

平成 30 年 6 月 9 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01454

研究課題名(和文) アクティブキャストを応用した5輪電動車いすの設計と制御に関する研究

研究課題名(英文) Design and control of a 5-wheeled wheelchair with an active-caster drive system

研究代表者

和田 正義 (Wada, Masayoshi)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80406537

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：全方向移動ロボットのための駆動輪機構であるアクティブキャストを利用して、手動車いすを電動化する後付け電動システムを開発した。車いす後方にアクティブキャストを1輪搭載し、その操舵軸、車輪軸を電動モータにより制御することで通常の電動車いすと同様の操縦感覚で運転ができる。また、アクティブキャストと車いすの相対的位置を変化させるリンク機構を開発し、前輪を床面から浮かせその状態を維持しながら走行する「静的ウィリー」を提案、この動作を活用した段差昇降アルゴリズムにより10cmの段差の乗り上げと降下動作を実現した。さらに、一連の段差昇降動作の複雑な操縦手順を用意するための半自動化システムを開発した。

研究成果の概要(英文)：An add-on drive system for a manual wheelchair was developed. The active-caster, which has been developed for omnidirectional mobile robots, was applied to the add-on drive system. Single active-caster is mounted on the back side of a manual wheelchair for running on the ground as a normal electric wheelchair. Additionally a link mechanism which varies relative position of the active-caster to a wheelchair was designed. The mechanism allows the wheelchair to flip up front casters without dynamic balance controls, called as "static wheelie". By using the proposed static wheelie, ascending and descending of a 10cm-step by a developed algorithm. To eliminate the complex manual operation for the step climbing procedure, semi-automatic system was developed. Based on sensor data, a series of step climbing motions are realized by automatic system by a trigger of a wheelchair user.

研究分野：機械力学、機械制御

キーワード：福祉・介護用ロボット 車いす 電動化システム アクティブキャスト

1. 研究開始当初の背景

電動車いすに関する研究は、移動ロボット分野や情報分野などにおいて積極的に行われているものの、近年、需要が伸びている簡易電動車いすなど実用的な装置を対象とした研究は見当たらない。また実際の社会的な状況を考察すると、現状と比較してさらに高齢者の割合が増加し、例えば骨折などにより移動に不自由が生じることで、外出などの機会が減り衰弱してゆくことを防ぐため、家族などの介助者が高齢者の外出を促進する目的で車いすが使用されるような場合が多く発生することが考えられる。このような場合においては、従来の電動車いすは大きくかつ重すぎることから、あまり積極的に利用されない。このような背景により、より軽量で手軽に購入・利用できる簡易電動車いすの需要が増加している。しかしながら、その課題も明らかになってきた。つまり、1) 段差踏破能力が低い、2) 転倒する危険性が大きいことから動作が緩慢である。簡易電動車いすの利用者は、このような欠点がありながらもその利便性から簡易電動車いすを利用しているのが現状である。

そこで本研究では、上述した課題を解決するために応募者が独自に考案したアクティブキャストを車いすの電動化に応用し、独特な5輪構成の車いすを提案、実用的なシステムでありながら走行の安全性を確保しつつ高い段差走破性の実現を目指す。

2. 研究の目的

簡易電動車いすは、手動車いすのフレームを基本としているため、比較的軽量かつ折り畳みが可能である。これにより、公共交通機関を利用した移動や自家用車に乗せて搬送することが容易にでき、移動範囲の拡大が期待される。現在広く普及している簡易電動車いすの一種として、左右の大車輪を電動車輪に交換することで手動車いすを電動化するものが存在するが、後方に転倒する危険性がある。この問題を解決するため、簡易電動車いすを構成する電動化装置にアクティブキャストを応用し、かつ段差踏破機能を備えることで、安全で走破性の高い車いすを実現する。

