

〔非公開〕

TR-C-0096

仮想空間における奥行き知覚に  
関する実験

移動視を用いた手振り認識に  
関する実験

渡部 敦志  
Atsushi WATANABE

内海 章  
Akira UTSUMI

竹村 治雄  
Haruo TAKEMURA

1 9 9 4 . 2 . 2 8

A T R 通信システム研究所

仮想空間における奥行き知覚に関する実験  
移動視を用いた手振り認識に関する実験

渡部 敦志 内海 章 竹村 治雄

1994年2月28日

# 1 仮想空間における奥行き知覚に関する実験

## 1.1 まえがき

テレビ会議のように相手の映像の方向が固定されているのではなく、通信ネットワークを用いて相手の動き情報を用いて常に視点位置に合わせた映像を供給したり、議論対象になる仮想オブジェクトを動かすことのできるシステムを臨場感通信会議という。このシステムの実現には立体表示技術が重要な要素を占めている。知能処理研究室では液晶シャッター式立体視メガネと大型スクリーンを用いた臨場感通信会議の表示システムを構築している。このシステムについて両眼視差による立体表示が正確に行なわれているかの検証を行なった結果、正しく瞳孔感距離を設定した時に両眼視差による表示位置の調節が十分な精度でできていることが確かめられた。ところで、本システムを含む多くの立体表示システムでは、瞳孔間距離を標準的とされる値に固定している。しかしながら、瞳孔間距離については個人差があるほか、一被験者に限っても輻輳角に伴って変化することが考えられ、これらにより両眼視差による知覚距離にズレが生じるものと思われる。そこで本研究では、まず輻輳変化によるズレが理論通りであるかどうかについての測定を行なった。その結果、輻輳変化によって予想されたよりも大きなズレが観測され、両眼視差以外の原因が関係している可能性が出てきた。より質の高い立体表示を行なう為にも、これらの要因の影響の程度を知ることが有用である。両眼視差以外の要因として目の持つ具体的には焦点調節機能、仮想物体の解像度の違い等がここではまず解像度の違いに注目して実験を行ない、前述の結果と比較することで奥行き知覚に及ぼす影響を検討した。

## 1.2 実験内容

### 1.2.1 被験者選抜試験

立体視検査装置を用いて、視力、斜位、奥行き知覚について測定を行なった。奥行き知覚については遠近の異なる五枚の板を両眼で見てもその遠近の順を決めてもらうことで正確さを調べた。測定は16人の被験者について行ない奥行き知覚が正確にできた5人に被験者として参加してもらった。

### 1.2.2 実験装置の構成と実験方法

今回実験に用いたシステム、用具は以下のものである。

- リアプロジェクションタイプの大型ディスプレイ
- 液晶シャッター式立体視メガネ
- マーカー支持台
- レーザーポインタ
- 顎台
- グラフィックスワークステーション

