

カテーテル誘導用マスタースレーブシステムの開発 - 力覚付きマスターシステムの開発 -

Development of Master Slave System for Catheter Guide - Development of Master with Force Sensor -

○ 渡邊 滯 (芝工大) 毛利 誠 (毛利医院) 米田 隆志 (芝工大)

Mio WATANABE, Shibaura Institute of Technology
Makoto MOHRI, Mohri hospital
Takashi KOMEDA, Shibaura Institute of Technology

Abstract: The development of the master-slave system for catheter guide is crucial nowadays in order to minimize a risk of X-ray exposure to the surgeons during the interventional radiology operation. For the purpose of the operation using this system, detecting the reaction force obtained from the catheter is needed to perform the operation with high safety and operability. In this paper, we developed the force sensor for the Master; consist of two-degree-of-freedom, easy to operate, and it can perform catheterization with an operability with a sense of reality. In this system, the linear force display will use the collet chuck, while rotational force display will used motor control. Here, we did an evaluation experiment of force sensor, and the results present the performance of the force sensor of the master-slave.

Key Words: Master-slave system, Catheter, Collet chuck

1. 序論

近年における医学・工学の発達及び相互技術交流により、低侵襲外科手術が新たな治療法として確立された。低侵襲外科手術の1つである **Interventional Radiology(IVR)**とは、X線透視像、血管造影像、超音波像、またはCT像を見ながら、カテーテルや針を用いて低侵襲に病気を治療する方法である⁽¹⁾。IVR手技を行う際に、血管だけのX線画像を取得できる **Digital Subtraction Angiography(DSA: 減算血管造影)**装置を用いて透視を行うが、連続的にX線が照射されるため、医療従事者がX線被曝の問題がある。そのため、マスタースレーブシステムを用いてX線との距離を確保する手術法が求められている⁽²⁾。本研究は、IVRによる医師の職業被曝の問題を解決するために、力覚提示による臨場感のある操作性を持ったカテーテル手技が行えるマスタースレーブシステムの開発を目的とする。特に、直動方向力覚提示部の検討を実験的にを行った。

2. システム構成

Fig.1 に本マスタースレーブシステムのシステム構成を示す。本システムは力と位置の制御を並行して行う。本システムは、操作者がマスタを操作することで、カテーテルの動作位置指令を入力する。そして、PCを介してスレーブのモータドライバに信号を出力し、カテーテルを操る。また、スレーブに搭載された力検出機構がカテーテルに加わった負荷を検出する。この検出された信号は、PCを介してマスタの制御信号として出力され、マスタの力覚提示機構が動作し、操作者は力覚を認識できる⁽³⁾。

3. 要求仕様

Table1 に要求仕様を示す。医師が直接操作するマスタは、実際の手術におけるカテーテル操作を正確に再現する必要がある。このためには以下が要求される。

- 操作性の良い直動・回転 2 自由度を有する
- 臨場感のある操作のために力覚提示が可能
- 小型・軽量
- IVR 手技中に術者に提示する力は約 2[N]⁽⁴⁾
- 人の反応できる力覚提示応答は 150[msec]⁽⁵⁾

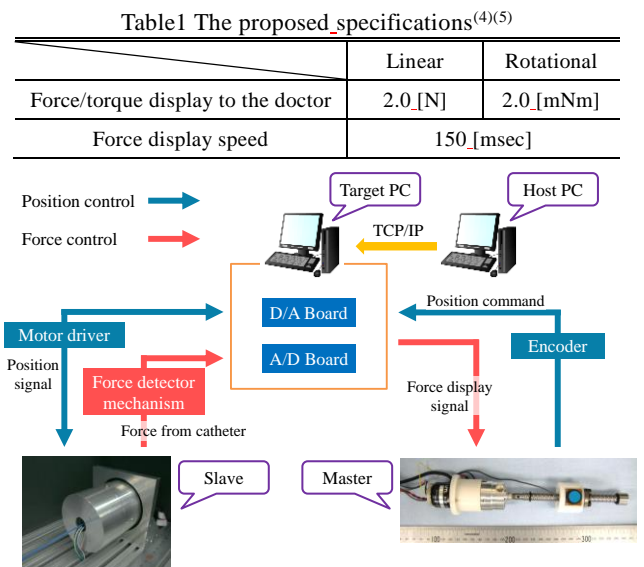


Fig.1 Existing Master Slave system⁽³⁾

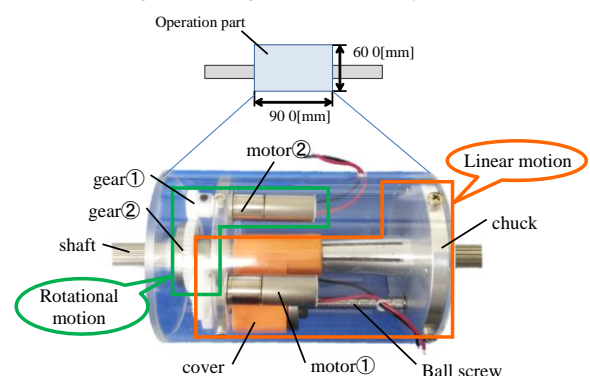


Fig.2 New force sensor for master

4. 開発した力覚提示部

要求仕様を満たすよう開発したマスタ全体を Fig.2 に示す。要求仕様の簡便な直動・回転運動操作を実現するため、直動と回転のそれぞれの操作部を一体化した。

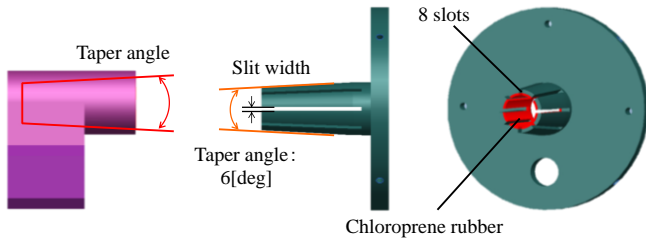


Fig.3 Chuck and Cover to display the force

直動方向力覚提示部はチャック、カバー、ボールねじ、モータ①で構成され、回転方向力覚提示部はモータ②、歯車①、歯車②で構成されている。チャックの内側にクロロプレレンゴムを用いることで、力覚提示後に即座に血管壁に衝突したカテーテルを血管壁から離すような操作を行うことが可能となる。ボールねじとモータ①はカバーをチャックの先端から25[mm]の位置まで150[msec]以内で移動可能である。シャフトにはスプライン加工を施し、歯車②は直動方向のみ移動可能である。

