

令和 4 年 6 月 30 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H01749

研究課題名(和文) ヒトの力学的着衣介助スキルの理解と双腕ロボットシステムへの転移

研究課題名(英文) Understanding the Human Skill of Clothing Assistance and its Transfer to a Dual-Arm Robot System

研究代表者

柴田 智広 (Shibata, Tomohiro)

九州工業大学・大学院生命体工学研究科・教授

研究者番号：40359873

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,700,000円

研究成果の概要(和文)：人の重要な生活機能の一つである着衣を題材に、人の介助技術を学習し衣服を介した力学的な介助を行う双腕ロボットシステムを構築した。熟練者の着衣介助スキルを分析した結果、手指から衣服に大きな力を発揮していなかった。人の着衣介助の運動軌道を元に、静力学的な適応性と頑健性を有するDMP法による模倣や、タスクに重要な双腕運動の潜在空間(低次元空間)の自動抽出とそれを用いた効率的な強化学習などを開発し、健康者を対象とした実験によりその有効性を示した。当初シャツを頭から着せる介助動作を対象として研究を推進したが、介護現場のニーズに応じて、最後には前開きのシャツを対象とした着衣介助も可能なシステムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

少子化・超高齢化が進行する我が国においては、介護分野において生活機能支援ロボットの研究開発は喫緊の課題である。更衣は重要な生活機能の一つだが、健康高齢者であっても、年齢と共に肩の可動範囲が減少し、独力で行うのが難しくなり、また介護施設においても負担になっている。知能ロボティクスにおいて、柔軟で大きな変形も可能な物体である布や衣服の操作は基本的かつ重要な課題であるが、人間ロボット協調システムでもある着衣介助に関する知能ロボット研究はほとんど行われてこなかった。本研究は世界で初めて力学的な人とロボットの相互作用まで考慮した着衣介助ロボットの研究であり、また高度なAIを駆使した研究でもある。

研究成果の概要(英文)：Taking "dressing" as a subject, one of the vital life functions of humans, we constructed a dual-armed robot system that learns human assisting skills and performs mechanical assistance through clothing. Analysis of the skilled person's dressing assistance skills showed that the system did not exert significant force from the fingers to the garment. Based on the motor trajectories of human dressing assistance, we developed imitation using the statically adaptive and robust DMP method, automatic extraction of the latent space (low-dimensional space) of the dual arm movements necessary for the task, and efficient reinforcement learning using this space. We demonstrated their effectiveness through experiments on healthy subjects. We initially focused our research on the assistance operation of putting on a shirt from the head. Still, in response to the needs of nursing care facilities, we finally constructed a system that can assist with putting on a shirt that opens in front of the head.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：知能ロボティクス 機械力学・制御 機械学習 計測工学

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### (1) 研究開始当初の背景

少子化・超高齢化が進行する我が国において、2023年度には約22万人、2040年度には約69万人の介護職員が足りないと予測される。従って、介護分野において、生活機能支援ロボットの研究開発は喫緊の課題である。更衣は、重要な生活機能の一つであるが、健常高齢者であっても、年齢と共に肩の可動範囲が減少し、独力で行うのが難しくなっていき、介護施設においても負担になっている(Chance, et al., 2017)。

また、知能ロボティクスにおいて、柔軟で大きな変形も可能な物体である布や衣服の操作は基本的かつ重要な課題である。これまで、衣服の識別(Ramisa, et al., 2012)や、ロボットグリッパによる衣服の把持(Hamajima and Kakikura, 2000)、双腕ロボットを用いた把持部位の変更や、タオルの折り畳み(Martin-Shepard, et al., 2010)などの研究が行われてきた。これらの研究では、衣服の把持部位や状態を認識するには視覚情報のみを用いていた。ロボットアームを用いて、衣服を釣り上げ視点を変更(Triantafylou, et al., 2016)したり、床に投げ出ししたりすることによって、衣服の見え方を変更する(Willmon, et al., 2011)などのアプローチはあったが、衣服を把持・操作する際にロボットアームにかかる力を利用するものはなかった。また、生活機能支援を念頭にいた知能ロボティクスにおいて、衣服の把持・操作が必要な重要な応用例の一つに着衣介助が挙げられるが、これまでほとんど研究がなされていない。上肢に関して着衣介助を行う双腕ロボットシステムを(Tamei, et al., 2011)や、下肢に関して着衣介助を行うヒューマノイドロボットシステムの研究(Yamazaki, et al., 2014)があったが、衣服や被介助者の状態認識には視覚情報のみが用いられ、ロボットアームの制御は運動学的に行われていた。

### (2) 研究の目的

主に衣服を介してヒトに力学的な介助を行う知能双腕ロボットシステムを、ヒトの介助スキルにも学んで構築する。主要な研究項目は、ヒトの着衣介助スキルの力学的理解、衣服、被介助者および着衣状態の認識、そして双腕ロボットへの着衣介助スキル転移である。

### (3) 研究の方法

衣服は上半身用の丸首シャツを対象とし、シャツを袖、頭、体幹と通していく作業を基本計とする(図3参照)。最終的には前開きのシャツも対象とし、背中側からの着衣介助を行う(図4参照)。

ヒトの着衣介助スキルの力学的理解については、研究分担者の為井が主講する奈良先端大グループが担当する。計測システムを開発し、熟達度の異なる介護職員に対して計測実験を行い、介助スキル解析を進める。計測システムは、光学マーカによる介助者・非介助者のモーションや介助者の指先圧力などを同時に計測する。得られた時系列データを統計解析し、介助スキルの力学的特徴を抽出する。

被介助者および普衣状態の認識については、九工大グループが担当し、衣服、被介助者および普衣の状態を推定するアルゴリズムを、ベイズ法や深層学習法を適宜用いながら開発する。

双腕ロボットへの培衣介助スキル転移についても、九工大グループが担当する。スキル転移のためのアルゴリズムとして、静力学的な適応性と頑健性を有する Dynamic Movement Primitive (DMP)法(Ijspeert, et al., 2002; Schaal, 2006)や、双腕や画像センサなどの高次元空間から、タスクに重要な潜在空間(低次元空間)を自動的に抽出可能な機械学習法、さらには介助の適応性・頑健性を向上するため、強化学習機能も持たせる。

さらに最終的には、非介助者と双腕ロボットとの距離を自動的に制御するために、車椅子ロボットも導入する(図3参照)。

### (4) 研究成果

熟練度の違う介護従事者による着衣介助動作の計測実験を行った。具体的には、被介助者のモーション、介助者の上肢のモーションおよび手・指の力を計測した。図1に開発したセンサグループや、動作計測の様子を示す。データ解析の結果、モーションや力情報から特筆すべき特徴を得ることはできなかった。そのため、それ以上の詳細な研究にまでには至らなかった。今後は、非専門家の動作との差異を見る必要も考えられるが、非専門家の介助方法には大きなばらつきがあることが分かっているため、難しい研究になると予想される。

