

## (論文内容の要旨)

本論文は、マイクロフォーカス X 線 CT を用いた 3 次元形状計測手法を歯学領域へ応用した研究をまとめたものであり、特に歯科領域における重要なテーマの一つである咬合（噛み合わせ、Occlusion）の計測に注目し、計測精度の検討や臨床応用を行ったもので、7 章からなっている。

第 1 章は緒論であり、研究の背景について述べている。まず咬合の歯科領域、補綴分野における位置づけについて述べ、臨床分野において咬合状態の把握のために利用されている既存の古典的手法、例えば咬合紙や咬合器について解説している。また近年利用が広まっている光学式の 3 次元形状計測手法について現状の問題点にふれ、実際には歯列全体の形状測定には応用されていないこと、咬合を定量的に計測した事例はないことを述べている。最後に今回の論文で使用するマイクロフォーカス X 線 CT についてふれ、産業用分野や歯科分野における応用事例を紹介し、マイクロフォーカス X 線 CT が咬合を計測する手法として適していることを述べている。

第 2 章では、X 線 CT の歴史や技術進歩、および 3 次元の形状計測に CT を応用する場合に重要となるパラメータについて述べている。また X 線における拡大投影の原理について述べ、なぜマイクロフォーカスの X 線源が開発されるに至ったかについて触れている。CT 装置の構成においては、医療用と産業用の CT 装置の違いを中心に説明し、高分解能の形状計測を可能にしたマイクロフォーカス X 線源や検出器などの要素技術、およびシステム構成について述べている。また CT 画像を用いた 3 次元計測手法の手順について述べ、モデリングを行う場合の形状計測精度を決める要因や、CT の撮影パラメータについて解説し、精度を確保するためのパラメータの選択について解説している。さらに CT による形状計測技術を産業分野への応用した事例を紹介している。最後に CT 装置の開発の最新の技術動向として、サブミクロン焦点の X 線源を用いた高分解能化や、演算速度の高速化の試みについて紹介している。

第 3 章では、歯科領域への応用として、マイクロフォーカス X 線 CT を用いた歯列石膏模型の 3 次元の形状計測手法を提案している。標準ゲージを作成し、接触式計測手法との比較によって精度の検証を行った事例について、また実際の歯列模型を用いて光学式計測手法と比較検討した結果について述べている。咬合の状態を計測するには、上下の歯列モデルの位置関係を測定する必要があるが、上下の歯列モデルが接触している状態では、上下のモデルを分離することができない。そこで本研究ではアルミ製のマーカーを上顎模型に装着し、マーカーを用いて重ね合わせを行う方法を提案し、チェックバイトを介してセットされた上下歯列の位置関係を計測している。

標準模型を用いて実際の模型間の隙間の距離分布を計測し、歯列の3次元モデルに距離分布を重ねて表示できること、および距離を $10\mu\text{m}$ の分解能で表示できることを示している。測定精度は3次元の形状のモデリング精度とアライメントの精度で決まるが、いずれも $30\mu\text{m}$ 以下であり、目標の総合精度 $50\mu\text{m}$ を達成していることを示している。

第4章では、顎関節症と咬合の因果関係についての学会の見解の歴史的変遷について紹介している。いずれにしても現代病の一つである顎関節症と咬合の因果関係に注目が集まっており、咬合の計測が重要であると述べている。ここでは第3章で提案された上下顎の3次元歯列形状と距離分布を計測する手法を実際の咬合治療に応用した事例について解説している。咬合治療の前後において臼歯部間の距離が変化したことを明らかにしている。また咬合調整の過程において、調整位置と削った量を可視化する手法を提案し、これによって治療過程の定量的把握が可能になることを示している。

第5章では、シリコンゴム印象の形状を直接計測する手法を提案している。精度が保証された鋼球を複数個並べたゲージを製作し、その印象形状をマイクロフォーカスCTで計測、鋼球の表面を接触式測定装置で求めて得られたモデルとの照合から計測精度を検証している。直接シリコンゴム印象を計測することにより、印象から模型への変換プロセスが不要になるため、精度が向上することを明らかにしている。

第6章では、実際の臨床例における2種類の上顎の変形事例を紹介している。咬合調整後、咬合圧がかかる前後の上顎の3次元形状を比較し、上顎の天井部アーチの空間が広がるような形状変化が見られることを明らかにしている。またトレイと印象材を介して、上顎の天井部アーチに垂直方向に圧力を加えたところ、個人差はあるものの同様の形状変化が起こることを初めて明らかにしている。咬合圧分布の推定や、治療効果の判断において、上顎の変形が大きな意味を持つ事、またこの上顎に圧力を加える行為が、不正咬合によって頭蓋や頸椎に分散した歪みを矯正できる可能性がある事を述べている。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。咬合治療はこれまで臨床現場の経験に支配される部分が多く、その効果の評価が被験者の主観に依存しており、客観的評価手法の出現が望まれる中、マイクロフォーカスX線CTを用いた3次元形状計測手法は、咬合診断を支援するものとして期待できると述べている。

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、歯科領域における重要なテーマの一つである咬合（噛み合わせ）の状態の定量的把握を目的として、マイクロフォーカスX線CTを用いる手法を提案し、その計測精度を検証するとともに臨床応用についてまとめたものである。得られた主な成果は次の通りである。

1. 国産初の高出力マイクロフォーカスX線発生源を搭載したCT装置を開発し、断層画像から高精度の3次元形状モデルを構築する手法を確立した。また本装置の特徴の一つである測定パラメータの高い自由度を生かし、サンプルに応じた精度を向上する最適パラメータを設定する手法を示した。
2. マイクロフォーカスX線CTを用いた歯列石膏模型の3次元形状を計測する手法を提案し、標準ゲージの計測や、光学式3次元形状計測手法との比較により計測精度を検証した。さらに上顎歯列に対する下顎歯列の位置関係を临床上十分な精度(50 $\mu$ m)で計測する手法を提案し、歯列模型の3次元モデル上に上下歯列の咬合面間距離分布を表示できることを示した。
3. 上記手法を実際の咬合治療に応用し、治療の前後において、咬合面間距離が変化したことを定量的に明らかにした。1症例として、術前には中切歯が早期接触していたのが、術後は臼歯部の咬合面の間隔が狭くなったことを数値で示した。併せて咬合調整前後の3次元モデルを比較し、咬合調整を行った場所とその量を定量的に表示できることを示した。
4. シリコンゴム印象の3次元形状を、マイクロフォーカスX線CTを用いて直接計測する手法を提案した。ゴム印象を石膏模型に反転するプロセスが省略できるため、精度が向上し、歯列形状の細部をより忠実に再現した3次元モデルが得られることを示した。
5. 実際の臨床例における2種類の上顎変形に注目し、まず咬合圧がかかる前後の3次元形状の比較において、上顎の天井部アーチの空間が広がるような形状変化が見られることを示した。また、咬合圧分布の推定や治療効果の判断において、上顎変形の計測が重要な意味をもつことを初めて明らかにした。

以上のように、本論文で考案したマイクロフォーカスX線CTを用いた新しい計測手法は、これまで経験や主観に依存していた咬合治療において、客観的、定量的診断の道を拓くものであり、本論文は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成21年2月19日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。