

ミニチュアボールねじの 高速化への取組みとその選定

ケーエスエス株式会社 飛ヶ谷 正博
*ひがたに まさひろ 営業部 営業技術担当

はじめに

従来、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は、近年ではその用途を大きく拡大し、半導体製造装置をはじめ、医療機器、計測機器、一般産業機器、液晶製造装置など幅広い分野で使用されるようになってきた（図1）。それに伴い、ミニチュアボールねじへのニーズは大きく変化し、それに応じた仕様の確立が必要となっている。本報では、ミニチュアボールねじにおける最新技術動向の代表例である高速化、高加減速化について、最適選定や使用方法について述べる。

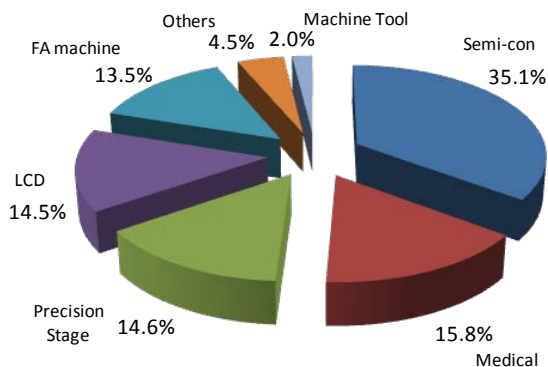


図1；ミニチュアボールねじの納入先業種

1) ハイリード化傾向

高速化に対応するためには、リードを大きくすること（ハイリード化）で、ボールねじ1回転あたりの進み量が多くできる。表1に当社の代表型番における軸外径とリードの組合せの変遷を示す。ユーザの高速化要求に伴い、ハイリード化が進んでいることがわかる。ただし闇雲なハイリード化については、製作上の問題もあり、メーカーとの相談が必要となってくる。当社では、表1に加えさらにハイリード化を目指した生産技術革新に取り組んでいる。

単位：mm

| 軸外径 | 位置決め用 リード | 高速対応 リード |
|-----|--------------|-------------|
| φ4 | 0.5,1,2 | 3,4 |
| φ6 | 0.5,1,2 | 6,10,12 |
| φ8 | 0.5,1,2 | 10,12 |
| φ10 | 1,2,3 | 20,25,30 |
| φ12 | 1,2,3 | 10 |
| φ15 | 1,2,3 | 10,20,30 |

表1；リードの変遷

ハイリード化の懸念事項として、製作上の問題に加え、縦軸で使用する場合の自重落下問題がある。ハイリード化に伴いボールねじの効率は良くなり、モータ停止時に励磁していない場合は、ナットが自重で落下する事故が起こりやすい。図2は当社が実験と理論から確立した逆作動抵抗値の予測を示すグラフである。逆作動抵抗とは、ナットを押して軸を回転させるのに必要な力であり、自重落下のしやすさの目安を示すものと言える。

図2より、すきま仕様のボールねじは、リードが大きくなる（リード角が大きくなる）ほど、より小さな力でねじ軸を回転させることができる。つまり自重落下の危険性が高まること分かる。ボールねじを縦軸で使用する場合は、電磁ブレーキなどの自重落下防止機構を装備する必要がある。

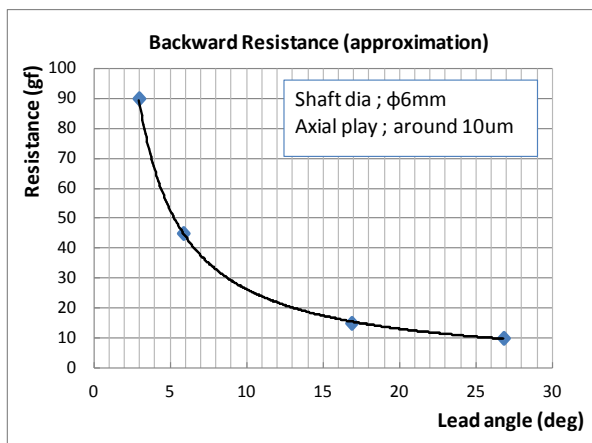


図2；逆作動抵抗値予測

2) 高回転化

送り速度の高速化については、ハイリード化とともにモータの回転数、つまりボールねじの回転数を大きくする方法がある。高速送りの場合は、ねじ軸の共振による危険速度の確認は選定時に実施しなければならない。

$$N = 8 \times \frac{60 \cdot \lambda^2}{2\pi \cdot L^2} \times \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{\gamma \cdot A}} \quad \text{min}^{-1}$$

- β ; 安全率
- E ; ヤング率
- I ; ねじ軸断面の最小 2 次モーメント
- g ; 重力加速度
- γ ; 材料の比重
- L ; 取付け間距離
- A ; ねじ軸の最小断面積
- λ ; 取付け係数

取付け間距離 (L) が長くなれば、共振による危険速度が小さくなり、限界回転数が下がることになる。ミニチュアボールねじの場合、短いストロークで高速往復する用途が多く、共振による危険速度が問題になる事例は少ない。

危険速度の懸念事項に加え、高速送りの場合は、ねじ軸の高回転に伴い、グリースの飛散で潤滑不良を招く恐れがある。そのため高速送りの場合は、グリースの飛散しにくいちょう度 (No.2 程度) のグリースを使用することが一般的であるが、ミニチュアボールねじでは、ちょう度がボールねじのトルク特性に影響するため、当社では高速用途として、粘着力が良くかつトルク上昇の少ない独自のグリース (MSG No.2) を推奨している。



図 3 ; ミニチュアボールねじ専用グリース

図 4 は、ピンオンディスク試験にて市販グリースとの比較調査を行った結果である。当社の専用グリース (MSG No.2) は、ピンの押し付け荷重を増加させても、摩擦係数の増加がほとんどなく、

長期間にわたり潤滑性能を保持されていることがわかる。

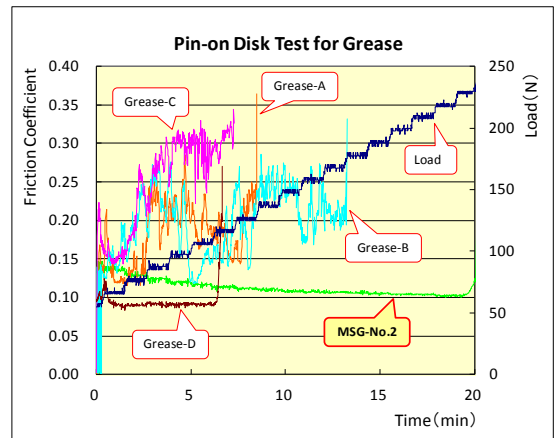


図 4 ; グリースの摩擦特性の比較

高速送り時の懸念事項として騒音レベルが挙げられる。一般に高速回転になると騒音が大きくなり、各メーカーはリテナーを挿入してボール同士の衝突音を防止し、最適なボール循環方式を選定してボールの循環音を下げなどの対策を施している。ミニチュアボールねじの場合、使用ボール径が小さいため、上記の効果はあまり大きくないことが分かっている。図 5、6 は、当社で実験したボール径による騒音レベルの比較である。ボール径が大きい場合のみ、循環方式の違いで、騒音レベルに違いが表れている。そのためボール径が大きい場合は、循環方式の選択により低騒音化の実現は可能と言える。

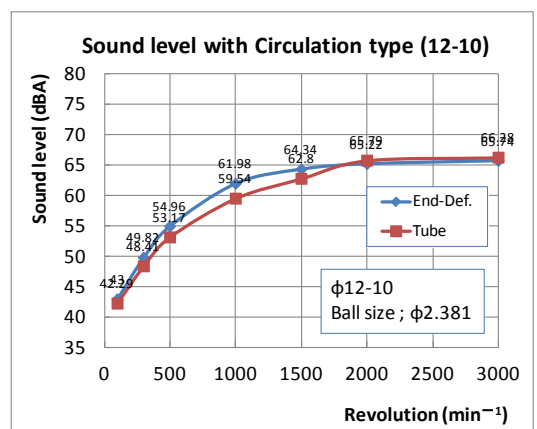


図 5 ; 循環方式の違いによる音響低減効果 (3/32 ボール)

