

重心ずれを考慮した座位歩行訓練機の走行制御

知能ロボティクス研究室

渡辺悠人

1. 緒言

現在の歩行リハビリテーションではベッド上訓練後、起立訓練が行われている。しかし、起立訓練にはある程度の立位筋力が必要である。そのため、起立訓練の前に座位にて下肢の訓練を行うことが可能な座位歩行訓練機を開発している^[1]。現在、歩行訓練機の移動時の経路が理想経路からずれるという問題が生じている。主な原因として訓練者の重心移動により訓練者と歩行訓練機全体の重心がずれ、歩行訓練機の動的特性が変化するためと考えられる。本報告では重心ずれを考慮したモデルの作成、逆運動学・動力学の導出、及び重心位置がずれた場合の経路追従誤差への影響について、PI制御法を用いたシミュレーションを行うことにより明らかにする。

2. 座位歩行訓練機の概要

図1に座位歩行訓練機を示す。座位歩行訓練機は、車輪に3輪のオムニホイールを使用し、全方向移動が可能である。また、移動機器としての利用も可能である。



図1 座位歩行訓練機

3. 座位歩行訓練機のモデル

重心のずれを考慮したモデルを図2に示す。重心Gの座標を (x_G, y_G) とおくと逆運動学式は式(1)となり、ここで、逆運動学式をKとする。このとき、訓練者の質量をM、座位歩行訓練機の質量をm、全体の慣性モーメントを I_G 、各オムニホイールに加わる力をそれぞれ F_1, F_2, F_3 とすると動力学式は式(2)となる。

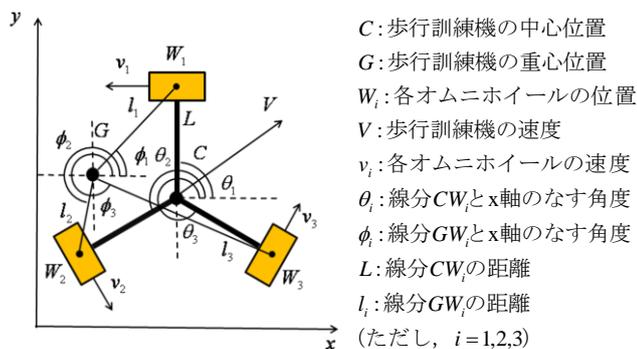


図2 座位歩行訓練機のモデル

C: 歩行訓練機の中心位置
 G: 歩行訓練機の重心位置
 W_i : 各オムニホイールの位置
 V: 歩行訓練機の数速度
 v_i : 各オムニホイールの速度
 θ_i : 線分 CW_i とx軸のなす角度
 ϕ_i : 線分 GW_i とx軸のなす角度
 L: 線分 CW_i の距離
 l_i : 線分 GW_i の距離
 (ただし、 $i=1,2,3$)

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\theta_1 & \cos\theta_1 & l_1 \cos(\theta_1 - \phi_1) \\ -\sin\theta_2 & \cos\theta_2 & l_2 \cos(\theta_2 - \phi_2) \\ -\sin\theta_3 & \cos\theta_3 & l_3 \cos(\theta_3 - \phi_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_G \\ \dot{y}_G \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} \dot{x}_G \\ \dot{y}_G \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} = (K^T)^{-1} \begin{bmatrix} M+m & 0 & 0 \\ 0 & M+m & 0 \\ 0 & 0 & I_G \end{bmatrix} K^{-1} \begin{bmatrix} \dot{v}_1 \\ \dot{v}_2 \\ \dot{v}_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

4. シミュレーション

位置及び速度のフィードバックを行うPI制御法を用いた走行制御シミュレーションを複数の重心位置で行った。重心位置は歩行訓練機上の座標においてx軸方向に0.1[m]、y軸方向に0.1[m]と設定した。位置制御、速度制御のKP、KIはそれぞれ3[1/s]、1[1/s²]と4[kg/s]、1[kg/s²]とする。歩行訓練機の初期状態は、中心位置が原点にあり静止状態とし、歩行訓練機中心の目標値を時間t[s]に対して $x=0.5t, y=0, \theta=0.1\pi$ と設定した。そのとき、20秒間進ませた時の歩行訓練機中心の角度における経路追従誤差の結果を図3に示す。

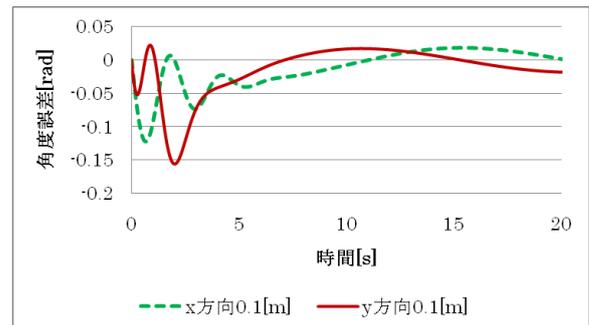


図3 角度における経路追従誤差

図3から重心のずれの位置により誤差が異なり、かつ誤差が周期的に生じている。回転によって重心位置と各オムニホイールに加わる力の合力の作用線との距離が変化するためであり、PI制御では誤差が生じた後、誤差に対して一定の修正しか行えないことが原因と考えられる。

5. 結言

本研究では、座位歩行訓練機における重心のずれを考慮した走行制御モデルによりシミュレーションを行った。その結果、PI制御法は経路追従は可能だが不十分であることを明らかにした。今後は今回の経験を生かし、経路追従誤差をより抑制できる制御法の開発に取り組んでいく。

文献

[1] 王 碩玉, 石田 健司, 藤江 正克, "室内移動補助も可能な新型歩行訓練機", 日本機械学会 2009 年度年次大会講演論文集, pp.283-284, 2009