

## ミニチュアボールねじの応用事例 ～近年のニーズと KSS の取り組み～

ケーエスエス株式会社 営業部（営業技術担当） 飛ヶ谷 正博

### 1. はじめに

従来、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は、その用途拡大とともに多くのニーズが出てきている。本稿では、コンパクト、低トルクから、高速化、複合化などへのニーズの変遷と、KSS の取り組みについて説明する。

### 2. ミニチュアボールねじ

一般にミニチュアボールねじとはどのサイズの製品を指すのかについて、明確な定義は存在しない。当社は創業以来、ねじ軸の外径がφ16mm 以下の製品に特化して製造販売してきたため、φ16mm 以下のボールねじをミニチュアボールねじと呼んでいる。ミニチュアボールねじと言っても、ねじ軸、ナット、鋼球、循環部品の基本構成部品は、一般ボールねじと変わらないが、小径サイズであるが故、特異な製造ノウハウ、顧客ニーズが存在するのも確かである。

### 3. ミニチュアボールねじへのニーズ

当社のボールねじおよび関連製品の納入業種の分布を図1に示す。図1で特記すべきことは、一般のボールねじが工作機械や電動射出成型機に多く使用されているのとは対照的に、ミニチュアボールねじでは、半導体、医療機器、計測機器、液晶関連装置が多いことが分かる。

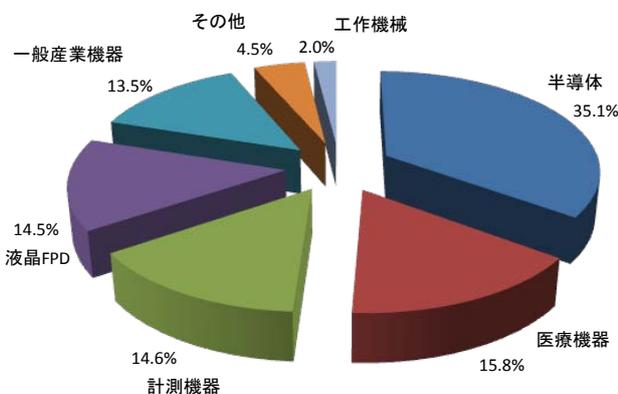


図1: KSS の納入先業種

そのため、ミニチュアボールねじでは、工作機械や射出成型機のような高負荷容量に対するニーズは比較的少なく、コンパクト化や低トルク化などの要求が多い。さらに近年は、位置決め用途だけでなく、実装機、高速搬送などに使用され始め、高速（高加減速）化に対するニーズが増加している（図2参照）。

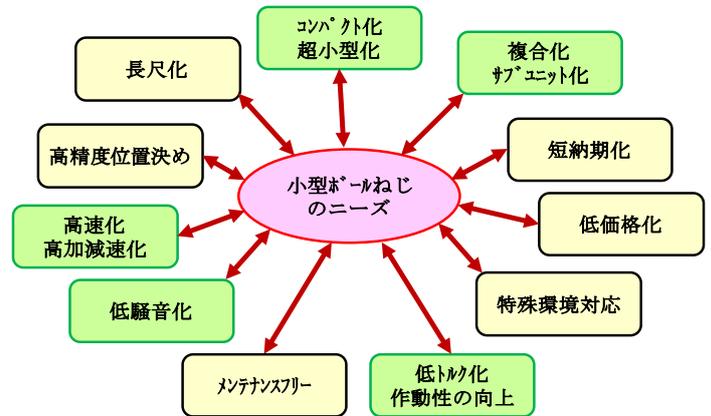


図2: ミニチュアボールねじのニーズ

これらのニーズに対して、当社が取り組んでいる内容について、商品説明を交えながら以下に解説する。

### 4. KSS の取り組み

#### 4-1; 超小型化への挑戦

当社では、ミニチュアボールねじ専門メーカーであるため、超小型ボールねじの製作要求が多い。当社では、ねじ軸外径がφ1.8mm、リードが0.5mmの極小ボールねじを製作し、実用化した実績がある。このボールねじには、直径0.4mmの鋼球が数十個挿入されており、その製造技術のみならず、組付け技術（特にボール挿入）についても世界に誇れるものと確信している。このような超小型ボールねじは、顧客での省スペース化に大きく貢献している。図3には、当社最小クラスのボールねじの写真、図4には、

当社最小ボールねじを用いたペン型アクチュエータと1軸ステージ(手のひらサイズ)を示す。



図 3 ;  $\phi 1.8 \times 0.5\text{mm}$  ボールねじ

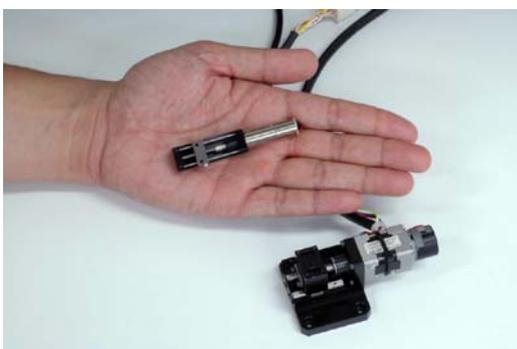


図 4 ; 手のひらサイズ小型ユニット

#### 4-2 ; コンパクト化への寄与

ボールねじ自体の小型化のみでは、装置全体のコンパクト化へ寄与するには限界がある。当社は、ボールねじ軸端とモータ軸を連結するカップリングを省略し、長手方向寸法のコンパクト化を図ったモータ直結型ボールねじ(当社名 MoBo ; ムーボ)を商品化している(図 5 参照)。これは、モータ軸とボールねじ軸を共用化したもので、モータメーカーとの共同開発品である。

