

# 試作レスの設計・技術手段の評価（21世紀 SN 比の活用）

## シミュレーションと品質工学との融合

A Technological means by the design which doesn't manufacture it as an experiment is evaluated.

(Use for the 21st century SN ratio).

Fusion of the Computer Simulation and Quality Engineering

原 和彦

*Kazuhiko Hara*

品質工学における技術開発の中心にあるのが、パラメータ設計と呼ばれるものである。1970年代、田口玄一博士によるパラメータ設計の論説は、ホイストンブリッジのテーマであったことから分かるように、シミュレーションから始まった。しかし、1980年代に多く技術開発に適用される過程で、個別の技術の働き、すなわち基本機能と呼ばれるものに関心が集まり、2000年に21世紀の品質工学という主張が出るまで、シミュレーションは片隅に追いやられていたといっ  
てよい。しかし、標準SN比という提案と共に、シミュレーションによる技術の最適化は、現在の品質工学の花形となりつつある。つまり、試作レスといわれる新しい設計の世界である。その課題を検討したい。

### 1. シミュレーションの課題

Q.シミュレーションは何でも解決できるという人がいるが、実際にはどんなもので、いかなる課題を持っているか。

A.シミュレーションは、元来は実在するものの模倣実験や模倣装置のことであるが、最近では、コンピュータを活用して実際の装置と同じ働きをする飛行機のコックピットなどの装置も登場している。また、自動車の衝突実験や砲弾の命中実験など実物実験では高価な代償を支払う実験などではシミュレーションは効果を発揮している。最近では競馬や野球や各種戦略ゲームにも頻繁に使われている。

このような場合のシミュレーションの応用は、実在するものの現象解明や予想に使われる場合が殆どである。しかし、品質工学におけるコンピュータシミュレーションの活用は現象解明に使うことが主な目的ではない。すなわち、技術開発や設計段階で市場の使用環境条件や劣化などのノイズに強い最適な設計条件を求めることが目的である。勿論、目標値がある場合には、その後で、目標値に合わせる機能設計に使うことも可能である。

シミュレーションの特徴は、「実際に測れない物」や「実際に作れない物」の実験ができる。市販されているシミュレーターは、応力、熱量、風速、電磁場など何でも解析できる。つまり、実測できないのに結果が見られるのである。

電子写真でも、マグネットローラの磁場とか帯電器の電場解析とかは、現物での実測は困難なのに、シミュレーションでは容易に解析結果から改善方向を見出すことが可能である。つまり、シミュレーションは、何でも解決できるというのは正しいと考えている。

シミュレーションの当初は、マックスウェルの運動方程式を用いた等価回路でシステムの入出

力の解析を行っていたが、有限要素法の発達により、2次元だけでなく3次元のマトリックス解析やテンソル解析も可能になった。

従来は機械や電気回路の良さを、 $20\log(\text{出力}/\text{入力})$ の感度解析で行っていたが、品質工学における機能性の評価では、ノイズに対するSN比評価が重要で、感度解析は目標値に合わせる機能設計の時しか使わない。

すなわち、パラメータ設計を行う時には、内側の直交表(L18やL36)に制御因子を割り付けて、外側の直交表には、制御因子のばらつきと信号因子を割り付けて、内外の直交表の交互作用実験を計算で行うことになる。

しかし、シミュレーションにも問題がないわけではない。SN比の改善に限定使用するなら問題はないが、間違っただけで目標値合わせ(チューニング)にシミュレーションを用いた場合には精度の面で問題がある。したがって、従来、技術者が設計と意思込んでいる機能設計ではシミュレーションは余りメリットがなく、『機能性設計をする場合において、開発スピードや開発コストの面で有利になる』ということを知り技術者に理解させるのが一番大きな課題である。

