

光ピックアップ用レンズ駆動アクチュエータの最適化設計

品質工学・CAEを用いたパラメータ設計

Optimizing the Design of Lens Driving Actuators for Optical Pickups

長澤 光* 麻生 浩史* 宮城 信雄*
Nagasawa, Hikaru Aso, Hiroshi Miyagi, Nobuo

要旨

光ピックアップ用レンズ駆動アクチュエータは、対物レンズ駆動時の傾き抑制や高精度な位置決め等、多くの性能を満たす必要がある。これらの実現のため、設計ではCAEを用いて必要な検討を行い、試作により実機でCAEの再現性を確認している。しかし、実機での確認は性能のみで、部品・組立ばらつきによる影響については多量試作を行い、環境試験等で確認しなければならない。このため多くの試作コスト・期間を要する。

試作コスト・期間の削減のため、品質工学によるパラメータ設計とCAEを組み合わせ設計検討を行った。さらに、シミュレーションモデルの簡素化や解析ソフトのパラメトリック機能を用いた入力自動化を行い、計算時間を短縮した。その結果、試作を行わずに現行条件より部品・組立ばらつきに強い設計パラメータを見出すことができた。

Abstract

The performance of a lens driving actuator in an optical pickup is determined by such parameters as inhibition of tilt and positioning-control performance. When designing a lens driving actuator, we have previously followed CAE (computer aided engineering) with the construction of prototypes in order to test our design.

But while only a few prototypes are needed to test performance, testing the effects of dimensional tolerance requires the production of many prototypes, and this is costly in terms of both time and money. Accordingly, we devised a way of designing a lens driving actuator that uses quality engineering to optimize design parameters and that also employs CAE simulation. This also shortens computing time by simplifying models and automating input parameters.

The result was the simultaneous elimination of prototypes and achievement of more robust parameters.

* コニカミノルタ光学(株) U&Sソリューションズ事業本部
オプティカルシステム事業部 SD事業ユニット

1 はじめに

CD, DVD, MOなどの光ディスクドライブは、レーザー光をディスクの記録面に対物レンズで結像させたスポットで情報の読み書きを行っている。そのスポットをディスクの回転に伴って発生する面ぶれ、偏芯といった記録面の位置変動及びトラック溝に追従させるため、対物レンズを変位させるレンズ駆動アクチュエータが用いられている (Fig. 1)。この機構技術は、現在の光ディスクのみならず、Blu-rayやHD DVD、さらに高密度な記録を目指す次世代光ディスクでも重要とされている。また、このようなタイプのアクチュエータは小型化、高精度な位置決め制御が可能のため、他分野のアクチュエータとして適用範囲が広がりつつある。

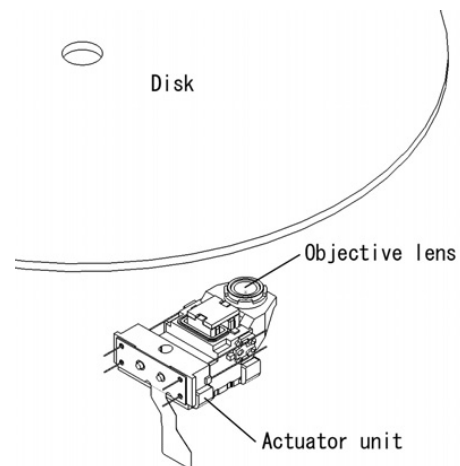


Fig.1 Lens driving actuator for optical pickup

2 レンズ駆動アクチュエータの構造と設計課題

2.1 構造

レンズ駆動アクチュエータの構造の一例をFig. 2に示す。ディスク上にスポットを結像させる対物レンズ1はレンズホルダ2に固定されている。駆動力は永久磁石3及びヨーク(磁性体)4で構成された磁気回路中に配置されたコイルに電流を流すことによって発生する電磁力を利用するボイスコイルモーター方式を用いている。レンズホルダ2は記録面に垂直な方向(以下、フォーカシ

