



## 2022 年度 前田研究室 紹介

国立大学法人 横浜国立大学

大学院工学研究院 システムの創生部門

／大学院理工学府 機械・材料・海洋系工学専攻 機械工学教育分野

／大学院先進実践学環

／理工学部 機械・材料・海洋系学科 機械工学教育プログラム

前田研究室

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5

機械工学・材料棟 (N6-5) 603 室 (教員室) / 610 室 (研究室)

Tel/Fax 045-339-3918 (教員室) / 045-339-3894 (研究室)

maeda @ ynu.ac.jp

<https://iir.ynu.ac.jp/>



### 2022 年度メンバ

- 教授 前田 雄介 (大学院工学研究院 システムの創生部門)
- 博士課程後期 (大学院理工学府 機械・材料・海洋系工学専攻 機械工学教育分野)
  - 高橋 怜子 (学振特別研究員)
- 博士課程前期 (大学院理工学府 機械・材料・海洋系工学専攻 機械工学教育分野 / 大学院先進実践学環)
  - 坂田 誠智
  - 須賀 明英
  - 鈴木 成也
  - 高橋 健太
  - 中西 佑太
  - 田原 芳基
  - 上久木田 治毅
  - 榊 健汰
  - 生野 瑞希
  - 松井 一真
  - Pedro SAMAN
- 学部生 (理工学部 機械・材料・海洋系学科 機械工学 EP)
  - 遠藤 史野
  - 佐藤 璃音
  - 高橋 尚也
  - 三上 昇悟

## SLAM 統合機構キャリブレーション (SKCLAM)

移動ロボットに用いられる SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術を固定マニピュレータに適用することで、マニピュレータの周囲環境の地図を作成すると同時に、運動学パラメータのキャリブレーションを行うことが可能になる。我々はこれを SKCLAM (Simultaneous Kinematic Calibration, Localization and Mapping) と称して研究を行っている。マニピュレータ手先に搭載した RGB-D カメラ (Fig. 1) を利用して、地図作成と機構キャリブレーションが可能であることを仮想環境 (Fig. 2) や実環境 (Fig. 3) で確認している [1][2]。また、全天球カメラやステレオカメラを使う手法についても検討を行っている [3][4]。

### 参考文献

- [1] J. Li, A. Ito, H. Yaguchi and Y. Maeda: Simultaneous kinematic calibration, localization, and mapping (SKCLAM) for industrial robot manipulators, *Advanced Robotics*, Vol. 33, No. 23, pp. 1225–1234, 2019.
- [2] 伊藤 聡利, 李 景輝, 前田 雄介: 産業用マニピュレータのための SLAM 統合機構キャリブレーション (SKCLAM) におけるチェッカーボードを用いた高精度化, *日本機械学会論文集*, Vol. 86, No. 891, 20-00028, 2020.
- [3] 田中 靖章, 李 景輝, 伊藤 聡利, 前田雄介: 産業用マニピュレータのための全天球カメラを用いた SLAM 統合機構キャリブレーション, *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020 (ROBOMECH 2020) 講演論文集*, 2P2-B05, 2020.
- [4] 長友 雄太朗, 李 景輝, 田中 靖章, 前田雄介: 産業用ロボットのためのステレオカメラを用いた SLAM 統合機構キャリブレーション, *日本機械学会生産システム部門研究発表講演会 2021 講演論文集*, pp. 77–78, 2021.

