【論文】

狭隘な住宅環境に適した全方位移動電動車いすの研究

Electric Omni-Directional Wheelchair for Narrow Corridor House

多田博夫(正会員), 豊崎一輝(非会員)*, 藤澤正一郎(正会員)**, 原野智哉(非会員), 川畑成之(非会員)

Hiroo Tada, Shoichiro Fujisawa*, Kazuki Toyosaki**, Tomoya Harano and Nariyuki Kawabata

Abstract

The purpose of this study is to develop a wheelchair which can be operated by a physically disabled person on his/her own in a barrier-free construction as smoothly as in the movement of a non-disabled person. While barrier-free environment can be easily obtained by renovating the building, expansion of the room or corridor width is more difficult because of the fixed arrangement of pillars and walls. When viewed from above, a disabled person's body is broadest at his/her shoulder and is narrower at his/her knees. Because of this, by building a wheelchair that fits in a Reuleaux triangle, it is possible to hold the body outline of the disabled person within the wheelchair, and that allows it to turn around inside a narrow corridor. The following results were obtained by experimenting on the prototype. Omni-wheels on the three corners of the wheelchair's frame, each driven by an independently controllable motor, enabled the wheelchair to move omni-directionally. By using three types of operation modes, the wheelchair became more capable of lateral movement in a narrow room, route change for avoiding an obstacle, and sudden course correction. The minimal width of the corridor where it can turn around was 800mm in turning operation, and 750mm in compound operation.

Key Words

Wheelchair, Small turn, Omni-directional Vehicle, Motion control

1. はじめに

室内で車いすを利用する際に障害となるのが幅の狭い廊下や出入り口である。誰もが日常利用する建築物等では 1994 年施行のハートビル法¹⁾において廊下の有効幅が 1200mm 以上, 出入り口の幅が 800mm 以上とされ, 2006 年施行のバリアフリー新法²⁾

においても同じ基準が適用されているが, 個人住宅に対する廊下幅等の規定は現在も存在しない。一般にバリアフリーを意識した住宅では廊下幅 850~900mm を目安とされるが, 実際には廊下幅が 750mm 程度の住宅も多く存在する。

車いすで使用困難と感ずることの調査³⁾では段差・すき間走行が 30.4%と最も高く, 次いで坂道の昇り降り 23.8%となっている。また, 車いす使用に困ることでは狭い所での小回りが挙げられている。段差やスロープ設置は住宅のバリアフリーリフォームにより解消できる場合が多いが, 廊下の拡張は住宅の荷重が加わる柱や耐力壁を取り除くことが困難なため, 廊下幅を広くすることが難しい場合が多い。このため, 狭い廊下に適した 6 輪車いす^{4,5)}が広く利用されている。この車両の特徴は駆動輪を前方に移動させ, 車体中心近くに旋回中心を置くことで旋回半径を小さくしているが, 重心近くとなった駆動輪を中心とした前後方向モーメントによる転倒を防ぐために, 車体 4 隅にキャスターが必要であり, 基本形状も四角形となる。旋回に必要な幅は一般的な車いすが 1400mm であるのに対し, 6 輪車いすは 1000mm 程度で旋回が可能であるが, バリアフリー住宅を含め, 一般的な住宅の廊下で旋回することはできない。

2015 年 7 月 15 日受付

2015 年 10 月 20 日掲載決定

国立高専機構阿南高専創造技術工学科, 〒774-0017 徳島県阿南市見能林町青木 265

*国立高専機構阿南高専専攻科構造設計工学専攻, 同上

**徳島大学工学部機械工学科

〒770-8506 徳島県徳島市南常三島 2 丁目 1 番地

Department of Creative Technology Engineering, National Institute of Technology, Anan College, 265 Aoki Minobayashi, Anan, Tokushima 774-0017

*Advanced Course of Structure Design Engineering, National Institute of Technology, Anan College