さらに、品質工学の立場でシミュレーションについて考えておかなければならない課題がある。品質工学では、ばらつきを最小にしてから、目標値への調整は後で行うべきだと主張する。ばらつきを最小にすることは、その製品が出荷されてから使用環境条件の影響や劣化に対して強いということである。このようなばらつきの最小化を行った時、その結果は目標としている状態と大きく離れるのではないかという心配をする人が多い。ここは調整で何とかできるというのが品質工学の主張であるが、果たしてシミュレーションが不完全でもそのようなことが可能かというのが多くの人の疑いである。品質工学では、「品質を改善したければ品質を測るな」とか「問題が起きていないときに、問題を起こさないようにしろ」とか普通の人から聞けば首をかしげるような主張をして、実際に活用した人たちはそれを実証してきた。今回のシミュレーションも同じことになると思うがそのような過程を楽しむのが品質工学を活用している人たちで、始めて参加する人たちはためらうところである。

## 2. 試作レスの発想

**Q. 品質工学で主張する試作レスの考え方はどんなもので、それは本当に実現可能なのか。**

A. 品質工学で「試作レス」といっているのは、機能性設計でパラメータ設計を行う場合に試作品を使わずに、コンピュータシミュレーションで行うことである。

これまでのパラメータ設計では、表1のように、内側の直交表に制御因子を割り付けて、各実験番号毎に異なった試作品を作り、外側には信号因子と調合された二つのノイズをとって両者の交互作用実験を行い、SN比で機能性評価をする方法が中心であった。

これを簡単に説明するのは容易ではないが、外側に信号とノイズをとるとは、図1の(a)ようなデータを求めることである。信号因子の3水準に対して、意図的に設定された誤差因子(ノイズ)によってN1とN2というデータが求められている。たった6個のデータでよいのかという疑問もあるかもしれないが、ノイズをわざと大きくとることで、いわゆる統計的でないばらつきが求め

られている。図1(a)の場合は、選ばれた設計条件と信号因子とノイズの組合せ効果(交互作用)で求められている。図1(b)はこのような交互作用が小さくなっている状態を示している。

