

レンズ付フィルムシャッター機構のタグチメソッドによる設計安定性設計

Optimization of Parameters in Shutter Mechanism Design

溝 口 修 理*

Mizoguchi, Shuri

The Torikkiri Konica Goody (debut: July 1999) and Goody SUPER (debut: September 2000) provide bright and beautiful flash-photo backgrounds that conventional single-use cameras leave dark and hidden. The enabling technology involves flash-switch-controlled variable apertures and, with the Goody SUPER, a flash reflection feedback control. To provide these sophisticated mechanisms with optimal exposure conditions, shutter mechanism reliability was critical. Reported on here are the Taguchi Method simulations and parameter optimization that made the design of these shutter mechanisms possible.

1 はじめに

撮りっさりコニカMiNi Goody ('99.7発売) Goody SUPER ('00.9発売) は、フラッシュ連動絞り切り替え機構と調光機能付きフラッシュを搭載し、従来暗く沈んでいたフラッシュ撮影時の背景を明るくよりキレイに撮影することができるレンズ付フィルムである。この最適な露出条件を実現するための必須条件として安定したシャッター機構が望まれた。

本件は、このGoodyシリーズに採用されたシャッター機構のシミュレーション設計にタグチメソッドを適用した、安定性設計の手法に関するものである。

2 レンズ付フィルムのシャッター機構

一般にレンズ付フィルムのシャッター機構は、「ギロチンタイプ」と呼ばれる単板往復開閉方式が採用されており、この遮蔽板（以降セクターと記す）を開閉することにより感光フィルム面への光線照射量をコントロールす

る。この開閉動作は、圧縮されたばねの力を、シャッターボタンを押す事によって解放し行なうため、一連の動作には過渡のコントロールは行われない。(Fig. 1) このため、初期設計段階においてシャッタースピードを予測する事は難しく、設計当初に見積もった定数や部品寸法の修正限度を超えると、試作確認段階から溯って再設計が必要となる。

3 従来の方法

従来3次元CADにより設計されたデータにて、機構シミュレーションを行なっている。この時各種設計パラメータの初期値は勘と経験により割り付けられ、シミュレーション実行と、パラメータの微調整を繰り返す。こうして決定された設計値により実物モデルを試作し、最終的な調整を行なって目標の値に絞り込んできたが、修正の予測範囲を超えると設計からの見直しとなり効率的とはいえない。

そこで、この最も予測の難しい性能の一つであるシャッ

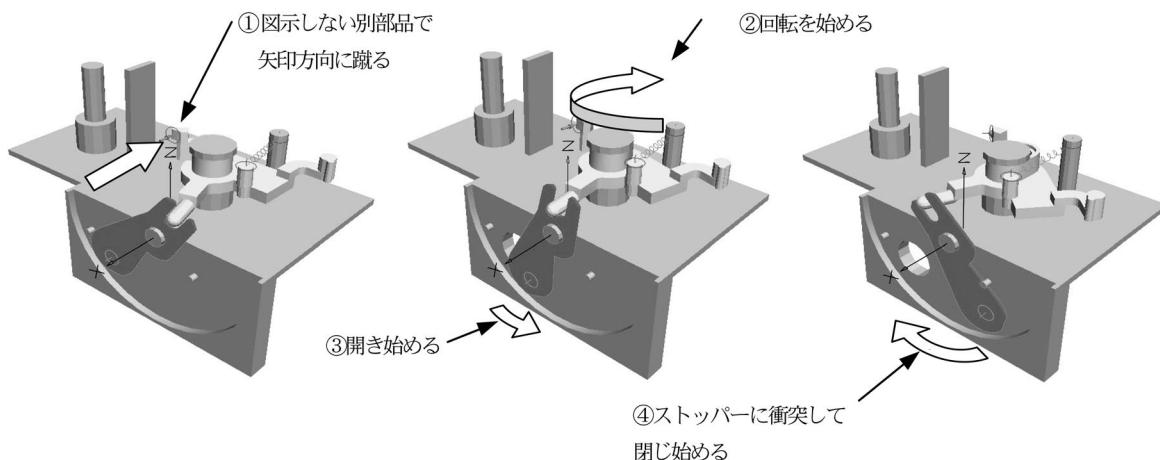


Fig. 1 レンズ付フィルムのシャッター機構

* CI カンパニー IC 事業部 SU 生産センター

タースピードを決定する、各種寸法および諸元の初期設計に関し、限られた期間に安定した機構を効率的、客観的に設計するため、設計初期段階の機構シミュレーションにタグチメソッドを適用し、最適化設計を行なうこととした。

4 理想機能

シミュレータでは通常ユーザーの使用条件や経時劣化などの環境誤差の影響は取り扱うことができない。本発表では、環境の影響は部品の寸法や物性値など設計因子の誤差となって現れると考え、制御因子に誤差を与えてシミュレーションを行い、標準条件におけるシミュレーション出力からの変動が無い事を理想とした。すなわち、誤差因子の変動に対して出力が安定した設計は、環境による劣化に対しても安定であると考える。

5 入出力の考え方

計算に使用した3Dモデルを Fig. 2 に示す。

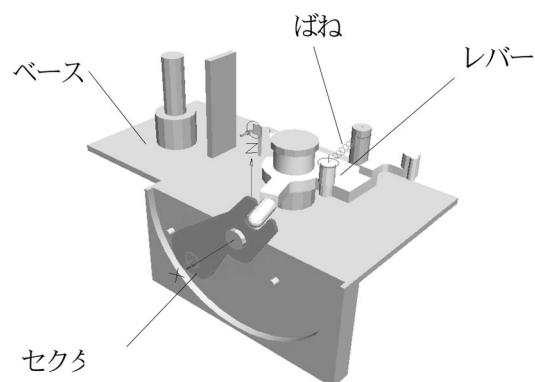


Fig. 2 3Dモデル外観と各部の名称

5.1 手法①

シャッター機構の動作時間に対するセクター動作の安定性を SN 比で評価する方法。これまで品質工学で提案されてきた考え方に基づく。信号は時間、出力をセクターの位置とする入出力を考えるが、本事例でセクターは往復運動をするために、Fig. 3 左に示したような挙動を示し、動特性として扱えない。そこで出力はセクター動作角度の変化量の累積値として、単調増加の結果 (Fig. 3 右) に置き換えた。

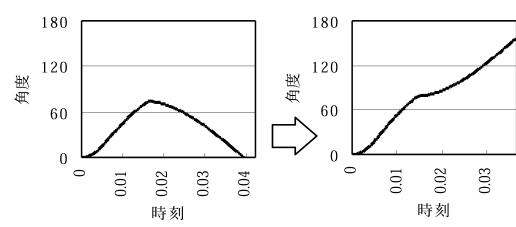


Fig. 3 データ変換

5.2 手法②

手法①では、Fig. 4 に示したような入出力となり、元々システムに直線関係がない。

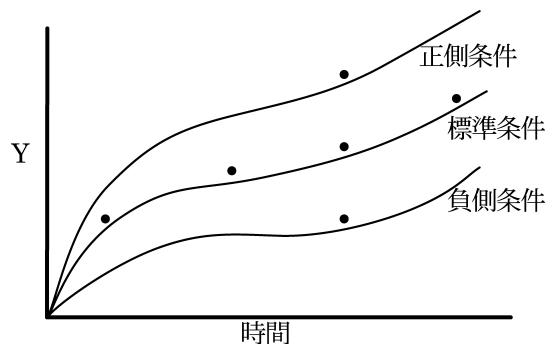


Fig. 4 手法①の入出力関係

そこで、標準条件におけるセクター位置のシミュレーションによる出力を信号とし、誤差条件下でのセクター位置のシミュレーション結果を出力とする動特性を考えた。(Fig. 5)

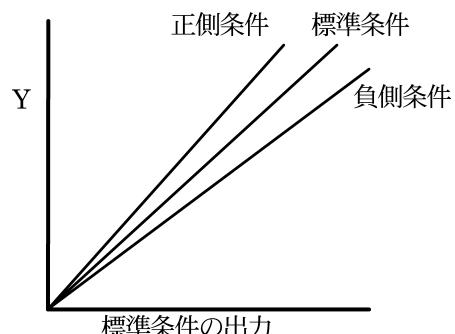


Fig. 5 手法②の入出力関係

6 実験の割付

誤差因子 N：各制御因子水準を標準条件に対し $\pm 5\sim 10\%$ 変動させ、出力を正側、負側に変動させる方向で調合した 2 水準に、標準条件を加えた 3 水準とした。

制御因子：部品寸法、設置位置、ばね定数など 8 因子を L18 直交表に割り付けた。(Table 1)

Table 1 因子と水準の割付表

	制御因子	第1水準	第2水準	第3水準
A	部品 A の重量	$\times 0.5$	現行	
B	部品 B の重量	$\times 0.5$	現行	$\times 2.0$
C	部品 B の重心位置	現行	外	大外
D	バネの定数	現行	$\times 1.3$	$\times 1.5$
E	バネの取付角度	A	B	C
F	部品 C、D 間の距離	重心軌道内	重心軌道上	現行
G	部品 A のストローク	短い	現行	長い
H	動作入力	弱い	現行	強い

7 手法①によるパラメータ設計

7.1 手法①の構成

信号因子 T をシャッター機構の動作時間として、出力 y はセクター動作角度の変化量の累積値とした。(Table 2)

