

令和 4 年 8 月 26 日現在

機関番号：50103

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K11834

研究課題名（和文）災害を想定したライフラインネットワーク頑健化支援のためのグラフアルゴリズムの開発

研究課題名（英文）Development of graph algorithms for robustness of lifeline network assuming disaster

研究代表者

本間 宏利（Honma, Hirotoshi）

釧路工業高等専門学校・創造工学科・教授

研究者番号：80249721

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：ネットワーク運用の頑健化に応用可能な下記のグラフアルゴリズムを開発した。区間グラフにおける影響度最大の要節点導出のための計算時間 $O(n)$ のアルゴリズムを開発した。環状型台形グラフの連結度を導出する計算時間 $O(n)$ のアルゴリズムを開発した。環状型台形グラフの全節点对最短経路を導出する計算時間 $O(n)$ のアルゴリズムを開発した。円弧グラフの最大迂回数要節点を導出する計算時間 $O(n)$ のアルゴリズムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、日本は地震、台風などの自然災害が続出していることから、ライフラインネットワークの災害耐性、頑健性の向上が急務となっている。交差グラフ上の最大迂回数要節点問題や最大影響度要節点問題を解くアルゴリズム開発により、ネットワーク伝達において最も重要となる設備の識別が可能となる。これらの設備に対して稼働率を向上させることで、コストパフォーマンスの高いライフラインネットワークの頑健化、安定化が実現可能となる。本研究は、災害耐性強化を目的としたグラフ理論アプローチによるライフラインネットワークの頑健化に寄与するグラフアルゴリズムの開発を目的とする。

研究成果の概要（英文）：We have developed the following graph algorithm that can be applied to the robustness of network operation.

An  $O(n)$  time algorithm for the influential hinge vertex problem on interval graphs; An  $O(n)$  time algorithm for the vertex connectivity problem on circular trapezoid graphs; An  $O(n)$  time algorithm for the all-pair shortest path problem on circular trapezoid graphs, An  $O(n)$  time algorithm for the detour hinge vertices of circular-arc graphs.

研究分野：アルゴリズム工学

キーワード：グラフアルゴリズム 交差グラフ 離散最適化問題 要節点問題 ネットワーク頑健化

### 1. 研究開始当初の背景

近年、日本は地震、台風などの自然災害が続出していることから、ライフラインネットワークの災害耐性、頑健性の向上が急務となっている。交差グラフ上の最大迂回度要節点問題や最大影響度要節点問題を解くアルゴリズム開発により、ネットワーク伝達において最も重要となる設備の識別が可能となる。これらの設備に対して稼働率を向上させることで、コストパフォーマンスの高いライフラインネットワークの頑健化、安定化が実現可能となる。本研究は、災害耐性強化を目的としたグラフ理論アプローチによるライフラインネットワークの頑健化に寄与するグラフアルゴリズムの開発を目的とする。

### 2. 研究の目的

本研究は通常のグラフでは膨大な計算時間を必要とする最大迂回度要節点問題や最大影響度要節点問題に対して、対象とするグラフを交差グラフクラスに限定させて、時間効率的な問題解決アルゴリズムの開発に挑戦するものである。交差グラフのクラスの多くはネットワーク構造を有する現実のインフラのモデル化に利用されており、これらの問題を解くアルゴリズムを応用することで、費用対効果の高いメンテナンスが実現可能となる。

### 3. 研究方法と結果

#### (1) 区間グラフにおける影響度最大の要節点導出のための効率的アルゴリズムの開発。

要(かなめ)節点とは、それをグラフから除去すると、最短経路の長さがこれまでよりも長くなる2つの節点が存在するような節点であり、グラフ中の全ての要節点を導出する問題を要節点問題という。右図の例では○印が付いた5つの端末が要節点に該当する端末である。これらの端末は通信効率や安定動作に関わる重要な役割を担うため、機器の多重化などにより稼働率を上げることによって、ネットワーク全体の信頼性、安定性の向上が実現できる。

