

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06277

研究課題名(和文) ヒューマン・ロボット・インタラクションのための2D映像-3D動作マッピング手法

研究課題名(英文) 2D image - 3D motion mapping method for human-robot interaction

研究代表者

松丸 隆文 (Matsumaru, Takafumi)

早稲田大学・理工学術院(情報生産システム研究科・センター)・教授

研究者番号：10313933

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：次の事例を通して研究を進めた。(1)3次元空中映像インタフェース(主に動作映像)：空中投影された3次元映像にユーザーが手指を重ねて直接操作できることを特徴とするデバイスを開発し、ロボットアームの遠隔操作システムやろくろ陶芸の仮想体験システムを構築した。(2)エアポインティングによるカーソル操作(主に動作映像)：キーボードから手首を離すことなく指先の3次元動作だけで平面パネル上のカーソルを操作するシステムを提案した。(3)ばら積みボトルの銘柄別ピックアップ(主に映像動作)：水槽中にあるボトルを銘柄指定で取り出すロボットの3次元動作制御のため、2次元RGB映像から個体や銘柄の認識を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

(1)3次元空中映像インタフェースは、裸眼でさまざまな視点から(複数人でも同時に)見ることができるといった利点があり、空中投影される3次元画像にユーザーが手指を直接重ね合わせて操作できるという設計思想が、ヒトとシステムのインタラクションに大きく貢献することが示され、自動車のセンターコンソールなどにも応用できる。(2)エアポインティングによるカーソル操作は、キーボード入力とマウス操作の頻繁な切り替えより効率的であることが確認できた。(3)部分的に見える部分から物体全体やその銘柄を推定する能力は、ランダムピックアップだけでなくさまざまな作業の自動化のためのセンシング機能の向上に役立つ。

研究成果の概要(英文)：We have proceeded the research through the following cases. (1) 3D aerial image interface (motion --> image): We developed a device that allows the user to directly operate the 3D image projected in the air while superimposing their hand/finger on the 3D image. We constructed a remote operation system of robotic arm and a virtual experience system for pottery. (2) Cursor operation by air pointing (motion --> image): We proposed a system for a user to operate a screen cursor on a flat-panel only by the three-dimensional movement of fingertip without releasing his/her wrist from a keyboard. (3) Random picking of branded plastic bottle (mainly video --> motion): In order to control the 3D motion of the robot that picks up the bottle in the water tank with the specified brand, we have realized the recognition of the individual and the brand from the 2D RGB image.

研究分野：ロボティクス(ロボット工学)・メカトロニクス

キーワード：ヒューマン・ロボット・インタラクション 二次元画像/映像 3次元動作 3次元空中映像インタフェース ロボット遠隔操作 ろくろ陶芸仮想体験システム エアポインティング ばら積みボトル銘柄別掴み上げ：ランダムピックアップ

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。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ここでは、3次元空中映像インタフェース 3DAII について説明する。これは、空中投影された3次元映像にユーザーが手指を重ねて直接操作できることを特徴とするデバイスである。

ヒューマン・コンピュータ・インタフェース human-computer interaction (HCI) といえば、まずは画面デザインを対象としていた[1]。2次元の表示画面を介したインタラクションでは、マウス/キーボードから始まり、指先を使ったタッチスクリーン[2]だけでなく、足踏みを使ったインタフェース[3]も提案されていた。

[1] C. Marlin Brown: "Human-computer interface design guidelines", Ablex Publishing (Norwood, NJ, US), 236 pages, (1988.07). ISBN-10: 0-893-91332-4

[2] Forouzan Golshani: "TUI or GUI - It's a Matter of Somatics", IEEE MultiMedia, Vol.14, Issue 1, pp.103-104, (2007.01). DOI: 10.1109/MMUL.2007.24

[3] Takafumi Matsumaru, Yasutada Horiuchi, Kosuke Akai, Yuichi Ito: "Truly-Tender-Tailed Tag-Playing Robot Interface through Friendly Amusing Mobile Function", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.22, No.3, pp.301-307, (2010.06). DOI: 10.20965/jrm.2010.p0301

さらに、手指ジェスチャ[4]、全身ジェスチャ[5]、レーザージェスチャ[6]などのタッチレスインタフェース touchless user gesture interface (TUGI)[7]を使った2次元表示画面を介したやり取りも報告/実現されていた。

[4] Vladimir I. Pavlovic, Rajeev Sharma, Thomas S. Huang: "Visual Interpretation of Hand Gestures for Human-Computer Interaction: A Review", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.19, No.7, pp. 677-695, (July 1997). DOI: 10.1109/34.598226

[5] Tommer Leyvand, Casey Meekhof, Yi-Chen Wei, Jian Sun, Baining Guo: "Kinect Identity: Technology and Experience", Computer, Vol.44, Issue 4, pp.94-96, (April 2011). DOI: 10.1109/MC.2011.114

[6] Dan R. Olsen Jr., Travis Nielsen: "Laser Pointer Interaction", Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '01), [Seattle, Washington, US], pp.17-22, (2001.03). DOI: 10.1145/365024.365030

[7] Ken Hinckley, Randy Pausch, John C. Goblel, Neal F. Kassell: "A Survey of Design Issues in Spatial Input", Proceedings of the 7th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '94), pp. 213-222, (1994.11). DOI: 10.1145/192426.192501

それに対して3次元の投影画像 projected image との直接的なインタラクションについては、特別な環境の準備や特別な装置 (HMD など) の装着がない条件で、決定的な手法はいまだに提案されていなかった。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、次の原則を設定した。

- (1) 3次元物体の投影画像が、裸眼で多くの視点から (または複数人が同時に) 見ることできること。
- (2) ユーザーが3次元物体画像を直接 (手指や棒状ツールを重ね合わせて) 操作でき、システムがリアクション (3次元物体画像の変形・変位・変色, 発音, など) すること。
- (3) システムは安価に実現できる単純な機構からなり、設置・移動が容易な構造であること。

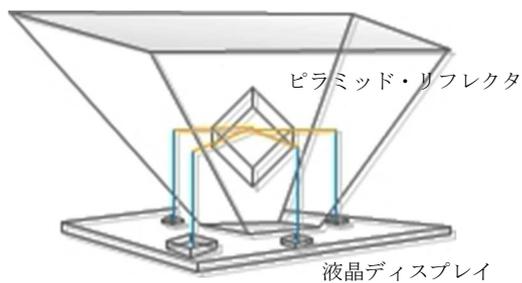
それらの項目を考慮して、具体的には次の手段をとった。

- (1) 3次元物体画像の再構築と空中投影: 3次元物体画像の再構築にはピラミッドーホログラフィを、空中投影には放物面鏡を用いる。
- (2) ユーザーとのインタラクション: 投影画像を操作するユーザーの手指を計測するモーション・キャプチャ・センサ, 投影画像との関係に応じた応答の設計 (視覚・聴覚効果など) をする。

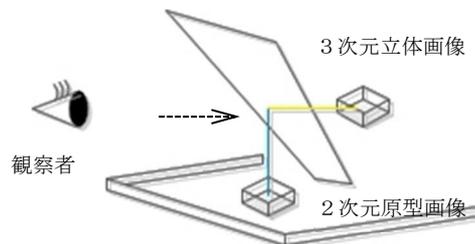
すなわち、3次元空中画像インタフェース 3-Dimensional Aerial Image Interface, 3DAII の原型モデル prototype model (PM) を製作してその実現可能性を確認することが目的である。

### 3. 研究の方法

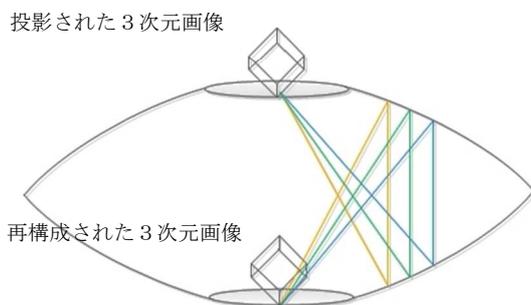
3次元空中画像インタフェース 3DAII では、平面ディスプレイの上に設置したピラミッド・リフレクタを放物面鏡の中に配置する。適切に用意した画像／映像をコンピュータから平面ディスプレイに表示すると、放物面鏡の開口部付近の空中に3次元物体が存在するのようになる。ユーザーはそこに指先を重ねて直接操作できる。



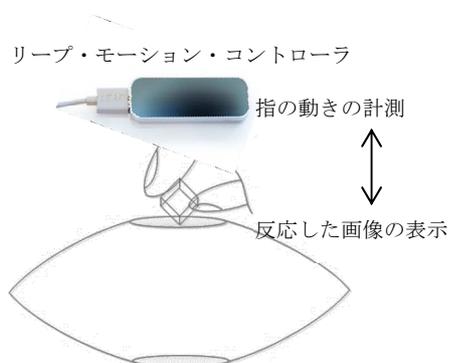
ピラミッド・リフレクタ



3次元物体画像の再構成



放物面鏡



モーション・キャプチャ・センサ



3次元空中画像インタフェース 3DAII : 原型モデル

#### 4. 研究成果

3DAII の応用として、ロボットの遠隔操作の入出力インタフェースやろくろ陶芸の仮想体験システムを構築した。

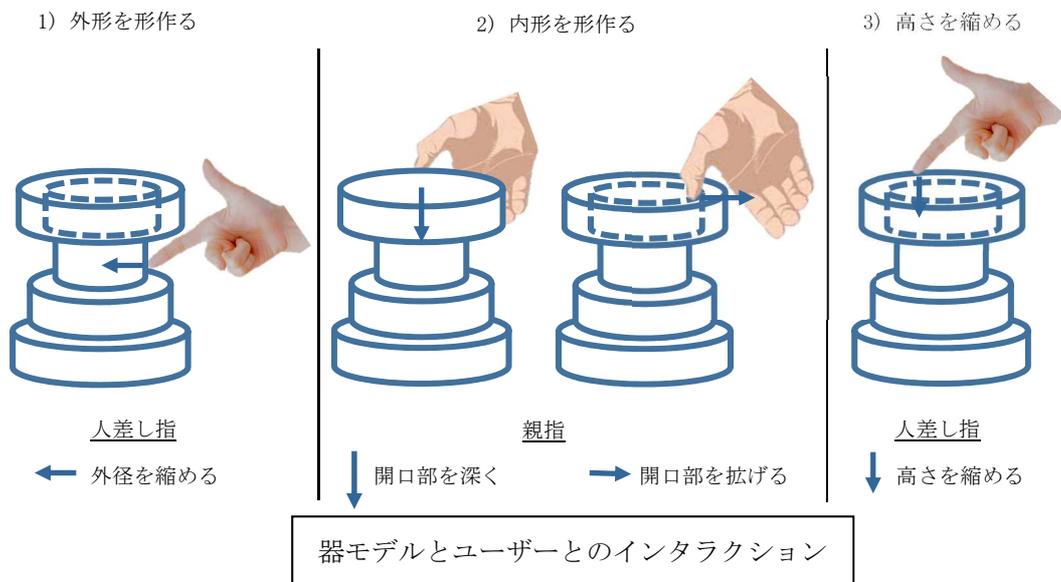
前者のロボットアームの手先位置決め作業では[a, b], ジョイスティックやゲームパッドに比べて実行時間が短くなり, 生成する入力値が3次元ベクトル(方向と大きさ)となることが, 3次元空間内での運動を操作するのに適していることを確認できた。

後者では, 人差し指の動きで外形と全体の高さを, 親指の動きで内形を成形するインタラクション方法を準備し, 参加者による予備実験におけるアンケート調査の結果(評価値と意見)から, 3次元映像に実際の作業に似せた手指の動きを重ね合わせて操作できる設計思想が, ヒトとシステムのインタラクションに大きく貢献することが示唆された[c].

[a] Asyifa Imanda Septiana, Mahfud Jiono, Takafumi Matsumaru: "Measuring Performance of Aerial Projection of 3D Hologram Object (3DHO)", 2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (IEEE-ROBIO 2017), pp. 2081-2086, (2017.12). DOI: 10.1109/ROBIO.2017.8324726

[b] Takafumi Matsumaru, Asyifa Imanda Septiana, Kazuki Horiuchi: "Three-dimensional Aerial Image Interface, 3DAII", Journal of Robotics and Mechatronics (JRM), Vol.31, No.5, pp.657-670, (2019.10). DOI: 10.20965/jrm.2019.p0657

[c] Takafumi Matsumaru, Ami Morikawa: "An Object Model and Interaction Method for a Simulated Experience of Pottery on a Potter's Wheel", Sensors (MDPI), Vol.20, Issue 11, 3091 (23pages), (2020.05). DOI: 10.3390/s20113091



