

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 3月22日現在

機関番号：33917

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21510167

研究課題名（和文） 準ランダムテスト環境下でのソフトウェア信頼性評価

研究課題名（英文） Software Reliability Evaluation under Quasi-Random Testing

研究代表者

尾崎 俊治（OSAKI SHUNJI）

南山大学・情報理工学部・教授

研究者番号：10034399

研究成果の概要（和文）：本研究プロジェクトでは、最終製品としてのソフトウェアシステムの品質を確保する目的で、ソフトウェアテストの妥当性検証およびソフトウェアの信頼性評価を行う手法に関する研究を行った。具体的には、(i) ソフトウェアテストにおけるランダムテストをより発展させた準ランダムソフトウェアテストあるいはランダムテストに基づいたより効率的なテストケース生成手法の確立、(ii)（準）ランダムテストに基づいたソフトウェア信頼性評価技術の精巧化を行った。

研究成果の概要（英文）：The research project has developed the methods for validation and verification of software testing and evaluation of software reliability in order to guarantee the quality of software products. More precisely, we have developed (i) test case generation using quasi-random testing and improved random testing from the ordinary random testing and (ii) refinement of techniques of software reliability evaluation based on the (quasi) random testing environment.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,400,000	420,000	1,820,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：新複合領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：ソフトウェア、ランダムテスト、超一様分布列、信頼性評価、設計評価

## 1. 研究開始当初の背景

日本のソフトウェア開発をとりまく現状は、欧米あるいはインド・中国などのアジア諸国と比較して大きく立ち後れている。銀行や証券の金融情報システムの混乱、携帯電話のバグ、航空官制システムの障害が頻繁に発生し、日本製ソフトウェアシステムにおける信頼が大きく低下している。つまり現状のソフトウェア開発は未曾有の品質危機に直面していると言っても過言ではない。現在のソフトウェア開発は「デジタル土方」と揶揄されるように、質および量の点で大きなマンパワーを必要とする。特に、ソフトウェア品質

を左右するソフトウェアテスト工程は量的に大きな労力が必要であり、ソフトウェア開発プロジェクト全体にかかる労力の少なくとも3割、多い場合で9割を占めている。また、近年では、従来単純なシステムであった組み込みシステムが多機能・複雑化の一途をたどっており、設計などの上流工程における技術の立ち後れの要因を含めて、下流工程であるソフトウェアテストにかかる労力が増加している。一方で、文部科学省や経済産業省が主導するIT教育の見直しの潮流に見られるように、ソフトウェア開発者の質の保証や量を確保することが難しくなっており、

これらの要因が日本製ソフトウェアシステムの品質低下にさらなる追い打ちをかけている。

このような現状を解決する方法は幾つか考えられる。最も正攻法として考えられるのは、IT 教育の立場から即戦力あるいは将来にわたって先導的な活躍ができる人材を育成することであろう。一方で、ソフトウェア工学の技術的な立場からは、「ソフトウェアテスト労力の低減」がソフトウェア品質低下の問題を解決する一つの有効な手段であると考えられる。現在の情報システムの複雑化は、ソフトウェアテスト労力を増加する直接的な原因となっている。設計されたソフトウェアの妥当性を証明する唯一の方法は、ソフトウェアの全入力（正常系と異常系の両方を含む）に対して意図した結果が出力されるかどうかを確認することである。しかし、異常系の入力を含めてテストを行うことは現実的には不可能であるため、従来のソフトウェアテストでは、同値分割、境界値分析などの経験則に基づいた手法でテストする入力（テストケース）の軽減を行ってきた。ところが、近年の複雑性の様相は、ソフトウェアの入力に対する空間の次元を増加させ、同値分割などの手法を適用したとしても、組み合わせ的にテストケースが増加する問題を引き起こしている。このような問題に対して、実験計画法を利用した手法や少なくとも 2 つの次元の組み合わせに関して全ての組合せを網羅するペアワイズ法が提案されており、複雑な機能を持つソフトウェアに対するテスト労力の低減が試みられている。

