

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 19 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2014

課題番号：22300001

研究課題名(和文) デジタル空間における計算幾何学の構築とその応用

研究課題名(英文) Construction of Computational Geometry in Digital Space and Its Applications

研究代表者

徳山 豪 (Tokuyama, Takeshi)

東北大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：40312631

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：デジタル空間における計算幾何学の構築とその応用に関する研究を行った。特に、デジタル空間においてユークリッドの基本公理を満たす線分族(Consistent Digital Line Segment)を構築し、これを用いて新しい画像処理や最適化のアルゴリズムの開発を行った。また、新しい勢力図の概念であるゾーン図や距離等分線に関する研究を行い、それらの理論基盤を与えた。成果は22本の学術論文と、38件の学会発表からなる。これらの成果は活発に国際共同研究の結実であり、また2014年には当該分野で最も格式のある国際会議SOCG2014を京都に招致し、実行委員長として開催した。

研究成果の概要(英文)：We pursue research on the construction of computational geometry in the digital space. Especially, we defined the consistent digital line segments (CDS), which are the set of digital line segments satisfying Euclid's basic axioms. Based on CDS, we give new algorithms on image processing and digital image optimization. Furthermore, we gave theoretical foundation of new geometric equilibriums named Zone diagrams and distant multi-sectors. The output of the research project consists of 22 journal papers and 38 conference presentations. Many of such research results were obtained through our active international joint research, and organize SOCG 2014 at Kyoto as the conference chair.

研究分野：理論計算機科学

キーワード：計算幾何学 アルゴリズム デジタル幾何学 画像処理 理論計算機科学

## 1. 研究開始当初の背景

計算機で幾何学図形を扱うことは現代では日常茶飯事の出来事である。幾何学データ処理の計算とアルゴリズム理論である計算幾何学は、計算理論でも非常に活発な研究領域であるが、応募者は第一線の研究者として成果を挙げてきており、世界的にもオピニオンリーダーの一人である。

古典的な計算幾何では、データを実数値として扱い、たとえば平面上の線分はその端点の座標で、直線は実数係数の方程式で定義する。この前提の下で、ユークリッド幾何及びデカルト幾何の性質がフルに利用されて効率的なアルゴリズム設計が行われている。しかしながら、そこでは数々の問題点が指摘されている。

(1) 現実には計算機で効率的に扱われるデータは整数値であり、計算誤差の問題が生じる。特に再帰的あるいは分割統治的なアルゴリズム設計では、計算誤差は積算され、実際に交差しない図形が交差すると判定されるようなことが生じる。これを計算誤差による位相の誤判定と呼び、そのために多くの計算幾何学のアルゴリズムが、机上では動作するが実装すると誤作動する、あるいは暴走するというような齟齬が生じる。

(2) 上記の枠組みであると、代数曲線のような方程式系で具体的に書かれた図形しか取り扱えない。たとえば2つの点を距離の意味で3等分する曲線の対(距離3等分線)や、ポロノイ図の拡張概念であるゾーン図が応募者らによって近年提案されたが、これはピクセル平面で近似的に描画できるが、代数的な表現は難しい。したがって、このような曲線を用いる計算問題に関しては現状の計算幾何学は対処できない。

(3) 平面幾何の図形を印刷あるいは画面上への表示などの可視化を行うときには、離散的なピクセルデータに変換して表示する必要がある。この変換時に幾何学特性を失わないために特殊な処理を必要とする。実際、 $n$ 本の直線の交差図の位相を誤差なく実現するためには二重指数的なサイズのグリッドが必要であるという結果が80年代に示されており、そのため、統一的な手法は不可能であるとされ、アドホックな手法が従来利用されてきている。

本研究では、上記の世界最先端の新しいアイデアを基盤にして、ピクセル平面での公理的な幾何学を確立し、それを用いた新しい幾何情報処理の計算理論の構築を行う。更に上述のように自然な群作用による現代的な幾何学の実現という発展の可能性を持ち、非常に将来性の高い研究である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、計算幾何学におけるユークリッド幾何情報処理と、離散的なグリッド位相によるデジタル情報処理の融合である。幾何学最適化問題に対する計算手法において、ユークリッド距離空間と離散的なデジタル空間で乖離していた計算幾何学の枠組みを融合し、さらに柔軟な幾何学図形処理を行う新しい取り組みを提案する。

