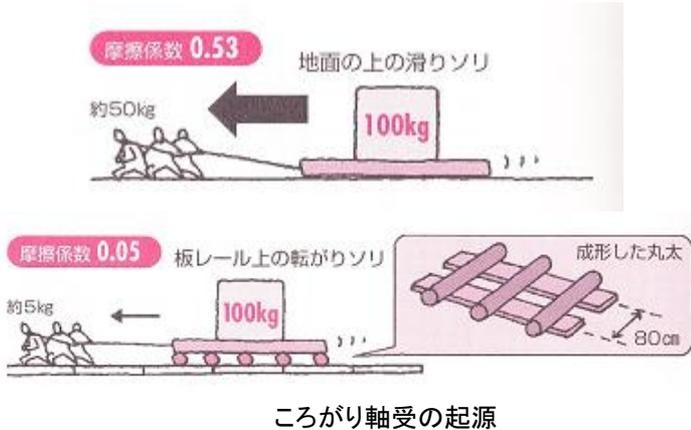


軸受と潤滑



軸受の機能・用途例

- 基本的機能:**
- ・回転体が最小の摩擦で作動 → エネルギー損失をミニマムにする
 - ・回転体が安定した状態で作動 → ロータの振動防止
 - ・回転体とケーシングとの相対位置変動を抑える → 位置決め、接触防止

目的:

1. 機械の性能の維持・向上、
2. 機械の安全な移動、
3. 機械の計画寿命の確保

機能確保のため一般的には潤滑システムを付加する

表38-1 軸受の適用

設備・機械	使用箇所
航空・宇宙・鉄道	ジェット機/ジェットエンジン、ヘリコプタ/トランスミッション、ロケット/ターボポンプ、鉄道/車軸・駆動モータ、動く歩道/歩道の送り、空港設備/荷物検査用CTスキャナ・ボーディングブリッジ・トレーナ
工場	鉄鋼/転炉・連続鋳造設備・圧延機、工作機械/主軸、主軸台、印刷機械/印刷シリンダ、製紙機械/抄紙機、半導体製造装置/真空ポンプ・ウェハ洗浄機、産業機械/油圧モータ・産業ロボット・ポンプ・コンプレッサ・搬送機器・クレーン
エネルギー・発電所	風力発電/ロータ・増速機・旋回輪、火力発電/タービン・発電機・通風機・微粉炭装置・LNGポンプ
オフィス・病院・家庭	コンピュータ/HDD、機器類/免震装置、電子機器/冷却ファンモータ、医療機器/CTスキャナ・MRI・レントゲン・歯科用エアタービン、家電製品/掃除機、洗濯機、電動工具/ドリル・グラインダ、時計/回転軸・歯車装置
自動車・二輪車	自動車/エンジン・ギア・トランスミッション・ステアリング・車軸・電装品・ウォータポンプ、二輪車/エンジン・ホイール
遊園地・レジャー	施設/開閉ドーム、遊具/観覧車・メリーゴーラウンド・ジェットコースター、船舶/主機・補機・減速機・スタンチューブ・船外機
建設・土木・鉱山・農業	建機/油圧ショベル・ダンプトラック・ブルドーザ・トンネル掘削機、鉱山機械/篩分け機械・コンベア、農業/トラクタ

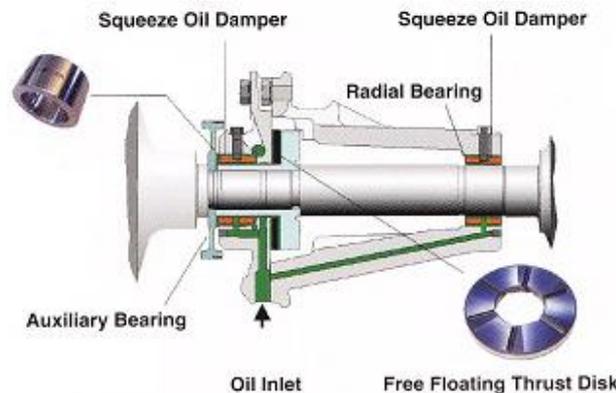
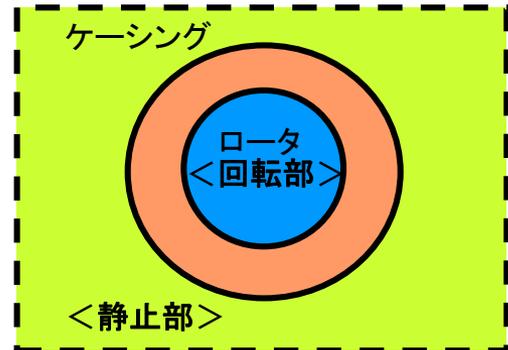


図38-1 軸受の位置 (TSU)