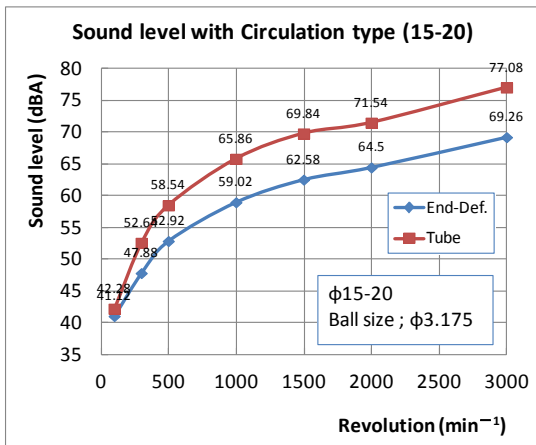


図 6：循環方式の違いによる音響低減効果 (1/8 ボール)

3) 高速揺動運転

高速送りの中でも、短ストロークを高速で往復運転する場合、高加減速も併用されている。これは実装機などの代表的使用例であるが、高速揺動運転として特別な対応が必要である。この場合、高回転に加え、高加減速により発生する荷重 ($F = m\alpha$) を定格寿命計算に考慮すること、および循環部品の破損確率が大きくなるのがボールねじ選定における注意点となる。図 7 は、当社の高速揺動試験で循環部品を破損させた事例である。

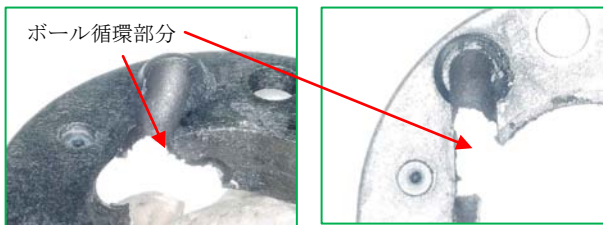


図 7：循環部品の破損事例

当社では、高速揺動仕様の循環部品の強度対策に取り組み、使用条件に合わせて最適な循環部品を選定するようにしている。

また、循環部品の破損は、潤滑状態によっても大きく左右され、当社の高速揺動試験でも、潤滑不良品は、早期に循環部の損傷が確認された (図 8)。潤滑不良は軌道面の早期剥離も引き起こしやすくなるため、ナットに給脂穴を設け、定期的な

グリースアップをすることも延命対策のひとつである。

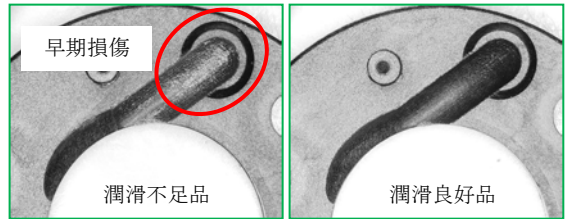


図 8：潤滑状態による循環部損傷 (100km 走行)

またねじ軸の同一箇所を高速揺動運転を繰り返すと、ボール同士の競り合いが発生し、ボールの循環が阻害され、玉詰まり現象によるトルクの上昇 (図 9) で、最悪の場合はロック状態に至る可能性がある。この揺動トルク上昇を防止するため、スペーサボールの使用や玉詰まりを解消させるために一定間隔ごとにフルストロークを稼働させる方法 (ダミーストローク) の採用を推奨している。

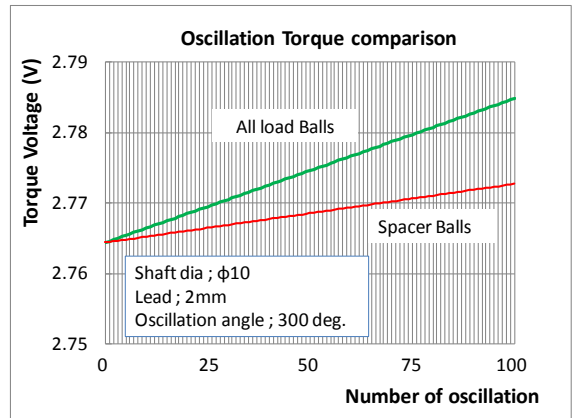


図 9：揺動トルクの上昇

4) あとがき

近年のミニチュアボールねじの高速化、高加減速の現状と選定について述べたが、今後モータ技術の進歩により、さらなる高速化や高加減速が進むと思われる。これに追随する最適なボールねじを開発することは当社の使命であるが、重要なことは使用条件をできるだけメーカーに開示し、ミニチュア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。