

## 超小型車両の後輪操舵機構の開発

### Development of Rear Wheel Steering Mechanism for Personal Mobility Vehicles

高橋良至\* 大古英紀\*\*

#### 1. はじめに

本格的な高齢社会に突入した日本では、高齢者の7%が移動に何らかの制約を受ける移動制約者であると言われており1)、日常生活における移動の支援が重要な課題となっている。そこで研究代表者らは、日常生活のための近距離移動を支援することで自立した生活をサポートし、自らの歩行機能を利用することで身体機能の維持を図り、要介護状態とならないようにする“介護予防”に貢献することを目的とした、歩行アシスト車両の研究開発を行っている。これまでに、ユーザが路面を蹴り出すことで前進する歩行アシスト車両、パーソナルモビリティビークル（以下、PMV という）の試作を行った。（図1）2)



図1 これまでに製作した PMV 試作外観

車輪に取り付けられたセンサが蹴り出しだしによる加速を検出すると、モータが車輪の回転をアシストし、ひと蹴りで長い距離を滑走することを可能としている。また転倒しにくい3輪車（前方二輪、後方一輪）とし、前後に折りたたみ、公共交通機関にそのまま持ち込むことで行動範囲を拡大することを目指した乗り物である。こ

の試作を用いて若年健常者と高齢者5名を対象とした予備実験を行った結果、アシスト機能によりひと蹴りで最高速度が14%増加し、滑走距離が18.3%増加した。また、5回の連続した蹴りの後で滑走距離が24%増加することが確認され、被験者からアシストが働いていて楽に移動することができるとの感想も得られた。

#### 2. 後輪操舵機構の開発

##### 2.1 小旋回半径の実現に向けて

試作を用いた予備実験や、小型ハンドル型電動車いすを用いた公共交通との連携実験の結果、列車内やエレベータご内など狭い場所では、小さい旋回半径が求められることが確認された。これまでに試作したPMVの最小旋回半径は約625mmであった。これは前輪操舵を採用したためで、この方式は自動車など多くの移動機器で用いられており、ハンドル操作に対する車両の動きが直感的に理解しやすく、運転操作が容易であるといった利点があるが、構造上大きな舵角を取ることができないため旋回半径を小さくするには限界がある。そこで、新たにフォークリフトに用いられているような後輪の舵角を操作する方式（後輪操舵）の操舵機構を開発し、最小回転半径を、400mm程度まで小さくすることを目標とした（図2）

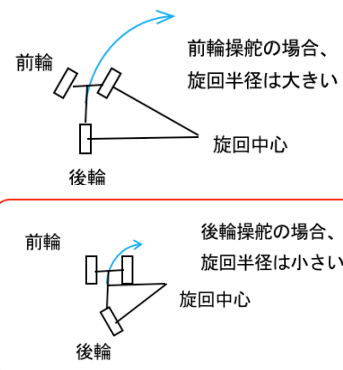


図2 操舵方式による旋回半径の違い

## 2. 2 駆動方式の選定

設計にあたっては、開発を行う PMV が後輪を駆動輪としていることから、後輪部には駆動と舵取り両方の機能を持たせる必要がある。駆動しながら操舵を行う機構を実現するために、車輪にモータを組込んだインホイールモータを採用することを採用した。

## 2. 3 開発体制

本プロジェクトは、大古精機(株)とともに実施した。大古精機(株)は、精密ゲージの製造販売が主であるが、協力会社と連携して切削や曲げなどの一般的な機械加工や組立なども行っており、これまでに PMV の試作を依頼し、製作した実績がある。また、東洋大学朝霞キャンパスには、汎用旋盤、NC フライス盤等の機械加工を行うことができる基本的な設備や、電気電子工作、ソフトウェア製作を行う環境が整っている。東洋大学では、主に基本設計と実験・評価を担当し、大古精機(株)では、主に詳細設計、試作を担当した。

