

コンパクト電動シリンダ DR シリーズの構造と位置決め精度

狩野 大輔

DR シリーズはモーターとボールねじを一体化し、小型で高精度位置決めが可能な製品です。従来品と比較し、新しいガイド形状を追加しており、ワークの形状や質量によってより適切に使い分けができます。また、リードの大きいボールねじを追加することで最高速度の向上による位置決め時間短縮を実現しています。さらに、多方向からの取り付けを可能にし、設置の自由度を向上しており、装置の省スペースに貢献します。本稿では取付角寸法 28 mm のモーターを搭載した **DR** シリーズの構造、特長および位置決め精度について説明します。

1. はじめに

高精度な位置決め運転が必要な用途では、一般的にステッピングモーターやサーボモーターが使用されています。ステッピングモーターとボールねじを組み合わせた直動機構製品の一つにコンパクト電動シリンダがあります。(図1参照) 直動機構製品は直動を案内するガイドが必要です。これまではガイド種類が種類しかなく、適用できる用途が限られていました。その場合、ガイドのないロッドタイプを使用し、案内機構を外部に設けるよう都度設計する必要がありました。また、取り付けは一方向からに限られており、多方向からの取り付けの要望がありました。

今回開発した **DR** シリーズはガイド種類および取付方向を増やすことでさまざまな用途に対応できます。(図2参照)



図1 コンパクト電動シリンダ (従来品)

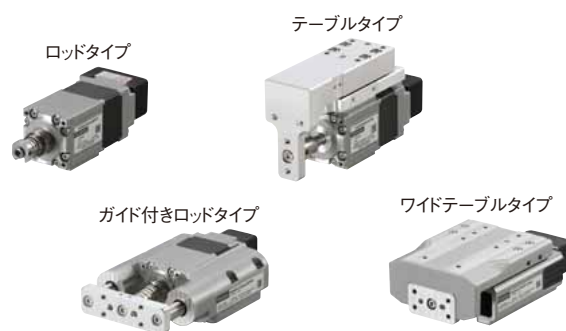


図2 DR シリーズ

2. コンパクト電動シリンダ

コンパクト電動シリンダはロータを中空化し、ボールねじとボールねじナットを直接組み込んでおり、カップリングを使用していません。さらに、大口径玉軸受を使用し、ボールねじナット外周部に配置することで全長を短くしています。(図3参照)

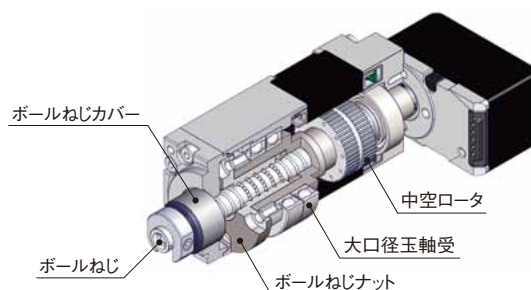


図3 構造図(ロッドタイプ)

一般的な直動機構とDRシリーズを使用した場合の構成部品比較を図4に示します。コンパクト電動シリンダを使用するとスペースが削減できます。また、構成部品点数が減り、組立工数の削減につながります。

