

平成 21 年 6 月 19 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18360128

研究課題名（和文） 複合現実感による手術シミュレーションに関する基礎研究

研究課題名（英文） Fundamental research of medical surgical simulation
with the help of virtual reality

研究代表者

登尾 啓史（NOBORIO HIROSHI）

大阪電気通信大学・総合情報学部・教授

研究者番号：10198616

研究成果の概要：近年、医療事故などの理由で、医学や歯学の初学者が手術オペレーションを訓練する機会が著しく減少している。この問題を解決するため、我々はコンピュータが創り出す複合現実感の世界で、医学や歯学の手術シミュレーションが実施できるよう、筋肉や骨のモデルを構築し、その視覚や触覚のリアリティを評価した。この評価には、力センサや高速度カメラを用いた計測による評価、および歯科医師による体感評価を利用した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
2007年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2008年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
年度			
年度			
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、知能機械学・機械システム

キーワード：バーチャルリアリティ、シミュレーション工学、ハプティクス、仮想手術

1. 研究開始当初の背景

この研究を始めた頃、医師や歯科医師が不足する一方で、医療事故の増加や医療訴訟の頻発があった。この医師不足は地域医療の空洞化、ひいては無医村の増加をもたらしており、特に高齢者の多いへき地でこのことは大きな問題となっている。これらを解決するため、国は医学部の学生数を増加させたり、地方枠と称して地域に根ざして医療行為をする学生を優先して入学させたりしている。

この一方で、経験の浅い医師が無謀な手術に取り組み、患者を死に至らしめるケースもたびたび報道されている。この過剰報道は、

時として経験豊かな医師にさえ困難な手術をためらわせる土壌を生んでいる。現実としては、人間はだれでも経験を積んで上手になっていくものであり、インターンのような初学者に経験を積ませる方法を考える必要がある。

このような現実を直視すると、生身の人間（患者）を対象として、各種の医療オペレーションスキル（外科的な手術を含む）を学習することは限界がある。そこで我々は、複合現実感という最先端のコンピュータ技術を駆使して、医師や歯科医師が種々の医療オペレーション（外科的な手術を含む）が訓練できるシステムの構築を目指している。

本研究では、このための要素技術のリアリティ向上研究、および歯科医師を対象とした治療シミュレーションシステムのプロトタイプを試作した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、次の3点に要約できる。

- (1) 筋肉組織の動きを模擬できる仮想レオロジー物体、およびその操作モデルの構築
- (2) 骨をドリルで切削するような作業を模擬できる骨やドリルのモデル、およびそれを操作するモデルの構築
- (3) 医師や歯科医師が患者の治療を仮想体感できる複合現実感に基づくヒューマンインタフェースシステムの構築

これらより、医師や歯科医師の訓練システム(人工の生体組織・臓器を触診したり、メスで切断したり、骨をドリルで削るといった仮想手術システム)が構築できる。この際、問題となるのは触覚や視覚のリアリティ、および治療オペレーションの実時間性である。これが本基礎研究の評価基準となる。

以上の事柄を目的として、2006年度から2008年度までの3年間、複合現実感の医療シミュレーションシステムについて基礎的な研究を実施した。

3. 研究の方法

まず、2006年度(1年目)には、剛体衝突やレオロジー物体変形の振る舞いを正確に計測する方法の開発に従事した。具体的には、高速度カメラで物体表面のランドマークの動きを捉え、その運動量や角運動量の変化を正確に計測できるようにした。これより、外から作用する撃力や角撃力の量の推定が可能となった。また、6自由度(力3自由度、モーメント3自由度)の力センサを利用して、衝突や変形の際に作用した撃力や角撃力の波形を計測し、撃力や角撃力の形状の推定に利用できるようにした。



図1 実際の歯とその切削体感.

