

平成 21 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18390538
 研究課題名（和文） 術中の頭位および顎位変化に即応できるリアルタイム口腔外科手術ナビゲーターの開発
 研究課題名（英文） Development of a real-time navigator for oral and maxillofacial surgery which can follow the head and jaw movement
 研究代表者
 森 悦秀 (MORI YOSHIHIDE)
 山口大学・大学院医学系研究科・准教授
 研究者番号：00231639

研究成果の概要：手術ナビゲーターは脳神経外科あるいは耳鼻咽喉科領域で、海外で実用化が進んでいるが、口腔外科領域では術中に基準となる頭部の動きあるいは下顎の動きがあり、それを追尾できるシステムがないため実用化は困難であった。本研究では、手術ナビゲーターを国産の機材を用いて構築し、頭部あるいは顎の動きを追尾できるマーカーと制御プログラムを自作し、その精度を検証した。（マーカーの最終形状と追尾プログラムの詳細は出願準備中のため非公開）

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	7,800,000	2,340,000	10,140,000
2007年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2008年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
年度			
年度			
総計	15,300,000	4,590,000	19,890,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・外科系歯学

キーワード：シミュレーション工学、リアルタイムマネージメント、外科、歯学

1. 研究開始当初の背景

口腔外科手術は狭小な口腔からのアプローチが多く、術野を一望できるような十分な視野が得られない、開口させることにより顎骨の位置関係が変化するなど、手術操作を不確実にさせる要素が多数存在する。このため、報告者は口腔外科手術の計画をより正確に行うことを目的に、CTおよび歯列 3D モデルを用いた口腔外科手術シミュレーションシステム (Advanced Simulation and Planning System for Oral and Maxillofacial Surgery: ASPOS) を開発した。このシステムは口腔外科手術シミュレーションの必要要件をすべて満たしており、臨床での実用に耐えるものである。ところが、実際の手術操作においては先に記した理由から熟練した術者においても、解剖学的なランドマークを見誤る、移動した骨片の位置づけを正確に行えないなどの誤りをしばしば起こすことが知られている。従って、手術シミュレーションの結果を実際の手術操作に正確に反映させるためには、手術ナビゲーションシステムが必要であると考えられる。しかしながら、脳外科領域のようにハローフレームとピンで頭部を手術台に厳密に固定して操作

レーションの必要要件をすべて満たしており、臨床での実用に耐えるものである。ところが、実際の手術操作においては先に記した理由から熟練した術者においても、解剖学的なランドマークを見誤る、移動した骨片の位置づけを正確に行えないなどの誤りをしばしば起こすことが知られている。従って、手術シミュレーションの結果を実際の手術操作に正確に反映させるためには、手術ナビゲーションシステムが必要であると考えられる。しかしながら、脳外科領域のようにハローフレームとピンで頭部を手術台に厳密に固定して操作

できないため、頭部と顎骨の位置関係の校正が難しく、口腔外科領域の手術ナビゲーションは操作が煩雑で実現困難であると考えられてきた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、手術シミュレーションの結果を手術操作に反映させるための手術ナビゲーションシステムの開発である。実体の任意の部分をポインティングデバイスで指示すると、ワークステーション上に表示されたシミュレーション画像上にその位置や方向が表示され、顎骨の切断部位の特定や移動骨片の位置確認などが正確に行えるシステムの作製を目指す。本システムでは赤外線を用いた距離画像計測により位置計測を行うが、研究期間内に計測用モーションキャプチャーカメラの配置法および頭部位置校正法の開発、手術シミュレーションシステムとのリンクなど、口腔外科手術用ナビゲーションシステムに必要な基盤技術の開発を行い、臨床での実用に耐えられる精度と速度にまで向上させる。

3. 研究方法

(1) システム構築

計測機：ステレオラベリングカメラ (SLC-C02、サイバース、東京；図 1、2)

制御機器：ノート型ワークステーション (Precision M4300、Dell、Windows XP Professional)

制御ソフト：マーカー位置・姿勢追跡システム (エルゴビジョン、大阪と共同開発)

