

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, 白井 敦, 柴田 瑞穂, 友國 伸保, 田上 将治, 松谷 祐希

1. 令和3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）

駆動型胸部支持パッドを有する歩行車の開発を昨年度に引き続き行った。歩行車の胸部支持パッドを回転するモータのトルク不足の問題を解決するため、新たに昇圧回路の改良を行ったのち、負荷実験によって歩行者上半身を動かすに必要なトルクを十分に出力したことが確認された。さらに、歩行実験を行い、歩行車の動作検証と支持パッドの回転が歩行者下肢部の運動への影響を考察した。本年度の研究内容に係わる研究発表については、学術ジャーナル論文発表1件、講演会論文発表1件の実績があった。

(2) 回転型胸部支持パッドを有するトレッドミル歩行訓練機器の開発（黄・小谷内）

加齢や病気で足の弱い高齢者が自宅での日常生活の移動手段として回転型胸部支持パッドを有する歩行車の開発がこれまでに行われてきた。一方、脳卒中患者のリハビリテーションとしてトレッドミルによる歩行訓練を行うという手法は臨床的に広く用いられてきたが、現行の歩行訓練機器のほとんどは利用者下肢部に注目し、下肢部の反復強制運動を行うものである。これまでの研究成果を活かして、回転型胸部支持パッドを有するトレッドミル型歩行訓練機の開発を行うことを目的としており、本年度では機器の設計と試作を行った。

本年度は研究計画の初年度であり、まずハードウェアの設計製作を含めたシステムの開発に取り組む。従来の研究成果を参考しながら、身長180cm、体重100kgまでの人が利用可能な回転型胸部支持パッドとその周辺支持機構を設計・試作したのち、市販品のトレッドミルに取り付けることによって回転型支持パッドを有するトレッドミル歩行訓練機器のハードウェアを製作した。また、歩行中利用者の運動情報を測定するため、支持パッドへの圧力を測る力センサと、歩行者下肢部の運動を測定するゴニオメータなどのセンサを用いており、これらのセンサ情報を集計するための計測系を構築した。本年度の研究内容に係わる研究発表については、学術講演会で1件の発表実績があった。

胸部支持パッドをモータで駆動し胸部を振る動作を訓練する場合と従来の受動的支持パッドの場合の訓練とを比較できるように、胸パッドとモータの間にクラッチを組み込む設計を行った。市販品のクラッチを選定したが当初の想定よりも大きく重くなってしまったので、再度設計の修正を行うことにした。

(3) 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。物理エンジンを内蔵したシミュレーションソフト WEBOTS のサンプルプログラムに含まれている Boston Dynamics 社の Spot のモデルを使用して手で足先軌道を入力し斜面上りのシミュレーションを行った。歩行プログラム開発のために小型 4 輪 4 脚モデルの再製作を行ったが、プログラム開発までに至らなかった。

従来の脚車輪による静歩行だけでなく、4 脚動歩行のための股関節にモータを集中した 1 脚モデルの設計・製作を行い、トロット歩容の指令を与えて数歩歩行させる実験を行った。

自動運転のための SLAM 技術の実装のために、Raspberry Pi 4 を搭載できる Raspberry Pi Mouse V3 に UBUNTU と ROS2 を実装し、2 次元 RiDAR を使って地図作成と更新を行えることを確認した。

(4) 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 3 年度は、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おり、令和 3 年度は制御システムの整備に取り組んだ。

他方、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。そこで実際の観点から支持脚による旋回を提案しており、その具現化に取り組んだ。

(5) 血液循環補助や幻肢痛治療に関する研究（白井）

拍動流を生成する体内植込み式補助人工心臓の開発をしている。現在臨床で用いられている補助人工心臓は、小型化の観点から定常流ポンプが主流であるが、定常流では血行障害や臓器不全等の危険性が指摘されている。そこで、振動型ポンプに着目した血液ポンプの開発を目指す。ここで、従来の振動型ポンプに用いられてきた逆止弁である Jelly-fish 弁は溶血の危険性が示唆されることから、生物模倣の観点から大動脈弁を模擬した逆止弁を用いることを提案する。令和 3 年度は、大動脈弁を模擬した形状の弁を試作するとともに、より詳細なデータを得るためのポンプシステムおよび試験用流体回路を構築した。そして、試作弁を用いて送液実験を行ったところ、弁の全長がポンプ特性に影響を与える可能性が示唆された。

