

ステップモーターの回転運動を直進作動に変換するには幾つかの機械的な手段があります．．． ラックピニオン方式とかベルトプーリ方式やその他の機械的な組み合わせです。これらのどの方式でも直進作動を実現するのにさまざまな機械部品を使います。

直進作動を実現させる一番簡単な方法は、モーター内部で回転を直進へ変換することです。

はじめに

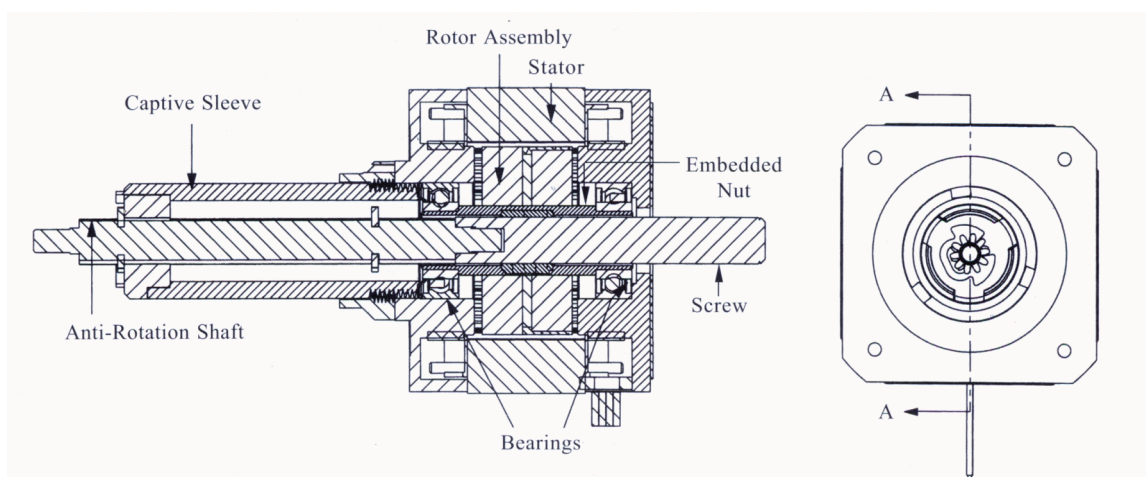
通常のステップモーターでは、パルスとモーターコアを過る電磁場を使ってモーターローターに回転運動を行わせています。直進ステップモーターは、ローターの回転角とネジピッチを細かく調整して、この回転運動を直進運動に変えています。直進ステップモーター、これはリニア・アクチュエーターとも呼ばれていますが、Willam Henschke によって1968年に発明されて特許（3,402,308）がとられています。それ以来直進ステップモーターは、各種製造工程でも、精密なアラインメント用にも、精密な流量制御やその他さまざまな重要な用途で使われて来ています。

ネジで駆動するタイプの直進ステップモーターでは、送りの細かさはネジピッチに依存します。直進ステップモーターのローター中にはナットが取り付けられています。そして、対応するネジがナットを通っています。ネジが軸方向に動くには、なんらかの手段で、ナットやローター部と一緒に回転しないようになっていなければなりません。ネジに回転防止機構をつけることで、モーターのローターの回転につれ直進作動を行ないます。回転防止は、通常、モーター内部でネジの回転を強制的にとめる（Captive）か外部的になにかに取りつけて回転を行わせないようにします。

モーター内部で回転から直進への変換を行うことによって、設計が明らかに簡素化されます。この手法を使うことにより多くのアプリケーションでモーターを他の機械部品とつなく必要がなくなり、単にモーターを取りつけるだけ（drop in a motor）で精密な直進作動を実現できます。

最初の直進ステップモーターでは駆動ネジにボールネジが採用されていました。ボールネジは非常に高い効率をもっており通常90% を越えます。これに対し現在直進ステップモーターで使われているアクメ（Acme）ネジは、ネジの状態にも大きく左右され、20% から 70% の効率となっています。

ネジ効率の観点だけでしたらAcme ネジはボールネジに到底かないませんが、ボールネジはアラインメントが必要であり、大きくしかも高価ですので、多くの用途で Acme ネジの方が実際的には役立っています。



多くの設計者にとって、このハイブリッド型ステップモーターを基本構造としたリニアアクチュエーターは馴染みが深いものです。マーケットで広く使われるようになってきておりますが、他の装置と同様にメリットとデメリットがあります。直進ステップモーターの利点の幾つかを挙げれば、構造の単純さ、コンパクト、ブラシ不要、設計時の自由度の高さと高い信頼性といったところになります。しかしながらある種の装置では定期的なメンテナンスを行わなければ寿命が対応できないなどの理由で使われておりません。

しかしながら、多くの用途ではそういった障害を乗り越えて直進ステップモーターは長期間に渡ってメンテナンス不要で動作しています。ステップモーターにはブラシがありませんので、摩耗する部品はローターを支えるベアリングとネジとナットの噛み合わせ部だけです。この点においてボールベアリングは進んでおり、相当長い寿命のものも出ております。近年になって、リードネジも、ネジ自体の耐久性やナット部材の改良により、定命がおおきく改善しています。

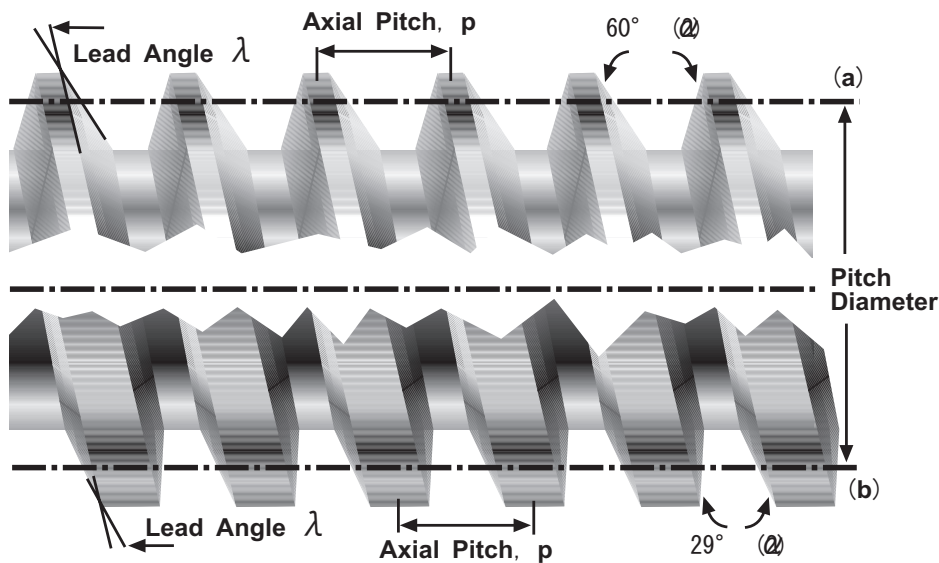
ネジの耐久性の向上

まずはじめに、ネジの基本的な構造について見ておこう。ここではサイズ 17 (□1.7インチ = □43mm) のものを例として使いたい。伝統的に直進ステップモーターはブロンズのようなベアリング級の金属製の中空のシャフトを使っていました。中空のシャフトの内側にネジがきいてあり、それがリードネジの山と噛み合うようになっていました。そしてこの中空軸のネジを切ったシャフトをモーターローターの軸にそって取り付けていました。リードネジの材質としては一般的にステンレス鋼が使われ、錆びないようにされています。多くの場合、使われたネジの形状は、例えば #10-32 といった一般的なネジでした。

これらのネジはVネジとも呼ばれているもので、比較的容易に製作することが出来ました。しかしながら、製造するのに都合が良くとも、力の伝達という点ではあまり良い選択とは言えませんでした。この力の伝達というところを改善したのが Acmeネジです。

Acmeネジは構造的にVネジよりも高い効率をもっています。効率が高いということは、摩擦を含む損失が少ないということの結果であり、摩耗が少なく最終的には長い寿命を達成することを意味します。このことは各々のネジの構造を比較することで簡単に知ることが出来ます。

Vネジではネジ面のなす角度は 60° ですが、Acmeネジ（台形ネジ）では 29° となっています。



摩擦、トルク及びリード角がだと仮定すると、Vネジは台形ネジの約85%の力しか伝達しません。ネジの効率は以下に示す式 1 及び 2 で決定されており、負荷の方向に依存します。

$$e = \frac{\tan b [1 - f (\tan b \sec d)]}{\tan b + f (\sec d)}$$

作動が負荷に反する場合

$$e = \frac{\tan b - f (\sec d)}{\tan b [1 + f (\tan b (\sec d))]}$$

作動が負荷に反する場合

e = efficiency of thread

b = angle of inclination of thread to a to the axis of the screw

$\tan b = \frac{p}{2\pi r_{\text{mean, thread}}}$

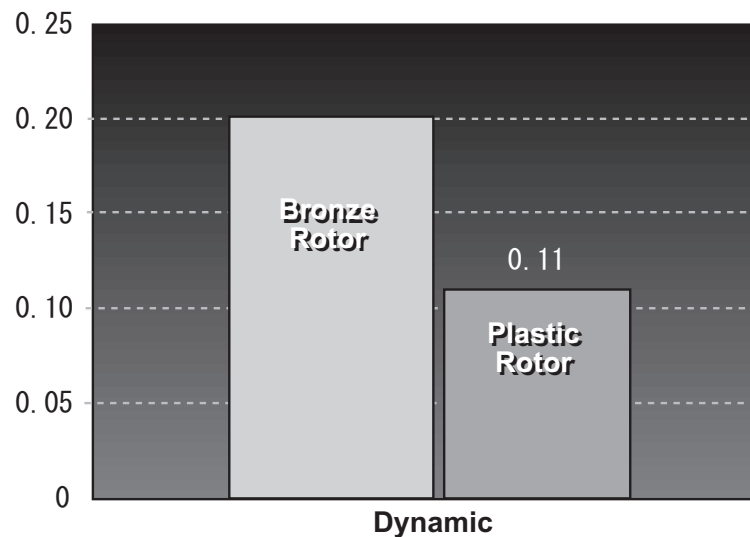
f = coefficient of sliding friction

$\sec d = \sec \alpha \sqrt{[1 - (\sin b \sin \alpha)^2]}$

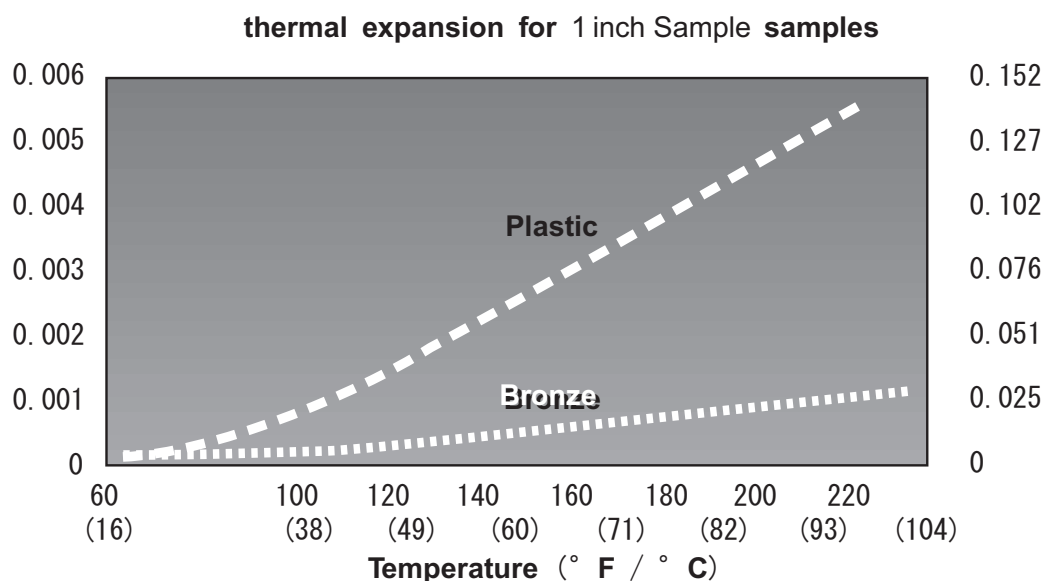
c = 1/2 the thread angle

Acmeネジ（台形ネジ）は主として力の伝達用に製作されるネジで、表面の仕上げや送りの精度、許容値についても注意が払われています。これに対し、Vネジは主に締め付け用途に使われていますので、表面仕上げや真直性は細かくコントロールされておりません。

それ以上とは言わないまでも、同じように重要なのがネジを駆動するナットです。ナットはモーターローターの一部となっているのが普通です。伝統的にはナットの素材としてはベアリング級のブロンズが使われ、内側に必要なネジがきられていました。これは物理的な安定性と潤滑性の好ましい妥協の形でした。妥協、ということは、どちらについても最適とは言えないことも意味しています。直進ステップモーターで力を伝達するナットの素材には潤滑できる硬質プラスチックの方が優れています。新しく開発されたエンブラでは、ブロンズに比べ低い摩擦係数で動きます。図3 にその比較を載せます。

