



2012年度ポジショニング特別セミナー

(カテゴリ:位置決め技術の応用事例)

ケーエスエス株式会社 技術部 技術課
上本武司

位置決め要素としてのミニチュアボールねじの現状と今後の動向

概要・主旨

ミニチュアボールねじは位置決め機械要素部品として使用されるケースが多い。
しかしながら、ミニチュアボールねじは位置決め要素部品の1つにすぎず、ボールねじ単体で超精密位置決めを実現するのは不可能である。

実使用の際は位置決めテーブル(位置決め機構)の1つの要素として機能する。
(主に動力伝達を担う)。

今講演ではミニチュアボールねじ単体がユニット・テーブル化した際の

位置決め精度向上に貢献できる項目とその現状レベル

を中心に報告・解説する。



Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved

KSS CO.,LTD.



～目次～ Index

KSS会社紹介 ...1ページ

(ミニチュア) ボールねじについて

- ・ミニチュアボールねじとは? ...2ページ
- ・ミニチュアボールの特徴 ...3~4ページ
- ・ミニチュアボールのバリエーションと用途(例) ...5~7ページ

位置決めテーブルとボールねじ

- ・位置決めテーブルの基本構造と役割 ...8ページ
- ・ミニチュアボールの位置決め出力 ...9ページ

位置決め関連精度・姿勢関連精度の種類と定義

...10~12ページ

位置決め・姿勢関連精度に関するボールねじ機能

- ・位置決め・姿勢関連精度とボールねじ機能 ...13ページ
- ・リード精度と位置決め精度影響 ...14~15ページ
- ・軸方向剛性と位置決め精度影響 ...16ページ
- ・軸の振れ回りと位置決め・姿勢関連精度 ...17~18ページ
- ・軸の振れ回りと位置決め・姿勢関連精度(実測例) ...19ページ
- ・ボールねじ温度変化と位置決め精度影響 ...20ページ
- ・ボールねじトルクと位置決め精度影響 ...21ページ
- ・走行距離と位置決め精度影響(&実測例) ...22~23ページ

まとめ)ボールねじ機能と位置決め・姿勢関連精度

...24ページ

ボールねじと位置決め精度を取り巻く状況

...25ページ

ミニチュアボールねじに対する取り組み

...26ページ

総括 ...27ページ

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved

KSS CO.,LTD.

1ページ

ケーエスエス株式会社とは？～紹介～

ミニチュアボールねじの専門メーカーで、**ボールねじ**の他、**送りねじ**、**樹脂ナットねじ**、更にこれら単品と**複合商品(ユニット)**を製造・販売。
製造拠点を新潟県小千谷市に構える。

精密送りねじ



各種7軸ユニット





CREATIVE MOTION SYSTEMS

精密ボールねじ、転造ボールねじ



樹脂(レジン)送りねじ



モータ直結型ボールねじ(MoBo)



Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved KSS CO.,LTD.

2ページ

(ミニチュア)ボールねじとは？

▼ボールねじ基本概要▼

ボールねじの構成

軸 ボール

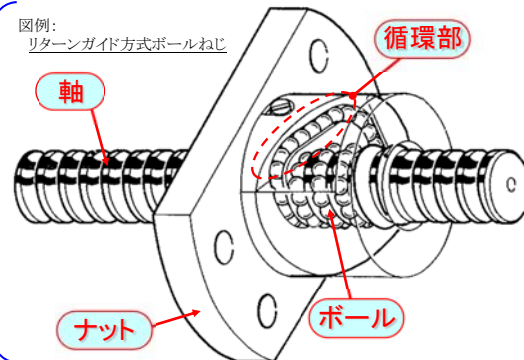
ボールねじ

循環部 ナット

～転がり要素系に属す～

ねじのピッチ(リード):
軸を1回転した場合にナットが移動する長さ

例:ピッチ1mmならば軸1回転でナットが「1mm」移動する



図例:
リターンガイド方式ボールねじ

等間隔(ピッチ)の“らせん”溝の持つ軸とナットの間
に多数のボール(鋼球)の転がりにより動作する

ボールねじの主要な役割 ➡ 回転運動を **直線運動** に変換すること

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved KSS CO.,LTD.

