

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 1 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510204

研究課題名(和文) 従属な拡張連続型 k-システムの設計方法に関する研究

研究課題名(英文) A Study of Optimal Design Problem for the Applied Consecutive-k System with Dependent Components

研究代表者

山本 久志 (Yamamoto, Hisashi)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：60231677

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、コンポーネント故障が従属の拡張連続型 k-システムの設計方法の提案を目的とした。

成果として、基礎的なコンポーネントの状態とシステムの故障条件との関係を明確にするために、最適配置の評価基準をシステム状態の期待値と定め、多状態連続k-out-of-n:Fシステムの1)最適配置を一意に導くコンポーネントの状態確率の条件の数理解析、2)SAを用いた効率的な準最適配置算出による検証方法を新たに提案した。またこの考察から、3)従属をな場合の統一理論の構築のための基礎理論の考察、4)多期間制約サイクルにおける最適切替問題への応用、5)多目的ネットワークのパレート解算出方法の提案への応用を図った。

研究成果の概要(英文)：This study considered the optimal design problem (especially, optimal arrangement problem of components) of an applied consecutive-k system with dependent components.

We considered optimal component arrangement problem of a multi-state consecutive-k-out-of-n:F system, in which the expectation of system state are maximized. For these problems, we obtained 1) the conditions of making an arrangement optimal, developed 2) Meta-heuristic approach for pseudo-optimal arrangement by simulated-annealing. And, by utilizing results for 1) and 2), we can solve the following other theme: 3) Optimal assignment problem in a limited-cycle model with multiple periods. 4) Efficient algorithm for obtaining Pareto-solutions of multi-objective network problem.

研究分野：複合新領域

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：信頼性工学 システム評価・設計

## 1. 研究開始当初の背景

“連続型  $k$ -システム”はネットワークシステムの特別な場合であり、システムを構成するコンポーネントが、システム内のある一定範囲内で集中して故障している場合にシステム故障、もしくは一定範囲内に集中して稼働している場合にシステム稼働となるようなシステムの総称である。このシステムは故障条件とシステムの形状により様々なシステムに分類される。コンポーネントが面や立体に配置された2次元や3次元の連続型  $k$ -システムは、応用例として2次元や3次元の物体のパターン認識確率の評価、立体的に配置されたセンサー（例えば衛星）等による監視システムの評価や、デジタルサイネージ・液晶画面に代表される集積した画素を用いた表示器の評価などに適用される。また連続型  $k$ -システムの信頼度算出方法は、連の確率分布や特定事象発生の一様性検定に有用なスキャン統計量(Scan statistics)の確率分布の算出に直接適用することができる。

しかし我々は、従来研究されてきた連続型  $k$ -システムは、現実のシステムを単純化した（または近似的な）システムであり、現実の複雑なシステムを十分に表現できているとは言えないと考え、より現実のシステムに近いと考えられる“拡張連続型  $k$ -システム”について考察してきた。拡張連続型  $k$ -システムは 1) 故障条件がより複雑である、または 2) 従来の 2 状態よりも多くの状態を持つコンポーネントから構成された、または 3) より複雑なシステム形状を持つ連続型  $k$ -システムのことである。拡張連続型  $k$ -システムに対して、我々は

- ・ 故障条件がより複雑なシステムの信頼度または信頼度近似解の算出方法や最適システム構成
- ・ より複雑なシステム形状を持つシステムの信頼度算出方法
- ・ 2 状態よりも多くの状態を持つコンポーネントから構成されたシステムの状態確率分布算出方法や状態の期待値を評価基準とした場合の最適システム構成

の提案を行なった。しかし上述の拡張連続型  $k$ -システムに対する研究はコンポーネントが独立に故障することを仮定している。また、コンポーネント故障の従属性を仮定する場合でもマルコフモデルを利用することが多い。マルコフモデルは一方向からの従属性を表現するには良いが、ある領域内に存在するコンポーネントが集中して故障するとシステム故障となる拡張連続型  $k$ -システムにおいて、従属性を表現するには不都合が多い。一方、コンポーネントとシステムの状態が 2 状態の時に、コンポーネント故障が従属な場合にシステム信頼度を求めるために有効な概念として Signature と Domination 理論がある。Signature は近年になって盛んに研究され始めた概念であり、コンポーネントが順番に故障していく時  $i$  番目に故障したコンポーネ

