

令和 6 年 10 月 14 日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2023

課題番号：18K12151

研究課題名(和文)生活環境内日用品をワンドラッグで把持可能な介護支援ロボット操作用インタフェース

研究課題名(英文)An interface for teaching an assistive robot to grasp everyday objects in the living environment with a single drag of a laser beam

研究代表者

岩城 敏(iwaki, satoshi)

広島市立大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：00453209

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：雑多な生活環境内に存在する様々な未登録・非定型物体を支援ロボットのグリッパに把持させるための教示方式を研究した。報告者は長年、パンチルトアクチュエータ上に搭載されたTOF (Time-of-flight) 型レーザーセンサをマウスで操作することで、ユーザーが実物体をレーザーポインタで「クリック」し、その操作内容を簡単・正確に伝えるための支援ロボット教示方式を研究してきた。本研究においては、物体表面上の把持すべき部位をユーザーがマウスで「ワンドラッグ」するだけで、ロボットグリッパの位置のみならず姿勢をも教示する方式を明らかにした。これにより、より高速高精度に教示することが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

健常者であれば少しの移動で手に取って利用できる日用品が、下肢の障害等で移動困難な要支援者には取得困難な状況がよく見受けられる。本研究ではこのような障害者を支援するために、物体の把持を行うためのロボット教示法を提供した。ユーザーは実世界クリッカーのレーザー光を操作して、物体表面上の把持すべき部位を「一回なぞる」だけで、ロボットグリッパの位置のみならず姿勢をも教示する方式を明らかにした。これにより、ただ鷺掴みするのではなく、物体の形状・重量などに応じた器用な把持が可能となる。

研究成果の概要(英文)：We propose a system in which users can intuitively instruct the robot gripper's positions and attitudes simply by tracing the object's grasp part surface with one stroke (one drag) of the laser beam. The proposed system makes use of the "Real World Clicker RWC" we have developed earlier, a system capable of obtaining with high accuracy the three-dimensional coordinate values of laser spots on a real object by mouse-operating the time of flight (TOF) laser sensor installed on the pan-tilt actuator. The gripper attitude is specified by selecting the left and right drag modes that correspond to the PC mouse's left and right click buttons. By doing so, we realize a grasping instruction interface where user can take into account various physical conditions for the objects, environments, and grippers. We experimentally evaluated the proposed system by measuring the grasping instruction time of multiple test subjects for various daily use items.

研究分野：ロボティクス

キーワード：生活支援 レーザポインタ パンチルトアクチュエータ 移動ロボット 物体把持

1. 研究開始当初の背景

生活・介護支援ロボットに最も期待される現実的作業の一つは物を掴んで運ぶことであるが、我々の日常生活空間は極めて雑多なため、未登録・非定型物体を安定に把持する作業の完全自動化は現状では極めて困難である。従って被介護者に残存する知能と技能を積極的に活用してロボットに動作教示する手法、即ち指示インターフェースが重要である。このような観点で筆者らはこれまで、パンチルトアクチュエータに搭載されたTOF型レーザセンサをマウスで駆動することで、実物体をクリックし、ロボットへ様々な命令を生成可能なインターフェースを開発して来た(図1) [1-4]。ユーザはPCマウスでレーザビーム方向を操作し実物体をクリック(レーザスポットの3D座標値の取得)する。このインターフェースにより、PCアイコンと実物体との間さらには2つの実物体間でのドラッグ&ドロップ操作が可能となり、一例として、ゴミを現実のゴミ箱にドラッグ&ドロップすることで、支援ロボットによるゴミ捨て作業が可能であった。しかしながら従来方式では、ロボットアーム先端のグリッパの位置は教示できるが姿勢が教示出来ないの、物体把持に失敗するケースがしばしば見受けられた。

