

レンズアクチュエータのロバスト設計

Robust Design of Lens Actuator

中垣保孝*

Yasutaka NAKAGAKI

山崎茂*

Shigeru YAMASAKI

八木克哉*

Katsuya YAGI

黒釜龍司*

Tatsuji KUROGAMA

波多野洋*

Hiroshi HATANO

田村希志臣**

Kishio TAMURA

要旨

光ディスク用レンズアクチュエータは、組立ばらつきなどの誤差により駆動時に傾きが発生し、傾き量もばらつく。光ディスクシステムは対物レンズが傾くと性能悪化が著しく、駆動時の傾き量を規定量以下に抑え込む必要がある。従来は、規格の厳格化による対策を講じており、コストアップの要因となっている。コスト改善には、設計段階において市場誤差を十分考慮した設計を行う必要がある。しかし検討誤差が多いと、設計検討に時間を要する。シミュレーションと品質工学を組み合わせると設計手法の高効率化が図られ、多くの誤差を考慮したロバスト設計を行うことが可能となる。今回は、誤差因子を L_{128} 直交表に、制御因子を L_{36} 直交表に割付けてロバスト設計を実施し、市場誤差に対するレンズアクチュエータの機能性を上げ、駆動時の傾き量を抑えた。

Abstract

The objective lens actuator of an optical disk system tilts by varying amounts during operation because of non-uniform component parts, non-uniform assembly, environmental variations, and other such noise factors. Since tilt of the objective lens causes significant deterioration in the performance of the optical disk system, the amount of tilt during operation must be kept within specified limits. Conventional approaches to this problem, such as tighter part tolerances and assembly tolerances, lead to increased cost. A better approach is to design the actuator in full consideration of the variations that may occur in the field, but the more noise factors there are to consider, the longer it takes to work out the design. When simulation and quality engineering are combined, a more efficient design method can be obtained and a robust design in which a large number of noise factors are taken into consideration becomes possible. In the present robust design study, the noise factors were assigned to an L_{128} orthogonal array and control factors were assigned to an L_{36} orthogonal array. The resulting design improved the functionality of the lens actuator with respect to variable factors in the field, and the amount of tilt during operation was reduced.

* コニカミノルタオプト(株)
技術開発本部 事業開発部
** コニカミノルタビジネステクノロジーズ(株)
開発本部 化製品開発センター

1 背景と目的

光ディスクシステムは、CD (Compact Disk), MO (Magneto-Optical disk), DVD (Digital Versatile Disk) のように、半導体レーザ (Laser Diode) 光を対物レンズでディスク上の微小スポットに集光照射し、その反射光を読み取ることで情報の記録または再生をするシステムである。この光情報を読み取る基幹部品のことを光ピックアップと呼び、光を出す半導体レーザや反射された光情報を読む光検出器や光を集光する対物レンズ、対物レンズを駆動するアクチュエータから構成される (Fig. 1)。光ディスクの情報を読み取る際に、ディスクを高速回転させてディスク円周上に記録された情報の走査を行うが、ディスクは回転につれ上下方向の面ぶれや左右方向の偏芯などのぶれが生じる。このぶれ量を光で検出し対物レンズアクチュエータにて対物レンズを常にディスクに追従した状態に制御している (サーボが入った状態)。

近年、光ディスクの回転数は10000rpm (最外周での線速度は時速210km以上) と高速回転であり、少ない電流で動き、共振が発生しない光ピックアップ用アクチュエータ駆動性能 (ACT性能) が要求される。そのため、磁気回路部とコイルが組み込まれた駆動部で構成される電磁力アクチュエータが使われる。軽量化された駆動部は、組み込まれたコイルへの導通を兼ねた細いスパンションワイヤで保持される。駆動時には、磁気回路中心からのずれや、組立ばらつきにより Fig. 1 右図のように傾き (以降チルトと呼ぶ) が発生し、情報の読み

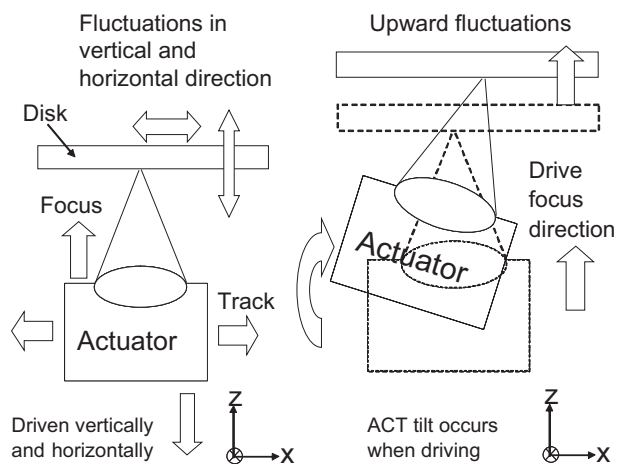


Fig. 1 Lens actuator system.