ング方向と呼ぶ)の駆動力を発生するフォーカシングコイル5,及びディスク半径方向(以下,トラッキング方向と呼ぶ)の駆動力を発生するトラッキングコイル6をもっており,それぞれの方向の駆動力は独立にコントロールすることができる。また,レンズホルダ2は4本の指示部材7で弾性支持されている。

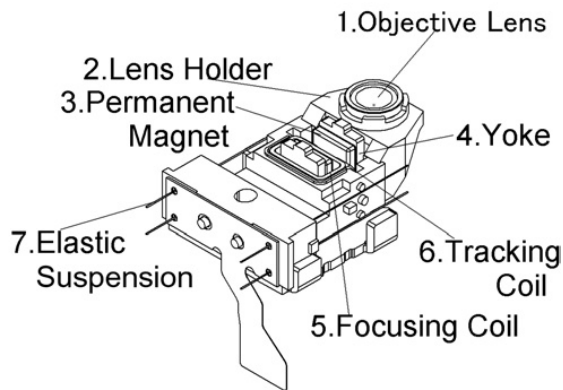


Fig.2 Lens driving actuator components

2.2 設計課題

レンズホルダの弾性支持は,摩擦による非線形性がなくなる反面,部品・組立ばらつきなどによって発生する変位時の対物レンズ傾きが問題となる。対物レンズの傾きが大きくなると,スポットの収差が増大して信号劣化の原因となり,光ディスクドライブの性能に大きな影響を及ぼす。近年,対物レンズの高NA化によりレンズ変位時に許容される傾きはより厳しくなっており,技術開発において重要な課題となっている。

また,高精度な位置決め制御を達成するために,DC駆動感度や加速度感度を高くし,面ぶれや偏芯等の外乱による偏差を小さくすることも重要である。さらに,近年,ディスク回転の高速化の要求が高まり,制御帯域を高くする必要があるため,高次共振周波数を高くすることも重要な課題となっている。

3 品質工学とCAEを用いたパラメータ設計

3.1 品質工学の導入

従来,アクチュエータ設計はCAEを用いて仕様を満たす形状を設計し,実際に試作をすることでCAEの結果が実機で再現されるかを確認していた。しかし,試作には1回数百万円のコストがかかるため,様々な設計条件での検討はコストの面から厳しいということがあった。また,実機での確認は性能に関する項目のみで,部品・組立ばらつきによる影響については多量試作を行い,環境試験等で確認しなければならなかった。この方法に対して,CAEを用いた設計に品質工学を取り入れることで,試作を行わずに部品・組立ばらつきによる影響の検討が

可能になり,またCAEの結果が実機で再現されるかをある程度確認することが可能になる。その結果,試作費用の削減,及び試作・組立時間の削減が期待できる。

3.2 パラメータ設計¹⁾

本節では,品質工学の基本機能の検討からチューニングまでの流れに沿って説明する。

3.2.1 基本機能

レンズ駆動アクチュエータの機能は,ディスクの回転による記録面の位置変動やトラック溝への追従を行うことである。すなわち,対物レンズを駆動力によって変位させることであるから,基本機能は駆動力Mに対する変位yであり $y = \beta M$ で表される(Fig.3)。 β は駆動力Mに対する変位yの割合であり,これを“変位感度”と定義した。また,対物レンズ枠に測定点P1からP4をとり,それぞれの点における駆動力に対する変位を求めた(Fig.4)。この4本の直線のばらつきは変位時の対物レンズの傾きであり“傾き感度”と定義した。

