

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007 ～ 2009

課題番号：19560302

研究課題名（和文） 球面モータの開発

研究課題名（英文） Development of spherical motor

研究代表者

百目鬼 英雄 (DOHMEKI HIDEO)

東京都市大学・工学部・教授

研究者番号：40386355

研究成果の概要（和文）：球体磁極を近年開発された磁性材料と圧粉磁粉を複合させることにより一体成形されるコンポジット構造で構成した球面モータを開発することを目的に研究を行い、半球状の構造でのモータ試作を行った。球体の磁石の評価として、3次元磁気測定ホールプローブを使用することにより、磁束分布の定量的な測定を可能となり基礎特性を検討した結果、この構造で、小型の球面モータを作成可能であることを実証した。

研究成果の概要（英文）：The research purpose is to develop a spherical motor whose sphere magnetic pole consisted of composite structures carried out by compounding the developed magnetic material and sintered magnetic materials in recent years. Evaluation of the spherical magnet became possible about quantitative measurement of magnetic flux distribution by using a three-dimensional magnetism measurement hole probe. As a result of examining a cardinal trait, it was proved that a small spherical motor could be created with this structure.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電気機器工学

キーワード：球面モータ、多重度制御、永久磁石

## 1. 研究開始当初の背景

リニアモーションの分野では多軸での利用が一般であり、リニアモータを直角に2軸を構成した、X-Y ステージ、製図機などが実用化されている。さらに進めて1台のモータだけで、2次元駆動が可能なサーフェスマー

タやプレーンモータと呼ばれるモータの研究・開発が試みられ、最近では曲面モータ、球面モータの提案もなされ、多自由度モータの研究が活発化していた。球面構造は、球体を自由に配置することが出来ることから、ロボットの構成部品を目的とした開発が主と

して行われていた。特に、関節の代替が可能となるパワーアクチュエータの開発は、モータを多数台重ねて自由度を構成する従来の構造に比較し、次の利点を持つことから特に注目を集めていた。即ちロボットマニピュレータは7自由度を有するが、手先のモータが肩側モータの負荷になるため、肩側に行くほど大出力かつ重いモータが必要になっていた。このためモータ重量が雪だるま式に膨れ上がり、可搬重量に比較し巨大な構造を要求した。もし3自由度の球面モータを肩と手首に配置し、肘に1自由度のモータを配置すれば、人間腕型ロボットマニピュレータが3台のモータで構成でき、上記問題は軽減される。人間腕型マニピュレータでは、手先の位置と方向から関節角度を計算する逆運動学方程式を直接解くことができないため、逆運動学の高速解法が高速な制御を行うための重要な研究課題となってきた。同様の問題がロボットの脚の制御などでも発生する。球面モータは各自由度の回転中心が一致するため、逆運動学を幾何学的に解くことができる。このようにアクチュエータとしての重量の大幅な軽減ばかりでなく、制御の簡単化による高速化が容易に実現できることが、電磁形パワーアクチュエータとして球面モータ開発の大きなモチベーションとなっていた。

## 2. 研究の目的

(1) 電磁形でパワー球面モータの形態としては、永久磁石を使用したPM型モータを球面モータへ拡張する必要がある。研究では、ロボットアームの手首を球面モータで実現することを目的に研究・開発を行うこととし、直径70mm、回転トルク0.4Nm、重量2kgのモータをターゲットとして研究を始めた。多自由度モータの構成要素はアクチュエータ本体、その支持機構、また、多次元センサの3者から構成される。

(2) 初めに、アクチュエータ本体の開発を主目的とした研究を行う。その際問題となるのが永久磁石で球面体を構成する方法であり、また、球面上で極対をどのように構成するかが第1課題となる。従来は永久磁石を円筒状に加工して球体を作る方法が国内外で行われている。しかし、形状の自由度がなく、また完全な球体を構成することは不可能であるなどの問題を持っている。最近になって、圧粉磁粉とネオジウム永久磁粉を一体に成型する技術がわが国で開発されており、この技術を球面モータに適応することで、磁石の構成に制約を受けないことが利点となる。

(3) 球体のマグネットを均一に着磁するための方法を開発する必要があり、着磁ヨークの形状も含め該当年度前半でフル着磁出来る極ピッチとその際の磁束分布の解析を行い、回転子側の設計条件を決定し、球面モータを試作評価することを目的とした。

