

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350427

研究課題名(和文)条件付き不変性を用いた最適配置問題解法に関する研究

研究課題名(英文)The efficient algorithm for optimal assignment based on the conditional invariant condition

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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：連続型 k-システムはシステム内のある一定範囲内で集中して故障(稼働)している場合にシステム故障(稼働)となるようなシステムの総称であり、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などの評価に有用である。本研究では、システムの最適設計時に有用な不変性(部品信頼度の大小関係が分かれば最適設計が可能である性質)が、システムの形状や部品信頼度に関して規定の条件が成立すれば、連続型 k-システムに対して成立することを示しシステム設計時に有用であることを示した。また、その結果が作業員配置最適問題や最適設備配置計画問題にも適用可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：The consecutive-k-system is the system, which fail (operate) if and only if all components fails (operates) in a given range. These systems can be applied to a supervisor system of sensors located in a space, etc. This study considered the invariant property that the optimal system configuration can be obtained by the ranks of component reliabilities even if the component reliabilities are not given exactly. 1) For the special consecutive-k-systems, the conditions of system size and components reliability was clear for the invariant property. 2) Based on the condition, the algorithm was proposed for the optimal assignments. The result are useful when we design the optimal consecutive-k-systems. In addition, the result was applicable to the worker/equipment assignment problem.

研究分野：信頼性工学

キーワード：システム 連続型 k-システム 最適配置

### 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要素(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。構成要素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、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。

システムの最適設計問題の一つとして、システムを構成するコンポーネントが入れ替え可能な場合に、システム信頼度を最大とするコンポーネントの配置(構成)を求める“最適配置問題”が長く研究されてきた。最適配置問題の解法を提案することは、限られた資源の中でシステムの能力を最大限に引き出すために有効な手段である。最適配置を求めるためには、コンポーネントの全ての配置を列挙し、その配置の下でシステム信頼度を算出する必要があり、探索アルゴリズムの計算時間はシステムサイズに対して指数オーダー( $\#P$  完全問題)となる。そのため、システム信頼度算出とコンポーネント配置列挙それぞれに対する効率的なアルゴリズムが不可欠となる。連続型  $k$ -システムや拡張連続型  $k$ -システムについてはシステム信頼度算出やコンポーネント配置列挙について効率的な方法が提案されている。しかし、サイズが大きいシステムに対しては、効率的な信頼度算出方法の提案自体があまり為されておらず、最適配置問題の研究は進んでいない。

これまでの最適配置の研究において、システムを構成するコンポーネントの信頼度の値に依存せず、信頼度の大きさの順位のみにより最適配置が決定すると定義される“不変性(invariant)”という概念がある(引用文献: )。不変な最適配置の存在が確認されると容易に最適配置が求められることになるが、ほとんどのシステムにおいて不変な最適配置が存在しないことが確認されている。しかし、不変性ほど有用ではないが、申請者らは、コンポーネントの信頼度の値が特定の条件を満足すれば不変な最適配置が存在する(条件付き不変性)と考え、連続型  $k$ -システムや多状態連続型  $k$ -システムに対して、条件付き不変な最適配置の存在を示してきた。

上記した従来研究の結果を通し、申請者らは、多目的ネットワークシステム等においても、コンポーネントの属性値(状態確率やコストなど)が

特定の条件を満足する場合に、条件付き不変な最適配置が存在すると考えている。更に、その条件付き不変な最適配置の存在を利用することにより、連続型  $k$ -システム、拡張連続型  $k$ -システムや多目的ネットワークシステムに対して最適配置を効率的に探索可能である統一的な方法の提案が可能であると考えている。しかしながら現時点において、連続型  $k$ -システムや拡張連続型  $k$ -システムについては、最適配置を効率的に探索する方法の構築と、上述の条件付き不変性の考察は十分とは言えない。

### 2. 研究の目的

上記背景の下、本研究では大規模化と複雑化を考慮したシステムの最適設計問題の統一的な解法を提案する研究の最初の段階と位置付け、コンポーネントの最適配置を効率良く探索する統一的な解法の提案を本研究の目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究課題では、まず、