特に代表者が最近開発した統合的デジタル線分の概念を用いてデジタル空間にユークリッド幾何学の類似の公理形を持つ構造を入れ、様々な図形描画、画像処理、最適化の問題をデジタル空間で行う場合の幾何的な整合性、計算量的な観点を考察し、デジタル幾何学概念による計算幾何学の取り扱いの理論構築を目的とすると共に、画像処理やデータマイニングへの応用を与える。

特に代表者が最近開発した統合的デジタル線分の概念を用いてデジタル空間にユークリッド幾何学の類似の公理形を持つ構造を入れ、様々な図形描画、画像処理、最適化の問題をデジタル空間で行う場合の幾何的な整合性、計算量的な観点を考察し、デジタル幾何学概念による計算幾何学の取り扱いの理論構築を目的とすると共に、画像処理やデータマイニングへの応用を与える。

## 3. 研究の方法

代表者の徳山は理論構築のコアを分担し、特にグリッド位相での幾何学の数学的な特性を探り、アルゴリズムの設計を行った。

デジタル計算幾何学の研究の理論的部分は、主に海外の研究協力者との共同研究で行う。整合性のある幾何学の構成と距離 $k$ 等分線やゾーン図の研究の二つをキーテーマとし、国際的な招聘と訪問を行い、主に現在共同研究を行っている研究者との協力を続けることで達成する。成果は計算理論と計算幾何学に関する一流国際会議及び専門誌での発表で公開した。

画像切り出しとデータマイニングに関しては、分担者の全と東北大学の大学院学生を含めたプロジェクトでシステムデザインの検討と高速実装を行った。成果は画像処理及びデータマイニング関係の一流国際会議及び専門誌で公開した。

## 4. 研究成果

数学理論としては、デジタル線分族を用いたデジタル凸図形の計算やデジタル星型図形を組み立てて出来る図形の高速計算、デジタル計算幾何を用いたアルゴリズム設計、さらにイメージ情報検索における新たな不変量の探究と、アルゴリズム、さらにシステム設計を行った。特に、デジタル幾何学を用いた領域分割アルゴリズムを、より柔軟に複数の物体を切り出せるようにした成果と、幾何学マッチングの成果、幾何学最適化に関する移動直線パッキング問題に関する成果は、それぞれ国際的な一流誌の Theoretical Computer Science 誌と Algorithmica 誌に掲載された。また、多次元にバランス良く施設を配置する問題に関する論文は、計算幾何学分野のトップ国際会議である SOCG2014 で発表した。

さらに、新しいデジタル幾何学を用いた図形抽出、更にそれを用いた画像イメージ検索お

よび画像への自動アノテーション技術の成果をあげた。また、イメージ切り出しに関しては、今までに開発したアルゴリズムを基盤に統合的なシステムを構築し、実験を行った。特に画像への自動アノテーション技術の成果は、国際的に評価の高い ACM Transaction Web 誌に掲載された。

更に、国際共同研究を重点的に行い、多くの国際研究集会を企画した。さらに平成 26 年 6 月 7 日-11 日に京都において、計算幾何学分野で最も権威ある Symposium of Computational Geometry (SOCG2014) 及び周辺ワークショップからなる CG Week 2014 を研究代表者の徳山が主催し、その一環として、本研究費を活用してワークショップを主催した。

#### 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 22 件)

[1] Hee-Kap Ahn, Sang Won Bae, Otfried Cheong, Joachim Gudmundsson, Takeshi Tokuyama, Antoine Vigneron, “A Generalization of the Convex Kakeya Problem”, *Algorithmica*, 70-2, pp.152-170(2014), 査読有  
Doi: 10.1007/s00453-013-9831-y

[2] Jinil Kim, Peter Eades, Rudolf Fleischer, Seok-Hee Hong, Costas S. Iliopoulos, Kunsoo Park, Simon J. Puglisi, Takeshi Tokuyama, “Order-preserving matching Theoretical Computer Science”, 525, pp.69-79(2014), 査読有  
Doi: 10.1016/j.tcs.2013.10.006

