

ロバスト設計を実現するタグチメソッド

Quality Engineering: Taguchi Method

あらまし

複雑な市場の要求に応え、より良い製品をより早く提供していくためには開発の仕組みも常に見直していく必要がある。品質工学（タグチメソッド）は田口玄一博士によって体系化された技術開発の方法論であり、近年その評価が更に高まっている。品質工学ではモノの働き（基本機能）に着目し、システムを構成する因子を主に三つのカテゴリ（信号因子、制御因子、誤差因子）に整理して取り扱うが、従来の手法に慣れてしまったエンジニアには難解な部分も多い。しかし「ものづくり革新」をより確実なものにするためには、エンジニアや組織の意識改革を行い、この手法をより普及させなければならない。

本稿では品質工学普及への取組みについて、推進体制と解析ツール（WebSTAT、ParaNAVI）の概要、および適用例としてシミュレーション分野、プロセス材料分野、ソフトウェア評価分野の事例を紹介する。

Abstract

It is always necessary to review development processes for supplying better products as soon as possible to meet complex market demands. Quality engineering (known as the Taguchi Method) is a systematized methodology of technological development now attracting much attention. Quality engineering focuses on the functionality (basic function) of products, with three main factors that categorize a given system: the signal factor, control factor, and error factor. Quality engineering may be difficult for engineers who are accustomed to conventional methods. Therefore, to ensure innovative manufacturing, the attitudes of engineers and the organizations to which they belong must focus on innovation by promoting use of the Taguchi Method. This paper introduces the activities geared toward promoting quality engineering as an explanatory overview of such analyzing tools as WebSTAT and ParaNAVI, and cites a case study of simulation, process materials, and the evaluation of software.



竹下修二（たけした しゅうじ）
テクノロジーセンター先行生産技術開発部 所属
現在、品質工学の普及推進に従事。



細川哲夫（ほそかわ てつお）
テクノロジーセンター先行生産技術開発部 所属
現在、品質工学の普及推進に従事。



雨森和彦（あめもり かずひこ）
ストレージプロダクト事業本部第一事業部 所属
現在、ハードディスク用磁気ヘッドの製造技術開発に従事。

まえがき

ロバスト設計 (Robust design) とは、製品の製造ばらつきや使用環境による影響に対して影響を受けにくい頑健 (Robust) な設計を行うことである。もちろん、ここで言う頑健とは単に丈夫に作るという意味ではなく、限られた設計条件の中で最高の安定性を達成することであり、品質工学 (タグチメソッド) はそのための重要な手法である。

品質工学は田口玄一博士により創設・体系化された技術開発の方法論であり、1980年代にTaguchi Methodとして米国の自動車業界を中心に普及した。その後国内各社へは1990年代になって導入され始め、1993年の品質工学フォーラム、後の品質工学会⁽¹⁾の設立をもって品質工学という名前で呼ばれるようになった。当初は設計の最適化 (パラメータ設計) から始まった品質工学であるが、その後MTS (マハラノビス・タグチ・システム) 法や、機能性評価法など手法の拡張が行われている。

最近行われたNIKKEI BizTec誌によるメソッドランキング調査⁽²⁾で、品質工学は開発・製造支援手法の部で認知度、導入率でそれぞれトップにランクされたことが示すように、現在各社で導入が進んでいる。

品質工学による技術開発ではものの働き (基本機能) に着目し、システムを構成する因子を三つのカテゴリ (信号因子, 制御因子, 誤差因子) に整理して評価と最適化を行う。製品化プロセスのできるだけ上流段階で個々の技術の素性の善し悪しを評価することで開発の効率化を目指している。その意味では決して何でも解決できる魔法の玉手箱ではない。しかし評価を早く正しく行うことは、手戻りの回避や市場クレームの未然予防に直結するきわめて重要なことからであり、「ものづくり革新」のための重要な手法と位置付けることができる。

