

機関番号：22604

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008年度～2010年度

課題番号：20510160

研究課題名（和文） 多状態・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） Design and Evaluation of the Multi-state Consecutive  $k$ -Systems

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

研究成果の概要(和文):

本研究課題は多状態・連続型  $k$ -システムの設計方法の提案を目的とし、はじめに (1) 多状態・連続型  $k$ -システムの効率的な状態確率分布算出方法と、(2) 連続型  $k$ -システムの疑似最適構成導出方法を提案した。また最適設計基準の検討を行い、(1) 及び (2) の成果を活用して (3) 最適構成導出方法の提案と最適構成の傾向分析、(4) 疑似最適構成導出方法、(5) 多状態を有する(ネットワーク)システムの設計指針並びにその応用を提案した。

研究成果の概要(英文):

In this study, first, we proposed (1) fast calculating algorithms for the system state distribution of multi-state  $k$ -system and (2) optimal arrangement problem for the consecutive  $k$ -system by using meta-heuristic approaches. Next, we defined the optimal arrangement of the multi-state  $k$ -system by using expectation of system state distribution, and (3) proposed calculating algorithm for the optimal arrangement of the multi-state  $k$ -system by using results for (1) and (2), and researched a trend of optimal arrangement. In addition, we proposed calculating algorithm for the optimal arrangement of the multi-state  $k$ -system by using evolutionary algorithm. Finally, we applied the calculating algorithms to the evaluation of the multi-objective network.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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, ネットワークシステム

## 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

ステムは故障条件及びシステムの形状により様々なシステムに分類され、特に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、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できる。この連続型  $k$ -システムの関連研究では、より現実の複雑なシステムに近いと考えられる、(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で構成されシステムも多状態を有する、または (3) より複雑なシステム形状を持つ「拡張連続型  $k$ -システム」がこれまでに考察された(基盤研究(c) 課題番号 17510129 他)。本研究課題で注目する「多状態・連続型  $k$ -システム」は、上述の (2) システム及びコンポーネントが多状態を有する連続型  $k$ -システムの総称である。一方、コンポーネント(エッジやノード)で構成される連続型  $k$ -システム以外の一般的な(ネットワーク)システムにおいても、現実のシステムをより忠実に模擬するために、コンポーネント及びシステムが 2 状態以上の、より多くの状態を有するように拡張された多状態システムが、複数の研究者により提案されるようになった。

しかし、それら多状態を有するシステムの設計方法に関する提案は、本研究課題の開始当初の段階で存在していなかった。また、多状態を有する一般的な(ネットワーク)システムにおいて、多状態・連続型  $k$ -システムを、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見なせることに注目した。以上を踏まえ、多状態・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多状態を有する一般的な(ネットワーク)システム解析の有用なアプローチの 1 つと考えた。

## 2. 研究の目的

研究開始当初の背景の下、本研究課題を複雑なシステムをより忠実に模擬することが可能な多状態を有する一般的な(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、多状態・連続型  $k$ -システムの設計方法の提案と、多状態を有する(ネットワーク)システムへの応用可能性の検証を目的とした。

## 3. 研究の方法

大概には、はじめに多状態・連続型  $k$ -システム及び多状態を有する(ネットワーク)システムの分類を行い、本研究の対象範囲を明確化するとともに多状態・連続型  $k$ -システムの評価基準について検討した。更に、多状態システムの評価で通常利用される状態確率分布の効率的な算出方法を提案した。併せて、評価基準算出方法の効率化を段階的に進め、最適設計の基準となる最適構成の導出方法を、厳密解法と進化論計算他を用いた近似解法の 2 方面から提案した。以上により、多状態・連続型  $k$ -システムの設計方法の提案、及び多状態を有する一般的な(ネ

ットワーク)システム解析のアプローチを図った。各段階の詳細は下記のとおりである。

### (1) 関連研究の調査

① 多状態を有する拡張連続型  $k$ -システムの評価方法再調査を行い、同時に  
② 多状態・連続型  $k$ -システムに近似可能と思われるシステム範囲を明確にするために、(ネットワーク)システムを一般化された極小カット(極小パス)の概念を利用して分類し、  
③ それらの(ネットワーク)システムの評価方法の調査を行い、本研究の対象とするシステムの範囲決定及びシステム評価基準算出方法提案の準備を進めた。

