

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

横窪 安奈^{*†} 加藤 祐二[‡] 椎尾 一郎^{*}

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 内で花を活ける. TracKenzan をいけばな初心者といけばな経験者に対して評価実験をしたところ, 双方の被験者から TracKenzan のユーザビリティについて高い評価を得た. また, 実体のあるトラックパッドを使用することで手応えがあり使いやすく, ジェスチャ操作もシンプルであることから, 学習負荷が低く, いけばな練習の効果が高いことが示唆された.

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継承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, 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 [1] やタブレットに表示した映像体験と毛筆を組み合わせて書道支援を行う研究 [2] などが挙げられる. 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 [3] 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. バーチャルでのいけばな体験の実現にあたり, HMD に付属している専用コントローラを用いた体験 [4] や, 触覚のみに特化したデバイスを用いた研究が多い [5][6]. しかしながら, HMD に付属している専用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構成も重要である [7] 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) 世界で花を活ける. 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痛むこともなく, 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, 美しい生け方を学ぶことができる. 本稿では, TracKenzan を開発し, TracKenzan のユーザビリティについての評価実験の結果について報告する.

2 TracKenzan

TracKenzan は LDC 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 1). また, 花材の回転, 角度, 空中での位置を検出するために, タッチペンには VR 用トラッカーを取り付けた. これらの仮想物体の形状に近いタンジブルな操作デバイスを用いることで, 3D-CG 世界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, 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 世界での「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.

2.1 実装

本システムは macOS 上で Unity を用いて実装した. LDC 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

Copyright is held by the author(s).

* お茶の水女子大学大学院

† 青山学院大学

‡ 無所属

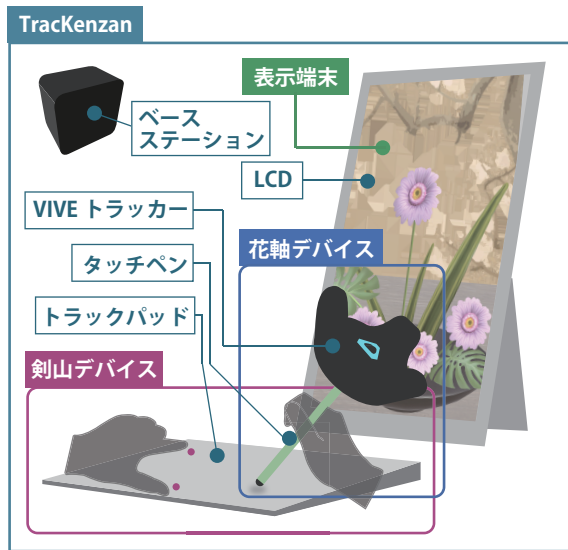


図 1. システム概要.

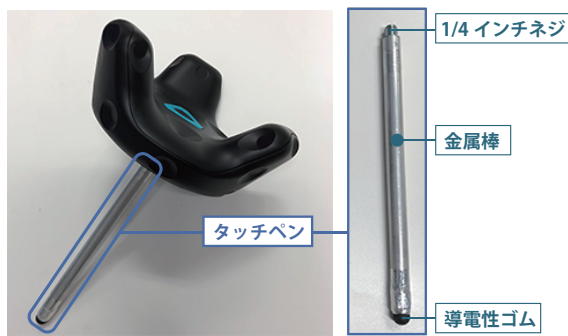


図 2. 花軸デバイス. タッチペンにトラッカーを装着.

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 2）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切り、HTC 社製の VIVE トラッカー（2018）（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。

2.2 トラックパッドの利用

今回の実装では、剣山デバイスとしてトラックパッドを採用した。花軸デバイスには位置検出のために

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

トラッカーを装着したので、CG 花材がテーブルに接触する位置の検出がトラッカーのみで可能である。しかし、トラッカーに加えて、さらにトラックパッドへのタッチ入力を導入することで、CG 剣山に対する花材の位置を、極めて正確に取得することが可能である。

いけばなにおいて、剣山上の花材の位置関係は重要である。中央、奥、手前、左右に活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。そのため、花軸を剣山に挿す位置を、剣山座標に対して正確に検出したいと考え、トラックパッドを導入した。トラッカーでは花軸を置く位置に関して十分な精度が見込めない上に、剣山座標上の位置を正確に取得するためには、手間をかけて精密なキャリブレーションを行う必要がある。トラックパッドを併用すれば、簡単な準備により、花を活けるユーザが剣山上に花材を配置する意図を正確に反映できる。また剣山に接触した花軸の正確な位置を利用して、トラッカーのキャリブレーションを動的に行うことができる。これにより、システム使用開始時のキャリブレーションを簡易かつ手間を省略し、作業中の剣山デバイスやベースステーションの位置移動にも対応できる。