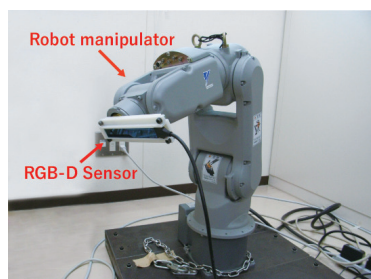


Fig. 1 Manipulator Equipped with an RGB-D Camera

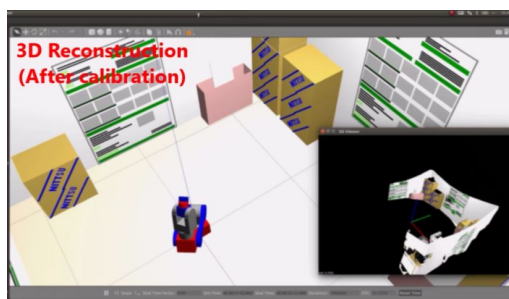


Fig. 2 SKCLAM in Virtual Environment

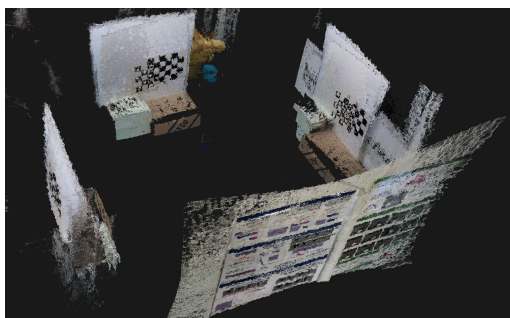


Fig. 3 Example of an Obtained 3D Map

## ロボットの教示

産業用ロボットは世界中で広く用いられており、今後もますますその活躍範囲を広げていくことが求められている。現状のロボットでは、その行うべき動作を人間が教示しなければならないが、近年のロボットの高性能化・多機能化にともなって、その手間はますます増大している。そこで本研究室では、ロボットの教示の手間を減らすための研究を行っている。

**空間掃引を利用したロボット教示** ダイレクトティーチの要領でロボットをさまざまに動かすことでロボット周辺の情報を獲得させるとともに、動作計画アルゴリズムによってロボットの軌道を生成する。これによって、非熟練者でも、容易に品質の高い教示を行うことを可能にする [1][2][3] (Fig. 4)。

**ロボット教示の支援技術** AR (拡張現実) を利用して、ロボットの可動範囲など、オンライン教示に有用な情報を現実と重畳して表示することで、教示者を支援する手法を開発している [4] (Fig. 5)。また、ロボットにより組み立てられる製品の仕様変更があった場合の再教示を支援するために、教示点の事後的移動とそれに伴う動作の自動生成を実現するシステムの提案も行っている [5]。

## 参考文献

- [1] 前田 雄介, 潮田 達也: 空間掃引を用いた産業用マニピュレータの教示, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 74, No. 737, pp. 115–120, 2008.
- [2] S. Ishii and Y. Maeda: Programming of Robots Based on Online Computation of Their Swept Volumes, Proc. of 23rd IEEE Int. Symp. on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2014), pp. 385–390, 2014.
- [3] Y. Sarai and Y. Maeda: Robot Programming for Manipulators through Volume Sweeping and Augmented Reality, Proc. of 13th IEEE Conf. on Automation Science and Engineering (CASE 2017), pp. 302–307, 2017.
- [4] 高橋 健太, 前田雄介: 光学透過型 AR デバイスを用いたロボット向けオンライン教示支援システムの実装と評価, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021 (ROBOMECH 2021) 講演論文集, 2P3-A02, 2021.
- [5] 井原 廣幸, 前田 雄介: 教示点移動と動作計画機能により製品の仕様変更に対応可能なロボット教示システム, 第 22 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2021) 講演論文集, pp. 3263–3267, 2021.

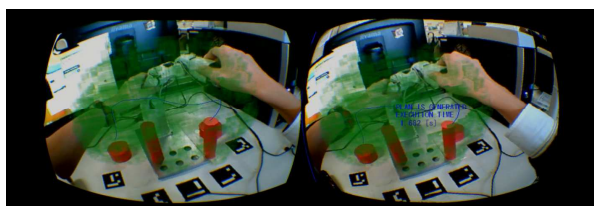


Fig. 4 AR Display of Swept Volume and Planned Path



Fig. 5 AR Display of Movable Area with Fixed Gripper Pose

## ビューベースト教示再生

カメラ画像に基づく教示再生手法により、教示時と多少条件が変わっても作業が行えるようにするための手法 (Fig. 6) を開発している [1][2]. ビューベースト画像処理を用いた end-to-end 学習により、対象物のモデルやカメラキャリブレーションを必要としないという特徴がある. 距離画像の利用 (Fig. 7) やオクルージョン対策の導入により、ロバストな教示の実現を図っている [3]. さらに、光弾性を用いた力情報の可視化 (Fig. 8) を利用して、力制御タスクへの適用を開始している [4]. また深層学習技術の導入も行っている [5].

### 参考文献

- [1] Y. Maeda and T. Nakamura: View-based teaching/playback for robotic manipulation, ROBOMECH J., Vol. 2, 2, 2015.
- [2] 森山 祐樹, 前田 雄介: 産業用ロボットによるマニピュレーションのためのビューベースト教示再生, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 79, No. 806, pp. 3597–3608, 2013.
- [3] Y. Maeda and Y. Saito: Lighting- and Occlusion-robust View-based Teaching/Playback for Model-free Robot Programming, W. Chen et al. eds., Intelligent Autonomous Systems 14, pp. 939–952, Springer, 2017.
- [4] 中川 義教, 石井 聡一, 前田 雄介: 光弾性を用いた力情報可視化に基づくビューベースト教示再生—倣い作業への適用—, 計測自動制御学会論文集, Vol. 54, No. 5, pp. 476–482, 2018.
- [5] 藤浦 圭一, 前田 雄介: Autoencoder を用いたビューベースト教示再生, 第 23 回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 51–52, 2018.

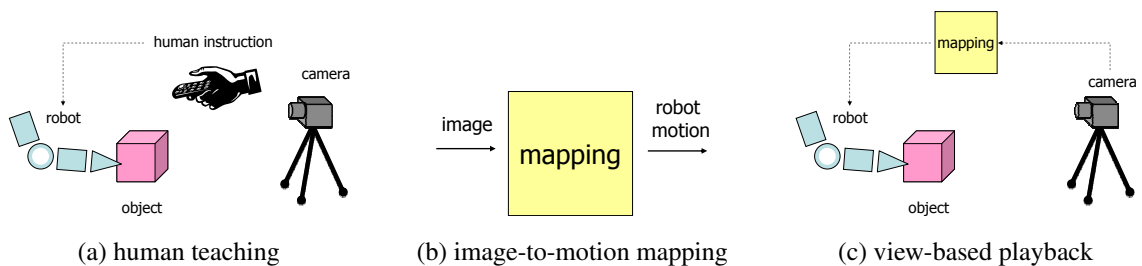


Fig. 6 Outline of View-Based Teaching/Playback

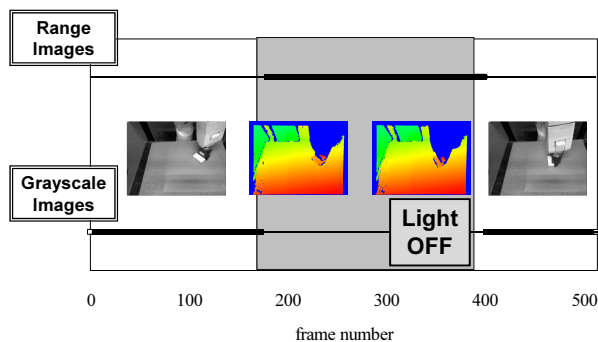


Fig. 7 Switching between Grayscale and Range Images for View-Based Teaching/Playback