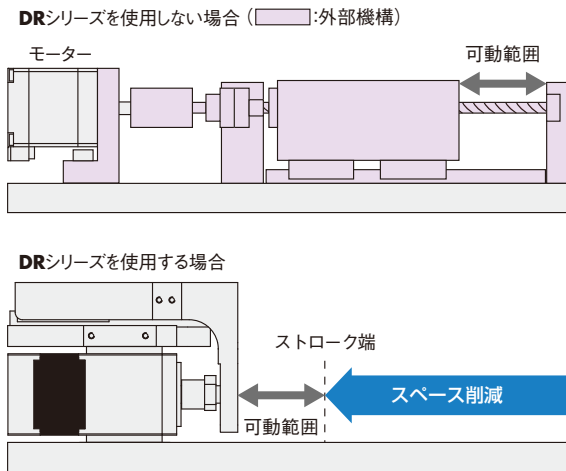


図4 必要なスペースと構成部品比較

3. DRシリーズ

3.1. 概要

バリエーションはガイドのないロッドタイプを基本とし、ガイド付き形状として従来のテーブルタイプに、ガイド付きロッドタイプ、ワイドテーブルタイプを追加した4種類です。負荷モーメントの小さい軽負荷搬送や押し当て運転にはガイド付きロッドタイプ、負荷モーメントの大きい用途にはテーブルタイプとワイドテーブルタイプと、用途に合わせてガイド形状を選択できます。(表1参照)

モーターはバッテリーレス機械式多回転アブソリュートセンサ (ABZOセンサ) 搭載のAZシリーズ (以下AZモーター) とステッピングモーターPKPシリーズの2種類から選ぶことができます。ここでは新たに開発したガイド付きロッドタイプ、ワイドテーブルタイプの基本構造について説明します。

表1 DRシリーズバリエーションと使用例

タイプ	ロッドタイプ	ガイド付きロッドタイプ	テーブルタイプ	ワイドテーブルタイプ
使用ガイド	ガイドなし	リニアプッシュ	リニアガイド	リニアガイド分離型
用途例	X-Yステージ駆動	プローブの上下動	CCDカメラのフォーカス	搬送 (負荷モーメント大)

3.2. 構造

3.2.1. ガイド付きロッドタイプ

図5にガイド付きロッドタイプの構造図を記載します。

ガイド付きロッドタイプは全長が長く剛性の高いブッシュを採用しています。剛性の高いブッシュを使用することでボールねじ軸の振れによる振動が低減されることが期待できます。

また、さらに剛性を高めるためブッシュを荷物取付プレート付近に配置しました。

可動部に加速度ピックアップを取り付け、長さの違うブッシュをそれぞれ組み込み運転し、FFTアナライザーにて周波数分析をした結果を図6、図7に示します。全長の長いブッシュは短いブッシュと比較し、振動が低減されていることがわかります。振動のピークはボールねじ軸の振れによって発生している周期的な振動です。

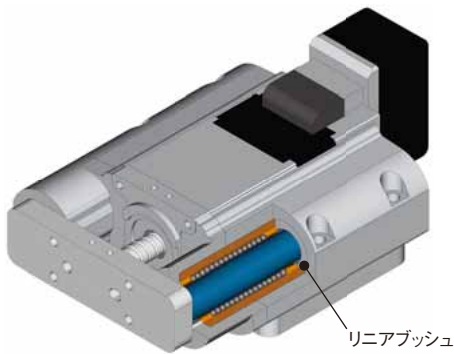


図5 ガイド付きロッドタイプ構造図

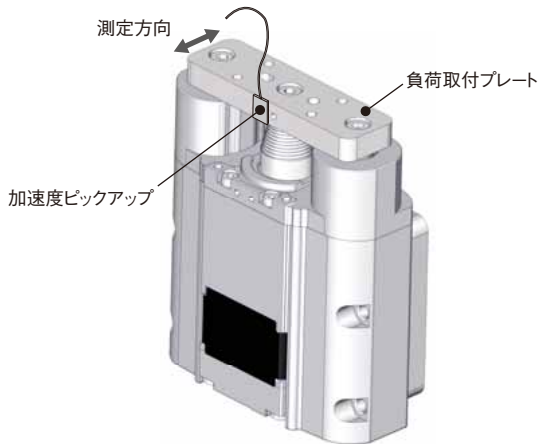
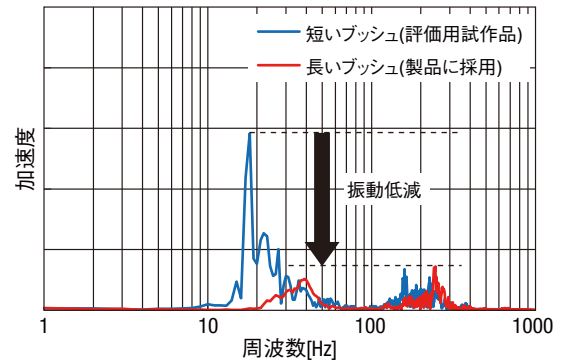


