

# 柔らかい管状部品の挿入作業における人間の感覚と運動の分析

○平井 慎一, 野口 英昭, 岩田 一明

大阪大学工学部

## Experimental Analysis of Human Sensation and Motion in Insertion of Deformable Tubes

○Shinichi HIRAI, Hideaki NOGUCHI, Kazuaki IWATA  
Faculty of Engineering, Osaka University

**Abstract** - Human sensation and motion are experimentally investigated in an insertion of a deformable tube into a plug. It is found that the relative position and orientation between the hose and the plug at a moment of contact is critical in the insertion and that human vision is effective to control the position and orientation.

### 1 緒言

現在の生産現場において、人々に頼るところが多い工程の一つに、柔らかく変形しやすい部品のマニピュレーション作業が挙げられる [1]. 柔らかい部品は、作業中にその形状が大きく変化する可能性が高い。人間は、部品の変形を巧みに利用し、形状や材質のばらつきに対処して作業を達成することができる。人間のこのような能力は、さまざまな感覚器からの知覚と、手指や腕の運動とを調和させることにある [2]. 柔らかい物体を扱う人間のこのような能力をマニピュレータに持たせるための一つの方法として、マニピュレーションにおける人間の巧みな運動を抽出し、マニピュレータに移植する方法が考えられる [3]. 本報告では、ホースを蛇口に挿入する作業を対象にして、人間の感覚、特に視覚と力覚とが作業に与える影響を分析するとともに、人間がホースに与える運動との関係について検討する。

### 2 柔らかい管状部品の挿入過程

人間がホースを蛇口に挿入する作業を行なうときには、ホースを蛇口に接触させ、手指で力を感知し、ホースの差し込み具合や曲がり方を推測するとともに、ひねる、押し込む、引くといった動作を行ない、作業を進める。ホースと蛇口との位置関係に着目すると、作業プロセスは、図1に示すような、a) 接近段階、b) 接触段階、c) 挿入段階、の三つから成ることがわかる。接近段階とは、ホースを蛇口に接触させるまでのプロセスである。接近段階においては、人間はおもに視覚によって状況を把握し、運動を制御する。また、人間はホースを上から押し当てるのではなく、ある適当な角度をもって斜めから蛇口に接近させる。接触段階とは、ホースが蛇口に接触してからホースの口が蛇口に入るまでのプロセスである。人間は、押し動作や引き動作をホースに与えると同時に、力覚や圧覚によりホースの口が蛇口にはまっているか否かを判断する。挿入段階とは、あらかじめ定められた深さまでホースを差し込むプロセスである。人間は、ホースが蛇口と接触しつつ動く程度の力を、ホースに作用させる。以上のように、柔らかい管状部品のはめ合い作業において、人間の手指がホースに与える運動と、視覚、力覚などの感覚器からの状況判断とが重要な役割を果たすことがわかる。

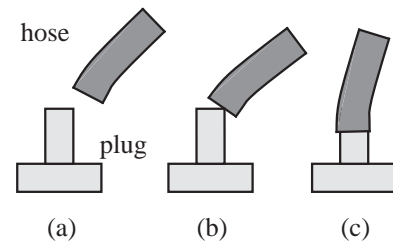


Figure 1 挿入作業の過程

### 3 計測装置の構成

前節で述べたように、人間は、接触段階と挿入段階において、力覚を巧みに利用して手指の運動を制御する。また、接近段階においては、視覚をもとに運動を制御している。したがって、ホースの挿入作業において、人間の運動と感覚との関係を調べるためには、ホースを操作する手先の位置と姿勢、ならびに手に作用する力とモーメントを計測することが必要である。ホースの手元の位置・姿勢、そこに作用する力とモーメントをそれぞれ、3次元デジタルイザと6軸力覚センサにより計測する。ホースはフランジに固定されており、3次元デジタルイザと力覚センサはフランジに装着されている。実験者はフランジを持ち、テーブルの上に固定された蛇口に、ホースを挿入する。その時の各計測値は、リアルタイム OS を通して、ワークステーション上に取り込むことができる。力・モーメント信号のサンプリングレートは 40Hz であり、位置・姿勢信号は、それに同期して計測される。また、ホースの変形等を確認するために、作業の状況をビデオに録画する。

### 4 挿入作業における視覚と運動の分析

前節で述べた計測装置を用いてホースの挿入作業を行ない、実験者の動作を計測した。使用したホースの内径は 1.5cm、長さは 17cm、蛇口の外径は 1.6cm である。蛇口の根本に座標原点を置き、実験者の右方向に  $X$  軸、原点から実験者の向きに  $Y$  軸、鉛直下向きに  $Z$  軸を設定する。ここで、 $Z$  軸に対してホースの中心線の方向を、 $X, Y$  軸まわりの角度で表し、それぞれ Angle  $X$ , Angle  $Y$  [ $^{\circ}$ ] とする。手元位置の  $X, Y, Z$  座標値をそれぞれ  $X, Y, Z$  [cm] とし、各軸方向に作用する力を  $F_x, F_y, F_z$  [kgf] とする。これらの値はすべて、3次元デジタルイザと力覚センサの計測値から、計算するこ

