



「つもり」抽出時のバーチャルな自己主体感の生起と評価

宮本拓¹⁾, 原彰良¹⁾, 西村朋樹¹⁾, 中尾駿太¹⁾, 古川正統¹⁾²⁾³⁾, 前田太郎¹⁾³⁾

1) 大阪大学 情報科学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5)

2) 国立研究開発法人科学技術振興機構 さきがけ (埼玉県川口市本町 4-1-8)

3) 脳情報通信融合センター (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-4)

{hiroki-miyamoto, akiyoshi-hara, tomoki-nishimura, syunta-nakao, m-furukawa, t-maeda}@hiel.ist.osaka-u.ac.jp

概要: MovingRHI に代表されるように, 自己主体感の生起には自発的な運動が必要であるとされている. 本報告では自発的な運動を伴わずとも, 自身でロボットを動かしている「つもり」になることでバーチャルに自己主体感を生じ得ることを示す. 自己主体感の評価には RHI と同様の手法を用い, バーチャルな自己主体感が生じることで, 「つもり」動作時の運動分散が小さくなり, 操縦に転じた際の操縦性の向上につながることを示す.

キーワード: VR 心理学, 入力デバイス, つもり, 自己主体感

1. はじめに

自己主体感 (Sense of Agency) とは, 観察される運動を自身が引き起こしたという感覚である. 過去の報告ではアバターに対する自己主体感[1]や, 本来の腕ではないラバーハンドに対する自己主体感[2]についての報告が多くある. しかしながら, いずれの報告も, 自発的な運動が伴う場合についてのみ調査されており, 自発的な運動が伴わない場合については調査されていない.

一方で, ヒトの離散的な運動意図を, ヒトが直感的に出力した連続的な動作から抽出・推定し, それを利用することによって, 直感的にロボットを操縦する手法として「つもり」制御[3]がある. つもり制御の概略図を図 1 に示す.

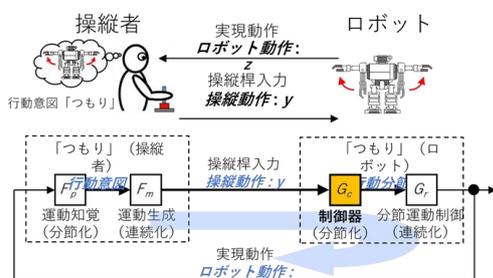


図 1 つもり制御の概略図

Hiroki MIYAMOTO, Akiyoshi HARA, Tomoki NISHIMURA, Syunta NAKAO, Masahiro FURUKAWA, and Taro MAEDA

この制御方法では, 抽出段階においてヒトの身体動揺を計測しており, この身体動揺にあらわれる運動再現性を利用することで意図推定, 制御を行っている. この運動再現性が生まれるためには, 運動予測が一致することが必要だと考えられる.

そこで我々は, 自発的な運動は伴わなわずとも, 観測される運動を自身が引き起こしている「つもり」になっており, 運動再現性があれば, つまり運動予測が一致していれば自己主体感が生起するという仮説を立て, 調査を行った.

本論では, ロボットを操縦している「つもり」になっているときの身体動揺, 運動の再現性を評価および自己主体感を評価する. これにより, 自己の運動を伴わずとも自己主体感と等価なバーチャルな自己主体感が生起することを示す. さらに運動再現性とバーチャルな自己主体感の関係を明らかにする.

2. 「つもり」になることと自己主体感の関係

ロボットを操縦している「つもり」になるということは, ロボットの運動に関する視覚情報に対して, ヒトが運動予測を立てるということである. ここでヒトが予測しているロボットの運動, つまり運動イメージと視覚から得られる情報にエラーが生じる. そしてそのエラーを基にヒトは運動イメージを修正し, 精度を高めていく. 本研究で扱う「つもり」制御における抽出とは, この運動イメージによる入力を測定しており, 入力安定することはヒトに運動イメージが定着していることを意味する.

一方で, 自己主体感とは, 視覚情報として得られる運動

を自らが引き起こしたという感覚のことである。この感覚はヒトの運動計画に基づいて予測される運動と、実際に視覚から得られた運動が一致することによって生起すると考えられる。

つまり、ロボットを操縦している「つもり」になることでも、明確な運動イメージ、運動予測ができていれば自己主体感が生起することが予測される。ここでは自発的な運動を伴わないため、従来の自己主体感と区別するため、バーチャルな自己主体感と呼ぶことにする。また明確な運動イメージがあれば、それに基づいた入力安定することから、バーチャルな自己主体感が強ければ、入力信号がより安定すること、逆に入力信号が安定していればバーチャルな自己主体感が生起していると考えられる

3. ヒトの運動意図の抽出実験

3.1 実験装置の概要

運動再現性を評価するため、「つもり」抽出に用いられる環境を利用する。抽出環境を図2に示す。図に示す29自由度を持つヒト型ロボット(KHR-3HV, 近藤科学製)を用いて動画を作成し、その動画をディスプレイに映している。動画では上肢の運動のみを利用している(図3)。また動画はロボット背面から撮影されており、被験者はロボットを背後から観察することになる。



図2 抽出環境

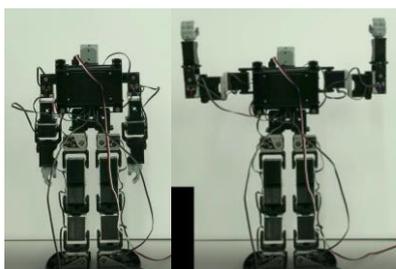


図3 動画のシーンの一例

操縦桿は6軸力センサ(PFS055YA251U6, 株式会社レプトリノ製)の上に垂直にグリップを固定したものを右手用および左手用として計2個用意した。2個の操縦桿は机に固定されており、被験者がグリップを握った状態で手に込めた力を力センサからデータとして得る。このときグリップは固定されているため、グリップが傾いたり動いたりすることはない。各力センサから得られる値は並進方向の力成分(F_x, F_y, F_z), モーメント成分(M_x, M_y, M_z)の6軸分のデータである。よって入力側は計12自由度となる。

本実験においてロボットの制御周波数及び力センサのサンプリング周波数は50Hzである。また被験者の姿勢は胸当てによって固定され、姿勢及び手の位置関係は一定を保っている。

3.2 抽出実験手順と条件

まずロボットの行動分節として一定間隔長(1.6秒)の連続動作(運動分節)を44種類用意した。そしてこの44種類の行動分節の中から22個を組み合わせた動作列を5種類(A~E)用意する。44種類の連続動作は動作列A~Dの中にそれぞれ2回ずつ現れる。この時、被験者は各動作列を見ながら自分が操縦するつもりになって操縦桿に対して入力を行い、また、動画中の動作列を覚えるように指示されている。さらに、被験者にロボットの行動分節の区切りを提示するために、ロボットの行動分節と行動分節の間にリズム音を提示しており、被験者はこれに合わせて入力を行うよう指示されている。

各動作列は5回連続で提示される。また、これら動作列を4種類×5回を1セットとし、4種類の動作列はランダムな順に提示される。また、セットの間には3分間の休憩を設けた。この休憩中にアンケートを行った。これを8セット(A~Dの各動作列に対して40施行)行った。

アンケートは自己主体感に関する設問であり、Moving Rubber Hand Illusionにて用いられている設問[4]を参考にして、表1に実施したアンケートを示す。内容は自己主体感に関する質問が4問(質問番号1~4)、コントロールが4問(質問番号5~8)である。これを-3~+3の7段階で回答させた。-3が完全に同意しない、+3が完全に同意する、0がわからないを意味する。

表1 アンケート内容

質問番号	質問内容
1	目の前のロボットは、私の意図に従っているかのように、私が動かしたいと思った通りに動いた
2	私には、目の前のロボットの動きを、私がコントロールしているかのように感じられた
3	私には、私が見ている動きを、私が引き起こしているかのように感じられた
4	私が予期した運動イメージと目の前のロボットの動きが一致していた
5	私には、目の前のロボットが私の意思をコントロールしているかのように感じられた
6	私には、目の前のロボットが私の動きをコントロールしているかのように感じられた
7	目の前のロボットがしばしばそれ自身の都合で動いているかのように思われた
8	私には、目の前のロボットの動きと私が予期していた動きにずれがあったように感じられた

被験者はA, B, C, D, E, F, G, H, Iの9人の20代の学生であり、被験者全員が男性であった。これらの被験者はこれまでに「つもり」実験に被験者として参加したことはない。被験者Iのみ、これまでに実験者として参加したことがある。ただし被験者B, Cに関しては実験中に計測器の故障により一部データが破損していたため本論では評価を行わなかった。

4. 実験結果

図4に操縦桿入力の一例として被験者AのDの動作列に対する右手側 F_x 軸の操縦桿入力の値を標準化(Z-Score)化したものを示す。縦軸が入力された力を標準化したもの、横軸が時間経過、各プロットがある1試行の操縦桿入力である。