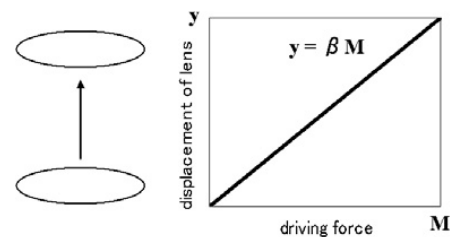


Fig.3 Generic function of the actuator

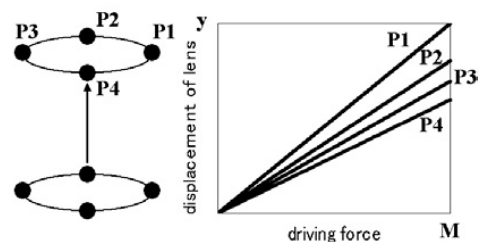


Fig.4 Lens displacement at four points

3.2.2 制御因子と誤差因子

制御因子をTable 1に示す。制御因子には,アクチュエータの重心と対物レンズとの距離,駆動力作用点との距離,レンズホルダと弾性支持部材との接点までの距離及び,4本の弾性支持部材の長さ,幅など機械的な寸法13因子を選択した。よって直交表はL36直交表とした。

誤差因子はそれぞれの制御因子の水準の寸法公差とし,L36直交表の外側に割り付ける手法を用いた。つまりL36直交表のそれぞれの実験に対して誤差因子をL16に割り付け,16種類の誤差とした(N1~N16)。よって直交表はL36×L16直交表となる。

Table 1 Control factors

A	Distance of OL to COG (focusing direction): for calculation of tracking direction
a	Distance of OL to COG (tracking direction): for calculation of focusing direction
B	Distance of OL to COG (Beam injection direction)
C	Distance of Fp to COG (Tracking direction)
D	Distance of Fp to COG (Beam injection direction)
E	Distance of Fp to COG (Focusing direction)
F	Distance of S-L1 to COG (Beam injection direction)
G	Distance of S-L2 to COG (Beam injection direction)
H	Distance of S-L3 to COG (Beam injection direction)
I	Distance of S-L4 to COG (Beam injection direction)
J	Distance of S-L to COG (Focusing direction)
K	Suspension width (Tracking direction)
L	Suspension length
M	Suspension width (Focusing direction)

COG: center of gravity; S-L: point of contact of suspension and lens holder;

Fp: application point of driving force; OL: center of objective lens

3. 2. 3 CAE による計算法

L36×L16直交表はフォーカシング方向及びトラッキング方向、各612通りの実験を行う必要がある。このためシミュレーションによる計算に3次元モデルを用いた場合、1実験の計算に数時間かかり、全実験を計算するのに数千時間もの時間を費やすこととなる。そこで計算時間短縮のため以下のような手法を用いた。

(1)計算モデルの簡素化

3次元モデルは、計算の目的に不必要な情報も多く含まれているため計算に多くの時間を要する。そこで本稿の目的に不要と思われる情報を排除し、必要最小限の情報のみを含むモデルを作成した。今回は品質工学を用いて駆動力に対する変位のばらつきを計算するため、梁による力学モデルを作成した (Fig. 5)。対物レンズ及びレンズホルダに相当する梁は、本稿での力学計算では詳細な数値が不要なため剛体と仮定しモデルを作成した。レ

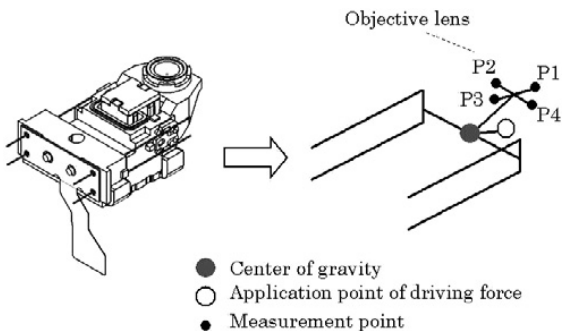


Fig.5 Calculation model for focusing direction

ズホルダの弾性支持部材に相当する梁は片側を固定端とし、ヤング率、ポアソン比等の必要な材料特性値を入力した。また、永久磁石及びボイスコイルは、ボイスコイルで発生する駆動力の大きさ及び向きを駆動力作用点に入力することで置き換えた。

(2)パラメータ入力の自動化

実験毎にモデル変更や直交表にそったパラメータの入力が必要になるため、時間や手間がかかる。そこで、解析ソフトのパラメトリック機能を用いて入力の自動化を行った。これにより、別の表計算ソフトで作成する直交表をそのまま使用することが可能なため、大幅な時間短縮を実現できた。

3. 2. 4 SN比の要因効果図

SN比の要因効果図を求めるためにそれぞれのモデルにおけるP1からP4各点での駆動力に対する変位を計算する。計算はフォーカシング方向及びトラッキング方向それぞれについて行う。このとき標準条件N0及び直交表L16にそってN1からN16までのノイズについて計算する。この計算結果から標準SN比の計算法を用いて要因効果図を求めた。Fig. 6はフォーカシング方向の要因効果図、Fig. 7はトラッキング方向の要因効果図で、横軸が制御因子、縦軸がSN比である。

要因効果図を見るとフォーカシング方向、トラッキング方向ともに制御因子L (弾性支持部材長さ) がSN比に大きく影響しており、またトラッキング方向については制御因子 a (重心-対物レンズ間フォーカシング方向距離) が大きく影響していることが分かる。この要因効果図から現行条件 (A-2, a-1, B-2, C-2, D-2, E-2, F-2, G-2, H-2, I-2, J-3, K-2, L-2, M-2) に対し、ばらつきに強い最適条件 (A-2, a-3, B-1, C-2, D-1, E-1, F-1, G-1, H-1, I-1, J-3, K-1, L-1, M-1) を求めた。

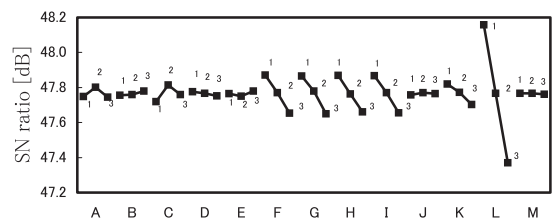


Fig.6 Factor effects of S/N ratio for focusing direction

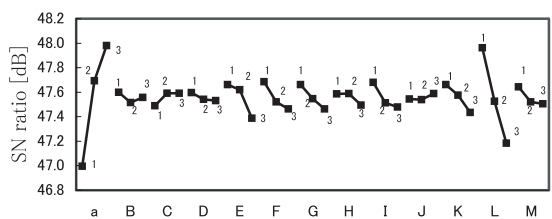


Fig.7 Factor effects of S/N ratio for tracking direction

3. 2. 5 利得の再現性の計算

品質工学における利得は現行条件のSN比と要因効果図より求めた最適条件のSN比との差で、ばらつきの改善の程度を見るための指標である。またこの利得の再現性が高いと要因効果図の信頼性が高く、実物での再現性が高いと言える。これは感度の要因効果図においても同様である。本稿のSN比の要因効果図は、大きな利得は得られなかったがフォーカシング方向、トラッキング方向ともに再現性の高い結果が得られた。よって実物でもCAEで得られた安定性が得られると考えられる。

3. 2. 6 チューニング

チューニングはSN比の最適条件からSN比を維持したまま感度を目標値に合わせこむ作業である。そのためSN比に影響が少なく感度に影響のある制御因子（以下チューニング因子と呼ぶ）を用いて合わせこむことが効果的である。まず制御因子の感度に対する影響を調べるために要因効果図を求めた（Fig. 8～Fig.11）。変位感度の要因効果図（Fig. 8, Fig.10）は良い再現性が得られ、またSN