ントが故障した時点でシステムが故障する確率を  $i$  番目の要素とする確率ベクトルのことである。また Domination はシステム信頼度を包除原理で展開した時の各項の係数のことである。

Domination と Signature は上記のように別々に研究されてきたが、我々は Signature の理論と Domination の理論は統一的に考えることが可能と考え、また Domination と Signature の概念は 2 状態のシステムだけではなく、これを拡張した多状態システムに対しても有効と考えた。更に拡張連続型  $k$ -システムは、一般化された極小カット（または極小パス）が単純に並んでいる特別なシステムとしてみることができると考えている。このことにより、我々は拡張連続型  $k$ -システムを解析することは、より複雑なシステムである一般的な（ネットワーク）システム解析の有用なアプローチの 1 つと考えている。

上記背景の下で、本研究を、コンポーネント故障が従属な場合の一般的な（ネットワーク）システムについての設計方法を提案する前段階の研究として位置付け、本研究の目的をコンポーネント故障が従属な場合の拡張連続型  $k$ -システム（以下、従属な拡張連続型  $k$ -システムと呼ぶ）の設計方法を提案することに着目した。なお、連続型  $k$ -システムや拡張連続型  $k$ -システムに関する研究、並びに連続型  $k$ -システムに対する Signature や Domination については、IEEE Transactions on Reliabilityをはじめ Naval Research Logistics, 日本信頼性学会誌, 日本経営工学会誌などの国内外の雑誌に多くの研究結果が既に報告されている。しかし拡張連続型  $k$ -システムに対する Signature や Domination の研究、従属な拡張連続型  $k$ -システムの研究はほとんど報告されていなかった。

## 2. 研究の目的

本研究では、複雑なシステムをより忠実に模擬することが可能と考えられる従属な拡張連続型  $k$ -システムの設計方法の提案を目的とする。そのために以下の 2 点を行なう。

- a) 2 状態のシステムにおける Signature と Domination の統一化及び、多状態システムへの Signature と Domination 概念の拡張
- b) 上記の考えの下で、従属な（2 状態及び多状態を有する）拡張連続型  $k$ -システムの最適なシステム構成の効率的な導出方法の提案

## 3. 研究の方法

研究の進め方は、大まかには、国内外の文献調査(①)に基づいて Signature 理論と Domination 理論の統一理論の考察(②)と 2 状態の従属な拡張連続型  $k$ -システムを提案して、同時にシステムの信頼度算出方法と最適構成導出方法の提案を行う(③)。②③の結果を多状態システムへ拡張し、拡張 Signature と拡張 Domination の考察(④)、及

び多状態の従属な拡張連続型  $k$ -システムの評価基準の算出方法の提案(⑤)と最適構成導出方法の提案(⑥)を行い、これらの結果からコンポーネント状態に従属性がある一般的な(ネットワーク)システム的设计指針の提案(⑦)を行う計画とした。7段階の詳細は下記の通りである。

① 「国内外の文献調査」としてシステム評価分野における 1) Signature 並びに Domination 理論, 2) 2 状態及び多状態のシステムにおける従属性モデル, 3) 拡張連続型  $k$ -システムとその評価方法, 4) Signature または Domination を用いた連続型  $k$ -システムの信頼度算出方法の再調査を行う。

② 関連する研究の調査①の成果を踏まえ、「2 状態のシステムにおける Signature 理論と Domination 理論の統一理論」を構築する方法の一つとして、システムの一部の状態の条件において場合分けすることにより得られる関係性を考察する。

③ 2 状態の従属な拡張連続型  $k$ -システムの信頼度算出方法とシステム内コンポーネントの最適構成となる配置(以下、本報告では最適配置)を高速に求めるアルゴリズムの提案を行う。

