

11 潤 滑

11.1 潤滑の目的

軸受を潤滑する目的は、転がり面及び滑り面に薄い油膜を形成して、金属と金属が直接接触するのを防ぐことであり、潤滑は転がり軸受にとって次のような効果がある。

- (1) 摩擦及び摩耗の軽減
- (2) 摩擦熱の排出
- (3) 軸受寿命の延長
- (4) さび止め
- (5) 異物の浸入防止

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、適切な潤滑剤の量及び外部からの異物の浸入と潤滑剤の漏れ防止のための適切な密封構造の設計が必要である。軸受の油量と摩擦損失、軸受温度との関係を図11.1に示し、特徴を表11.1に示す。

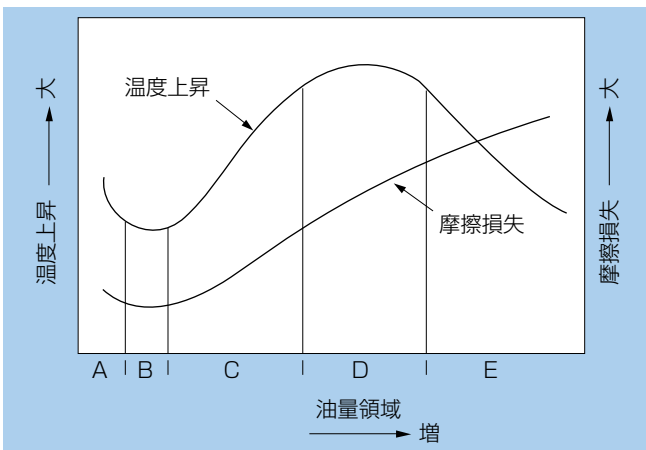


図11.1

表11.1 油量と摩擦損失、軸受温度 (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	更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	油量が更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

潤滑方法 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は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及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又は交換する方法がある。

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、増ちょう剤及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-74～A-75）。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必要がある。

(1) 基油

グリースの基油には鉱油又は、エステル油、エーテル油などの合成油が用いられる。

主として基油の潤滑性能によって、グリースの潤滑性能が定まる。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、高粘度の基油をもつグリースは高温・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、ナトリウム又はカルシウムなどの金属石鹼のほか、シリカゲル、ベントナイトなどの無機質材料及びウレア、フロロカーボンなどの有機質材料よりなる非石鹼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。ナトリウム石鹼基のグリースは耐水性が一般に劣る。ベントン、ウレアなどの非石鹼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、性能向上のために各種の添加剤が含まれている。例えば酸化防止剤、極圧添加剤（EP添加剤）、防せい剤、腐食防止剤などである。高荷重又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。比較的使用温度が高く長期間補給が行われない用途には、酸化安定剤の入ったグリースを用いる。

(4) ちょう度

ちょう度は、グリースの硬さ又は流動性を示す指標で**数値が大きいほど軟らかい**。ちょう度は増ちょう剤の量と基油の粘度により定まる。転がり軸受の潤滑には普通NLGIちょう度記号1、2又は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
4	175~205	特殊用途

(5) 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及び類似の基油をも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、又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）cm³

K：軸受空間係数（表11.4 Kの値参照）

W：軸受の質量 kg

表11.4 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

注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。

表11.5 グリースの種類と特性

名 称	リチウムグリース			ナトリウムグリース (ファイバグリース)	カルシウム混合基グリース
増 ち ょ う 剤	Li 石けん			Na 石けん	Ca + Na 石けん Ca + Li 石けん
基 油	鉱 油	ジエステル油	シリコン油	鉱 油	鉱 油
滴 点 ℃	170 ~ 190	170 ~ 190	200 ~ 250	150 ~ 180	150 ~ 180
使用温度範囲 ℃	-30 ~ +130	-50 ~ +130	-50 ~ +160	-20 ~ +130	-20 ~ +120
機 械 的 安 定 性	優	良	良	優 ~ 良	優 ~ 良
耐 圧 性	良	良	不可	良	優 ~ 良
耐 水 性	良	良	良	良 ~ 不可	良 ~ 不可
用 途	最も用途が広い。 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。 小径軸受、ミニアチユア軸受に適する。	高温及び低温に適する。 油膜強度が低く高荷重用途に不適。	水分の混入により乳化するものがある。 比較的高温特性が優れている。	耐圧性、機械的安定性に優れている。 衝撃荷重を受ける軸受に適する。

