

図4 遅延時間のプロファイルを4次元の埋め込みプロット (左が winXP, 右が Redhat7.3 で実装)
 左の第一リアプノフ指数=0.80 右の第一リアプノフ指数=0.95 の状態で winXP の方がより決定論的状態 (準安定) に近いと思われる
 Fig.4 Examples of distribution on 4-dimentional embedded space for latency on 260GX (Left: winXP, Right: Redhat 7.3) First Lyapunov exponent on the left diagram is around 0.8 and the right diagrams takes 0.95.

これらの結果から、総合的に Notifier を 260GX(winXP)で実装することで結合試験を実施した。

3.3 統合環境におけるパフォーマンス評価

前節の Latency の測定結果を踏まえて、ターゲットのスレーブシステム (Supplier) を RT-Linux(TIMESYS 社製)、Notifier を winXP, および Java Logger (Consumer) を winXP という構成にて結合試験を実施した。

試験結果の一例を図5に示す。図の連番は Supplier 側のスレーブシステムが指定したタイミングで定期的にデータを Logger 側で受け取り、ハードディスクに記録したものである。したがって realtime モードで Supplier が動作保証されている場合でかつ Logger 側の記録の連番が抜けていない場合には、確実に指定したフレーム周期でデータを受け取っていると解釈される。図から、Supplier 内の socket 通信の送信側を 40msec フレーム、同受信側を 20msec フレーム (つまり Logger 側とこれは同期) させた場合に、800 メッセージの転送

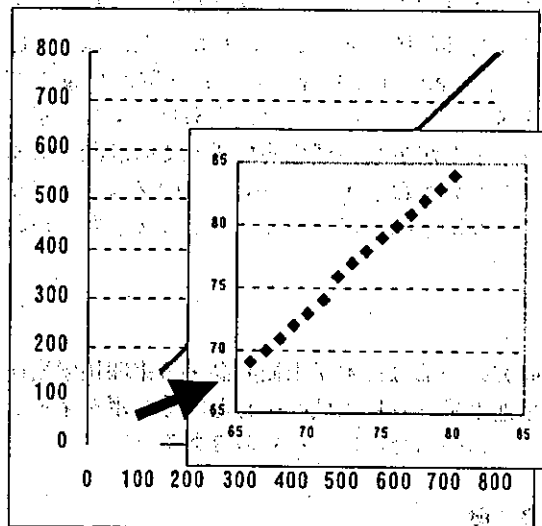


図5 試験結果 (スレーブ 40msec → 20msec supplier)
 Fig.5 Result of Logging Data (slv 40msec → 20msec supplier)

において5メッセージが missing となった、 $800/5=160$ メッセージに1回、定期的な mis-catch が発生している。これらの mis-catch は、少なくとも 100msec フレームで転送する場合には消失することが確認できた。

4. まとめ

ネットワーク接続を前提とした分散型医療機器システムの開発において、機器間のデータのやりとりを CORBA(ACE/TAO)を用いて実装した。開発環境と総合接続環境が異なることを前提に、単体での開発段階において装置間の Latency (通信遅

延時間)の測定を実施した。その結果、Push同期型イベントサービスを利用する場合、長時間の接続において最大遅延時間を小さくするためには、CORBA通信に介在するPCのハードウェア性能を揃えることが望ましい。大量のイベントが発生する環境下でかつ、SupplierとConsumer(Java Logger)が2GHz程度、かつNotifierが1GHz程度のCPUのときには、winXPをNotifierにした場合に最大遅延時間は安定して20msec程度に押さえることができる。遅延時間が20msecを超えるのは1万回に1回程度の確率(99.999%)であることがわかった。長期的な通信(260000回)から99.999%の確率で発生する大きな遅延時間は、予備的な統計解析から通常の遅延時間の揺らぎの枠を越えた外れ値であることがわかった。以上の結論は、188個のdouble型データと4個のlong型整数をメッセージ送信した場合であり、また背景トラフィックが少ない理想的な状況での計測である。イベント発生数とイベントあたりのメッセージ量との経験則を明らかにすることが今後必要と思われる。

本研究の一部は日本学術振興会・未来開拓学術研究推進事業「外科領域を中心とするロボティクスシステムの開発」によるものである。

参考文献

- 1) D. C., Schmidt: An Overview of OMG CORBA Event Service, <http://www.cs.wustl.edu/~schmidt/PDF/coss4.pdf>
- 2) ACEおよびTAOのトップページ, <http://www.cs.wustl.edu/~schmidt/ACE.html>
<http://www.cs.wustl.edu/~schmidt/TAO.html>
- 3) 八木昭彦, 橋爪誠, 土肥健純, 波多伸彦: CORBAを用いた異種環境統合システムの開発及び評価, 第12回日本コンピュータ外科学会大会・第13回コンピュータ支援画像診断学会大会合同論文集, pp.99-100, Dec, 2003.
- 4) 八木昭彦, 大杉伸也, 橋爪誠, 土肥健純, 波多伸彦: 分散オブジェクト技術を用いた外科手術支援ディスプレイシステムの開発, 日本コンピュータ外科学会誌, Vol.5, No.2, pp.103-109, 2003.

磁力駆動手術マニピュレータの開発

Development of a Magnetic Driven Surgical Manipulator

○ 元吉 正樹 (早大) 正 岡本 淳 (早大) 正 藤江 正克 (早大)

Masaki MOTOYOSHI, Jun OKAMOTO, Masakatsu G. FUJIE
Waseda University, 3-4-1, Ohkubo, Shinjuku-ku, Tokyo 169-8555, Japan

Abstract

This paper proposes a manipulator for depths of internal organs such as lungs. This manipulator is based on minimally invasive surgery. The manipulator is driven by Magnetic force. The small coils on the manipulator produce the force by passing current in a generated external magnetic field. By using magnetism, the manipulator is safe as low voltage in the body and structure is simple. As a basis, 1-DOF prototype was designed and made, and then evaluated.

Key Words: Minimally invasive surgery, Computer assisted surgery, Magnetic drive system

1. 序論

近年、外科分野において患者への負担の少ない低侵襲手術が求められており、手術支援ロボットが臨床に用いられるようになりつつある。しかし、現在使用されている手術支援ロボットには鉗子が直線状で臓器深部へアプローチできないという問題がある。そこで本研究では、従来手術を行うことのできなかつた肺の内部などに進入でき、複雑な分岐点において正確かつ素早く目的とする進路を選択して手術を行うことのできるカテーテル状のフレキシブルな手術用マニピュレータの開発を行う。

進路を選択し目的とする場所へ誘導するという点で類似した技術として能動カテーテルの研究が行われている。これまで形状記憶合金アクチュエータを利用した研究⁽¹⁾や液圧を利用した研究⁽²⁾がなされているが、形状記憶合金アクチュエータを利用したものは体内で高電圧が必要となり、液圧を利用したものは制御がやや難しいという問題点がある。本研究では、これらの問題を解決するため、磁力駆動のマニピュレータの機構を提案した。

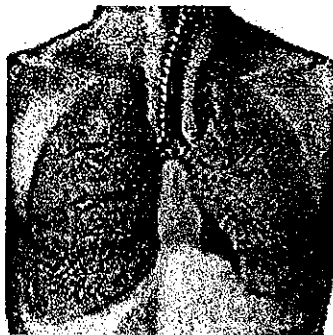


Fig.1-1 Basic concept

2. 駆動原理

マニピュレータを患部へ誘導するための駆動には磁力を用いる。これは外部から強力な磁場をかけ、その磁場内で柔らかなチューブ状のマニピュレータに複数個ついたコイルへそれぞれ電流を流すことにより別の方向の磁場を発生させ、その磁力による曲げモーメントでマニピュレータを駆動させるものである。本研究では外部磁場の方向によってマニピュレータの曲がる方向を変え、コイルの電流によって曲げ角度を変える。

このような磁力を利用してマニピュレータの駆動を行うことにより

- 外部磁場を強くすることにより体内に入るマニピュレータの電圧が小さくてすむ。
- 単純な構造であり小型化が容易である。
- 制御が比較的容易である。

といった利点を持つ。

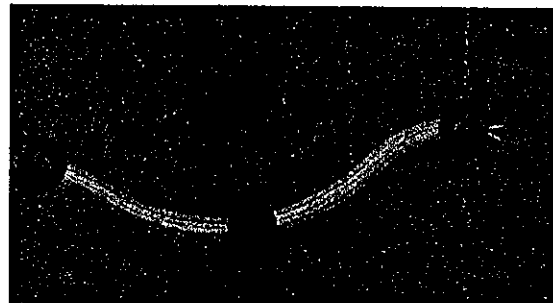


Fig.2-1 Conceptual design

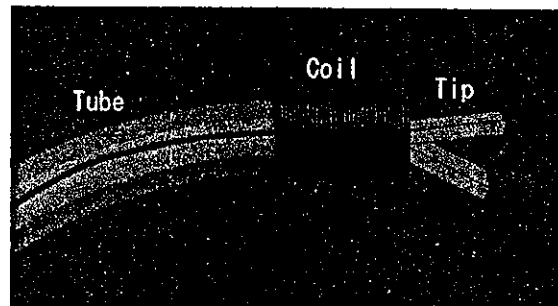


Fig.2-2 Enlarged view of conceptual design

マニピュレータの先端部の詳細図を Fig.2-2 に示す。

マニピュレータは大きく先端部・コイル・チューブの3部分に分類される。先端部には患部を扱うエンドエフェクタが装着される。コイルは電流を流すことによりマニピュレータ駆動用の曲げモーメントを発生させる。また、コイルには直接電流が流れるため漏電対策の必要がある。チューブはシリコンゴムチューブで構成され、内部をエンドエフェクタの駆動のための伝達要素やコイルの導線が通る。