2. 研究の目的

本研究では、従来の実世界クリッカー操作方式を拡張して、グリッパ位置のみならず姿勢も直感的に教示可能な方式を提案しその効果を実証することである。ここで実世界クリックとは、レーザスポット3D位置をパン角・チルト角・レーザビーム長からワールド座標系で計測することを意味し、その精度は約5m先で5mm程度の分解能を有する。本研究では実世界クリックのみならず実世界ドラッグを新たに導入・開発することで上述の問題を解決する。具体的には、PCマウスボタンを押しながらマウスを移動することで、レーザスポット位置の連続計測、すなわち把持部位表面のレーザ光軌跡を取得して把持点と把持姿勢の決定に利用する。ここでは手数の最少化を狙い、1回のドラッグ(一筆書き)のみでこれらを実現する手法を明らかにすることとした。

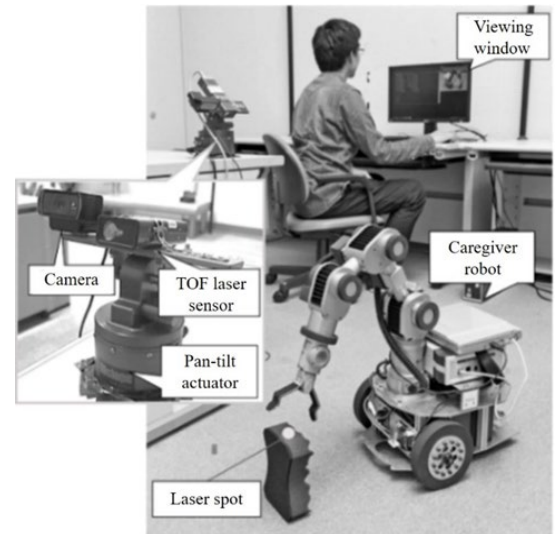


図1 実世界クリッカーと支援ロボット

3. 研究の方法

3.1. 本研究のアプローチ

人間は指で物体を把持する際、サイズ・形状・姿勢・重量・摩擦・剛性等の物体の物理特性のみならず、周辺環境や把持後に行うべき操作等を総合的に考慮して、どこをどのように掴めば良いかを瞬時に判断できる。すなわち、全体形状から把持すべき箇所(把持部位)に着目し、その部位内の望ましい把持点と把持姿勢を決めている。本研究ではこのような人間の優れた能力を基に、実世界クリッカーが有するドラッグ操作機能を活用して、把持操作をロボットにできるだけ簡単に教える方法を考える。ここでは手数の最少化を狙い、1回のドラッグ(一筆書き)のみでこれらを実現することを基本アプローチとする。さらには、PCマウスの左右クリックボタンを選択的に活用することで、物体の置かれた環境や把持部位形状に応じた望ましい物体接近方向を指定する方法を検討する。

本研究で扱うシステムの要素とそれぞれの座標系を図2に示す。実世界クリッカーの土台にシステム全体の世界座標系 Σ_{PT} を設置する。移動ロボット上にロボット座標系 Σ_R を設置し、それは同時にロボットマニピュレータのベース座標系と一致する。マニピュレータ手先にロボットハンドとして2指の開閉グリッパが設置されている。グリッパ把持部