他方、テストそのものを自動化することによって労力を軽減するアプローチがある。例えば JUnit は、Java で書かれたプログラムの単体テストを自動的に行うためのフレームワークであり、IDE（統合開発環境）と組み合わせると自動的に回帰テストが行えるため、XP（エクストリーム・プログラミング）におけるテストファーストなどのプラクティスを容易に実践することができる。しかしながら、予めテストコードを記述する必要があるため、完全な自動化には至っておらず、労力の軽減という観点での効果は発展途上にあると言える。また、ソフトウェアテストケースの自動生成に関する研究も行われており、ソフトウェアシステムよりもより低レベルな CPU アーキテクチャに対する自動テストケース生成の成功例が報告されている。先にも述べたように、ソフトウェアシステムはより複雑な機能を実現し、入力に関する次元が高いため、効果的なテストケース自動生成には大きな困難を伴う。

## 2. 研究の目的

本研究プロジェクトでは、最終製品としてのソフトウェアシステムの品質を確保する目的で、ソフトウェアテストの妥当性検証お

よびソフトウェアの信頼性評価を行う手法とシステム構築に関する研究を行う。具体的には、(i) ソフトウェアテストにおけるランダムテストをより発展させた準ランダムソフトウェアテストの確立、(ii) 準ランダムテストに基づいたソフトウェア信頼性評価技術の精巧化を行う。

ソフトウェアランダムテストは、ソフトウェアの入力空間を疑似乱数を用いて選択することでテストケースをランダムに作成する手法であり、広い意味でモンテカルロシミュレーション (MC) の一部として見なされる。MC は高次元積分などにおけるいわゆる「次元の呪い」を解消する有効な手段であることが知られている。先に述べたように、ソフトウェアテスト空間はソフトウェアの複雑さが増加するにつれてその次元数が増加し、MC に基づいたランダムテストはそのような問題を解決する一手段であると考えられている。それにも関わらず、ランダムテストが一般的に普及しない理由の一つは、現在行っている同値分割や限界値分析から生成される組み合わせ的なテストケースと比較して非効率的であるためである。ソフトウェアには「同じテストケースに対しては確定的に同じ結果を返す」性質がある。つまり、ランダムにテストケースを生成する従来の MC に基づいたランダムテストでは同じテストケースを選択する確率が存在し、逆に長時間のテストをしたとしても全く選択されないテストケースも存在する。これは MC の性質をそのままランダムテストに持ち込んだために起きる問題である。このような問題を解決するために、近年、準モンテカルロ法 (QMC) を用いたランダムテストに関する研究が行われている。QMC は MC と異なり、超一様分布列を用いたアプローチであり、理論的に MC よりも少ないサンプル数で高次元積分などの値を算出することができることが知られている。超一様分布列は MC で使われる疑似乱数とは性質が異なり、ある特殊な性質をもって与えられた次元を一樣に埋め尽くすような確定的な点列である。これまでに行われている QMC を用いたランダムテストでは、MC によるランダムテストにおける疑似乱数列を超一様分布列に置き換えたものである。そのため、結果として通常のランダムテストと同程度の結果しか得られていなかった。この失敗はソフトウェアテストにおける知見を十分に考慮していなかったためと考えられる。ソフトウェアテストで同値分割や限界値分析を用いる理由は、経験的にフォールトが潜んでいると考えられる領域を重点的にテストするためである。また、同様にペアワイズ法も、「少なくとも 2 つ次元の組み合わせにソフトウェア障害を引き起こすフォールトが潜在している」と言う経験則に基づいている。つまり、テストケースの重要度は均一ではなく、そのテストケ

