

HAND

転がり軸受  
入門ハンドブック



BOOK



# NTN

## 転がり軸受 入門ハンドブック

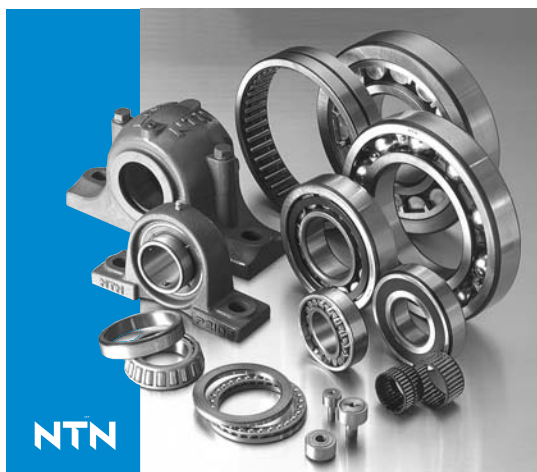
## はじめに

物を動かすときには、多くの場合摩擦力という力が働き、物を動かすためには、この摩擦力を上回る力が必要です。各種機械をはじめ、動くものには、この摩擦力を小さくするためにいろいろな軸受が使われます。

回転する軸を支えることから軸受といわれますが、回転だけでなく滑り面に使われているものも軸受と呼ばれています。これら軸受の中で、転動体と呼ばれる玉又はころ等を使い、摩擦力を小さくしたものが転がり軸受です。

転がり軸受の歴史は古いものの、近年の技術進歩はめざましいものがあり、この技術革新によって各種機械、装置等にとって非常に重要な機械要素のひとつとなっています。

転がり軸受入門ハンドブックでは、転がり軸受の基礎を理解していただくとともに、正しい使い方を把握してもらうために、判り易く解説しました。ご活用頂ければ幸いに存じます。



## 目 次

|          |                            |           |                                            |           |
|----------|----------------------------|-----------|--------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>転がり軸受について</b> .....04   | <b>9</b>  | <b>軸受内部すきまと予圧</b> .....45                  | <b>1</b>  |
| 1.1      | 滑り摩擦と転がり摩擦 .....04         | 9.1       | 軸受内部すきま .....45                            | <b>2</b>  |
| 1.2      | 滑り軸受と転がり軸受 .....04         | 9.2       | 軸受内部すきまの選定 .....46                         | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>転がり軸受の分類と特徴</b> .....05 | 9.3       | 軸受の予圧 .....47                              | <b>4</b>  |
| 2.1      | 構造 .....05                 | 9.4       | 深溝玉軸受のラジアル内部すきまと<br>アキシャル内部すきまとの関係 .....49 | <b>5</b>  |
| 2.2      | 分類 .....06                 | 9.5       | アンギュラ玉軸受のアキシャル荷重と<br>アキシャル変位 .....50       | <b>6</b>  |
| 2.3      | 軸受の製造工程 .....08            | 9.6       | 円すいころ軸受のアキシャル荷重と<br>アキシャル変位 .....52        | <b>7</b>  |
| 2.4      | 特徴 .....09                 | 9.7       | 玉軸受の許容アキシャル荷重 .....52                      | <b>8</b>  |
| <b>3</b> | <b>軸受の選定</b> .....16       | <b>10</b> | <b>許容回転速度</b> .....53                      | <b>9</b>  |
| 3.1      | 選定手順 .....16               | <b>11</b> | <b>軸受の特性</b> .....54                       | <b>10</b> |
| 3.2      | 形式と性能比較 .....17            | 11.1      | 摩擦 .....54                                 | <b>11</b> |
| 3.3      | 軸受の配列 .....18              | 11.2      | 発熱量 .....54                                | <b>12</b> |
| <b>4</b> | <b>主要寸法と呼び番号</b> .....19   | 11.3      | 音響 .....55                                 | <b>13</b> |
| 4.1      | 主要寸法 .....19               | <b>12</b> | <b>潤滑</b> .....57                          | <b>14</b> |
| 4.2      | 呼び番号 .....20               | 12.1      | グリース潤滑 .....57                             | <b>15</b> |
| <b>5</b> | <b>軸受の精度</b> .....22       | 12.2      | 油潤滑 .....62                                | <b>16</b> |
| 5.1      | 寸法精度と回転精度 .....22          | <b>13</b> | <b>軸受の密封装置</b> .....65                     | <b>17</b> |
| 5.2      | 精度の測定方法 .....26            | <b>14</b> | <b>軸受材料</b> .....66                        | <b>18</b> |
| <b>6</b> | <b>定格荷重と寿命</b> .....27     | 14.1      | 軌道輪及び転動体の材料 .....66                        | <b>19</b> |
| 6.1      | 軸受の寿命 .....27              | 14.2      | 保持器の材料 .....66                             | <b>20</b> |
| 6.2      | 基本定格寿命と基本動定格荷重 .....27     | <b>15</b> | <b>軸及びハウジングの設計</b> .....67                 | <b>21</b> |
| 6.3      | 補正定格寿命 .....28             | 15.1      | 軸受の固定 .....67                              | <b>22</b> |
| 6.4      | 使用機械と必要寿命 .....29          | 15.2      | 取付関係寸法 .....68                             | <b>23</b> |
| 6.5      | 基本静定格荷重 .....29            | 15.3      | 軸及びハウジングの精度 .....69                        | <b>24</b> |
| 6.6      | 許容静等価荷重 .....30            | <b>16</b> | <b>軸受の取扱い</b> .....70                      | <b>25</b> |
| <b>7</b> | <b>軸受荷重</b> .....32        | 16.1      | 軸受の取付け .....70                             | <b>26</b> |
| 7.1      | 軸系に作用する荷重 .....32          | 16.2      | 取付け後の回転検査 .....72                          | <b>27</b> |
| 7.2      | 軸受への荷重配分 .....34           | 16.3      | 軸受の取外し .....72                             | <b>28</b> |
| 7.3      | 等価荷重 .....36               | 16.4      | 圧入力及び引抜き力 .....75                          | <b>29</b> |
| 7.4      | 許容アキシャル荷重 .....37          | <b>17</b> | <b>軸受の損傷と対策</b> .....76                    | <b>30</b> |
| <b>8</b> | <b>はめあい</b> .....39        |           | 参考資料(各国規格記号) .....82                       | <b>31</b> |
| 8.1      | 軸受のはめあい .....39            |           |                                            | <b>32</b> |
| 8.2      | はめあいの選定 .....40            |           |                                            | <b>33</b> |
| 8.3      | はめあいの計算 .....42            |           |                                            | <b>34</b> |
| 8.4      | はめあい面の圧力 .....43           |           |                                            | <b>35</b> |
| 8.5      | 圧入及び引抜きに要する力 .....44       |           |                                            | <b>36</b> |

## 1. 転がり軸受について

### 1.1 滑り摩擦と転がり摩擦

図1.1に示したように、同じ重さのものを引張る時に地面に直接置いて引張る場合と、ころの上に載せて引張る場合では、動かすために必要な力が大きく異なります。これは摩擦係数( $\mu$ )というものが大きく異なるためです。

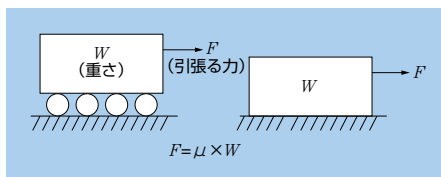


図1.1 摩擦力の比較

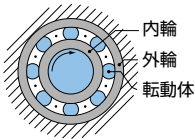
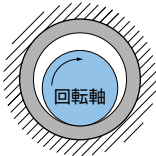
動く境目となる力は $F = \mu \times W$ で計算できますが、転がり軸受の摩擦係数 $\mu$ の値は滑り軸受の摩擦係数の1/100以下の非常に小さな値となっています。

一般に転がり軸受の摩擦係数は $\mu = 0.001 \sim 0.005$ です。

### 1.2 滑り軸受と転がり軸受

いずれの軸受もいろいろな形式があり、それぞれ特徴を持っています。

しかし一般的な特徴として両者を比較すると下表の通りです。

| 特 性      | 転がり軸受                                                                                                                                     | 滑り軸受                                                                                                                                      |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 構 造      | <p>一般に内輪と外輪を有し、この間に玉又はころの転動体が介在し、この転がりによって回転荷重を支える。</p>  | <p>回転荷重は面で支持され、直に滑り接触する場合と、流体を媒体として膜厚で滑りを保持する場合がある。</p>  |
| 寸 法      | 転動体が介在するため断面積が大きい。                                                                                                                        | 断面積が非常に小さい。                                                                                                                               |
| 摩 擦      | 起動時、回転中とも摩擦トルクは非常に小さい。                                                                                                                    | 起動時の摩擦トルク大、回転中は条件によっては、小さいものもある。                                                                                                          |
| 内部すきま・剛性 | 内部すきまを負にして軸受として剛性をもたせて使用することができる。                                                                                                         | すきま有の状態で使用。したがってすきま分だけは動く。                                                                                                                |
| 潤 滑      | 原則として潤滑剤が必要、グリース使用等で保守が容易、ごみに対しては敏感。                                                                                                      | 無潤滑で使用できるものあり、一般にはごみに対しては比較的鈍感。油潤滑条件に十分な注意が必要。                                                                                            |
| 温 度      | 高温から低温まで使用可、潤滑剤により冷却効果が期待できる。                                                                                                             | 一般に高温及び低温に限界あり。                                                                                                                           |

なお、転がり軸受は寸法が国際的に規格化されており、互換性、入手性にすぐれ、安価なため広く使用されています。

## 2. 転がり軸受の分類と特徴

### 2.1 構造

転がり軸受は基本的に4つ(外輪, 内輪, 転動体, 保持器)の部品より構成されています。代表的な軸受について各部品の形状を図2.1に示します。

#### ●軌道輪(内輪と外輪)又は軌道盤<sup>①</sup>

転動体が転がる表面を軌道面と呼び、軸受にかかる荷重をその接触面で支えています。また、一般に内輪は軸と、外輪はハウジングとはめあいされて使われます。

① JISではスラスト軸受の軌道輪を軌道盤と呼び、内輪を軸軌道盤、外輪をハウジング軌道盤と呼びます。

#### ●転動体

転動体は大別すると玉ところですが、ころは形状により円筒ころ、針状ころ、円すいころ、及び球面ころに分類されます。転動体は軌道輪間を転がりながら荷重を受ける役目を持っています。

#### ●保持器

転動体を一定の間隔で正しい位置に保持すると共に、転動体が脱落することを防ぐ役目も持っています。この保持器には鉄板をプレスした打ち抜き保持器、削り出しによるもみ抜き保持器、樹脂成形保持器などがあります。

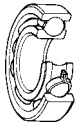
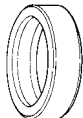
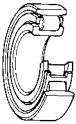
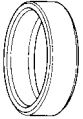
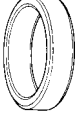
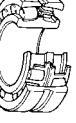
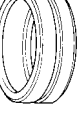
| 軸受形式     | 完成品                                                                                 | 部品                                                                                  |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|          |                                                                                     | 外輪                                                                                  | 内輪                                                                                  | 転動体                                                                                 | 保持器                                                                                 |
| 深溝玉軸受    |    |    |    |    |    |
| 円筒ころ軸受   |    |    |    |    |    |
| 円すいころ軸受  |  |  |  |  |  |
| 自動調心ころ軸受 |  |  |  |  |  |
| 針状ころ軸受   |  |  |  |  |  |

図2.1 代表的な転がり軸受の比較

## 2.2 分類

転がり軸受を構造上から分類すると概ね図2.2のようになります。

この他にも種々の形状をした軸受があります。各種カタログを参照願います。

また、代表的な軸受の各部の用語を図2.3に示します。

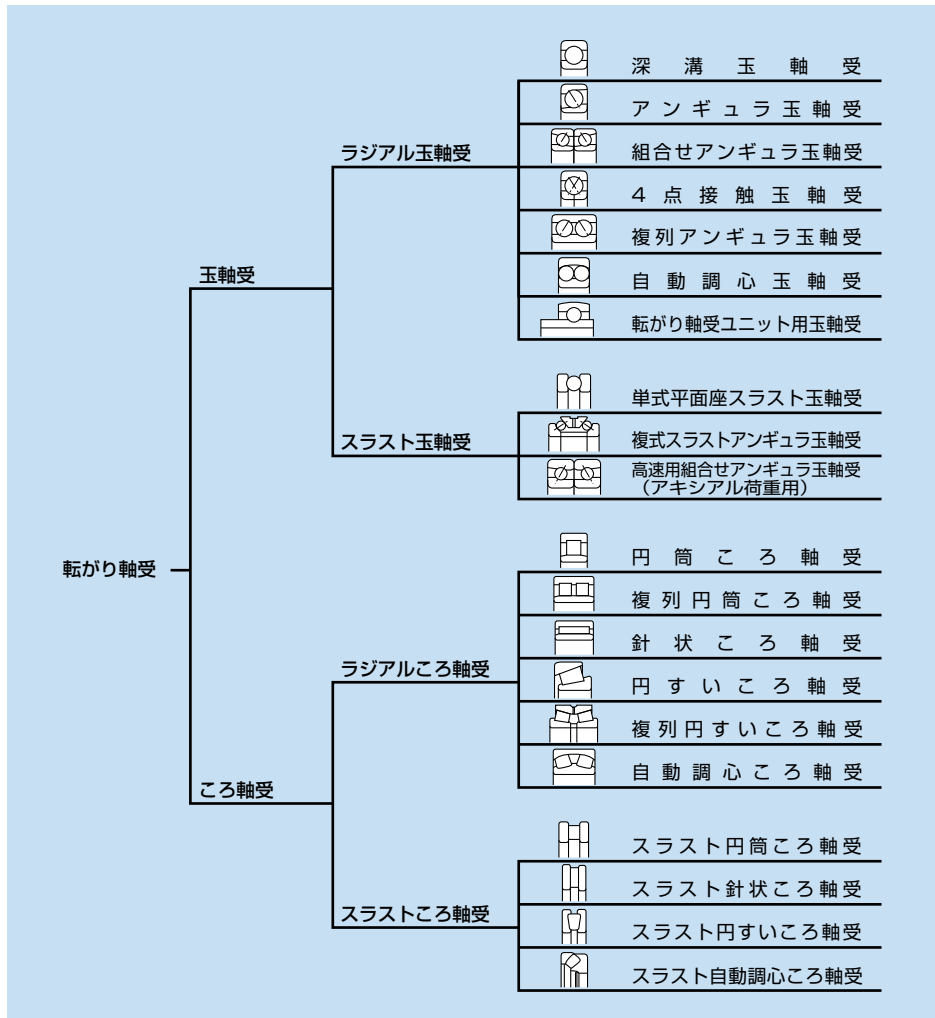


図2.2 転がり軸受の分類

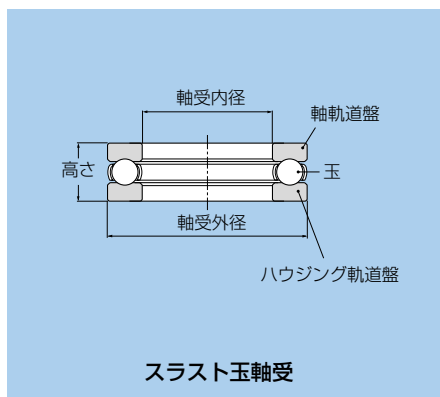
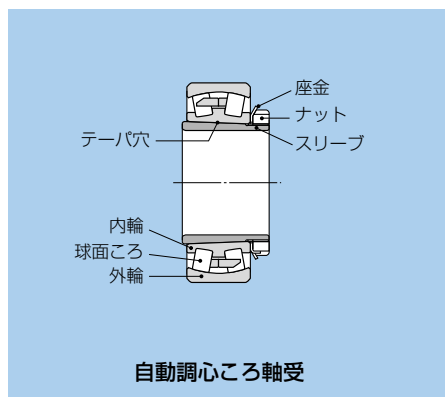
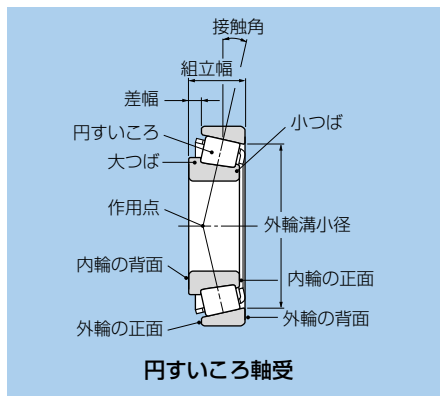
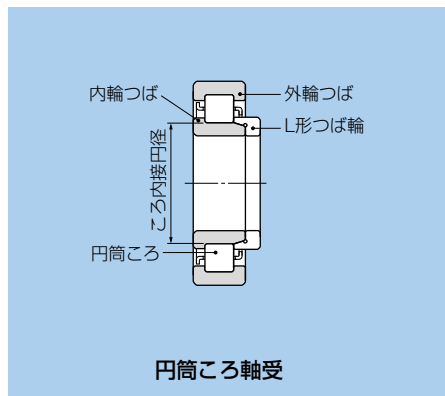
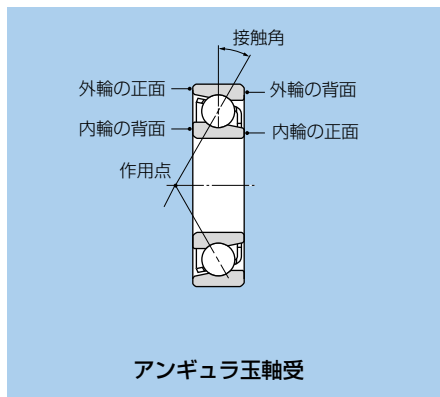
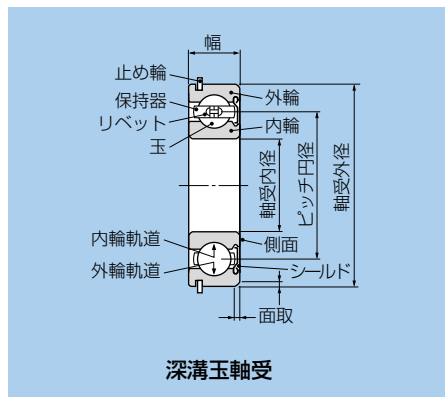


図2.3 軸受各部の用語



## 2.3 軸受の製造工程

軸受の形式は多く、その製造工程もそれぞれの軸受形式により相違しますが、一般に鍛造工

程、旋削工程、熱処理工程、研削工程、組立工程を経て製造されます。

深溝玉軸受の製造工程を下図に示します。

### 玉軸受のできるまで

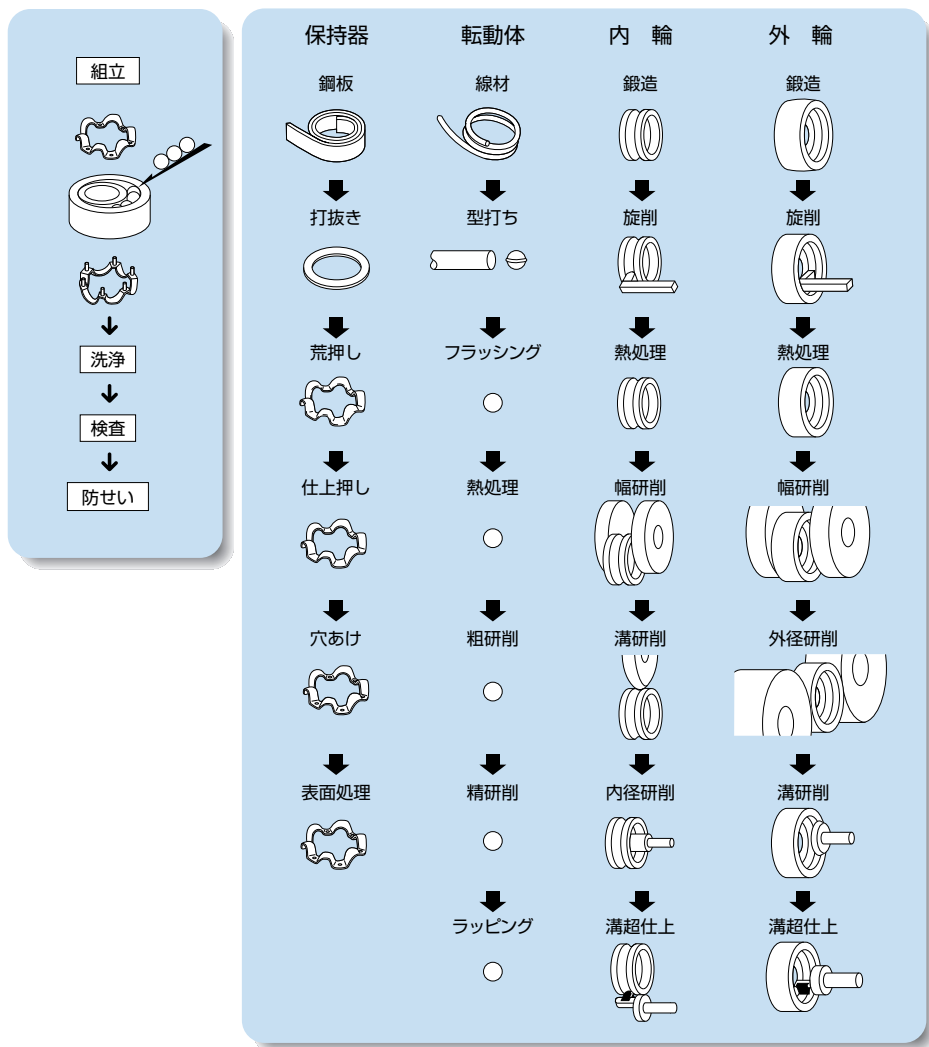
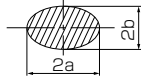
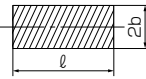


図2.4 深溝玉軸受の製造工程

## 2.4 特徴

### ●玉軸受ところ軸受

表2.1 玉軸受ところ軸受の比較

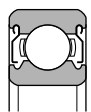
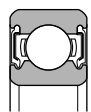
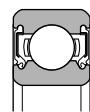
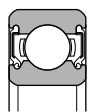
|           | 玉 軸 受                                                                                                          | こ ろ 軸 受                                                                                                            |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 軌道輪との接触状況 | 点接触<br>荷重を受けると接触面は楕円形となる。<br> | 線接触<br>荷重を受けると接触面は一般に長方形となる。<br> |
| 特 性       | 玉は点接触のため、転がり抵抗が小さく、低トルク、高速使用に適している。また音響にも優れている。                                                                | 線接触のため回転トルクは玉より大きい、剛性が高い。                                                                                          |
| 負荷能力      | 負荷能力は小さいが、ラジアル軸受ではラジアル及びアキシアル両方向の荷重を受けることができる。                                                                 | 負荷能力が大きい。つば付円筒ころ軸受では若干のアキシアル荷重も受けられる。円すいころ軸受では2個組合せにより大きな両方向のアキシアル荷重が受けられる。                                        |

### ●深溝玉軸受

最も一般的な軸受で種々の分野で幅広く使われています。この軸受には内部にグリースを封入し使いやすとしたシールド及びシールド軸受があります。

また外輪取付け時の位置決定を考慮した止め輪付き軸受、ハウジングの温度による軸受はめあい面の寸法変化を吸収する膨張補正軸受、潤滑油中のごみに強いTAB軸受等種々の軸受があります。

表2.2 密封玉軸受の構造と特性

| 形式及び記号 |         | シールド形<br>非接触形 ZZ                                                                   | 非接触形 LLB                                                                           | シールド形<br>接触形 LLU                                                                   | 低トルク形 LLH                                                                          |
|--------|---------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|        |         |  |  |  |  |
| 構 造    |         | ●金属のシールド板を外輪に固定し、内輪シール面のV溝とのラビリンスすきまを形成。                                           | ●鋼板に合成ゴムを固着したシールド板を外輪に固定しシール先端部は内輪シール面のV溝に沿ってラビリンスすきまを形成。                          | ●鋼板に合成ゴムを固着したシールド板を外輪に固定しシール先端部は内輪シール面のV溝側面に接触している。                                | ●基本構造はLUと同じであるがシール先端部のリップを特殊設計し吸着防止のスリットを設け低トルクシールドを形成。                            |
| 性能比較   | 摩擦トルク   | 小                                                                                  | 小                                                                                  | やや大                                                                                | 中                                                                                  |
|        | 防 塵 性   | 良 好                                                                                | ZZ形より良好                                                                            | 最も優れる                                                                              | LLB形より優れる                                                                          |
|        | 防 水 性   | 不 適                                                                                | 不 適                                                                                | 極めて良好                                                                              | 良 好                                                                                |
|        | 高 速 性   | 開放形と同じ                                                                             | 開放形と同じ                                                                             | 接触シールによる限界がある                                                                      | LLU形より優れる                                                                          |
|        | 許容温度範囲① | 潤滑剤による                                                                             | -25℃～120℃                                                                          | -25℃～110℃                                                                          | -25℃～120℃                                                                          |

① 許容温度範囲は標準品について示しています。

備考 図は両シールド、シールド軸受を示すが、片シールド(Z), シールド(LLB, LU, LH)形軸受も製作している。  
片シールド、シールド軸受はグリースを封入していない。

### ●アンギュラ玉軸受

内輪、玉、外輪の接点を結ぶ直線がラジアル方向に対してある角度（接触角）をもっています。

この角度は基本的に3種類の接触角で設計されています。

この軸受はアキシャル荷重が負荷できますが、接触角をもつため、1個では使用できず、対または組合せで使用しなければなりません。

高速用として内部設計を見直したシリーズもあり、カタログを参照願います。❶

転がり軸受総合カタログ  
B-43ページ参照



### アンギュラ玉軸受

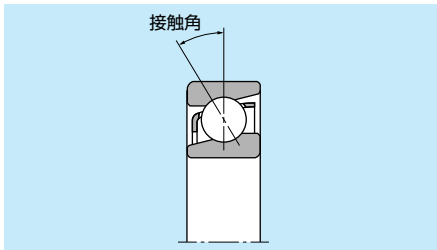
アンギュラ玉軸受・組合せアンギュラ玉軸受  
高速用アンギュラ玉軸受・高速用組合せアンギュラ玉軸受  
超高速用アンギュラ玉軸受 BNT0.1  
セラミックボール入りアンギュラ玉軸受  
4点接触玉軸受 QJ2,QJ3 .....  
複列アンギュラ玉軸受 52.53 .....

またこれら組合せ軸受の代わりに内輪、外輪

をそれぞれ一体化した複列アンギュラ玉軸受もあり、これは25°の接触角をもっています。

一方1つの軸受で両方向のアキシャル荷重が受けられる4点接触軸受があります。但し負荷条件によっては、温度上昇、摩耗の問題が発生しますので、注意が必要です。

表2.3 接触角と記号



接触角と接触角記号

| 接触角   | 15° | 30°            | 40° |
|-------|-----|----------------|-----|
| 接触角記号 | C   | A <sup>❶</sup> | B   |

❶ 接触角記号Aは省略する。

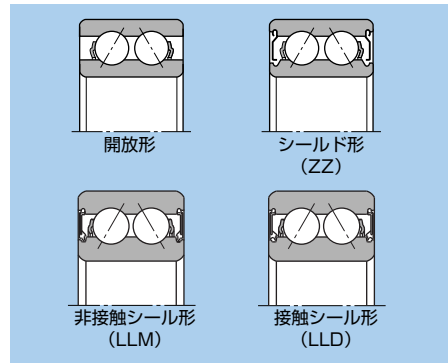


図2.5 複列アンギュラ玉軸受

表2.4 組合せアンギュラ玉軸受の組合せ形式と特徴

| 組合せ形式          | 特徴                                                                                                                                                                      |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 背面組合せ (DB)<br> | <ul style="list-style-type: none"> <li>●ラジアル荷重と両方向のアキシャル荷重を受けることができる。</li> <li>●軸受の作用点間距離 <math>l</math> が大きいので、モーメント荷重の負荷能力が大きい。</li> <li>●許容傾き角は小さい。</li> </ul>       |
| 正面組合せ (DF)<br> | <ul style="list-style-type: none"> <li>●ラジアル荷重と両方向のアキシャル荷重を受けることができる。</li> <li>●軸受の作用点間距離 <math>l</math> が小さくなりモーメント荷重の負荷能力は小さい。</li> <li>●許容傾き角は背面組合せより大きい。</li> </ul> |
| 並列組合せ (DT)<br> | <ul style="list-style-type: none"> <li>●ラジアル荷重と一方向のアキシャル荷重を受けることができる。</li> <li>●2個でアキシャル荷重を受けるので大きなアキシャル荷重を受けることができる。</li> </ul>                                        |

備考1. 軸受の内部すきま又は予圧量を調整するため、セットで製作されているので、同一の製品番号の軸受を組み合わせ使用しなければならない。

2. 3個以上の組合せもあります。

## ●円筒ころ軸受

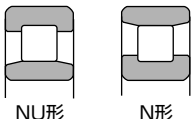
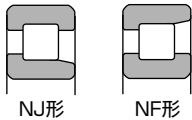
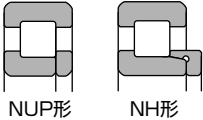
転動体がころのため負荷能力が大きく、ころは内輪又は外輪のつばで案内されています。内輪、外輪が分離できますので組立がしやすく、いずれも固いはめあいをすることができます。また、内輪、外輪いずれかがつばのない形式では軸方向に自由に動くので、軸の伸びを吸収するいわゆる自由側軸受として使うのに最適です。一方つばのある形式はころ端面とつばの間でわずかながらアキシャル荷重を受けることができ

ます。さらにアキシャル負荷能力を高めるためにつば並びにころ端面形状を考慮したHT形、またラジアル負荷能力を高めるため内部設計を工夫したE形円筒ころ軸受もあります。小径サイズはE形が標準です。

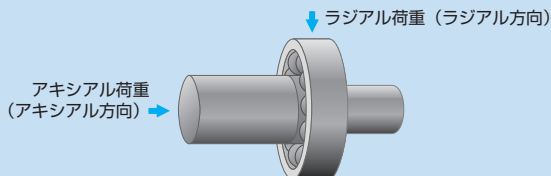
基本的な形状を表2.5に示します。

上記の他に、さらに大きな荷重に適用するためにころを多列並べた軸受、保持器をなくして総ころ形式にしたSL形軸受などもあります。

表2.5 円筒ころ軸受の形式と特徴

| 形式記号                   | 図 例                                                                                 | 特 徴                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NU形<br>N 形             |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>●NU形は外輪に両つばがあり、「外輪ところ及び保持器の組立品」と内輪が分離できる。N形は内輪に両つばがあり、「内輪ところ及び保持器の組立品」と外輪が分離できる。</li> <li>●アキシャル荷重を全く受けることができない。</li> <li>●自由側軸受として最も適した形式で広く使用されている。</li> </ul> |
| NJ形<br>NF形             |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>●NJ形は外輪に両つば、内輪に片つばがあり、NF形は外輪に片つば、内輪に両つばがある。</li> <li>●一方方向のアキシャル荷重を受けることができる。</li> <li>●固定側、自由側に区別しない場合に二個を近接して使用することがある。</li> </ul>                             |
| NUP形<br>NH形<br>(NJ+HJ) |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>●内輪のつばがない側に両つば輪をつけたのがNUP形、NJ形にL形つば輪をつけたのがNH形でそれぞれのつば輪が分離するので内輪をアキシャル方向に固定する必要がある。</li> <li>●両方向のアキシャル荷重を受けることができる。</li> <li>●固定側軸受として使用することがある。</li> </ul>       |

## 荷重方向と呼称



### ●円すいころ軸受

内輪、外輪の軌道面及びころの円すいの頂点が軸受の中心線上の一点で交わるように設計されています。このためころは軌道面上を内輪軌道面と外輪軌道面から受ける合成力によって、内輪大つばに押つけられて案内されながら転がります。

