

学位論文要旨 (Summary of the Doctoral Dissertation)	
学位論文題目 (Dissertation Title)	不確実性を考慮したオープンソースプロジェクトに対する安定性評価手法 (Stability Assessment Methodology for Open Source Projects Considering Uncertainty)
氏名 (Name)	曾根 寛喜
<p>オープンソースソフトウェア (OSS) は, 短納期, コスト削減, システムの標準化などの理由から, 組み込みシステム, サーバ用途などで採用されている. そのため, OSS は個人利用だけでなく, 商用利用されることも多い. OSS の多くは, バザール方式と呼ばれるプロプライエタリソフトウェア開発とは異なる独特の開発スタイルで開発されている. この方式では, 世界中の開発者によって多くの不具合が検出・修正され, 修正された結果は次のリリースに反映される. また, 多くの OSS はバグトラッキングシステムに記録された障害データを利用して, 複数の開発者と多くの OSS 利用者によって開発・維持される.</p> <p>2022 年の Open Source Security and Risk Analysis (OSSRA) の結果によると, プロプライエタリソフトウェアにおける OSS の利用状況として, OSS を含むソースコードの割合は 97%, 全ソースコードに占める OSS の割合は 78% と, OSS は欠かせない存在となっている.</p> <p>一方で, OSS には課題が様々な観点で存在している. そのため OSS ユーザは, 各課題を考慮した上で OSS を利用すべきかの判断が必要となる. また, オープンソースプロジェクトのマネージャは, OSS は世界中のソフトウェアに与える影響力が大きいため, 適切にプロジェクトを管理していく必要がある.</p> <p>本論文では, 複数ある課題の中から下記 3 点の課題に着目し, OSS ユーザやオープンソースプロジェクトマネージャがオープンソースプロジェクトの安定性評価を行う手法を検討する.</p> <ol style="list-style-type: none">1. 選定評価・ライセンス: 数多くある OSS から, OSS ユーザが選定を行うための方法2. 脆弱性対応: 報告された OSS のフォールト修正優先度予測3. 保守・品質保証: OSS ユーザが OSS アップグレード後に発生する開発工数を考慮した, 適切な OSS のバージョンアップタイミングの予測 <p>“1. 選定評価・ライセンス”では, オープンソースプロジェクトに Earned Value Management (EVM) の適用した, OSS 指向 EVM の導出を試みる. EVM は, プロジェクトのパフォーマンスと進捗を測定するためのプロジェクトマネジメント手法の一つである. OSS 指向 EVM の導出に当たり, ソフトウェア信頼度成長モデル (SRGM) を利用した確率モデルを適用することでオープンソースプロジェクト特有の不確実性を考慮する. そして, オープンソースプロジェクトにおける工数導出方法の改良を行う. 既存のオープンソースプロジェクトにおける工数導出方法を適用した場合, OSS 指向 EVM において, 一部の指標の導出ができないことが課題となっており, その課題を解消させる. 導出された OSS 指向</p>	

EVM によって, OSS ユーザおよびオープンソースプロジェクトマネージャは現在のプロジェクトの安定性を評価することができる。それは彼らにとって OSS の利用判断やプロジェクトに関する重要な意思決定の材料となる。また, 別の観点として, 報告された OSS のフォールトの修正時間推移を将来にわたって予測することで, フォールト修正の速さの観点から, プロジェクトの安定性評価も行う。

“2. 脆弱性対応” では, オープンソースプロジェクトマネージャの観点から, 私たちは報告されたフォールトにおいて, 修正優先度が高く, 修正時間が長いフォールトを検出するための指標を作成し, 予測する。さらに, 異なるバージョン間で修正されたバグの特徴的な類似性を考慮し, ランダムフォレストを用いて, 特定のバージョンだけでなく過去のバージョンのバグ報告データも学習することで, 提案指標の検出精度を向上させることを試みる。これにより, 大量のフォールトが報告された場合に, 修正を優先すべきフォールトが特定でき, プロジェクトマネージャはプロジェクト運営を円滑にすることができる。

“3. 保守・品質保証” では, 最適メンテナンス問題として, OSS ユーザが OSS アップグレード後に発生する保守工数を考慮した, 適切な OSS のバージョンアップタイミングの予測を行う。

OSS にはバージョンごとにサポート期間があり, サポートが終了することを EOL (End of Life) と言う。OSS ユーザにとって, EOL を過ぎたバージョンの OSS を使い続けることは, 脆弱性の観点から危険である。そのため, 定期的にサポートがされているバージョンへバージョンアップを行う必要がある。しかし, バージョンアップを頻繁に行うと, 保守費用が増大する。そのため, 低コストで OSS を更新する必要がある。そこで, 期待されるソフトウェア保守工数の総和を最小化されるタイミング, すなわち最適メンテナンス時刻を予測する。

特に, 最適メンテナンス時刻を導出するにあたり, OSS 指向 EVM を活用することで, オープンソースプロジェクトの進捗を反映することを狙う。

結論として, 3 つの観点それぞれにおいてオープンソースプロジェクトの安定性評価として適用性があることが分かった。特に, “1. 選定評価・ライセンス”にて検討した OSS 指向 EVM はオープンソースプロジェクトにおける保守工数の可視化に貢献でき, 今後の OSS の発展に寄与する可能性がある。

<h2>学 位 論 文 要 旨</h2> <p>(Summary of the Doctoral Dissertation)</p>	
学位論文題目 (Dissertation Title)	Stability Assessment Methodology for Open Source Projects Considering Uncertainty (不確実性を考慮したオープンソースプロジェクトに対する安定性評価手法)
氏 名 (Name)	SONE Hironobu
<p>Open source software (OSS) are adopted as embedded systems, server usage, and so on because of quick delivery, cost reduction and the standardization of systems. Therefore, OSS is often used not only for personal use but also for commercial use. Many OSS are developed under the peculiar development style known as the bazaar method. According to this method, many faults are detected and fixed by developers around the world, and the fixed result will be reflected in the next release. Also, many OSS are developed and managed by using the fault big data recorded on the bug tracking systems. Then, many OSS are developed and maintained by several developers with many OSS users.</p> <p>According to the results of the 2022 Open Source Security and Risk Analysis (OSSRA), OSS is an essential part of proprietary software, with 97% of source code containing OSS and 78% of all source code using OSS.</p> <p>On the other hand, OSS has issues from various perspectives. Therefore, OSS users need to decide on whether they should use OSS with consideration of each issue. In addition, the managers of open source projects need to manage their projects appropriately because OSS has a large impact on software around the world.</p> <p>This thesis focuses on the following three issues among several issues and examines a method for OSS users and open source project managers to evaluate the stability of open source projects.</p> <ol style="list-style-type: none">1. Selection evaluation and licensing: Methods for OSS users to make selections from the many OSS available2. Vulnerability support: Predicted fault fix priority for reported OSS3. Maintenance and quality assurance : Prediction of appropriate OSS version upgrade timing, considering the development effort required after OSS upgrade by OSS users <p>In "1. Selection evaluation and licensing," we attempt to derive OSS-oriented EVM by applying the earned value management (EVM) to several open source projects. EVM is one of the project management methodologies for measuring the project performance and progress. In order to derive OSS-oriented EVM, we apply the stochastic models based on software reliability growth model (SRGM) considering the uncertainty for the development environment in open source projects. Then, by deriving an OSS-oriented EVM, we can apply it to bullseye charts. The bullseye chart provides a means of visualizing the simultaneous progress toward each goal. In this thesis, we also discuss the application of the OSS-oriented EVM to the bullseye chart. We also improve the method of deriving</p>	

effort in open source projects. In case of applying the existing method of deriving effort in open source projects, it is not possible to derive some indices in OSS-oriented EVM, thus we resolve this issue. The derived OSS-oriented EVM helps OSS users and open source project managers to evaluate the stability of their current projects. It is an important decision-making tool for them regarding their OSS usage decisions and projects. From a different perspective, we also evaluate the stability of the project in terms of the speed of fault fixing by predicting the time transition of fixing reported OSS faults in the future.

"2. In "Vulnerability support," in terms of open source project managers, we create metrics to detect faults with a high fix priority and predicted a long time for fixing. In addition, we try to improve the detection accuracy of the proposed metrics by learning not only the specific version but also the bug report data of the past version by using the random forest considering the characteristic similarities of bugs fix among different versions. This allows the project managers to identify faults that should be prioritized for fixing when a large number of faults are reported, and facilitates project operations.

In "3. Maintenance and quality assurance," as an optimum maintenance problem, we predict the appropriate OSS version-up timing considering the maintenance effort required by OSS users after upgrading the OSS. It is dangerous in terms of vulnerability to continue using the specified version of OSS ignoring the End of Life. Therefore, we should upgrade the version periodically. However, the maintenance cost increase with the version upgrade frequently. Then, we find the optimum maintenance time by minimizing the total expected software maintenance effort in terms of OSS users. In particular, we attempt to reflect the progress of open source projects by using the OSS-oriented EVM in deriving the optimal maintenance time.