アクティブキャストは、本来全方向移動ロボットの移動機構として開発されたものであり、その特徴は、従来のゴムタイヤを用いて、任意の方向に速度を発生する車輪機構で、低振動、高耐荷重性等、実用面で多くの利点がある。このアクティブキャストは車輪の向きによらず、どの方向にも即座に移動が行えるので、これを車いすのような移動装置にとりつけた場合、従来の電動車いすの操作性(直進・旋回の2自由度を自在に切替え動作)を失うことなく、1輪による電動化が可能である。これは、手動車いすの構成はそのままにして、一部に1輪のアクティブキャストにより構成される駆動機構を取り付け

るもので、その他バッテリー、制御装置、ジョイスティックなどを搭載することで、電動車いすとしての機能を実現し手動車いすの4輪に加え駆動輪の計5輪を有する電動車いすを構成することができる。この構造は転倒の危険性を低減する独創的な形態を有しているばかりでなく、その特徴を活かし高い段差乗上げ機能を付加する。以上のように、本研究においては、ロボット分野で研究を行ってきた成果であるアクティブキャストを福祉機器へ応用し、車いすの利便性と走行・移動性能の向上と合わせて従来にはない安全性を確保するシステムを開発することを目的とする。

3. 研究の方法

アクティブキャスト駆動機構による、車いすの段差昇降の実現を行う。この目的のために、まず、アクティブキャストを車いすに搭載するリンク機構について検討する。これは、床面の走行と段差踏破の両機能を達成するためのものであり、リンク機構は別に設置するアクチュエータにより駆動する。この設計のために、アクチュエータトルクと、リンク機構の形態変化、および車いすの重心やその傾き角度の関係などを運動学解析し、リンク機構の構造とアクチュエータの配置およびそれらの結合条件などから要求される動作が可能なものを選定する。

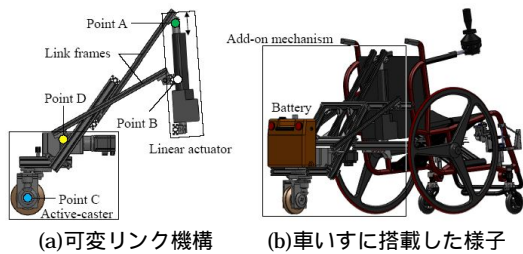
つぎにアクティブキャストの駆動制御と段差踏破のためのリンク機構の協調的な動作制御について検討し、段差の乗り上げ、降下を安全に行うことのできるアルゴリズムを考案する。

また、上述の段差踏破アルゴリズムを自動で実行するために、周囲の認識や車いす自身の状態を検出するセンサなどを搭載し、段差高さや周囲状況に対応して段差踏破を安全に自動で行うシステムを検討する。これと並行して、車いす折りたたみ機能への物理的条件についても検討する。

4. 研究成果

(1) 駆動輪可変リンク機構の設計

手動車いすの後方にアクティブキャストを1輪搭載し、かつ、車いすとアクティブキャストと車いすの相対的な前後方向位置および高さを変更する可変リンク機構を検討した。図1にアクティブキャストを備える可変リンク機構(a)、およびそれを搭載した車いすの外観(b)を示す。可変リンク機構の変形動作は直動アクチュエータの動力を利用することでを行い、段差踏破に要求される車いすの前輪浮上(図2(a))および大車輪の持ち上げ動作(図2(b))をそれぞれ満足するリンクストロークを確保するよう設計を行った。



(a)可変リンク機構 (b)車いすに搭載した様子

図1 アクティブキャストと可変リンク機構

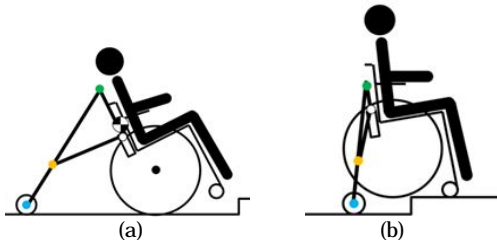


図2 前輪浮上(a)および大車輪上げの動作(b)

