

深層学習を利用したコミュニケーションロボットに関する研究

研究代表者 尾形 哲也
(基幹理工学部 表現工学科 教授)

1. 研究課題

本研究では、深層学習によるロボット行動学習と言語学習を融合研究、コミュニケーション研究を発展させることにより、環境認知や言語処理といったコミュニケーションに必要となる高次認知能力を自律的に獲得することを目的とする。最終的には実ロボットを用いて、人間との協働を必要とするような実作業で評価を行う。

2. 主な研究成果

2.1 人型ロボットによる注意機構を用いた調理タスク

ムーンショットプロジェクトで利用する機体である AIREC (AI-driven Robot for Embrace and Care) を用いた、スクランブルエッグの調理の研究を拡張した。具体的には、溶き卵に新たに具材を加えたものを使用し、機体の動作速度を大幅に向上させることで、訓練データ数を増やした。実験結果から、本研究の手法は成功率・汎化性の向上に貢献し、リアルタイムで変化する対象の特徴を知覚し動作を生成できることが確認された。(図1)

2.2 タオルのハンドリング

AIREC には複数の作業を行うことが期待されている。しかし動作指示には膨大なコストがかかる。そこで本研究では、タオル取り込み動作を対象に、バイラテラル遠隔装置を使用した動作指示手法を検証した。実機実験により、未指示の色や位置にあるタオルを 90% の成功率で取り込むことができ、バイラテラル遠隔装置と深層予測学習が有効であることが示された。(図2)

2.3 多指ハンドによる操り

本研究では、多数の触覚センサを装備した多指ハンドを用いた複雑な操り動作の実現を目指している。これまでに複数の手法を提案してきたが、未知物体の操りが未だに課題となっていた。本年度は特に、ランダムな姿勢の未知物体を触覚情報のみを用いて手の中に引き込む動作を対象とし、Transformer+LSTM モデルを提案し、これを実現した。

2.4 深層学習による言語処理と実世界とのグラウンディング

実環境に応じた疑問文生成への試み：現在の大規模言語モデルでは、適切な疑問文生成に関する研究はまだ少ない状況にある。本研究では、深層予測学習を使用し、ロボットの感覚運動の分散予測から不確実性が高い場合に質問する疑問文生成モジュールを開発した。この手法を評価するため、協働者の動作指示に基づくブロックタワーの積み上げるロボットシミュレータを用い評価を行った。その結果、提案手法が画像学習や関節角度の運動学習の不確実性の高い場면을検出可能であることが確認された。

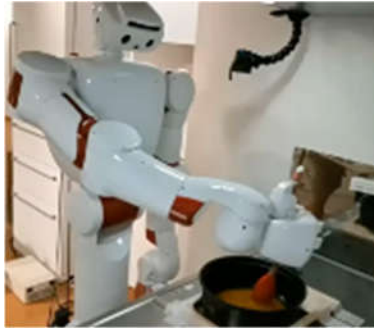


図1 Dry-AIREC による調理学習



図2 Dry-AIREC による柔軟物ハンドリング学習

3. 共同研究者

森 裕紀（次世代ロボット研究機構・客員主任研究員）
菅 佑樹（理工総合研究所・客員次席研究員）

4. 研究業績

4.1 学術論文（査読付のみ）

- [1] Tomoki Ando, Hiroto Iino, Hiroki Mori, Ryota Torishima, Kuniyuki Takahashi, Shoichiro Yamaguchi, Daisuke Okanohara, and Tetsuya Ogata: Learning-based Collision-free Planning on Arbitrary Optimization Criteria in the Latent Space through cGANs, *Advanced Robotics* (IF: 1.699), accepted, February 2023. DOI: 10.1080/01691864.2023.2180327
- [2] André Yuji Yasutomi, Hideyuki Ichiwara, Hiroshi Ito, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: Visual Spatial Attention and Proprioceptive Data-Driven Reinforcement Learning for Robust Peg-in-Hole Task Under Variable Conditions, *IEEE Robotics and Automation Letters* (RA-L) (IF: 4.321), vol. 8, no. 3, pp. 1834-1841, March 2023. DOI: 10.1109/LRA.2023.3243526
- [3] Satoshi Funabashi, Gang Yan, Fei Hongyi, Alexander Schmitz, Lorenzo Jamone, Tetsuya Ogata, and Shigeki Sugano: How does a CNN see Tactile Information? Transfer Learning and Object Recognition with a Multi-Fingered Hand, *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems* (IF: 10.451), PubMed ID: 36327180, Nov. 2022. DOI: 10.1109/TNNLS.2022.3215723
- [4] Hayato Idei, Wataru Ohata, Yuichi Yamashita, Tetsuya Ogata, and Jun Tani: Emergence of sensory attenuation based upon the free-energy principle, *Scientific Reports* (IF: 4.996), 12, Article number: 14542, August 2022. DOI: 10.1038/s41598-022-18207-7
- [5] Minori Toyoda, Kanata Suzuki, Yoshihiko Hayashi, and Tetsuya Ogata: Learning Bidirectional Translation between Descriptions and Actions with Small Paired Data, *IEEE Robotics and Automation Letters* (RA-L) (IF: 4.321), Volume 7, Issue 4, pp. 10930-10937, July 2022. DOI: 10.1109/LRA.2022.3196159
- [6] Kei Kase, Ai Tateishi, and Tetsuya Ogata: Robot Task Learning with Motor Babbling using Pseudo Rehearsal, *IEEE Robotics and Automation Letters* (RA-L) (IF: 4.321), accepted, July 2022. DOI: 10.1109/LRA.2022.3187517
- [7] Hyogo Hiruma, Hiroshi Ito, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: Deep Active Visual Attention for Real-time Robot Motion Generation: Emergence of Tool-body Assimilation and Adaptive Tool-use, *IEEE Robotics and Automation Letters* (RA-L) (IF: 4.321), accepted, July 2022. DOI: 10.1109/LRA.2022.3187614

- [8] Hiroshi Ito, Kenjiro Yamamoto, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: Efficient multitask learning with an embodied predictive model for door opening and entry with whole-body control, *Science Robotics* (IF: 23.748), Volume 7, Issue 65, April 2022. DOI: 10.1126/scirobotics.aax8177
- [9] Minoru Toyoda, Kanata Suzuki, Yoshihiko Hayashi, and Tetsuya Ogata: Learning Bidirectional Translation between Descriptions and Actions with Small Paired Data, *Proceedings of 2022 IEEE/RAS International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2022)*, Accepted, (acceptance rate 48%), Kyoto, Japan, October 23-27, 2022. SICE International Young Authors Award (SIYA-IROS2022)
- [10] Hyogo Hiruma, Hiroshi Ito, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: Deep Active Visual Attention for Real-time Robot Motion Generation: Emergence of Tool-body Assimilation and Adaptive Tool-use, *Proceedings of 2022 IEEE/RAS International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2022)*, Accepted, (acceptance rate 48%), Kyoto, Japan, October 23-27, 2022.
- [11] Kei Kase, Chikara Utsumi, Yukiyasu Domae, and Tetsuya Ogata: Use of Action Label in Deep Predictive Learning for Robot Manipulation, *Proceedings of 2022 IEEE/RAS International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2022)*, Accepted, (acceptance rate 48%), Kyoto, Japan, October 23-27, 2022.
- [12] Kei Kase, Ai Tateishi, and Tetsuya Ogata: Continual Robot Learning of Motor Babbling with Task Data using Pseudo Rehearsal, *Proceedings of 2022 IEEE/RAS International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2022)*, Accepted, (acceptance rate 48%), Kyoto, Japan, October 23-27, 2022.
- [13] Hyogo Hiruma, Hiroshi Ito, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: Guided Visual Attention Model Based on Interactions Between Top-down and Bottom-up Prediction for Robot Pose Prediction, *48th Annual Conference of the Industrial Electronics Society IECON 2022 Conference*, Accepted, Brussels, Belgium, October 17-20, 2022.
- [14] Satoshi Funabashi, Tomoki Isobe, Fei Hongyi, Atsumu Hiramoto, Alexander Schmitz, Shigeki Sugano, and Tetsuya Ogata: Multi-Fingered In-Hand Manipulation with Various Object Properties Using Graph Convolutional Networks and Distributed Tactile Sensors, *Proceedings of 2022 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2022)*, accepted, (acceptance rate 43.1%), Philadelphia, USA, May 23 – 27, 2022.
- [15] Namiko Saito, Takumi Shimizu, Tetsuya Ogata, and Shigeki Sugano: Utilization of Image/Force/Tactile Sensor Data for Object-shape-oriented Manipulation, *Proceedings of 2022 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2022)*, accepted, (acceptance rate 43.1%), Philadelphia, USA, May 23 – 27, 2022. ICRA 2022 Travel Grant
- [16] Hiroshi Ito, Hideyuki Ichiwara, Kenjiro Yamamoto, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: Integrated Learning of Robot Motion and Sentences: Real-Time Prediction of Grasping Motion and Attention based on Language Instructions, *Proceedings of 2022 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2022)*, accepted, (acceptance rate 43.1%), Philadelphia, USA, May 23 – 27, 2022.