要節点の影響度とは、その要節点の削除時に、最短経路長が増大する被害をうける2節点組の総数と定義する。すなわち、影響度はその要節点を除去した時に通信遅延被害を受ける範囲の”広さ”を示す指標になる。図1の例では、節点5の端末が故障すると(1,6)、(2,7)など計12組の節点対に対して通信被害を及ぼすのでその迂回度は12となる。

影響度が最大の要節点を導出する問題を最大影響度要節点問題という。本研究では対象とするグラフを交差グラフの一種である区間グラフに限定してアルゴリズムを開発した。区間グラフとはそれ自身に対応する区間モデルと呼ばれる区間集合からなる幾何学モデルを持つ。その区間モデルの幾何学的特徴を利用して時間計算量  $O(n^2)$  時間のアルゴリズム開発を実現した。

区間グラフの最大影響度要節点問題へのアイデアを以下に簡潔に記述する(図2)。

1. 区間モデル上で各区間が交差する最小左端点の区間にポインタを割り当てた有向木(L-tree)と最大右端点の区間にポインタを割り当てた有向木(R-tree)を構築する。
2. それぞれの有向木の子孫数を算出する。
3. 各要節点に対し、それに隣接する最小左端節点と最大右端節点の子孫数の積を求める。
4. Step 3の最大値をその要節点の最大影響度とする。

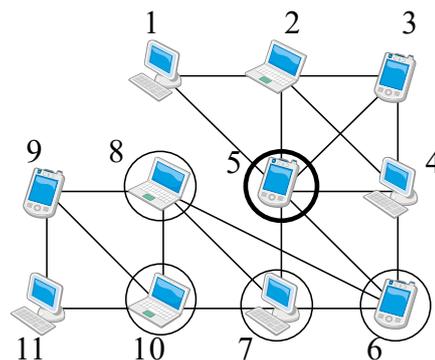
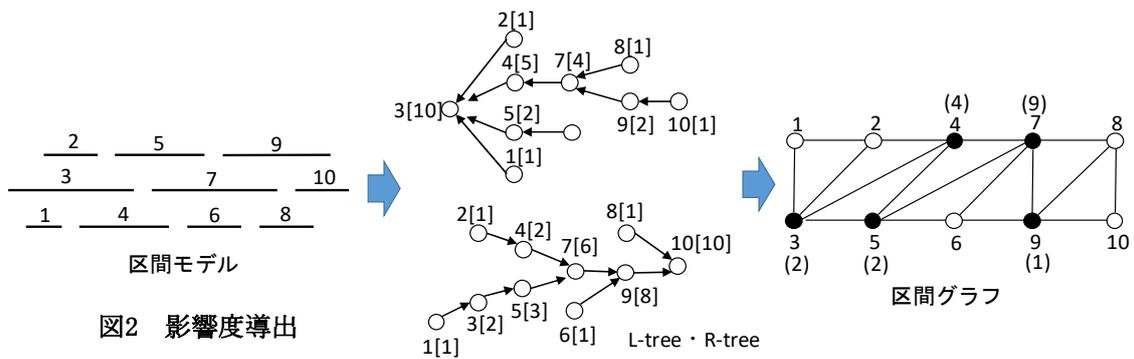


図1 要節点



(2) 環状型台形グラフの連結度導出のための効率的アルゴリズムの開発.

それらを除くとグラフが非連結になるような節点集合の最小位数を点連結度という. また, 与えられたグラフの点連結度を求める問題は点連結度問題と呼ばれる. グラフをコンピュータネットワークに置き換えて考えた場合, 点連結度はネットワークの連結性強度を知るための指標として用いることができる. グラフの各節点をコンピュータと考えた場合, 点連結度が1 ならばコンピュータが1 つ故障するとネットワークの接続が途絶える可能性があるということになり, ネットワークが脆弱であることがわかる. また, グラフは送電線, 交通情報, 水道などの多くのネットワークモデルに応用することが可能なため, インフラの脆弱性の発見にも役立てることができる.

