

令和 6 年 6 月 23 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H04562

研究課題名（和文）手動車いす・ベッド等に容易に着脱可能な駆動装置による知的モビリティに関する研究

研究課題名（英文）Research on intelligent mobility with an electric drive unit that can be easily attached to manual wheelchairs and beds.

研究代表者

和田 正義（Wada, Masayoshi）

東京理科大学・工学部電気工学科・教授

研究者番号：80406537

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,400,000円

研究成果の概要（和文）：手動で動かす車いすやベッドなどに後付け可能で、高度な移動や移動補助が実現できる電動化システムに関する研究を行った。移動体に作用する操作力の検出システムを差動駆動式アクティブキャスト車輪の内部に搭載し、検出された力情報を利用したアドミッタンス制御と組み合わせることで安定して動作するパワーアシストシステムを提案した。

さらにベッドのような大型搬送物の移動に関して、2台の移動ロボットにアクティブキャストの制御を適用し、ロボットに搭載されたセンサで搬送物とロボットの相対姿勢を測定することで搬送物の協調制御を実現するシステムを提案した。試作機による実験によりそれぞれのシステムの有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的成果としては、研究代表者が提案するアクティブキャストへの力検出手法およびそのパワーアシストシステムへの応用展開の実現を示せたことが挙げられる。このシステム構成は搭乗者が乗ったままで車いすへの着脱が容易なので個人ユーザのみならず病院など大きな施設への展開も期待でき社会的意義も大きいと考えられる。

また通常の2輪駆動ロボットにアクティブキャストの制御を応用し、複数のロボットによる大型搬送物の協調搬送システムの成果は、試作機で実施した2台のロボットの協調のみならず、多数のロボットシステムに展開することで、物流で扱われる重量物、大型・長尺物の搬送などより広い技術展開の可能性がある。

研究成果の概要（英文）：Electrically motorizing systems were proposed in this research that can be retrofitted to manually operated wheelchairs and beds, enabling advanced mobility and mobility assistance. We developed a force sensing system that detects the operating force acting on the any position on a moving object. The force sensing system installed on the active-caster wheel mechanism provides 2DOF force information to the control system. We applied the admittance control for driving the mobile objects stably by using the detected force information.

Furthermore, for the omnidirectional drive of large objects such as beds, we proposed a system that applies active caster control to standard two mobile robots and achieves cooperative control of the omnidirectional drive of an object by measuring the relative posture between the object and the robots with sensors installed in the robots. The effectiveness of each system was confirmed through experiments using prototypes.

研究分野：知能機械学・機械システム

キーワード：アクティブキャスト 車いす 電動化装置 協調搬送

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

超高齢化社会を迎える環境においては、介助者・介護者の不足あるいは身体的精神的負担が大きくなる。特に被介助者の移動は労力を有する作業のひとつである。これまでも電動リフトや電動車いすなどに代表されるような電気エネルギーを利用して被介助者の移動を支援するシステムが開発されているが、より安価で手軽に利用できるシステムの開発が必要であると考えられる。そこで本研究では、利用者が電動車いすに座ったまま着脱が可能で自在な動きを実現する電動の駆動装置を開発し、これを基本要素として介護・介助者あるいは車いす利用者自身の移動支援を行う知的モビリティシステムについて研究を行うことを目的とする。この電動の駆動装置における駆動輪としてアクティブキャストと呼ぶ独自の駆動輪機構を用いるが、新たに考案したモータの稼働効率を高める差動式動力伝達機構を組み込むことで小型軽量化した駆動装置を用いてジョイスティックによる自動走行モード、介助者のパワーアシストモード、計画された経路に追従する自動走行モードなどの知的モビリティ機能について研究する。さらにこの駆動装置の応用展開として、車いす以外の機器の移動(例えばベッド等の搬送)にも応用するための複数ユニットの協調制御機能についても検討を行う。

2. 研究の目的

本研究にて用いるアクティブキャストでは、新たに考案した車輪動力伝達機構を採用した。これは搭載する2つのモータの動力を1つの駆動車輪の左右から車輪軸に伝えることで、2つのモータのトルクを加算する方法である。この構造は機構的に非常に簡潔であり、また2つのモータが運動学的・力学的に対称で、動力を伝達する歯車の数やその減速比を同一にすることができる。これはモータのエネルギー消費や稼働率を均一化することに大きく貢献する。これより、まず技術要素の核となる差動駆動式によるアクティブキャストを開発し、続いて開発した駆動装置を利用した知的モビリティの各機能である、ジョイスティックによる操作機能、介助・介護者に対するパワーアシスト機能、あるいは自動走行機能や複数の移動装置の協調動作機能などについて応用研究を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