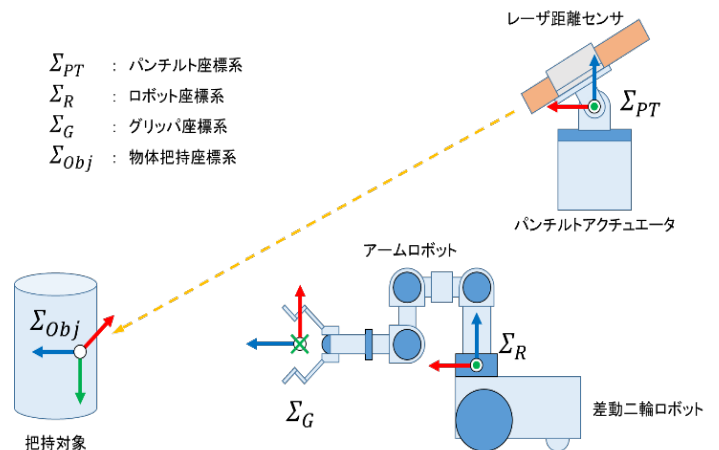


図2 実験システムの要素と座標系

中心を原点とし、手首延長線上進行方向を \mathbf{z}_G 、両指が構成する平面上に存在し \mathbf{z}_G と垂直な座標軸を $\mathbf{x}_G, \mathbf{y}_G = \mathbf{z}_G \times \mathbf{x}_G$ とするグリッパ座標系 Σ_G を定義する。グリッパが物体を把持する際の目標として、物体把持座標系 Σ_{Obj} を物体に固定する。この Σ_{Obj} に対して、グリッパ座標系 Σ_G を \mathbf{z}_G 方向に接近させ両者が一致した時にグリッパを閉じることで把持が実行される。

3.2. 把持点の決定法

ユーザは自分で決めた把持部位近傍を目視しながら、物体表面上を実世界クリッカーのレーザーでワンドラッグ（一筆書）する。ドラッグで得られた点群データをノイズや外れ値等の除去の後、最小二乗法等で平面近似しその平面に全てのデータを射影する。レーザードラッグした軌跡を把持部位輪郭曲線、ドラッグ始点から終点までのベクトルを始点終点ベクトル、始点終点ベクトルと把持部位輪郭線とで構成される閉領域を把持部位平面領域と呼ぶことにする（図3）。把持部位平面領域の重心を物体把持点 G_p とし、この G_p を物体把持座標系 Σ_{Obj} の原点とする。

3.3. 把持姿勢の決定法

本報告ではこれ以降、実世界クリッカーはユーザ頭部近傍に置かれており、ユーザ視線とレーザービームラインはほぼ一致することを前提にする。この時、ユーザから物体を見た際の物体へのグリッパ接近方向に関して、PCマウスの左右クリックボタン選択に応じた以下の2つの方式を提案する。

ユーザから見て正面方向から物体を把持したい場合、グリッパをレーザー進行方向で接近すれば良いので、レーザービームライン進行方向とグリッパ接近方向 \mathbf{z}_G とをほぼ一致させる。PCマウスの右ボタンを押しながらドラッグするので、これを右ドラッグモードと呼ぶ。一方、物体正面からよりも側面の左右上下からの方が把持しやすい場合、始点終点ベクトルとグリッパ接近方向 \mathbf{z}_G とを一致させる。PCマウスの左ボタンを押しながらドラッグするので、これを左ドラッグモードと呼ぶ。

3.4. 実証実験

提案手法の妥当性を確認するための実験を実施した。本実験の目的は、日用品把持用支援ロボットシステムとしての初期性能評価を行うことである。把持対象物体を図6に示す。把持物体は、移動ロボットから約50cm離れた位置に約22cmの高さの木のテーブルに置かれた。なお物体把持の成否は、グリッパを閉じた後そのまま垂直に高さ約40cmまで物体を持ち上げることができた場合を把持成功と定義した。なお実験の詳細は論文成果を参照されたい。

3.5. 実験概要

図6に示す12種類の物体全てに対して教示・把持に挑戦した。図6に、A~Fは右ドラッグ（レーザー進行方向）、G~Lは左ドラッグ（ドラッグ始点終点ベクトル方向）を用いた場合のレーザードラッグ始点・終点・軌跡を、模式的に写真上に重畳し図示した。結果としてL以外全てに把持に成功した。物体毎に教示戦略を決定した思考過程と考察を以下に述べる。