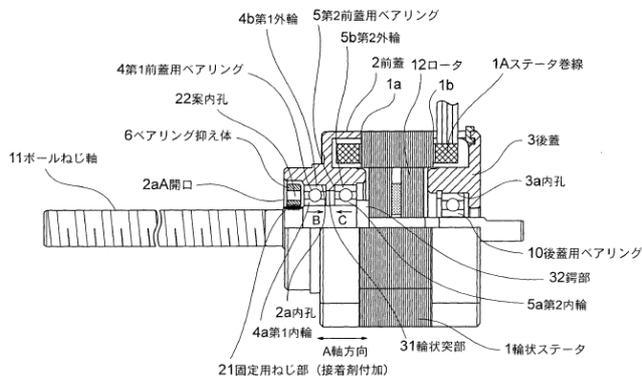


図 5 ; モータ直結型ボールねじの構造

この製品は以下の特長が挙げられる。

- ・モータとボールねじの芯出しが不要
- ・カップリングレスによる省スペース化
- ・要求精度に応じたボールねじ/すべりねじの選択が可能

モータ直結型ボールねじを使用することで、図 6 に示すような長手方向の省スペース化が実現している。

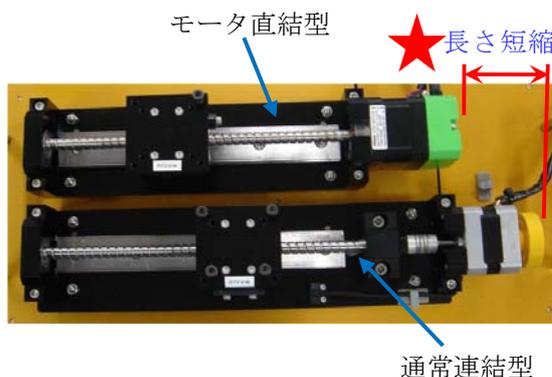


図 6 ; MoBo による長手寸法短縮

現在当社では、モータ直結型ボールねじとして、最小  $\phi 4\text{mm}$  (モータサイズ  $\square 20$ ) から、 $\phi 10\text{mm}$  (モータサイズ  $\square 42$ ) までをシリーズ化し、標準在庫品として販売している。図 7 に最小サイズ( $\phi 4\text{mm}$ 、 $\square 20$ )の MoBo 製品の写真を示す。



図 7 ; 当社最小の MoBo

また、この種の製品群では、モータを共通化することで、顧客の要求精度に応じて、精密ボールねじ、転造ボールねじ、さらには送りねじや樹脂ナットすべりねじなどを使い分けることができ、多くの選択肢を顧客に提供できる利点がある。

#### 4-3 ; 滑らかさへのこだわり

ミニチュアボールねじは、小径サイズであるため、それが組み込まれる装置全体が省スペース化される傾向があることは、先に述べた。また省スペース化ということは、モータサイズも小さく、定格トルクも小さいものが使用される。そのためボールねじの作動トルクはできるだけ小さく抑える要求が多い。また部分的なトルクの増大（手触り感で言う引っ掛かり）などは特に敬遠される傾向が強い。当社では、これらの要求を満たすため種々の取り組みを行っている。

##### 【作動性の維持】

ボールねじでは、バックラッシュをゼロにする、つまり予圧を与えるタイプに、作動性悪化（引っ掛かり現象；以下トルクスパイクと言う）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を採用している（図8参照）。そのためボール同士の競り合いが影響して、トルクスパイク現象が起こりやすい。この対策として従来から用いられているのが、スペーサボールの使用である（図8参照）。

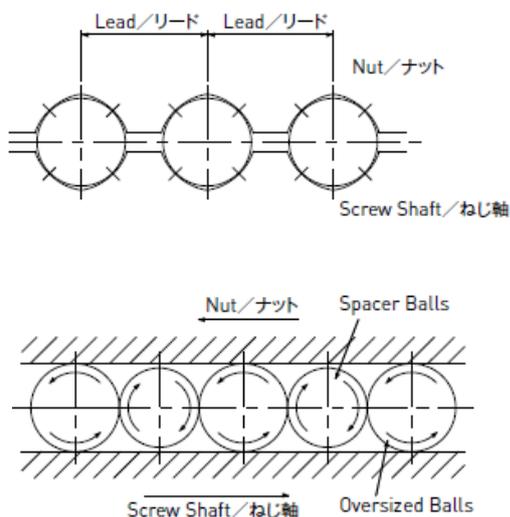


図8 ; オーバーサイズボール予圧とスペーサボール

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めのボールを

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、またミニチュアボールねじでは、ボールが小径であるため、リテナーサイズも小さくなってしまうため、製作上、組み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9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現象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。