ラジアル荷重を受けるとアキシアル方向の分力が生じるので二個対応させて使用する必要があります。ころ付内輪と外輪が分離するので、

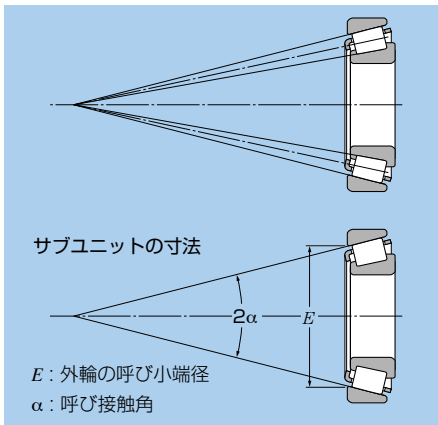


図2.6 円すいころ軸受

すきま又は予圧の状態での取付けが容易で便利ですが、組み込みすきまの管理は難しいので注意が必要です。ラジアル荷重、アキシアル荷重とも大きな荷重を受けることができます。

なお、NTNの4T-、ET-、T-、ECO-及びU付き軸受は、ISO及びJISのサブユニット寸法（呼び接触角、外輪の呼び小端径）の規格に準拠しており、国際的に互換性があります。

NTNでははだ焼鋼にて長寿命化を図ったETA-やET-などの軸受があります。なお、この他に二個の軸受を組合せた複列円すいころ軸受、さらに四列円すいころ軸受などが重荷重用としてあります。

### ●自動調心ころ軸受

軌道面が球面をした外輪と、二列のたる形転動体を擁する内輪をもった軸受で軸の傾きなどに対応する調心性をもっています。

内部設計の違いによりいろいろな形式の軸受があります。

内輪内径がテーパ穴をした軸受もあり、アダプタ又は取外しスリーブにて軸に容易に取付けられ、また、大きな荷重を受けられるので多くの産業機械に使われています。アキシアル荷重が大きくなると片列のころが無負荷となり、いろいろな弊害が起りますので使用条件に注意が必要です。

表2.6 自動調心ころ軸受の形式

| 形 式    | 標準形 (B形)          | C形                                   | 213形                 | E形                    |
|--------|-------------------|--------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| 構造図    |                   |                                      |                      |                       |
| 軸受系列   | C形に含まれないもの        | 222, 223, 213の内径50mm以下、及び24024~24038 | 213の内径55mm以上         | 22211~22218           |
| ころ     | 非対称ころ             | 対称ころ                                 | 非対称ころ                | 対称ころ                  |
| ころ案内方式 | 内輪と一体の中つばによる      | 二列のころ列の間に配置した案内輪による                  | 外輪軌道に配置したころ列間の案内輪による | 高精度の保持器による(中つば、案内輪なし) |
| 保持器形式  | 打抜き保持器<br>もみ抜き保持器 | 打抜き保持器                               | もみ抜き保持器              | 樹脂成形保持器               |

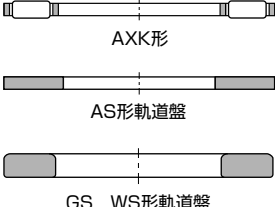
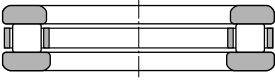
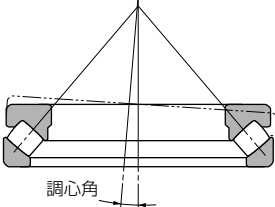
### ●スラスト軸受

転動体の形状及び用途によっていろいろな形式の軸受があります。

一般的に許容回転速度は低く、また潤滑には注意が必要です。

下記以外にも特定用途用として種々のスラスト軸受がありますが、専用カタログを参照願います。

表2.7 スラスト軸受の形式と特徴

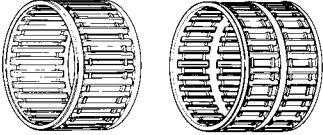
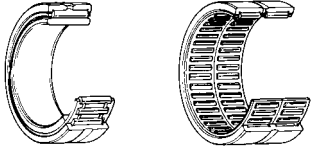
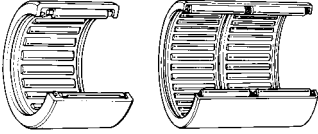
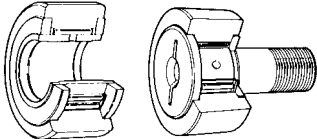
| 形 式                                                                                                                                                 | 特 徴                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>●単式スラスト玉軸受</b><br>                                              | <p>内輪に相当する軸軌道盤と外輪に相当するハウジング軌道盤との間に保持器に保持されたボールを擁しており一方の方向のアキシャル荷重のみ受けることができる。</p>                                              |
| <b>●スラスト針状ころ軸受</b><br> <p>AXK形</p> <p>AS形軌道盤</p> <p>GS, WS形軌道盤</p> | <p>軌道盤に削り出し品を使用した軸受と鋼板のプレス品を使用した軸受とがあり、プレス品は断面高さのもっとも小さい軸受で、かつ負荷容量は大きい。</p>                                                    |
| <b>●スラスト円筒ころ軸受</b><br>                                           | <p>円筒ころが単列の軸受として一般的で、二列、三列ところを並べ負荷容量を大きくしたものもある。</p>                                                                           |
| <b>●スラスト自動調心ころ軸受</b><br> <p>調心角</p>                              | <p>ハウジング軌道盤（外輪）の軌道面が軸受中心軸に中心をもつ球面をしており、たる形の転動体を使用した調心性のある軸受で、大きなアキシャル荷重が負荷できる。</p> <p>なお、ころ端面、保持器など滑り面が多く、低速回転でも油潤滑が必要である。</p> |

### ●針状ころ軸受

転動体としてのころが直径6mm以下で長さが直径の3～10倍の小さな針状ころを用いた軸受です。転動体が針状ころであるため、断面高さが小さく、寸法の割には負荷能力が大きく、本数が多いことから剛性も高く、また揺動運動に適した軸受といえます。

この軸受には非常に多くの種類がありますが、ここでは代表的な形状のもののみ紹介します。詳細については専用カタログを参照願います。

表2.8 針状ころ軸受の主な形式と特徴

| 形 式                                                                                                                      | 特 徴                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>●保持器付針状ころ軸受</b><br>                  | <p>保持器に針状ころが保持されている形状で、もっとも基本的な軸受である。軸及びハウジングを直接軌道面として使用するため、硬さ及び仕上面あらさには充分な注意が必要。<br/>         なお保持器材質、形状にも種々の形式がある。</p>                                                        |
| <b>●ソリッド形針状ころ軸受</b><br>                 | <p>上記の保持器付針状ころに削り出しの外輪がついた形状が基本で、更に内輪がついたものもある。外輪を両つばタイプにして、内側に保持器をセットし、内側から針状ころを挿入した形式がもっとも多く、シール付もある。</p>                                                                      |
| <b>●シェル形針状ころ軸受</b><br>                | <p>外輪が鋼板を深絞りした軸受でハウジングに圧入して使用される。したがってハウジングの内径形状精度がそのまま軸受性能に影響されるためハウジング精度には注意が必要。<br/>         一方軸受は圧入のみで保持固定されるため余分な止め輪などが不要で安価な設計ができる。この形式にはシール付軸受、片側が閉じているクローズエンド形軸受もある。</p> |
| <b>●ローラフォロア</b><br><b>●カムフォロア</b><br> | <p>外輪外径面を直接相手材に接触させ、転がりとして使用する軸受である。外輪にタイヤなどを被せる必要がなく、コンパクトな設計ができる。使用条件や相手材の硬さなどにより摩耗寿命が変わってくるので、注意が必要。</p>                                                                      |

### ●ベアリングユニット

玉軸受を種々の形状をしたハウジングの中に組み入れたユニット商品で、ハウジングを機械にボルト締めにより取付けるとともに、軸は止めねじで簡単に内輪に取付けられます。すなわち軸受周りの設計が一切不要で、回転装置を支持することができます。ハウジングの形状によってピロー形、フランジ形などさまざまな形状

のハウジングが標準化されています。軸受外径部分はハウジング内径部形状同様に球面形状をしていますので調心性をもっています。

また潤滑は軸受内にグリースが封入されており、二重シールにより防塵効果をもたせています。

各種形状などについては専用力カタログを参照願います。

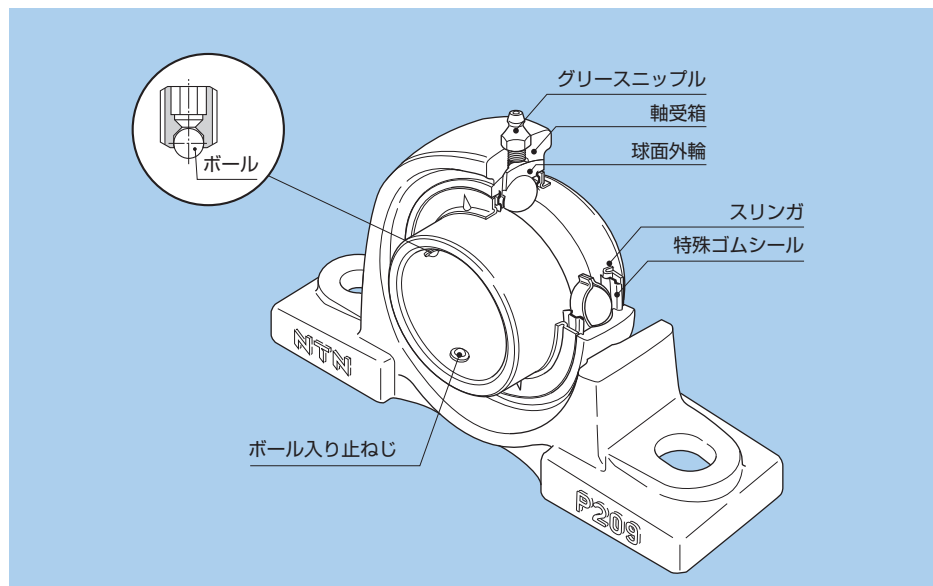


図2.7 給油式ベアリングユニット



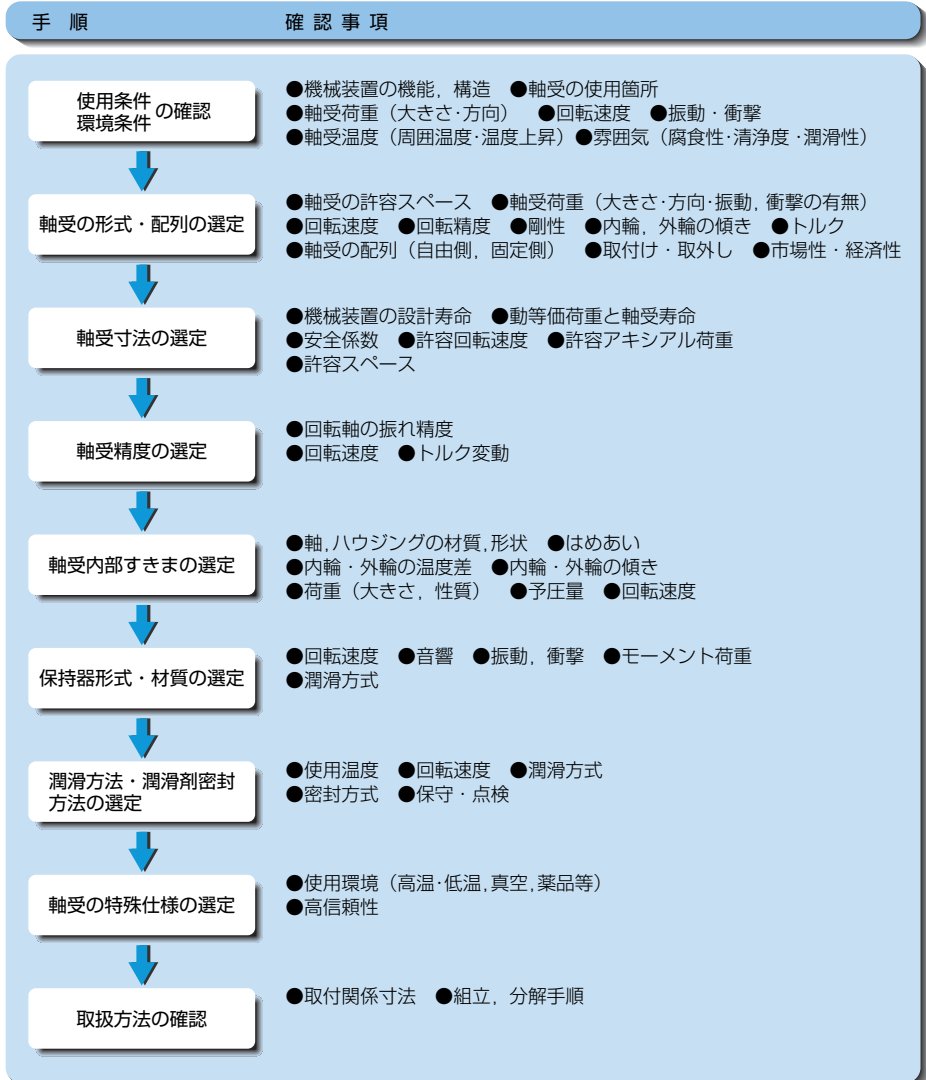
### 3. 軸受の選定

#### 3.1 選定手順

転がり軸受には、多くの種類と形式、寸法があります。最適の軸受を選定することは機械、装置の機能を期待通り発揮させるのに重要なこ

とです。

選定手順は種々ありますが、一般的には下図の通りです。



3.2 形式と性能比較

主な転がり軸受の性能比較一覧表を下記に示します。

表3.1 転がり軸受の形式と性能比較

| 軸受形式                         | 深溝玉軸受                                                                             | アンギュラ玉軸受                                                                          | 円ころ軸受                                                                             | 筒針ころ軸受                                                                            | 円すいころ軸受                                                                           | 自動調心ころ軸受                                                                          | スラスト玉軸受                                                                            |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 特 性                          |  |  |  |  |  |  |  |
| 負 荷 能 力                      |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |
| ラジアル荷重                       |  |  |  |  |  |  |  |
| アキシアル荷重                      |                                                                                   |                                                                                   |  |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |
| 高 速 回 転 <sup>①</sup>         | ☆☆☆☆                                                                              | ☆☆☆☆                                                                              | ☆☆☆☆                                                                              | ☆☆☆                                                                               | ☆☆☆                                                                               | ☆☆                                                                                | ☆                                                                                  |
| 低 騒 音 ・ 振 動 <sup>①</sup>     | ☆☆☆☆                                                                              | ☆☆☆                                                                               | ☆                                                                                 | ☆                                                                                 |                                                                                   |                                                                                   | ☆                                                                                  |
| 低 摩 擦 ト ル ク <sup>①</sup>     | ☆☆☆☆                                                                              | ☆☆☆                                                                               | ☆                                                                                 |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |
| 高 剛 性 <sup>①</sup>           |                                                                                   |                                                                                   | ☆☆                                                                                | ☆☆                                                                                | ☆☆                                                                                | ☆☆☆                                                                               |                                                                                    |
| 内輪・外輪の許容傾き <sup>①</sup>      | ☆                                                                                 |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   | ☆☆☆                                                                               |                                                                                    |
| 内 輪 ・ 外 輪 の 分 離 <sup>②</sup> |                                                                                   |                                                                                   | ○                                                                                 | ○                                                                                 | ○                                                                                 |                                                                                   | ○                                                                                  |

- ① ☆印は数が多いほどその特性が優れていることを示す。  
② ○印は内輪と外輪が分離可能な軸受形式であることを示す。  
③ 内外輪につばのある形式では、ころ端面とつばの間でアキシアル荷重を受けることができる。



### 3.3 軸受の配列

一般に軸は二個の軸受でラジアル方向、アキシアル方向に支えられています。このとき、軸とハウジングとの相対的なアキシアル方向の移動を固定している側を固定側軸受、移動を可能にしている側を自由側軸受と呼びます。これによって温度変化による軸の伸縮を逃がしたり、取付誤差を吸収することができます。自由側軸受としての逃がし方は、円筒ころ、針状ころ軸

受のように内輪、外輪が分離できるものは軌道面で逃がし、深溝玉軸受、球面ころ軸受など非分離の軸受ではめあい面でアキシアル方向に動くように設計します。

軸受間隔が短い場合は固定側、自由側の区別なく使用できることもあります。このときはアンギュラ玉軸受、円すいころ軸受のように二個対向させて使用する方法が多くとられています。

表3.2 (1) 軸受配列例 (固定側・自由側に区別する場合)

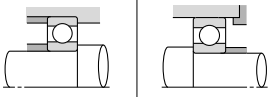
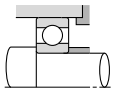
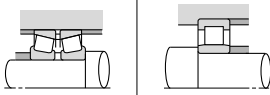
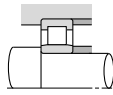
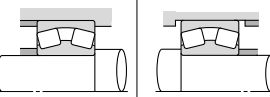
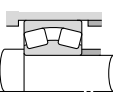
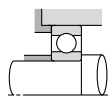
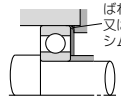
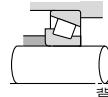
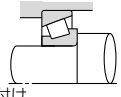
| 配 列 図                                                                             |                                                                                   | 摘 要                                                                                                                                                           | 使用例 (参考)          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 固 定 側                                                                             | 自 由 側                                                                             |                                                                                                                                                               |                   |
|  |  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 小形機械の一般的な配列例である。</li> <li>2. ラジアル荷重のほかに、ある程度のアキシアル荷重も負荷できる。</li> </ol>                                              | 小形ポンプ<br>自動車変速機など |
|  |  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 重荷重が負荷できる。</li> <li>2. 固定側軸受を背面組合せにして予圧を与え、軸系の剛性を高めることができる。</li> <li>3. 軸、ハウジングの精度を良くして取付誤差を小さくする必要がある。</li> </ol>  | 一般産業機械<br>減速機など   |
|  |  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 重荷重、衝撃荷重用として一般産業機械に多く使用される。</li> <li>2. 取付誤差、軸のたわみもある程度許容できる。</li> <li>3. ラジアル荷重とある程度の両方向のアキシアル荷重が負荷できる。</li> </ol> | 一般産業機械<br>の減速機など  |

表3.2 (2) 軸受配列例 (固定側・自由側に区別しない場合)

| 配 列 図                                                                               |                                                                                     | 摘 要                                                                                                                                                                                                                                   | 使用例 (参考)             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
|  |  | <ol style="list-style-type: none"><li>1. 小形機械の一般的な使い方である。</li><li>2. 外輪側面にばね又は調整したシムを入れ予圧する場合がある。</li></ol>                                                                                                                           | 小形電動機<br>小形減速機など     |
|  |  | <ol style="list-style-type: none"><li>1. 重荷重、衝撃荷重に耐えることができ、広範囲に使用される。</li><li>2. 予圧を与え軸系の剛性を高めることができるが、過大予圧にならぬよう注意を要する。</li><li>3. 背面取付けはモーメント荷重が作用するとき、また正面取付けは取付誤差があるときに適している。</li><li>4. 正面取付けは内輪をしまりばめにするとき、取付けが容易である。</li></ol> | 減速機<br>自動車前輪、後輪の車軸など |

## 4. 主要寸法と呼び番号

### 4.1 主要寸法

転がり軸受の主要寸法は、図4.1～図4.3に示すように、軸受内径、外径、幅又は高さ、面取寸法で、軸及びハウジングに取付けたとき必要な寸法です。

主要寸法はISOで標準化されており、日本では

JISで規定されています。

メートル系転がり軸受の内径は0.6～2500 mmの範囲で標準寸法が定められています。また、この内径に対し、軸受の断面の大きさを表示するために直径系列、幅系列などが記号で表示するよう定められています。

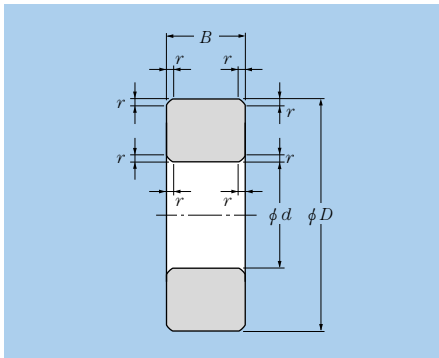


図4.1 ラジアル軸受（円すいころ軸受を除く）

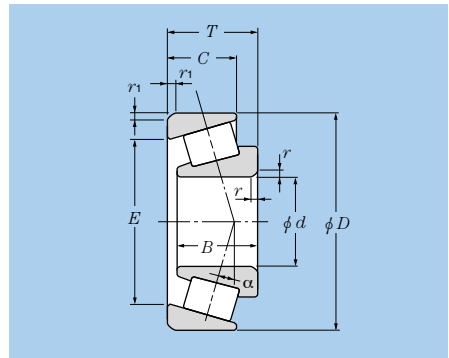


図4.2 円すいころ軸受

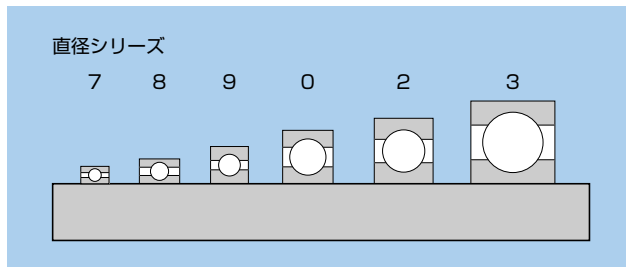


図4.3 ラジアル軸受の直径系列

表4.1 寸法系列記号

|                        | 寸 法 系 列 |                        |                        |
|------------------------|---------|------------------------|------------------------|
|                        |         | 直径系列（外径寸法）             | 幅 系 列（幅寸法）             |
| ラジアル軸受<br>（円すいころ軸受を除く） | 記号      | 7. 8. 9. 0. 1. 2. 3. 4 | 8. 0. 1. 2. 3. 4. 5. 6 |
|                        | 寸法      | 小 ← → 大                | 小 ← → 大                |
| 円すいころ軸受                | 記号      | 9. 0. 1. 2. 3          | 0. 1. 2. 3             |
|                        | 寸法      | 小 ← → 大                | 小 ← → 大                |

## 4.2 呼び番号

軸受の呼び番号は軸受の形式、寸法、精度、内部構造などを表すもので、基本番号と補助記号で構成されています。この配列順序は表4.2に示します。

また主な記号内容を表4.3に示します。

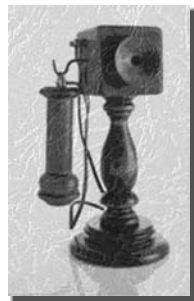


表4.2 呼び番号の構成と配列順序

| 接頭補助記号<br>特殊用途・材料・熱処理記号                    | 基 本 番 号                     |                     |      |        |       |                                                                                   |
|--------------------------------------------|-----------------------------|---------------------|------|--------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|                                            | 軸受系列                        |                     |      | 内径番号   |       | 接触角記号<br>記号 <sup>●</sup> 接触角度                                                     |
|                                            | 軸受系列<br>記号                  | 寸法系列記号              |      | 記号     | 内径 mm |                                                                                   |
|                                            |                             | 幅・高さ系列 <sup>●</sup> | 直径系列 |        |       |                                                                                   |
| 4T- 4T円すいころ軸受                              | 深溝玉軸受（形式記号6）                |                     |      | /0.6   | 0.6   | アンギュラ玉軸受<br>(A) 標準接触角 30°<br>B 標準接触角 40°<br>C 標準接触角 15°                           |
| ET- ET円すいころ軸受                              | 68                          | (1)                 | 8    | /1.5   | 1.5   |                                                                                   |
| E- はだ焼鋼を用いた軸受                              | 69                          | (1)                 | 9    | /2.5   | 2.5   |                                                                                   |
| F- ステンレス鋼を使用した軸受                           | 60                          | (1)                 | 0    |        |       |                                                                                   |
|                                            | 62                          | (0)                 | 2    |        |       |                                                                                   |
|                                            | 63                          | (0)                 | 3    | 1      | 1     | 円すいころ軸受<br>(B) 接触角10°を<br>超え17°以下<br>C 接触角17°を<br>超え24°以下<br>D 接触角24°を<br>超え32°以下 |
| M- めっき処理を施した軸受                             | アンギュラ玉軸受（形式記号7）             |                     |      | ∴      | ∴     |                                                                                   |
| 5S- セラミック転動体を用いた軸受                         | 78                          | (1)                 | 8    | 9      | 9     |                                                                                   |
|                                            | 79                          | (1)                 | 9    |        |       |                                                                                   |
|                                            | 70                          | (1)                 | 0    | 00     | 10    |                                                                                   |
| HL- HLころを用いた軸受                             | 72                          | (0)                 | 2    | 01     | 12    |                                                                                   |
|                                            | 73                          | (0)                 | 3    |        |       |                                                                                   |
| ECO- ECO-Top円すいころ軸受                        | 円筒ころ軸受（形式記号NU,N,NF,NNU,NN等） |                     |      | 02     | 15    |                                                                                   |
| LH- 高温長寿命軸受鋼（STJ2）を使用し250℃対応の寸法安定化処理を施した軸受 | NU10                        | 1                   | 0    | 03     | 17    |                                                                                   |
|                                            | NU2                         | (0)                 | 2    |        |       |                                                                                   |
|                                            | NU22                        | 2                   | 2    |        |       |                                                                                   |
|                                            | NU3                         | (0)                 | 3    | /22    | 22    |                                                                                   |
|                                            | NU23                        | 2                   | 3    | /28    | 28    |                                                                                   |
| TS3- 寸法安定化処理を施した高温用軸受 200℃まで               | NU4                         | (0)                 | 4    | /32    | 32    |                                                                                   |
|                                            | NNU49                       | 4                   | 9    | ∴      | ∴     |                                                                                   |
|                                            | NN30                        | 3                   | 0    |        |       |                                                                                   |
| TS4- 寸法安定化処理を施した高温用軸受 250℃まで               | 円すいころ軸受（形式記号3）              |                     |      | 04     | 20    |                                                                                   |
|                                            | 329X                        | 2                   | 9    | 05     | 25    |                                                                                   |
|                                            | 320X                        | 2                   | 0    | 06     | 30    |                                                                                   |
|                                            | 302                         | 0                   | 2    |        |       |                                                                                   |
|                                            | 322                         | 2                   | 2    |        |       |                                                                                   |
|                                            | 303                         | 0                   | 3    | 88     | 440   |                                                                                   |
|                                            | 303D                        | 0                   | 3    | 92     | 460   |                                                                                   |
|                                            | 313X                        | 1                   | 3    | 96     | 480   |                                                                                   |
|                                            | 323                         | 2                   | 3    |        |       |                                                                                   |
|                                            | 自動調心ころ軸受（形式記号2）             |                     |      |        |       |                                                                                   |
|                                            | 239                         | 3                   | 9    | /500   | 500   |                                                                                   |
|                                            | 230                         | 3                   | 0    | /530   | 530   |                                                                                   |
|                                            | 240                         | 4                   | 0    | /560   | 560   |                                                                                   |
|                                            | 231                         | 3                   | 1    |        |       |                                                                                   |
|                                            | 241                         | 4                   | 1    |        |       |                                                                                   |
|                                            | 222                         | 2                   | 2    |        |       |                                                                                   |
|                                            | 232                         | 3                   | 2    | /2 360 | 2 360 |                                                                                   |
|                                            | 213                         | 1                   | 3    | /2 500 | 2 500 |                                                                                   |
|                                            | 223                         | 2                   | 3    |        |       |                                                                                   |

●（ ）は呼び番号に表示しない。

表4.3 呼び番号の配列

| 呼び番号の配列 |                    |        |          | TS3-7 3 05 B L1 DF+10 C3 P5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------|--------------------|--------|----------|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 接頭補助記号  | 特殊用途記号<br>材料・熱処理記号 |        |          |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 基本番号               | 形式記号   |          |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 軸受系列記号  |                    | 寸法系列記号 | 幅・高さ系列記号 |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         |                    | 直径系列記号 |          |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 内径番号    |                    |        |          |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 接触角記号   |                    |        |          |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 接尾補助記号  | 内部変更記号             |        |          |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 保持器記号              |        |          |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | シール・シールド記号         |        |          |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 軌道輪形状記号            |        |          |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 組合せ記号              |        |          |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 内部すきま記号            |        |          |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 精度記号               |        |          |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 潤滑記号               |        |          |                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

| 接尾補助記号                   |                    |                         |                           |                                                                                               |                     |                      |                                    |
|--------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------|
| 内部変更記号                   | 保持器記号              | シール・シールド記号              | 軌道輪形状記号                   | 組合せ記号                                                                                         | 内部すきま・予圧記号          | 精度記号                 | 潤滑                                 |
| U<br>国際互換性のある円すいころ軸受     | L1<br>高力黄銅製もみ抜き保持器 | LLB<br>合成ゴムシール付き（非接触形）  | K<br>内径が基準ターバ比1/12のターバ穴   | DB<br>背面組合せ  | C2<br>普通すきまより小      | P6<br>JIS 6級         | /2AS<br>アルバニア S2                   |
| R<br>国際互換性のない円すいころ軸受     | F1<br>炭素鋼製もみ抜き保持器  | LLU<br>合成ゴムシール付き（接触形）   | K30<br>内径が基準ターバ比1/30のターバ穴 | DF<br>正面組合せ  | (CN)<br>普通すきま       | P5<br>JIS 5級         | /3AS<br>アルバニア S3                   |
| ST<br>低トルク仕様の円すいころ軸受     | G1<br>高力黄銅製新し角穴保持器 | LLH<br>合成ゴムシール付き（低トルク形） | N<br>輪溝付き                 | DT<br>並列組合せ  | C3<br>普通すきまより大      | P4<br>JIS 4級         | /8A<br>アルバニアEP2                    |
| HT<br>高アキシャル荷重用仕様の円筒ころ軸受 | G2<br>ピン形保持器       | ZZ<br>鋼板シールド付き          | NR<br>止め輪付き               | D2<br>同一軸受を2個組合せたもの                                                                           | C4<br>C3すきまより大      | P2<br>JIS 2級         | /5K<br>マルテンツSRL                    |
|                          | J<br>鋼板製打抜き保持器     |                         | D<br>油穴付き                 | G<br>フラッシュグラウンド                                                                               | C5<br>C4すきまより大      | -2<br>ABMA Class 2   | /LX11<br>バリエルタJFE552               |
|                          | T2<br>樹脂成形保持器      |                         | D1<br>油穴・油溝付き             | +α<br>間座付き（+αは間座の基準幅寸法で表す）                                                                    | CM<br>電動機用ラジアル内部すきま | -3<br>ABMA Class 3   | /LPQ3<br>熱固化型グリース（ポリルーブベアリング用グリース） |
|                          |                    |                         |                           |                                                                                               | /GL<br>軽予圧          | -0<br>ABMA Class 0   |                                    |
|                          |                    |                         |                           |                                                                                               | /GN<br>普通予圧         | -00<br>ABMA Class 00 |                                    |
|                          |                    |                         |                           |                                                                                               | /GM<br>中予圧          |                      |                                    |
|                          |                    |                         |                           |                                                                                               | /GH<br>重予圧          |                      |                                    |

備考：表以外の軸受系列記号・接頭及び接尾補助記号についてはNTNにご照会ください。

## 5. 軸受の精度

### 5.1 寸法精度と回転精度

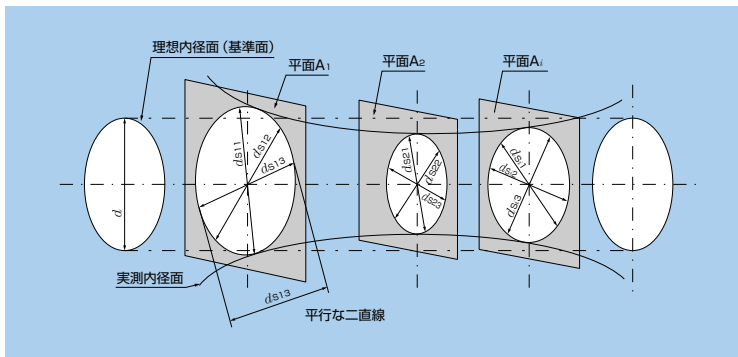
軸受の精度として寸法精度と回転精度がISO規格及びJIS規格にて規定されています。

