

品質工学（タグチメソッド）とは何か

立林 和夫*¹

What are Quality Engineering (Taguchi Methods) ?

Kazuo TATEBAYASHI*¹

Abstract– Quality Engineering, so called Taguchi Methods for building quality in products and for maintaining quality of products or production lines that were developed by late Dr. Genichi Taguchi. The author will introduce the outline of Quality Engineering and their methods.

Keywords– Quality Engineering, Taguchi Methods, robust design, MT system

1. はじめに

本解説は、田口玄一が開発した品質工学の概要，特にロバスト設計と MT システムの概要を示すことを目的として，第 9 回横幹コンファレンスでの立林（2018）に補筆したものである。

日本で品質工学，欧米では Taguchi Methods（タグチメソッド）と呼ばれる方法は，田口玄一が 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を指す。Taguchi Methods という欧米での呼称は，1980 年に田口が米国のゼロックス社を訪問したときに，その当時ゼロックス社にて用紙送り技術の最適化手法を研究していた Don Clausing が命名したものである。

品質工学の手法群は，立林（2013）によれば，Fig. 1 のように整理できる。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，品質工学を研究する日本の品質工学会（発足当時は田口玄一が会長を務めた）は，1970 年代以前に田口が開発した実験計画法に関わる手法群を品質工学の手法群には含めていない。

Fig. 1 のすべての手法を解説することは本稿では紙数の制約から不可能なため，ここでは産業界で利用数が多いロバスト設計と MT システムの 2 つについて紹介する。

2. ロバストパラメータ設計

ロバスト設計とは製品をロバスト（条件変化に対して強いという意味の英語）にするための設計方法であり，田口が実験計画法から発展させた独自の方法である。ロバスト設計は欧米での呼称であり，ロバストにするという目的からつけられた呼称で，田口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。2010 年以降，パラメータ設計，ロバスト設計に関する国際標準化が進行し，ISO 16336：2014（2014），JIS Z9061：2016（2016）では，ロバストパラメータ設計という用語が採用された。

田口（1976，1977）に多くの事例が示されているように田口は，通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，お客の使用条件，使用環境や使用期間，さらには製造のばらつきを考慮して設計条件を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，

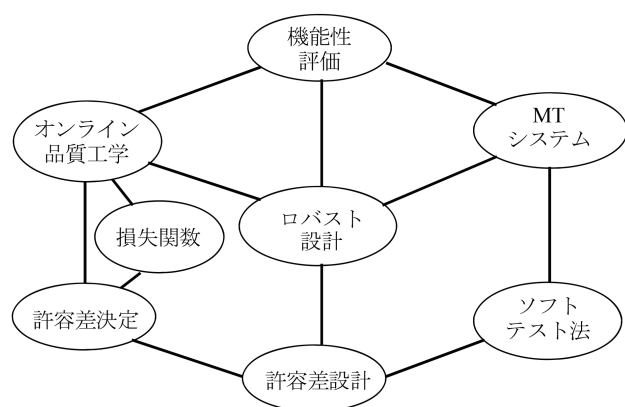


Fig. 1: All Kind of Methods in Quality Engineering (Taguchi Methods) [14]

*¹元・富士ゼロックス株式会社

*¹ex Fuji Xerox Co. Ltd.

Received: 3 May 2019, Accepted: 12 August 2019.

現在ではパラメータ設計と呼ばれるようになった実験方法を継続して試みた。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（1950年）、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日本の伊奈製陶におけるタイルの焼成実験（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R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次因子と称して、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。

以降、田口は使用条件のばらつき、環境条件のばらつき、時間経過、材料ばらつき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。実験計画法的な表現をすれば、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、部材ばらつきなど）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L₁₈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。

Table 1: Typical Layout Design for Dynamic Characteristic [14]

	A	B	C	D	E	F	G	H	M ₁		M ₂		M ₃	
	1	2	3	4	5	6	7	8	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂
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	2	3	1	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	2	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						

最適設計条件を求めるうえで、初期に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（1982）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。

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

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

動特性のSN比における β と σ^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） β と残差分散 σ^2 である。また、望目特性のSN比における平均 μ と誤差分散 σ^2 は、Table 1において信号因子の値をM₁、M₂、M₃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N₁とN₂の2つのデータから求める（田口・横山、1988）。

ここで、上記の式(2)の望目特性のSN比の対数の中は(出力/出力)²であるために無単位となるが、式(1)の動特性のSN比の対数の中は(傾き/出力)²であるために、単位が1/入力²となるため、単位をもつもののlogをとるのは物理的に不都合であること、さらには、データによってはlogの内部の計算結果が負となって計算できない場合があることなどの問題指摘があり、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）がその代表である。

なお、1980年に田口が渡米した折に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が、田口は不良データや強度データなどは使用すべきでないと自ら主張し、日本では1990年代以降、望小特性のSN比や望大特性の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、そのステップを手順化した。いわゆるテンプレート方式である。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（現デンソー）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・適用方法を実例で示すという田口流の資料であった。

当時の活用は、田口が講師を務めたセミナーの受講者、田口がコンサルを行っていた企業、日本規格協会と中部品質協会の両QCRG（品質工学研究グループ）のメンバーなど一部に限られ、広く活用されたわけではない。パラメータ設計の活用が日本で一気に広がったのは、1993年の品質工学フォーラムの設立以降である。品質工学フォーラムは1998年に品質工学会に改組され、

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て動特性の実験を行う方法である。これは、未知の品質問題をも防止しようという意図からである。

なお、パラメータ設計の実験計画面での工夫の1つに、列間の交互作用が他の列にかなり均等にばらまかれる混合型直交表 (L_{18} がその代表) の使用がある。田口が使用する直交表 L_{18} は、増山元三郎 (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。しかし、ここでは混合型直交表の生成方法や性質についての議論は省略する。直交表 L_{18} の性質については宮川 (2000) を参照されたい。

3. 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、「調査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が、もっとも古く提案されたのは MT 法である。田口は、インド統計数理研究所への駐在以降親交があった Mahalanobis (1934) の「マハラノビス距離」をどのように応用したらよいかの取り組みを 1970 年代後半から始めた (田口, 1999, pp.190-200)。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、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として 1987 年に発表された (兼高, 1987)。なお、田口 (1999) によれば、Mahalanobis がマハラノビス距離を構想したのは 1922 年のことである。

田口が考えた「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方法であった。

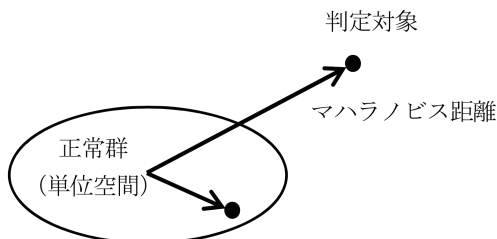


Fig. 2: Judgement Method of Abnormal in MT System [14]

マハラノビス距離はそれまで判別分析法 (判別関数法) 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 (空間) を考え、各群の中心 (重心) からのマハラノビス距離を求めて、その距離が最小となる群に判定対象が属するものと判定する。しかし、製品の異常や人の病気は「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、異常や病気が未知のものである場合には正常であると誤判別されることも起きる。

そこで、田口は上記のように、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」と判定できることになる。田口はこの方法に MT 法という名称を付けた。

MT 法の判定方法は統計学的には多変量管理図の拡張ととらえることができるが、田口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、昔読んだトルストイの名作「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, pp.190-200)。

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 年の研究発表大会のことであるが、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は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簡単に述べておく。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 (2006) 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 法の利点の変数 (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方法であるが、田口 (品質工学会, 2007) 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。

両側 T 法は多変量解析の代表でもある重回帰分析を

補う（あるいは重回帰分析に代わる）手法として田口（2006）が提唱したもので、多くの変数を使用して結果を予測するものである。結果から変数の値を逆推定し、全変数について重み付けによって推定式を作るという田口独自の方法を採用している。両側 T 法の利点も RT 法と同様に、変数（測定項目）の数に対してデータの数少なくとも解析でき、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、事例に適用しての問題点の把握や田口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」、「単位空間が多重正規分布しない場合の判定方法」、「異常値に対する脆弱性」であり、最初の問題については東京工業大学の宮川雅巳、早稲田大学の永田靖が対策案（宮川・永田、2003）を提示している。2 番目の問題については統計数理研究所（現横浜国大）の黒木学らが対策案（佐野・黒木、2012）を提示している。3 番目の問題については早稲田大学の永田靖が対策案（坂本・永田、2016）を提示している。また、RT 法の問題点と両側 T 法の問題点についても、永田靖が対策案を提示している（大久保・永田、2012、稲尾・永田ほか、2012）。このように、田口玄一の活動休止以降も他の研究者たちによって、氏のアイデアは実用化に向けて改良が継続されている。

4. おわりに

本稿では、その 2 つの中心的手法であるロバスト設計と MT システムを紹介することにより、品質工学とはどんな手法群であるかの概略を紹介した。また併せて、品質工学の各種手法は、一般に想像されているよりもはるかに日本の産業界で多用され、成果を上げてきたことにも言及した。日本製品の国際競争力の強化のために、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の貢献について興味がある方は、参考文献リストに示した田口（1976）、田口（1977）、田口（1999）、立林（2013）などを参照されたい。また、品質工学（タグチメソッド）の各手法の詳細を知りたい方は立林（2004）を参照されたい。

参考文献

[1] Mahalanobis, P.C.: "On the generalized distance in statistics", Proceedings of national Institute of Science of India, 1934, 12, 49-55.

- [2] 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」, 日本品質管理学会, 2012, 42-2, pp.103-115.
- [3] 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」, 日本品質管理学会, 2012, 42-2, pp.86-102.
- [4] 兼高達貳: "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」, 日本規格協会, 1987, 40-4, pp.57-64.
- [5] 坂本佳太, 永田 靖: "頑健性を考慮した T 法の提案", 「日本品質管理学会第 110 回研究発表要旨集」, 日本品質管理学会, 2016, 42-1.
- [6] 佐野夏樹, 黒木 学: "カーネル MT 法とその応用", 「品質」, 日本品質管理学会, 2012, 42-1, pp.127-138,
- [7] 田口玄一: 「第 3 版 実験計画法 (上)」, 丸善, 1976.
- [8] 田口玄一: 「第 3 版 実験計画法 (下)」, 丸善, 1977.
- [9] 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.
- [10] 田口玄一: 「タグチメソッドわが発想法」, 経済会, 1999.
- [11] 田口玄一: "目的機能と基本機能 (11) - 認識のための T 法", 「品質工学」, 品質工学会, 2006, 14-2, pp.5-9.
- [12] 田口玄一, 横山巽子: 「ベーシック・オフライン品質工学」, 日本規格協会, 2007, 48-52 および 61-74.
- [13] 立林和夫: 「入門タグチメソッド」, 日科技連出版社, 2004.
- [14] 立林和夫: "実験計画法・タグチメソッドの活用", 「応用統計学」, 応用統計学会, 2013, 42-3, pp.161-171.
- [15] 立林和夫: "品質工学 (タグチメソッド) とは何か", 第 9 回横幹連合コンファレンス, 横幹連合, 2018.
- [16] 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.
- [17] 鶴田明三: 「エネルギー比型 SN 比」, 日科技連出版社, 2016.
- [18] 日経ものづくり編集部: "1 つの指標でガスタービンを監視", 「日経ものづくり」6 月号, 日経 BP 社, 2012, 38-39.
- [19] 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.
- [20] 品質工学会 (編纂): 「品質工学便覧」, 日刊工業新聞社, 2007.
- [21] 増山元三郎: 「実験計画法」, 岩波全書, 岩波書店, 1956, 97.
- [22] 宮川雅巳: 「品質を獲得する技術」, 日科技連出版社, 2000, 158-168.
- [23] 宮川雅巳, 永田 靖 (2003): "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」, 日本品質管理学会, 2003, 33-4, pp.77-85.

立林 和夫



1948 年生まれ。専門は品質工学／品質管理。大阪大学基礎工学部 1972 年卒業。同年富士ゼロックスに入社。社業のかたわら明治大学兼任講師、東京工業大学非常勤講師、統計数理研究所客員教授、品質工学会理事、日本品質管理学会理事を歴任。著書に「入門タグチメソッド」（日科技連出版社、2004）ほかがある。