

## 弾性ホースへの円筒棒の挿入技能

### Skill in Assembling a Cylinder into an Elastic Hose

島地重幸\*, ○服部博\*\*

Sigeyuki Shimachi\*, ○Hiroshi Hattori\*\*

\*\*\*岩手大学

\*\*\*Iwate University

キーワード: 組立作業 (Assembly), 挿入力 (Insertion Force) 押しつけ力 (Lateral Force)

連絡先: 〒020 盛岡市上田4-3-5 岩手大学 工学部 機械工学科

島地重幸, Tel&Fax.: (0196)21-6403, E-mail:simachi@msv.cc.iwate-u.ac.jp

## 1. 緒言

ロボットによる組立作業の自動化は品質の向上、製造コストの削減、省力化などの多くの利点があり、工業的に有利である。そのため組立作業の自動化は、いろいろな製品の生産工程において開発が進められてきている。そして自動組立の大半の研究は、剛体部品同士の組立作業に関するものである。しかし、実際の組立作業においては剛体部品同士の組立だけでなく、ゴムなどの非剛体部品の作業も入ってくる。そのため近年非剛体部品の組立に関する研究が重要とみなされてきた。最近では、ロボットによる柔軟対象物への挿入作業に関する様々な研究<sup>1),2)</sup>がある。

本報告では、弾性ホースに円柱軸を挿入する作業を取り上げる。ロボットにこの種の作業をさせたとの報告はある<sup>3)</sup>が、作業力などの作業性と挿入技能の関係を論じたものを知らない。

人間が円柱を挿入するとき、見られる動作には、垂直に挿入する動作、円柱を左右に傾けて挿

入する動作、回転を加える動作などがある。これらのうち、人間は円柱をホースと共に横方向に押しつけ、そこで円柱を反対方向に傾けて、次に逆方向に押しつけ円柱を傾けるという動作を繰り返す入れ方のほうが挿入しやすいと感じているように思われる。

我々は、ロボットによって円柱を弾性ホースに挿入する動作を垂直に入れる場合と左右交互に傾けて入れる場合について、理論と力の測定に基づいて挿入力の発生のメカニズムを考察し人間の動作の中に隠されている合理性を明らかにし、それに基づいてロボットによる組立作業の自動化を設計したいと考えている。

## 2. 人間の挿入動作における挿入力の評価

ここでは、人間の動作を追うことでいったいどんなときに挿入しやすいと感じるかを述べ、どのようなことに注目すべきかを述べる。

人間が円柱をホースに挿入するとき、まず円柱をホースにそのまま押し込もうとすることを考える。その動作を実際に行うと、押し込む力がどんどん大きくなっていくことが感じられる。そして次に考えることは、ホースを曲げることである。これは、ホースを自由に曲げるのではなく、挿入できるように手の感覚を頼りに試行錯誤の上で挿入の動作をする。すると、ある動作を繰り返すことで挿入ができ、挿入しやすいと考えている。そこで、人間の挿入作業の挿入しやすさは、どのようにして生まれているかを実際に見られた動作から述べてみる。

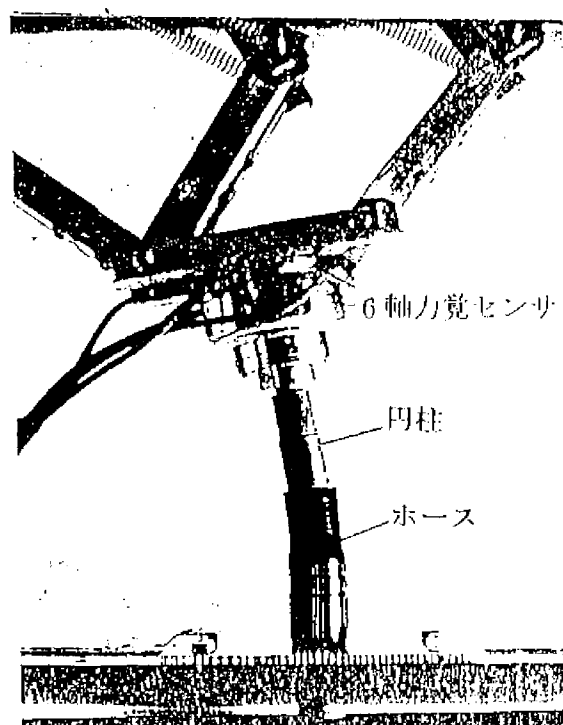


Fig. 1 実験装置

人間が円柱をホースに入れるときに見られる動作は、前にも述べたように、垂直に入れる動作と、左右交互に傾けて挿入する動作がある。これらの動作の違いにはモーメントの働きがある。垂直挿入においては、挿入する円柱に加わるモーメントがほぼゼロで挿入する力が直接手に伝わる。左右交互に傾けて挿入する場合、左右に押しつけることや回転動作することでモーメントが現れる。挿入力の全体から見ればモーメントが現れる分だけ