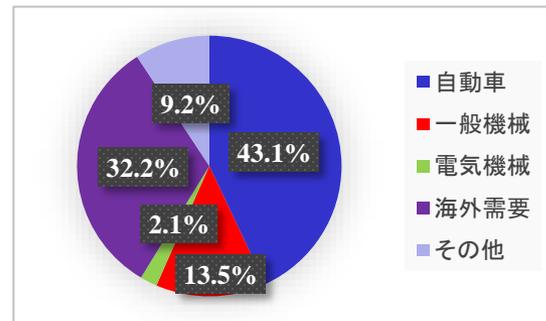


図38-2 需要部門別受注実績構成比(2009年)
(日本ベアリング工業会)

機械の中の軸受

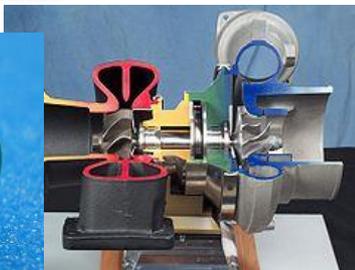


図38-3 車両用ターボチャージャー

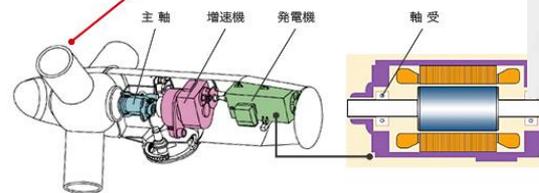
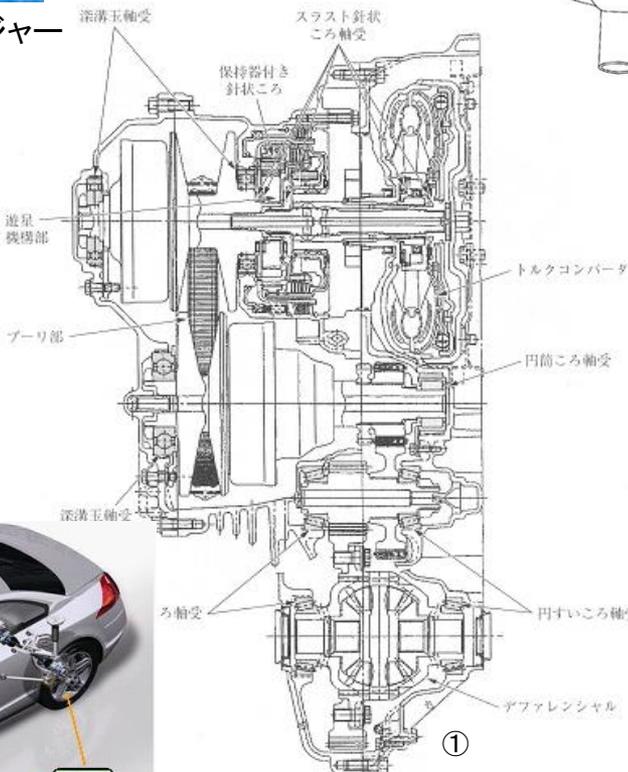


図38-4 風力発電装置 (JTEKT)



無段変速式トランスミッション (CVT)
森隆宏, 柴山尚士, 雨宮康: [オートマチックトランスミッション
構造・作動・制御] (初版第2刷), 山海堂 (2006年6月)



図38-7 プラマンブロック(左)と軸受ユニット(右) (NSK、NTN)
(プラマンブロックは鋳鉄製軸受箱と高性能軸受を組み合わせたユニット)



