

平成 21 年 4 月 10 日現在

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2006～2009

課題番号：18680043

研究課題名（和文）高度治療計画のための術前リハーサルシステムの開発

研究課題名（英文）Developing Preoperative Rehearsal System for Advanced Medical Planning

研究代表者

中尾 恵（NAKAO MEGUMI）

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：10362526

研究成果の概要：

本研究では、鏡視下手術における高度治療計画の支援を目的として、患者個人のボリューム像を用いた術前リハーサルシステムに関する研究開発を実施した。最終年度は、開発してきた基盤技術を術前リハーサルシステムとして統合し、外科医・医療スタッフと共同で、症例データ適用による試用試験を行った。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	15,200,000	4,560,000	19,760,000
2007 年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2008 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
総計	21,600,000	6,480,000	28,080,000

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：医用グラフィクス、臓器変形モデリング、コンピュータ外科学、手術計画支援

1. 研究開始当初の背景

鏡視下手術に代表される先端医療技術に対する安全管理が社会問題として取り上げられつつある。医療手技の訓練に加え、綿密な手術計画、スタッフ内での危険部位の事前確認などによる手術の安全性の向上が求められている。

一方、CT や MRI などの撮像機器の進歩により、一人の患者から一回で 1000 枚以上の断層画像が計測される場合も少なくない。このような大規模なデータに対し、ボリュームレンダリングによる三次元再構築像（ボリューム像）を用い、患者個人の体形、症例に特

化した計画を行うアプローチが考えられる。最近では各診療科からボリューム像を参照するだけでなく、像上で様々な術式をシミュレートし、綿密な計画を行いたいといった要求もあるが、現状の医用画像処理システムは可視化性能には優れるもののシミュレーションに関してほとんど対応できていない。実際には、放射線科医の手作業で作成できる範囲の二次元画像が診療科に送付されることが一般的となっており、計測された膨大なデータが術前計画に十分に活用されていないだけでなく、画像生成のための作業負担が増加の一途となっている。

2. 研究の目的

本研究では、鏡視下手術における高度治療計画の支援を目的として、患者個人のボリューム可視化像（ボリューム像）を用いた術前リハーサルシステムに関する研究開発を目的としている。手術時に想定される生体臓器・軟組織の物理的な変化の実時間シミュレーション、可視・可触化に関する要素技術を新規開発し、医療手技の試行、綿密な手術計画の立案を支援するシステム構築・検証を目指す。

3. 研究の方法

初年度は、医用画像データから生成される人体・臓器ボリューム像上で、術中に想定される変形や切開などの物理現象をシミュレートし、実時間で可視化するためのシミュレーションフレームワーク、手術プラン入力用のインターフェースを開発した。

次年度は臓器変形シミュレーション結果の可視化アルゴリズムの向上、生体臓器に代表される弾性体の力学特性計測環境の構築、患者個人の医用画像データからのモデリング作業の自動化に関する研究開発を実施した。

最終年度は、開発してきた基盤技術を術前リハーサルシステムとしてまとめ、外科医・医療スタッフと共同で、症例データを適用することによる検証試験を実施した。

4. 研究成果

(1) ボリューム像の実時間変形・加工シミュレーション技術の開発

手術中に生体内部の物理現象をシミュレートし、ボリューム像の変化として可視化する

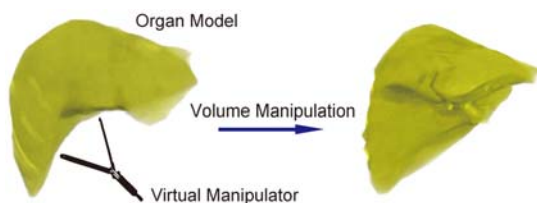


図 1. 術具形状のバーチャルマニピュレータによるボリューム像の変形

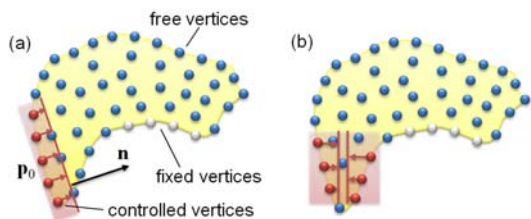


図 2. 面制約による臓器形状の操作モデル

ための有限要素モデル、ボリュームレンダリング要素技術を開発した。検証の結果、開発モデルは臓器に対する切開や変形の際の形状変化を妥当かつ高速にシミュレートし、シミュレーション結果を可視化できることが分かった。（図1, 図3, 図4）

