

## 事業の実施状況

### 1 実施経過

#### ① 全方位移動型電動歩行器の機構設計

2021年 4-8月 重心移動機構の設計製作

6-9月 フレーム機構の設計製作

8-9月 アクチュエータ機構の設計製作

6-9月 シミュレーション評価

#### ② カセンサレス制御の設計実装

2021年 4-9月 カセンサレス駆動力制御の設計実装

2021年 4-9月 カセンサレス障害物検知の設計実装

### 2 実施内容

#### ① 全方位移動型電動歩行器の機構設計

メカナムホイールを用いた電動歩行器の実験機構築については図1の写真に示す通りである。電動歩行器の台車部分については完成しており、制御用マイコンやインタフェース機器の設定が行われている状況である。重心移動機構の実装については引続き検討中である。

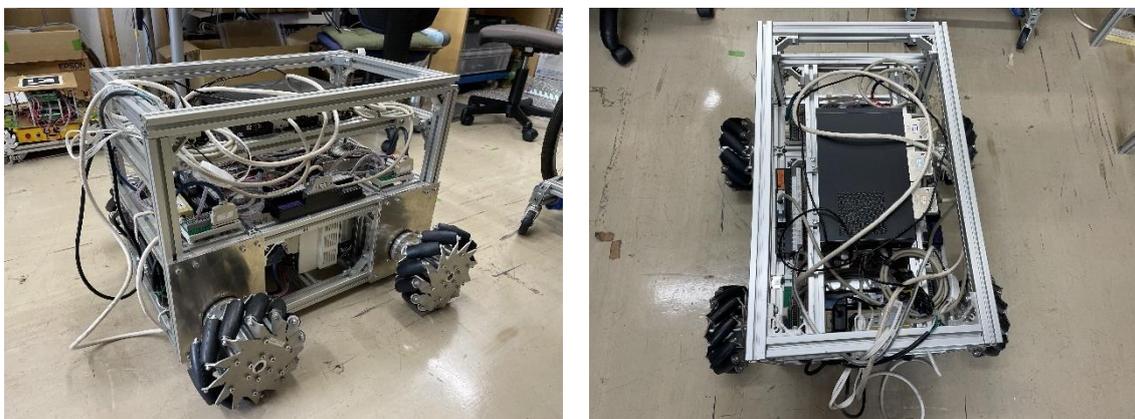


図1：製作中の歩行補助器台車

製作計画としてはほぼ予定通りであるが、実機制御アルゴリズムの検討に合わせてハードウェアの改良も行うことを考えてる。

#### ② カセンサレス制御の設計実装

本研究課題は電動歩行器の移動自由度の多自由度化を目指したものである。特に、初期のALS（筋萎縮性側索硬化症）患者のように、頭脳は明晰であるにも関わらず、上肢・下肢の動作が次第に不自由となる患者に対して、自らの意思による移動の欲びとともに、自由な移

動を提供できる移動歩行器の実現を目的としている。そのため、メカナムホイールを用いた機構を活用した全方位移動型電動歩行器の構築を行っている。メカナム機構については従来から多くの研究があり、車椅子等への応用も見られるが、駆動力制御を考慮したすべり動作防止や障害物との接触を検出するアルゴリズムを組み入れたものは見られない。メカナム機構は全方位への移動を可能とする一方で、路面の不正によるすべりや障害物との接触が生じやすい欠点を有しており、これらを考慮したアルゴリズム構築は安全・安心を優先した移動歩行器の開発においては必須となる。本事業の前半では、制御アルゴリズムのみに特化した開発を行うものではなく、すべり難い機構や障害物との接触検知が行いやすい歩行器自体のフレーム構造も新に開発することを目的としており、こうした接触検知に関するシミュレーション結果を中間報告として以下に示す。まずは、接触検知において必要となるメカナムホイールを用いた多自由度移動車におけるすべりを考慮したヤコビ行列の推定アルゴリズムについて、アルゴリズムの概要とシミュレーション結果を示す。図1にメカナムホイールを用いた4輪駆動移動車のモデル図を示す。このモデル図より移動車の座標系における速度( $v_x, v_y, \omega_0$ )から各ホイールの角速度( $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ )の関係式は逆運動関係式として(1)のようにかける。一方で、各ホイールの角速度から移動車の座標系における速度は順運動学関係式として(2)となる。ここで、 $\omega_0 = \dot{\phi}$ である。提案アルゴリズムでは、加速度センサとジャイロセンサを用いたスリップ状態を含む等価運動学式の推定を行っている。

