



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

鈴木悠太, 水戸部一孝

秋田大学大学院理工学研究科 (〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1, m8022507@s.akita-u.ac.jp)

概要: 近年の COVID-19 の流行により遠隔診療の導入が拡大している中, 超音波診断におけるプローブ操作は専門性が高いため, 言葉でプローブ操作を伝えるのは容易ではない. 本研究ではプローブ操作を Mixed Reality 技術を用いて遠隔で指導するシステムの実現を目指し, 仮想空間でプローブを操作する手法として「HoloLens2 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」における操作の正確性と迅速性について検証した. その結果, 正確性に差は生じなかったが, 迅速性は AR マーカーを用いた操作の方が優れることがわかった.

キーワード: HoloLens2, ハンドトラッキング, 立体 AR マーカー

1. はじめに

近年の COVID-19 の流行により遠隔診療の導入が拡大している[1]. 遠隔診療には看護師が患者宅へ訪問し, 医師は病院からオンラインで患者に対して診察, 処方する形態がある. 遠隔診療の拡大に伴い, 医療機器も遠隔診療に対応したものも登場しており, 超音波診断装置用のプローブは描出したエコー画像を別のデバイスにワイヤレスで送信することができる. しかしながら, 超音波診断はプローブを当てる角度や強さによって描出結果が変わる, 診断するためにいくつもの断面を描出する必要があるため, プローブの操作には高い専門性が求められる. そのため遠隔診療で超音波診断をする場合, 熟練した医師がテレビ電話を通した言葉で遠隔地にいる医療従事者にプローブの操作を伝えるのは容易ではない.

本研究では超音波診断におけるプローブの操作を Mixed Reality 技術を用いて遠隔で指導するシステムの実現を目指している. システムでは, 熟練した医師が遠隔地の患者のそばに居る医療従事者に対してホログラムでプローブを当てる位置や姿勢を指導し, 医療従事者はホログラムに合わせてプローブを操作し描出したエコー画像および患者にあてたプローブの様子を遠隔地にいる医師に共有する利用方法を想定している.

本稿では上記のプローブ操作遠隔指導システムにおける医師と看護師のプローブ操作を相互に提示し, 仮想空間内でプローブを操作する手法, つまり, 「HoloLens2 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」に着目し, 正確性と迅速性について検証する.

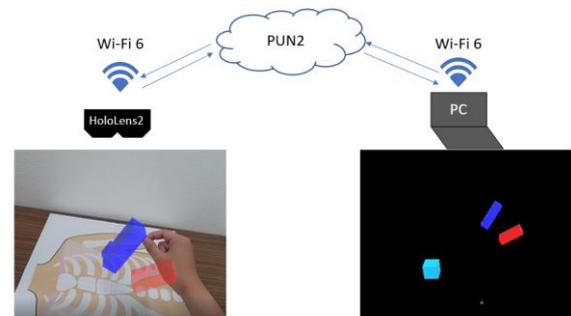


図 1: システム構成

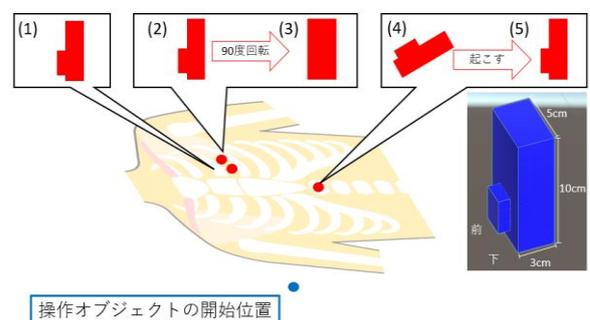


図 2: 手本オブジェクトの表示位置と操作オブジェクト

2. 検証システム

2.1 システム構成

図 1 にシステム構成を示す. 検証システムでは HoloLens2 と PC を Photon Unity Networking2 (以下 PUN2)

[2]を使い通信する。PUN2 へはインターネットを通じてアクセスする。HoloLens2 では青いオブジェクト（以下操作オブジェクト）を操作し、PC では赤いオブジェクト（以下手本オブジェクト）の表示位置を制御する。HoloLens2 と PC の操作は PUN2 を通じてリアルタイムに同期される。

