



# 教師の憑身体を用いた遠隔技能伝承の検討

鈴木嵩茂<sup>1)</sup>, 中村拓人<sup>1)</sup>, 鳴海拓志<sup>1)</sup>, 雨宮智浩<sup>1)</sup>, 葛岡英明<sup>1)</sup>

Takashige Suzuki, Takuto Nakamura, Takuji Narumi, Tomohiro Amemiya, Hideaki Kuzuoka

1) 東京大学 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1,

{takashige, n.takuto, narumi, amemiya, kuzuoka}@cyber.t.u-tokyo.ac.jp)

**概要:** 伝統芸能など教師と生徒が対面する訓練が重視される技能の伝承は、ビデオ通話等による遠隔化が難しい。本研究では対面訓練を遠隔で再現するため、遠隔地の教師(実指導者)が対面環境の第三者(依代)の動作を操作し生徒を指導する憑身体システムの実現を目指した。技能の非熟練者が依代として指示された動作をできるよう、装着型触覚提示装置による補助を提案し、合気道を用いた実験で補助が依代の誤動作を減らすことを確認した。

**キーワード:** 動作支援, 憑身体, ウェアラブル, 暗黙知

## 1. はじめに

少子高齢化と地域社会の過疎化が進む現代では、伝統技能が伝承途絶の危機にある。この問題を解決する方法の1つとして期待されているのが情報技術を活用した遠隔訓練である。しかし、合気道などの身体接触を伴う伝統技能の伝承は対面訓練で行われることが一般的であり、遠隔化が難しい。この原因には、一般的なビデオ通話等の手法では伝承に重要な役割を果たす臨場感(インタラクティブ性やリアルタイム性など)を、対面での全身運動訓練と同等に遠隔で提示することが困難であることが挙げられる [1]。

遠隔の人と対面する体験をリアルタイム性を保ちながら提示できる手法として、対面環境にいる第三者を遠隔地から操作する手法が提案されており [2], この手法を技能訓練に応用する研究は、筆者らのほか、Faridan らが進めている [3, 4]。我々が過去に提案した遠隔の教師(実指導者)が現場の代理(依代)を遠隔操作して、現場の学習者を指導するシステム(憑身体システム)は、接触だけでなく、対面での訓練において相手から感じ取れる音や体温など人間ならではの感覚を提示できる。しかしそれらの先行研究では、合気道のような全身運動の訓練を遠隔化するための具体的な手法の検討・開発ができていない。

そこで本研究では、憑身体システムの実現に向けて依代を遠隔操作する技術を開発することを目的とする。そのため、遠隔で行う全身運動訓練の訓練効果を向上させられるような依代操作手法の設計指針を検討し、その設計指針を満たす依代操作手法の実装と効果の調査を行った。

## 2. 関連研究

### 2.1 代理を用いた遠隔教育システム

人間を代理の教師として遠隔教育を実現する手法が提案されている。Faridan らは、遠隔地の人の頭にフェイスカバー型ディスプレイで顔を移す ChameleonMask[5] を教育に応用した ChameleonControl を提案し、教師が遠隔から

代理教師を操作することで、複数人の生徒を対象とする機械の組み立てや料理、手話の遠隔教育に応用ができることを確認した [4]。ChameleonControl における顔の提示の有無、およびビデオ通話システム、AR 動画を比較した実験では、顔の有無を問わず代理教師の利用により生徒の積極性や、教師との共存感(Co-presence)が高まる傾向が見られた。一方で、この研究では生徒の学習成果が計測されなかったため、代理教師が学習効率に与える影響は明らかでない。また、応用先として想定された技能は主に上半身のみを用いる技能であり、全身動作に応用できるシステムの実現は今後の課題とされた。

全身動作の訓練に代理教師の活用を提案するシステムとして、我々が 2022 年に提案した憑身体システムがある [3]。我々は、教師と学習者が接近・接触して技能を伝達する活動を遠隔化するために、ChameleonControl と同じように遠隔の教師(実指導者)が、学習者と共にいる第三者を代理(依代)として遠隔操作し、その身体を対面訓練における教師自身の身体と同じように用いて学習者を指導する手法を検討した。そして我々は、憑身体システムの実現方法と訓練への影響について、全身運動の指導経験者から意見を集めるワークショップを開催し、依代が教師然と動作するためには事前訓練が必要であるとの意見が合気道の指導経験者より得られたと報告した。

