

令和元年6月21日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01254

研究課題名(和文)多様な多目的ネットワークの最適解導出方法の研究

研究課題名(英文)A Study for Obtaining Pareto Solutions of the Various 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)：本研究では、あらためて関連研究を調査した結果とネットワークの連結構造を持つ特徴を捉え、部分ネットワークの最適解と全体ネットワークの最適解の関係の考察結果を踏まえ、主に(1)多目的ネットワークにおけるk点間最適経路問題に適した効率的な経路探索方法提案、(2)部分ネットワークのパレート最適解導出効率化による多目的ネットワークのパレート最適解導出方法の改善提案、(3)目的関数とパレート最適解の疎密範囲の関係を考慮した最適解導出方法効率化に取り組んだ。以上の研究成果を踏まえ、今後の多状態と従属性を考慮した多様な多目的ネットワーク問題の統一的解法提案に必要な知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、多目的ネットワークの厳密なパレート最適解導出方法に対してネットワークの連結構造の特徴を評価手法として導入し、複数の目的関数間からパレート最適解となりやすい構造を導き、より小さな多目的ネットワークの最適解を導出することで、中大規模な多目的ネットワークの最適設計方法を提案したことである。その結果は、複数の情報を考慮することで複雑化し、その評価と最適設計が困難となった実社会のシステムの最適設計問題を多様な多目的ネットワークでモデル化し、その構造から効率的な評価方法を導出することで、システムを設計・運用するための指針が従来より明確に提案可能になったことに意義がある。

研究成果の概要(英文)：In this study, first, we considered relation for the sub-network (sub-graph) and whole network from a survey for the graph theorem. Based on the results of above study, we approached in this study as follows: (1) Proposal of an efficient algorithm for obtaining k-terminal optimal path of the multi-objective network. (2) Proposal for improvement algorithm for obtaining Pareto-solutions of the multi-objective network considering sub-network. (3) Reduction method of the search space for obtaining Pareto-solutions from the relation of the results of the Pareto-solutions and the objective functions considering differences between sparse and dense.

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 部分ネットワーク 最適設計 アルゴリズム

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

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問題を定式化する方法の一つとして、ネットワーク構造を考慮したモデルを用いる方法がある。特に大規模・複雑化した現代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ナビゲーションシステムのルート案内問題や、様々なプロトコルの協調伝送を考慮した情報ネットワークにおける最適ルーティング問題、迅速な情報交換のできる生産情報システムにおける生産物流スケジューリング問題などは、ネットワーク設計問題として定式化できる[A1]。本研究では、このようにエッジやノードが有する複数の情報を目的関数として表したネットワークを**多目的ネットワーク**と呼ぶ。

多目的ネットワークにおける最適解導出問題は、例えば CO₂ 排出量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、複数の目的関数を各々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[A2]）は一般的に存在せず、**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導出はノード数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。この問題をより現実的なシステム運用問題に適用するために、**多状態や従属性**を考慮したネットワーク（以降“**多様な多目的ネットワーク**”と呼ぶ）の新たな最適解の厳密解導出方法に取り組む必要性があった。従来研究には複雑な多目的最適化問題に対してシミュレーションや多目的 GA(MOGA)等のメタヒューリスティクスによる近似解法の提案が多い[A1 他]が、近似解法の頑強性を評価するために小規模な場合の厳密解との比較が用いられるため、厳密解導出方法は新たな近似解法の提案と評価にも有用である。しかし計算量の更なる増大が予想されるため、計算効率化を図る新たなアイデアが必要であった。

