

TracKenzan：トラックパッドとタッチペンを用いた いけばな練習システムの提案と評価

横窪 安奈^{1,2,a)} 加藤 祐二³ 薬師神 玲子² 椎尾 一郎^{1,b)}

受付日 2019年1月30日, 採録日 2019年9月11日

概要：本研究では、3D-CG空間でいけばなを練習するシステム TracKenzan を提案する。本システムのユーザは、トラックパッドとタッチペンをそれぞれ剣山と花軸に見立てて操作し、3D-CG内でCGの花をいける。これにより生花を用意する必要なく繰り返しいけばなを練習できる。TracKenzanのユーザビリティならびにいけばな練習に対する効果を検証するために、いけばな初心者に対し、TracKenzanの有無による二要因被験者間比較を行った。その結果、TracKenzanのユーザビリティ検証においては、操作方法が直感的で、学習コストが低いことが明らかになった。また、TracKenzanを用いたいけばな体験では、いけばなへの興味が促進したこと、ならびに、作品への満足感や楽しさを提供したことから、TracKenzanは実世界のいけばなとほぼ同じ体験を提供可能であることが確認できた。

キーワード：いけばな、トラックパッド、タッチペン、タンジブルデバイス

TracKenzan: Development and Evaluation of Digital Flower Arrangement System Using Trackpad and Stylus Pen

ANNA YOKOKUBO^{1,2,a)} YUJI KATO³ REIKO YAKUSHIJIN² ITIRO SHIO^{1,b)}

Received: January 30, 2019, Accepted: September 11, 2019

Abstract: We propose “TracKenzan,” a training system for *Ikebana* (Japanese flower arrangement) in a 3D computer graphics space using a trackpad and a stylus pen. *Ikebana* includes a *Kenzan*, a flat metal base with hundreds of upward-pointing pins to hold flowers and branches in place. In the proposed system, a trackpad represents the *Kenzan*, and a stylus pen equipped with a 3D tracker resembles each flower stem. The users build the flower arrangement by selecting virtual flowers with adjustable length, whose position and orientation correspond to those of the pen, and then place the flowers by pressing the desired position on the trackpad. By using the trackpad and pen resembling the *Kenzan* and flower, respectively, TracKenzan provides an intuitive and straightforward interface for users to practice *Ikebana*. This paper describes the implementation of the system, its evaluation tests on actual users, and discusses future uses of the TracKenzan. They verified the system usability and capabilities as a learning tool for *Ikebana*.

Keywords: *Ikebana*, flower arrangement, tangible device, simulation

¹ お茶の水女子大学
Ochanomizu University, Bunkyo, Tokyo 112-8610, Japan
² 青山学院大学
Aoyama Gakuin University, Sagami-hara, Kanagawa 252-5258, Japan
³ 無所属
Independent
a) anna.yokokubo@is.ocha.ac.jp
b) siiio@is.ocha.ac.jp

1. はじめに

近年、少子高齢化などが進む中で、多くの伝統技能が存続の危機に瀕しており、その打開策として、デジタル化による技能解明や技能習得の研究が行われている。中でも、バーチャルと実世界の道具を組み合わせたトレーニングシステムの提案は数多く存在し、医療分野の手術練習 [1] や

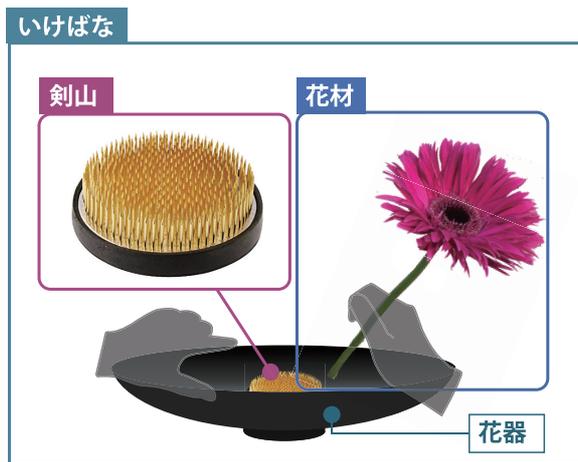


図 1 いけばなでは花材・剣山・花器を使用

Fig. 1 In Ikebana, flowers and other materials are pierced on a Kenzan to form decorative arrangement.

スポーツ練習 [2], [3], 伝統技能である書道 [4] の練習などがあげられる。このようにバーチャルと実世界にある既存の道具を組み合わせる様々な技能習得が実現できるようになると、時間や場所、コストを考慮せずに簡易に取り組むことが可能になる。そのため、技能習得の過程で必要不可欠である繰り返し練習を重ねて体験的に学んでいく [5] 機会を創出できる。

同様に、日本の伝統文化の代表であるいけばなでもバーチャルでの体験を活用した技能習得支援の研究が行われている。いけばなは花や枝などの花材と花器を用いて、図 1 のように剣山上に美しく花材を配置する芸能である。これらの所作および環境をバーチャルで再現する取り組みとして、既存のゲームコントローラを用いて花材を操作する体験 [6] や、触覚デバイスを用いて、花材を剣山に挿入する際の触覚を提示する研究 [7], [8] が行われている。しかしながら、既存のゲームコントローラなどでの体験は、実世界での体験と乖離してしまう恐れがある。特にいけばなの技能習得には、いけばなの構成パターンを繰り返す作業や、その美を創出する審美眼と感受能力の醸成も重要である [9] と報告されているように、実世界のいけばな体験とバーチャルでの体験が乖離してしまうと、いけばなでの学びを阻害する可能性が高まると考えられる。

そこで本研究では、実世界のいけばな体験に近く、繰り返しいけばな練習を行うことを目的とした、いけばな練習システムの「TracKenzan」を提案する。本システムのユーザはトラックパッドを剣山に、タッチペンを花軸にそれぞれ見立てて操作し、液晶ディスプレイ (LCD) に表示された三次元コンピュータグラフィックス (3D-CG) 世界で花をいける。3D-CG を用いたいけばな練習の手法であれば、実世界でのいけばなのように花材が傷むこともなく、切断しすぎても復元することが可能である。これにより様々な生け方を気軽に試し、美しい生け方を何度も繰り返し練習

することができる。

本稿では、TracKenzan を開発し、TracKenzan のユーザビリティならびにいけばなの学習効果についての評価実験を行った。その結果について報告する。

2. 関連研究

本研究は、技能解明・習得支援やいけばな学習・練習支援、物理代替インタフェースの研究と関連している。

2.1 技能解明・習得支援

日本の伝統技術・技能への技能解明のために、各伝統技術・技能をデジタル化する試みが行われている。太田ら [10] は、光学式モーションキャプチャーを用いて、茶道の手前の動作を「美しさ」や「無駄のなさ」の観点から、定量的に評価・分析するために動作の解析を行った。同様に、服部ら [11] は、文楽における人形の動きを「感情表現」の観点から動作分析を行った。これらの研究では、熟練者の身体動作の解明に寄与しているものの、対象となる技能・技術の習得支援にまで至っていなかった。

一方、技能習得のために技能の提示や教示に寄与した研究として、Nakaoka ら [12] による舞踏の動作を解析し、ヒューマノイドを用いて技能を提示した研究や、檜山ら [13] による HMD での映像体験とヘッドフォンを用いて紙漉きの技術の記録と教示を行った研究があげられる。しかしながら、これらの研究で提案された技能習得のための環境は、環境構築のコストが高く、日常生活の中で簡易に取り組むことが難しい。このような課題を解決するために、竹川ら [4] は、タブレットに表示した映像体験と毛筆を組み合わせる書道支援を行ったが、実世界の書道の練習と比較して効果があるのかについては検証していなかった。

これらに対し本研究では、日常生活の中で簡易に用意可能なデバイスに着目し、3D-CG 環境と組み合わせた低コストの技能練習環境を検討する。また、提案する技能練習環境に、一定の効果があるかについても検証する。

2.2 いけばな学習・練習支援

いけばなの科学的解明への取り組みや合理的な指導方法の確立のため、感性工学やインタラクションの分野において研究が行われている。

Ikenobo ら [14] は、初心者と熟達者が作成したいけばなについて、構成のどの部分が重視され、評価されるか、作品を修正するポイントを明らかにした。これにより、指導者は花材の配置方法について修正していることが多いとの結果が報告されている。また、Goto ら [15] によって、いけばなで使用するはさみは一般的なはさみとは形状が異なるため、花材の切断作業が難しく、意図した箇所での切断しにくい問題が報告されている。そのため、いけばな練習において、花材の配置を正確に検出すること、および花材を

正確に切断することが重要である。

筆者ら [16], [17] は、華道初心者が簡易にいけばな体験を行えるよう、身近にある花材を用いたいけばな支援システムの開発と評価を行った。本システムでは高価な花材を使用せずとも、カメラを搭載したスマートデバイスで花材を撮影することで、花材の色と長さを測定し、華道のレイアウトルールに従っていけばなのシミュレーションが可能になった。しかし、本システムでは二次元情報のみでしかいけばなのシミュレーションができなかったため、三次元でのいけばな支援システムのあり方についての検討が不十分であった。

本研究と同様に、バーチャルでのいけばな練習を検討した研究として、Mukai ら [7], Sithu ら [8] の力覚提示によるいけばな練習システムがあげられる。これらの研究では、把持部分がペン状の力覚提示装置を用いて剣山に花材を挿した感覚を提示することでいけばな練習を試みた。Mukai ら [7] が提案したいけばな練習システムでは、LCD に表示された CG の花を視認しながらいけばなを行うが、力覚提示装置の物理位置は固定であることから、画面内の奥行き感を把握しにくいという課題があった。また、Sithu ら [8] の遠隔いけばな競技システムでは、LCD に表示された CG 剣山を視認しながら、CG 花材の固定用ボタンを押下するため、CG 剣山上の正確な位置に CG 花材を挿入することが難しかった。

これらに対し本研究では、3D-CG 空間での三次元でのいけばな練習を検証する。また、剣山デバイスのタッチ面と 3D-CG 空間での花器が連動しているため、剣山デバイスの実体に触れながら奥行き感を確認できることに加え、花材の挿入位置を正確に検出することが可能になる。

2.3 物理代替インターフェース

デジタル空間において仮想の三次元オブジェクトを操作する手法の1つとして、「Physical Proxy Interfaces (以下、物理代替インターフェース)」があげられる。これは仮想の三次元オブジェクトと類似した物理形状の道具をコントローラとし、三次元オブジェクトに対し、より自然な操作を可能にすることを目指す手法である。

Hinckley ら [18] によって物理代替インターフェースの概念が提唱され、Hoffman ら [19] の研究によって、物理代替インターフェースの効果が実証されている。物理代替インターフェースの中でも、特定のタスク・形状・重さなどに合わせた道具を操作する方法が、パッシブプロキシ (Passive Proxy) として分類されている [20]。パッシブプロキシの例として、Wii [21] のようなコントローラがあげられる。これは、三次元オブジェクトとして提示されるコンテンツに合わせて、テニスラケットやドライブのハンドルなどの道具の物理代替インターフェースとして操作することができる。また、Wu ら [22] は、光学式マーカを備えたタッチペ

ンを提案し、仮想の三次元オブジェクトのペンを操作することを可能にした。Teng ら [20] はエアバッグを活用して三次元オブジェクトに合わせて物理形状が変化するコントローラを提案した。

これらに対し本研究は、仮想の三次元オブジェクトである剣山と花材を実物体の道具であるトラックパッドとタッチペンを用いて操作するパッシブプロキシに関連する。加えて、トラックパッドを用いているため、入出力機能付きのパッシブプロキシとしての展開が可能である。

3. TracKenzan

TracKenzan は LCD 内に CG 表示された花材を操作するいけばな練習システムである。本システムのユーザは、トラックパッドを剣山に、タッチペンを花材の花軸に見立てて操作を行う (図 2)。仮想物体の形状に近いこれらのタンジブルな操作デバイスを用いることで、3D-CG 空間の剣山と花軸の位置関係の把握が容易になり、直感的な花材操作が可能になると考えた。以後では、トラックパッドを剣山デバイス、VR 用トラッカーを取り付けたタッチペンを花軸デバイスと呼ぶ。

実世界でのいけばなで必須となる道具は、花材、花器、剣山などの花材固定部、はさみである。TracKenzan では、これらを 3D-CG で表現し、花材と剣山を花軸デバイスと剣山デバイスに割り当てた。これらのデバイスを利用して、3D-CG 空間での「花器と花材の選択」、「花材の切断と復元」、「花材の挿入と挿し直し」、「花材の構成確認」を実装した。

3.1 実装

本システムは macOS 上で Unity を用いて実装した。LCD

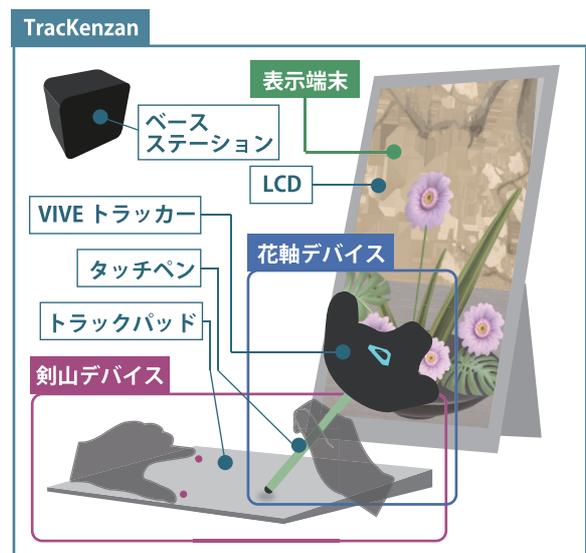


図 2 システム概要

Fig. 2 Overview of TracKenzan.

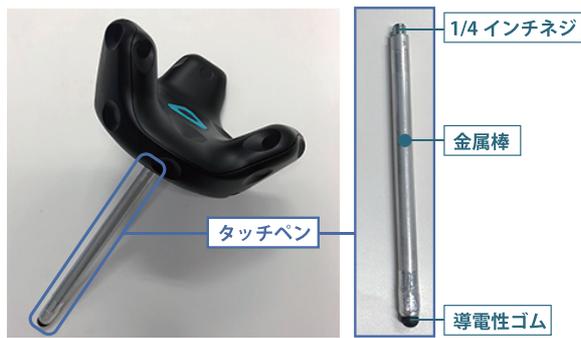


図 3 花軸デバイス. タッチペンにトラッカーを装着

Fig. 3 Flower stem device: stylus pen equipped with VR tracker.

として、ASUS 社製 15.6 型フル HD モニタ (MB169C+) を縦置きで使用した。剣山デバイスには Apple 社製の Magic Trackpad 2 を使用した。マルチタッチジェスチャが取得可能であり、また花軸を剣山に挿したことを感圧センサで取得し、振動を用いてユーザにフィードバックする。花軸デバイス (図 3) の本体はユーザが把持する金属製の棒である。これの先端には導電性のゴムが取り付けられ、トラックパッド上でタッチペンとして機能する。反対の端にはネジを加工し、HTC 社製の VIVE トラッカー (以下、トラッカー) を取り付けた。また花軸デバイスを見渡せる場所に、トラッカー検出のための VIVE ベースステーション*1 (以下、ベースステーション) を 1 個設置する。これにより、花軸デバイスの傾き、回転、空中での位置を検出する。

3.2 トラックパッドの利用

TracKenzan の特徴は、花軸デバイスの位置検出のために、トラッカーに加えて剣山デバイス (トラックパッド) を併用したことである。

CG 世界でのいけばな練習を実現するためには、ユーザが保持する花軸デバイスの位置、傾き、回転を検出する必要がある。適切にキャリブレーションを行えば、花軸デバイスに取り付けたトラッカーだけによりこれらの情報を取得することは可能である。しかしながら、剣山上の花材の位置関係はいけばなにおいて特に重要であり、トラッカーの位置精度 (1 mm から 43 mm [23]) では不十分である。いけばなでは、剣山の中央、奥、手前、左右にいける花材のそれぞれに、種類、大きさ、長さ、傾きを割り当てることで、均衡のとれた美しい作品が完成するからである。そこで花軸デバイス位置精度を向上させる目的で、トラックパッドを利用した剣山デバイスを導入した。今回使用したトラックパッド内部の静電容量検出電極間隔は 7.5 mm 以下である [24]。実際のタッチペン位置は電極受信信号強度で補完して検出されるため、花軸デバイスと剣山デバイスの接触

*1 ベースステーションは 1 辺が 8 cm 程度の箱型デバイス。一定間隔でレーザーを放射し、これを VIVE トラッカーで検出し位置と回転を算出する。

位置を 1 mm 程度の精度で変動することなく検出できる。これにより、いけばなに必要とされる精度で剣山上の花材位置指定・調整が可能である。

本システムは、トラッカーと剣山デバイスの両方から位置座標を受け取る。このため利用開始前に、花軸デバイス位置、剣山デバイス位置をキャリブレーションする必要がある。キャリブレーション作業は、通常煩雑であり、物体の移動で次第に不正確になる傾向がある。しかし、本システムでは対象物がトラックパッドであるため、トラックパッドが検出する位置情報を用いることで、初期キャリブレーションを容易にし、使用中にも動的な位置修正を行うことが可能である。

剣山デバイスにトラックパッドを用いることで、正確な位置検出が可能になるだけでなく、ユーザに様々なインタラクションを提供できる。トラックパッドにより、ユーザが花軸デバイスを剣山デバイスに当てるタイミングと圧力を検出可能である。またトラックパッド内蔵の振動発生機構により、ユーザにクリック感を提示することも可能である。そこで、ユーザが花軸を剣山に強く挿すと、その圧力を検出し、花材が固定されたことをクリック感提示により知らせることができる。

また、トラックパッドが提供するマルチタッチ機能も利用した。実世界のいけばなにおいても、花材を把持しない手で剣山を抑え、いける作業を補助している。この所作を生かし、剣山デバイスに置いた指のマルチタッチジェスチャにより、CG 花材の剣山からの取り外し、CG 花材の切り替え、花軸の長さ調整などの操作を実現した。キーボードやマウスなどの入力手段に比べて、花をいける場所での操作が可能になるため、使いやすく分かりやすい利点がある。

4. 使用手順

TracKenzan の使用手順を詳細に述べる。まず最初に、ユーザは剣山デバイスと花軸デバイスの位置関係をキャリブレーションする。キャリブレーションは、花軸デバイスのペン先をトラックパッド上の任意の 2 カ所に押し当てることで実行される。なお、この後ユーザが花軸デバイス先端を剣山デバイスにタッチすることで、タッチ座標に応じて相互の位置関係を自動調整する。次にユーザは、剣山デバイスと花軸デバイスを用いて、いけばなの基本動作である「花器と花材の選択」、「花材の切断と復元」、「花材の挿入と挿し直し」、「花材の構成確認」の 4 ステップを実行することができる。以下に、剣山デバイスと花軸デバイスを用いたジェスチャ操作について詳細に述べる。

4.1 花器と花材の選択

花器の選択操作は、剣山デバイス上で 3 本指で左または右にフリックする操作で行う。これにより、3D-CG 空間

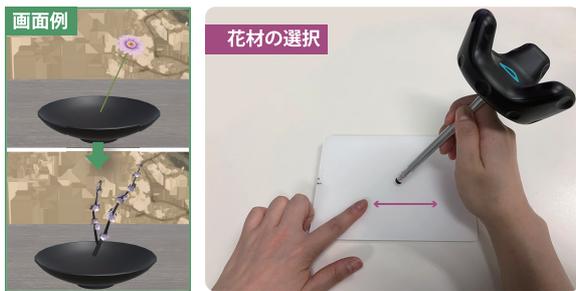


図 4 左または右へのフリックにより花材を変更
Fig. 4 Horizontal flicking to select flower arrangement materials.

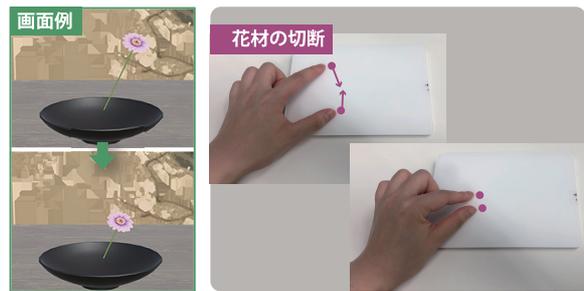


図 6 ピンチインにより花軸を切断
Fig. 6 Pinching in and out to adjust the stem length.



図 5 花材と花器の一覧
Fig. 5 Flower arrangement materials and vases available in TracKenzan.

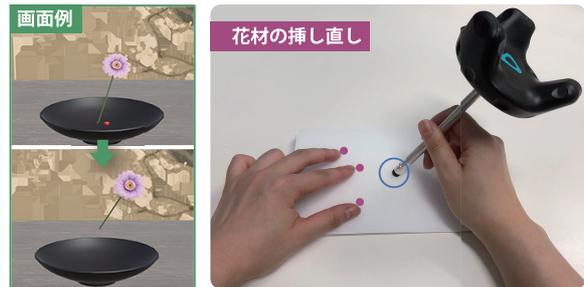


図 7 花材の挿し直し：剣山デバイスに指 3 本を接触し、花軸デバイスで花材を選択し、先端を剣山デバイスに押下
Fig. 7 Clicking with the stylus pen while pressing the trackpad with three fingers allows to extract a flower from the *Kenzan* resembling the action in the real world.