2.2 手本オブジェクトと操作オブジェクト

図 2 に手本オブジェクトの表示位置と操作オブジェクトを示す。手本オブジェクトの表示位置は超音波検査の 1 つである FOCUS における評価部位のエコー画像を描出するためのプローブ位置[3]を参考に以下の 5 か所を設定した。

- (1) 傍胸骨長軸像
- (2) 傍胸骨長軸像（微調整）
- (3) 傍胸骨短軸像
- (4) 心窩部四腔像
- (5) 下大静脈

手本オブジェクトは上記の順番で該当部位に表示される。また、手本オブジェクトの位置が分かるように人間の肋骨の図を設置した。

操作オブジェクトは縦、横および高さがそれぞれ 3cm, 5cm, 10cm の直方体となっており、前後と上下を確認できるように前面下部に突起を配置した。

3. 検証方法

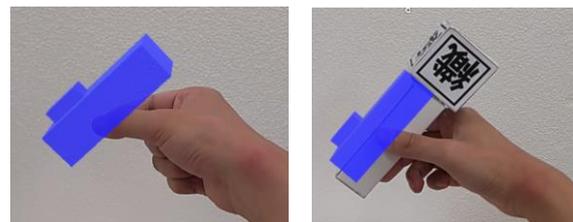
検証では表示される手本オブジェクトに、ハンドトラッキングによる操作あるいは立体 AR マーカーを用いた操作で操作オブジェクトを合わせる様に教示しており、合わせた位置姿勢の正確性と合わせるまでに要した時間を調べる。検証参加者は 20 代の男女 8 名である。なお、本検証は秋田大学倫理委員会の審査を経て実施された。

3.1 オブジェクトの操作条件

図 3 にオブジェクトの操作条件を示す。図 3 の画像は肉眼での見え方と異なり、オブジェクトの位置が左上にずれている。同図(a)はハンドトラッキングによる操作を示しており、HoloLens2 に備わっているハンドトラッキング機能を使用する。同図(b)は立体 AR マーカーを使用した操作を示している。立体 AR マーカーは Vuforia [4]を用いて作成した。各面は Vuforia において AR マーカーを認識するための特徴となる角が多くあるとして、漢字を使用した。立体 AR マーカーの下に操作オブジェクトと同じ大きさの直方体を取り付けた。

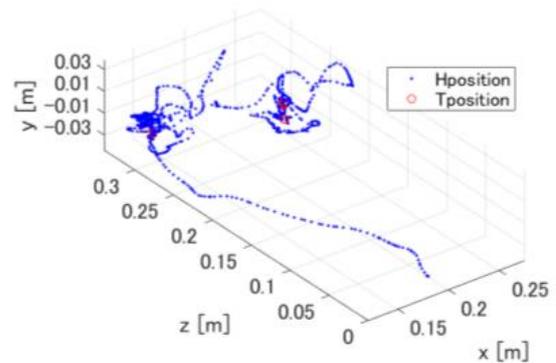
3.2 教示条件

1 回の試行で手本オブジェクトが 5 か所、順番に表示され、被験者は操作オブジェクトを操作し手本オブジェクトに合わせ、操作オブジェクトが手本オブジェクトと一致したと判断したら実験者に合図を送る。実験者は合図を受け取り、PC を操作するとその瞬間の位置姿勢が記録され次の手本オブジェクトが表示される。検証は各条件で 5 試行ずつ、合計 10 試行実施した。