書き性能を悪化させる。この駆動時発生チルト量はサーボ回路により補償されないため、対物レンズアクチュエータ単品性能にて規定量以下に押さえ込む必要がある。だが従来は、十分にばらつきを考慮した設計はされず、組立規格の厳格化などによる対策のみで、コストアップの要因となっていた。

そこで、組立誤差、環境誤差に対して駆動時にチルトが発生しないロバストで高効率なレンズアクチュエータ設計のための評価技術構築を行うことを本研究の目的とする。

2 アクチュエータの評価特性と評価方法

2.1 アクチュエータの評価特性

レンズアクチュエータの駆動方向はFig. 1左図に示すようにディスクの面ぶれ方向に駆動するフォーカス方向(z方向)と半径方向の偏芯に対して駆動するトラック方向(x方向)の2方向であり、それぞれ独立に機能する。

代表的な全駆動位置は、上下左右斜めを含め8ポジションであり、各ポジションにおいて傾いていないことが理想である。対物レンズにチルトを生じると集光性能が大幅に悪化することになる。そこで、対物レンズを上記8ポジションに駆動させ、その際のレンズ中心点におけるx軸周りのチルト量、y軸周りのチルト量を、ゼロ望目特性を使い評価した。

2.2 アクチュエータの評価モデル

レンズアクチュエータの概略構成図をFig. 2に示す。対物レンズはコイルが組み込まれたレンズホルダに取り付けられる。コイルは磁気回路部分に配置されており、レンズホルダはコイルへの導通をかねたサスペンション部により保持されている。そのため、サスペンション部に電流を流すとコイル部に電磁力が発生し、その推力によ

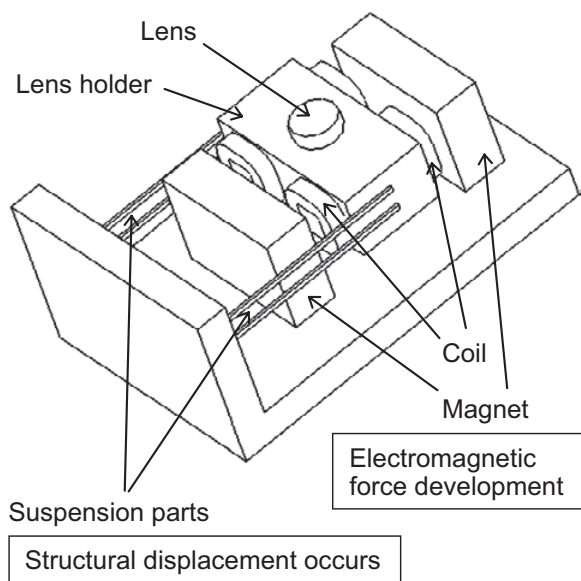


Fig. 2 Structure of lens actuator.

りレンズホルダに変位が生じる。今回、このサスペンション部の設計を検討対象とした。

2.3 アクチュエータ評価方法とデータ形式

下流でトラブルを起こさないロバスト設計を実施するためには、上流にて考える誤差すべてを考慮して設計すべきである。従来のやり方では外側直交表に制御因子のばらつきを与えて直積実験するのみであったが、今回の設計では、それだけでは不十分である。すなわち、制御因子のばらつき以外にレンズアクチュエータの機能を阻害する誤差をできるだけ多く導入すべきであると考えた。

そこで、制御因子の水準ばらつきに加えて、制御因子に取り上げていないシステム構成要素についても水準ばらつきを与えて誤差因子とすることにした。誤差因子の数が127種類と多いため、 L_{128} 直交表を利用した。制御因子は、上記誤差因子によるばらつきを小さくするための3水準の設計パラメータ13個を L_{36} 直交表に割り当て、誤差因子 L_{128} 直交表との直積実験を行う。

本設計は、シミュレーションを積極的に活用して実施した。多くの誤差因子を取り上げると、実験規模が増加するため、解析モデルをできるだけシンプルに作成する必要がある。そこで今回、解析モデルをFig. 3のように簡略化した。これは、6本のサスペンションワイヤと重心、推力作用点(Drive Points)、変位出力点からなる点と線の簡略モデルであり、1計算1秒未満にて実施可能である。これにより、実験回数は $L_{36} \times L_{128} \times 8$ ポジションの約計37000回となるが、簡略化モデルにより全実験は2時間程度で実施可能である。

実験のデータ形式をTable 1に示し、計算例を以下に示す。x軸周りとy軸周りのチルト量をゼロ望目特性で評価する。チルト量は変位検出点の各軸回りの回転変位3成分より検出する。計算例を以下に示す。

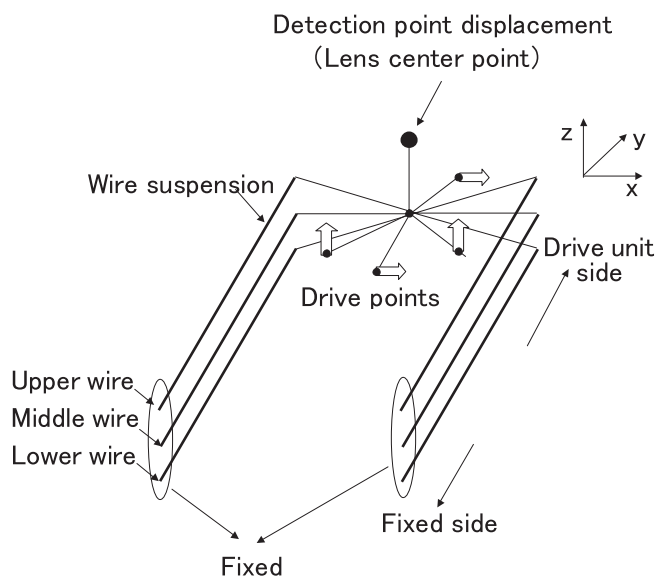


Fig. 3 CAE model of actuator.