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{R_w} \begin{bmatrix} 1 & 1 & -(W+L) \\ -1 & 1 & -(W+L) \\ 1 & 1 & (W+L) \\ -1 & 1 & (W+L) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_0 \end{bmatrix} = \frac{R_w}{4} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ -\frac{1}{W+L} & -\frac{1}{W+L} & \frac{1}{W+L} & \frac{1}{W+L} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

$$\dot{x} = T^+ \dot{\theta} (\dot{x} = (v_x, v_y, \omega_0)^T, \dot{\theta} = (\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4)^T)$$

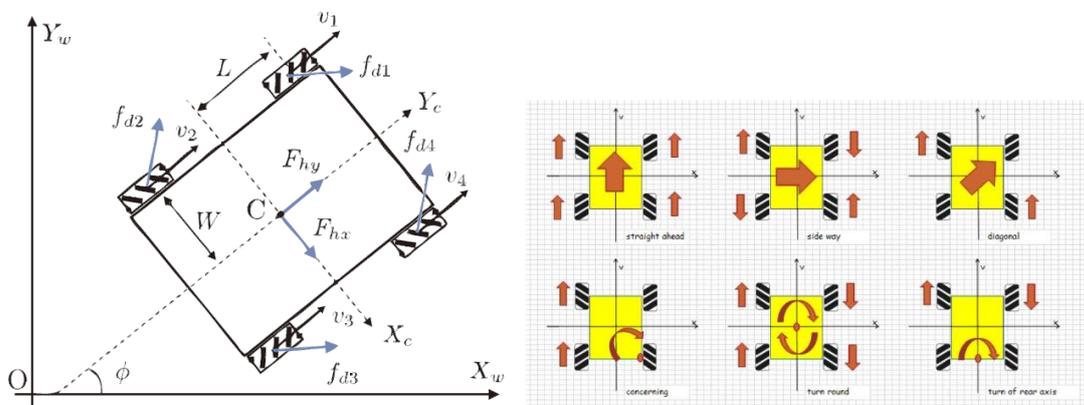


図2：メカナムホイールを用いた4輪移動車のモデル図（左）と移動自由度（右）

図2において各パラメータの意味については次にまとめる.

- $R$  :Radius of wheel     $L$  :Half length of wheel base
- $\theta_i$  :Angle of wheel
- $f_{di}$  :Driving force     $W$  :Half length of wheel tread
- $v_i$  :Wheel velocity
- $F_h$  :Human force     $\phi$  :Rotation angle
- $\bigcirc_w$  :World coordinate system
- $\bigcirc_c$  :Robot coordinate system

提案アルゴリズムでは、スリップによる台車の移動を車輪径の等価的な変動とみなし、その等価車輪径を推定することでメカナムホイールによる移動台車の運動学状態を決定するものとなっている。運動学状態が正確に定まれば、移動台車の推進力と同時に障害物や操作者による外力入力を正確に算出することが可能であり、障害物接触時の衝撃緩和、操作者への安全なパワーアシストが実現可能となる。スリップ状態を仮定して(2)で表される運動学関係式の推定アルゴリズムをシミュレーションにより確認しており、図3にその結果を示す。スリップ状態においては、スリップが起きやすい路面、すなわちスリップ率が大きい路面においては、等価車輪径が小さくなることが予想でき、その予想に応じたシミュレーション結果が得られている。ここで、シミュレーションにおいてスリップ率については(3)に基づいた計算を行っている。

$$\lambda_s = \frac{R\dot{\theta} - V}{\max(V, R\dot{\theta}, \epsilon_s)} \quad \begin{array}{l} \epsilon_s : \text{constant of small value} \\ \text{(To prevent 0 division)} \\ V : \text{translational velocity} \\ \text{of wheel} \end{array} \quad \dots \quad (3)$$

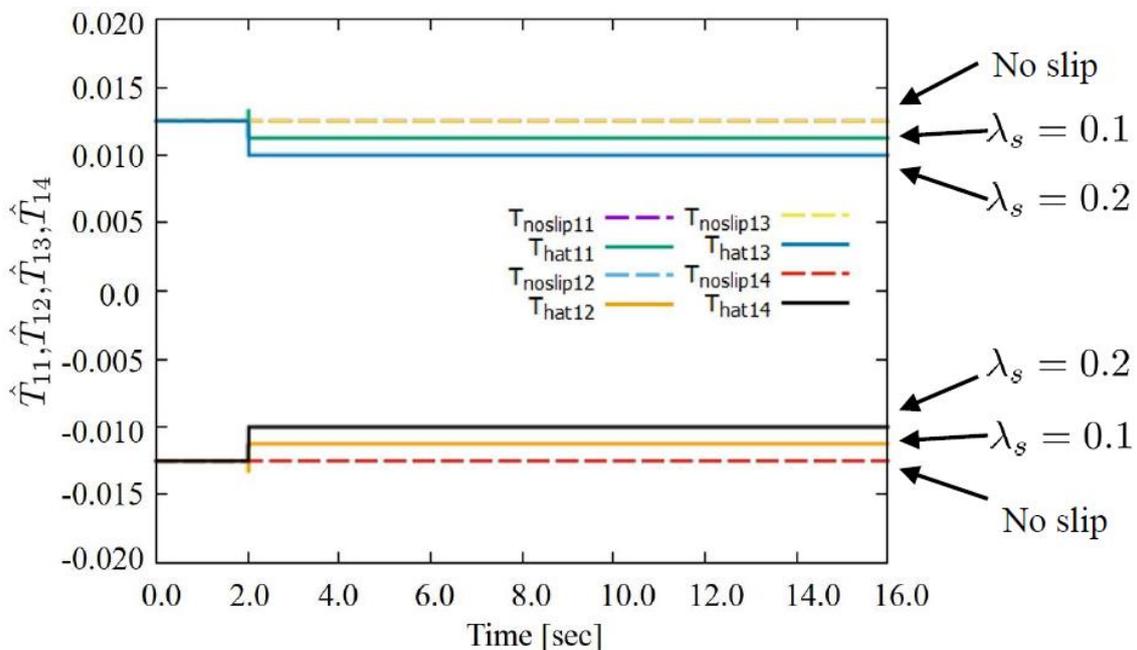
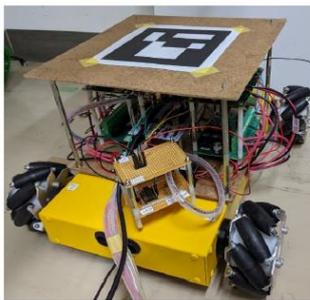


図3 :  $T^+$ の推定結果



Explanations	Parameters	Values	Units
Mass of robot	$M$	5.54	[kg]
Half length of tread width	$W$	0.15	[m]
Half length of wheel base	$L$	0.15	[m]
Inertia of motor	$J_{mn}$	5.7 E-07	[kgm <sup>2</sup> ]
Radius of wheel	$R$	0.05	[m]
Torque constant	$K_{tn}$	0.0134	[Nm/A]
Resolution of encoder	-	12	[CPR]
Sampling time	$dt$	1.0	[msec]

図4：検証用移動ロボット（左：実験システム写真，右：実験システム仕様）

上記運動学関係式の推定において、小型移動ロボット（4輪メカナムホイール：外部カメラにより絶対位置の測定が可能）を利用した検証を行った。実験装置を図4（左）に示す。本実験システムでは、加速度センサからの加速度情報を利用することを考えていたが、加速度センサに含まれるノイズの影響が歩行補助器の安定性へも影響することを鑑み（図5上）、加速度情報を利用した場合とジャイロセンサの角速度情報を利用した場合の運動学関係式の推定結果の比較を行った。加速度情報に基づいた結果（図5下）と角速度情報を利用した結果（図6）を比較すると、明らかに推定結果の変動が抑えられており、角速度情報に基づいた手法の方が推定時の変動を抑えられていることが分かる。

