

AI 活用で挑む学問の革新と創成
2020 年度採択研究者

2021 年度 年次報告書

河原塚 健人

東京大学 大学院情報理工学系研究科
大学院生 (博士後期課程)

情報化身体の学習理論に基づく成長ロボットの革新と創成

§ 1. 研究成果の概要

本年度は、(1)情報化身体モデルのネットワーク構造自動決定と一般化、(2)情報化身体に関する応用理論の構築と汎化、(3)筋骨格型・軸駆動型・台車型・低剛性樹脂製構造を持つロボットへの上記理論の適用を行った。

- (1) 前年度に考察した特殊 **AutoEncoder** 型の情報化身体について、その入出力であるセンサ・アクチュエータや、暗黙的状态を考慮可能な **Parametric Bias** の仕組みを一般化し、様々なロボットが同じネットワーク構造・プログラムを利用して情報化身体を学習可能な仕組みづくりを行った。また、得られた経験データから適切なネットワーク構造を獲得、つまりネットワーク入出力と、それらの相関関係を記述するマスク変数を自動的に算出するアルゴリズムを構築した。
- (2) 異常検知や相互補完、相互制御の仕組みを一般化し、前述の情報化身体学習と合わせて、経験データから自動的に異常検知や相互補完、相互制御のプログラムが走る仕組みを構築した。相互制御は、与える指令値の形や損失関数の定義方法を一般化し、パラメータ次第でモデル予測制御や模倣動作制御、静的身体制御等を切り替えることが可能である。また、**Parametric Bias** のオンライン学習による環境変化適応を同時に実行し、適応的な動作制御を可能にした。加えて、前年度に考慮した筋骨格身体筋破断に加え²⁾、筋追加による情報化身体の入出力変化を考慮した再学習手法を提案し¹⁾、その有効性を確認している。
- (3) 筋骨格ヒューマノイドの筋破断・筋追加に応じた再学習に基づくロバストな動作戦略に加え、台車型ロボット **Fetch** における床摩擦変化と確率的挙動を考慮した安定な動作制御⁵⁾、軸駆動型ロボット **PR2**/筋骨格ヒューマノイド **Musashi** における逐次的把持状態変化を考慮した道具操作学習³⁾、**PR2/Musashi** における動作スタイルを考慮した模倣学習⁴⁾、低剛性樹脂製ロボット **KXR** におけるバランスまで考慮した全身道具操作、筋骨格台車型ロボット **Musashi-W** による布素材変化と身体剛性を考慮した動的布操作を行った。

【代表的な原著論文情報】

- 1) K. Kawaharazuka, M. Nishiura, Y. Toshimitsu, Y. Omura, Y. Koga, Y. Asano, K. Okada, K. Kawasaki, M. Inaba, “Robust Continuous Motion Strategy Against Muscle Rupture using Online Learning of Redundant Intersensory Networks for Musculoskeletal Humanoids (in press)”, *Robotics and Autonomous Systems (RAS)*, 2022
- 2) K. Kawaharazuka, A. Miki, Y. Toshimitsu, K. Okada, M. Inaba, “Adaptive Body Schema Learning System Considering Additional Muscles for Musculoskeletal Humanoids”, *IEEE Robotics and Automation Letters (RAL)*, vol. 7, no. 2, pp. 3459–3466, 2022, (presented at ICRA2022)
- 3) K. Kawaharazuka, K. Okada, M. Inaba, “Adaptive Robotic Tool-Tip Control Learning Considering Online Changes in Grasping State”, *IEEE Robotics and Automation Letters (RAL)*, vol. 6, no. 3, pp. 5992–5999, 2021, (presented at IROS2021)
- 4) K. Kawaharazuka, Y. Kawamura, K. Okada, M. Inaba, “Imitation Learning with Additional

Constraints on Motion Style using Parametric Bias”, IEEE Robotics and Automation Letters (RAL), vol. 6, no. 3, pp. 5897–5904, 2021, (presented at IROS2021)

- 5) K. Kawaharazuka, K. Shinjo, Y. Kawamura, K. Okada, M. Inaba, “Environmentally Adaptive Control Including Variance Minimization Using Stochastic Predictive Network with Parametric Bias: Application to Mobile Robots”, in Proceedings of the 2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2021), pp. 8381–8387, 2021