本稿では、品質工学を普及させるための組織的な取り組み、それを支える支援ツール、および実際の適用事例についてその内容を紹介する。

富士通における取り組み

品質工学の国内各社への導入に合わせ富士通でも普及のための取り組みを開始した。当初は教育から始まったが徐々に内容の充実を図っていった。

1990年代の取り組み

1990年から技術者教育の一環として全社品質工学教育を開始し、現在までに延べ1,000名以上が受講している。また1997年からは「事例研究会」をスタートし、活用のレベルアップを図ってきた。その間、プロセスの設計・制御、メカニカル装置の特性向上や要素技術開発期間の短縮といった効果も出ている。しかし、以下の問題も抱えていた。

- (1) 教育を受けただけで終わっている技術者が多い。
- (2) 実際に使用している技術者でも使用方法に問題があり、必ずしも効果が現れていない。そのため効果がないと思ってその後、活用しなくなる傾向がある。
- (3) 事業部内にコアとなる人材が十分に育っていない。

新たな取り組み (2004年度～)

このような状況から、富士通では、2004年度より開発力の強化を目的に、品質工学を技術者が正しく使用できる環境整備と技術者のスキルアップができるような活動をスタートさせた (図-1)。活動の基本的な考え方として、

- (1) 教育中心から課題解決のための実践を重視した活動への移行
- (2) 経験豊富な社外講師活用による成果の確保 (成功事例の蓄積)

の2点に重点を置いて活動を開始した。

そのため2004年度に推進事務局を強化し、社内エキスパートを集結させ、事業部の重点課題に対する実践適用を開始した。また、2005年度には各事業部で経験を積んだコア人材を中心に社内研究会を立上げ、情報の共有化、共通的テーマの課題解決方

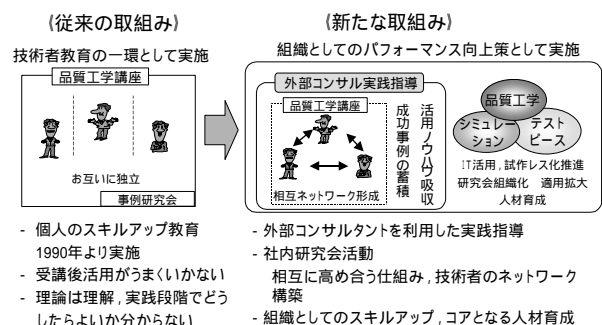


図-1 活動形態
Fig.1-Activity scheme.

法の研究に取り組んでいる。また、e-Learningを含めた教育の仕組み再構築やスキル認定制度の導入により底辺拡大を図っている。

支援ツール

品質工学を適用する際、ばらつきなどの影響度を示す指標であるSN比や、パラメータの影響度合いである感度を求めるために、統計計算が必ず必要となる。このためのソフトウェアは各種市販されているが、エンジニアが使いたいと思ったときにすぐに手に入ることが必要であり、以下の3種類のツールを開発し社内ホームページで公開・提供している(図-2)。