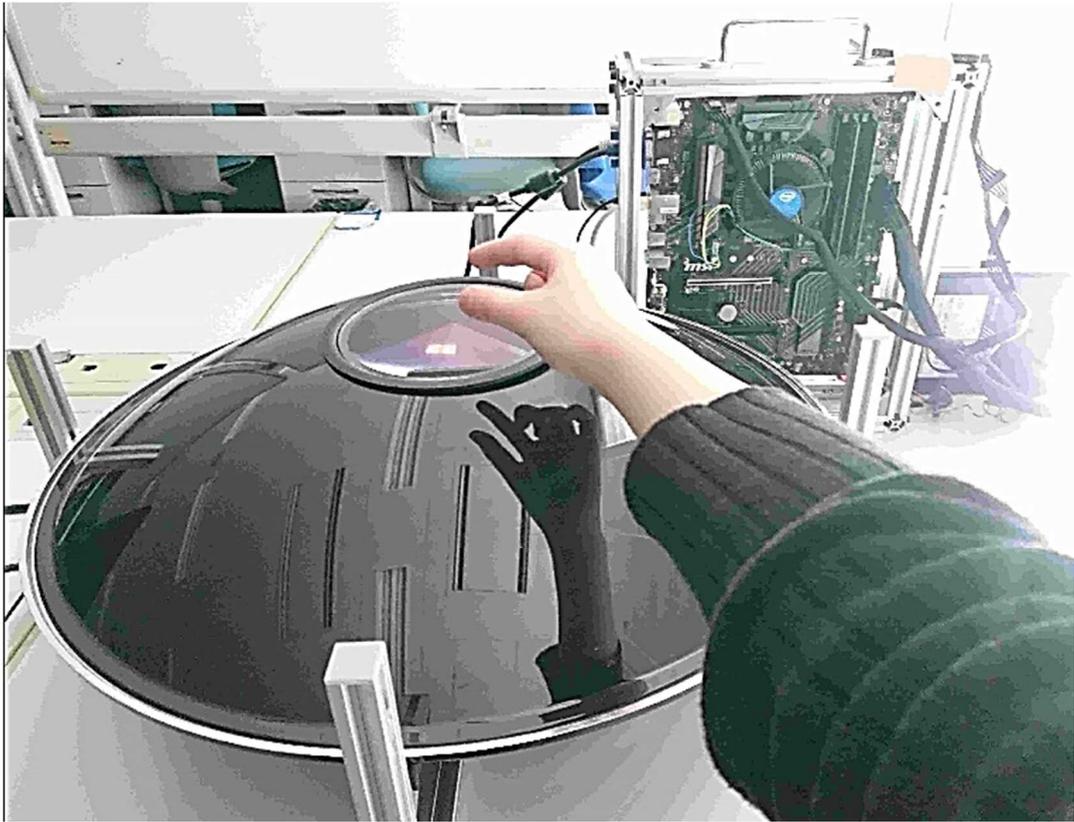
外形を形作る



内形を形作る



高さを縮める



ろくろ陶芸仮想体験システム

裸眼でさまざまな視点から（複数人でも同時に）見ることができるという利点があり，空中投影される3次元画像にユーザーが手指を直接重ね合わせて操作できるという設計思想が，ヒトとシステムのインタラクションに大きく貢献することが示され，自動車のセンターコンソールなどにも応用できる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Matsumaru Takafumi、Morikawa Ami	4. 巻 20
2. 論文標題 An Object Model and Interaction Method for a Simulated Experience of Pottery on a Potter's Wheel	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 3091～3091
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s20113091	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 Matsumaru Takafumi、Septiana Asyifa Imanda、Horiuchi Kazuki	4. 巻 31
2. 論文標題 Three-Dimensional Aerial Image Interface, 3DAII	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 657～670
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jrm.2019.p0657	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 Farid Ahmed、Matsumaru Takafumi	4. 巻 31
2. 論文標題 Path Planning in Outdoor Pedestrian Settings Using 2D Digital Maps	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 464～473
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jrm.2019.p0464	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 Zhu Chen、Matsumaru Takafumi	4. 巻 6
2. 論文標題 Image Processing for Picking Task of Random Ordered PET Drinking Bottles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Robotics, Networking and Artificial Life	6. 最初と最後の頁 38～38
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2991/jrnal.k.190531.008	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 Matsumaru Takafumi, Narita Masashi	4. 巻 21
2. 論文標題 Calligraphy-Stroke Learning Support System Using Projector and Motion Sensor	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics	6. 最初と最後の頁 697 ~ 708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jaciii.2017.p0697	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 Boby Riby Abraham, Prakash Ravi, Saha Subir Kumar, Matsumaru Takafumi, Sharma Pratyusha, Jaitly Siddhartha	4. 巻 14
2. 論文標題 Calibration and statistical techniques for building an interactive screen for learning of alphabets by children	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Advanced Robotic Systems	6. 最初と最後の頁 1 ~ 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/1729881417703939	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 該当する

