アクチュエータ精度定義

対象デバイスモデル：リニアアクチュエータ T-NAXX, T-LAXX, リニアステージ　X-LSMXXX, X-LSQXXX

初めに

位置決めデバイスから最高の精度を得るには、位置決めメカニズムとその限界を理解することが重要です。 この記事の目的は、Zaber の位置決め装置が使用するモーションコントロール技術を記述し、結果として生じる不正確さを説明し、且つ数値化し、これらの影響を最小限に抑えるための戦略を提供することです。

Zaber のコンピュータ制御位置決めデバイスはステッピングモータを使用しているため、エンコーダを必要とせずに正確な位置制御が可能です。 これらのデバイスは、それらに送られるすべての電気インパルスに対して、ステップと呼ばれる一定の角度だけ回転します。 これにより、正確な位置決めのためのフィードバックを必要とせずにシステムを構築でき、システム全体のコストを削減できます。 また、マイクロステッピングと呼ばれる技術を使用することによって、ステップより小さい角度だけモータを回転させることも可能です。 これは、全電流スイッチングの代わりにモータコイル内のアナログ電流を使用することで達成されます。 ステッパーモーターとマイクロステッピング技術については、別記「Microstepping Tutorial」で説明しています。

ステッピングモータで開ループ位置制御を使用するにはいくつかの制限があります。 本質的にインクリメンタルシステム（アブソリュートではない）なので、最初にホームセンサ（原点）を検出することによって参照位置を決めなければなりません。 さらに、必要なトルクがモータの最大トルク（ストール負荷とも呼ばれます）よりも高くなると、ストール（脱調）状態になり、モータが回転を停止します。 エンコーダのフィードバックがなければ、モータの実際の位置は、ストール後のコントローラの位置とは異なります。 この時点で、位置を再同期させるには、デバイスを再びホームに戻す必要があります。 多くの Zaber デバイスにはエンコーダのフィードバックバージョンがあり、ストール（脱調）が発生したときに検出し修正することができます。 再度ストールしないようにするには、速度、加速度、または負荷を下げてみてください。 最後にステッピングモータはストール（脱調）するときにかなり大きな騒音が発生する可能性があることを覚えておいてください。 脱調停止してもモータが損傷することはありません。

Zaber デバイスで使用されているステッパーモーターとメカニックの重要な特性を図 1 に示します。 これらのデバイスは、デフォルト（初期値）ですべて 64 マイクロステップの設定を使用します（1 マイクロステップ=フルステップの 1/64）。 これらはさらに高分解能が可能ですが、簡単のために、デバイスが 64 マイクロステップ/ステップに設定されていると想定して、以下のデータ表が作成できます。

製品（モデル名）	モータ仕様			送りねじ	
	ステップ/回転	マイクロステップ/回転	角度/マイクロステップ	1 回転のピッチ（μm）	分解能（μm）
T-NA	200	12800	0.028125	609.6	0.047625
T-LA	48	3072	0.1171875	304.8	0.09921875
X-LSMXXX	200	12800	0.028125	609.6 (A モデル) 2438.4 (B モデル)	0.047625 0.1905
X-LSQXXX	200	12800	0.028125	1270 (A モデル) 6350 (B モデル) 25400 (D モデル)	0.09921875 0.49609375 1.984375

図 1: Zaber デバイスのモータとリードネジ特性

テクノロジーリンク株式会社
TECHNOLOGYLINK,LTD.
〒171-0022 東京都豊島区南池袋 3-18-35
OK ビル 2 階
Tel: 03-5924-6750　Fax:03-5924-6751
E-mail: sales@technology-l.com
URL: http://www.technology-link.jp

© 2014 Zaber Technologies Inc.

分解能

分解能（アドレサビリティまたはマイクロステップサイズとも呼ばれる）は、デバイスが指示することができる最小増分移動に等しい距離である。 換言すれば、単一マイクロステップ変化に対応した直線または回転変位です。 図 1 に示すように、T-LA アクチュエータの分解能は 0.09921875μm（または約 0.1μm）です。 T-NA デバイスの場合、分解能は 0.047625μm です。 一部のモデルには、異なるリードスクリューピッチのオプションがあります。 X-LSMXXXA モデルの分解能は 0.047625μm、X-LSMXXXB モデルの分解能は 0.1905μm です。 同じモデルの場合、より細かいピッチバージョンではより多くの推力が得られ、粗いピッチスクリューモデルではより高い最高速度に達することができます

