

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：53701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560317

研究課題名(和文) 搭乗者にも介助者にも安全で操作性が良い全方向移動車椅子

研究課題名(英文) Omnidirectional wheelchair considering rider's safety and attendant's manipulability

研究代表者

北川 秀夫 (KITAGAWA, HIDEO)

岐阜工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：80224955

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：狭い場所、混雑した環境で高い機動性をもつ全方向移動車椅子は有効で、中でも通常のタイヤを使用できるものが段差乗り越え、振動抑制、乗り心地向上のために求められている。本研究では、通常のタイヤを使用したアクティブキャスター式の全方向移動車椅子を開発し、これを使った搭乗者の安全のための半自律衝突回避システムおよび、搭乗者の快適性と介助者の操作性を考慮した介助式車椅子用パワーアシストシステムを開発した。さらに同システムを適用した全方向移動パワーアシストベッドの開発も行っている。

研究成果の概要(英文)：Omnidirectional wheelchair is useful with its high mobility in narrow or crowded area, and omnidirectional wheelchair equipped with normal tires is desired for difference excess, vibration suppression and ride comfort. We developed an effective system to control the caster-drive wheels of omnidirectional wheelchair. Semi-autonomous obstacle avoidance system using laser range data for rider's safety and power assist system for omnidirectional transport wheelchair considering attendant's manipulability and rider's comfort have been developed. Omnidirectional bed using the caster-drive wheels also has been developed.

研究分野：工学

キーワード：人間機械システム 車椅子 全方向移動 福祉 ロボット

1. 研究開始当初の背景

超高齢社会においては、日常生活で介護を必要とする高齢者及び加齢による障害者の増加が不可避である。我々のグループでは、狭い屋内環境での移動、ベッドへの幅寄せ、作業を行いながらの横移動等に有効な全方向移動車椅子の開発を行っている。しかし、自由度の増加に伴う衝突の可能性をいかに回避するか、介助者が車椅子を押して動かす際に複雑な動作をいかに思いのままに実現させるかといった課題が残っている。

我々が開発した全方向移動車椅子は、オムニホイール等従来の全方向移動機構を使用した際に問題となる乗り心地や走破性の悪さを、独自の車輪駆動機構（差動駆動操舵アクティブキャスト）で解決している。しかし、これを実環境で使用する際には、乗り心地・走破性の問題以外にも以下の課題がある。

(1) 安全性の確保を目的として、障害物の自動認識・回避を行う機能を持たせることが望ましいが、車椅子がロボットのように自律的に障害物回避を行うことによって、逆に搭乗者の意に反した動きとなり、違和感、危険度の増加が考えられる。また、完全自動運転は重度の障害者には適しているものの、それ以外の人には自立生活の支援に反することになる。

(2) 高齢者が（配偶者等の）別の高齢者を介護する老々介護の問題に対処するため、介助者（介助式車椅子を押して動かす人）にとっても快適な車椅子を開発する必要がある。特に全方向移動によって自由度が増加すると、それをいかに小さな力で思いのままに操れるかが重要課題となる。また、この場合も高齢の介助者に配慮した安全性の確保が不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では上記の課題を解決し、搭乗者にとっても介助者にとっても操作性がよく、かつ安全な全方向移動車椅子を開発することを目的とする。

全方向移動車椅子に関しては、国内外で少数例の研究が行われているものの、まだ障害物の自動認識・回避を行う機能を持った実用レベルのものはない。また、車椅子が自律移動ロボットとは異なった人間・機械共存システムである点を重視し、従来の障害物回避に見られるように自動的に軌道を変えるのではなく、ジョイスティックへのハプティックフィードバックを介して自然と搭乗者が安全な方向へ（自ら）進路を変更するようにして、違和感、危険性を取り除く点が本研究の特徴である。さらに、車椅子における介護支援に関する研究は、従来ほとんど行われていないが、本研究ではこれからの介護問題への対応も考慮に入れている。特に全方向移動に対応させるという点でユニークであり、さらにこれを障害物回避や誘導制御と組み合わせている。

全方向移動車椅子に関して、これまでに以下の各技術を開発している。

・全方向移動車輪に一般的に用いられるオムニホイールやメカナムホイールのような特殊車輪ではなく、通常のゴムタイヤを使用することが可能な差動駆動操舵機構を用いたアクティブキャストにより、乗り心地良くかつ段差乗り越え可能な全方向移動車椅子を実現した。さらに独自の動力分配機構により小出力モータの使用を可能とした。

・測域センサ（レーザレンジファインダ）により検出した障害物の方向に対して、その危険度に応じた負荷を入力用ジョイスティックにかけるハプティック制御を行った。その結果、（搭乗者の指令によって）自然と安全な方向へ進路を変更するようになり、違和感のない操作性を実現した。

・介助者がハンドグリップ（車椅子後部の手押し時に握る部分）を押す力を力覚センサで検出し、その値から意図する移動方向と速度をファジィ推論で検出し、さらにパワーアシストを行うことによって、小さな力での操作を可能にした。

以上に関して一定の成果は得られたが、実用化のためにさらに以下の内容を研究目的とした。

(1) 全方向三次元環境認識及び誘導制御による半自律走行システムの開発（自走モード）

240 [deg] の範囲で 0.36 [deg] ごとに障害物までの距離を測定可能な測域センサ 2 台を車椅子に搭載して、全方向の障害物検出実験を行う。このセンサを（時間がかかり過ぎない範囲の角度で）回転させることにより三次元の障害物認識を行い、ベッド、机等の一般形状物体の正確な認識と衝突回避を可能とする。また、車椅子にとって重大な事故である階段落下の防止にも適用できるようにする。

その後、安全な方向にジョイスティックを小さな力で動かす誘導制御で、車椅子をより安全な方向へ誘導するとともに、狭いドアの通り抜けやエレベータへの搭乗を支援する技術を開発する。

(2) 全方向パワーアシストシステムの開発（介助モード）

介助者の操作意図を推定するニューロファジィシステムによって、介助者が代わっても短時間のティーチングでその人の癖を学習させるようにする、頻繁に行う動作を介助者にしてもらっただけで完了するティーチングシステムを構築し、車椅子での実験によりその有効性を検証する。

その後、高齢介助者の誤操作による事故を防止するため、測域センサからの三次元障害物情報によってパワーアシストゲインを変化させ、介助者が危険な方向へ車椅子を動かさないようにする。さらに、自走モードで開発した誘導制御を適用し、介助モード時にもドア、エレベータ入口等の狭所の通り抜けができるようにする。

3. 研究の方法

図1に示す差動駆動操舵機構で構成したアクティブキャストを用いて、図2に示す全方向移動車椅子を実現している。この全方向移動車椅子をベースに実験を行った。

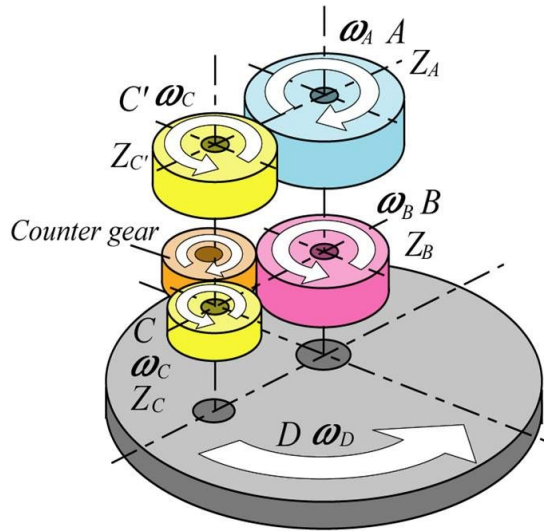


図1 差動駆動操舵機構



図2 全方向移動車椅子

(1) 全方向三次元環境認識及び誘導制御による半自律走行システムの開発（自走モード）

全方向移動車椅子に測域センサ（レーザレンジファインダ）を搭載し、全方向の距離データを取得する。

取得した距離データに基づき、ジョイスティックのインピーダンスを変化させる。

測域センサを回転させることで、三次元の距離データを取得する。

回転だけでなく、測域センサを揺動させることにより、（領域は限定されるが）高速で三次元の距離データを取得する。

(2) 全方向パワーアシストシステムの開発（介助モード）

介助者の操作入力を車椅子のハンドグリップに設置した6軸力覚センサで計測し、実際に車椅子で前後、横、斜め方向並進、定点旋回動作を行い、加えられた力・モーメントを学習する。

計測したハンドグリップ入力に応じて、二

ユーロファジシステムにより介助者が意図する動作を求め、その運動を実現するような車椅子の駆動モータ入力を生成する。

ハンドルの高さ、操作者（介助者）の操作時の肘角度等の条件を変えて、操作性の評価を行う。

(3) 全方向移動ベッドの開発

車椅子以外の医療福祉分野へ適用範囲を広げるため、差動駆動操舵アクティブキャストを用いた全方向移動ベッドの開発を行う。

差動駆動操舵駆動により構成されるアクティブキャストを用いた全方向移動ベッドを製作する。車椅子に比較して動作領域がフラットであるため、アクティブキャストの使用は二輪のみとし、残りの二輪は受動キャストとすることでコストを抑える。

パワーアシストコントローラを使用して、ベッドを動作させる。通常、移動式のベッドでは二人で搬送するが、本システムでは一人での搬送が可能となるため、看護師の省力化につながる。

4. 研究成果

(1) 全方向三次元環境認識及び誘導制御による半自律走行システムの開発（自走モード）

試作した揺動機構を図3に、廊下環境において取得した測定距離データの例を図4に示す。



図3 揺動機構

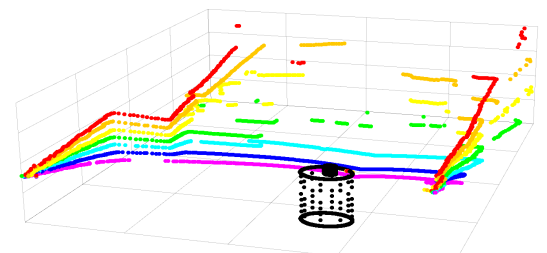


図4 測定距離データ

実験により、従来の二次元測定システムでは検出のできなかった形状・位置の障害物を検出することが可能となった。本機能により、階段落下の防止も可能である。その一方で、測域センサを回転させて完全な三次元距離を測定する場合と比べて、所要時間とデータサイズが大幅に削減された。実時間処理を行う観点からの有効性が確認された。

(2) 全方向パワーアシストシステムの開発 (介助モード)

前項では搭乗者が自分自身でジョイスティックを使って車椅子を操縦する自走式車椅子が前提であったが、ここでは介助者が車椅子を押して移動させる介助式車椅子のパワーアシストシステムを対象とする。

ハンドルの高さが変更可能な全方向移動台車を製作し、操作者(介助者)の操作時の肘角度等のパラメータを変更した際の操作性の変化を実験により確認した。

実験結果より、ハンドル高さ、操作者の肘角度と操作性の相関を導き出した。

超高齢社会においては高齢者を別の高齢者が介護する老々介護が大きな問題となっているが、本システムを利用することにより、高齢者でも小さな力で車椅子の操作をすることが可能となる。

また、本実験結果はパワーアシスト車椅子に限らず、産業応用を含めた多くの種類のパワーアシスト台車の制御にも適用可能と考えられる。

(3) 全方向移動ベッドの開発

差動駆動操舵駆動により構成されるアクティブキャスタを用いた全方向移動ベッドを製作した。その外観を図5に示す。操作者の操作力を6自由度の力・トルクセンサで検出し、車椅子と同様の移動方向推論、パワーアシストを行う。



図5 全方向移動ベッド

全方向移動ベッドの動作環境は病院の廊下や病室内であるため、車椅子に比較して動作環境がフラットであり、少しの段差を乗り越える程度の機動性があれば十分である。車椅子ではアクティブキャスタを四輪使用したが、ベッドではアクティブキャスタの使用は二輪のみとし、残りの二輪は受動キャスタとすることでコストを抑えることが可能となった。

実験ではパワーアシストコントローラを使用してベッドを動作させた。通常、移動式のベッドでは二人がかりで搬送しているが、本システムではパワーアシストにより一人での搬送が可能となるため、看護師の省力化につながる。

実験動作としては、廊下の直進、曲がり角

での旋回、ドアからの入出室を行い、全方向移動機能を利用した小回り動作と、パワーアシスト機能を利用した小力操作により、一人の操作者でも十分に操作可能であることを確認した。なお、二輪のアクティブキャスタは対角二輪に配置することで、四輪駆動の場合とほぼ同様の動作性能を実現している。

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3件)

Y. Ueno, H. Kitagawa, K. Kakiyama, T. Sakakibara, K. Terashima, "Development of an Innovative Power-Assist Omni-directional Mobile Bed Considering Operator's Characteristics," International Journal of Automation Technology, 査読有, vol.8, no.3, 2014, pp.490-499.

上野祐樹, 北川秀夫, 柿原清章, 寺嶋一彦: 全方向移動ロボットのための平歯車型差動駆動操舵機構の開発, 日本機械学会論文集 C 編, 査読有, Vol.78, No.789, 2012年, pp.1872-1885

Y. Ueno, K. Terashima, H. Kitagawa, K. Kakiyama, "Control system of omni-directional mobile robot with caster drive mechanism to develop reduction of motor output," Proc. 15th Int. Conf. on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machine, 査読有, 2012, pp.595-602.

[学会発表](計7件)

上野祐樹他: パワーアシスト型移動ロボットにおいて可操作性楕円体の大きさが操作性に与える影響の実験検証, 第15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, 2014年12月16日, 東京ビッグサイト(東京都江東区)2B1-1

國廣和樹他: 人物追従ロボットのためのセンサフュージョンによる追従対象特定システムの構築, 第15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, 2014年12月16日, 東京ビッグサイト(東京都江東区)2B2-4

上野祐樹他: パワーアシスト型移動ロボットにおける可操作性楕円体を用いた操作者の姿勢と操作性に関する考察, 第32回日本ロボット学会学術講演会, 2014年9月4日, 九州産業大学(福岡県福岡市)1H1-04

上野祐樹他: キャスタ駆動輪を有する全方向移動ロボットにおける旋回時モータ出力上昇の原因解析と低減手法の提案, 第30回日本ロボット学会学術講演会, 2012年9月20日, 札幌コンベンションセンター(北海道札幌市)4F2-7

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北川 秀夫 (KITAGAWA HIDEO)
岐阜工業高等専門学校・電子制御工学科・
教授
研究者番号：80224955

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

寺嶋 一彦 (TERASHIMA KAZUHIKO)
豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研
究院)・教授
研究者番号：60159043