計測に用いたステレオラベリングカメラは、赤外線を用いたレンジファインダーで、カメラヘッドとコントローラーから構成される。カメラヘッド (図 1) は $500 \times 80 \times 45\text{mm}$ 、重量約 500g と非常に軽量で、3脚による支持は容易で、无影燈に懸架することも可能と考えられる。今回の研究では計測距離 1.5m を中心に調整した。コントローラー (図 2) は $160 \times 35 \times 180\text{mm}$ (突起



図 1：ステレオラベリングカメラ本体



図 2：ステレオラベリングカメラのコントローラー

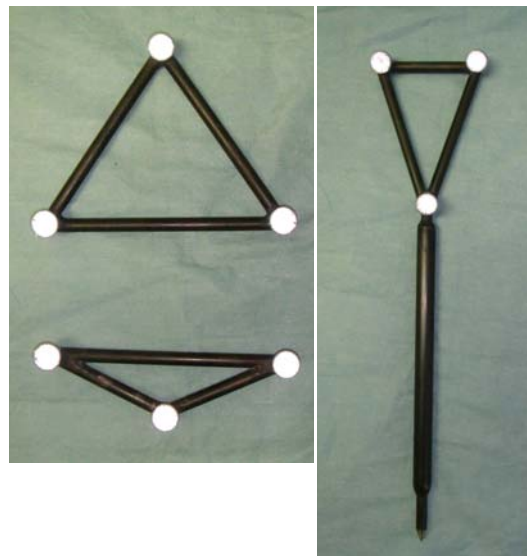


図 3：プロトタイプのマーカー (2等辺三角形で構成)

左上；頭部用 $90 \times 90 \times 100\text{mm}$

左下；下顎用 $55 \times 55 \times 100\text{mm}$

右；ポインター用 $80 \times 80 \times 50\text{mm}$

部を除く)、重量約 1kg でコンパクトな筐体である。ワークステーションとは USB 1.1 で接続される。

ワークステーションはノート型ながら、高性能のビデオカードを装着しており、本研究で用いた制御ソフトのみならず、手術ナビゲーションで用いる種々の 3D グラフィックソフトが十分稼動する環境を提供しており、必要なナビゲーションソフトはこれ 1 台で処理可能である。

本研究ではカメラから赤外線を照射し、反射球 3 個を装着したマーカーを 3 個作製し、頭部、下顎部、指示棒 (ポインター) 用とした (図 3)。(最終版では手術に支障

のない形状に改良されているが出願準備中のため非公開)

ステレオラベリングカメラで計測された各反射球の位置は、制御ソフトにより右手系の座標でディスプレイ上に表示される(図4)とともに、三角形の形状の違いからマーカの種類が識別され、各マーカの位置情報、ポインター先端の3次元的位置が表示される(図5)。

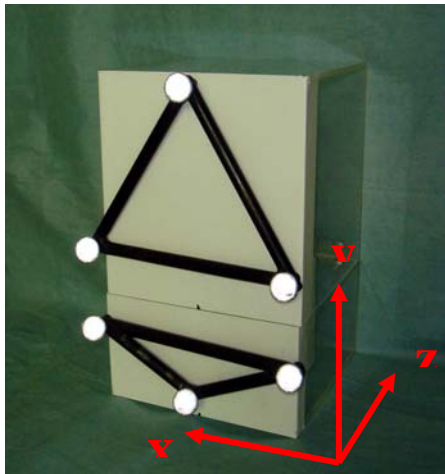


図4：頭部を模した実験用ファントム

頭部マーカと下顎部マーカが装着され、2つの立方体は後部のヒンジで接合されている。

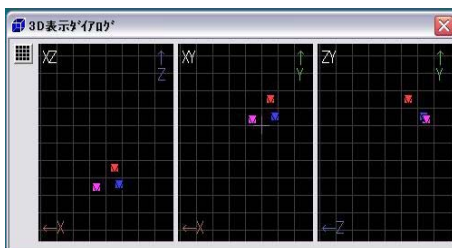


図5：制御ソフトのマーカ認識画面(上)とポインターの座標表示

モジュール使用開始時の初期校正は、カメラ設置後に校正用マーカ付きの正6面体を認識させて基底座標系(カメラの絶対座標)の校正と、ポインターのマーカの校正である(図6)。