④ ②の考察はシステムおよびコンポーネントが 2 状態、即ち稼働状態と故障状態のいずれかのみを考慮した場合である。そこでより現実的なシステム運用を表現するために、稼働能力の中間状態を考慮した多状態のシステムにおける概念を②で考察した概念(本報告では拡張 Signature と拡張 Domination と呼ぶ)に拡張できるか検討し、評価基準も含めて、本研究の対象となる範囲を再確認する。

⑤ 「多状態の従属な拡張連続型  $k$ -システムの評価基準の算出方法提案」として、多状態の従属な拡張連続型  $k$ -システムの特別な場合といえる多状態連続  $k$ -out-of- $n$ :F システムの状態確率分布算出方法を上記の関係性の考察を用いて改善提案する。

⑥ ④⑤の成果を踏まえ、「多状態の従属な拡張連続型  $k$ -システムの最適構成導出方法提案」として多状態連続  $k$ -out-of- $n$ :F システムの最適構成となる配置(以下、本報告では最適配置)の評価基準を状態確率の期待値とした場合における効率的な導出方法を本システムの設計方法として提案する。加えて、システムサイズが大規模な場合の最適配置導出において、計算時間とメモリ使用量の限界があるため、メタヒューリスティック手法の導入により準最適配置を高速に導出する手法を提案する。

⑦ 上記④⑤で提案した設計方法を基に、「コンポーネント状態に従属性がある一般的な(ネットワーク)システム的设计指針提案」として多状態の従属な拡張連続型  $k$ -システムで近似しやすい多目的ネットワークシステムについて最適構成のパレート解の効率的な導出方法を提案することで、本研究成果のコンポーネント故障に従属性がある一般的な(ネットワーク)システムの最適構成導出方法の提案のみならず、生産における多期間サイクル問題への適用可能性を検討した。

#### 4. 研究成果

本研究では、研究方法①でシステム評価分野における従来研究の再調査結果(雑誌論文②と学会発表⑭他)を踏まえて研究方法②と④を検討し、主に研究方法⑤⑥⑦に対して以下の5つの成果を得た。

##### (1) 多状態連続 $k$ -out-of- $n$ :F システムの最適配置導出方法の改善

多状態連続  $k$ -out-of- $n$ :F システムは多状態の従属な拡張連続型  $k$ -システムの特別な場合といえる。このシステムの最適配置を求めるためには、評価指標である状態確率分布を求めることが必要である。しかし従来方法では高速化に限界があり、最適構成を求めるためには限界がある。本研究では従来研究で提案された状態確率分布算出の高速化とともに、研究方法③における考察を踏まえ、組み合わせ最適化問題の解法である分枝限定法に注目した。そして分枝停止条件に「システムサイズが減じられた”サブシステム”における状態確率分布の値」を用いることで、多状態連続  $k$ -out-of- $n$ :F システムの最適配置算出時間を大幅に減じるアルゴリズムを提案した(雑誌論文⑧他)。その結果の一部を表1に示す。これは状態数  $M=4$  とし、コンポーネント数  $n$  を増やした場合の計算時間の変化を示す。ここで BB が本研究で提案したアルゴリズムであり、EM はコンポーネントの配置に全列挙を用いた場合の結果である。計算時間は、計算機でアルゴリズムを実現したプログラムを5回実行した際の平均を示す。明らかに、 $n$  が増加するに従い計算効率が向上しており、 $n=10$  以上の場合には、計算時間が 1/10 以下にまで改善され、最適配置の導出が可能でシステムサイズの範囲を広げることができた。(雑誌論文⑧学会発表⑳図書①)

