

## 11. 潤滑

### 11.1 潤滑の目的

転がり軸受を潤滑する主目的は、転がり面と滑り面に油膜を形成して、金属と金属の直接接触を防ぐことであり、転がり軸受の運転には潤滑剤が必須である。転がり軸受にとって潤滑は以下のような効果がある。

#### (1) 摩擦および摩耗の軽減

軸受構成部品の転がり部、滑り部の金属接触を防止し、摩擦、摩耗を軽減する。

#### (2) 軸受寿命の延長

転がり接触部に油膜を形成させて、転がり疲れ寿命を延長させる。

#### (3) 摩擦熱の排出および冷却

循環給油では、摩擦により発生した熱あるいは外部から伝わる熱を排出できる。

#### (4) その他

軸受内部への異物侵入の防止あるいは軸受表面を油脂で覆うことにより腐食（さび）を抑制する。

これらの効果を発揮させるためには、使用条件に適した潤滑方法を用いるとともに、良質な潤滑剤の選定、適切な潤滑剤の量および外部からの異物の侵入と潤滑剤の漏れを防ぐための適切な密封構造の設計が必要である。潤滑が十分に行われない場合は、摩擦が軽減されず軸受の過度の昇温を招いたり、異常摩耗を起こすことがあるので潤滑設計は十分に行われなければならない。

潤滑油量と摩擦損失、温度上昇との関係を図 11.1 に、特徴を表 11.1 に示す。

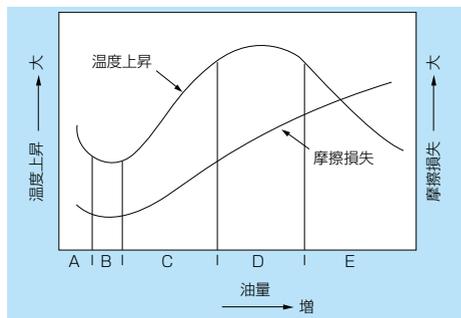


図 11.1

表 11.1 油量と摩擦損失、温度上昇(図 11.1 参照)

領域	特徴	潤滑方法例
A	油量が非常に少ない場合、転動体と軌道面が部分的に金属接触し、軸受の摩耗、焼付きが発生する。	—
B	完全な油膜が形成され、摩擦は最小で軸受温度も低い。	グリース潤滑 オイルミスト エアオイル潤滑
C	さらに油量が増えた場合で発熱と冷却が平衡している。	循環給油
D	温度上昇は油量に関係なくほぼ一定。	循環給油
E	油量がさらに増すと冷却効果が顕著になり軸受温度が下がる。	強制循環給油 ジェット潤滑

### 11.2 潤滑方法と特性

軸受の潤滑方法は、大別すると、グリース潤滑、油潤滑があるが、それぞれ特徴があるので要求機能にあった適切な潤滑方法を選択する必要がある。

表 11.2 にグリース潤滑と油潤滑の特性比較を示す。

表 11.2 グリース潤滑と油潤滑の特性比較

項目	グリース潤滑	油潤滑
取扱い	◎	△
信頼性	○	◎
冷却効果	×	○(循環が必要)
シール構造	○	△
動力損失	○	○
環境汚染	○	△
高速回転	×	○

◎：特に有利 ○：有利 △：やや不利 ×：不利

### 11.3 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することができるため、転がり軸受の潤滑に最も多く用いられている。グリース潤滑の方法にはあらかじめグリースを封入した密封形（シール、シールド形）軸受を使用する場合や開放形軸受を用いてハウジングおよび軸受内部に適量グリースを充填し、一定期間ごとに補給または交換する方法がある。

密封形軸受では適切なグリース封入量であれば

グリース漏れを起こす可能性は少ないが、グリースが流動し易くなる振動の多い使用条件下、あるいはグリースに多大な遠心力がかかる高速外輪回転では、(まれに)漏れることがあるので NTN にご照会ください。

#### 11.3.1 グリースについて

グリースは鉱油や合成油などの潤滑油（基油）を増ちょう剤で保持し、各種の添加剤を加えたものである。グリースの性能は基油、増ちょう剤および添加剤の種類や組合せによって定まる。一般的なグリースの種類とその特性を表 11.5 に、銘柄と性状を表 11.6 に示す。(A-106 ~ A-107) 同種類のグリースでも銘柄によって性能が大きく異なることがあるので、グリースの選定にあたってはグリースメーカーの性状データを確認するなど注意が必要である。

