

# 介護における起立動作支援システムの制御

## 第3報：被介護者の状態に応じた力制御法の検討

○ 中後 大輔<sup>1</sup>, 川端 邦明<sup>2</sup>, 嘉悦 早人<sup>2</sup>, 浅間 一<sup>1</sup>, 三宅 徳久<sup>3</sup>, 小菅 一弘<sup>4</sup>  
<sup>1</sup>東京大学, <sup>2</sup>理化学研究所, <sup>3</sup>パラマウントベット(株), <sup>4</sup>東北大学

### Force Assistance System for Standing-Up Motion

#### 3<sup>rd</sup> Report: Traction Control based on Posture of Patients

Daisuke CHUGO<sup>1</sup>, Kuniaki KAWABATA<sup>2</sup>, Hayato KAETSU<sup>2</sup>

Hajime ASAMA<sup>1</sup>, Norihisa MIYAKE<sup>3</sup>, Kazuhiro KOSUGE<sup>4</sup>

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>RIKEN, <sup>3</sup>Paramount Bed Co., Ltd, <sup>4</sup>Tohoku University

In our current research, we are developing a power assistance system for standing-up motion. Our developing system realizes the standing-up motion using the support bar with two degrees of freedom and the bed system which can move up and down. In this paper, we propose the traction control scheme based on posture of a patient. Our controller combines a dumping control scheme and a position control scheme, and selects more appropriate control scheme according to standing posture of a patient. We verify our proposed control scheme by computer simulations.

**Key Words:** Standing-up motion, Power assistance system, Traction Control

## 1. 緒言

近年, わが国の全人口における高齢者の割合は増加する傾向にあり, 今後もこの傾向は続く予想される. 高齢社会における大きな問題は, 加齢に伴う身体機能の低下により, 高齢者が日常生活を自立して営むことが困難になることである. 特に下肢の衰えによる起立障害は, 高齢者の日常生活における自立を阻害する最大の要因になっている. [1] 身体機能が低下した高齢者は, 下肢の衰えに伴って起立ができなくなることで, 座ったきり(車椅子の生活), 寝たきりの状態に陥り, 座ったきり・寝たきりの状態で下肢の体力を使わないことで, 下肢の衰えがますます促進される, という悪循環に陥るケースが多い. そこで本研究は, 高齢者の身体機能を最大限発揮させることでこれ以上の身体機能の低下を防ぎ, かつ不足する体力分を補って高齢者を立ち上がらせる起立支援システムを開発することを目的とする.

本研究で開発する起立動作支援装置の概要を Fig.1 に示す. システムは2自由度の可動式バーと上下に移動することが可能なベッドシステムより構成される. [2]

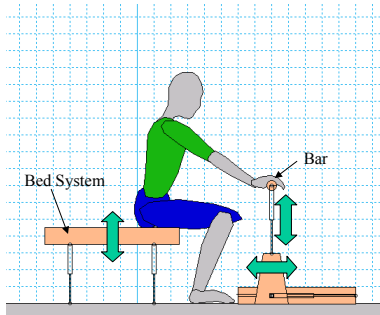


Fig.1 System Configuration

前報では, 紙屋らが提唱する高齢者自身の体力を最大限発揮させることに主眼を置いた起立方法[3]を解析し, その実現条件についての検討した.

本稿は, 前報で検討した起立条件を満たす, バーおよびベッドシステムの制御方法を提案する. 提案する制御手法は, 被介護者の足腰の負担を軽減する必要がある時はダンピング制御を行い, それ以外の時は, 体のバランスを保ちやすい位置にバーを保つため位置制御を行うものである. さらに, 力センサを用いて被介護者の姿勢を推定することで, 足腰の負担を軽減する必要の有無を判断し, 両制御方法を動的に切り替える.

## 2. 制御方法

本研究で提案する起立支援装置は, 可動式バーと上下可動ベッドより構成される. そこで, ユニットごとに制御法を検討する.