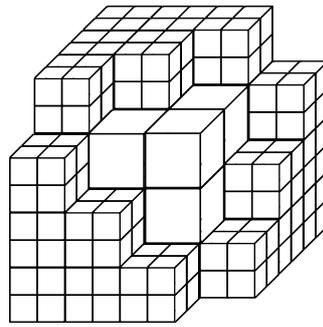
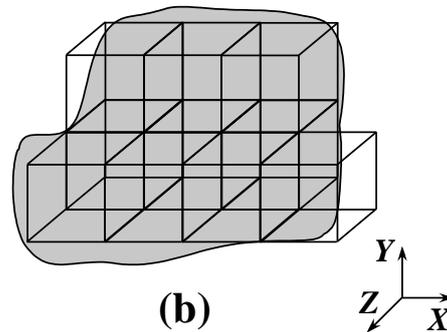
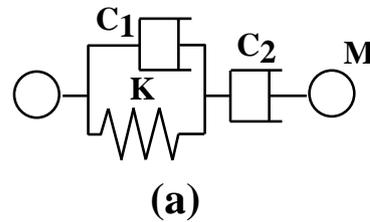


図2 オクトツリーによる物体内部の表現.

続いて2007年度(2年目)は、剛体衝突やレオロジー物体変形を正確にモデル化することに専念した。例えば、人間の歯を削る際の視覚と触覚を実現した

(図1)。このとき、患者の上下歯列、顎関節、デンタルのバーやタービンをCTスキャナで計測し、それらをSTL(三角面多面体)モデルで出力した。そして、それらSTLモデルをオクトツリーに変換した(図2)。オクトツリーは、大きさの異なる多数のボクセルを位置に関する階層構造で表したモデルである。次に、歯とデンタルバーの衝突を、その階層



。隣接質点
- 粘弾性3要素

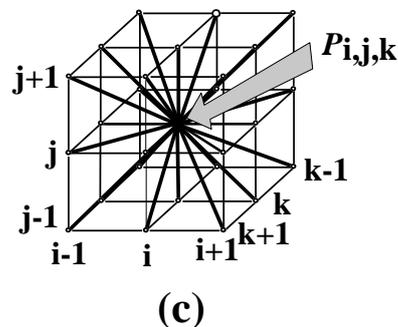


図3 (a) 3要素モデル, (b) 任意物体近似ボクセル集合, (c)隣接質点間の3要素.

構造を利用して高速に絞り込み、衝突チェックの速度の向上を図った。また、患者の歯茎をCTで計測し、そのSTLデータをボクセルの集合で表現し、それにバネ・マス・ダンパの3要素モデルを張り付け、仮想レオロジー物体を構築した(図3)。

そして2008年度(3年目)は、それらを活かした医療シミュレーションシステムの構築に従事した。ここでは、触覚フィードバックデバイス



図4 同時に操作できる2本のPhantom Omni.

(Sensable社のPhantom Omniを使用)を2本利用して、デンタルバーとデンタルミラーを同時に操作し、う蝕(虫歯)の治療にあたる様にした(図4)。また、モニタの出力をミラーに反射させて、歯科医師の膝前に患部を提示し、実際の治療の状態を模擬できるようにした(図5)。



図5 モニタ映像膝前提示システム.

4. 研究成果

この章では、次の3つの観点から、本研究の成果をまとめる。

(1) 仮想レオロジー物体のモデリング: 実際のレオロジー物体をCTで計測し、その形状をボクセルの集合にデジタル近似する。そして、それらのボクセルの頂点に質点を配置し、隣接する質点をバネ・マス・ダンパの3要素モデルで結合する。一般に、筋肉組織は典型的なレオロジー物体なので、このモデルで表現できる。また、このバネ・マス・ダンパを配置したパーティクルモデルは、有限要素法などの計算法と比較し、高速に力伝搬や形状変化をシミュレートできる。

