

特殊環境用軸受(Koyo EXSEV軸受)について(5)

- 直動軸受とユニット製品 -

Bearings for Extreme Special Environment (5)

- Linear Motion Bearings and Unit Products -

竹林博明 H. TAKEBAYASHI

Outlines of Koyo EXSEV bearing series (bearings for extreme special environments) have been explained in the Koyo Engineering Journal No. 156, 157, 158, 160. Herein the compositions of linear motion bearings (linear motion ball bearing, linear way bearing unit, cross roller way bearing unit) for use in extreme special environments and low particle generation characteristics and particle lifes of linear way bearing units, application examples of unit products for use in a clean environment are described.

Key Words: EXSEV, bearing, linear way, unit, special environment

1. はじめに

当社では真空，クリーン，高温などの特殊な環境や厳しい条件で使用できる軸受を，特殊環境用軸受「Koyo EXSEV(Extreme Special Environment)軸受」と名付けて商品化をすすめてきた。

特殊環境用軸受「Koyo EXSEV軸受」について本誌で過去4回，シリーズで紹介してきた。第5回目の今回は，特殊環境対応の直動軸受とユニット製品について紹介する。具体的には，特殊環境対応の直動軸受(リニア玉軸受，リニアウェイ，クロスローラウェイ)の構造，リニアウェイでの発塵特性と発塵寿命，および直動軸受を用いた特殊環境対応のユニット製品について述べる。

2. 特殊環境用直動軸受の種類と構成¹⁾

一般の特殊環境用軸受と同様，直動軸受にも特殊環境対応のものを商品化している。

直動軸受には図1に示すように，主にリニア玉軸受，リニアウェイおよびクロスローラウェイがある。

図1(a)はリニア玉軸受を示す。リニア玉軸受は外筒に保持器，玉および側板を組込んだ軸受で，玉が軸と転がり接触をしながら軸方向に直線運動をするものである。図1(b)はリニアウェイを示す。リニアウェイはケーシングの中を玉が循環する構

造で，ケーシングがトラックレール上を直線運動するものである。図1(c)はクロスローラウェイを示す。クロスローラウェイはV形状の2平面を軌道面とした2本の軌道台の間に保持器付き円筒ころを組み直線運動するものである。

表1に特殊環境用リニア玉軸受の構成例，表2に特殊環境用リニアウェイの構成例および表3に特殊環境用クロスローラウェイの構成例を示す。軌道部(外筒，ケーシング，トラックレール，軌道台)や玉，円筒ころの材料としては，基本的にマルテンサイト系ステンレス鋼(SUS440C)が使用されている。なお，高温，耐食および非磁性等の用途に合わせて，セラミックスや特殊金属材料が使用されることがある。また，保持器，側板の材料には主にオーステナイト系ステンレス鋼(SUS304等)が使用されている。一方，特殊環境に対応するために使用される固体潤滑剤としては，特殊ふっ素高分子(クリーンプロ)，銀(Ag)，PTFE，二硫化モリブデン(MoS₂)が，直動軸受全体や玉，軌道および保持器のコーティング等により適用されている。特に最近半導体製造装置等で要求されている低発塵，低アウトガス特性に対しては，一般の転がり軸受だけでなく直動軸受にも，軸受全体に特殊ふっ素高分子膜(クリーンプロ)が適用されている。



(a)リニア玉軸受



(b)リニアウェイ



(c)クロスローウェイ

図1 特殊環境用直動軸受

Linear motion bearings for use in extreme special environments

表1 特殊環境用リニア玉軸受の構成例

Example of the composition of a linear motion ball bearing for use in extreme special environments

部品	材料	固体潤滑剤	
外筒	SUS440C	特殊ふっ素高分子コーティング (クリーンプロ)	Agイオンプレートイング
玉	SUS440C		
	Si ₃ N ₄ (セラミックス)		
保持器	SUS304	PTFEまたはMoS ₂ コーティング	
側板	SUS631		

表2 特殊環境用リニアウェイの構成例

Example of the composition of the linear way bearing unit for use in extreme special environments

部品	材料	固体潤滑剤	
ケーシング	SUS440C	特殊ふっ素高分子コーティング (クリーンプロ)	PTFEまたはMoS ₂ コーティング
トラックレール	SUS440C		
玉	SUS440C Si ₃ N ₄ (セラミックス)		Agイオンプレートイング
側板	SUS304		PTFEまたはMoS ₂ コーティング

表3 特殊環境用クロスローウェイの構成例

Example of the composition of the cross roller way bearing unit for use in extreme special environments

