

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：27102

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K17053

研究課題名（和文）超小型内視鏡の双眼化による根管・歯根表層構造のデジタル三次元化手法の開発

研究課題名（英文）Development of 3D imaging method for root canal and tooth root surface by binocular of ultra-compact endoscope

研究代表者

藤元 政考（Fujimoto, Masataka）

九州歯科大学・歯学部・助教

研究者番号：80806547

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：歯科用内視鏡を双眼化し内視鏡画像から三次元像を構築する手法の開発が本研究の目的である。結果として、既存の双眼歯科用実体顕微鏡と試作歯科用内視鏡および開発した接続アダプターを組み合わせ、歯科用実体顕微鏡で根管内視鏡画像を観察できるシステムを構築した。また、内視鏡プローブを歯科用顕微鏡と接続し小型化を目指す取り組みの中で、レンズ付きアダプターを開発した。これは口腔内カメラや歯科用顕微鏡のような既存のイメージングデバイスに対し内視鏡プローブを接続できるようにするもので、2019年に特許を取得した（特許第6593785号）。

研究成果の学術的意義や社会的意義

歯科用内視鏡に関する国内外の研究は単に商品化された機器の画像比較に関する報告に留まっており、内視鏡画像を用いた根管等の三次元像構築に関する報告は皆無である。本研究が達成されることにより、CT撮影では避けられない放射線被曝も発生せず、ライブで三次元的イメージを得ることが可能になる。さらに、血管を含む他の生体微細構造を対象とする医学領域への応用も可能となる。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study is development of 3D imaging method by binocular of dental endoscopic images. As a results, observation system of root canal endoscopic images with dental microscope by combination of dental stereo microscope, prototype probe and developed connecting adaptor. Furthermore, lens attached adaptor was fabricated during aiming for miniaturization of connection between dental endoscope and dental microscope. This adaptor enables to connect the endoscope probe to existing imaging device such as intraoral camera and dental microscope and obtained a patent in 2019.

研究分野：保存治療系歯学

キーワード：歯科 内視鏡 根管 歯周ポケット

### 1. 研究開始当初の背景

歯科用顕微鏡やコーンビーム CT (CBCT) が導入された現在の歯科医療においても盲目的治療とならざるを得ない治療対象がある。最も遭遇する例として歯内治療時の根管深部や歯周ポケット深部があり、歯科用顕微鏡や CBCT を用いても根尖部の破折や側枝といった微細構造は確認できない。現在、歯科用内視鏡も複数存在するがその分解能は低く臨床使用に耐えない。また観察できたとしても微細構造の位置を三次元的に把握することは不可能である。現在、根管微細構造の観察に有用と考えられる歯科用内視鏡も複数あるが、コストや消毒・滅菌などの問題で広く普及するに至っていない。既存の歯科用内視鏡が抱えるこれらの問題点の克服を目的として、これまでに我々は新規根管観察用内視鏡の設計と開発について報告してきた (Yoshii et al., S2IS, 2013; Fujimoto et al., IEEE Sensors J, 2016)。しかしながら、開発したプロトタイプも含め、現存する歯科用内視鏡は、対象物表層の観察には有効だが、根管の湾曲や歯根面の形態といった三次元的構造を画像構築することはできない。

### 2. 研究の目的

以上の学術的背景を踏まえ、歯科用内視鏡を利用した三次元形状の計測を着想するに至った (図1)。本課題の核心となる部分は、内視鏡システムを双眼化し観察対象 (根管及び歯周ポケット内表層等) の三次元的なデジタル立体構造を再現する手法を確立することである。そのために以下の開発ステップを考えた。

- (1) これまで製作した内視鏡システムの更なる分解能の向上、小型化を図ることで高精度画像を得られるような極小径プローブを製作し開発ノウハウを蓄積する。
- (2) 双眼の歯科用顕微鏡を応用した内視鏡画像取得システムを構築する。
- (3) 内視鏡プローブを2本製作し双眼内視鏡を試作する。
- (4) 製作した双眼内視鏡システムで取得した画像を画像処理し三次元構造の構築を行う。

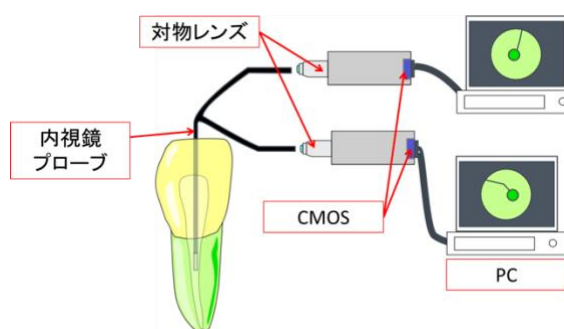


図1. 双眼内視鏡システムの概念図

歯科用内視鏡に関する国内外の研究は単に商品化された機器の画像比較に関する報告に留まっており、内視鏡画像を用いた根管等の三次元像構築に関する報告は皆無である。本研究が達成されることにより、CT撮影では避けられない放射線被曝も発生せず、ライブで三次元的イメージを得ることが可能になる。さらに、血管を含む他の生体微細構造を対象とする医学領域への応用も可能となる。

### 3. 研究の方法

イメージファイバ、屈折率分布型レンズおよび光ファイバで構成される試作内視鏡プローブ、プリズムとレンズで構成されるアダプター、および既存の歯科用実体顕微鏡 (マニー、日本) を実験に用いた。試作歯科用内視鏡プローブをアダプターを用いて歯科用実体顕微鏡に接続したシステムを構築し、外部光源下でライン・ペアが描記されたテストターゲット (周波数変異ロンキー・ルーリング、エドモンドオプティクス) を観察することにより本システムの分解能を評価した (図2、3)。観察時の試作歯科用内視鏡先端から観察対象までの作動距離は、試作内視鏡の最適作動距離である 0.32 mm とした。

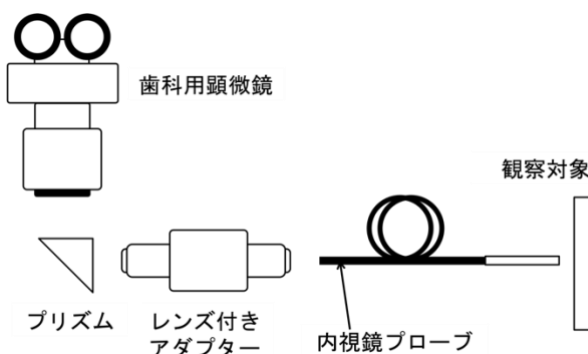


図2 歯科用顕微鏡と内視鏡融合システムの概念図

### 4. 研究成果

本システムの歯科用実体顕微鏡鏡筒から内視鏡画像の観察が可能であった。また、歯科用実体顕微鏡に組み込まれている外付けカメラによって動画撮影したところ、外部光源下で 10 から 35 LP/mm のライン・ペアが観察可能であった (図 4)。

#### 【考察】

今回、既存の双眼歯科用実体顕微鏡と試作歯科用内視鏡および開発した接続アダプターを組み合わせたシステムにより、歯科用実体顕微鏡で根管内視鏡画像を観察できることが明らかとなった。今後は、本システムによって取得できた画像の分解能の定量的評価や抜去歯を用いた歯の内部の観察実験を行う予定である。また、現状の開発段階は 2. 研究の方法で示したステップ 2 までとなっているが、内視鏡プローブを歯科用顕微鏡と接続し小型化を目指す取り組みの中で、レンズ付きアダプターを開発した。これは口腔内カメラや歯科用顕微鏡のような既存のイメージングデバイスに対し内視鏡プローブを接続できるようにするもので、令和元年度に特許を取得した (特許第 6 5 9 3 7 8 5 号)。これは内視鏡診断の日常診療への普及に向けた大きな一歩であり、本研究の大きな成果の一つである。

#### 【今後の展開】

本研究では同一の内視鏡プローブを使用して取得した画像の視差を利用して三次元像を構築することが最終目標である。システム構築のための器具の調整や材料の選定はすでに完了しておりハードウェア製作を進める予定である。2 本のプローブから 2 枚の画像を取得した後に画像間でキャリブレーションを行い、三次元像構築のための画像処理手法を確立する。

また、上記以外の三次元像構築以外に、同一のプローブではなく異なる分解能のプローブを組み合わせることで高解像度内視鏡システムの開発も着想し検討している。根管内の内視鏡システムの実質的な解像度を決定する要因は複数あるが、使用するイメージファイバの画素数は最も大きく解像度を左右する。現状よりも内視鏡の分解能をさらに向上させるためにはさらに画素数の高いイメージファイバを使用する必要があるが、光の回折限界のため本来の色調が得られない可能性もある。そこで、高解像度と色調再現の両方を同時に実現するため、2 種類のイメージファイバを応用した高解像度内視鏡システムを製作することも今後の取り組みのひとつとしている。このシステムを含めた双眼内視鏡システムは、2 本のイメージファイバを単一のプローブに内包するように製作するため、1 本のパイプの中に複数のバ管腔構造を有するハニカム構造を持つパイプを製作し内視鏡の小型化と精度向上を目指している。

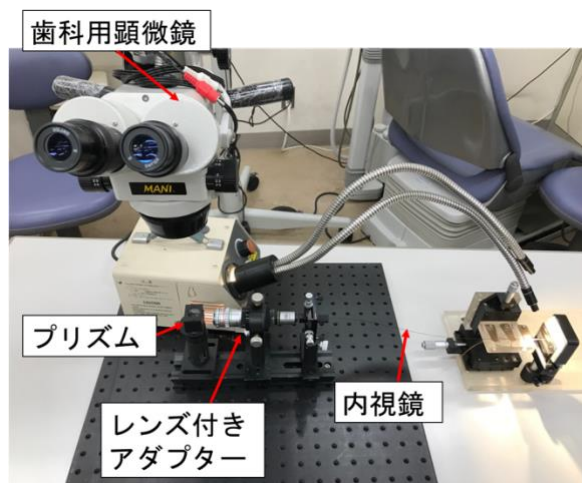


図 3 歯科用顕微鏡と内視鏡融合システムの概念図

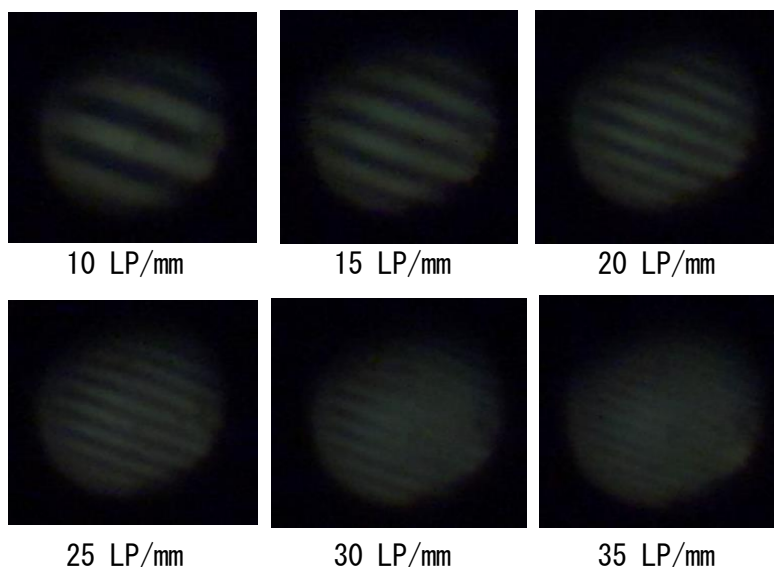


図 4 取得画像

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Fujimoto M, Okuda M, Yoshii S, Ikezawa S, Ueda T, Tassery H, Cuisinier F, Kitamura C	4. 巻 66
2. 論文標題 Endoscopic system based on intraoral camera and image processing.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transaction on Biomedical Engineering	6. 最初と最後の頁 1026-1033
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TBME.2018.2866273	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yoshii S, Fujimoto M, Okuda M, Kitamura C	4. 巻 44(12)
2. 論文標題 In Vitro Evaluation of a Novel Root Canal Endoscope for Visualizing the Apex of Curved Root Canal Models and an Extracted Tooth.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Endodontics	6. 最初と最後の頁 1856-1861
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.joen.2018.08.014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 藤元政考、吉居慎二、北村知昭
2. 発表標題 歯科用内視鏡プローブ内部の照明光伝播効率向上の検討
3. 学会等名 第79回九州歯科学会総会・学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤元政考、吉居慎二、奥田正浩、池沢 聡、植田敏嗣、西野宇信、永吉雅人、北村知昭
2. 発表標題 高解像度イメージファイバと内部照明光伝播機構を備えた歯科用内視鏡プローブの試作
3. 学会等名 日本歯科保存学会第150回春季学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤元政考, 吉居慎二, 北村知昭
2. 発表標題 新しい画像処理技術を用いた歯科用内視鏡システムによる取得画像の視認性向上の検討
3. 学会等名 第78回九州歯科学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤元政考, 吉居慎二, 奥田正浩, 池沢 聡, 植田敏嗣, 西野宇信, 北村知昭
2. 発表標題 Robust Principle Component Analysisを用いたノイズ除去とコントラスト強調による歯科用内視鏡取得画像の視認性向上
3. 学会等名 日本歯科保存学会第148回春季学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fujimoto M, Okuda M, Yoshii S, Ikezawa S, Ueda T, Kitamura C
2. 発表標題 Study of novel dental endoscopic system with intraoral camera and image probe for the observation of root canal
3. 学会等名 International Federation of Endodontic Association, The 11th World Endodontic Congress (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 口腔内カメラ用光学アタッチメント及び口腔内画像撮像システム	発明者 北村知昭、奥田正 浩、藤元政考	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、第6593785号	取得年 2019年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

九州歯科大学 口腔保存治療学分野ホームページ  
<http://derd.jp/index.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------