このような交互作用の変化する状態を設計条件をさまざま変えて求めるのがパラメータ設計と呼ばれるものである。

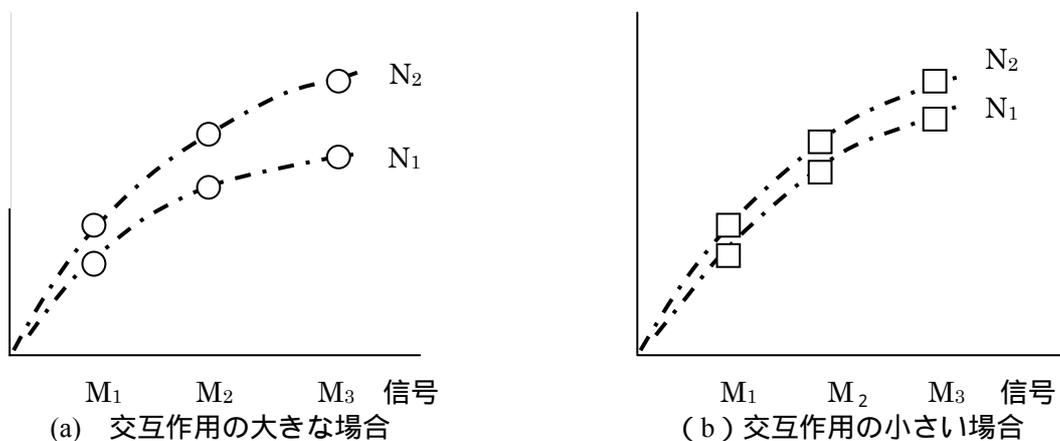


図1 . 信号因子による出力の変化

列 行	A	B	C	D	E	F	G	H	M1		M2		M3		SN 比 $\eta$ db	感度 S db
									N1	N2	N1	N2	N1	N2		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{21}$	$y_{22}$	$y_{31}$	$y_{32}$	$\eta_1$	$S_1$
2	1	1	2	2	2	2	2	2							$\eta_2$	$S_2$
3	1	1	3	3	3	3	3	3							$\eta_3$	$S_3$
4	1	2	1	1	2	2	3	3							$\eta_4$	$S_4$
5	1	2	2	2	3	3	1	1							$\eta_5$	$S_5$
6	1	2	3	3	1	1	2	2							$\eta_6$	$S_6$
7	1	3	1	2	1	3	2	3							$\eta_7$	$S_7$
8	1	3	2	3	2	1	3	1							$\eta_8$	$S_8$
9	1	3	3	1	3	2	1	2							$\eta_9$	$S_9$
10	2	1	1	3	3	2	2	1							$\eta_{10}$	$S_{10}$
11	2	1	2	1	1	3	3	2							$\eta_{11}$	$S_{11}$
12	2	1	3	2	2	1	1	3							$\eta_{12}$	$S_{12}$
13	2	2	1	2	3	1	3	2							$\eta_{13}$	$S_{13}$
14	2	2	2	3	1	2	1	3							$\eta_{14}$	$S_{14}$
15	2	2	3	1	2	3	2	1							$\eta_{15}$	$S_{15}$
16	2	3	1	3	2	3	1	2							$\eta_{16}$	$S_{16}$
17	2	3	2	1	3	1	2	3							$\eta_{17}$	$S_{17}$
18	2	3	3	2	1	2	3	1							$\eta_{18}$	$S_{18}$

表1 . 内側の直交表 L18 と外側の信号因子とノイズの交互作用実験

この際、表1のような直交表 L18 というのを利用する。この直交表には8つの設計条件を変化させたものを18通りの組合せによって実験を行っている。表中の1,2とか1.2.3は実験条件で小,大とか小,中,大とかに変化させたものである。これが内側パラメータであり、パラメータ設計は内側18通り、外側6通りで合計108回の実験を行い、SN比( db)と感度(Sdb)を求めて制御因子の最適条件を決めるのが基本である。

前述した市販のシミュレーターを使えば、機械システムや電気回路などのパラメータ設計では

極めて迅速に解析することが可能である。したがって、もっと大規模な計算が行われることもある。実際に実験を行う塗装などの塗膜の均一性などのパラメータ設計も通常なら試行錯誤を重ねて長時間を要することに比べれば、はるかに簡単で、開発設計や製造技術の開発のスピードアップとコスト削減が期待できる。

数年前に㈱ミノルタから発表された冷却システムのパラメータ設計でも、風量のデータの最適化を図るために、紙を使って風の流路モデルの試作品を作って実験されていたが、コンピュータシミュレーションで流路のモデルの解析ができれば18個の試作品を作る必要もなく、開発スピードもコストも削減できるのである。

しかし、品質工学の実験を体験した人たちが「目から鱗が落ちる」というように、実際の体験に踏切るまでが大変というのが難点といえば難点である。

また、従来のような理論解析の後で、試行錯誤的に何個かの同じ試作品を作って、もぐら叩きで信頼性試験や寿命試験を行い、品質を確認するような無駄な作業をなくすることも可能である。

しかし、製品の働きを表す機能を求める機能設計において、目標値に合わせこむ場合には、現状の仕事のやり方を考えると、最適条件で試作品を使って、効果を確認することが必要になる。

これを富士ゼロックスなどでは「ワンモデル」と呼んでいる。すなわち、テーマを完結するには、合わせこみ実験での試作は必須であり、『全てが試作レス』ということにはならない。

ノイズの影響を最小にする機能性設計におけるSN比の改善は試作レスが可能であるが、機能設計ではシミュレーションに使うパラメータが限られているため実製品を1基は作る必要がある。

### 3. 標準SN比の方法

Q.21 世紀型の品質工学とは新しいSN比から始まったというが、従来のSN比と何が違い、何故標準SN比がよいのか。

A. 2つのテーマに分けて考える。

#### 3.1 標準SN比の提起の背景

品質工学は、その殆どが田口玄一氏の創案で次々と新しい提案を行ってきた。特に、今回のSN比の求め方についての提案はSN比の概念を大きく変えるもので我々に大きな衝撃を与えた。

