



頭頸部超音波検査手技学習のための 遠隔授業支援システムの開発

小林尚矢¹⁾, 下出祐造²⁾, 北村守正²⁾, 出原立子¹⁾

Naoya KOBAYASHI, Yuzo SHIMODE, Morimasa KITAMURA, and Ritsuko IZUHARA

- 1) 金沢工業大学大学院 工学研究科 システム設計工学専攻 (〒924-0838 石川県白山市八東穂 3-1)
2) 金沢医科大学 頭頸部外科学 (〒920-0293 石川県河北郡内灘町大学 1-1)

概要：本研究では、超音波検査時のプローブ手技を遠隔の受講生が分かりやすく習得するための遠隔授業支援システムの開発を目的とする。教師のプローブ手技を Web カメラで撮影し、AI（機械学習）による画像処理技術によって手の関節情報を推定し、3DCG の仮想プローブとして仮想空間に再現する。さらに、仮想プローブ情報を、インターネットを介して遠隔の受講生側に送信し、プロジェクタを用いて実空間にあるマネキンに対して立体的に描出する事で分かりやすく学習することを目指している。

キーワード：拡張・複合現実、遠隔授業、機械学習

1. 研究背景と目的

近年、COVID-19 の影響により、ビデオ会議ツールを活用したリモート教育の導入が拡大している。医療機関では、講習会のリモート化により、ソーシャルディスタンスの確保や遠方同士での教育を目指している。しかしながら、専門技術や専門機器を用いた手技を習得するような実技講習においては、音声と映像だけで学習することは容易ではない。樋口ら[1]は、無菌操作と包帯法を遠隔授業で演習しており、カメラ位置や包帯の両端に色を付ける等の工夫をして実施していた。そのため、手技を分かりやすく表示する、遠隔授業を実現する環境を整えるなど、工夫次第では

遠隔でも対面と同等の技術を習得できると考える。

そこで本研究では、超音波検査時のプローブ手技を遠隔の受講生が習得するための遠隔教育支援システムの開発を目的とする。

超音波プローブを活用した遠隔授業の既存研究として、谷ら[2]は、腹部超音波検査手技を遠隔でリアルタイムトレーニングを実施し、全 5 名の受講者が 13 枚の課題画像の描出に成功していた。このシステムは、それぞれの実習環境で、超音波検査用シミュレータ、超音波診断装置、Web カメラ、PC ならびにディスプレイを組み合わせて実現させていたが、特殊なシミュレータと装置が必要であり構築