**Department of Mechanical Engineering, Tokushima University, 2-24, Shinkura-cho, Tokushima 770-8501

狭い幅を通過することを目的に、車両幅可変機構を有する車いす⁹⁾の提案では4輪のホイールベースとトレッドの可変機構と回転速度の制御により狭い場所の通過と全方位への移動を可能としているが、6輪車いすと同様に車体の基本形状が四角形であることから旋回半径を小さくすることができない。旋回に必要なスペースを小さくするには、車体形状を四角形から円形にすることが有効であるが、乗車時に最も幅が広がる肩幅と背もたれが後方となることから、乗員の最大幅は車体後方となる。このため、最大幅を後方に移動させたルーローの三角形を基本形状とした車いすを提案する。採用する走行機能はスイッチバックなどの操作なしに任意の方向へ移動可能なホロミックな全方位移動機構⁷⁾とし、これによりルーローの三角形の等幅性を有効に利用した旋回ができる。全方位移動車いすは4輪式の研究が多く報告され⁸⁾、3輪式全方位移動機構⁹⁾は比較的小型の移動台車などで利用されるが、車いすでの実用化は進んでいない。また、従来の前後と旋回の2方向操作に加え、左右の自由度が加わったことにより操縦操作が難しく、3自由度操縦の一部を自動化する研究^{10,11)}も行われている。

本研究では狭い場所での旋回を可能とするため、車いす形状をルーローの三角形とし、750mm 幅廊下での旋回を目指した。また、三角形頂点に全方位移動輪を取り付け、回転速度を制御することにより従来の前後・旋回に加え、横方向への移動を可能とした。本車いすの構成部品であるモータ、制御用マイコン等は入手性と扱いやすさを重視した。試作車両により直進安定性、各種走行の操作性と実用性、目標の幅での旋回性能を検証した。

2. 試作車両の計画と製作

2.1 利用を想定する住宅環境

伝統的な農家などでみられる木造軸組構法の平屋家屋では複数の部屋が隣接し、襖や障子を開けることで接続した部屋となり、廊下の幅も広く作られていた。その後、居住者のプライバシー確保が優先され、居室を壁により区切り、半間程度の狭い廊下で接続する住宅が一般的となった。今日ではリビングやダイニングを広く取る開放的な住宅も増えているが、寝室や子供部屋を独立させ、狭い廊下で接続する傾向は残っている。このような住宅環境において車いすの利用が必要となった場合、車いすでの移動を可能とするリフォームが必要となる。車輪移動を可能とする段差解消はスロープや凹凸部の補修などで対策可能であるが、車いすの通行を容易にするための廊下幅の拡大や壁の撤去などは柱や耐力壁の関係で困難な場合が多い。また、食堂のテーブル、オフィスの机なども健常者利用を想定した配置となっており、車いすが通行する幅を広げることは難しいことが多い。

2.2 試作車両への要求性能

段差解消などを行った平坦フロアにおいて、それ以外は一般的な住宅廊下や食堂、オフィスなどで健常者と同様な経路での移動を可能とするため、以下に示す二つの機能を要求性能とする。Fig.1 に本車両が目標とする走行性能の例を示す。

一般的な木造住宅の柱間隔は3尺(910mm)幅が基本とされ、120mm 角の柱を 910mm 間隔で取り付けると廊下幅は 790mm と

なり、さらに壁を加えた住宅では廊下幅が 750mm に減少する。このような狭い廊下を直進し、角を曲がり、そして U ターンして引き返すことのできる車両形状を目標とする。ただし、体を横にして狭い場所へ入る動作、狭い廊下でのすれ違いは考慮しない。

健常者が行える横歩きやサイドステップと同様な、車いすでの横方向移動を可能とする。一般的な車いすでの机に向かった作業や食事において、隣の席への移動、横の物を取るなどの動作では旋回や前進など複数の動作を必要とするが、本車いすを用いることで健常者と同様な経路移動を可能とする。

Fig.1 Target of driving performance

2.3 試作車両の基本計画

上から見た乗車姿勢を Fig.2(a)に示す。狭い幅での旋回には円形の車体形状が好ましいが、座位では乗員の肩幅が最も広く、

Fig.2 Design of vehicle shape

その位置は中心より後方となる。しかし、ひざを揃えることで前方の幅は狭くなり、等幅図形であるルーローの三角形に乗員の体を収めることができる。この図形の幅と長さは 700mm であり、乗員の肩幅は約 500mm、椅子の肘掛幅は 600mm である。車体フレームの計画図を Fig.2(b)に示す。車体中心から 400mm のアームを 3 方向に伸ばし、鋭利な三角形の先端を丸めることで衝突時の安全性を高めている。車体幅は以上の対策で 706mm となった。

狭い廊下での旋回目標を、Fig.2(c)を用いて計画する。廊下幅 750mm の中央に、上を車体前方として停車した車いすのフレームと外枠を太線で示す。この位置で車体中心を軸に旋回した場合、フレーム端は二点鎖線の軌跡で旋回し、その直径は約 800mm となり廊下幅より大きくなる。しかし車体中心を廊下横方向に移動することでルーローの三角形の等幅性は確保され、最小で車体幅と同じ 706mm での旋回が可能となる。ただし、フレーム端と壁面との接触に対する対策が必要である。

車体フレーム形状の立体計画図を Fig.2(d)に示す。ルーローの三角形の端に全方位置移動輪であるオムニホイールを配置し、DC ギヤドモータにより回転速度を独立制御することで前後・左右・旋回方向へ走行できる。以上の構造により、車体が入れる幅の廊下であれば、その場での旋回が可能となる。Fig.2(a)の写真では乗降性確保のために右手操作レバーが枠外に出ているが、乗車後に肘掛を内側に入れることで、ルーローの三角形の中に収納可能である。

(a) Overall view (b) Driving device
Fig.3 Prototype of wheelchair

Table 1 Specification of wheelchair

Exterior Dimensions	Length・Width	725・715mm
	Mass	41kg
Performance	Maximum speed	1.1m/s
	Width of turn	750mm
DC-Motor Continuous rating	Voltage・Output	24V・60W
	Torque・speed	0.24Nm・2500rpm
Gear	Gear ratio	12.5
Battery	Type	Li-ion
	Capacity	26V-5Ah

2.4 試作車両の構造

試作車両の全体図を Fig.3 に、基本緒元を Table 1 に示す。前方のフレーム両側に足置きを取り付け、それ以外をルーローの三角形形状のガイドで囲う。フレーム下部に定格 60W 出力の DC モータと 1/12.5 の減速ギヤで外径 120mm のオムニホイールを駆動する。フレーム中央の支柱には市販の事務用椅子を固定し、座面下部にアシスト自転車用リチウムイオンバッテリー(26V-5Ah)、モータ駆動用ドライバ、制御用マイコン(Arduino Uno)¹²⁾、その他電子機器、計測用データロガーを設置した。乗員右手すりには前後・左右・旋回を操作する 3 自由度ジョイスティックを取り付ける。

2.5 駆動部の制御方法と回路構成

各モータの目標回転速度を求める。Fig.2(d)に示すオムニホイールを Fig.4 に示すように原点より距離 b 、角度 φ_i で取り付ける。座標系全体が $\dot{x}$, $\dot{y}$, $\dot{\theta}$ で移動する時、オムニホイールの駆動回転による速度 v_{xi} 、オムニホイールのバレルによりタイヤが横滑りする速度 v_{yi} は式(1),(2)となる。

$$v_{xi} = \dot{x} \cos \varphi_i - \dot{y} \sin \varphi_i + b \dot{\theta} \quad (1)$$

$$v_{yi} = \dot{x} \sin \varphi_i + \dot{y} \cos \varphi_i \quad (2)$$

Fig.4 に示すオムニホイールを $\varphi_i=0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$ ($i=1 \sim 3$) で取り付け、車両が速度 $\dot{x}$, $\dot{y}$, $\dot{\theta}$ で走行する時のホイール速度の図を Fig.5 に示す。また、3つのオムニホイール駆動速度 v_{xi} は式(1)より式(3)～(5)となる。

$$v_{x1} = \dot{x} + b \dot{\theta} \quad (3)$$

$$v_{x2} = -\frac{1}{2} \dot{x} + \frac{\sqrt{3}}{2} \dot{y} + b \dot{\theta} \quad (4)$$

Fig.4 Coordinate system of wheel

Fig.5 Velocity of wheel and wheelchair

$$v_{x3} = -\frac{1}{2}\dot{x} - \frac{\sqrt{3}}{2}\dot{y} + b\dot{\theta} \quad (5)$$

車両の目標速度 $\dot{x}$, $\dot{y}$, $\dot{\theta}$ を3自由度ジョイスティックを用いて制御用マイコンに入力し、式(3)～(5)を用いて3車輪の目標周速度を計算、これに比例した電圧を走行モータに印加する。Fig.6 にモータの制御回路を示す。本車いすに使用した DC モータの回転速度は印加電圧により制御するが、モータ負荷が回転速度に影響を与えるため、ロータリエンコーダと F/V コンバータを用いてモータ回転速度をモータドライバにフィードバックし、速度追従性を向上させる。事前に実施した研究においてモータ回転速度を制御用ノートパソコンにフィードバックし、PI 制御をすることで走行安定性の向上が可能であったが¹³⁾、Arduino Uno の処理能力の関係で制御マイコンを含むフィードバック制御は行っていない。Arduino Uno のアナログ入出力電圧の範囲が 0 から 5V であるため、オペアンプを用いてモータドライバ入力電圧 $\pm 10V$ に変換している。

Fig.6 Hardware construction

3. 走行実験

3.1 ジョイスティック操作性の検証

本車いすに使用したジョイスティックを Fig.7(a)に示す。比較に用いた Fig.7(b)に示すジョイスティックは乗員が操作する部分が③ツマミであるため、①②操作時にも③信号が入りやすく、特に乗員の体が車体と共に揺れることで誤操作の入力信号が増加した。予備実験の結果、両タイプとも3自由度の操作を1本レバーで同時に行うのは難しく、Table2 に示す3種類の操作モードを作り、切り替えスイッチにより選択可能とした。各モードとも主とする走行を①②操作とし、③操作は補助的利用とした。Ⅰ 通常モードは一般的な電動車いすと同様に、レバーの前後・左右に倒すことにより前後進・左右旋回を行う。横方向操作は普段は触れない③レバーとし、補助的な利用とする。Ⅱ 横移動モードでは目標とする横方向へレバーを倒すことで同じ方向に移動し、前後に倒すことで

旋回移動が加わる。操縦者が目標とする横方向へ視線を向け、横方向を進行方向と認識することで通常モードと同じ感覚で横移動が可能となる。Ⅲ斜め移動モードではレバーを倒した方向である前後・左右・斜め方向に車いすが旋回せずに移動し、③操作を加えることにより車体の旋回量を調整できる。

本研究で実施した走行実験はヘルシンキ宣言の主旨に従い、被験者への倫理上遵守すべき基本的事項として特に実験の目的と安全性の確保、傷害保険への加入、プライバシー保護とデータの取り扱いについて説明を行ない、インフォームドコンセントを得たうえで実施している。

Fig.7 Type of joystick

Table 2 Operation mode of joystick

	①	②	③
I .Normal mode	Fwd./Rev.	Turn	Side
II .Lateral mode	Turn	Side	Fwd./Rev.
III .Diagonal mode	Fwd./Rev.	Side	Turn

