

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20700249

研究課題名（和文） VR技術を利用した動的に変化する道具の身体化に関する研究

研究課題名（英文） Embodiment of Dynamically-changed Tool Utilizing Virtual Reality

研究代表者

渡辺 貴文（WATANABE, Takabumi）

早稲田大学・理工学術院・助手

研究者番号：20449341

研究成果の概要（和文）：多くの道具では使用の際、その動きに応じて形状などの特性が変化する。本研究では道具の形状変化が道具の身体化に及ぼす影響について調査を行うことを目的とした。そこで、道具使用者の周期的な手の振りのリズムに応じて、把持した道具が様々な力学モデルに従って伸縮する Virtual 棒システムを開発した。2、3の力学モデルを実装した Virtual 棒による実験を行ったところ、筋電位によって、道具使用行為の型（身体図式）の獲得の評価ができる見通しと、Virtual 棒の伸縮リズムの違いによって身体化のプロセスが異なる可能性が示された。

研究成果の概要（英文）：In many tools, its form is changed according to the motion of tool-use. The aim of this study was to investigate the effect of form change of tool on embodiment of tool. For this purpose, we developed a virtual stick experiment system, in which the virtual stick could extend toward longer direction based on several dynamic models corresponding to user's swing. Experiments on using the virtual stick including models showed features of interactions between user's swing and the virtual stick, and possibility of evaluation of embodiment of tool by myoelectric potential.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、認知科学

キーワード：感覚・知覚・注意、道具の身体化、身体性、仮想道具、VR、リズム

1. 研究開始当初の背景

ペンやはさみなど道具の使用時において、道具が対象物に触れる際、道具と身体が一体

となり、直接手で触れているような感覚が創出することがある。このことは道具の先端にまで身体が拡張している（道具の身体化）と

考えることができ、脳科学 (Iriki(1996)) や認知科学の分野 (Maravita(2004)) における研究からも裏付けられつつある。

一方、道具側に目を向けてみると、多くの道具が使用者の動きに応じてその形状などの特性が動的に変化する。たとえばテニスラケット、ペンや筆、釣竿、玩具などにおいては、その使用中にしなりや伸縮などのリズムカルな形状の変化が生じる。また、我々はこのような道具を店頭などで選び出す際、素振りやためし書きといったリズムカルな行為を通して自身の身体との相性を確かめ、より身体と馴染み一体感が創出しそうな道具を選択する。したがって、道具の身体化に身体行為のリズムと道具に表現されるリズムの関係性が関わっている可能性が推察される。しかしながらこれまでの道具の身体化の研究においては道具側の挙動そのものはほとんど考慮されておらず、道具の挙動が道具の身体化に及ぼす影響は未知である。

2. 研究の目的

本研究では上述の問題意識にもとづき、道具使用時における身体行為と道具のリズムに着目し、道具使用者の周期的な手の振りのリズムに応じて、把持した道具が、様々な力学モデルに従って動的に変化する Virtual Tool システムを開発する。そして、手の振りや Virtual Tool の形状変化と道具の身体化との関係について、筋電を用いた挙動計測や主観評価を用いて調査を行う。

3. 研究の方法

(1)道具の種類

身体行為に応じて動的に変化する道具を選択するにあたり、問題を単純にするため下記の方針に基づいた。

- 一般的な道具の使用場面を想定すると、身体と道具と対象物の3者間の関係を考慮しなければならないが、まず手始めとして身体と道具のみの2者間の関係として取り扱える道具であること
- 身体行為に対して道具の動きが顕著に現れること
- 形状や挙動が単純であること

以上を踏まえ、カメレオン棒型の道具に着目した。カメレオン棒とは細長い紙をプラスチック製の棒に幾重にも巻きつけた玩具であり、振りの動作に対して巻いた紙が棒の長手方向に周期的に伸長する。使用者はカメレオン棒の使用そのものを楽しむ。すなわち道具と身体との2者関係として扱うことが可能な道具である。

(2) Virtual Reality の利用

道具の形状変化と道具の身体化との関係について調べるためには、弾性係数や減衰係数、

質量や長さなどカメレオン棒の力学的なパラメータを様々なコントロールできる必要がある。そこで本研究ではバーチャルリアリティ (VR) 技術を利用し実験環境を構築する。

なお、視覚刺激と触覚刺激の統合に着目した Cross-modal Congruency Task (Maravita(2004)) を、長さ一定の仮想の棒と実際の棒において行ったところ、両者の間において、同等の結果が得られており(渡辺他(2008))、本 VR システムによって実物の棒のシミュレーションを行う妥当性が示唆されている。