3ページ

(ミニチュア)ボールねじの特徴

● ボールねじは、球の転がり接触・伝達により、**動作効率に秀でている。**
(1面接触系のすべり・台形ねじと比べて)
 以下に動力変換における**効率グラフ**を示す。

正効率: ねじ軸 → ナットの動力伝達

逆効率: ナット → ねじ軸の動力伝達

すべりねじと比べて駆動トルクは1/3以下
 スムース&なめらかな動作が可能

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved KSS CO.LTD

4ページ

(ミニチュア)ボールねじの特徴 ~続き

● 適正な予圧を付与することにより、**軸方向すきまをゼロにすることができ、動剛性を高めることが可能。** ← バックラッシュの除去、送り精度の向上

<予圧方式について>

軸-ナット溝の球空間容積より大きい球を組み込む

弊社では**オーバーサイズボール予圧**を採用
ミニチュアボールねじの省スペース性を重視

&

(スペーサボール仕様)

オーバーサイズ球 ナット スペーサ球

大 小 大 小 大

ねじ軸

スペーサ球を用いてオーバーサイズ球同士の競り合いを無くし、作動感(なめらかな動作)を維持。

● 寿命予測の計算式が定義されており、**走行寿命予測が可能(目安程度)**

球の転がり駆動である為、すべりねじと比べて(遙かに)摩擦しにくい
製品の品質寿命が長い

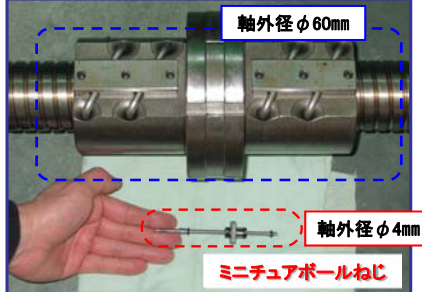
Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved KSS CO.LTD

5ページ

「ミニチュアボールねじ」とその「バリエーション」

▼「ミニチュア」ボールねじの定義について▼

弊社では軸外径φ16以下のボールねじを「ミニチュア」ボールねじと呼称している。
(特に明確な定義があるわけではない)



軸外径φ60mm
軸外径φ4mm
ミニチュアボールねじ

<軸外径-リード>

***バリエーション**
(*一例)

位置決め用途
×
高速駆動用途

軸外径	リード(位置決め用途)	リード(高速駆動用途)
φ4	0.5, 1, 2	3, 4, 10
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(φ14)	1, 2, 3	10, 20, 30

単位:mm

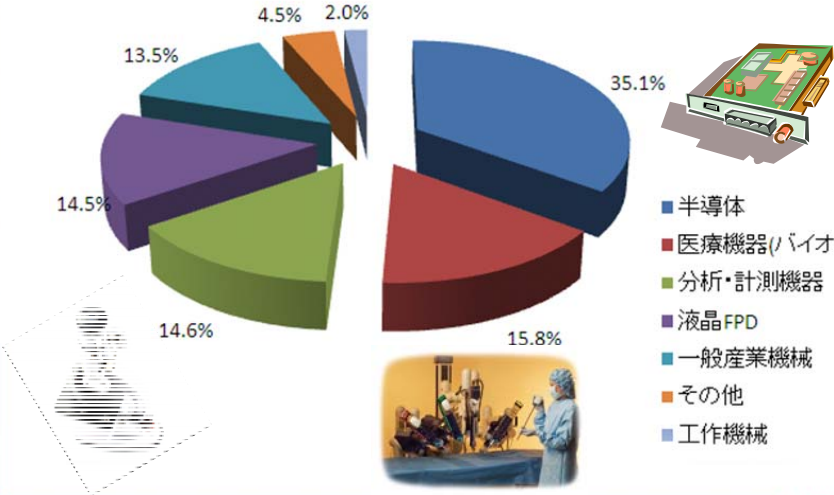
Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved KSS CO.,LTD.

6ページ

「ミニチュアボールねじ」の用途

おもな使用用途：半導体、液晶などの製造、検査装置
光学顕微鏡、X-Yステージ、医療機器

● KSS主要納入業種 (ミニチュアボールねじ)



業種	割合
半導体	35.1%
医療機器(バイオ含む)	15.8%
分析・計測機器	14.6%
液晶FPD	14.5%
一般産業機械	4.5%
その他	2.0%
工作機械	-

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved KSS CO.,LTD.

