

ダイレクトドライブリニアモータ： 概要説明 & 機種選定

By Albert David, アプリケーション・エンジニアリングチーム

初めに

ダイレクトドライブモーション技術の一種であるリニアモータは、回転モータの固定子と回転子の概念を採用し、それを展開して線形構成にします。これは新しい技術ではありませんが、効率の向上、電力密度の向上、高度な制御など、過去数十年間の進歩により、このドライブタイプは高精度のモーションコントロールソリューションに理想的なものとなりました。精密なモーションコントロールを必要とするアプリケーションで人気が高まり、その用途が拡大したこと、このテクノロジのコストが削減され、多くのアプリケーションでリニアモータがより経済的な選択肢になりました。

技術が発展するにつれて、それぞれのタイプのリニアモータが完全に異なる性能特性のセットを特徴としており、オプションと構成の数も増えました。これにより、リニアモータが満たすことができる要件の数が広がりましたが、最も適切な製品を指定することがより困難になる可能性もあります。

このプロセスをより簡単にするために、まず直接駆動リニアモータのメカニズムを説明し、それを従来の間接駆動システムと対比させます。これを基盤として、さまざまなタイプのリニアモータを検討し、それぞれの利点を強調しながら、それに適したアプリケーションの種類を特定します。最後に、Zaberのダイレクトドライブリニアモーターデバイスによってもたらされるいくつかのユニークな利点について説明します。図1は、コントローラとドライバが統合されたZaberリニアモータステージの例です。

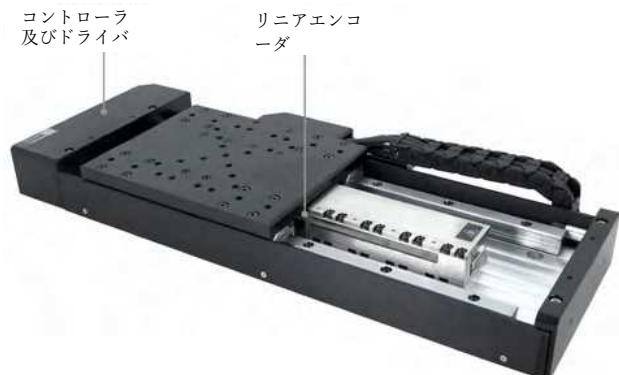


図1：コントローラ、ドライバ、およびリニアエンコーダを内蔵したZaberリニアモータステージ(X-LDQ-AE)の例

リニアモータとロータリモータの比較

リニアモータを説明するために、まずモータ全般について簡単に説明しましょう。電気モータは、通常永久磁石によって生成される磁界とそれに相互作用する電磁界を生成することによって運動を生み出します。電磁場は、動きを制御するためにコイル(巻線とも呼ばれる)内の電流を制御することによって変化します。

モータの回転部分は「ローター」と呼ばれ、静止部分は「ステーター」と呼ばれます。Zaberは、永久磁石がローターの一部であるブラシレスモータを使用し、図2aに示すように、巻線がステーターを構成しています。永久電動機は極がわずか2つ(すなわちNとS)だけでもよいですが、しばしばその2の倍数が使用されます。コイルへの電流が変化すると、それによって磁極が引き寄せられて磁界が循環しその結果回転が生じます。

リニアモータでは、固定子と回転子の両方が互いに一直線上にあり、図 2b に示すように、モータが回転していない状態を描くと、図 2c に示すように、フラットなリニアモータになります。正確にどのように配置されているか、そしてどのコンポーネントが動いているか、どのコンポーネントが静止しているかによって、リニアモータの種類が決まります。電流が流れるコイルは通常、リニアモータでは「フォーサー」と呼ばれます。トルクを生成するのではなく、ステージの移動距離に沿って直線的な力が発生します。これは、電流がフォーサーに対して変化するためです。

