

# シミュレーションと品質工学の連携による開発プロセス改革

Innovation of the Development Process through Combined Simulation and Quality Engineering

杉山 一 宏\*

Kazuhiro SUGIYAMA

## 要旨

コニカミノルタの基盤技術の一つとして、品質工学が内外で注目されている。品質工学の手法の中でも、特にパラメータ設計の手法は、開発・設計の初期段階において市場で発生する品質問題を未然に防ぐ方法として効果があり、シミュレーション技術と融合することで、実物の試作を行うことなく設計パラメータの最適化を実現する方法として、成果を上げてきた。

従来から行われてきたシミュレーションは、現象の解析を主な目的として、いかに実際の現象に近いかを問題としてきたが、品質工学のパラメータ設計では、現象への当てはめではなく、システムが持つ働きが様々な使用条件の下で発揮されることを評価する。そのため、シミュレーションは必ずしも実際の現象をそのまま再現する必要はなく、システムが持つ働きを再現することができれば、パラメータ設計で使用することができる。

本稿では光学部門において取り組まれたいくつかの事例を通して、シミュレーション技術と品質工学を連携させることによって実現した開発プロセスの改革を紹介する。

## Abstract

Konica Minolta's quality engineering, a basic technology, has attracted attention both inside and outside Konica Minolta. The parameter design method, in particular as applied to quality engineering, is effective in the early stage of design and development as a method for preventing quality problems that might be arise later in the market. The method has produced excellent results in optimizing design parameters without use of an experimental model by combining it with simulation techniques.

Conventional simulations mainly target the analysis of phenomena, and its issue is how closely it approximates actual phenomena. However, the parameter design of quality engineering is not evaluated by applying it to phenomena, but by the fact that the functions of a system are exhibited under various use conditions. Therefore, a simulation does not necessarily reproduce an actual phenomenon, but can be used for parameter design as long as it can reproduce the system's functions.

In this report, the reformation of a development process achieved by a combination of simulation technique and quality engineering is introduced through several examples performed in the field of optical equipment.

\*コニカミノルタオプト(株) 品質環境部

## 1 はじめに

品質工学(タグチメソッド)とは、田口玄一博士によって考案された技術の評価手法<sup>1)</sup>であり、開発・設計段階において技術の評価を行う、「パラメータ設計」の手法が中心となっている。

パラメータ設計のステップとしては、まず対象とするシステムがもつ基本的な働き(これを品質工学では「基本機能」と呼んでいる)を入出力関係で定義する。この入出力関係を様々な使用条件(入力に当たる信号と、入出力関係を乱す原因となるノイズ)で評価することで、システムの安定性を評価する。評価特性はこの信号による影響と、ノイズによる影響の比をとり、SN比と呼んでいる。

$$\text{SN比} = \text{信号(有効成分)} / \text{ノイズ(無効成分)}$$

パラメータ設計では、SN比を改善するための様々なアイデア(制御因子)を、Fig.1のような直交表に割り付けて組み合わせ実験を行う。その結果からSN比が最も高くなる組み合わせ(最適条件)と、現行条件との差(利得)を求める。

実験No.	制御因子(設計アイデア)								信号1		信号2		信号3		SN	感度
	A	B	C	D	E	F	G	H	誤差1	誤差2	誤差1	誤差2	誤差1	誤差2		
1	1	1	1	1	1	1	1	1							n1	S1
2	1	1	2	2	2	2	2	2							n2	S2
3	1	1	3	3	3	3	3	3							n3	S3
4	1	2	1	1	2	2	3	3							n4	S4
5	1	2	2	2	3	3	1	1							n5	S5
6	1	2	3	3	1	1	2	2							n6	S6
7	1	3	1	2	1	3	2	3							n7	S7
8	1	3	2	3	2	1	3	1							n8	S8
9	1	3	3	1	3	2	1	2							n9	S9
10	2	1	1	3	3	2	2	1							n10	S10
11	2	1	2	1	1	3	3	2							n11	S11
12	2	1	3	2	2	1	1	3							n12	S12
13	2	2	1	2	3	1	3	2							n13	S13
14	2	2	2	3	1	2	1	3							n14	S14
15	2	2	3	1	2	3	2	1							n15	S15
16	2	3	1	3	2	3	1	2							n16	S16
17	2	3	2	1	3	1	2	3							n17	S17
18	2	3	3	2	1	2	3	1							n18	S18

Fig.1 Experiment with L18 orthogonal

パラメータ設計で重要な点は、直交表実験の結果から得られたSN比の利得が、同じ条件で行った確認実験で再現することである。これにより、直交表の実験で得られた結果が、市場などの下流で再現することを確認する。

