

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01308

研究課題名(和文) 共通原因故障のリスク同定に基づく信頼性・保全性設計法の開発

研究課題名(英文) Development of reliability and maintainability design considering the risk by common-cause failures

研究代表者

弓削 哲史 (Yuge, Tetsushi)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群)・電気情報学群
・教授

研究者番号：50546041

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、原子炉等、事故による社会的影響が大きなシステムに対して、共通原因故障(CCF)による事故リスクを考慮したシステムの信頼性設計、保全性設計を最適化することを目的とした。成果として、(1)従来の非ショックモデルに基づくCCFモデル化手法に代わり、外的ショックの発生により共通原因故障が発生するというショックモデルに基づき、多変量分布による共通原因故障のモデル化、特に多変量ワイブル分布によるモデル化を行い、様々な冗長システムの信頼度を定式化すること、(2)様々な故障モードを持つ安全関連システムやワンショットシステムに対して、長期運用を前提とした保全性評価、最適保全方策の策定、を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

共通原因故障解析は、従来から原子力工学等で実施されているが、多くの場合、共通原因基本事象間の独立性を仮定しているためシステム信頼度が高めに算出される欠点があった。この問題を解決するため、ショックモデルアプローチに基づいた多変量ワイブル分布を用いた共通原因故障のモデリングを利用し、これを用いて様々な冗長構造を持つシステムに対して、その信頼度を定式化した。また長期運用時における修理や交換を考慮した最適保全方策を策定した。本研究により、共通原因故障率が得られたとき、従来より少ない計算量でより正確な信頼度の推定、あるいは最適保全方策の決定が可能となった。

研究成果の概要(英文)：This study considered a probabilistic safety assessment (reliability, maintainability design and the optimization) considering the risk by common-cause failures (CCF) for a system such as nuclear power plants that have great social impact due to the accidents. We obtained the following results:

(1) Following the shock model approach, CCF modeling with multivariate distributions, especially with multivariate Weibull distribution, to formulate reliability of various redundant systems. (2) Availability estimation and system optimization for safety-related systems or one-shot systems considering the long term operation.

研究分野：信頼性工学

キーワード：共通原因故障 多変量分布 信頼度 最適保全方策

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

福島原発事故は、予想を上回る津波の来襲により多重化された電源がすべて喪失したことが大きな事故原因とされている。事故リスク評価において事故シーケンスの定量化は確率論的安全評価(PSA: Probabilistic Safety Assessment)の核心といえる(PSAは主に原子力発電設備で用いられている安全評価手法)。事故の定量化において、特に取扱に注意を要するのは、多くの機器が同時に機能停止する共通原因故障(CCF: Common Cause Failure)である。CCFは従属故障の一種であり、従属性が大きいと考えられる機器から構成される冗長システムに対して、ファクタ法などのモデル化手法により、CCF解析を実施し、従属事象を独立事象に変換した後に、Fault Tree (FT)解析あるいはその他の手法により定量化を行う。

Yuge et al.[2014,2015]は、従来のCCFモデル化およびそれを用いたシステムの事故生起確率算出の枠組みにおいて、CCFを完全な独立事象に変換することは困難であり、事故生起確率に無視できない誤差が生じることを明らかにした。また事故生起確率をより正確に算出する方法として、ダイナミックFT(DFT)を用いる方法(Yuge et al. [2013])、ベイジアンネットワーク(BN)を用いる方法(Yuge et al.[2013])を開発した。しかしDFTではCCF機器群を単一ゲートで表現することは未だ困難である。またBNでもCCF基本事象間の独立性の仮定を排除するためにCCF機器群を多くのノードで表現する必要があった。CCF定量化の困難さは、CCFモデル化において、様々な種類の同時故障が独立な単変量指数分布に従って生起するという前提条件から生ずると考えられる。しかしPSAにおいてこの条件を拡張し多変量化したモデル化手法は未だ実用化されていない。