3. 実験

3.1 動作確認

マニピュレータを患部へ誘導するための曲げ動作の確認および特性把握のため1自由度試作を行った。先端部以外はアルミパイプに装着・固定し、先端のチューブ部のみを可動部とした。マニピュレータの全体図を Fig.3-1 に、外部磁場をかけマニピュレータ上のコイルに電流を流した際の曲げ動作の様子を Fig.3-2 に示す。

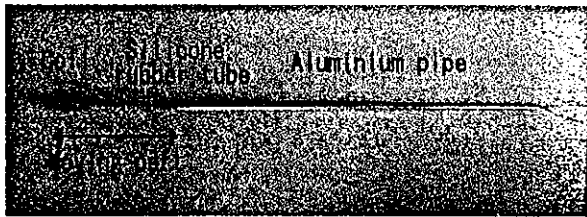


Fig.3-1 Prototype of the manipulator

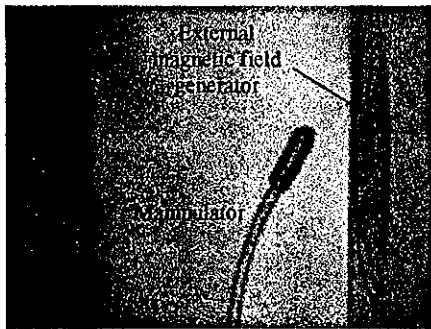


Fig.3-2 Bending motion

3.2 曲げモーメント

マニピュレータ先端部にかかる曲げモーメントをロードセルを用いて測定した。測定の際にロードセルが磁気の影響を受けないようワイヤを用いて離れた場所から測定を行った。外部磁場の磁束密度を 25, 50, 75, 100[mT] で一定にしてコイルの電流を変化させた場合の曲げモーメントの値を Fig.3-3 に示す。

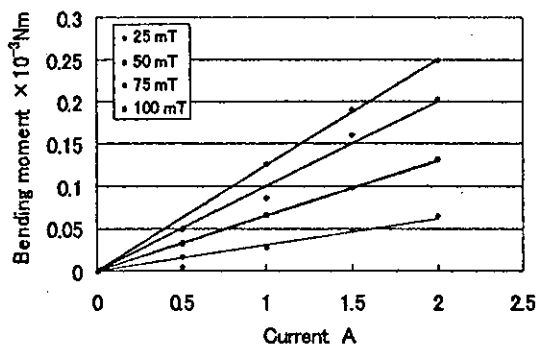


Fig.3-3 Relation between current and Bending moment

コイルの電流と曲げモーメントの間に線形性が確認された。

次にコイルの電流を 0.5, 1.0, 1.5, 2.0[A] で一定にして外部磁場の磁束密度を変化させた場合の曲げモーメントの値を Fig.3-4 に示す。

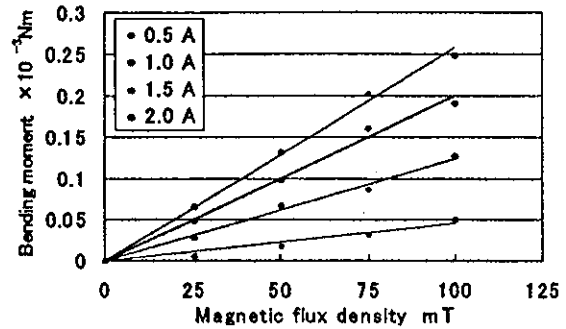


Fig.3-4 Relation between Magnetic flux density and Bending moment

これより、外部磁場の磁束密度と曲げモーメントの間には線形性が確認された。

3.3 曲げ角度

マニピュレータのコイルの電流を変化させ、曲げモーメントを変化させたときの曲げ角度を画像より測定した値を Fig.3-5 に示す。

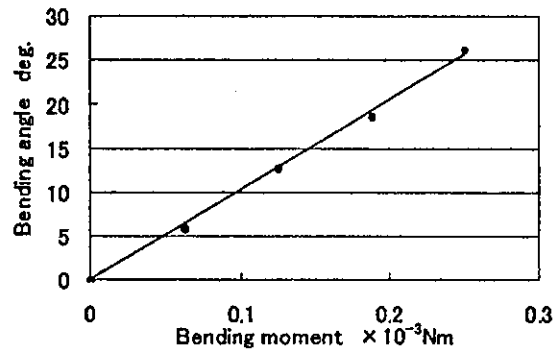


Fig.3-5 Relation between Bending moment and Bending angle

これより、曲げモーメントと曲げ角度の間に線形性があることが確認された。

したがって 3.2 節より曲げ角度はコイルの電流および外部磁場の磁束密度に線形性があることが確認された。

4. 結言

本研究では、従来手術を行えなかった肺などの部位の手術を対象とした、磁気駆動のマニピュレータの考案を行い、その1自由度要素試作を行った。その結果、マニピュレータの曲げ角度はコイルの電流および外部磁場の磁束密度と線形であることが確認された。今後はエンドエフェクタを装着した際の反力の影響も考慮に入れ制御システムの確立に努める。

5. 参考文献

- (1) Toshio Fukuda, Shuxiang Guo, Kazuhiro Kosuge, Fumihito Arai, Makoto Negoro and K.Nakabayashi, Micro Active Catheter System with Multi Degrees of Freedom, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp2290-2295 vol.3
- (2) 生田幸士, 市川尊信, 山本隆弘, 鈴木克也, “高安全能動カテーテルのトータルシステムの構築”, ロボティクス・メカトロニクス講演会, '01 講演論文集, 2P1-D3, 2001

Open-MRI 下における低侵襲胎児手術用マニピュレータの開発

○原田香奈子^a, 坪内広太^a, 千葉敏雄^b, 藤江正克^a^a早稲田大学大学院理工学研究科, ^b国立成育医療センター

Manipulators for intrauterine fetal surgery in an Open MRI

K.Harada^a, K.Tsubouchi^a, T.Chiba^b, M.G.Fujie^a^a Graduate School of Science and Engineering, Waseda University, Tokyo, Japan^b Department of Strategic Medicine, National Center for Child Health and Development, Tokyo, Japan

Abstract: We propose a new surgical robotic system for intrauterine fetal surgery in an Open MRI. The target disease of the fetal surgery is spina bifida or myelomeningocele that is incomplete closure in the spinal column and one of the common fetal diseases. In the proposed surgical process, the abdominal wall and uterine wall would not widely be opened but rather surgical instruments inserted through the small holes in both walls to perform minimally invasive surgery. In this paper, a prototype of the micro manipulator of diameter is 2.4mm and bending radius 2.45 mm is presented. The diameter and bending radius of this manipulator is the smallest ever developed among surgical robots to the best of the knowledge of the investigating authors. The mechanism of the manipulator includes two ball joints and is driven using four wires able to bend through 90 degrees in any direction. The features of the mechanism include a small diameter, small bending radius, ease of fabrication, high rigidity and applicability for other surgical applications. Although the manipulator is not yet MRI compatible, the feature of the prototype demonstrated the feasibility of robotic intrauterine fetal surgery.

Key words: Surgical robot, Fetal surgery, Spina bifida, Intrauterine repair, Open MRI

1. 胎児手術

本研究では、二分脊椎(Spina bifida)を対象とした Open MRI 下の低侵襲胎児手術を対象とする。二分脊椎症は、脊髄の脊柱正中線上の骨形成不全により脊髄の一部が露出する疾患であり、主に下半身背部に発生しやすい。二分脊椎は命に関わる疾患ではないが、出生後に下半身不随や脳の障害と伴うことが多く、妊娠中の脊髄縫合手術により、出生後の障害が軽減する。既に数百例の手術実施例があるものの、手術による効果や手術方法については未だ議論の余地がある¹⁾⁴⁾。

他の分野の手術と比較した場合の胎児手術の課題を以下に示す。

- 1)胎児が小さく、(250-650g)脆弱である。
- 2)胎児は羊水中に浮遊しており、位置や姿勢が不安定である。
- 3)術具の挿入位置は胎盤の位置に依存し、子宮内の作業スペースが限られる。
- 4)羊水は混濁しており、明瞭な内視鏡画像を得ることが困難である。
- 5)羊水中では、電気メスなど汎用の術具の性能が十分発揮できない。
- 6)子宮や胎児への刺激は、早産を誘発する、または帝王切開による出産を余儀なくする。
- 7)麻酔下の弛緩した子宮は、常に大量出血のリスクを