(2) 段差踏破アルゴリズムの考案と検証

設計した可変リンク機構を利用した、段差踏破アルゴリズムを考案した。

段差乗り上げアルゴリズム

まず段差の直前で停止した車いす(図3(a))が、可変リンク機構の動作により前輪を浮上させ(図3(b))、姿勢を安定させたまま直進走行により前輪を段差上に運ぶ(図3(c))。つぎに直動モータにより車輪を下方に押しして大車輪を段差と同じ高さまで浮上させた後(図3(d))、直進走行により段差上にのせる(図3(e))。直動モータの駆動により段差上でウィリー動作を行った後(図3(f))、駆動輪を段差の壁面に押しつけながら段差上に到達させる(図3(g,h))。以上の一連の動作により段差乗り上げを完了する。

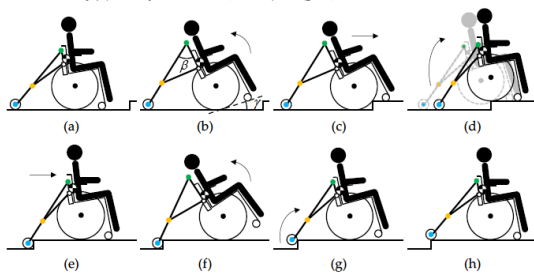


図3 段差乗り上げアルゴリズム

段差降下アルゴリズム

はじめに、車いすを段差の直前で停止させる(図4(a))。その後、直動モータの動作により静的ウィリー動作を行い前輪を浮上させ前進し、段差の角で静止する(図4(b))。その後、大車輪の回転運動を低減するダンパを連結し、前輪浮上姿勢を維持して段差を降下し大車輪を着地させる(図4(c))。ダンパと大車輪の連結を解除した後、直動モータにより駆動輪を押し下げて前輪を着地させる(図4(d))。その姿勢で直進動作を行い駆動輪を段差の下に着地させる(図4(e))。この一連の動作により段差降下を完了する。

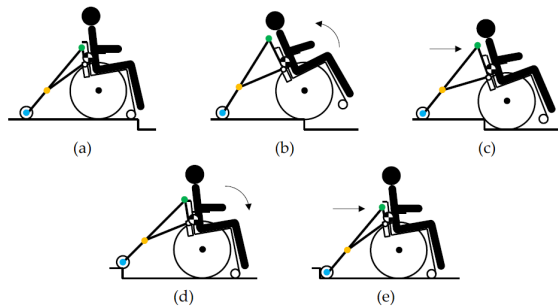


図4 段差降下アルゴリズム

(3) 半自動化システムの構築と実験

段差昇降アルゴリズムの基本実験は、人間による操作によって確認を行った。段差との相対的位置関係や、アルゴリズム途中での車いすの前進距離、直動アクチュエータの動作距離やそのタイミング等、複雑な手順と環境確認が必要であった。一般のユーザにもこの機能を利用できるようにするためには、段差の昇降動作の部分のみを自動化するシステムの実装が必要である。そこで、図5に示すように車いすの左右にレーザレンジファインダを搭載し、段差と車いすの相対距離と角度、段差の高さ、および車いすの傾斜角度等を自動計測しながら、前節の段差乗り上げ(a)-(h)、および段差降下(a)-(e)を自動的に実行するシステムを構築した。このシステムによれば、車いす利用者は段差のある程度前にて、段差乗り上げ開始、あるいは段差降下開始のボタンを押すことで、段差を踏破するまで自動的に動作する車いすに搭乗して状況を確認しているのみで要求した動作が実行可能になった。

提案した段差乗り上げアルゴリズムが実現可能であるか、試作機を用いて確認した。図6、図7に段差乗り上げ、段差降下の実験の様子をそれぞれ示す。図6の(a)-(h)は、図3の(a)-(h)の状態、図7の(a)-(e)は、図4の(a)-(e)の状態にそれぞれ対応する。図6,7において、搭乗者は車いす操作用のジョイスティックから手を離れた状態であり、一連の動作がコンピュータにより実行される自動運転の状態であることが確認できる。このように、考案した段差踏破アルゴリズムにより人間が搭乗した状態にて、10cmの段差を安全に乗り上げ、降下できることが実証された。

