

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19700416
 研究課題名（和文）超高精度顎運動計測システムの開発

研究課題名（英文）Development of High Precision Measurement System of
 Human Mandibular Movement

研究代表者

小関 道彦（KOSEKI MICHIIHIKO）
 東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
 研究者番号：50334503

研究成果の概要：

本研究ではヒトの顎運動の測定精度を向上することを目的として、高速度カメラの性能を実験的に検証し、顎運動計測に最適なカメラを導入したシステムを構築した。そして、着脱再現性の高い歯列装着部品の製造プロセスについて検討を行った。また、正確な顎運動表示を実現するため、歯科用 X 線 CT 画像と歯列模型の工業用 X 線 CT 画像を適切に重ね合わせる方法について検討を行った。最後に、顎運動計測システムを 2 名の被験者に適用し、それぞれの顎運動の特徴を観察した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	0	2,400,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,300,000	270,000	3,570,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：可視化、計測工学、検査・診断システム、顎関節症

1. 研究開始当初の背景

最近の統計調査によれば、日本における顎関節症の有病率は、男性が約 10%、女性は約 17% であり、適切な診断が急務となっている。従来、顎関節症の診断には下顎切歯の矢状面上の限界運動路を記録する手法が多く用いられている。しかしこの方法では、回転と滑走の複合した下顎頭の複雑な運動を直接観察することができない。このため、データ判読には医師でも経験を要し、患者が自らの病状を把握することは難しい。また、機械的に顎運動を測定する装置も提案されているが、装置自身の重量により平常の顎運動を行うことが困難であることが問題となっている。

そこで申請者らは、X 線 CT 画像に基づいて骨体の個体別モデルを生成する手法と、2 台の CCD カメラを用いた運動計測手法を統合した顎運動計測システムの開発を進めている。本システムは、上顎に対する下顎の運動を三次元表示するため医師にも患者にもわかりやすい診断システムであり、患者に肉体的・経済的な負担をかけずに顎運動を正確に計測可能であるという特長を持っている。これまでの研究により、顎関節部の位置について誤差が 0.3mm 程度の測定精度を実現している。そして、顎関節症の有無によって生じる顎運動の差異を定性的かつ定量的に明らかにした。本システムの有用性は臨床歯科医師から高く評価されている(第 65 回東京

矯正歯科学会大会にて学術大会優秀発表賞を受賞)。しかし、現在のシステムを臨床活用するためには二つの課題が残されている。

第一の課題は、実際に臨床で利用するためにはシステムの測定精度のさらなる向上が望まれることである。本システムの測定精度がさらに高まり、上下歯列の噛み合い状態までも評価することが可能となれば、現在は歯科技工師のスキルに頼っていた歯科補綴における義歯やクラウンの形状設計に有用な情報提供が可能になり、顎関節症の要因となる顎運動と歯冠形状の不一致を回避する予防治療が可能になると期待される。

第二の課題は、患者に装着する測定装置の脱着に再現性がないことである。本システムでは正確な計測を行うために X 線 CT 画像情報に基づき形状情報を取得しているため、X 線 CT 装置を有する大規模な病院でしか計測できないという問題がある。また、治療前後の比較を行う際にも再度の CT 撮影が必要となっている。測定装置を患者の口腔内に正確に装着・脱着する方法を実現できれば、これらの問題が解決されると期待される。

2. 研究の目的

本研究では、上記の二つの課題を以下の通り解決することを目的とする。

第一に、現在のシステムの測定精度を向上し、閉口時に上下の歯冠が接触することによる微細な運動をも正確に計測する技術を確立する。これまで運動計測に用いていた CCD カメラは、VGA 白黒画像を 30 フレーム/秒 (fps) で取得可能な性能を有している。しかし顎関節症患者の顎運動では、関節部の運動が瞬間的に 5mm/フレームに達することが判明している。これは、VGA 画像では 10 ピクセルほどの距離に相当する。口腔内は厚さ 0.1mm の異物をも認識できるほど感度が高いため、測定誤差が 0.1mm 以下となる超高精度な運動計測を目指す。

第二に、運動計測に用いる装置を患者ごとに製作し、繰り返しの脱着を正確に行う方法を確立する。これまでの研究でラピッドプロトタイピングの適用を試みたが、歯列形状を正確に取得する手段が確立されておらず、またラピッドプロトタイピングの工作精度が不十分なため接着位置の再現性は乏しかった。この問題を解決し、患者に対して常に同じ位置に装置を装着できるようになれば、顎運動測定と X 線 CT 撮影を異なる病院・異なる日時に行うことが可能となり、患者の利益につながる。また、治療前後の顎運動を計測・比較することができるため、治療効果を容易に確認することが可能となる。

3. 研究の方法

本研究で開発中の顎運動計測システムは、図 1 に示すように患者の上下歯列に取り付けた標識点の運動を複数のカメラで撮影することによって上下顎骨の三次元的な運動を計測するものである。計測した運動は、図 2 に示すように三次元アニメーションとして表示するとともに、任意箇所速度など定量的な情報を提示することによって診断や治療への情報提供を目指している。

