

# カテーテル誘導用マスタスレーブシステム

## Master Slave System for Catheter Guide Operations

○ 大阿久研人 (芝浦工大)      米田隆志 (芝浦工大)

毛利誠 (毛利医院)

Kento OAKU, Shibaura Institute of Technology

Takashi KOMEDA, Shibaura Institute of Technology, Makoto MOHRI, Mohri Hospital

**Abstract:** Interventional radiology (IR) is one of a minimally invasive surgical technique. It enables to treat vascular diseases. IR needs only a minimal incision for insert to catheter. That means some advantages for patients and hospitals on shortening of a treatment. However, IR has disadvantages for radiologists that operate repeatedly. This operation needs to get some radiographic images, during an operation. It imposes the risk of radiation exposure to radiologists. The objective of this study is to avoid the risk of radiation exposure by means of a Master Slave System (MSS) for a catheter-guided IR operation. MSS is a type of remote control, therefore keep distance between a radiation source and radiologists. In this report, we have developed a slave robot having simple mechanisms in order to easy to maintenance. We applied a linear motor on actuator and force detector with method using the linear motor controller.

**Key Words:** Interventional radiology, Master Slave System, linear motor

### 1. はじめに

近年, 低侵襲手術法に著しい進歩がみられ, 開腹式手術法と競合するような治療成績を示すようになった. 低侵襲手術法の1つとして, IVR (Interventional Radiology) がある. IVRはX線透視画像を見ながら, カテーテルや針を体内に挿入し手術を行うものである. 従来行われてきた開腹式手術と比べ, 切開する範囲が狭いことから, 術後回復期間が短縮でき, 患者や医院の負担が少ない手術法である.

しかし, 血管造影やカテーテル位置の確認を目的としたX線透視を手術中に複数回行うため, 短期間に幾度も手技を行う医療従事者の放射線障害が問題となっている. 現在被曝防護に用いられている防護服は, 鉛などを用いて遮蔽をしているため重く, 医療従事者への身体的負担となるとともに, 放射線を完全には遮蔽できていない可能性もある.

### 2. 研究目的

本研究ではIVRによる職業被曝を解決するため, 医療従事者が可能な限り被曝することなく作業をしながら, 臨場感をもったカテーテル手技を行うことのできるシステムの開発を目的としている. 医師が離れた場所からカテーテルの挿入を可能とするマスタスレーブシステムを用いることで, 医療従事者と放射線源との距離を確保でき被曝を防ぐことができる. またスレーブが受けた力をマスタにフィードバックすることで臨場感を得る事ができると考えた. IVR手技のすべてをマスタスレーブで行うのではなく, X線透視画像を必要とし, 医師に細かな操作を要求される血管分岐部でのカテーテル誘導を対象と定めた.

本稿では, メンテナンス性が高く, 直動方向の力検出能力を備えていることをコンセプトにスレーブロボットの開発を行った. また, 機構の簡素化とメンテナンス性の向上を目指し, 直動動作に用いるリニアサーボモータを使用し, コントローラからの信号をベースに力検出を試みたので報告する.

### 3. マスタスレーブシステム概要

本マスタスレーブシステムの概要を Fig.1 に示す. 本システムは, 医師が操作するマスタ装置によって直動・回転

動作とカテーテルの把持状態を検出し, それを基にスレーブが医師の操作を再現し, 実際に患者の体内にカテーテルを挿入するものである.

本マスタスレーブシステムを使用するカテーテルの血管分岐部での挿入操作において, 最低限必要とされる動作は, カテーテルのスラスト方向への直線的動作と, カテーテルにトルクを与える回転動作の2つである. そのため, この2方向に対して自由度を持つことが要求される. さらに, カテーテルに回転を与えながら挿入する動作を実現するために, この2自由度は不干渉である必要がある.