- (1) 従属な連続型  $k$ -システムと拡張連続型  $k$ -システムに対して条件付き不変な最適配置の存在条件(システム構成やコンポーネントの属性値)を考察、及び多目的ネットワークシステムに対して不変または条件付き不変な最適配置の存在条件(トポロジー、エッジやノードの状態確率、コストなど)を明らかにする。そして、
- (2) (1)で得た条件付き不変な最適配置の条件、及び過去に提案された最適配置探索の効率的な手法を用いて、最適配置を効率的に探索する統一的な探索方法を提案する。

更に、(2)の結果を踏まえて、

- (3) 作業配置問題、設備配置問題やソフト開発資源配分問題への応用を考察する。以上のことから、対象のシステム別に存在していた最適配置問題の解法を一元化し、システムの最適配置問題に対して統一的な解法を提案する。

本研究で予想される結果と意義は、従来では厳密なモデル化ができなかった現実のシステムを、従属な拡張連続型  $k$ -システムや多目的ネットワークシステムとしてモデル化し最適配置問題の解法を提案することにより、複雑なシステムについて、従来よりも正確な設計指針の提案が可能になることにある。更に本研究課題の結果を作業配置問題や設備配置問題に適用することで、大規模化と複雑化により評価困難となった実社会の多くのシステムの設計問題に対し、統一的な解法を提供することになる。

#### <引用文献>

Optimal Consecutive-2-out-of- $n$ :F Component Sequencing, Malon, *IEEE Trans. on Reliab.*, 33(5), pp. 414-418, 1984.

### 4. 研究成果

- (1) 国内外の文献調査  
システム評価技術について、1)拡張連続型

$k$ -システムの信頼度算出方法、並びに 2) ネットワークシステムの(2 点間・ $k$  点間・全点間)信頼度算出方法、3) 多状態システムの性能評価方法を再調査した。

(2) 拡張連続型  $k$ -システムの効率的な最適配置探索方法の提案

本提案のために、まず最適配置の条件付き不変性の存在条件の導出及び個々の配置の下でのシステム信頼度の効率的な算出を検討した。

条件付き不変性の存在条件分析

2 次元連続型システムについては、システムサイズに比して極小カットサイズが大きい場合を考え、最適配置の必要条件を導出し、その条件を利用することにより効率的探索を実現した(学会発表: )。特に、システムサイズと極小カットサイズの一部が一致する場合には、1 次元システムに帰着させることにより、より効率的な方法を実現している(雑誌論文: , 学会発表: ⑳㉔)。表 1 に connected-(3,2)-out-of-( $m,n$ ):F System に対する最適配置問題解決時の提案アルゴリズムの計算時間を示す。ただし、PA は提案アルゴリズム、EM は全数列挙アルゴリズムを示す。表中の N/A は計算時間が 2 日以上であることを示す。

表 1 : Computation time in the case of  $m = 3$ .

$n$	PA	EM	PA/EM
3	0.002 sec	0.338 sec	0.59 %
4	0.453 sec	11.264 min	0.06 %
5	3.350 min	N/A	
6	28.936 hour	N/A	

多状態連続型システムについては、コンポーネント数が小さい場合ではあるが、条件付き最適配置の条件を算出している(学会発表: )。さらに、その条件を利用した進化論をベースとしたアルゴリズムを提案した(雑誌論文: , 学会発表: ㉒㉕)。

拡張連続型  $k$ -システムに対する信頼度計算方法の再考察

2 次元連続型システムに対してマルコフ連鎖を用いた信頼度表現を実現した。これにより、特にコンポーネント信頼度が同一な場合に効率的な計算方法ができた(雑誌論文: , 学会発表: )。表 2 に connected-(1,2)-or-(2,1)-out-of-( $m,n$ ):F システムに対するシステム信頼度算出の計算時間を示す。ただし、MM は提案したマルコフ連鎖を用いた信頼度算出方法、RE は比較対象である再帰方程式(引用文献: )を示す。

表 2: Computation time in the case of  $m = 8$ . (sec.)