- 寸法精度… ● 内径、外径、幅、組立幅の許容差  
 ● 面取寸法、テーパ穴の許容差
- 形状精度… ● 内径不同、平均内径不同、外径不同、平均外径不同の許容値

- 軌道輪の幅不同又は高さ不同（スラスト軸受の場合）の許容値
- 回転精度… ● 内輪、外輪のラジアル振れ及びアキシアル振れの許容値  
 ● 内輪の横振れの許容値  
 ● 外輪外径面の倒れの許容値

### JIS用語の解説

表5.1の精度表の中で、寸法精度に関する語句の表現がまぎらわしいので、以下にJIS用語の解説をします。（但し、外径面に関しては同様のため割愛）。



形状モデル図

**呼び内径  $d$** ：内径の大きさを表わす基準寸法で、実際の内径面の寸法差に対する基準値。

**実測内径  $d_s$** ：実際の軸受内径面とラジアル平面との交線に接する平行な2直線間の距離。

**実測内径の寸法差  $\Delta d_s$** ： $d_s$ と $d$ との差（実測内径と基準となる呼び内径の差）

**平面内平均内径  $d_{mp}$** ：一つのラジアル平面内の実測内径の最大値と最小値の算術平均、モデル図にて、任意のラジアル平面 $A_i$ において、最大内径を $d_{si1}$ 、最小内径を $d_{si3}$ とすれば  $(d_{si1} + d_{si3}) / 2$ の値、したがって平面毎に一つの値をもつ。

JISでは精度等級が決められており、JIS0級（一般に並級とも言う）→6級→5級→4級→2級の順に精度が高くなります。

ラジアル軸受の精度表を例として表5.1に示します。

なお、JIS以外にも種々の規格があり、良く聞かれるものを参考資料として巻末に示します。

**平均内径**  $d_m$ ：円筒面の全面にわたって得られた実測内径の最大値と最小値の算術平均、モデル図にて平面A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>…A<sub>i</sub>全面において測定した実測内径の最大値を $d_{s11}$ 、最小値を $d_{s23}$ とすると $(d_{s11} + d_{s23}) / 2$ が平均内径、一つの円筒面で一つの値をもつ。

**平均内径の寸法差**  $\Delta d_m$ ：平均内径と呼び内径との差。

**平面内平均内径の寸法差**  $\Delta d_{mp}$ ：一つのラジアル平面内の実測内径の最大値と最小値の算術平均と呼び内径との差、JISではこの値を規定している。

**平面内内径不同**  $V_{dp}$ ：一つのラジアル平面内の実測内径の最大値と最小値との差、モデル図にて、ラジアル平面A<sub>1</sub>において、実測内径の最大値を $d_{s11}$ 、最小値を $d_{s13}$ とすると、この差が $V_{dp}$ で一つの平面について一つの値が得られ、この特性は真円度を示す指標の一つといえる。JISではこの値を規定している。

**平面内平均内径の不同**  $V_{amp}$ ：すべての平面で得られた平面内平均内径の最大値と最小値との差、個々の製品に対しては、唯一の値が得られ、一種の円筒度を示す（但し、幾何学的円筒度とは異なる）。この値はJISで規定している。

**呼び内輪幅**  $B$ ：軌道輪の理論上の両側面間の距離。すなわち、軌道輪の幅（両側面間の距離）を表す基準寸法。

**実測内輪幅**  $B_s$ ：内輪の実際の両側面と、この内輪の基準側面に接する平面に垂直な直線との両交点間の距離。内輪の実際の幅寸法を表す。

**実測内輪幅の寸法差**  $\Delta B_s$ ：実測内輪幅と呼び内輪幅との差、実際の内輪幅寸法と内輪幅を表す基準寸法との差で、JISで規定されている。

**内輪幅不同**  $V_{Bs}$ ：実測内輪幅の最大値と最小値との差で、JISで規定されている。



表5.1 ラジアル軸受（円すいころ軸受を除く）の許容差及び許容値  
(1) 内輪

| 呼び軸受内径 $Y$<br>$dY$<br>$Y$<br>mm<br>$Y$<br>を超え 以下 $Y$ | 平面内平均内径の寸法差<br>$\Delta_{imp}$ |      |   |     |   |     |   |     |   |      | 平 面 内 内 径 不 同<br>$V_{ap}$ |    |    |    |     |                 |    |    |   |     |                 |    |    |   |     |        |    |    |    |          |     |    |    |            |     |     |    |    |    |     |
|------------------------------------------------------|-------------------------------|------|---|-----|---|-----|---|-----|---|------|---------------------------|----|----|----|-----|-----------------|----|----|---|-----|-----------------|----|----|---|-----|--------|----|----|----|----------|-----|----|----|------------|-----|-----|----|----|----|-----|
|                                                      | 0級                            |      |   |     |   | 6級  |   |     |   |      | 5級                        |    |    |    |     | 4級 <sup>●</sup> |    |    |   |     | 2級 <sup>●</sup> |    |    |   |     | 直径系列 9 |    |    |    | 直径系列 0,1 |     |    |    | 直径系列 2,3,4 |     |     |    |    |    |     |
|                                                      | 上                             |      | 下 |     |   | 上   |   | 下   |   |      | 上                         |    | 下  |    |     | 上               |    | 下  |   |     | 0級              |    | 6級 |   | 5級  |        | 4級 |    | 2級 |          | 0級  |    | 6級 |            | 5級  |     | 4級 |    | 2級 |     |
|                                                      | 最大                            |      |   |     |   | 最大  |   |     |   |      | 最大                        |    |    |    |     | 最大              |    |    |   |     | 最大              |    |    |   |     |        |    |    | 最大 |          |     |    |    |            | 最大  |     |    |    |    |     |
|                                                      |                               |      |   |     |   |     |   |     |   |      |                           |    |    |    |     |                 |    |    |   |     |                 |    |    |   |     |        |    |    |    |          |     |    |    |            |     |     |    |    |    |     |
| 0.6 <sup>●</sup> 2.5                                 | 0                             | -8   | 0 | -7  | 0 | -5  | 0 | -4  | 0 | -2.5 | 10                        | 9  | 5  | 4  | 2.5 | 8               | 7  | 4  | 3 | 2.5 | 6               | 5  | 4  | 3 | 2.5 | 6      | 5  | 4  | 3  | 2.5      | 6   | 5  | 4  | 3          | 2.5 | 6   | 5  | 4  | 3  | 2.5 |
| 2.5 10                                               | 0                             | -8   | 0 | -7  | 0 | -5  | 0 | -4  | 0 | -2.5 | 10                        | 9  | 5  | 4  | 2.5 | 8               | 7  | 4  | 3 | 2.5 | 6               | 5  | 4  | 3 | 2.5 | 6      | 5  | 4  | 3  | 2.5      | 6   | 5  | 4  | 3          | 2.5 | 6   | 5  | 4  | 3  | 2.5 |
| 10 18                                                | 0                             | -8   | 0 | -7  | 0 | -5  | 0 | -4  | 0 | -2.5 | 10                        | 9  | 5  | 4  | 2.5 | 8               | 7  | 4  | 3 | 2.5 | 6               | 5  | 4  | 3 | 2.5 | 6      | 5  | 4  | 3  | 2.5      | 6   | 5  | 4  | 3          | 2.5 | 6   | 5  | 4  | 3  | 2.5 |
| 18 30                                                | 0                             | -10  | 0 | -8  | 0 | -6  | 0 | -5  | 0 | -2.5 | 13                        | 10 | 6  | 5  | 2.5 | 10              | 8  | 5  | 4 | 2.5 | 8               | 6  | 5  | 4 | 2.5 | 8      | 6  | 5  | 4  | 2.5      | 8   | 6  | 5  | 4          | 2.5 | 8   | 6  | 5  | 4  | 2.5 |
| 30 50                                                | 0                             | -12  | 0 | -10 | 0 | -8  | 0 | -6  | 0 | -2.5 | 15                        | 13 | 8  | 6  | 2.5 | 12              | 10 | 6  | 5 | 2.5 | 9               | 8  | 6  | 5 | 2.5 | 9      | 8  | 6  | 5  | 2.5      | 9   | 8  | 6  | 5          | 2.5 | 9   | 8  | 6  | 5  | 2.5 |
| 50 80                                                | 0                             | -15  | 0 | -12 | 0 | -9  | 0 | -7  | 0 | -4   | 19                        | 15 | 9  | 7  | 4   | 19              | 15 | 7  | 5 | 4   | 11              | 9  | 7  | 5 | 4   | 11     | 9  | 7  | 5  | 4        | 11  | 9  | 7  | 5          | 4   | 11  | 9  | 7  | 5  | 4   |
| 80 120                                               | 0                             | -20  | 0 | -15 | 0 | -10 | 0 | -8  | 0 | -5   | 25                        | 19 | 10 | 8  | 5   | 25              | 19 | 8  | 6 | 5   | 15              | 11 | 8  | 6 | 5   | 15     | 11 | 8  | 6  | 5        | 15  | 11 | 8  | 6          | 5   | 15  | 11 | 8  | 6  | 5   |
| 120 150                                              | 0                             | -25  | 0 | -18 | 0 | -13 | 0 | -10 | 0 | -7   | 31                        | 23 | 13 | 10 | 7   | 31              | 23 | 10 | 8 | 7   | 19              | 14 | 10 | 8 | 7   | 19     | 14 | 10 | 8  | 7        | 19  | 14 | 10 | 8          | 7   | 19  | 14 | 10 | 8  | 7   |
| 150 180                                              | 0                             | -25  | 0 | -18 | 0 | -13 | 0 | -10 | 0 | -7   | 31                        | 23 | 13 | 10 | 7   | 31              | 23 | 10 | 8 | 7   | 19              | 14 | 10 | 8 | 7   | 19     | 14 | 10 | 8  | 7        | 19  | 14 | 10 | 8          | 7   | 19  | 14 | 10 | 8  | 7   |
| 180 250                                              | 0                             | -30  | 0 | -22 | 0 | -15 | 0 | -12 | 0 | -8   | 38                        | 28 | 15 | 12 | 8   | 38              | 28 | 12 | 9 | 8   | 23              | 17 | 12 | 9 | 8   | 23     | 17 | 12 | 9  | 8        | 23  | 17 | 12 | 9          | 8   | 23  | 17 | 12 | 9  | 8   |
| 250 315                                              | 0                             | -35  | 0 | -25 | 0 | -18 | — | —   | — | —    | 44                        | 31 | 18 | —  | —   | 44              | 31 | 14 | — | —   | 26              | 19 | 14 | — | —   | 26     | 19 | 14 | —  | —        | 26  | 19 | 14 | —          | —   | 26  | 19 | 14 | —  | —   |
| 315 400                                              | 0                             | -40  | 0 | -30 | 0 | -23 | — | —   | — | —    | 50                        | 38 | 23 | —  | —   | 50              | 38 | 18 | — | —   | 30              | 23 | 18 | — | —   | 30     | 23 | 18 | —  | —        | 30  | 23 | 18 | —          | —   | 30  | 23 | 18 | —  | —   |
| 400 500                                              | 0                             | -45  | 0 | -35 | — | —   | — | —   | — | —    | 56                        | 44 | —  | —  | —   | 56              | 44 | —  | — | —   | 34              | 26 | —  | — | —   | 34     | 26 | —  | —  | —        | 34  | 26 | —  | —          | —   | 34  | 26 | —  | —  | —   |
| 500 630                                              | 0                             | -50  | 0 | -40 | — | —   | — | —   | — | —    | 63                        | 50 | —  | —  | —   | 63              | 50 | —  | — | —   | 38              | 30 | —  | — | —   | 38     | 30 | —  | —  | —        | 38  | 30 | —  | —          | —   | 38  | 30 | —  | —  | —   |
| 630 800                                              | 0                             | -75  | — | —   | — | —   | — | —   | — | —    | 94                        | —  | —  | —  | —   | 94              | —  | —  | — | —   | 55              | —  | —  | — | —   | 55     | —  | —  | —  | —        | 55  | —  | —  | —          | —   | 55  | —  | —  | —  | —   |
| 800 1 000                                            | 0                             | -100 | — | —   | — | —   | — | —   | — | —    | 125                       | —  | —  | —  | —   | 125             | —  | —  | — | —   | 75              | —  | —  | — | —   | 75     | —  | —  | —  | —        | 75  | —  | —  | —          | —   | 75  | —  | —  | —  | —   |
| 1 000 1 250                                          | 0                             | -125 | — | —   | — | —   | — | —   | — | —    | 155                       | —  | —  | —  | —   | 155             | —  | —  | — | —   | 94              | —  | —  | — | —   | 94     | —  | —  | —  | —        | 94  | —  | —  | —          | —   | 94  | —  | —  | —  | —   |
| 1 250 1 600                                          | 0                             | -160 | — | —   | — | —   | — | —   | — | —    | 200                       | —  | —  | —  | —   | 200             | —  | —  | — | —   | 120             | —  | —  | — | —   | 120    | —  | —  | —  | —        | 120 | —  | —  | —          | —   | 120 | —  | —  | —  | —   |
| 1 600 2 000                                          | 0                             | -200 | — | —   | — | —   | — | —   | — | —    | 250                       | —  | —  | —  | —   | 250             | —  | —  | — | —   | 150             | —  | —  | — | —   | 150    | —  | —  | —  | —        | 150 | —  | —  | —          | —   | 150 | —  | —  | —  | —   |

●4級、2級に適用する内径の寸法差 $\Delta_{is}$ の許容差は平均内径の寸法差 $\Delta_{imp}$ の許容差と同じである。  
ただし、4級に対しては直径系列 0、1、2、3、4に、また2級に対しては全ての直径系列に適用する。

## (2) 外輪

| 呼び軸受外径<br><i>D</i><br><br>mm<br><br>を超え 以下 | 平面内平均外径の寸法差<br><i>Δ<sub>imp</sub></i> |   |    |   |    |   |                 |   |                 |   | 平 面 内 外 径 不 同 <sup>●</sup><br><i>V<sub>Dr</sub></i> |  |  |  |  |  |                |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------------------------------------|---------------------------------------|---|----|---|----|---|-----------------|---|-----------------|---|-----------------------------------------------------|--|--|--|--|--|----------------|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|                                            |                                       |   |    |   |    |   |                 |   |                 |   | 開 放 軸 受                                             |  |  |  |  |  | 直 径 系 列 2,3,4  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                            |                                       |   |    |   |    |   |                 |   |                 |   | 直 径 系 列 9                                           |  |  |  |  |  | 直 径 系 列 0,1    |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                            |                                       |   |    |   |    |   |                 |   |                 |   | 0級 6級 5級 4級 2級                                      |  |  |  |  |  | 0級 6級 5級 4級 2級 |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                            | 0級                                    |   | 6級 |   | 5級 |   | 4級 <sup>●</sup> |   | 2級 <sup>●</sup> |   | 最大                                                  |  |  |  |  |  | 最大             |  |  |  |  |  | 最大 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                            | 上                                     | 下 | 上  | 下 | 上  | 下 | 上               | 下 | 上               | 下 |                                                     |  |  |  |  |  |                |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

●4級、2級に適用する外径の寸法差 $\Delta_{Ds}$ の許容差は平均外径の寸法差 $\Delta_{imp}$ の許容差と同じである。  
ただし、4級に対しては直径系列 0、1、2、3、4に、また2級に対しては全ての直径系列に適用する。

単位  $\mu\text{m}$ 

| 平面内平均内径の不同<br>$V_{amp}$ | ラジアル振れ<br>$K_{ra}$   | 横振れ<br>$S_d$   | アキシアル振れ<br>$S_{ia}$ ● | 実測内輪幅の寸法差<br>$\Delta_{rs}$ |        |       |             |        |       |       |       | 内輪幅不同<br>$V_{rs}$    |
|-------------------------|----------------------|----------------|-----------------------|----------------------------|--------|-------|-------------|--------|-------|-------|-------|----------------------|
| 0級 6級 5級 4級 2級<br>最大    | 0級 6級 5級 4級 2級<br>最大 | 5級 4級 2級<br>最大 | 5級 4級 2級<br>最大        | 単体軸受                       |        |       |             | 組合せ軸受● |       |       |       | 0級 6級 5級 4級 2級<br>最大 |
|                         |                      |                |                       | 0級                         | 6級     | 5級    | 4級 2級       | 0級     | 6級    | 5級    | 4級    |                      |
| 6 5 3 2 1.5             | 10 5 4 2.5 1.5       | 7 3 1.5        | 7 3 1.5               | 0                          | -40    | 0     | -40 0 -40   | -      | -     | 0     | -250  | 12 12 5 2.5 1.5      |
| 6 5 3 2 1.5             | 10 6 4 2.5 1.5       | 7 3 1.5        | 7 3 1.5               | 0                          | -120   | 0     | -40 0 -40   | 0      | -250  | 0     | -250  | 15 15 5 2.5 1.5      |
| 6 5 3 2 1.5             | 10 7 4 2.5 1.5       | 7 3 1.5        | 7 3 1.5               | 0                          | -120   | 0     | -80 0 -80   | 0      | -250  | 0     | -250  | 20 20 5 2.5 1.5      |
| 8 6 3 2.5 1.5           | 13 8 4 3 2.5         | 8 4 1.5        | 8 4 1.5               | 0                          | -120   | 0     | -120 0 -120 | 0      | -250  | 0     | -250  | 20 20 5 2.5 1.5      |
| 9 8 4 3 1.5             | 15 10 5 4 2.5        | 8 4 1.5        | 8 4 1.5               | 0                          | -120   | 0     | -120 0 -120 | 0      | -250  | 0     | -250  | 20 20 5 3 1.5        |
| 11 9 5 3.5 2            | 20 10 5 4 2.5        | 8 5 1.5        | 8 5 1.5               | 0                          | -150   | 0     | -150 0 -150 | 0      | -380  | 0     | -250  | 25 25 6 4 1.5        |
| 15 11 5 4 2.5           | 25 13 6 5 2.5        | 9 5 2.5        | 9 5 2.5               | 0                          | -200   | 0     | -200 0 -200 | 0      | -380  | 0     | -380  | 25 25 7 4 2.5        |
| 19 14 7 5 3.5           | 30 18 8 6 2.5        | 10 6 2.5       | 10 7 2.5              | 0                          | -250   | 0     | -250 0 -250 | 0      | -500  | 0     | -380  | 30 30 8 5 2.5        |
| 19 14 7 5 3.5           | 30 18 8 6 5          | 10 6 4         | 10 7 5                | 0                          | -250   | 0     | -250 0 -300 | 0      | -500  | 0     | -380  | 30 30 8 5 4          |
| 23 17 8 6 4             | 40 20 10 8 5         | 11 7 5         | 13 8 5                | 0                          | -300   | 0     | -300 0 -350 | 0      | -500  | 0     | -500  | 30 30 10 6 5         |
| 26 19 9 - -             | 50 25 13 - -         | 13 - -         | 15 - -                | 0                          | -350   | 0     | -350 - -    | 0      | -500  | 0     | -500  | 35 35 13 - -         |
| 30 23 12 - -            | 60 30 15 - -         | 15 - -         | 20 - -                | 0                          | -400   | 0     | -400 - -    | 0      | -630  | 0     | -630  | 40 40 15 - -         |
| 34 26 - - -             | 65 35 - - -          | - - -          | - - -                 | 0                          | -450   | - - - | - - -       | - - -  | - - - | - - - | - - - | 50 45 - - -          |
| 38 30 - - -             | 70 40 - - -          | - - -          | - - -                 | 0                          | -500   | - - - | - - -       | - - -  | - - - | - - - | - - - | 60 50 - - -          |
| 55 - - - -              | 80 - - - -           | - - -          | - - -                 | 0                          | -750   | - - - | - - -       | - - -  | - - - | - - - | - - - | 70 - - - -           |
| 75 - - - -              | 90 - - - -           | - - -          | - - -                 | 0                          | -1 000 | - - - | - - -       | - - -  | - - - | - - - | - - - | 80 - - - -           |
| 94 - - - -              | 100 - - - -          | - - -          | - - -                 | 0                          | -1 250 | - - - | - - -       | - - -  | - - - | - - - | - - - | 100 - - - -          |
| 120 - - - -             | 120 - - - -          | - - -          | - - -                 | 0                          | -1 600 | - - - | - - -       | - - -  | - - - | - - - | - - - | 120 - - - -          |
| 150 - - - -             | 140 - - - -          | - - -          | - - -                 | 0                          | -2 000 | - - - | - - -       | - - -  | - - - | - - - | - - - | 140 - - - -          |

●2 深溝玉軸受、アンギュラ玉軸受などの玉軸受に適用する。

●組合せ軸受用として製作された個々の軌道輪に適用する。

●0.6mmはこの寸法区分に含まれる。

単位  $\mu\text{m}$ 

| 平面内外径不同<br>シール・シールド軸受<br>直径系列<br>2,3,4 0,1,2,3,4<br>0級 最大 | 平面内平均外径の不同<br>$V_{ro}$ | ラジアル振れ<br>$K_{ra}$   | 外径面の倒れ<br>$S_{do}$ | アキシアル振れ<br>$S_{ea}$ ● | 実測内輪<br>幅の寸法差<br>$\Delta_{cs}$               | 内輪幅不同<br>$V_{cs}$    |
|-----------------------------------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|----------------------------------------------|----------------------|
| 0級 最大                                                     | 0級 6級 5級 4級 2級<br>最大   | 0級 6級 5級 4級 2級<br>最大 | 5級 4級 2級<br>最大     | 5級 4級 2級<br>最大        | 全等級                                          | 0級 6級 5級 4級 2級<br>最大 |
| 10 9                                                      | 6 5 3 2 1.5            | 15 8 5 3 1.5         | 8 4 1.5            | 8 5 1.5               | 同じ軸受の<br>dに対する<br>$\Delta_{rs}$ の許容差<br>による。 | 5 2.5 1.5            |
| 10 9                                                      | 6 5 3 2 1.5            | 15 8 5 3 1.5         | 8 4 1.5            | 8 5 1.5               |                                              | 5 2.5 1.5            |
| 12 10                                                     | 7 6 3 2.5 2            | 15 9 6 4 2.5         | 8 4 1.5            | 8 5 2.5               |                                              | 5 2.5 1.5            |
| 16 13                                                     | 8 7 4 3 2              | 20 10 7 5 2.5        | 8 4 1.5            | 8 5 2.5               |                                              | 5 2.5 1.5            |
| 20 16                                                     | 10 8 5 3.5 2           | 25 13 8 5 4          | 8 4 1.5            | 10 5 4                |                                              | 6 3 1.5              |
| 26 20                                                     | 11 10 5 4 2.5          | 35 18 10 6 5         | 9 5 2.5            | 11 6 5                | 同じ軸受の<br>dに対する<br>$V_{rs}$ の許容差<br>による。      | 8 4 2.5              |
| 30 25                                                     | 14 11 6 5 2.5          | 40 20 11 7 5         | 10 5 2.5           | 13 7 5                |                                              | 8 5 2.5              |
| 38 30                                                     | 19 14 7 5 3.5          | 45 23 13 8 5         | 10 5 2.5           | 14 8 5                |                                              | 8 5 2.5              |
| - -                                                       | 23 15 8 6 4            | 50 25 15 10 7        | 11 7 4             | 15 10 7               |                                              | 10 7 4               |
| - -                                                       | 26 19 9 7 4            | 60 30 18 11 7        | 13 8 5             | 18 10 7               |                                              | 11 7 5               |
| - -                                                       | 30 21 10 8 5           | 70 35 20 13 8        | 13 10 7            | 20 13 8               | 同じ軸受の<br>dに対する<br>$V_{rs}$ の許容差<br>による。      | 13 8 7               |
| - -                                                       | 34 25 12 - -           | 80 40 23 - -         | 15 - -             | 23 - -                |                                              | 15 - -               |
| - -                                                       | 38 29 14 - -           | 100 50 25 - -        | 18 - -             | 25 - -                |                                              | 18 - -               |
| - -                                                       | 55 34 18 - -           | 120 60 30 - -        | 20 - -             | 30 - -                |                                              | 20 - -               |
| - -                                                       | 75 45 - - -            | 140 75 - - -         | - - -              | - - -                 |                                              | - - -                |
| - -                                                       | - - - -                | 160 - - - -          | - - -              | - - -                 | 同じ軸受の<br>dに対する<br>$V_{rs}$ の許容差<br>による。      | - - -                |
| - -                                                       | - - - -                | 190 - - - -          | - - -              | - - -                 |                                              | - - -                |
| - -                                                       | - - - -                | 220 - - - -          | - - -              | - - -                 |                                              | - - -                |
| - -                                                       | - - - -                | 250 - - - -          | - - -              | - - -                 |                                              | - - -                |
| - -                                                       | - - - -                | - - - -              | - - -              | - - -                 |                                              | - - -                |

●6 止め輪が取り付けられていないときに適用する。

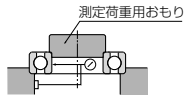
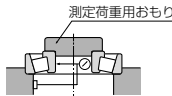
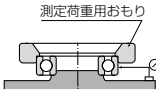
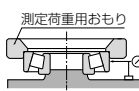
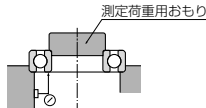
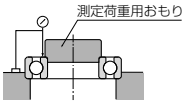
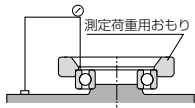
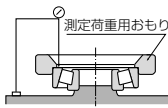
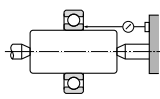
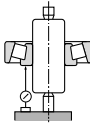
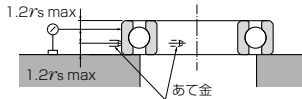
●7 深溝玉軸受、アンギュラ玉軸受などの玉軸受に適用する。

●2.5mmはこの寸法区分に含まれる。

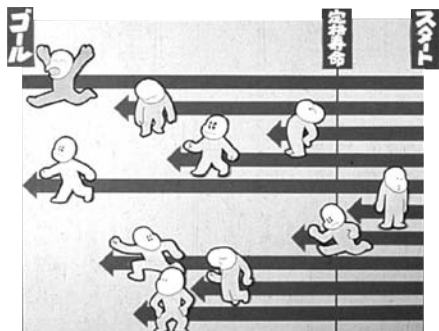
## 5.2 精度の測定方法

わかりにくい回転精度の測定方法のみ図示します。

表5.2 回転精度の測定方法

| 精 度 の 特 性                  | 測 定 方 法                                                                             |                                                                                    |                                                  |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 内輪のラジアル振れ<br>( $K_{ia}$ )  |    |   | 内輪のラジアル振れは、内輪を1回転させたときの測定器の読みの最大値と最小値との差         |
| 外輪のラジアル振れ<br>( $K_{ea}$ )  |    |   | 外輪のラジアル振れは、外輪を1回転させたときの測定器の読みの最大値と最小値との差         |
| 内輪のアキシアル振れ<br>( $S_{ia}$ ) |    |   | 内輪のアキシアル振れは、内輪を1回転させたときの測定器の読みの最大値と最小値との差        |
| 外輪のアキシアル振れ<br>( $S_{ea}$ ) |    |   | 外輪のアキシアル振れは、外輪を1回転させたときの測定器の読みの最大値と最小値との差        |
| 内輪の横振れ<br>( $S_d$ )        |   |  | 内輪の横振れは、内輪をテーパマンドレルと共に1回転させたときの測定器の読みの最大値と最小値との差 |
| 外輪の外径面の倒れ<br>( $S_D$ )     |  |                                                                                    | 外輪の外径面の倒れは、外輪を当て金に沿って1回転させたときの測定器の読みの最大値と最小値との差  |

## 6. 定格荷重と寿命



### 6.1 軸受の寿命

軸受選定に当って最も重要な要因の一つとして軸受寿命があります。軸受寿命には機械に要求される機能によっていろいろな寿命が考えられます。

**疲労寿命**……材料疲労による転がり疲れ寿命

**潤滑寿命**……潤滑剤の劣化による焼つきなどの寿命

**音響寿命**……回転音の増大により、軸受機能として支障をきたす寿命

**摩耗寿命**……軸受内部の摩耗、内径、外径摩耗により軸受機能に支障をきたす寿命

**精度寿命**……機械に要求される回転精度が劣化し使用不能となる寿命

このうち疲労寿命は軌道輪と転動体との間の繰返し負荷応力により、材料が疲労して、はく離（フレーキング）を起す現象で、統計的手法により計算で寿命時間を予測できます。

一般にはこの疲労寿命を軸受寿命として取扱っています。

### 6.2 基本定格寿命と基本動定格荷重

一群の同じ軸受を同一条件で個々に回転させたとき、その90%（信頼度90%）が転がり疲れによるはく離（フレーキング）を生じることなく回転できる総回転数を基本定格寿命と定義づけています。

また、基本動定格荷重とは、転がり軸受の動的負荷能力を表わすもので、100万回転の基本定格寿命を与えるような一定の荷重をいいます。ラジアル軸受では、純ラジアル荷重、スラスト軸受では純アキシャル荷重で表し、それぞれ基本動定格荷重 $C_r$ 又は $C_a$ でカタログ寸法表に表示しています。

|                                                                                   |     |     |                 |                                                                                   |       |             |       |                                                                                     |                      |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------|
| 転がり軸受総合カタログ<br>B-10ページ参照                                                          |     |     |                 |                                                                                   |       |             |       |                                                                                     |                      |        |
|  |     |     |                 |  |       |             |       |  |                      |        |
| 開放形                                                                               |     |     |                 | シールド形<br>(ZZ)                                                                     |       |             |       | 非接触形<br>(LLB)                                                                       |                      |        |
| ① $d \geq 20 \sim 35\text{mm}$                                                    |     |     |                 |                                                                                   |       |             |       |                                                                                     |                      |        |
| 主 要 寸 法                                                                           |     |     |                 | 基本動<br>定格荷重                                                                       |       | 基本動<br>定格荷重 |       | 許容<br>過負荷                                                                           |                      |        |
| mm                                                                                |     |     |                 | kN                                                                                |       | kgf         |       | グリス潤滑<br>ZZ LLB                                                                     |                      |        |
| $d$                                                                               | $D$ | $B$ | $r_{1/2}$<br>最小 | $C_r$                                                                             | $C_a$ | $C_r$       | $C_a$ | 油潤滑<br>開放形<br>ZZ LLB                                                                | 油潤滑<br>開放形<br>ZZ LLB |        |
| 20                                                                                | 72  | 19  | 1.1             | —                                                                                 | 28.5  | 13.9        | 2 900 | 1 420                                                                               | 12 000               | 14 000 |
| 22                                                                                | 44  | 12  | 0.6             | 0.5                                                                               | 9.40  | 5.05        | 955   | 515                                                                                 | 17 000               | 20 000 |
|                                                                                   | 50  | 14  | 1               | 0.5                                                                               | 12.9  | 6.80        | 1 320 | 690                                                                                 | 14 000               | 17 000 |

基本定格寿命は(6.1)式又は(6.2)式で求められます。

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad \text{..... (6.1)}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad \text{..... (6.2)}$$

ここで、

$L_{10}$  : 基本定格寿命 10<sup>6</sup>回転

$L_{10h}$  : 基本定格寿命 h (時間)

$C$  : 基本動定格荷重 N {kgf}

$C_r$  : ラジアル軸受

$C_a$  : スラスト軸受

$P$  : 動等価荷重 N {kgf}

$P_r$  : ラジアル軸受

$P_a$  : スラスト軸受

$n$  : 回転速度 min<sup>-1</sup>

$p$  : 玉軸受  $p=3$

ころ軸受  $p=10/3$

いくつかの軸受を組込んだ機械装置において、いずれかの軸受が転がり疲れによって破損するまでの寿命を、軸受全体の総合寿命と考えますと、(6.3)式で求めることができます。

$$L = \frac{1}{\left(\frac{1}{L_1^e} + \frac{1}{L_2^e} + \dots + \frac{1}{L_n^e}\right)^{1/e}} \quad \dots\dots (6.3)$$

ここで、

$L$  : 軸受全体としての総合基本定格寿命  $h$

$L_1, L_2 \dots L_n$  : 個々の軸受1, 2...