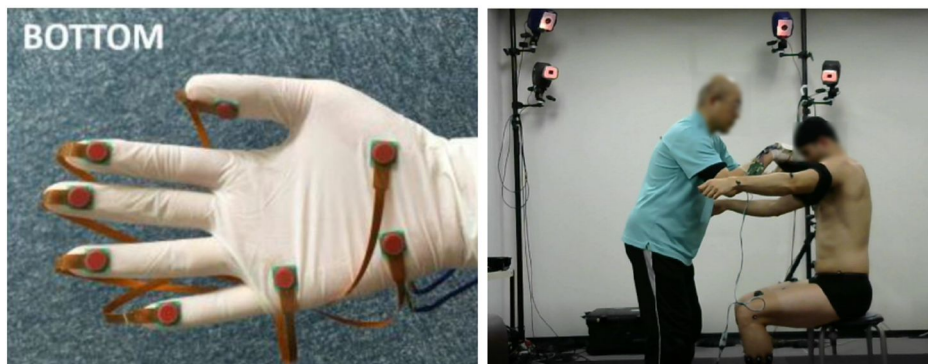


図1 (左) 指先力計測用センサグローブ (右) 介護福祉士の動作計測の様子

衣服の画像による分類や特徴認識について、これまでベイズノンパラメトリック法を用いてきたが、近年は圧倒的な性能が得られることが知られている深層学習の応用を行った。まず一般的な畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network; CNN) を応用した結果、無造作に置かれた衣服の襟の発見をほぼ確実に行うことができるようになった (図2 および Genevieve, et al., 2018 参照)。また、複数の衣服が無造作に重なっていても、Mask R-CNN (He, et al., 2017) という深層学習モデルを応用して、それらの衣服を画像から弁別することも可能となった。

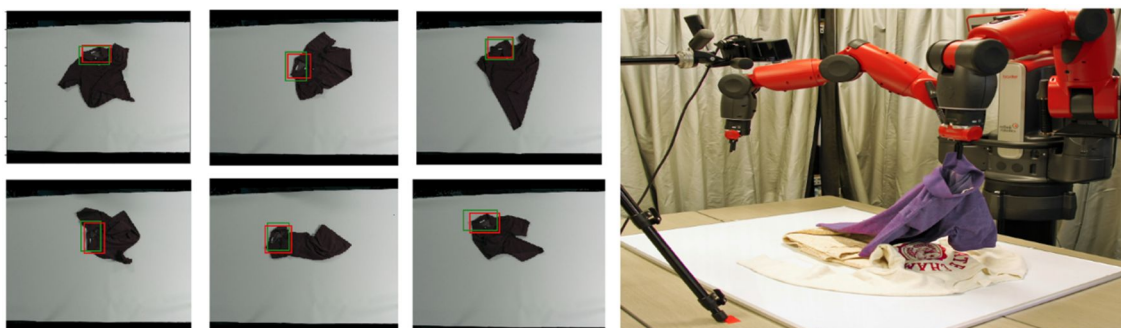


図2 (左) AI による襟認識 (赤: 正解領域、緑: 予測領域) (右) 襟を認識して把持する様子

着衣介助スキルを両腕に両袖を通すフェーズと、首を通して裾を降ろすフェーズとに分け、前者のフェーズには DMP 法を用い、後者のフェーズにはベイズモデルを用いるフレームワークを提案した (Joshi, et al., 2019); 日本ロボット学会より論文賞を受賞)。前者のフェーズの頑健性は、産業技術総合研究所と共同してマネキン型ロボットで客観的な評価を行い (Joshi, et al., 2020)、後者の適応性はベイズモデルで見出した双腕着衣介助動作の低次元潜在空間を用いた効率的な強化学習で実現した (Koganti, et al., 2019)。全部で 14 関節 (次元) ある腕の運動も、2次元の手次元空間で十分実用に耐えうるということが分かったため、少ない試行錯誤回数で着衣介助を成功させる軌道に到達可能であった。非介助者の姿勢認識は OpenPose (Cao, et al., 2018) という深層学習ベースの 2次元画像からのモーションキャプチャアルゴリズムにより実現した。さらに、被介護者が座る椅子が電動車椅子である場合も研究した。双腕ロボットの高次元の着衣介助動作と、それと連動させる車椅子の運動の両方を説明する低次元空間 (着衣介助状態の空間) をベイズモデル (Damianou, et al., 2012) を適用して見出し、着衣介助動作の実行に利用することができた (図3 参照)。



図3 (左) 袖に衣服を通すフェーズ、(中) 頭や体に衣服を通すフェーズ、(右) 着衣介助完了

以上のように、研究開始当初からシャツを頭から着せる介助動作を対象として研究を行ってきたが、介護現場では前開きのシャツを用いることも多いため、最終的には前開きのシャツを対象とした着衣介助研究も推進した(図4)。双腕ロボットが正しく衣服を把持する(把持体制の初期化)ことができれば、その後の着衣は人間ロボット協調系として比較的容易に実現できることが分かった。しかし、把持体制の初期化はロボット研究一般に極めて挑戦的な課題であるため、画像センサからの衣服の初期把持位置の決定研究(Saxena and Shibata, 2019)や、マルチロボットシステムにより解決を図ろうとするシステムの研究開発(酒井、他, 2021)を行った。



図4 前開きシャツの着衣介助

コロナ禍のため高齢者対象の実証は進まなかったが、東京ビッグサイトで開催された国際ロボット展に出展するなどして、多数の健常者対象に丸首シャツ(2019年)や前開きシャツ(2021年)の着衣介助の体験型動態展示を各回4日間問題なく実施することができ、多くの主要メディアに取り上げられた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Koganti, N., Tamei, T., Ikeda, K., Shibata, T.	4. 巻 33
2. 論文標題 Bayesian Nonparametric Learning of Cloth Models for Real-time State Estimation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Robotics	6. 最初と最後の頁 916-931
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TR0.2017.269172	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 Orland, F., Behera, L., Tamei, T., Shibata, T., Dutta, A., Saxena, A.	4. 巻 35
2. 論文標題 On redundancy resolution of the human thumb, index and middle fingers in cooperative object translation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Robotica	6. 最初と最後の頁 1992-2017
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/S0263574716000680	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 Sakai, Y., Yamasaki, K., Shibata, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Picking Up Clothes from a Hanger Rack Using Voice Recognition by a Mobile Manipulator	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 9th International Symposium on Applied Engineering and Sciences(SAES2021)	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Joshi, R.P., Tarapore, J.P., Shibata, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Electric Wheelchair-Humanoid Robot Collaboration for Clothing Assistance of the Elderly	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Xplore 2020 13th International Conference on Human System Interaction (HSI)	6. 最初と最後の頁 300-306
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/HSI49210.2020.9142645	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 Takeuchi, R., Tamei, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Automatic generation and inferring semantic structure of verbal instructions for a motor task	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)	6. 最初と最後の頁 3735-3739
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SMC42975.2020.9283105	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 Koganti, N. Shibata, T., Tamei, T., Ikeda, K.	4. 巻 33
2. 論文標題 Data-efficient Learning of Robotic Clothing Assistance using Bayesian Gaussian Process Latent Variable Models	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 300-314
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2019.1610061	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 Joshi, Ravi, Prakash., Koganti, N. and Shibata, T.	4. 巻 33
2. 論文標題 A framework for robotic clothing assistance by imitation learning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 1156-1174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2019.1636715	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 Joshi, R.P., Shibata, T., Ogata, T., and Matsumoto, Y.	4. 巻 -
2. 論文標題 Quantitative Evaluation of Clothing Assistance using Whole-Body Robotic Simulator of the Elderly	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Xplore	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/RO-MAN46459.2019.8956308	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20件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 12件）

1. 発表者名 Saxena, K., Shibata, T.
2. 発表標題 Garment Recognition and Grasping Point Detection for Clothing Assistance Task using Deep Learning
3. 学会等名 2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Saxena, K., Shibata, T.
2. 発表標題 Robotics Handling of Cloth for Clothing Assistance Task using Deep Learning
3. 学会等名 36th Annual Conference of the Robotics Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shibata, T.
2. 発表標題 Transferring Human Skills of Clothing Assistance to a Dual-Arm Robot System
3. 学会等名 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴田智広
2. 発表標題 双腕ロボットを用いた着衣介助の研究
3. 学会等名 SICE SI部門 マニピュレーション部会定例会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴田智広
2. 発表標題 ロボットとの協働による看護の未来
3. 学会等名 第17回北海道東北地区 国立病院機構・国立療養所看護研究学会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Saxena, K., Labuguen, R., Joshi, R. P., Koganti, N., Shibata, T.
2. 発表標題 A study on human-robot collaboration for table-setting task
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Dwivedi, S.K., Koganti, N., Shibata, T.
2. 発表標題 Missing value estimation of sEMG signals using BGPLVM toward control of a multi-fingered prosthetic hand
3. 学会等名 第27回日本神経回路学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Joshi, RP. Shibata Tomohiro, Koganti, N
2. 発表標題 Robotic cloth manipulation for clothing assistance task using Dynamic Movement Primitives
3. 学会等名 Advances in Robotics (国際学会)
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 Shibata Tomohiro, Koganti, N., Tamei, T., Ikeda, K
2. 発表標題 Imparting Motor-skills to Humanoid Robots through Bayesian Nonparametric Latent Spaces
3. 学会等名 IEEE International Conference on Engineering in Medicine and Biology (EMBC 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柴田智広
2. 発表標題 情報通信技術や知能ロボット技術を活用したスマートライフケア社会の創造を目指して
3. 学会等名 電子情報通信学会スマートインフォメディアシステム研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柴田智広
2. 発表標題 強化学習を用いた人間-ロボット系の適応制御
3. 学会等名 電子情報通信学会のIN, MoNA, CNR合同研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柴田智広
2. 発表標題 情報通信技術や 知能ロボット技術を活用した スマートライフケア社会の創造
3. 学会等名 日本福祉工学会第2回九州支部大会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Koganti, N., Tamei, T., Ikeda, K., Shibata, T.
2. 発表標題 Bayesian Nonparametric Motor-skill Representations for Efficient Learning of Robotic Clothing Assistance
3. 学会等名 Thirtieth Annual Conference on Neural Information Processing Systems (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Gaurav, V., Koganti, N., Nakata, R., Joshi, R., Shibata, T.
2. 発表標題 Extremity Detection from a Pile of Garments using Bayesian GP-LVM
3. 学会等名 International Conference on Intelligent Robots and Systems (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Gaurav, V., Koganti, N., Nakata, R., Joshi, R., Shibata, T.
2. 発表標題 CLOTH EXTREMITY DETECTION FROM A CLUTTER OF CLOTHES USING BAYESIAN GP-LVM
3. 学会等名 第34回日本ロボット学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Koganti, N., Joshi, R.P., Tamei, T., Ikeda K., Shibata, T.
2. 発表標題 Motor-skill Learning in Latent Spaces for Robotic Clothing Assistance
3. 学会等名 第34回日本ロボット学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 福宿将士, 山口史晃, 柴田智広
2. 発表標題 ロボットによる衣服操作のためのMask R-CNN を用いた複数衣服の認識
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 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Duran J., R. A., Matsumura, N. and Shibata, T.
2. 発表標題 A Study on a Low-Cost Soft Robotic Hand Grip Operated by a Smart Skin
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Duran J., R. A., Matsumura, N. and Shibata, T.
2. 発表標題 A Study on a Low-Cost Soft Robotic Hand Grip Operated by a Smart Skin
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹内亮人, 為井智也
2. 発表標題 運動課題における言語インストラクションの自動生成と意味関係の抽出
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 柴田智広	4. 発行年 2017年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 1600
3. 書名 人工知能学大辞典	

〔産業財産権〕

〔その他〕

柴田研究室研究紹介 <a href="https://www.brain.kyutech.ac.jp/~tom/ja/research/">https://www.brain.kyutech.ac.jp/~tom/ja/research/</a>
--

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	為井 智也  (TAMEI Tomoya)  (40548434)	神戸大学・数理・データサイエンスセンター・特命講師   (14501)	
研究分担者	長 隆之  (OSA Takayuki)  (50804663)	九州工業大学・大学院生命体工学研究科・准教授   (17104)	

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
---------	---------