

# 人間型ハンドロボットによる組立作業を対象としたVR教示

VR Teaching of Assembly Tasks for Anthropomorphic Hand Robot

小川慎太郎<sup>1)</sup>, 上木諭<sup>1)</sup>, 川崎晴久<sup>2)</sup>, 毛利哲也<sup>2)</sup>

Shintaro OGAWA, Satoshi UEKI, Haruhisa KAWASAKI and Tetsuya MOURI

1) 岐阜大学大学院工学研究科

(〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1, i3132013@guedu.cc.gifu-u.ac.jp, h3132002@guedu.cc.gifu-u.ac.jp)

2) 岐阜大学工学部人間情報システム工学科

(〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1, kawasaki@cc.gifu-u.ac.jp, tmouri@vsl.gifu-u.ac.jp)

**Abstract :** This paper presents a VR teaching of assembly tasks including Peg-in-Hole for anthropomorphic hand robot. Motion intention is analyzed from human demonstration in virtual environment. The human motion of the Peg-in-Hole is segmented into 7 basic motions by using 6 parameters. It is usual that the position and orientation of object in real world differs from that of in virtual world. Therefore, this paper presents a trajectory modification method based on the vision information.

**Key Words :** teaching, virtual reality, assembly task, hand, robot

## 1. はじめに

宇宙や福祉の分野で使用されるロボットには複雑で多様な作業を実行することが期待され、人間の手に類似したハンドを持つことが予想される。そこで、遠隔地に配置された人間型ハンドロボットを持つシステムへの作業を教示するため、著者らはVR空間での人間のデモンストレーションから得る動作データを解析し、その結果に基づいて教示を行うVRロボット教示システムを提案してきた[1]-[2]。

複雑な組立作業では、ボルトの締結や蓋の取付けなど物体を穴に挿入するような作業を行うことが多く、ロボットにもこのような作業の実現が要求される。そこで、本稿ではPeg-in-Hole作業を伴う組立作業のVR教示を行い、動作意図解析に必要なパラメータを明らかにする。さらに、VR空間における対象物体の位置姿勢が実空間のそれと異なるときに、ハンドの目標位置等を対象物体座標系で与えることにより、ハンドロボットの教示コマンドを視覚情報を用いて補正して作業を実現できることを実験的に検証する。

## 2. VR教示

### 2.1 システム構成

VR空間におけるロボット教示の概念を図1に示す。システムは遠隔にあるロボットシステムと操作者を取り囲むVRロボット教示システムに分けられる。VRロボット教示システムでは、操作者がVR空間の中で仮想物体に対して作業を行う。ここで、操作者が操る仮想ハンドは人間ハンドモデルを使用する[1]。その際に、ハンドの運動軌跡、指の運動軌跡、接触点、指先での仮想反力、対象物体の運動軌跡を計測し、操作の意図を解析する。この解析結果に基づきロボット教示コマンドを生成し、ロボットシミュレーションにより確認する。ロボットシステムでは、VRロボット教示システムで生成された教示コマンドによりハンドロボットを制御する。

従来のシステムでは、操作者が操る仮想ハンドの動きは3次元位置計測装置によりハンドの位置を、データグローブにより指先の位置を計測していた。しかし、これらの情報だけでは対象物体の姿勢変化を伴う複雑な作業を実行し難い。そこで、新たに姿勢計測装置

を導入し、ハンドの姿勢を計測する。

操作者が VR ロボット教示システムにおいて組立作業を行っている様子を図2に示す。操作者は手にデータグローブ、3次元位置計測のマーカ、姿勢計測装置を装着し、手や指の動きを計測する。また、仮想物体との接触により生じる仮想反力を本研究室で開発した Force Feedback Glove[3]で操作者に提示する。さらに、操作者は液晶シャッター眼鏡により VR 環境を立体視できる (図2)。