Table 1 Zero-is-best response data format.

Control factor	Noise factor		Tilt		
	No.	L ₁₂₈ Position	Rotx(')	Roty(')	
1	1	Top	2.1633	2.8892	
		Bottom	-2.1633	-2.8892	
		Right	0.0012	-2.4706	
		Left	⋮	⋮	
		Top right	⋮	⋮	
		Top left	⋮	⋮	
		Bottom right	⋮	⋮	
		Bottom left	⋮	⋮	
	2	⋮	⋮	⋮	⋮
		⋮	⋮	⋮	⋮
		⋮	⋮	⋮	⋮
		128	⋮	-3.9972	8.1929
2	⋮	⋮	⋮	⋮	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
36	⋮	⋮	-1.1234	17.8745	

$$\begin{aligned} \text{全変動 } S_T &= 2.1633^2 + 2.8892^2 + \dots + 8.1929^2 \\ &= 196968.1865 \quad (f_T = 2048) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{平均出力 } S_m &= \frac{(2.1633 + 2.8892 + \dots + 8.1929)^2}{2048} \\ &= 80956.8706 \quad (f_m = 1) \end{aligned}$$

$$\text{誤差変動 } S_e = S_T - S_m = 116011.3159 \quad (f_e = 2047)$$

$$\text{誤差分散 } V_e = \frac{S_e}{f_e} = 56.6738$$

$$\text{SN比 } \eta = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{V_e} \right) = -17.53 \text{ (db)}$$

3 アクチュエータの評価結果と考察

ゼロ望目特性SN比の要因効果図と確認実験結果を Fig. 4 に示す。推定値利得が6.52 db に対し確認実験利得が3.50 db であり、再現性が不足している。

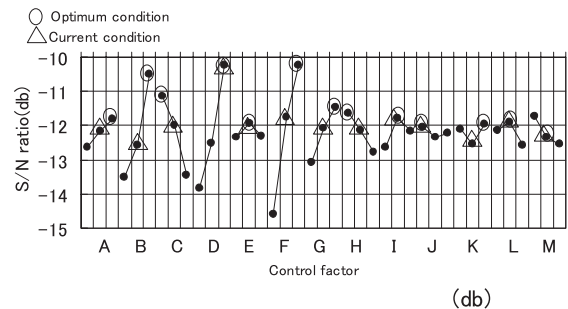
レンズアクチュエータはフォーカス方向、トラック方向の駆動は独立しているが、フォーカス方向とトラック方向に同時に駆動させた場合にはそれぞれの動きが互いに影響を及ぼすため、フォーカス方向であるディスクに近づけた位置（以下、Top）の結果のみ、トラック方向であるディスク外周に近づけた位置（以下、Right）の結果のみを使用して要因効果図を作成した。また、それらを組み合わせた Top right（斜め右上）位置の結果を用いて要因効果図を作成した。

Top 位置のデータ形式を Table 2 に、結果を Fig. 5 に示す。Top 位置の場合、ある程度再現性が得られていることがわかる。また、Right 位置の結果 (Fig. 6) でも同様に再現性が得られている。しかしながら、これら

を組み合わせた Top right 位置の結果 (Fig. 7) では、再現性が急激に悪化していることがわかる。

以上の結果より、各駆動方向単独評価では再現性が得られるが、駆動方向を組み合わせると再現性が得られていない。すなわち、それぞれの駆動方向で交互作用が発生していることが予想される。

チルト量を小さくしたいのでチルト量を特性値にゼロ望目特性のSN比を求めたが、この評価方法ではうまく設計できないことが明らかとなった。利得再現性を獲得するには、評価特性そのものを見直す必要があることを示唆する結果であった。

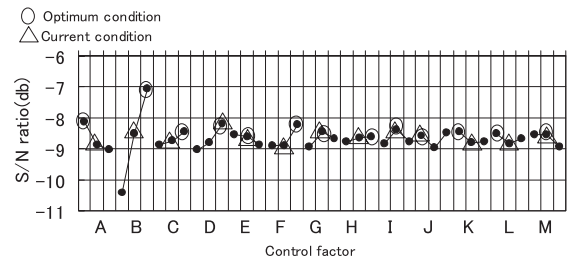


	Prediction	Confirmation
Current	-9.11	-10.16
Optimum	-2.59	-6.67
Gain	6.52	3.50

Fig. 4 Zero-is-best response result using all positions.

