

## 使用者の歩行状態と協働する歩行支援ロボットの運動制御法の開発

### Development of motion control method to collaborate with user's walking state for a walking support robot

○王義娜(高知工科大) 王碩玉(高知工科大)

Yina WANG, Kochi University of Technology  
Shuoyu WANG, Kochi University of Technology

**Abstract:** A walking support robot has been developed in the authors' laboratory. In previous study, a motion control method was developed which has not considered the walking state of users. However, the disabled have the danger of falling down without considering their walking states. Therefore, the purpose of our study is to develop a motion control algorithm for the walking support robot to prevent users from falling down by measuring their walking states. This study is composed as following. Firstly, acting forces from users were analyzed and the acting position and mass from users were calculated for the previous proposed controller. Then four posture sensors are utilized to measure the walking postures. The measured dates are analyzed and the special features of walking states are extracted. Data base of the waking states are setup to recognize the users' walking state for the developing of control method.

**Key Words:** Walking Support Robot, Motion control, Human-robot-interaction, Walking state

#### 1. はじめに

高齢者は、関節疾患、骨折・転倒、筋力の衰弱等が原因で歩行障害を生じると、次第に生活範囲が狭まり、精神的・肉体的老化が加速的に進行し、終には寝たきりになる。これは誰にでも起こりえることであり、国の介護負担を際限無く増大させる要因となる。介護者の年齢分布をみると、「60~69歳」29.3%、「70~79歳」20.6%、「80歳以上」12.3%と60歳以上が6割を超えており、高齢者が高齢者を介護する「老老介護」の多さがうかがえる(厚生労働省で行った調査)。「老老介護」の負担を大幅に軽減するため、立位姿勢保持筋力が衰えた下肢障害者の歩行機能を残存させ、寝たきりになることを防ぐための、歩行支援用ロボットが非常に重要となっている。従って、著者らは、立位姿勢保持筋力が不足した下肢障がい者が寝たきりにならないように、なるべく下半身運動器の残存能力を生かす自立歩行支援機を開発している<sup>(1)</sup>。

下肢障害者が歩行支援ロボットによって目標位置へ移動する時、周囲の人や物との衝突を避けるために、方向意図に高精度に追従する機能が必要である。先行研究では、歩行支援ロボットの運動制御は、下肢障害者の歩行状態を考慮しなかった<sup>(2)</sup>。しかし、歩行状態は考慮されない歩行支援では、下肢障害者は転倒してしまう恐れがある。従って、本研究では、歩行状態を測定し、使用者と協働するロボットの運動制御方法を開発すると考える。まず、使用者の歩行を三つの状態に定義している(歩行時の通常姿勢と不通常姿勢)。次に、姿勢センサにより、使用者の腰、膝と肩の傾き姿勢を測定するように、三つの歩行状態の特徴を抽出し、歩行状態を認識できる知識ベースを構築する。

#### 2. 歩行支援ロボット

歩行支援ロボットの概要を Fig. 1 に示す。狭い環境でもスムーズに歩行支援を行うため、開発した小型メカナムホイールを底角にそれぞれ一個ずつ取り付けることで、全方向移動機能を実現している。要支援者は、アームレストに肘を掛けることにより、下半身の負担を減らすことができ、室内では自立歩行で移動する。歩行支援ロボットのパラメータを Table 1 で示す。

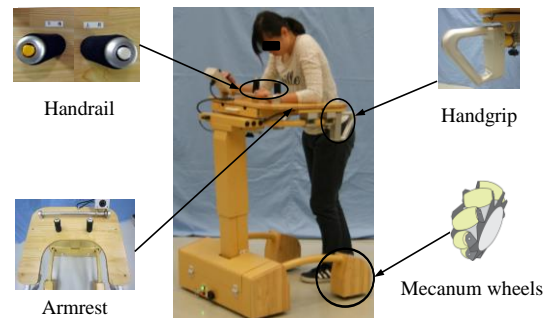


Fig. 1 Intelligent walking support robot

Table 1 Physical parameters of the walking support robot

Symbol	Quantity	Value and Unit
$H$	Height	840-1240mm
$2W$	Width	600mm
$2L$	Length	450mm
$M$	Mass	80kg
$m$	Maximum load	80kg
$H$	Height	840-1240mm