## 3. 設計

### 3. 1 操舵機構

製作した PMV の車体はレール状のアルミフレームを組み合わせて、これに前輪 2 輪、後輪 1 輪の車輪を取り付けた。前輪部は舵角を固定し、後輪部には電動キックボードで使用される、8 インチインホイールモータを使用し、操舵ハンドルにより舵角を変化させることができる構造とした。前輪のトレッドは、鉄道駅改札を通過することができるように 600mm とした。ホイールベースは 640mm として、小旋回半径を目指した。図 3 に斜め後方から見た本体見取り図を、図 4 に後輪操舵歯車列部分の平面図を、図 5 に後輪操舵 PMV の試作外観を示す。

レール状のフレームを使用することで、車輪取付位置を自由に変更可能となった。後輪操舵機構は、ハンドル、後輪、回転を伝達するための歯車機構で構成される。車体の後輪を操舵輪とするため、直接後輪の舵角を変更することができるように、椅子の肘掛けを操舵ハンドルとした。後輪操舵の場合、前輪操舵と異なり、旋回する方

向と操舵輪(この場合後輪)の方向が逆になることから、自動車や二輪車などの前輪操舵とは反対側にハンドルを操作する必要が生じる。そこで、運転者が混乱せずに旋回方向にハンドル操作を行うことができるように、操舵ハンドル軸と後輪操舵軸との間に歯車列を設けることで操舵ハンドル舵角を反転させ、前輪操舵と同じ方向に操舵ハンドルを操作することができる構造とした。歯車列は、操舵ハンドル軸と後輪操舵軸の軸径が同じため、歯車を入れ替えることで、1:2、2:1 と変更することができる構造とし、等速の組み合わせが可能な歯車も製作した。

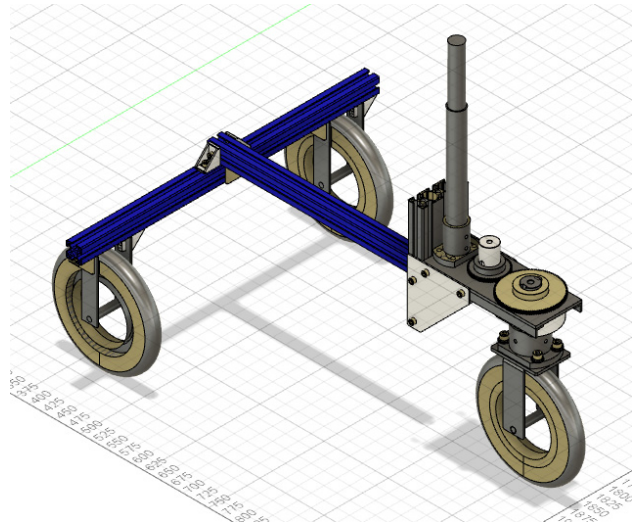


図 3 後輪操舵 PMV 見取り図

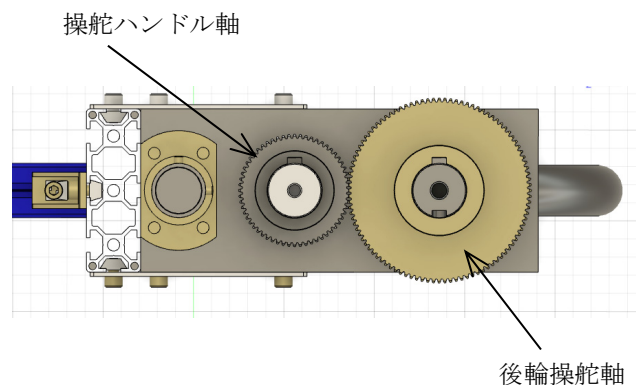


図 4 後輪操舵歯車列平面図



図5 後輪操舵 PMV 試作外観

### 3.2 走行アシスト

駆動輪は、インホイールモータであり、車輪内にブラシレス DC モータが組み込まれ、ホール素子を用いて回転を検出している。駆動系はマイクロコントローラ、モータドライバ、バッテリーで構成される。図6に走行アシスト装置の構成を示す。

