

高速・低負荷アプリケーション向けリニアアクチュエータ

Sandeep Cg

多くの医療用アプリケーションでは、より低負荷帯域での高速作動が必要です。多くの OEM ベンダーは空気圧式アクチュエータや電気式ソレノイドをこの目的のために使用していますが、これらのオプションでは正確な位置決めを行うことはできません。そして、より高価な自動制御空気圧式位置決めシステムの技術であっても、空気圧式システムでは、高速で正確な位置決めを行うのは困難です。

ディスクマグネット型モータ(DMM)技術を使用する高速リニアアクチュエータは、センサ移動、レーザービームの位置決め、電子部品のピックアップ、XY テーブルの移動、その他様々な低負荷アプリケーションへ優れた線速度を提供します。動作が静かで、運用と保守のコストがより低額なため、電気式 DMM リニアアクチュエータは、これらの高速・低負荷アプリケーションに対する実行可能な選択肢になります。

リニアアクチュエータ

制御バルブ付き空気圧式シリンダは、これまでずっとオートメーション産業において不可欠なものであり、今なお重要な役割を担っています。空気圧式シリンダは、高速・高負荷のさまざまなオートメーションアプリケーションに適しています。

しかしながら、多くの利点をよそに、空気圧式シリンダには根本的な問題点があり、設計者やエンジニアは他のソリューションを模索しています。特に高速では、空気の圧縮可能な特性により、負荷が掛かる状態で空気圧式アクチュエータを正確に位置決めすることは常に困難です。これらのシステムの運用が高額になるのは、コンプレッサのアイドルングや電力輸送時に発生する漏出による相当な電力の浪費に起因すると考えられます。

一方、電気式アクチュエータは、速度や負荷に対する能力は劣っていても、空気圧式シリンダに勝る多くの利点があります。これらのリニアアクチュエータのほとんどは、回転動作を直線運動に変換する際に、スクリューとナットのメカニズムを使用しています。

他の要素と関連した負荷と速度の要件によっては、さまざまな電気式モータを原動機として使用できます。本記事では、高速なリニア作動に適したモータを検証します。正確な位置決め能力を持つステッピングモータのみを論じます。

図 1 の 4 つのブロック行列は、さまざまな速度での揚荷能力に基づいたリニアアクチュエータの広い分類を示しています。500 mm/秒を超える線速度は高速なレンジであると考えられます。キャンスタック型モータは信頼性とコスト効率が高いため、低負荷・低速分野でリニアアクチュエータとして広く使われています。



図 1 - このブロック行列は、さまざまな速度での揚荷能力に基づいたリニアアクチュエータの広い分類を示しています。

ハイブリッドステッピングモータは、他のステッピング技術よりも優れた高い揚荷能力に定評があり、高負荷・低速アプリケーションにおいて、最適な選択です。その他の低負荷・高速分野が本記事の焦点になります。

ディスクマグネット型モータ

しばしばターボディスクモータと呼ばれるディスクマグネット型モータは、低負荷な高速アプリケーション向けの最適な選択です。その名前が示唆するとおり、DMM は薄いディスクマグネットを使い、モータのトルク出力を発生させます。ロータ慣性が低いので、DMM は所定のトルクに対して非常に優れた加速度を生み、ほとんどの高速の要件に適しています。

この長所はあまり知られていないので、選択肢として見落とされがちです。図 2a と図 2b は既存の DMM を基に設計され得るリニアアクチュエータの典型的な例です。設計は、図 2a のような回転スクリーもしくは図 2b のような回転ナットの場合があります。図 3 と図 4 は、さまざまなリードスクリーの組み合わせによる DMM アクチュエータのパフォーマンスを示しています。

これらのアクチュエータは、0~1200 mm/秒のレンジでの低負荷領域で広い速度範囲を提供します。この範囲は、同じフレームサイズのハイブリッドステッピングモータやキャンスタック型モータと比べて非常に広がっています。



図 2(a)



図 2(b)

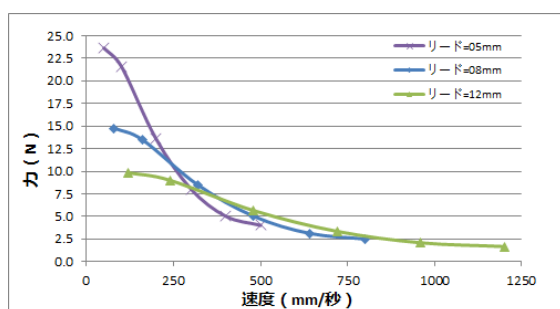


図 3 - 典型的速度 vs DMM P430 の負荷カーブ: フレームサイズ = 39 × 39 mm、フルステップ、バイポーラ電圧駆動 36 V。

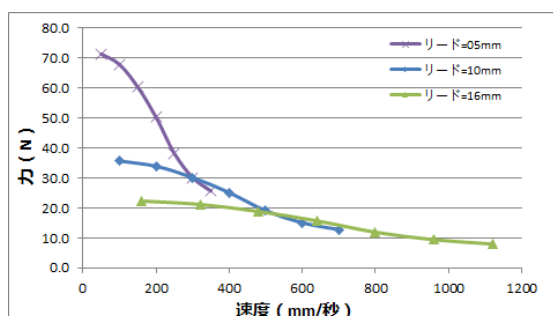


図 4 - 典型的速度 vs DMM P532 の負荷カーブ: フレームサイズ = 52 × 52 mm、フルステップ、バイポーラ電圧駆動 2 A 36 V。

より速い速度でモータのパフォーマンスを決定するキーパラメータには、動的トルク容量、ロータ慣性、負荷とモータ間の慣性の不釣り合い、鉄損、完璧な正弦形の出カトルクカーブがあります。図 5a と図 5b は、ハイブリッドモータが、速度が増すと動的性能が急激に低下する一方、DMM はより速い速度での出力を一貫して維持することを示しています。完全な正弦形の出カトルクの波形で

は、動的性能を改善するトルクリップルが最大振幅になります。鉄損は入力周波数の作用であり、これは、速度が増すほどエネルギー損失が増えることを意味します。しかし、磁気回路が短く適正な磁束通路があるため、DMM はハイブリッドモータと比較して、鉄損とヒステリシス損失がより少なくなります。これらの少ないエネルギー損失と、より少ない電氣的時定数により、DMM はより早い速度で動作することができます。

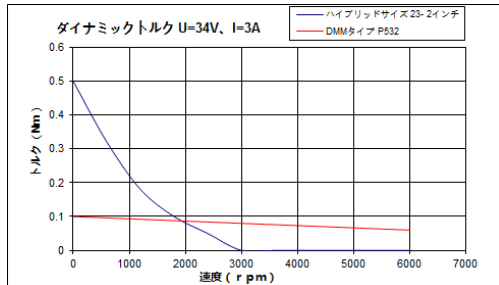


図 5 (a)

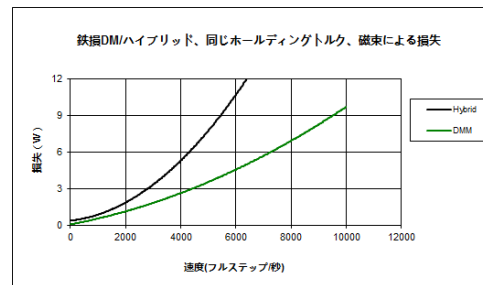


図 5 (b)

ディスクマグネット型モータと比較したハイブリッドモータの動的性能;トルク(nm) vs 速度 rpm(a)および損失(W) vs 段階別速度(b)

前述のとおり、DMM は独自のロータ設計により、ハイブリッドステッピングモータと比較して、非常に低い慣性を保っています。40 x 40 mm の所定フレームサイズで、DMM のロータ慣性は 3 グラム/cm²であり、これは、同様なサイズのハイブリッドモータの 15 分の 1 の値です。言い換えると、これは所定のトルク出力において 15 倍速い加速度であることを示しています。ロータ慣性の不釣り合いは、高速作動での重要な選択基準です。

以下の例は、負荷慣性の不釣り合いという課題がある際に、DMM ロータがどれほど効果的であるのかを示しています。250 グラムの負荷は、直径 6 mm、長さ 80 mm のリードスクリューを使用し、10 mm のピッチ長さの距離へ移動されます。モータに反映された負荷慣性をどのように計算すれば良いのでしょうか？効果はおおよそ 40%と考えられ、リードスクリューの材質はステンレススチールです。モータに反映された総慣性(J_{total}) = 負荷慣性(J_l) + リードスクリュー慣性(J_{ls})

J_l と J_{ls} は以下のとおり計算されます。

$$J_l = \frac{m}{\eta} \times \left[\frac{1}{2 \times \pi \times P} \right]^2$$

$$J_{ls} = \frac{\pi \times L \times \rho \times r^4}{2}$$

m= グラムで表した量

L= リードスクリューの長さ

r= リードスクリューの半径

P= ピッチ (mm/回転)

μ = 効率

ρ = 密度 (kg/m³)

現在 $J_l = \frac{250}{0.4} \times \left[\frac{1}{2 \times \pi \times 0.1} \right]^2 = 1584.75 \text{ g} \cdot \text{mm}^2$

さらに $J_{ls} = \frac{\pi \times 80 \times 7480 \times 10^{-6} \times 3^4}{2} = 76.09 \text{ g} \cdot \text{mm}^2$

モータに反映された総慣性、 $J_{total} = 1660.8 \text{ g} \cdot \text{mm}^2$

$= 1.66 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

モータから出力負荷へスムーズなパワーの伝達を行うためには、特に高速作動の際には、反映された慣性負荷にロータ慣性を合わせる必要があります。DMM の標準的ロータ慣性を見てみると、P532 モータがこの値、すなわち、 $1.2 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^2$ に近くなっています。

結論

多くの医療用アプリケーションでは、より低負荷帯域での高速作動が必要です。DMM 技術を使用する高速リニアアクチュエータは、空気圧式アクチュエータや電気式ソレノイドのすばらしい代替になり、低負荷医療用アプリケーションの優れた線速度を実現します。DMM はモータのトルク出力を発生させるため、薄いディスクマグネットを使用します。この低いロータ慣性は、所定のトルクに対して、非常に優れた加速度を生み、最も高速な要件に適しています。