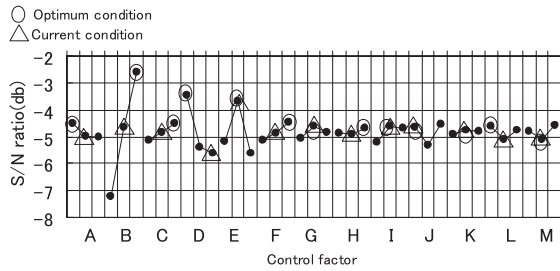
Table 2 Zero-is-best response data format.

Control factor	Noise factor		Tilt	
	No.	L ₁₂₈ Position	Rotx(')	Roty(')
1	1	Top	2.1633	2.8892
	2	Top	2.3585	-8.5738
	⋮	Top	⋮	⋮
	128	Top	⋮	⋮
2	⋮	Top	⋮	⋮
⋮	⋮	Top	⋮	⋮
36	⋮	Top	0.8799	1.8931



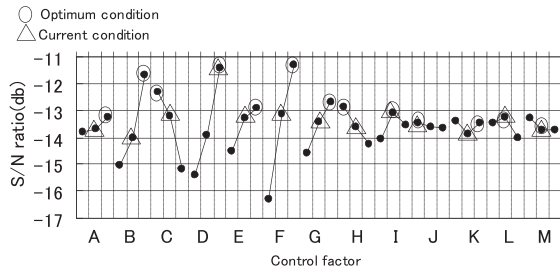
	Prediction	Confirmation
Current	-7.93	-8.64
Optimum	-4.08	-5.45
Gain	3.85	3.19

Fig. 5 Zero-is-best response result of top position.



	Prediction	Confirmation
Current	-4.45	-5.82
Optimum	1.67	1.75
Gain	6.12	7.57

Fig. 6 Zero-is-best response result of right position.



	Prediction	Confirmation
Current	-10.35	-11.49
Optimum	-2.51	-7.74
Gain	7.85	3.75

Fig. 7 Zero-is-best response result of top right position.

4 評価方法の見直し (品質特性→機能評価)

4.1 アクチュエータの評価特性

前述の通り、チルト量という品質特性を評価していたため加法性がなく再現性が得られなかったと考えられた。そこで、アクチュエータの機能そのものを評価できるよう、特性値を見直すことにした。

機能を評価するとは、すなわち動特性を評価することである。具体的に説明すると、Fig. 8 のようにレンズ位置周りに8点の測定点を設け、駆動時の測定点すべての駆動量が等しければ、傾き量がゼロだといえる。これは測定場所誤差と考える。

レンズアクチュエータはフォーカス方向、トラック方向と独立した2方向に駆動するが、1つの要因効果図で2つの機能の効果を同時に評価するため、フォーカス方向の駆動指示量を信号水準、そのときの実際のフォーカス駆動量を出力特性、トラック駆動量を誤差因子とした動特性で評価を行うことにした。この評価では光ディスクシステムの誤差感度が高いx軸周りとy軸周りのチルトを評価できるため、トラック方向の駆動指示量を信号水準とした評価は不要と考えた。

本評価では、信号因子であるフォーカス方向にレンズ中心点とレンズ中心点周りの8測定点すべての駆動量が信号水準である駆動指示量にそろっていることが理想で

ある。その考えに基づいた、新たな解析モデルを Fig. 9 に示す。レンズ中心点周りに測定点を8個作成したこと以外は前回と同じである。また、制御因子や外側に割り当てる L_{128} 直交表の誤差因子は前回の評価と同様に与えた。トラック駆動3方向や測定点8か所は誤差因子として多元配置で解析を行う。信号因子は、Fig. 8 の Lens center point のフォーカス上方向駆動量、0、下方向の駆動量の3水準とする。本評価における、入出力関係の一例を Fig. 10 に示す。

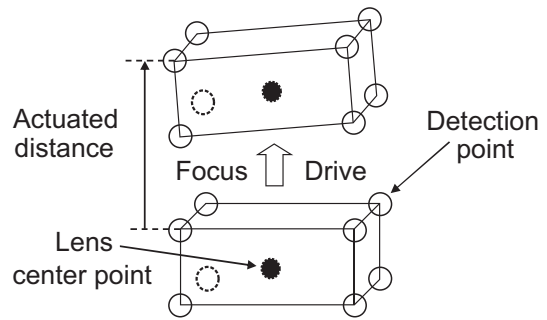


Fig. 8 Actuated distance of lens.

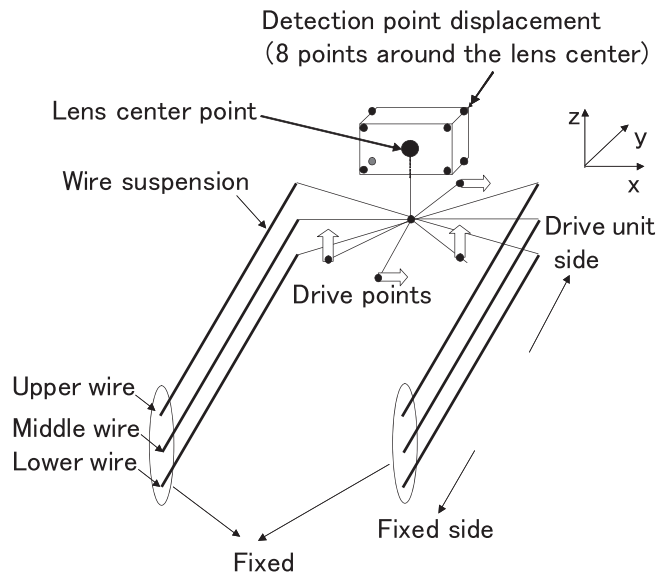


Fig. 9 CAE model of actuator.

