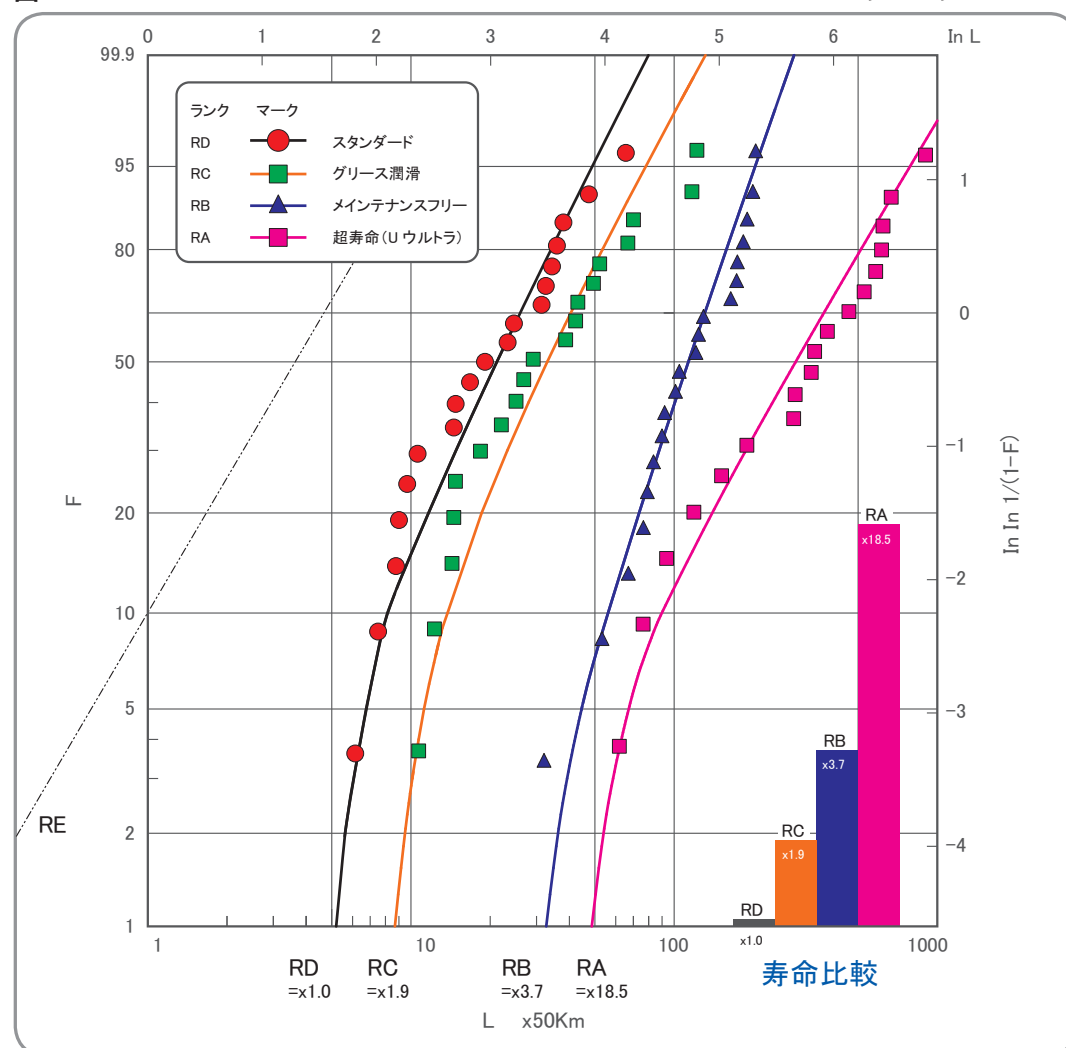


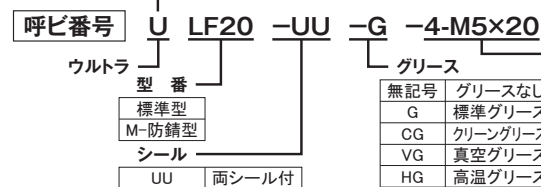
図1 リニアのプロによる差別化商品 RA, RB, RC



## リニアベアリング信頼性設計ランク別選定基準 (RA~RD) と呼び番号

- RD : スタンダードシリーズ (標準品) : コスト優先で標準的信頼性  
 RC : Gシリーズ (グリース潤滑) : グリース潤滑による安定した信頼性  
 G, CG, VG, HG, FG各種グリースに対応  
 RB : MFシリーズ (メンテナンスフリー) : クリーンな環境と高い信頼性  
 RA : Uウルトラシリーズ (超寿命) : 苛酷なモーメント荷重下で高い信頼性

OZAKリニアベアリング全ての型番にウルトラシリーズがあります。  
 呼び番号の頭にUマークを付けて表示します。



| グリース | 無記号      | グリースなし |
|------|----------|--------|
| G    | 標準グリース   |        |
| CG   | クリーングリース |        |
| VG   | 真空グリース   |        |
| HG   | 高温グリース   |        |
| FG   | 食品グリース   |        |

※グリースの性状P44参照



| 推奨六角穴付ボルト |         |            |
|-----------|---------|------------|
| 軸径<br>(d) | 六角穴付ボルト |            |
|           | 呼び径     | 長さ         |
| 6, 8      | M3      | 10, 12, 16 |
| 10～16     | M4      | 12, 16, 20 |
| 20, 25    | M5      | 16, 20, 25 |
| 30, 35    | M6      | 20, 25, 30 |
| 40, 50    | M8      | 25, 30, 35 |
| 60        | M10     | 35, 40, 45 |

## 信頼性の選定について

### 1. RankA:Uウルトラシリーズ (超寿命)

リニアベアリングの使用には、図2に示すようなモーメント荷重が作用する事例が多くありますが、このような過酷な使用条件下においても、OZAKの永年にわたる経験と加工技術によりRankD (スタンダード品) より18倍以上もの耐久性が図1による実験データにより保証され、メンテナンスコストを大幅に削減することが出来ます。

OZAKリニアベアリングには、全型番Uウルトラシリーズを揃えておりますので、カタログに記載されている標準型番の頭にUマークを付けてご注文下さい。

尚、モーメント荷重作用時における負荷分布 (エッジロード) と寿命計算法につきましては次ページP32~33に詳しく説明しておりますので、ご参照下さい、又大きな偏芯アーム比の場合は弊社へご相談下されば技術計算報告書を提出いたします。

### 2. RankB:MFシリーズ (メンテナンスフリー)

近年ますます要求されるクリーンな環境とメンテナンスコストの削減に応えるべく、開発された特殊シール構造図3により外部へのグリース漏れを大幅に防止し、転がり接触面には充分な油膜が形成されRankD (スタンダード品) より3.7倍もの耐久性が図1による実験データより保証されておりますので、大幅なメンテナンスコスト削減を図ることが出来ます。

又、防錆タイプも標準化いたしましたので、耐食性が要求される環境下にも最適です。

### 3. RankC:Gシリーズ (グリース潤滑)

リニアベアリング、リニアガイド、ボールネジ、ボールスプライン等の往復運動軸受機構には転動体の挙動が必ず行って戻る時に一旦停止し、逆転方向に方向転換をしなければなりません。すなわち転動体の自転ならびに公転速度が一時的にある瞬間ゼロになる訳で油膜が切れて、尚且つ悪いことにスリップ現象が発生し、寿命に悪影響を及ぼします。この現象は往復運動軸受の機構上、防ぐ事は大変難しく、潤滑による方法が最もコスト、性能的にも適した解決法と言えます。そこで従来まではお客様に適切なグリースを適切な量と補充期間で潤滑してもらうよう要求して参りましたが、その考え方を改めOZAKでお客様の仕様環境に合ったグリースを適切な量を充填し供給するGシリーズを揃えました。この事によりRankD (スタンダード防錆油品) より約2倍の耐久性が図1の実験データより保証され、より高い信頼性を得ることが出来ます。

尚、グリースの種類には、一般、クリーンルーム、真空、高温、食品等を揃えております図4。

図2

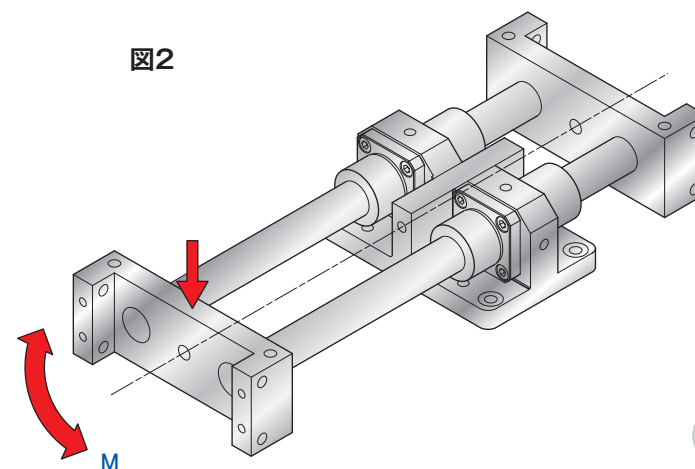


図3



図4



## モーメント荷重作用時の負荷分布と寿命への影響について

リニアベアリング、リニアガイド、ボールスプライン等の直動軸受にモーメント荷重が作用すると、図5に示すような軌道面エッジ部に応力集中が作用し不均一な負荷分布状態となります。一般的に採用されているISO14728-1で規格化された等価荷重による理論的に均一な負荷分布状態で計算された寿命より遥かに短くなります。

それではその集中した不均一な荷重はモーメント荷重が作用していない等価荷重に対し何倍作用するのか？

OZAKは永年にわたる実験結果により、図6～9に示す偏芯アーム比(e)に対する等価荷重のk倍(モーメント荷重係数)の荷重が作用するデータを示しております。

このk値を算出し、寿命への影響を考慮に入れた計算式がP33式1となります。

一般的に、偏芯アーム比(e)は3倍以下におさえ設計するのが良いとされておりますが、お客様の仕様上どうしてもオーバーハング状態で設計しなければならない場合には、弊社に相談下されば技術計算報告書を提出いたしますが、基本的にはOZAKがこのような過酷な使用条件下にも耐えられる、超寿命、モーメント荷重作用時に最適な、Uウルトラシリーズの採用を推奨いたします。

図5

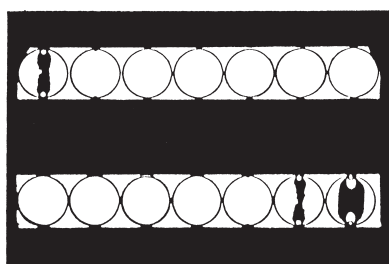


図6

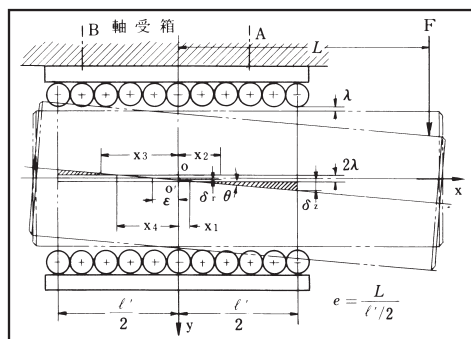


図7

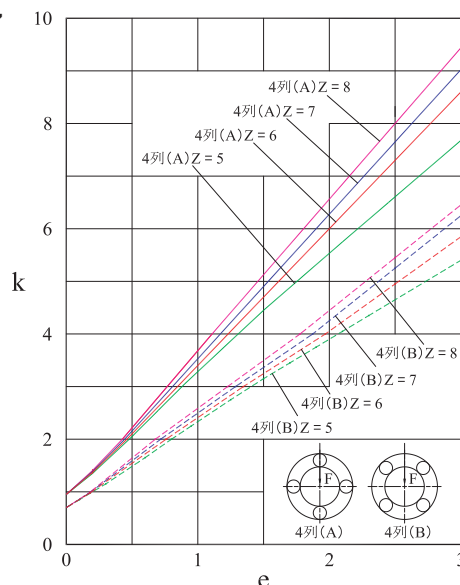


図8

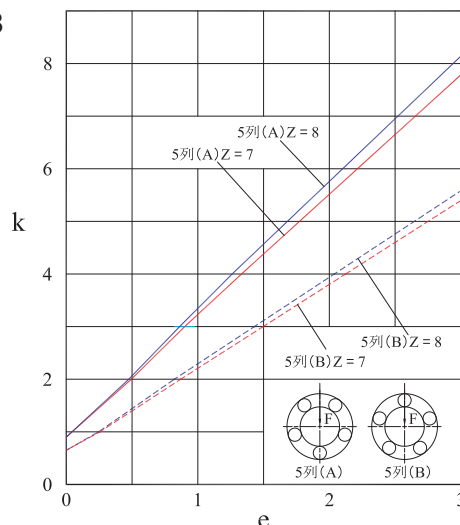
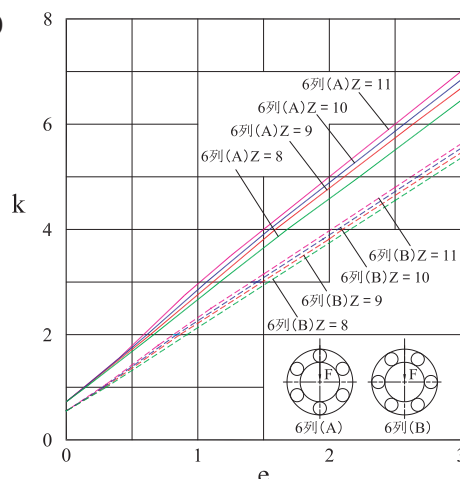


図9



## 定格寿命と基本定格荷重

### 定格走行寿命：

リニアモーションベアリングシステムの定格寿命とは、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。

一般的に、基本動定格荷重の1/2以下の荷重で使用されるよう推奨いたします。

### 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。

### 基本動定格許容モーメント(動許容モーメント)：

基本動定格許容モーメントとは、作用モーメント荷重方向の真下にボール配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モーメントをいいます。作用モーメント荷重が基本動定格許容モーメントの1/2以下での使用を推奨いたします。

### 定格走行寿命計算式：

リニアモーションベアリングシステムの定格走行寿命は、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。

$$L_{10} = \left( \frac{f_H \cdot f_t \cdot f_B \cdot C}{f_s \cdot k \cdot P} \right)^3 \cdot 50 (\text{km}) \quad \text{式1}$$

$L_{10}$  : 定格走行寿命 km  
 $C$  : 基本動定格荷重 N  
 $P$  : 作用等価ラジアル荷重 N  
 $f_H$  : 軸の硬さ係数 図10  
 $f_t$  : 温度係数 図11  
 $f_B$  : ボール列配置係数 図12  
 $f_s$  : 衝撃、振動、速度係数 表1  
 $k$  : モーメント荷重係数 図7, 図8, 図9  
 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 $L_{10}$ kmは次式により走行寿命時間 $L_{10h}$ に換算することができます。

$$L_{10h} = \frac{L \cdot 10^6}{2 \cdot l_s \cdot n \cdot 60} (\text{hr}) \quad \text{式2}$$

$L_{10h}$  : 定格寿命時間 hr  
 $l_s$  : ストローク mm  
 $n$  : 毎分往復動数 cpm

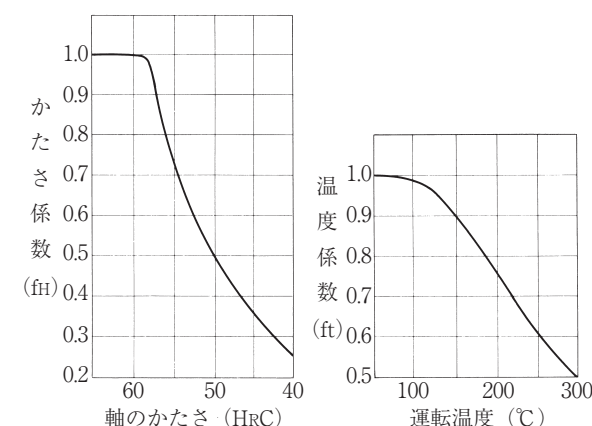


図10: 硬さ係数  $f_H$

図11: 温度係数  $f_t$

|           | ボール列数 |       |       |
|-----------|-------|-------|-------|
|           | 4列    | 5列    | 6列    |
| ボール列の配置状況 |       |       |       |
| $f_B$     | 1.414 | 1.463 | 1.280 |

図12: ボール列配置係数  $f_B$

表1: 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<br>往復速度 $V=300\text{mm/sec}$ 以下        | 1~1.5   |
| 軽い衝撃や振動がある場合で<br>往復速度 $V=1000\text{mm/sec}$ 以下     | 1.5~2.0 |
| かなり大きい衝撃や振動がある場合で<br>往復速度 $V=1000\text{mm/sec}$ 以上 | 2.0~4.0 |

## より高い信頼性の寿命式を求めて、3パラメータワイブルによる最小寿命

ころがり軸受ならびに直動軸受の基本定格寿命はISO規格では、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回転または走行できる回転数を $\times 10^6 \text{ rev}$ 、または距離を50km単位で表すものと定義されておりますが、OZAKでは永年にわたる数多くの耐久試験データに基づき、従来からの2パラメータワイブル線図による分析ではなく、3パラメータワイブル分布による99.99%（約100%）信頼度の最小寿命値を追及すると共に、OZAK独自の信頼度係数 $a_1$ 、ならびに寿命補正係数 $a_{\text{OZAK}}$ を生み出し、より高い信頼性の寿命式、式3を確立しました。

図13、14データより、OZAKリニアベアリングの最小寿命値（ $\gamma$ ）は、 $L_{10}$ に対し最小で0.40から最大0.52の結果が得られておりますが、前ページP32でベアリング軌道面上の負荷分布は、実際お客様が使用されている状態は、均一分布ではなく不均一な分布状態を想定した方が安全で、OZAKでは負荷分布安全係数 $\times 2$ を採用し、上記データも最小の0.40の1/2、すなわち $L_{10}$ に対し $\times 0.20$ を採用しております。

$$L = a_1 \cdot a_{\text{OZAK}} \left( \frac{f_H \cdot f_t \cdot f_B \cdot C}{f_s \cdot k \cdot P} \right)^3 \cdot 50 (\text{km}) \quad \text{式3}$$

$a_1$  信頼度係数：OZAKリニアベアリングの信頼度

$a_1$ は表2を参照

$a_{\text{OZAK}}$ 補正係数：RankD=1

RankC=1.9

RankB=3.7

RankA=18.5

表2

| 信頼度%  | 90       | 95    | 96    | 97    | 98    | 99    |
|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $L_n$ | $L_{10}$ | $L_5$ | $L_4$ | $L_3$ | $L_2$ | $L_1$ |
| $a_1$ | 1        | 0.64  | 0.55  | 0.47  | 0.37  | 0.25  |

| 信頼度%  | 99.5      | 99.9      | 99.95      | 99.99               |
|-------|-----------|-----------|------------|---------------------|
| $L_n$ | $L_{0.5}$ | $L_{0.1}$ | $L_{0.05}$ | $\gamma = L_{0.01}$ |
| $a_1$ | 0.228     | 0.210     | 0.205      | 0.200               |

図13

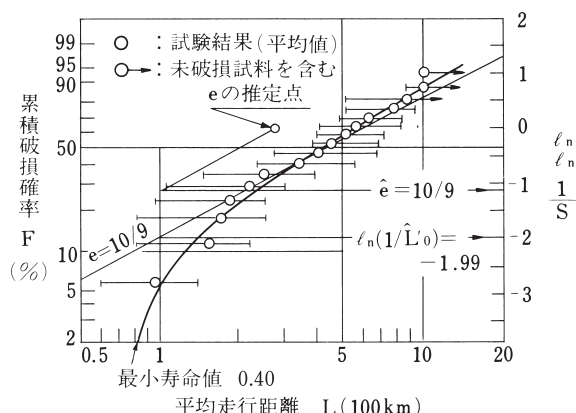
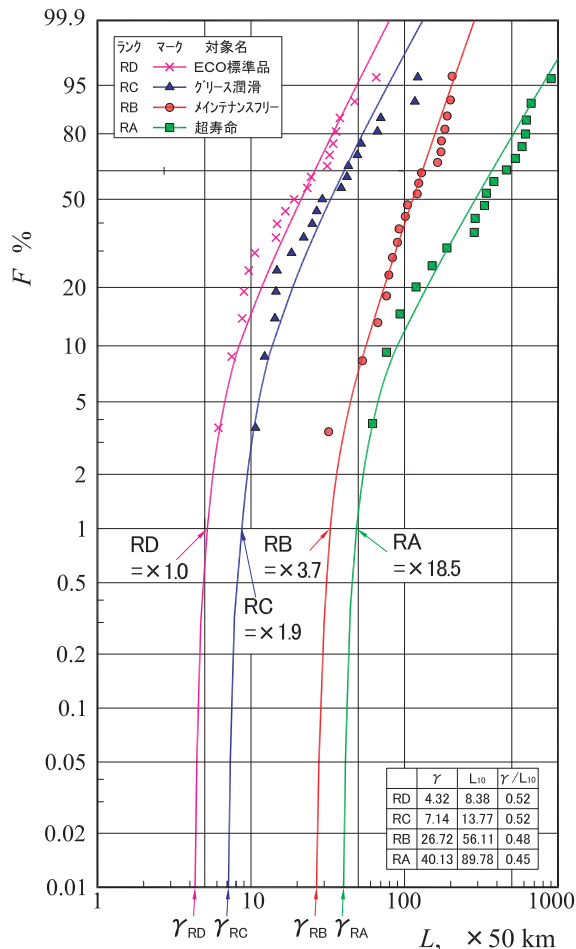


図14



## 基本動(C), 静(Co)定格荷重の算出式とISO規格

リニアベアリング (ISO14728-1, 2)

$$C = b_m \cdot f_c \cdot K_i \cdot l_t^{1/30} \cdot Z t^{2/3} \cdot D w^{2.1} \quad \text{式4}$$

$$C_o = f_o \cdot k_{oi} \cdot Z t \cdot D w^2$$

リニアガイド (ISO14728-1, 2)

$$C = b_m \cdot f_c \cdot l_t^{1/30} \cdot i t^{0.7} \cdot Z t^{2/3} \cdot D w^{2.1} \cdot \cos \alpha \quad \text{式5}$$

$$C_o = f_o \cdot i t \cdot Z t \cdot D w^2 \cdot \cos \alpha$$

ボールネジ (ISO3408-5)

$$C_a = C_i \cdot i^{0.86} \quad C_i = C_s \cdot \left[ 1 + \left( \frac{C_s}{C_n} \right)^{10/3} \right]^{-0.3} \quad \text{式6}$$

$$C_s = f_c \cdot (\cos \alpha)^{0.86} \cdot z_1^{2/3} \cdot D w^{1.8} \cdot \tan \alpha \cdot (\cos \phi)^{1.3}$$

$$C_{0a} = k_0 \cdot z_1 \cdot i \cdot \sin \alpha \cdot D w^2 \cdot \cos \phi$$

ボールスプライン (ISO23848-2)

$$C = b_m \times f_c \times l_t^{1/30} \times i t^{0.7} \times Z t^{2/3} \times D w^{2.1} \times \cos \alpha \quad C_o = f_o \times i t \times Z t \times D w^2 \times \cos \alpha$$

$$C_T = \frac{D p w}{2} \times b_m \times f_c \times l_t^{1/30} \times i t^{0.7} \times Z t^{2/3} \times D w^{2.1} \times \sin \beta \quad C_{0T} = \frac{D p w}{2} \times f_o \times i t \times Z t \times D w^2 \times \sin \beta \quad \text{式7}$$

## ショートストローク時の寿命計算式

お客様が使用されるストロークが表3に規定するストローク以下の場合には、走行寿命が大幅に短くなり、式1、式3で規格された算出式は使用出来なくなります。その原因は通常使用より極端にストレスサイクル数 [P36 (1)] が多くなる事と、前述 (P31) した転動体の挙動がターンする際に起こる油膜切れとスリップ現象の過酷な繰り返し運動に起因しております。

このようなショートストローク時の寿命式はOZAKが独自に開発した式8により算出する事ができます。又、OZAKが開発した過酷な使用条件下に耐えられる、Uウルトラシリーズの採用を推奨いたします。

$$L = f_s \cdot \left( \frac{C}{P} \right)^3 \cdot \left( \frac{l_s}{H_s} \right)^e \cdot 10^6 \text{ strokes} \quad \text{式8}$$

$e=10/9$ (Ball),  $e=3/2$ (Roller)

$l_s \leq H_s$

$H_s$  : OZAK指定の最小ストローク 表3

$l_s$  : お客様の使用ストロークmm

ストロークとは一方向の走行距離で往復ではありません

表3

| 型番  | $H_s$<br>mm |
|-----|-------------|
| L3  | 8           |
| L4  | 11          |
| L5  | 14          |
| L6  | 18          |
| L8  | 24          |
| L10 | 30          |
| L12 | 30          |
| L13 | 30          |
| L16 | 38          |
| L20 | 44          |
| L25 | 68          |
| L30 | 76          |
| L35 | 88          |
| L40 | 98          |
| L50 | 120         |
| L60 | 120         |

表4  $f_s$  : ストローク係数

| $l_s/H_s$ | 1 | 0.5  | 0.13 | 0.05 |
|-----------|---|------|------|------|
| $f_s$     | 1 | 0.97 | 0.93 | 0.85 |



