

脳神経外科手術のためのロボット顕微鏡システムの開発

Robotic Surgical Microscope Implementing Auto Tracking of Surgeon's Interest
for Neurosurgery

○ 堀瀬友貴（女子医大） 岡本淳（女子医大） 伊関洋（女子医大、早大）

正宗賢（女子医大） 村垣善浩（女子医大）

Yuki HORISE, Faculty of Advanced Techno-Surgery, Tokyo Women's Medical University

Jun OKAMOTO, Faculty of Advanced Techno-Surgery, Tokyo Women's Medical University

Hiroshi ISEKI, Faculty of Advanced Techno-Surgery, Tokyo Women's Medical University / Graduate School of Advanced Science and Engineering, Waseda University

Ken MASAMUNE, Faculty of Advanced Techno-Surgery, Tokyo Women's Medical University

Yoshihiro MURAGAKI, Faculty of Advanced Techno-Surgery / Department of Neurosurgery, Tokyo Women's Medical University

Abstract: In neurosurgery which needs precise and sensitive operation, a surgeon utilizes a surgical microscope to observe the surgical view. The position and pose of the surgical microscope are sometimes changed by the surgeon holding a dedicated handle accordance with the surgical situation. In this situation, it is considered that the surgeon cannot concentrate on the surgical operation because he/she needs to get hands off of the surgical instruments and get eyes off of the surgical view. In order to overcome this problem, we have proposed and developed a robotic surgical microscope for neurosurgery which consists of a 3D video microscope, a 6-DOF robot, and an optical tracking sensor. This microscope could enable the surgeon to move the microscope robotically by indicating the position the surgeon wants to observe using the surgical instrument with an optical marker.

Key Words: Neurosurgery, Microscope, Robot

1. 背景

脳神経外科手術では繊細な操作が要求されるため手術顕微鏡が用いられており，執刀医は手術顕微鏡の接眼レンズに目を近づけ拡大された術野を見ながら操作を行う（図1 (a)）．手術顕微鏡では観察できる範囲が限られているため，操作対象や手術状況に応じて顕微鏡の位置が変更される．手術顕微鏡には移動専用のハンドルが取り付けられており，ハンドルスイッチを押すことで移動することが可能である．しかしながら，手術顕微鏡を移動する際，執刀医は接眼レンズから目を離し，手元で把持していた手術器具を置く必要がある．そのため，医師は操作を一旦中断しないといけないため外科操作に集中することができず操作効率を下げる原因のひとつだと考えられる．

これまでも手術顕微鏡に関する研究はいくつか行われている[1-4]．例えば Finke らは従来の手術顕微鏡の7つの回転軸にモータを取り付け，6自由度でロボット制御可能な手術顕微鏡を開発している[2]．本ロボット手術顕微鏡は手術器具に取り付けたジョイスティック，もしくは加速度センサを用いて操作が可能である．Oppenlander らは同様に各関節を制御できる手術顕微鏡を開発しており，おおよその場所までは手で移動し，細かな調整は術前に撮影したMRI画像の腫瘍位置情報を用いて自動的に調整するハイブリッド操作が可能である[4]．これらの研究では従来式の手術顕微鏡を用いているが，顕微鏡はとても大型であるため限られた手術室にデッドスペースが生じてしまい，また高さもあるため无影灯等と衝突しやすいという問題点がある．また，MRI画像を用いて腫瘍位置を指定する際，開頭により脳の形が変化するため術前に撮影した画像では最新情報とは言えず，また手術操作を進めるとさらに脳が変形

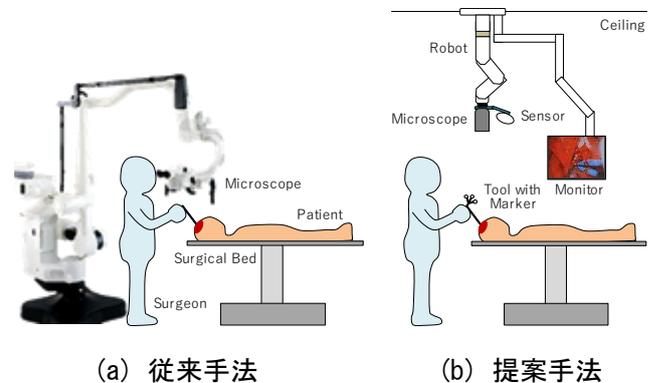


Fig. 1 Surgical microscope in conventional method (a) and proposed method (b)

するため，最適な場所に顕微鏡を移動することは難しい．

2. 目的

本研究では脳神経外科手術を対象とし，医師が手元の手術器具を用いて観測したい位置・方向を指定することで顕微鏡を任意の場所に移動することができるロボット手術顕微鏡システムを開発することを目的とする．これにより，脳外科医は外科操作に集中しながら顕微鏡映像を変更することができ，操作の流れを止めることなく手術を進めることが期待される．

3. 方法

本ロボット手術顕微鏡は主にビデオ顕微鏡（Kestrel View II のカメラ部，三鷹光器）と6軸ロボット（VS060，DENSO），

光学式トラッキングセンサ (Polaris VICRA, Northern Digital Inc.) で構成される。天井に設置されたロボットの先端部にビデオ顕微鏡と光学式トラッキングセンサを取り付けており、執刀医はモニタに映しだされた顕微鏡映像を見ながら手術を行う (図 1 (b))。本ビデオ顕微鏡は、焦点距離を 300-1000 mm で調整が可能であり、焦点深度調整機構も標準と同等のものが内蔵されている。手術器具にはトラッキングマークが取り付けられており、光学式トラッキングセンサを用いることで手術器具の先端位置・姿勢を取得することができる。執刀医は術野を変更したい際に上記手術器具を用いて観測したい場所をポイントすると、ロボットは手術器具の先端が顕微鏡映像の中心に来るように追従する。これにより、術野中心が顕微鏡映像の中心になるようにロボットが駆動するため、脳外科医は外科操作を中断することなく術野を変更することが可能である。

本システムの操作の流れは以下の通りである。

- (1) 光学式トラッキングセンサによって操作者が把持している手術器具の先端位置・姿勢を常に計測
- (2) 操作者は手に把持した手術器具を用いて観測したい術野中心位置を指示
- (3) フットペダルなどのインターフェースからの入力信号が確認された時の手術器具の先端位置・姿勢を目標値として取得・設定
- (4) ロボットは手術器具の先端位置・姿勢の目標値に向かって顕微鏡の焦点距離を保ちながら駆動し、操作者が指定した観測場所・方向に顕微鏡が移動

4. 結果・考察

本提案手術ロボット顕微鏡の実現可能性を評価するため、試験的動作確認を行った。本試験ではロボットは位置制御のみとし、ポイントした位置に対して3次元 (x, y, z 軸) の平行移動を行った。図 2 に示すように手術台に生体モデルを設置し、腫瘍模型の中心が顕微鏡映像の中心にある場合を初期位置とする。操作者はトラッキングマークを取り付けた手術器具を用いて次に観測した場所をポイントし、顕微鏡映像が変更できるか確認した。結果として、操作者が指定した場所にロボット駆動により手術顕微鏡を移動することができ、顕微鏡映像を観測し且つ手術器具を把持したまま術野を変更できることが確認できた。

本稿で提案した手術顕微鏡・トラッキングセンサをまとめて搭載したロボットと自動追従アルゴリズムは、特に手術ナビゲーションを導入している病院施設にとって将来的に有用であり、且つ手術成績に結びつく精密誘導手術を実現する要素となる。従来の手術ナビゲーションでは、センサとトラッキングマーク間に手術助手や看護師、モニタ、顕微鏡などが入り込むことが頻繁に生じている。そのため、手術器具の位置情報を安定して取得し続けることが困難である。一方で、本提案においてはセンサがロボット手術顕微鏡に搭載されているため上記の要因は介在することなく手術器具の位置情報を持続的に取得することができる。

しかしながら一方で、本提案ロボット顕微鏡における課題として、ロボットの可動範囲によって顕微鏡の観測範囲が制限されるため改善策を考える必要がある。また、緊急時の操作方法についても臨床現場での利用を考える上で重要な項目のひとつであるため、脳外科医の先生方と相談しながら操作方法を検討していく。

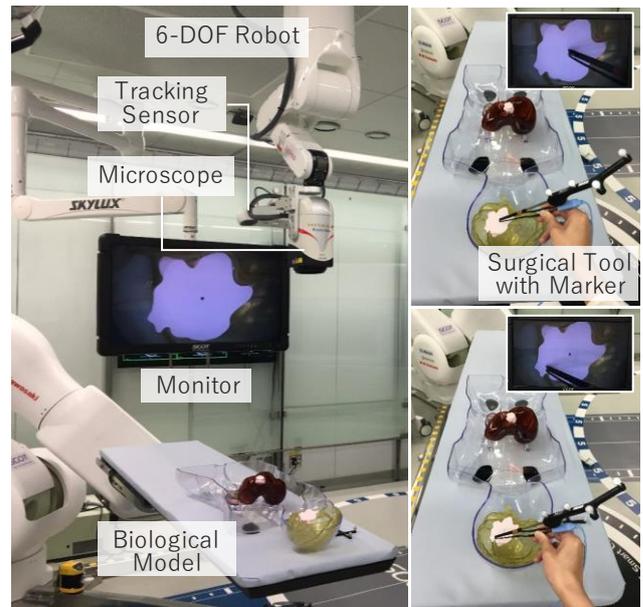


Fig. 2 Setup of robotic surgical microscope at first operation test

5. 結論

本研究では、脳外科医が外科操作を行っている際に作業の流れを止めずに術野を変更することを目的に自動追従機能を持つロボット手術顕微鏡を開発した。試験的な動作試験の結果から提案したロボット手術顕微鏡の実現可能性を確認することができた。今後は、位置だけでなく姿勢の追従機能も追加し、脳外科医からの意見を聞きながら実際の外科操作に適した操作方法を検討していく予定である。

謝辞

本研究は国立研究開発法人日本医療研究開発機構 (AMED) の【研究開発課題名】未来医療を実現する先端医療機器・システムの研究開発/安全性と医療効率の向上を両立するスマート治療室の開発】の支援によって行われた。

参考文献

- (1) C. Giorgi, H. Eisenberg, G. Costi, E. Gallo, G. Garibotto, D. S. Casolino, Robot-Assisted Microscope for Neurosurgery, *Journal of Image Guided Surgery*, Vol. 1, pp. 158-163, 1995.
- (2) M. Finke, A. Schweikard, Motorization of a surgical microscope for intra-operative navigation and intuitive control, *The international journal of medical robotics and computer assisted surgery*, Vol. 6, pp. 269-280, 2010.
- (3) S. T. Antoni, C. Sonnenburg, T. Saathoff, A. Schlaefer, Feasibility of interactive gesture control of a robotic microscope, *Current Directions in Biomedical Engineering* 2015, Vol. 1, pp. 164-167, 2015.
- (4) M. E. Oppenlander, S. A. Chowdhry, B. Merkl, G. M. Hattendorf, P. Nakaji, R. F. Spetzler, Robotic Autopositioning of the Operating Microscope, *Operative Neurosurgery*, Vol. 10, No. 2, pp. 214-219, 2014.