伴う。

- 8)母親側にも、感染症にかかるまたは次回妊娠の可能性を失うというリスクがある。

上記課題を解決するため、我々は Open-MRI 下におけるロボット支援手術を提案する。

2. Open MRI 下での手術プロセス

本研究において提案する手術プロセスを以下に示す。

1)-7)のプロセスは、Open-MRI の外部で行う。手術のプロセスを Fig.1,手術全体のコンセプトを Fig.2 に示す。

- 1)羊水の量を調整し、手術の作業空間を確保する。
- 2)超音波下で観察しながら内視鏡を挿入する。
- 3)超音波・内視鏡下でスタビライザー用トロカール(外径 3mm 以下)を挿入する。
- 4)超音波・内視鏡下でスタビライザーを挿入する(患部がスタビライザーの中心にくるように吸着する)。
- 5)内視鏡とスタビライザーを固定する。
- 6)鉗子ロボット用トロカール(外径 3mm 以下)の挿入位置と角度を算出する(鉗子駆動範囲が術野をカバーするように算出する)。
- 7)超音波下・内視鏡下で術具用トロカールと鉗子ロボットを挿入し、固定する。
- 8)ベッドを Open MRI 下へ移動する。
- 9)Open MRI 下で鉗子ロボットを操作する。

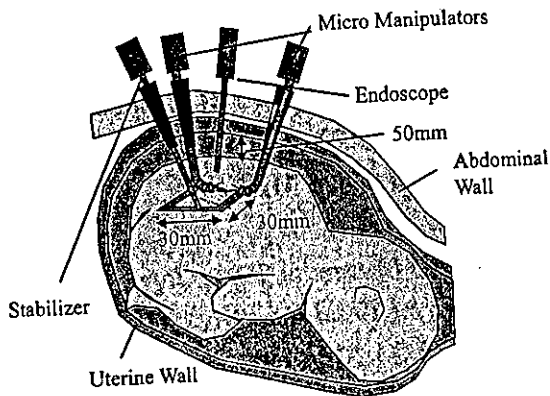


Fig.1 Surgical instruments for the proposed fetal surgery
(The outer diameter of each cannula is less than 3mm)

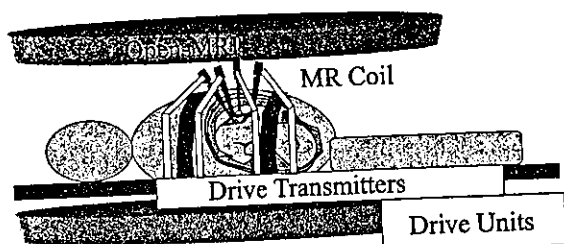


Fig.2 Surgical robotic system for intrauterine fetal surgery in Open MRI

3. 鉗子マニピュレータの試作

前述の手術プロセスを想定し、細径の鉗子屈曲先端部を試作した。設計図をFig.3、部品の写真をFig.4、試作した屈曲部をFig.5に示す。本機構の特徴としては、直径2.4mm・曲げ半径2.45mmと胎児手術にとって十分小さいこと、任意の角度に90度の屈曲が可能であること、組み立てが容易であること、剛性が高いこと、ボールジョイント内部も中空のため他のアプリケーション開発が容易であることが挙げられる。MRIでの評価は行っていないが、部品はチタン製であり、今後MRI Compatibilityを評価する予定である。

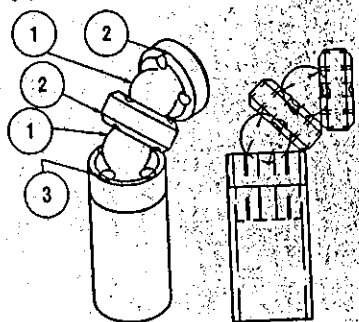


Fig.3 New design of the mechanism
(In Fig3, No.1: ball with a through-hole, No.2: parts of the bending mechanism, No.3: a part inserted into a pipe. All of them have four holes for the wire path. Nos.2 and .3 are made of Titanium with MRI compatibility)

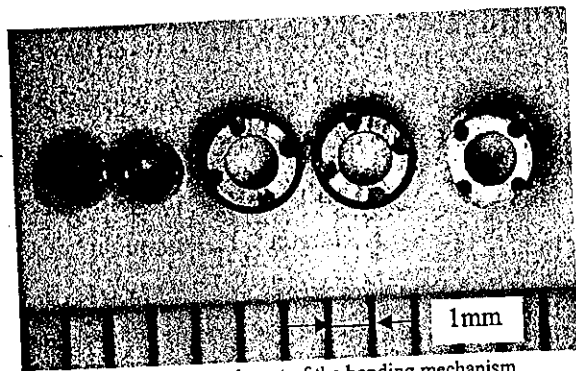


Fig.4 Each part of the bending mechanism

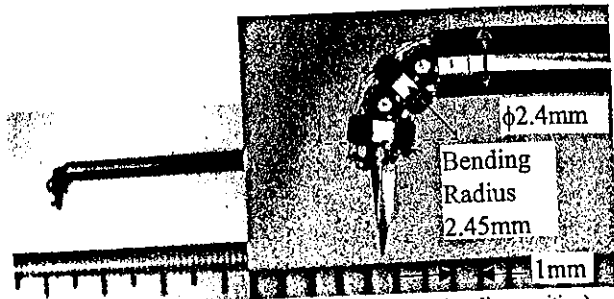


Fig.5 The tip of the fabricated prototype (bending position)

4. 考察とまとめ

本論文では、Open MRI下の低侵襲胎児手術のプロセスを提案し、試作した鉗子ロボット先端部を示した。MRI対応、滅菌のための分離機構の設計等、課題はあるものの、ロボット支援低侵襲胎児手術の可能性を示すことができた。

今後は、胎児手術にとって最も重要とされるスタビライザーの開発と、手術システム全体の開発、Open MRI下での評価に重点を置いて研究を進めていく。

文献

- 1) T.Chiba, M.R.Harrison, C.T.Albanese and D.L.Farmer, "Fetal Surgery: Past, Present, and Future," Fetal Surgery Japan Society of Prenatal and Neonatal Medicine, Vol.36, No.4, pp.524-539, 2000
- 2) N.Tulipan, "Intrauterine closure of myelomeningocele an update", Neurosurgery Focus, Vol.16, pp1-4, February, 2004
- 3) Oran S. Aaronson, Noel B. Tulipan, Robert Cywes, Hakan W. Sundell, Georges H. Davis, Joseph P. Bruner, William O. Richards, "Robot-Assisted Endoscopic Intrauterine Myelomeningocele Repair: A Feasibility Study", Pediatric Neurosurgery, 2002 36: pp85-89.
- 4) T. Kohl, et al., "Percutaneous fetoscopic patch coverage of experimental lumbosacral full-thickness skin lesions in sheep", Surg Endosc (2003) 17: pp1218-1223.

Robotic Surgery

脳神経外科における Robotic Surgery

1) 東京女子医科大学先端生命医科学研究所大学院医学研究科先端生命医科学系専攻先端工学外科学分野,

2) 東京女子医科大学脳神経センター脳神経外科, 3) 日立製作所, 4) テルモ

伊関 洋¹⁾²⁾, 村垣 善浩¹⁾, 中村 亮一¹⁾, 西澤 幸司¹⁾³⁾
大森 繁¹⁾⁴⁾, 林 基弘¹⁾²⁾, 堀 智勝²⁾, 高倉 公朋¹⁾

Robotic Surgery

脳神経外科における Robotic Surgery

- 1) 東京女子医科大学先端生命医科学研究科大学院医学研究科先端生命医科学系専攻先端工学外科学分野,
 2) 東京女子医科大学脳神経センター脳神経外科, 3) 日立製作所, 4) テルモ

伊関 洋¹⁾²⁾, 村垣 善浩¹⁾, 中村 亮一¹⁾, 西澤 幸司¹⁾³⁾
 大森 繁¹⁾⁴⁾, 林 基弘¹⁾²⁾, 堀 智勝²⁾, 高倉 公朋¹⁾

キーワード CAS, precision guided surgery, robotic surgery, laser ablation, medical traceability

I. はじめに

コンピュータ外科は、1980年代後半からコンピュータ統合による診断・手術プランニングに臨床応用することから始まり、手術ナビゲーションシステムへと発展してきた²⁾。更に90年代初頭より、外科医の新しい手であるインテリジェントデバイスとしてのロボット手術が始まった。低侵襲手術におけるマニピュレーション（ロボット技術）の活用が、これからの脳外科手術の鍵である。しかし、人間の手やはしがけることをロボットがしても意味は無い。重要なのは、ロボットでしかできないことをすることである。術中診断画像機器の発展とともに、オープンMRIも手術室に設置され、外科医の新しい眼である術中画像診断が当たり前となった。診断・ナビゲーションは既に、術中にリアルタイムになされる事が要求されている。取得した術中情報を基に、正確にCAD (Computer-aided design) でプランニングしたおりに治療装置をCAM (Computer aided manipulation) でコントロールする診断即治療の時代となった。