##### (1) 基油

グリースの基油には鉱油またはエステル油、合成炭化水素油、エテル油などの合成油が用いられる。

一般に低粘度基油のグリースは低温特性、高速性能に優れ、高粘度基油のグリースは高温・高荷重特性に優れている。

##### (2) 増ちょう剤

増ちょう剤は基油の中に混合分散されて、グリースを半固体状に保つための材料である。増ちょう剤にはリチウム、ナトリウムまたはカルシウムなどの金属石けんのほか、シリカゲル、ベントンの無機質材料およびウレア、ふっ素樹脂などの有機質材料よりなる非石けん基増ちょう剤がある。グリースの使用限界温度、機械的安定性、耐水性などの特性は、主として増ちょう剤によって定まる。ナトリウム石けん基のグリースは耐水性が一般に劣る。ベントンのウレアなどの非石けん基の増ちょう剤は高温特性が優れている。

##### (3) 添加剤

グリースには、使用目的に応じて各種の添加剤が用いられる。代表的なものに、酸化防止剤、極圧添加剤（EP 添加剤）、防せい剤、腐食防止剤などがある。高荷重または衝撃荷重を受ける軸受には極圧添加剤を含んだグリースを使用する。ほとんどの転がり軸受用グリースには酸

化防止剤が添加されている。

##### (4) ちょう度

ちょう度は、グリースの硬さまたは流動性を示す指標で数値が大きいほど軟らかい。転がり軸受の潤滑には普通 NLGI ちょう度記号 1、2 または 3 が用いられる。グリースのちょう度と用途についての一般的な関係を表 11.3 に示す。

表 11.3 グリースのちょう度

NLGI ちょう度番号	JIS [ASTM] 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、密封形軸受用
4	175~205	特殊用途

##### (5) 異種グリースの混合

異種のグリースを混合するとちょう度が変化し（一般に軟らかくなる）許容使用温度が低くなるなどグリースの性状が変わるので、原則として同一銘柄のグリース以外は混合してはならない。異種のグリースの混合が避けられない場合には、少なくとも同種の増ちょう剤および類似の基油を持つグリースを選定する。

### 11.3.2 グリースの充填量

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る。充填量の目安は、軸受へは空間容積の30～40%、ハウジングへは空間容積の30～60%とする。回転速度の高い場合や温度上昇を低く抑えたいときには少なめにする。**グリース充填量が多過ぎると温度上昇が大きくなり、グリースの軟化による漏れまたは酸化などの変質によってグリースの潤滑性能の低下を招く。**なお、軸受内の空間容積の概略値は式(11.1)で求めることができる。

$$V = K \cdot W \dots\dots\dots (11.1)$$

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 11.4  $K$  の値参照)

$W$ : 軸受の質量  $\text{kg}$

表 11.4 軸受空間係数  $K$

軸受形式 <sup>1)</sup>		保持器形式	$K$	
深溝玉軸受 <sup>2)</sup>		打抜き保持器	61	
アンギュラ玉軸受		打抜き保持器	54	
		もみ抜き保持器	33	
		樹脂成型保持器	33	
円筒ころ軸受	NU形 <sup>3)</sup>		打抜き保持器	50
			もみ抜き保持器	36
	N形 <sup>5)</sup>		打抜き保持器	55
			もみ抜き保持器	37
	ULTAGE シリーズ(EA形) E形	NU形 <sup>4)</sup>	もみ抜き保持器	33
			樹脂成型保持器	33
		N形 <sup>4)</sup>	もみ抜き保持器	34
			樹脂成型保持器	35
円すいころ軸受		打抜き保持器	46	
自動調心ころ軸受	Cタイプ		打抜き保持器	35
	Bタイプ 213タイプ		もみ抜き保持器	28
	ULTAGE シリーズ	EAタイプ	打抜き保持器	33
		EMタイプ	もみ抜き保持器	31