幻肢痛の低減に用いられているミラーボックスを安価で高機能化するシステムの開発をしている。幻肢痛の発生機序や治療法は確立されていないが、現在、鏡を用いて健側肢の鏡像を患側肢に重ねて提示することで、視覚的錯覚から症状を低減する鏡療法が広く用いら

れている。また、この鏡を用いた療法は、感覚・運動麻痺患者に対するリハビリテーションにも用いられている。そこで、Web カメラと PC を用いて安価にミラーボックスを機能化するシステムを提案する。令和 3 年度は、google 社が開発した画像処理技術 MediaPipe を用いて、健側肢と麻痺肢の一致度を定量化するための基本プログラムを構築した。MediaPipe 内の Hands プログラムで手指の動きを検出したところ、手指の特徴点の奥行き方向座標に誤差があるため、左右の手の向きを揃えるために座標変換を行うと形状が崩れるという問題が明らかになった。

(6) 柔軟・軽量ロボットに関する研究 (柴田)

現在、外殻を柔軟要素で構成する水中ロボットを試作している。令和三年度は、外殻を材料力学観点からモデル化し、外殻に必要な物理特性について考察した。樹脂等、伸び剛性に比べて曲げ剛性が小さい素材に対しては、外殻を薄く設計し、外殻と内容物を密着させず、滑りを許容することで低トルクモータでの屈曲運動が可能であることを見出した。得られた知見がシリコン素材で製作した水中ロボットにも適用可能であることを実験的にも確認した。また、外殻を軽量素材で構成する多面体ロボットを製作している。この多面体ロボットは内部で偏心モータを回転させることにより、転がり運動を実現する。このロボットを他リンクモデルとしてモデル化し、その挙動を解析し、外殻に対して適切な偏心モータの質量がある可能性が示唆された。

(7) 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、ばねあるいは摩擦を模擬する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。昨年度は主に装置が与える負荷の種別や大きさの違いにより筋活動がどのように変化するかについて被験者実験を通じて調査し、これとシステムの制御設計をまとめて、*Journal of Robotics and Mechatronics* に発表した。また、本研究の成果を活用して歩行訓練機への拡張に向けた開発も進め、足踏み運動の負荷を模擬するモデルを開発した。

(8) 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 3 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引き続き研究を行っている。これまでに提案した回転リンク内にスライダを内蔵する機構の機構モデルをラック・ピニオン機構から滑りねじ機構に変更した。また、回転リンク-本体間のスリップリングを利用する配線数を削減するため、回転リンク内に機構だけでなく、コントローラも配置する。このため、シリアル通信を介して 4 つのブラシレス DC モータをリアルタイムに FOC コントロール可能なコントローラの開発を実施している。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。

(9) 筋骨格型ロボットに関する研究（松谷）

筋骨格型ロボットを対象にした筋内力フィードフォワード位置制御法において、目標位置での関節剛性と目標位置への応答性を独立して設定可能な筋内力決定法を提案した。まず、関節剛性行列と筋内力の関係式を導出し、その式を用いて筋内力を決定する方を示した。そして、提案手法が目標位置での関節剛性を実現可能な筋内力を決定できることを示すため、筋骨格型ロボットを対象にした位置制御のシミュレーションを行った。この結果より、冗長性を利用することで、目標位置への応答性と剛性を独立して設定することが可能な筋内力が決定できることを示した。

