



# ビデオシースルー HMD の撮像系と表示系の不整合が及ぼす 手作業への影響

箕浦弘人<sup>1)</sup>, 高木博康<sup>1)</sup>

1) 鈴鹿工業高等専門学校電子情報工学科 (〒 510-0294 三重県鈴鹿市白子町, minoura@info.suzuka-ct.ac.jp)

**概要:** ビデオシースルー HMD では、撮像系と表示系の幾何学的整合性が求められる。物理的に一致させることは困難であるためキャリブレーションによる近似的な一致手法があるが、装着者毎に瞳孔間隔が異なることもあり、ある程度の不一致を許容しなければならない。そこで、撮像系と表示系を意図的にずらし、手作業（直線をなぞる、指定した位置に物を置くなど）の作業精度と作業時間を計測することで、不一致が与える影響を調査した。

**キーワード:** ビデオシースルー HMD, 幾何学的整合, 作業効率

## 1. はじめに

ビデオシースルー型 HMD において、眼球位置とカメラ位置を一致させることは不可能あり、少なくともできるだけ正確に装着者の眼前に設置することが求められる。しかしながら、装着時のずれや両眼間隔の違いから正確に眼前に設置することも困難であるため、不一致であることを前提として使用しなければならない。特に手作りをするときには不一致が顕著となる。そこで、カメラの位置ずれと手作業の作業効率の関係から、カメラ設置時に考慮すべき点を確認する。

## 2. 実験

### 2.1 概要

HMD に外界を撮影するカメラを取り付ける。カメラは HMD の前面の任意の位置に設置することができる。被験者は、HMD を装着していない場合と、カメラの位置を視線からずらして設置した HMD を装着した場合において、後述する実験 1 及び実験 2 で示す実験作業に要した時間と正確さを計測する。両眼距離を 6.5cm として今回の実験でのカメラの設置位置を表 1 に示す。

表 1: カメラの設置位置

パターン 1	水平方向に近づける	
パターン 2	水平方向に遠ざける	
パターン 3	垂直方向にずらす	

### 2.2 実験機器

Oculus Rift の前面に両眼用 USB カメラを 2 台取り付け、ビデオシースルー型 HMD を作成する。USB カメラは任意の位置に取り付けられるよになっている。

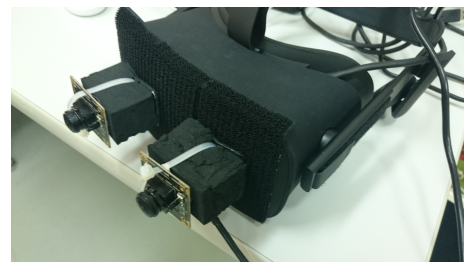


図 1: 作成したビデオシースルー型 HMD

### 2.3 実験 1

#### 2.3.1 概要

図 2 に示すように、タッチパネルディスプレイに 2 つの円を表示し、その円間を最短距離で指でなぞってもらい、作業時間と正確さを計測する。ディスプレイサイズは 15.5inch で、円は水平・垂直・斜めに円間距離約 7cm~23cm で 10 パターン表示される。被験者全員に同じ 10 パターンが表示されるが、パターンの表示順序はランダムである。

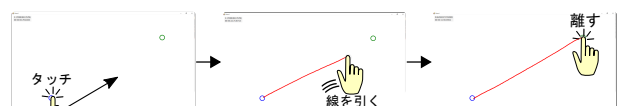


図 2: 実験 1 での作業

### 2.3.2 結果

15名の被験者に対して、HMDを装着していない場合とHMDを装着した表1に示した3つ設置パターンについて作業を行ってもらい、正確さと作業時間の平均値をまとめた。

正確さのスコアはどれだけ直線になぞることができたかを表し、表示パターン*i*の円の中心間距離 $d_{si}$ 、指がなぞった距離 $d_{fi}$ の時、以下の式で求める。完全に直線でなぞることができれば、最高値100となる。

$$score = \sum_{i=1}^{10} 10e^{0.003(d_{si}-d_{fi})^2}$$

図3、図4にそれぞれ得られた正確さのスコアと作業時間の平均を示す。

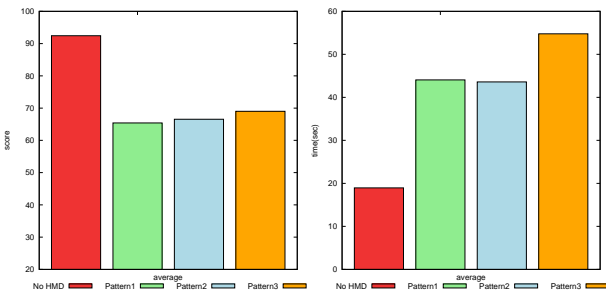


図3: 正確さスコアの平均

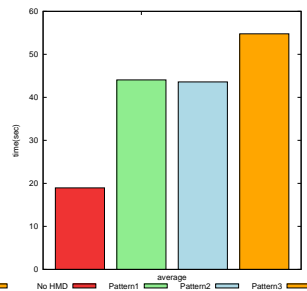


図4: 作業時間の平均

正確さについては、被験者によって、最も良いスコアを得るカメラ設置パターンが異なっており、平均値を見た場合カメラの位置に対する偏りは見られなかった。始点となる円をタッチすることができれば、タッチパネルの平面を手掛かりして終点の円までたどり着くことができるため、視覚的な違和感の影響が抑えられたのではないかと考えられる。作業時間については、垂直方向にずらした場合が最も時間がかかる結果となった。また、水平方向へ広げた場合が僅かであるが、最も早く作業ができていた。

被験者の作業の中では、奥行き感をつかめずに視点をタッチするまでに時間がかかったり、右眼の映像と左眼の映像を視覚的に合成できず3つ以上の円が見えたため、正確にタッチできないことなどがあった。この実験ではタッチパネルをなぞっている時間のみを計測しているため、これらの問題が計測結果には反映されていない。

## 2.4 実験2

### 2.4.1 概要

実験1で問題となった奥行き感の知覚について評価するため、指先の移動の制限がない作業について実験を行う。図5に示すように、2本のペットボトルのキャップを入れ替える作業を3回行い作業時間に要したを計測する。

### 2.4.2 結果

11名の被験者に対して、HMDを装着していない場合とHMDを装着した表1に示した3つの設置パターンについて作業を行ってもらい、作業時間の平均値をまとめた。図6に作業時間の平均を示す。

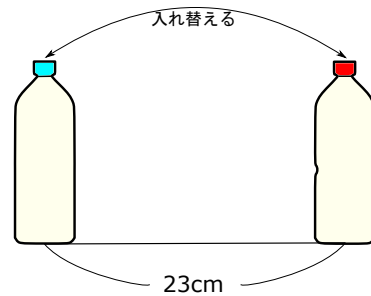


図5: 実験2での作業

垂直方向にずらした場合が最も時間がかかると予想していたが、実験1と違い、水平方向に近づけた場合が最も作業時間がかかる結果となった。実験の手順として、パターン1（水平方向に近づける）、パターン2（水平方向に遠ざける）、パターン3（垂直方向にずらす）の順で行ったため、パターン3を行うときには作業に慣れてしまっていた可能性がある。それを考慮すると、実験1と同じ傾向になることが考えられる。

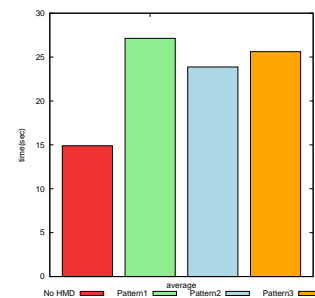


図6: 作業時間の平均

## 3. まとめと今後の課題

カメラの設置については、特に垂直方向にずれがないようにすること、カメラ間距離を狭くするよりは広くするほうがよいことが示唆された。今回の実験では両眼距離よりカメラ間距離をかなり広くしたが、そのことに対して特段不利となることはないようである。しかしながら、どの場合においても裸眼に比べると著しく作業精度・効率が低下する。

今回の実験では、カメラの設置位置が視線方向にずれた場合の評価を行っていないので、今後検討しなければならない。また、キャリブレーションを行って撮像系と表示系の幾何学的整合を取った場合との比較も必要である。

今回のように視覚的に違和感のある実験では、被験者に長時間作業をしてもらうと酔いが生じたため、様々な条件での実験を進めにくかった。また、繰り返し実験をすると作業慣れの影響を無視できなくなった。実験条件を精査して、最小限の試行回数で計測できるように工夫しなければならない。