悪い。しかし人間はモーメントを除いた挿入力が小さければ入れやすいと感じるようである。モーメントは挿入する力が小さくなるようにホースを変形させるようである。また、モーメントは、円柱を手で入れる場合は、入れるたびに持つ位置を変えたり円柱に長い棒を付けて距離のあるところで力を作用させることにより、さらに小さい力でモーメントを与えることができる。しかしながら、ロボットという機械にさせる作業においてモーメントをどのように評価するかは今後検討することにして、本報告では、人間が挿入しやすいと感じている挿入力だけに注目することにする。

### 3. 垂直挿入の実験

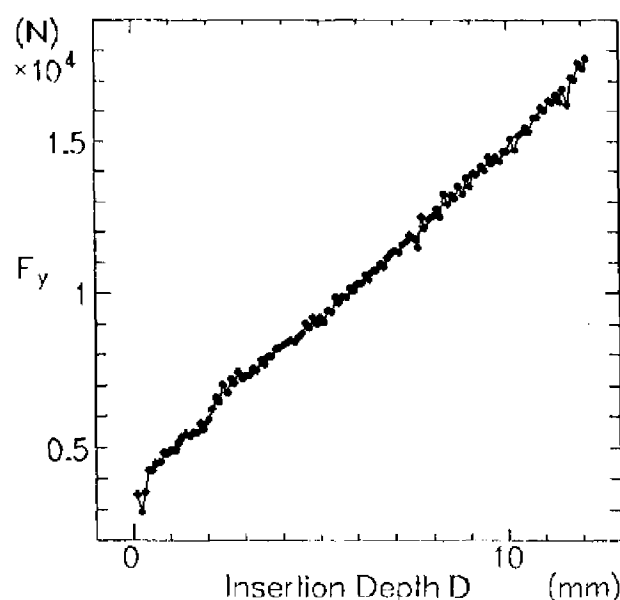


Fig. 2 垂直挿入の実験

Fig.1は、今回使用した実験装置である。この実験での座標の取り方は、円柱の中心軸を $y$ 軸、それと直交する軸を $x$ 軸とする。垂直挿入の実験は $x$ 方向の力を零となるように $x$ 方向の力を制御し $y$ 方向に挿入の動作になるように変位を0.1mm間隔で与え、その都度、力を測定した。力の測定には6軸力覚センサーを用いた。測定開始時の円柱とホースの状態は、円柱がホースに2mm挿入されているところから始めた。円柱の径は $\phi 27.0\text{mm}$ 、