一方、一般の製造物に対する信頼性解析では、耐用性評価に加えて保全性についても評価を行うディペンダビリティ解析が行われている。一方で、原子力発電設備のPSAでは、リスク評価はあくまで事故シーケンスの生起確率を算出することに重点が置かれている。すなわち設計段階のPSAが中心である。一方で、特に安全関連装置は高い信頼性を維持するために頻繁な点検を課している。プラントの長期運用を考えると、多重化された非常停止装置や電源設備の保守、点検あるいは交換による、システムの稼働率の向上または低下に関する議論、安全関連装置の劣化や、点検等のため生じる非待機時間での事故リスクの増大に関する議論、すなわち保全性の最適化に関する議論が十分に行われていない現状がある。このような運用段階のPSAは、保全性解析を併せて行うことによりLCC(Life Cycle Cost)の最適化に寄与できる。稼働率、LCCなど保全性に関する一般的な解析は、多くの研究成果がある。しかし原子力関連設備の安全関連装置は、一回使い切りの装置や修理して再度使用する装置、不具合があればすべて交換する装置、自己診断機能を有する装置など多様な特性を持つ機器で構成されているので、それらの特性に応じた解析を行う必要がある。しかしこれら機器の特性と、共通原因故障とそれに伴うリスクを考慮した稼働率とLCCの解析は行われていない。

2. 研究の目的

原子炉等、事故による社会的影響が大きなシステムに対して、共通原因故障による事故リスクを考慮したシステムの信頼性設計、および、保全性設計の最適化方法を体系化する。以下の2つの研究に分け、従来の確率論的安全評価に比べて、より正確で信憑性が高い事故生起確率の導出、リスクを考慮した運用期間内の点検・保全方式の最適化を行う。

(1) 確率論的安全評価のための新たな共通原因故障モデリング・解析手法の開発

共通原因故障が外的ショックの生起により発生すると考え、CCF機器群の要素数を次元とする多変量分布によりモデル化することを目指す。すでに提案されている2変量指数分布およびそれを拡張した多変量指数分布を用いて従属故障のショックモデルを拡張し、PSAにおけるファクタ法等非ショックモデルに代わる新たなCCFモデル化手法を開発する。さらに、このモデル化のもとでのCCF機器群の事故生起確率推定法を明らかにする。また故障分布として指数分布よりも実用的であるワイブル分布を採用する意義は大きい。多変量ワイブル分布の性質の解明、およびそれを用いたCCFモデル化、システム信頼度推定方法を明らかにする。

(2) 共通原因故障とその事故リスクを考慮したシステムの保全方式の確立

安全関連装置を主な対象とし、CCFを考慮に入れた稼働率、LCC解析を実施する。このとき、CCFモデル化は当初はファクタ法など従来手法を用いるが、上記(1)で得られた結果を適宜取り入れる。また厳密解の導出が困難な場合は近似解を検討する。さらにLCCの評価により点検間隔、修理方法など最適な保全方策を策定する。あわせて、シミュレーション結果と比較し理論値と近似精度を確認する。さらに、ワンショット型システムなど既に提案されている解析モデルに対してCCFを取り入れた新たなモデルを提案し、原子力設備の様々な安全関連装置に適用可能である運用段階のPSA手法を確立する。

3. 研究の方法

研究目的(1)および(2)について下記のように5段階に分け、1段階ずつ着実に研究を進める。研究の妥当性、新規性、あるいは方向性を確認するために、各段階において、国内外の研究集会に積極的に参加、論文発表を行い、他の学者・研究者からの批評あるいは評価を頂く。また内容的

にまとまったものについては、研究報告あるいは学術誌論文として積極的な投稿を行う。

研究目的(1)に関して、

- (a) 多変量指数分布に関する文献調査を実施し、この分布の性質、パラメータ推定方法を習得するとともに、CCF 解析に関連がある先行研究の内容を確認する。同時に、原子力設備における安全関連装置の CCF を含む故障データとその影響を調査し、CCF の故障分布を多変量指数分布でモデル化する妥当性を検証する。
- (b) (a)により本研究細目を研究する妥当性が示され、多変量指数分布による CCF モデル化、共通原因故障率の推定方法を検討する。シミュレーションを用い、(a)で得られた実データと比較し、提案したモデル化手法の有効性を検証する。
- (c) 多変量ワイブル分布に関する文献調査を行い、この分布を用いた CCF モデル化、共通原因故障率の推定方法を検討する。
- (d) (b)および(c)の結果を用いて、CCF によるシステム全体の事故生起確率を算出するアルゴリズムを開発する。その際、想定するシステムは k -out-of- n システム、連続 k -out-of- n システムである。
- (e) (d)の結果と(a)により得られた事故の影響度から CCF によるリスクを定量化する。

研究目的(2)を達成するために、

- (a) 原子力安全関連装置について、保全データの収集および現在実施されている保全方策を調査する。あわせて、稼働率、LCC 解析、または運用時の PSA の現状調査、電気電子関連技術の国際規格である IEC61508 における関連項目の調査を実施する。
- (b) ファクタ法、ファクタ法など従来の CCF モデル化手法を用いて、稼働率の算出方法を検討する。その際、自己診断機能と隠れ故障状態の有無により場合分けする。それぞれに定期点検を実施し、異常発見時には、交換、修理を実施するモデルを想定している。
- (c) (b)の結果を用いて、非稼働時のリスクの評価方法を検討する。運用コストを算出し、LCC の観点から、最適な保全方策を決定するアルゴリズムを作成する。
- (d) 研究細目(1)で得られる、新たな CCF モデル化手法を用いた稼働率、リスク、LCC の評価方法を検討する。シミュレーションにより(a)で得られた実際のデータと比較検討する。
- (e) 様々なタイプの CCF に対し、(d)の手法の適用性を検証する。あわせて安全関連装置全体の LCC を用いた運用開始後廃棄に至るまでの PSA 実施要領をまとめる。

4 . 研究成果

(1) 多変量指数分布を用いた共通原因故障を考慮した k -out-of- n システムの信頼度
 n 個の機器から構成され、そのうち k 個が正常であればシステムが正常である k -out-of- n システムは安全関連系において頻繁に用いられる冗長構造である。このシステムに対し、外的ショックによる同時故障を考慮したシステム信頼度算出方法を検討した。外的ショックはその規模により n 種類に分類され、レベル r ショックの発生によりランダムに選ばれた r 個の機器が同時故障するモデルを HMO モデルと呼び、このモデルの下でのシステム信頼度を定式化した。 k -out-of- n システムの時刻 t での信頼度 $R_{k/n}(t)$ は下記の式で得られる。

$$R_{k/n}(t) = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} \sum_{j=0}^{n-i} \binom{n-i}{j} (-1)^j \bar{F}_{i+j}(t)$$

ここで

$$\bar{F}_{i+j}(t) = \exp \left[- \sum_{k=1}^n \left\{ \binom{n}{n-i-j} - \binom{n-i-j}{k} \right\} \lambda_k t \right]$$

である。また、 λ_k はレベル k のショック発生率を表す。システム故障確率も上式より同様に導出できる。図 1 は上記式により算出した 3-out-of-10 システムの信頼度を示している (ショック発生率は省略)。先行研究として Bayramoglu, Ozkut は 2 変量指数分布を用いて簡易的な信頼度を提案したが、彼らの手法は特に初期の段階において信頼度を低く見積もることが分かった。

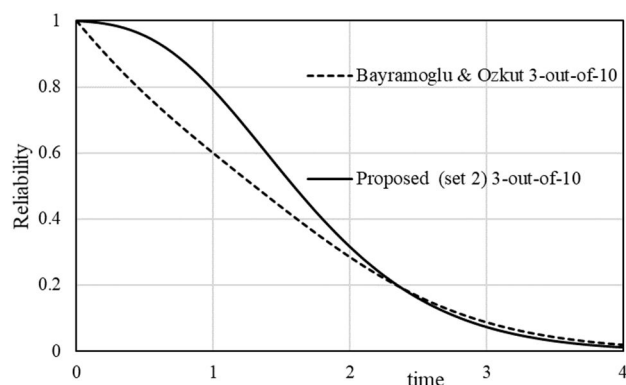


図1 3-out-of-10システムの信頼度

(2) 多変量ワイブル分布を用いた共通原因故障を考慮した k -out-of- n システムの信頼度
 (1)を拡張し、各ショックの発生がワイブル分布に従うと仮定し、共通原因故障を同様の HMO モデルによりモデル化し、システム信頼度、故障確率を定式化した。

(3) Non-homogeneous モデルの提案と信頼度の定式化

上記(1)(2)は HMO モデルと呼ぶ、外的ショックにより故障する機器はランダムに選ばれることを前提としていた解析である。このモデルにより定式化が可能となったが、より現実的な解析を行うためには、同一性の仮定を取り除く必要がある。もし完全に排除した場合、 n 個の機器からなるシステムに対し $2^n - 1$ 種類のショックを仮定することになり、同数のパラメータが必要となり、パラメータ推定の観点からも現実的なモデルとは言えない。そこで、本研究では、機器の設置場所とショックの発生位置の関係により同時故障となる機器が決定されるモデルを考案した。これは、地震や津波の外的ショックを考える際、ショック発生位置に近い機器ほどリスクが高いと考えられるため、より現実に即したモデルである。ショックの発生位置はランダムであり、ショックの大きさにより単独故障から、近隣の複数の機器が同時故障するモデルである。このモデルでは機器の配置やシステムの形状が重要になるが、直線状に配置されたシステム、円環状に配置されたシステムを取り上げ、レベル r のショック発生により連続した位置にある r 個の機器が同時故障すると仮定した。直線状配置 k -out-of- n システムの信頼度は

$$R_{k/n}(t) = \sum_{j=k}^n (-1)^{j-k} \binom{j-1}{k-1} \sum_{i_1, i_2, \dots, i_j \in \{1, 2, \dots, n\}} \bar{F}_{j|i_1, i_2, \dots, i_j}(t)$$

である。ここで

$$\bar{F}_{j|i_1, i_2, \dots, i_j}(t) = \exp \left[- \sum_{r=1}^{n-1} \left(n - r + 1 - C_{r|i_1, i_2, \dots, i_j} \right) \lambda_r t \right]$$

であり、 $C_{k|i_1, i_2, \dots, i_j}$ は機器 i_1, i_2, \dots, i_j の中で k 個の機器が隣り合っている数、 λ_r はレベル r のショック発生率を表す。同様に、円環状配置 k -out-of- n システムについても定式化した。

一方、連続型 k -out-of- n システムと呼ばれる冗長構造が存在する。これはシステム故障となるのは、連続した位置にある k 個が故障したときに限定される k -out-of- n :F システムである。このシステムに対しても上式と同様の方法により定式化が可能となった。

(4) 運用を考慮し、稼働率、コストを評価尺度とした最適保全方策の策定

CCF を伴う PSA は、一般には機器の故障分布として指数分布を仮定し、故障率の時間依存がないときの解析が行われてきた。しかしシステムの長期運用を考慮した時、故障率が次第に増加する IFR 型故障分布を考慮する必要がある、その場合、適当な時期に点検、修理、取り替えを実施するモデルの解析が必要となる。安全関連システムで多く用いられている非常停止装置のような 1 回使い切りのシステム、あるいは管理的理由により、直ちに保全作業が実施されず、保全遅延時間が発生するシステムを例に、要求される稼働率を満たしつつ、作業終了までのコストが最小となる最適保全行動について議論し、最適方策が存在する条件を導出した。

(5) マルコフ劣化システムおよびセミマルコフ劣化システムの最適保全方策

原子力発電所や航空機のように故障による人的及び経済的損失が大きく、さらには多大な社会的影響が避けられない大規模かつ複雑なシステムにおいては、状態監視保全の実施が必要不可欠である。複数の故障モードが存在し、状態監視保全を実施するシステムに対し、システムがマルコフ的に劣化するときやセミマルコフ過程に従って劣化する場合に、効率的に状態監視保全を実施するための方策、および性質を導出した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 T. Yuge	4. 巻 4
2. 論文標題 Reliability of Systems with Simultaneous and Consecutive Failures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 4th International Conference on System Reliability and Safety (ICRSRS)	6. 最初と最後の頁 102-106
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICRSRS48664.2019.8987614	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 N. Tamura	4. 巻 232
2. 論文標題 Optimal Control of Production with Improvement	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part 0: Journal of Risk and Reliability	6. 最初と最後の頁 777-785
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/1748006X18761275	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. Kitagawa, T. Yuge, S. Yanagi	4. 巻 s
2. 論文標題 Replacement timing for a one-shot system with minimal repair	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Malaya Journal of Matematik	6. 最初と最後の頁 84-89
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.26637/MJMOS01/16	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 北川智大, 弓削哲史, 柳 繁	4. 巻 40
2. 論文標題 管理遅延時間を伴うシステムにおける故障時刻に応じた最適修理事業の選択	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本信頼性学会誌「信頼性」	6. 最初と最後の頁 47-59
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 N. Tamura	4. 巻 24
2. 論文標題 Some Results on an Optimal Maintenance Policy for a Markovian Deteriorating System Subject to Random Shocks	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering	6. 最初と最後の頁 1750007(1-17)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218539317500061	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. Yuge, S. Yanagi	4. 巻 96
2. 論文標題 Reliability of a k-out-of-n system with common-cause failures using multivariate exponential distribution	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Procedia Computer Science	6. 最初と最後の頁 968-976
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.procs.2016.08.101	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. Kitagawa, T. Yuge, S. Yanagi	4. 巻 E100-A
2. 論文標題 Maintenance modeling for a system equipped on ship	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences (IEICE)	6. 最初と最後の頁 629-638
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E100.A.629	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29件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 弓削哲史
2. 発表標題 集中型同時故障モデルと信頼性
3. 学会等名 電子情報通信学会信頼性研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Yuge
2. 発表標題 Reliability for Systems with Simultaneous Failure on Consecutive Components
3. 学会等名 Proceedings of 25th ISSAT International Conference on Reliability & Quality in Design (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Tamura
2. 発表標題 Analysis of a Markovian Deteriorating System with the Decision of Optimal Repair under Incomplete Observation
3. 学会等名 11th International Conference on Mathematical Methods in Reliability (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Tamura
2. 発表標題 Several Properties of an Optimal Maintenance Policy for a Semi-Markovian Deteriorating System with Major and Minor Failures
3. 学会等名 Proceedings of 25th ISSAT International Conference on Reliability & Quality in Design (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村 信幸
2. 発表標題 2種類の故障を考慮したセミマルコフ的劣化システムにおける最適保全方策の構造
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Yuge
2. 発表標題 Common-cause Failure Analysis by Weibull Type Shock Model
3. 学会等名 9th International Symposium on Symbiotic Nuclear Power Systems for 21st Century (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Yuge
2. 発表標題 Common-cause Failure by External Shock Following Weibull Distribution
3. 学会等名 The 11th Triennial Conference of Association of Asia Pacific Operational Research Societies (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 弓削 哲史
2. 発表標題 共通原因故障解析に関するいくつかの話題
3. 学会等名 電子情報通信学会信頼性研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Tamura
2. 発表標題 An optimal Maintenance Policy for a Semi-Markovian Deteriorating system with major and minor failures
3. 学会等名 Euro-Mediterranean Conference on Mathematical Reliability (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Kitagawa, T. Yuge, S.Yanagi
2. 発表標題 Replacement timing for a one-shot system with minimal repair
3. 学会等名 International Conference on Soft Computing and Mathematical Modelling (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 弓削 哲史
2. 発表標題 ショックモデルによる共通原因故障解析
3. 学会等名 電子情報通信学会信頼性研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Yuge
2. 発表標題 Multivariate Weibull distribution for reliability analysis considering common cause failures
3. 学会等名 18th Asia-Pacific Industrial Engineering and Management System Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Kitagawa, T. Yuge, S.Yanagi
2. 発表標題 Three repair options depending on failure time for a system with administrative delay
3. 学会等名 4th Asian Conference on Defense Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Kitagawa, T. Yuge, S.Yanagi
2. 発表標題 Three Repair Options Depending on Failure Time for a System Equipped on Ship
3. 学会等名 10th International Conference on Mathematical Methods in Reliability (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 N. Tamura
2. 発表標題 State-age-dependent replacement policy for a Semi-Markovian deteriorating system with major and minor failures
3. 学会等名 10th International Conference on Mathematical Methods in Reliability (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 N. Tamura
2. 発表標題 A note on an optimal maintenance policy for a Markovian deteriorating system subject to random shocks
3. 学会等名 23rd ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田村信幸
2. 発表標題 An optimal repair and replacement policy for a Markovian deteriorating system subject to random shocks
3. 学会等名 電子情報通信学会信頼性研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Maruyama, T. Yuge, S. Yanagi
2. 発表標題 Failure probability of a system with common-cause failures by multivariate exponential distribution
3. 学会等名 VII European congress on computational methods in applied science and engineering(ECCOMAS2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 田村信幸
2. 発表標題 状態監視保全のためのマルコフ決定過程モデルと最適保全方策の構造
3. 学会等名 オペレーションズ・リサーチ学会信頼性研究会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Kitagawa, T. Yuge, S. Yanagi
2. 発表標題 Maintenance modelling for a system equipped on ship
3. 学会等名 28th European Conference on Operational Research (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 北川智大, 弓削 哲史, 柳 繁
2. 発表標題 船舶搭載システムの最適保全方策
3. 学会等名 電子情報通信学会信頼性研究会
4. 発表年 2016年