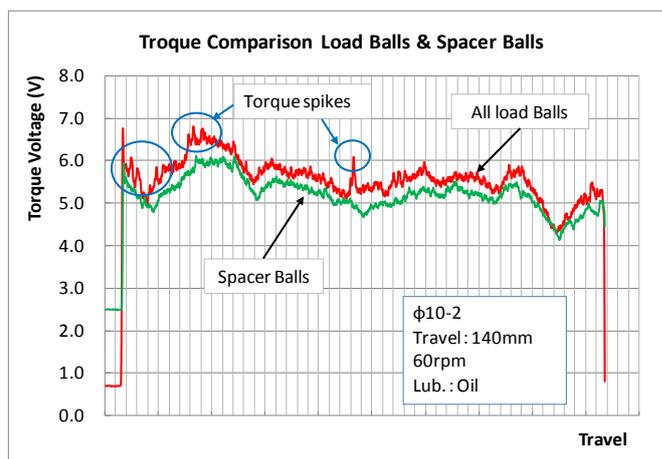


図9 ; スペーサボールの効果

スペーサボールは揺動運転にも効果があることが分かっている。短ストロークでの揺動運動を繰り返すと、同じくボール同士の競り合いで循環不具合が発生しやすく、作動トルクが増大していく傾向にあるが、スペーサボールの使用でこの現象は緩和できることがわかっている（図10参照）。この揺動トルクの増大に関しては、スペーサボールの使用とともに、定期的なダミーストローク（ボールねじ循環数の2倍強）を取り入れることによってもある程度緩和されることが知られており、揺動仕様の顧客に推奨している。

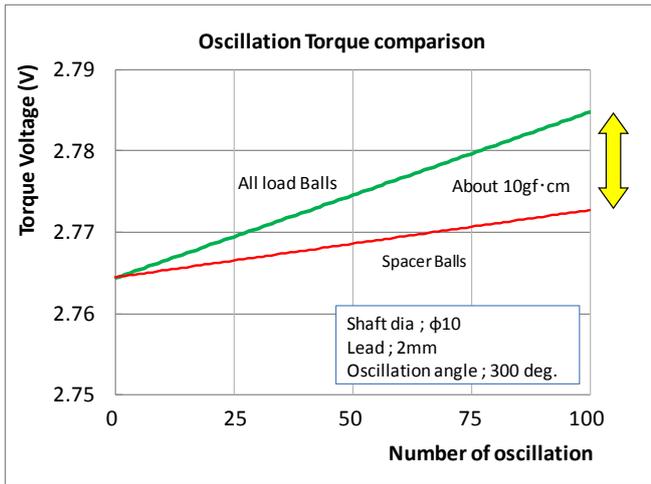


図 10 ; 揺動トルク増大の緩和

【作動トルクの低減】

作動性悪化防止とともに作動トルクの絶対値を低く抑えることも重要となってくる。ミニチュアボールねじの場合、剛性を向上させるための予圧目的よりは、軸方向のガタを無くす目的の方が大きいので、予圧動トルクの狙い値は極力小さくセットしている。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、当社の出荷基準も JIS に準拠している。しかし、顧客にてグリースを塗布した後、作動トルクが重いという苦情が過去に多く寄せられた。油潤滑とグリース潤滑での作動トルクの違いを図 11 に示す。

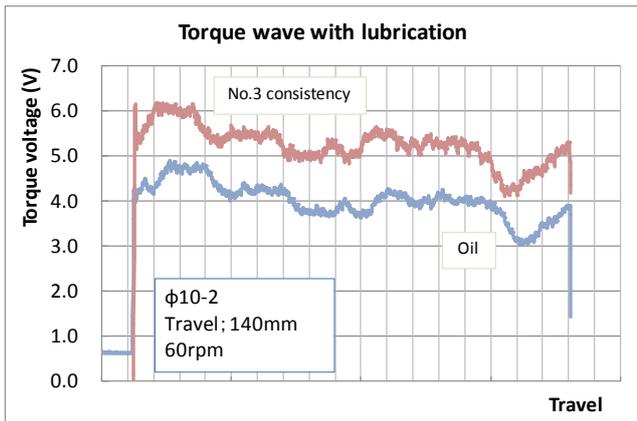


図 11 ; 潤滑による作動トルクの違い

当社での調査の結果、この現象はグリースのちょう度（攪拌抵抗）が大きく影響していることが判明した。後述するが、ちょう度の低いグ

リースを使用することが、作動トルク上昇を抑える対策となるが、ちょう度が低いということは、グリースが柔らかく、油のように流れ落ち、無潤滑に近い状態で運転される危険性を伴う。特に高速運転の場合、グリースが飛散し潤滑不足の危険性は増大する。そのため当社では、粘着性が良く、かつ潤滑性能に優れたミニチュアボールねじ専用のグリースを開発した。

位置決め用途に 1 号ちょう度 (MSG No.1)、一般、高速用途として 2 号ちょう度 (MSG No.2) の他、クリーンルーム用に MCG No.1 などを取り揃えている。

当社のミニチュアボールねじ専用グリースについて、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。当社の専用グリースは、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することができる (図 12)。

ピン径 : φ 4.763mm (SUJ2)  
 ディスク : SCM415 (HRC58~62, 0.8S)  
 荷重 : 50N (10N ステップアップ式)

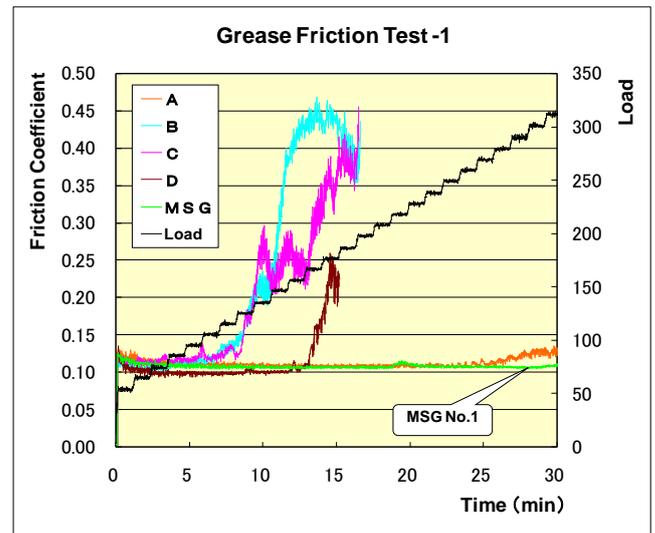


図 12 ; グリース摩擦試験

当社のミニチュアボールねじ専用グリースとちょう度別の市販グリースとの作動トルク比較データを図 13 に示す。ミニチュアボールねじにおいては、できるだけちょう度が低く、粘着性に優れたグリースを使用することが得策であることが分かる。

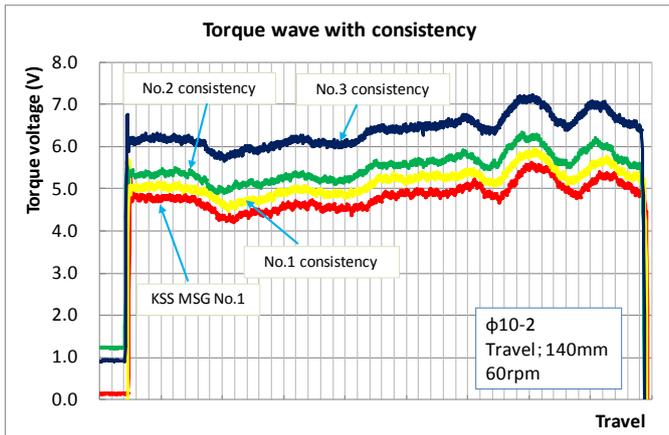


図 13; グリースちょう度別作動トルクの比較

#### 4-4 ; 高速化への対応

従来、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だが、近年は高速で使用する場合が増加してきた。高速送り速度として、1~2m/sec=60~120m/sec の要求が出始めている。工作機械用途などではすでに実用化されている速度ではあるが、ミニチュアボールねじの分野では開発要素の多い領域と言える。

一般にボールねじの送り速度を速くするには、以下の 2 つのアプローチがある。

①ボールねじのリードを大きくする。

(ハイリードボールねじ)

②ねじ軸の回転数を上げる。

(高速対応ボールねじ)

この 2 つのアプローチは、それぞれ克服しなければならない課題がある。

#### 【ハイリードボールねじ】

ボールねじのリードを大きくすると 1 回転あたりの進み量が多くなり、高速送りが可能となるが、ナットの長手方向寸法が大きくなり、製作上の難度が増大する。図 14 に示すように、ボールねじは、ねじ溝がねじれているためリード角が存在する。そのためナットのねじ溝を研削加工する際に、砥石を傾けなければならず、砥石を支えるクイールがナットの入り口部に干渉する確率が大きくなる。クイール径を細くすると、研削時の剛性不足で、ねじ溝形状が安定しないなどの不具合で、精度不良が起こりやすい。

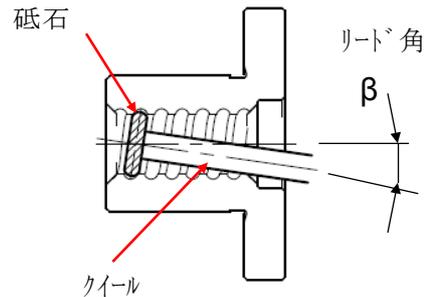


図 14 ; ナットねじ溝研削

ボールねじメーカーはこれらの問題を克服するため種々の対策を施している。当社でもハイリードボールねじの加工方法を工夫し、カタログにもここ近年で、ハイリードボールねじのラインナップを大幅に増加した (表 1)。

軸外径 (mm)	位置決め用 リード (mm)	高速対応 リード (mm)
φ 4	0.5,1,2	3,4
φ 6	0.5,1,2	6,10,12
φ 8	0.5,1,2	10,12
φ 10	1,2,3	20,25,30
φ 12	1,2,3	10
φ 15 (φ 14)	1,2,3	10,20,30

