

機関番号：14401  
 研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2009～2010  
 課題番号：21791938  
 研究課題名(和文) オプティカルトラッカーを用いた高精度インプラント光学印象システムの開発  
 研究課題名(英文) Development of optical impression system for dental implants using optical tracker  
 研究代表者  
 楠本 直樹 (Kusumoto Naoki)  
 大阪大学・歯学部附属病院・助教  
 研究者番号：10397656

## 研究成果の概要(和文)：

本研究で独自に考案したインプラント体の位置姿勢計測アルゴリズムを用いることで、計測機器や計測対象である患者の動きに依存せずに、また短時間で複数のインプラント体の位置関係を計測することが可能となった。さらに、製作したシステムを用いてインプラント対の位置関係を計測し再現した結果から、CAD/CAMにて臨床上許容できる精度で上部構造のフレームワークを製作することが可能となった。

## 研究成果の概要(英文)：

The measurement algorithm for position and pose of dental implants was developed independently in this study. By using this algorithm and produced system it became possible to measure the relationship of multiple implants in a short time independently of patient's movement and to fabricate superstructure acceptable accuracy in clinic by CAD/CAM.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・歯科医用工学・再生歯学

キーワード：歯科インプラント学

## 1. 研究開始当初の背景

インプラント治療における上部構造製作時には、間接法による印象採得によって口腔内のインプラント体の位置関係を記録する。適合不良な上部構造はスクリューのゆるみや破折、インプラント体の破折、咬合不安定などを引き起こすだけでなく、適合不良なマージン部にプラークが蓄積することでインプラント周囲の歯肉や骨に炎症を引き起こす。したがって、できるだけ適合の良い上部

構造を製作することが重要であり、そのためには可及的に正確な印象採得を行うことが必要となる。しかし、いかに印象精度を高めても間接法では印象材の永久ひずみ、作業用模型の石膏の硬化膨張などによって、実際の口腔内のインプラント体の位置関係と作業用模型上での位置関係に誤差が生じるといふ欠点を解消することはできない。

また、側方力や回転力に弱いとされるインプラントでは、複数歯のインプラント上部構

造を連結することが一般的である。したがって、複数本のインプラント体に対する上部構造を製作する際には、連結する上部構造のフレームワークを分割し、口腔内で固定後、ろう着を行って、間接法による誤差を補正しているのが現状である。天然歯は歯根膜の存在により生理的動揺が存在するため、製作過程におけるわずかな誤差は許容されるが、オッセオインテグレーションを獲得したインプラント体は生理的動揺がないため、上部構造の分割・ろう着が不要となるようなより高精度な口腔内のインプラント位置関係の記録法の開発が求められている。

このような背景の下、口腔内で直接印象採得可能なレーザーや3Dカメラなどの光学式センサを用いた光学印象システムが開発されている。しかしながら、いずれのシステムにおいてもインプラント体の印象採得に関してはプラットホームが粘膜下に存在するため、アバットメントレベルの印象採得にとどまっており、インプラント体レベルの印象採得は原理的に不可能である。インプラント体レベルでの印象採得が可能となれば、上部構造の精度向上や製作方法・手技の簡略化が期待できる。

以上のように、印象採得、模型製作を行わずに、直接口腔内でインプラント体の位置関係を記録し、口腔外で再現することができれば、口腔内と模型上のインプラント位置関係の誤差や、チェアタイムの長い印象採得などといった間接法の欠点を克服できる。さらに、ろう着といった上部構造製作時の煩雑な過程を省いて上部構造フレームワークをワンピースで製作することが可能となる。

## 2. 研究の目的

高精度かつ短時間でインプラント位置関係を光学印象採得するシステムの開発

## 3. 研究の方法

### (1) 光学式三次元位置計測装置

インプラント体の三次元位置を計測する装置としては、Micron Tracker 2 Sx60 (Claron Technology, USA, 以下MT2) を使用した (図1 a)。MT2 ではカメラのもつ座標系から専用マーカースの座標系 (図1 b) までの位置 (並進行列) と姿勢 (回転行列) を計測可能である。