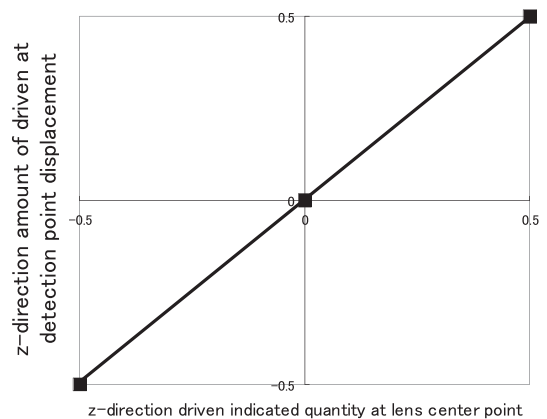


Fig. 10 Input-output relation.

4.2 見直した評価計画と結果

データ形式を Table 3, 分散分析を Table 4 に示し, 計算例を以下に示す。Table 3 のノイズ部 Point とは Fig. 8 の Detection point のことである。

Table 3 Dynamic response data format.

No.	Noise			Signal M(Displacement z)			L	
	L ₁₂₈	Track	Point	-0.5	0	0.5		
1	1	Left	1	-0.50060	-0.00021	0.50022	0.500411	
			2	⋮	⋮	⋮	⋮	
			3	⋮	⋮	⋮	⋮	
			4	⋮	⋮	⋮	⋮	
			5	⋮	⋮	⋮	⋮	
			6	⋮	⋮	⋮	⋮	
			7	⋮	⋮	⋮	⋮	
			8	⋮	⋮	⋮	⋮	
	Middle	1	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
		8	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
		Right	1	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
			⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
			8	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
			⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
			⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
	128	⋮	⋮	-0.49738	0.00270	0.50277	0.500076	
	2	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
	36	⋮	⋮	-0.49743	0.00141	0.50034	0.498886	

Table 4 ANOVA.

Source	f	S	V
sensitivity β	1	1535.999679	
noise of position $\text{position} \times \beta$	7	⋮	
noise of track $\text{track} \times \beta$	2	⋮	
noise of L ₁₂₈ factor1 $N_1 \times \beta$	1	⋮	
⋮	⋮	⋮	
noise of L ₁₂₈ factor127 $N_{127} \times \beta$	1	⋮	
residuals e	9079	0.094059	1.036E-05
total noise N'	9215	0.094093	1.021E-05
total variation T	9216	1536.093772	

$$S_T = -0.5006^2 + (-0.00021)^2 + \dots + 0.50277^2$$

$$= 1536.093772 \quad (f_T = 9216)$$

$$S_\beta = \frac{(0.500411 + \dots + 0.500076)^2}{3 \times 8 \times 128r} = 1535.999679 (f_m = 1)$$

$$S_{\text{position} \times \beta} = \frac{(\text{Point 1 線形式和})^2 + \dots + (\text{Point 8 線形式和})^2}{128 \times 3r} - S_\beta$$

$$= 0.0000309405 \quad (f_{\text{position} \times \beta} = 7)$$

$$S_{\text{track} \times \beta} = \frac{(\text{Left の線形式和})^2 + \dots + (\text{Right の線形式和})^2}{128 \times 8r} - S_\beta$$

$$= 0.000000065661 \quad (f_{\text{track} \times \beta} = 2)$$

$$S_{N_1 \times \beta} = \frac{(\text{因子1の水準1線形式和})^2 + (\text{因子1の水準2線形式和})^2}{8 \times 3 \times 64r} - S_\beta$$

$$= 0.0000000000886757 \quad (f_{N_1 \times \beta} = 1)$$

$$S_{N'} = S_T - S_\beta = 0.094093 \quad (f_{N'} = 9215)$$

$$V_e = \frac{S_e}{f_e} = 0.00001036$$

$$V_{N'} = \frac{S_{N'}}{f_{N'}} = 0.00001021$$

$$\eta = 10 \cdot \log \frac{1}{3 \times 8 \times 128r} (S_\beta - V_e) = 49.91 \text{ (db)}$$

$$S = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{3 \times 8 \times 128r} (S_\beta - V_e) \right) = -0.000 \text{ (db)}$$

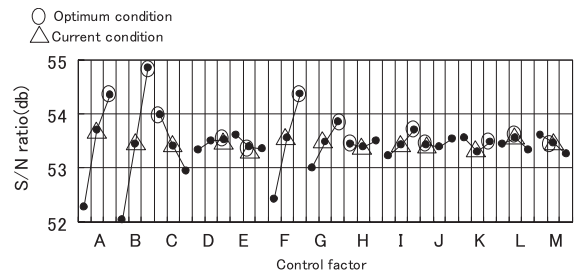


Fig. 11 Result of first optimization.

