

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 15 日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010 ～ 2011

課題番号：22710151

研究課題名（和文） 自己相関工程における統計的工程管理

研究課題名（英文） Statistical Process Control for Autocorrelated Processes

研究代表者

川村 大伸（KAWAMURA HIRONOBU）

東京理科大学・理工学部・助教

研究者番号：50548261

研究成果の概要（和文）：

従来の統計的工程管理では、観測値の独立性が前提となっている。したがって、本研究では、半導体製造工程のような自己相関がある工程に有効な統計的工程管理手法を提案した。具体的には、工程能力に基づく調節限界の設定方法を提案し、それを支援する同時モニタリング工程調節用管理図を開発した。また、管理特性としてプロセスレート、さらには過飽和計画における因子の割り付け方法の提案も行なった。

研究成果の概要（英文）：

Traditional statistical process control are applied for processes where data are independent and identically distributed (*i. i. d.*). Therefore, this research presented statistical process control methods for autocorrelated processes such as semiconductor manufacturing process. Specifically, this research proposed the determination of the adjustment timing on the basis of the process capability, and control charts combining information about the state of statistical control and process capability were also developed for the judgment of adjustment timing. In addition to that, the process rate as control characteristics was presented, and factor assignment for supersaturated designs was proposed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,800,000	540,000	2,340,000

研究分野：複合新領域

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：品質管理，統計的品質管理，統計的工程管理，管理図，工程能力，統計的制御，管理特性，実験計画法

1. 研究開始当初の背景

代表的な統計的工程管理手法は、工程能力

指数と管理図であり、SQC の黎明期から実工程において活用され、成果を挙げている。統

計的工程管理は、現在まで部品加工工程を中心として発展してきたという歴史的背景がある。このことから、化学プロセスに適した統計的工程管理のあり方については未だ体系化されていなく、化学プロセスに従事する技術者は苦心している。

化学プロセスに該当する半導体製造工程においても例外ではない。我々の当初の研究では、半導体製造工程を事例とし、化学プロセスにおけるどのような特徴が統計的工程管理の実施を阻害しているのかをインタビュー調査および実データの解析により明らかにし、その結果を基に統計的工程管理の指針を策定した。次に、指針に則り統計的工程管理を実施する際に直面する課題に対し、現在まで具体的な手法を提案してきた。

研究成果の一部は実用化に成功しているが、化学プロセスの代表的な特徴である自己相関に焦点を当てた研究成果は不十分な状態であった。

自己相関に焦点を当てた統計的工程管理の先行研究は多数存在する。しかし、前述したように、体系化がなされていないため、どの方法が有効であるのかの確証が持てないのが現状である。

2. 研究の目的

化学プロセスにおいてしばしば観測される自己相関の存在は、従来の統計的工程管理手法の活用を困難にしている。本研究の目的は、自己相関が存在する工程において有効な統計的工程管理を提案することである。

具体的には、以下の3つに凝縮される。

①調節限界の設定方法

従来の統計的工程管理手法は、観測値の独立性を仮定しているため、自己相関が存在する工程にはそのまま適用することができない。その対応策として、統計的制御を行ない、

観測値から自己相関を除去することが考えられる。

本研究では、調節限界を超えたときのみ工程調節を行なう統計的制御に着目し、新たな調節限界の設定方法を提案する。

②調整因子の選定

自己相関がある工程においては、製造品質向上のためにも統計的制御が有効である。統計的制御を効果的に働かせるためには、調整因子の選定が極めて重要になる。

品質特性との間に線形性がある調整因子が好ましいことから、本研究では、多数の因子から少ない実験回数で調整因子を絞り込むことができる3水準の過飽和計画に焦点を当て、因子の割り付け方法を研究する。

③モニタリングに有効な管理特性

通常は、結果系である品質特性が管理図にプロットされ、モニタリングされることが多い。しかしながら、従来の統計的工程管理では、工程調節が容認されていないため、工程調節がある工程における管理特性について、十分な検討がなされていない。

本研究では、先行研究で提案されている管理特性を比較検討しながら、新たな管理特性を提案する。

3. 研究の方法

2010年度は、主に工程能力指数に焦点を当て、文献調査や研究会での議論を通じて、新しく自己相関がある工程における工程能力指数の定義付けを行なった。また、得られた研究成果の学会発表等を積極的に行ない、工程能力指数について議論を行なった。

①工程能力に基づく調節限界の設定

調節限界を用いた工程調節において、損失関数ではなく、新しく定義した工程能力指数

に基づく調節限界の設定方法を提案した。

②同時モニタリング工程調節用管理図

工程能力に基づく調節限界を用いた統計的制御を支援する管理図として、工程能力と統計的管理状態の同時モニタリング工程調節用管理図を提案した。工程能力を評価するためには、工程が統計的管理状態にあることが前提条件となる。したがって、提案した管理図を用いることで、工程が統計的管理状態にあることを事前に確認した後で、調節限界を用いた制御が可能となる。

2011年度は、調節限界を用いた制御の精緻化、過飽和計画における調整因子の絞り込み、モニタリングのための管理特性について研究を行なった。また、2010年度から得られた研究成果を論文にまとめることに注力した。

①調節限界を用いた制御

2010年度に提案した同時モニタリング工程調節用管理図を用いた統計的制御を、半導体製造工程から得られた実データに適用した結果、制御式の不適が課題として残っていた。このことから、2011年度は、工程を時系列モデルでモデル化した後に、調節限界があるときの最適な制御式の導出を行なった。

②過飽和計画における調整因子の絞り込み

過飽和計画は、多数の因子から少数の因子を絞り込むスクリーニング実験に有用な計画である。過飽和計画は列間の直交性が保たれていないため、どの列に因子を割り付けるかが重要となる。本研究では、1次×1次の交互作用に着目した割り付け方法を提案し、非直交度の評価指標を用いて従来手法との比較検討を行なった。

③管理特性

本研究では、工程調節がある工程において有用な管理特性として、品質特性と調整因子の比であるプロセスレート^①を提案した。提案したプロセスレートの有用性を検証するため、半導体製造工程から得られたデータを用いたシミュレーションを行ない、先行研究で提案されている管理特性との比較検討を行なった。

また、半導体製造工程の実ラインにおいて、モニタリングの管理特性としてプロセスレートを試用することで、実用性の検討も行なった。

さらに、プロセスレートのメリットとして、多品種のデータを1枚の管理図にまとめてプロットすることが可能であることを検討した。

4. 研究成果

①工程能力に基づく調節限界の設定方法

本研究では、自己相関がある工程を評価できる、新たな工程能力指数を定義した後で、工程能力に基づく調節限界の設定方法を提案した。

先行研究において提案されているのは、損失関数に基づく調節限界の設定方法のみであり、実務ではコストの推定が難しい場面が多々あることから、提案法は応用上の価値が高いと考えられる。

また、工程の統計的管理状態と工程能力を同時に視覚的に判断できる、同時モニタリング工程調節用管理図の開発を行なった。

②過飽和計画における因子の割り付け

3水準過飽和計画を対象とし、1次×1次の交互作用に着目した割り付け方法を提案した。非直交度の評価指標を用いた結果、従来方法よりも考慮する因子が少ない場合には、有用な割り付け方法であることが明らかに

なった。

③管理特性としてのプロセスレート

本研究では、品質特性と調整因子の比であるプロセスレートを管理特性にすることを提案した。

半導体製造工程から得られたデータを基にしたシミュレーションの結果から、品質特性とプロセスレートの二つを管理特性にすることが有用であることが明らかになった。

プロセスレートは多品種のデータを1枚の管理図にプロットすることが可能になることから、管理特性を1つに絞るならば、プロセスレートが有用であると結論付けた。

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)

- ① Kawamura, H., Nishina, K., Higashide, M. and Suzuki, T. (2012): “Control Characteristics: a case study on semiconductor manufacturing”, Asian Journal on Quality, 査読有 (accepted for publication).
- ② Kawamura, H., Nishina, K. and Suzuki, T. (2012): “Process Adjustment Control Chart for Simultaneous Monitoring of Process Capability and State of Statistical Control”, Frontiers in Statistical Quality Control, 査読有, Vol.10 (accepted for publication).
- ③ 川村大伸 (2012): “文献紹介「Automated Process Adjustments of Chip Cutting Operations using Neural Network and Statistical Approaches」”, 品質, 査読無, Vol.42, No.1, 59-59.

- ④ Kawamura, H., Nishina, K., Higashide, M. and Suzuki, T. (2011): “Application of Q charts for Short Run Autocorrelated Data”, Proceedings of 2011 Asian Conference of Management Science & Applications, 査読有, 1086-1092.
- ⑤ Kawamura, H., Takada, K. and Suzuki, T. (2011): “Factor Assignment for Three-Level Supersaturated Design”, Proceedings of the IIE Asian Conference 2011, 査読有, 507-513.
- ⑥ 川村大伸 (2011): “文献紹介「The Change Point Model: SPC Method for Short Run Autocorrelated Data」”, 品質, 査読無, Vol.41, No.1, 43-43.

[学会発表] (計3件)

- ① 堀井一石, 鈴木知道, 川村大伸: “調節限界を用いた統計的制御に関する研究”, 日本品質管理学会第96回研究発表会, 2011年8月11日, 名古屋工業大学.
- ② 川村大伸, 仁科健, 鈴木知道: “使える管理図にするにはどうするか?—統計的管理状態の拡張—”, クオリティフォーラム2010, 2010年11月12日, 日本教育会館.
- ③ 川村大伸, 仁科健, 鈴木知道: “工程能力と統計的管理状態の同時モニタリング工程調節用管理図”, 日本経営工学会平成22年度秋季研究大会, 2010年10月24日, 福岡工業大学.

6. 研究組織

(1)研究代表者

川村 大伸 (KAWAMURA HIRONOBU)
東京理科大学・理工学部・助教
研究者番号: 50548261