7ページ

「ミニチュアボールねじ」の用途例(主にテーブル関係)



当社最小のボールねじ
(φ1.8mm)を使用した
超小型1軸ステージ

(φ1.8mm)を使用した超小型ペン型アクチュエータ



トランオン付き超小型ボールねじ
(軸径: φ2.0mm、リード: 0.5mm)



● 極小ボールねじφ1.8~3.0 ●

φ1.8ボールねじ




軸径 (mm)	リード (mm)
1.8	0.5
2.0	0.5
3.0	0.5、1.0

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved KSS CO.,LTD.


8ページ

位置決めテーブルの基本構造とボールねじの役割


・モーター(駆動源)
役割: 回転動力



・カップリング
役割: モーターシャフトとボールねじ軸を繋げる



位置決め出力




可動テーブル

・ナット

・ボールねじ
役割: 回転運動を直線運動に変換する
種類: 滑り、転がり

・ガイド(案内機構)
役割: 直線方向に案内する
種類: 滑り、転がり



カップリング、軸受、ガイド、ボールねじが総合して位置決め精度が決定する

稼働テーブルとボールねじナットは連結固定されており、ボールねじ直線運動 → テーブル移動の関係がある(←位置決め)

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved KSS CO.,LTD.

9ページ

「ミニチュアボールねじ」と位置決めテーブル出力について

下図のテーブル機構にて(簡略化の為、案内機構、固定支持機構の描画は省略)、

INPUT : 動力源であるパルスモータ(ステップ角0.72°)に1250パルスを与え、**2.5回転**させる。

OUTPUT : リード1mmのボールねじはモータからの**2.5回転**に依り、ナットと固定されたテーブルは**2.5mm**移動する(図中の赤●を仮想基準点とした)。

2.5mmぴったり(±0.000...)に移動したか、否か?

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved KSS CO.,LTD.

10ページ

「位置決め関連精度」・「姿勢関連精度」について

位置決め関連精度

- 絶対位置決め精度
- 繰返し位置決め精度
- ロストモーション

姿勢関連精度

- ピッチング
- ヨーイング
- ローリング

●主にレーザー測長機を用いて測定●

当然ながら、これらの位置決め関連精度(姿勢精度含む)は、**ボールねじ単体**では測定できない。ステージ(位置決めテーブル)として組上げて、初めて測定できる項目。

位置決めテーブルを組んだ際、重要となる性能(or指標)

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved KSS CO.,LTD.

11ページ

「位置決め関連精度」の種類と定義について

①位置決め精度

位置決め動作(アクチュエータを目標の点で止める動作)を行ない、**目標点と実際の停止位置との差**の絶対値を求める。
この測定を原点から最大ストロークの範囲内の各点で行ない、求めた値の最大値を示したもの。

性質: **位置決め精度**、**絶対位置決め精度**

目標位置と実際に移動した位置との誤差

+方向と-方向の最大フル幅

基準位置

②繰り返し位置決め精度

任意の一点へ同じ動作方向からの位置決め(アクチュエータを目標の点で止める動作)を7回繰り返し停止位置を測定し、停止位置の最大値と最小値の差(最大差)を1/2したもの。

性質: **再現性**、**片方向再現性**

+方向と-方向の最大振幅

基準位置 目標位置

③ロストモーション

遊びや、機械系の剛性と摩擦力などの関係によって出力されない運動。任意の一点へ正の向きでの位置決めと、負の向きでの**位置決めによる両停止位置の差**。

性質: **再現性**、**両方向再現性**

両方向から同一目標へ位置決めした場合の差

基準点A 目標位置 基準点B

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved KSS CO.,LTD.

12ページ

「姿勢関連精度」の種類について

真横視点

テーブル

M_p : **ピッチング**

真上視点

テーブル

M_y : **ヨーイング**

真正面視点

テーブル

M_r : **ローリング**

これら姿勢関連精度は主にテーブルの**傾き(角度)**を評価する項目。

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved KSS CO.,LTD.