ースには暗黙の優先順位が存在することを意味している。これまでの QMC ではその優先順位を無視している。本研究プロジェクトでは、この点に着目し、優先順位を考慮した上で QMC に基づいた準ランダムテスト法の開発を行う。具体的に、ペアワイズ法における組み合わせ問題と超一様分布列の代数的性質を元にして、ペアワイズ法におけるテストケース網羅度を早期に達成するようなテストケース列を生成するアルゴリズムの開発を行う。これは、近年注目を集めている探索ベースソフトウェア工学 (search-based software engineering) においても新しい取り組みであり、OR/MS とソフトウェア工学の新しい融合的研究でもある。

次に、準ランダムテストの結果に基づいたソフトウェア信頼性評価法の精巧化を行う。ソフトウェア信頼性はソフトウェア稼働時においてある一定期間内に障害が発生しない確率として定義され、ソフトウェアに関する様々なリスク分析には必要不可欠な指標である。ソフトウェア信頼性には、ユーザの利用時における確率的指標としてオペレーショナルプロファイル (OP) が必要である。従来は、システムテストなど運用状況を想定したテストでの障害件数などから、直接この指標を求めていた。準ランダムテストを適用する場合、意図的に生成されたテストケース列を元にするため、この結果から直接 OP とその上でのソフトウェア信頼性を見積もることができない。つまり、生成されるテストケースと OP との関連を確率的にモデル化する必要がある。OP はソフトウェア仕様と運用状況という人間-機械系システムに関連するため、単純なモデル表現は難しい。そこで、ベイジアンネットワーク (BN) を用いたモデル化とプロファイルの推定、さらに得られたプロファイルと準ランダムテストの結果から、ソフトウェア信頼度の正確な見積もりを行う。BN は事象の因果関係を視覚的にモデル化することができるツールであり、ここでは、オブジェクト指向の言語を想定して、UML (Unified Modeling Language) におけるクラス図やシーケンス図などから BN を生成する。また、ユーザの利用状況を実験的にトレースしたデータから BN のパラメータを推定することで OP をモデル化し、OP とテスト結果の直接的な関係から従来のソフトウェア信頼性理論を用いた信頼度推定を行うことができる。

### 3. 研究の方法

研究内容は大まかに (A) 効率的な準ランダムテストの開発と、(B) ソフトウェア信頼性評価の精巧化に分類される。

平成 21 年度は 既存の超一様分布列の調査および利用可能性の検討と UML (Unified Modeling Language) からベイジアンネットワークへの書き換え規則の検討を行う。

既存の超一様分布列の調査および利用可能性の検討：疑似乱数などと同じく、超一様分布列でも low-discrepancy 列を保証するための代数的な考察が行われている。また、超一様分布列の多次元への展開方法として幾つかの手法が存在する。そこで、既存の Sobol', Halton, Faure, 一般化 Niederreiter などの超一様分布列を調査し、その上でソフトウェアテストに必要な優先順位を与えることのできる性質をもった点列の抽出を行う。少なくとも、 $(t, m, k)$  ネットと呼ばれる性質を示す状態において、優先的なテストケースと超一様分布列の状態の対応が (階層的に) 可能であるため、その手法を基準としてより効率的な方法を検討する。また、VLSI のランダムテストにおいては既に一定の成果が得られているため、超一様分布列に止まらず、通常の疑似乱数列についても検討範囲を広げておく。

UML からベイジアンネットワークへの書き換え規則の検討：UML は、オブジェクト指向のソフトウェア設計におけるシステムのモデル化を行うための設計図であり、ソフトウェア全体の動きをモデリングする際に十分役に立つものと考えられる。特に、システムの動的な特性を示すユースケース図、シーケンス図 (あるいはコラボレーション図) と、システムの静的な特性を示すクラス図 (あるいはオブジェクト図) に注目する。理論的には、各クラスをベイジアンネットワークのノードに対応させることで、最も単純な対応が取れるが、このような単純なモデルでオペレーショナルプロファイルを表現した場合、汎化誤差が大きくなることが予想される。そこで、問題はユーザの利用状況 (ユースケース) に合わせて、各クラスをいくつかの状態に分割するかという点に集約される。初期時点では、統計的観点 (汎化誤差の観点) から最適な分割を調査し、その後ソフトウェア設計における知見からの頑強な分割およびモデリングを試みる。