3.2 前進および横方向への直進安定性の検証

平坦なフローリング床において前進方向と右方向への直進安定性について調査する。Fig.8 に実験の様子を示す。走行目標ラインを床に引き、操作レバーを前進または右方向のみに操作し、車両の走行軌跡をビデオと車輪回転速度より求める。式(3)～(5)より、車両の前後・左右・旋回方向への速度は式(6)～(8)となり、ホイール周速度の計測結果より求めた速度を積算することで、車体中心の位置情報を軌跡として得ることができるが、タイヤと路面のすべりによる影響は考慮できない。このため、ビデオ計測結果とタイヤ周速度より求めた経路の誤差が走行終了時に 100mm を超えるデータは未使用とし、計測データの信頼性を保証した。

$$\dot{x} = (2v_{x1} - v_{x2} - v_{x3})/3 \quad (6)$$

$$\dot{y} = (v_{x3} - v_{x2})/\sqrt{3} \quad (7)$$

$$\dot{\theta} = (v_{x1} + v_{x2} + v_{x3})/3b \quad (8)$$

前進または右方向へ直進走行時のオムニホイール駆動速度 v_{xi} を Fig.9 に示す。Fig.9(a)に示すように前進時は v_{x2} と v_{x3} が進行方向に対して左右対称であり、同じモータ特性を使用できる

(a) Forward movement (b) Right movement

Fig.8 Views of experiment

(a) Forward movement (b) Right movement

Fig.9 Velocity of wheel

ことから、Fig.8(a)に示す前進時の走行安定性は良好であり、4m 走行後の進路の最大偏差は左右に200mm以下と小さく、走行速度の大きさによる特徴的な動きもみられなかった。

Fig.9(b)に示す右方向移動時は v_{x1} と v_{x2} 、 v_{x3} の大きさが異なり、バレルの横滑り速度を加味したタイヤ移動速度は横方向速度と一致するが、モータは異なる回転速度となる。このため、モータ個数、車輪の駆動方向、車体中心までの距離の違いに加え、モータ発生トルクに差異が生じやすく、車体に回転モーメントが発生する可能性がある。Fig.10 に異なる速度条件で右方向に移動した時の直進安定性を示す。10 回の実験結果を最高速度が低い順に①～⑩とし、1m ごとの横方向への偏差をプロットした。最大速度が0.7m/s以下の実験①～⑧は4m 走行時の最大偏差が前方へ310mm 後方へは95mmであったが、0.7m/sを超える実験⑨、⑩では前方へ527mm、616mm 移動した。0.7m/sを超える速度域での横移動実験時に前輪モータの温度が高くなる傾向があり、前輪を駆動するDC モータのトルク不足が原因と考えられる。DC モータは高回転域で最大発生トルクが小さくなる。Fig.9(b)より v_{x1} は v_{x2} 、 v_{x3} の2倍の速度であり、後輪に比べ前輪の負担が大きい。

速い速度での横移動時に走行ラインが前方へ偏る現象に対し、Table 2 のII横移動モードで操縦を行ない、目標ラインへ修整が容易であるか調査した走行実験結果を Fig.11 に示す。Fig.11(a)

Fig.10 Views of experiment

Fig.11 Maneuvering experiment in lateral mode

より順にレバー操作量、車輪周速度、車体速度、車体軌跡を示す。Fig.11(a)に示すレバー操作は、進行方向である右方向への操作に加え、右旋回の修整操作を走行3秒後と5秒後に行うことで、Fig.11(d)に示すように最大200mmの蛇行に抑えている。Fig.11(b)より前輪の車輪周速度 v_{x1} は後輪 v_{x2} 、 v_{x3} の約2倍であり、旋回操作時には全車輪の周速度がプラス方向に増加し、Fig.11(c)に示すように車体の右回転速度が増加する。

レバーの緩やかな操作では横移動の蛇行は少ないが、急激な操作や床の状態により車体の旋回が生じることがある。しかし、旋回操作のみで目標の軌道に修正することが可能であった。

3.3 狭い廊下での旋回

Fig.1 に示す目標走行性能において、旋回可能な廊下幅を検証する。Fig.12 に示すように壁面間隔を変化させ、小旋回性能に優れる市販の6輪車と試作車を比較し、旋回可能な廊下幅を調査した。Fig.12(a)に示す6輪車の旋回可能幅は950mmであり、バリアフリーを意識した住宅の廊下幅850~900mmであっても旋回はできない結果となった。