での花器が切り替わる。なお、TracKenzan では図 5 で示した 2 種類の水盤型花器の切り替えが可能である。

花材の選択操作は、剣山デバイス上で 1 本指で左または右にフリックする操作で行う (図 4)。これにより 3D-CG 空間での花材が切り替わる。選択された花材は、花軸デバイスに連動して動くので、ユーザは花材の花軸を手にして操作する感覚を得られる。

図 5 には、TracKenzan のいけばな練習用アプリケーションで使用する花材と花器を示す。花材と花器の 3D モデルは Maya を用いて作成し、2 種類に大別した花材と 2 種類の花器を用意した。一般的にいけばなで用いる花材は葉ものと枝ものに分類されるため、本アプリケーションでは、葉物にはガーベラ・かすみ草・バラなどの花材を、枝ものには桜の枝を用意した。花器は、いけばなの基礎練習で頻用される水盤花器を用意した。

4.2 花材の切断と復元

剣山デバイス上でピンチインを行うと、花軸デバイスで操作中の CG 花材軸が切断される (図 6)。花材を切断する長さは、剣山デバイス上に指が接触した状態の 2 点間の距離と、指が離脱したときの 2 点間の距離の差に比例する長さとした。切断する長さが確定したら、CG 花材の茎の先端部分から切断処理を行う。

これとは逆に、剣山デバイス上でピンチアウトを行うと、

切断された CG 花材軸が復元する。花材の切断時の処理と同様に、復元する茎の長さはピンチアウトの量に比例した長さとした。復元する長さが確定したら、CG 花材の茎の先端部分から復元処理を行う。

4.3 花材の挿入と挿し直し

花材の挿入操作は、花軸デバイスが花材を操作している状態で、剣山デバイス上に花軸デバイス先端を押下する操作で行う。この操作により剣山デバイスが振動し、ユーザは剣山に挿した触覚フィードバックを得る。花材が剣山に挿入されると、花軸デバイスとの結び付きが解かれ、挿入された状態で花材位置が固定される。

剣山にいったん挿した花材を抜き取り、挿し直す操作も可能である。花軸デバイスを把持してない手の指 3 本を剣山デバイス上に接触させた状態で、花軸デバイスで剣山デバイス上をタッチすると、その場所に挿された CG 花材が選択され、花軸の傾きと連動するようになる。次に花軸デバイスを剣山デバイスに押し込むと、この花材が引き抜かれる (図 7)。

この操作は、実世界でのいけばな体験と同様、剣山から花材を引き抜く際に周りの花を避けたり、花器を抑えるなどの操作と類似した動作であるため、ユーザはより自然な動作で花材の挿し直し操作を行うことが可能になる。

花材が密集していけられている場合、抜き取り対象の花

材選択が困難になる可能性もある。現在は剣山デバイス上に置いた花軸デバイスの接触座標のみで花材選択を行っているが、花軸デバイスを対象CG花材に合わせて傾ける操作を併用することで、利用者の意図により合致した花材選択を実現したいと考えている。

4.4 花材の構成確認

一通りいけばな体験が完了したら、作品鑑賞モードに切り替えることが可能である。TracKenzan のいけばな練習用のアプリケーションでは、完成した作品を360度回転して確認する機能と、他のユーザが作成した作品を閲覧する機能を搭載した。上述した2つの機能は、いけばな作品の作成途中にも利用できる。これによりユーザは必要に応じて花材の挿入位置を確認できる。また、作品のデータは、使用した花器の種類をはじめ、使用した花材の種類、剣山デバイスへの挿入位置、花材を切断した長さ、花材の傾き、花材を挿入した順番を記録し、XMLファイル形式で出力した。

5. ユーザビリティ評価実験

TracKenzan のユーザビリティ評価と、TracKenzan を用いて作成したいけばな作品の検証を行う目的で評価実験を実施した。TracKenzan がいけばなの経験年度に依存せず、幅広く受け入れられるかを確認するために、いけばな初心者といけばな経験者の2グループを被験者の対象とした。なお、本実験のいけばな初心者（以下初心者）とは、いけばな経験が初めて、もしくは半年未満とし、いけばな経験者（以下経験者）は稽古などでいけばな経験が1年以上とした。いけばな指導者（以下指導者）はいけばな経験が20年以上であった。以下に実験の詳細を述べる。

5.1 実施手順

本実験は、初心者は2018年5月28～29日に大学の教室にて、指導者ならびに経験者は2018年5月30日に、いけばなの稽古場で実施した（図8）。被験者は、初心者11名（男性4名、女性7名）と、いけばな教室に通う経験者8名（男性1名、女性7名）および指導者1名（男性1名）の計20名に対して実施した。

次に、本実験の手順について詳細に述べる。まずはじめに、実験者は、机上にTracKenzan（LCD・剣山デバイス・花軸デバイス・PC・ベースステーション）とTracKenzanの操作説明書を事前に用意した。実験者は、TracKenzanと事前に用意したTracKenzanの操作説明書を使用して、被験者にTracKenzanの使い方を3分程度で説明した。次に、実験者は、被験者にTracKenzanを用いていけばな作品を作成するよう指示した。いけばな作品の作成時間に制限を設けず、被験者が完成と判断した段階で終了とした。最後に、被験者はSUS質問紙に回答し、実験者からの口頭ヒ



図8 TracKenzan の評価実験の様子（池坊のいけばな教室）
Fig. 8 Subject using TracKenzan in Ikebana school.

アリングを受けた。なお、本実験の所要時間は、被験者1人あたりに対して10分程度であった。実世界のいけばな教室でいけばなを行う場合、初心者には花材の説明や指導に加え、生花の選択や切断作業に時間を要するため、30分から1時間程度が作業時間の目安になる。しかし本実験では、花材の説明や指導者からの指導を割愛したことや、花材の選択や切断作業が実世界のいけばなよりも短時間でできることから、実世界のいけばなより短い10分程度を設定した。

TracKenzan のユーザビリティ評価を行うために、Brooke [25] のSUS質問紙を用いた。SUSの質問紙では、10項目の質問に対し、1（非常に同意しない）から5（非常に同意する）までの5段階評価の尺度を用いて、ユーザからの回答を得た。また、質問内容は以下のとおりであった。

- (1) 提案システムを頻繁に使用したい。
- (2) 提案システムは不必要に煩雑である。
- (3) 提案システムは使いやすい。
- (4) 提案システムの使用には技術者の支援が必要である。
- (5) 様々な機能が上手に統合されている。
- (6) 提案システムには一貫性がない。
- (7) 多くの人が使用方法を簡単に学べる。
- (8) 提案システムは使いにくい。
- (9) 自信を持って提案システムを使用できた。
- (10) 使用前に多くを学ぶ必要があった。

質問紙で得られた数値からは、以下の手順でユーザビリティスコアを算出する。まず、奇数番号の質問の点数から1を引いた値をそれぞれ算出する。偶数番号の質問は、質問の点数をそれぞれuとすると、(5-u)した値をそれぞれ算出する。次に(1)から(10)までの質問の値の総和に2.5を掛けることで、ユーザビリティスコアが算出される。また、ユーザビリティスコアは0～100までの値となる。

SUS質問紙に加えて、プロフィールとして名前、年齢、性別、いけばな歴と、提案システムの操作感や、提案シス



図 9 TracKenzan を用いたいけばな練習システムでの作品例
 Fig. 9 Ikebana works produced by subjects using TracKenzan.



図 10 初心者と経験者の作品における挿し口の比較の一例
 Fig. 10 Comparison with the insert position of flower stalks of beginners and experienced learners.