平成 22 年度は超一様分布列のランダムテストへの適用およびマルコフ連鎖モンテカルロ法による統計的手法のランダムテストへの適用と、テスト環境要因 (テストケースに関するメトリクスなど) からソフトウェア信頼性を評価する手法の検討を行う。

超一様分布列のランダムテストへの適用およびマルコフ連鎖モンテカルロ法による統計的手法のランダムテストへの適用：疑似乱数などと同じく、超一様分布列でも low-discrepancy 列を保証するための代数的な考察が行われている。また、超一様分布列の多次元への展開方法として幾つかの手法が存在する。既存の Sobol', Halton, Faure, 一般化 Niederreiter などの超一様分布列をソフトウェアテストに適用することを考える。現時点では少なくとも、 $(t, m, k)$  ネットと呼ばれる性質を示す状態におい

て、優先的なテストケースと超一様分布列の状態の対応が（階層的に）可能であるが、実際の適用においては同値分割によるテスト空間の離散化が必要となる。同時に離散化に関する適切なテスト空間の分割は超一様分布列の性能を發揮させる上で非常に重要である。この問題に関して、従来の適応的ランダムテストなどで導入されている距離の概念を適用し、その分割および超一様分布列を用いたテストの有効性について議論する。また、一方でソフトウェアテストを統一的に扱う統計モデルの開発とその上で（統計の観点から）効率的にテストケースを生成するマルコフ連鎖モンテカルロ法に基づいた手法の発展も行う。

テスト環境要因（テストケースに関するメトリクスなど）からソフトウェア信頼性を評価する手法の検討：従来のソフトウェア信頼性評価では、どのようなテストケースを用いてテスト作業を行ったかに関わらず、同一の数理的なモデルを用いてソフトウェア信頼性を評価することが多かった。しかしながら、単純な情報量の観点からも高い精度で信頼性を推定するためには、周辺の情報を利用する必要がある。本研究では、テストにおけるテストケースが持つ固有のメトリクスなどの情報を有効に利用できる評価体系の構築を検討する。特に、従来のソフトウェア信頼性モデルとの互換性を重視した拡張を行う。最終的には、先に述べたテスト手法から得られるデータを利用したソフトウェア信頼性評価を行い、本研究プロジェクトで開発するテスト手法および信頼性評価手法の総合的な評価を行う。

平成 23 年度は特にこれまで提案されたランダムテスト手法とソフトウェア信頼性の統合化に関する研究を行う。特に、テストケースに関する特徴量と信頼性評価モデルを統合的に扱うモデルの考案を行い、テスト環境を考慮した信頼性評価へと発展させる。具体的なアプローチは、テストケース特徴量があるベクトルとして抽出し、それらの特徴量とフォールト検出確率の回帰モデルで表現する。基盤となるモデルは平成 22 年度で扱うモデルである。このような古典的な統計モデルを扱う一方で、特徴量の抽出が精度に対する大きなウェイトを占めるため、サポートベクトルマシン（SVM）の手法を応用し、超高次元で表されるデータ扱うモデルとの統合も検討する。この場合、テストケースおよびその活動をモデル化したベイジアンネットワーク（BN）との融合となるものと考えられる。このような統合化が与える影響は、信頼度推定精度の向上だけではなく、逆問題として、信頼度を向上させるためのテストケースの選択（優先順位付け）が可能になるものと考えられる。

#### 4. 研究成果

平成 21 年度は主として、ランダムテストにおけるテストケース生成に関連する（準）乱数生成、テスト結果からソフトウェアの信頼性を推定するための数理モデルおよびその基礎をなす確率モデルについての成果を得た。特にソフトウェア信頼性評価モデルでは、Web システムのログをテストデータと見なしたシステム評価や、ソフトウェア信頼性を推定するためのノンパラメトリックアプローチに関する一定の成果を得た。これは様々なテスト手法によって得られる多様なテストデータ結果からソフトウェア信頼度を推定するために必要な技術である。また、テスト環境要因およびソフトウェア特徴量（メトリクス）を考慮したソフトウェア信頼性モデルの構築も行った。これも、先のノンパラメトリックアプローチと同様にテスト手法と連動したソフトウェア信頼評価の基礎モデルとなる。具体的には、ポアソン回帰とロジスティック回帰の説明変数にテスト環境要因などのメトリクスを適用したモデルの構築を行った。また、ランダムテストに関しては、ベイズモデルに基づいたマルコフ連鎖モンテカルロ法を適用したテストケース生成手法を構築した。ソフトウェアテストを表現するモデルには最も簡単な入力ドメインモデルを適用し、ベイズ推定のフレームワークを適用することで、バグ潜在確率が高い入力を特定し、その入力をテストするテストケースを生成する手法の提案を行った。これは、数値実験において従来のランダムテストよりもフォールト検出能力において優れていることが示された。

平成 22 年度は、超一様分布列およびマルコフ連鎖モンテカルロ法のランダムテストへの適用可能性の検証と、テスト環境要因（テストケースに関するメトリクスなど）からソフトウェア信頼性を評価するモデルを利用して、テストと信頼性を結びつける要因の解析を行った。

超一様分布列およびマルコフ連鎖モンテカルロ法のランダムテストへの適用可能性の検証：既存の Sobol', Halton, Faure, 一般化 Niederreiter などの超一様分布列を用いたテストケース作成と、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いたテストケース作成手法の構築・検証を行い、離散化したテストケース領域では超一様分布列が、テストケース間の距離概念を用いたテストケース領域では、マルコフ連鎖モンテカルロ法が有意となることを確認した。また、回帰テストにおける優先順位付けに提案手法を適用し、その有効性について検証した。

テスト環境要因（テストケースに関するメトリクスなど）を考慮したソフトウェア信頼性モデルの利用：テストにおけるテストケースが持つ固有メトリクスを有効に利用できる評価体系の構築を検討した。次年度開発したメトリクスを取り扱うソフトウェア信頼

性モデルを用いて、フォールト検出に与える影響要因の解析を行った。また、信頼度推定精度の向上と視点では、テストケース投入順が信頼度推定に与える悪影響を分析し、その問題を解決するためのリサンプリング手法（ブートストラッピング）の検討を行った。

平成 23 年度では、テストケースに関する特徴量と信頼性評価モデルを統合的に扱うモデルの考案を行い、テスト環境を考慮した信頼性評価の体系を確立させた。具体的に、テストケース特徴量のあるベクトルとして抽出し、それらの特徴量とフォールト検出確率の回帰モデルで表現し、それを現在のソフトウェア開発において頻繁に用いられるインクリメンタル開発プロセスへの適用を行った。また、テストケースメトリクスが発見率に与える影響を定量的に検証した。このような古典的な統計モデルによる分析を行う一方で、カーネル法を応用し、超高次元で表されるデータ扱うモデルとの統合も行った。

#### 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 23 件)

- ① T. Fujii, T. Dohi and T. Fujiwara, Towards quantitative software reliability assessment in incremental development processes, Proceedings of 33rd International Conference on Software Engineering (ICSE-2011), pp. 41-50, ACM, 2011.
- ② L. Z. Jin, T. Dohi and S. Osaki, Continuous software reliability models -How good are they?-, Proceedings of the International Conference on Quality, Reliability, Maintenance and Safety Engineering (ICQR2MSE 2011), pp. 418-423, IEEE CPS, 2011.
- ③ H. Okamura, T. Dohi and S. Osaki, Software reliability growth model with normal distribution and its parameter estimation, Proceedings of the International Conference on Quality, Reliability, Maintenance and Safety Engineering (ICQR2MSE 2011), pp. 424-429, IEEE CPS, 2011.
- ④ R. Hakozaki and T. Dohi, Non-parametric bootstrapping in software reliability assessment, Proceedings of the 7th International Conference on Mathematical Methods in Reliability, -Theory, Methods and Applications- (MMR-2010), pp. 207-213, 2011.
- ⑤ H. Okamura, T. Hirata and T. Dohi, Semi-parametric approach for software reliability evaluation using mixed gamma distributions, Proceedings of the 7th International Conference on Mathematical Methods in Reliability, -Theory, Methods and Applications- (MMR-2010), pp. 390-396, 2011.
- ⑥ H. Okamura, Y. Etani and T. Dohi, Quantifying the effectiveness of testing efforts on software fault detection with a logit software reliability growth model, Proceedings of 2011 Joint Conference of the 21st International Workshop on Software Measurement (IWSM-2011) and the 6th International Conference on Software Process and Product Measurement (MENSURA-2011), pp. 62-68, IEEE CPS, 2011.
- ⑦ K. Okumura, H. Okamura and T. Dohi, On the effect of the order of test cases in the modified exponential software reliability growth model, Proceedings of 2011 Second International Conference on Networking and Computing (ICNC-2011), pp. 294--296, IEEE CPS, 2011.
- ⑧ H. Okamura, T. Dohi and S. Osaki, Bayesian inference for credible intervals of optimal software release time, Advances in Software Engineering & Its Applications (ASEA 2011) (T.-H. Kim, H. Adeli, H.-K. Kim, H.-J. Kang, K. J. Kim, A. Kiumi and B.-H. Kang, eds.), Communications in Computer and Information Science, vol. 257, pp. 377-384, Springer-Verlag, 2011.
- ⑨ 池本真也, 土肥正, ソフトウェアメトリクスに基づいた混合ポアソン信頼性モデルに関する考察, ソフトウェアシンポジウム'11 論文集, ソフトウェア技術者協会, 6 pages, 2011.
- ⑩ 岡村寛之, 土肥正, ソフトウェア信頼性評価尺度の推定精度向上に関するリサンプリング手法の提案, ソフトウェアシンポジウム'11 論文集, ソフトウェア技術者協会, 10 pages, 2011.
- ⑪ H. Miyazawa and M. Fushimi, An Implementation of a 5-term GFSR Random Number Generator for Parallel Computations, Lecture Notes in Operations Research, 10, 448-452, 2010.
- ⑫ A. Suzuki, K. Yamamoto, N. Ito and M. Fushimi, Shift Scheduling problems in Nanzan University entrance examinations - their formulation and implementation, Lecture Notes in Operations Research, 10, 461-468, 2010.
- ⑬ T. Fujii and T. Dohi, Identifying statistical failure mechanism of web server systems: measurement and reliability analysis, International Journal of Business Intelligence and

Data Mining, 5, 156-171, 2010.

- ⑭ 岡村寛之, 周搏, 土肥正, マルコフ連鎖モンテカルロ法によるソフトウェアテストケースの設計, ソフトウェアテストシンポジウム 2010 東京 (JaSST'10) 論文集, 54-59, 2010.
- ⑮ B. Zhou, H. Okamura and T. Dohi, Markov chain Monte Carlo random testing, Advanced Computer Science and Information Technology, LNCS6059, 447-456, 2010.
- ⑯ H. Okamura and T. Dohi, A multi-factor software reliability model based on logistic regression, Proceedings of 21st IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering, 31-40, 2010.
- ⑰ K. Yamana, H. Okamura and T. Dohi, A note on quasi-Monte Carlo simulation for non-homogeneous Markov chains, Proceedings of 4th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling, 780-787, 2010.
- ⑱ T. Dohi, N. Kaio and S. Osaki, A stochastic model under repair-limit replacement program with imperfect repair, Proceedings of 4th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling, 153-160, 2010.
- ⑲ T. Dohi, H. Okamura and S. Osaki, Transient analysis of software availability models with rejuvenation, Proceedings of 4th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling, 169-176, 2010.
- ⑳ S. Osaki and M. Suzaki, A simple approximation formula for reliability functions, Proceedings of 4th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling, 548-555, 2010.

