OZAK ML series（防錆タイプ）の耐食性試験

OZAK防錆タイプリニアベアリングML 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，MLシリーズは最も適していると言えます．

■試験方法

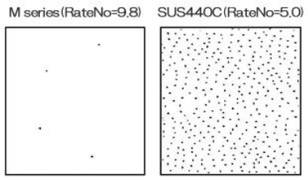
試　験　法	JIS H8617及びZ2371による塩水噴霧試験
試験液組成	塩化ナトリウム5.0±１％　PH6.5～7.2
使用食塩の品質	JIS K8150特級
使 用 水 質	イオン交換純水（比抵抗50×10^4Ω㎝以上）使用
試料表面の調製法	エタノール洗浄
試 験 時 間	96時間
噴 霧 方 法	24時間連続噴霧
判 定 方 法	試料表面の赤サビ発生をレイティングナンバーで示す

■試験結果

試　料		試　験　時　間　(hr)								
	No.	2 hr	5 hr	8 hr	16hr	24hr	36hr	48hr	72hr	96hr
防錆タイプ ML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 SUS 440 C or 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シリーズ：外筒にOZAK，Mシリーズの防錆処理を施し，ボールはSUS440Cを使用した最も防錆効果の高いシリーズです．
＊M2シリーズ：外筒にOZAK，Mシリーズの防錆処理を施し，ボールはSUJ2を使用した，より経済的な防錆シリーズで，一般的環境下においては，油又はグリース潤滑されているボールが，かつ又運転中においてはボールが転がり運動をしている状態においてボールに錆が発生する確率は，極めて少ないと言える．

M series 、ステンレス鋼のレイティングナンバー比較図



M series　耐酸性試験　OZAK

OZAK　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既に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，OZAK 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硝酸バッ気法による．
試験条件：20㎝ガラスデシケーター底部に試薬１級硝酸150ccを入れ，ふたをし30分間放置し硝酸ガスをデシケーター中に充満させる．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℃

試験結果

試料No. 放置時間	OZAK　Mシリーズ 1　2　3　4　5	ステンレス鋼(440C or QD51) 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 （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 （表面黒色に変色）	全面にサビ発生 レイティング　ナンバー 2　｜　3　｜　2　｜　3　｜　3

OZAK ML series（防錆タイプ）の耐食性試験

OZAK防錆タイプリニアベアリングML 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，MLシリーズは最も適していると言えます．

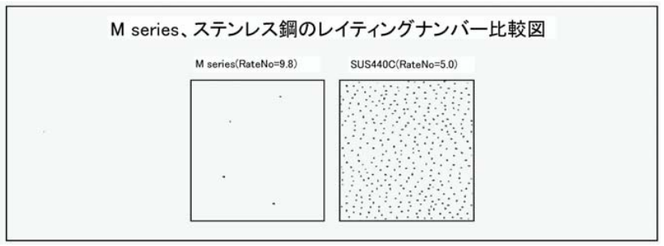
■試験方法

試　験　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50×10^4Ω㎝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

■試験結果

試　料		試　験　時　間　(hr)								
	No.	2 hr	5 hr	8 hr	16hr	24hr	36hr	48hr	72hr	96hr
防錆タイプ ML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 SUS 440 C or 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シリーズ：外筒にOZAK，Mシリーズの防錆処理を施し，ボールはSUS440Cを使用した最も防錆効果の高いシリーズです．
＊M2シリーズ：外筒にOZAK，Mシリーズの防錆処理を施し，ボールはSUJ2を使用した，より経済的な防錆シリーズで，一般的環境下においては，油又はグリース潤滑されているボールが，かつ又運転中においてはボールが転がり運動をしている状態においてボールに錆が発生する確率は，極めて少ないと言える．



M series　耐酸性試験　OZAK

OZAK　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既に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，OZAK 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硝酸バッ気法による．
試験条件：20㎝ガラスデシケーター底部に試薬１級硝酸150ccを入れ，ふたをし30分間放置し硝酸ガスをデシケーター中に充満させる．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℃

試験結果

試料No. 放置時間	OZAK　Mシリーズ 1　2　3　4　5	ステンレス鋼(440C or QD51) 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 （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 （表面黒色に変色）	全面にサビ発生 レイティング　ナンバー 2　｜　3　｜　2　｜　3　｜　3

60%走行寿命アップ

特　長

1．60%走行寿命アップ
グリースを封入することにより転がり接触面に十分な油膜が形成されベアリング内部の摩擦や摩耗が低減し，無潤滑ベアリングと比較すると60%走行寿命がアップします．

2．メンテナンスの低減
寿命がアップすることにより，大幅なメンテナンスコストの低減を実現することができます．又，グリースを定期的に補給することにより200%以上の走行寿命アップを実現できます．

3．豊富なラインナップ
Part 1 Linear Guide
Part 3 Linear Bearings

Part 1　型番	Part 3　型番				
GTC-G	LFM-G	LFDTM-G	LFLK-G	LFW-G	CHW-G
GHC-G	LFKM-G	LFDB-G	LFLB-G	LFWK-G	LH-B-G
GT-G	LFTM-G	LFDKB-G	LFLKB-G	LFW-OH-G	LH-G
GH-G	LFK-OH-G	LFDTB-G	LFLC-G	LFWK-OH-G	LH-OH-G
GTA-G	LFB-G	LFDC-G	LFLKC-G	LFWB-G	LHW-B-G
GHA-G	LFKB-G	LFDKC-G	LM-G	LFWL-G	LHW-G
GTAW-G	LFTB-G	LFDTC-G	L-OH-G	LFWLB-G	CT-G
GHAW-G	LFDM-G	LFDK-OH-G	LD-G	LFWLC-G	CTB-G
(M)LGR-G	LFDKM-G	LFL-G	LD-OH-G	CH-G	

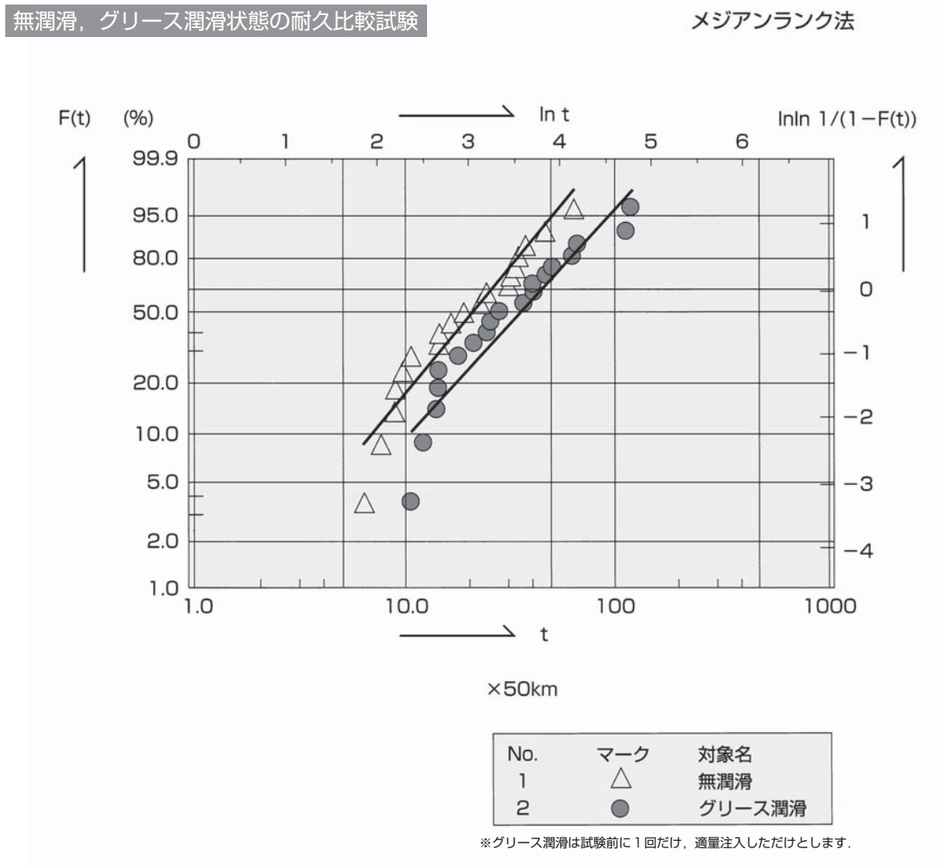
※Part 3はMシリーズもございます．　※標準使用グリース：アルバニアNo.2

呼ビ番号　LFDM20ーUU　ーG

型　番

グリース入り記号
型番末尾にG記号を追記します．

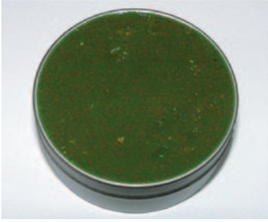
無潤滑，グリース潤滑状態の耐久比較試験



※グリース潤滑は試験前に１回だけ，適量注入しただけとします．

※常時ベアリングの耐久試験を実施し，ベアリングの走行寿命を増大する研究を進め，多くの実験結果が示すように高品質の製品開発を行っております．

クリーン環境用グリース　CG series



クリーングリース
CGシリーズ

特　長

■潤滑寿命が長い
特殊な製造方法により油分離が少なく化学的に劣化しにくい合成油を使用，さらに添加剤等の効果により従来の一般Li系グリースの約10倍の寿命があります．