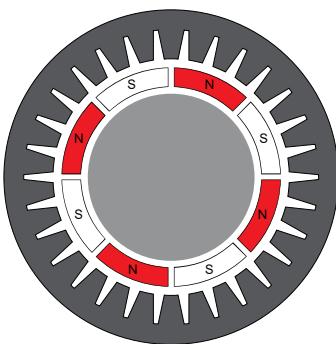


図 2a: 代表的ロータリモータ例

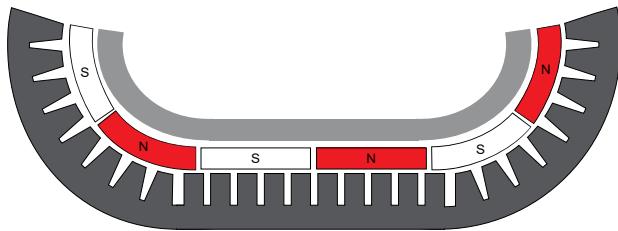


図 2b: “ローリングフリー” ロータリモータ

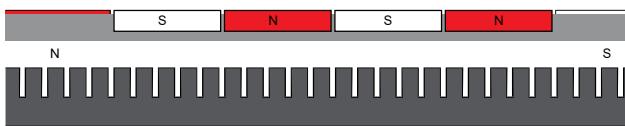


図 2c: リニアモータ

直接ドライブ対間接ドライブ

回転モータをモーションコントロールデバイスで使用する場合、通常、その回転は実際に必要な動作の種類ではないかもしれません。方向、速度、力のいずれかまたはすべてが異なる必要があるかもしれません。運動方向の変換のために、歯車、親ねじまたはボルネジ、カプラー、ベルト、およびブーリーなどの機械部品が使用されます。これらの構成要素の各々は、システムに摩擦または不正確さをもたらし、効率を低下させ、精度が低下します。これらを「間接ドライブ」システムと呼ぶことができます。これらのシステムは、精度を向上させるために位置フィードバックを使用することができますが、様々な異なるエンコーダおよびモータタイプが使用できます。位置フィードバックなしで動作させることもできます。

対照的に、リニアモータを使用するデバイスは、モータの力と必要な移動量の間の機械的な変換がないため、「ダイレクトドライブ」と呼ばれます。これにより最大の効率と精度が保証されますが、力を増幅したりモータの移動範囲を広げたりするメカニズムがないため、適切な仕様の正しいモータを選択する必要があります。さらに、リニアモータは精密且つ正確な動きを生み出すことができますが、ドライブから最大限の性能を引き出すには、同様に正確な位置フィードバック（リニアエンコーダを使用）とサーボ制御ループを備えた高度なドライバが必要です。

リニアステージにより機械的変換部品を取り除くことで、ダイレクトドライブデバイスは通常以下の性能が提供できます。

- 最小増分移動量（インクリメント）が小さい
- 高い効率による高加速度と最大速度
- バックラッシュゼロ
- より高い精度
- 駆動機構の摩擦がゼロであるため長寿命

これらの特性により、ダイレクトドライブデバイスは多くの位置決めおよびモーションコントロールアプリケーションに優れていますが、ダイレクトドライブデバイスの以下の理由で間接駆動オプションの方が適している場合があります。

- ・「電源オフ」時の安定性に欠ける
- ・負荷でかなりの熱を発生させる可能性があり、温度管理（デューティサイクルの制限など）が必要
- ・値段が高い
- ・同様の推力を持つ間接駆動装置よりも大きくなる可能性があります

種類の異なるリニアモータ

それぞれが他に勝るために性能の一部を妥協するので、異なる種類のリニアモータが存在します。性能に妥協ができる4つの主な属性があります：磁束密度、漏れ磁束、移動質量、コギングトルク。

磁束密度は、特定の空間内で発生させることができる磁場の大きさです。高磁束密度装置は優れた力を提供するか、またはよりコンパクトなサイズで同様の力を可能にします。

磁束漏れは、電界がモータ内にどれだけうまく閉じ込められているかを示す指標です。磁場がシステムの他の構成要素に影響を与えるのを防ぐために、低磁束漏洩が一般に好ましいです。磁束漏れはまた、モータの電気効率が低いことを示しています。

移動質量は、モータの可動部品の質量です。移動質量が大きいことは、各々が同じ力出力を有する2つのモータについて加速度が低いことを意味しています。

コギング力（ディテント（停止）力とも呼ばれます）は、鉄を使用するリニアモータに存在し、永久磁石に対する鉄の吸引力です。モーターに動力が供給されて動いているとき、それは移動範囲にわたって周期的な力のリップル（波紋）を生じます。

これら4つの主な属性の他に、利用可能な用途によってサイズとコストも異なります。

短い記事ですべてのタイプまたは構成のリニアモータを網羅するのは難しいので、次のセクションでは、高精度位置決めシステムに関連する3つの特徴的な特徴に焦点を当てます。（1）フラット対U字型モータートラック、（2）可動コイル対可動マグネットトラック、および（3）鉄心対アイアンレスフォーサー。すべてでは無くとも、ほとんどのリニアモータは同じ主要部品、永久磁石で統一化されたマグネットトラック、フォーサー、および高分解能リニアエンコーダで構成されています。

フラット対U字型

図3aに示すように、フラットリニアモータは単一の磁石トラックを有します。1つのマグネットトラックしか必要としないので、一般的により薄型で低成本です。フラットリニアモータは一般的に磁束漏れが大きく、力対重量比が小さくなります。図3bに示すように、U字形モータは、第1の磁石トラックの反対側に追加の磁石トラックを有し、フォーサーはトラック間に移動します。

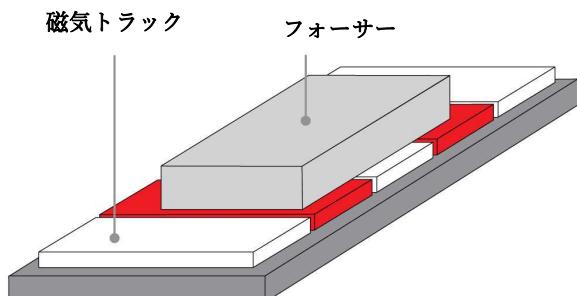


図3a: フラットリニアモータ

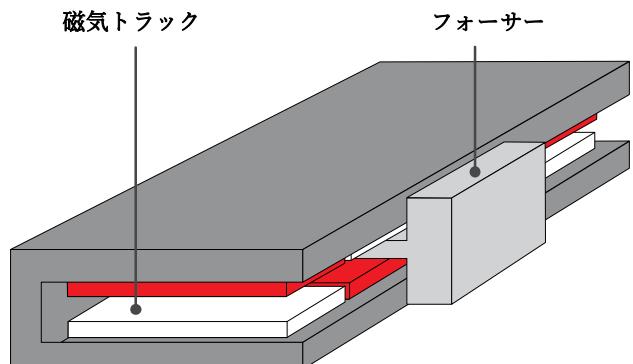


図3b: U字型リニアモータ

可動コイルと可動マグネットトラック

プラシレス回転モータでは、可動回転子タイプである場合、線材が巻き取られるので、巻き線は通常固定子です。リニアモータでは、この点は考慮不要です。移動量は制限されていて直線的なので、フォーサーへのワイヤーが巻き付くことはありません。フォーサーは静止した「ステーター」でもかまいませんが、フォーサーが動いているリニアモータも可能です。通常、これら2種類のシステムは、ムービングコイルまたはムービングマグネットトラックモーターと呼ばれます。

図4 aに示すように、可動コイルリニアモータは、通常、移動質量を低く抑えるために、より長い移動装置において使用されます。リニアモータステージの移動量は、そのマグネットトラックの長さに制限されます。短い移動ステージではマグネットトラックも短くなり、比較的軽量なので、可動マグネットトラックステージに適しています。長いストロークのステージでは、マグネットトラックは長くなり、非常に重くなります。従って、コイルを動かすほうが理にかなっています。可動コイルリニアモータの欠点は、フォーサーへのケーブルも常に動いているということですので、ケーブル管理が必要です。一般的に、可動コイル型リニアモータでは、移動質量が小さいほど加速度が大きくなります。

移動距離の要望が限られている場合は、図4 bに示すように、ムービング磁気トラックシステムがより高い精度を達成することができるので適しているかもしれません。これは、モータの可動部分が電気的および熱的に結合されていないため、温度特性がより安定しているために可能となります。そして電気ノイズも少ないです。電流が流れているときに発熱する静止型フォーサーはシステムの下段に位置するので、ヒートシンクとして機能し、システム全体の熱安定性が向上します。



図4a: 可動コイル



図4b: ムービングマギネットトラック

アイアンコア（鉄芯入り）対 鉄芯なし

典型的な鉄心モータは、フォーサーに取り付けられた鉄のバックプレートを持っています、そして、コイルは図5aと図5bに示されるように鉄のラミネートの周りに巻かれています。フォーサーに鉄を添加すると、磁束漏れが減少し、磁束密度と力の出力が増加します。モータへの鉄の添加はまた、コギング力、ならびに永久磁石への引力によるペアリングへの負荷をもたらす。鉄心構造の変形はスロットレス鉄心と呼ばれ、そこではフォーサーのコイルは鉄積層体の周りには巻かれていません。これによりコギング力が軽減されますが、磁束密度も減少します。鉄心のないモータは、図5cと図5dに示すように、アイアンレスリニアモーターと呼ばれ、力の方が速度の安定性より重要な場合に使用されます。アイアンレスリニアモーターはまた、全行程にわたってより均一な力分布を可能にします。可動コイル型リニアモータの場合、鉄心が重くなる可能性がありますが、鉄芯なしフォーサーの方は可動質量が小さくなります。

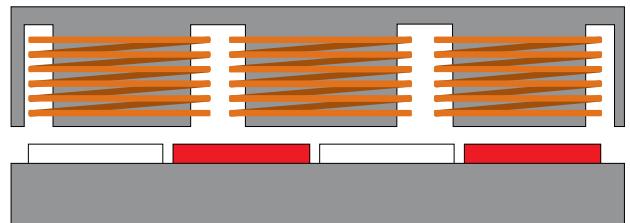


図5a: 平らな鉄心リニアモータの側面図

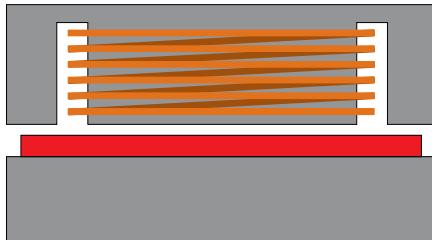


図 5b: 平らな鉄心のリニアモータ

なぜ ZABER を選びますか？

Zaber のリニアモーターデバイスは、優れた性能を持った要素にて構成されています。それらは、多くの用途に必要とされる高い精度、精密度、速度、および加速度を兼ね備えています。具体的には、以下の点が挙げられます：

- ・磁束漏れが少なく高い磁束密度が得られるために U 字型モータ設計採用
- ・アイアンレスリニアモーターを採用しているので、軽量で動的精度と速度の安定性が動的得られます
- ・可動コイルまたは可動マグネットトラック構成で利用可能です。
- ・コントローラ、ドライバ、高解像度エンコーダを内蔵
- ・迅速かつ簡単にチューニングパラメータが調整できる無料のソフトウェアと、調整完了後に出荷

