

# 回転と直動の二自由度駆動が可能なモータの試作

## Prototype of a Two-Degree-of-Freedom Motor which can Realize Rotational and Linear Motion

曹 梅芬<sup>1)</sup>, 星 伸一<sup>2)</sup>

Meifen Cao<sup>1)</sup>, Nobukazu Hoshi<sup>2)</sup>

*Abstract: The direct drive using an actuator which has multi-degree-of-freedom is demanded from various fields such as the haptic interface used for a teleoperation system for the medical purposes. A prototype of a two-degree-of-freedom motor which can realize rotational and linear motion is proposed in this paper. The inverter for driving the proposed motor is constructed. The results of fundamental experiment are also reported in this paper.*

Keywords: Two-degree-of motion freedom, permanent magnet synchronous motor, inverter.

### 1 はじめに

モータを含むアクチュエータは動力を必要とする機器には必要不可欠な構成要素であるが、近年、応用機器毎に、機構や駆動原理を工夫する必要が生じてきており、研究者には将来必要とされるアクチュエータを予測し、構造から制御方法まで総合して考え、アクチュエータシステムとして提案することが求められている<sup>(1)</sup>。例えば、医療用遠隔操作装置（遠隔操作型外科手術用ロボット）などに用いられるハプティックインターフェース用のアクチュエータとしては、ダイレクトドライブ方式であるリニアモータに注目が集まっており、ソレノイドを使ったりニアモータなどが提案されている<sup>(2)</sup>。本研究では、手で物体を捻りながら押し込む動作（例えば、ねじ締め）を一つのモータでフィードバックできるような二自由度モータについて検討するための一号機を試作した。

また、試作したモータの動作確認を行うための試験用インバータを製作し、駆動試験を行った。

### 2 試作した二自由度モータ

試作した二自由度モータの構造概念図を図1に示す。この

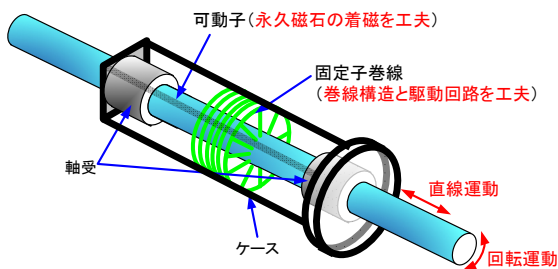


図1: 二自由度モータの構造概念図

モータでは、直動と回転の二自由度とするために従来の回転型モータと直動型モータ（リニアモータ）を組み合わせた構造となっている。可動子には直動方向及び回転方向共に位相をずらして着磁されている永久磁石が貼り付けられている。また、三相巻線が施された固定子が6つ組み込まれており、電機子電圧の印加方法が変更できるようになっている。

試作した二自由度モータの外観写真を図2に示す。この試作機のサイズは、直軸方向の筒の長さが19cmで、直径が5cmである。

試作した二自由度モータの可動子を手で動かしたところ、回転方向のコギングに対し、直動方向のコギングがかなり大きくなってしまった。これは、各相間の固定子磁極間隔が、回転方向に比べ直動方向で大きくなっているためであると考えられる。

### 3 駆動試験用インバータ

試作した二自由度モータは、電機子巻線の端子が36個存在するが、本実験では、各固定子をY結線接続し、直動方向の固定子を図3に示すようにグループ化して9相電圧を印加することで駆動できるように結線した。このため9相電圧



図2: 試作した二自由度モータの外観

<sup>1)</sup> 東京都立産業技術高等専門学校ものづくり工学科

<sup>2)</sup> 東京理科大学理工学部電気電子情報工学科

を印加できるように図4に示す三相インバータを3台並列に接続し、図5に示す9相インバータを製作した。

また、このインバータのゲート信号をPWM制御により生成するため、図6に示すコントローラをFPGA(Field Programmable Gate Array)に書き込むことで構築した。図

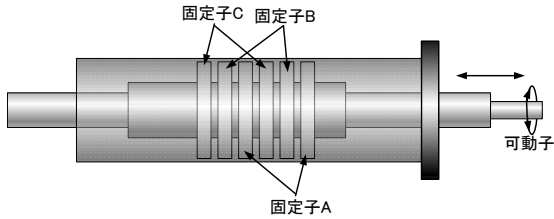


図3: 動作確認試験のための固定子のグループ化

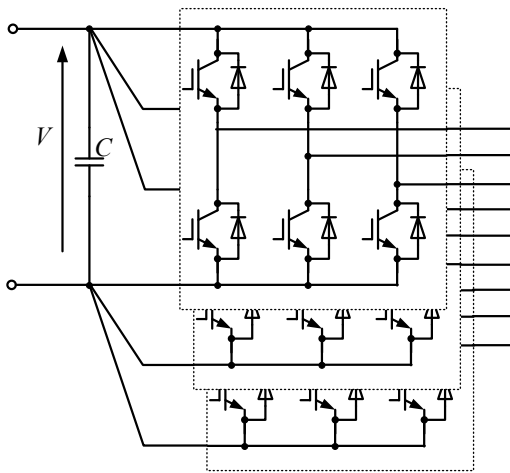


図4: 製作したインバータの三相分の回路図

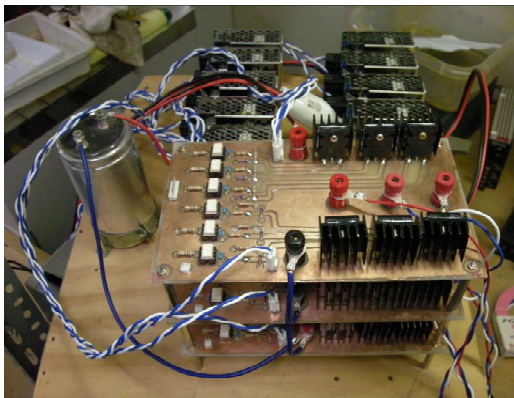


図5: 9相インバータの外観<sup>(3)</sup>

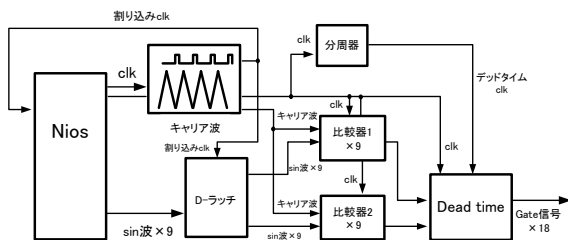


図6: 9相インバータ用PWMコントローラ<sup>(3)</sup>

中”Nios”と書かれた部分は、ソフトコアCPUであり、このCPUで電圧指令値の演算を行い、D-ラッチ部に9相分の指令信号を書き込むことにより、9相分18個のスイッチのゲート信号生成される。なお、上下アームのスイッチのゲート信号には”Dead time”ブロックでデッドタイムが挿入されるようになっている。

#### 4 動作確認試験

試作したモータは永久磁石同期モータであるため磁極位置を把握して制御する必要があるが、今回は無負荷での基礎実験であるため、オープンループで電圧指令値を生成し、駆動した。なお、インバータの直流入力電圧は6Vとし、指令信号の変調度を一定に保ち、周波数は2Hzに設定した。

各端子に加える電圧の位相パターンを変えながら実験を行ったが、一瞬直動方向に動いた後に可動子が端部に達した状態で回転するか、まったく動かないかどちらかの動作しか確認できなかった。この原因としては、直動方向のコギングが大きく直動方向より回転方向に動きやすくなっているものと思われる。

今後、この問題を制御法で改善可能かどうか検討する予定である。

#### 5 おわりに

ハプティックインターフェース用アクチュエータでは、微妙な力の感触を、遠隔地のオペレータにフィードバックする必要がある。ギアを用いて直動と回転の二自由度の駆動を実現する方式では、微妙な力の感触を出力することが難しい。これに対し、二自由度モータが開発できれば、ギアを介さないダイレクトドライブでハプティックインターフェースを構成でき、現在よりさらに微妙な力の感触をオペレータにフィードバックできるようになることが期待できる。

本研究では二自由度モータの実現可能性を探り、問題点を洗い出すために、第一号試作機を製作したが、直動方向のコギングトルクが大きくなってしまった。これを改善するため、構造面及び制御面の双方から、研究を進めることが必要である。

今後詳細な三次元磁場解析を行い設計することで、この問題を解決し、小型ハプティックインターフェースの開発を行いたい。

#### 参考文献

- (1) 次世代ニューアクチュエータの展望, 樋口俊郎, 日本ロボット学会誌, Vol. 21, No. 7, pp.698 - 701, (2003)
- (2) リニア直流ソレノイドモータを用いた精密な運動制御, 加藤敦, 久保武春, 大西公平, 電気学会論文誌D, Vol. 125, No. 6, pp. 630 - 636, (2005)
- (3) 高橋宏: 「9相インバータの製作と制御」, 茨城大学工学部電気電子工学科卒業論文, 2008年