ホースの径は $\phi 26\text{mm}$ である。Fig.2はその実験の結果である。

グラフは小刻みに上下に振れながら挿入力が挿入深さに比例して増加している。こうした力の変化は、人間は挿入しにくいと感じる。

#### 4. 左右交互の動作

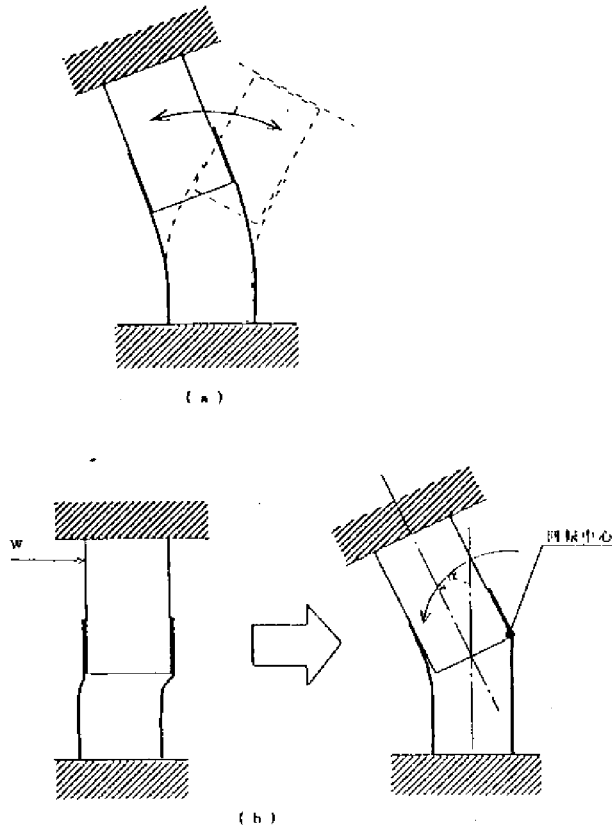


Fig. 3 左右交互の動作

人間の左右交互に動かす挿入動作は、よく見ると、押しつけて円柱に回転を与えて少しずつ挿入している。Fig.3の(a)では、ホースを傾けるだけで挿入にならない。(b)では、押しつけ力 $W$ を加えてホースを変形させ、円柱を傾けることで挿入される。人間の挿入動作はこのようなモデルを頭の中に描いているようである。そこで実験では、ロボットに押しつけて、回転させる動きをあたえて力の変化を測定する。

#### 4.1 押しつけて回転させる実験

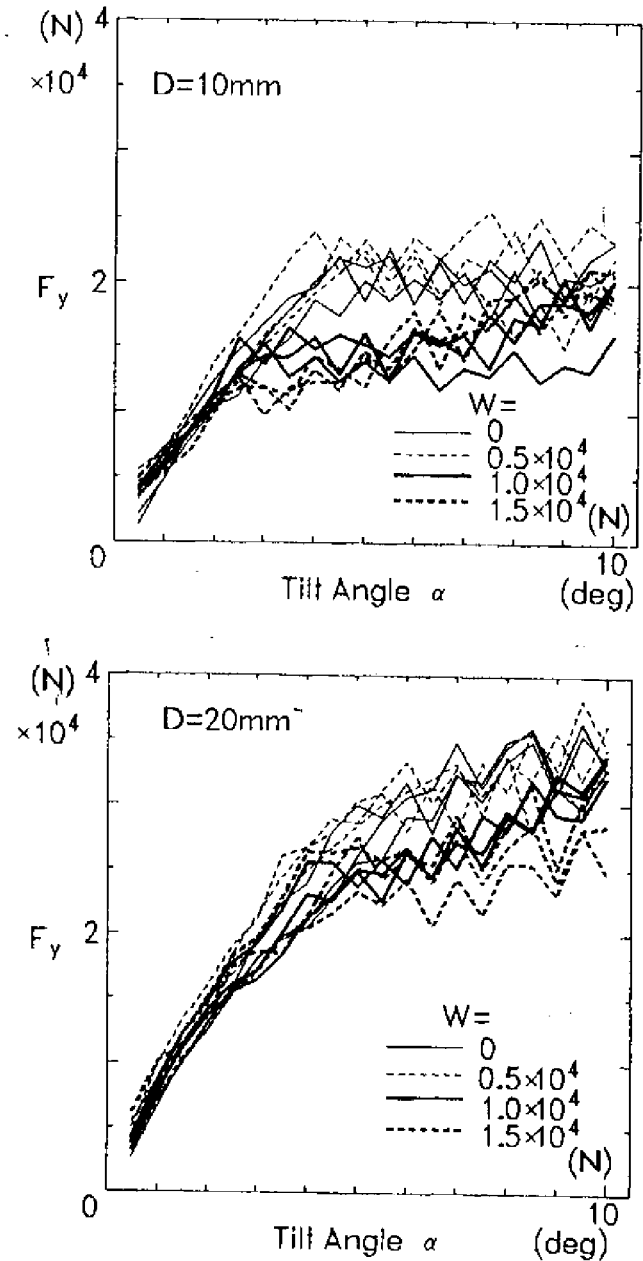


Fig. 4 押しつけて回転させる実験

ロボットの挿入動作は、円柱を挿入させた状態で、押しつけ力が一定になるように制御しながら $x$ 軸方向に移動させ、円柱の先端の角に回転中心を置き、挿入の動作となる方向に回転させる。実験は、最初の挿入深さ $D$ は、 $10\text{mm}$ と $20\text{mm}$ 、押しつけ力 $W$ は、 $0$ 、 $0.5 \times 10^4$ 、 $1.0 \times 10^4$ 、 $1.5 \times 10^4$ (N)についてそれぞれ3回ずつ行う。円柱の傾き角は、円柱が垂直の時を $0^\circ$ とし、向かって反時計回り方を正とする。円柱の傾き角は、 $0.5^\circ$ ずつ、 $10^\circ$ まで傾け、力の測定は、 $0.5$ 度ごとに $y$ 方向の力 $F_y$ を記