$n$	MM	RE	MM/RE
100	0.007	0.009	77.8 %
1000	0.013	0.074	17.6 %
10000	0.015	0.719	2.1 %

上記の考えは、システムを構成する行または列の一方が小さいシステムの信頼度によりシステム信頼度を表現しているが、この考えを拡張し、システムを部分システムとして分解することによりシステム信頼度算出の効率化も検討した(学会発表: )。

(3) 多目的ネットワークの性能評価問題の定式化及び解法提案

エッジにコストと信頼度を与えられている場合に、システムの評価指標として全点間信頼度を取り上げ、コスト最小信頼度最大のパレート解算問題及び信頼度制限下でのコスト最小問題の大きく 2 つの問題を取り上げて検討した。信頼度制限下でのコスト最小問題では、エッジ数固定の制限を加えた子問題に分解し分岐限定を行うために、信頼度最大構成を求める問題を考察した(雑誌論文: , 学会発表: ⑥⑭⑮⑳㉑)。パレート解算問題については、ネットワークを構成するエッジ数を固定し、その部分問題のパレートを算出していくことで近似解集合ではあるが効率的な解法を提案した(雑誌論文: , 学会発表: ㉒㉓㉔)。

次にエッジに数種類のコストを与えられている場合の多目的経路探索問題を、ダイクストラ法を拡張することによりパレート解を効率的に求める解法を提案した(雑誌論文: , 学会発表: )。

(4) 他分野における最適配置問題解決への適用可能性の検討

作業員配置最適化問題

外部環境によるリスクを時間ではなく費用として反映したりリセット多期間制約サイクルモデルを考え、期待費用を最小とする最適配置問題に対して、上述の条件付き不変性の条件導出の考えを利用し、作業員を少数のグループに分け、最適配置と費用や作業員の作業時間分布との関係(以下、最適配置法則)を見いだすことにより簡便な最適配置の算出方法を提案した(雑誌論文: , 学会発表: )。

設備最適配置問題

本研究で扱った設備配置問題は二次割当問題(QAP)の考え方に着想を得て、 $mn$  個設備を  $m$  行  $n$  列で仮想された工場の格子に割り当てる問題である。本問題においてスパースな設備間関連構造なセル型の設備配置問題のための解法とし、二次元の交叉手法と隣接選好による近傍探索法を取り込み、二次元の配置問題に適用するハイブリッドなアルゴリズムを提案し数値実験では良好な結果を得ている(雑誌論文: , 学会発表: )。

< 引用文献 >

Recursive Algorithm for the Reliability of a Connected-(1,2)-or-(2,1)-out-of-( $m,n$ ):F Lattice System, Hisashi Yamamoto et al., *European Journal of Operational Research*, 188(3), pp. 854-864, 2007.

## 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)

Taishin Nakamura, Hisashi Yamamoto, Takashi Shinzato, Xiao Xiao and Tomoaki Akiba, "Reliability of a circular connected-(1,2)-or-(2,1)-out-of-( $m,n$ ):F lattice system with identical components," The Institute of Electronics, Information and Communication Engineering, 査読あり, Vol. 100-A, No. 4, pp. 1029-1036, 2017

DOI : <http://doi.org/10.1587/transfun.E100.A.1029>

Xiao Xiao, Natsumi Takahashi and Hisashi Yamamoto, "On the Exact Maximum All-Terminal Reliability of Network Systems," Journal of Japan Industrial Management Association, 査読あり, Vol. 66, No. 4E, pp. 378-386, 2016

DOI : <http://doi.org/10.11221/jima.66.378>

Naoki Yoshida, Koji Shingyochi, Tomoaki Akiba, Xiao Xiao and Hisashi Yamamoto, "Comparative Study of Several Simulated Annealing Algorithms for Optimal Arrangement Problem in Multi-state Consecutive- $k$ -out-of- $n$ :F System," Journal of Japan Industrial Management Association, 査読あり, Vol. 66, No. 4E, pp. 426-434, 2016

DOI : <http://doi.org/10.11221/jima.66.426>

Xianda Kong, Hisashi Yamamoto, Jing Sun and Masayuki Matsui, "Optimal Worker Assignment Considering Workers Skill on Different Task in Limited-Cycle Multiple Periods," Innovation and Supply Chain Management, 査読あり, Vol. 10, No. 2, pp. 61-67, 2016

