

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04905

研究課題名（和文）ソフトウェア老化現象に対するオンラインフォルトマネジメント技術の開発に向けて

研究課題名（英文）Towards online fault management techniques for software aging phenomena

研究代表者

土肥 正（Tadashi, Dohi）

広島大学・先進理工系科学研究科（工）・教授

研究者番号：00243600

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、多次元ウェーブレット解析、多変量隠れマルコフモデル、確率近似（Kiefer-Wilfowitz 近似、Robbins-Siegmund 近似）を組み合わせることで、これまでに提案されていないソフトウェア若化スケジューリングに対する全く新しいオンライン適応予測アルゴリズムを提案した。これまでに提案されてきたマルコフ再生過程（Markov Regenerative Process）モデルや隠れマルコフモデルをさらに拡張し、複数のシステムパラメータの情報をメトリックに集約し、同時に将来におけるソフトウェア若化時刻列を予測しながら適応的若化スケジューリングを逐次変更した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、ソフトウェア老化現象に起因する複数のコンピュータリソースを監視し、ソフトウェアの老化現象を同定・検出した後に予防保全若化スケジューリングを生成するオンライン予測・制御技術を世界に先駆けて開発した。本研究の特徴は、単純なリソース消費予測によるソフトウェア性能の低下現象を記述するだけに留まらず、性能低下とシステム障害の発生の因果関係を記述する高水準確率モデルを開発した点にあり、システムの故障率を複数のシステムリソース指標から構成される多次元確率過程の関数として表現し、故障率をシステムリソースの時系列データから矛盾なく推定するための統計的方法を提案した。

研究成果の概要（英文）：In this project we combined the multi-dimensional wavelet analysis, multi-dimensional hidden Markov model, and stochastic approximations such as Kiefer-Wilfowitz approximation and Robbins-Siegmund approximation, and developed a novel online adaptive prediction algorithm for software rejuvenation scheduling. Our result drastically extended the existing Markov Regenerative Process models and the hidden Markov models, and was able to represent the information of multiple system parameters as the metrics. Finally we could sequentially generate an adaptive software rejuvenation schedule based on the predictive rejuvenation trigger time sequence in the future.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：ソフトウェア老化 ソフトウェア若化 オンラインマネジメント 適応予測 ウェーブレット 確率近似 可用性 ソフトウェア耐故障

1. 研究開始当初の背景

ソフトウェアは人間が協調的に開発を行う知的生産物であり、あらゆる情報システムの根幹をなす。ソフトウェア開発中に様々な原因で作り込まれた設計バグはボアバグと呼ばれ、これが運用期間中に出現することによってソフトウェア障害が発生すると考えられてきた。一方、ソースコード上で原因を究明することが困難で、しかも調査しようとするの変貌や消滅するような、現実的な解決策がないような複雑なバグが存在する。これらのバグはハイゼンバグもしくはマンデルバグと呼ばれ、通常のテスト工程ではほとんど検出することが不可能である。このような複雑なバグの中でも、コンピュータリソースの消費状況に応じてソフトウェアの動作を不安定な状態に変化させる原因となるバグをエージング(老化)関連バグと呼び、ソフトウェアの長時間動作による誤差の累積やメモリリークがエラー伝搬を引き起こし、結果として性能低下を通じてシステム全体の故障率を増加させる。このような現象をソフトウェア老化と呼ぶ。ソフトウェア老化現象への対策は、オペレーティングシステムや Web サーバ等、一部の実ソフトウェアシステムで試みられているが、システムリソースの消費過程とシステム障害が発生するメカニズムが複雑であるため根本的な対処は実現できていない。

エージング関連バグはテストにおいて検出・除去することは難しいが、プロセスを一旦停止しシステムの内部状態を浄化することで、老化現象によって生じる故障率の増加を軽減することが可能である。このような耐故障技術はソフトウェア若化(rejuvenation)と呼ばれ、ガーベジコレクションやシステムリブート・再構成・再始動がこれに該当する。しかしながら、ソフトウェア若化をシステムのアイドル期間中に頻繁に実施すると若化自体に要するオーバーヘッドが増大し、稼働中のシステムが利用不能となる期間が増えるため可用性が著しく低下する。また、若化を行わなければシステムの故障率は増大するため、老化現象が発現し、システムの性能に多大な影響を与える。このようなトレードオフ関係を考慮し、システムの環境変化に応じて自律的に若化スケジュールを生成することは必ずしも容易ではない。

