

修士論文

# HMD を用いた頭部連携視点による動作教示

指導教員 野村由司彦 教授

平成 28 年度  
三重大学大学院工学研究科機械工学専攻  
プロセス解析研究室  
415M140 福岡 広晃

# 目次

第1章	序言.....	4
1.1	研究背景.....	4
1.2	既存研究.....	5
第2章	システム構成.....	9
2.1	ハードウェア構成.....	9
2.1.1	HMD (Head-Mount Display) .....	9
2.1.2	モーショントラッキングシステム.....	9
2.2	ソフトウェア構成.....	10
2.2.1	映像提示ソフト.....	10
2.2.2	使用したアバター.....	10
第3章	姿勢認識実験.....	11
3.1	実験準備.....	11
3.2	姿勢認識方法.....	11
3.2.1	視点.....	11
3.3	提示映像.....	13
3.3.1	提示視点.....	13
3.3.2	姿勢.....	13
3.4	実験手順.....	14
3.5	評価.....	15
3.6	結果.....	16
3.6.1	姿勢認識所要時間の評価.....	16

3.6.2	姿勢評価.....	16
3.6.3	考察.....	16
第4章	まとめ.....	18
謝辞		19
参考文献		20

# 第1章 序言

## 1.1 研究背景

泳ぎや投球などのスポーツにおける動作、踊りや書などの文化的な動作などは何らかの学習を通して修得される。これらの動作は特に教えられることもなく自然に修得することもあるが、多くは動作について何らかの教示を受け、教示に基づいて修正しながら学習を進める。この動作の教示には学習者以外の支援者が必要となる。代表的なものは、指導者による助言や手取り足取りの指導であろう。多くは熟練者であろう指導者が、学習者の動作の中から不適切な部分を見抜き、的確に教えられるということ、基本的には効果的であると考えられるが、実際に指導者を得ることは困難な場合が多い。その一方で、ビデオ映像や写真、コンピュータなどを活用しての自己学習は、本人任せとなり、我流になってしまうきらいがあるという欠点がある一方で、本人の都合に合わせて、手っ取り早く、いつでも学習できるという利点がある。動作学習のスタイルはこのように概観できるが、近年では VR(仮想現実)技術が普及しつつある。この VR 技術は、コンピュータ援用動作教示の有効な手法としても利用され始めており、コンピュータ援用自己学習にも新しい展開がもたらされると考えられる。本研究は、このような展開の一つとして位置づけられるものであり、ステレオ HMD(Head-Mount Display)を用いた VR を援用して動作の学習を支援するシステムの開発を目標としている。HMD を使用する利点として、没入感の向上、および首振り動作に連動する運動立体視による空間知覚性能の向上などが期待される。このような経緯により、動作教示機能そのものを改善するために、当研究室で研究されていた HMD を用いた頭部連携視野像提示と、従来の動作提示方法について、適切な動作教示方法について検討を行っている。

本論文では、学習者に手本として提示する動作として静的な動作、すなわち静止姿勢 (stationary posture) を取り上げ、その静止姿勢を提示・知覚・再現する実験を行い、最適な動作提示方法について調査を行った結果を述べる。

## 1.2 既存研究

近年では、HMD を用いて空間を認知する研究が増えつつある。例えば、Hoover らは、装着者の背中に連携したカメラから、被験者自身を含む空間 (以下、後方視野 rear view とよぶ) を HMD へ出力して、後方視野による空間知覚性能を計測し、映像に対する一体感が空間認知に効果的であったことを報告している[5]。ここでいう一体感は、自己の視点が身体から離脱しカメラに乗り移った感覚という意味で、一般には、幽体離脱 out-of-body experience [6]と呼ばれているが、これに近い感覚と言えよう。観測されている対象を観測者が自在にコントロールできている感覚ということで自己主体感(sense of agency) [7]と呼ばれているものにも近い感覚といえる。

また、仮想環境 VR (Virtual Reality) 技術を利用した研究もまた増えつつある。仮想環境内を通常のディスプレイで確認すると、単眼視ベースの奥行き知覚の手がかりしか使えず奥行きの情報が不足してしまい、仮想物体間の前後関係を正しく知覚し難いことがある。そこで、HMD を援用することで両眼立体視による奥行き知覚を取り入れ、より素早くかつ正確に前後関係が知覚できるようにすることが可能になると期待される。

