

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04144

研究課題名（和文）安全関連系における危害リスクに基づいた保全実施計画策定支援技術の開発

研究課題名（英文）Risk-Based Assistive Technologies on Maintenance Planning for Safety-Related System

研究代表者

井上 真二（Inoue, Shinji）

関西大学・総合情報学部・教授

研究者番号：60432605

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）：安全関連系の特徴的な作動メカニズムを踏まえた2つの危害事象発生論理に基づいて、安全関連系に起因する危害事象発生確率を導出した。また、この尺度に一定のコストを導入することで危害リスクを定式化し、これに保全実施費用も含めた総コストを数的に与える2通りのアプローチを開発した。さらに、危険側故障発生率やリスクの大きさに応じて、この総費用を最小化する保全実施間隔を決定できる最適方策を導出した。最後に、IEC6150に準拠しながら、安全関連系への作動要求率や安全関連系の危険側故障発生率等を与え、危害リスクに応じた最適ブルーテスト実施間隔を実際に算出し、これらの最適方策の適用例も示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自動車の安全機能など、安全関連系が導入される場面は急激に増えている。安全関連系の機能安全に関する国際基本規格IEC 61508をはじめ、学術界でも安全関連系の定量的な安全性評価技術について活発な議論が行われている。一方、安全関連系の保全に関する議論は必ずしも多くは見られず、本研究課題のように安全関連系に起因する危害事象発生論理や危害リスクに応じながら最適な保全実施間隔を算出する技術は、リスク低減方策の基本であるALARP原則を保全活動で実現するために極めて有用なアプローチであると考えられる。また、本研究課題の成果を発端に、安全関連系の保全方策に対する議論が国際的に活発化することも期待される。

研究成果の概要（英文）：As the first step, the probability of occurrence of a hazardous event caused by safety-related systems has been derived based on two types of hazardous event occurrence logics that take into account the characteristics of operating mechanisms of the safety-related systems. Then, the hazardous risk has been formulated by introducing certain cost parameters into this measure and two approaches to formulate total cost including the maintenance cost have been developed. Furthermore, we derived optimal policies that enable us to determine the maintenance interval that minimizes this total cost, depending on the dangerous hazard rate and the magnitude of the risk. Finally, in accordance with IEC 61508, the optimal maintenance (proof-testing) intervals have been actually calculated according to the hazardous risk and safety demand rate to the safety-related systems. And examples of the application of these optimal policies have been also presented.

研究分野：社会システム工学関連

キーワード：安全関連系 最適保全実施間隔 ブルーテスト 確率モデル 再生過程 連続時間マルコフ連鎖 最適方策

1. 研究開始当初の背景

AI 技術やコンピュータ性能の発展に伴い、産業界を含め我々の社会生活においてもコンピュータシステムに対するニーズは多様化している。特に、このようなコンピュータシステムが、自動車の安全運転支援システムなど全体システムの安全機能を担う場面が近年急激に拡大しており、自動車のエアバッグシステムやプリクラッシュシステムなどはその具体的な事例と言える。これらのシステムは、ある機器や特定のシステムに対して意図される機能を担う主要なシステムに対して付加的に取り付けられる安全関連系と呼ばれるシステムであり、全体システムの安全性を機能的側面から確保する。システムの安全性を確保するためのこのような考え方は、機能安全とも呼ばれている。機能安全を担う安全関連系の安全性評価に関する議論は、ソフトウェアシステムが組み込まれた安全関連系、すなわち電気・電子・プログラマブル電子 (E/E/PE) 安全関連系と呼ばれるシステムが普及し始めた 2000 年代初頭から、国際的に活発化しており、国際基本安全規格 IEC 61508 も 2000 年に制定・発行されている。この規格では、E/E/PE 安全関連系の概念設定フェーズから使用終了フェーズまでの 16 フェーズから構成されるライフサイクルの定義をはじめ、E/E/PE 安全関連系の安全性を 4 水準に等級化した安全度水準 (SIL) が規定され、各種産業界では、この国際基本規格に基づいた安全性評価が国際的に広く求められるようになってきている。また、この国際規格を発端として、学术界では、当該国際規格では想定されていない安全関連系の様々な内部構造や安全関連系への作動要求頻度を考慮しながら、安全度水準の割り当て手法も議論されてきた。