本研究では対象とするグラフを台形グラフのスーパークラスである環状型台形グラフとした. 環状型台形グラフとその連結度問題の解の例を図3に示す. この例では, 節点1, 5, 6が最小の非連結化集合である.

本研究では, 台形グラフの点連結度を求めるアルゴリズムを適用するため, 拡張環状型台形モデルを用意する. 拡張環状型台形モデルとは環状型台形モデルを台形モデルと同様に扱えるようにしたもので, 環状型台形モデルをある点で切り開き, 交差情報を維持するためにモデルを左右にシフトコピーしたものである (図4). この拡張環状型台形モデルに既存の連結度を求めるアルゴリズムを適合させ, 時間計算量  $O(n \log n)$  時間のアルゴリズム開発を実現した.

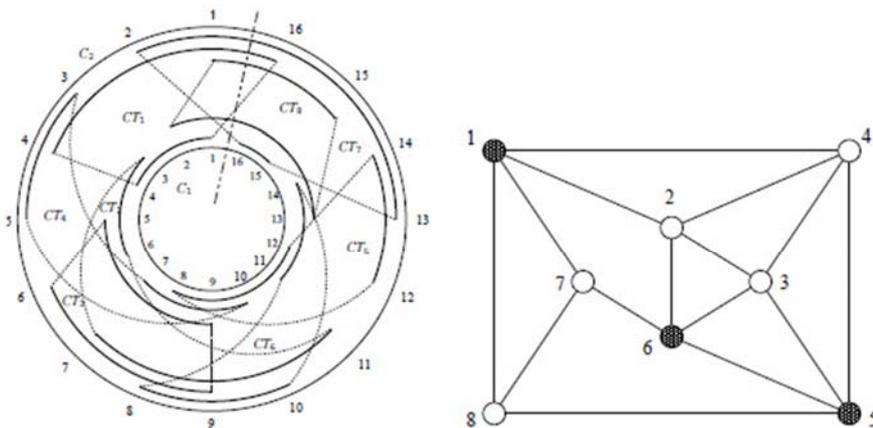


図3 環状型台形モデルとグラフ

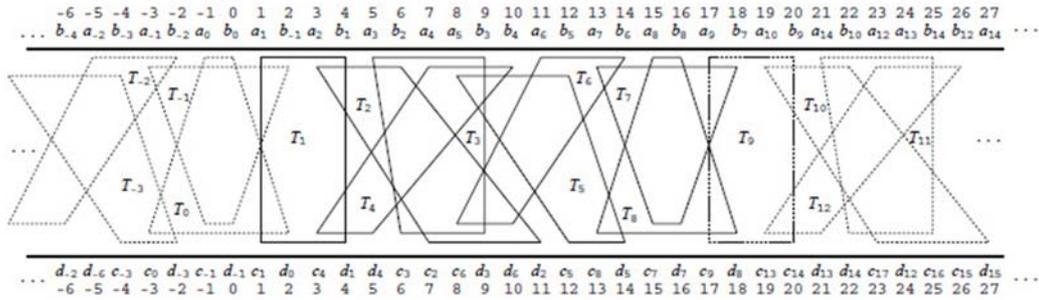


図4 拡張環状型台形モデル

アルゴリズム：

1. 入力した環状型台形モデルを拡張モデルに変換する.
2. 除去すると拡張モデルが複数の成分に分割される台形集合を導出する.
3. 環状型台形モデルから Step2 の台形集合を除去したグラフの全域木を求める.
4. 全域木の成分数が 1 ならば Step2 へ戻り, 2 以上ならば除去した台形数が点連結度となる.

(3) 環状型台形グラフの全節点对最短経路導出のための効率的アルゴリズムの開発.

