

平成 22 年 5 月 28 日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19592181  
 研究課題名（和文） 歯科用コーンビームCT画像に基づくインプラント周囲骨のクリニカルバイオニクス  
 研究課題名（英文） Clinical bionics in the alveolar bone surrounding implant fixture based on Cone Beam CT  
 研究代表者  
 和光 衛（WAKOH MAMORU）  
 東京歯科大学・歯学部・准教授  
 研究者番号：70211670

研究成果の概要（和文）： 骨改造現象の経時的変化をマクロ形態的变化として視覚的に描出することの可能性が示唆された。歯科用コーンビームCT画像の計測精度の高さが示唆された。また、生体のCT画像データを基にした、個人に特化した力学的シミュレーションの可能性が示唆された。インプラント体に対する圧縮力負荷による周囲の骨に対する力学的特性領域は上下顎別あるいは部位別によって異なることが示唆された。実際にはインプラント体周囲の力学的応答は個人の咬合力、残存歯数などの口腔内環境によっても変化することが考えられるため、力学的シミュレーション前の多数の因子をどのようにコントロールするかが今後の課題である。

研究成果の概要（英文）:We could depict a chronologic change of a bone remodeling phenomenon as a macromorphological change visually, with the high accuracy of cone beam CT and medical CT also. The possibility of simulation of dynamics specialized in an individual made from organic CT image data was suggested. In addition, the characteristics area of dynamics for an ambient bone by compressive force load for an implant body varied according to upper and lower jaw distinction or locus. It is thought that mechanical response in implant body circumference changes by buccal capsule internal environment such as individual occlusal force, the number of the persistence teeth. Therefore, it is a future problem how you control a lot of factors before mechanical simulation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・病態科学系歯学・歯科放射線学

キーワード：歯科放射線診断学

### 1. 研究開始当初の背景

本申請は、平成 13, 14 年度に科学研究費として補助金を受けた『薄膜ハイドロオキシアパタイト (HA) コーティングインプラントと顎骨骨梁との親和性に関する三次元画像解析』と題する研究課題結果に端を発している。その内容は、 $20\ \mu\text{m}$ 程度の薄膜性 HA コーティングインプラントはオッセオインテグレーションによる生体との親和性が最良であるという考えに立脚し、犬を使ったマイクロレベルでの実験的研究 (動物実験) によって、生体の母床骨のみならずインプラント体表面の薄膜性 HA から骨梁が形成される骨融合過程を再生・病態発生の見地から検討した。その結果、約 3 ヶ月間の骨吸収変化が著明なことで、また 4 ヶ月から 6 ヶ月の間に骨添加が認められるといったことが実証されている。しかし、この実験的研究結果に裏付けられた骨の改造現象を、日常臨床で使われる撮像モダリティによって得られる画像を通して実証することはいまだ行われていなかった。また、これらの骨誘導ならびに骨改造現象は、力学的見地から、顎堤インプラント体に加わる咬合力としての負荷とその方向、インプラント体の形態とその物性、そしてそれらを支持する骨のインプラント体に対する拘束力などの生体力学的因子が強く関与していることが予測できる。さらに、使用するインプラント体の長さ、幅径によってその力学的因子が影響されることも予測される。

