

平成21年 4月27日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560271

研究課題名（和文）全方向移動車椅子の親和性および安全性の向上に関する研究

研究課題名（英文）Studies on improvement of comfort and safety concerning omnidirectional wheelchair

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

研究成果の概要：乗り心地が良く、段差乗り越え可能な全方向移動機構を設計・製作し、その基本動作を確認した。次に、全方向移動車椅子を用いて、計測した環境計測データに基づいて、ジョイスティックのインピーダンスを変化させる半自律制御を実現するとともに、介助者の操作入力から車椅子への入力（介助者の意図）を推定し、駆動モータの入力を変化させるパワーアシスト制御において、様々な介助者に対応可能なシステムを実現した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：人間機械システム，運動制御

## 1. 研究開始当初の背景

来るべき超高齢社会では、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一層の増加が不可避である。申請者のグループでは、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が、現時点で特に以下の三点が問題となっている。

(1) 日常的に使用される移手段であるため、その乗り心地の良し悪しは重要であり、これが悪いと搭乗者（高齢者・障害者）の移動意欲がそがれ、ひいては自立促進の大きな障害となる。

(2) 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。

(3) 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。

全方向移動車椅子の研究に関しては、国内外で少数ながら研究が行われているが、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-機械共存システムである点を重視し、搭乗者の快適性に着目することにより、余計な負担となる乗り心地の悪さ、衝突への不安を取り除くことを可能にするということが必要となる。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。

## 2. 研究の目的

### (1) 乗り心地が良く、段差乗り越え可能な全方向移動機構の開発

全方向移動車椅子の乗り心地、段差乗り越え能力を向上させるため、現在使用しているオムニホイールをキャスト型のゴム車輪に変更する。車輪の置換のみでは全方向移動できないため、新たに考案した遊星歯車機構利用のアクティブキャストを設計・製作し、車椅子に搭載してその有効性を検証する。本方式ではモータを全て車体側に配置することが可能であるため、スリップリング等の機構も不要となり、保守性に優れた構造にすることができる。また、4cmの段差乗り越えが可能となる。

### (2) 全方向環境認識の高精度化による半自律障害物回避機能の改良

270[deg]の範囲で0.36[deg]ごとに67[msec]の走査時間で障害物までの距離を測定可能なレーザレンジファインダ(測域センサ)を2台車椅子に搭載して、全方向の障害物検出実験を行う。これにより、超音波センサでは死角になっていた方向を含めた高速検出が可能となる。

さらに、SLAM技法を用いて環境地図の作成と自己位置推定を同時に行うことにより、より詳細な自己状態判断が可能となり、将来的に車椅子の自動運転等が必要となった場合にも対応できる。

### (3) 介助者用全方向パワーアシストのためのオートチューニングシステムの開発

介助者の操作意思を推定する現在のシステムをニューロファジシステムに拡張することによって、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。横方向並進移動、定点転回といった基本的な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。

## 3. 研究の方法

### (1) 乗り心地が良く、段差乗り越え可能な全方向移動機構の開発

①遊星歯車機構を用いたアクティブキャスト式全方向移動ユニットのプロトタイプ的设计・製作を行う。

②機構解析ソフトウェアを用いたシミュレーションを併用することにより、新たな全方向移動車椅子の設計を行う。

### (2) 全方向環境認識の高精度化による半自律障害物回避機能の改良

①移動方向の車椅子の速度成分及び障害物との距離から、ジョイスティックのインピーダンスを決定し、モータに指令を与えるシステムのパラメータ調整を行う。

②その機能を向上させ、移動障害物に対応させるとともに、ナビゲーション機能を持たせることにより、自然と特定の場所に誘導するシステムを構築する。

### (3) 介助者用全方向パワーアシストのためのオートチューニングシステムの開発

①ハンドグリップ入力に応じて、ニュ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車椅子の駆動モータ入力を生成する。

②介助者が変わっても、その人の癖を学習し、介助者に合わせることができると全方向パワーアシストシステムを構築する。

## 4. 研究成果

### (1) 乗り心地が良く、段差乗り越え可能な全方向移動機構の開発

オフセット型駆動輪は、操舵軸から車輪の転がり方向に一定距離離れた位置に駆動車輪を有するキャスト構造をとって、操舵軸と駆動輪を独立にモータで制御することにより、平面内での任意の方向への運動を実現している。しかし、操舵軸と駆動輪を個別のモータで制御する必要があるため、モータの運用率の面で以下の問題がある。

