



電磁誘導計測式ハンドピースデバイスと歯列モデルを用いた小型 XR 歯科切削訓練システム

A Compact XR Tooth Cutting Training System
using an EMR-based Dental Handpiece and 3D-Printed Teeth Model

王宇卉¹⁾, 高嶋和毅²⁾, 伊藤雅充³⁾, 小堀武³⁾, 朝倉僚³⁾, 藤田和之¹⁾, 洪光⁴⁾, 北村喜文¹⁾
Yuhui WANG, Kazuki TAKASHIMA, Masamitsu ITO, Takeshi KOBORI, Tomo ASAKURA, Kazuyuki FUJITA,
Guang HONG and Yoshifumi KITAMURA

- 1) 東北大学 電気通信研究所 (〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1, wang.yuhui.r1@dc.tohoku.ac.jp)
2) 芝浦工業大学 (〒337-0003 埼玉県さいたま市見沼区深作 307, takashim@shibaura-it.ac.jp)
3) 株式会社ワコム EMR テクノロジ (〒349-1148 埼玉県加須市豊野台 2-510-1, masamitsu.ito@wacom.com)
4) 東北大学 大学院歯学研究科 (〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1, kitamura@ricc.tohoku.ac.jp)

概要: 既存の XR 技術を用いた歯切削訓練システムは触覚デバイスを用いるものが多く, 全体的にシステムのサイズやコストが大きくなる傾向がある. 本研究では, 3Dプリンタで印刷した歯列プロップに直接ハンドピースを当てるパッシブハプティクスを用いてその解決を図る. そのために, まず電磁誘導方式を用いて歯プロップ周辺で高精度なトラッキングが可能なトラッキングプラットフォーム (デジタイザとハンドピース型デバイス) を開発し, 高精度なハンドピース操作を可能とした. また, それらの情報を HMD 内でバーチャルな歯列とハンドピースとして表現することで, リアルで臨場感のある XR 歯切削訓練システムを実現した.

キーワード: モーショントラッキング, パッシブハプティクス

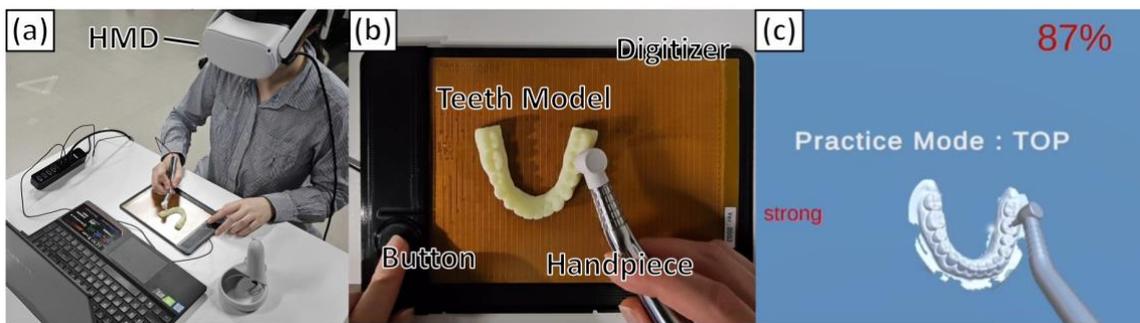


図 1: 提案システム.

(a) 全体セットアップ, (b) 現実世界の歯切削の様子, (c) バーチャル世界のユーザ視点

1. はじめに

歯科治療の中でも特に歯の切削は重要な技術の一つであり, 歯の神経や形を損なわないよう訓練を重ねる必要がある. 歯学部では通常, マネキンの口内にある歯の模型をハンドピースで切削して練習する. しかし, これらの専門的な訓練システムは大型かつ高価であり運搬が困難であるため, 導入数や設置施設に限られるといった問題が存在する. また, 練習のたびに歯の模型を消費してしまう. 歯科治療における歯切削は難しく, 繰り返し訓練がその練度

の向上に最も効果的であるため, 歯学部の施設等でしか訓練ができない状態は好ましくなく, 家庭での個人学習の機会を増やすことも求められている.

このような歯の切削練習を支援するため, XR (VR/AR) 技術を用いた歯切削訓練システムが研究開発されている [1, 2]. これらのシステムでは, 高い臨場感の中で様々な切削体験と訓練ができ, その際に教育的なフィードバックを提供することができる. また, 歯の模型を消費することなく訓練を繰り返し行うことができるという利点もある. 既

存の XR 歯切削訓練システムは、歯の硬さや形状を示す触覚フィードバックを提示するために、特殊な触覚デバイスを用いることが多い。しかしながら、触覚デバイスは現状高価であるものの、ハンドピースに見立てたペンの可動域や提示可能な反力に上限があるため、歯の切削体験の表現性能に課題を抱えている。また、触覚デバイスの導入自体がシステム全体を大型化させてしまうため、ポータビリティが低く、家庭学習等に应用するには至らない。

そこで、既存の歯科切削訓練システムが抱える大型・高コストの問題を解決するため、高野らはスマートフォンに付随した EMR スタイラスをハンドピースとして使用したスマートフォンと歯の模型を組み合わせた VR 歯切削訓練システムを提案した。このプロトタイプでは、大幅な小型化が可能となった一方で、ハンドピースの空中でのトラッキング精度の不足が課題であった[3]。本研究では、ハンドピースの高さ方向のトラッキング精度を大幅に改善する EMR トラッキングプラットフォームを新たに開発し、小型で低コストな XR 歯切削訓練システムを提案する (図 1-(a))。

2. システム設計

歯科教育関係者からの意見に基づき、歯切削訓練における歯の硬さと形をリアルに提示するため、本研究では 3D プリンタによる歯列プロップと高精度な電磁誘導計測型のトラッキングシステムを用いたパッシブハプティックの手段を試みる。

2.1 システム構成

本システムは 3 つの主要な要素から構成される (図 2)。第一の要素 (図 2-①) はモバイル HMD であり、Unity 上でレンダリングされたバーチャルな歯切削訓練場面をユーザに提供する。第二の要素 (図 2-②) はソフトウェアパッケージであり、トラッキングプラットフォームからのセンサデータの処理と VR 内の歯切削訓練システムとの連携を担う。第三の要素 (図 2-③) はパッシブハプティクスを実現するもので、デジタルに 3D プリントされた歯の模型 (プロップ) を貼り付けたものと、電磁誘導計測型のハンドピースである。ハンドピースには振動モータ、制御 MCU、EMR スタイラスと 6 軸センサが埋め込まれている (図 3)。

2.2 キャリブレーション

本システムでは Meta Quest 2 の 6DoF インサイドアウトトラッキングシステムを用いてユーザ頭部の位置と姿勢を追跡する。また、Meta Quest Touch Controller へのトラッキングを利用して、トリガーを歯の先端に押し当てることにより歯の模型とユーザの位置関係を取得し、VR 内に表示する歯の初期位置をキャリブレーションする。

2.3 トラッキングシステム

本システムでは電磁誘導方式を用いてハンドピースの動きをトラッキングし、現実世界 (図 1-(b)) と VR 内 (図 1-(c)) のハンドピースの位置と姿勢を連動させている。提案するトラッキングシステムでは、ハンドピースを検知で

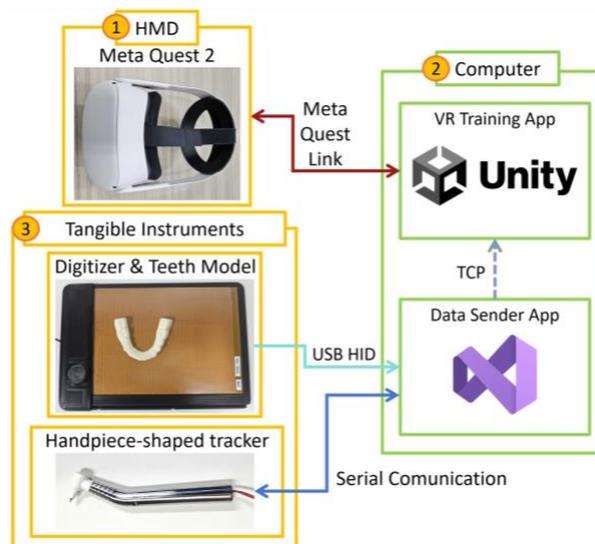


図 2: システム構成

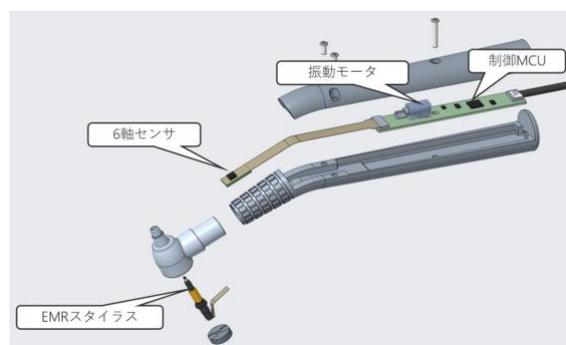


図 3: ハンドピースの仕様

きる範囲はデジタル上で高さ 2.5 mm まで可能であり、これは歯の高さを十分にカバーするものである。デジタルの検知範囲内にハンドピースの先端が入ると、3次元座標 (x, y, z), 3次元回転 (ロー, ピッチ, ヨー), 及び圧力のデータを取得できる。これらのデータおよびデジタル上に付随しているボタンのプッシュ情報は Unity に送信され、VR 空間に情報が反映される。

2.4 切削実装

本システムでは、歯科教育で実際に学生が習得を要求される主な切削技術である咬合面切削と側面切削の 2 種類の切削面に対応できるように実装を行った。

咬合面切削は主に咬合面上に発生した虫歯部分の除去のために用いられる。本システムでは、前述の電磁誘導により取得できる位置情報と歯との接触情報の二つのデータを組み合わせてハンドピースが歯に接触時の位置を取得する。ハンドピースのバーの x-y 座標に最も近い歯の表面メッシュの座標を算出し、バーの座標を算出座標に合わせることで、より高精度なトラッキングが可能となり、より正確に切削部位を特定できる仕組みとなっている。

一方、側面部の切削は支台歯と呼ばれるかぶせ物のための土台を形成する際に用いられるが、側面部における切削処理では、スタイラスの側面部に感圧センサがないため、

歯との接触を直接検知することができない。そのため、本システムの側方切削ではハンドピースの位置データを基に、歯との距離を算出して接触判定を行い、Unity のレイキャスト機能を用いて切削部位を特定する。

切削部分は VR 内の歯に青色で表示され、さらに切削部位の歯のメッシュを視覚的に凹ませることで、切削感の向上を図った。また、歯科現場で使用されているフットペダルの代替インタラクションとして、デジタイザに付随しているボタンを使用し、切削モード、切削音声、振動のオンオフを制御できるよう実装した。

3. むすび

本研究では、既存の触覚デバイスを用いない小型で低価な新しい XR 歯科切削訓練システムを技術展示する。展示では、スタイラス開発で培われたワコム EMR（電磁誘導方式）テクノロジーを精密な VR インタラクションへ応用した際の使用感や今後の応用可能性を聴衆と共有し議論

する。

参考文献

- [1] M. Kaluschke, R. Weller, M. S. Yin, B. W. Hosp, F. Kulapichitr, S. Suebnukarn, P. Haddawy, and G. Zachmann. Reflecting on excellence: VR simulation for learning indirect vision in complex bi-manual tasks. *IEEE VR*, pp. 712–721, 2024.
- [2] P. Rhienmora, K. Gajananan, P. Haddawy, M. N. Dailey, and S. Suebnukarn. Augmented reality haptics system for dental sur-gical skills training. *VRST*, 97–98, 2010.
- [3] Tatsuki Takano, Kazuki Takashima, Kazuyuki Fujita, Hong Guang, Kaori Ikematsu, and Yoshifumi Kitamura. A Compact and Low-cost VR Tooth Drill Training System using Mobile HMD and Stylus Smartphone. *VRST*, 46, 1–3, 2021.