CG の花器や剣山を提示することに加えて、実物体としてのトラックパッドを剣山に見立てて使用することで、ユーザは花材を活ける位置を容易に把握することができる。また、トラックパッドを利用すれば、ユーザが花軸を剣山に当てるタイミングと圧力が検出可能であるため、それに従ったフィードバックを返すことができる。今回の実装では、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内蔵振動モジュールによりクリック感を提示する。これにより、花を挿す実体験に近い、いけばな体験を提供できると考えた。

トラックパッドでは様々なマルチタッチジェスチャを利用することができる。そこで、CG 花材の剣山からの取り外し、花材の切り替え、花軸長さの調整などの操作を、トラックパッドへのジェスチャで実現した。キーボードやマウスなどの入力手段に比べて、花を活ける場所での操作が可能であるため、使いやすくわかりやすい利点がある。

3 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。そのために、花軸デバイスからトラッカーを取り外して、剣山デバイスの脇に置く。なお、この後のユーザ操作により花軸デバイス先端が剣山デバイスにタッチする機会を利用して、タッチ座標に適応して位置関係は自動調整される。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。

花材の選択

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3)。これにより3D-CG世界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。

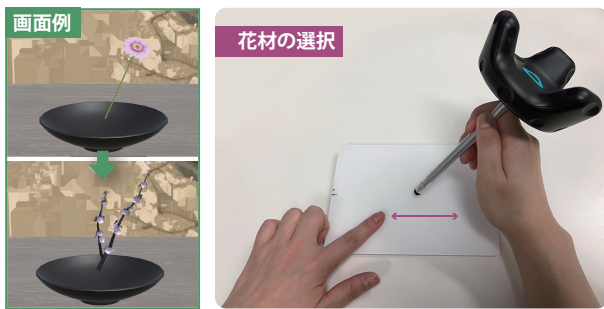


図 3. 左または右へのフリックにより花材が変更。

図4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・バラ等の花材を、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型花器を用意した。



図 4. 花材と花器の一覧。

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5)。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。

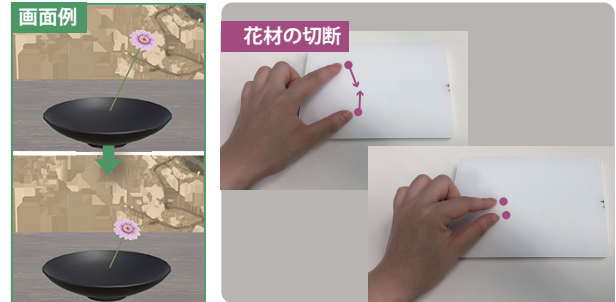


図 5. ピンチインにより花軸が切断。

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。

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つきが解かれ、挿入された状態で花材位置が固定される。

剣山に一旦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6)。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。また、作品のデータは、使用した花器の種類をはじめ、使

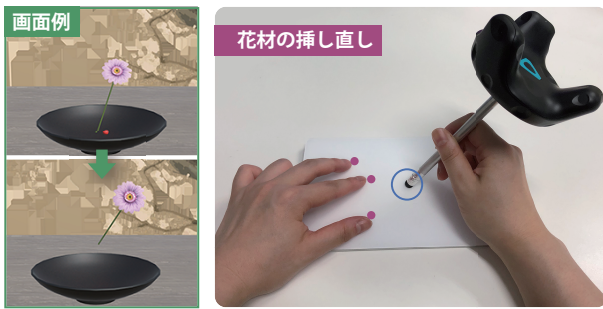


図 6. 花材の挿し直し：剣山デバイスに指3本を接触し、花軸デバイスで花材を選択し、先端を剣山デバイスに押下。

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。

4 評価実験

TracKenzan の操作性を含めたユーザ体験の評価と、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）はお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。

4.1 実施内容

本実験は、初心者は2018年5月28～29日に大学の教室内にて、指導者ならびに経験者は2018年5月30日に、いけばなのお稽古場にて実施した（図7）。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）及び指導者1名（男性1名）の計20名に対して実施した。

TracKenzan の操作性を含めたユーザ体験の評価を行うために、Brooke[8]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、質問内容は以下の通りであった。