(3) 身体化の評価手法

視覚刺激と触覚刺激の統合に着目した Cross-modal Congruency Task は道具の使用中には行なうことができない実験手法である。一方、本研究では、行為に応じた道具の動的な変化が、道具の身体化にどのような影響を及ぼすか調べるものであり、道具使用中の評価が重要となる。そこで、身体化に伴って最適化に向かい、変化すると予想される道具使用行為の動作に着目した。具体的には、道具使用における身体動作と、表面筋電位を計測し、主観調査と関連づけながら評価することを試みる。

4. 研究成果

(1) 実験システムの構築

本システムは VR 技術により再現された Virtual なカメレオン棒 (以下、Virtual 棒) の力覚および映像提示機構から構成される。実験システムの全体構成を図 1 に示す。

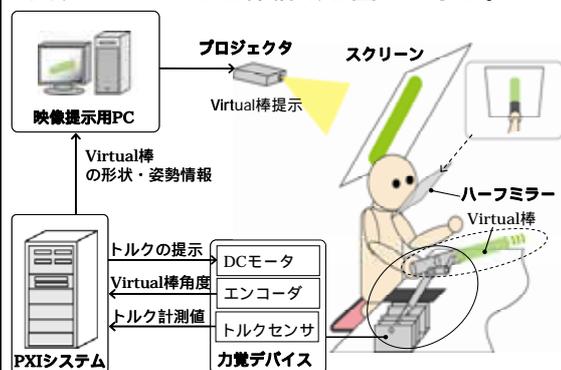


図1 実験システムの全体構成

Virtual 棒の力覚は、Virtual 棒の伸縮による慣性モーメントや重心位置の変化に応じたトルク出力を行う。図2に示したハードウェアは水平周りの回転軸にグリップが取り付けられており、逆可動性の高いワイヤブリー機構を用いた減速機構により増幅されたモータの出力をこの軸に伝達する。制御はエンコーダ(Maxon社製 HEDL 5540)からの姿勢情報と、軸とグリップの間に取り付けられたトルクセンサ(ピーエルオートテック社

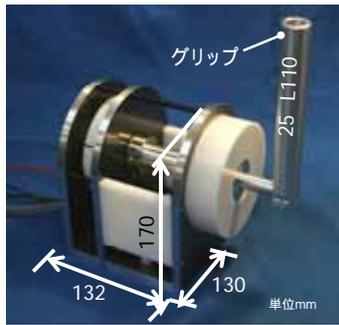


図2 開発した力覚デバイス

製 MINI 4/20)からの情報をもとに、PID 制御を行う。以上の制御には PXI システム (National Instruments 社)を用いた。

Virtual 棒の映像提示については、実空間と3次元的な仮想映像の重畳表現を可能にするヘッドアップ型のディスプレイを開発した。すなわち、グリップの位置・角度情報から PC 上において生成した Virtual 棒の映像は(図 4(c))プロジェクタから被験者の頭部後方に設置したスクリーンに投影され、この映像がハーフミラー越しに被験者に提示される。この際、投影した Virtual 棒の映像が3次元的に見えるよう、被験者の視点位置とハーフミラーの位置姿勢、被験者の頭部後方に設置したスクリーンの位置や角度をもとに Virtual 棒の映像に射影変換を施す。以上により、把持して動かすグリップと伸縮する棒状の3次元的な仮想映像を、誤差 2[cm]以内の精度と約 60[fps]の描画速度で接合して提示することを実現した。

次に Virtual 棒の伸縮リズムの生成手法について述べる。本研究では図 3 のように Virtual 棒の先端に、長手方向にのみ運動する質点があるものと仮定する。すなわち、後述するような常微分方程式で表現される力学モデルに従って運動する質点の位置に合わせて Virtual 棒が伸縮する。力学モデルを表現する微分方程式はオイラー法により数値的に解いた。

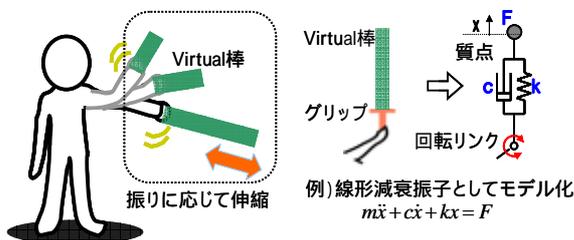
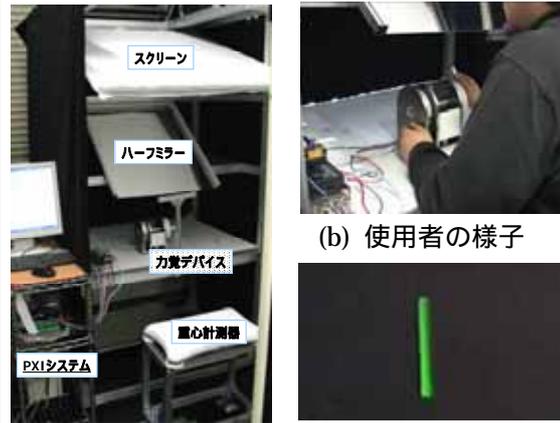


図3 Virtual 棒におけるモデル化

Virtual 棒の映像の生成は PXI システムとは別の映像提示用 PC で行う。そこで、PXI システムと映像提示用 PC の間においてシリアル通信を行い、PXI システムから映像提示用 PC へ Virtual 棒の長さや角度の情報を送信す



(a) 実験システムの全景 (c) Virtual 棒の映像

図4 実験システムの全景と使用の様子

る。本システムの全景と実際の使用の様子を図 4 に示す。

(2) 様々な力学モデルにおける実験、評価
開発したシステムを用いて、三つの力学モデルを実装し、実験を行った。一つ目はカメレオン棒を模した線形減衰振動子である。二つ目は、線形減衰振動子の弾性係数と減衰係数をある時間で変化させ、固有振動数が変化するモデルである。三つ目は、拳動の予測が難しい非線形的なモデルである非線形減衰振動子である。

実験は各条件につき 90 秒間、被験者が心地よいと感じる自由なリズムで手首を使って Virtual 棒を振ってもらった。この際、Virtual 棒の振りの動作によって生じる表面筋電位および Virtual 棒の先端に加わる外力と、伸縮する Virtual 棒の長さや手の振りの仰角の値をそれぞれ計測・算出した。表面筋電位は Virtual Tool を振り上げる際に活動する長橈側手根伸筋と振り下げる際に活動する尺側手根屈筋に貼付した。以上に加え Virtual 棒の伸縮と手の振りのリズムの一致度を調べるために相互相関解析を行った。相互相関解析は、相関係数の大きさの時間的変化を見るため、15[sec]の幅でサンプリングし、正規化した波形間の相関係数を連続して算出した。ズレ時間は 0[sec]とした。なお、被験者は右利きの成人男性 5 名である。実験結果を以下に示す。

線形減衰振動子

計測の結果の一例を図 5 に示す。比較的一定のリズムで、Virtual 棒を降っている様子が見える。また相互相関係数は終始高い値となった。尺側手根屈筋に注目すると、開始から 30 秒前後で、ピークの値が小さくなっていく様子が見える。また、「リズムに慣れるまでは Virtual 棒に合わせて先端に意識を集中した」「コツを掴んだ後半は特にスムーズに動かすことができた」などのコメントが得られた。以上のことは、Virtual 棒を

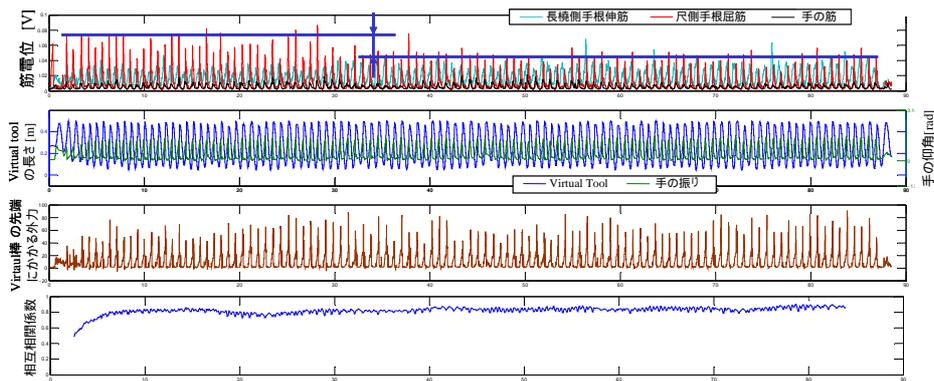


図5 計測結果の一例 (条件 線形減衰振動子)

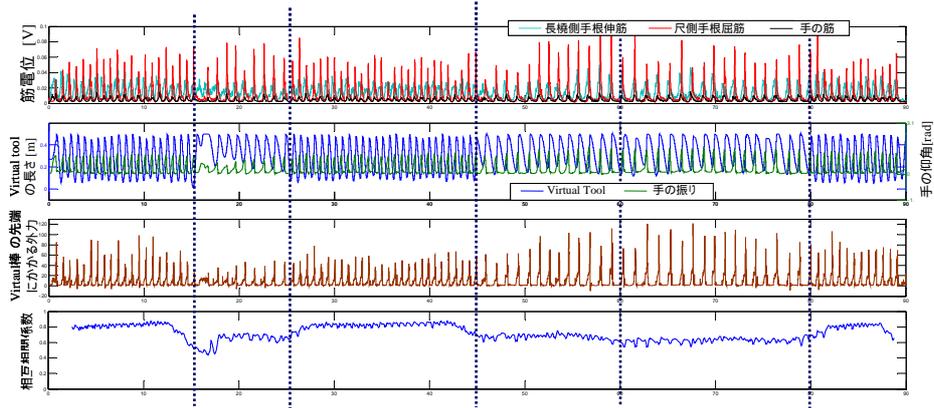


図6 計測結果の一例 (条件 線形減衰振動子 (パラメータ変化))