表 1 ; リードの変遷

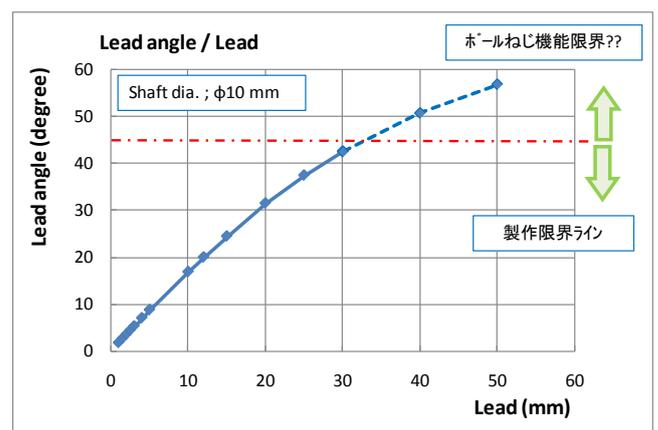


図 15 ; リード角の製作限界と機能限界

ただし、ハイリードボールねじの開発とともに、リードが無制限に大きくできるのかという疑問も湧いてくる。リードが大きくなるとリー

ド角も増大し、最終的には軸芯と並行になってしまう。この時点では、ボールねじとは呼べず、ボールスプラインとなってしまふ。そのためハイリードの製造技術を確立するとともに、ボールねじとしての機能限界を見極める必要も出てくる(図15)。

【高速対応ボールねじ】

高速送りへのアプローチとして、もうひとつの方法である回転数を上げる場合の問題点について解説する。ボールねじは、ねじ軸を回転させる場合が多く、回転数を上げると共振現象を起こす危険速度(回転数)が存在する。これは、以下の式で計算される。

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

- β ; 安全係数
- E ; ヤング率
- I ; ねじ軸断面の最小2次モーメント
- d ; ねじ軸谷径
- g ; 重力加速度
- Y ; 材料の比重
- L ; 取付間距離
- A ; ねじ軸の最小断面積
- λ ; ボールねじの取付方法によって定まる係数

ここで、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。この短ストローク、かつ高加減速での運転(以下 高加減速揺動)は、実装機、ピック&プレイスなどの用途でミニチュアボールねじが多く使用され始め、危険速度よりはむしろ循環部品(ボールを無限循環させる部品)の強度が問題になってくる。一般には、この指標をdn値(ボール中心径×限界回転数)で表す場合が多く、10万、15万などの保証値がメーカーから公表されている。ミニチュアボールねじの場合、ねじ軸の外径が細く、dn値という概念をあてはめるのは無理があるため、型式ごとに高加減速耐久試験を実施し、その使用可否の見極めを判断している。

高速回転時における循環部品の強度を評価する場合、単なる高速回転ではなく、加減速度をできる限り大きくし、揺動運動させることで、循環部に対して、より過酷な条件で評価試験を実施している。これは、加速度により発生する推力(F=mα)が、通常の負荷荷重にプラスされて発生することを想定したもので、より実機に近い状態での評価となっているはずである(図16)。

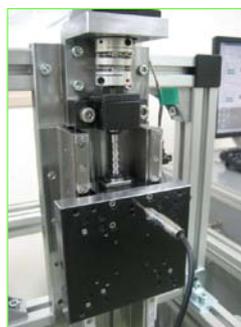
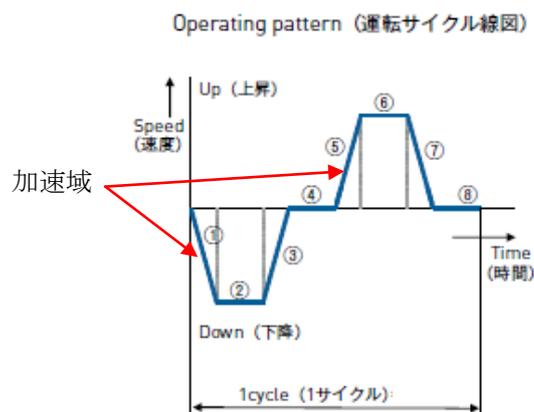


図16; サイクル線図と  
高速耐久試験機

高加減速揺動試験を循環部品が破損するまで継続した結果を図17に示す。これは、エンドキャップというナットの両端に設けられた循環部品とボールの損傷状況を示したものであるが、ボールの軌道溝部以外にボールが侵入し、循環が阻害され、ボールねじがロックするに至っている。これは、高速揺動を続けることで、軌道面やボールの摩耗が進行し、スムーズに循環していたボールが千鳥状態になり始め、最終的には循環部に激しく衝突を繰り返すことにより発生したものと思われる。したがって、高加減速揺動に対する措置として、循環部の強度アップと軌道面やボールの摩耗対策を施す必要がある。弊社ではこの2つのアプローチから高加減速揺

動に対する使用限界を少しでも向上させるよう研究を重ねている。

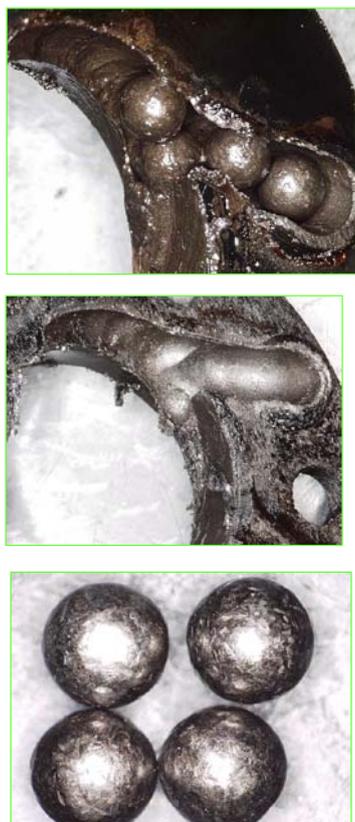


図 17 ; 循環部とボールの損傷

### 【高速化に伴う騒音レベル】

ボールねじの高速化(特に高回転化)に伴い、騒音問題が懸念される。一般にボールねじの騒音は、以下の2つから構成されていると言われている。

- ・ 転走音 (4kHz 以下)  
ボールが軌道面を転がる際に発生する音
- ・ 循環音 (4~16kHz)  
ボール同士や、循環部品への衝突音

各ボールねじメーカーの低騒音製品もすべてこの2つの観点から対策が施されているようである。当社も同様に上記の観点から評価してみた。

転走音のレベル把握として、ねじ溝面仕上げを研削と研削+特殊仕上げ(表面粗さ改善)と比較した結果を図18に示す。

図18から、低速回転域での効果は見られないが、高速域での騒音低減効果が見られる。ただし特殊表面仕上げについては、製造コストとの

関係もあり、当社ではねじ溝研削後に、ある程度の表面粗さ向上工程を取り入れ、全般的な低騒音化を図っている。

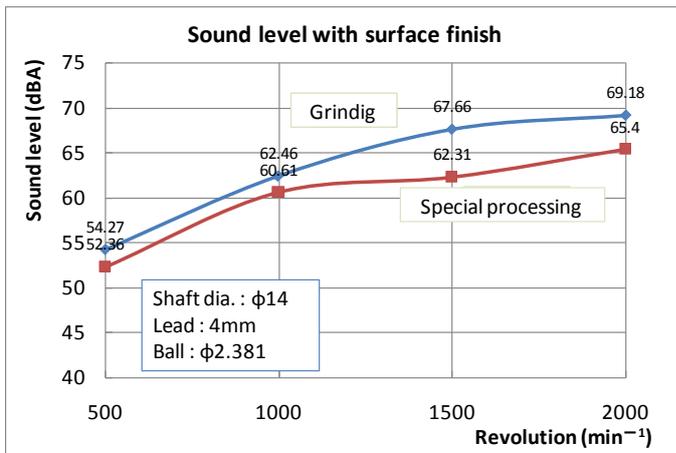


図 18 ; 表面仕上げの違いによる騒音データ

一方、循環音の観点からボール同士の衝突音がどの程度影響するのかを調査するために、ボール間にプラスチックリテナーを挿入し、騒音測定を実施した結果を図19に示す。

この結果からは、ミニチュアボールねじの場合、ボール同士の衝突音はほとんど影響がないと思われる。またリテナーの挿入に関しては、リテナーの製作コスト、組み込み工数など、現実的でないため、当社での採用は行っていない。

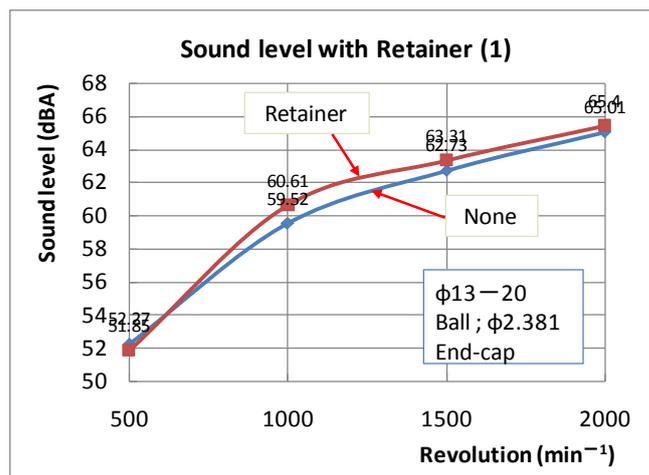


図 19 ; リテナー挿入による騒音値

また、循環部品へのボール衝突音の影響を調べるため循環方式の違いによる騒音値を測定した(図20)。

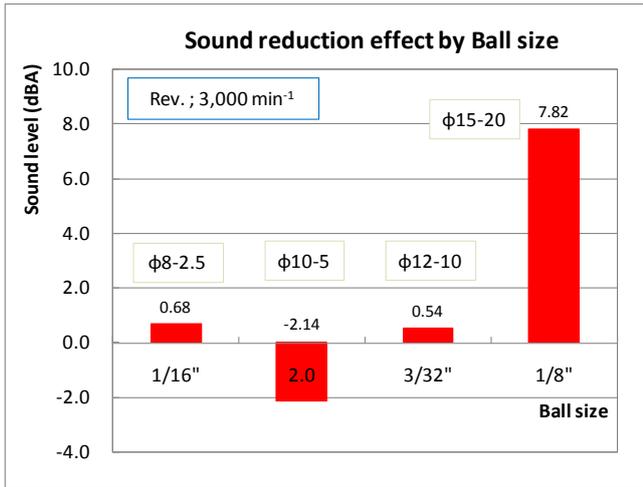


図 20 ; ボールサイズ別の騒音低減効果

調査にあたり、ボールが循環部品に衝突し、強制的に軌道が変更させられる循環方式（リターンプレート式、リターンチューブ式）とボールの軌道に沿って接線方向にスムーズにボールを循環させるエンドデフレクタ方式との比較測定を実施した。図 20 の結果から比較的高速回転（3,000rpm）時で、ボールサイズ（ボールねじサイズ）が小径の場合は、その低減効果はほとんどなく、φ15mm サイズのみ騒音低減効果が見られている。使用ボール径の小さいミニチュアボールねじでは、φ15mm サイズを除き、循環方式にはほとんど影響されないことが分かる。そのため当社では、φ15mm サイズのハイリード製品に関して、高速用途の場合は、エンドデフレクタ方式を推奨している。

## 5. 複合商品の紹介

コンパクト化、省スペース化、低トルク、高加減速対応など、ボールねじ単体でのニーズに対する取組みを述べたが、客先での設計工数や組立工数を削減するため、ボールねじ、あるいは送りねじを利用した複合化商品のニーズも高まっている。前述したモータ直結型ボールねじも、省スペース、かつモータとの複合商品であると言える。ここでは、当社が開発した複合商品の一部を紹介する。

## 5-1 ; MoBo アクチュエータ

前述したモータ直結型ボールねじをユニット化したもので、スライダタイプとシリンダタイプの製作が可能であり、当社では MoBo アクチュエータと呼んでいる。モータに直結するボールねじの種類を変更することにより、顧客要求精度に応じた複合商品の提供が可能である。この商品を組み合わせることで、省スペース化を実現した X-Y ユニットにも使用できる(図 21)。

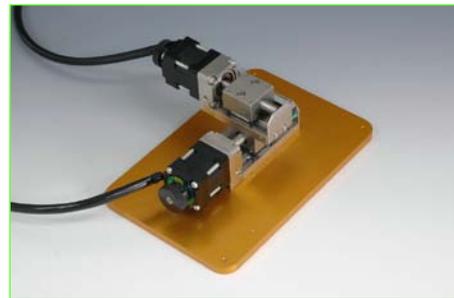


図 21 ; MoBo アクチュエータ

モータに直結する送りねじの種類による位置決め関連精度のレベルを図 22、23 に示す。耐久試験中の繰り返し位置決め精度、及びロストモーションをモニターし、耐久試験終了後の測定値を精度保証の目安としている（表 2）。

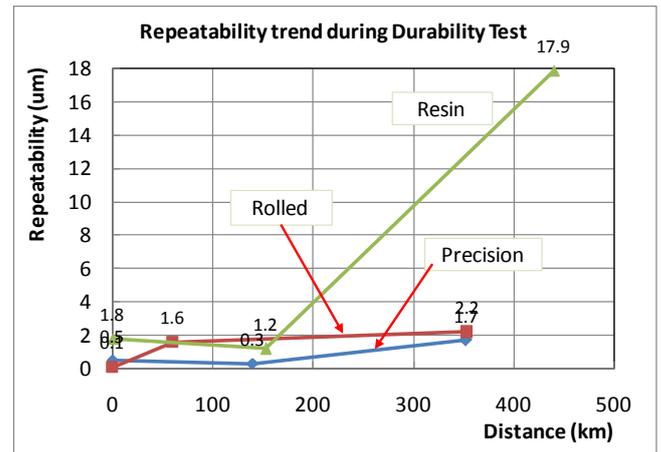


図 22 ; 繰り返し位置決め精度

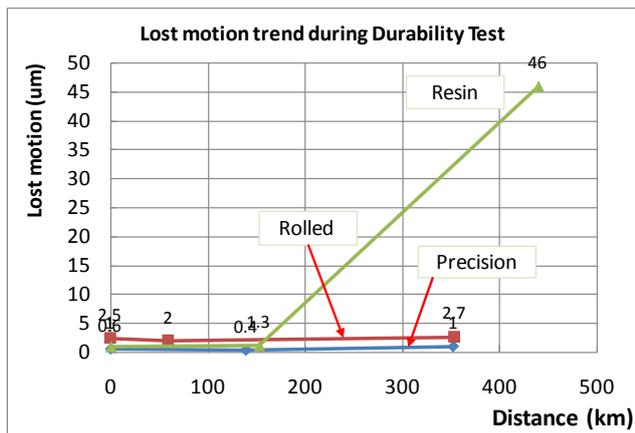


図 23 ; ロストモーション

単位 : mm

	精密ボールねじ	転造ボールねじ	樹脂滑りねじ
繰り返し位置決め精度	±0.005	±0.01	±0.05
ロストモーション	0.005	0.01	0.05

表 2 ; 送りねじ種類別精度保証の目安

### 5-2 ; フレックスアクチュエータ

当社では、MoBo アクチュエータに加え、モータの選択肢も増やした 1 軸小型アクチュエータ（当社名；フレックスアクチュエータ）をシリーズ化した（図 24）。この商品は、図 25 に示すように、要求精度に応じて送りねじの種類を自由に選択できること、要求ストロークや送り速度に応じて、リード、ストローク（長さ）の選択肢を広く設けたこと。さらに要求可搬荷重に応じて、モータを選択できるようにした、いわゆる要素部品をフレキシブルに組み合わせることができる 1 軸小型アクチュエータである。