### 2.1. 可動式バーの制御方法

可動式のバーは, 被介護者が自ら把持し力支援を受けることを想定している. そのため, 可動式バーから大きな力を支援することは難しい. 一方, 可動式バーは2自由度を持つため, 細やかな動作が可能である. そこで本研究では, 被介護者のバランスを保つための支援に可動式バーを用いる.

そこで, 本研究は人体を剛体9リンクモデルと仮定し[4], 紙屋らが提唱する起立動作におけるZMPを制御目標値  $x_{zmp}^{ref}$  として(1)式を満たすように可動式バーの力制御量を決定する.

$$x_{zmp}^{ref} = \frac{\sum_{i=1}^9 m_i (\ddot{y}_i + g) \bar{x}_i - \sum_{i=1}^9 m_i \ddot{x}_i y_i - F_x^{br} y_{br} + F_y^{br} x_{br} + F_y^{bd} x_{br}}{\sum_{i=1}^9 m_i (\ddot{y}_i + g) - (F_y^{br} + F_y^{bd})} \quad (1)$$

ただし, 支援する力は最小限にするため,  $F_x^{br}$  および  $F_y^{br}$  は(2)式を満たすように決定する.

$$\text{Minimize } F^{br} = \sqrt{F_x^{br^2} + F_y^{br^2}} \quad (2)$$

なお, 各係数は Fig.2 に示す.

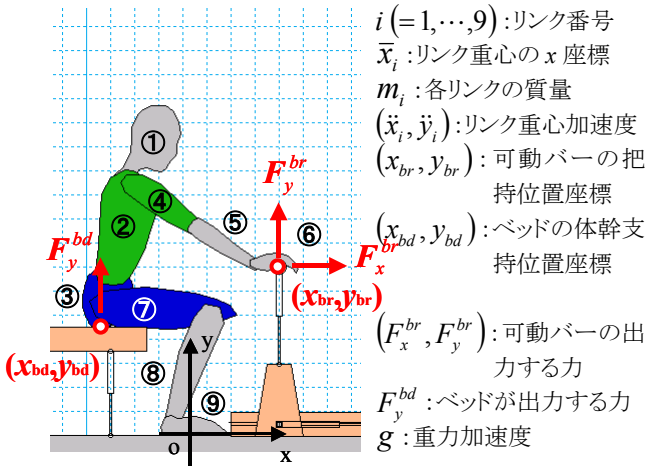


Fig.2 Human Model

## 2.2. 上下可動ベッドの制御方法

上下可動ベッドは体幹を下方より直接支持するため、可動式バーと比較し大きな力を支援することが可能である。一方、上下可動ベッドの動作は上下方向のみであるため、細やかな動作は行いにくい。そのため、上下可動ベッドは足りない筋力を補うための力支援を主に行うこととする。

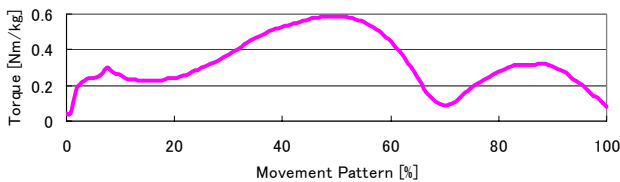
そこで本研究は、ダンピング制御を基本として位置制御を加えた手法を提案する。

$$F_y^{bd} = \dot{y}_{bd}^{ref}(\rho) - B(F - F_0) - K(y_{bd} - y_{bd}^{ref}) \quad (3)$$

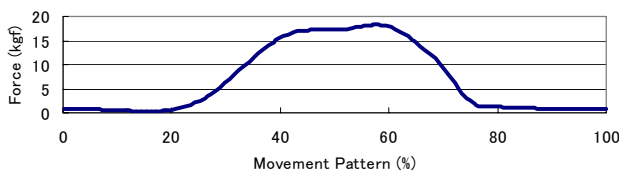
ただし、 $\dot{y}_{bd}^{ref}$  は起立割合  $\rho$  [4] に対する目標速度、 $y_{bd}^{ref}$  は目標位置、 $F$  は力計測値、 $F_0$  は着座時にベッドが体幹を支持するために必要な力(初期値)、 $B$  はアドミタンス係数( $\geq 0$ )、 $K$  は任意の係数( $\geq 0$ )、である。

