

平成 21 年 5 月 25 日現在

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2006～2008

課題番号：18206046

研究課題名(和文) マイクロ波帯二次元通信による柔軟体センサネットワークの研究

研究課題名(英文) A study on sensor networking in elastic media based on two-dimensional signal transmission technologies using micro-wave band

研究代表者

氏名(アルファベット) 篠田 裕之 (SHINODA HIROYUKI)

所属機関・所属部局名・職名 東京大学・大学院情報理工学系研究科・准教授

研究者番号 40226147

研究成果の概要：

ケーブルなど1次元の媒体による通信、無線など3次元空間を媒体とする通信に対し、二次元面内を伝播する電磁エネルギーによって信号伝送する形態を二次元通信とよぶ。具体的には種々の柔軟材料・低コスト素材で作製可能な二次元通信層を、壁、床、机などの表面や、衣服などの布状シートとして作りこんでおく。その表面に専用のカプラを近接させると、電磁波は通信シートの内部および近傍を伝播し、通信シートに近接している他の通信素子と通信をする、というものである。本研究ではマイクロ波帯での二次元コネクション技術確立し、これを用いたセンサネットワーク、特に柔軟体に多数のセンサ素子を埋め込んで通信するアプリケーションを展開した。具体的には3次元形状計測シート、柔軟ロボット皮膚、筋電計測インタフェースを試作した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	11,000,000	3,300,000	14,300,000
2007年度	16,200,000	4,860,000	21,060,000
2008年度	10,300,000	3,090,000	13,390,000
総計	37,500,000	11,250,000	48,750,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：計測システム、センサネットワーク

1. 研究開始当初の背景

MEMS技術によって、個々のセンサを小さく安価に製造する技術は大きく進展していた。しかしそれらを部屋や乗り物の内壁、什器類、着衣など、種々の素材に高密度実装し、有機的に結合させる手法については現実的な手法が存在していなかった。

2. 研究の目的

ケーブルなど1次元の媒体による通信、無線など3次元空間を媒体とする通信に対し、二次元面内を伝播する電磁エネルギーによって信号伝送する形態を二次元通信とよぶ。具体的には種々の柔軟材料・低コスト素材で作製可能な二次元通信層を、壁、床、机などの表面や、衣服などの布状シートとして作りこんでおく。その表面に専用のカプラを近接さ

せると、電磁波は通信シートの内部および近傍を伝播し、通信シートに近接している他の通信素子と通信をする、というものである。通信媒体の特定箇所を素子と電氣的に接続せずとも通信が確立する技術を確認することで、様々な素材に実用的な素子実装が可能になると期待できる。本研究ではマイクロ波帯での二次元コネクション技術を確認し、これを用いたセンサネットワーク、特に柔軟体に多数のセンサ素子を埋め込んで通信するアプリケーションを展開する。

3. 研究の方法

まず平成18年度において下記の基礎技術を確認した。ここまでの成果は [雑誌論文]-[4] に解説としてまとめてある。

- 1) メッシュ状の通信層に対し、配置場所に依存せず、良好な電力送受信が可能な近接カプラーの実現すること
- 2) 内部埋め込み型の近接カプラーについて、安定した結合特性を維持しながらその大きさを小型化すること
- 3) 種々の素材による通信シートの実現。特に布状素材の通信層を実現すること

これらの基礎技術を進展させつつ、下記のような応用研究を展開した。

- 1) センサネットワークに限らず、バッテリーレスのマウスや、RFID の読み取りなど、短期間で実用化可能なシステムを実証試作する。
- 2) 筋電分布計測サポータ
高密度に2次元配列された電極によって筋電分布を計測する、サポータ状のデバイスであり、新しいマン・マシンインタフェースとしての利用を主な目的とする。素材の伸縮性を利用して乾式電極を皮膚に密着させる。装着は容易であり、高密度に筋電パターンを検出し、そのパターンから筋繊維を特定するため、装着時の位置あわせは不要である。このような計測システムを実現する。
- 3) その他の応用開発
ロボットの人工皮膚、自分自身の3次元形状をリアルタイム計測するシートを開発する。