II. 外科医の新しい手をコントロールするための情報処理技術

医者（オペレータ）がロボット手術をするにあつ

ては、現時点では手術操作の情報のやり取り、すなわち作動するマニピュレータをどうコントロールするかとか、決められた単純なワークをいかに効率的にするかなど視覚情報のみでマニピュレータを操作している。しかし、手術を完遂するにあたっては、術野の視覚情報だけで手術をするのではなく、患者の生理情報や手術の工程解析など様々な医療情報が必要である。特に重要なのは、治療の過程を可視化することで情報の共有化し、手術スタッフ各自の役割と操作している内容が関係者全員で理解されていることにある。手術治療ロードマップを作成し、患者をどんな状態に持っていくかを定量的目標として設定する。そして、ロボット治療の選択肢を事前に評価して、ロボットにすべきか通常の手術操作にするかの選択を行う。手術計画にしたがって、手術戦略デスクは術中モニターや術中撮影の情報を収集して、執刀医に手術戦略地図やナビゲーション情報をオンラインで供給する。執刀医は手術戦略地図を使って、操作部位を計画と照合しつつ操作を行うのである³⁾⁴⁾。

III. 精密誘導手術のための外科医の新しい手の概念

我々の開発しているロボットは、端的に言うとインテリジェントデバイスである。その仕様は、①デバイ

ROBOTIC SURGERY IN NEUROSURGICAL FIELD

Hiroshi Iseki^{1,2)}, Yoshihiro Muragaki¹⁾, Ryoichi Nakamura¹⁾, Kouji Nishizawa^{1,3)}, Shigeru Omori^{1,4)}, Motohiro Hayashi^{1,2)}, Tomokatsu Hori²⁾ and Kintomo Takakura¹⁾

Division of Advanced Biomedical Engineering & Science, Graduate School of Medicine, Institute of Advanced Biomedical Engineering & Science¹⁾/Dept. of Neurosurgery²⁾, Tokyo Women's Medical University
 Hitachi, Ltd.³⁾, Terumo Corporation⁴⁾

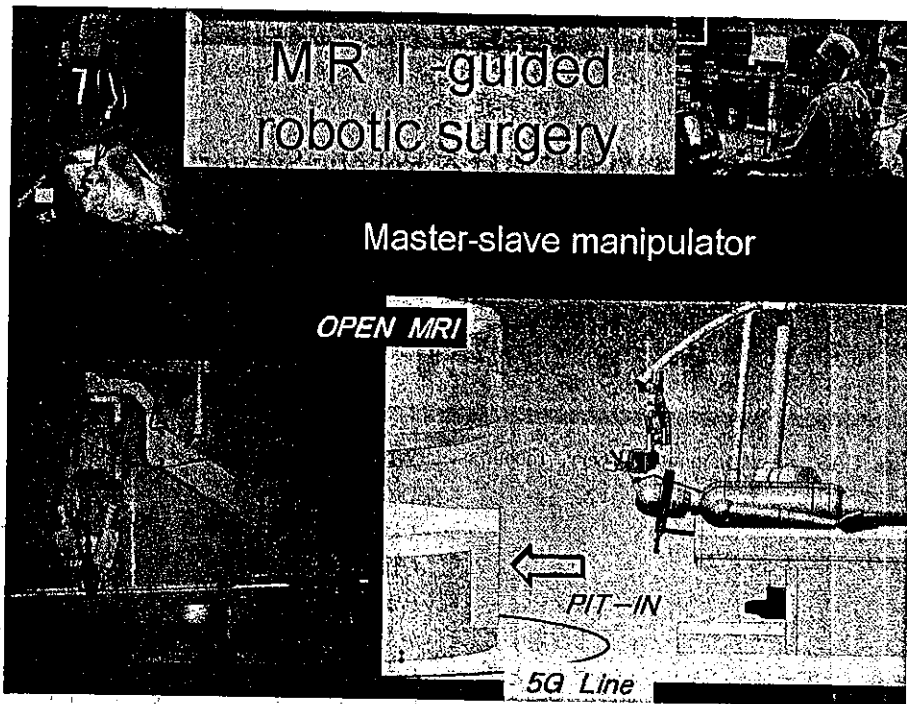


Fig. 1 MR compatible micro-manipulator system

スの三次元動作ログを常に時系列的に記録することで、常に医療トレーサビリティを保障する機能。②設定された三次元空間・目標に対して一定の（できれば6軸以上の）自由度で、コンピュータでデザインされたとおりに、コントロールできる機能。③微細にコントロールすることもできる機能。④対象に対しては、必ずしも接触しない、できれば非接触で物理的エネルギーを照射するか、対象に導入してある物質を励起することで対象物を破壊することもできる機能。⑤放射線被曝環境下での治療を想定する場合には、既存の技術の代替もしくは補完するようなシステムで、遠隔医療システムでコントロールされる機能がある⁹⁾。

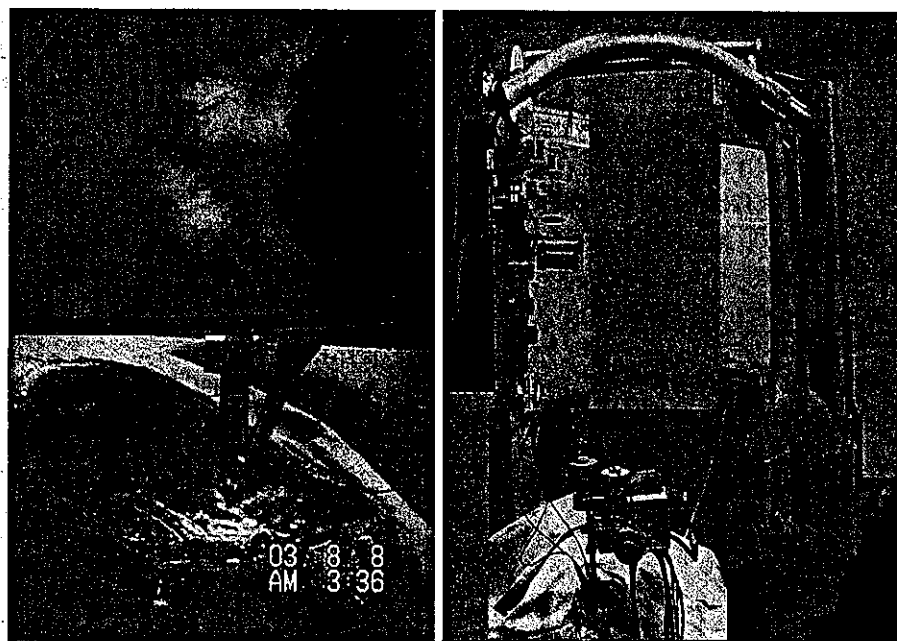
IV. 精密誘導手術操作デバイス

脳外科は、顕微鏡手術から、内視鏡手術に移行する時期に来ている。内視鏡手術においては、内視鏡手術操作に適した微細マニピュレータの開発が必須である。先端1mm、外径3mmの3本のマニピュレータを持った微細マニピュレータは、信州大学、東京女子医科大学、日立製作所と共同で開発され（HUMAN: Hyper Utility Mechatronic AssistaNt）、Neurobotとして、2002年8月に信州大学で世界初の脳外科ロボット手術を実

現した⁹⁾。現在、オープンMRI対応マニピュレータを開発中である（Fig.1）⁹⁾。レーザーは、1960年代末に手術器具として導入され、脳神経外科でも脳腫瘍などに使われ好成績をおさめている。半導体レーザー（micro Laser）は、照射径が120 μ mで浸透度か300 μ mと小さくピンポイントサージェリーに最適である。オートフォーカス機構を組み込んだレーザー照射装置により、eloquent areaのより微細な手術が可能で、動物実験の段階であるが臨床使用も射程距離にある（Fig.2）⁹⁾。低侵襲デバイスとしては、放射線治療ロボット（Cyber knife: CKとgamma knife: GK）が既に市販され、臨床において活躍している。両者の設計思想・機器システムの違いそのものが適応・効果にそのまま反映されている。CKはフレームレスでかつ照射ヘッド（装置）が動いて行う radiosurgery である。一方、GKはフレーム必須でかつ照射装置が動かない radiosurgery である。CKは、頭蓋外の病変や大きい腫瘍などに対する分割照射などが優れている。GKは、特に機能的疾患に高い優位性がある（Fig.3）⁹⁾。

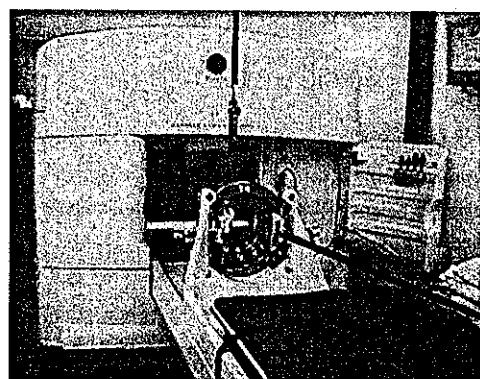
V. おわりに

21世紀の医療システムは、「可視化」された情報をチー



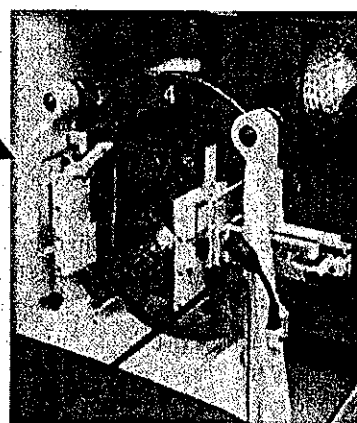
Laser ablation based on CAD-CAM

Fig. 2 Laser ablation system



Auto-Positioning System

micro-radiosurgery
(0.1mm)