DOI : <http://doi.org/10.14327/iscm.10.61>

Xianda Kong, Hisashi Yamamoto and Peiya Song, "Special workers' assignment optimization under the limited-cycled model with multiple periods," Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 査読あり, Vol. 10, No. 3, p. JAMDSM0049, 2016

DOI : <http://doi.org/10.1299/jamdsm.2016jamdsm0049>

胡巍, 鈴木淳, 山本久志, "二次割当型設備配置問題のための二次元交叉を利用した進化的解法", 日本設備管理学会誌, 査読あり, Vol. 28, No. 2, pp. 21-27, 2016.

Natsumi Takahashi, Tomoaki Akiba, Syuhei Nomura and Hisashi Yamamoto, "The Fast Calculation Method for Obtaining Pareto Solutions of Two-objective network,"

International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, 査読あり, Vol. 22, No. 1, 2015.

DOI : [10.1142/S0218539315500059](https://doi.org/10.1142/S0218539315500059)

Xiao Xiao, Yi Chen, Natsumi Takahashi and Hisashi Yamamoto, "Magnitude relation of the all-terminal reliability of network systems," International Journal of Performance Engineering, 査読あり, Vol. 11, No. 4, pp. 339-348, 2015.

Natsumi Takahashi, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba and Xiao Xiao, "Algorithm for obtaining optimal path in three-objective network with a reduction of search space," Innovation and Supply Chain Management, 査読あり, Vol. 9, No. 3, pp. 103-109, 2015.

DOI : <http://doi.org/10.14327/iscm.9.103>

高橋奈津美, 山本久志, 秋葉知昭, 肖霄, "探索過程改良による3目的経路最適化アルゴリズム", 日本設備管理学会誌, 査読あり, Vol. 27, No.3, pp. 116-124, 2015.

Toru Omura, Tomoaki Akiba, Xiao Xiao, Hisashi Yamamoto, "Algorithm for Obtaining Optimal Arrangement of a Connected-( $r,s$ )-out-of-( $m,n$ ):F System – the case of  $m = r$  and  $s = 2$  –, " The Institute of Electronics, Information and Communication Engineering, 査読あり, Vol. E98-A, No.10, pp. 2018-2024, 2015.

Peiya Song, Xianda Kong, Hisashi Yamamoto, Jing Sun and Masayuki Matsui, "A Study on Three Rookie Workers' Assignment Optimization under the Limited-Cycled Model with Multiple Periods – Law of Rookie First–," Innovation and Supply Chain Management, 査読あり, Vol. 9, No.2, pp. 51-59, 2015.

DOI : <http://doi.org/10.14327/iscm.9.51>

孫晶, 孔憲達, 山本久志, 松井正之, "多期間工程の納期制約問題における最適切替方策に関する研究", 日本設備管理学会誌, 査読あり, Vol. 95, No. 1, pp. 1-6, 2014.

Xianda Kong, Jing Sun, Hisashi Yamamoto and Masayuki Matsui, "A Study on the Target Processing Time of Worker Allocation Optimization Problem in Limited-Cycle Multiple Periods," International Information Institute, 査読あり, Vol. 7, No. 6(B), pp. 2619-2634, 2014.

[学会発表](計 76 件)

Taishin Nakamura, Hisashi Yamamoto, Takashi Shinzato, Tomoaki Akiba and Xiao Xiao, "Approximations for Reliability of the Connected-(1,2)-or-(2,1)-out-of-( $m,n$ ):F Lattice System," The 3rd East Asia Workshop on Industrial Engineering, 2016 年 12

月 7 日 ~ 10 日, Taipei (Taiwan).  
石川匠, 新里隆, 中村太信, 肖霄, 秋葉知昭, 山本久志, “結合システムを用いた Linear Connected (1,2)-or-(2,1)-out-of-(2,n): F システムのシステム信頼度の関係式に関する研究”, 電子情報通信学会・信頼性研究会, 2016 年 10 月 21 日, 沖縄県青年会館 (沖縄県・那覇市).

