

平成21年6月1日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18500393  
 研究課題名（和文） デュアル・マスター・スレーブ方式を用いたトンネル型 MRI 対応型手術ロボットの開発  
 研究課題名（英文） Development of the operation robot corresponding to tunnel type MRI using a dual-master-slave system  
 研究代表者  
 岡 正人（OKA MASATO）  
 宇部工業高等専門学校 機械工学科 准教授  
 研究者番号 70281582

## 研究成果の概要：

トンネル型MRI(磁気画像診断装置)において、手術器具を正確に患部に導くことのできる手術支援ロボットに関する研究を行なった。手術支援ロボットは、2つのマスター・スレーブ型のロボットから構成される。これにより、MRI内に設置された手術支援アームの動きを操作者側にフィードバックすることができ、MRI室内でのアームの動きを目で直接確認できるようにすることができる。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,200,000	0	1,200,000
2007年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	690,000	4,190,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：トンネル型MRI，手術ロボット，超音波モータ，精密位置決め

## 1. 研究開始当初の背景

医学の進歩と共に、それを支援する医療機器の開発も急速に行なわれている。手術を支援するロボットの代表としては、ダビンチやゼウスなどが臨床試験を行っており、今後の活躍が期待されている。しかしながら、これらのロボットは、その大きさやアクチュエータに電磁モータを用いているため、その設置場所に制限を受ける。MRIは人体に影響を及ぼさない為、近年多くの病院に導入され

つある。このMRIは脳のような複雑な組織においてもその患部を鮮明に写し出すことができる。特に脳を対象とした治療では、神経や血管を傷つけずに行なう必要があり、きわめて高度な技術を必要とされる。このような場合において、撮影された画像のみならずロボットの手助けがあれば、手術の安全性や治療の精度は飛躍的に向上することが期待される。本研究では、MRI装置の中でも動作可能な手術支援ロボットについて研究を行った。

## 2. 研究の目的

本研究では、まだ実用化されていないMRI対応型の手術ロボットの基礎研究を行なう。現在、MRI対応型の手術ロボットの研究は、きわめて少なく今後の研究が期待されている分野である。ここでは脳のような複雑な組織を対象とした、手術アームを正確に患部に導き手術を行なうことのできるシステムの構築を行なう。

手術支援ロボットは、2つのマスター・スレーブ型のロボットから構成される。MRI装置のガントリ部はきわめて狭く、外部から内部の様子を見ることができない。そのためどのような状態でロボットが動いているのかを直接確認することができない。本研究ではMRI室の手術ロボットの動作と同様な動作を行うロボットをMRI操作室に置くことにより、その動作を確認する方式を用いた（デュアル・マスター・スレーブ方式）。このようなシステム構成とすることにより、実際にMRI室内で動いているロボットアームの動作を目で確認できるようにした。

## 3. 研究の方法

(1) 本研究はアクチュエータに非磁性体型の超音波モータを用いる。また、狭い空間(ガントリ部)のクローズ型MRIでも動作可能な手術支援アームの製作を行う。この手術支援アームは産業用ロボットの構造とはまったく異なった構造を用いることにより、多自由度の動きができるように機構を工夫する。

(2) 制御回路は、マスター・スレーブ方式が実現できるようにプログラムを作成する。また、超音波モータは、精密な位置制御をおこなうために、マイコンによる周波数制御方式により回転数を制御する。

(3) 材料はMRI画像に影響を与えず、かつ剛性の高い素材で構成する。使用する場所により、金属系の材料と非金属系の材料を使い分ける。

## 4. 研究成果

### (1) 手術アームの構成

初期の計画では、アームはガントリの外部からリンク棒を繋げて操作する予定であった。しかしながら、この構成では画像への影響を少なくすることができるが、精度を高くすることが難しいことが実験により分かっ