また, 把持しているカテーテルに加わる血管からの反力等を検出し, マスタに呈示することで, 臨場感のある操作が可能となる. これにより, 現在日常的にカテーテルを用いた手術を行っている医師であれば, 特別なトレーニングを受けることなく本システムを利用可能である. さらに, 力覚提示によりカテーテルの血管壁との接触を医師が手先の感覚で把握することができれば, 血管穿通による医療事故を未然に防ぐことができる.

加えて, 患者の近傍に設置するスレーブロボットには, 滅菌消毒が可能であることや機械潤滑油等からの清浄性が要求される. そのため, 容易に分解洗浄あるいは部品交換可能であるよう, できる限り簡素で単純な機構であることが求められる. 簡素で単純な機構であることは, 装置の小型化にもつながり, 装置が小型化することで, 手術室内への設置や, 多様なIVRの術式への応用が期待される.

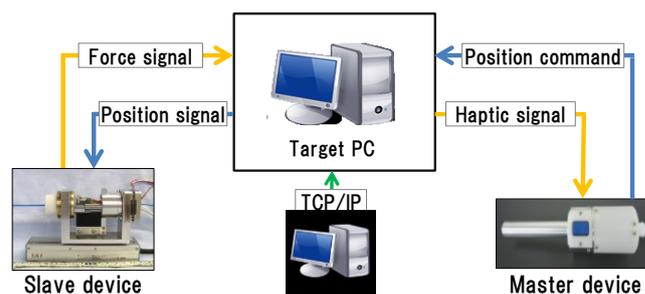


Fig. 1 Master slave system

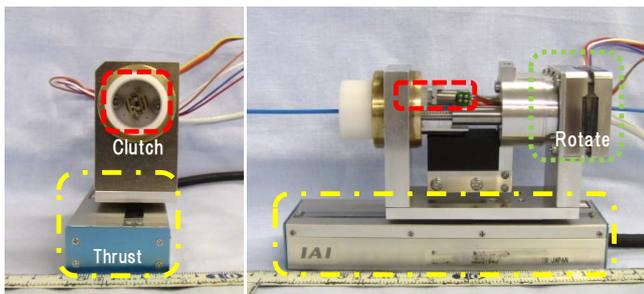


Fig.2 Novel slave to the overall structure

Table 1 Specifications required for the slave device

	Thrust	Rotation
Range to move	60 [mm]	540 [deg]
Velocity	50 [mm/s]	0.5 [rps]
Positioning	1 [mm] w/in	1 [deg] w/in

#### 4. スレーブシステムの開発

開発したスレーブロボットを Fig.2 に、開発にあたり目標にした動作仕様を Table 1 に示す。

Fig.2 に示すスレーブシステムは、全高、全長、幅がそれぞれ 103[mm]、138[mm]、61[mm]であり、直動、回転、把持、力検出の 4 つの機構から構成され機構の回転中心にカテーテルを設置する構造になっている。

直動機構にはリニアモータを用いた。可動子上に他のすべての機構を搭載し、可動子の前後動作によってカテーテルの直動動作を実現することとした。これにより、動作を変換する機構を用いずに、マスタからの位置信号を直接スレーブの動作に反映できるため機械的損失が少なく、動作伝達精度の向上が見込まれる。また部品点数も減少するため、故障の発生箇所も減少し、整備が容易になる。

回転機構には、中空ステッピングモータを使用した。この機構は、カテーテルを把持した状態の把持機構を回転させることでカテーテルをひねる動作を再現する。直動機構と回転機構は互いに独立しているため、医師が手術中に行う 2 自由度の同時操作を干渉せずに行うことが可能である。

把持機構は、マイクロアクチュエータによってクランク円板を回転し、2 本のバーを開閉させカテーテル把持を行う。これにより、手技中にカテーテルをつかみ直すことで無限送りを実現可能となり、また多様なカテーテルサイズに対応可能である。把持力はカテーテルが滑らない最小値である 0.4[N]を最低値として設定した<sup>(1)</sup>。

