

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月1日現在

機関番号：55501  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2009～2011  
 課題番号：21500460  
 研究課題名（和文） 中空型超音波モータ駆動方式を用いた MRI 対応型手術支援アームの研究  
 研究課題名（英文） Research of the operation support arm corresponding to MRI using hollow type ultrasonic motor driving system  
 研究代表者  
 岡 正人（OKA MASATO）  
 独立行政法人国立高等専門学校機構宇部工業高等専門学校・機械工学科・教授  
 研究者番号：70281582

## 研究成果の概要（和文）：

手術支援アームは、中空型の超音波モータを用いて送りネジ方式によってアームを制御する。この方式を用いることにより減速ギアを必要とせず、精密な位置制御が行える。また、電源を供給しない場合は固定式のアームとして利用できる。このアームをチタンやジュラルミンを用いて製作することにより、MRI の画像への影響を少なくした。また、高精度な位置決めを行える可変周波数を用いた超音波モータ制御回路を開発した。

## 研究成果の概要（英文）：

An operation support arm control by lead screw system using hollow type ultrasonic motor. By using this system, slowdown gear is not needed and precise position control can be performed. Moreover, when it doesn't supply the power supply to the motor, it can use as fixed arm. Manufacturing this arm using titanium or duralumin, influence of the picture on MRI was reduced. The ultrasonic motor control circuit using the variable frequency which can perform precise positioning was developed.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：医用ロボット、手術ロボット、超音波モータ、位置決め、トンネル型 MRI

## 1. 研究開始当初の背景

現在の医療現場における手術では、ダビンチやゼウスといった手術ロボットを用いた手術が行われている。手術ロボットは人間と違い、手ぶれがなく、同じ姿勢を保ち続ける

ことができるため、正確な手術を行うことができ、また離れた場所からも操作することができるという特徴を持っている。一方で、人の生体内の情報を画像化する方法として MRI や CT のような撮影方法がある。その中でも

MRIは、CTのように放射線を使用しないため、脳のような複雑な組織においても安全に撮影することができる。この研究においては、MRIと手術ロボットの両方の特徴を生かし、MRIと併用して使用することができるMRI対応型手術支援アームの研究を行った。

## 2. 研究の目的

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、構成材料に非磁性体のジュラルミンやチタンを用いることによりMRI装置に設置できるようにする。アームはギアレス方式を採用して小型化を実現する。また、この方式を採用することにより電源を供給していないときは固定式のアームとして利用できる。

## 3. 研究の方法

手術ロボットとMRIを併用して使用する際に、MRI装置内は強磁場であるため、磁性を示す材料は影響を受けるため、磁性を示さない非磁性材料のみを構成材料とした。また、アクチュエータとなるモータも、通常の電磁力により駆動する電磁モータではなく、非磁性である超音波モータを使用した。超音波モータとは、超音波振動を利用しロータを駆動する方式のモータである。この超音波モータは低速時に高トルク駆動、軽量、作動音が静かなどといった特徴を持っている。このモータを今回の研究では中空構造に分解・加工して使用した。また、超音波モータは超音波振動により駆動するため、専用の回路を使用した。そしてアームを動かすためのコントローラと、動きを連動させるための回路も使用した。

## 4. 研究成果

### (1) アクチュエータ部の構成

アームを開発するにあたって、市販の超音波モータを分解し、ロータ部とステータ部を取り出して、新たに中空型の超音波モータを製作した。図1に中空型超音波モータの構造を示す。中空型超音波モータはロータ、ステータ、台座、ベアリング、リング、Eリング、めねじから構成される。これらは、ねじを用いてそれぞれ連結している。回転子であるロ

ータはめねじと連結されており、ロータの回転と同じ方向に回転する。このように構成することにより、中空型超音波モータはねじ軸上を直線的に動くことが可能である。アームは超音波モータ、関節、リンク棒、ねじ軸からなる。超音波モータがねじ軸上を移動することでリンク棒に連結された関節が動く。送りねじ方式を利用することで、高精度な位置制御が可能になった。また、静止時には電磁ブレーキを必要としない特徴がある。

