

課題番号	LR003
------	-------

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)
実施状況報告書(平成 25 年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	力覚触覚提示装置を用いた脳外科手術シミュレータの開発
研究機関・ 部局・職名	北海道大学・大学院情報科学研究科・教授
氏名	近野 敦

1. 当該年度の研究目的

平成 25 年度は、これまで個々に開発してきた要素技術を統合し、具体的な手術模擬が可能な脳外科手術シミュレータとしてまとめる。開発した脳外科手術シミュレータの有効性を検証するために、脳腫瘍剥離・摘出を題材としたシステムの評価を行う。評価は東北大学大学院医学研究科の神経外科学を専門とする教員に依頼する。脳外科手術の基礎技術である、圧排、鋭的剥離（切開）、鈍的剥離等の模擬が精度よく行われているかを評価する。

2. 研究の実施状況

これまでに開発してきた、脳組織モデル、頭蓋骨モデル、力覚・触覚提示シミュレーション技術、手術器具による切開シミュレーション技術、実時間変形・反力高速計算技術などを、脳外科手術シミュレータとして統合した。脳の側面にあるシルビウス裂(図1)をかき分けた奥にある島部と呼ばれる部位に腫瘍があると想定し(図2)、その腫瘍を取り除く手術をシミュレーションの題材とした。島部腫瘍摘出手術の中で、(1) シルビウス裂を脳べらで開放し(圧排)島部への視野を確保(図3)、(2) 島部の視野が確保された状態で左手に吸引管、右手にマイクロ剪刀(はさみ)を持ち、腫瘍部を周りの正常な組織から剥離し摘出(図4)、の二つの手術場面を再現しシミュレーションを行った。できるだけ精密なモデルを用いつつ実時間でシミュレーションを行うために、上記(1)、(2)の二つの手術場面に對し異なる脳モデルを用いた。また、(1)、(2)の手術場面に不要な、脳全体を覆う硬膜、くも膜などは、高速化のために今回のモデルでは省略した。脳は有限要素法(FEM)を用いてモデル化し、その特性には豚の脳を用いた特性試験によって得られた値を用いた。腫瘍部の特性は、過去の文献で報告されている値を用いた。

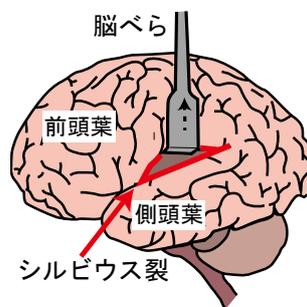


図 1 シルビウス裂

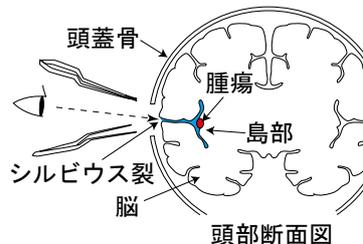


図 2 島部にできた腫瘍

脳は柔軟組織であり、手術中の脳の挙動を正確に模擬するためには動的な挙動の再現が不可欠である。そのため、有限要素モデルを用いた動力学方程式を導いた。手術シミュレータにおいて、動力学計算は陽解法を用いて解く方法が一般的であった。陽解法は高速に求解できる反面、サンプリング時間を極めて細かくとらないと計算が不安定になる。そのため開発するシミュレータでは陰解法による求解を用いた。陰解法では数値的な不安定化は発生しない。

精密なモデルを用いつつ実時間でシミュレーションを行うために、(a) 手術器具と脳モデルの接触判定、(b) 脳の全体剛性行列の再構築、(c) 連立一次方程式の求解、の部分の計算を GPU (Graphics Processing Unit) で行い、高速化した。脳モデルにトポロジー変化が生じない限り(b)の計算は最初の一度のみ必要で(c)の計算も最初の一度のみ時間がかかり後は高速に行える。しかし脳腫瘍摘出では、腫瘍部と周辺組織の境界組織の切開が必要であり(図 5)、切開に伴い脳モデルにトポロジー変化が生じるために、そのたび脳の有限要素モデルの全体剛性行列の再構築が必要となり、計算負荷の高い(b)、(c)の計算を高速に行う必要が生じる。

脳の全体モデルを用いた脳裂圧排などの手術シミュレーションは、従来研究では高計算負荷のために実時間で行うことができず、これまで開発されたカナダ国家研究評議会 (NRCC) の NeuroTouch、ImmersiveTouch 社の ImmersiveTouch などでは実現されていない。神戸大学で脳全体のモデルを用いて小脳圧排のシミュレーションを行った例があるが、オフラインでの計算であり、そのため力覚の操作者への提示も行われていない。本研究では動力学計算に、計算が不安定化しない陰解法を用いることでサンプリング時間を比較的長めにとり、かつ計算のボトルネックとなっている部分の計算を GPU で行うことにより高速化し、実時間で力覚提示を行うシミュレーション(ハプティックシミュレーション)を実現した。このような脳全体モデルを用いたハプティック手術シミュレーションの実現例は国内外で見当たらない。

開発した脳外科手術シミュレータの評価を、東北大学大学院医学研究科の2名の脳神経外科医に依頼し、図 3, 4 に示す(1) シルビウス裂圧排、(2) 脳腫瘍摘出、の二つを体験していただいた。実際の手術との操作感の違いなど、有用な指摘をいただいた。また、今後の実用化に向けて、手術を行う外科医の技量を数値的に表現する機能があると良い、という意見をいただいた。今後、本シミュレータを発展させていく上で、大いに参考としたい。なお、シミュレータは没入型ディスプレイと6自由度ハプティックデバイスに実装しているが(図 6)、評価は東北大学で行ったために簡易版のハプティックデバイスを使用した。



図 3 シルビウス裂圧排



図 4 脳腫瘍摘出



図 5 腫瘍部の剥離 (切開)



図 6 没入型ディスプレイと6自由度ハプティックデバイスへの実装

様式19 別紙1

3. 研究発表等

雑誌論文 計 1 件	<p>(掲載済み一査読有り) 計 1 件 Teppei Tsujita, Kazuya Sase, Atsushi Konno, Masano Nakayama, Chen Xiao Shuai, Koyu Abe, Masaru Uchiyama, Design and Evaluation of an Encountered-type Haptic Interface Using MR fluid for Surgical Simulators, Advanced Robotics, Vol. 27, No. 7, pp. 525-540, DOI:10.1080/01691864.2013.777013, 2013.</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計 0 件</p> <p>(未掲載) 計 0 件</p>
会議発表 計 4 件	<p>専門家向け 計 4 件 Takuya Kameyama, Teppei Tsujita, Atsushi Konno, Xin Jiang, Satoko Abiko, and Masaru Uchiyama, Displaying Cutting Force of Soft Tissue Using MR Fluid for Surgical Simulators, IEEE Haptics Symposium, pp. 283-288, 2014. Atsushi Konno, Masano Nakayama, Xiaoshuai Chen, Akira Fukuhara, Kazuya Sase, Teppei Tsujita, and Satoko Abiko, Development of a Brain Surgery Simulator, The International Symposium on Interdisciplinary Research and Education on Medical Device Developments, pp. 29-32, 2013 (招待講演) 福原光正, 辻田哲平, 佐瀬一弥, 近野敦, 姜欣, 安孫子聡子, 内山勝, 脳裂開放シミュレーションのための接触判定法の提案, ロボティクス・メカトロニクス講演会'13 講演論文集, 2A1-L02, 2013. 井上祐人, 辻田哲平, 安孫子聡子, 姜欣, 内山勝, 近野敦, 脳外科手術シミュレータ用マイクロ剪刀モジュールによる切断感覚提示, 第 31 回日本ロボット学会学術講演会, 1G2-03, 2013.</p> <p>一般向け 計 0 件</p>
図書 計 0 件	
産業財産権 出願・取得状況 計 0 件	<p>(取得済み) 計 0 件</p> <p>(出願中) 計 0 件</p>
Webページ (URL)	<p>脳外科手術シミュレータの開発 http://scc.ist.hokudai.ac.jp/research/brainsurgery/brainsurgery-j.html</p>
国民との科学・技術対話の実施状況	<p>2013年6月8日(土)13:30~15:30に北海道大学工学部において公開講座「情報科学から知る医療応用」を開催した(北海道大学大学院情報科学研究科 平田拓教授, 舘野高教授との共同開催)。この公開講座は、(公財)北海道生涯学習協会が主催する道民カレッジ http://manabi.pref.hokkaido.jp/hsgk/college/ の連携講座として開催し、道民カレッジの受講生に、多数参加いただいた。</p>
新聞・一般雑誌等掲載 計 0 件	
その他	

4. その他特記事項

実施状況報告書(平成25年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されず

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	99,000,000	85,388,000	13,612,000	0	0
間接経費	29,700,000	25,616,400	4,083,600	0	0
合計	128,700,000	111,004,400	17,695,600	0	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	9,056,070	13,612,000	0	22,668,070	22,668,070	0	0
間接経費	0	4,083,600	0	4,083,600	4,083,600	0	0
合計	9,056,070	17,695,600	0	26,751,670	26,751,670	0	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	21,283,952	デスクトップPC、没入型ディスプレイ、GPUクラスシステム等
旅費	912,361	研究打ち合わせ(東北大学)等
謝金・人件費等	0	
その他	471,757	学術講演会参加登録費等
直接経費計	22,668,070	
間接経費計	4,083,600	
合計	26,751,670	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
デスクトップPC	システムワークス社 POWER MASTER Vision S9924	1	843,465	843,465	2013/7/12	北海道大学 (東北大学へ貸与中)
没入型ディスプレイ	DevinSense Display 700	1	4,830,000	4,830,000	2014/1/24	北海道大学
GPUクラスシステム	(株)オー・ティ・ ビー	1	11,014,500	11,014,500	2014/1/10	北海道大学