図38-6 トンネル掘削機の大形軸受 ⑦



図38-8 パソコンのHDDなどに使用されているミニチュア玉軸受 ⑦



図38-5 自動車のおもな軸受使用箇所 ⑦

軸受の形式

構造上ころがり軸受とすべり軸受に分類される

ころがり軸受—2重リングの間に転動体を入れ、転がしながら回転軸を支える—高速・軽荷重向き

すべり軸受—穴径に軟らかい金属を内張りし、潤滑油膜で回転軸を支える—大負荷、長寿命

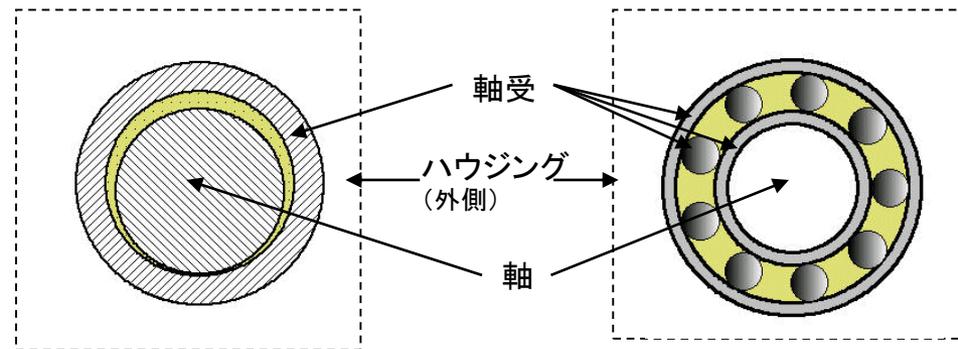


表38-2 ころがり軸受とすべり軸受の比較

図38-9 すべり軸受(左)ところがり軸受(右)の基本構造 ⑦

	ころがり軸受	すべり軸受
構造	回転輪と静止輪の間に転動体を入れて荷重と回転差を受け持つ	静止するリングの内面に油膜などを形成し軸の回転による摩擦と荷重を吸収する
利点	起動摩擦が小 国際的に標準化、互換性がある ラジアル荷重と軸荷重を同時に受ける 高温、低温の使用が可能	寿命は半永久的 負荷能力は速度とともに増加 静粛性 耐衝撃性
欠点	荷重と回転数で寿命が決まる	非常給油装置が必要
用途	軽量・コンパクトな機械 高速回転機械 (代表例—航空用ジェットエンジン)	大型で重量のあるロータ 長期間連続運転の機械 (代表例—クランクシャフト主軸受)

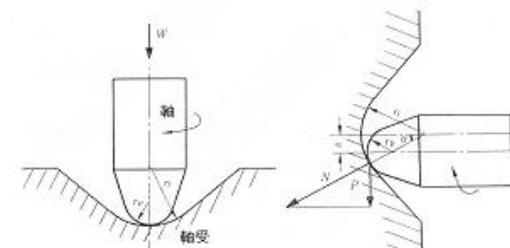


図38-10 ピボット軸受 ④

特殊な軸受 **フルフロート軸受**—軸とケーシングの間にブッシュ状の軸受を挿入し、軸より遅い回転で回る。内外面が軸受面となり、相対速度を下げる事ができる。過給機など高速回転軸に使用。外周面で固定したセミフロート軸受もある

無潤滑軸受—空気膜や磁力で軸を浮かせて、軸受と非接触で作動させる。潤滑油システムが不要となる。空気軸受、磁気軸受などがある

ピボット軸受—円錐形で先端にわずかに丸みをつけた軸端（ピボット）を、同様の形の凹面で受ける軸受。小型で低荷重の場合に適し、時計、計器などに広く使われる

ころがり軸受

ころがり軸受 - 一般に軌道輪(内輪、外輪)、転動体、保持器(リテーナ)よりなる

ころがり軸受の分類

荷重の方向:ラジアル軸受、スラスト軸受
 転動体の種類:玉軸受、ころ軸受
 転動体の列の数:単列、複列

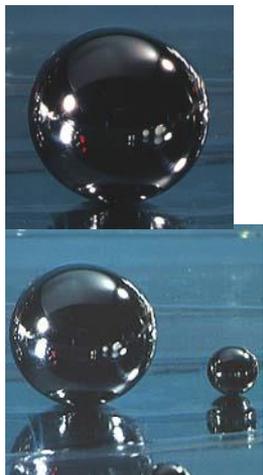


図38-14 軸受用剛球 (天辻剛球製作所)

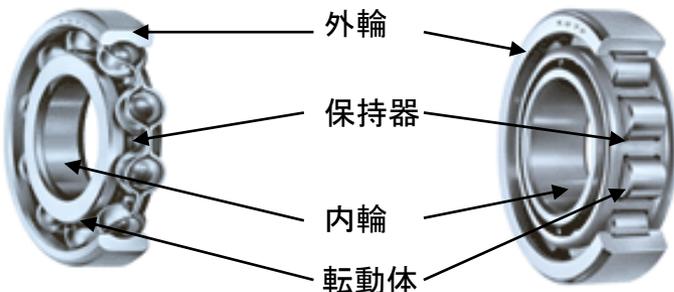


図38-12 深溝玉軸受と円筒ころ軸受 (JTEKT)

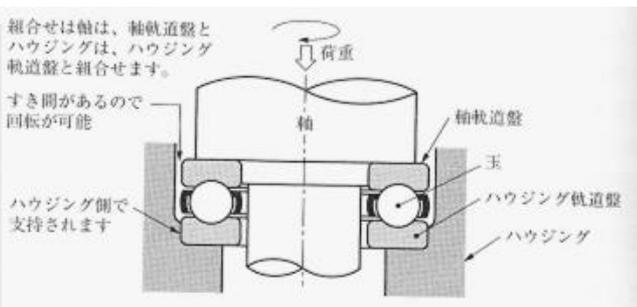
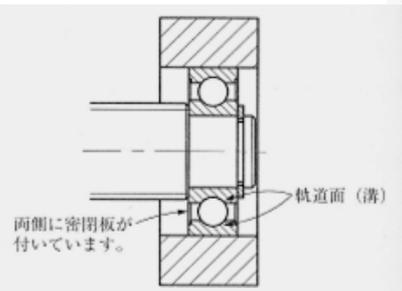