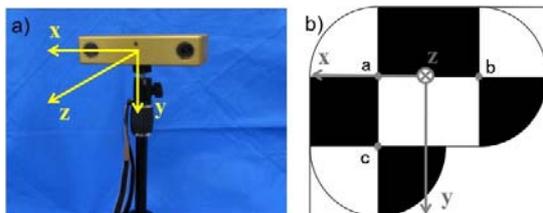


図1 MT2と専用マーカースの座標系

a): 光学式三次元位置計測装置 (Micron Tracker 2 Sx60, Claron Technology, USA),  
b): 専用マーカース

### (2) 光学式三次元位置計測装置の精度検証

マーカースの大きさの違いおよびMT2とマーカース間の距離の違いによる計測精度への影響を調べることを目的として行った。

紙製のマーカースを4×3 mm, 8×6 mm, 16×12 mm, 24×18 mmの4種類製作した。また、MT2とマーカース間の距離を350～500 mmに設定した。製作した4種類のマーカースをXYZ stage (CMM-3, Roland, Japan) 上に固定し、MT2とマーカース間の距離を350～500 mmの範囲で10 mmごとに変化させた。使用したXYZ stageの移動精度は、10 ± 0.01 mmである。マーカースの三次元位置を計測し、移動量10 mmを真値dとして計測値mの誤差  $e = |m - d|$  の平均値と標準偏差を算出した。

### (3) インプラント体の三次元位置計測ジグの製作

インプラント体 (Brånemark RP, Nobel Biocare, Sweden) に連結できる三次元位置計測ジグのフレームワークをチタンで

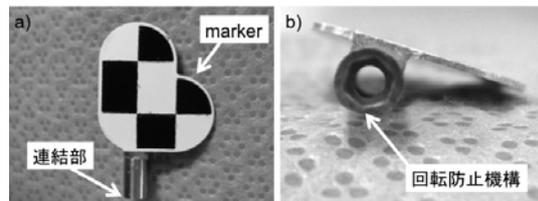


図2 インプラント体の三次元位置計測ジグ

a): 正面, b): 底面

CAD/CAMにて設計、製作した (図2 a)。本フレームワークには回転防止機構を付与した

(図2 b)。さらに、製作したチタンフレームワークに8×6 mmのマーカースパターンを塗装した。

### (4) 製作したシステムのインプラント体位置関係の再現精度および印象採得時間の評価

本実験は、従来法と本研究で独自に考案した方法 (以下、考案法とする) のインプラント体位置関係の再現精度および印象採得時間を比較し、評価することを目的として行った。

#### ① 従来法による印象採得

従来法にはオープントレー法を選択した。製作した計測用模型上のインプラントアナログに印象用コーピング (Brånemark RP, Nobel Biocare, Sweden) を連結した。印象用コーピング同士をデンタルフロスにて連結し、コーピング周囲とフロス上にアクリルレジンを (パターンレジン, ジーシー, Japan) を築盛し、固定した。5分間硬化を待った後に、カスタムトレー (トレーレジン II, 松風, Japan) に接着剤 (エクザミックスファイブ

アドヒーシブ, ジーシー, Japan) を塗布し, シリコン印象材 (エクザミックスファインレギュラータイプ, ジーシー, Japan) にて印象採得を行った。さらに5分間硬化を待った後に印象体を撤去した。得られた印象体からインプラントアナログと硬石膏を用いて作業用模型を製作した (N=3)。

## ② 考案法による印象採得

MT2に内蔵される各カメラの中心と計測用模型間の距離が350~500mmの範囲になるようにMT2と模型を固定した。模型上のインプラントアナログに製作したインプラント体三次元位置計測ジグを連結し, 各インプラントアナログの三次元位置を考案法に従って計測した (N=3)。

## ③ 位置関係再現精度の比較

製作した計測用模型および作業用模型を三次元スキャナー (Rexcan ARX, SOLUTIONIX, Korea) にて形状計測を行い, インプラントアナログのプラットフォームの中心座標を算出した。得られた結果と考案したアルゴリズムによる計測結果から, リバースモデリングソフトウェア (Leios 2009, Data Design, Japan) によって, 位置姿勢誤差が最小になるように位置合わせした。計測用模型上のインプラントアナログのプラットフォームの中心位置の座標を真値  $d$  として, インプラントアナログ毎に計測値  $m$  の誤差  $e = |m - d|$  の平均値と標準偏差を算出した。

## ④ 印象採得時間の比較

従来法では, 計測用模型上のインプラントアナログに印象用コーピングを連結してから印象体を撤去するまでの時間を計測し, 考案法では, インプラント体三次元位置計測ジグをインプラントアナログに連結し, 位置関係を算出するまでの時間を計測した (N=5)。

