

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24710174

研究課題名(和文) 傾向のあるプロセスデータの傾向変化点解析

研究課題名(英文) Detection of Change Points of Trends in Advanced Manufacturing Processes

研究代表者

安井 清一 (Yasui, Seiichi)

東京理科大学・理工学部・助教

研究者番号：90434026

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円、(間接経費) 600,000円

研究成果の概要(和文)：製造の品質管理においては、当該製造プロセスで作り込まれる製品特性をモニタリングし、管理、改善を行う。昨今の製造においては、1つの製造ラインで複数の品種を製造することが一般的になっており、品種切り替え後しばらくは特性値が安定しないことが多く、いち早い安定化が必要である。その安定化のためには、特性値の傾向パターンの変化を見つけ出すことが重要であり、本研究では、そのような変化を検出するための統計学的方法を研究した。

研究成果の概要(英文)：In quality control for manufacturing processes, quality characteristics are monitored in order to control and improve the process. In recent processes, multivarious stuffs are produced on the line. If changing kinds of products, the quality characteristics are disordered. Hence, it is necessary to improve and stabilize the process as soon as possible after changing kinds of products. Thus, the detection for change points of various patterns are important techniques to do that. In this research, the statistical methods have been developed for detecting such change points in this situation.

研究分野：社会・安全システム

科研費の分科・細目：社会システム工学・安全システム

キーワード：統計的プロセス管理 変化点検出 局所平滑化 ロバスト回帰 Lasso パターン認識 多品種生産 品質管理

1. 研究開始当初の背景

製造の品質管理においては、当該製造プロセスで作込まれる製品特性をモニタリングし、特性値(以下、データ)の分析に基づいて、製造プロセスの管理、改善を行う。

現在の製造プロセスでは、製造設備の進歩により一つのラインで複数の品種を製造する多品種化、小ロットで細切れに製造する少量生産化が一般的になった。すなわち、製造条件を変更する頻度が多くなっており、品種切り換え直後に生じる製造プロセスの不安定な状態を、いち早く安定化することが重要な課題になっている。

製造プロセスが不安定なとき、データは上昇や下降傾向、ジャンプなど、様々なくせのある傾向を示す。一方、安定なときは、平均値が一定であり、ある大きさのばらつきを持ってランダムに推移する。製造プロセスの安定化とは、データ上の様々なくせの原因を発見し、是正することである。したがって、安定化のためには傾向の発見が必要であり、これは傾向が変化する点を見つけることが、昨今の製造プロセスにおける重要な課題であると言える。この課題を変化点推定という。

変化点推定の研究は、これまでに多く行われてきたが、安定な状態から不安定な状態になる時点を推定するものがほとんどであり、本研究課題が狙いである不安定な状態における傾向の変化点を推定する研究は、ほとんどない。

このように、傾向の変化点を推定する研究は、潜在的ニーズがあると思われる、新規性、独創性、有用性が高く、本研究課題の成果は、進歩した製造設備・技術に対応した管理技術であり、より効率的な生産の実現を可能にすると予想される。

2. 研究の目的

製造プロセスが不安定なときのデータは、様々な傾向が入り交じっている。推定すべき変化点は、不連続な時点(ジャンプ)や微分可能でない時点(山、谷)、また、それらが複合した変化が生じた時点である。例えば、線形的な傾向の場合、山や谷は傾きが変わったり、線形的な傾向から二次的な傾向に変わったりする時点の推定である。さらに、突発的に生じる異常なデータ、すなわち、外れ値も存在すると考えられるので、外れ値の影響をあまり受けない変化点推定法を開発しなければならない。外れ値の影響をあまり受けないという解析法の特徴をロバスト性という。

したがって、本研究課題の目的は、ジャンプおよび山・谷の存在を検出し、それらの時点を推定するロバストな統計的方法を開発することである。すなわち、データに外れ値が入っている場合でも、効率的に機能するトレンド変化点解析手法を開発することが目的である。

3. 研究の方法

(1) 従来研究からの発展

プロセス平均に対する線形的な傾向の変化点を、3次多項式およびカーネル関数による平滑化に基づいた方法で解析するという方法がある。本研究課題では、従来の解析法にロバスト性を加えた解析法を開発する。

(2) 離散ウェーブレット変換による解析

不連続点を解析するという観点から、多項式による平滑化よりも離散ウェーブレット変換を適用した方が、効率的に変化点を検出、推定できると考えられるため、離散ウェーブレット変換に基づく関数トレンドの変化点解析法、そのロバスト化を研究する。

まず、誤差がない状態で、傾向のジャンプ、谷・山に対してウェーブレット変換適用後での変化を考察する。従来の多項式およびカーネル関数による平滑化法に基づく解析法においても、傾向のジャンプ、谷・山に対する多項式の各係数の様子を考察したうえで、その特徴からジャンプ、谷・山を検出、その時点を推定している。

次に、時間軸に対して等分散である誤差を入れた状態で、変化点解析法を考察する。このとき、変化を検出するためにウェーブレット上での分布を調べる必要がある。

最後にモンテカルロ・シミュレーションを用いて、変化点の検出確率(第1種の過誤、検出力)、変化時点の推定量の分布を評価する。

(3) ロバスト化

本研究課題で考えている方法は、局所平滑化法の変化点推定への応用である。したがって、局所平滑化法でよく用いられているロバストな方法として LOWESS がある。離散ウェーブレット変換に基づく変化点推定法のロバスト化に対しても、これは有用であると考えられる。

4. 研究成果

研究方法で述べた「(1) 従来研究からの発展」においては、発表論文〔雑誌論文〕において、その成果を発表した。

3次多項式をデータの統計モデルとして仮定し、局所的に多項式の係数を推定する。局所的な推定を行うためにはカーネル関数を呼ばれるデータに重みを与える関数を用いるが、平滑化法で研究され、よく用いられるいくつかの関数を適用した。モンテカルロ法によってそれらの変化点の推定に対する性能を評価した。また、ロバスト化には LOWESS 法を用いた。

このようにして、各時点において多項式の係数を求め、係数の時間的变化によって、傾向の変化点を推定する。傾向が変化したとき、その時点の前後において、各係数が特徴的な動きをすることが従来研究によりわかっている。

多項式の次数をあげると、より多くの傾向の変化点を推定できるが、局所的に推定を行

うため、実質上、データ数が少なくなってくる。これは推定精度に大きく関わってくるので、係数の推定方法に工夫が必要となってくる。本研究課題においては、係数の推定方法の研究も行った。その成果を発表論文〔雑誌論文〕、および、〔学会発表〕、

で発表した。n 次多項式の場合、一般的には、切片を含めて n+1 個の係数を推定する必要があるが、傾向の種類、変化の種類によって、すべての係数に特徴的な変化が起こるわけではない。そこで、変数選択が有用であると考えられ、少ないデータでも効果的に変数選択が行える Lasso 法について基礎的な研究を行った。傾向の表現と、変化の検出には多項式の階層性が必要であるため、選択される係数の階層性を考慮した Lasso 法についての研究を行った。直接、本研究課題のターゲットである製造プロセスのデータでは複雑であるため、実験計画法において基礎的な研究を行った。〔雑誌論文〕においては、その階層性を入れた Lasso 法を提案した。〔雑誌論文〕、および〔発表論文〕、では、ベイズ統計学的方法と組合せた方法について、いくつか考察し、その成果を発表した。最も成績が良かった方法は、〔雑誌論文〕で提案した、階層性を考慮し、ベイズ統計学的方法と従来の Lasso 法を組合せた解析法であることが分かった。

本研究課題の主目的に対する副次的な研究成果として、プロファイルデータによる製造プロセスの品質管理がある。プロファイルデータとは、製品の特性が重さや強度など、単一の変数で表されるものではなく、形状は波形などパターンで示されるものことである。計測技術の向上で、このようなデータが取られるようになった。本研究課題の主目的である「傾向」とは、時系列的なパターンであり、そのパターンの変化を検出、その時点を推定することであるので、副次的に新しい技術を提案できた。その成果は、〔雑誌論文〕、および、〔学会発表〕、で発表した。〔学会発表〕は、プロファイルデータの解析法に関する研究成果であり、よく用いられる主成分スコアをモニタリングする方法は、三角関数で表されるプロファイルデータにおいては有効に機能しないことがわかった。また、第 1 主成分と第 2 主成分との方向余弦を管理図に打点する統計量とする方法を提案した。

〔雑誌論文〕、および、〔学会発表〕はプロファイルデータの相似形からの逸脱を検出するための方法の提案である。これまでは、特定のプロファイルからの逸脱を検出する方法が研究されてきたが、相似形を問題にするものはなかった。相似形からの逸脱を検出するという事は、大きさが変化することは検出せず、形そのものが変化したことを検出するという事である。このことは、実験計画法の分野で言われている 2 因子交互作用を検出する問題と同じであることを発

見し、2 因子交互作用の検出法を応用した相似形からの逸脱を検出するための管理図を提案した。2 因子交互作用の解析は、実験計画法において、最も基本的な一部分であるので、本研究課題で提案できた非相似形の検出方法は十分に実用的であるものである。

本研究課題が注目している製造プロセスは、1 つのラインで複数の品種を生産できる高機能な装置を有した設備である。そのような設備においては、不適合品率が極めて小さくなる場合がある。不適合品率とは、製品規格から外れた製品の割合であり、慣習的に不良率とも呼ばれる。そのような低不適合率な製造プロセスにおいては、従来から用いられている p 管理図は有用でないことが指摘されている。不適合品の発生間隔をモニタリングする CCC 管理図について研究し、さらに検出力を上げるために、発生間隔の集計方法に工夫を加えた Moving-CCC 管理図を提案した。評価方法によっては従来の CCC 管理図よりも性能が落ちることもあるが、概ね良好である。また、発生間隔に基づく方法においては、公正に性能を評価する方法を構成することが難しいということも分かった。今後、管理図の性能評価の方法について、深く研究して行く必要がある。本研究成果は、〔学会発表〕で報告した。

離散ウエーブレット変換によって傾向の変化点を検出する方法については、個別のデータセットに対して適用することはできたが、分布を構成し、一般的なシチュエーションにおいて変化点を推定する方法の開発までには至らなかった。ブートストラップ法と組合せて変換後のパラメータの分布を構成するなどの工夫が必要であろう。また、変化点の推定は、機械学習でいうところの教師なし学習でもあるので、機械学習面からアプローチも考えられる。このような計算機指向型のアプローチを取る場合、計算量も問題である。このような点を克服した上で、ロバスト性を持たせる研究に進むべきであると考えられる。不安定な製造プロセスに生じる傾向やその変化の種類を限定するなど、研究のスターティングポイントに対する工夫も必要であり、今後の課題である。

最後に、本研究課題を通して、昨今の高度化された製造設備においては、固有の安定的な傾向が存在し、その傾向からの逸脱を検出することが、製造プロセスの品質管理上、新しい重要な課題であることがわかった。この場合の傾向は安定的であるため、統計モデルを立てることができる。従って、傾向の逸脱は残差によって検出できるということである。今後、統計モデルからの残差をモニタリングすることが重要になることが分かった。この観点で、既存の研究をまとめて発表したものが〔雑誌論文〕であり、実際の製造プロセスの品質管理において、実用的な貢献ができると言える。

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

Hidehisa Noguchi, Yoshikazu Ojima, Seiichi Yasui, Bayesian Lasso with Effect Heredity Principle, Proceedings of XIth International Workshop on Intelligent Statistical Quality Control, 査読有, Vol.1, 2013, pp.371-329.

安井 清一, 小野 眞, 非相似形を検出する工程管理, 品質, 査読無, 43 巻, 2013, pp.45-48.

安井 清一, 安藤 之裕, 吉富 公彦, 野口 英久, 回帰残差に基づく統計的工程管理, 査読無, 43 巻, 2013, pp.40-44.

Tomomichi Suzuki, Hironobu Kawamura, Seiichi Yasui, and Yoshikazu Ojima, Proposal of Advanced Taguchi's Linear Graphs for Split-Plot Experiments, Frontiers in Statistical Quality Control, 査読有, Vo.10, 2012, pp.339-348.

Hidehisa Noguchi, Yoshikazu Ojima, and Seiichi Yasui, A Practical Variable Selection for Linear Models, Frontiers in Statistical Quality Control, 査読有, Vol.10, 2012, pp.349-360.

Seiichi Yasui, Hidehisa Noguchi, and Yoshikazu Ojima, A Robust Detection Procedure for Multiple Change Points of Linear Trends, Frontiers in Statistical Quality Control, Vol.10, 査読有, 2012, pp.197-206.

[学会発表](計7件)

Tetsuya Watanabe, Seiichi Yasui, Sama-Ae Armir and Yoshikazu Ojima, A Moving CCC-r control chart for high yield processes, ANQ Congress 2013 Bangkok, 2013 年 10 月 14 日 ~ 2013 年 10 月 18 日, Bangkok, Thai.

安井 清一, 非相似形を検出するための管理図, 日本品質管理学会第 101 回研究発表会, 2013 年 05 月 25 日 ~ 2013 年 05 月 26 日, 東京.

Hidehisa Noguchi, Yoshikazu Ojima, Seiichi Yasui, Yusuke Tsutsumi, Bayesian Lasso For Selection of Reasonable Subsets, XXVth International Biometric Conference, 2012 年 08 月 26 日 ~ 2012 年 08 月 31 日, 神戸.

野口 英久, 安井 清一, 尾島 善一, ベイジアン Lasso を用いたベイズ変数選択, 2012 年度統計関連学会連合大会, 2012 年 09 月 09 日 ~ 2012 年 09 月 12 日, 北海道.

安井 清一, 野口 英久, 主成分分析に

よるプロファイルデータの管理図, 2012 年度統計関連学会連合大会, 2012 年 09 月 09 日 ~ 2012 年 09 月 12 日, 北海道.

Hidehisa Noguchi, Seiichi Yasui, Yoshikazu Ojima, Bayesian Lasso for screening experiments, International Society for Bayesian Analysis, 2012 年 06 月 25 日 ~ 2012 年 06 月 29 日, 京都.

吉富 玄, 安井 清一, 尾島 善一, Gauge R&R Study におけるサンプリング計画の提案と評価, 日本品質管理学会第 98 回研究発表会, 2012 年 05 月 26 日 ~ 2012 年 05 月 27 日, 東京.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安井 清一 (YASUI, Seiichi)
東京理科大学・理工学部・助教
研究者番号: 9 0 4 3 4 0 2 6

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: