

# 三次元顎運動表示システムの高精度化

## The Precision Improvement of the Mandibular Motion Display System

○齊藤極 (東工大), 小関道彦 (東工大), 木村仁 (東工大), 伊能教夫 (東工大)  
藤川泰成 (昭和大), 小川尚己 (昭和大), 槇宏太郎 (昭和大)

Kiwamu SAITOU<sup>1</sup>, Michihiko KOSEKI<sup>1</sup>, Hitoshi KIMURA<sup>1</sup>, Norio INOU<sup>1</sup>  
Taisei FUJIKAWA<sup>2</sup>, Naoki OGAWA<sup>2</sup> and Koutaro MAKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dept. Mech. Ctrl. Eng., Tokyo Institute of Technology, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8550 Japan

<sup>2</sup>Dept. Dentistry, Showa University, Kitasenzoku, Ota-ku, Tokyo, 145-8515 Japan

**Abstract:** This study proposes the integrated display system of mandibular movement that visualizes motions of human mandible. This system is based on two engineering methods. One is optical motion capture technique, and the other is modeling method from X-ray CT data. The system provides three-dimensional visual information of mandibular movements and also provides quantitative information of velocities or accelerations. We improve measurement accuracy of the system by introducing high-speed cameras. We also propose a modeling procedure to generate mandibular models with detailed geometries of the teeth using an industrial CT device.

**Key word:** Mandibular movement, Display system, X-ray CT, Patient-specific modeling.

### 1. はじめに

顎関節症は開口時の疼痛や開口制限を特徴とする症候群の総称であり、その原因が多岐に渡るため適切な診断が求められている。顎関節症の診断には三次元的な顎運動の把握が重要となる。著者らはX線CT画像に基づく個別顎骨モデリング技術と光学的運動測定を利用した顎運動表示システムを開発している。本システムは図1に示すような手順で顎運動を計測し、顎骨のモデルと組み合わせることで複雑な顎運動を三次元的にアニメーション表示するものである(図2参照)。これまでの研究により、0.5mm程度の誤差で顎運動を測定することが実現されており、前報では顎関節症の定量的な診断システムとしての有用性を報告した<sup>1)</sup>。提案システムをさらに高精度化することができれば、補綴治療の適合性評価が可能になるなど、システムの有用性を高めることができると期待される。本稿では、高速度カメラを導入することによる運動測定の高精度化および歯列形状の再現性向上の取り組みについて述べる。

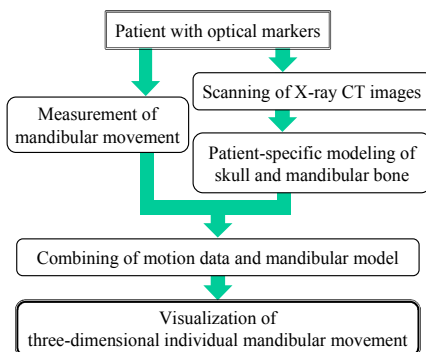


Fig. 1 Diagram of 3D display system.

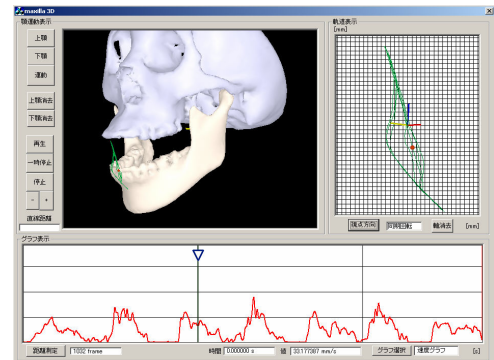


Fig. 2 Snapshot of the display system.

### 2. 新しい測定システムの構築

#### 2.1 高速度カメラの導入

本システムでは、被験者の歯列に標識点を装着し、それを二台のカメラで撮影することにより光学的に運動測定を行っている。従来の顎運動測定システムでは30HzのCCDカメラを用いて運動測定をしており、速度や加速度を算出する際には時間分解能の粗さを補うため測定点間をスプライン補間していた。しかし、顎運動は急峻な動きを含んでおり、測定点間を滑らかにつなぐスプライン補間では適切な値が求まらないことが考えられる。これを解決するために今回、200Hzの高速度カメラを導入した。

顎運動測定システムに高速度カメラを導入することの効果を検証するために剛体振り子を壁に衝突させたときの跳ね返りの様子を同時測定する実験を行った。図3では、振り子が跳ね返る際の加速度変化について、従来システムで測定したデータをスプライン補間することにより求めた結果と、高速

度カメラシステムで算出した結果を比較している。振り子は 0.72 秒付近で壁に衝突しており、高速カメラシステムによる算出結果では大きなピークが一つだけ計測されている。それに対し、従来システムから求めた加速度では衝突の前後に不自然な加速度変動が計測されており、これがスプライン補間処理の影響であると考えられる。以上のことから高速カメラを導入することにより従来システムでは不適切に算出されていた運動状態をより適切に測定可能となったことが確認できた。