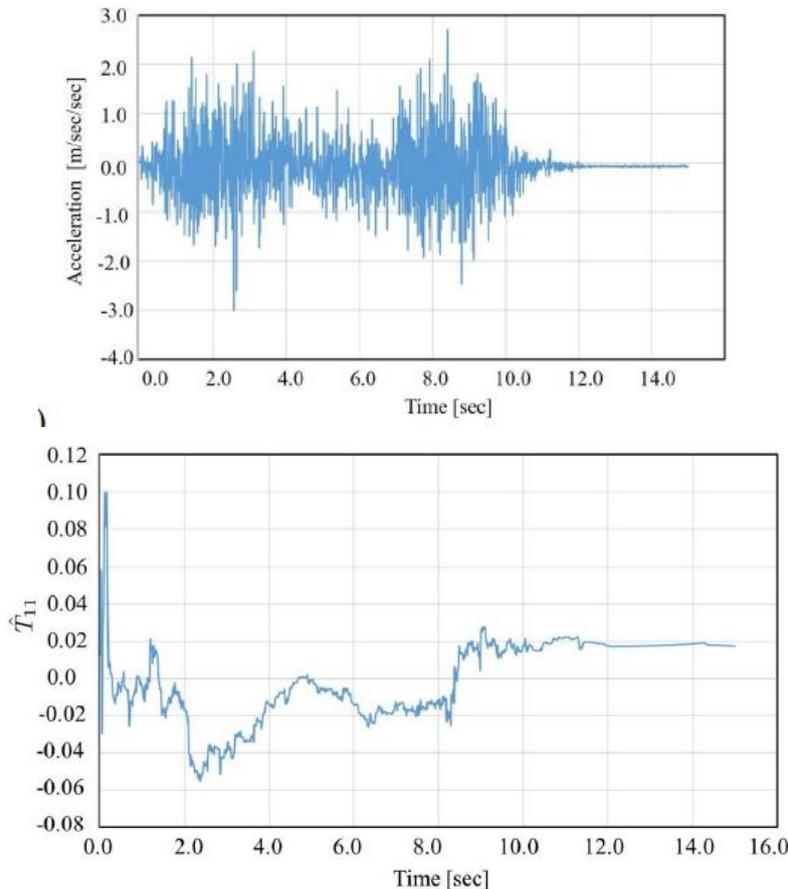


図5：加速度センサ応答例（上），加速度センサによる加速度情報に基づいた推定（下）

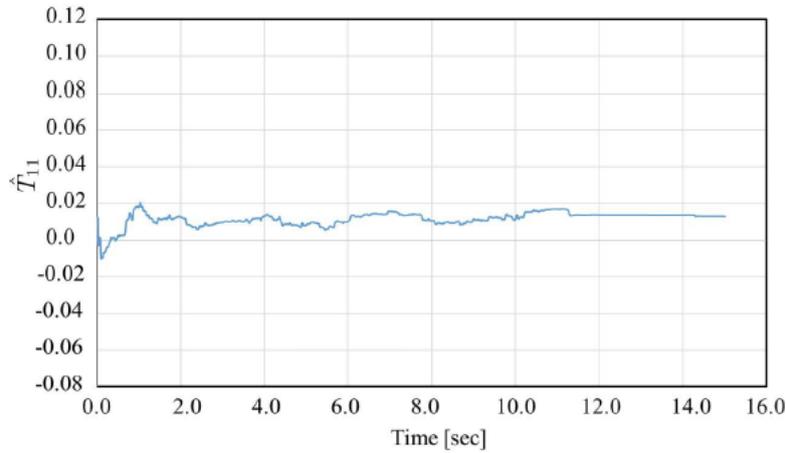


図 6 : ジャイロセンサによる角速度に基づいた推定

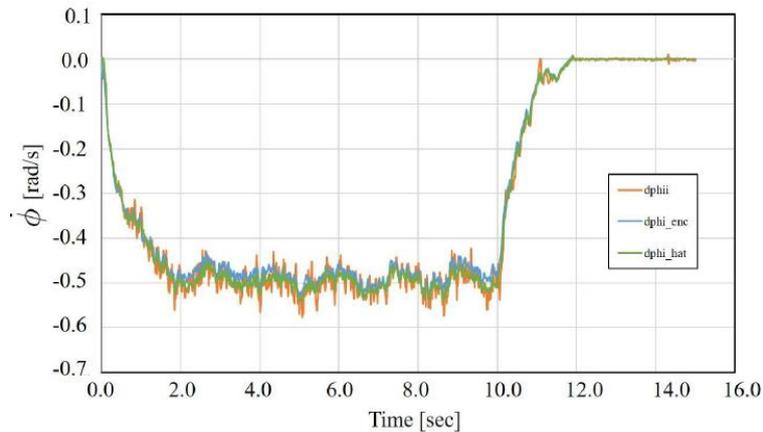


図 7 : 移動ロボットの姿勢角推定の実験結果

上記で示した運動学関係式の推定結果を用いて、小型移動ロボットの姿勢角推定の実験を行った。ここで、小型移動ロボットの姿勢角の真値についてはロボットの上方に設置されたカメラを用いて測定を行った。提案手法による推定結果の評価を行うため、各ホイールモータに搭載されているエンコーダ情報を用いた姿勢角の計算も行った。実験結果を図 7 に示す。赤ラインがカメラ情報による姿勢角真値、青ラインがエンコーダによる姿勢角計算値、緑ラインが提案手法による推定値になる。真値との誤差の RMSPE 値を表 1 にまとめる。この結果より提案手法により、すべりを考慮した移動ロボットの動作推定ができており、姿勢の推定角がより真値に近いものになっていることが分かる。以上により提案手法の有用性が確認できている。

表 1 : エンコーダによる姿勢角計算と提案手法による姿勢角推定値

	RMSPE
$\dot{\phi}_{hat}$	0.5178
$\dot{\phi}_{enc}$	0.6835

(論文発表)

1. K. Hirata, M. Sasayama, T. Murakami, "Realization of Synchronized Movement between Caregiver and Electric Wheelchair", SIE2021-Kyoto (The 30th International Symposium on Industrial Electronics), June 20-23, 2021. (JKA謝辞あり：車椅子の高機能化制御に関する論文)
2. T. Ohhira, T. Murakami, "Robust Stabilization Control of an Inverted Pendulum Type Robotic Wheelchair", Proceedings of the SICE Annual Conference 2021, September 8-10, 2021, Tokyo, Japan (JKA謝辞なし：車椅子の高機能化制御に関する論文)
3. T. Ohhira, A. Shimada, T. Murakami, "Variable Forgetting Factor-Based Adaptive Kalman Filter With Disturbance Estimation Considering Observation Noise Reduction", IEEE Access (Volume: 9), pp 100747 - 100756, 2021. (JKA謝辞あり：力制御の高機能化に関する論文)
4. T. Ohhira, T. Nishimura, T. Murakami, "Linear Langevin-Based Models Providing Predictive Descriptive Statistics for Postural Sway", IEEE Access (Volume: 9), pp 114485 - 114494, 2021. (JKA謝辞あり：人の動作モデル化に関する論文)

3 事業の実施状況表

事業項目 (段階)	期・月別		上半期						下半期					
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
① 全方位移動型電動歩行器の機構設計														
・ 重心移動機構の設計製作	—————▶													
・ フレーム機構の設計製作	—————▶													
・ アクチュエータ機構の設計製作						—————▶								
・ シミュレーション評価			—————▶											
・ 実験検証										—————▶				
② カセンサレス制御の設計実装														
・ カセンサレス駆動力制御の設計実装	—————▶													
・ カセンサレス障害物検知の設計実装	—————▶													
・ 実験による走行検証										—————▶				
③ 総括												—————▶		

前頁の表に示す通り、上半期においては基本的に予定通り計画（点線）が進んでいる。ただし、重心移動機構については、駆動力制御とのバランスを検討することが必要であり、実装については引き続き検討事項となる。また、駆動力制御により走行時の電動歩行器の振動を抑え、安定性の向上をはかれることは確認しているが、利用者の操作性へどのように影響するかが不明の状況であり、操作性の向上とのトレードオフを明確化する必要があると判断している。

全体機構については軽量化のためにアルミフレームによる構成を行っているが、障害物の衝突検知ならびに衝撃力緩和において、より安全性を高めるため本体にばね機構を導入する手法（過去の研究成果）を適用することも検討予定としている。

以上