

# ことづくり「タグチメソッド」の推薦と考察

立林 和夫 (元・富士ゼロックス株式会社) ○永田 靖 (早稲田大学)

## Consideration of Taguchi Method for Kototsukuri-Shihou

Kazuo Tatebayashi (ex Fuji Xerox Co. Ltd.), \*Yasushi Nagata (Waseda University)

**Abstract**— Taguchi Methods, so called Quality Engineering are the methods for building quality in products and for maintaining quality of products or production lines that were developed by late Dr. Genichi Taguchi. The authors will introduce the outline of Taguchi Methods and their methods for Kototsukuri-Shihou.

**Index terms**— Taguchi Methods, Quality Engineering, Robust Design, MT system, Loss Function

### 1 推薦対象および推薦理由の概要

本稿では「タグチメソッド」をことづくり至宝に相応しい対象として推薦し、その理由について考察する。

タグチメソッドは、故田口玄一博士が1970年代以降に開発した「品質を作り込み、維持するための手法群」で、日本では品質工学と呼ぶことが多い。Taguchi Methods という欧米での呼称は、1980年に田口氏が米国のゼロックス社を訪問したときに、その当時用紙送り技術の最適化手法を研究していた Don Clausing 氏が命名したものである。タグチメソッドは日本の大企業を中心に広く活用されているが、海外でも主に米国で活用されている。すでにことづくりコレクションに選定されている「QC ストーリー」「品質機能展開」とともに、日本生まれの品質管理手法として世界的認知度が高い。

### 2 推薦対象の定義および構成要素

タグチメソッドの手法群は Fig.1 のように整理でき(立林, 2013), 1970年代以前に田口氏が開発した実験計画法に関わる手法群は、品質工学の手法群には含まれていない。欧米では実験計画法に関わる手法群も含めて Taguchi Methods と呼ぶ人もいるが、タグチメソッドを研究する日本の品質工学会(発足当時は田口玄一氏が会長を務めた)は、そうした扱いを認めていない。本稿では中心的な3つの方法であるパラメータ設計、MTシステム、損失関数について紹介する。

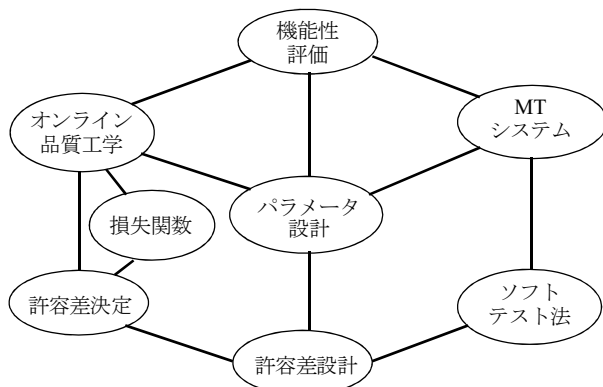


Fig. 1: Methodologies in Taguchi method

### 2.1 パラメータ設計

パラメータ設計とは製品をロバスト(条件変化に対して強い)にするための設計方法であり、田口氏が実験計画法から発展させた独自の方法である。パラメータ設計は欧米ではロバスト設計と呼ばれており、これはロバストにするという目的からつけられた呼称である。田口氏自身はそれを実現する手段を表現してパラメータ設計と呼んだ。

田口氏は、逓信省電気通信研究所(現NTT)に在籍していた当時(1950年代)、実験計画法を研究所や企業の実務に適用する中で、お客様の使用条件、使用環境や使用期間を考慮して最適化しなければならないことを初期の時代から痛感し、現在ではパラメータ設計と呼ばれる実験方法を試みた。実験計画法の指導のために訪れたインドの現地企業で行った電球のシーリング実験や、航空機用アルマイト被膜生成実験、さらには初期のパラメータ設計の事例として非常に有名な伊奈製陶でのタイルの焼成実験(1953年)などである。

電球のシーリング実験では、実験ごとに4個のサンプルを作り、ワット数の平均とレンジを解析した。また、タイルの焼成実験では、タイルを並べる位置7カ所を2次因子として、タイルの寸法、反り、艶などの位置による差を交互作用解析によって求めた。