$n$ の基本定格寿命  $h$

$e$  : 玉軸受..... $e=10/9$

ころ軸受..... $e=9/8$

一つの軸受において、一定の時間的割合で荷重条件が変化する場合には(6.4)式にて寿命が求められます。

$$L_m = (\sum \phi_i / L_i)^{-1} \quad \dots\dots\dots (6.4)$$

ここで、

$L_m$  : 軸受の総合寿命

$\phi_i$  : 各条件の使用頻度 ( $\sum \phi_i = 1$ )

$L_i$  : 各条件における寿命

更に、機械装置全体の軸受寿命としては(6.3)式で求められます。

なお、寿命についてもう少しわかりやすくいうと、例えば玉軸受の場合、(6.2)式を見ると、荷重(動等価荷重)が2倍になると3乗で影響するので、寿命は1/8に減少します。

また回転速度が2倍になると、寿命は1/2に変わることがわかります。

### 6.3 補正定格寿命

機械の使用状況が十分把握されたものについては、種々の条件下において軸受寿命を更に詳しく推定することが可能です。すなわち(6.5)式で補正定格寿命が求められます。

$$L_{na} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot L_{10} \quad \dots\dots\dots (6.5)$$

ここで、

$L_{na}$  : 補正定格寿命  $10^6$ 回転

$a_1$  : 信頼度係数

$a_2$  : 軸受特性係数

$a_3$  : 使用条件係数

#### 信頼度係数 $a_1$

軸受寿命は一般に信頼度90%で算出されますが、例えば航空機のエンジンに使用する軸受で、その寿命が直接人命にかかわる場合などは90%以上の信頼度が必要です。

このような場合表6.1の値にて寿命補正を行います。

表6.1 信頼度係数  $a_1$

| 信頼度 % | $L_{10}$ | 信頼度係数 $a_1$ |
|-------|----------|-------------|
| 90    | $L_{10}$ | 1.00        |
| 95    | $L_5$    | 0.62        |
| 96    | $L_4$    | 0.53        |
| 97    | $L_3$    | 0.44        |
| 98    | $L_2$    | 0.33        |
| 99    | $L_1$    | 0.21        |

#### 軸受特性係数 $a_2$

軸受材料の種類及びその品質、製造工程等が特殊である場合は、寿命に関する軸受特性が変化します。このような場合に軸受特性係数 $a_2$ で寿命補正を行います。軸受寸法表に記載している基本動定格荷重は、NTNで用いられている標準的な材料及び製造方法によるもので、通常は $a_2=1$ を採ります。さらに、特別に改良された材料並びに製造方法による軸受については $a_2>1$ を採ることがあります。

高炭素クロム軸受鋼の軸受を120℃以上で長時間使用すると通常の熱処理では寸法変化が大きいため、寸法安定化処理(TS処理)を行った軸受が使われます。処理温度により硬さが低下しますので寿命に影響することがあります。(表6.2)

表6.2 寸法安定化処理

| 記号  | 最高使用温度℃ | 軸受特性係数 $a_2$ |
|-----|---------|--------------|
| TS2 | 160     | 1.0          |
| TS3 | 200     | 0.73         |
| TS4 | 250     | 0.48         |

### 使用条件係数 $a_3$

潤滑条件、回転速度、運転温度、その他使用状態によって寿命を補正する係数です。一般に潤滑の条件が良好な場合には $a_3=1$ であり、特に潤滑条件が良好で、他の要因も正常な場合には、 $a_3>1$ を採ることが出来ます。

逆に次の場合には $a_3<1$ となります。

- 潤滑油の粘度が低い場合  
(玉軸受 $13\text{mm}^2/\text{s}$  以下、  
ころ軸受 $20\text{mm}^2/\text{s}$  以下)
- 回転速度が低い場合  
(回転速度 $n$ と転動体ピッチ円径 $d_p$ の積  
 $d_p \cdot n < 10,000$ )
- 使用温度が高い場合  
(硬さ低下により図6.1で補正)

なお、寸法安定化処理により $a_2$ 係数を考慮したものは、それぞれの最高使用温度内での使用を遵守すれば図6.1での補正は必要ありません。

この外にも種々の条件により影響を受けますが、 $a_3$ 係数として明確化されていません。 $a_2$ 、 $a_3$ を合せた $a_{23}$ 係数の考え方もありますが、今後ともデータの積重ねが必要なのが現状です。

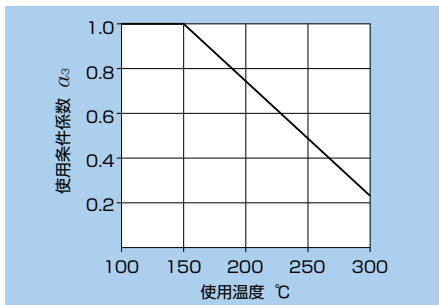


図6.1 使用温度による使用条件係数

又、基本定格寿命を求める式(6.1)(6.2)及び(6.5)は非常に大きな荷重が作用しているときは、転動体と軌道との接触面に有害な塑性変形を生じるおそれがあり、ラジアル軸受では $P_r$ が $C_{or}$ または $0.5C_r$ のいずれかを超える場合、スラスト軸受では $P_a$ が $0.5C_a$ を超る場合には適用できないことがあります。

## 6.4 使用機械と必要寿命

軸受選定には、その機械に必要な軸受寿命が要求されます。一般に目安となる必要寿命時間を表6.3に示します。

## 6.5 基本静定格荷重

最大転動体荷重の接触応力が次の値となるような軸受荷重を基本静定格荷重と定義づけています。

|      |                                    |
|------|------------------------------------|
| 玉軸受  | 4 200MPa {428kgf/mm <sup>2</sup> } |
| ころ軸受 | 4 000MPa {408kgf/mm <sup>2</sup> } |

この値は軌道面と転動体との接触部に荷重負荷により、ほぼ転動体直径の0.0001倍の永久変形が生じる荷重に相当し、この変形量は軸受に円滑な回転を防げない限度であることが経験的に知られています。

この基本静定格荷重はラジアル軸受、スラスト軸受について、それぞれ $C_{or}$ 、 $C_{oa}$ の記号で寸法表に表示されています。

## 定格寿命の 目安は……

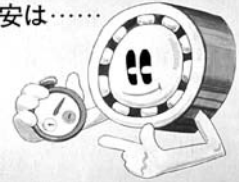


表6.3 使用機械と必要寿命時間（参考）

| 使用区分                              | 使用機械と必要寿命時間 $L_{10h}$ × 10 <sup>3</sup> 時間 |                                      |                                           |                                              |                            |
|-----------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|
|                                   | ～4                                         | 4～12                                 | 12～30                                     | 30～60                                        | 60～                        |
| 短時間又は、ときどき使用される機械                 | 家庭用電気機器<br>電動工具                            | 農業機械<br>事務機械                         |                                           |                                              |                            |
| 短時間又は、ときどきしか使用されないが、確実な運転を必要とする機械 | 医療機器<br>計器                                 | 家庭用エアコン<br>建設機械<br>エレベータ<br>クレーン     | クレーン（シーブ）                                 |                                              |                            |
| 常時ではないが、長時間運転される機械                | 乗用車<br>二輪車                                 | 小形モータ<br>バス・トラック<br>一般歯車装置<br>木工機械   | 工作機械スピンドル<br>工場用汎用モータ<br>クラッシャ<br>振動スクリーン | 重要な歯車装置<br>ゴム・プラスチック用<br>カレンダーロール<br>輪転印刷機   |                            |
| 常時1日8時間以上運転される機械                  |                                            | 圧延機ロールネック<br>エスカレータ<br>コンベヤ<br>遠心分離機 | 客車・貨車（車軸）<br>空調設備<br>大形モータ<br>コンプレッサ・ポンプ  | 機関車（車軸）<br>トラクションモータ<br>鉱山ホイスト<br>プレスフライホイール | バルブ・製紙機械<br>船用推進装置         |
| 1日24時間運転され事故による停止が許されない機械         |                                            |                                      |                                           |                                              | 水道設備<br>鉱山排水・換気設備<br>発電所設備 |

## 6.6 許容静等価荷重

軸受に作用する最も大きい静的荷重に対しては、一般に安全係数 $S_o$ の値を基準に良否が判断されます。

$$S_o = \frac{C_o}{P_o} \dots\dots\dots (6.6)$$

ここで、

$S_o$ ：安全係数

$C_o$ ：基本静定格荷重（ $C_{or}$ 又は $C_{oa}$ ）N {kgf}

$P_o$ ：静等価荷重（ $P_{or}$ 又は $P_{oa}$ ）N {kgf}

$S_o$ での評価は、先の $C_{or}$ 、 $C_{oa}$ の定義に基づいて、永久変形量を、ベースにしたものです。軌道輪の割れや、ころ軸受のエッジロードを考慮したものではありません。機械や使用箇所によって、経験的に決める必要があります。

表6.4 安全係数 $S_o$ の下限值

| 運 転 条 件                        | 玉軸受 | ころ軸受 |
|--------------------------------|-----|------|
| 高い回転精度を要する場合                   | 2   | 3    |
| 普通の回転精度を要する場合（汎用）              | 1   | 1.5  |
| 多少の回転精度の劣化を許容する場合（低速回転、重荷重用など） | 0.5 | 1    |

- 備考
1. スラスト自動調心ころ軸受では $S_o$ の下限値を4に採る。
  2. シェル形針状ころ軸受では $S_o$ の下限値を3に採る。
  3. 振動・衝撃荷重がかかる場合は、衝撃による荷重係数を加味した $P_o$ を求める。
  4. 深溝玉軸受、アンギュラ玉軸受に大きなアキシャル荷重が作用すると接触だ円が軌道面を乗り上げることがあり、別途検討が必要である。

フポイントアドバイス

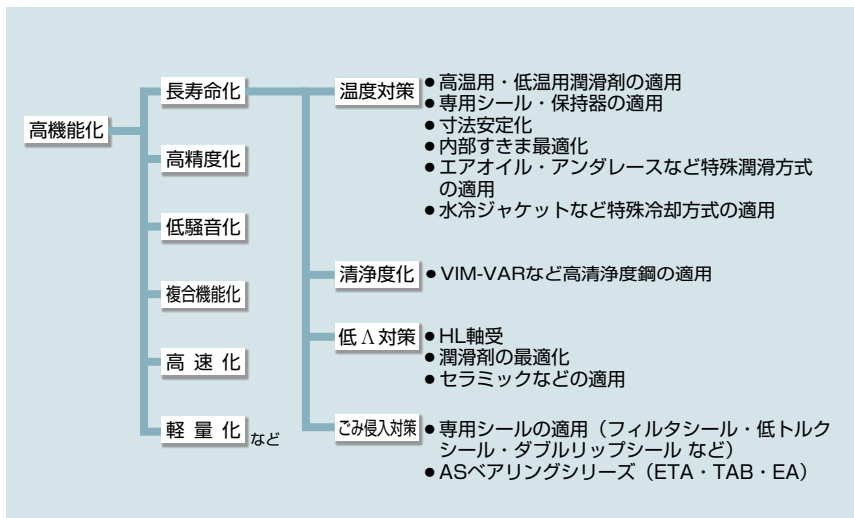
## 軸受ミニ知識

## ●軸受の高機能化と長寿命化

このハンドブックで解説した寿命は、JIS等にも規定されている基本定格寿命です。

しかし、自動車・鉄鋼設備・工作機械等に使われる軸受は、限られた条件の中で要求される機能を満足しながら、長寿命化を図らなければなりません。

NTNは、これらを達成するためのさまざまな技術を備えています。その一部をご紹介します。





## 7. 軸受荷重

軸受寿命や安全係数を計算するためには、まず軸受にどのような荷重が作用しているかを知する必要があります。すなわち軸受が支える物や回転体の重さ、ベルトや歯車などの伝導力、機械が仕事をすることにより生ずる荷重などいろいろな種類、方向の荷重が作用しますが、これをラジアル方向、アキシアル方向荷重に整理し、合成荷重として算出します。

### 7.1 軸系に作用する荷重

#### (1) 荷重係数

機械によっては、振動、衝撃などにより理論的計算値より大きな荷重が作用します。そこで荷重係数を乗じて実荷重として取扱う場合があります。

$$K = f_w \cdot K_c \quad \cdots \cdots (7.1)$$

ここで、

$K$  : 軸系に作用する実際の荷重 N {kgf}

$f_w$  : 荷重係数 (表7.1)

$K_c$  : 理論的計算値 N {kgf}

表7.1 荷重係数  $f_w$

| 衝撃の種類           | $f_w$   | 使用機械                                                      |
|-----------------|---------|-----------------------------------------------------------|
| ほとんど<br>衝撃のない場合 | 1.0~1.2 | 電気機械、工作機械<br>計器類                                          |
| 軽い<br>衝撃のある場合   | 1.2~1.5 | 鉄道車両、自動車<br>圧延機、金属機械<br>製紙機械、印刷機械<br>航空機、繊維機械<br>電装品、事務機械 |
| 強い<br>衝撃のある場合   | 1.5~3.0 | 粉碎機、農業機械<br>建設機械、物揚機械                                     |

#### (2) 歯車に作用する荷重

歯車で動力を伝える場合、歯車の種類（平歯車、はすば歯車、かさ歯車など）によって作用荷重が異なります。最も簡単な例として平歯車、はすば歯車の荷重計算例を示します。

軸入力トルクが分っている場合の歯車接線方向荷重

$$K_t = \frac{2T}{D_p} \quad \cdots \cdots (7.2)$$

ここで、

$K_t$  : 歯車接線方向荷重 N {kgf}

$T$  : 入力トルク N・mm {kgf・mm}

$D_p$  : 歯車ピッチ円径 mm

軸入力として伝達動力が分っている場合

$$\begin{aligned} K_t &= \frac{19.1 \times 10^6 \cdot H}{D_p \cdot n} \quad \text{N} \\ &= \frac{1.95 \times 10^6 \cdot H}{D_p \cdot n} \quad \text{[kgf]} \quad \cdots \cdots (7.3) \end{aligned}$$

ここで、

$n$  : 回転速度 min<sup>-1</sup>

$H$  : 伝達動力 kW

$$K_t = K_t \cdot \tan \alpha \quad (\text{平歯車}) \quad \cdots \cdots (7.4)$$

$$= K_t \cdot \frac{\tan \alpha}{\cos \beta} \quad (\text{はすば歯車}) \quad \cdots \cdots (7.5)$$

$$K_a = K_t \cdot \tan \beta \quad (\text{はすば歯車}) \quad \cdots \cdots (7.6)$$

ここで、

$K_t$  : 歯車の半径方向荷重

$K_a$  : 歯車軸に平行な荷重

$\alpha$  : 歯車の圧力角

$\beta$  : 歯車のねじれ角

ラジアル荷重の合成荷重として

$$F_r = \sqrt{K_t^2 + K_a^2} \quad \cdots \cdots (7.7)$$

$F_r$  : 歯車軸に直角な荷重

で算出されるが、実際に軸受荷重を計算する場合にはアキシアル荷重  $K_a$  もラジアル荷重に影響するので最後に合成荷重を求めた方が計算が容易となります。

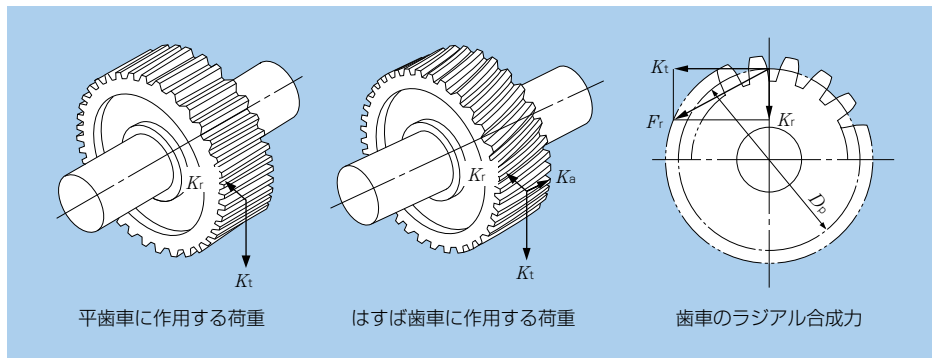


図7.1 歯車に作用する荷重

### (3) チェーン・ベルト軸に作用する荷重

チェーンやベルトによって動力を伝えるとき、スプロケット又はプーリに作用する荷重は、

$$K_t = \frac{19.1 \times 10^6 \cdot H}{D_p \cdot n} \text{ N}$$

$$= \frac{1.95 \times 10^6 \cdot H}{D_p \cdot n} \text{ [kgf]} \quad \dots\dots(7.8)$$

ここで、

$K_t$  : スプロケット又はプーリに  
作用する荷重 N [kgf]

$H$  : 伝達動力 kW

$D_p$  : スプロケット又はプーリの  
ピッチ径 mm

ベルト駆動ではベルトの滑り防止のため初期張力を与え、又チェーンでは振動を考慮し、ラジアル方向荷重として (7.9) 式で算出します。

$$K_r = f_b \cdot K_t \quad \dots\dots(7.9)$$

ここで、

$K_r$  : ラジアル方向荷重

$f_b$  : チェーン・ベルト係数

 表7.2 チェーン・ベルト係数  $f_b$ 

| チェーン・ベルトの種類      | $f_b$   |
|------------------|---------|
| チェーン (単列)        | 1.2~1.5 |
| Vベルト             | 1.5~2.0 |
| タイミングベルト         | 1.1~1.3 |
| 平ベルト (テンショプーリ付き) | 2.5~3.0 |
| 平ベルト             | 3.0~4.0 |

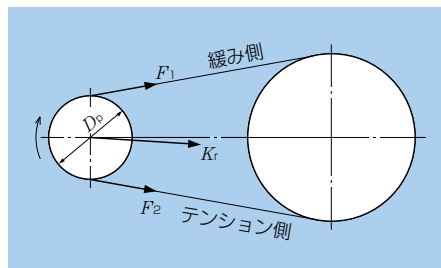


図7.2 チェーン・ベルトに作用する荷重

## 7.2 軸受への荷重配分

軸受に支えられている軸には、一般にいろいろな方向の荷重が作用します。荷重の大きさと方向によって、軸受に作用する荷重をラジアル方向、アキシアル方向荷重に整理します。

最も一般的な減速機の歯車を模型に算出手順を示します。

図7.3にて歯車1が出力（平歯車）歯車2が入力（はすば歯車）とする。

ここで、

$K_{t1}$ ,  $K_{t2}$  : 歯車接線力（紙面に垂直方向）

$K_{r1}$ ,  $K_{r2}$  : 歯車分離力

$K_a$  : 歯車軸方向力

$r_1$ ,  $r_2$  : 歯車のピッチ円半径

$$K_{t1} = \frac{r_2}{r_1} \cdot K_{t2}$$

$K_t$ と $K_r$ ,  $K_a$ の関係は（7.4）（7.5）（7.6）式による

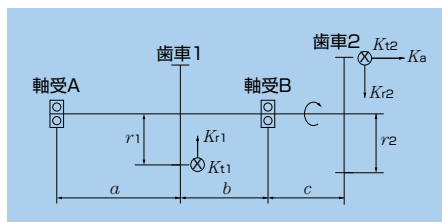


図7.3 歯車荷重伝達例

### （1）軸受Aに作用する荷重

$K_{t1}$ ,  $K_{t2}$ による荷重

$$F_{rAt} = \frac{b}{a+b} \cdot K_{t1} - \frac{c}{a+b} \cdot K_{t2}$$

$K_{r1}$ ,  $K_{r2}$ ,  $K_a$ による荷重

$$F_{rAr} = \frac{b}{a+b} \cdot K_{r1} + \frac{c}{a+b} \cdot K_{r2} + \frac{r_2}{a+b} \cdot K_a$$

したがって軸受Aに作用するラジアル荷重は

$$F_{rA} = \sqrt{F_{rAt}^2 + F_{rAr}^2}$$

### （2）軸受Bに作用する荷重

（アキシアル荷重は軸受Bで受けるとする）

$K_{t1}$ ,  $K_{t2}$ による荷重

$$F_{rBt} = \frac{a}{a+b} \cdot K_{t1} + \frac{a+b+c}{a+b} \cdot K_{t2}$$

$K_{r1}$ ,  $K_{r2}$ ,  $K_a$ による荷重

$$F_{rBr} = \frac{a}{a+b} \cdot K_{r1} - \frac{a+b+c}{a+b} \cdot K_{r2} - \frac{r_2}{a+b} \cdot K_a$$

軸受Bに作用するラジアル荷重は

$$F_{rB} = \sqrt{F_{rBt}^2 + F_{rBr}^2}$$

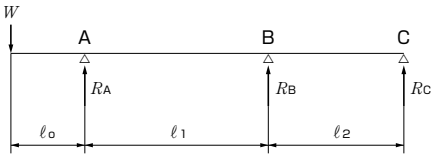
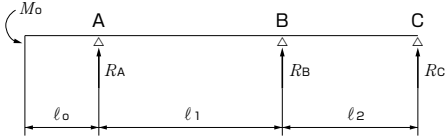
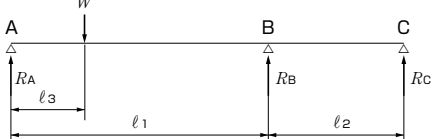
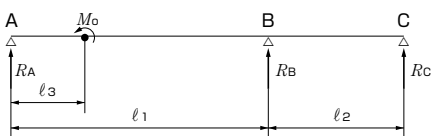
軸受Bに作用するアキシアル荷重は $K_a$

また、1本の軸を3個の軸受で支える場合がありますが、軸受間の距離が長い場合には、3点支持はりとして軸受荷重計算を行います。

具体的計算事例は非常に複雑になりますので、単純な荷重例について軸受荷重式のみ提示します。（表7.3）

実際には種々の複雑な荷重が作用しますので、それぞれの荷重に対して荷重方向を明確にして個別に計算し、最後に合成荷重として算出し寿命計算を行います。

表7.3 三点支持軸受の軸受荷重

| 荷重及びモーメントの方向                                                                       | 軸受荷重                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | $R_B = -\frac{l_0 (2l_2 + l_1)}{2l_1 l_2} W$ $R_A = \frac{(l_1 + l_2 + l_0) W - l_2 R_B}{l_1 + l_2}$ $R_C = -\frac{l_0 W + l_1 R_B}{l_1 + l_2}$               |
|   | $R_B = -\frac{(2l_2 + l_1) M_0}{2l_1 l_2}$ $R_A = \frac{M_0 - l_2 R_B}{l_1 + l_2}$ $R_C = -\frac{M_0 + l_1 R_B}{l_1 + l_2}$                                   |
|   | $R_B = \frac{l_3 (l_1^2 + 2l_1 l_2 - l_3^2)}{2l_1^2 l_2} W$ $R_A = \frac{(l_1 + l_2 - l_3) W - l_2 R_B}{l_1 + l_2}$ $R_C = \frac{l_3 W - l_1 R_B}{l_1 + l_2}$ |
|  | $R_B = \frac{(-l_1^2 - 2l_1 l_2 + 3l_3^2) M_0}{2l_1^2 l_2}$ $R_A = \frac{M_0 - l_2 R_B}{l_1 + l_2}$ $R_C = -\frac{M_0 + l_1 R_B}{l_1 + l_2}$                  |

## 7.3 等価荷重

### 7.3.1 動等価荷重

軸受にラジアル荷重とアキシャル荷重の両方向荷重が同時に作用する場合があります。このような場合、ラジアル軸受には純ラジアル荷重に、スラスト軸受では純アキシャル荷重に換算し、同等の寿命を与えるような仮想荷重にしたものを動等価荷重といいます。

#### (1) 動等価ラジアル荷重

動等価ラジアル荷重は (7.10) 式で求められます。

$$P_r = XF_r + YF_a \quad (7.10)$$

ここで、

$P_r$  : 動等価ラジアル荷重 N {kgf}

$F_r$  : ラジアル荷重 N {kgf}

$F_a$  : アキシャル荷重 N {kgf}

$X$  : ラジアル荷重係数

$Y$  : アキシャル荷重係数

$XY$ の値は、カタログの寸法表に記載しています。

#### (2) 軸受が接触角を持つ場合

アンギュラ玉軸受及び円すいころ軸受のように接触角 $\alpha$ を持った軸受は、軸受中心からずれた位置に荷重を受ける作用点を持ち、ラジアル荷重が作用すると、アキシャル方向に分力が発

生します。この力を一般に誘起スラストと呼んでおり、この大きさは (7.11) 式にて求められます。

$$F_a = \frac{0.5F_r}{Y_2} \quad (7.11)$$

ここで、

$F_a$  : アキシャル方向分力  
(誘起スラスト) N {kgf}

$F_r$  : ラジアル荷重 N {kgf}

$Y_2$  : アキシャル荷重係数

これらの軸受は一般に対称に配置して使用され、計算例を表7.4に示します。

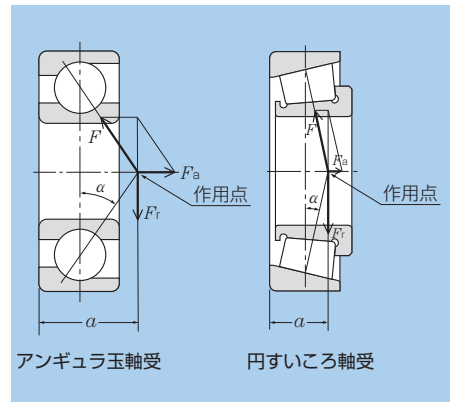


図7.4 軸受の作用点及びアキシャル方向分力

表7.4 アキシャル分力の計算例

| 軸 受 配 置 | 荷 重 条 件                                                      | アキシャル荷重                                   | 動等価ラジアル荷重                                                                                      |
|---------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         | $\frac{0.5F_{rI}}{Y_I} \leq \frac{0.5F_{rII}}{Y_{II}} + F_a$ | $F_a I = \frac{0.5F_{rII}}{Y_{II}} + F_a$ | $P_{rI} = XF_{rI} + Y_I \left( \frac{0.5F_{rII}}{Y_{II}} + F_a \right)$<br>$P_{rII} = F_{rII}$ |
|         | $\frac{0.5F_{rI}}{Y_I} > \frac{0.5F_{rII}}{Y_{II}} + F_a$    | $F_a II = \frac{0.5F_{rI}}{Y_I} - F_a$    | $P_{rI} = F_{rI}$<br>$P_{rII} = XF_{rII} + Y_{II} \left( \frac{0.5F_{rI}}{Y_I} - F_a \right)$  |

備考 1. 軸受 I, II にそれぞれ  $F_{rI}$ ,  $F_{rII}$  が作用し、更にアキシャル荷重  $F_a$  が作用する。  
2. 予圧が 0 のとき適用する。

### 7.3.2 静等価荷重

実際の荷重条件のもとで、最大荷重を受ける転動体と軌道面との接触部に生じる最大の永久変形量と同じ永久変形量を与えるような純ラジアル荷重、又は純アキシャル荷重を静等価荷重といいます。

これは軸受が静止しているか、ごく低速で回転している場合の荷重条件下での軸受選定に使われます。

#### (1) 静等価ラジアル荷重

ラジアル軸受の静等価ラジアル荷重は(7.12)及び(7.13)式で求めた値のうち大きい方を採用します。

$$P_{or} = X_0 F_r + Y_0 F_a \quad (7.12)$$

$$P_{or} = F_r \quad (7.13)$$

ここで、

$P_{or}$  : 静等価ラジアル荷重 N [kgf]

$F_r$  : ラジアル荷重 N [kgf]

$F_a$  : アキシャル荷重 N [kgf]

$X_0$  : 静ラジアル荷重係数

$Y_0$  : 静アキシャル荷重係数

$X_0$ ,  $Y_0$ の値は、カタログの寸法表に記載しています。

ただし  $P_{or} < P$  となるときは  $P_{or} = P$  とする。  
 $eY$ ,  $Y_0$  及び  $Y_1$  の値は下表の数値を用いる

転がり軸受総合カタログ  
B-143ページ参照

| Y | SY | rY | rY <sub>0</sub> | 作用点  |      | アキシャル荷重係数      |                | 質量<br>kg |
|---|----|----|-----------------|------|------|----------------|----------------|----------|
|   |    |    |                 | mm   | 定数   | Y <sub>1</sub> | Y <sub>2</sub> |          |
| 小 | 最小 | 最大 | 最大              | aY   | eY   | Y <sub>1</sub> | Y <sub>2</sub> | (参考)     |
| 3 | 1  | 1  | 9.5             | 0.29 | 2.11 | 1.16           | 0.096          |          |
| 2 | 1  | 1  | 9.5             | 0.35 | 1.74 | 0.96           | 0.08           |          |
| 3 | 1  | 1  | 11.5            | 0.31 | 1.92 | 1.06           | 0.102          |          |

### 7.4 許容アキシャル荷重

ラジアル軸受でもアキシャル荷重を受けられますが、軸受形式によりそれぞれ荷重限度があります。

#### (1) 玉軸受

深溝玉軸受、アンギュラ玉軸受などの玉軸受は、アキシャル荷重が作用すると、接触角が荷重とともに変化し、その荷重が許容範囲を超えたとき玉と軌道面との接触だ円が溝からはみだします。

この接触面は図7.5に示すように長軸半径が $a$ となる楕円形をしています。この接触楕円が溝肩に乗り上げない限界荷重が最大許容アキシャル荷重となります(溝肩に乗り上げなくとも、許容できるアキシャル荷重は、 $P_{max} < 4 \text{ 200MPa}$  でなければなりません)。この荷重は、軸受内部すきま、溝曲率、溝肩寸法などにより異なります。

なお、ラジアル荷重も負荷している場合は、最大転動体荷重にて限界荷重をチェックします。

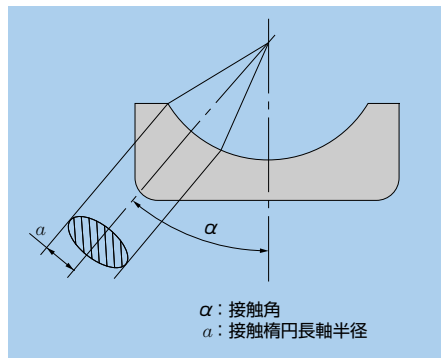


図7.5 接触楕円

### (2) 円すいころ軸受

この軸受は軌道面と大つばのころ端面接触部の両方でアキシャル荷重を受けます。したがって接触角 $\alpha$ を大きくすることにより大きなアキシャル荷重を受けることができます。しかし、ころ端面と大つば面とは滑り接触をしているため、回転速度、潤滑条件により異なりますが、限界があります。一般にこの滑り面の面圧に滑り速度を乗したPV値でチェックしており、コンピュータで計算されます。

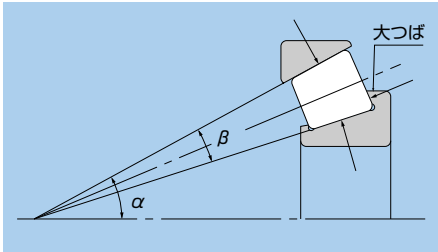


図7.6 円すいころ軸受

### (3) 円筒ころ軸受の許容アキシャル荷重

内輪及び外輪につばのある円筒ころ軸受は、ラジアル荷重と同時にある程度のアキシャル荷重を受けることができます。この場合の許容アキシャル荷重は、ころ端面とつばとの間の滑り面の発熱、摩耗などによって限度が決まります。

中心アキシャル荷重を負荷する場合の許容荷重は、従来からの経験及び実験に基づき、近似的に(7.14)式によって求めることができます。

$$P_t = k \cdot d^2 \cdot P_z \quad (7.14)$$

ここで、

$P_t$  : 回転時の許容アキシャル荷重 N [kgf]

$k$  : 軸受内部設計により決まる係数(表7.5)

$d$  : 軸受内径 mm

$P_z$  : つばの許容面圧

MPa [kgf/mm<sup>2</sup>] (図7.7)

ただし、ラジアル荷重に比べてアキシャル荷

重が大きいと、ころの正常な転がり運動に悪い影響を与えますので表7.5に示す $F_{a \max}$ を超えないように注意が必要です。また、潤滑条件、取付関係寸法及び精度などを考慮する必要があります。

