

機関番号：12102  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20510127  
 研究課題名（和文）デジタルエンジニアリングのための統計的品質管理手法の体系化とその活用  
 研究課題名（英文）Systemization and application of statistical quality control methods for digital engineering  
 研究代表者  
 山田 秀（YAMADA SHU）  
 筑波大学・大学院ビジネス科学研究科・教授  
 研究者番号：60260965

研究成果の概要（和文）：本研究では、デジタルエンジニアリングにおける統計的品質管理手法の体系化に向け、コンピュータシミュレーションモデルの検証、過飽和実験計画の構成、多数因子の選別、複雑な応答関数の最適化について実験計画法を中心に検討を行った。またこれらを中心とする研究を中核に、研究開発段階におけるプロセス改善技法、品質測定モデルの構築、市場不具合防止活動、デザインレビュー項目設定などの適用について検討し成果を導いた。

研究成果の概要（英文）：This research has obtains approach for validating of computer simulation modeling, constructing supersaturated design, screening factors and approximating complicated functions in order to systemize techniques of statistical quality control in digital engineering. The results are applied in some practical problems, such that process improvement techniques in research and development stage, construction of quality evaluation model, prevention of defect after market release, exploration of design review viewpoints.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究代表者の専門分野：品質管理，統計的品質管理手法，実験計画法  
 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，実験計画法，統計数学，設計の手法，問題解決，テキストマイニング，  
**FMEA**

#### 1. 研究開始当初の背景

近年の技術開発，設計，生産段階では，高品質化，高安全性の追求，開発のスピードアップ，コスト削減等のために，デジタルエンジニアリングが多大な貢献をしている。デジタルエンジニアリングとは各企業，分野によって若干意味合いの違いはあるものの，

コンピュータシミュレーションを中核として，要求探索，技術開発，設計，生産，提供にかかわる情報をデジタル化し，それに基づいて各種の効率的な処理を狙いとしているという点では一致している。

ところで，管理図，実験計画法，工程能力分析，タグチメソッドなどの統計的品質管理手法は，基礎的な品質の保証だけでなく，高度

な技術開発、設計、生産などに多大な貢献をしている。これらの統計的品質管理手法は、母集団から誤差を伴って観察された少数の標本を統計的推測理論に基づいて解析する。この点が今回の研究課題を考えるきっかけである。すなわち、統計的品質管理手法が確率変動する誤差に対応するべく整備されたものであるのに対し、デジタルエンジニアリングの現場で収集されるデータの多くの場合には、確率的に変動する誤差が存在しない、あるいは、全数検査を実施するので統計的な推測が実質的に意味を持たない点である。

## 2. 研究の目的

今回の研究では、デジタルエンジニアリングの現場において、実験計画法のみならず統計的品質管理手法全般をどのように適用するかを考える。すなわち、以前の研究がコンピュータシミュレーションを対象に、実験計画法の適用のみを考えていたのに対し、本研究では、実験計画法だけでなく種々の統計的品質管理手法について、コンピュータシミュレーションだけでなくデジタルエンジニアリングという広い立場から体系化する。

## 3. 研究の方法

今回の研究では、次の(1)、(2)、(3)に分けて研究を進めている。

### (1) コンピュータシミュレーションのための実験計画法の開発

今までコンピュータシミュレーションにおける実験計画法の体系化について研究しており、それを発展させる。この中では、開発中シミュレータの検証、多数因子の選別、複雑な関数の近似による最適化の重要性が示されている。これらの3つの側面から、事例、方法の充実を以前の研究に引き続いて行う。

### (2) デジタルエンジニアリングに対する統計的品質管理手法の適用方法の開発

コンピュータシミュレーションに対する実験計画法の適用だけでなく、デジタルエンジニアリングにおいて統計的品質管理手法の開発が必要な場合を明確にする。その一例としては、生産現場において全数データを収集して、統計的推測が実質的に意味を持たない場合に管理図をどのように適用し、工程の安定性をどう判定するか挙げられる。このようにデジタルエンジニアリングでは統計的品質管理手法を工夫して適用する必要がある状況を明確にし、そのための方法を提案する。

### (3) 統計的品質管理手法の体系化

デジタルエンジニアリング全般は、要求

探索、技術開発、設計、生産、提供という広い段階を対象としている。これらのデジタルエンジニアリングの適用段階ごとに、どのような手法の適用が有効であるか、また、適用には従来の統計的推測を前提とした場合に比べてどのような工夫や改訂が必要になるかを、体系的に整理する。この体系化の方向としては、問題解決 QC ストーリーやシックスシグマにおける DMAIC において、それぞれのステップでどのような手法が効果的か、またどのような注意事項があるかをまとめたものを参考にする。

## 4. 研究成果

(1) コンピュータシミュレーションのための実験計画法の開発に関連し、コンピュータシミュレーションに対して実験計画法が効果的なのは主に下記の段階である。

- i) 開発途中のシミュレーションモデルの妥当性検証(validation)
- ii) 多数の因子から重要な少数因子の絞り込み
- iii) 複雑な応答関数を少数因子の近似関数で表現

その中では、i)少数データを導入した分割実験による検証方法、計算パラメータに基づく調整方法、ii)過飽和実験計画の応用と F 統計量による解析方法、(iii)について一様計画と動径基底関数(Radial Basis Function)による解析法などを示している。このような背景を考慮し、デジタルエンジニアリングにおける統計的品質管理手法の体系化に向け、コンピュータシミュレーションモデルの検証、過飽和実験計画の構成、多数因子の選別、複雑な応答関数の最適化に関して実験計画法を中心に検討を行った。理論面では、MCMC など数値的なアプローチを導入している。理論的解明だけでなく、実施例の検討も行った。その中では、列間の従属性を抑えながら効率的に計画を構成する方法や、確立対応法などによる過飽和実験データの解析法も含まれる。これらの成果は、下記研究成果欄にある Yamada (2010)などにまとめられている。

(2) コンピュータシミュレーションにおいては、通常の実験に加えて因子数が膨大なものになるため、コンピュータ上でのシミュレーション計算であってもその実施が困難となる。さらに、実際に影響を与えている因子は少数であるため、特性や応答に対して有効な因子を選別する必要がある。過飽和計画はこのようなコンピュータシミュレーション実験に適した計画であり、特に、開発初期段階での有効な少数因子を特定するのに有効である。この点から、Niki, N., Iwata, M.,

Hashiguchi, H. and Yamada, S. (2011)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ている。この中では、数量化理論Ⅲ類の理論を応用した効率のよい実験計画の構成方法を示している。

また、大野、橋口、山田(2011)では、混合水準過飽和計画の構成問題を扱っている。この中では第一ステップとして、列間の非直交度を最小化するように乱択によって列追加を行うことで初期計画を生成し、第二ステップとして、得られた初期計画の列の要素を入れ替えることで直交性の改善を行うという二段階最適化法の提案をしている。この二段階最適化法の性能を評価するため、複数の論文で有用性が示されている既存の構成法との比較をしている。種々の評価を実施した結果、比較実験した全ての場合において、既存の構成法と同等かもしくはより良い計画が得られることを示し、二段階最適化法の有用性を示している。

さらにこれらの研究と、タグチメソッドとして用いられている確率対応法との比較も行っている。田口の確率対応法での計画構成は、直交行列の行を入れかえた行列を元の直交行列に加えるというものであり、これは過飽和実験計画の行の入替えという構成法を用いている。すなわち直交行列の行を入れ替えるという構成法を用いていた。このアプローチは、行の直交性という意味で好ましい性質を与えるので、好ましい性質が期待できる。また殆ど直交表が伊奈の作として示されていて、これは先のように行の入替えで構成したものと思われる。これについても、同様に好ましい性質が期待される。

(3) 統計的品質管理手法の体系化に関連し、研究開発段階におけるプロセス改善技法の研究、ソフトウェア分野での V&V (Verification and Validation) などのアプローチを考慮した品質測定モデルの構築、さらには不具合防止活動、デザインレビュー項目設定など、主に設計段階を中心として、統計的品質管理手法の効果的活用についての検討を行った。その中のひとつとして、関田、山田(2010)では、企業活動における標準の活用について着目した。とくに関田が宇宙航空研究開発機構(以下「JAXA」)に勤務することから、JAXA内外のエンジニアに技術標準をこれまで以上に活用してもらう方策を設定することが重要な課題となる。この研究では、技術標準に関する質問紙調査で得たデータを定量的に分析し、技術標準を活用するためのエンジニア教育設定をしている。本研究は、宇宙航空の研究開発プロジェクト活動で技術標準の意義を認識し活用してもらうための方策を質問紙により調査した。そこから得たデータについて共分散構造分析を行い標

準を活用する方策でエンジニアの教育が中心になることを実証した。各産業分野の研究開発プロジェクトで標準を活用するために必要な要因を本研究と同様に質問紙調査から分析することが企業内教育プログラム構築に有効なものとなる。この企業内教育により研究開発プロジェクト活動でエンジニアが技術標準の意義を認識して正しく活用することになれば、我が国の技術開発活動とその生産物における安全・信頼性が向上していく。

また、関田、山田(2008)では、システム安全の視点により事故データを解析している。その中では、製品評価技術基盤機構(以下「NITE」)で公開している消費生活用品等の事故情報データに着目し、システム安全の重要性などの視点から、この事故データについて定量的に分析し、我が国でシステム安全の活性化が必要な分野や、その方向などを明確にしている。7年間の NITE の事故情報データについて定量的分析を行い、「消費者の誤使用」を原因として識別した事故が 3934 件あり、その内 95%、3734 件に再発防止対策を何も実行しないことが身近な事故が減少しない一要因であると判明した。この研究では、「消費者誤使用による事故」=「対策は何も無し」は成立していないことをシステム安全の視点を取り入れて行う 3-step 分析結果で説明した。更に消費者誤使用事故について行った数量化Ⅲ類解析結果から、製品とハザード抑制策の傾向も具体的に示した。この研究で提案した 3-step 分析は安全解析のみならず信頼性解析でも使う FTA や FMEA に活用できる。従って本研究成果は、消費生活用品がライフサイクルを終えるまで事故も故障も起こさずに機能を発揮し続ける高い安全・信頼性を確保する活動に有効である。

(4) デジタルエンジニアリングを活用しつつ、高品質を目指すにはデザインレビューの効果的活用が不可欠である。すなわち、製品不具合の発生を防ぐ為の重要な方法の一つとしてデザインレビューが挙げられる。デザインレビューの適用により将来発生しうる不具合に対して多段階のチェックが行われているが、実際市場においては予測し得ない不具合が発生するのが実情である。西浦、山田ではデザインレビューを精錬させる一つの方法として、過去の不具合データの分析結果をデザインレビューに反映させる一連のアプローチを提案する。特に部品と現象間の関連性、部品間の関連性分析結果をデザインレビュー項目として反映させることにより、不具合をより抑制できるとの考えに基づきアプローチ方法を構築する。この一連のアプローチ方法を用いて不具合データを解析しデザインレビュー項目に反映した事例を

示すことにより、その有効性を示している。具体的には、書式が統一されていない不具合情報データに対して、形態素解析を行った上で数量化等のデータ解析を行うことにより、有益な不具合の関連性を見出すことが出来る。本結果を基に関連性を明示したデザインレビューを構築しこれを活用することにより、次の製品における新たな不具合の発生を防止することが出来る。この研究では公開されている自動車の不具合情報データを例としたが、各企業の社内データや他の製品に対する拡張が見込まれる。

(5) デジタルエンジニアリングの体系的活用が必要になるのは多岐にわたり、これまでの研究は生産技術開発、生産、設計という段階が主であった。これに対し本研究ではより上流の段階である研究開発に着眼し、体系的な活用の第一段階となる情報収集方法について検討した。研究開発段階においては、新たな技術開発などのように、今までに全く経験をしていないプロセスと、対象そのものは変わるものの今までの繰り返しとなるプロセスがある。この研究では、校舎に焦点を当てている。Inoue and Yamada (2010)では、製薬プロセスを対象として研究開発段階においてプロセス改善の成功要因を導いている。さらにそれを支援する道具として、Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)の体系的活用法を示している。これにより、重点とするプロセスが明確になり、改善が容易に行われるようになっている。

#### 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10件)

- ① NIKI, N., IWATA, M., HASHIGUCHI, H. and YAMADA, S., Optimum selection and ordering columns in supersaturated designs, Journal of Statistical Planning and Inferences, 査読有, Vol. 141, 2011, 2449-2462.
- ② 大野貴慎, 橋口博樹, 山田秀, 二段階最適化法による混合水準過飽和計画の構成, 査読有, Vol. 24, No. 1, 2011, 掲載決定.
- ③ 関田隆一, 山田秀, 航空宇宙開発における技術標準の認識調査とその教育プログラム設定, 工学教育, 査読有, Vol. 58, 2010, 84-90.
- ④ 西浦友子, 山田秀, 不具合情報に基づ

くデザインレビュー項目構築に関する研究, 品質, 査読有, Vol. 41, No. 4, 2010, 79-87.

- ⑤ YAMADA, S., Application of statistical tools in computer simulation, Proceedings of ANQ 2010 congress, 査読有, CD-ROM, 2010, 1-10.
- ⑥ INOUE, H and YAMADA, S., Application of process FMEA as a performance Improvement tool in pharmaceutical research, International Journal of Quality and Service Sciences, 査読有, Vol. 2, No. 3, 2010, 369-382

[学会発表] (計11件)

- ① YAMADA, S., Application of DOE in digital engineering, First International conference on computational, economics and Statistics, July 20, 2010, Yunnan University of Finance and Economics.
- ② YAMADA, S., DOE in computer simulation for automobile design, International Symposium on Business and Industrial Statistics, July 7, 2010, Bernardin Hotel, Portoroz, Slovenia.
- ③ TSUNG, F., TANG, L. and YAMADA, S., Frontier Research and Engineering Applications for Statistics in Asia, The first international conference on the interface between statistics and engineering, July 13, 2009, Beijing University of Technology.

- ④ 西浦友子, 倉橋節也, 山田秀, 市場不具合情報に基づく不具合関連性の検討, 第22回人工知能学会全国大会, 2008年6月13日, ときわ市民ホール (旭川市).

[図書] (計1件)

- ① 山田秀, プロセス保証と工程能力調査, 品質保証ガイドブック第Ⅲ部10章, 2009, 日科技連出版社.

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 秀 (YAMADA SHU)

筑波大学・大学院ビジネス科学研究科・教授

研究者番号: 60260965