商品の目的機能や技術手段の基本機能の安定性(機能性)を評価する尺度がSN比である。そこで、新しいSN比(標準SN比という)と従来のSN比(基本機能のSN比)の特徴を比較してみる。

パラメータ設計は、機能性設計(ロバストネスの研究)と機能設計(チューニングの研究)の2ステップで行うことが重要である。これを「2段階設計」という。

まず、機能性設計を行う場合、理想機能を $y = \beta M$ と定義して、計測特性を $y = \beta M + e$ と考えて、理想機能からのずれ(e)から、次のように機能性を評価することになる。

すなわち、お客の欲しい有効成分である感度( )とお客が欲しくない有害成分であるノイズの効果( )の比で、SN比は $\eta(\text{db}) = 10 \log(\beta^2 / \sigma^2)$ で表される。

このSN比は、他社製品(材料、部品を含む)や計測器や工作機械などを購入する場合には、加法性は必要ないので、上記のSN比で機能性の評価を行っても構わないが、機能性を改善するパラメータ設計の場合、最適条件と比較条件とのSN比の利得の再現性が必ずしもよくない場合が発生していたのである。

これは図1を見るとよく分かる。図1では信号因子に対する出力の変化はゼロ点を通る曲線として描かれている。20世紀におけるSN比ではこの曲線を無理にでも直線にすることを理想としてきた。つまり、 $y=\beta M$ という関係を前提にSN比を求めてきた。そのために、曲線の状態が十分に直線にならないと、求めたSN比を作って最適条件を求めても十分に解決されていない場合が生じた。勿論これに対する対策がなかったわけではないが、これをすっきりと変えてしまうのが新しい提案である21世紀型のSN比の求め方である。

これをもう少し詳しく言うと、SN比の分母にあたる「ノイズの効果(2)」の中に、信号の乱れである2次効果が含まれているために、2次効果が大きい場合に「利得の再現性」を悪化させていたのである。お客の欲しくないノイズの影響は、使用環境条件や劣化のノイズに絞ることが大切である。従来SN比でも2次効果を除いたSN比で評価した場合もあったが完全なものではなかった。そこで、登場したのが「標準SN比」である。

### 3.2. 新しいSN比を用いた「21世紀型パラメータ設計」

機能性設計においては、パラメータ設計で求めた最適条件と比較条件の「利得の再現性」が下流において最も重要であることは上述したとおりである。

そこで、利得の再現性を高める方法として、田口先生から「標準SN比」という新しい概念を使って、機能性設計(ノイズの効果のみ)と機能設計(信号の効果のみ)の「完全分離の2段階設計」を行うことが「21世紀型品質工学」として提案された。

提案された背景やメリットは下記に示す通りであるが、20世紀型との大きな違いは、お客が欲しくないのはノイズの効果だけであるから、信号の乱れである非線形部分をSN比の分母の有害成分から除いて、ノイズだけの効果でSN比の利得の再現性の向上を図ったことである。

「スイッチ機構の開発事例」を通して、特性値が非線形の場合でも機能性の評価ができることを説明する。

#### (1) 目的機能の目標値と理想機能の定義

目的機能はクリックモーションの反転機能であるから、下図のような目標曲線を理想と考える。テストピースでも良いがパラメータ設計では18個のサンプルを作る必要があるので、コンピュータシミュレーションの方が簡単で開発期間が短縮できる。