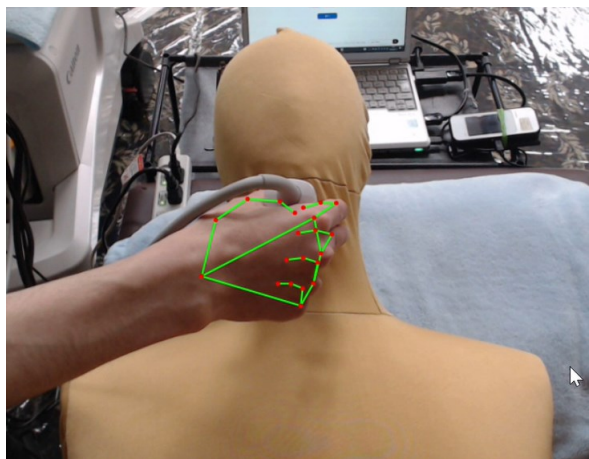


図 1: システムイメージ

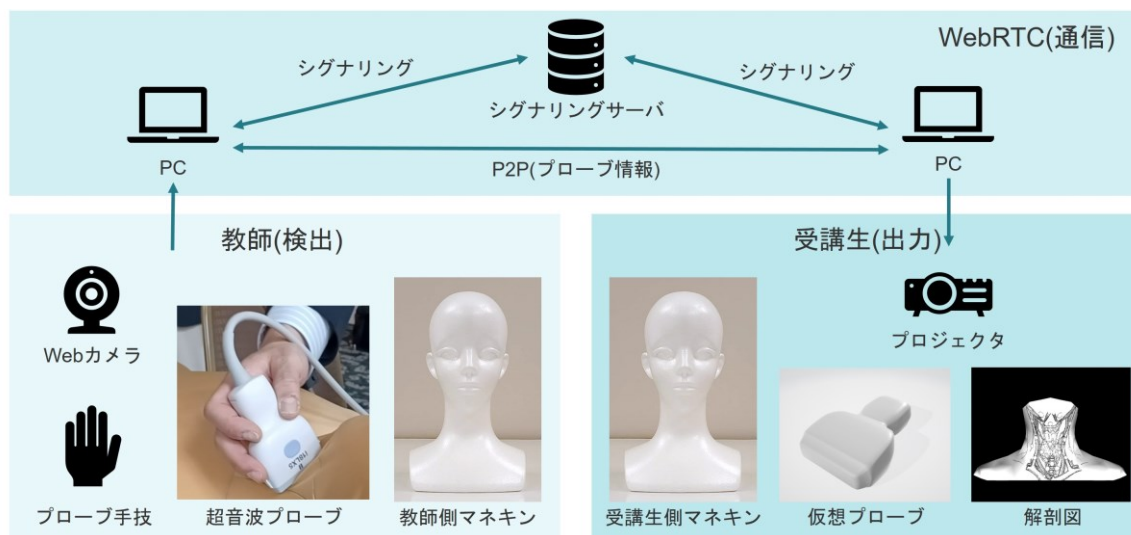


図2: システム構成図

コストが高い。

鈴木ら[3]は、Mixed Reality 技術を活用してプローブの位置取得を目指し、HoloLens 2 のハンドトラッキング機能を使用する手法と立体 AR マーカーを使用する手法について仮想オブジェクトを用いた検証を行った。その結果、ハンドトラッキングは仮想オブジェクトを動かす際に手首の操作が難しく、AR マーカーの方が迅速性に適していることが報告された。

本研究の先行システムを開発した大坪ら[4]は、特定の色検出とジャイロセンサを用いて教師のプローブ走査の位置・傾き情報を取得し、その情報を元に受講生側環境で仮想プローブとして再現しマネキン（あるいは人体）に実寸大で映像投影し描出させた。本手法は、教師の手技情報を元に、リアルタイムに受講生側のマネキン（人体）に仮想プローブを実寸大で描出できた点で、遠隔授業支援システムの可能性を示されたが、色検出による位置推定手法が環境色の影響を受けやすく精度向上の課題があった。また実際のプローブを用いずスマートフォンによるプロトタイプ開発であった。

そこで本研究では、教師のプローブ手技を Web カメラで撮影し、AI（機械学習）による画像処理技術によって手の関節情報を推定し、その情報を元に 3DCG の仮想プローブとして仮想空間に再現する（図 1）。さらに、仮想プローブ情報を、WebRTC（Web Real-Time Communication）を活用して遠隔の受講生側に送信し、プロジェクタを用いて実空間にあるマネキン（人体）に解剖図と同時に実寸大で立体的に描出し、どの部位にプローブを当てるかを一目でわかりやすく学習できるシステムを開発した。

本システムの特徴は、Web カメラのみで教師のプローブ手技情報を取得し、プローブの位置・傾きによる角度を推定し立体的な仮想プローブとして再現でき、且つ遠隔環境において再現できる点にある。これによって、特別なセンサ等を必要とせず、また予め決められたプローブ機器に限定されず、教師側の様々な環境に適應できるのが利点である。

2. システム設計

2.1 システム要件

本システムの要件として、次の 5 つの項目を設定した。一つ目は、教師側でプローブ手技の位置情報、角度情報を正確に取得できる事。二つ目は、遠方同士でリアルタイムに情報の送受信ができる通信機能を有する事。三つ目は、遠隔の教師側から送信された情報を元に、受講生側の仮想プローブが教師側と同じ動作をする事。四つ目は、仮想プローブと解剖図が同時にプロジェクタで投影できる事。さらに五つ目は、システムの最終目標として多くの実習環境で活用できることが望ましいため、特殊なデバイスやアプリケーションを準備する必要がない、プローブ形状に囚われずどの形状のプローブでも動作を検出することができるとして掲げた。

2.2 システム構成

本システムの構成図を図 2 に示す。初めに、教師のプローブ手技を Web カメラでハンドトラッキングを行い、手の位置情報から仮想プローブとして再現する。次に、WebRTC 技術を活用して、プローブ情報を教師側の PC から受講生側の PC に P2P（Peer to Peer）で送信する。最後に、受講生は共有された仮想プローブと解剖図を、実空間にあるマネキンに描出する流れとなっている。ハンドトラッキングを活用した理由は、プローブ手技情報取得においてセンサ等の特別な機材が不要で、特定のプローブ機器に限定されないこと。さらに、医師のプローブの持ち方に違いがあまりなく、持つ手の関節情報から実際のプローブの位置・角度を推定できると考えたためである。

システム全体は Web アプリケーションを活用し JavaScript ベースで開発を行った。Web アプリケーションを活用することで、システム利用者は新しくアプリケーションをインストールする必要なく、URL を指定するだけで活用できるためである。

3. システム開発

3.1 プローブ手技検出手法

本研究では、Web カメラを活用してハンドトラッキングを行うために、オープンソースの機械学習ライブラリである Google の MediaPipe を活用した。MediaPipe を実装すると、Web カメラからリアルタイムに手の検出を行うことができる。また、指先や関節から 21 個のキーポイント位置を検出し、画像の描画位置からそれぞれのキーポイントを xyz 座標で取得することができる。これらを活用し、プローブを持っている手の人差し指のキーポイントからプローブの位置、角度を推定した。

