

1-3 先端ロボット工学研究センター活動報告

先端ロボット工学研究センター長 小谷内 範穂
所員 黄 健, 樹野 淳也, 柴田 瑞穂, 友國 伸保, 田上 将治

1. 令和元年度活動報告

本年度は、安心・安全で快適な社会を構築するためのロボット技術の研究と開発の推進という目標を実現するため、以下の研究活動が行われた。

① 駆動型胸部支持パッドを有する歩行車の開発 (黄・小谷内)

一軸フリー回転軸を有する胸部支持パッドを有する歩行車による歩行意欲の促進効果を定量的に評価する研究を、受動パッドを有する歩行車で引き続き行った。これまでの歩行計測では健常者被験者による計測で高齢者における歩行運動の促進を評価することが有効かどうかの問題提起が行われた。本年度では、被験者の足首に負荷荷重を装着した場合と装着しない場合とで計測した。その結果、下肢部負荷があっても胸パッドの運動と膝屈伸角度および足首角度に連動性が見られ、歩行運動促進効果があることがわかった。

新たに駆動型胸部支持パッドを有する歩行車の開発を行った。駆動型胸部支持パッドを有する歩行車の胸パッドを駆動するモータの制御装置を開発した。開発した回路では、モータを駆動することに成功したが、マイコン出力が DA 回路のダイナミックレンジと合わず制御装置の改良が必要であることがわかった。

駆動型胸部支持パッドを有する歩行車の胸パッドにかかる力を計測するロードセルを従来の左右 2 個から左右上下の 4 個に増やす設計を行い、ロードセルを装着するアクリル板を新たに作成した。ロードセルの増加とともに信号増幅と記録を行うロードセルメーカーが供給する専用コンパクトレコーダを導入した。コンパクトレコーダは PC 専用ソフトが必要のため、搭載型にするために新たにスティック PC を導入し、計測記録ができることを確認した。

駆動型胸部支持パッドを有する歩行車の胸パッドに関して、モータ駆動時に被験者の力で回すことが困難なため、新たに受動胸パッドに交換するジグを設計製作した。

② フィールドロボティクスの研究 (小谷内)

フィールドロボティクスの研究開発のひとつとして 4 輪 4 脚形パーソナル・ロボットの研究を行っている。生活支援分野での歩行者追従型ロボットプラットフォームの構築を目指している。パーソナル・ロボットが階段・段差を含む 3 次元環境を移動する制御プログラムの開発にはさまざまな環境との細かい干渉や転倒防止に取り組む必要があり、実機実験だけでなく計算機シミュレーションが非常に重要になる。動的物理法則をシミュレートする物理エンジン ODE を用いた階段歩行シミュレーションを試みたが、Windows および Visual Studio などのバージョンアップに伴い使用できなくなっていた。そこで、最新の CG ソフト Blender とゲームエンジン UNITY を用いて階段上りのシミュレーションを行った。Blender において手動で足先の動きを与えるフルームワークを使用したため前足が階段を

2 段目まで登ることはできた。しかし、その後の胴体と後ろ足のバランスを保つことが困難になってしまいシミュレーションが完成しなかった。シミュレーションと同時に昨年度製作した 1/3 小型 4 輪 4 足を用いて、階段上りの動作プログラムの開発を行った。こちらも、初期動作を手動で与えたため最初の 2 段目に前足を掛けたのち、後ろ足にトルクオーバーが見られ、動作継続ができなくなった。

4 輪 4 脚パーソナル・ロボットの 1/3 モデルの胴体剛性を強化し、搭載型制御システムとして Arduino Mega マイコンシステムを胴体内に完全に搭載し、搭載型電源として 12V リチウムバッテリーを体内に納められるように胴体を再設計した。また、立位時の胴体の変形を抑えた胴体構造の再設計を行った。脚の折りたたみ時の機構干渉をなくした構造を再設計し膝関節の稼動域を広げた。前 4 輪走行として 4 輪操舵を平行に行う全方向移動を無線ジョイパッドで行うプログラムを開発した。

また、フィールドロボティクスの別の場面として、建設機械の無人化・情報化のために建設機械の小型モデルを 3D プリンタで構築する研究を行っている。昨年度製作したブルドーザの 1/20 模型のクローラのグリップ不足を解消するため、クローラスプロケットなどの再設計を行うとともに、設置圧力増強のための重りを運転室スペースに埋め込むとともに制御回路の ArduinoUNO と 12V リチウムバッテリーを埋め込む再を行い、3D プリンタで製作した。

都市内移動の新しい形として、電動スケートボードを持ち運び形搬送ロボットとして用いるため、スケートボードの操舵機構の解析をさらに進めるとともに、荷重重心の横移動駆動装置を設計製作し、走行実験を行った。

自動運転に通じる制御として、RaspberryPi 搭載マイクロマウスを使った ROS プログラム開発キットを導入し、基礎ライブラリーが動作することを確認した。レーザースキャナを使用した ICP (Iterative Closest Point) による環境 3 次元点群データのマッチングプログラムを開発し、自己位置推定に使用できることを確認した。

災害対策ロボットを想定した空陸両用ドローンの設計と試作を行い、飛行試験と車輪走行試験を個別に行った。飛行形態と車両形態の機体変形は設計のみで終わった。

③ 農作業の自動化に関する研究 (樹野)

農作業の省力化を目指して、農業機械の自動化に関する研究を行っている。

現在、スマート農業の導入が多く検討されているが、圃場の大規模集約化が前提となっており、大規模集約化が困難である中山間地域では、異なるスマート農業の形態が必要となってくる。そこで、狭小な圃場が点在する地理的制約を活かした少量多品種生産をめざし、作業者とロボットが協調する農業モデルを提案している。令和元年度は、研究の第一段階として、圃場内での作業ロボット車両と自己位置認識方法の開発を行った。

また、ロボット向けの農業として開発された局所耕うん栽培を実践するロボットの移動機構として、脚式移動機構の適用可能性を見出したことから、5 脚式のロボットを開発している。令和元年度は、制御システムの構築や接地を判断する機構の開発に取り組んだ。

重量野菜の収穫などに圃場内での運搬作業には、高床・スキッドステアの車両が用いられることが多い。スキッドステア型車両は、その特性上、直進走行性能は高いが、特に不整地での旋回動作の際は、駆動輪荷重や路面状況によって、旋回半径および中心を一意に

決めることができないことが知られていることから、実際的な観点から、支持脚による旋回を提案した。

広島県ではワケギ栽培が盛んであるが、球根の植え付け作業は中腰で行う負担の大きい作業のため、機械化が強く望まれている。そこで、ワケギ球根を植え付ける作業機の開発を行った。

④ 柔軟・軽量ロボットに関する研究（柴田）

現在、外殻を軽量素材で構成する多面体ロボットを試作している。この多面体ロボットの外殻には拡張二十・十二面体の構造を利用している。令和元年度は、内部機構に偏心モータを利用した試作機を作成した。偏心モータの角速度と外殻の転がり速度に適値があることが実験的に確認された。また、外殻を樹脂フィルムで構成する水中ロボットを試作している。令和元年度は、外殻を材料学的観点からモデル化し、樹脂フィルムとロボットの構成要素との滑りを許すことで小型モータでも試作機が動作可能であることを明らかにした。

⑤ 膝関節リハビリ機器の多機能化に関する研究（田上）

歩行をはじめ日常生活を送る上で重要な役割を担う膝は、加齢や怪我などによる疾患も少なくなく、様々な治療が行われる。治療過程のリハビリテーションでは、特に関節の固着や可動域回復のために患部の膝をモータによりゆっくりと曲げ伸ばしする他動訓練器と呼ばれる機器が多用されている。その有効性は広く知られている一方で、患者にとっては機械任せとなるため筋力の回復が遅れる。そこでコンプライアンス制御を応用してトレーニング負荷を発生させる仕組みを提案、他動訓練器に付加した。令和元年度は主に昨年度製作した試作機の評価を行った。本試作機での筋力活性度とスクワット運動、踏み台昇降運動での筋力活性度を比較し、スクワット運動と同程度の運動負荷を与えられることが分かった。また、歩行訓練機への拡張に向けた開発にも着手した。