図38-15 軸受組み付け図の例 ⑥

ころがり軸受

ラジアル軸受

玉軸受

- 単列深みぞ形
- マグネット形
- 複列深みぞ形
- 自動調心形
- 単列アンギュラ形
- 複列アンギュラ形

ころ軸受

- 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

スラスト軸受

玉軸受

- 単式平面座形
- 単式調心座形
- 複式平面座形
- 複式調心座形

ころ軸受

- スラスト円筒ころ軸受
- スラスト円すいころ軸受
- スラスト自動調心ころ軸受

図38-11 ころがり軸受の分類

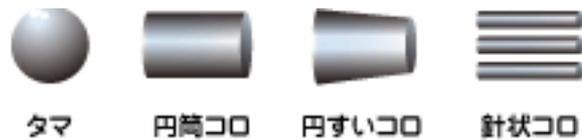


図38-13 各種転動体 (NTN)

自動車に使われる高速玉軸受の玉はパチンコ玉とほぼ同じ大きさ。
 ただし、表面の粗さには大きな差異がある。玉を地球の大きさに拡大すると:
 ○軸受玉 - 国会議事堂クラスの凹凸(65m)
 ○パチンコ玉 - 富士山クラスの凹凸(3776m)..... 約60倍の粗さ

すべり軸受

すべり軸受 — ジャーナル軸受とスラスト軸受がある。一般的には軸を面で支持し、その面と軸とが相対的にすべり運動をする。すべり面の間に流体があれば、摩擦は微小となる。無限の寿命が期待され、速度の上昇とともに負荷能力は増加する

潤滑方式:

1. 強制的に一定の油膜圧力を発生させる静圧軸受

2. 軸などの相手面の運動により油膜圧力を発生させる動圧軸受

油みぞ: 潤滑油を必要な個所に早くいきわたらせ、十分な潤滑を行うためのもの。油の一時貯蔵の役割も果たす

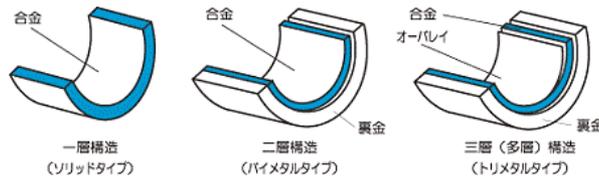
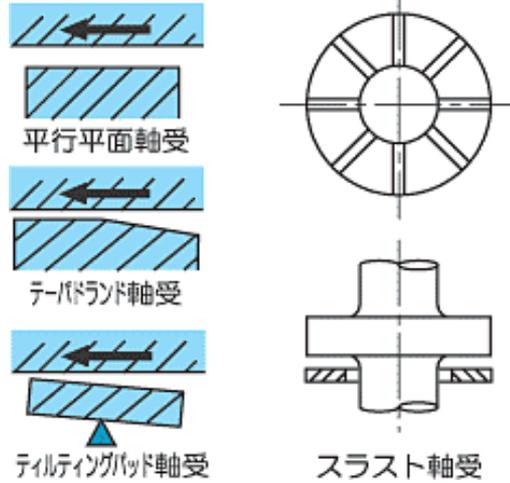
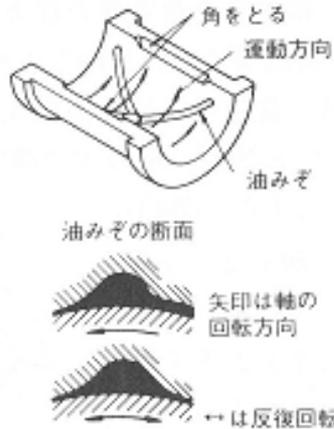


図38-18 すべり軸受の構造 (大同メタル工業)

表38-3 使用上の限界

使用上の限界要素	支配要素
すべり速度限界	潤滑油温度—劣化
最小油膜厚さ限界	磨耗量
PV値(面圧×周速)限界	潤滑油温度

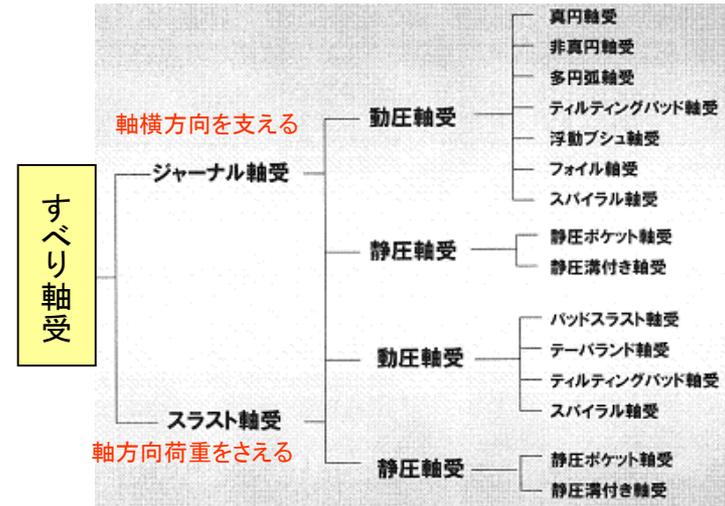


図38-16 すべり軸受の分類

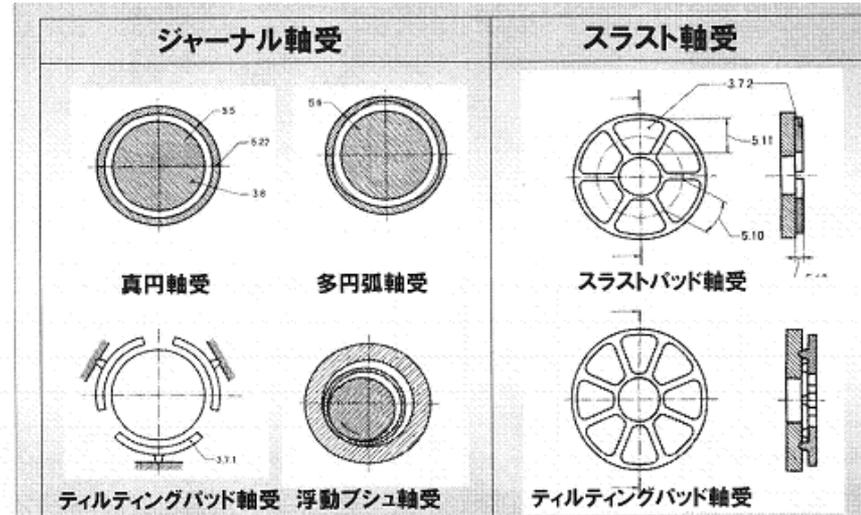


図38-17 代表的なすべり軸受の形状 (農工大・大同メタル)



(東洋テクノエンジニアリング)

図38-19 油みぞ

空気軸受・磁気軸受

空気軸受: 作動流体に空気を用いたすべり軸受。軸(ジャーナル)と受け部(スリーブ)との間の空気圧によって荷重を支持

長所: 油軸受と比べ摩擦損失が少なく、運転可能温度範囲が広い。
給排油装置が不要なために保守が容易で、小型化が可能

欠点: 低負荷容量・低剛性・低減衰性

圧力の発生方法によって動圧型と静圧型とに大きく分けられる

動圧型: 軸受部で軸の回転に引きずられた空気の流れが、くさび状に先狭まりとなっている部分にぶつかることで圧力が発生し(くさび効果)、荷重を支える。動圧型は、コンプレッサーが不要で小型化に有利。軸を支えるのに十分な空気圧を発生するために、ある程度高い回転数で運転される機械で採用

静圧型: コンプレッサーを用いて圧縮空気を直接軸受内に送り込むことで圧力を発生させ、荷重を支える。動圧型と比べ、軸が回転していなくても軸受としての性能を有しているのが特徴