ここでは、このような仮想レオロジー物体モデルが、実際のレオロジー物体の変形と同

じ振る舞いをするかどうかについて実験で確かめた。図6では、実際のレオロジー物体と仮想のレオロジー物体の誤差が特に大き

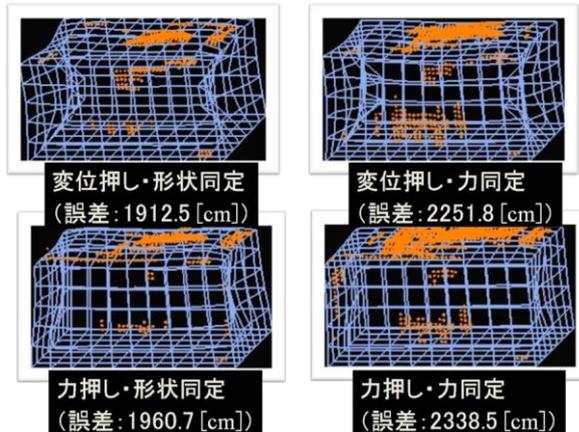


図6 実際と仮想のレオロジー物体の変形とその精度.

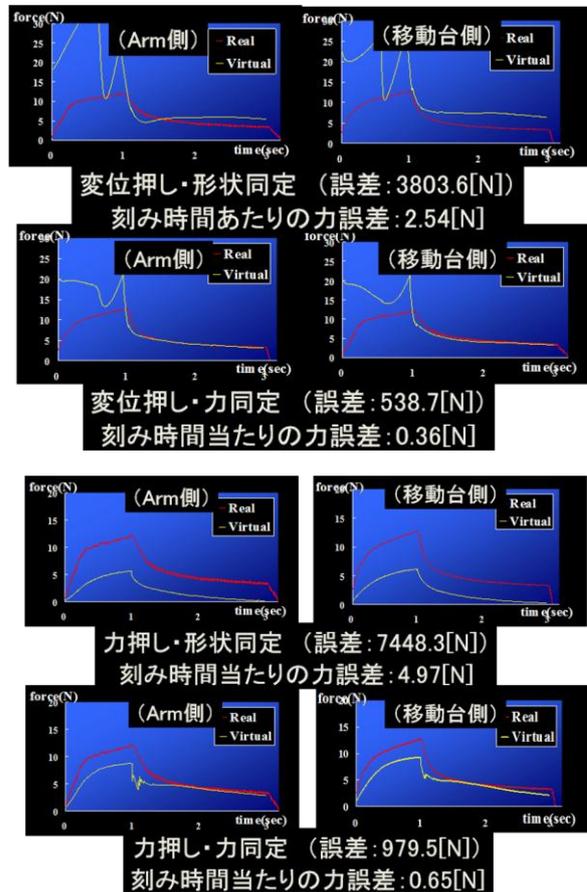


図7 実際と仮想のレオロジー物体からの力波形の比較.

いところを黄色点群で表現した。また、図7では、実際のレオロジー物体からの力波形と仮想のレオロジー物体からの力波形を比較した。

これらの結果から、前述のパーティクルモデルを利用して、実際のレオロジー物体を

押して変形させた挙動が、仮想レオロジー物体を同様に押して変形させた挙動を精度良くシミュレートできることが分かった。

また、筋肉組織内部のボクセルを融合し、大きなボクセルを作成し、それらを位置に関する階層構造（オクトツリーモデル）で表現すると、3要素数が著しく減少し、それによりトータルの計算量が大きく軽減できた。

(2) 階層ボクセル群（オクトツリー）で骨、階層点群でデンタルバーを表現し、バーで骨を切削するモデルの構築：デンタルバーの階層点群がオクトツリーの階層ボクセル群と衝突するところを、お互いの階層構造を用いて高速に絞り込むようにした。