本車いすの車体中心を旋回軸とした場合の旋回直径は、Fig.2(b)に示す計画より800mmである。試作車の全長、全幅が計画より25mm、15mm大きくなったが、800mmでの旋回は車体端部が壁面に接触するが、旋回操作のみで車体を旋回させることができた。本研究の目標幅である750mmではフレーム端に加え、操作レバーと椅子背もたれが壁面に強く接触するが、前進操作と後進操作を各2回加えることで180°の旋回が可能であり、15秒から20秒の時間を必要とした。実験の様子をFig.12(b)に示す。

(a) Marketed 6-wheel type corridor width 950mm
(b) Prototype of wheelchair corridor width 750mm

Fig.12 Experiment on turn around

3.4 狭い居室内の移動

Fig.1 に示す目標走行性能において、机のある狭い居室内での移動実験を行った。実験状況を Fig.13(e)に、タイヤ周速度より得た車両軌跡を Fig.13(d)示す。A印は車体の向きを示し、最初にI 通常モードで前進して机に向かい、II 横移動モードで机の前を右方向へ移動した。3.2 節の結果より横方向への最高速度を低下させるために横方向の操作レバーに対するゲインを半分としたが、Fig.13(a)に示すレバー操作量は半分程度で十分に速く感じられ、蛇行も少なく、レバー操作による修正は行っていない。Fig.13(b)はタイヤ周速度を示し、蛇行修正を必要とした Fig.12(b)の4割程度の速度である。Fig.13(c)に示す走行速度の最高値は前進速度0.45m/s、横移動速度0.35m/sであり、微小な旋回速度が発生しているが最大0.05rad/s程度で蛇行には至らず、修整操作なしに机の間を走行可能であった。

3.5 旋回および斜め移動操作を用いたルート変更移動

前進操作に旋回または横移動操作を複合させた走行実験を、I 通常操作モードとIII斜め移動モードを用いて実験を行う。障害物回避などでルートを変更したい場合、I 通常操作モードではFig.14(a)に示すS字ルートで走行し、III斜め移動モードでは横移動操作を加えることでFig.14(b)に示すように車体は同じ方向を向いた状態で斜め前方に走行できる。

I 通常操作モードでの実験結果をFig.15に、III斜め移動モードでの実験結果をFig.16に示す。旋回を用いたルート移動ではFig.15(a)に示すように操作レバーを前方に倒すことで前進させ、途中で左旋回、次に右旋回を行っている。これによりFig.15(b)に

示すタイヤ周速度はマイナス方向、次いでプラス方向に増加することでFig.15(c)に示す旋回速度がS字状に発生している。車体軌跡はFig.15(d)に示すように二つの円弧が滑らかに繋がったカーブとなっており、A印で示す車体の向きも常に進行方向を向き、通常の車いすと同様な走行感覚である。

斜め走行を用いたルート移動ではFig.16(a)に示すように操作レバーを前方に倒すことで前進させ、途中で左への横移動操作

(d) Trajectories of wheelchair (e) Experiment scene

Fig.13 Maneuvering experiment in narrow room

(a) I. Normal mode (b) III. Diagonal mode

Fig.14 Change route

Fig.15 Maneuvering experiment in I. Normal mode

を加えている。横移動のゲインを下げたため、目標とする斜め移動をするために前進速度を低下させている。Fig.16(b)に示すタイヤ周速度の変化により、Fig.16(c)に示す車体速度は横移動速度の増加と前進速度の低下により目標の横移動量を走行することができた。Fig.16(d)のA印で示す車体の向きは斜め移動時も同じ方向を向いた状態を保ち、ルート変更は直線的に斜め移動している。I 通常操作モードでのS字走行では、旋回操作により車体の回転角度とルート変更量の両方を調整する必要があるが、III斜め移動モードでは車体の向きが変わらないため、目標ラインを意識するだけでルート移動が可能であった。

4. 実験結果のまとめと今後の課題

本車いすの直進性を走行実験により検証した結果、実用的な利用範囲では安定した走行結果となったが、0.7m/sを超える速い速度での横方向移動時に前方へ進路が偏る傾向が生じた。この原因として後輪に比べ2倍の回転速度を必要とする前輪モータのトルク不足が懸念される。狭い室内での実用速度である0.7m/s以下の横移動では良好な直進性を示したが、広い室内を想定した高速での横移動や急加速を必要とする仕様では、モータの大型化やモータ回転数の積分値をフィードバックして走行経路を修正する制御が必要である。タイヤ周速度より求めた経路はビデオ計測結果と良く一致したが、路面とタイヤ間にスリップが生じた場合にはタイヤ周速度より求めた経路は実際の機体軌跡以上に大

Fig.16 Maneuvering experiment in III. Diagonal mode

きな蛇行として計算された。床面素材の違いが走行性能に及ぼす影響は少なく、オムニホイールのバレル素材がウレタンのため、床面の材質による顕著なスリップはみられなかった。しかし、濡れた床面での急激な操縦操作ではタイヤスリップが発生し、毛足の長い足拭きマットなどではタイヤ回転速度の低下による機体の蛇行がみられた。

3自由度のジョイスティックを用いた全方位移動は操縦に習熟を有し、利用シーンに応じてI 通常モード、II 横移動モード、III 斜め移動モードへ操縦モードを切り替えることで操作性が向上した。狭路旋回を含む一般の車いすと同様な用途はI 通常モードで対応でき、デスクワークや食事の場面ではII 横移動モードが便利であった。III 斜め移動モードは他のモードに比べて操縦に習熟を要するが全方位移動への自由移動を最も楽しめるモードであり、習熟度が高くなるに従い操縦者が新しい利用法を創出できる可能性を持つ。しかし、これらのモード切り替えを必要とする方法は操縦者の切り替え忘れによる誤操作を招く恐れがあり、実用化に向けては操縦操作のさらなる改良と自動操縦の併用が望まれる。

本車いすの最高速度は約4km/hであり、一般的な室内用電動車いすの4.5km/hや6.0km/hに比べて低い速度設定であるが、本車いすの主用途である狭い通路や室内では十分に速いと体感する速度であった。また、本車いすは車輪間隔が近い3輪車のため、最高速度を高めることは転倒の危険性が増す恐れもある。現在の仕様において操縦レバーを急激に操作した場面でも転倒

の危険はなかったが、さらに低速度でも下部フレームやタイヤが障害物に衝突した場合に転倒の可能性が考えられる。車体フレームの壁面などへの衝突は乗員の誤操作によるものに加え、狭い通路幅での旋回時にも発生する。750mm 幅通路を 180° 旋回するには、旋回の操作に加え車体を前後進させる操作による回避動作が必要であった。転倒の危険性や狭い場所での走行安全性を向上させるため、距離センサを用いた壁面への衝突回避運動を自動で行う機能を加えるなどの対策が有効である。また、本車いすの利用環境では床面の凹凸や段差を減らすリフォームが必要である。

本研究により車いすの基本性能の確認が完了し、今後障害物回避や操縦自動化などを組み込むなど、走行の安全性ならびに操作性向上に向けた研究を進める予定である。また実用化に向けた課題として、安全かつ快適な車いすの指針である電動車いすに関する JIS 規格¹⁴⁾ に準拠させる必要があり、特に車体寸法、身体支持部であるシートとバックサポート、フットサポートの検討、車いすに乗り込む方法の検討が残されている。試作車両の横幅 715mm はガードやフレーム形状の手直しにより JIS 規格の 700mm に収めることは可能であるが、このサイズの中で乗員を安全にサポートできるシートやフットレストなどの検討を行う必要がある。また、車両の前方中央に前輪がある本機構は車体前方からの乗り込みが難しく、横方向からの乗り込みやシート全体の回転などの工夫が必要であり、実用化に向けた利用者視点での開発を進めたいと考えている。