表1：平均計算時間( $M=4$ の場合)

	k=(1,2,3,4)			
	BB	EM	BB/EM	最適配置
$n=4$	0.024秒	0.055秒	43.6%	2,1,3,4
$n=5$	0.115秒	0.328秒	35.1%	1,3,5,4,2
$n=6$	0.534秒	2.085秒	25.6%	1,4,6,3,5,2
$n=7$	2.821秒	16.797秒	16.8%	1,3,6,7,5,4,2
$n=8$	21.608秒	2.543分	14.2%	2,1,8,6,7,5,3,4
$n=9$	2.639分	25.706分	10.3%	1,3,6,9,5,7,8,4,2
$n=10$	21.632分	4.638時間	7.8%	1,4,8,10,3,6,7,9,5,2
$n=11$	3.039時間	*51.025時間	6.0%	1,5,9,11,3,6,7,10,8,4,2

(2) 特定条件下における多状態連続  $k$ -out-of- $n$ :F システムの最適配置の傾向分析

2状態の連続  $k$ -out-of- $n$ :F システムの最適配置には、 $k=2$  の場合においてコンポーネントの故障確率に依存せず、故障確率の値の大小関係のみで最適配置を表す不変性 (invariant) という関係が証明されている。(1) の成果により、多状態連続  $k$ -out-of- $n$ :F システムの最適配置を求められる範囲が広がり、その配置に関する傾向を調査すること可能となったことで、2状態の場合と似た最適配置の傾向が予測された。そこで、状態生起の条件である  $k_j$  ( $j=1,2,\dots,M$ ) の値の範囲と並びに条件を与えることで多状態連続  $k$ -out-of- $n$ :F システムの最適配置となる配置傾向を分析した。これは換言すると、最適配置が導かれるコンポーネントの状態確率の値の関係を明確にする結果を得たことになる。本研究では  $k_j$  の値の最大が 2 である場合において、 $n=3, 4, 5$  の場合の最適配置の傾向、ならびに、特定の最適配置が決定されるコンポーネント状態確率の値の関係を導く式を数理解析により導いた。例えば  $k_1=\dots=k_{l-1}=1, k_l=\dots=k_M=2$ 、 $n=4$  かつコンポーネント番号が各コンポーネントの状態確率  $p_{ij}$  の期待値昇順の場合において、各コンポーネントの状態確率に下記の関係を満たす場合に、最適配置が(1,4,3,2)で表される。

(a)  $j=1,2,\dots,l-1$  に対して

$$\sum_{m=j}^M p_{4m} > \sum_{m=j}^M p_{3m} > \sum_{m=j}^M p_{2m} > \sum_{m=j}^M p_{1m} \quad (1)$$

(b)  $j=l,l+1,\dots,M$  に対して

$$\frac{\sum_{m=j}^M p_{4m}}{\sum_{m=l}^M p_{4m}} > \frac{\sum_{m=j}^M p_{3m}}{\sum_{m=l}^M p_{3m}} > \frac{\sum_{m=j}^M p_{2m}}{\sum_{m=l}^M p_{2m}} > \frac{\sum_{m=j}^M p_{1m}}{\sum_{m=l}^M p_{1m}} \quad (2)$$

また、ここまでの成果により、 $n$  の値に依存しない一般的な特定の最適配置が決定されるコンポーネント状態確率の関係式の存在可能性を考察することができた。

(学会発表①⑪⑬⑯)

(3) メタヒューリスティック手法の導入によるシステムの準最適配置導出方法の提案  
 上述 (2) の成果により多状態連続  $k$ -out-of- $n$ :F システムの最適配置をシステムサイズ  $n$  に対して有効に計算できる手法が提案できたが、表 1 を見てわかる通り、未だに計算時間は  $n$  に対して指数的大増大であり、より大きな大規模なシステムの最適配置導出は困難と予想できる。そこで、リーズナブルな時間で最適配置を導出するために、メタヒューリスティック手法の一つである焼きなまし法 (Simulated-Annealing:SA) を導入することで、準最適配置の導出を効率的に行う手法に取り組んだ (雑誌論文③⑤他)。その結果を表 2 に示す。SA を導入したアルゴリ

