

# 〈パラメータ設計応用事例〉「PAS」アシスト性能の開発

(Application of Parameter Design) Development of PAS Assist Performance

勝岡 達三\*

Tatsuzo Katsuoka

小山 裕之\*

Hiroyuki Koyama

五十嵐二伯\*\*

Nihaku Igarashi

## 要旨

’93年11月発売された『YAMAHA-PAS』は電動モーターを補助動力とするハイブリッド自転車である。人のこぐ力に対応した力をモーターより与えるシステムとなっている。人のこぐ力と補助力との比をアシスト比と云い、アシスト比  $\alpha = A$  であり、且つばらつきの少ないことが、自転車の良さを残し更に使い易い乗り物とするために非常に重要である。そこでアシスト比目標を  $A^{\pm 0.1}$  に設定した。

アシスト比をばらつかせる要因は構造上パワーユニット全体にかかわっており沢山の要素から成立っている。これを最適化することは開発初期のばらつき状況からみて大変困難が予想された。そこでパラメータ設計、許容差（公差）設計の方法（品質工学による方法）でとりくんだ。

その結果アシスト比ばらつき（ $\sigma^2$ ）が0次試作仕様に対し1/4.6に改善できた。又目標値に入る図面公差も設定でき、これをもとに作り込みを行った。

従来論理的な設計寸法及び公差決定が困難であったがパラメータ設計の方法により比較的簡単に求めることができる。

## Abstract

The “YAMAHA-PAS” which was released in November, 1993 is a hybrid bicycle which uses an electric motor as a supplementary power source. It is equipped with a system in which the electric motor provides power in proportion to human pedaling power. The ratio of human pedaling power to supplementary power is referred to as the “assist ratio”.

To achieve a vehicle which retains the advantages of a bicycle and is very easy to ride, it is very important that the assist ratio  $A$  has little dispersion. Therefore, the assist ratio target is set at  $A^{\pm 0.1}$ .

The cause of dispersion in the assist ratio exists in all parts of the power unit and includes many factors.

The system was very difficult to optimize because of the variance in the assist ratio experienced at the early stage of development. Therefore, the approaches such as parameter and tolerance design (approaches of quality engineering) were used for the development. As a result, the variance ( $\sigma^2$ ) in assist ratio was reduced to 1/4.6 as compared with the pre-prototype model. The drawing tolerances which make it possible to attain the assist ratio target were established. Based on the tolerances established, efforts were made to achieve the required quality.

Previously, it was difficult to determine design dimensions and tolerances theoretically. However, the use of the parameter design approach has made it significantly easy to determine them.

## 1 はじめに

品質工学では基本機能を開発することをすすめている。目的機能の品質特性を計測特性としての開発は能率の悪い方法で、より汎用性のある技術開発をすることが生産性向上となるためである。

システム機能を図1の様に定義し入出力関係を  $y = f(X_i, M, N_i)$  とし理想関係  $y = \beta M$  との差  $e$  を最小とするパラメータを追求することが基本機能の開発であり、企画された要求機能を達成さ

せる最適システムの選択、及び基本機能の最適化こそが設計業務の最大のコスト開発となる。

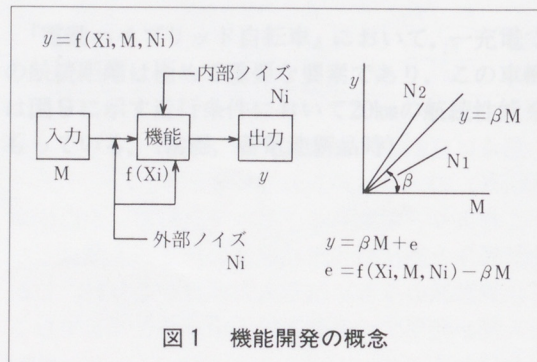


図1 機能開発の概念

\* モーターサイクル事業本部 PAS開発部

\*\* CCS推進本部 品質管理室



しかし実際の開発テーマでこの入出力をどう定義し、計測特性を何にするかは計測技術力もからみ（計りたい特性が有っても計れない）大変むづかしい。この設定の仕方が開発の成否を決める。

うまい実験計画を立てるためにはシステムの機能分解が必要であり、この時有効な方法はPQAによる機能分解の方法である。

システム機能は次の様に分解でき4つの象限で表現できる。（図2）

第Ⅰ象限 〈理論的主機能〉 ex) 燃焼系, 動力発生系	第Ⅲ象限 〈主機能を持続させる機能〉 ex) 燃料系, 電気系, 冷却系
第Ⅱ象限 〈主機能を保護する機能〉 ex) 吸気系, 排気系	第Ⅳ象限 〈主機能の持続を邪魔する 排除する機能〉 ex) 防振系, 安全装置系

