

# 臓器運動補償機能をもつ双腕マスタスレーブ手術ロボットシステム

## Dual-Arm Master-Slave Surgical Robot System with Motion Cancellation

樋原 直之 小林 祐樹 岡田 昌史 中村 仁彦 (東大)

Naoyuki HIBARA, Yuki KOBAYASHI, Masafumi OKADA and Yoshihiko NAKAMURA  
University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo

**Abstract:**In this paper, we develop master-slave surgical robot system for endoscopic off-pump cardiac surgery. This system assists surgeon for off-pump cardiac surgery by heartbeat synchronization system which provides the stabilized image of heart to surgeon. This system has two compact slave robots with intrathoracic 6DOF and two high speed cameras. The heart motions are measured by hispeed cameras endoscopically and slave robots synchronizes with heartbeat motion. All positions of instruments in this system are managed by optical position measurement device.

**Keywords :** Surgical Robot, Endoscopic Motion Canceller, Master Slave Robot, Active Forceps, Heartbeat Synchronization

### 1 はじめに

心臓外科手術のひとつである冠動脈バイパス術において、人工心肺を用いず心拍動下で術部の運動を拘束してバイパス術を行う手術法、OPCAB(Off-Pump Coronary Artery Bypass Grafting)が普及しつつあるが微小振動の残った状態で微細作業を行うため、術者に高い技術、経験を要求する。OPCAB支援システムとして心拍に同調して動作するロボットを用いた臓器運動補償型外科手術支援ロボットシステムが開発されているが [1], さらなる低侵襲化を図るため内視鏡下への拡張を行なう必要がある。本研究では内視鏡下で6自由度を持つ小型ロボット機構及び内視鏡下臓器運動計測手法を提案し、臓器運動補償機能をもつ双腕マスタスレーブロボットシステムの開発を行なう。

### 2 システム構成

マスタスレーブロボットシステムはマスタデバイスと内視鏡画像表示モニタからなるコンソール、複数台の小型外科手術ロボットからなるスレーブロボット、各機器の位置を計測管理し、臓器運動計測を行う管理システムからなる。構成を Fig.1 に示す。

- Fig.1 左は 2 基のマスタデバイス (PHANTOM DESKTOP, SensAble Technologies Inc.) と内視鏡画像表示モニタからなるコンソールパートで、術者はここでモニタ画像を見ながらマスタデバイスによりスレーブロボットの操作を行う。
- Fig.1 中央は手術器具を搭載し、術者の操作する 2 基の手術ロボット、内視鏡マニピュレータとなる 1 基の手術ロボットからなるスレーブパートで、マスタデバイスからの入力によりロボットが動作する。
- Fig.1 右は赤外線位置測定装置 (OPTOTRAK), 二台の高速度カメラ (DALSA, 955 [fps]) からなる計測パートであり、各機器の位置管理、臓器運動計測を行う。

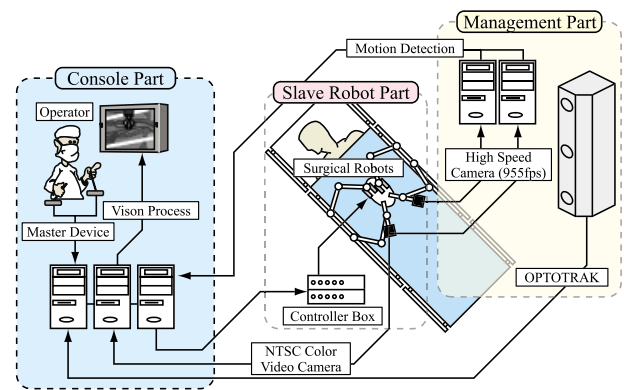


Fig. 1: System Overview of Surgical Robot System

### 3 内視鏡下外科手術マニピュレータ

内視鏡下外科手術では、手術器具が腹壁に開けた孔 (トロカールポート) を中心とした回転運動をする。このトロカールポート上でアクチュエータおよび全ての機構を完結させることにより小型軽量かつ高剛性・高応答性を有する 3 自由度マニピュレータを開発した。このマニピュレータを本研究では能動トロカールと呼ぶ。能動トロカールは Fig.3 に示す閉リンク機構により回転 2 自由度と挿入方向の並進 1 自由度を持ち、各自由度の軸が 1 点で交わる機構である。この点をトロカールポートと一致させることにより腹壁にかかる力を最小限に手術器具を駆動することが可能である。主要部品にはマグネシウム合金を



Fig. 2: Active Trocar with Closed Kinematic Chain

用い軽量高剛性な機構とした．高剛性多自由度能動鉗子 [2] を搭載することで内視鏡下で位置姿勢 6 自由度を実現する．パッシブな位置決め装置 (ポイントセッター, 三鷹光器) によりトロカールポート上に能動トロカール 2 基を設置し双腕マスタスレーブロボットシステムを構築した．