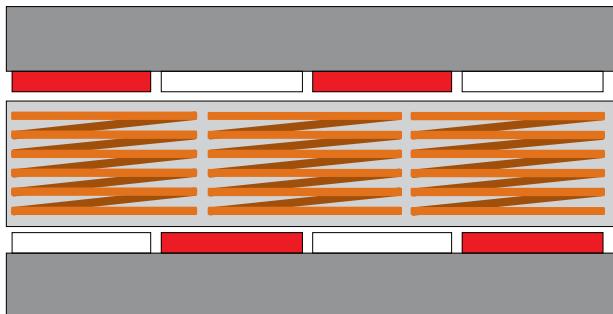


図 5c: U字型、アイアンレスリニアモーターの側面図

Zaber Technologies では、モーションコントロールをシンプルにすることを使命としています。そのため、Zaber はコントローラとドライバをデバイスに組み込んだ最初の会社です。コントローラを内蔵することで、モータの種類に対応したコントローラを探す必要がなくなります。それにてケーブル配線を減らし、そして装置が予め調整されて出荷されることが可能になりました。Zaber のリニアモータ製品は、データと電源を複数のデバイスにデイジーチェーン接続することで、接続ケーブル数を最小限に抑え、制御を簡素化することができます。

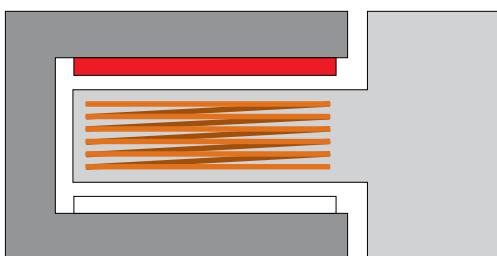


図 5d: U字型のアイアンレスリニアモータ

これらの装置のもう 1 つの主な利点は、ほとんどのリニアモータ装置では、コントローラが接続された後、サーボ制御ループを調整する必要があります。これは複雑なプロセスである可能性があり、フィードバックループに関する充分に深い理解が必要です。Zaber デバイスを使用するコントローラはほとんどのシステムパラメータで事前設定されているので、このプロセスが簡素化されます。Zaber はまた、図 6 に示すように、サーボ制御のバックグラウンドを必要とせずにステージをすばやく簡単に実行するためのわかりやすい調整インターフェースを提供しています。負荷の質量だけが必要です。サーボコントローラの調整に慣熟知している人達のために、多くの制御オプションを備えたより高度なインターフェースが利用可能です。さらに、図 7 に示すように、[オシロスコープ]タブがあります。これは、[サーボ調整]タブで定義されたサーボ制御設定を視覚化するのに役立ちます。