図2 機能分解の考え方(E/Gの例で説明)

PQAでは機能を次の様に説明している。機能とは『物理、化学の法則を用いて、自然現象を合目的的に規制する能力』。

このように考えると、第1象限に入る理論的主機能は何かの物理、化学の法則が活用されており、その理論式中のパラメータを考慮して入出力特性を決め、 $y = \beta M$ を定義するのがうまい方法である。原理原則にたちかえったとき初めて入出力に比例関係（ $y = \beta M$ ）が成立つと考えられるのである。

システムが大きい場合には適当なサブシステムに分解し同様に機能分解して考えるとよい。

$y = \beta M$ を追求する解析には動特性のSN比により行なう。



写真1

2 アシスト比のパラメータ設計

2.1 パワーユニットの機能

PASパワーユニットの機能は入力人力に対応したモーター力を発生させ、人力との融合力を得るシステムである。

入力信号M=車速V×ペダル踏力P

出力特性y=融合力

$y = \beta \cdot P \cdot V$ と定義できる。

しかし今回は開発が進んだ段階での取りくみでありアシスト比を安定させたいという目標があるので、機能定義式、アシスト比定義式により求めた次式。

$y = K(\alpha + 1)PV$  K=定数

のアシスト比 $\alpha$ を望目特性とするパラメータ設計を行なう。

2.2 パラメータ設計とは

ある1つの機能単位を考える、その機能を表わす特性を選定する（計測特性）。機能を満足させる機構、構造の中で沢山有る要素の中から技術検討を加え、特性値に影響の大きいと思われる要素をピックアップする。実験計画法で用いる直交表にわりつけ実験或は計算により個々の要因と特性の関係（寄与率、要因効果）を明確にしてゆく方法である。この時重要なことはたとえば、PASの場合使う人、使う場所により乗り方は違うがその要件（ノイズ）も実験と一緒にに入れて機能の安定性が良くコスト上も有利な仕様決めのできることである。手順として先にばらつきの少ない最適組合せを探し次に目標値に合わせる。パラメータ設計は次のことを利用していることが特徴である。

- (1)制御因子と誤差因子の交互作用
- (2)制御因子間の交互作用

2.3 PAS制御システムの概略説明

ペダル⑮により人力を加わえるとセンサー⑰が働き、自転車動き出すと速度センサー⑮が働き、この2つの情報がコントローラーに送られコントローラーはバッテリーからの電流量を制御しモータ⑭の出力を調整する。モーター出力は減速装置を介してペダル部のギヤでかけ合い後輪に力を伝える。ペダルを踏み込んだ時だけモーターが作動するので普通の自転車のような自然な感覚でペダルがこげる。（図3）



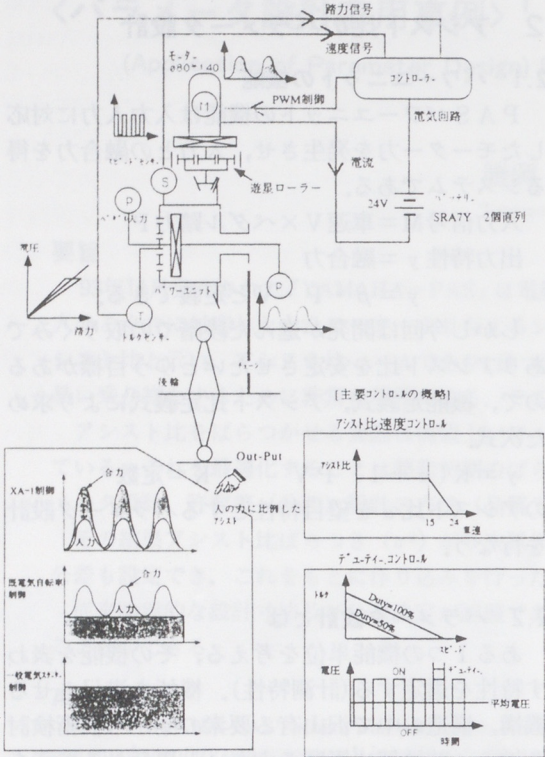


図3 PAS制御システムの概略

2.4 アシスト比の定義

アシスト比  $\alpha = \frac{\text{融合力}}{\text{入力}} - 1$

アシスト比の範囲は車速10～15km/h(変速段数“速”の時)までは一定で15～24km/h間で漸減し24km/hで0になるように設定する。

2.5 制御因子の選定

アシスト比を決める要因の中で今迄の開発経験の中から或は技術的検討により次の6つを制御因子としてピックアップした。(表1)

