

## VR 空間における視線入力に関する基礎的検討

村田朋来<sup>†1</sup> 盛川浩志<sup>†2</sup> 小宮山摂<sup>†2</sup>

**概要:** VR 空間内で視線情報を利用した注視入力作業を行う場合、実空間で PC モニターを用いる入力と異なり、対象までの距離が様々となる点や HMD 固有の輻輳と調節の不一致が問題になると考えられる。また、VR 空間を遮蔽しないよう入力用ボタンはなるべく小さな面積に収めることが望ましい。この研究では、まず小さな面積で済むフリック方式の有効性を検証した。続いて HMD 使用時の入力ボタンまでの奥行き距離が疲労や入力精度に与える影響を調べるために、ボタンまでの奥行き距離を 3 条件（近距離：0.3m, 中距離：3m, 遠距離：20m）設定し、各条件について注視入力の作業時間とエラー率の計測、主観評価アンケートを行った。また、近距離時は輻輳角が大きくなることから、近距離時のみ、視線情報として使用する眼を両眼の平均と優位眼のみの 2 条件設定し、差異を検証した。実験の結果、主観評価においては「眼の疲労度」「首の疲労度」「視線移動に対する疲労度」の 3 つの項目において、遠距離のボタンが近距離のボタンと比較して優れていることが分かった。

**キーワード:** 視線入力, VR

## Experimental Investigation on Eye – gaze Input in VR

TOMOKI MURATA<sup>†1</sup> HIROYUKI MORIKAWA<sup>†2</sup>  
SETSU KOMIYAMA<sup>†3</sup>

### 1. はじめに

近年、新しいヒューマンコンピュータインタラクションの手法として、コンピュータにより映像・音響などの刺激をリアルタイムに生成し、利用者に本当にその空間にいるかのような没入感を感じさせるバーチャルリアリティ (VR) が人々の身近なものになりつつある。通常のアプリケーションと同様に、VR のアプリケーションにおいても、対象の選択や、文字の入力などを行う場面が出てくるが、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を頭部に装着するため、マウスや物理的なキーボードを使うことが困難である。そのため、様々な手法が検討されているが、Bowman ら[1]の研究では、音声認識、タブレットとペンで制御される仮想キーボードなどのいくつかの方法を比較したが、どれも高いレベルのパフォーマンスが得られていない。

一方、近年視線計測が可能な HMD が発売されたことから、文字入力や対象の選択に視線入力を用いることも有力な手法の一つである。そこで本研究では、HMD 装着時の視線入力に関する基礎的な検討を行うことを目的とする。

VR 空間に視線入力用のボタンを配置することを想定した場合、HMD の視線計測の精度の制限からボタンサイズをある程度大きくする必要があり、50 音全てのボタンを配置すると視界の広い範囲をボタンが占めることになり、VR 空間の視界を遮るため、なるべく面積を取らないボタン配置

を検討する必要がある。

次に、HMD のような 2 眼立体視におけるモノの見え方は現実世界とは異なり、輻輳と調節の不一致が生じる。現実世界では注視対象に輻輳と調節が合っているのに対し、VR 空間内では、輻輳は注視対象に、調節は VR の映像を表示するディスプレイに合っている。この不一致が奥行き距離の知覚に違和感を与えたり、眼の疲労に繋がると言われている[2]。視線入力時にはある程度長い時間の注視が必要となるため、この不一致がより大きな影響を及ぼす可能性がある。しかし、実用上は、VR 空間における入力用ボタンは近距離に配置せざるを得ない場合が多いと考えられることから、ボタンまでの距離と視線入力のしやすさの関係に関する知見を得る必要がある。

本稿ではまず、2D のモニターを用いて必要な面積の小さいボタンで入力が可能なフリック方式の検討を行い、次に HMD 装着時のボタンの提示距離の検討を行う。

本研究ではヘッドマウントディスプレイ装着時の視線入力に関する基礎的な検討を行うことを目的としている。まず、提案されている VR 空間における視線を用いた入力手法の紹介を行う。

<sup>†1</sup> 青山学院大学理工学研究科理工学専攻知能情報コース

<sup>†2</sup> 青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科

## 2. フリック動作を模した視線入力[3]

### 2.1 概要

2D のモニターにおける視線による文字入力の手法として、ディスプレイに 50 音すべてのひらがなを表示し、ある文字における視線の停留時間が一定時間を越えた場合にその文字が入力されるという方法がある[4]。しかしこの手法は前述したように、HMD のように視線計測の精度に制限がある場合、表示するボタンのサイズを大きくする必要があり、視界の多くをボタンが占めてしまうことが問題である。そこで、著者らは、新しい視線入力の手法として、スマートフォンなどで用いられているフリック動作を利用した方法を提案している。

### 2.2 使用する文字盤

今回試作したフリック方式は 1.5 秒以上視線が停留した場合、その行の他の文字を周りに展開し、その後打ちたい文字の方向に一定距離以上動いたとき、対応する文字が入力される。「あ」や「か」などの文字を打つ場合は、そのままその文字上で 1 秒以上視線が停留したときに文字が入力される。また、文字入力が行われるとボタンは注視前の状態に戻る。注視前の状態を図 2.1 に、展開した状態を図 2.2 に示す。また比較のために同じ大きさのボタンの 50 音方式も作成している。

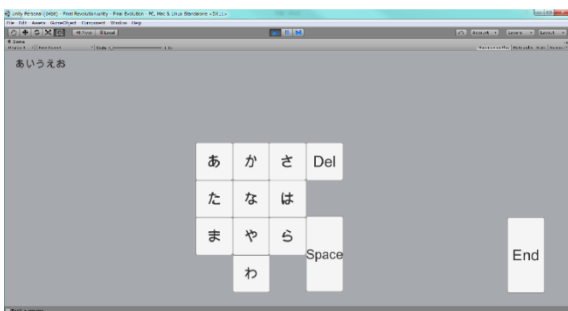


図 2.1 フリック方式の入力画面（展開前）

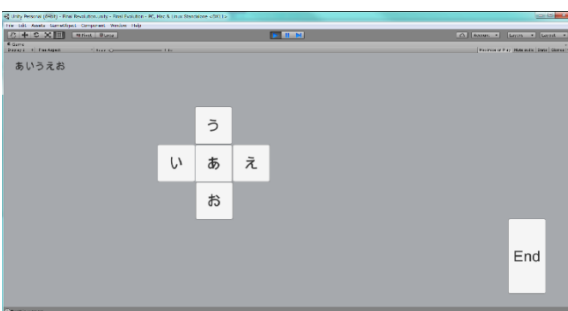


図 2.2 フリック方式の入力画面（展開後）

### 2.3 評価実験

この研究では、据置型の視線計測装置「Tobii EyeX Controller」(以下、Tobii) をディスプレイの下部に取り付けることで、視線を計測し、従来の方式である 50 音方式とフリック方式を比較する実験を行う。Tobii の測定誤差は中心に人の顔があるときに、 $0.5^{\circ} \sim 1^{\circ}$  [5]であり、今回の実験では人とディスプレイの距離を 60cm に設定したので、最大

2.1cm の誤差が生じる可能性があり、各入力ボタンの大きさは 2.1cm に設定した。また、フリック動作は 2cm を閾値とした。

入力する文字列は、A (つみき ころも まほう けしき)、B (とけい へいし せかい くるま)、C (はる なつ あき ふゆ) である。実験は単語群 A と B どちらかと、C のどちらを先に行うか、また、フリック方式と 50 音方式どちらを先に行うかを均等に分布させ、20 名の 20 代の男女に対して行った。各エラー数、タスク完了時間を計測し、実験後に

- 操作はしやすかったか
- 入力したい文字キーをすぐに見つけることができたか
- 視線を移動することに対する疲れは感じなかったか
- 視線を停留することに対するストレスは感じなかったか
- 50 音方式またはフリック方式で文字を入力することに違和感はなかったか
- 操作にはすぐ慣れたか
- また利用してみたいと思ったか