スティックション（溜まりパルス動作）

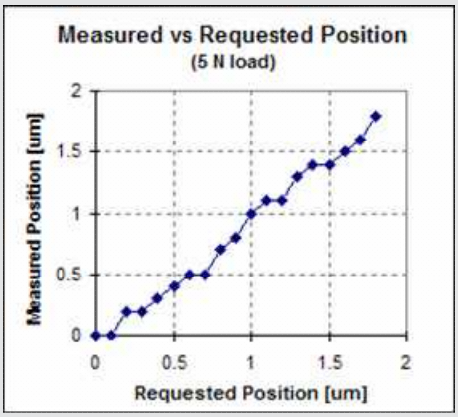
摩擦のために、デバイスは、1 マイクロステップだけ動くように要求されたとき、まったく動かないことがあります。 更にマイクロステップ移動を要求しても、動作結果が得られないことがあります。一定の数のマイクロステップ移動を要求すると、モータのトルクは静止摩擦を超え、累積されたマイクロステップ数だけモータがジャンプし、再びスティックされます。 この現象はスティクションと呼ばれ、リードスクリューの負荷と摩耗量に大きく依存します。

ほとんどの位置決め装置はこの問題にある程度対処しています。 バックラッシュを吸収した後、負荷が小さい良好な状態のデバイスの中には、1 マイクロステップピッチで移動するものもあります。 リードスクリューの摩擦が大きな高負荷の場合、指令値と到達位置は 1 ミクロンほどずれることがあります。 **図 2** は、要求される位置が一度に 1 マイクロステップだけ増分される異なる負荷を有する同じ装置の試験を示す。

注記：ゲージの分解能は測定単位動作と同じ 0.1μm なので、見かけ上の数パルスのジャンプは単純に丸め誤差によるものです。

繰り返し精度

再現性は、異なる位置に移動した後にある位置に戻ろうとするときの位置の最大偏差です。 **図 3** は、この仕様がどのように決定されるかを示す例です。 ヒストグラムは、アクチュエータが所与の位置で停止する回数を示します。 2 つのピークは、それぞれのアプローチの方向に対応しています。各ピーク内には、約 0.3μm の 1 / e 2 の全幅を有するガウス分布が存在します。これは Zaber の T-LA アクチュエータの典型的な再現性です。 2 つのピーク間の距離は 2.2μm です。 これは典型的なバックラッシュを示します。



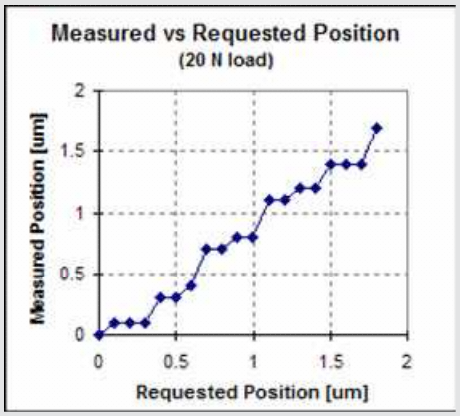


図 2：測定位置と目標位置
試験手順：バックラッシュを取り除いた後、T-LA28A アクチュエータを 1 マイクロステップ（0.1μm）単位で移動させます。位置は+/-0.1μm の精度で測定されます。 試験はまず 5N の小さな荷重で行い、次に 20N の荷重で繰り返します。

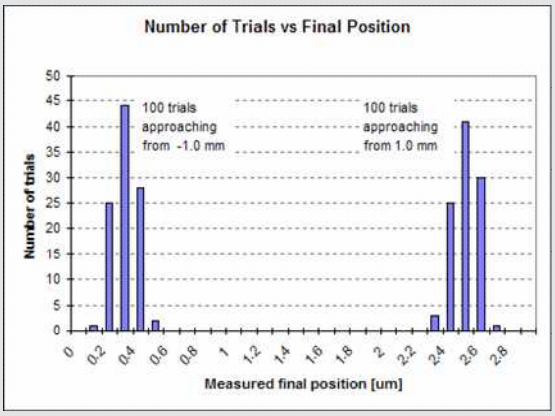


図 3：試行回数と最終位置
試験手順：T-LA28A アクチュエータを所定位置から 1mm 移動させた後、同じ位置に戻す。 これを 100 回繰り返し、毎回実際の位置を測定する（測定精度は±0.1μm）。 同じ位置に戻ろうとする前に、アクチュエータをもう一方の方向に 1 mm 動かしてテストを繰り返します。すべてのテストは、アクチュエータをモデル：TSB28 マニュアル搬送ステージに取り付けて行いました。

