

ナノモーションアクチュエータの機構系と制御系の同時最適設計

Simultaneous Optimal Design of Structural with Control System for Nano – motion Actuator

○学 古谷 将人 (秋田大) 正 長縄 明大 (秋田大) 正 森 英季 (秋田高技研)
正 木澤 悟 (秋田高専) 正 大日方五郎 (名古屋大) 正 渋谷 嗣 (秋田大)
正 大内 一弘 (秋田高技研)

○ Masato FURUYA⁽¹⁾, Akihiro NAGANAWA⁽¹⁾, Shigeki MORI⁽²⁾
Satoru KIZAWA⁽³⁾, Goro OBINATA⁽⁴⁾, Yotsugi SHIBUYA⁽¹⁾
Kazuhiro OUCHI⁽²⁾

(1) Akita University, 1-1 Tegatagakuen-machi, Akita, 010-8502, Japan

(2) AIT(Akita Research Institute of Advanced Technology), 4-21 Sanuki, Araya, Akita, 010-1623, Japan

(3) Akita National College of Technology, 1-1 Bunkyou-machi, Akita, 011-8511, Japan

(4) Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603, Japan

A highly precise tracking actuator for high magnetic recording density was developed. The tracking actuator was consisted of a displacement amplitude mechanism and a layered piezoelectric element (PZT). When the actuator was designed to increase its working distance, its resonance frequency was always reduced for a target value. The resonance frequency was not designed to independent the working distance. We applied a simultaneous optimal design method to the tracking actuator design. The crossover frequency of the open loop transfer function with the optimized actuator increased up to 23 % for the original one.

Key Words : Nano-motion Actuator, Spin-stand System, Simultaneous Optimal Design, FEM(Finite Element Method)

1.緒言

近年、年率 60～100 % の勢いで磁気記録装置の高密度化が図られており、この高い増加率を維持するためにトラック密度 TPI(Tracks per inch) の向上が要求されている。これまで磁気記録評価装置 (スピンスタード) では、機械剛性や精度を上げることにのみによって、高い記録密度に対応した記録再生評価を行なってきた。しかしスピンドルの回転振れや装置全体の温度ドリフトなどの影響によって、安定して記録再生信号の評価を行うことが不可能となり始めている。そのために試験ディスク面上に位置決め信号を記録し、トラックに追従しながら記録再生評価が行われる試みがなされている。

高速で高精度なトラッキングをスピンスタード上で実現するため、積層型圧電素子 (PZT) と変位を拡大する機構を用いたナノモーションアクチュエータの研究開発が行われてきた [1]。圧電素子は発生力と伸びの間にヒステリシスを含む反比例の関係があり、また、変位拡大機構のばね定数は加えられた力に対して変位は比例関係で増加する。従って圧電素子のヒステリシスを無視して双方の関係からばね定数が定まればアクチュエータの最大変位量は一意的に定められる。また一方、1 自由度で表現できるアクチュエータの共振周波数はばね定数の平方根に比例して定まるので、アクチュエータの変位量を一定に保ちながら共振周波数を増加させることは容易ではない。本報告では機構系と制御系の同時最適化を行い、アクチュエータの最大変位量に保持したままサーボ帯域の広帯域化を図った。

2.ナノモーションアクチュエータ

Fig. 1 にナノモーションアクチュエータの形状を示す。この機構は弾性ヒンジを用いた平行ばねと変位を拡大するてこ機構を組み合わせたもので、積層型圧電素子が発

生する微小変位をてこ機構によって変位拡大するものである。圧電素子には NEC/TOKIN : AE0406D05H06D ($5.3\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}/150\text{V}$) を採用し、また、変位拡大機構にはステンレス鋼 (SUS304, ヤング率 200GPa, 密度 $7.9 \times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$) を用いた。

