

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：57403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01607

研究課題名(和文) 狭所作業における移動効率を目的とした汎用車いす用の着脱式全方向移動機構の開発

研究課題名(英文) A Study of A Removable Omnidirectional Automotive Mechanism using A Manual Wheelchair for Movement Efficiency In Narrow Space.

研究代表者

永田 正伸 (NAGATA, Masanobu)

熊本高等専門学校・拠点化プロジェクト系地域協働プロジェクトグループ・教授

研究者番号：40370051

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：手動式車椅子に、乗降方式により介助の必要なく簡便に全方向移動機能を着脱できる全方向移動装置を開発した。同装置を用いれば、オフィスや作業台前などの狭所での業務や、図書館や美術館、博物館などの横移動が有効な空間において、移乗を伴うことなく全方向移動機能をシームレスに手動式車椅子に付加して活用することができる。本装置を用いることで、車椅子使用者の社会進出を促進し、企業における身体障がい者の雇用改善および、QOLの向上に大きく寄与することができる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、多くの全方向移動機構に関する研究が行われてきているが、研究レベルに留まっており殆ど普及していない。特に、車椅子においては、全方向移動機能を利用するには、手動式の車椅子から全方向移動車椅子に乗り換える(移乗する)必要があり、使用者や介助者の大きな負担になっていた。

本研究では、介助や移乗を必要とせず、手動式車椅子に簡便に着脱することができる全方向移動装置を開発した。この装置を用いることにより、全方向移動が有用な空間での同機能の活用を極めて簡単に行う事ができ、その結果、車椅子使用者の社会進出を促進し、障がい者の雇用率の向上やQOLに向上に大きく貢献できる。

研究成果の概要(英文)：There are a wide variety studies of omnidirectional mechanisms, but they are not that widely in use today. In particular, for wheel chair users, they need to transfer from their normal wheelchair to the omnidirectional one. This process is a big burden on users and care takers.

In order to solve this problem, we have developed a removable omnidirectional automotive mechanism that can be attached to the wheelchair and detached from it instead of changing wheelchairs. This mechanism allows the users to easily utilize the omnidirectional function when necessary. As a result, it can open up new opportunities for the wheelchair users and contribute significantly towards increasing their employment rate and their Quality of Life.

研究分野：医療・福祉機器、自動制御

キーワード：車椅子 全方向移動 球体輪 着脱式

1. 研究開始当初の背景

下肢の障がい等による手動式車いす使用者が、就業を目的として狭い空間での横移動や机上での作業等を行う場合、全方向移動機能を活用することが有用である。これまでも全方向移動車いすは提案されているが、全ての車輪を駆動輪とする常時運用を前提としており、手動式車いすの使用者が利用するには、車いす間での移乗、待機スペース等の問題があった。

従来の全方向移動機構は、車輪全てを全方向移動輪に置き換えて、常時全方向移動の車いすとして用いることを前提としている。しかし、乗り心地や機動性、段差乗り越え・登坂能力および、悪路の走行性能等の問題で「常時」の使用が難しい。一方、全方向移動(主に横・斜め移動)の機能があれば効果的な環境は、

- ・職場での左右の移動を伴うデスクワークや作業台での組み立て作業など
- ・図書館などの比較的狭い空間での横移動の必要がある公共施設
- ・劇場やコンサートホール、競技場などで手動式車いすでの移動スペースが不十分な観覧施設などが考えられる。従って、全方向移動車いすをこれらの公的施設や就業先の企業側で用意しておく環境整備で大幅な改善効果が期待できる。しかし、実際には、車いす間での移乗の問題や、準備する全方向移動車いすを置くスペース、準備台数等の問題がある。

これらの問題により、全方向移動車いすは、これまでに殆ど普及していなかった。

2. 研究の目的

上記の問題を解決するために、手動式車いすに全方向移動機構をアタッチメント的に簡便に着脱できるユニットを提案する。着脱式とすることで、通常は乗り心地や段差乗り越え能力、登坂能力等の機動性の高い手動式車いすを使用し、狭所作業など全方向移動機能が有用な場面で、介助や移乗を必要とすることなく、全方向移動機能を活用することができる。

