

1. リニアベアリングの基礎技術

ハメアイ

ベアリングと軸あるいはハウジングとの推奨ハメアイは表1の通りです。

表1 単位：mm

| ベアリング | 軸 | | | ハウジング | | |
|-------|----|--------|--------|-------|--------|--------|
| | 軸径 | 普通スキマ | 緊密スキマ | 穴径 | スキマバメ | シマリバメ |
| | | f6~g6 | h6 | | H7 | J7 |
| L | 5 | | 0 | 10 | +0.018 | +0.010 |
| | 6 | | -0.009 | 12 | 0 | -0.008 |
| | 8 | -0.010 | | 15 | | |
| | 10 | -0.019 | | 19 | | |
| | 12 | | 0 | 21 | +0.021 | +0.012 |
| | 16 | | -0.011 | 28 | 0 | -0.009 |
| M | 20 | | | 32 | | |
| | 25 | -0.010 | 0 | 40 | +0.025 | +0.014 |
| シ | 30 | -0.021 | -0.013 | 45 | 0 | -0.011 |
| | 35 | | | 47 | | |
| リ | 40 | -0.012 | 0 | 52 | +0.030 | +0.018 |
| | 45 | -0.025 | -0.016 | 60 | 0 | -0.012 |
| | 50 | | | 76 | | |
| | 60 | -0.015 | 0 | 90 | +0.035 | +0.022 |
| ズ | | -0.031 | -0.019 | 120 | 0 | -0.013 |

- 注1) 通常のハメアイ状態としては、軸とは普通スキマバメを、ハウジングとはスキマバメを使用します。
また標準状態でのベアリングと軸との適正スキマは約10μmです。
- 注2) スキマを無くするため予圧（プリロード）を附与する場合がありますが、過大な予圧はベアリングの運転性能や寿命に悪影響をおよぼしますので、ベアリングを組付ける際には下記事項を確認して下さい。
ベアリングをハウジングに組付けた後、軸を挿入して、手で軸を廻してみますと大別して下記の3つの状態が得られます。C₃のハメアイは過大な予圧のかかった状態ですのでハメアイ公差を検討し直すか弊社へご相談下さい。

表2

| 分類 | 軸の回転方向チェック事項 | スキマ程度 |
|----------------|--------------------|------------|
| C ₁ | 軸は手で回転方向にスムーズに廻る | 0 ~ +10 μm |
| C ₂ | 軸は手で回転方向にやや重い廻る | 0 ~ -10 μm |
| C ₃ | 軸は手で回転方向に廻らない (NG) | -10 μm以上 |

取付け

ベアリングの代表的な取付け例を図1～図3に示します。

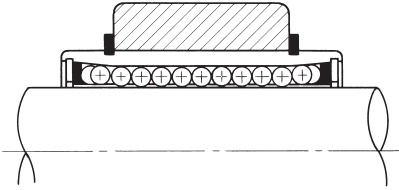


図1：ベアリングの取付け溝にストップリングで固定する方法

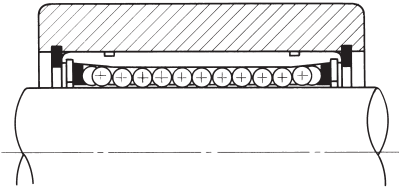


図2：ハウジング内径溝にストップリングで固定する方法

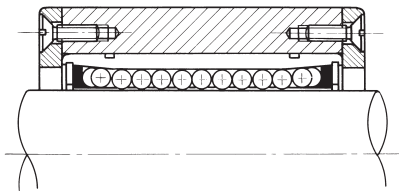


図3：ハウジング両端に止メ板で固定する方法

取付け上の注意事項

注1) ベアリングをハウジングへ圧入する場合はベアリング両端の止メ輪を、直接叩かないようにして下さい。そして図4に示すような取付け治具を使用して静かに圧入するようにして下さい。

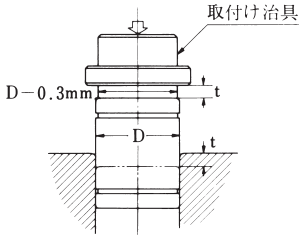


図4

注2) ボルト1本でベアリングを押付けて固定する方法は、外筒の極部的な変形を生じて著しく寿命を低下させることがありますので止めて下さい。

注3) 軸をベアリングに挿入する際、軸の端部をリテーナーや止メ輪につけないよう、芯を合わせ組込むようにして下さい。

注4) 1本の軸に2個以上のベアリングを取付ける場合には各ベアリング用ハウジング穴の中心がズレているとベアリングの運転性能が著しく低下しますので穴の同心度には加工の際充分に注意して下さい。

注5) ベアリングにモーメント荷重が作用する使用条件では1本の軸にベアリングを2個以上使用するようにし、しかも各ベアリングの取付間隔は大きくとって下さい。

注6) ベアリングをハウジングに組付ける際、作用荷重方向に対してベアリングのボール列を図5に示すような振り分け配列状態にすると、寿命や運転性能を向上することができ、有利になります。

| | ボール列数 | | |
|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 4列 | 5列 | 6列 |
| ボール列配置 真下状態 | $F_1 = P$ | $F_1 = 1.106P$ | $F_1 = 1.354P$ |
| ボール列配置 振り分け状態 | $F_2 = 1.414P$ | $F_2 = 1.618P$ | $F_2 = 1.732P$ |
| F_2/F_1 | 1.414 | 1.463 | 1.280 |

図5：荷重方向に対するボール列の有効な配置方法

フェルトシール

シールによる摩擦抵抗を小さくしたい場合にはフェルトシールを推奨します。防塵効果や潤滑剤モレ防止機能を強化したい場合には図6に示すようなダブルシール密閉方式を採用するのが有効です。

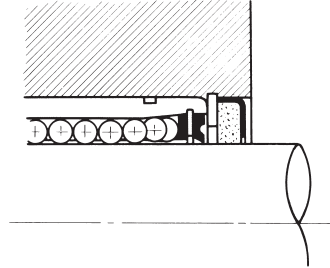


図6：ダブルシール密閉方式

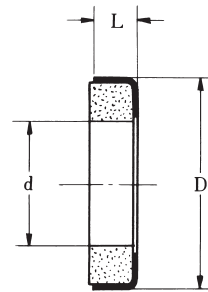


表3：フェルトシール寸法表

| 型番 | 主要寸法 (mm) | | | 適用 ベアリング |
|------|-----------|----|---|-------------|
| | d | D | L | |
| FS6 | 6 | 12 | 2 | LM6 |
| FS8 | 8 | 15 | 2 | LM8 |
| FS10 | 10 | 19 | 3 | LM10 |
| FS12 | 12 | 21 | 3 | LM12 |
| FS13 | 13 | 23 | 3 | LM13 |
| FS16 | 16 | 28 | 4 | LM16 |
| FS20 | 20 | 32 | 4 | LM20 |
| FS25 | 25 | 40 | 5 | LM25 |
| FS30 | 30 | 45 | 5 | LM30 |
| FS35 | 35 | 52 | 5 | LM35 |
| FS40 | 40 | 60 | 5 | LM40 |
| FS50 | 50 | 80 | 7 | LM50 |
| FS60 | 60 | 90 | 7 | LM60 |

定格荷重と定格走行寿命

定格走行寿命：

リニアモーションボールベアリングの定格寿命とは、同寸法、同型式の1群のベアリングを同一条件で運転した場合、その90%のものに転がり疲れによるフレーキングが発生することなく走行できる距離を50km単位で表わしたものと定義されます。

基本動定格荷重：

基本動定格荷重とは作用荷重方向の真下に1列のボール列が存在する場合について、定格走行寿命が50kmの場合の方向ならびに大きさが変動しない荷重をいいます。

基本静定格荷重：

基本静定格荷重とは、最大玉荷重をうけている玉と軌道面の接触部中央において、リニアモーションベアリングは5300MPa、リニアガイドは4400MPaの圧縮応力を生じさせる静ラジアル荷重をいいます。基本静定格荷重 C_0 に対して50%以下の最大ラジアル荷重を推奨します。

定格走行寿命計算式：

リニアモーションボールベアリングの定格走行寿命は、ベアリングに作用する荷重、軸の硬さ、使用温度、衝撃や振動、モーメント荷重ならびに荷重に対するボール列の配置状態等で影響され、次式によって計算されます。

$$L = \left(\frac{f_H \cdot f_i \cdot f_B \cdot C}{f_s \cdot k \cdot P} \right)^3 \cdot 50 \text{ (km)}$$