注 1) 本カタログ記載型番以外は除く。 2) 160 系列の軸受は除く。 3) NU4 系列は除く。

4) もみ抜き保持器は G1 保持器に適用する。 5) N4 系列は除く。

グリースの充填は、グリースガンや注射器等で、軸受内部に規定量を封入し、封入後は手回しにて、転がり部に満遍なく、グリースが行き渡るようにする。

表 11.5 グリースの種類と特性<sup>1)</sup>

	石けん系				
	リチウム (Li) グリース			カルシウム (Ca) グリース	
増ちょう剤 <sup>2)</sup>	Li 石けん			Li 複合石けん	Ca 石けん (カップグリース)
基油 <sup>3)</sup>	鉱油	エステル油	シリコン油	鉱油	鉱油
滴点 °C	170 ~ 190	170 ~ 190	200 ~ 210	>250	80 ~ 100
使用温度範囲 °C	-30 ~ 120	-50 ~ 130	-50 ~ 160	-30 ~ 130	-20 ~ 70
機械的安定性	良	良	良	良	可
耐圧性	良	良	劣	良	可
耐水性	良	良	良	良	良
特徴 / 用途	欠点が少ないバランスがとれた性能である。 汎用グリース	低温特性、摩擦特性が優れる。 ミニアチュア・小径玉軸受に適する。	低温、高温特性が優れる。 耐荷重性が劣る。	欠点が少ないバランスがとれた性能である。 比較的高温で使用可能である。	低速、軽荷重で使用される。 高温での使用不可である。

注 1) グリースの性能は、添加剤処方などで銘柄による差が大きいので、目安としてお使いください。

2) Na 石けん系グリースは、水、高温条件で乳化することがあるので注意が必要である。  
ウレア系グリースは、ふっ素樹脂 / ゴムを劣化させることがあるので注意が必要である。

表 11.6 グリースの銘柄と性状

銘柄	記号	増ちょう剤	基油	基油粘度 mm <sup>2</sup> /s	
				40°C	100°C
アルバニアグリース S2	2AS	Li 石けん	鉱油	131	12.2
アルバニアグリース S3	3AS	Li 石けん	鉱油	131	12.2
アルバニア EP グリース 2	8A	Li 石けん	鉱油	220	15.9
マルテン PS No.2	1K	Li 石けん	エステル+PAO	15.9	—
マルテン SRL	5K	Li 石けん	エステル	24.1	—
SH33L	3L	Li 石けん	シリコン	70	27
SH44M	4M	Li 石けん	シリコン	80	19
インフレックス NBU15	15K	Ba コンプレックス石けん	ジエステル+鉱油	23	5
SHC POLYREE 462	L791	ウレア	PAO	460	40
SE-1	L749	ウレア	PAO+エステル	22	5
ME-1	L700	ウレア	エステル+PAO	61.3	9.3
EP-1	L542	ウレア	PAO	46.8	—
NA103A	L756	ウレア	PAO+エーテル	53.5	—
MP-1	L448	ウレア	合成油	40.6	7.1
グリース J	L353	ウレア	エステル	75	10
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	31.6	6
モービルグリース 28	9B	ベントナイト	PAO	30	5.7
エアロシェルグリース 7	5S	マイクロゲル	ジエステル	10.3	3.1

備考 1 基油粘度、ちよう度、滴点は代表値である。

2 使用温度範囲の上下限は使用環境、要求仕様などで異なるので、NTN にご照会ください。

石けん系		非石けん系			
カルシウム (Ca) グリース	ナトリウム (Na) グリース	有機系			無機系
Ca 複合石けん	Na 石けん	ウレア	ウレア	PTFE	シリカゲル
鉱油	鉱油	鉱油	合成油	ふっ素油	エステル油
200 ~ 280	170 ~ 200	>260	>260	なし	>260
-20 ~ 130	-20 ~ 130	-30 ~ 140	-40 ~ 180	-40 ~ 250	-70 ~ 150
良	良	良~優	良~優	可~良	良
良~優	良	良~優	良~優	良	良
良	劣	良~優	良~優	良	良
耐圧性が優れる。	水分の混入で乳化することがある。 比較的高温で使用可能である。	耐水性、酸化安定性が優れる。	耐水性、酸化安定性が優れる。 高温、高速用途で使用される。	耐薬品性が優れる。 高温用途で使用される。	低温特性が優れる

注 3) エステル油系グリースはアクリル系材料を、シリコン油系グリースはシリコン系材料を膨潤させることがあるので注意が必要である。  
シリコン油系グリース、ふっ素油系グリースは、音響性能、防せい性能が劣るものがあるので注意が必要である。