表 2 SA の導入による最適配置導出結果

n	システム状態の期待値				計算時間(s)	
	BB	SA S			BB	SA S
		最良	平均	最悪		
5	1.13138	1.13138	1.13138	1.13138	0.27938	1.95630
8	1.20508	1.20507	1.20507	1.20507	70.62400	4.97820
9	0.95543	0.95543	0.95543	0.95543	548.50670	6.08430
10	0.69757	0.69757	0.69757	0.69757	8736.88300	7.85490
11	0.51059	0.51059	0.51059	0.51059	166001.74000	8.91680
15	-	0.20855	0.20855	0.20855	-	16.15010
20	-	0.09203	0.09201	0.09198	-	27.27440
25	-	0.08711	0.08606	0.07667	-	43.50470

ズムの計算は合計 3 回行い、計算時間の平均と状態確率の期待値平均と最大最小を求めている。表 2 より、SA アルゴリズムの導入により (1) の提案では計算できない  $n \geq 15$  の最適配置導出がリーズナブルな計算時間で可能となった。しかしシステム状態確率の期待値の値を見るとばらつきがあることから、最適配置ではない準最適が求められる場合が残ることがわかる。

(雑誌論文③⑤学会発表⑫⑰)

(4) 多目的ネットワークのパレート解算出方法への応用

本研究で考察した従属な拡張連続型  $k$ -システムの状態確率分布算出アルゴリズムの高速化と最適配置導出方法の高速化を、より一般的なネットワークである多目的ネットワークシステムに適用し、パレート最適の効率的な導出方法に注目した。多目的関数を持つネットワークへと拡張した場合、解空間は考察する目的関数の数だけ次元が増え、広がりを見せるとともに劣解である解の計算が増え、計算効率が低下する。そこで、効率良くパレートフロントを求めるために、各目的関数単体の最適を求め、その解を用いて解の探索空間を有効に制限する方法を 2 目的ネットワークの場合 (雑誌論文④他) と 3 目的ネットワークの場合 (雑誌論文⑥他) と提案した。また、目的関数の一つをネットワーク信頼度とした場合の効率化に注目し、目的関数の値の関係性に注目した探索空間の制限方法を提案した (学会発表②⑤他)。

(雑誌論文④⑥学会発表②③⑤⑦⑧⑩⑭)

(5) 多期間サイクル問題他への応用

生産活動を行う現場においてある期間に遅れが生じた場合、それが次の期間に影響を及ぼし、納期遅れや費用増加の原因となる。このように、各期間に納期制約等によるリスクが存在し、リスクが多期間において発生した場合システム全体に影響を及ぼす状況を表現したモデルが多期間制約サイクルモデルである。リセット多期間制約サイクルモデルはその影響を時間ではなく費用として反映したモデルである。

リセット多期間制約サイクルモデルにおいて、作業者が熟練者と初心者のような (処理能力が異なる) 少数のグループに分けられる場合の最適配置の存在条件が、多状態連続  $k$ -out-of- $n$ :F システムの最適配置の存在条件

と同様であることを示した上で、最適配置の法則性に関する考察を行った。また、ノンリセット多期間制約サイクルモデルに対しては、作業者の分布がアーラン分布に従う場合の期待コスト算出について議論した。

(雑誌論文①⑦⑨⑩学会発表④⑥⑨⑬⑱)

#### 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 10 件)

- ① 孔憲達, 山本久志, 孫晶, 松井正之、リセット多期間制約サイクル問題における 2 人及び 3 人の特殊作業者を有する最適配置法則、日本経営工学会論文誌、査読有、Vol.64, No.2、2013、157-168
- ② 秋葉知昭, 山本久志、ネットワークシステムの最適構成算出について、日本信頼性学会誌、査読無、Vol.35, No.1、2013、31-36
- ③ 新行内康慈、連続型  $k$ -out-of- $n$ :F システムの最適配置問題への SA の適用、日本信頼性学会誌、査読無、Vol.35, No.1、2013、37-43
- ④ 秋葉知昭,山本久志,江頭知宜,岩上小百合、2 目的ネットワークの最短路問題における高速なパレート解算出アルゴリズム、日本設備管理学会誌、査読有、Vol.24, No.2、2012、15-25
- ⑤ Koji Shingyochi, Hisashi Yamamoto, Hidemi Yamachi、Comparative Study of Several Simulated Annealing Algorithms for Optimal Arrangement Problems in a Circular Consecutive- $k$ -out-of- $n$ : F System、An International Journal Quality Technology & Quantitative Management、査読有、Vol.9, No.3、2012、295-303
- ⑥ Tomoaki Akiba, Hisashi Yamamoto, Danquin Riu, Hideki Nagatsuka、A Fast Calculation Method for the Partial Group of All Pareto Solutions at a Three-Objective Network、An International Journal of Quality Technology and Quantitative Management、査読有、Vol.9, No.3、2012、305-316
- ⑦ Won Young Yun, Gui Rae Kim, Hisashi Yamamoto、Economic design of a load-sharing consecutive- $k$ -out-of- $n$ :F system、IIE Transactions、査読有、Vol.44, No.1、2012、55-67
- ⑧ 秋葉知昭, 小室智則, 山本久志, 長塚豪己、多状態連続  $k$ -out-of- $n$ :F システムの最適配置算出アルゴリズム、日本経営工学会論文誌、査読有、Vol.62, No.6、2012、247-255
- ⑨ Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, Xianda Kong、Optimal Switching Frequency in Limited-Cycle with Multiple Periods、Journal of Industrial Engineering Management Systems、査読有、Vol. 11, No. 1、2011、48-53
- ⑩ 山本久志,孫晶,松井正之,孔憲達、リセ

ット多期間制約サイクル問題における最適配置法則に関する考察 ~少数の特殊な作業者が居る場合~、日本経営工学会論文誌、査読有、Vol.62, No.5、2011、240-246

[学会発表] (計 20 件)

- ① Wataru Taniguchi, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba and Koji Shingyochi、Optimal Arrangements in a Max  $\{k_j\}=2$  Multi-State Consecutive- $k$ -out-of- $n$ :F System、The 14th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference(APIEMS2013)、2013 年 12 月 3-6 日、Cebu, Philippine
- ② Natsumi Takahashi, Tomoaki Akiba, Hisashi Yamamoto and Koji Shingyochi、Optimizing Method Using the Network Structure in Two-objective Network Design Problem、The 14th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference(APIEMS2013)、2013 年 12 月 3-6 日、Cebu, Philippine
- ③ Tomoaki Akiba, Natsumi Takahashi, Shuhei Nomura and Hisashi Yamamoto、Applied idea for the Calculation Method of Pareto Solutions of a Two-Objective Network、The 14th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference(APIEMS2013)、2013 年 12 月 3-6 日、Cebu, Philippine
- ④ Xianda Kong, Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui、A Study of Optimal Worker Assignment Focusing Efficiency vs.Task、The 14th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference(APIEMS2013)、2013 年 12 月 3-6 日、Cebu, Philippine
- ⑤ 高橋奈津美, 山本久志, 秋葉知昭, 新行内康慈、ネットワーク構造を考慮した 2 目的ネットワーク問題の最適解探索手法に関する研究、日本経営工学会平成 25 年度秋季大会、2013 年 11 月 16-17 日、埼玉 (日本工業大学)
- ⑥ 孔憲達, 孫晶, 山本久志, 松井正之、割当て問題に定着した多期間制約サイクルモデルにおける最適配置に関する考察、日本経営工学会平成 25 年度秋季大会、2013 年 11 月 16-17 日、埼玉 (日本工業大学)
- ⑦ Tomoaki Akiba, Natsumi Takahashi, Shuhei Nomura, Hisashi Yamamoto、An Approach for the Fast Calculation Method of Pareto Solutions of a Two-Objective Network、19th ISSAT-Reliability & Quality in Design、2013 年 8 月 5-7 日、Hawaii, USA
- ⑧ 高橋奈津美、秋葉知昭、山本久志、2 目的を考慮したネットワークに対するパレート解探索アルゴリズムに関する研究、日本経営工学会平成 25 年度春季大会、2013 年 5 月 18-19 日、横浜 (慶応大学)
- ⑨ 孔憲達, 孫晶, 山本久志, 松井正之、リセ