■防錆効果が高い
軸受防錆試験・湿潤試験で優れているばかりでなく，水共存試験でも極めて良好な結果を得ており，各種ベアリングの防錆に優れています．

■騒音レベルが低い
特殊な製造方法により音響試験においても非常に低い値を示します．又，実際に軸受を組み込んで騒音レベルを測定したところ低音間で変化が少なく，低い値を示し良好な結果です．

■高温特性に優れている
従来のリチウム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，潤滑寿命が高温でも長いことを裏付けています．

■低温特性に優れている
基油に低温特性に優れた合成油を使用していますので，低温時におけるトルクがきわめて小さく，−40℃でも十分に使用可能です．

	条　件	性　状
増ちょう剤		リチウム石鹸基
基　油		エステル系合成油
密　度（kg/ℓ）		0.97
混和ちょう度	25℃	231
滴点（℃）		198
離油度（%）	100℃×24h	1.4
蒸発量（%）	99℃×22h	0.42
銅板腐食	100℃×24h	合格
酸化安定度（MPa）	99℃×100h	0.02
水洗耐水度（%）	79℃×1h	2.5
低温トルク（N·cm）	起動トルク（−20℃）	7.4
	回転トルク（−20℃）	3.2
ロール安定度	室温×4h	298
軸受寿命（h）	Fed150℃	2180
軸受防錆	52℃×48h	1
使用温度範囲（℃）		−40～150

呼ビ番号　LFDM20−UU　−CG

型　番

クリーングリース入り記号
型番末尾にCG記号を追記します．

真空用グリース　VG series

真空グリース
VGシリーズ

特　長

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ょうしたグリースで，低温性・極圧性・耐薬品性・低揮発性にずば抜けて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あたえず電気絶縁性に優れた効果を発揮する卓越したグリースです．

■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．
■極圧性に優れています．
■耐薬品性に優れています．
■ゴム・プラスチックに影響を与えません．
■電気絶縁性に優れています．
■蒸気圧が非常に低く，揮発性が少ない．
■高フッ化有機溶剤・フッ素化油とは相溶しますが，それ以外の有機溶剤・油脂類とは殆ど相溶しません．
■極度のクリーン度を要する使用に適しています．

	条　件	性　状
増ちょう剤		フッ素樹脂
基　油		パーフルオロポリエーテル
密　度（kg/ℓ）	25℃	1.95
混和ちょう度	25℃	280
離油度（%）	100℃×24h	3.0
	200℃×24h	11.0
蒸発量（%）	99℃×22h	0.0
四球焼付荷重（MPa）	室温　200rpm	1.15
高速四球融着荷重（N）	室温　1770rpm	5000以上
酸化安定度（MPa）	99℃×100h	0.0
低温トルク（N·cm）	起動トルク（−40℃）	4.5
	回転トルク（−40℃）	2.0
使用温度範囲（℃）		−65～200

呼ビ番号　LFDM20−UU　−VG

型　番

真空グリース入り記号
型番末尾にVG記号を追記します．

12．常用するはめあいの寸法許容差

単位 μm

寸法区分（mm）を越え	寸法区分（mm）以下	穴の寸法許容差 f f5	f f6	f f7	g g5	g g6	g g7	軸の寸法許容差 h h5	h h6	h h7	h h8	js js5	js js6	js js7	j j5	j j6	j j7	k k5	k k6	k k7	H H5	H H6	H H7	H H8	Js Js5	Js Js6	Js Js7	Js Js8	J J6	J J7	J J8	K K6	K K7	K K8	M M6	M M7	M M8
—	3	−6 −10	−6 −12	−6 −16	−2 −6	−2 −8	−2 −12	0 −4	0 −6	0 −10	0 −14	±2	±3	±5	+2 −2	+4 −2	+6 −4	+4 0	+6 0	+10 0	+4	+6	+10	+14	±2	±3	±5	±7	+2 −4	+4 −6	+6 −8	0 −6	0 −10	0 −14	−2 −8	−2 −12	−2 −16
3	6	−10 −15	−10 −18	−10 −22	−4 −9	−4 −12	−4 −16	0 −5	0 −8	0 −12	0 −18	±2.5	±4	±6	+3 −2	+6 −2	+8 −4	+6 +1	+9 +1	+13 +1	+5	+8	+13	+18	±2.5	±4	±6	±9	+5 −3	+6 −3	+10 −8	+2 −6	+3 −6	+5 −13	−1 −9	0 −12	+2 −16
6	10	−13 −19	−13 −22	−13 −28	−5 −11	−5 −14	−5 −20	0 −6	0 −9	0 −15	0 −22	±3	±4.5	±7	+4 −2	+7 −2	+10 −5	+7 1	+10 1	+16 1	+5	+8	+15	+22	±3	±4.5	±7	±11	+5 −4	+6 −4	+12 −10	+2 −7	+2 −7	+6 −16	−3 −12	0 −15	+1 −21
10	14	−16 −24	−16 −27	−16 −34	−6 −14	−6 −17	−6 −24	0 −8	0 −11	0 −18	0 −27	±4	±5.5	±9	+5 −3	+8 −3	+12 −6	+9 +1	+12 +1	+19 +1	+6	+9	+18	+27	±4	±5.5	±9	±13	+6 −5	+8 −5	+15 −8	+2 −9	+6 −9	+8 −19	+4 −15	0 −18	+2 −25
14	18																																				
18	24	−20 −29	−20 −33	−20 −41	−7 −16	−7 −20	−7 −28	0 −9	0 −13	0 −21	0 −33	±4.5	±6.5	±10	+5 −4	+9 −4	+13 −8	+11 +2	+15 +2	+23 +2	+9	+13	+21	+33	±4.5	±6.5	±10	±16	+8 −5	+12 −9	+20 −13	+2 −11	+6 −11	+10 −23	−4 −17	0 −21	+4 −29
24	30																																				
30	40	−25 −36	−25 −41	−25 −50	−9 −20	−9 −25	−9 −34	0 −11	0 −16	0 −25	0 −39	±5.5	±8	±12	+6 −5	+11 −5	+15 −10	+13 +2	+18 +2	+27 +2	+11	+16	+25	+39	±5.5	±8	±12	±19	+10 −6	+14 −11	+24 −15	+3 −13	+7 −18	+12 −27	−4 −20	0 −25	+5 −34
40	50																																				
50	65	−30 −43	−30 −49	−30 −60	−10 −23	−10 −29	−10 −40	0 −13	0 −19	0 −30	0 −46	±6.5	±9.5	±15	+6 −7	+12 −7	+18 −12	+15 +2	+21 +2	+32 +2	+13	+19	+30	+46	±6.5	±9.5	±15	±23	+13 −6	+18 −12	+28 −18	+4 −15	+9 −21	+14 −32	−5 −24	0 −30	+5 −41
65	80																																				
80	100	−36 −51	−36 −58	−36 −71	−12 −27	−12 −34	−12 −47	0 −15	0 −22	0 −35	0 −54	±7.5	±11	±17	+6 −9	+13 −9	+20 −15	+18 +3	+25 +3	+38 +3	+15	+22	+35	+54	±7.5	±11	±17	±27	+16 −6	+22 −13	+34 −20	+4 −18	+10 −25	+16 −38	−6 −28	0 −35	+6 −48
100	120																																				
120	140	−43 −61	−43 −68	−43 −83	−14 −32	−14 −39	−14 −54	0 −18	0 −25	0 −40	0 −63	±9	±12.5	±20	+7 −11	+14 −11	+22 −18	+21 +3	+28 +3	+43 +3	+18	+25	+40	+63	±9	±12.5	±20	±31	+18 −7	+26 −14	+41 −22	+4 −21	+12 −28	+20 −43	−8 −33	0 −40	+8 −55
140	160																																				
160	180																																				

18．潤　滑

近年，機械の小型化，高速化の進展に伴って，それに組込まれているリニアモーションボールベアリングも毎分40m程度の高速で使用されるようになって参りました．このような条件下で，十分な信頼度や寿命をもって運転されるためには，ベアリングの潤滑は極めて重要な運転要因になっております．ベアリング潤滑の目的は云うまでもなくベアリング内部の摩擦や摩耗を低減し，焼付きを防止することですが，そのほかベアリング寿命の増大を図ることが挙げられます．すなわち，転がり接触面に十分な油膜が形成されていれば寿命は増大し，逆に，油の粘度が低く，十分な油膜が形成されないと寿命は低減いたします．

リニアモーションボールベアリングの潤滑には一般にグリースあるいは油が用いられます．グリースとしては一般にリチウム・グリースが適当し，そのちょう度は2～3号のものが適切です．また，重荷重や衝撃荷重をうける使用条件では，極圧添加剤の入ったグリースを使用して下さい．ただ銘柄の異なったグリースを混合して使用することは避けなければなりません．油潤滑には軸受油ISO VG10～32，タービン油ISO VG32～68が適当で，ベアリングの運転速度が速いほど低粘度油（軸受油ISO VG10など）を用い，荷重が大きくなるほど高粘度油（タービン油ISO VG68など）を使用して下さい．

リニアモーションボールベアリングは，そのリテーナーのボール循環溝にグリースや油を保持するかなりの空間があるため，一度給油しておけば，シール付型のUU型ベアリングを使用する限り，かなり長期に亘って補給する必要はありません．しかし，標準型ベアリングなどを油潤滑で使用する場合には，滴下給油法や油浴法を用いて給油するのが適当です．

リニアモーションボールベアリングの運転温度，運転速度と適用潤滑

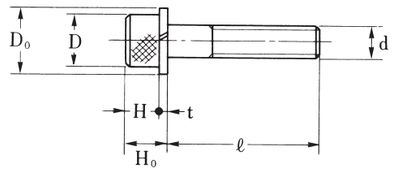
運転温度 ℃	運転速度 m/sec	適用潤滑油 普通荷重	適用潤滑油 重荷重又は衝撃荷重	グリース
−30～0	～5	冷凍機油ISO VG15～32	———	リチウム石けん基グリース ちょう度0号～1号
0～60	～1	タービン油ISO VG46～68 マシン油ISO VG46～68	タービン油ISO VG68 マシン油ISO VG68	リチウム石けん基グリース ちょう度1号～2号
	1～5	タービン油ISO VG32	タービン油ISO VG46～68	
	5～	軸受油ISO VG10～22	タービン油ISO VG46	
60～100	～1	タービン油ISO VG46～68	タービン油ISO VG68	リチウム石けん基グリース ちょう度2号～3号
	1～5	タービン油ISO VG32～46	タービン油ISO VG46～68	
	5～	軸受油ISO VG32 マシン油ISO VG46	———	バリウム石けん基グリース ちょう度2号～3号

19．使用上のチェックポイント

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り，軸とのハメアイは緊密スキマを採用して下さい．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個ご使用下さい．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**のC_1又はC_2の状態かどうかチェックして下さい．
- ✔リニアモーションボール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**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ーや，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．
- ✔リニアモーションボール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さなくてはなりませんので専用軸とリニアモーションボールベアリングを必ずペアーでご使用下さい．

15．六角穴付ボルトとバネ座金組合せ寸法表



ねじの呼び d	ピッチ P	D_0	D	H_0	H	t	ℓ 最小	ℓ 最大	ねじの下穴径
M 3	0.5	5.9	5.5	3.7	3	0.7	4	20	2.6
M 4	0.7	7.6	7	5	4	1	4	25	3.4
M 5	0.8	9.2	8.5	6.3	5	1.3	8	32	4.3
M 6	1	12.2	10	7.5	6	1.5	10	50	5.1
M 8	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

16．削り加工寸法の普通許容差（JISB0405）

等級 / 寸法の区分	精級（12級）	中級（14級）	粗級（16級）	（18級）
0.5以上 3 以下	±0.05	±0.1	—	—
3 を超え 6 以下			±0.2	±0.9
6 を超え30以下	±0.1	±0.2	±0.5	±1.6
30を超え120以下	±0.15	±0.3	±0.8	±2.8
120を超え315以下	±0.2	±0.5	±1.2	±4
315を超え1000以下	±0.3	±0.8	±2	±7
1000を超え2000以下	±0.5	±1.2	±3	±11

17．重量算出式（鉄鋼基準）単位：mm

● 中実軸

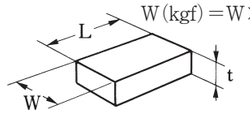
$W(kgf/m)=r^2\times0.02466$

● 中空軸

$W(kgf/m)=(D-t)\times t\times0.02466$

● 板

$W(kgf)=W\times t\times L\times7.9\times10^{-6}$



（参考）アルミ重量≒鉄鋼重量×0.35

2．リニアシステムの定格荷重と寿命式

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．

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

where：
- S ：信頼度
- τ_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）＝50*km*
- 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 ：τ_0をうける応力体積
- Z_0 ：τ_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Qc（L=1）は以下の式となります．

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

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

c，e，hは以下の値を使います．

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

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

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 *N-mm*，*BRL*（*Basic Rating Life*）=50*km*

接触幾何係数Φ_O（外筒，キャリッジ）とΦ_S（軸，レール）は以下の式より導かれます．

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

$$\Phi_S=\pi^{\frac{1}{w}}\cdot\frac{\omega_S}{[1+F_{(b/a)}]^{2.1}}\cdot\frac{1}{(Dw\cdot\Sigma\rho)^{2.1}}\cdot\left[\frac{u_S{}^cD_{ns}}{Dw}\right]^{-\frac{1}{w}}\quad where: Dw\cdot\Sigma\rho=\frac{4}{1+F_{(b/a)}}\cdot\frac{1}{1-\frac{Dw}{Dpw}}\quad(6)$$

リニアベアリング（ボールブッシュ）

$$\omega_O\approx\Omega^{-0.50}=\left(1+\frac{Dw}{Dpw}\right)^{0.50}\qquad\Phi_O=0.0767\left(1+\frac{Dw}{Dpw}\right)^{0.50}\left[\frac{u_0{}^cD_{no}}{Dw}\right]^{-\frac{1}{w}}\quad(7)$$

$$\omega_S\approx\Omega^{-0.70}=\left(1-\frac{Dw}{Dpw}\right)^{-0.70}\qquad\Phi_S=0.0767\left(1-\frac{Dw}{Dpw}\right)^{1.40}\left[\frac{u_S{}^cD_{ns}}{Dw}\right]^{-\frac{1}{w}}\quad(8)$$

リニアガイド（ボールガイド）

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

ボールブッシュ転動体荷重Qco（外筒）とQcs（軸），ボールガイドQc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）

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

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

リニアガイド（ボールガイド）

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

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

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）

$$Kco=22.9\cdot\left(1+\frac{Dw}{Dpw}\right)^{0.50}\cdot Dw^{2.1} \qquad (14)$$

$$Kcs=22.9\cdot\left(1-\frac{Dw}{Dpw}\right)^{1.40}\cdot Dw^{2.1} \qquad (15)$$

リニアガイド（ボールガイド）

$$Kc=29.8\cdot\left(\frac{2ra}{2ra-Dw}\right)^{0.41}\cdot Dw^{2.1} \qquad (16)$$

$$where:\ u_O=\frac{ls}{2\kappa Dw} \quad u_S=\frac{lt}{2\kappa Dw} \quad D_{no}=l_t \qquad (17)$$

$$l_s=2\cdot l_t \quad e=\frac{10}{9} \quad w=\frac{10}{3} \quad p=3$$

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）

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

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

リニアガイド（ボールガイド）

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

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

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

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

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

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

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

from（18），（19）

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

from（14），（15） and $Zt=\dfrac{lt}{\kappa Dw}$ $\quad\therefore \kappa Dw=\dfrac{lt}{Zt}$ $\qquad (28)$

リニアベアリング（ボールブッシュ）

$$\begin{aligned}C&=Ki\cdot Zt\cdot lt^{-0.3}\cdot 22.9\cdot(2\kappa Dw)^{\frac{1}{3}}\cdot Dw^{2.1}\cdot\left\{\left(1+\frac{Dw}{Dpw}\right)^{-1.67}+0.91\cdot\left(1-\frac{Dw}{Dpw}\right)^{-4.67}\right\}^{-0.3}\\&=Ki\cdot lt^{1/30}\cdot Zt^{2/3}\cdot Dw^{2.1}\cdot 28.9\cdot\left\{\left(1+\frac{Dw}{Dpw}\right)^{-1.67}+0.91\cdot\left(1-\frac{Dw}{Dpw}\right)^{-4.67}\right\}^{-0.3}\end{aligned} \qquad (29)$$

リニアガイド（ボールガイド）

from（16），（20），（21） and $Zt=\dfrac{lt}{\kappa Dw}$ $\quad\therefore \kappa Dw=\dfrac{lt}{Zt}$

$$\begin{aligned}C&=\left[Q_{co}{}^{-\frac{10}{3}}+Q_{cs}{}^{-\frac{10}{3}}\right]^{-\frac{3}{10}}\cdot Zt\cdot i_t{}^{0.7}\cdot\cos\alpha=Zt\cdot i_t{}^{0.7}\cdot lt^{-0.3}\cdot(2\kappa Dw)^{\frac{1}{3}}\cdot Dw^{2.1}\cdot 29.8\left(\frac{2ra}{2ra-Dw}\right)^{0.41}\left[1+(1.032)^{-\frac{10}{3}}\right]^{-\frac{3}{10}}\cos\alpha\\&=lt^{1/30}\cdot i_t{}^{0.7}\cdot Zt^{2/3}\cdot Dw^{2.1}\cdot 30.9\cdot\left(\frac{2ra}{2ra-Dw}\right)^{0.41}\cdot\cos\alpha\end{aligned} \qquad (30)$$

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）

$$\boxed{C=bm\cdot fc\cdot Ki\cdot lt^{1/30}\cdot Zt^{2/3}\cdot Dw^{2.1}} \qquad (31)$$

λ =0.9　bm=1.3　ISO idea

$$fc=\lambda\cdot c_L\cdot 28.9\cdot\left[0.91\left(1-\frac{Dw}{Dpw}\right)^{-4.67}+\left(1+\frac{Dw}{Dpw}\right)^{-1.67}\right]^{-0.3} \qquad (32)$$

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

表１　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）

$$C = bm \cdot fc \cdot lt^{1/30} \cdot i_t^{0.7} \cdot Zt^{2/3} \cdot Dw^{2.1} \cdot \cos\alpha \qquad (33)$$

λ =0.9　bm=1.3　ISO idea

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

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）

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

$$k_{oi} = \frac{\sum_{j=1}^{j=i_t} (\cos\phi_j)^{2.5}}{(\cos\phi_j)^{1.5}} \qquad (2)$$

表 1　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 2　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）

$$C_o = f_o \cdot i_t \cdot Z_t \cdot D_w^2 \cdot \cos\alpha \qquad (3)$$

表 3　f_o値

r_o/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

11．硬さ換算表

ロックウェル Cスケール硬さ H_RC(荷重150kgf)	ビッカース硬さ H_V	ブリネルかたさ H_B 10㎜球，荷重3000kgf		ロックウェル硬さ		ショア硬さ H_S
		標準球	タングステンカーバイト球	H_RA Aスケール 荷重60kgf barle圧力	H_RB Bスケール 荷重100kgf 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

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：㎜

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	シマリバメ J7
LMシリーズ	5	−0.010 −0.019	0 −0.009	10	+0.018 0	+0.010 −0.008
	6			12		
	8			15		
	10		0 −0.011	19	+0.021 0	+0.012 −0.009
	12			21		
	16			28		
	20	−0.010 −0.021	0 −0.013	32	+0.025 0	+0.014 −0.011
	25			40		
	30			45		
				47		
	35	−0.012 −0.025	0 −0.016	52	+0.030 0	+0.018 −0.012
	40			60		
	50			76		
				80		
	60	−0.015 −0.031	0 −0.019	90	+0.035 0	+0.022 −0.013
				120		

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．C_3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～+10μm
C_2	軸は手で回転方向にやや重いが廻る	0～−10μm
C_3	軸は手で回転方向に廻らない（NG）	−10μm以上

取付け

ベアリングの代表的な取付け例を**図1～図3**に示します．

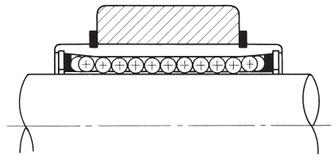


図1：ベアリングの取付け溝にストップリングで固定する方法

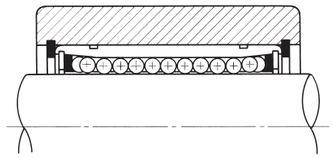


図2：ハウジング内径溝にストップリングで固定する方法

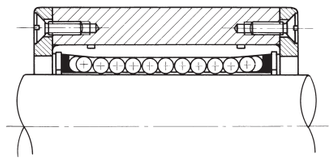


図3：ハウジング両端に止メ板で固定する方法

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．

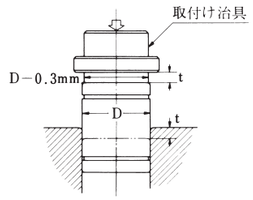


図4

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．

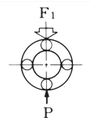
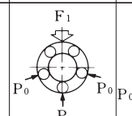
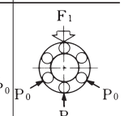
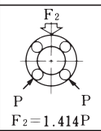
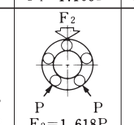
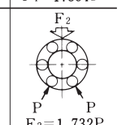
	ボール列数		
	4列	5列	6列
ボール列配置 真下状態	 $F_1=P$	 $F_1=1.106P$	 $F_1=1.354P$
ボール列配置 振分け状態	 $F_2=1.414P$	 $F_2=1.618P$	 $F_2=1.732P$
F_2/F_1	1.414	1.463	1.280

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．

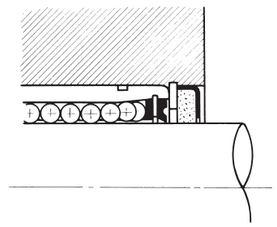


図6：ダブルシール密閉方式

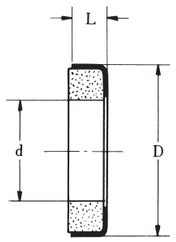


表3：フェルトシール寸法表

型番	主要寸法（㎜）			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50㎞単位で表わしたものとして定義されます．

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50㎞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．

$$L=\left(\frac{f_H\cdot f_t\cdot f_B\cdot C}{f_s\cdot k\cdot P}\right)^3\cdot 50(\mathrm{km})$$ **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_t	：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Lkm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．

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

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

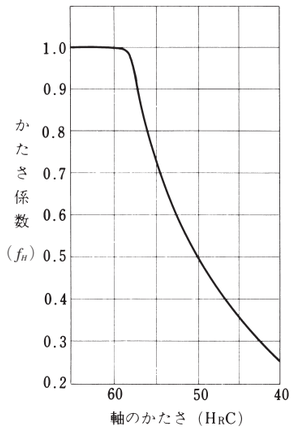


図７：硬さ係数　f_H

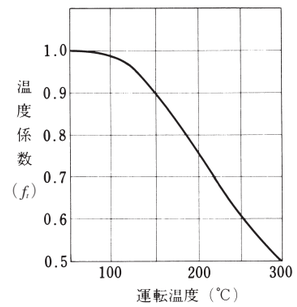


図８：温度係数　f_t

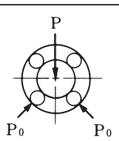
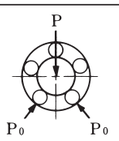
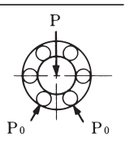
	ボール列数		
	４列	５列	６列
荷重に対するボール列の配置状況			
f_B	1.414	1.463	1.280

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㎜/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㎜/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㎜/sec以上	2.0～4.0

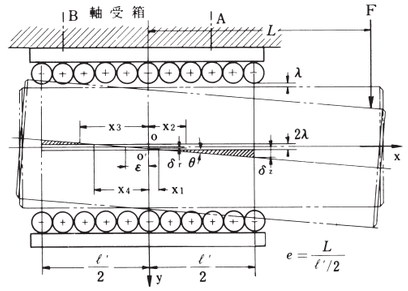
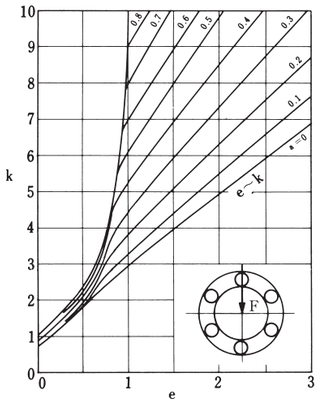
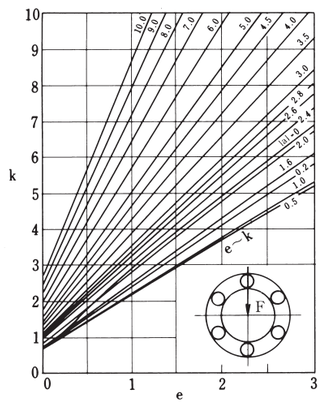


図10：モーメント荷重が作用する場合の負荷状態図



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

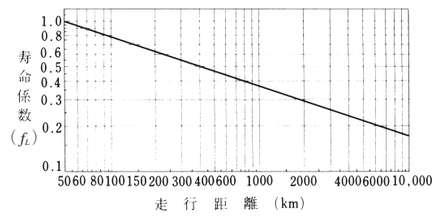
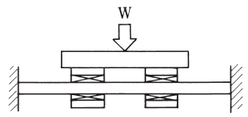


図13：寿命係数　$f_L=\dfrac{f_s\cdot k\cdot P}{f_t\cdot f_H\cdot f_B\cdot C}$

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=300㎜/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_t=1.0，f_s=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列配置状況が

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

$$L=\left(\frac{1.0\times1.0\times1.0\times2164}{1.0\times1.0\times245}\right)^3\times50\mathrm{km}=34454\mathrm{km}$$

2）作用荷重に対しボール列が均等に振り分けられた状況で組込まれた場合

f_B=1.280よりベアリングの走行寿命距離は

$$L=\left(\frac{1.0\times1.0\times1.280\times2164}{1.0\times1.0\times245}\right)^3\times50\mathrm{km}=72256\mathrm{km}$$

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100㎜，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_L=0.2が求められ，P=147N，f_s=2，k=1.0，f_H=1.0，f_t=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．

$$C=\frac{f_s\cdot k\cdot P}{f_L\cdot f_H\cdot f_t\cdot f_B}=\frac{2\times 1.0\times 147(\text{N})}{0.2\times 1.0\times 1.0\times 1.0}=1470(\text{N})$$

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個づつの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では，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％の信頼度でご使用いただけることになります．

$$L=a_1\cdot a_2\cdot a_3\left(\frac{f_H\cdot f_t\cdot f_B\cdot C}{f_s\cdot k\cdot P}\right)^3\cdot 50(\text{km})$$

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．

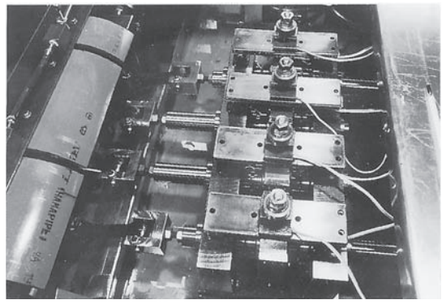


図14：寿命試験装置

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	10^3km以上	899	899	10^3km以上	861
15	862	↓打切り	10^3km以上	10^3km以上	↓打切り	
16	1010	↓	↓打切り	↓打切り	↓	

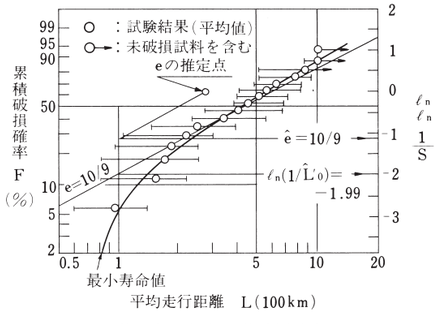


図15：平均走行距離と累積破損確率の関係

摩　擦

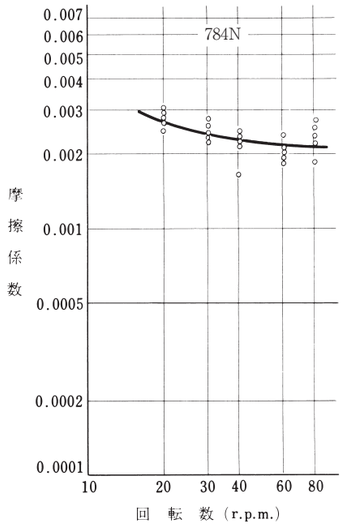


図16：回転数と摩擦係数の関係

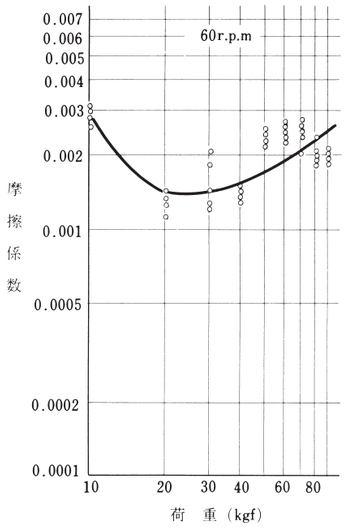


図17：荷重と摩擦係数の関係

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

$$F=F_0+F_1$$

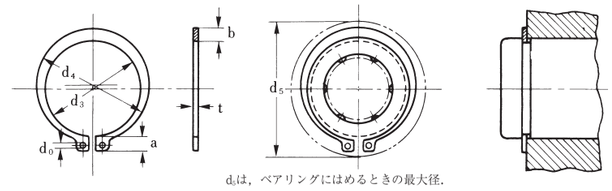
で表わされます．

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．

13. リニアベアリング 外径用止め輪寸法表



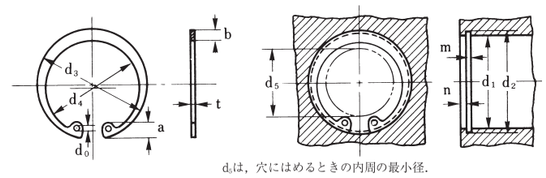
d_5は，ベアリングにはめるときの最大径．

リニアベアリング 外径用止め輪寸法表

リニアベアリング 型番	呼び径	JIS	小倉バネ	磐田電工	d_3		t		b	a	d_0	d_5
		C 形	S 型	C 型	基準寸法	許容差	基準寸法	許容差	約	約	最小	
LM5	10	◎	◎	◎	9.3	±0.15	1	±0.05	1.6	3	1.2	17
LM6	12	◎	◎	◎	11.1	±0.18			1.8	3.2	1.5	19
LM8	15	◎	◎	◎	13.8				2.1	3.5	1.7	23
LM10	19	◎	◎	◎	17.5		1.2	±0.06	2.7	3.8	2	27
LM12	21	◎	◎	◎	19.5	±0.2			2.7	4		30
LM13	23	—	◎	—	21.5			±0.05	2.7	4.1		32
LM16	28	◎	◎	◎	25.9		1.6	±0.06	3.1	4.6		38
LM20	32	◎	◎	◎	29.6				3.5	5	2.5	43
LM25	40	◎	◎	◎	37	±0.4	1.8	±0.07	4.5	5.8		53
LM30	45	◎	◎	◎	41.5				4.8	6.3		58
LM35	52	◎	◎	◎	47.8		2		5	6.8		66
LM40	60	◎	◎	◎	55.8	±0.45			5.5	7.2		75
LM50	80	◎	◎	◎	74.5		2.5	±0.08	7.4	8.2		97
LM60	90	◎	◎	◎	84.5	±0.55	3	±0.09	8	8.7	3	108

※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．

14. リニアベアリング ハウジング用止め輪寸法表



d_5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

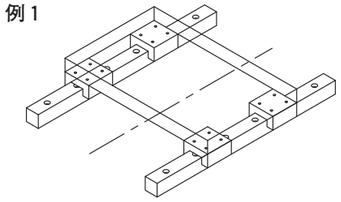
リニアベアリング 型番	呼び径	JIS	小倉バネ	磐田電工	d_3		t		b	a	d_0	d_5	d_1	d_2		m		n
		C型	H型	O型	基準寸法	許容差	基準寸法	許容差	約	約	最小			基準寸法	許容差	基準寸法	許容差	最小
LM3	7	—	○	◎	7.5	+0.12 −0.05	0.4	±0.03	—	—	0.8	4.3	7	7.4	±0.05	0.45	+0.05 0	1.0
LM4	8	—	—	◎	8.7				—	—		5.3	8	8.5				
LM5	10	—	—	◎	10.8	+0.25 −0.12	0.65		—	—	1.0	6.6	10	10.6	±0.07	0.73		
LM6	12	—	—	◎	12.7				—	—	1.2	7.6	12	12.5				
LM8	15	◎	◎	○	16.2	±0.18	1	±0.05	2	3.6	1.7	8	15	15.7	+0.11 0	1.15	+0.14 0	1.5
LM10	19	◎	◎	○	20.5	±0.2			2.5	4	2	11	19	20	+0.21 0			
LM12	21	◎	◎	○	22.5				2.5	4.1		12	21	22				
LM13	23	—	◎	○	24.6		1.2	±0.06	2.5	4.3		14	23	24		1.35		
LM16	28	◎	◎	○	30.1	±0.25			3	4.6		18	28	29.4				
LM20	32	◎	◎	○	34.4				3.5	5.2	2.5	21	32	33.7	+0.25 0			
LM25	40	◎	◎	○	43.5	±0.4	1.8	±0.07	4	5.7		28	40	42.5		1.95		2
LM30	45	◎	◎	○	48.5				4.5	5.9		33	45	47.5				
LM35	52	◎	◎	○	56.2	±0.45	2		5.1	6.5		39	52	55	+0.3 0	2.2		
LM40	60	◎	◎	○	64.2				5.5	6.8		46	60	63				
LM50	80	◎	◎	○	85.5	±0.55	2.5	±0.08	7	8		64	80	83.5	+0.35 0	2.7		2.5
LM60	90	◎	◎	○	95.5		3	±0.09	7.6	8.3	3	73	90	93.5		3.2	+0.18 0	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．

1-1．リニアシステムの組付構造

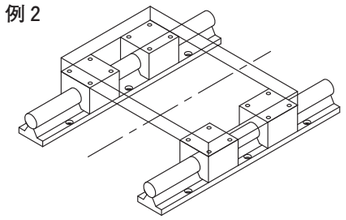
＜選定基準＞

例 1



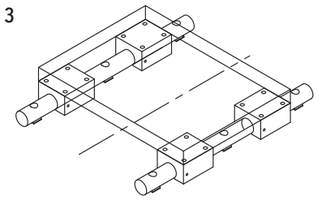
- コストは高いが，高精度，高剛性の案内として最適
- コンパクトな設計
- ボールネジの送り機構に最適

例 2



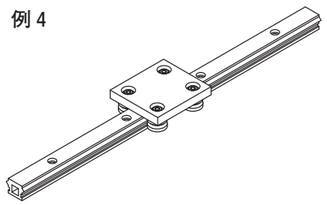
- 軽荷重で高速送りの案内に最適
- 長尺レールとしての継ぎ方法が容易
- レール上の異物除去が容易

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

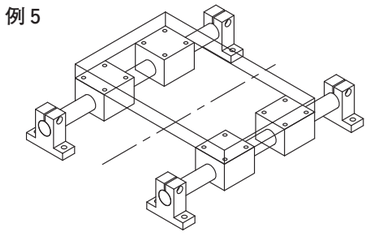
例 4



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

＜選定基準＞

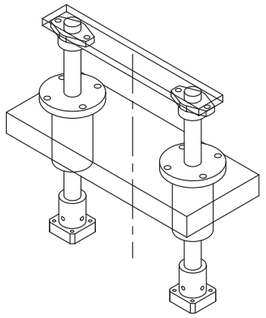
例 5



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

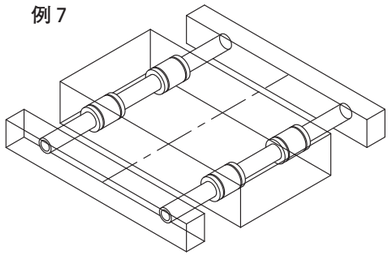
例 6



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

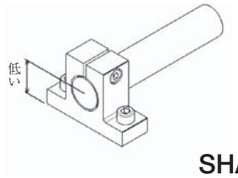


最もコンパクトで，安いコストの案内機構で

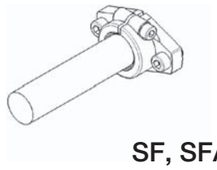
- ユーザー仕様によるハウジング設計，製作品の中にベアリングを組込む場合に適します．

1-2．リニアシャフトの組付

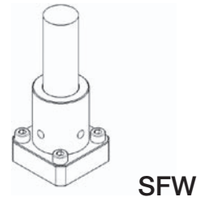
!!ストレートシャフト設計が一番得をする!!