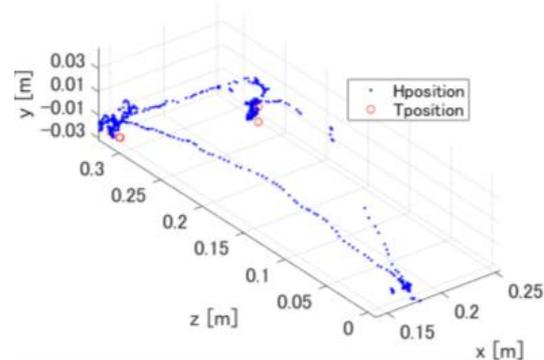


(a) ハンドトラッキング (b) 立体 AR マーカー

図 3: オブジェクトの操作条件



(a) ハンドトラッキング



(b) 立体 AR マーカー

図 4: 各操作条件における軌跡の一例

3.3 アンケート

検証終了後、被験者にアンケートに回答してもらった。アンケートの項目は以下のように設定した。

- ・オブジェクトを移動しやすかったか
- ・オブジェクトを回転しやすかったか
- ・オブジェクトを傾けやすかったか
- ・オブジェクトは操作によく追従していたか
- ・オブジェクトを同じ姿勢で保持しやすかったか
- ・手本に合わせやすかったか

各項目について各条件で（5点：そう思う、4点：ややそう思う、3点：どちらでもない、2点：あまりそう思わない、1点：そう思わない）5段階で評価するように教示した。

4. 検証結果

図 4 に各操作条件における軌跡の一例を示す。青点が操

作オブジェクトの位置, 赤い円が手本オブジェクトの位置を示している. 同図は被験者 1 人の 1 試行の軌跡を示しており, 同図(a)はハンドトラッキングによる操作での軌跡, 同図(b)は立体 AR マーカーを用いた操作での軌跡を示している. ハンドトラッキングによる操作では手本オブジェクトの周辺に操作オブジェクトの点が集中しており, 手本オブジェクトに合わせるための微調整の時間が長いことがわかる. また, 上方向に操作オブジェクトが移動している. これは操作オブジェクトが手本オブジェクトと重なっている状態で操作オブジェクトを持ち直そうとした動きである.

アンケートでは, 6 項目中, 追従に関する項目以外の 5 項目で AR マーカーを用いた操作の方が評価が高かった. 図 5 にアンケート結果の一部を示す. 同図(a)はオブジェクトの回転について, 同図(b)はオブジェクトの保持についての結果であり, アンケート項目の中で特に操作条件間で差が出た項目である. また, 自由記述ではハンドトラッキングによる操作について持ち直すのが難しい, 傾ける時に手首がつかったなど扱いづらいという意見が多くあった.

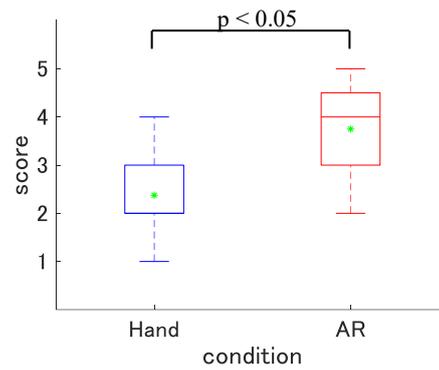
図 6 に操作条件の違いによるズレと所要時間を示す. 同図(a)は手本との絶対距離のズレを示しており, 操作条件間で有意な差は見られなかった. 一方, 被験者ごとにズレを比較すると, 8 名中 5 名で立体 AR マーカーを用いた操作の方が有意に小さいことを確認した. 同図(b)は手本オブジェクトの各表示位置に操作オブジェクトを合わせるまでの所要時間を示している. 操作条件間で立体 AR マーカーを用いた操作の方が所要時間が有意に小さいことを確認した. また, 被験者ごとに所要時間を比較すると, 8 名中 5 名で立体 AR マーカーを用いた操作の方が有意に小さいことを確認した.

5. 考察

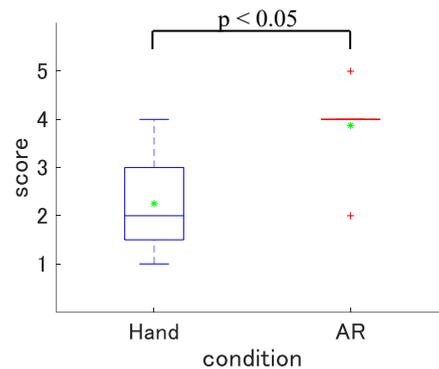
アンケートではハンドトラッキングによる操作が困難だったとの意見が多く出された. ハンドトラッキングによる操作は被験者の手の細かい動きも反映する為, 微調整が難しくなったと考える. また, 手が Hololens2 のカメラの撮影外に存在する場合, ハンドトラッキングが無効になりオブジェクトをつかめない場面も見られた. さらにオブジェクトを回転させるときに手首をひねるため, オブジェクトを目的の姿勢に設定するために何度も持ち直す必要があり, 仮想オブジェクトの扱いを困難にしたと考える.

今回の検証では被験者 8 名中 5 名で立体 AR マーカーを用いた操作の方のズレが小さいという結果になった. これは操作感の違いが影響したと考える. ハンドトラッキングによる操作では何も持たないのに対し, 立体 AR マーカーを用いた操作では実際に直方体をもって操作したことで手本オブジェクトに合わせやすかったと考える.

ハンドトラッキングに比べ, AR マーカーを用いた操作の所要時間が短かった. アンケートではハンドトラッキングによる操作は手の細かい動きも反映するため, 手本オブ

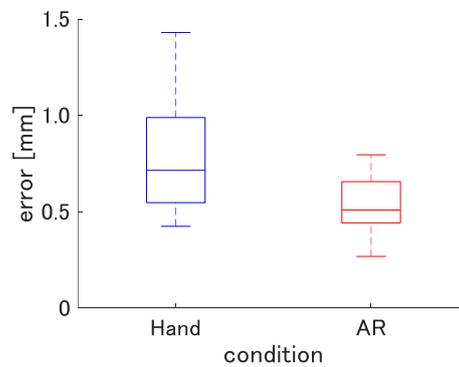


(a) オブジェクトの回転について

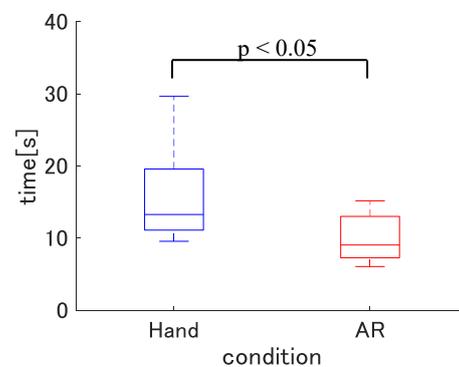


(b) オブジェクトの保持について

図 5: アンケート結果の一部



(a) 手本との絶対距離のズレ



(b) 所要時間

図 6: 操作条件の違いによるズレと所要時間

ジェクトに合わせる際の微調整が大変だったとの意見があり、微調整に時間を要したと考える。また、オブジェクトを回転させるときに手首をひねる必要があり、角度を合わせるために何度も持ち直したことも時間がかかった要因と考える。

6. 結論

熟練した医師と遠隔地にいる医療従事者のグローブ操作を相互に提示するグローブ操作遠隔指導システムの基礎研究として、仮想空間での操作手法として「HoloLens2のハンドトラッキングによる操作」と「立体ARマーカーを用いた操作」を比較し、正確性と迅速性について検証した。全体として操作条件の違いで位置のずれには有意な差は見られなかったが、所要時間では立体ARマーカーを用いた操作の方が短いことが明らかになった。今回の結果は、迅速性では立体ARマーカーを用いる操作が適していることを示している。

今後は正確性に関して、手本オブジェクトと操作オブジェクトの姿勢のズレについて解析することで、より詳細に検討する予定である。

参考文献

- [1] 津田万里, 森屋宏美, 浦野哲哉: 世界と日本の遠隔診療の現状と遠隔診療に対する学生教育の展望, 医学教育, Vol.53, No.3, pp.271-277, 2021.
- [2] Exit Games: メインページ, Photon Unity Networking2, <https://doc-api.photonengine.com/ja-jp/pun/v2/index.html>, (参照 2022-7-13).
- [3] 山田徹, 高橋宏瑞, 南太郎: エコーを聴診器のように使おう! POCUS, レジデントノート 8, vol.20, no.7, pp.1052-1061, Aug. 2018.
- [4] PTC: Vuforia Developer Portal, vuforia engine developer portal, <https://developer.vuforia.com>, (参照 2022-7-13).