なお、同ホームページでは事例やイベント開催などの情報発信を行っている。

(1) WebSTAT

初心者向けに提供しているツールであり、Webで提供することでブラウザが動く環境があれば社内どこからでも利用可能である。

なお、本ツールは品質工学以外に有意差の検定など、よく使われる(使ってほしい)統計計算機能も提供しており、ツール全体で年間1万件以上の利用実績がある。

(2) ParaNAVI

主に中級者向けに提供しているツールであり、Excel上で実行する。前項のWebサービスでは実装が難しい複雑で大規模なデータの取り扱いが可能である。

(3) CAOS⁽³⁾

シミュレータ連携ツールであり、パラメータの自

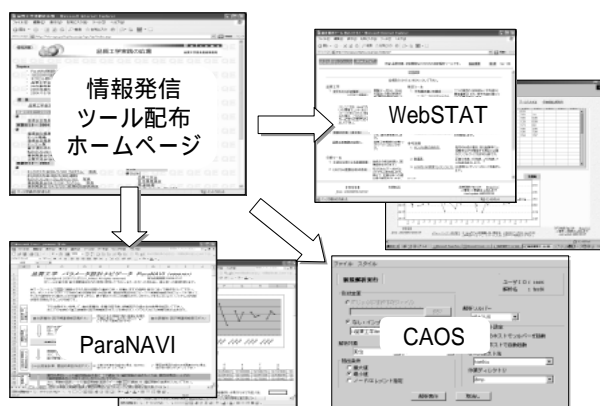


図-2 サポートツール群
Fig.2-Support tools.

動投入、および結果の自動収集機能を持つ。

磁気記録ヘッド設計への適用事例

シミュレーションを使った最適化の事例として磁気記録ヘッド設計への適用事例を紹介する⁽⁴⁾

(1) 課題

記録ヘッドの構造を図-3に示す。ヘッドの機能としては必要な部分に磁界を集中でき、それ以外の部分の磁界は抑える必要があり、かつ製造ばらつきに対して影響を受け難い安定した特性が求められる。

(2) アプローチ

書き込み磁界の分布を図-4に示す。従来は代表的な点をいくつか定め、これらの値の変化を見ながら試行錯誤的に最良点を探索する方法を採っていた。

本事例では品質工学を導入し、複数の設計パラメータ(制御因子)を短期間で最適化に成功した。3次元で表現される磁界分布を図-4に示すようにX

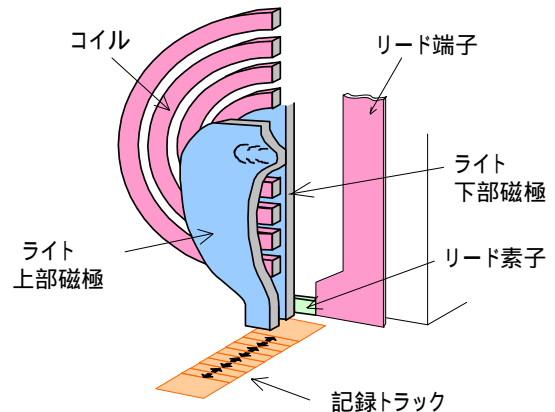


図-3 磁気記録ヘッド
Fig.3-Magnetic recording head.

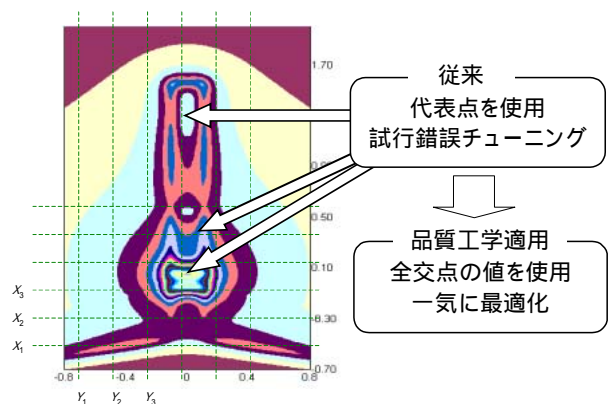


図-4 書き込み磁界分布の最適化
Fig.4-Optimization of writing magnetic field.

方向とY方向に分割し、各交点すべての出力値の安定性を「標準SN比」という品質工学手法で評価した。

解析結果を図-5に示す。品質工学ではこのように要因効果図で各因子の効果を比較する。ここで横軸のA~Hは各部の寸法や材料の物性値に対応しており、図で上側にある条件が良い(SN比が高い)条件である。