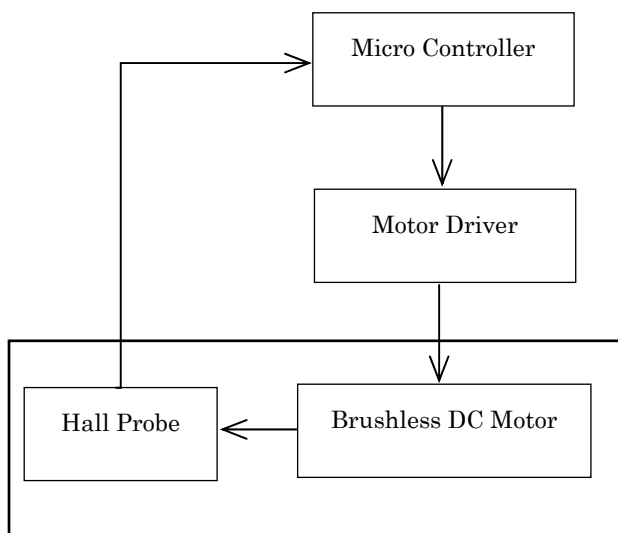


図6 走行アシスト装置の構成

制御プログラムは、運転者がメインスイッチを ON 状態で路面を蹴り出したとき、後輪のホールセンサで検出したパルスを Arduino 互換マイクロコントローラでカウントし、その回数から回転角を、回転角を時間微分し回転速度を求め、制御プログラムがモータ出力の指令をモータドライバに送る構造となっている。図7に、制御プログラムのフローチャートを示す。

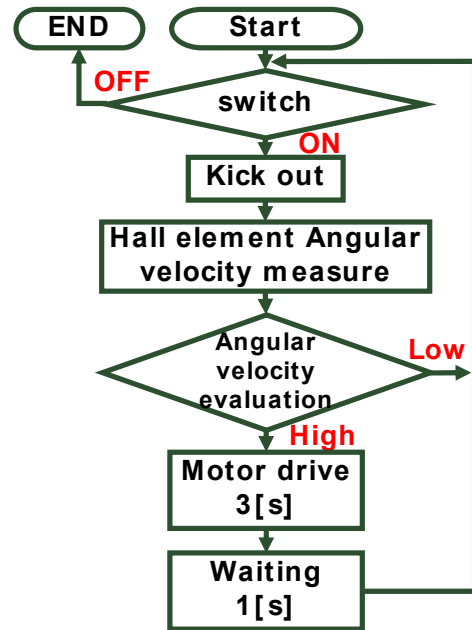


図7 制御プログラムフローチャート

## 4. 動作実験

### 4.1 実験方法

試作した PMV の走行実験を行った。実験は、一定速度で走行中に操舵ハンドルを操作し旋回する際の PMV の挙動を計測するものである。

後輪操舵軸に可変抵抗を固定し、後輪操舵角（操舵ハンドル舵角）を計測した。また、車体に慣性計測センサユニット（IMU）を取り付け、ヨーレートを計測した。図8に、操舵角計測用可変抵抗取り付けの様子を、図9に、慣性計測センサユニット(GY-BN0055)の外観を示す。



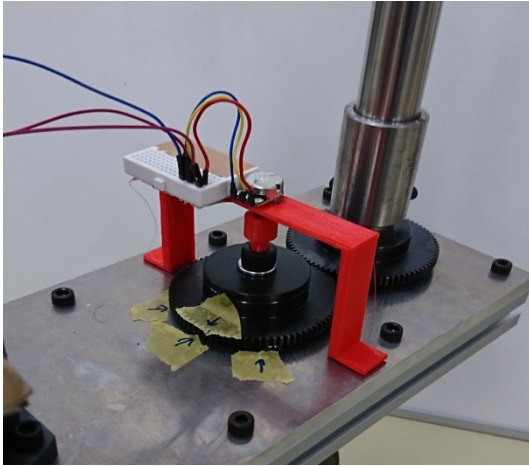


図 8 操舵角計測用可変抵抗

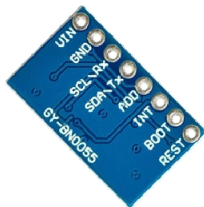


図 9 慣性計測センサユニット(GY-BN0055)

