

変形しやすい管状部品の挿入作業における作業状態の認識

Recognition of Task States in Insertion of Deformable Tubes

野口 英昭 (大阪大学) 正 平井 慎一 (大阪大学)
正 岩田 一明 (大阪大学)

Hideaki NOGUCHI, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565
Shinichi HIRAI, Osaka University
Kazuaki IWATA, Osaka University

This paper describes the recognition of task states in the insertion of a deformable tube into a plug. In the insertion of a hose into a plug, human contacts a hose with a plug, and recognizes its deformation and the depth of insertion from force sensation. In addition, human controls the motion of a hose skillfully by use of visual and force sensation. Human sensation and motion during the insertion process is thus measured by use of a 3D digitizer and a force sensor. The measurements are then analyzed in order to identify the relation between human motion and sensation. The insertion process consists of three states, that is, (a) approach state, (b) contact state, and (c) insertion state. It is found that human action in each state is different from one another and that human recognizes the transitions among these states through the difference of force sensation.

Key words : Manipulation, Insertion, Recognition, Deformation, Force Sensation

1. 緒言

現在の生産現場において、人手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を扱う作業があげられる⁽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、感覚器からの情報をもとに、作業時の部品の変形や部品間の接触を感知し、作業を進めることができる。本報告では、変形しやすい管状部品を蛇口に挿入する作業を対象とし、人間が感覚をもとに現在の作業状態をどのように認識しているかを分析する。

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、手指で力を感じ、ホースの差し込み具合や曲がり方を推測するとともに、ホースの接触状態に合わせて、ねじる、押す、引くといった動作を行ない、作業を進める。ホースの挿入作業を達成させるには、Fig.1に示すような、a) 接近状態、b) 接触状態、c) 挿入状態、の3つの状態を経ることが必要である。接近状態とは、ホースが蛇口に接触していない状態である。接触状態とは、ホースの先端が蛇口の一端に挿入され接触した状態である。挿入状態とは、ホースの先端が蛇口に完全に挿入された状態である。

人間が作業を進めるときは、作業状態を認識しつつ、個々の状態に適した運動や制御則を用いていると考えられる。接近状態においては、作業を達成する適切な接触状態においてホースを蛇口に接触させるために、おもに視覚を用いてホースの運動を制御し、力覚によって接触状態に達したことを認識する⁽²⁾。接触状態に達したことが認識されると、接触状態に応じた動作へと切り換える。

接触状態では、ホースが折れたり蛇口から外れたりしないように力覚を用いて運動を制御し、力覚によって挿入状態に達したことを認識する。挿入状態においては、あらかじめ定められた深さまでホースを差し込む。力覚によって運動を制御しつつホースの挿入されている深さを推定し、定められた深さまで挿入されたか否かを認識する。以上のように、ホースの挿入作業において、人間の作業制御則は、個々の作業状態において運動を制御するループと、状態の遷移を検知し、運動制御則を切り換えるループとから成ることがわかる。すなわち、人間の作業制御則は、Fig.2に示すような2つのループから構成される。ここでは前者を sensor feedback、後者を situation feedback と呼ぶ。situation feedback においては、作業状態を認識する機構が必要である。

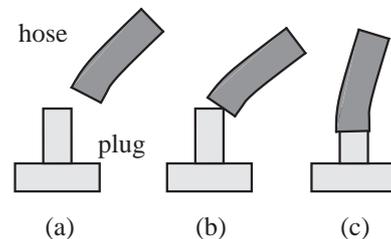


Fig.1 Process of hose insertion into plug

3. 計測装置の構成

前節で述べたように、人間は、接近、接触、挿入の各状態において、各状態特有の運動をホースに与えるとともに、力覚を巧みに利用して、手指の運動を制御する。人間のこのような運動や制御則は、作業を確実にしかも素

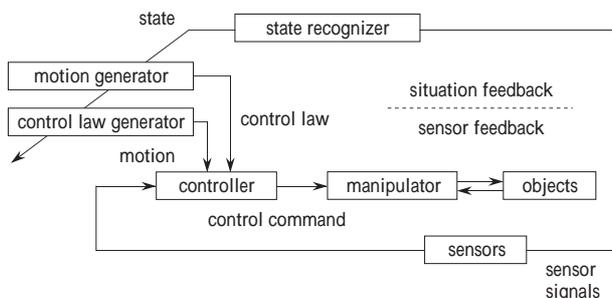


Fig.2 Sensor feedback and situation feedback

早く実行する上で、有効であると考えられる。そこで本研究では、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し、人間の運動と感覚との関係を調べる。そのために、Fig.3に示すような装置を構築した。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次元ディジタイザと6軸力覚センサにより計測する。Fig.4のように、ホースはフランジに固定されており、力覚センサはフランジに装着されている。3次元ディジタイザは力覚センサ上部にフランジを用いて装着されている。被験者は力覚センサを持ち、テーブル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、動作を確認するために、作業状況をビデオに録画する。

