

平成 31 年 4 月 30 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00098

研究課題名(和文) ソフトウェア品質/信頼性に基づいたテスト工程の経済学的分析と最適化

研究課題名(英文) Software Quality/Reliability-Based Economic Analysis and Optimization of Testing Phase

研究代表者

井上 真二 (Inoue, SHINJI)

関西大学・総合情報学部・准教授

研究者番号：60432605

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：ソフトウェア信頼度成長モデルを活用しながら、テスト工程に対する経済学的視点からの管理技術について議論した。具体的には、テスト時間要因とテスト労力要因からなる2変量ソフトウェア信頼度成長モデルを適用しながら、一定の予算制約下における検出可能フォールト数や種々の信頼性評価尺度の最大化問題を定式化し、これらを満足するテスト時間およびテスト労力量の推定手法を開発した。さらに、開発者側の一定のテスト戦略に基づく効用を多属性効用理論により表現し、これを最大化する最適リリース(出荷)問題や開発管理に関連した種々の問題についても取り扱い、ミクロ経済学的視点に基づくテスト工程の管理技術について議論した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

経済学的な視点や枠組みにおいて、ソフトウェア品質/信頼度、信頼度成長要因、およびコストとの関係を理論的かつ解析的に解き明かした点は、従来のソフトウェア信頼性工学に経済学的に色彩を取り込んだ点で、当該学術分野における独創的な提案ができたと共に、ソフトウェア産業界における品質経営や品質指向ソフトウェアマネジメントを多角的に実施していく上でも有用な成果であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Management technologies with economic aspects for software testing phase have been discussed by applying a software reliability growth model, which is known as a mathematical model for conducting quantitative software reliability assessment. Concretely, formulating maximization problems for the number of detectable software faults, the mean time between software failures, and software reliability, respectively, and deriving their analytical solutions, which satisfying certain budget constraint, have been discussed by applying a bivariate software reliability growth model which describes the software reliability growth process depending the testing time and testing effort expenditure. Further, optimal software release and the related software development management problems for maximizing software developer's utility formulated based on multi-attribute utility theory have been also discussed as approaches for managing software testing phase in terms of economic aspects.

研究分野：ソフトウェア, 信頼性工学

キーワード：ソフトウェアマネジメント ソフトウェア信頼度成長モデル 信頼度最大化 効用理論

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

### 1. 研究開始当初の背景

ソフトウェア信頼度成長モデルは、テストの実行に伴い観測される信頼度成長過程を記述する数理モデルであり、ソフトウェアの品質/信頼性を計測・評価・予測するための基盤技術として知られている。また、この数理モデルによって、テスト工程におけるソフトウェア故障発生現象を解析的に捉えることができ、不確実性を考慮した定量的な様々な信頼性評価が行える。さらに、ソフトウェア信頼度成長モデルに基づきながら、ソフトウェアの最適リリース(出荷)問題など、開発管理的視点からの応用問題も議論されている。特に、ソフトウェアの最適リリース問題は、信頼度成長モデルによって、任意の時間区間におけるソフトウェア故障発生数が推定可能であることを活用しながら、テスト工程および運用段階でのフォールト1個当りの修正コスト(コストパラメータ)をそれぞれ与えることで、テストコストと保守コストとのトレードオフに基づいたソフトウェアの最適な出荷時期を推定する問題である。上述した手法に基づいた最適出荷時期の推定は、ソフトウェア信頼度成長モデルの評価精度と共に、コストパラメータの値や想定し得る運用環境にも強く影響を被る。運用環境からの影響も考慮したソフトウェアコストの定式化については改良モデルが提案されているが、フォールト修正に費やす総コスト(ソフトウェアコスト)を目的関数とした従来の最適出荷時期の推定と本質的に変わらない。