γ -knife Model C - APS(2002.12~)

Fig. 3 Gamma knife Model C auto-positioning system

ムで共有し、チームによる客観的で適切な意思決定と作業分担を行い、さらにIT技術を駆使した情報管理・シミュレーション・データベースによる治療過程の「可視化」を活用することによって、高いレベルで品質が安定した医療を確実に提供することができる仕組みである。同時に、高品質の医療情報データを継続的に集積し分析することによって、問題点の「可視化」、医学研究（診断学、低侵襲治療、目標制御管理システムなど）による知識の「可視化」や、医療用ITシステム（デジタル病態データモデル、アトラスデータベースなど）によるデータの「可視化」の開発を推進するための基盤整備も必要である。術中の状況を可視化して提供する術中オープンMRI手術室は、術前画像を利用したナビゲーション手術で一番の問題であった手術操作による脳の変形と移動（brain shift）を解決した。さらに、腫瘍の位置情報を必要に応じて提供できることは、手術スタッフだけでなく、当事者である患者さんにも大きな福音である。これらの基盤を基に、脳外科におけるロボット技術は花開き、ニューロエンジニアリングでの微細操作技術として発展していくと思われる。

文 献

- 1) Hongo K, Kobayashi S, Kakizawa Y, et al.: NeuRobot: Telecontrolled Micromanipulator System For Minimally Invasive Microneurosurgery-Preliminary Results. *Neurosurgery*, 51: 985-988, 2002.
- 2) 伊関 洋, 堀 智勝, 高倉公朋, 他: 脳神経外科領域のナビゲーションサージェリー. 特集 ナビゲーションサージェリー. 手術, 54 (12): 1665-1673, 2000.
- 3) 伊関 洋, 南部恭二郎, 菅 和俊, 他: オグメントリタリティによる先端工学外科. 特集 21世紀の医療とロボティクス. 日本ロボット学会誌, 18 (1): 20-23, 2000.
- 4) 伊関 洋, 村垣善浩, 川俣貴一, 他: 脳神経外科におけるロボティックサージェリーの現状と将来. 臨床放射線, 47: 431-439, 2002.
- 5) Iseki H, Muragaki Y, Nakamura R, et al.: Robotic surgery in neurosurgical field. In: Buzug TM, Lueth TC. (eds), *Perspective in Image-Guided Surgery. (Proceedings of the Scientific Workshop on Medical Robotics, Navigation and Visualization, World Scientific, pp330-337, 2004.*
- 6) 西澤幸司, 菅 和俊, 藤江正克, 他: 三本のマニピュレータと内視鏡を直径10mmの挿入部に装備した脳神経外科用 HUMAN システム. 日本機学会論文誌, 70 巻 692 号: 212-218, 2004.
- 7) Omori S, Muragaki Y, Sakuma I, et al.: Robotic Laser Surgery with $\lambda = 2.8\mu\text{m}$ Microlaser in Neurosurgery. *Journal of Robotics and Mechatronics*, 16 No. 2, 2004.

ROBOTIC SURGERY IN NEUROSURGICAL FIELD

Hiroshi Iseki^{1,2}, Yoshihiro Muragaki¹, Ryoichi Nakamura¹, Kouji Nishizawa^{1,3}, Shigeru Omori^{1,4},

Motohiro Hayashi^{1,2}, Tomokatsu Hori² and Kintomo Takakura¹

Division of Advanced Biomedical Engineering & Science, Graduate School of Medicine,

Institute of Advanced Biomedical Engineering & Science¹,

Dept. of Neurosurgery², Tokyo Women's Medical University

Hitachi, Ltd.³, Terumo Corporation⁴

Computer-aided surgery commenced in the late 1980s when computer was clinically used for diagnosis and surgical planning. Since then the computer has been used in a surgical navigation system. In the early 1990s a robotic surgery using intelligent manipulator as surgeon's new hands took place. Nowadays intraoperative diagnostic imaging as surgeon's new eyes has become ubiquitous. Diagnosis, surgical planning, and navigation are required to be real-timely performed intraoperatively. The time has really come to concurrently diagnose and treat, in which technology visualizing intraoperative medical information and minimally invasive surgery are fused. For that it is necessary to develop a system that real-timely updates information for decision making, and at the same time to present the timely, optimum treatment to be done according to the results of instant evaluation of ongoing treatment. To realize and support above system it is essential to combine a sensor which can precisely distinguishes a focal area from a normal tissue intraoperatively, and a manipulator which participates the treatment. In addition, the manipulator should be accurately controlled using a computer (computer-aided manipulation) according to the surgical plan made by a method aided by a computer (computer-aided design) based on intraoperatively acquired information. It is about to change quality of life to quality of treatment.

特集 第39回脳のシンポジウム

脳神経外科領域の先端医療
インテリジェント手術室

伊関 洋 村垣 善浩 丸山 隆志 中村 亮一
南部恭二郎 大森 繁 堀 智勝 高倉 公朋

神経研究の進歩

第48巻 第6号 別刷
2004年12月10日 発行

医学書院

特集 第39回脳のシンポジウム

●脳神経外科領域の先端医療

インテリジェント手術室*

伊 関 洋^{1,2)} 村 垣 善 浩¹⁾ 丸 山 隆 志²⁾ 中 村 亮 一¹⁾
南 部 恭二郎¹⁾ 大 森 繁¹⁾ 堀 智 勝²⁾ 高 倉 公 朋¹⁾

キーワード：intraoperative MRI, manipulation, navigation, visualization, strategy desk

はじめに

情報技術、可視化、マニピュレーションが、今後の外科治療の目指す方向である。さらに、医療（特に手術・治療）の安全をいかに確保するかが重要なトレンドとなってきた。1980年代後半より、コンピュータの能力向上とともにコンピュータ外科領域においても、コンピュータ支援システムが発達してきた。初期には、画像統合による診断から始まり、手術シミュレーション、ナビゲーションと進展し、現在に至っている。術中画像の利用も、初期の超音波画像から、モバイルCTやオープンMRIの手術室への導入がなされている。最近では、小型ガンマカメラやpositron emission tomography (PET)の導入も視野に入っている。また、術前画像を基にしたナビゲーションも、術中画像をほぼリアルタイムに利用する、術中画像ナビゲーションの時代となった。さらに、術前DTI (diffusion tensor imaging) 診断による錐体路の描出が一般的となり、術者は錐体路の位置を術中に想定することも可能となった。しかし同様に、術前画像のナビゲーションの問題である brain shift を解決するためには、術中に錐体路を可視化することが、とりもなおさず、重要課題であっ

た。この課題は、錐体路を可視化できる術中拡散強調画像 (diffusion weighted imaging: DWI) と連動した、ナビゲーションの実用化とともに克服されつつある。術前手術プランニングが精緻になればなるほど、実際の手術との整合性が問題となってくる。これを解決する誘導技術として、画像誘導手術・情報誘導手術を経て、精密誘導手術の確立する時期がきたのである。現在、ロボット技術の進展とともに、マニピュレータ制御術が発達し、da Vinci/Zeus/Robodocなどの手術マニピュレータが普及しつつある。特に、計画した通りに正確に手術操作を実行することは、人間の手では困難なことが多い。それを解決する手段の1つである手術マニピュレータは、精密手術を遂行する外科医の新しい手である。手術を遂行する上で、各局面における判断のための情報は即時に更新され、治療行為の結果は直ちに評価され、手術スタッフに時々刻々の変化に対応した、次の最適な解決法が提示される仕組みである。術中にリアルタイムに治療行為を支援するシステムの中核である手術戦略デスクは、外科医の新しい脳である。とりもなおさず、外科医の新しい目・手・脳^{1,2)}が三位一体となった、精密誘導手術の幕開けである。

2004年8月3日受稿

* Intelligent operating theater.

¹⁾ 東京女子医科大学先端生命医科学研究科大学院医学研究科先端生命医科学専攻先端工学外科学分野, ²⁾ 東京女子医科大学脳神経センター脳神経外科 (〒162-8666 東京都新宿区河田町8-1) Hiroshi ISEKI^{1,2)}, Yoshihiro MURAGAKI¹⁾, Takashi MARUYAMA²⁾, Ryoichi NAKAMURA¹⁾, Kyojiro NANBU¹⁾, Shigeru OHMORI¹⁾, Tomokatsu HORI²⁾, Kintomo TAKAKURA¹⁾: ¹⁾ Faculty of Advanced Techno-Surgery (FATS), Division of Advanced Biomedical Engineering & Science (R & D), Graduate School of Medicine, ²⁾ Institute of Advanced Biomedical Engineering & Science (ABME & S)/Department of Neurosurgery, Neurological Institute (Clinical Division); Tokyo Women's Medical University, 8-1 Kawada-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8666, Japan.
0001-8724/04/¥500/論文/JCLS

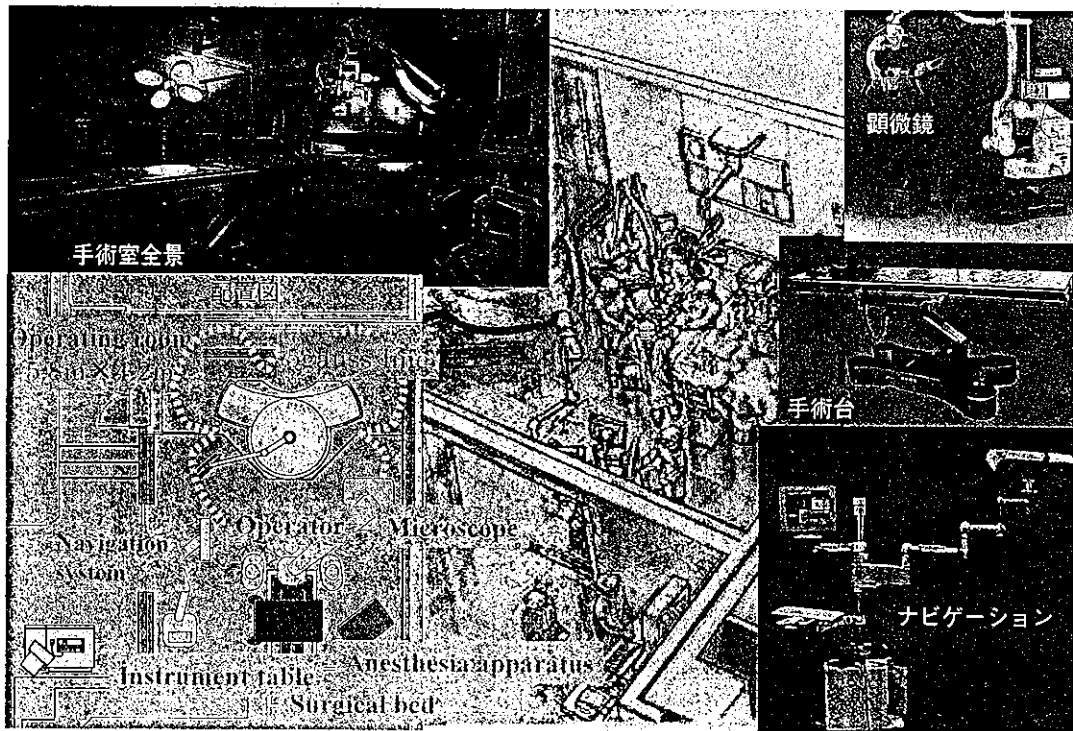


図1 インテリジェント手術室の概要

I. 術中にMR画像で脳および手術の状態を検査する利点

従来の悪性脳腫瘍の手術では、術者は術前の画像診断を基に手術計画を立て、手術室ではその計画に基づいて手術を実行する。術中においては、脳腫瘍の残存や brain shift については、手術スタッフの経験に基づき、術前の画像と勘案しながら、状況を予想し判断するのが普通である。すなわち、職人芸と経験の世界である。術後において、MR や CT などの画像診断を見てはじめて、術中の状態を知り、そのときの決断について、どこがよくてどこが問題であるか判断し、次の手術に生かすこととなる。残念ながら、終わってしまった手術には、その結果を反映することができないのである。残存腫瘍に対しては、再手術を考えるか、別の手段を選択することになる。術中に、MR 画像を撮像することは、常に現在の状況を正確に、かつ的確に把握することができる。術中 MR 画像で腫瘍の残存部位が判明した時点で、その残存腫瘍を術中に摘出すればよいのである。常に、手術操作の結果を MR 画像で評価し、最適な手段を実行するだけである。すなわち、手術スタッフは、その手術を納得して終了することが最大の利点である^{3,4)}。

II. 外科医の新しい目としてのインテリジェント手術室

インテリジェント手術室では、術中画像、特に MRI を用い、また形態を見るために画像だけではなく、機能や代謝を反映するような種々のイメージングを活用することが必須である⁵⁾(図1)。

脳神経外科手術においては、術後の機能温存のためには病変部位を必要なだけ、かつできるだけ少なく切除することが求められている。悪性脳腫瘍手術においては、腫瘍が周辺組織に浸潤し、腫瘍組織と健常組織の境界が不明瞭なことが一般的である。再発を抑えるためには、通常は腫瘍組織の完全除去を優先し、疑わしき部分を含めて切除する方法が幅広く採られている。しかし、必要以上の切除は望ましいものではなく、不用意な切除は脳機能に対して深刻な打撃を与えかねないので、積極的な治療が困難である。このような境界に関する情報を MRI, X線 CT 等の術前三次元画像情報、ならびに肉眼による観察のみにより手術を行うにはおのずから限界があり、術中における新たな病変部位同定方法の開発が望まれている。術中の MRI は、現在の状況をリアルタイムで術者に提示することで、現状の認識を容易に理解させ、次の手術操作を行う上

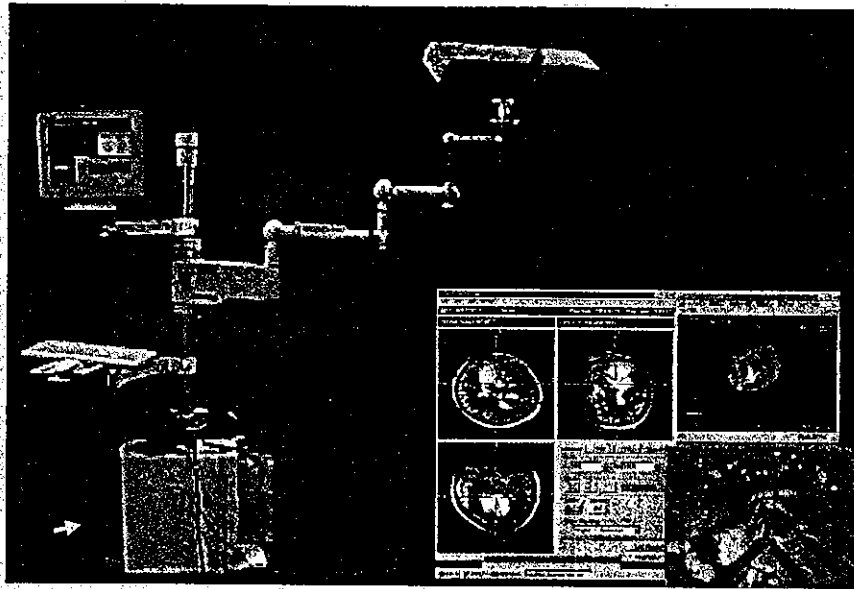


図2 リアルタイムアップデートナビゲーション

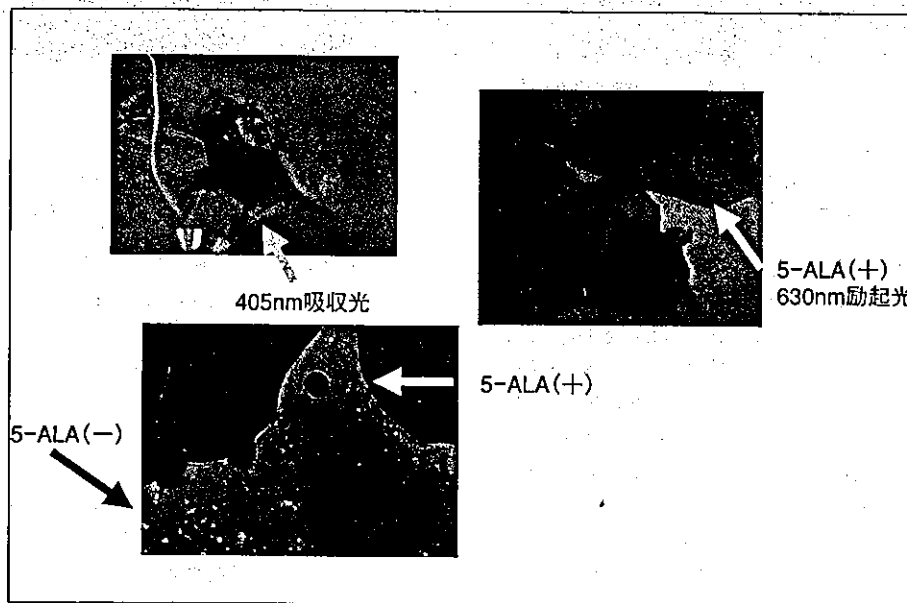


図3 5-ALAによるケミカルナビゲーション

での option を決断させる役割を持っている。手術操作による臓器の変形や移動に追従するには術前画像だけでは不足で、術中に撮影装置を稼働させて術中画像を取得し、ナビゲーション情報を更新する必要がある。リアルタイムアップデートナビゲーションは、残存腫瘍を可視化し全摘出を可能とする。また、運動神経の経路である錐体路を可視化できる拡散強調画像によ

