

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2014

課題番号：22241038

研究課題名(和文)次世代品質・信頼性情報システムの研究と開発

研究課題名(英文)Research and Development on Next-Generation Quality and Reliability Information System

研究代表者

鈴木 和幸 (Suzuki, Kazuyuki)

電気通信大学・情報理工学(系)研究科・教授

研究者番号：00130071

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は品質管理学・信頼性工学と高度情報通信技術の知を融合した次世代品質信頼性情報システムQRIS(Quality and Reliability Information System)に基づく高品質・高信頼性モノづくりの標準プロセスを創生することにより、顧客への個別対応リスクコミュニケーションの精度向上を通じた信頼と安全の獲得、ハザードー故障モードートップ事象モードー影響への着目による品質・信頼性トラブルの未然防止体系の確立、信頼性工学の情報化時代に即した刷新、を目的とする。

研究成果の概要(英文)：Outline of Research Findings

The purpose of this study is to create the standard manufacturing process for high quality and high reliability products, based on Next-Generation QRIS (Quality and Reliability Information System) combining and utilizing the knowledge of quality control, reliability engineering, and advanced information and communication technology. Throughout this study, we aim the following matters: To ensure reliability and safety by improving the accuracy of personalized risk communication to individual customer. To establish the prevention system for troubles related to quality and reliability, focused on hazard, failure mode, top event mode, and effect. To renovate reliability engineering with the trends of the information age.

研究分野：信頼性工学

キーワード：品質管理 信頼性 安全性 状態監視保全 データ同化

1. 研究開始当初の背景

品質・信頼性は環境・使われ方の相違に多大な影響を受ける。ICTの発達により、GPSとインターネットを用いて収集された品質・信頼性に関する情報が個々の企業にて蓄積されつつある。一方で、多様な使用条件・環境条件に曝され、顧客個々にとって重要な価値実現に資するプロセスの実現とその体系化が喫緊の課題であった。

2. 研究の目的

本研究は品質管理学・信頼性工学と高度情報通信技術の知を融合した次世代品質信頼性情報システム QRIS (Quality and Reliability Information System) に基づく高品質・高信頼性モノづくりの標準プロセスを創生することにより、①顧客への個別対応リスクコミュニケーションの精度向上を通じた信頼と安全の獲得、②ハザード-故障モード-トップ事象モード-影響への着目による品質・信頼性トラブルの未然防止体系の確立、③信頼性工学の情報化時代に即した刷新を目的とする。

3. 研究の方法

“次世代品質・信頼性情報システム融合研究ステーション”を電気通信大学に創設し、リアルタイム状態監視保全科学分野、発見科学分野、品質管理学分野、安全科学分野、信頼性工学分野、情報科学分野、データ同化・統計数理科学分野、の7分野の融合研究体制の下、共同研究企業3社との毎月の会合、ならびに(一社)日本品質管理学会 信頼性安全性計画研究会において定期的な会合を持ち、研究を進めた。

4. 研究成果

QRISに基づく高品質・高信頼性モノづくりの標準プロセス i), ii), iii) を構築した(学会発表⑤)。

i) 確保：プロセスの確立

顧客・社会のニーズ、経済経営の変化を全世界から瞬時に捉え、“何(what)”を造ればよいか、どのようなサービスの提供が必要かを企画・設計し、これを提供するプロセスを確立する。このとき、ネック技術を抽出し、組織として開発プロセス全体を通して重要パラメータをモニタリングする。

ii) 確認：Verification + Validation

QRISを用いた全世界からのモニタリング情報を活用し、例えばCAEの目標値と負荷条件を用い、ネック技術を中心とするその仕様への合致(Verification)を確認するとともに、全世界の環境条件・使用条件におけるモニタリング情報を基に、実際の現場・現物での使用において、顧客・社会のニーズが満たされていることの妥当性確認(Validation)を行う。特に試作品を用いたモニタリング情

報の有効活用を行う。

iii) 確認：第三者への“あかし”

上記、i) 確保におけるプロセス構築、ii) 確認における、Verification、Validationを基に、顧客と社会のいかなるニーズを果たし、満足を与えうるかを明示し、それらが守られていることを証拠で示し、第三者への信頼感・安心感を与える。

一方、未然防止の鍵は“予測”と“源流管理”にある。予測のための帰納的アプローチと演繹的アプローチを、システマチックなアプローチと源流管理により融合・包括し、全社一丸となり取り組み、これを組織とシステムと社会が支えるスキームを示した(図書③)。ここで、システマチックなアプローチとは、図1に示す7つの要素からなり、未然防止策の検討にはこの7つの視点への着目が重要であることを示した(学会発表④)。

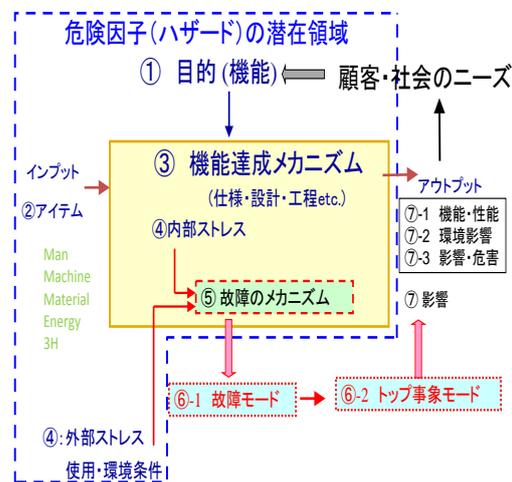


図1. 信頼性・安全性の確保への7つの視点とハザードの潜在領域

文献[11]にて、未然防止への七つのステップ、ならびに

④ ストレス - ⑤ 故障メカニズム

- ⑥-1 故障モード

の三点セットのデータベースを提供し、学会発表⑦にて、⑥-2 トップ事象モードを提起し、その重要性を示した。

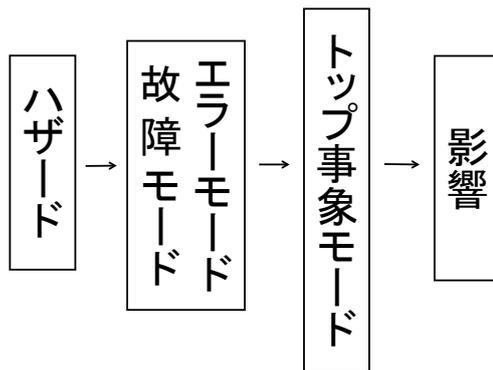


図2. 未然防止への4つの柱

また、①目的・機能、②アイテム、③機能達成メカニズム、④ストレス、⑤故障メカニズムには潜在的な危険因子が存在する可能性があるため、この五つをまとめてハザードと呼べば、図2に示す四つの柱と流れができる。この四つの柱に着目することにより、未然防止と信頼性工学の手法の体系が図3のように示される。

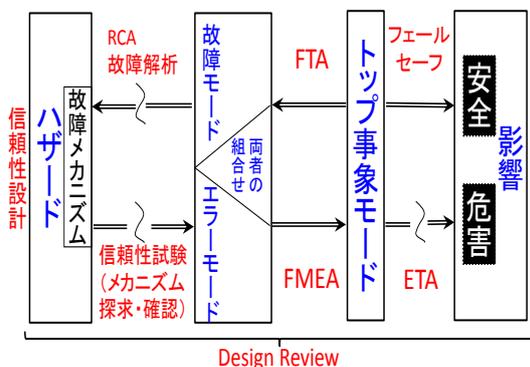


図3. 未然防止への4つの柱と信頼性工学の手法

図2における トップ事象モード とは、原子力発電所における“全電源喪失”のように、絶対生じてはならない重大事故・重大危害発生のシーケンスに着目し、これらの事故・危害に至る直前の事象で、これをできるだけ多くのシステム・製品・業務等に対し予測可能なように汎用化し、抽象化・一般化を図ったもので、発生防止策ならびにフェールセーフ・ETAなどの影響防止策を為すべき事象をいう。このトップ事象モードを組織として登録したときには、フェールセーフの検討とともにETA (event tree analysis) を作成し、これに基づく定期的な訓練を行うことが必要である。

QRISにおいては図3の4つの柱がモニタリングの着眼点そのものである。それを図4に示す(学会発表③)。

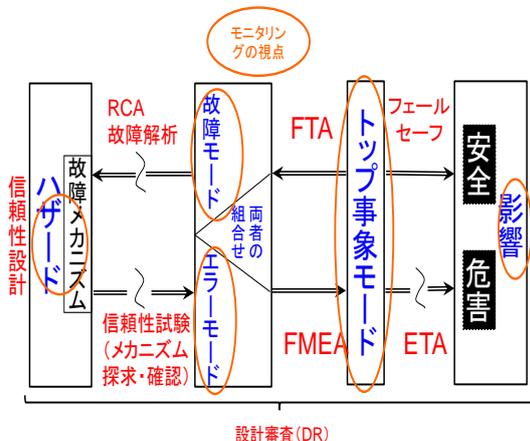


図4. 未然防止への4つの柱と信頼性工学の手法

本研究では目的に挙げた3つの研究項目に対して、以下のような具体的な成果が得られた。

第一に、(1)顧客への個別対応リスクコミュニケーションの精度向上を通じた信頼と安全の獲得のために、QEISを用いたオンラインモニタリングならびにSNSの活用を通じたリスクコミュニケーションの高度化と、ビッグデータの活用による分析・評価の方法に関する成果が得られた。

オンラインモニタリングにより、故障のみでなく、正常に稼働している個々の製品の状態、使われ方・環境条件の把握が可能となり、これらの情報に基づく個別リスクコミュニケーションへの精度向上を為し得た[3]。

また、スマートフォンの機能を利用した低価格の放射線測定器 POKEGA の開発・運用では、①ユーザが自ら生活環境内での放射線量を「測定」し、②測定データを、GPS機能を通してマップ上にプロット、ユーザ間で各地の線量を「共有」し、③不明な点はFacebookを利用して「議論」する、との3つの要素を取り入れたSNS利用の仕組みをすることにより、ユーザの信頼と安心を獲得することに成功した[12]。その取り組みは、最新の情報技術の活用成果であり、新しい信頼性獲得の方法と言える。Facebookでは、放射線の専門家も参加し、ユーザが自ら測定したセンシングデータの理解を深めるためのリスクコミュニケーションが展開され、信頼のベースとなる。

また、自動車の運転を題材として、さまざまな文脈におけるビッグデータ活用による運転行動分析に基づくリスク評価のケーススタディを行った[1]。まず、運転中の大量の姿勢データに基づいて、運転中の不適切な姿勢を検出できることを明らかにした[10]。また、運転行動の安全性を評価する方法として、通常時のブレーキタイミングやブレーキ操作量の適切さについて、ビッグデータに基づいて評価する方法を構築した[11, 13]。

次に、(2)品質・信頼性トラブルの未然防止体系の確立のため、品質・信頼性トラブルの未然防止に向けた分析における「ハザード-故障モード-トップ事象モード-影響」に着目した分析の分野横断性の検証と、未然防止策検討のための故障メカニズムのモデル化に関する研究を進めた。

実際の不具合事例として、医療および介護用製品、社会インフラ(橋梁)などの事故を取り上げ、それぞれの分析において「ハザード-故障モード-トップ事象モード-影響」の枠組みが有効に機能し、未然防止のための対策を打つ視点や、点検や状態監視を行う際に着目する視点を与えることが可能となることを示した。

さらに、半導体デバイスの「故障モード」のひとつであるストレス誘起ボイドによる金属配線の断線について、配線形状という「ハザード」と断線という「故障モード」の関係を繋ぐ故障メカニズムを、応力の経時変化、原子拡散などの現象論に基づいてモデル化し、平均的な寿命の挙動を評価、予測する

ことを可能とした[2, 5, 6]。提案したモデルは、報告されている温度依存性、配線幅依存性などの事象をよく説明することが出来た。これらは、信頼性・安全性トラブルの未然防止のためのモニタリングの視点を決定するにあたって、重要な視点となる。

最後に、(3) 信頼性工学の情報化時代に即した刷新のため、状態監視保全、寿命解析、ヒューマンエラー防止方策などの面から、新たな信頼性工学の手法の開発を進めた。

原子炉や航空機など、複雑なシステムを安全に運用するには、状態監視保全技術が必要不可欠である。対象システムの運用状態、使用・環境条件等のモニタリング情報および過去の運用・保守・修理の履歴に基づき、必要に応じて保全を実施するとともに、ユーザとのリスクコミュニケーションにより事故や故障を未然に防止するものである。そこで、様々な要因の影響を受ける非定常な劣化システムを対象とし、状態監視保全において、その最適保全方策の単調性に関する検討およびその実用性の検証を行った[8, 9]。

市場型製品の寿命解析においては、従来は故障時点や打ち切り時点のみの情報により寿命データ解析を行っていた。しかし、近年の ICT の発達などにより、故障時点だけではなく、正常稼働中の時点の情報も利用可能となっている。そのため、暦時間と累積使用量の 2 変量により製品寿命が観測される場合には、従来の 2 変量での故障データに加えて、正常に稼働している時点のデータ（正常稼働時の暦時間と累積使用量）も観測される。それにより、これらの正常稼働中の時点のデータから、製品を使い始めてから故障に至るまでの 2 変量軸上での時点の履歴を確認することが可能となる。この履歴は、累積使用量曲線と呼ばれている。そこで、2 次元平面を離散化した集計表上で、使用頻度（累積使用量曲線の傾き）での層別による 2 変量の条件付き累積ハザード関数の推定することにより、累積使用量曲線を考慮した 2 変量（暦時間と累積使用量）の寿命データの解析方法を提案した。これにより、顧客の個別の使い方を考慮した解析を可能にした。さらに、推定結果を元にした三次元上のプロットを作成することにより、より視覚的に故障発生と 2 変量（暦時間と累積使用量）との関係を確認することを可能にした[4]。

また、外れ値に対して極めて高い頑健性を持つ MAD (median absolute deviation) 統計量を用いた尺度母数のロバスト推定による尺度母数のロバスト推定について研究を進めた。有限サンプルにおける MAD 統計量の精確分布を導出した。また、導出した精確分布を基に尺度母数に対するロバスト信頼区間を提案し、数値実験によるブートストラップ法、及び漸近正規性に基づく信頼区間との比較を行い、その優位性を確認した[7]。

さらに、新しいヒューマンエラー防止方策の開発として、銀行のオンラインシステムに

おけるオペレータの入力作業を例にとり、オペレータの入力履歴やオペレータが頭の中に記憶している情報をデータベース化することによって、記憶に関わる入力エラーを検出する方式を考案し（学会発表①）、検証実験を行うことによってエラー防止に有効である可能性を明らかにした[発表準備中]。

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 13 件）

[1] Kurihashi, S., Matsuno, and Tanaka, K.: Enhancing Safety with a Mutual Assistance System for Automobile, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.8, 2015, pp.161-170. (査読あり)

[2] Yokogawa, S.: Statistical Characteristics of Lifetime Distribution Based on the Defect Clustering for Time-dependent Dielectric Breakdown in Middle and Back-end-of-line, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.54, 2015, pp.1-10. (査読あり)

[3] Hiraga, T., Yamamoto, W. and Suzuki, K., Nonparametric Modeling and Optimal Maintenance using On-line Monitoring in Environments with Seasonal Variations, International Journal of Performability Engineering, Vol. 10, 2014, pp.83-93. (査読あり)

[4] 横山真弘, 山本渉, 鈴木和幸: “線形な 2 変量時間変数に基づく信頼性寿命解析”, 日本信頼性学会誌, Vol. 36, 2014, pp.63-73. (査読あり)

[5] Yokogawa, S.: Lifetime Prediction Model of Stress-induced Voiding in Cu/low- κ Interconnects, Japanese Journal of Applied Physics, with Peer Review, Vol.53, No.5S2, 2014, pp.05GA03-1-05GA03-6 (2014). (査読あり)

[6] Yokogawa, S. and H. Tsuchiya: Lifetime Distribution Analysis of Stress-induced Voiding Based on Void Nucleation and Growth in Cu/low- κ Interconnects, IEEE Transactions on Device and Materials Reliability, with Peer Review, Vol.13, 2013, pp.272-276. (査読あり)

[7] Nagatsuka, H., Kawakami, H., Kamakura, T. and Yamamoto, H.: The exact

finite-sample distribution of the median absolute deviation about the median of continuous random variables, *Statistics & Probability Letters*, Elsevier, Vol. 83, 2013, pp. 999-1005. (査読あり)

[8] Jin, L. and Suzuki, K.: Optimal Maintenance Policy for Partially Observable Markovian Deteriorating System Subject to A Restorable Varying Environment, *Journal of Reliability Engineering Association of Japan*, Vol. 35, 2013, pp. 177-187. (査読あり)

[9] Jin, L., Miyawaki, K. and Suzuki, K.: Optimal Maintenance Policy for Partially Observable Markovian Deteriorating System Subject to A Restorable Varying Environment, *Journal of Reliability Engineering Association of Japan*, Vol. 35, No. 3, 2013, pp. 177-187. (査読あり)

[10] 伊藤誠, 汪澄, 稲垣敏之、SIFTを用いた運転席圧力画像分類によるドライバ副次行動の検出、*日本交通科学協議会誌*、Vol. 22, 2013. (査読有)

[11] 北島 創, 片山 硬, 伊藤 誠、追突事故・ニアミス時のドライバ対応行動の事後的診断手法の開発と回避支援策の提案、計測自動制御学会論文集、Vol. 49, 2013. (査読有)

[12] Ishigaki, Y., Matsumoto, Y., Ichimiya, R., Tanaka, K.: "Development of Mobile Radiation Monitoring System Utilizing Smartphone and Its Field Tests in Fukushima," *IEEE Sensors Journal*, Vol. 13, No. 10, 2013, pp. 3520-3526.