動特性 SN 比の要因効果図と確認実験結果を Fig. 11 に示す。推定値利得が 4.33 db, 確認実験利得が 4.16 db と非常に高い利得再現性が得られている。先の検討から制御因子, 誤差因子は変更していないので, 評価特性をチルト量から駆動量に置き換えたことで利得再現性が大幅に向上したことになる。まさに, 「品質が欲しければ品質を測るな」という品質工学の名フレーズを実証する結果となった。なお, 誤差因子を正方向, 負方向で均等に与えているため, 平均駆動量に相当する感度の値は, 実験全体を通してほぼ 0 db であった。

以上のように, 評価特性を見直したことにより, 設計に使用できる評価技術を確認できた。4 db の利得による改善効果が不十分であると考え, 次に反復実験により, 最適化の限界を見極める。

4.3 反復最適化による安定性向上

反復最適化とは, 要因効果図において各制御因子の最適条件を現行条件にして, 再び L₃₆ × L₁₂₈ 解析を繰り返して利得を積み上げていく設計方法である。例えば, 1 回目パラメータ設計の因子 A の第 3 水準は 2 回目パラメータ設計の第 1 水準に設定する。

品質工学においては, パラメータ設計時にはできるだけ制御因子水準の幅を広めにとって評価することが推奨されている。だが制御因子水準幅は適切な範囲を超えて過剰に広くしすぎると実験がうまくいかないのが経験的な事実であるが, その適切な水準幅が実験の前に初めからわかっていることはまずありえない。また, パラメータ設計の結果はその実験内での改善傾向を示しているが, SN 比が上がり設計条件が変わると, もう一度パラメータ

設計を行った際の改善傾向が逆転するようなことは大いに発生し得る。その点で実物実験とは異なり、シミュレーションにおいては、評価モデルを工夫することで実験時間を短くすることが可能であるため、実験工数の増加という反復最適化の欠点を補うことができる。本研究の効率度をみれば明らかである。品質工学におけるシミュレーション実験は反復最適化を行うことを前提に実験計画を組むことが推奨される。

制御因子の水準幅は初回の水準幅と同程度を繰り返して設定する。誤差因子は全実験を通して、初回の因子と水準幅を変更しないで設定する。このような設定方法にて Fig. 11 の要因効果図の最適条件を現行条件として、1回目の最適化を行い、これを繰り返して計5回の反復実験を行った。Fig. 12 に、5回の反復実験の要因効果図をまとめて示す。全体的に改善傾向に方向性があるが、因子Cについては、途中で最適条件の傾向が逆転しており、反復最適化によるメリットを享受できている。この現象はSN比が上がり安定化することにより最適条件の方向が変化していく一例だといえる。

Fig. 13 に反復最適化による確認実験のSN比積み上げの推移を示す。初回は現行条件で、以降は各最適条件のSN比である。5回の反復実験を通して推定値が21.49db、確認実験値が21.41dbと高い利得再現性を得た上で、SN比を大幅に向上できた。

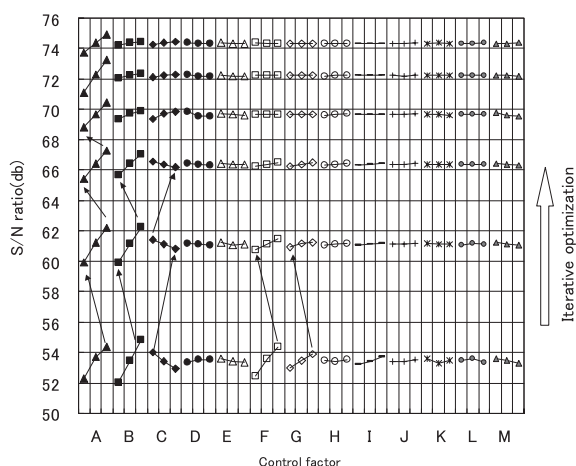
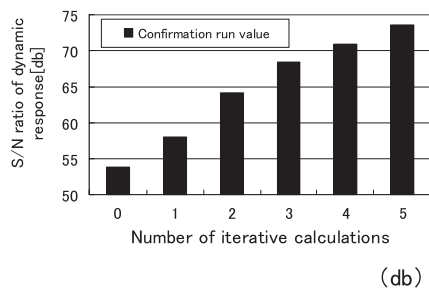


Fig. 12 Response graph of iterative optimization.



