

1. 品質工学

品質工学とは田口玄一氏によって考案された学問であり、おもに海外では考案者の名を冠して「タグチメソッド」ともよばれています¹⁾。品質工学は、高品質、かつ高生産性を同時に実現するための具体的な技術的方法論として非常に有効です。一部の企業では、ものづくり革新や設計段階でのイノベーションの実現に向けて品質工学に対する注目が高まっています^{2,3)}。

品質工学には工程管理手法や多次元情報データの分析手法等もありますが、今回は最も有名なパラメーター設計について紹介します。近年、企業では広く知られるようになってきている品質工学ですが、大学等ではまだまだ認知されていません。本稿をきっかけに関心をもっていただければ幸いです。

2. パラメーター設計

パラメーター設計とは、実験計画法を用いて設計を効率的に実施し、ある外乱に対する品質のばらつきを評価する手法であり、ロバスト設計ともよばれます。パラメーター設計の手順を表1に示します。本稿では、簡単な光学設計の例を挙げて、実際にパラメーター設計を行った結果を紹介します。

今回は、図1に示す三角測量方式の変位センサーの設計を行います⁴⁾。このセンサーでは、被測定面上で斜め方向に反射した光線が受光素子上に集光され、そのスポット重心位置から測定距離 L が計測されます。この場合、被測定面の変位によらず、受光素子上でのスポット径が一定であることが、計測精度の点から望まれます。そこで、被測定面の変位という外乱（誤差因子）に対して、受光素子上のスポット径のばらつきが小さくなるように設計を行

表1 パラメーター設計の手順

手順	内容
1	制約条件、誤差因子の決定
2	制御因子の水準値の決定
3	直交表の作成
4	実験（シミュレーション）
5	SN比の計算、要因効果図の作成
6	最適化設計

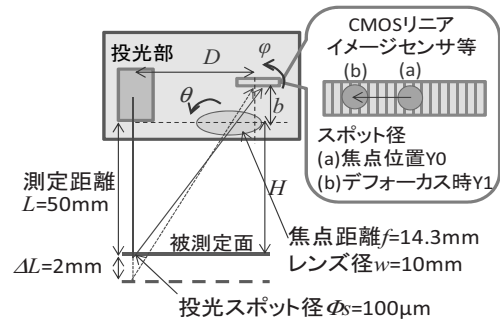


図1 三角測量方式の変位センサーの構成

ます。

・手順1 制約条件、誤差因子の決定

まず、今回の設計上の制約条件として、図1中の値は固定とします。また、投光スポット径 ϕ_s は検出範囲 ΔL 内で一定とし、測定距離 $L = 50 \text{ mm}$ での受光素子上のスポット径が最小となるようレンズ/受光素子距離 b を調整します。誤差因子は、被測定面の距離変化 $\Delta L = 2 \text{ mm}$ とします。

・手順2 制御因子の水準値の決定

パラメーター設計では、出力を安定させるために設計するパラメーターを制御因子、制御因子の設計値を水準値とよびます。今回使用する制御因子とその水準値を表2に示します。

・手順3 直交表の作成

品質工学では直交表とよばれる実験計画表を使用します。通常、制御因子が4つで3水準の場合、全設計値の組み合わせは $3^4 = 81$ 通りであり、最適解を見つけるためには膨大な実験が必要です。しかし、実験計画法では図2に示すような直交表を利用し、効率的に実験を行います。使用する直交表は制御因子の数と水準数によって決まり、制御因子が4個（3水準）の場合は L_9 とよばれる表を使用し、実験数を9通りに短縮することができます。

表2 制御因子と水準値

No.	制御因子	記号	水準1	水準2	水準3	単位
A	レンズ角度	θ	-10	0	10	deg
B	レンズ距離	H	48	50	52	mm
C	レンズ位置	D	15	20	25	mm
D	イメージャー角度	ϕ	-10	0	10	deg

		制御因子				
		A	B	C	D	SN比
実験No.	中心	2	2	2	2	-11.60
	1	1	1	1	1	-10.33
	2	1	2	2	2	-12.00
	3	1	3	3	3	-12.77
	4	2	1	2	3	-12.58
	5	2	2	3	1	-8.24
	6	2	3	1	2	-10.39
	7	3	1	3	2	-8.49
	8	3	2	1	3	-11.08
	9	3	3	2	1	-4.75
最適化	3+	2	2	1	26.021	

図2 直交表L9とSN比.

・手順4 実験 (シミュレーション)

直交表に従って各実験 No. の条件で実験を行います。今回は ZEMAX 社製の光線追跡シミュレーター ZEMAX を使用して、被測定面の位置に光源を配置し、受光素子上のスポット径を計算しました。そして、測定距離 L でのスポット径を Y_0 、 $L+\Delta L$ でのスポット径を Y_1 とし、出力 Y を Y_0 に対する Y_1 の変化率としました。

$$Y = (Y_1 - Y_0) / Y_0 \quad (1)$$

・手順5 SN比の計算, 要因効果図の作成

実験結果をもとに、各制御因子のばらつきへの寄与度を分析します。品質工学ではばらつきの尺度をSN比とよび、SN比が大きいことはばらつきが小さいことを意味します。SN比は目的とする出力特性によって計算方法が異なり、今回の出力 Y はゼロに近いほどばらつきが小さいので、下記のように計算します。

$$\text{SN比 (ゼロ望目特性)} = -10 \times \log(Y) \quad (2)$$

要因効果図とは、横軸に制御因子ごとの水準値、縦軸にSN比をプロットして、各制御因子がばらつきにどの程度影響するかを可視化したものです。図2に示すように直交表の各実験No.ごとにSN比を算出し、各制御因子の同じ水準値となる実験No.のSN比を平均し、作成した要因効果図を図3に示します。

・手順6 最適化設計

最後に、得られた要因効果図からばらつきを抑え



図3 要因効果図.

る制御因子を決定し、最適化設計を行います。水準値によってSN比の変化が大きい制御因子AとDはばらつきへの寄与度が大きく、制御因子BとCは寄与度が小さいことがわかります。そこで、最適化設計として、制御因子Aを水準3方向に外挿(3+)して20度とし、制御因子Dを水準1方向に外挿(1-)して-20度とした結果、図2に示すようにSN比が増加し、ばらつきを大きく改善できました。この構成はシャインプルーフ光学系とよばれ、物体面上での位置が変わっても像面上で常に焦点が合う有名な光学系です。以上より、パラメーター設計によってロバストな設計結果を得ることができました。

今回は制御因子4個の簡単な設計例を示しましたが、制御因子の数が多い場合に品質工学の有効性がより増してきます。ただし、複雑な系では、ばらつきに対して制御因子間で交互作用が生じ、有効な要因効果図が得られないこともあります。このように、品質工学は便利なだけでなく、奥が深く興味深い学問です。研究・開発において、品質工学の適用を検討してみたいはいかがでしょうか。

(三菱電機株式会社 多久島秀)

文 献

- 1) 品質光学会ホームページ: <http://www.qes.gr.jp/>
- 2) 竹下修三, 細川哲夫, 雨森和彦: “ロバスト設計を実現するタグチメソッド”, FUJITSU, **56** (2005) 586-591.
- 3) 大内義昭: “イノベーションの加速におけるタグチメソッド”, 東芝レビュー, **62** (2007) 42-45.
- 4) Z. Ji and M. C. Leu: “Design of optical triangulation devices,” Opt. Laser Technol., **21** (1989) 339-341.