図6 振動測定方法



【測定条件】
 ベース製品：DR28G2.5BC03-P2AKD
 動作方向：垂直上向き
 速度：100 mm/s
 移動量：30 mm
 荷物質量：2 kg

図7 荷物取付部振動測定結果

3.2.2. ワイドテーブルタイプ

ワイドテーブルタイプは高剛性かつ設置面からの高さを抑えることをコンセプトとした製品です。剛性を高くする場合、通常のガイドでは大型のガイドを使用し、モーター上に配置する必要がありますが、製品が大きくなります。ワイドテーブルタイプでは分離型のガイドを2本使用しており、ガイドレール間の距離を離しています(図8参照)。

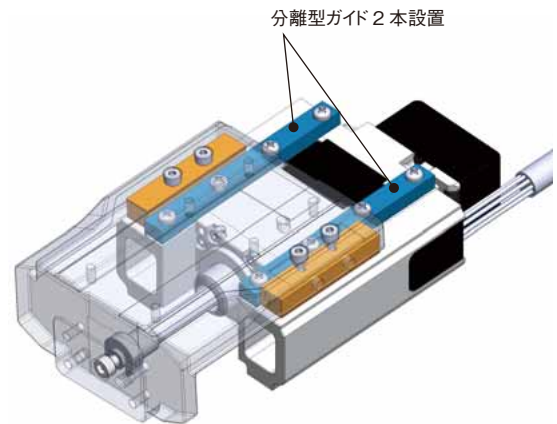


図8 ワイドテーブルタイプ構造図

図9に製品高さ比較を示します。ワイドテーブルタイプはガイドをモーター幅よりも外側に配置することで高さを抑えており、剛性も高めています。また、分離型のガイドは剛性を高める目的で、組み立て時、適切に予圧を調整する必要があります。そのため、外部からガイドブロックに加える力によって予圧を調整しています。予圧が小さいと剛性が低くなり、可動部先端変位量が大きくなるためボールねじへの偏負荷により寿命低下につながります。予圧を大きくすることで剛性は高くなりますが、ガイドの摺動抵抗値が大きくなり推力低下の要因となります。この関係からワイドテーブルタイプはガイドに加える最適な予圧を決定しています。

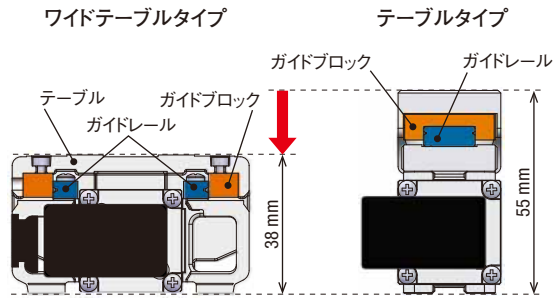


図9 製品高さ比較

3.3. 許容モーメント

前述のとおりガイド形状は3種類となり、ガイド形状ごとに剛性が異なります。図10に各ガイド形状の許容モーメントを示します。ガイド付きロッドタイプが最も小さく、テーブルタイプ、ワイドテーブルタイプと大きくなっていきます。また、図11に電動グリッパを使用した取り付け例を示します。ピッチング方向の負荷モーメントは0.4 N・mとなり、テーブルタイプの許容モーメント0.3 N・mを超えています。ワイドテーブルの許容モーメント0.6 N・m以下となるため使用可能です。このように負荷モーメントにあわせてガイド形状を選択することができます。

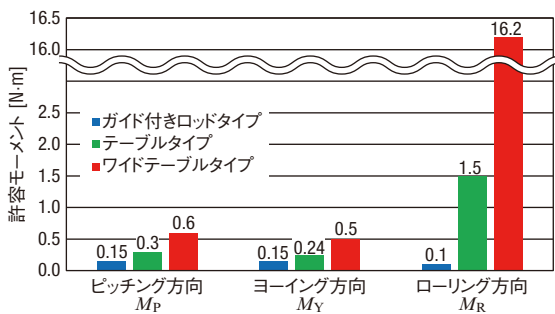


図10 形状別許容モーメント比較

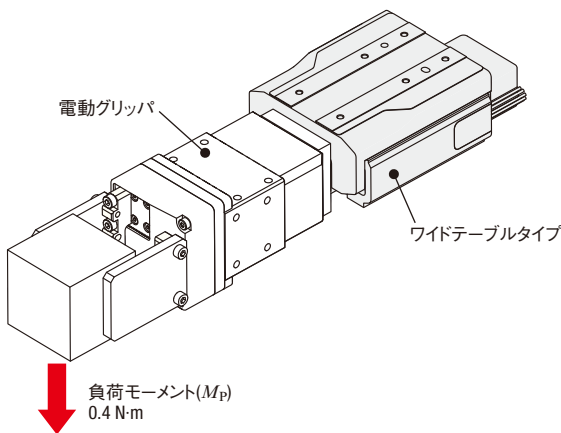
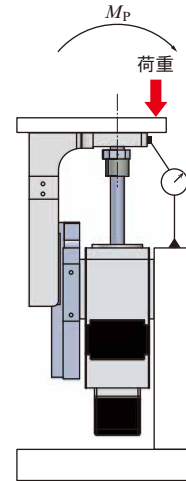


図11 取り付け例 (ワイドテーブルタイプ)

3.4. 可動部先端変位量

ピッチング方向の可動部先端変位量測定方法および結果を図12、図13に記載します。可動部先端の変位量は負荷を加えた際に変位する量です。可動部先端変位量は簡易ガイドであるガイド付きロッドタイプが最も大きく、ワイドテーブルタイプが最も小さい結果となります。ガイド剛性が高いほど可動部先端変位量が小さくなり、負荷が変動しても高精度な位置決めができます。



【測定条件】
 製品 : DR28G2.5B03-P2NKU (ガイド付ロッドタイプ)
 DR28T2.5B03-AZAKL (テーブルタイプ)
 DR28W2.5B03-AZAKL (ワイドテーブルタイプ)
 設置方向 : 垂直上向き
 モーメント方向 : ピッチング方向 (M_p)

図12 可動部先端変位量測定方法

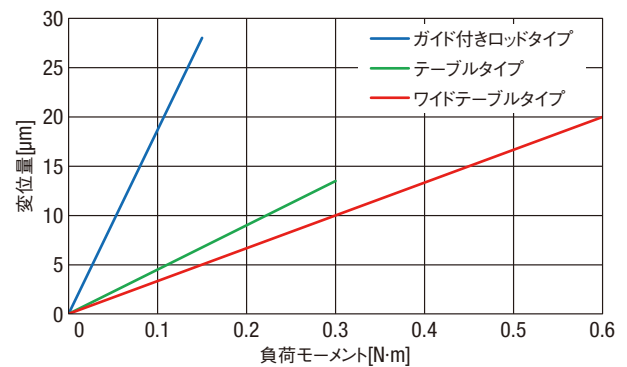


図13 可動部先端変位量測定結果 (M_p)

3.5. 設置の自由度向上

従来品に比べ、多方向からの取り付けを可能にし、設置の自由度を向上しています。(図14、図15参照)