### (2) システム分類及び解析対象範囲の決定

関連する研究の調査結果を踏まえ、可能な限り統一的な解析が可能となるように多状態・連続型  $k$ -システムを、その定義及び評価基準によって分類・統合し、多状態を有する一般的な(ネットワーク)システムに近似しやすい多状態・連続型  $k$ -システムの範囲を明確にした。

### (3) 多状態・連続型 $k$ -システムの効率的な状態確率分布算出方法提案

同時に、多状態システム評価で通常利用される、状態確率分布算出方法の提案と評価を行った。また、システムサイズによってはリーズナブルな時間内で状態確率分布を算出できない場合が考えられるため、近似解算出方法の提案と評価を行った。

### (4) 多状態・連続型 $k$ -システムの最適設計基準の検討

以上、(1)から(3)までの結果を踏まえ、多状態・連続型  $k$ -システムの設計方法の提案に用いる最適設計基準の検討を行った。この際、最適設計の指標として多状態・連続型  $k$ -システムの最適構成の基準について、状態確率分布以外の多状態システムの評価基準も考慮に入れて検討を加えた。

### (5) 連続型 $k$ -システムの疑似最適構成導出方法の提案

最適構成の導出は、非常に困難な組み合わせ最適化問題であることが知られている。そこで本研究の目的である多状態・連続型  $k$ -システムの最適構成導出方法を提案するための準備として、連続型  $k$ -システムについて進化論計算アルゴリズムに基づいた疑似最適構成導出方法を提案した。

### (6) 多状態・連続型 $k$ -システムの最適構成導出方法の提案

前述 (5) の検討と同時に、前述の (4) の評価基準検討結果に基づき、小・中規模の多状態・連続型  $k$ -システムの最適構成導出に用いること

を前提とした効率的な導出方法を提案した。この時に、コンポーネントの状態確率分布とシステムの状態確率分布など、(4) で検討された評価基準について、システムの傾向を数値的に調査し、その結果を利用し、解析的に最適構成の必要条件を導出した。

(7) 多状態・連続型  $k$ -システムの疑似最適構成導出方法の提案

一部の多状態・連続型  $k$ -システムや大規模な場合等、最適構成の厳密解導出が困難な場合について、前述 (4) の評価基準検討結果による最適構成の必要条件を基に、前述 (5) の検討結果を活かして進化論計算や分枝限定法と進化論計算を組み合わせた多状態・連続型  $k$ -システムの疑似最適構成導出方法を提案した。

(8) 多状態を有する(ネットワーク)システムの設計指針提案と応用

多状態を有する一般的な(ネットワーク)システムに対する上記研究成果の応用可能性を検証した。この際、ネットワークにおいては複数の目的関数によるパレート最適を考慮するため、(2) で検討された比較的近似しやすいシステムに対して、(3) で提案された効率的な状態確率分布算出方法の考えと、(6) で提案された最適構成導出方法の考えを活かして、複数の目的関数を有する(ネットワーク)システムの最適構成の効率的な導出方法の提案を行った。

4. 研究成果

本研究課題では、研究方法 (1)(2) で調査検討した結果(論文⑦他)から、多状態・連続型  $k$ -システムのシステム範囲や解析対象を整理し、研究方法 (4) の最適設計基準の検討結果を踏まえ、以下の5つの成果を得た。

(1) 多状態・連続型  $k$ -システムの効率的な状態確率分布算出方法

最適構成導出のためには、最初に評価基準を求める基礎情報として状態確率分布を算出した

表1 計算時間比較(秒)

$n$	論文⑧	学会発表⑨	比率
10	0.109	0.015	13.8%
20	0.265	0.016	6.0%
30	0.398	0.045	11.3%
40	0.520	0.059	11.3%
50	0.718	0.079	11.0%
100	1.790	0.136	7.6%
150	2.300	0.265	11.5%
200	3.000	0.361	12.0%
300	4.980	0.631	12.7%
500	7.500	0.891	11.9%
700	13.200	1.267	9.6%
1000	17.900	1.735	9.7%
		平均	10.7%