## 2 シミュレーションと品質工学の連携

このように品質工学のパラメータ設計では、基本機能

の安定性を評価するため、システムがもつ基本的な働きに注目する。

従来の現象解明を目的とするシミュレーションでは、モデルと実物との整合が問題となってきた。しかし、パラメータ設計のシミュレーションで用いるモデルは、基本機能が正しく表現できていれば、実物と必ずしも整合していなくても、評価に使用することが可能である。

これにより、パラメータ設計のシミュレーションで用いるモデルは、従来のシミュレーションで用いるモデルより、かなり単純化することができる。この事は計算コストの低減と、開発スピードのアップに寄与し、さらに直交表と組み合わせることにより、汎用性、再現性のある開発を実現することが可能となった。

### 3 光学部門における適用事例

光学部門で実施された具体的な事例を通して、シミュレーションと品質工学の連携による成果を紹介する。

#### 3.1 光ピックアップ用レンズ駆動アクチュエータ開発

本事例は既に2006年度版コニカミノルタテクノロジーレポートに掲載された事例<sup>2)</sup>である。

光ピックアップ用レンズ駆動アクチュエータの開発に、パラメータ設計とシミュレーションを組み合わせ、実物の試作を行わずに、部品バラツキや使用条件でのバラツキに強い設計パラメータを求めることが出来た。

この事例では、駆動アクチュエータが持つ機能を、Fig.2に示すように、駆動力Mに対する変位yとして、その関係を $y = \beta M$ で表現した。ここで $\beta$ は駆動力Mに対する変位yの割合であり、品質工学では感度と呼んでいる。

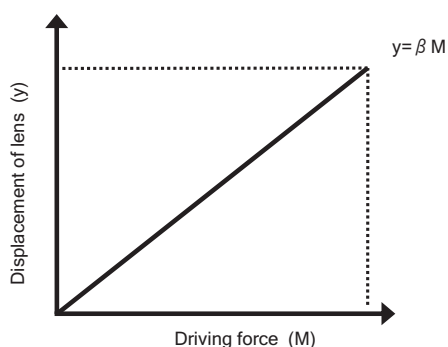


Fig.2 Generic function of the actuator

この事例のポイントは、シミュレーションによりこの関係を評価するためのモデルを、3D-CADの詳細なモデルではなく、Fig.3に示すような基本機能を表現するだけの梁による力学モデルを用いる事で、大幅な計算コストの低減を実現したことである。

パラメータ設計の手法は、直交表を用いて制御因子の

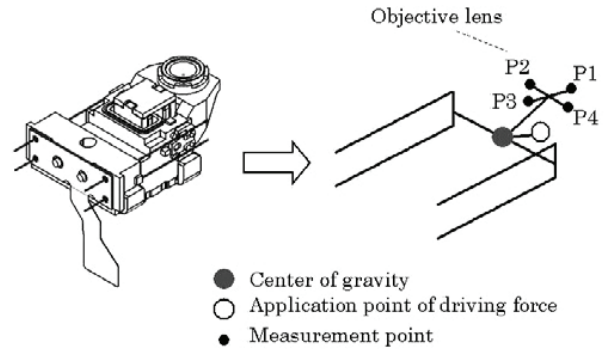


Fig.3 Calculation model for focusing direction

組み合わせを効果的に作成し、実験回数を減らす工夫もしているが、様々な使用条件での働きを評価するため、直交表の外側に信号や誤差を割り付ける事になり、その分実験回数が増える事になる。

計算コストの低減は、パラメータ設計にシミュレーションを使う際の重要なポイントであり、この事例ではモデルの単純化や表計算ソフトとの連携によるパラメータ設定の自動化で、大幅な計算コストの低減を実現した。

#### 3.2 光学設計への適用

コニカミノルタでは光ピックアップレンズを始め、携帯電話用カメラレンズやデジタルカメラ用レンズなど、様々なタイプのレンズを開発・設計している。

光学設計では古くから光学理論に基づくシミュレーション計算により、設計・評価が行われてきた。しかし、多くの場合目標とする光学特性を得るためのチューニング作業が主体となり、安定性の評価はチューニングのあと行われるのが一般的となっている。

光学設計に品質工学を適用する試みは、1994年ごろから行われてきたが、品質工学会第6回企業交流会(1999年10月8日)をきっかけに、光学系の基本機能の考え方が大きく前進することになり、品質工学の適用に新たな局面が生まれた。

それまでは光学系の結像理論から導き出された理想状態に出来るだけ近づけるため、光学系の機能を、Fig.4に示すような物体と像との相似関係(転写性)で評価していた。

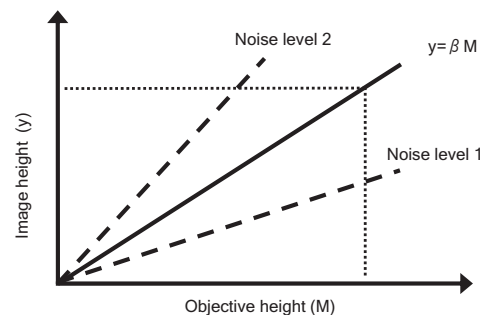


Fig.4 Generic function of the optical system (transformability)