### 2.2 人間動作の遠隔指示手法

憑身体の実現には、依代の全身を遠隔操作する手法が必要である。立体的な動作の伝達への有効性が期待されている手法として、立体ディスプレイを用いた教師映像の提示がある [6]。Faridan らは、動作指示の複数の手法に対して教師と非操作者である代理教師が受ける印象を比較調査し、一人称および三人称の映像よりも、視覚に教師の手の立体映像を重ねて表示する MR ジェスチャが動作を伝達する手法として高く評価されたと報告した [4]。MR ジェスチャで

は手の動作のみが伝達された一方で、鈴木ら [3] は視覚のみを用いた全身運動の伝達をワークショップで指導経験者と検討し、訓練中に下半身を確認し続けることが依代の首に負担となることを報告している。すなわち、視覚を用いた遠隔指示は視界に入る身体部位の動作伝達には有効であるものの、全身運動の対面訓練に応用するには不十分であると言える。

視覚のみで伝達が難しい動作指示を、他の感覚で補助する手法が提案されている。Tanaka らはゴルフスイング動作の訓練において、姿勢の修正箇所の指示を音や振動刺激を組み合わせたマルチモーダルフィードバックで行う手法を提案した [7]。視覚フィードバックのみを用いて訓練した場合と比較した実験では、マルチモーダルフィードバックを用いた方で有意に動作姿勢が良くなることが確認された。しかし、この実験では一種類のスイング動作が訓練されており、各動作部位に提示された刺激は一種類のみであったため、認知負荷が重い複数種類の動作の指示にもマルチモーダルフィードバックが有効であるかは不明である。そこで本研究では、振動子の数を増やして提示刺激の種類を増やすことを提案し、その刺激が複数の動作の指示に応用できるか検証した。

### 3. 憑身体システム

#### 3.1 設計指針

本研究では、憑身体システムの実現に必要な技術を事前に調査するため、ワークショップ [3] で明らかになった指針を元に憑身体システムのプロトタイプを製作し、日本大学合気道部の協力で作成した合気道タスクの模擬訓練を実施した。模擬訓練では、合気道経験の無い参加者 2 名に依代役と学習者役を担当させ、事前訓練を経た依代はヘッドホンで伝達される指示に従い学習者に向かって一歩進みながら腕を左右から振り下ろし、学習者はそれを避ける、という動作の練習を行った。10 回の模擬訓練に 20 名、10 ペアが参加し、依代の操作の有無により憑身体の効果に参加者間計画で比較した結果、依代が指示通りに動作できた場合では学習者の避ける動作の上達が有意に増えたが、依代が指示を聞きながら事前訓練通りの動作を実現することができない場合が多く、学習者の訓練効率に悪影響を与えている可能性が示された。

模擬訓練において依代の動作指示が成功しなかった原因として、参加者から得られた意見より、上半身と下半身の動作に注意を同時に向けることの困難さが挙げられた。依代の認知負荷が高いという問題は、模擬訓練で依代が行った動作が本来の対面訓練において教師が行う多様な全身動作から下半身 1 種と上半身 2 種のみを選んだものであり、より複雑な動作の実現が今後必要となることを踏まえると、解決が必須である。

そこで本研究では、先行研究と模擬訓練で明らかになった依代の認知負荷の問題を前提に、以下の指針で憑身体システムを設計した。

(1) 指示できる動作は上半身と下半身共に複数用意する。

(2) 指示には合気道動作を阻害しないよう音と振動刺激を用い、振動は視野に入りにくい下半身動作の認知負荷を減らすために用いる。

#### 3.2 実装

依代が動作指示を聞いた際の認知負荷を少なくするため、下半身動作の指示に足首の周囲への振動刺激を組み合わせ、依代は振動した通りに足を移動させれば良いようにした。振動刺激の提示に用いた動作補助デバイスを図 1 に示す。動作補助デバイスは、両足首に装着する振動バンド 2 個と、腰に巻き付ける受信機で構成され、無線接続された親機コンピュータから送られる指令を元に、各足首の周りの 4 つの振動子が動作すべき順に振動するようにした。