2 研究の目的

本研究では、ソフトウェア老化現象に起因する複数のコンピュータリソースを監視し、ソフトウェアの老化現象を同定・検出した後に予防保全若化スケジュールを生成するオンライン予測・制御技術を世界に先駆けて開発する。本研究の特徴は、単純なリソース消費予測によるソフトウェア性能の低下現象を記述するだけに留まらず、性能低下とシステム障害の発生の因果関係を記述する高水準確率モデルを開発することである。システムの故障率を複数のシステムリソース指標から構成される多次元確率過程の関数として表現し、故障率をシステムリソースの時系列データから矛盾なく推定するための統計的方法を提案する。多次元データをオンラインで観測しながら実時間内に推定を行うためには、各種データマイニングの技法や最適化技法を適用する必要がある。

特にベースライン故障率関数の形状を仮定しないノンパラメトリックもしくはセミパラメトリック推論の方法を援用することが可能である。これにより、IoT システムや組込みシステムにおけるソフトウェア老化現象を高精度で予測することができ、さらに適応的な予防保全を通じて動作環境を分散化させることで、ソフトウェアシステムの耐故障性を低コストで実現することが可能となる。

研究の中心となるのは、老化現象の統計的な性質を支配する故障率に特定のモデルを仮定することのないノンパラメトリックな環境の下で、複数のシステムパラメータに対する時系列データからシステム可用性を最大にする最適若化スケジュールを適応的に生成することである。もっとも単純な方法は強化学習アルゴリズムを導入することでソフトウェア若化スケジュールのオンライン適応アルゴリズムを開発することであるが、この方法は高次元モデルには不向きであり、しかも学習に時間がかかるという欠点がある。本研究では、多次元ウェーブレット解析、多変量隠れマルコフモデル、確率近似(Kiefer-Wilfowitz タイプ近似、Robbins-Siegmund タイプ近似)を組み合わせることで、これまでに提案されていない全く新しいオンライン適応予測アルゴリズムを提案する。これまでに申請者らによって提案されてきたマルコフ再生過程(Markov Regenerative Process)モデルや隠れマルコフモデルをさらに拡張し、複数のシステムパラメータの情報をメトリックに集約し、同時に将来におけるソフトウェア若化時刻列を予測しながら適応的若化スケジュールを逐次変更する。ここで提案する予測スキームは、過去に申請者らによって開発されたノンパラメトリック若化スケジュールリングアルゴリズムとは一線を画し、システムの動作を停止することなく自動的に将来の若化時期をシステム側に提示することが可能となる。

3. 研究の方法

システムリソースの消費過程を通じてソフトウェア老化が発生するメカニズムを高水準確率

モデルで記述し、ソフトウェア老化現象に対処するためのシステム工学的アプローチを開発する。クライアント型サーバシステムの実験を通じて、様々なリソース消費過程やソフトウェア老化現象を実機上で計測し、ソフトウェア老化現象を特徴づける統計量の抽出を行う。老化に起因したシステム障害は極めて稀な事象であるので、加速寿命試験の考え方を応用した実験環境を構築し、老化現象によるソフトウェアの性能劣化を定量的に推定するための統計モデルを開発する。

まず、実システムの老化現象をデータとして計測するのは難しいことから、サーバと複数の端末から構成されるクライアントサーバシステムを構築し、家電制御システムや車載システム（ここではオートクルーズシステム）を想定した実機シミュレーション実験を行う。老化現象が発現するまでにはシミュレーション上でも時間がかかることから、加速寿命試験の考え方を導入した実験環境において、従前までのアドホックアルゴリズムや静的な最適化を伴う既存アルゴリズムを実装し、システムの可用性を最大にする若化スケジュールを求める。既存の方法に基づいた若化スケジュールを計算機上で実装し、クライアントサーバシステムの予防保全効果を実証することは従前の研究では行われていなかったことに注意する。

