

品質安定化ソリューションと MT 法

Data Analysis for Stabilizing Product Quality and the Mahalanobis Taguchi (MT) Method

新井 貴久治*¹ 上田 健夫*¹
Kikuharu Arai Takeo Ueda

近年の製造業では、市場ニーズの多様化と同時に、製品品質の安定化が求められている。例えば、使用する原材料の品質のバラツキや、顧客からの高いレベルでの要求品質などの環境の変化や外部からの要求に対応した運転が求められる。

そのような状況の中、横河電機は顧客の品質管理、製造、生産技術各部門へ品質安定化を実現するソリューションの提案を行ってきた。本稿では、我々がデータ解析手法の一つとして採用してきた「MT（マハラノビス・タグチ）法」を中心とした品質を安定させるためのソリューションを紹介する。

Recently in the manufacturing industry, there is a strong need to stabilize product quality while responding to diverse market needs. Plant operation should respond flexibly to external changes and requirements such as variations in raw materials quality and rigorous quality requirements from customers. However, it is difficult to satisfy quality only with final inspection processes; new approaches are needed to improve operating management by determining target quality values to be controlled in each process or at each production unit.

Under these circumstances, Yokogawa has been proposing solutions for stabilizing the quality of products in various process units of customers such as quality management, manufacturing, and production engineering. This paper introduces a solution for quality stabilization that uses the Mahalanobis Taguchi (MT) method as a core data analysis technique.

1. はじめに

新興国の台頭によるコスト競争力の低下、ニーズの多様化による生産性低下などの影響により、製造業の国際競争力は日々強化の必要に迫られている。そのために生産現場は、Quality（品質）が良く、Cost（コスト）を安く、Delivery（納期）を順守することが常に求められている。

しかし、生産プロセスは、プロセス自体は大きな変化がないにも関わらず、製品品質を一定に保つことが難しい。なぜなら、実際の生産現場においては、生産プロセスに投入される原料品質のバラツキ、製造設備の老朽化等が、製品品質を劣化させる要因となっているからであ

る。このような状況下であっても、出荷製品に対して高い品質が求められている。

本稿では、より良い「工程品質」を作り込む生産プロセスとはどのようなものであるかを示す。さらに、製品の品質を安定させ、高品質を保つための課題を整理し、その課題に対応した横河電機が提供するソリューションを紹介する。

2. 継続的な生産プロセスの改善

品質を最適に管理できる生産プロセス、および生産プロセスで作られる工程品質の重要性について述べる。

2.1 生産プロセスの改善

生産プロセスとは、4M（Material：原料，Machine：設備，Method：処方，Man：人）を駆使し、製品の仕様（機能も含む）だけでなく、製品品質を作り込むプロセスでもある。図1に示すように、従来の「検査重視型生産」