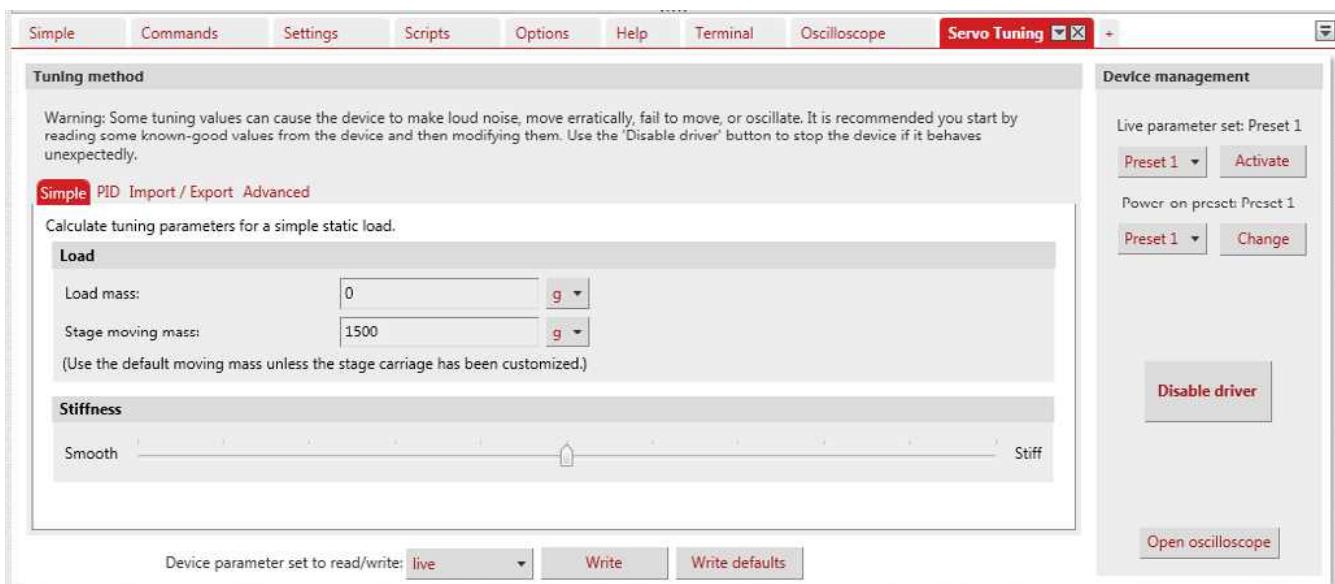


図 6: Zaber コンソールのサーボ調整タブ

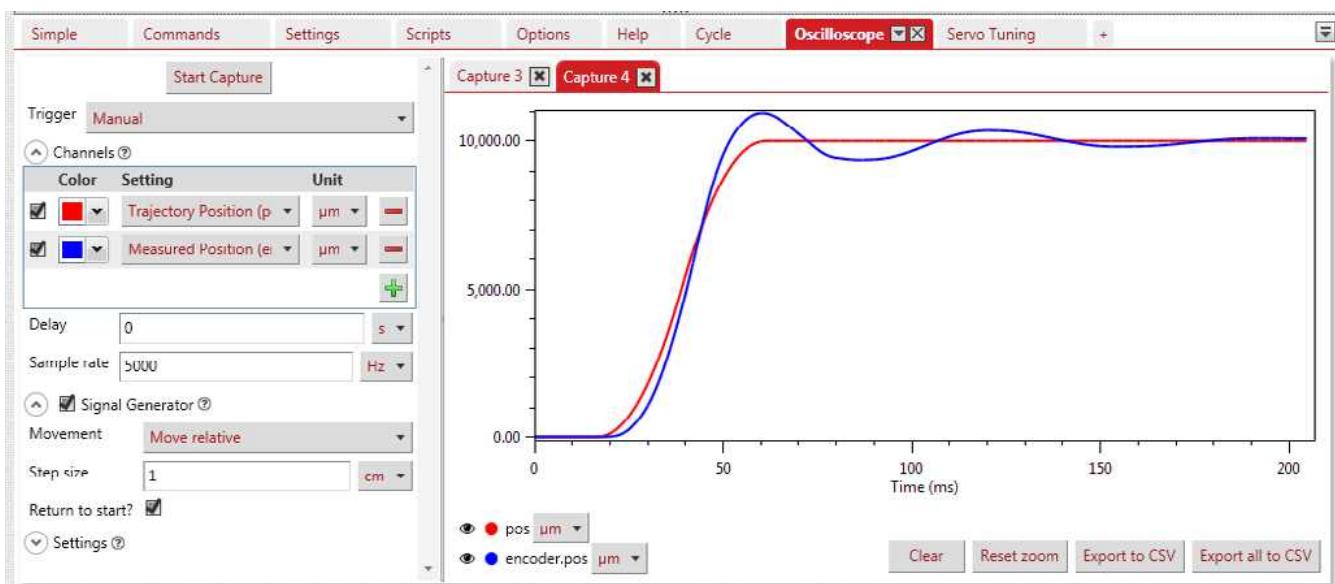


図 7: Zaber コンソールオシロスコープタブ

結論

精密位置決め装置の選択は困難に思えるかも知れませんが、Zaber のアプリケーションエンジニアリングチームが選定の際に最適な製品を選ぶ手助けを致します。標準およびカスタマイズされた幅広いステッパーおよびリニアモーターデバイス中から、私達はお客様のほとんどのシステム要件を満たすことができます、また、当社の範囲外の製品を必要とされる場合は、喜んでアドバイスさせて頂きます。

Albert David は、Zaber Technologies Inc.のアプリケーションエンジニアリングチームの一員です。Zaber は、光学およびフォトニクス、産業オートメーション、生物医学、その他多くの用途に使用される電動精密リニアアクチュエータ、リニアスライドなどのモーションコントロール製品を設計および製造しています。詳細については、www.zaber.com をご覧ください。