

イノベーションの加速におけるタグチメソッドの活用と役割

Application of Taguchi Quality Engineering for Acceleration of Innovation

大内 義昭

■ OOUCHI Yoshiaki

東芝グループは、開発及び設計段階におけるイノベーションの実現に向けて全社的活動を強力に展開しており、東芝電子エンジニアリング(株)はこの活動を、最新のタグチメソッドを駆使して支援している。タグチメソッド、特にMT(マハラノビス タグチ)システムの最近の進展は、このようなイノベーションの実現に対して十分な有効性を持つに至っている。

タグチメソッドの活用は、主として①CAE(Computer Aided Engineering)へのロバスト設計^(注1)の導入、②T(タグチ)法の積極的な活用、③DMADV(Define, Measure, Analyze, Design, Validate)へのロバスト設計の導入などを通じて、先進的な役割を果たしている。

Toshiba is strongly promoting innovation programs in the development and design sections of its group companies, which Toshiba Electronic Engineering Corporation is supporting with using the latest Taguchi quality engineering techniques. The most recent version of this quality engineering, the Mahalanobis-Taguchi (MT) system, gives effective support to every one of these programs to ensure a successful conclusion.

Taguchi quality engineering plays a leading role in accelerating innovation by means of (1) introduction of the robust design method into computer-aided engineering (CAE), (2) proactive use of the Taguchi method, and (3) introduction of robust design into the "define, measure, analyze, design, validate" (DMADV) method.

1 まえがき

最近のタグチメソッドは、従来からのロバスト設計手法に加えて、MTシステムによる既存データを用いた異常予知、故障診断、及び原因説明、直交表を有効活用するソフトウェアのデバッグなど、その活用分野を大幅に拡大しつつある。

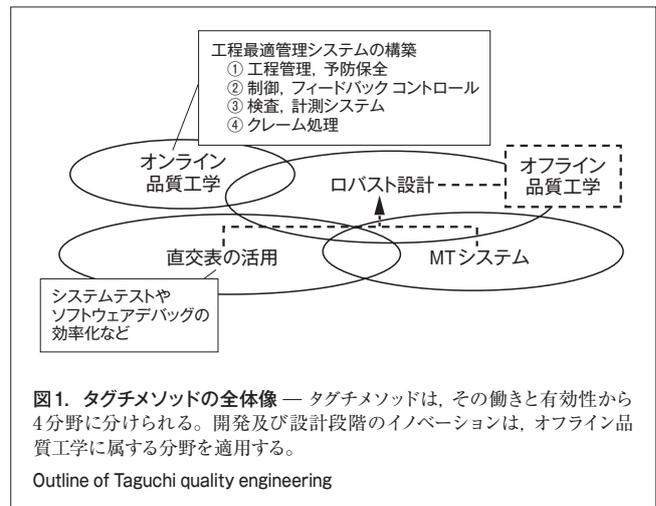
東芝グループの各社は、イノベーションを加速するうえで求められている設計改革の実現にあたって、それぞれの事業分野と製品に適合した設計手法の確立を進めてきたが、その随所にいち早く最先端のタグチメソッドを取り入れて有効活用し、後戻り工程をなくすことで、開発期間の短縮や品質向上の迅速かつ確実な実現を図っている。

ここでは、東芝グループにおける、イノベーション加速に向けた最新のタグチメソッド活用への取組みについて述べる。

2 タグチメソッド、特にオフライン品質工学の最近の状況

今回、筆者が所属する東芝電子エンジニアリング(株)品質工学推進室が目指しているのは、モノづくりの最上流にある開発及び設計段階でのイノベーション、なかでも特にフロントローディングの実現に向けて展開されている東芝グループの全社的