また、開発する全方向移動ユニットを就業先や公的施設側で準備すれば、車いす利用者は自己の負担なしに活動範囲を広めることが可能となる。また、占有スペース、価格等を従来の全車輪型全方向移動車いすに対して大きく低減できることが期待でき、さらに、キッチンなどでの横移動を伴う家庭内の作業にも活用できる。最終的に、本装置を商品化することにより、障がい者の社会進出や雇用率の向上が期待でき、さらなる QOL の向上に大きく貢献できる。

3. 研究の方法

3.1 全方向移動モジュール

手動式車いすは、任意方向に可動できる前輪キャスターと前後方向のみに駆動される駆動輪より構成される。従って、駆動輪に対し、全方向移動可能な機構を付加することで全方向移動が可能となる。ここで、全方向移動機構の付加にあたっては、介助者を必要としない簡便な方法で着脱できることが望ましい。また、製作のし易さや商品化時の価格等を考慮し、複雑な付加装置や付加機構を伴わないようにする必要がある。

そこで、駆動輪を単に装置に乗り降りすることで全方向移動機構を着脱することを検討する。すなわち、全方向移動機能を使用する場合は、開発する全方向駆動ユニットに車いすの駆動輪を単に乗上げるだけで全方向移動機能を付加でき、一方、全方向移動機能が不要な場合は、ユニットから降りることで元の手動式車いすとして使用する。

- ・このような全方向移動モジュールの仕様条件として、
- ・車いすの駆動輪間および座席下のスペースに収まること。
- ・非駆動輪（前輪キャスター）を含む車輪構成での全方向移動制御が可能であること。
- ・乗上げの高さが十分低い（数 cm）こと。

が必要である。全方向移動機構については、これまでに多くの研究がなされているが、殆どの場合、全ての車輪を全方向移動用車輪とし、かつ3輪以上を必要としている。その中で、球体輪による全方向移動方式では、基本的に1つの球体（球体輪）を2つのローラで駆動するため、最低2個の車輪により旋回を含めた全方向移動が可能である。また、球体輪方式では、球体の側面にモータ等駆動系を配置できるため、装置の高さおよび専有スペースを比較的小さく構成することができる。そこで、全方向移動機構として球体輪方式を採用した。

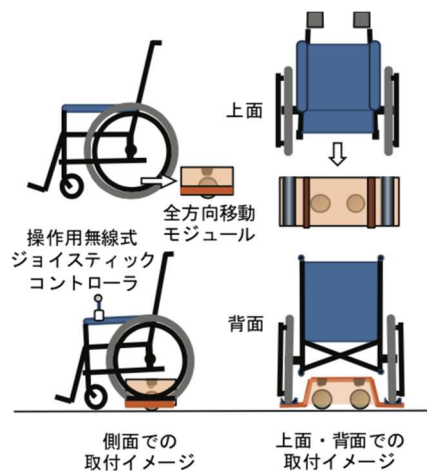


図 3.1.1 全方向移動モジュールの取付イメージ

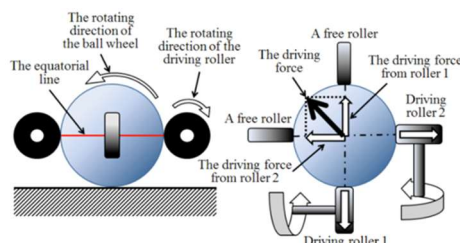


図 3.1.2 球体輪による全方向駆動方式

3.2 非駆動輪を含む全方向移動駆動制御

上述のように、これまでの全方向移動機構の研究においては、全ての車輪を全方向移動用車輪

としており、駆動制御についてもそれを前提として設計されていた。今回の全方向移動方式では、車いすの駆動輪に付加した2つの球体輪と車いすの前輪キャスターによる2つの非駆動輪を含む4輪での全方向移動制御を行う必要がある。この点に関し、球体輪の回転速度と全方向移動モジュール上の車いすの移動速度・回転速度の関係式を導き、相互に可逆関係にあることを示した。すなわち、球体輪の回転数を制御することで、車いすの任意方向への速度および回転速度を制御することが可能となる。この制御手法の有効性を確認するために、全方向移動モジュールを装着した車いすの運動方程式を導き、速度PID制御の数値シミュレーションを実施した。