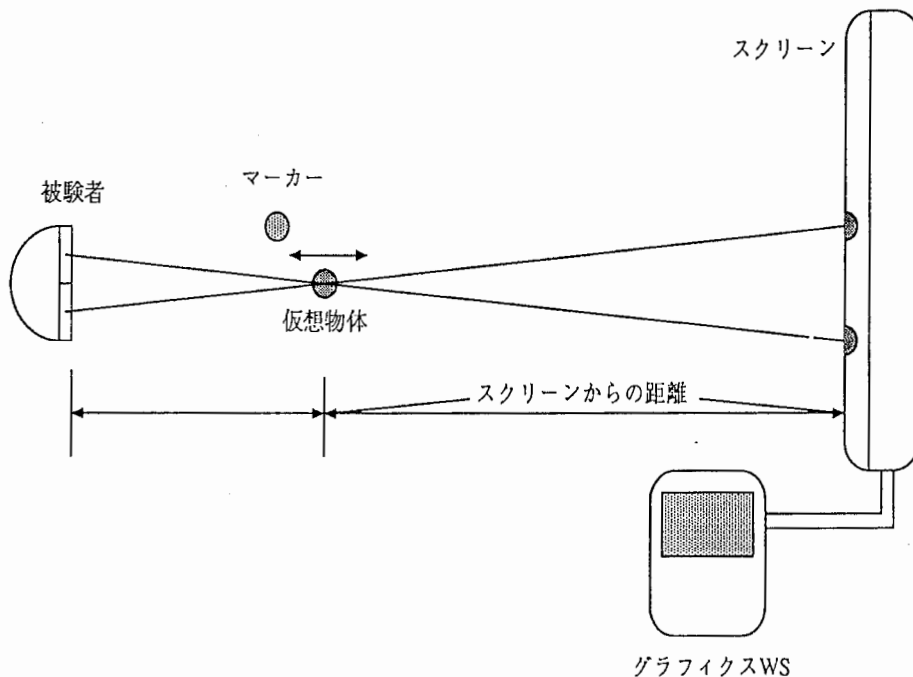


図 1: 実験図

グラフィックス WS によって大型ディスプレイに仮想物体を映写し、立体視メガネを用いて立体視を行なう。実験では、立体視されている仮想物体の知覚位置をスクリーンからの距離として記録する。この時規準となる円形のマーカーを測定すべき距離に設置する。マーカーは支持台に

セットして、レーザーポインタで照らしておく。このときスクリーンからの距離をマーカーの距離とする。次に仮想物体をマーカーの近傍に表示させ被験者はキーボード操作により仮想物体を奥行き方向の知覚がマーカーと一致する位置まで移動させる。移動が終ればシステムが持つその時点の仮想物体位置のスクリーンからの距離とマーカーの距離を記録する。同一のマーカー位置について6回の測定を行ない、仮想物体の初期位置はマーカーの近傍の6点がランダムな順序で選ばれるようにした。この作業を後述するいくつかの条件について行なった。

### 1.3 実験結果と考察

#### 1.3.1 IPD を変化させた時の知覚距離

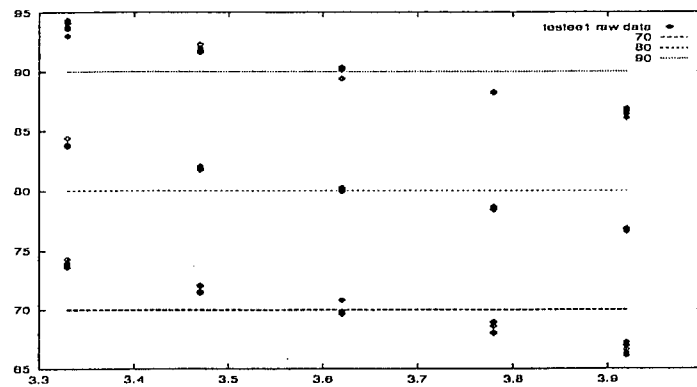


図 2: IPD 設定値と知覚距離 (全体)

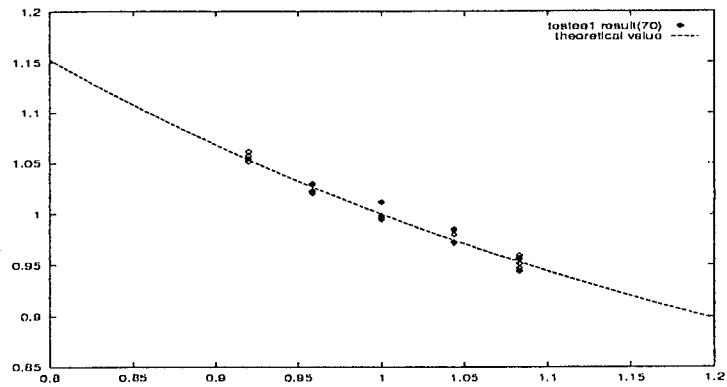


図 3: IPD 設定値と知覚距離 (70cm)