4.2 総説・著書

- [1] ロボット工学ハンドブック 第3版, 日本ロボット学会編, コロナ社, ISBN 978-4-339-04679-3, 2023年3月15日. (第III編主査)
- [2] Tetsuya Ogata, Kuniyuki Takahashi, Tatsuro Yamada, Shingo Murata, Kazuma Sasaki: Machine Learning for Cognitive Robotics (Chapter 9), “Cognitive Robotics”, Editor: Angelo Cangelosi, and Minoru Asada, The MIT Press, ISBN: 9780262046831, May 2022.

- [3] 尾形哲也：業界主要トピックス「AI」, 50年のあゆみ, 一般社団法人日本ロボット工業会, pp. 94-95, 2023年3月
- [4] 尾形哲也：ロボットの身体と深層予測学習, ロボット學：構成論的手法による人間理解, 科学, 2023年1月号, 岩波書店, 2022年12月21日
- [5] 尾形哲也：展望 深層予測学習：背景と今後, 日本ロボット学会誌, Vol. 40, No. 9, pp. 761-765, 2022年11月18日. DOI: 10.7210/jrsj.40.761
- [6] 鈴木彼方, 伊藤洋, 山田竜郎, 加瀬敬唯, 尾形哲也：深層予測学習を用いたロボット動作の複合生成, 日本ロボット学会誌, Vol. 40, No. 9, pp. 772-777, 2022年11月18日. DOI: 10.7210/jrsj.40.772
- [7] 尾形哲也：深層学習のロボット技術への影響と今後の展望, 特集 深層学習は情報・システムの研究をどう変えたか, 電子情報通信学会誌, Vol.105, No.5, pp.424-429, 2022年5月1日, Online ISSN:2188-2355, Print ISSN:0913-5693

4.3 招待講演

- [1] 記念講演：理工学から見た『文理融合』教育の可能性, 早稲田大学法学部, 早稲田大学, 2023年3月4日
- [2] 講演：AIとの融合でロボットはどこまで進化できるのか-ヒューマノイド（人間型）ロボット技術の現在とこれから-, 第2回 SENSPIRE フォーラム, 次世代センサ協議会, オンライン, 2023年1月26日
- [3] 講演：能動的推論のための深層予測学習モデル～ロボット動作生成への応用成功事例～, LabTech Talk vol.78, オンライン, 2023年1月17日 (URL)
- [4] Keynote: The State of AI Embedded Robotics: How AI (Deep Learning) is Applied to the Smart Robot (AIREC Case), AI Summit 2022 Seoul, South Korea, Dec. 7th, 2022.
- [5] Invited Talk: Deep Predictive Learning for Humanoid Intelligence, Humanoids 2022 Joint Workshop, OIST, Okinawa, Japan, Dec. 1st 2022.
- [6] 講演：深層予測学習によるロボットの物体操作学習, 精密工学会 超精密位置決め専門委員会定例会, オンライン, 2022年11月18日
- [7] Invited Talk: Toward Personal AI-based robots with Deep Predictive Learning, Workshop on Trends and Advances in integrating machine learning and automated reasoning for intelligent robots and systems, IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2022), Kyoto, Japan, Oct. 27th, 2022.
- [8] Invited Talk: Deep Predictive Learning for AI robots that can learn and act alongside humans, Big Challenge Forum, IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2022), Kyoto, Japan, Oct. 26th, 2022.
- [9] 特別講演：深層学習による予測情報処理に基づいたロボットの物体操作の学習, 第43回日本レーザー医学会総会, 京王プラザホテル, 2022年10月16日
- [10] 講演＋パネル：予測符号化モデルとしての深層予測学習とロボット知能化, 第7回全脳アーキテクチャシンポジウム, オンライン, 2022年10月12日
- [11] 講演：実世界で人と共生できるロボットの実現に向けて, 追手門学院大学 心理学部 人工知能・認知科学専攻 公開講座「人と触れ合う人工知能の現在と未来」, ホテル阪急レスパイア大阪, 2022年10月2日
- [12] 講演：実世界で活動するロボットのための深層予測学習の概念と応用事例, 第24回 Science Cafe, Science Japan Office, オンライン, 2022年9月14日