In conclusion, we found that there is applicability as the stability evaluation of open source projects from three perspectives. In particular, the OSS-oriented EVM discussed in "1. Selection evaluation and licensing" can contribute to the visualization of maintenance effort in open source projects and potentially contribute to the development of OSS in the future.

(様式 9 号)

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	曾根 寛喜
審査委員	主 査：田村 慶信
	副 査：若佐 裕治
	副 査：田中 俊彦
	副 査：河村 圭
	副 査：堀田 昌志
論文題目	Stability Assessment Methodology for Open Source Projects Considering Uncertainty (不確実性を考慮したオープンソースプロジェクトに対する 安定性評価手法)
<p>【論文審査の結果及び最終試験の結果】</p> <p>本学位論文では、オープンソースソフトウェア（Open Source Software, 以下 OSS と略す）の信頼性向上のため、OSS 信頼性評価の課題とテスト工程における問題点を開発工数の観点から明らかにしている。すなわち、OSS の開発サイクルに終わりではなく、陳腐化するまでバージョンアップが繰り返されるという特徴がある。さらに、OSS 開発工程には明確なテスト工程が存在しないため、信頼性評価が難しいという点も課題として挙げられる。こうした問題点を改善するため、確率モデルと機械学習に基づく動的信頼性評価アプローチを以下のように展開している。</p> <p>まず、OSS 開発工程の問題点とテスト工程における信頼性評価の課題について確率微分方程式モデルに基づく定量化手法を提案した。特に、アーンドバリューマネジメント（Earned Value Management, 以下 EVM と略す）という古典的な手法に対して確率モデルを融合することで、従来は静的な評価しかできなかった手法を、動的な振る舞いを記述および評価することを可能とした。</p> <p>次に、EVM の評価指標の 1 つである計画工数（Planned Value, 以下 PV と略す）に対して、確率微分方程式モデルに基づく推定結果を適用した。従来、PV は開発者の主観により与えられていたが、過去の実測データに基づく推定結果として与えることにより、過去のデータから将来の EVM 指標を予測することが可能となることを示した。これによって、EVM は、現時点における状態を確認することしかできなかった進捗評価手法であったが、物理モデルを適用した動的評価法へと変えることにより、将来の工数評価に役立てることが可能となった。</p> <p>具体的には、OSS の開発工数予測に対して、以下のような特徴を包括することで、EVM の可視化に成功している。</p>	

1. OSS のバグトラッキングシステム上における開発工数の登録状態の不規則性を考慮するために、白色雑音を導入した。
2. 様々な種類の OSS への適用可能性を考慮し、3 種類の確率微分方程式モデルを導入した。
3. ブルズアイチャートを用いることで、OSS 品質評価の可視化に成功した。

また、OSS のバグトラッキングシステム上に記録されたデータ分析および具体的な数値例として、Red Hat Enterprise Linux (RHEL), Eclipse, LibreOffice, および OpenStack という複数の OSS の開発工数データに対する EVM 評価例を示した。これにより、提案手法により EVM 評価指標が各 OSS に対して精度良く推定できることが確認できた。さらに、適合性評価結果として、赤池情報量規準に基づく提案モデルの比較結果を示した。その他にも、OSS の脆弱性対応としてフォールト重要度予測手法や、保守・品質保証を目的とした最適メンテナンス問題といった手法も提案した。最後に、本研究の結論と今後の検討課題について議論されている。

公聴会はオンラインのみで実施し、学内外から 26 名の聴講者があった。公聴会における主な質問内容は、確率微分方程式モデルの物理的な構造に関するもの、モデルの成長曲線形状に関するもの、従来型ソフトウェアと OSS との特性の違いに関するもの、OSS のライセンスや利用上における今後の展望に関するものなどについてであった。いずれの質問に対しても発表者からの的確な回答がなされた。

以上より本研究は独創性、信頼性、有効性、および実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容および審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである。（関連論文 計 3 編）

- [1] Hironobu Sone, Yoshinobu Tamura, and Shigeru Yamada, "A Study of Quantitative Progress Evaluation Models for Open Source Projects," *Journal of Software Engineering and Applications*, Vol. 15, No. 5, pp. 183-196, May 2022.
- [2] Hironobu Sone, Yoshinobu Tamura, and Shigeru Yamada, "Study of Effort Calculation and Estimation in Open Source Projects," *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*; doi:10.1142/S0218539323500110, Online First, pp. 2350011-1--2350011-13, May 2023.
- [3] Hironobu Sone, Yoshinobu Tamura, and Shigeru Yamada, "Quantitative Progress Evaluation for Open Source Project with Application to Bullseye Chart," Proceedings of the 24th International Conference on Human-Computer Interaction, pp. 398-409, July 2022.