

品質工学による工程管理

日大(院) ○浅井為生

日大生産工 伊藤邦夫 日大生産工(非常勤講師) 矢野耕也

アルパインプレシジョン(株) 秋山孝示 小玉圭一 野上雅巳 楠本剛史 松岡久雄

1. はじめに

現在、生産工程の安定状態を診断する際、多くの製造業で管理図が使用されている。管理図の代表的なものとして、 $\bar{X}$ -R 管理図がある。これは管理する項目として長さ・目方・時間・引張り強さ・純度・収率などのような一つの変量を用いて工程の安定状態を診断する。しかし、一般的に工程に影響を与える要因は複数あることが多く、一つの変量で工程の安定状態を診断することは望ましいと言えない。そこで、本研究では品質工学の MT システムを管理図に応用し、多数の項目を分析し、工程の安定状態を診断する。

2. 研究目的

本研究は、品質工学の MT システムを用いて工程状態を診断することで、従来の管理図よりも工程状態をより正確に把握し、管理することを目的とする。

3. 品質工学

品質工学は、田口玄一氏によって提唱された手法である。海外では品質工学は **Quality Engineering** ではなく、**Taguchi Methods** と呼ばれるのが一般的である。田口氏の定義によると、品質工学とは「競争力のある安くて良い製品を開発する手法」である。品質工学には大きく分けて、設計段階で有用な「オフライン品質工学」、生産・管理段階で有用な「オンライン品質工学」、検査・評価段階で有用な「MT システム」がある。本研究では、検査・評価段階で有用な「MT システム」を管理図に応用し、工程の安定状態を診断する。

4. MT システム

MT システム (Mahalanobis-Taguchi System) は、インドの統計学者であるマハラノビス氏 (Mahalanobis) によって 1930 年に考案された項目間の相関から導き出される距離、「マハラノビスの距離」を田口氏が応用した手法である。マハラノビスの距離とはある群のパターンから別の群のパターンを区別する手法である。その応用例として、マハラノビス氏はこれを考古学に当てはめ、発掘された骨が象の骨であるかどうかを判別したという話がある。

田口氏はトルストイの「アンナ・カレニナ」の「幸せな家庭はパターンが似ているが、不幸な家庭はいろいろなパターンがある」という一節を読み、マハラノビスの距離を MT システムに発展させるヒントとした。この一節を MT システムに結びつけると、以下のような説明ができる。

MT システムは、ある似通った集団(単位空間)から、ある対象がどれだけ異なるかをみるものである。従来の判別分析のマハラノビスの距離では「群」を考え、群同士を対等に扱う。しかし、MT システムでは群を均一な集団である単位空間とでしか考えていない。つまり、従来の分布統計を仮定したマハラノビスの距離では、群同士を対称的に扱うが、品質工学における MT システムでは、均一な集団である単位空間と、対象とするデータの間を非対称として扱う点が、従来の方法と大きく異なる部分である。

MT システムを用いて、単位空間を正常な状態として取り、ある対象を検査した場合、Figure 1 のような関係が成り立つ。マハラノビスの距離の値が大きくなればなるほど、異常の度合いも大きくなる。また、ある対象が正常な場合、マハラノビスの距離は1 周辺の値になる。

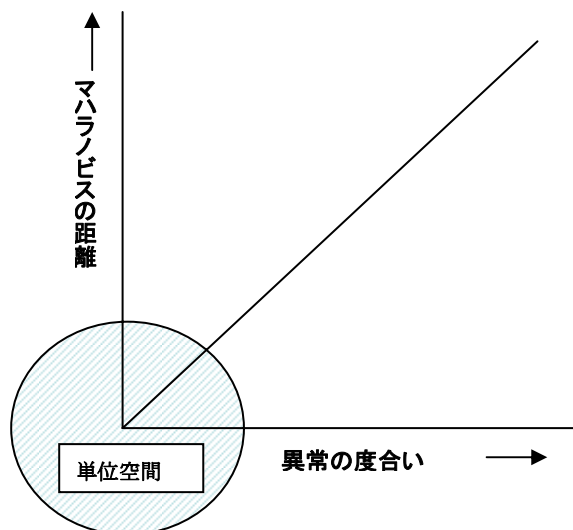


Figure 1. マハラノビスの距離と異常の度合いの関係

このことから、MT システムとは物事の正常さ加減を計測する方法であると言える。この MT システムは、火災の予測、健康診断、外観検査など、幅広い分野で応用され、成果も出している。

5. MT システムの基本ステップ

- 1) 目的に対して均一な単位空間を考える。
- 2) 単位空間に属する対象に対して、できるだけ多くのデータを収集する。
- 3) 単位空間データでマハラノビスの距離を求める。
- 4) 未知のデータについて距離を求めて解析する。