なければならない。本研究課題では研究方法 (3) の段階として、状態確率分布を高速に求めるための再帰アルゴリズムを論文⑧で提案した。加えて、更なる高速化を果たすアルゴリズムとして、状態数の縮約による手法を新たに提案した(学会発表⑩⑪)。実験した範囲ではあるが、表1に示されるように、状態数の縮約により平均で1/10程度にまで計算時間を短縮できることが示された。これらの成果が、以降の最適構成の評価基準検討と導出に際して状態確率分布を算出する基礎となった。

(2) 連続型  $k$ -システムの疑似最適構成導出方法

研究方法 (5) の段階として、連続型  $k$ -システムの最適構成の特徴分析および疑似最適構成導出方法の評価のための効率的な最適構成導出のために、深さ優先探索(DFS)をベースとした高速アルゴリズムを提案した(学会発表⑭)。このアルゴリズムにより、システムサイズ  $n=12,13$   $k=3,4,5$  の場合の計算時間が全数列举アルゴリズムと比べて1/50程度に短縮できることが数値実験より示された。

疑似最適構成導出アルゴリズムには遺伝的アルゴリズム(GA)とシミュレーテッドアニーリング(SA)を利用した。これらのアルゴリズムをベースに、システム形状の特性や最適構成の必要条件による探索空間の縮約、最適構成の特徴を考慮した戦略的探索による改良アルゴリズムを提案し、数値実験によりその有効性を示した(学会発表④⑤⑫, 論文⑥⑩⑬)。

(3) 多状態・連続型  $k$ -システムの最適構成導出方法の提案と最適構成の傾向分析

研究方法 (4) の段階にて最適設計基準を検討し、本研究課題では、コンポーネントに各状態の生起確率が与えられた上で求められるシステムの状態確率分布の期待値を、最適構成と判断する基準として活用することにした。検討結果を踏まえ、研究方法 (6) の段階として、前述の研究成果 (1)、並びに、組み合わせ最適化問題の解法として知られる深さ優先探索(DFS)を活用して、多状態・連続型  $k$ -システムの最適構成導出方法を提案した(学会発表⑮)。これにより、初めて多状態・連続型  $k$ -システムの最適構成を明らかにし、並びに、その導出方法を提案した。続いて、状態確率分布算出アルゴリズムと分枝限定法の計算過程の特徴に注目し、分枝限定法を活用した、より効率的な最適構成導出方法を提案した(学会発表⑧⑬)。

更に、提案した最適構成導出方法を活用し、コンポーネントに与えられた各状態の生起確率の傾向と、結果として得られる最適構成の傾向を数理解析により分析した(学会発表②)。この結果、システムの状態生起条件を  $\mathbf{k}=(1,2,2)$  とした場合、かつ、システムを構成するコンポーネント数  $n$  が 3, 4, 5 の範囲において、コンポーネ

表 2 最適配置傾向

コンポーネント番号	コンポーネント状態確率				コンポーネント状態確率の期待値
	$P_{10}$	$P_{11}$	$P_{12}$	$P_{13}$	
1	0.30	0.10	0.55	0.05	1.35
2	0.28	0.12	0.50	0.10	1.42
3	0.26	0.14	0.45	0.15	1.49
4	0.24	0.16	0.40	0.20	1.56
5	0.22	0.18	0.35	0.25	1.63
6	0.20	0.20	0.30	0.30	1.70
7	0.18	0.22	0.25	0.35	1.77
8	0.16	0.24	0.20	0.40	1.84
9	0.14	0.26	0.15	0.45	1.91

表 3 最適配置傾向

$n$	$M=3, k=(1,2,2)$	
	Optimal Arrangement	Expectation
$n=3$	1, 3, 2	1.6624
$n=4$	1, 4, 3, 2	1.3743
$n=5$	1, 5, 3, 4, 2	1.2177
$n=6$	1, 6, 3, 4, 5, 2	1.0522
$n=7$	1, 7, 3, 5, 4, 6, 2	0.9301
$n=8$	1, 8, 3, 6, 5, 4, 7, 2	0.8137
$n=9$	1, 9, 3, 7, 5, 6, 4, 8, 2	0.7208