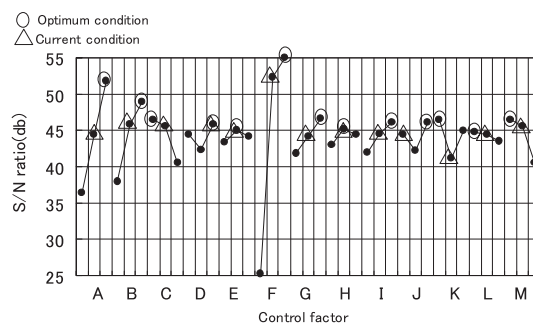
	Prediction	Confirmation
Current	53.70	53.84
Optimum	75.19	75.25
Gain	21.49	21.41

Fig. 13 Result of iterative optimization.

4.4 反復最適化による設計の効果検証

反復実験の1つひとつは制御因子の水準範囲を狭くすることで加法性を確保しやすくし、SN比改善に有効な設計水準の方向を見いだす方法である。ただし、この方法は狭い実験範囲の積み上げであることに注意する必要がある。5回の反復実験によるSN比の利得が検討範囲全体において加法性が成立しているかどうかは、最終的な水準値を確定した後に改めて検証すべきであると考えられる。ここでは、5回の実験の検討範囲を網羅するパラメータ設計を改めて実施することにより、検証を試みる。そこで、モデルをそのままに制御因子の水準値を第2水準に初期条件、第1ないし第3水準に最終最適条件を設定し、残りの第1ないし第3水準については水準幅をそろえて反対側に設定した。誤差因子については、反復最適化を通して共通に設定したものと同一ものを使用した。Fig. 14 にその結果を示す。

利得再現性は物足りないが、それでも20dbを越えるSN比利得を確認することができた。Fig. 14 の制御因子水準の幅を広げたパラメータ設計の要因効果図の形が、反復最適化の時と大きく違って見えるのは、今回の水準幅を広げたパラメータ設計においては第2水準を基準にして片側は反復最適化の範囲であるが、第2水準の反対側が反復最適化の範囲を超えたパラメータ設計を行っていることになっており、それが原因であると推測する。



	Prediction	Confirmation
Current	58.09	53.84
Optimum	84.36	74.85
Gain	26.26	21.01

Fig. 14 Result of one-shot optimization.

5 考察

5.1 CAEによる品質特性の確認

SN比の改善に対する、品質特性であるチルト量の改善効果を確認するため、初期現行条件と反復実験により得られた最適条件のチルト量の分布を Fig. 15 に示す。これらは、レンズ中心検出点における、 L_{128} 誤差と全駆動位置 (8 ポジション) の x 軸, y 軸周りのチルト量の頻度分布図である。

初期現行条件 (上図) では目標範囲を外れる場合が見られるが、反復実験による最適条件 (下図) では駆動時

のチルト量が小さく、与えた誤差因子の範囲内ではあるものの、目標範囲に十分に収まっている。このことより、駆動量の動特性評価+反復実験によるパラメータ設計方法の有効性を具体的に示すことができた。

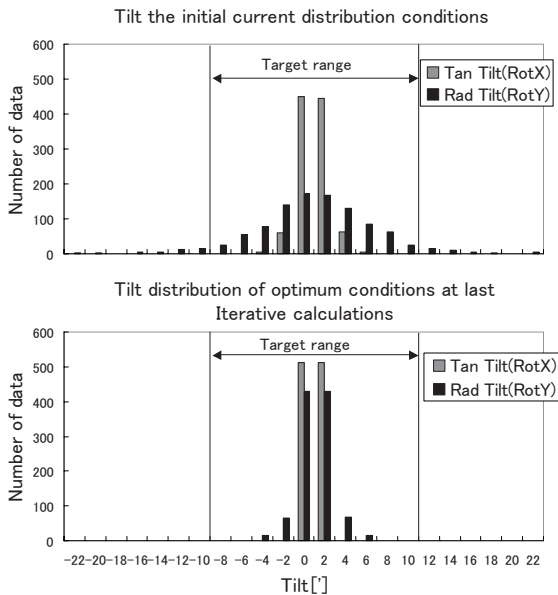


Fig. 15 Frequency histogram of tilt angle.

5.2 CAE活用の効果

通常CAEを活用すると、以下のような3つのメリットがある。1点目は、ものを作らないで評価でき、検討コスト、工数の削減が可能であること、2点目は、開発の上流で検討でき、設計の自由度が高いこと、3点目は、実物では実験できない範囲まで検討の幅を広げることができる点である。一方、ロバスト性の改善検討のような実験回数が数多く必要なケースでは、トータルの実験時間が長くなり、1回の実験時間の短縮が求められる。特に、市場でのロバスト性を高めるために、さらに多くの誤差因子を検討する場合、1回の実験時間の短縮が必須となる。そこで、CAEを活用し、機能性の評価に支障が出ない範囲で徹底的に解析モデルの簡易化を行なった。実際、今回考えられる誤差をすべて割り当てた約4万回の実験において、トータルの実験と評価を2時間程度で完了できた。また、直交表割付けに従った実験条件の自動設定、自動的な連続実験、さらには実験結果の自動解析までも実現させたため、上記規模の実験を5回繰り返す反復最適化においても、全体で約10時間程度で実施可能であった。これにより従来のCAEを使いつつも一因子実験を繰り返す設計方法と比べ、大幅な設計効率化を実現できる評価技術を構築できたと考えている。