部品	材料	固体潤滑剤	
軌道台	SUS440C	特殊ふっ素高分子コーティング (クリーンプロ)	PTFEまたはMoS ₂ コーティング
円筒ころ	SUS440C		
保持器	SUS304		PTFEまたはMoS ₂ コーティング

3. リニアウェイの発塵特性と発塵寿命

ここでは最近半導体・液晶業界で注目されているクリーン性に対応した特殊ふっ素高分子膜(以下クリーンプロと称す)を用いたリニアウェイの発塵特性と発塵寿命の推定に関して検討した結果を紹介する。クリーンプロは当社の登録商標で、特殊ふっ素高分子膜(膜厚0.5 μm以下)を軸受にコーティングするものである。なお、リニア玉軸受の発塵特性と発塵寿命に関しては、リニアウェイと同様玉が循環するのでリニアウェイで得られた結果をそのまま適用できるものと考えている。

また、ここでは玉(点接触)を用いた直動軸受に関して述べるが、ころ(線接触)を用いた直動軸受に関しては別途評価予定である。

3.1 発塵特性²⁾

図2にリニアウェイの発塵特性を調査した試験方法を示す。ブラケットの自重によりモーメントを付与し、ステップモータとベルトにより2個のリニアウェイスライドユニット(ケーシング、玉、側板)を往復運動させ、リニアウェイからの発塵をパーティクルカウンタで計測できる構造となっている。試験は、潤滑剤を使用しない脱脂したステンレス鋼製リニアウェイ、クリーンプロ処理を

行なったステンレス鋼製リニアウェイ，クリーンプロ処理を行い玉にセラミックス(窒化けい素)を用いたリニアウェイの3種類のリニアウェイに関して実施した．各軸受ともに発塵寿命(粒子径0.1 μm以上の発塵粒子数が1 000個/0.1cf以上となった時点)に至るまで試験を行い比較した．

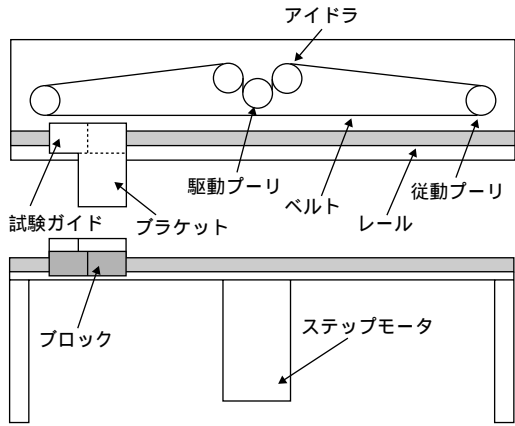


図2 試験方法
Test method

図3に試験結果を示す．クリーンプロ処理したリニアウェイは，潤滑剤を使用しないリニアウェイに比較して約35倍の寿命となっている．またクリーンプロ処理したリニアウェイで，玉を窒化けい素(Si₃N₄)にしたものは，クリーンプロ処理したステンレス鋼製のものに比べて約6倍の寿命となっている．

つまり，クリーンプロ処理を行ったリニアウェイは，潤滑剤を使用しないリニアウェイに比べて発塵寿命が長くなるのがわかる．さらにクリーンプロ処理と窒化けい素玉を組み合わせるとより優れた発塵寿命を示すことができる．

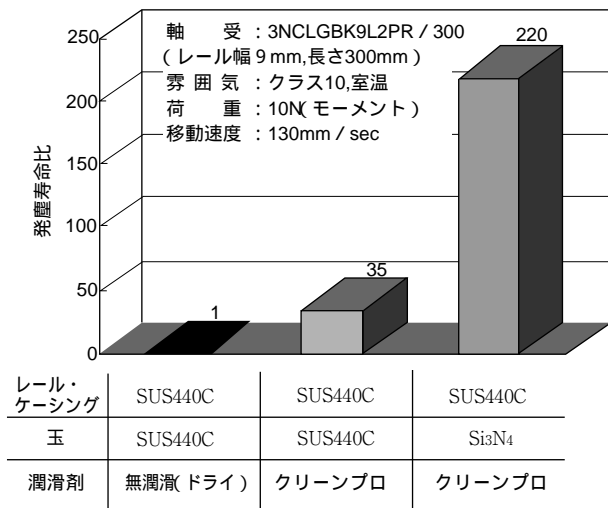


図3 試験結果(リニアウェイ)
Test results (linear way bearing units)

3.2 発塵寿命³⁾

表4に試験軸受を示す．試験軸受はステンレス鋼製のリニアウェイ，ステンレス鋼製でクリーンプロ処理を行ったリニアウェイ，窒化けい素玉を用いクリーンプロ処理を行ったリニアウェイの3種類である．

表4 試験軸受の仕様
Specifications of test bearings

軸受記号&仕様	レール & ケーシング	玉	側板
A 総ステンレス	SUS440C	SUS440C	SUS304
B 総ステンレス + クリーンプロ	SUS440C + クリーンプロ	SUS440C + クリーンプロ	SUS304 + クリーンプロ
C 組合せセラミック + クリーンプロ	SUS440C + クリーンプロ	Si ₃ N ₄ + クリーンプロ	SUS304 + クリーンプロ

クリーンプロ: 特殊ふっ素高分子潤滑薄膜(膜厚0.5 μm以下)
 組合せセラミック: 玉に窒化けい素を用いた軸受

図4に試験装置，表5に試験条件を示す．試験はベースプレートをはさんで上下に2個のスライドユニットを設置し，荷重負荷用バネによりラジアル荷重が負荷できるようにしている．また，スライドユニットに取り付けたベルトを介して，レール上を往復運動させている．なお，発塵量の測定は試験装置の中央でベースプレートと同じ位置にパーティクルカウンタのセンサを取り付け，1リットル/分で吸引し実施した．

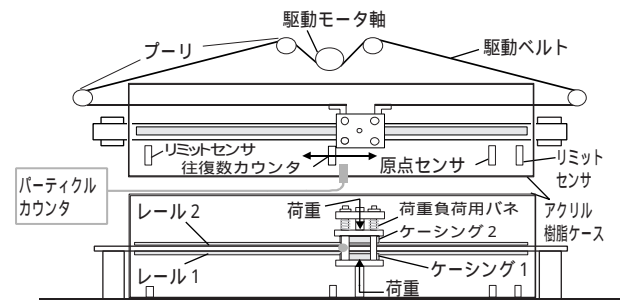


図4 試験装置
Test apparatus

表5 試験条件
Test conditions

項目	内容
雰囲気	クリーンルーム内(クラス10), 室温
平均移動速度, mm/sec	250
加速度, mm/sec ²	500
ストローク, mm	250
荷重, N	40, 80, 160(ラジアル方向)

図5に、ラジアル荷重80Nで3種類のリニアウェイを試験した場合の発塵量の経時変化を示す。試験方法、試験条件は異なっているが、前項の図3と同じ傾向を示している。つまり、ステンレス鋼製リニアウェイ、ステンレス鋼製でクリーンプロ処理を行ったリニアウェイ、窒化けい素玉を用いクリーンプロ処理を行ったリニアウェイの順で発塵寿命が長くなるのがわかる。また、窒化けい素玉を用いクリーンプロ処理したリニアウェイの安定期の発塵量は、ステンレス鋼製でクリーンプロ処理を行ったリニアウェイの安定期の発塵量に比べて少なく、発塵寿命も3倍程度の長寿命となっている。

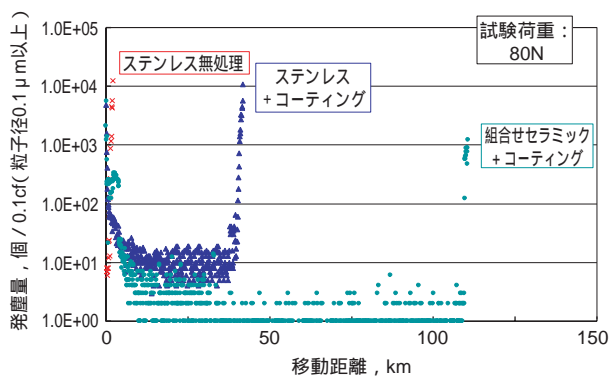


図5 発塵量の経時変化
Particle generation

図6はクリーンプロ処理を行った2種類(ステンレス鋼製玉、窒化けい素玉)のリニアウェイについて、発塵寿命試験を実施した結果を示す。縦軸は発塵寿命、横軸はP/Ce(Pは動等価荷重、Ceは基本動定格荷重を示す)を示している。各プロットは試験データ5個の平均値である。