ントの各状態の生起確率の値に因らず、コンポーネントが状態 3 となる確率の大小関係のみで最適構成を表すことができる“不変性(Invariant)”の傾向を導いた。加えて、ヒューリスティックな方法で傾向分析を進め、システムの状態生起条件を  $k=(1,2,2)$  のように、最大の連続コンポーネント数を 2 とした場合において、 $n=9$  の場合まで検証した。このとき表 2 に示されるように、最適配置を表すコンポーネント番号は、状態確率の期待値順に割り振られている。検証した結果、表 3 に示されるように、数理解析結果の傾向が同様に表れることが確認された。

#### (4) 多状態・連続型 $k$ -システムの疑似最適構成導出方法

上述 (3) において、初めて多状態・連続型  $k$ -システムの最適構成導出方法を提案した。しかし、分枝限定法を活用した導出の効率化を用いても、システムサイズが増大すると組み合わせ数の指数的な増大により計算不可能となることが確認された。そのため、研究方法 (7) の段階として、厳密な最適構成である保証はできないものの、最適構成に近い、もしくは最適構成と同等の状態確率の期待値を得ることができるコンポーネントの配置構成を、本研究課題では疑似最適構成と呼び、進化論計算を活用した組み合わせ最適化問題解法による疑似最適構成導出方法を提案した(学会発表③)。

#### (5) 多状態を有する(ネットワーク)システムの設計指針並びにその応用

本研究課題で得られた知見を活用し、研究方法 (8) の段階として、一般の(ネットワーク)システムの評価方法、並びに、その他のシステム最適構成導出問題への応用可能性を検討した。その結果、ネットワークにおいて複数の目的関数を、

ネットワークを構成するコンポーネント(本研究課題の場合にはエッジ)が有する場合に、目的関数間のトレードオフの関係からシステム全体で各々の場合に最適となるパレート解の高速な算出方法として、多状態・連続型  $k$ -システムの最適構成導出方法で得られた知見が活用できることがわかった。本研究課題では、多状態を有する(ネットワーク)システムの設計指針を提供する前段階として、2目的関数、並びに3目的関数を有する(ネットワーク)システムのパレート解算出方法を提案した(論文②⑨, 学会発表①⑥⑦⑨)。更に、本研究課題における多状態・連続型  $k$ -システムの最適構成導出方法で活用したアルゴリズムの考え方から、連の分布の算出方法(論文⑩)、設備配置最適化問題への応用(論文⑬, 学会発表⑪⑫)、多期間制約サイクル問題における最適切替問題への応用(論文④⑤)を通して、本研究課題の成果における、より一般的なシステムへの応用可能性を示した。

#### 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14件)

- ① Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba, Takahiro Yamaguchi, Hideki Nagatsuka, An Evaluating Algorithm for the System State Distributions of Generalized Multi-State  $k$ -out-of- $n$  Systems, Journal of Japan Industrial Management Association, 査読有, Vol.61, No.6E, 2011, 347-354
- ② Yasuhiro Tsujimura, Hideki Yamachi, Hisashi Yamamoto, Yasushi Kambayashi, Searching Pareto Solutions of Bi-Objective Series  $k$ -out-of- $n$  System Component Allocation Problem with Breadth First Search Method, Journal of Japan Industrial Management Association, 査読有, Vol.61, No.6E, 2011, 355-364
- ③ 秋葉知昭, 連続  $k$ -システムの応用と評価手法, 査読無, 経営システム誌, 第 20 巻 第 6 号, 2010, 26-33
- ④ Hisashi Yamamoto, Jing Sun, Masayuki Matsui, A Study on Limited-Cycle Scheduling Problem with Multiple Periods, Computer & Industrial Engineering, 査読有, Vol.59, Issue 4, 2010, 675-681
- ⑤ 山本久志, 孫晶, 大石貴之・松井正之, ノンリセット多期間制約サイクルモデルにおける最適切替問題に関する研究—基準工程により加工率を切替える場合—, 日本経営工学会誌, 査読有, Vol.61, No.4, 2010, 234-243
- ⑥ Koji Shingyochi, Hisashi Yamamoto, Yasuhiro Tsujimura, Tomoaki Akiba, Proposal of Simulated Annealing Algorithms for

