

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 22 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350456

研究課題名(和文)多目的ネットワークの統一的なパレート最適解算出方法に関する研究

研究課題名(英文) Study for the unified algorithms for obtaining Pareto solution for the optimal design problems of a multi-objective network

研究代表者

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は多目的ネットワークの厳密なパレート最適解算出の効率化を図り、大規模な多目的ネットワークの設計評価、及び、新たな近似解法提案への一助となる手法の確立を目的とした。

成果として、主に、(1)全点間信頼度と構築コストを考慮した2目的ネットワーク設計問題の解法提案、(2)多目的ネットワークの最適経路探索問題の解法提案を行った。また、研究過程で明らかにしたネットワークのパレート最適解の傾向、ならびに、ネットワークの全点間信頼度解法を応用し、(3)連続型k-システムの最適設計への応用を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, we considered optimal design problem of multi-objective network system. We aimed proposition for the effective algorithm for obtaining exact results of Pareto optimal solution which it reduces the search area of feasible solutions for the optimal design problems of a multi-objective network.

As a result, we propose the following; 1) An effective search process for obtaining Pareto solutions of a two-objective network design problem with all-terminal reliability and construction costs. 2) Algorithms for obtaining optimal path in multi-objective network with a reduction of search space. 3) Application for obtaining solutions for the optimal design problems of a consecutive-k system.

研究分野：信頼性工学，オペレーションズ・リサーチ

 キーワード：多目的ネットワーク パレート最適解 アルゴリズム 解探索空間の削減 最適設計 全点間信頼度  
コスト

### 1. 研究開始当初の背景

複数の情報を活用し、合理的な意思決定を行う制約問題を定式化する方法の一つとして、ネットワークモデルを用いる方法がある。特に大規模化と複雑化が進んでいる現代社会のシステムにおいて最適化を図る問題、例えば、様々な付加情報を考慮したカーナビゲーションシステムのルート案内問題など多くの問題は、ネットワーク設計問題として定式化できる。本研究課題では、このようにエッジやノードに複数の情報が与えられたことで複数の目的関数を有するネットワークとして表されたネットワークを“多目的ネットワーク”と呼ぶ。多目的ネットワークの最適解算出問題は、例えば移動時間と移動コストを同時に最小とするルート案内問題のように、複数の目的関数を最大または最小にする多目的最適化問題であり、競合する全ての目的関数が同時に最適となる解（完全最適解とも呼ばれる）は一般的には存在せず、問題の（意思決定のための）重要な指標としてパレート最適解（Pareto Optimal Solution）を求める必要がある。しかし、多目的ネットワークのパレート最適解算出はノード数の増加や目的関数の増加に伴い計算量が増大し、計算困難になることが知られている。そのため、これまでの研究の多くはシミュレーションや多目的 GA(MOGA)等の進化論計算を用いた近似解法が提案されており、厳密なパレート最適解を求める効率的な算出法の提案は少ない。また多目的ネットワークのパレート最適解算出は、前述の通り多目的の制約問題を解くことにも通じるので、厳密なパレート最適解を求める効率的な算出法の提案は、様々な多目的最適化問題の解法に対し有用であると考えられる。

我々はこれまでに、ネットワークの特別な場合の一つである“連続型  $k$ -システム”と、これを拡張した“拡張連続型  $k$ -システム”の関連研究を考察した。最近は拡張連続型  $k$ -システムの一つである“多状態連続型  $k$ -システム”に注目して研究を進め、システムの状態確率分布算出方法や、システム状態の期待値を評価基準とした最適システム構成の算出方法、最適システム構成と各構成コンポーネントの状態確率との関係性を提案した。これらの研究を通し、特に多状態連続型  $k$ -システムが、複数の状態を複数の目的関数の実現値と見なすことで多目的ネットワークに近似することに注目した。そして多状態連続型  $k$ -システムの状態確率分布算出方法は、多目的ネットワークの

パレート最適解算出問題に応用可能と考え、様々な目的関数において用いることができる統一的算出方法を提案することで、中・大規模な多目的ネットワークの最適化問題の厳密解算出効率化の一助になると考えた。同時に、各ノード・エッジが持つ信頼度、流量、及び距離等から評価基準を導き、ネットワークの構造と評価基準からパレート最適解と各目的関数に対する解の存在密度の関係を明確にできると考えた。