テムの利用が想定されるシーン、機能追加の要望などについて、口頭でのヒアリングを実施した。

5.2 TracKenzan による成果物

TracKenzan による作品例を図 9 に、初心者と経験者の作品における挿し口の比較の一例を図 10 に示す。初心者と指導者・経験者の作品を比較すると、初心者はより多種多様な花材を用い、花材の挿し口が一様に広がる傾向があった。対照的に、指導者・経験者の作品では、いけばなの基本ルールである挿し口を揃えることを意識した作品となっていた。使用している花材も 3 種類程度と、少なめの花材でいけばなを構成していた。また、花の向き（いけばな用語では花の表情）を検討するために、花軸スティックを回転する操作も観察された。

5.3 SUS 質問紙の結果

SUS 質問紙から算出したユーザビリティスコアは、初心者の最低点が 52.5 点、最高点が 90.0 点、平均点が 74.8 点であった。同様に、指導者・経験者のユーザビリティスコアは、最低点が 50.0 点、最高点が 92.5 点、平均点が 75.2 点であった。SUS スコアについて、Bangor ら [26] は、形容詞対「good」に相当する SUS スコアは平均 71.4 点であることを示している。また、Sauro ら [27] の 5,000 以上の SUS 調査に基づく SUS スコアとパーセンタイルの関係についての報告では、75 点は約 70 パーセンタイルに相当する（50 パーセンタイル相当は 68 点）。これらに鑑みて、TracKenzan のユーザビリティは、初心者と指導者・経験者ともに高く評価したといえる。

SUS 質問紙による各質問の結果より、全被験者が (7) の質問を高く評価し、20 名中 16 名が 4 以上の評価をつけていた。中でも、指導者と経験者は 9 名中 7 名が最も高い 5 の評価としていた。その理由を口頭で質問したところ、「直感的に操作できて良い」、「操作がシンプルで、実際のいけばなに近い動きでやりやすかった」という意見があがった。

以上から、TracKenzan のユーザビリティは高く、事前の学習をすることなく、直感的にいけばな練習が可能になることが確認できた。

5.4 被験者へのヒアリング

初心者と指導者・経験者に対し、TracKenzan の操作感や、TracKenzan の利用が想定されるシーン、機能追加の要望などについてヒアリングを行った。

TracKenzan の操作感については、全被験者から「トラックパッドの操作が直感的で、花軸デバイスによって花を持つ感覚をイメージしやすくなった」という意見があった。特に、経験者の中でも 60 代の被験者や、日常生活で電子機器を頻用しない被験者が、「普段電子機器を使えない私でも簡単に使えたので、使いやすい」との意見があった。また、多くの経験者からは「実際のいけばなの体験と遜色がない」との意見があり、いけばな練習を行ううえで、学習負荷が低く、より直感的な操作になっていることが確認できた。

TracKenzan への機能追加の要望で一番多かったのは、「花材を今以上に伸縮したい」、「花材の種類を増やしたい」ことであった。花材の伸縮については、花器の大きさに対し、用意した花材が短かったため、いけばなの構成美を検討するには不十分であったからだと考えられる。また、花材の種類については、実世界のいけばなでは手が出しにくい高価な花材や、同じ種類の花材でも葉だけ、花だけなどの様々な部位があると良いとの意見があった。

6. いけばな練習効果を対象とした評価実験

TracKenzan を用いたいけばなの練習効果を検証する

ために、TracKenzan の有無による一要因被験者間比較を行った。具体的には、TracKenzan を用いた練習が生花を用いたいけばな制作に効果を持つのかを確認するために、TracKenzan を使用してからいけばな作品の制作を行う群（以下、TracKenzan 使用群）と、TracKenzan を使用せずにいけばな作品の制作を行う群（以下、TracKenzan 未使用群）の 2 グループの被験者を対象として、いけばな作品の評価を比較した。なお、この作品評価の比較には、華道の流派である池坊の指導資格を持つ指導者 2 名に依頼して、各々のいけばな作品の完成度を評価した値を用いた。

また、TracKenzan および生花を用いた作品制作後には、制作しているときの楽しさやその時点でのいけばなへの興味についての質問紙に答えてもらい、それらに対する評価値を比較することによって TracKenzan を使ったいけばな制作体験と生花を使ったいけばな制作体験の同質性について検討した。

なお、TracKenzan のシステム全体の評価を詳細に検討するため、TracKenzan 使用群の被験者に対しては、5.1 節で実施した SUS の質問紙に加え、TracKenzan でのいけばな練習経験についてのいくつかの質問項目と自由記述からなるアンケートを実施した。本実験の被験者は、いけばなの技能に差が生じないように、全員初心者とした。以下に実験の詳細を述べる。

6.1 実施手順

本実験は、2018 年 12 月 19～21 日の 3 日間に渡り、大学の教室内にて実施した。TracKenzan 使用群は、初心者 13 名（男性 1 名、女性 12 名）、TracKenzan 未使用群は、初心者 13 名（女性 13 名）の計 26 名に対して実施した。

本実験に先立ち、華道の流派である池坊の指導資格を持つ華道指導者とともに、いけばな作品の制作に必要な生花の選定、および初心者に向けたいけばな説明動画を作成した。本実験で用意した 9 種類の生花の詳細を表 1 に示す。なお、季節の関係上、TracKenzan 内の花材と同一の生花の入手が困難であったため、華道指導者とともに、色や形状が類似する花材を選定した。また、本実験で用意した生花のコストは約 10 万円であった。

次に、本実験の手順について詳細に述べる。被験者は、実験についての説明と承諾書への記入を行ったのち、まずはじめに指導者が作成したいけばなの説明動画を 10 分間視聴した。動画視聴後に、TracKenzan 使用群の被験者には、TracKenzan の操作説明書を読んでもらい、TracKenzan でいけばな作品を制作してもらった。なお、TracKenzan 使用群の被験者に対しては、5.1 節と同様に実験開始前から机上に TracKenzan と TracKenzan の操作説明書が事前に用意されていた。被験者には、TracKenzan でのいけばな作品の制作が完了した段階で実験者に声をかけてもらい、実験者が用意したアンケートに回答してもらった。



図 11 生花を用いていけばな作品を制作している様子
Fig. 11 Subject created Ikebana works using real flowers.

次に、表 1 の生花を使用して、実世界でいけばな作品を制作してもらった。この様子を図 11 に示す。なお、TracKenzan 未使用群は、TracKenzan でのいけばな作品の制作を行わず、動画視聴後すぐに、実世界でいけばな作品を制作してもらった。被験者には、実世界でのいけばな作品の制作が完了した段階で、実験者に声をかけてもらい、実験者が用意したアンケートに回答してもらった。なお TracKenzan 使用群へのアンケートには SUS 質問紙の項目が含まれていた。制作後のアンケートに答えている間に、実験者はいけばな作品の写真（正面・右・左）と動画（いけばな作品の右側から正面、左側までの 180 度の動画）にて記録した。これは、TracKenzan 使用群と TracKenzan 未使用群の各々の被験者が生花を用いて制作したいけばな作品に対して、後日、指導者に点数評価を付けてもらうためであった。

本実験の所要時間は、TracKenzan 使用群と TracKenzan 未使用群の両群とも被験者 1 人あたりに対して 60 分程度であった。なお、60 分間には、本実験の説明および承諾書への記入・動画視聴・いけばな作品制作・アンケート記入の時間が含まれていた。

6.2 結果

本実験の結果を、TracKenzan の有無によるいけばな作品の完成度の比較結果、TracKenzan を使用したことによるいけばなへの興味の変化、実世界のいけばな体験時の楽しさや取り組みへの自己評価結果、および TracKenzan のシステム全体の評価結果の 4 つの観点から詳細に述べる。

TracKenzan 使用群の 2 名については、誤った回答用紙への記入を行ったため、欠損値が多くなってしまった。このため、質問項目への回答の分析からは、この 2 名の結果は除外した。ただし、いけばな作品評価の分析は、この 2 名も加えた人数で実施した。なお、以下の検定はすべて両側検定で実施した。

表 1 本実験で用意した生花の詳細

Table 1 In this experiment, we prepared the real flowers in contradistinction to the virtual flowers on TracKenzan.

本実験で使用した生花	TracKenzan 内の花材	花の本数 (本数/23 人分)
ガーベラ	ガーベラ	60
ハラン	マーガレット	30
ニューサイラン	トクサ	30
ブルースター	アジサイ	40
椿	サザンカ	20
バラ	バラ	60
かすみ草	かすみ草	20
モンステラ	モンステラ	40
ボケの枝	桜の枝	20

6.2.1 TracKenzan の有無によるいけばな作品の完成度の比較結果

生花を用いて制作したいけばな作品の記録情報（写真と動画）を、2名の指導者にランダムにリスト化して個別に渡し、各作品の点数評価を依頼した。この記録情報からは、作成者が TracKenzan 使用群か TracKenzan 未使用群に属するかを判断できないように配慮した。なお、2名の指導者はいずれも男性で、いけばな指導歴が10年以上であった。指導者によるいけばな作品の評定値は、TracKenzan 使用群は 5.52 ($SD=1.57$)、TracKenzan 未使用群は 5.15 ($SD=1.13$) であった。統計量は $F(1, 23)=0.235$, $p=.633$ であるため、TracKenzan 使用群と TracKenzan 未使用群のいけばな作品に有意差は無く、いけばな作品の完成度への影響は見られなかった。

6.2.2 TracKenzan を使用したことによるいけばなへの興味の変化

全被験者への共通の質問として、「いけばなにどれくらい興味がありますか?」との質問に対し、7段階のリッカート尺度を用いたアンケートを実施した。TracKenzan 使用群の質問結果において、TracKenzan 使用前後でのいけばなに対する興味を比較したところ、TracKenzan 使用によって有意にいけばなへの興味度合が向上したことが示された ($t(10)=4.18$, $p=.002$)。その後実施した、生花を使用したいけばな体験の後でのいけばなへの興味度合いについては、TracKenzan 使用後の興味度合いと有意な違いは見られなかった。

TracKenzan 未使用群では、生花を用いていけばな作品を制作した後でのいけばなに対する興味を比較したところ、有意にいけばなへの興味度合が向上しており ($t(13)=3.12$, $p=.009$)、最終的な生花を用いたいけばな体験後の興味度合において、群間に有意な差は見られなかった。これらの結果から、TracKenzan を用いたいけばな体験は、いけばなへの興味を促進する効果があることが示唆された。

6.2.3 実世界のいけばな体験時の楽しさや取り組みへの自己評価結果

TracKenzan 使用群への質問として、以下の5項目の質問に対し、7段階のリッカート尺度を用いたアンケートを実施した。この結果を元に、TracKenzan 使用群において、TracKenzan を用いたいけばな体験時と、生花を用いたいけばな体験時の楽しさや取り組みへの自己評価を統計的に検討した。表 2 にいけばな体験時の自己評価平均の結果を示す。

- (1) どれくらい楽しいと感じましたか。
- (2) どれくらい積極的に取り組みましたか。
- (3) どれくらい疲れましたか。
- (4) どれくらい自分の作品に満足していますか。
- (5) また同じ課題を行う機会があるとしたら、どれくらいやってみたいと思いますか。

上記5項目の質問に対し、評定平均が「どちらともいえない (評定 4)」から有意に離れているかどうかを検討した。その結果、TracKenzan を用いたいけばな体験時には (1), (2), (4) について、有意に評定値が4よりも高く (1: $t(10)=3.52$, $p=.006$, 2: $t(10)=5.61$, $p<.001$, 4: $t(10)=2.61$, $p=.026$)、(5) は評定値が4よりも高い傾向が見られた (5: $t(19)=1.84$, $p=.10$)。生花を用いたいけばな体験時の結果は、(5) について有意であったほかは同様であった (1: $t(10)=12.0$, $p=.001$, 2: $t(10)=11.63$, $p<.001$, 4: $t(10)=2.52$, $p=.031$, 5: $t(10)=6.63$, $p<.001$)。

なお、TracKenzan 未使用群における各質問項目への評定値は、(3) を除き、全項目で有意に評定値が4よりも高かった (1: $t(12)=9.13$, $p<.001$, 2: $t(12)=9.86$, $p<.001$, 4: $t(12)=3.27$, $p=.007$, 5: $t(12)=5.84$, $p<.001$)。TracKenzan 未使用群の標本数が若干多いことを考慮すると、上記の結果はすべて同じ傾向を示しているといえる。すなわち、TracKenzan を用いたいけばな体験は、生花を用いたいけばな体験と同じく楽しさや作品への満足感を提供したといえる。

TracKenzan 使用群において、TracKenzan を用いたいけ

表 2 いけばな体験時の自己評価平均の結果. 評定中央値 = 4 との差の検定結果について, 両側検定の有意水準を*** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$, † $p < .1$, で示している. なお, () 内の数値は標準偏差を示す

Table 2 The averaged scores of subjective rating about Ikebana experiences. The asterisks ***, **, *, † indicate that the average was statistically different from 4 (mid rate) at 0.1, 1, 5, and 10 percent level respectively with two side test.

	楽しさ	積極性	疲労感	作品への満足度	再取組への意欲	いけばなの興味
TracKenzan によるいけばな体験後 (TracKenzan 使用群)	5.36(1.29)**	6.00(1.18)***	4.27(1.27)	4.64(.81)*	4.91(1.64)†	5.55(1.04)**
生花によるいけばな体験後 (TracKenzan 使用群)	6.18(.603)***	6.36(.674)***	3.91(1.51)	4.81(1.08)*	6.00(1.00)	5.73(.647)***
生花によるいけばな体験後 (TracKenzan 未使用群)	5.92(.760)***	6.08(.760)***	3.85(1.63)	5.08(1.19)**	5.77(1.09)***	5.31(1.03)**

ばな体験時に比べて生花を用いたいけばな体験の方が, 全般に疲労感 (3) 以外の評定値が高い傾向が見られるが (実際, 対応のある t 検定を行ったところ, (2) については有意な差, (5) では傾向差が見られた (2: $t(10)=2.32$, $p<.05$, 2: $t(12)=2.13$, $p=.059$), これにはいけばな体験を繰り返したことによる効果も含まれている可能性があり, 評定値の差のすべてが TracKenzan と生花との違いに起因しない可能性がある. なお, TracKenzan 未使用群における各質問項目への評定値と, TracKenzan 使用群の 2 回の評定値との間に差があるかどうかを, 繰り返しのない t 検定で検討した結果, いずれの評定値との間にも有意な差は見られなかった.

6.2.4 TracKenzan のシステム全体の評価結果

TracKenzan 使用群を対象に, 5.1 節で実施した SUS の質問紙および, 以下の 2 項目の質問項目について各評定スケールの中間評定値 (SUS は 3, 他の 2 項目では 4) と評定平均値が異なるかどうか t 検定を実施した.

(a) 生花を用いたいけばな体験時に TracKenzan 使用時の経験が役だったかと思いませんか.

(b) 友人にどれくらい TracKenzan を紹介したいですか.