一方で、設計時に作り込まれた安全性を運用段階において継続的に維持するためには、安全関連系に対する保全活動が必要不可欠である。また、保全活動では、全体システムを一旦停止して安全関連系全体を詳細に点検し、不具合が確認されれば修理を行う必要もあり、保全活動そのもののコストを含め、運用を停止することによるコストも発生する。したがって、想定されるリスクに対して合理的に実現可能な範囲で保全活動を実施することが望まれる。研究開始当初は、IEC 61508 (文献 参照) に基づいた安全性評価技術の開発に主軸が置かれていたが、合理的な保全活動を行うための保全計画策定方法を含め、安全関連系の保全性一般に関する議論まで展開されてきたとは必ずしも言えない状況であった。

2. 研究の目的

上述した研究開始当初の背景を踏まえ、本研究課題では、安全関連系の設計および開発段階での安全性計測・評価手法の開発など上述したこれまでの議論から一線を画し、運用段階における保全実施計画など保全に関する議論を行うことで、安全関連系の設計、開発、および保守を通じた包括的な議論への発展を図ることを目的とした。

特に、安全関連系の保全活動に関する興味ある問題として、保全活動の実施間隔を合理的に決定する問題が挙げられる。保全実施間隔の決定など保全実施計画の策定においては、作動要求が安全関連系に対して発動されたにもかかわらず、安全関連系が意図したように作動しないことで全体システムが危害状態に陥る場合を想定したリスク (危害発生リスクまたは損失コスト) と安全関連系の保全活動に必要なコストを同時に考慮し、これらをできる限り最小化するような考え方がその一つとして考えることができる。本研究課題では、この観点から、合理的な保全実施間隔を求める数理的方法論を構築することを具体的かつ主要な目的として取り上げた。

本研究課題において、「合理的」とは、設計時に作り込まれた安全性能を反映しながら、運用段階における危害発生リスクや保全費用を勘案して、これらから形成される総コストを最小化する意味合いで捉えた。つまり、危害発生リスクが極めて低いにもかかわらず保全に要する費用が極めて高いような安全関連系であれば、高い頻度で点検・保全活動を実施する必要性は必ずしも大きくはないはずであり、一方で、危害発生リスクが高く保全費用もそれほど高くなければ、高頻度で保全活動を実施し、危害発生を未然に防止する方が危害発生時のリスクを低減するよりもよいはずである。このように、安全関連系の保全実施間隔を合理的に決定する問題において、これを数理的アプローチによって支援する技術の開発を行なった。

3. 研究の方法

上述の「2. 研究の目的」を達成するために、本研究課題では、下記の具体的な手順および方法に従い研究活動を実施した。

(1) 保全作業の最適実施間隔を決定するための状況整理と問題の定義

本研究課題では、国際基本規格に準拠するため IEC 61508 での規定内容に基づいて、運

用段階において安全関連系が取り得る状態と危害事象発生パターンを整理することから研究を開始した。特に、安全関連系における危険側故障は、E/E/PE 安全関連系に一般的に導入されている自己診断機能によって検知できる危険側故障 (DD 故障) とこの機能では検知できずプルーフテスト (全体システムを停止して詳細な点検と修理を行うような保全活動) によってのみ検知・修正できる危険側故障 (DU 故障) がある。また、安全関連系は、意図機能を担う主要なシステムからの作動要求に応じて作動するような特徴的な作動機構を有するため、これらを総合的に勘案しながら安全関連系そのものが取り得る状態を整理した。また、この結果を踏まえ、安全関連系の状態と作動要求発生事象の不確実性を考慮しながら、安全関連系に起因する危害事象発生論理を確率モデルとして表現し、危害発生リスクと保全コストに基づいた目的関数の定式化を行なった。

(2) 最適保全実施方策の導出

(1)で導出した目的関数の最小化問題として、保全作業 (プルーフテスト) の最適実施間隔を決定するための問題を数理的に定義した。また、定義した最小化問題を解析的に展開していくことで、最適解 (最適プルーフテスト実施間隔) が存在する場合とそうでない場合を解析的に解明しながら、最適保全実施間隔を得るための最適保全実施方策を数理的に与えた。この最適保全実施方策は、安全関連系が取り得るそれぞれの状態に応じた保全費用と危害発生リスクのトレードオフ関係から導出されるものである。つまり、頻度高くプルーフテストを実施すれば保全費用は高くなるが危害発生リスクは低減される、一方、プルーフテストの実施頻度を低くすれば保全費用は低くなるが危害発生リスクは上昇するような関係から最適なプルーフテスト実施間隔を探し求めるものである。