バックラッシュ

再現性の項で説明したように、バックラッシュは、接近方向を逆転させた最終位置の偏差です。 しかし、動きが小さい場合は、バックラッシュはもっと複雑になります。 一般に、デバイスの実際の位置は、要求された位置によって一意に決定されるのではなく、そこに到達するために使用された正確な軌道に依存します。方向の変更を伴う小さな動きの場合は、再現性はバックラッシレベルになると言えるかもしれません。

スティックションとバックラッシュ対策

たとえば、光ファイバーをダイオードレーザーの光軸に合わせるために、デバイスを少量移動させたい場合は、スティクションとバックラッシュが非常に邪魔になります。 Zaber T シリーズデバイスには、この問題の解決に役立つアンチバックラッシュおよびスティック動作防止ルーチンが組み込まれています。 デフォルトでは無効になっています。 アンチバックラッシュモードは、正方向の動き（アブソリュート位置で増加の方向）には影響しません。

負の動きに対処する場合、デバイスは約 600 マイクロステップで目的の位置を行き過ぎます。 その後戻って、要求された位置に下から接近します。スティションキャンセルモードは、600 マイクロステップ以上の動きには影響しません。

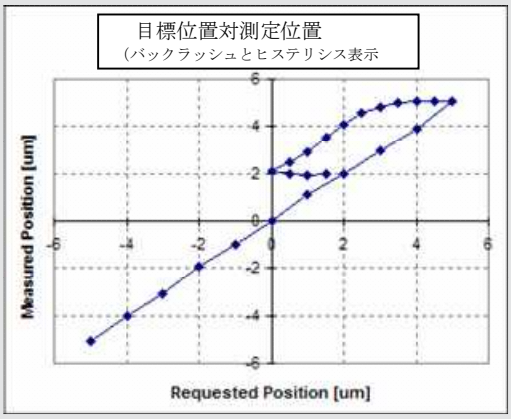


図 4：測定位置と要求位置（バックラッシュヒステリシスを示す）
試験手順：大きなマイナス位置に近づくと、T-LA28A アクチュエータは 5μm で停止することが要求され、その後、0μm に戻り、最後に 1.5μm に前進することが要求されます。 実際の位置が測定され、要求された位置の関数としてプロットされます。

要求された移動が 600 マイクロステップより小さい場合、装置は最初に要求された位置よりも 600 マイクロステップ下方に位置し、次に通常どおり要求された位置に接近する。 特定の状況では注意が必要です。 例えば、600 マイクロステップ未満の距離でレーザに光ファイバーを心出し調整する場合、位置決めシステムの移動方向が正しく選択されないと、ファイバーとレーザとが衝突する可能性があります。

精度

精度とは、要求された位置からデバイスの実際の位置が全移動範囲に対して最もずれていることを指します。 図5と図6は、この仕様の決定方法を示す例です。 1回のモーター回転（48ステップまたは304.8μm）の周期で±3μmのピーク偏差の周期誤差がねじ駆動システムの代表例です。大きなジャンプはゲージの分解能が低い（1μm）ためです。 約+/-2.5μmの最大偏差の非直線性が見られます。 実際の精度を得るには、ゆっくり変化するエラーの上にサイクリックエラーを追加する必要があります。 これは、最大偏差を2.5μm（非線形性）+3μm（サイクリック）=5.5μm（誤差0からの）最大偏差が生じます。 したがって、テストされるアクチュエータの精度は+/-5.5μmです。 より大きな移動距離を有するデバイスは、一般に全範囲にわたって精度が悪くなります。

安定度

任意の位置決め装置の仕様は、長期間同じ場所に留まる能力です。 安定性に関する最悪の問題は、内部および外部の温度変化です。 これらの温度変化は熱膨張を生じ、搭載負荷にずれが生じます。 各動作間でモータ電源を遮断すれば、アクチュエータの熱負荷を大幅に減少できますが、デューティサイクルが高い場合に長時間動作させると熱が発生し問題を引き起こす可能性があります。 DC サーボモータを使用するすべての電動アクチュエータは、この問題に直面しています。

図 7 は、約 20～30 分の時定数および 37μm の最大振幅を示す。 冷却後、位置はゼロに戻りません。 これは、ねじ回転部内ののリードねじのクリープ（熱微動）および/またはローターを保持するベアリングのクリープのためである可能性があります。全電流でのモータの温度上昇は 75℃です。 これは、全電流が連続的に印加される最悪の場合のシナリオであることに注意してください。 通常の動作中は、温度変化がはるかに小さくなります。