それ以降、田口氏は使用条件のばらつき、環境条件のばらつき、時間経過などに影響されない設計条件を得るための実験方法(パラメータ設計)を試行錯誤的に研究していった。実験計画的な表現をすれば、技術者が構造や種類や値を指定できる制御因子を直交表に割り付け、その外側に誤差因子(使用条件、環境条件、劣化条件など)と信号因子(動特性と呼ばれるシステムの入力)を割り付ける、いわゆる直積実験をパラメータ設計のための実験配置として提唱した。動特性の典型的実験配置をTable 1に示す。Table 1の左半分の直交表L<sub>18</sub>の列に制御因子である設計パラメータを割り付け、その外側に信号因子(入力)を3水準とり、信号因子の各水準で誤差因子を2水準とするものである。

最適設計条件を求めるうえで、従来は複雑な交互作

用解析を行っていたが、1970年代に入ると、田口氏は簡単に最適条件が求められる SN 比という「ばらつきや劣化の尺度」を考案し、普及に努めた。動特性の SN 比、望目特性の SN 比の計算式を式(1)と式(2)に示す。

$$[\text{動特性}] \text{ SN 比 } \eta = 10 \log (\beta / \sigma)^2 \quad (1)$$

$$[\text{望目特性}] \text{ SN 比 } \eta = 10 \log (\mu / \sigma)^2 \quad (2)$$

動特性の SN 比における  $\beta$  と  $\sigma^2$  は、Table 1 の直交表の行ごとに入力  $M$  と出力  $y$  の単回帰分析を行ったときの回帰係数(傾き)  $\beta$  と残差分散  $\sigma^2$  である。また、望目特性の SN 比における平均  $\mu$  と誤差分散  $\sigma^2$  は、Table 1 において信号因子の値を  $M_1, M_2, M_3$  のいずれか 1 点に固定した場合であるため、その 1 点での  $N_1$  と  $N_2$  の 2 つのデータから求める (田口・横山, 1988)。

Table 1: Experimental design of dynamic characteristics

|    | A | B | C | D | E | F | G | H | M <sub>1</sub> |                | M <sub>2</sub> |                | M <sub>3</sub> |                |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | N <sub>1</sub> | N <sub>2</sub> | N <sub>1</sub> | N <sub>2</sub> | N <sub>1</sub> | N <sub>2</sub> |
| 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |                |                |                |                |                |                |
| 2  | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |                |                |                |                |                |                |
| 3  | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |                |                |                |                |                |                |
| 4  | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |                |                |                |                |                |                |
| 5  | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 |                |                |                |                |                |                |
| 6  | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 |                |                |                |                |                |                |
| 7  | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 |                |                |                |                |                |                |
| 8  | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 |                |                |                |                |                |                |
| 9  | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 |                |                |                |                |                |                |
| 10 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 |                |                |                |                |                |                |
| 11 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 |                |                |                |                |                |                |
| 12 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 |                |                |                |                |                |                |
| 13 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 |                |                |                |                |                |                |
| 14 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 |                |                |                |                |                |                |
| 15 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 |                |                |                |                |                |                |
| 16 | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 |                |                |                |                |                |                |
| 17 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 |                |                |                |                |                |                |
| 18 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 |                |                |                |                |                |                |

式(2)の望目特性の SN 比の対数の中は(出力/出力)<sup>2</sup>であるため無単位となるが、式(1)の動特性の SN 比の対数の中は(傾き/出力)<sup>2</sup>であるため単位が 1/入力<sup>2</sup>となる。このため、本来は無単位でなければならない SN 比としては不都合であること、さらには、データによっては log の内部が負となって計算できない場合があることなどの指摘があり、それらを改善する SN 比の計算方法も提案されている(鶴田, 2016, 椿・河村, 2008)。

なお、1980年に田口氏が渡米し、AT&T Bell 研究所やゼロックス社で議論したときに、技術者の多くが不良データや強度データを扱っていることから、小さい方が良いという望小特性の SN 比や、大きい方が良いという望大特性の SN 比などが追加された。しかし、田口氏は不良データや強度データなどは使用すべきでないと主張し、日本では 1990 年代以降、望小特性や望大特性の SN 比はほとんど使われなくなった。これは、未知の品質問題も含めて未然防止するためには、動特性の実験を行うのがよいとする考え方からである。

田口氏は、実験配置や SN 比を提示するのと並行して、誰もが同じようにパラメータ設計ができるように、そのステップをテンプレート方式で手順化した。その後、パラメータ設計はさまざまな技術で試行され、1970

年代中頃には方法論として確立され、それが成書になったものが日本規格協会主催セミナーのテキスト(田口, 1982)であった。

試行時代にはパラメータ設計とは呼ばれず、一次設計(システム設計)、二次設計(パラメータ設計)、三次設計(許容差設計)の中の二次設計と呼ばれた。この時代の試行例は、望目特性では日本電装の電源回路の設計(理論式を使用)、動特性ではいすゞのトラックのステアリングの設計などが公表されている(日本規格協会, 1972)。いずれも、実験計画・解析方法・適用方法を事例で示すという田口流の資料であった。

