

錯覚した身体感覚の位置計測システムの開発

伊与田正晃¹ 上杉繁² 三輪敬之³

早稲田大学大学院理工学研究科¹ 早稲田大学先端科学健康医療融合研究機構² 早稲田大学理工学術院³

1. はじめに

身体感覚とは身体の姿勢や動き、または所有感についての感覚であり、視覚や体性感覚などの異種感覚を統合した感覚である。この身体感覚において、実際の身体とは異なる位置にある模型の手や鏡像の手に対し、自身の一部であったり、身体の位置が変化したりと感じる錯覚現象がゴム製義手錯覚[1]や鏡像錯覚[2]として報告されている。これらの錯覚現象の問題に取り組むことは、身体感覚を生成する脳のダイナミクスを解明するために重要であると考えられている。しかしながら、錯覚が生じている際の脳活動の計測は昨今進んでいるものの、身体感覚の変化を評価する手法については発展途上である。例えば、アンケート調査は、実験後の主観調査であるため、錯覚中にどのような動的変化が生じているのか調べることは困難である。またリーチングタスク時に錯覚の影響による身体位置のズレに着目した研究がある[3]。しかしリーチングのような身体移動を伴う動作ではタスク自体によって身体の位置感覚が変化するため、ある時点の状態しか計測できない。そこで本研究では身体の微小な動作を利用し錯覚による位置感覚変化を連続的に計測する手法を考案したので紹介する。

2. 提案する計測方法

提案する計測手法を図1に説明する。まずは自分の手の位置を基準にして、対象点がどちら

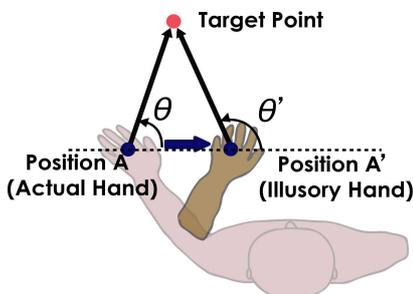


Fig 1. Basic Concept of Measurement Method

Development of Position Measurement System for Illusory Body Sensation

¹Masaaki Iyoda, ²Shigeru Wesugi, ³Yoshiyuki Miwa

¹Graduate School of Science and Engineering, Waseda University, ²Consolidated Research Institute for Advanced Science and Medical Care, Waseda University, ³School of Science and Engineering, Waseda University

の方向に位置しているかを指し示す状況を設定する。仮に、自身の手が位置していると感ずる場所が錯覚により位置 A から位置 A'へと変化したならば、対象点を指し示す角度は、 θ から θ' へ変化すると考えられる。その角度変化を計測することにより位置感覚変化の度合いを計測する。さらに位置感覚の動的な変化を計測するために、対象点を移動させながら指し示す角度を連続的に計測する。方向を指し示す手法において、腕を大きく動かさないほうが錯覚を生じさせやすいことから、手で握ったレバーを倒すようなイメージを想定し、手が接触している板に加える荷重の重心位置を操作し方向を表現する計測システムを開発する。

3. 計測実験システムの開発

重心位置を計測するための装置は図2のように一般的な重心動揺計と同じ原理で設計した。すなわち四角形の頂点である4点に感圧センサを配置し、その上にプレートを乗せることによってプレート上加える物体の荷重重心の位置を、センサの位置と出力値よりモーメントの釣合いの式から求める。センサを配置した4点の中心を原点として重心位置へのベクトル方向を対象点への方向として定義する。4点に配置した感圧センサ (FlexiForce®, Tekscan) は、装置下部 (200×200 [mm]) に対して動かないように固定した。センサの感圧エリアが先端の円形部分のみであるので、センサと接触し手を載せるためのプレート (160×160 [mm]) には円柱状の接触部がプレート下部の4点 (140 [mm]の正方形の頂点) に配置されている。各データは 65 [Hz] で A/D 変換され、コンピュータ上で重心位置を

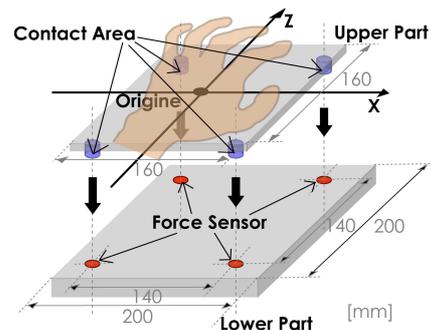


Fig 2. Center of Gravity Pointing Device

算出する．性能評価として荷重試験を以下のように行った．想定している操作時の荷重に近い分銅(400 [g])を用い，極座標系において既知の場所(138 箇所)に置いたところ，半径 10 [mm]の位置で誤差が最大(標準偏差 5.7 [°])になり，半径 50 [mm]の位置で誤差が最小(標準偏差 2.7 [°])となった．また出力値が安定するまでに約 80 [msec]かかることが分かった．さらに 15 [inch]の液晶ディスプレイにて装置の中心から 45, 90, 135 [°]の位置に対象点を一定時間ずつ提示し，それぞれを指し示すタスクにより静的な指示性能を調べた．十分に装置の操作法を訓練した被験者(3 名)により各角度に対して 10 回ずつ試行した結果を表 1 に示す．レーザーポインタや指で指示する場合と異なり，本手法では視覚的な手がかりがないためこのような誤差があるのではないかと考えられる．

Table 1. Results of Static Pointing Task

Direction to Target Point [°]	45	90	135
Mean Value [°]	43.6	89.9	133.0
Standard Deviation (N = 30) [°]	8.1	5.5	6.6

次に動いている対象点を追従しながら指し示すというタスクを行うことにより，指示動作の追従性を調べた．対象点を 45–135 [°]間を正弦波的に移動させ 15 秒間サンプリングしたときの結果を表 2 に示す．対象点の周期が短いときは手の動きが追いつかず，誤差が大きくなる．

Table 2. Results of Tracking Task

Time Cycle [s]	0.5	1	5	10
Standard Deviation (15 [s], N = ca. 750) [°]	20.4	10.2	6.6	7.1

この計測装置を，錯覚を生じさせるシステムに組み込んだ．身体感覚を変化させる錯覚として，今回はゴム製義手錯覚を選択した．ゴム製義手錯覚とは等身大の義手と見えない位置においた自身の手に同期的な視触覚刺激を与え続けることで，義手が自身の一部のように感じるという錯覚である．この錯覚を生じさせる装置と計測装置を組み合わせた実験システムを図 3 に示す．ゴム製の義手(男性左手)，衝立(410 × 550 [mm])を設置し，サーボモータによって被験者の左手と義手を絵筆で同期的に撫でることのできる錯覚装置を開発した．そして一台のコンピュータから錯覚装置の制御，また衝立によ

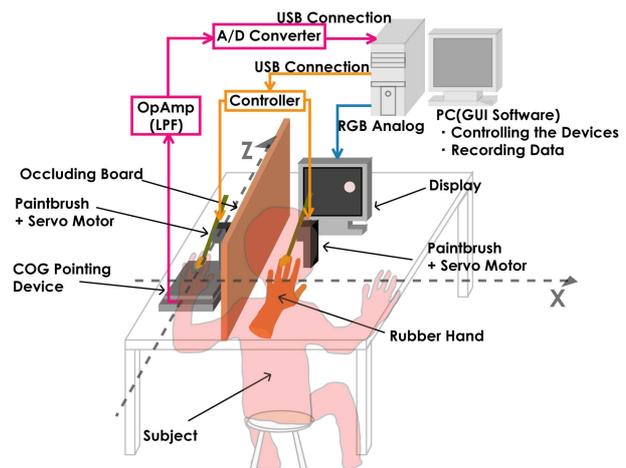


Fig 3. Rubber Hand Illusion Experiment System

て遮蔽した左手の下に設置した重心位置計測装置による指示方向記録，そして被験者の前に設置したディスプレイに提示する対象点の位置記録を可能とするソフトウェアを開発した．感圧センサを配置した 4 点の中心である原点から義手を $X = 260$ [mm]，ディスプレイの中心を $X = 345$, $Z = 290$ [mm]に設置し画面の両端に対象点を動かした場合，仮に義手の位置に自分の手があると感じたときの角度変化は，21–47 [°]の範囲である．この角度範囲は表 1, 2 に示した指示動作による誤差のばらつき以上であることから，本実験系において開発した装置が期待される角度変化を計測できる性能を満たしていると考えられる．

4. まとめ

錯覚による身体感覚の変化を位置感覚に着目し，身体の微小な動作によりその変化を連続的に計測するための装置を開発した．またゴム製義手錯覚を生じさせる装置と組み合わせた実験システムを構築した．さらに計測装置の評価を行うことにより実験に十分な性能を満たしていることを示した．今後は本実験システムを用い，実際に錯覚による位置感覚の変化を計測するための実験を行う予定である．

参考文献

- [1] M. Botvinick, J. Cohen, “Rubber Hands ‘feel’ touch that eyes see”, *Nature*, 391, p.756 (1998)
- [2] V.S. Ramachandran, W. Hirstein, “The perception of phantom limbs”, *Brain*, 121, pp.1603–30 (1998)
- [3] N. P. Holmes, H. J. Snijders, C. Spence, “Reaching with alien limbs: Visual exposure to prosthetic hands in a mirror biases proprioception without accompanying illusions of ownership”, *Percept Psychophys*, 68(4), pp.685–701 (2006)