2. 共同研究（2件）

- (1) 柴田 瑞穂：受託研究 1 件
- (2) 田上 将治：寄付研究 1 件

3. 主要な研究業績

- (1) 著書（0件）
- (2) 論文（9件）
 - 1) Huang, J., Ashida, H., He, Y., Koyachi, N. and Harada, T., Measurements and Analyses of Walk Using a Novel Rollator Equipped with a Rotatable Chest Pad, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.34 No.1, pp.18-27, doi: 10.20965/jrm.2022.p0018, (2022-2)
 - 2) Tatsuno, J., Tajima, K., Kato, M., Automatic Transplanting Equipment for Chain Pot Seedlings in Shaft Tillage Cultivation, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 34, No. 1, pp.10-17, (2022)
 - 3) Masaharu Tagami, Masaki Hasegawa, Wataru Tanahara, Yasutaka Tagawa, "Prototype of a Continuous Passive Motion Device for the Knee Joint with a Function of Active Exercise", *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.34, No.1, pp.28-39, (2022-2)
 - 4) 田上将治, 五百井 清, 須田 敦, "撃心を利用した衝撃伝達の低減とその応用", *日本機械学会論文集*, Vol. 87, No. 897, (2021-5)
 - 5) Mizuho Shibata, "Fish-like robot with a deformable body fabricated using a silicone mold", *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.34, No.1, pp.40-46, 2022 (<https://doi.org/10.20965/jrm.2022.p0040>)
 - 6) Norimitsu Sakagami, Mizuho Shibata, Tomohiro Ueda, Kensei Ishizu, Kenshiro Yokoi, and Sadao Kawamura, "Numerical and Experimental Analysis of Portable Underwater Robots with a Movable Float Device", *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.33, No.6, pp. 1234-1247, 2021 (<https://doi.org/10.20965/jrm.2021.p1234>)
 - 7) Noriho Koyachi, Jian Huang, Junya Tatsuno, Atsushi Shirai, Mizuho Shibata, Nobuyasu Tomokuni, Masaharu Tagami, and Yuki Matsutani, "Kindai University: Advanced Robotic Technology Research Center in Fundamental Technology for Next

Generation Research Institute", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.34, No.1, pp.6-9, 2022 (<https://doi.org/10.20965/jrm.2022.p0006>)

- 8) Y. Matsutani, K. Tahara and H. Kino, "Simulation evaluation for methods used to determine muscular internal force based on joint stiffness using muscular internal force feedforward controller for musculoskeletal system", Frontier Robotics and AI, vol. 8, Article 699792, 2021
- 9) Nobuyasu Tomokuni, "A Balance Control for the Miniature Motorcycle Robot with Inertial Rotor and Steering," Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.34, No.1, 53pp.47-9, 2022 (<https://doi.org/10.20965/jrm.2022.p0047>)

(3) 学会発表 (18 件)

- 1) 向井敬太, 宮本 空, 阿部凌輔, 黄 健, 小谷内範穂, 駆動型支持パッドを有する歩行車の計測制御系の構築, 日本機械学会ロボットメカトロニクス部門講演会'21, 講演論文 DVD 2P2-D08, (2021-6)
- 2) 寺戸友哉, 向井敬太, 黄 健, 小谷内範穂, 回転型胸部支持パッドを有する歩行訓練トレッドミルシステムの試作, 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, 講演論文DVD 2C4-04, (2021-12)
- 3) 小田章弘, 平井貴大, 田上将治, “振動制御系を有する手押し台車の段差乗り越え実験装置の構築”, 日本機械学会 中国四国学生会 第52回学生員卒業研究発表講演会, 講演論文集, 10C-4, 2022年
- 4) 田上将治, 田川泰敬, 五百井清, 須田 敦, 台車荷台振動制御系のための慣性力発生装置の設計, 日本機械学会 第 17 回「運動と振動の制御」シンポジウム (MoViC2021), 講演論文集, C11, 2021年
- 5) 矢野翔平, 友國伸保, 小谷内範穂, 小型二足歩行ロボットの重心位置測定を目的としたフォースプレート製作, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'21講演論文集, 1A1-D01, 2021/6
- 6) 吉賀后伴, 友國伸保, 小谷内範穂, Raspberry Pi 4とROS2を用いたデブスカメラによる環境測定, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'21講演論文集, 1P2-G02, 2021/6
- 7) 吉村 典, 友國伸保, 小谷内範穂, 回転リンク内にスライダ機構を持つ新型階段昇降ロボットの制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'21講演論文集, 2A1-L05, 2021/6
- 8) 石丸 諒, 友國伸保, 小谷内範穂, スライダ内蔵回転リンク機構を持つ階段昇降ロボットの設計と制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'21講演論文集, 2A1-L12, 2021/6
- 9) 金子幸寛, 小谷内範穂, 友國伸保, 前後二輪型ロボットの制御シミュレーション, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'21講演論文集, 2P1-J05, 2021/6
- 10) 北原文裕, 伊藤汐音, 友國伸保, 村田元気, 小竹元基, 不確かなパラメータを有する倒立振り型移動体の挙動特性を考慮した姿勢安定化方策, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'21講演論文集, 2P1-J11, 2021/6