1 . 発表者名 N. Tamura
2 . 発表標題 Some Results on an Optimal Maintenance Policy for a Markovian Deteriorating System Subject to Random Shocks
3 . 学会等名 22nd ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 T. Kitagawa, T. Yuge, S.Yanagi
2 . 発表標題 Optimal maintenance policy of two-unit one-shot system with minimal repair
3 . 学会等名 2016 International Conference on Management and Operations Research (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 M. Maruyama, T. Yuge, S.Yanagi
2 . 発表標題 Common-cause failure analysis of a k-out-of-n system by using multivariate exponential distribution
3 . 学会等名 7th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 N. Tamura
2 . 発表標題 Some Results on a Partially Observable Markovian Deteriorating System Whose Stochastic Behavior Changes via Imperfect Repair
3 . 学会等名 7th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1. 発表者名 丸山 恵, 弓削 哲史, 柳 繁
2. 発表標題 共通原因故障を考慮した冗長システムの信頼度解析
3. 学会等名 電子情報通信学会信頼性研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 北川智大, 弓削 哲史, 柳 繁
2. 発表標題 ランダム作業時間が事前に付与されるシステムの保全方策
3. 学会等名 電子情報通信学会信頼性研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 N. Tamura
2. 発表標題 Monotone properties of an optimal maintenance policy for a Markovian deteriorating system with imperfect repair and incomplete information
3. 学会等名 オペレーションズ・リサーチ学会待ち行列シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柳 繁, 弓削 哲史
2. 発表標題 摩耗故障を考慮した安全関連系の安全性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Syouji Nakamura, Tetsushi Yuge etc.	4. 発行年 2017年
2. 出版社 World Scientific	5. 総ページ数 396
3. 書名 Reliability Modeling with Computer and Maintenance Applications	

〔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
研究 分担者	田村 信幸 (Tamura Nobuyuki) (00349226)	法政大学・理工学部・准教授 (32675)	
研究 分担者	柳 繁 (Yanagi Shigeru) (10546039)	防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、 電気情報学群及びシステム工・電気情報学群・教授 (82723)	