

リニアモータ技術ガイド

1.0 リニアモータの利点

1.1 リニアモータとは？

リニアモータとはシンプルにまっすぐに進むことができる回転モータです。作動原理も回転モータと全く同じで、回転モータは電磁方程式でトルクが算出されますが、リニアモータは同じ電磁方程式で推進力を算出することができます。

リニアモータは多くのアプリケーションにおいて従来の回転モータを使用した回転駆動システムより明確な優位性があります。リニアモータを構築する際には、ギア、ボールねじやベルトドライブなどの機械要素機器を介して負荷に接続することなく、モータと負荷を直接接続することができます。これによりバックラッシュや弾性によるずれが作動部分より発生する事はありません。したがって、サーボシステムコントロールにおける動的動作が改善され、高い精度でのコントロールが可能になるのです。

リニアモータは機械的な動力伝達部品が無いことで、低い慣性と低騒音を実現することができます。更に機械的摩擦はガイド部のみ発生します。その結果、リニアモータは従来の回転駆動システムに比べて、より信頼性が高く、摩擦による損失も少なくなります。

1.2 構造の違い

負荷に直結できるリニアモータと回転駆動システムの構造の違いを、リニアモータドライブシステムとボールねじを使用した直動システムの例を図1と図2に示しました。回転運動を直線運動に変換する動力伝達を行う機械的要素が無いため、リニアモータに組み込まれている軸は回転駆動システムの軸よりもとてもシンプルな機械的構造となっており、結果として高い動的動作を必要とするアプリケーションにおいても、低い慣性しか生じません。必ず必要という訳ではありませんが、リニアモータドライブを使用したリニアモータテーブルにはリニアエンコーダが備えられており、極めて正確な位置のフィードバックを得る事ができます。

図2にあるようなリニアエンコーダは高価な要素機器であると考えられがちですが、フィードバックシステムを採用する事は、アプリケーションの要件によっては最適な選択である場合があります。例えば、Parkerでは高精度な制御を必要とするアプリケーションでは、超高分解能の光学式エンコーダをお勧めしております。更にParkerはシステム全体でのコストを押さえたいアプリケーションには低分解能で低価格の磁気エンコーダも提供しています。実際には一般的ではない安価なフィードバックシステムを採用したリニアモータドライブシステムが時としてその優れた性能を発揮する事により、高精度研削ボールねじを使用した回転駆動システムに比べ、同程度もしくは安価で済む場合があります。



図3：
部品単位で提供されるリニアモータ例
(アイアンレスリニアモータの可動子とマグネット)

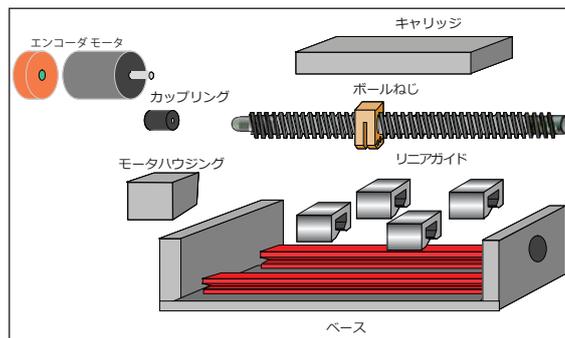


図1：
ボールねじを使用した精密位置決めテーブルの構成例

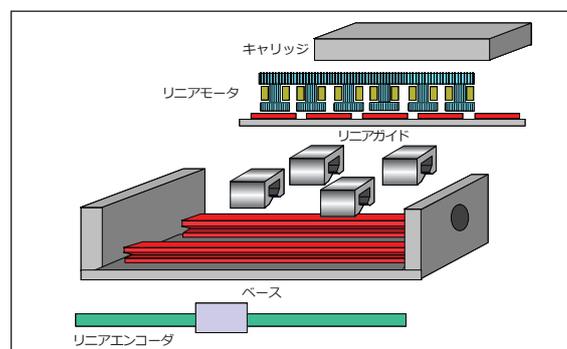


図2：
リニアモータを使用した精密位置決めテーブルの構成例

2.0 リニアモータの種類

リニアモータには多くの種類があり、それぞれにユーザにとっての固有の利点と長所を備えています。Parkerでは「アイアンコア」、「アイアンレス」そしてリニアモータ変形型である「スロットレス」の3種類のリニアモータを製造しています。

リニアモータは、部品単位で提供される場合とリニアアクチュエータとしてシステムで提供される場合があります。部品単位で提供されるリニアモータ(図3)はモータコイルとマグネットトラックで構成されています。

使用されるリニアモータの種類によって、マグネットトラックはマグネットを一行に並べたものや、左右両側に分かれて配置し磁力による引力が均等に働く構成になっているものがあります。

完成されたリニアモータドライブシステム「リニアモータアクチュエータ」(図4)は一般的にモータ部、ベース部、キャリッジ、ガイド部、エンコーダ部、そしてケーブルキャリア部分で構成されています。

リニアモータ技術ガイド

リニアモータの種類や部品を自由に選べることは、ユーザにとってシステムを経済的に構成し、使用する機器をどのように装置や機械に組み込むかを柔軟に決定する事ができます。しかし、このためには機械を作る側の人が具体的な知識を高度に有している必要があります。設計するエンジニアはモータの特性、リニアフィードバックの技術、冷却方法そしてサーボドライブ及び制御システムの性能について理解していなくてはなりません。

一方、リニアモータアクチュエータによる位置決めユニットを選択すれば、設計するエンジニアは既に設計済みの頑丈な設計に基づき、試験を完全に終了したパッケージを使用する事ができます。これにより、リニアガイド部やエンコーダ部、放熱板、ケーブル、コネクタ、動作の停止箇所そしてリミット及びホームセンサの設計や正しい位置などで悩む必要もなくなります。Parker のリニアモータアクチュエータはこうした利点全てを提供する事はもちろんの事、搭載も簡単で、すぐに稼働できるパッケージになっています。



図 4 :
リニアモータの部品には、別個のコイルとマグネットトラックが含まれる

2.1 アイアンコア リニアモータ

アイアンコアモータは一列に配置されたマグネットトラックとその上を移動するアッセンブルされたコイル部である「可動子」によって構成されています。(図 5) この「可動子」は積層された鉄心(アイアンコア)に銅線が巻かれています(コイル)。バックアイアンと呼ばれる箇所(図 5 参照)は磁束がモータとマグネットトラックの間で効率的に循環するための経路となります。更に効率的にモータから放熱するための役割も果たします。アイアンコアの構造は非常に強力な力を発生し、効率的に冷却が行われます。実際にアイアンコアの構造は 1 ユニット当たりの容量から最大の力を発生する事ができます。そしてアイアンコアはマグネットが一列分しか必要で無いため、経済的にも魅力的なリニアモータの種類の一つです。

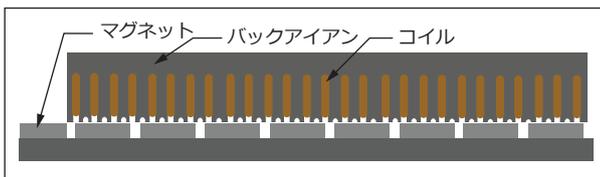


図 5 :
アイアンコア リニアモータ

アイアンコアモータの短所は可動子とマグネットトラックの間に磁力による強い引力が働く事が挙げられます。この引力はモータの定格の力の 5 ~ 13 倍までに達する事があり、この力を考慮したリニアガイドシステムを使用する必要があります。更に他のタイプのリニアモータと比較して、この引力が強いことで組み付けが非常に難しくなっています。

もう一つの短所はコギングがある事です。コギングは積層された鉄心がマグネットの強力な磁力により安定した位置に移動するための力が水平方向に発生します。一定の速度を維持するために位置によってモータが生み出す力を変えなくてはならないのでコギングはモーションシステムのスムーズな動作が制約されてしまいます。

Parker は Anti-Cog 技術を開発しました。これは事実上コギングを除去して、従来はアイアンレス リニアモータしか使用できなかったアプリケーションにアイアンコア リニアモータが使用できるようするものです。これにより、非常に強力な力とスムーズな動作という強力な組み合わせを経済的なパッケージとして提供できるようになりました。

アイアンコア リニアモータの長所

- ・ 大きな推進力： 積層アイアンコアによる磁束の高収束化
- ・ 低コスト： マグネットはオープンに一列に配置
- ・ 高放熱効率： 積層構造と大きな表面積により効率的な放熱が可能

アイアンコア リニアモータの短所

- ・ 強磁石による引力： 定格の力の 5 ~ 13 倍
 - ・ コギング： スムーズな動作が制約されて、速度リップルが発生する
- ※この点は Parker 特許出願中の Anti-Cog 技術により解決できます。