[A1] ネットワークモデルと多目的 GA, 玄光男・林林, 共立出版, 2008

[A2] 多目的線形計画法, 坂和正敏, 線形システムの最適化, 森北出版, 1984

2. 研究の目的

本研究課題は多様な多目的ネットワークの統一的な最適設計方法提案の準備段階の研究と位置付け、多目的ネットワークにおける部分ネットワークの最適解と全体ネットワークの最適解の関係や、対象問題でパレート最適解の疎密範囲等を精査し、**(1)部分ネットワークの最適解を活用した中規模以上の多目的ネットワークのパレート最適解導出効率化**、及び**(2)最適経路導出問題において任意の k 点間を連結する問題のパレート最適解の導出方法提案**を行う。更に**(3)複数のエッジ・ノードの状態とネットワーク状態の生起を考慮した多状態ネットワークの評価に適用される評価尺度と最適解導出方法の提案**、**(4)通信負荷に応じて帯域制限を調整する情報通信ネットワークのように、各エッジが持つ目的関数値が連結ノードもしくは連結エッジの状態に依存して変化する従属な多目的ネットワークの評価尺度と最適解導出方法を提案**する。以上の成果を踏まえ、**(5)対象問題におけるパレート最適解の集中・過疎範囲を考慮することで、多様な多目的ネットワークの統一的な最適解導出方法を提案**することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究課題では、多様な多目的ネットワークで表わされる様々な最適設計問題に有効となる、厳密な最適解導出方法の効率化を提案する。そのために、ネットワークの連結構造が持つ特徴を捉え、部分ネットワークの最適解と全体ネットワークの最適解の関係、及び、各目的関数の値域に対しパレート最適解の疎密範囲を精査し、 k 点間の最適経路問題のために有効な従来の導出方法を精査し、経路問題や流量問題などで**(1)多目的ネットワークにおける k 点間最適経路問題に適した効率的な経路探索方法を提案**する。更に**(2)部分ネットワークのパレート最適解導出を効率化することで中規模以上の多目的ネットワークでパレート最適解を効率的に求める導出方法の改善提案**を行う。加えて、各ノード・エッジ状態に多状態や従属性を考慮する多目的ネットワークの評価尺度を定義し、**(3)解の探索空間を有効に制約した多状態ネットワークの最適解導出方法へと拡張**する。このとき**(1)(2)(3)にて規模の大きなネットワークへの適用**を考え、**メタヒューリスティック手法による近似解法への応用**も検討する。更に各エッジが持つ目的関数値が連結状態に依存して変化する“**従属な多目的ネットワークの最適設計問題**”を定義し、その最適設計方法を提案した上で、各目的関数とパレート最適解の疎密範囲の関係を考慮し最適解導出方法効率化を提案する。

以上を踏まえ、多様な多目的ネットワークの統一的な最適解導出方法の可能性を検討する。

4. 研究成果

本研究では、あらためて関連研究を調査した結果とネットワークの連結構造が持つ特徴を捉え、部分ネットワークの最適解と全体ネットワークの最適解の関係の考察結果を踏まえ、以下の3テーマの研究を主に推し進めた。

(1) 多目的ネットワークにおける k 点間最適経路問題に適した効率的な経路探索方法提案

現代社会において、ネットワークシステムは幅広く存在している。これらのネットワークは、複数の評価尺度を目的関数とする多目的ネットワーク問題として定式化される。本テーマでは評価尺度として用いられる目的関数を時間・距離・料金などのコスト値とした場合の最適経路

問題に注目し、最適経路となるネットワークの探索法を考察する。多目的ネットワークの最適経路探索問題の有効な解法として拡張ダイクストラ法が提案されている。しかしながら、拡張ダイクストラ法においては経路探索過程で多くの記憶領域を要し計算負荷が膨大となる問題があった。そこで本研究課題では、はじめに①最適経路が満たす探索空間の制限に有効な基準経路を用いて複数点から探索空間を制限し、制限無しの拡張ダイクストラ法よりも狭い解探索空間で経路探索を行うことで効率化したアルゴリズムを提案した。この研究では次式を用いた単目的最適経路を基準経路とする。ここで $c_i(e)$ はエッジ e の第 i 目的関数のコスト、 w_i はウェイト値、 P は経路を意味する。

(基準経路問題) $i = 1, 2, \dots, M$ に対して、

$$\sum_{i=1}^M w_i c_i(P) \rightarrow \min,$$

$$s. t. \sum_{i=1}^M w_i = 1, w_i > 0$$

この基準経路問題の解とパレート最適解には次の性質がある。

(性質) $i = 1, 2, \dots, M$ に対し、 $\sum_{i=1}^M w_i c_i(P)$ が最小になる経路を SP とする。すなわち $SP \equiv \arg \min \sum_{i=1}^M w_i c_i(P)$ である。このとき、 SP はパレート最適解である。

図1は3目的ネットワークにおいて構成される解空間に対して、3つの基準経路を事前に求めた際の解空間制限のイメージである。パレート最適解が得られる原点方向の空間に対して、図1はこの基準経路(黄色の解)を用いて水色で示された空間を探索空間から除外されるイメージを示している。このとき、基準経路の計算にも計算時間がかかることを考慮し、数値実験により基準経路数による効率性の違いを評価した結果、複数の基準解を利用するアルゴリズムは、目的関数の数が多く、またノード数が多いときに効率が良くなる傾向が見られた。