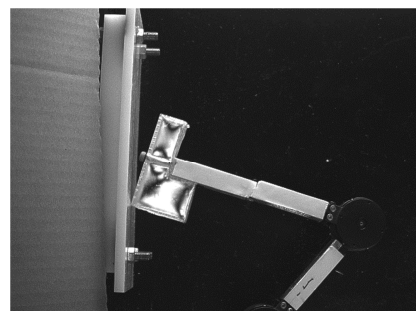


Fig. 8 View-based Teaching/Playback with Photoelasticity

## ケーシングとケーシングベースト把持

**多指ハンドによる三次元ケーシング** ケーシング (caging) とは、移動ロボットやロボットの指で、物体をある閉じた領域に幾何学的に拘束し、その外には脱出できなくする物体拘束手法である。本研究室では、三次元多指ケーシング (Fig. 9) の研究を行っている。ケーシングは位置制御によって実現できるため現在のロボットハンドと親和性が高く、ロボットマニピュレーションのレパートリーを増やすという点で有効であると考えられる。現在、ケーシング成立のための条件の導出や、それを利用したケーシングのための指姿勢の自動計画手法の開発 [1], 実機による検証 [2] (Fig. 10) を行っている。

**ケーシングベースト把持** ケーシングの利点を活かしつつ、物体を把持する手法として、「ケーシングベースト把持」を提案している。この方法では、剛体部とその外側の柔軟部でロボット指を構成し、剛体部によって対象物をケーシングした上で、柔軟部の作用により把持を完成させる。これにより、力センシング・力制御なしでの物体把持を実現できる。我々は、このケーシングベースト把持を定式化し、把持を完成させるための条件の導出を行っている。また、各種ハンドによるケーシングベースト把持 (Fig. 11) を実機により実現している [3][4]。対象物が変形可能物体である場合に対する拡張 (Fig. 12) も行っている [5][6]。

### 参考文献

- [1] 榎田 諭, 渡邊 匠, 前田 雄介: 三次元多指ケーシングの十分条件の導出—対称ハンドによる四種類の単純形状物体の拘束—, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 5, pp. 599–605, 2010.
- [2] S. Makita, K. Okita and Y. Maeda: 3D Two-Fingered Caging for Two Types of Objects: Sufficient Conditions and Planning, Int. J. of Mechatronics and Automation, Vol. 3, No. 4, pp. 263–277, 2013.
- [3] Y. Maeda, N. Kodera and T. Egawa: Caging-Based Grasping by a Robot Hand with Rigid and Soft Parts, Proc. of 2012 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA 2012), pp. 5150–5155, 2012.
- [4] T. Egawa, Y. Maeda and H. Tsuruga: Two- and Three-dimensional Caging-Based Grasping of Objects of Various Shapes with Circular Robots and Multi-Fingered Hands, Proc. of 41st Ann. Conf. of IEEE Industrial Electronics Soc. (IECON 2015), pp. 643–648, 2015.
- [5] D. Kim, Y. Maeda and S. Komiyama: Caging-based Grasping of Deformable Objects for Geometry-based Robotic Manipulation, ROBOMECH J., Vol. 6, 3, 2019.
- [6] 込山 隼, 金 ダベ, 前田 雄介: パウチ状物体を含む変形可能物体のケーシングベースト把持, 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) 講演論文集, 2A2-G08, 2019.

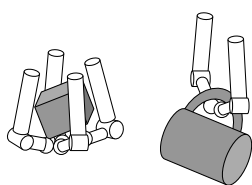


Fig. 9 3D Multifingered Caging



Fig. 10 Caging of a Sphere



Fig. 11 Caging-based Grasping by a Multifingered Hand



Fig. 12 Caging-based Grasping of a Deformable Object



## ケーシングマニピュレーション

物体が逃げられないように幾何学的に拘束するケーシングの状態を利用して物体をあやつることを、ここでは「ケーシングマニピュレーション」と呼ぶことにする。

**In-Hand ケーシングマニピュレーション** 物体をケーシングの状態に保ったまま、ハンドのコンフィギュレーションを変化させることで、ハンドの中で物体の位置・姿勢を変化させることができる。これを我々は「In-Hand ケーシングマニピュレーション」と呼んでいる。この方法には、物体のセンシングをせずに位置制御でロバストな In-Hand マニピュレーションが実現できるというメリットがあり、マニピュレーション計画アルゴリズムの開発、汎用パーツフィーダへの応用 (Fig. 13) などを行っている [1][2][3][4]。