しかし、光学系は光を曲げるのが基本機能であるという観点から、結像にはこだわらず、光の曲がり方が、バラツキの原因であるノイズで変化しないような光学系のパラメータを決めるべきとの考え方が提唱された。

コニカミノルタでもこの考え方に従って、光学設計への品質工学の適用を始めており、光の曲がり方を評価する評価特性の検討や、バラツキの原因となる様々なノイズの研究を行っている。

光の曲がり方を評価する評価特性としては、光学の基本的な法則としての屈折の法則と反射の法則があるが、いずれも伝搬する波面に関する原理であるホイヘンスの原理から説明することが出来るため、光学系で定義される各種の取差をはじめとした、いくつかの評価特性を用いて光の曲がり方を評価している。

また、バラツキの原因となるノイズの研究では、様々な使用条件でのノイズの影響を、光学系を構成する設計パラメータのすべてを変化させることで代用した。

そのために、品質工学のツールである直交表を用いて設計パラメータを直交表に割り付け、取り上げた設計パラメータの組み合わせを均等に作成して、その影響を評価した。

その一例をFig.5に示す。このグラフは取り上げた設計パラメータのバラツキが、評価する光学系の評価特性のバラツキへの影響度をSN比で評価したものである。

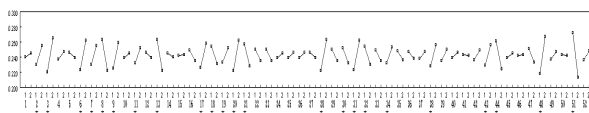


Fig.5 Response graph of noise factor

品質工学の手法としては、パラメータ設計とシミュレーション技術を組み合わせることが重要であることは前述の通りだが、光学系のパラメータ設計適用への取り組みはまだ始まったばかりである。現時点では、上記の評価特性を用いて、量産性を評価することが可能となった。

今後は、評価特性とノイズの研究成果をパラメータ設計へ適用して、従来からのチューニングを主体とした設計から、ユーザーの使用条件を考慮したロバスト設計へのパラダイム転換を図っていく。

### 3.3 ガラスモールドレンズ成型技術への適用

品質工学は製品開発だけでなく、製品を製造する生産技術の開発にも広く用いられている。

生産技術の開発では生産設備や製造装置などのパラメータ設計を行うが、実物を使った実験がコストや納期などの問題でなかなか難しいため、シミュレーションとパラメータ設計を組み合わせた取り組みが特に重要になっている。

コニカミノルタでは液晶フィルム工場の生産設備を始め、ガラスモールドレンズの製造装置などの設計にシミュレーションとパラメータ設計を組み合わせで行っている。ここではその一例として、ガラスモールドレンズの成型条件の例を挙げる。

ガラスモールドレンズの成型では、金型によりガラスを成形するため、ガラスが安定して変形する金型の形状が重要となるが、実物実験ではガラスの変形過程を直接評価することが出来ない。

そこでコニカミノルタでは、ガラスの流動シミュレーションを行い、パラメータ設計の手法と組み合わせ、金型形状の最適化を行った。

評価は金型中のガラスの体積をシミュレーションにより計算し、ノイズに対する変化量を評価した。その結果をFig.6の要因効果図に示す。

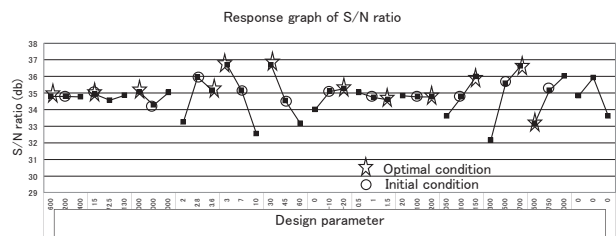


Fig.6 Glass mold simulation S/N ratio response graph

この事例では12個の設計パラメータをL36直交表に割り付けてシミュレーションを行い、実物実験では必要となる金型作成の費用と時間を大幅に削減することが出来た。

### 3.4 車載機器開発への適用

民生用機器の中でも車載機器はその使用環境の厳しさ、信頼性への要求などが高く、従来の開発・設計手法では顧客の要求に応えるのが難しくなっている。

コニカミノルタでは特殊用途の車載用カメラの開発が行われており、様々な使用条件で安定した性能を確保するため、構想設計段階からシミュレーションとパラメータ設計の手法を活用した。