(3) 導出した最適保全実施方策の適用例と考察

安全関連系のアセッサとして実務的な知見を有する方からの意見も併せてながら、これまで議論した一連の数理的アプローチに対して、実用上の観点からのレビューを行うと共に、(2)において導出した最適方策に対する適用例を示した。特に、適用例を示すプロセスにおいては、最適方策から最適プルーフテスト実施間隔を算出する上で必要な諸量として IEC 61508 に定義された安全度水準の各レベルのしきい値を活用しながら、実際に想定される環境から逸脱しないように各種パラメータの設定を行い、様々な状況を想定した適用例を提示した。また、これらの結果を総合的に俯瞰しながら、導出した最適方策の特徴について考察を与えた。

これらの研究方法によって得られた具体的な成果については、次の「4. 研究成果」において述べる。

4. 研究成果

「3. 研究の方法」において述べた(1)から(3)までの内容について、それぞれ具体的な研究成果を述べていく。なお、本研究課題において得られた解析的な結果は数式として表現されるものであるが、ここでは、できるだけその表記は避け、文書にてその本質的な部分を説明することに努める。

(1)に関する成果

安全関連系のプルーフテスト実施間隔を算出するには、前述した安全関連系の特徴的な作動機構を踏まえ、安全関連系そのものの状態と作動要求頻度を総合的に勘案しながら、これまでに議論されている2通りの危害事象発生までのロジック (危害事象発生論理 (文献 参照)) を確率モデルとして可能な限り忠実に表現する必要がある。本研究課題は、この状況を表現する2通りの確率モデル (それぞれ、モデル A およびモデル B と呼ぶことにする) を構築した。なお、前述の通り、DD 故障 (および DD フォールト) については自己診断機能から自動的にフォールトを検出できるため議論から除外している。これは、自己診断機能では顕在化しない DU 故障や DU フォールトのリスクに注目しながら、多くの費用を必要とするプルーフテストの実施間隔について議論するためである。したがって、これらのモデルでは、DU 故障および DU フォールトを主眼において議論したことを付記する。ここで、「フォールト」とは、対象としている安全関連系が正常でない状態を言い、「故障」とは、対象とする安

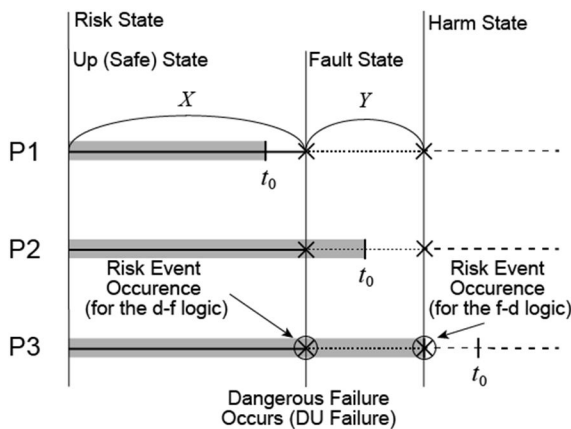


図 1 : モデル A で想定した保全実施パターン

は、DU 故障および DU フォールトを主眼において議論したことを付記する。ここで、「フォールト」とは、対象としている安全関連系が正常でない状態を言い、「故障」とは、対象とする安

全関連系がフォールトへ推移する事象の発生を意味する。

モデル A は、危害事象発生論理のうち、安全関連系がフォールト状態にあるときに、意図機能を担うメインシステムから作動要求が発生することで危害事象が発生する、いわゆる「フォールト・作動要求発生論理」に基づいて、安全関連系の保全実施パターンを含めた危害事象発生パターンを確率モデルとして表現したものである。図 1 に、実際に想定されるこれらのパターンを示す。ここで、 X は DU 故障発生時間、 Y は DU 故障以後に作動要求が発生するまでの時間を表す非負の確率変数である。また、 t_0 はブルーテスト実施時刻を表す。パターン 1 (P1) は DU 故障が発生する前にブルーテストを実施するパターン、パターン 2 (P2) は DU 故障が発生したがその後の作動要求発生前にブルーテストを実施するパターン、パターン 3 (P3) はブルーテスト実施前に DU 故障と作動要求が連続して発生することで危害事象が発生するパターンとなる。モデル A では、それぞれのパターンの発生確率から、1 サイクル (運用開始からブルーテストもしくは危害事象発生までの期間) あたりの期待費用と期待時間を導出し、単位時間あたりの期待コストを定式化することで、これを目的関数として与えた。

モデル B では、運用段階において想定される 2 通りの危害事象発生論理、すなわち「フォールト・作動要求発生論理」と「作動要求状態・危険側故障発生論理」を網羅的に記述できる数理モデルを開発した。「作動要求状態・危険側故障発生論理」とは、作動要求状態において危険側故障が発生することで危害事象が発生するロジックである。「フォールト・作動要求発生論理」のみを考慮したモデル A に比べ、運用段階において想定されるすべての危害事象発生論理を網羅的に捉えることができる。具体的には、運用段階において安全関連系が取り得る状態を、図 2 に示す連続時間マルコフ連鎖によって記述した。ここで、図 2 に現れる各状態は、それぞれ、

- RN: 安全関連系が正常かつ作動要求状態でない (初期状態),
- RD: 安全関連系が正常かつ作動要求状態である,
- FN: 安全関連系が DU フォールト状態かつ作動要求状態でない,
- FD: 全体システムが危害状態である,
- PT: ブルーテスト実施状態である,

を意味する。図 2 に示すように、これらの状態は、 λ_{DU} (DU 故障率), λ_D (危険側故障率), λ_{SD} (作動要求率), λ_{PT} (ブルーテスト実施率), μ_{SD} (作動要求完了率), μ_{PT} (ブルーテスト完了率), および μ_M (危害状態からの修復率) に基づいて推移する。一連のマルコフ解析によって、危害事象発生頻度およびブルーテスト実施頻度と呼ぶ尺度を導出し、危害コストおよびブルーテスト実施費用を表現するコストパラメータを導入することで求められる瞬間コストを目的関数として最適化問題を定義した。

(2) および (3) に関する成果

モデル A およびモデル B、それぞれにおいて定義した最適化問題に基づいて、危害発生リスクや保全費用を最小化するような最適解 (最適ブルーテスト実施間隔) を算出するための最適保全方を数理的に与えた。この最適方策の基本的な構成は、それぞれのモデルに応じて定義された最適化問題から、それぞれの目的関数の λ_{PT} に関する一次導関数として与えられる一定の関数から得られる値と、危害コストとブルーテスト実施費用との比 (危害コスト比) との関係に応じて、最適ブルーテスト実施間隔を決定する構成となっている。すなわち、本質的には、危害コスト比と危害事象の起きやすさに応じて、最適な保全実施間隔を決定できるような最適方策をそれぞれ導出した。その際、危害コスト比がそれほど大きくなり (危害発生時の損失コストがブルーテスト費用に対してそれほど大きくなり)、危害事象発生確率が極めて小さい時は、経済的な観点から、危害事象が発生するまで敢えてブルーテストを実施しない方策も起こり得ることがあることも述べている。

続いて、導出した最適方策に対する適用例を示し、最適方策に対する特徴について考察を与えた。モデル B に比べて構造が比較的シンプルなモデル A を一例にその適用結果の一部について述べることにする。ここでは、DU 故障発生時間を表す確率変数 X 、および DU 故障以後に作動要求が発生するまでの時間を表す確率変数 Y に対してそれぞれパラメータが λ_{DU} (>0) および λ_{SD} (>0) とする指数分布を仮定した。次に、導出した最適方策に必要な諸量を求め、最適方策に基づきながら、安全関連系が有する様々な状況を想定した最適ブルーテスト実施間隔を算出した。表 1 に、モデル A に基づいて導出した最適方策に基づいて算出された最適ブルーテスト実施間隔を示す。表 1 において、DC は危険側故障率に対して DD 故障率が占める割合を示す

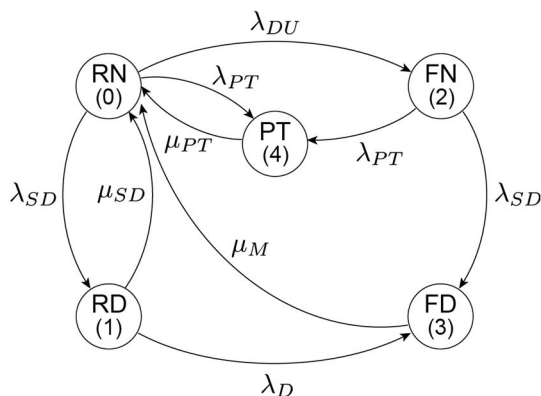


図 2 : モデル B で構築した連続時間マルコフ連鎖。

表 1：算出された最適保全実施間隔（モデル A）.

λ_D	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-7}	1.0×10^{-8}
DC	0.6			
c_3/c_0	t_0^* (years)			
1.0×10^6	4.0398×10^{-2}	4.0398×10^{-1}	4.0398	40.398
1.0×10^7	1.2767×10^{-2}	1.2767×10^{-1}	1.2767	12.767
1.0×10^8	4.0363×10^{-3}	4.0364×10^{-2}	4.0366×10^{-1}	4.0363
DC	0.9			
1.0×10^6	1.6159×10^{-1}	1.6159	16.159	161.59
1.0×10^7	5.10666×10^{-2}	5.10669×10^{-1}	5.10669	51.066
1.0×10^8	1.6145×10^{-2}	1.6146×10^{-1}	1.6146	16.146
DC	0.99			
1.0×10^6	1.6159	16.159	161.59	1615.93
1.0×10^7	5.1067×10^{-1}	5.1067	51.066	510.67
1.0×10^8	1.6146×10^{-1}	1.6146	16.146	161.45

自己診断率を表し、この値が 1 に近いほど自己診断機能によって検出できる危険側故障の割合が高く（DU 故障の発生が少なく）、DU 故障率が占める割合が多い安全関連系よりも安全性が高いシステムであることを示す。表 1 では、IEC 61508 で規定されている DC の 3 つしきい値を用いている。また、危険側故障率 λ_D を与えることで、DC を用いて DU 故障率 λ_{DU} が得られる。合わせて、最適ブルーテスト実施間隔 t_0^* は、危害コスト比に応じて変化していることも確認できる。すなわち、危険側故障率が小さく、DC が 1 に近づき、危害コストが小さいほど、最適ブルーテスト実施間隔は長くなり、それらが逆になるにつれて最適ブルーテスト実施間隔は短くなる傾向にあることがわかる。また、通常、ブルーテスト実施間隔は、所定の安全性を維持するために 1 年半から 2 年程度との論述もなされているが（文献 参照）、表 1 に示す通り、ある一定の状況下ではそれに該当する結果も得られ、経済的観点からも一定の理論的解釈が可能である場合があることも示した。なお、モデル B においては、モデル A では含まれていないパラメータ（作動要求率、作動要求完了率、ブルーテスト実施率、ブルーテスト完了率、危害状態からの復旧率）が含まれているが、最適ブルーテスト実施間隔の算出結果としては数値的に若干の違いがあるものの、傾向としてはモデル A と同様な傾向を確認できたことも付記する。

本研究課題では、安全関連系に対する運用時の保全コストとリスク事象発生時における危害リスクのトレードオフ関係に着目しながら、特に、DU 故障に対する保全活動を主とするブルーテストの最適実施間隔を決定する問題について理論的に整理し、保全コストと危害リスクの観点から最適ブルーテスト実施間隔を決定するための最適方策を 2 つのモデルを構築しながら議論した。また、導出した最適方策の適用例を通じて、危険側故障率、DC、および危害コスト比に応じてブルーテストの実施間隔が推定できることを示した。安全関連系に対するブルーテスト実施間隔について理論的に説明できる手段が確立していない中、危害コスト比やリスク事象発生に係る種々の不確実性を考慮しながら、各状況に応じて最適なブルーテスト実施間隔を推定できるような今回議論したアプローチは、経済的観点から SRS の保全実施計画立案を理論的に支援するための一つの方法として有益なアプローチであると考えられる。