の七つの評価項目から構成されるアンケートを行い、-2 から 2 の間の 5 段階で評価させた。どの項目に対しても、プラス側がシステムに対する肯定的な評価を表す。

### 2.4 実験結果

各単語群におけるエラー回数とタスク完了時間の平均値を図 2.3 に、各評価項目のアンケート結果を図 2.4 に示す。検定の結果、各単語群におけるエラー数と、単語群 A,B におけるタスク完了時間、そして、「a.操作はしやすかったか」、「b.入力したい文字キーはすぐに見つかったか」、「g.また利用してみたいと思ったか」の三つの評価項目において、有意差が認められ、50 音方式に比べて、フリック方式の方が、高評価であった。他の項目もフリック方式が低い評価のものではなく、視線文字入力におけるフリック方式の優位性が示された。

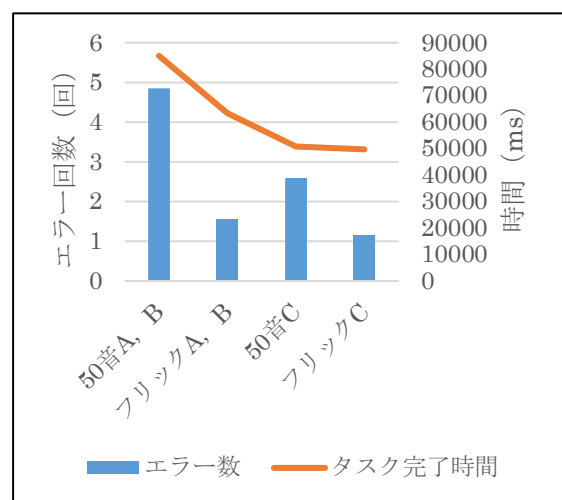


図 2.3 各入力方式と単語群のタスク完了時間とエラー数

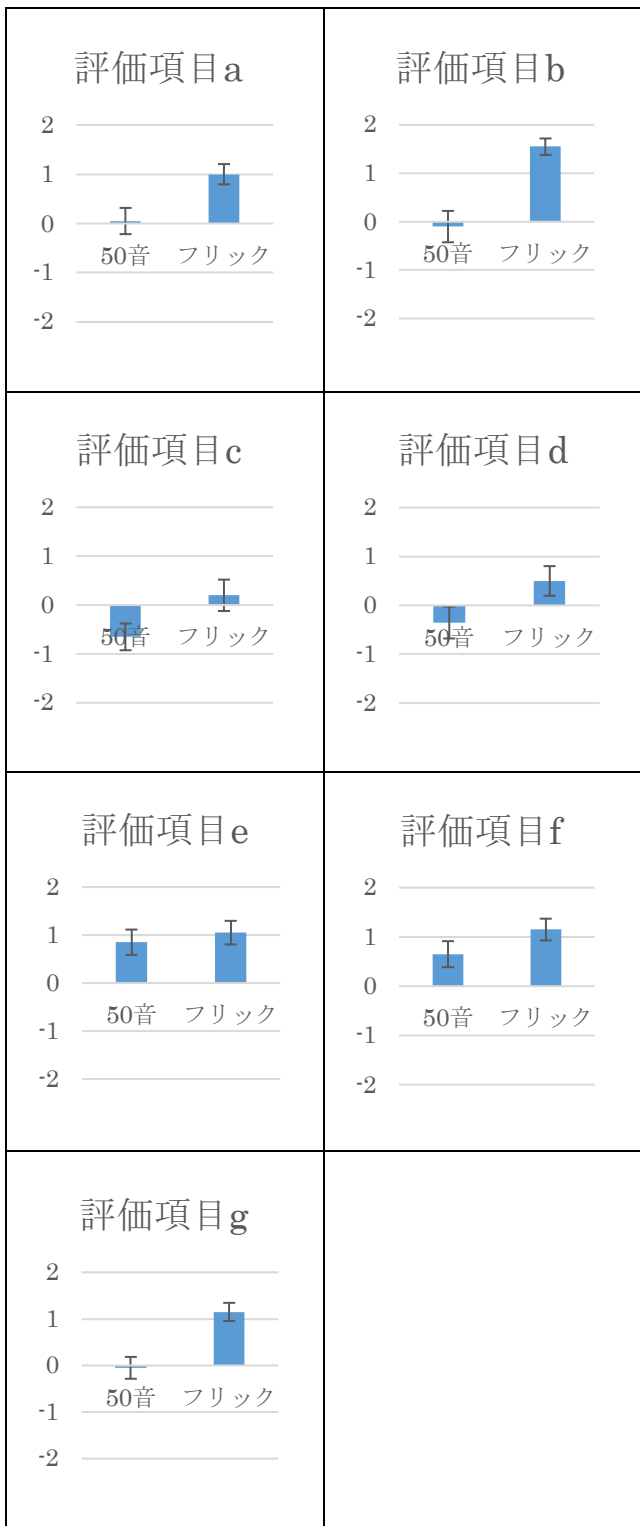


図 2.4 各評価項目のアンケート結果

## 2.5 考察

エラー数において差が生じた要因としては、身体の固定を行っていないことが考えられる。実験中に身体がディスプレイの中心から離れたり、頭部がキャリブレーションを実施した位置からずれることがある。視線がディスプレイの中心から離れるほど視線計測の精度が下がるため、ディスプレイ全体を使用する 50 音方式の方がエラー数の多い結果になったと考えられる。フリック方式は、視線が正面

方向に限定されるため、視線計測の精度が低い装置でも少ないエラーで文字を入力できる点で有利である。

被験者からの意見としては、「目を使って文字入力することに疲れた」、「フリック方式で目を移動させるとき、上下の動きが難しかった」というものがあった。

疲れに関しては、普段目を直接的に文字などの入力作業に利用することがないので、視線だけで複雑な動きを要求するものにスムーズな対応ができなかったのだと考えられる。視線移動をしやすくするためにボタンとボタンの間に一定の距離を設定するなどの改善案が必要である。また、人の普段の生活での視線の動きは圧倒的に上下より左右の方が多いいわれている。このことから、フリックの上下の動きが左右の動きと比較して難しいと被験者に感じさせたと考えられる。上下の動きに関しては動作として容易な首の動きでフリックさせることも検討する必要があるだろう。

## 3. 奥行き距離と使用する眼球情報の影響

### 3.1 概要

上記の研究では、フリック方式は 50 音方式と比較して、使用する面積が少ないうえに、エラー数や、タスク完了時間が減少する傾向がみられた。しかし、VR にこの文字盤を実装するにあたり、文字盤を表示する位置の要因に奥行きが含まれる。実際に利用する場面を考慮すると、VR 空間には様々な距離に物体が設置されていることから、文字盤が物体に遮蔽されないように、可能な限り前面に設置する方が良いと考えられる。しかし、人間の眼は近くのをみるとき、遠くのものを見る時と比較して、毛様体筋を緊張させる必要があるため、疲労度が高くなる傾向がある。それに加え、VR においては、輻輳と調節の不一致が疲労や VR 酔いにつながるなどの問題があり、文字盤を配置する理想的な奥行き距離の基礎的な知見が必要になる。

また、一般的に視線情報として多く用いられるのは、両眼平均座標である。遠方を見る場合は視線方向はほぼ平行になるため、両眼で視線方向に大きな差は生じない。従って両眼の平均の方向と優位眼の視線方向のどちらを用いても差はないとみなせる。しかし、近距離のボタンを見る場合には、輻輳角と両眼視差が大きくなることから、両眼の視線方向の平均と優位眼の視線方向の差が大きくなる。そのため、近距離の物体に対して視線入力を行う際、優位眼座標のみを用いる方が良い可能性があり、それらの検証を行うことが本研究の目的である。

### 3.2 実験装置の概要

実験には視線計測機能を持つ HMD である FOVE0 を用いる。FOVE0 は、レンズ付近に取り付けられている赤外線アイトラッキング装置により、視線の取得が可能であり、さらに左右の眼の視線情報を独立に取得することができる。