計測のため生体とマーカの校正は、本研究では頭部、下顎マーカを装着したファントム(図4)を用いて行った。まず、頭部の基準点3点を順に指示すると、この3点をXZ平面とする座標系(基準座標系)が構築され、基準平面における頭部マーカの位置が認識される。次に下顎の基準点3点を指示すると、下顎の座標系が生成される。2つの座標系はマーカを介して基底座標系と関連付けられており、頭部や下顎が動いても各座標系でのポインターの先端の座標値が表示できる。(最終版では術中に無菌操作可能になっているが出願準備中のため非公開)

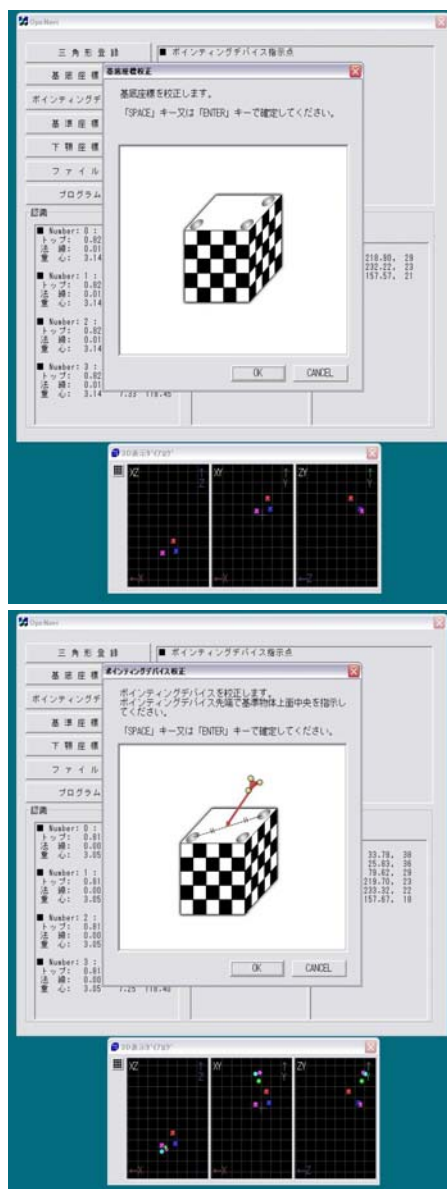


図6：制御ソフトの初期校正画面
基底座標系の校正(上)とポインターの校正(下)

外部 CT データの表示と校正は任意の手術シミュレーションソフトウェアにより3次元化し、3次元モデルの任意の3点をポインターで指示することにより校正した。また、顎の任意の3点を追加して指示することにより、下顎が移動しても追尾が可能になった(図7)。

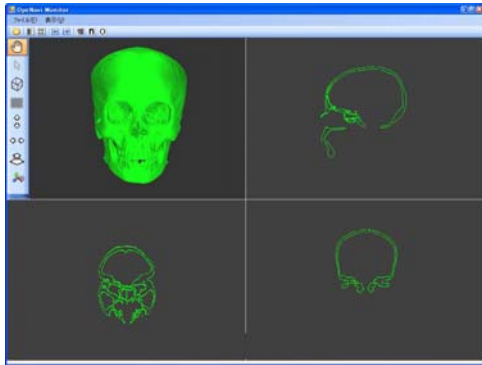


図7：外部から取り込んだCTデータの表示と位置校正

(2) 精度検討

① 測定範囲

今回使用したカメラは計測距離の中心が1.5mになるように調整されているが、各軸での計測範囲を確認した。また、マーカーがX軸およびY軸を中心に回転したときの認識限界を調べた。

② ポインターによる点の指示精度

カメラのZ軸に対して、頭部マーカーの面がX軸を中心に $+30^\circ$ 、 0° 、 -30° 、あるいはY軸を中心に 20° 、 0° 、 -20° 回転したときのファントム上の1点をポインターで5回指示して座標値を求め、その平均誤差を求めた。同様に、100mmの線分の両端を5回計測し、平均誤差を求めた。