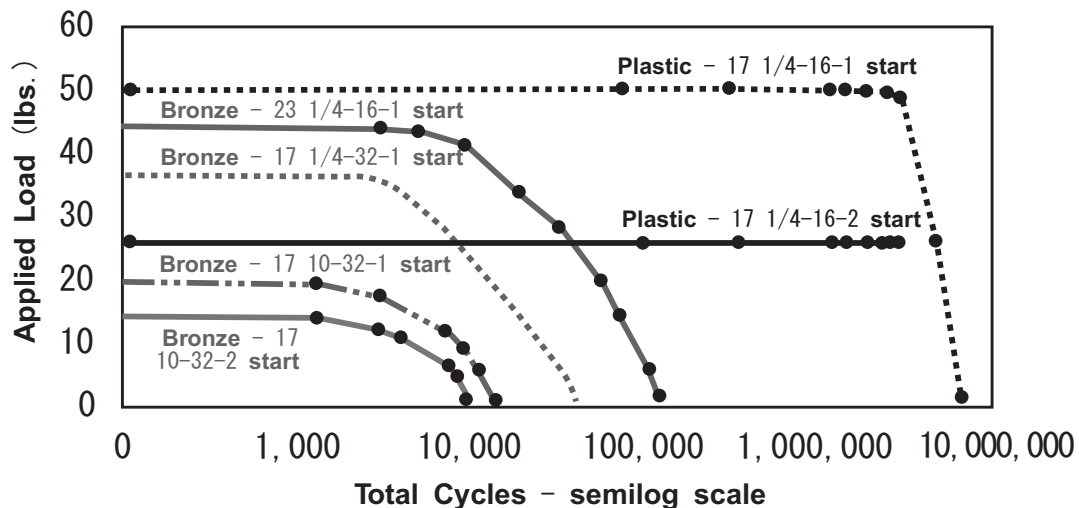


ここに示された摩擦特性に明らかなように、駆動部にエンブラを使うことは当然のこととなります。しかしながら、ネジ部に適した素材は、残念ながら、ハイブリッドステップモーターのロータージャーナルとしては決して安定した楚材とは言え難いものでした。モーターは作動時にはその温度が75℃も上がります。この温度上昇によりエンブラは0.1mm位膨張します。真鍮ですと御s時温度変化に対し0.025mmと約1/4の膨張ですみます。下図を参照ください。



ベアリングジャーナルの設計はハイブリッド型ステップモーターにとって重要な要素です。最適な特性を破棄するためにはエアギャップを千分の数インチで維持しなくてはなりません。ここで言うエアギャップとは、ローター外周の磁石とステーター内側との間隔です。ローターが共芯性を失ったら、ローターはステーター内壁をこすってしまいます。こういった諸条件を加味しながら材料の選択を行ない、長いネジの寿命とベアリングジャーナルの安定性を両立させるようにしました。その方法は、金属製のローターアセンブリ内にプラスチックネジをインジェクションモールドし、この矛盾する要求に対応することでした。構造の概要については下図を参照ください。

この構造をとった結果、直進ステップモーターは静に作動し、高い効率をもち、長寿命となりました。モーターの寿命は従来のブロンズナット構造を採用している他社製品に比べ 10 ～ 100 倍に伸びました。



HSI 社では同社直進ステップモーターに特別に調整したシンセティック・グリースを使って長期間の使用に耐えるようにしていますので、途中でグリースを再塗布する必要はありません。同社製品に使用しているグリースは長寿命であるばかりではなく、-65℃ ～ 250℃ の広範囲な温度域で使用可能となっています。さらにこのグリースは、不燃性かつ化学的に不活性であり、非常に低い蒸気圧ですので、汚れを嫌う各種用途にも安心して使用できます。

福田交易株式會社

www.fukudaco.co.jp

本 社	〒104-0044	東京都中央区明石町 11-2	TEL.03-5565-6811	FAX.03-5565-6816
大阪営業所	〒540-0012	大阪市中央区谷町 4-3-1	TEL.06-6941-8421	FAX.06-6944-0241
名古屋営業所	〒460-0013	名古屋市中区上前津 2-14-17	TEL.052-322-6421	FAX.052-322-2384
広島営業所	〒733-0842	広島市西区井口 5-20-7	TEL.082-277-6341	FAX.082-277-8199
厚木営業所	〒243-0417	海老名市本郷 1672	TEL.046-237-3133	FAX.046-237-3137
北陸営業所	〒921-8005	金沢市間明町 1-198	TEL.076-292-2811	FAX.076-292-2510
九州営業所	〒812-0038	福岡市博多区祇園町 4-13	TEL.092-263-5300	FAX.092-263-5301