

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 24 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 23 年度までに、(1) 力覚・触覚提示装置とそのシステム開発、および(2) 脳組織モデルの構築、を行った。後半の 2 年で各種手術手技の模擬手法の開発、手術の具体例を題材とした評価、を行っていく。平成 24 年度は (3) マイクロ剪刀を用いた切開模擬、(4) 鋭的剥離操作模擬技術の開発、(5) 鈍的剥離操作模擬技術の開発、を行い、また(6) 縫合技術の開発、(7) 脳腫瘍剥離・摘出を題材としたシステムの評価、の一部に着手する。

2. 研究の実施状況

平成 24 年度は、マイクロ剪刀(はさみ)型切断力提示装置の改良、鋭的剥離(切開)・鈍的剥離(応力集中による剥離)模擬技術の開発、手術器具と脳の高速度接触判定法の開発、これらの技術評価のための脳裂(大脳縦裂とシルビウス裂)圧排(ヘラで脳を押しつけて裂を開放していく手術操作)シミュレーションを行った。研究計画では「(6) 縫合技術の開発、(7) 脳腫瘍剥離・摘出を題材としたシステムの評価、の一部に着手する」としていたが、平成 24 年度は重要度の高い(7)を優先し、(6)は平成 25 年度に行うこととした。以下に開発した技術の詳細を述べる。

平成 23 年度にマイクロ剪刀型切断力提示装置(図 1)を開発していたが、歯車部の摩擦やガタの影響で、はさみの開閉を行ったときに刃先にかかる力の測定値に再現性が無く(図 2(a))、操作者に精度の良い切断力感覚が提示できていなかった。そこで平成 24 年度は機構の改良を行い、はさみの開閉を行ったときの刃先力の再現性が大幅に改良できた(図 2(b))。

平成 23 年度に、脳の精細有限要素モデル(ノード数 9,126, 四面体要素数 34,401)を作成した。平成 24 年度はこの有限要素モデルに粘弾性を考慮した高速動力学シミュレーション技法の開発

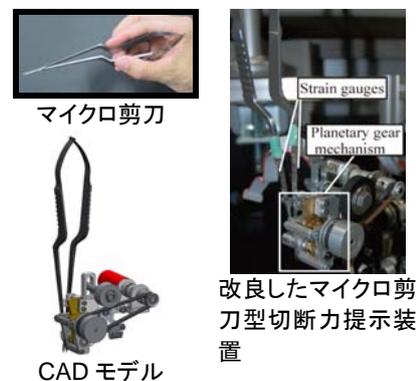


図 1 マイクロ剪刀型切断力提示装置の改良

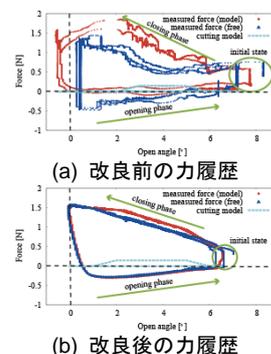


図 2 改良前と改良後の開閉時力履歴

と、手術器具と脳の多点接触高速判定法の開発、これらを評価するための脳裂圧排シミュレーションを行った。通常の有限要素モデルでは、ノードの変位を求めるために剛性行列の逆行列計算が必要になる。変位を求めるだけであれば剛性行列の逆行列計算は一度のみ行えば良いが、切開や剥離などで要素間接合に変化があると剛性行列と逆行列の再計算が必要となり、この計算はノード数の数  $n$  の2乗に比例する計算量となる。脳に術具で操作を与えたときの反力を操作者に提示するためには、実時間(おおよそ 30 ms 以下が望ましい)でこれらの計算を行わなければならないが、ノード数の多い詳細モデルでは実時間計算が困難であった。この問題に対し、動力学計算の技術を応用することで剛性行列の逆行列を計算すること無くノードの変位を求める手法を開発した。動力学計算では剛性行列の逆行列計算が必要でなくなる代わりに剛性行列と同サイズの慣性行列の逆行列が必要になるが、今回のモデルでは慣性行列が対角行列となり、その逆行列はそれぞれの対角要素が逆数になったものになるので、いわゆる「逆行列計算」が必要ない。ノード数 512、四面体要素数 1908 の直方体モデル(図 5)で計算時間を従来手法と比較したところ、提案手法では計算時間が 1/6 となり大幅な短縮ができることを確認した。

また、従来の接触判定では、ある瞬間に脳ペラと脳が図 4(a)のような位置関係にある場合、脳ペラの緑の接触点が脳の緑で示した表面を押し込んでこのような状態になっているのか、あるいは脳ペラのオレンジの接触点が脳のオレンジで示した部位を押し込んだのかの判定ができず、図 4(b)のように判定されていた。これに対し、脳ペラの前ループでの位置から脳ペラの動きを推定し、適切に脳の強制変位を計算する手法を新たに開発した。この接触判定法により、図 5 のように術具と生体組織が複数の部位で接触し、複数の部位が変形するような判定を実時間で行うことが可能となった。

以上の開発した技術を総合的に評価するために、ノード数 9,126、四面体要素数 34,401 の全脳モデルで、脳の側面にあるシルビウス裂と呼ばれる脳裂を、圧排と呼ばれる、脳ペラでかき分けて開放していく操作のシミュレーションを行った(図 6)。その操作によって生じる脳の変形と、術具にかかる反力を実時間で計算し、力覚提示装置で操作者に反力を提示することが可能であることを確認した(図 7)。