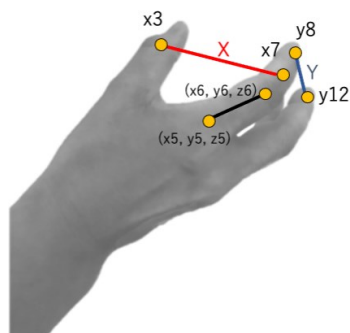


図 3: ハンドトラッキングによる取得点

プローブの位置情報の x 座標値は、図 3 に示す x3 と x7 の中間点、y 座標値は y8 と y12 の中間点を設定した。

プローブの角度情報として、ピッチ回転角度は図 3 に示す (x5, y5) と (x6, y6) の 2 点の座標値を用い、計算式 (1) によって求めた。同じ手法で、ヨー回転角度も図 3 に示す (y5, z5) と (y6, z6) の 2 点の座標値を用いて求めた。ロール回転角度はプローブ手技にあまり使用されなかったため導入しなかった。

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y6-y5}{x6-x5}\right) \quad (1)$$

3.2 Web カメラ設置位置

MediaPipe でプローブ手技をトラッキングすると、カメラの設置位置により、プローブを持っている手がプローブに付いているコードに隠れてしまい、キーポイント情報が正確に取得できない場合がある。そのため、Web カメラの設置位置を斜めにするこで対処した (図 4)。カメラを斜めに設置することで、本システムで主に使用するキーポイントである、人差し指が隠れることなく検出することができるようにした。

3.3 Web システム

先に述べたように、Web アプリケーションで MediaPipe を起動させ、リアルタイムに教師と受講生のデータの送受信する必要がある。本研究では、Web 上でリアルタイムコミュニケーションを行う手段として WebRTC を選定し、NTT Communications が提供している SkyWay を活用した。

本システムでは、システム起動時にシグナリングサーバに接続し、Peer ID を送信する。その後、接続したい相手の



図 4: Web カメラ設置位置

Peer ID を入力することで通信を開始する。Video Start ボタンを押すと、接続されている Web カメラが起動し、撮影した映像が画面に表示される。手が撮影されるとハンドトラッキングが開始され、トラッキングされた情報をもとに、Three.js を活用して 3DCG で仮想プローブが表示される。また、解剖図の付いた首のモデルが同時に表示され、教師は映し出された仮想プローブを首のモデル位置を参考に実際の位置に合うように調整を行う。Send Probe Data ボタンを押すと仮想プローブ情報が受講生側に送信され、Three.js で動作が共有される。そして、受講生側は画面に映し出された映像をプロジェクタでマネキンに投影できるように制作した。

4. まとめ

本研究では、超音波検査時のプローブ手技を遠隔の受講生が習得するための遠隔教育支援システムの開発を目的として、Web カメラとプロジェクタ、そして機械学習ライブラリの MediaPipe、WebRTC、Three.js、Web アプリケーションを組み合わせることで、教師のプローブ手技情報を取得し、リアルタイムに遠隔にいる受講生側に情報送信し、CG の仮想プローブとして再現し人体モデルに実寸大に映像投影するシステムを開発することができた。

今後の方針としては、性能実験を行い、仮想プローブが実際のプローブ手技と比べて、どの程度位置情報、角度情報にずれが生じているのかを調査することを予定している。また本システムを、実際にプローブを活用している医師や医学生に活用してもらうことで、使用感についてのフィードバックを調査したいと考えている。さらに本システムでは、受講生のマネキンに対する描出方法としてプロジェクタを活用したが、今後 Mixed Reality デバイスを活用した拡張表現で仮想プローブと解剖図を描出したいと考えている。Mixed Reality デバイスを活用することによって、立体的に仮想オブジェクトを描出することができるため、臓器の表現に奥行が出ることや、受講生が仮想プローブの動作に重ね合わせてプローブ手技を学習する手法に効果的ではないかと考えている。

参考文献

- [1] 樋口美樹, 高山由利江, 大津山優葵, 天野雅美: 遠隔授業における看護技術演習の可能性と課題, 情報教育, 3 巻, pp. 18-22, 2021.
- [2] 谷修介, 打田佐和子, 元山宏行, 奥幸子, 富永法子, 棚野吉弘, 河田則文, 首藤太一: 腹部超音波検査手技遠隔トレーニングの試み, 日本シミュレーション医療教育学会雑誌, 9 巻, pp. 36-41, 2021.
- [3] 鈴木悠太, 水戸部一孝: 超音波診断装置用プローブの遠隔操作指導のための HoloLens2 における入力手法の検討, 第 27 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 1E4-1, pp. 1-4, 2022.
- [4] 大坪勇翔, 森啓輔, 下出祐造, 北村守正, 出原立子: 頸部超音波検査プローブ手技学習のための遠隔授業支援システム, 日本デザイン学会第 69 回研究発表大会概要集, pp. 252-253, 2022.