SUS の結果により, TracKenzan は, (2) 不必要に煩雑ではなく (逆転項目: <3 $t(10)=2.61$, $p=.026$) (5) 様々な機能が上手に統合されており (>3 $t(10)=3.73$, $p=.004$) (6) 一貫性があり (逆転項目: <3 $t(10)=8.96$, $p<.001$) (7) 多くの人が使用方法を簡単に学べる (>3 $t(10)=3.32$, $p=.008$) となり, 有意に中間点との間に差があった. なお, ここでの質問項目の番号は, 5.1 節における SUS の質問項目に対応する.

また, (a) の質問の結果は, 評定平均値は有意に「どちらともいえない (評定 4)」よりも高く ($t(10)=2.92$, $p=.045$), (b) の質問の結果は, 評定平均値は有意に「どちらともいえない (評定 4)」よりも高かった ($t(10)=2.32$, $p=.043$).

つまり, TracKenzan 使用群の被験者は, 生花を用いたいけばな体験時に, TracKenzan での経験が役立ったと考え, 友人に TracKenzan を紹介したいと考えていたことが

示唆された.

7. 考察

7.1 剣山デバイスの考察

本システムではトラックパッドを利用した剣山デバイスを採用した. 実世界のいけばなで使用される剣山は, 垂直に近い角度で挿入した花材を固定する道具であり, きわめて浅い角度で花材をいけることは構造上困難である. そのほか, 針の間隔と密度に物理的な制約があることや花材を傷める問題もあり, 花材をいける際の制約は多い. また生花用吸水スポンジ (フローラルフォーム) を使う場合には, 花材の挿入角度の自由度は得られるものの, 試行回数などに制約がある. これに対し本システムでは, ユーザは自由な発想で剣山に CG 花材を固定できる. これにより, 様々な手法を自由に試すことが可能であり, いけばなを構成する練習に役立つと考えている. その一方, TracKenzan を用いて実際の剣山やフローラルフォームの物理的な制約を克服する技術を学習することはできない. 本システムは, シミュレーションを繰り返すことで, 美しいいけばなを構成する理論を習得する学習ツールであると考えている.

7.2 評価実験に対する考察

5.3 節と 6.2.4 項での SUS 質問紙の結果から, 初心者と経験者問わず, TracKenzan は多くの人にとって使いやすいユーザビリティを実現したといえる. これは, トラックパッドを剣山, タッチペンを花材と見立てた直感的な操作が効果を上げていたと考えられる.

6 章の実験では, TracKenzan 使用群において, TracKenzan を用いた練習後, つまり, 生花を使った作品制作を行う以前の段階で, すでに TracKenzan 未使用群の生花を使った作品制作後と遜色のないレベルでいけばな体験時の楽しさや作品の満足感を得ていた. このことは, 生花を用意するために費用が生じる実世界のいけばなとほぼ同じ体験を, TracKenzan が提供可能であることを示している. しかし, 初心者が説明動画により学習した場合と,

説明動画の学習に加えて TracKenzan により練習した場合を比較したところ、練習後に制作した作品の完成度には違いは見られなかった。これは練習回数が1回であったことから、十分な練習効果が得られなかったことによる可能性が考えられる。

5章の実験では、初心者よりも経験者および指導者の方が、いけばな練習環境として TracKenzan を高く評価していた。経験者および指導者はいけばな作品の制作方法を熟知していたため、TracKenzan はいけばなシミュレータとして活用可能であることを評価した結果であると考えられる。

一方、6章の実験では、初心者にとっても、いけばな練習環境として TracKenzan が有望であることが確認できた。6章の実験では、いけばな説明動画を視聴した後に TracKenzan を使用した。このとき、初心者でもいけばな作品の制作方法に疑問を持たずに取り組めたことから、TracKenzan はシミュレータとして自然に活用されていたととらえることができる。TracKenzan はいけばな練習のためのシミュレータであり、いけばな体験を実現するが、いけばな教育をするシステムではない。適切な指導者が教材と組み合わせて使用することによって、効果的ないけばな教育を行うためのツールとなるであろう。

8. まとめと今後の展望

本稿では、実世界のいけばな体験に近付けた、繰り返しいけばな練習を行うためのいけばな練習システムの「TracKenzan」を提案した。TracKenzan は、トラックパッドを剣山デバイスに、タッチペンを活用した花軸デバイスを花材に見立て、3D-CG 空間でいけばな練習を行うためのアプリケーション表示端末の3要素から構成した。また、剣山デバイスのジェスチャ操作と花軸デバイスの接触判定を組み合わせることで、実世界のいけばなに近い、直感的ないけばな練習の操作方法を実現した。2つの評価実験から、初心者および指導者・経験者にとって、学習負荷が低く、直感的ないけばな練習が行えること、および実世界のいけばなよりも低コストでいけばな練習が可能になる効果を実証した。

今後、海外を含めいけばなの稽古場が少ない地域や、いけばなで必須となる花材や花器を用意することが難しい人でも、指導者から直接指導を受ける方法だけでなく、TracKenzan を用いた遠隔地でのいけばな練習が可能になると考えられる。また、TracKenzan により花材の挿入位置や角度、切断した茎の長さや奥行き感も数値化できるため、指導者の技能解明につなげる一手法になることが期待できる。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP16K00214 の助成を受けて行われた。本研究は華道家元池坊正教授である井上太市氏から多くの協力をいただいた。また、花軸デバ

イスの作成では、本学学部教育研究協力員の的場やすし氏に協力をいただいた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- [1] Zhang, J., Lyu, Y., Wang, Y., Nie, Y., Yang, X., Zhang, J. and Chang, J.: Development of Laparoscopic Cholecystectomy Simulator Based on Unity Game Engine, *Proc. 15th ACM SIGGRAPH European Conference on Visual Media Production, CVMP'18*, pp.4:1–4:9, ACM (online), DOI: 10.1145/3278471.3278474 (2018).
- [2] Bian, Y., Yang, C., Guan, D., Xiao, S., Gao, F., Shen, C. and Meng, X.: Effects of Pedagogical Agent's Personality and Emotional Feedback Strategy on Chinese Students' Learning Experiences and Performance: A Study Based on Virtual Tai Chi Training Studio, *Proc. 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '16*, pp.433–444, ACM (online), DOI: 10.1145/2858036.2858351 (2016).
- [3] Göbel, S., Geiger, C., Heinze, C. and Marinos, D.: Creating a Virtual Archery Experience, *Proc. International Conference on Advanced Visual Interfaces, AVI '10*, pp.337–340, ACM (online), DOI: 10.1145/1842993.1843056 (2010).
- [4] 竹川佳成, 平田圭二: 臨書初級者のための文字バランス学習支援システムの設計と実装, *情報処理学会論文誌*, Vol.57, No.8, pp.1861–1870 (2016) (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/170000131031/>).
- [5] 諏訪正樹: 生田久美子 (2007), 『「わざ」から知る』, 東京: 東京大学出版会, *認知科学*, Vol.15, No.4, pp.714–715 (オンライン), DOI: 10.11225/jcss.15.714 (2008).
- [6] ビービーメディア株式会社: Ikebana VR experience, 入手先 (<http://ikebana-vr.jp/>).
- [7] Mukai, N., Takara, S. and Kosugi, M.: A Training System for the Japanese Art of Flower Arrangement, *18th World IMACS/MODSIM Congress, The Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand Inc. and the International Association for Mathematics and Computers in Simulation*, pp.1671–1677 (2009).
- [8] Sithu, M., Ishibashi, Y., Huang, P. and Fukushima, N.: Ikebana Competition in Networked Virtual Environment with Haptic and Olfactory Senses, *Proc. 13th Annual Workshop on Network and Systems Support for Games, NetGames '14*, pp.9:1–9:3, IEEE Press (2014) (online), available from (<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2755535.2755546>).
- [9] 池坊由紀, 高井由佳, 後藤彰彦, 桑原教彰: いけばな作品評価アンケートによる未経験者と熟練者の見極めの比較—いけばな実作と写真を用いて, *日本感性工学会論文誌*, Vol.13, No.1, pp.307–314 (オンライン), DOI: 10.5057/jjske.13.307 (2014).
- [10] 太田 達, 芳田哲也, 久米 雅, 大西明宏, 白土男女幸, 田中辰憲, 濱崎加奈子, 井植美奈子, 松下久美子, 仲井朝美: 茶道点前における動作解析: 棗と茶杓の清め動作, *日本人間工学会大会講演集*, Vol.45, pp.466–467 (オンライン), DOI: 10.14874/jergo.45spl.0.466.0 (2009).
- [11] 服部元史: 文楽における動きの情緒表現 (特集バイオメカニズム的美の探究), *バイオメカニズム学会誌*, Vol.26, No.3, pp.137–141 (オンライン), DOI: 10.3951/sobim.26.137 (2002).
- [12] Nakaoka, S., Nakazawa, A., Yokoi, K., Hirukawa, H. and Ikeuchi, K.: Generating whole body motions for a biped humanoid robot from captured human dances, *ICRA* (2003).
- [13] 檜山 敦, 土山裕介, 宮下真理子, 江淵栄貴, 関 正純,