FOVE0の視線検出の誤差は仕様によれば $1^\circ$ 以内である。今回はボタンの奥行き方向の距離の影響を純粋に抽出することが目的であるためフリック方式は用いていないが、入力用のボタンは11個のボタンが中央に配置されるようにしている。今回使用するHMDを装着した様子を図3.1に示す。



図 3.1 ヘッドマウントディスプレイ装着の様子

### 3.3 実験概要

実験では、0000~9999からランダムに選ばれた4桁の数字を視線で入力する作業を5回行わせた。実際の入力画面を図3.2に示す。



図 3.2 実験で用いた入力画面

入力画面には0~9の9個の数字を順番に並べ、右下にはデリートキーを表示した。視線を入力したい数字のボタンの上で1.5秒以上停留させるとその数字が入力される。1.5秒という停留時間は、予備実験より、エラーが出づらい最小の値として設定した。ボタンの上部に入力する文字を黒字で示し、実際に入力した文字をその下に赤字で示した。黒字と赤字の数字が等しくなると、また新たに黒字で入力する数字が表示される。参加者にはこの作業を5回繰り返してもらい、1試行で20個の数字を入力させた。この時のボタンの配置の条件として、奥行き距離を近(0.3m)・中(3m)・遠(20m)の3条件に設定した。ボタンの大きさは、ボタンサイズによる入力精度を均一にするため、どの距離にあるときも同じ大きさに見えることが好ましいので、使用するHMDの計測誤差である $1^\circ$ を傾斜角、ボタンまでの距離を底辺とした直角三角形の高さの2倍とした。また、近距離時のみ視線情報として使用する眼を両眼の平均と優

位眼のみの2条件設定した。表3.1に条件の割り当て表を示す。

実験を行う前に参加者の視力、コンタクトの有無、VRの体験経験の有無などを調べるため、事前アンケートを行った。その後、ホールインカード法を用いて優位眼の計測を行った。キャリブレーションを行なった後、初めの2試行を行なった。2試行が終わった段階で、一度ヘッドマウントディスプレイを外し、5分間の休憩を取らせた後、再度キャリブレーションを行い、次の2試行の実験を行った。各試行において、全ての数字を正しく入力し終わるまでの時間の計測、デリートキー含め入力した全ての数字の記録を行い、それぞれの条件において主観評価のアンケートを行った。

表 3.1 実験の条件

A1	近距離・両眼平均
B	中距離・両眼平均
C	遠距離・両眼平均
A2	近距離・優位眼

### 3.4 評価項目

今回の実験の主観評価における評価項目を表3.2に示す。

表 3.2 評価項目

Q1	操作はしやすかったか
Q2	対象の選択はスムーズだったか
Q3	視線の移動は疲れたか
Q4	視線の停留にストレスを感じたか
Q5	眼は疲れているか
Q6	首は疲れたか

文字入力システムの操作性や、視線の移動や停留に関する疲労度などの6個の評価項目に関して0~6の7段階で評価させた。

### 3.5 実験結果

実験は20代の20名の男女を対象に行った。各条件における文字入力作業の主観評価のアンケート、正しく文字入力するまでに必要とした時間、デリートキー含む入力した全文字を記録した。実験結果から分散分析と各条件間の優位差を検証するため多重比較を行った。

#### 3.5.1 分散分析

各実験結果に関して $p<0.05$ で分散分析を行ったところ、操作性や対象の選択、文字入力にかかった時間においては、有意な差は生じなかったが、視線の移動、眼・首の疲労度、エラー率において、文字入力ボタンの奥行き使用する眼球情報により、有意に差が生じることがわかった。

#### 3.5.2 多重比較

各条件間で有意差が生じるかどうかを検証するために、 $p<0.05$ でBonferroniの多重比較を行った結果、Q3, Q4, Q5, Q6, エラー率において有意差が生じる項目があった。各項目の平均値を図3.3から図3.10に示す。

