

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：53701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K06283

研究課題名(和文)安全性と操作性を考慮に入れた自走・介助式全方向移動車いすの誘導制御

研究課題名(英文) Guidance control for self-propelled and assisted omnidirectional wheelchairs considering safety and operability

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) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：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いすの開発を行っているが、ドア等の狭所通過時には、操作者(搭乗者または介助者)の意図に反する動作が生成されてしまう問題があった。本研究では、狭所の通り抜け時の操作を対象として、シミュレーションにより最適な回避アルゴリズムの開発を行うとともに、被験者実験による操作感の評価を行うことにより、安全でかつ操作性のよい全方向移動車いすの操作支援システムが開発された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本システムにより安全性とともに操作性の向上が実現することにより、高齢者・障害者の自立を支援することができ、その自立心を向上させる。また、福祉産業の活性化をもたらすと考えられる。さらに、衝突、階段からの落下といった重大事故の防止にも役立つ。加えて、本システムは全方向移動ベッド等の対象にも適用可能である。病院等でのベッド搬送は現在2人がかりで行われているが、廊下での移動、転回、壁際への幅寄せも1人で可能になるため、看護師不足対策としても有効である。

研究成果の概要(英文)：We are developing an omnidirectional wheelchair that is effective for moving in an indoor environment, moving to a bed, and moving laterally while working. However, when passing through a narrow space such as a door, there was a problem that an action contrary to the intention of the operator was generated.

In this research, we developed the optimum avoidance algorithm by simulation for the operation when passing through a narrow space, and evaluated the operation feeling by the subject experiment. As a result, a safe and easy-to-use omnidirectional wheelchair operation support system was developed.

研究分野：知能機械システム

キーワード：車いす 全方向移動 誘導制御

1. 研究目的

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。申請者らは、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いすの開発を行っている。しかし、人や障害物との衝突をいかに安全かつ自然に回避するか、介助者が車いすを押して動かす際にいかに意図通りの全方向動作を実現し、障害物回避と組み合わせるかといった点に課題が残っている。特に、ドア等の狭所通過時には、操作者（搭乗者または介助者）の意図に反する動作が生成されてしまう問題がある。

本研究ではこれらの課題を解決し、搭乗者にとっても介助者にとっても安全で、かつ操作性の良い全方向移動車いすを開発することを目的とする。

2. 全方向移動車いす

開発した全方向移動車いす (Fig. 1) 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、独自の高效率・高走破性車輪駆動機構（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には、乗り心地・走破性の問題以外にも以下の課題がある。

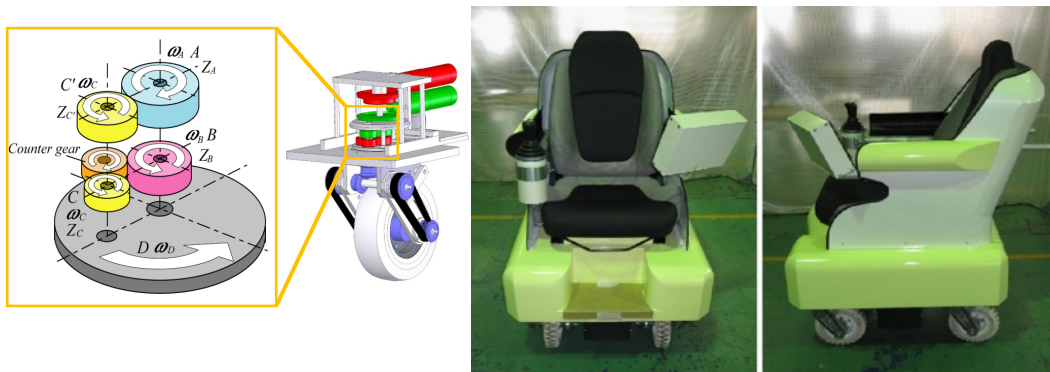


Fig. 1 Omnidirectional Wheelchair

（ジョイスティックにより搭乗者が操作する「自走式車いす」として使用する場合）

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、車いすがロボットのように自律的に障害物回避を行ってしまうと、逆に搭乗者の意に反した動きとなり、違和感、危険度が増加する。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。

（介助者の押す力をパワーアシストする「介助式車いす」として使用する場合）

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、車いすを押す介助者にとっても快適であることが必要となる。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・搭乗者の双方に配慮した安全性の確保が不可欠である。

