

## 片脚ロボットの爪先による屈伸動作に関する研究

水嶋 亮直 平田 弘志

キーワード

片脚ロボット, 重心投影点, 倒立振り子, VSS 適応制御, I-PD 制御

### 研究の概要

倒立振り子制御は、ロボット分野では二足歩行ロボットの姿勢安定化に応用され、姿勢制御において不可欠な理論である。現在普及している歩行ロボットの殆どは爪先関節がなく、歩行動作が不自然なものである。爪先関節を付加することにより、運動性能の向上や不自然な歩行動作の改善が期待できる。

本研究は3関節の片脚ロボットを使用し、安定範囲の狭い爪先立ちの姿勢で屈伸動作を行う。膝と足首の関節に適切な屈伸指令角を与え、仮想倒立振り子の重心投影点の変化を抑える制御を爪先関節に施す。屈伸動作により仮想倒立振り子の長さや重心が変化したが、パラメータの変化を想定したVSS型の適応制御系を構成し、これを制御する。

### 研究成果

#### 1. 制御対象と運動モデル

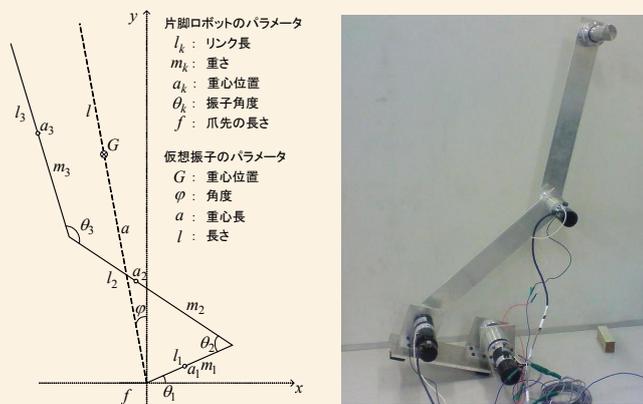


Fig. 1 モデル図と実験機

運動方程式:

$$(J_r / a)\ddot{x} + (B_r / a)\dot{x} - mgx + D \operatorname{sgn}(\dot{\varphi}) = Ne$$

$$\therefore J_r = ma^2 + I + \gamma^2 J_{a1}, \quad B_r = 2ma\dot{a} + \dot{I} + B, \quad N = \gamma K_{r1} K_{A11}$$

仮想振り子慣性モーメント:  $I$ , 爪先関節トルク:  $\tau_1$ ,  
 電圧電流変換定数:  $K_{A11}$ , 電圧指令値:  $e$ ,  
 慣性モーメント:  $\gamma^2 J_{a1}$ , トルク定数:  $\gamma K_{r1}$ ,  
 重力加速度:  $g$ , 粘性摩擦:  $B$ , クーロン摩擦:  $D$

#### 2. VSS 適応制御

切換関数:  $s_c = \dot{x} + hx$ , ( $h > 0$ )

振り方程式:  $Y^T \alpha + Hs_c = e + w$   $\therefore H = J_r / Na$

$$\begin{cases} Y^T = [-hx & \dot{x} & x] \\ \alpha^T = [H & B_r / Na & -mg / N] \end{cases}$$

$$w = -(D/N) \operatorname{sgn}(\dot{\varphi}) + w_s$$

制御入力: 
$$\begin{cases} e = Y^T \hat{\alpha} - k_v \operatorname{sat}(s_c / \delta) & (k_v > 0) \\ \hat{\alpha}^T = [\hat{\alpha}_1 & \hat{\alpha}_2 & \hat{\alpha}_3] \end{cases}$$

$$\operatorname{sat}(s_c / \delta) = \begin{cases} \operatorname{sgn}(s_c) & |s_c| > \delta \\ s_c / \delta & |s_c| \leq \delta \end{cases}$$

パラメータ適応則:  $\dot{\hat{\alpha}} = -\Gamma^{-1} Y s_c$ , ( $\Gamma > 0$ )

#### 3. 実験結果

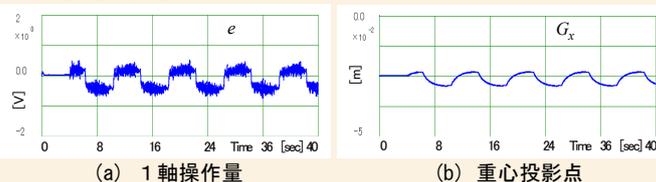


Fig. 2 LQ 制御

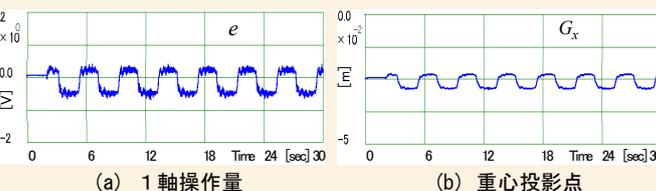


Fig. 3 VSS 制御  $\delta = 0.15$

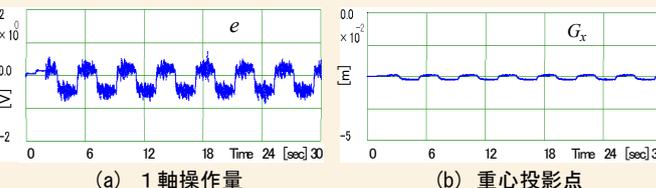


Fig. 4 VSS 制御  $\delta = 0.05$

#### 4. 今後の展望

本手法は制御系の自律安定化機能を利用し、倒立振り子モデルを基本とするロボットの制御へ応用が可能であると考えられる。また、設計法を容易に適用するために狭い接地面での力検出法が期待される。