Swan らは、AR (Augmented Reality) 技術と HMD を用いて、奥行き方向の精度を調査し、奥行きの大きさに比例して、奥行き知覚誤差が大きくなることを示した。このことは自明なこととはいえ、我々が普段の生活で感じている特性にと同様であり、その意味でも HMD を利用した仮想環境の空間知覚が通常の空間知覚により近づくことが期待される。

一方で、VR 技術は、スポーツ動作の技能習得に関する研究にも取り入れられ始めてきた。例えば、Covaci らはバスケットボールの理想的なボールの軌道を仮想環境

内に示す手法を提案し、これがシュートの技能習得支援に有効であることを示した [1]。これは、軌跡を示すだけであっても、人はその軌跡から実際の投球の要点、すなわち投球の方向や速さを認知させるうえで効果的であるということを示唆していると考えられる。この研究では、1人称の視点だけでなく、仮想環境上に被験者位置を反映させ、立体視を取り入れることで自己主体感の向上させていることが重要であると考えられる。

一方、対象をどこから観測するかという意味での視野の重要性について述べている研究がある。具体的には、前方から対象を観測して得られる前方視野(front view)、後方から対象を観測して得られる後方視野(rear view)、さらには側方から対象を観測して得られる側方視野(side view)などにおける空間知覚の特性の違いについて研究されている。Adriaらは、ディスプレイ上に被験者の正面を提示（前方視野）したときと背面（後方視野）を提示したときに、被験者の姿勢知覚性能がどのように変化するかについて調査を行っている[6]。この論文でも、映像中に映る人物を、被験者自身と一致させること、すなわち一体感重要性を述べている。なお、この一体感は、提示されている映像が自分自身の像であることが前提となっていることから、論文では「自己所有感 (sense of ownership)」と述べられている。本研究では観測する対象が他者であることを想定していることから、このことは仮想環境のアバターに対しても当はまると考え、本論文でも、前方視野、後方視野、後方視野を扱うこととした。本研究では、それに加えて、より認知しやすくなるであろうとの効果を意図して、視点 (viewpoint) を動かすこと、結果的に HMD に提示される視野(view) を変えることに注目した。さらに、本研究独自のアプローチとして、観測開始時の自身の仮想的な視点の位置が対象のアバターの姿勢を認知する上で影響が大きいのではないかとこの着想の下、自身の仮想的な視点の対象のアバターに対して前方に位置する前方視野を観測の起点とするという「前方視野起点の水準」、および後方に位置する後方視野を観測の起点とするという「後方視野起点の水準」の二つの水準を比較する制御因子として（最適な水準を選択するという意図で定義された因子は制御因子と呼ばれている）もつ「起点視野の因子」を加えた。

このほかに、視点を動かすことができるかと述べたが、それをどのように動かせばよいのだろうか？最も簡便な方法はあたかも提示対象の周囲に対象を様々な方向から観測できるようにと配置した固定カメラをいくつか設置し、それらからの映像をスイッチで切り替えることであろう。本研究ではスイッチとしてキーボードのキーを用い、これを「キー切替視点 (key-switched view point)」とよぶ。この他、視点を変化させる方式として最近用いられるようになってきた方式として、マウスの操作を視点の変化に連動させるものが考えられる。本研究でもマウスの左右方向の動きを視点の経度方向の旋回に、上下方向の動きを緯度方向の傾斜に対応させた方式を実装した。これを「マウス連携視点 (mouse-associated viewpoint)」とよぶ。ここで、もしマウスの代わりに観測者自身の動作を視点の変化に対応させたとすれば、視点の動きをよりの確に、すなわちより迅速に、かつより正確に知覚できるのではないかとの着想を得た。具体的には、ヒト自身の頭部に備わっている前庭感覚を活用する鵜飼ことのできる頭部の首振り動作により視点を移動させる方式を考案し、これも実装した。これは「頭部連携視点 (head-associated viewpoint)」とよぶ。これらの三つの視点の水準、すなわち、「キー切替視点」水準、「マウス連携視点」水準、「頭部連携視点」水準は、やはり最適の水準を選択すべき因子といえ、これもいわゆる制御因子として整理できるが、以下ではこれを「視点変化モード因子」とよぶ。

システムとしては、これらの「起点視野因子」および「視点変化モード因子」の各水準の組み合わせを変えて背面および正面を起点として、そこから姿勢を見まわすように動作させることができる仮想環境システムを開発した。