- ット多期間制約サイクル問題における目標加工時間が可変な場合の最適配置に関する研究-特殊作業者が1人居る場合-、日本経営工学会平成25年度春季大会、2013年5月18-19日、横浜（慶応大学）
- ⑩ Natsumi Takahashi, Tomoaki Akiba, and Hisashi Yamamoto, An Efficient Algorithm for the Optimal Design Problem of a Multi-objective Network with the All-terminal Reliability, 5th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling(APARM2012), 2012年11月1-3日、Nanjing, China
- ⑪ Wataru Taniguchi, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba, Koji Shingyochi and Hideki Nagatsuka, The Condition for Optimal Arrangements in a Multi-State Consecutive- $k$ -out-of- $n$ :F System, 5th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling(APARM2012), 2012年11月1-3日、Nanjing, China
- ⑫ Koji Shingyochi, Hisashi Yamamoto, An Application of Simulated Annealing Method to Optimal Arrangement Problems in a Multi-State Consecutive- $k$ -out-of- $n$ :F System, 5th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling(APARM2012), 2012年11月1-3日、Nanjing, China
- ⑬ 谷口航、山本久志、長塚豪己、秋葉知昭、多状態連続  $k$ -out-of- $n$ :F システムにおける最適配置に関する研究-故障条件が単調な場合-、日本経営工学会平成24年度春季大会、2012年5月26-27日、東京（法政大学）
- ⑭ 高橋奈津美、秋葉知昭、山本久志、ネットワークシステムの評価アルゴリズムに関する研究、日本経営工学会平成24年度春季大会、2012年5月26-27日、東京（法政大学）
- ⑮ 孔憲達、孫晶、山本久志、松井正之、2人の速い特殊作業者を有するリセット多期間制約サイクル問題における最適配置に関する数値的考察、日本経営工学会平成24年度春季大会、2012年5月26-27日、東京（法政大学）
- ⑯ 秋葉知昭、山本久志、長塚豪己、多状態連続  $k$ -out-of- $n$ :F システムの最適配置傾向、電子情報通信学会信頼性研究会、2011年12月16日、機械振興会館（東京都）
- ⑰ 秋葉知昭、信頼性モデル研究の応用可能性、日本経営工学会平成23年度秋季大会、2011年11月12日～13日、岩手県立大学アイーナキャンパス（岩手県）
- ⑱ 孔憲達、孫晶、山本久志、松井正之、リセット多期間制約サイクル問題における最適配置法則に関する考察、日本経営工学会平成23年度秋季大会、2011年11月12日

～13日、岩手県立大学アイーナキャンパス（岩手県）

- ⑲ 新行内康慈、山本久志、山地秀美、SAを用いた多状態連続型  $k$ -out-of- $n$ :F システム最適配置問題の解法、電子情報通信学会信頼性研究会、2011年7月29日、根室グランドホテル（北海道）
- ⑳ Tomoaki Akiba, Tomonori Komuro, Hisashi Yamamoto and Hideki Nagatsuka, Analysis for a Trend on the Optimal Arrangements in a Multi-State Consecutive- $k$ -out-of- $n$ :F System, International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering, 2011年6月17日～19日、西安（中国）

〔図書〕（計1件）

- ① Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba, Chapter 7: Calculation Algorithms for the System State Distributions of Multi-State  $k$ -out-of- $n$  Systems, Reliability Modeling with Applications World Scientific(ed.S.Nakamura, C-H.Qian and M.Chen)、査読無、2014、117-138（全364pages）

〔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

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

山本久志(YAMAMOTO Hisashi)

首都大学東京・大学院システムデザイン研究科・教授

研究者番号: 60231677

(2)研究協力者

秋葉知昭(AKIBA Tomoaki)

千葉工業大学・社会システム科学部・准教授

研究者番号: 60505767

(3)研究分担者

新行内康慈(SHINGYOCHI Koji)

十文字学園女子大学・人間生活学部・准教授

研究者番号: 90267774