

## コンパクト型手術ロボットと最小侵襲手術とを統合する医用CAD/CAMシステム

A Medical CAD/CAM System for Minimally Invasive Surgery Using a Compact Surgical Robot

光石 衛 (MITSUISHI, Mamoru)  
東京大学・大学院工学系研究科・教授



### 研究の概要

本研究では、医師の経験と勘をロボット動作データに反映させる方法として、(1) CT や MRI の医用画像で構成される患部モデルをもとに低侵襲手術計画から動作データを生成する医用 CAD/CAM システム、(2) 術中に手術計画の遂行を促す手術ロボット用ナビゲーションシステム、(3) 低侵襲手術を支援する手術ロボットの開発を行う。

研究分野： 工学

科研費の分科・細目： 機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード： ロボット・サージェリ、医用 CAD/CAM システム、低侵襲手術

### 1. 研究開始当初の背景

医師による手術では、経験と勘により遂行される。ロボティック・サージェリの実現にはこれらの暗黙知要素をデータ化する必要がある。また、手術室に適用可能な小型・軽量ハードウェアの開発も重要である。

### 2. 研究の目的

本研究では、上記のような背景を踏まえ、医師の経験や勘をロボット動作のデータに反映させる方法として、1) CT や MRI の医用画像から構成される患部モデルをもとに低侵襲手術計画から動作データを生成する医用 CAD/CAM システム、2) 術中に手術計画の遂行をガイドする手術ロボット用ナビゲーションシステム、3) 低侵襲手術を支援する手術ロボットの開発を行う。

### 3. 研究の方法

これらのテーマを遂行するに当たり、工学的側面に関しては東京大学大学院工学系研究科が担当する。連携研究者である医学系の研究者は、医療現場の経験を生かし各専門分野の手術ロボットの設計指針に対するアドバイス、および、評価実験を行う。

### 4. これまでの成果

まず、具体的なアプリケーションとして人工関節置換術を対象として、最小侵襲化のためのロボティック・サージェリのフローを明確化するとともに、システム構成、機能を策定した。この仕様に基づき、工具と患部周囲組織の干渉回避のための手法を提

案し、また、術中の周囲組織位置を把握することによってエンドエフェクタ進入不可領域を表現する方法について実装した。構築したシステムを図1に示す。

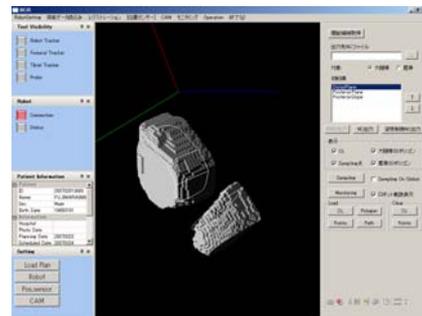


図1 医用 CAD/CAM システム

最小侵襲手術では、低切開のため術中の限られた情報を利用してレジストレーションを遂行する必要がある。このため、座標測定器で直接計測可能なレジストレーション点を臨床的に選定するとともに、サーフェイス情報を用いる手法を確立し、その精度を評価した。手の外科手術では、特定の骨の直接計測とX線レントゲンによる簡易的な方法により補完的な情報を取得する手法(2D-3D手法)を開発した。

手術ロボットに関しては、まず、コンパクト型ロボット要素を組み込んだ人工関節置換術支援ロボットを開発した(図2)。このロボット、および、医用 CAD/CAM システム、ナビゲーションシステム、人工関節置換術支援システムを統合した総合的なシステムを構築し、人体標本を用いた評価実験を行い、良好