<参考文献>

- IEC 61508: Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems, Edition 2.0, 2010.
- Y. Misumi and Y. Sato, "Estimation of average hazardous-event-frequency for allocation of safety-integrity levels," Reliability Engineering and System Safety, Vol. 66, No. 2, pp. 135-144, 1999.
- 佐藤吉信, 機能安全の数理, 日本規格協会, 東京, 2014 年.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Shinji Inoue, Takaji Fujiwara and Shigeru Yamada	4. 巻 31
2. 論文標題 Optimal proof-testing strategies for safety-related systems based on continuous time Markov chain	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering	6. 最初と最後の頁 2350038-1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218539323500389	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 Shinji Inoue, Kousuke Maki, Takaji Fujiwara and Shigeru Yamada	4. 巻 31
2. 論文標題 Economic proof-testing intervals for E/E/PE safety-related system with harmful risk	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering	6. 最初と最後の頁 2250028-1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218539322500280	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 Shinji Inoue, Takaji Fujiwara and Shigeru Yamada	4. 巻 29
2. 論文標題 Mathematical approaches in functional safety assessment for E/E/PE safety-related software	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering	6. 最初と最後の頁 2150043-1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218539321500431	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 Adarsh Anand, Subhrata Das, Mohini Agarwal and Shinji Inoue	4. 巻 39
2. 論文標題 An optimal scheduling policy for upgraded software with updates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Quality & Reliability Management	6. 最初と最後の頁 704-715
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1108/IJQRM-04-2021-0092	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 Yuka Minamino, Yusuka Makita, Shinji Inoue and Shigeru Yamada	4. 巻 10
2. 論文標題 Efficiency evaluation of software faults correction based on queueing simulation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mathematics	6. 最初と最後の頁 1438-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/math10091438	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 Shinji Inoue, Shigeru Yamada	4. 巻 28
2. 論文標題 Software shipping time estimation for Markovian change-point reliability model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering	6. 最初と最後の頁 2150021-1 -- 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218539321500212	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 Shinji Inoue, Takaji Fujiwara, Shigeru Yamada	4. 巻 6
2. 論文標題 Application of software reliability model for safety assessment of E/E/PE safety-related software	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 1044--1054
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.33889/IJMEMS.2021.6.4.061	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 井上 真二, 藤原 隆次	4. 巻 43
2. 論文標題 E/E/PE安全関連系に対する最適ブルーフトテスト実施間隔	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本信頼性学会誌	6. 最初と最後の頁 309--320
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 Shinji Inoue, Takaji Fujiwara, Shigeru Yamada	4. 巻 29
2. 論文標題 Mathematical approaches in functional safety assessment for E/E/PE safety-related software	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering	6. 最初と最後の頁 2150043-1--16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218539321500431	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 Adarsh Anand, Subhrata Das, Mohini Agarwal, Shinji Inoue	4. 巻 39
2. 論文標題 An optimal scheduling policy for upgraded software with updates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Quality & Reliability Management	6. 最初と最後の頁 704--715
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1108/IJQRM-04-2021-0092	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 Shinji Inoue, Shigeru Yamada	4. 巻 27
2. 論文標題 Markovian Multiple Change-Point Modeling for Software Reliability Assessment	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 2050017-2050017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218539320500175	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 Adarsh Anand, Jasmine Kaur, Shinji Inoue	4. 巻 37
2. 論文標題 Reliability modeling of multi-version software system incorporating the impact of infected patching	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Quality & Reliability Management	6. 最初と最後の頁 1071-1085
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1108/IJQRM-07-2019-0247	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 Shinji Inoue, Shigeru Yamada	4. 巻 28
2. 論文標題 Software Shipping Time Estimation for Markovian Change-Point Reliability Model	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 2150021-2150021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218539321500212	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 Shinji Inoue, Shigeru Yamada	4. 巻 15
2. 論文標題 Interval estimation for software reliability assessment based on a MCMC method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Performability Engineering	6. 最初と最後の頁 1273-1278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23940/ijpe.19.05.p2.12731278	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 Yuka Minamino, Shunichi Sakaguchi, Shinji Inoue, Shigeru Yamada	4. 巻 26
2. 論文標題 Two-dimensional NHPP models based on several testing-time functions and their applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering	6. 最初と最後の頁 1950018-1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218539319500189	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 Yuka Minamino, Shinji Inoue, Shigeru Yamada	4. 巻 8
2. 論文標題 Data analyses based on time-series models for healthcare quality management in a dispensing pharmacy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Asia-Pacific Journal of Industrial Management	6. 最初と最後の頁 77-84
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 Yuka Minamino, Shinji Inoue, Shigeru Yamada	4. 巻 5
2. 論文標題 Bivariate software reliability growth models under budget constraint for development management	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences	6. 最初と最後の頁 56-65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.33889/IJMEMS.2020.5.1.005	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 Shinji Inoue and Shigeru Yamada	4. 巻 5
2. 論文標題 Phase-type modeling approaches for software reliability modeling with debugging process	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences	6. 最初と最後の頁 76-82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.33889/IJMEMS.2020.5.1.007	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37件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 井上真二, 山田茂
2. 発表標題 安全関連系に対するDUフォールト保全実施方策
3. 学会等名 統計数理研究所共同研究リポート470「最適化：モデリングとアルゴリズム35」, 統計数理研究所
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 井上真二, 山田茂
2. 発表標題 E/E/PE安全関連系ソフトウェアに対するSILに基づいた安全性解析
3. 学会等名 統計数理研究所共同研究リポート461「最適化：モデリングとアルゴリズム34」, 統計数理研究所
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上真二, 山田茂
2. 発表標題 E/E/PE安全関連系のブルーテスト実施間隔に関する一考察
3. 学会等名 京都大学数理解析研究所講究録2242 RIMS共同研究(公開型)「確率的環境下での数理的意決定とその周辺」, 京都大学数理解析研究所
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上真二, 山田茂
2. 発表標題 デバッグ難易度を考慮したソフトウェア信頼性モデルに関する一考察
3. 学会等名 京都大学数理解析研究所講究録2158 RIMS共同研究(公開型)「不確実・不確定性の下における数理的意決定の理論と応用」, 京都大学数理解析研究所
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上真二, 山田茂
2. 発表標題 複数回のテスト環境変化を考慮したマルコフ型ソフトウェア信頼性モデルに関する一考察
3. 学会等名 計数数理研究所共同研究レポート428「最適化: モデリングとアルゴリズム32」, 統計数理研究所
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上真二, 山田茂
2. 発表標題 MCMCを用いた離散化ソフトウェア信頼度成長モデルに基づく信頼性評価とその応用
3. 学会等名 統計数理研究所共同研究レポート420「最適化: モデリングとアルゴリズム31」, 統計数理研究所
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上真二
2. 発表標題 SILに基づいたソフトウェアの定量的安全度評価
3. 学会等名 日本信頼性学会 関西支部 2021年度信頼性フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 真二, 山田 茂
2. 発表標題 連続時間マルコフ連鎖に基づく安全関連系の最適保全方策
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告 [信頼性]
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shinji Inoue and Shigeru Yamada
2. 発表標題 Economic periodic maintenance intervals for dangerous undetected fault of safety-related systems
3. 学会等名 Proceedings of the 2023 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2023), Singapore, December 18--21, 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shinji Inoue, Takaji Fujiwara and Shigeru Yamada
2. 発表標題 Markov analysis on optimal proof-testing interval for safety-related system
3. 学会等名 Proceedings of the Twenty-Eighth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, San Francisco, California, U.S.A, August 3--5, 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shinji Inoue, Takaji Fujiwara and Shigeru Yamada
2. 発表標題 Software target failure measures for allocating SIL of IEC 61508
3. 学会等名 Proceedings of the Fifteenth International Conference on Industrial Management (ICIM 2021), Online Conference, September 8, 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinji Inoue, Takaji Fujiwara and Shigeru Yamada
2. 発表標題 Markov analysis on optimal proof-testing interval for safety-related systems
3. 学会等名 The Twenty-Eighth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, San Francisco, California, U.S.A, August 3--5, 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shinji Inoue and Shigeru Yamada
2. 発表標題 Economic periodic maintenance intervals for dangerous undetected fault of safety-related systems
3. 学会等名 2023 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2023), Singapore, December 18--21, 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上真二
2. 発表標題 E/E/PE安全関連系の最適プルーフテスト実施間隔
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会 中国・四国支部シンポジウム, Zoomオンライン, 2023年10月28日. (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上 真二, 山田 茂
2. 発表標題 連続時間マルコフ連鎖に基づく安全関連系の最適保全方策
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告 [信頼性], Vol. 123, No. 240, pp. 1-6, 金沢商工会議所, 石川県金沢市, 2023年11月3日.
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上真二, 山田茂