Parker はアイアンコア リニアモータを部品単位 (製品名: RIPPED シリーズ) での販売及び設計・構築済みリニアモータ アクチュエータ位置決めシステムとして容易に組み込んでいただけるユニットとしての販売をしております。アイアンコア リニアモータ RIPPED シリーズ及びリニアモータ アクチュエータ (図 6) に関してはカタログをご参照ください。



図 6 :
アイアンコア RIPPED シリーズ

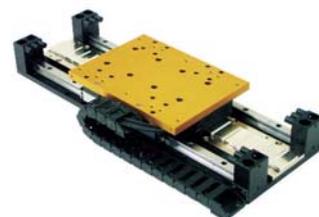


図 7 :
アイアンコア リニアモータアクチュエータ

リニアモータ技術ガイド

2.2 アイアンレス リニアモータ

アイアンレス リニアモータは並列に 2 本並んだマグネットと、その間を通る可動子によって構成されています (図 8)。可動子は通常コイル内部に積層された鉄心を使用していません - アイアンレスと言われるのはこのためです。

銅の巻き線 (コイル) は鉄心を使用せずに、2 本並列に並んだマグネットの間に配置されています。モータコイル部に鉄を使用していないため、可動子とマグネットトラック列の間に引力やコギングは発生しません。

更にアイアンコア方式と比較して可動子のサイズを小さくすることができます。その結果、極めて加速度の高い、動的性能が高いモータの設計が可能になります。アイアンレスは構造的にコギングが一切働かず、引力も無いために軸受部 (ガイド部) の寿命が長く、アプリケーションによっては、より小さいサイズの軸受部 (ガイド部) を使用する事も可能になります。

動的性能に優れ、コギングがない事によりアイアンレス リニアモータで素晴らしい設計が可能になる一方で、アイアンコアに比べ放熱面での効率が劣ります。冷却のための表面積が小さく、コイルのベースとなる部分から放熱板まで熱が通る道が長い為、全負荷時での力が小さくなってしまいます。更にはマグネットを 2 列に配しているため、生成される力の大きさとストロークの割には全体的なコストが高くなるという短所があります。

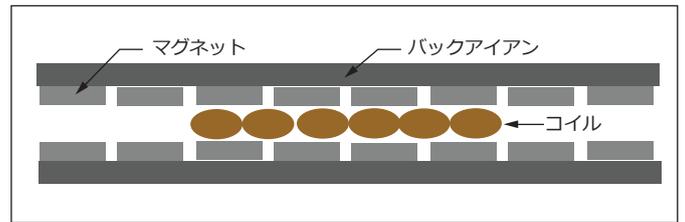


図 8 :
アイアンレス リニアモータ

Parker が特許取得済みの I ビーム型コイルベースと重ねて配置するコイルのデザインにより、小さなパッケージで非常に大きな力を発揮できるようになりました。更に従来のアイアンレスタイプよりも放熱の効率が改善されています。

コイルを並べるのではなく重ねて配置する事により (図 9) Parker は出力密度の高いモータを提供することができます。その結果、同様の出力性能を持つ他の製品よりかなり小さいパッケージのモータとなっています。

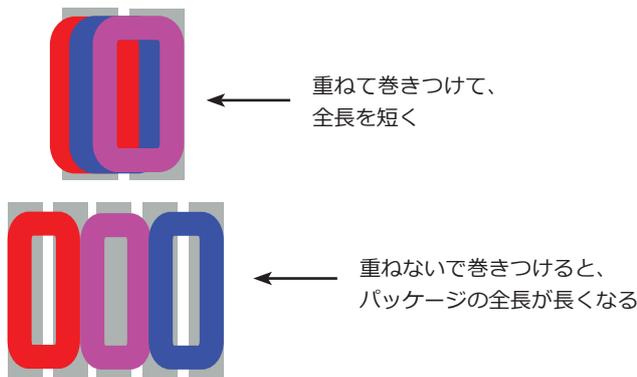


図 9 :
コイルの配置

Parker はコイルベースの端を 90 度に広げた I ビーム型を創り出しました。リニアモータコイルの端はモータの推進力には無関係で、単純に熱を発生しているだけです。Parker の I ビーム型デザインによりモータコイルと放熱板が接触する表面積が大きくなり、両者の間の熱移動が効率的に行われるようになります。(図 10) 重ねて配置したコイルと I ビーム型形状が組み合わせられて、従来のアイアンレス リニアモータのほとんどのタイプよりも熱効率の高いものとなります。その結果、モータからの熱により、装着された機器の熱膨張が少なくなるのです。高い精度を必要とするアプリケーションにおいて、熱膨張がシステム全体の精度に悪影響を及ぼす場合があります。Parker のアイアンレス リニアモータは他の製品と比較して低い動作温度で動作する事で、システムの精度を保ちやすくしています。更に I ビームの形状にはモータ外形の高さを低く抑え、頑丈な機械構造を作り上げるという利点もあります。