#### 3. 使用者の影響を考慮したロボットのモデルと制御法

使用者からの圧力と推力を考慮する、ロボットの運動制御を開発している。まず、使用者の影響を考慮した、ロボットのモデルを Fig. 2 に示す。

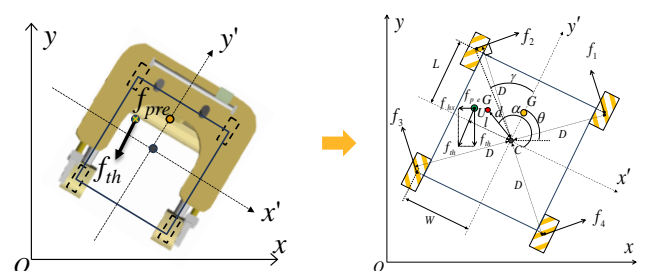


Fig. 2 Modelling of walking support robot

Fig. 2では、 $\Sigma(x, y, O)$ : 絶対座標系、 $\Sigma(x', y', C)$ : 歩行支援ロボット上の座標系、 $C(x_c, y_c)$ : 歩行支援機の幾何学的中心の座標、 $G(x_g, y_g)$ : 使用者の影響を考慮したロボットの重心の座標 ( $d$ は重心と中心の距離、 $\alpha$ は $x$ 軸と $CG$ と成す角度)、 $f_i$ は駆動力 ( $i=1, 2, 3, 4$ )、 $2L$ は歩行支援機の長さ、 $2W$ は歩行支援ロボットの幅、 $\theta$ は歩行支援ロボットの姿勢角、 $D$ は中心と各駆動力の距離を表す、 $U$ は圧力の推力の等価作用点である、 $G_{pre}$ は圧力の重心である。

### 3.1 制御法の開発

先行研究では、デジタル加速度制御法に基づいて、運動制御法を開発した。

$$F(kT^+) = F[(k-1)T^+] + K_c(K_c^T K_c)^{-1} M_c \{[\ddot{X}_d(kT^+) - \ddot{X}_c(kT)] + K_D[\dot{X}_d(kT^+) - \dot{X}_c(kT)] + K_P[X_d(kT^+) - X_c(kT)]\} \quad (1)$$

ただし、

$$M_c = \begin{bmatrix} M+m & 0 & (M+m)p \\ 0 & M+m & (M+m)q \\ (M+m)p & (M+m)q & I_G + (M+m)d^2 \end{bmatrix}$$

$$p = -d \sin(\alpha + \theta - \pi/2) \quad q = d \cos(\alpha + \theta - \pi/2)$$

式(1)により、開発した運動制御法は、推力 $f_{tr}$ は摩擦力と同じように対応できた<sup>(4)</sup>。しかし、制御法は、使用者からの等価負荷 $m$ と重心位置の情報 $d$ 、 $\alpha$ が必要である。

### 3.2 負荷と重心位置の情報を計算する

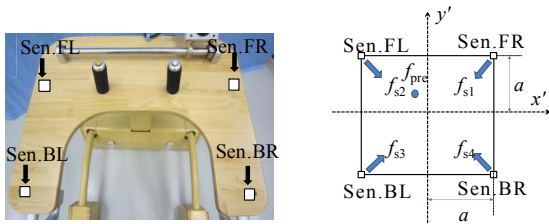


Fig. 3 Positions of four force sensors

歩行支援ロボットのアームレストの中に埋め込む荷重センサーとして、それぞれの装入場所をFig.3に示すように、Sen.FR (右前)、Sen.FL (左前)、Sen.BR (右後)、Sen.BL (左後)である。センサーのサンプリング周波数は7Hzである。 $f_{si}$  ( $i=1, 2, 3, 4$ )は、四つセンサーの測定値。式(2)により、被支援者は、歩行支援ロボットに作用する力の重心位置を求める。 $G_r(0, y'_r)$ はロボット上の座標系でロボット自身の重心位置である、 $m$ は使用者から、ロボットへの等価質量である。