研究期間の1年目では、原理試作機を用いた実験の結果を踏まえて試作1号機を設計製作した。これは、実際に人間の搭乗する車いすやベッドなどを移動できる出力を備えるもので、モータ容量や車輪径やモータ車輪間の減速比等の仕様を決定し、これに基づいて駆動装置の第一次試作機を製作した。第1試作の駆動装置を用いた実験においては、制御装置としてパーソナルコンピュータ(PC)を用い、ジョイスティックによる車いすの操縦機能により動作確認を行った。また、2台の協調動作については、2輪駆動の移動ロボットを設計製作し、アクティブキャスト制御を適用してロボットの移動動作ができるか確認した。

研究期間の2年目では、パワーアシスト機能について検討した。車いすを介助・介護者が後方から押し引きした場合、この操作力を検出してモータを動作させることで、車いす操作を支援する方法について制御方法を検討した。さらに2台の移動ロボットによるベッドなどの大型搬送物体を対象とした移動制御については前後左右の移動および旋回動作の協調動作を行えることを確認した。この結果について国内および国際学会にてその成果を公表した。

研究期間の3年目においては、センサや制御アルゴリズムなどの制御装置の機能をPCからマイコンに移植した。その際にモータやモータ駆動装置の種類もバッテリーを電源としてマイコン制御により動作するものに適した種類を新たに選定した。

研究期間の4年目においては、協調搬送システムにて第2試作のマイコンの実装を完了した。後半においては各動作を検証し、国内および国際学会での研究成果の公表を行った。

4. 研究成果

以下、主要な研究成果について概要を説明する。

(1) 力検出と仮想動特性を実現する移動体制御

アクティブキャストにより全方向に駆動される台車に対して、操作者が力を加えるハンドルを設置し(図1)検出された3次元の力情報(式1)より仮想的に動作する動力学モデルをコンピュータ内に設定し、その動作を実際の全方向移動台車で再現するアドミッタンス制御(式2)によるパワーアシストについて研究を行った。さらに全方向移動動作において台車の旋回中心の位置を操作の種類(前進・後退/その場旋回/曲線走行)で切り替えることで人間に与える操作感覚を向上させる方法を提案し、その有効性を実験によって示した(図2)。

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -G_x & -G_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -L & L & -L_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{xl} \\ f_{xr} \\ f_{yl} + f_{yr} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_x \\ \dot{V}_y \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_x & 0 & 0 \\ 0 & D_y & 0 \\ 0 & 0 & D_\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

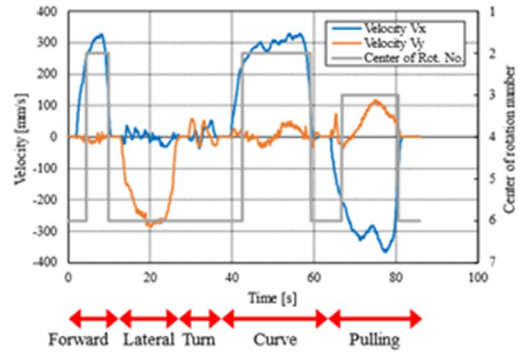
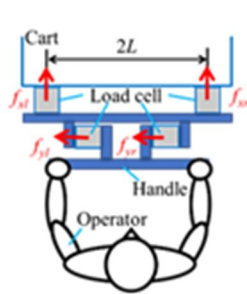
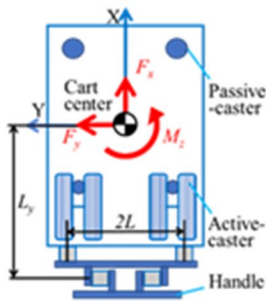


図1 全方向移動台車の構成と力検出ハンドル

図2 操作認識と移動制御の実験結果

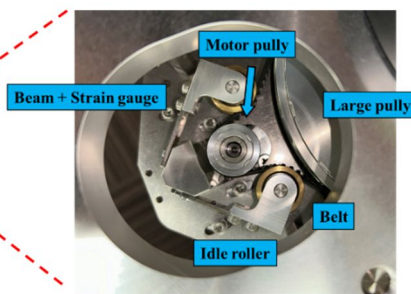
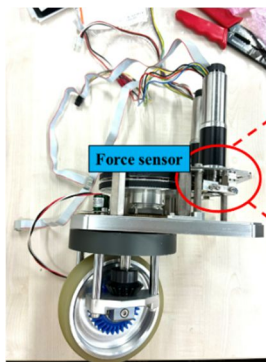
(2) 車輪部の力検出システムとそれを利用したパワーアシスト車いす電動化システム

差動駆動式アクティブキャストの車輪機構部に外力を検知する力検出システムを内蔵し(図3a)、それを取り付けた移動体のどの部分に力を作用させた場合でも力の検出を可能とするシステムを開発した。アクティブキャストは平面内2自由度の運動を制御することができるので、力検出も平面内に作用する2自由度の力ベクトルを検出できる。