当時の活用は、田口氏が講師を務めたセミナーの受講者、田口氏が技術指導していた企業、日本規格協会と中部品品質管理協会の QRG(品質工学研究グループ)のメンバーなど一部に限られていた。パラメータ設計の活用が一気に広がったのは、1993年の品質工学フォーラム(現在の品質工学会)の設立以降である。品質工学会の研究発表大会では毎年数十件のロバスト設計に関する事例や研究が発表されている。

現在のパラメータ設計の研究の中心は、システムの入力と出力に注目した動特性の実験方法である。これは、未知の品質問題も防止するという意図からである。

なお、パラメータ設計の実験計画法面での工夫の 1 つに、列間の交互作用が他の列にほぼ均等にばらまかれる混合型直交表の使用がある。田口氏が推奨する直交表  $L_{18}$  は、増山(1956)が示した 3 水準の列が 6 列ある  $L_{18}$  に、2 水準 1 列と 3 水準 1 列を加え、列を入れ替えたものと筆者は考えている。直交表  $L_{18}$  の性質については宮川(2000)を参照されたい。

## 2.2 MT システム

MT システムは、パラメータ設計のような品質設計の手段ではなく、タグチメソッドの中では比較的新しい「観察データを解析して個体を識別(あるいは予測)するための手法」である。

MT システムは複数の手法群で構成される。その中で初期に提案された MT 法に関しては、田口(1999)によれば、インド統計数理研究所への駐在以降親交があった P.C.マハラノビス氏が 1922 年に提唱した「マハラノビス距離」をどのように応用したらよいかを 1970 年代後半から取り組み始めた成果である。この検討は日本規格協会の DERG(医学関係に実験計画法などを適用するための研究会)を中心に行われ、兼高(1987)は血液検査データから肝臓病を自動判定するための研究結果を発表した。

田口氏が考えた「異常の判定方法」は、Fig.2 のように、正常の集団(単位空間または基準空間という)を考え、判定対象データの単位空間の中心からの距離をマハラノビス距離で計測し、正常か異常かを判定するという独自の方法であった。

マハラノビス距離はそれまで判別分析法の中で使用

されてきた。判別分析法では A 群, B 群, C 群など複数の群を考え, 各群の中心からのマハラノビス距離を求めて, 判定対象はもっともマハラノビス距離が小さい群に属するものと判定する。しかし, 製品の異常や人の病気が「異常群」, 「病気群」という 1 つの均質な群をなしていないという問題がある。仮に, 複数の群を定義するにしても, あらゆる異常・病気の群を定義することは不可能であるため, 未知の異常や病気が適切に判別されないことも起きる。

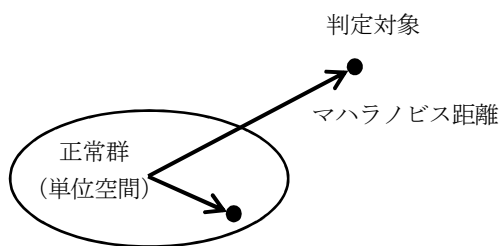


Fig. 2: Anomaly judgment method in MT method

そこで, 田口氏は, 上記のように, 正常の集団だけを考え「正常群に属する」のか「正常群に属さない」のかを判定する方法を考えた。この方法によれば未知の異常も「正常ではない」と判定できる。田口氏はこの方法を MT 法と呼んだ。

MT 法の判定方法は多変量管理図の拡張ととらえることができるが, 田口氏自身は多変量管理図からこのアイデアを得たのではなく, トルストイの名作「アンナ・カレーニナ」の冒頭の一節「幸福な家庭はすべて互いに似かよったものであり, 不幸な家庭はどこもその不幸のおもむきが異なっているものである」から得たとしている (田口, 1999)。

品質工学会で MT 法の試行結果が初めて報告されたのは 1996 年の研究発表大会であるが, 以降の PC の普及と能力向上によって, 活用が急激に広がった。1996 年以降, 学会研究発表大会における MT システム関係の発表は, 以降に述べる RT 法・両側 T 法を含めて, すでに 2012 年までで累計 250 件を越える。適用分野は製造での出荷検査, 設備の状態監視, 振動測定による騒音検査など, 非常に多岐に亘っている。例えば, アルプス電気のように出荷検査の多くを MT 法による検査に切り替えたという企業も多い。三菱重工業がガスタービン発電機の状態監視保全に実用していることが雑誌「日経ものづくり」で特集され (日経ものづくり, 2012), 大きな話題にもなった。このように, MT システム活用の広がり是一般の想像を凌駕している。

