

# 靴下履き作業における人間運動の分析

平井 慎一, † 朴 鐘哲

立命館大学 理工学部, † 京都大学

## Experimental Investigation of Human Motion in Socks Wearing

Shinichi HIRAI, † Shoutetsu BOKU

Dept. of Robotics, Ritsumeikan University, † Kyoto University

**Abstract** - Human motion in socks wearing operation is analyzed experimentally. First, human motion and force sensation in socks wearing are measured by use of force and position sensors. Next, human operation is divided into process states in order to investigate the human motion strategy.

Keywords: skill, dexterity, teaching, deformable objects, human motion

### 1. 緒言

人間は、手指を巧みに用いて、布や紙など柔らかく変形しやすい物体を扱う作業を、確実に実行することができる。柔らかい物体の操作において人間は、作業中に生じる物体の変形に適切に対処することができる。また、物体の変形を巧みに利用して、作業を進めることも多い。このような人間の巧みさを明らかにすることは、柔らかく変形しやすい物体を操作する能力を、ロボット上を実現する有効な手法の一つである。本報告では、靴下を履く作業を対象として、人間の運動を実験的に分析する。特に、作業過程がどのような作業状態<sup>1)</sup>から成り立ち、状態の遷移をどのように認識するかについて考察する。

### 2. 靴下履き作業の特徴

靴下を履く作業は、多くの成人にとって日常的であり、容易に達成することができる作業である。一方、幼い子供にとっては、容易な作業ではない。したがって、靴下履き作業のスキルは、成長にしたがって獲得されると考えられる。また、この作業で人間は、両手と足を協調的に動かし、靴下を所定の位置関係に案内する。案内においては、視覚のみならず手足の圧覚、すべり覚を利用して、靴下と足の位置関係を把握する。以上のように、靴下履き作業は、両手と足の協調運動、視覚による誘導、皮膚覚による靴下の認識を含む。これらの能力を分析することは、人間の技量を理解する上で重要である。

### 3. 靴下履き作業の計測

靴下履き作業における人間の巧みさを分析するためには、人間の手と足の運動、ならびに手に作用する力感覚を計測することが必要である。そこで、Fig.1に示す計測装置を構築した。綿製の靴下に、3D デジタイザ (Polhemus 社製 Fastrak) と 6 軸力覚センサ (ビーエルオートテック社製 NANO) を取り付ける。さらに、被験者の土踏まずと膝直下に 3D デジタイザを取り付け、足の運動を計測する。計測データは、VxWorks で制御されるリアルタイムコントローラに送られ処理される。サンプリングレートは、40Hz である。また、作業の様子をビデオカメラで撮影する。手の位置は、Fig.2-(a) に示す足首座標系に対して、力・モーメントは、Fig.2-(b) に示す力覚センサ座標系に対して求める。足首座標系に対する手の位置は、膝に取り付けたデジタイザと靴下のそれから計算する。足首座標系は、関節の回転軸を原点、つま先方向を  $x$  軸、膝方向を  $z$  軸とする。

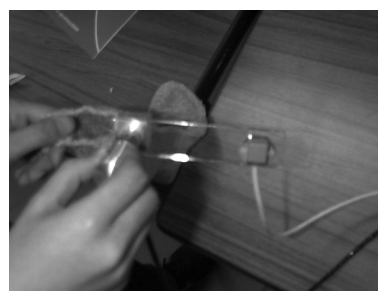


Fig.1: Measuring device

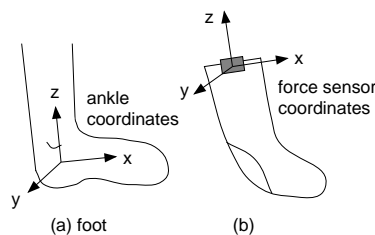


Fig.2: Coordinate systems

### 4. 実験結果

本節では、靴下履き作業を実行させたときの結果を示す。以下の実験では、被験者に目をつぶってもらい、作業を実行させている。すなわち被験者は、視覚を用いずに作業を実行する。靴下履き作業の計測結果の一例を、Fig.3と Fig.4に示す。Fig.3は、足首に固定した座標系に対する、手の相対的な位置を示す。図より、作業開始直後、被験者は手を、 $x$  軸正、 $z$  軸負の方向に動かす。次に、 $x$  軸負の向き、すなわちかかとの方向に動かす。続いて、 $x-z$  平面内で前後の運動を与え、最後に  $z$  軸正の向き、すなわち膝方向の運動を行う。ビデオテープと比較すると、それぞれの運動は、(0) 動作開始から靴下を足先に当てるまでの運動、(1) 靴下がかかとを越えるまでの運動、(2) かかとからくるぶしを越えるまでの運動、(3) くるぶしから動作終了までの運動、に対応することがわかった。また、力覚センサ座標系の原点がかかたを通過するのは約 1.7[s]、くるぶしを通過するのは 3.8[s] の時点である。Fig.4は、手に作用する力とモーメントの計測値を表す。ステップ (0) では、力がほとんど作用していない。ステップ (1) では、 $z$  軸方向の力が減少する。ステップ (2) では、力とモーメ