### 2. 研究の目的

多目的ネットワークの厳密なパレート最適解算出の効率化を図り、大規模な多目的ネットワークの設計評価、及び、新たな近似解法提案への一助となる手法を確立する。そのために、(1)“ネットワークの構造”と、“信頼度、流量、及び距離等によるエッジとノードの性能評価基準”とパレート最適解の存在密度との関係を明らかにし、(2)最短距離（最短経路）・最大流量・ $k$ 点間信頼度（ノード総数  $N$  に対し  $2 \leq k \leq N$ ）等を複数の目的関数とした場合のパレート最適解の統一的な算出方法を提案する。

### 3. 研究の方法

大まかな研究方法は、国内外の文献調査(1)に基づきネットワークの全点間信頼度算出方法の効率化(2)と多目的関数を考慮したアルゴリズム改良(3)を行う。また(1)の結果を基に多目的ネットワークの2点間最短経路探索アルゴリズムを再考(4)する。次に(2)と(3)の結果を用い、有効な解の探索空間の制限方法を全点間(5)及び2点間(6)に対して提案し、更に $N$ 点間に拡張(7)する。以上をまとめ、(8)多目的ネットワークのパレート最適解のための統一的な算出方法の検討する。この8段階の詳細を下に記す。

#### (1) 国内外の文献調査

システム評価分野におけるネットワークの  $k$  点間 ( $2 \leq k \leq N$ ) 信頼度の解法と、多目的最適化分野における多目的ネットワークのパレート最適解の解法の2点を再調査し、以降の提案をするための準備を行う。

#### (2) $k$ 点間信頼度算出方法の効率化

既存研究は、目的関数に信頼度を含めた多目的ネットワークのパレート最適解算出問題では効率的でない。そこで、①多目的ネットワークに合わせた全点間信頼度算出方法提案と、②エッジの信頼度以外の目的関数計算を効率良く求める方法の提案、及び、③  $k$  点間信頼度算出方法を提案する。

#### (3) エッジ・ノードの優先順位を決定する評

## 価関数の提案

劣解となる部分ネットワークの算出を効率的に排除する方法提案のために、各エッジやノードに与えられた信頼度・距離・流量などのコスト値間の関係や、エッジ信頼度とコスト値の比率等を用いたエッジ・ノードの優先順位を決定する評価関数を検討し提案する。また、この際にネットワークの構造と優先順位を決定する評価関数の値の関係から、パレート最適解の存在密度を考慮した効率化の可能性を議論する。

### (4) 多目的ネットワークの最短経路・最大流探索アルゴリズムの再考

多目的ネットワークの2点間の最短経路を求めパレート最適解算出方法において、既存の拡張ダイクストラ法には無駄な処理が残っていると考えられる。同時に、多目的最適化問題の様々な研究のアプローチを精査し、パレート最適解の存在密度を考慮して劣解算出を効率的に排除する新しいパレート最適解算出方法に適用可能な最短経路・最大流算出アルゴリズムの提案を、研究方法(1)と(3)の成果をもとに再検討する。

### (5) $k$ 点間信頼度を考慮した場合の有効な解の探索空間の制限方法の提案

研究方法(2)と(3)の成果を活用し、 $k$  点間信頼度を考慮した多目的ネットワークのパレート最適解の算出効率化のために、パレート最適解の存在密度を考慮して劣解を排除し、パレートフロントのみを効率良く算出する方法を提案する。

### (6) 最短経路・最大流算出問題の有効な解の探索空間の制限方法の提案

研究方法(3)と(4)の議論を踏まえ、多目的ネットワークの2点間最短経路(最適経路)のパレート最適解算出方法について、パレート最適解の存在密度を考慮して劣解の算出を排除することで、パレートフロントを効率良く算出する方法を提案する。また、この成果を最大流算出問題に応用する。

### (7) $k$ 点間を連結する多目的ネットワークの最短経路・最大流算出問題への拡張

研究方法(5)と(6)の提案を踏まえて  $k$  点間を連結する多目的ネットワークの最短経路算出問題や最大流問題へ拡張を提案する。

### (8) 多目的ネットワークのパレート最適解のための統一的な算出方法の検討

研究方法(3),(4),(5),(6),(7)における提案を検討し、統一的な算出方法としてまとめる。この結果を踏まえて、多目的ネットワークの特殊な場合である多状態連続  $k$ -out-of- $n$ :F システムの最適配置問題の解法アルゴリズムの提案と、最適配置となるコンポーネント配置の傾向を分析する。

## 4. 研究成果

本研究では、研究方法(1)で従来研究を調査した結果(雑誌論文⑦と⑧他)を踏まえ、主に研究方法(3)を(4)の考察を深め、新たな評価方法とアルゴリズムを検討した結果として、研究方法(5)と(6)に対して以下の主要な成果を得た。またこれらの成果の過程から研究方法(7)と(8)の成果を得た。

### (1) 全点間信頼度と構築コストを考慮した2目的ネットワーク設計問題の解法提案

本研究では全点間信頼度と構築コストを評価指標とする2目的ネットワークのパレート最適解を効率的に求める解法として、研究方法(2)に基づいた全点間信頼度の導出効率化を踏まえ、パレートフロント付近の解である部分ネットワークが、エッジ本数が増えた解集合のパレートフロント付近の解における部分ネットワークの要素である可能性が高いと仮定し、エッジ本数ごとにネットワークを構成する解法を提案した。同時に研究方法(3)に基づき、ネットワークのエッジの連結と各エッジの信頼度と構築コストの関係から2目的ネットワークの性質を精査した。注目すべき点は、構築コストがエッジの増加に対して単調増加であるのに対し、全点間信頼度はエッジの連結関係に依存するため単純でない点である。解の傾向を分析するために、パレート最適解の定義を満たす部分ネットワークとそれ以外の部分ネットワークの比較実験を行い、エッジ追加後の全点間信頼度と構築コストの変化を調査した結果、研究方法(3)の成果として3つの性質を得た。これらの結果を踏まえて5つの解法の改善提案を行った。5つの提案はそれぞれ、①”パレート最適解のランク”を定義し、ランク分けしたパレート最適解を提案アルゴリズムにおける部分ネットワークの選択基準として用いる方法、②エッジ本数  $k-1$  の部分ネットワークのパレートフロントから導かれる図1に示すようなパレート最適解の傾きによる解の探索空間制限提案、及び、提案アルゴリズムで追加するエッジ  $e_i$  の選択基準を決定する次の3つである。③エッジ  $e_i$  においてエッジの効率性として高い順に追加する。④部分ネットワーク集合のパレート最適解に対し、全ての解においてエッジ  $e_i$  が連結された回数を有効度として高い順に追加する。⑤サイクルが成立するエッジ  $e_i$  を優先して追加する。以上の提案を研究方法(5)の成果とし、表1のようにアルゴリズムに実装し数値実験した結果を図2に示す。結果より、発見率はエッジの選択に有効度を用いたアルゴリズムが優位となった。また、計算時間とエラー率を考慮し、ネットワークの選択基準にパレート最適解の傾きを用いる方法が効果的であること

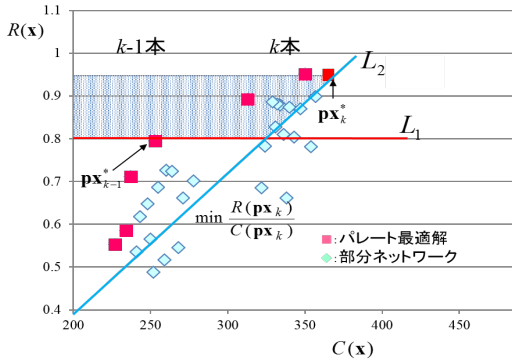


図1 パレート最適解の傾きによる制限領域

が示された. よって実験の範囲においては, アルゴリズムAS<sub>v</sub>を用いることで, より正確にかつ効率的にパレート最適解の部分集合を求めることが可能とわかった. また, 研究方法(3)に派生する成果として, 構築コストに対して全点間信頼度を最大とするネットワーク構造の包含サイクルとの関係を導いた.

表1 ネットワーク性質の組み合わせ

	ネットワークの選択		エッジの選択		
	ランク(a)	傾き(b)	サイクル(c)	効率性(d)	有効度(e)
AR <sub>E</sub>	○		○	○	
AR <sub>V</sub>	○		○		○
AS <sub>E</sub>		○	○	○	
AS <sub>V</sub>		○	○		○

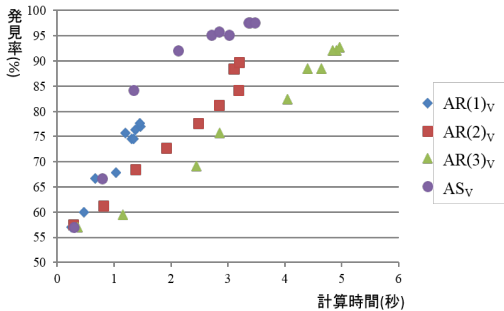


図2 発見率と計算時間の比較 (AR<sub>v</sub>とAS<sub>v</sub>)  
(雑誌論文②④学会発表⑧⑨⑩⑪⑬⑭⑯⑰⑱⑳)

## (2) 多目的ネットワークの最適経路探索問題の解法提案

ネットワーク経路問題において, エッジに距離やコストなど複数の評価指標が与えられた多目的ネットワークの最適経路問題は, 各評価指標が最小となる経路を探索する問題である. このとき研究成果(1)と異なり, 選択する経路におけるエッジの増加に対して, 全ての目的関数の評価指標が単調増加である. この問題は既存研究においてダイクストラ法の拡張によりパレート最適解の導出を可能とされたが, 目的関数増加とネットワーク構成ノードの増加は計算負荷が非常に大きい. そこで本研究では一般化した多目的ネットワークにおいて, すべてのパレート最適解を効率的に探索するアルゴリズムを提案し

た. はじめに研究方法の(3)と(4)に基づき, 探索空間の削減に有効な性質を検討した. 次にその性質を利用して, 研究方法の(6)と(7)より探索空間を削減しつつ, すべてのパレート最適解を探索するアルゴリズムを提案した. 提案の基本はある経路  $\mathbf{x} \in X$  が探索されたとき, 経路  $\mathbf{x}$  とパレート最適解の存在領域の性質を用いて探索空間を削減する方法である. 以下, 探索空間削減の基準として用いる経路を基準経路と呼ぶ.  $N=3$  の例を図3に示す.

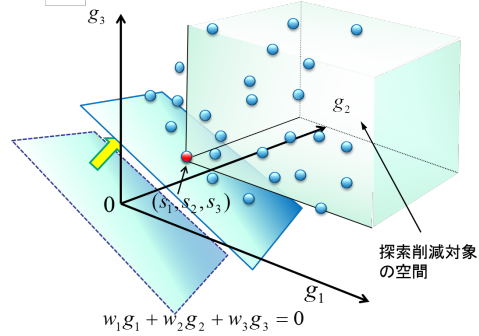


図3 性質を満たす基準経路  $\mathbf{x}_s$  の探索

初めて解集合  $X$  の要素と交叉する基準経路  $\mathbf{x}_s$  により,  $g_1 \geq s_1, g_2 \geq s_2, g_3 \geq s_3$  を全て満たす空間  $\{(g_1, g_2, g_3)\}$  が探索空間から削減される. 更に本研究では複数平面を考える方法を提案した. ここで平面の傾きを  $N$  種類考えた基準経路  $\mathbf{x}_{u(1)}, \mathbf{x}_{u(2)}, \dots, \mathbf{x}_{u(N)}$  と基準経路  $\mathbf{x}_s$  による空間削減を提案1とする. 次に各目的関数値の分布に大きな偏りがある場合, 座標軸に近い空間に多くの経路が存在する可能性を考慮し, 座標軸付近の探索空間を削減するために, 各目的関数単一で求められる最適経路を基準経路とする方法を提案する.  $N=3$  の場合に基準経路  $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3$  により削減される探索空間例を図4に示す. これを提案2とする.

