

平成 26 年 7 月 31 日現在

機関番号：62603

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24710177

研究課題名(和文) ロバストパラメータ設計における統計数理的方法論の開発

研究課題名(英文) Statistical Modeling Approach to Robust Parameter Design

研究代表者

河村 敏彦 (Kawamura, Toshihiko)

統計数理研究所・データ科学・助教

研究者番号：70435494

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円、(間接経費) 480,000円

研究成果の概要(和文)：ロバストパラメータ設計は使用環境条件などの誤差因子に対してロバストになるように制御因子を設計することにより、特性のばらつきを低減させる方法である。本論文では動特性のパラメータ設計に対する統計的モデリングアプローチおよび探索的設計による最適化手法を提案する。特性に対し制御因子と誤差因子の2次モデルを想定し切片のある比例式に基づく統計モデルを構築する。これにより従来の動特性に対するSN比解析を拡張し最適化を行った。さらに降雪地域用タイヤの発泡ゴムの実験の事例を用いて、その方法論の有効性を検証した。

研究成果の概要(英文)：Robust parameter design aims to make the signal-response relationship insensitive to noise variation by enabling the choice of appropriate levels for the control factors. This article presents a statistical modeling methodology and an exploratory design approach to dynamic parameter design. The response is modeled as a second order of both the control and noise factors. A statistical formulation is presented for a practical optimization of Taguchi's dynamic signal-to-ratio analysis. The modeling methodology is illustrated using an experiment involving foam rubber in tires designed for snowy conditions.

研究分野：品質管理

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学

キーワード：品質管理 統計工学

1. 研究開始当初の背景

第2次大戦後、産業界ではDeming博士の本格的な品質管理指導のもとでSQC/TQC/TQMへと進化させ、主に製造品質向上に貢献したことは歴史的事実であろう。特に、田口玄一博士による線点図を用いた直交表実験が実験計画法の普及に大きな役割を果たしたことは言うまでもない。

一方、田口は1980年代に製品の設計品質向上のための方法論としてSN比解析をコアとするロバストパラメータ設計を構築した。これはバラツキの原因となる誤差因子を制御するのではなく、設計に有効な制御因子と誤差因子の交互作用を見つけることにより誤差因子の影響を減衰させようとするものである。

近年、欧米の研究者を中心に従来のSN比解析の限界が報告され、新たな方法論として統計モデルアプローチに基づく応答モデリング(Response Modeling)が提案された。これは誤差因子を単なる繰り返しとせず、制御因子と誤差因子特性を特性の関数として問題構造を認識する統計的方法論である。

これに関する研究成果としてWuらはマルチプルターゲット(2002)、フィードフォワード制御(2003)、フィードバック制御(2006)、計測システム(2010)に対するパラメータ設計の方法論を国際的な一流誌に次々と発表している。

申請者は2011年に乗法モデルに基づく計測システムへ拡張を試みた。しかしながら、現在の我が国の統計的品質管理およびロバストパラメータ設計の方法論に関する研究レベルは10年以上、欧米の研究に比べ後れているといっても過言ではない。

このような学術的背景から従来のSN比解析の枠組みを超えた理論を構築するため、統計的方法、さらに数理計画法を用いた探索的設計に着目した方法論の体系化は喫緊の課題である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、製品の設計開発段階における品質を保証し信頼性を向上させるために新たな科学的な管理手法および技術的方法論の開発を行うことである。

具体的には、ロバストパラメータ設計における既存の理論を多水準系の誤差因子間の交互作用を考慮した2次モデルに拡張し新たな「統計モデルアプローチ」を構築する。モデル選択後の設計に関しては、数理計画法に基づく「探索的設計法による最適化」を提案する。さらにそれらの理論を実装した統計モデル・最適化を統合したソフトウェアを開発する。

3. 研究の方法

平成24年度は、ロバストパラメータ設計における問題の抽出と整理を行い、既存の理論を拡張した新たな統計的方法論の開発を中心に行った。平成25年度は統計的モデリングをベースに実データ解析を試みた。さらに、数理計画法に基づく探索的設計法に最適化を構築し有効性を検証した。これらを実装した統計モデル・最適化のためのソフトウェアを開発した。

4. 研究成果

応募者は、これまで主に「ロバストパラメータ設計における統計数理的方法論の開発」を行ってきた。その研究成果として、2006年に品質管理学会誌に「比例式モデルに基づく新たなSN比の提案とその応用」(第35年度日本品質管理学会研究奨励賞)が掲載され、パフォーマンス測度であるSN比の理論的研究に取り組んだ。2014年には、それらを非対称べき損失関数に基づいて一般化した論文

“Performance measures for Asymmetric power loss function”がComm. Statist. Theory Methodsに掲載予定である。

ロバストパラメータ設計の理論はベル研究所のLeonら(1987)によって提案されたPerMIAに基づいて体系化された。

本論文では、統計モデルを仮定せず、「平均」「乖離」パートに関連するモーメント条件とその平均損失最小化による2段階設計法の最適性の特徴づけを行い、一般化SN比を導出できることを示している。ここでは、一般的な2乗損失関数のような対称ではなく非対称損失関数に基づいたパラメータ設計を論じている。これらは統計的には尺度を記述する変数変換の一般型を示しており、Box, G. E. P.らによって提案されたBox-Coxのべき変換との類似性も興味深い。非対称べき損失関数から導出されるパフォーマンス測度は算術平均と調和平均の比で表現され、実務的にも扱いやすい評価測度となっている。また非対称損失関数を用いる理由の一つとして望小(望大)特性のSN比の導出過程も明確であることがあげられるだろう。

研究論文：

河村敏彦；高橋武則（2013）“動特性のパラメータ設計に対する統計的モデリングと最適化”，品質，Vol. 43, No. 3, 102-109.

田口玄一博士により創設されたロバストパラメータ設計は1980年後半ベル研における「256Kマイクロプロセッサにおける2ミクロンの穴の寸法バラツキを削減」の成功により世界的に知られるようになった。その後、20世紀を代表する統計学者G. E. P. BoxやC. F. Jeff Wuらによる方法論の理論体系がなされた。

本研究では、既存の理論を拡張し、ロバストパラメータ設計における新たな方法論を開発することである。SN比解析では、制御因子の幅をできるだけ広くとることが推奨されている。その場合には、内側において積項や2次項を有する2次モデルがしばしば必要となる。しかし、SN比による解析では常に1次モデルに限定するため、モデルのあてはまりの悪さの影響で再現性が確保できなくなってしまう。このような場合には、Wuらの応

答モデリングを拡張した「平均・乖離・純誤差分離した統計モデル」を扱うことで情報損失を最小限にしたより精緻な最適設計が可能である。

動特性のパラメータ設計では、システムの入出力関係を切片のある比例式ないしはゼロ点比例式を想定したSN比解析が行われきた。しかしSN比解析では、SN比と感度に対する要因効果図を描き、それに基づいて最適条件を決定する。このとき、2段階設計法を用いて最適化が行われるが調整因子が存在しないことが多い。その場合には調整因子に該当するものはなく、最適条件はSN比最大と感度最大の条件を按分し暗黙的に採用される。

本研究では数理計画法に基づく「探索的設計法による最適化」を提案した。これにより、2段階設計法(単一最適化問題)だけでなくマルチプルターゲットシステムに拡張が可能であり、多特性問題を含む柔軟な最適化の行うことができる。

SN比解析における最適化は暗黙知レベルで行われているのに対し、本研究では統計的モデリングにより問題構造を認識し、数理計画法に基づいた形式知レベルで量的制御因子の水準選択が可能となった。

著書：

河村敏彦；高橋武則(2013)『統計モデルによるロバストパラメータ設計』，日科技連出版社。(全224頁)，(2013年度日経品質管理文献賞受賞)。

ロバストパラメータ設計の目的は誤差因子を意図的に設定し、設計パラメータ(制御因子)と誤差因子の有効な交互作用を見つけ、その制御因子の水準選択によって特性ないしは機能のばらつきを低減させることである。Fisher流実験計画法では平均の変化に興味があり、パラメータ設計では乖離の減衰を第一義とする。

本書ではその目的を達するために通常の SN 比解析に加え統計的モデリングアプローチを大きく 2 つに分けて紹介した.

(i) 平均(Location)&ばらつき(Dispersion)モデリング (L&D Modeling)

(ii) 応答関数モデリング (RFM : Response Function Modeling)

(i) は直積実験データに対し誤差因子を単なる繰り返しとみなし平均と分散を計算する. これをあらためて特性値とみなし, それぞれ制御因子の関数として同時要因解析を行う方法である. ここでばらつきの測度として他に SN 比などの要約統計量も考えられる. 一般に 2 段階設計法においてばらつきの測度として何を採用するかは, それと独立な調整因子の存在 (PerMIA 条件) に依存する. (i) は簡便的で有効な方法であるが, 同時に 2 つの特性に縮約しているため個別の誤差因子の効果はわからない.

(ii) は特性を内側直交表に割り付けた制御因子とその外側の誤差因子の関数で表現しモデリングを行う方法である. この方法は複数の誤差因子が存在するときその個々の効果が詳細に認識できることがメリットである. 応答関数モデリングは誤差因子を考慮した特性の平均構造に着目する.

すなわち, 誤差因子の水準に対応したダミー変数を用いて平均の水準間の差を乖離 (効果) とみなし, それを減衰することを目的とする. モデリングアプローチでは制御因子の変数選択を行う.

SN 比解析では制御因子の要因の効果を把握するために要因効果図によって相対的評価する. これは分散分析における p 値の判定と同じことを視覚的に行っている. ただし, SN 比の効果が大小にかかわらず, 調整に使う因子を除き全因子を用いて SN 比最大条件を最適解とする. また混合系直交表を用いることで, 制御因子間の交互作用をもたない主効果のみのシンプルなモデルを採用する. これ

も変数選択の一つの指針である. 変数選択後は「モデル式にもとづく非線型計画問題」とみなし最適化を行う. これにより誤差因子の乖離を減衰し, 目標値に近づけるといふ統計モデルを通じた 2 段階設計が可能となった.

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 3 件)

[1] Kawamura, T. and Motoyama, H. (2014) Performance measures for asymmetric power loss function. *Comm. Statist. Theory Methods*, (accepted).

[2] 河村敏彦; 高橋武則 (2013) “動特性のパラメータ設計に対する統計的モデリングと最適化”, *品質*, Vol. 43, No. 3, 102-109.

[3] 高橋武則; 河村敏彦 (2013) “非線型システムに対するロバストパラメータ設計”, *品質*, Vol. 43, No. 2, 85-93.

[図書] (計 1 件)

河村敏彦; 高橋武則 (2013) 『統計モデルによるロバストパラメータ設計』, 日科技連出版社. (全 224 頁), (2013 年度日経品質管理文献賞受賞).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河村敏彦 (KAWAMURA Toshihiko)

統計数理研究所・データ科学研究系・助教
研究者番号 : 70435494