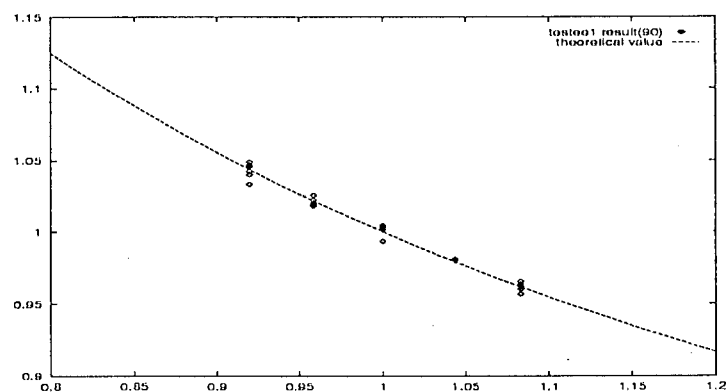


図 4: IPD 設定値と知覚距離 (90cm)

表示する仮想物体の IPD(瞳孔間距離) 設定を変化させた時、知覚距離が理論通りに変化しているかを調べた。まず、被験者とスクリーンの距離を 180cm に固定しマーカーをスクリーンから 90cm、80cm、70cm の位置にセットする。仮想物体の表示は予め計っておいた被験者の IPD を用いて、設定を  $IPD \pm 0.30cm \times n$  を  $n = 1, 2$  について行なった。これによって、IPD 設定の変化に合わせて表示位置の調節が正確に行なわれているかを知ることが出来る。図 2、図 3、図 4 では IPD 設定と知覚距離の関係を示した。図 2 ではマーカーをセットしたスクリーンからの距離にラインを引いてある。それぞれ、IPD 設定の変化に応じて知覚距離も変化していることがわかる。また、図 3、図 4 には IPD 設定に対する理論的な知覚距離を表した。どの図もほぼ理想的に IPD 設定と知覚距離が表されており正確な表示がなされているといえる。この実験に関して 4 名の被験者について実験を行なったがほぼ同様の結果が得られた。

### 1.3.2 輻輳角変化による知覚距離のズレ

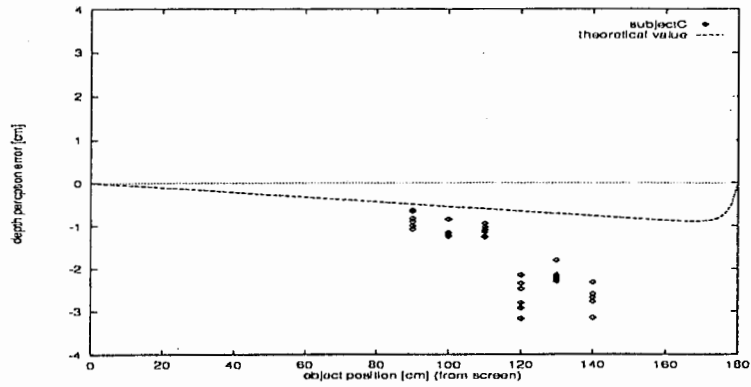


図 5: 知覚距離と輻輳角 (1)

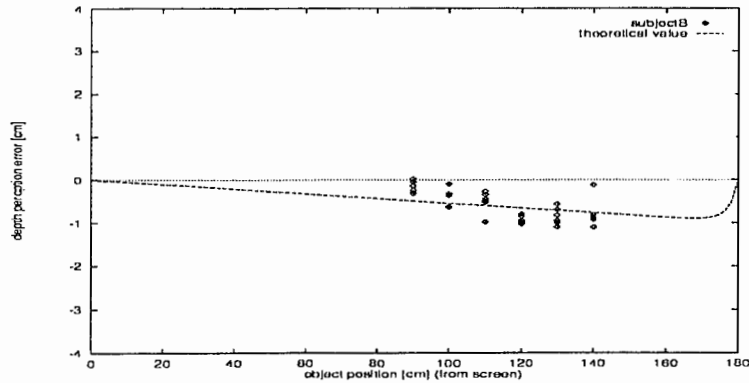


図 6: 知覚距離と輻輳角 (2)

前節の検証によって、このシステムについて両眼視差による立体表示位置の調節が十分な精度で出来ることが確認された。ここでは、輻輳角の変化に伴うズレが理論通りであるかについての測定を行ない、輻輳角変化による IPD の変化の影響を調べた。今回も前節と同様に被験者とスクリーンの距離を 180cm に固定しマーカーを各距離においた。IPD 設定は被験者の IPD 値のまま固定して、輻輳角の変化による影響のみを考えられるようにした。横軸はスクリーンからのマーカーの距離、縦軸は知覚距離のズレを表している。ここに書かれているグラフは 2 名の被験者について眼球の回転半径が標準的な値 1.0cm の場合のズレの計算値である。どちらの図も部分的なデータではあるが計算値のグラフとは大きく値がずれている。4 名について実験を行なったが、これは両眼視差以外にも知覚距離に誤差を与える要因がある可能性があることを示している。



### 1.3.3 輻輳角一定による知覚距離

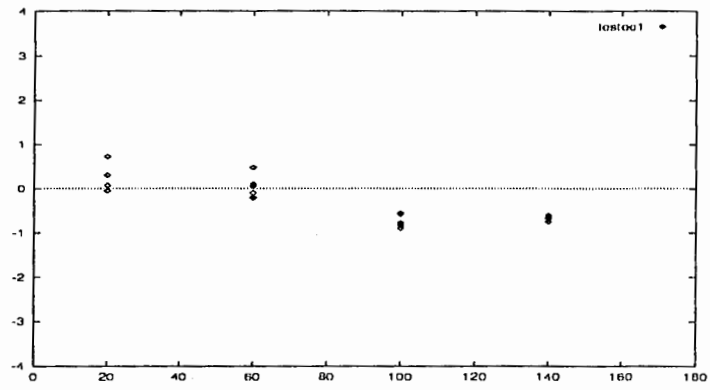


図 7: 輻輳角一定による知覚距離のズレ (1)

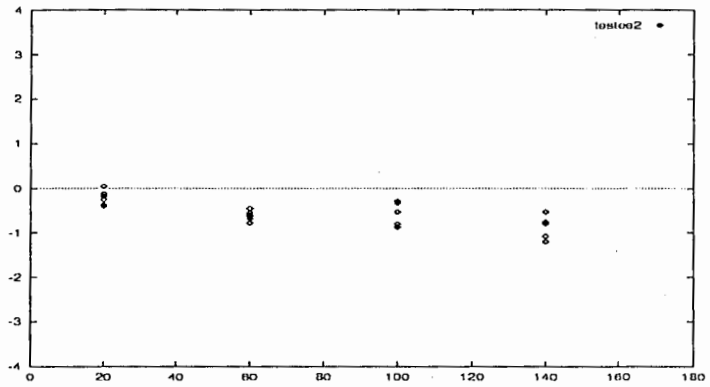


図 8: 輻輳角一定による知覚距離のズレ (2)

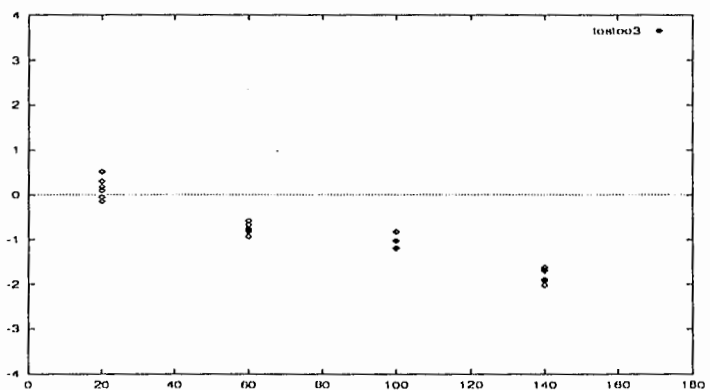


図 9: 輻輳角一定による知覚距離のズレ (3)

両眼視差以外の要因がある可能性が出てきたことから、両眼視差による影響を除去して他の要因の有無を4名の被験者について確認した。そこでここでは、輻輳角一定にする為にマーカールと被験者の距離を40cmに固定し、IPD固定の状態では被験者とスクリーンの距離を変化させる方法をとった。その結果、両眼視差以外の要因の影響がなければズレは表れないはずだが被験者全員にこのズレはが見られた。この結果から、このズレは両眼視差以外の影響があると考えられる。

### 1.3.4 解像度による影響

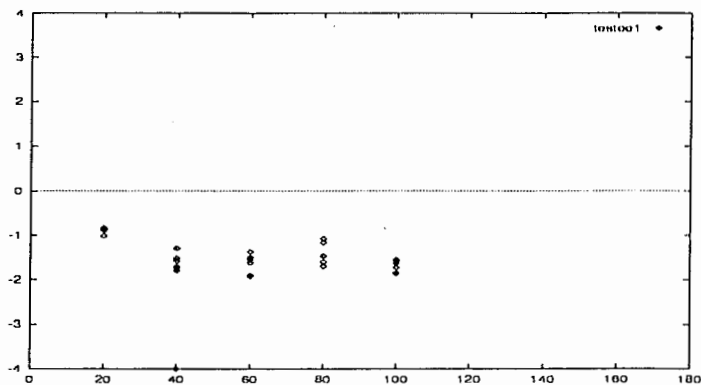


図 10: 解像度と知覚距離の誤差 (1)

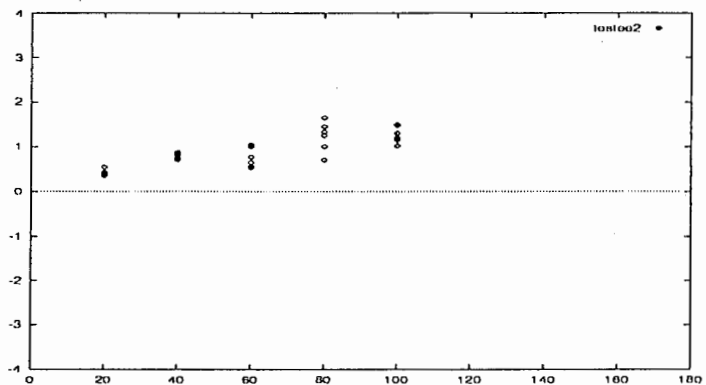


図 11: 解像度と知覚距離の誤差 (2)

これまでの実験の結果、両眼視差以外の要因による知覚距離への影響が存在すると考えられることから、新しい要因について実験を行なうことにした。ここでは、スクリーンに映し出される仮想物体の解像度の違いによる奥行き知覚に対する影響を測定した。これまで用いてきたプロジェクション方式のスクリーンでは仮想物体の解像度が低く表示された物体がぼやけた感じで見えていた。そこで、今回は解像度が比較的高いグラフィクス WS のディスプレイをスクリーンとして実験を行なった。両眼視差による影響を除去するため被験者とマーカーの距離は 40cm に固定してスクリーンとの距離を変化させる方法をとった。この結果、知覚距離にかなりのズレが生じることがわかった。また、被験者によって全く反対方向のズレを生じることがも判明した。当初、解像度が良くなれば知覚距離のズレは小さくなると思われたのだが、図のように距離のズレは依然残りこれまでなかった反対方向へのズレも生じた。この原因についてはまだつかめていないが、解像度が知覚距離への影響を及ぼしていることは確かめられた。

## 1.4 今後の課題

今回の実験で、両眼視差以外の要因の影響について解像度に関する実験を行なった。図 10、図 11 に示すように二人の被験者のみだが正反対になるような知覚距離の誤差が表れた。原因は今のところつかめてないが知覚距離へ影響を及ぼしていることは間違いのないと思われる。今後は、この原因を究明し解像度がどのように影響しているのかを明らかにすること。また、今回行なえなかった目の持つ焦点調節機能についての実験を行ない今回の結果と比較を行なうことが課題となる。

## 2 動視覚を用いた手振り認識に関する実験

### 2.1 まえがき

臨場感通信会議のように仮想空間を用いたインターフェースにおいて人間の動きを検出する方法として従来はデータグローブのように使用者が装着するタイプのセンサ類が用いられてきた。しかし、わざわざセンサを装着しなければならないのは手間がかかり面倒である。そこで現在、センサ類の装着を必要としない状態での実時間動き認識の研究が進められている。その中で、手の動きの実時間認識は、位置、向き、ジェスチャーの認識を二つのカメラによるステレオ視覚とパイプライン型の画像処理装置を用いることで実現されている。しかし、固定した一組のカメラを用いる方法では観測可能な空間が狭く限られるという欠点があり、使用時の制約が大きくなってしまふ。そこでこの点を改善する方法として、多数のカメラを用いて測定範囲を広げる方法、カメラを手の動きに合わせて移動する方法等が考えられている。今回は手の動きに合わせてカメラを追跡させる方法についての実験を行なった。カメラの移動にはロボットアームを用い、画像から得られる目標のカメラからの相対位置とロボットの現在位置を元に目標の絶対位置、次回の移動距離を計算した。実験では、これらの追跡動作が正確に行なわれているかどうかの確認を行なった。

## 2.2 実験内容

### 2.2.1 ロボットアーム制御プログラムの開発

今回カメラの追跡移動方法として、ロボットアームにカメラをとりつけ、これをカメラで捉えた対象物体のモニターにおける座標情報を用いて追跡させる方法をとったが、ここでは第一段階としてロボットアームを指定された位置に移動させることのできるプログラムの作成を行なった。

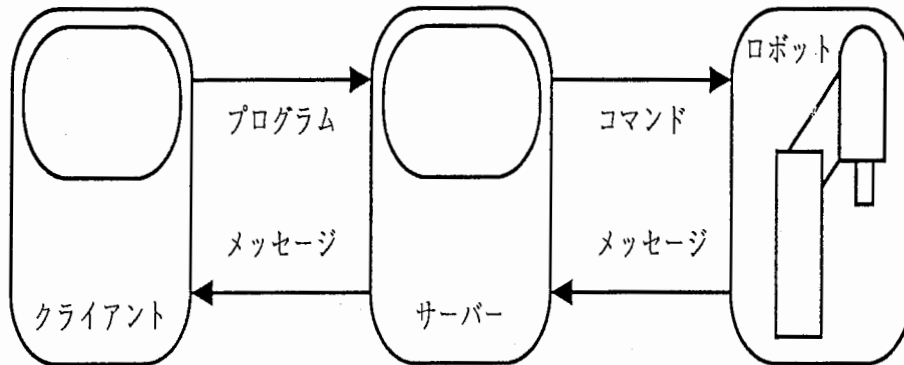


図 12: クライアントサーバシステム

図 2 は今回使用したクライアントサーバシステムを表している。クライアントはロボットアームの動作を決定し必要な各パラメータを TCP/IP プロトコルによりサーバに送る。サーバはロボットが理解できるコマンドに各パラメータを変換してシリアルラインを通じてロボットに送信する。また動作時にロボットから発行される位置情報、動作中、動作終了などのメッセージを制御に用いるためにサーバ側で読みとりクライアントへ伝える。

### 2.2.2 カメラパラメータの測定

カメラに映っている物体をモニターに出力した時の座標と物体の空間上の位置との関係を求める為に、基準点においた特徴点をカメラで捉えられる範囲内の領域においてカメラを走査させ、任意の位置で左右のモニターにおける座標  $(x_l, y_l, x_r, y_r)$ 、ロボットアームの座標  $(x_R, y_R, z_R)$ 、基準点の座標  $(X, Y, Z)$  を記録する。記録された値同士との関係を式にすると、以下のようになる。

$$A \left[ \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_R \\ y_R \\ z_R \\ 0 \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} x_r \\ y_r \\ x_l \\ y_l \end{pmatrix}$$