さらに、ファントムで下顎座標系を設定し、頭部に対して下顎が後方のヒンジで 30° 回転させたときの計測点の平均誤差を求めた。

4. 研究成果

(1) システム構築

2回のプログラム改良を行い、手術室で使用可能な操作性を有した手術ナビゲーターが構築できた。

(2) 精度検討

① 測定範囲

X軸を中心とする回転では、マーカーの面が $\pm 45^\circ$ を越えると計測不可能であった。

Y軸を中心とする回転では、マーカーの面が $\pm 30^\circ$ を越えると計測不可能で

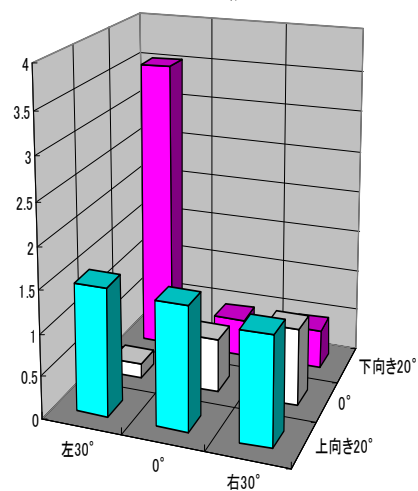
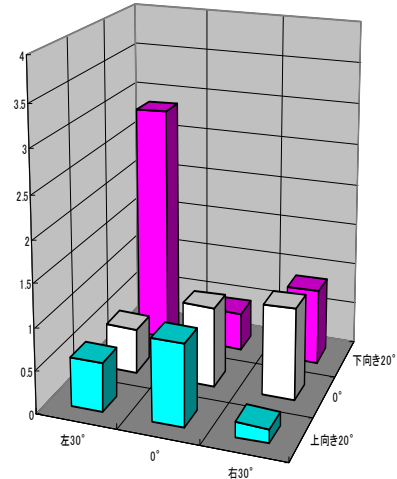
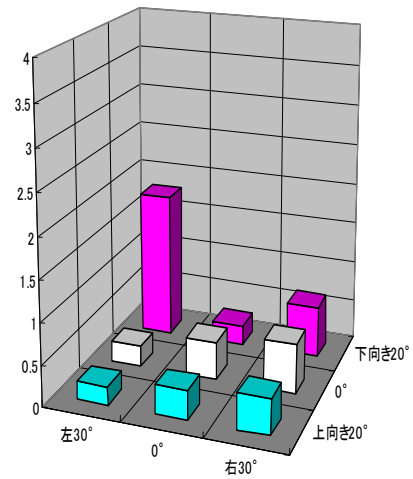


図8：基準座標系での計測点の平均誤差（縦軸は平均誤算、横の平面はカメラ軸に対する計測マーカー成す角度
上；X座標、中；Y座標、下；Z座標
(単位；mm)

あった。

また、カメラより 1.5m の距離での XY 平面の計測範囲は約 700mm 四方であった。

②ポインターによる点の指示精度

基本座標系における平均誤差は概ね 1mm 以内であった。しかしながら、カメラに対してマーカの面がなす角度が大きくなると誤差が大きくなり、最大 3.52mm の平均誤差を認めた (図 8)。

また、距離計測での平均誤差は最小 0.43mm、最大と 1.36mm であった (図 9)。

下顎座標系での計測では、ファントムの下顎部が回転移動しても、計測値は安定しており、平均誤差は 1mm 以内であった (図 10)。

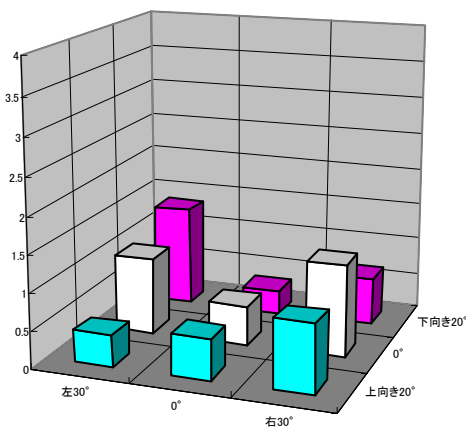


図9: 基準座標系での距離計測における平均誤差 (絶対値)

縦軸は平均誤差、横軸はカメラ軸に対する計測マーカの角度

(3) 考察

本システムは赤外線を用いたレンジファインダーであるが、カメラヘッドの軽量化とカメラ側から赤外線照射により、マーカやポインターの操作性が高く、滅菌も容易である。また、コントローラーや制御用ワークステーションも設置や移動に適した形態になっている。

今回の精度検討により、口腔外科用ナビゲーションシステムのポインティングデバイスとして使用に耐えられられるが、狭い術野で死角を減らすため、マーカの設置方法を考慮する必要がある。このため、カメラとマーカの成す角度と精度の検討が必要であった。本デバイスでは術前に一度校正を行えば、頭部、下顎とも移動が可能である。マーカをもう一組増やせば、上顎の切離にも対応可能である。

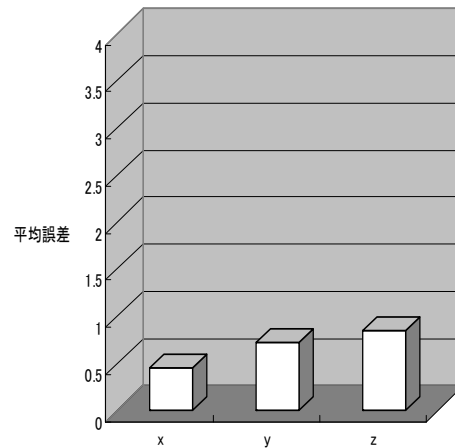


図10: 下顎座標系での計測点の平均誤差

(4) 結論

口腔外科手術に特化した手術ナビゲーターが構築された。

本システムの精度は実用に耐えうるものと考えられるが、計測範囲やカメラとマーカの角度 など、その特性を十分に把握することが必要と考えられた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

1. 松下一徳, 真野隆充, 堀永大樹, 森悦秀, 村松慶一, 田口敏彦, 上山吉哉: インプラント義歯を用いた咬合機能回復一血管柄付き腓骨皮弁による下顎骨再建後の 1 例. 山口医学, 57(2, 3), 43-47, 2008, 査読有.
2. 真野隆充, 諸富彰彦, 森悦秀, 堀永大樹, 宮脇雄一郎, 上山吉哉: 顎矯正手術で使用した吸収性ミニプレートに対して遅発性異物反応がみられた 1 例. 日顎変形誌, 17(4), 272-275, 2007, 査読有.
3. 福田てる代, 真野隆充, 内田堅一郎, 和田範子, 森悦秀, 上山吉哉: 閉塞性睡眠時無呼吸低呼吸症候群患者における下顎前方移動型口腔内装置の効果. 日口外誌 53(7), 414-419, 2007, 査読有.
4. Minami, K., Mori, Y., Kwon, T. G., Shimizu, H., Ohtani, M., Yura, Y.: Maxillary distraction osteogenesis in cleft lip and palate patients with skeletal anchorage. Cleft Palate-Craniofacial J., 44 (2), 137-141, 2007, 査読有.

[学会発表] (計 12 件)

1. Nakano, H., Kishi, M., Mano, T., Mori, Y., Ueyama, Y.: A case of facial asymmetry due to condylar hyperplasia. 8th Asian Congress on Oral and Maxillofacial

- Surgery, 11/3-7, 2008, Bangkok (Thailand).
2. Minami, K., Imura, H., Nimi, T., Furukawa, H., Mori, Y., Sugahara, T., Natsume, N. : Dental implant treatment for the patients with cleft lip and/or palate. 8th Asian Congress on Oral and Maxillofacial Surgery, 11/3-7, 2008, Bangkok (Thailand).
 3. Mori, Y., Mano, T., Horinaga, D., Nakano, H., Uchida, K., Ueyama, Y. : Accuracy of our developing surgical navigator for OMFS surgery. 8th Asian Congress on Oral and Maxillofacial Surgery, 11/3-7, 2008, Bangkok (Thailand).
 4. Mano, T., Mori, Y., Uchida, K., Horinaga, D., Umeda, H., Ueyama, Y. : The relationship between jaw deformity and scoliosis. 19th Congress of the European Association for Cranio-Maxillofacial Surgery, 9/9-12, 2008, Bologna (Italy).
 5. Mori, Y., Mano, T., Horinaga, D., Nakano, H., Uchida, K., Ueyama, Y. : Development of a surgical navigator for OMFS surgery. 19th Congress of the European Association for Cranio-Maxillofacial Surgery, 9/9-12, 2008, Bologna (Italy).
 6. 真野隆充, 森 悦秀, 堀永大樹, 上山吉哉: 顎変形症と脊椎側弯の関連性についての検討. 第 18 回日本顎変形症学会総会, 6/17-18, 2008, 名古屋.
 7. 堀永大樹, 内田堅一郎, 田中一成, 梅田浩嗣, 真野隆充, 森 悦秀, 上山吉哉: 下顎枝矢状分割術における術後の顎位および下顎頭位の変化ー下顎前突症と下顎後退症の比較. 第 37 回(社)日本口腔外科学会中・四国地方会, 6/6-7, 2008, 倉敷.
 8. 真野隆充, 梅田浩嗣, 森 悦秀, 石川邦夫, 上山吉哉: ブラストコーティング法によるアパタイトコーティングチタンスクリューを用いた骨接合に関する研究. 第 62 回日本口腔科学会総会, 4/17-18, 2008, 福岡.
 9. 真野隆充, 森 悦秀, 内田堅一郎, 堀永大樹, 梅田浩嗣, 上山吉哉: 顎矯正術後の顎位および下顎頭位の変化ー下顎枝矢状分割術と下顎枝垂直骨切り術の比較. 第 62 回日本口腔科学会総会, 4/17-18, 2008, 福岡.
 10. 森 悦秀, 真野隆充, 堀永大樹, 上山吉哉: 手術ナビゲーター用赤外線ポイントニングデバイスの開発. 第 52 回(社)日本口腔外科学会総会, 9/29-30,

2007, 名古屋.

11. 森 悦秀, 堀永大樹, 真野隆充, 上山吉哉: 私たちの上下顎移動術. 第 17 回日本顎変形症学会総会, 6/21-22, 2007, 新潟.
12. Mori, Y., Minami, K., Shimizu, H., Yura, Y., Ueyama, Y. : Arthroplasty for facial asymmetry with hypergrowth of unilateral TMJ. 18th Congress of the European Association for Cranio-Maxillofacial Surgery, 9/12-15, 2006, Barcelona (Spain).

〔図書〕(計 3 件)

1. Mori, Y., Minami, K., Tsukamoto, Y. : Experimental alveolar cleft model and quantitative evaluation of grafted materials -Particulate cancellous bone and marrow-. Current Experimental Study for Treatment of Cleft Lip and Palate (Kawai, T., Natsume, N., Precious, D. S.) Quintessence Publishing Co., 1st ed., Tokyo, 69-79, 2008.
2. 森 悦秀 : 1. 歯科における救急疾患 4) 外傷 5) 顎関節脱臼. 歯科医療救急ポケットマニュアル (監修, 菅原利夫), 医歯薬出版, 東京, 13-30, 2008.
3. 森 悦秀: 顎変形症. 今日の治療指針 2007 年版ー私はこう治療している (総編集, 山口 徹, 北原光夫, 責任編集, 夏目長門), 医歯薬出版, 東京, 1082-1083, 2007.

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計 0 件)
なし (1 件準備中、出願前のため非公開)
- 取得状況 (計 0 件)
なし

〔その他〕

ホームページ等 なし

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
森 悦秀 (MORI YOSHIHIDE)
山口大学・大学院医学系研究科・准教授
研究者番号 : 00231639
- (2) 研究分担者 なし
- (3) 連携研究者 なし