[3] Jinhee Chun, Takashi Horiyama, Takehiro Ito, Natsuda Kaothanthong, Hirotaka Ono, Yota Otachi, Takeshi Tokuyama, Ryuhei Uehara, Takeaki Uno, “Base-object location problems for base-monotone regions”, *Theoretical Computer Science*, 555, pp.71-84(2014), 査読有  
Doi: 10.1016/j.tcs.2013.11.030

[4] Luis Barba, Otfried Cheong, Jean-Lou De Carufel, Michael Gene Dobbins, Rudolf Fleischer, Akitoshi Kawamura, Matias Korman, Yoshio Okamoto, Janos Pach, Yuan Tang, Takeshi Tokuyama, Sander Verdonschot, Tianhao Wang, “Weight Balancing on Boundaries and Skeletons”, *Proceedings of 30th Symposium on Computational Geometry*, 30, pp.436-443(2014), 査読有  
Doi: 10.1145/2582112.2582142

[5] Cam-Tu Nguyen, Natsuda Kaothanthong, Takeshi Tokuyama, Xuan Hieu Phan, “A feature-word-topic model for image

annotation and retrieval”, *ACM Transactions on the Web*, 7, pp. 12:1-12:24(2013), 査読有  
Doi: 10.1145/2516633.2516634

[6] Jinhee Chun, Natsuda Kaothanthong, Takeshi Tokuyama, “Classified-Distance Based Shape Descriptor for Application to Image Retrieval”, *Computer Analysis of Images and Patterns*, LNCS 8048, pp.1-8(2013), 査読有  
Doi: 10.1007/978-3-642-40246-3\_1

[7] Tran Phuong Nhung, Cam-Tu Nguyen, Jinhee Chun, Ha Vu Le, Takeshi Tokuyama, “A Multiple Instance Learning Approach to Image Annotation with Saliency Map”, *Proc. KDIR 2013*, pp.152-159(2013), 査読有

[8] Jinhee Chun, Ricardo Garcia de Gonzalo, Takeshi Tokuyama, “Space-Efficient and Data-Sensitive Polygon Reconstruction Algorithms from Visibility Angle Information”, *Proc. ISAAC 2013*, LNCS8283, pp.22-32(2013), 査読有  
Doi: 10.1007/978-3-642-45030-3\_3

[9] Jinhee Chun, Takashi Horiyama, Takehiro Ito, Natsuda Kaothanthong, Hirotaka Ono, Yota Otachi, Takeshi Tokuyama, Ryuhei Uehara, Takeaki Uno, “Base Location Problems for Base-Monotone Regions”, *Proc. WALCOM 2013*, LNCS7748, pp.53-64(2013), 査読有

[10] 徳山豪, “計算下界の解明: その意義とシナリオ(前編)”, *情報処理*, 54 - 4, pp.374 - 384(2013)

[11] Akitoshi Kawamura, Jiri Matousek, Takeshi Tokuyama, “Zone Diagrams in Euclidean Spaces and Other Normed Spaces”, *Mathematische Annalen*, 354-1, pp.1201-1222(2012), 査読有  
Doi: 10.1007/s00208-011-0761-1

[12] Jinhee Chun, Natsuda Kaothanthong, Ryosei Kasai, Matias Korman, Martin Nollenburg, Takeshi Tokuyama, “Algorithms for computing the maximum weight region decomposable into elementary shapes”, *Computer Vision and Image Understanding*, 116-7, 803-814(2012), 査読有  
Doi: 10.106/j.cviu.2012.03.003

[13] Hee-Kap Ahn, Sang Won Bae, Otfried Cheong, Joachim Gudmundsson, Takeshi Tokuyama, Antoine Vigneron, “A Generalization of the Convex Kakeya Problem”, *Proc. LATIN 2012*, LNCS7256, pp.1-12(2012), 査読有  
Doi: 10.1007/978-3-642-29344-3\_1