本研究の最終的な目的は、障害物との衝突を回避するために、障害物のない方向に誘導的に操縦を促すことである。なお、あくまで半自律走行であり、操縦性を高めるために自動運転は行わない。誘導の手段として、ジョイスティックからの力覚フィードバックを用いるが、車いすへの入力と誘導制御のための出力を同時に行える装置が必要となる。そこで本研究においては、Novint 社の PC 用ゲームコントローラである Falcon を入出力装置として使用する。x,y,z の三軸でカーソル位置取得と操作者への反力提示が可能である。なお、アルゴリズムの最適化実験に際して、安全性を考慮して、全方向移動車いすの代わりに実験用の小型の全方向移動台車を使用した。また、周囲の環境認識には、北陽電機製測域センサ UTM-30LX を用い、ロボットの上部中央に搭載した。

3. 誘導制御による半自律走行システム

障害物回避支援のためにハプティック制御を用いる。ハプティック制御とは、力覚を用いた制御技術であり、ロボット工学や医用工学において多くの研究が行われている。ハプティック制御を用いることで、物体に衝突する可能性があることを、力覚として人に対して情報提示できる。そのため、この制御方式により、制御対象と障害物とが衝突する前から情報提示が可能となり、直感的に操作者に危険度を訴えかけ、安全性の確保が可能になる。ハプティック制御による障害物回避を実現するため、車いすへの入力と誘導制御のための出力を同時に行える入出力装置が必要となる。そこで、本研究においては Novint 社の Falcon を入出力装置として使用する。Falcon は、三軸でカーソル位置取得と操作者への反力提示が可能である。なお、研究の初期段階では安全性を考慮して、全方向移動車いすの代わりに実験用の小型の全方向移動ロボットを使用した。また、ロボット周囲の環境認識には、北陽電機製測域センサ UTM-30LX を用い、ロボットの上部中央に搭載した。このセンサでロボット周囲の障害物を検知し、認識領域内に障害物を検知した場合、減速させる方向への反力に加え、障害物の無い方向へ誘導する方向への反力を新たに Falcon から出力する。これにより、減速操作を促すだけでなく、障害物を回避する方向への操作を促し、操作者自身がそれを感じ取って障害物を回避することのできる、半自律走行システムを開発する。

まず、Falcon の三軸の反力提示に用いる力出力の式を決定した。この式には Falcon をハプティックジョイスティックとして機能させるために、プログラムによってバネ・ダンパ系を組み込んだ。さらに、操作入力となる二軸には、障害物回避のための誘導反力を提示する式を組み込んだ。この誘導反力に関しては、障害物までの距離が近づくにつれて反比例的に大きくなるようにした。また、移動速度が十分に遅い場合は小さい反力を出力し、障害物に問題なく接近できるようにした。そして、Falcon と全方向移動ロボットを用いて、四人の被験者によるシステムの検証実験を行った。実験の内容として、ロボットの周囲に障害物を設置した状態で、誘導反力の強さの条件を変更しながら障害物回避を行い、この時の Falcon のカーソル位置、反力の出力、ロボットの移動経路の計測を行った。まず、Falcon の三軸の反力提示に用いる力出力の式を決定した。この式には Falcon をハプティックジョイスティックとして機能させるために、プログラムによってバネ・ダンパ系を組み込んだ。さらに、操作入力となる二軸には、障害物回避のための誘導反力を提示する式を組み込んだ。この誘導反力に関しては、障害物までの距離が近づくにつれて反比例的に大きくなるようにした。また、移動速度が十分に遅い場合は小さい反力を出力し、障害物に問題なく接近できるようにした。そして、Falcon と全方向移動ロボットを用いて、四人の被験者によるシステムの検証実験を行った。実験の内容として、ロボットの周囲に障害物を設置した状態で、誘導反力の強さの条件

を変更しながら障害物回避を行い、この時の Falcon のカーソル位置、反力の出力、ロボットの移動経路の計測を行った。また、操縦に慣れていない三人の被験者による操縦を行い、被験者による移動経路の違いを観測した。さらに、操作性評価のアンケートとして、各被験者に対し操作性に関する意見の聞き取りを行った。

操縦に慣れた被験者が障害物回避を行った際の、Falcon のカーソル位置、反力の出力、ロボットの移動経路を Fig. 2 に示す。なお、 n_a, n_b はそれぞれ前後、左右方向の誘導反力の調整係数であり、強い反力($n_a=n_b=10$)と弱い反力($n_a=n_b=5$)の 2 種類において計測を行った。誘導反力の大小にかかわらず、障害物を検知したタイミングで反力がかかっており、障害物までの距離が近づくにつれて大きくなっている。その反力によって Falcon の操作が誘導され、ロボットが障害物を回避する方向に動き、障害物を回避した。また、弱い反力では X_c の変位が小さくなっており、障害物を通過する際の障害物までの距離が小さくなっている。操縦に慣れていない三人の被験者による操縦を行った移動経路の結果を Fig. 3 に示す。(b)に示す弱い反力の時、一人が障害物に衝突してしまったが、(a)に示す強い反力の時、全員が障害物を回避した。これにより、反力の強さによっては誰が操縦しても障害物を回避できることを確認した。