(注1) 製品の製造ばらつきや使用環境、経時変化に対して影響を受けにくい頑健設計。



活動を、最新のタグチメソッドを駆使して支援することである。

タグチメソッドは図1に示すように、その働きと有効性から4分野に分けられる。

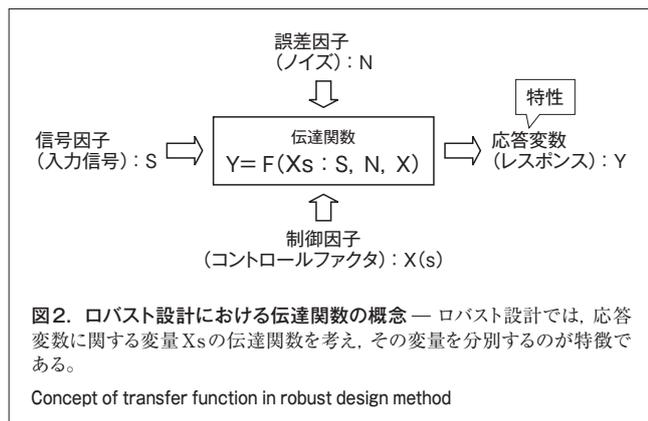
先に述べた目的のためには、タグチメソッドの4分野の中でロバスト設計を中心に据えて、これを達成するためにMTシステム及び直交表を駆使することになる。これは図中に示したとおり、オフライン品質工学に属する分野⁽¹⁾を最新の体系で適用することにほかならない。

まず、オフライン品質工学分野の状況につき、MTシステムの最新状況を含めて述べる。

2.1 ロバスト設計

ロバスト設計では図2に示すように、応答変数Yに関する伝達関数 $Y=F(X_s)$ を考え、①変数 X_s を信号因子S、誤差因子(ノイズ)N、及び制御因子 $X(s)$ に分別し、SとNを受け入れてから②ロバスト性を確保しつつYの目標を達成するように、2段階設計法を適用して $X(s)$ の最適化候補を提案する^{(2), (3)}。

応答変数Yとして品質向上、コスト削減、開発期間の短縮の3視点を網羅すれば、品質工学のまさに一石三鳥の特長を生かした最適化を実現することができる。



ロバスト設計を進める場合、一般的には $Y=F(X_s)$ は未知であるから実験的手段を使うことになる。最適化を実現するには制御因子 $X(s)$ の数が多いうほうが明らかに有利であるが、実験回数の増大につながるのを防ぐ抜本的手法として、混合系直交表の活用が提唱された⁽⁴⁾。これは、応答変数Yに対する制御因子 $X(s)$ の主効果に着目し、混合系直交表を使用することで $X(s)$ 間の交互作用の影響を最小限に抑え込んだものである。ロバスト実験に用いられる混合系直交表としてはL18^(注2)($2^1 \times 3^7$)がもっとも一般的で、2水準の制御因子が1因子と3水準の制御因子が7因子の最大8因子までを検討対象として、誤差因子(ノイズ)を考慮した18組の直交実験で最適解を求める。

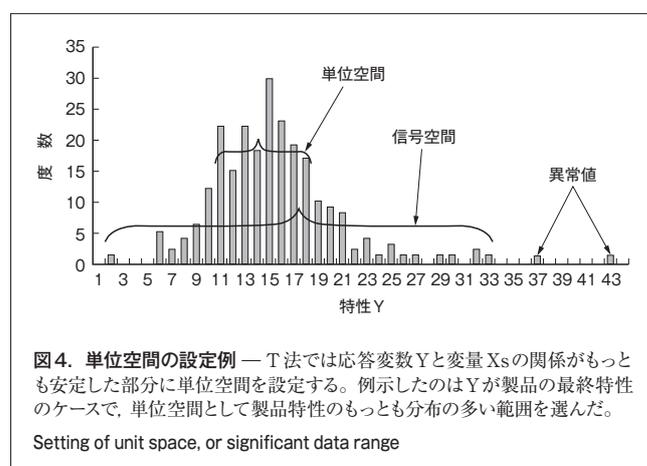
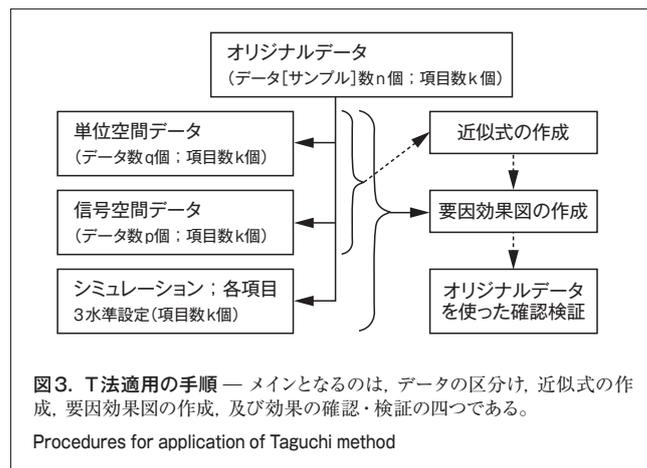
2.2 MTシステム, 特にT法