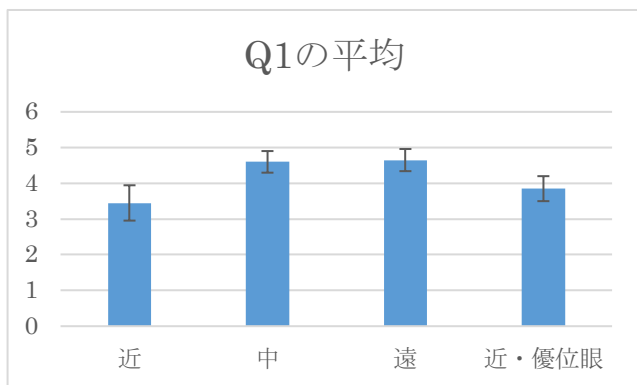


図 3.3 Q1 の平均値

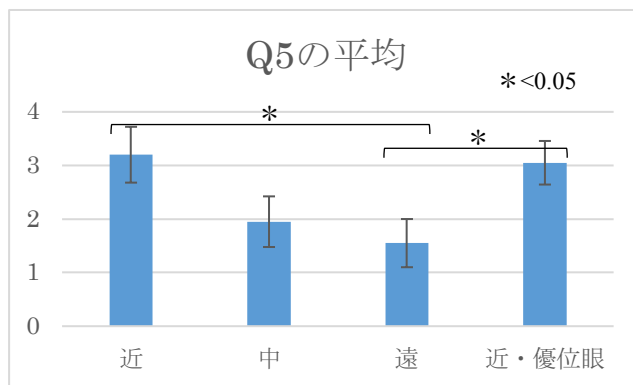


図 3.7 Q5 の平均値

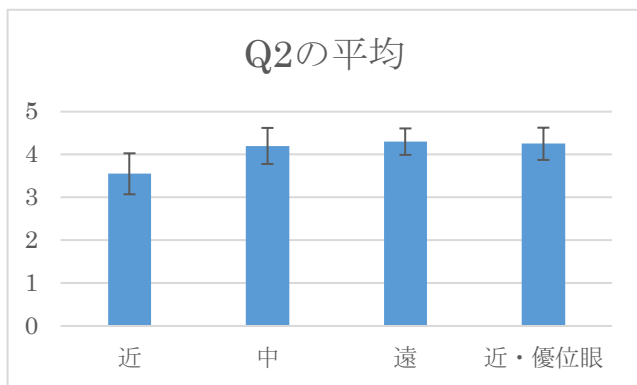


図 3.4 Q2 の平均値

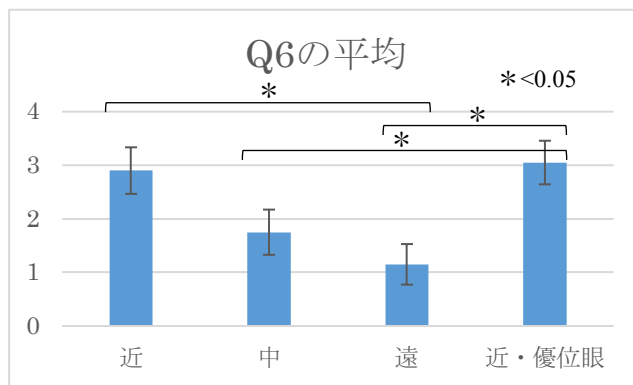


図 3.8 Q6 の平均値

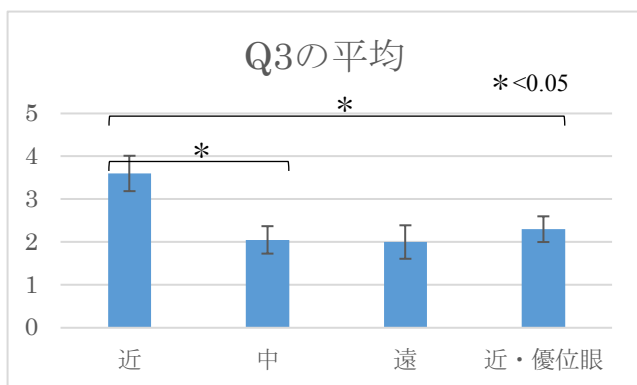


図 3.5 Q3 の平均値

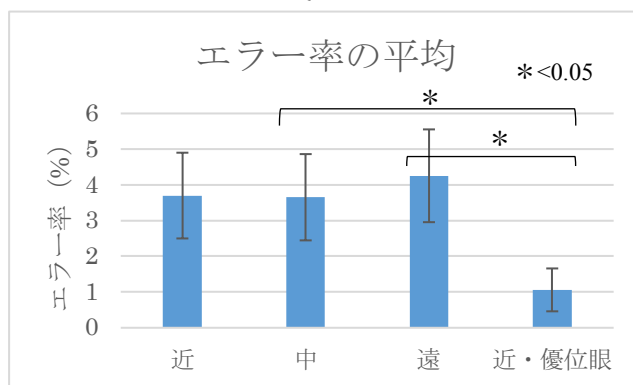


図 3.9 エラー率の平均値

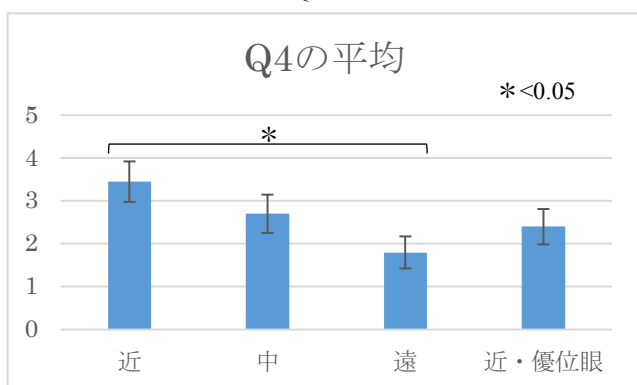


図 3.6 Q4 の平均値

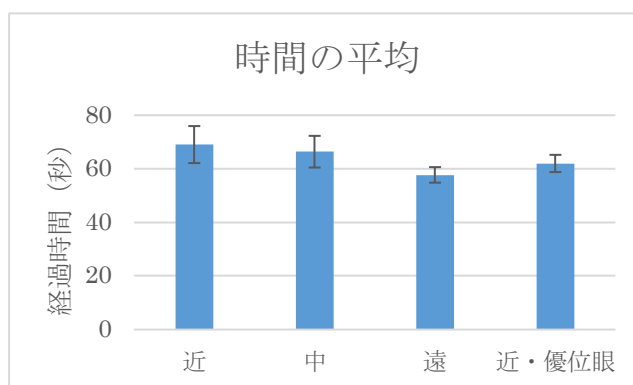


図 3.10 経過時間の平均値