## リニアベアリング，リニアガイドの基本動定格荷重(ISO)算出の導き

ISOでは，一般の転がり軸受の基本動定格荷重算出式に，*Lundberg-Palmgren (1947)* 理論を用いておりますが，リニアボールベアリングにおいても同様に以下の実験式を用います。

$$\log \frac{1}{S} \propto \frac{\tau_0^c \cdot N^e}{Z_0^h} \cdot V \quad (1)$$

where :  $S$  : 信頼度

$\tau_0$  : 最大せん断応力振幅

$N$  : 剥離が生起するまでの総応力繰返し数  $\left[ N = \frac{BRL}{ls} \cdot u \cdot L \right]$

$BRL$  : 基本定格寿命 (日本規格) = 50km

$u$  : ストローク  $ls$  時における応力繰返し数

$ls$  : 使用ストローク

$V$  :  $\tau_0$  をうける応力体積

$Z_0$  :  $\tau_0$  が発生する表面からの深さ

$c, e, h$  : 寿命のバラツキにおける式中に使用する指数値

*Lundberg-Palmgren*とHertzの理論から，転動体荷重  $Q_C$  ( $L=1$ ) は以下の式となります。

$$\frac{Q}{Dw^2} \cdot L^{\frac{3e}{c-h+2}} = A_1 \cdot \Phi \cdot Dw^{-\frac{3(3-h)}{c-h+2}} \cdot \left[ \frac{ls}{BRL} \right]^{\frac{3e}{c-h+2}} \quad (2)$$

$$\therefore Q_C = A_1 \cdot \Phi \cdot Dw^{\frac{2c+h-5}{c-h+2}} \cdot \left[ \frac{ls}{BRL} \right]^{\frac{3e}{c-h+2}} \quad (3)$$

$c, e, h$  は以下の値を使います。

$$c = \frac{31}{3}; \quad e = \frac{10}{9}; \quad h = \frac{7}{3}$$

$$\therefore Q_C = A_1 \cdot \Phi \cdot Dw^{1.8} \cdot \left[ \frac{ls}{BRL} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

$A_1$  は *Lundberg-Palmgren* が求めた材料定数値で，基本定格寿命は，日本規格とします。

$$A_1 = 1100 \text{ N} \cdot \text{mm}, \quad BRL \text{ (Basic Rating Life)} = 50 \text{ km}$$

接触幾何係数  $\Phi_o$  (外筒，キャリッジ) と  $\Phi_s$  (軸，レール) は以下の式より導かれます。

$$\Phi_o = \pi^{\frac{1}{w}} \cdot \frac{\omega_o}{[1 + F_{(b/a)}]^{2.1}} \cdot \frac{1}{(Dw \cdot \Sigma \rho)^{2.1}} \cdot \left[ \frac{u_0^e D_{no}}{Dw} \right]^{-\frac{1}{w}} \quad \text{where : } Dw \cdot \Sigma \rho = \frac{4}{1 + F_{(b/a)}} \quad (5)$$

$$\Phi_s = \pi^{\frac{1}{w}} \cdot \frac{\omega_s}{[1 + F_{(b/a)}]^{2.1}} \cdot \frac{1}{(Dw \cdot \Sigma \rho)^{2.1}} \cdot \left[ \frac{u_s^e D_{ns}}{Dw} \right]^{-\frac{1}{w}} \quad \text{where : } Dw \cdot \Sigma \rho = \frac{4}{1 + F_{(b/a)}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{Dw}{Dpw}} \quad (6)$$

リニアベアリング (ボールブッシュ)

$$\omega_o \approx \Omega^{-0.50} = \left[ 1 + \frac{Dw}{Dpw} \right]^{0.50} \quad \Phi_o = 0.0767 \left[ 1 + \frac{Dw}{Dpw} \right]^{0.50} \left[ \frac{u_0^e D_{no}}{Dw} \right]^{-\frac{1}{w}} \quad (7)$$

$$\omega_s \approx \Omega^{-0.70} = \left[ 1 - \frac{Dw}{Dpw} \right]^{-0.70} \quad \Phi_s = 0.0767 \left[ 1 - \frac{Dw}{Dpw} \right]^{1.40} \left[ \frac{u_s^e D_{ns}}{Dw} \right]^{-\frac{1}{w}} \quad (8)$$

リニアガイド (ボールガイド)

$$\omega \approx 1.3 \Omega^{-0.41} = 1.3 \left[ \frac{2ra}{2ra - Dw} \right]^{0.41} \quad \Phi = \Phi_o = \Phi_s = 0.0997 \left[ \frac{2ra}{2ra - Dw} \right]^{0.41} \left[ \frac{u_0^e D_{no}}{Dw} \right]^{-\frac{1}{w}} \quad (9)$$

ボールブッシュ転動体荷重  $Q_{co}$  (外筒) と  $Q_{cs}$  (軸)，ボールガイド  $Q_C$  は以下の式より求められます。

リニアベアリング (ボールブッシュ)

$$\therefore Q_{co} = 22.9 \cdot \left[ 1 + \frac{Dw}{Dpw} \right]^{0.50} \cdot Dw^{2.1} \cdot (ls)^{\frac{1}{p}} \cdot [u_0^e \cdot D_{no}]^{-\frac{1}{w}} \quad (10)$$

$$\therefore Q_{cs} = 22.9 \cdot \left[ 1 - \frac{Dw}{Dpw} \right]^{1.40} \cdot Dw^{2.1} \cdot (ls)^{\frac{1}{p}} \cdot [u_s^e \cdot D_{ns}]^{-\frac{1}{w}} = K_{cs} (lt)^{-\frac{1}{w}} \cdot (2\kappa Dw)^{\frac{1}{p}} \left[ \frac{ls}{lt} \right]^{\frac{1}{p}} \left[ \frac{ls}{lt} - \frac{e-1}{e+1} \right]^{-\frac{1}{w}} \quad (11)$$

リニアガイド (ボールガイド)

$$\therefore Q_{co} = 29.8 \cdot \left[ \frac{2ra}{2ra - Dw} \right]^{0.41} \cdot Dw^{2.1} \cdot (ls)^{\frac{1}{p}} \cdot [u_0^e \cdot D_{no}]^{-\frac{1}{w}} \quad (12)$$

$$\therefore Q_{cs} = 29.8 \cdot \left[ \frac{2ra}{2ra - Dw} \right]^{0.41} \cdot Dw^{2.1} \cdot (lt)^{-\frac{1}{w}} \cdot (2\kappa Dw)^{\frac{1}{p}} \left[ \frac{ls}{lt} \right]^{\frac{1}{p}} \left[ \frac{ls}{lt} - \frac{e-1}{e+1} \right]^{-\frac{1}{w}} \quad (13)$$

ここで簡素化するため，以下のような係数を定めます。

リニアベアリング (ボールブッシュ)

$$K_{co} = 22.9 \cdot \left[ 1 + \frac{Dw}{Dpw} \right]^{0.50} \cdot Dw^{2.1} \quad (14)$$

$$K_{cs} = 22.9 \cdot \left[ 1 - \frac{Dw}{Dpw} \right]^{1.40} \cdot Dw^{2.1} \quad (15)$$

リニアガイド (ボールガイド)

$$K_C = 29.8 \cdot \left[ \frac{2ra}{2ra - Dw} \right]^{0.41} \cdot Dw^{2.1} \quad (16)$$

$$\text{where : } u_o = \frac{ls}{2\kappa Dw} \quad u_s = \frac{lt}{2\kappa Dw} \quad D_{no} = lt \quad (17)$$

$$ls = 2 \cdot lt \quad e = \frac{10}{9} \quad w = \frac{10}{3} \quad p = 3$$

以上より簡素化された転動体荷重計算式は，以下のようになります。

リニアベアリング (ボールブッシュ)

$$\therefore Q_{co} = K_{co} \cdot lt^{-0.3} \cdot (2\kappa Dw)^{\frac{1}{3}} \quad (18)$$

$$\therefore Q_{cs} = K_{cs} \cdot lt^{-0.3} \cdot 1.032 \cdot (2\kappa Dw)^{\frac{1}{3}} \quad (19)$$

リニアガイド (ボールガイド)

$$\therefore Q_{co} = K_C \cdot lt^{-0.3} \cdot (2\kappa Dw)^{\frac{1}{3}} \quad (20)$$

$$\therefore Q_{cs} = K_C \cdot lt^{-0.3} \cdot 1.032 \cdot (2\kappa Dw)^{\frac{1}{3}} \quad (21)$$

$$L = \left( \frac{C}{Fr} \right)^3 = \left[ \sum_{j=1}^J \left\{ \left( \frac{Q_{co}}{F_{ej}} \right)^{-\frac{10}{3}} + \left( \frac{Q_{cs}}{F_{ej}} \right)^{-\frac{10}{3}} \right\} \right]^{-\frac{9}{10}} \quad (22)$$

$$\therefore C = \left[ \sum_{j=1}^J \left\{ \left( \frac{Q_{co}}{F_{ej}} \right)^{-\frac{10}{3}} + \left( \frac{Q_{cs}}{F_{ej}} \right)^{-\frac{10}{3}} \right\} \right]^{-\frac{3}{10}} \cdot Fr = \left[ Q_{co}^{-\frac{10}{3}} + Q_{cs}^{-\frac{10}{3}} \right]^{-\frac{3}{10}} \cdot \left[ \sum_{j=1}^J F_{ej}^{\frac{10}{3}} \right]^{-\frac{3}{10}} \cdot Fr \quad (23)$$

$$Fr = Zt \cdot P_{\max} \cdot \sum_{j=1}^J [\cos(j-1)\phi]^{2.5} \quad F_{ej} = P_{\max} \cdot [\cos(j-1)\phi]^{1.5} \quad (24)$$

$$\therefore C = \left[ Q_{co}^{-\frac{10}{3}} + Q_{cs}^{-\frac{10}{3}} \right]^{-\frac{3}{10}} \cdot \frac{Fr}{\left[ \sum_{j=1}^J F_{ej}^{\frac{10}{3}} \right]^{\frac{3}{10}}} = \left[ Q_{co}^{-\frac{10}{3}} + Q_{cs}^{-\frac{10}{3}} \right]^{-\frac{3}{10}} \cdot \frac{Z_t \cdot P_{\max} \cdot \sum_{j=1}^J \{\cos(j-1)\phi\}^{2.5}}{P_{\max} \cdot \left[ \sum_{j=1}^J \{\cos(j-1)\phi\}^5 \right]^{0.3}} \quad (25)$$

$$\therefore C = \left[ Q_{co}^{-\frac{10}{3}} + Q_{cs}^{-\frac{10}{3}} \right]^{-\frac{3}{10}} \cdot Z_t \cdot Ki \quad \text{where: } Ki = \sum_{j=1}^J \{\cos(j-1)\phi\}^{2.5} \cdot \left[ \sum_{j=1}^J \{\cos(j-1)\phi\}^5 \right]^{-0.3} \quad (26)$$

from (18), (19)

$$\therefore C = Ki \cdot Z_t \cdot It^{-0.3} \cdot \left\{ (2\kappa Dw)^{-\frac{10}{9}} \cdot K_{co}^{-\frac{10}{3}} + (2\kappa Dw)^{-\frac{10}{9}} \cdot (1.032)^{-\frac{10}{3}} \cdot K_{cs}^{-\frac{10}{3}} \right\}^{-0.3} \quad (27)$$

from (14), (15) and

$$Z_t = \frac{It}{\kappa Dw} \quad \therefore \kappa Dw = \frac{It}{Z_t} \quad (28)$$

リニアベアリング (ボールブッシュ)

$$C = Ki \cdot Z_t \cdot It^{-0.3} \cdot 22.9 \cdot (2\kappa Dw)^{\frac{1}{3}} \cdot Dw^{2.1} \cdot \left\{ \left( 1 + \frac{Dw}{D_{pw}} \right)^{-1.67} + 0.91 \cdot \left( 1 - \frac{Dw}{D_{pw}} \right)^{-4.67} \right\}^{-0.3} \\ = Ki \cdot It^{\frac{1}{30}} \cdot Z_t^{\frac{2}{3}} \cdot Dw^{2.1} \cdot 28.9 \cdot \left\{ \left( 1 + \frac{Dw}{D_{pw}} \right)^{-1.67} + 0.91 \cdot \left( 1 - \frac{Dw}{D_{pw}} \right)^{-4.67} \right\}^{-0.3} \quad (29)$$

リニアガイド (ボールガイド)

from (16), (20), (21) and

$$Z_t = \frac{It}{\kappa Dw} \quad \therefore \kappa Dw = \frac{It}{Z_t}$$

$$C = \left[ Q_{co}^{-\frac{10}{3}} + Q_{cs}^{-\frac{10}{3}} \right]^{-\frac{3}{10}} \cdot Z_t \cdot i_t^{0.7} \cdot \cos \alpha = Z_t \cdot i_t^{0.7} \cdot It^{-0.3} \cdot (2\kappa Dw)^{\frac{1}{3}} \cdot Dw^{2.1} \cdot 29.8 \cdot \left( \frac{2ra}{2ra - Dw} \right)^{0.41} \left[ 1 + (1.032)^{-\frac{10}{3}} \right]^{-\frac{3}{10}} \cos \alpha \\ = It^{\frac{1}{30}} \cdot i_t^{0.7} \cdot Z_t^{\frac{2}{3}} \cdot Dw^{2.1} \cdot 30.9 \cdot \left( \frac{2ra}{2ra - Dw} \right)^{0.41} \cdot \cos \alpha \quad (30)$$

## 簡素化されたISO基本動定格荷重計算式 ISO14728-1(2004)

リニアベアリング (ボールブッシュ)

$$C = bm \cdot f_c \cdot Ki \cdot It^{\frac{1}{30}} \cdot Z_t^{\frac{2}{3}} \cdot Dw^{2.1} \quad (31)$$

$\lambda = 0.9$   $bm = 1.3$  ISO idea

$$f_c = \lambda \cdot c_L \cdot 28.9 \cdot \left[ 0.91 \left( 1 - \frac{Dw}{D_{pw}} \right)^{-4.67} + \left( 1 + \frac{Dw}{D_{pw}} \right)^{-1.67} \right]^{-0.3} \quad (32)$$

$$Ki = \sum_{j=1}^J \{\cos(j-1)\phi\}^{2.5} \cdot \left[ \sum_{j=1}^J \{\cos(j-1)\phi\}^5 \right]^{-0.3}$$

表5  $Ki$ の値

| $i$  | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $Ki$ | 1.000 | 1.000 | 1.104 | 1.329 | 1.531 | 1.681 | 1.807 | 1.948 |

$c_L = 1.0$  to 1.2

リニアガイド (ボールガイド)

$$C = bm \cdot f_c \cdot It^{\frac{1}{30}} \cdot i_t^{0.7} \cdot Z_t^{\frac{2}{3}} \cdot Dw^{2.1} \cdot \cos \alpha \quad (33)$$

$\lambda = 0.9$   $bm = 1.3$  ISO idea

$$f_c = \lambda \cdot 30.9 \cdot \left( \frac{2ra}{2ra - Dw} \right)^{0.41} \quad (34)$$

## ボールブッシュ, ボールガイドの基本静定格荷重 ISO14728-2(2004)

リニアベアリング (ボールブッシュ)

$$C_o = f_o \cdot k_{oi} \cdot Z_t \cdot Dw^2 \quad (1)$$

$$k_{oi} = \frac{\sum_{j=1}^{j=i} (\cos \phi)^{2.5}}{(\cos \phi)^{1.5}} \quad (2)$$

表6  $k_{oi}$ 値

| $i$      | 3 | 4 | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|----------|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $k_{oi}$ | 1 | 1 | 1.106 | 1.354 | 1.612 | 1.841 | 2.052 | 2.284 |

表7  $f_o$ 値

| $D_w/D_{pw}$ | $f_o$  | $D_w/D_{pw}$ | $f_o$  | $D_w/D_{pw}$ | $f_o$  | $D_w/D_{pw}$ | $f_o$  |
|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| 0.005        | 14.801 | 0.08         | 13.675 | 0.155        | 12.537 | 0.23         | 11.384 |
| 0.01         | 14.726 | 0.085        | 13.600 | 0.16         | 12.460 | 0.235        | 11.307 |
| 0.015        | 14.651 | 0.09         | 13.524 | 0.165        | 12.384 | 0.24         | 11.230 |
| 0.02         | 14.577 | 0.095        | 13.449 | 0.17         | 12.307 | 0.245        | 11.152 |
| 0.025        | 14.502 | 0.1          | 13.373 | 0.175        | 12.231 | 0.25         | 11.075 |
| 0.03         | 14.427 | 0.105        | 13.297 | 0.18         | 12.154 | 0.255        | 10.997 |
| 0.035        | 14.352 | 0.11         | 13.221 | 0.185        | 12.077 | 0.26         | 10.920 |
| 0.04         | 14.277 | 0.115        | 13.146 | 0.19         | 12.000 | 0.265        | 10.842 |
| 0.045        | 14.202 | 0.12         | 13.070 | 0.195        | 11.924 | 0.27         | 10.765 |
| 0.05         | 14.127 | 0.125        | 12.994 | 0.2          | 11.847 | 0.275        | 10.687 |
| 0.055        | 14.052 | 0.13         | 12.918 | 0.205        | 11.770 | 0.28         | 10.609 |
| 0.06         | 13.977 | 0.135        | 12.842 | 0.21         | 11.693 | 0.285        | 10.531 |
| 0.065        | 13.902 | 0.14         | 12.765 | 0.215        | 11.616 | 0.29         | 10.454 |
| 0.07         | 13.826 | 0.145        | 12.689 | 0.22         | 11.539 | 0.295        | 10.376 |
| 0.075        | 13.751 | 0.15         | 12.613 | 0.225        | 11.462 | 0.3          | 10.298 |

リニアガイド (ボールガイド)

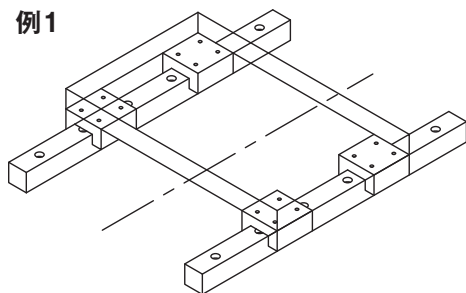
$$C_o = f_o \cdot i_t \cdot Z_t \cdot Dw^2 \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

表8  $f_o$ 値

| $r_s/D_w$ | 0.52  | 0.53  | 0.54  | 0.55  | 0.56  | 0.57  | 0.58  | 0.59  | 0.6   |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $f_o$     | 94.64 | 76.33 | 66.07 | 59.48 | 54.89 | 51.55 | 49.03 | 47.08 | 45.57 |

## リニアシステムの組み付け構造

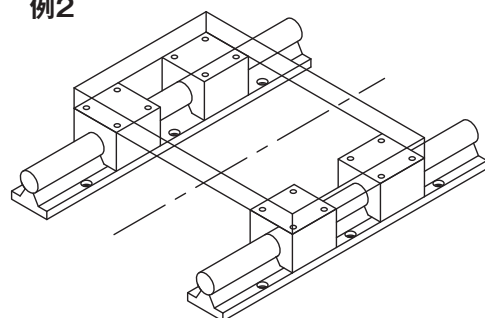
例1



### <選定基準>

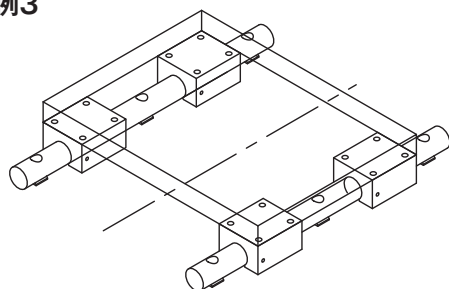
- コストは高いが、高精度、高剛性の案内として最適
- コンパクトな設計
- ボールネジの送り機構に最適

例2



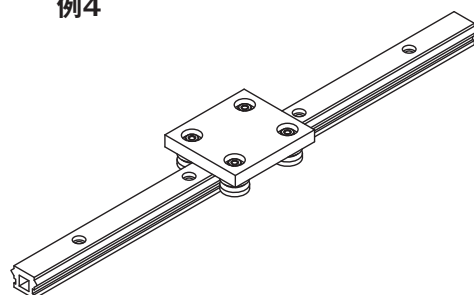
- 軽荷重で高速送りの案内に最適
- 長尺レールとしての継ぎ方法が容易
- レール上の異物除去が容易

例3



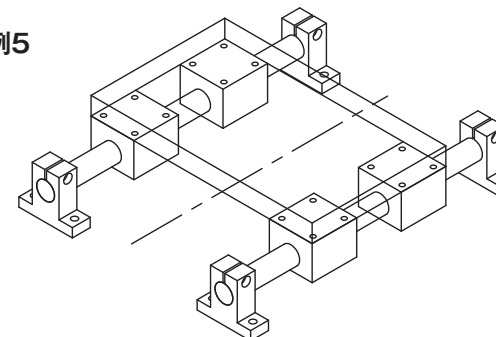
- 軽荷重、コンパクト設計、高速送りの案内として最適
- 長尺レールとしての継ぎ方法が容易

例4



- 長尺レールを単軸使用するとき最適
- 高速運転で静かな走行性能
- ベルト、ワイヤー駆動に最適

例5

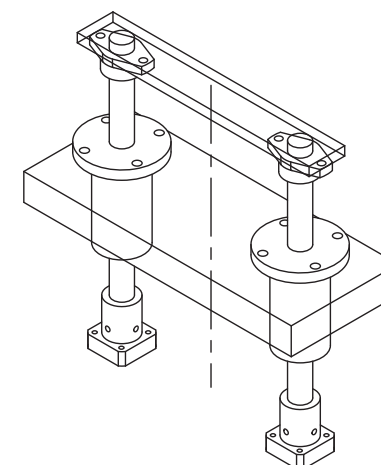


### <選定基準>

規格標準品を選定するだけで

- 最も安いコストの案内機構が得られる
- エアシリンダー駆動に最適
- グリース潤滑を嫌うクリーンな環境使用に適する  
MFメンテナンスフリーシリーズがあります

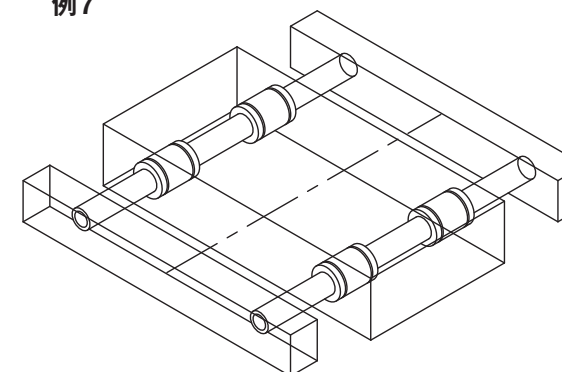
例6



規格標準品を選定するだけで

- 最も安いコストの縦軸案内機構が得られる
- モーメント荷重が作用する場合、フランジ付ダブル、ロングタイプのベアリングを選定するだけで、最適な縦軸案内が得られる

例7



最もコンパクトで、安いコストの案内機構で

- ユーザー仕様によるハウジング設計、製作品の中にベアリングを組み込む場合に適します。

M series(防錆タイプ)の耐食，耐酸性試験結果

防錆タイプリニアベアリングM series には，外筒表面に最も耐食性に優れ，又最も均一性のある表面処理を施し，従来のステンレスシリーズとして採用しているステンレス鋼SUS440CあるいはQD51鋼種より，はるかに耐食性のある事が，下記の塩水噴霧試験結果より証明する事が出来ます。

近年増々，耐食性を要求される環境下において，Mシリーズは最も適していると言えます。

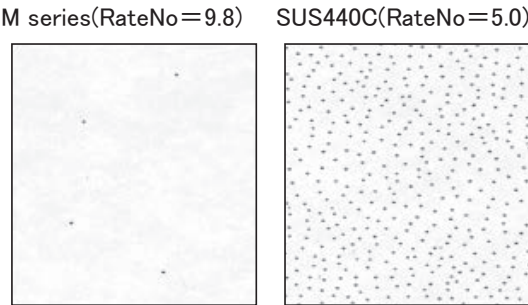
表9：試験方法

|          |  |
|----------|--|
| 試験方法     | JIS H8617及びZ2371による塩水噴霧試験              |
| 試験液組成    | 塩化ナトリウム5.0±1% PH6.5～7.2                |
| 使用食塩の品質  | JIS K8150特級                            |
| 使用水質     | イオン交換純水（比抵抗50×10 <sup>4</sup> Ωcm以上）使用 |
| 試料表面の調製法 | エタノール洗浄                                |
| 試験時間     | 96時間                                   |
| 噴霧方法     | 24時間連続噴霧                               |
| 判定方法     | 試料表面の赤サビ発生をレイティングナンバーで示す               |

表10：耐食性試験結果

| 試料                          | No. | 試験時間 (hr) |     |     |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|-----|-----------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
|                             |     | 2hr       | 5hr | 8hr | 16hr | 24hr | 36hr | 48hr | 72hr | 96hr |
| 防錆タイプ<br>Mシリーズ              | 1   | 10        | 9.8 | 9.8 | 9.8  | 9.8  | 9.5  | 9.5  | 9.5  | 9.5  |
|                             | 2   | 10        | 10  | 10  | 10   | 9.8  | 9.8  | 9.8  | 9.8  | 9.8  |
|                             | 3   | 10        | 9.8 | 9.8 | 9.8  | 9.8  | 9.8  | 9.5  | 9.5  | 9.5  |
| ステンレス鋼<br>SUS 440 C<br>QD51 | 1   | 9.0       | 8.0 | 7.0 | 6.0  | 6.0  | 6.0  | 6.0  | 5.0  | 5.0  |
|                             | 2   | 9.0       | 8.0 | 8.0 | 8.0  | 7.0  | 6.0  | 6.0  | 5.0  | 5.0  |
|                             | 3   | 8.0       | 7.0 | 7.0 | 7.0  | 7.0  | 7.0  | 7.0  | 5.0  | 5.0  |

M series，ステンレス鋼のレイティングナンバー比較図



Mシリーズは塩水噴霧試験法により，ステンレス鋼（SUS440C，QD51）よりはるかに耐食性があり，防錆効果が高い事は証明されておりますが，耐酸性についてはどうか？の問い合わせが多く，その試験を行いましたので試験結果を下記の通り報告いたします。

1. 塩酸系に対する耐酸性
- 塩酸系に対する耐酸性については，塩水噴霧試験結果に準ずる。よって，Mシリーズはステンレス鋼に比べはるかに耐蝕性があり，そのデータ比較は塩水噴霧試験データによるレイティングナンバー比に準ずる。
2. 硝酸系に対する耐酸性
- 試験方法：JIS H8616 4,5,3硝酸バツ気法による
- 試験条件：20cmガラスデンケータ底部に試薬1級硝酸150ccを入れ，ふたをし30分間放置し硝酸ガスをデンケータ中に充満させる。その中に脱脂（エタノール洗浄）した試料を中板上に入れふたをし放置した状態で表面の変化を観察する。
- 温度27+1℃

表11：耐酸性試験結果

| 試料No.<br>放置時間 | Mシリーズ               |   |   |   |   | ステンレス鋼(440C, QD51)                         |   |   |   |   |
|---------------|---------------------|---|---|---|---|--|---|---|---|---|
|               | 1                   | 2 | 3 | 4 | 5 | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 15分           | サビ発生なし              |   |   |   |   | サビ発生なし                                     |   |   |   |   |
| 30分           | サビ発生なし              |   |   |   |   | サビ発生なし                                     |   |   |   |   |
| 1時間           | サビ発生なし              |   |   |   |   | サビ発生なし<br>(表面曇りに変色)                        |   |   |   |   |
| 1時間30分        | サビ発生なし              |   |   |   |   | 多少サビ発生あり                                   |   |   |   |   |
| 2時間           | サビ発生なし<br>(表面黒色に変色) |   |   |   |   | 全面にサビ発生<br>レイティングナンバー<br>2   3   2   3   3 |   |   |   |   |



各種環境対応グリースの性状



グリースのみの販売も行っております。容量は20, 50, 100, 250, 500mlを用意しております。詳細は弊社営業にお問い合わせください。

- G シリーズ** **呼び番号** LFD20 – UU – G 型番末尾に G 記号追加 (封入して出荷いたします)
- ・ 走行寿命アップ：無潤滑と比較すると1.9倍走行寿命がアップします。
  - ・ メンテナンスの低減：大幅なメンテナンスコストの低減を実現します。また定期的な補給により走行寿命が2倍になります。

表12：Gグリース性状

|                            | 条 件  | 性 状     | 条 件        | 性 状      |
|----------------------------|------|---------|------------|----------|
| 増ちょう剤                      |      | リチウム石けん | 混和ちょう度     | 25℃      |
| 外 観                        |      | 褐色      | 適 点 (℃)    | 181      |
| 基 油                        |      | 鉱油      | 蒸発量 (wt%)  | 99℃×22h  |
| 基油動粘度 (mm <sup>2</sup> /s) | 40℃  | 131     | 離油度 (wt%)  | 100℃×24h |
|                            | 100℃ | 12.2    | 使用温度範囲 (℃) | −25~120  |

- CG シリーズ** **呼び番号** LFD20 – UU – CG 型番末尾に CG 記号追加 (封入して出荷いたします)
- ・ 潤滑寿命が長い：油分離が少なく化学的に劣化しにくい合成油を使用。
  - ・ 防錆効果が高い：軸受防錆試験・湿潤試験、さらに水共存試験でも極めて良好な結果を得ており、防錆に優れています。
  - ・ 騒音レベルが低い：音響試験においても非常に低い値をしめします。
  - ・ 高温特性に優れている：従来のLi系グリースに比較して高温における離油度・蒸発量・酸化安定度が極めて優れております。
  - ・ 低温特性に優れている：低温特性に優れた合成油を使用していますので、低温時のトルクがきわめて小さい値をしめします。

表13：CGグリース性状

|         | 条 件      | 性 状      | 条 件          | 性 状          |
|---------|----------|----------|--------------|--------------|
| 外 観     |          | 淡黄褐色     | 酸化安定度 (kPa)  | 99℃×100h     |
| 増ちょう剤   |          | リチウム石けん  | 銅板腐食         | 100℃×24h     |
| 基 油     |          | エステル系合成油 | 水洗耐水度 (%)    | 79℃×1h       |
| 混和ちょう度  | 25℃      | 240      | 低温トルク (mN・m) | 起動トルク (−30℃) |
| 適 点 (℃) |          | 202      |              | 回転トルク (−30℃) |
| 離油度 (%) | 100℃×24h | 0.1      | 軸受防錆         | 52℃×48h      |
| 蒸発量 (%) | 99℃×22h  | 0.05     | 使用温度範囲 (℃)   | −50~130      |

- VG シリーズ** **呼び番号** LFD20 – UU – VG 型番末尾に VG 記号追加 (封入して出荷いたします)
- ・ 基油にパーフルオロポリエーテルの合成油を使用し、フッ素樹脂で増ちようしたグリースで、低温性・極圧性・耐薬品性・低揮発性に優れたグリースです。
  - ・ 有機溶剤・油脂類とは殆ど相溶しませんから、ゴム・プラスチックに全く影響を与えず、電気絶縁性に優れた効果を発揮します。
  - ・ 使用温度範囲が非常に広く、特に低温性に優れ、温度による硬さの変化がありません。
  - ・ 酸化安定性に優れています。
  - ・ 極度のクリーン度を要する使用に適しています。

表14：VGグリース性状

|            | 条 件      | 性 状          | 条 件          | 性 状          |
|------------|----------|--------------|--------------|--------------|
| 増ちょう剤      |          | フッ素樹脂        | 蒸発量 (%)      | 99℃×22h      |
| 基 油        |          | パーフルオロポリエーテル | 四球焼付荷重 (MPa) | 室温 200rpm    |
| 密 度 (kg/l) | 25℃      | 1.95         | 酸化安定度 (kPa)  | 99℃×100h     |
| 混和ちょう度     | 25℃      | 280          | 低温トルク (mN・m) | 起動トルク (−40℃) |
| 離油度 (%)    | 100℃×24h | 3.0          |              | 回転トルク (−40℃) |
|            | 200℃×24h | 11.0         | 使用温度範囲 (℃)   | −65~200      |

- HG シリーズ** **呼び番号** LFD20 – UU – HG 型番末尾に HG 記号追加 (封入して出荷いたします)
- ・ 基油に合成炭化水素油、増ちょう剤にジウレアを使用したグリースです。高温環境で特に優れた性能を発揮します。

表15：HGグリース性状

|                            | 条 件     | 性 状     | 条 件          | 性 状               |
|----------------------------|---------|---------|--------------|-------------------|
| 増ちょう剤                      |         | ジウレア    | 銅板腐食 (%)     | 100℃×24h          |
| 基 油                        |         | 合成炭化水素油 | 離油度 (%)      | 100℃×24h          |
| 基油動粘度 (mm <sup>2</sup> /s) | 40℃     | 47.6    | 酸化安定度 (kPa)  | 99℃×100h          |
| 外 観                        |         | 淡褐色     | 水洗耐水度 (%)    | 38℃×1h            |
| 混和ちょう度                     | 25℃     | 220     | 低温トルク (mN・m) | 起動トルク (−30℃/−40℃) |
| 適 点 (℃)                    |         | 260以上   |              | 回転トルク (−30℃/−40℃) |
| 蒸発量 (%)                    | 99℃×22h | 0.21    | 使用温度範囲 (℃)   | −40~200           |

- FG シリーズ** **呼び番号** LFD20 – UU – FG 型番末尾に FG 記号追加 (封入して出荷いたします)
- ・ NSF H-1認証：食品・飲料製造設備用、高性能・多目的グリース
  - ・ ベースオイルは、無色透明・無害なホワイトミネラルオイルで、FDA規則21CFR172.878に適合。
  - ・ 含有成分は、偶発的に食品に接触することが可能な潤滑剤に関するFDA規則21CFR178.3570Iに適合。
  - ・ 優れた機械安定性により、高速充填機器の激しい動作によるグリースの軟化を抑制。
  - ・ 高温安定性、耐酸化性、耐水性に優れる。

表16：FGグリース性状

|            | 条 件 | 性 状         | 条 件                      | 性 状         |
|------------|-----|-------------|--------------------------|-------------|
| 増ちょう剤      |     | アルミニウム複合石鹼基 | 酸化安定性 (psi)              | 100h        |
| 基 油        |     | ホワイトミネラルオイル | 防錆性                      | ASTM D 665  |
| 混和ちょう度     | 25℃ | 310         | 耐水性                      | ASTM D 1264 |
| 適 点 (℃)    |     | 238         | 使用温度範囲 (℃)               | −12~177     |
| 基油粘度 (cSt) | 40℃ | 105         | 注意：当製品は食品ではありません。グリースです。 |             |



## 軸のたわみによる寿命への影響

軸に大きなたわみがある場合は、リニアベアリングの寿命に影響を与えますが、その場合のリニアベアリングの寿命計算は次式によって算出いたします。

$$L = \left( \frac{C}{P} \cdot f_a \right)^3 \times 50 (\text{km}) \quad f_a : \text{軸のたわみによる影響係数}$$

$f_a$ は図15に示す軸の支持状態(A)、(B)に初し、図16から求めることができます。

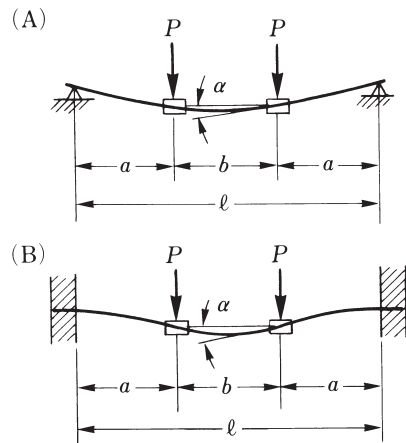
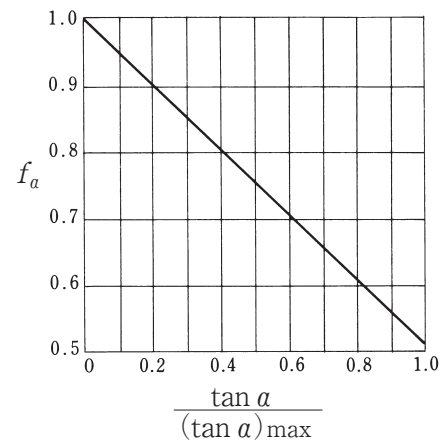


図15：軸の支持状態

図16：軸のたわみによる影響係数  $f_a$  の値

(A) 両端自由支持の場合

$$\tan \alpha = \frac{P \cdot a \cdot b}{2 \cdot E \cdot I} = 4.945 \times 10^{-5} \frac{P \cdot a \cdot b}{d^4}$$

(B) 両端固定支持軸の場合

$$\tan \alpha = u_f \cdot \frac{P \cdot a \cdot b}{2 \cdot E \cdot I} = u_f \cdot 4.945 \times 10^{-5} \frac{P \cdot a \cdot b}{d^4}$$

$d$  : 軸径 (mm)  $E$  : 縦弾性係数  $2.06 \times 10^5$  (N/mm<sup>2</sup>)  $P$  : 作用荷重 (N)

$u_f$  : 両端固定支持軸の  $b/l$  値. 図17 断面二次モーメント  $I = \frac{\pi d^4}{64}$  (mm<sup>4</sup>)

$(\tan \alpha)_{\max}$ は軸径区分により表17より選出する。

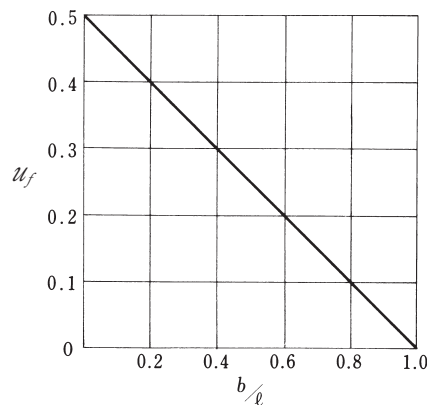
図17：係数  $u_f$  の値

表17

| 軸径 | $(\tan \alpha)_{\max}$ | 軸径 | $(\tan \alpha)_{\max}$ |
|----|------------------------|----|------------------------|
| 3  | $9.6 \times 10^{-4}$   | 16 | 6.6                    |
| 4  | 6.9                    | 20 | 7.9                    |
| 5  | 8.3                    | 25 | 4.7                    |
| 6  | 8.9                    | 30 | 5.5                    |
| 8  | 6.1                    | 35 | 4.7                    |
| 10 | 8.4                    | 40 | 5.2                    |
| 12 | 8.6                    | 50 | 5.9                    |
| 13 | 8.7                    | 60 | 6.9                    |

## 軸のたわみ計算式

| 仕 様 状 態 | 軸 の た わ み 量 (mm)   |
|---------|--|
|         | $\delta_{\max} = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} = 2.060 \times 10^{-6} \frac{P \cdot l^3}{d^4}$  |
|         | $\delta_{\max} = \frac{P \cdot l^3}{192 \cdot E \cdot I} = 5.151 \times 10^{-7} \frac{P \cdot l^3}{d^4}$   |
|         | $\delta_a = \frac{P \cdot a^2}{6 \cdot E \cdot I} (2a + 3b) = 1.648 \times 10^{-5} \frac{P \cdot a^2 (2a + 3b)}{d^4}$<br>$\delta_{\max} = \frac{P \cdot a}{24 \cdot E \cdot I} (3l^2 - 4a^2) = 4.121 \times 10^{-6} \frac{P \cdot a \cdot (3l^2 - 4a^2)}{d^4}$               |
|         | $\delta_a = \frac{P \cdot a^3}{6 \cdot E \cdot I} (2 - \frac{3a}{l}) = 1.648 \times 10^{-5} \frac{P \cdot a^3 (2 - \frac{3a}{l})}{d^4}$<br>$\delta_{\max} = \frac{P \cdot a^2}{24 \cdot E \cdot I} (2a + 3b) = 4.121 \times 10^{-6} \frac{P \cdot a^2 \cdot (2a + 3b)}{d^4}$ |
|         | $\delta_{\max} = \frac{P a^2 l}{3 \cdot E \cdot I} = 3.296 \times 10^{-5} \frac{P a^2 l}{d^4}$   |

$d$  : 軸径 (mm)  $E$  : 縦弾性係数  $2.06 \times 10^5$  (N/mm<sup>2</sup>)  $P$  : 作用荷重 (N)

断面二次モーメント  $I$  (中実軸)  $= \frac{\pi d^4}{64}$  (mm<sup>4</sup>),  $I$  (パイプ軸)  $= \frac{\pi (d^4 - d_o^4)}{64}$  (mm<sup>4</sup>)  $d_o$  : パイプ内径 (mm)

## 摩 擦

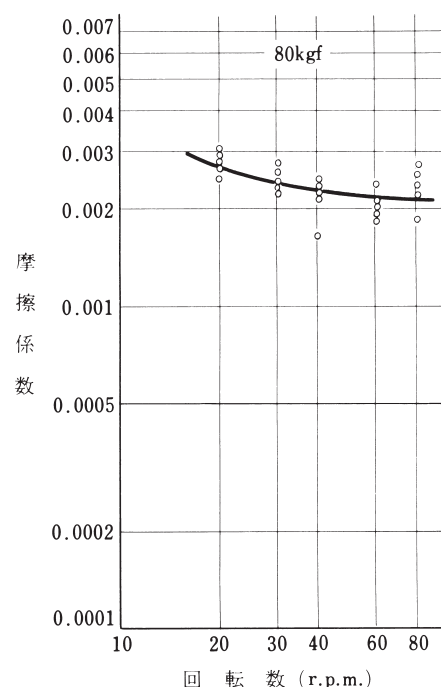


図18：回転数と摩擦係数の関係

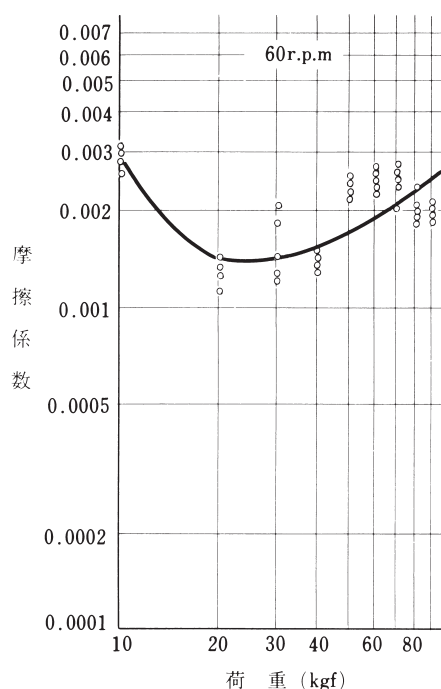


図19：荷重と摩擦係数の関係

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ですが、特に起動摩擦は格段に小さくなります。

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18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19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。

## リニアベアリングの作用荷重による変形量とヘルツ応力

図20のように1個の玉が軸と外筒間におかれ、力 $P$ をうけた場合の変形量とヘルツ応力を求める式は以下ようになります。

合計した総変形量：

$$\delta = 2.78 \times 10^{-4} P^{2/3} \left[ \left( \frac{2}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{1/3} + \left( \frac{2}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)^{1/3} \right] \quad (\text{mm}) \cdots (1)$$

ヘルツ応力：

$$\text{軸側 } \sigma_i = 857 \left( \frac{2}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{2/3} P^{1/3} \quad (\text{N/mm}^2) \cdots (2)$$

$$\text{外筒側 } \sigma_o = 857 \left( \frac{2}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)^{2/3} P^{1/3} \quad (\text{N/mm}^2) \cdots (3)$$

玉がある物体と接触しながら力 $P$ の作用をうけると、ごく小さい接触面を生じます。このような接触面は一般には図21に示すようなだ円形をしています。この小さい面に生じた圧力で力 $P$ が支えられます。この場合、接触面に生じる圧力は図示のようにだ円状態に分布するが、その中で最大の圧力値すなわち中央の圧力値をヘルツ応力といいます。一般の転がり軸受の設計では、ヘルツ応力の最大値は2800～3000MPaにとられています。

リニアベアリングは通常の場合、4～6列の玉列があり、リニアベアリングに外部から働く荷重 $F$ と各玉列に働く荷重 $P$ との間には図22のような関係があります。また、カタログに示されている基本動定格荷重 $C$ の値は、外荷重 $F$ が1つの玉列の真上に作用する場合(A)のものであるから、2つの玉列が振り分け状態で外荷重を支えるように使用した場合(B)には $C$ の値は大きくなり、カタログ値の $C$ に図22の荷重比を乗じたものとしなくてはなりません。なお、各種リニアベアリングの外荷重 $F$ に対する $\delta$ の値は、図23から求められます。

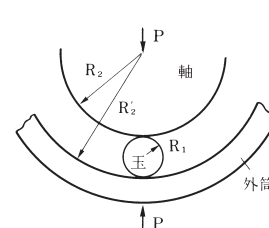


図20

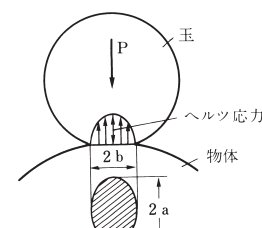


図21

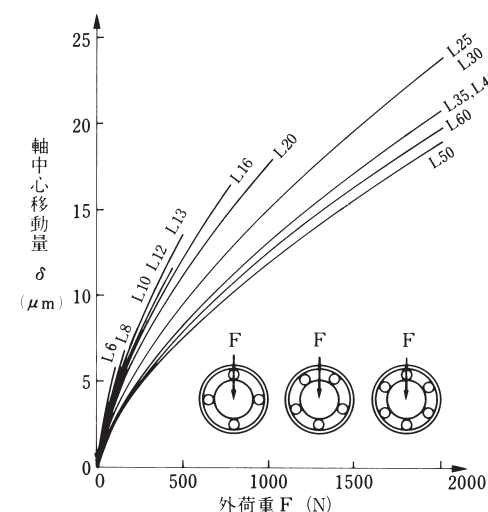


図23 (A)

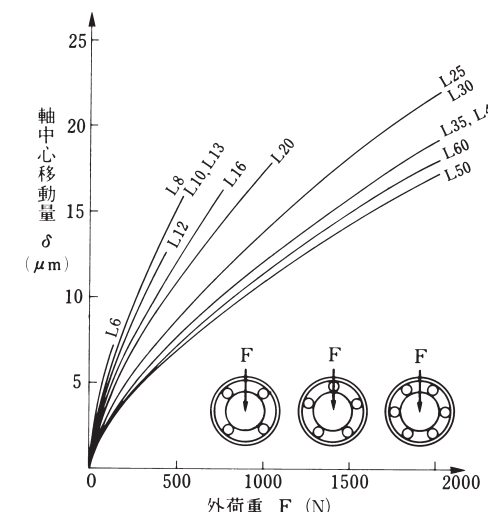


図23-(B)

| 外荷重に対する玉列の位置 | 玉 列 数              |                    |                    |
|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|              | 4列                 | 5列                 | 6列                 |
| 玉列の位置 (A)    | <br>$F = P_0$      | <br>$F = 1.106P_0$ | <br>$F = 1.354P_0$ |
| 玉列の位置 (B)    | <br>$F = 1.414P_0$ | <br>$F = 1.618P_0$ | <br>$F = 1.732P_0$ |
| 荷 重 比        | 1.414              | 1.463              | 1.280              |

図22

予圧（プリロード）

すべり軸受の中で軸が回転したり直線運動したりするためには、必ず若干のスキマが必要です。しかし、ボールやローラーのような転動体を組み込んだ案内軸受では負のスキマすなわち、シメシロがついていても、軸は軽く運動することができます。このようなことを「予圧をかける」といい、これが転がり案内軸受の大きな特長の1つになっています。適切な予圧をかけると、ガタツキは全く無くなるうえ、軸受の剛性は増大します。すなわち、作用した外力に対する変形量をかなり小さくすることができ、したがって、大きさの変動する外力が働いた場合でも、軸心はほとんど移動することなく高精度を保持できます。その理由は図24に示すように、ボールの場合、外力と変形量の関係は直線ではなく（非線形ばね特性）、始め軟らかいばねであったものが、ある程度の外力が働くと硬いばねに変化していくからです。一方、ローラーはほぼ直線形のばね特性をもつから、予圧による剛性増大効果は小さくなります。

予圧はまた、かけ過ぎると走行性能に支障をきたし摩擦が増大して温度上昇を激しくさせるほか、軸受寿命を急激に低下させますから、適切な予圧をかけることが肝要です。一般に用いられる適切な予圧荷重は、経験上軸受に作用する外力の1／3程度がよいとされています。

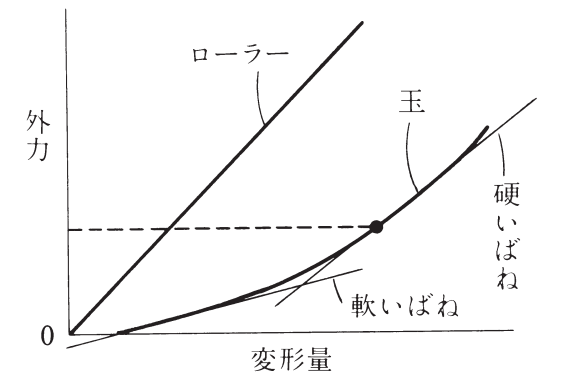


図24

ローラー

$$\delta = 0.077 \frac{Q^{0.9}}{l_a^{0.8}}$$

ボール

$$\delta = 0.79 \sqrt[3]{\frac{Q^2}{Dw}}$$

使用上の注意事項

QZAK製品をより効果的にご使用頂けますよう、主な使用上のチェックポイントをあげてみました。設計の際や、組立作業現場のチェックシートとしてご利用下さい。

- ✓モーメント荷重が作用しますとk-e線図より、お解りの通りベアリング寿命に重要な影響を与えますので、ベアリングの選定には十分注意をし、2個のベアリング間のスパンを設計上許される最大限に取って下さい。  
また必ずグリース潤滑を行って下さい。
- ✓縦軸でベアリングを使用する場合には、ベアリングを1軸に2個使用して下さい。また軸とのハメアイは緊密スキマを採用して下さい。
- ✓ベアリングをハウジングに組込む際、作用荷重方向に対してボール列を均等に振り分ける状態に配置いたしますと寿命や運転性能に大変有利です。
- ✓ベアリングと軸とのハメアイに過大な予圧（-10μm以上）が作用したり、ベアリング間の芯が大きく狂いますと、ベアリングの寿命や運転性能に悪影響を与えますので、軸を回転方向へ手動で回し表18のC<sub>1</sub>又はC<sub>2</sub>の状態かどうかチェックして下さい。
- ✓リニアベアリングは一般の転がり軸受に比べ、外筒の肉厚が薄く、複雑な構造となっておりますので、ハウジングへ組込む際は、ベアリングの両端の止メ輪を直接叩かないよう図25に示すような取付治具を使用して静かに圧入して下さい。
- ✓軸をベアリングに挿入し組付ける際には、軸端部をベアリングのリテーナや、止メ輪にぶつけないよう、十分注意して芯を合わせ組込むようにして下さい。
- ✓リニアベアリング専用軸は、ちょうど一般の転がり軸受の内輪に相当するもので、ベアリングの性能を十分に発揮するためには数多くの諸要件を満たさなくてはなりませんのでQZAK専用軸とリニアベアリングを必ずペアでご使用下さい。

表18

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

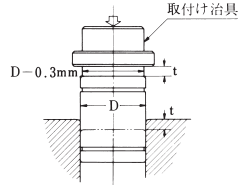
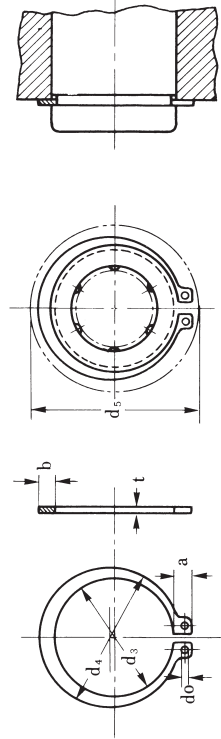


図25

常用するはめあいの寸法許容差

| 寸法の区分<br>(mm) |     | 軸の寸法許容差 |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |    |     |     |     | 穴の寸法許容差 |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |    |     |     | 単位<br>μm |    |    |  |  |   |  |  |  |   |
|---------------|-----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----|----|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|----------|----|----|--|--|---|--|--|--|---|
|               |     | f       |     |     |     | g   |     |     |     | h   |      |       |     | js |     |     |     | j       |     |     |     | k   |     |      |       | H   |     |     |     | Js  |    |     |     |          | J  |    |  |  | K |  |  |  | M |
| f5            | f6  | f7      | g5  | g6  | g7  | h5  | h6  | h7  | h8  | js5 | js6  | js7   | j5  | j6 | j7  | k5  | k6  | k7      | H5  | H6  | H7  | H8  | Js5 | Js6  | Js7   | Js8 | J6  | J7  | J8  | K6  | K7 | K8  | M6  | M7       | M8 |    |  |  |   |  |  |  |   |
| を越え以下         |     |         |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |    |     |     |     |         |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |    |     |     |          |    |    |  |  |   |  |  |  |   |
| 3             | -10 | -12     | -16 | -6  | -8  | -12 | -4  | -6  | -10 | -14 | ±2   | ±3    | ±5  | +2 | +4  | +6  | +4  | +6      | +10 | +4  | +6  | +10 | +14 | ±2   | ±3    | ±5  | ±7  | +2  | +4  | +6  | 0  | 0   | 0   | -2       | -2 | -2 |  |  |   |  |  |  |   |
| 6             | -15 | -18     | -22 | -9  | -12 | -16 | -5  | -8  | -12 | -18 | ±2.5 | ±4    | ±6  | +3 | +6  | +8  | +6  | +9      | +13 | +5  | +8  | +12 | +18 | ±2.5 | ±4    | ±6  | ±9  | +5  | +6  | +8  | +2 | +3  | +5  | -1       | 0  | +2 |  |  |   |  |  |  |   |
| 10            | -19 | -22     | -28 | -11 | -14 | -20 | -6  | -9  | -15 | -22 | ±3   | ±4.5  | ±7  | +4 | +7  | +10 | +7  | +10     | +16 | +6  | +9  | +15 | +22 | ±3   | ±4.5  | ±7  | ±11 | +5  | +8  | +12 | +2 | +5  | +6  | -3       | 0  | +1 |  |  |   |  |  |  |   |
| 14            | -24 | -27     | -34 | -14 | -17 | -24 | -8  | -11 | -18 | -27 | ±4   | ±5.5  | ±9  | +5 | +8  | +12 | +9  | +12     | +19 | +8  | +11 | +18 | +27 | ±4   | ±5.5  | ±9  | ±13 | +6  | +10 | +15 | +2 | +6  | +8  | -4       | 0  | +2 |  |  |   |  |  |  |   |
| 18            | -29 | -33     | -41 | -16 | -20 | -28 | -9  | -13 | -21 | -33 | ±4.5 | ±6.5  | ±10 | +5 | +9  | +13 | +11 | +15     | +23 | +9  | +13 | +21 | +33 | ±4.5 | ±6.5  | ±10 | ±16 | +8  | +12 | +20 | +2 | +6  | +10 | -4       | 0  | +4 |  |  |   |  |  |  |   |
| 24            | -36 | -41     | -50 | -20 | -25 | -34 | -11 | -16 | -25 | -39 | ±5.5 | ±8    | ±12 | +6 | +11 | +15 | +13 | +18     | +27 | +11 | +16 | +25 | +39 | ±5.5 | ±8    | ±12 | ±19 | +10 | +14 | +24 | +3 | +7  | +12 | -4       | 0  | +5 |  |  |   |  |  |  |   |
| 30            | -43 | -49     | -60 | -23 | -29 | -40 | -13 | -19 | -30 | -46 | ±6.5 | ±9.5  | ±15 | +6 | +12 | +18 | +15 | +21     | +32 | +13 | +19 | +30 | +46 | ±6.5 | ±9.5  | ±15 | ±23 | +13 | +18 | +28 | +4 | +9  | +14 | -5       | 0  | +5 |  |  |   |  |  |  |   |
| 40            | -51 | -58     | -71 | -27 | -34 | -47 | -15 | -22 | -35 | -54 | ±7.5 | ±11   | ±17 | +6 | +13 | +20 | +18 | +25     | +38 | +15 | +22 | +35 | +54 | ±7.5 | ±11   | ±17 | ±27 | +16 | +22 | +34 | +4 | +10 | +16 | -6       | 0  | +6 |  |  |   |  |  |  |   |
| 50            | -61 | -68     | -83 | -32 | -39 | -54 | -18 | -25 | -40 | -63 | ±9   | ±12.5 | ±20 | +7 | +14 | +22 | +21 | +28     | +43 | +18 | +25 | +40 | +63 | ±9   | ±12.5 | ±20 | ±31 | +18 | +26 | +41 | +4 | +12 | +20 | -8       | 0  | +8 |  |  |   |  |  |  |   |
| 65            | -61 | -68     | -83 | -32 | -39 | -54 | -18 | -25 | -40 | -63 | ±9   | ±12.5 | ±20 | +7 | +14 | +22 | +21 | +28     | +43 | +18 | +25 | +40 | +63 | ±9   | ±12.5 | ±20 | ±31 | +18 | +26 | +41 | +4 | +12 | +20 | -8       | 0  | +8 |  |  |   |  |  |  |   |
| 80            | -61 | -68     | -83 | -32 | -39 | -54 | -18 | -25 | -40 | -63 | ±9   | ±12.5 | ±20 | +7 | +14 | +22 | +21 | +28     | +43 | +18 | +25 | +40 | +63 | ±9   | ±12.5 | ±20 | ±31 | +18 | +26 | +41 | +4 | +12 | +20 | -8       | 0  | +8 |  |  |   |  |  |  |   |
| 100           | -61 | -68     | -83 | -32 | -39 | -54 | -18 | -25 | -40 | -63 | ±9   | ±12.5 | ±20 | +7 | +14 | +22 | +21 | +28     | +43 | +18 | +25 | +40 | +63 | ±9   | ±12.5 | ±20 | ±31 | +18 | +26 | +41 | +4 | +12 | +20 | -8       | 0  | +8 |  |  |   |  |  |  |   |
| 120           | -61 | -68     | -83 | -32 | -39 | -54 | -18 | -25 | -40 | -63 | ±9   | ±12.5 | ±20 | +7 | +14 | +22 | +21 | +28     | +43 | +18 | +25 | +40 | +63 | ±9   | ±12.5 | ±20 | ±31 | +18 | +26 | +41 | +4 | +12 | +20 | -8       | 0  | +8 |  |  |   |  |  |  |   |
| 140           | -61 | -68     | -83 | -32 | -39 | -54 | -18 | -25 | -40 | -63 | ±9   | ±12.5 | ±20 | +7 | +14 | +22 | +21 | +28     | +43 | +18 | +25 | +40 | +63 | ±9   | ±12.5 | ±20 | ±31 | +18 | +26 | +41 | +4 | +12 | +20 | -8       | 0  | +8 |  |  |   |  |  |  |   |
| 160           | -61 | -68     | -83 | -32 | -39 | -54 | -18 | -25 | -40 | -63 | ±9   | ±12.5 | ±20 | +7 | +14 | +22 | +21 | +28     | +43 | +18 | +25 | +40 | +63 | ±9   | ±12.5 | ±20 | ±31 | +18 | +26 | +41 | +4 | +12 | +20 | -8       | 0  | +8 |  |  |   |  |  |  |   |
| 180           | -61 | -68     | -83 | -32 | -39 | -54 | -18 | -25 | -40 | -63 | ±9   | ±12.5 | ±20 | +7 | +14 | +22 | +21 | +28     | +43 | +18 | +25 | +40 | +63 | ±9   | ±12.5 | ±20 | ±31 | +18 | +26 | +41 | +4 | +12 | +20 | -8       | 0  | +8 |  |  |   |  |  |  |   |



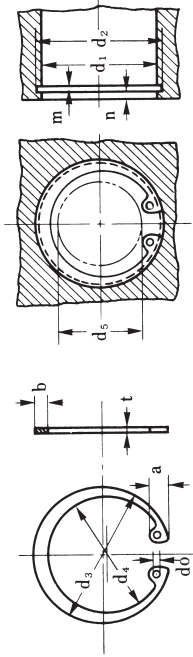


リニアベアリング 外径用止め輪寸法表

d5は、ベアリングにはめるときの最大径。

| リニアベアリング<br>呼び番号 | 呼び径 | J I S |   | 磐田電工 |   | d <sub>3</sub> |       | t     |       | b     | a   | d <sub>5</sub> |       |    |
|------------------|-----|-------|---|------|---|----------------|-------|-------|-------|-------|-----|----------------|-------|----|
|                  |     | C     | 形 | C    | 形 | 基準寸法           | 許容差   | 基準寸法  | 許容差   |       |     | 最              | 小     |    |
| L5               | 10  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 9.3            | ±0.15 | 1     | ±0.05 | 1.6   | 3   | 1.2            | 17    |    |
| L6,LE6           | 12  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 11.1           | ±0.18 |       |       | 1.2   | 1.8 | 3.2            | 1.5   | 19 |
| L8A,L8B          | 15  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 13.8           |       |       |       |       | 2.1 | 3.5            | 23    |    |
| LE8              | 16  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 14.7           |       |       |       |       |     | 2.2            | 3.6   | 24 |
| L10,LE10         | 19  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 17.5           | ±0.2  | 1.6   | ±0.06 |       | 2.7 | 3.8            | 2     | 27 |
| L12              | 21  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 19.5           |       |       |       | 2.7   | 4   | 30             |       |    |
| LE12             | 22  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 20.5           |       |       |       | 2.7   | 4.1 | 31             |       |    |
| L13              | 23  | —     | — | —    | — | 21.5           |       |       |       | 2.7   | 4.1 | 32             |       |    |
| LE16             | 26  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 24.2           | ±0.4  | ±0.06 | 3.1   | 4.4   | 2.5 | 35             |       |    |
| L16              | 28  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 25.9           |       |       | 3.1   | 4.6   |     | 38             |       |    |
| L20,LE20         | 32  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 29.6           |       |       | 3.5   | 5     |     | 43             |       |    |
| L25A,L25B,LE25   | 40  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 37             |       |       | 4.5   | 5.8   |     | 53             |       |    |
| L30              | 45  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 41.5           | ±0.4  | 1.8   | ±0.07 | 4.8   | 6.3 | 2.5            | 58    |    |
| LE30             | 48  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 44.5           |       |       |       | 4.8   | 6.5 |                | 61    |    |
| L35              | 52  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 47.8           |       |       |       | 5     | 6.8 |                | 66    |    |
| L40              | 60  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 55.8           |       |       |       | 5.5   | 7.2 |                | 75    |    |
| LE40             | 62  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 57.8           | ±0.45 | 2     | ±0.08 | 5.5   | 7.2 | 3              | 77    |    |
| LE50             | 75  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 70.5           |       |       |       | 7     | 7.9 |                | 93    |    |
| L50              | 80  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 74.5           |       |       |       | 7.4   | 8.2 |                | 97    |    |
| L60              | 90  | ◎     | ◎ | ◎    | ◎ | 84.5           |       |       |       | ±0.55 | 3   |                | ±0.09 | 8  |