式 1

- L ：定格走行寿命 km
- C ：基本動定格荷重 N
- P ：作用ラジアル荷重 N
- f_H ：軸の硬さ係数 図 7
- f_i ：温度係数 図 8
- f_B ：ボール列配置係数 図 9
- f_s ：衝撃，振動，速度係数 表 4
- k ：モーメント荷重係数 図11, 図12

ベアリングの運転ストロークと毎分の往復動数が一定の場合には、上式で算出された走行寿命距離 L kmは次式により走行寿命時間 L_h に換算することができます。

$$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{2 \cdot l_s \cdot n \cdot 60} \text{ (hr)}$$

式 2

- L_h ：定格寿命時間 hr
- l_s ：ストローク mm
- n ：毎分往復動数 cpm

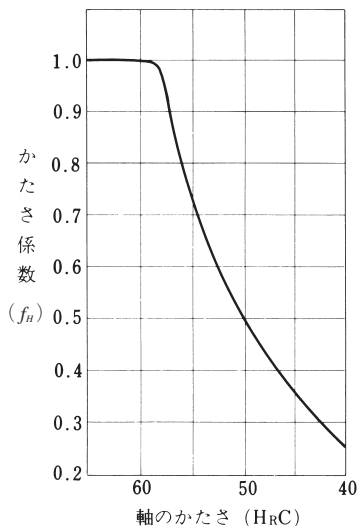


図 7：硬さ係数 f_H

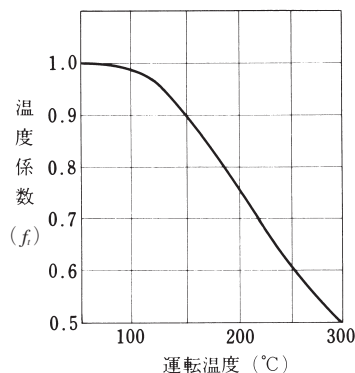


図 8：温度係数 f_i

| | ボール列数 | | |
|-------------------|-------|-------|-------|
| | 4列 | 5列 | 6列 |
| 荷重に対するボール列の配置状況 ↓ | | | |
| f_B | 1.414 | 1.463 | 1.280 |

図 9：ボール列配置係数 f_B

表 4：衝撃，振動，速度係数

| 運 転 状 況 | f_s |
|---|---------|
| 衝撃や振動が無い場合で 往復速度 $V=300$ mm/sec以下 | 1~1.5 |
| 軽い衝撃や振動がある場合で 往復速度 $V=1000$ mm/sec以下 | 1.5~2.0 |
| かなり大きい衝撃や振動がある場合で 往復速度 $V=1000$ mm/sec以上 | 2.0~4.0 |

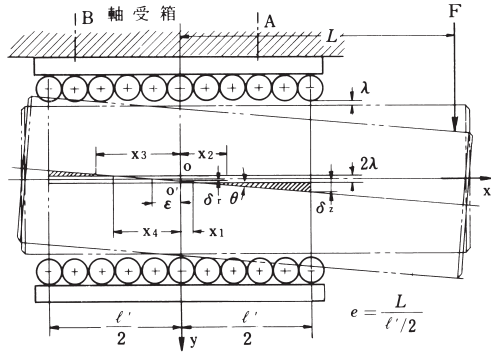


図10：モーメント荷重が作用する場合の負荷状態図

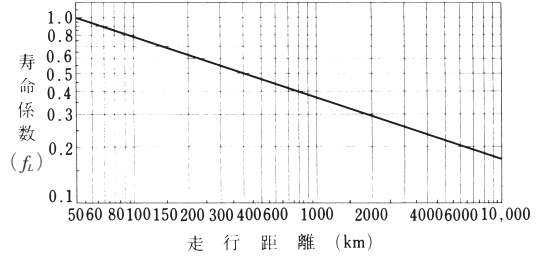
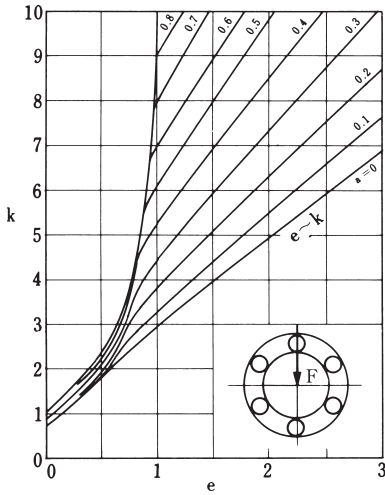
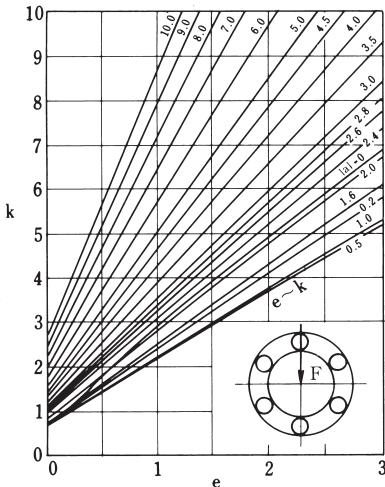


図13：寿命係数 $f_i = \frac{f_s \cdot k \cdot P}{f_H \cdot f_U \cdot f_B \cdot C}$



正の軸受すきまがある場合
(玉列数6の場合)

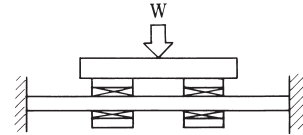
図11：モーメント荷重係数 k



負の軸受すきま(予圧)がある場合
(玉列数6の場合)

図12：モーメント荷重係数 k

寿命計算例



例1

リニアモーションボールベアリングLM25-UUを1軸に2個使い、常温中で作用荷重Wは490N、モーメント荷重は作用せず、運転中の衝撃は無く、速度はV=300mm/sec以下の使用条件下におけるベアリングの走行寿命を求める。ただしシャフトは標準規格軸を使用する。上記の条件よりC=2164N、P=W/2=245N、

$f_H=1.0$ 、 $f_U=1.0$ 、 $f_B=1.0$ 、 $k=1.0$ が与えられる。

ベアリングをハウジング内に組込まれる際のボール配列状況が

- 1) 作用荷重に対しボール列が真下に組込まれた場合

$f_B=1.0$ よりベアリングの走行寿命距離は

$$L = \left(\frac{1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 2164}{1.0 \times 1.0 \times 245} \right)^3 \times 50 \text{ km} = 34454 \text{ km}$$

- 2) 作用荷重に対しボール列が均等に振り分けられた状態で組込まれた場合

$f_B=1.280$ よりベアリングの走行寿命距離は

$$L = \left(\frac{1.0 \times 1.0 \times 1.280 \times 2164}{1.0 \times 1.0 \times 245} \right)^3 \times 50 \text{ km} = 72256 \text{ km}$$

例2

リニアモーションボールベアリングの運転走行時間を5000時間でストローク100mm、毎分往復動数を100cpm、ベアリング1個に作用するラジアル荷重は147N、モーメント荷重は作用せず、運転状況は常温中を軽い振動がある状態で使用する場合には、どのようなリニアモーションボールベアリングを選定すればよいか。

ただし、シャフトは標準規格軸を使用し、ベアリングのボール列配置は作用荷重方向に対し真下にボール列がくるよう組込まれている。

ここで上記条件の走行距離を算出すると

$$\frac{100(\text{mm}) \times 2 \times 100(\text{cpm}) \times 60(\text{min}) \times 5000(\text{hr})}{10^6(\text{mm})} = 6000(\text{km})$$

図13より $f_c=0.2$ が求められ、 $P=147\text{N}$ 、 $f_c=2$ 、 $k=1.0$ 、 $f_u=1.0$ 、 $f_v=1.0$ 、 $f_b=1.0$ より基本動定格荷重 C は次式より求めることができる。

$$C = \frac{f_c \cdot k \cdot P}{f_u \cdot f_v \cdot f_b} = \frac{2 \times 1.0 \times 147(\text{N})}{0.2 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0} = 1470(\text{N})$$