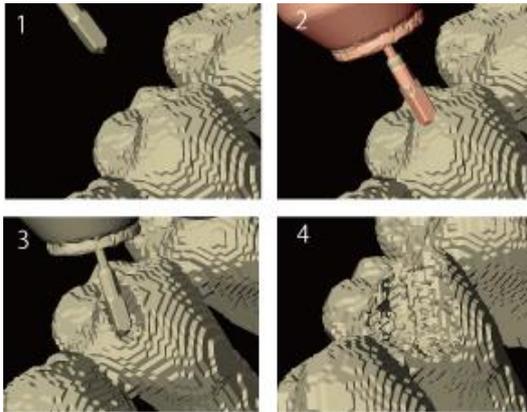


図 8 点群デンタルバーでオクトツリー歯を削る際のストロボショット。

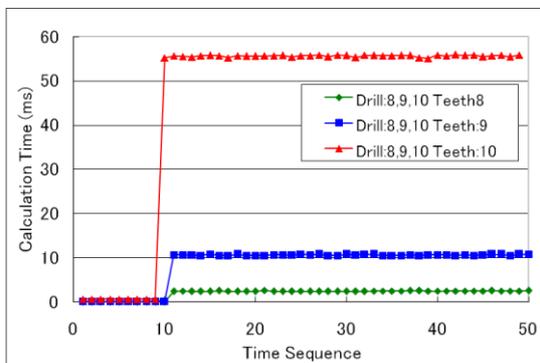
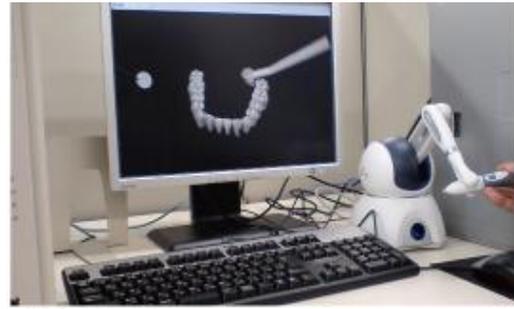


図 9 歯とバーの衝突チェックの計算時間について。

図 8 では、デンタルバーで歯を削っている様子を表している。視覚的にも触覚的にも快適に歯を自由に削ることができる。

また、このときの計算時間を図 9 に示す。一般に、視覚のリアリティは、ビデオレート（33ms）以下に計算時間が収まれば保たれるので、このソフトウェアでは問題がなかった。しかし、触覚のリアリティは、特にこのような剛体衝突においては数 ms 以下に計算時間が収まらなくてはならないので、歯の解像度（オクトツリーの高さ）が上昇すると、

さらに高速化を図らなければならない。



(a) 全体の写真



(b) PHANToM Omni

(c) フットペダル

図 11 口中の治療をデンタルのバーやミラーで実施。

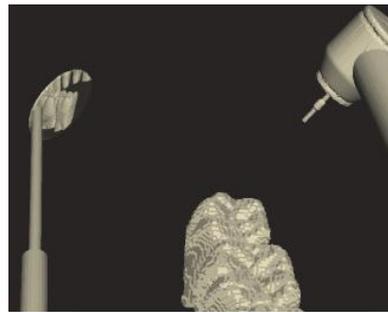
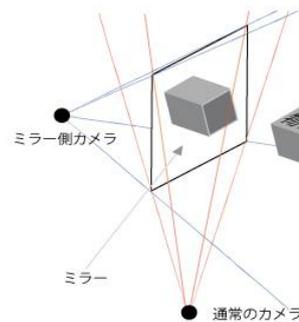


図 10 鏡、(c)バーのシステム全ス。



(3) 歯科医師のための患者オペレーションシステムの構築

ここでは、医師が手術をする際、実際に即したヒューマンインタフェース機能を構築した（図10）。例えば、歯科の治療オペレーションでは、う蝕（虫歯）を探すのにデンタルミラーを使い、それを削るのにデンタルバーを用いる（図11）。