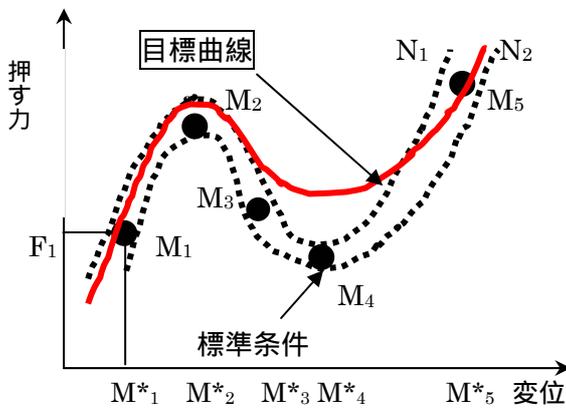


図2 スwitchの押す力と変位量の関係

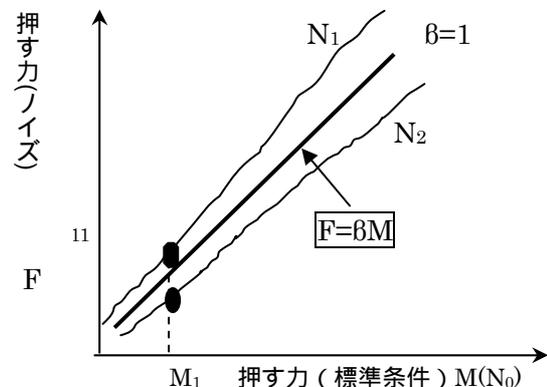


図3 標準条件とノイズとの関係

実際の目的機能は、図2のように押す力と変位の関数関係で表される。実線を目標曲線とする。まず、各変位ごとの押す力について標準条件とノイズを正側の最悪条件と負側の最悪条件に変

えたときのデータを求める。次に標準条件を信号因子と考えてノイズのデータを求めると、理想機能は図3に示すように  $F=\beta M$  でノイズはその前後に表される。感度の理想値は  $\beta=1$  である。

(2) 機能性設計 (ノイズの効果のみの機能性の評価)

目的機能を満足するシステムを選択した後で、最初は目標値や目標曲線は考えずに、ノイズを選んでノイズの効果だけの機能性の評価を行う。

シミュレーションの場合は、部品のばらつきをノイズにとって外側直交表に配置して、内側直交表に制御因子を割り付けて、ノイズと制御因子の交互作用で押す力のデータを実験番号ごとに表2のように求める。シミュレーションの場合、ノイズとして部品のばらつきを採るのは、部品が環境条件や劣化したとき、部品がばらつくためである。ノイズは、正側の最悪条件と負側の最悪条件に調合して  $N_1$  と  $N_2$  の二つのノイズで交互作用実験(計算)を行う方が計算時間は短くなり効率的である。

再現性を高めるためには、ノイズのエネルギーによって出力特性に加法性があるように使用環境条件や劣化を選ぶことが大切である。

表2 変位量と押す力の関係データ

M*変位量	N <sub>1</sub> (負側最悪条件)	N <sub>2</sub> (正側最悪条件)	M(標準条件)	目標値
M* <sub>1</sub> (1.5)	F <sub>11</sub> (2.3)	F <sub>12</sub> (2.9)	M <sub>1</sub> (2.6)	m <sub>1</sub> (2.5)
M* <sub>2</sub> (2.2)	F <sub>21</sub> (3.7)	F <sub>22</sub> (4.2)	M <sub>2</sub> (4.0)	m <sub>2</sub> (4.5)
M* <sub>3</sub> (3.2)	F <sub>31</sub> (1.8)	F <sub>32</sub> (2.4)	M <sub>3</sub> (2.1)	m <sub>3</sub> (2.0)
M* <sub>4</sub> (4.2)	F <sub>41</sub> (2.9)	F <sub>42</sub> (3.5)	M <sub>4</sub> (3.2)	m <sub>4</sub> (3.0)
M* <sub>5</sub> (6.3)	F <sub>51</sub> (5.2)	F <sub>52</sub> (5.8)	M <sub>5</sub> (5.5)	m <sub>5</sub> (5.0)
線形式	L <sub>1</sub> (62.44)	L <sub>2</sub> (72.48)		

M\*<sub>1</sub>, M\*<sub>2</sub> . . . : 変位量(mm)

F<sub>11</sub>, F<sub>21</sub> . . . : 各変位におけるノイズ N1 のときの押す力(g)

F<sub>12</sub>, F<sub>22</sub> . . . : 各変位におけるノイズ N2 のときの押す力(g)

M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> . . . : 各変位における標準条件の押す力(g)

m<sub>1</sub>, m<sub>2</sub> . . . : 各変位における押す力の目標値(g)

このような計算を直交表の実験番号ごとに行う。この計算の結果、標準条件の値を信号値として下記のような解析を行う。

(3) データの解析 (機能性の評価)

$$\text{線形式 } L_1 = M_1 \times F_{11} + M_2 \times F_{21} + \dots + M_5 \times F_{51}$$

$$= 2.6 \times 2.3 + 4.0 \times 3.7 + 2.1 \times 1.8 + 3.2 \times 2.9 + 5.5 \times 5.2 = 62.44$$

$$L_2 = M_1 \times F_{12} + M_2 \times F_{22} + \dots + M_5 \times F_{52}$$

$$= 2.6 \times 2.9 + 4.0 \times 4.2 + 2.1 \times 2.4 + 3.2 \times 3.5 + 5.5 \times 5.8 = 72.48$$

有効除数  $r = M_1^2 + M_2^2 + \dots + M_5^2 = 2.6^2 + 4.0^2 + 2.1^2 + 3.2^2 + 5.5^2 = 67.66$

全2乗和  $S_T = F_{11}^2 + F_{12}^2 + \dots + F_{52}^2 = 2.3^2 + 3.7^2 + \dots + 5.8^2 = 135.37$  (f=10)

比例項の変動  $S_\beta = (L_1 + L_2)^2 / 2r = (62.44 + 72.48)^2 / 2 \times 67.66 = 134.5212$  (f=1)

N×βの変動  $S_{N \times \beta} = (L_1 - L_2)^2 / 2r = (62.44 - 72.48)^2 / 2 \times 67.66 = 0.7449$  (f=1)

誤差変動  $Se = S_T - S_\beta - S_{N \times \beta} = 135.37 - 134.5212 - 0.7449 = 0.1039$  (f=8)

誤差分散  $Ve = Se / 8 = 0.01298$

$$\text{総合誤差分散 } V_N = (S_e + S_{N \times \beta}) / 9 = 0.09413$$

$$\text{SN 比 } \eta = 10 \log[(1/2r)(S_\beta - V_e)/V_N] = 10.22815 \text{ db}$$

$$(\text{感 度 } \beta = (1/2r)(S_\beta - V_e) = 0.9940)$$

この段階で、目標値は考えず標準条件における機能性の評価を行い、SN 比が最大になるように制御因子の最適条件を求める。この場合の感度は基準化された値であるから意味がない。

#### (4) 機能設計(目標値へのチューニング)

次に、目標曲線がある場合には、SN 比の最適条件の標準条件  $N_0(M)$  のデータのみで機能目標値に合わせる方法を説明する。そのためには、表 3 のように SN 比の最適条件の標準条件  $M$  と目標値  $m$  のデータを求める。

表 3 SN 比が最適のデータ

$M^*$ (変位置)	$M^*_1(1.5)$	$M^*_2(2.2)$	$M^*_3(3.2)$	$M^*_4(4.2)$	$M^*_5(6.3)$
$m$ (目標値)	$m_1(2.5)$	$m_2(4.5)$	$m_3(2.0)$	$m_4(3.0)$	$m_5(5.0)$
$M$ (標準条件)	$M_1(2.4)$	$M_2(4.3)$	$M_3(1.8)$	$M_4(2.9)$	$M_5(4.8)$

ここでは、目標値  $m$  と SN 比が最適な標準条件  $M$  との間で次の直交多項式を考える。

$$M = \beta_1 m + \beta_2 (m^2 - \frac{K_3}{K_2} m) + \beta_3 (\text{省略}) + \dots$$