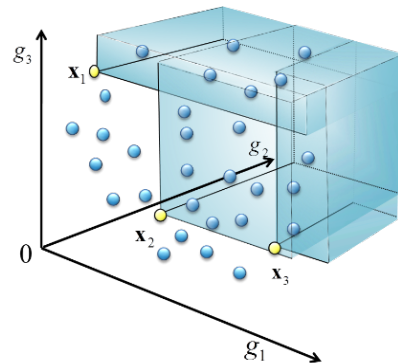


図4 基準経路  $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3$  が削減する探索空間  
提案1,提案2ともに探索空間を削減できるが, 探索空間の削減に用いる基準経路を得るための計算過程が追加される. 更に, 探索空間の削減効果は値に依存するため, 全計算時間の短縮効果がどのようになるか不明である. そこで,  $N=4$  の場合において, 拡張ダイクストラ法と基準経路  $\mathbf{x}_s$  の1点で空間削減した場

合、そして5点の基準経路で削減する提案1と提案2の4つのアルゴリズムの計算時間を比較し、効率を評価する。比較結果が図5である。実験した範囲内では、提案1が最も計算時間を減少させたことがわかる。記憶容量負荷を確認できる総ラベル数の比較に関しても、ほぼ同様な減少傾向が見られた。

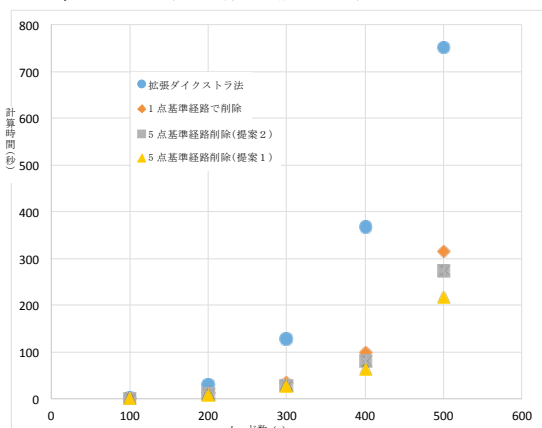


図5 計算時間比較(コストは1~100の乱数)  
(雑誌論文③⑤⑥ 学会発表①③④⑥⑫⑬⑭)

(3) 連続型  $k$ -システムの最適設計への応用  
多状態連続型  $k$ -システムが多目的ネットワークの特殊な場合であることに着目し、主に研究計画(2)で得られた知見を踏まえ、研究計画(8)の成果として、多次元連結型システムと多状態連続  $k$ -out-of- $n$ : $F$  システムの問題に適用した。この結果、計算困難であった3次元連結型システムの信頼度厳密解の導出と、焼きなまし法を用いた多状態連続  $k$ -out-of- $n$ : $F$  システムの最適配置問題解法を提案、及び、最適配置となるコンポーネント配置傾向分析のきっかけを導いた。(雑誌論文① 学会発表②⑤⑦⑫)

#### 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8件)

- ① Naoki Yoshida, Koji Shingyochi, Tomoaki Akiba, Xiao Xiao, 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, 査読有, Vol.66, No.4E, 2016, pp. 426-434 DOI: 10.11221/jima.66.426
- ② Xiao Xiao, Natsumi Takahashi and Hisashi Yamamoto, On the Exact Maximum All-terminal Reliability of Network Systems, Journal of Japan Industrial Management Association, 査読有, Vol.66, No.4E, 2016, pp.378 - 386 DOI: 10.11221/jima.66.378

- ③ 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, 査読有, Vol.27, No.3, 2015, pp.116-124
- ④ Xiao Xiao, Yi Chen, Natsumi Takahashi and Hisashi Yamamoto, “Magnitude Relation of the All-terminal Reliability of Network Systems”, International Journal of Performability Engineering, 査読有, Vol.11, No.4, 2015, pp.339-348
- ⑤ Natsumi Takahashi, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba, Xiao Xiao, Algorithm for Obtaining Optimal Path in Three-objective Network with a Reduction of Search Space, Innovation and Supply Chain Management, 査読有, Vol. 9, No.3, 2015, pp.103-109
- ⑥ Natsumi Takahashi, Tomoaki Akiba, Shuhei Nomura and Hisashi Yamamoto, An Approach for the Fast Calculation Method of Pareto Solutions of a Two-objective network, International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering (IJRQSE), 査読有, 2015, vol.22 No.1, 1550005, pp.1 -13 DOI: 10.1142/S0218539315500059
- ⑦ 秋葉知昭,  $k$ -window システムの最適配置, 経営システム誌, 査読無, 第25巻 第1号, 2015, pp.38-44
- ⑧ 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, pp.31-36

[学会発表] (計20件)