(2) 手術計画入力インターフェースの開発
患者ボリューム像に対して切開と開創、把持などの手術手技を簡便に入力可能なインターフェースを開発した。術具による面操作に対応し、操作領域を実時間可視化することによって三次元操作を支援できる。（図2）

(3) 鏡視下手術における手術手技試行環境の構築

患者ボリューム像に対し、鏡視下術具デバイスを通して手術手技を試行できる環境を準備した。

(4) ボリューム変形・陰影処理アルゴリズムの開発

ボリューム変形結果を高速に、かつ、陰影の変化を伴って可視化するボリュームグラフィクスアルゴリズムを開発した。GPU (Graphics Processing Unit) 上での演算に対応し、汎用PCにおいても 512³の大規模な医用画像を用いた臓器変形シミュレーション結果を毎秒 10 フレーム以上でリアルタイムに描出することが可能となった。（図 5）

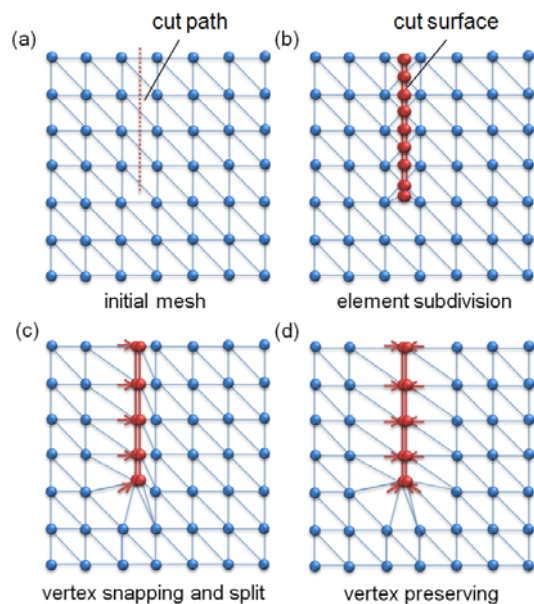


図 3. 頂点数を保存した組織切開モデル

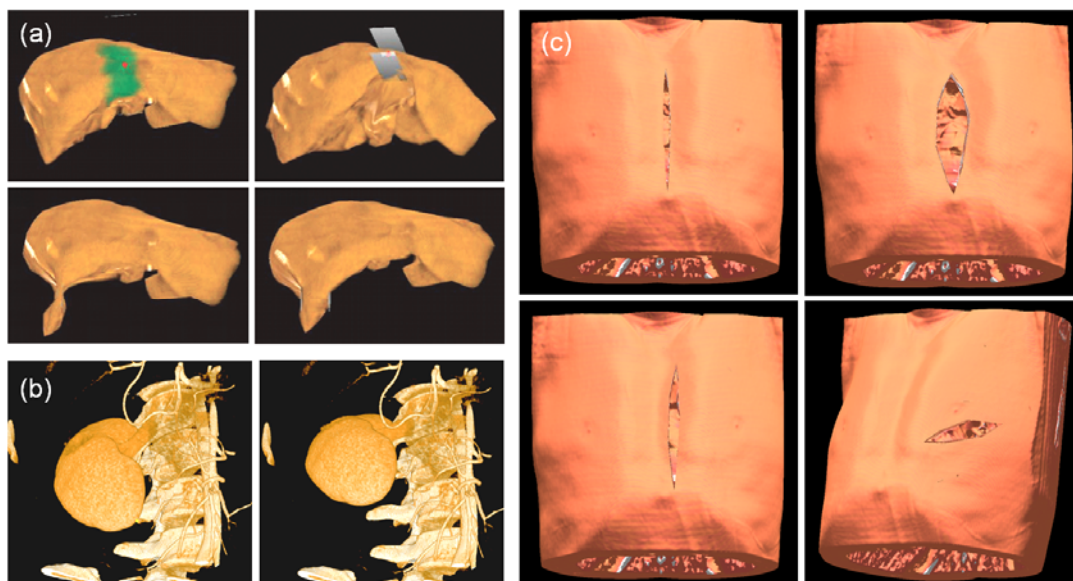


図 4. ボリューム像の実時間変形シミュレーション結果 (a) 肝臓に対する術具を用いた変形 (b) 腎臓の回転操作 (c) 体表に対する切開と開創