- A) 伝達効率 : 減速段数, 効率を調べる。
  - B) 回路内部抵抗 : モータ出力を決める。
  - C) Tセンサー特性 : ペダル踏力を決める。
  - D) Tセンサーセット電圧 : ペダル踏力を決める。
  - E) コントローラ特性 : モータ出力を決める。
  - F) モーター出力特性 : T-N特性を決める。
- 以上個々の要素が融合力性能を決める。

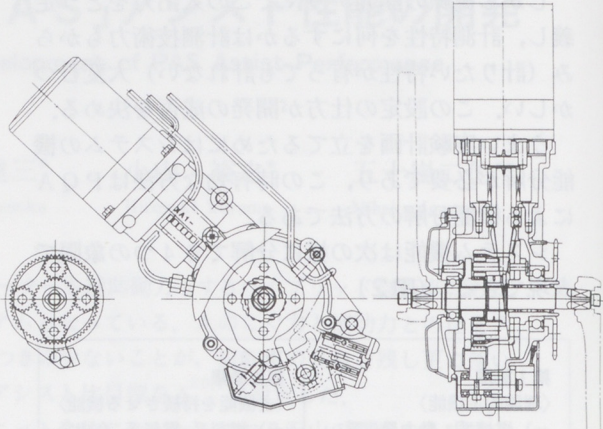


図4 パワーユニットの構造

表1 制御因子とその水準

	因 子	第1水準	第2水準	第3水準
A	伝達効率	-5	0 %	+5
	K1 K2		設計値 設計値	
B	回路内部抵抗	+50 mΩ	設計値	-50 mΩ
	T-N特性換算 a b		設計値 設計値	
C	トルクセンサー出力特性	-10	0 %	+10
	Tセンサー特性換算		設計値	
D	トルクセンサーセット電圧	-21.27 %	設計値	+21.27 %
	Tセンサー特性換算		設計値	
E	コントローラ特性	-5	0 %	+5
	T-N特性換算 a b		設計値 設計値	
F	モーター特性 (a,b)	-10	0 %	+10
	T-N特性換算 a b		設計値 設計値	

以上のようにアシスト比を決める要素全体を大づかみして『ユニット単位』レベルの大ききで寄与率, 基準値, 公差を求める。

パラメータ設計では制御因子をできるだけ沢山選びその水準巾を大きくとることが推奨される。

その理由は広い範囲の中から良い組合せの仕様を探すことと, 水準巾を大きくすることにより, 制御因子間の交互作用が生ずることを利用するためである。

2.6 誤差因子の選定

誤差因子に何をとり上げて実験するかが市場での実使用に於いて信頼性の高い仕様決定するためのキーポイントである。本実験では信号因子は設けず誤差因子を次のように考えた。

- (1)車速は変化する。
- (2)ペダル踏力は乗り方でわかる。



## 外側直交表 (誤差因子)

内側直交表 No.1の場合

内側直交表 (制御因子)

No.	列	e	e	A	B	C	D	E	F	P	4	1	2	3	3	1	2	2	3	1	S/N比 (db)	感度 (db)
		1	2	3	4	5	6	7	8			14 <sup>90</sup>	34	65	65	14	34	34	65	14		
1		1		1	1	1	1	1	1			$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$	$\gamma_4$	$\gamma_5$	$\gamma_6$	$\gamma_7$	$\gamma_8$	$\gamma_9$		
				-5%	136 <sup>m</sup> <sub>0</sub>	-10%	0.74	-5%	$\frac{a_1}{b_1}$			0.281	0.499	0.675	0.401	0.452	0.617	0.292	0.526	0.726	9.906	-6.13

- 1) この様な組合せを18通り作る。
- 2)  $y_1$  のデータを求める組合せ  $A_1 B_1 C_1 D_1 E_1 F_1 \quad a_1, b_1, V_1 P_1$
- 3)  $y_2$   $A_1 B_1 C_1 D_1 E_1 F_1 \quad a_1, b_2, V_2 P_2$
- 4) SN比  $\eta$  の求め方  $y_1, y_2 \dots y_9$  のデータから  $\eta = 10 \log \frac{1/9 (S_m - V_0)}{V_0} \quad (\text{db})$
- 5) 感度  $S$  の求め方  $y_1, y_2 \dots y_9$  のデータから  $S = 10 \log 1/9 (S_m - V_0) \quad (\text{db})$

注) 因子  $F(a_i/b_i)$  は  $a, b$  により変化する。

表3 割り付け ( $L_{18} \times L_9$ 直積実験)