なお、振動が提示された方向と足を動かす方向の直感的な対応付けには個人差があるため、振動した方向と同じ方向 (順方向) に動かす人と、逆方向に動かす人が存在する。そのため、この動作補助デバイスを装着する際には、利用者に「振動した方向に足を動かして下さい」と伝えた上で 1 方向の振動を提示し、そこで利用者が動かした方向に合わせて運動指示に用いる振動方向を決める必要がある。



(a) 外観



(b) 内容物

図 1: 下半身用の動作補助デバイス

音声による指示は、動作の名前を読み上げる日本語音声ファイルテキスト読み上げソフトウェア VOICEVOX<sup>1</sup> で作成し、再生した。動作の名前は上半身と下半身にわかれているため、その音声の再生は順に行い、下半身動作の名前を読み上げる際は同時に動作補助デバイスで振動提示を行った。また後述する動作方向が混乱しやすい名称の上半身動作を指示する際は、上半身の動作方向は頭に装着したヘッドホン、下半身の動作方向は足に装着した補助デバイスという直感的な対応付けがしやすいよう、ヘッドホンの左右どちらかのみから音を再生することで混乱が起きにくいようにした。

<sup>1</sup><https://voicevox.hiroshiba.jp/>

#### 4. 実験

実装した憑身体システムが依代の動作を補助できるか検討するために、次の仮説を立てて依代用の合気道動作タスクを用いた実験を行った。

**Hypothesis:** 振動を用いて下半身動作を補助すると、補助が無い場合と比べて依代の動作精度は改善する。

##### 4.1 実験条件

実験では依代役として運動ができる人から情報を集めるため、30分程度の全身運動ができる健康な人を募集し、24名(男性17名、女性7名、平均年齢24.3歳、SD = 5.29歳)が参加した。また参加者の技量については、用意した合気道タスクと同じ動作を扱う合気道団体が稽古を経験した人はいなかった一方、別の合気道団体に7年間の経験を持つ人が1名、10回未満の練習参加経験のある人が2名、そして合気道以外の武道・格闘技経験者(剣道、フェンシング)が2名おり、他19名は武道・格闘技の経験が無かった。

合気道タスクは、事前の模擬訓練で依代が行ったタスクと同様に、日本大学合気道部にある動作から、上半身の姿勢・動作を5種類、下半身の動作を7種類選択し、部活動中に実際に用いられる組み合わせを17通り採用した。その動作を実験参加者に説明する際に利用した図を図2に示す。

上半身の動作は、静止した状態を維持する必要がある「構(かまえ)」2種類と、特定の構えから攻撃を行う「打(うち)」3種類である(図2-a)。下半身の動作は、前後左右に特定の順番で足を動かして移動する「足運び」7種類となり(図2-b)、部活動の練習で行われているのと同様、元の位置に戻る時も最初に移動した方法に応じて特定の順番で足を動かす必要があるとした。また下半身は、移動していない際に特定の基本姿勢をとることとした。これらの動作を連続で行うため、

- (1) 初期位置で「構」をとる。
- (2) 「足運び」を行いながら、「構」の維持または「打」を行う。
- (3) 初期位置に戻りながら、「構」の維持または「打」の後であれば再度「構」をとる。

という3段階に構成にすると、「打」を行う場合はその前後の構えと「足運び」が1通りに決まるようになっていることから、参加者は「構」2種と「足運び」7種を組み合わせた14通りと、「打」の入った3通りを合わせた計17通りの組み合わせで動作を行った。なお、動作内の各段階が終わる毎に参加者は右手に把持したHTC VIVEコントローラ<sup>2</sup>のボタンを押すことで、次の段階の指示が再生された。この時、実験参加者が音を聞き漏らす場合を想定し、参加者から左斜め前方に設置したモニタにも動作の名称を表示し、研究従事者の介入を最小限に抑えることを試みた。参加者はこのモニタについて、聞き漏らしがあった時のみ参照して良いと伝えられた。

条件は、振動が提示される振動条件と、提示されない無振動条件を用意し、参加者内計画で比較した。各参加者は、

<sup>2</sup><https://htcvive.jp/item/99HANM006-00.html>

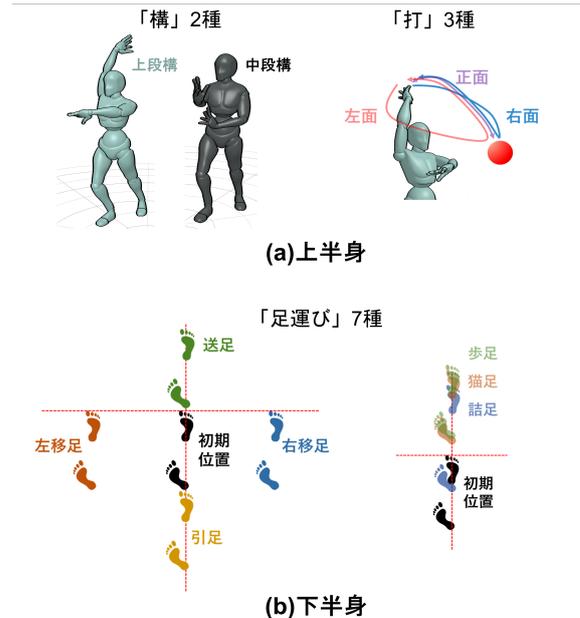


図2: 合気道タスクに含まれる動作 (JustSketchMe<sup>3</sup> を用いて作成)

1つの条件下で17通りの動作をランダムな順に遂行した後5分間休憩するのを、条件を入れ替えながら4回繰り返した。また順序効果のカウンターバランスをとるため、参加者が最初にタスクに取り組む条件は2条件から偏りが無いようランダムに選ばれた。

##### 4.2 評価指標

動作姿勢を評価するため、参加者の頭と両足首に装着したVIVEトラッカ<sup>4</sup>と、両手に持つVIVEコントローラ<sup>2</sup>を用い、「打」の動作中と、各段階後にコントローラのボタンが押された時の、頭のトラッカからの相対的な位置と回転を取得した。「打」は動作中の右手コントローラの軌跡をユークリッド距離の合計から100分割し、節の位置・回転を評価の対象とした。また姿勢の評価基準を参加者の体格に合わせて作るため、参加者が事前訓練にて動作の説明を受けた直後に、研究従事者の監督下で17通りの動作全てを順に行い、その時のトラッカの位置・回転を正解として記録した。動作の評価は、位置・回転が記録された時に、正解からの誤差を上半身、下半身と分けて合算した誤差スコアを用い、動作の種類(構, 打, 足運び)毎に平均をとることで行った。なお、「打」の場合は100個の節それぞれの誤差の合計を、一度の動作の誤差スコアとして用いた。

これらの評価指標をもとに、次の作業仮説を設定した。

- H1:** 振動によって下半身の動作に割く注意を減らせるため、上半身で行う「構」の位置または回転の誤差は、無振動条件より振動条件で少なくなる。
- H2:** 「構」の誤差が減るとそこから動作が始まる「打」の軌道も正解に近づくので、「打」の位置または回転の誤差は、無振動条件より振動条件で少なくなる。

ただし、H2はH1を前提としているため、H2はH1が支持された場合のみ検証される。

<sup>3</sup><https://justsketch.me/>

<sup>4</sup><https://www.vive.com/jp/accessory/vive-tracker/>

### 4.3 結果と考察

実験で取得したデータの内、トラッキング機器の誤作動により、動作1通りに相当する10秒以上の記録エラー起きた2名(男女各1名)を除外し、残り22名のデータで分析を行った。

「構」の位置の誤差平均を図3に示す。「構」の位置と回転を対象にBonferroni法の多重比較(調整化された有意水準 $\alpha$ を用いたt検定のp値判定)を行ったところ、無振動条件よりも振動条件で有意に位置の誤差が少なくなった(図3)。振動によって「構」動作の精度が向上したと言えるため、H1は支持された。

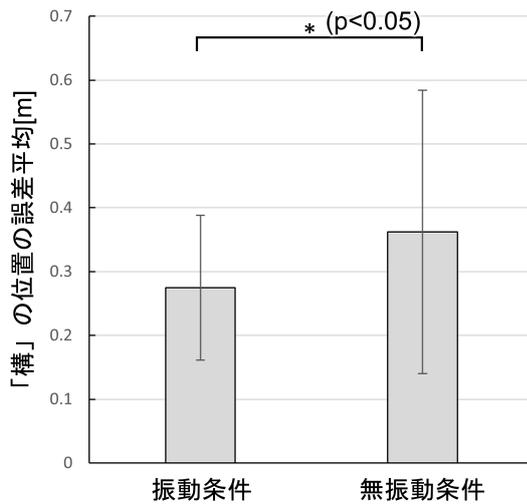


図3: 「構」動作の誤差平均の比較

次に「打」の位置・回転の誤差平均を対象にBonferroni法の多重比較を行ったところ、条件間に有意な差はなかった。すなわち振動が「打」動作に与えた影響が認められなかったため、H2は支持されなかった。