振るにつれ、手の余分な力が抜け、円滑に操作できることが、筋電位のピークの減少という形で計測にて捉えることができている可能性を示すものである。

線形減衰振動子 (パラメータ変化)

計測の結果の一例を図6に示す。縦の点線はVirtual棒の固有振動数が変化している時点を示している。固有振動数の変化に応じて、手の振りのリズムが変化している様子が見える。被験者からは、「遅い動きへの変化は身体が戸惑い、振ることへの意識が強まった」「遅い動きは合わせ難かった」といったコメントが得られた。相互相関係数をみると、遅い周期の時には比較的低い値となっていること、また、遅い周期においては、筋電位やVirtual棒の先端にかかる力が大きくなっている様子が見える。このことは、被験者にとって、もともと合わせやすいリズムの周波数とそうでない周波数が存在し、合わせにくいリズムにおいては、Virtual棒への注意が高まるとともに、力を入れる傾向にあることを示している。

非線形減衰振動子

非線形減衰振動子では、変動するVirtual棒の伸縮リズムと手の振りのリズムが合わなくなり、相互相関係数が小さくなる箇所が見られた。被験者からは、「合わせることに集中した」「自分のリズムでないリズムで動

かした」といったコメントが得られた。筋電位のピークは全体として比較の変動している様子が分かった。

以上3つの条件の実験結果から、筋電位がVRカメレオン棒のリズムに対する行為の円滑性と関係しており、行為の型(身体図式)の獲得、すなわちVirtual棒の身体化の評価につながることを示唆された。また、Virtual棒の固有周波数の違いや動きの予測のしやすさによって、Virtual棒の身体化のプロセスに違いがあると推察され、その詳細については今後の課題である。

(3) 操作インタフェースへの応用

以上に加え、操作者の全身的な予備動作であるタメの情報を道具の形状変化に反映させ、身体と道具の結びつきを強める研究も併せて行った。具体的には、身体の重心移動に着目してタメの情報を取得し、これを手で把持して対象物を叩く伸縮型Virtual棒の操作系に取り込む手法について検討した。そこで、上半身の重心移動に着目したタメの取得・算出方法と、タメの実装方法について設計した。そしてこれらを実現するVirtual棒システムを開発し、2、3の実験を行った。その結果、提案したタメの導入手法の有効性が示唆され、特に、適切なタイミングでタメを放出することで、身体全体の先行的動作と

行為を統合し、使用者とVirtual空間との結びつきを強める見通しを得た。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

渡辺貴文、上杉繁、三輪敬之、影に着目した仮想道具と身体との一体感創出に関する研究、ヒューマンインタフェース学会論文誌、Vol.10、No.4、2008、pp.487-495

[学会発表](計5件)

Watanabe, T., Matsushima, N., Nishi, H., Miwa, Y., Co-creation of Bodily Expression Focused on Sympathetic Body Awareness, 12th Japan-Slovenia Seminar on Nonlinear Science, 2009.10.8, Hotel PIRAMIDA, Maribor
瀬戸 隆太郎、渡辺 貴文、松島 典司、三輪 敬之、伸縮型Virtual Tool との身体的インタラクション計測システムの開発、日本機械学会2009年度年次大会、2009年9月14日、岩手大学

渡辺 貴文、松島 典司、西 洋子、三輪 敬之、共振感覚に着目した手合わせ表現過程のインタラクション計測、身体性認知科学と実世界応用に関する若手研究専門委員会(ECSRA)第5回研究会、2009年8月6日、東北大学

Watanabe, T., Matsushima, N., Seto, R., Nishi, H., Miwa, Y., Electromyography Focused on Passiveness and Activeness in Embodied Interaction: Toward a Novel Interface for Co-creating Expressive Body Movement., HCI 2009, 2009.7.23, San Diego, CA, USA

渡辺貴文、松島典司、瀬戸隆太郎、西洋子、三輪敬之、身体的インタラクションにおける受動-能動性に着目した筋電位計測、ヒューマンインタフェースシンポジウム2008、2008年9月4日、大阪大学

[その他]

ホームページ等

<http://www.miwa.mech.waseda.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

渡辺 貴文 (WATANABE TAKABUMI)

早稲田大学・理工学術院・助手

研究者番号：20449341