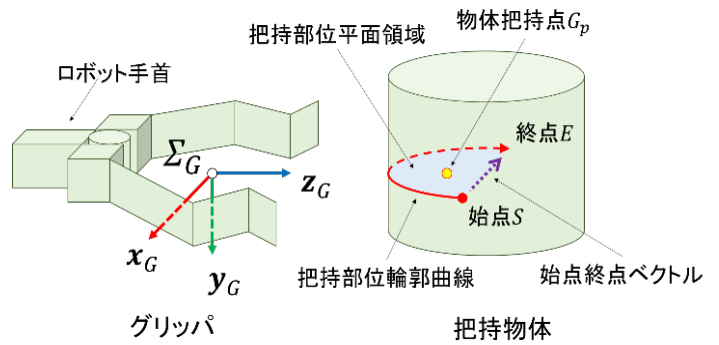


図3 グリッパ座標系と把持対象との関係

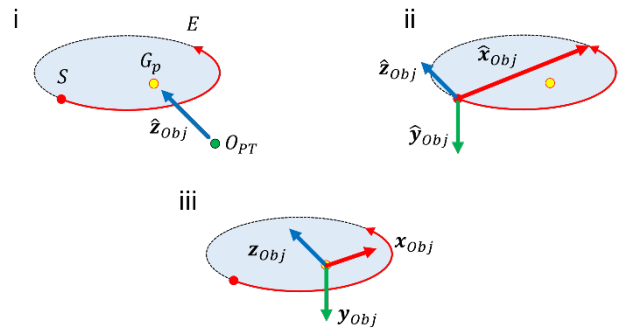


図4 把持位置姿勢計算過程（右ドラッグ）

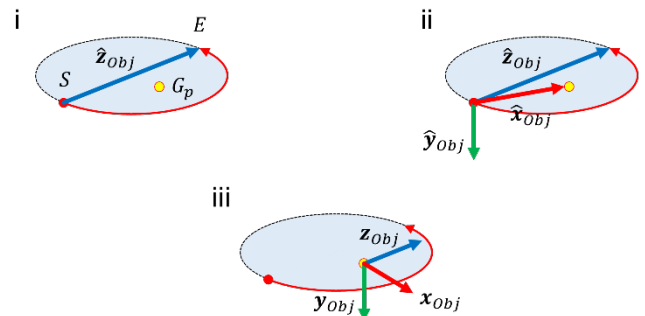


図5 把持位置姿勢計算過程（左ドラッグ）

3.6. 結果と考察

Aのコーヒーカップでは複雑な把手部を避けてカップ胴体面に対して、右ドラッグで容易に安定把持可能な教示に成功した。把手部位の把持にも挑戦したが、その部位は表面積が小さく奥行き方向の把持部位輪郭曲線の安定な計測が困難であったため成功には至らなかった。

Bのけん玉・Cのペットボトル・Dのトイレットペーパー・Eのぬいぐるみにおいては、Aと同様に大まかには鉛直円柱状物体として捉え右ドラッグで容易に教示・把持に成功した。Bは把手の比較的直径が大きい部分を狙うことで、有効面積の大きな把持部位平面領域を得た。Eでは、人形の首回りが安定して掴みやすいと判断してそこをドラッグした。

Fのプラスチック皿（右ドラッグ）はA~Eの物体とは異なり、物体が土台からはみ出していること、さらには物体直径がグリッパ開閉可能幅を超えることを目で見えて判断し、皿の縁をレーザ進行方向から把持する戦略を取った。皿の縁は丸みを帯びていることに着目し、ほぼ鉛直な把持部位平面領域を獲得することで、 $x_G z_G$ 平面をほぼ鉛直に回転させることができた。

Gのスポンジ（左ドラッグ）においては、グリッパ開閉可能幅を考慮して、直方体の薄い側面を水平から狙う戦略とした。スポンジの高い柔軟性に着目し、同じドラッグ軌跡の右ドラッグモードでも、物体を潰しながらの把持も可能であった。