前進に代表される一定の動作を続けている間は、駆動用モータのみが動作して操舵用モータがアイドル状態になる。一方、方向転換等の動作を行う際には、瞬間的に操舵用モータに対して高負荷がかかる。即ち、たまにしか動かさないからといって操舵用モータの出力を低くするわけにはいかず、駆動用モータと操舵用モータの双方に高出力のものが必要になる。その結果、モータの運用率が悪くなり、モータの総出力(総質量)が必要以上に大きくなってしまう。

本研究では、この問題を解決するため、特殊なギア機構を用いて二つのモータの出力を干渉させることにより、モータの運用率を向上させるオフセット型駆動輪を開発し、比較的低出力のモータで構成可能な全方向移動ロボットを実現することを目的とする。なお、双輪キャスト機構においても構造的に同様の効果が期待できるが、双輪キャスト機構においては別途受動輪が必要になる点と駆

動輪が二輪に限定されてしまう点が問題となる。

提案する方式では、オフセット駆動輪の利点をそのまま生かしつつ、双輪キャスタ機構のように駆動時にも操舵時にもすべてのモータを有効に利用することが可能となる。

提案した二種類の差動駆動操舵機構のうち、車高を抑えることができ、移動ロボットベースとして構成が容易な遊星歯車型(図1)の試作機(図2)を製作し、機構の動作確認を行った。

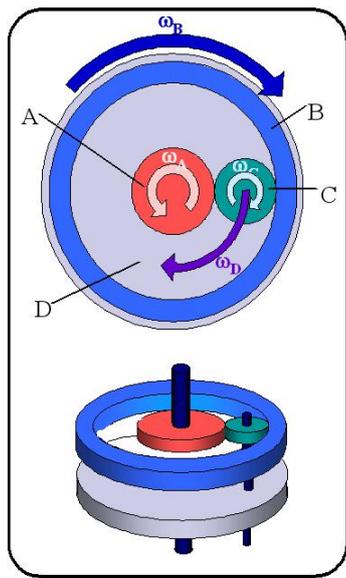


図1 遊星歯車型差動駆動操舵機構



図2 試作機

さらに、この車輪を4つ使用した全方向移動車椅子の設計を行った(図3)。

続いて、機構設計/デザイン用 CAD ソフトウェア SolidWorks を用いて各構成部品のモデル化および質量特性解析を行い、機構解析ソフトウェア DADS にてユニットモデルを構築した後、シミュレーションにて本方式の有効性を検証した。

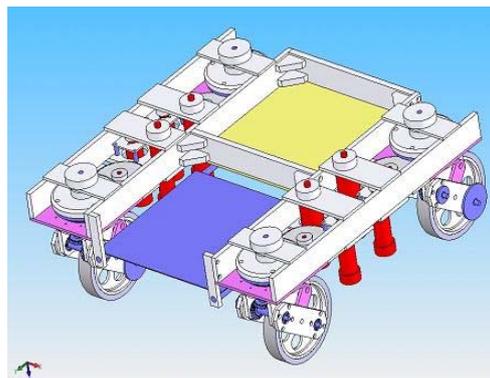


図3 全方向移動車椅子の設計

シミュレーション結果より、各種動作でほぼ指令通りの動作が実現されていることが分かる。走行距離約 8 m に対して、横方向の誤差は 6 cm 以内に収まっている。

## (2) 全方向環境認識の高精度化による半自律障害物回避機能の改良

車両周囲の環境情報を取得するために、測域センサ URG-04LX を2つ用いている。今回、計算時間短縮のため角度分解能を 3.51[deg]とし、2つの URG-04LX を全方向移動車椅子(OMW)の本体フレーム裏側の前後に取り付けることで、車両全周囲の環境を遮蔽物なく認識できる全周囲測域システムを構築した。

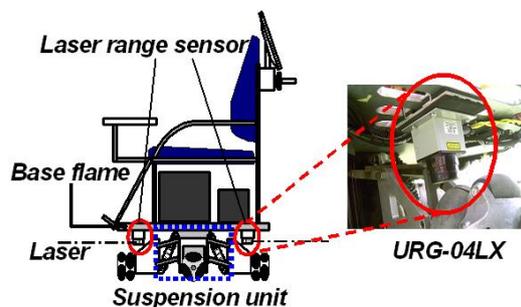


図4 全周囲測域システム

走行中に OMW 自らが衝突していく恐れのある障害物は、車両の進行方向に存在する障害物のみである。そこで、全周囲測域システムにより得たすべての障害物情報から、車両の進行方向に存在する障害物情報のみを認識するアルゴリズムを構築した。手順を以下に示す。

- ①全周囲測域システムによって周囲の障害物点を得る。
- ②OMW 全体を含む短径 1[m]、長径 0.7[m]の楕円を車両領域とする。
- ③OMW の進行方向の傾き、かつ車両領域楕円に接する2つの直線に囲まれた領域を認