次に多次元データに対してウェーブレット縮小推定を適用し、マルコフ再生過程と隠れマルコフモデルのノンパラメトリック推定を行うためのアルゴリズムを構築する。この段階で、実機実験データとソフトウェアの性能指標をオンラインで観測しながら老化現象を定量化し、逐次的に若化の開始時期を判定するためのスキームが完成する。次に、システム可用性を最大にするためのオンライン適応若化スケジュールの生成アルゴリズムを開発し、その効果を定量的に調査する。確率的最適化アルゴリズムの中心をなすものは強化学習と確率近似であり、さらなるアルゴリズムの高速化を図るために他の機械学習アルゴリズムの適応可能性についても調査する。最適化アルゴリズムに関しては一致性の証明と大域的最適解への収束の証明が必要であり、未知であるが真の最適解に漸近的に収束するための条件を導出することも数理的な課題となる。最終的には、ソフトウェアの老化現象を予防保全の観点から効果的に抑止し、ユーザが意識することなく自動的に若化を通じて予防保全を実施するための方法論を開発することで、実システムに実装するための課題（軽量化、実時間化）を検討する。

4. 研究成果

IoT (Internet of Things) の爆発的な普及により、あらゆるシステムがネットワークを通して監視・制御できるユビキタス社会が到来しようとしている昨今、システムを駆動するためのソフトウェアの性能低下が社会全体に及ぼす影響がこれまでも増して著しくなっている。本研究では、わが国においてこれまで体系的に論じられることがなかったソフトウェア老化の実証研究を行い、テストにおいて検出することがほぼ不可能であるエイジング関連バグの同定・検出を行うための統計モデルの開発、さらにはシステムを完全に停止することなく実行する低コスト耐故障技術としてのソフトウェア若化スケジュールを生成するためのオンライン適応予測アルゴリズムを世界に先駆けて開発した。構築したクライアントサーバシステムを用いた計測実験を通じて、実際のソフトウェアの運用期間中にオンラインで提示可能な最適な若化スケジュールに対する逐次生成の有効性を検証し、多くの組込みシステムや IoT システムに実装可能な高信頼性技術を開発した。具体的に、多次元ウェーブレット解析、多変量隠れマルコフモデル、確率近似 (Kiefer-Wilfowitz 近似, Robbins-Siegmund 近似) を組み合わせることで、これまでに提案されていないソフトウェア若化スケジューリングに対する全く新しいオンライン適応予測アルゴリズムを提案した。これまでに提案されてきたマルコフ再生過程 (Markov Regenerative Process) モデルや隠れマルコフモデルをさらに拡張し、複数のシステムパラメータの情報をメトリックに集約し、同時に将来におけるソフトウェア若化時刻列を予測しながら適応的若化スケジュールを逐次変更する方法を開発した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 22件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Y. Saito and T. Dohi	4. 巻 36
2. 論文標題 Nash equilibrium strategies revisited in software release games	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Probability in the Engineering and Informational Sciences	6. 最初と最後の頁 105-125
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 J. Zheng, H. Okamura, T. Pang and T. Dohi	4. 巻 205
2. 論文標題 Availability importance measures of components in smart electric power grid systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Reliability Engineering and System Safety	6. 最初と最後の頁 107164-107164
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 T. Dohi, J. Zheng and H. Okamura	4. 巻 6
2. 論文標題 A note on the time to failure of a two-unit parallel redundant system with deterioration on a lattice	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences	6. 最初と最後の頁 3-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 J. Zheng, H. Okamura, T. Dohi and K. S. Trivedi	4. 巻 70
2. 論文標題 Quantitative security evaluation of intrusion tolerant systems with Markovian arrivals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Reliability	6. 最初と最後の頁 547--562
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 J. Zhang, J. Zheng, H. Okamura and T. Dohi	4. 巻 22
2. 論文標題 An efficient algorithm for computation of information matrix in phase-type fitting	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics	6. 最初と最後の頁 193--199
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 J. Zheng, H. Okamura and T. Dohi	4. 巻 9
2. 論文標題 Availability analysis of software systems with rejuvenation and checkpointing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 MDPI Mathematics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 H. Okamura and T. Dohi	4. 巻 9
2. 論文標題 Application of EM algorithm to NHPP-based software reliability assessment with generalized failure count data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 MDPI Mathematics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 C. Li, J. Zheng, H. Okamura and T. Dohi	4. 巻 E105-B
2. 論文標題 Parameter estimation of Markovian arrivals with utilization data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 J. Zheng, H. Okamura and T. Dohi	4. 巻 216
2. 論文標題 Age replacement with Markovian opportunity process	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Reliability Engineering and System Safety	6. 最初と最後の頁 107949-107949
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Li, T. Dohi and H. Okamura	4. 巻 -
2. 論文標題 Software reliability analysis via geometric de-eutrophication models with group data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of System Assurance Engineering and Management	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Dohi, H. Okamura and C.-H. Qian	4. 巻 -
2. 論文標題 Computation algorithms for workload-dependent optimal checkpoint placement	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of System Assurance Engineering and Management	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Dohi and H. Okamura	4. 巻 27
2. 論文標題 Failure-correlated opportunity-based age replacement models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering	6. 最初と最後の頁 2040008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 J. Zheng, H. Okamura and T. Dohi	4. 巻 28
2. 論文標題 A transient interval reliability analysis for software rejuvenation models with phase expansion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Software Quality Journal	6. 最初と最後の頁 173--194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 J. Zheng, H. Okamura and T. Dohi	4. 巻 49
2. 論文標題 A phase expansion for non-Markovian availability models with time-based aperiodic rejuvenation and checkpointing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications in Statistics -Theory and Methods	6. 最初と最後の頁 3712--3729
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Dohi, J. Zheng and H. Okamura	4. 巻 32
2. 論文標題 Data-driven software reliability evaluation under incomplete knowledge on fault count distribution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Quality Engineering	6. 最初と最後の頁 421--433
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 J. Zheng, H. Okamura and T. Dohi	4. 巻 E103-D
2. 論文標題 Optimal rejuvenation policies for non-Markovian availability models with aperiodic checkpointing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information & Systems (D)	6. 最初と最後の頁 2133-2142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Dohi, H. Okamura and C.-H. Qian	4. 巻 37
2. 論文標題 Statistical software fault management based onbootstrap confidence intervals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Quality and Reliability Management	6. 最初と最後の頁 905--923
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Y. Cheng, H. Okamura and T. Dohi	4. 巻 E103-A
2. 論文標題 A comprehensive performance evaluation on iterative algorithms for sensitivity analysis of continuous-time Markov chains	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences (A)	6. 最初と最後の頁 1252--1259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 L. Chen, H. Okamura and T. Dohi	4. 巻 7
2. 論文標題 Parameter estimation of M _t /M/1/K queueing systems with utilization data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 42664--42671
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Saito and T. Dohi	4. 巻 26
2. 論文標題 Comparison of kernel-based nonparametric estimation methods for trend renewal processes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Industrial Engineering	6. 最初と最後の頁 1--11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 J. Zheng, T. Dohi and H. Okamura	4. 巻 -
2. 論文標題 Security evaluation of a VM-based intrusion-tolerant system with pull-type patch management	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of The 19th IEEE International Symposium on High Assurance System Engineering (HASE 2019)	6. 最初と最後の頁 156--163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Okamura and T. Dohi	4. 巻 -
2. 論文標題 On Kolmogorov-Smirnov test for software reliability models with grouped data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 19th IEEE International Conference on Software, Quality, Reliability, and Security (QRS 2019)	6. 最初と最後の頁 77--82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Ushiroda, T. Dohi, Y. Saito and H. Okamura	4. 巻 -
2. 論文標題 A point process approach of bug fixing analysis in open source software projects	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 19th IEEE International Conference on Software, Quality, Reliability, and Security (QRS 2019)	6. 最初と最後の頁 83--88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 J. Zhang, J. Zheng, H. Okamura and T. Dohi
2. 発表標題 Uncertainty propagation in importance analysis of fault trees
3. 学会等名 The 6th ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design (ISSAT-2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 S. Li, H. Okamura and T. Dohi
2 . 発表標題 A comprehensive evaluation for Burr-type NHPP-based software reliability models
3 . 学会等名 The 8th International Conference on Dependable Systems and Their Applications (DSA 2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 X. Xiao and T. Dohi
2 . 発表標題 Interval estimation for non-parametric NHPP-based software reliability model via simulation-based bootstrap
3 . 学会等名 The 8th International Conference on Dependable Systems and Their Applications (DSA 2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 S. Li, T. Dohi and H. Okamura
2 . 発表標題 An NHPP-based software reliability model with local polynomial debug rate
3 . 学会等名 The Reliability and Maintenance Engineering Summit 2021 (RMES 2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 J. Zheng, J. Zhang, H. Okamura and T. Dohi
2 . 発表標題 Evaluating the sensitivity of optimal age replacement policies
3 . 学会等名 The Reliability and Maintenance Engineering Summit 2021 (RMES 2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 C. Li, J. Zheng, H. Okamura and T. Dohi