そもそも、テスト工程は、開発されたソフトウェアの最終的な品質を確認する工程であり、品質、コスト制約、納期などをはじめとする様々な要因が絡み合い、開発費用の約40%超を占める大変複雑かつ重要な工程の1つでもある。したがって、開発者側は品質、コスト、納期に関する主な3つの品質要素間の調和を図りながら経済的かつ効率的なテスト作業の実施が求められる。つまり、主要な品質要素間の調和を図りながら経済的かつ効率的なテストを実現するためには、これらの要因とソフトウェア品質との関係を理論的に解き明かし、多角的かつ体系的な情報を抽出するための分析手法の開発が必要である。前述したソフトウェアの最適リリース問題は、このニーズに対応した研究成果として現在まで位置づけられているが、コストにのみ着目した手法であり極めて偏った推定結果を与えかねない。テスト作業の経済性および効率性を重視しながら上述したニーズに対して多角的かつ体系的な情報を得るためには、経済学的概念に基づいた分析や関連した最適化問題にまで踏み込んだ議論が必要である。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、従来から多く用いられている上述した手法やいわゆる伝統的手法から一旦離れ、各要素間の関係と一定の制約条件の下で合理的な戦略を導くミクロ経済学 concepts を有効的に活用しながら、観測されたソフトウェア故障発生現象をできるだけ正確に記述したソフトウェア信頼度成長モデルに基づいて、経済的かつ効率的なテストの実施を支援するためのより多角的かつ体系的な情報を抽出するための分析手法と効用理論を駆使したソフトウェア開発管理技術について議論する。

具体的には、テスト時間要因とテスト労力要因から成る2次元のソフトウェア信頼度成長要因空間上で、発見された総期待フォールト数の時間的挙動をコブ・ダグラス型効用関数によって記述する2変量ソフトウェア信頼度成長モデルを適用しながら、ソフトウェア品質/信頼性に基づいたテスト工程のミクロ経済学的分析を行う。本研究課題で議論する主な内容としては、(1)ある予算制約下において所定の信頼度要求を満足する最適なテスト時間やテスト労力量の推定手法、(2)多属性効用理論に活用しながら、品質、コスト、納期などの各要因に基づいて説明される効用を、一定のテスト戦略の下で最大化するためのテスト方策の導出について議論を行い、経済学的視点を取り込んだソフトウェア開発管理のための技術開発を行う。高品質/信頼性ソフトウェアの開発を主な目的として、現在までに様々な信頼性評価手法およびそれに基づいたソフトウェア開発管理手法が提案されているが、信頼性と経済学的視点を融合した、いわゆる Reliability Economics と呼ばれる概念をソフトウェア開発管理手法へも導入することで、品質/信頼性を意識したソフトウェア開発管理手法に新たな話題を提供することも本研究課題の目的の1つとして取り組む。

### 3. 研究の方法

テスト時間要因とテスト労力要因からなる信頼度成長要因とそれらに従って観測される信頼度成長過程との関係を、ミクロ経済学における効用関数もしくは生産関数として多く使われるコブ・ダグラス型関数を用いて表現する2変量ワイブル型ソフトウェア信頼度成長モデル(文献)を適用する。その中で、ある一定の予算制約下での信頼性評価尺度に関する最適化問題を定式化し、これらの最適条件下におけるソフトウェア信頼度および予算など主要な要因との関係性を理論的かつ解析的に解明することを試みた。具体的な方法としては、

- (1) テスト時間およびテスト労力量に対するそれぞれの単位投入コストを与え、テストに要するコストを定式化する。
- (2) 定式化したテストに要するコストが、所与の予算制約条件を満たす状況下において、検出可能フォールト数を最大化するためのテスト時間およびテスト労力投入量を推定する最適化問題を定式化する。
- (3) 目的関数は、検出可能フォールト数であるため、実際に投入されたテスト労力量データと共に観測されたフォールト発見数データによって推定された2変量ワイブル型ソフトウェア信頼度成長モデルを適用しながら目的関数を与える。

上記の問題は、いわゆる予算制約下における検出可能フォールト数最大化問題として定義され、一定の予算の下で、テスト工程において検出可能なフォールト数を最大化するために要するテスト時間およびテスト労力投入量が推定されることになる。また、実務におけるソフトウェア信頼性評価では、ソフトウェア信頼度や平均ソフトウェア故障発生時間間隔などのソフトウェア信頼性評価尺度を用い、開発したソフトウェアの品質/信頼性を計測・評価することが多いため、目的関数に、2変量ソフトウェア信頼度成長モデルから導出される運用ソフトウェア信頼度関数や平均ソフトウェア故障発生時間間隔を用いながら、予算制約下におけるソフトウェア信頼度最大化問題および平均ソフトウェア故障発生時間間隔最大化問題についても議論し、経済的視点からの開発管理に関する興味ある問題をそれぞれ定義した。さらに、上述した2変量ソフトウェア信頼度成長モデルにおける信頼度成長要因であるテスト時間要因とテスト労力要因とのソフトウェア信頼度成長要因間の代替性を考慮した効用関数を適用した新たな2変量ソフトウェア信頼度成長モデルも提案し、上述の方法に基づいた分析を行うと共に、テスト時間とテスト労力の投入に係るコストに従い変化する最大フォールト検出可能数の特徴についても議論した。また、多属性効用理論を適用しながら、開発者側の一定のテスト戦略に対する品質、コスト、納期などの各品質要素に対する効用について効用関数を用いて表現し、当該テスト戦略の下での総合的期待効用を最大化するためのソフトウェア最適リリース(出荷)方策についても議論しながら、開発者側のテスト戦略を加味した品質指向型ソフトウェア開発管理手法の議論も行った。具体的には、下記のステップに基づく方法に従って議論を行った。

- (1) テストコストやソフトウェア信頼度のそれぞれに対する開発者側のある一定のテスト戦略に基づいて効用関数を与える。
- (2) 多属性効用理論に基づきながら、上述したそれぞれの効用関数を用いて、開発者側の一定の戦略に基づいた総合的期待効用関数を定式化する。
- (3) (2)において定式化した総合的期待効用を最大化するテスト終了時刻(ソフトウェアのリリース時刻)を推定する。

なお、テストコストやソフトウェア信頼度の算出には、実際に観測されたフォールト発見数データを用いて推定した既存のソフトウェア信頼度成長モデルを適用した。このアプローチは、開発者側の一定のテスト戦略における効用最大化問題によるソフトウェアの最適リリース問題を議論しており、出荷前のテストコストと出荷後の保守コストとのトレードオフ関係を利用したテストコスト最小化問題に基づく従来からの最適リリース問題のアプローチとは大きくことなる。つまり、開発者側の効用に基づく経済的観点からのソフトウェア開発管理技術として新たなアプローチを提案した。

#### 4. 研究成果

「3. 研究の方法」において述べたはじめの議論では、所定の予算制約下でどの程度テストを実施すれば検出可能フォールト数や関連したソフトウェア信頼性評価尺度を最大化できるかを議論した。特に、所定の予算制約下における検出可能フォールト数の最大化に関する議論では、「3. 研究の方法」において述べた方法に従い、所定の予算( $I$ )制約下において検出可能フォールト数の最大化するためのテスト時間( $s^*$ )およびテスト労力投入量( $u^*$ )を推定するための推定式を導出した。この推定式では、 $s^*$ および $u^*$ が、これらがそれぞれソフトウェア信頼度成長過程に与える影響度合い( $\alpha$ )、単位テスト時間当りの費用( $p_s$ )、および単位テスト労力量当りの費用( $p_u$ )を用いて、 $(s^*, u^*) = (\alpha I / p_s, (1 - \alpha) I / p_u)$ に従って推定できることを示した。つまり、所定の予算制約下において検出可能フォールト数の最大化するためのテスト時間およびテスト労力投入量が、各ソフトウェア信頼度成長要因の単位

表1: 検出可能フォールト数の感度分析 ( $\alpha = 0.176$ )

No.	$I$	$p_s$	$p_u$	$s^*$	$u^*$	$H(s^*, u^*)$
1	10	0.1	10	17.56	0.824	263.8
2	10	0.1	9	17.55	0.916	286.6
3	10	0.05	10	35.11	0.824	296.3
4	10	0.05	9	35.11	0.916	322.0
5	9	0.1	10	15.80	0.742	238.5
6	9	0.05	10	31.60	0.742	267.9
7	9	0.1	9	15.80	0.824	259.1
8	9	0.05	9	31.60	0.824	291.0

$H(s^*, u^*)$ : 検出可能フォールト数の期待値

当りの投入費用、それらの信頼度成長要因が信頼度成長過程に与える影響度、および予算に支配されることがわかった。したがって、観測されるソフトウェア信頼度成長過程に対して影響度が高く、単位テスト時間および単位テスト労力投入量に対するコストが小さい信頼度成長要因を多く投入することが、所定の予算において検出可能フォールト数を最大化することを説明できる。一例として、上記の議論における感度分析結果を表1に示す。表1では、 $\alpha = 0.176$ であるため、ソフトウェア信頼度成長過程に対する影響は、テスト時間要因( $s$ )よりもテスト労力要因( $u$ )の方が高い。また、テスト労力要因として命令テスト網羅度を用い、テスト労力要因に対する単位あたりのコストは、テスト時間要因の単位あたりのコストよりもかなり大きく設定し

ている。この設定に基づいて、表1では、テスト労力に対する単位投入コストによって検出可能フォールト数は大きく変化することがわかる。また、テスト時間要因に対する配分量は、その単位投入コストが小さくなるにつれ増加し、それに伴う検出可能フォールト数の増分は、テスト労力要因の投入量増加に伴う場合よりもかなり小さい(表1のNo.1-4参照)。また、予算(I)を増やせば、もちろん検出可能フォールト数は大きくなり、前述と同様な振る舞いで変化することがわかる。したがって、一定の予算制約下では、ソフトウェア信頼度成長要因に対するそれぞれの単位投入コストと信頼度成長過程への影響度によって、検出可能フォールト数の大まかな見積もりが可能となる。また、実際のソフトウェア開発における信頼性解析/評価で多く実用に供される評価尺度であるソフトウェア信頼度や平均ソフトウェア故障発生時間間隔を、検出可能フォールト数に替わる目的関数として、それらの最大化問題をそれぞれ考えた場合、本質的に上記の同様の結果を得たことも付記しておく。また、ソフトウェア信頼度成長要因間の代替性を考慮しながら、予算制約下における検出可能フォールト数を算出するための新たな2変量ソフトウェア信頼度成長モデルの開発も行った。具体的には、観測された信頼度成長過程へのソフトウェア信頼度成長要因の影響をレオンチェフ型効用関数を用いて表現し、テスト時間要因とテスト労力要因におけるソフトウェア信頼度成長要因としての代替性を考慮した検出可能フォールト数の推定を行い、その特徴を分析した。特に、ソフトウェア信頼度成長要因間の代替性が高い場合は、予算制約内で検出可能フォールト数を最大化するために、単位コストが小さな信頼度成長要因へコスト分配比率を高める方が効果的であることを感度分析より確認できた。

「3. 研究の方法」において述べた後述の議論では、ソフトウェア信頼度成長モデルを用いた発見フォールト数(ソフトウェア信頼性に関する情報)の推定式やテスト実施に要する対予算消化率(テスト費用に関する情報)の推定式に基づいて、開発者側のソフトウェア信頼性やテスト費用に関する一定のテスト戦略に対する効用を多属性効用理論に基づいて定式化し、それを最大化するテスト終了時刻(ソフトウェアの最適出荷時刻)を推定する枠組みについて議論した。このアプローチは、開発者側の一定のテスト戦略に対する効用を効用関数を用いて表現し、ソフトウェアの最適なテスト終了時刻を推定する枠組みであり、テスト費用や出荷後の保守費用から算出される総期待ソフトウェアコストを最小化しながらテスト終了時刻を推定する従来のアプローチとは大きく異なる議論を行った。当議論においては、ソフトウェア信頼性に関する情報およびテスト費用に関する情報のそれぞれについて、いわゆるリスク中立型効用関数を適用した場合、総期待効用に対するソフトウェア信頼性に対する重みを大きくするにつれて、テスト終了時刻は遅くなる傾向があるが、開発者の総合的期待効用は大きくなることが確認できた。ただし、開発者側の総合的期待効用の定式化方法によってその傾向は変化する可能性があり、より多くの属性を考慮した場合の結果考察や数理的構造について改善の余地がある。

上述したように今回の研究課題では、ミクロ経済学における一部の知見をソフトウェア信頼性管理技術に応用しながら、ソフトウェア開発費用の大部分を占めるテスト工程の経済学的分析手法について議論した。これらのアプローチでは、ソフトウェアの信頼性を定量的に分析するための数理モデルの適用が必須であるが、高精度にソフトウェアの信頼性を計測・評価・予測するための数理モデルの開発についても、当該研究課題に関連する重要な問題として議論したことも記しておく。

#### <引用文献>

井上真二, 山田茂, 「2変量ワイブル型ソフトウェア信頼度成長モデルとその適合性評価」, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 8, pp. 2851-2861, 2008年8月

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計9件)