また、歯科では、患者はベッドに寝かされており、医師は上から口中を見ながら治療する。しかし、これまでの人工現実感や複合現

実感の研究では、自分の前のモニタに映し出された患部を見ながら、医師はオペレーションをすることが多い。この問題を解決するため、我々は偏光ミラーを導入し、操作者である医師の膝前に患部を映し出すようなシステムを構築している。また、医師の頭や体の動きに連動して患部も動くように、視覚や触覚の座標系をリアルタイムに変化させ、実際に即しての手術をしているようなリアリティを獲得している。

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10件)

- ① 井川武思, 登尾啓史, “階層レオロジー MSD モデルの形状精度と計算時間について,” VR 医学, Vol. 6, No. 1, pp. 11-23, 2008, 査読有.
- ② Penglin Zhang, Shinichi Hirai, and Kazumi Endo, “A Feature Matching-based Approach to Deformation Fields Measurement from MR Images of Non-rigid Object,” Int. J. of Innovative Computing, Information and Control, Vol. 4, No. 7, pp. 1607-1615, July, 2008, 査読有.
- ③ Hiroshi Noborio, Daisuke Sasaki, Yusuke Kawamoto, Tomoaki Tatsumi, Taiji Sohmura, “Mixed Reality Software for Dental Simulation System,” Proc. of the 7th IEEE Int. Workshop on Haptic Audio Visual Environments and Games, pp. 19-24, 2008, 査読有.
- ④ Hiroshi Noborio, Daisuke Sasaki, Yusuke Kawamoto, Tomoaki Sohmura, “Construction of Dental Simulation System with Mixed Visual, Tactile, and Sound Realities,” Proc. of the 18th International Conference on Artificial Reality and Telexistence, pp. 93-100, 2008, 査読有.
- ⑤ 吉田晴行, 氏部氏章, 登尾啓史, “力/形状でキャリブレーションした MSD レオロジーモデルの力/形状の再現性について,” VR 医学, Vol. 5, No. 1, pp. 40-49, 2007, 査読有.
- ⑥ Takeshi Ikawa and Hiroshi Noborio, “On the Precision and Efficiency of Hierarchical Rheology MSD Model,” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 376-383, 2007, 査読有.
- ⑦ Haruyuki Yoshida, Fumiaki Ujibe, Hiroshi Noborio, “Force/Shape Reappearance of MSD Rheology Model Calibrated by Force/Shape Sequence,” Proc. of the 17th Int. Conf. on Artificial Reality and Telexistence, pp. 121-128, 2007, 査読有.
- ⑧ 柴田瑞穂, 平井慎一, 粘弾性体の位置と変形の同時制御 - 一次元粘弾性体の位置決め可能性 -, 日本ロボット学会誌, Vol. 24, No. 7, pp. 873-880, 2006, 査読有.
- ⑨ Haruyuki Yoshida, Masaya Morino, Norihisa Ogawa and Hiroshi Noborio, “A Force/Displacement Transformation Method for Digitalized Virtual Deformable Object,” Proc. 9th Int. Conf. on Control, Automation, Robotics and Vision, pp. 1097-1102, 2006, 査読有.
- ⑩ 大西克彦, 深津真二, 三田純平, 北村喜文, 岸野文郎, “複数視点の直感的制御のための座標系対連動法の一般化”, 電子情報通信学会論文誌, J89-D-11, pp. 2458-2469, 2006, 査読有.

[学会発表] (計10件)

- ① 加藤智崇, 登尾啓史, “多面体の凸分割とその歯科シミュレータへの応用”, 情報処理学会第12回エンタテインメントコンピューティング研究会, 研究報告 2009-EC-12(3), 2009年3月7日, 京都工芸繊維大学.
- ② 河本裕介, 辰巳智昭, 登尾啓史, 莊村泰治, “GPU を用いて STL をオクトツリーに変換するアルゴリズムについて”, 第 8 回日本 VR 医学会学術大会, プログラム・抄録集 pp. 43-44, 2008 年 8 月 30 日, 名古屋大学.
- ③ 太田貴之, 水篠公範, 長尾明寿, 登尾啓史, 莊村泰治, 熊澤洋一, “遺伝アルゴリズムによる上下歯列の最適噛み合わせ探索について”, 第 8 回日本 VR 医学会学術大会, プログラム・抄録集 pp. 30-31, 2008 年 8 月 30 日, 名古屋大学.