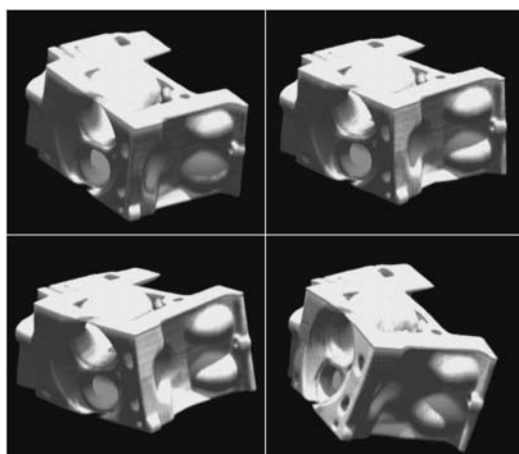


図 5. 変形に対応したボリューム陰影処理結果



図 6. 弾性体操作時の位置・姿勢・力計測

(5) 弾性体操作時の位置・姿勢・力計測システムの開発

テック技販社製 3 軸力センサと MicroBird6 軸位置・姿勢計測装置を用い、弾性体に対する押し込み操作などに対して発生する力と位置・姿勢情報をリアルタイムに計測可能なシステムを構築した。また、計測した触覚情報を、力覚提示デバイスを通して体感できるシステムを開発した。(図 6)

(6) 術前リハーサルシステムの構築

これまでに開発した技術を統合し、サーバから取得した患者個人の医用画像集合から形状・弾性情報を供えたボリューム像を生成し、

モデルに対して直接的に計画内容の入力、手術手技の模擬を行うためのインターフェースとシミュレーションエンジンを備えた術前リハーサルシステムを構築した。

(7) 臨床症例データ適用による術前リハーサルシステムの試用試験

胸腔鏡下の肺腫瘍摘出手術、泌尿器科における腎臓摘出手術などを対象として、症例データをシステムに適用することにより、術前リハーサルを想定した検証を実施した。手術において録画された術野映像と比較し、実際の臓器の変形に類似したシミュレーションが可能であることを確認した。(図 4, 図 7)

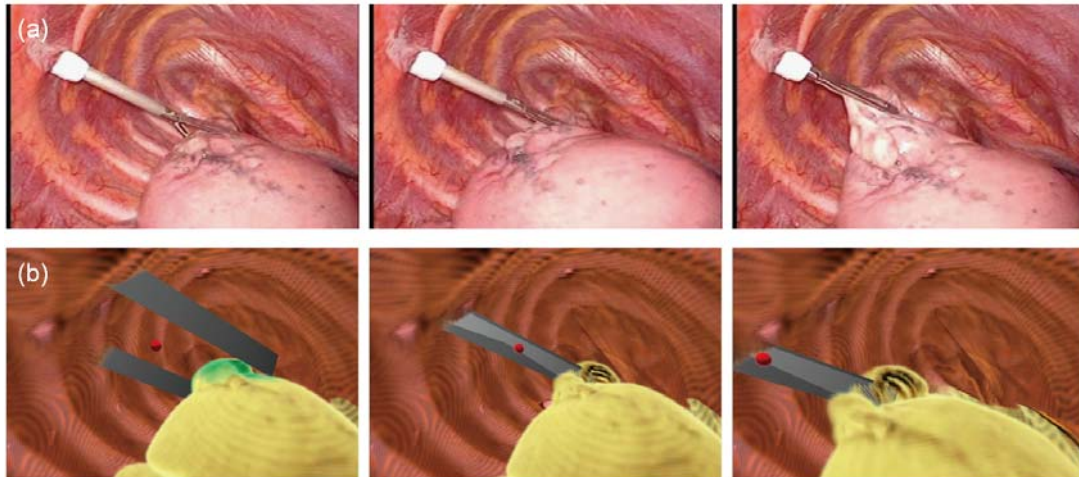


図 7. 実測 CT・手術ビデオを用いた臓器変形の検証 (a) 内視鏡下肺部分切除における実際の肺の変形と (b) ボリューム変形シミュレーション結果

(8) ボリューム像の術中支援画像としての有効性と課題の検証

6 自由度位置・姿勢取得センサと開発システムを組み合わせ、術前において症例ボリューム像上に計画された内容を、支援画像として術中において用いることを想定した実験環境を構築した。術中の内視鏡の動きと連動してシミュレーション結果を提示できることを確認した。

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 11 件)

1) M. Nakao and K. Minato, "Physics-based Interactive Volume Manipulation for Sharing Surgical Process", IEEE Trans. Information Technology in Biomedicine, 2009 (in press) 査読有

2) 川島 礼子, 中尾 恵, 小久保 雅樹, 湊小太郎, "放射線動体追尾照射のための肺腫瘍の変位推定及び可視化方法", 電子情報通信学会論文誌, Vol. D91-7, pp.1829-1836, 2008. 査読有

3) 中尾 恵, 河本 敏孝, 杉浦 忠男, 湊小太郎, "弾性変形モデルに対する頂点数を保存した切開方法", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 12, No. 4, pp.585-594, Dec 2007. 査読有

4) 中尾 恵, "弾性体の物理モデリング (2)", MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY, Vol. 25,

No. 5, pp.409-412, Nov. 2007. 査読無

5) 中尾 恵, "弾性体の物理モデリング (1)", MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY, Vol. 25, No. 4, pp. 303-306, Sep. 2007. 査読無

6) 中尾 恵, 黒田 知宏, "医療における力覚メディア", 電子情報通信学会誌, Vol. 90, No. 8, pp.659-664, Aug. 2007. 査読無

7) 中尾 恵, "リアルタイムボリュームグラフィクス", MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY, Vol. 25, No. 3, pp. 203-206, Jul. 2007. 査読無

8) M. Nakao, T. Kuroda, M. Komori, H. Oyama, K. Minato and T. Takahashi, "Transferring Bioelasticity Knowledge through Haptic Interaction", IEEE Multimedia, Vol. 13, No. 3, pp.50-60, 2006. 査読有

9) M. Nakao, T. Kuroda, H. Oyama, G. Sakaguchi and M. Komeda, "Physics-Based Simulation of Surgical Fields for Preoperative Strategic Planning", Journal of Medical Systems, Vol. 30, No. 5, pp. 371-380, 2006. 査読有

10) 黒田 嘉宏, 平井 真, 中尾 恵 (他 4 名, 3 番目), "多指力覚提示装置を用いた臓器圧排シミュレータに関する研究", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 日本バーチャルリアリティ学会, Vol.11, No.4, pp.515-525, Dec. 2006.

11) ミッコ・リッサネン, 黒田 嘉宏, 中尾 恵 (他 4 名, 3 番目) "外科手術教育を目的とした注釈つきVRシミュレーション記録の研究 -

力のかけ方の実時間可視化における利点の評価 -", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 日本バーチャルリアリティ学会, Vol.11, No.4, pp.527-536, Dec. 2006.