60 回混和ちよう度		滴点 °C	使用温度範囲 °C	特徴
代表値	NLGI No			
283	2	181	-25 ~ 120	汎用 (深溝玉軸受標準グリース)
242	3	182	-20 ~ 135	汎用 (ベアリングユニット用玉軸受標準グリース)
284	2	184	-20 ~ 110	高荷重用汎用
270	2	190	-50 ~ 130	低温低トルク用
250	2 ~ 3	192	-40 ~ 150	低温~高温、汎用 (ミニアチュア・小径玉軸受標準グリース)
320	1 ~ 2	220	-70 ~ 140	低温用
260	2 ~ 3	204	-40 ~ 160	高温用
280	2	220 以上	-40 ~ 130	高速用
280	2	270	-20 ~ 170	食品機械用
265	2	220 以上	-50 ~ 120	高速用
231	3	250 以上	-30 ~ 160	高温高速用
220	2	260 以上	-40 ~ 160	高温高速用
270	2	260 以上	-40 ~ 180	耐脆性はく離
243	3	250 以上	-40 ~ 150	高温高速用
305	1 ~ 2	280 以上	-20 ~ 180	高温用
238	3	230 以上	-40 ~ 150	低温~高温、汎用
293	1 ~ 2	307	-54 ~ 177	MIL-PRF-81322 低温~高温
296	1 ~ 2	260 以上	-73 ~ 149	MIL-PRF-23827C

### 11.3.3 グリースの補給

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ので、適当な間隔で新しいグリースを補給しなければならない。

グリース補給間隔は軸受形式、寸法、回転速度、軸受温度およびグリースの種類などによって異なる。図 11.2 にグリースの補給間隔の目安となる線図を示す。この線図は普通の転がり軸受用グ

リースを通常の使用条件で用いた場合の補給間隔を示すものである。軸受温度が高くなるにつれて、グリース補給間隔を短くする。大略の目安としては軸受温度が 80℃以上では、温度が 10℃上がる毎に補給間隔を 1/1.5 とする。

なお、ULTAGE シリーズのグリース補給間隔については、NTN にご照会ください。

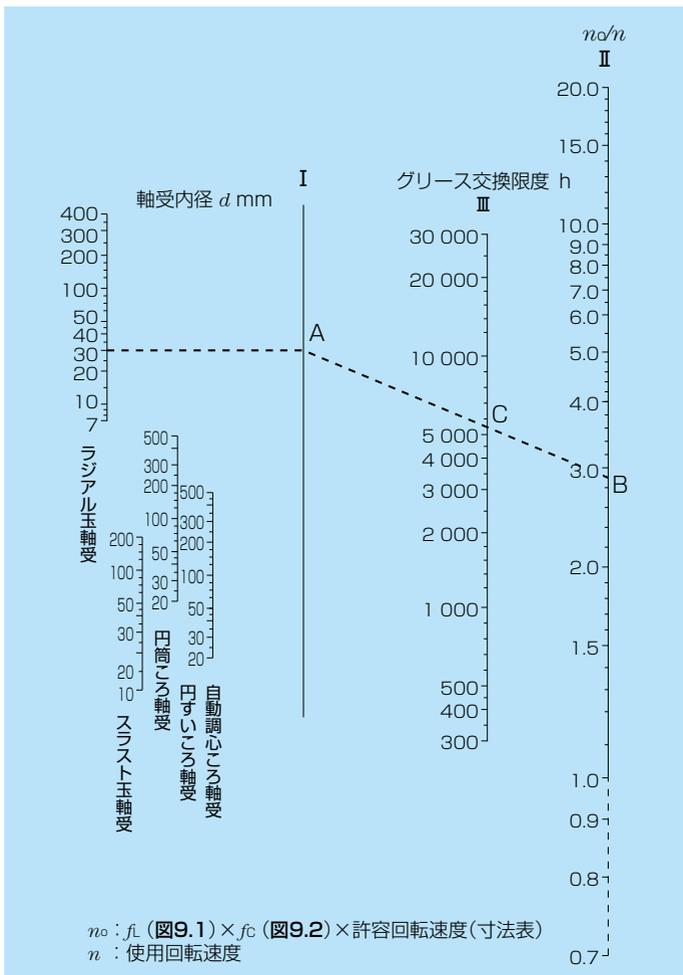


図 11.2 グリース補給間隔を求める線図

(例) 深溝玉軸受 6206 で、ラジアル= 2.0kN、回転速度 3 600min<sup>-1</sup> の場合のグリースの交換限度を求める。

図 9.1 から  $C_r/P_r = 21.6/2.0kN = 10.8$  に対し、 $f_l = 0.96$  となる。寸法表から 6206 の許容回転速度は、11 000min<sup>-1</sup> であり、ラジアル荷重 2.0kN での許容される回転速度  $n_o$  は、

$$n_o = 0.96 \times 11\ 000 = 10\ 560 \text{min}^{-1}$$

$$\text{したがって、} \frac{n_o}{n} = \frac{10\ 560}{3\ 600} = 2.93$$

図 11.2 のラジアル玉軸受の  $d=30$  に相当する点から横に線を引き、縦線 I との交点を A とする。縦線 II の上の  $n_o/n=2.93$  の点 B と A を直線で結び、縦線 III との交点 C を求めれば、グリース寿命は約 5 500 時間となる。

### 11.3.4 密封形玉軸受のグリース寿命推定

単列深溝玉軸受にグリースを封入した軸受のグリース寿命を推定する方法がある。

推定グリース寿命は、グリースの種類、温度、軸受の回転速度、荷重等により変化するので、詳細については、NTN にご照会ください。

### 11.4 熱固化型グリース (ポリループベアリング用潤滑剤)

熱固化型グリースとは、潤滑グリースと超高分子量ポリエチレンを主成分とする潤滑剤である。熱固化型グリースは常温ではグリース状であるが一度加熱し冷却する(焼成処理と呼ぶ)と、多量の潤滑剤が保持されたまま固化する。そのため、軸受に強い振動や大きな遠心力が作用する場合でも潤滑剤が漏れにくく、潤滑剤の漏れ防止および長寿命に貢献する。

ポリループベアリングには、保持器上に多点封入したスポットパック仕様、軸受の空間容積をほぼ一杯に封入したフルパック仕様がある。

深溝玉軸受、小径玉軸受、ベアリングユニットはスポットパックを標準仕様とし、自動調心玉軸受、自動調心ころ軸受、針状ころ軸受はフルパッ

クを標準仕様としている。

- 主な特長は、
- (1) 潤滑剤の漏れが少ない、
  - (2) スポットパックは軸受トルクが小さい

詳細については、専用カタログ「ポリループベアリング (CAT. No. 3022/J)」および「ポリループニードルベアリング (CAT. No. 3605/J)」をご参照ください。

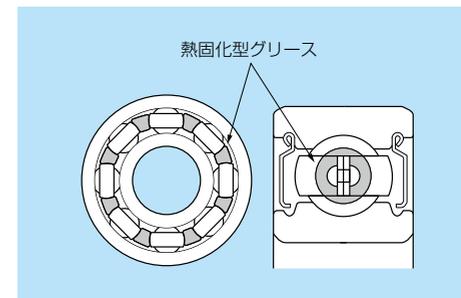


図 11.3 深溝玉軸受スポットパック仕様 (Z シールド板付き) (深溝玉軸受の標準仕様)

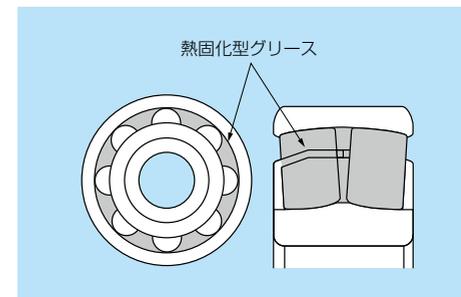


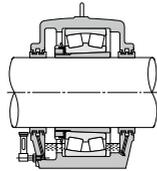
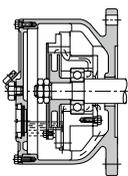
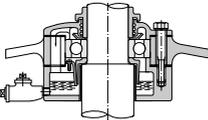
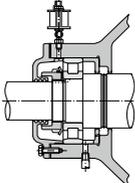
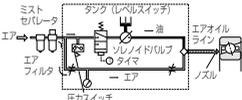
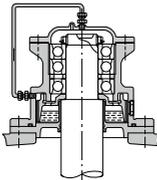
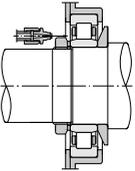
図 11.4 自動調心ころ軸受フルパック仕様 (自動調心ころ軸受の標準仕様)

### 11.5 油潤滑

一般に油潤滑は、軸受から発生する熱量または軸受に加えらるる熱量を外部に排除する必要があ

る場合に適している。  
表 11.7 に主な油潤滑の潤滑方法を示す。

表 11.7 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> ●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。 ●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、縦軸で低速時は、転動体の50～80%であることを確認する。		<b>〔ディスク給油〕</b> ●軸に取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	
<b>〔飛沫給油〕</b> ●軸に取付けた羽根などで、油を飛沫状にして給油する方法。相当高速まで使用可能		<b>〔噴霧潤滑(オイルミスト潤滑)〕</b> ●圧縮空気により油を霧状にして潤滑する方法 ●潤滑油の抵抗が小さいので高速回転に適する。	
<b>〔滴下給油〕</b> ●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。 ●比較的高速で中荷重以下の場合に用いる。 ●油量は毎分滴程度の例が多い。		<b>〔エアオイル潤滑〕</b> ●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 ●常に新しい油を連続的に給油する。 ●油の使用量はごく微量のため、劣悪な汚染ににくい。	
<b>〔循環給油〕</b> ●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用いる。 ●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。 ●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。		<b>〔ジェット潤滑〕</b> ●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下での信頼性が高い。 ●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。 ●アンダーレース潤滑は、この一種	

#### 11.5.1 潤滑油の選定

転がり軸受の潤滑油には、マシン油、タービン油などの鉱油が多く用いられるが、 $-30^{\circ}\text{C}$ 以下の低温または $150^{\circ}\text{C}$ 以上の高温になる使用条件では、エステル油、シリコン油、ふっ素油などの合成油を用いる。

潤滑油にとって、粘度は潤滑性能を決定する重要な特性の一つである。粘度が低すぎると油膜形成が不十分となり、転がり面を損傷させる反面、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る。一般に回転速度が大きい程、粘度の低いものを用い、重荷重になる程、高粘度潤滑油を使用する。

転がり軸受の潤滑には、表 11.8 に示す粘度を必要とし、使用条件に応じて適切な粘度の設定が必要である。図 11.5 は潤滑油の粘度—温度線図を示す。これは、運転温度において適正な粘度を持つ潤滑油を選定するのに用いる。

参考として、表 11.9 に軸受の使用条件に基づく潤滑油粘度の選定の目安を示す。

表 11.8 軸受の必要粘度

軸受形式	動粘度 $\text{mm}^2/\text{s}$
玉軸受、円筒ころ軸受、針状ころ軸受	13 以上
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 以上
スラスト自動調心ころ軸受	30 以上

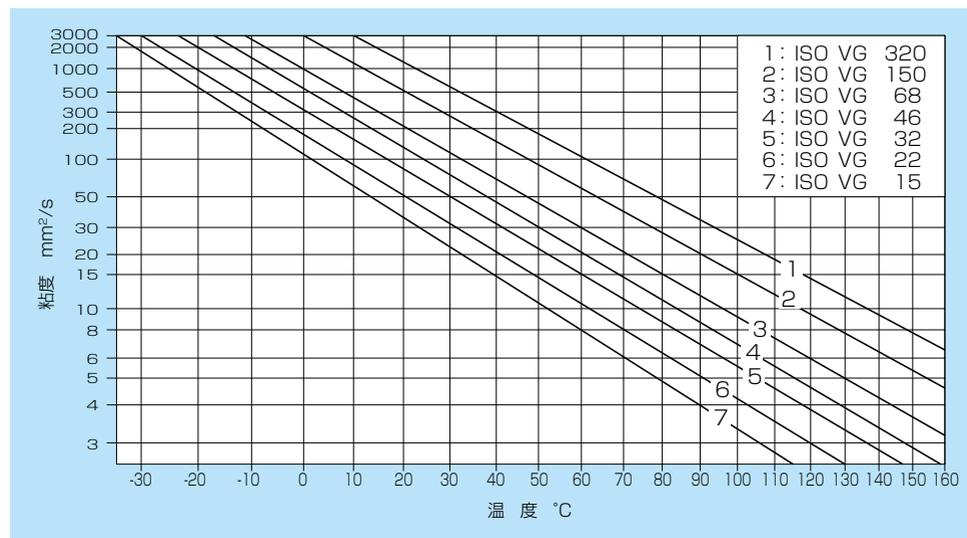


図 11.5 潤滑油の粘度—温度線図

表 11.9 潤滑油粘度の選定の目安

軸受の運転温度 ℃	dn値 <sup>1)</sup>	潤滑油のISO粘度グレード (VG)		適用軸受
		普通荷重	重荷重または衝撃荷重	
-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		