### 3.6 考察

文字入力時間に関しては、有意差は生じなかったが、視線の移動において、近距離のボタンは中距離・遠距離の文字盤と比較して有意に疲れやすいことが分かった。また、視線の停留のストレスに関しても、近距離のボタンは遠距離のボタンと比較して有意にストレスを感じやすい結果となった。これは、遠くのを注視するときと比較して、近くのを注視するとき、毛様体筋を緊張させる必要があり、それにより、視線の移動や停留に疲労を感じたのだと考えられる。また、首の疲労度に関して、他のボタンと比較して、遠距離のボタンの方が有意に疲労感が少ないことがわかった。ボタンが近ければ近いほど、顔を少し動かすだけで、ボタンと自分の位置関係が変化するので、体や首を大きく動かす参加者が多かったのではないかと考えられる。

エラー率は、中距離と遠距離のボタンと比較して、近距離のボタンで優位眼を使用する時、有意に減少した。実験前の仮説では近くの入力ボタンを見るとき、輻輳角が大きくなり、両眼の視差が大きくなることから、近距離のボタンにおいて両眼平均使用より優位眼使用の方が精度の向上や主観評価の変化が高いと考えていたが、今回の実験では主観評価についてはその傾向は見られなかった。しかし、文字入力時間に関して、優位眼使用時に比べて、両眼平均使用の方が、大幅に長くなる参加者が数名いた。近距離のボタンにおける両眼平均使用時と優位眼使用時の入力時間の散布図を図 3.11 に示す。