- Optimal Arrangement in a Circular Consecutive- $k$ -out-of- $n:F$  System, Quality Technology and Quantitative Management, 査読有, 2010, Vol.7, No.4, 395-405
- ⑦ 秋葉知昭, 多状態  $k$ -システムの評価手法, 日本信頼性学会誌, 査読無, Vol.32 No.1, 2010, 26-33
- ⑧ Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba, Hideki Nagatsuka, Calculating Method for the System State Distributions of Generalized Multi-State  $k$ -out-of- $n:F$  Systems, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineering, 査読有, Vol.E92-A No.7, 2009, 1593-1599
- ⑨ Hidemi Yamachi, Yasuhiro Tsujimura, Hisashi Yamamoto, Yasushi Kambayashi, An Application and Characteristic Analysis of MOGA for Bi-Objective Optimal Component Allocation Problem in Series-Parallel Redundant System, Electronics and Communications in Japan, 査読有, Vol.92, No.9, 2009, 7-16
- ⑩ 山本久志, 浜田康平, 長塚豪己,  $s$ 種類の結果を有する試行列における連の分布の効率的な算出方法-オーバーラップを許さない場合-, 日本経営工学会論文誌, 査読有, Vol.60, No.4, 2009, 219-225
- ⑪ Koji Shingyochi, Hisashi Yamamoto, Efficient Genetic Algorithm for Optimal Arrangement in a Linear Consecutive- $k$ -out-of- $n:F$  System, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineering, 査読有, Vol.E92-A No.7, 2009, 1578-1584
- ⑫ Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba, Hideki Nagatsuka, Yurie Moriyama, Recursive Algorithm for the Reliability of a Connected-(1,2)-or-(2,1)-out-of-( $m,n$ ): $F$  Lattice System, European Journal of Operational Research, 査読有, Vol.188, No.3, 2008, 854-864
- ⑬ 山本久志, 鈴木淳, 小原大樹, 多階層設備配置問題に対する分枝限定アルゴリズム, 日本経営工学会論文誌, 査読有, Vol.59, No.1, 2008, 11-20
- ⑭ Koji Shingyochi, Hisashi Yamamoto, Yasuhiro Tsujimura, Yasushi Kambayashi, Improvement of Ordinal Representation Scheme for Solving Optimal Component Arrangement Problem of Circular Consecutive  $k$ -out-of- $n:F$  System, Quality Technology and Quantitative Management, 査読有, Vol.6, No.1, 11-22, 2008
- Multi-Objective Network, 4th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling, 2010/12/2-4, Wellington, New Zealand
- ② Tomonori Komuro, A Trend on the Optimal Arrangements in a Multi-State Consecutive- $k$ -out-of- $n:F$  System, 4th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling, 2010/12/2-4, Wellington, New Zealand
- ③ Hidemi Yamachi, An Application of Evolutionary Algorithm for Optimal Arrangement Problems of Multi-State Consecutive- $k$ -out-of- $n:F$  System, 4th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling, 2010/12/2-4, Wellington, New Zealand
- ④ Koji Shingyochi, Comparative study of simulated annealing algorithms for optimal arrangement problems in a circular consecutive- $k$ -out-of- $n:F$  system, 4th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling, 2010/12/2-4, Wellington, New Zealand
- ⑤ Koji Shingyochi, Comparative Study of Simulated Annealing Algorithms for Optimal Arrangement Problems in a Linear Consecutive- $k$ -out-of- $n:F$  System, the 2nd International Conference on Advanced Science and Technology, 2010/6/23-25, Miyazaki, Japan
- ⑥ 秋葉知昭, 3 目的を有するネットワークのパレート解算出アルゴリズムの提案, 平成22年度日本経営工学会秋季研究大会, 2010/5/15-16, 東京
- ⑦ Tomoaki Akiba, An Efficient Algorithm for the Pareto-Solution of a Multi-Objective Network with Shortest Path Problem and Comfortable Cost, the 19th International Conference on Production Research, 2009/8/1-5, Shanghai, China
- ⑧ Tomonori Komuro, Efficient Algorithm for Optimal Arrangement Problems of Multi-State Consecutive- $k$ -out-of- $n:F$  System, the 19th International Conference on Production Research, 2009/8/1-5, Shanghai, China
- ⑨ Yasuhiro Tsujimura, A Breadth First Search Method for Searching Pareto Solutions of a Component Allocation Problem in a Bi-Objective Series-Parallel Redundant System, the 9th Asian Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2009/12/14-16, Kita-Kyushu,

[学会発表] (計20件)

- ① Tomoaki Akiba, A Fast Algorithm for the Partial Group of Pareto-Solutions at a

- Japan
- ⑩ Kil-Woong Jang, A Tabu Search for Multiple Multi-Level Redundancy Allocation Problems in Series-Parallel Systems, the 9th Asian Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2009/12/14-16, Kita-Kyushu, Japan
  - ⑪ Atsushi Suzuki, An Evolutionary Algorithm for Solving Facility Rearrangement Problem, the 9th Asian Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2009/12/14-16, Kita-Kyushu, Japan
  - ⑫ Koji Shingyochi, Efficient Simulated Annealing Algorithms for Optimal Component Arrangement Problems in a Linear Consecutive- $k$ -out-of- $n$ :F System, the 9th Asian Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2009/12/14-16, Kita-Kyushu, Japan
  - ⑬ 小室智則, 分枝限定に基づく多状態 consecutive- $k$ -out-of- $n$ :F システムの最適配置算出アルゴリズムの提案, 平成21年度日本経営工学会秋季研究大会, 2009/11/7-8, 愛知
  - ⑭ 山口孝浩, 縮約を用いた  $k$ -system の効率的な状態確率分布の算出方法, 平成21年度日本経営工学会秋季研究大会, 2009/11/7-8, 愛知
  - ⑮ 小室智則, 多状態 consecutive- $k$ -out-of- $n$ :F システムの効率的な最適配置算出アルゴリズムの提案, 電子情報通信学会信頼性研究会, 2009/5/29, 広島
  - ⑯ Atsushi Suzuki, An Efficient Algorithm using New Neighbor Search Procedures for Solving Facility Layout Problems, the 8th Asian Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2008/12/3-5, Bali, Indonesia
  - ⑰ Koji Shingyochi, Proposal of An Efficient Algorithm for Solving Optimal Component Arrangement Problems in a Circular Consecutive- $k$ -out-of- $n$ :F System, European Safety and Reliability 2008, 2008/9/22-25, Valencia, Spain
  - ⑱ Tomoaki Akiba, Evaluating Algorithms for the System State Distribution of Multi-State  $k$ -out-of- $n$ :F System, European Safety and Reliability 2008, 2008/9/22-25, Valencia, Spain
  - ⑲ 山口孝浩, 状態数削減による多状態  $k$ -out-of- $n$ :F システムの状態確率分布算出方法, 平成20年度日本経営工学会春季研究大会, 2008/5/10-11, 東京
  - ⑳ 江頭知宜, 快適性を考慮した最短路問題解法に関する研究, 平成20年度日本経営工学会秋季研究大会, 2008/5/10-11, 東京

[図書] (計0件)  
該当なし

[産業財産権]  
○出願状況(計0件)  
該当なし

○取得状況(計0件)  
該当なし

[その他]  
該当なし

## 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)研究分担者

新行内 康慈(SHINGYOCHI KOJI)  
十文字学園女子大学・社会情報学部・准教授

研究者番号:90267774

### (3)研究協力者

秋葉 知昭(AKIBA TOMOAKI)  
山形県立産業技術短期大学校・知能電子システム科・主任講師

研究者番号:60505767