注1) dn値: [dn=軸受内径寸法 d (mm) × 使用回転速度 n (mm<sup>-1</sup>)]  
備考1 潤滑法は油浴または循環給油の場合 2 使用条件が本表記載範囲外の場合はNTNにご相談ください。

11.5.2 給油量

軸受に強制的に給油する場合は、軸受などからの発生熱量はハウジングなどからの放散熱量と油が持ち去る熱量との和に等しい。

標準的なハウジングを使用した場合に目安となる給油量は式 (11.2) で求めることができる。

$$Q = K \cdot q \dots\dots\dots (11.2)$$

ここで、

Q : 軸受 1 個あたりの給油量 cm<sup>3</sup> / min

K : 油の許容温度上昇によって定まる係数 (表 11.10)

q : 線図により求まる給油量 cm<sup>3</sup> / min (図 11.6)

ハウジングの形式により放散熱量は相違するので、実運転にあたっては式 (11.2) で求めた量の 1.5 ~ 2 倍程度から調整して、実機に適した給油量を求めることが望ましい。

また、ハウジングからの放熱がなく、発生熱量の全てを油が持ち去ると仮定して計算する場合は、線図の軸径を d = 0 として求めるとよい。

表 11.10 K の値

排油温度-給油温度 ℃	K
10	1.5
15	1
20	0.75
25	0.6

(例) フライホイールの円すいころ軸受 30220U を  $F_r=9.5kN$ ,  $n=1800min^{-1}$  で運転し、給油温度に対する軸受温度上昇を 15℃ に抑えたいときの給油量 Q を求める。

$$d=100mm, \\ dn=100 \times 1800=18 \times 10^4$$

図 11.6 から  $q=180cm^3/min$   
軸受温度は排油温度にほぼ等しいと仮定すれば  
表 11.10 から  $K=1$  であるから

$$Q=K \times q=1 \times 180=180cm^3/min$$

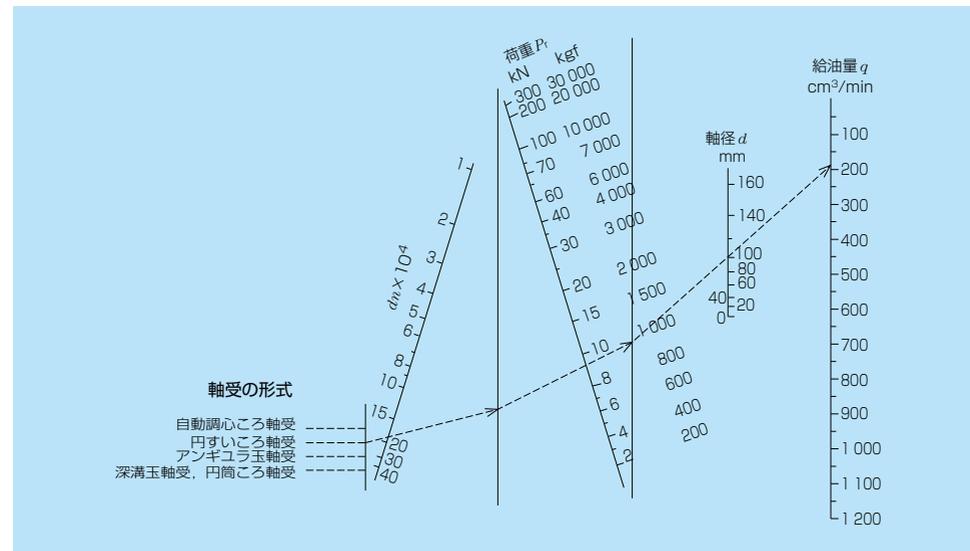


図 11.6 給油量を求める線図

11.5.3 潤滑油の交換限度

潤滑油の交換限度は使用条件、油量および潤滑油の種類などによって異なるが、油浴潤滑で油温が 50℃ 以下で使用される場合には、一年に一回程度、80 ~ 100℃ になる場合には、少なくとも三ヵ月ごとに交換することを目安とする。重要な装置では定期的に潤滑油の潤滑性能、清浄度の劣化などをモニタして交換限度を定めることが望ましい。