このようにして決定した最適条件は、最初の設計条件と比べ8.5 dBの改善(ばらつき62%減)となった。

最適化前後の磁界の2次元分布を図-6に示す。ばらつきが改善されていることが分かる。

材料特性改善事例

材料・プロセス分野への適用事例として光学部品用接着剤の開発に適用した事例を示す⁵⁾

(1) 課題

光学ドライブでは光路を形成するためレンズ、プリズムなどの多数の光学部品が使用され、その多くはUV硬化型接着剤によって固定されている。図-7の印部は接着箇所を示す。硬化後の接着剤の寸法変化は光学部品の位置ずれを引き起こし、ドライブの性能劣化につながるため、極力抑える必要がある。

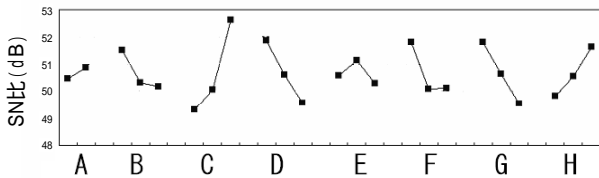


図-5 要因効果図
Fig.5-Response graph.

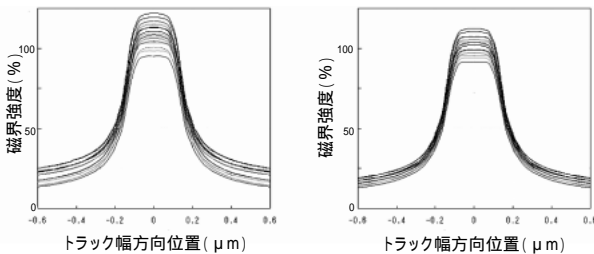


図-6 最適化前(左)と後(右)の磁界分布
Fig.6-Magnetic field of before optimization (left) and after (right).

(2) アプローチ

光学部品の接着では被接着物に対して接着剤の体積が無視できない程度に大きいため、接着剤の機能としては接着性以外に保形性が重要となる。すなわち、保形性が優れていれば温度、外力などの様々な外乱が存在しても光学部品の位置ずれを防ぐことができる考えた。

以上のような検討結果から品質工学の考察に基づき以下の二つの基本機能を定義した。

- ・基本機能1: UV照射量に対する硬化率
- ・基本機能2: 硬化後の保形性

この機能を評価するためのサンプルは実部品ではなく品質工学が推奨する「テストピース」によって行うこととし、図-8に示す型を使いキャスト法で形成した。

接着剤メーカーと共同で基本機能が優れた材料を探し最も理想に近い材料の絞込みを行った。改善効果を図-9に示す。上段が改善前、下段が改善後の特性である。

本事例では品質工学の本質である基本機能の向上を追求することで製品特性を改善することに成功し

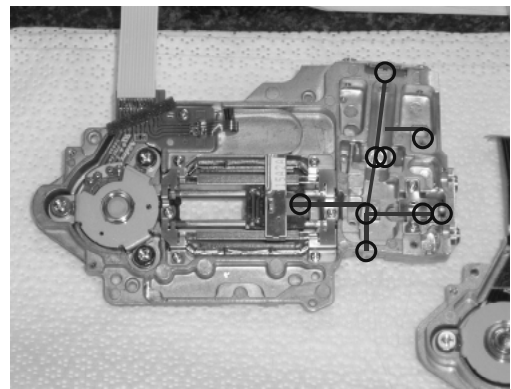


図-7 光学ヘッドアセンブリ
Fig.7-Optical sensor head assembly.

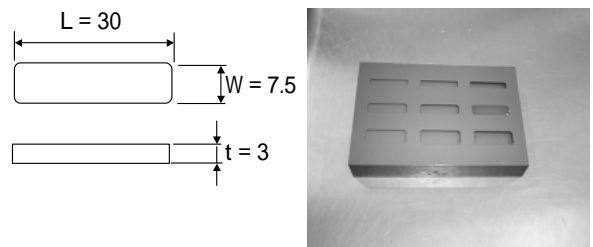


図-8 テストピースと成型型
Fig.8-Test piece and mold.

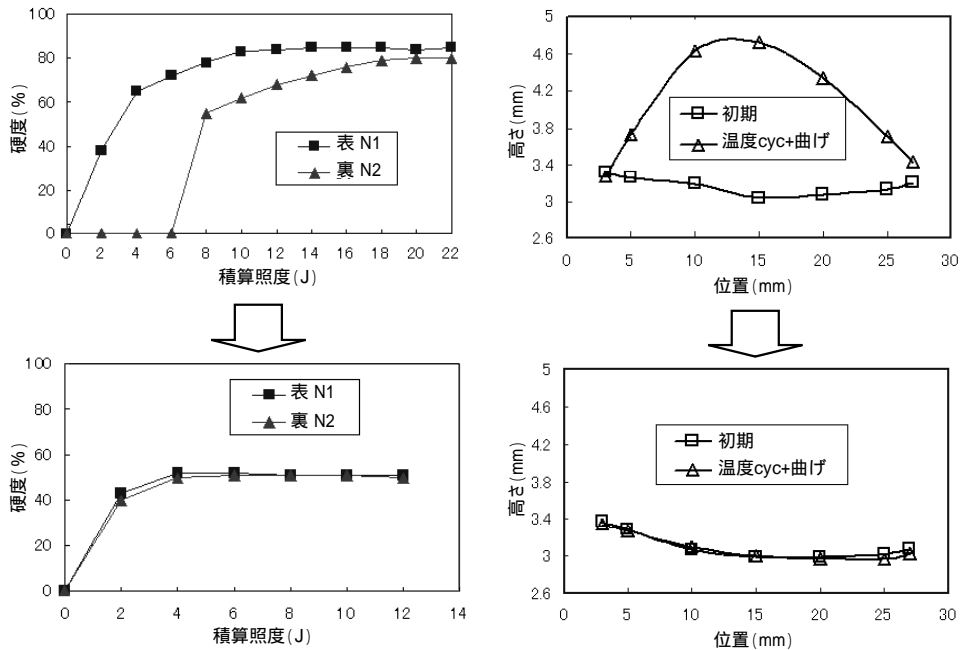


図-9 基本機能の改善効果
Fig.9-Improvement of generic function.

た。基本機能の評価により材料を選択し、その後に硬度，粘度のチューニングのためのパラメータ設計を実施している。技術開発を成功させるために基本機能の評価することの重要性を示す好事例といえる。

なお、本実験の後、実製品により確認を行った結果、5 dB (44%) の特性ばらつき改善効果が確認された。

ソフトウェア評価への応用

本章ではソフトウェア分野への取組みについて報告する。

ソフトウェアやシステムのデバッグに直交表を用いる方法はブラックボックステストの一手法として古くから知られている⁹⁾。直交表を用いた試験計画は2因子間のすべての組合せが効率良く出現するという直交表の性質を利用したものである。

試験条件の例を表-1に示す。この例ではNo.1から6項までの因子は4種類の水準を、7項から38項までは2種類の水準を持つ。これらの項目と水準の全組合せを調べようとすると膨大な回数(4⁶ × 2³²

1.7 × 10¹³回) 試験が必要となる。しかし直交表を使えば2因子間の全組合せを非常に効率的に試験することが可能である。実際に表-1の例はL64直交表に割り付けることが可能であり、膨大な組合せを

表-1 試験条件一覧表

No.	TestMode	水準1	水準2	水準3	水準4
1	メモリテスト	N	R	I	F
2	ファイルテスト	ノイズ	ランダム	SHIFT	固定
3	Graphic-A	Triangle	Wave	Circle	Rect.
4	Graphic-B	Triangle	Wave	Circle	Rect.
5	Graphic-C	Triangle	Wave	Circle	Rect.
6	Serial	なし	奇数	偶数	マーク
7	MemTest-A	Rand	Seq		
8	MemTest-X	posi	nega		
}	}	}	}	}	}
35	Fan_A-spd	H	L		
36	Fan_B-spd	1	2		
37	I/O-A_UP	0	-2		
38	I/O-B_DN	しない	する		