図 24 ; フレックスアクチュエータ

このシリーズは、部品の共通化を図るとともに、送りねじ／ボールねじメーカーの利点を活か

し、多くの種類の送りねじ／ボールねじを備蓄することで実現できた商品である。

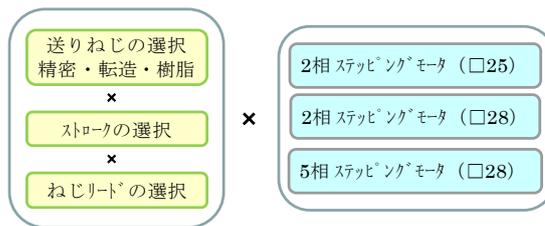


図 25 ; フレックスアクチュエータの選択肢

### 5-3 ; ボールスプライン付きボールねじ

当社独自の開発だけでなく、ミニチュアボールスプラインメーカーであるヒーハイト精工株式会社殿と共同でミニチュアボールスプライン付きボールねじ（BSSP）を開発した（図 26）。この商品は、1 軸にボールねじとボールスプラインが同時に加工してあり、直動（Z）、回転（θ）の動作が 1 つの部品で実現可能なこと、またねじ軸に設けた中空穴を通して、エアによる吸着が可能である。従来ボールスプライン付きボールねじは、スカラロボットなどで使用されているが、当社とヒーハイト精工株式会社殿の共同開発により小径サイズ（φ6、φ8mm）を実現させ、省スペース化、多機能化に貢献している。



図 26 ; ボールスプライン付きボールねじ

図 27 を用いて簡単に動作原理を説明する。ボールねじとボールスプラインが同一軸上に加工されており、ボールねじナット、ボールスプラインナットにそれぞれモータが連結されている。ボールねじナットに連結したナットを回転させると、ねじ軸は、ボールスプラインナットが回

り止め機構となり、ねじ軸は上下(Z)運動する。またボールスプラインナットに連結したモータを回転させるとボールスプラインナットがねじ軸にトルクを伝達し、回転運動( $\theta$ )を行う。ねじ軸に加工された中空穴にエアを配管すれば、吸着が可能となり、軽量のチップなどのピック&プレイスが可能となる。図 28 はその潜在的アプリケーションを、表 3 は対応可能サイズ掲載する。

単位：mm

BSSP タイプ	ボール スプライン部	ボールねじ部	
	外径	外径	リード <sup>°</sup>
セパレートタイプ	φ6	φ6	2,6
	φ8	φ8	2,4
オーバーラップタイプ	φ6	φ6	6,10
	φ8	φ8	12

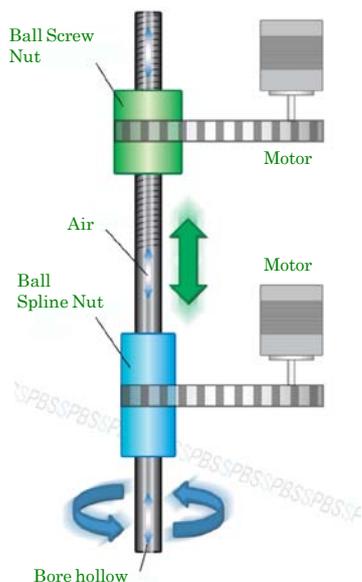


図 27 ; ボールスプライン付きボールねじの機能

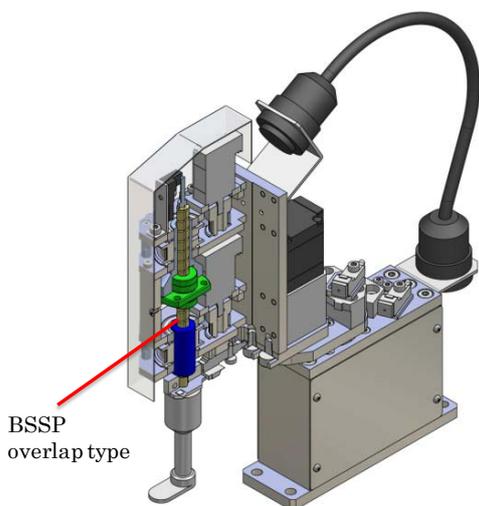


図 28 ; BSSP の潜在的アプリケーション

表 3 ; BSSP の対応可能サイズ

## 6. まとめ

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は、そのニーズであるコンパクト化、小型化、作動性の向上に対する追求は、終わるところを知らない。また近年の用途拡大に伴い、さまざまなニーズが生まれてきた。とりわけ、高加減速化要求に対するハイリード製品の開発、循環部の強度対策は、急務と言える。さらには、ボールねじや送りねじに付加価値を盛り込んだ複合商品化により、今後は新たな需要も生まれてくると思われる。

最後に、今後の展望として、ボールねじの用途拡大、需要拡大は更に進むことが予想できる。たとえば、電動化される自動車への小型アクチュエータ搭載や、電動射出成型機の小型化により高推力小型ボールねじの需要拡大なども候補の一つと言える。また、BRIC'sをはじめとする新興国での需要は急増し、国内メーカーのみならず海外メーカーとの競争も激化すると思われる。

一方では、超高速化装置へはリニアモータの搭載が進み、ボールねじに置き換わることも予想され、両者の棲み分けも徐々に明確になってくるものと思われる。