- [13] 講演：自由エネルギー原理から考える知能ロボティクス, 応用脳科学コンソーシアム, アドバンスコース「脳に学ぶAI」～これからのAI開発に必要な脳科学やAIの知識～, オンライン, 2022年9月9日
- [14] セミナー講演：身体を持ったAI - 深層予測学習のコンセプトと応用, 先端科学技術セミナー2022 ロボティクス編, 神奈川県立産業技術総合研究所, オンライン, 2022年9月2日
- [15] 招待講演：実ロボットのための深層予測学習の実装と応用, DA シンポジウム 2022, 鳥羽シーサイドホテル, オンライン, 2022年9月1日
- [16] 講演：予測符号化原理に基づく実ロボットの知能化と事例, シンギュラリティサロン, オンライン, 2022年7月30日
- [17] 特別講演：深層予測学習に基づくロボット知能化 - 身体による世界の能動的知覚, MIRU2022, 姫路市文化コンベンションセンター アクリエひめじ, 2022年7月27日
- [18] Invited Talk: Intelligence of Real Robots Based on Predictive Coding Principle, International Symposium on Artificial Intelligence and Brain Science 2022, OIST, July 4th, 2022
- [19] Special Lecture: Toward Embodied Intelligence with Deep Predictive Learning and Real Robots, Neuro2022 (The Japan Neuroscience Society, The Japanese Society for Neurochemistry, The Japanese Neural Network Society), Okinawa Convention Center, July 2nd, 2022.
- [20] 特別講演：深層予測学習の概念とロボット応用事例, 日本設計工学会春季大会, 早稲田大学, オンライン, 2022年5月21日
- [21] 特別講演：深層予測学習によるAIとロボットの共進化と実世界応用, AI・人工知能EXPO, 東京ビッグサイト, 2022年5月13日
- [22] Invited Talk: Neurorobotics model studies based on the policy of prediction error minimization, A JAPANESE-GERMAN CONFERENCE, Artificial Intelligence and the Human Cross-Cultural Perspectives on Science and Fiction, May 12th, 2022.

4.4 受賞・表彰

- 2022年 部門学術業績賞, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門 (2022年6月2日)
- 2022年 日本ロボット学会フェロー (2022年9月7日)
- 2022年 計測自動制御学会フェロー (2022年9月8日)
- 2022年 International Young Authors Award (SIYA-IROS2022) (2件)
- 2023年 日本機械学会フェロー (2023年2月8日)

4.5 学会および社会的活動

科学技術振興機構 ACT-X 研究「AI活用学問革新」領域アドバイザー
日本ディープラーニング協会理事
全国高等専門学校ディープラーニングコンテスト DCON 技術審査員
発達神経科学会理事

Senior Editor of IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L)

Special Chief Editor, Robot Learning and Evolution, Frontiers in Robotics & AI

NEDO「次世代人工知能・ロボットの中核となるインテグレート技術開発」技術推進委員

科学技術振興機構研究開発戦略センター第1 AI・情報分野委員会委員

5. 研究活動の課題と展望

今後は、内閣府プロジェクトムーンショット、およびNEDOの支援を受けつつ、調理、洗濯、掃除、などの家事を軸としたタスク学習と、大規模言語モデル（Large Language Model）との統合学習の機能拡張を行う。また理工総合研究所における、企業との共同研究を拡大していくことを検討する。