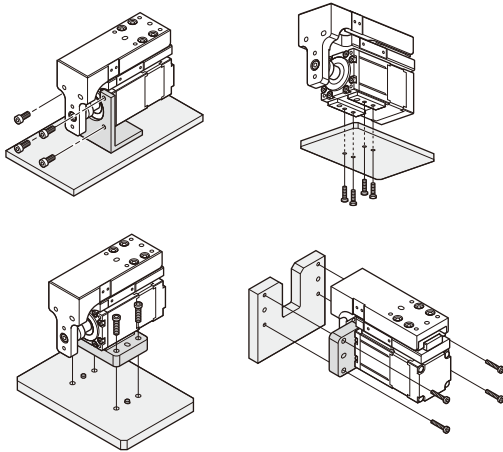


図14 設置例 (テーブルタイプ)

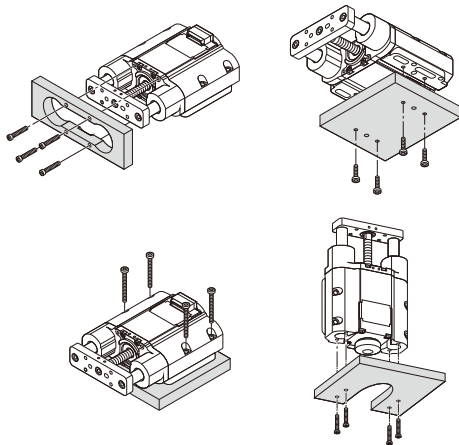


図15 設置例 (ガイド付きロッドタイプ)

テーブルタイプでは取付方向によってはワークの荷重によりケースが変形し、大口径玉軸受に応力が加わり、推力と、大口径玉軸受の寿命が低下する可能性があります。そのため、従来品よりケースを長くし、荷重を集中させないことでケースの変位量を抑える設計にしました。(図16参照)

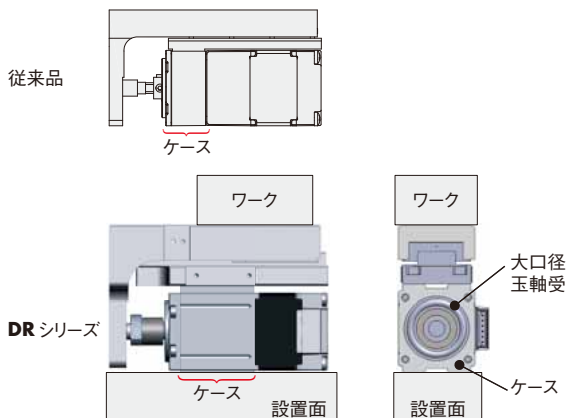


図16 取付設置例および従来品比較

4. 特性

4.1. 速度-可搬質量特性

コンパクト電動シリンダの要望として速度向上がありました。ボールねじリードは従来品と同様の1 mmの他、2.5 mmを追加した2種類をラインアップしており、最高速度を100 mm/sに向上させています。(図17参照)

リード1 mmでは垂直可搬質量4 kgとなり同サイズでの一般的なアクチュエータと比較し、より質量の大きいワークの搬送が可能です。

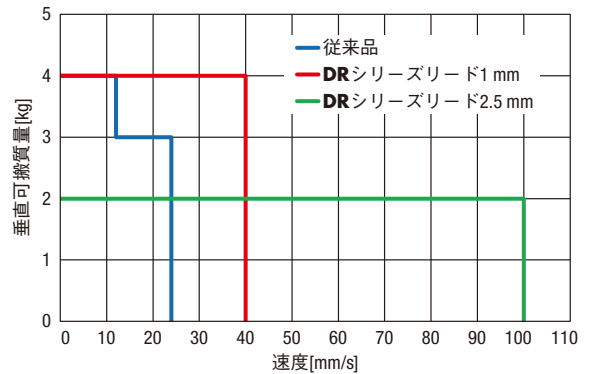
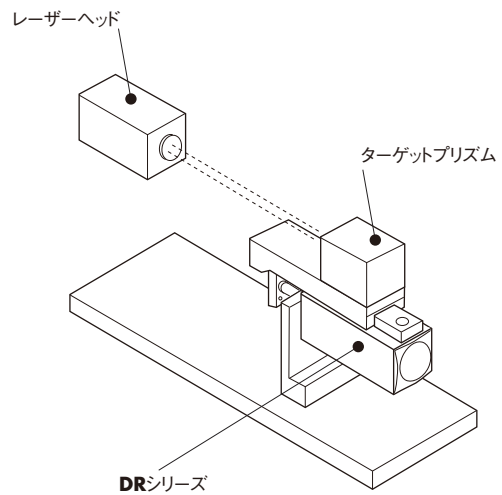