な結果（誤差 2 度，2mm 以下）を得た。

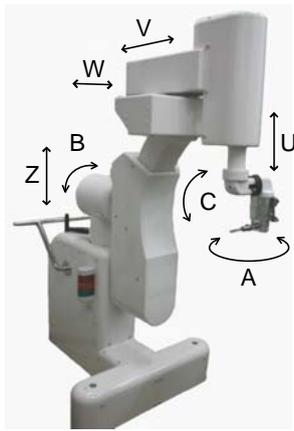


図 2 人工関節置換術支援ロボット

内臓系低侵襲手術支援システムの構築においては，医師の要求する機能から仕様を決定し，ロボットの設計・製作を行った（図 3）．また，機械要素部品を軽量化するために，ガイド等の可動部品をアルミ合金の使用と特殊金属の溶射による方法を考案した．このロボットを用いて 2008 年 3 月にタイと九州を結んだ遠隔低侵襲手術実験を行い，豚の胆嚢摘出手術に成功した．

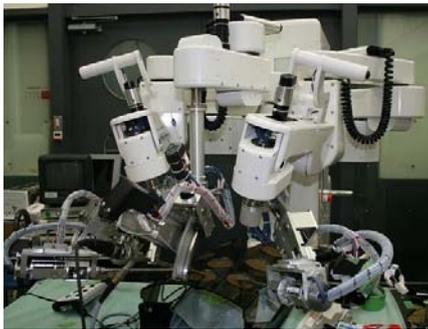


図 3 腹腔鏡手術支援ロボット

深部脳神経外科手術を支援するロボットの開発については，ハイビジョン TV カメラ付顕微鏡と鉗子との干渉を避けるため，中に複数のワイヤが通過していても可能なオフセット鉗子を開発した（図 4）．また，ピーク材を用いて軽量化を図ったマスタマニピュレータを開発した．このマスタマニピュレータの特徴は，スレーブマニピュレータに並進動作のみを動作させたい場合には手首を動かす必要がないといったより自然な動作入力が可能であることである．構築したシステムにより深さ 60mm にある直径 0.8mm の血管のバイパス手術に成功した．

##### 5. 今後の計画

術前に術後結果が予測可能なシミュレータの開発を行う．また，術前計画データと術後評価システムの結果・データを統合し，

医師に有益な情報として提示するための手法を確立する．これにより，医師は術前に術後結果を想定し，最良の成果が得られるように術前計画を事前修正することが可能になる．また，コンパクト型手術ロボットの改良を行う．複数の領域（科）にまたがって使用できる手術ロボットの構築を試みる．



図 4 深部脳神経外科手術支援ロボット

##### 6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）

- 光石衛, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門業績賞(手術ロボットの開発), 2008.5.11.
- 光石衛, CIRP (The International Academy for Production Engineering: 生産工学に関する国際アカデミー) Fellow, 2008.8.30.
- Mitsuishi, M., Sugita, N., Fujiwara, K., Abe, N., Ozaki, T., Suzuki, M., Moriya, H., Inoue, T., Kuramoto, K., Nakashima, Y. and Tanimoto, K., "Development of a Medical CAD/CAM System for Orthopedic Surgery," *Annals of the International Institution for Production Engineering Research (CIRP Annals.)*, vol.56/1, pp.405-410, 2007.
- Mitsuishi, M., Sugita, N., Pitakwatchara, P., "Force Feedback Augmentation Modes in the Laparoscopic Minimally Invasive Telesurgical System," *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol.12, No.4, pp.447-455, 2007.
- Nakajima, Y., Tashiro, T., Sugano, N., Yonenobu, K., Koyama, T., Maeda, Y., Tamura, Y., Saito, M., Tamura, S., Mitsuishi, M., Warisawa, S., Sugita, N., Sakuma, I., "Fluoroscopic Bone Fragment Tracking for Navigations of Femur Fracture Reduction Incorporating Optical Tracking of Hip Joint Rotation Center," *IEEE Transaction on Biomedical Engineering*, Vol.54, No.9, pp.1703-1705, 2007.
- Norihiko Koizumi, Shin'ichi Warisawa, Hiroyuki Hashizume, and Mamoru Mitsuishi, "Continuous path controller for the remote ultrasound diagnostic system," *IEEE/ASME Trans. on Mechatronics*, Vol.13, No.2, pp.206-218, 2008.

ホームページ等

<http://www.nml.t.u-tokyo.ac.jp/>