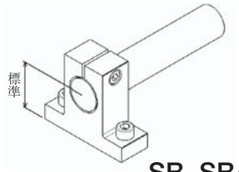
SHA



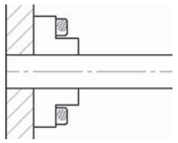
SF, SFA

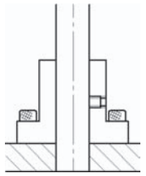


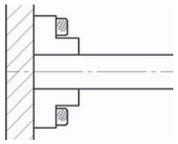
SFW

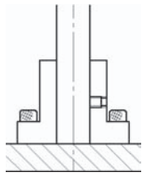


SB, SBA

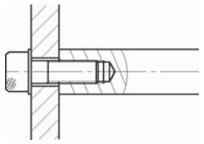


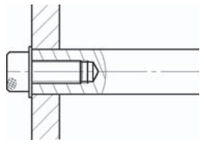


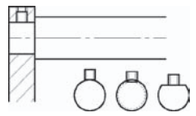


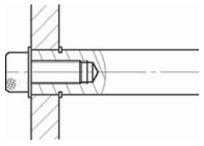


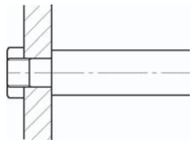
軸端加工（片端 or 両端）

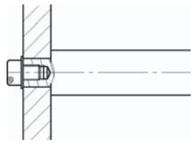










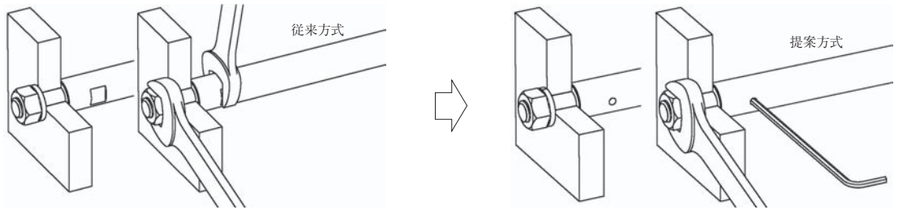


ネジ締結

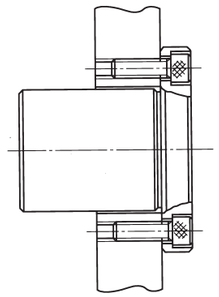
弊社ではコストダウンを図るため，ネジ締結方法として次の方法を提案いたします．

従来方式：両面平削りのスパナ溝

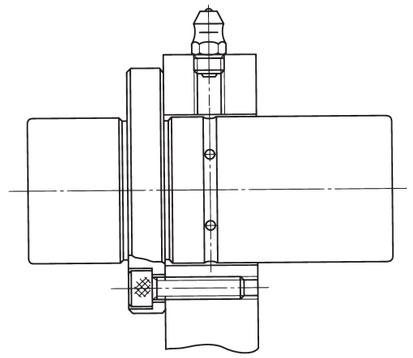
提案方法：下図のような回り止め穴に，六角レンチ等で回り止めする方法



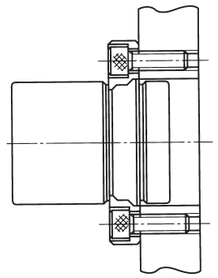
1-3．リニアベアリングの組付



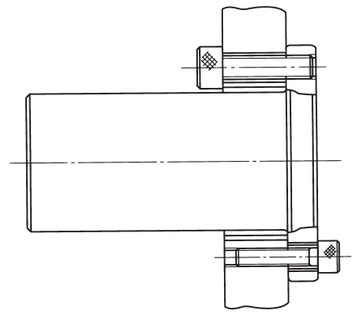
LFM



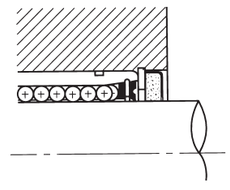
LFDK-OH



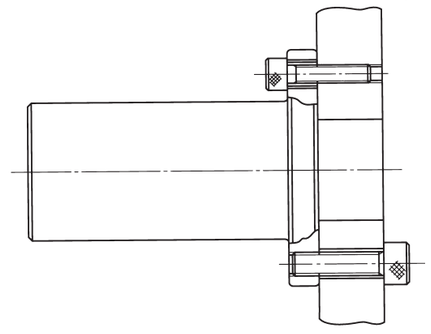
LFB



LFW,LFWK



ダブルシール密閉方式



LFW,LFWK

3．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62**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．

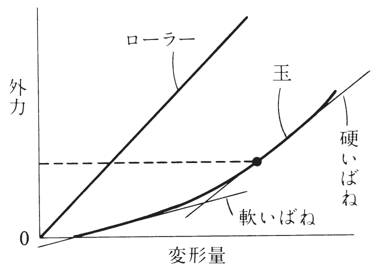


図62

予圧はまた，かけ過ぎると摩擦を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．

4．リニアベアリングの荷重による変形量とヘルツ応力

図63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のようになります．

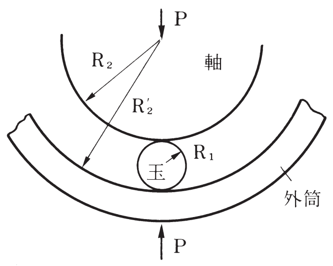


図63

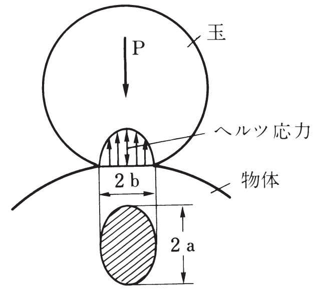


図64

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)	$F = P_0$	$F = 1.106P_0$	$F = 1.354P_0$
玉列の位置(B)	$F = 1.414P_0$	$F = 1.618P_0$	$F = 1.732P_0$
荷　重　比	1.414	1.463	1.280

図65

合計した総変形量：

$$\delta = 0.0014P^{2/3}\left[\left(\frac{2}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)^{1/3}+\left(\frac{2}{R_1}-\frac{1}{R'_2}\right)^{1/3}\right] \quad (\text{mm})\cdots\cdots(1)$$

ヘルツ応力：

$$\text{軸側}\ \sigma_i = 178\left(\frac{2}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)^{2/3}P^{1/3} \quad (\text{kgf/mm}^2)\cdots\cdots(2)$$

$$\text{外筒側}\ \sigma_o = 178\left(\frac{2}{R_1}-\frac{1}{R'_2}\right)^{2/3}P^{1/3} \quad (\text{kgf/mm}^2)\cdots\cdots(3)$$

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64**に示すようなだ円形をしていますが，(図では接触面を著しく誇張して画いている）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280～300kgf/mm²にとられ，またリングコーン形式などの無段変速機では150～200kgf/mm²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65**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65**の荷重比を乗じたものとしなくてはなりません．

5．リニアベアリングにモーメント荷重が作用する場合

図66に示すようにリニアベアリング外筒の中央位置から外れた軸上に外荷重Fが働くと，リニアベアリングにはモーメント荷重が作用することになります．このような状態はリニアベアリングの性能に対して極めて大きな影響を与え，摩擦を増大したり，走行寿命を著しく短くします．したがって，リニアベアリングを使用する場合には，できる限りモーメント荷重が働かないよう配慮する必要があります．しかし，使用上どうしてもモーメント荷重が作用する場合には，そのためにリニアベアリング内に生じる最大分布負荷を求めておき，それにもとづいて寿命や摩擦力の計算をしなければなりません．

１例として**図67**に玉列数が６で，１玉列の真上に外荷重が作用し，１列中の玉数がZ＝９の場合について，荷重偏心率eに対する荷重増大率kの関係を，軸受スキマ係数aをパラメータにして示します．これよりkはeが増加するほど，すなわち外荷重Fが外筒中央位置から離れて作用するほど増大することがわかります．またaが大きい場合ほど，すなわち軸受スキマが大きい場合ほど，その増大傾向は急激になることもわかります．しかし,いずれの場合ともe＝１の近傍からは，ややゆるやかに増大して行く傾向をもつことがわかります．

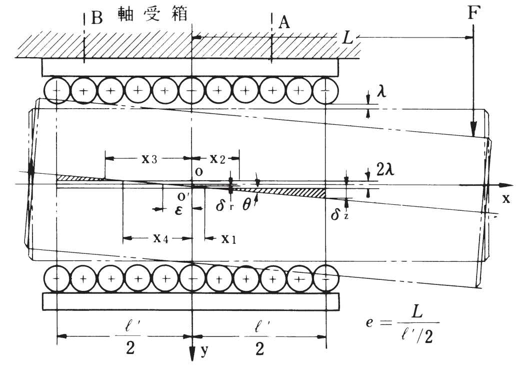
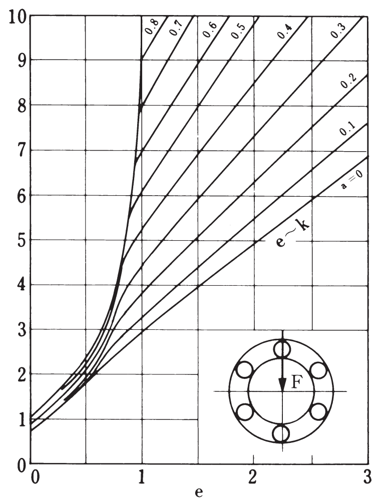


図66：モーメント荷重が作用する場合の負荷状態図



正の軸受すきまがある場合
（玉列数６の場合）

図67：モーメント荷重係数　k

$$e = \frac{L}{\ell'/2} \qquad a = \frac{\lambda}{\delta}$$

λ：リニアベアリングの半径スキマ（μm）

δ：軸中心移動量（μm）**図66**参照

$$K = \frac{P_{max}}{F/Z}$$

P_{max}：リニアベアリング中の玉に働く最大分布負荷（kgf）

F　：外荷重（kgf）

Z　：１列中の玉数

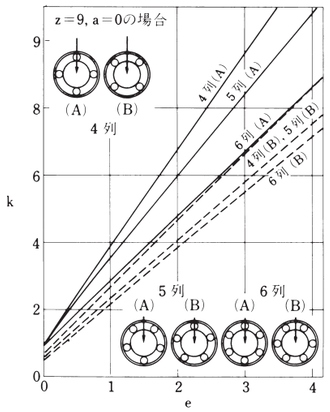
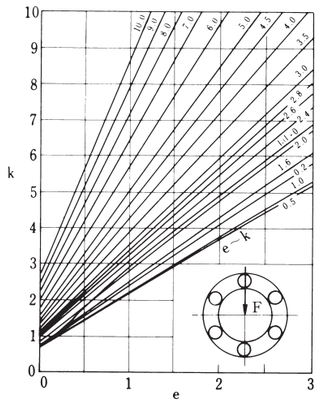


図68



負の軸受すきま(予圧)がある場合
(玉列数6の場合)

図69：モーメント荷重係数　k

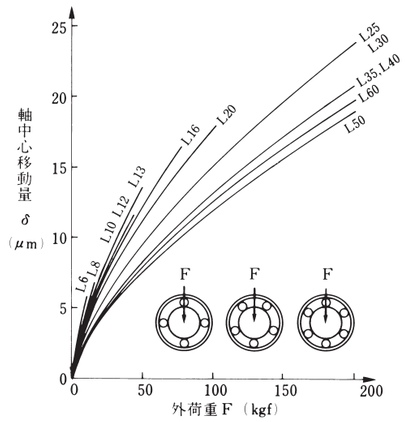


図70-(A)

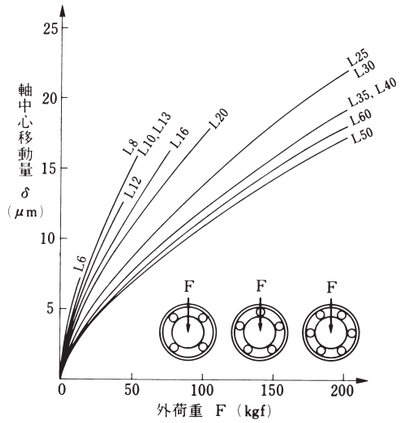


図70-(B)

また，玉列数が4，5，6の場合に対して，外荷重が1玉列の真上に作用する場合(A)及び外荷重が2つの玉列の中間に作用する場合(B)についてkとeの関係を求めた結果を**図68**に示します．なお，各種リニアベアリングの外荷重Fに対するδの値は，**図70**から求められます．一方，玉列6(A)の場合について前述した予圧がかけられた場合のkとeの関係は**図69**のようで，**図67**と比べるとa≦2すなわち適切な予圧をかけた場合の荷重増大率は，軸受スキマが零の場合すなわちa＝0の場合よりかえって小さくすることがわかります．したがってリニアベアリングに予圧をかけて使用することは軸とのガタツキを除去するだけでなく，リニアベアリング内の玉に働く最大分布負荷を低減し，その結果として走行寿命の増大上も有効となります．

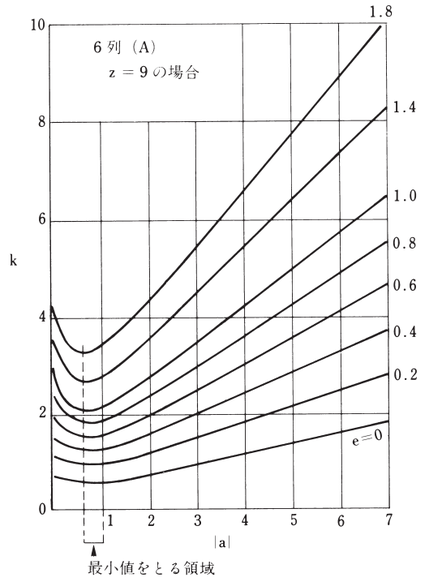


図71

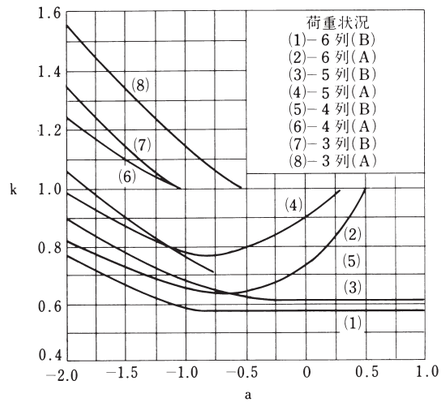


図72

このような状態は**図71**でさらに明瞭にわかります．すなわち，本例では|a|＝0.6～0.8の予圧をかけるのがもっとも望ましい状態であることがわかります．また，種々の玉列数及び荷重状態に対するkとaの関係は**図72**に示します．これより，一般に－1＜a＜0の状態でボールブッシュを使用するのが好ましい状態であると云うことができます．

外荷重に対する玉列の位置

(A)の場合

$$\delta = 1.4\left(\frac{F}{\bigcirc Z}\right)^{2/3}\left(\left(\frac{2}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)^{1/3}+\left(\frac{2}{R_1}-\frac{1}{R'_2}\right)^{1/3}\right)\ (\mu\mathrm{m})$$

(B)の場合

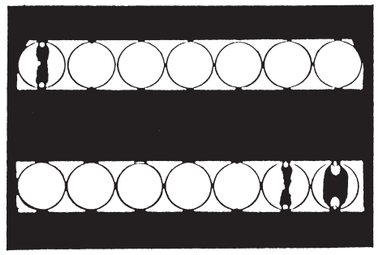
$$\delta = \frac{1}{\cos\left(\frac{180^\circ}{Z'}\right)}1.4\left(\frac{F}{\square Z}\right)^{2/3}\left(\left(\frac{2}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)^{1/3}+\left(\frac{2}{R_1}-\frac{1}{R'_2}\right)^{1/3}\right)\ (\mu\mathrm{m})$$

Z＝1列の玉数

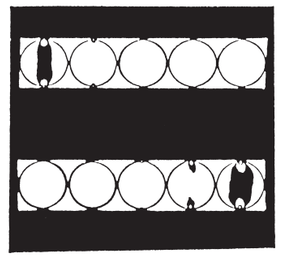
Z'＝玉列数

○，□＝F／P_0

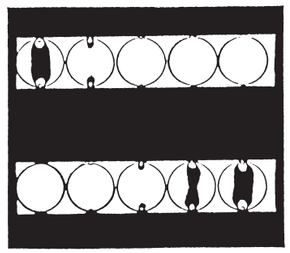
6．モーメント荷重が作用した場合の光弾性写真



λ＝15μm



λ＝0



λ＝－5μm

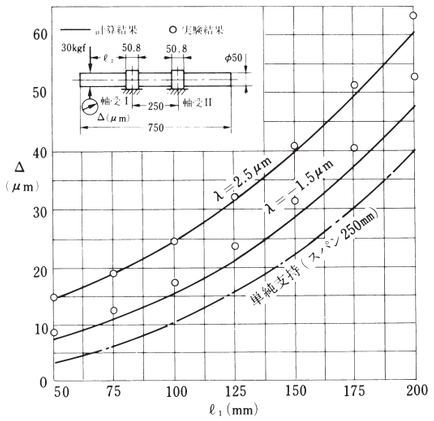
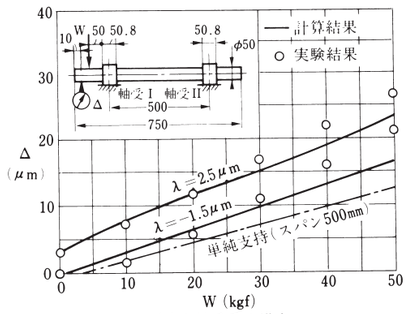
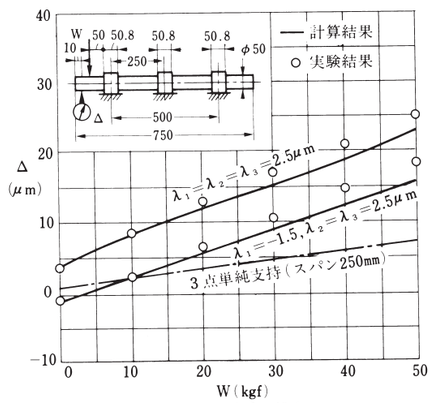


図73



(a) 2 軸受系の場合

図74(a)



(b) 3 軸受系の場合

図74(b)