4. 研究成果

研究成果は、8件の雑誌論文、33件の国際会議発表、70件の国内発表を通して公表されている。主な研究成果は以下の通りである。

- 1) メッシュ状の通信層に対し、配置場所に依存せず、良好な電力送受信が可能な直径6 cm の近接カプラーを実現した。このカプラーの実現方法は、すでに「LANシート(2次元LANシステム)」として実用製品に応用されている。



図1 本研究成果の基本原則を応用した実用製品例「LANシート」。アクセスポイントからの電波を通信シートに伝播させる。通信シートに近接したPCのみが通信できる。

- 2) 内部埋め込み型の近接カプラーについて、安定した結合特性をもつ直径4 mm の近接カプラーを実現した。
- 3) フィルム状および布状素材の通信層を実現した。フィルム状の通信シートの基本構造は、前述のLANシートやRFID読み取り用シートとして実用化されている。
- 4) 100×64 cm の通信シートに2.4 GHz のマイクロ波を供給し、その上で50個の発光素子、スピーカー、ファン、マウス、キーボードが駆動される二次元通信システムを実現し、デモンストレーションを行った。



図2 デモンストレーション例。ここでは19個のLEDが点灯し、400 mW のスピーカーが2つ駆動されている。同じシート内を5.2 GHz の信号が伝播し、動画を表示している。

- 5) 筋電計測と通信の回路を一体化したモジュールを実現し、筋電分布を計測可能なサ

ポータブルデバイスのプロトタイプを試作した。

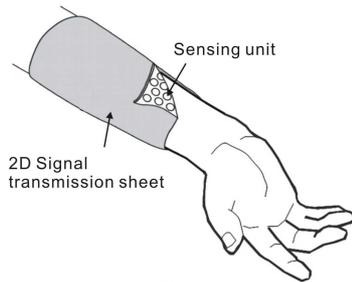


図3 筋電計測サポーターの概念図。試作では5素子の筋電計測素子を動作させた。

6) 上記2の成果に基づいて、電気的接点を持たない触覚素子が柔軟シート内に分散して動作するロボットの人工皮膚を実現した。(ただしここで実現された各触覚素子は1ビットの接触検出を行うのみ)

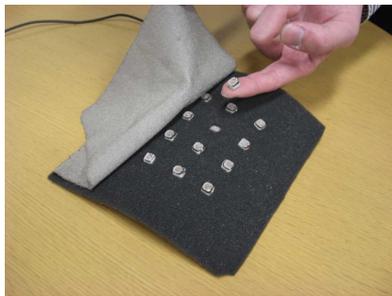


図4 ロボット人工皮膚の実現例。

7) 自分自身の3次元形状をリアルタイム計測するシートの形状復元アルゴリズムを確立し、試作を行った。具体的には重力・地磁気センサを高密度に分散させ、それらの傾き情報から全体形状を復元する。(今回のプロトタイプにおいては、各センサからの読み出しに従来型シリアル配線技術を利用した)



図5 3次元形状計測シートのプロトタイプ。球の表面を覆う柔軟シート(格子状リンク群)が自分自身の形状をリアルタイムで推定し、PCに表示している。

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] 篠田裕之: 二次元通信によるヒューマンインタフェース, ヒューマンインタフェース学会誌, Vol. 10, No. 4, pp. 281-286, 2008. 査読無
- [2] 篠田裕之: 皮膚デバイス技術の応用事例, 計測と制御, Vol. 47, No. 7, pp. 611-615, 2008. 査読無
- [3] 篠田裕之: ヒトのように触れる, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol. 12, No. 3, pp. 26-31, 2007. 査読無
- [4] 篠田裕之: 素材表面に形成する高速センサネットワーク, 計測と制御, Vol. 46, No. 2, pp. 98-103, 2007. 査読無
- [5] 星貴之, 篠田裕之: リアルタイムに形状計測可能な布状デバイス, 計測自動制御学会論文集, Vol. 44, No. 12, pp. 1015-1016, 2008. 査読有
- [6] 星貴之, 篠田裕之: 接触力と接触面積を計測する非線形触覚素子, 計測自動制御学会論文集, Vol. 42, No. 7, pp. 727-735, 2006. 査読有
- [7] 岩本貴之, 篠田裕之: 音響放射圧の走査による触覚ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 11, No. 1, pp. 77-86, 2006. 査読有
- [8] 牧野泰才, 篠田裕之: 吸引圧刺激による触覚生成法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 11, No. 1, pp. 123-132, 2006. 査読有