Table 2 データ形式

No.	制御因子								誤差	信号因子				
	A	B	C	D	E	F	G	H		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
1	1	1	1	1	1	1	1	1	標準条件 N ₁	y ₁₁	y ₁₂	y ₁₃	y ₁₄	y ₁₅
									正側条件 N ₂	y ₂₁	y ₂₂	y ₂₃	y ₂₄	y ₂₅
									負側条件 N ₃	y ₃₁	y ₃₂	y ₃₃	y ₃₄	y ₃₅
18														
	2	3	3	2	1	2	3	1	標準条件 N ₁					
									正側条件 N ₂					
									負側条件 N ₃					

7.2 SN 比の計算

SN 比は以下の計算によって求めた。システムが元々非線型であるため、Ve を SN 比・感度の計算から除外した。

$$r = M_1^2 + M_2^2 + \cdots + M_5^2$$

$$L_1 = y_{11}M_1 + y_{12}M_2 + \cdots + y_{15}M_5$$

$$L_2 = y_{21}M_1 + y_{22}M_2 + \cdots + y_{25}M_5$$

$$L_3 = y_{31}M_1 + y_{32}M_2 + \cdots + y_{35}M_5$$

$$ST = y_1^2 + y_2^2 + \cdots + y_{25}^2 (f = 15)$$

$$S\beta = \frac{(L_1 + L_2 + L_3)^2}{3r} \quad (f = 1)$$

$$SN \times \beta = \frac{L_1^2 + L_2^2 + L_3^2}{r} - S\beta \quad (f = 2)$$

$$Se = ST - S\beta - SN \times \beta \quad (f = 12)$$

$$Ve = \frac{Se}{12}$$

$$VN = \frac{SN \times \beta}{2}$$

$$\eta = 10 \log \frac{\frac{1}{3r}(S\beta - Ve)}{VNX}$$

7.3 因効果図と最適条件選択

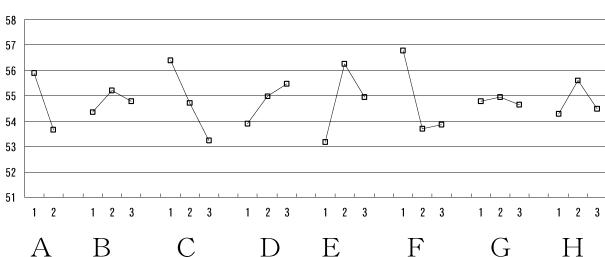


Fig 6. 手法①の要因効果図

Table 3 現行条件と最適条件

現行条件	A2 B2 C1 D1 E1 F3 G2 H2
最適条件	A1 B2 C1 D3 E2 F1 G2 H2

7.4 利得の推定と確認実験結果

Table 4 利得の推定と確認実験の結果

	現行条件 (db)	最適条件 (db)	利得 (db)
SN 比 推定値	+53.26	+63.08	+9.82
確認値	+51.72	+56.07	+4.35

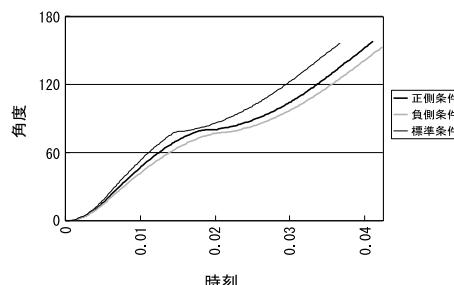


Fig. 7 現行条件での角度推移

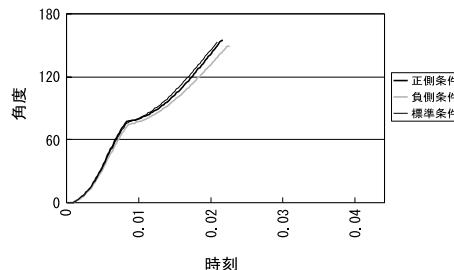


Fig. 8 手法①による最適条件での角度推移

最適条件は現行条件に比べて 10db 近い利得が期待されたが、確認実験では 4.3db と小さく再現性も低かった。

8 手法②によるパラメータ設計

8.1 ②の構成

信号因子 M を標準条件におけるシミュレーション出力値（セクター動作角度累積値）として、出力 y は誤差条件のシミュレーション出力値（同累積値）とした。(Table 5)