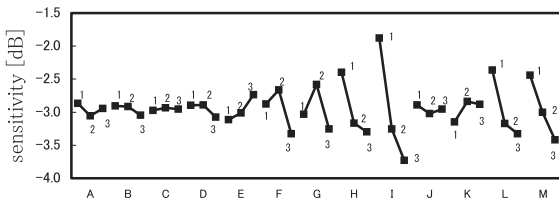


Fig.8 Factor effects of displacement sensitivity for focusing direction

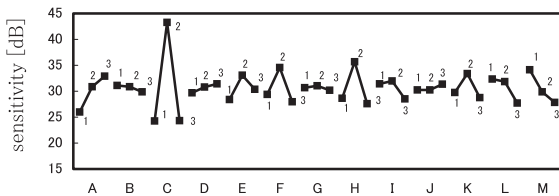


Fig.9 Factor effects of tilting sensitivity for focusing direction

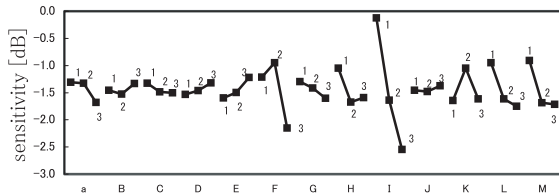


Fig.10 Factor effects of displacement sensitivity for tracking direction

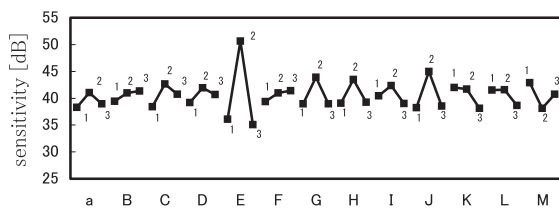


Fig.11 Factor effects of tilting sensitivity for tracking direction

比の要因効果図（Fig. 6, Fig. 7）との関係から制御因子M（弾性支持部材のフォーカス方向幅）をチューニング因子とした。一方、傾き感度の要因効果図（Fig. 9, Fig.11）は十分な再現性を得られなかった。このため変位感度についてのみチューニングを行った。

チューニングは変位感度が高くなるように行った。よって制御因子（A-2, a-3, B-3, C-2, D-1, E-2, F-1, G-1, H-1, I-1, J-1, K-1, L-1, M-1）を選択した。

3. 3 結果と考察

チューニング後の駆動力に対するレンズ変位の結果の一例を示す（Fig.12）。左のグラフが現行条件、右のグラフがチューニング後の結果である。縦軸はある駆動力 a [N] を与えたときの変位、横軸は測定点P1からP4である。グラフにはN0からN16の結果を重ねてプロットした。結果、同じ駆動力を与えた時でもチューニング後のモデルの方が高い変位を示した。以上より今回のモデル構造及び制御因子における最適条件を見出すことができた。一方、十分な再現性を得られなかった傾き感度については設計上必要であるため、今後、計算法や制御因子等の再検討および実機での再確認が必要である。

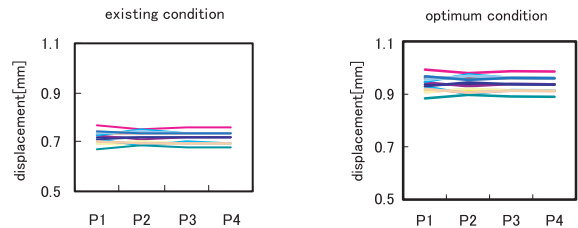


Fig.12 Comparison of displacement sensitivities for focusing direction

4 まとめ

品質工学によるパラメータ設計とCAEを用いたシミュレーション評価とを組み合わせることで、パラメータ設計から変位感度のチューニングまでの検討をCAE上ですべて行った。その結果、部品・組立ばらつきに強い設計パラメータを、試作を行わずに見出すことができた。

今後、この手法を取り入れていくことで、コストの削減、及び開発期間の大幅な短縮が期待できる。

● 参考文献

- 1) 矢野宏, “品質工学計算法入門”, 日本規格協会, 1998