結果として出力性能が大きく、非常に効率的な放熱性能を持つ、コンパクトなモータの設計が可能になります。

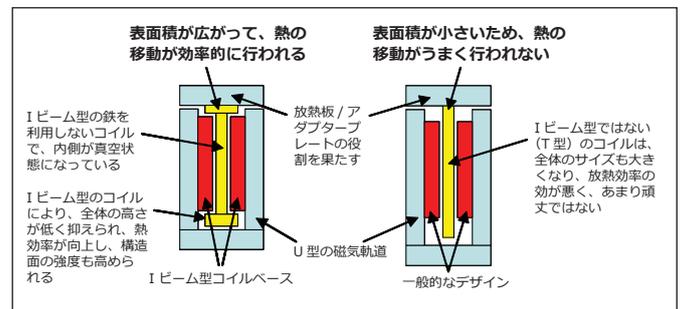


図 10 :
アイアンレスリニアモータの I ビーム型コイルベース

アイアンレス リニアモータの長所

- ・ 引力が発生しない：2本並列に配置されたマグネットの間で均等に力が配分される
安全で取り扱いが簡単
組み立てる際のみ対処する力を必要としない
- ・ コギングが発生しない：可動子がアイアンレスであるためコギングが発生せずに、スムーズな動作が可能
- ・ 可動子が軽量：鉄を使用していないため、加減速が大きくなり、機械の処理能力が高まる
- ・ 広い隙間：装置への組み込みや調整が用意に行える

アイアンレス リニアモータの短所

- ・ 低い放熱効率：熱による影響を受ける
※Parker は独自のIビーム型デザインにより、この問題が緩和されます
- ・ 出力性能：アイアンコアタイプに比べ出力性能が劣る
- ・ 高コスト：マグネットを2本並列に使用

Parker ではアイアンレス リニアモータを部品単位(I Force シリーズ)での販売及び設計・構築済みリニアモータ アクチュエータ 位置決めシステムとして容易に組み込んでいただけるユニット(製品名:T シリーズ)の販売をしております。アイアンレス リニアモータ I Force シリーズ及びリニアモータ アクチュエータ T シリーズ(図 11)に関してはカタログをご参照ください。



図 11 :
アイアンレスリニアモータ アクチュエータ T2 シリーズ

2.3 スロットレスリニアモータ

リニアモータの変形型であるスロットレスリニアモータは可動子(図 12)には鉄心を使用せずにコイルが巻かれており、バックアイアンの下に設置されています。そして、可動子は一列に並んだマグネットに沿って作動します。スロットレスモータの構造はアイアンコアとアイアンレスの構造を合成させたものになります。

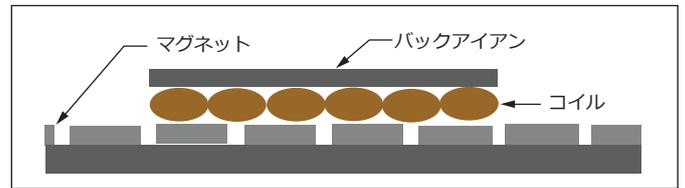


図 12 :
スロットレスリニアモータ

その結果、以下のような特徴を持つモータが完成します：

スロットレス リニアモータの長所

- ・ マグネットを一列に配置
- ・ アイアンレスに比べて低価格
- ・ アイアンレスに比べて放熱効率が良い
- ・ アイアンレスよりパッケージ当たりの出力が大きい
- ・ アイアンコアに比べて軽量かつ低い慣性力
- ・ アイアンコアより低い引力(リニアガイド部の寿命が長くなる、アプリケーションによっては小さいリニアガイドを使用できる)
- ・ アイアンコアよりコギングが小さい

スロットレス リニアモータの短所

- ・ 若干の引力とコギングがある
- ・ 可動子とマグネットの間に隙間が必要となる
- ・ 同じ動作をさせた場合に、アイアンコア及びアイアンレスリニアモータより効率が低く、熱の発生が大きい。

Parker では位置決めシステムとして容易に組み込んでいただけるスロットレスリニアモータを使用したリニアモータアクチュエータを販売しています。



図 13 :
スロットレスリニアモータが組み込まれた位置決めシステム 404LXR