そこで、骨の改造現象を臨床画像として視覚的に描出が可能かどうか、また、使用する撮像モダリティの選択のために、各種モダリティの定量性を比較検討する予備的研究を

手がける必要があった。

一方、生体における力学的因子と関わる現象を対象とする学術分野にバイオメカニクスがある。我々だけではなく、現在では、頭蓋骨・下顎骨に対する「有限要素法による感度解析、応力変形の解析」として、歯科矯正分野において顎整形力に対する応答としての研究、咬合あるいは、骨結合インプラントとその周囲の骨組織における応力解析など、バイオメカニクスを応用した研究が注目されている。この種の研究は、すべて断層画像データの収集を行い、そのデータをもとに三次元的なシミュレーション画像を構築することが前提である。従来は断層像を一枚ずつトレースし、それを重ね合わせる事で三次元画像シミュレーションが施行されていた。また、乾燥頭蓋骨を材料とした一単体からの画像データをもとに力学的なシミュレーションが行われている。近年では画像データの収集に、医用 CT 像が広く応用されているが、局所的な歯科インプラント体周囲の骨の応力変化を経時的、経年的に評価するために繰り返し撮像することは、縦方向の解像度の低さ、被ばく線量の問題、金属アーチファクトの問題から現実には不可能である。顎骨のバーチャルリアリティを描出可能な三次元 CT が普及して久しいが、歯科臨床における局所的な顎骨骨構造の経時的評価への応用には医用 CT 撮像には種々の制限がある。一方、歯科用コーンビーム CT の出現以来、歯科用インプラント体を植立した限られた領域での生の断層画像データを基に、局所的な生体モデルを立体的に観察することが可能

となった。また、本撮像による被ばく線量は医科用 CT に比べて照射野の制限から被曝線量が少ないことから、経時的かつ定期的な撮像に利用しても支障はないであろうことが考えられる。そこで、予備研究内容から得られた各種モダリティの特性結果、可能性も考慮し、三次元的なシミュレーション画像の構築には、歯科用コーンビームCTを利用し、その画像データに基づいた有限要素モデリングを作成することが可能ではないかと考えた。

しかし、ここで大きな問題が生じた。従来のシミュレーションモデリングに関する研究は、乾燥頭蓋骨などの単一体からの画像データをもとに力学的なシミュレーションが行われているケースがほとんどである。対象は生体ではなく屍、人骨を用いた IN VITRO な研究であった。これは生体に対する医科用エックス線CTの繰り返し撮像の制限、制約なども起因している。したがって、横断的な研究にせざるおえなかった事は容易に想像がつく。しかし、有限要素法を用いたシミュレーション研究の本来のゴールは、個々の患者なり個人に特化し、かつ、縦断的な研究から、症状の診断や予後の予測にといった生理的变化を説明できる手段になることである。インプラント植立術前の画像診断およびプランニングにおいて、口腔環境をもとにした植立方向の決定、インプラント体の選択、骨質評価を事前に行っているにもかかわらず、失敗例が後を絶たないのは、この個人に特化した縦断的な研究が乏しいためと考えられた。有限要素解析の基本となる画像データの単一化は、本来あるべきゴールとのギャップがあまりにも大きいのである。しかし、今回の予備的研究から、生体、実際には患者データを用いた個人に特化した縦断的研究の可能性が十分に示唆されたことを背景に、歯科

用コーンビームCT画像データに基づいた生の個体別のシミュレーションを行い、生理的な変化を説明、予測するために、このバイオメカニカルな手法の可能性を調べることとした。なお、患者に対する INFORMED CONSENT の困難さから、画像データとして最低2度以上（経時的変化の観察のため）撮像された個体数は当初予定した件数に満たなかったため一部医科用CTの画像データを流用した。

## 2. 研究の目的

① インプラント体に咬合としての負荷をかける際には、その長さが周囲の骨の力学的応答範囲影響すると考えられるため、事前にインプラント体の長さの把握をしておく必要がある。そこで、今回利用するCT画像上の計測精度がどの程度かを有限要素モデリングの作成前に言及する。なお、対照となるモダリティをパノラマ写真とした。

② ①の結果を背景に、骨改造現象を三次元的なマクロ的形態変化として捕らえられるかどうかの追求を目的として、同意が得られた患者の生の歯科用コーンビームCT画像データに基づいた有限要素モデリングの作成を試みる。