〔学会発表〕(計 26 件)

- 1) 道畑 暁, 中尾 恵, 湊 小太郎, "局所座標系に基づくひねりや回転に対応した弾性変形モデル", 情報処理学会 VC/GCAD合同研究会, 2009. (発表予定, 査読有)
- 2) H. K. W. Cecilia, M. Nakao and K. Minato, "Automated Volume Sampling Optimization for Direct Volume Deformation in Patient-Specific Surgical Simulation", IEEE International Symposium on Biomedical Imaging, 2009. (発表予定, 査読有)
- 3) Y. Hirata, M. Nakao, T. Sugiura and K. Minato, "Curvature-based Volume Visualization of Local Structures", ACM SIGGRAPH Asia (sketch), 2008.
- 4) H. K. W. Cecilia, M. Nakao and K. Minato, "Optimized Volume Sampling based on Manipulation Points for Volume Deformation", ACM SIGGRAPH Asia Conference (sketch), 2008.
- 5) 中尾 恵, "リアルタイムオーダーメイド手術シミュレーション", バイオメックフォーラム 21 講演, 2008.
- 6) M. Nakao, K. Minato, N. Kume, S. Mori and S. Tomita, "Vertex-preserving Cutting of Elastic Objects", IEEE Virtual Reality, p. 377-378, 2008.
- 7) M. Nakao, S. Yano, T. Matsuyuki, T. Kawamoto and K. Minato, "Interactive Volume Manipulation for Supporting Preoperative Planning", Stud. Health Tech. Inform. (MMVR), Vol. 125, pp. 316-321, 2008.
- 8) M. Nakao, A. Kawashima, K. Minato, M. Kokubo, "Simulating Lung Tumor Motion for Dynamic Tumor-Tracking Irradiation", IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, pp. 4549-4551, 2007.
- 9) S. Yano, M. Nakao and M. Kotaro, "Real-time Volume Shading for Deformable Model", ACM SIGGRAPH(poster), 2007.
- 10) 中尾 恵, 河本 敏孝, 湊 小太郎, "柔らかな

い物体に対する切開の実時間シミュレーション方法", Visual Computing/グラフィクスとCAD 合同シンポジウム, pp. 125-128, 2007.

- 11) Y. Kuroda, M. Hirai, M. Nakao, T. Sato, T. Kuroda, Y. Masuda and O. Oshiro, "Construction of Training Environment for Surgical Exclusion with a Basic Study of Multi-finger Haptic Interaction", IEEE Proc. of World Haptics, pp.525-530, 2007.
- 12) M. Rissanen, Y. Kuroda, M. Nakao, N. Kume, T. Kuroda, H. Yoshihara, "Toward Visualization of Skill in VR: Adaptive Real-Time Guidance for Learning Force Exertion through the "Shaping" Strategy", IEEE Proc. of World haptics, pp. 324-329, 2007.
- 13) Y. Kuroda, M. Hirai, M. Nakao, T. Sato, T. Kuroda, K. Nagase and H. Yoshihara, "Organ Exclusion Simulation with Multi-finger Haptic Interaction for Open Surgery Simulator", Medicine Meets Virtual Reality, pp.244-249, 2007.
- 14) Y. Kuroda, T. Takemura, N. Kume, K. Okamoto, K. Hori, M. Nakao, T. Kuroda and H. Yoshihara, "Semi-automatic Development of Optimized Surgical Simulator with Surgical Manuals", Medicine Meets Virtual Reality, pp. 250-255, 2007.
- 15) M. Rissanen, Y. Kuroda, M. Nakao, N. Kume, T. Kuroda, K. Nagase and H. Yoshihara, "A Novel Approach for Training of Surgical Procedures Based on Visualization and Annotation of Behavioral Parameters in Simulators", Proc. Medicine Meets Virtual Reality, pp.388-393, 2007.
- 16) N. Kume, Y. Kuroda, M. Nakao, T. Kuroda, H. Yoshihara and M. Komori, "A Proposal of Speculative Operation on Distributed System for FEM-Based Ablation Simulator", Proc. Medicine Meets Virtual Reality, pp.238-240, 2007.
- 17) M. Nakao, T. Matsuyuki, T. Kuroda, K. Minato, "Physics-based Manipulation of Volumetric Images for Preoperative Surgical Simulation", Asia Simulation Conference, pp. 377-380, 2006.
- 18) Y. Kuroda, M. Hirai, M. Nakao, T. Kuroda, H. Yoshihara, "Interactive

Manipulation and Stress Visualization with Multi-finger Haptic Device", Asia Simulation Conference, pp. 367-371, 2006.