この A を作成する作業をキャリブレーションという (A は 4 行 4 列の行列)。ここでは 82 組の測定データから最小自乗法により行列 A を求めた。

### 2.2.3 カメラ移動位置の計算

次に、キャリブレーションで得たデータとカメラで捉えた対象物体のモニターにおける座標を用いてカメラを移動させるのだが、キャリブレーションにおいてモニターの座標も用いているので、対象物体が左右のモニターにおいて必ず捉えられていなければならない。そこでモニター

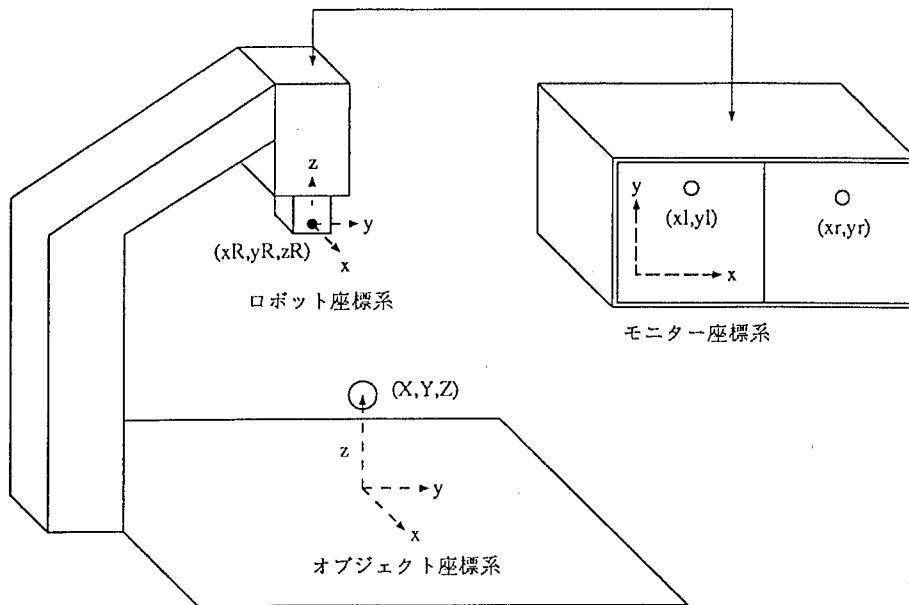


図 13: 各座標系

の映像領域を対象物体のある平面上に投影しその共通領域の中心に対象物体を移動させるようにカメラを動かすことで常にモニター内に物体を捉えられるようにカメラを移動させた。この流れを以下に示す。

1. 両カメラから対象物体のモニター上の座標を得る。
2. 1で得たデータとキャリブレーションデータより対象物体の座標を得て予測される移動点を求める
3. 左右カメラのモニター映像領域の投影領域を調べ、その共通領域の中心点を得る
4. 得られた中心点と予測移動点よりロボットアームの移動位置を求める

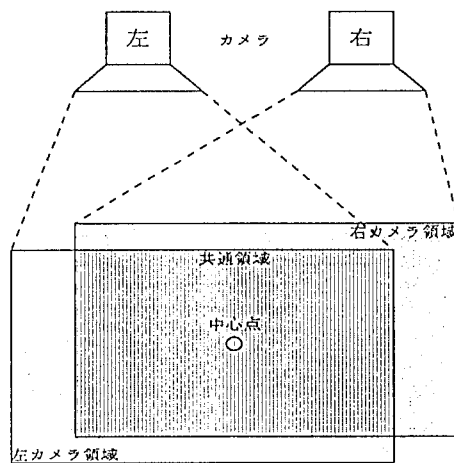


図 14: 映像領域の共通領域

## 2.3 実験結果と考察

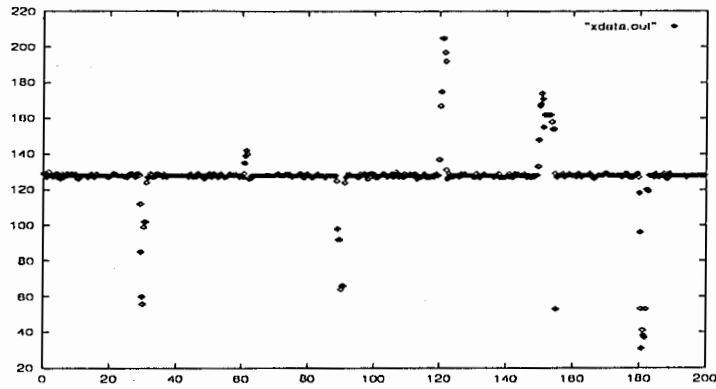


図 15: モニターにおける目標物への追跡動作 (x 軸)

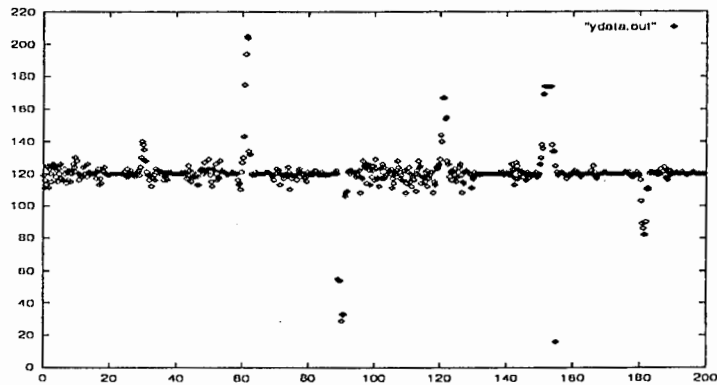


図 16: モニターにおける目標物への追跡動作 (y 軸)

ここに示した図はカメラに目標の追跡移動させた時の目標物のモニター上の座標を 0.25sec 毎に記録したものである。直線になっているのは共通領域の中心点でほぼ安定している為である。この実験では、目標物は約 30sec 毎に移動させた。このためグラフも 30sec 毎に動きを見せているが直後に安定点に復帰している。y 軸のグラフがあまり安定していないのはロボットの移動が速い為、カメラが y 軸方向に振動し、その振動をシステムが目標物の移動と誤ってしまい、これに追従した動きをしている為と思われる。



## 2.4 今後の課題

ロボットアームの制御によってカメラによる追跡が行なえるようになった。しかし、今回の実験では、対象物体に円形のマーカーを用いたので点による追跡したことになるが、これを実際の手画像で実験を行なう場合は対象物の中心を正確に捉える必要がある。また、追跡ルーチンに関して今回は重点をおかなかつたが移動視による手画像の認識が

### 参考文献

- [1] Stephen R.Ellis,Urs J. Bucher:Depth Perception of Stereoscopically Presented Virtual Objects Interacting With Real Background Patterns:the Psychonomic Society Conference in St.Louis 1992
- [2] Louis B.Rosenberg:The Effect of Interocular Distance upon Operator Performance using Stereoscopic Displays to Perform Virtual Depth Task.:IEEE 0-7803-1363-1/93 1993
- [3] 石淵耕一, 竹村治雄, 岸野文郎: 画像処理を用いた実時間手形状認識とマンマシンインターフェースへの応用: 電子情報通信学会秋季大会誌 1-132,1991
- [4] 石淵耕一, 竹村治雄, 岸野文郎: パイプライン型画像処理装置を用いた実時間手形状認識: 電子情報通信学会秋季大会誌 1-291,1992
- [5] Koichi Ishibuchi,Haruo Takemura and Fumio Kishino:Real Time Hand Gesture Recognition using 3D Prediction Model