辺の重みの合計が最小になるように、グラフの全ての節点对の最短経路を見つける問題を全節点对最短経路問題という。一般的な台形グラフの全節点对最短経路問題は  $O(n^2)$  時間で解けることが知られている。本研究では、この手法を応用し、よりクラスの大きな環状型台形グラフの全節点对最短経路を  $O(n^2)$  時間で導出可能な効率的アルゴリズムを開発した。

図5に環状型台形グラフの例と節点6から5への最短経路導出の例を示す。節点6から5へは $\langle 6, 7, 3, 5 \rangle$ と $\langle 6, 11, 10, 12, 2, 5 \rangle$ の2通りの最短経路候補が導出されるが、ここで、より経路長の小さな $\langle 6, 7, 3, 5 \rangle$ を解として出力する。 $D$ は図5のグラフの最短経路長を示す。

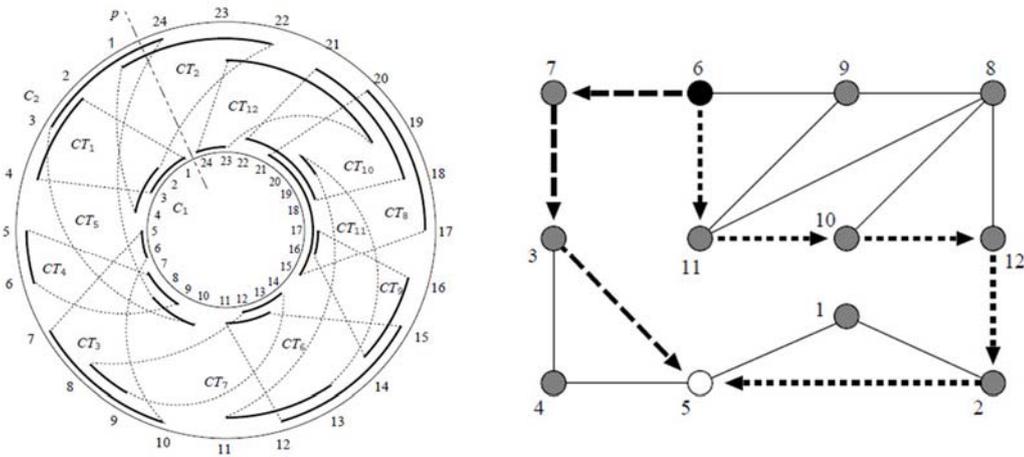


図5 環状型台形モデルと最短経路

$$D = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 2 & 1 & 4 & 3 & 3 & 4 & 3 & 4 & 2 \\ 1 & 0 & 2 & 2 & 1 & 4 & 3 & 2 & 3 & 2 & 3 & 1 \\ 2 & 2 & 0 & 1 & 1 & 2 & 1 & 4 & 3 & 4 & 3 & 3 \\ 2 & 2 & 1 & 0 & 1 & 3 & 2 & 4 & 4 & 4 & 4 & 3 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 3 & 2 & 3 & 4 & 3 & 4 & 2 \\ 4 & 4 & 2 & 3 & 3 & 0 & 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 3 \\ 3 & 3 & 1 & 2 & 2 & 1 & 0 & 3 & 2 & 3 & 2 & 4 \\ 3 & 2 & 4 & 4 & 3 & 2 & 3 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 4 & 3 & 3 & 4 & 4 & 1 & 2 & 1 & 0 & 2 & 1 & 2 \\ 3 & 2 & 4 & 4 & 3 & 2 & 3 & 1 & 2 & 0 & 1 & 1 \\ 4 & 3 & 3 & 4 & 4 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 3 & 3 & 2 & 3 & 4 & 1 & 2 & 1 & 2 & 0 \end{pmatrix}$$

アルゴリズム：

1. 入力した環状型台形モデルを拡張モデルに変換する.
2. 台形グラフ上のすべての節点对に対して、右方向経由と左方向経由でそれぞれ最短経路を導出する.
3. Step2 で獲得した右方向経由と左方向経由の最短経路長の小さな方を解とする.

(4) 円弧グラフの迂回度最大の要節点導出のための効率的アルゴリズムの開発.

