

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：50102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K12885

研究課題名（和文）介護者の代わりに電動車いすを安全に誘導する先導ロボットシステムの開発

研究課題名（英文）Development of a leading robot system that safely guides electric wheelchairs in place of a caregiver

研究代表者

堀 勝博（Hori, Katushiro）

苫小牧工業高等専門学校・創造工学科・教授

研究者番号：90261388

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：センサとコンピュータおよびユーザ支援機能を搭載した知能化電動車いすは、センサ死角が存在する環境では、十分な性能を発揮できなかった。本研究では、介護者の代わりに電動車いすを安全に誘導する先導ロボットを提案し、先導ロボットに基づく新しい電動車いすユーザ支援システムを開発した。先導ロボットは、電動車いすの視界からは検知できない広範囲の障害物を検知することが可能となり、開発したプロトタイプ機を用いた実験により本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

これまで電動車いすの高機能化に関して、電動車いす自体の知能化に関する研究は多数なされているが、本研究のように、先導ロボットを開発・導入して、電動車いすを安全に誘導することで、電動車いすの安全性や操作性を向上する研究は見当たらず独自性がある。また、先導ロボットは介護者に代わる存在として、介護者不足への対応や、さらに従来無かった新しい機能の実現へ展開できる可能性があり、次世代電動車いすの技術革新に貢献できるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：Intelligent electric wheelchairs equipped with sensors, computers, and user support functions have failed to perform adequately in environments where sensor blind spots exist. In this research, we proposed a leading robot that safely guides electric wheelchairs in place of a caregiver, and developed a new electric wheelchair user support system based on the leading robot. The leading robot can detect a wide range of obstacles that cannot be detected from the view of the electric wheelchair, and we confirmed the effectiveness by the experiments with the prototype robot system.

研究分野：ロボット工学

キーワード：電動車いす 先導ロボット 安全 誘導 介護者 支援システム

## 1. 研究開始当初の背景

高齢化社会の到来に伴い、車いすの需要が増加しているが、現在の車いすは移動操作や安全確認を利用者自身が行わなければならない。一方、車いす利用者の6割以上は十分な操作や安全確認を行うことが難しいため、車いすに障害物回避機能などのユーザ支援機能の搭載が必要と言われている。このような背景より、電動車いすを高機能化して、安全で効率的な動作を可能にする研究が盛んに行われているが、車いす単体の高機能化が十分機能しない場合が存在する。例えば、廊下の曲がり角で、通行人との出会い頭の衝突事故などが挙げられる。この場合、事故原因は電動車いすに搭載されている障害物検知センサに曲がり角による死角が生じるためであり、電動車いす単体の改良だけでこの問題を本質的に解決することは困難である。

## 2. 研究の目的

そこで本研究では、電動車いすを先導して、電動車いすユーザを支援するサポートロボット（以降、先導ロボットと呼ぶ）を開発し、それを導入することにより、先導ロボットが電動車いすを安全に誘導するといった新しい動作原理に基づく電動車いすユーザ支援システム（以降、先導ロボットシステムと呼ぶ）を開発し、電動車いすの安全性や操作性の向上を図ることを目的とする。

## 3. 研究の方法

### 3.1 先導ロボットシステムの構成と動作手順

先導ロボットシステムは、図1に示すように、電動車いすとその先行位置にある先導ロボットから構成される。先導ロボット上にレーザ測域センサやカメラ等の周囲を検知するセンサを搭載することで、電動車いすの視点からは確認できない障害物を検知可能となり、センサ検出範囲を広げることができる。また、先導ロボットの実装に機敏に動作可能な筐体を用いることで、走行中に突然現れる障害物を回避し、電動車いすを安全に誘導することが可能である。

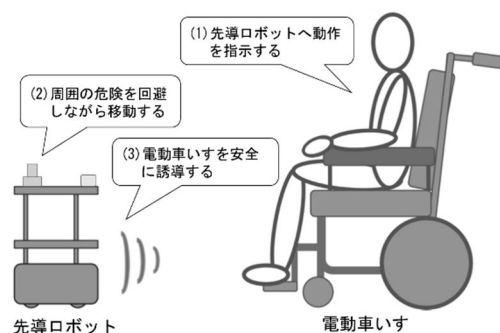


図1 先導ロボットシステム

本システムの動作手順は、以下の通りである。

- (1) 先導ロボットへ動作を指示する。
- (2) 先導ロボットは周囲の危険を回避しながら移動する。
- (3) 先導ロボットに電動車いすを追従させて安全に誘導する。

### 3.2 先導ロボットによる電動車いすの認識方法

先導ロボットによる電動車いすの認識方法として、ARマーカを用いる手法を採用した。図2に示すように、ARマーカを電動車いすの前面に二つ配置して、先導ロボットに搭載したカメラによりARマーカを参照し、先導ロボットから見た電動車いすの相対座標を得る。図2の $d$ と $\theta$ はそれぞれ先導ロボットと電動車いすの相対的な距離と方向を表し、ともに電動車いすに取り付けたARマーカから計測できる。また、ARマーカの形状を変えることで、複数台の電動車いすの認識も可能である。

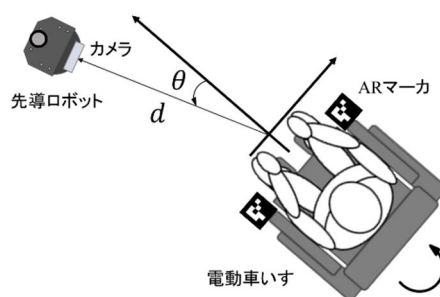


図2 電動車いすの認識方法

### 3.3 先導ロボットによる電動車いすの誘導方法

先導ロボットによる電動車いす誘導制御手順は、以下の通りである。

- (1) 先導ロボットへ動作指示する。
- (2) 先導ロボットはARマーカにより相対距離・方向を計測する。
- (3) 先導ロボットに電動車いすを誘導制御する。
- (4) 先導ロボットの動作停止指令がない限り(1)へ戻り処理を繰り返す。

### 3.4 先導ロボットの動的障害物回避方法

先導ロボットの動的障害物回避方法として、仮想的なポテンシャルによりロボットの移動速度を決定した。先導ロボットと電動車いすの移動速度は、目的地へ向かう方向に設定した誘引ポテンシャルと障害物の周りに設定した反発ポテンシャルによる速度を合成して決定する。速度合成の際には、誘引と反発ポテンシャルそれぞれに付随する誘引係数と反発係数を適切に設定して、先導ロボットが安全かつ迅速に目的地に到達できるよう全体のバランスを調整する。

## 4. 研究成果

### 4.1 先導ロボットシステムのプロトタイプ機開発および基本性能評価

先導ロボットシステムのプロトタイプ機を開発し、構成する先導ロボットおよび電動車いすの基本性能評価として、それぞれの制動性能の比較実験を行った。実験方法は、障害物の4m手前から先導ロボットまたは電動車いすを障害物に向かって直線走行させて、障害物との距離1mで停止動作を行った場合の制動距離を測定した。走行速度を0.44m/sから1.07m/sへ4段階に変化させたとき、各制動距離の測定結果を図3に示す。

図3より、先導ロボットに比べて電動車いすの制動距離が長いことが分かった。また、走行速度が上がるほど、その差は大きくなり、最低速度0.44m/sでは0.1m程度、最高速度1.07m/sでは0.4m近くになった。この結果は、先導ロボットと電動車いすの動特性の違いが主な原因であり、電動車いすに比べて先導ロボットは機敏に動作可能であることが確認できた。

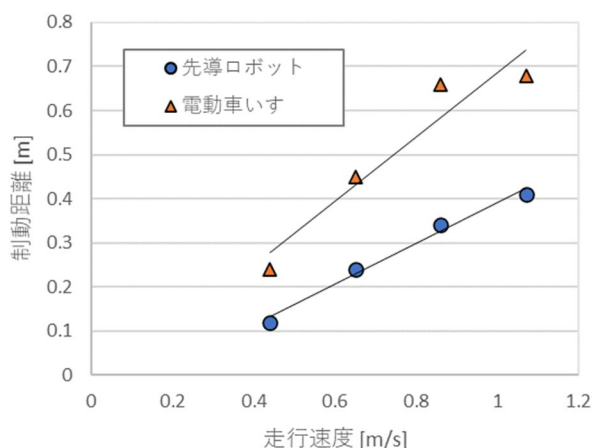


図3 制動距離比較実験結果

### 4.2 静的障害物に対する先導ロボットシステムの自動停止機能付加および性能評価

先導ロボットシステムの安全性能を評価するために、静的な障害物の4m手前から障害物に向かって直線走行を開始し、障害物との距離が1mになった時点で自動停止動作を行ったとき、電動車いすの最終的な停止距離（電動車いすの停止位置から障害物までの距離）を測定した。比較のため、先導ロボットシステム（先導ロボットあり）と電動車いす単体（先導ロボットなし）の二つの場合についてこの実験を行った。先導ロボットありの場合、先導ロボットと電動車いすの間隔は1mに設定した。走行速度0.44m/sから1.07m/sへ4段階に変化させたとき、各停止距離の測定結果を図4に示す。