識領域とする。

④認識領域内に存在する障害物点を認識点とする。

⑤認識点の中からOMW車両領域に最も近い点を最近点とし、この点までの距離を求める。

上記の①～⑤で、OMWの進行方向に存在する障害物を認識させ、最も近い障害物までの距離を算出した(図5)。

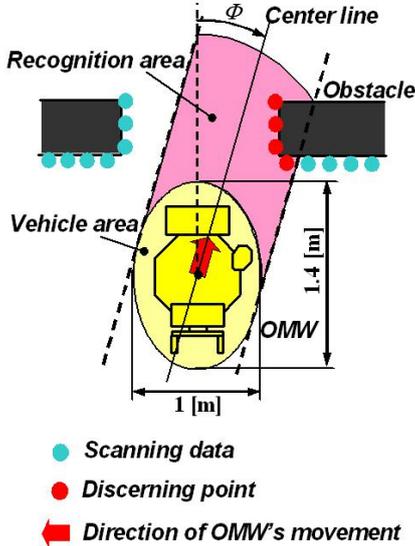


図5 障害物認識

進行方向に障害物があった場合に、その方向とは逆向き方向への反力をジョイスティックに伝える衝突危険度提示ハプティックシステムに加え、進行方向に対して障害物が左右どちらかから進入してきた場合に、障害物のない方向にジョイスティックの操作を促す反力を与える誘導型操作支援ハプティックシステムを構築した。

誘導型操作支援ハプティックシステムの実験を行った。障害物にOMWを徐々に近づけたときの回避点の位置と回避力の大きさを調べた(図6)。実験結果より、進行方向に存在する障害物が近づくにつれて回避力が大きくなり、衝突に対する危険を伝え、同時に回避角度が大きくなることで回避点を選ける方向にジョイスティック動作を促していることが確認できた。つまり、操作者は操作力を維持し、誘導反力に従うことで障害物を回避することができた。

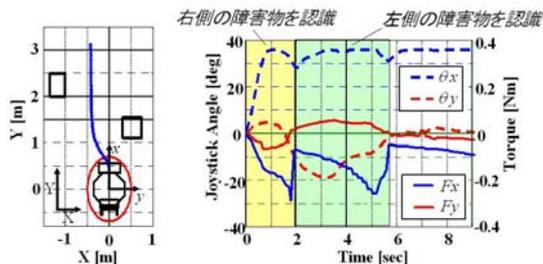


図6 ハプティックシステム実験結果

(3) 介助者用全方向パワーアシストのためのオートチューニングシステムの開発

介助者が介助ハンドルによって全方向移動車椅子(OMW)を操作する際、特に右回転や左回転などの回転動作をさせると意図した通りに動かないという問題がある。これは、人間は意図した方向にのみ正確に力を入力することができないという特性が原因である。また、介助者がOMWを回転動作させる際、一般的にOMWの重心を中心に回転させようとするが、OMWの後部に取り付けられた介助ハンドル内の力覚センサとOMWの重心の間には位置にズレがあるため、力覚センサが検出した力の値をそのまま速度指令値に変換しても、介助者の意図した通りには動かないという問題もある。

これらの問題を解決するため、介助者が操作する際の法則性を解析し、その法則をもとに、OMWの操作性を改善するシステムとしてファジィ推論システムを構築した。

しかし、ある介助者の操作を元にファジィパラメータを構築すると、別の介助者には必ずしも満足できる操作性が実現しなかった。介助者が介助ハンドルに加える力の傾向には個人毎に癖があり、ファジィパラメータを介助者ごとに調整する必要があるため、試行錯誤でファジィパラメータを調整しなくてはならない。これは非常に時間がかかり、しかも介助者が何度も操作しながら調整していく必要があるため、介助者にも非常に負担となった。

したがって、より簡単にファジィパラメータを調整できるファジィ推論システムが必要である。そこで、ファジィ推論システムにニューラルネットワークを追加することによってニューロファジィシステムを構築した。これはANFIS(Adaptive-Neuro-based Fuzzy Inference Systems)を利用したシステムで、ファジィ推論システムに対して教師信号をあらかじめ入力することによってファジィパラメータを調整する適応型のシステムである(図7)。