## (5) 上部構造フレームワークの製作

本実験は, 考案法を用いてインプラント位置関係を再現した結果から, CAD/CAMによって上部構造のフレームワークを製作した場合の適合精度を検証することを目的として行った。

考案法にて計測したインプラントアナログの位置関係をもとに, 仮想空間上にインプラント体の三次元画像を排列した。さらにCADソフトウェア (FreeFormModeling, SensAble Technologies, USA) を用いて排列したインプラント体に対する上部構造のフレームワークを設計した。設計したフレームワークを紫外線硬化型 RP 装置 (Eden, Objet Geometries, Israel) を用いてアクリルレジンで造形した。

(6) 上部構造フレームワークの適合精度検証  
製作した上部構造のフレームワークを計測用模型に装着した。水平器 (Ebisu Diamond, EBISU, Japan) を使用して, カメラ (IXY Digital 2000 IS, Canon, Japan) と計測用模型上のインプラントアナログの軸方向が一致するようにカメラおよび計測用模型を設置した。上部構造とインプラントアナログの連結部分の浮き上がり量をインプラントアナログ周囲6方向から画像計測 (Image J, NIH, USA) を行い (29), 浮き上がり量の平均値と標準偏差を算出した (N=3)。

## 4. 研究成果

### (1) 光学式三次元位置計測装置の精度検証

製作した紙製マーカの大きさの違いによって計測誤差は変化したが, マーカの大きさの違いによって計測誤差に有意差は認めなかった。4×3mmのマーカは計測が不可能であったが, 8×6mm, 16×12mm, 24×18mmのマーカの各計測誤差の平均値 ± 標準偏差は, それぞれ  $52 \pm 37 \mu\text{m}$ ,  $31 \pm 28 \mu\text{m}$ ,  $58 \pm 27 \mu\text{m}$ であった。

MT2とマーカ間の距離の違いによって計測誤差は変化したが, 有意差は認めなかった。計測距離350~500mmの範囲における計測誤差の平均値は最大で  $98 \mu\text{m}$ であった。

### (2) 製作したシステムのインプラント体位置関係の再現精度および印象採得時間の評価

考案法と従来法によるインプラント体の位置関係の計測誤差の平均値 ± 標準偏差は, それぞれ  $71 \pm 31 \mu\text{m}$ ,  $32 \pm 18 \mu\text{m}$ で, 有意差を認めなかった。

MT2のカメラのもつ座標系の軸方向の違いによるインプラント体の位置関係の  $x$ ,  $y$ ,  $z$  軸方向の計測誤差の平均値 ± 標準偏差は, それぞれ  $53 \pm 55 \mu\text{m}$ ,  $59 \pm 39 \mu\text{m}$ ,  $42 \pm 10 \mu\text{m}$ であった。軸方向の違いによるインプラント体の位置関係再現精度に有意差を認めなかった。印象採得時間の比較では, 従来法に比較して考案法では有意に短くなった。

### (3) 上部構造フレームワークの適合精度検証

計測用模型上の4本のインプラントアナログに対する上部構造フレームワークの浮き上がり量の平均値 ± 標準偏差は, それぞれ  $55 \pm 10 \mu\text{m}$ ,  $94 \pm 35 \mu\text{m}$ ,  $2 \pm 1 \mu\text{m}$ ,  $66 \pm 3 \mu\text{m}$ であった。

本研究では, はじめにインプラント体の位置関係計測に使用する光学式三次元位置計測装置 MT2 の計測条件について検討を行った。すなわち, MT2 専用マーカの大きさの違いおよび MT2 とマーカ間の距離の違いによる計測精度への影響を調べるとともに, マーカの姿勢変化が計測精度へ及ぼす影響を調

べた。

まず、MT2 専用マーカの大きさの違いによる計測精度への影響については、製作した4種類の紙製マーカのうち、4×3 mmのマーカは計測不可能であった。これは、計測特徴となる二つの線分の長さがMT2に内蔵されるカメラの解像度(640×480 pixel)に対して小さくなりすぎたためと考えられる。8×6 mm, 16×12 mm, 24×18 mmのマーカについては計測可能であり、大きさの違いによって計測誤差に有意な差は認められなかった。そこで、本研究で使用する最適なマーカの大きさを、口腔内で使用することを想定し、計測可能であったマーカのうち最小の大きさである8×6 mmとした。