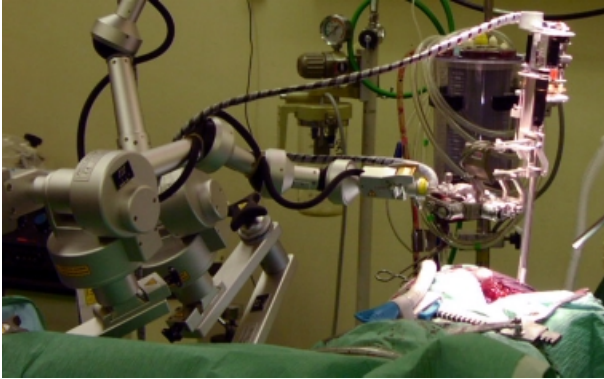


Fig. 3: Slave Robot with Passive Positioner

#### 4 内視鏡下心拍動計測

計測パートは Fig.4 に示すように硬性鏡を取り付けた 2 台の高速カメラと 3 次元位置計測装置 (OPTOTRAK) によって構成される．OPTOTRAK でカメラの位置, 姿勢のキャリブレーションを行ない, 2 台のカメラのステレオ視により 3 次元位置を実時間で計測する．高速カメラで得られる画像は非常に暗く, さらに硬性鏡により光を大きく損失するため輝度の高いマーカが必要となる．本研究では光を来た方向に反射する性質を持つ再帰性反射材をマーカとして使用することで, 内視鏡下でのマーカの認識を可能とした．

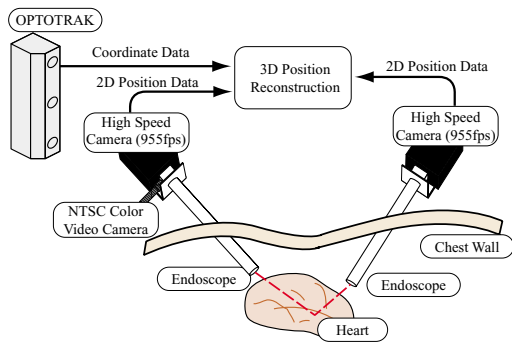


Fig. 4: Heartbeat Measurement System

#### 5 実験

第 4 節で示したシステムを用いて開胸下で心拍動計測実験を行なった (Fig.5:左)．本システムでは周囲の明るさの影響は小さいため, 内視鏡下と開胸下で計測に大きな差はないと考えられる．マーカ 4 点を計測し Fig.5 右のような結果を得た．マーカ 4 点に対し 2[msec] での計測が可能であり実時間での計測が可能であるといえる．

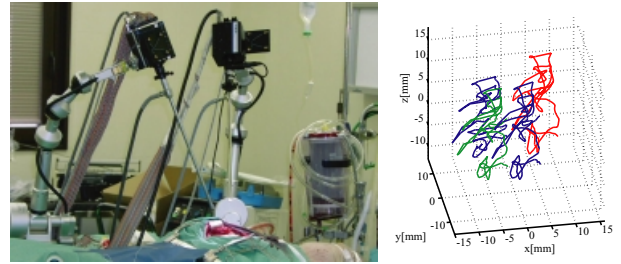


Fig. 5: In-vivo Experiment

さらに, 全てのパートを統合した手術ロボットシステムを用いて研究室環境において臓器運動追従模擬実験を行なった．模擬的な臓器運動を計測した結果を Fig.6 に示す． $xz$  平面,  $xy$  平面における目標値 (実線), 実験値の軌跡 (鎖線) を示す．カメラによるノイズがあるが  $x, y$  方向では良い追従性を示している． $z$  軸方向で誤差が大きいのはスレーブロボットの胸腔内挿入深さを決定する自由度について減速比が大きく追従できていないことが原因であると考えられる．

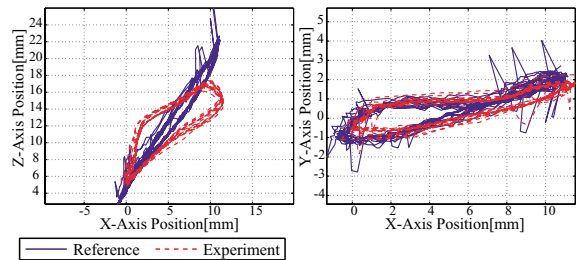


Fig. 6: Experiment Result of Motion Canceller System

#### 6 おわりに

本研究の成果を以下にまとめる．

1. 胸腔内で 6 自由度を持つ小型外科手術ロボットを開発した．
2. 内視鏡下で光学的に臓器運動を計測するシステムを開発した．
3. これらを統合し, 内視鏡下臓器運動補償型双腕マスタスレーブ手術ロボットシステムの構築を行なった．

なお, 本研究は, 未来開拓推進事業「外科領域を中心とするロボティクスシステムの開発」, 「手術ロボティクスシステム開発プロジェクト」(代表: 佐久間一郎), および NEDO 医学・工学連携型研究事業「循環器系疾患に対する予後診断を含む低侵襲診断治療システムに関する基盤研究」(代表: 高本眞一) の支援を受けた．

#### 参考文献

- [1] Nakamura Y., Kishi K., Kawakami H., "Heartbeat synchronization for robotic cardiac surgery," Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.2014-2019, 2001.
- [2] 渡部 耕一, 岡田 昌史, 中村 仁彦, "リンク駆動型高剛性多自由度能動鉗子の開発," 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会'01 講演論文集, 2P1-D10, 2001.