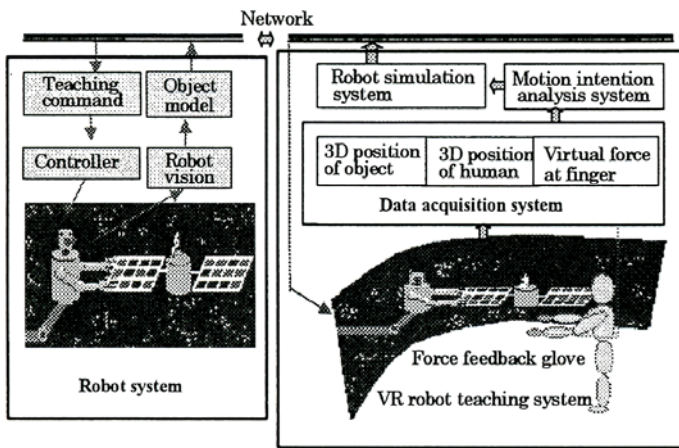


図1 VRロボット教示システムの概念図

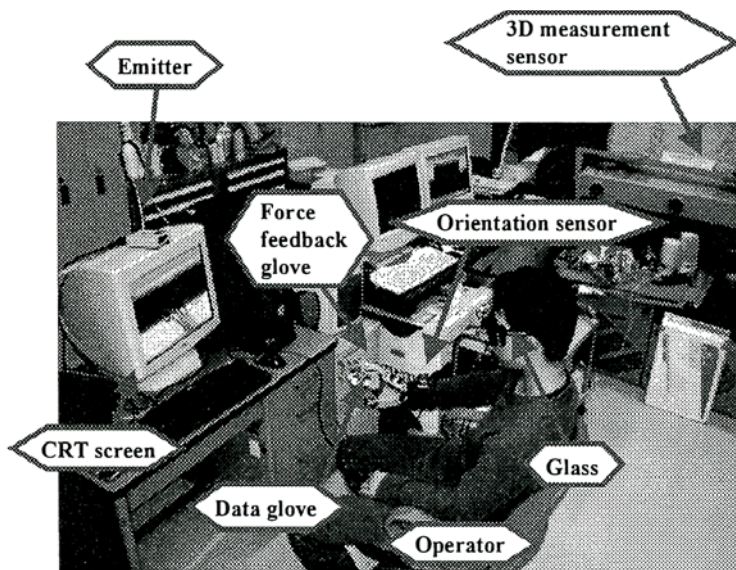


図2 VR教示の様子

を容易にするために、作業を基本的な動作に分割する。Pick and Place 作業では、move (ハンドの移動), approach (指の開閉), grasp (物体の把持), translate (物体の搬送), place (物体の配置), release (物体からの分離) の6つセグメントに分割した[1]。これらのセグメントは、物体座標系でのハンド速度  $^{object}v_{hand}$ 、基準座標系での物体速度  $^{ref}v_{object}$ 、ハンド座標系での  $i$  番目の指先位置  $^{hand}p_{i-th\ finger}$ 、速度  $^{hand}v_{i-th\ finger}$ 、仮想反力  $^{hand}f_{i-th\ finger}$  の5つのパラメータの変化を調べることにより作業をセグメントに分割した。ただし、5つのパラメータのうち、指先に関するパラメータは3次元運動を総合的に評価するためベクトルノルムで評価することを基本とし、複数の指の運動は各位置ベクトルノルムの総和  $^{hand}p_{finger}$ 、速度ベクトルノルムの総和  $^{hand}v_{finger}$ 、指先力の総和  $^{hand}F_{finger}$  で評価する。ここで、 $^{hand}p_{finger}$  は指の開きを示す指標、 $^{hand}v_{finger}$  は指の動きを示す指標、 $^{hand}F_{finger}$  は把持力の大きさの指標である。

一方、Peg-in-Hole 作業では、move, approach, grasp, translate, contact (物体の接近・接触), insert (物体の挿入), release の7つセグメントに分割する。これらのセグメントを分割するのに Pick and Place 作業のパラメータのみでは、物体間の関係が不明確である。そこで、新たに基準座標系での物体間距離  $^{ref}l_{obj-obj}$  と物体座標系での物体間接触力  $^{object}f_{obj-obj}$  を追加する。

Peg-in-Hole 作業をセグメントとして定義した contact, insert, 及び複数物体を対象とするため、物体間の関係が必要な translate に必要なパラメータについて説明する。図5に Peg-in-Hole 作業をセグメントに分割するのに必要なパラメータの変化の理想図を示す。

translate では、物体とハンド及び指先は一体となって運動する。このため、基準座標系での物体速度は増加するが、物体座標系でのハンド速度や指先速度は零である。また、対象物体を安定に把持するため、仮想反力が生じる。さらに、穴に物体を挿入しようと対象物体同士が近づく。このため、物体間距離が減少するが、対象物体同士は接触しないので物体間接触力は零である。

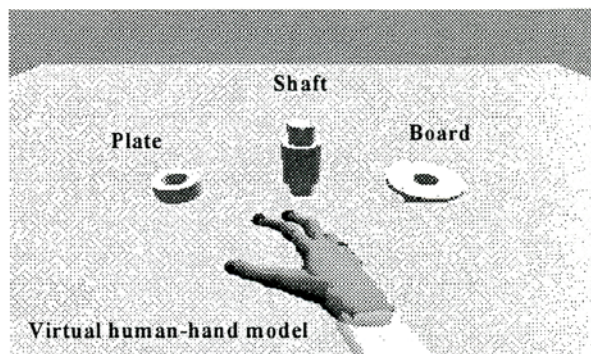


図3 VRシミュレーション

## 2.2 組立作業

本稿で対象とする組立作業は軸、上板、台座の3つの部品を使用する (図3)。組立作業は工程1、工程2、工程3に分割する。組立作業を行う順番は、工程1で台座を移動し、工程2で軸を台座の穴に挿入し、工程3で上板の穴を軸に挿入する (図4)。工程1は Pick and Place 作業に、工程2と3は Peg-in-Hole 作業に相当する。

## 2.3 セグメント分割のためのパラメータ

操作者が作業を実行するときの一連の運動データには、操作の意図が含まれる。しかし、一連の運動データから一括して操作の意図を取り出すことはできない。そこで、操作者が実行した作業の解析

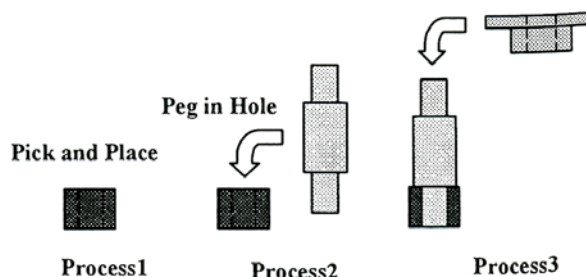


図4 組立工程

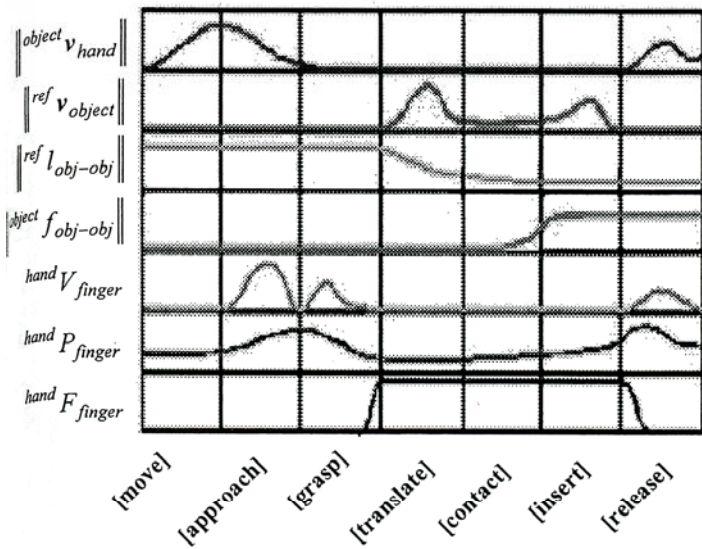


図5 パラメータの理想図

contact では、ハンドと指の運動は translate と同じである。対象物体の正確な合わせ位置のために対象物体の動きが遅くなる。このため、物体速度は減少する。translate より対象物体同士が近づくため、物体間距離は減少する。また、物体同士が接触すると物体間接触力が生じる。

insert では、対象物体を穴に挿入するために対象物体の動きが速くなる。このため、物体速度は増加する。また、対象物体を挿入中は物体間で接触が起こるために物体間接触力が生じる。挿入後にはハンドが対象物体を離すため、指先速度が生じ、VR 反力が減少する。VR 空間において操作者が組立作業を行ったときのパラメータの実測値を図 6 に示す。実測値からセグメントに分割された結果は motion flag により表示される。

工程 1, 工程 2, 工程 3 とともに図 5 の理想図のように各パラメータは変化し、セグメントに分割することもできた。

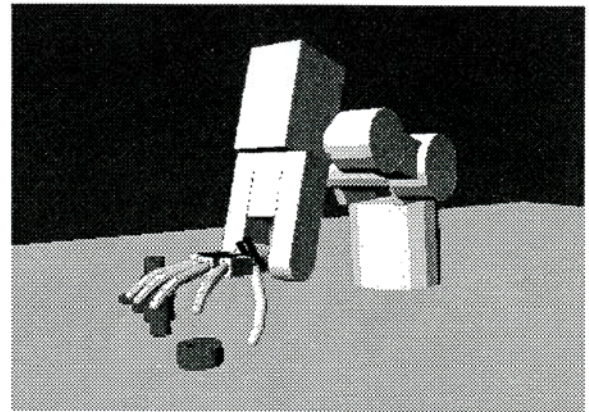


図7 ロボットシミュレーション

### 3. 教示コマンドの生成

#### 3.1 ロボットハンドの可操作性

ロボットハンドの幾何学形状は、人間のハンドのそれとは完全には一致しない。従って、人間のハンドの運動をそのままロボットハンドで実行できない場合が生じる。そこで、ハンドと物体との接触点位置は教示された位置とし、ハンドの位置姿勢はハンドの可操作性を最大となるように求める。これにより、外乱等が作用しても頑健な制御が可能となる[2]。

可操作性を最大とするハンドの位置姿勢は、最急降下法による繰り返し計算で求める。このとき、操作者の教示した指先位置を満たす可動範囲内のロボットハンドの位置姿勢を初期値として与える必要がある。初期値の探索方法として、操作者の手首の位置姿勢を基準点と定め、その近傍の空間を探索する。ここで、ロボットハンドの手首位置に近づけるように操作者の手首位置をスケールングし、探索時間の軽減する。

#### 3.2 ロボットシミュレーション

ハンドロボットの動作が実現可能であるかを検証するため、シミュレーションにより生成された教示コマンドを確認する(図 7)。実現可能であればハンドロボットシステムに教示コマンドを送信し、

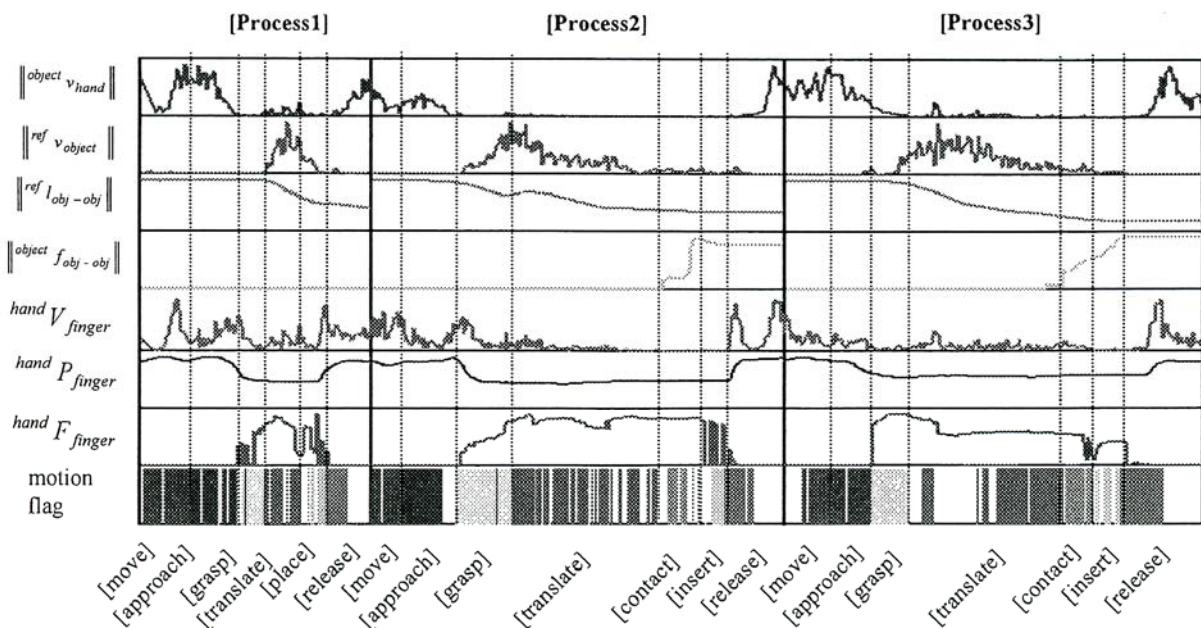


図6 パラメータとセグメントの分割

問題があればVR空間において再教示する。

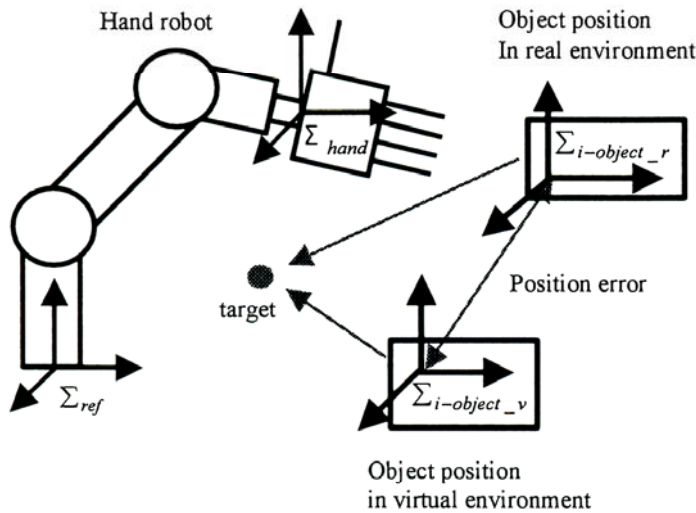


図8 対象物体の位置誤差

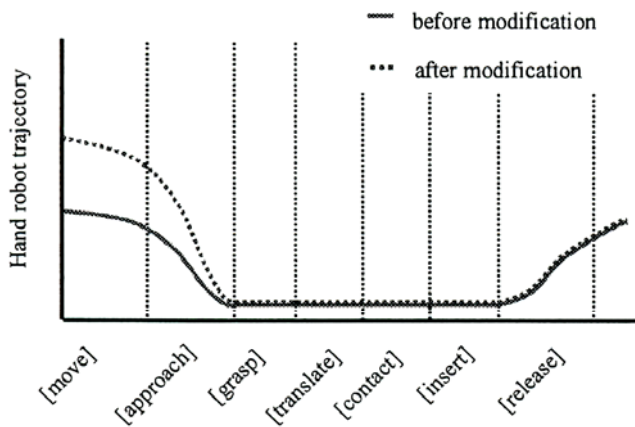


図9 ハンドロボットの軌道

#### 4. 視覚情報による教示コマンドの補正

実空間をVR空間で完全に再現することは難しく、対象物体の位置に誤差が生じることがある。このため、ハンドロボットの軌道を補正する必要がある。そこで、以下で説明する方法を用いて軌道を補正する。

図8のように基準座標系  $\Sigma_{ref}$ 、ハンド座標系  $\Sigma_{hand}$ 、VR空間での物体  $i$  座標系  $\Sigma_{i-object_v}$ 、実空間での物体  $i$  座標系  $\Sigma_{i-object_r}$  とする。教示コマンドとして物体  $i$  座標系でのハンド位置姿勢  ${}^{i-object_v}r_{hand}$  と指先位置  ${}^{i-object_v}p_{finger}$ 、基準座標系での物体  $i$  の位置姿勢  ${}^{ref}r_{i-object_v}$  がハンドロボットシステムに送られる。ただし、 $i$  は物体番号であり、 $i=1$  を台座、 $i=2$  を軸、 $i=3$  を上板とする。ハンドロボットシステムでは、視覚情報により対象物体  $i$  の位置姿勢  ${}^{ref}r_{i-object_r}$  を得る。

各工程において *move*, *approach*, *grasp* の基準座標系での対象物体  $i$  の位置姿勢  ${}^{ref}r_{i-object_v}$  を視覚情報から得た対象物体  $i$  の位置姿勢  ${}^{ref}r_{i-object_r}$  に置き換える。translate の区間では、実際の対象物体の位置を初期点として教示コマンドにおける translate の終端点を目標点とする。これにより、grasp の終端値までの対象物体  $i$  の位置姿勢を置き換えるだけで教示コマンドの補正が可能となる。その後、基準座標系でのハンド位置姿勢と指先位置を求めて円滑処理を行う。図

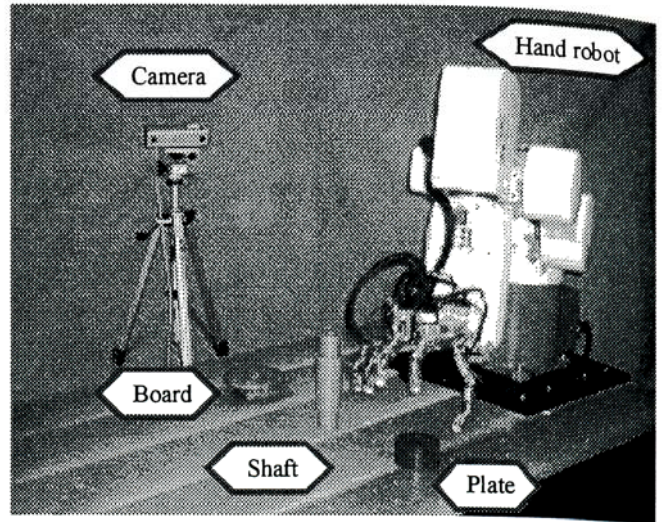


図10 ハンドロボット

9 は座標系  $\Sigma_{i-object_v}$  での補正前のハンド位置姿勢と座標系  $\Sigma_{i-object_r}$  での補正後のハンド位置姿勢を示す。

#### 5. 実験装置

生成した教示コマンドは図10のハンドロボットで実行する。ハンド部には本研究室で開発した“Gifu Hand III” [4]を、アーム部には市販の小型垂直多関節ロボットを用いる。このハンドロボットを教示コマンドに基づき、位置制御する。また、対象物体の位置補正には市販のステレオカメラ (BumbleBee) を使用する。発表時には、実機による実験結果を報告する予定である。

#### 6. おわりに

本稿では、Peg-in-Hole 作業を伴う組立作業を対象としてVR教示を行った。Peg-in-Hole 作業をセグメント分割するためのパラメータを提案し、その有効性を確認した。また、ハンドの姿勢計測を加え、対象物体の姿勢変化を伴う複雑な作業に対応した。さらに、実空間とVR空間との間に対象物体の位置誤差が生じて、視覚情報によりハンドロボットの軌道を補正する手法を提案した。

今後は複数の作業が組み合わさった作業に対してセグメントの分割を行い、それを基にロボットへの教示を行う。

#### 参考文献

- [1] 川崎晴久, 他2名, VR環境での人間の動作意図に基づくロボット教示, 日本バーチャルリアリティ学会誌, 899-906, 2000
- [2] 川崎晴久, 他3名, 多指多関節ハンドロボットのハンド可操作性に基づくバーチャルロボット教示, 日本ロボット学会誌, 194-200, 2003
- [3] 岩田久嗣, 振動モータとサーボモータを組み合わせた多点力覚提示グローブの開発, 日本機械学会東海学生会第32回学生員卒業研究発表講演会前刷, 911, 2001
- [4] 毛利哲也, 他4名, 人間型ロボットハンド“Gifu Hand III”とそのリアルタイム制御システム, ロボメカ 2002 論文集 CD-ROM, 2P2-F02, 2002