[13] 伊藤 誠、実市街路走行における追突回避のためのブレーキタイミング、自動車技術会論文集、Vol. 43, No. 3, 2012, pp. 737-742. (査読有)

[学会発表] (計 9 件)

① Ramirez, C. A. and Itoh, M.: An Initial Approach Towards The Implementation of Human Error Identification Services For Antifragile Systems, *SICE Annual Meeting 2014*, 2014, pp. 2031-2036. (査読あり)

② Suzuki, K.: Methods for Predicting and On-Line Monitoring Based on Failure Mode & Top Event Mode, *International Conference on Quality, Reliability, Risk,*

Maintenance, and Safety Engineering, International Conference on Materials and Reliability & International Conference on Maintenance Engineering, July, 2013, China. (Keynote Speech).

③ Suzuki, K.: Reliability and Safety Assurance by On-line Real-time Condition Monitoring, *International Conference on Quality, Reliability and Operations Research*, January, 2013, India, pp. 18-20. (Keynote Speech).

④ Suzuki, K.: Prevention of Problems on Reliability and Safety, the 11th Asian Network for Quality (ANQ) Congress, October, 2013, Thailand. (Keynote Speech).

⑤ Suzuki, K.: Personalized Risk Communication and Optimal Maintenance using Advanced Quality and Reliability Information System, *The Second International Conference on the Interface between Statistics and Engineering*, 2012, Taiwan, (Keynote Speech).

⑥ Suzuki, K.: Optimal Maintenance using Advanced Quality and Reliability Information System considering Seasonal Effects, *Proceedings of International Conference on Accelerated Life Testing, Reliability-based Analysis and Design*, June, 2012, Rennes, France, (Plenary Opening Talk).

⑦ Suzuki, K.: Prevention By Prediction And On-line Monitoring Based on Failure Mode & Top Event mode, *The 8th International Conference on Mathematical Methods in Reliability: Theory, Methods and Applications*, Stellenbosch, 2013, pp. 294-299, South Africa.

⑧ Jin, L. and Suzuki, K.: Optimal of Monotone Procedure for Monitored Systems Working Under Variable Operations, *The 8th International Conference on Mathematical Methods in Reliability: Theory, Methods and Applications*, Stellenbosch, 2013, pp. 156-160, South Africa.

⑨ Yamamoto, W. and Tomotaki, J.: On Modeling and Prediction of Lifetimes on Multiple Time Scales from Online Monitoring Data, *The 8th International Conference on Mathematical Methods in Reliability: Theory, Methods and Applications*, Stellenbosch, 2013, pp. 344-348, South Africa.

〔図書〕（計 4 件）

- ① 鈴木和幸（編集委員長・全体編纂・執筆）、日科技連出版、新版 信頼性ハンドブック、2014
- ② 田中健次、システムの信頼性と安全学、システムの信頼性と安全性、2014
- ③ 鈴木和幸； ” 信頼性・安全性の確保と未然防止 ” ，日本規格協会出版，2013.
- ④ 伊藤誠、技術情報協会、ヒューマンエラー対策事例集、2013

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木和幸 (SUZUKI, Kazuyuki)
電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授
研究者番号：00130071

(2) 研究分担者

田中健次 (TANAKA, Kenji)
電気通信大学・大学院情報システム学研究科・教授
研究者番号：60197415

(3) 研究分担者

伊藤誠 (ITOH, Makoto)
筑波大学・システム情報工学研究科・教授
研究者番号：00282343

(4) 研究分担者

山本渉 (YAMAMOTO, Watalu)
電気通信大学・大学院情報理工学研究科・講師
研究者番号：30303027

(5) 研究分担者

金路 (JIN, Lu)
電気通信大学・大学院情報理工学研究科・助教
研究者番号：00436734

(6) 研究分担者

横山 真弘 (YOKOYAMA, Masahiro)
中央大学・理工学部・助教
研究者番号：40735354
(平成 26 年度より研究分担者)

(7) 連携研究者

椿 広計 (TSUBAKI, Hiroe)
統計数理研究所・データ科学研究系・教授
研究者番号：30155436

(8) 連携研究者

長塚豪己 (NAGATSUKA, Hideki)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：30384738

(9) 連携研究者

横川 慎二 (YOKOGAWA, Shinji)
独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校・能力開発院、基・准教授 研究者番号：40718532