

学 位 論 文 要 旨	
(Summary of the Doctoral Dissertation)	
学位論文題目 (Dissertation Title)	Software Reliability Growth Model Considering Debug Activity of Open Source Software (オープンソースソフトウェアのデバッグ活動を考慮したソフトウェア信頼度成長モデル)
氏 名 (Name)	宮本 翔一郎
<p>近年，ソフトウェア開発においてオープンソースソフトウェアは様々な領域において活用されている．Synopsis 社の調査によると商用コードベースのうち 96%に OSS が含まれている．また，政府や金融機関のような社会に大きな影響を与える組織における活用も進んでおり，OSS の社会的地位は高まっている．今日では，OSS は様々なシステムの一部として活用されており，低コスト・短納期でのシステム開発が実現している．</p> <p>OSS はボランティアのエンジニアによって開発されたソフトウェアであり，OSS プロジェクトによってソフトウェアの品質は異なる．したがって，ソフトウェア開発における品質管理上の観点から，OSS の利用にあたって事前の品質評価が重要である．そこで，品質を評価する判断材料の一つとしてソフトウェア信頼性評価が実施されている．</p> <p>ソフトウェアの信頼性を評価する手法としては，商用ソフトウェア向けにソフトウェア信頼性評価モデル (SRM) が研究されてきた．SRM は信頼性に関する指標の傾向をモデル化したものであり，ソフトウェアの信頼性を簡易かつ迅速に判断することができる特徴をもつ．その中ではフォールト検知型の信頼度成長モデル (SRGM) は過去に多くの研究者によって提案され，様々な開発現場で利用されてきた．しかしながら，商用ソフトウェアと OSS ではデバッグ活動に大きな違いがあることから，既存の SRGM を OSS の信頼性評価に用いるのは困難である．そこで，OSS においても信頼性評価が可能な SRGM が必要とされている．</p> <p>本論文では，デバッグ活動のうち，次の 3 つについて焦点をあて，OSS における信頼性評価を実現する SRGM を検討する．</p> <ul style="list-style-type: none">● ユーザ数の変動：OSS のユーザ数の変動に伴いデバッグ能力も変動する● フォールト報告システムの違い：フォールト報告システムの違いによってフォールトの認定に時間を要する● OSS のアップデート：ソフトウェアアップデートによって OSS に潜在するフォールト数が変動する <p>“ ユーザ数の変動 ” では，ユーザ数の変動が既存の SRGM に与える影響を分析し，ユーザ数を考慮した実行時間を提案する．商用ソフトウェアにおける SRGM ではテスト段階においてユーザ数が大きく変動することは少なく，OSS に比べてテスト環境が定常である．他方，OSS はソフトウェアの人気度や機能性などに応じてユーザ数が頻繁に変動し，テスト環境が定常ではないことから，従来の SRGM を用いたソフトウェア信頼性評価が困難である．そこで，ユーザ数を考慮した実行時間を提案し，この問題を解決する．実行時間を適用した SRGM はユーザ数の変動に伴うデバッグ能力の変動の影響が緩和され，従来モデルを用いた信頼性評価が可能となる．</p> <p>“ フォールト報告システムの違い ” では，商用ソフトウェアと OSS のフォールト報告プロセスの違いに着目し，フォールトの認定に時間を要する OSS においても迅速な信頼性評価が可能な SRGM を提案する．OSS では商用ソフトウェアと同様にバグトラッキングシステム (BTS) を活用したフォールトの管理が行われる．しかしながら，OSS の BTS は商用ソフトウェアと異なり，誰でもフォールトの報告が可能な公開型の BTS であることから，報告されるフォールトの質にばらつきがある．また，OSS プロジェクトの BTS はボランティアの開発者によって管理されていることから，商用ソフトウェアに比べて開発者が運用に費やせるリソースには制約がある．このため，商用ソフトウェアに比べ，報告されたフォールト</p>	

様式 7 号（第 12 条，第 31 条関係）
（様式 7 号）(Format No.7)

を認定するまでに時間を要する傾向がある．本論文では OSS における BTS のフォールトデータを解析し，OSS の SRGM を構築する際に必要なデータについて検証を行う．また，OSS においても迅速に信頼性評価が可能な SRGM を提案する．

“ OSS のアップデート” では， OSS において頻繁に実施されるソフトウェアアップデートを考慮した SRGM を提案する．OSS ではフォールトの修正や機能性の向上を目的としたソフトウェアアップデートが頻繁に実施される．このとき，ユーザは状況に応じてバージョンを選択するため，利用される OSS のバージョンは細分化される．この影響が SRGM に与える影響について分析した研究は行われていない．また，ダウンロード数との関連性についても分析が行われていない．そこで，バージョン別の採用状況についてソフトウェアリポジトリマイニングを実施し，ソフトウェアアップデートが与える影響について分析する．また，バージョン別ダウンロード数のデータを活用し，リポジトリ上の採用状況とダウンロード数の関連性について分析を行う．さらに，アップデートを考慮した SRGM の構築方法を提案する．

結論として， OSS のデバッグ活動とフォールト発生傾向の関連性をいくつか発見した．また，デバッグ活動を考慮した提案手法は OSS の信頼性評価法として適用性があることが分かった．提案手法は多くの OSS プロジェクトが活用するツールに適用が可能であり，ソフトウェア開発における OSS の選定の際に有力なツールとして利用できる可能性がある．

学 位 論 文 要 旨 (Summary of the Doctoral Dissertation)	
学位論文題目 (Dissertation Title)	Software Reliability Growth Model Considering Debug Activity of Open Source Software (オープンソースソフトウェアのデバッグ活動を考慮したソフトウェア信頼度成長モデル)
氏 名 (Name)	MIYAMOTO Shoichiro
<p>In recent years, an open source software (OSS) has been increasingly utilized in various fields of software development. Additionally, its use in organizations that have significant societal impacts, such as governments and financial institutions. It is growing under OSS's social standing. According to Synopsys's open source security and risk analysis (OSSRA), 96% of commercial codebase is embedded OSS's source code. Recently, the OSS has been incorporated into various systems. Many systems are being developed at low cost and in short delivery times using OSS.</p> <p>On the other hand, the evaluation of OSS quality is needed to ensure the quality from the perspective of the software quality management. Since OSS is the software created by others, the quality of the software varies depending on the OSS project. Therefore, it is necessary to check whether there are any problems with the quality of the software before adopting the OSS.</p> <p>In the past, the software reliability model (SRM) was developed as a reliability assessment tool for the proprietary software to evaluate the software reliability. It is the model of the trends of reliability indicators. Several SRMs can easily and quickly determine the reliability of proprietary software. Especially, the fault detection based on software reliability growth model (SRGM) have been proposed for the proprietary software as a method of the software reliability evaluation. The SRGMs have been utilized in various development settings. However, it is difficult to apply several traditional SRGMs to OSS due to the differing debugging activity of OSS. Therefore, it is needed to develop the SRGM that can evaluate the reliability for OSS.</p> <p>This thesis focuses on the following three debugging activities in terms of applying the fault detection based SRGM to OSS:</p> <ul style="list-style-type: none">● Variability in the number of users: Debugging ability varies depending on the number of OSS users.● Differences in fault reporting systems: Fault recognition is delayed due to differences in fault reporting system process.● Software updates: Fault occurrence trends depend on software updates. <p>In terms of “Variability in the number of users”, this thesis analyzes the impact of user fluctuation on existing SRGMs. It proposes execution time that accounts for the number of users. In traditional SRGM for proprietary software, the number of users remains relatively stable during the testing phase. This stability results in a consistent testing environment. However, the number of users frequently fluctuates due to factors such as software popularity and functionality. These fluctuations make it challenging to evaluate software reliability using traditional SRGM. To address this issue, this thesis introduces execution time that considers user fluctuations. By introducing the execution time considering the number of users, this issue will be resolved. Applying the execution time to the SRGM smooths the debugging capacity according to the number of users. This approach enables OSS reliability evaluations using existing models.</p> <p>In “Differences in fault reporting systems”, this thesis focuses on the effects of differences in the software fault reporting process. This thesis proposes the method that allows for construction of OSS reliability evaluation models quickly. OSS projects use the bug tracking systems (BTS) in order to manage the faults like as the proprietary software development. Since OSS's BTS is an Open BTS and anyone can report the faults, the quality of the reported faults varies. In addition, since the OSS projects depends</p>	

on the volunteer developers. Then, the developers have the limited time to develop software compared with the proprietary software. It takes a long time to confirm the reported faults. Therefore, it takes time to analyze the fault data. This thesis analyzes the Open BTS fault data and analyze the data required to build a SRGM for OSS. Furthermore, this thesis uses the analysis results to propose the SRGM that utilizes unclosed fault data. By applying the proposed method, the reliability of OSS can be evaluated more quickly.

In “Software updates,” this thesis proposes the SRGM considering the frequent software updates in OSS. OSS frequently undergoes several software updates to fix the faults and improve functionality. Because users select versions according to the situation, the OSS versions used are highly fragmented. No research has been conducted to analyze the impact of this on SRGM. There has been no research of the SRGM considering the correlation with the download counts. Therefore, this thesis makes a software repository mining for analyzing the effect of software updates. In addition, this thesis uses the data on the number of downloads by version to analyze the relationship between the adoption status on the repository and the number of software downloads. Furthermore, this thesis proposes the SRGM considering the effect of software update.

In conclusion, this thesis has identified several relationships between OSS debugging activities and fault occurrence phenomena. Moreover, the proposed method has been demonstrated to be applicable as a reliability evaluation method for OSS. Furthermore, the proposed method can be applied to the tools used by many OSS projects. It has the potential to be used as a powerful tool selecting OSS in software development

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	宮本 翔一郎
審 査 委 員	主 査：田村 慶信
	副 査：村田 英一
	副 査：河村 圭
	副 査：堀田 昌志
	副 査：山田 洋明
論 文 題 目	Software Reliability Growth Model Considering Debug Activity of Open Source Software (オープンソースソフトウェアのデバッグ活動を考慮したソフトウェア信頼度成長モデル)

【論文審査の結果及び最終試験の結果】

オープンソースソフトウェア (Open Source Software, 以下 OSS と略す) は, 様々な領域におけるソフトウェアシステム開発において多用されている. 本学位論文は, 高信頼性および高品質な OSS を実現するため, 実行時間に基づくソフトウェア信頼度成長モデルを提案し, その有効性を明らかにしている. まず, ソフトウェア開発における歴史とともに, 信頼性評価の必要性について説明し, 確率モデルであるソフトウェア信頼度成長モデルを体系的にまとめ, 本学位論文の目的と概要について論じている. 特に, ソフトウェア信頼度成長モデルの確率モデルとしての構造と体系的なまとめ, その導出過程, 適合性評価尺度の種類について詳細に説明している. また, OSS 開発において使用されているバグトラッキングシステム, バージョンコントロールシステム, およびソフトウェアリポジトリなどのツールについて言及されている.

まず, 研究の前提として, OSS のフォールトデータに対する既存のソフトウェア信頼度成長モデルの適用可能性について議論する必要がある. 既存モデルに基づく適合性比較結果として, 複数の適合性評価尺度を用いた数値例について議論した結果, 既存のソフトウェア信頼度成長モデルを OSS における信頼度成長曲線へ直接利用することが困難であることを証明した.

本論文では, 以下の 3 点に焦点をあて, OSS における信頼性評価を実現するソフトウェア信頼度成長モデルについて検討された.

- OSS のユーザ数の変動に伴いデバッグ能力が変動する点,
- フォールト報告システムの違いによってフォールトの認定に時間変化が生じる点,
- ソフトウェアアップデートによって OSS に潜在するフォールト数が変動する点.

上記の観点から, OSS の特徴を包括した実行時間に基づく新たな枠組みとして改良したモデルを提案し, 実際の OSS のフォールトデータに基づいた提案モデルの数値例を示すととも

に、様々な種類の OSS に対する提案モデルの適用可能性について分析した。

さらに、具体的な数値例として、特性の異なる複数のフォールトデータに対する提案モデルの適用結果を示すとともに、適合性比較結果を示している。

OSS には、バグフィックスバージョン、マイナーバージョン、およびメジャーバージョンのように、複数のバージョンアップが存在している。特に、メジャーバージョンアップは、OSS の仕様が大きく変化するため、信頼性の低下を招くことが多い。メジャーバージョンアップに伴う OSS 信頼性の変化を包括した数理モデルを提案した。さらに、実際のフォールトデータに基づく数値例として、適合性評価結果を示し、提案モデルの有効性を証明した。

さらに、バージョン別のソフトウェアリポジトリマイニングを行い、リポジトリ上の OSS 採用状況とダウンロード数の関連性について分析した結果、ダウンロード数との関連性が存在することを確認できた。OSS のバージョン別ダウンロード数をデータ分析し、アップデートを考慮した SRGM の構築方法を提案し、具体的な数値例を示すことで、OSS の信頼性を評価できることを確認できた。

結論として、OSS のデバッグ活動とフォールト発生傾向の関連性について、OSS 特有の新たな知見を得た。また、デバッグ活動を考慮した提案手法は OSS の信頼性評価法として有用であることを確認できた。提案手法は、多くの OSS プロジェクトに対して適用でき、ソフトウェア開発における OSS の選定の際に有力なツールとして利用できることを証明した。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。

公聴会を実施し、17 名の聴講者があった。公聴会における主な質問内容は、OSS に対する提案モデルの有効性に関するもの、ハードウェア製品などへの応用に関するもの、OSS のフォールトデータの特性に関するもの、OSS のメジャーバージョンアップに対するモデルの包括性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] Shoichiro Miyamoto, Yoshinobu Tamura, and Shigeru Yamada, "Reliability Assessment Tool Based on Deep Learning and Data Preprocessing for OSS," *American Journal of Operations Research*, Vol. 12, No. 3, pp. 111-125, May 2022.
- [2] Shoichiro Miyamoto, Yoshinobu Tamura, and Shigeru Yamada, "A Method of OSS Reliability Assessment Based on Public Repository Analysis," *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, Vol. 30, No. 5, pp. 2350021-1-2350021-12, August 2023.
- [3] Shoichiro Miyamoto, Yoshinobu Tamura, and Shigeru Yamada, "A Method of Reliability Assessment Based on Trend Analysis for Open Source Software," *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, Vol. 31, No. 4, pp. 2450004-1-2450004-15, April 2024.