## 1) 制御因子が第1水準のとき

	因 子	第1水準	第2水準	第3水準
a	T-N特性の傾き	$a_1$	$a_1 = a_2 - 10\%$	$a_1$
b	T-N特性の切片/100	$b_1 - 10\%$	$b_1 = b_2 - 10\%$	$b_1 + 10\%$
V	車速	5 km/h	10	15
P	踏力	14 kg	34	65

## 2) 制御因子が第2水準のとき

	因 子	第1水準	第2水準	第3水準
a	T-N特性の傾き	$a_2$	$a_2 = \text{設計値}$	$a_2$
b	T-N特性の切片/100	$b_2 - 10^{-5}$	$b_2 = \text{設計値}$	$b_2 + 10^{-5}$
v	車速	5 km/h	10	15
P	踏力	14 %	34	65

### 3) 制御因子が第3水準のとき

	因 子	第 1 水準	第 2 水準	第 3 水準
a	T-N特性の傾き	$a_3$	$a_3 = a_2 + 10\%$	$a_3$
b'	T-N特性の切片/100	$b_3 - 10\%$	$b_3 = b_2 + 10\%$	$b_3 + 10\%$
V	車速	5 km/h	10	15
P	踏力	14 kg	34	65

表2 誤差因子とその水準

(3)モータ性能がばらつく。

以上のことから誤差因子は次の様に設定した。

(表 2)

## 2.7 直交表への割り付けと実験

制御因子は6個なので直交表L18(内側)を使い  
1列2列をあけ3列目から順次わりつける、L18

直交表の特徴は任意の 2 列の交互作用が特定の列に表われない、仮に交互作用が有ってもいろいろな列に交絡するから各列の効果はそこにわりつけられた因子の主効果のほかいろいろな交互作用が何割か上載される。

従って誤差因子を外側へわりつけ（直積実験）積極的に制御因子と誤差因子の交互作用を利用し安定性の良い制御因子を探すパラメータ設計の方法ではL18のような混合系の直交表が推奨される。

誤差因子はL9の直交表を使い4個の因子を外側へわりつけた。計測特性はアシスト比である。

わりつけの方法は表3に内側直交表No.1の場合を示すが内側直交表の夫々の因子と水準及びそれと対応する誤差因子との組合せで $18 \times 9 = 162$ のアシスト比データを理論式による計算実験で求めた。そして内側直交表のNo.ごとにSN比 $\eta$ 及び感度Sを求めた。

### 2.7.1 SN比 $\eta$ , 感度Sの計算

内側直交表のNaに対応した外側直交表の9個のデータから望目特性のSN比及び感度を次式で求める。内側直交表Na1の場合の計算例を示す。

$$\eta = 10 \log \frac{1/r(S_m - V_e)}{V_e} \quad (\text{db})$$

$$\begin{aligned} S &= 10 \log 1/r(Sm - V_e) \quad (db) \\ S_T &= 0.281^2 + 0.449^2 + 0.675^2 + 0.401^2 + 0.452^2 + 0.617^2 \\ &\quad + 0.292^2 + 0.526^2 + 0.726^2 \\ &= 2.418397 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} S_m &= 4.469^2/9 \\ &= 2.2191068 \\ S_e &= ST - S_m \\ &= 0.1992902 \\ V_e &= 0.1992902/8 \\ &= 0.02419112 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta &= 10 \log \frac{1/9(2.2191068 - 0.02419112)}{0.02419112} \\ &= 9.9063681 \\ S &= 10 \log 1/9(2.2191068 - 0.02419112) \\ &= -6.1296719 \end{aligned}$$

このようにして $\eta$ と $S$ を各実験Noごとに18個求めた結果は表4に示す。

表4 実験結果

列	3 A	4 B	5 C	6 D	7 E	8 F	SN比 $\eta$ (db)	感度 S (db)
1	1	1	1	1	1	1	9.906	-6.130
2	2	2	2	2	2	2	10.854	-0.662
3	3	3	3	3	3	3	10.510	3.865
4	1	1	2	2	3	3	9.728	-1.885
5	2	2	3	3	1	1	11.119	1.484
6	3	3	1	1	2	2	11.245	-1.719
7	1	2	1	3	2	3	9.328	-0.949
8	2	3	2	1	3	1	11.535	-1.053
9	3	1	3	2	1	2	11.256	-0.084
10	1	3	3	2	2	1	11.280	0.138
11	2	1	1	3	3	2	10.295	-0.273
12	3	2	2	1	1	3	10.659	-1.862
13	1	2	3	1	3	2	10.505	-1.715
14	2	3	1	2	1	3	10.126	-1.604
15	3	1	2	3	2	1	11.341	1.116
16	1	3	2	3	1	2	10.106	0.360
17	2	1	3	1	2	3	10.260	-2.042
18	3	2	1	2	3	1	11.803	-0.373

## 2.8 SN比及び感度の分散分析

SN比 $\eta$ 及び感度 $S$ を特性値とする分散分析を行なう。各要因効果の求め方を因子AのSN比の場合で示す。

$$CF = 1/18(9.906 + 10.854 + \dots + 10.260 + 11.803)^2 = 2044.505$$

$$ST = 9.906^2 + 10.854^2 + \dots + 10.260^2 + 11.803^2 - CF = 7.9725146$$

$$SA = \frac{(A_1 \text{の合計})^2 + (A_2 \text{の合計})^2 + (A_3 \text{の合計})^2}{6} - CF = 2.9551$$

同様にSB～SFまで計算する。

$$\begin{aligned} Se &= ST - (SA + SB + SC + SD + SE + SF) \\ &= 0.2048 \end{aligned}$$

分散分析の結果を表5、表6に示す。

分散分析表 (ARISN)

Source	f	S	V	F0	S'	p (%)
A	2	2.9551	1.4775	36.08	2.8732	36.04
B	2	0.3587	0.1793	4.38	0.2768	3.47
C	2	0.4475	0.2237	5.46	0.3656	4.59
D	2	0.4607	0.2304	5.63	0.3788	4.75
E	2	0.1505	0.0752	1.84	0.0686	0.86
F	2	3.3953	1.6976	41.45	3.3134	41.56
e	5	0.2048	0.0410	—	0.6962	8.73
T	17	7.9725	—	—	7.9725	100.00

★★ 工程平均 (ARISN) ★★

因子名	水準 1	水準 2	水準 3
e	10.6069	10.7083	—
A	10.5868	10.6724	10.7145
B	10.1423	10.6982	11.1322
C	10.4641	10.7115	10.7970
D	10.4455	10.7038	10.8234
E	10.6800	10.8413	10.4513
F	10.5287	10.7129	10.7311
F	11.1641	10.7051	10.1035
T	—	10.6576	—

★★ 要因効果図 望目特性 (10・Log(m+2)) (db) ★★

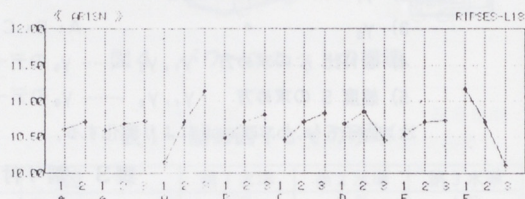


表5 SN比分散分析表と要因効果図

分散分析表 (ARI-S)

Source	f	S	V	F0	S'	p (%)
A	2	10.3318	5.1659	147.48	10.2617	14.99
B	2	7.2231	3.6116	103.11	7.1631	10.45
C	2	13.4839	6.7420	192.47	13.4138	19.59
D	2	33.7457	16.8728	481.70	33.6756	49.18
E	2	3.4449	1.7225	49.17	3.3749	4.93
e	7	0.2452	0.0352	—	0.5955	0.87
T	17	68.4747	—	—	68.4747	100.00

★★ 工程平均 (ARI-S) ★★

因子名	水準 1	水準 2	水準 3
e	-0.7924	-0.6949	—
A	-0.8205	-0.7204	—
B	-1.6966	-0.6977	—
C	-1.5496	—	0.0019
D	-1.8411	—	0.2744
E	-2.4199	—	0.9340
F	-1.77	-0.8662	-0.2389
T	—	-0.6820	-0.7460

★★ 要因効果図 望目特性 (10・Log(m+2)) (db) ★★

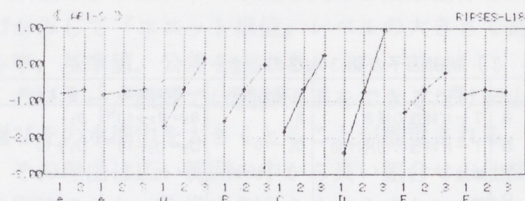


表6 感度分散分析表と要因効果図

## 2.9 最適条件の選定と目標値への調整

### 2.9.1 最適条件

SN比の大きい(安定性の良い)組合せは、

$$A_3 B_3 C_3 D_3 E_3 F_1$$

となる。その中でも寄与率の大きい因子はA Fであるが、

A: 変速段数に大きいぞんずると考えられるがレイアウト上変更困難。



F : duty 100%をこえてしまうため変更困難。  
その他の因子も含め S N 比改善度合が少ないので現設計を優先して、 $A_2 B_2 C_2 D_2 E_2 F_2$ を採用する。