表11.6 グリースの銘柄と性状表

メーカ	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	マルテンブPSNo.2	1K	リチウム	ジエステル
	マルテンブ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クリューパー	インフレックススーパーLDS18	6K	リチウム	ジエステル
	バリエルタ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・シリコーン	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。

アルミニウムグリース	非石けん基グリース (ノンソープグリース)	
Al 石けん	ベントン, シリカゲル, ウレア, カーボンブラック, ふっ素化合物など	
鉱油	鉱油	合成油
70 ~ 90	250以上	250以上
-10 ~ +80	-10 ~ +130	-50 ~ +200
良 ~ 不可	良	良
良	良	良
良	良	良
粘着性に優れている。 振動を受ける軸受に適する。	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。 万能形の転がり軸受用グリース。	

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

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、軸受温度及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。

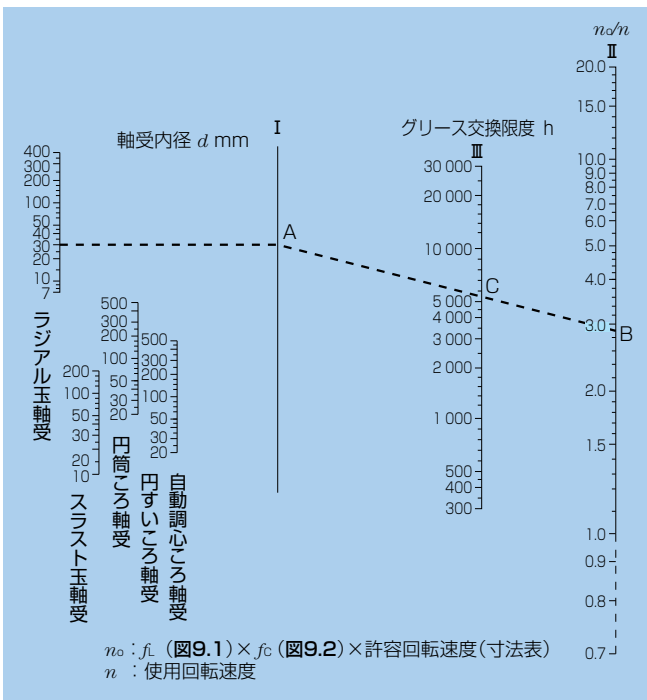


図11.2 グリース補給間隔を求める線図

(例) 深溝玉軸受6206で、ラジアル=2.0kN {204kgf}、回転速度3 600min⁻¹の場合のグリースの交換限度を求める。

図9.1から $C_r/P_r = 19.5/2.0\text{kN} = 9.8$ に対し $f_L = 0.96$
寸法表から6206の許容回転速度は、11 000min⁻¹であり、ラジアル荷重2.0kN {204kgf}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。

11.4 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

詳細は専用カタログNTNポリループベアリングをご参照ください。

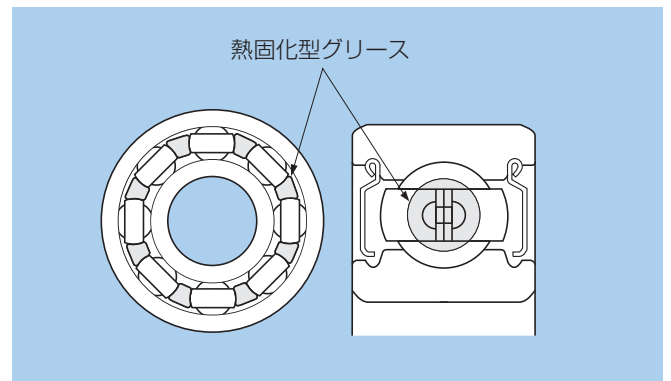


図11.3 深溝玉軸受スポットパック仕様 (Zシールド板付き) (深溝玉軸受の標準仕様)

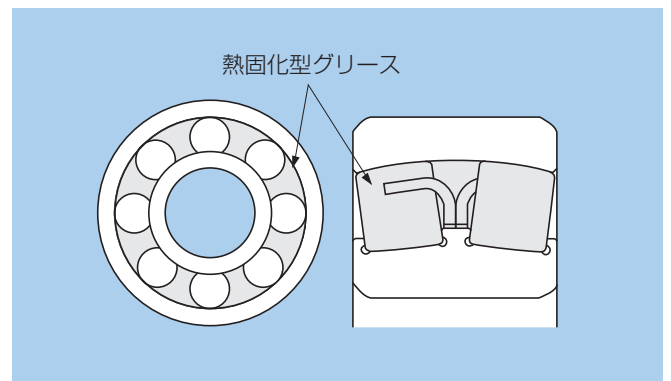


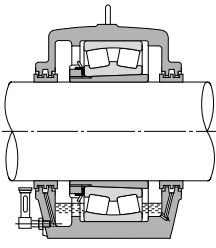
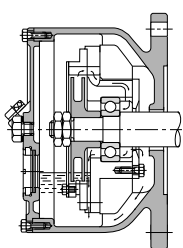
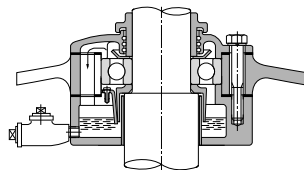
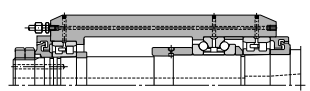
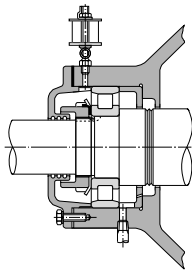
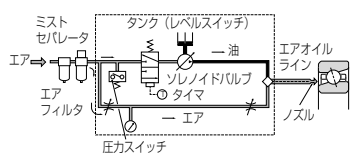
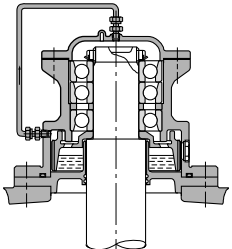
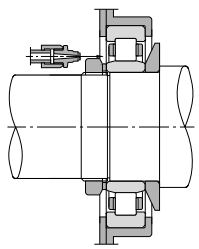
図11.4 自動調心ころ軸受フルパック仕様 (自動調心ころ軸受の標準仕様)

11.5 油潤滑

一般に油潤滑は、軸受から発生する熱量又は軸受に加えられ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
<p>〔油浴潤滑〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 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、縦軸で低速時には、転動体の50～80%であることを確認する。 		<p>〔ディスク給油〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 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。 	
<p>〔飛沫給油〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 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。 		<p>〔噴霧潤滑(オイルミスト潤滑)〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 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。 	
<p>〔滴下給油〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 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が、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。 ● 油量は毎分数滴程度の例が多い。 		<p>〔エアオイル潤滑〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 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。 ● 油の使用量はごく微量のため、雰囲気汚染にくい。NTNでは、エアオイル潤滑ユニットを販売いたしております。ご利用ください。 	
<p>〔循環給油〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 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。 		<p>〔ジェット潤滑〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 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。 ● 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。 ● 工作機械主軸軸受に使用さ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、スピンドル油、マシン油、タービン油などの鉱油が多く用いられるが、150℃以上の高温又は-30℃以下の低温になる使用条件では、ジエステル油、シリコン油、フッロカーボン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、軸受表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、その運転温度において表11.8に示す粘度を必要とする。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もつ潤滑油を選定するのに用いる。

表11.9に軸受の使用条件に応じて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 mm ² /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

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 cm³/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 cm³/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。

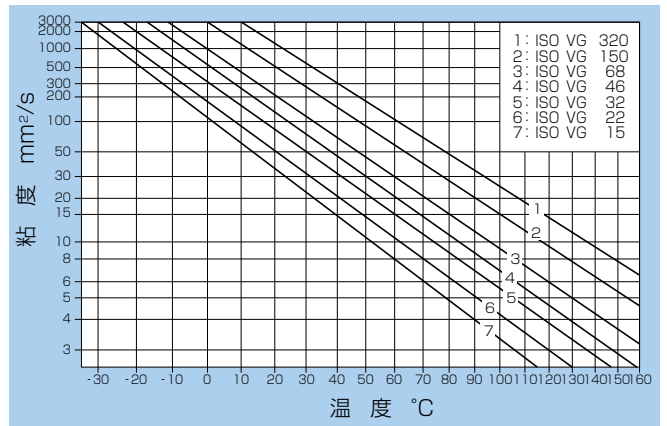


図11.5 潤滑油の粘度-温度線図

表11.9 潤滑油の選定基準(参考)

軸受の運転温度 ℃	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. 使用条件が本表記載範囲外の場合はNTNにご照会ください。

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

11.5.3 潤滑油の交換限度

潤滑油の交換限度は使用条件、油量及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、少なくとも三ヶ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。

(例) フライホイールの円すいころ軸受30220Uを $F_r=9.5\text{kN}$ {969kgf}, $n=1\,800\text{min}^{-1}$ 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。

$d=100\text{mm}$,

$dn=100 \times 1\,800=18 \times 10^4$

図11.6から $q=180\text{cm}^3/\text{min}$

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

$Q=1 \times 180=180\text{cm}^3/\text{min}$

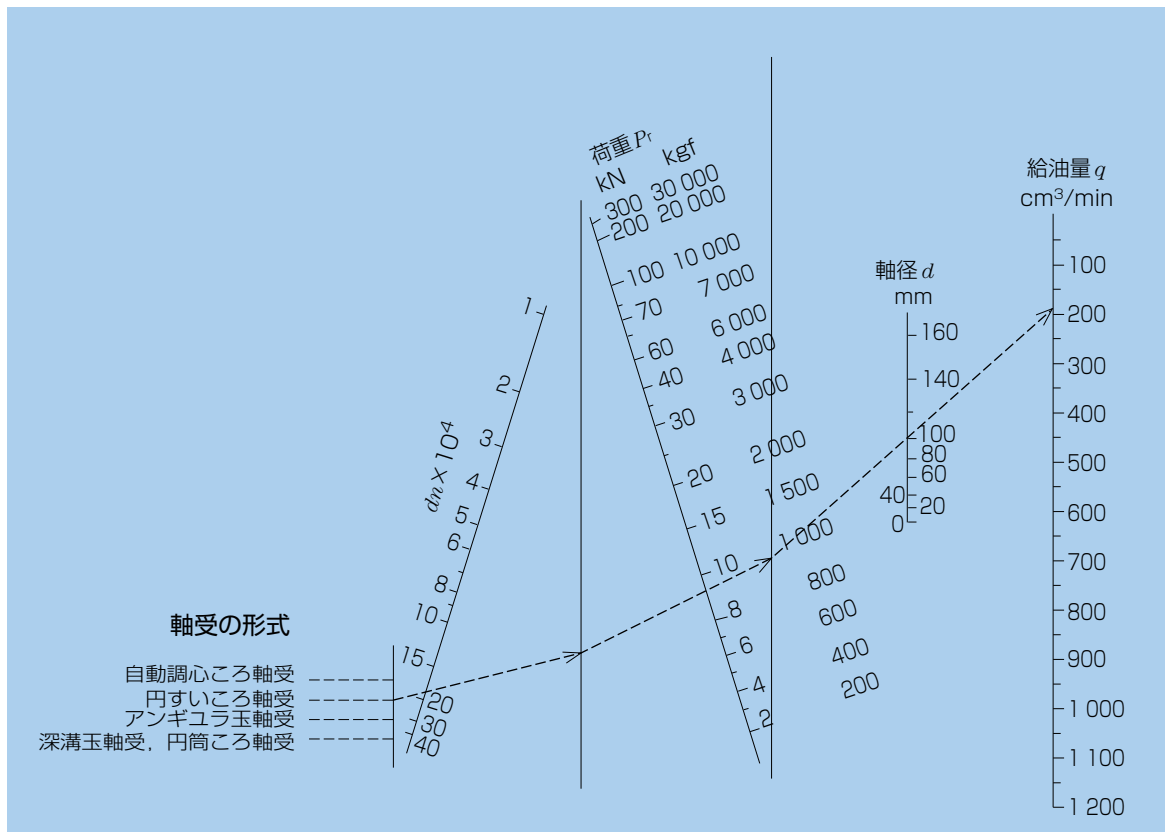


図11.6 給油量を求める線図