- (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。



図 7. TracKenzan の評価実験の様子（池坊のいけばな教室内）。

- (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。

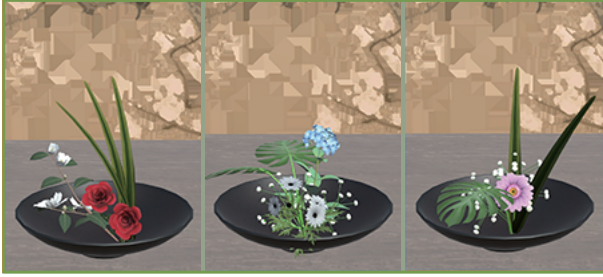
4.2 TracKenzan による成果物

TracKenzan による作品例を図8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、花材の挿し口が一樣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。

いけばな指導者の作品例



いけばな経験者の作品例



いけばな初心者の作品例



図 8. TracKenzan を用いたいけばな練習システムでの作品例。

5 結果と考察

5.1 SUS 質問紙の結果

初心者ならびに経験者の SUS の結果を表 1 に示す。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 点であり、TracKenzan は高い評価を得た。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 点であり、初心者よりも指導者・経験者の方が、TracKenzan を高く評価していた。

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」という意見が挙がった。

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。

表 1. 初心者と指導者・経験者の SUS の結果 (小数点第二位以下は四捨五入)。

Usability Score	初心者	指導者・経験者
平均点	74.8	75.2
最低点	52.5	50.0
最高点	90.0	92.5

5.2 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、機能追加の要望等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上で、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 関連研究

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。

池坊らは、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 [9]。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。そのため、いけばな練習において、花材の配置方法を正確に検出することが重要である。

筆者らは、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 [10][11]。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出来なかったため、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 らの力覚提示によるいけばな練習システム [5][6] が挙げられる。この研究では、花材を剣山に挿すと手に反力が伝わるため、実世界での花材を用いて反力を算出し、ペン上の力覚提示装置により剣山に花材を挿した感覚を提示している。いけばな練習システムの利用者は、PC に表示された VR の花を視認しながらいけばなを行うが、提示された画面は 2 次元に留まるため、奥行き感を把握しにくく、いけばなの構成美を検討しにくいという課題があった。

これに対し本研究では、3D-CG 世界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 世界での花器が連動しているため、剣山デバイスの実体を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。

7 まとめと今後の課題

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 世界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。評価実験から、初心者及び指導者・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効果を実証した。今後の課題として、以下の改良を行いたいと考えている。

- (1) 花材の挿し直し操作の向上：剣山デバイスでの検出位置と花軸デバイスの空間での位置情報を組み合わせたジェスチャ操作を検討し、挿し直しの認識精度を向上する。
- (2) 剣山デバイスの回転・作業途中でのキャリブレーション：いけばな練習途中でも剣山デバイスの回転を行えるように、剣山デバイスと花軸デバイスの相対位置を常にキャリブレーションできるよう改良する。
- (3) いけばな練習環境の充実：花材の種類追加などに加え、第三者が作品を閲覧できる機能を追加し、いけばな練習環境を充実させる。

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はなく、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繋げる一手法になることが期待できる。

謝辞

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頂いた。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頂いた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 檜山敦, 土山祐介, 宮下真理子, 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, 日本バーチャリアリティ学会論文誌 16(4), pp.643-652(2011).
- [2] 竹川佳成, 平田圭二: 臨書初級者のための文字パ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 57(8), pp.1861-1870(2016).
- [3] 生田久美子: 「わざ」から知る, 東京大学出版会 (2007).
- [4] IKEBANA VR EXPERIENCE. <http://ikebana-vr.jp/>.
- [5] Mukai, N., Takara, S., Kosugi, M.: A Training System for the Japanese Art of Flower Arrangement, In *18th World IMACS/MODSIM Congress*, pp.1671-1677(2009).
- [6] 向井信彦, 高良沙矢佳, 瀬川綾, 中川真志, 小杉信: 力確提示装置を用いたいけばな練習システムの試作, 映像情報メディア学会誌 64(10), pp.1510-1515(2010).
- [7] 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(2014).
- [8] Brooke, J.: SUS - A quick and dirty usability scale, In *Usability evaluation in industry 189(194)*, pp.4-7(1996).
- [9] Y. Ikenobo, N. Kuwahara, N. Kida, Y. Takai, A. Goto, The Classification Tendency and Common Denomination of the Points Paid Attention in Ikebana Instruction, In V.G. Duffy (Ed.): *DHM 2014, LNCS 8529*, pp.263-272(2014).
- [10] A. Yokokubo, I. Siio: CADo: A supporting system for flower arrangement, In *AVI '12 Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, pp.42-45(2012).
- [11] 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 55(4), pp.1246-1255(2014).