13ページ

位置決め・姿勢関連精度に関与するボールねじ機能・項目

以下に(ミニチュア)ボールねじのスペックがテーブルの位置決め関連精度に与え得る代表的な要因を示す。

リード(移動量)精度

テーブル位置決めに影響するボールねじ要因

軸方向剛性
(軸方向すきま含む)

軸の振れ回り

その他: ・ 温度変化によるボールねじ軸の伸縮
・ ボールねじトルク変動(トルクむら)

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved

14ページ

ボールねじ「リード(移動量)精度」について

▼リード(移動量)精度とは?▼

ナットの有効移動量、またはねじ軸のねじ部有効長さに対する**代表移動量の誤差とその変動**のこと。

更にねじ部有効長さ間にて任意に取った300mm及び1回転に対する変動で規定される。
(JIS B1192より)

T: 基準移動量の目標値
基準移動量をあらかじめ+or-しておく場合の目標値

La: 基準移動量
基準リードに従って任意の回転数を経たときの移動量

La: 実移動量(実測値)
任意のねじ軸回転角に対するナット実移動量

Lm: 代表移動量
実移動量の曲線を最小二乗法を用いて直線化した値

ep: 代表移動量誤差
代表移動量から基準移動量を引いた値

Vu: 変動
代表移動量に平行に引いた2線で挟んだ実移動量の最大幅

V300: 変動(300mm間)
任意にとった300mm間での実移動量の最大幅

V2π: 変動(2π)
任意の1回転に対する実移動量の最大幅

リード1mmのボールねじ軸
仮に、3回転分を、規定リード1mm間隔で展開すると、

呼びリード (規定リード) 1mm 1mm 1mm

実リード (実測リード) 1.002mm 1.002mm 0.997mm

誤差は累積...

実測のリードには多少なりとも誤差が存在する

▼リード(移動量)誤差線図(定義図)▼

ねじ部有効長さ

呼び移動量

リード移動量誤差

T

ep

Vu

V300

V2π

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved



「リード(移動量)精度」が位置決め関連精度に与える影響

▼ 精密ボールねじ(位置決め用:C系列)の代表移動量誤差(±ep)と変動(Vu)の許容値 ▼(JIS B1192より)

精度等級		C0		C1		C3		C5	
(mm) ねじ部有効長さ		±ep	Vu	±ep	Vu	±ep	Vu	±ep	Vu
超え	以下								
-	100	3	3	3.5	5	8	8	18	18
100	200	3.5	3	4.5	5	10	8	20	18
200	315	4	3.5	6	5	12	8	23	18
315	400	5	3.5	7	5	13	10	25	20
400	500	6	4	8	5	15	10	27	20
500	630	6	4	9	6	16	12	30	23
630	800	7	5	10	7	18	13	35	25
800	1000	8	6	11	8	21	15	40	27

単位: μm

▼ 精密ボールねじ(位置決め用:C系列)における300mm及び1回転の変動(V300)(V2π) ▼(JIS B1192より)

精度等級	C0		C1		C3		C5	
変動項目	V300	V2π	V300	V2π	V300	V2π	V300	V2π
許容値(μm)	3.5	3	5	4	8	6	18	8

単位: μm

これらボールねじリード(移動量)精度類はテーブルユニット化した際の「絶対位置決め精度」に、ほぼダイレクトに影響を及ぼす。

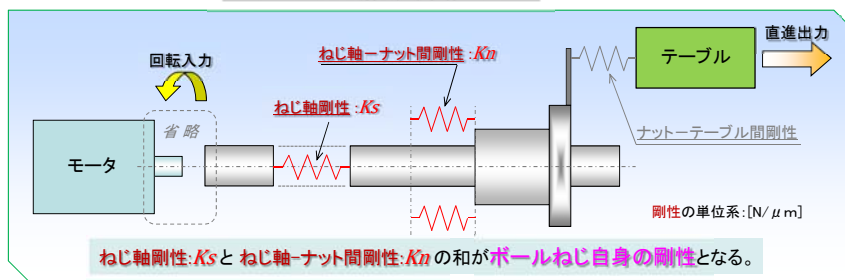
追記1: 上記精度等級表より、リード(移動量)精度許容値の“表記”分解能はμオーダーである(最小0.5μm)。故に、テーブル位置決めにて、ボールねじが有効ねじ長内で受け持つ精度範囲もせいぜいμオーダーが(規定上での)最小範囲となる。

追記2: リード精度類はボールねじナットの歩み精度という形で出力されるが、ナットが介在することにより平均化効果が作用し、リード精度類(特に変動)は“ならされる”。これによりねじ軸のみのリード誤差・変動の実測値よりも(最終出力は)低い傾向となる。



「軸方向剛性(すきま含む)」が位置決め関連精度に与える影響

▼ ボールねじ動剛性簡略モデル ▼ (固定支持部、動力伝達部は省略)