要節点の迂回度とは、その要節点の削除時に、最短経路長が増大する被害を受ける全ての節点組の中の最大の増大距離と定義する. すなわち、迂回度はその要節点を除去した時に受ける被害の”深刻さ”を示す指標になる. グラフ中の迂回度が最大の要節点を導出する問題を最大迂回度要節点問題とする. 図1の例では、節点5の端末が故障すると、節点1と7間の最短距離がこれまでの‘2’から‘4’に増大するので、その迂回度は2となる.

本研究では区間グラフのスーパークラスである円弧グラフに対して、最大迂回度要節点問題を解く  $O(n^2)$  時間の効率的アルゴリズムを開発した.

図6に円弧モデルと円弧グラフの例を挙げる. この例では節点1, 2, 5, 11が要節点であるが、この中で最大の迂回度をもつ要節点は5である. 本研究では円弧グラフ上の最大迂回度要節点問題解くを  $O(n^2)$  時間の効率的アルゴリズムを開発した.

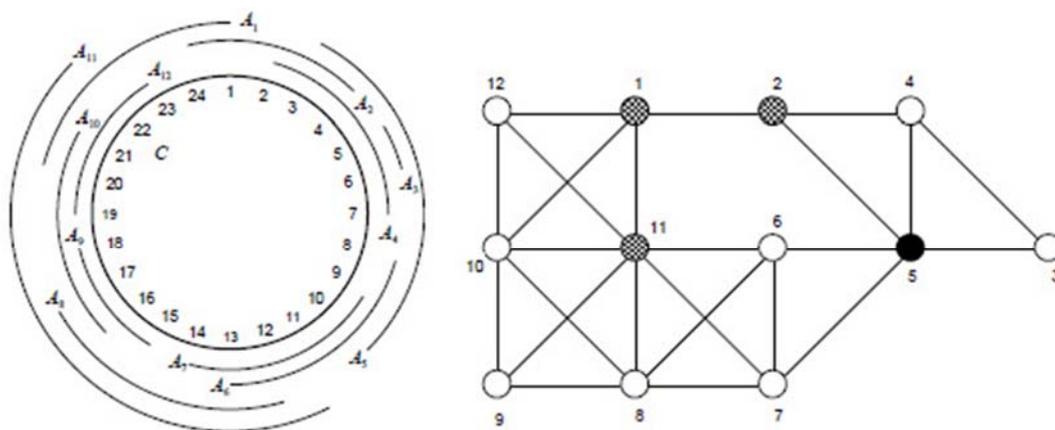


図6 円弧モデルと迂回度

アルゴリズム：

1. 入力した円弧モデルを拡張モデルに変換する.
2. 既存のアルゴリズムを利用して全ての要節点を導出する.
3. 導出した要節点を最短周閉路に含まれる節点集合 U1 と含まれない節点集合 U2 に分割する.
4. U1 と U2 の要節点对し、それぞれ迂回度を算出する.
5. 迂回度最大の要節点を導出する.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hirotooshi Honma, Yoko Nakajima, Shigeru Masuyama	4. 巻 28
2. 論文標題 An Algorithm for the Influential Hinge Vertex Problem on Interval Graphs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 1047-1051
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2197/ipsjjip.28.1047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hirotooshi Honma, Yoko Nakajima, Tsendsuren Urangoo, Yuto Tamori	4. 巻 8
2. 論文標題 An Algorithm for the All-pair Shortest Path Problem on Circular Trapezoid Graphs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 TNI Journal of Engineering and Technology	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2197/ipsjjip.25.945	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yoko Nakajima, Michal Ptaszynski, Fumito Masui, Hirotooshi Honma	4. 巻 59
2. 論文標題 Future Prediction with Automatically Extracted Morphosemantic Patterns	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Cognitive Systems Research	6. 最初と最後の頁 7-62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cogsys.2019.09.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hirotooshi Honma, Kento Nishimura, Yuto Tamori, Yoko Nakajima	4. 巻 7
2. 論文標題 Algorithm for the Vertex Connectivity Problem on Circular Trapezoid Graphs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Mathematics and Physics	6. 最初と最後の頁 2595-2602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/jamp.2019.711177	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yoko Nakajima, Michal Ptaszynski, Fumito Masui, Hirotoishi Honma	4. 巻 59
2. 論文標題 Future Prediction with Automatically Extracted Morphosemantic Patterns	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Cognitive Systems Research	6. 最初と最後の頁 37-62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cogsys.2019.09.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hirotoishi Honma, Yoko Nakajima, Tsendsuren Urangoo, Yuto Tamori	4. 巻 8
2. 論文標題 An Algorithm for the All-pair Shortest Path Problem on Circular Trapezoid Graphs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 TNI Journal of Engineering and Technology	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Eichiro Ohashi, Yoko Nakajima, Hirotoishi Honma
2. 発表標題 An Unsupervised Method for Extracting Numerical Data from Patent Documents