5. 結論

車いすを利用しやすい環境整備が進められ、多くの公共施設や職場においてバリアフリー化が進められている。しかし、これらの対応には限界があり、環境整備と車いす機能の両者を向上させることで、さらに車いすを利用しやすい環境を作ることができる。本研究では狭隘な日本住宅での自立した生活や、手狭なオフィス環境でも仕事を行うことを望む車いす利用者が、健常者と同様な経路で移動可能な車いすを利用することで、生活の質や仕事での生産性を向上できることを目指した。従来の車いすは四角形を基本とするが、車体形状を等幅図形であるルーローの三角形にすることで狭路旋回を可能とした。また、走行モータ制御には安価で入手性の良い Arduino Uno マイコンを用い、3つの DC モータとモータドライバ間では速度フィードバックを行ったが、Arduino マイコンでは複雑な制御をすることなく横方向を含む全方位への走行が可能であり、予期しない蛇行にも修整操作可能であった。操縦操作を容易にするために 3 種類の操縦操作モードを作成し、走行目的に応じたモード切り替えを行うことで狭い室内やなどでの操縦操作が容易となった。多くの木造住宅の廊下幅である 750mm 幅での旋回は可能であるが、旋回操作に加え前後進の操作を併せて行う必要があった。実用化に向けてはルーローの三角形の特徴を活かした旋回の自動化や障害物の衝突回避、乗降性や座り心地の向上などの問題が残されているが、本研究により狭隘な住宅に適した車いすの基本機能を確認することができた。

参考文献

- 1) 建設省, 高齢者, 身体障害者等が円滑に利用できる特定建築物の建築の促進に関する法律(ハートビル法). 1994; <http://law.e-gov.go.jp/haishi/H06SE311.html> [2016 年 6 月 8 日に供覧]
- 2) 国土交通省, 高齢者, 障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律(バリアフリー新法). 2006; <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H18/H18HO091.html> [2016 年 6 月 8 日に供覧]
- 3) 沖川悦三, 安藤徳彦, 車いすのニーズと今後求められる車いすの方向. 日本義肢装具学会誌 1993; 9(2): 121-127.
- 4) 沖川悦三, 宮本晃, 島田勝英, 星昌博, 田中理, 鈴木曠二, 他, 家屋内における小回り性を重視した車いすの開発. 日本義肢装具学会誌 1995; 11(1): 38-42.
- 5) 沖川悦三, 宮本晃, 島田勝英, 星昌博, 田中理, 鈴木曠二, 他, 屋内用 6 輪車いすの実用化. 日本義肢装具学会誌 1998; 14(1): 107-111.
- 6) 和田正義, 浅田春比古, 車両幅可変機構を有する全方向移動車の設計とその車椅子への応用. 日本ロボット学会誌 1998; 16(6): 816-823.
- 7) M. West, H. Asada, Design of a holonomic omnidirectional vehicle. Proceedings of the 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation: 97-103.
- 8) 北川秀夫, 別府達哉, 大野義則, 三好孝典, 寺嶋一彦, 全方向移動車椅子の乗り心地向上のための走行制御. 日本ロボット学会誌 2004; 22(7): 933-939.
- 9) 松本直樹, 竹田滋, 飯田慎二, 伊東正篤, 3 つの球を使った全方位移動機構の運動と制御. 日本機械学会論文集 1994; C60(576): 266-273.
- 10) 大西隆之, 高瀬國克, 全方位移動車椅子の操縦システムの研究 一手動と自動の統合化. 電気学会論文誌 2003; C123(6): 1109-1116.
- 11) G. Bourhis, M. Sahnoun, Assisted Control Mode for a Smart Wheelchair, IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics 2007; 12(15): 158-163.
- 12) Arduino.cc: Arduino Official website, <http://www.arduino.cc/> [2016 年 6 月 8 日に供覧]
- 13) 湯浅庸紀, 多田博夫, これからの日本住宅に適した車いすの提案. 計測自動制御学会四国支部学術講演会 2012; SO1-21.
- 14) 日本工業標準調査会, JIS T9203:2010 電動車いす. 日本規格協会 2010.