3.機構系と制御系の同時最適設計

同時最適化の流れを Fig. 2 に示す。始めに有限要素解析を用いて初期形状をモデル化した。次にコントローラの設計を行い、シミュレーションを用いて制御性能を評価した。その結果から構造の最適化を進めるために再度有限要素法で解析しコントローラの再設計を行って、繰り返し回数が設定した回数に達するまで Fig. 2 のアルゴリズムを繰り返した。

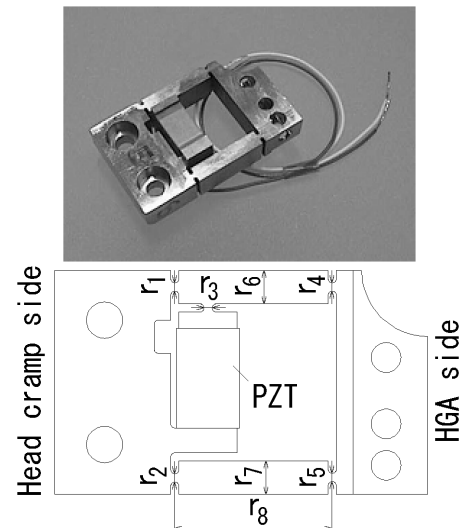


Fig. 1: Nano-motion Actuator

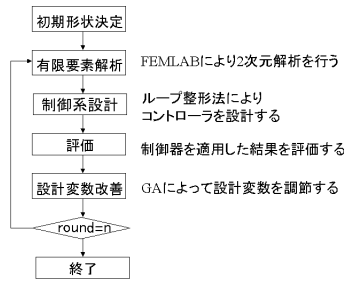


Fig. 2: Flow chart of optimization

構造解析には制御系のシミュレーションに向けた「MATLAB」とリンク可能な有限要素解析ソフト「FEMLAB」を採用した。設計変数は Fig. 1 に示されるヒンジの幅 $r_1 \sim r_5$ とビームの幅・長さ $r_6 \sim r_8$ とする。設計変数が機構特性に与える影響をまとめると、ヒンジやビームの幅を細くすれば剛性が低くなるため、共振周波数が下がり最大変位量が上がる。逆に太くすれば剛性が高まり、共振周波数は上がる反面最大変位量が低下する。この2つの関係のトレードオフを図りながらの同時最適設計を行うものとする。

コントローラ設計には McFarlane & Glover によって提案された手法を用いた [2]。この手法は、ループ整形法により開ループ伝達関数の周波数特性を整形でき、評価関数の最適値 γ_{min} が解析的に求められる特徴を有する。

さらに最適化手法としてパラメータの探索範囲を広くするために遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm) を用いて制御性能を向上させるような形状を探索する。評価関数として、式 (1) のように γ_{min} と最大変位量をパラメータとして用いた。

$$J = \alpha \left(\frac{1}{\gamma_{min}} \right)^2 + \beta \left(\frac{y_o}{y_n} \right)^2 \quad (1)$$

ただし、最適化する上で最大変位量は $13[\mu\text{m}]$ 以上、共振周波数は $5[\text{kHz}]$ 以上となることを設計条件とした。ここで、 y_n : 初期形状の最大変位量, y_o : 最適形状の最大変位量であり、 α, β は重み定数である。

4. 設計結果

Fig. 3 は本手法を適用した場合のアルゴリズムの収束の様子を示しており、およそ 90 世代で評価値が収束した。次に、最適化前と最適化後における特性比較を行う。Fig. 4 は制御対象のゲイン特性, Fig. 5 は開ループ伝達関数のゲイン特性を示す。Table.1 で性能比較すると最適化の結果、最大変位量が 3.2 %, 共振周波数が 0.66kHz, サーボ帯域が 23 % 性能向上したことがわかる。

最適化前と最適化後の設計パラメータを Table. 2 に示す。大きく変更されたのは変位方向のビーム幅 r_6 が 0.2mm 増加し、もう一方のビーム幅 r_7 が 0.5mm 減少した。最適化前は r_6 のビームが r_7 に比べ大きくヘディングしていたが、最適化することで平行ばねの動作が線形化され圧電素子の変位をアクチュエータの出力に効率的に伝達されたことによるものである。

5. 結言

本報告ではサーボ帯域の広帯域化を目的とし、機構系

Table. 1 Results of optimization

	拡大変位量 $[\mu\text{m}]$	共振周波数 $[\text{kHz}]$	サーボ帯域 $[\text{Hz}]$
基本形状	13.22	5.08	504
最適形状	13.64	5.74	621

と制御系の同時最適設計を行った。その結果、アクチュエータの共振周波数を 0.66kHz 向上させ、サーボ帯域を 23 % 改善できることがシミュレーション上の結果として確認された。今後は最適化されたアクチュエータを試作し、実験により同時最適化の有効性について確認する。

本研究は、独立行政法人科学技術振興機構、秋田県地域結集型共同事業「次世代磁気記録技術と脳医療応用技術開発」の一環として行われたものである。関係者各位に謝意を示す。

参考文献

- [1] 竹屋和人, 森英季, 長縄明大, 渋谷嗣, 大日方五郎, 大内一弘: HGA のモデル誤差を抑制する PZT アクチュエータのロバスト制御, 日本機械学会 IIP2004 情報・知能・精密機器部門講演会 講演論文集, pp 80-85 (2004)
- [2] D. C. McFarlane and K. Glover: Robust Controller Design Using Normalized Coprime Factor Plant Descriptions, Lecture Notes in Control and Information Sciences 138, Springer-Verlag (1990)

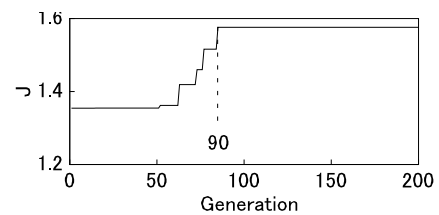


Fig. 3: Convergence of optimization algorithm

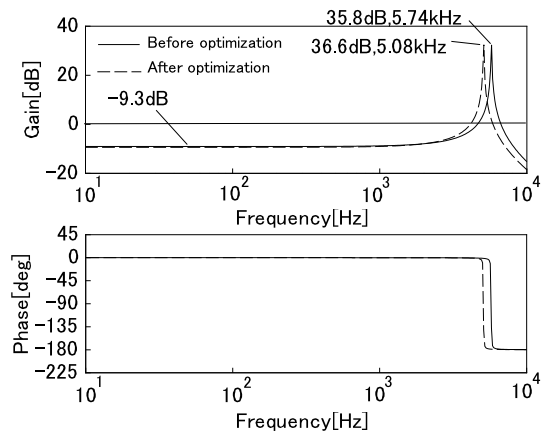


Fig. 4: Bode diagram of Nano-motion actuator

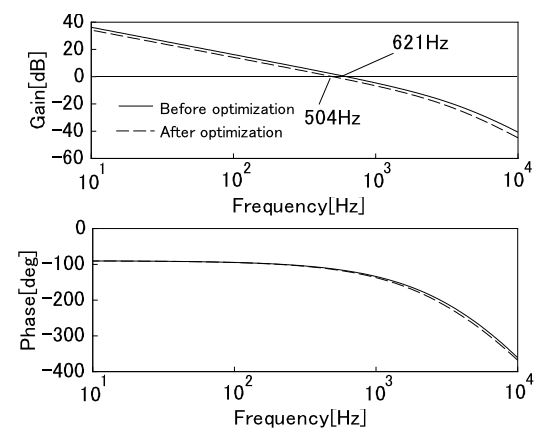


Fig. 5: Bode diagram of open loop transfer function

Table. 2 Results of design parameters [mm]

	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8
基本形状	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2.0	2.0	9.5
最適形状	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	2.2	1.5	8.7