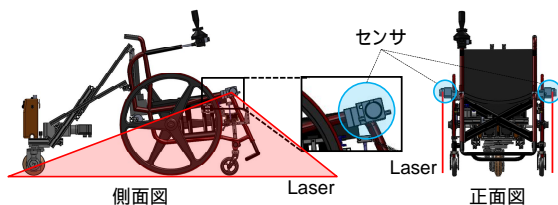


図5 レーザセンサ搭載の様子

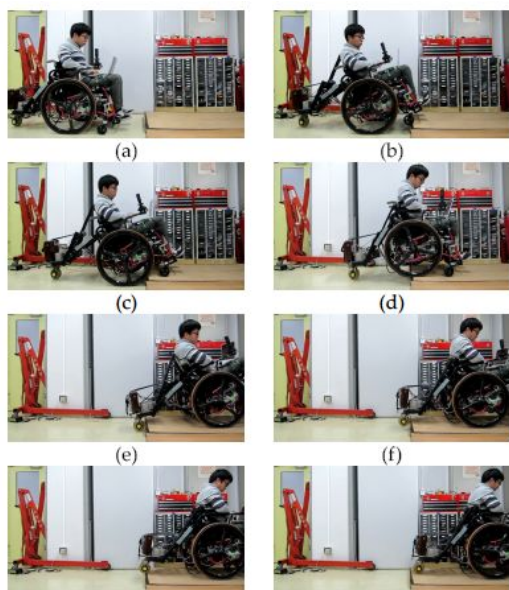


図6 段差乗り上げ実験の様子

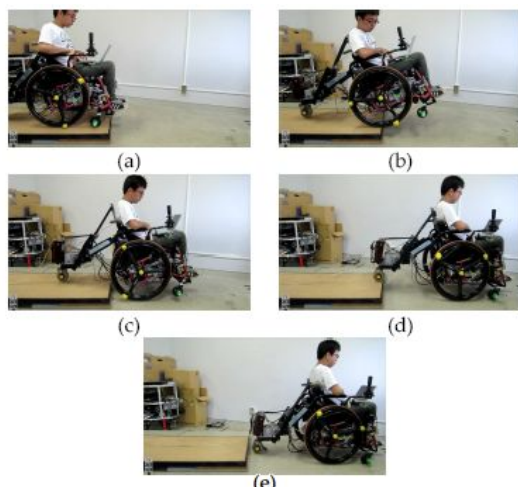


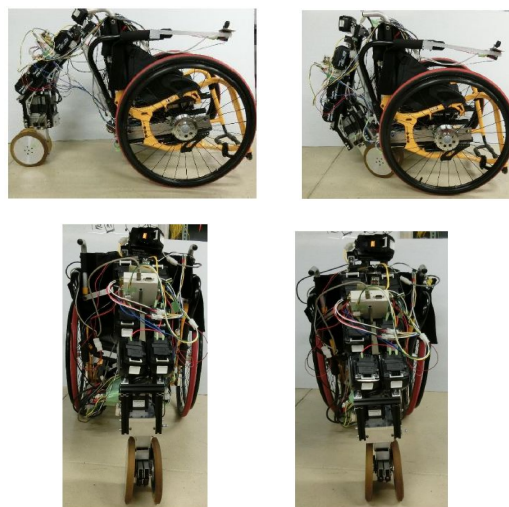
図7 段差降下実験の様子

(4) 手動車いすの折たたみ構造の検討

一般に簡易電動車いすの特徴として、折り畳みできる構造であることが挙げられる。今回開発した可変リンク機構が折り畳み構造に適用可能であるか、並行して検討を行った。図8に別途設計した折り畳みリンクを有する車いす試作機の3D図を示す。リンク機構およびアクティブキャストの構造を簡略化して小型化を行った。