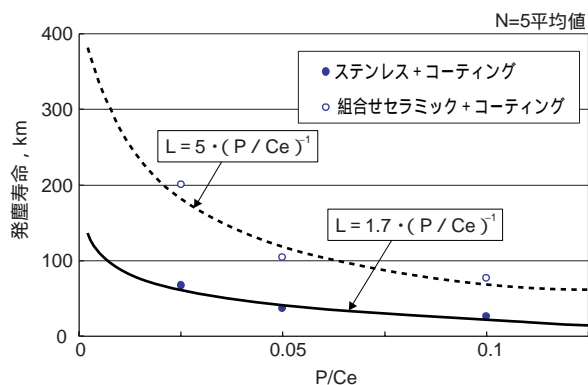


図6 発塵寿命
Particle life

この結果から、クリーンプロ処理をリニアウェイに適用した場合の発塵寿命推定式が次の式で示される。

$$L = a \cdot (P / Ce)^{-1}$$

L : 発塵寿命, km

(大気, 室温, 移動速度0.5m/sec以下, P/Ce15%以下)

a : 材料係数

総ステンレス 1.7

組合せセラミック 5.0

P : 動等価荷重

Ce : 基本動定格荷重

つまり、ステンレス鋼製でクリーンプロ処理を行ったリニアウェイの発塵寿命は材料係数 a を 1.7、窒化けい素玉を用いクリーンプロ処理を行ったリニアウェイの発塵寿命は材料係数 a を 5.0 として、推定することができる。なお、本発塵寿命推定式は試験データ 5 個から算出しているため、大まかな発塵寿命の目安をつけるものとして使用できる。今後さらにデータを積み重ねていき、より正確な発塵寿命を推定できるようにしたい。

4. 特殊環境用ユニット製品の状況

ここでは、特殊環境に対応したユニット製品(一般の転がり軸受や直動軸受を使用したもの)の現状を述べる。まずクリーン環境対応の直動ユニットの発塵特性や位置決め精度に関して述べ、次に製品例に関して紹介する。

4.1 直動ユニットの性能

図7は直動ユニットの構造を示したものである。直動ユニットには、リニアウェイが使用されており、スチールベルト駆動である。リニアウェイは真空、低発塵(クリーン環境)対応を目的として窒化けい素玉が使用され、さらにクリーンプロ処理を行ったものである。駆動プーリのところに使用されている一般の転がり軸受にも、クリーンプロ処理が行われている。

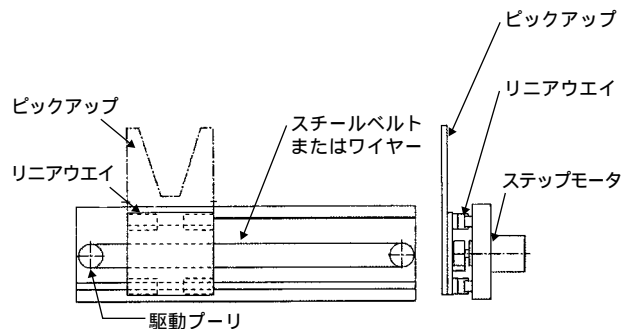


図7 直動ユニットの構造

Construction of linear motion unit product

図8は、直動ユニットの発塵特性を調べたものである。発塵量の測定は直動ユニットをクリーンベンチ内に設置し、1万回往復毎に粒子径 $0.1\mu\text{m}$ 以上の発塵量を測定している。ここでの発塵量とは、直動ユニットが1万回往復毎に吸引量1cf中で計測された発塵個数(粒子径 $0.1\mu\text{m}$ 以上)である。その結果、試験初期は比較的发塵量が多いものの10万回往復を越えると、発塵量は安定し250万回往復以上の発塵寿命を有していることがわかる。なお、安定期の発塵量は10個程度である。

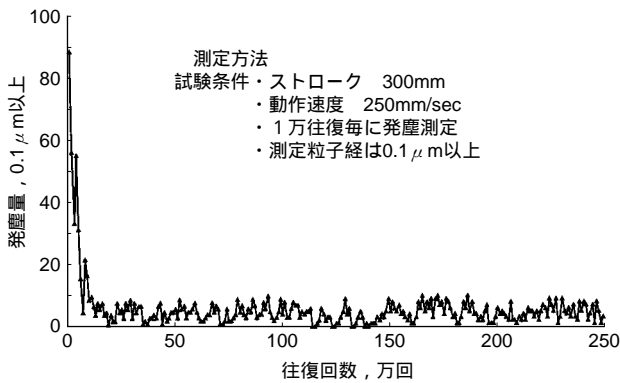


図8 直動ユニットの発塵特性
Particle generation of linear motion unit

図9は直動ユニットの位置決め精度を測定した結果である。試験条件はストローク：300mm、速度：250mm/secで、レーザ測長器により繰返し位置決め精度を測定している。その結果、固体潤滑(クリーンプロ)リニアウェイを用いたベルト駆動のユニットでも、 $\pm 5\mu\text{m}$ 以内の繰返し位置決め精度を満足することができる。