#### 5. リニアサーボモータコントローラによる力検出

##### 5-1 力検出手法の考案

パルス幅変調方式でモータ制御を行う、リニアサーボモータコントローラがモータへ印加する信号を基にした力検出手法を考案した。負荷された力を他の力に変換することなく検出できるため、力検出用の機構を備えることなく力検出でき、部品点数の削減、静止摩擦の影響減少やスレーブのさらなる簡素化とメンテナンス性の向上が期待される。また、コントローラからモータへ印加される信号はパルスであるため、これを力検出に用いることで、ノイズが少なく、正確な力検出を行うことができると期待される。

##### 5-2 検出手法

本研究で用いているリニアモータ (RCL-SA4L IAI 社製) は、パルス幅変調方式 (PWM) で制御されている。また、

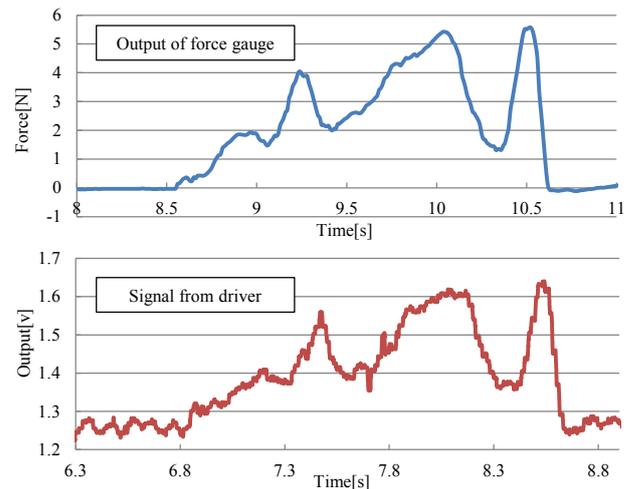


Fig.3 Load to the linear motor

リニアモータには光学式エンコーダが内蔵されており、モータコントローラによって位置制御が行われている。そのため、モータコントローラ (ACON-PL-2I-NP IAI 社製) がモータへ印加する信号は、モータの負荷が変化した際に、パルス周期は一定のままデューティ比が変化する。

そこで、コントローラからモータへ印加される動作信号をアナログ信号として測定し、印加パルス 1 周期の幅でデータを平均していくことで、デューティ比の変化を検出でき、モータが発生している力を検出可能であると考えた。

#### 5-3 負荷検出実験

負荷検出実験の結果を Fig.3 に示す。上記の力検出手法でリニアモータへの負荷を検出できるか検証するため、リニアモータに接触させたフォースゲージの出力と上記の力検出手法により検出したリニアモータへの負荷を比較した。

実験は、リニアモータをマスタと接続した状態で、マスタを操作しないことで可動子を静止した状態に保ち、そこにフォースゲージを接触させ、得られた波形を比較した。

実験の結果、フォースゲージの出力とコントローラから検出したモータへの負荷が類似していることが確認できた。そのため、PWM制御を行うモータコントローラを用いて、リニアモータの負荷を検出できることが確認された。

しかし、検出した力信号は、印加パルスを検出する過程でパルスの立ち上がり時に発生するノイズの影響を受けている。そのためリニアモータが無負荷でも常に値に変動が見られ、リニアモータへの負荷を高い精度で検出できていない。そのため今後は制御パルスを取得する際のノイズを減少させ、力検出精度を向上していく必要がある。

#### 6. まとめ

メンテナンス性が高く、直動方向の力検出能力を備えていることをコンセプトにスレーブロボットの開発を行った。リニアモータを直動機構に採用することで、簡素な機構のスレーブを実現した。また、PWM制御を行うモータコントローラがモータへ印加する信号を用いた力検出手法を考案し、モータに与えられた負荷の検出を確認した。

(1) 藤岡文平 カテーテル誘導用マスタスレーブシステムの開発 芝浦工業大学大学院工学研究科修士論文 2010

(2) 日本エム・イー学会編 医用電子生体工学ME辞典 コロナ社 p.613 1981