ここで  $\beta_1 \beta_2 \beta_3$  を求め 1 次項と 2 次項と 3 次項の変動を求めて目標値へ合わせ込みを行うが、 $\beta_1$  は下式で 0.9558 と求まるから、目標値にチューニングするためには信号  $M$  のスケールを 0.9558 で割ってやればよい。さらに精度を高めるためには、2 次項や 3 次項の係数を  $\beta_2 = 0, \beta_3 = 0$  になるような制御因子を直交表で探すことで合せ込みを行う。

まず、比例項(1 次項)の線形式  $L_1$  を求める。

$$\begin{aligned} L_1 &= m_1 M_1 + m_2 M_2 + \dots + m_5 M_5 \\ &= 2.5 \times 2.4 + 4.5 \times 4.3 + 2.0 \times 1.8 + 3.0 \times 2.9 + 5.0 \times 4.8 = 61.65 \end{aligned}$$

$$r_1 = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_5^2 = 2.5^2 + 4.5^2 + \dots + 5.0^2 = 64.5$$

$$\beta_1 = \frac{L_1}{r_1} = \frac{61.65}{64.5} = 0.9558$$

$$S_T = M_1^2 + M_2^2 + \dots + M_5^2 = 2.4^2 + 4.3^2 + \dots + 4.8^2 = 58.94 \quad (f=5)$$

$$S_{\beta_1} = \frac{L_1^2}{r_1} = \frac{61.65^2}{64.5} = 58.9259 \quad (f=1)$$

2 次項の線形式  $L_2$  は

$$\begin{aligned} L_2 &= (m_1^2 - \alpha m_1) M_1 + \dots + (m_5^2 - \alpha m_5) M_5 \\ &= (-4.089) \times 2.4 + 1.640 \times 4.3 + (-4.272) \times 1.8 + (-3.408) \times 2.9 + 4.32 \times 4.8 = 0.4016 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{K_3}{K_2} = \frac{53.35}{12.9} = 4.136$$

$$K_2 = \frac{1}{5} (m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_5^2) = \frac{64.5}{5} = 12.9$$

$$K_3 = \frac{1}{5} (m_1^3 + m_2^3 + \dots + m_5^3) = \frac{266.75}{5} = 53.35$$

$$r_2 = (m_1^2 - \alpha m_1)^2 + (m_2^2 - \alpha m_2)^2 + \dots + (m_s^2 - \alpha m_s)^2$$

$$= (-4.089)^2 + 1.640^2 + (-4.272)^2 + (-3.408)^2 + 4.32^2 = 67.936$$

$$S_{\beta_2} = \frac{L_2^2}{r_2} = \frac{(0.4016)^2}{67.936} = 0.00237 \quad (f=1)$$

比例項と2次項を除いた誤差変動  $S_e$  は

$$S_e = S_T - (S_{\beta_1} + S_{\beta_2}) = 58.94 - (58.9259 + 0.00237) = 0.01173 \quad (f=3)$$

これらは表4のようにまとめられる。

表4 ANOVA

Source	自由度 (f)	変動 (S)	誤差分散 (V)
$\beta_1$	1	58.9259	
$\beta_2$	1	0.00237	
e (3次項以降)	3	0.01173	0.00391
計	5	58.94	

したがって、比例項と2次項のチューニングを正しくやれば誤差分散  $\sigma^2$  は 0.00391 となる。これは誤差の標準偏差が  $\sigma = \sqrt{0.00391} = 0.0625$  (g) となる。

比例項のみで合わせ込みをした場合には、誤差の標準偏差  $\sigma$  は

$$\sigma = \sqrt{\frac{S_{\beta_2} + S_e}{4}} = \sqrt{\frac{0.00237 + 0.01173}{4}} = 0.0594 \text{ (g)}$$

ここで、0.0594g の誤差を許すならば、目標値への合わせこみは比例項  $\beta_1$  だけでいい、 $\beta_1 = 1$  になるように、 $\beta_1 = 0.9558$  で割ってやればよいが、そのときの誤差は 0.0594g となる。