実際の手術では、図 6, 7 のように脳全体が暴露していることはなく、頭蓋骨の一部に穴を空けての手術となるために、今後は頭蓋骨モデルを作成し、より実際の手術に近いモデルを構築する。また、現在は血管モデルを構築しており、圧排操作時の過度な力による血管破壊などを再現できるよう、システムを改良中である。

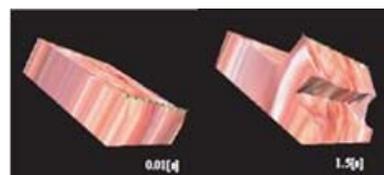


図3 粘弾性体鈍的剥離シミュレーション

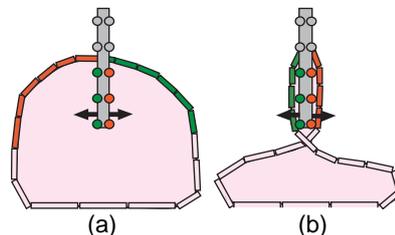


図4 接触判定失敗例

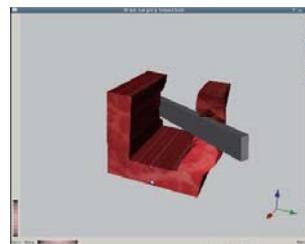


図5 術具との多点接触による生体組織モデルの複数部位同時変形

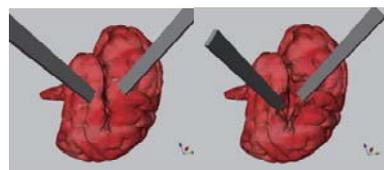


図6 シルビウス裂圧排シミュレーション

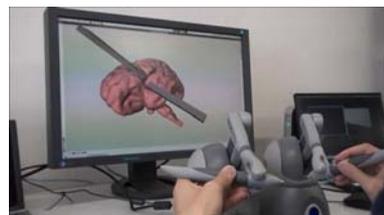


図7 脳ペラによるシルビウス裂圧排シミュレーション時の力覚提示

様式19 別紙1

3. 研究発表等

雑誌論文	(掲載済み一査読有り) 計0件
計1件	(掲載済み一査読無し) 計0件  (未掲載) 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.
会議発表	専門家向け 計3件 Teppei Tsujita, Manabu Ohara, Kazuya Sase, Atsushi Konno, Masano Nakayama, Koyu Abe and Masaru Uchiyama, Development of a Haptic Interface Using MR Fluid for Displaying Cutting Forces of Soft Tissues, Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation, RiverCentre, Saint Paul, Minnesota, USA, pp. 1044-1049, May 2012.  佐瀬一弥, 中山雅野, 佐竹恵和, 安孫子聡子, 姜欣, 辻田哲平, 近野敦, 内山勝, 実脳モデルを用いた脳裂開放シミュレータの実時間性評価, ロボティクス・メカトロニクス講演会'12 講演論文集, 日本機械学会, (2012/5/28-29), 2P1-U03.  庄司怜平, 井上祐人, 陳曉帥, 中山雅野, 阿部幸勇, 姜欣, 安孫子聡子, 辻田哲平, 近野敦, 内山勝, 脳神経外科手術シミュレータ用力覚提示装置の開発と評価, ロボティクス・メカトロニクス講演会'12 講演論文集, 日本機械学会, (2012/5/28-29), 2P1-U04.  一般向け 計0件
図書	
計0件	
産業財産権 出願・取得状 況	(取得済み) 計0件  (出願中) 計0件
計0件	
Webページ (URL)	脳外科手術シミュレータの開発 <a href="http://scc.ist.hokudai.ac.jp/research/brainsurgery/brainsurgery-j.html">http://scc.ist.hokudai.ac.jp/research/brainsurgery/brainsurgery-j.html</a>
国民との科学・技術対話 の実施状況	2012年10月27日13:30~16:30, 北海道大学サステナビリティーウィークイベントの一環として, 北海道大学学術交流会館第4会議室にて「やさしい情報科学とライフイノベーション公開講座」と題した市民講座を開催した。北海道大学大学院情報科学研究科でNEXTプログラムに採択されている他の2名の研究者と共に講演を行った。
新聞・一般雑誌等掲載	
計0件	
その他	なし

4. その他特記事項

なし

実施状況報告書(平成24年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されません

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	51,768,000	33,620,000	13,612,000	0
間接経費	29,700,000	15,530,400	10,086,000	4,083,600	0
合計	128,700,000	67,298,400	43,706,000	17,695,600	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	0	33,620,000	24,229	33,644,229	24,588,159	9,056,070	0
間接経費	0	10,086,000	0	10,086,000	10,086,000	0	0
合計	0	43,706,000	24,229	43,730,229	34,674,159	9,056,070	0

3. 当該年度の執行額内訳 (単位:円)

	金額	備考
物品費	16,796,302	モーションキャプチャーシステム、脳モデル作成ソフトウェア等
旅費	1,037,260	研究打ち合わせ(東北大学)等
謝金・人件費等	6,474,322	博士研究員1名雇用費
その他	280,275	学術講演会参加登録費等
直接経費計	24,588,159	
間接経費計	10,086,000	
合計	34,674,159	

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
KRONOS S810Rワ ークステーション	Ciara Technologies社 製 ラックマウント 型	3	1,033,200	3,099,600	2012/10/30	北海道大学
デスクトップパソコン	Apple MacPro ZOP2	1	643,320	643,320	2013/2/12	北海道大学
モーションキャプチャーシステム	米国NaturalPoint 社製 OptiTrack Prime41(12) 外	1	6,550,950	6,550,950	2013/2/27	北海道大学