MT システムの中の他の手法についても触れておく。RT 法はデジタル写真のドットデータなどを使用して異常判定を行う方法として, MT 法以降に田口氏が提唱したもので, 現在はドットデータよりも, むしろ波形データによる異常判定で活用されている。RT 法の

利点は変数 (測定項目) の数に対してデータの数が少なくても解析でき, しかもかなりの判定精度が得られるところにある。RT 法はデジタルデータを対象に提案されたが, 田口氏は誤圧法という連続値を対象にした, RT 法と同じ目的を果たす方法も提案している。

T 法は重回帰分析を補う (あるいは重回帰分析に代わる) 手法として田口氏が提唱したもので, 多くの説明変数から目的変数を予測するものである。目的変数から各説明変数を逆推定し, 各説明変数を重み付け結合して予測式を作るという独自の方法である。T 法の利点も RT 法と同様に, 説明変数の数よりもサンプルサイズが少なくても解析でき, しかもかなりの推定精度が得られるところにある。

MT システムの各手法は, 田口氏が晩年になってから, 頭の中にあるアイデアを一挙に絞り出すように次々と提示してきたものである。そのため, 実例に適用した際の問題点の把握や田口氏自身による改良がほとんど行われないうまま 2007 年の田口氏の緊急入院による活動休止に至った。MT 法の問題点の代表は「多重共線性問題」, 「単位空間の分布が多変量正規分布でない場合の判定方法」などである。最初の問題については宮川・永田 (2003) が対策案を提示している。2 番目の問題については佐野・黒木 (2012) が対策案を提示している。また, RT 法の問題点と T 法の問題点についても, 大久保・永田 (2012) や稲尾ら (2012) が対策案を提示している。このように, 田口氏の活動停止以降も, 田口氏のアイデアは実用化に向けて改良が継続されている。

### 2.3 損失関数

日本の過去の品質管理は, 品質第一主義, すなわち品質はコストよりも重要であるとする合言葉の下で行われてきたが, 現実の企業活動の中ではコストを無視した品質管理活動などはありえず, 開発・生産の現場では理念と現実との間で混乱があった。

田口氏は, 品質管理活動は経済性と密接な繋がりをもたせて行うべきであるとして, その考え方に基づく独自の方法を開発した。それが品質の悪さ (ばらつき) をコストで評価する損失関数と, それを開発活動で活用する許容差決定と, 生産ラインで活用するオンライン品質工学である。

損失関数は, 次のような考え方に基づいている。いま, 製品のある特性が, 限界  $\Delta$  を越えるとあるユーザーで損失  $A$  が発生するものとする。  $\Delta$  はユーザーごとに大きくばらつくため, ある一定の  $\Delta$  を越えたら急に全ユーザーで損失が発生するのではなく, 特性値が狙いの値  $y_0$  からずれるにしたがい, 損失が発生するユーザーの数が徐々に増えると考えの方がよい。田口氏は徐々に増える損失を 2 次関数で近似し, 次の損失関数  $L$  を考えた。

$$L = k(y - y_0)^2 \quad (3)$$

ここで、 $y-y_0=\Delta$  のとき損失  $L=A$  なので、 $A=k\Delta^2$  となり、次式を得る。

$$L=(A/\Delta^2)(y-y_0)^2 \quad (4)$$

これを利用して製品の許容差を決める方法が開発における許容差決定であり、生産ラインの管理幅や管理間隔を決める方法がオンライン品質工学である。いずれも田口氏独自の方法である。詳しくは山本 (1989) を参照されたい。

### 3 当該コトつくりの背景

背景については、2章で推薦対象の定義とともに詳しく述べたが、ここで、簡単にまとめておく。

製品を製造する場合、技術者はノイズに悩まされる。ノイズによりばらつきが生じて狙い通りの製品を製造できない、ないしは、製品の機能が十分に発揮されない。ノイズ対策には3つある。「ノイズの発見と除去」「出力の補正」「ノイズの影響の減衰」である (立林, 2004)。最初の2つが従来の品質管理の手段だった。パラメータ設計は3つ目を狙う新しい方法である。