上記図より、モータ動力がボールねじ軸に作用しても、ボールねじ自体が一種のバネ系の振る舞いをして、テーブルに対しての直進出力に空白区間(伝達ロス)を生じさせる。特に回転速度の変化、回転の切り替り時において、それが顕著となる(剛性≠バネ特性)。

これらの現象により、テーブルの位置決め関連精度類である「繰り返し位置決め精度」、「ロストモーション」に影響を及ぼす

追記1: 上述、「バネ系の振る舞い」では、速度変化、回転切り替り時だけでなく、テーブル負荷からも影響を受ける。またねじ軸剛性は「軸のストローク位置」によって剛性値(バネ特性)が変わることに注意。(剛性が関係しているが故に、ロストモーション等は送り条件、負荷条件によっても異なってくる)。

追記2: 軸方向すきま(予圧無し)については、剛性の問題(バネ特性)よりまず先に、「遊び」の問題が色濃く影響する。これは繰り返し位置決め精度、ロストモーション(⇒バックラッシュ)に悪影響を与える。

17ページ

「軸の振れ回り」が位置決め・姿勢関連精度に与える影響

▼ ボールねじ軸の振れが姿勢関連精度に与える影響 ▼

ボールねじ軸振れ無し
(理想状態)
テーブルには軸振れによる
負荷(抵抗)は一切作用しない

ボールねじ軸振れ有り
実際は大なり小なり振れが
ある(軸の曲がり)。

軸振れがあると走行時、その振れ箇所付近にて、テーブルに対し負荷抵抗が作用する。
負荷抵抗 → ボールねじからの“突き上げ”や“引き込み”作用

テーブルに傾き等の姿勢状態の変化が発生し得る

テーブルブロックは直動ガイドに拘束されているが、実際はボールねじ軸振れからの負荷により直動ガイドは変形・変位(微量)する。←(テーブルの姿勢変化を招く)

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved KSS CO.,LTD.

18ページ

姿勢関連精度が位置決め関連精度に与える影響

▼ テーブルにおいて姿勢変化が発生した場合 ▼

例としてテーブルにヨーイング角が生じたと仮定すると、
その角度とテーブルの幾何的変位の関係は以下のように表現される。

角度-変位量 関係式

dy : 変位量 (mm)
 L : ボールねじ中心からの距離 (mm)
 (1ヨーイング角発生前)
 θ : ヨーイング角 (°)

