

令和元年6月13日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01242

研究課題名（和文）次世代型ソフトウェア開発のための統計的プロセス管理法に関する研究

研究課題名（英文）A Study on Statistical Process Management for New Software Development Paradigm

研究代表者

山田 茂（YAMADA, Shigeru）

鳥取大学・工学研究科・教授

研究者番号：50166708

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、品質指向ソフトウェアマネジメントの要素技術としての統計的プロセス管理法について議論した。つまり、管理法に基づく定量的プロジェクト評価法による統計的プロセス管理法を、特に次世代型ソフトウェア開発として有望視されているOSS（オープンソースソフトウェア）開発およびアジャイルソフトウェア開発に対して適用した。さらに、OSSプロジェクトに対して、総合的ソフトウェア品質管理におけるプロセス品質と最終プロダクト品質とを結びつけて可視化するプロジェクト評価法を提案した。同時に、OSSプロジェクトの進捗安定性を定量的に評価するために、投入開発工数に基づくプロセス成熟度評価についても議論した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実際のソフトウェア開発では、顧客に対して「品質が作り込まれたことを、確かな根拠をもって説明する」ことが求められる。開発現場が抱える問題点を打開するためにも、そのための実践的技法の考え方も取り入れ品質指向ソフトウェアマネジメント技術が重要であり、品質の高いプロセスから品質の高いプロダクトを産出するためのソフトウェアプロジェクトの科学的管理法として、本研究で議論した。精度が良く現場への適用性・汎用性の高い定量的プロジェクト評価法が必要である。また、プロジェクト進捗安定性を定量的に評価するプロセス成熟度（開発進捗度の充分性）評価が効果的であり、本研究ではこのための先駆的技術についても提案した。

研究成果の概要（英文）：We have discussed a method of statistical process management as an element technology in quality-oriented software management. First, the statistical process management by quantitative project assessment based on control chart methods has been applied to OSS (Open Source Software) and agile software development projects. Second, a project assessment technique in OSS development has been proposed for visualizing the connection between process and final product quality in total software quality management. Also, we have discussed a method of process maturity assessment based on development manpower expenditures for quantitatively evaluating the progress stability of OSS projects.

研究分野：ソフトウェア信頼性工学，プロジェクトマネジメント，総合的品質管理

キーワード：ソフトウェア信頼性工学 システム品質管理 モデル 管理図法 工程能力指数 開発工数 ソフトウェア開発効率化・安定化 ソフトウェア信頼性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

実際のソフトウェア開発では、顧客に対して「品質が作り込まれたことを、確かな根拠をもって説明する」ことが求められる。このような思想の下に開発された品質管理技法の1つが NEC 社で開発された「品質会計技法」であり、最初に述べた開発現場が抱える問題点を打開するためにも、このような実践的技法の考え方も取り入れたソフトウェアプロジェクトのマネジメント技術を議論した。そこで、これまで研究を進めてきた**品質指向ソフトウェアマネジメント**の定着化のためには、品質の高いプロセスから品質の高いプロダクトを産出するためのソフトウェアプロジェクトの科学的管理法として、精度が良く現場への適用性・汎用性の高い**定量的プロジェクト評価法**が必要である。このために、一般工業製品の統計的品質管理手法として多用される**管理図法**と、ソフトウェア信頼度成長モデルに基づく**プロジェクト進捗管理法**が効果的であることも分かった。

### 2. 研究の目的

本研究では、**品質指向ソフトウェアマネジメント**の考え方を進化させるために、その要素技術としての**統計的プロセス管理法**について議論する。ここで、品質指向ソフトウェアマネジメントの下でのプロセス維持管理を図りながら、プロセス改善により QCD の管理指標のレベルアップを段階的に進め、プロセスの品質つまり成熟度を向上させていくことが重要である (図 1 参照)。