**協調ケーシングマニピュレーション** ケーシングでは物体の自由度を完全には拘束しないことを利用すると、位置制御ベースの協調マニピュレーションにおいても、対象物に対する過大な内力の発生を回避することが可能になる。そこで、ケーシング（もしくはケーシングベースト把持）を利用した長尺物の双腕協調搬送の研究 (Fig. 14) を行っている [5]。力制御を必要とせず、エンドエフェクタを変えることで多様な物体のハンドリングが可能となる。

## 参考文献

- [1] 倉田 優里, 前田 雄介: 二次元 In-Hand ケーシングマニピュレーションの分類と検証, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 (ROBOMECH 2014) 講演論文集, 3P1-R04, 2014.
- [2] Y. Maeda and T. Asamura: Sensorless In-hand Caging Manipulation, W. Chen et al. eds., Intelligent Autonomous Systems 14, pp. 255–267, Springer, 2017.
- [3] S. Komiyama and Y. Maeda: Position and Orientation Control of Polygonal Objects by Sensorless In-hand Caging Manipulation, Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA 2021), pp. 6244–6249, 2021.
- [4] 上久木田 治毅, 中西 佑太, 前田 雄介: センサレス in-hand ケーシングマニピュレーションによる汎用パーツフィーダの実現, 第 22 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2021) 講演論文集, pp. 3246–3248, 2021.
- [5] 平木 友香里, 前田雄介: ケーシングを利用した力制御を要しない双腕協調搬送, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020 (ROBOMECH 2020) 講演論文集, 2A1-M05, 2020.

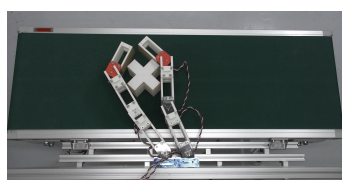
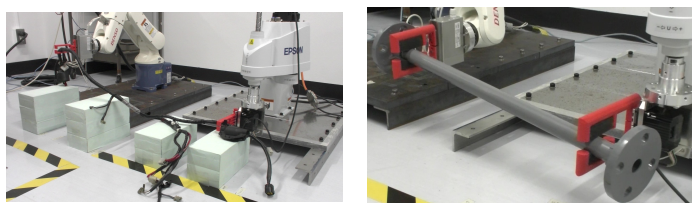


Fig. 13 A Versatile Part Feeder with In-Hand Caging Manipulation



(a) wire harness (b) long pipe  
Fig. 14 Dual-arm Cooperative Manipulation with Caging

## ロボットによる多様な物体のハンドリング・組立技術

**画像処理に基づく物体のピッキング** バラ積みされた物体を一つずつロボットで把持するビンピッキングの技術は、パーツフィーダの利用などと比べると汎用性が高く、少量生産における部品供給手法として有効である。本研究室では巻ばねに特化した認識・位置姿勢計測手法を開発し、それを用いてビンピッキングを可能にした (Fig. 15) [1]。他に、衝撃を与えて物体に動きを与え、特徴点追跡によって未知物体を検出・ピッキングする手法も開発している (Fig. 16) [2]。

**3D ブロックプリンティング** ブロック玩具をロボットで自動で組み立てて CAD モデルの形状を生成できる、一種の 3D プリンタの開発を行っている [3][4][5]。このシステムでは、CAD モデルを自動でブロックモデルに変換し、さらにそのブロックモデルをロボットで組み立てるための手順を自動決定する。そして、ロボットがそれにしたがってブロック玩具を組み立てることによって、形状生成を実現している (Fig. 17)。