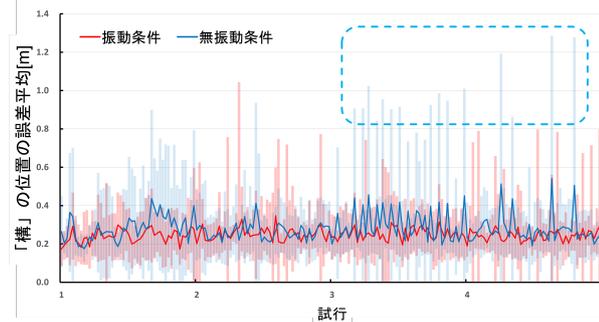


図4: 「構」動作における位置の誤差平均の比較

「構」の位置の誤差のみが減少し、「構」の回転および「打」の位置・回転の誤差が減らなかった原因を考察する。有意差のあった「構」の位置の誤差の時系列データを図4に示す。誤差平均の条件間の差が特に増大した区間である、実験の後半で散発的に無振動条件の誤差が比較的大きくなっている箇所(図4中の点線で囲まれた範囲)は、参加者が振動条件を一度体験した後の無振動条件において、指示とは異なる「構」をしてしまったことを表す。2種類の「構」で異なるのは手の位置であり、手の回転の差は少ないことから(図2-a)、「構」の回転の誤差平均に有意差が無かったと考えられる。以上より、振動により下半身の動作が補助されたこと

で、参加者は上半身の動作を間違えない程度に注意して行うことができたと言える。一方、開始時点の「構」の精度が上がることを前提としていた「打」の精度に有意な改善が見られなかった原因は、今後明らかにしていく必要がある。

### 5. まとめと今後の展望

本研究では、遠隔での全身運動技能の伝承を可能にする憑身体システムを実現するため、合気道の訓練を具体例として音声と振動を組み合わせた動作指示手法を検討・実装した。実験の結果、指示に従う依代の動作の精度を向上させることができることを明らかにした。今後は憑身体システムの完成を目指し、動作の指示を行う教師側のインターフェースについて、伝統技能の熟練者に向けたデザインを検討する必要がある。

**謝辞** 本研究の一部は科研費 基盤研究(S)(19H05661)およびJST ムーンショット型研究開発事業(JPMJMS2013)の支援を受けて行われた。また本研究における憑身体システムの設計および合気道タスクの作成において、日本大学合気道部の方々に協力頂いた。ここに感謝の意を表す。

#### 参考文献

- [1] 渡部信一. 日本の「わざ」をデジタルで伝える. 大修館書店, 2007.
- [2] L.P. Cheng, et al. Turkdeck: Physical virtual reality based on people. In *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '15, p. 417–426. Association for Computing Machinery, 2015.
- [3] 鈴木嵩茂, 児玉大樹, 中村拓人, 鳴海拓志, 雨宮智浩, 葛岡英明. 教師の憑身体を用いた遠隔技能伝承の提案とワークショップの実践. 第27回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 1–4, 2022.
- [4] Mehrad Faridan, Bheesha Kumari, and Ryo Suzuki. Chameleoncontrol: Teleoperating real human surrogates through mixed reality gestural guidance for remote hands-on classrooms. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–13, 2023.
- [5] Kana Misawa and Jun Rekimoto. Chameleonmask: Embodied physical and social telepresence using human surrogates. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 401–411, 2015.
- [6] U. Yang, et al. Implementation and evaluation of just follow me: An immersive, vr-based, motion-training system. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, Vol. 11, pp. 304–323, 2002.
- [7] Yuka Tanaka, Takuto Nakamura, and Hideki Koike. Posture-based golf swing instruction using multi-modal feedback. *Journal of Information Processing*, Vol. 30, pp. 107–117, 2022.