このアクティブキャストを一輪、手動車いすの後方に設置し車いすの電動化を行った試作機を製作した(図3b)。外部から車いす本体に作用させた操作力を検出し、車いすの動作を行わせることが可能である。操作方法としては、介助者が車いすを押し引きする(力をかける場所は任意)一般的な動作に加えて、車いす搭乗者自身が車いすの大車輪を回転操作する力の検出、壁や机などを押し引きする力の検出を行うことで車いすを動作させることを実現した。

検出された力は、内部の運動モデルを駆動し(式3)、車いすの動作を追従させるアドミッタンス制御を適用した。車いす搭乗者が左右の大車輪を駆動し、曲線運動を行う動作をアシストする実験を行い、有効に機能することを確認した(図4)。

$$\begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V} \\ \dot{\Omega} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C & 0 \\ 0 & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ \Omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ -LF_y \end{bmatrix} \quad (3)$$



(a)力検出システム

(b) 車いす試作機

図3 車輪に搭載された力検出システムと車いす試作機の様子

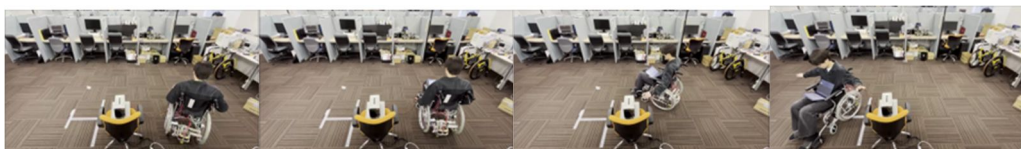


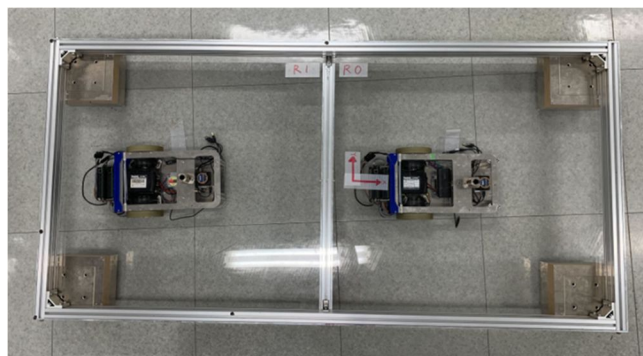
図4 手動車いすの大車輪操作によるパワーアシスト動作実験の様子

(3) 複数台のロボットによる大型搬送物の協調全方向移動制御

試作した2輪移動ロボット(図5a)に対して、アクティブキャストの制御方法を適用し、ロボット前方に備える結合用ピンの全方向への移動を実現した。このロボットを複数台用いた協調制御の実験を行うために、2台がドッキングできる大型台車を用いるシステムを構築した。各ロボットはマイコンによって制御され、無線で指令値を受信する。各ロボットに搭載されたレーザーセンサにより、搬送物体との相対角度などを計測し協調制御を実現する。八角形軌道をたどる協調搬送実験を行い、レーザーセンサの利用で軌道の追従性能が向上されることを確認した。(図6)



(a) 2輪移動ロボット



(b) 2台のロボットにより搬送する台車

図5 2輪移動ロボットと2台による大型搬送物体の協調搬送実験機

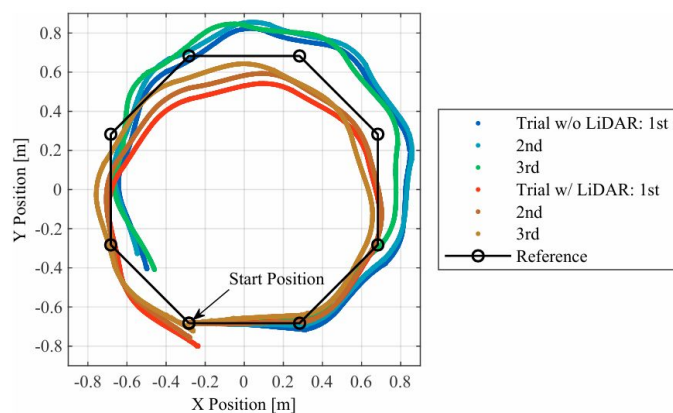


図6 協調搬送動作実験の結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Nozomi Terui, Masayoshi Wada	4. 巻 1
2. 論文標題 Variable Center of Mass Control for Omni-Directional Cart with Power-Assist Function	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2023 IEEE International Conference on Advanced Robots, ICAR2023	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICAR58858.2023.10406897	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 Yu Arai, Masayoshi Wada,	4. 巻 1
2. 論文標題 Study on Omnidirectional Cooperative Transport System Using Multiple Dual-Wheeled Mobile Robots with Active-Caster Control	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2023)	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/AIM46323.2023.10196226	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 Taisei Nakayama and Masayoshi Wada	4. 巻 35
2. 論文標題 Study on an Add-on Type Electric Wheelchair Using Active Caster with the Differential Mechanism	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 99-112
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jrm.2023.p0099	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 Masayoshi Wada	4. 巻 22
2. 論文標題 Cooperative control of multiple modular mobile systems with active-caster omnidirectional drive mechanisms	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Communications in Information and Systems	6. 最初と最後の頁 527-547
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4310/CIS.2022.v22.n4.a5	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 小島 航, 和田 正義	4. 巻 40
2. 論文標題 前輪駆動車いすの安定性の理論的解析に基づく制御性向上に関する研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本ロボット学会誌	6. 最初と最後の頁 550-553
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.40.550	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 Kenji Miyashita, Masayoshi Wada	4. 巻 1
2. 論文標題 An Omni-Directional Cooperative Transportation of a Large Object by Differential Drive Wheeled Mobile Robots with the Active-Caster Control	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, SII 2022	6. 最初と最後の頁 932 - 937
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 -

〔学会発表〕 計20件(うち招待講演 0件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Keiichi Hongo and Masayoshi Wada
2. 発表標題 Power-assist Control of an add-on Electric Wheelchair with the Active-caster
3. 学会等名 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小川紗佑実、和田正義
2. 発表標題 全方向協調搬送システムにおける搬送ロボットの搬送物体との相対位置・方位計測に関する研究
3. 学会等名 2024ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 崎村 怜王、和田 正義
2. 発表標題 DDモータアクティブキャストによる車いす電動化システム
3. 学会等名 2024ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Nozomi Terui, Masayoshi Wada
2. 発表標題 Variable Center of Mass Control for Omni-Directional Cart with Power-Assist Function
3. 学会等名 2023 IEEE International Conference on Advanced Robots, ICAR2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yu Arai, Masayoshi Wada,
2. 発表標題 Study on Omnidirectional Cooperative Transport System Using Multiple Dual-Wheeled Mobile Robots with Active-Caster Control
3. 学会等名 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本郷 圭一、和田 正義
2. 発表標題 サスペンション付き差動駆動型アクティブキャストの開発
3. 学会等名 日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 阿部航太、和田正義
2. 発表標題 ポテンシャル法による経路計画を利用した複数台の対向二輪型ロボットによる全方向協調搬送システム
3. 学会等名 2023ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本郷圭一、和田正義
2. 発表標題 アクティブキャストを用いた操作力推定と台車のパワーアシスト走行に関する研究
3. 学会等名 2023ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 照井 希望, 和田 正義
2. 発表標題 パワーアシスト機能を有する全方向移動カートの変速旋回中心制御とその走行特性に関する研究
3. 学会等名 第28回ロボティクスシンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊 智樹、尾崎 学士、近藤 大介、藤岡 紘、林 敏也、和田 正義
2. 発表標題 アクティブキャストを備えた全方向移動台車のトルクアシスト機構
3. 学会等名 日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柿沼令興、和田正義
2. 発表標題 アクティブキャスト全方向移動台車の操作力センシングとパワーアシスト制御に関する研究
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 新井友、和田正義
2. 発表標題 複数の対向二輪型ロボットによる大型物体の全方向協調搬送システムに関する研究
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenji Miyashita, Masayoshi Wada
2. 発表標題 An Omni-Directional Cooperative Transportation of a Large Object by Differential Drive Wheeled Mobile Robots with the Active-Caster Control
3. 学会等名 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, SII 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中山 泰誠 地阪 雄一郎 和田 正義
2. 発表標題 簡易電動車いす駆動走行のための差動駆動アクティブキャストの操舵軸制御
3. 学会等名 2021ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 地阪 雄一郎 中山 泰誠 和田 正義
2. 発表標題 アクティブキャストを用いた3輪簡易電動車いすの直進走行安定性向上に関する研究
3. 学会等名 2021ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 地阪雄一郎、中山泰誠、和田正義
2. 発表標題 アクティブキャストを用いた輪簡易電動車いすの直進走行安定性の向上に関する研究
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2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中山泰誠、地阪雄一郎、和田正義
2. 発表標題 簡易電動車いす駆動走行のための差動駆動アクティブキャストの操舵軸制御
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2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kenji Miyashita, Masayoshi Wada
2. 発表標題 Study on Self-Position Estimation and Control of Active Caster Type Omnidirectional Cart with Automatic / Manual Driving Modes
3. 学会等名 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮下 献児, 和田正義
2. 発表標題 手動/自動モードを有する全方向移動台車の自己位置推定と制御に関する研究
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2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 地阪雄一郎, 中山泰誠, 和田正義、
2. 発表標題 アクティブキャストを用いた3輪簡易電動車いすの直進安定性の検討
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2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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

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