19) N. Kume, Y. Kuroda, M. Nakao, T. Kuroda, K. Nagase, H. Yoshihara, M. Komori, "Speculative FEM Simulation System for Invasive Surgical Operation with Haptic Interaction", Asia Simulation Conference, pp. 372-376, 2006.

20) Y. Kuroda, M. Hirai, M. Nakao, T. Kuroda, K. Nagase and H. Yoshihara, "Multi-finger Haptic Interaction for Soft Tissue Exclusion Manipulation", ACM SIGGRAPH Poster, 2006.

21) Y. Kuroda, M. Nakao, T. Kuroda, K. Nagase, H. Oyama and H. Yoshihara, "Performance of Position Detection Tasks under Restriction of Finger's Movement", Eurohaptics, pp.263-268, 2006.

22) M. Rissanen, Y. Kuroda, M. Nakao, N. Kume, T. Kuroda and H. Yoshihara, "Editing Recorded Haptic Data with SiRE - Simulation Record Editor", Eurohaptics, pp.543-546, 2006.

23) M. Rissanen, Y. Kuroda, N. Kume, M. Nakao, T. Kuroda and H. Yoshihara, "Audiovisual Guidance for Simulated One Point Force Exertion Tasks", ACM VRCIA, pp.365-368, 2006.

24) M. Nakao, Y. Kuroda, T. Sato, T. Kuroda and K. Minato, "Volume Interaction Framework for Preoperative Surgical Simulation on Volumetric Images", Computer Assisted Radiology and Surgery, Vol. 1, pp. 156-158, June 2006.

25) M. Rissanen, Y. Kuroda, N. Kume, M. Nakao, T. Kuroda and H. Yoshihara, "Interactive Authoring of Example Surgical Procedures from Recorded Physics-based Simulation", Computer Assisted Radiology and Surgery, Vol. 1, pp. 154-156, 2006.

26) Y. Kuroda, M. Nakao, T. Kuroda, H. Oyama and H. Yoshihara, "Study of spatial anisotropy in finger's haptic perception for advanced palpation training", Computer Assisted Radiology and Surgery, No. 1, p495, 2006.

[図書] (計4件)

1) 中尾 恵, 黒田 知宏, 湊 小太郎, "医療と触

覚", 感覚・感情工学とロボット (社団法人 日本機械学会編), pp. 349-360, Oct. 2008.

2) 湊 小太郎, 中尾 恵, "医用画像工学の現状と展望", 画像ラボ, Vol. 19, No.9, pp.53-57, 2008. 査読無

3) 中尾 恵, シミュレーション ~情報の世界のしくみ~, 数件出版 情報B三訂版, p. 2, 2007.

4) 中尾 恵, 黒田 嘉宏, 佐藤 寿彦, 黒田 知宏, 湊 小太郎, "対話型ボリューム変形・加工システムによる開創・臓器変形のシミュレーション", 外科 Vol. 69, No. 1, pp.36-42, 2007.

[産業財産権]
○出願状況 (計3件)

名称: 情報処理装置およびプログラム
発明者: 中尾 恵, 湊 小太郎
権利者: 奈良先端科学技術大学院大学
種類: 特願
番号: 2009-084221
出願年月日: 平成 21 年 3 月 31 日
国内外の別: 国内

名称: 情報処理装置およびプログラム
発明者: 中尾 恵, 湊 小太郎
権利者: 奈良先端科学技術大学院大学
種類: 特願
番号: 2008-21440
出願年月日: 平成 20 年 8 月 22 日
国内外の別: 国内

名称: 情報処理装置等
発明者: 中尾 恵, 湊 小太郎
権利者: 奈良先端科学技術大学院大学
種類: PCT
番号: JP2006/314148
出願年月日: 平成 18 年 7 月 17 日
国内外の別: 国外

[その他]
ウェブページ:
<http://kotaro.naist.jp/~meg/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中尾 恵 (NAKAO MEGUMI)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号: 10362526