

# スパイラルモータの駆動と制御に関する研究

## 目的・背景

搬送システム、搬送ロボット、プレス機、射出成形機などの産業機器や、自動車、航空機などの輸送機器には直線運動型のアクチュエータが広く用いられている。直動アクチュエータには、油圧、空圧、回転型モータ+運動変換機構、リニアモータなどの種類があるが、油圧や空圧は保守性や制御性が低く、また、電動モータを利用したものは単体では大推力化が難しい、などの欠点がある。近年では、保守性の観点から、油圧から電動アクチュエータへの置き換えが進んでいる。しかし、電動モータ単体で大きな力を発生させることは難しいため、減速器および回転→直線運動変換機構と組み合わせて実現されており、装置が大型化・複雑化するという問題がある。また、リニアモータは機械的変換機構が不要で、モータ単体で推力を発生させることができるダイレクトドライブシステムであり、制御性に優れるという利点があるが、大推力化するためには、装置のサイズを面的に拡大する必要があり、大推力化が難しいという問題がある。これらの問題を解決するため、本研究室ではスパイラルモータと呼ばれる新しい構造のリニアアクチュエータを考案し、開発を進めている。スパイラルモータは、可動子および固定子がらせん形状をしたモータで、可動子が固定子の中をらせん運動し、そこから直線動作のみを取り出して利用するリニアモータである。可動子と固定子の対向面積を大きくとれるため、従来の同一体積のリニアモータと比較して大きな推力が得られ、かつ、ギアがないため機械損が少ないという特長がある。

## 原理

スパイラルモータは、コイルが巻かれた固定子(Fig.1a)と軸があり永久磁石が取り付けられた可動子(Fig.1b)とをらせん状に組み合わせた構造(Fig.1c)となっている。雄ねじ状の可動子が雌ねじ状の固定子に組み込まれて回転する仕組みで、ねじが前後する動きを直線運動として取り出して利用する。

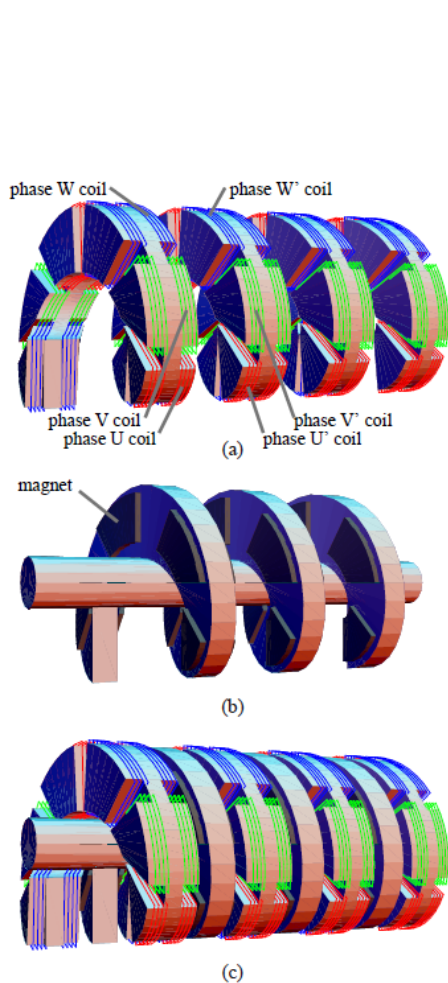


Fig. 1. A preliminary structure of a spiral motor. (a) A stator with three-phase windings. (b) A mover with permanent magnets. (c) A motor combined with the stator and mover.

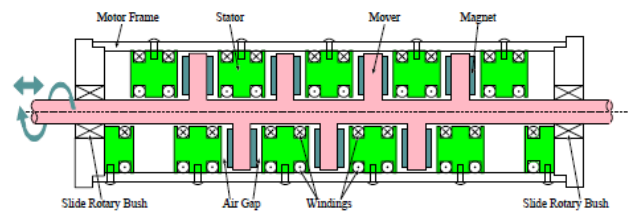


Fig. 2. A structure of a spiral motor.

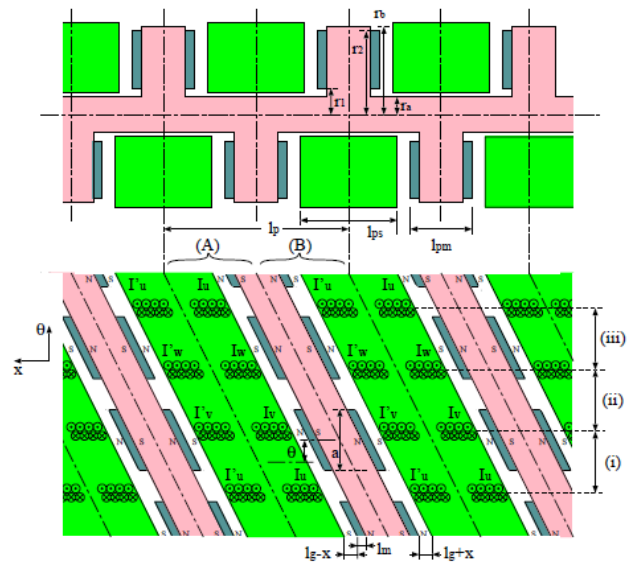


Fig. 3. A spiral motor in polar coordinates.

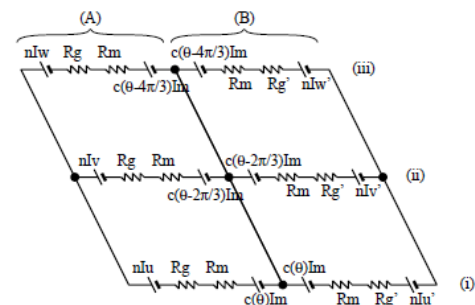


Fig. 4. A magnetic circuit.

スパイラルモータの断面図はFig.2のようになる。固定子と可動子間にはエアギャップが存在し、コイル磁束、マグネット磁束とも主に軸方向に分布するので、スパイラルモータはアキシヤルギャップ型永久磁石同期モータの一種といえる。軸の両端にあるスライド・ロータリ・ブッシュによって半径方向の力を支え、軸方向の力は全て電磁力と拮抗することとなる。このとき、エアギャップを一定に保つために、軸方向に磁気浮上制御が必要となる。

スパイラルモータを極座標展開するとFig.3のようになり、同図から簡易等価磁気回路を導くとFig.4のようになる。これより、磁束の分布や推力の近似値を求めることができる。

### 1号機の開発

スパイラルモータの基本特性を確認するため、製作のし易さ等を考慮し、比較的大型(424×204×178[mm])の実験機の開発を行った。この1号機では、磁気浮上制御を省略するために、Fig.5のようにスライド・ロータリ・ブッシュの代わりにボールねじを導入することでエアギャップを固定している。製作に当たっては、完全ならせん曲面の成形が困難であったので、Fig.6aに示すような平面構造の可動子ブロックと固定子ブロックを設計した。これらブロックを組み合わせることで擬似的にらせん構造の可動子(Fig.6b)と固定子(Fig.6c)を実現した。Fig.7aは製作した1号機の外見図である。Fig.7bは可動子ブロックと固定子ブロックであり、可動子ブロックの両面にはネオジウム永久磁石を取り付けてある。また、固定子ブロックには積層鋼板を用い、コイルは表裏の両面に施してある。Fig.7cはモータの内部構造であり、干渉することなく可動子と固定子がらせん構造に組み合わされていることが分かる。

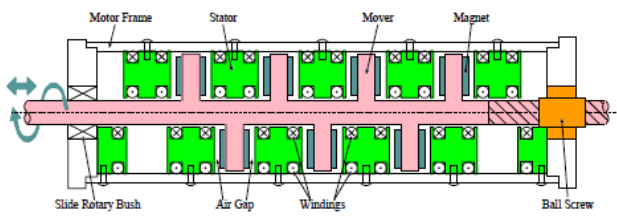
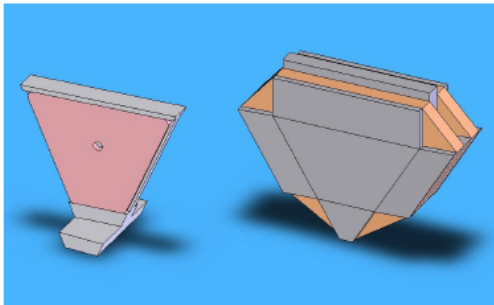
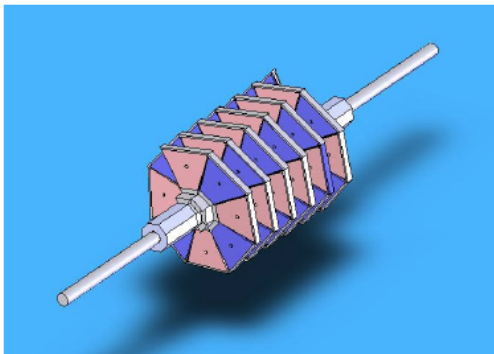


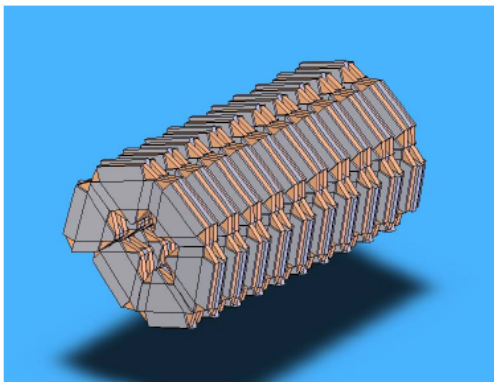
Fig. 5. A spiral motor with a ballscrew.



(a)

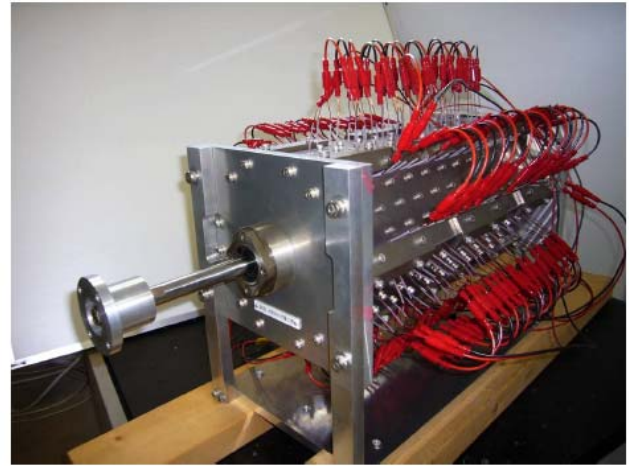


(b)

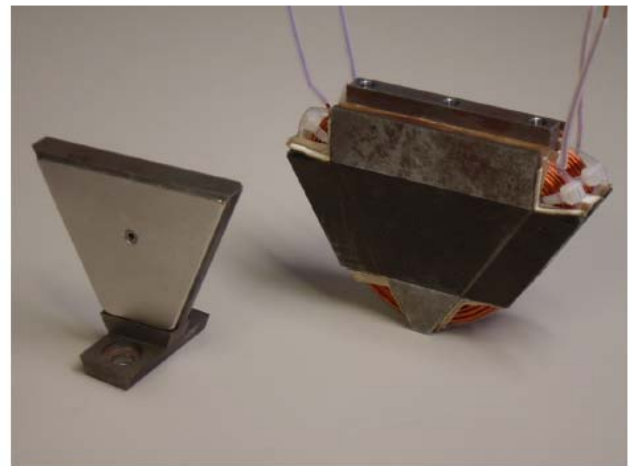


(c)

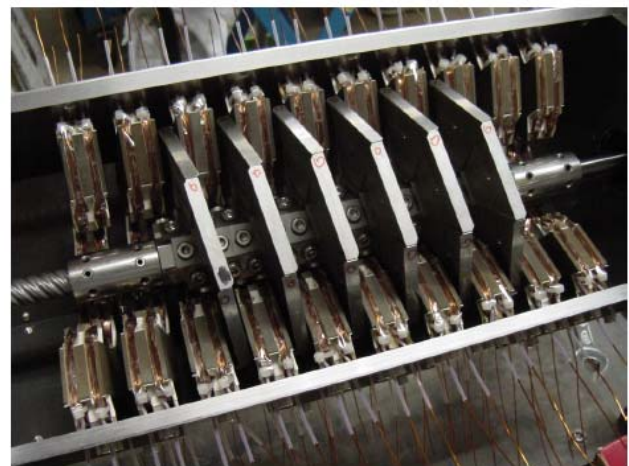
Fig. 6. Design sketches of the prototype. (a) Mover block (left) and stator block (right). (b) Combined mover. (c) Combined stator.



(a)



(b)



(c)

Fig. 7. Photos of the prototype. (a) Outline of the prototype. (b) Mover block (left) and stator block (right). (c) Inner structure.

## 応用

比較的小ストロークで、大推力が要求される用途に向いている。産業機械の直動機構部に組み込み、機械全体の小型化・高効率化に寄与できる。このほか、自動車・航空機関連では、油圧アクチュエータが多く用いられているが、近年、居住空間の拡大や制御性の向上、エネルギー効率の向上の要求から、ワイヤ技術が注目を集めている。推力が大きく、応答速度が速いスパイラルモータはシビアな制御が要求されるワイヤ用のアクチュエータとして有効である。また、小型軽量であることが要求される自律移動型ロボット用のアクチュエータとして有効である。このように、スパイラルモータは直動アクチュエータが用いられている機器の省スペース化・高効率化・高信頼化につながり、産業・社会への波及効果が大きいと考えられる。なお、形状が複雑であるため、今後のコストダウンが課題である。