図4より、電動車いす単体（先導ロボットなし）に比べて先導ロボットシステム（先導ロボットあり）の停止距離が長くなり、安全性の向上が確認できた。また、走行速度が上がるほど、停止距離は短くなるが、先導ロボットシステムでは、最低速度0.44m/sで約1.8m、最高速度1.07m/sでも1m以上の距離が確保できている。一方、先導ロボットなしの電動車いす単体では、最低速度0.44m/sで約0.8m、最高速度1.07m/sでは約0.1mの近距離まで障害物へ接近している。なお、先導ロボットありの場合となしの場合の停止距離の差は1m程度となったが、これは先導ロボットによる電動車いすの誘導制御で設定した間隔距離である1mと同等の値となっており、この値は誘導制御の間隔距離の設定値により調節可能であると考えられる。

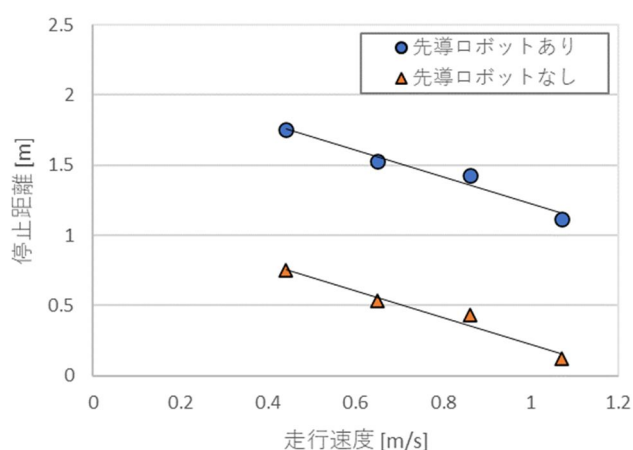


図4 自動停止距離比較実験結果

#### 4.3 動的障害物に対する先導ロボットシステムの回避機能付加および性能評価

より一般的な動的障害物が存在する環境において、先導ロボットシステムを導入することにより、安全性が確保できるか検証した。病院や高齢者施設などを想定した図5に示すような屋内十字路環境における性能評価を行った。これは、通行人が先導ロボットと出会い頭で衝突するタイミングで、先導ロボットが通行人を回避する必要がある環境である。屋内十字路の廊下幅は病院での使用を想定し、医療法施行規則第十六条十一項より1.8m以上とされる。また、バリアフリー住宅の廊下幅は0.85~0.9mが目安とされており、車いす同士のすれ違いを考慮すると廊下の幅は約2m必要となる。そのため、想定する屋内十字路の廊下幅は2mとした。

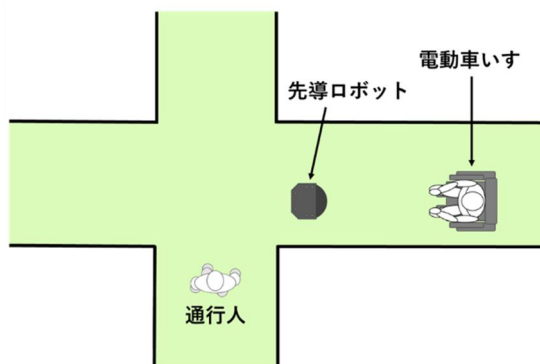


図5 屋内十字路環境

先導ロボットが通行人を安全に回避することができることを確認するため、屋内十字路にて通行人を回避したときの先導ロボットから電動車いすまでの最接近距離を測定した結果を図6に示す。

図6より、先導ロボットによって電動車いすを先導した場合には、反発係数を2.0以上とすることで最接近距離が最大で1.8mとなった。一方、先導ロボットを導入せず電動車いす単体での場合は、反発係数を1.0以上とすることで最接近距離が約0.9mとなった。よって、通行人の移動速度が1.3[m/s]のときに先導ロボットを導入し0.68[m/s]で移動した場合は、電動車いす単体と比較し、最大で0.9m程度最接近距離が長くなることを確認した。