2. 発表標題 E/E/PE安全関連系ソフトウェアに対するSILに基づいた安全性解析
3. 学会等名 統計数理研究所共同研究レポート461「最適化：モデリングとアルゴリズム34」, 統計数理研究所, pp. 8-13, 2023年3月
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shinji Inoue, Kousuke Maki, Takaji Fujiwara and Shigeru Yamada
2. 発表標題 Optimal maintenance policy for dangerous undetected fault of E/E/PE safety-related systems
3. 学会等名 Proceedings of the Twenty-Seventh ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Online Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinji Inoue and Shigeru Yamada
2. 発表標題 Optimal Policy on Priodic Proof-testing Intervals for E/E/PE Safety-Related System
3. 学会等名 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Kuala Lumpur, Malaysia (Abstract Presentation) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上真二, 山田茂
2. 発表標題 テスト環境の変化を考慮したマルコフ型ソフトウェア信頼性モデルと出荷時刻推定に関する一考察
3. 学会等名 統計数理研究所共同研究レポート453「最適化：モデリングとアルゴリズム33」, 統計数理研究所
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上真二, 藤原隆次, 山田茂
2. 発表標題 信頼度成長モデルを用いた安全関連系ソフトウェアの安全度解析
3. 学会等名 京都大学数理解析研究所講究録2220 RIMS共同研究(公開型)「不確実環境下における意思決定数理の新展開」, 京都大学数理解析研究所
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 真二, 山田 茂
2. 発表標題 危害リスクと保全コストを考慮したE/E/PE安全関連系の保全方策
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会2022年秋季研究発表会アブストラクト集, 2022年9月13--14日, 朱鷺メッセ 新潟コンベンションセンター, 新潟県新潟市
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 真二, 山田 茂
2. 発表標題 安全関連系のDUフォールトに対する最適保全実施間隔
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告 [信頼性]
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuka Minamino, Shinji Inoue, Shigeru Yamada
2. 発表標題 Estimation of optimal testing-termination time with change-point derived from software release
3. 学会等名 Proceedings of the Twenty-Sixth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Online Conference, August 5-7, 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinji Inoue, Takaji Fujiwara, Shigeru Yamada
2. 発表標題 Quantitative safety integrity level assessment for safety-related software
3. 学会等名 Proceedings of the Twenty-Sixth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Online Conference, August 5-7, 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinji Inoue, Takaji Fujiwara, Shigeru Yamada
2. 発表標題 Estimation of software target failure measures based on hazard rate model
3. 学会等名 Proceedings of the Reliability and Maintenance Engineering Summit 2021 (RMES 2021), Hybrid Conference, Nantong, China, September 11-13, 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 南野 友香, 井上 真二, 山田 茂
2. 発表標題 ソフトウェア信頼度成長モデルに基づくフォールトの修正待ち行列シミュレーション
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告 [信頼性]
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上 真二, 藤原隆次, 山田 茂
2. 発表標題 フォールト発見数モデルに基づいた安全関連系ソフトウェアの安全度解析
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告 [信頼性]
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上真二, 藤原隆次, 山田茂
2. 発表標題 E/E/PE安全関連系ソフトウェアに対する安全度評価に関する一考察
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告 [信頼性]
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上真二
2. 発表標題 ソフトウェア開発管理における品質 / 信頼性評価技術の基礎と応用
3. 学会等名 日本信頼性学会関西支部2020年度第1回講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shinji Inoue, Shigeru Yamada
2. 発表標題 Software reliability assessment with multiple change-point occurrence and imperfect debugging environment
3. 学会等名 The Twenty-Fifth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Las Vegas, Nevada, U.S.A, August 1-3 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinji Inoue, Takaji Fujiwara, Shinji Inoue
2. 発表標題 Estimation of target failure measures for E/E/PE safety-related software
3. 学会等名 The 24th IEEE Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing (PRDC 2019), Kyoto, Japan, 1-3 December (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinji Inoue and Shigeru Yamada
2. 発表標題 Phase-type consideration for software reliability assessment with debugging difficulty
3. 学会等名 The 12th Japan-Korea Software Management Symposium, Marianne Haeundae Hotel, Busan, Korea, 29-30 November (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上真二, 山田茂
2. 発表標題 安全関連系ソフトウェアに対する目標機能失敗尺度の算出
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会2019年秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上真二, 山田茂
2. 発表標題 ソフトウェア信頼性評価のためのマルチプルチェンジポイントモデル
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告 [信頼性]
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上真二, 山田茂
2. 発表標題 デバッグ難易度を考慮したプロセス指向型ソフトウェア信頼性モデリング
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告 [信頼性]
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原隆次, 井上真二
2. 発表標題 機能安全規格準拠のソフトウェア開発の現状と問題点
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術研究報告 [信頼性]
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上真二, 山田茂
2. 発表標題 マルコフ型チェンジポイントモデルにおけるソフトウェア出荷時刻推定に関する考察
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会2020年春季研究発表会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

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

	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
---------	---------