

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

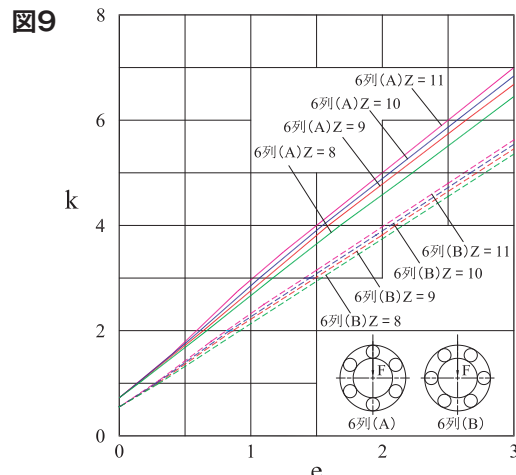
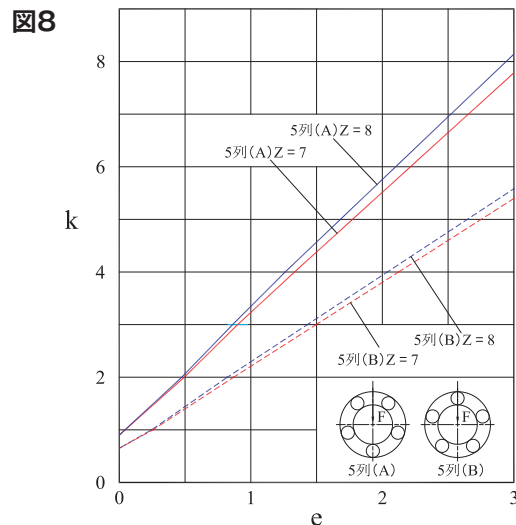
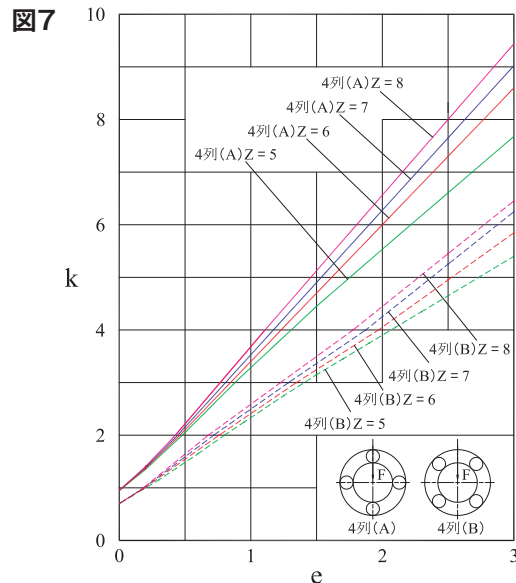
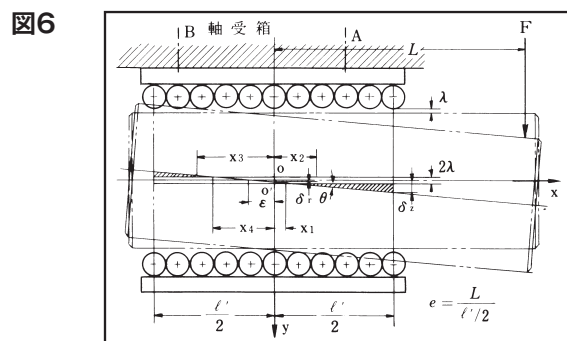
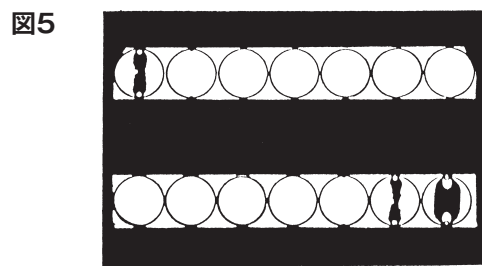
リニアベアリング、リニアガイド、ボールスプライン等の直動軸受にモーメント荷重が作用すると、図5に示すような軌道面エッジ部に応力集中が作用し不均一な負荷分布状態となります。一般的に採用されているISO14728-1で規格化された等価荷重による理論的に均一な負荷分布状態で計算された寿命より遥かに短くなります。

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倍以下におさえて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。