もしこれ以上の誤差を改善したい場合には、制御因子を割り付けた直交表で  $\beta_2$  の値を求めて、 $\beta_2 = 0$  になるように、1個の制御因子でチューニングすればよい。

スイッチの例では目標値に合わせこむことが、それほど重要でないので1次項だけでチューニングするだけでも目的は達成できる。

## 21世紀型品質工学が登場した背景

従来型の SN 比で評価すると再現性が今ひとつ得られない

利得の改善効果が従来型の SN 比では小さい

C A E を活用する開発が多くなってきた

信号因子の2次効果（非線形効果）が SN 比に含まれるのが問題

市場ではノイズ（使用環境条件と劣化）の効果だけが問題になる

## 21世紀型品質工学を用いるメリット

機能性設計では標準条件  $N_0$  を信号として、正側最悪条件  $N_1$  と負側最悪条件  $N_2$  で SN 比を求めるため、どんな場合でも比例関係が成立する。

標準条件で基準化するため、機能性設計では感度  $\beta$  の影響は表れない。

機能性設計で SN 比の利得は大幅に改善される

目標値がある場合、機能性設計の後の機能設計で、目標値を信号として、最適条件の標準条件のデータを出力値として調整用感度 ( $\beta_1=1, \beta_2=0, \beta_3=0$ ) となるような制御因子で目標値へチューニングを行う。

標準 S N 比がよいのは、狙いの曲線（理想）が非線形の場合にも解析できる。

#### 4. シミュレーションによるパラメータ設計

Q. シミュレーションではしばしば言われることであるが、実際の設計と合うかどうかである。また、計算時間の長さがある。こうしたことは克服できるか。

A. 実際の設計と合うかどうかを議論すること自体が目標値あわせをしようとしていることである。シミュレーションで目標値あわせをするには、設計パラメータが不足である。

品質工学では、機能性設計のパラメータ設計で S N 比の改善を考えるのであるから、結果の値は現物と合う必要はなく、ノイズに対する安定性の相対比較だけでよく、値そのものには意味がない。但し、安定性を評価するのに、制御因子がある程度現物に近い状態である必要はあるので、制御因子の効果が見られない程、値が現物から離れるのはよくない。

つまり、実際の設計パラメータ（制御因子）の効果が正しく出る（増減の方向性）程度の計算精度があれば、シミュレーターとしては十分である。有限要素法でメッシュを切る場合でも、評価したい部分を細かくすればその他は大きくても構わない。

また、計算時間の長さは、求める精度によって決まる。

計算時間の長さについては、

- ・モデルの工夫や単純化(テストピースの活用)
- ・解析の必要メッシュ粗さの検討

によって、克服していくべきと考える。

目標値に合わせるには、高精度にする必要はあるが、方向性が変わってしまわない程度までメッシュを荒くしたり、3Dモデルを2Dモデルにして解析領域を狭くする等、時間を短くする手段はいくらでもある。第10回品質工学研究発表大会の銀賞のマツダ(株)の解析時間が1/40まで短縮でき大幅な仕事の効率化が出来た(4ヶ月が3日に)例がある。

つまり、計算時間が長いのは、目標値あわせをしようとするからで、S N 比の改善のためなら1時間以内で計算可能である。

また、計算時間も問題であるが、大きな直交表を使うときシミュレーションのためのモデリング時間も大きな問題になる。第10回の大会の発表にもあったが「直交表への割付 モデル作り 計算(シミュレーション) 計測値の出力と S N 比計算 要因効果図」を如何に自動化するかが、シミュレーションパラメータ設計の大きな課題である。

#### 参考文献

- 1) 田口玄一：標準化と品質管理 Vol.54 No.4 - 連載 47 機能性の評価 -  
シミュレーションによるロバスト設計 (2)
- 2) 田口玄一：品質工学 Vol.9 No.2  
1. シミュレーションによるロバスト設計

3) 田口玄一：品質工学 Vol.9 No.3

2. 機能設計（合わせ込み，チューニング）の方法