観察データを解析する手法としてMTシステムが提案された。従来からの多変量解析法の理論や解析方法はしばしば技術者にとって難解だった。MTシステムでは、パラメータ設計で用いられる統計量を駆使し、独自の考え方と簡便な解析方法の導入により普及した。従来の品質管理では、品質第一のかけ声のもと、不良率や工程能力指数に基づく評価が多くなされていた。それに対して、経済性を評価することにより、経営者に直接アピールすることができるようになった。

### 4 達成された内容および生じた状態変化

この観点についても2章において各項目について記載したが、簡単にまとめておく。

欧米の実験計画法が平均値を対象としているのに対して、パラメータ設計ではばらつきを対象としている。どちらも重要であるが、後者を導入・強調した点は刮目に値する。また、ばらつきの変化を確認するには多くのサンプルサイズが必要になる。一方、誤差因子を導入することにより、サンプルサイズは小さくてもよい。こういったことにより、産業界で多用され、成果を上げてきた。

MTシステムについては、新しい多変量解析の手法として受け入れられた。特に、異常検知のわかりやすい手法として普及した。

損失関数については、経営者に技術としての品質問題を経済的に訴求することができた。

### 5 主たる貢献者

主たる貢献者は、もちろん、田口玄一博士である。

また、タグチメソッドの研究・普及団体である品質工学会の貢献も多大である。

さらに、日本品質管理学会でもタグチメソッドの研究が盛んに発表されていることを言及しておきたい。

### 6 価値の観点による考察

コトつくりコレクションの審査の視点として重視される「先導力」「規範力」「意味力」「解決力」に関しては、次のようにまとめることができる。

タグチメソッドの各手法や考え方は、永年にわたって田口玄一博士が独自に開発してきたものである (先

導力)。タグチメソッドは、技術者が実践し、品質工学会などが主導して議論し、田口玄一博士を中心として既存の手法を改良・洗練し、それをまた技術者が応用するという形で、実利的に発展していった。パラメータ設計はISO16336:2014となっている (規範力)。その結果、我が国だけでなく、世界中の多くの技術者がタグチメソッドを応用して (意味力)、様々な品質問題に対して成果を上げてきた (解決力)。

今後の産業界でのさらなる活用、この分野でのさらなる研究の進展に期待したい。なお、実験計画法に関する田口氏の貢献については田口 (1976)、田口 (1977)、田口 (1999)、立林 (2013) を参照されたい。

### 参考文献

- 1) 稲尾淳紀, 永田靖, 堀田慶介, 森有紗: タグチのT法およびその改良手法と重回帰分析の性能比較, 品質, 42, pp.265-377 (2012)
- 2) 大久保豪人, 永田靖: タグチのRT法における同一次元でない連続量データへの適用方法, 品質, 42, pp.248-264 (2012)
- 3) 兼高達武: マハラノビス汎距離の応用例 (特殊健康診断の事例), 標準化と品質管理, 40-10, pp.57~64 (1987)
- 4) 佐野夏樹, 黒木学: カーネルMT法とその応用, 品質, 42, pp.127-138 (2012)
- 5) 田口玄一: 第3版 実験計画法 (上), 丸善 (1976)
- 6) 田口玄一: 第3版 実験計画法 (下), 丸善 (1977)
- 7) 田口玄一: 技術部門, 設計部門のオフライン品質管理—品質工学の道—, セミナーテキスト, 日本規格協会 (1982)
- 8) 田口玄一: タグチメソッドわが発想法, 経済会. (1999)
- 9) 田口玄一, 横山翼子: ベーシック・オフライン品質工学, 日本規格協会 (2007)
- 10) 立林和夫: 入門タグチメソッド, 日科技連出版社 (2004)
- 11) 立林和夫: 実験計画法・タグチメソッドの活用, 応用統計学, 42, pp.161-170 (2013)
- 12) 椿広計, 河村敏彦: 設計科学におけるタグチメソッド, 日科技連出版社 (2008)
- 13) 鶴田明三: エネルギー比型SN比, 日科技連出版社 (2016)
- 14) 日経ものづくり編集部: 1つの指標でガスタービン監視, 日経ものづくり, 6月号, pp.38-39 (2012)
- 15) 日本規格協会 SN比マニュアル分科会編: 試験・測定方法比較研究のためのSN比マニュアル, 日本規格協会 (1972)
- 16) 増山元三郎: 実験計画法, 岩波書店 (1956)
- 17) 宮川雅巳: 品質を獲得する技術, 日科技連出版社 (2000)
- 18) 宮川雅巳, 永田靖: マハラノビス・タグチ・システムにおける多重共線性対策について, 品質, 33, pp.467-475 (2003)
- 19) 山本昌吾: 製造段階の品質工学, 日科規格協会 (1989)