た。この結果より外部よりリンク棒による操作方式から、ネジ式の中空型超音波モータを利用した方式に変更を行った。

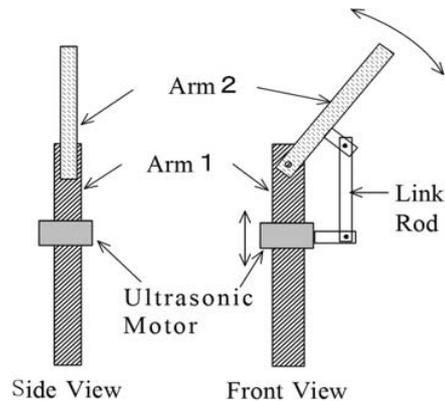


図1 ネジ式アームを用いたアーム駆動方式

図1にアームの構造を示す。ギアに相当する部分は、ねじ山を切ったアームのねじに相当する。また、超音波モータはその構造上中空構造とすることもできる。ここでは市販の超音波モータを中空型に改造して利用した。この中空型の超音波モータの回転子に相当する部分にナットに相当する部品を取り付ける。このように構成することにより超音波モータの回転子が回転するとナットに相当する部品が回転して、ねじが切られたアーム上を移動することになる。この移動方向は直線となるため、このモータとアーム2をリンク棒で結ぶことにより、アーム2が任意の方向に動くことになる。このような機構とすることにより、関節部への機構の集中を避けることができ、変速ギアのない軽量の構造が可能となった。また、この構造は超音波モータに供給する電源を切っても、アームは固定されたままとなる。したがって、固定式のアームとしても利用できる。

図2は試作したアームを示す。図1の構造をしたアームが互いに90度の位置関係になるように組み合わせる。これにより先端部では二自由度の動きが可能となる。アクチュエータのフレームや継手部分の多くをPEEK樹脂によって構成した。PEEK樹脂は、通常の樹脂に比べて耐熱性、耐薬品性および機械的強度が優れている。

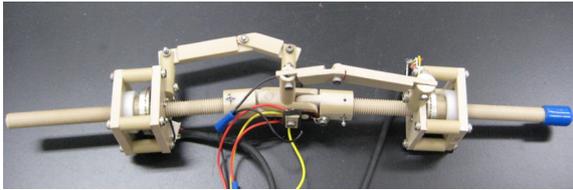


図2 製作したアーム

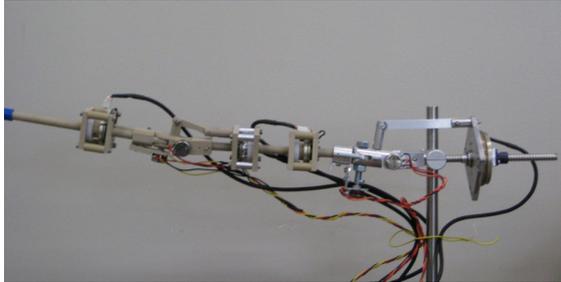


図3 試作した手術支援アーム

図3に試作した手術支援アームを示す。図2のアームを複数組み合わせることにより、アーム先端部での多自由度の動きを実現させた。

(2) 制御方式

①デュアル・マスター・スレーブ方式による制御方式

図4に提案するデュアル・マスター・スレーブ方式の制御方式を示す。手術ロボットは、MRI制御室からの人間（医師）の操作によってMRI内の手術ロボットがマスター・スレーブ方式により操作される。この操作された手術ロボットはさらにその動作を確認するためにMRI制御室のロボットへマスター・スレーブ方式により動作が行われる。このようなシステム構成とすることにより、MRI検査室内で動作しているロボットアームの動作を

直接目で確認することができ、高い安全性が確保することができる。

②超音波モータ制御回路

図5に超音波モータの制御回路とマスターおよびスレーブアームとの関係を示す。アームの位置制御を行うために、マイコン（PIC）とVR（可変抵抗）を用いてフィードバック制御を用いる。マスター側のアーム関節部の角度を目標値とする。この目標値とスレーブ側のアーム関節部の角度が同じになるように制御を行う。超音波モータの制御手法は、低速時にトルクが確保できるように可変周波数制御方式を用いた。また、回転方向は位相差を反転することにより正・逆転を制御した。

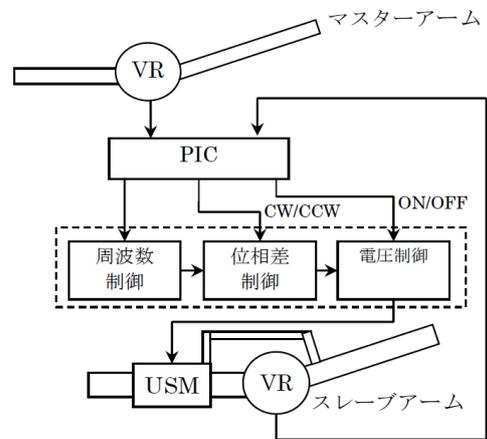


図5 制御回路とアーム

(3) 材料について

MRI 装置内で使用するためには、アームの動作が撮影画像に影響を与えず、更に MRI の

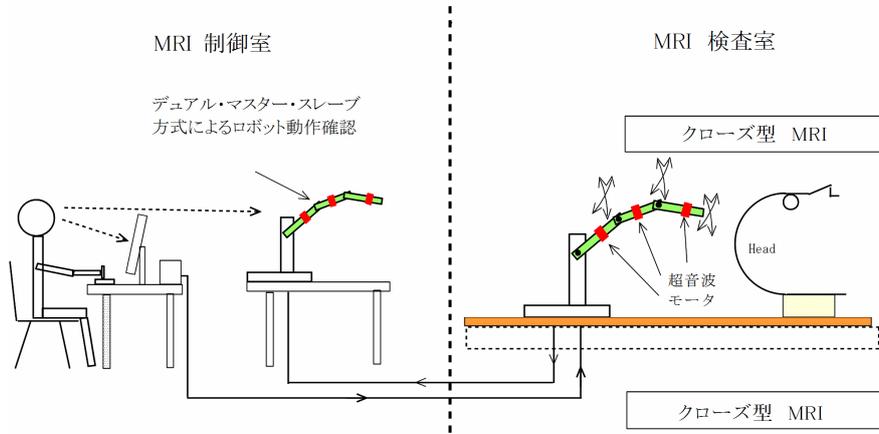


図4 デュアル・マスター・スレーブ方式による制御方式の概略図

磁場がアームの動作に影響を与えないことが必要となる。そのためアクチュエータには非磁性体型の超音波モータを使用した。また、アームの構成部品には、チタン及びPEEK（ポリエーテルエーテルケトン）樹脂を使用した。チタンは弾性変形が小さいためにアーム部に用いた。また、アームの関節部やモータのフレーム部には PEEK 樹脂を用いた。このように金属系の材料を最小限とすることにより、画像への影響をなるべく小さくなるように工夫を行った。セラミックスは、変形がなく非磁性体材料である。MRI 対応としては理想的な材料ではあるが、衝撃に弱く割れる場合があった。力のあまり掛からないところが部分的に用いることが理想的であることがわかった。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

- ①田中幹也, 岡 正人, 若佐裕治, 明石卓也, 長縄明大, 超音波モータの GA 調整型 NN-PID 制御, 日本 AEM 学会誌, Vol. 15 No. 4, pp. 415~421, 2007 年 12 月, 査読: 有
- ②田中幹也, 若佐裕治, 明石卓也, 岡 正人, 超音波モータの GA 調整型 PI 制御, 電気学会論文誌, D 部門 Vol. 127 No. 6, pp. 663~668, 2007 年 12 月, 査読: 有
- ③岡 正人, 田中幹也, 長縄明大, 春山和男, 入出力線形補償型制御器を用いた超音波モータの精密位置決め制御, 日本 AEM 学会誌, Vol. 15 No. 2, pp. 201~207, 2007 年 6 月, 査読: 有
- ④長縄明大, 藤枝昌史, 田中幹也, 岡 正人, 若佐裕治, NN 併用型 2 自由度 MRACS に基づく超音波モータの位置制御, 計測自動制御学会 産業論文, 第 6 巻 第 1 号, pp. 1~7, 2007 年 3 月, 査読: 有
- ⑤Y. Wakasa, M. Oka, K. Tanaka, M. Fujii, S. Yamauchi, K. Minami, Development of a Needle-Insertion Robot for MRI-Guided Stereotactic Surgery, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 18, No. 5, pp. 643~649, 2006. 10, 査読: 有

[学会発表] (計 2 件)

- ① 友清貴広, 岡 正人, 田中幹也, 若佐裕治, 大津早人, MRI 対応型手術支援マニピュレータの開発, 福祉工学シンポジウム,

pp. 233~234, 2008年9月, 山口大学

- ② 岡 正人, 大津早人, 友清貴広, MRI 対応型手術支援マニピュレータの開発, 第 16 回計測自動制御学会中国支部学術講演会, pp. 146~147, 2007 年 11 月, 山口大学

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

- ①名称: 超音波モータ制御回路  
発明者: 田中幹也, 岡 正人  
権利者: 国立大学法人山口大学  
種類: 特許  
番号: 2007-28672  
出願年月日: 2007. 2. 8  
国内外の別: 国内

[その他]

- ① 岡 正人, MRI 対応型高精度位置決め手術支援システム, インナービジョン (月刊雑誌), p. 56, 2006 年 7 月

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡 正人 (OKA MASATO)  
宇部工業高等専門学校 機械工学科  
准教授  
研究者番号: 70281582

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし