

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 31 日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21710161

研究課題名（和文）多品種少量生産における統計的工程管理

研究課題名（英文）Statistical Process Control for the production of multi-item and small-sized

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

研究成果の概要（和文）：多品種少量生産を支える生産技術であるフレキシブル・マニファクチャリング・システム（FMS）で構成されている製造プロセスにおいて、品質管理のためのデータ解析法を開発した。自動計測により大量の品質特性データが蓄えられているが、そのデータが有効活用されていない。不安定な挙動を示す大量データから改善・管理活動に有効な情報を取り出すデータ解析技術である。また、品質特性が関数の形で意味をなす場合のデータ解析法についても研究したところ、既に存在する方法では問題が発生する可能性があることを発見し、問題発生の原因について明らかにした。

研究成果の概要（英文）：A flexible manufacturing system (FMS) enabled the production of multi-item and small-sized. By an automatic measurement system, we can take a large amount of observations at short time. However, the observations are not utilized for statistical process control, effectively. The observations from FMS include some variation patterns and outliers, therefore it is difficult to implement conventional statistical process control. In this study, it is developed that the data analysis technique which extracts effective information for improving and controlling a FMS process. For practical quality data expressed as profile or functional data, conventional approach is applied. As a result, a certain kind of profile data induces serious trouble. The causes are investigated through theoretical approach.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学，社会システム工学・安全システム

キーワード：品質管理，統計的工程管理

## 1. 研究開始当初の背景

生産技術の発達により多品種少量生産が実現され、生産の柔軟性が増したが、製造プ

ロセスにおける品質管理においては、従来型の管理図による管理が困難になっている。管理図による管理は均質なデータが、ある程度、

まとまって必要であるが、多品種少量生産ではそのようなデータの入手が困難である。したがって、このような状況に適合した新しいデータによる製造プロセスの管理技術（統計的工程管理）を構築する必要がある。

## 2. 研究の目的

多品種少量生産での統計的工程管理を行う際の問題点を明らかにし、データに基づいた管理方法を構築することが目的である。

(1) 多品種少量生産を支える製造技術として、フレキシブル・マニファクチャリング・システムがある。この設備を備えた製造プロセスでは、自動計測により品質データは大量に記録される。しかし、生産スピードも早く、大量のデータを処理しながら製造プロセスの管理を行うのが困難である。研究ではこのような製造プロセスに注目し、大量のデータから製造プロセスの管理と改善に役立つ情報を抽出するデータ処理技術を開発する。

(2) 品質データも従来のように単一量ではなく、複雑な様相を示すようになった。このようなデータは、様相は複雑であるが、製造プロセスの情報を多く持っていると考えられる。そのため、生産期間が短い多品種少量生産においては、重要な情報源である。プロファイルデータと呼ばれるパターンや関数として表される品質特性の解析について、実践面から考察、研究する。

(3) 多品種少量生産における製造プロセスは高度化している。そのため様々なデータが採取される。品質管理において、製造条件を決める変数と品質特性データとの関係を特定することは重要であり、直交表を用いた効率的な実験によって調査される。その際、変数間の組合せ効果（交互作用）の選択問題があり、それについて研究する。

## 3. 研究の方法

### (1) 多品種少量生産事例調査

日本品質管理学会内に“多品種少量生産に対する工程管理に関するワークショップ”を設立し、事例調査を主な目的とし、2010年10月から2011年10月まで活動した。

### (2) 多品種少量生産プロセスにおける品質データのモデリング

事例調査や分析、文献調査、既存方法の適用により、多品種少量生産プロセスにおける品質データの特徴をつかみ、データのモデルを構築する。モデルにもとづき解析法を開発することにより、その解析法の性能を客観的に評価することができる。また、既存方法に

おける実際上の限界や問題点等も明らかにできる。

## 4. 研究成果

(1) 多品種少量生産を支える技術のひとつにフレキシブル・マニファクチャリング・システム (FMS) がある。FMSでは自動測定により、基本的な品質特性については全数検査されており、データも記録されている。少量生産といえども、データは大量に存在する。そのようなデータを製造プロセスの管理に有効活用するためのデータ解析法として、「線形トレンドを含むプロセスデータに対するロバストな変化点推定」を提案した。この研究の概略を以下に示す。

① 容器へ製品を充てんする FMS 製造プロセスに焦点を絞り、その品質特性データを観察する以下の特徴があった。

- ・品種切り替え時は、ばらつきが大きく、外れ値（突発的に生じる大きな、もしくは、小さな値）も多い。
- ・ある程度安定してくると、ある一定の傾向が見られるようになる。その傾向は生産全体にわたって連続的ではなく、途中で途切れる（不連続になる）点がある。また、傾向が急に变化する点もある。

② 傾向の途切れる不連続点、傾向が急に変わる点は製造プロセスの品質管理上、問題になるところである。なぜなら、そのような点を明確化し、製造プロセスを改善することにより、安定した品質の確保、不良品率の低減によるコスト削減などが見込まれるからである。このような点を“変化点”と呼び、変化点を見つけることを“変化点推定”と呼ぶ。

③ 傾向を直線的なトレンドに限定し、変化点を見つけるデータ解析法を提案した。①で述べたように、データに外れ値が含まれている。外れ値がある状況では、変化点を見つける性能が落ちる。外れ値の影響を緩和できるように工夫（ロバスト化）した。

④ 提案した解析法の基本的な性能を調べるため、乱数シミュレーションを行った。直線的なトレンドと変化点、外れ値を含ませた乱数（データ）を発生させ、あらかじめ与えておいた変化点を見つけられるかどうか調査した。変化点をピンポイントで発見する確率は 0.15 から 0.3 程度であったが、プラスマイナス 2 時点の範囲で発見する確率は 0.5 から 0.8 であった。

⑤ ③の解析法の提案、および、④の性能評価の結果は、5の〔学会発表〕③および④で示した国内学会、国際学会で発表した。

⑥ 提案した解析法の基礎となる技術は、点と点を滑らかに結ぶ曲線を作るという平滑化法である。変化点の近くでは、その曲線の挙動に他の点とは異なる特徴を持つ。この特徴により変化点を見つけている。この方法には先行研究があるが、方法の簡易化およびロバスト化を行った点で新しい。

⑦ 本研究では、傾向を直線的なトレンドに限定しているため、今後、様々な傾向にも対応できるように一般化する必要がある。また、データのばらつきの変化も、製造プロセスの品質管理として重要であるため、それにも対応する必要がある。

(2) 最近では、品質特性として製品のプロファイルが問題になる場合が少なくない。プロファイルとは、製品の幾何形状や特性を示す曲線など、重さや長さといった単一量で表される品質特性ではなく、パターンや関数として表される品質特性のことである。パターンや関数は点の集まりであるため、多変量データである。多変量データを直接、時系列方向に変化や傾向を考察するのは困難である。多品種少量生産において製品プロファイルでプロセス管理するためには、パターン情報をうまく縮約して、時系列方向での変化の考察を効率的に行う必要がある。プロファイルデータによる統計的工程管理の問題を取り上げた。

① プロファイルデータによる統計的工程管理は、学術レベルでは多くの提案がある。しかし、実用においては、その適用事例の報告は少ない。プロファイルデータの解析法には大きくわけて2種類ある。1つはプロファイルに何らかの構造を考えて回帰分析を行い、偏回帰係数を多変量管理図で時系列方向の変化をみる方法である。もう1つは、プロファイルデータを主成分分析で少ない変数に縮約し、多変量管理図で時系列方向の変化をみる方法である。固有技術からプロファイルデータに対してモデルをある程度自然に構築できる場合、回帰分析を用いる方法は有効である。しかし、その構造が複雑な場合、主成分分析による方法が役に立つ。そこで、主成分分析によるプロファイルデータの解析法にターゲットを絞った。事例研究として、薄膜の特性である光透過率に対して主成分分析を用いる方法を適用したところ、第1主成分スコアと第2主成分スコアに関数関係が生じ、そのため多変量管理図による分析が有効でないという問題が存在していることがわかった。

② 第1主成分スコアと第2主成分スコア間に生じる関数関係問題について、数理的なアプローチにより、関係が生じるプロファイルデータの構造について研究を行った。構造の特徴として、

- ・解析する全プロファイルデータが複数の異質な集団から形成されていること、
- ・プロファイルデータに三角関数成分があり、異質性が  $x$  軸方向へのずれであること、

の2点が明らかになった。このような場合、主成分を変数変換して分析する必要があると考えられる。

③ 主成分分析は通常、相関係数行列や分散共分散行列に対して行われる。分散共分散行列に基づいたプロファイルデータの主成分分析は、データで構成した直交関数系による直交関数分解による近似と解釈できる。また、分散共分散行列はプロファイルの平均化した関数からのずれの情報を持っているため、分散共分散行列に基づく主成分分析は、平均化した関数に対する直交関数をデータから構成している。そう考えると、分散共分散行列を原点周りのモーメントからなる行列に基づく主成分分析はすべての直交関数を構成することになる。この方法で主成分分析を起している文献も存在する。しかし、分散共分散行列と原点周りのモーメントからなる行列との比較研究は行われていない。モンテ・カルロシミュレーションで性能を比較したところ、原点周りのモーメントからなる行列の方が安定的な結果を得た。特に、②で述べたデータ構造のとき、分散共分散行列のもの比べてよい安定性を示した。

④ 解析事例の結果と内在する問題の指摘については、品質管理学会にてワークショップ活動報告として発表した(5 [学会発表] の①)。主成分分析における分散共分散行列と原点回りのモーメント行列との比較は、査読付き国際学会にて報告した(5 [論文雑誌] の①)。

⑤ 主成分分析は多変量解析の中では広く一般的に知られた方法である。また、多くの統計解析ソフトウェアにも実装されている。②で指摘した問題を解決するために、更なる研究が必要であるが、解決されればプロファイルデータによる統計的工程管理がより簡単に行うことができると考えられる。

(3) 製造条件と品質特性との関係を調査するのに直交表を用いた効率的な実験が行われる。その際に生じる製造条件を示す変数間の組合せ効果(交互作用)の選択問題について研究した。

① 交互作用の選択において、交互作用の存在に対する経験則やそれに基づく指針はあるが、必ずしもそれらが正しいわけではない。交互作用の経験則には以下のようなものがある。

・多くの変数の組合せによる効果（高次の交互作用）よりも少ない変数の組合せによる効果（低次の交互作用）の方が、実験において存在する可能性が高い。

・変数 A と変数 B の組合せ効果（A と B の交互作用）が存在するとき、どちらか、または、両方の変数（A, B）の単独効果が存在する可能性が高い。

交互作用を選択する際、これらの経験則を参照しながら製造プロセス固有の知見から判断されてきた。本研究では、データからもこれらの経験則を当該実験において評価できる方法を研究した。

② ベイズ統計学からの観点、制約付きの最小二乗法（Lasso）からの観点から、この問題にアプローチし、比較研究を行った。

③ 5 の〔雑誌論文〕②、および、〔学会発表〕②、⑥ において、国内学会、国際学会にて成果を報告した。

④ 研究により解析技術としては構築できたが、詳しい性能については不十分な知見しか得られていない。今後、理論的なアプローチにより、正しいモデルの選択確率などの評価を行う必要がある。

## 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 3 件）

① Seiichi Yasui, Hidehisa Noguchi, A Study on the Analysis of Profile Data by Principal Components Analysis, Proceedings of ANQ2011, 査読有, 電子媒体, 2011.

② Hidehisa Noguchi, Yoshikazu Ojima, Seiichi Yasui, Bayesian Lasso with the Heredity Principle, Proceedings of ANQ2011, 査読有, 電子媒体, 2011.

③ Motohiro Yamazaki, Yoshikazu Ojima, Seiichi Yasui, Estimation of Variance Components in Unbalanced Nested Designs, Journal of Quality, 査読有, Vol. 17, 2011, pp. 469-482.

〔学会発表〕（計 7 件）

① 安井 清一, 多品種少量生産に対する工程管理に関するワークショップ活動報告, (社)日本品質管理学会 第 41 回年次大会 研究発表会, 2011 年 10 月 29 日, 名古屋.

② 野口英久, 尾島善一, 安井清一, Heredity Principle を考慮したベイジアン Lasso による変数選択, (社)日本品質管理学会 第 41 回年次大会 研究発表会, 2011 年 10 月 29 日, 名古屋.

③ 安井清一, 野口英久, 尾島善一, 線形トレンドを含むプロセスデータに対するロバストな変化点推定, (社)日本品質管理学会 第 40 回年次大会 研究発表会, 2010 年 10 月 30 日, 東京.

④ Seiichi Yasui, Hidehisa Noguchi, Yoshikazu Ojima, Statistical Analysis of the process for large data sets and some variation patterns, The Xth International Workshop on Intelligent Statistical Quality Control, 2010年8月20日, シアトル.

⑤ Yamasaki Motohiro, Yoshikazu Ojima, Seiichi Yasui, Estimation of Reproducibility in the Three-stage Unbalanced Nested Designs for the Precision Experiments, 7th Asian Network for Quality Congress Tokyo, 2009年9月17日, 東京.

⑥ Hidehisa Noguchi, Yoshikazu Ojima, Seiichi Yasui, Bayesian variable selection with effect heredity principle, European Network for Business and Industrial Statistics 9, 2009年9月21日, イエテボリ.

⑦ 安井清一, 山崎元大, 尾島善一, アンバランスな一元配置における分散成分の推定, (社)品質管理学会 第 39 回年次大会 研究発表会, 2009 年 10 月 31 日, 大阪.

## 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：90434026