*1 ソリューションサービス事業本部 高度ソリューション事業部
高度ソリューションセンター APS 部

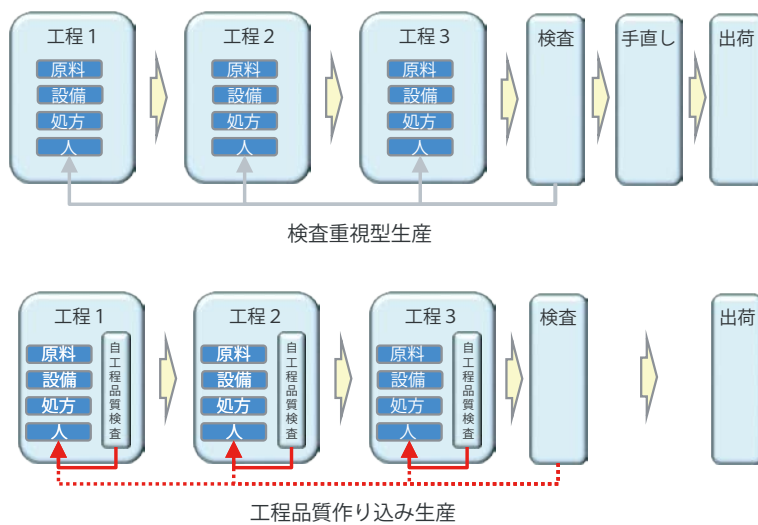


図1 工程品質作り込み生産

では、製品品質は出荷時の最終検査でチェックされるため、ロスを生む確率が高くなり生産効率低下に影響を及ぼしてきた。製品競争力強化のためには、製品品質を高め、納期を短縮し、製品コストを下げるために行う生産改善のスピードアップが必要となってきている。そのため、「工程品質作り込み生産」へ改善を行う必要があると考えている。これは、各工程において品質を作り込むために、各工程で品質検査を行う「工程品質作り込み生産」の生産環境の構築することである⁽¹⁾。

2.2 工程品質の作り込み

各工程で品質を作り込むためには、品質管理方法やプロセス・生産システムの考え方などを全体的に見直すことが必要となる。その結果、生産プロセス全体を再構築することによりQCDを改善できる。

製品品質は、どの工程でどのような品質が作り込まれ、そのための制御パラメータは何なのかを分析する必要がある。「工程品質の作り込み」の直接的な狙いは品質向上ではあるが、最終的には製品競争力の強化にある。つまり、「工程品質の作り込み」が品質レベルを向上させ、「売上・利益の拡大」へつなげることを目指している。

3. 品質安定化のための課題

前章のような生産プロセスの改善を行い、各部門で自工程品質検査を行う生産環境の構築を行っているにもかかわらず、依然として生産プロセスには多様な課題が散在している。ここでは、品質に直結する課題を整理する。

3.1 品質の誤検出

品質検査工程において、実際には品質基準に適合している製品を不適合品とする「第1種の誤り」、また品質基準に不適合な製品を適合としてしまう「第2種の誤り」がある。このような誤検出率が高い状態である場合、最終検査工程のムダが発生してしまう。

3.2 繰り返される設備異常

早期に設備の異常の予兆を検知することにより、異常回避処置が可能であるにもかかわらず、実際にはデータの解析から異常の予兆を捉える原因データや指標を見出せていない。そのため、設備異常が発生することを未然に防止するような対応がなされておらず、設備異常が繰り返し発生している。

3.3 手間のかかる品質異常原因解析

異常状態やバラツキのメカニズムを解析する担当者の確保や解析ノウハウの蓄積が難しく、さらに異常原因が複雑に関連している。そのため、異常が発生した場合に原因の解析に時間がかかってしまう。

3.4 不定な最適製造条件

各工程において目的の製品品質を作り込みたいが、原料品質のバラツキや出荷製品に対する高い品質要求がある中で、最適な重要工程パラメータ (Critical Process Parameter) を決定することができない。

4. 品質安定化ソリューション

製品品質は、製造工程で作られ、高いレベルで品

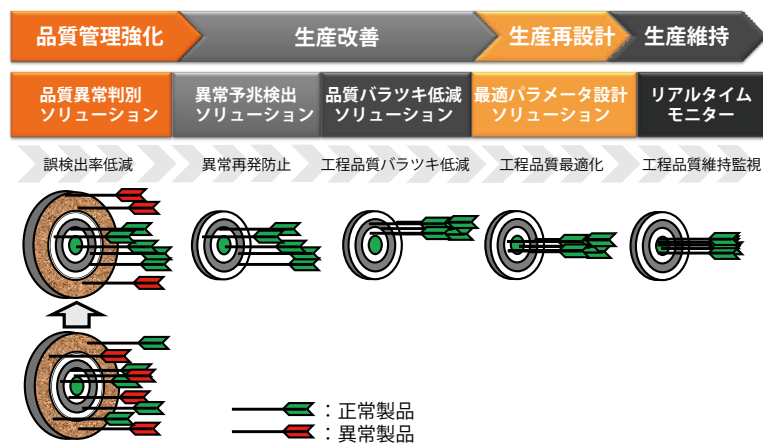


図2 品質安定化ソリューション概要

質の維持と管理が必要であるため、品質管理技術の重要性はますます高まるばかりである。

図2に示す横河の品質安定化ソリューションは、前章で挙げた課題に適した解決手段を各部門へ提供し、工場内での品質安定化を実現する。

まず、製品品質の適合品・不適合品の判別を正確に行い、品質管理の基礎を構築する。次に、運転や設備の異常を予兆検出し、不良品の発生を最小限に止める。さらに、異常原因解析を行い、品質のバラツキをより小さくした後、最適な重要工程パラメータを再設計し、生産品を目的の物性値に近付ける。最終的に、リアルタイムモニターにより、常に最適な製品品質の管理値に適合させるよう監視する。その詳細を以下に示す。

4.1 品質異常判別ソリューション

このソリューションは、製品品質合否の誤判定を防止し、顧客からのクレームをゼロとするために、出荷前の製品品質検査の強化を行う、品質管理の部門を対象としたソリューションである。まず、作業ミス防止、検査工数削減、検査データ改ざん防止を目的に、LIMS (Laboratory Information Management System: ラボ情報管理システム) を導入し、自工程における品質検査結果を自動的に収集する。次に、品質データのバラツキを高精度に可視化し、不適合品を次工程へ混入させないようにする。

4.2 異常予兆検出ソリューション

運転管理、設備保全部門を対象としたソリューションである。プロセスデータや設備データの異常の予兆を検出することにより、従来までの温度、流量、圧力といった通常収集するデータそのものを利用した閾値管理アラ

ームと比較して、より早く警告を発することができる。これにより、不良品発生を最小限に止めることができる。

設備異常の予知については、主として設備データを対象に解析を行い、特に品質異常発生に直結する設備異常にフォーカスしている。

4.3 品質バラツキ低減ソリューション

運転管理・製造部門を対象とした異常原因を解明するソリューションである。まず、横河電機が工程品質で異常が発生している製造環境や運転状況などを正確に把握する。その後、仮説立案、4M毎の解析、検証を繰り返し行い、隠れている課題の抽出、新たな仮説の立案を行う。その結果から、工程品質異常等の発生メカニズムを解明し、品質のバラツキを抑制する。

4.4 最適パラメータ設計ソリューション

生産技術管理部門を対象としたソリューションで、プロセスデータから工程品質異常の原因を解析し、改善提案を行う。原因解明後は、最良の品質となる各操作パラメータ設定値の組み合わせを素早く探し出すためのソリューションを提供する。その結果、開発スピードを上げ、高品質な製品を市場にいち早く投入することが可能となり、市場競争力の強化につながる。

4.5 品質リアルタイムモニター

製品の高い品質を維持するためには、リアルタイムモニタリング環境が必要となる。製造部門が品質のブレが発生することを常時確認しながら、高品質な製品の生産を実現すると同時に、品質管理部門が工場内品質をリアルタイムに監視する環境を提供する。

5. 品質安定化ソリューションと MT 法

品質安定化ソリューションでは、データを解析することで工程品質異常の要因を探る。データ解析の手法には、回帰分析 (Regression Analysis)、主成分分析 (PCA) 等の複数のデータを統計的に扱う多変量解析の技術がある。その中で品質安定化ソリューションでは、判別・予知予測のための主な技術として MT 法を採用している。しかし、MT 法だけでなく、顧客の課題解決に最適な手法を用いた解析も行っている。ここでは、MT 法の概要とその活用方法を述べる。

5.1 MT 法とは

MT 法は、「Mahalanobis Taguchi Method」の略である。「Mahalanobis」は、インドの統計学者である P.C. マハラノビス博士を指している。博士が変数間の相関から導き出された距離を考案したことから、この距離を「マハラノビス距離 (MD: Mahalanobis Distance)」と呼ぶ。一方、「Taguchi」とは品質工学 (Taguchi Method) の創始者として著名な田口玄一博士を指している。

MT 法は、「品質工学」から生まれた情報処理技術であり、マハラノビス距離を品質工学の体系に取り入れたパターン認識方法の一つである⁽²⁾。基準となるデータと判断対象サンプルの離れ具合をマハラノビス距離として算出し、定量的に違いを判断する。

5.2 MT 法の活用

図 3 に示すプロセスの異常判別を例に、MT 法の適用方法を述べる。

5.2.1 基準空間

正常または異常かを定量的に判別するために、先ず正常時のプロセスデータを収集し、プロセス変数間の正常な相関関係を保持する「基準空間」を作成する。

5.2.2 判断対象サンプル

次に、プロセスの挙動の違いを判別したいプロセスデータを準備し、判断対象のサンプルとする。

5.2.3 マハラノビス距離算出

最後に、基準空間における判断対象サンプルのマハラノビス距離を算出する。

図 3 最下段のグラフにおいて、縦軸は単位時間当たりのマハラノビス距離、横軸は時間である。マハラノビス距離が大きくなった部分は、基準空間中に同じグラフのパターンが存在しないことを意味している。これは、プラントが基準空間と異なる動きをしていることを示している。

このように、プロセスデータのパターン認識法として MT 法を利用することにより、品質異常判別、異常予兆検出、常時モニタリングが実現可能となった。また、コンピュータの演算速度向上により、異常検出から対処までのフィードバックプロセスが高速化され、プロセス制御におけるリアルタイム処理が可能となった。

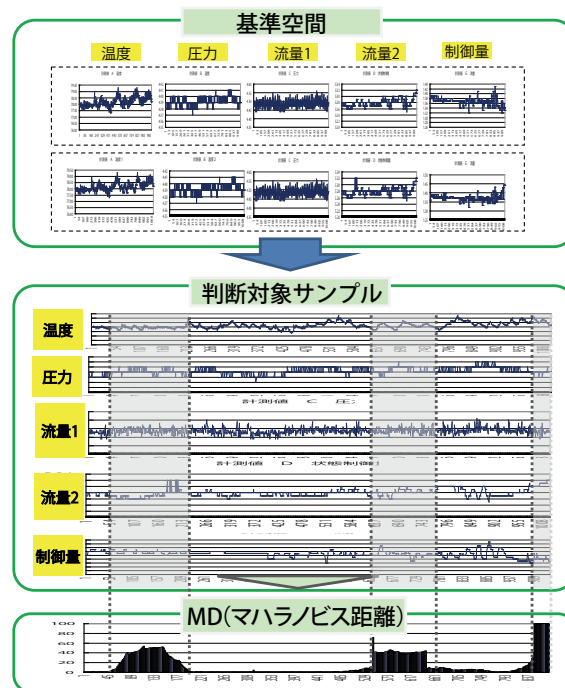


図 3 MT 法の概要

6. YOKOGAWA 課題解決アプローチ

3章で述べた品質安定化のための課題に対し、品質安定化ソリューションを適用してきた。ここでは、それぞれのソリューションの適用事例を紹介する。

6.1 誤検出低減事例（品質異常判別ソリューション）

6.1.1 課題特定

製品の表面状態を監視するために、振動データを用いた品質管理システムを構築している。その誤検出率（正常品を異常品と誤検出）が高いため、最終品質検査工程にて多量の製品を検査しなければならず、生産性の改善が求められていた。

6.1.2 解析

誤検出率を改善するために、正常品と異常品の間で差が表れるデータ（特徴量）や横河電機独自のデータ分類の処理を行った上で、MT法を適用した。その結果、図4に示すように、MT法の特長である1変数が管理値外になることを判別できるだけでなく、2変数以上の変数間の相関関係の崩れも同時に評価することができる。そのため、より高度な判別を実現でき、誤検出率の低減に貢献できた。

6.1.3 課題解決提案

新たな管理KPIを活用することにより誤検出率は数%以下に低減され、その結果、最終検査工程における負荷低減に貢献した。

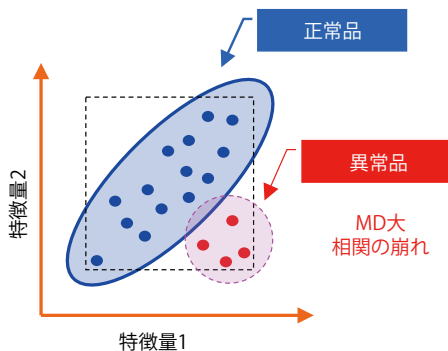


図4 特徴量による異常判別

6.2 設備異常予知検出事例（異常予兆検出ソリューション）

6.2.1 課題特定

製品処理工程において監視データ（設備状態を表すデータ）が悪化し、配管内の詰まりに至るケースがあり、設備トラブルの未然防止が求められていた。

6.2.2 解析

図5に示す監視データに対して、原因系データ（設備異常原因を生み出していると思われるデータ）を比較しても、未然防止につながる予兆を把握することができない。その結果、現状では詰まりの未然防止はできず、監視データを基にした事後対策しかできなかった。そこで、原因系データを用いて横河電機独自のデータ前処理を実施し、「品質予兆KPI（マハラノビス距離）」を算出した結果、監視データに変化が生じる数時間前に品質予兆KPIに変化が表れていることがわかった。

6.2.3 課題解決提案

従来の監視データに代わる新たな異常予兆検出システムとして、マハラノビス距離を用いたKPIを提案した。これにより異常の予兆を検出することが可能となり、事前に対策を講じることで設備異常を未然に防ぐことができた。

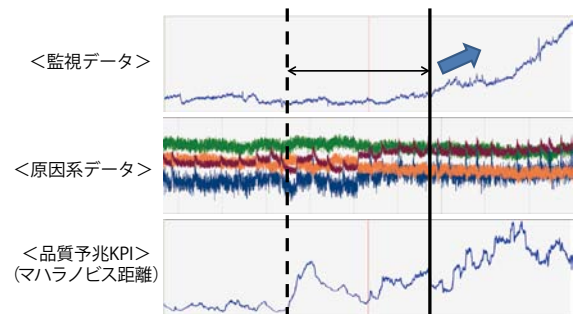


図5 マハラノビス距離による予兆検出

6.3 原料原単位バラツキ防止事例（品質バラツキ低減ソリューション）

6.3.1 課題特定

原料投入量に対する製品生産量の割合（原料原単位）にバラツキが生じており、原料の単価を低く抑えた安定生産が困難になっていた。しかし、原料から製品に至るまでが大規模なプロセスのため、その要因を特定することが難しかった。

6.3.2 解析

製造装置全体及び全工程に対してデータを確認した結果、様々な要因が複雑に影響していたため、要因の特定は困難であった。しかし、横河電機独自のデータ前処理を適用し、工程の因果関係を強く意識して解析した結果、各工程のバラツキ要因を複数見つけることができた。それらの要因の一つに対して対策を実施した結果、図6のように、原料原単位のバラツキを約数十%低減できた。

さらに、工程と装置の安定化を同時に達成することができ、オペレータの負荷低減に貢献した。

6.3.3 課題解決提案

工程内のバラツキを防止する対策を実施し、装置の安定及び原料原単位の改善を実現した。

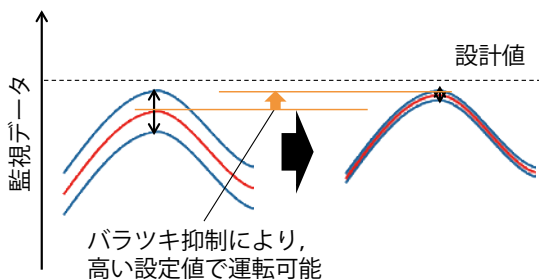


図 6 測定値のバラツキ低減

6.4 最良製造パラメータ算出事例（最適パラメータ設計ソリューション）

6.4.1 課題特定

ある製品において、その品質が顧客の品質規格内であるものの、競合製品に比べ品質レベルが劣っていたため、顧客から品質のレベルアップを強く求められていた。その対応策として、設備の改造などのハードウェアの改善と、生産条件の最適化などのソフトウェアの改善が考えられた。しかし、ハードウェアの改善は多額の投資額が必要になる。そこで、費用対効果の大きい既存プロセスのソフトウェアを改善する手段として、生産条件を最適化するアプローチを検討した。

顧客の製品開発過程において、ある工程における品質管理項目が複数存在した。この時、品質と生産条件の最適化はトレードオフの関係であった。しかし、品質と生産条件の因果関係を定量的に見える化できていなかったため、両方を同時に改善することができなかった。

6.4.2 解析

既存の生産条件では目標の品質値は実現できていないため、新しい生産条件での実験データを評価した。その際、品質に影響する生産条件の複数のパラメータで、運転上の制約条件があったため、直行表以外の実験計画法を用いて製造実験を行った。

さらに、様々な生産条件で製造実験したデータを使用し、応答曲面法を用いて解析し、トレードオフの関係にある複数の品質と生産条件の因果関係を明確にした。

その後で、多目的最適化を実施した結果、顧客が満足できる品質を達成しつつ、他の品質とのバランスが良い生産条件を複数算出できた。

6.4.3 課題解決提案

複数の生産条件で検証実験を行った結果、顧客が満足できる品質目標値を達成することが確認できた。

この解析成果を活用することで、他の顧客から異なる品質要求があった場合で、臨機応変に生産条件が切り替え可能な生産体制を構築できた。

7. おわりに

生産プロセスは、原料の変化と製品の高品質基準に対応するため、常に変化をしていかなければならない。そのため、品質改善にはスピードと精度が求められる。

最近には様々なデータ解析用ソフトウェアが多数あり、簡単に入手できる。しかし、これらのソフトウェアで提供される解析手法を正しく実行するためには、データ解析実行前や途中で発生する様々な問題を解決する事が必要となる。

これまで述べたように、横河電機は解析の手法やノウハウを持ち、品質安定化のための課題解決アプローチを提供している。最も重要なのは、横河電機の解析者自身が持つ工学知識等に裏付けされた技術を用いることである。図 7 のような「データ分類・前処理」「解析技術・ツール」「解析アプローチ」の 3 つのコア技術を用い、顧客の課題に寄り添いながらデータ解析のサービスを提供することが、新しい気付きを知見に結びついてゆくと考えている。

今後も、顧客と一体となり、蓄積されたプロセスデータを基に、課題特定から課題解析までスピーディーなサービスの提供を行っていく所存である。

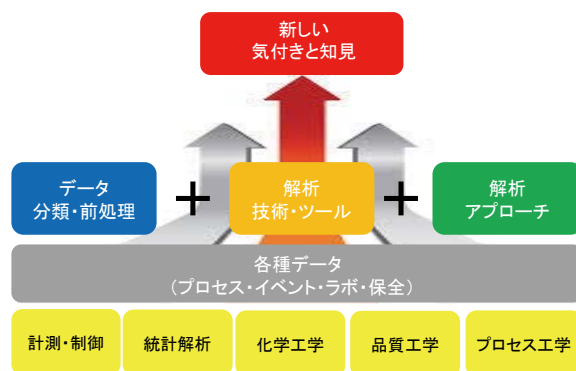


図 7 YOKOGAWA が提供するコア技術概要

参考文献

- (1) エス・ピー・エス経営研究所編，製造現場「品質つくり込み能力」パワーアップ教本，日刊工業新聞社，2007
- (2) 手島昌一，長谷川良子，他，入門 MT システム，日科技連出版社，2010