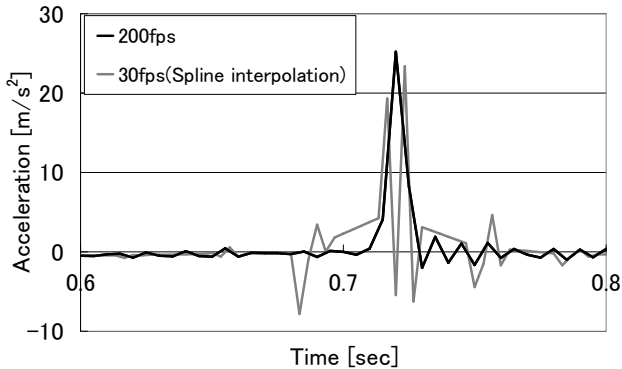


Fig. 3 Acceleration records of marker.

## 2.2 カメラ位置の最適化

本システムでは二台のカメラを用いた DLT 法 (Direct Linear Transformation Method) により顎骨の三次元での運動状態を測定している。DLT法による運動測定では、カメラの解像度が有限であるため、カメラの位置関係に依存した測定誤差が生じる。このため、正確な運動計測を行うにはカメラを最適な位置に配置することが重要である。そこで、最適なカメラ位置を定量的に求める技術としてコンピュータグラフィックに基づく算出方法を考案した。この手法ではまず、カメラから被写体までの距離を一定とし、カメラの角度を変化させた場合に撮影される画像をコンピュータグラフィックにより描画する。そして画像をもとに DLT 法で算出した複数の標識点位置の測定誤差を求めている。2 台のカメラ間の角度を 10 度～150 度に変化させて計算を行った結果を図 4 に示す。この結果から、カメラ間の角度が 50 度から 100 度の間で精度の高い位置測定が行えることが示された。臨床応用においては測定装置が小型であることも利点となることを勘案し、顎運動測定システムのカメラ間角度は 50 度の状態が最適であると判断した。

## 3. 歯科用 CT と工業用 CT の併用

本システムでは CT データに基づき作成された個体別顎骨モデルを用いて顎運動表示を行っている。顎関節症の診断への情報診断システムとしては、関節部の形状を正確に把握することが重要であり、こ

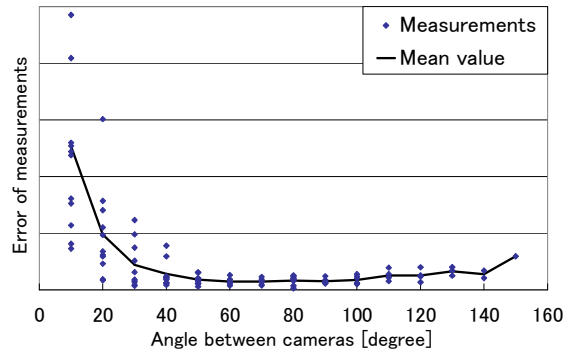


Fig. 4 Relations between angle and accuracy of positional measurements.

のための手段としては歯科用 X 線 CT 画像が適している。しかし、歯科用 CT 画像は画像分解能が 0.377mm であり、そこから得られるもモデルの精度は歯の接触状態などを再現するには不十分である。このため本システムの総合的な性能を向上させるためには、運動計測システムだけでなく、モデリング精度をも高精度化させる必要がある。

精密なモデルを作成する方法として以下のように歯科用 CT と工業用 CT を併用した手順が考えられる。まず、従来と同様に歯科用 CT を用いて被験者を撮影し、顎骨モデルを構築する。次に、歯科用 CT に比べて高い分解能で撮影することが可能な工業用 CT を用いて被験者の歯列の印象を撮影し、歯列モデルを構築する。そして、両者を重ね合わせることでより詳細な歯列形状を再現したモデルを作成することが可能となる。

本手法により、補綴治療におけるクラウンの適合性を評価することが可能になるなど、本システムの適用範囲の拡大が期待される。

## 4. まとめ

顎運動表示システムに高速カメラを導入することにより、従来システムより精度の高い運動測定を実現した。また、カメラ位置を最適化する手法を提案し、位置測定の精度を向上した。そして、歯科用 CT と工業用 CT の併用により詳細な歯列形状を有するモデルを作成する手法を提案した。

## 謝辞

本研究は、文部科学省 科学研究費補助金若手研究 (B) (課題番号 19700416) によって行われた。ここに記して感謝の意を表したい。

## 参考文献

- 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体別顎運動の観察; 顎顔面バイオメカニクス学会誌, Vol.13, No.1, pp.11-17, 2008.
- 2) 小関道彦, 中村基司, 伊能教夫, 小川尚己, 榎宏太郎: 個体別顎運動表示システムによる咀嚼運動の観察; 顎顔面バイオメカニクス学会誌, Vol.12, No.1, pp.53-54, 2006