ントが同期して増減を繰り返す．ステップ (3) では，特徴的なパターンは観察されていない．

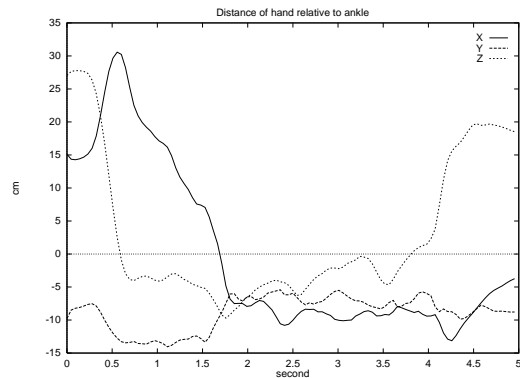


Fig.3: Relative position of hand to ankle

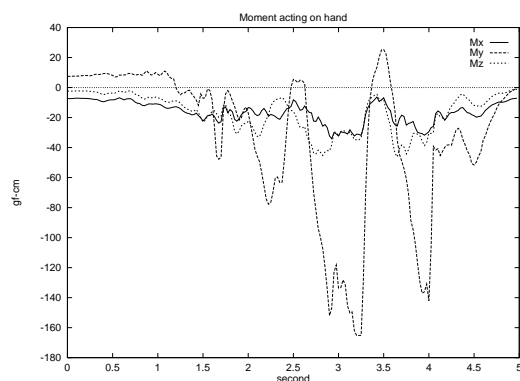
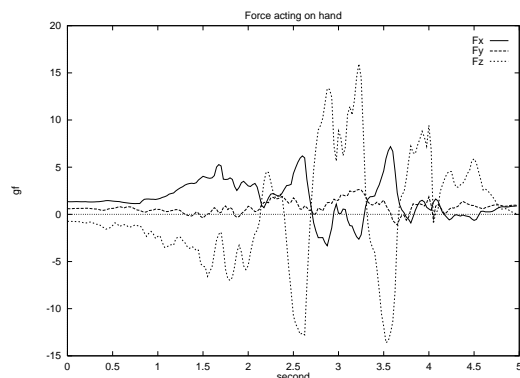


Fig.4: Force and moment acting on hand

次に，状態遷移をどのように認識しているかについて考察する．ステップ (0) から (1) への遷移においては，力の大きさが増大する．したがって，力の大きさを監視することにより，遷移を検出できる．ステップ (1) から (2) へ遷移する時刻 1.7[s] においては， $x$  方向の力  $F_x$  に極大値がある．ステップ (1) では，靴下を足に沿ってかかと方向に案内する．靴下が深く案内されるにつれて，靴下が伸び，靴下に作用する引っ張り力が増大する．この引っ張り力により，適切な深さまで案内されたかどうかを検知していると考えられる．ステップ (2) から (3) への遷移に関しては，力覚データに特徴的なパターンは観察されない．したがって，力信号からこの遷移を検出するのは困難である．ビデオの録画によると，座標原点がくるぶしを通過する 3.8[s] 付近では，くるぶしに引っかかっていた靴下が，突然

くるぶしを越えている．したがって，皮膚覚により，くるぶしの引っかかりが無くなったことを検知している可能性が考えられる．

さらに，足の運動が作業に与える影響を調べるために，被験者の足首をテーピングにより固定して靴下履き作業を行わせた．作業時の手の足首に対する相対的な位置を Fig.5 に，手に作用する力を Fig.6 に示す．足首を固定した場合，ステップ (1) に約 2 倍の時間を要している．また， $z$  軸方向の力が，負の方向にずれている．ビデオの録画によると，足首を固定しない場合に被験者は，ステップ (1) から (2) へ遷移するとき，つまさきを下に向ける．また，ステップ (2) の間，その状態を保っている．足首を固定すると，この動きが妨げられるため，ステップ (1) から (2) への遷移が困難になり，結果としてステップ (1) に要する時間が長くなると考えられる．以上のように，靴下履き作業においては，足の運動が重要である．

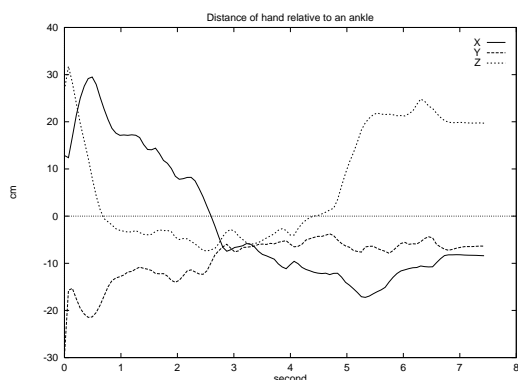


Fig.5: Relative position with joint fixed

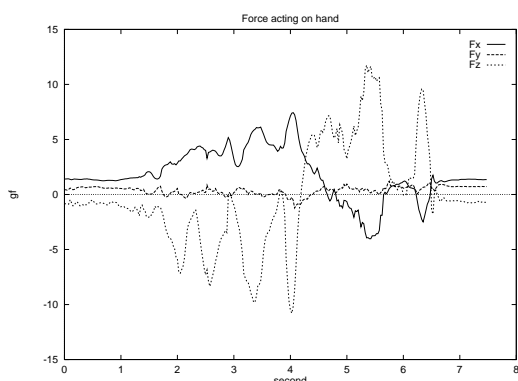


Fig.6: Measured force with joint fixed

## 5. 結言

本報告では，靴下履き作業における人間の運動を実験的に分析した．本報告の結論を以下に述べる．

- 靴下履き作業は，4 個の作業状態から成り立つ．
- 靴下履き作業においては，手のみならず足の運動が重要である．

定量的な分析が今後の課題である．

## 【参考文献】

- 1) Hirai,S., Noguchi,H., and Iwata,K., *Human Demonstration Based Approach to the Recognition of Process State Transitions in the Insertion of Deformable Tubes*, Proc. IEEE ICRA, pp.2006–2011, 1996