2 . 発表標題 Software reliability prediction through encoder-decoder recurrent neural networks
3 . 学会等名 The Reliability and Maintenance Engineering Summit 2021 (RMES 2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 H. Okamura, J. Zheng and T. Dohi
2 . 発表標題 A note on phase-type expansion for Markov regenerative process
3 . 学会等名 The Reliability and Maintenance Engineering Summit 2021 (RMES 2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 J. Zhang, J. Zheng, H. Okamura and T. Dohi
2 . 発表標題 Uncertainty analysis of virtualized systems with live migration
3 . 学会等名 The 11th International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering & The 4th International Conference on Reliability Systems Engineering (QR2MSE2021 & ICRSE2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 J. Zheng, H. Okamura and T. Dohi
2 . 発表標題 Sensitivity analysis of software rejuvenation model with Markov regenerative process
3 . 学会等名 IEEE 13th International Workshop on Software Aging and Rejuvenation (WoSAR 2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 J. Wu, T. Dohi and H. Okamura
2 . 発表標題 W-SRAT: Wavelet-based software reliability assessment tool
3 . 学会等名 The 21st IEEE International Conference on Software Quality, Reliability, and Security (QRS 2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 K. Saiki, S. Liu, H. Okamura and T. Dohi
2 . 発表標題 A tool to support vibration testing method for automatic test case generation and test result analysis
3 . 学会等名 The 21st IEEE International Conference on Software Quality, Reliability, and Security (QRS 2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 X. Chen, T. Dohi and H. Okamura
2 . 発表標題 Investigating trend/cyclic/clustering decomposition in software fault detectio
3 . 学会等名 The IEEE International Workshop on Fault Prediction, Prevention, Detection, and Reliability Enhancement (FPDRE) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 H. Okamura, K. Morihara and T. Dohi
2 . 発表標題 An SMT-based perfect sampling algorithm for stochastic Petri nets
3 . 学会等名 The 13th EAI International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools (EAI VALUETOOLS 2020) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 J. Zheng, J. Zhang, H. Okamura and T. Dohi
2 . 発表標題 A note on uncertainty propagation for availability model of mobile cloud computing systems
3 . 学会等名 The 8th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling (APARM 2020) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 H. Okamura, J. Zheng and T. Dohi
2 . 発表標題 Formulation of opportunity-based age replacement models with Markovian arrival process
3 . 学会等名 The 8th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling (APARM 2020) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 J. Zheng, H. Okamura and T. Dohi
2 . 発表標題 How robust is the optimal software rejuvenation timing?
3 . 学会等名 IEEE 12th International Workshop on Software Aging and Rejuvenation (WoSAR 2020) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 T. Dohi
2 . 発表標題 Non-homogeneous Markov process modeling for software reliability assessment
3 . 学会等名 The 4th International Conference on Mathematical Techniques in Engineering Applications (ICMTEA2020) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Dohi
2. 発表標題 Recent advances on neural computing in software reliability engineering
3. 学会等名 The 5th International Symposium on System and Software Reliability (ISSSR 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土肥正
2. 発表標題 ソフトウェア・ディペンダビリティ
3. 学会等名 日本信頼性学会令和元年関西支部講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Dohi
2. 発表標題 Reliability and maintenance for highly reliable systems: my recent research interest and challenge
3. 学会等名 2019 Busan Reliability Workshop (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Dohi
2. 発表標題 A Bug Fixing Analysis in Open Source Software Projects
3. 学会等名 Research Seminar in Nanjing Tech University (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Dohi
2. 発表標題 Life data analysis of binary failure data and its application
3. 学会等名 Research Seminar in Nanjing University of Aeronautics and Astronautics (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 T. Dohi, K. Trivedi and A. Avritzer	4. 発行年 2020年
2. 出版社 World Scientific	5. 総ページ数 411
3. 書名 Handbook of Software Aging and Rejuvenation	

1. 著者名 M. Ram and T. Dohi	4. 発行年 2019年
2. 出版社 CRC Press	5. 総ページ数 218
3. 書名 Systems Engineering - Reliability Analysis Using k-out-of-n Structures	

1. 著者名 M. Ram and T. Dohi	4. 発行年 2019年
2. 出版社 River Publishers	5. 総ページ数 282
3. 書名 Advances in Applied Mathematical Problems	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------