[学会発表] (計 15 件)

- ① 池本真也, 土肥正, ソフトウェアメトリクスに基づいた混合ポアソン信頼性モデルに関する考察, 平成 23 年度電気・情報関連学会中国支部第 62 回連合大会, 2011 年 10 月 22 日, 広島市.
- ② 恵谷勇介, 岡村寛之, 土肥正, ソフトウェアメトリクスを考慮した統一的なソフトウェア信頼性モデルの提案, 平成 23 年度電気・情報関連学会中国支部第 62 回連合大会, 2011 年 10 月 22 日, 広島市.
- ③ 奥村圭, 岡村寛之, 土肥正, ソフトウェアテスト実行順序を考慮した指数修正形信頼性モデルを用いたパラメータ推定精度

向上に関する考察, 平成 23 年度電気・情報関連学会中国支部第 62 回連合大会, 2011 年 10 月 22 日, 広島市.

- ④ 恵谷勇介, 岡村寛之, 土肥正, ソフトウェアメトリクスを考慮したソフトウェア信頼性評価の一般化, 電子情報通信学会技術研究報告 (信頼性研究会), 2011 年 12 月 16 日, 東京都.
- ⑤ 岡村寛之, 土肥正, 単体テストデータを用いたソフトウェア信頼性評価に関する一考察, 電子情報通信学会技術研究報告 (信頼性研究会), 2010 年 12 月 17 日, 東京都.
- ⑥ 金石俊雄, 土肥正, ソフトウェアテストにおける残存フォールト数の推定パラメトリックブートストラップ法~, 電子情報通信学会技術研究報告 (信頼性研究会), 2010 年 12 月 17 日, 東京都.
- ⑦ B. Zhou, H. Okamura and T. Dohi, Enhancing performance of random testing through Markov chain Monte Carlo methods, The 12th International Symposium on High Assurance Systems Engineering, 2010 年 11 月 4 日, San Jose, CA, USA.
- ⑧ B. Zhou, H. Okamura and T. Dohi, Random testing based on Markov chain Monte Carlo method, 平成 21 年度電気・情報関連学会中国支部第 60 回連合大会, 2010 年 10 月 17 日, 広島市.
- ⑨ 金石俊雄, 土肥正, 核推定法に基づいたソフトウェア故障データの解析, 電子情報通信学会技術研究報告 (信頼性研究会), 2010 年 5 月 28 日, 鳥取市.
- ⑩ 恵谷勇介, 岡村寛之, 土肥正, 動的なテスト環境要因を考慮したソフトウェア信頼性評価に関する一考察, 電子情報通信学会技術研究報告 (信頼性研究会), 2010 年 5 月 28 日, 鳥取市.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

尾崎 俊治 (OSAKI SHUNJI)  
南山大学・情報理工学学部・教授  
研究者番号: 10034399

### (2) 研究分担者

伏見 正則 (FUSHIMI MASANORI)  
南山大学・情報理工学学部・教授  
研究者番号: 70008639  
(H21 のみ分担者)  
青山 幹雄 (AOYAMA MIKIO)  
南山大学・情報理工学学部・教授  
研究者番号: 40278073  
土肥 正 (DOHI TADASHI)  
広島大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 00243600  
岡村 寛之 (OKAMURA HIROYUKI)  
広島大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 10311812

### (3) 連携研究者: 無し