図8 折り畳み式可変リンク機構設計



(a) 広げた状態 (b) 折りたたんだ状態

図9 折り畳み機能つき可変リンク機構

図9には試作した可変リンク機構の広げた状態（走行状態）と折りたたんだ状態（収納状態）の側面と背面の様子をそれぞれ示す。この試作より、提案するアクティブキャスト機構の折りたたみ構造への適用の可能性が確認できた。

折りたたみ機能を持たせ、かつ段差踏破能力を実現することは今後の課題である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計5件）

和田正義，“双輪アクティブキャストを用いた簡易電動車いす駆動システムの研究” 地域ケアリング（北隆館），査読なし，Vol.19, No.12, pp.90-91，2017. ISSN:1345-0123.

宗方宥，和田正義，“アクティブキャストを応用した5輪電動車いすによる段昇降動作の提案”，地域ケアリング（北隆館），査読なし，Vol.18, No.8, pp.96-98，2016. ISSN:1345-0123.

宗方宥，和田正義，“5輪電動車いすの静的ウィリーとこれを利用した段差踏破に関する研究”，計測自動制御学会論文集，査読あり，Vol.51, No.6, 2015, pp. 371-379. ISSN:04534662

Yu MUNAKATA, Masayoshi WADA，“Development and analysis of a novel add-on drive mechanism for motorizing a manual wheelchair and its step climbing strategy”，ROBOMECH Journal, Springer, 査読あり，Vol. 2, 2015, pp. 1-8. ISSN:2197-4225.

和田正義，宗方宥，“アクティブキャストを応用した5輪電動車いすの設計と制御に関する研究” 地域ケアリング（北隆館），査読なし，2015/11, 17(12):50-52. ISSN:1345-0123.

〔学会発表〕(計7件)

宗方宥, 和田正義, “5輪簡易電動車いすの段差昇降動作と操作支援システムの提案”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 2A1-01b4.

宗方宥, 和田正義, “5輪電動車いすの段差降下方法の提案と解析”, 第21回ロボティクスシンポジウム, 2016, pp. 384-389.

Yu MUNAKATA, Masayoshi WADA, “A Semi-automatic Step Climbing Assist System for a Wheelchair with an Active-caster Drive Unit”, Proceedings of 19th International Conference on Climbing And Walking Robots, 2016, pp. 34-44.

Yu MUNAKATA, Masayoshi WADA, “A Novel Step Climbing Strategy for a Wheelchair with Active-caster Add-on Drive”, Proceedings of 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2015, pp. 6324-6329.

Yu MUNAKATA, Masayoshi WADA, “Development of an Add-on Drive Mechanism for Improving Motion Performance of a Manual Wheelchair”, 2015 IEEE/RAS-EMBS International Conference on Rehabilitation Robotics, 2015, pp. 684-689.

宗方宥, 和田正義, “段差踏破を実現する5輪電動車いすの提案”, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2015, 2A2-I07.

宗方宥, 和田正義, “5輪電動車いすの段差踏破機構の提案と動作解析”, 第20回ロボティクスシンポジウム, 2015, pp. 108-113.

〔図書〕(計2件)

Masayoshi Wada and Yu Munakata, “Five-Wheeled Wheelchair with an Add-On Mechanism and Its Semiautomatic Step-Climbing and -Descending Function” Chapter3: Physical Disabilities - Therapeutic Implications,(Edited by Uner Tan), 148 (pp.27-42), IN-TECH, 2017. DOI:10.5772/65159

Yu Munakata, Masayoshi Wada, “A semi-automatic step climbing assist system for a wheelchair with an active-caster drive unit” Advances in Cooperative Robotics(Edited by M.O.Tokhi et al) Section2., World Scientific, 873 (pp34-44), 2016. ISBN: 978-981-3149-12-0.

〔その他〕

ホームページ等

https://web.tuat.ac.jp/~mech/research/research_robotics2.html#wada_lab

6. 研究組織

(1) 研究代表者

和田 正義 (WADA, Masayoshi)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：80406537