Table 5 データ形式

No.	制御因子								信号	標準条件	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	
	A	B	C	D	E	F	G	H		出力	正側条件 N ₁	y ₁₁	y ₁₂	y ₁₃	y ₁₄	y ₁₅
										負側条件 N ₂	y ₂₁	y ₂₂	y ₂₃	y ₂₄	y ₂₅	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	信号	標準条件						
										出力	正側条件 N ₁	y ₁₁	y ₁₂	y ₁₃	y ₁₄	y ₁₅
										負側条件 N ₂	y ₂₁	y ₂₂	y ₂₃	y ₂₄	y ₂₅	
18									信号	標準条件						
	2	3	3	2	1	2	3	1		出力	正側条件 N ₁					
										負側条件 N ₂						

8.2 SN 比の計算

計算式を以下に記す。

$$r = M_1^2 + M_2^2 + \dots + M_5^2$$

$$L_1 = y_{11}M_1 + y_{12}M_2 + \dots + y_{15}M_5$$

$$L_2 = y_{21}M_1 + y_{22}M_2 + \dots + y_{25}M_5$$

$$ST = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{25}^2 \quad (f = 10)$$

$$S\beta = \frac{(L_1 + L_2)^2}{2r} \quad (f = 1)$$

$$SN \times \beta = \frac{L_1^2 + L_2^2}{r} - S\beta \quad (f = 1)$$

$$Se = ST - S\beta - SN \times \beta \quad (f = 8)$$

$$Ve = \frac{Se}{8}$$

$$VN = \frac{SN \times \beta + Se}{9}$$

$$\eta = 10 \log \frac{\frac{1}{2r}(S\beta - Ve)}{VN}$$

8.3 因効果図と最適条件選択

手法①と比較して要因効果図の形状はかなり異なるが、連続量を割り付けた制御因子での山谷形状は、手法①より少なかった。

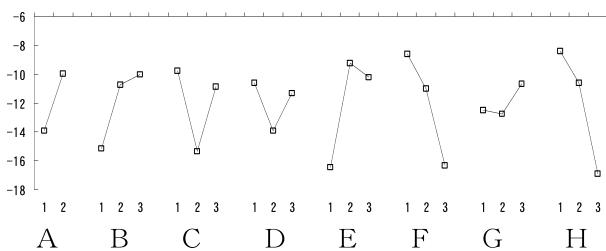


Table 6 現行条件と最適条件

現行条件	A2 B2 C1 D1 E1 F3 G2 H2
最適条件	A2 B3 C1 D1 E2 F1 G3 H1

8.4 利得の推定と確認実験結果

Table 7 利得の推定

	現行条件 (db)	最適条件 (db)	利得 (db)
SN 比 推定値	-13.49	+6.49	+19.98
確認値	-20.36	-7.65	+12.71

20db 近い利得の推定値に対し、13db 程度と、手法①と同様に必ずしも利得の再現性は高いと言えないが、非常に大きい改善が期待できる結果となった。

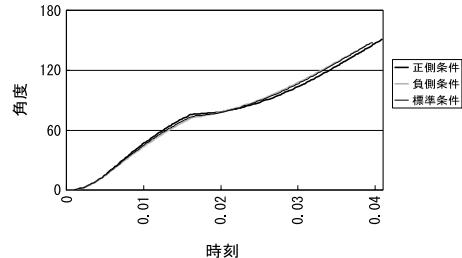


Fig. 10 手法②による最適条件での角度推移

9 むすび

本件報告は、開発の最上流であるシミュレーションプロセスにおいて、品質改善も期待して、タグチメソッドと組み合わせて実施した事例である。当初、品質工学の動特性に習って入出力を考えた（手法①）が、環境の影響そのものを計算できないシミュレーション系では、手法②の方が、汎用的かつ良好な結果を得る事が確認できた。シミュレーションの種類・内容に関わらず、入出力が定義でき汎用性が高く、実用性の高い手法であると実感する。機構設計者にとって、実物を手にする前の初期段階に、未知なる設計の評価を客観的に出来る事は、後々のリカバリーを軽減する最大の武器と言える。

尚、本事例では、セクター動作角度（Fig 3 左）に目標カーブが存在しないため、目標値への合わせ込み（チューニング）は実施しなかった。目標値への合わせ込みが必要な場合は、本事例のように安定性を確保した後に、更にシミュレーションを用いたチューニングを実施する事により、より効率的な開発が可能となる。

シミュレーション設計にタグチメソッドを適用することで、より早期により確実な設計が可能となった。ユーザーに、より迅速に応える手段を手にすることで、より多くの創造的アイディアの具現化を推進したい。

機構設計に限らず、本件報告の内容がより良い設計のために役立てば幸いである。

謝辞

本研究を進めるにあたって、テーマ選定当初より多大なるご指導をいただきました田口玄一先生ならびに、弊社品質工学推進メンバー松坂 昌司氏、飛田 啓輔氏、田村 希志臣氏に感謝の意を表す。

●参考文献

- 1) 溝口修理：第9回品質工学研究発表大会論文集、2001、p230～p233 (2001)