- ① Natsumi Takahashi, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba, Xiao Xiao, A Study on Searching Optimal Paths in Networks with Multi-objective Functions, The 16th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2015年12月8-11日, Ho Chi Minh, Vietnam
- ② Naoki Yoshida, Koji Shingyochi, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba, 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8-11日, Ho Chi Minh, Vietnam
- ③ 高橋奈津美, 山本久志, 秋葉知昭, 肖霄, 探索空間制限による多目的最適経路問題の解法, 平成27年度日本経営工学会秋季大会, 2015年11月28日, 金沢工業大学(石川県野々市市)
- ④ Natsumi Takahashi, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba, Xiao Xiao, Koji Shingyochi, Optimizing paths for networks with multi-objective functions, The 25th European Safety and Reliability Conference (ESREL 2015), 2015年9月7-10日, Zurich, Switzerland
- ⑤ Tomoaki Akiba, Natsumi Takahashi, Hisashi

- Yamamoto, Reliability of 3-Dimensional Consecutive-k System, the 9th International Conference on Mathematical Methods in Reliability (MMR2015), 2015年6月1-4日, 筑波大学(東京都文京区)
- ⑥ 高橋奈津美, 山本久志, 秋葉知昭, 肖霄, 新行内康慈, 多目的ネットワークにおける最適経路の探索法, 電子情報通信学会信頼性(R)研究会, 2015年5月22日, 隠岐島文化会館(島根県隠岐郡)
- ⑦ 秋葉知昭, 高橋奈津美, 渡邊佳稀, 山本久志, 3次元連結型システムの信頼度算出方法の提案と改善, 2014年度確率モデルシンポジウム, 2015年1月23日, 東北大学片平さくらホール(宮城県仙台市)
- ⑧ 高橋奈津美, 山本久志, 秋葉知昭, 肖霄, 2目的ネットワークにおけるパレート解の効率的な探索手法, 平成26年度日本経営工学会秋季大会, 2014年11月8-9日, 広島大学(広島県東広島市)
- ⑨ Natsumi Takahashi, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba, 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(APIEMS2014), 2014年10月12-15日, Jeju, Korea
- ⑩ 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 (ESREL2014), 2014年9月14-18日, Wroclaw, Poland
- ⑪ Natsumi Takahashi, Hisashi Yamamoto, Xiao Xiao, Tomoaki Akiba, Network properties of restricting calculated networks in obtaining pareto solutions, the 6th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling (APARM2014), 2014年8月21-23日, 北海学園大学(北海道札幌市)
- ⑫ 秋葉知昭, 高橋奈津美, 渡邊佳稀, 山本久志, 3次元連結型システムの信頼度算出方法の提案と評価, 電子情報通信学会信頼性研究会, 2014年8月1日, スマイルホテル函館(北海道函館市)
- ⑬ 高橋奈津美, 山本久志, 秋葉知昭, 肖霄, パレート解探索のための有効な計算ネットワーク制限手法, 電子情報通信学会信頼性研究会, 2014年5月23日, 金城学院大学(愛知県名古屋市)
- ⑭ 高橋奈津美, 山本久志, 秋葉知昭, 肖霄, 2目的ネットワークの特性を利用したパレート解探索に関する研究, 平成26年度日本経営工学会春季大会, 2014年5月17-18日, 東京理科大学(千葉県野田市)
- ⑮ Tomoaki Akiba, Natsumi Takahashi, Shuhei Nomura, 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
- ⑯ Natsumi Takahashi, Tomoaki Akiba, Hisashi Yamamoto, 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
- ⑰ 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, 平成25年度日本経営工学会秋季大会, 2013年11月16-17日, 日本工業大学(埼玉県南埼玉郡)
- ⑱ Natsumi Takahashi, Tomoaki Akiba, Hisashi Yamamoto, Koji Shingyochi, The Effective Measures of Network for Optimizing Two-Objective Network, 17th International Conference on Industrial Engineering Thory, Applications and Practice 2013(IJIE2013), 2013年10月6-9日, Busan, Korea
- ⑲ 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, Honolulu, Hawaii
- ⑳ 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, 平成25年度日本経営工学会春季大会, 2013年5月18-19日, 慶応大学(神奈川県横浜市)

[図書] (計0件)

[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

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

### (2)研究分担者

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