Hのガムテープ（左ドラッグ）では円柱空洞直径がグリッパの片方よりも大きいので挿入可能だと見込み、テープ残量厚みを利用して把持部位平面領域を獲得した。

Iのメジャーにおいては厚みの薄い面を狙い左ドラッグとしたが、グリッパ開閉可能幅と比べてサイズが小さく把持点 G_p に対して大きな驚掴みが可能であり、右ドラッグでも把持に成功した。

Jのラップ容器（左ドラッグ）ではF同様、土台から水平方向にはみ出していることに着目し、物体長手方向から水平に接近する戦略を取った。そのためラップ箱上面上で、ドラッグ軌跡に意図的なふくらみを持たせることで、水平の把持部位平面領域を作った。他にもラップ先端部を横から左ドラッグし、L字形の軌跡でも把持に成功した。

Kの食品袋（左ドラッグ）においては上方から驚掴みすることを狙い、ドラッグ始点から終点を鉛直方向下向きに教示した。

Lのコントローラ（左ドラッグ）は唯一どうしても成功しなかった例である。その原因としてはグリッパ先端部分が土台に接触しロボットが緊急停止したことである。このような場合、グリッパに力センサを搭載して外界との接触に機械的柔軟性を与えると共に、物体把持点 G_p の位置を変更することで解決できると考えられる。

4. 研究成果

従来の実世界クリッカーによる物体把持教示方式を拡張して、レーザのワンドラッグにより物体把持点のみならず把持姿勢も直感的に教示可能な方式を提案した。多種多様な日用品に対する教示・把持実験により、本手法の基本的妥当性を確認した。また、複数の被検者による実験でその教示時間と把持成功率を計測することで、教示方式としてのユーザビリティと現行実験システムの把持性能を評価した。本研究の成果により、生活支援ロボットに対する日用品物体把持の教示技術が一步前進した。