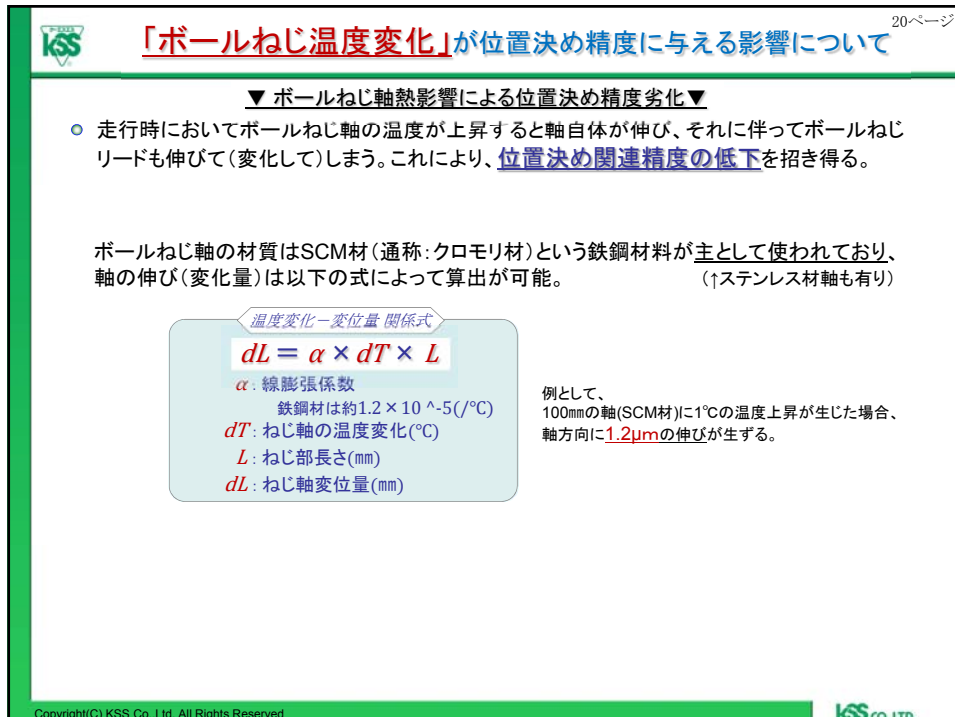
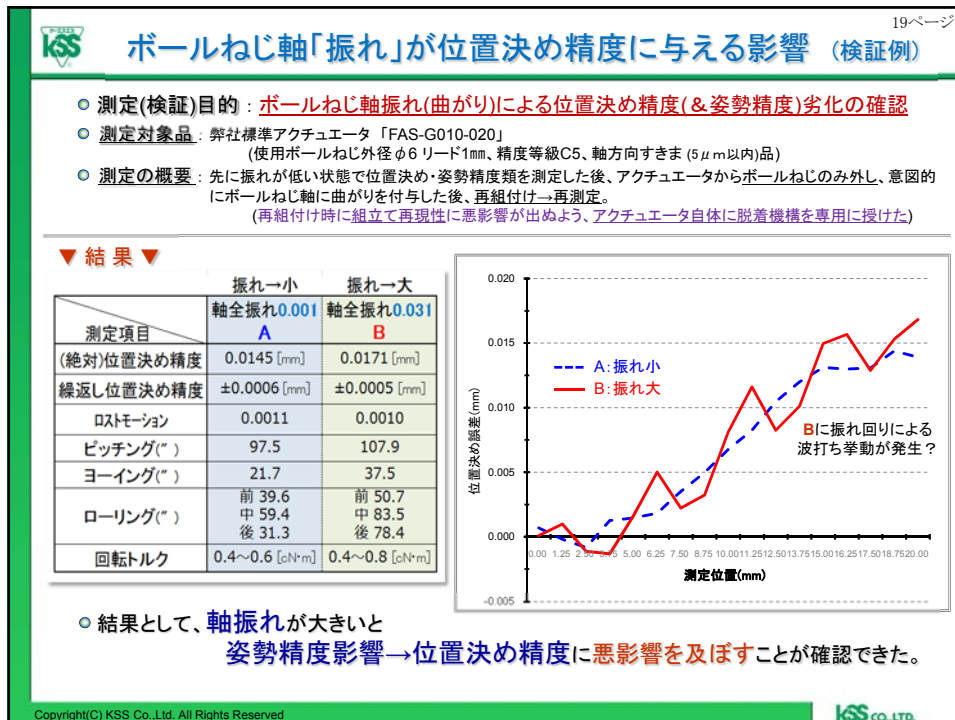
$dy = L \times \tan \theta$

上記関係により、姿勢変化により生じた変位量 dy は
**テーブル位置決め関連精度(主に絶対位置決め精度)
 に対して多分に影響を与える。**

追記1: 上記図例はヨーイング角での変位量 dy であるが、ピッチングに対しても同様に変位量 dy が生じる。これは位置決め出力において変位量 dy と dy の合成変位量として位置決め誤差影響になり得る。

追記2: テーブル上の任意の位置に観測基準点を置いた場合、その位置によって変位量は変化する。(観測基準点がボールねじ軸中心から離れる程、ヨーイングから生じた変位量は大きくなる)。また、上記図はテーブル進行方向(軸方向)変位のみを対象としており、ボールねじ中心距離 L についても(ヨーイングによる)幾何的変位が生じることに注意。

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved KSS CO.,LTD.



21ページ

「ボールねじトルク」が位置決め精度に与える影響について

▼ ボールねじトルクと位置決め精度 ▼

- ボールねじトルク(予圧付与)の「瞬間的な変動」、もしくは駆動時における「トルクむら」は、位置決め制御系において「溜りパルス」(位置偏差)の変動を引き起こす要因となる。これは結果として位置決め関連精度に対し、**良からぬ影響を与えてしまう**。
- 上記理由により、ボールねじトルクは、なるだけ「なめらか」&「一定」であることが望ましい。これらを実現する1つの手段(方法)として、本稿4ページ目にて紹介・解説した、**スペーサボール仕様**が効果的である。

スペーサ球有り無しによるボールねじトルク波形比較グラフ

Torque spikes

φ10-2
Travel: 140mm
60rpm
Lub.: Oil

— AllLoad Balls
— Spacer Balls

(スペーサボール仕様)

オーバーサイズ球 ナット スペーサ球

大 小 大 小 大

ねじ軸

スペーサボール仕様のトルク波形(緑線)はスペーサ無しのトルク波形(赤線)と比較して、**トルクスパイク(瞬間的トルク変動)が抑えられている**のが確認できる。

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved KSS CO.,LTD.