応答変数Yと変数 X_s に関して取得された多変量情報が利用できる場合には、MTシステムを適用することにより、先に示した図2における $Y=F(X_s)$ に関して、近似式など有用な知見が求められる。

MTシステムとしては、MT法を筆頭にしてTS(タグチシュミット)法、MTA(余因子)法、T法などが提案されている⁽⁵⁾。

開発及び設計段階におけるイノベーションの実現に向けた支援にあたっては、一連のMTシステムの中で特にT法に注目している。

(注2) Lは、Latin squareのこと。元来は、ラテン方角、ラテン四角、ラテン方阵の意味。



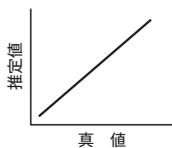
T法は応答変数Yそのものを対象とし、既知の多変量情報からYの推定式を作成する手法である。その点ではMT法を除くどのMTシステムも同様であるが、①Yは実際上、数値データに限定され、更に、何よりの特長は、②MTシステムの中で唯一、サンプル数が変数 X_s の数より少なくとも適用可能なことである⁽⁶⁾。したがってT法は、量産立上げ段階から試作段階へ、更には開発段階へと、サンプル数が変数 X_s の数より少ない開発上流にさかのぼっての適用へと可能性が広がってきたのである。

T法適用の手順を図3に示した。T法においてもすべてのMTシステムと同様に、近似式の作成にあたって単位空間を設定する⁽⁷⁾。単位空間とは基準とするデータ範囲を意味し、いわば起点領域である。これに対して、近似式算出の対象とするデータ範囲は信号空間と呼ばれる。T法では、Yと X_s の関係のもっとも安定した部分を単位空間に設定する。図4に例示したのはYが製品の最終特性のケースであるが、単位空間として製品特性のもっとも分布の多い範囲、成熟製品なら合格範囲、すなわち良品の範囲に相当させて考えている。

$$\Delta Y = c_1 \Delta X_1 + c_2 \Delta X_2 + \dots + c_i \Delta X_i \quad (1)$$

ケース(1) $R^2 \geq 0.5$ の場合

□ 推定式を使用して、変量Xsの効果がシミュレーションできる。

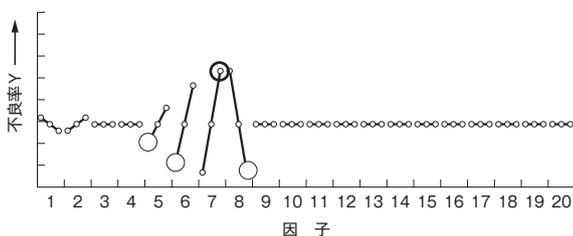


ケース(2) $R^2 < 0.5$ の場合

□ 変量の内容の再検討や項目数を増やす必要がある。

図5. T法適用の妥当性検証の考え方 — T法を適用して求めた近似式からの推定値と真値との相関係数Rを、妥当性認定の一つの判断基準として採用している。

Criterion for judging validity of applying Taguchi method



*1, 2及び7, 8が属性データ, 3~6は連続データ。
*○は採用, ●は不採用を表す。

図6. 応答変数Yに対する変量Xsの要因効果図 — T法によって妥当な近似式が得られた場合には、応答変数Yに対する変量Xsの要因効果図は容易に作成できる。図中で属性7と8は、異なる装置の不良率に対する優劣を比較した例を示している。

Factor effect of cause variable X to response variable Y

近似式は(1)式に示したように応答変数Yの単位空間における平均値からのずれ (ΔY) が、それぞれの変量 X_i の単位空間における平均値からのずれ (ΔX_i) に関する1次式の和で表されるとしている。これは ΔY と ΔX_i の関係が主効果で説明できると仮定していることに相当する。更に、係数 c_i は主効果の影響の大きさを示すことになる。この仮定は、理論に基づくモデル式が未確立な事象や機構を扱う場合には特に、優先的に検討する価値が十分にあると考えている。