## 3. 研究の方法

(1) コンポジット構成で作成可能な球体のマグネットの形状を確認し、最大の大きさのマグネットを試作する。

(2) 続いて球面形状のマグネットに適した均一な磁束分布を発生する着磁方法を開発することを目的に研究をおこなう。基本的には、鉄心を有するソレノイドコイルを多極に配置して着磁を行う。隣接する磁極間隔が広がるためフル着磁が困難になることと、磁極が対抗しないことによる着磁分布の不均一になることに対する評価法を開発する。その方法として、近年注目を集めている3次元磁気プローブを用いて、球体の磁束分布を測定することで、有限要素法との比較を3次元で行う方法の有効性を確認する。

## 4. 研究成果

(1) 従来は直径2cm程度のものしか製作できなかったが、製造プロセスの見直しにより、今回直径6cmの半球のものを製作することが出来た。



図1 試作球状コンポジット磁石

(2) 球面モータとして最も重要な点は、磁極の配置と固定子コイル数の決定であり、従来は磁極の極数は磁石の策定により限定されていたため任意とすることが出来なかった。球体の磁石形状は任意の着磁が原理的に可能であり、その方法を検討した結果、正立法体であれば駆動かのであることが幾何学的に明らかになった。その極数については、磁界解析により正確にトルクを検討することが必要であり、とりあえず正8面体構造とし、試作磁石を4極に着磁した。

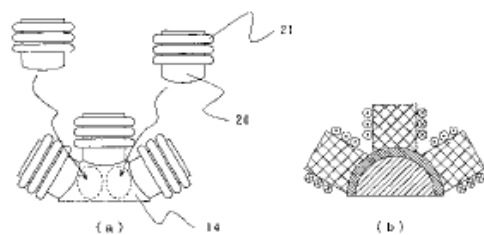


図2 着磁方法

そこで、3軸の磁束分布測定可能なガウスメータでの計測を行うこととした。3軸のホールプローブとしても、空間的には位相差を持っており、測定結果に問題があることが判明した。そこで、測定値を補正するための計測装置を作成した。これにより、着磁の評価が可能となった。

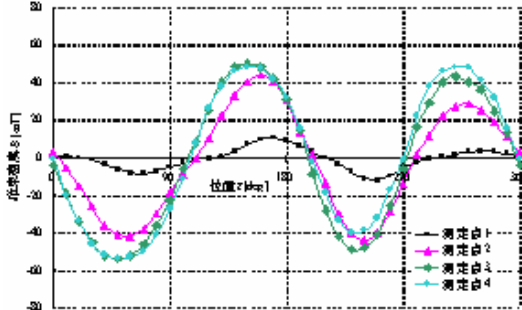


図3 着磁分布測定結果

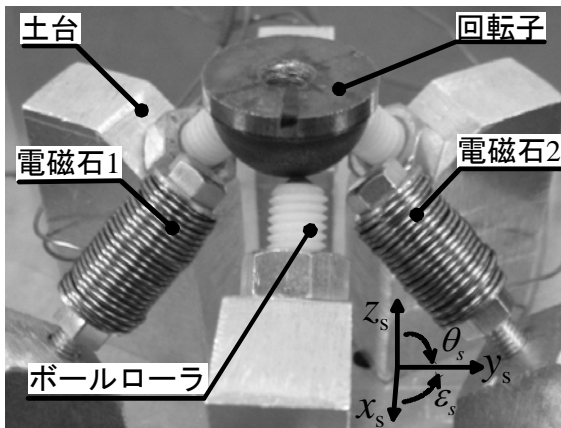


図4 プロトタイプ球面モータ

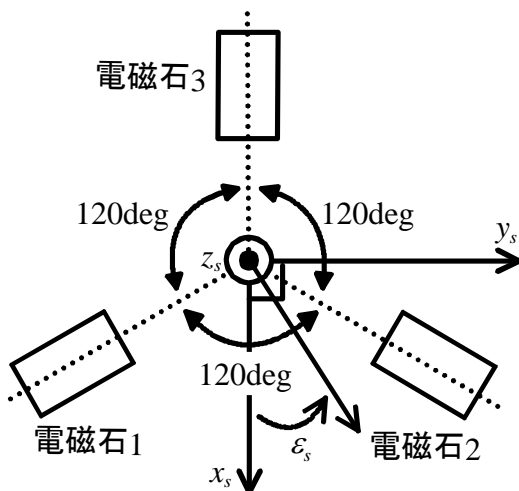


図5 磁極配置(側面図)

(3) 球面モータとして最も重要な点は、磁極の配置と固定子コイル数の決定であり、従来は磁極の極数は磁石の策定により限定されていたため任意とすることが出来なかった。球体の磁石形状は任意の着磁が原理的に可

能であり、その方法を検討した結果、正立法体であれば駆動可能であることが幾何学的に明らかにできた。その極数については、磁界解析により正確にトルクを検討することが必要であり、着磁法を含め検討を行った。その結果、フル着磁をするためには、半球で

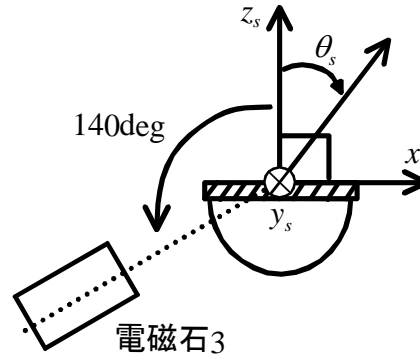


図6 回転角の自由度

は困難を伴うものの、通常の円柱磁極により着磁可能であることを解析から明らかにすることが出来た。また、固定子磁極配置についても検討を加え、一応3相構成で2自由度を持った駆動が行えることをシミュレーションから明らかにした。

(4) この結果、半球の磁石による予備実験を図4のように3つの電磁石により回転運動の確認を行った。つまり、正8面体に対し、6極の磁極により、回転を含め3自由度の制御が行えることから、半球面構造を4極6ポールにより構成した。

3極配置であり、図5のようにZ軸周り間の回転動作は

球面モータとして二色成形磁石を用いた、着磁分布の解析を行うことで、球面モータの駆動特性を考慮した着磁分布を持つ磁石の開発に成功した。しかし、磁石の起磁力が弱いため実用的なトルクを発生するまでは至っていないという問題点は残っているが、今後開発されるであろう高エネルギー積を持つ球状磁石に対しても、対応可能な駆動システムが解決できた。

(5) 球面モータで最も問題となる支持機構としては、決定的な方法が見出せず、ジンバル機構を用いた支持により球面モータを作成した。ただしこの機構は、位置センサとして、ジンバルの2軸の支持棒にロータリーエンコーダを装着することでコントロールが可能となる利点を持っているため、センサからのフィードバックが容易に行える長所を持っている。ステータ磁極には、円柱の電磁石を用いる方法と、スロットレス構造とする2つの方法が考えられ、コギング推力を発生しないスロットレス構造で試作をした。また、ドライブ法としては、インダクタンスが小さいことで、電気的時定数が小さいことに起因する問題を回避するため、近年高性能の電力用OPアンプが開発されていることから、アナロ

グで電流コントロールをする駆動システムを開発し、コントローラとしては、計測・制御が簡単に行うために、NI社製LabViewにてシステムを構築した。今回の研究により、制御からその動特性までを一元管理できる、多自由度駆動システムが開発できた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計3件)

- ① 百目鬼英雄, 多自由度モータとその要素技・術研究動向, 電気学会産業応用部門大会, 2009年8月27日, 高知
- ② 梶山秀幸, 鈴木憲吏, 百目鬼英雄, スロットレスタイプサーフェスモータの基礎特性, 電磁力関連のダイナミックスシンポジウム講演論文集, Vol. 21st, pp. 61-62 2009.05, 長野
- ③ 梶山秀幸, 鈴木憲吏, 百目鬼英雄, スロットレスタイプサーフェスモータの開発, 第18回MAGDAコンファレンス, 2009年11月23日, 東京都市大学(東京)

[図書] (計1件)

- ① 百目鬼英雄 他: 多自由度モータのシステム化技術, 電気学会技術報告書, No. 1140 pp. 1~6 (2008. 11. 25)

#### 6. 研究組織

- (1) 研究代表者 百目鬼 英雄  
(DOHMEKI HIDEO)  
東京都市大学・工学部・教授  
研究者番号: 40386355