表7.5 係数 $k$ の値及び許容アキシャル荷重 ( $F_{a \max}$ )

| 軸受系列                                            | $K$   | $F_{a \max}$ |
|-------------------------------------------------|-------|--------------|
| NJ, NUP10<br>NJ, NUP, NF, NH2,<br>NJ, NUP, NH22 | 0.040 | $0.4F_r$     |
| NJ, NUP, NF, NH3,<br>NJ, NUP, NH23              | 0.065 | $0.4F_r$     |
| NJ, NUP, NH2E,<br>NJ, NUP, NH22E                | 0.050 | $0.4F_r$     |
| NJ, NUP, NH3E,<br>NJ, NUP, NH23E                | 0.080 | $0.4F_r$     |
| NJ, NUP, NH4,                                   | 0.100 | $0.4F_r$     |
| SL01-48                                         | 0.022 | $0.2F_r$     |
| SL01-49                                         | 0.034 | $0.2F_r$     |
| SL04-50                                         | 0.044 | $0.2F_r$     |

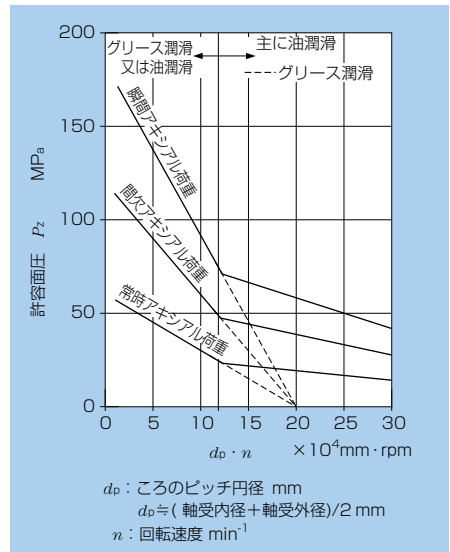


図7.7 つばの許容面圧

## 8. はめあい

### 8.1 軸受のはめあい

軸受の内輪及び外輪は、回転する荷重を支えるために、軸及びハウジングに取付けられます。この場合、内輪と軸及び外輪とハウジングのはめあいは、荷重の性質、軸受の組立方法、周りの環境などによってもはめあい部分にすきまを持たせるか、しめしろを持たせるかで異なってきます。はめあいには基本的に3つのタイプがあります。

- ① **すきまばめ**…はめあい部分にすきまをもった取付け。
- ② **中間ばめ**…はめあい部分はすきまとしめしろの両方にまたがった取付け。
- ③ **しまりばめ**…はめあい部分にしめしろをもって固定された取付け。

荷重を支える軸受を取付けるには、しめしろを与えてしまりばめにて固定するのが最も有効な方法です。しかし、取付け、取外し、及び温度変化による軸又はハウジングの伸縮を吸収するなど、すきまを与える利点もあります。また

荷重に見合ったしめしろを与えないと、回転によりクリープ現象を起すことがあります。クリープとは、図8.1に示すように、荷重を受けて回転するはめあい部にすきま $\Delta$ がある場合、内輪内径と軸の円周長さの違いにより、滑りを生じたような状況になり、異常発熱、摩耗、更には摩耗粉による軸受への悪影響などが起る場合があります。すきまがなくとも、荷重が大きいとクリープすることがあるため、表8.2の目安ではめあいを決定します。

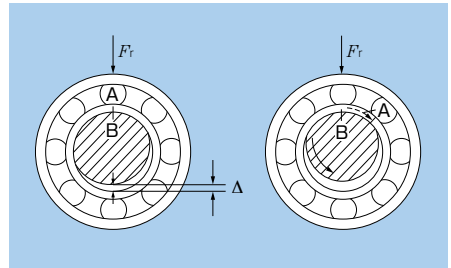


図8.1 軸受のクリープ

表8.1 ラジアル荷重の性質とはめあい

| 図 例       | 回 転 の 区 分    | 荷重の性質            | はめあい                 |
|-----------|--------------|------------------|----------------------|
| 静止荷重<br>  | 内輪回転<br>外輪静止 | 内輪回転荷重<br>外輪静止荷重 | 内輪：しまりばめ<br>外輪：すきまばめ |
| 不釣合荷重<br> | 内輪静止<br>外輪回転 | 内輪静止荷重<br>外輪回転荷重 | 内輪：すきまばめ<br>外輪：しまりばめ |
| 静止荷重<br>  | 内輪静止<br>外輪回転 | 内輪静止荷重<br>外輪回転荷重 | 内輪：すきまばめ<br>外輪：しまりばめ |
| 不釣合荷重<br> | 内輪回転<br>外輪静止 | 内輪回転荷重<br>外輪静止荷重 | 内輪：しまりばめ<br>外輪：すきまばめ |



一方、軸受、軸、ハウジングの寸法許容差によって、しめしろ又はすきまの範囲が決まりますので、はめあいには十分な検討が必要です。

## 8.2 はめあいの選定

適切なはめあいを選定するためには軸受の使用条件を十分検討しなければなりません。

すなわち

- 軸、ハウジングの材質、肉厚形状、剛性、仕上げ面精度など

### ●機械の使用条件

(荷重の性質、大きさ、回転速度、温度など)  
はめあいの基本的な考え方として軸受の内輪、外輪のどちらが回転しているのか。この時、荷重はどちらの軌道輪に沿って移動するかによって決まり表8.1のようになります。

軸受が取付けられる軸及びハウジングの寸法許容差の関係を図示すると図8.2のようになります。

各種軸受および各種使用条件に対するはめあいの一般基準について、その一部を表8.2～表8.4に示します。詳しくは[転がり軸受総合カタログA51～58]を参照ください。

表8.2 ラジアル軸受(0級, 6X級, 6級)に対して常用する軸の公差域クラス

| 条 件                               |                                | 玉 軸 受    |     | 円筒ころ軸受<br>円すいころ軸受 |     | 自動調心ころ軸受 |     | 軸の公差域<br>ク ラ ス      | 備 考                                             |
|-----------------------------------|--------------------------------|----------|-----|-------------------|-----|----------|-----|---------------------|-------------------------------------------------|
|                                   |                                | 軸 径 (mm) |     |                   |     |          |     |                     |                                                 |
|                                   |                                | を越え      | 以下  | を越え               | 以下  | を越え      | 以下  |                     |                                                 |
| 円筒穴軸受 (0級, 6X級, 6級)               |                                |          |     |                   |     |          |     |                     |                                                 |
| 内輪回転荷重又は方向不定荷重                    | 軽荷重 <sup>●</sup><br>又は<br>変動荷重 | —        | 18  | —                 | —   | —        | —   | h5                  | 精密を要する場合、js6, k6, m6の代わりにjs5, k5, m5を用いることができる。 |
|                                   |                                | 18       | 100 | —                 | 40  | —        | —   | js6                 |                                                 |
|                                   |                                | 100      | 200 | 40                | 140 | —        | —   | k6                  |                                                 |
|                                   | 普通荷重 <sup>●</sup>              | —        | —   | 140               | 200 | —        | —   | m6                  |                                                 |
|                                   |                                | —        | 18  | —                 | —   | —        | —   | js5                 |                                                 |
|                                   |                                | 18       | 100 | —                 | 40  | —        | 40  | k5                  |                                                 |
|                                   |                                | 100      | 140 | 40                | 100 | 40       | 65  | m5                  |                                                 |
|                                   |                                | 140      | 200 | 100               | 140 | 65       | 100 | m6                  |                                                 |
|                                   |                                | 200      | 280 | 140               | 200 | 100      | 140 | n6                  |                                                 |
|                                   | 重荷重 <sup>●</sup><br>又は<br>衝撃荷重 | —        | —   | 200               | 400 | 140      | 280 | p6                  |                                                 |
|                                   |                                | —        | —   | —                 | —   | 280      | 500 | r6                  |                                                 |
|                                   |                                | —        | —   | 50                | 140 | 50       | 100 | n6                  |                                                 |
|                                   |                                | —        | —   | 140               | 200 | 100      | 140 | p6                  |                                                 |
|                                   |                                | —        | —   | 200               | —   | 140      | 200 | r6                  |                                                 |
| 内輪静止荷重                            | 内輪が軸上に容易に動く必要がある               | 全軸径      |     |                   |     |          |     | g6                  | 精密を要する場合 g5を用いる。大きな軸受では、容易に移動できるようにf6でもよい。      |
|                                   | 内輪が軸上に容易に動く必要がない               | 全軸径      |     |                   |     |          |     | h6                  | 精密を要する場合、h5を用いる。                                |
| 中心アキシャル荷重                         |                                | 全軸径      |     |                   |     |          |     | js6                 | 一般にはめあいによる軸と内輪の固定はしない。                          |
| テーパ穴軸受 (0級) (アダプタ付き 又は 取外しスリーブ付き) |                                |          |     |                   |     |          |     |                     |                                                 |
| 全 荷 重                             |                                | 全軸径      |     |                   |     |          |     | h9/IT5 <sup>●</sup> | 伝導軸などでは、h10/IT7 <sup>●</sup> としてもよい。            |

① 軽荷重、普通荷重及び重荷重は、動等価ラジアル荷重が使用する軸受の基本動ラジアル定格荷重のそれぞれ6%以下、6%を超え12%以下及び12%を超える荷重をいう。

② IT5及びIT7は、軸の真円度公差、円筒度公差などの値を示す。

備考 この表は、鋼製の中実軸に適用する。

表8.3 ラジアル軸受(O級, 6X級, 6級)に対して常用するハウジング穴の公差域クラス

| 条 件                            |         |                                      |                 | ハウジング穴の公差域クラス | 備 考                              |
|--------------------------------|---------|--------------------------------------|-----------------|---------------|----------------------------------|
| ハウジング                          | 荷重の種類など |                                      | 外輪のアキシャル方向の移動 ● |               |                                  |
| 一体ハウジング<br>又は<br>二つ割り<br>ハウジング | 外輪静止荷重  | すべての種類の荷重                            | 移動できる。          | H7            | 大形軸受又は外輪とハウジングの温度差が大きい場合、G7でもよい。 |
|                                |         | 軽荷重 <sup>①</sup> 又は普通荷重 <sup>①</sup> | 移動できる。          | H8            | —                                |
|                                |         | 軸と内輪が高温になる。                          | 容易に移動できる。       | G7            | 大形軸受又は外輪とハウジングの温度差が大きい場合、F7でもよい。 |
| 一体ハウジング                        |         | 軽荷重又は普通荷重で精密回転を要する。                  | 原則として移動できない。    | K6            | 主に、ころ軸受に適用する。                    |
|                                |         |                                      | 移動できる。          | JS6           | 主に、玉軸受に適用する。                     |
|                                |         | 静粛な運転を要する。                           | 移動できる。          | H6            | —                                |
|                                | 方向不定荷重  | 軽荷重又は普通荷重                            | 移動できる。          | JS7           | 精密を要する場合、JS7、K7の代わりにJS6、K6を用いる。  |
|                                |         | 普通荷重又は重荷重 <sup>①</sup>               | 原則として移動できない。    | K7            | —                                |
|                                |         | 大きな衝撃荷重                              | 移動できない。         | M7            | —                                |
|                                | 外輪回転荷重  | 軽荷重又は変動荷重                            | 移動できない。         | M7            | —                                |
|                                |         | 普通荷重又は重荷重                            | 移動できない。         | N7            | 主に、玉軸受に適用する。                     |
|                                |         | 薄肉ハウジングで重荷重又は大きな衝撃荷重                 | 移動できない。         | P7            | 主に、ころ軸受に適用する。                    |

① 表8.2の①による。

② 非分離形軸受について、外輪がアキシャル方向に移動できるか、できないかの区別を示す。

備考1. この表は、鋳鉄製ハウジング又は鋼製ハウジングに適用する。

2. 中心アキシャル荷重だけが軸受にかかる場合、外輪にラジアル方向のすきまを与えるような公差域クラスを選定する。

表8.4 スラスト軸受(O級, 6X級, 6級)に対して常用する軸の公差域クラス

| 条 件                     | 軸径 (mm)        |                 | 軸の公差域クラス       | 備 考                                    |
|-------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------------------------------|
|                         | を超過            | 以下              |                |                                        |
| 中心アキシャル荷重<br>(スラスト軸受全般) | 全軸径            |                 | js6            | h6にも用いられる。                             |
| 合成荷重<br>(スラスト自動調心ころ軸受)  | 内輪静止荷重         | 全軸径             | js6            | —                                      |
|                         | 内輪回転荷重又は方向不定荷重 | 200<br>400<br>— | k6<br>m6<br>n6 | k6, m6, n6の代わりに、それぞれjs6, k6, m6も用いられる。 |

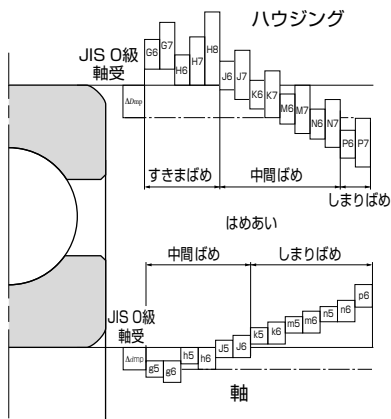


図8.2 はめあいの状態

### 8.3 はめあいの計算

前述のようにはめあいの目安が決められていますが、実際には組立、荷重、温度などの条件によってクリープ、軌道輪の割れ、早期フレーキングなどの不具合が発生することがあります。

したがってしめしろが必要な場合には下記の項目についてチェックしておく必要があります。

#### (1) 荷重としめしろ

軸受にラジアル荷重が作用すると内輪と軸のしめしろは減少しますので、荷重の大きさによってしめしろを変えます。必要なしめしろは次式で計算されます（軸は鋼製の中実軸とします）。

$$\left. \begin{aligned} F_r &\leq 0.3 C_{or} \text{ のとき} \\ \Delta d_F &= 0.08 (d \cdot F_r / B)^{1/2} \text{ N} \\ &= 0.25 (d \cdot F_r / B)^{1/2} \text{ [kgf]} \end{aligned} \right\} \cdots (8.1)$$

$$\left. \begin{aligned} F_r &> 0.3 C_{or} \text{ のとき} \\ \Delta d_F &= 0.02 (F_r / B) \text{ N} \\ &= 0.2 (F_r / B) \text{ [kgf]} \end{aligned} \right\} \cdots (8.2)$$

ここで、

$\Delta d_F$  : ラジアル荷重による必要有効しめしろ  $\mu\text{m}$

$d$  : 軸受内径  $\text{mm}$

$B$  : 内輪の幅  $\text{mm}$

$F_r$  : ラジアル荷重  $\text{N [kgf]}$

$C_{or}$  : 基本静定格荷重  $\text{N [kgf]}$

#### (2) 温度としめしろ

一般に、運転中の軸受は軸、ハウジングより温度が高くなります。その結果、内輪と軸との間のしめしろは減少します。この場合必要しめしろは次式で求められます。

$$\Delta d_t = 0.0015 \cdot d \cdot \Delta T \cdots \cdots (8.3)$$

ここで、

$\Delta d_t$  : 温度差による必要有効しめしろ  $\mu\text{m}$

$\Delta T$  : 軸受温度と周囲温度との差  $^{\circ}\text{C}$

$d$  : 軸受内径  $\text{mm}$

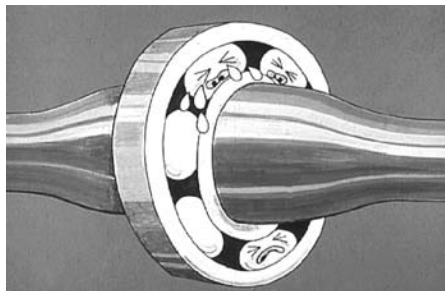
#### (3) はめあい面の面粗さとしめしろ

軸及びハウジングのはめあい面の粗さはある程度、潰されるのでその分しめしろが減少します。しめしろの減少量は、はめあい面の粗さによって異なりますが、一般には内輪膨張率、外輪収縮率を計算するとき若干補正を行います。

#### (4) 最大しめしろ

しめしろを与えて軸に取付けられた軌道輪には引張応力が発生します。過大なしめしろを与えた場合は、軌道輪の割損や、寿命低下の原因になります。一般にしめしろの上限値は、軸径の1/1000以下を目安としています。

重荷重又は衝撃荷重の場合には、詳細検討にてはめあい応力を計算し、一般に軸受鋼では13kgf/mm<sup>2</sup>、はだ焼鋼で18kgf/mm<sup>2</sup>を超えないようにすることが安全です。



## 8.4 はめあい面の圧力

はめあい面に生じる圧力、及び最大応力の計算式を表8.5に示します。

軸受の内輪、外輪の平均みぞ径は、近似的に表8.6より求めることができます。

はめあい面圧に実際有効に働くしめしろ、すなわち有効しめしろ $\Delta d_{\text{eff}}$ は軸受内径や軸の寸法

測定値より計算したしめしろ $\Delta d$ （理論しめしろ）より小さい。これは主として仕上面粗さの影響によるもので以下に示す減少量を見込む必要があります。

研削軸：1.0 ～ 2.5  $\mu\text{m}$

旋削軸：5.0 ～ 7.0  $\mu\text{m}$

表8.5 はめあい面の圧力及び最大応力

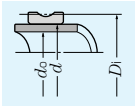
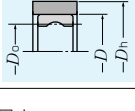
| はめあい条件                                          |                         | 計 算 式                                                                                                       | 記 号 (単位 N {kgf}, mm)                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| はめあい面圧<br><br>MPa<br>{kgf / mm <sup>2</sup> }   | 鋼製中実軸<br>と内輪の<br>はめあい   | $P = \frac{E}{2} \frac{\Delta d_{\text{eff}}}{d} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D_i} \right)^2 \right]$         | $d$ : 軸径, 内輪内径<br>$d_o$ : 中空軸内径<br>$D_i$ : 内輪平均みぞ径<br>$\Delta d_{\text{eff}}$ : 有効しめしろ<br>$E$ : 弾性係数<br>= 208 000 MPa { 21 200 kgf/mm <sup>2</sup> }                                |
|                                                 | 鋼製中空軸<br>と内輪の<br>はめあい   | $P = \frac{E}{2} \frac{\Delta d_{\text{eff}}}{d} \frac{[1 - (d/D_i)^2] [1 - (d_o/d)^2]}{[1 - (d_o/D_i)^2]}$ |                                                                                                   |
|                                                 | 鋼製ハウジング<br>と外輪の<br>はめあい | $P = \frac{E}{2} \frac{\Delta d_{\text{eff}}}{D} \frac{[1 - (D_o/D)^2] [1 - (D/D_h)^2]}{[1 - (D_o/D_h)^2]}$ | $D$ : ハウジング内径, 軸受外径<br>$D_o$ : 外輪平均みぞ径<br>$D_h$ : ハウジング外径<br>$\Delta d_{\text{eff}}$ : 有効しめしろ<br> |
| 最大<br>応力<br><br>MPa<br>{kgf / mm <sup>2</sup> } | 軸と内輪の<br>はめあい           | $\sigma_{t \text{ max}} = P \frac{1 + (d/D_i)^2}{1 - (d/D_i)^2}$                                            | 内輪内径面の切線応力が最大                                                                                                                                                                       |
|                                                 | ハウジングと<br>外輪のはめあい       | $\sigma_{t \text{ max}} = P \frac{2}{1 - (D_o/D)^2}$                                                        | 外輪内径面の切線応力が最大                                                                                                                                                                       |

表8.6 平均みぞ径

| 軸 受 形 式  |     | 平 均 み ぞ 径               |                         |
|----------|-----|-------------------------|-------------------------|
|          |     | 内 輪 ( $D_i$ )           | 外 輪 ( $D_o$ )           |
| 深みぞ玉軸受   | 全形式 | $1.05 \frac{4d + D}{5}$ | $0.95 \frac{d + 4D}{5}$ |
| 円筒ころ軸受 ① | 全形式 | $1.05 \frac{3d + D}{4}$ | $0.98 \frac{d + 3D}{4}$ |
| 自動調心ころ軸受 | 全形式 | $\frac{2d + D}{3}$      | $0.97 \frac{d + 4D}{5}$ |

$d$  : 内輪内径 mm       $D$  : 外輪外径 mm

① 平均みぞ径は両つば付きの場合の値を示す。

## 8.5 圧入及び引抜きに要する力

軸に内輪または、ハウジングに外輪を圧入したり、あるいは引き抜いたりする場合に要する力は、式(8.4)(8.5)により求めることができます。

軸と内輪の場合

$$K_d = \mu \cdot P \cdot \pi \cdot d \cdot B \quad \cdots \cdots (8.4)$$

ハウジングと外輪の場合

$$K_D = \mu \cdot P \cdot \pi \cdot D \cdot B \quad \cdots \cdots (8.5)$$

ここで

$K_d$  : 内輪の圧入または引抜き力 N {kgf}

$K_D$  : 外輪の圧入または引抜き力 N {kgf}

$P$  : はめあい面の面圧 MPa {kgf/mm<sup>2</sup>}

(表8.5参照)

$d$  : 軸径, 内輪内径 mm

$D$  : ハウジング内径, 外輪外径 mm

$B$  : 内輪または外輪の幅

$\mu$  : 滑り摩擦係数 (表8.7参照)

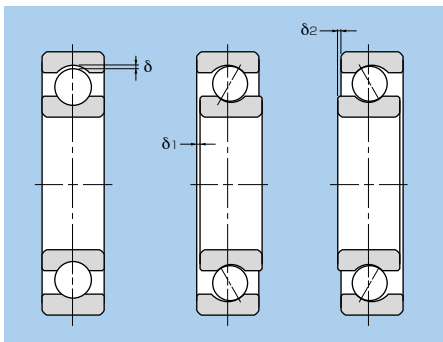
表8.7 圧入、引抜きの滑り摩擦係数

| 項 目                  | $\mu$ |
|----------------------|-------|
| 内(外)輪を円筒軸(穴)に圧入するとき  | 0.12  |
| 内(外)輪を円筒軸(穴)から引抜くとき  | 0.18  |
| 内輪をテーパ軸又はスリーブに圧入するとき | 0.17  |
| 内輪をテーパ軸から引抜くとき       | 0.14  |
| 軸, 軸受にスリーブを圧入するとき    | 0.30  |
| 軸, 軸受からスリーブを引抜くとき    | 0.33  |

9. 軸受内部すきまと予圧

9.1 軸受内部すきま

軸受を軸及びハウジングに取付ける前の状態で、図9.1に示すように、内輪又は外輪のいずれかを固定し、他方をラジアル方向又はアキシア



ラジアル内部すきま=δ  
アキシア内部すきま≒δ<sub>1</sub>+δ<sub>2</sub>

図9.1 軸受内部すきま

ル方向に移動させたときの移動量を、ラジアル内部すきま、又はアキシア内部すきまと呼んでいます。この内部すきまはJISで標準化されており、一例として深溝玉軸受のラジアル内部すきまを表9.1に示します。詳しくは[転がり軸受総合カタログA58～69]を参照ください。

なお、すきま測定には当然測定荷重が加わり、特に玉軸受においては測定荷重により、弾性変形するため、表9.2に示すように、測定荷重と補正値が決められています。

表9.2 測定荷重によるラジアル内部すきま補正量  
(深溝玉軸受) 単位 μm

| 呼び軸受内径<br>d mm<br>を超え 以下 | 測定荷重<br>N (kgf) | 内部すきま補正量 |       |     |    |    |
|--------------------------|-----------------|----------|-------|-----|----|----|
|                          |                 | C2       | CN    | C3  | C4 | C5 |
| 10 (を含む)                 | 18              | 24.5     | {2.5} | 3~4 | 4  | 4  |
| 18                       | 50              | 49       | {5}   | 4~5 | 5  | 6  |
| 50                       | 200             | 147      | {15}  | 6~8 | 8  | 9  |

表9.1 深溝玉軸受のラジアル内部すきま 単位 μm

| 呼び軸受内径<br>d mm<br>を超え 以下 | C2 |     | CN |     | C3  |     | C4  |     | C5  |     |
|--------------------------|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          | 最小 | 最大  | 最小 | 最大  | 最小  | 最大  | 最小  | 最大  | 最小  | 最大  |
| — 2.5                    | 0  | 6   | 4  | 11  | 10  | 20  | —   | —   | —   | —   |
| 2.5 6                    | 0  | 7   | 2  | 13  | 8   | 23  | —   | —   | —   | —   |
| 6 10                     | 0  | 7   | 2  | 13  | 8   | 23  | 14  | 29  | 20  | 37  |
| 10 18                    | 0  | 9   | 3  | 18  | 11  | 25  | 18  | 33  | 25  | 45  |
| 18 24                    | 0  | 10  | 5  | 20  | 13  | 28  | 20  | 36  | 28  | 48  |
| 24 30                    | 1  | 11  | 5  | 20  | 13  | 28  | 23  | 41  | 30  | 53  |
| 30 40                    | 1  | 11  | 6  | 20  | 15  | 33  | 28  | 46  | 40  | 64  |
| 40 50                    | 1  | 11  | 6  | 23  | 18  | 36  | 30  | 51  | 45  | 73  |
| 50 65                    | 1  | 15  | 8  | 28  | 23  | 43  | 38  | 61  | 55  | 90  |
| 65 80                    | 1  | 15  | 10 | 30  | 25  | 51  | 46  | 71  | 65  | 105 |
| 80 100                   | 1  | 18  | 12 | 36  | 30  | 58  | 53  | 84  | 75  | 120 |
| 100 120                  | 2  | 20  | 15 | 41  | 36  | 66  | 61  | 97  | 90  | 140 |
| 120 140                  | 2  | 23  | 18 | 48  | 41  | 81  | 71  | 114 | 105 | 160 |
| 140 160                  | 2  | 23  | 18 | 53  | 46  | 91  | 81  | 130 | 120 | 180 |
| 160 180                  | 2  | 25  | 20 | 61  | 53  | 102 | 91  | 147 | 135 | 200 |
| 180 200                  | 2  | 30  | 25 | 71  | 63  | 117 | 107 | 163 | 150 | 230 |
| 200 225                  | 2  | 35  | 25 | 85  | 75  | 140 | 125 | 195 | 175 | 265 |
| 225 250                  | 2  | 40  | 30 | 95  | 85  | 160 | 145 | 225 | 205 | 300 |
| 250 280                  | 2  | 45  | 35 | 105 | 90  | 170 | 155 | 245 | 225 | 340 |
| 280 315                  | 2  | 55  | 40 | 115 | 100 | 190 | 175 | 270 | 245 | 370 |
| 315 355                  | 3  | 60  | 45 | 125 | 110 | 210 | 195 | 300 | 275 | 410 |
| 355 400                  | 3  | 70  | 55 | 145 | 130 | 240 | 225 | 340 | 315 | 460 |
| 400 450                  | 3  | 80  | 60 | 170 | 150 | 270 | 250 | 380 | 350 | 510 |
| 450 500                  | 3  | 90  | 70 | 190 | 170 | 300 | 280 | 420 | 390 | 570 |
| 500 560                  | 10 | 100 | 80 | 210 | 190 | 330 | 310 | 470 | 440 | 630 |
| 560 630                  | 10 | 110 | 90 | 230 | 210 | 360 | 340 | 520 | 490 | 690 |

## 9.2 軸受内部すきまの選定

運転中のすきまは、軸受の寿命、発熱、振動あるいは音響など軸受性能に大きな影響を与えますので使用条件にマッチしたすきまの選定が重要です。運転状態において、理論的にはすきまがわずかに負のすきまのとき、軸受寿命は最も長い値を示しますが、更に負側のすきまになると、急激に寿命が低下します。運転中に種々の要因で使用条件が変動することが十分考えられますので、一般には運転すきまが、0よりわずかに大きくなるように初期の軸受内部すきまを選定します。

運転中の内部すきまは次式より求められます。

$$\delta_{\text{eff}} = \delta_o - (\delta_f + \delta_t) \cdots \cdots (9.1)$$

ここで、

$\delta_{\text{eff}}$  : 運転すきま mm

$\delta_o$  : 軸受内部すきま mm

$\delta_f$  : しめしろによる内部すきま減少量 mm

$\delta_t$  : 内輪と外輪の温度差による  
内部すきま減少量 mm

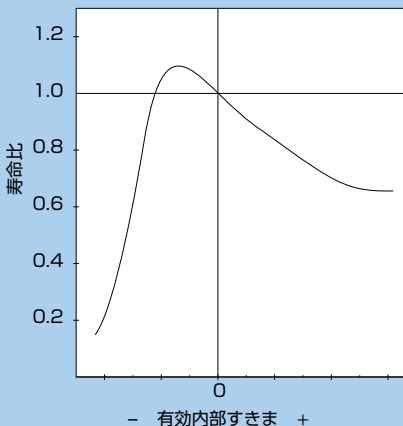


図9.2 内部すきまと寿命

### (1) しめしろによる内部すきま減少

内輪及び外輪を軸又はハウジングに、しめしろを与えて取付けると、内輪は膨張し、外輪は収縮し、その分軸受の内部すきまは減少します。

それぞれの減少量は、軸受の形式、軸又はハウジング形状、寸法及び材質によって異なりますが、近似的には有効しめしろの70～90%です。

$$\delta_f = (0.70 \sim 0.90) \Delta \delta_{\text{eff}} \cdots \cdots (9.2)$$

$\delta_f$  : しめしろによる内部すきま減少量 mm

$\Delta \delta_{\text{eff}}$  : 有効しめしろ mm

なお、より細かく求める場合は、各部の寸法形状、材質などを考慮し、寸法許容差は正規分布していると仮定し、一般に3 $\sigma$ にて計算します。

### (2) 内輪と外輪の温度差による内部すきま減少量

運転中の軸受温度は、一般的に外輪の温度が、内輪又は転動体の温度より5～10℃程低くなります。ハウジングからの放熱が大きく、又は軸が熱源に連なっていたりすると、この温度差は更に大きくなります。この温度差による内輪と外輪の膨張量の差だけ内部すきまが減少します。

$$\delta_t = \alpha \cdot \Delta T \cdot D_o \cdots \cdots (9.3)$$

$\delta_t$  : 内輪と外輪の温度差による内部すきまの減少量 mm

$\alpha$  : 軸受材料の線膨張係数  
12.5 $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

$\Delta T$  : 内輪と外輪の温度差  $^{\circ}\text{C}$

$D_o$  : 外輪の軌道径 mm

外輪の軌道径は近似的に次式で求められます。  
玉軸受及び自動調心ころ軸受に対して

$$D_o = 0.2 (d + 4D) \cdots \cdots (9.4)$$

ころ軸受(自動調心ころ軸受を除く)に対して

$$D_o = 0.25 (d + 3D) \cdots \cdots (9.5)$$

$d$  : 軸受内径 mm

$D$  : 軸受外径 mm

なお、9.2項の計算式は軸受、軸およびハウジングが鋼製である場合に限ります。

### 9.3 軸受の予圧

軸受は運転中わずかなすきまの状態では使われますが、アンギュラ玉軸受、円すいころ軸受のように二個対向させて使う軸受は、用途によってはアキシアル方向に負のすきまをもたせて使用されます。この状態を予圧といいます。すなわち転動体と軌道輪との間で弾性接触の状態にあります。

この結果、次のような効果が得られます。

- 軸受剛性が高くなる
- 高速回転に適する
- 回転精度及び位置決め精度が向上する
- 振動及び騒音が抑制される
- 転動体の滑りに起因するスミアリングを軽減する
- 外部振動で発生するフレットングを防止する

しかし、過大予圧になると、寿命低下、異常発熱、回転トルクの増大などを招くので注意が必要です。

#### (1) 予圧の方法

軸受に予圧を与える方法として、対向する軸受を固定し、軸受の幅寸法、間座、シムなどの寸法を調整することによって所定の予圧をかける定位置予圧と、ばねを用いて予圧する定圧予圧の二つの方法があります。

予圧方法の具体例を表9.3に示します。

なお、組合せアンギュラ玉軸受については標準予圧量が設定されています(カタログ参照)。❏

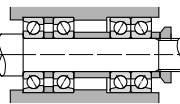
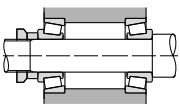
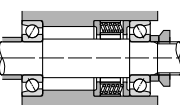
## ●軸受内部すきまと予圧