22ページ

走行距離を経ての位置決め関連精度の変化

▼ MoBo アクチュエータ走行距離における位置決め関連精度の変化 ▼

■ 使用送りねじ 3種 ■

- ・精密ボールねじ
- ・転造ボールねじ
- ・樹脂ナットすべりねじ

軸外径φ6 リード2mm

走行条件

走行：ステージ状態で測定
(写真参照)

姿勢：垂直

速度：20mm/s

荷重：1.5~3kgf

MoBoアクチュエータ外観

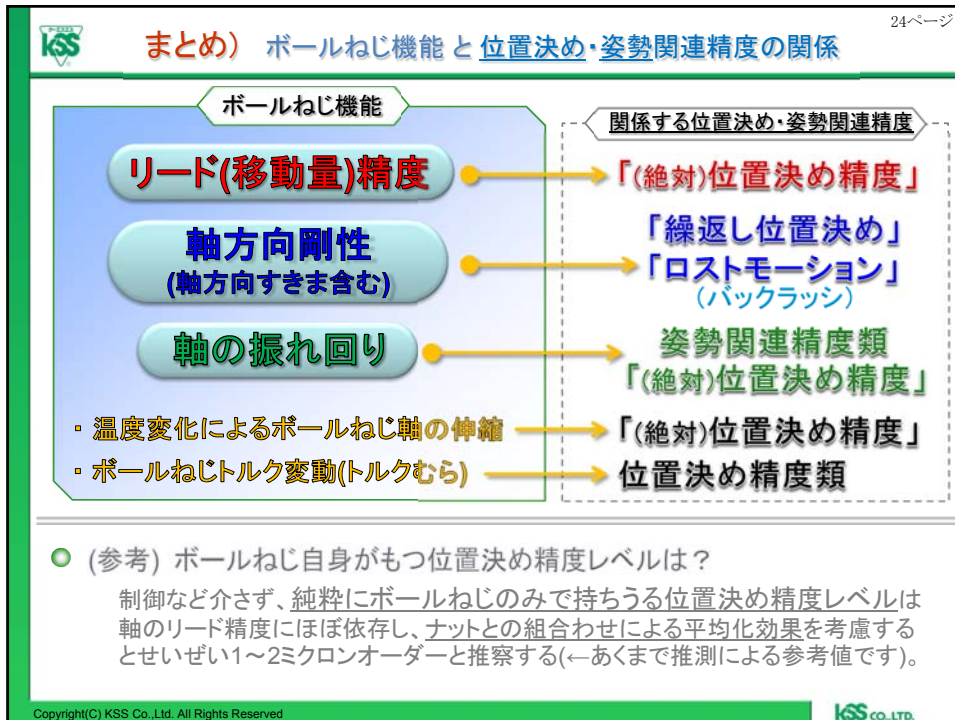
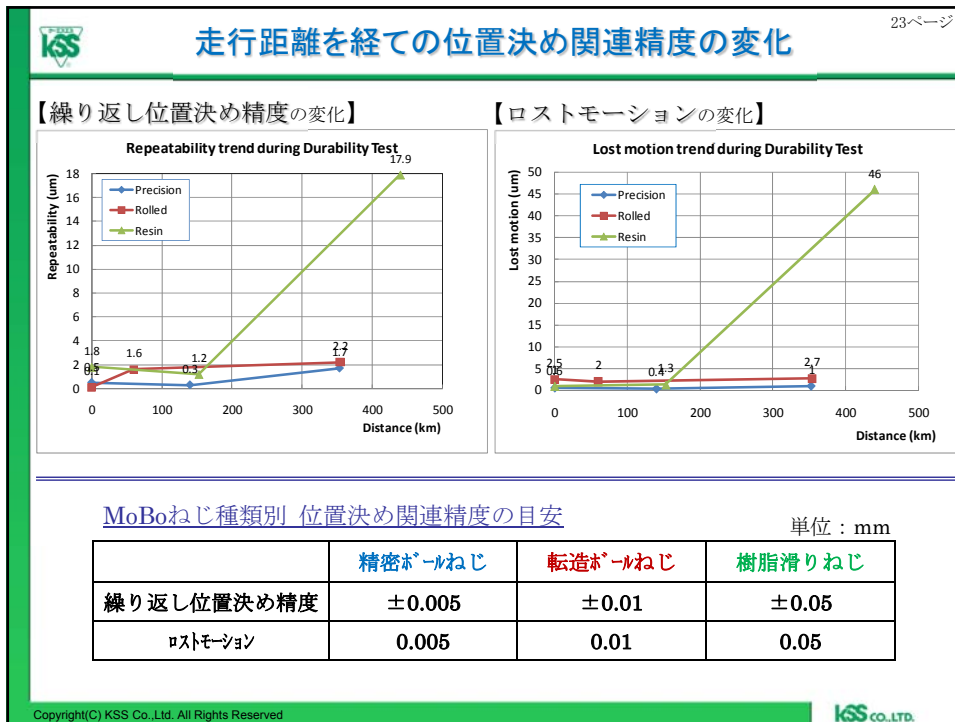
【絶対位置決め精度の変化】