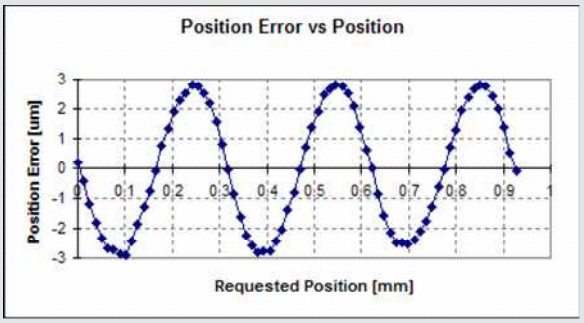


図 5：位置対位置誤差
試験手順：T-LA28A アクチュエータをワンステップ（6.35μm）単位で一方向に移動させます。 位置誤差（測定位置から目標位置を引いたもの）は、要求された位置の関数としてプロットされます。

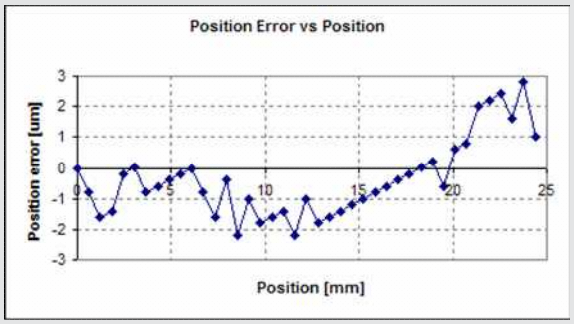


図 6：位置対位置誤差
試験手順：T-LA28A アクチュエータを上記の周期誤差を測定しないように、ステッピングモータの 2 回転増分（96 ステップまたは 0.61 mm）で 0 mm から 25 mm まで動かして、位置は、1μm の分解能を有するデジタルダイヤルゲージで測定されます。

ユニットの長期安定性が懸念される場合（多くのアプリケーションではなく、特に閉ループシステムの場合）、ユニットを使用する前に少なくとも 20 分間は通電し、デューティサイクルの低い小さなモーション（< 5%）を使用しなければなりません。

より大きな動きや高いデューティサイクルが必要な場合は、温度の影響を考慮する必要があります。 実験中に同じ読み取り値を何回か繰り返し、読み取り値が一定であると予想される傾向が増減することに気づいた場合は、熱影響の可能性を考慮してください。

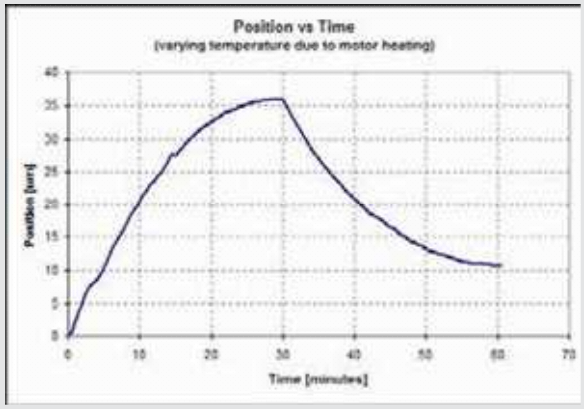


図 7：位置対時間
テスト手順：T-LA28A の電子回路はオンになっていますが、モーターはオフになっています。アクチュエータ、平行移動ステージ、およびミツトヨミニチェッカーが熱均衡に達するまで、セットアップは放置されます。 次に（t = 0 で最大定格電流がモータ巻線に印加されます。 これはモータを回転させるのではなく、モータ内部で 3.4 ワットの電力を消費し、その温度を上昇させます。 位置が安定するまで、30 秒ごとにチェッカーを読み込みます。 その後（上の図の t = 30）、モーターへの電流が遮断され、位置が再び安定するまで 30 秒ごとにゲージが読み取られます。

結論

すべてのアプリケーションでデバイスの精度を最大限に引き出す必要があるわけではありませんが、上記の効果とテクニックを知ることで、より幅広い用途をカバーする低コストで簡単なデバイスの使用を拡大できます。 デバイスの制限を把握し理解することで、その性能に対する信頼性も高まります。

Zaber 社は、ステッパーモーターベースの精密リニアアクチュエータ、リニアスライド、およびオプティクスやフォトニクス、産業オートメーション、バイオメディカルなどの用途に使用されるいろいろなモーションコントロール製品を設計、製造しています。 詳細については、www.zaber.com をご覧ください。

If you found the above information interesting, consider subscribing to our newsletter to receive product announcements, user tips, and special promotions (typically worth $100 off a selected product). Subscribe online at www.zaber.com.