る DWI ナビゲーションを併用することで、錐体路などを術中に温存する手術が可能で、運動麻痺の合併症を避けつつ最大限の腫瘍摘出が可能である(図2)。また、術中病変部位同定手法の1つとして、5-ALA を経口投与し、術中に 405 nm の青色光を術野に照射することで、腫瘍部分を選択的に蛍光染色し、光学的に病変部位を同定するケミカルナビゲーションが普及してい

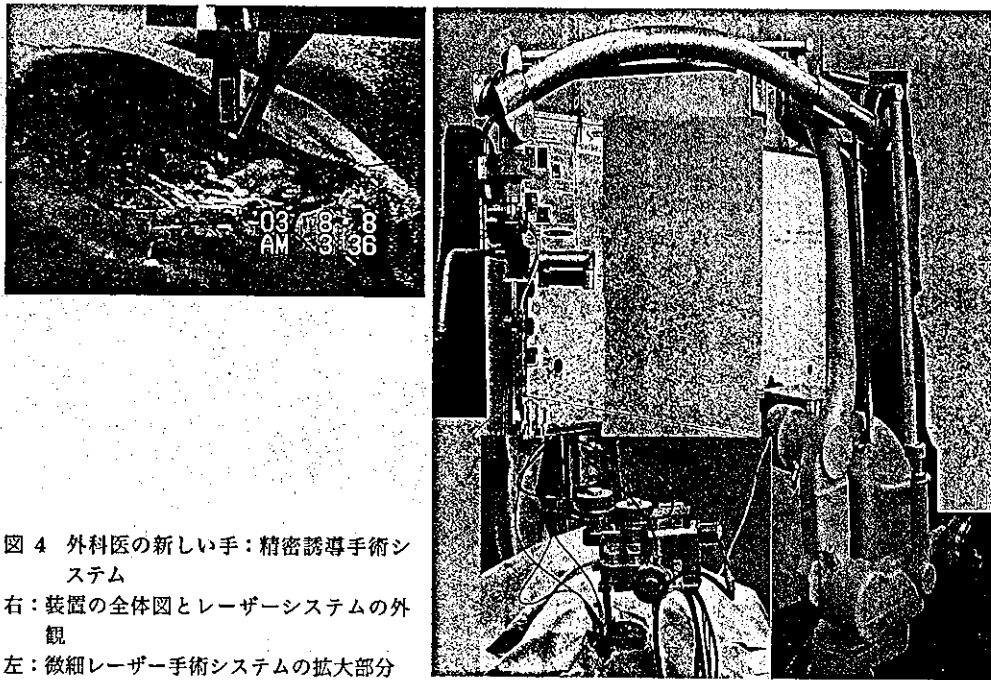


図4 外科医の新しい手：精密誘導手術システム
 右：装置の全体図とレーザーシステムの外観
 左：微細レーザー手術システムの拡大部分

る。インテリジェント手術室では、医療スタッフの要望に応じて、腫瘍を蛍光画像や必要な鳥瞰図や手術経路に沿った三次元断面像などをリアルタイムに表示することもできる。術中画像による手術支援は、安全かつ正確に手術を終了させるためには必須な支援技術なのである^{6,7)}(図3)。

Ⅲ. 外科医の新しい手

低侵襲手術治療を推進する上では、微細操作における外科医の技能の限界を超えるための道具装置が必要である。手術支援マニピュレータは、人間の手の動きや形態を模倣する必要はない。また設定された命令だけを忠実に遂行する産業用ロボットのようなものも適さない。むしろ、思うがままに動く道具であって、外科医の肉体的技能によらず、一定の微細操作能力で手術ができるシステムが望ましい。さらに、非接触で手術計画通りに機能領域の残存腫瘍に対して、100ミクロン単位で微細手術が可能な精密レーザー手術システム (computer aided design & computer aided manipulation: CAD-CAM) が必須である。脳神経外科手術領域では、手術前に撮影したMRI、CTなどの三次元画像を用いて術前計画を行い、術者を誘導するナビゲーションシステムが普及し始めている。これは脳の内部の腫瘍位置を定量的に把握した後、ディスプレイ表示もしくはマニピュレータにより術具を誘導する。腫瘍

を取り除く方法としては、放射線治療器を患部まで誘導し、物理的に腫瘍にダメージを与えるか、もしくは鉗子を用いて術者の手により取り除くのが一般的である。しかしながら、いずれの方法でも正常組織を傷つけずに、腫瘍を全て取り除くことは困難であった。特に脳神経外科分野では、腫瘍の除去率と5年後の生存率は密接に関係しており、除去率の向上は治療の上では重大な問題であった。

手術支援マニピュレータは少なくとも以下の3つの機能を持っていなければならない。(1) 対象組織を的確に手術する「手」を提供する、(2) 外科医が手術対象物をしっかり確認し・観察するための「目」を提供する、(3) 手術中に手術を誘導 (ナビゲーション) するための情報を「目」の情報と統合して提供する。われわれが目指す手術支援マニピュレータとは、外科医の新しい目と手となるインテリジェント・マニピュレータシステムである。すなわち、手術デバイス単体ではなく、上記の3つの機能を持つ総合的システムである。たとえば、普通の手術器具を手を持って操作する際、外科医は視覚と並んで「手応え」の微妙な感覚に依存している。しかし手術マニピュレータにおいては、手応えを人工的に作り出してフィードバックしなくてはならない。このようなフィードバックには、代行感覚を用いるのが適当である。手術マニピュレータの先端に自分の手と目があるかのように感じられる操作環境

インテリジェント手術室での 235 症例 症例内訳

- グリオーマ (149)
 - 下垂体近傍腫瘍 (40)
 - 水頭症 (3)
 - 脳動静脈奇形 (7)
 - 血管芽腫 (14)
 - 髄膜腫 (4)
 - その他 (18+ (1))
- 235 症例
- ナビゲーション (157)
 - 覚醒下手術 (27)
 - 5-ALA 化学的ナビゲーション (76)
- (2003年3月13日～2004年7月23日)

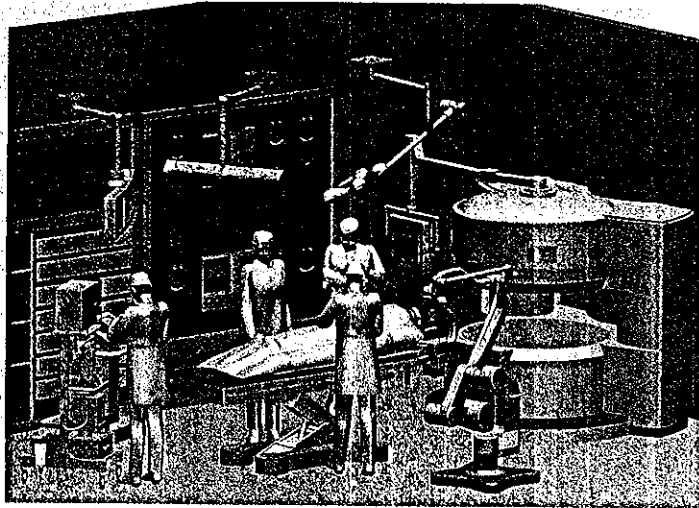


図5 インテリジェント手術室の情景

(tele-existence)を提供することによって初めて、外科医はマニピュレータを自在にあやつて安全・確実に操作できるようになる。

精密レーザー手術システムは、CAD (computer-aided design) にて手術対象部の状態を特定し、その部位を正確に蒸散する CAM (computer aided manipulation) の機能を有す。ケミカルナビゲーションである 5-ALA を用いて、蛍光染色された残存腫瘍部位の三次元位置・形状を計測し、segmentation することで蒸散すべき範囲をコンピュータ上で指定する。指定された範囲に微細手術器具 (波長 2.8 μ m の微細レーザー) を位置決めした後、蒸散治療を行う。本システムは、レーザー位置決めマニピュレータと、患部の三次元位置・形状データ計測部から構成される。機能画像と位置情報および、微細作業を可能とするロボット技術、レーザー技術が融合し、より安全、確実、かつ精密に腫瘍を切除することが可能となるシステムである⁸⁾(図4)。

IV. 外科医の新しい脳

手術に際しては、戦略デスクはその機能を拡張した手術戦略デスクになる。これは手術プロセスを管理する中枢である。手術戦略を立案し、手術の進捗をチェックしつつ執刀医を誘導し、状況に合わせて戦略を修正する。もちろん執刀医自身も手術戦略デスクに参画する。

術前に手術計画を立案する。医療情報・画像情報を収集して分析し、手術の経過をシミュレーション等で予想して、手術の手順を組立て、目印を設定するなどして計画を立案する。さらに術中に計画の手直しが必

要になった時に備えて、判断の材料となる情報を整理して、手術戦略 (strategy) を準備する。そして手術時に観察されるであろう形態情報・機能部位の位置・手術予定部位の範囲・手術の過程に伴う形態の変化の予想図などの様々な情報を、相互に位置的に対応付けてコンピュータの IT 空間に蓄積し、1つの三次元的手術戦略地図に集約する。