### 参考文献

- [1] 小野 桂太郎, 小川 卓哉, 前田 雄介, 中谷 茂樹, 永安 剛, 清水 領, 大内 規高: ステレオビジョンを用いた巻ばねの認識とビンピッキング, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 79, No. 804, pp. 2769–2779, 2013.
- [2] 敦賀 秀樹, 本田 紘之, 前田 雄介, 廣野 翔大: ピッキングのための衝撃を利用した未知物体能動的検出, 計測自動制御学会論文集, Vol. 54, No. 5, pp. 501–507, 2018.
- [3] Y. Maeda, O. Nakano, T. Maekawa and S. Maruo: From CAD Models to Toy Brick Sculptures: A 3D Block Printer, Proc. of 2016 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 2016), pp. 2167–2172, 2016.
- [4] C. Sugimoto, Y. Maeda, T. Maekawa and S. Maruo: A 3D Block Printer Using Toy Bricks for Various Models, Proc. of 13th IEEE Conf. on Automation Science and Engineering (CASE 2017), pp. 958–963, 2017.
- [5] M. Kohama, C. Sugimoto, O. Nakano and Y. Maeda: Robotic Additive Manufacturing with Toy Blocks, IISE Trans., Vol. 53, No. 3, pp. 273–284, 2021.

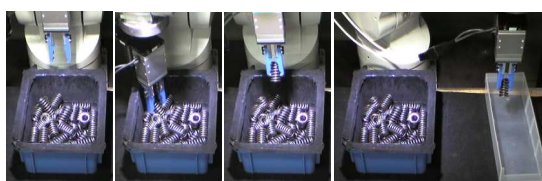


Fig. 15 Bin-Picking of Coil Springs

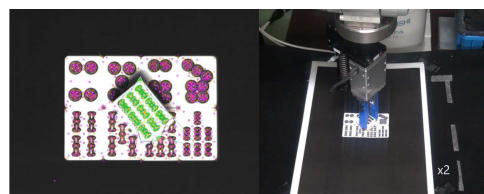


Fig. 16 Impacting-based Picking



Fig. 17 3D Block Printing

## 建設機械システムの知能化

建設機械やそれを使ったシステムの高度化・大規模化に伴い、効率や安全性を高めるための知能化・ロボット化の取り組みが求められている。本研究室では、その一環として、鉱山で運用されるダンプトラックシステム (Fig. 18) の交差点制御の研究を行っている。ダンプトラックの交差点通過順序を最適化することで、鉱山の生産性を改善する手法を提案し、シミュレータ (Fig. 19) でその有効性を確認している [1][2]。

### 参考文献

- [1] 小川 雄大, 前田 雄介, 松井 康知, 坂井 敦, 長川 研太, 竹田 幸司: 鉱山の生産性改善のための複数ダンプトラック群の交差点走行制御, 日本機械学会論文集, Vol. 87, No. 894, 20-00097, 2021.
- [2] Y. Maeda, Y. Ogawa, K. Osagawa, A. Sakai and Y. Matsui: Worksite Management System And Worksite Management Method, World patent application WO/2021/145392.

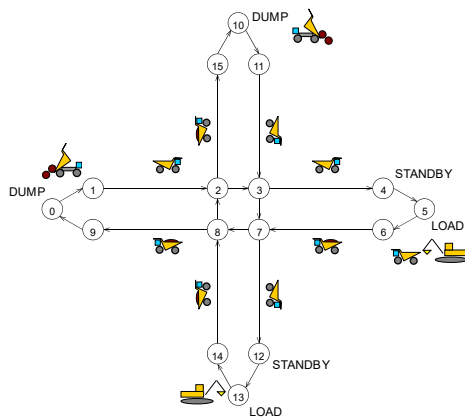


Fig. 18 Dump Truck Fleets in a Mine

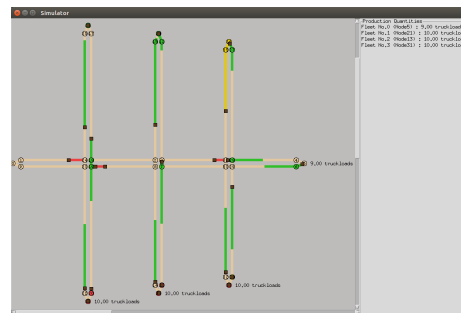


Fig. 19 A Simulator of Dump Truck Fleets



## 人間の手とその巧みさのモデリング

ロボットに人間のような器用さを持たせるためには、お手本である人間のマニピュレーションのメカニズムを知ることが重要である。また、人間の手の特性を知ることが、使いやすい製品設計などへの応用にも役立つ。このため、当研究室では、以下のような研究テーマに取り組んでいる（産総研・生活行動モデリング研究チームと共同）。

**人の手のモデリングと計測** モーションキャプチャにより人間の手の動きを表皮も含めて表現できるようにするための、デジタルハンドモデル (Fig. 20) の作成手法、および手の運動の計測手法の開発を行っている [1]。さらにこのモデルを利用して、手の関節の可動範囲や姿勢の快不快を計測・モデル化する手法 [2] などの提案を行っている。

**把持の計測と生成** デジタルハンドモデルには、製品設計支援など様々な応用が考えられる。例えば、個人差を反映した複数の代表的なハンドモデルを用いて把持生成をする (Fig. 21) ことで、多くの人にとって使いやすい形状の設計に役立てることができる [3]。また、製品の利用の様子を知るための簡便な把持測定デバイスや (Fig. 22) [4] や、手根管症候群のような可動範囲に制限があるハンドモデルによる把持生成手法 [5] の開発を行っている。

## 参考文献

- [1] N. Miyata, Y. Shimizu, Y. Motoki, Y. Maeda and M. Mochimaru: Hand MoCAP by Building an Individual Hand Model, Int. J. of Human Factors Modelling and Simulation, Vol. 3, No. 2, pp. 147–168, 2012.
- [2] 米岡 裕矢, 宮田 なつき, 前田 雄介: 母指の関節可動域と姿勢不快度の計測・解析, 日本機械学会論文集, Vol. 84, No. 864, 18-00555, 2018.
- [3] T. Hirono, N. Miyata and Y. Maeda: Grasp Synthesis for Variously-Sized Hands Using a Grasp Database That Covers Variation of Contact Region, Proc. of 3rd Int. Digital Human Modeling Symp. (DHM 2014), 11, 2014.
- [4] 平野 貴史, 宮田 なつき, 前田 雄介: 手部近位側方からの距離センサ情報にもとづく把持姿勢簡易計測, 第 24 回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 249–251, 2019.
- [5] R. Takahashi, N. Miyata, Y. Maeda and Y. Nakanishi: Grasp Synthesis Considering Graspability for a Digital Hand with Limited Thumb Range of Motion, Advanced Robotics, Vol. 36, No. 4, pp. 192–204, 2022.