Natsumi Takahashi, Tomoaki Akiba, Hisashi Yamamoto, Xiao Xiao and Koji Shingyochi, "Algorithm for optimal paths in multi-objective network," The 26th European Safety and Reliability Conference, 2016 年 9 月 25 日 ~ 29 日, Glasgow (Scotland).

Taishin Nakamura, Hisashi Yamamoto, Takashi Shinzato, Tomoaki Akiba and Xiao Xiao, "Reliability of a toroidal connected-(1,2)-or-(2,1)-out of-(m,n):F Lattice system," The 7th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling, 2016 年 8 月 24 日 ~ 26 日, Seoul (Korea).

Natsumi Takahashi, Tomoaki Akiba, Hisashi Yamamoto, Xiao Xiao and Koji Shingyochi, "Proposal for obtaining method of Pareto solutions in a multi-objective network," The 7th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling, 2016 年 8 月 24 日 ~ 26 日, Seoul (Korea).

Daichi Enomoto, Xiao Xiao, Natsumi Takahashi and Hisashi Yamamoto, "Experimental simulation study of optimization algorithm for network system design," The 2016 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering, 2016 年 7 月 25 日 ~ 28 日, Jiuzhaigou (China).

Atsushi Suzuki and Hisashi Yamamoto, "Solving Facility Rearrangement Problem using a Simulated Annealing Based Algorithm," The 16th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2015 年 12 月 8 日 ~ 11 日, Ho Chi Minh City (Vietnam).

Naoki Yoshida, Koji Shingyochi, Tomoaki Akiba, Hisashi Yamamoto and Xiao Xiao, "Optimal arrangement problems for the Multi-state consecutive-k-out-of-n:F system in case of  $\max \{k_j\} = 2$ ," The 16th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2015 年 12 月 8 日 ~ 11 日, Ho Chi Minh City (Vietnam).

Natsumi Takahashi, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba and Xiao Xiao, "A Study on Searching Optimal Paths in Networks with Multi-objective Functions, 2015 年 12 月 8 日 ~ 11 日, Ho Chi Minh City (Vietnam).

Xianda Kong, Peiya Song, Hisashi Yama-

moto, Jing Sun and Masayuki Matsui, "Workers' Assignment Optimization Focusing on Worker's Efficiency -When Workers can Be Divided into Three Groups-," The 16th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2015 年 12 月 8 日 ~ 11 日, Ho Chi Minh City (Vietnam).

Toru Omura, Hisashi Yamamoto, Xiao Xiao and Tomoaki Akiba, "Algorithm for obtaining optimal arrangement of a connected-(r,s)-out-of-(m,n):F system – the case of  $m = r + 1$  and  $2s > n$  -," The 16th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2015 年 12 月 8 日 ~ 11 日, Ho Chi Minh City (Vietnam).

Wei Hu, Hisashi Yamamoto and Atsushi Suzuki, "An Evolutional Algorithm for Rectangular Type Facility Layout Problem," The 16th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2015 年 12 月 8 日 ~ 11 日, Ho Chi Minh City (Vietnam).

小村徹, 山本久志, 肖霄, 秋葉知昭, “ $2r > m$ ,  $2s > n$  の場合における connected-(r,s)-out-of-(m,n):F システムの最適配置に関する研究”, 平成 27 年度日本経営工学会秋季研究発表大会, 2015 年 11 月 28 日 ~ 29 日, 金沢工業大学 (石川県・野々市市).

Xiao Xiao, Daichi Enomoto and Hisashi Yamamoto, "Reconsideration of network types – the case of  $e = n + 4$  -," The 2nd East Asia Workshop on Industrial Engineering, 2015 年 11 月 6 日 ~ 7 日, Seoul (Korea).

Naoki Yoshida, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba, Koji Shingyochi and Xiao Xiao, "Optimal Arrangement Problems for the Multi-State Consecutive-k-out-of-n:F system in case of  $\max \{k_j = 2\}$  and  $k_j$  is monotonous increase and decrease," The 2nd East Asia Workshop on Industrial Engineering, 2015 年 11 月 6 日 ~ 7 日, Seoul (Korea).