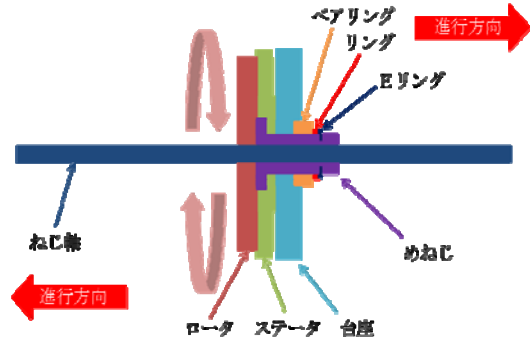


図1 中空型超音波モータを用いたアクチュエータ部の構成

### (2) 関節部の構成

アームの関節部は中央の固定部と2つの一自由の関節部、2つの可変抵抗で構成される。2つの一自由度の関節部がそれぞれ上下、左右の動きを実現している。可変抵抗は中央部と関節の連結部分に埋め込まれており、関節の動きによって可変抵抗の軸が回転するようになっている。関節の角度が変化すると可変抵抗の値が変わり、電圧値が変化する。これを利用して位置制御を行う。関節部の構造を図2、部品の詳細を図3に示す。

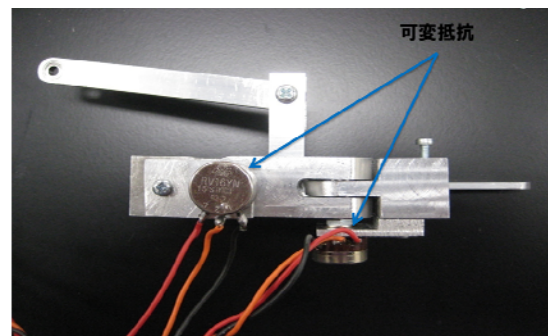


図2 関節部の構成

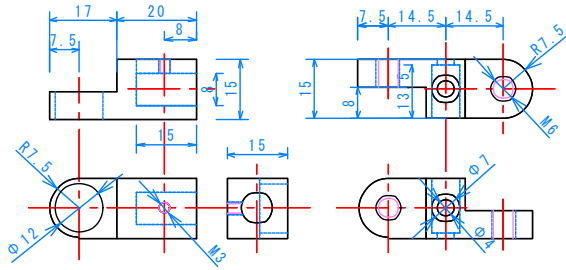


図3 関節部の部品

(3) 一自由度アームの構成

図4は図2の関節部と中空型超音波モータをリンク棒で接続した状態を示す。これは一自由度のアームの構造であり、これを複数個組み合わせることにより、多自由度アームとなる。

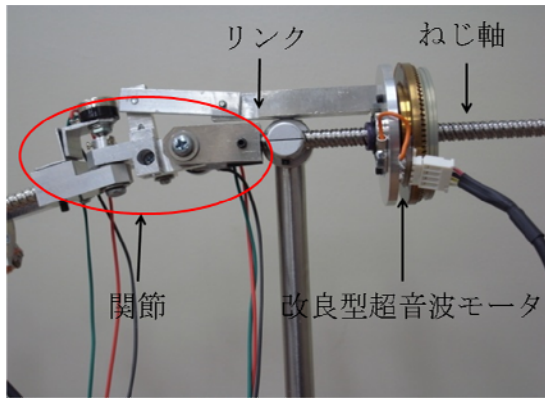


図4 一自由度アームの構成

(4) 多自由度アームの構成

図5は図4の一自由度アームを4本組み合わせることにより、多自由度アームとしたものである。一自由度のアームを互いに

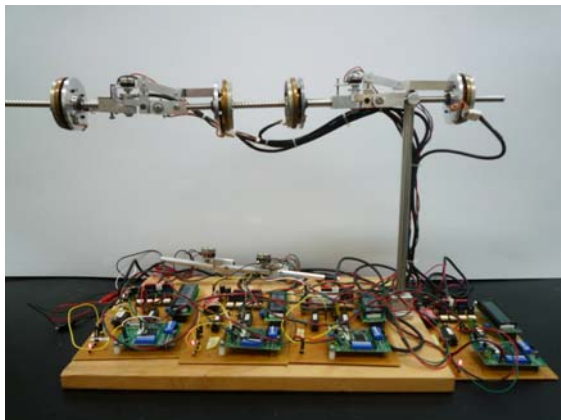


図5 多自由度アームの構成

90度の角度で配置することにより、任意の方向にアームを動かすことができる。

(5) アームの制御

アームはマスターのコントローラの動きに追従する形で動作する。コントローラとアームの関節部にはそれぞれ可変抵抗が埋め込まれているので、これらの値を逐次比較することで位置制御が可能となる。