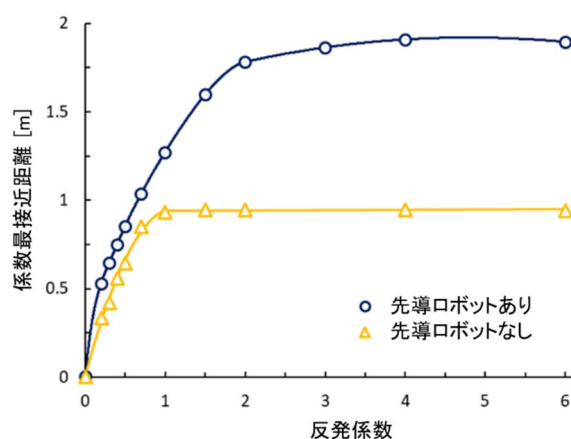


図6 反発係数に対する最接近距離の変化

また、先導ロボットに誘導されることで電動車いすの機動性が大きく損なわれないことを確認するため、屋内十字路にて先導ロボットが通行人を回避するときの電動車いすの屋内十字路の手前3mから屋内十字路を通過するまでの時間を測定した結果を図7に示す。

図7より、反発係数が0.2から2.0までは反発ポテンシャルが小さいため、動作に大きな違いはなく通過時間は近い値となった。反発係数が3.0以降では電動車いす単体の場合は電動車いすとセンサの性能限界のため、回避動作に変化がなく通過時間も変化がなく一定となった。

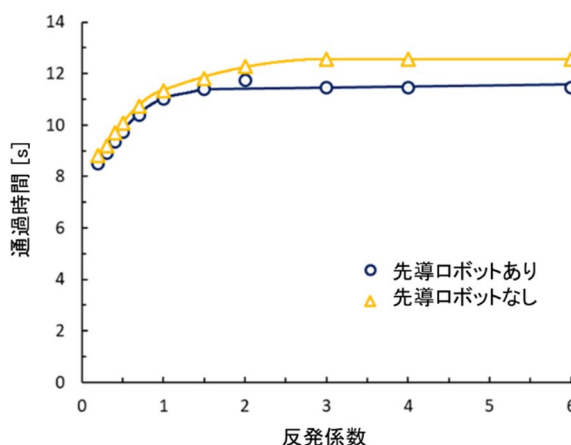


図7 反発係数に対する通過時間の変化

以上より、次のことが分かった。

- (1) 動的障害物となる通行人が存在する屋内十字路環境において、仮想ポテンシャル法に基づく動作アルゴリズムを実装することにより、接近する通行人を安全に回避して十字路を通過できる。
- (2) 先導ロボットを導入することで、電動車いす単体時と比較して、通行人との最接近距離を広げることができ、安全性を向上できる。
- (3) 先導ロボットの導入の有無による十字路通過時間は大きく変化しない。

したがって、病院や高齢者施設などを想定した屋内十字路環境において、先導ロボットシステムにより、機動性を損なうことなく安全性を向上することが可能となり、本システムの有効性を確認することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 岡 翔平、堀 勝博	4. 巻 12
2. 論文標題 電動車いすを安全に誘導する先導ロボットシステムの動作シミュレーション	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本シミュレーション学会論文誌	6. 最初と最後の頁 28-36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11308/tjsst.12.28	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7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 松村碧陽，堀 勝博，佐沢政樹
2. 発表標題 電動車いす用先導ロボットシステムのシミュレータ開発
3. 学会等名 第56回測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 堀 勝博，新田靖周，佐沢政樹
2. 発表標題 電動車いすを安全に誘導する先導ロボットシステムの実機開発
3. 学会等名 第27回日本福祉工学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 新田靖周，堀 勝博，佐沢政樹
2. 発表標題 電動車いす先導ロボットにおける物体認識方法の検討
3. 学会等名 第55回測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 秋田直哉, 堀 勝博, 佐沢政樹
2. 発表標題 電動車いすを安全に誘導する先導ロボットの開発
3. 学会等名 第54回測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡翔平, 堀勝博
2. 発表標題 電動車いす先導ロボットシステムの安全評価に関する研究
3. 学会等名 第52回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村咲月, 堀勝博
2. 発表標題 電動車いす先導ロボットシステムの誘導制御に関する研究
3. 学会等名 第52回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shohei Oka, Katsuhiko Hori
2. 発表標題 Motion simulation of a leading robot to lead safely power wheelchairs
3. 学会等名 The 38th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (JSST2019) (国際学会)
4. 発表年 2019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
---------	---------