次に、MT2とマーカ間の距離の違いが計測精度へ及ぼす影響については、MT2の仕様上、計測精度が保証されている領域に計測対象となる顎骨や模型が包含されるように計測距離を設定するため、MT2とマーカ間の距離を350～500 mmとした。この範囲内で、距離の違いによる計測精度への影響はなかったことから、本研究では計測距離を350～500 mmの範囲とした。

また、通常紙で製作するMT2のマーカを口腔内で使用するため、生体親和性の高いチタンで製作し、マーカの材質の違いが計測精度に及ぼす影響について検討した。その結果、マーカの材質の違いによって計測誤差に有意な差は認められず、製作したチタン製マーカが紙製と同様に使用可能であることを確認した。マーカの姿勢変化が計測精度に及ぼす影響については、MT2とマーカのなす角度が20°以上になると計測誤差の平均値、標準偏差ともに値が大きくなる傾向を示した。これは、回転角度が大きすぎると計測特徴となる2つの線分のうち1つが極端に短くなり、計測結果が不安定になることによるものと考えられる。したがって、計測誤差をより小さくするためには、マーカをMT2となるべく正対するように設置するほうがよいと考えられる。

以上の結果から、以後の実験では計測距離を350～500 mmの範囲として、8×6 mmのチタン製マーカを設置し、インプラント体の三次元位置計測を行った。

考案した計測アルゴリズムの有用性は、カメラや計測用模型の動きに依存せず仮想空間上にインプラント体の位置関係が再現されたことで確認した。

従来の印象方法には、オープントレー法(ピックアップ法)とクローズドトレ法(トランスファー法)がある。印象精度に関しては、3本以下のインプラントに対する印象採得では両方法の間に差はないが、4本以上ではオープントレー法がより正確であると報告されている。本実験で製作した計測用

模型は4本のインプラントアナログを埋入しているため、従来法としてオープントレー法を選択した。インプラント体に対する位置関係再現精度の評価については、考案法と従来法で有意な差は認められなかった。印象採得時間については、従来法と比較して考案法では有意に短くなった。

最後に、本研究で考案したアルゴリズムを用いてインプラント位置関係を再現した結果をもとに、CAD/CAMによって上部構造のフレームワークを製作した場合の適合精度の検証を行った。その結果、計測用模型上の各インプラントアナログに対する上部構造フレームワークの浮き上がり量の平均値は最大で94 μmであった。Jemtらは臨床スクリュー維持の上部構造の誤差は、オクルーザルスクリュー半回転分までは許容されると報告している。これは約150 μmの誤差に相当し、150 μm以下であれば临床上許容できるという報告も多い。これらの報告からすると、本研究で製作した上部構造のフレームワークの適合精度は临床上許容できる範囲であることが示唆される。

現在の光学印象システムでは、支台歯、残存歯、粘膜面などの印象採得が可能である。しかしながら、インプラントに関してはアバットメントレベルでの印象採得は可能であるが、プラットホームは粘膜下にあるためインプラント体レベルでの印象採得はできない。また、インプラント上部構造の製作に関しても単冠のみが可能であり、複数本のインプラントに対する連結冠の報告はない。これと比較して、製作したシステムではインプラント体レベルでの印象採得が可能であり、複数本のインプラントに対する上部構造製作も可能である。

本研究の結果、考案したアルゴリズムを用いれば、MT2や患者の動きに依存せず仮想空間上にインプラント体の位置関係を再現することが可能であることを確認した。また、製作したシステムを用いることで、インプラント上部構造製作のための作業用模型を製作せずに、デジタルデータを用いて上部構造フレームワークを製作できる可能性が示唆された。これによって、上部構造フレームワークの分割、ろう着といった作業が不要になり、診療効率の向上が期待できる。

## 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)

〔雑誌論文〕(計1件)

①小野 真司

オブティカルトラッカーを用いたインプラント埋入位置姿勢計測法—従来法との印象

精度の比較－  
日本歯科理工学会誌  
2010, 29(6) : p531-532

〔学会発表〕(計 5 件)

①小野 真司

Position and pose measurement method of  
inserted implants using optical tracker  
-Development of reconstruction software  
for implants relationship-  
5th Asian Academy of Osseointegration  
Parta Jasa Hotel, Bali, Indonesia  
2009 年 11 月 21 日

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

楠本 直樹 (KUSUMOTO NAOKI)  
大阪大学・歯学部附属病院・助教  
研究者番号 : 10397656

### (2) 研究協力者

小野 真司 (ONO SHINJI)  
大阪大学・歯学研究科・大学院生