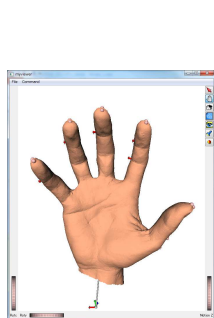


Fig. 20 Model of a Human Hand

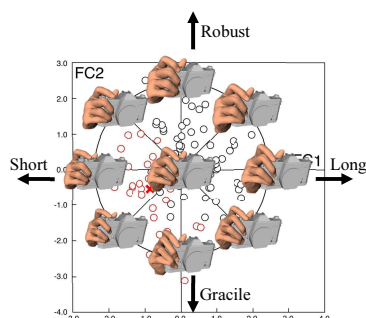


Fig. 21 Grasp Synthesis for Various Hands

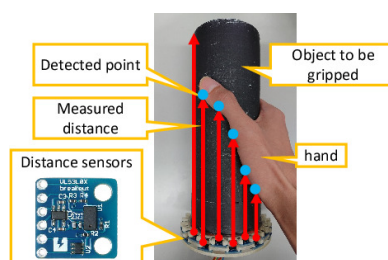


Fig. 22 Grasp Capturing Device

## ロボット技術の人間活動支援への応用

ロボット技術 (Robot Technology: RT) は純然たるロボットだけにとどまらず、我々の身の回りの様々なシーンで人々の活動を支援するために活用されることが期待される。

本研究室ではスマート食洗機の実現に向けた提案を行っている [1][2][3]。提案するシステムでは、食洗機（食器洗い乾燥機）を使う上で手間となっている、「食器を食洗機のどの位置に入れるべきか」を考える作業を支援することを狙っている。具体的には、ユーザがスマートフォンなどを使って食卓の画像を撮影することによって、洗浄すべき食器が種類ごとに何枚ずつあるかを認識する。次いで、組み合わせ最適化問題を解くことで、最適な食器配置を計算し、ユーザに 3D グラフィクスでわかりやすく表示する (Fig. 23)。

また、人間が行う折り紙を支援するシステムの開発も行っている [4]。折り筋の自動付加と折り手順の 3D 呈示 (Fig. 24) により、幼児教育や福祉の現場での折り紙制作への活用を目指している。

### 参考文献

- [1] 倉田 優里, 前田 雄介: スマート食洗機のための食器配置最適化サポートシステム, 情報処理学会研究報告, Vol. 2016-CDS-16, No. 9, 2016.
- [2] K. Imai and Y. Maeda: A User Support System That Optimizes Dishwasher Loading, Proc. of 2017 IEEE 6th Global Conf. on Consumer Electronics (GCCE 2017), pp. 523–524, 2017.
- [3] 小川 雄大, 前田 雄介: 画像処理による食器計数を利用した食洗機用の食器配置支援, 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) 講演論文集, 2A2-J17, 2018.
- [4] 鈴木 成也, 中島 裕二, 前田 雄介: 紙厚を考慮した折り紙シミュレータと AR を用いた手順呈示による折り紙アシストシステム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021 (ROBOMECH 2021) 講演論文集, 2A1-M06, 2021.

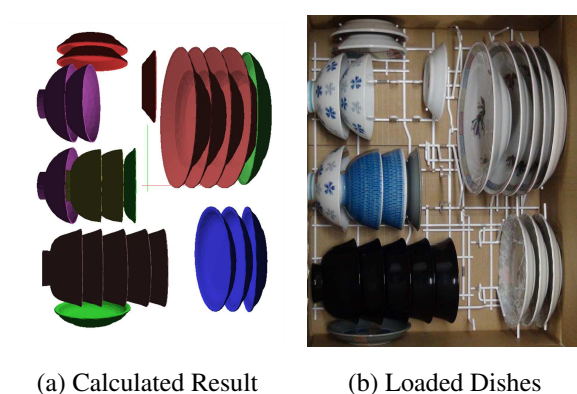


Fig. 23 Optimized Dish Loading

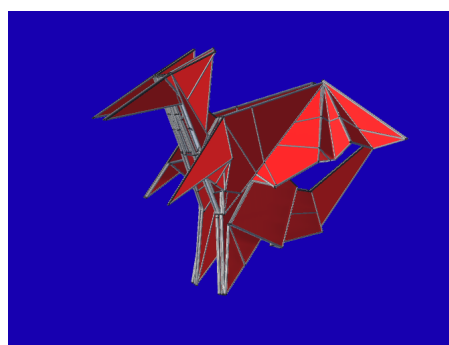


Fig. 24 Origami Simulator