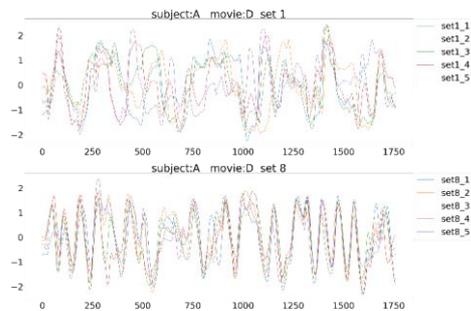


図4 操縦桿入力の一例

図に示すように1セット目では安定していなかった入力が8セット目(最終セット)ではほぼ一位に安定しているように見える。この傾向は解析に用いた全被験者全入力軸に見られた。

なので右側 F_x 軸に注目して運動再現性の評価を行う。評価には、動作列A~Dに対して、横軸を試行回数、縦軸を最終試行と各試行における入力との2乗平均平方根誤差としたものを学習曲線として用いる。

図6に全被験者の学習曲線を示す。被験者Aでは試行が最終試行近づくにつれて縦軸の値、つまり運動の分散が小さくなっていることがわかる。この傾向は解析に用いた全被験者全入力軸に見られることがわかる。また、一部の被験者(被験者A, F, I)においては、試行回数が少ないうちは運動分散が動作列間でバラつきが見られるが試行回数が増えるにつれてそのバラつきが小さくなっていることが確認できる。これは運動イメージが定着しているといえる。

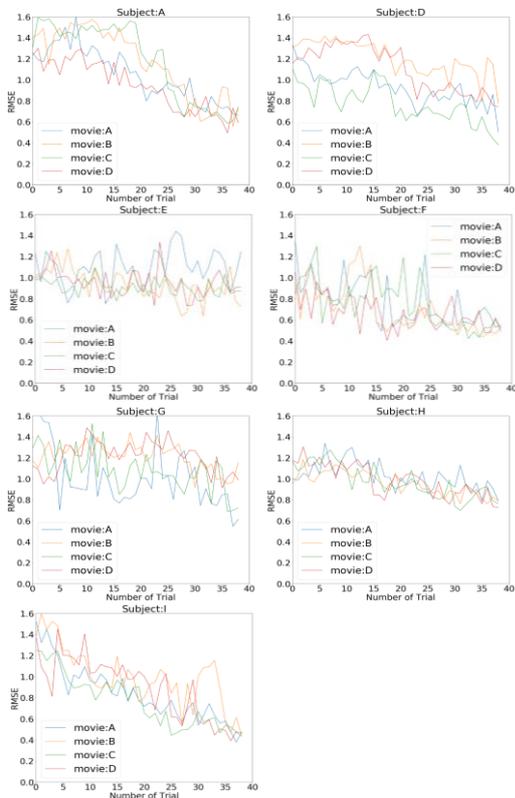


図6 全被験者の学習曲線

対して、全被験者のアンケート結果を図7に示す。ア

ンケートは実験前後における自己主体感を中心に扱うため、1セット目と8セット目のものを示している。結果は質問番号1~4(自己主体感に関するもの)から質問番号5~8(コントロール)を引いたものを扱うことで評価する。検定は被験者内のみ、つまり1セット目直後と8セット目直後でのみ行った。

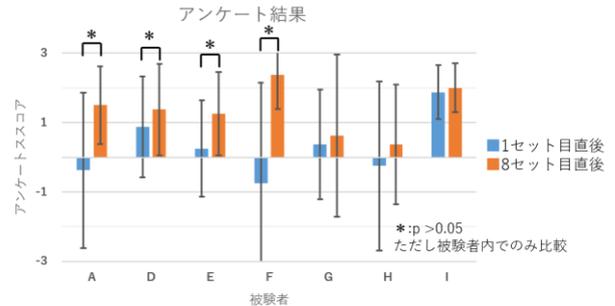


図7 アンケート結果

図7から被験者G, H, Iを除いて自己主体感が向上していることがわかる。被験者G, Hは実験を通して自己主体感が生起していなかったと考えられる。また、被験者Iは実験を開始した時点から自己主体感が生起していたと考えられる。

5. 考察

被験者別に学習曲線とアンケート結果の関係を考察する。被験者A, F, Iでは学習曲線から試行回数が増えるにつれて運動イメージが定着していることが確認でき、またアンケートからこの3名の被験者は自己主体感を生起させていることがわかる。被験者Iのみ1セット目から自己湯体感が生起しているのは、実験者として以前に実験に参加しており、動作列を見ることが初めてではなかったためだと考えられる。