⑥ バランス制御による移動体の高度化に関する研究（友國）

モーションコントロール技術を用い、バランス制御を行う移動体について研究している。令和元年度は従来から研究を行っている車いす型の階段昇降ロボットについて、回転リンク内にスライダを内蔵する機構の改良を提案し、同機構の実現可能性を確認した。本機構により従来方式よりも安全かつ滑らかに階段昇降可能になることが期待できる。

2. 共同研究

- (1) 小谷内 範穂：「フィールドロボティクスの研究」、(国研) 産業技術総合研究所との共同研究
- (2) 柴田 瑞穂：研究支援「ロボットパッキング技術の開発」(株)古川製作所
- (3) 柴田 瑞穂：受託研究 2 件
- (4) 田上 将治：受託研究 1 件

3. 主要な研究業績

- (1) 著書

なし

(2) 論文

- 1) Mizuho Shibata, Hiroki Dobashi, Wataru Uemura, Shinya Kotosaka, Yasumichi Aiyama, Takeshi Sakaguchi, Yoshihiro Kawai, Akio Noda, Kazuhito Yokoi, Yasuyoshi Yokokohji, "Task-board task for assembling a belt drive unit", *Advanced Robotics*, pp. 1-23, 2020 (<https://doi.org/10.1080/01691864.2020.1717613>).
- 2) Joe Falco, Kenneth Kimble, Karl Van Wyk, Elena Messina, Yu Sun, Mizuho Shibata, Wataru Uemura, Yasuyoshi Yokokohji, "Benchmarking Protocols for Evaluating Small Parts Robotic Assembly Systems", *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol. 5, Issue 2, pp. 883-889, 2020 (<https://doi.org/10.1109/LRA.2020.2965869>).
- 3) Mizuho Shibata, Norimitsu Sakagami, "Deformable tensegrity structure underwater robot with a transformation mechanism", *Artificial Life and Robotics*, Vol. 25, Issue 1, pp. 100-105, 2020 (<https://doi.org/10.1007/s10015-019-00563-9>).
- 4) Yasuyoshi Yokokohji, Yoshihiro Kawai, Mizuho Shibata, Yasumichi Aiyama, Shinya Kotosaka, Wataru Uemura, Akio Noda, Hiroki Dobashi, Takeshi Sakaguchi, Kazuhito Yokoi, "Assembly Challenge: a robot competition of the Industrial Robotics Category, World Robot Summit - summary of the pre-competition in 2018", *Advanced Robotics*, Vol. 33, Issue 17, pp. 876-899, 2019 (<https://doi.org/10.1080/01691864.2019.1663609>).

(3) 学会発表 (20 件)

- 1) Jian Huang, Hiroaki Ashida, Noriho Koyachi and Takashi Harada, Walk Measurements Using a Novel Rollator with a Free Rotating Chest Pad and an Analysis of its Effectiveness in Walk Assistance, *Proc. of 2019 IEEE the 5th International Conference on Mechatronics System and Robots (ICMSR 2019)*, pp.13-17, 2019 (2019/5)
- 2) Jian Huang, Hiroaki Ashida, Ryosuke Abe, Noriho Koyachi, Takashi Harada, Development of a Novel Rollator with an Active Driving Chest Pad to Achieve the Effectiveness of Walk Assistance, *Proc. of The 17th International Conference on Biomedical Engineering (ICBME2019)*, pp.70, 2019, (2019/12).
- 3) 蘆田 宏明, 黄 健, 小谷内 範穂, 原田 孝, 駆動型一軸回転可能な胸部支持パッドを有する歩行車の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会'19, 講演論文 DVD 2P1-M02, 2019/6.
- 4) 蘆田 宏明, 阿部 凌輔, 黄 健, 小谷内 範穂, 原田 孝, 1 軸回転可能な胸部支持パッド型歩行車による歩行計測と解析, 第 37 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2019)講演論文 DVD, 3C3-01, 2019/9.
- 5) 笠原 大暉, 小谷内 範穂, 小型 4 輪 4 脚ロボットの剛性強化と車輪走行制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会'19, 講演論文 DVD 2P1-B03, 2019/6.
- 6) 中尾 一翔, 小谷内 範穂, 電動スケートボードのロボット化設計, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会'19, 講演論文 DVD 2P1-A06, 2019/6.
- 7) 友國 伸保, 黄 健, 岡 正人, 小谷内 範穂, 柴田 瑞穂, 田上 将治, ロボット創成実習

のためのライントレースロボットの試作, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会'19, 講演論文 DVD 1P2-I06, 2019/6.

- 8) Mizuho Shibata, Norimitsu Sakagami, "Modeling of serial link robots covered with a thin flexible film", The 2019 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Dali, China, Dec.6-8, pp.1946-1951, 2019.
- 9) 柴田 瑞穂, 坂上 憲光, "変形機構を有するテンセグリティ型水中ロボット", ロボティクス・メカトロニクス講演会2019, 2019.
- 10) 高山 侑也, 柴田 瑞穂, "鋳型による外殻製作を利用した魚型柔軟水中ロボット", ロボティクス・メカトロニクス講演会2019, 2019.
- 11) 柴田 瑞穂, 坂上 憲光, "薄型柔軟素材で被覆されたシリアルリンクロボットのモデル化", 第37回日本ロボット学会講演集, 2019.
- 12) 友國 伸保, "VR用トラッキングデバイスを用いた小型自動2輪車型移動体の位置計測", 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会'19, 講演論文 DVD, 1P1-S04, 2019/6.
- 13) 友國 伸保, 黄 健, 岡 正人, 小谷内 範穂, 柴田 瑞穂, 田上 将治, "ロボット創成実習のためのライントレースロボットの試作", 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会'19, 講演論文 DVD, 1P2-I06, 2019/6.
- 14) 小野塚 友也, 小竹 元基, 川畑 亮, 友國 伸保, 村田 元気, "階段昇降機能を有する倒立振子型移動体の動的平衡を考慮した姿勢制御", 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会'19, 講演論文DVD, 2P1-A15, 2019/6.
- 15) 友國 伸保, 小竹 元基, 小谷内 範穂, "動的階段昇降を目指した脚車輪機構を持つ倒立振子型小型移動ロボットの開発, 計測自動制御学会SI部門講演会SI2019, 2A5-10, 2019/12.
- 16) 西川 侑亮, 竹原 伸, 田上 将治, 出井 直樹, "2輪独立駆動輪型ロボットを用いた車いすの隊列走行化の研究", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2019, 講演論文集 2P1-B07, 2019
- 17) 田上 将治, 小谷内 範穂, "多軸負荷試験装置への応用を目指したスチュワートプラットフォームの位置ベースインピーダンス制御", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会'19, 講演論文 DVD 2A2-F04, 2019/6.
- 18) Masaharu Tagami, Atsushi Suda, Kiyoshi Ioi, Manabu Kosaka, "Design and Evaluation of the Vibration Damping Controller for a Pushcart Considering the Behavior of an Ungrounded Wheel", International Congress Sound and Vibration(ICSV26), pp.320-325, 2019
- 19) Masaharu Tagami, "Evaluation of Muscle Activity using CPM Device for Leg-Muscle Recovery", The 10th TSME International Conference on Mechanical Engineering (ICoME2019) Proceedings, Paper ID DRC-0018, 2019
- 20) 西川 侑亮, 田上 将治, "2輪独立駆動型ロボットのモデルリングとシミュレーションに関する基礎検討", 第16回「運動と振動の制御」シンポジウム (MoViC2019), 講演論文集 B203, 2019

(4) 講演 (7 件)

- 1) 阿部 凌輔・蘆田 宏明・黄 健・小谷内 範穂・原田 孝, “駆動型一軸回転可能な胸部支持パッドを有する歩行車の開発”, 近畿大学工学部研究公開フォーラム 2019, パネル展示, 2019.10.25
- 2) 黄 健, 回転式支持パッドにより高齢者の自立歩行意欲の促進を図る歩行車の開発, 2019 年度 第 2 回ヘルスケア・医療福祉機器技術研究交流会, 2019/9/24
- 3) 小谷内 範穂・笠原 大暉・中野 一翔, “建設機械情報化の研究およびパーソナル・ロボット、スケートボードロボットの研究”, 近畿大学工学部研究公開フォーラム 2019, パネル展示, 2019.10.25
- 4) 樹野 淳也, “乗り心地評価技術”, 近畿大学工学部研究公開フォーラム 2019, パネル展示, 2019.10.25
- 5) 松澤 和樹, 樹野 淳也, ワケギ球根の植え付けの自動化に関する研究, 近畿大学大学院サイエンスネットワーク 2019 (第 9 回院生サミット), P154, pp.125, (2019-10)
- 6) 田上 将治, “膝関節用多機能リハビリ機器の評価と歩行訓練機への発展”, 近畿大学工学部研究公開フォーラム 2019, パネル展示, 2019.10.25
- 7) 柴田 瑞穂, “ロボットパッキング法によるシリアルリンクロボットの柔軟素材被覆”, 近畿大学工学部研究公開フォーラム 2019, パネル展示, 2019.10.25

4. 外部資金獲得 (4 件)

- (1) 黄 健, 科研費 (基盤研究(C)), 日本学術振興会, 「歩行意欲を促進できる駆動型胸部支持パッドを有する歩行車の開発と補助効果の評価」, 代表, 2019 年度
- (2) 柴田 瑞穂, 科研費 (基盤研究(C)), 日本学術振興会, 「薄型柔軟素材で被覆された多関節ロボットの力学特性の解明」, 代表, 2019~2021 年度
- (3) 田上 将治: 「歩行回復・ロコモティブシンドローム対策のための転倒リスクのない歩行訓練器の開発」公益財団法人 JKA: 平成 31 年度 機械振興補助事業 研究補助, 研究代表
- (4) 樹野 淳也, 平成 31 年度大学連携政策課題共同研究事業, (大学提案型共同研究 (シーズ型)) 中山間地域農業で活躍する GPS レス農作業用ロボットの開発

5. 学外兼務業務

(1) 黄 健

- ・ The 2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2019) Associate Editor
- ・ The 2019 IEEE International Conference of Robotics and Biomimetics (ROBIO2019) PC 委員
- ・ ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019 実行委員 (2017.8~)

(2) 小谷内 範穂

- ・ 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019 実行委員長 (2017.8~)
- ・ つくばチャレンジ 2019 実行委員会委員

- ・広島県 AI・IoT ロボティクス活用研究会会長
- ・ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト 低コストなバラ積み自動車部品組付けシステム開発 継続事業体アドバイザー
- ・NEDO 分野横断的公募事業に係る事前書面審査員（ピアレビュー）

(3) 柴田 瑞穂

- ・ロボット学会 2017 年度代議員 (2017.3～2021.2)
- ・ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019 実行委員 (2017.8～2019.6)
- ・World Robot Summit ものづくりカテゴリー 競技委員 (2017.11～)
- ・平成 30 年度計測自動制御学会中国支部運営委員 (2018.1～2019.12)

(4) 樹野 淳也

- ・日本人間工学会第 6 期代議員
- ・平成 31 年度日本人間工学会中国・四国支部理事
- ・令和 2 年度計測自動制御学会中国支部庶務幹事
- ・日本人間工学会第 61 回大会実行委員

(5) 田上 将治

- ・日本技術士会中国本部 機械/船舶・海洋/航空・宇宙部会 幹事 (2017.7～2019.6)

(6) 友國 伸保

- ・日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019 実行委員 (2017.8～2019.6)

6. その他

- 1) 柴田 瑞穂, "真空包装機で作る？水中ロボットを泳がせてみよう (ひらめき☆ときめきサイエンス 2017)", 近畿大学次世代基盤技術研究所研究所報告, Vol.10, pp. 139-142, 2019.
- 2) 柴田 瑞穂, 研究紹介, Innovation Potluck #15, “柔らかさで広げるロボットの世界”, 2019.9.18.
- 3) 田上 将治, 社会人リカレント講座, “IoT 基礎研修”, 2019.6.13－2020.1.22
 // “IoT 基礎基礎技術研修”, 2020.3.4, 3.18