4. 研究成果

4.1 数値シミュレーションによる非駆動輪を含む全方向移動駆動制御の検証

運動方程式を導出するために、車いすを全方向移動モジュールに乗せた状態での非駆動輪（前輪キャスター）と球体輪の関係を示す座標系を定義する。

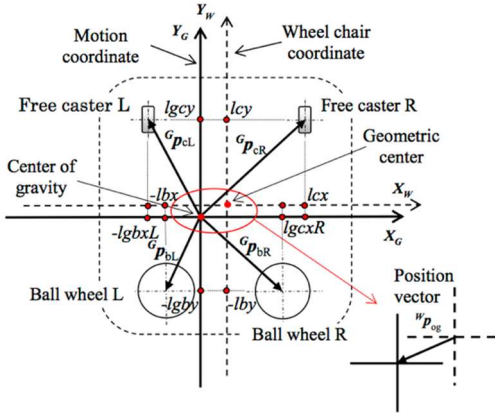


図 4.1.1 重心周りおよび車いす中心周り座標系
ΣG-重心周り、ΣW-中心点周り

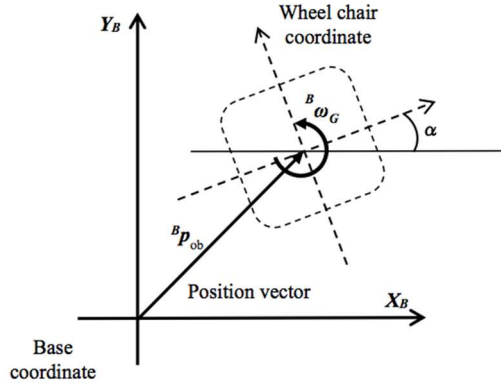


図 4.1.2 ΣW 座標系と基準座標系 ΣB

また、球体輪に働く駆動力および前輪キャスターに働く抗力を図 4.1.3 とすれば、運動方程式は、重心座標系 ΣG で定義される。

① 並進の運動方程式

$${}^G F_{bl} + {}^G F_{br} + {}^G F_{cl} + {}^G F_{cr} = M_W \cdot {}^G a \quad (4.1.1)$$

${}^G a$: 車いすの重心加速度ベクトル

$${}^G \dot{\mathbf{v}}_G = {}^G \mathbf{a}$$

M_W : 車いすの総質量

② 回転運動の運動方程式

$${}^G \mathbf{p}_{bl} \times {}^G F_{bl} + {}^G \mathbf{p}_{br} \times {}^G F_{br} + {}^G \mathbf{p}_{cl} \times {}^G F_{cl} + {}^G \mathbf{p}_{cr} \times {}^G F_{cr} = I_G \cdot {}^G \dot{\boldsymbol{\omega}}_G \quad (4.1.2)$$

I_G : ΣG 上の車いすの重心軸周りの慣性テンソル行列

$${}^B \boldsymbol{\omega}_G = {}^G \boldsymbol{\omega}_G$$

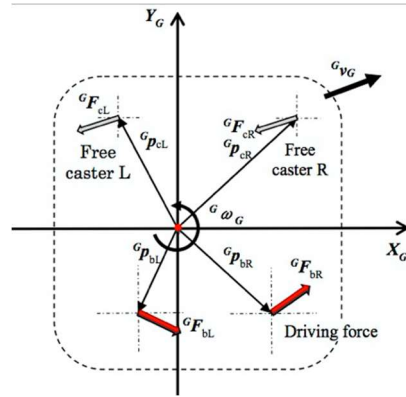


図 4.1.3 重心周り座標系に働く駆動力および抗力

一方、ΣW 上の球体輪速度と車いすの中心速度・角速度の関係は、次式で表される。

$${}^w \mathbf{v}_w = {}^G \mathbf{v}_G + {}^w \boldsymbol{\omega} \times (-{}^W \mathbf{P}_{og}) \quad (4.1.3)$$