録する。

Fig.4 は、その実験結果で、縦軸に  $y$  方向の力  $F_y$ 、横軸に円柱の傾き角  $\alpha$  をとったグラフである。

グラフより、挿入深さ  $D$  が 10mm から 20mm になると  $y$  方向の力  $F_y$  は、ホースからの締め付け力により、大きくなる。また、押しつける力を大きくすることで  $y$  方向の力  $F_y$  が小さくなっていることが分かる。

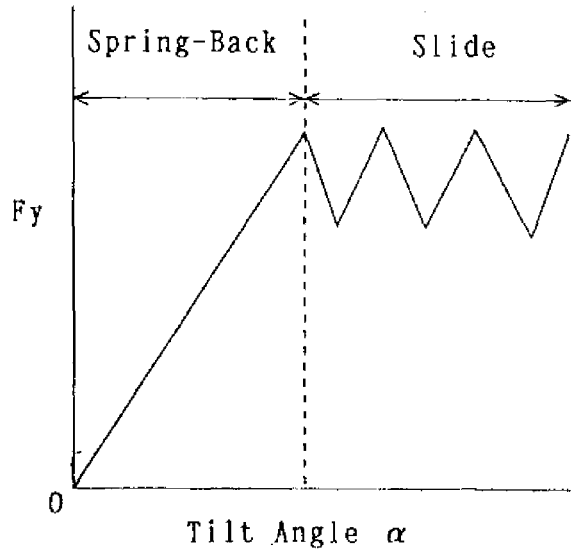


Fig. 5 変形と滑り

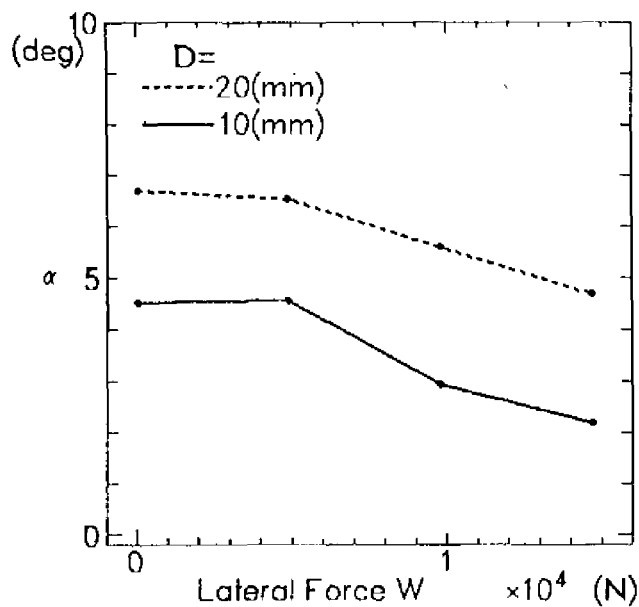


Fig. 6 滑り始め角と押しつけ力

Fig.5 は、グラフの形を簡略化したもので、力の変化からグラフはおおよそ二つの領域に分ける

ことができる。一つは、傾き始めたときで、力の変化から、滑りが生じてない状態である。この状態は、円柱とホースが接着していて、力を取り除くともとにほとんどもとの状態に戻って挿入にならない Spring-Back 領域。もう一つは、その後、力が或値になると、おおよそ一定の力の変化になり、力を取り除いても、円柱が傾いた状態で挿入される滑りの領域である。

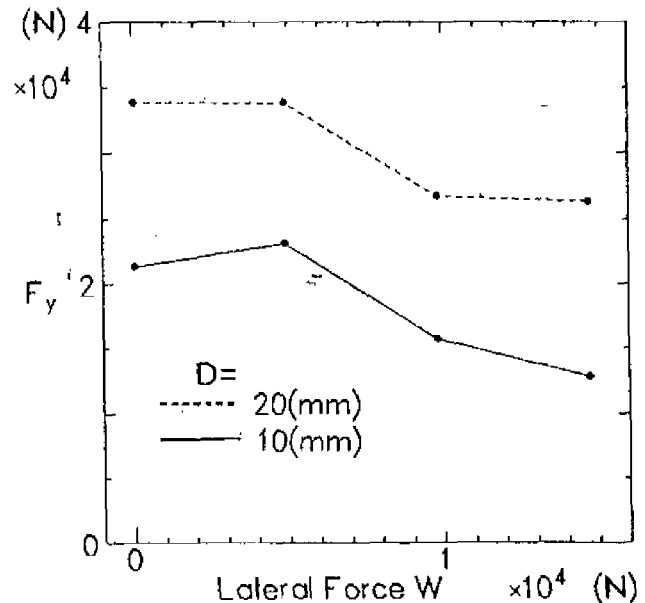


Fig. 7 滑り始めるときの  $y$  方向の力  $F_y$  と押しつけ力の関係

ここで、滑り始めるときの円柱の傾き角  $\alpha$  を Spring-Back 角と呼ぶことにする。Fig.6 は、Spring-Back 角と押しつけ力の関係を示したものである。Fig.7 は、滑り始めるときに  $y$  方向に働いた力  $F_y$  と、押しつけ力との関係を示したものである。

Fig.6、 $D = 10\text{mm}$  から  $D = 20\text{mm}$  と深くなると円柱の回りに働くホースからの締め付け力により Spring-Back 角は、全体的に大きくなる。また押しつけ力が 0 から  $0.5 \times 10^4 \text{ (N)}$  の間では、Spring-Back 角はほとんど変化がなく  $0.5 \times 10^4$  から  $1.5 \times 10^4 \text{ (N)}$  の間では、Spring-Back 角は小さくなっている。

Fig.7 でも同様に深くなると  $F_y$  は全体的に大きくなる。また 0 から  $0.5 \times 10^4 \text{ (N)}$  の間では、 $F_y$  にほとんど変化はなく、挿入深さ  $D = 10\text{mm}$  の時、

0.5×10<sup>4</sup>から1.5×10<sup>4</sup>(N)の間では、押しつけ力を大きくすることでF<sub>y</sub>は小さくなっている。しかし、D=20mmのとき1.0×10<sup>4</sup>と1.5×10<sup>4</sup>(N)ではほとんどF<sub>y</sub>に変化はない。このことから、押しつけ力が挿入力を小さくするには、深さによって有効な値が限られてくる。また、押しつけ力を大きくすることで、Spring-Back角とF<sub>y</sub>が小さくなるので、押しつけることによって、摩擦力が小さく、小さい傾き角で挿入動作が行うことができると考えられる。

そこで、この現象を理解しやすいように以下のように説明してみる。

Fig.8において円柱をホースに押しつけると、片方の面で接触している部分Aと、ホースの梁の性質により隙間eが現れる。この隙間eによって接触状態が変化し摩擦力を小さくする。(b)のように深く挿入すると、隙間eを作っても、接触している部分Aが広がるので、押しつけ力による摩擦力を小さくする効果は薄れる。ここで、隙間eは実際に現れた隙間とは異なり、現象を理解する上で取り入れた概念である。しかし、実際の現象も類似した現象が現れているものと考えられる。

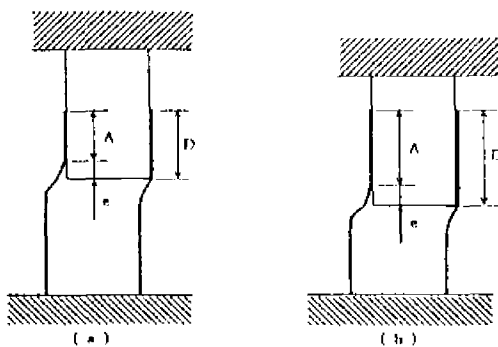


Fig. 8 理解モデル

## 5. ロボットによる挿入動作の計画

Fig.9は、滑り始め角と押しつけ力、及びF<sub>y</sub>の関係を表したものである。Spring-Back領域は、滑りが生じず挿入にならない。Slideの領域において