[14] Jinhee Chun, Akiyoshi Shioura, Truong Minh Tien and Takeshi Tokuyama, “A Unified View to Greedy Geometric Routing Algorithms in Ad Hoc Networks”, *Proc. ALGOSENSORS 2012*, LNCS 7718,

pp.54-65(2012), 査読有  
 Doi: 10.1007/978-3-642-36092-3\_7  
 [15] Jinhee Chun, Takashi Horiyama, Takehiro Ito, Natsuda Kaothanthong, Hirotaka Ono, Yota Otachi, Takeshi Tokuyama, Ryuhei Uehara, Takeaki Uno, "Base Location Problems for Base-Monotone Regions", Proc. WALCOM 2013, LNCS7748, pp.53-64(2012), 査読有  
 Doi: 10.1007/978-3-642-36065-7\_7  
 [16] Cam Tu Nguen, Ha Vu Le, Takeshi Tokuyama, "Cascade of Multi-Level Multi-Instance Classifiers for Image Annotation", Proceedings of KDIR 2011, pp.14-23 (2011), 査読有  
 [17] Meng Li, Yota Otachi, Takeshi Tokuyama, "Efficient Algorithms for Network Localization using Cores of Underlying Graphs", Proceedings of ALGOSENSORS Springer LNCS 7111, pp.101-114 (2011), 査読有  
 [18] Akitoshi Kawamura, Jiri Matousek, Takeshi Tokuyama: "Zone diagrams in Euclidean spaces and in other normed spaces." Proc.26th ACM Symposium on Computational Geometry 26, pp.216-221 (2010), 査読有  
 [19] Keiko Imai, Akitoshi Kawamura, Jiri Matousek, Daniel Reem, Takeshi Tokuyama: "Distance k-sectors exist", Computational Geometry Theory and Appl. 43-9, pp.713-720 (2010), 査読有  
 [20] Jinhee Chun, Yuji OKADA, Takeshi Tokuyama, "Distance Trisector of a Segment and a Point", Interdisciplinary Information Sciences 16, pp.119-125 (2010), 査読有  
 [21] Cam-Tu Nguyen, Natsuda Kaothanthong, Xuan Hieu Phan, Takeshi Tokuyama, "A feature-word-topic model for image annotation", Proc.19th Annual Symposium on Information and Knowledge Management 19, pp.1481-1484 (2010), 査読有  
 [22] Shinya Anzai, Jinhee Chun, Ryosei Kasai, Matias Korman, Takeshi Tokuyama, "Effect of Corner Information in Simultaneous Placement of K Rectangles and Tableaux", Proc.16<sup>th</sup> International Computing and Combinatorics Conference 16, pp.235-243 (2010), 査読有

〔学会発表〕(計 38 件)

[1] Takeshi Tokuyama, "Some mathematical gems I found", Goodman-Pollack Festa (招待講演), 2014年11月09日, クーラント研究所, New York, USA  
 [2] Takeshi Tokuyama, How do you justify (your) existence, WAAC 2014 (招待講演), 2014年07月13日, 沖縄 宜野湾

[3] Jinhee Chun, Natsuda Kaothanthong and Takeshi Tokuyama, "Shape Retrieval using Local Distance Interior Ratio Shape Descriptor", AAAC2014, 2014年06月18日, 中国杭州市  
 [4] Luis Barba, Jean-Lou De Carufel, Otfried Cheong, Michael Dobbins, Rudolf Fleischer, Akitoshi Kawamura, Matias Korman, Yoshio Okamoto, Janos Pach, Yuan Tang, Takeshi Tokuyama, Sander Verdonschot and Tianhao Wang, "Geometric Weight Balancing in 3D", AAAC2014, 2014年06月18日, 中国 杭州市  
 [5] 徳山豪, "Balancing location of points on Boundary", National Chunh Hsing University(招待講演), 2013年11月12日, 台湾、台湾中正大学  
 [6] Jinhee Chun, Natsuda Kaothanthong and Takeshi Tokuyama, "Correspondence Finder using Classified Distance Distribution for Efficient Shape Retrieval", WAAC2013, 2013年07月12日, 水原、韓国  
 [7] Jinhee Chun, Natsuda Kaothanthong and Takeshi Tokuyama, "Shape Description using Classified Distances", AAAC2013, 2013年04月20日, 松島  
 [8] Ricardo Gonzaro and Takeshi Tokuyama, "Space-efficient polygon reconstruction from visibility angle information", AAAC2013, 2013年04月21日, 松島  
 [9] Jinil Kim, Peter Eades, Rudolf Fleischer, Seok-Hee Hong, Costas S. Iliopoulos, Kunsoo Park, Simon J. Puglisi, Takeshi Tokuyama, "Order Preserving Matching", AAAC2013, 2013年04月19日, 松島  
 [10] Jinhee Chun, Takashi Horiyama, Takehiro Ito, Natsuda Kaothanthong, Hirotaka Ono, Yota Otachi, Takeshi Tokuyama, Ryuhei Uehara and Takeaki Uno, "Algorithms for Computing Optimal Image Segmentation using Quadtree Decomposition", Thailand-Japan Joint Conference on Computational Geometry and Graphs(TJCCGG2012), 2012年12月08日, Bangkok, Thai  
 [11] Jinhee Chun, Akiyoshi Shioura, Truong Minh Tien and Takeshi Tokuyama, "A Unified View to Greedy Geometric Routing Algorithms in Ad Hoc Networks", 電子情報通信学会技術報告 COMP 研究会, 2012年10月31日, 東北大学  
 [12] Takeshi Tokuyama, "Convex Hull of Movable Objects, Kyoto University Global Informatics Seminar (招待講演), 2012年10月08日, 京都  
 [13] 徳山豪, "理論計算機科学への招待", 科学者の卵プロジェクト(招待講演), 2012年09月08日, 東北大学