磁気軸受: 電磁力により回転軸を非接触で支持する軸受。例えば、ターボ分子ポンプ、遠心圧縮機、電力貯蔵用フライホイールなど特殊環境下における回転機で使用

長所: 摩擦・摩耗がきわめて小さいことと潤滑剤が不要で、超高速回転が可能、振動・騒音が小さいこと、高温・高圧・真空中などの特殊環境での使用が可能

欠点: 電磁力の制御が必要なため高価

磁気の起こし方—3通りの方式

能動型: 常電導電磁石の吸引力を利用、もっとも広く使われている。回転体を安定に支持するために、変位センサと制御システムが必要

超電導型: 超電導による磁気浮上を利用。電力貯蔵用フライホイールなどの軸受として研究中

反発型(受動型): 磁気による反発力のみを用いて、軸を安定極にとどまらせようという手法による軸受

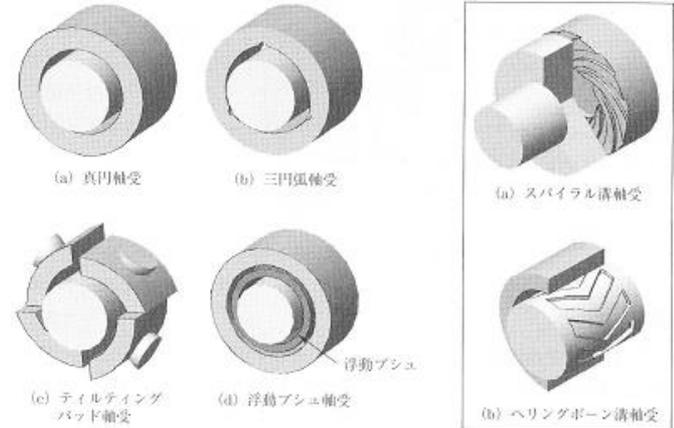


図4.13 動圧軸受の種類

図4.14 動圧溝付き軸受の例

図38-20 空気軸受 ①

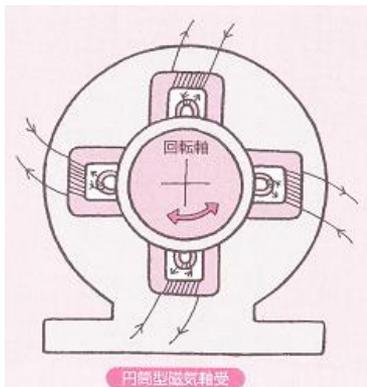
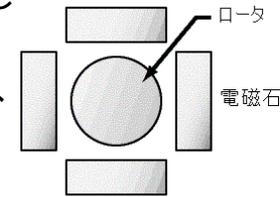


図38-21 磁気軸受の原理 ⑤

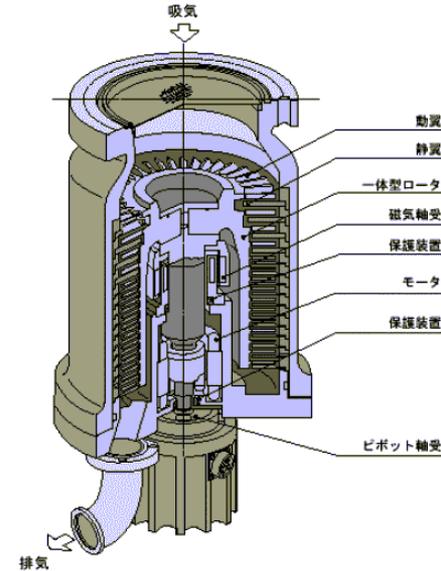


図38-22 ターボ分子ポンプ (特許庁資料)

潤滑システム

潤滑の目的: 軸とケーシングの相対運動の摩擦および磨耗を減らし、焼きつきを防止する

- | | |
|---------------|---------------------------|
| 1.摩擦および磨耗の減少 | —摩擦を減らし、動力損失を防ぐ |
| 2.疲れ寿命の延長 (K) | —磨耗を防ぎ、機械の寿命を延ばす |
| 3.摩擦熱の搬出、冷却 | —潤滑油によって発生熱を外部に持ち去る |
| 4.油膜の形成 (S) | —潤滑油の油膜により軸と軸受の直接の接触を防止する |
| 5.さび止め作用 | —金属の摩擦面にさびが発生するのを防止する |
| 6.防塵作用 | —軸受の外部からごみの侵入を防ぐ |

(K)はころがり軸受、
(S)はすべり軸受の場合

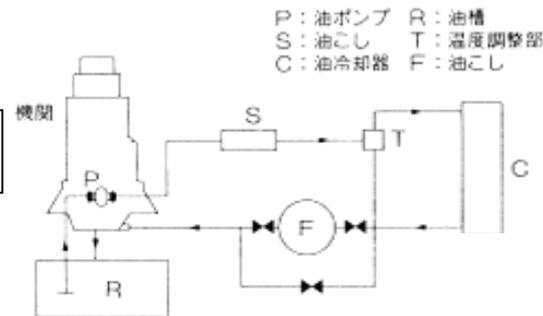


図38-23 潤滑システムの例 ④

- 潤滑の方法:**
- 1.グリース潤滑—ハウジング内へのグリースの充填、グリースの補給、汚れの点検
 - 2.油潤滑—油浴法、滴下給油法、飛沫給油法、循環給油法、ジェット給油法、噴霧給油法、オイルエア給油法

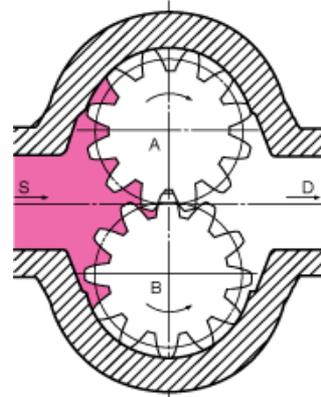


図38-24 潤滑油ギアポンプ (大東工業)



図38-25 油フィルタ (プラントサービス)



図38-26 油冷却器 (大生工業)

潤滑システムのおもな構成機器:

油ポンプ—潤滑油を加圧して配管・油穴を通して軸受に供給する。渦巻ポンプ、ギアポンプなどが使用される

調圧弁—軸受供給口で潤滑油の圧力を所定の値に設定する。リリーフ弁などが使用される

油タンク—軸受からの戻り潤滑油を溜めて再度油ポンプで軸受に供給する。タンクの大きさは対象機械の大きさなどで制約される。ポンプで送り出す量の何分間分の量(リテンションタイム)を確保するかが指標となる(たとえば10分)

アキュムレーター—潤滑油の圧力エネルギーを蓄積する容器。タンク内上部に空気を閉じ込め加圧したり、高所に設置して、ポンプの故障、停電などの緊急時に回転機を停止するまで補助的に給油してベアリングの焼付きを防止する。ヘッドタンクとも呼ばれる

フィルタ—潤滑油を循環使用するため、油ポンプの後流に設けて金属片、ごみなどを除去する。捕集された異物の分析は機械の異常を発見する手がかりになる

油冷却器—軸受からの戻り油は一般には機械からの熱を受け取って温度が高くなる。再循環する前に冷却して温度の上昇を防ぐ。冷媒は水が一般的であるが、ジェットエンジンではエンジンの燃料で冷やす

表38-4 グリース潤滑と油潤滑の比較

項 目	グリース潤滑	油 潤 滑
許 容 回 転 数	低速、中速	あらゆる速度
潤 滑 性 能	良い	非常に良い
冷 却 効 果	悪い	良い
潤滑剤の寿命	比較的短い	比較的長い
潤滑剤の交換	繁雑	容易
密 封 装 置	容易	繁雑
潤滑剤の漏れ	少い	やや多い
油膜の緩衝性	やや悪い	良い
ごみのろ過	困難	容易

潤滑油

タービン油(JIS K 2213)－水タービン(水車)、蒸気タービン、減速装置に用いられる潤滑油。適正な粘度をもち、酸化しにくく長時間の連続使用に耐え、さび止め作用があり、水と分離しやすく乳化しにくいこと、泡(あわ)立ちしにくいことなどの性質が要求される (KOTOBANK)

軸受油(JIS K 2239)－主として循環式、油浴式、はねかけ式給油方式の各種機械軸受部の潤滑油として用いられるもの。

特長: 1.酸化劣化、熱劣化を受けない、2.さび止め性、3.高粘度指数、4.低流動点、5.あわ止性を有する、6.非鉄に対して腐食性がないこと

合成油－合成炭化水素(SHC)を基油とした代表的な合成油。潤滑油寿命を延長し、ころがり摩擦力を下げ消費動力を節約できる。航空タービン用合成油としてはMIL-PRF-23699の規格に準拠した熱安定性に優れた100%化学合成油をベースとしたものが使われる

グリース(JIS K 2220)－潤滑剤の一種で、油よりも粘度が高く流動性が無いため常温では半固体または半流動性。基本的には液状潤滑油にカルシウム・ナトリウム・リチウム・アルミニウムの石鹼(脂肪酸の塩)等の増ちょう剤(増稠度)を加え、ゼリー状にしたもの。比較的 low speed・大荷重に適し、断続運転装置の軸受、高荷重ギアに使用 (燃料潤滑油用語辞典/成山堂書店)

添加剤:タービン油用として、酸化防止剤、消泡剤、防錆剤、油性向上剤などがある

酸化防止剤－油が酸化される前にそれ自身が酸素を吸収して酸化をうけ、油の酸化を未然に防ぐ。軸受などの金属表面はオイルの酸化を促進させるが、この金属面を不活性にして酸化を促進させないようにする

消泡剤－オイルが連続的に循環又は攪拌されて使用された場合、消えにくい泡ができる。泡はオイルの劣化を促進させ、油圧の作動を不完全にするなど、事故の原因になるため泡を消す必要がある

防錆剤－鉄は水分や酸素と接触して発錆するが、防錆剤は鉄表面に化学吸着を起こして保護膜を形成し、錆の発生を防ぐ

油性向上剤－潤滑部の金属表面に吸着して境界潤滑の際、摩擦低減を図る

シール

相対運動のある軸とケーシングの間で流体の漏れを防止する部品として、各種のシールがある

オイルシール: 合成ゴム、金属環、ばねの3つの部分で構成。おもに回転軸端部から潤滑油、水、薬液、ガスなどが漏れるのを防ぐと同時に、外部からほこりや土砂が侵入するのを防ぐ

使用先: 自動車のエンジン、トランスミッションに使用。車軸やサスペンション、ショックアブソーバーなど乗用車1台あたり60個以上使用。他にも建設機械、工作機械、ロボット、宇宙・航空機、船舶、鉄道車両、農業機械、石油化学プラント、原子力発電プラント、家庭電気製品など（武蔵オイルシール工業）