Table 1 実験結果

視覚の有無		蛇口とホースの距離	成功率
接近	挿入		
有	有	—	100%
有	無	2cm	40%
無	無	2cm	10%
無	無	0.5cm	50%

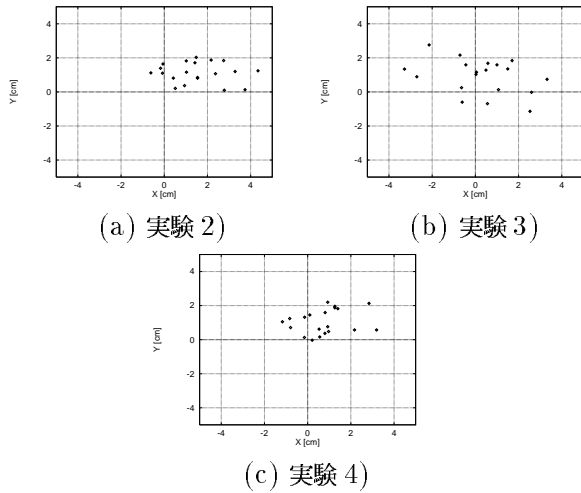


Figure 2 接触位置の分布

とができる。

挿入作業における視覚と運動との関係調べるために、1) 接近段階、接触・挿入段階ともに視覚を用いる場合、2) 接近段階にのみ視覚を用いる場合、3) 接近・接触・挿入段階のいずれにおいても視覚を遮断した場合について、ホースの挿入実験を行なった。ここではY-Z平面内の運動のみに限定し、蛇口の上方より接触させるものとする。また、実験1)においては、動作開始点は任意とする。実験2)においては、動作開始点は任意であるが、蛇口上方2cmの位置に到達したときに、被験者の視覚を遮断する。実験3)においては、蛇口の上方2cm付近に被験者の手を誘導し、挿入作業を行なってもらうものとする。被験者は1人であり、各々20回の試行を行った。ホースの初期形状は、Y軸方向に7°曲がっている。実験の結果を表1に示す。実験1)の場合には、100%成功した。また2)の場合は成功率が40%であるのに対し、3)の場合には10%となっている。実験2)、3)における成功率の違いは、接触位置のばらつきに起因すると考えられる。実験2)、3)の各試行における接触位置を、それぞれ図2-(a)(b)に示す。接近段階において視覚を遮断することにより、接触位置にばらつきが生じることがわかる。接触位置のばらつきの影響を評価するために、4) 接近・接触・挿入段階において視覚を遮断し、蛇口の上方0.5cmの位置から挿入作業を行なうという実験を行なった。各試行の接触位置を図2-(c)に示す。接触位置のばらつきが減少するとともに、成功率が50%に増加していることがわかる。これより、作業の成功率には、接触位置が大きく関係しており、接触位置を適切な位置に合わせるために視覚が有効に使われていることがわかる。

接近段階における視覚と姿勢との関係調べるために、ホースの初期形状を変えて挿入実験を行なった。対象と

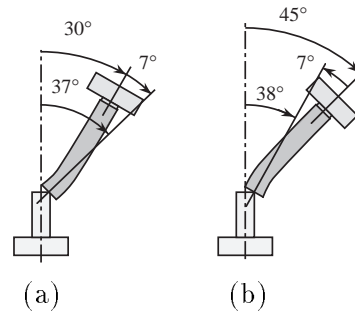


Figure 3 ホース根本と手先における姿勢

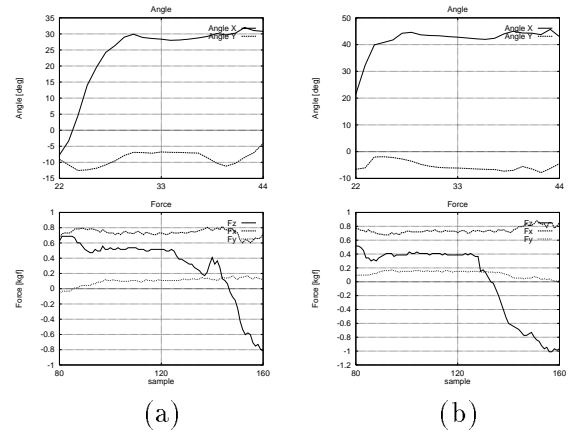


Figure 4 異なる初期形状に対する計測結果の例

した初期形状を、図3-(a)(b)に示す。図に示すように、ホースの初期形状はX軸まわりに、それぞれ7°、-7°曲がっている。それぞれの場合における、計測結果の例を図4に示す。計測結果から、接触時におけるホース先端の角度は、それぞれ37°、38°であることがわかる。すなわち、ホース先端の角度は、ホースの曲がり方によらず、ほぼ一定である。これは、視覚を用いてホースの先端と蛇口とを適当な角度に合わせるために、手の角度を調節しているためであると考えられる。

以上をまとめると、ホースを挿入する作業の接近段階においては、ホースの先端を蛇口の適切な位置に当てるのが重要であり、成功率に大きく関係することが分かる。また、ホースの先端を蛇口に適切な角度で当てるために、視覚が有効に用いられていることがわかる。

## 5 結言

本研究では、ホースの挿入作業における人間の動作を計測し、視覚、力覚と運動の関係分析した。それにより、ホースと蛇口の接触位置の重要性、適切な位置へ接触させるための視覚の役割がわかった。

### 【参考文献】

- [1] Taylor, P.M. et al.: Sensory Robotics for the Handling of Limp Materials, Springer-Verlag (1990)
- [2] 前田 他: 感覚と運動特集, 電子情報通信学会誌, 76,11 (1993)
- [3] 平井, 岩田, 米倉: 柔らかい管状部品の挿入作業における人間の技能動作のマニピュレータへの移植, 日本機械学会秋期大会予稿集, (1994)