[14] Jinhee Chun, Akiyoshi Shioura, Truong Minh Tien and Takeshi Tokuyama, "A Unified View to Greedy Routing Algorithms in Ad Hoc Networks", 5th Korea-Japan Joint Workshop on Algorithms and Computation(WAAC2012), 2012年07月10日, 東京

[15] Jinhee Chun, Natsuda Kaothanthong, Hiromi Takahashi, and Takeshi Tokuyama, "Optimal grid decompositions for maximum weight region computation with application to image segmentation", ACM SOCG2012 (Young Researcher Forum), 2012年06月19日, Chapel Hill, USA

[16] Jinhee Chun, Natusda Kaothanthong, Yota Otachi, Hiromi Takahashi, Takeshi Tokuyama, "An Algorithm for Optimally Locating Baselines using Quad Decomposition", 2012年電子情報通信学会総合大会, 2012年3月21日, 岡山

[17] Jinhee Chun, Natsuda Kaothanthong, Hiromi Takahashi, Takeshi Tokuyama, "An Image Segmentation using Maximum Weight Region with Shape Constraint", The 1st ETH-JAPAN Workshop on Science and Computing, 2012年3月13日, Engelberg, Switzerland

[18] Takeshi Tokuyama, "Classical mathematics in computer science", The 1st ETH-JAPAN Workshop on Science and Computing, 2012年3月13日, Engelberg, Switzerland(招待講演)

[19] Takeshi Tokuyama, "Simplex range searching: Upper and Lower bound techniques", The 2nd Japan-Korea Joint Workshop on Optimized Extraction of Geometric Information, 2012年1月12日, 山形蔵王(チュートリアル講演)

[20] Jinhee Chun, Natusda Kaothanthong, Takeshi Tokuyama, "Image Segmentation Using Maximum Weight Region", 電子情報通信学会コンピュータセッション研究会, 2011年12月16日, 名古屋

[21] 浅野哲夫, 徳山豪, 今井桂子, 河村彰星, "Distance Trisector Curveに関する研究の誕生から発展までの経緯", 電子情報通信学会コンピュータセッション研究会, 2011年12月16日, 名古屋(招待講演)

[22] Takeshi Tokuyama, "ゾーンダイアグラム:新しい勢力均衡図とその数理", 数学をコアとするスマートイノベーションの探索, 2011年11月29日, 仙台(招待講演)

[23] Cam-Tu Nguyen, Ha Vu Le, T. Tokuyama :, "Cascade of Multi-level Multi-instance classifiers for Image Annotation", The International Conference on Knowledge Discovery and Image Retrieval (KDIR'2011), 2011年10月28日, Paris, France

[24] Takeshi Tokuyama, "アルゴリズム設計と幾何学:数学の成果を利用したアルゴリズム", 第10回情報科学技術フォーラム

FIT2011, 2011年9月8日, 函館(招待講演)