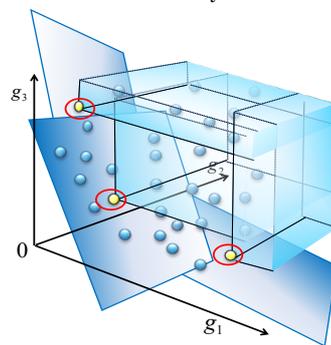


図1 SP により削減される空間

(発表⑮⑰⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗) ここで、拡張ダイクストラ法においては経路探索過程で多くの記憶領域を要するという問題があった。本テーマではこの問題に注目し、②特定ノードに対する基準経路の概念を拡張し、他ノードへの経路でも探索制限をすることで、効率的に経路探索を行うアルゴリズムを提案した。(発表⑪⑬⑯) ここで既存のダイクストラ法のノードの経路情報

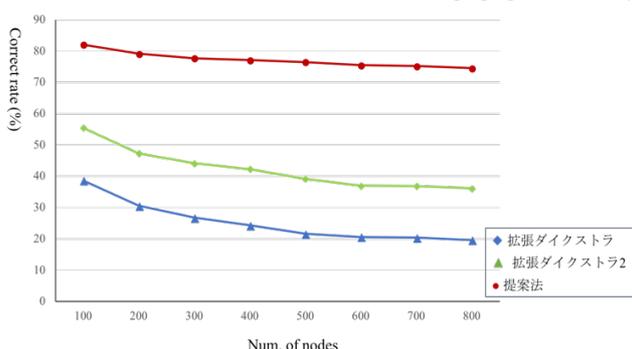


図2 生成ラベル数に対するパレート最適解比率

の更新回数は他の解法に比べ少なく計算効率が良い点に注目し、③拡張ダイクストラ法における最適経路の探索過程を再考し、経路情報の状態(確定済情報)を導入し、多目的ネットワークにおける最適経路探索のより効率的な解法を提案した。その結果、図2に示されたように、従来の拡張ダイクストラ法よりもノードの生成ラベル数(記憶容量)におけるパレート最適解の比率が向上し、無駄な記憶が削減されることが判明した。(発表④⑦⑩⑫) 本研究テーマの成果は

以上の通り発表16件でまとめられている。

(2) 部分ネットワークのパレート最適解導出効率化による多目的ネットワークのパレート最適解導出方法の改善提案

本テーマはネットワークシステムの全点間信頼度を第1目的関数、構築コストを第2目的関数とした2目的ネットワークの最適設計に注目した研究である。この問題においては、全点間信頼度の計算が難しく、ネットワークのエッジ数とノード数が増加するにつれて計算時間が指数的に増大し計算困難になる。そこで本研究課題ではパレート最適解導出の際に有用となる計算効率化に注目して研究を進めた。

研究成果として、ネットワークの全点間信頼度に制約を与えた上で構築コストが最小となる解を導出する全点間信頼度制約付き構築コスト最小化問題において、①解探索開始時にあらかじめ与えられたノード数とエッジの信頼度から、制約条件を満たす探索開始エッジ数を決定することで、制約を満足しないエッジ数での探索を回避し、効率的に解探索するための指針を与える方法を提案した。具体的には、エッジ数一定のネットワークを分類するために、隣接サイクル数による分類指標の提案を行い、エッジ数 $k = n + 5$ 本までのネットワークの分類を行った。(論文②発表㉗㉘) また、②分類されたネットワークの連結関係の場合分けによる全点間信頼度の大小関係を、ファクタリング法を用いて明らかにし、全点間信頼度が最大となるネットワークの連結傾向を明らかにした。(論文④発表⑱) 加えて、③ネットワーク全体を部分ネットワーク(ネットワークの一部を切り取った小さなネットワークシステム)に分解して、部分ネットワークの最適解導出を小問題として解を求め、ネットワーク全体を構成する際の部分ネッ

トワーク間の連結構造に基づいて全点間信頼度制約付き構築コスト最小化問題の解を導く方法に挑戦した。(発表②⑬) 本研究テーマの成果は論文2件, 発表5件でまとめられている。

(3) 目的関数とパレート最適解の疎密範囲の関係を考慮した最適解導出方法効率化

上述(2)①②③の研究アプローチは全点間信頼度に制約を付けた問題に対する解法である。しかしながらこれらの成果を用いても, エッジ数 k が増加するにつれて隣接サイクル数の組み合わせは急増するため2目的ネットワークのパレート最適解の導出は困難になる。そこで本研究課題では制約を持たない2目的ネットワークの最適解導出問題に対して, 連結されるエッジの効率やパレート最適解のランクなど, パレート最適解となる部分ネットワークが持つ要素を調査した。そして得られた傾向と性質を踏まえ, 計算が必要な部分ネットワークの制限を行う方法を提案した。(論文③) メタヒューリスティクス(遺伝的アルゴリズムなど)を用いた準パレート最適解導出方法提案を行い, より規模の大きなネットワークシステムにおける評価方法を提案した。このとき, 各目的関数とパレート最適解の疎密範囲の関係を考慮し, 図3に示したようなパレートフロントに対する探索空間制限方法を動的に用いることで, 計算可能なネットワークの規模の拡大と, より厳密解に近い準最適解の導出を図った。(発表①⑤⑨) その結果, ノード数9のネットワークにおけるパレートフロントの計算を可能とし, かつ, 得られるパレートフロントも改善も確認された(図4)。本研究テーマの成果は論文1件, 発表3件でまとめられている。

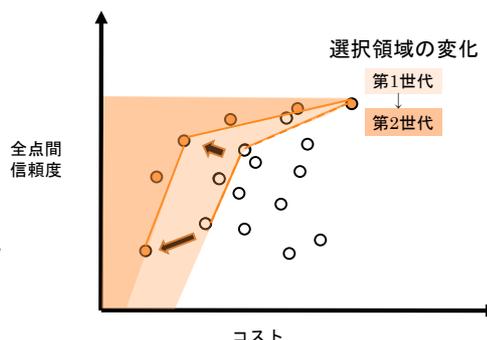


図3 親個体選択領域の制限例

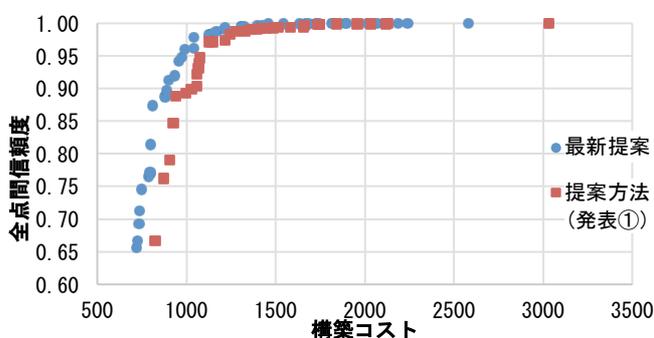


図4 GAを用いたパレートフロント(ノード数9)

以上の研究成果を踏まえて, 各ノード・エッジ状態に多状態や従属性を考慮する多目的ネットワークの評価尺度の定義を考察し, 各エッジが持つ目的関数値が連結状態に依存して変化する“従属な多目的ネットワークの最適設計問題”の定義とその最適設計方法について研究を進めており, 今後の多状態と従属性を考慮した多様な多目的ネットワーク問題の統一的解法提案に反映させる。これらについては今後の発表を予定する。また, 代表者が従来から研究を進めてきた Consecutive- k システムとその拡張システムが, 本研究課題で注目した多目的ネットワークシステムの特長ケースであると言えることから, 本研究課題の研究過程で得られた知見が成果として, 論文1件, 発表5件, 図書1編に反映された。(論文①発表③⑥⑧⑬⑰⑳図書①)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4件)

- ① Taishin Nakamura, Hisashi Yamamoto and Tomoaki Akiba, Fast Algorithm for Optimal Arrangement in Connected- $(m-1, n-1)$ -out-of- (m, n) :F Lattice System, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Science, 査読有, Vol.E101-A, No.12, 2018, pp.2446-2453, DOI: 10.1587/transfun.E101.A.2446
- ② 榎本大地, 肖霄, 高橋奈津美, 山本久志, 信頼度最大ネットワーク構成を用いた効率的ネットワーク設計, 電子情報通信学会論文誌A, 査読有, J101-A 巻, 7号, 2018, pp.178-188
- ③ 高橋奈津美, 山本久志, 秋葉知昭, 肖霄, ネットワーク特性を考慮した効率的なパレート最適解探索過程, 日本経営工学会論文誌, 査読有, 68巻, 4号, 2018, pp.232-243, DOI: 10.11221/jima.68.232
- ④ Xiao Xiao, Natsumi Takahashi, Daichi Enomoto and Hisashi Yamamoto, Factoring-based best network layout identification with application to reliability-constrained cost minimization problem, International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice, 査読有, Vol.24, No.4, 2017, pp.392-409

[学会発表] (計 29件)

- ① Natsumi Takahashi, Shao-Chin Sung, Tomoaki Akiba and Hisashi Yamamoto, GA-Based Algorithm for Finding Quasi-Pareto Solution Set of a Bi-Objective Network Design Problem, The

- 19th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems conference (APIEMS 2018), 2018 年
- ② Yoshihiro Murashima, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba, Natsumi Takahashi and Xiao Xiao, Optimal Design of Network Systems considering Reliability Constraint, The 19th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems conference (APIEMS 2018), 2018 年
 - ③ Taishin Nakamura, Hisashi Yamamoto, Takashi Shinzato and Tomoaki Akiba, Upper and lower bounds for reliability of connected-(1,2)-or-(2,1)-out-of-(m,n):F lattice system, The 19th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems conference (APIEMS 2018), 2018 年
 - ④ Naoya Makiishi, Natsumi Takahashi and Shao-Chin Sung, A Dynamic Programming Approach and Parallel Computing Approach for Computing All-Terminal Reliability of Small Networks with Uniform Probability, 21st Czech-Japan Seminar on Data Analysis and Decision Making (CJS2018), 2018 年
 - ⑤ Natsumi Takahashi, Shao-Chin Sung, Tomoaki Akiba and Hisashi Yamamoto, On Computing Quasi-Pareto Solution Set of Bi-objective Networks with Genetic Algorithm, 21st Czech-Japan Seminar on Data Analysis and Decision Making (CJS2018), 2018 年
 - ⑥ Taishin Nakamura, Hisashi Yamamoto, Xiao Xiao and Tomoaki Akiba, The increasing failure rate property of connected-(1,2)-or-(2,1)-out-of-(m,n):F lattice systems the case of $m = 2, 3, 4$, 2018 Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling and 2018 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering, 2018 年
 - ⑦ Natsumi Takahashi, Tomoaki Akiba, Hisashi Yamamoto, Shao-Chin Sung and Xiao Xiao, Search Reduction by Standard Tree for Optimal Paths in Multi-Objective Network, 2018 Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling and 2018 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering, 2018 年
 - ⑧ Tomoaki Akiba, Improvement Ideas of the Reliability Calculation Algorithm for the 3-Dimensional k -System, 2018 Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling and 2018 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering, 2018 年
 - ⑨ 秋葉知昭, 高橋奈津美, 全点間信頼度を考慮した 2 目的ネットワーク設計問題の遺伝的アルゴリズムを用いた解法, 電子情報通信学会信頼性研究会, 2018 年
 - ⑩ 高橋奈津美, 宋少秋, 秋葉知昭, 山本久志, 単目的最適経路探索の効率性を応用した多目的ネットワークにおける経路探索過程, 電子情報通信学会信頼性研究会, 2018 年
 - ⑪ Natsumi Takahashi and Shao-Chin Sung, An Efficient Implementation for Searching Optimal Paths in Multi-objective Networks, 29th European Conference on Operational Research (EURO2018), 2018 年
 - ⑫ Naoya Makiishi, Natsumi Takahashi and Shao-Chin Sung, A Dynamic Programming Approach for Computing All-terminal Reliability of Small Networks with Uniform Probability, 29th European Conference on Operational Research (EURO2018), 2018 年
 - ⑬ 村島慶洋, 山本久志, 肖霄, 秋葉知昭, 2 分割及び 3 分割されるネットワークシステムの最適設計に関する研究, 日本信頼性学会第 26 回春季信頼性シンポジウム, 2018 年
 - ⑭ 高橋奈津美, 秋葉知昭, 山本久志, 宋少秋, 全域木を用いた多目的ネットワークにおける探索空間制限法, 電子情報通信学会信頼性研究会, 2018 年
 - ⑮ 高橋奈津美, 秋葉知昭, 山本久志, 宋少秋, 多目的ネットワークの経路探索における単目的最適化を利用した効率化, 日本経営工学会 2018 年春季大会, 2018 年
 - ⑯ 高橋奈津美, 秋葉知昭, 山本久志, 宋少秋, 多目的を有する最適構成ネットワークの探索手法, 電子情報通信学会信頼性研究会, 2017 年
 - ⑰ 秋葉知昭, Analysis for the Conditions of Component Assignment for the Optimal Arrangement of a k -window System, 日本信頼性学会春季シンポジウム, 2017 年
 - ⑱ 榎本大地, 肖霄, 高橋奈津美, 山本久志, 信頼度最大ネットワーク構成に関する分析的推論, 電子情報通信学会信頼性研究会, 2017 年
 - ⑲ 高橋奈津美, 秋葉知昭, 山本久志, 肖霄, 多目的を有する経路探索問題における探索空間削減基準の有効性評価, 平成 29 年度日本経営工学会春季研究発表大会, 2017 年
 - ⑳ Natsumi Takahashi, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba and Shao Chin Sung, Standard Path Reduction based Algorithm for Optimal Paths in Multi-Objective Networks, 20th Czech-Japan Seminars on Data Analysis and Decision Making under Uncertainty (CJS2017), 2017 年
 - ㉑ Natsumi Takahashi, Tomoaki Akiba, Hisashi Yamamoto and Xiao Xiao, Efficiency of Reducing Search Space by Standard Paths in Multi-objective Network, 10th International Conference on Mathematical Methods in Reliability (MMR 2017), 2017 年
 - ㉒ Natsumi Takahashi, Tomoaki Akiba, Hisashi Yamamoto, Xiao Xiao and Koji Shingyochi, Evaluation of multi-objective networks based on topological analysis, 17th Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference (APIEMS2016), 2016 年
 - ㉓ 高橋奈津美, 秋葉知昭, 山本久志, 肖霄, 多目的を考慮したネットワークにおける経路探

- 索アルゴリズムの効率性評価, 日本経営工学会 2016 年秋季大会, 2016 年
- ②4 Natsumi Takahashi, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba, Xiao Xiao and Koji Shingyochi, Algorithm for optimal paths in multi-objective network, 2016 European Safety and Reliability Conference, 2016 年
 - ②5 Natsumi Takahashi, Tomoaki Akiba, Hisashi Yamamoto, Xiao Xiao and Koji Shingyochi, Proposal for obtaining method of Pareto solutions in a multi-objective network, 7th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling (APARM2016), 2016 年
 - ②6 Tomoaki Akiba, Characteristic Arrangement of Components for the Optimal Arrangement Problem of k -window System, 7th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling (APARM2016), 2016 年
 - ②7 Daichi Enomoto, Xiao Xiao, Natsumi Takahashi and Hisashi Yamamoto, Experimental simulation study of optimization algorithm for network system design, 2016 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering (QR2MSE2016), 2016 年
 - ②8 榎本大地, 肖霄, 山本久志, 高橋奈津美, タイプ分けに基づくネットワークシステムの最適構成に関する研究, 日本経営工学会 2016 年春季大会, 2016 年
 - ②9 高橋奈津美, 秋葉知昭, 山本久志, 肖霄, 複数コストを有するネットワークにおける有効な経路探索アルゴリズム, 日本経営工学会 2016 年春季大会, 2016 年

[図書] (計 1 件)

- ① Tomoaki Akiba, Taishin Nakamura, Xiao Xiao, Hisashi Yamamoto, Systems Engineering: Reliability Analysis using k -out-of- n Structures, Mangey Ram and Tadashi Dohi (eds.), Evaluation Methods for Reliability of Consecutive- k System, 査読有, 2019, 218

[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) 研究分担者

研究分担者氏名: 高橋 奈津美
ローマ字氏名: TAKAHASHI, Natsumi
所属研究機関名: 青山学院大学
部局名: 理工学部
職名: 助教
研究者番号 (8 桁): 60780319

研究分担者氏名: 肖 霄 (2019 年 02 月 26 日 削除)

ローマ字氏名: XIAO, Xiao
所属研究機関名: 首都大学東京
部局名: システムデザイン研究科
職名: 助教
研究者番号 (8 桁): 30707477

研究分担者氏名: 山本 久志 (2018 年 01 月 12 日 追加)

ローマ字氏名: YAMAMOTO, Hisashi
所属研究機関名: 首都大学東京
部局名: システムデザイン研究科
職名: 教授
研究者番号 (8 桁): 60231677

(2) 研究協力者

なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。