図17 速度-可搬質量仕様

4.2. 位置決め精度

DRシリーズは従来品と同様、高精度位置決めが可能な製品です。基本的な特性である繰り返し位置決め精度とステップ送り精度を測定した結果を紹介します。本稿における変位量の測定は図18に示すレーザー測長システムによって行いました。



【測定条件】
 製品 : DR28T2.5B03-AZAKL
 動作方向 : 水平
 負荷質量 : 無負荷

図18 レーザー測長システム

繰り返し位置決め精度とは任意の点に対して同じ方向から位置決めをしたときの停止位置最大差の1/2を求め、その値に±の符号を付けて表したものです。図19に繰り返し位置決め精度の測定結果を示します。実力値は±0.0011 mmとなり、高精度が要求される駆動機構に適しています。(仕様値は一定温度・負荷で±0.003 mm)

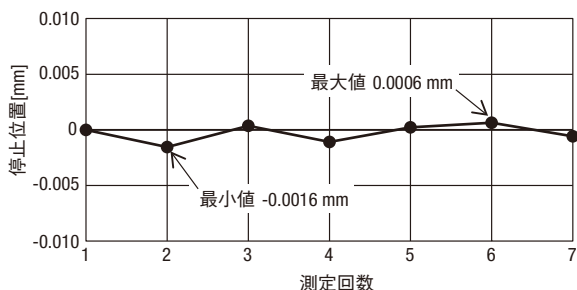


図19 繰り返し位置決め精度測定結果

1パルスずつ送ったときの理論上の送り量と実際の送り量との最大誤差をステップ送り精度と呼び、実力値は±0.0004 mm以内であることが図20からわかります。ステップ送り誤差が小さいため、ステージ駆動など微小な定量送りが必要な用途に適しています。

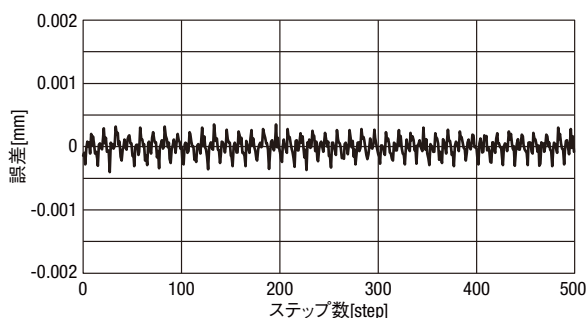
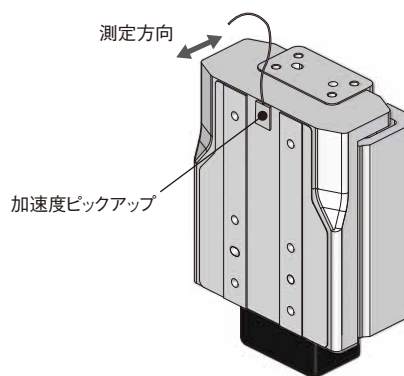


図20 ステップ送り精度

4.3. 振動特性

ワイドテーブルタイプは剛性が高いためテーブル部の振動が低減されます。図21にテーブル部振動の測定方法、図22にテーブルタイプおよびワイドテーブルタイプの振動特性比較を示します。高剛性であるワイドテーブルタイプを使用するとテーブル部の振動は小さくなり、カメラの搬送などテーブル部の振動が影響する用途で有効です。



