

## Shewhart管理図を再考する

仁 科 健

### 1. はじめに

周知のように、管理図は1920年代にShewhartによって提案されたものであり、その基本である「3シグマ」は今も活きている。しかし、中村(1987)に「管理用管理図<sup>1)</sup>」が、そのテキストに記されているとおりに機能している例を見かけたことがない」という行がある。また、「数少ない、有効に機能している管理用管理図は、むしろテキスト外の使い方であるプロセスの調整に用いられるケースである。(中略)調節用管理図が存在するならば、それは現在の3シグマ管理図が適切であるか否かが問題となろう」とも記述されている。管理外れを示したとき、その原因を調べ、真因を突き止め、その原因を除去するといった要求に、管理用管理図が応えられるであろうか。また、工程の要因系データがリアルタイムに獲得できるIoT環境下であるならば、管理図に工程の早期異常検知機能を期待できるであろうか、などと思案したならば、管理用管理図不要論に至っても不思議ではない。

一方、解析用管理図はQC七つ道具の一つであり、主に工程解析のツールとして活用されている(例えば、安藤(2020))。前掲の中村(1987)でも「解析用管理図は多く用いられ、かつ大変に立っていると見うけられる」とある。

とは言え、管理用管理図が製造現場から姿を消しているわけではない。外部(第三者あるいは第三者)からの要請として、例えば、IATF 16949のような第三者認証制度に管理図は欠かせないし、客先の要求によるケースもある。しかし、工数をかけているからには、役割に対するより明確な認識とそれに基づく活用が必要ではなからうか。飯塚(2018)は、第三者認証制度の意義として能力証明と能力向上を挙げている。能力向上に裏打ちされた能力証明であり、さらに能力証明が能力向上に繋がることが期待される。本稿では、まず、管理用管理図が役に立つとすれば、それはどのような役割なのか、その役割を果たすた

---

1) 管理図には、その利用目的によって管理用管理図と解析用管理図がある。詳細は3.1で述べる。

めにはどのような使い方をするべきなのかを議論する。このことは、中村(1987)の問題提起への一つの回答とも言える。

ISO 7870の管理図の規格シリーズでは、Shewhart管理図以外にAcceptance control charts<sup>2)</sup>、累積和管理図<sup>3)</sup>、EWMA管理図<sup>4)</sup>が規格化されている。また、最近では機械学習による異常検知やタグチ-マハラノビス(MT)法が普及している。本稿では、これらの手法と管理用管理図として用いるShewhart管理図との差別化した役割を示し、工程能力に裏打ちされた工程の質保証におけるShewhart管理図の役割を議論する。

## 2. 本稿の立ち位置

### 2.1 ISO7870における管理図の体系と本稿の立ち位置<sup>5)</sup>

管理図に関するISOとしてISO 7870の管理図ファミリー規格(ISO 7870-1からISO 7870-9)がある。ISO 7870が規定する管理図の体系は、「統計的管理状態」「工程の合否(process acceptance)」「工程調節」の3つの管理概念に対応する管理図群から成る(ISO 7870-1 Control charts – General guide and introduction (JIS Z 9020-1管理図 – 一般指針))。これらの管理概念のベースとなるのは統計的管理状態を指向する管理であり、その中核となる管理図法として、Shewhart管理図(ISO 7870-2 (JIS Z 9020-2))がある。これに加え、連続するデータによる統計量を用いた管理図である累積和管理図とEWMA管理図が規格化されている。

“工程の合否”を判定する管理図として、工程の合否判定用管理図(Acceptance control charts)が規格化されている。“工程が合格である”とは、必ずしも統計的管理状態ではなくても、工程変動が規格限界に接近しない限りは問題視する必要がないことを意味する。工程の合否判定用管理図の処置限界は規格限界から求める。Shewhart管理図が長期的な管理行為のためのツールであるのに対して、工程の合否判定用管理図は、群ごとの工程の状態を判定するものである。

“工程調節”は、目標値と予測値とのずれを制御変数のレベルを変更すること

---

2) Acceptance control chartsはISO 7870-3として規格化されている。

3) 累積和管理図はISO 7870-4 (JIS Z 9020-4)として規格化されている。

4) EWMA管理図はISO 7870-6として規格化されている。

5) ISO 7870における管理図の体系については仁科(2001)を参考にした。

により修正する行為である。例えば、予測モデルとしてEWMAモデルを用いる場合、EWMA管理図がこの目的で用いられることもある。工程調節は、原因に遡ってアクションをとる管理行為ではない。目標値と予測値とのずれに対する制御量など、その調節方法は標準化されている。上記の工程の合否判定用管理図が工程調節に使われることもある。

以上のように、ISOで規格化された管理図の範囲は、Shewhart管理図の適用範囲を超えたものとなっている。しかし、前述したように、本稿の目的の一つは、管理用管理図に対する中村(1987)の問題提起への回答である。したがって、本稿では、管理図による管理概念を「統計的管理状態」としたShewhart管理図を核とした議論を進める。ISOでは、「統計的管理状態」を指向した管理図として、累積和管理図やEWMA管理図が挙げられているが、本稿では、これらとShewhart管理図と差別化する立場をとる。以後、「管理用管理図」「解析用管理図」と記述する場合はShewhart管理図を指す。特に他の管理手法と区別する文脈ではShewhart管理図と記す。

### 2.3 特性値の変動に対する本稿の考え方

結果系特性値の変動は

$$\text{特性値の変動} = \text{目標値} + \text{系統変動} + \text{偶然変動} \quad (1)$$

と考えられる。これに、異常変動が加わると管理外れの状態となる。ここで、偶然変動とは、予測の観点から、個々の値が予測できない変動と説明できる。また、解析の観点から、要因によって層別できない変動と説明できる。工程が管理状態にあり、系統変動を取り除いたならば、偶然変動は分布として把握が可能である。この分布の標準偏差が工程能力を構成する。

一方、系統変動は、偶然変動以外の変動であり、要因が変わったことによる、あるいは、要因を変えたことによる変動であり、起こるべくして起きる必然的な変動である。その変動の真因が分かっている場合も、分かっていない場合もある。前者の例は設備の部品の摩耗であり、後者は設備ごとのくせである。系統変動は、初期流動管理の段階で再発防止によってできるだけ削減させておく必要がある。しかし、環境の影響や設備関連の摩耗などによる変動をなくすことはできない。系統変動による特性値の変化を元の状態に戻すことを「調整」とよぶこととする。2.1に述べた工程調節は調整に含まれる。

中村(1987)が問題視した管理用管理図の機能は、異常変動への対応である。シグナル(out of control)時のアクションは、原因追究から再発防止策の実施と歯止めをする、いわゆる是正処置であるが、前述したように、中村(1987)はこの一連の管理行為が機能している例を見たことがないと述べている。一方、調整とは、シグナル後のアクションが原因追究ではなく、調整因子による元の状態へのリカバーリー行為であり、その行為は標準化されている。狩野(1976)は「江戸の敵を長崎で打つ」という表現を用いることによって、調整は原因に対するアクションではないことを巧みに説明している。

本稿では、(1)式に異常変動が加わった工程の状態である「管理外れ」とし、系統変動による特性値の変化と区別する。ただし、系統変動は定常的な変動とは限らない。一連の系統変動がいつも異なる変動であるならば、工程の状態は管理外れである。

### 3. 管理用管理図は役に立つのか

#### 3.1 管理用管理図と解析用管理図

管理図の基本的な役割は

- 1)工程を管理状態にもっていく。
- 2)工程が管理状態であることを維持する。

である。1)の役割をもつのが解析用管理図であり、2)の役割をもつのが管理用管理図である。例えば、初期流動管理では工程能力の向上をねらい工程改善が進む。このとき工程解析のツールとして解析用管理図が活用される。ねらいの工程能力が確保されたならば、本流動管理に移行し、初期流動期で達成した工程能力から設計された管理用管理図による維持の管理が始まる。

ISO 7870-2 (JIS Z 9020-2) では、解析用、管理用ということばは使われていない。「標準値がない場合」「標準値がある場合」、あるいは、「フェーズⅠ」「フェーズⅡ」という表記である。「標準値がない場合」「フェーズⅠ」の管理図は解析用管理図に、「標準値がある場合」「フェーズⅡ」の管理図は管理用管理図に相当すると考えてよい。ただし、ISO 7870-2やIATF16949のSPCマニュアルでは、フェーズⅠに対して、工程が管理状態であることを確認した上で管理限界線を設定するためのステップとする意味合いが強く、工程解析のツールとして、す

なわち解析用としての位置づけは希薄である。

### 3.2 仮説検定からみた3シグマ法

Woodall (2000) は「管理図は仮説検定か?」という命題に対して、フェーズⅠの管理図(解析用管理図に相当)は探索的解析であり、フェーズⅡの管理図(管理用管理図)は確証的解析であるとしている。前述したように、解析用管理図は工程解析のツールとして活用されることから、「3シグマ管理限界線を越えた時はもちろんのこと、打点の挙動がランダムではないのではと思ったら、異常だと判断して原因を探る」といった探索的な解析となる。すなわち、解析用管理図は異常原因に関する仮説生成への情報提供のツールである。異常判定ルールとして、3シグマのルールに連のルール、傾向ルール、警戒線ルールなどを加え、第一種の過誤を厳密に意識する必要はなく、異常検出を重視すべきである。ISO 7870-2に記載されている異常判定の八つのルール<sup>6)</sup>のうち3シグマルール以外の異常判定ルールはここで役立つ(例えば、仁科(2009))。一方、Woodallの指摘のように、管理用管理図は、帰無仮説を「工程が管理状態」とした、3シグマ法による仮説検定である。

ただし、管理用管理図における3シグマ法は、対立仮説を設定した上で管理図を設計するわけではない。この点が累積和管理図、EWMA管理図、Acceptance control chartなどとは異なる。例えば、Acceptance control chartには、Acceptable Process Level (APL:ここまでは容認できる工程平均)と Rejectable Process Level (RPL:容認できない工程平均)という概念があり、計量規準型抜取検査と同様な考え方から、Acceptance control limitを設計する。すなわち、対立仮説を設定し、第一種の過誤と第二種の過誤を想定した管理図の設計となる。累積和管理図も第一種の過誤と第二種の過誤に相当するARL (Average run length)の指標を使った設計を行う。EWMA管理図も同様である。

3シグマ法の代替方法として、有意水準を設定する確率限界法(例えば、Murdoch and Barnes(1998))がある。しかし、北川(1948)は、管理の初期段階では突き止められる原因が存在し、これらを除去していくことが問題であり、この場合には合理的な群の形成が重要であって、確率に基づく詳細な管理限界

---

6) 八つのルールはWestern Electric Co. (1956) による。

を設定する確率限界法はそれほど意味がないとしている<sup>7)</sup>。

仮説検定の大きな系譜は、K. PearsonからFisher、そしてNeyman-Pearsonである。K. Pearsonは“データが遺伝学の法則(帰無仮説)にしたがっていることを示すために適合度検定”を、Fisherは“効果があることを立証するために、帰無仮説が矛盾する程度としてp値を用いた有意性検定”を、Neyman-Pearsonは“意思決定を指向した、対立仮説と検出力の発想を有する尤度比検定”をそれぞれ提案した。対立仮説を設定した上で設計するAcceptance control chart、累積和管理図やEWMA管理図はNeyman-Pearsonの考え方がベースにある。一方、3シグマ法は対立仮説を設定しないことからNeyman-Pearsonの考え方ではなく、その意味からはFisherの考え方に近い。しかし、管理用管理図は、帰無仮説である「工程が管理状態である」ことを立証する役割が大きい。したがって、帰無仮説が棄却できること(効果があること)へのエビデンスを得ることを目的とするFisherの有意差検定とは目的が異なる。管理用管理図での3シグマ法の目的は、K. Pearsonの適合度検定に近い。適合度検定の本来のニーズは、データの法則からのばらつきが偶然の範囲内であること、すなわち、帰無仮説の成立を検証することであった。まさに目的が3シグマ法と同様である。

一方、連のルール、2シグマ警戒限界のルールなどの補助ルール<sup>8)</sup>(前述した3シグマルールを除くルール)は、それぞれ対立仮説を想定したものである。しかし、これらのルールを3シグマルールと併用すると第一種の過誤が大きくなる。また、対立仮説を予め想定できるのであれば、調節による管理が考えられる。あるいは、その要因解析に取り組むべきである。管理用管理図で補助ルールをどう使うべきかについては次節で述べる。

### 3.3 管理用管理図を役立つ管理手法にするには

以上の議論から、役に立つ管理用管理図への提言をまとめる。これは中村の問題提起への回答とも言える。

管理用管理図を工程が管理状態であることを立証するための方法であるとし

---

7) 筆者は、解析用管理図の場合、あるいは、初期流動期の場合、北川の意見に賛成である。しかし、本流動期の管理用管理図においては、特性値が従う分布によっては、第一種の過誤を適切に設定する意味から、確率限界法を使うことを否定するものではない。

8) 連のルールはWeiler (1953)、警戒限界のルールはPage (1955) によるShewhart以降の提案である。

たとき、具体的にどのように運用すればよいについて以下のことを提言したい。

- 1) 第1種の過誤を的確に定める意味から、3シグマルールを採用する。
- 2) 一過性の判断をしない。
- 3) 解析用管理図の見方を加える。

1) に関して、管理用管理図は3シグマ法のみを採用する。工程能力は十分であるにも拘わらず、 $\bar{X}$ 管理図や $X$ 管理図の打点が3シグマラインを頻繁に超える現象が少なくない場合に4シグマや5シグマラインを管理限界線<sup>9)</sup>として用いることがある(例えば、安藤(2020))。この現象は、偶然変動の把握に問題があるケースが考えられる(例えば、葛谷(2000))。あるいは、系統変動への対応が不十分であることも考えられる。しかし、対象工程の偶然変動の把握は重要であることは言うまでもない。

2) に関して、例えば、「今日は打点が3シグマ管理限界線内だったので、今日は管理状態である」という判断ではなく、「これまでの状態が維持されている。管理状態にあるとみてよい。引き続きモニタリングを続けよう」という判断が妥当である。すなわち、工程が管理状態であるという判断は、一過性の統計的な判断では行うべきではない。つまり、管理図によって工程が管理状態であるという判断は、このまま管理図管理を続けていくという判断に他ならない。

3) に関して、もし、管理外れを示したときには、プロットを遡って探索的に変化点を解析する。連のルールをはじめとするランダムネスの確認は、変化点の探索に有用である。すなわち、管理外れを示した時点で、管理用管理図を解析用管理図とみなす。管理外れを示さなくても、定期的に管理用管理図を解析用管理図として検討する。管理用管理図は、解析用管理図との併用によって役立つ管理手法になると考える。

---

9) 安藤(2020)はbarbaric limitとよんでいる。

## 4. Shewhart管理図との差別化

### 4.1 対立仮説をもつ管理図

3.2で述べたように、累積和管理図、EWMA管理図、Acceptance control chartsは、Shewhart管理図と異なり、設計時に対立仮説を設定する。すなわち、仮説検定におけるNeyman-Pearsonの考え方が基本にある。Acceptance control chartには、Acceptable Process Level (APL) とRejectable Process Level (RPL) という概念がある。すなわち、対立仮説を設定し、第一種の過誤と第二種の過誤を設定した設計となる。累積和管理図は、Waldの逐次確率比検定の連続(例えば、仁科(1999))であり、第一種の過誤と第二種の過誤に相当するARL (Average run length) の指標を使った設計を行う。EWMA管理図の設計においても、累積和管理図と同様に第一種の過誤と第二種の過誤に相当するARLの指標を使った設計を行う。この点に対立仮説を設定しないShewhart管理図との利用目的に差別化ができることになる。

3.3で述べたように、管理用管理図は工程が管理状態であることを立証する目的で使われ、管理外れの場合のアクションは工程異常の原因探求であるのに対して、Acceptance control chart、累積和管理図やEWMA管理図は系統変動の検知が目的であり、そのアクションは標準化された調整行為である。

### 4.2 機械学習による異常検知

機械学習による異常検知の手法と管理図法との関係について議論する準備として、機械学習による異常検知の手法の概要を述べる。本節は井出、杉山(2015)を参考にする。

機械学習による異常検知は、学習データがラベルなしデータの場合とラベルつきデータの場合に分類される。ラベルつきの場合は、正常データと異常データに分類されているデータが入手できている場合である。ラベルなしの場合は、正常データのみの場合である。

井出(2015)は機械学習による異常検知の手順を

- 1) 仮定した分布のパラメータの推定
- 2) 異常度の定義
- 3) 閾値の設定



としている。ラベルなしの場合、データ $x$ の異常度 $\alpha(x)$ を

$$\alpha(x) = -\ln p(x|D) \quad (2)$$

と定義する。ここで、 $p$ は仮定した確率分布、 $D$ はラベルなしの学習データである。ラベルつきの場合、異常度 $\alpha(x)$ を

$$\alpha(x) = \ln \frac{p(x|y=1, D)}{p(x|y=0, D)} \quad (3)$$

とする。ここで、 $D$ はラベルつき学習データであり、 $y=1$ のときは異常データ、 $y=0$ は正常データを示す。

(2) 式の異常度は、 $x$ の上側確率か密度かの違いはあるが、Fisherの $p$ 値と同様な指標と解釈できる。すなわち、帰無仮説(正常状態)であることがどの程度矛盾するか程度である(2)式の値をモニタリングする方法であり、Fisherが検定の目的とした「効果があることへの立証」と同じ立場である。井出(2015)はこのシステムを異常検知器とよんでいることから異常検知に重きをおいた手法であると言える。また、データを得るごとに逐次に異常判定を行う。

(3) 式の異常度は、Neyman-Pearsonの基本定理の利用である。(3)式とそれに対する閾値の設定は、帰無仮説、対立仮説と第一種、第二種の過誤の発想が含まれる。その意味では、尤度比をベースとしたWaldの逐次確率比検定の連続である累積和管理図と基本的な考え方は同じである。閾値の設定は、「1.0 - 第一種の過誤の確率」に相当する正常標本精度と検出力に相当する異常標本精度のバランスから決まる。異常検知器としての性能にはROC曲線 (receiver operating characteristic curve) が用いられる。このことから、ラベルなしデータの場合と同様に、ラベルつきデータの場合も、異常検知はデータごとに逐次に判定をする異常検知器としての機能をもつ設計思想である。

ただし、機械学習による異常検知は、FisherやNeyman-Pearsonの仮説検定とは大きく異なる点がある。また、同じ視点から、3.4で述べた対立仮説をもつ管理図とも設計思想が大きく異なる。

「機械学習」には、機械学習による異常検知手法には「データによる学習」することによって、仮説検定でいうところの仮説を生成する点に特徴がある。すなわち仮説設定が帰納的である。正常とみなすデータに比べて現時点が正常でない程度をモニタリングする。サンプルサイズが極めて大きいことから可能なことではあるが、前掲の手順1)において、k-mean法によって経験分布を導出す

る場合もある(井出、杉山(2015))。

Neyman-Pearsonの考え方を基本とするAcceptance control chartの場合と比較するならば、その相違点が特に明確である。3.4で述べたように、Acceptance control chartの場合、帰無仮説と対立仮説は、工程平均を $\mu$ とすると

$$H_0: \mu = APL, \quad H_1: \mu_1 = RPL$$

であり、ここで、APLとRPLは規格から決まる演繹的なものである。機械学習による異常検知が帰納的な仮説設定であることが認識できる。

帰納的な設計思想という点からみると、機械学習による異常検知はShewhart管理図と同じである。機械学習による異常検知における帰無仮説は「正常と見なせるデータ」から学習する。3.1で述べたように、Shewhart管理図は、解析用管理図で作り込んだ工程能力をベースに管理用管理図の設計が決まる。まさに、両手法とも帰納的な設計である。

ただし、Shewhart管理図の管理用管理図の目的は、3.2で述べたように、データのばらつきが偶然の範囲内であること、すなわち、帰無仮説の成立を検証することであった。また、その検証は打点ごとに逐次に行うものではない。管理用管理図に逐次に異常を検知する機能は乏しく、異常検知の機能が第一義的なものではない。

一方、機械学習による異常検知は、異常検知機能を第一義的に考えた仮説検定の枠組みで説明できる。機械学習による異常検知では、正常／異常の判定が逐次に行われる。連続するデータでの利用でデータが大量であることを想定するならば、第一種の過誤を示す頻度の期待値は少くない。したがって、異常判定時でのアクションは標準化されている行為であることが望まれる。そうでないと、日常管理のツールとしての活用が進まない。異常時のアクションは調整あるいはメンテナンスなど標準化されたアクションとなる。

以上のことから、機械学習による異常検知は、異常検知を第一義的な機能とすることから、管理状態であることを立証したい管理用管理図とは目的を異にする。機械学習で言う異常(abnormality)と管理図で言う管理外れ(out of control)とでは対応する是正行為が異なる。異常検出が第一義的な役割である機械学習による異常検知では調整行為が主であり、管理状態の立証が第一義的な目的である管理用管理図では原因追究である。ここに、二つの手法の用途の

違いがあると考える。

### 4.3 タグチ-マハラノビス(MT)法

MT法は結果系特性が $p$ 変量のデータ $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})^T$ の場合に用いられる。機械学習の異常検知と同様な表現で、統計量を異常度とよぶならば、マハラノビス距離 $D$

$$D_i = (x_i - \mu)^T \Sigma^{-1} (x_i - \mu) \quad (4)$$

を異常度とする。ここで、 $\mu$ は $p$ 次元平均ベクトル、 $\Sigma$ は $(p \times p)$ の分散共分散行列を示す。データが $p$ 変量の多変量正規分布が想定できるならば、(4)式の異常度は、ラベルなしの機械学習による異常検知の異常度(2)式と同等な情報をもつ。ただし、MT法の特徴的な点は、異常データ群を用いて、特性値を構成する変量の選択を行う点である(宮川、永田(2022))。機械学習による異常検知のラベルありのように、ラベルありの情報を(3)式のように異常度として用いているわけではない。もっとも、ラベルありデータを学習データとして用いることは、機械学習による異常検知と同様に、異常検知を第一義的な機能と考えていることになる。したがって、異常検知後は調整行為を想定した手法である。

なお、MT法の類似手法として、多変量管理図がISO 7870-7として規格化されている。しかし、我が国においてより普及している(宮川、永田(2022))という観点から、本稿ではMT法を取り上げた。

## 5. まとめと今後の課題

管理用管理図の機能に対して問題提起をした前掲の中村(1987)は「管理用管理図はプロセスの状態を示す信号機としてみたときには、確かに現場の道具としてよい」とも述べている。中村論文への本稿の回答は、この意見を肯定するものである。ただし、信号機のシグナルが「赤」か「青」かによって、打点の都度、工程の状態を判定するのではない。管理用管理図は「青」が継続されていること、すなわち、これまでの状態が維持されていることを確認するための道具であることを、まず主張したい。もし「赤」であったならば、その時点で、これまでのデータを解析するための解析用管理図の見方に切り替えるべきである。このときのアクションは原因追究による是正処置である。

一方、ISOとして規格化されている累積和管理図、EWMA管理図、Acceptance control chartや、機械学習による異常検知やMT法は、系統変動を検出する役割をもつ手法であり、このときのアクションは標準化された調整である。

以上、本稿ではShewhart管理図を管理用管理図としてどのように活用すべきかを論じた。安井他(2013)、安藤(2020)を上げることができるが、系統変動を含む工程における管理図管理を取り上げた議論は少ない。系統変動を管理するといった考え方もある(仁科(2021))。例えば、系統変動の検知の頻度や系統変動自体を管理特性とすることである。また、系統変動を含む工程において、如何にして偶然変動を把握するかも課題である。管理特性の選択とサンプリング方法を工夫する必要がある。

管理図管理は偶然変動の大きさを把握することによって、工程能力調査への情報提供に繋がる役割をもつ。工程能力の二面性(仁科(2009))から、工程能力調査は工程能力(process capability)に裏打ちされた工程変動(process performance)を評価指標とすることが実際的ではないかと考える(仁科(2020))。その際の管理図管理の役割について、工程能力調査のあり方と併行した議論が必要である。本稿で述べた系統変動を取り上げた工程管理の考え方は、その議論に繋がるものである。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、日本品質管理学会中部支部の産学連携研究会、東海地区若手研究会から有益な意見を頂戴した。ここに感謝する次第である。

## 《参考文献》

- [1]中村恒夫(1987)：“統計的手法の問題点”、品質、Vol.17、No.4、71-73.
- [2]安藤之裕(2020)：QC七つ道具の奥義、日科技連。
- [3]飯塚悦功(2018)：第6回JABマネジメントシステムシンポジウム予稿集、3-4、日本適合性認定協会。
- [4]仁科健(2001)：“管理図の見直し”、日本品質管理学会第67回研究発表会発表要旨集、9-12.
- [5]狩野紀昭(1976)：“調整作業の本質とその見直し方法”、品質管理、Vol.27、No.5、6-14.

- [6] Woodall, W. H. (2000) : "Controversies and Contradictions in Statistical Process Control, "Journal of Quality Technology, Vol.32, No. 4, pp.341-350.
- [7] Western Electric (1956) : Statistical Quality Control Handbook, American Telephone and Telegraph Company, Chicago, Ill.
- [8] 仁科健(2009) : 統計的工程管理、朝倉書店。
- [9] Murdoch, J. and Barnes, J.A. (1998) : Statistical Tables, Fourth Edition, Macmillan Press LTD.
- [10] 北川敏男(1948) : 新版 統計学の認識、白揚社。
- [11] Weiler, H(1953) : "The Use of Runs to Control the Mean in Quality Control, "Journal of American Statistical Association, Vol.48, 816-825.
- [12] Page, E. S.(1955) : "Control Charts With Warning Lines, "Biometrika, Vol.42, 243-257.
- [13] 葛谷和義 (2000) : "蘇る管理図！新JISへの適合"、日本品質管理学会第65回研究発表要旨集、pp.72-75.
- [14] 仁科健 (1999) : "Waldの逐次検定に基づく累積和管理図の確率的性質、"品質、Vol.29、No. 1、104-110。
- [15] 井出剛、杉山将(2015) : 異常検知と変化検知、講談社。
- [16] 井出剛(2015) : 入門 機械学習による異常検知、コロナ社。
- [17] 宮川雅巳、永田靖(2022) : タグチメソッドの探究 技術者の疑問に答える100問100答、日科技連出版社。
- [18] 安井清一、安藤之裕、吉富公彦、野口英久(2013) : "回帰残差に基づく統計的工程管理"、品質、Vol.43、No. 4、40-44.
- [19] 仁科健(2021) : "シューハート管理図を再考する"、日本品質管理学会第125回研究発表要旨集、119-122.
- [20] 仁科健 (2020) : "工程能力の二面性からprocess capabilityとprocess performanceを考える"、経営情報科学、Vol.14、No. 2、1-15.