

〔公 開〕

TR-C-0078

視線検出装置とマウスを併用  
する指示入力法の評価

伴野 明  
Akira TOMONO

鉄谷 信二  
Nobuji TETSUTANI

岸野 文郎  
Fumio KISHINO

1 9 9 2 . 1 2 . 1 0

A T R 通信システム研究所

# 視線検出装置とマウスを併用する 指示入力法の評価

ATR通信システム研究所

知能処理研究室

伴野 明, 鉄谷 信二, 岸野 文郎

## 目 次

1. まえがき	1
2. マウス単体による指示入力実験	2
2. 1 実験方法	2
2. 2 実験結果と考察	5
3. 視線検出装置とマウスを併用する指示入力実験	9
3. 1 視線検出方法と精度	9
3. 2 実験方法	10
3. 3 実験結果	13
3. 4 注視点とカーソルの軌跡	14
3. 5 注視箇所と注視時間の関係と考察	14
4. 注視点検出誤差をパラメータとした指示入力実験	20
4. 1 実験方法	20
4. 2 実験結果と考察	21
5. むすび	23
参考文献	24

## 1. まえがき

最近、画像処理技術の進歩により、カメラ画像から実時間で眼の特徴点を抽出し、視線を検出する装置が開発されつつある[1] [2]。これらの装置は、頭部に特殊な機器を装着することなく、また、頭部の動きを許容してディスプレイ上の注視点を求めることができる点で従来のアイカメラとは異なる。著者らも先に、顔上の三点と瞳孔を特徴点とし、ステレオ画像計測で求めた顔の位置と方向、および、瞳孔の位置から視線を求める手法を開発し、1～2度程度の検出精度が得られることを示した[3]。未だ、利用者の高速な動きに対しては追従性が悪い、検出範囲が十分に広くないなどの問題はあるものの、マン・マシンインタフェースでの入力装置として期待できる。

視線検出を入力に利用する方法は様々あるが[4] [5]、インタフェースでの基本機能である指示入力、つまり、ディスプレイ画面上の文字、アイコン、メニューなどをマウスで指示する従来の入力方法の代替えとして、または、この補助として利用することができれば効果的である[6]。

ところで、目標にカーソルを合わせる作業において、仮に視線の検出精度が十分に高ければ、目標を注視しながら、ボタン操作等によってカーソルを1回で目標内に移動することができる。しかし、実際には、視線検出装置には誤差があり、また、視線自体も注視点の回りに揺らぐ性質(固視微動)があるため[7]、目標が小さくなった場合には、1回のボタン操作でカーソルを目標に合わせることは困難である。

そこで、著者等は先に、検出された注視点位置にカーソルを発生させ、このときカーソルが目標から外れた場合には、マウス操作によりカーソルを目標内に移動修正する方法、即ち、視線とマウスを併用する指示入力法を提案した[8]。マウスのみを用いる従来の方法に比べ、指示入力時間や操作のし易さに大きな改善が見られると期待して、この方法を用いた簡単な指示入力実験を行ったが、指示時間では大きな差は見られなかった。この原因としては、i) 実際の画面に通常存在するウィンドウや文字などを省略し、単一色の背景中に指標やカーソルを表示すると言う特殊なケースで実験したこと、ii) 指標提示条件に関して、指標が比較的小さく、また、指標とカーソルの距離が短いケースが多く、本手法の効果が見え難い条件であったこと、iii) マウスのみでの操作において、実験開始時にカーソルが常に画面の中央に表示されるという条件であったため、カーソルの探索時間が短くマウス単体の操作の方に有利に働いたこと、などが考えられる。

そこで、本論文では、実際のワークステーションで表示画面を指示する場合にできるだけ近い条件で、指示入力実験を行い、本手法の有効性を実用に合った評価方法で分析した。2. では、先ず、本手法の比較として、マウス単体を用いたの指示入力法の評価について示す。提示される指標の背景が単一色の場合とウィンドウ、文字、図形などが表示されている場合との比較、カーソルがランダムな位置に現れる場合とあらかじめ決まった位置に現れる場合の比較などについて述べる。3. では、視線とマウスを併用する指示入力実験

について述べる。使用する視線検出方式とその精度について触れた後、指示入力時間、カーソル操作の容易性などについて、マウス単体の場合と比較する。また、4. では視線検出誤差を変化させた場合の指示入力特性についてシミュレーション実験を行い、指標の大きさと指示時間の関係などについて考察する。

## 2. マウス単体による指示入力実験

各種指示入力法を評価する際、マウスは比較としてよく用いられる。これは、マウスが広く用いられている入力装置であり、また、手で操作するものの中では、最も高速に2次元画面を指示できる優れた特性があるためである。

ところで、指示入力法の評価には、従来、指示入力時間、指示エラー率などが測られる。マウスを用いた入力法についても、目標の大きさ、目標までの距離などをパラメータとして、指示時間が測られ、これらの間には、Fiits's の法則と呼ばれる次の関係式が成立することが知られている[9]。

$$T_{D.o.s} = C + I_m \log_2(D/S + 0.5) \text{ (sec)} \quad (1)$$

$T_{D.o.s}$  : 指示時間

$S$  : 目標の大きさ (目標の一変の長さ)

$D$  : 目標中心までの距離

$C$  : 指示動作開始、終了のための時間 (定数)

$I_m$  : 認識-移動-修正サイクルにおける1サイクルに要する時間 (定数)

(1式は、 $\log_2(D/S + 0.5)$ を変数とすると、 $C$  と  $I_m$  により決まる直線であり、これらのパラメータが小さいほど指示時間は短く操作性が良いとされている。これまで、 $C$ 、 $I_m$  を求めた各種の実験が報告されているが、その多くはマウスで操作されるカーソルの初期位置が固定で、画面の背景が単一色と言う条件で実験されたものである。

しかし、実際のワークステーション (WS) のウインドウシステムなどでは、1つの画面に多くの文字、アイコン、図形などが表示され、また、カーソルは常に決まった場所にあるわけではない。従って、利用者が目標のところにカーソルを動かそうとした場合、先ずカーソルを背景の中から発見する時間が必要であり、(1式の $C$ 項は増えると思われる。また、発見後、カーソルを目標に向かって動かす場合には、背景がカーソルを見にくくするため  $I_m$  項の値も増えると思われる。そこで、視線とマウスを併用する指示入力法の評価に先立って、マウス単体の指示入力時間を実際のウインドウシステムをモデル化した環境で調べた。

### 2. 1 実験方法

ディスプレイに形状が正方形の目標とカーソルとして矢印をそれぞれ表示し、マウスでカーソルを操作し目標に合わせると言う実験を行った。ここで、指示入力時間に影響するパラメータとして、従来から知られている目標の大きさ $S$ 、目標とカーソルの距離 $D$ の他

に、カーソルの初期位置、背景の有無を加えた。

(1) カーソルと目標の表示方法

表示方法について以下に示す。

- ① 図1に示すように、ディスプレイ表示画面の4倍の面積を持つ2次元世界モデルを用意し、この中に目標の候補点を作成した。具体的には、原点の回りに表1に示すような同心円を作り、所定の円弧長に決まった数の候補点を設けた。
- ② この2次元世界モデルの一部を表示画面の大きさに対応する図1に太線で示すような枠で切り取る。切り取られた画面の中には所定数の候補点が存在する。
- ③ この候補点の中から1つを擬似乱数を用いて選択しその位置に目標を表示した。また、目標サイズは表1の中から同様に擬似乱数を用いて選択した。ここで、目標は発見を容易とするため表示中は点滅させた。これは、実環境の指示では、目標はカーソルを合わせる対象であり、場所はあらかじめ分かっている、または、発見しやすい状況にあることを考慮した。

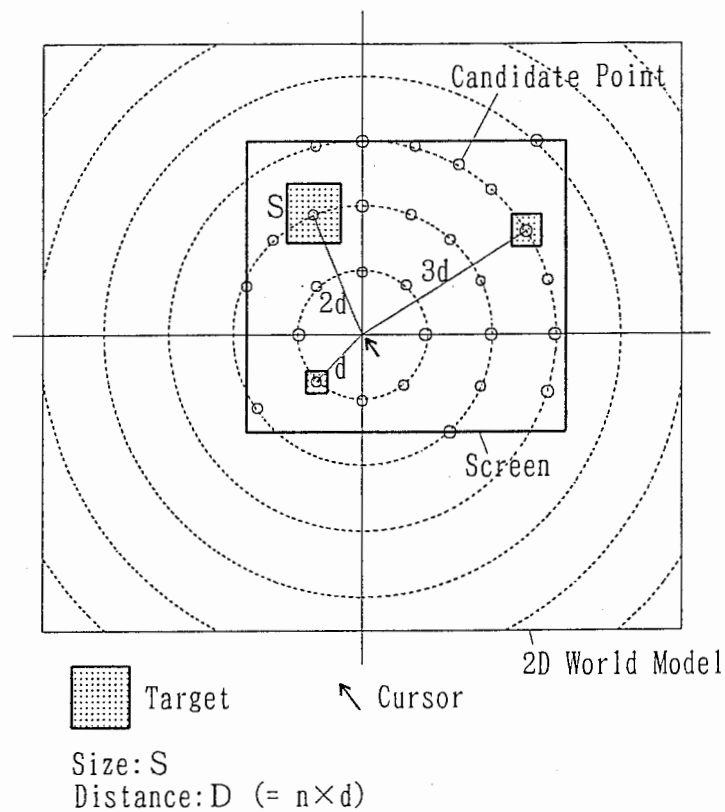


図1 目標とカーソルの配置方法

Fig. 1 Layout of cursor and targets

表1 指示入力実験のパラメータ

項目	条件	種類
背景	あり、なし	2
カーソルの初期位置	ランダム、 固定（左下コーナ）	2
目標距離 (同心円の半径)	25～350 mm (きざみ25 mm)	12
目標サイズ (一辺の長さ)	5～30 mm (きざみ5 mm)	6

④ カーソルは、2次元世界モデルの座標系原点に表示した。図1の太線枠の位置を変えることにより、表示画面上のカーソルの初期位置は任意に設定できる。実験では、カーソルの初期位置を指示入力毎にランダムに変化させるか、または、常に画面の左下コーナーに固定するか（この場合、太線枠は2次元世界モデルの第一象限）の2種類の中から選べるようにした。なお、後者において、カーソルを画面中央ではなくコーナーにしたのは、カーソルと目標の距離をできるだけ幅広く設定するためである。

#### (2) 背景画像

背景画像としては、マルチウィンドウシステムで通常使用される画面を参考に図2に示すようなモデルをCGで作成した。前述のカーソルや目標はこの背景画像の上にスーパーインポーズされる。

以上により、指示入力実験の条件は、表1の項目の組み合わせの中から選ぶことができる。実験に使用したワークステーションはIRIS 4D-70GTで、画面は19インチCRT、視距離は約60cmである。

実験の手順を以下に示す。

- i) 被験者は、最初、画面の左下コーナーを注視し(First Gaze Point: F.G.P. と呼ぶ)、指示開始のマウス右ボタンを押す。
- ii) ボタンが押されると、目標とカーソルは設定された条件で表示される。
- iii) 被験者は、目標とカーソルを発見し、カーソルをマウスで操作して目標内に移動し、指示終了を示すマウス左ボタンを押す。

指示開始のボタンを押してから終了のボタンを押すまでの指示時間、指示誤りの有無、および、カーソルの軌跡などを記録した。指示回数は、各条件において300回ずつで、実験に要した時間は1条件あたり約30分である。被験者は、マウス操作に経験のある男

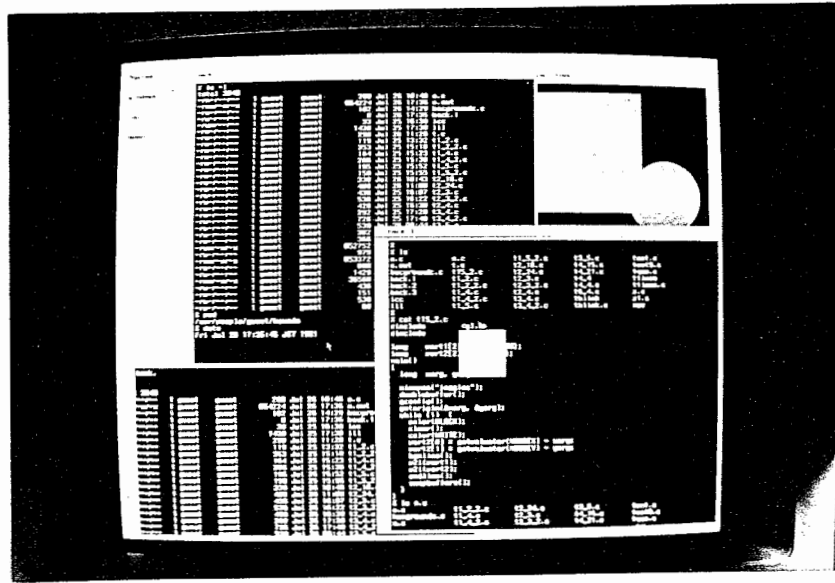


図2 背景画像上のカーソルと目標

Fig. 2 Cursor and target against the background image

性2名、女性1名である。また、実験終了後、カーソルの発見の容易性、カーソルの操作性について主観評価した。評価は5段階で、スコアは、困難：1、やや困難：2、どちらとも言えない：3、やや容易：4、容易：5とした。

## 2. 2 実験結果と考察

目標サイズを一定(1.0 cm)とし、カーソルから目標までの距離をパラメータとして、背景の有無、カーソルがランダムか左下固定点かの組み合わせ4条件で、実験した結果の代表例を図3に、また、被験者3名の平均値を表2に示す。同図より指示時間は、背景がなくカーソル初期位置が固定の条件(a)が、目標距離によらず最も短かく、続いて、背景ありでカーソルが固定(b)、背景なしでカーソルがランダム(c)、背景ありでカーソルがランダム(d)、の順で長くなる。また、標準偏差も同様に大きくなっている。なお、誤り率は、1~2%で大きな変化は見られなかった。主観評価のスコアは、指示時間が長いほど悪くなっている。

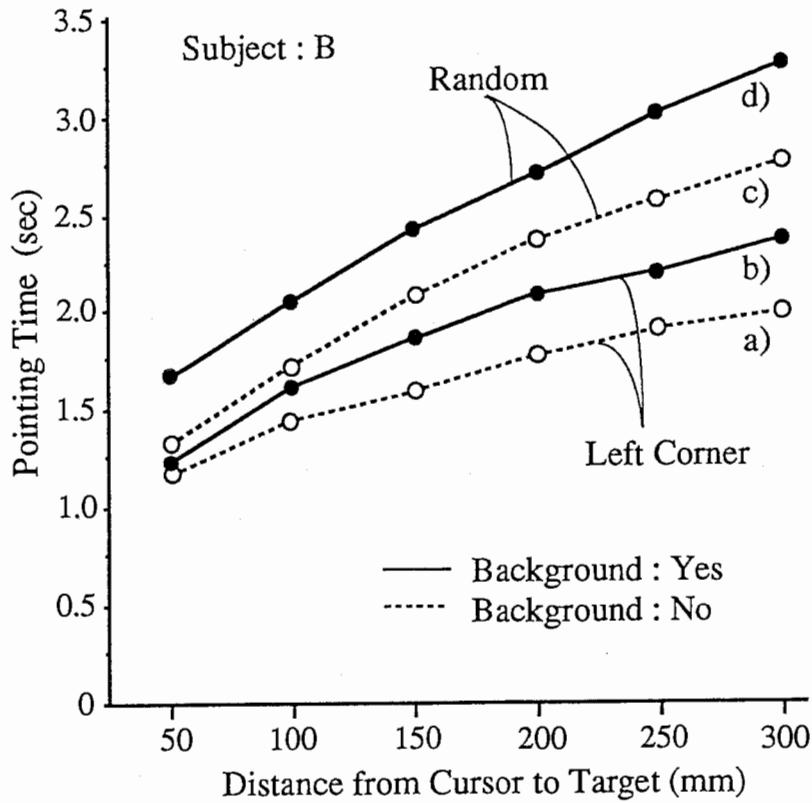


図3 カーソル・目標間距離と指示時間の関係

Fig.3 Relationship between target distance and pointing time

表2 マウスのみを用いる入力法の評価

(被験者3名の平均値)

項目	実験条件		指示時間 (秒) *	標準偏差 (秒) *	主観評価	
	カーソル	背景			カーソルの 発見	カーソルの 操作
a)	左下	なし	2.04	0.19	5.0	3.3
b)	左下	有り	2.35	0.22	5.0	2.3
c)	ランダム	なし	2.74	0.24	2.7	3.0
d)	ランダム	有り	3.38	0.44	1.3	2.3

条件 / 目標サイズ : 10 mm  
\* 目標距離 : 300 mm



図3において、カーソル初期位置の違いに着目すると、目標距離に対する指示時間の増加率(曲線の傾斜)は、カーソルがランダムに表示される場合の方が、左下固定点に表示される場合よりも大きくなっている。背景が同一で、カーソル初期位置の違い2条件(ランダムと左下固定点)を比較すると、被験者にとって、目標とカーソルを発見した後のカーソル操作は、2条件とも同じと考えてよい。従って、同図においてカーソルがランダムの条件の方が曲線の傾斜が大きい理由は、目標とカーソルの発見により多くの時間を必要とするためである。また、背景有無の比較で、有りの方が時間が長い理由としては、カーソルの発見が遅れることの他に、カーソル操作そのものに時間が掛かることが考えられる。

そこで、これを確認するため、Fitts'sの法則を適用する実験を行った。図4は、目標サイズ $S$ と目標距離 $D$ をパラメータとして、これらをランダムに変化させ指示時間を求め、(1式)に当てはめた結果である。ここで、 $R$ は相関係数である。カーソル初期位置が左下固定で背景がなし(a)、あり(b)の2条件を比較すると、(1式)の $C$ 項は0.7秒程度でほぼ同じであるが、 $I_m$ 項は(b)の方が0.07秒程大きくなっている。図4は代表的な結果であり、被験者によってこれらの係数にはばらつきがあるが、傾向としては同様であった。この結果から以下のことが考察される。

本モデルでは、 $C$ 項には、目標とカーソルの発見、認識、および指示終了ボタンを押す時間が含まれている。また、 $I_m$ の値は、指示動作が手の移動、誤差の知覚、誤差の修正の繰り返しで行われるとして、手の移動の1回の修正にかかる知覚から応答までの時間を表している。(a)と(b)は、共にカーソル初期位置は固定であり、また、目標は点滅して発見し易くなっているため両者において、 $C$ 項に影響する条件に差は少ない。従って、指示時間が増大する原因は、 $I_m$ 項の増加によるものと考えてよい。つまり、背景が有る場合は、ない場合に比べて、カーソルと目標を発見した後のカーソルの操作により時間が掛かることを示している。この理由としては、背景があると、カーソル操作中にカーソルを見失い易いことや、見失わないまでも、カーソルを追跡する負担が増すことが考えられる。また、図4(d)の結果では、 $C$ 項も増加しているが、これは、カーソルがランダムに表示されることによって、カーソル発見の遅れが加わったためである。以上の結果は、表2の主観評価の結果とも合致している。

以上、マウス単体による指示特性を評価したが、従来よく知られている実験条件(a)と今回の条件(d)の間には0.47~1.34の差が生じている。ワークステーションが使われる実環境では、背景やカーソルの位置はよく変化するため、視線とマウスを併用する指示入力法を比較するに当たっては、(d)に示した、背景があり、カーソルがランダムの条件と比較すべきことが分かった。

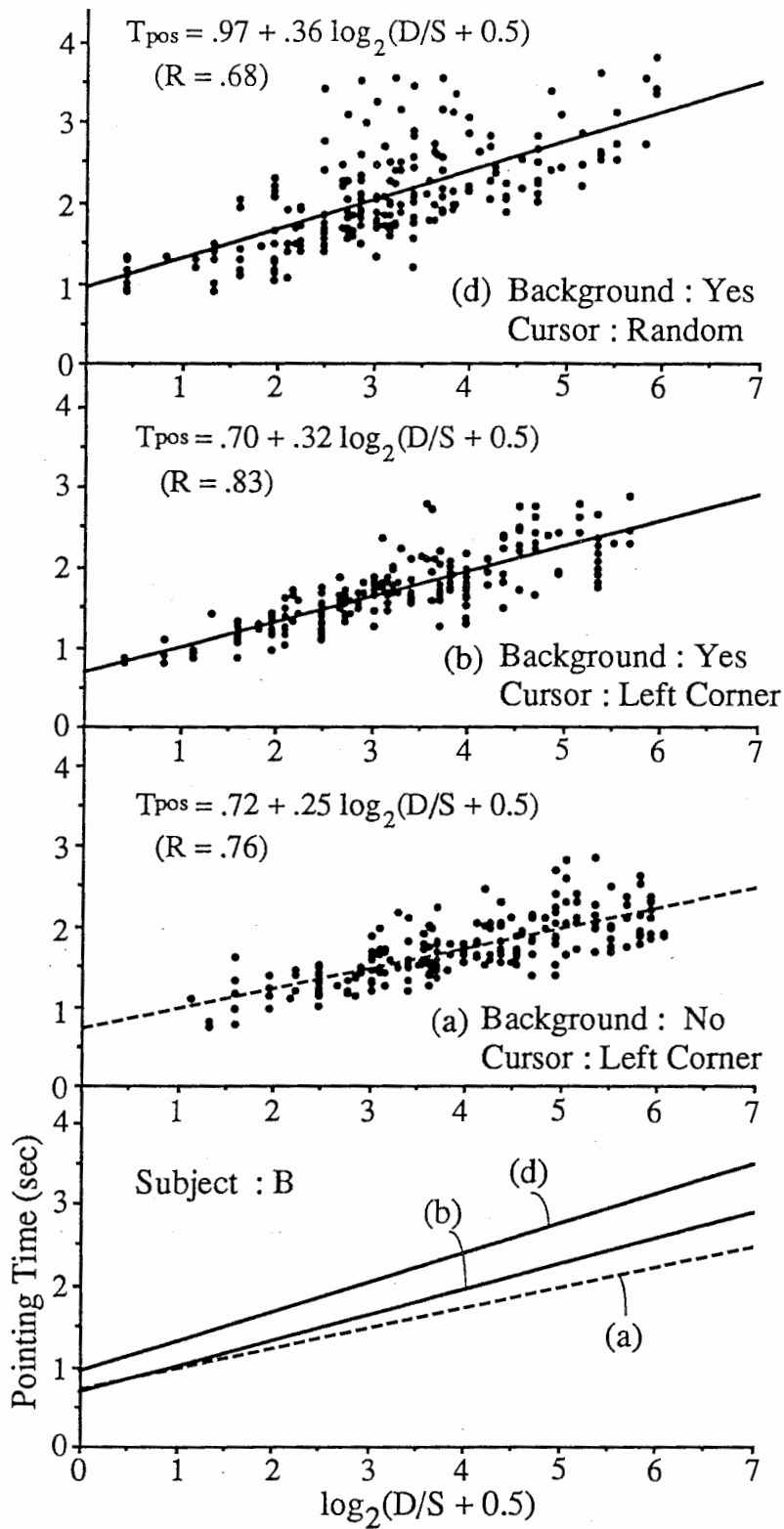


図4 マウス単体の指示時間特性

Fig. 4 Pointing time characteristic using mouse

### 3. 視線検出装置とマウスを併用する指示入力実験

2. と同様な表示環境において、目標の注視とボタン操作によって、注視点にカーソルを発生させ、これをマウスで微調整して目標に合わせる実験を行った。

#### 3. 1 視線検出方法と精度

視線検出には、瞳孔と角膜反射像を特徴点とし画像処理による手法を用いた。図5は、検出方法の原理を示したものである。眼球は、光学的には大小2つの透明球が中心を隔てて重なったモデルで近似できる。同図において、カメラ、および、光源Lは、注視対象（ここでは、ディスプレイ）の場所を記述する座標系  $(X(w) - Y(w) - Z(w))$  でその位置は既知とする。光源Lで眼を照射すると、一部の光は角膜表面で反射し、眼の中に虚像（角膜反射像と呼ぶ）を作る。ここで、眼に入射する光を平行光にすると、角膜反射像は光源の方向から観察した場合、同図のように、光源と角膜曲率中心Kとを結ぶ線上で、Kから  $r/2$  ( $r$ :角膜曲率半径) の点に生ずる。従って、瞳孔と角膜反射像を画像処理によって抽出し、その位置を求めれば、Kは(2)式で与えられ、光軸Aは(3)式で与えられる。

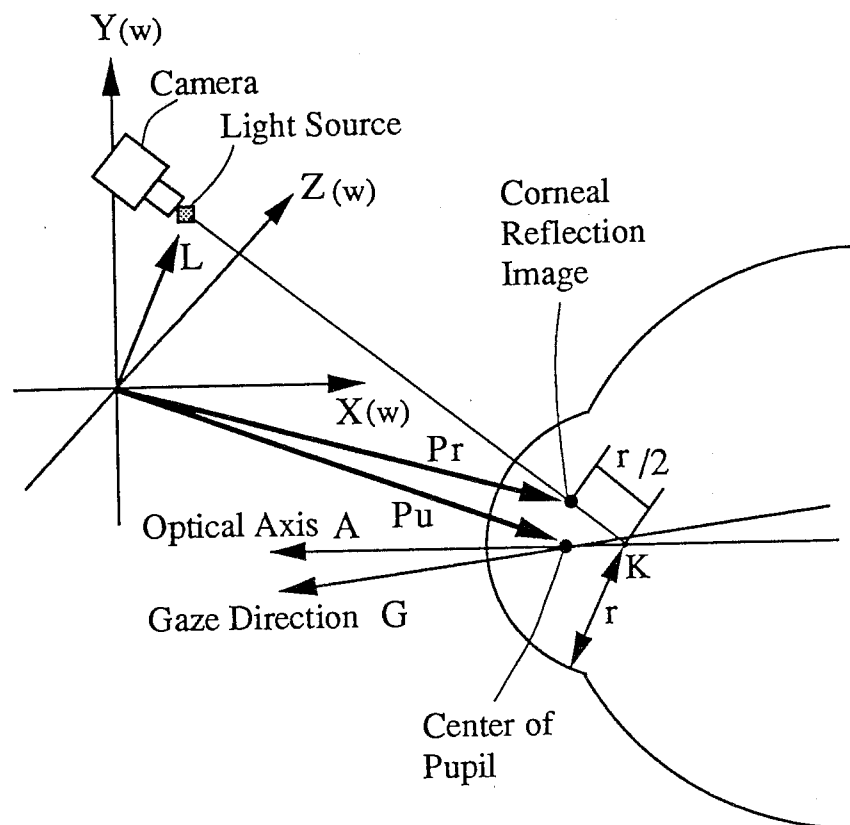


図5 瞳孔と角膜反射像を用いた視線検出法

Fig. 5 Gaze detection method using pupil and corneal reflection image

$$K = P_r + \frac{(P_r - L)}{|P_r - L|} \cdot \frac{r}{2}$$

$$A = t(P_u - K) \quad (t \text{ は距離のパラメータ}) \quad (3)$$

光軸と視軸の間には、数度の傾きがあり、個人差もあるが、この角度パラメータは、ディスプレイ画面にあらかじめ既知な点を表示し、これを注視したときに求めた光軸と比較することにより求めることができる[10]。以上のようにして視線が検出できる。

このような瞳孔と角膜反射像を用いる視線検出装置には、以下の2種類がある。

i) ディスプレイの近傍に光源とカメラを設置し、遠隔から眼の部分を撮影し、特徴点を抽出する。眼が撮影画面から外れないようにするため顔や眼の動きに合わせてカメラを駆動制御する。

ii) 図6に示すように、光源と小形カメラを頭部に装着し、ハーフミラーを用いて眼を撮影する。これにより、カメラ座標系で視線を検出する。また、カメラとディスプレイとの位置関係は、3次元磁気センサを用いて検出する。磁気センサと小形カメラのデータを統合して、ディスプレイ上の注視点を求める[11]。

i) は非装着式であるため、操作性の点からは望ましいが、カメラの高速制御など未だ課題もあるため、ここでは、検出速度を優先し、ii) の装置を用いた。ii) は、装着式ではあるものの、頭部の自由な動きを広い範囲で許容すること、頭部とカメラの相対的な動き（頭部における装置のずれ）もある程度許容すること、視界が広いことなどの特徴があり、1時間程度の使用なら利便性は非装着式と大差ない。表3に視線検出装置の性能を示す。また、図7は指示入力実験の開始前に測定した注視点検出結果の例である。各々の目標を約2秒間注視したときの結果を示している。ほとんどの点は視角にして、2.0度の範囲内に分布している。

図6において、注視点検出結果は実時間でグラフィックスワークステーションに送られ、カーソル表示などに用いられる。

### 3.2 実験方法

指示入力実験の手順を以下に示す。

i) 被験者は、最初、画面の左下コーナを注視し、実験開始を示すマウス右ボタンを押す。ここで、画面には、目標が表示される。

ii) 被験者は、目標を発見した後、これを注視し、マウス左ボタンを押す。ここで、検出された注視点にカーソルが表示される。この後のカーソル制御はマウスによって行う。

iii) 表示されたカーソルが目標内であれば、指示完了を示す2回目の左ボタンを押す。また、カーソルが目標からずれている場合には、マウスを操作し、目標内にカーソルを移動し同様に左ボタンを押す。

目標の表示条件は、背景有り、目標の距離とサイズは表1の中から選択した。なお、距離の起点は、被験者が最初に注視する画面左下コーナー (F.G.P.) とした。実験では、

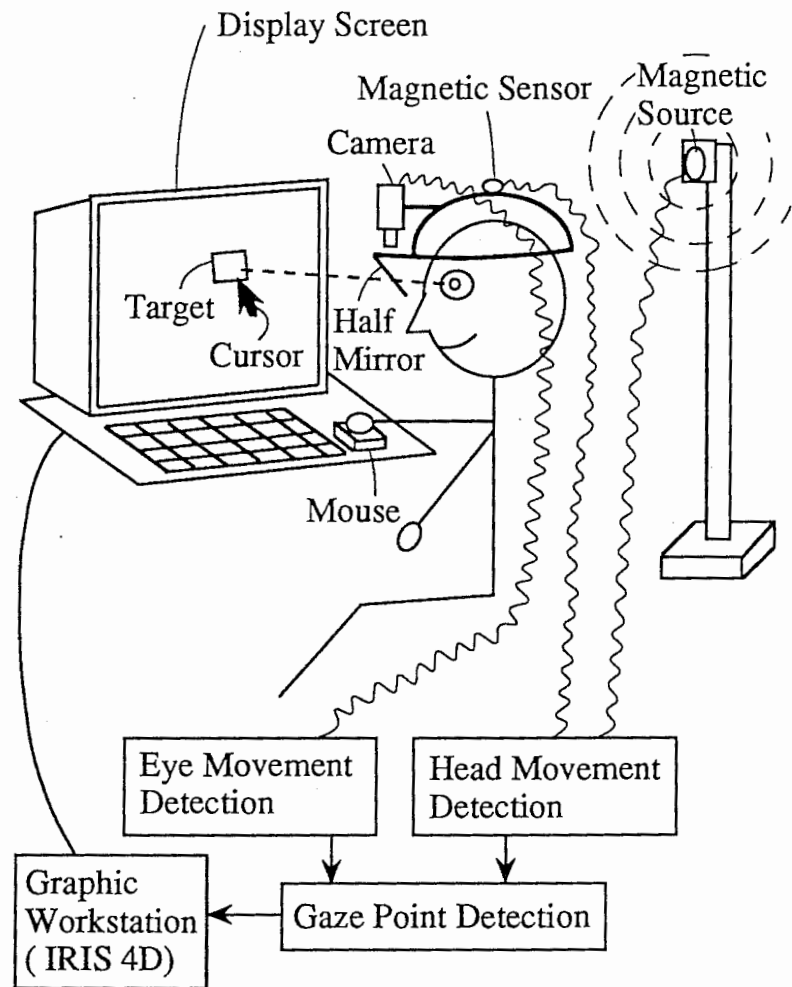


図6 視線とマウスを併用する指示入力実験

Fig. 6 Overview of pointing task experiment using gaze detection and mouse

表3 視線検出方式と特性

項目	条件と特性
検出方式	瞳孔・角膜反射像・磁気センサ方式
視距離	約60cm
検出精度	2度以下(視角換算値)
検出速度	20回/秒

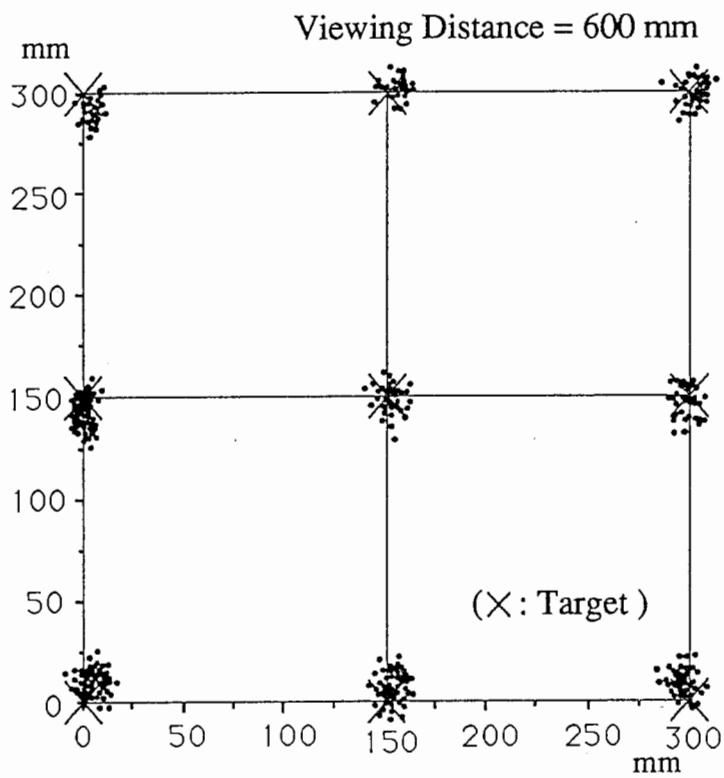


図7 視線検出装置の精度

Fig. 7 Accuracy of gaze detection system

本指示入力法に習熟するため、最初30回練習した後、1条件あたり、50回のデータを記録した。被験者は男性2名、女性1名である。

### 3. 3 実験結果

目標サイズ1 cmで、F.G.P.から目標までの距離をパラメータとした場合の指示入力特性を図8および表4に示す。指示時間について見ると、いずれの被験者の場合も距離による影響は少なく、1.20~1.63秒の間に分布している。また、標準偏差も小さく特性は安定している。被験者B、Cに対して、被験者Aの指示時間が全ての距離で0.25秒程小さくなっているが、この理由はB、Cが本手法に初めてなのに対して、Aは経験が有り習熟効果と見られる。図8の結果をマウスのみを用いた場合(図3)と比較すると、カーソルがランダムな位置に出る条件(d)との比較では、全ての距離において本手法の方が速くなっており、その差は、距離が短い場合で0.25秒、30 cmの場合で1.69秒であった。また、カーソルが左下固定点に出る条件(b)との比較では、距離が10 cm以上の範囲において本手法が速くなっており、距離とともにこの差は広がり、距離30 cmの場合では0.77秒速かった。なお、10 cm以下の範囲で本手法が遅くなる場合があるが、この理由は、i) 短い距離では目標とカーソルの発見の容易性に2方式で差

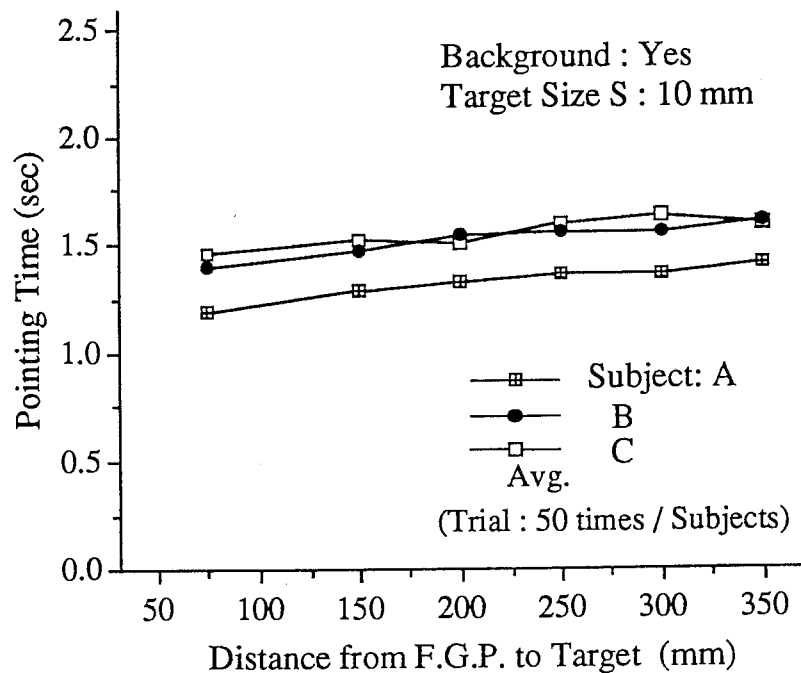


図8 本手法の指示時間特性 (1)

Fig. 8 Pointing time characteristic of proposed method (1)

が少ないこと、ii) マウスのみの場合、左ボタンは1回押せば良いのに対して、本手法では、目標の発見と指示終了の際に2回押す必要があること、などの差と思われる。また、主観評価の比較では、カーソルの発見、および、カーソル操作ともに本手法の方が良いスコアになっている(表4)。

図9は目標サイズと目標距離をパラメータとした場合の指示入力時間である。ここでは、マウスとの単純な比較を行うため(1)式を適用した。図4(d)との比較では、C項、 $I_m$ 項の両値について本手法の方が小さく、また、(b)との比較では、C項は同程度であるが、 $I_m$ 項の値は本手法の方が小さいことが分かる。 $I_m$ 項の値が小さいことは、 $D/S$ が大きくなるほど本手法が有効なことを示している。

### 3. 4 注視点とカーソルの軌跡

以上のように、2方式を指示時間と主観評価の点で比較すると、本手法の有効性は明らかである。しかし、この結果だけから操作特性が良いとするには、やや理由が不十分と思われるので、入力時の視線とカーソル操作の軌跡を2方式で比較分析した。

図10は、マウスのみを用い、カーソルをランダムな位置に表示する場合の代表2例で、Case(i)はカーソルと目標が比較的近い場合、Case(ii)は遠い場合である。ここで、実線と破線は、それぞれ注視点とカーソルの軌跡を示している。注視点の動きに着目すると以下のような特徴が見られる。

- ① (i)(ii)ともに、カーソルを発見するまでは注視点は大きく複雑に動く。
- ② カーソルと目標を発見した後においては、(i)では、目標周辺を注視しカーソルを移動する傾向が見られる。一方、(ii)では、カーソルを目標に近づけるまでは主にカーソルを注視し、近づいたところで、(i)と同様に目標を注視してカーソルを移動させる傾向が見られる。

図11は本手法の軌跡である。ここで、実線の●は、実験開始からマウスボタンを押してカーソルを表示するまでの注視点、△は、その後から指示終了までの注視点である。目標が表示されると、注視点はF.G.P.からほぼ直線的に目標に向かう。ここで、マウスボタン操作によってカーソルが表示されると、眼はこの位置を確認するため、高速な跳躍運動(サッケード)でカーソルに一瞬飛ぶことがあるが、その後は主に目標を見ながらカーソルを合わせており全般的に大きなサッケードは少ない。

### 3. 5 注視箇所と注視時間の関係と考察

以上のように、本手法とマウスのみ的手法とでは、1回の指示動作の中で眼の使い方が異なる結果が得られた。そこで、注視箇所と注視時間の関係を調べることによって、更に詳細な検討を行った。以下に方法を示す。

図11に破線で示すように、検出された注視点の固まりをグループ化して、注視箇所または注視対象を同定し、そこに属している注視点の数に検出周期0.0488秒を掛けて注視



表4 視線・マウス併用式の評価

被験者	指示時間 (秒) *	標準偏差 (秒)	主観評価	
			カーソルの 発見	カーソルの 操作
A	1. 3 6	0. 1 8	5. 0	4. 0
B	1. 5 6	0. 1 9	5. 0	5. 0
C	1. 6 3	0. 1 8	5. 0	5. 0

\*目標距離：300mmの例

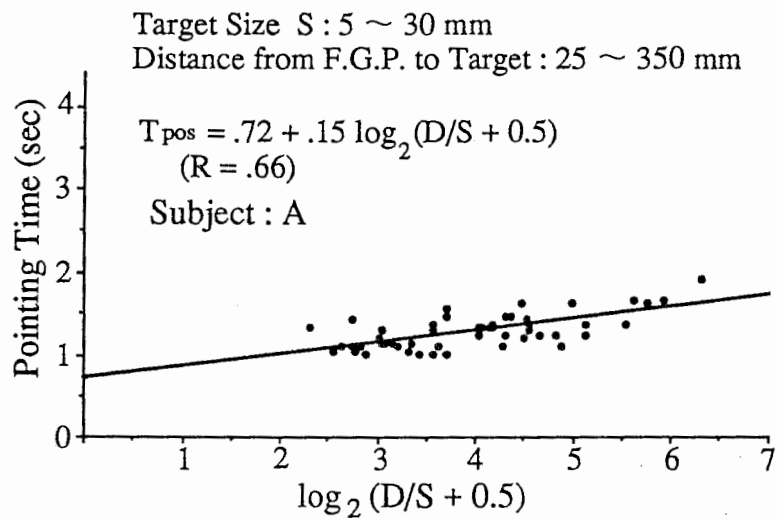


図9 本手法の指示時間特性 (2)  
 (SとDがパラメータ)

Fig. 9 Pointing time characteristic of proposed method (2)  
 (S and D are parameters)

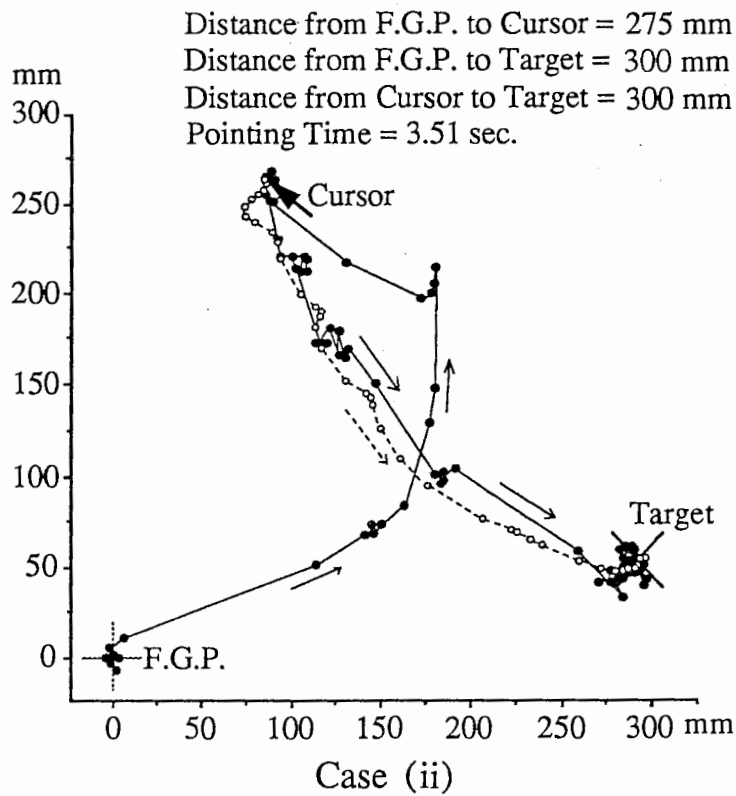
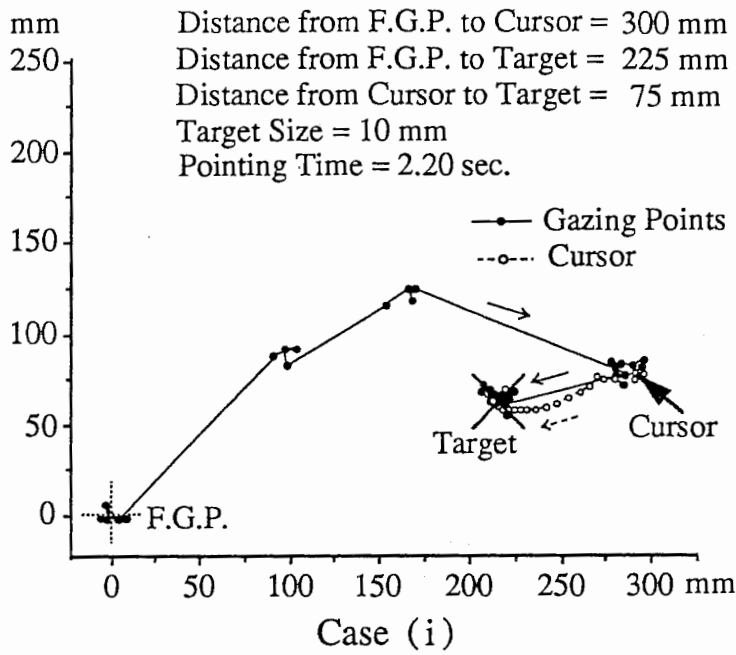


図 10 マウスを用いた場合の注視点とカーソルの軌跡

Fig. 10 Loci of gazing points and cursor when using mouse

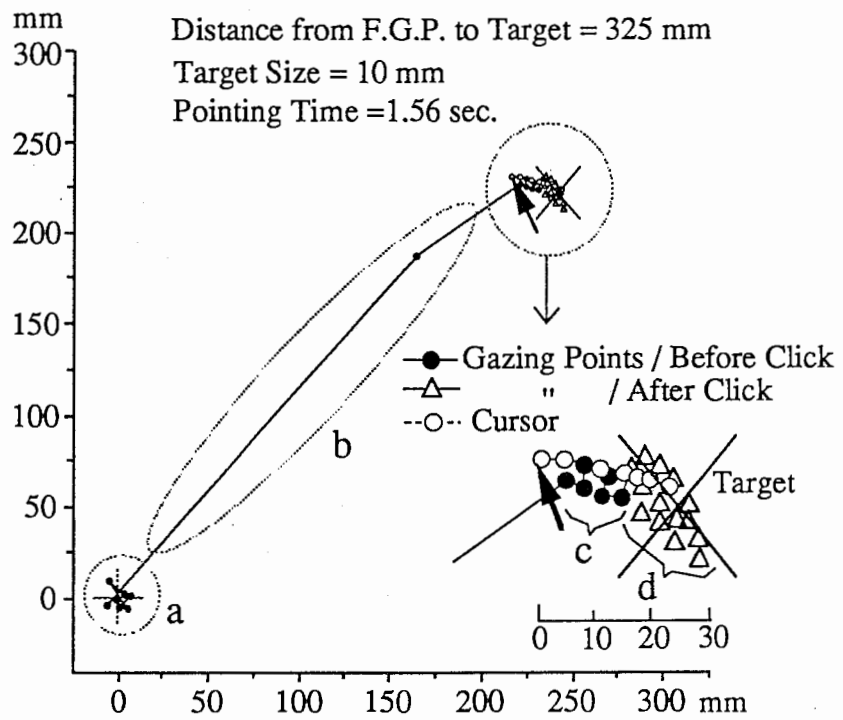


図 1 1 本手法を用いた場合の注視点とカーソルの軌跡

Fig. 11 Loci of gazing points and cursor in proposed method

時間を求めた。本手法では、前述の50回の指示入力実験データの各々についてこの処理を行い、各注視箇所について、注視時間の平均を求めた。また、マウスのみを用いる手法の分析では、図12に示すように、カーソルが左下コーナに表示され、他は本手法と同じ条件で実験した50回のデータについて同様な処理を行った。

結果を図13に示す。本手法では、注視箇所は以下の4つに分類できた。

- a) 実験開始後、注視点は直ぐには動かず、F.G.P.に停留する(0.36秒)。
- b) 注視点はサッケードで目標に移動する(0.12秒)。
- c) 目標を注視してカーソル発生ボタンを押す(0.21秒)。
- d) 更に続けて、目標を注視しながらカーソルを目標に入れて終了ボタンを押す(0.71秒)。

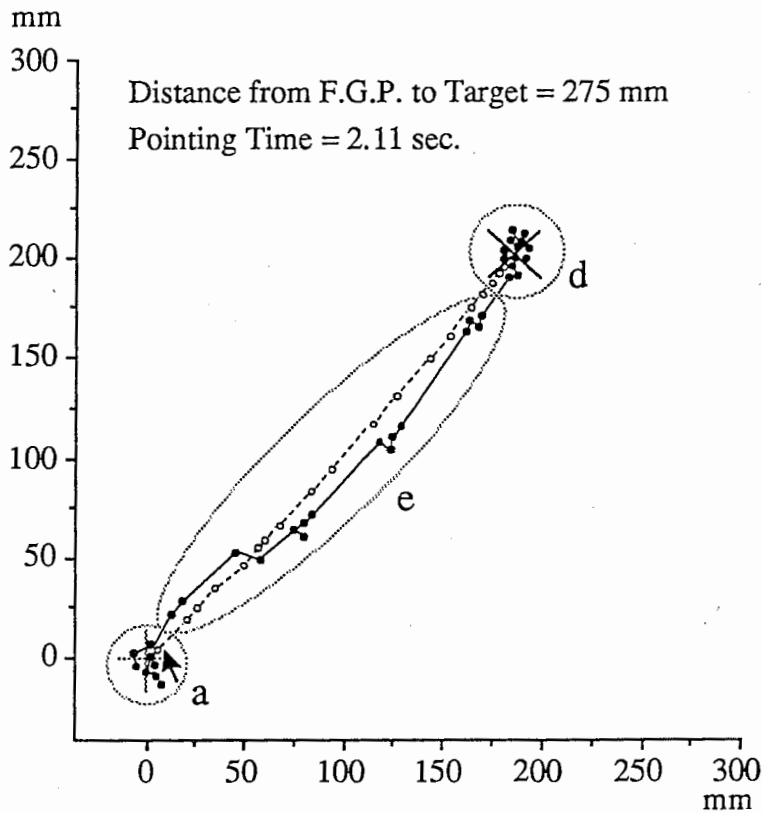


図12 注視箇所のグループ化

Fig. 12 Grouping of gazing points

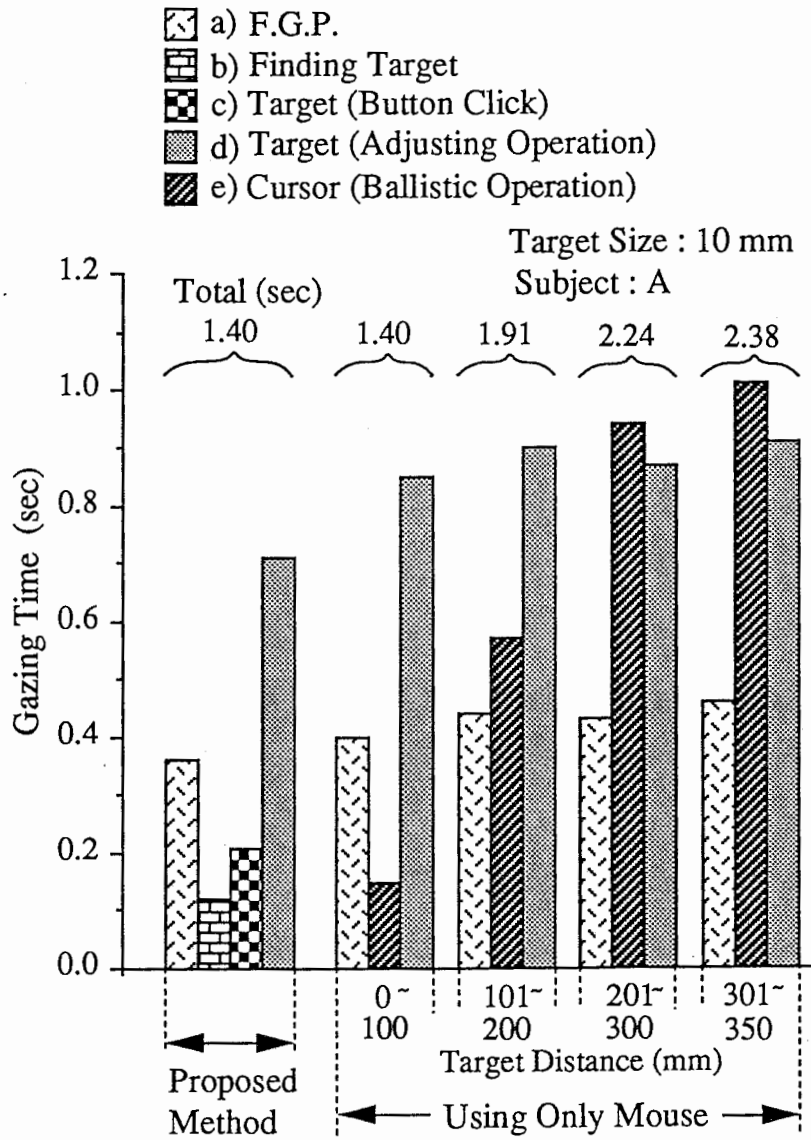


図 1 3 目標提示から指示完了までの注視対象と注視時間

Fig. 1 3 Gazing object and gazing time from target presence to pointing finish

なお、F.G.P.から目標までの距離の違いによる特性の変化は少なかったため、同図では1つにまとめて示した。

一方、マウスのみによる手法では、a)、e)カーソルを見てマウスを操作する、および、d)の3種類に分類できた。a)とd)は、カーソルと目標の距離が変化しても各々0.40~0.46秒、0.85~0.91秒と大きな変化はない。しかし、e)は距離に大きく依存し、10cm以下では0.15秒程度と短い、30cmを越えると1秒以上を必要としている。

図13の結果から、以下のことが考察できる。本手法、および、カーソルと目標の距離が短い場合のマウス操作では、a)を除けば、d)の目標を注視する時間が明らかに長い。これは、カーソルが周辺視により十分に制御できる範囲にあり、注視点を移動させる必要が少ないことを示している。一方、カーソルと目標の距離が大きい場合のマウス操作では、目標を注視していたのでは、カーソルの制御が困難であり、カーソルの動きに合わせて注視点を移動せざるを得ない状況が生じていることを示している。

また、これまでの報告から、マウス操作時における眼球運動は、目標近くまでカーソルを素早く動かすバリスティック動作と、目標近くで微調整を行うフィードバック動作の2相からなることが知られているが[12]、本手法では、注視点近くにカーソルが発生するため、カーソルの探索が不要なことと、バリスティック動作がほとんど省略できることが、3.3で述べたような、指示時間や主観評価の結果を良くしている理由である。以上のように、視線の動きの分析からも本手法が有効なことが分かる。

#### 4. 注視点検出誤差をパラメータとした指示入力実験

本指示入力法では、視線検出精度が入力法の性能を決める重要な要因になる。3.では、視線検出が比較的安定な装着式を用いたが、実用では非装着式が必要になる。この場合、必ずしも高い検出精度が得られるとは限らない。精度が低い場合、ボタン操作で表示されるカーソルは目標から外れることになるが、この距離が大きいと、前節の結果からも分かるように、本手法の有効性は失われることになる。そこで、視線検出誤差をパラメータとして指示入力時間を測定し有効な範囲を求めた。

##### 4.1 実験方法

視線検出装置の精度を実際に変化させて実験することは難しいため、ここでは、カーソルを目標の回りに所定の誤差で変化させて表示するシミュレーション実験を行った。3.2の実験方法と比較して、異なる点は以下の通りである。

実験開始後、目標を注視して左ボタンを押すと、図14のように被験者の視点と目標の中心を結ぶ線分の回りに所定の誤差角を持つ線分が作られ、この線分が画面と交差する点にカーソルが表示される。カーソルの表示方向は目標の回りに設けた候補点をランダムに

Candidate Points of Cursor

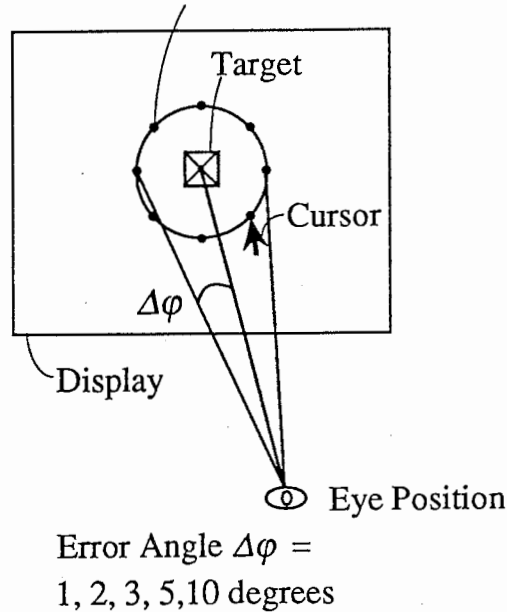


図14 視線検出誤差の発生方法

Fig. 14 Gaze point detection error generation method

選択することで決めた。なお、視距離は60 cmである。また、誤差角 $\Delta\phi$ はパラメータであり、図14の中から選べるようにした。

#### 4. 2 実験結果と考察

各視線検出誤差について、300回づつの指示入力実験を行い、目標サイズと指示時間の関係について整理した結果を図15に示す。同図および注視点の軌跡から以下のことが分かる。

① 視線検出誤差が1度の場合： 目標サイズが2 cm以上では指示時間は0.9秒程度でほぼ同じである。また、2 cm以上では少しずつ増加している。この理由は以下のように考えられる。誤差1度は、画面上では半径約1 cmの円内に相当する。従って、一辺が2 cm以上の目標の場合は、カーソルが目標内に現れ、マウスを動かす必要がない条件に相当する。目標の発見、カーソル位置の確認、および、ボタン押しにかかる時間に変化が少ないため同様な指示時間になる。一方、2 cm以下では、マウスによるカーソルの調整操作が必要なため増加する。

② 視線検出誤差が3度以下の場合： カーソル表示後の注視点の軌跡は、目標とカーソル間を直線的に動くまたは目標から動かないなど比較的単純であり、カーソルの表示と同時にその位置を確認したと思われる動きを示す。また、マウスのみを用い、カーソルがランダムに出る条件(図15破線)と比較すると、平均指示時間から標準偏差を引いた時間

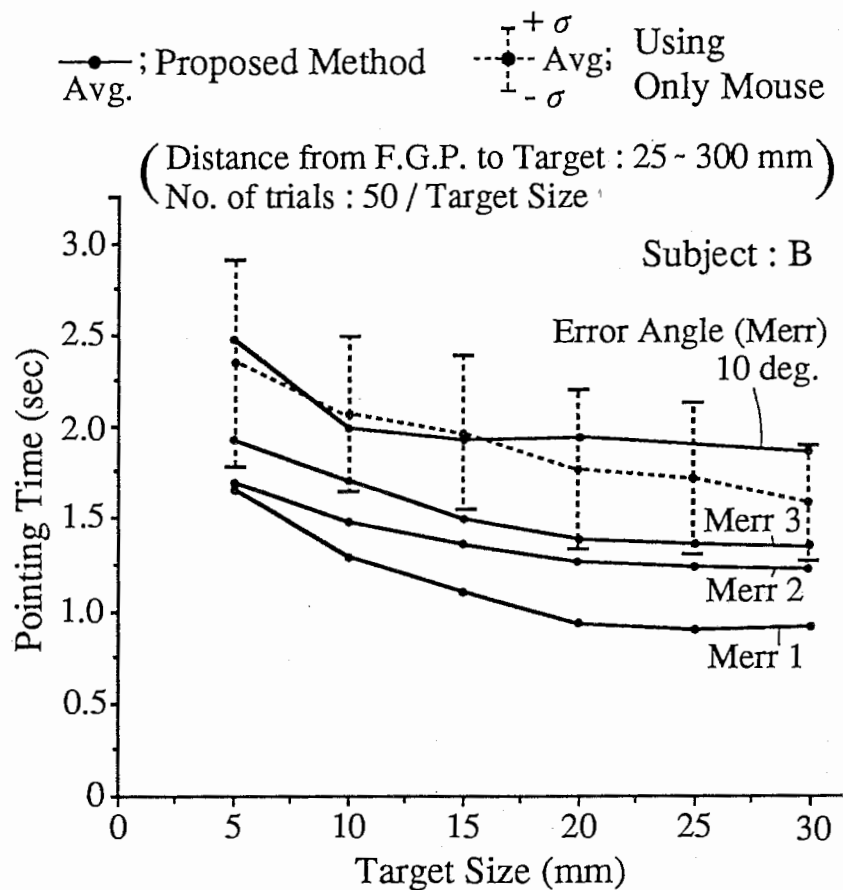


図15 注視点検出誤差と指示時間の関係

Fig.15 Relationship between gaze detection error and pointing time



に対しても本手法は同等以下である。

③ 視線検出誤差が10度の場合：カーソルを表示後の注視点の軌跡は複雑であり、カーソルを探索しているような動きが見られる。また、指示時間もマウスと比較して必ずしも優位ではない。

以上より、視線検出誤差3度程度が本手法の有効範囲と言える。

## 5. まとめ

本論文では、目標の注視とボタン操作によって、注視点にカーソルを発生させ、これをマウスで微調整して目標に合わせるという実験を通じて、実用上の表示内容で視線検出を指示入力に使用した際の有効性について検討し、以下のことを明らかにした。

(1) 視線とマウスを併用する本指示入力法は、マウスのみによる指示入力法に比べて、指示時間が短く、また、カーソルの発見、および、操作性に関しても、ともに良い主観評価を得た。

(2) 指示入力時の注視点の軌跡を分析した結果、本手法では、目標を注視してカーソルを操作しており、カーソルを探索するようなサッケードは少なかった。この点からも操作性が良い理由が説明できた。

(3) 視線検出誤差と指示時間の関係を調べた結果、誤差が3度以下であれば、マウスの場合より、指示時間は短く有効である。

今後の課題としては、

(i) 本手法では、カーソル発生時と指示終了時の2回ボタンを押す必要があり、指示時間を増やす要因になっているため、ボタンを押した時にカーソルを発生し、放した時に入力を完了するなどの手法を取り入れて時間短縮を図ること、

(ii) 注視点の検出精度を上げるため、視線の揺らぎを平滑化するフィルタを導入すること、

(iii) 実際のウィンドウシステムに組み込んで応用実験を行うこと、などが考えられる。これらについては、引き続き検討を進める。

## 謝辞

本研究は(株)ATR通信システム研究所においてなされたものであり、本研究を進めるに当り御指導頂いた同所、葉原耕平会長、寺島信義社長、山下紘一前社長、同所知能処理研究室、小林幸雄前室長に深謝致します。また、被験者を快く引き受けて頂いた同研究室内の各位、および、討論頂いた飯田宗夫元研究員に感謝致します。更に、プログラム作成および実験に協力頂いた西川栄司氏、佐藤裕美嬢に感謝致します。

## 参考文献

- [1] Merchant J., Morrissette, R. and Porterfield L. J. : " Remote Measurement of Eye Direction Allowing Subject Motion Over One Cubic Foot of Space" , IEEE Trans. on Biomedical Engineering, Vol. BME-21, No. 4, pp. 309-317(1974. 07).
- [2] Hutchinson T.E., White K.P., Martin W.N., Reichert K.C. and Frey L.A. : " Human-computer interaction using eye-gaze input " , IEEE Trans. Systems, Man & Cybernetics, 19, 6, pp. 1527-1534(1989-11).
- [3] 伴野 明, 岸野文郎, 小林幸雄 : " 瞳孔の抽出処理と頭部の動きを許容する視線検出装置の試作" , 信学論, D-II, (投稿中)
- [4] Beringer B.D. and Scott J. : " The long-range light pen as a head-based user-computer interface: Head-mounted "sights" versus head positioning for computer access by the disabled " , PROCEEDING of the Human Factors Society -29th Annual Meeting-, pp. 114-118(1985).
- [5] Glenn A.F., Iavecchia P.H., Ross V.L., Stokes M.J., Weiland J.W., Weiss D. and Zaklad L.A. : " Eye-voice-controlled interface" , Proceedings of the human factors society, 30th Annual meeting, pp. 322-326(1986).
- [6] Ware C. and Mikaelian H.H. : " An evaluation of an eye tracker as a device for computer input" , CHI+GI' 87 Proceedings. ACM, pp. 183-188 (1987).
- [7] 山田光穂, 福田忠彦 : " 画像における注視点の定義と画像分析への応用" , 信学論 (D), J69-D, 9, PP. 1335-1342(1986-09).
- [8] 飯田宗夫, 伴野 明 : " 頭部の動きを許容した注視点検出装置と指示入力への応用" , 信学論, D-II, J74-D-II, 4, pp. 520-527 (1991. 04).
- [9] Card K. S., Moran P. T. and Newell A. : " The Psychology of Human-Computer Interaction " , Lawrence erlbaum associates (1983).
- [10] 伴野 明 : " ステレオ画像計測を用いた視線検出法の提案" , テレビ技報, Vol. 14, No. 36, pp. 19-24 (1990. 06).
- [11] "Head mounted eye tracking system instruction manual model 4100H " , Applied Science Group, Inc. (1990).
- [12] 吉田 剛, 田村 博 : " マウス操作における眼球運動の解析" , 4th Symposium on Human Interface, pp. 287-290(1988. 11).