$$\begin{cases} x'_{pre} = a(f_{s1} - f_{s2} - f_{s3} + f_{s4}) / (f_{s1} + f_{s2} + f_{s3} + f_{s4}) \\ y'_{pre} = a(f_{s1} + f_{s2} - f_{s3} - f_{s4}) / (f_{s1} + f_{s2} + f_{s3} + f_{s4}) \end{cases} \quad (2)$$

$$m = (f_{s1} + f_{s2} + f_{s3} + f_{s4}) / g \quad (3)$$

したがって、使用者の影響を考慮したロボット重心位置情報は下記の通りであり。

$$\begin{cases} d = \sqrt{\left(\frac{mx'_{pre}}{M+m}\right)^2 + \left(\frac{my'_{pre} + My'_r}{M+m}\right)^2} \\ \alpha = \arctan((my'_{pre} + My'_r) / mx'_{pre}) \end{cases} \quad (4)$$

ただし、 $M$ はロボット自身の質量である。式(3)と(4)

により、制御法は使用者からの影響を対応できた。しかし、使用者の歩行状態は考慮されない歩行支援では、下肢障害者は転倒してしまう恐れがある、次の節について、姿勢センサにより、使用者の歩行状態を測定しています。

### 4. 歩行状態の計測

本節について、姿勢センサによって、使用者の歩行状態の計測・認識方法を提案する。

高齢者の歩行には、筋力・バランス能力の低下による歩幅や歩行速度の低下や、腰部の屈曲によりかかとが上がり、すり足歩行になる特徴がある。したがって、Fig. 4に示すように、姿勢センサで使用者の腰、膝と肩に装着し、腰、膝と肩の傾き姿勢を測定するように、使用者の歩行状態を認識できると考える。本研究では、使用者の歩行を正常歩行姿勢(歩行時の通常姿勢)、使用者の移動に対しロボットが先行することで操作者が前傾している姿勢(ロボットに対してやや寄り掛かっている姿勢)、とつまづき等により使用者とロボットとの相対距離が大きく離れることで重心が前方へ移動し、立位の保持が困難な姿勢とする(ロボットに対してもたれかかっている姿勢)を三つの状態に定義している。三つ状態をそれぞれ姿勢センサで計測し、データを解析し、特徴を抽出する。三つの歩行状態を区別・認識できるように知識ベースを構築しています。

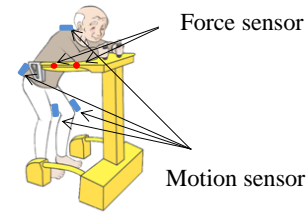


Fig. 4 The installation of motion sensors

### 5. まとめ

本報告では、使用者から歩行支援ロボットの影響を解析し、荷重センサにより、使用者の等価負荷の質量と位置を計算する。計算した等価負荷をデジタル加速度制御法に適用し、使用者から歩行支援ロボットへの影響を対応できた。また、姿勢センサにより、使用者の三つの歩行状態の測定し、解析し、特徴を抽出する。認識できるように知識ベースを構築しています。今後は使用者の運動状態を認識し、使用者と協働するロボットの運動制御法を開発する。

### 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 24300203, 15K16401 とキャノン財団の助成を受けたことを記し、感謝を申し上げる。

### 参考文献

- (1) 王義娜, 王碩玉, 譚仁鵬, 姜銀来, 石田健司, 藤江正克: “デジタル加速度制御法に基づく歩行支援機の運動制御”, 第29回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, RSJ2011AC2H1-8, 東京, 2011年9月。
- (2) Yina Wang and Shuoyu Wang, Motion Control of a Walking Support Robot Considering Pressure and Thrust from Users, Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS-ISIS 2014), pp. 392-397, Kitakyushu, Dec, 2014.