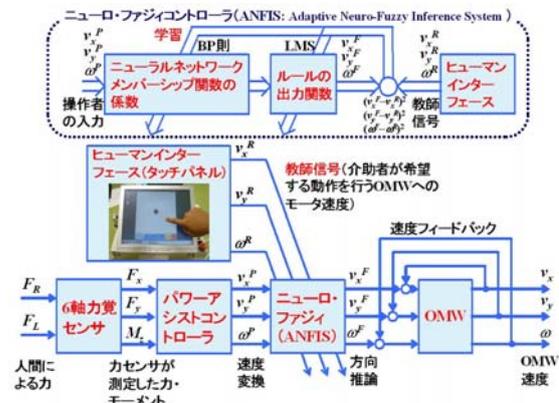


図7 オートチューニングシステム

しかし、前後進方向に関しては OMW のファジィ推論システムに含まれていなかったため、前後進と左右並進の組み合わせとなる斜め並進移動に関しては十分な結果が得られなかった。また、回転運動についても OMW の重心回りの運動のみを対象としていた。

そこで、斜め並進における操作性の改善方法とともに、OMW の重心と介助者を結ぶ任意の点回りの回転動作の改善方法を提案し、シミュレーションおよび実験によりその有効性を示した。

さらに、ニューロファジィシステムと共にヒューマンインターフェースとしてタッチパネル(図8)を使用することによって全方向移動車椅子の操作性を改良している。



図8 タッチパネル

タッチパネルは入力する手段として誰にでも使いやすく、しかも同時に OMW の動作結果を介助者に提示することができる。これにより、操作者が意図した動作と OMW の実際の動作を比較し、その結果を ANFIS の学習に使用することができる。実験結果の例を図9に示す。

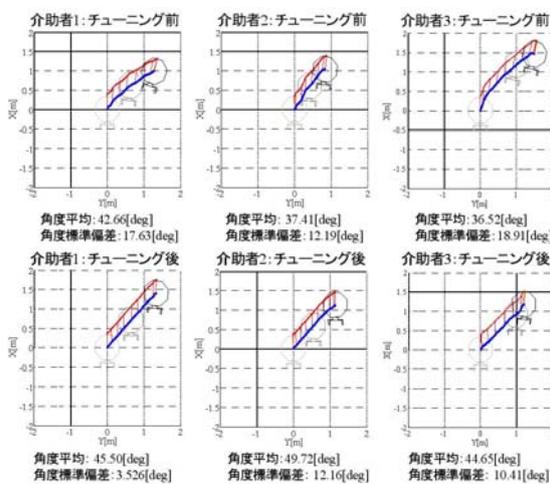


図9 オートチューニング実験結果

さらに、提案システムの有効性について、NASA-TLX法を用いて検証した。10名の被験者に対して、前進、横移動、斜め移動、回転といった動作を一度に学習させた後に実行してもらい、本方式が有効であるという結論を得た。

#### 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)

①北川秀夫, 大野貴, 三好孝典, 寺嶋一彦, 全方向移動ロボットのための差動駆動操舵機構の開発, 日本ロボット学会誌, Vol.27, No.3, pp.343-349, 2009, 査読有

②H. Kitagawa, T. Miyoshi, K. Terashima, "Skill-Assist Control of Omnidirectional Wheelchair Using Human-Friendly Interface," Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics, TuPA7.13, 2008, 査読有

③K. Terashima, K. Watanabe, Y. Kondo, T. Miyoshi, J. Urbano, S. Kitamura, H. Kitagawa, "Skill Assist Neuro-Fuzzy Control of Omni-directional Wheelchair for Attendants Considering Rotation Center of Vehicle," Proc. 17th IFAC World Congress, FrA30.5, 2008, 査読有

④Y. Kondo, T. Miyoshi, K. Terashima, H. Kitagawa, "Navigation Guidance Control Using Haptic Feedback for Obstacle Avoidance of Omni-directional Wheelchair," Proc. 16th Symp. on Haptic Interfaces for Virtual Environments and Teleoperator Systems, 148, 2008, 査読有

⑤K. Terashima, Y. Noda, J. Urbano, S. Kitamura, T. Miyoshi, H. Kitagawa, "Adaptive Control by Neuro-Fuzzy System of an Omni-Directional Wheelchair Using a Touch Panel as Human-Friendly Interface," Proc. 4th Int. Conf. on Informatics in Control, Automation and Robotics, 414, 2007, 査読有

〔学会発表〕(計1件)

①北川秀夫, 介助式全方向移動車椅子のスキルアシスト制御, 平成20年電気学会産業応用部門大会, 2008年8月29日, 高知市

〔図書〕(計1件)

K. Terashima, J. Urbano, H. Kitagawa, T. Miyoshi, intechweb, "Development of a Human-Friendly Omni-directional Wheelchair with Safty, Comfort and Operability Using a Smart Interface. Chapter 13 (pp.221-270), Frontiers in

Robotics, Automation and Control," 2008

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・工学部・教授

研究者番号：60159043