T法を適用して求めた近似式の妥当性を認定する際の考え方を図5に示した。近似式から求めた推定値と真値との相関係数をRとしたとき、 $R^2 \geq 0.5$ の成立を妥当性認定の一つの判断基準として採用している。

妥当と認められる近似式が得られた場合には、図6に例示したようなYに関する変量Xsの要因効果図が容易に作成できる。

図6は、応答変数が不良率の例であり、変量には数値データと属性データが含まれている。変量が数値データの場合は、不良率に対する数値増減の効果を示す。変量が属性データの場合は、該当する属性(材料, 装置, 操作, 人など)の採用あるいは不採用による不良率への影響が示される。

3 イノベーションの加速に向けたタグチメソッド活用への取組み

3.1 CAEへのロバスト設計の導入

シミュレーションにロバスト設計を適用すると、実験によるより完璧なロバスト化が達成でき、後戻り工程の解消、究極的には試作レス化への道が開ける。

その理由の第一は、ロバスト設計を実験で実施する場合には時間的及びコスト的制約でL18 ($2^1 \times 3^7$) にとどまっていた混合系直交表の適用が、L36 ($2^{11} \times 3^{12}$) やL108 (3^{49}) にまで拡大されることである。

それ以上の本質的利点は、シミュレーションではあらゆる誤差因子(ノイズ)が盛り込めることにある。モノづくりにおける誤差因子は①工程変動(部材差, 設備差, 作業差など), ②経時変化(劣化, 磨耗など), 及び③環境変動(電源変動, 温湿度変化など)の3種類に大別できる。これらは、厳密に言うと実験的にすべてを再現するのは困難であったが、シミュレーションが適用できる場合には仮想実験ができる。

こうして、CAEとロバスト設計が融合してロバスト化を実現させた事例が蓄積されているのは周知のとおりである⁽⁸⁾。東芝グループにおいても、設計上流におけるCAEによる仮想実験にロバスト設計の根幹の概念である誤差因子(ノイズ)を導入することで、後戻り工程を解消させて開発期間の短縮に見るべき成果を示した事例は多い。CAEへのロバスト設計の導入は、イノベーション推進の原動力の一つとなっている。

3.2 T法の積極的活用

東芝グループでは、イノベーション加速に向けて、MTシステムの中でも特にT法を積極的に活用しようとしている。活用にあたって、特筆すべき事項を以下に述べる。

3.2.1 T法とロバスト設計の組合せ T法によって妥当性のある近似式が求められたことは、3.1節で述べたシミュレーションによるロバスト設計が可能になったことにはほかならない。応答変数Yに効く変量Xsが絞り込めるので、ここで改めて変量Xsを誤差因子(ノイズ)Nなどと制御因子X(s)に分別してロバスト設計を実施し、必要に応じて追加実験を行えばよい。

ロバスト設計のために、当初からL18 ($2^1 \times 3^7$) などの混合系直交表適用実験を実施するケースと比較して、目的達成までに要する時間は格段に短縮される。

これまでのCAEへのロバスト設計の適用は、シミュレータが存在する場合に限定されていた。それに対して、T法とロバスト設計の組合せは、開発初期のサンプル数が限定された試作データに関してもT法が適用可能であるかぎり実施でき、設計へのフィードバックもできる。

3.2.2 開発及び設計段階でのT法の積極的活用

開発最上流で多変量情報を解析するにあたり、T法は、①

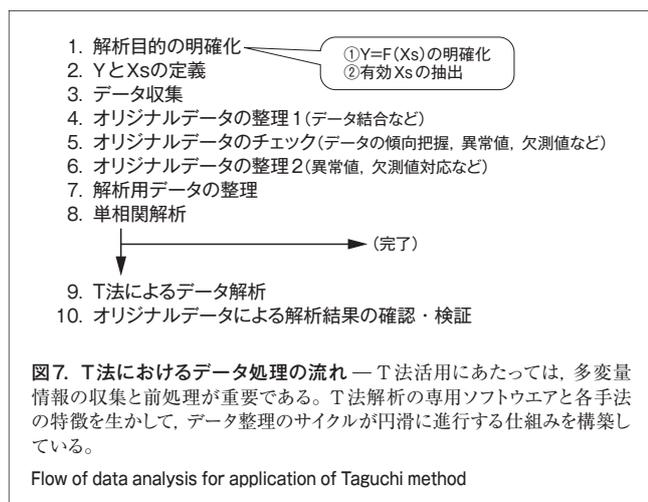
変数 X_s の数が多くサンプル数が少ない場合、なかでも特に②理論に基づくモデル式が未確立な事象や機構を扱う場合に有効性を発揮することを2.2節で述べた。また、3.2.1項では、“ロバスト設計との組合せ”という視点からCAEにないT法の特長を強調した。

東芝グループでは、CAEとともにT法を開発及び設計段階におけるイノベーションの加速に向けた有力な手法と位置づけて、活用事例を積み上げつつある。

3.2.3 T法活用における各種の解析・分析手法との連携

T法活用にあたっては、前段となる多変量情報の収集と処理が重要である。

T法によるデータ解析に至るまでのフローを図7にまとめた。当社は、T法の解析に専用のソフトウェアを持つのはもちろんであるが、各種の解析・分析手法も取り入れて連携を図り、各手法の特徴を生かして、データの多岐にわたる整理のサイクルが円滑に進行する仕組みを構築している。この仕組みによれば、多変量情報の内容次第では、ステップ8の単相関解析で完了し、T法によるデータ解析を行わずに次の段階に効率的に移行するケースも生ずる。



3.3 DMADVへのロバスト設計の概念の導入

DMADV手法は、イノベーションのための詳細設計の方法を提供してくれる。DMADVステップのDefine, Measure, Analyze, Design, Validateの中で、Analyzeにおける最適化にロバスト設計の概念を適用する動きが進んでいる。

目指すところは、モノづくりの最上流において完ぺきなロバスト化が達成でき、後戻り工程の解消、究極的には試作レス化への道を開くのものにもっとも適合したDMADV手法を作り上げることである。

4 あとがき

モノづくりの最上流にある開発及び設計段階におけるイノベーションの実現に向けて展開されている東芝グループの全社的活動を、最新のタグチメソッドを駆使して支援することをミッションとして、当社が進めている取組みを述べた。

次の課題はこの取組みの定着を目指すことである。その成否の鍵を握るものとしてもっとも注力しているのは、品質工学が本質的に指向する“汎用化”の実現に向けた施策である。

イノベーションを加速するうえで求められている設計改革の実現にあたって、それぞれの事業分野と製品に適合した設計手法の確立を進めているが、個々の課題が対象とする固有の専門技術は縦割り組織と強く結び付いているため、横展開が極めて困難であった。

これらの課題解決事例を品質工学の視点で見直し汎用化することで、東芝グループ全体で機動的に展開できる技術に体系化することを意図しており、これをものごとやり方を変えるプロセスイノベーションの一環としてとらえて進めたいと考えている。

文 献

- (1) 田口玄一, ほか. ベーシック オフライン品質工学. 東京, 日本規格協会, 2007, 358p.
- (2) 田口玄一. 品質工学の歩みと現状. 品質工学. 1, 1, 1993, p.8-14.
- (3) 立林和夫. 品質工学をどう説明するか?(1). 品質工学. 1, 1, 1993, p.15-22.
- (4) 宮川雅巳. 品質を獲得する技術. 東京, 日科技連, 2000, 290p.
- (5) 品質工学会編. MTシステムは進化している. 品質工学. 15, 2, 2007, p.3-4.
- (6) 吉野荘平, ほか. MTシステムによる不動産価格の予測(3)ー単位空間が1データの場合のシュミットの直交展開を使用しない価格予測ー. 日本規格協会. 14, 2, 2006. p.68-76.
- (7) 田口玄一. MTシステムによる予測と推定. 標準化と品質管理. 58, 8, 2005, p.68-76.
- (8) 田口玄一, ほか. 電子・電気の技術開発. 東京, 日本規格協会, 2000, 483p.



大内 義昭 OOUCHI Yoshiaki, D.Eng.

東芝電子エンジニアリング(株) 品質工学推進室主幹技師, 工博. 品質工学のコンサルティング, 教育, 普及に従事. 品質工学会会員.

Toshiba Electronic Engineering Corp.