

様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成23年 5月17日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2007～2009

課題番号：19201029

研究課題名(和文) 品質工学(タグチメソッド)の理論と応用に関する学術的研究

研究課題名(英文) Theoretical studies on Taguchi methods and their applications

研究代表者

田中 研太郎 (TANAKA KENTARO)

東京工業大学・社会理工学研究科・助教

研究者番号：00376948

研究成果の概要(和文)：

本研究では、日本発のマネジメント・オブ・テクノロジーである品質工学(タグチメソッド)を数理的側面から捉え直し、定式化して普遍化していくことで、発展させやすいものに整理していくことを目指し、「SN比の統計的推測」、「直交表実験の計画と解析」、「オンライン品質管理」、「MTシステムの理論研究」の4つのテーマに分けて研究を行った。それぞれについて、「改良型T法の提案」、「変化点による工程診断」、「異常値検出のためのMTシステム」、「過飽和実験計画の構成」などの研究成果を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：

In this research, we investigated the mathematical aspects of Taguchi method. Especially, we studied on the following four topics: i) statistical inference of SN ratio, ii) analysis of orthogonal array, iii) online quality control, iv) theoretical analysis of MT system. As a result, we obtained some new results: an improved version of T method, a new method for diagnosis of process by change-point detection, an application of MT system for outlier detection, a new method for supersaturated designs, and so on.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
2008年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2009年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2010年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
年度			
総計	25,100,000	7,530,000	32,630,000

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

1. 研究開始当初の背景

日本発のマネジメント・オブ・テクノロジーである品質工学（タグチメソッド）は、戦後の日本製品の品質化に寄与しただけでなく、1980年代以降は米国の自動車産業をはじめ世界中の製造業の研究開発と生産技術の効率改善に多大な貢献を果たした。そのタグチメソッドが今、危機に直面している。タグチメソッドは提案者である田口玄一氏がほぼ独力で半世紀をかけて築きあげた方法論であるが、今年になって田口氏が体調を壊され研究の第一線から退かされている。（財）日本規格協会から刊行されている月刊誌「標準化と品質管理」には1985年からタグチメソッドに関する田口氏による解説記事が20年以上にわたり連載されてきたのであるが、その連載が本年6月をもって中断されていることは誠に残念である。

2. 研究の目的

タグチメソッドには田口氏の独創によって構築された多くの斬新な考え方が含まれている。一方で、実験計画法や多変量解析という統計理論に立脚する数理的要素がその根幹にある。本研究の目的は、この数理的部分に基づきながら、同時に田口氏独自の考え方を従来と異なる視点から定式化し普遍化することで、この偉大な方法論を伝承し発展させることである。従来の統計数理の枠組みを超えた新たな視点でタグチメソッドを「精緻化」「多次元化」そして「統一化」することが本研究の特色である。

3. 研究の方法

本研究は、(社)日本品質管理学会テクノメトリックス研究会を母体に進められた。この研究会は1995年に発足して以来、年に4回（1回1日6時間）の土曜日開催で行われ、これまでに多くの成果を挙げてきている。たとえば、1999年に研究会名で刊行した専門書『グラフィカルモデリングの実際』はその年の日経品質管理文献賞を受賞するなど高い評価を受けている。歴代の主査である、宮川、永田、仁科、山田、そして中西はいずれも本研究の研究組織に加わっている。

研究目的に記述したように、タグチメソッドはオフライン品質管理、オンライン品質管理、MTシステムに大別される。本研究ではこのうちのオフライン品質管理を、主にSN比に関する研究と、主に直交表実験に代表される一部実施計画に関する研究とに分け、4つの研究チームを編成して研究を遂行した。

各チームにはリーダーを設け、研究の進捗管理を行った。

4. 研究成果

本研究では研究テーマを「SN比の統計的推測」、「直交表実験の計画と解析」、「オンライン品質管理」、「MTシステムの理論研究」の4つに分けて研究を行っており、それぞれについて以下の成果を得ることができた。

(1) SN比の統計的推測

表記のテーマについて、数多くの研究を行った。本報告では、それらの中から3つの研究成果について記載する。

a) タグチのRT法で用いる距離の性質とその改良（永田・土居(2009)）

RT法は、田口玄一が開発したMTシステムの一連の手法の中の1つであり、多次元の情報をSN比と感度の2次元に要約して異常値検出を行うものである。MTシステムの中で一番新しい手法であり、その理論的性質は明らかにされていなかった。本研究では、RT法の理論的な欠陥を明らかにし、それを改良する方法を提案している。

b) 工程能力指数の統計的推測（永田(2010)）

工程能力指数は我が国の企業で考案された品質管理の分野でよく用いられる指標であり、いまや世界中の企業で用いられている。研究論文も多数発表されているが、我が国の研究者は多くない。工程能力指数は、あまり意識されていないが、典型的なSN比の形になっており、SN比の観点から研究を行うことができる。本稿では、工程能力指数の統計的推測についての総合的なレビューを行い、また、これまでの研究の精密化を行い、さらに、今後の方向性を示している。

c) ブートストラップによる等SN比性の検定（田中・宮川(2009)）

本研究では、複数の測定器のSN比の違いを検定する方法を論じている。この種の手法の開発は応用上重要なテーマであり、これまでも本研究グループを中心にして行われてきた。その中で、本研究の特色は、質的信号・量的特性のデータタイプに対して、分散が異なる場合のSN比をHellinger距離により定義し、その等SN比性の検定をブートストラップ法を用いて実現する点である。本研究は今後も拡張が期待される内容である。

(2) 直交表実験の計画と解析

タグチメソッドの根幹の一つは、直交表を活用したパラメータ設計であり、直交表を用いた実験計画を構成し、要因効果に関する解析等の後、頑健な条件を導き出す。このことから、要因効果の解析方法や、実験計画の構成など

について検討を実施した。

a) 入出力が2値データで測定されている場合には、要因効果の検討が困難になる点に着目し、Aoki, S. and Miyakawa, M. (2009), 青木敏, 宮川雅巳(2007)では統計的な検定方法を与えている。具体的には、タグチメソッドで提唱されている標準 SN 比に基づく解析では標本数が適切に考慮されていない点を指摘し、十分統計量に基づく検定方法を構成している。

b) Chatsirungruang, P. and Miyakawa, M. (2010)では、直交表実験によるロバストパラメータ設計について、特性が何らかの計算式で表される場合に、GA(遺伝的アルゴリズム)を適用すると、直交表実験の場合よりもロバストなパラメータが見つけれられるということを数値的に示している。

c) 直交表の構成に関連する研究として、山田(2009)は田口が提唱した直交表を活用した確率対応法の性質の性質を導き、Niki, N., Iwata, M., Hashiguchi, H. and Yamada, S. (2010, 投稿中)では直交表の列数を拡張した過飽和実験計画の構成をし、Yamada, S. (2010)では直交表に基づくパラメータ設計も含め、コンピュータ上で実施される実験データの解析に関する指針を示している。

(3) オンライン品質管理

オンライン品質管理は、検査項目や検査調整のタイミングを定める検査計画、検査結果から工程の異常を検出する工程診断、異常がある場合の調整方法を定める工程調整の3つの方法論からなる。これについて、本研究では、以下の3つの方法論の研究を行った。

a) 関(2009)と関・川連(2010)において、工程からの観測特性に仮定される多変量確率分布に基づいた、工程状態母数の変化点についての工程診断方法について提案した。

b) 河村・仁科・東出・嶋津(2008)と仁科(2009)において、中間特性を含む観測特性と調整パラメータとの間の因果モデルに基づく工程調整方法について提案した。

c) 来島・穴太(2009)と来島(2010)において、各種コストを考慮した検査計画の立案のための最適停止問題において理論的解析を行った。

(4) MTシステムの理論研究

MTシステムはタグチメソッドの中でも比較的新しく、未だ、その利用方法は不安定であり、確固たる定式化はなされていない。しばしば比較される古典的な判別分析との相違についても理解が十分でないまま、いくつかの適応事例が示されている。

a) この背景を受け、MTシステムの定式化の意味において、中西(2009)はMTシステムと判別分析の相違についてまとめた。ここ

では、異常値判定の観点で議論がなされている。

b) MTシステムにはいくつかの理論的欠陥がある。そのため、一部のユーザーが間違った適用をし、混乱が起こっている。この一つの解決策として、多重共線性への対策案(宮川・永田(2003))の内容を発展させ、永田・久富(2008)が「項目数が $n-1$ 以上の場合」について研究をまとめた。また、MTシステムの第1種の距離の利用についても提言した。

c) 最後に、離散変量と連続変量が混在する場合のMTシステムについて理論的な提案が中西・加藤(2008)によりなされた。さらに実際のな応用についてもまとめられている。

MTシステムで要となる単位空間をデータの変量の様相からどのように設定するか手法の有効性が決められる。このため、今後もユーザーの混乱が招かれないよう整理をしていく必要があると考える。

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 26 件、以下抜粋)

- (1) INOUE, H and YAMAMADA, S., Application of process FMEA as a performance Improvement tool in pharmaceutical research, International Journal of Quality and Service Sciences, Vol. 2, 2, in printing, 2010、有
- (2) 来島愛子, 穴太克則, Full-information duration problem and its generalizations, 京大数理解析研究所講究録「不確実・不確定性下での意思決定過程」、50~54、2010、有
- (3) S. Aoki, Some optimal criteria of model-robustness for two-level non-regular fractional factorial designs, Annals of the Institute of Statistical Mathematics, 62, pp. 699~716、2010、有
- (4) Kentaro Tanaka, Strong Consistency of the Maximum Likelihood Estimator for Finite Mixtures of Location-Scale Distributions When Penalty is Imposed on the Ratios of the Scale Parameters, Scandinavian Journal of Statistics, Vol. 37, pp. 171~184、2009、有
- (5) Chatsirungruang, P. , Miyakawa, M. , Application of Genetic Algorithm to Numerical Experiment in Robust

Parameter Design for Signal Multi-response problem, International Journal of Management Science and Engineering Management, Vol. 4, No. 1, pp. 49~59, 2009, 有

- (6) 土居大地、永田靖、田口の RT 法で用いる距離の性質とその改良、日本品質管理学会、39 巻、pp.364~375、2009、有
- (7) 永田靖、久富剛、項目数が $n-1$ 以上の場合の MT システムの第 1 種の距離、日本品質管理学会、38 巻、pp. 142~146、2008、有
- (8) 中西寛子、加藤貴一、離散変量と連続変量が混在する場合のマハラノビス・タグチ・システム、成蹊大学経済学部論集、39 巻 1 号、pp. 85~102、2008、無
- (9) 関田隆一、山田秀、システム安全の視点による事故データの定量分析、信頼性、30 巻 3 号、pp. 294~304、2008、有
- (10) 吉野睦、近藤総、仁科健、シミュレーションモデルの合わせ込みにおける実験計画法の活用、品質、Vol. 38, No. 2, pp. 92~98、2008、有
- (11) 川村大伸、仁科健、東出政信、嶋津康治、半導体ウエーハ処理工程における SPC と APC の融合、品質、Vol. 38, No. 3, pp. 99~107、有
- (12) 宮川雅巳、田中研太郎、2 値信号と対応のある量的反応における等 SN 比性の検定、品質、Vol. 37, No. 2, pp. 49~57、2007、有

[学会発表] (計 48 件、以下抜粋)

- (1) 関庸一、川連峻幸、単位空間が変化する時系列データに対する MT 法、日本品質工学会第 40 回年次大会、2010 年 10 月 30 日、成城大学
- (2) 来島愛子、Best choice problem with distribution change in value、オペレーションズ・リサーチ学会研究グループ「不確実環境下での柔構造最適化モデリング」、2010 年 8 月 29 日、千葉大学
- (3) Ken Nishina、Intergration of SPC and APC in Semiconductor Manufacturing Process、International Symposium on Business and Industrial Statistics、2010 年 7 月 7 日、Portorose, Slovenia
- (4) S. Aoki、Some optimal criteria of model-robustness for two-level non-regular fractional factorial designs、The Second CREST-SBM International Conference, Harmony of Groebner Bases and the Modern Industrial Society、2010 年 6 月 28 日~7 月 2 日、大阪

- (5) 永田靖、工程能力指数の統計的推測、応用統計学会(特別講演)、2010 年 5 月 20 日、統計数理研究所
- (6) Aiko Kurushima, Katsunori Ano、Full-information shelf life problem、INFORMS Annual Meeting 2009、2009 年 10 月 14 日、San Diego, USA
- (7) 田中研太郎、測定機器の性能比較のための等 SN 比性の検定、研究集会「タグチメソッドの理論と応用」、2009 年 9 月 19 日、成蹊大学
- (8) 中西寛子、MT システムと判別分析の比較、科研費シンポジウム、2009 年 9 月 19 日、成蹊大学
- (9) 関庸一、オンラインコントロール問題の構造、研究集会「タグチメソッドの理論と応用」、2009 年 9 月 19 日、成蹊大学
- (10) 山田秀、2 値入出力系に対する多因子要因効果の検定、研究集会「タグチメソッドの理論と応用」、2009 年 9 月 19 日、成蹊大学
- (11) 仁科健、シミュレーション実験におけるタグチメソッドの応用、研究集会「タグチメソッドの理論と応用」、2009 年 9 月 19 日、成蹊大学
- (12) 青木敏、ロバストな non-regular design の設計、2009 年度統計関連学会連合連合大会、2009 年 9 月 7 日、同志社大学
- (13) 土居大地、永田靖、タグチの RT で用いる距離の性質とその改良、日本品質管理学会、2009 年 5 月 31 日、日本科学技術連盟

[図書] (計 10 件)

- (1) 永田靖(日本品質管理学会中部支部産学連携研究会編)、日本規格協会、開発設計における“Qの確保”、2010、253
- (2) 仁科健、日本規格協会、開発・設計における“Qの確保”、2010、141~159
- (3) 永田靖、朝倉書店、統計的品質管理、2009、200
- (4) 永田靖、山田秀、日科技連出版社、新版品質保証ガイドブック、2009、1229
- (5) 芳賀敏郎、永田靖、日科技連出版社、データ解析に役立つ Excel 関数、2009、188
- (6) 仁科健、朝倉書店、統計的工程管理、2009、148
- (7) 宮川雅巳、日本規格協会、SQC の基本—問題の発見と解決の科学、2008、115
- (8) 杉山高一、藤越康祝、杉浦成昭、国友直人編、朝倉書店、統計データ科学事典(永田靖の分担執筆項目:多重比較法概論、ボンフェローニの方法とその拡張、1元配置における多重比較法:6頁分)、2007、774

- (9) TSUBAKI, H、NISHINA, K、YAMADA, S、
Springer, Tokyo、The grammar of
technology development、2007、153～151
- (10) Ken Nishina、John
Wiley&Sons, Ltd, Chichester, Uk、
Encyclopedia of Statistics in Quality
and Reliability (Sampling in
Implementation of Statistical Process.
Control)、2007、1723～1729

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 研太郎 (TANAKA KENTARO)
東京工業大学・大学院社会理工学研究科・助教
研究者番号：00376948

(2) 研究分担者

永田 靖 (NAGATA YASUSHI)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号：30198337

中西 寛子 (NAKANISHI HIROKO)
成蹊大学・経済学部・教授
研究者番号：60207834

関 庸一 (SEKI YOICHI)
群馬大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：90196949

山田 秀 (YAMADA SYU)
筑波大学・ビジネス科学研究科・教授
研究者番号：60260965

仁科 健 (NISHINA KEN)
名古屋工業大学・工学研究科・教授
研究者番号：60115681

青木 敏 (AOKI SATOSHI)
鹿児島大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：90332618

来島 愛子 (KURUSHIMA AIKO)
上智大学・経済学部・助教
研究者番号：30408728

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

宮川 雅巳 (MIYAKAWA MASAMI)
東京工業大学・大学院社会理工学研究科・教授
研究者番号：90157595