このシステムを用いて、「起点視野因子」および「視点変化モード因子」の各水準の組み合わせを変えて、それら静的姿勢認識への因子効果を調査するため、参照となるアバターの静的姿勢を知覚・認知・再現する実験を行った。

最後に、以上を概観すると、VR 援用の動作教示システムは開発されつつあるが、ヒトの位置姿勢を、ある程度の時間をかけてしっかりと認識するようなシステムは十分に研究されていない。位置姿勢について正確に認識せずに動作学習を進めてしまうと、いわゆる我流になってしまう可能性がある。そこで、本研究では、動作認識シス

テムとして、当研究室でも提案され、研究されていた「頭部連携視点」も含め、従来手法といえる「キータブ視点」水準、「マウス連携視点」について、さらには「前方視野起点」、および「後方視野起点」について比較し、それらの特性を明らかにする。



# 第2章 システム構成

## 2.1 ハードウェア構成

### 2.1.1 HMD (Head-Mount Display)

本実験においては、姿勢提示のため、HMD(Head-Mount Display)を用いた。

今回用いたものは、Oculus DK2 である。Oculus には加速度センサや角速度センサなどの慣性センサが内蔵されており、センサから得られた角速度や加速度から被験者頭部の動作角度が出力される。したがって、これに合わせて、映像をリアルタイムに変化させることのできる装置である。なお、Oculus DK2 は開発用のバージョンであり、現在では製品版もあるが、メガネ使用者の操作性の観点から、今回は Oculus DK2 を用いた。すなわち、製品版の Oculus CV1 は、Oculus DK2 よりも解像度が少し高いものの、装着車の視力が低い場合にははっきりと仮想空間を見ることが出来ないこと、それに伴い、被験者が眼鏡を着用している場合に眼鏡の上から製品版の Oculus CV1 を装着することが困難であるため、今回は Oculus DK2 を用いた。

### 2.1.2 モーションキャプチャシステム

本実験においては、手本姿勢および被験者の再現姿勢の記録のために、モーションキャプチャシステムを用いた。今回使用したモーションキャプチャシステムは、Xsens 社の MVN であり、全身の 23 関節の位置姿勢を測定できる。

## 2.2 ソフトウェア構成

### 2.2.1 映像提示ソフト

今回実験で映像を提示するため使用したソフトは、エピックゲームズジャパンの Unreal Engine 4 である。このソフトを使用した理由として、仮想環境を容易に構成でき、モーションキャプチャシステムと連携させ、動作教示を行うことができるためである。

本研究で提示する仮想環境は、VR 酔いの発生を防ぐため、さらには提示アバターの姿勢認識の妨げにならないように、アバター以外のオブジェクトを表示しないようにした。

### 2.2.2 使用したアバター

今回用いた姿勢提示用アバターは、フリーソフトの MakeHuman を用いて作成した。作成する際のパラメータは、MakeHuman 内のアジア人成人男性の標準値を用いた。本研究でこの人型アバターを使用した理由は、被験者が姿勢を認識する際に、人型の方が認知しやすいと考えたためである。また、アバターが着用する衣服に関しては、衣服は身体の動作を必ずしも反映させられないということを考慮し、すなわち姿勢認知の妨げにならないようにできる限り小さい面積で、かつ前面と側面を色分けしたものとし、アバターに着用させた。

## 第3章 姿勢認識実験

この章では，当研究室で研究されてきた頭部連携視点と，従来手法として位置づけているマウス連携視点ならびにキー切替視点において，最適な動作教示方法について検討するための実験について説明する．今回の実験では，アバター背面および正面を $0^\circ$ として，左右 $90^\circ$ のアバター左右側面までを確認する．

### 3.1 実験準備

本実験では，20代成人男性12名を対象とした．実験の前にモーションキャプチャ装置とHMDを装着し，身長などの身体データをモーションキャプチャのソフトウェアに入力した後，気を付けの姿勢であるNポーズと，直立した状態から腕を水平横に伸ばすTポーズによってキャリブレーションを行う．

### 3.2 姿勢視認方法

#### 3.2.1 視点

視点の因子として，頭部連携視点と従来手法として用いられているマウス連携視点とキー切替視点がある．

- 頭部連携視点

本研究の提案手法である．被験者の頭部に連携させることで，被験者の首ふり動作を仮想カメラの視点制御に利用することができ，これにより視点の方向を素早く変更することができる．

- マウス連携視点

この視点は AutoCAD で作成したオブジェクトの確認や VR 内に提示されたアバターを確認する際に一般的に用いられている方法である。クリック&ドラッグを行い、ドラッグ量に応じて仮想空間の回転を行うことができる。初期位置から左・右に 1.5 cm動かすと、仮想カメラが 90° 旋回してアバターの左・右側面が確認できるようにした。

- キー切替視点

これは最も一般的な動作教示方法であり、カメラを観測対象の周囲にいくつか設置して観測対象の提示する手本動作を記録するという手法である。キーボードのボタンに対応して複数の仮想カメラ映像を切り替えることができる。今回の実験では、一度ボタンを押すごとに 45° 瞬時に回転するように設定した。

一般に動作を映像や画像で確認する際には、手本となる姿勢を正面から撮影したものが多く、本論文ではこのような視野を前方視野とよんでいるが、ヒトの手足はその身体の前方に位置することが多いことから、前方視野は姿勢を表現するという観点で最も有力と考えられる。これに対して、本研究では視点を対象の後方に配置した後方視野を、標準的な前方視野とは対立的な視野として設定した。その意図は、以下のとおりである。すなわち、前方視野の場合、対象となる人物の左右が逆転した形で観測者の左右に映像として提示される。そのため、観測者は、自らの姿勢に合わせる形で対象者の姿勢を認知することになるが、そのためには対象者を“心理的に”180度旋回させる必要が生じる。このような回転は心的回転 *mental rotation* と呼ばれており、その回転角度の大きさに応じて心的回転に要する時間が長引くとの報告があり、その意味では、心的な回転といえ、物理的な回転と同様の負荷となる可能性があると予想される。これに対して、後方視野は、必ずしも一般的なものではないが、対象の向きが自らの向きと一致しており、前方視野のような心的回転を必要としない。その意味で、所要時間や正確さなどの認知コストを低減できるのではないかと期待されたからである。

なお、本研究では、単一の画像からではなく、様々な方向から対象を観測して対象の姿勢を認識することを対象としている。その意味では、前方からの観測と後方からの観測は視点の一連の旋回で連続的になされるものである。しかしながら、映像が初めて提示された瞬間にアバターをいずれの方向から観測しているかに応じて、その時の心理的な負担は異なるものと考えられる。そこで、本研究では、提示の起点として提示される視野を比較対象の因子として設定し、前方視野起点の水準と後方視野起点の水準の二つの水準を比較検討することとした。ただし、実際にはいずれの起点から観測を開始しても、視点を一周させればいずれの視野も観測できるが、本研究では、起点の違いの効果がより明確に現れるよう、観測可能な方向は起点を中心としてプラスマイナス 90 以内に制限した。なお、各視点において、事前にサンプル姿勢を見ながら視認方法の練習を行った。

### 3.3 提示映像

#### 3.3.1 提示視点

提示する視点と視野方向について、頭部連携視点・マウス連携視点・切替視点の視点 3 水準と、前方視野・後方視野の視野方向 2 水準の組み合わせで、6 水準となる。

#### 3.3.2 姿勢

提示姿勢は、ヨガや体幹トレーニングなどで一般に提示されている姿勢をもとにして、難易度をなるべく何段階かに分類できるように、実験者が独自に変更を加えた全 18 種類の姿勢を提示した。すなわち、その全 18 種類の姿勢には 3 つの基準を設け、3 つのグループへ 6 種類ずつ分類した。

- Plain (単純な姿勢)

このグループでは、姿勢が最も知覚しやすい1方向の画像でも姿勢を再現できるほどの単純な姿勢を分類する。

- Twisted (ひねりのある姿勢)

このグループでは、上肢にひねりがある姿勢を分類する。上肢のひねりにより身体部位が重なり、1方向から姿勢を認識することが困難になる。

- Crossed (部位が交差している姿勢)

このグループでは、身体部位が交差している姿勢を分類する。身体部位が交差していると、他の部位を隠すことが多くなり、Twisted (ひねりのある姿勢)に比べても、一層、複数の視点から姿勢を確認する必要がある。

これらの姿勢は、実験者が予め手本姿勢をとり、その時にモーションデータを記録する。この後で行う提示・認知・再現実験では、その姿勢を反映したアバターを提示する。

### 3.4 実験手順

一連の実験手順を以下に示す

1. 被験者はモーションキャプチャ装置を装着し、椅子に座り、HMDを装着する
2. 被験者はTポーズおよびNポーズをとり、モーションキャプチャ装置のキャリブレーションを行う。
3. 各姿勢提示前にTポーズをとっているサンプル画像を視認し、HMDを通してアバターを視認できることを確認する
4. 被験者は目をつぶり、実験者の合図を待つ
5. 実験者は仮想アバターの姿勢の変更及び視点条件の設定を行う
6. 実験者の合図とともに被験者は目を開け、自身の身体で再現できるまで、起点となる視野から左右90°の範囲で提示された姿勢を視認する。このとき、全身の部位の相対的な位置・角度関係のみならず、各部位の（基準座標系上の）

絶対的な角度も再現できるように姿勢を視認する。また、頭部連携視点の場合には頭部以外の四肢や体幹は動かさない。キー切替視点とマウス連携の場合には右手以外の四肢や体幹は動かさないように指示した。つまり、対象の姿勢の認知に際しては、自ら動作して自己受容感覚を援用することのないようにした。

7. 被験者は提示された姿勢を認知し、記憶して、身体で再現できると思った時点で、実験者に合図を送り、実験者は開始時点から被験者の合図までの時間を計測すると同時にアバターを消去する。
8. 被験者は椅子から立ち上がり、視認した姿勢を再現する。
9. 実験者は被験者の姿勢をモーションデータとして記録する。

### 3.5 評価

各動作教示方法間で被験者が姿勢認識に要した時間を評価する。

また、記録したモーションデータにより得られた姿勢から、手本姿勢と左右が反転している箇所および大幅に異なると主観的に判断された箇所を、頭部、胴体、手足といった主要部位ごとに減点数としてカウントする。例えば、ひねりの無い姿勢において、左右反転で再現された姿勢は、両腕両足の姿勢が手本と異なるため減点4とした。

視点因子、視野因子について、時間評価と姿勢評価の結果から統計的解析を行って認知の性能への影響について比較する。

## 3.6 結果

### 3.6.1 姿勢認識所要時間の評価

視点因子と視野因子については、交互作用が存在する可能性があることから、次のように視点因子と視野因子を組み合わせた 6 水準について結果を示す。

- 視点と視野の組み合わせ 6 水準

結果として、組み合わせ水準の姿勢認識所要時間に対して顕著な違いは認められなかった。

### 3.6.2 姿勢評価

姿勢認識所要時間の評価と同様に、視点因子と視野因子については、交互作用が存在する可能性があることから、次のように視点因子と視野因子を組み合わせた 6 水準についてその因子効果を調べた。

- 視点と視野の組み合わせ 6 水準

結果として、組み合わせ水準の姿勢に対して顕著な違いが見られた。

### 3.6.3 考察

全体を通して、姿勢認識所要時間（被験者自身が再現できると思うまでに要する時間）、平均、分散のいずれにおいても、姿勢の難易度に応じて大きくなる傾向は認められたものの、視点設定に関する因子、ならびに初期視野の因子のそれぞれの因子について個別に比較しても、あるいは両因子を組み合わせて比較しても、顕著な違いは認められなかった。



その一方で、前方視野での提示で、数名の被験者の姿勢再現において左右の反転が見られた。前方視野で姿勢を視認したときに、左右が反転しており、脳内変換が必要である。そのため、姿勢視認時に仮想アバターを鏡のように知覚すると、再現時に左右反転が発生するのではないかと考えられる。実際、再現姿勢減点評価値（被験者が再現した姿勢の誤りを評価した値）は、視点設定に関する因子、ならびに初期視野の因子のそれぞれでは顕著な違いは認められなかったものの、両因子を組み合わせた分析の結果、キータッチ×後方視野による組合せ水準 **Key-switched×Rear\_view combinatory-level** が最良の結果となった。

このように姿勢評価について、キータッチ×後方視野が最も良い結果となったが、これはキータッチによる視点変更は速度が最も速いこと、後方視野は脳内での姿勢左右反転処理が必要ないことが要因の一つではないかと考えられる。

最良のキータッチ×後方視野との対比では、キータッチ×前方視野が最悪の結果となったのが興味深い。前方視野起点では、左右反転して提示されている姿勢から脳内で心的に対象を回転させて左右を反転させる処理が求められるが、キータッチでは高速に正面と側面との間での視野が切り替えられるため、その高速性が逆にあだとなって心的回転処理が追い付かないということかもしれない。