転がり軸受総合カタログ  
A-68ページ参照

表8.13 組合せアンギュラ玉軸受の標準予圧量

| 呼び軸受内径<br>d (mm) | 78C      |           |          |           |           | 79C, H589C |           |           |          |   |
|------------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|----------|---|
|                  | 軽予圧<br>圧 | 普通予圧<br>圧 | 中予圧<br>圧 | 重予圧<br>圧  |           | 軽予圧<br>圧   | 普通予圧<br>圧 | 中予圧<br>圧  | 重予圧<br>圧 |   |
| を越え、以下           |          |           |          |           |           |            |           |           |          |   |
| 12               | -        | -         | -        | -         | -         | -          | -         | -         | -        | - |
| 18               | 18       |           |          |           |           |            |           |           |          |   |
| 18               | 32       | 10   11   | 29   31  | 78   81   | 147   151 | 20   21    | 49   51   | 90   101  |          |   |
| 32               | 40       | 10   11   | 29   31  | 78   81   | 147   151 | 29   31    | 78   81   | 196   201 |          |   |
| 40               | 50       | 20   21   | 49   51  | 98   101  | 196   201 | 39   41    | 98   101  | 245   251 |          |   |
| 50               | 65       | 29   31   | 98   101 | 196   201 | 390   401 | 49   51    | 118   121 | 294   301 |          |   |

表9.3 予圧の方法と特徴

| 予圧法   | 予圧の基本パターン                                                                           | 適用軸受                                 | 予圧の目的                              | 方法と予圧量                                                                                                    | 使用例                                        |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 定位置予圧 |   | アンギュラ玉軸受                             | 回転軸の精度保持、振動防止、剛性を高める。              | 内・外輪幅の平面差又は間座により所定量を予圧する。                                                                                 | 研削盤<br>旋回盤<br>フライス盤<br>測定器                 |
|       |  | 円すいころ軸受<br>スラスト玉軸受<br>アンギュラ玉軸受       | 軸受部の剛性を高める。                        | ねじの締付け加減により予圧する。予圧量は軸受の起動トルク又は軌道輪の移動量を測定してセットする。                                                          | 旋回盤<br>フライス盤<br>自動車<br>デフビニオン<br>印刷機<br>車輪 |
| 定圧予圧  |  | アンギュラ玉軸受<br>深溝玉軸受<br>円すいころ軸受<br>(高速) | 荷重、温度などにより予圧量が変化せず、精度保持、振動、騒音防止する。 | コイルばね、さらばねなどにより予圧する。<br>深溝玉軸受<br>$4 \sim 10 d \text{ N}$<br>$0.4 \sim 1.0 d \text{ [kgf]}$<br>$d$ : 軸径 mm | 内面研削盤<br>電動機<br>小型高速軸<br>テンションリール          |



## (2) 予圧と剛性

軸受にアキシャル荷重が作用した場合、軸受のアキシャル方向変位を小さくするために予圧をかけて剛性を高める場合が多くあります。そこで、予圧状態にある軸受に、外力が作用した場合の荷重と変位の関係について見てみます。

図9.3に弾性変形による各軸受の変位状況を示します。

図において内輪をアキシャル方向に締め付け

密着させると、予圧荷重 $F_0$ が与えられ、 $\delta_0$ 弾性変位したことになります。この状態で外力 $F_a$ が加わると、軸受Ⅰは $\delta_a$ だけ変位が増加し、軸受Ⅱでは減少します。このとき軸受Ⅰ、Ⅱにはそれぞれ $F_I$ 、 $F_{II}$ の荷重が作用し釣合っていることになります。予圧がない状態で外力 $F_a$ が作用したときの軸受Ⅰの変位量は $\delta_0$ であり、 $\delta_a$ よりかなり大きいことがわかります。すなわち予圧により剛性が高くなっていることを示しています。

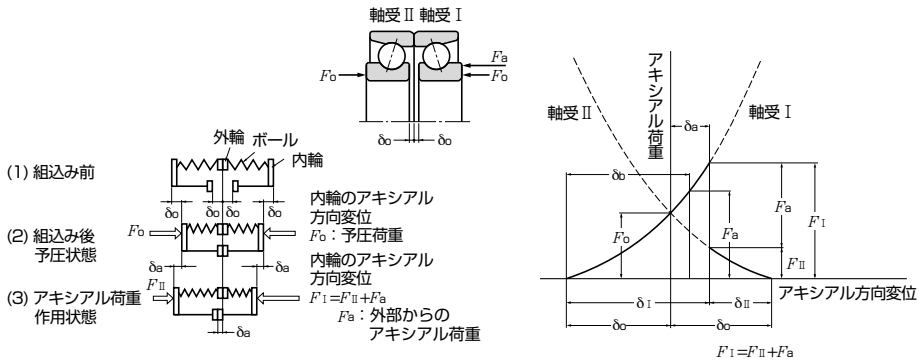


図9.3 定位置予圧のモデル図及び予圧線図

## 9.4 深溝玉軸受のラジアル内部すきまとアキシアル内部すきまとの関係

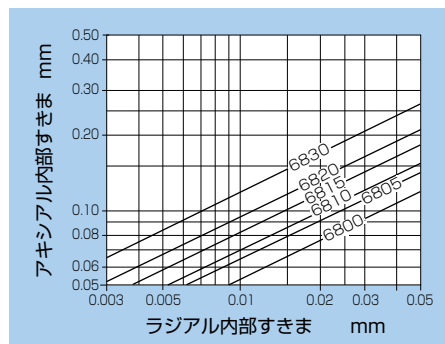


図9.4.1 68系列のラジアル内部すきまとアキシアル内部すきま

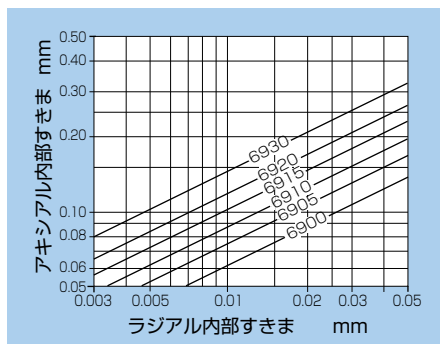


図9.4.2 69系列のラジアル内部すきまとアキシアル内部すきま

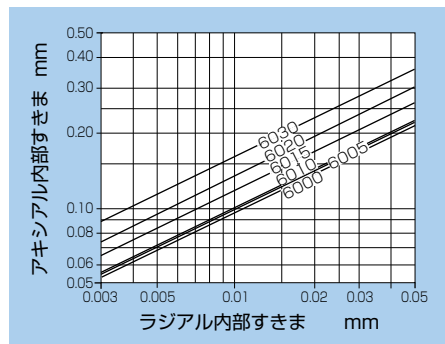


図9.4.3 60系列のラジアル内部すきまとアキシアル内部すきま

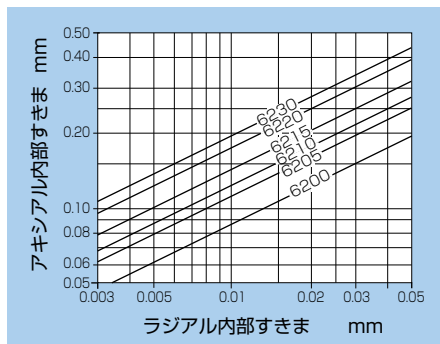


図9.4.4 62系列のラジアル内部すきまとアキシアル内部すきま

※上記技術データは代表数値をもとにした計算値であり保証値ではありません。

## 9.5 アンギュラ玉軸受のアキシャル荷重とアキシャル変位

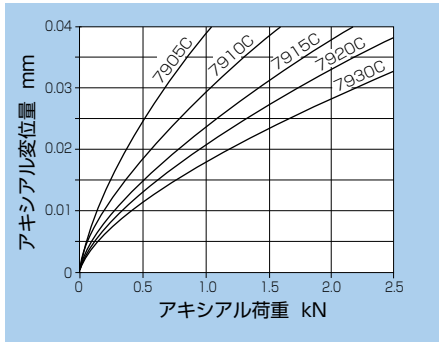


図9.5.1 79C系列のアキシャル荷重とアキシャル変位量

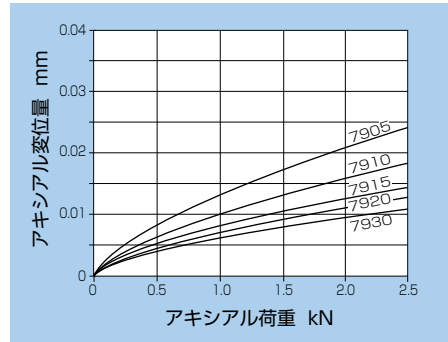


図9.5.2 79系列のアキシャル荷重とアキシャル変位量

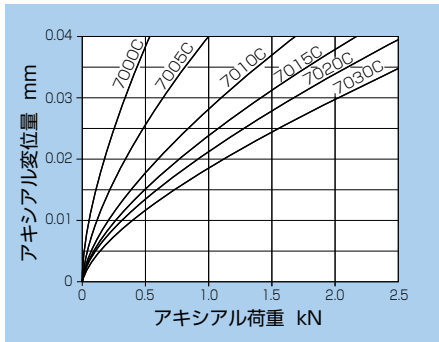


図9.5.3 70C系列のアキシャル荷重とアキシャル変位量

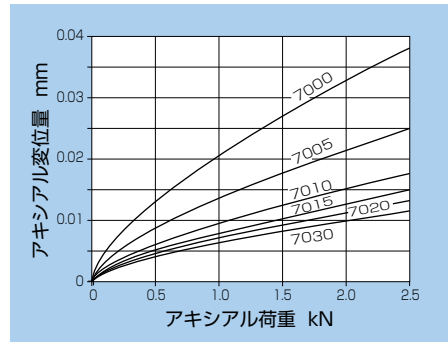


図9.5.4 70系列のアキシャル荷重とアキシャル変位量

※上記技術データは代表数値をもとにした計算値であり保証値ではありません。

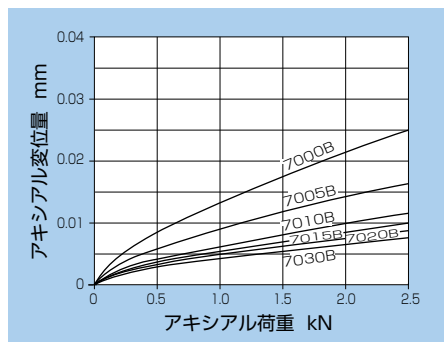


図9.5.5 70B系列のアキシャル荷重とアキシャル変位量

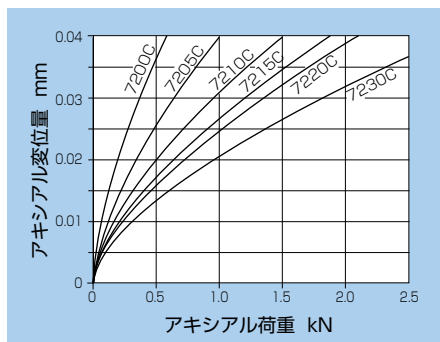


図9.5.6 72C系列のアキシャル荷重とアキシャル変位量

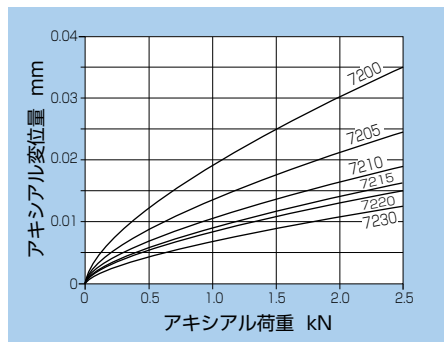


図9.5.7 72系列のアキシャル荷重とアキシャル変位量

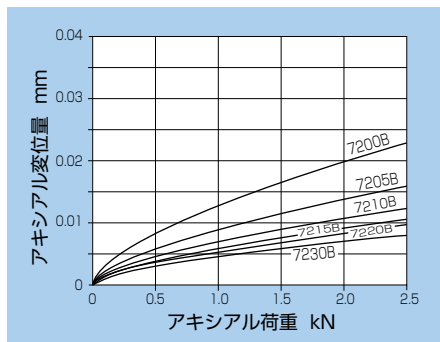


図9.5.8 72B系列のアキシャル荷重とアキシャル変位量

※上記技術データは代表数値をもとにした計算値であり保証値ではありません。

## 9.6 円すいころ軸受のアキシャル荷重とアキシャル変位

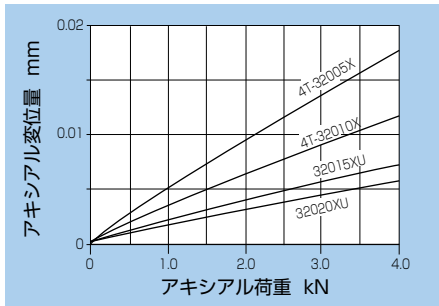


図9.6.1 320系列のアキシャル荷重とアキシャル変位量

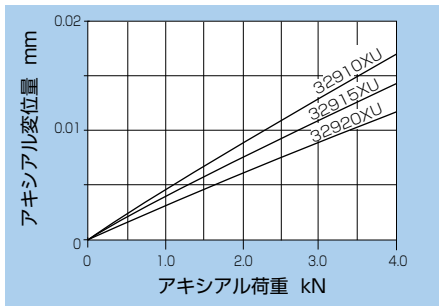


図9.6.2 329系列のアキシャル荷重とアキシャル変位量

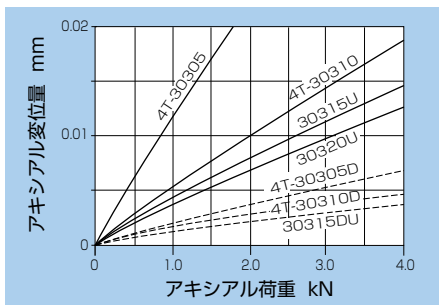


図9.6.3 303系列と303D系列のアキシャル荷重とアキシャル変位量

## 9.7 玉軸受の許容アキシャル荷重

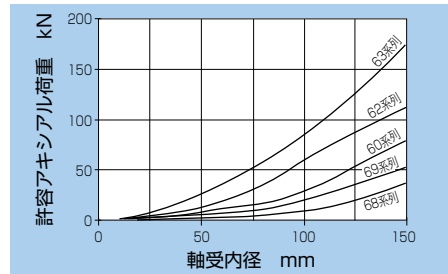


図9.7.1 深溝玉軸受の許容アキシャル荷重

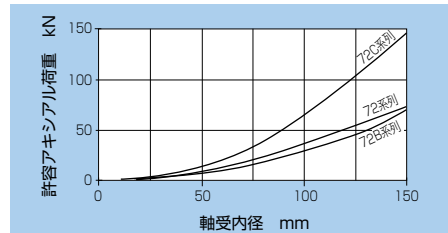


図9.7.2 アンギュラ玉軸受の許容アキシャル荷重 (72, 72B, 72C系列)

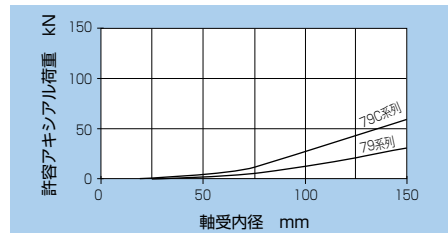


図9.7.3 アンギュラ玉軸受の許容アキシャル荷重(79,79C系列)

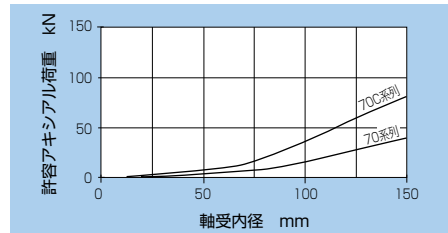


図9.7.4 アンギュラ玉軸受の許容アキシャル荷重(70,70C系列)

注) 深溝玉軸受, アンギュラ玉軸受にアキシャル荷重が作用したときに, 接触だ円が軌道面の肩に乗り上げる荷重を許容アキシャル荷重とする。

※上記技術データは代表数値をもとにした計算値であり保証値ではありません。

53

## 11. 軸受の特性

### 11.1 摩擦

転がり軸受は、滑り軸受に比べて摩擦が小さく、特に起動摩擦が低いという特長があります。

転がり軸受の摩擦にはいろいろな要因が考えられます。

- 転がりに伴う摩擦 (荷重)
- 保持器と転動体及び保持器と案内面との滑り摩擦
- ころ端面と案内つばとの滑り摩擦
- 潤滑剤又は密封装置の摩擦

一般に転がり軸受の摩擦係数は次式で表されます。

$$\mu = \frac{2M}{Pd} \dots\dots\dots (11.1)$$

ここで

- $\mu$  : 摩擦係数  
 $M$  : 摩擦モーメント N・mm {kgf・mm}  
 $P$  : 軸受荷重 N {kgf}  
 $d$  : 軸受内径 mm

転がり軸受の動摩擦係数は、前述のように種々の要因に影響され、軸受形式のほか、回転数などによっても異なりますが、おおよそ表11.1に示す値を採ります。

表11.1 軸受の摩擦係数

| 軸受形式     | 摩擦係数 $\mu \times 10^{-3}$ |
|----------|---------------------------|
| 深溝玉軸受    | 1.0～1.5                   |
| アンギュラ玉軸受 | 1.2～1.8                   |
| 自動調心玉軸受  | 0.8～1.2                   |
| 円筒ころ軸受   | 1.0～1.5                   |
| 針状ころ軸受   | 2.0～3.0                   |
| 円すいころ軸受  | 1.7～2.5                   |
| 自動調心ころ軸受 | 2.0～2.5                   |
| スラスト玉軸受  | 1.0～1.5                   |
| スラストころ軸受 | 2.0～3.0                   |

### 11.2 発熱量

軸受の摩擦損失は、そのほとんどが軸受内部で熱に変わり、軸受の温度を上昇させます。摩擦モーメントにより発生する熱量は(11.2)式で表されます。

$$Q = 0.105 \times 10^{-6} M \cdot n \quad \text{N} \\ = 1.03 \times 10^{-6} M \cdot n \quad \text{[kgf]} \dots (11.2)$$

ここで、

- $Q$  : 発生する熱量 kW  
 $M$  : 摩擦モーメント N・mm {kgf・mm}  
 $n$  : 軸受の回転速度 min<sup>-1</sup>

発生する熱量と放出される熱量との平衡によって軸受温度が決まります。

一般に軸受温度は、運転初期に急上昇し、ある時間経過するとやや低い温度で一定の安定した状態となります。この定常状態になるまでの時間は、軸受の大きさ、形式、回転速度、荷重、潤滑、ハウジングの放熱状況など種々の条件によって異なりますが、いつまでも定常状態にならない場合には、何らかの異常があると判断しなければなりません。この原因として次の要因が考えられ、見直しが必要です。

- 軸受内部すきまの過小及び予圧過大
- 軸受の取付不良
- 軸の熱膨張又は取付不良による過大アキシアル荷重
- 潤滑剤の過多又は過少又は不足、あるいは潤滑剤の不適
- 密封装置からの発熱

荷重及び回転速度による温度上昇のデータを参考に示します (次頁図11.1, 図11.2)。

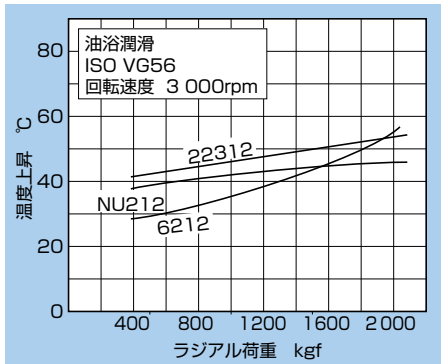


図11.1 ラジアル荷重と温度上昇

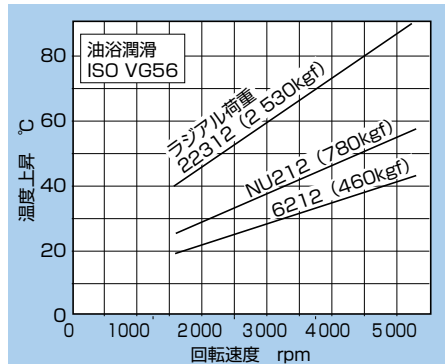


図11.2 回転速度と温度上昇

### 11.3 音響

軸受の内輪又は外輪が回転すると、転動体が保持器を伴い軌道面上を転がり回転するために、いろいろな振動及び音が発生します。すなわち転がり面及び各滑り部分の形状、粗さ、更には潤滑状況などにより振動、音が発生します。

近年、情報機器関連をはじめあらゆる分野で品質向上に伴い振動又は音響の低下に対する要求が厳しくなっています。音を表現するのはなかなか困難ですが、軸受の典型的な異常音についてまとめたものを表11.2に示します。

#### ワンポイントアドバイス

#### 軸受ミニ知識

##### ●転がり摩擦とは？

理論的には、2面間の速度差がゼロでなければならない純粋な転がり摩擦の測定は、ひじょうに難しいといわれています。

実際には、転がり軸受の中で発生する他の要因（保持器と転動体の摩擦や、潤滑剤のかくはん抵抗など）に比べ、その影響がひじょうに小さいため、無視することも多いのが現実です。

しかし、本来転がり運動という現象は、2面間の摩擦によって起こるものであり、転がりと滑り摩擦は密接に関係しているのです。

過去のさまざまな実験によると、転がり摩擦係数は0.00001～0.001程度だろうと考えられています。

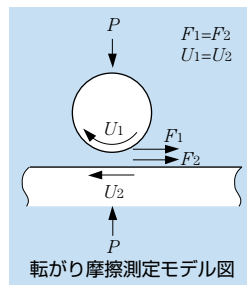




表11.2 異常音の特徴とその関係要因

| 音の表現                           | 特徴                                                                  | 関係要因                                                             |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| ザー<br>ジャー<br>ジー                | 回転速度の変化で音質が変わらない(ごみ)。<br>回転速度の変化で音質が変わる(傷)。                         | ごみ。軌道面、玉、ころの表面が荒れている。軌道面、玉、ころ表面の傷。                               |
| シャー                            | 小形軸受                                                                | 軌道面、玉、ころ表面の荒れ。                                                   |
| シャ シャ                          | 断続的で規則的に発生する。                                                       | ラビリンス部などの接触。保持器とシールの接触。                                          |
| ウーウー<br>ゴーゴー<br>(うなり声)         | 回転速度の変化で大きさ、高さが変わる。特定の回転速度で音が大きい。大きくなったり小さくなったりする。サイレン、笛の音に近いときがある。 | 共振、はめあい不良(軸の形状不良)。軌道輪の変形。軌道面、玉、ころのびり(大形軸受の場合は軽度の音であれば正常)。        |
| ゴリ ゴリ<br>コリ コリ                 | 手で回転させたときの感触。                                                       | 軌道面の傷(規則的)。玉、ころの傷(不規則)。ごみ、軌道輪の変形(部分的に負のすきま)。                     |
| ゴロ ゴロ<br>コロ コロ                 | ・大形軸受<br>・小形軸受 ) 高速になると連続音。                                         | 軌道面、玉、ころ表面の傷。                                                    |
| ウィーン ウィーン<br>ウー                | 電源を切った瞬間に止まる。                                                       | モータの電磁音。                                                         |
| チリッチリッ                         | 不規則に発生(回転数の変化では変わらない)。主に小形軸受。                                       | ごみの混入。                                                           |
| チャラチャラ<br>カラカラ<br>バタバタ<br>バタバタ | ・円すいころ軸受<br>・大形軸受<br>・小形軸受 ) 規則的で高速では連続音。                           | 保持器音で澄んだ音なら正常。低温時ならグリース不適→柔らかいものが良い。保持器ポケットの摩耗、潤滑不足、軸受荷重不足による運転。 |
| カチ カチ<br>カチンカチン<br>カチャカチャ      | 低速で目立つ。<br>高速では連続音。                                                 | 保持器ポケット内の衝突音、潤滑不足。すきまを小さくするか予圧すると消える。総ころの場合はころ同士の衝突音。            |
| カーンカーン<br>カン カン                | 金属的大きな衝突音。<br>低速の薄肉大形軸受(TTB)など。                                     | 転動体のはじける音。軌道輪の変形。キーのきしみ。                                         |
| キュルキュル<br>キュ キュ<br>ジャージャー      | 主に円筒ころ軸受で回転速度の変化で変わる。大きいときには金属的に聞こえる。グリースを補給すると一時的に止まる。             | 潤滑剤(グリース)のちょう度大。ラジアルすきま過大。潤滑不足。                                  |
| キー キー<br>ギー ギー<br>キーンキーン       | 金属間のかじる音。甲高い音。                                                      | ころ軸受のころとつば面のかじり。すきま過小。潤滑不足。                                      |
| ピチ ピチ                          | 小形軸受で不規則に発生。                                                        | グリース中の気泡の潰れる音。                                                   |
| ピシピシ<br>ピンピン                   | 不規則にでるきしみ音。                                                         | はめあい部の滑り。取り付け面のきしみ。キーなどのきしみ。                                     |
| 全体的に音圧が大きい。                    |                                                                     | 軌道面、玉、ころの表面が荒い。摩耗による軌道面、玉、ころの変形。摩耗によるすきま大。                       |

## 12. 潤滑

軸受を潤滑する目的は、転がり面及び滑り面に油膜を形成し、金属同士が直接接触するのを防ぐため、次のような効果があります。

- 摩擦及び摩擦の軽減
- 摩擦熱の排出
- 軸受寿命の延長
- さびの防止
- 異物の浸入防止

潤滑剤の働きを十分に発揮させるためには、使用条件に適した潤滑剤と潤滑方法の選定、更にごみの浸入防止及び潤滑剤漏れ防止の密封装置の総合的な検討が必要です。

### 12.1 グリース潤滑

グリースは、取扱いが容易で、密封装置の設計も簡素化できる最も経済的な潤滑剤で広く使用されています。潤滑方法には、あらかじめ軸受内にグリースを封入した密封形軸受として使用する方法と、開放形軸受とハウジング内に適量グリースを充填し、一定期間ごとに補給又は交換する方法があります。

#### (1) グリースの種類

グリースは、基油（鉱油や合成油）に増ちょう剤を入れて半固体状にし、更に添加剤（酸化安定剤、極圧添加剤、防せい剤など）を加えたものです。したがってこれらの種類や組合せによってグリースの性質が決まります。

この一例を表12.1に示します。

表12.1 グリースの種類と特徴

| 名 称      | リチウムグリース                    |                                        |                                 | 非石けん基グリース<br>(ノンソープグリース)                                                                    |            |
|----------|-----------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 増ちょう剤    | Li 石けん                      |                                        |                                 | ベントン、シリカゲル、ウレア、<br>カーボンブラック、ふっ素化合物など                                                        |            |
| 基 油      | 鉱 油                         | ジエステル油                                 | シリコン油                           | 鉱 油                                                                                         | 合 成 油      |
| 滴 点 ℃    | 170 ~ 190                   | 170 ~ 190                              | 200 ~ 250                       | 250以上                                                                                       | 250以上      |
| 使用温度範囲 ℃ | -30 ~ +130                  | -50 ~ +130                             | -50 ~ +160                      | -10 ~ +130                                                                                  | -50 ~ +200 |
| 機械的安定性   | 優                           | 良                                      | 良                               | 良                                                                                           | 良          |
| 耐 圧 性    | 良                           | 良                                      | 不可                              | 良                                                                                           | 良          |
| 耐 水 性    | 良                           | 良                                      | 良                               | 良                                                                                           | 良          |
| 用 途      | 最も用途が広い。<br>万能形の転がり軸受用グリース。 | 低温特性、摩擦特性に優れている。<br>小径軸受、ミニアチュア軸受に適する。 | 高温及び低温に適する。<br>油膜強度が低く高荷重用途に不適。 | 低温から高温まで広範囲に使用できる。基油と増ちょう剤を適切に組み合わせることによって、耐熱性、耐寒性、耐薬品性などに優れた特性を示すものがある。<br>万能形の転がり軸受用グリース。 |            |

またグリースの軟らかさを表す値としてちょう度があります。ちょう度番号が小さいほど軟かく流動性があり、JISで標準化されています。

表12.2

主なグリース銘柄と性状表を60頁の表12.3に示します。尚、異種グリースの混合は性状を損なうので避けなければなりません。

表12.2 グリースのちょう度

| NLGI<br>ちょう度番号 | JIS [ASTM]<br>60回混和ちょう度 | 用 途         |
|----------------|-------------------------|-------------|
| 0              | 355~385                 | 集中給脂用       |
| 1              | 310~340                 | 集中給脂用       |
| 2              | 265~295                 | 一般用, 密封形軸受用 |
| 3              | 220~250                 | 一般用, 高温用    |
| 4              | 175~205                 | 特殊用途        |

### ■熱固化型グリース

(ポリループベアリング用潤滑剤)

超高分子量ポリエチレンと潤滑グリースを混合し、軸受内に封入後加熱し固化させたものです。ポリエチレン内に潤滑剤が保持されている状態となっているため、潤滑剤の漏れが少なく、また潤滑剤そのものの流動性がないので、スポットバック仕様はトルクが小さいという特長をもっています。これはグリース流出による周囲の汚れや、ごみの浸入を防ぐなどの効果にもつながっています。ただし高温で使用すると、油分の流出が多くなり、潤滑寿命が短くなってしまいうという欠点を持っていますので、高温及び高速回転では注意が必要です。封入例を図12.1、図12.2に、写真12.1、写真12.2に顕微鏡写真を示します。

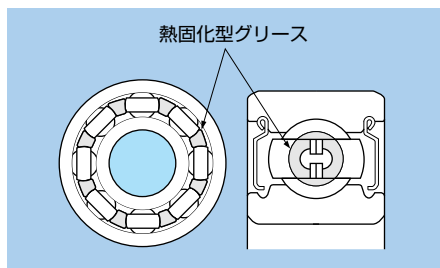


図12.1 深溝玉軸受スポットバック仕様

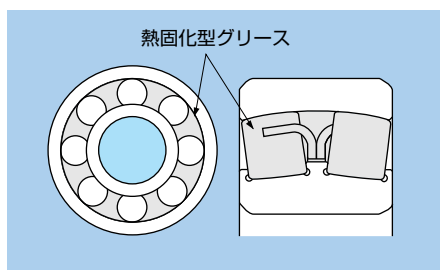


図12.2 自動調心ころ軸受のフルバック仕様

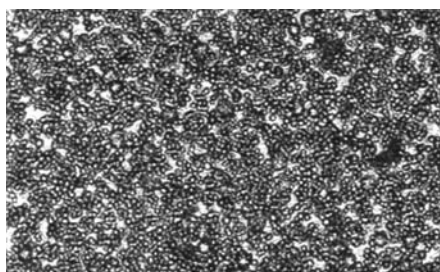


写真12.1 未硬化状態の顕微鏡写真

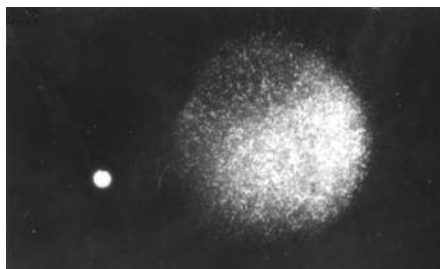


写真12.2 油中で加熱したポリエチレン粒子  
左横の小さな白い点は加熱前のポリエチレン粒子の大きさ

## (2) グリースの充填及び補給

グリースの充填量はハウジングの設計、空間容積、回転速度、グリースの種類などによって異なります。充填量の目安は、軸受空間容積の30～40%、ハウジングへは空間容積の30～60%です。

但し、回転速度が高い場合や温度上昇を低く抑えたいときは少なめにします。充填量が多過ぎると、温度上昇が大きく、グリースの漏れ、変質による性能低下を招くこともあるので注意が必要です。軸受内の空間容積は(12.1)式で概略値が求められます。

$$V = K \cdot W \cdots \cdots (12.1)$$

ここで、

$V$  : 開放形軸受の空間容積(概略値)  $\text{cm}^3$

$K$  : 軸受空間係数(表12.4)