- 11) 棚原 渉, 田上将治, 膝関節用他動運動訓練機による自動運動機能の実現, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会2021 (RoboMech2021), 講演論文集, 2P2-D11, 2021年
- 12) 田中耀太郎, 柴田瑞穂, "柔軟薄型素材で被覆されたシリアルリンクの回転角度に対する封入液量の影響", ロボティクス・メカトロニクス講演会2021, 2021
- 13) 藤原和樹, 小谷内範穂, 柴田瑞穂, "水中ロボット搭載のための充電機能を持つ温度ロガーの開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会2021, 2021
- 14) 樹野淳也, 愛媛県立丹原高等学校, 出張講義, 自動車の電動化・知能化, 2021/10/28
- 15) 松谷祐希, "仮想筋骨格構造を利用した 2 リンクアームの位置制御", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021 講演論文集, 1P1-J06, 2021
- 16) T. Ikeda, M. Serino, Y. Matsutani, M. Sato, S. Furuno, F. Nagata, "Development of Automatic Rehabilitation Equipment for Flexor Tendon", The 27th International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp. 1317-1322, 2022
- 17) 大西裕也, 小谷内範穂, 友國伸保, "動歩行小型 4足歩行ロボットの設計・制御", 2021 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2P3-G03, 2021
- 18) 大西裕也, 小谷内範穂, 友國伸保, "動歩行小型 4足歩行ロボットの設計・制御", 計測自動制御学会第 22 回システムインテグレーション部門講演会(SI2021), 1E2-030, 2021

(4) 講演 (1 件)

- 1) 白井 敦, 「幻肢痛低減や運動機能回復への適用を目指したWebカメラを用いる安価な改良型鏡療法」, 2021年度第1回ヘルスケア・医療福祉事業化交流会, 2021.7.16

4. 外部資金獲得 (5 件)

- 1) 黄 健, 科研費 (基盤研究(C)), 日本学術振興会, 「回転可能な胸部支持パッドを有するトレッドミル型歩行リハビリテーション機器の開発」, 代表, 2021~2023 年度
- 2) 白井 敦, 科研費 (基盤研究(C)), 日本学術振興会, 「大動脈弁を模擬した逆止弁を有する拍動型 VAD の開発に関する実験的研究」, 代表, 2020~2022 年度
- 3) 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
- 4) 松谷 祐希, (公財) サタケ技術振興財団 2021 年度大学研究助成金, 「仮想筋骨格構造を利用した 2 リンクアームロボットの制御手法の構築」, 代表, 2021 年 6 月~2022 年 2 月
- 5) 松谷 祐希, 科研費 (若手研究), 日本学術振興会, 「筋骨格構造のメカニズムに基づく運動生成法の構築」, 代表, 2021~2022 年度

5. 特許登録 (1 件)

- 1) 黄 健, 脇本 哲汰, 特願 2021-89038, 「切替式腹腔鏡手術用鉗子」, 2021/7/5

6. 学外兼務業務

1) 黄 健

- ・ The 2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2022) OC Member

2) 小谷内 範穂

- ・ つくばチャレンジ 2021 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
- ・ 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)
- ・ ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021 実行委員会アドバイザーボード
- ・ 日本機械学会中国四国支部第 61 期商議員

3) 樹野 淳也

- ・ 日本人間工学会第 8 期代議員
- ・ 日本人間工学会中国・四国支部第 8 期理事
- ・ 日本人間工学会第 63 回大会実行委員

4) 白井 敦

- ・ 日本機械学会 ROBOMECH2019 実行委員会 会場委員, 出版委員
- ・ 日本機械学会バイオエンジニアリング部門 制御と情報－生体への応用－研究会 (A-TS02-04) 委員 (2020/4～)
- ・ 第 29 回計測自動制御学会中国支部学術講演会実行委員会 会場担当

5) 柴田 瑞穂

- ・ World Robot Summit ものづくりカテゴリー 競技委員 (2017.11～2021.12)
- ・ 計測自動制御学会代議員 (2021.1～2023.1)
- ・ 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門 表彰委員会 幹事 (2021.4～2022.3)

6) 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 (2017.7～2022.6)

7) 松谷 祐希

- ・ 2020 年度 計測自動制御学会 中国支部 運営員
- ・ 第 99 期 ロボティクス・メカトロニクス部門 技術委員会 技術委員