よって表116よりLM25-UUのリニアモーションボールベアリングを選定すればよい。

寿命試験結果

図14は、クランク駆動方式を用いたリニアモーションボールベアリング寿命試験装置の外観を示します。

このような試験機にベアリングを取付け、1176Nの軸受荷重をかけて、マシン油滴下給油条件で16個のベアリングを1群として破損させた状況は表5に示します。

表は80個のベアリングを、16個ずつの5群に分けて5回のライフテストを行った結果が示されていますが、各回とも一番最初に破損するものと最後に破損するものとは、走行距離に差異のあることが分ります。そこで、5回のテスト結果の平均値をとって、ワイブル確率紙上にプロットすると図15が得られます。これよりリニアモーションボールベアリングには、最小寿命値 \hat{l} が存在すること、そして \hat{l} を考慮に入れると、その寿命分布は、ほぼワイブル勾配 $e=10/9$ の直線上にのることが分ります。

このような結果からリニアモーションボールベアリングの破損確率 $F=50\%$ すなわち平均走行寿命距離は約430kmが得られかなり高い信頼性があることが判りますし、またリニアモーションボールベアリングの信頼度を求めますと約0.4が得られます。したがって式1で算出された走行寿命距離の0.4倍までは100%の信頼度でご利用いただけることになります。

$$L = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \left(\frac{f_u \cdot f_v \cdot f_b \cdot C}{f_c \cdot k \cdot P} \right)^3 \cdot 50(\text{km}) \quad \text{式 3}$$

a_1 信頼度係数：リニアモーションボールベアリングの場合は100%信頼度の場合は $a_1=0.4$ を取る

a_2 材料係数：1.0~2.0を取る

a_3 潤滑係数：潤滑状況により1.0~2.0を取る

また、この種のベアリングの走行寿命をさらに増大する研究を進め、多くの実験結果から確立した方法を現在特許申請中であります。

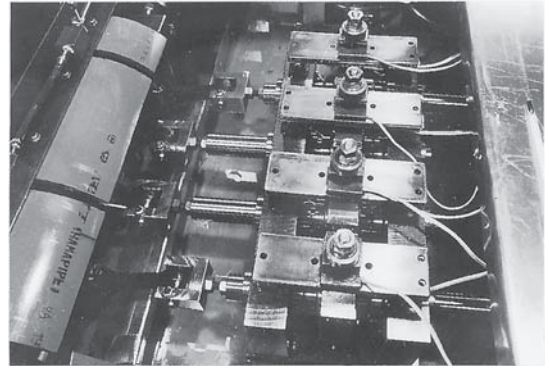


図14：寿命試験装置

表5：破損順位と走行距離

| 破損順位 | 走行距離 L (km) | | | | | 平均値 \bar{L} (km) |
|------|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | |
| 1 | 140 | 59 | 81 | 81 | 118 | 96 |
| 2 | 192 | 81 | 221 | 147 | 125 | 153 |
| 3 | 199 | 88 | 258 | 177 | 140 | 172 |
| 4 | 221 | 96 | 258 | 192 | 170 | 187 |
| 5 | 251 | 103 | 302 | 228 | 214 | 220 |
| 6 | 258 | 147 | 346 | 236 | 265 | 250 |
| 7 | 273 | 236 | 560 | 376 | 273 | 344 |
| 8 | 273 | 346 | 634 | 427 | 324 | 401 |
| 9 | 383 | 383 | 693 | 450 | 354 | 453 |
| 10 | 479 | 398 | 722 | 472 | 464 | 507 |
| 11 | 509 | 405 | 825 | 486 | 531 | 551 |
| 12 | 509 | 486 | 840 | 590 | 619 | 609 |
| 13 | 509 | 943 | 884 | 870 | 663 | 774 |
| 14 | 509 | 10 ³ km以上 | 899 | 899 | 10 ³ km以上 | 861 |
| 15 | 862 | 打切り | 10 ³ km以上 | 10 ³ km以上 | 打切り | |
| 16 | 1010 | ↓ | ↓ 打切り | ↓ 打切り | ↓ | |

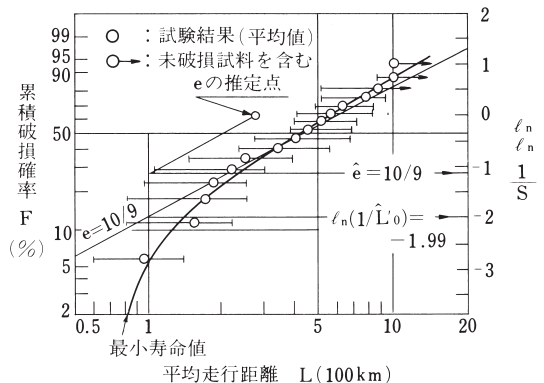


図15：平均走行距離と累積破損確率の関係

摩 擦

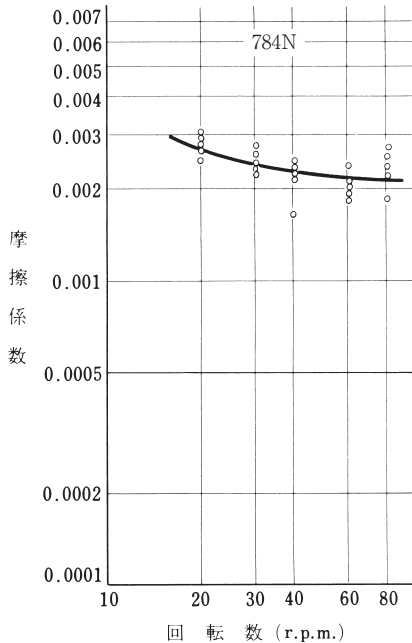


図16：回転数と摩擦係数の関係

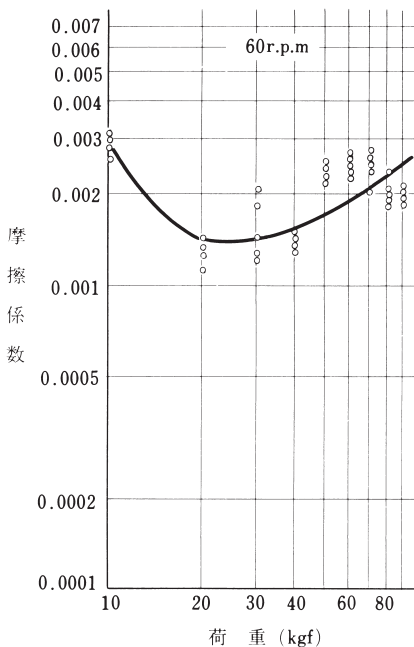


図17：荷重と摩擦係数の関係

リニアモーションボールベアリングの摩擦は、一般にすべり軸受に比べて小さいが、特に起動摩擦は格段に小さい。

このような摩擦は、機械を運転するための動力消費および温度上昇に影響し、特に精密案内では、リニアモーションベアリングの摩擦は直ちにその位置決め性能を左右する重要な特性の一つであります。

リニアモーションボールベアリングの摩擦は、次に示す各種の摩擦の合計で表わされますがそれぞれの占める割合は、ベアリングの形式や使用条件で異なって参ります。

- (1) 玉と軸、外筒間の転がり摩擦
- (2) 転がり運動に伴うすべり摩擦
- (3) 玉と保持器間のすべり摩擦
- (4) 潤滑剤の粘性抵抗
- (5) シールの摩擦

一般に、リニアモーションボールベアリングの摩擦抵抗 F は荷重に影響されない項 F_0 と、荷重によって変化する項 F_1 との和として

$$F = F_0 + F_1$$

で表わされます。

F_0 は運転速度が増大すると増加しますが、同時に、潤滑剤の粘度低下の影響もあるので、通常の使用条件では、運転速度によってあまり変化を生じません。この状態は図16に1例を示してあります。

次に F_1 はほぼ荷重に比例して増加しますがリニアモーションベアリングの摩擦抵抗は F_0 と F_1 の和であるため、その摩擦係数は低荷重領域でむしろ大きくなり、荷重がある程度以上に大きくなると、摩擦係数はほぼ一定かあるいはやや増大する傾向を示すようになります。この状態の1例は図17に示します。

いずれにしても、リニアモーションボールベアリングの摩擦係数は0.001~0.003程度で、すべり軸受の場合の数十分の一程度の小さな値となります。