## 2.9.2 最適条件の S N 比

$A_2 B_2 C_2 D_2 E_2 F_2$  組合せの中で S N 比に寄与率の大きいのは  $A_2 F_2$  である。従ってこの 2 つで最適条件での母平均を推定する。

$$\begin{aligned}\hat{\mu}(A_2, F_2) &= \bar{A}_2 + \bar{F}_2 - \bar{T} \\ &= 10.6982 + 10.7051 - 10.6576 \\ &= 10.7457 \quad (\text{db})\end{aligned}$$

## 2.9.3 感度による目標値への調整

S N 比の分散分析により最適条件を求めたが、今回のように開発目標値のある場合 S N 比を小さくしない因子の中から感度調整できる因子を選び目標値に合わせる。

$A_2 B_2 C_2 D_2 E_2 F_2$  の中で感度に寄与率の大きい  $A_2 C_2 D_2$  でこの組合せでの母平均を推定する。

$$\begin{aligned}\mu(A_2 C_2 D_2) &= \bar{A}_2 + \bar{C}_2 + \bar{D}_2 - 2\bar{T} \\ &= (-0.6912) + (-0.6642) + (-0.7449) - 2 \times (-0.7436) \\ &= -0.6131 \quad (\text{db})\end{aligned}$$

これは目標と合わない、感度調整する必要がある。S N 比に影響が少なく感度に効く因子 D で調整する。

$$10 \log A^2 = B$$

$-0.6131$  と B との差分を因子 D で調整する。

因子 D の第 2 水準と第 1 水準の感度の差は、  
 $-2.4199 - (-0.7449) = 1.675 \quad (\text{db})$

であり(表 1)制御因子の水準巾は 21.27% であるので比例計算により、第 2 水準より第 1 水準側へ 3.84% ずらせた値を設計基準にすればよい。

目標値に調整後の最適条件は  $A_2 B_2 C_2 D_{1.5} E_2 F_2$  となる。この水準値を設計基準値として許容差設計を進める。

## 2.9.4 パラメータ設計による効果

O 次試作仕様でパラメータ設計を行ない仕様を一部変更し今回の実験を行なっている。今回求めた最適条件と O 次試作仕様の S N 比を比較する。

O 次試作仕様 44.74 (db)

今回の最適条件 51.338 (db)

差は 6.59 (db) の改善である。

$$10 \log \sigma^2 = 6.59$$

$\sigma^2 = 4.6$  ばらつき 1/4.6 の改善となった。

O 次試作仕様と同条件で比較するために今回求めた最適条件で確認計算を行ない S N 比を求めた。

## 3 許容差 (公差) 設計

### 3.1 許容差設計の方法

パラメータ設計により求めた各パラメータの基準値に対し、製造上の公差を与えたとき目的特性の値がどう変化するかを直交表を用いて実験又は計算により求める。

この時重要なことはあるパラメータの製造工程での寸法ばらつきが、標準偏差  $\sigma_i$  で管理できるならば、水準の巾を下記のように決め直交表にわりつけ実験することにより、製造工程能力をふまえた図面公差の設定ができることである。

第 1 水準:  $m - \sqrt{\frac{3}{2}} \sigma_i$

第 2 水準:  $m$

第 3 水準:  $m + \sqrt{\frac{3}{2}} \sigma_i$

$\sigma_i$  = 各要因の製造工程のもつ標準偏差

$m$  = パラメータ設計で求めた基準値

もし与えた公差中で目標値に達しない場合、各パラメータの寄与率をみてコストバランスを考え全体調整し公差決定する。

### 3.2 誤差因子の水準巾設定の考え方

パラメータ設計時制御因子としたものを誤差因子とし水準巾を次のように考えた。

A) 伝達効率 : パワーユニット、車両駆動系ロスばらつき。

B) 回路内部抵抗 : コンローラー、Batt-Box、ハーネス系ロスばらつき。

C) T センサー特性 : トルク検出特性ばらつき。

D) T センサーセット電圧 : 設定 O 点ばらつき。

E) コントローラー特性 : 出力特性ばらつき。

F) モータ出力特性 : T-N 特性ばらつき。  
モーター出力特性を工場での調整方法に合わせて設定した。パラメータ設計で使用した設定方法と変えている。水準は表 7 による。



表7 誤差因子とその水準

因子		水準		
		第1水準	第2水準	第3水準
A	伝達効率	-0.82 %	基準値	+0.82 %
B	回路内部抵抗	+10 mΩ	//	-10 mΩ
C	トルクセンサー出力特性	-4.42 %	基準特性	+4.42 %
D	トルクセンサーセット電圧	0.884 V	基準値	0.916 V
E	コントローラー特性	-2.04 %	基準特性	+2.04 %
F	モーター特性	a -3.27 %	基準値	+3.27 %
		b -4.08 %	//	+4.08 %

水準巾の設定については各々の要因に対し技術検討を加え、製造工程能力を調べのを設定した。

3.3 外側因子の選定

実使用範囲でどうアシスト比がばらつくか調べたいので車速とペダル踏力をとりその範囲はパラメータ設計でとり上げた水準そのままとした。

3.4 直交表へのわりつけと実験

内側L18直交表に誤差因子を3列～8列に因子A～Fと順次わりつけ、外側へは車速とペダル踏力を二元配置でわりつけシミュレーション計算による実験を行なった。計測特性はアシスト比である。わりつけと実験結果は表8に示す。

3.5 データの解析

解析するデータはアシスト比の生データで行う（S/N比は使わない）各実験Noごとの9ヶのデータをくり返しデータとして解析する。

変動計算の1例を示す。

$$CF = 1/162(0.71+0.74+---+0.83)^2$$
$$= 127.73347$$

$$ST = 0.71^2 + 0.74^2 + --- + 0.83^2 - CF$$
$$= 0.7792$$

$$ST_1 = 1/9(6.54^2 + 8.00^2 + --- + 7.36^2) - CF$$
$$= 0.7485611$$

$$Se_2 = ST - ST_1$$
$$= 0.0307$$

$$SA = \frac{(A_1の合計)^2 + (A_2の合計)^2 + (A_3の合計)^2}{6 \times 9} - CF$$
$$= 0.0269$$

同様にSB～SFまで計算する。

$$Se_1 = ST_1 - (S_{1列} + S_{2列} + SA + SB + SC + SD + SE + SF)$$
$$= 0.0009$$

Se1はSe2に比べ十分小さいので誤差を全てプーリングする。分散分析の結果を表9に示す。

3.5.1 目標アシスト比推定

設計目標値となる組合せは、A2B2C2D2E2F2でありこの中で寄与率の大きな因子はCFである。この2因子で目標アシスト比の母平均を推定する。

表8 割り付けと実験結果

列	3	4	5	6	7	8	5 km/H			10km/H			15km/H			合計
	A	B	C	D	E	F	14 kg	34 kg	65 kg	14 kg	34 kg	65 kg	14 kg	34 kg	65 kg	
1	1	1	1	1	1	1										6.54
2	2	2	2	2	2	2										8.00
3	3	3	3	3	3	3										9.64
4	1	1	2	2	3	3										8.44
5	2	2	3	3	1	1										7.78
6	3	3	1	1	2	2										7.10
7	1	2	1	3	2	3										8.07
8	2	3	2	1	3	1										7.65
9	3	1	3	2	1	2										8.20
10	1	3	3	2	2	1										7.85
11	2	1	1	3	3	2										7.74
12	3	2	2	1	1	3										8.34
13	1	2	3	1	3	2										8.34
14	2	3	1	2	1	3										8.01
15	3	1	2	3	2	1										7.58
16	1	3	2	3	1	2										7.89
17	2	1	3	1	2	3										8.71
18	3	2	1	2	3	1										7.36
																143.85



分散分析表 〔 PASIIRA 〕

Source	f	S	V	F 0	S	p (%)
A	2	0.0269	0.0134	61.44	0.0264	3.39
B	2	0.0221	0.0110	50.46	0.0216	2.77
C	2	0.2400	0.1200	548.90	0.2395	30.74
D	2	0.0186	0.0093	42.62	0.0182	2.34
E	2	0.0538	0.0269	123.08	0.0534	6.85
F	2	0.3853	0.1927	881.47	0.3849	49.40
error	149	0.0326	0.0002	-	0.0352	4.52
T	161	0.7792	-	-	0.7792	100.00

★★ 工程平均 〔 PASIIRA 〕 ★★

因子名	水準 1	水準 2	水準 3
C	0.8893	0.8867	-
A	0.8909	0.8863	-
B	0.8728	0.8869	0.43
D	0.8743	0.8877	0.9028
C	0.8413	0.8877	0.9256
E	0.8757	-	0.9019
D	0.8659	0.8877	0.9106
F	0.8277	0.8867	0.9483

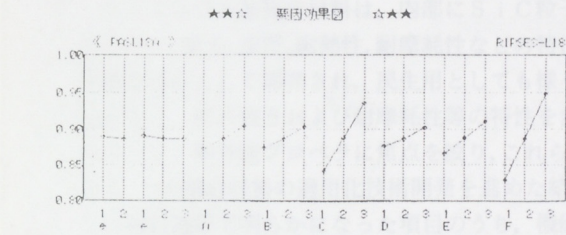


表9 分散分析表と要因効果図

$\hat{\mu}(C_2, F_2)$   
 $= \overline{C_2} + \overline{F_2} - \overline{T}$   
 $= A$   
となり目標値と一致する。

3.5.2 アシスト比ばらつき範囲  
計算結果により（表9）アシスト比ばらつき範囲は、  
 $\sigma x = \sqrt{V_T}$   
 $= \sqrt{0.7792 / 161}$   
 $= 0.0695683$   
ばらつき範囲  $= \pm 3\sigma$  (99.7%)  
 $= \pm 0.2087$   
従ってアシスト比は  $A^{\pm 0.2}$  となり、目標値に対し合わない。

3.5.3 目標値に合わせる公差の検討  
パラメータ設計により求めた基準値ではばらつきを目標値に入れることはできないことがわかった。公差幅をせざるべき対策をとらなければならない。次の計算により求める。

$\Delta i$  = 図面公差（片側）  
 $h$  = 実験の水準幅  
 $\sigma i = h \times \sqrt{2/3}$   
 $\lambda i = \Delta i / 3\sigma i$

$V_0$  = 設定した規格値で部品を製造したときの製品特性の分散  
 $V_T$  = 実験で求めた製品特性の分散  
 $\rho_i$  = 部品  $i$  の寄与率  
 $\lambda_i$  = 部品  $i$  の許容差巾と実験を行なったときの部品のばらつき比

$$V_0 = V_T \left\{ 1 - \rho_A(1 - \lambda_A^2) - \rho_B(1 - \lambda_B^2) - \cdots - \rho_n(1 - \lambda_n^2) \right\}$$

寄与率の高い因子 C F の公差を  $1/3$  にすると仮定して計算してみる。

$\rho_C = 0.3074$   
 $\rho_F = 0.4940$

$$V_0 = \frac{0.7792}{161} \left\{ 1 - 0.3074(1 - 1/3^2) - 0.494(1 - 1/3^2) \right\}$$

$= 0.0013921$   
 $\sigma x = \sqrt{V_0}$   
 $= 0.0373112$   
ばらつき範囲  $= \pm 3\sigma$   
 $= \pm 0.1$

従って因子 C F の公差を  $1/3$  にすることによりアシスト比は  $A^{\pm 0.1}$  となる。

4 計算結果のまとめ

以上の計算結果（表10）によりアシスト比が目標値に入る図面公差を設定することができた。そしてこの図面公差に作り込む検討を製造部門とくり返し行なった。

量産に於てはパワーユニット完成状態で目標性能、ばらつきについても管理されている。

表10 計算結果まとめ

	因子	設計値	図面公差	寄与率
A	伝達効率	基準値	$\pm 2\%$	3.39%
B	回路内部抵抗	//	$\pm 28.5\%$	2.77%
C	トルクセンサー出力特性	基準特性	$\pm 3.7\%$	30.74%
D	トルクセンサーセット電圧	基準値	$\pm 4.5\%$	2.34%
E	コントローラー特性	基準特性	$\pm 5\%$	6.85%
F	モーター特性	a 基準値	$\pm 2.7\%$	49.40%
		b //	$\pm 3.3\%$	
アシスト比ばらつき巾			$A \pm 0.1$	



## 5 おわりに

- (1)パラメータ設計，許容差（公差）設計の方法を使うことにより，目標アシスト比となる図面の基準値及び公差を比較的短時間に求めることができた。
- (2)特性（アシスト比）と要因の関係及び寄与率がわかり製造準備が重点化でき効率的に進められた。
- (3)各要因の傾向，寄与率が分かり，今後の開発に役立つ資料となる。

### ■参考文献

- (1)田口玄一：品質工学講座 1  
開発，設計段階の品質工学  
日本規格協会
  - (2)田口玄一：新製品開発における信頼性設計事例集  
日本規格協会
  - (3)S/M P Q A研究会：P Q Aその手法と思想  
ヤマハ発動機
- 注）P Q A：Perfect Quality Assurance の略

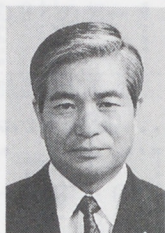
### ■著者



勝岡 達三



小山 裕之



五十嵐 二伯