ここに示した事例は、車載カメラの耐熱設計を行った事例であり、ANSYSによる伝熱解析とパラメータ設計の手法を組み合わせで行った。

車載カメラの設計上の課題としては、搭載している半導体部品が、自己発熱と使用条件下の周囲温度により温度上昇するため、劣化・故障する事であり、使用条件の影響を受けず、いかに効率的に内部の熱を放熱するかが重要となる。

従来の伝熱解析では、温度分布を評価することが多いが、この事例では、いかに安定して熱を放出するかが課題であるため、Fig.7に示すように、放熱の機能を、発

熱源と周囲温度の温度差Mに対する、発熱源から流れる熱流束の大きさyと考え、熱抵抗を $\beta$ としたとき、 $y = \beta M$ の関係が部品のバラツキや、使用条件の変化の影響を受けない事を評価した。

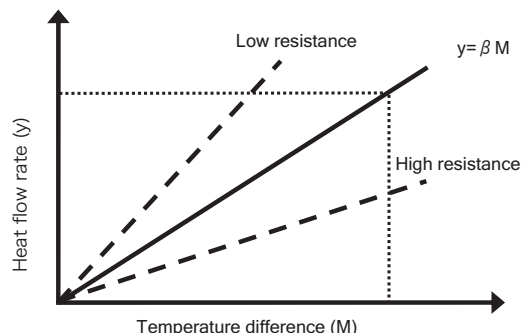


Fig.7 Generic function of heat radiation

実験はFig.8のように3個の物性値のパラメータと、5個の放熱フィンの形状パラメータを制御因子として取り上げ、L18直交表に割り付けた。

Control factor	A	B	C	D	E	F	G	H
Type	Physical properties			Parameter of fin form				
Level 1	0.005	0.01	0.001	8	0.9	1.2	3	1.2
Level 2	0.01	0.015	0.003	10	1	1.4	4	1.6
Level 3		0.02	0.005	12	1.1	1.6	5	2

Fig.8 Control factor of parameter design

バラツキの原因となる誤差因子としては、使用環境や劣化による影響として、制御因子の水準を $\pm 1\%$ 変化させる事と、カメラ内部で発生する熱の影響、放熱フィンと空気との間の熱伝達係数の変化などを取り上げて、L8の直交表に割り付けた。

シミュレーション実験は上記のL18とL8との掛け合わせの回数に、入力としての温度差を信号として3水準とり、合計432通りの計算を行った。

割付と水準の設定、モデルの変更、解析の実行、SN比の計算など、一連の動作をFig.9に示すフローにより自動化することで、実験の実施に要する工数を大幅に低減することが出来た。

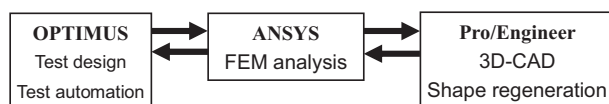


Fig.9 Automation of experiment by OPTIMUS

この事例では、こうした取り組みにより、設計の上流段階で実物試作を行うことなく、様々な設計アイデアを評価することができ、効果的なアイデアを選択して、詳細設計に移行することが可能となった。

## 4 シミュレーションと品質工学の連携による効果

今回紹介した事例から、シミュレーションと品質工学を連携させることによる効果をまとめると以下の通りとなる。

### 1) 技術の本質をとらえる評価を実現

シミュレーションの活用により、実物では計測不可能な評価特性を用いることが可能となり、システムが持つ本質的な働き（基本機能）を直接評価することが可能となった。

### 2) 開発のスピードアップ

今までのシミュレーション技術では、実物とモデルの整合性が不可欠であった。そのため出来るだけ詳細にモデルを作成し、目的とする特性値をそのまま評価していた。その結果として計算コストが膨大となり、開発初期段階で様々なアイデアを試行することができなかった。

本稿で紹介した事例では、基本機能の評価することで、モデルの簡易化が可能となり、計算コストの低減が実現した。これにより、シミュレーションを、より上流の開発初期段階で、様々なアイデアを評価する為に用いることが可能となり、開発のスピードアップに貢献した。

### 3) 下流再現性の確保

製造工程や市場で発生するノイズを与えてシステムの基本機能の評価することで、シミュレーションによる評価結果が、下流でも再現することを確認することが出来た。

## 5 今後

今後は、シミュレーションと品質工学を連携した開発プロセスの改革をさらに進め、開発担当者が気軽に使えて、すべての事業分野で活用できる体制を整えていくことが課題となっている。

## 6 まとめ

本稿を通して、シミュレーションと品質工学を連携させる効果を、実施例を通して明らかにした。特に、評価の方法である基本機能の考え方が、シミュレーションとの連携で重要であり、様々な技術分野で適用可能なことを実証した。

### ●参考文献

- 1) 田口玄一 “開発・設計段階の品質工学” 日本規格協会 1988
- 2) 長澤光ほか KONICA MINOLTA Tech. Rep., Vol.3 (2006)