- ④ 水篠公範, 太田貴之, 長尾明寿, 登尾啓史, 莊村泰治, 熊澤洋一, "GPU を用いためり込み計算による顎関節運動の手動操作について," 第8回日本VR医学会学術大会, プログラム・抄録集 pp. 28-29, 2008年8月30日, 名古屋大学.
- ⑤ 佐々木大輔, 阿部達也, 登尾啓史, 河本裕介, 辰巳智昭, 莊村泰治, "オクトツリー歯を点群ドリルで切削する歯科シミュレータの構築," 第8回日本VR医学会学術大会, プログラム・抄録集 pp. 26-27, 2008年8月30日, 名古屋大学.
- ⑥ 辰巳智昭, 河本裕介, 登尾啓史, 莊村泰治, "オクトツリーをSTLに変換して描画するアルゴリズムについて," 第8回日本VR医学会学術大会, プログラム・抄録集 pp. 45-46, 2008年8月30日, 名古屋大学.
- ⑦ 井川武思, 大原孝行, 登尾啓史, "階層レオロジーモデルの形状精度と計算時間の評価に関する研究," 第7回日本VR医学会学術大会, プログラム・抄録集 p. 38, 2007年9月1日, 慶応義塾大学.
- ⑧ 登尾啓史, "(話題提供) 実験に基づく物理シミュレーションの医療応用について," 第6回日本VR医学会学術大会, プログラム・抄録集 p. 16, 2006年9月1日, 大阪大学.
- ⑨ 氏部史章, 吉田晴行, 登尾啓史, "力と形状によるレオロジーモデルのパラメータ同定とその評価", 第11回ロボティクスシンポジウム講演会論文集, pp. 32-37, 2006年3月16日・17日, 佐賀県嬉野温泉ホテル桜.
- ⑩ 井川武思, 吉田晴行, 登尾啓史, "レオロジーモデルにおける精度と速度の評価に関する研究", 第11回ロボティクスシンポジウム講演会論文集, pp. 26-31, 2006年3月16日・17日, 佐賀県嬉野温泉ホテル桜.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.noblab.jp/ja/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

登尾 啓史 (NOBORIO HIROSHI)

大阪電気通信大学・総合情報学部・教授

研究者番号：10198616

(2) 研究分担者

宮崎 文夫 (MIYAZAKI FUMIO)

(2006, 2007年度)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授

研究者番号：20133142

平井 慎一 (HIRAI SHIN-ICHI)

(2006, 2007年度)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：90212167

北嶋 彰 (KITAJIMA AKIRA)

(2006, 2007年度)

大阪電気通信大学・総合情報学部・准教授

研究者番号：00304030

吉田 晴行 (YOSHIDA HARUYUKI)

(2006, 2007年度)

大阪電気通信大学・工学部・講師

研究者番号：90351486

大西 克彦 (ONISHI KATSUHIKO) (2008年度)

大阪電気通信大学・総合情報学部・准教授

研究者番号：20359855

(3) 連携研究者(2008年度)

宮崎 文夫 (MIYAZAKI FUMIO)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授

研究者番号：20133142

平井 慎一 (HIRAI SHIN-ICHI)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：90212167

北嶋 彰 (KITAJIMA AKIRA)

大阪電気通信大学・総合情報学部・准教授

研究者番号：00304030

吉田 晴行 (YOSHIDA HARUYUKI)

大阪電気通信大学・工学部・講師

研究者番号：90351486