$W$  : 軸受の質量  $\text{kg}$

また、グリースは使用時間の経過とともに潤滑性能が低下するため、適当な間隔で新しいグ

リースの補給が必要です。補給間隔は軸受形式、寸法、回転速度、温度及びグリースの種類によって異なります。この目安となる線図を図12.3に示しますが、これは通常の使用条件であり、温度による影響が大きいので、軸受温度が $80^\circ\text{C}$ を超えると、 $10^\circ\text{C}$ 上がるごとに補給間隔を1/1.5にします。

表12.4 軸受空間係数 $K$

| 軸受形式        | 保持器形式   | $K$ |
|-------------|---------|-----|
| 深溝玉軸受 ①     | 打抜き保持器  | 61  |
| NU形円筒ころ軸受 ② | 打抜き保持器  | 50  |
|             | もみ抜き保持器 | 36  |
| N形円筒ころ軸受 ③  | 打抜き保持器  | 55  |
|             | もみ抜き保持器 | 37  |
| 円すいころ軸受     | 打抜き保持器  | 46  |
| 自動調心ころ軸受    | 打抜き保持器  | 35  |
|             | もみ抜き保持器 | 28  |

- ① 160系列の軸受は除く。  
 ② NU4系列の軸受は除く。  
 ③ N4系列の軸受は除く。

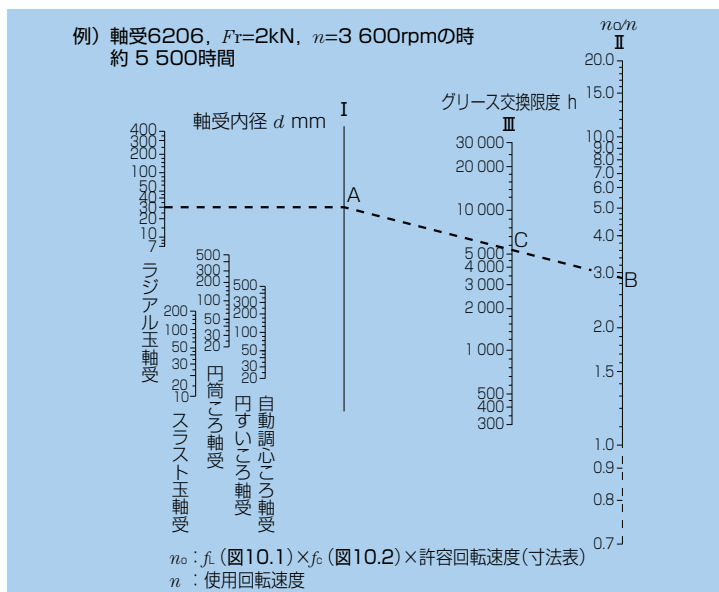


図12.3 グリース補給間隔を求める線図

表12.3 主なグリースの銘柄と性状表

| メーカー             | 銘柄                 | NTN記号 | 増ちょう剤      | 基油                    |
|------------------|--------------------|-------|------------|-----------------------|
| 昭和シェル石油          | アルバニアグリースS2        | 2AS   | リチウム       | 鉱油                    |
|                  | アルバニアグリースS3        | 3AS   | リチウム       | 鉱油                    |
|                  | アルバニアEPグリース2       | 8A    | リチウム       | 鉱油                    |
|                  | エアロシェルグリース7        | 5S    | マイクロゲル     | ジエステル                 |
| 協同油脂             | マルテンプPSNo.2        | 1K    | リチウム       | ジエステル                 |
|                  | マルテンプSRL           | 5K    | リチウム       | テトラエステルジエステル          |
|                  | E5                 | L417  | ウレア        | エーテル                  |
| エッソ石油            | テンプレックスN3/ユニレックスN3 | 2E    | 複合リチウム     | 合成炭化水素                |
|                  | ビーコン325            | 3E    | リチウム       | ジエステル                 |
| NOKクリューバ         | イソフレックススーパーLDS18   | 6K    | リチウム       | ジエステル                 |
|                  | パリエルタJFE552        | LX11  | ふっ素系       | ふっ素油                  |
|                  | グリースJ              | L353  | ウレア        | エステル                  |
| 東レ・ダウ・コーニング・シリコン | SH33L              | 3L    | リチウム       | メチルフェニルオイル            |
|                  | SH44M              | 4M    | リチウム       | メチルフェニルオイル            |
| 日本石油             | マルチノックワイドNo.2      | 6N    | リチウムナトリウム  | ジエステル鉱油               |
|                  | U-4                | L412  | ウレア        | 合成炭化水素+ジアルキルジフェニルエーテル |
| 日本グリース           | MP-1               | L448  | ジウレア       | PAO+エステル              |
| 出光興産             | アポロオートレックスA        | 5A    | リチウム       | 鉱油                    |
| モービル石油           | モービルグリース28         | 9B    | ベントン       | 合成炭化水素                |
| コスモ石油            | コスモワイドグリースWR3      | 2M    | Naテレフタラメート | ジエステル鉱油               |
| ダイキン             | デムナムL200           | LX23  | PTFE       | ふっ素油                  |

注) 性状についてはグリースメーカーのカタログを参照しています。

| 基油粘度                         | ちょう度    | 滴点 ℃  | 使用温度 ℃  | 色    | 特 性                |
|------------------------------|---------|-------|---------|------|--------------------|
| 37.8℃ 140mm <sup>2</sup> /s  | 273     | 181   | -25~120 | こはく色 | 汎用万能グリース           |
| 37.8℃ 140mm <sup>2</sup> /s  | 232     | 183   | -20~135 | こはく色 | 汎用万能グリース           |
| 98.9℃ 15.3mm <sup>2</sup> /s | 276     | 187   | -20~110 | 褐色   | 万能極圧               |
| 98.9℃ 3.1mm <sup>2</sup> /s  | 288     | 260以上 | -73~149 | 黄褐色  | MIL-G-23827        |
| 37.8℃ 15.3mm <sup>2</sup> /s | 265~295 | 190   | -55~130 | 白色   | 低温低トルク用            |
| 40℃ 26mm <sup>2</sup> /s     | 250     | 192   | -40~150 | 白色   | ワイドレンジ             |
| 40℃ 72.3mm <sup>2</sup> /s   | 300     | 240   | -30~180 | 白色   | 高温用                |
| 40℃ 113mm <sup>2</sup> /s    | 220~250 | 300以上 | -30~160 | 緑色   | 高温用                |
| 40℃ 11.5mm <sup>2</sup> /s   | 265~295 | 177   | -60~120 | 褐色   | 低温低トルク用            |
| 40℃ 16.0mm <sup>2</sup> /s   | 265~295 | 180以上 | -60~130 | 黄緑色  | 低温低トルク用            |
| 40℃ 400mm <sup>2</sup> /s    | 290     | —     | -35~250 | 白色   |                    |
| 40℃ 75mm <sup>2</sup> /s     | —       | 280   | -20~180 | 灰白色  | 高温用                |
| 25℃ 100mm <sup>2</sup> /s    | 300     | 200   | -70~160 | 淡赤灰色 | 低温用                |
| 40℃ 32mm <sup>2</sup> /s     | 260     | 210   | -40~180 | 褐色   | 高温用                |
| 37.8℃ 30.9mm <sup>2</sup> /s | 265~295 | 215   | -40~135 | 淡褐色  | ワイドレンジ             |
| 40℃ 58mm <sup>2</sup> /s     | 255     | 260   | -40~180 | 乳白色  | 高温用                |
| 40℃ 40.6mm <sup>2</sup> /s   | 243     | 254   | -40~150 | 淡褐色  | ワイドレンジ             |
| 37.8℃ 50mm <sup>2</sup> /s   | 265~295 | 192   | -25~150 | 黄    | 万能グリース             |
| 40℃ 28mm <sup>2</sup> /s     | 315     | 260以上 | -62~177 | 赤色   | MIL-G-81322Cワイドレンジ |
| 37.8℃ 30.1mm <sup>2</sup> /s | 265~295 | 230以上 | -40~150 | 淡褐色  | ワイドレンジ             |
| 40℃ 200mm <sup>2</sup> /s    | 280     | —     | -60~300 | 白色   |                    |

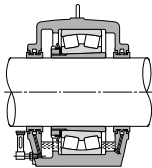
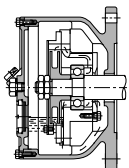
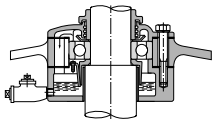
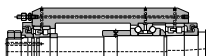
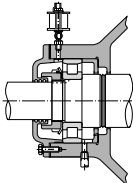
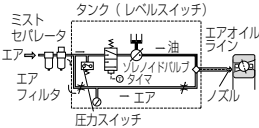
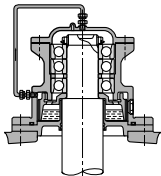
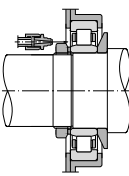


## 12.2 油潤滑

油潤滑は、軸受内部の転がり及び滑り部分の潤滑を容易に行うとともに、軸受から発生する

熱量又は外部からくる熱量を排除する役割も持っています。油潤滑にはいろいろな方法がありますが、主なものを表12.5に示します。

表12.5 油潤滑の潤滑方法

| 潤滑法                                                                                                                                                                                                                   | 実施例                                                                                 | 潤滑法                                                                                                                                                                                               | 実施例                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>〔油浴潤滑〕</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>油潤滑で最も一般的な方法。低、中速の回転速度で広く使用されている。</li> <li>油面はオイルゲージにて、横軸では停止時で転動体最下部の中心、縦軸で低速時には、転動体の50～80%であることを確認する。</li> </ul>                                               |    | <b>〔ディスク給油〕</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>軸に取り付けたディスクの一部を油面に浸し、はね上げられた油が軸受を潤滑する方法。</li> </ul>                                                                                        |    |
| <b>〔飛沫給油〕</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>軸に取り付けた羽根などで、油を飛沫状にして給油する方法。相当高速まで使用可能。</li> </ul>                                                                                                               |    | <b>〔噴霧潤滑(オイルミスト潤滑)〕</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>圧縮空気により油を霧状にして潤滑する方法。</li> <li>潤滑油の抵抗が小さいので高速回転に適する。</li> <li>雰囲気汚染が大きい。</li> </ul>                                                |   |
| <b>〔滴下給油〕</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>上部にオイルを備え、油滴をハウジング内で回転体に衝突させ霧状にして潤滑するか、少量の油が軸受を通過するようにする。</li> <li>比較的高速で中荷重以下の場合に用いる。</li> <li>油量は毎分数滴程度の例が多い。</li> </ul>                                       |   | <b>〔エアオイル潤滑〕</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>必要最小限の潤滑油を軸受ごとに最適間隔で計量し、圧縮空気で給油する方法。</li> <li>常に新しい油を連続的に給油し、さらに圧縮空気の冷却効果もあり軸受の昇温を抑えることができる。</li> <li>油の使用量はごく微量のため、雰囲気汚染しにくい。</li> </ul> |  |
| <b>〔循環給油〕</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>軸受を冷却するため、あるいは給油部位が多く集中自動給油するときに用いる。</li> <li>給油系統中にクーラを設け潤滑油を冷却したり、フィルタを使えば潤滑油を清浄に保てるなどの特長がある。</li> <li>給油された油が確実に軸受を潤滑するよう、油の入口と出口を軸受に対し互いに反対側に設ける。</li> </ul> |  | <b>〔ジェット潤滑〕</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>軸受の側面から潤滑油を高速噴射させる方法。高速、高温など過酷な条件での信頼性が高い。</li> <li>ジェットエンジンやガスタービンの主軸受などに用いられる。</li> <li>工作機械主軸受に使用されるアンダーレース潤滑は、この一種。</li> </ul>         |  |

(1) 潤滑油の選定

潤滑油には、スピンドル油、マシン油、タービン油などの鉱油が多く使われますが、150℃以上の高温又は-30℃以下の低温では、ジエステル油、シリコン油、フロロカーボン油などの合成油が使われます。潤滑油の粘度は潤滑性能を決定する重要な特性です。粘度が低すぎると油膜形成が不十分となり、軸受表面を損傷させます。反面粘度が高すぎると、粘性抵抗が大きくなり、温度上昇、摩擦損失を増大させます。一般に回転速度が高いほど、粘度の低いものを、重荷重になるほど粘度の高いものが使用されます。

転がり軸受の潤滑には、その運転温度において表12.6に示す粘度が必要です。

また粘度と温度の関係を図12.4に示します。

表12.7には、軸受の使用条件に応じた潤滑油粘度の選定の目安を示します。

表12.6 軸受の必要粘度

| 軸受形式                        | 動粘度<br>mm <sup>2</sup> /s |
|-----------------------------|---------------------------|
| 玉軸受、円筒ころ軸受、針状ころ軸受           | 13                        |
| 自動調心ころ軸受、円すいころ軸受、スラスト針状ころ軸受 | 20                        |
| スラスト自動調心ころ軸受                | 30                        |

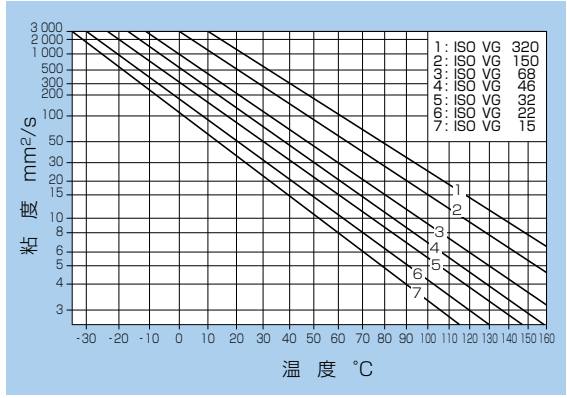


図12.4 潤滑油の粘度—温度線図

表12.7 潤滑油の選定基準（参考）

| 軸受の運転温度<br>℃ | dn値             | 潤滑油のISO粘度グレード (VG) |           | 適用軸受              |
|--------------|-----------------|--------------------|-----------|-------------------|
|              |                 | 普通荷重               | 重荷重又は衝撃荷重 |                   |
| -30～ 0       | 許容回転速度まで        | 22, 32             | 46        | 全種類               |
| 0～ 60        | 15 000 まで       | 46, 68             | 100       | 全種類               |
|              | 15 000 ～80 000  | 32, 46             | 68        | 全種類               |
|              | 80 000 ～150 000 | 22, 32             | 32        | スラスト玉軸受を除く        |
|              | 150 000～500 000 | 10                 | 22, 32    | 単列ラジアル玉軸受, 円筒ころ軸受 |
| 60～100       | 15 000 まで       | 150                | 220       | 全種類               |
|              | 15 000 ～80 000  | 100                | 150       | 全種類               |
|              | 80 000 ～150 000 | 68                 | 100, 150  | スラスト玉軸受を除く        |
|              | 150 000～500 000 | 32                 | 68        | 単列ラジアル玉軸受, 円筒ころ軸受 |
| 100 ～150     | 許容回転速度まで        | 320                |           | 全種類               |
| 0～ 60        | 許容回転速度まで        | 46, 68             |           | 自動調心ころ軸受          |
| 60～100       | 許容回転速度まで        | 150                |           |                   |

備考1. 潤滑法は油浴又は循環給油の場合。



## (2) 給油量

軸受に強制的に給油する場合は、軸受などからの発熱量は、ハウジングからの放散熱量と油が持ち去る熱量の和に等しくなります。標準的ハウジングを使用した場合の給油量は、(12.2)式が目安となります。

$$Q = K \cdot q \cdots \cdots (12.2)$$

ここで、

$Q$  : 軸受1個あたりの給油量  $\text{cm}^3/\text{min}$

$K$  : 油の許容温度上昇によって定まる係数

(表12.8)

$q$  : 線図により求まる給油量  $\text{cm}^3/\text{min}$

(図12.5)

表12.8  $K$ の値

| 排油温度—給油温度 $^{\circ}\text{C}$ | $K$  |
|------------------------------|------|
| 10                           | 1.5  |
| 15                           | 1    |
| 20                           | 0.75 |
| 25                           | 0.6  |

ハウジングの形状により放散熱量は異なるので、実運転にあたって、計算値を目安にして実状に適した量にもっていくのが安全です。また、図12.5において、発生熱量全てを油が持ち去ると仮定した場合は、軸径  $d=0$  として求めます。

なお、油浴潤滑での油の交換限度は、使用条件、油量及び潤滑油の種類などで異なりますが、油温が  $50^{\circ}\text{C}$  以下で使用される場合には、一年に一回程度、  $80 \sim 100^{\circ}\text{C}$  になる場合には、少なくとも3ヶ月毎に交換することが望まれます。

例) 軸受30220U,  $F_r=9.5\text{kN}$ ,  $n=1\,800\text{min}^{-1}$   
給油温度に対する軸受温度上昇を  $15^{\circ}\text{C}$  に抑えたときの例を図示する。

軸受の形式

自動調心ころ軸受

円すいころ軸受

アンギュラ玉軸受

深溝玉軸受、円筒ころ軸受

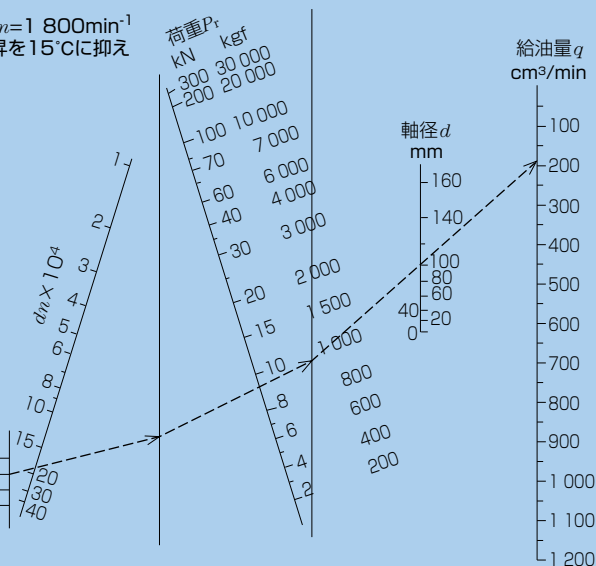


図12.5 給油量を求める線図

### 13. 軸受の密封装置

密封装置の目的は、軸受部分に保有している潤滑剤の漏れを防ぐことと、外部からのごみ、水分などが軸受部分に浸入するのを防止することです。軸受の運転条件に対し常に密封、防じん性能がよく、更に、低摩擦で異常発熱がなく十分な耐久性があり、組立が容易なことが密封装置の必要な条件です。

密封装置には、大別して非接触シールと接触シールがあり、また、種々の組合せがありますが、主なものを表13.1に示します。



表13.1 主なシール構造と特徴

| タイプ                        | シール構造 | 名 称                       | シールの特徴                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------|-------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 非<br>接<br>触<br>シ<br>ー<br>ル |       | すきまシール                    | 最も簡単なシール形式であり、ラジアル方向のすきまを小さくしてシールを形成している。                                                                                                                                                                                                                                |
|                            |       | 油溝シール<br>ハウジング側に<br>油溝付   | 同心の油溝をハウジング内径に設け、密封効果を高めたシール形式。油溝に保持された潤滑剤が外部からの異物の浸入を防ぐのに有効である。                                                                                                                                                                                                         |
|                            |       | 油溝シール<br>軸/ハウジング<br>側に油溝付 | 同心の油溝を軸外径、ハウジング内径の両方に設け、密封効果を高めたシール形式。                                                                                                                                                                                                                                   |
|                            |       | ラジアル<br>ラビリンスシール          | ラビリンス通路をラジアル方向に形成したシール形式。上下二つ割れハウジングに用いられる。アキシアルラビリンスシールより密封性は良い。                                                                                                                                                                                                        |
|                            |       | ハウジング内部に<br>設けたスリング       | スリングをハウジング内に設け、その回転による遠心力で潤滑剤の漏れを防ぐシール形式。                                                                                                                                                                                                                                |
| 接<br>触<br>シ<br>ー<br>ル      |       | Zシール                      | 断面形状がZ型をした接触シールであり、空間部にグリースを充填しグリースシールを形成する。プランマブロック（軸受箱）にてよく使用されるシール形式。                                                                                                                                                                                                 |
|                            |       | オイルシール                    | <p>オイルシールは接触シールとして一般的に用いられるもので、形式と寸法がJIS B 2402で標準化されている。オイルシールのシールリップ部にはリング状のばねが取り付けられており、これによりリップ先端部が軸表面に押し付けられ、密封効果を増す。</p> <p>軸受とオイルシールが接近している場合、オイルシールの発熱により軸受内部すきまが過小となる場合がある。周速によるオイルシールの発熱に注意のうえ軸受内部すきまを選定する。</p> <p>シールの向きにより潤滑剤の漏れ防止と外部からの異物浸入防止の二つの効果を持つ。</p> |
| 組<br>合<br>せ<br>シ<br>ー<br>ル |       | 油溝シール<br>+スリング<br>+Zシール   | Zシールの密封性能を増すために、油溝シールとスリングを加えたシール形式。左図の場合、Zシールの向きより異物の混入防止のための三重シール構造となる。鉱山機械等、粉塵の多い箇所のプランマブロックのシールとして用いられる。                                                                                                                                                             |

## 14. 軸受材料

### 14.1 軌道輪及び転動体の材料

転がり軸受が荷重を受けて回転している状態では、軌道輪と転動体との小さな接触面にて大きな繰返し応力を受け、更に高い精度を維持して回転しなければなりません。すなわち軸受材料としては次のような要求を満たす必要があります。

- 硬さが硬いこと
- 転がり疲れ寿命が長いこと
- 摩耗が少ないこと
- 衝撃に強いこと
- 寸法の経年変化が少ないこと
- 加工が容易で、かつ価格が安いこと

これらのうち、特に転がり疲労寿命に大きく影響を与えるものとして、鋼中の非金属介在物があります。この非金属介在物を少なくするために、いろいろな製鋼法が開発され寿命向上に寄与しています。

軌道輪と転動体は、一般的には同じ材料が使われていますが、良く使われているのは高炭素クロム軸受鋼です。JISで鋼種の化学成分が標準化されており、最も多く使われるSUJ2の成分表を参考に表14.1に示します。

表14.1 高炭素クロム軸受鋼 (JIS G 4805)

| 鋼種<br>記号 | 化学成分 %        |               |            |             |             |               |            |
|----------|---------------|---------------|------------|-------------|-------------|---------------|------------|
|          | C             | Si            | Mn         | P           | S           | Cr            | Mo         |
| SUJ2     | 0.95~<br>1.10 | 0.15~<br>0.35 | 0.50<br>以下 | 0.025<br>以下 | 0.025<br>以下 | 1.30~<br>1.60 | 0.08<br>以下 |

この他にも、表面を浸炭焼入硬化させ、心部の硬さを低くして靱性をもたせ、耐衝撃性に優れている浸炭鋼、高温で使用される高速度鋼、耐食性を重視したステンレス鋼、超高速には比重の小さいセラミックス、更には液中で使われる樹脂など種々の材料が目的に応じて使用されます。また同じ軸受鋼でも120℃を超える高温になると寸法変化が大きくなるため、寸法安定

化処理をして寸法変化を抑えた軸受や、表面の浸炭窒化処理又は熱処理方法の変更による長寿命化を施した軸受など活発な開発が行われています。

### 14.2 保持器の材料

保持器は回転中の転動体を正しく保持するのが主目的ですが、要求される機能としては、回転中に受ける振動や衝撃荷重に耐える強度を有すること、転動体及び軌道輪との摩擦が小さく、軽量でかつ軸受の運転温度に耐えることが必要です。

小、中形軸受には冷間又は熱間圧延鋼板のプレス打抜き保持器が多く使われますが、用途によってはステンレス鋼板も使われます。大形軸受を含めもみ抜き保持器には機械構造用炭素鋼、高力黄銅更にアルミ合金なども使われます。また、保持器強度が要求される場合にはSNCM（ニッケルクロムモリブデン鋼）の熱処理品が使用され、更に潤滑特性を向上させるために銅めっき、銀めっきを施すものもあります。最近ではグラスファイバ、カーボンファイバなどで強化したポリアミド樹脂の射出成形品も多く使われるようになりました。樹脂保持器は軽量で耐食性もあり、減衰性、潤滑性能にも優れた特性を持っています。高温用としてテフロン系が使われる場合もあります。

## 15. 軸及びハウジングの設計

軸受は軸及びハウジングの設計によっては、軸受の傾き、変形、クリープなどにより、軸受性能に大きな影響を与えます。そのため次のような事項に注意が必要です。

- 軸受配列の選定、配列に適した軸受固定方法
- 軸受に適した軸及びハウジングの隅の丸みと肩高さ及び直角度、振れ精度
- はめあい部の寸法と形状精度、並びに面粗さ
- 軸及びハウジングの外径形状（偏肉を含む）

### 15.1 軸受の固定

軸受を軸又はハウジングに固定するためには、一部の例外を除いてしめしろによる固定だけでなくアキシャル方向に対しても止めが必要です。アキシャル荷重が作用する場合は勿論のこと、主として自由側軸受として使用される円筒ころ軸受についても、軸のたわみにより軌道輪が移動する場合があります。アキシャル方向の固定が必要です。軸肩高さは、溝底を越えないようにするのが良い。

一般的な固定方法を図15.1に示します。

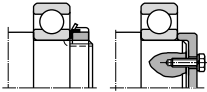
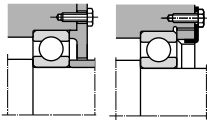
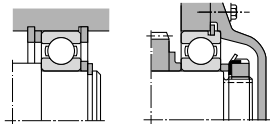
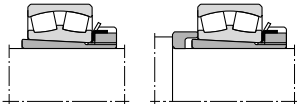
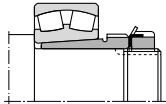
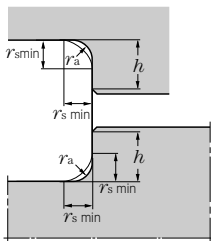
| 内輪の固定                                                                                       | 外輪の固定                                                                             | 止め輪を用いた固定                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            |  |                                |
| <p>最も一般的な固定方法は締付ナット又はボルトを用いて、軸肩又はハウジング肩に軌道輪端面を締め付けるものである。</p>                               |                                                                                   | <p>止め輪を使用すると構造が簡単になるが、面取りとの干渉などの軸受取付け関係寸法を満たさなければならない。</p> <p>また、大きなアキシャル荷重が止め輪に作用する場合、高精度を必要とする場合には適していない。</p> |
| アダプタスリーブによる固定                                                                               |                                                                                   | 取外しスリーブによる固定                                                                                                    |
|          |                                                                                   |                              |
| <p>円筒軸に取り付ける場合には、アダプタスリーブ又は取外しスリーブを用いて、アキシャル方向に固定できる。アダプタスリーブは、スリーブ内径と軸との摩擦力により固定されている。</p> |                                                                                   |                                                                                                                 |

図15.1 軸受固定方法の例

## 15.2 取付関係寸法

軸及びハウジングの肩の高さ( $h$ )は、軸受の面取の最大許容寸法( $r_{s\max}$ )より大きくし、軸受端面が平坦部に接触するように設計します。隅の丸み( $r_a$ )は軸受の面取りの最小許容寸法( $r_{s\min}$ )より小さくし干渉しないようにします。関係寸法を表15.1に示します。

表15.1 肩の高さと隅の丸み



| 単位 mm       |              |          |         |
|-------------|--------------|----------|---------|
| $r_{s\min}$ | $r_{as\max}$ | $h$ (最小) |         |
|             |              | 一般の場合 ①  | 特別な場合 ② |
| 0.05        | 0.05         | 0.3      |         |
| 0.08        | 0.08         | 0.3      |         |
| 0.1         | 0.1          | 0.4      |         |
| 0.15        | 0.15         | 0.6      |         |
| 0.2         | 0.2          | 0.8      |         |
| 0.3         | 0.3          | 1.25     | 1       |
| 0.6         | 0.6          | 2.25     | 2       |
| 1           | 1            | 2.75     | 2.5     |
| 1.1         | 1            | 3.5      | 3.25    |
| 1.5         | 1.5          | 4.25     | 4       |
| 2           | 2            | 5        | 4.5     |
| 2.1         | 2            | 6        | 5.5     |
| 2.5         | 2            | 6        | 5.5     |
| 3           | 2.5          | 7        | 6.5     |
| 4           | 3            | 9        | 8       |
| 5           | 4            | 11       | 10      |
| 6           | 5            | 14       | 12      |
| 7.5         | 6            | 18       | 16      |
| 9.5         | 8            | 22       | 20      |
| 12          | 10           | 27       | 24      |
| 15          | 12           | 32       | 29      |
| 19          | 15           | 42       | 38      |

① 大きなアキシャル荷重がかかる場合には、この値より大きな肩の高さが必要である。

② アキシャル荷重が小さい場合に用いる。これらの値は、円すいころ軸受、アンギュラ玉軸受及び自動調心ころ軸受には適当でない。

備考： $r_{as\max}$ とは隅の丸みの最大許容値である。

また、軸の強度を増すために軸隅Rを大きくする場合、軸肩寸法が小さい場合などは軸肩と軸受の間に間座を設けて取付けます(図15.2)。

軸が研削仕上げされる場合は、研削逃げが必要で。このときの逃げ寸法を表15.2に示します。

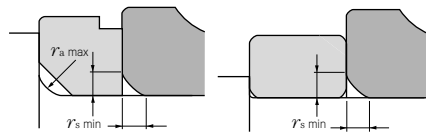
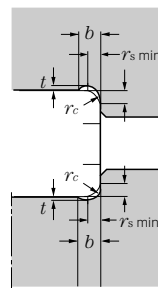


図15.2 間座を用いる方法

表15.2 研削逃げ寸法

| $r_{s\min}$ | 逃げ寸法 |     |       |
|-------------|------|-----|-------|
|             | $b$  | $t$ | $r_c$ |
| 1           | 2    | 0.2 | 1.3   |
| 1.1         | 2.4  | 0.3 | 1.5   |
| 1.5         | 3.2  | 0.4 | 2     |
| 2           | 4    | 0.5 | 2.5   |
| 2.1         | 4    | 0.5 | 2.5   |
| 2.5         | 4    | 0.5 | 2.5   |
| 3           | 4.7  | 0.5 | 3     |
| 4           | 5.9  | 0.5 | 4     |
| 5           | 7.4  | 0.6 | 5     |
| 6           | 8.6  | 0.6 | 6     |
| 7.5         | 10   | 0.6 | 7     |



### 15.3 軸及びハウジングの精度

通常の使用条件での一般的に必要な精度は表15.3に示します。

また軸受にはそれぞれの形式において、傾き許容限度があります(表15.4)。

これを超えて使用されると軸受寿命の低下、保持器破損などの不具合を発生する恐れがあります。

したがって軸及びハウジングの剛性、加工精度に起因する取付誤差、更に軸受形式の選定において十分な注意が必要です。

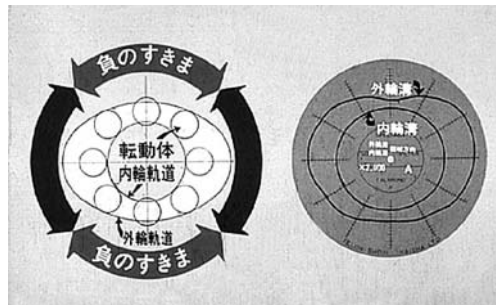
表15.3 軸及びハウジングの精度

| 項 目            | 軸                         | ハウジング        |
|----------------|---------------------------|--------------|
| 寸法精度           | IT6(IT5)                  | IT7(IT5)     |
| 真円度(最大)<br>円筒度 | IT3                       | IT4          |
| 肩の振れ公差         | IT3                       | IT3          |
| はめあい面<br>の粗さ   | 小形軸受 0.8a<br>中形・大形軸受 1.6a | 1.6a<br>3.2a |

備考：精密軸受(P4, P5精度)の場合、真円度・円筒度については本表精度の1/2程度におさえる必要がある。

表15.4 軸受許容傾斜角(参考)

| 許 容 傾 斜 度          |               |
|--------------------|---------------|
| 深溝玉軸受              | 1/1 000~1/300 |
| アンギュラ玉軸受           |               |
| 単列                 | 1/1 000       |
| 複列                 | 1/10 000      |
| 背面組合せ              | 1/10 000      |
| 正面組合せ              | 1/1 000       |
| 円筒ころ軸受             |               |
| 軸受系列2, 3, 4        | 1/1 000       |
| 軸受系列22, 23, 49, 30 | 1/2 000       |
| 円すいころ軸受            |               |
| 単列及び背面組合せ          | 1/2 000       |
| 正面組合せ              | 1/1 000       |
| 針状ころ軸受             | 1/2 000       |
| スラスト軸受             | 1/10 000      |
| (スラスト自動調心ころ軸受を除く)  |               |
| 許 容 調 心 度          |               |
| 自動調心玉軸受            | 1/20~1/15     |
| 自動調心ころ軸受           | 1/50~1/30     |
| スラスト自動調心ころ軸受       | 1/30          |



## 16. 軸受の取扱い

転がり軸受は一般の機械部品に比べ精密部品であり、その精密さを保つためには、慎重で繊細な取扱いが必要です。特に注意する事項として

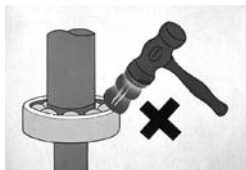
- 軸受を清浄に保つこと.....摩耗、音響などに影響、空气中浮遊ごみも含め注意
- 衝撃を与えないこと.....軌道面圧こん、割れに影響、落下、ハンマーでの衝撃不可
- さび防止.....素手での取扱い不可、防せい剤塗布包装状態での湿度60%以下保存を望む

### 16.1 軸受の取付け

軸受を取付ける軸、ハウジング、関連部品及び取付け治工具は、汚れ、ばり、切り屑などがないようきれいな状態にしておきます。更に軸受取付け部の寸法精度、形状精度、粗さなどを検査し、許容公差内にあることを確認しておくことも必要です。

使用する軸受は取付直前に解包します。

一般に油潤滑の場合、又はグリース潤滑でも防せい剤との混合で機能がそこなわれる恐れがある場合、洗浄油で防せい剤を除去してから取付けます。なお、軸受洗浄後グリースを塗布する場合には、ある程度、乾燥させてからの塗布が望まれます。軸受を軸又はハウジングに挿入する場合、軌道輪（内輪又は外輪）の全周に均等に圧力を加えて挿入する方法が必要です。軌道輪の一部に力を加え挿入すると、こじれの原因となるし、また、挿入しない側の軌道輪に力を加えようと、転動体を介して荷重がかかり、軌道面に圧こんが生じるので絶対にさけなければなりません。ハンマーなどで直接叩いて軌道輪を挿入することは、圧こんの発生は勿論のこと割れや欠けの原因となります。



#### (1) 円筒穴軸受の取付け

しめしろが比較的小さい軸受では、図16.1に示すように、圧入側軌道輪端面に適切な治具を当て、全周均等に負荷させ、プレス又はハンマーにて圧入します。また、内輪・外輪を同時に取付ける場合は図16.2のように当て金を使用し、均等に圧入します。いずれの場合も取付け初期において軸受が傾かないように十分な注意が必要です。場合によっては傾き防止のためにガイドの治具を使います。また内輪のしめしろが大きい場合には、一般には軸受を加熱し、内輪を膨張させて軸に簡単に挿入することができるようにします。軸受内径の温度差による膨張量の関係を図16.3に示します。

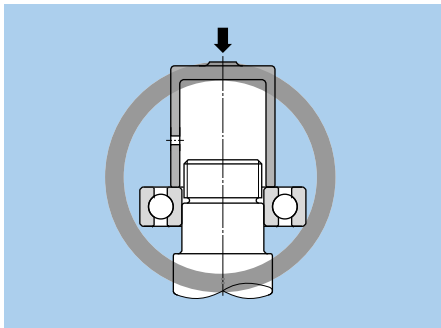


図16.1 内輪の圧入

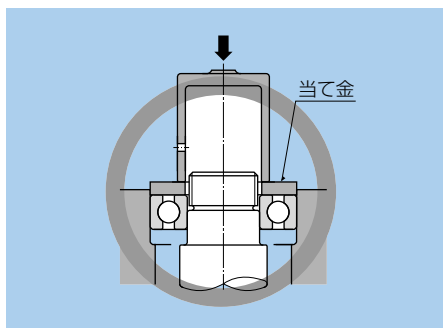


図16.2 内輪・外輪の同時圧入

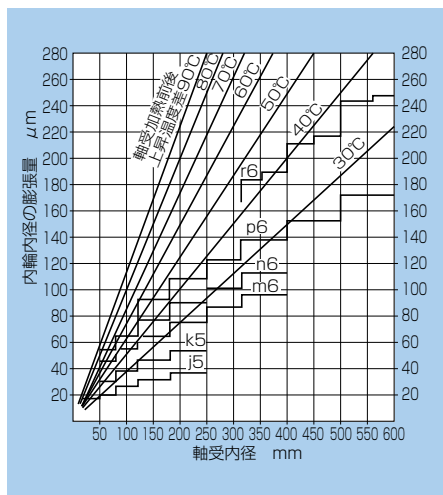


図16.3 内輪の熱ばめに必要な加熱温度

軸受を加熱するには、加熱した清浄な油に浸漬する方法が最も一般的に用いられます（但しグリース封入軸受は不可）。なお、軸受は120℃以上に加熱しないよう注意が必要です。その他には、恒温槽を用いた空気中での加熱、円筒ころのように内輪分離形は、誘導加熱装置（脱磁が必要）も使われます。但し加熱した軸受を軸に挿入後、軸受が冷却するまで軸肩に内輪を押しつけ、すきまが生じるのを防ぐ必要があります。

## (2) テーパ穴軸受の取付け

小形軸受では、テーパ軸アダプタスリーブ又は取外しスリーブを用いて、軸受をロックナットで押込み取付けます（図16.4）。

大形軸受では押込力が大きいので、油圧を用いて取付けます。図16.5はテーパ軸に直接取付ける場合ですが、はめあい面に高圧の油を送り（オイルインジェクション）、はめあい面の摩擦を減少させて、ナットの締付トルクを小さくする方法です。この他にも油圧を利用した油圧ナット又は油圧スリーブによる取付けも行われて

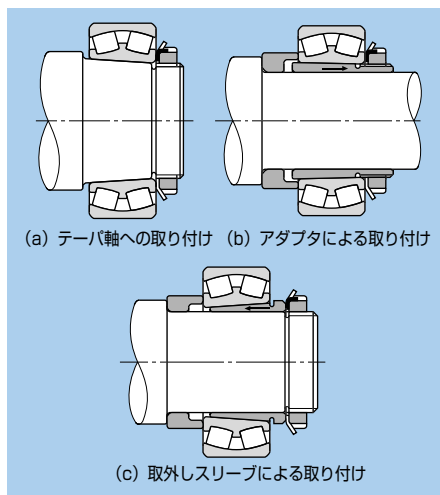


図16.4 ロックナットによる取付け

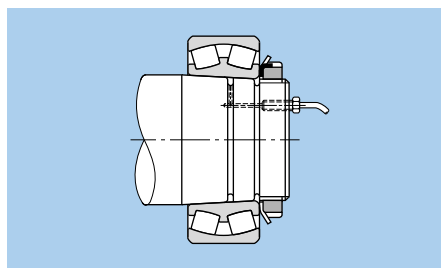


図16.5 オイルインジェクションによる取付け

います。このようにして取付けられた軸受は、テーパ面をアキシャル方向に押し込むにしたがってしめしろが増加し、ラジアル内部すきまが減少します。このすきま減少量を測定することによりしめしろを推定することができます。自動調心ころ軸受のラジアル内部すきま測定は、図16.6に示すように、ころを正しい位置に落着かせて、無負荷域でのころと外輪との間にすきまゲージを差込んで測定します。このとき、ころを回転させないで静止状態で測定することが重



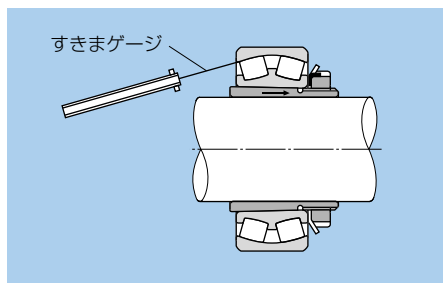


図16.6 自動調心ころ軸受の内部すきま測定

要です。また、ラジアル内部すきまの減少量の代りに、アキシアル方向の押込み量を測定することで適当なしめしろを得ることもできます。

### (3) 外輪の取付け

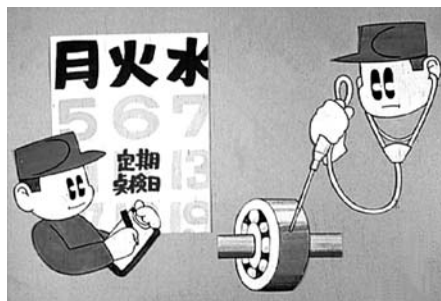
外輪をしまりばめでハウジングに取付ける場合、しめしろが大きいときは、ハウジングの寸法形状によってはハウジングを加熱し外輪を挿入しますが、一般には冷しばめが行われます。すなわち、外輪をドライアイスなどの冷却剤にて収縮させ挿入します。但し、冷しばめすると、軸受表面に空気中の水分が結露することがありますので、適切な防せい処置が必要であるとともに、凍傷など取扱いにも注意が必要です。

## 16.2 取付け後の回転検査

軸受取付け後、軸受が正しく取付けられているか確認が必要です。まず、手で軸又はハウジングを回転させ、ガタの有無、トルクが重すぎないか、その他異常がないかを確認します。異常がなければ無負荷で低速回転し、回転状態を確認しながら徐々に速度及び負荷を上げていきます。回転中の騒音、振動、及び温度上昇を調べ、異常を認めれば回転を停止し点検を行い、必要に応じて軸受を取外し調査します。軸受の回転音は、ハウジングに聴診器を当てて音の大きさと音質を確認します（表11.2参照）。

また、振動が大きい場合は、振幅、周波数測定により異常原因の推定も可能です。軸受温度は、回転時間とともに上昇し、ある一定時間後に安定常態となります。もし急激に温度が上昇するとか、何時間経過しても温度が上昇を続け安定常態にならない場合には、回転を停止し原因調査が必要です。

原因として潤滑剤の過多、シールしめしろ過大、すきま過小、予圧過大などいろいろ考えられます。なお、軸受温度は外輪に測定端子を当て測定するのが最適ですが、ハウジング表面での測定、又は特に問題がなければ、ハウジングに手を当てて確認することもあります。



## 16.3 軸受の取外し

定期点検、又は部品取替えのとき、軸受の取外しが行われますが、軸、ハウジングはほとんど再使用され、軸受の再使用も少なくありません。したがって、これらの部品を損傷なく取外することが大切です。そのためには、はじめから取外し作業が容易な構造設計とすること、適切な取外し治具の準備が必要です。しめしろのある軌道輪を取外すときは、その軌道輪にだけ引抜き荷重をかけ、決して転動体を介して引抜いてはいけません。

# (1) 円筒穴軸受の取外し

小形軸受の取外しは、図16.7、図16.8に示すように引抜き治具又はプレスを使用する方法がよくとられます。また図16.9～図16.11のように設計時点で配慮しておくことも必要です。大形軸受をしまりばめで長時間使用すると引抜

きに大きな荷重が必要となります。このような場合、図16.12に示すように、設計段階から考慮し油圧にて取外しします。また円筒ころ軸受のように内・外輪分離タイプでは誘導加熱装置を用いて取外すこともできます。

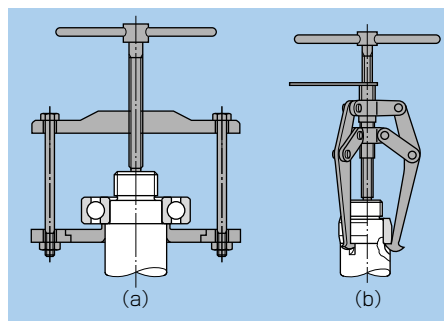


図16.7 引抜き治具による取外し

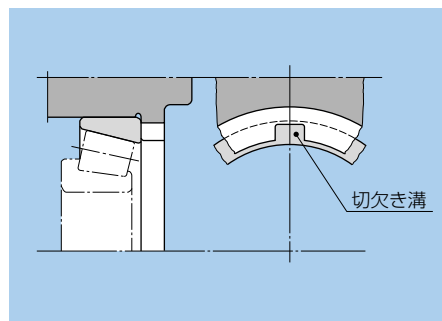


図16.10 外輪取外し用切欠き溝

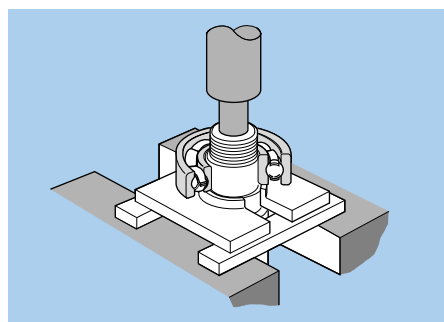


図16.8 プレスによる取外し

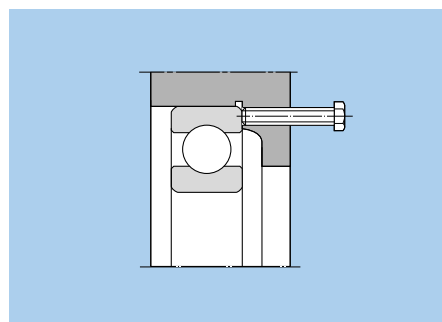


図16.11 外輪取外し用ボルト

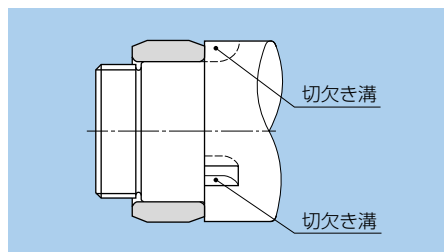


図16.9 引抜き用切欠き溝

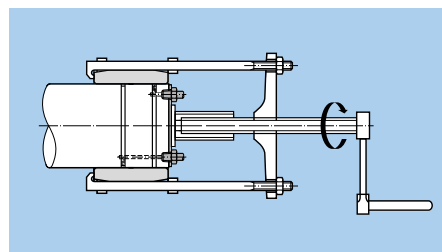


図16.12 油圧による取外し

## (2) テーパー穴軸受の取外し

アダプタを用いて取付けられた小形軸受は、締付けナットを緩めた後図16.13のように内輪端面に当て金を当てハンマーで叩いて取外します。

テーパー軸、アダプタ及び取外しスリーブを用いて取付けられた大形軸受は、油圧を用いると作業が容易となります(図16.14、図16.15)。

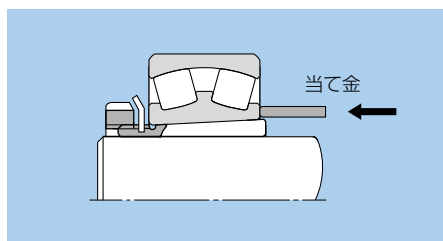


図16.13 アダプタ付軸受の取外し

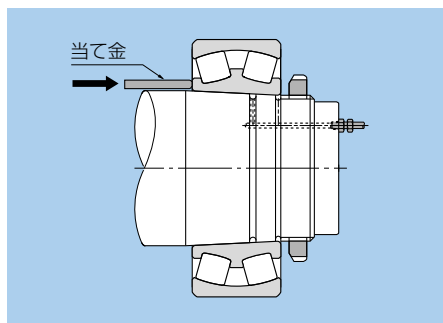


図16.14 油圧による軸受の取外し

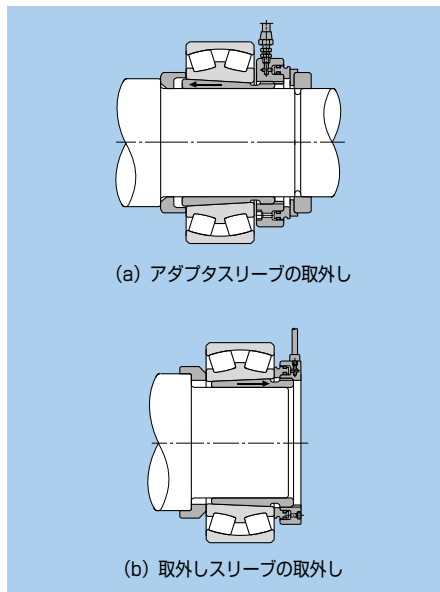


図16.15 油圧ナットによる取外し

## 16.4 圧入力及び引抜き力

軸又はハウジングに軸受を圧入したり、引抜いたりするのに要する力は次式にて求められます。

軸と内輪の場合

$$K_d = \mu \cdot P \cdot \pi \cdot d \cdot B \cdots \cdots (8.4)$$

ハウジングと外輪の場合

$$K_D = \mu \cdot P \cdot \pi \cdot D \cdot B \cdots \cdots (8.5)$$

ここで

$K_d$  : 内輪の圧入又は引抜き力 N {kgf}

$K_D$  : 外輪の圧入又は引抜き力 N {kgf}

$P$  : はめあい面圧 MPa {kgf/mm<sup>2</sup>}

$$\text{内輪 } P = \frac{E}{2} \cdot \frac{\Delta_{\text{deff}}}{d} \cdot \frac{(1-k^2)(1-k_0^2)}{1-k^2 k_0^2}$$

$$\text{外輪 } P = \frac{E}{2} \cdot \frac{\Delta_{\text{Deff}}}{D} \cdot \frac{(1-h^2)(1-h_0^2)}{1-h^2 h_0^2}$$

ここで

$$k = \frac{d}{d_i} \quad k_0 = \frac{d_0}{d} \quad h = \frac{D_e}{D} \quad h_0 = \frac{D}{D_0}$$

- $d$  : 内輪内径(軸径) mm
- $d_i$  : 内輪軌道径 mm
- $d_0$  : 中空軸内径(中実軸では $d_0=0$ ) mm
- $\Delta_{\text{deff}}$  : 内輪有効しめしろ mm
- $D$  : 外輪外径(ハウジング内径) mm
- $D_e$  : 外輪軌道径 mm
- $D_0$  : ハウジング外径 mm
- $\Delta_{\text{Deff}}$  : 外輪有効しめしろ mm
- $E$  : 縦弾性係数  $2.07 \times 10^6 \text{MPa}$   
{21 200kgf/mm<sup>2</sup>}
- $\mu$  : 滑り摩擦係数(表16.1)
- $B$  : 内輪又は外輪の幅 mm

表16.1 圧入・引抜きの滑り摩擦係数

| 適 用 項 目               | $\mu$ |
|-----------------------|-------|
| 内(外)輪を円筒軸(穴)に圧入するとき   | 0.12  |
| 内(外)輪を円筒軸(穴)から引抜くとき   | 0.18  |
| 内輪をテーパ軸またはスリーブに圧入するとき | 0.17  |
| 内輪をテーパ軸から引抜くとき        | 0.14  |
| 軸, 軸受にスリーブを圧入するとき     | 0.30  |
| 軸, 軸受からスリーブを引抜くとき     | 0.33  |



## 17. 軸受の損傷と対策

一般に軸受は正しく取扱えば転がり疲労寿命まで使用できますが、早期損傷の場合には軸受の選定、取扱い、潤滑、密封装置など何らかの不備に起因すると考えられます。軸受損傷状況から原因を推定することは、要因が多岐にわたるため非常に難しいことですが、使用機械、使

用箇所、使用条件、及び軸受周りの構造などをよく把握し、損傷発生時の状況と、損傷の現象から、原因を推定し再発防止を図ることが重要です。

表17.1 (a) ～ (e) に軸受の損傷と主な発生原因因及び対策を示します。

表17.1 (a) 軸受の損傷と主な発生原因及び対策

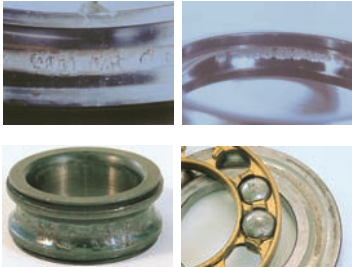
| 現 象                                                                                                                                              | 主な発生原因                                                                                                                                                                                                | 主な対策                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>●フレーキング（はく離）</p>  <p>軌道面や転動体表面がうろこ状にはがれる。はがれた後に著しい凹凸ができる。</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>●過大な荷重、疲労寿命、取扱い不良</li> <li>●取付け不良</li> <li>●軸又はハウジングの精度不良</li> <li>●内部すきま過小</li> <li>●異物の浸入</li> <li>●さびの発生</li> <li>●潤滑不良</li> <li>●異常温度上昇による硬さの低下</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>●軸受の再選定</li> <li>●内部すきまの再検討</li> <li>●軸、ハウジング加工精度の見直し</li> <li>●使用条件の見直し</li> <li>●組立て方法・取扱いの改善</li> <li>●軸受周りのチェック</li> <li>●潤滑剤、潤滑方法の見直し</li> </ul> |
| <p>●焼付き</p>  <p>軸受が発熱し変色、更には焼付き、回転不能となる。</p>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>●内部すきま過小（変形による部分内部すきま小を含む。）</li> <li>●潤滑不足又は潤滑剤の不適</li> <li>●過大荷重（過大予圧）</li> <li>●ころのスキュー</li> <li>●異常温度上昇による硬さの低下</li> </ul>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>●潤滑剤の見直し及び量の確保</li> <li>●内部すきまの再検討（内部すきまを大きくする）</li> <li>●ミスアライメントの防止</li> <li>●使用条件の見直し</li> <li>●組立て方法・取扱いの改善</li> </ul>                            |

表 17.1 (b) 軸受の損傷と主な発生原因及び対策

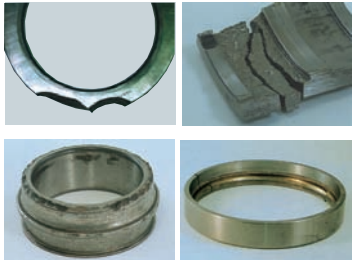
| 現 象                                                                                                                                        | 主な発生原因                                                                                                                                                                                                                    | 主な対策                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>●割 れ・欠 け</b><br> <p>部分的に欠落している。<br/>ひびが入っている。割れている。</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 過大な衝撃荷重の作用</li> <li>● 取扱い不良（鋼製ハンマの使用、大きな異物のかみ込み）</li> <li>● 潤滑不良による表面変質層の形成</li> <li>● しめしろ過大</li> <li>● 大きなフレーキング</li> <li>● フリクションクラック</li> <li>● 取付け相手の精度不良（隅の丸み大）</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 潤滑剤の見直し（フリクションクラックの防止）</li> <li>● 適正しめしろの見直し材質の見直し</li> <li>● 使用条件の見直し</li> <li>● 組立て方法・取扱いの改善</li> </ul>        |
| <b>●保持器破損</b><br> <p>リベットが緩むか又は切断する。<br/>保持器が破断する。</p>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 過大なモーメント荷重の作用</li> <li>● 高速回転又は大きな回転変動</li> <li>● 潤滑不良</li> <li>● 異物のかみ込み</li> <li>● 振動が大きい</li> <li>● 取付け不良（傾いた状態での取付け）</li> </ul>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 潤滑剤・潤滑方法の見直し</li> <li>● 保持器選定の見直し</li> <li>● 軸、ハウジング剛性の検討</li> <li>● 使用条件の見直し</li> <li>● 組立て方法・取扱いの改善</li> </ul> |
| <b>●転走跡の蛇行</b><br> <p>軌道面にできる当り（転動体の転走跡）が蛇行又は斜行している。</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 軸又はハウジングの精度不良</li> <li>● 取付け不良</li> <li>● 軸及びハウジングの剛性不足</li> <li>● 内部すきま過大による軸の振り回り</li> </ul>                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 内部すきまの再検討</li> <li>● 軸、ハウジング加工精度の見直し</li> <li>● 軸、ハウジング剛性の見直し</li> </ul>                                         |

表17.1(c) 軸受の損傷と主な発生原因及び対策

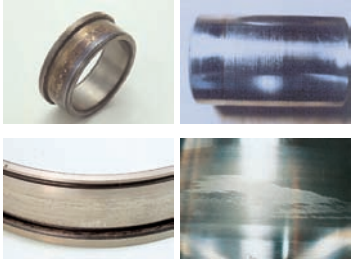
| 現 象                                                                                                                                                          | 主な発生原因                                                                                                                                                          | 主な対策                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>●スミアリング・かじり</p>  <p>表面が荒れ、微小な溶着を伴っている。軌道輪つば面とところの端面の荒れを一般にかじりと称す。</p>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>●潤滑不良</li> <li>●異物の浸入</li> <li>●軸受の傾きによるころのスキュー</li> <li>●アキシアル荷重大によるつば面の油切れ</li> <li>●面粗さ大</li> <li>●転動体の滑り大</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>●潤滑剤、潤滑方法の見直し</li> <li>●密封性能の強化</li> <li>●予圧の見直し</li> <li>●使用条件の見直し</li> <li>●組立て方法・取扱いの改善</li> </ul>  |
| <p>●さび・腐食</p>  <p>表面が一部又は全面にさびている。転動体ピッチ状にさびることもある。</p>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>●保管状態の不良</li> <li>●包装不適</li> <li>●防せい剤不足</li> <li>●水分、酸などの浸入</li> <li>●素手での取扱い</li> </ul>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>●保管中のさび防止対策</li> <li>●潤滑剤の定期検査</li> <li>●密封性能の強化</li> <li>●組立て方法・取扱いの改善</li> </ul>                     |
| <p>●フレットニング</p>  <p>はめあい面に赤さび色の摩耗粉を生じるものと軌道面に転動体ピッチに生じるブリネル圧こん状のものがある。</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>●しめしろ不足</li> <li>●軸受の揺動角が小さい</li> <li>●潤滑不足（無潤滑状態）</li> <li>●変動荷重</li> <li>●輸送中の振動、停止中の振動</li> </ul>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>●軸受の再選定</li> <li>●潤滑剤、潤滑方法の見直し</li> <li>●しめしろの見直し及びはめあい面に潤滑剤を塗布する</li> <li>●内輪・外輪の分離包装（輸送時）</li> </ul> |

表17.1 (d) 軸受の損傷と主な発生原因及び対策

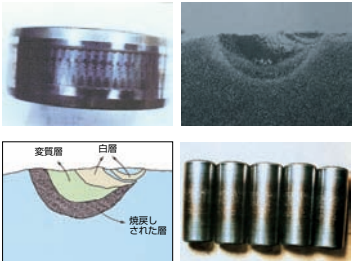
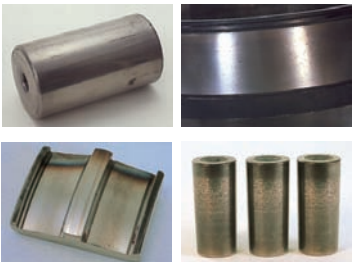
| 現 象                                                                                                                                         | 主な発生原因                                                                                                                      | 主な対策                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>●摩 耗</p>  <p>表面が摩耗し、寸法変化を起こしている。<br/>荒れ、傷を伴うことが多い。</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>●潤滑剤中への異物の浸入</li> <li>●潤滑不足</li> <li>●ころのスキュー</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>●潤滑剤、潤滑方法の見直し</li> <li>●密封性能の強化</li> <li>●ミスアライメントの防止</li> </ul>                      |
| <p>●電 食</p>  <p>軌道面に噴火口状の凹みが見られ、更に進展すると波板状になる。</p>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>●軌道面での通電</li> </ul>                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>●電流のバイパスを作る</li> <li>●軸受を絶縁する</li> </ul>                                              |
| <p>●圧こん・傷</p>  <p>固形異物のかみこみ。<br/>衝撃による表面の凹み及び組込時のすり傷。</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>●固形異物の浸入</li> <li>●はく離片のかみ込み</li> <li>●取扱い不良による打撃、落下</li> <li>●傾いた状態での組込み</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>●組立て方法・取扱いの改善</li> <li>●密封性能の強化(異物浸入の防止対策)</li> <li>●軸受周りのチェック(金属片に起因するとき)</li> </ul> |



表17.1(e) 軸受の損傷と主な発生原因及び対策

| 現 象                                                                                                                                                                                                      | 主な発生原因                                                                                                                  | 主な対策                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>●クリープ</p>  <p>内径面、外径面の滑りにより、鏡面になる。また、変色やかじりを伴う場合もある。</p>                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>●はめあい部のしめしろ不足</li> <li>●スリーブ締付け不足</li> <li>●異常な温度上昇</li> <li>●過大荷重の作用</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>●しめしろの見直し</li> <li>●使用条件の見直し</li> <li>●軸、ハウジングの加工精度の見直し</li> <li>●軌道輪の幅面締結</li> </ul> |
| <p>●なし地</p>  <p>軌道面の光沢が消え、なし地状に荒れている。微小な圧こんの集合。</p>                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>●異物の浸入</li> <li>●潤滑不良</li> </ul>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>●潤滑剤・潤滑方法の見直し</li> <li>●密封装置の見直し</li> <li>●潤滑油の清浄化(フィルタなどによるろ過)</li> </ul>            |
| <p>●ピーリング</p>  <p>微小はく離(大きさ<math>10\mu\text{m}</math>程度)の密集した部分をいう。<br/>はく離に至っていない亀裂も無数に存在する。</p> <p>(ころ軸受に発生し易い。)</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>●異物の浸入</li> <li>●潤滑不良</li> </ul>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>●潤滑剤・潤滑方法の見直し</li> <li>●密封性能の強化(異物浸入の防止対策)</li> <li>●なじみ運転の実施</li> </ul>              |

ワンポイントアドバイス

## 軸受ミニ知識

## ●NTN技術の変遷 ～TECHNICAL REVIEWの紹介～

NTNの技術は、転がり軸受をベースにさまざまな産業の発達とともに進展してきました。戦後復興期の鉄鋼産業に始まり、鉄道車両や自動車、そして航空宇宙や高度情報化、環境関連など軸受なくして成り立つ産業はないといわれる程です。

その一端は、NTN TECHNICAL REVIEW(旧ベアリングエンジニア)から見るができます。



創刊号  
昭和25年10月発行



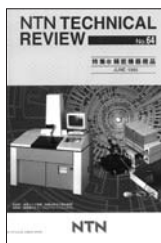
No.20  
昭和34年12月発行  
高速軸受特集号



No.42  
昭和47年5月発行  
航空機用軸受特集号



No.60  
平成4年1月発行  
精密軸受特集号



No.64  
平成7年6月発行  
精密機器商品特集号



No.71  
平成15年10月発行  
産機特集号



No.72  
平成16年10月発行  
特集 工作機械用軸受・  
精機商品



No.73  
平成17年10月発行  
特集 自動車商品



No.74  
平成18年10月発行  
特集 産機用商品



No.75  
平成19年10月発行  
特集 自動車向け  
環境技術特集号



No.76  
平成20年10月発行  
特集 要素技術特集号



No.77  
平成21年12月発行  
特集 環境対応



No.78  
平成22年10月発行  
特集 産業機械用商品・  
要素技術



No.79  
平成23年11月発行  
特集 自動車技術



No.80  
平成24年10月発行  
特集 環境・エネルギー

## ■ 参考資料

| 規格記号 | 規格名                                                                 |
|------|---------------------------------------------------------------------|
| JIS  | Japanese Industrial Standards<br>(日本工業規格)                           |
| BAS  | The Japan Bearing Industrial Association Standards<br>(日本ベアリング工業規格) |
| ISO  | International Organization for Standardization<br>(国際標準化機構)         |
| DIN  | Deutsches Institut für Normung<br>(ドイツ規格)                           |
| ANSI | American National Standards<br>(アメリカ規格)                             |
| ABMA | The American Bearing Manufacturers Association<br>(アメリカ軸受製造業者団体)    |
| BS   | British Standards<br>(イギリス規格)                                       |
| MIL  | Military Specifications and Standards<br>(アメリカ軍購買規格)                |
| SAE  | Society of Automotive Engineers<br>(アメリカ自動車技術者協会)                   |
| ASTM | American Society for Testing and Materials<br>(アメリカ材料試験協会)          |
| ASME | American Society of Mechanical Engineers<br>(アメリカ機械技術者協会)           |
| JGMA | Japan Gear Manufactures Association<br>(日本歯車工業会規格)                  |