一方、被験者Hも上記3名と同様に学習曲線から実験終盤にて運動分散の動作列間でのバラつきが小さくなっていることが確認できるが、実験序盤からすでに運動分散の動作列間でのバラつきが小さいことがわかる。これは「つもり」になることに失敗しており、視覚情報と運動イメージのずれを修正していなかったと考えられる。アンケートを確認しても被験者Hには自己主体感が生起していないと考えられる。

被験者D, Eは実験を通して運動分散の動作列間でのバラつきが大きく、運動イメージが定着していない。しかし、アンケートによると両名ともに自己主体感が向上している。そこで各セットでのアンケート結果を図8に示す。ここでは、自己主体感の質問とコントロールの質問、それぞれの平均を示す。

被験者Dのアンケート結果から、序盤ではコントロール(質問番号5~8)のスコアが0付近であるにも関わらず、自己主体感(質問番号1~4)のスコアが高く出ている。さらに実験を通して自己主体感(質問番号1~4)のスコアに大きな変化は見られず、コントロール(質問番号5

~8) のスコアが小さくなっている。このことから自己主体感が生起していなかったと、もしくは生起していたとしても弱かったことと考えられる。このことと学習曲線の結果から、被験者 D は明確な運動イメージが定着しなかったと考えられる。

また、被験者 E のアンケート結果から、1セット目を除いた全セットでのアンケート結果に変化が見られない。このことから、被験者 E は運動イメージが定着しなかったといえる。このことは、学習曲線の結果と一致する。

被験者 D, E にみられる傾向は他の被験者には確認されなかった。

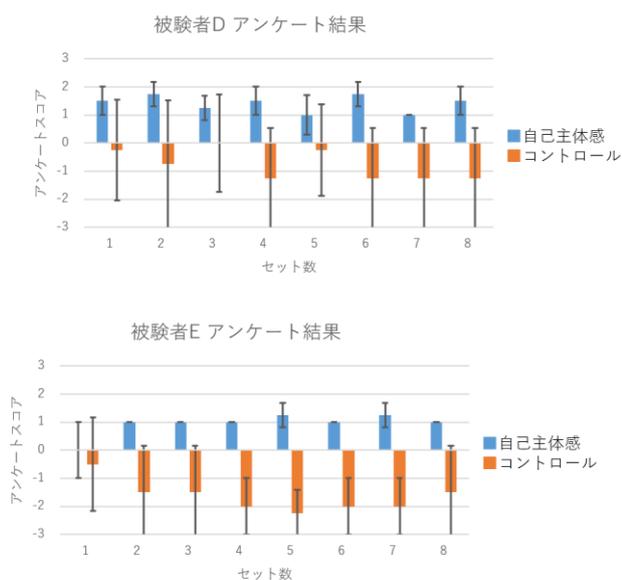


図8 被験者 D (上), E (下) のアンケート結果

被験者 G においては実験を通して運動分散の動作列間でのバラつきが大きく、運動イメージが定着していないことがわかる。またアンケート結果からも実験を通して自己主体感が向上していないことがわかる。

以上のことから、被験者 1 名を除き、学習曲線からわかるように運動イメージが定着、つまり動作が収束した被験

者には、強い自己主体感が生起していることがわかる。一方で、運動イメージが定着しなかった被験者には、自己主体感が向上しなかった。

自己主体感がある場合では、身体動揺により安定した再現性が得られ、ヒトの身体動揺を利用した制御の性能向上につながる可能性が示唆される。

今後、運動の再現性と自己主体感の関係を明らかにすることで自己主体感の客観的評価手法が提案できることが期待される。

6. まとめ

自発的な運動は伴わなわずとも、観測される運動を自身が引き起こしている「つもり」になっており、運動再現性があれば、バーチャルな自己主体感が生起することがわかった。

また、運動再現性がない場合には自己主体感が生起しないことがわかった。

謝辞 本研究は、コマツみらい建機協同研究所との共同研究の成果である。

参考文献

- [1] 渡邊 翔太, 川合 伸幸: 前腕 CG モデルと実際の行為が質的に異なっても運動主体感誘発されるが身体所有感の生成には完全な一致が必要, 認知科学, 2017, 24 巻, 2 号, p. 185-195
- [2] Botvinick M., Cohen J: Rubber hands 'feel' touch that eyes see, *Nature*, pp.391,1998.
- [3] Niwa M., Okada S., Sakaguchi S., Azuma K., Iizuka H., Ando H., Maeda T: Detection and Transmission of "Tsumori", International Conference on Artificial Reality and Telexistence(ICAT), Dec. 2, 2010 Adelaide, Australia
- [4] Kalckert, Andreas, and H. Henrik Ehrsson. "Moving a rubber hand that feels like your own: a dissociation of ownership and agency." *Frontiers in human neuroscience* vol.6, 2012.