Absolute positioning trend during Durability Test

Distance (km)	Precision (um)	Rolled (um)	Resin (um)
0	1.6	5.8	23
~50	~2	6.5	~28
~150	1.8	~15	29.1
~350	~6	26.4	~33
400	6.9	~30	35.7

Precision: 精密ボールねじ **Rolled:** 転造ボールねじ **Resin:** 樹脂ナットすべりねじ

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved KSS CO.,LTD.



25ページ

(ミニチュア)ボールねじと位置決め精度を取り巻く状況

近年の位置決め精度認識アンケート結果(精密工学会資料右図)より、精密位置決めを1 μ m前後、超精密位置決めを1~10nmと認識している傾向にあるのがわかる。上述の認識を今現在の位置決め業界での指標と念頭に置いて、ボールねじ単体における位置決め精度能力を鑑みるに、ボールねじ単体は、“**かるうじて**”精密位置決め精度(認識)に属する、と判断できる。

しかしながら、実使用においてボールねじを用いた位置決めテーブル系は、**なんらかの制御系でもって精度を補償している**。

下図に示したチャートは各メーカーが位置決め制御にて用いている制御方式の割合であり、近年にいたっては**クローズド制御**が大半を占めている。

クローズド制御において、ボールねじ単体で持ちうる位置決め精度類は大抵が補償されるのが現状である。

精密位置決めへの認識

(全平均位置)

昔とくらべて、(ミニチュア)ボールねじに対して、「位置決め精度要求の割合が少なくなった」というのが正直なところ。しかし、制御による補償があると言えど、送り伝達源(機構)であるボールねじの精度・性能は極力、良いものであるに超したことはない。

(棒中数字は回答件数)

年	オープンループ	クローズドループ	セミクローズドループ	その他
1990年	14	101	31	1
1994年	5	68	10	1
1998年	11	69	23	4
2002年	16	97	20	3
2006年	11	76	14	1
2010年	17	117	23	2

0% 20% 40% 60% 80% 100%

■ オープンループ 17件
■ クローズドループ 117件
■ セミクローズドループ .. 23件
■ その他 2件

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved KSS CO.LTD.

26ページ

弊社における(ミニチュア)ボールねじに対する取組み概要

現状:近年は、ボールねじの高速化要求の割合が増加している。

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved KSS CO.LTD.



総括

27ページ

結論としては、近年、位置決め精度向上を目的としてボールねじ単品への要求はおおきなウェイトを占めなくなってきている。

現状の動向としては位置決め精度要求より、高速、高加減速要求の方が多くなってきている。

今後は、位置決め精度をボールねじに依存する率は徐々に低くなり、その変わりとして、ボールねじには違った機能(高速化、低騒音化、低価格化など)の要求が増加すると思われる。

(ミニチュアボールねじの現状・現況)

Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved

KSS CO.,LTD.



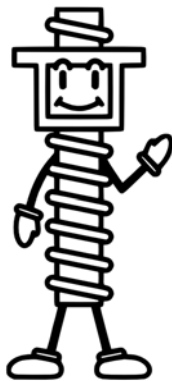
Advanced Technology of "Miniature"

>>> 洗練されたミニチュアの技術

<http://www.kss-superdrive.co.jp>

ご清聴ありがとうございました。

Thank you for paying your attention.



Copyright(C) KSS Co.,Ltd. All Rights Reserved

KSS CO.,LTD.