Natsumi Takahashi, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba, Xiao Xiao and Koji Shingyochi, "Optimizing path for networks with multi-objective functions," The 25th European Safety and Reliability Conference, 2015 年 9 月 7 日 ~ 10 日, Zurich (Switzerland).

Xianda Kong, Hisashi Yamamoto, Shiro Masuda, "Worker Assignment Optimization under Reset Limited-Cycled Model with Multiple Periods - Focus on Worker's Clever Tasks-," The 34th Chinese Control Conference and SICE Annual Conference 2015, 2015 年 7 月 28 日 ~ 30 日, Hangzhou

(China).

Xiao Xiao, Natsumi Takahashi, Yi Chen and Hisashi Yamamoto, "Reconsideration of Network Types – the cases of  $e=n+1$ ,  $e=n+2$  and  $e=n+3$  –, " The 9th International Conference on Mathematical Methods in Reliability, 2015年6月1日~4日, 筑波大学(東京都・文京区).

Xianda Kong, Hisashi Yamamoto, Peiya Song, Jing Sun and Masayuki Matsui, "Paired Property Analyses for Optimal Worker Assignment -Worker Efficiency vs. Task," The 15th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2014年10月12日~15日, Jeju (Korea).

Toru Omura, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba and Xiao Xiao, "Applied algorithm for the optimal arrangement problem of a connected- $(r,s)$ -out-of- $(m,n)$ :F System," The 15th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2014年10月12日~15日, Jeju (Korea).

- ⑳ Natsumi Takahashi, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba and Xiao Xiao, "Search process for Pareto solutions of a two-objective network by combination of network properties," The 15th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2014年10月12日~15日, Jeju (Korea).

- ㉑ Naoki Yoshida, Koji Shingyochi, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba and Xiao Xiao, "Comparative study of SA algorithms of optimal arrangement problem in a multi-state  $k$ -out-of- $n$ :F system," The 15th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2014年10月12日~15日, Jeju (Korea).

- ㉒ Natsumi Takahashi, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba, Koji Shingyochi, "Effective searching process used in obtaining Pareto solutions of two-objective network design problem," The 24th European Safety and Reliability Conference, 2014年9月14日~18日, Wrocław (Poland).

- ㉓ Toru Omura, Hisashi Yamamoto, Xiao Xiao and Tomoaki Akiba, "On the optimal arrangement of connected- $(r,s)$ -out-of- $(m,n)$ :F system, when  $m=r$  and  $s=2$ ," The 6th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling, 2014年8月21日~23日, 札幌パークホテル(北海道・札幌市).

- ㉔ Naoki Yoshida, Hisashi Yamamoto, Xiao Xiao, Koji Shingyochi and Tomoaki Akiba, "Efficient simulated annealing algorithms for optimal arrangement problems in a

multi-state consecutive- $k$ -out-of- $n$ :F system," The 6th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling, 2014年8月21日~23日, 札幌パークホテル(北海道・札幌市).

- ㉕ Natsumi Takahashi, Hisashi Yamamoto, Xiao Xiao and Tomoaki Akiba, "Network properties of restricting calculated networks in obtaining pareto solutions," The 6th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling, 2014年8月21日~23日, 札幌パークホテル(北海道・札幌市).

- ㉖ Xiao Xiao, Yi Chen, Natsumi Takahashi and Hisashi Yamamoto, "On efficiency improvement of optimization algorithm for network system design," The 2014 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering, 2014年7月22日~25日, Dalian (China).

## 6. 研究組織

### (1)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

### (2)研究分担者

秋葉 知昭 (AKIBA, Tomoaki)

千葉工業大学・社会システム科学部・教授

研究者番号: 60505767

新行内 康慈 (SHINGYOCHI, Koji)

十文字学園女子大学・人間生活学部・教授

研究者番号: 90267774

肖 霄 (XIAO, Xiao)

首都大学東京・

システムデザイン研究科・助教

研究者番号: 30707477

### (3)連携研究者

なし

### (4)研究協力者

孔 憲達 (KONG, Xianda)

高橋 奈津美 (TAKAHASHI, Natsumi)

中村 太信 (NAKAMURA, Taishin)