## 2.3. 上下可動ベッドの制御方法

前節で提案した制御手法は、ダンピング制御則が持つ力制御性能と位置追従性能の両方を得ることができ、係数の調整に従ってその制御性能を柔軟に変化させることが可能である。本稿は、予備実験(シミュレーション、体重 70[kg]の被験者が、紙屋らの提唱する起立方法に従って起立した場合を想定)において、被介護者の膝関節にかかる負荷と、被介護者が可動式バーに手をかけ鉛直下向き方向にかける力の大きさが、Fig.3 に示す通り似た傾向を示すことを確認した。



(a) Load applied on knee of the patient



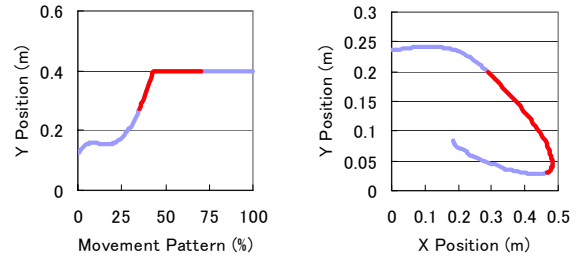
(b) Force applied on bar to vertical direction

Fig.3 Relationship between knee load and applied force

そこで、本研究はバーにかかる力を計測し、閾値以上であれば膝関節の負担を軽減する必要があると判断し、係数の設定を  $B > K$ 、すなわちダンピング制御を主とした力制御を行う。一方、バーにかかる力が閾値以下の時は、係数の設定を  $K > B$ 、すなわち被介護者の体のバランスを保つため位置制御を行う。

## 2.4. シミュレーション実験

提案手法の有効性を確認するため、コンピュータシミュレーションを行った。シミュレーションにおけるバーおよびベッドの軌跡を Fig.3(a)および(b)に示す。シミュレーションの結果、Table1 に示す通り、提案した力支援を行った場合、行わなかった場合に比べて膝の負荷が軽減されることを確認した。さらに被介護者は残存の筋力を発揮していることも併せて確認することができた。



(a) Bed System

(b) Bar

Fig.3 Tracks of our assist system

Red lines show the dumping control mode.

Table1 Simulation Results

		Pelvis/Trunk	Knee	Ankle
Only Position Control	Peak(Nm/kg)	0.48	0.59	0.38
	Workload(Ws)	29.0	39.3	31.0
Proposed Control	Peak(Nm/kg)	0.49	0.50	0.38
	Workload(Ws)	26.9	36.3	28.8

## 3. 結論

本稿は、高齢者の身体機能を用いて、これ以上の身体機能の低下を防ぎ、かつ不足する体力分を補って高齢者を立ち上がらせる起立演奏地を開発することを目的とし、被介護者の足腰の負担を軽減する必要がある時はダンピング制御を行い、それ以外の時は、体のバランスを保つために位置制御を行う制御手法を提案した。今回提案した手法は被介護者の姿勢を把握する必要があるため、今後は被介護者の姿勢推定手法について開発する予定である。なお本研究は、中小企業基盤整備機構 戦略的基盤技術力強化事業の一環として実施しているものである。

## 参考文献

- [1] M. A. Hughes and M. L. Schenkman, "Chair rise strategy in the functionally impaired elderly," *Journal of Rehabilitation Research and Development*, Vol.33, No.4, pp.409-412, 1996.
- [2] 杉原智明, 川端邦明, 嘉悦早人, 浅間一, 小菅一弘, 三島健稔, "起立・着座動作支援のための簡易な力センサの開発," *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集*, 1P1-H-11, 2004.
- [3] 紙屋克子, "介護の心そして技術," *KTC 中央出版*, pp.112-145, 2001.
- [4] M. Schenkman, *et.al.*, "Whole-Body Movements During Rising to Standing from Sitting," *Physical Therapy*, Vol.70, No.10, pp.638-648, 1990.