手術中には、手術戦略デスクは術中モニターや術中撮影の情報を収集して、執刀医に手術戦略地図やナビゲーション情報をオンラインで供給する。執刀医は増強現実映像 (augmented reality) として表示された手術戦略地図を使って、操作部位を計画と照合しつつ操作を行う。手術戦略デスクは手術の過程をモニターし、必要に応じて術中撮影で得た情報を地図に付け加えて、計画を修正したり、術中の予期せぬ問題に対する手術戦略の修正・再構築を行い、必要に応じ Doc On Demand を介して助言する。執刀医との連携には、マルチメディアを利用した双方向的インターフェイスを用いる。さらに手術戦略デスクは、医療情報ネットワークにリンクして、低侵襲手術に必要な手術精度の向上、検査診断システムの低侵襲化・多角化・迅速化などの技術改良に寄与し、また遠隔手術 (tele-operation) を含む遠隔医療 (tele-medicine) を支援することが期待される。

「手術イベントレコーダ」は、術中のすべての医療情報を経時的に記録し保存するシステムで、特に術後の回復期の管理を最適かつ効率的にするのに有効と考えられている。麻酔管理情報・生体情報・手術情報(術野映像)を経時的デジタル情報として収集し、記録する。

記録は手術の評価や潜在的問題点の洗い出しのほか、手術中に危険な状況(ニアミス)などが発生した場合の事後分析にも用いられる。手術イベントデータを蓄積して、最終的には術中の患者の状態を予測できるデジタル病態生体モデル「手術イベントシミュレータ」を構築することを目指している。これを用いて手術計画の事前検討を行い、問題点や留意点をピックアップし、手術戦略を系統的に構築する。

処置中にトラブルが発生した時には、程度の差こそあれ、専門医でも研修医でもその対処にリアルタイムでの決断が迫られる。コンピュータ支援技術で、現状の事態をわかりやすく提示し、その解決法をわかりやすく示すことで、混乱を防止し悪循環の輪を断ち切ることが可能となる。これを実現するリアルタイムデザインメイキングを支援する技術の1つが、目標制御管理システム(target-controlled management: TCM)である。TCMとは、治療に対する患者の反応の予測と実際の反応との違いを測定してフィードバックすることで、治療手段を調節し最適化する手法である。このためには、治療プロセスを可視化することが本質的に重要である。逆に、治療チームの一員として患者自身が参画するケースが増えるにしたがって、治療プロセスの可視化は否応なく進むであろう。まず、長期的治療計画と当面の計画を組み合わせた治療ロードマップを作成し、患者をどんな状態に持っていかを定量的目標として設定する。そして、治療の選択肢を事前に評価して、選択を行う。実際に治療を行ったあと、患者の反応を治療動態パラメータとして計測し、これに基づいて次の選択肢を検討する。選択肢の事前評価には、治療操作に対する患者の反応の因果関係モデル(効果部位コンパートメント, effect-site compartment)を使い、強く期待される反応、および、たとえ可能性が低くても留意すべきリスクを、患者の治療動態パラメータから予測する¹²⁾。

おわりに

将来の術中三次元画像に基づく治療技術として、残存腫瘍の確認にも術中のリアルタイムセグメンテーションが可能となりつつあり、腫瘍の切除率に貢献することは間違いない。現在、超小型ガンマカメラの開発が進められ、術中に使用されているガンマカメラの小型化とともに、RI (radio isotope) を利用して病変部を標識し、術中に標識組織を可視化しながら、病変部を的確にかつ容易に摘出する術中臨床応用が進められ、センチネルリンパ節を同定する RI-guided surgery が脚光を浴びている。術中に大腸がんや直腸がんをよ

り精度よく、正確に摘出する目的で免疫核医学を応用した免疫 RI ガイド手術 (radioimmunoguided surgery) や、乳がんのセンチネルリンパ節生検への臨床応用が始まり、さらに脳腫瘍への応用も試みられている。SPECT (single photon emission tomography) は、PET (positron emission tomography) に比べて空間分解能は劣るが、放射性医薬品を注射後 24 時間後に術中で検出しながら手術することも可能で、逆に PET の被曝問題を解決することができる。悪性腫瘍そのものをガンマカメラで検出する免疫 RI ガイド手術の進展や、病変の組織部位などや手術スケジュールなどにより、適切な放射性医薬品の選択がなされれば、RI 誘導手術が、CT/MRI 誘導手術と並んで使われる日も近い。また、X 線平面検出器を基にした術中イメージング装置として、現在開発が進められている DVT (digital volume tomography) は、第 3 のポリューム CT ともいえるべきものである。透視装置のように上部開口部は広く、腹部領域をもカバーできる側部の開口部は、全身の CT ともいえるべきスペックを持っている。現在、MR 対応として開発されており、オープン MRI 室で、近未来の MRI-DVT 誘導手術が行われる日も近い⁹⁾ (図 5)。

文 献

- 1) 伊関 洋, 杉浦 円, 村垣善浩: 術中オープン MRI 下での脳外科手術, 第 10 回コンピュータ支援画像診断学会大会, 第 9 回日本コンピュータ外科学会合同論文集, pp.117-118, 2000
- 2) Iseki H, Muragaki Y, Taira T, et al: New possibilities for stereotaxis information-guided stereotaxis. *Stereotact Funct Neurosurg* 76: 159-167, 2001
- 3) 伊関 洋, 村垣善浩, 丸山隆志, 他: 脳腫瘍摘出手術に必要な検査法—術中検査—. *脳神経外科ジャーナル* 11: 508-514, 2002
- 4) 伊関 洋, 村垣善浩, 中村亮一, 他: 手術における医療トレーサビリティと戦略デスク. *泌尿器外科* 16: 731-737, 2003
- 5) 伊関 洋, 村垣善浩, 中村亮一, 他: インテリジェントオペ室・MRI 誘導手術対応システム. *MEDIX* 39: 11-17, 2003
- 6) Iseki H, Muragaki Y, Naemura K, et al: Clinical application of augmented reality in neurosurgical field. *Proceedings Computer Graphics International 2003*, pp44-49, 2003
- 7) 村垣善浩, 丸山隆志, 伊関 洋, 他: 機能的マッピングと術中 MRI を併用したグリオーマの手術. *Brain Medical* 13: 255-263, 2001
- 8) Maruyama T, Muragaki Y, Iseki H, et al: Intraoperative detection of malignant gliomas using 5-Aminolevulinic acid induced protoporphyrin fluorescence, open MRI and real-time navigation system. In *Computer Assisted Radiology and Surgery, CARS2001*, Berlin, eds by Lemke HU

- et al, Elsevier, Amsterdam, 2001, pp279
- 9) Nambu K, Nomura S, Ohryu S : Digital volume tomography : a new three-dimensional imaging apparatus designed for intraoperative examination. In Computer Assisted Radiology and Surgery ; CARS2003, London, eds by Lemke HU et al, Elsevier, Amsterdam, 2003, pp1295
- 10) 杉浦 円, 伊関 洋, 村垣善浩, 他 : オープン MRI を中心とするインテリジェント手術室の構築. 第10回コンピュータ支援画像診断学会大会, 第9回日本コンピュータ外科学会合同論文集, 2000, pp121-122

Abstract

Intelligent operating theater

*Hiroshi Iseki^{1,2)}, Yoshihiro Muragaki¹⁾, Takashi Maruyama²⁾, Ryoichi Nakamura¹⁾,
Kyojiro Nanbu¹⁾, Shigeru Ohmori¹⁾, Tomokatsu Hori²⁾, Kintomo Takakura¹⁾*

from

¹⁾ *Faculty of Advanced Techno-Surgery (FATS), Division of Advanced Biomedical Engineering & Science (R & D),
Graduate School of Medicine, Tokyo Women's Medical University,*

²⁾ *Institute of Advanced Biomedical Engineering & Science (ABME & S) / Department of Neurosurgery,
Neurological Institute (Clinical Division), Tokyo Women's Medical University,
8-1 Kawada-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8666, Japan.*

Computer-aided surgery commenced in the late 1980s when computer was clinically used for diagnosis and surgical planning. Since then the computer has been used in a surgical navigation system. In the early 1990s a robotic surgery using intelligent manipulator as surgeon's new hands took place. Nowadays intraoperative diagnostic imaging as surgeon's new eyes has become ubiquitous. Diagnosis, surgical planning, and navigation are required to be real-time performed intraoperatively. The time has really come to concurrently diagnose and treat, in which technology visualizing intraoperative medical information and minimally invasive surgery are fused. For that it is necessary to develop a system that real-time updates information for decision making, and at the same time to present the timely, optimum treatment to be done according to the results of instant evaluation of ongoing treatment. To realize and support above system it is essential to combine a sensor which can precisely distinguishes a focal area from a normal tissue intraoperatively, and a manipulator which participates the treatment. In addition, the manipulator should be accurately controlled using a computer (computer-aided manipulation) according to the surgical plan made by a method aided by a computer (computer-aided design) based on intraoperatively acquired information. It is about to change quality of life to quality of treatment.

(Received : August 3, 2004)

Robotic Surgery and Cancer: the Present State, Problems and Future Vision

Makoto Hashizume^{1,2} and Kouji Tsugawa^{1,2}

¹Department of Disaster and Emergency Medicine, Graduate School of Medical Sciences and ²Center for Integration of Advanced Medicine, Life Science and Innovative Technology (CAMIT), Kyushu University, Fukuoka, Japan