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

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

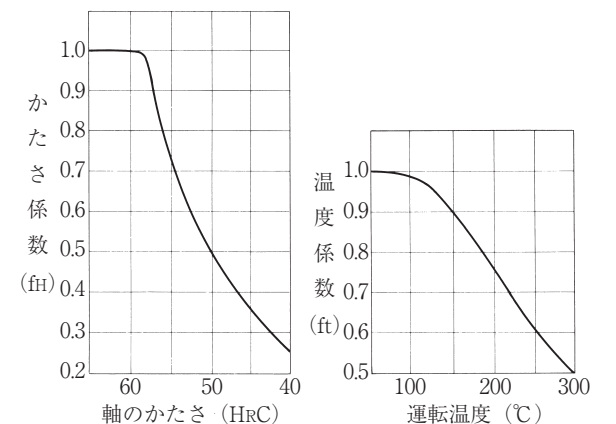


図10：硬さ係数 f_H 図11：温度係数 f_t

ボール列の配置状態	ボール列数		
	4列	5列	6列
荷重に対する			
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 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 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 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 $\times 10^6 rev$ 、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_{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（ γ ）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。

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

- 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_{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

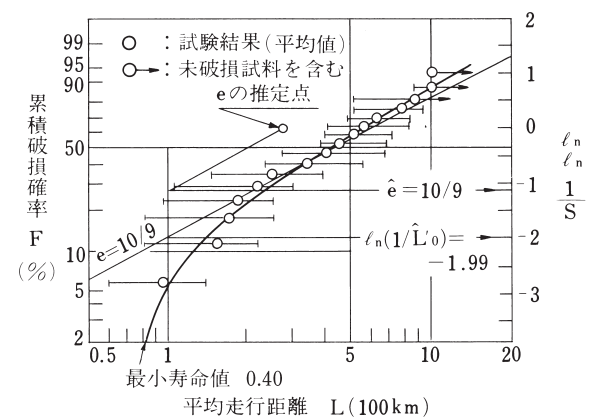
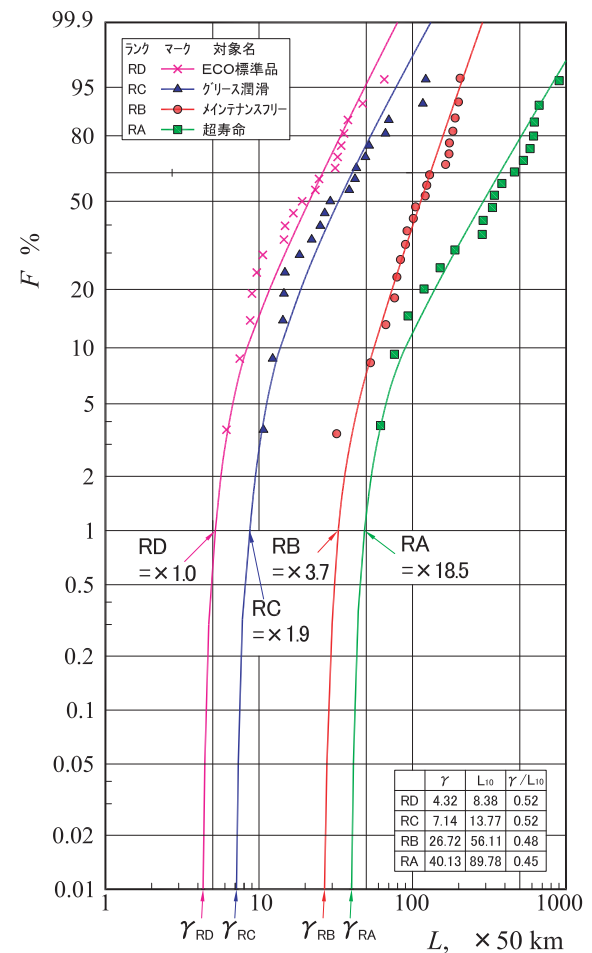


図14



	γ	L_{10}	γ/L_{10}
RD	4.32	8.38	0.52
RC	7.14	13.77	0.52
RB	26.72	56.11	0.48
RA	40.13	89.78	0.45

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)

$$C = bm \cdot fc \cdot Ki \cdot It^{1/30} \cdot Zt^{2/3} \cdot Dw^{2.1} \quad \text{式4}$$

$$C_o = f_o \cdot k_{oi} \cdot Zt \cdot Dw^2$$

リニアガイド (ISO14728-1, 2)

$$C = bm \cdot fc \cdot It^{1/30} \cdot it^{0.7} \cdot Zt^{2/3} \cdot Dw^{2.1} \cdot \cos \alpha \quad \text{式5}$$

$$C_o = f_o \cdot it \cdot Zt \cdot Dw^2 \cdot \cos \alpha$$

ボールネジ (ISO3408-5)

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

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

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

ボールスプライン (ISO23848-2)

$$C = bm \times fc \times It^{1/30} \times it^{0.7} \times Zt^{2/3} \times Dw^{2.1} \times \cos \alpha \quad C_o = f_o \times it \times Zt \times Dw^2 \times \cos \alpha$$

$$C_T = \frac{Dpw}{2} \times bm \times fc \times It^{1/30} \times it^{0.7} \times Zt^{2/3} \times Dw^{2.1} \times \sin \beta \quad C_{0T} = \frac{Dpw}{2} \times f_o \times it \times Zt \times Dw^2 \times \sin \beta \quad \text{式7}$$

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。

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

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

$I_s \leq H_s$

H_s : OZAK指定の最小ストローク 表3

I_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 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

I_s/H_s	1	0.5	0.13	0.05
f_s	1	0.97	0.93	0.85

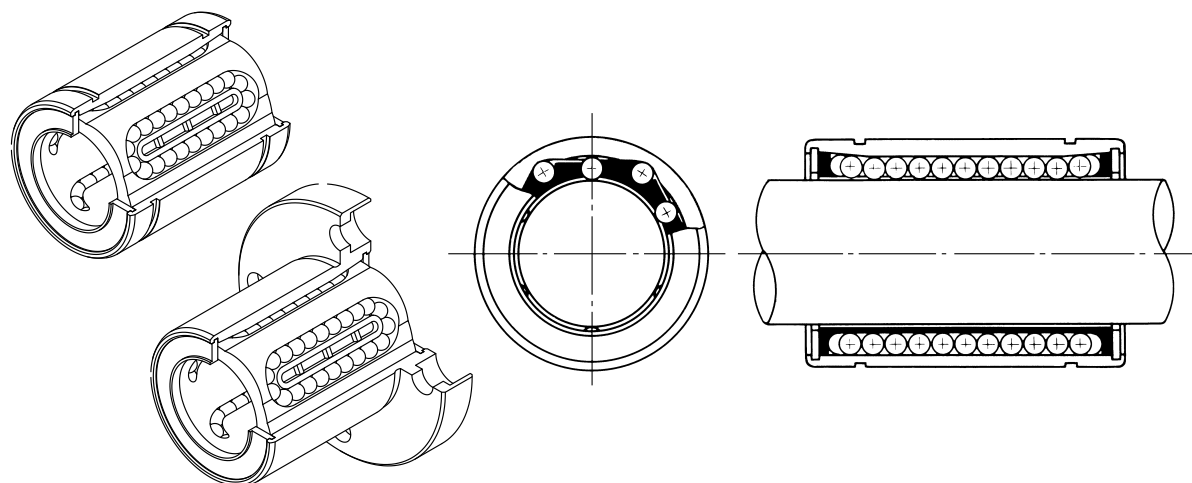


図26

リニアベアリングの構造と特長



リニアベアリングは図26のように外筒の内側に保持器をとりつけ、その保持器内を多数のボールが極めて円滑に無限循環運動を行うような構造になっております。保持器は外筒の両端に止め輪やシールによって固定されその各ボール循環路には一方の直線部分に切欠き窓が設けてあり、この部分の負荷域ボールが軸と転がり接触しながら非常に低い転がり摩擦で相対運動を行いますので、自動省力化機器、省エネルギー機器等には最も適し、又コンパクトでスマートな直線運動機構を得ることができ、機械の小型化、軽量化を図ることができます。

①OZAKリニアベアリングには以下のような特長があります。

●豊富な種類

OZAKリニアベアリングにはあらゆる使用に対応する、シングル、ダブル、トリプル長さやそれらに対応した丸形、角形、小判形フランジ付、ベアリングユニット、防錆タイプ、各種グリース入り、メンテナンスフリー、そして過酷な使用条件下に耐え得る超寿命ウルトラシリーズ等を取り揃えております。

●ランク区分による高信頼性から低コストまで

超寿命 (RankA) からメンテナンスフリー (RankB) 各種グリース入り (RankC), スタンダード (RankD) まで、要求される信頼性別に区分され、又近年益々要求されるコストダウンに対応するエコシリーズ (ECO) を揃えております。

●防錆シリーズ

外筒には特殊な防錆処理を施し、ステンレス鋼よりはるかに防錆効果が高く、コストダウンが図れるシリーズで、全機種に対応いたします。錆を嫌う環境には最適です。

●給油穴付シリーズ

リニアベアリングには、長期の寿命、特に24時間フル稼働時における寿命の安定化を図るためには定期的な潤滑の補給が不可欠です。OZAKでは、これらの要求に対応する給油穴付リニアベアリングを揃え、外筒外周面に各ボール配列数に等しい油穴数を設けたOZAK独自の設計により全ボール列に完全給油またはグリース潤滑が行きわたる方式を採用しておりますので安定した長期の寿命を得ることができます。

●メンテナンスフリーシリーズ

リニアベアリング外筒の両端にOZAK独自の設計による一体化された特殊重複シール構造により外部へのグリース漏れを大幅に防止しクリーンな環境維持と長期寿命の安定化を図ることができます。

●超寿命ウルトラシリーズ

リニアベアリングには、片持モーメント荷重が作用する使用例が数多くあり、偏負荷分布による早期破損問題を解消するため、過酷な使用条件下においても安定した寿命が確保できる超寿命ウルトラシリーズを開発いたしました。自動化設備の定期メンテナンスコストの削減を図ることができます。

リニアベアリングの種類と型番記号／ランク別対応表

○印：対応

外観形状	全長区分	断面形状 Page	フランジ形状	型番記号	RankD 標準	RankC グリース入り	RankB MF メイン メンテナンス フリー	RankA U 超寿命 ウルトラ	ECO コスト 削減	M 防錆 シリーズ	ボルト 付	C クランプ 付	
ストレート	シングル	標準 P-64	円筒	L	○	○	○	○	○	○			
		油穴付 P-67	円筒	L-OH	○	○		○		○			
	ダブル	標準 P-70	円筒	LD	○	○	○	○		○			
		油穴付 P-71	円筒	LD-OH	○	○		○		○			
フランジ付	シングル	標準 P-72	丸形 角形 小判	LF LFK LFT	○	○	○	○	○	○	○		
		油穴付 P-94	角形	LFK-OH	○	○		○		○	○		
		ポストフランジ P-75	丸形 角形 小判	LFB LFKB LFTB	○	○	○	○		○	○		
	ダブル	標準 P-78	丸形 角形 小判	LFD LFDK LFDT	○	○	○	○	○	○	○	○	
		油穴付 P-95	角形	LFDK-OH	○	○		○		○	○		
		ポストフランジ P-81	丸形 角形 小判	LFDB LFDKB LFDTB	○	○	○	○		○	○		
		センターフランジ P-84	丸形 角形 小判	LFDC LFDKC LFDTC	○	○	○	○		○	○		
	ロング	標準油穴付 P-88	丸形 角形	LFL LFLK	○	○	○	○		○	○		
		ポストフランジ油穴付 P-90	丸形 角形	LFLB LFLKB	○	○	○	○		○	○		
		センターフランジ油穴付 P-92	丸形 角形	LFLC LFLKC	○	○	○	○		○	○		

リニアベアリングの種類と型番記号／ランク別対応表 ○印：対応

外観形状	全長区分	断面形状 Page	フランジ形状	型番記号	RankD	RankC	RankB	RankA	ECO	M	C		
					標準	グリース入	MF メンテナンスフリー	U 超寿命ウルトラ	コスト削減	防錆シリーズ	ボルト付	クランプ付	
フランジ型 アルミ ケース ユニット	ダブル	標準 P-96		丸形 角形 LFW LFWK	○	○	K フランジ ○	○		○	○	○	
		油穴付 P-98		丸形 角形 LFW-OH LFWK-OH	○	○		○		○	○	○	
		ボス フランジ 油穴付 P-100		小判	LFWB	○	○	○	○		○	○	○
	ロング	油穴付 P-101		角形	LFWL	○	○	○	○		○	○	○
		ボス フランジ 油穴付 P-102		角形	LFWLB	○	○	○	○		○	○	○
		箱形 アルミ ケース ユニット	シングル C型 コンパクト P-118		箱形	CH	○	○	○	○		○	○
ダブル C型 コンパクト P-119			箱形	CHW	○	○	○	○		○	○		
シングル	H型 P-120			箱形	LH LH-B	○	○	○	○		○	○	
	H型 油穴付 P-122		箱形	LH-OH	○	○		○		○	○		
	ダブル H型 油穴付 P-124		箱形	LHW LHW-B	○	○	○	○		○	○		

リニアベアリングの種類と型番記号／ランク別対応表 ○印：対応

外観形状	全長区分	断面形状 Page	フランジ形状	型番記号	RankD	RankC	RankB	RankA	ECO	M	C	
					標準	グリース入	MF メンテナンスフリー	U 超寿命ウルトラ	コスト削減	防錆シリーズ	ボルト付	クランプ付
鋳物 ブロック ユニット	シングル	ピロー ブロック P-126		箱形	PB	○	○	○			○	
リニア ユニット	セット	油穴付 P-132		リブ型	LU	○	○	○		○		
	シングル	油穴付 P-129		リブ型	LUF	○	○	○		○		
	ダブル	油穴付 P-128		リブ型	LUFD	○	○	○		○		
	シャフト ブロック	2軸用 P-130		リブ型	LUB							

呼び型番記号について

〈例〉 U M LFDKC 20-UU G MF

記号	説明	記号	説明
U	U：ウルトラシリーズ	LFL	FL：ロング丸形フランジ付
M	M：防錆シリーズ	LFDKB	B：ボスフランジ位置
L	L：リニアベアリング	LFDKC	C：センターフランジ位置
LF	F：シングル丸形フランジ付	-UU	UU：両シール付
LFD	D：ダブル丸形フランジ付	-OH	OH：油穴付
LFDK	K：ダブル角形フランジ付	G	G：グリース入
LFDT	T：ダブル小判形フランジ付	MF	MF：メンテナンスフリー

ハメアイ QZAK

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19の通りです。

表19 単位：mm

ベアリング	軸		ハウジング			
	軸径	普通スキマ f6~g6	緊密スキマ h6	穴径	スキマバメ H7	トマリバメ J7
Lシリーズ	5		0	10	+0.018	+0.010
	6		-0.009	12	0	-0.008
	8	-0.010		15		
	10	-0.019		19	+0.021	+0.012
	12		0	21	0	-0.009
	16		-0.011	28		
	20	-0.010	0	32	+0.025	+0.014
	25	-0.021	-0.013	40	0	-0.011
	30			45		
	35			47		
	40	-0.012	0	52	+0.030	+0.018
	50	-0.025	-0.016	60	0	-0.012
LEシリーズ	60	-0.015	0	90	+0.035	+0.022
		-0.031	-0.019	120	0	-0.013
LEシリーズ		h6	k6		H7	J7

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) スキマを無くすため予圧（プリロード）を付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20

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回る	0~+10μm
C ₂	軸は手で回転方向にやや重い回る	0~-10μm
C ₃	軸は手で回転方向に廻らない (NG)	-10μm以上

取付け QZAK

ベアリングの代表的な取付け例を図27~図31に示します。

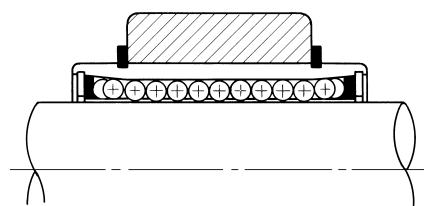


図27：ベアリングの取付け溝にストップリングで固定する方法

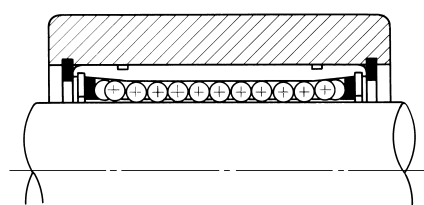


図28：ハウジング内径溝にストップリングで固定する方法

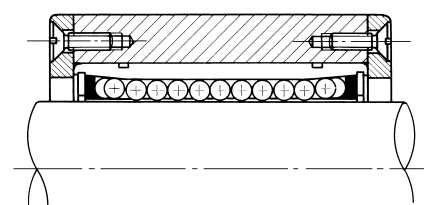


図29：ハウジング両端に止め板で固定する方法

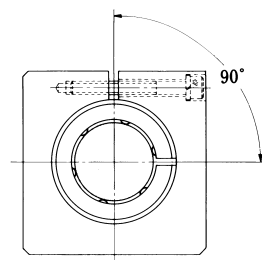


図30：ADJ型固定方法（スキマ調整が可能）

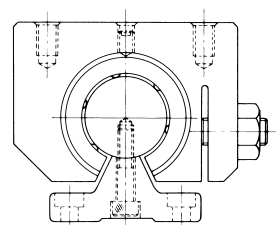


図31：OP型固定方法（スキマ調整が可能）

取付け上の注意事項 QZAK

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め輪を、直接叩かないようにして下さい。そして図32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。

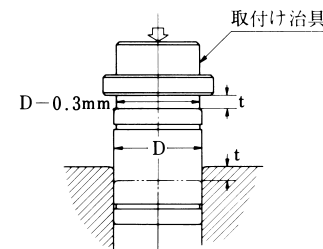


図32

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や止め輪にぶつけないよう、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れ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芯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33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33：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 QZAK

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34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。

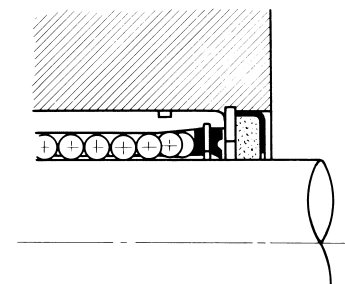


図34：ダブルシール密閉方式

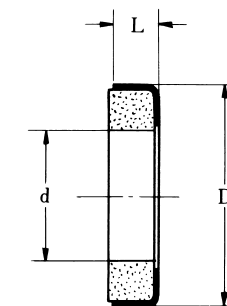
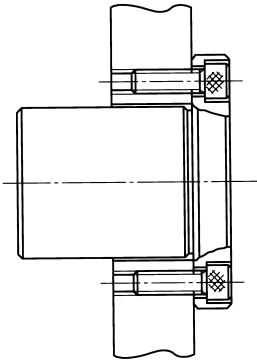


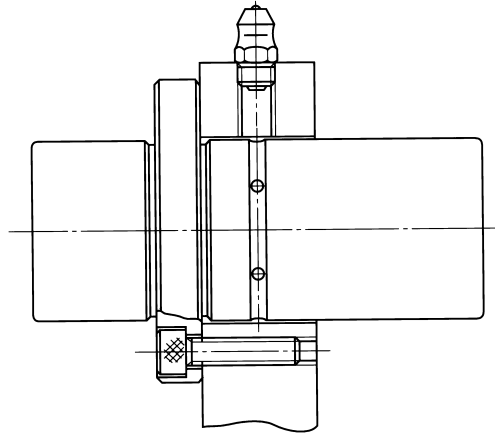
表21：フェルトシール寸法表

型番	主要寸法 (mm)			適用 リニアベアリング
	d	D	L	
FS-6	6	12	2	L6
FS-8	8	15	2	L8A・B
FS-10	10	19	3	L10
FS-12	12	21	3	L12
FS-13	13	23	3	L13
FS-16	16	28	4	L16
FS-20	20	32	4	L20
FS-25	25	40	5	L25A・B
FS-30	30	45	5	L30
FS-35	35	52	5	L35
FS-40	40	60	5	L40
FS-50	50	80	7	L50
FS-60	60	90	7	L60

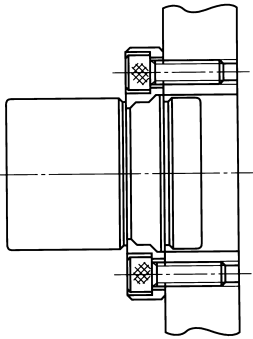
— 取 付 け 図 —



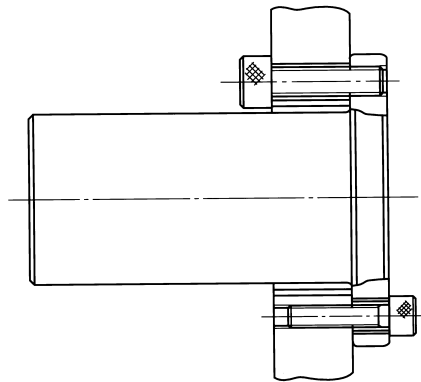
LF



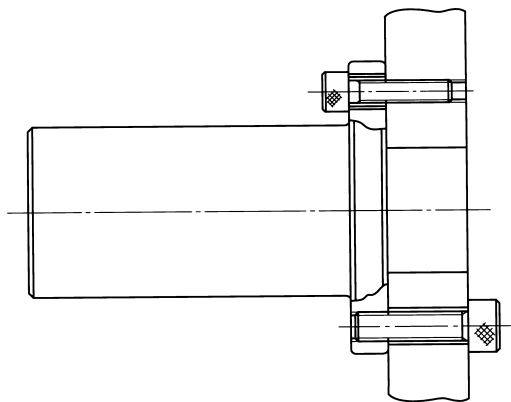
LFDK-OH



LFB



LFW, LFWK



LFW, LFWK