4水準 × 6項目, 2水準 × 32項目

64回の試験に圧縮することができた。

このように直交表の導入で試験効率を大幅に上げることが可能である。しかし実際の利用に際しては次のような課題が残っている。

- (1) プログラムの機能(因子)とそのオプション(水準)の組合せを、決まった種類しか存在しない直交表に割り付けるには専門的な知識が必要。
- (2) 2因子間試験の完全性(網羅率100%)は保証

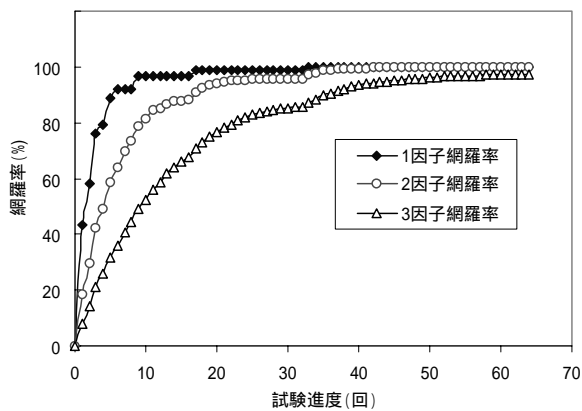


図-10 L64試験計画の網羅率
Fig.10-Coverage of L64 test plan.

されているが、3因子以上の組合せに対する網羅率が不明。

(3) 存在しない組合せの排除（禁則処理）

これらの課題に対し現在、任意の因子・水準の組合せの試験計画の自動発生と網羅率評価を行うプログラムを開発中である。開発中のプログラムで作成した前記事例（表-1）のL64直交表試験計画の網羅率グラフを図-10に示す。試験の進行とともに2因子網羅率は急激に上昇し35回でほぼ100%へ、3因子網羅率でも64回目の試験では97%へ到達していることが確認できた。このように網羅率を定量的に評価できることは試験の効率を論ずる上できわめて重要である。

む す び

本稿では、品質工学の活用状況について事例を交え紹介した。このように品質工学はいろいろな分野で活用できるが、最近ではシミュレーションの利用が大きく増えている。

シミュレーションにおける最適化手法として応答曲面法やモンテカルロ法などが有名である。しかし、これらの手法と比べ、品質工学は製造ばらつきや市場での使用条件の影響（誤差因子）を明確に考慮して取り扱う点が大きな違いである。すなわち、誤差の影響を正しく評価することでロバストな設計を実現しているわけである。

品質工学を適用する過程でエンジニアには、システムを正確に分析・理解することが求められる。お客様の使用条件である誤差因子は何か？設計者により決定し得る制御因子は何か？など品質工学が発する問いに正しく答えることが成功のかぎである。つまり品質工学とは、エンジニアによく考えさせるための体系的な仕組みであるともいえる。

参 考 文 献

- (1) 品質工学会ホームページ。
<http://www.qes.gr.jp/>
- (2) 小林暢子：日経ビズテックNo.007。日経BP社，p.84-95（2005）。
- (3) 酒井秀久ほか：最適化システムCAOSによる電子機器の最適実装設計。FUJITSU，Vol.51，No.5，p.275-279（2000）。
- (4) 沓澤智子ほか：シミュレーションによる磁気記録ヘッド開発。第13回品質工学研究発表大会論文集。品質工学会，p.66-69（2005）。
- (5) 細川哲夫，高橋秀明：光ディスク装置用光学部品の接着剤材料開発。第13回品質工学研究発表大会論文集。品質工学会，p.254-257（2005）。
- (6) 久保宏志ほか：富士通におけるソフトウェア品質保証の実際。日科技連，1989，p.458-460。