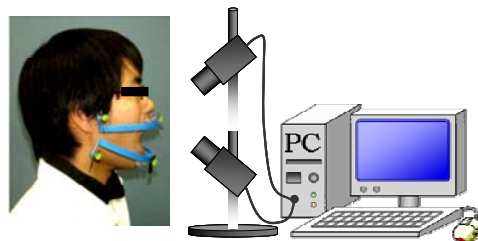


図 1 顎運動計測システムの概観

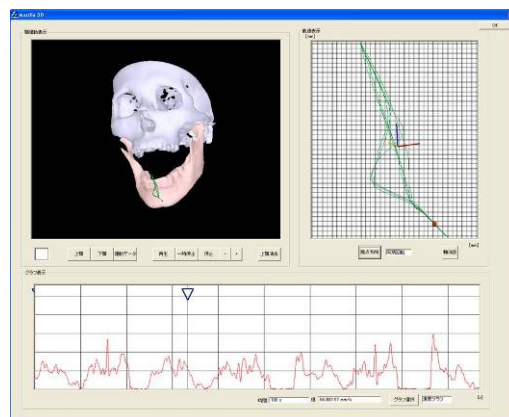


図 2 計測した顎運動を提示するグラフィカルなユーザインタフェース

本研究の第一の研究目的を達成するためにはカメラ性能の向上が求められる。ここで、カメラの性能としては空間分解能と時間分解能が挙げられるが、本研究では時間分解能の向上を優先して課題の解決を図ることを考えた。これは、顎関節症患者の関節円板転位時や食物の粉碎時などの急峻な顎運動を正確に測定するためである。広く臨床活用を目指したシステムとしては低価格であることが望ましいが、高速度カメラは一般に高額である。そこで本研究では、時間分解能が非常に高いカメラを用いて顎運動を計測し、そこで得られる結果を分析することによって本システムで採用するカメラを決定する。

本研究の第二の目的を達成するため、歯型模型を三次元形状計測した歯型データと、あらかじめ CAD で構築した部品データを組み合わせることにより個別歯列接着部品を簡便に製作する技術を確立する。

4. 研究成果

まず、高速度カメラの導入については、最大 1200fps の動画撮影が可能な高速度カメラを用いてヒト歯列に取り付けた標識点を撮影し、タッピング運動（上下の歯を素早く噛み合わせる動作）の様子を 30~1200fps のフレームレートにて観察した。そのときの標識点の速度履歴を図 3 に示す。1200fps で得られた結果に対しバターワースフィルタ（カットオフ周波数 60Hz）によってノイズ除去したデータを基準に考えると、1200fps で得たオリジナルのデータはノイズの影響が大きく、30fps で得たデータでは追従性が低くタッピング運動を正確に測定できていないことが分かる。このことを様々なフレームレートで検証した結果を図 4 に示す。この結果、本研究の達成目標であるヒトの顎運動の速度や加速度の急峻な変化を計測するには 200fps のカメラが顎運動計測に最も適していることが明らかとなり、これを用いたシステムを構築した。

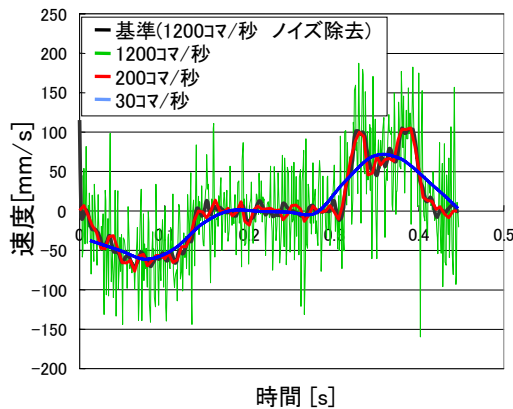


図 3 カメラのフレームレートと速度履歴

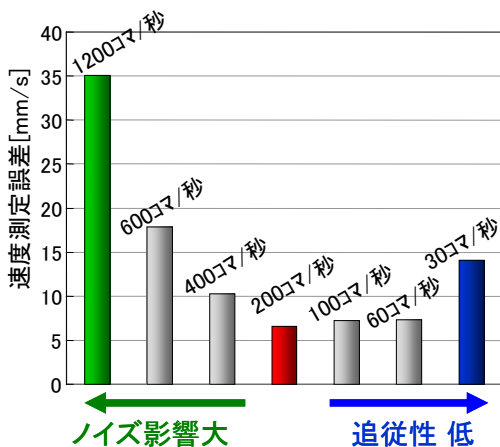


図 4 フレームレートと速度測定誤差

また、このように正確な運動計測が実現されたことにより、顎運動表示に用いる上下顎骨モデルの形状精度の向上が必要となった。これは、歯科用 X 線 CT の画像では図 5 に示すように上下歯列の分離が困難であり、補綴物によってメタルアーチファクトと呼ばれるノイズが生じる場合があるためである。そこで、正確な顎運動表示を実現するため、顎顔面の医療用 X 線 CT 画像に基づく顎骨モデルと歯列模型の工業用 X 線 CT 画像に基づく歯列モデルを適切に重ね合わせる方法について検討を行った（図 6 参照）。

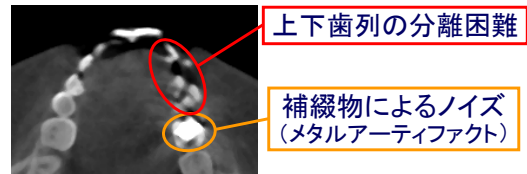


図 5 歯科用 CT 画像の問題点



図 6 歯科用 CT に基づく顎骨モデルと工業用 CT に基づく歯列モデル

次に、標識装置を正確に歯列に接着する方法について検討を行い、歯列模型の X 線 CT 画像に基づく歯列接着部品の CAD/CAM 加工プロセスを考案した。この方法は、図 7 に示すように、歯列模型の CT 画像から自動的に接着部の形状を特定し、そこから CAD/CAM データを生成、NC 加工するものである。

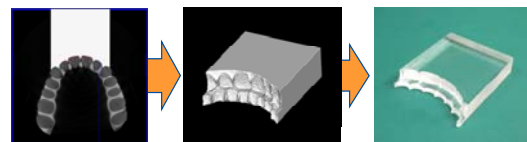


図 7 CT 画像に基づく CAD/CAM

歯列への接着方式についていくつか試作と実験を繰り返し、上下歯列に適切に接着する方法として図 8 に示す方法を考案した。これはまず、歯前面だけでなく端面位置を固定する上歯列用の接着部を接着し、位置合わせ部品を用いて下歯列用接着部の位置を決定し、固定するものである。実際に制作した部品を図 9 に示す。

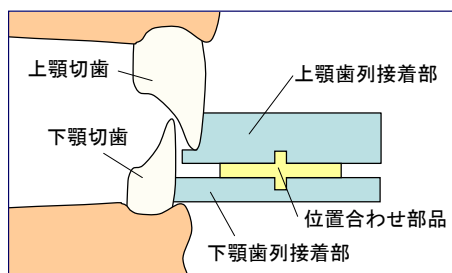


図8 歯列への接着方法



図9 歯列接着部

新しいシステムの性能検証を行うため、顎運動を模擬した運動を再現する実験装置を製作した。この装置は、歯列模型を正確に開閉口するものであり、運動計測性能の評価だけでなく標識装置の着脱再現性の評価をも可能としている。この装置を用いてシステムの性能検証を行ったところ、運動計測については本研究の達成目標である 0.1mm 程度の誤差で実験装置の運動を計測できていることを確認した。しかし、接着位置の再現性については、1mm 程度の誤差があることが判明した。この理由には接着面積が小さすぎて歯列形状の特徴を表現できなかつたことと、X線 CT 画像の分解能や NC 工作機械の加工精度の問題が挙げられる。

なお、これらの検討と並行して、提案する顎運動計測システムを顎関節症患者 1 名および下顎発育不全の患者 1 名に適用し、それらの顎運動の特徴を観察した。

本研究は、光学的手法による超高精度な三次元運動計測を実現するという学術面での意義と、臨床歯科での活用を目指した実用面での意義とを有している。本研究が完成することにより、顎関節症の病態が解明され、定量的な情報に基づく医師の診断が実現されるとともに、歯科補綴における義歯やクラウンを高精度に製作することが可能になると期待される。今回は 2 名の被験者に適用を試みたが、今後、さらに測定数を増やしてシステムの有用性を高めるとともに、これらの患者に対し顎運動の経時的変化を計測することによって治療法の有効性を定量的に評価することを試みたい。ただし本研究では、標識装置の着脱再現性が不十分であることが判明しており、さらなる検討が必要である。

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 小関道彦, 中村基司, 小川尚己, 木村仁, 伊能教夫, 榎宏太郎: 三次元顎運動表示システムを用いた個別顎運動の観察; 顎顔面バイオメカニクス学会誌, Vol.13, No.1, pp.11-17, 2008, 査読有.

[学会発表] (計 2 件)

- ① 齊藤極, 小関道彦, 木村仁, 伊能教夫, 藤川泰成, 小川尚己, 榎宏太郎: 三次元顎運動表示システムの高精度化; 第 16 回顎顔面バイオメカニクス学会大会, 2008 年 11 月 15 日, 佐賀市.
- ② Michihiko Koseki, Motoji Nakamura, Naoki Ogawa, Hitoshi Kimura, Norio Inou and Koutaro Maki: Three-dimensional Display System of Individual Mandibular Movement (Observation of mandibular border movements and mastications of two subjects); 8th International Symposium on Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, Feb. 29th, 2008, Porto.

6. 研究組織

(1)研究代表者

小関 道彦 (KOSEKI MICHIIHIKO)
東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号: 50334503

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし