

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：23201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26420054

研究課題名(和文)デンタルインプラントのための顎骨内歯槽管壁の検出法の開発

研究課題名(英文)Development of detection method for alveolar canal in dental implant treatment

研究代表者

野村 俊(Nomura, Takashi)

富山県立大学・工学部・名誉教授

研究者番号：00104977

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：歯科インプラント治療は、歯を失ってしまった場合においては、最良の方法である。しかしながら、手術中に患者の歯槽管を損傷すると患者が死亡することもある。そこで、歯科インプラント治療中に歯槽管への損傷を予防するため、多段参照面を持つ白色干渉計を用いた医師のサポートシステムを開発した。最初に、ブロックゲージで構成した多段参照面を用いて、提案する原理の確認を行った。次に、アルミ合金製の基板を単結晶ダイヤモンドバイトで超精密切削することで多段参照鏡を作成した。超精密加工によって作成した多段参照面で歯槽管を模した生体試料を測定した。その結果、生体サンプルの両面から測定信号を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：Dental implant treatment is the best method in case of a tooth loss. However, the patient's alveolar canal is damaged dental treatment, the patient may die. In this research, to prevent the damage to the alveolar canal during dental treatment, a clinician-support system using a white light interferometer with a reference mirror with multiple steps was developed. First, we confirmed the proposed principle by using the reference mirror composed of block gauges. Next, the reference mirror was prepared by an ultra-precision cutting of an aluminum alloy substrate with a single crystal diamond tool. Biological samples that simulated alveolar canal were measured using the multiple reference mirror made by the ultra-precision cutting. As the results, measurement signals could be obtained from inner sides of the biological samples.

研究分野：計測工学

キーワード：デンタルインプラント 歯槽管 OCT 白色干渉 光応用計測

## 1. 研究開始当初の背景

歯科インプラント治療は、歯を失ってしまった場合の入れ歯等に代わる最新の治療法である。健康な歯を削る必要がなく、固定式で安定性が良いため、天然の歯と同じような感覚で咀嚼することができるようになり、質の高い日常生活(QOL)を取り戻すことができることから、近年、注目されている。

しかしながら、最近5年のインプラント治療の事故は300件以上起きており、昨年1年の治療実績の調査結果では、インプラント治療を経験した歯科医の実に1/4は、治療した患者に神経まひなどの重篤な後遺症の経験があることが明らかとなっている。これらの事故の多くは、インプラント埋設のための顎骨穿孔中に、歯槽管内部の歯槽神経、歯槽動静脈などを誤って傷つけてしまうことによって発生している。

この問題に対しては、施術前に顎骨の構造を診断するためにX線CTを活用する研究、力覚提示デバイスを用いた手術前のシミュレーションでサージカルガイドを活用する研究、手術中に手技の画像によるナビゲーションを行う研究など、多方面にわたる精力的な研究がされている。

しかし、残念ながら、どの研究も施術前の情報を提示しているにすぎず、術中の危険を直接的に回避するものではないことが大きな問題である。そのため現状では、歯科医師の手に伝わる反力、重量感、振動、音などの情報を経験によって総合的に判断して治療が行われていることから、経験の浅い術者による事故が今後も発生することが危惧されている。そのような状況から、苦肉の策ではあるが、医師の技量向上用トレーニング装置の開発といった研究も行われている。

一方、光コヒーレンストモグラフィ(OCT)技術が、1990年に山形大学丹野教授等によって提案され、1991年にMITのD.huang等のグループが発表して以来、1996年には網膜診断用の実用機器が開発され、すでに約20年の歴史がある。OCTは、生体窓と呼ばれる近赤外の波長帯域の光源を利用することで、非侵襲、かつ、高速に生体内部の情報を取得することができる。基礎研究の段階ではあるが、連携研究者の浜松医科大学寺川名誉教授によって、光ファイバ端から射出される光を利用したOCT技術で、鳥の長幹骨中に人為的に生成した空洞までの骨厚さの検出に成功している。また、この技術を医用応用するには、ドリル先端まで光ファイバを貫通させることが必須であるが、これも連携研究者の豊橋技術科学大学の榎田客員教授によって、顎骨穿孔用ドリルの切っ先へ、300 $\mu$ mの開口を形成することに成功している。