【測定条件】
 製品 : DR28T2.5B03-AZAKL
 DR28W2.5B03-AZAKL
 動作方向 : 垂直
 速度 : 100 mm/s
 移動量 : 30 mm
 負荷質量 : 2 kg

図21 テーブル部振動測定方法

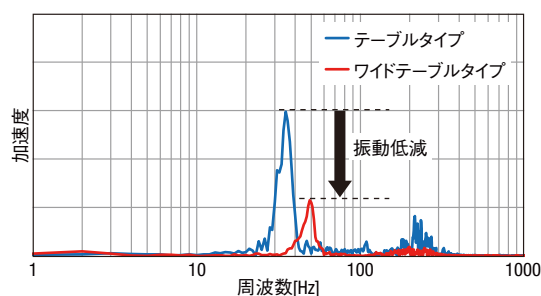


図22 テーブル部振動測定結果

5. 温度変化による位置決め精度への影響

測定装置や工作機械において回路素子の温度ドリフトや機構部の熱膨張による変化を抑えるために暖機運転、または冷却等を実施することが一般的です。

モーターやアクチュエータを使用する場合も温度による位置決め精度への影響に注意する必要があります。影響を与える要因の一つとしてモーターの発熱により機構部の温度が上昇し、機構部の熱膨張により停止位置が変化することが挙げられます。(図23参照)

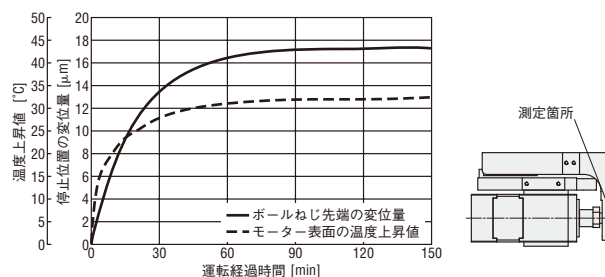


図23 温度上昇による停止位置の変位量

6. 負荷率モニタによる運転電流調整

前述のとおり、温度変化が位置決め精度に影響します。製品の推力が、必要とする推力に対して余裕がある場合は運転電流を下げると発熱を抑えることができます。DRシリーズで採用しているAZモーターではモーター負荷率をモニタできるため運転電流の適正化が簡単です。モーター負荷率は運転中の速度における出力トルク（推力）に対する実負荷トルクの比率です。（図24参照）

AZモーターはサポートソフトであるMEXE02にてモーター負荷率を簡単にモニタすることができます。

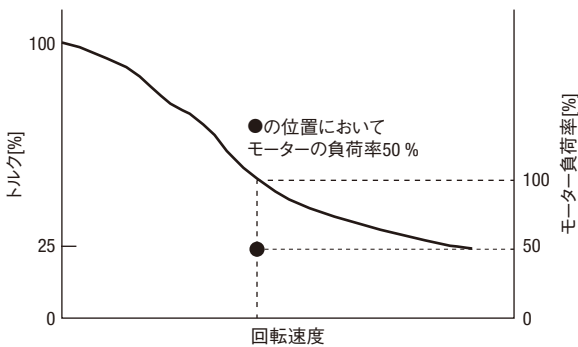
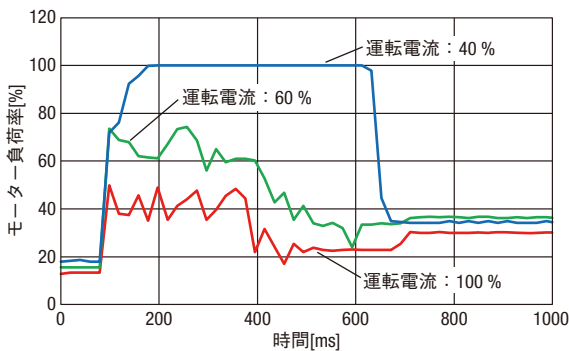