さらに、三人の被験者にアンケート調査を行った結果、二人の被験者は弱い反力の方が操作性が良いと答えたが、一人の被験者は強い反力の方が良いと答えた。このように、被験者によって反力の感じ方が異なっており、それぞれの操作者に合わせたパラメータの調整が必要になるといえる。今後の展望として、システムを電動車いすに移行して実験を行う。この実験では、複数人の被験者による操縦を行い、車いすの搭乗者の安全性、操縦性も考慮した上でパラメータの調整を行う。

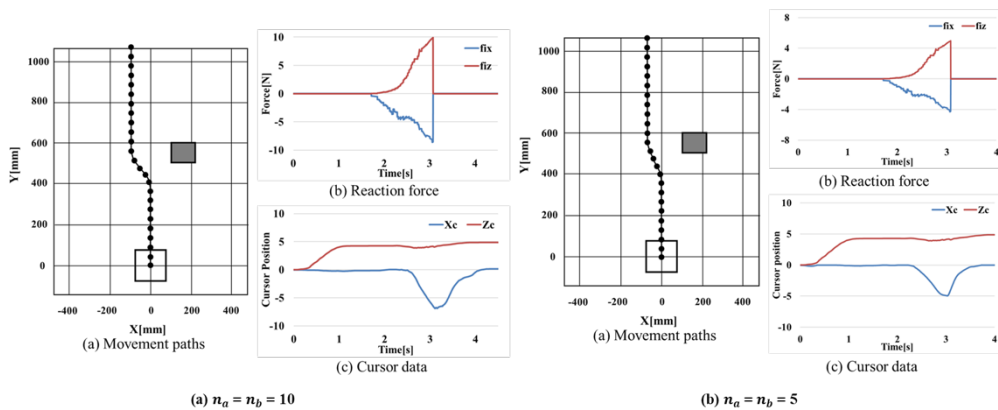


Fig. 2 Measurement results

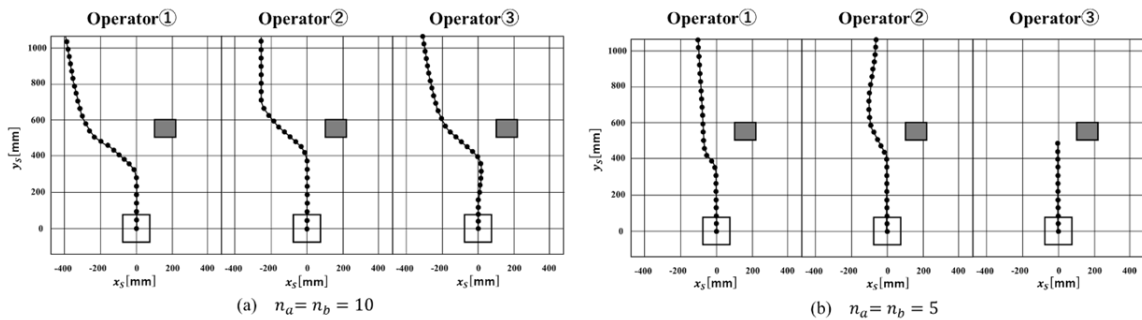


Fig. 3 Movement paths

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 北川秀夫 | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 操作性・走行性能の高い全方向移動車いすの開発とその制御 | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 地域ケアリング | 6. 最初と最後の頁 82-85 |
| 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 無 |
| 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5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 平澤彦大、北川秀夫 |
| 2. 発表標題 車いすのための狭所通過操作支援システム |
| 3. 学会等名 令和元年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 丹羽雅也、北川秀夫 |
| 2. 発表標題 誘導制御による半自律走行システムの開発 |
| 3. 学会等名 平成30年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 松永成偉人、北川秀夫 |
| 2. 発表標題 夜間病棟における自律巡回ロボットのための体温推定 |
| 3. 学会等名 平成30年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 日野勇輔, 外山竜朗, 北川秀夫, 田崎良佑, 寺嶋一彦 |
| 2. 発表標題 経路補正ポテンシャル法を用いた案内自律移動のための複数動的障害物回避システムの構築 |
| 3. 学会等名 第18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 (2017) 3A3-11 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山田昇生, 北川秀夫 |
| 2. 発表標題 マルチラテラル遠隔制御のための全方向移動台車の製作 |
| 3. 学会等名 平成29年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 (2017) Po1-19 |
| 4. 発表年 2017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 |
|-------|---|--|----|
| 連携研究者 | 寺嶋 一彦 (Terashime Kazuhiko) (60159043) | 豊橋技術科学大学・885・20 (13904) | |

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 |
|---------|---------|