## 3. 研究の方法

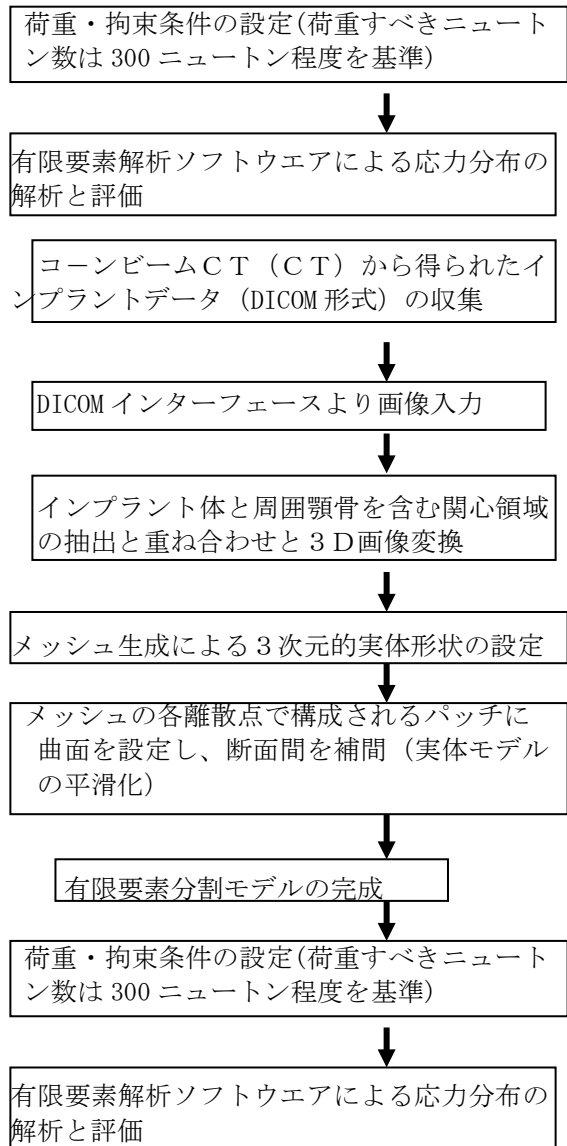
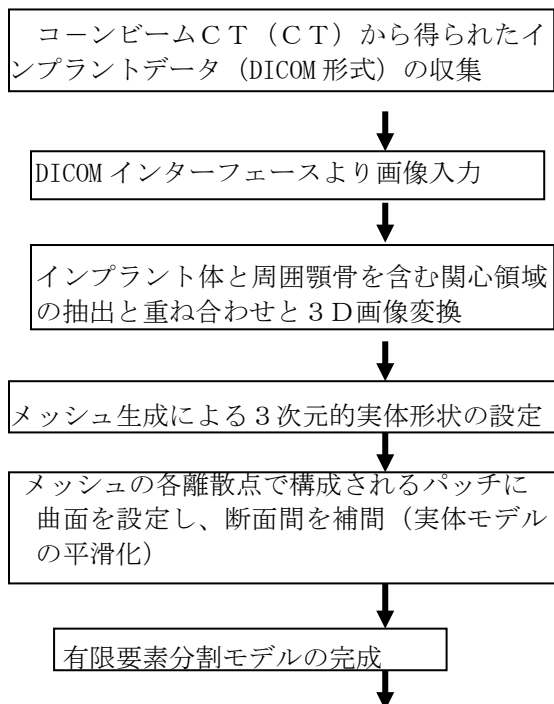
①に対して：

臼歯部にインプラントが植立された20対のパノラマX線写真とCT画像が、本研究のために使われた。歯槽頂と最も近い下顎管の間の垂直距離は、両方の画像の上で9人の経験豊かな放射線科医で測定された。パノラマX線像の測定には、DICOMビューア・ソフトウェアAOC（配列Co、東京、日本）が使用された。CT画像の測定は、MPRが自由に実施されることを可能にする三次元DICOMビューア・ソフトウェアExaVision LITE（Ziosoft

Inc、東京、日本) を使用して、三次元的に実行された。ピアソンの相関係数は、CT画像とパノラマX線像の上で計量される距離の間で算出された。t検定は、それらの上で計量される距離の間の統計比較のために実行された。エラーレートは  $\text{Error} = (|Dc - Dp| / Dc) \times 100 [\%]$  で評価された。Dc と Dp はそれぞれ、CT画像とパノラマX線像の上での距離を表す。

②に対して：

有限要素分割モデルを作成するための画像データ(DICOM データ)は、コーンビームCTで撮像された臨床画像データを用いることを基本としたが、同意書の関係から件数に制約がでたため、すでに患者データとしての利用の同意を得られていた医科用CT画像データの流用も含まれた。対象は、インプラント体植立後上部構造装着において定期的にCT画像による経過観察を施した症例である。実際に対象となった症例数は上顎で14症例、下顎10症例で、上部構造装着後の機能期による応力分布を有限要素法を用いて描出することを試みた。具体的な試みは以下の手順で行った。



#### 4. 研究成果

①に対して：

下図は、CT画像とパノラマX線像上で計量された距離の散布図を表す。ピアソンの相関係数は、統計学的に有意の強い線形相互関係 ( $R=0.90$ ,  $p<0.01$ ) を示した。パノラマX線像の上で計量される距離は、少ない傾向があった。表1で示されるように、統計学的に有意差が認められた ( $p<0.05$ )。CT画像のためのパノラマX線像によるエラーレートは、約10% (9.6の+/-7.3%) であった(表2)。

散布図

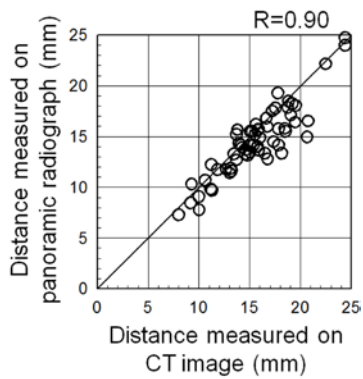


表 1. 測定値の統計分析

	CT	Panorama
Mean:	15.7 mm	14.4 mm
SD	3.5 mm	3.4 mm

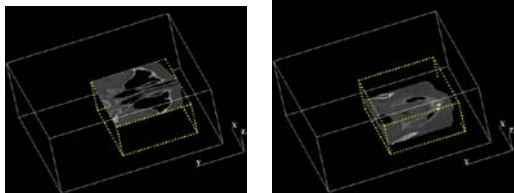
p=0.04

表 2 エラーレート

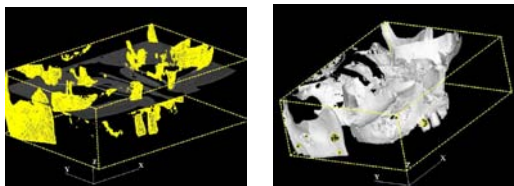
Range:	0.1 - 28.3 %
Mean:	9.6 %
SD:	7.3 %

②に対して：

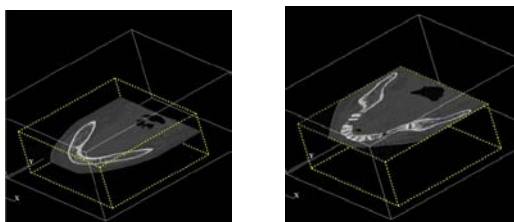
上顎の例 (ROI形成とデータの積み上げ)



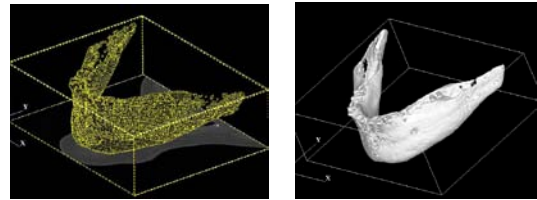
(メッシュ生成とモデル形成)