また、中空型超音波モータと関節の軸固定部はリンクによって連結されている。よって、モータがねじ軸上を移動するとリンクによってつながった関節も影響を受けその角度を変える。図6に示すようにコントローラの角度 (VR1') にアームの角度 (VR1) が一致するようにマスター・スレーブ方式による制御を行う。

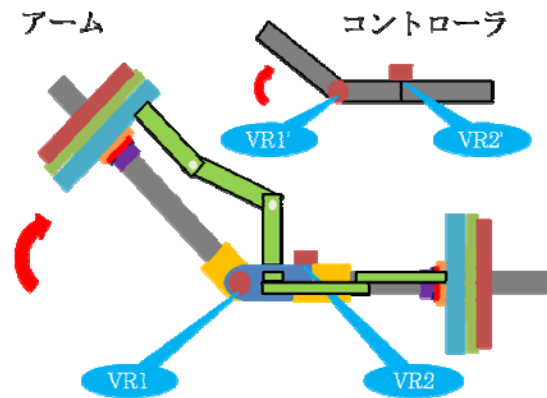


図6 マスター・スレーブ方式による制御

アームの角度制御には PIC マイコンの A/D 変換機能を用いた。アームの角度制御ブロック図を図7に示す。

マスター側を動かすと可変抵抗のボリュームが回転し、電圧の値が変化する。そこで PIC の A/D 変換機能によりアナログ電圧をデジタル値に変換する。なお、スレーブでは可変抵抗から現在のアームの角度データが A/D 変換によって送られてくる。そして、その2つのデータを比較し、その結果によって、モータの正転、逆転、停止を選択する。マスター側の値がスレーブ側の値より大きければモータは正転し、マスター側の値がスレーブ側の値より小さければモータは逆転し、マスター側の値とスレーブ側の値が

等しければモータは停止する。

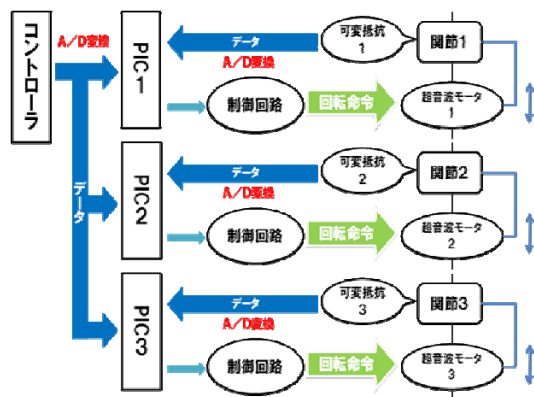


図7 アームの角度制御ブロック図

制御回路ブロック図を図8に示す。回転制御はPIC①とPIC②によって行われる。PIC①の役割は2つある。1つ目はPIC②に電圧制御 (ON/OFF)、位相制御 (CW/CCW) をさせるために信号を送ることである。2つ目は操作量を算出し、DDS に適切な周波数を出力させることである。PIC②も同じく2つの役割がある。1つ目は位相の異なる2つの電圧をつくるためにパルスを発振することである。2つ目は電圧とその位相の制御である。つまり回転/停止、正転/逆転の制御を行う。

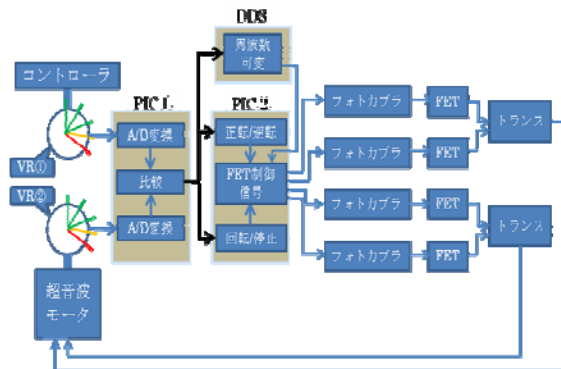


図8 制御回路ブロック図

操作量はマスター側の可変抵抗とスレーブ側の可変抵抗を用いて操作量の算出にはPID制御を用いた。可変抵抗の出力する値はPIC①にてA/D変換され、角度データとして扱われる。PIC①はマスター側可変抵抗およびスレーブ側可変抵抗の角度データを取得し、そしてその情報を比較することで超音波モータの操作量を算出する。またこのとき同

時に正転/逆転および回転/停止の判断も行う。

角度データを取得する際の精度はPICの性能に左右される。今回使用したPICが持つA/D変換機能の分解能は10bit (1024) であり、可変抵抗の回転角度は270°なので、位置精度は以下のようなものになる。

$$270[^\circ] \div 1023 \approx 0.26[^\circ]$$

なお角度変化が0.26°以下の場合、ハンチングや振動を起こす可能性があるため、±0.26の許容範囲を設けた。

#### (6) まとめ

超音波モータを用いて、ギアを必要としない軽量かつシンプルな多自由度アームを製作できた。材料も非磁性体で構成されているため、高磁場内での稼働も可能であり、特殊な環境下での応用も期待できる。また、超音波モータの持つ自己保持特性により、無動作時も保持力を持ち続けることが可能になった。これにより静止時に無駄な電力を消費することがなくなった。なお、今回はアームを4つ組み合わせることで4自由度の動きを実現できた。

制御面ではPICマイコンとそのA/D変換機能を用いて、アームがコントローラに追従するマスター・スレーブ制御を実現できた。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

- ①田中幹也、村田裕介、西村淑恵、Abd rahman Faridath、岡 正人、内堀晃彦、超音波モータのPSOを用いた可変ゲイン型PID制御、日本AEM学会誌、査読有、2010、Vol. 18、No. 3、pp. 294~299
- ②長縄明大、山尾拓也、佐藤生馬、岡 正人、田中幹也、正宗賢、MRI対応穿刺治療ナビゲーションロボットの高精度制御、日本AEM学会誌、査読有、2010、Vol. 18、No. 2、pp. 155~161
- ③K. Tanaka, Y. Wakasa, T. Akashi, M. Oka, PI control adjusted by GA for ultrasonic motor, John Wiley & Sons, Electrical Engineering in Japan, 査読有、2009、Vol. 169、No. 1、pp. 59~65
- ④田中幹也、吉村淑恵、若佐裕治、明石卓也、岡 正人、穆 盛林、超音波モータの可

変ゲイン型知的PID制御、日本AEM学会誌、  
査読有、2009、Vol. 17、No. 3、pp. 501～  
507

〔学会発表〕（計7件）

- ①岡 正人、原田 勉、可変周波数制御による超音波モータ制御回路、第42回学生員卒業研究発表講演会、2012. 3. 7、広島大学
- ②岡 正人、益田智哉、MRI対応型小型マニピュレータに関する研究、第42回学生員卒業研究発表講演会、2012. 3. 7、広島大学
- ③杉井昌広、岡 正人、田中幹也、長縄明大、MRI対応型手術支援アームに関する研究、平成22年 電気学会電子・情報・システム部門大会、2010. 9. 2-3、熊本大学
- ④西島法生、岡 正人、田中幹也、長縄明大、中空型超音波モータを用いた多自由度アームに関する研究、平成22年 電気学会電子・情報・システム部門大会、2010. 9. 2-3、熊本大学
- ⑤山内健嗣、岡 正人、田中幹也、若佐裕治、長縄明大、杉井昌広、MRI対応型手術支援アームの試作、第7回生活支援工学系学会連合大会、2009. 9. 24-26、高知工科大学
- ⑥伊東真実子、長縄明大、関 健史、佐藤生馬、田中幹也、岡 正人、正宗賢、予測制御によるMRI 対応ナビゲーションロボットの高精度位置決め、第7回生活支援工学系学会連合大会、2009. 9. 24-26、高知工科大学
- ⑦S. Mu, K. Tanaka, Y. Wakasa, T. Akashi, Y. Nishimura, M. Oka, Intelligent IMC-PID Control for UltraSonic Motor, ICROS-SICE International Joint Conference, 2009 Aug. 18-21, Fukuoka (Japan)

## 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・教授  
研究者番号：70281582