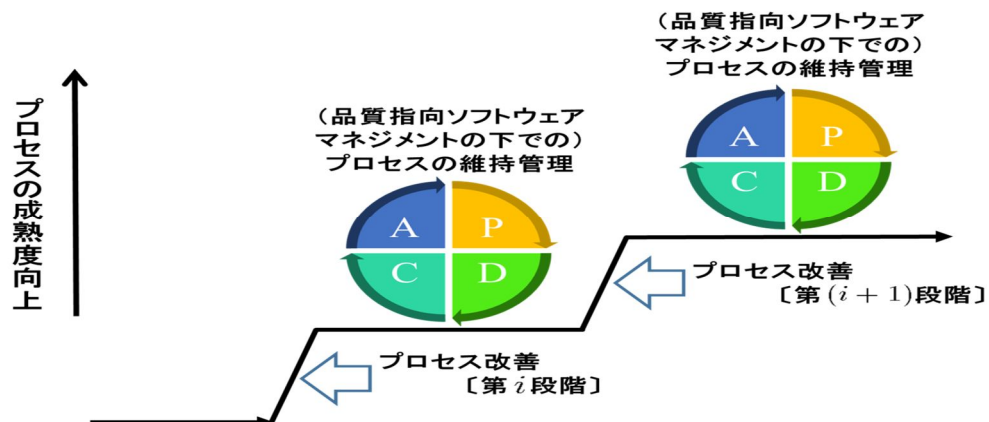


図1. プロセスの成熟度(プロセス品質)向上

そこで、これまでの本研究代表者の研究成果である管理図法に基づく**定量的プロジェクト評価法**を、次世代型ソフトウェア開発として有望視されている OSS (オープンソースソフトウェア) 開発およびアジャイルソフトウェア開発に対して適用した。このとき、開発進捗度としては時間(工数)、実現規模、イテレーション回数等を、プロセスの管理メトリクスとしてはレビューでの欠陥検出率やテストでのフォールト検出率等を取り上げて、**統計的プロセス管理**のための管理図を設計することを、まず本研究の目的とした。ここで、プロセス品質は、プロセス変動とプロセス平均により評価されるものとする。また、プロセスの管理メトリクスの開発進捗に伴う挙動は、伝統的な管理図法では記述できないので、上述したようにソフトウェア信頼度成長モデルによるデータ分析結果、特に回帰分析結果から導出される平均値およびその信頼限界を使ってその挙動を記述した。さらに、**統計的プロセス管理**を推進していくために、プロセス平均を、目標とする許容範囲内に収める運用技術と、これまで推進し有効性が確認できた品質指向ソフトウェアマネジメントをより進化させるための**総合的プロジェクト品質評価法**の提案についても、本研究の目的とした。

### 3. 研究の方法

これまでの**品質指向ソフトウェアマネジメント**の研究成果を踏まえて、顧客要求から今後益々重要となる次世代型ソフトウェア開発形態として、OSS 開発とアジャイルソフトウェア開発を取り上げて、本研究では、**品質指向ソフトウェアマネジメントの要素技術としての統計的プロセス管理法**について議論した。ここでは、プロセス品質が、開発の上流工程ではレビューによる欠陥検出率、下流工程ではテストによるフォールト検出率などを管理指標とする、**プロセス変動の評価およびプロセス平均の評価**を通して判断されることを前提とした。

まず本研究では、次世代型ソフトウェア開発プロジェクトとして有望な、OSS 開発とアジャイルソフトウェア開発を取り上げて、これらのプロジェクトに対する**統計的プロセス管理**のための**管理メトリクス**と、これを用いた**管理図の設計**に関する研究を行った。具体的には、次の計画と方法に従って研究を進めた。

- (1) これまでの研究成果として、**品質指向ソフトウェアマネジメント**の定着化のために必要であった**定量的プロジェクト評価法**において、一般工業製品の統計的品質管理手法として多用される**管理図法**と、**ソフトウェア信頼度成長モデル**に基づくプロジェクト進捗管理法が効果的であることが分かった。そこで、**統計的プロセス管理**のための手法を次世代型ソフトウェア開発に導入するにあたり、**開発進捗度単位**としては時間(工数)、実現規模、イテレーション回数等を、プロセスの**管理メトリクス**としてはレビューでの欠陥検出率やテストでのフォールト検出率等を検討・整理する。ここで、ソフトウェア信頼度成長モデルを含む既存の品質・信頼性評価法のうち次世代型ソフトウェア開発に相応しいものを選択する。
- (2) (1)で整理した開発進捗度と管理メトリクスの中で**プロセス変動**(特にプロセス平均)を記述するのに最適なものを抽出する。管理図法における**プロセス平均**を制御・維持するための**管理限界**(上方管理限界および下方管理限界)を、伝統的な管理図はそのまま適用できないので、ソフトウェア信頼度成長モデルによる品質・信頼性評価のデータ分析(特に回帰分析)結果等を用いて設定する。
- (3) プロセスが統計的に安定状態にあるかどうかを判定する合理的基準を設定する。ここで、**プロセスの成熟度**(プロセス品質)を評価でき**プロセス能力指数**を導出する。
- (4) (1)～(3)の結果を基に、本研究の進捗評価を行い、企業側の研究協力者と共に実際プロジェクトへの適用可能性検討会を開催する。

次に、品質指向ソフトウェアマネジメントのための**統計的プロセス管理法**の実践と**総合的プロジェクト品質評価法**に関する研究を行った。さらに、具体的には、以下の手順と方法に従って研究を進めた。

- (5) 次世代型ソフトウェア開発プロジェクトである OSS 開発とアジャイルソフトウェア開発に対して、プロセスの出力としてのレビューでの欠陥検出率やテストでのフォールト検出率などの**プロセス平均**(プロセス変動の平均的傾向)を減少化させて、これらを所定の目標値を含めた QCD 目標を達成するための開発進捗度の統計的推測法について議論する。また、プロセス平均を許容限界内に収めるための運用技術についても考察する。
- (6) 次世代型ソフトウェア開発としての OSS プロジェクトにおけるプロセス品質要因と最終プロダクト品質をはじめとする代表的 QCD 指標とを関係づける。さらに、プロジェクト全体を可視化するようなマネジメント技術としての**統計的プロセス管理法**を提案する。
- (7) 上記(5)および(6)に基づいて、**品質指向ソフトウェアマネジメント**の進化のため

めに、実用性と汎用性の観点から実践的プロジェクト品質評価手法として有望なモデルを絞り込んだ上で、企業の研究協力者と実際プロジェクトへの適用可能性検討会を開催する。

- (8) 以上の研究成果を踏まえて、品質指向ソフトウェアマネジメントの進化のための**総合的プロジェクト品質評価法**をまとめ、実際プロジェクトでの測定データにより有効性を確認しながら、そのソフトウェアツールのプロトタイプを作成する。

#### 4. 研究成果

次世代型ソフトウェア開発プロジェクトとして、OSS 開発とアジャイルソフトウェア開発を取り上げて、これらのプロジェクトに対する**統計的プロセス管理**のための管理メトリクスと、これを用いた管理図の設計法を提案することができた。具体的には以下のとおりである。

(1) 一般工業製品の統計的品質管理手法として多用されている管理図による工程管理法と、ソフトウェア信頼度成長モデルを用いた管理図に基づくプロジェクト進捗管理を統合した統計的プロセス管理法を提案した。これらを次世代型ソフトウェア開発に導入するにあたり、開発進捗度単位としては時間(工数)、実現規模、イテレーション回数等を、プロセスの管理メトリクスとしてはレビューでの欠陥検出率やテストでのフォールト検出率等を取り上げて検討した。開発進捗度単位としては、OSS 開発ではバグトラッキングシステムに対する報告時間を、アジャイル開発ではイテレーション回数を選択した。

(2) (1)での開発進捗度と管理メトリクスの中でプロセス変動(特にプロセス平均)を記述するのに最適なものは、OSS 開発ではバグトラッキングシステムに対する報告時間と瞬間フォールト発見率(単位時間当りの検出フォールト数)との関係を、アジャイル開発ではイテレーション回数と開発規模当りおよびテストケース数当りの累積フォールト検出数との関係を見ることであった。

(3) (1)で考察した関係を管理図の設計に適用し、OSS 開発ではソフトウェア信頼度成長モデルの瞬間フォールト発見率に対する回帰分析結果に基づいて、その信頼限界を用いて**管理線**を設定した。また、アジャイル開発では3シグマ法に基づくu管理図をそのまま適用した。

(4) (3)のOSS 開発におけるソフトウェア信頼度成長モデルに基づく管理図法においては、1つは検出フォールト数とフォールト検出率の関係を見る**対数型ポアソン実行時間モデル**が、もう1つは観測時間とフォールト検出率の関係を見る**ワイブル過程モデル**が実際データに対する適合性が良好であった。

(5) 以上の管理図法に基づく統計的プロセス管理法に、さらに**工程能力指数**(Process Capability Index: PCI)を導入して、開発プロセスの統計的安定性を定量的に評価できることを示した。PCIは、観測データから計算されるフォールト検出率のバラツキ幅(標準偏差で計算)に対する所定のフォールト検出率の目標幅の比として算出した。

さらに、上述の次世代型ソフトウェア開発に対する品質指向ソフトウェアマネジメントのための**統計的プロセス管理法**の実践に関する研究を前進させて、特にOSS(オープンソースソフトウェア)開発に対する、**総合的ソフトウェア品質管理**におけるプロセス品質と最終プロダクト品質とを結びつけて可視化する、以下の2つのプロジェクト評価法を提案した。

(6) パラメトリックアプローチとして、OSSプロジェクトにおけるフォールト検出数に対して**確率微分方程式**を導入してモデル化し、継続したOSSの利用可能時間の割合を示す**稼働率**によりプロジェクト評価を行った。また、ソフトウェア故障発生時間間隔に対して組込みOSSの特性を

反映したハザードレートを仮定して、同様の稼働率を導出してプロジェクト評価が実施できることを示した。

(7) ノンパラメトリックアプローチとして、**機械学習(ディープラーニング)**に基づいて、バグトラッキングシステム上の登録フォルトの重要度を識別し、ソフトウェア信頼性評価尺度の1つである平均ソフトウェア故障発生時間間隔を推定して信頼度成長傾向を把握する方法についても提案した。

上記に加えて、研究協力者と実際プロジェクトへの本統計的プロセス管理法の適用可能性検討会も実施した。その上で、OSS開発プロジェクトに対する品質指向ソフトウェアマネジメントを効率的に実践するための統計的プロセス管理法のツール化を図った。同時に、OSSプロジェクトのプロセス品質のみならず、OSSの運用と保守に関する開発工数を予測することにより、OSSプロジェクトの進捗安定性を定量的に評価するために、安定稼働を目指した投入開発工数に基づく**プロセス成熟度**(開発進捗度の充分性)評価についても議論した。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計70件)

- (1) Y. Tamura, H. Sone, and S. Yamada, "OSS project stability assessment support tool considering EVM based on Wiener process models," Applied System Innovation, Vol. 2, No. 1, pp. 1-12, 2019. (査読有) (DOI:10.3390/asi2010001)
- (2) Y. Tamura and S. Yamada, "Multi-dimensional optimization and reliability analysis tool for cloud software with big data," International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, Vol. 25, No.3, pp. 1850014(14 pages), 2018. (査読有) (DOI:10.1142/S0218539318500146)
- (3) S. Yamada and Y. Tamura, "Effort management based on jump diffusion model for OSS project," Proceedings of the 24th ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Toronto, Ontario, Canada, August 2-4, 2018, pp. 126-130. (査読有) (<http://www.issatconferences.org>)
- (4) 山田茂、井上真二、田村慶信、「ソフトウェア信頼性研究-モデリングアプローチ-」, 電子情報通信学会 Fundamentals Review, Vol. 12, No. 1, pp. 18-24, 2018. (査読有) (<https://doi.org/10.1587/essfr.12.1.38>)
- (5) Y. Tamura and S. Yamada, "Open source software cost analysis with fault severity levels based on stochastic differential equation models," Journal of Life Cycle Reliability and Safety Engineering, Vol. 6, No. 1, pp. 31-35, 2017. (査読有) (DOI:10.1007/s41872-017-0009-5)
- (6) Y. Tamura and S. Yamada, "Fault identification and reliability assessment tool based on deep learning for fault big data," Journal of Software Networking, Vol. 2017, No. 1, pp. 161-174, 2017. (査読有) (DOI:10.13052/jsn2445-9739.2017.008)
- (7) Y. Tamura and S. Yamada, "Dependability analysis tool based on multi-dimensional stochastic noisy model for cloud computing with big data," International Journal of Mathematical, Engineering and Management Science, Vol. 2, No. 4, pp. 273-287, 2017. (査読有) (<https://www.ijmems.in>)
- (8) Y. Tamura, T. Takeuchi, and S. Yamada, "Software reliability and cost analysis considering service user for cloud with big data," International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, Vol. 24, No.2, pp. 1750009(14 pages), 2017. (査読有) (DOI:10.1142/S0218539317500097)
- (9) Y. Tamura and S. Yamada, "Practical reliability and maintainability analysis tool for an open source cloud computing," Quality and Reliability Engineering International, Vol. 32, No. 3, pp. 909-920, 2016. (査読有) (DOI: 10.1002/qre.1802)
- (10) S. Yamada and M. Yamaguchi, "Statistical process control assessment for open source software and its application," Proceedings of the 22nd ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Los Angeles, California, U.S.A., August 4-6, 2016, pp. 162-166. (査読有) (<http://www.issatconferences.org>)
- (11) Y. Tamura and S. Yamada, "Reliability computing and management considering the network traffic for a cloud computing," Annals of Operations Research, Vol. 244, No. 1, pp. 163-176, 2016. (査読有) (DOI: 10.1007/S10479-016-2140-5)
- (12) S. Yamada and M. Yamaguchi, "A method of statistical process control for successful open source software projects and its application to determining the development period,"

International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, Vol. 23, No.5, pp. 1650018(17 pages), 2016. (査読有) (DOI:10.1142/S0218539316500182)

(13) Y. Tamura and S. Yamada, "Software reliability model selection based on deep learning with application to the optimal release problem," Journal of Industrial Engineering and Management Science, Vol. 1, No. 1, pp. 43-58, 2016. (査読有) (DOI: 10.13052/ jiem2446-1822.2016.003)

(14) 山田茂, 「OSS プロジェクトデータに基づく統計的プロセス管理法とその応用に関する研究」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会誌, Vol. 61, No. 10, pp. 666-667, 2016. (査読有) (<http://www.orsj.or.jp>)

〔学会発表〕(計 14 件)

(1) Shigeru Yamada, "Software Reliability Modeling and OSS Reliability," (Keynote), The 14th International Conference on Industrial Management, Hangzhou, China, 2018.

(2) Shigeru Yamada, "Elementary Software Reliability Growth Modeling," (Keynote) The 6th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization - Trends and Future Directions -, Noida, India, 2017.

(3) Shigeru Yamada and Yoshinobu Tamura, "Quantitative OSS Project Assessment Based on Process Capability Index," (Keynote), International Conference on Infocom Technologies and Unmanned System, Dubai, UAE, 2017.

(4) 山田茂, "ソフトウェア信頼性モデルの基礎", 電子情報通信学会信頼性研究会 2017 年.

(5) Shigeru Yamada and Yoshinobu Tamura, "Cost Analysis Considering Fault Severity Levels Based on Stochastic Differential Equation Modeling for Open Source Software," (Keynote), The Joint International Conference on Interdisciplinary Research and The 8th International Conference on Quality, Reliability Infocom Technologies and Business Operations, Noida, India, 2017.

(6) Shigeru Yamada, "Statistical Process Control for OSS Projects and Optimal Software Release Policies," (Keynote), The 5th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization - Trends and Future Directions -, Noida, India, 2016.

〔図書〕(計 7 件)

(1) Y. Tamura and S. Yamada, "Dependability analysis tool considering the optimal data partitioning in a mobile cloud," in Reliability Modeling with Computer and Maintenance Applications, S. Nakamura, C.H. Qian, and T. Nakagawa (Eds.), pp. 45-60, World Scientific, Singapore, 2016. (<http://doi.org/101142/10559>)

(2) Y. Tamura and S. Yamada, "Identification method of fault level based on deep learning for open source software," in Software Engineering Research, Management and Applications, R. Lee (Ed.), pp. 65-75, Springer-Verlag, Switzerland, 2016. (DOI:10.1007/978-3-319-33903-0)

(3) S. Yamada and Y. Tamura, "Component-oriented reliability assessment approach based on decision-making frameworks for open source software," in Principles of Performance and Reliability Modeling and Evaluation, L. Fiondella and A. Puliafito (Eds.), pp. 587-608, Springer-Verlag, London, 2016. (DOI:10.1007/978-3-319-30599-8)

(4) S. Yamada and Y. Tamura, OSS Reliability Measurement and Assessment, Springer International Publishing, Switzerland, 2016. (185 pp.) (DOI:10.1007/978-3-319-31818-9)

## 6 . 研究組織

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：田村 慶信

ローマ字氏名：TAMURA yoshinobu

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。