4-1 直動・回転方向力覚提示法

血管内をカテーテルが直動運動しているときは、チャックが開いている状態となり、抵抗のない操作が可能となる。直動方向の力覚提示は、操作しているカテーテルが血管壁に衝突し、カテーテルに負荷が加わったとき、Fig.3に示すカバーがボールねじとモータによって移動し、チャックを閉めることで行う。このときのカバーの移動量によって、コレットチャックの締め付け力により把持力の調節が可能となる。回転方向の力覚提示は、カテーテルに負荷が加わったとき、歯車①に接続されているモータ②を制御し、負荷を発生させることで行う。衝突したカテーテルを血管壁から離すような操作を行うと、直動・回転方向ともに再度操作が可能となる。

4-2 コレットチャック機構

カテーテルが血管壁を穿通する危険性を減少させるためには、カテーテルが血管壁に衝突した際、医師に提示する力を増幅する必要がある。そのため、チャックには8分割のすり割りと6[deg]のテーパを付け、均一にシャフトを把持させる。また、チャックのテーパ角を基準とし、カバーの内側にもテーパを付ける。Table2に示す(a)~(d)の4種類の形状と組み合わせが異なるチャックとカバーを光造形機で製作した。

5. 力覚提示部の評価実験

5-1 実験目的および方法

直動方向力覚提示部におけるチャックとカバーの最適設計を行うため、Table2に示す(a)~(d)の4種類のチャックとカバーを製作し、発揮する力を比較した。

Fig.4に実験方法を示す。シャフトの先端にフォースゲージを設置し、カバーの初期位置、最大締めつけ位置でのシャフトに加わる力をそれぞれ計測した。測定した2つの値の差を提示された最大の力とし、試行回数は(a)~(d)で各10回とした。

5-2 実験結果および考察

Fig.5に示す実験の結果の(a)・(b)より、より大きな力覚提示をするためには、すり割り幅は大きい方が良いことを確認した。しかし、すり割り幅が大きくなりすぎると、シャフトを把持する面積が小さくなるため、このことを考慮してすり割り幅を決定する必要がある。

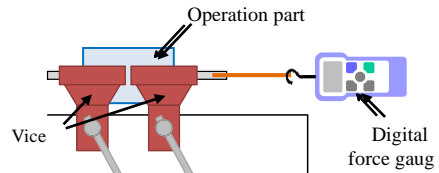


Fig.4 Experimental methodology

Table2 Combination of cover and chuck

		(a)	(b)	(c)	(d)
<chuck>	Slit width[mm]	1.0	1.5	1.5	1.5
<cover>	Taper angle[deg]	0	0	6	12

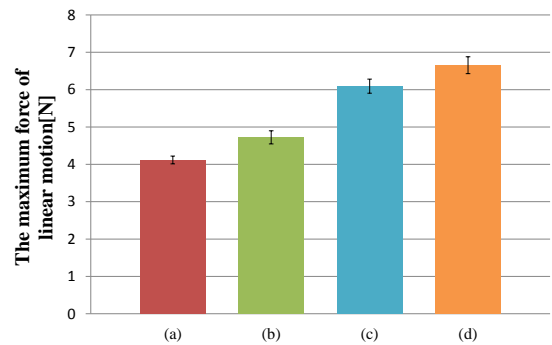


Fig.5 Experimental result

(b)~(d)の結果より、より大きな力覚提示をするためには、カバーの内側のテーパ角を大きくした方が良いが、あまり力に差はないことを確認した。

本実験の結果から、チャックのすり割り幅は大きい方が力覚提示のレンジが広がり、カバーの内側にもテーパ角を付けた方がさらにレンジが広がるということが分かった。

6. 結論

IVRによる医師の職業被曝の問題を解決し、力覚提示による臨場感のある操作性を持ったカテーテル手技が行えるマスタの力覚提示部の開発を行った。特に、カテーテルが血管壁に衝突した際、医師に提示する力を増幅するため、チャックとカバーの形状の検討を行った。評価実験より、チャックのすり割り幅と、カバーの内側のテーパ角による提示される最大の力の特性が分かった。今後は、力覚提示分解能を向上させる。

参考文献

- (1) 日本IVR学会 PRパンフレット総論編 http://www.jsivr.jp/kouhoukara/PR_PDF/IVR_PR200503.pdf
- (2) 中村仁信, 富樫厚彦, 諸澄邦彦, IVRの臨床と被曝防護, 医療科学社, pp.11-18, p.24, 2004年
- (3) 井出勝, 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 白紙学位論文, 2002年
- (4) Thorsten Alexander Kern, et al.: "Design of haptic display for catheterization," Proc. of the 1st. Joint Euro Conf. and Symp. on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp.477-478. 2005
- (5) Jessie Y.C. Chen, Ellen C. Haas, and Michael J. Barnes: "Human Performance Issues and User Interface Design for Teleoperated Robots", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Part C: Applications and reviews, vol. 37, No.6, pp.1231-1245, 2007