

ミニチュアボールねじの回転特性における選定のポイント



飛ヶ谷 正博

ケーエスエス(株)取締役 営業技術担当

1. はじめに

ボールねじは市場に流通しているもので、ねじ軸の外径が $\phi 2\text{mm}$ の極小径ボールねじから、 $\phi 200$ 以上の大径品まで数多くの種類が存在し、様々な分野で使用されている。

当社は世界でも有数の小径ボールねじ(ねじ軸外径が $\phi 16\text{mm}$ 以下)の専門メーカーとして、装置のコンパクト化、高精度化に貢献し、2014年には会社創立50周年を迎えることができた。

小径ボールねじ(ミニチュアボールねじ)は、測定機器、分析器をはじめ半導体製造装置、医療機器など様々な分野に使用されるようになり、それに応じて要求される性能も多岐に亘るようになってきた。本稿では、従来から精密位置決め用途として使用されてきたミニチュアボールねじに最も多い要求性能である回転特性について述べる。

2. 回転特性とは

ミニチュアボールねじの回転特性について、当社ではトルク特性と作動特性に分類している。トルク特性とは、ボールねじそのものを回転させるために必要な駆動トルクであり、一般的に「トルクが重い、軽い」などと表現される。一方で、作動特性とは、ボールねじを手で任意に回転させた際に感じられる「ごり感」「ざらつき感」「引っ掛かり感」などという言葉で表現される特性で、主観的な要素が多分に含まれている。トルク特性は、測定器でその定量的評価は容易であるが、作動特性(人間の手の感覚:手触り感)については、トルク特性と密接に関係しているものの、定量的評価で手触り感を忠実に再現するのは極めて難しいのが現状である。特に作動特性は、手でボールねじを回すことができる小径サイズならではのニーズであると言える。ミニチュアボールねじを微小位置決め用途として使用する場合、この二つの特性が問題となる場合があるが、回転性能を維持するためにいくつかの手段が講じられている。ここでは、回転性能維持のための手段とその効果について紹介したい。

3. グリースの違いによるトルク特性の違い

一般的に駆動トルクは、ボールねじの予圧から発生する予圧トルク、稼働中の負荷荷重、加速により発生する負荷トルク、加速トルクなどがあり、予圧量や使用条件により駆動トルクの大きさが必然的に決まるが、ミニチュアボールねじが微小位置決め用途に使用される場合、予圧量や負荷荷重、加速度が極めて小さいことから、駆動トルクの絶対値そのものが非常に小さい。そのためミニチュアボールねじに塗布するグリースの特性に支配されることがある。ミニチュアボールねじの場合は、必然的に使用するモーターも小型で、比較的定格トルクが小さいため、ボールねじ自体の駆動トルク増大はできるだけ抑制する必要がある。図1は、軽予圧を付与したボールねじで、防錆油とグリースを塗布した場合のトルク特性の比較を示したものである。グリースを塗布しただけで、予圧動トルクの絶対値が上昇していることが分かる。ボールねじの予圧動トルクは、油潤滑で測定し出荷することがJISで規定されており、当社の出荷測定基準もJISに準拠してい

【著者問合せ先】

〒146-0093 東京都大田区矢口1-22-14
Tel.03-3756-3921 Fax.03-3756-3232
E-mail masahiro.higatani@kss-superdrive.co.jp

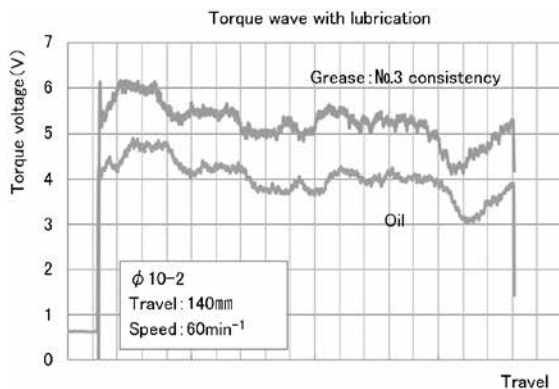


図1 潤滑の違いによるトルク特性

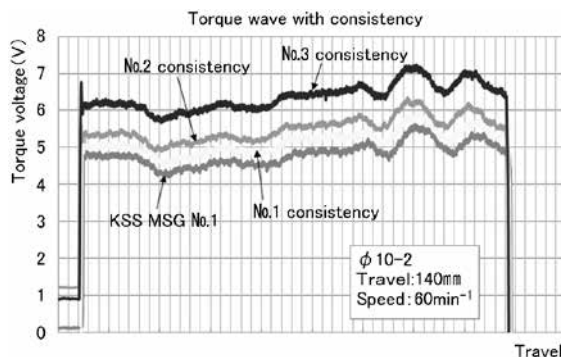


図2 グリース稠度の違いによるトルク特性

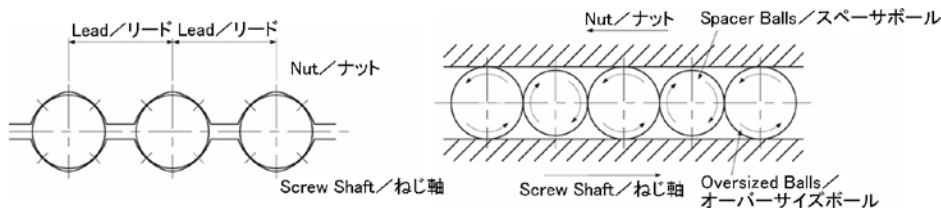


図3 オーバーサイズボール予圧とスペーサボール

る。しかし、顧客にてグリースを塗布した後、駆動トルクが重くなったというフィードバックが得られるが、図1に見られる現象を理解しておく必要がある。

また、グリースの稠度によっても、ミニチュアボールねじのトルク特性は微妙な影響を受ける。図2は、稠度によるトルク特性の違いを示すが、駆動トルクを低く抑えるためには、稠度の小さいグリースを使用した方が良いことが分かる。ただし、そのために塗布したグリースがボールねじから飛散して、潤滑不良を起こすリスクも理解しておかねばならない。図2のグリース (KSS MSG No.1) は、当社がグリースメーカーと共同開発したもので、潤滑性能を保持しながら粘着性に優れたミニチュアボールねじ専用のグリースであり、位置決め用途に適したグリースである。

4. スペーサボールによる作動特性の改善

ボールねじに軽予圧を与えるタイプに、作動性悪化 (引っ掛かり現象やトルクスパイク) が発生しやすい。ミニチュアボールねじでは、省スペースの観点から、ダブルナットでの予圧方法ではなく、

オーバーサイズボール予圧 (図3) を採用している。そのためボール同士の競り合いが影響して、作動特性の悪化に繋がりがやすい。この対策として従来から用いられているのがスペーサボールである (図3)。これはボール同士の競り合い緩和のため、負荷を受けるボールの間に若干小さなボールを挿入し、中間歯車のような役割を担わせるものである。軸受のようにリテーナーを挿入することも一案ではあるが、ボールねじでは挿入ボール数が多いこと、特にミニチュアボールねじでは、ボールが小径であるため、リテーナーサイズも小さくなってしまい、製作上、組込み上の障害が大きく、コストアップとなり現実的な方法とは言えない。

スペーサボールの効果について、図4に試験データを示す。総負荷ボールを組み込んだ場合と比較してトルクスパイクが減少していることが分かる。このトルクスパイクは、ボール同士の競り合いの他に、循環部品、ねじ溝の加工精度、ボール循環部の設計などの要因も複雑に絡み合っており、これらの観点からの改善も課題となっている。

5. ミニチュアボールねじの揺動特性

ボールねじを短ストロークで、往復運動 (揺動運動) させる場合、ボール同士の競り合いでボール循環不具合が発生しやすく、駆動トルクが増大していく傾向にある (図5)。

駆動トルク増大のメカニズムとしては、ねじ軸の回転速度とボールの公転速度は同じではなく、かつ個々のボールの公転速度にも若干のばらつきがあるために、短ストロークで正転、逆転を繰り返すことで、ある程度均等な間隔を保っていたボールが、徐々にその配置がずれ始め、ボール同士が競り合うようになると推定している。一旦競り合いを始めたボールは解消されないまま駆動トルクの増大となる。これは、ボールねじの基本的機能であるボール循環を円滑にさせるため、ボールねじの循環路 (ねじ軸とナット間) にボールを目一杯充填させず、数個程度ボール個数を減らして組み付けているために発生している。