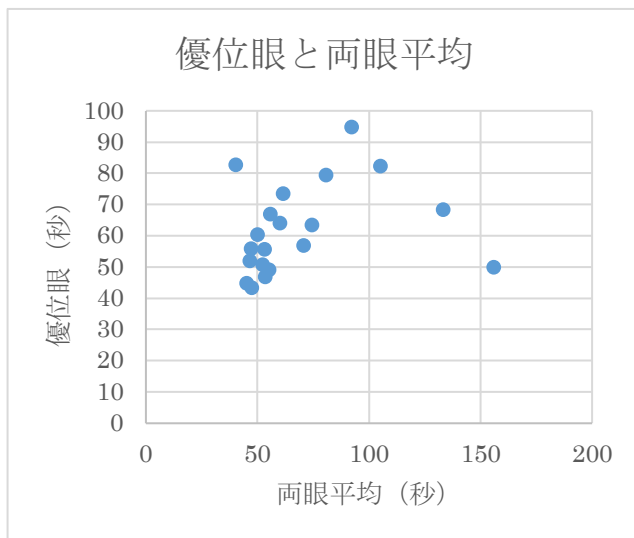


図 3.11 優位眼と両眼平均の作業時間

両眼の間隔や、両眼視差などの眼球情報の個人差が大きく、近くのを注視する時、両眼平均では入力しづらいという結果になる人がいたと考えられる。また、キャリブレーションを行う際のターゲットまでの奥行きなどの条件が関係していることも考えられる。ただし、両眼平均使用の方が速く入力できる参加者もゼロではないため、近くにボタ

ンを設置する場合、個人差を考慮する必要があり、キャリブレーションや両眼視差などの情報の取得などを事前に行う必要がある。

### 4. 結論

2D モニターを対象にしたフリック方式は 50 音方式と比較して、必要な面積が少ない分、エラー率が低く、入力時間も短いことが判明し、HMD 使用時の文字入力方式として有望であることが分かった。

HMD 使用時の視線による文字入力のための基礎検討として、ボタンまでの距離の影響を実験により検討した結果、中距離や遠距離のボタンと比較して、近距離のボタンは眼や首の疲労を感じやすくなる傾向にあり、ボタンを近くに設置することはユーザの疲労度の増加につながるということが分かった。また、近距離のボタンにおいて両眼平均による入力では正しい入力を行うことが困難な人がいることが分かった。VR 空間の物体の配置上、近距離にボタンを配置する必要がある場合は、眼球情報の個人差をキャリブレーションの段階であらかじめ取得し、使用者が両眼の情報と優位眼どちらの情報を使用することが好ましいのかを決定すれば、より使いやすいシステムにつながると思われる。

今回の実験は、基礎的な検討を目的としたため短い桁の文字や数字を入力する作業のみを行わせている。今後は、フリック方式を用いてより多い文字数を入力する条件で、実験を行う予定である。

### 参考文献

- [1] Bowman, D. A., Rhoton, C. J., and Pinho, M. S., Text input techniques for immersive virtual environments: An empirical comparison. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 46, 26 (2002), 2154–2158.
- [2] 杉原敏昭, 宮里勉, 中津良平, 3次元ディスプレイにおける疲労の定量的評価, 映像情報メディア学会誌, 53巻, (1999), 8号.
- [3] 村田朋来, 盛川浩志, 小宮山撰, 視線によるフリック動作を用いた文字入力, 第16回情報科学技術フォーラム, (2017).
- [4] 竹内瞬, 蒔崎智之, 橋本昌巳, 香山瑞恵, 大谷真, 視線入力を用いた文字入力システムの開発, 第8回日本生体医工学学会甲信越支部長野地区シンポジウム, (2010), 11-12.
- [5] Agostino Gibaldi, Mauricio Vanegas, Peter J. Bex: Evaluation of the Tobii EyeX Eye tracking controller and Matlab toolkit research, <http://link.springer.com/article/10.3758/s13428-016-0762-9>, (2016).