

最新の特ピックス

TOPICS

脳神経外科領域におけるロボット手術の現状

信州大学医学部脳神経外科学講座

後藤 哲哉

I はじめに

信州大学附属病院に先日導入されたロボット手術装置「ダビンチ」は、通常の内視鏡的手術での手技上の困難さをロボット技術を応用することで克服し、市販された成功例です。「ダビンチ」のように、ロボット技術を手術に応用する試みは、脳神経外科領域でも以前より行われています。これまでに開発されてきた主な脳神経外科手術ロボットと、我々信州大学脳神経外科のロボット手術における取り組みについて報告します。

II 市販化されたもの

「Neuro mate」脳神経外科手術の中に、定位脳手術と呼ばれる手術方法があります。脳深部の決められた位置に正確に到達するための手術です。本装置は画像と術野を統合させる手術ナビゲーション装置と一般的な産業用ロボットとして使用されている多軸ロボットからなります。一般的な定位脳手術装置と機能は同じですが、そのほかにも様々な術具を把持し刺入できます。神経内視鏡を脳室に正確に刺入することも可能です (Fig. 1 左上)。

「Evolution 1」本装置は神経内視鏡把持装置です。現在、内視鏡を任意の位置で固定できる把持装置が何種類かありますが、手動のため、固定解除で微妙にぶれたり、動かすときに人手が必要であったりして面倒です。そのようなニーズを満たす装置として開発されました。写真で見ても把持部分が大きく、これが原因かどうか分かりませんが、発売後暫くして生産中止となりました (Fig. 1 右上)。

III 研究段階のもの

ダビンチと同じタイプの手術ロボット、いわゆるマスタースレーブ型マニピュレータを二つ紹介します。

「Neuro Arm」カナダカルガリー大学の Suther-

land 教授を中心に開発が進められています。一般の顕微鏡術具であるバイポーラーや吸引管をロボットの“手”にもたせます。術者は一般的な顕微鏡視野から得られた情報をもとにロボットを遠隔操作して手術を行います。一般の顕微鏡下脳神経外科手術をロボットにさせることで手術の正確さを向上する。というニーズを満たす装置として開発され、臨床使用も行われました¹⁾。現在 MRI 装置内でのリアルタイムナビゲーション機能を搭載するための改良が行われているとのことです。今後市販化が期待される手術ロボットです (Fig. 1 左下)。

「MM1」東京大学にて研究されている脳神経外科深部血管吻合用ロボットです。技術的に困難な脳深部の血管吻合を簡単に可能にするというニーズを満たす装置として開発されました。顕微鏡術野を見ながら術者が遠隔操作することは Neuro Arm と同じですが、違いは専用の摂子をもっていることです。ロボットの腕の先端部に自由度を集中させ、それを微細に作りこむことで脳神経外科手術で問題となる狭く深いアプローチを克服しています²⁾。制作や性能維持に多大な費用が必要なことが製品化において問題となったようで、市販化には至っていません。現在は本研究で得た知見をもとに機能を絞り込み、より安価に製作可能なロボットが研究されており、こちらも市販化が期待されています (Fig. 1 右下)。

IV 信州大学脳神経外科の取り組み

1997年、当教室は手術ロボットの研究開発をスタートさせました。最初に行ったのは、術者の操作によって動くマスタースレーブ型手術ロボットの開発です。東京大学工学部、東京女子医科大学脳神経外科、日立製作所との共同研究により製作され「NeuroRobot (ニューロボット)」と名付けたロボットは、2002年8月、「マスタースレーブ型」の手術ロボットとしては世界で初めて実際の脳腫瘍摘出手術に使用、計4例の臨床

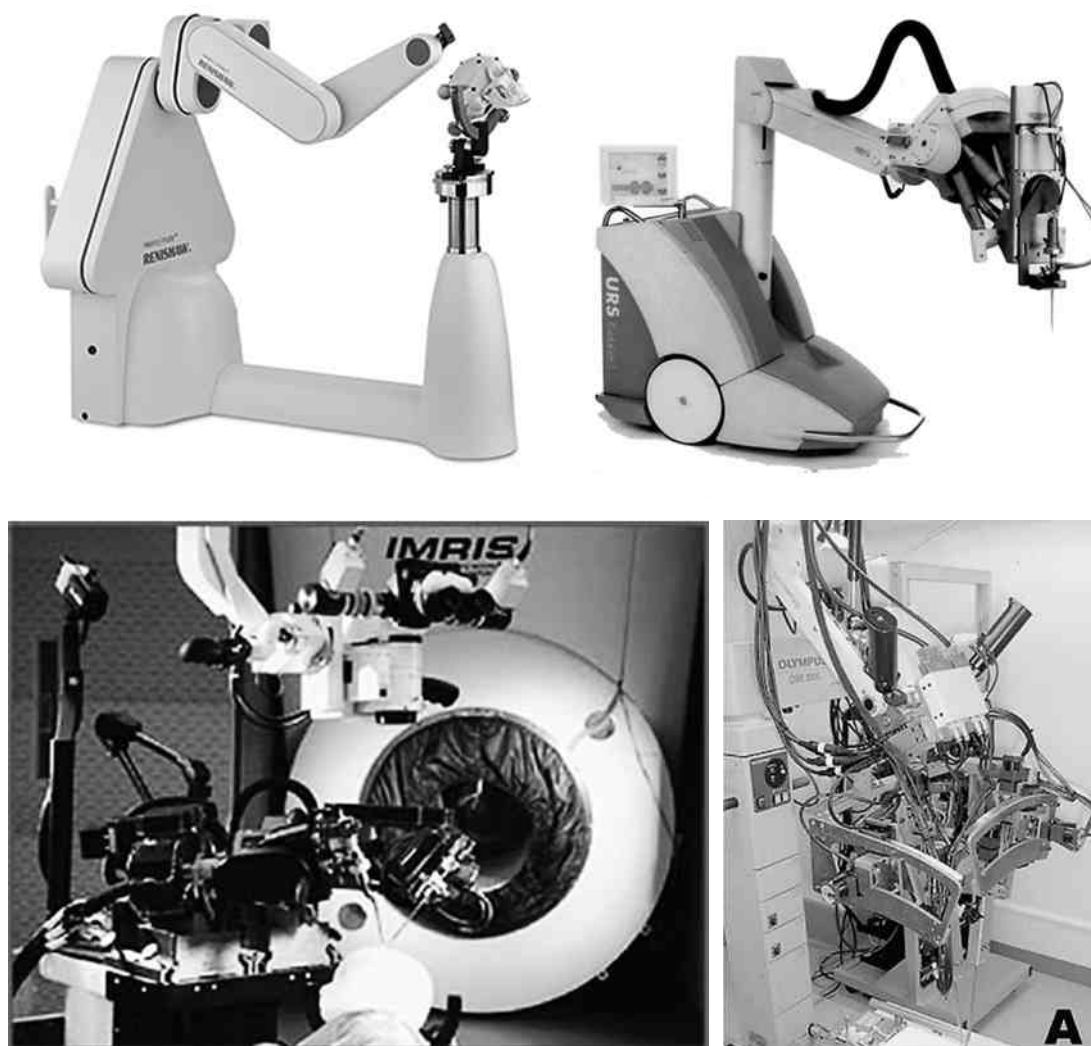


Fig. 1

- 左上：Neuro mate 概観。http://www.expo21xx.com/news/wp-content/uploads より引用。
 右上：Evolution 1 概観。Zimmermann Michael et al. Robot-assisted Navigated Neuroendoscopy. Neurosurgery : Volume 51 2002, pp1446-1452 より引用。
 左下：Neuro Arm 概観。文献1 より引用。
 右下：MM1概観。文献2 より引用。

手術は無事成功しました³⁾。本装置の特徴は硬性内視鏡とロボットアーム3本を直径10mmの円筒内にまとめたことです。脳室内手術において内視鏡手術では観察は十分可能だが手術器具の操作性が悪いという問題を解決するために開発しました。しかしながらMM1と同じく、制作や性能維持に多大な費用が必要なこと、また市場ニーズが小さいことが問題となり、市販化には至りませんでした (Fig. 2 左)。

NeuRobotの研究では、手術に必要な装置を開発したにもかかわらず、市販化に結びつけられなかったことが問題として残りました。このため薬事法やPL法に対応できる製品を開発することを検討しました。た

例えば術者が座る椅子や、患者さんが横になるベッドは、難しい認可の必要な医療器具ではありません。ロボット技術を手術支援に応用しても、装置が認可不要な医療器具ならば薬事法に抵触せず使用可能です。2006年から早稲田大学理工学部、東京女子医科大学脳神経外科と共同で「EXPERT (エキスパート)」というロボットの開発研究を行いました (Fig. 2 中央)。EXPERTは術者の腕を保持するロボットです。このロボットには手術中に術者が腕を載せる台が付いており、術者の腕が止まって手術操作をしている最中は、台は静止し術者の腕を支え、術者が腕の位置を変えようとするるとロボットは自動で術者の腕に追従して台を

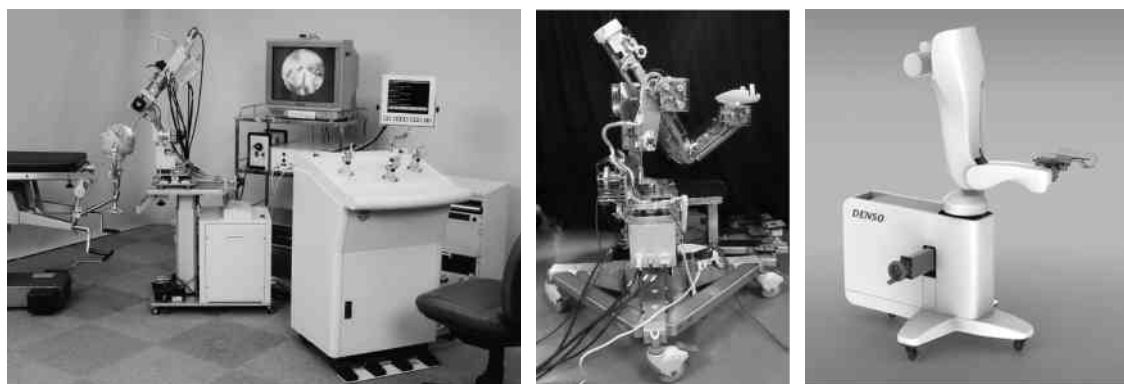


Fig. 2

左：NeuRobot 概観。
中央：EXPERT 概観。
右：iArmS 概観（コンピュータグラフィックス）。

動かせ、手術操作をしたい位置で再び静止して術者の腕を支えます。このロボットの各関節には、モーターは一切なくブレーキのみが設置してあり、バネとおもりを動力として使用し、ブレーキを制御することによって追従動作を実現させているのが特徴です。2009年から実際の手術で使用しました。EXPERTは、術者の腕のふるえと疲労を軽減させ、手術操作性を向上させました⁴⁾。この結果、トヨタの関連会社である株式会社デンソーより本装置を製作販売したいとの希望があり、2011年より市販化への共同研究を始めました。名称は登録商標として「iArmS（アイアームス）」に変

更、ここまでおおむね順調な経過で、2014年度の国内販売開始をめざしています（Fig. 2右）。

これまでNeuRobotやEXPERTの研究開発で培われた経験や知見をもとに、2011年からは東京女子医科大学先端生命医科学研究所と共同で、脳外科手術中に脳などの組織を「把持して保持してしてくれるロボット」の研究開発を開始しました（呼称未定）。このロボットは術者の「三本目の手」となって術者を補助し、顕微鏡下で行われる手術操作を向上させてくれるものと期待しています。

文 献

- 1) Sutherland GR, Latour I, Greer AD, Fielding T, Feil G, Newhook P: An image-guided magnetic resonance-compatible surgical robot. *Neurosurgery* 62: 286-292, 2008
- 2) Morita A, Sora S, Mitsuishi M, Warisawa S, Suruman K, Asai D, Arata J, Baba S, Takahashi H, Mochizuki R, Kirino T: Microsurgery robotic system for the deep surgical field. Development and feasibility study in animal and cadaveric models. *J Neurosurg* 103: 320-327, 2005
- 3) Hongo K, Goto T, Miyahara T, Kakizawa Y, Koyama J, Tanaka Y: Telecontrolled micromanipulator system (NeuRobot) for minimally invasive neurosurgery. *Acta Neurochir Suppl* 98: 63-66, 2006
- 4) Goto T, Hongo K, Yako T, Hara Y, Okamoto J, Toyoda K, Fujie MG, Iseki H: The Concept and Feasibility of EXPERT: Intelligent Armrest Using Robotics Technology. *Neurosurgery* 72 Suppl 1: 39-42, 2013