6. 工程管理と MT システム

先にも述べた通り、MT システムとは物事の正常さ加減を計測する方法である。この考え方はそのまま管理図に当てはめることができる。単位空間を「工程が安定した状態」とし、検査

する対象を製品ごととする。そして、縦軸にマハラノビスの距離、横軸に製品 No.をとると Figure 2 のような MT システムを用いた多変量管理図を作ることができる。MT システムを用いた多変量管理図では、マハラノビスの距離の値が1 周辺にある場合、工程は正常となる。マハラノビスの距離の値が Figure 2 の最後の点のように大きく外れた場合、その工程は異常であると判断できる。

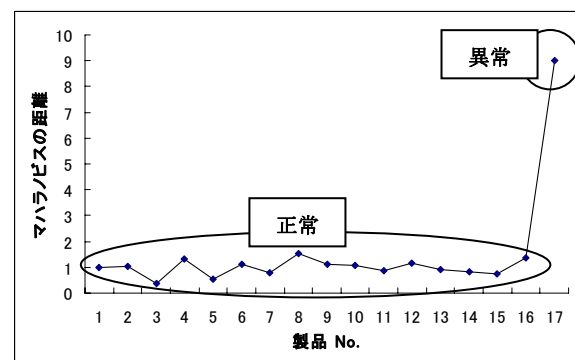


Figure 2. 多変量管理図の例

7. MT システムの利用

7.1 逆行列法

ここで、MT システムの中で一番多く使われる逆行列を用いるものについて示す。

これは単位空間と対象データの関係において、マハラノビスの距離を求めるもので、解析式に逆行列を用いるものである。従って距離 D^2 は

$$D^2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k a_{ij} \left(\frac{X_i - m_i}{\sigma_i} \right) \left(\frac{X_j - m_j}{\sigma_j} \right) \dots (1)$$

として求められる。この数式では判別関数で用いられているマハラノビスの距離を伝統的に用いている。MT法として一般の教科書に載っているものは、この数式が適用される。しかし、この数式ではデータ X_i から平均値 m_i を引いた後に標準偏差 σ_i で除す。そのため、標準偏差 $= 0$ の場合は計算が成立しないために適用できない。また、逆行列 a_{ij} において強相関が発生

する場合は、解析精度が落ちるために正しい距離 D を与えない場合も多く、検証が必要となる。

7.2 逆行列を用いない方法：T法

逆行列を用いる欠点は、上記のように多重共線性(標準偏差=0 の項目や列同士の強相関)の発生である。これを避けるため、田口氏によって新たに提唱された、行列式を用いることなく、 k 項目の次元縮約を行い、任意の独立変数を予測する方法が次に示す MT システムの中の一手法に分類される T 法である。この方法ではマハラノビスの距離や相関行列を使用しないため、呼称である「MT」からマハラノビスの頭文字 M がとられ、T 法という名称となっている。また、Gram-Schmidt の直交化を利用して同様の目的を行う方法(Taguchi-Schmidt: TS 法)もあり、アメリカではしばしば適用される方法である。しかしながら、TS 法も多変量解析の方法に準拠するので、項目数 k に対し、データ数 n が k 以上という制約がある。

しかし、実際の工程管理などでは、項目数以上にデータ数が n 個集まらないケースも多く、正常品である単位空間データの大量サンプリングが不可能な場合がある。例えば、管理項目が多数あり、 k が 1000 以上になることも多く、Gram-Schmidt の直交化は現実的ではない。つまり、逆行列法と同様、行列の制約を受けるため、ここでは工程管理のデータの扱いが行いやすい T 法について示す。

T 法について一般データを示し、以下の Table 1 に使用されるデータとその解析式の項、その次に解析式の一般を示す。

N	X_1	X_2	$\cdots$	X_k
1	x_{11}	x_{12}	$\cdots$	x_{1k}
2	x_{21}	x_{22}	$\cdots$	x_{2k}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\cdots$	$\vdots$
n	x_{n1}	x_{n2}	$\cdots$	x_{nk}
平均	x_{m1}	x_{m2}	$\cdots$	x_{mk}
S_T	S_{T1}	S_{T2}	$\cdots$	S_{Tk}
S_β	$S_{\beta 1}$	$S_{\beta 2}$	$\cdots$	$S_{\beta k}$
S_e	S_{e1}	S_{e2}	$\cdots$	S_{ek}
V_e	V_{e1}	V_{e2}	$\cdots$	V_{ek}
η	η_1	η_2	$\cdots$	η_k
β	β_1	β_2	$\cdots$	β_k

$$S'_{T1} = X_{11}^2 + X_{21}^2 + \cdots + X_{n1}^2 \cdots (2)$$

$$S_{m1} = \frac{(X_{11} + X_{21} + \cdots + X_{n1})^2}{n} \cdots (3)$$

$$S'_{e1} = S'_{T1} - S_{m1} \cdots (4)$$

$$V'_{e1} = \frac{S'_{e1}}{n-1} \cdots (5)$$

$$\eta_1 = \frac{\frac{1}{n}(S_{m1} - V'_{e1})}{V'_{e1}} \cdots (6)$$

式(6)で求められたSN比 η_1 は、項目 X_1 で求められた平均値 X_m に加重される重み付けの値である。このような加重値を順次 $\eta_2, \cdots, \eta_k$ と求め、 $X_2 \sim X_m$ の各項目の重み付けとする。以上から得られたデータについて、次式(7)を適用することで、任意の管理値 $\hat{M}$ を求めることが可能となる。

$$\hat{M} = \frac{\eta_1 \times \frac{X_{m1}}{\beta_1} + \eta_2 \times \frac{X_{m2}}{\beta_2} + \cdots + \eta_h \times \frac{X_{mh}}{\beta_h}}{\eta_1 + \eta_2 + \cdots + \eta_k} \cdots (7)$$

式(7)から、T 法における目的とその方法に

Table 1. T 法に使用されるデータ

よって得られる結果は次のようになる。

- 1)管理図のように、定常状態や平均的状态を、 $X_1 \sim X_k$ の k 項目を適用することで管理が行える。これは一種の多変量管理図と同じ結果が得られる。
- 2)管理すべき指標 $\hat{M}$ を定義し、管理指標を定め、工程の運用の指標とする。
- 3)式(2)～式(6)で項目(工程の管理項目)ごとの重要度をSN比 η として求める。
- 4)項目ごとの重みを各項目 $X_1 \sim X_k$ につけ、式(7)で管理値を得る。

7.3 直交表による、工程管理における異常項目の定量的検出方法

工程に異常が発生した場合、どの工程で異常が発生したかをオンライン上で検知することは重要なことであり、たとえばトヨタ生産方式などでは「あんどん」として普及している。これを式(7)から定量的に求めるのが以下の直交表による項目診断の方法である。通常、工程を徹底的に診断していけば、最初のNG項目でラインは停止する。しかし、現実の製造ラインでは許容差 Δ があるため、ラインが停止されることなく、そのまま生産が続行される場合がある。そして、その結果、最終的な検査工程で不良品としてになってしまうことが多数ある。

個々の許容差内のバラツキの累積により結果として不良品が発生することになり、またその不良パターンは千差万別であることが、最終の検査における大きな問題点となっている。

その不良のパターンを、 k 項目全組合せから寄与率として求めるのが、 2^n 系直交配列表を利用した項目診断の方法である。例えば $k=11$ (工程が11項目で成立しているとする)の場合、直交表 $L_{12}(2^{11})$ が用いられる。これは米国でPlackett-Burman型直交表と呼ばれるものである。それを以下のTable 2に直交表 L_{12} を示す。L型直交表では水準に1および2を与えているが、ここでは第2水準に0を割り当ててある。

Table. 2 直交表 L_{12}

No.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0
4	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0
5	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1
6	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1
7	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1
8	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0
9	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1
10	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0
11	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0
12	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1

8. まとめ

MTシステムを管理図に応用した多変量管理図の利点としては以下のようなものが考えられる。

- 1) 工程の安定状態を一変量ではなく、多変量で解析することができる。
- 2) 工程に異常が起きた場合、どこの項目によって異常が起きたのかをすぐに確認できる為、問題発見にかかる時間を短縮することができる。
- 3) 従来の工程状態の判断基準となっていた寸法などに異常が出ていなくても、設備などの数値に異常が表れた場合、マハラノビスの距離の値は大きくなるため、工程の異常を見抜くことができる。

—参考文献—

- 1) 鴨下隆志, 矢野耕也, 高田圭, 高橋和仁, おはなしMTシステム, 日本規格協会(2004)
- 2) 長谷川良子, マハラノビス・タグチ(MT)システムのはなし, 日科技連(2004)
- 3) Genichi Taguchi, Subir Chowdhury, Yulin Wu, The Mahalanobis-Taguchi System, McGraw-Hill(2001)
- 4) 渡部義晴, 実践タグチメソッド, 日科技連(2006)
- 5) 矢野耕也, はじめての品質工学, 日本規格協会(2006)
- 6) 矢野宏, やさしい「タグチメソッド」の考え方, 日刊工業新聞社(2001)
- 7) 矢野宏, 品質工学計算法入門, 日本規格協会(1998)