7．リニアベアリングで支えた軸の剛性

近年，機械の精密化要求とともに各種の軸受で支持した軸の剛性の大小，すなわち荷重に対する変形量の大小が問題にされています．もちろん，精密機械に対しては剛性の大きいことが重要で，そのためグラナイトでベットが作られたり，ファインセラミック製案内軸が用いられるようになってきました．**図73**は２個のリニアベアリングで支えた軸の一端に30kgfの荷重をかけた場合の軸の変位量を示したもので，荷重点までの距離ℓ_1が長くなるにしたがって，軸の変位量Δも大きくなることがわかります．ただ，ボールブッシュに半径スキマ2.5μmがある場合に比べ−1.5μmの予圧がかけられると，かなり剛性の増大することがわかり，前述したとおり予圧の付与はボールブッシュの剛性増大上かなり有効なことがわかります．また図中には単純支持状態の軸の変位量が一点鎖線で併記されていますが，これと比べるとリニアベアリングで支えた軸は荷重による玉の変形分だけ大きく変位することがわかります．これは玉を使う以上避けられないもので，これを小さくするには玉列数を増すか，あるいはボールの転動する溝を設けるのがよいとされます．次に**図74**はスパン500㎜を２個のリニアベアリングで軸を支えた場合(a)と，そのスパンの中間にさらに１個のリニアベアリングを置き３個のリニアベアリングで軸を支えた場合(b)の剛性を比べた例を示しています．荷重を増大していくと，もちろん変位量も増加していくが**図74**(a)と**図74**(b)を比べてみますと，その値に大して差異のないことがわかります．これよりリニアベアリングで軸を支える場合には，２個のブッシュで支えても３個で支えてもその剛性上は大した相違のないことがわかります．ただ，これらの場合でももちろん予圧付与の効果はかなり顕著なことは明らかであります．

8．リニアベアリングの発生音について

(1) はじめに

一般に転動体を用いる機械要素は音響や振動を発生し易く，その発生音は普通１kHz以上のものが多いとされ，人間に不快感を与えるといわれています．

(2)

- リニアベアリングの音
  - 本質音
    - 構造による音
      - 軌道音
      - きしり音
      - 玉の衝突音
      - リターン部の音
    - 製作による音 — びびり音
    - 取り扱いによる音
      - きず音
      - ごみ音
  - 外部音
    - モーターのうなり音
    - 軸振動に起因する支持軸受などの音

(3) 軌　道　音

玉が軌道面上を転がるために発生する音で，音圧レベルは回転速度が増加すると増大します．ラジアルすきまが小さいほど音圧レベルは急に増大しますが，すきまが過大で軸が振動するような場合にも音圧レベルは増大します．粘度の高い潤滑油を用いると音圧レベルは低下し，グリースの場合は基油粘度の高いほど音圧レベルは低下します．しかし，グリースの場合はそのちょう度，石鹸繊維の形状や大きさも音圧に影響します．また，ハウジングの剛性は大きい場合ほど音圧レベルは低下します．軌道音の発生源は軌道面及び玉表面の形状誤差に起因することが明白にされています．

(4) きしり音

ころ軸受の場合に発生事例が多いとされ，また，ラジアルすきまの過大な軸受にラジアル荷重が働く場合や潤滑性能の悪いグリースを使用した場合，それも特に冬期に発生し易いとされます．この音は，非負荷領域でグリース等による抵抗のため，自転速度の低下した転動体が負荷領域に入るとき．急に加速されるため，すべりを生じて発生します．しかし，十分な油膜を形成させる工夫と玉すべりの少ない内部設計で，ある程度は改善できます．

(5) 玉の衝突音，リターン部の音

循環路出入口における玉の減速・加速のためや，玉と軌道面の接触点の変動による玉速度の差異等のために玉同士の衝突が起こり，その際に衝突音が発生します．また，リターン部と玉の衝突音やリターン部内での玉のきしり音も考えられます．これらは例えば非金属スペーサボールの採用や十分な油膜形成の工夫等で低減しうるものと考えられます．

(6) びびり音

回転速度が一定の場合，一定の周波数をもつとされる音でかなり耳ざわりな音になります．びびり音の発生原因は軌道面や玉にある比較的大きな高さをもつ円周方向のうねりとされています．

(7) きず音

軌道面や玉の表面にきずや圧痕やさび等があると，周期性のある音が発生します．軌道面のきずによる音は連続して発生し，玉のきずによる音は発生したり，しなかったりします．

(8) ごみ音

ベアリング中に異物が侵入した場合には，その位置が不定のため非周期性の振動や音が発生します．この種の音は音圧が一定せず，また回転速度による影響も一定しないといわれています．その対策としては潤滑油中のごみの除去や十分な機能をもつシールの工夫が重要と考えられています．

9．軸のたわみ影響によるリニアベアリングの寿命計算式

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．

$$L=\left(\frac{C}{P}\cdot f_a\right)^3\times 50\text{km}$$

f_a：軸のたわみによる影響係数

f_aは**図75**に示す軸の支持状態(A)，(B)に初し，**図76**から求めることができます．

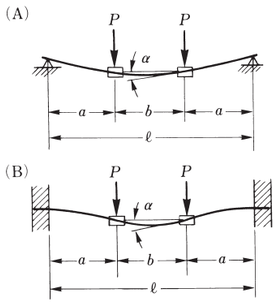


図75：軸の支持状態

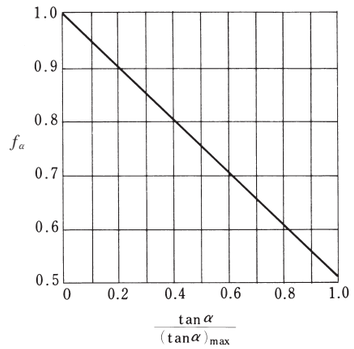


図76：軸のたわみによる影響係数f_aの値

(A)　両端自由支持の場合

$$\tan\alpha=\frac{P\cdot a\cdot b}{2\cdot E\cdot I}=4.945\times10^{-5}\frac{P\cdot a\cdot b}{d^4}$$

(B)　両端固定支持軸の場合

$$\tan\alpha=u_f\cdot\frac{P\cdot a\cdot b}{2\cdot E\cdot I}=u_f\cdot 4.945\times10^{-5}\frac{P\cdot a\cdot b}{d^4}$$

d：軸径(mm)　E：縦弾性係数 2.06×10^5(N/mm²)　P：作用荷重(N)

u_f：両端固定支持軸のb/ℓ値．**図77**　断面二次モーメント　$I=\frac{\pi d^4}{64}$(mm⁴)

$(\tan\alpha)_{max}$は軸径区分により**表215**より選出する．

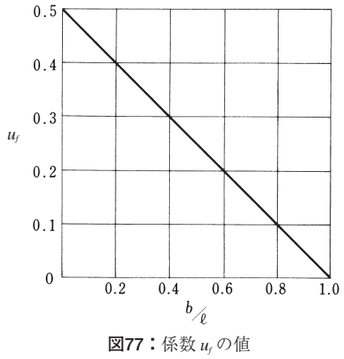
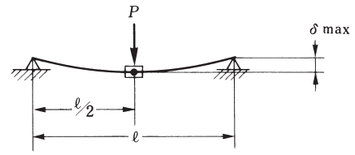
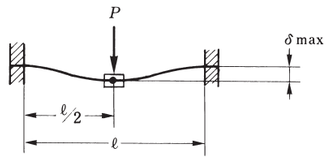
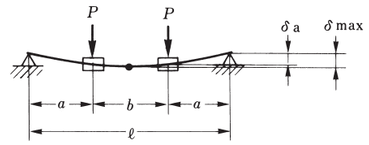
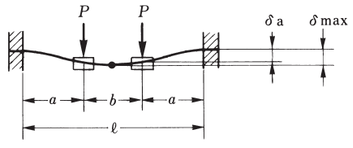
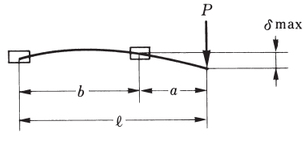


図77：係数u_fの値

表215

軸径	$(\tan\alpha)_{max}$	軸径	$(\tan\alpha)_{max}$
3	8.3×10^{-4}	20	7.4×10^{-4}
4	7.0	25	6.6
5	7.1	30	5.5
6	8.0	35	4.5
8	7.1	40	6.6
10	7.9	50	5.3
12	7.0	60	5.7
13	10.7	80	8.3
16	7.2	100	5.5

10．軸のたわみ量計算式

仕　様　状　態	軸のたわみ量(mm)
	$\delta_{max}=\frac{P\cdot\ell^3}{48\cdot E\cdot I}=2.060\times10^{-6}\frac{P\cdot\ell^3}{d^4}$
	$\delta_{max}=\frac{P\cdot\ell^3}{192\cdot E\cdot I}=5.151\times10^{-7}\frac{P\cdot\ell^3}{d^4}$
	$\delta_a=\frac{P\cdot a^2}{6\cdot E\cdot I}(2a+3b)=1.648\times10^{-5}\frac{P\cdot a^2\cdot(2a+3b)}{d^4}$ $\delta_{max}=\frac{P\cdot a}{24\cdot E\cdot I}(3\ell^2-4a^2)=4.121\times10^{-6}\frac{P\cdot a\cdot(3\ell^2-4a^2)}{d^4}$
	$\delta_a=\frac{P\cdot a^3}{6\cdot E\cdot I}(2-\frac{3a}{\ell})=1.648\times10^{-5}\frac{P\cdot a^3}{d^4}(2-\frac{3a}{\ell})$ $\delta_{max}=\frac{P\cdot a^2}{24\cdot E\cdot I}(2a+3b)=4.121\times10^{-6}\frac{P\cdot a^2\cdot(2a+3b)}{d^4}$
	$\delta_{max}=\frac{Pa^2\ell}{3\cdot E\cdot I}=3.296\times10^{-5}\frac{Pa^2\ell}{d^4}$

d：軸径(mm)　E：縦弾性係数 2.06×10^5(N/mm²)　P：作用荷重(N)

断面二次モーメント　I(中実軸)$=\frac{\pi d^4}{64}$(mm⁴)，I(パイプ軸)$=\frac{\pi(d^4-do^4)}{64}$(mm⁴)　do：パイプ内径(mm)