測型高速高精度サーボ系の構成図は図4のようになる。光ディスクシステムでは、フォーカス・トラッキング・トラバースの3つのサーボを持つ3自由度のシステムを用いて、偏芯・面ぶれを持つディスク表面のトラックに3次元的にビームスポットを追従させる。特に、フォーカスアクチュエータとトラッキングアクチュエータ

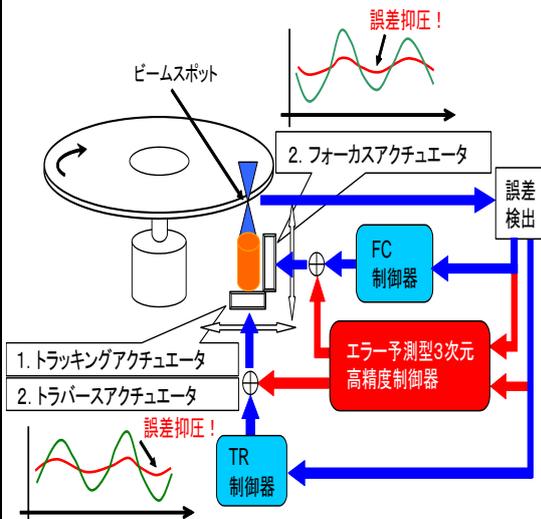


図4. 3次元エラー予測型高速高精度サーボ系

は、トラックピッチの微細化と近接場光を用いることから5nm以下の高速高精度なサーボ技術が要求される。そのため、「3次元エラー予測型高速高精度サーボ系」を適用することで、回転数10000rpmでトラッキングエラー5nm以下の高速高精度なトラッキング制御を実現させる。

最終年度の平成24年度は実用化を視野に入れた制御装置のプロトタイプを作製する。新しく開発する制御系の実験装置は、高価な浮動小数点DSPではなく、低価格で汎用性の高い固定小数点DSPとFPGAの組み合わせで実現する。これにより、より高速な演算周期を実現させ、トラッキングエラーの抑圧を狙う。

#### 4. 研究成果

本研究では、光ディスク記録装置のトラッキング制御の高精度化のために、残留トラッキングエラーに含まれるオフセット成分と高次高調波成分を抑圧する制御系を提案した。オフセット成分については、新たにオフセット補償用ループを追加した。高次高調波成分については、新たに特定の高次高調波成分を予測してフィードフォワード補償する機構を追加した。残留トラッキングエラーに含まれるオフセット成分の発生原因を調査し、固定小数点DSP

の演算誤差とLPFの位相遅れが大きく影響していると考えた。

提案したトラッキング誤差オフセットと高次高調波成分の抑圧制御系をDVD実験装置に対して設計して実機実験を行った。実験結果から、オフセット成分、高次高調波成分を共に抑圧し、高精度な制御系であることを確認することができた。また、CD実験装置に対してもDVD実験装置と同様に制御系を設計して実験を行った結果、提案した制御系の有効性を確認できた。

基本波抑圧に加え、高調波抑圧を考慮した制御系を提案し、これまで到達出来なかった、高速高精度なトラッキング制御系を実現した。また、CD、DVD実験装置の両方で実験を行い、制御系の有効性を確認したことで、提案手法は一般性があり、他のトラッキング制御系に対しても広く応用可能であり、工学的、学術的に意義のあるものである。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ①名畑 雄太, 中崎 竜也, 尾形 頭國, 大石 潔, 宮崎 敏昌, 佐沢 政樹, 小出 大一, 高野 善道, 徳丸 春樹, 「高速光ディスク装置のトラッキング誤差オフセットと高次高調波外乱の抑圧制御系」, 電気学会論

文誌D, 査読有, 2013, Vol.132, No.3, pp.347-356

DOI: 10.1541/ieejias.132.347

- ② Tokoku Ogata, Yuta Nabata, Kiyoshi Ohishi, Toshimasa Miyazaki, Masaki Sazawa, Daiichi Koide, Yoshimichi Takano, and Haruki Tokumaru, " Perfect Tracking Control System with Prediction State Observer for Next-Generation Optical Disks", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 50, 査読有, 2011, pp.1-6

DOI: 10.1143/JJAP.50.09MC02

[学会発表] (計5件)

- ①小平航大, 大石 潔, 佐沢政樹, 間下知紀, 松橋正峻, 「SPMモータの高速位置決めの一制御法」, 平成24年電気学会半導体電力変換・モータドライブ合同研究会, pp.91-96, 2012年6月9日, 北海道
- ②名畑雄太, 尾形頭國, 大石 潔, 宮崎敏昌, 佐沢政樹, 小出大一, 高野善道, 徳丸春樹, 「高速光ディスク装置のトラッキング誤差オフセットと高次高調波成分の抑圧制御系」平成22年度電気学会産業計測制御研究会, 2011年3月8日, 千葉

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

佐沢 政樹 (SAZAWA MASAKI)

苫小牧工業高等専門学校・電気電子工学科・助教

研究者番号: 10556666