[25] Meng Li, Yota Otachi, Takeshi Tokuyama, "Efficient Algorithms for Network Localization Using Cores of Underlying Graphs", ALGOSENSORS 2011, 2011年9月8日, Saarbruecken, Germany

[26] Natsda Kaothanthong, Yota Ota, Jinhee Chun, Takeshi Tokuyama, "Image Retrieval System Using Distance-Based Shape Recognition", The 14th Korea-Japan Joint Workshop on Algorithms and Computation (WAAC2011), 2011年7月9日, Pusan Korea

[27] Jinhee Chun, Natsuda Kaothanthong, Yota Ota, Takeshi Tokuyama ", "Distance-Based Shape Invariants for Image Retrieval", The 4th Annual Meeting of the Asian Association for Algorithms and Computation (AAAC2011), 2011年4月16日, HsinChu, Taiwan

[28] Meng Li, Yota Otachi, Takeshi Tokuyama, "On the point set reconstruction from graphs", The 4th Annual Meeting of the Asian Association for Algorithms and Computation (AAAC2011), 2011年4月16日, HsinChu, Taiwan

[29] 安齋進也, 全 眞嬉, コルマンマティアス, 徳山豪, "タブローの髓配置問題", 情報処理学会 SIGAL, 2011年3月7日, 琉球大学

[30] ガオタントンナスダ, 全 眞嬉, 徳山豪, "Image Recognition And Retrieval By Using Distance Information", LA シンポジウム", 2011年2月1日, 京都大学数理解析研

[31] 徳山豪, "デジタル空間での計算幾何学の構築と展開", 「計算機科学あ発展と未来ワークショップ, 2011年3月11日, 京都大学 (招待講演)

[32] Takeshi Tokuyama, "Combinatorial Geometry, Mathematics for Geometric Information Processing", 京都賞ワークショップ Mathematical Development of Algorithm Science, 2010年11月12日, 京都国際会議場 (招待講演)

[33] Cam-Tu Nguyen, Natsuda Kao thanthong, Xuan-Hieu Phan, Takeshi Tokuyama, "A Feature-Word-Topic Model for Image Annotation", GCOE The 3rd Student Organizing International Mini-Conference on Information Electronics Systems., 2010年10月10日, 仙台

[34] 森本雄太, 定兼邦彦, 全 眞嬉, 徳山豪, "アルファベットサイズに依存しない高速近似文字列検索のための線形サイズ索引構造", LA シンポジウム, 2010年7月20日, 魚津(富山県)

[35] Takeshi Tokuyama, "Zone Diagram and Geometric Equilibrium [学会特別講演]" Conference on Theory and Applications of Models of Computation, 2010年7月9日,

Prague, Charles 大学

[36] 徳山豪, デジタル平面の計算幾何学 (特別講演), IPSJ-SIGAL IEICE-COMP 共催研究会, 2010年5月19日, 金沢 (JAIST)

[37] 安斎進也, 全 眞嬉, 葛西亮生, マチアスコルマン, 徳山豪, “長方形やタブローの同時配置における隅位置情報の効果”, IEICE COMP 研究会, 2010年4月22日, 大津 [滋賀県]

[38] Shinya Anzai, Jinhee Chun, Ryosei Kasai, Matias Korman, Takeshi Tokuyama, “Algorithms for Image Segmentation Based on Geometric Approach”, AAC2010. 2010年4月18日, 韓国浦項工科大学

〔図書〕(計 2 件)

[1] Takeshi Tokuyama, “Algorithmica 56(1)特集号編集〔序文執筆〕”, Springer Verlag. 127 (2010) pp.1-2.

[2] Takeshi Tokuyama, “International Journal on Computational Geometry and Applications 20(1)特集号編集〔序文執筆〕”, World Scientific. 104 (2010) pp.1-2.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

取得状況 (計 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

取得年月日 :

国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

徳山豪 (TOKUYAMA, TAKESHI)

東北大学・大学院情報科学研究科・教授

研究者番号 : 40312631

### (2) 研究分担者

全眞嬉 (CHUN, JINHEE)

東北大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号 : 80431550

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号 :