しかしながら、OCTの基本原理となる「帯域幅の広いスーパーluminescentダイオード(SLD)を光源に利用することで、特定の状態(参照光路 物体光路)でしか干渉信号

が出力されない」ことは、人命にかかわる顎骨穿孔中のセンサシステムとしては、冗長性が不足しており、改善すべき課題であると申請者等は考えている。そのような中で申請者等は、OCTの特徴を維持したまま、歯槽管壁から異なる距離で複数の干渉信号を検出可能なOCT光学系の改良方法(光学系の多重化)に思い至った。

## 2. 研究の目的

本研究では、顎骨穿孔中に歯槽管壁位置を予知するシステムに利用可能な冗長性を持ったセンサを開発するため、OCT干渉計に段差を持った参照面を組み込むことで、OCT干渉計を多重化することを提案する。

研究期間中には、最初にOCT干渉計を多重化した装置を試作し、次に多重化された干渉計によって得られる干渉信号と距離情報の関係を定量的に明らかにする。加えて、参照面の段差パターンと干渉信号の関係についても、実験によって明らかにする。

## 3. 研究の方法

本研究では、複数の段差を持った参照面を通常のOCT干渉計に導入することで干渉計を多重化し、複数の基準点からの干渉信号を順次生成することで、顎骨穿孔中の歯槽管壁検出の冗長性を持たせることを目指す。

研究初年度は、平面鏡2枚による段差付参照面を組み込んだOCT干渉計を試作する。ここでは、さまざまな段差を持った段差参照面を用いた検討を行う必要から、厚みの異なるブロックゲージを複数組み合わせ、ベースとなるブロックゲージにリングングすることとした。また、理論の確認を第一目的と考え、可視光SLDを光源に用いることとした。

研究2年目には、初年度に試作した装置を改良し、生体サンプルを用いた実験を行って装置の評価を行う。ここで、生体サンプルは、人間の顎骨とサイズ、骨密度が良く似た豚の骨を用いることとした。

研究最終年度には、多段参照面から得られる信号のみでは、測定信号が離散的となり、連続性がないことから、顎骨を穿孔するドリルにエンコーダを取り付け、ドリルの粗動をエンコーダ信号として、干渉信号と組み合わせることで、問題を解決する方法の検討を行うこととした。評価は、コンピュータシミュレーションと実験の両面から検討をすることとし、複数の段差のパターンと干渉信号の関係性について明らかにする。

## 4. 研究成果

### (1) 平面鏡による段差参照面

はじめに、2枚の平面鏡を組み合わせた段差参照面を組み込んだOCT干渉計の試作を行った。

本研究で提案する「段差を持つ参照面を組み込んだOCT干渉計」は、生体内部の測定に

用いる。そのため、最終的には、生体透過率の高い近赤外光を光源とした装置が必要になる。しかしながら、初期の段階では、基礎データを取得することを目的としていることから、実験の容易な可視領域で発行するSLDを光源として用いた。光学系の主要な光路については、実際の装置化を念頭におき、光ファイバ光学系によって組み立てた。また、さまざまな高さの段差参照面を実現するため、平面鏡による段差参照面には、2枚のブロックゲージを隣接させて、台座となるブロックゲージにリングさせたものを用いた。測定対象には、高精度平面鏡を用い、光学系の対物部分にはレンズを挿入して、収束光で物体の測定を行った。

試作した装置で測定実験を行った結果、複数の段差から明瞭な干渉信号を得ることができることを確認した。また、物体面を収束光で照明したことから、距離の変化による干渉信号のコントラスト変化に加えて、光量の変化による信号強度の増減が生じることを確認した。

## (2) 生体試料の測定

試作した装置の光源を近赤外で発光するSLDに交換し、生体試料を用いた測定実験を行った。

生体試料には、人間の顎骨とサイズ、および、骨密度が良く似た豚を用いた。本実験では、試験片として、豚の顎骨を切り出し、厚さを約100 $\mu\text{m}$ に調整したものを測定実験に用いた。また、歯槽管を模擬するため、顎骨背面に生理食塩水を満たすことのできるサンプルホルダを試作した。

測定実験の結果、生体試料においても、表面と裏面から干渉信号が得られることを確認した。

## (3) 段差参照面の試作

実用的な測定で利用可能な段差参照面の試作を行った。段差参照面は、狭い領域に高さの異なる面を複数形成する必要があるが、したがって、後工程で研磨を行うことが難しい。そこで、本研究では、超精密旋盤を用いて、アルミ合金を単結晶ダイヤモンドバイト(3段平バイト)で端面切削することによって、所望の段差参照面を加工した。

その結果、むしろ痕やスクラッチ痕などの表面欠陥が極めて少ない高品質な段差参照面を得ることができた。また、試作した段差参照面は、ブロックゲージを組み合わせた段差参照面と比較して、各段差の平行度が高く、異なる段差で得られる干渉信号に、キャリア成分が生じることが少なかった。

## (4) 信号処理手法の提案

複数の段差を用いることで、信号の冗長化が可能となったが、干渉信号と段差との関係が強度信号だけでは判断できない問題があった。そこで、顎骨を穿孔するハンドピー

スに、ドリルの粗動を計測するためのエンコーダを付加し、このエンコーダ信号と干渉信号を組み合わせることで、複数の段差信号を区別する方法を提案した。

提案する手法の確認は、コンピュータシミュレーションによって行った。結果として、干渉信号単体では認識することができなかった段差の区別を提案手法を適用することで、区別することが可能であることを確認した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 5件)

河合政人, 神谷和秀, 野村俊, 松本公久, 田代発造, 鈴木伸哉, 歯科インプラント治療を支援する白色干渉計の開発 骨内で反射した信号, 2014年度精密工学会北陸信越支部学術講演会

山口大輔, 野村俊, 神谷和秀, 河合政人, 松本公久, 田代発造, 鈴木伸哉, 歯科インプラント治療における白色干渉計を用いた下顎管検出装置の開発 段差参照面による干渉信号の冗長化, 2015年度精密工学会北陸信越支部学術講演会

河合政人, 野村俊, 神谷和秀, 山口大輔, 松本公久, 田代発造, 鈴木伸哉, 歯科インプラント治療を支援する近赤外白色干渉計の開発 - 豚の顎骨の透過率測定 -, 2015年度精密工学会北陸信越支部学術講演会

山口大輔, 神谷和秀, 野村俊, 松本公久, 伊東聡, 田代発造, 鈴木伸哉, 歯科インプラント治療を支援する白色干渉計の開発 多段参照面の作成と干渉信号の評価, 2017年度精密工学会秋季大会

竹原千帆, 神谷和秀, 野村俊, 松本公久, 伊東聡, 山口大輔, 田代発造, 鈴木伸哉, 歯科インプラント治療を支援する白色干渉計の開発 - 干渉信号とエンコーダ信号を組み合わせた位置計測手法 -, 2017年度精密工学会北陸信越支部学術講演会

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

野村 俊 (Takashi Nomura)

富山県立大学・名誉教授

研究者番号: 00104977

(2)研究分担者

神谷 和秀 (Kazuhide Kamiya)

富山県立大学・教授

研究者番号： 00244509

松本 公久 (Kimihiisa Matsumoto)

富山県立大学・准教授

研究者番号： 40457122