スペーサボールはこのような揺動運動にも効果があることが分かっている。図5は、スペーサボールの使用有無による

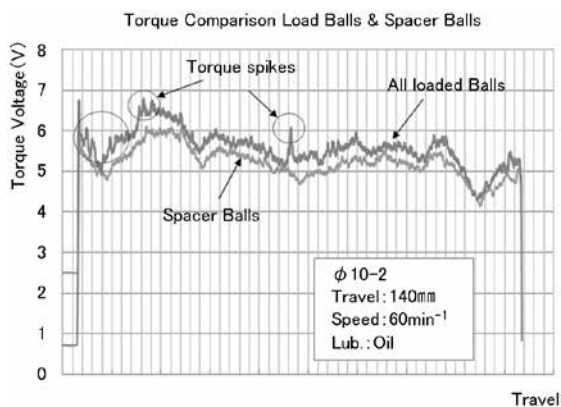


図4 スペーサボールの効果

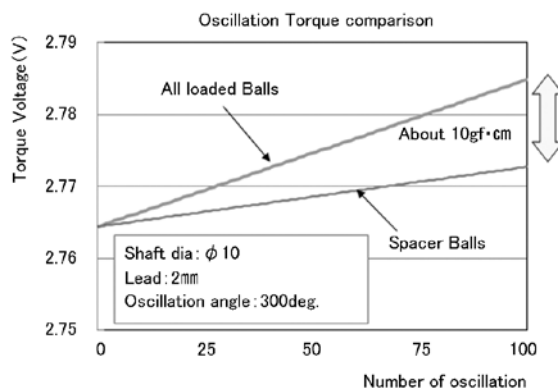


図5 揺動特性とスペーサボールの効果

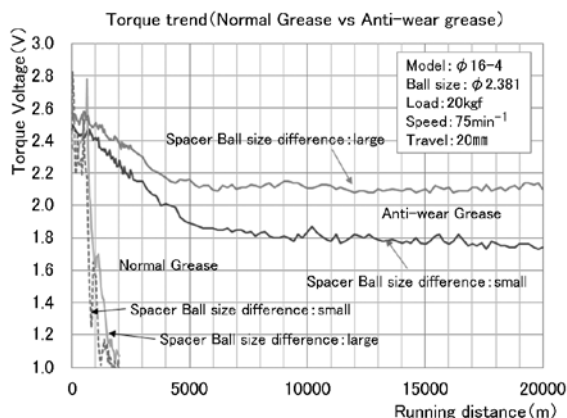


図6 グリースの違いによる耐摩耗特性

駆動トルクの増大を示したものである。スペーサボールの使用により駆動トルクの増大が緩和されていることがわかる。さらに、定期的にダミーストローク（ボールねじ循環数の2倍強の長さ）を取り入れることで、これらの現象が抑制されることが知られており、スペーサボールとの併用が有効的である。

6. グリースによる摩耗特性の違い

ミニチュアボールねじでも比較的高荷重で使用する場合、軸方向剛性値を確保する目的で、相対的に高い予圧量を設定する場合もある。このような事例では、オーバーサイズボールを利用した予圧方法では、ボール同士の摩擦、ボールと軌道面の摩擦が大きくなることから、ボールまたは軌道面の経年的な摩耗は避けられない。ボールねじの摩耗は、予圧量の低下、すなわち剛性値の低下に繋がり、本来目的とした機能が失われることになる。そのため、いかに摩耗量を少なくす

るかがボールねじの機能を長期間に亘って維持させるための鍵となる。この摩耗特性についても耐摩耗性グリースを使用することで、大きな効果が得られることが分かった（図6）。

摩耗量の変化は、稼働中の予圧動トルクをモニターすることで把握できる。図6より耐摩耗性グリースを使用することで、予圧動トルクの低下を抑制することができ、さらに長期間に亘り、摩耗を抑制できていることが分かる。また、スペーサボールの径差（負荷ボールとスペーサボールの直径の差）を管理することで、摩耗の度合いも低減できていることが分かる。図6から比較的高荷重下では、スペーサボールの径差管理と耐摩耗性グリースとを併用することで、摩耗の抑制に対して、より効果が大きいことが分かる（注：メーカーは耐摩耗性に分類していないがここでは摩耗特性が良いグリースという意味で耐摩耗性グリースと表現した）。

7. おわりに

ミニチュアボールねじの用途拡大に伴い、要求される性能が広範囲に及んでいるが、今回は少なからずともトライボロジーに関連する話題を取り上げた。ミニチュアボールねじの回転性能について、スペーサボールの使用や潤滑剤の選定など、その性能をできる限り維持する手段について報告したため、多少なりとも使用者の参考になればと考える。このように、ボールねじを正しく使いこなすために重要なことは、使用条件をできるだけメーカーに開示し、ボールねじの選定段階からリスクを避ける設計を行うことである。