$$\begin{bmatrix} v_{xLR} \\ v_{yL} \\ v_{yR} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & l_{by} \\ 0 & 1 & -l_{bx} \\ 0 & 1 & l_{bx} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^w v_w \\ {}^w \omega \end{bmatrix} \quad (4.1.4)$$

すなわち、式(4.1.4)を用いて、車いす速度指令値 ${}^w \mathbf{v}_w^{ref}$ および角速度 ${}^w \omega^{ref}$ に対し、球体輪の速度指令値 v_{xLR}^{ref} , v_{yL}^{ref} , v_{yR}^{ref} を計算し、PID速度制御により球体輪を駆動するモータ制御を行うことで、非駆動輪を含めた車いすの移動速度および回転角速度を制御することが可能となる。車いすを乗上げた状態での全方向移動モジュールの制御ブロック図を図 4.1.4 に示す。

車いす中心の速度・角速度指令値を ${}^w \mathbf{v}_w^{ref} = 0.2[m/s]$, ${}^w \omega^{ref} = 0[rad/s]$ としたときの、速度PID制御シミュレーション結果を図 4.1.5 に示す。

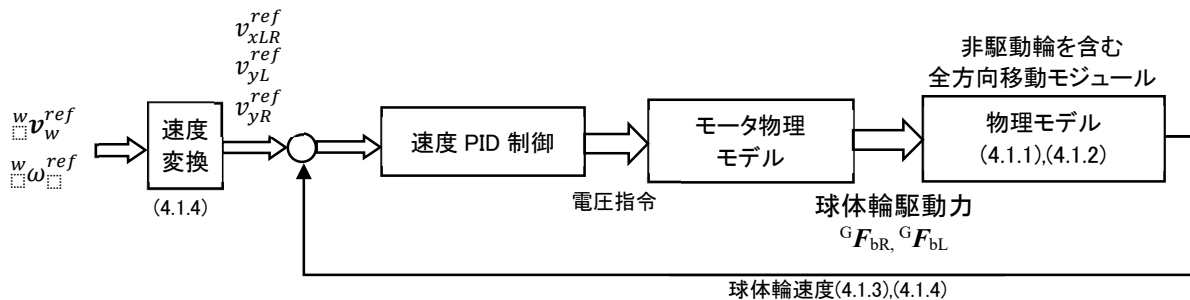


図 4.1.4 球体輪回転速度 PID 制御ブロック図

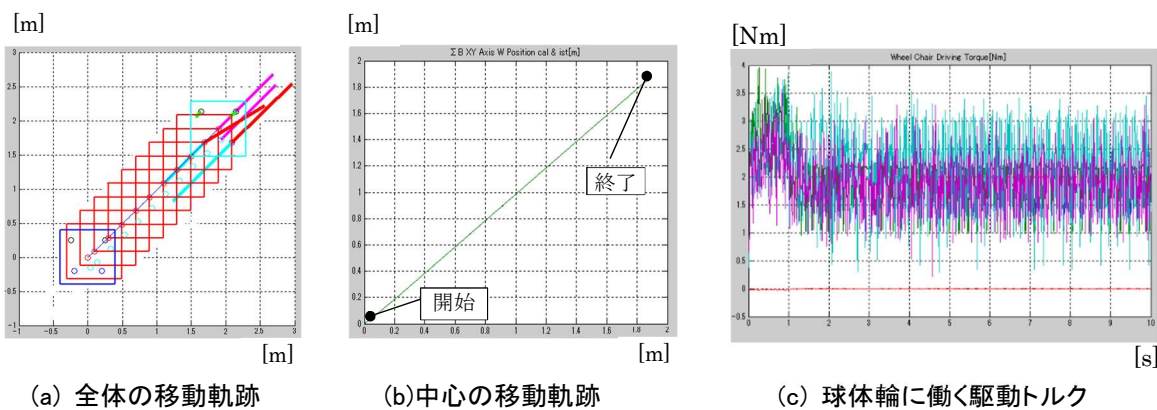


図 4.1.5 球体輪速度 PID 制御シミュレーション結果

図 4.1.5(c)では、モータ速度検出エンコーダの精度を 500pils/rev としたため、速度 PID 制御で与えられる球体輪への駆動トルクが大きく変動しているが、図 4.1.5(a),(b)より右斜上への移動動作が良好に制御できていることがわかる。