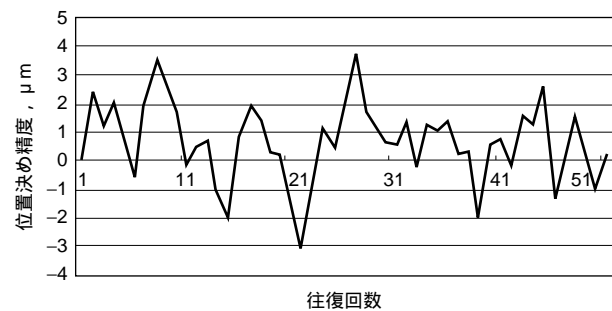


図9 直動ユニットの位置決め精度

Positioning accuracy of linear motion unit product

4.2 特殊環境対応ユニット製品の例

図10は、真空、クリーン環境に対応した1軸テーブル(リニアウェイとボールねじ等使用)である。真空、クリーン対応という事でリニアウェイ、ボールねじ、ボールねじサポート軸受およびテーブルは、すべてステンレス鋼製である。リニアウ

エイ、ボールねじおよびボールねじサポート軸受は低発塵(クリーン環境)対応を目的として、それぞれ全面にクリーンプロ処理されている。また、ユニット製品に要求される性能に合わせて、窒化けい素玉が使用されることもある。

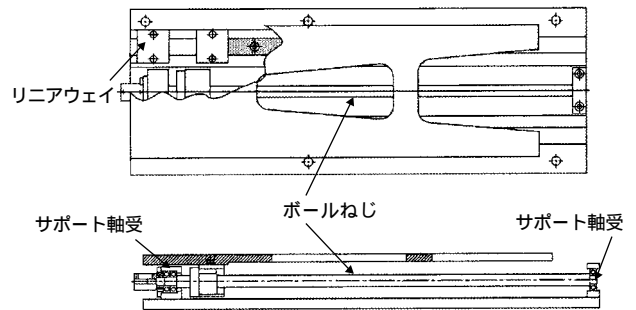


図10 1軸テーブル
X-axis table

図11は、真空、クリーン環境対応のXYアライメントテーブルユニットを示したものである⁴⁾。真空、クリーン環境対応ということより、すべてステンレス鋼を用いて製作されている。特にこのテーブルユニットは回転軸支持部には薄肉玉軸受が採用されており、高負荷容量および高剛性という特徴をもたせたものである。なお、本ユニットの転がり要素にはクリーンプロ処理を適用している。

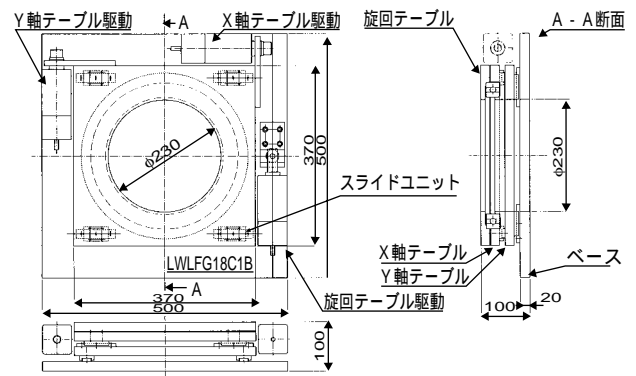


図11 XYアライメントテーブル
XY θ alignment table

5. おわりに

ここでは、特殊環境対応の直動軸受とユニット製品について述べてきた。現在、半導体・液晶関連装置では、当社の直動軸受やユニット商品の優れた低発塵特性(クリーンプロ処理)が注目を浴び、広く使用されている。

今後、半導体・液晶関連装置では、低発塵、高荷重、高温といった特性でより高度な性能が要求されてくるものと予想される。それにしたがって、

転がり軸受をはじめとして直動軸受やユニット製品にも、今以上に高度な性能が要求されるようになる。したがってそのニーズに応えるため、材料および固体潤滑の研究・開発を進めていくことが重要である。

参考文献

- 1) Koyoカタログ：セラミック軸受・EXSEV軸受，CAT. No. 208, 60.
- 2) 鶴 和夫：Koyo Engineering Journal, no. 154 (1998) 59
- 3) 豊田 泰，気田健久：トライボロジー会議予稿集(高松 1999 - 10)433.
- 4) 光洋機械工業(株)：Koyo Engineering Journal, no. 158 (2000) 84.

筆 者



竹林博明*
H. TAKEBAYASHI

* 軸受事業本部 軸受技術センター
航空・精密技術部 工学博士