※表中の◎は使用できかつ表記の寸法であることを、○は使用できることを、—は該当品が無いことを示す。



d5は、穴にはめるときの内周の最小径。

リニアベアリング ハウジング用止め輪寸法表

| リニア<br>ベアリング<br>呼び番号 | 呼<br>び<br>径 | JIS<br>C形 | 磐田<br>電工<br>O形 | d <sub>3</sub> |                | t       |       | b   | a    | d <sub>5</sub> |      | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> |            | m          |         | n    |            |      |
|----------------------|-------------|-----------|----------------|----------------|----------------|---------|-------|-----|------|----------------|------|----------------|----------------|------------|------------|---------|------|------------|------|
|                      |             |           |                | 基準寸法           | 許 容 差          | 基 準 寸 法 | 許 容 差 |     |      | 約              | 約    |                | 最 小            | 基 準 寸 法    | 許 容 差      | 基 準 寸 法 |      | 許 容 差      |      |
| L3                   | 7           | —         | ◎              | 7.5            | +0.12<br>-0.05 | ±0.03   | 0.4   | —   | —    | 4.3            | 7    | 7              | 7.4            | ±0.05      | +0.05<br>0 | 1.0     |      |            |      |
| L4                   | 8           | —         | ◎              | 8.7            | —              |         | —     | 0.8 | 5.3  | 8              | 8    | 8              | 8.5            | 0.45       |            |         |      |            |      |
| L5                   | 10          | —         | ◎              | 10.8           | +0.25<br>-0.12 |         | 0.65  | —   | —    | 6.6            | 10   | 10             | 10.6           | ±0.07      |            |         | 0.73 |            |      |
| L6,LE6               | 12          | —         | ◎              | 12.7           | —              |         | —     | 1.2 | 7.6  | 12             | 12   | 12             | 12.5           | 1.15       |            |         |      |            |      |
| L8A,L8B              | 15          | ◎         | ○              | 16.2           | ±0.18          | ±0.05   | 1     | 2   | 3.6  | 8              | 15   | 15             | 15.7           | +0.11<br>0 | 1.35       | 2       |      |            |      |
| LE8                  | 16          | ◎         | ○              | 17.3           |                |         |       | 2   | 3.7  | 8              | 16   | 16             | 16             |            |            |         | 16.8 | +0.21<br>0 |      |
| L10,LE10             | 19          | ◎         | ○              | 20.5           |                |         |       | 2.5 | 4    | 11             | 19   | 20             | 20             |            |            |         | 20   |            | 1.95 |
| L12                  | 21          | ◎         | ○              | 22.5           |                |         |       | 2.5 | 4.1  | 12             | 21   | 22             | 22             |            |            |         | 22   |            |      |
| LE12                 | 22          | ◎         | ○              | 23.5           | 2.5            | 4.1     | 13    | 22  | 23   | 23             | 23   | 2.7            |                |            |            |         |      |            |      |
| L13                  | 23          | —         | ○              | 24.6           | 2.5            | 4.3     | 14    | 23  | 24   | 24             | 24   |                | +0.35<br>0     |            |            |         |      |            |      |
| LE16                 | 26          | ◎         | ○              | 27.9           | 3              | 4.6     | 16    | 26  | 27.2 | 27.2           | 27.2 |                |                | +0.14<br>0 |            |         |      |            |      |
| L16                  | 28          | ◎         | ○              | 30.1           | 3              | 4.6     | 18    | 28  | 29.4 | 29.4           | 29.4 |                |                |            | 2.5        |         |      |            |      |
| L20,LE20             | 32          | ◎         | ○              | 34.4           | 3.5            | 5.2     | 21    | 32  | 33.7 | 33.7           | 33.7 | 2              |                |            |            |         |      |            |      |
| L25A,L25B,LE25       | 40          | ◎         | ○              | 43.5           | 4              | 5.7     | 28    | 40  | 42.5 | 42.5           | 42.5 |                | 2.7            |            |            |         |      |            |      |
| L30                  | 45          | ◎         | ○              | 48.5           | 4.5            | 5.9     | 33    | 45  | 47.5 | 47.5           | 47.5 |                |                | 2.5        |            |         |      |            |      |
| LE30                 | 47          | ◎         | ○              | 50.5           | 4.5            | 6.1     | 34    | 47  | 49.5 | 49.5           | 49.5 |                |                |            | 3          |         |      |            |      |
| L35                  | 52          | ◎         | ○              | 56.2           | 5.1            | 6.5     | 39    | 52  | 55   | 55             | 55   | +0.18<br>0     |                |            |            |         |      |            |      |
| L40                  | 60          | ◎         | ○              | 64.2           | 5.5            | 6.8     | 46    | 60  | 63   | 63             | 63   |                | 3              |            |            |         |      |            |      |
| LE40                 | 62          | ◎         | ○              | 66.2           | 5.5            | 6.9     | 48    | 62  | 65   | 65             | 65   |                |                | 3          |            |         |      |            |      |
| LE50                 | 75          | ◎         | ○              | 79.5           | 6.6            | 7.8     | 60    | 75  | 78   | 78             | 78   |                |                |            | 3          |         |      |            |      |
| L50                  | 80          | ◎         | ○              | 85.5           | 7              | 8       | 64    | 80  | 83.5 | 83.5           | 83.5 | 3              |                |            |            |         |      |            |      |
| L60                  | 90          | ◎         | ○              | 95.5           | ±0.09          | 7.6     | 8.3   | 73  | 90   | 90             | 90   |                | 3              |            |            |         |      |            |      |
|                      |             |           |                |                | 3              |         |       |     |      |                |      |                |                | 3          |            |         |      |            |      |
|                      |             |           |                |                |                |         |       |     |      |                |      |                |                |            | 3          |         |      |            |      |
|                      |             |           |                |                |                |         |       |     |      |                |      | 3              |                |            |            |         |      |            |      |

※表中の◎は使用できかつ表記の寸法であることを、○は使用できることを、—は該当品が無いことを示す。

硬 さ 換 算 表

| ロックウェル<br>Cスケール硬さ<br>H <sub>RC</sub> (荷重150kgf) | ビッカース<br>硬 さ<br>H <sub>V</sub> | ブリネルかたさH <sub>B</sub><br>10mm球, 荷重3000kgf |                  | ロックウェル硬さ                                       |  | シ ョ ア<br>硬 さ<br>H <sub>S</sub> |
|---|--------------------------------|---|------------------|--|--|--------------------------------|
|   |                                | 標 準 球                                     | タングステン<br>カーバイト球 | H <sub>RA</sub><br>Aスケール<br>荷重60kgf<br>barle圧力 | H <sub>RB</sub><br>Bスケール<br>荷重100kgf<br>径1/16in球 |                                |
| 68  | 940                            | —   | —                | 85.6   | —  | 97                             |
| 67  | 900                            | —   | —                | 85.0   | —  | 95                             |
| 66  | 865                            | —   | —                | 84.5   | —  | 92                             |
| 65  | 832                            | —   | 739              | 83.9   | —  | 91                             |
| 64  | 800                            | —   | 722              | 83.4   | —  | 88                             |
| 63  | 772                            | —   | 705              | 82.8   | —  | 87                             |
| 62  | 746                            | —   | 688              | 82.3   | —  | 85                             |
| 61  | 720                            | —   | 670              | 81.8   | —  | 83                             |
| 60  | 697                            | —   | 654              | 81.2   | —  | 81                             |
| 59  | 674                            | —   | 634              | 80.7   | —  | 80                             |
| 58  | 653                            | —   | 615              | 80.1   | —  | 78                             |
| 57  | 633                            | —   | 595              | 79.6   | —  | 76                             |
| 56  | 613                            | —   | 577              | 79.0   | —  | 75                             |
| 55  | 595                            | —   | 560              | 78.5   | —  | 74                             |
| 54  | 577                            | —   | 543              | 78.0   | —  | 72                             |
| 53  | 560                            | —   | 525              | 77.4   | —  | 71                             |
| 52  | 544                            | 500                                       | 512              | 76.8   | —  | 69                             |
| 51  | 528                            | 487                                       | 496              | 76.3   | —  | 68                             |
| 50  | 513                            | 475                                       | 481              | 75.9   | —  | 67                             |
| 49  | 498                            | 464                                       | 469              | 75.2   | —  | 66                             |
| 48  | 484                            | 451                                       | 455              | 74.7   | —  | 64                             |
| 47  | 471                            | 442                                       | 443              | 74.1   | —  | 63                             |
| 46  | 458                            | 432                                       | 432              | 73.6   | —  | 62                             |
| 45  | 446                            | 421                                       | 421              | 73.1   | —  | 60                             |
| 44  | 434                            | 409                                       | 409              | 72.5   | —  | 58                             |
| 43  | 423                            | 400                                       | 400              | 72.0   | —  | 57                             |
| 42  | 412                            | 390                                       | 390              | 71.5   | —  | 56                             |
| 41  | 402                            | 381                                       | 381              | 70.9   | —  | 55                             |
| 40  | 392                            | 371                                       | 371              | 70.4   | —  | 54                             |
| 39  | 382                            | 362                                       | 362              | 69.9   | —  | 52                             |
| 38  | 372                            | 353                                       | 353              | 69.4   | —  | 51                             |
| 37  | 363                            | 344                                       | 344              | 68.9   | —  | 50                             |
| 36  | 354                            | 336                                       | 336              | 68.4   | (109.0)  | 49                             |
| 35  | 345                            | 327                                       | 327              | 67.9   | (108.5)  | 48                             |
| 34  | 336                            | 319                                       | 319              | 67.4   | (108.0)  | 47                             |
| 33  | 327                            | 311                                       | 311              | 66.8   | (107.5)  | 46                             |
| 32  | 318                            | 301                                       | 301              | 66.3   | (107.0)  | 44                             |
| 31  | 310                            | 294                                       | 294              | 65.8   | (106.0)  | 43                             |
| 30  | 302                            | 286                                       | 286              | 65.3   | (105.5)  | 42                             |
| 29  | 294                            | 279                                       | 279              | 64.7   | (104.5)  | 41                             |
| 28  | 286                            | 271                                       | 271              | 64.3   | (104.0)  | 41                             |
| 27  | 279                            | 264                                       | 264              | 63.8   | (103.0)  | 40                             |
| 26  | 272                            | 258                                       | 258              | 63.3   | (102.5)  | 38                             |
| 25  | 266                            | 253                                       | 253              | 62.8   | (101.5)  | 38                             |
| 24  | 260                            | 247                                       | 247              | 62.4   | (101.0)  | 37                             |
| 23  | 254                            | 243                                       | 243              | 62.0   | 100.0  | 36                             |
| 22  | 248                            | 237                                       | 237              | 61.5   | 99.0   | 35                             |
| 21  | 243                            | 231                                       | 231              | 61.0   | 98.5   | 35                             |
| 20  | 238                            | 226                                       | 226              | 60.5   | 97.8   | 34                             |
| (18)  | 230                            | 219                                       | 219              | —  | 96.7   | 33                             |
| (16)  | 222                            | 212                                       | 212              | —  | 95.5   | 32                             |
| (14)  | 213                            | 203                                       | 203              | —  | 93.9   | 31                             |
| (12)  | 204                            | 194                                       | 194              | —  | 92.3   | 29                             |
| (10)  | 196                            | 187                                       | 187              | —  | 90.7   | 28                             |
| ( 8 )   | 188                            | 179                                       | 179              | —  | 89.5   | 27                             |
| ( 6 )   | 180                            | 171                                       | 171              | —  | 87.1   | 26                             |
| ( 4 )   | 173                            | 165                                       | 165              | —  | 85.5   | 25                             |
| ( 2 )   | 166                            | 158                                       | 158              | —  | 83.5   | 24                             |
| ( 0 )   | 160                            | 152                                       | 152              | —  | 81.7   | 24                             |

六角穴付ボルトとバネ座金組合せ寸法表

| ねじの呼び<br>d | ピッチ<br>P | Do   | D   | Ho   | H  | t   | ℓ   |     | ねじの<br>下穴径 |
|------------|----------|------|-----|------|----|-----|-----|-----|------------|
|            |          |      |     |      |    |     | 最 小 | 最 大 |            |
| M3         | 0.5      | 5.9  | 5.5 | 3.7  | 3  | 0.7 | 4   | 20  | 2.6        |
| M4         | 0.7      | 7.6  | 7   | 5    | 4  | 1   | 4   | 25  | 3.4        |
| M5         | 0.8      | 9.2  | 8.5 | 6.3  | 5  | 1.3 | 8   | 32  | 4.3        |
| M6         | 1        | 12.2 | 10  | 7.5  | 6  | 1.5 | 10  | 50  | 5.1        |
| M8         | 1.25     | 15.4 | 13  | 10   | 8  | 2   | 12  | 100 | 6.9        |
| M10        | 1.5      | 18.4 | 16  | 12.5 | 10 | 2.5 | 14  | 125 | 8.6        |
| M12        | 1.75     | 21.5 | 18  | 15   | 12 | 3   | 18  | 125 | 10.4       |
| (M14)      | 2        | 24.5 | 21  | 17.5 | 14 | 3.5 | 20  | 160 | 12.2       |
| M16        | 2        | 28   | 24  | 20   | 16 | 4   | 25  | 160 | 14.2       |
| (M18)      | 2.5      | 31   | 27  | 22.6 | 18 | 4.6 | 28  | 180 | 15.7       |
| M20        | 2.5      | 33.8 | 30  | 25.1 | 20 | 5.1 | 35  | 180 | 17.7       |

削り加工寸法の普通許容差 (JIS B 0405 - 1991) 単位 : mm

| 公差等級 (記号)     | 精 級   | 中 級  | 粗 級  | 極粗級  |
|---------------|-------|------|------|------|
| 寸法の区分         | f     | m    | c    | v    |
| 0.5以上3以下      | ±0.05 | ±0.1 | ±0.2 | —    |
| 3を超え6以下       |       |      |      | ±0.5 |
| 6を超え30以下      | ±0.1  | ±0.2 | ±0.5 | ±1   |
| 30を超え120以下    | ±0.15 | ±0.3 | ±0.8 | ±1.5 |
| 120を超え400以下   | ±0.2  | ±0.5 | ±1.2 | ±2.5 |
| 400を超え1000以下  | ±0.3  | ±0.8 | ±2   | ±4   |
| 1000を超え2000以下 | ±0.5  | ±1.2 | ±3   | ±6   |
| 2000を超え4000以下 | —     | ±2   | ±4   | ±8   |

重量算出式 (鉄鋼基準) 単位 : mm

● 中実軸

$$W \text{ (kgf/m)} = r^2 \times 0.02466$$

● 中空軸

$$W \text{ (kgf/m)} = (D - t) \times t \times 0.02466$$

● 板

$$W \text{ (kgf)} = W \times t \times L \times 7.9 \times 10^{-6}$$

(参考) アルミ重量 ÷ 鉄鋼重量 × 0.35