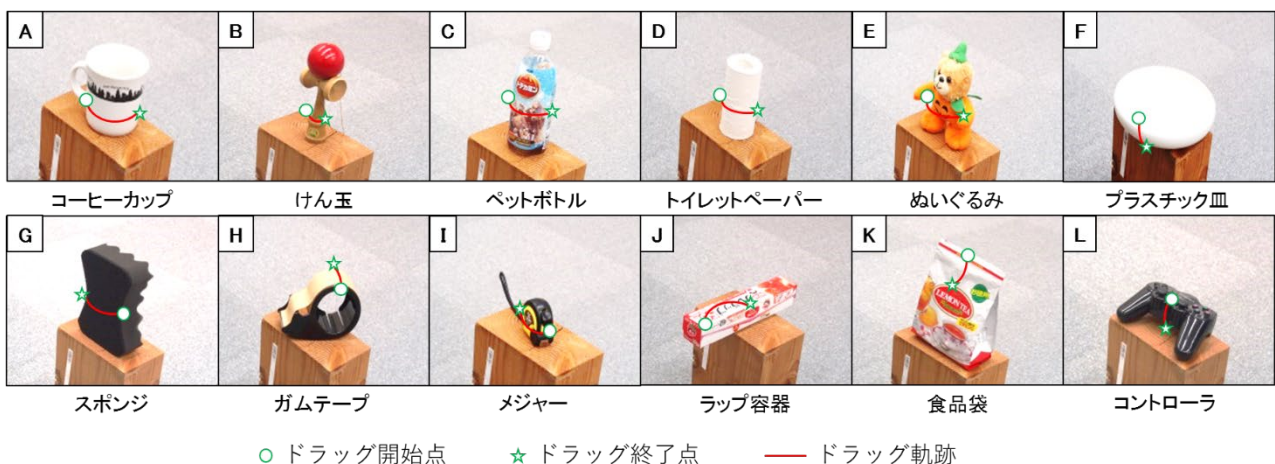


図6 把持対象日用品とレーザドラッグ軌跡（A~F：右ドラッグ，G~L：左ドラッグ）

参考文献：

- [1] Y. Abiko, S. Nakasako, Y. Hidaka, S. Iwaki, K. Taniguchi : Linkage of Virtual Object and Physical Object for Teaching to Caregiver-Robot. International Conference on Artificial Reality and Telexistence 2014, 10.2312/ve.20141373, (Dec. 2014)
- [2] Yuuki ABIKO, Yuta HIDAHA and Satoshi IWAKI, "Fundamental Study on Head-motion Pointing System for Seamless Access to Objects in both PC and Real World," Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers, vol. 52, no. 2, pp. 77-85, 2016.
- [3] Yuuki ABIKO, Yuta HIDAHA, Kenjiro SATO, Satoshi IWAKI and Tetsushi IKEDA, "Real World Click with a TOF Laser Sensor Set on a Pan-tilt Actuator and Its Application for Teaching a Life Support Robot," Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers, vol. 52, no. 11, pp. 614-624, 2016.
- [4] Kenjiro Sato, Yuta Hidaka, Satoshi Iwaki and Tetsushi Ikeda, "Pointing Performance Improvement of Real World Clicker System with a TOF Laser Sensor Set on a Pan-tilt Actuator —Proposal of Laser Spot Marker in the Viewing Window—," Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers, Vol.54, No.2, pp. 290-297, 2018.
- [5] Q. Bai, S. Li, J. Yang, Q. Song, Z. Li and X. Zhang, "Object Detection Recognition and Robot Grasping Based on Machine Learning: A Survey," in IEEE Access, vol. 8, pp. 181855-181879, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3028740.
- [6] Jun Hatori, Yuta Kikuchi, Sosuke Kobayashi, Kuniyuki Takahashi, Yuta Tsuboi, Yuya Unno, Wilson Ko, Jethro Tan, "Interactively Picking Real-World Objects with Unconstrained Spoken Language Instructions, " Proceedings of International Conference on Robotics and Automation (ICRA2018), 2018.
- [7] Sergey Levine, Peter Pastor, Alex Krizhevsky, Julian Ibarz and Deirdre Quillen : Learning hand-eye coordination for robotic grasping with deep learning and large-scale data collection. The International Journal of Robotics Research 2018, Vol. 37(4-5) 421-436
- [8] H. O. Song, M. Fritz, D. Goehring, and T. Darrell, "Learning to detect visual grasp affordance," IEEE Trans. Autom. Sci. Eng., vol. 13, no. 2, pp. 798-809, Apr. 2016.
- [9] V. Satish, J. Mahler and K. Goldberg, "On-Policy Dataset Synthesis for Learning Robot Grasping Policies Using Fully Convolutional Deep Networks," in IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 4, no. 2, pp. 1357-1364, April 2019, doi: 10.1109/LRA.2019.2895878.
- [10] Y. Chao, X. Chen, and N. Xiao, "Deep learning-based grasp-detection method for a five-fingered industrial robot hand," IET Comput. Vis., vol. 13, no. 1, pp. 61-70, Feb. 2019.
- [11] Y. Xu, L. Wang, A. Yang, and L. Chen, "GraspCNN: Real-time grasp detection using a new oriented diameter circle representation," IEEE Access, vol. 7, pp. 159322-159331, 2019
- [12] C. M. o. Valente, A. Schammas, A. F. R. Araujo, and G. A. P. Caurin, "Intelligent Grasping Using Neural Modules," in Proc. IEEE Int. Conf. Syst., Man, Cybern. Tokyo, Japan: IEEE, Oct. 1999, pp. 780-785.
- [13] Charles C. Kemp, Cressel D. Anderson, Hai Nguyen, Alexander J. Trevor, and Zhe Xu : A Point-and-Click Interface for the Real World: Laser Designation of Objects for Mobile Manipulation, In Proc.HRI 2008, 241/248(2008)
- [14] Nguyen, H., Jain, A., Anderson, C., Kemp, C.C.: A Clickable World: Behavior Selection Through Pointing and Context for Mobile Manipulation. IEEE/RJS International Conference on Intelligent Robots and Systems, 787/793(2008)
- [15] Kentaro Ishii, Shengdong Zhao, Masahiko Inami, Takeo Igarashi, Michita Imai.: Designing Laser Gesture Interface for Robot Control, Proceedings of the 12th IFIP Conference on Human-Computer Interaction, INTERACT2009,479/492 (2009)
- [16] G. Hirzinger, "The space and telerobotic concepts of the DFVLR ROTEX," Proceedings. 1987 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Raleigh, NC, USA, 1987, pp. 443-449, doi: 10.1109/ROBOT.1987.1088041.
- [17] Toshitake NUNOGAKI and LEE Joo-Ho, "Graspable area presentation by monocular camera based simple modeling for supporting manipulator teleoperation(Cooperation between Human and Machine)," The Robotics and Mechatronics Conference 2013 in Tsukuba, 2A1-F03, 2013.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

| | |
|---|----------------------|
| 1. 著者名 SAKAMOTO Shinichiro, NOGUCHI Keigo, IWAKI Satoshi | 4. 巻 60 |
| 2. 論文標題 Real World Clicker Operation Method with a Smartphone | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers | 6. 最初と最後の頁 93~100 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.9746/sicetr.60.93 | 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 Shintani Momonosuke, Fukui Yuta, Morioka Kosuke, Ishihata Kenji, Iwaki Satoshi, Ikeda Tetsushi, L?th Tim C., Hiroshima City University 3-4-1 Ozukahigashi, Asaminami, Hiroshima, Hiroshima 731-3194, Japan, Technical University of Munich (TUM) Boltzmannstrasse 15, Garching 85748, Germany | 4. 巻 33 |
| 2. 論文標題 Object Grasping Instructions to Support Robot by Laser Beam One Drag Operations | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics | 6. 最初と最後の頁 756~767 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jrm.2021.p0756 | 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 |

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Shin-ichiro Sakamoto, Keigo Noguchi, Satoshi Iwaki |
| 2. 発表標題 Performance Evaluation of Real World Clicker Fine-tuning Operation Method Based on Manipulability of a Robot Arm |
| 3. 学会等名 IUTAM SYMPOSIUM ON OPTIMAL GUIDANCE AND CONTROL FOR AUTONOMOUS SYSTEMS (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Keigo Noguchi, Shin-ichiro Sakamoto, Satoshi Iwaki |
| 2. 発表標題 Mobile Robot Guidance Method Using Laser Spots Irradiated on the Floor from Real World Clicker and its Application for Object Grasping System |
| 3. 学会等名 IUTAM SYMPOSIUM ON OPTIMAL GUIDANCE AND CONTROL FOR AUTONOMOUS SYSTEMS (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 S.Sakamoto, Noguchi, iwaki |
| 2. 発表標題 Proposal and Performance Evaluation of Real World Clicker Manipulation Method by a Smartphone |
| 3. 学会等名 28th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 28th 2023) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 坂本、野口、岩城 |
| 2. 発表標題 スマートフォンによる実世界クリッカー操作方式の提案と性能評価 |
| 3. 学会等名 第21回日本生活支援工学会大会(LIFE2022) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 坂本、野口、岩城 |
| 2. 発表標題 可操作性に基づく実世界クリッカー微調整操作方式 |
| 3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

| | | |
|---|-------------------|---------------|
| 産業財産権の名称 実世界ポインティングシステムおよび実世界ポインティング方法 | 発明者 岩城, 坂本, 野口 | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-170902 | 出願年 2022年 | 国内・外国の別 国内 |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

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 | 池田 徹志 (ikedatetsushi) (50397618) | 広島市立大学・情報科学研究科・准教授 (25403) | |

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 | | |
|---------|-----------|-------|-----------------|
| ドイツ | ミュンヘン工科大学 | MiMed | Prof. Tim Lueth |