Y. Minamino, S. Sakaguchi, S. Inoue and S. Yamada, "Two-dimensional NHPP models based on several testing-time functions and their applications," *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 査読有, Vol. 26, No. 4, pp. 1950018 (14 pages), 2019.  
DOI: 10.1142/S0218539319500189

S. Inoue and S. Yamada, "A software reliability growth modeling framework with complexity of path searching," *Journal of Universal Computer Science*, 査読有, Vol. 24, No. 12, pp. 1680-1689, December 28, 2018.  
DOI: 10.3217/jucs-024-12-1680

S. Inoue and S. Yamada, "Markovian software reliability modeling with change-point," *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 査読有, Vol. 25, No. 2, pp. 1850009 (13 pages), April 2018.  
DOI: 10.1142/S0218539318500092

S. Inoue, N. Yamashita and S. Yamada, "On statistical models for predicting software quality/reliability: generalized linear and linear mixed modeling," *Life Cycle Reliability and Safety Engineering*, 査読有, Vol. 6, No. 1, pp. 15--21, June 2017.  
DOI: 10.1007/s41872-017-0002-z

S. Inoue, K. Hotta and S. Yamada, "On estimation of number of detectable software faults under

budget constraint,” *International Journal of Mathematical, Engineering and Management*, 査読有, Vol. 2, No. 3, pp. 135--139, April 2017.

ISSN: 2455-7749

S. Inoue and S. Yamada, “Test environment dependent discrete binomial-type software reliability models,” *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 査読有, Vol. 24, No. 1, pp. 1750003 (14 pages), January 2017.

DOI: 10.1142/S0218539317500036

S. Inoue, J. Ikeda and S. Yamada, “Bivariate change-point modeling for software reliability assessment with uncertainty of testing-environmental factor,” *Annals of Operations Research*, 査読有, Vol. 244, No. 1, pp. 209-220, September 2016.

DOI: 10.1007/s10479-015-1869-6

Y. Minamino, S. Inoue and S. Yamada, “NHPP-based change-point modeling for software reliability assessment and its application to software development management,” *Annals of Operations Research*, 査読有, Vol. 244, Issue 1, pp. 85-101, September 2016.

DOI: 10.1007/s10479-016-2148-x

S. Inoue and S. Yamada, “Generalized linear modeling for predicting software quality from process data,” *Amity Journal of Interdisciplinary Research*, 査読有, Vol. 1, No. 1, pp. 52-58, July 2016.

#### [学会発表](計20件)

S. Inoue and S. Yamada, “Debugging process oriented software reliability models and their goodness-of-fit,” *Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2018)*, Bangkok, Thailand, December 16-19, 2018, IEEE Catalog Number: CFP18IEI-USB (ISBN: 978-1-5386-6785-9), Reliability & Maintenance Engineering 3, 5 pages.

S. Inoue and S. Yamada, “MCMC based discrete software reliability assessment and its application,” *Proceedings of 2018 Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling & 2018 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering*, August 21-24, 2018, Qingdao, Shandong, China, pp. 70-74.

S. Inoue and S. Yamada, “Interval estimations of optimal software release time based on MCMC method,” *Proceedings of the Twenty-Fourth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design*, Toronto, Ontario, Canada, August 2-4, 2018, pp. 121-125.

S. Sakaguchi, Y. Minamino, S. Inoue and S. Yamada, “Bivariate software reliability models depending on a Cobb-Douglas type testing-time function and their applications,” *Proceedings of the Twenty-Fourth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design*, Toronto, Ontario, Canada, August 2-4, 2018, pp. 41-45.

井上真二, 山田茂, 「離散化ソフトウェア信頼性モデルに基づいた信頼性評価尺度の区間推定」, 京都大学数理解析研究所講究録 2078 RIMS 共同研究(公開型)「不確実性の下での意思決定理論とその応用: 計画数学の展開」, 京都大学数理解析研究所, pp. 141-146, 2018年7月.

南野友香, 井上真二, 山田茂, 「CES型テスト時間関数に基づく2変量ソフトウェア信頼度成長モデル」, 京都大学数理解析研究所講究録 2078 RIMS 共同研究(公開型)「不確実性の下での意思決定理論とその応用: 計画数学の展開」, 京都大学数理解析研究所, pp. 15-21, 2018年7月.

井上真二, 山田茂, 「チェンジポイントを考慮したマルコフ型ソフトウェア信頼性モデル」, 統計数理研究所共同研究リポート 407 「最適化: モデリングとアルゴリズム 30」, 統計数理研究所, pp. 1-6, 2018年3月.

Y. Minamino, S. Inoue and S. Yamada, “Two-dimensional software reliability growth modeling based on a CES type time function” *Proceedings of 2017 International Conference on Infocom Technologies and Unmanned Systems (ICTUS' 2017)*, Dubai, UAE, December 18-20, 2017, pp. 120-125.

A. Li, S. Inoue and S. Yamada, “Software reliability modeling approaches with test environment factors,” *Proceedings of the Twenty-Third ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design*, Chicago, Illinois, U.S.A., August 3-5, 2017, pp. 209-213.

S. Inoue and S. Yamada, “On Bayesian estimation for software reliability assessment based on a discrete NHPP model,” *Proceedings of the Twenty-Third ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design*, Chicago, Illinois, U.S.A., August 3-5, 2017, pp. 74-78.

S. Inoue, H. Inaba and S. Yamada, “Change-point modeling for software reliability assessment under imperfect debugging environment,” *Proceedings of the Twenty-Third ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design*, Chicago, Illinois, U.S.A., August 3-5, 2017, pp. 64-68.

S. Inoue and S. Yamada, “Markovian imperfect debugging modeling for software reliability assessment with change-point,” *Proceedings of the 10th International Conference on “Mathematical Methods in Reliability”*: Theory. Methods. Applications (MMR 2017), Grenoble, France, July 3-6, 2016, USB memory, Advanced Mathematical Methods in System Reliability and Maintenance - ORSJ

1, 8 pages.

南野友香, 井上真二, 山田茂, 「高信頼性ソフトウェア開発のための効用理論に基づいたテスト労力最適配分問題に関する研究」, 統計数理研究所共同研究リポート 387 「最適化: モデリングとアルゴリズム 29」, 統計数理研究所, pp. 235-240, 2017年3月.

S. Inoue and S. Yamada, "Statistical prediction of software quality based on generalized linear models," *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Industrial Management (ICIM 2016)*, Hiroshima, Japan, September 21-23, 2016, pp. 403-408.

Y. Minamino, S. Inoue and S. Yamada, "A software testing-resource allocation problem with multi-attributes for module testing," *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Industrial Management (ICIM 2016)*, Hiroshima, Japan, September 21-23, 2016, pp. 340-345.

Y. Minamino, S. Inoue and S. Yamada, "A testing-resource allocation problem with multiple constraints for software development," *Proceedings of the 7th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling (APARM 2016) (Advanced Reliability and Maintenance Modeling VII - Recent Developments on Reliability, Maintainability and Dependability)*, K.M. Jung, M. Kimura, L.R. Cui, Eds., McGraw-Hill, Taiwan, 2016), Seoul, Korea, August 24-26, 2016, pp. 357-364.

S. Inoue and S. Yamada, "An optimal release problem based on a change-point hazard rate model," *Proceedings of the 7th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling (APARM 2016) (Advanced Reliability and Maintenance Modeling VII --- Recent Developments on Reliability, Maintainability and Dependability)*, K.M. Jung, M. Kimura, L.R. Cui, Eds., McGraw-Hill, Taiwan, 2016), Seoul, Korea, August 24-26, 2016, pp. 154-161.

K. Hotta, S. Inoue and S. Yamada, "Estimation of detectable number of software faults under budget constraint," *Proceedings of the Twenty-Second ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design*, Los Angeles, California, U.S.A., August 4-6, 2016, pp. 172-175.

S. Inoue and S. Yamada, "Extended discrete binomial software reliability models with test environment," *Proceedings of the Twenty-Second ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design*, Los Angeles, California, U.S.A., August 4-6, 2016, pp. 127-131.

南野友香, 井上真二, 山田茂, 「多属性効用理論に基づいた最適リリース時刻およびチェンジポイントの推定に関する研究」, 京都大学数理解析研究所講究録 1990 「不确实・不確定性の下での数理意思決定モデルとその周辺」, 京都大学数理解析研究所, pp. 191-197, 2016年4月.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

関西大学学術情報システム:

<http://gakujo.kansai-u.ac.jp/profile/ja/2399598d27d513ff.html>

## 6. 研究組織

(1)研究分担者: なし

(2)研究協力者: なし

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。