図24 モーター負荷率

図25に台形運転を行ったときのモーター負荷率のモニタ波形を記載します。運転電流設定は3種類の条件を記しています。今回の運転条件の場合、運転電流40%では負荷率が100%以上となり、過負荷状態のため正常動作しないことが推測されます。



【測定条件】

製品 : DR28T2.5B03-AZAKL
 動作方向 : 垂直上向き
 設定速度 : 100 mm/s
 設定加速度 : 0.5 m/s²
 負荷質量 : 2 kg
 移動量 : 30 mm

図25 モーター負荷率の変化

図26に速度を示します。運転電流40%では設定速度どおりの速度で動作しておらず、運転電流60%では問題なく動作していることがわかります。

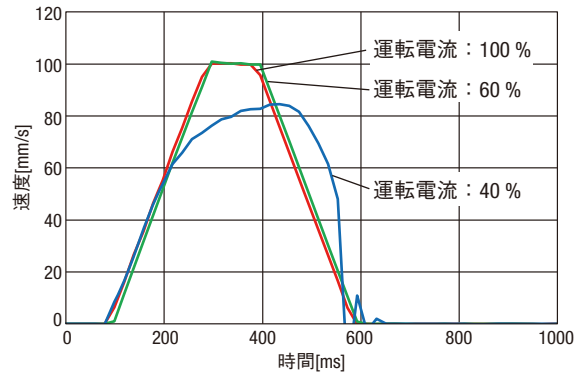


図26 検出速度の変化

図27に運転電流を変更した場合での温度上昇による停止位置の変位量を示します。運転電流100%でのモーター表面の温度上昇値は約32℃であり、停止位置の変位量は約17.5μmとなります。運転電流60%にすることでモーター表面の温度上昇値は約20℃に低減し、停止位置の変位量が約6μmと、小さくなっていることがわかります。

このように、モーター負荷率モニタによって最適な電流値設定が可能となり、機構部の熱膨張に起因する停止位置の変位を最低限に抑えることができます。

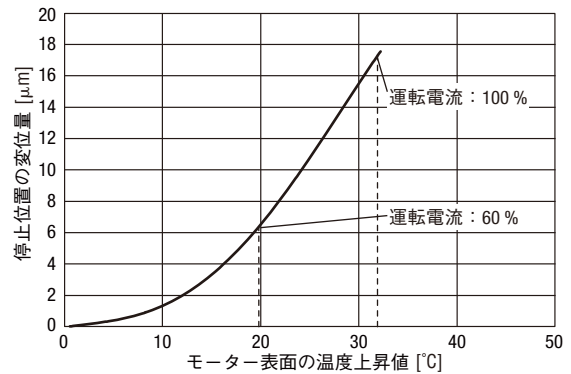


図27 運転電流による停止位置の変位量

7. まとめ

DRシリーズはステッピングモーターとボールねじを一体構造とすることにより小型かつ高精度を実現しています。また、用途に合わせて最適な形状を選択することができ、多方向からの取り付けが可能であることから使い勝手も向上しています。さらに、**AZ**モーターではモーター負荷率モニタ機能を使用することで運転電流の適正化が簡単です。これによりモーターの発熱による機構部の熱膨張を抑え、より高精度な位置決めが可能です。

今後も使いやすさを意識し、お客様の求める最適な動きを実現できる製品の開発に努めていきます。

参考文献

- (1) 安西 恒治,「コンパクトリアアクチュエータ**DRS**シリーズの開発」, RENGA, No.168, (2007), pp20-27
- (2) 中西 祐, 岩城 匡広,「**ABZO**センサ搭載コンパクトリアアクチュエータ**DRS2**シリーズによる高精度位置決め運転」, 機械設計, Vol.60, No.11, (2016), pp74-78

筆者



狩野 大輔

機構商品事業部