#### 4. 2 実験結果

図 10 に、操舵入力時の操舵角およびヨー角の変位を示す。PMV が 0.6[m/s]の一定速度で走行中に、運転者が操舵ハンドルを操作し、最大操舵である 45[deg]を入力し3秒間保持した後に、中立位置である 0[deg]に戻す操作を行った。その結果、車体は 105[deg]旋回し、この間のヨーレートは 0.61[rad/s]であった。旋回半径は 0.43[m]であった。旋回半径は目標に概ね近づいたが、操舵ハンドル操作時に、肘を曲げて腕を後ろに動かすため、手部の移動量が少なく操作を行いにくいことが分かった。図 10 において、操舵ハンドル入力角度が一旦 30[deg]付近で止まっているのは、そのためである。また、前輪操舵と旋回中心が異なるために車両の軌跡を予測しにくく、適切な操舵を行うことが難しいことが改めて確認された。現時点で後輪ステアリングでの操作性が悪いと予測されるため前輪ステアリングに変更予定である。そこでステアリング変更前後で操作性がどのように変更されたかを評価するために行う。

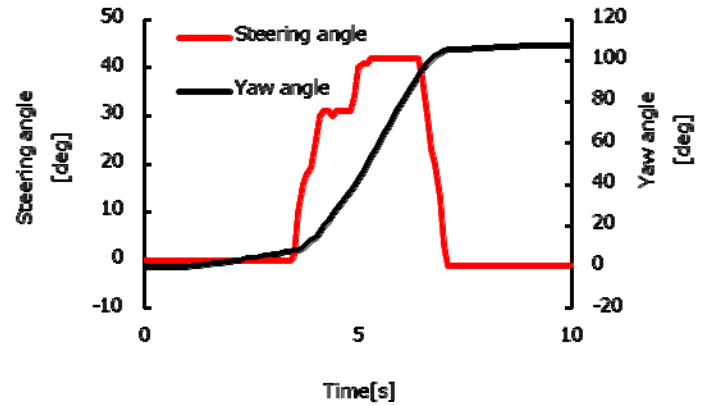


図 10 操舵入力時の操舵角およびヨー角の変位

#### 8. まとめ

後輪操舵機構を採用することで、旋回半径を小さくすることができたが、後輪操舵は前輪操舵と車両の旋回中心が異なるため、運転操作のタイミングが異なることが試作した PMV でも認められた。これは歯車比の違いなどでは解決することができないため、機械的なリンクージュではなく、ハンドル操作角に応じて後輪操舵角を動的に変化させることができるようにモータなどで制御する方式(ドライブ・バイ・ワイヤ)とすることを検討する。また、接地点を通る垂直軸まわりに車輪を回転させ舵角を得ることが一般的であるが、車輪の回転軸を傾斜させることで得られるキャンバ角とを組み合わせることで、小さい舵角で大きな実舵角を得ることができる機構についても今後検討を行う必要があると考える。

#### 参考文献

- 1) 金ら：“移動困難者の需要推計に関する基礎的研究—町田市を例にしたケーススタディー”，土木計画学研究・講演集 (CD-ROM) (Proceedings of Infrastructure Planning (CD-ROM)), 30, X(251), 2004.
- 2) Y TAKAHASHI, “Personal Mobility Vehicle for Assisting Short-Range Transportation”, Computers Helping People with Special Needs, Lecture Notes in Computer Sciences, Vol. 9759, pp.537-540, 2016.