[学会発表] (計 103 件)

< 査読付き国際会議 > (33 件)

- [1] Takayuki Hoshi, Takayuki Iwamoto, and Hiroyuki Shinoda: Non-Contact Tactile Sensation Synthesized by Ultrasound Transducers, Proc. World Haptics 2009, Salt Lake City, UT, March 18-20, pp. 256-260, 2009. 査読有
- [2] Takayuki Iwamoto, Mari Tatezono, Takayuki Hoshi, and Hiroyuki Shinoda: Airborne Ultrasound Tactile Display, Conference DVD-ROM ACM SIGGRAPH 2008: New Tech Demos, Los Angeles, 11-15 Aug. 2008. 査読有
- [3] Kei Nakatsuma, Yasutoshi Makino, Hiroyuki Shinoda, and Hiroto Itai: Two-Dimensional Communication, Conference DVD-ROM ACM SIGGRAPH 2008: New Tech Demos, Los Angeles, 11-15 Aug. 2008. 査読有

- [4] Kei Nakatsuma, Yasutoshi Makino, Hiroiyuki Shinoda: Node Self-Localization in the "Two-Dimensional Communication" Networks, Conference DVD-ROM ACM SIGGRAPH 2008: Posters, Los Angeles, 11-15 Aug. 2008. 査読有
- [5] Shohei Kiyota and Hiroiyuki Shinoda: Cubic Stress Tensor Sensor for Robot Skins, Proc. SICE Annual Conf. 2008, Tokyo, pp. 910-914, 2008.8.20, 査読有
- [6] Takayuki Hoshi and Hiroiyuki Shinoda: 3D Shape Measuring Sheet Utilizing Gravitational and Geomagnetic Fields, Proc. SICE Annual Conf. 2008, Tokyo, pp. 915-920, 2008.8.20, 査読有
- [7] Yasutoshi Makino, Shuhei Ogawa and Hiroiyuki Shinoda: Flexible EMG Sensor Array for Haptic Interface, Proc. SICE Annual Conf. 2008, Tokyo, pp. 1468-1473, 2008.8.20, 査読有
- [8] Kei Nakatsuma, Yasutoshi Makino, and Hiroiyuki Shinoda: Node Localization in the "Two-Dimensional Communication" Networks Based on Electric Field Pattern Measurement, Proc. SICE Annual Conf. 2008, Tokyo, pp. 3380-3385, 2008.8.21, 査読有
- [9] Takayuki Hoshi and Hiroiyuki Shinoda: Three-dimensional Shape Capture Sheet Using Distributed Six-Axis Sensors, Proc. 5th International Conference on Networked Sensing Systems (INSS 2008), pp. 156-161, Kanazawa, 2008.6.19, 査読有
- [10] Yasutoshi Makino, Shuhei Ogawa and Hiroiyuki Shinoda: EMG Sensor Integration Based on Two-Dimensional Communication, Proc. 5th International Conference on Networked Sensing Systems (INSS 2008), Kanazawa, pp. 140-147, 2008.6.19, 査読有
- [11] Kei Nakatsuma, Yasutoshi Makino and Hiroiyuki Shinoda: Position Sensing based on Electric Field Measurement on Two-Dimensional Signal Transmission Sheet, Proc. 5th International Conference on Networked Sensing Systems (INSS 2008), Kanazawa, pp. 189-194, 2008.6.19, 査読有
- [12] Takayuki Iwamoto, Mari Tatezono, and Hiroiyuki Shinoda: Non-contact Method for Producing Tactile Sensation Using Airborne Ultrasound, Haptics: Perception, Devices and Scenarios: 6th International Conference, Eurohaptics 2008 Proceedings (Lecture Notes in Computer Science), Madrid, pp.504-513, 2008.6.10-13, 査読有
- [13] Takayuki Hoshi and Hiroiyuki Shinoda: Gravity-Based 3D Shape Measuring Sheet, Proc. SICE Annual Conf. 2007, Takamatsu, pp. 2126-2131, 2007.9.20, 査読有
- [14] Shohei Kiyota and Hiroiyuki Shinoda: Tactile Sensing Cube Measuring Stress Tensor, Proc. SICE Annual Conf. 2007, Takamatsu, pp. 2137-2140, 2007.9.20, 査読有
- [15] Takuya Hasegawa, Takayuki Iwamoto, and Hiroiyuki Shinoda: Measuring Finger Peripheral Signal Based on Electrical Synchronization, Proc. SICE Annual Conf. 2007, Takamatsu, pp. 2141-2144, 2007.9.20, 査読有
- [16] Takayuki Iwamoto and Hiroiyuki Shinoda: Finger Ring Device for Tactile Sensing and Human Machine Interface, Proc. SICE Annual Conf. 2007, Takamatsu, pp. 2132-2136, 2007.9.20, 査読有
- [17] Yasutoshi Makino and Hiroiyuki Shinoda: Myoelectric Pattern Measurement Based on Two-Dimensional Communication Technology, Proc. SICE Annual Conf. 2007, Takamatsu, pp. 2145-2149, 2007.9.20. 査読有
- [18] Hiroiyuki Shinoda: Ubiquitous Networking Based on Two-Dimensional Signal Transmission Technology, Proc. First International Symposium on Universal Communication, June 14-15, Kyoto, Japan, pp. 246-250, 2007.6.15, 査読無 (招待講演)
- [19] Takayuki Hoshi, Sayo Ozaki, and Hiroiyuki Shinoda: Three-Dimensional Shape Capture Sheet Using Distributed Triaxial Accelerometers, Proc. 4th International Conference on Networked Sensing Systems (INSS 2007), June 6-8, Braunschweig, Germany, pp. 207-212, 2007. 査読有
- [20] Hiroiyuki Shinoda, Yasutoshi Makino, Naoshi Yamahira, and Hiroto Itai: Surface Sensor Network Using Inductive Signal Transmission Layer, Proc. 4th International Conference on Networked Sensing Systems (INSS 2007), June 6-8, Braunschweig, Germany, pp. 201-206, 2007. 査読有
- [21] Takayuki Iwamoto and Hiroiyuki Shinoda: Finger Ring Tactile Interface Based on Propagating Elastic Waves on Human Fingers, Proc. World Haptics 2007, Mar., Tsukuba, Japan, pp. 145-150, 2007.3.23, 査読有

- [22] Hiromasa Chigusa, Yasutoshi Makino, and Hiroyuki Shinoda: Large Area Sensor Skin Based on Two-Dimensional Signal Transmission Technology, Proc. World Haptics 2007, Mar., Tsukuba, Japan, pp. 151-156, 2007.3.23, 査読有
- [23] Takayuki Hoshi and Hiroyuki Shinoda: Free-Form Tactile Sensor Using 3-Dimensional Shape Capture Sheet, Proc. World Haptics 2007, Mar., Tsukuba, Japan, pp. 403-408, 2007.3.23, 査読有
- [24] Yasutoshi Makino and Hiroyuki Shinoda: Comfortable Wristband Interface Measuring Myoelectric Pattern, Proc. World Haptics 2007, Mar., Tsukuba, Japan, pp. 433-438, 2007.3.23, 査読有
- [25] Takayuki Hoshi and Hiroyuki Shinoda: A Large Area Robot Skin Based on Cell Bridge System, Proc. 5th IEEE Conference on Sensors (IEEE SENSORS 2006), B3L-D4, Daegu (Korea), Oct., 2006.10, 査読有
- [26] Hiromasa Chigusa, Yasutoshi Makino, and Hiroyuki Shinoda: Resonant Proximity Connector for Two-Dimensional Sensor Implantation, Proc. SICE-ICASE Int. Joint Conf. 2006, Oct., Busan, Korea, pp. 2247-2251, 2006.10.19, 査読有
- [27] Yasutoshi Makino, Akimasa Okada, and Hiroyuki Shinoda: Measuring Myoelectric Potential Patterns Based on Two-Dimensional Signal Transmission Technology, Proc. SICE-ICASE Int. Joint Conf. 2006, Oct., Busan, Korea, pp. 2005-2009, 2006.10.19, 査読有
- [28] Naoshi Yamahira, Yasutoshi Makino, Hiroto Itai, and Hiroyuki Shinoda: Proximity Connection in Two-Dimensional Signal Transmission, Proc. SICE-ICASE Int. Joint Conf. 2006, Oct., Busan, Korea, pp. 2735-2740, 2006.10.20, 査読有
- [29] Takayuki Iwamoto and Hiroyuki Shinoda: Two Dimensional Stress Reproduction Using Ultrasound Tactile Display, Proc. SICE-ICASE Int. Joint Conf. 2006, Oct., Busan, Korea, pp. 4818-4821, 2006.10.21, 査読有
- [30] Hiroyuki Shinoda: Sensor Networking based on Two-Dimensional Signal Transmission Technology, Proc. SICE-ICASE Int. Joint Conf. 2006, Oct., Busan, Korea, pp. 4867-4869, 2006.10.21, 査読有
- [31] Yasutoshi Makino, Hiromasa Chigusa, and Hiroyuki Shinoda: Two-Dimensional Sensor Integration Using Resonant Proximity Connector -Basic Technology and Application to Elastic Interface Device-, Proc. 3rd International Conference on Networked Sensing Systems (INSS 2006), Chicago, pp. 196-202, 2006.6.2, 査読有
- [32] Takayuki Hoshi, Akimasa Okada, Yasutoshi Makino, and Hiroyuki Shinoda: A Whole Body Artificial Skin Based on Cell-Bridge Networking System, Proc. 3rd International Conference on Networked Sensing Systems (INSS 2006), Chicago, pp. 55-60, 2006.6.2, 査読有
- [33] Takayuki Hoshi and Hiroyuki Shinoda: Robot Skin Based on Touch Area-Sensitive Tactile Element, Proc. 2006 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA 2006), Orlando, Florida, pp. 3463-3468, 2006.5.18, 査読有
- <国内口頭発表(一部査読有り)> (20件)
- [1] 篠田裕之: 触覚インタフェースの現状と課題, 第9回 SICE SI 部門 講演会論文集, pp. 967-968, 2008.12.7, 岐阜, 査読無(招待)
- [2] 篠田裕之, 板井裕人: 面近接カプラを用いた2次元信号・電力伝送, マイクロウェーブ展 2008 Microwave Workshop Digest, 127-130, 2008.11.27, 神奈川, 査読無(招待)
- [3] Yasutoshi Makino, Shuhei Ogawa, and Hiroyuki Shinoda: EMG Sensor Array Integrated on a Flexible 2D Signal Transmission Sheet, Proc. IEEJ 25th Sensor Symposium, pp. 671-674, 2008.10.24, 沖縄, 査読有
- [4] Shohei Kiyota, Tadahiro Nakano, and Hiroyuki Shinoda: Small Proximity Connector in Two-Dimensional Signal Transmission, Proc. IEEJ 25th Sensor Symposium, pp. 675-678, 2008.10.24, 沖縄, 査読有
- [5] Kei Nakatsuma, Yasutoshi Makino, and Hiroyuki Shinoda: Electric Field Sensor Array for Node Localization on Two-Dimensional Signal Transmission Sheet, Proc. IEEJ 25th Sensor Symposium, pp. 708-713, 2008.10.24, 沖縄, 査読有
- [6] 篠田裕之: デバイス技術からみたネットワークセンシングシステム, 第25回センシングフォーラム資料, pp.297-299, 2008.9.26, 佐賀, 査読無(招待)
- [7] 板井裕人, 箱崎光弘, 張兵, 篠田裕之: シート状媒体を用いたワイヤレス電力伝送の一手法, 電子情報通信学会 2008年通信

- ソサイエティ大会通信講演論文集 2, BS-14-9, pp. S-220-221, 2008.9.19, 神奈川, 査読無
- [8] 篠田裕之: 2次元通信場による ヒト、モノ、情報空間のインタラクション, 第18回実装技術研究会, 2008.8.29, 東京, 査読無(招待)
- [9] 篠田裕之: 東京大学が開発した“二次元通信システム”その真髄と展望, マルチメディア推進フォーラム, 2008.7.4, 東京, 査読無(招待)
- [10] 篠田裕之: 電力と信号の2次元伝送法, 電子情報通信学会, 2008 総合大会講演論文集 BS-12-3, 3/18~21, 北九州学術研究都市, pp. S-51-52, 2008.3.19, 査読無(招待)
- [11] 篠田裕之: 二次元通信による生活支援空間, 第2回横幹連合コンファレンス, pp. 109-110, 2007.11.29, 京都, 査読無
- [12] Kei Nakatsuma, Yasuaki Monnai, Yasutoshi Makino, and Hiroyuki Shinoda: Position Detection on Two-Dimensional Signal Transmission Sheet by Magnetic Field Pattern Sensing, Proc. IEEJ 24th Sensor Symposium, pp. 68-72, 2007.10.16, Tokyo, 査読有
- [13] Shohei Kiyota and Hiroyuki Shinoda: Cubic Stress Tensor Sensor Using Symmetry Structure, Proc. IEEJ 24th Sensor Symposium, pp. 55-58, 2007.10.16, Tokyo, 査読有
- [14] Yasutoshi Makino and Hiroyuki Shinoda: Myoelectric Pattern Measurement on a Forearm Based on Two-Dimensional Signal Transmission Technology, Proc. IEEJ 24th Sensor Symposium, pp. 59-63, 2007.10.16, Tokyo, 査読有
- [15] Takayuki Hoshi and Hiroyuki Shinoda: 3D Shape Capture Sheet Based on Gravity and Geomagnetic Sensing, Proc. IEEJ 24th Sensor Symposium, pp. 423-427, 2007.10.16, Tokyo, 査読有
- [16] 篠田裕之: 二次元通信, 仙台 EMC 研究センター推進部会 19 年度第 1 回研究会, 2007.8.28, 仙台, 査読無(招待)
- [17] 篠田裕之: 二次元通信による高セキュリティ空間, RSA CONFERENCE 2007, 2007.4.26, 東京, 査読無(招待)
- [18] Hiromasa Chigusa, Yasutoshi Makino, and Hiroyuki Shinoda: Large Area Tactile Sensor based on Proximity Connection of Tactile Sensing Elements, Proc. IEEJ 23rd Sensor Symposium, pp. 437-442, 2006.10.6, 高松, 査読有
- [19] Yasutoshi Makino, Naoshi Yamahira, and Hiroyuki Shinoda: Proximity Connector for Two-Dimensional Electromagnetic

Wave Communication, Proc. IEEJ 23rd Sensor Symposium, pp. 397-402, 2006.10.6, 高松, 査読有

- [20] Takayuki Hoshi, and Hiroyuki Shinoda: Linking Nonlinear Tactile Elements by Cell-Bridge System, Proc. IEEJ 23rd Sensor Symposium, pp. 274-278, 2006.10.5, 高松, 査読有

〔図書〕(計1件)

Hiroyuki Shinoda, Nobuyoshi Koshida (分担): Device Applications of Silicon Nanocrystals and Nanostructures, Chapter 11 Ultrasonic Emission from Nanocrystalline Porous Silicon, Springer, 2009.

〔産業財産権〕

出願状況(計 2件)

- [1] 名称: 通信システム、インターフェース装置、および、信号伝達装置
発明者: 篠田裕之、板井裕人、浅村直也、清松哲郎
権利者: (株)セルクロス、東京大学
種類: PCT 出願
番号: PCT/JP2006/318052
出願年月日: 2006年9月12日
国内外の別: PCT 出願
- [2] 名称: 電力供給システムおよび電力供給装置
発明者: 篠田裕之、板井裕人
権利者: 東京大学、(株)セルクロス
種類: 国内出願
番号: 特願 2007-137250
出願年月日: 2007年5月23日
国内外の別: 国内

取得状況(計0件)

〔その他〕

研究成果ホームページ

<http://www.alab.t.u-tokyo.ac.jp/~shino/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

篠田 裕之 (SHINODA HIROYUKI)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・准教授
研究者番号: 40226147

(2) 研究分担者

安藤 繁 (ANDO SHIGERU)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授
研究者番号: 70134468

(3)連携研究者
なし