は、押しつけ力を大きくすると力F<sub>y</sub>が小さく滑り始め角も小さくなることを表している。Fig.10は、

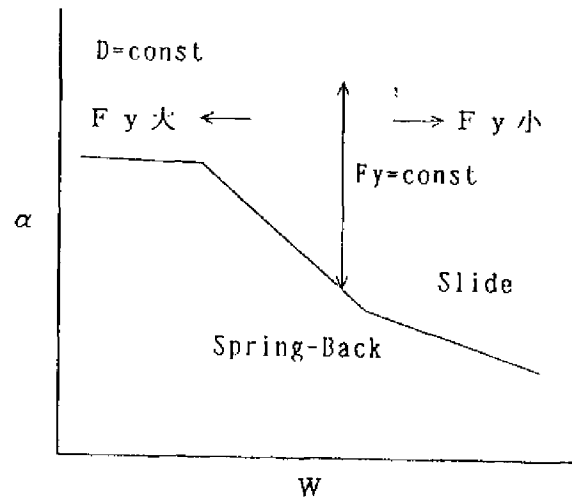


Fig. 9 Spring-Back角及び押しつけ力と力F<sub>y</sub>の関係

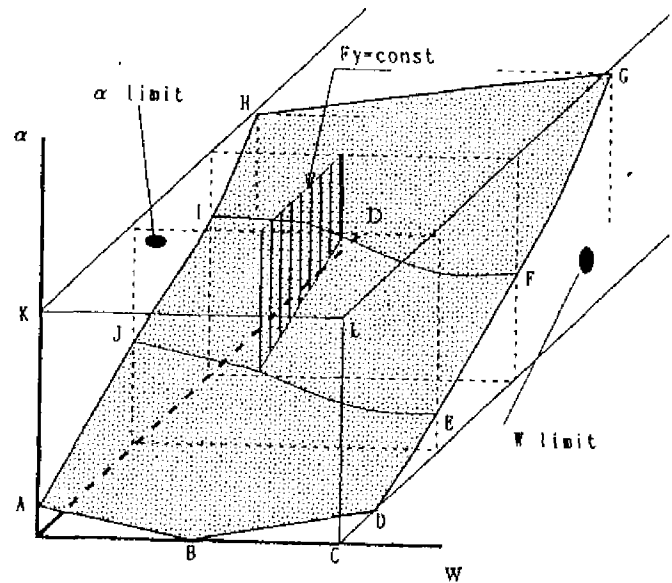


Fig. 10 理解モデルから推測される $\alpha - W - D$ 空間

実験の結果から推測したSpring-Back角と押しつけ力Wと深さDの関係である。挿入を行うためには、Spring-Back角の面よりも上の領域で $\alpha$ とWをとる必要がある。また、ロボットは可動領域が限られるため図ではそれぞれ限界を取り入れる。この図をもとにして挿入動作を考えてみる。

ここで評価量を以下のように仮定する。

$$E_v = \text{滑る量 (Slide)} / \text{変形量 (Spring-Back)}$$

$W$ の値を評価しない場合はじめから  $W$ を大きく  $\alpha$ を大きくとる  $L-G$ という軌道が考えられる。このとき  $E_v$ は大きくなり良く滑る。

$W$ をできるだけ小さくしたい場合には、 $K-H-G$ という軌道が考えられる。このとき  $E_v$ は小さく少ししか滑らない。

しかし、実際のロボットではどのような状態からでも挿入動作を行なわれなければならない。そして、Fig.10のようなmapが分からない場合がほとんどである。このような場合、滑る滑らないの境界面である Spring-Back 面を検出し、 $F_y$ 、 $W$ 、 $E_v$ をそれぞれ評価する必要がある。評価の仕方としては以下のような式が考えられる。

$$\text{評価量} = w_1 F_y + w_2 W + w_3 E_v / \text{一回当たりの進み量}$$

$w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$ は重み係数である。

## 6. 結言

今後の研究の課題として、ロボットに挿入動作を自動的に行わせるために、滑りが起きたときの力の変化の検出方法を考える必要がある。

## 参考文献

- 1) 山口, 高野, 佐々木, 井上, ロボットによる柔軟対象物への挿入作業に関する研究, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp761-762, (1993)
- 2) H.J. Warnecke, B. Frankenhauser, D.G. Gweon and H.S. Cho, Fitting of Crimp Contacts to Connectors Using Industrial Robots Supported by Vibrating Tools, Robotica, Vol.6, 123-129, (1988)

- 3) M. Schweiser, T. Weisener and T.F. Herkommer, Robot Assembly of Pliable Hoses, The Industrial Robot, 201-205, December (1990)
- 4) アカス, 谷藤, ロボットによるゴム穴への軸の挿入作業に関する研究, 岩手大卒論 (1994)