

# 仮想作業スペースにおける物体把持手法

1 D-4

平池 龍一 篠原 克也  
(NEC C&Cシステム研究所)

## 1. はじめに

近年、仮想現実感(Virtual Reality)を利用したヒューマンインタフェースの研究が盛んとなってきた<sup>[1]</sup>。

我々は、手袋型入力装置や立体視出力装置などのVR機器を用いることで、仮想的な3次元空間(仮想作業スペース)にある物体を自分の手で直接操作できるという点に着目し、あたかも粘土細工や積木を行うかの如く造形作業を進めることが可能な直接操作型のインタフェースとして「ダイレクトモデリング手法<sup>[2-3]</sup>」を提案している。

本稿では、ダイレクトモデリング手法において操作の基本となる「物体を掴む」手法として、簡単かつ確実に物体を掴むことが可能であるとともに、掴み判定を高速に行える物体把持手法を実現したので報告する。

## 2. 仮想空間における物体の把持

操作者は、手袋型入力装置(VPL社製データグローブ)を装着して、ディスプレイを見ながら自分の手の動きに連動する仮想的な手を操作して、仮想物体を掴むことができる。この際、現実の世界における動作に近い動作で物体を掴むことができれば、操作が自然であり、簡単でしかも確実に物体を掴むことが可能になると期待できる。

そこで、操作者は仮想空間において、仮想手をどのように動作させて物体を掴もうとするのかを調べるために、まず最初に次の予備実験を行った。

### 予備実験

複数の物体が配置された仮想作業スペースを提示して、「この物体を掴んで下さい」と指示された被験者の手の動作を観察した。本実験は、仮想空間での操作が初めての被験者数人を対象に試みた。

### 実験結果

被験者は、小さな物体は指先しかも親指と人差し指の指先で挟み込むようにして掴み、大きな物体は手全体で包み込むようにして掴んだ。また、密集して配置された複数の物体の中から特定の物体を掴み取る際には指先で掴み、まわりに他の物体がない場合には手全体で掴もうとする傾向のあることがわかった。このような掴み動作は大半の被験者に共通していた。

以上の結果から、操作者は仮想世界においても、現実の世界と同様に、物体の大きさや配置などに応じた方法で物体を掴もうとすることが明らかとなった。従って、操作者が仮想作業スペースにおいても、簡単かつ確実に物体を掴むことを可能とするためには、指先で挟み込む方法と手全体で包み込む方法を共に実現する必要がある。

## 3. 物体把持手法

物体を把持する手法として、

①指先(親指と人差し指)で挟み込む方式

②手全体(指と掌)で包み込む方式

の両方を併用する手法を開発した。操作者は、いずれの方式で物体を掴もうとしてもかまわない。システムは常時、操作者の手の動きを監視しており、物体を掴もうとするジェスチャを認識した時点で把持判定を行う。この際、操作者が物体の移動などの操作を速やかに継続できるように、実時間で物体の把持判定をせねばならない。以下では、判定方法を中心に各把持方式について述べる。

### 3.1 挟み込み把持方式

複雑な形状に対しても実時間で把持判定を行えるように、物体と指先との直接的な接触ではなく、物体を外包する直方体と親指と人差し指の指先の間で想定した球との位置関係に基づいて判定する方式を開発した[写真1]。具体的には、親指と人差し指の先端を端点とする線分を直径にもつ球と外包直方体との接触の有無で判定する。この際、外包直方体を物体に固有なxyz-座標系の各座標軸に垂直な平面で構成しておくことで、球の中心座標を直方体に固有な座標系に変換した後は比較など処理量の少ない演算で接触判定が可能となった。また、指先の先端が一定距離内に近づいた時点でのみ判定を行う方式とすることで、実時間での把持判定を実現した。

### 3.2 包み込み把持方式

包み込み把持方式でも、複雑な形状に対しても実時間で把持判定を行えるように、挟み込み把持方式と同様の外包直方体と掌の上に想定した球との位置関係に基づいて判定する方式を開発した[写真1]。具体的には、親指以外のすべての指が一定角度以上に屈曲した時点でのみ、球と外包直方体とが接触しているか否かで把持の有無を判定する。このように、「掴む(指を曲げる)」というジェスチャがなされた時点でのみ判定を行う方式とすることにより、実時間での把持判定を可能とした。

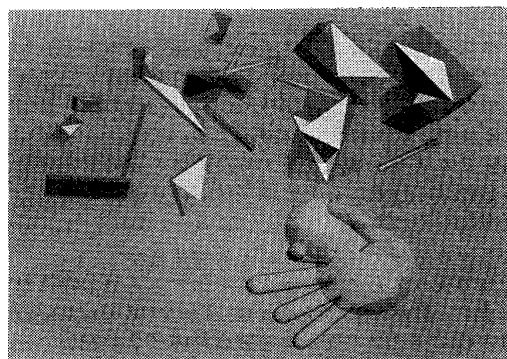
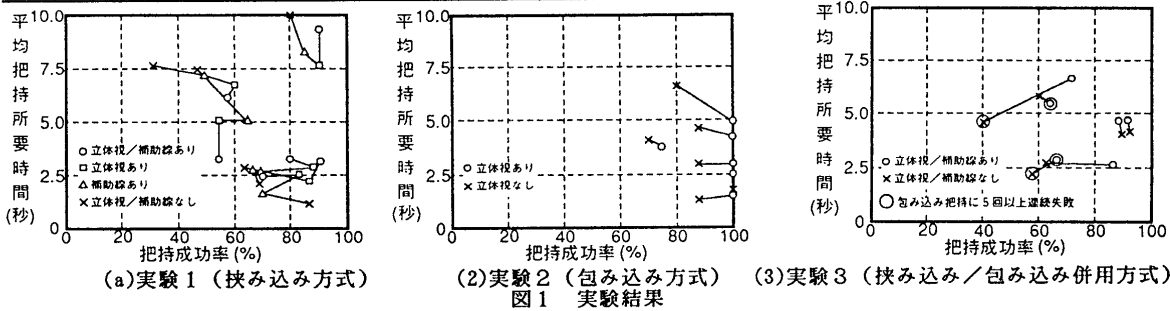


写真1 把持判定球(手)と外包直方体(物体)



4. 実験

提案する把持手法の有効性を検証するために、様々な形状の仮想物体を把持する実験を行った。実験に用いる仮想物体の形状は、xyz-座標系の各軸方向の長さの比に基づいて、次の4ボタンに分類した。

- ① 3軸方向とも短いもの (小さな物体)
- ② 1軸方向のみ長いもの (棒状の物体)
- ③ 2軸方向のみ長いもの (板状の物体)
- ④ 3軸方向とも長いもの (大きな物体)

複雑な物体でも、握もうとする部分は4ボタンのいずれかに相当すると考えられる。そこで、これらの基本物体を対象に実験を行うことで物体把持の確実性を示す。

4.1 実験方法

6名の被験者(初心者4名を含む)に対して、以下に示す三つの実験を行った。各実験では、物体把持に要した時間(作業時間/把持物体数)、把持の成功率(物体を握めた回数/握み行為の発生した回数)を測定した。なお被験者は、予め各実験毎に数分間の練習を行った。

実験1: 挟み込みによる物体把持

「親指と人差し指の指先で挟み込めば物体を握めます」と教示して、仮想空間に一つだけ提示された物体(三角錐)を握んでもらう。把持に成功すれば、異なるボタンの物体を異なる場所に提示する。合計20個の物体が把持された時点で実験を終了する。

本実験では握み易さを比較するために、立体視させた場合、仮想手の指先の間に補助線を表示した場合も合わせて行った。この際、立体視や補助線による効果から、慣れによる学習効果をできるかぎり排除できるように、1)立体視・補助線あり、2)立体視あり、3)補助線あり、4)立体視・補助線なし、の順に実験を行った。

実験2: 包み込みによる物体把持

「手全体で包み込むようにすれば物体を握めます」と教示して、仮想空間に一つだけ提示された物体(三角錐)を握んでもらう。実験1と同様に、合計20個の物体が把持されるまで、次々に物体を提示する。

本実験でも握み易さを比較するために、立体視させた場合も合わせて行った。実験順序は、1)立体視あり、2)立体視なし、である。

実験3: 挟み込み/包み込みによる物体把持

「指先で挟み込んでも、手全体で包み込んでも物体を握めます」と教示して、予め仮想空間のランダムな位置に配置されたボタンの異なる複数の物体(合計20個の三角錐)の中から、指示した物体を握んでもらう。すべての物体が把持されるまで、未把持の物体を順次指示する。

本実験でも握み易さ比較のために、1)立体視・補助線あり、2)立体視・補助線なし、の場合について行った。

4.2 実験結果

図1(a)に実験1の結果を示す。挟み込み把持方式では、立体視や指先間の補助線表示により、把持所要時間の短縮や把持成功率の向上が可能であることが確かめられた。立体視・補助線ありの場合の把持成功率平均は74%である。

図1(b)に実験2の結果を示す。包み込み把持方式では、どの被験者も高い成功率(立体視なしの場合:平均85%)で物体を把持している。特に、立体視させた場合には、様々な形状の物体を失敗なく把持できることがわかる。

図1(c)に実験3の結果を示す。ほとんどの被験者が、簡単な包み込み方式で物体を把持しており、短時間での把持操作につながった。実験2に比べて把持成功率が低下しているのは、密集した物体群の中から指定物体を把持する際に、数回包み込み方式による把持を試みて失敗しているためである。例えば、包み込みによる把持を連続5回以上失敗した被験者を、図1(c)にて円で囲んで示した。これらの被験者は、もし包み込みによる把持しか利用できなければ、指定物体を把持できなかった可能性がある。しかし実際には、代わりに挟み込み方式を用いることで、種々の物体を把持できることが確かめられた。

このように提案する併用手法では、包み込み方式により簡単な把持を、また挟み込み方式により確実な把持を実現している。

さらに、本実験に使用した計算機(R4000,50MHz)上で、把持判定処理に要する時間を測定した。その結果、把持対象物体数が20個、200個のとき、処理時間は各々5.5ms, 66.9msであり、実時間で把持判定できることを確認した。

以上の結果から、提案する把持手法(挟み込み方式と包み込み方式を併用した手法)が有効であると結論する。

5. おわりに

挟み込み方式による把持成功率が包み込み方式に比べて低い原因のひとつに、実際には親指と人差し指を接触させているのに仮想手では接触しないという点がある。

今後は、実際の手の動きと仮想手の動きを一致させるという観点から、把持成功率の改善を図ってきたい。

参考文献

[1] 廣瀬: パーチャル・リアリティ応用戦略 一人工現実感の産業応用最前線一, オーム社(1992.4).  
 [2] 平池 他: 仮想作業スペースにおけるダイレクトモデリング手法, 情処第43回全大, 4F-13(1991.10).  
 [3] 平池 他: 仮想作業空間における3次元形状操作ツール実現, 情処研究報告92-HI-42, 42-13(1992.5).