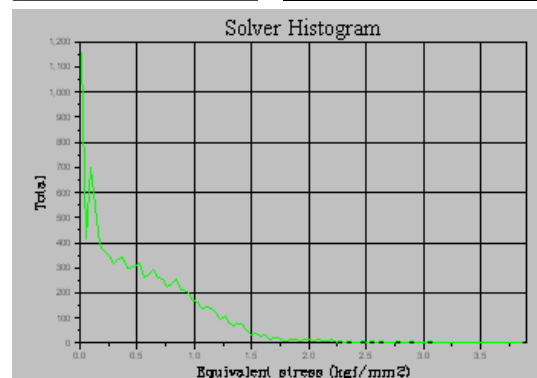
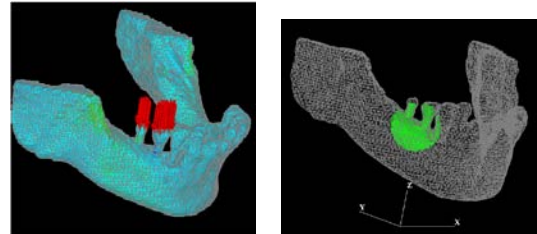
下顎の例 (ROI形成とデータの積み上げ)



(メッシュ生成とモデル形成)



インプラント体に対して主応力として垂直に 250nN を加えた場合の応力分布の結果例



考察

インプラント体植立が施された生体の実体モデルの観察に基づいた実験的アプローチと結果を背景に、理論モデルに基づく解析的アプローチを施せば、既述した各々の力学的要因によるインプラント周囲の骨改造現象の力学的メカニズムがバーチャルに説明可能となる。歯科用コーンビームCT画像データをもとにボリュームレンダリングのための専用ソフトウェアを利用すれば、理論的な三次元的シミュレーション画像を作成することが可能である。ここで、有限要素解析を併用すれば、植立されたインプラント体の種類、太さ、長さ、数、植立された顎骨の位置など、各個体における種々の口腔・植立環境を想定し、植立後の咬合負荷、負荷方向などの各種シミュレーションのみならず上部構造が装着された直後の咬合負荷・方向、さ

らには機能期における咬合負荷・方向のシミュレーションを個別別に施行し、インプラントを拘束する骨の応力分布を測定することが可能である。各時期でのインプラント体を拘束する周囲骨の応力分布を比較することで、予後の予測に寄与できる。逆に、実際にインプラント体を植立後の生体から構築された三次元データを基にした、荷重負荷量やその方向によるインプラント周囲における計算シミュレーション(応力分布)の結果と、植立前の生体から構築された三次元データを基にしたインプラントシミュレーションとの結果を比較することにより、術前の植立設計プランニングの妥当性を評価できる。換言するならば、荷重量、荷重方向などの力学的因子の最善の状態を逆解析としてシミュレートし、術前のインプラントプランニングに役立たせることが期待できる。しかし、このバイオメカニカルな手法の適用が症状の診断や予後の予測といった生理的变化を説明できる手段になりうるかどうかまでの判定には至らなかった。

## 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)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Nishikawa K, Wakoh M, Sano T. The Priority of CT for linear distance(printing), Oral Radiol (査読中) 2010
- ②西川慶一、水田 茂、光菅裕治、和光 衛、佐野 司。 歯科用コーンビーム CT 画像に対するスライス加算平均化処理の画質改善効果、歯科学報 110:110-114, 2010.

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 1 件)

- ① 金田 隆編、和光 衛、佐野 司 著分担、砂書房、基本から学ぶインプラントの画像診断、2008、118-131.

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

和光 衛 (WAKOH MAMORU)

東京歯科大学・歯科放射線学講座・准教授  
研究者番号：7021167

### (2)研究分担者

矢島安朝 (YAJIMA YASUTOMO)

東京歯科大学・口腔インプラント科・教授  
研究者番号：10183667

佐野 司 (SANO TSUKASA)

東京歯科大学・歯科放射線学講座・教授  
研究者番号：40241038

早川吉彦 HAYAKAWA YOSHIHIKO)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号：70164928

(H19:連携研究者)

### (3)連携研究者