5.3 損失関数による経済効果

駆動時のチルト量がFig. 15のように定義されその特性値がずれることにより発生する損失は、損失関数により以下のように定義される。

$$L = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \times \sigma^2$$

L : 損失

A_0 : 故障時の消費者の損失

Δ_0 : 機能限界

故障時の消費者の損失 A_0 は修理費用とその他費用から11000円と定義した。今回対象とする光ディスクシステムはレンズのチルト量が15分より大きいと情報を読み取ることができないため、機能限界 Δ_0 は15分と設定した。これより、損失関数は以下のように設定できる。

$$\begin{aligned} L &= \frac{11000}{15^2} \times \sigma^2 \\ &= 48.9 \times \sigma^2 \end{aligned}$$

ここで、Fig. 15における現行条件の σ は4.2分、最終最適条件の σ は1.3分である。いずれも平均値は0である。商品の総ロットは1000K（百万個）を想定していたため各条件の損失は以下の値になる。

$$\begin{aligned} L_{\text{現行条件}} &= \frac{11000}{15^2} \times 4.2^2 \times 1000K \\ &= 862,400,000\text{円} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{最終最適条件}} &= \frac{11000}{15^2} \times 1.3^2 \times 1000K \\ &= 82,622,222\text{円} \end{aligned}$$

つまり、現行条件では約8.6億円、最終最適条件では約8千万円である。

よって約8億円の経済効果があったといえる。今回の計算では当時想定していた総ロット百万個にて計算を行ったが、光ピックアップは市場で5百万個、1千万個程度生産されるような商品であり、駆動時に発生する傾きのばらつきを抑える汎用的な評価技術は数十億円の経済効果に値する重要な技術であると考えられる。

6 結論と今後の検討課題

本研究の目的は、組立誤差、環境誤差に対して駆動時に傾き（チルト）が発生しないロバストで高効率なレンズアクチュエータ設計のための評価技術構築を行うことであった。

本研究の結果を、以下にまとめる。

- (1) チルト量という品質特性では、再現性が得られず、評価方法として問題があった。そこで、駆動量を特性値とする動特性で評価する方法へと見直した結果、再現性の高い結果を得ることができた。動特性による評価は、必要な2方向の働きを同時に評価できるため効率も良く、評価技術としての汎用性も期待できると考えられる。

- (2) ロバスト性を高めるためには、誤差因子を制御因子の変動のみにする従来の実験では不十分であり、機能を阻害する数多くの誤差を積極的に割り当てた評価を行う必要がある。これは、制御因子の変動のみを誤差として与えた場合、チルトの発生傾向が現実とまったく異なる挙動を示しており、現象を正しく捉えきれていなかった。制御因子以外の誤差を積極的に割り当てることで現象を正しく捉えられることを確認した。本研究では、解析モデルの簡略化と結果処理の自動化により、下流にて発生しうる誤差を L_{128} 直交表として外側に割り付け、独立した2方向のはたらきを同時評価する比較的大規模な実験においても2時間程度で実施可能な高効率な評価技術を確認した。そのため、反復最適化を1日で複数回実施可能であり、レンズアクチュエータのロバスト設計を大幅に効率化できた。また、この評価技術は他のアクチュエータ、例えば弊社で販売しているSIDMアクチュエータの評価技術にも適応可能であると考えられる。
- (3) 対物レンズアクチュエータシステムは磁気回路部と構造部の2部構成のシステムであり、もっと評価効率の上がる技術開発を行うためには磁気回路部と構造部は同時に全体システムとしての基本機能の入出力関係で評価すべきである。現在そのような新しい技術開発の取組みも始めており、目標とする試作レス設計を目指していく。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導をいただいた応用計測研究所の矢野宏先生、コニカミノルタビジネステクノロジーの豊田美帆氏に深く感謝致します。

●参考文献

- 1) 田口玄一、矢野 宏：コンピュータによる情報設計の技術開発—シミュレーションとMTシステム—、日本規格協会、(2004)、pp.145-168.
- 2) 内田博志他：品質工学に基づくエンジンマウント系の最適設計、品質工学、12、6、(2004)、pp.51-58.
- 3) 阿部 誠他：シミュレーションによる衝突安全性能向上のためのコンポーネント特性の最適化、品質工学、12、4、(2004)、pp.58-65.
- 4) 豊田美帆他：IH定着装置の試作レス開発、品質工学、16、4、(2008)、pp.31-37.
- 5) 田口玄一：開発・設計段階の品質工学、日本規格協会、(1996).
- 6) Shinji Tanaka et al. : Super Thin Actuator for 7 mm-Height Optical Disc Drives, Int. Symp. Optical Memory 2007, Abthree Publishing Co., Ltd., pp.254-255.
- 7) Hideo Yamaguchi et al. : Two-Axis Actuator with High Sensitivity and Low Tilt, Int. Symp. Optical Memory 2000, Business Center for Academic Societies Japan. pp.138-139.

●出典

本稿は学会誌「品質工学」Vol.18 No.6 (2010年12月1日発行)からの転載である。本稿の著作権は品質工学会が有する。