廣瀬通孝：一人称視点からの多感覚追体験による伝統技能教示支援（特集教育・訓練・協調），日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.16, No.4, pp.643–652（オンライン），DOI: 10.18974/tvrsj.16.4.643（2011）.

[14] Ikenobo, Y., Kuwahara, K., Kida, N., Takai, Y. and Goto, A.: The Classification Tendency and Common Denomination of the Points Paid Attention in Ikebana Instruction, *Digital Human Modeling. Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management*, Duffy, V.G. (Ed.), pp.263–272, Springer International Publishing (2014).

[15] Goto, A., Sugiyama, N., Ikenobo, Y., Yamaguchi, N. and Hamada, H.: Analysis of Cutting Operation with Flower Scissors in Ikebana, *Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control*, Karwowski, W., Trzcielinski, S., Mrugalska, B., Di Nicolantonio, M. and Rossi, E. (Eds.), pp.378–385, Springer International Publishing (2019).

[16] Yokokubo, A., Säaskilähti, K., Kangaskorte, R., Luimula, M. and Siio, I.: CADo: A Supporting System for Flower Arrangement, *Proc. International Working Conference on Advanced Visual Interfaces, AVI '12*, pp.42–45, ACM (online), DOI: 10.1145/2254556.2254567 (2012).

[17] 横窪安奈, 椎尾一郎：CADo：身近な花材を利用した生け花支援システム，情報処理学会論文誌，Vol.55, No.4, pp.1246–1255（オンライン），入手先（<https://ci.nii.ac.jp/naid/110009752435/>）（2014）.

[18] Hinckley, K., Pausch, R., Goble, J.C. and Kassell, N.F.: Passive Real-world Interface Props for Neurosurgical Visualization, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '94*, pp.452–458, ACM (online), DOI: 10.1145/191666.191821 (1994).

[19] Hoffman, H.G.: Physically touching virtual objects using tactile augmentation enhances the realism of virtual environments, *Proc. IEEE 1998 Virtual Reality Annual International Symposium (Cat. No.98CB36180)*, pp.59–63 (online), DOI: 10.1109/VRAIS.1998.658423 (1998).

[20] Teng, S.-Y., Kuo, T.-S., Wang, C., Chiang, C.-H., Huang, D.-Y., Chan, L. and Chen, B.-Y.: PuPoP: Pop-up Prop on Palm for Virtual Reality, *Proc. 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '18*, pp.5–17, ACM (online), DOI: 10.1145/3242587.3242628 (2018).

[21] 任天堂株式会社：Nintendo WII，入手先（<https://www.nintendo.com/wiiu/features/>）.

[22] Wu, P.-C., Wang, R., Kin, K., Twigg, C., Han, S., Yang, M.-H. and Chien, S.-Y.: DodecaPen: Accurate 6DoF Tracking of a Passive Stylus, *Proc. 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '17*, pp.365–374, ACM (online), DOI: 10.1145/3126594.3126664 (2017).

[23] Borges, M., Symington, A.C., Coltin, B., Smith, T. and Ventura, R.: HTC Vive: Analysis and Accuracy Improvement, *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp.2610–2615 (2018).

[24] Ikematsu, K. and Siio, I.: Ohmic-Touch: Extending Touch Interaction by Indirect Touch Through Resistive Objects, *Proc. 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '18*, pp.521:1–521:8, ACM (online), DOI: 10.1145/3173574.3174095 (2018).

[25] BROOKE, J.: SUS : A Quick and Dirty Usability Scale, *Usability Evaluation in Industry*, pp.189–194 (1996) (online), available from (<https://ci.nii.ac.jp/naid/>

10024892921/).

[26] Bangor, A., Kortum, P. and Miller, J.: Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale, *J. Usability Studies*, Vol.4, No.3, pp.114–123 (2009) (online), available from (<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2835587.2835589>).

[27] Sauro, J.: *A Practical Guide to the System Usability Scale: Background, Benchmarks & Best Practices*, CreateSpace Independent Publishing Platform (2011).

付 録

A.1 TracKenzan のデモビデオ

本研究で提案した TracKenzan のデモビデオは，情報学広場から動画（付録データ）を参照できる。



横窪 安奈（正会員）

2012年お茶の水女子大学大学院修士課程修了。同年博士課程進学。修士（理学）。2012～2017年までキヤノン株式会社勤務。2015年トウルク応用科学大学客員研究員。2017年青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科助手，現在に至る。ヒューマンコンピュータインタラクションの研究に従事。HCD-Net 認定人間中心設計スペシャリスト。



加藤 祐二

2012年名古屋大学大学院修士課程修了。修士（情報科学）。精密機器メーカーにて画像処理，バーチャルリアリティ（VR）に関する研究に従事，現在に至る。拡張現実（AR）に関する研究に興味がある。



薬師神 玲子

1998年お茶の水女子大学大学院博士課程修了。博士（学術）。1998年宇都宮大学工学部情報工学科助手，1999年名古屋大学大学院人間情報学研究科助手，2001年青山学院大学文学部専任講師，2005年助教授，2009年同大学教育人間科学部准教授を経て，2016年より同学部教授，現在に至る。2008年4月～2009年3月まで，ロチェスター大学客員准教授。専門は認知心理学。



椎尾 一郎 (正会員)

1956 生. 1979 年名古屋大学理学部物理学科卒業. 1984 年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了. 同年 4 月日本アイ・ビー・エム株式会社東京基礎研究所に入社マルチメディアシステム, オフィスシステム等のユーザインタフェースの研究に従事. 1997 年玉川大学工学部助教授をへて, 2002 年教授. 2001 年 4 月~2002 年 3 月ジョージア工科大学客員研究員. 2005 年よりお茶の水女子大学理学部情報科学科教授. 現在に至る. 実世界指向インタフェース, ユビキタスコンピューティングを中心に研究. ソフトウェア科学会, ヒューマンインタフェース学会, ACM 各会員. 工学博士.