## 第4章 まとめ

本論文では、仮想環境内での動作教示について、適切な姿勢提示方法を検討するため、実験を行った。

実験では、視点の水準として、頭部連携視点・マウス連携視点・キータブ視点、視野の水準として前方視野・後方視野を提示方法とし、姿勢認識にかかる時間を計測し、視点間と視野間について評価したが、どの水準間においても顕著な違いは見られなかった。このことを含め、以下を考察した。

- (1) 視点間で顕著な違いが見られなかったことについては、被験者の運動感覚をすするものとししないものの違いがあるが、視覚的な情報としては殆ど同じものであるため、違いが出なかったのではないかと考えられる。
- (2) 視野間で顕著な違いは見られなかったものの、いくつかの再現では部位の左右反転が見られた。そのため、前方視野の提示については、後方視野から前方視野に連続的に移動する映像を提示する等、対策が必要である可能性がある。
- (3) キータブの視点変更速度は、背面起点では姿勢認識に良い影響を与えるが、正面起点の場合では、悪影響となりうる。

今後は、姿勢を HMD で確認しながら姿勢を再現し、再現姿勢を手本姿勢とモーションデータで比較して誤差が基準を下回るまでの時間を測定する実験を行っていくことで、視点間の違いおよび視野間の違いについて解明を進めていく、

# 謝辞

本研究を進めるにあたり，終始懇切丁寧な御指導，御助言を賜りました三重大学工学部野村由司彦教授，ならび同医学部附属病院坂本良太助教に厚く御礼申し上げます。この場をお借りして謹んで感謝の意を表します。

実験の協力や助言をいただきましたプロセス解析研究室の皆様と家族に心より感謝いたします。

本研究は日本学術振興会科学技術研究費補助金，基盤研究(B) 15H02929 「弱い力による「誘発」に着目した動作教示手法の提案と一般手法に対する多次元比較」の助成を受けたものです。

# 参考文献

- [1] Covaci, A., Olivier, A. H., & Multon, F. (2015). Visual Perspective and Feedback Guidance for VR Free-Throw Training. *IEEE computer graphics and applications*, 35(5), 55-65.
- [2] Salamin, P., Tadi, T., Blanke, O., Vexo, F., & Thalmann, D. (2010). Quantifying effects of exposure to the third and first-person perspectives in virtual-reality-based training. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 3(3), 272-276.
- [3] Ehrsson, H. H., Holmes, N. P., & Passingham, R. E. (2005). Touching a rubber hand: feeling of body ownership is associated with activity in multisensory brain areas. *Journal of Neuroscience*, 25(45), 10564-10573.
- [4] Sakamoto, R., Yoshimura, Y., Sugiura, T., & Nomura, Y. (2009, June). INT-13 External Skeleton Type Upper-limbs Motion Instruction System (Intelligent Machines IV, Technical Program of Oral Presentations). In *Proceedings of... JSME-IIP/ASME-ISPS Joint Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment: IIP/ISPS joint MIPE (Vol. 2009, pp. 59-60)*. 一般社団法人日本機械学会.
- [5] Hoover, A. E., & Harris, L. R. (2015). The role of the viewpoint on body ownership. *Experimental brain research*, 233(4), 1053-1060.
- [6] Twemlow, S. W., Gabbard, G. O., & Jones, F. C. (1982). The out-of-body experience: A phenomenological typology based on questionnaire responses. *American Journal of Psychiatry*, 139(4), 450-455.
- [7] David, N., Bewernick, B. H., Cohen, M. X., Newen, A., Lux, S., Fink, G. R., ... & Vogele, K. (2006). Neural representations of self versus other: visual-spatial perspective taking and agency in a virtual ball-tossing game. *Journal of cognitive neuroscience*, 18(6), 898-910.

- [8] Ehrsson, H. H., Holmes, N. P., & Passingham, R. E. (2005). Touching a rubber hand: feeling of body ownership is associated with activity in multisensory brain areas. *Journal of Neuroscience*, 25(45), 10564-10573.
- [9] “MakeHuman | Open source tool for making 3d characters” <http://www.makehuman.org/>  
(参照 2017-02-04)
- [10] “What is about Unreal Engine4” <https://www.unrealengine.com/ja/what-is-unreal-engine-4> (参照 2017-02-04)