3. 学会等名 The 5th International Conference on Science of Technology Innovation (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuya Sato, Hirotoishi Honma, Yoko Nakajima
2. 発表標題 Real-Time Sightseeing Guidance System to Maximize Satisfaction of Tourists Using Sightseeing Spot Information
3. 学会等名 The 5th International Conference on Science of Technology Innovation (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuto Tamori, Hirotoishi Honma, Yoko Nakajima
2. 発表標題 Efficient Algorithm for the Influential Hinge Vertex Problem on Permutation Graphs
3. 学会等名 The 5th International Conference on Science of Technology Innovation (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Toshiki Aisaka, Hirotoishi Honma, Yoko Nakajima
2. 発表標題 A Support System to Generate Kanji Reading and Writing Exercises for Learners of the Japanese Language
3. 学会等名 The 5th International Conference on Science of Technology Innovation (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shin Hirasawa, Yoko Nakajima, Hirotoishi Honma
2. 発表標題 Development of a Screening Support Tool for Higher Brain Dysfunction
3. 学会等名 The 5th International Conference on Science of Technology Innovation (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田森湧斗, 本間宏利
2. 発表標題 災害耐性の高いライフラインネットワーク実現支援のためのグラフ理論的研究
3. 学会等名 Advanced Technologies for SDGs
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Tsendsuren Urangoo, Yoko Nakajima, Hirotooshi Honma
2 . 発表標題 An Algorithm for the All-pair Shortest Path Problem on Circular Trapezoid Graphs
3 . 学会等名 JSST Annual International Conference on Simulation Technology
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yuto Tamori, Kento Nishimura, Yoko Nakajima, Hirotooshi Honma, Toshihiro Fujito
2 . 発表標題 Efficient Algorithm for Vertex Connectivity Problem on Circular Trapezoid Graphs
3 . 学会等名 JSST Annual International Conference on Simulation Technology
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yoko Nakajima, Hirotooshi Honma, Tomoyoshi Akiba, Shigeru Masuyama
2 . 発表標題 Recommender System Based on User Evaluations and Cosmetic Ingredients
3 . 学会等名 The 4th International Conference on Information Technology
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yoko Nakajima, Hirotooshi Honma
2 . 発表標題 Using English Instructions for Specialized Subjects in a Second Language: Teacher Training and Trial Implementation
3 . 学会等名 The 14th International Symposium on Advances in Technology Education ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuya Sato, Yoko Nakajima, Hirotooshi Honma
2. 発表標題 Sightseeing Guidance System to Maximize Satisfaction Using Real-Time Spot Information
3. 学会等名 The 40th JSST Annual International Conference on Simulation Technology
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

アルゴリズム工学・自然言語処理研究室 <a href="https://www.kushiro-ct.ac.jp/jjackpot/home/index.html">https://www.kushiro-ct.ac.jp/jjackpot/home/index.html</a>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中島 陽子  (Nakajima Yoko)  (20217730)	釧路工業高等専門学校・創造工学科・准教授    (50103)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------