6C-06

拡張現実を用いた歯科インプラント埋入シミュレーションシステムの開発と評価

加納　徹†　　竹林　晃‡　　山本　裕明§
東京理科大学†　　医療工学研究所‡　　日本歯科先端技術研究所§

1. はじめに

歯牙欠損部位に人工歯根（インプラント）を埋入し，人工歯を取り付ける歯科インプラント治療は，異物感や残存歯への侵襲の少なさから，広く行われるようになってきている．歯科インプラント治療では，CT データを用いた術前計画に基づき，サージカルガイドプレートと呼ばれるマウスピース型の手術補助器具を作成することが一般的である．サージカルガイドプレートは，インプラントを埋め込むための穴あける際，術前計画どおりの位置・角度にドリルを誘導するために用いられる．しかし，CT データのみを用いた術前計画では，上部構造など補綴的検討を行うことが難しい．また，サージカルガイドプレートは，「大きな開口が要求される」「注水が遮られ骨火傷の危険性が高まる」「視認性が悪く術野を直視できない」「フラップを伴うケースでは使用困難」など，さまざまな問題を抱えている．サージカルガイドプレートの欠点を解決する手段として，拡張現実（AR: Augmented Reality）技術を用いたナビゲーションシステムが提案されているが，巨大な AR マーカが必要であるもの [1]や，実用的な処理性能に至っていないもの [2]など，課題が残されている．

そこで著者らは，拡張現実技術を用いた，実践的な歯科インプラント治療支援システムの開発に取り組んできた [3]．本稿では，インプラント位置のシミュレーション結果を，実空間の映像上にリアルタイムで表示するシステムを構築し，歯列模型を対象としたドリリングシミュレーションによって，その性能を評価する．

2. 歯科インプラント治療支援システム

2.1. システム概要

本研究で開発する歯科インプラント治療支援システムは，大きく「インプラント埋入シミュレーションシステム」と「拡張現実表示システム」の二つに分けられる．術者は，これら二つのシステム画面を一つのディスプレイ上で確認しながら，術前計画やドリリングに活用する．以下では，各システムの機能と役割について述べる．

2.2. インプラント埋入シミュレーションシステム

インプラント埋入の治療計画を立てる際，術者は CT データを用いてインプラント埋入位置のシミュレーションを行う．本研究で独自に開発したシミュレーションシステムを図 1 に示す．開発言語は Java であり，システム画面は上部の「パノラマ断面図」，左下部の「水平断面図」，右下部の「垂直断面図」の三つに分かれている．まず，CT データをシステムに読み込ませると，水平断面図が表示される．ここで任意の断面高さを選択し，歯列に沿ってマウスクリックをしていくことで，パノラマ断面図が生成される．次に，パノラマ断面図上でのマウス操作によって，インプラントを追加していく．選択中のインプラントは，パノラマ断面に対して鉛直方向の垂直断面図が別途生成され，右下部に表示されるようになっている．本システムは上述の機能に加えて，拡張現実表示システムと連携させるために，インプラント座標と角度をリアルタイムでファイル出力する機能を備え持つ．

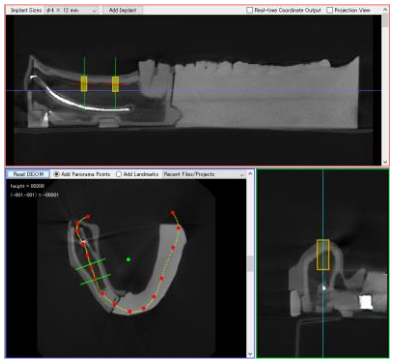

図 1 インプラント埋入シミュレーションシステム

Development and Evaluation of an Implant Placement Simulation System using Augmented Reality Technology
† Toru Kano, Tokyo University of Science
‡ Akira Takebayashi, Medical Engineering Laboratory
§ Hiroaki Yamamoto, Japan Institute for Advanced Dentistry

Copyright ©2022 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

2.3. 拡張現実表示システム

拡張現実表示システムは，インプラント埋入シミュレーションシステム操作中に出力されるインプラント座標データを読み込み，歯列のカメラ映像に対してリアルタイムでインプラント位置を重畳表示する．重畳表示のための AR プラットフォームには，PTC 社が開発・提供する Vuforia [4]を，開発環境には Unity Technologies 社が提供する Unity を用いた．Vuforia には Model Target と呼ばれる，三次元オブジェクトをトラッキングする機能が搭載されており，これを用いることで，歯列の CT データから歯列のトラッキング，およびカメラ映像とデジタルデータの合成出力が可能となる．

術者は，インプラント埋入位置をシミュレーションシステム上で操作しながら，実際にインプラントが歯列のどの位置・角度で埋め込まれるか，実空間の映像上で確認することができる．また，ドリリング位置のナビゲーションシステムとしても利用することができるようになっている．

3. 歯列模型を用いたドリリングシミュレーション

本研究で開発したシステムの性能を評価するため，歯科医師の協力のもと，インプラント基礎実習用の歯列模型を対象に，ドリリングシミュレーションを実施した．実験環境を図 2 に示す．Web カメラにはロジクール社の C922n を，コンピュータは CPU: Core i7-6700K, RAM: 16GB のものを，モニタには 27 インチ非光沢ディスプレイを利用した．実際にドリリングをしている際のシステム画面を図 3 に示す．モニタ左側にシミュレーションシステム，右側に拡張現実表示システムを並べた形としている．術者は CT データ上でシミュレーションされたインプラント位置と，実空間に重畳されたインプラント位置を相互に確認し，ドリルを打ち込む場所を決定する．そして，AR 空間上のドリルナビゲーション用のオブジェクトを参照しながら，ドリリングを行う．

開発したシステムを用いて 2 箇所のインプラント埋入位置をシミュレーションし，AR によるナビゲーションでドリリングを行った後，実際にインプラントを埋入し，誤差を計測した．その結果，起始点の水平誤差が平均 1.05 mm，深さ方向の垂直誤差が平均 0.224 mm となり，従来のサージカルガイドプレートを使用した場合と比べ，同程度のドリリング精度を実現できる可能性が示された．

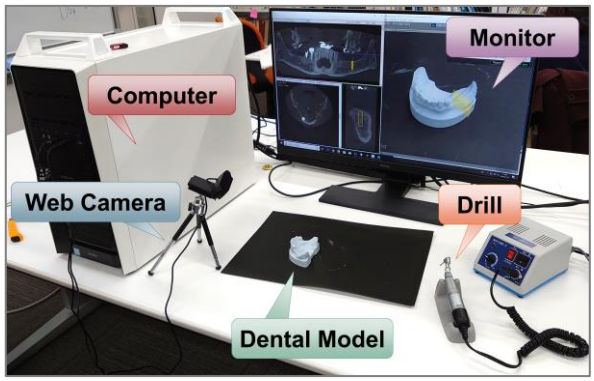

図 2 ドリリングシミュレーション実験環境

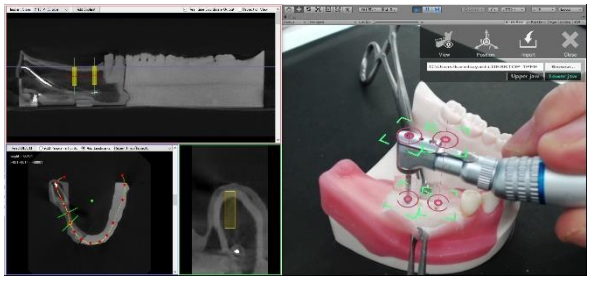

図 3 歯列模型に対するドリリング

4. まとめと今後の課題

本研究では，歯科インプラント治療におけるドリリングを支援するため，拡張現実を用いたインプラント埋入シミュレーションシステムを開発した．歯列模型を用いて実験を行った結果，本システムはドリル挿入のナビゲーションとして有効に機能すると同時に，術前計画にも効果的に利用可能であることが示唆された．

今後は，ドリルを装着するコントラアングルハンドピースのオブジェクトトラッキングも同時に行うことで，より実用性の高いナビゲーションシステムとなるよう開発を進めていく．また，人間の口腔内への適用可能性についても，検証を進める予定である．

参考文献

[1] Nobel Biocare: X-Guide® | Nobel Biocare (online), available from <https://www.nobelbiocare.com/en-int/x-guide> (accessed 2022-01-03).

[2] Shrestha, L., Alsadoon, A., Prasad, P.W.C. et al.: Augmented reality for dental implant surgery: enhanced ICP, J. Supercomput. Vol.77, pp.1152–1176 (2021).

[3] Takebayashi, A. and Kano, T.: Advanced surgical navigation system using augmented reality technology, 29th Annual Scientific Meeting of the European Association for Osseointegration, Vol.31, Issue S20, p.154 (2020).

[4] PTC: Vuforia engine developer portal (online), available from <https://developer.vuforia.com/> (accessed 2022-01-03).

Copyright ©2022 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.