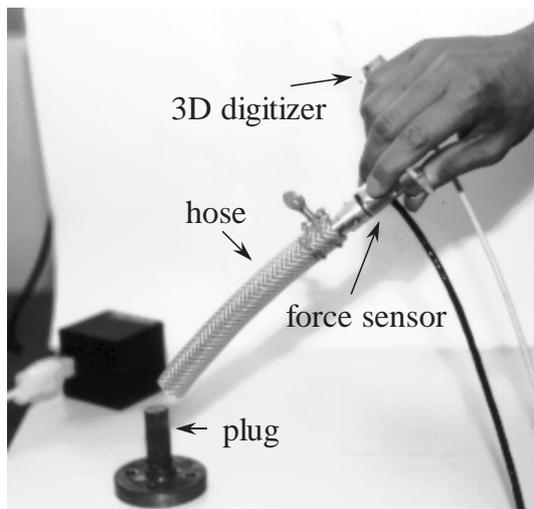


Fig.4 Apparatus for measuring

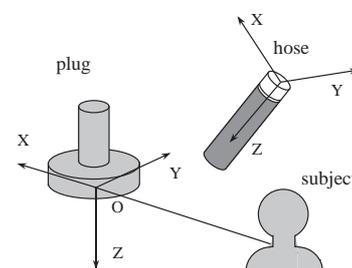


Fig.5 Coordinate systems fixed on plug and hose

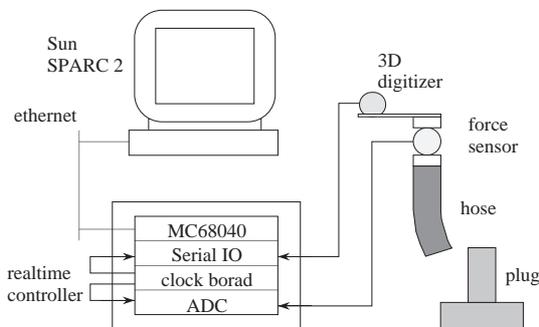


Fig.3 Experimental setup

4. 挿入作業における作業状態の認識

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、被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15cm、蛇口の外径は1.6cmである。Fig.5に示すように、蛇口の根本に座標原点を置き、被験者から原点の方向にX軸、被験者の右方向にY軸、鉛直下向きにZ軸を設定する。手元の姿勢をX, Y, Z軸まわりの角度で表し、それぞれ Angle X, Angle Y, Angle Z [°] 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], 各軸まわりのモーメントを M_x, M_y, M_z [kgf·cm] とする。これらの値はすべて、3次元ディジタイザと力覚センサの計測値から、計算することができる。

まず、人間がホースに与える運動と、力覚との関係を

明らかにするために、被験者の視覚を遮断し、ホースを挿入してもらった実験を行なった。作業開始時には、ホース先端が蛇口から2cm程度離れた、任意の位置および姿勢まで移動し、そこから視覚を遮断し作業を実行してもらう。そのときの計測値の一例をFig.6に示す。Fig.6から被験者の動作が、A, B, Cの3段階に分かれていることがわかる。Aにおいては、姿勢はほぼ一定で徐々にホースを蛇口に近づけている。Bにおいては、ホースをZ軸に平行になるように近づけている。またCにおいては、X軸方向への往復運動が中心となっている。作業プロセスを録画したビデオの分析から、ホースが蛇口に接触した時点およびホースが蛇口に挿入された時点において、動作が変化していることが判明した。これはA, B, Cのそれぞれが、接近状態、接触状態、挿入状態の動作に対応していることを示している。

作業状態の変化と力覚との関係を調べるために、Z軸方向の力の変化を計算したところ、Fig.7のようになった。Fig.7の力が急激に変化した時間を前から2つ選び、それぞれ t_1, t_2 とする。時刻 t_1, t_2 をFig.6に示す。これより、力が急激に変化した時点が動作が変化した時点にほぼ対応していることがわかる。また、ビデオを分析したところ、 t_2 の前では、ホース先端が蛇口上面に引っかかっている状態であったが、 t_2 の時点で引っかかりがとれると同時にホースが挿入されていることがわかった。

被験者が、力覚の変化から状態を認識し、意識的に動作を変化させているかを調べるために、ホースが挿入されるまでの作業を計測する。被験者の視覚を遮断し、任

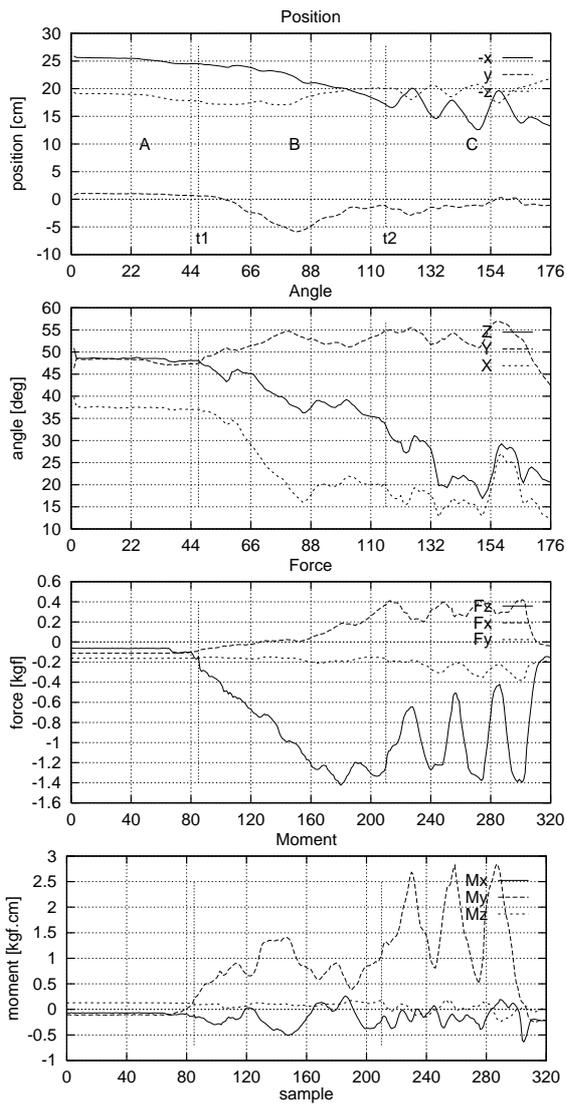


Fig.6 Example of measurements

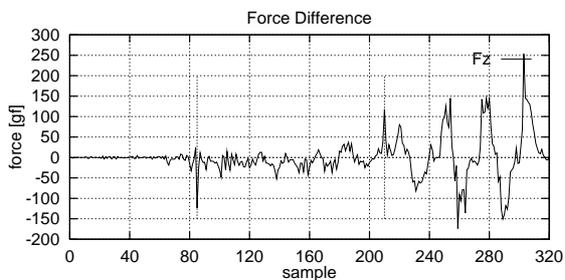
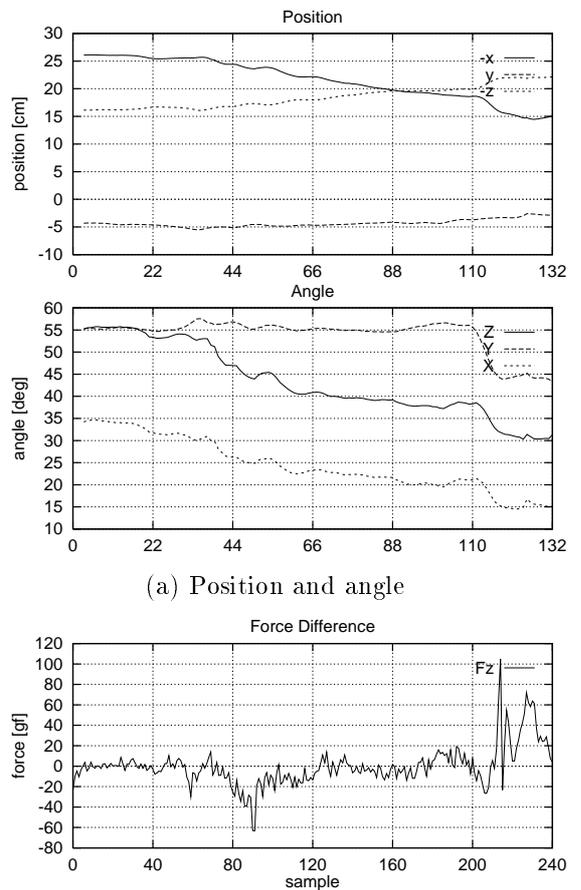


Fig.7 Difference of force with respect to time

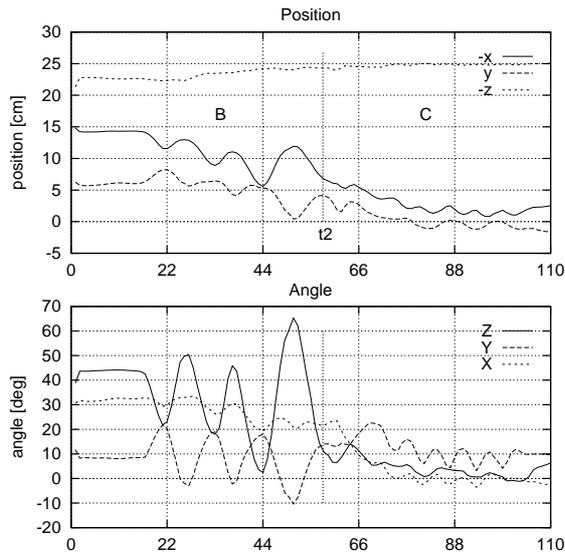
意の接触位置から作業を行ない、ホースが挿入されたと感じた時点で作業を終了させる．その結果の一例を Fig.8 に示す．Fig.8に示す計測結果は，Fig.6の B の部分と同様の動作であることがわかる．また Fig.7の t_2 の付近に見られる力覚の急激な変化も生じていることがわかる．Fig.8 において，力の急激な変化が 2 回生じているが，これは 1 回目の変化において状態の変化を認識し，その後動作を中止することにより，2 回目の変化が生じるものと考えられる．また，このような変化は，Fig.6 においても，生じていることがわかる．



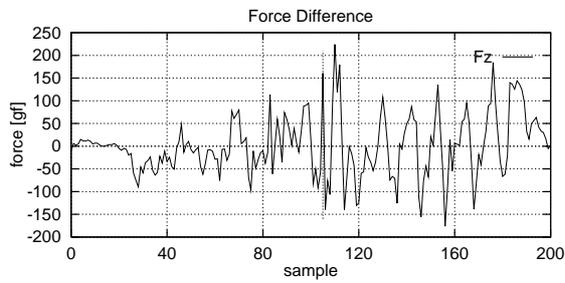
(a) Position and angle
(b) Difference of force
Fig.8 Motion in contact state

次に，接触状態から挿入状態への遷移の認識を確認するために，他の被験者に対して計測を行なった．ここでは，接触状態と挿入状態のみを計測し，接近状態に関しては計測しない．そのときの計測結果を Fig.9 に示す．Fig.9(b) において，力の変化が急激な時点を求め，これを接触状態から挿入状態へ遷移する時刻 t_2 とする．接触状態 B においては，Z 軸まわりに回転させながら，Z 軸方向に平行になるように動作を行なっている．また，挿入状態 C においては，X 軸方向の往復運動となっている．最初の被験者の運動と比較すると，B では動作が異なっているが，C ではほぼ同じような動作となっている．このことから，挿入状態 C においては微小な往復運動が有効であると考えられる．また，Fig.9 においても，最初の被験者の時と同様に，B と C との動作が異なっており，状態が変化する時点で，急激な力の変化が生じている．このことから，

B から C への状態の変化を認識し，動作を切り換えることが有効であると考えられる．



(a) Position and angle



(b) Difference of force

Fig.9 Example of measurements

以上のことから，人間はホースの挿入作業を，接近状態，接触状態，挿入状態の変化を認識し，それぞれの状態に応じた動作を行なっていることがわかる．

5. 結言

本報告では，ホースの挿入作業における人間の動作を計測し，力覚と運動の関係を分析した．人間が作業を行なう時，感覚により作業状態を認識し，それぞれの状態に応じた動作を行なうことにより，巧みに作業を進めていることがわかった．特にホースの挿入作業については次のようなことがわかった．

- 接近状態，接触状態，挿入状態の3つの状態において，異なった動作を行なっている．
- 力覚の変化によりそれぞれの状態の遷移を認識している．

今後は，エラー状態の認識ならびに状態分割の原理に対する考察が必要である．

【参考文献】

- (1) Taylor, P.M. et al.: Sensory Robotics for the Handling of Limp Materials, Springer-Verlag (1990)
- (2) 平井, 野口, 岩田: 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, 日本ロボット学会 学術講演会予稿集, (1994)