1. 著者名 Chai Zheng, Matsumaru Takafumi	4. 巻 29
2. 論文標題 ORB-SHOT SLAM: Trajectory Correction by 3D Loop Closing Based on Bag-of-Visual-Words (BoVW) Model for RGB-D Visual SLAM	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 365 ~ 380
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2017.p0365	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 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Kaixiang Luan, Takafumi Matsumaru
2. 発表標題 Dynamic Hand Gesture Recognition for Robot Arm Teaching based on Improved LRCN Model
3. 学会等名 2019 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (IEEE Robio 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rajeevlochana G. Chittawadigi, Takafumi Matsumaru, Subir Kumar Saha
2. 発表標題 Intuitive Control of Virtual Robots using Transformed Objects as Multiple Viewports
3. 学会等名 2019 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (IEEE Robio 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chen Zhu, Takafumi Matsumaru
2. 発表標題 Brand Recognition with Partial Visible Image in the Bottle Random Picking Task based on Inception V3
3. 学会等名 IEEE Ro-Man 2019 (2019 28th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ahmed Farid, Takafumi Matsumaru
2. 発表標題 Pre-Robotic Navigation Identification of Pedestrian Crossings & Their Orientations
3. 学会等名 12th Conference on Field and Service Robotics (FSR 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森川亜美, 堀内一希, 松丸隆文
2. 発表標題 三次元空中画像インターフェースを用いた造形インタラクション 変形した物体の投影
3. 学会等名 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019 (ROBOMECH 2019 in Hiroshima)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chen Zhu, Takafumi Matsumaru
2. 発表標題 Image Processing for Picking Task of Random Ordered PET Drinking Bottles
3. 学会等名 The 2019 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀内一希, セプティアナ アシファイ マンダ, 松丸隆文
2. 発表標題 3次元空中ホログラフィック画像インターフェースを用いたリアルタイム遠隔投影
3. 学会等名 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会2018 (ROBOMECH 2018 in Kitakyushu), [北九州] (2018.6.2-5)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀内一希, 松丸隆文
2. 発表標題 手検出深度カメラを用いた近距離指先ポインティング
3. 学会等名 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会2018 (ROBOMECH 2018 in Kitakyushu), [北九州] (2018.6.2-5)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuki Horiuchi, Takafumi Matsumaru
2. 発表標題 Fingertip pointing interface by hand detection using Short range depth camera
3. 学会等名 ISIPS 2018 (12h International collaboration Symposium on Information, Production and Systems) [Kitakyushu, Japan], (14-16 November, 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chen Zhu, Takafumi Matsumaru
2. 発表標題 Image Segmentation and Brand Recognition in the Robot Picking Task
3. 学会等名 ISIPS 2018 (12h International collaboration Symposium on Information, Production and Systems) [Kitakyushu, Japan], (14-16 November, 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuki Horiuchi, Takafumi Matsumaru
2. 発表標題 Short Range Fingertip Pointing Operation Interface by Depth Camera    DOI: 10.1109/ROBIO.2018.8665254    INSPEC Accession Number: 18511742
3. 学会等名 2018 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (IEEE ROBIO 2018), [Kuala Lumpur, Malaysia], (December 12-15, 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Asyifa I. SEPTIANA, Mahfud JIONO, Takafumi MATSUMARU
2. 発表標題 Measuring Performance of Aerial Projection of 3D Hologram Object (3DHO)    DOI: 10.1109/ROBIO.2017.8324726
3. 学会等名 2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (IEEE-ROBIO 2017), [Macau SAR, China], (December 5-8, 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>早稲田大学情報生産システム研究科バイオ・ロボティクス&amp;ヒューマン・メカトロニクス研究室ホームページ  <a href="http://www.waseda.jp/sem-matsumaru/">http://www.waseda.jp/sem-matsumaru/</a>  早稲田大学大学院情報生産システム研究科松丸隆文教授 ホームページ  <a href="http://www.f.waseda.jp/matsumaru/">http://www.f.waseda.jp/matsumaru/</a>  早稲田大学バイオ・ロボティクス&amp;ヒューマン・メカトロニクス研究室YouTubeチャンネル  <a href="https://www.youtube.com/channel/UCfWTATH00QtLY_1kyICLmAw">https://www.youtube.com/channel/UCfWTATH00QtLY_1kyICLmAw</a></p>
---

## 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
--	---------------------------	-----------------------	----