



歯科インプラント治療における AR 式サージカルガイドの開発 - マーカの認識精度を向上させる環境の調査 -

Development of an AR-based Surgical Guide for Dental Implant Treatment
- Investigation of the Environment to Improve Marker Recognition Accuracy -

安黒翔¹⁾, 加納徹²⁾, 竹林晃³⁾, 赤倉貴子²⁾

Shou AGURO, Toru KANO, Akira TAKEBAYASHI, and Takako AKAKURA

- 1) 東京理科大学大学院 工学研究科 情報工学専攻 (〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6 丁目 3-1)
- 2) 東京理科大学 工学部 情報工学科 (〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6 丁目 3-1)
- 3) 医療工学研究所 (〒363-0022 埼玉県桶川市若宮 1-2-10-904)

概要: 歯科治療におけるインプラントとは、失った歯の部分に埋め込む人工の歯根のことである。インプラントを埋め込む手術を行う際には位置・深さ・角度を正確に合わせる必要がある。本研究では歯列とコントラを AR 認識することで位置情報を取得し、手術を補助する AR 式サージカルガイドを開発する。現状の課題は、環境によって AR 認識が安定しないことである。この安定度を可能な限り高め、手術へ応用が可能となる環境を調査する。

キーワード: 拡張・複合現実, 作業支援・評価, 医療

1. 研究背景

歯科治療におけるインプラントとは、歯を失った顎骨部分に埋め込む人工の歯根のことである。インプラント治療には手術が必要であり、顎骨にドリル (図 1) で穴をあける際には、ドリルの位置と角度を正確に合わせる必要がある。この位置合わせを容易にするために、プレート式サージカルガイド (図 2) が広く使用されている。プレート式サージカルガイドを用いることで、正確にインプラントを埋め込むことが可能となるが、以下の問題点が存在する。

- 2~3 割の患者は口を十分大きく開けることができず、プレート式サージカルガイドを使用することができない
- プレート式サージカルガイドの作成に時間や費用がかかる
- 注水が遮られてしまうため、骨火傷を起こす可能性がある
- サージカルガイドによって術野を直視できない



図 1: ドリル, コントラ, エンジンの構成



図 2: プレート式サージカルガイドの使用例

以上の理由から、プレート式サージカルガイドを使わずに、AR 式サージカルガイドによってインプラント治療を行うことが検討されている。AR 式サージカルガイドとは、歯列とコントラアングルハンドピース (以下、コントラ) を AR 認識し、位置情報を歯科医師へ伝えることにより、治療の支援を行うものである。しかし、取得できる位置情報の精度の低さが課題としてあげられている。

2. 関連研究

昨年度の研究 [1] では、歯列の石膏模型と直方体型のマーカを AR 認識させ、X, Y, Z 軸方向の位置情報の平均誤差を 25 点の位置において計測した (図 3)。

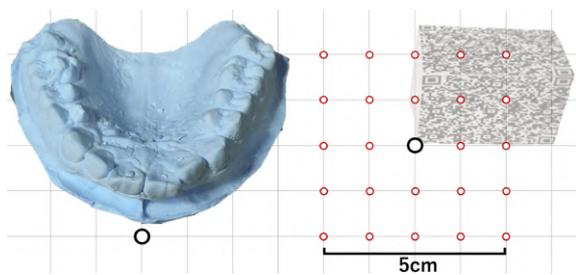


図 3: 直方体と歯列の石膏模型の計測位置

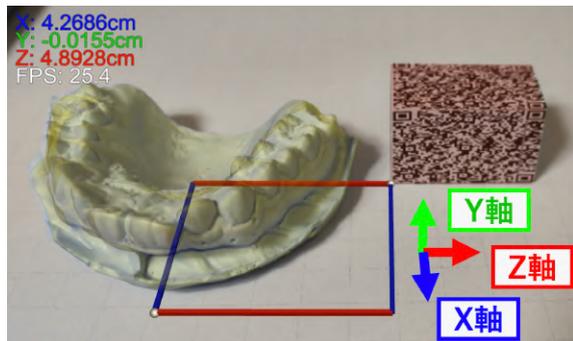


図 4: AR によるマーカの位置情報の誤差計測システム

表 1: 誤差計測結果 (単位: mm)

軸	平均誤差	誤差の分散
X	2.206	2.302
Y	4.168	4.688
Z	0.278	0.029

誤差計測の際に製作したシステムを図 4 に示す。X, Y, Z 軸方向の平均誤差は、それぞれ 2.206 mm, 4.168 mm, 0.278 mm であることが判明した (表 1)。

それに対して、プレート式サージカルガイドを使用した場合の位置の誤差は 0.5~1 mm 程度である。AR 式サージカルガイドの実用化のためには、プレート式サージカルガイドと同等以上の位置精度が必要となる。

Jason ら [2] の研究では、AR 認識に用いる映像をペンシルフィルターによって加工することで、照明の明暗による影響を受けづらくなることが判明した。この映像加工の手法は、AR 式サージカルガイドへ応用できる可能性がある。

3. 目的

本研究では、AR 式サージカルガイドの位置情報の精度を高めることを目標とし、マーカの認識精度を向上させる環境や映像加工の調査を行う。環境の具体例として、AR マーカの模様、照明、映像の解像度、フィルターによる映像の加工などがあげられ、その中で最も認識精度が高い環境を AR 式サージカルガイドへ応用する。

4. 提案手法

本研究では、AR マーカの認識に Vuforia [3] という API を使用する。

4.1 環境の条件

2つの条件について調査を行った。

1つ目は、フィルターによって AR に読み込ませる映像を加工することである。開発環境として用いている Unity にはさまざまな映像加工を行うことが可能であり、本研究では Post Processing という API を利用する。

2つ目は、AR に読み込ませる映像の解像度を変更することである。Vuforia の初期設定では 640×480 の解像度となっているが、解像度を 1920×1080, 3840×2160 に変更し、プログラムの実行速度である FPS や AR 認識精度を計測する。

4.2 AR 認識精度の評価

AR に読み込ませる映像と、AR の認識精度を計測するためのプログラムは、下記の説明のとおりに製作した。

仮想カメラを用いて、あらかじめ録画した映像を AR 認識に使用した。これにより、同一の映像においてフィルターによる映像加工など一部の条件のみ変更することが可能となる。

AR 認識に読み込ませる映像を徐々に拡大し、はじめて AR 認識を開始したときの拡大率を計測する。拡大率が小さいほど AR 認識精度が高い条件であると判断する。映像加工の条件を変更しながら、AR 認識が可能な拡大率を自動的に記録するプログラムを製作した。

5. 実験・考察

実験には、MacBook Pro 2019 (CPU: Intel Core i9/2.3GHz/8 コア, GPU: Radeon Pro Vega 20, RAM: 32GB) を使用した。検証用の映像は、iPad Pro 2020 を用いて撮影した。

5.1 映像加工による AR 認識精度の調査

1920×1080 の解像度で映像を撮影し、Vuforia で映像を読み込む際に、解像度を 640×480 に設定した。本研究では QR コードの画像を AR 認識に用いるマーカとして使用した (図 4)。実際の歯科インプラント治療では、歯列とコントラの位置を把握するために 2つの AR マーカを認識する必要がある。本調査では QR コードのみの認識を行ったが、QR コードと歯列部分を認識する追加実験の必要性を考慮し、歯列の石膏模型を配置した。



図 4: AR 認識に使用した映像

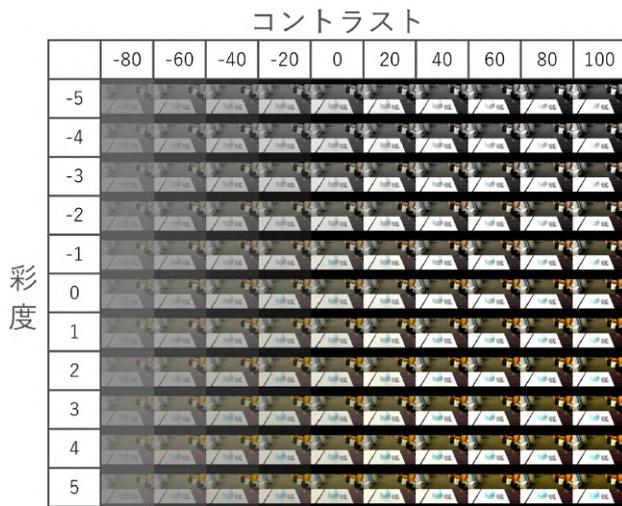


図 5: コントラストと彩度による映像の変化

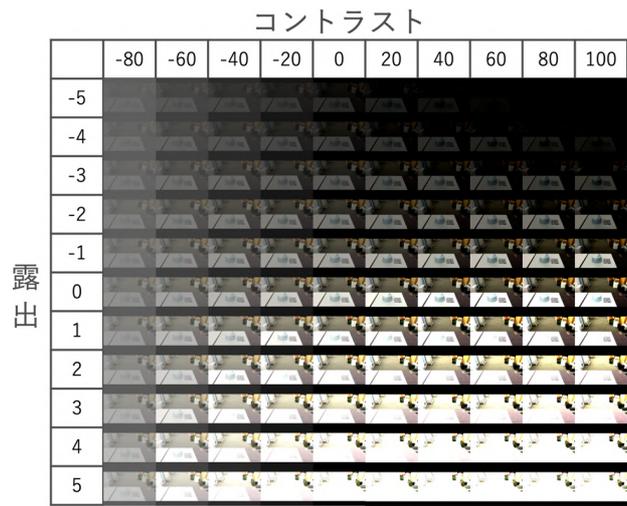


図 7: コントラストと露出による映像の変化

		コントラスト									
		-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
彩度	-100	2.12	1.36	1.35	1.35	1.36	1.34	1.35	1.36	1.35	1.37
	-80	2.12	1.36	1.33	1.36	1.35	1.34	1.36	1.36	1.36	1.37
	-60	2.11	1.36	1.34	1.34	1.34	1.34	1.36	1.36	1.37	1.37
	-40	2.10	1.36	1.34	1.36	1.35	1.34	1.36	1.36	1.37	1.37
	-20	2.15	1.36	1.34	1.31	1.35	1.34	1.36	1.36	1.37	1.37
	0	2.23	1.35	1.32	1.35	1.35	1.35	1.36	1.36	1.37	1.37
	20	2.12	1.36	1.33	1.35	1.36	1.35	1.35	1.36	1.37	1.37
	40	2.12	1.36	1.32	1.34	1.35	1.35	1.36	1.36	1.37	1.37
	60	2.09	1.35	1.33	1.34	1.35	1.35	1.36	1.36	1.37	1.37
	80	2.10	1.36	1.35	1.35	1.36	1.35	1.36	1.36	1.37	1.37
	100	2.10	1.36	1.35	1.35	1.34	1.35	1.35	1.36	1.37	1.37

図 6: コントラストと彩度による拡大率の計測結果

		コントラスト									
		-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
露出	-5	NULL	NULL	NULL	NULL	1.480	1.494	NULL	NULL	NULL	NULL
	-4	NULL	NULL	1.496	1.419	1.408	1.411	1.403	1.469	NULL	NULL
	-3	NULL	1.443	1.418	1.406	1.402	1.405	1.420	1.384	1.385	1.392
	-2	NULL	1.417	1.411	1.411	1.392	1.384	1.403	1.365	1.376	1.385
	-1	NULL	1.410	1.409	1.389	1.382	1.383	1.386	1.385	1.370	1.366
	0	NULL	1.409	1.404	1.401	1.385	1.378	1.397	1.405	1.410	1.411
	1	NULL	1.408	1.401	1.410	1.407	1.417	1.395	1.462	NULL	NULL
	2	NULL	1.406	1.408	1.396	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
	3	1.440	1.404	1.440	NULL						
	4	1.417	1.378	NULL							
	5	1.413	NULL								

図 8: コントラストと露出による拡大率の計測結果

5.1.1 コントラストと彩度

コントラストは $-80, -60, \dots, 80, 100$ の 10 通り、彩度は $-100, -80, \dots, 80, 100$ の 11 通りを組み合わせさせた (図 5)。それぞれ 6 回計測し、拡大率の平均値を算出した (図 6)。映像の加工を行っていないコントラスト 0、彩度 0 の条件では拡大率が 1.35 であったことに対して、コントラスト -20 、彩度 -20 の条件では拡大率が 1.31 であり、3.0% 小さい映像で AR 認識を開始した。

5.1.2 コントラストと露出

コントラストは $-80, -60, \dots, 80, 100$ の 10 通り、露出は $-5, -4, \dots, 4, 5$ の 11 通りを組み合わせさせた (図 7)。それぞれ 9 回計測し、拡大率の平均値を算出した (図 8)。映像の加工を行っていないコントラスト 0、露出 0 の条件では拡大率が 1.385 であったことに対して、コントラスト 60、露出 -2 の条件では拡大率が 1.365 であり、1.5% 小さい映像で AR 認識を開始した。

5.1.3 考察

コントラスト、彩度、露出などの条件によっては、わずかに小さい映像で AR 認識が開始されることが判明した。AR 認識精度が大きく向上しなかった理由としては、Vuforia 内で AR 認識のための映像加工が行われている可能性があげられる。

5.2 解像度による AR 認識精度の調査

QR コードの AR マーカと歯列の石膏模型を配置し、解像度が 3840×2160 の映像を撮影した。Vuforia で映像を読み込む際に、解像度を $640 \times 480, 1920 \times 1080, 3840 \times 2160$ に調整し、AR 認識を開始する映像の拡大率を 10 回計測した (表 2)。

表 2: 解像度による拡大率の計測結果

解像度	640×480	1920×1080	3840×2160
拡大率の平均	1.37	0.65	0.43
拡大率の分散	0	0.00769	0.00455
FPS	47~57	13~18	3~4

Vuforia の初期設定である 640×480 の解像度では拡大率が 1.37 であったことに対して、解像度が 1920×1080 、

3840×2160 の場合は、拡大率がそれぞれ 0.65, 0.43 となり、52.6%, 68.6% 小さい映像で AR 認識を開始した。しかし、AR 認識を開始するために必要とした実質的な映像の解像度は、640×480 の場合は 877×658, 1920×1080 の場合は 1248×702, 3840×2160 の場合は 1651×929 である。このように、入力映像の解像度が 640×480 の場合に、AR 認識を開始した実質的な解像度が最も低くなったのは、映像を縮小後拡大した際に、画素値の補間がうまく行われ、認識がしやすい映像になったためであると考えられる。しかし、補間が行われた映像は曖昧さを含むため、AR 認識の安定度については調査を行う必要がある。また、映像の画素数が上がるにつれてプログラムの実行速度が大きく低下した。特に 3840×2160 の解像度では FPS が 3~4 程度であり、手術に応用することは難しいと判断される。

6. まとめ

本研究では、2つの環境の条件を変更し、AR 認識精度が向上するか調査を行った。

1つ目は、フィルターによって AR に読み込ませる映像を加工することである。コントラストと彩度、コントラストと露出を調整することで、それぞれ最大 3.0%, 1.5 小さい映像で AR 認識を開始することが判明した。

2つ目は、AR に読み込ませる映像の解像度を変更することである。AR 認識を開始するために必要とした実質的な映像の解像度は 640×480 が最も低い計測結果となったが、補間によって映像の細部がより曖昧になり、AR 認識を開始しやすくなった可能性がある。また、解像度を高めるにつれて、AR 認識を開始するために必要な映像の解像度が上げられてしまい、プログラムの実行速度も低下することが判明した。

7. 今後の課題

本研究では QR コードの画像を AR 認識に用いたが、歯列の AR 認識についても同様に調査を行う必要がある。また、AR 認識を開始するときの映像の拡大率だけでなく、映像の解像度によって AR 認識が安定するか、2つの AR マーカ間の位置情報の精度が高い状態を維持できるかなど、さまざまな条件について計測する必要がある。

参考文献

- [1] 安黒翔, 加納徹, 竹林晃, 赤倉貴子: AR を用いた歯科インプラントの手術を補助するシステムの提案, 第 25 回 日本バーチャルリアリティ学会大会 論文集, 3B1-6, pp. 1-3, 2020.
- [2] Jason Rambach, Alain Pagani, Michael Schneider, Oleksandr Artemenko, Didier Stricker: 6DoF Object Tracking based on 3D Scans for Augmented Reality Remote Live Support, Computers, Vol. 7, No. 1, 6, 2018.
- [3] PTC, Vuforia engine developer portal: <https://developer.vuforia.com/>, (最終閲覧日 2021 年 7 月 27 日)