4.2 全方向移動モジュールの試作と動作制御実験による検証

乗降による着脱方式および非駆動輪を含む全方向移動制御の有効性を検証するために、実際に車いすを装着・駆動できる全方向移動モジュール 1 号機を試作した。試作 1 号機の外観を図 4.2.1, 図 4.2.2 に示す。

試作 1 号機を用いて、手動式車いすの全方向移動モジュールへの乗降による着脱を、介助者なしで簡便に行うことができることを確認した。

また、非駆動輪を含む全方向移動制御に関して、車いす上に 20kg, 40kg, 60kg の負荷を乗せた状態で、前後、左右、左右斜前、左右斜後の 8 パターンの移動実験を行った。実験に際して、球体輪の速度 PID 制御性能を評価するため、移動距離および移動姿勢を 2 次元位置計測システムを用いて計測した。図 4.2.3 に実験の様子、図 4.2.4, 図 4.2.5 に実験時の姿勢変化を示す。また、実験全体を通じた姿勢の変化を表 4.2.1 に示す。

動作実験の結果、以下の成果が得られた。

- ・介助者なしに試作した装置に乗降するだけで、手動式車いすに簡便に全方向移動機能を着脱できることを確認した。
- ・球体輪方式による非駆動輪を含む全方向移動制御が可能であることを示した。
- ・耐荷重 60kg まで、全方向移動が可能であることを確認した。

一方、問題点として、

- ・ 60kg 負荷時、移動時の姿勢変化が最大 20 度生じている
- ・ 高負荷時に、球体輪を駆動するローラと球体輪間にすべりが生じる場合があることが確認された
- ・ 車いすの駆動輪間の幅の変動に対応していない
- ・ モータ駆動制御として高価な専用ドライバを使用
- ・ 駆動電源としてバイク用鉛蓄電池 4 台を使用
- ・ 操作を有線のジョイスティックで行っているため、着脱時の取り扱いが困難となる

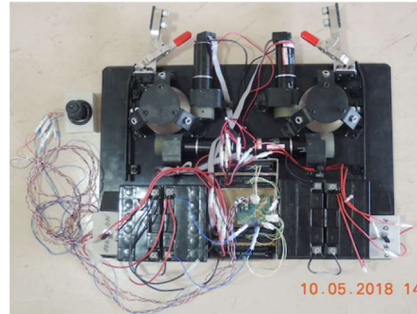
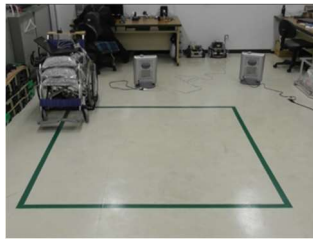


図 4.2.1 試作1号機外観



図 4.2.2 試作1号機を付加した手動式車いす



(a) 初期位置



(b) 最終位置

図 4.2.3 60kg 負荷 左斜め前方向移動実験

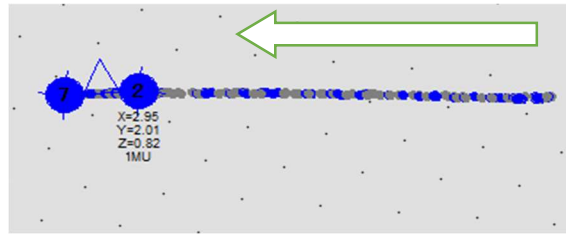


図 4.2.4 20kg 負荷 左移動時の姿勢の変化

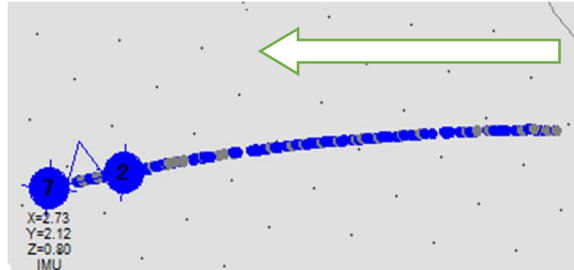


図 4.2.5 60kg 負荷 左移動時の姿勢の変化

表 4.2.1 初期角度と最終角度の差(姿勢の変化)

初期角度と最終角度の差 [deg]									
移動方向	前	後	左	右	左斜前	右斜前	左斜後	右斜後	平均
20kg 負荷	2	3	2	3	3	4	6	1	3
40kg 負荷	4	5	7	7	10	12	2	1	6
60kg 負荷	7	3	15	11	20	20	10	10	12

が挙げられる。これらの問題点に対して、将来の商品化を念頭に、試作 1 号機を改良した 2 号機を試作した。図 4.2.6 に外観を示す。試作 2 号機では、

- ・ 手動式車いすの駆動輪間の幅長の変動 (50cm~70cm) に対応
- ・ 駆動電源を鉛蓄電池から電動自転車用リチウムイオンバッテリーに変更
- ・ 制御回路をモータ専用ドライバから Arduino 回路へ変更
- ・ 球体輪駆動機構の改善

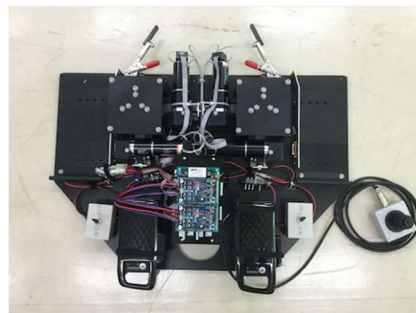


図 4.2.6 試作2号機外観

を実施した。試作 2 号機の動作実験では、耐荷重 80kg で 0.1m/s での動作を確認した。一方、速度検出用エンコーダの性能が 1 号機と同じであるため、制御性能の向上には至っていない。今後の課題として、

- ・ 移動時の移動速度の向上および姿勢変化の低減
- ・ 球体輪の駆動時のすべりを低減するため、球体輪の材質の見直し
- ・ 耐荷重を 100kg まで向上
- ・ 操作の無線化

等が挙げられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 上田育果、加藤達也、松尾和典、永田正伸
2. 発表標題 移動効率向上を目的とした汎用車いす用の着脱式全方向移動機構の研究
3. 学会等名 LIFE2018(第18回日本生活支援工学会大会、日本機械学会 福祉工学シンポジウム2018、第34回ライフサポート学会大会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上田育果、加藤達也、松尾和典、永田正伸
2. 発表標題 移動効率向上を目的とした汎用車いす用の着脱式全方向移動機構の研究
3. 学会等名 日本福祉工学会第22回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoka UEDA, Masanobu NAGATA, Tatsuya KATO, Kazunori MATSUO
2. 発表標題 A Study of Removable Omnidirectional Automotive Mechanism for Movement Efficiency
3. 学会等名 Proceedings of the 7th ACIS International Conference on Applied Computing & Information Technology (ACIT 2019), pp.111-116, May 29-31 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 車椅子アタッチメント	発明者 永田正伸	権利者 国立高等専門学校機構
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-171930	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究協力者	野尻 晋一 (Nojiri Shinichi)	介護老人保健施設清雅苑・副施設長	