表38-5 シール取付部の条件

軸	材料	炭素鋼、低合金鋼。アルミ合金は不適
	硬さ	HRC30~40が必要
	表面状態	グラインダ仕上げ
ハウジング	材料	鋼、鋳鉄、軽合金。熱膨張に注意
	剛性	挿入時に変形を生じないこと
	穴径公差	H8

メカニカルシール: 機械装置から外部へ貫通した回転軸からの漏洩を防止するシール部品。高圧、高速で超高温から極低温までの広い範囲で使用される

グランドパッキン: ポンプや攪拌機等の外部への貫通軸をシールする。スタフイングボックスに詰めてグランド抑えで締めこむことによってシールする。パッキンの材料は繊維を編み組みしてひも状にしたものを使用。回転、往復、螺旋運動の各軸のシールが可能

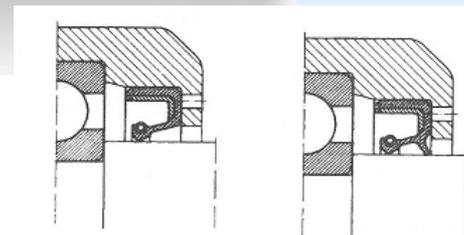


図38-27 リップ無・有ラジアル軸シール（武蔵オイルシール工業）

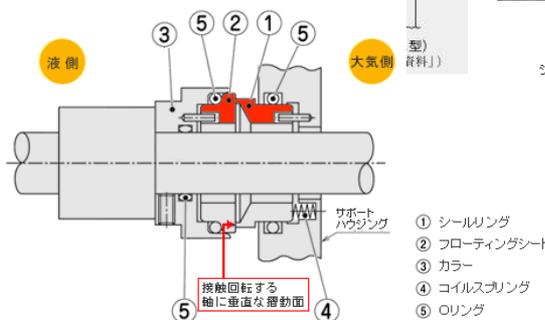
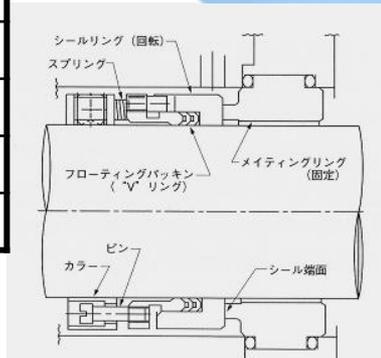


図38-28 メカニカルシール（兵神装備株式会社）

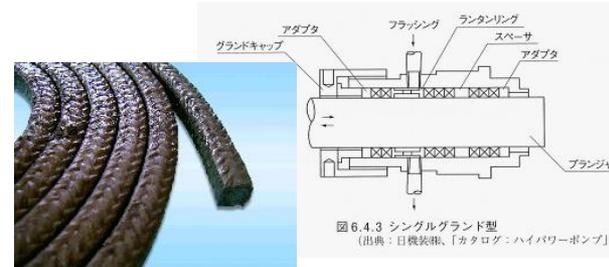


図38-29 グランドパッキン（兵神装備株式会社）

軸受の損傷

軸受は、組み付ける機械の使用条件、構造、潤滑条件、ごみの侵入・温度などの環境条件への配慮不足あるいは適正さを欠いた場合には設計寿命に達する前に種々の損傷を発生する。なお、ころがり軸受がその設計寿命を超えて使用されたときはフレーキング(剥離)などを生ずる

表38-6 軸受の損傷と対策 (日本精工ベアリングドクター ほか)

損傷*	代表的な現象	おもな原因	対策
フレーキング*	ころがり接触面の疲れによる剥離	過大荷重、取付不良、潤滑不良	荷重、回転速度、取付方法、締め付けすぎ、密封装置、潤滑システム、機械の輸送などによる損傷原因の除去・改善
かじり	すべり面の微小焼付きと傷	過大荷重、異物かみこみ、潤滑不良	
スミアリング*	軌道面の油膜きれによる微小焼付きと傷	高速軽荷重、急加減速、潤滑剤不適	
割れ	軌道輪、転動体のクラック、割れ	過大しめしろ、過大荷重、衝撃荷重	
圧こん	軌道面、転動面に生ずるへこみ	異物かみこみ、取付・輸送時の衝撃	
磨耗	接触面の摩擦による減耗	異物の侵入、さびの進展、潤滑不良	
焼付き	急激な発熱による変色・軟化・溶着	潤滑不良、過大荷重、過大回転	
電食	軌道輪と転動体間のスパーク・溶融	内輪と外輪間の電位差	
腐食	軌道輪、転動体に生ずるさび、腐食	水・腐食性物質の浸入、潤滑剤不適	
片当り	軸受面の局所的な強い当り跡	工作・組立精度不良	

注* 青字はころがり軸受、緑字はすべり軸受、赤字は両種の軸受に一般的に発生する事象

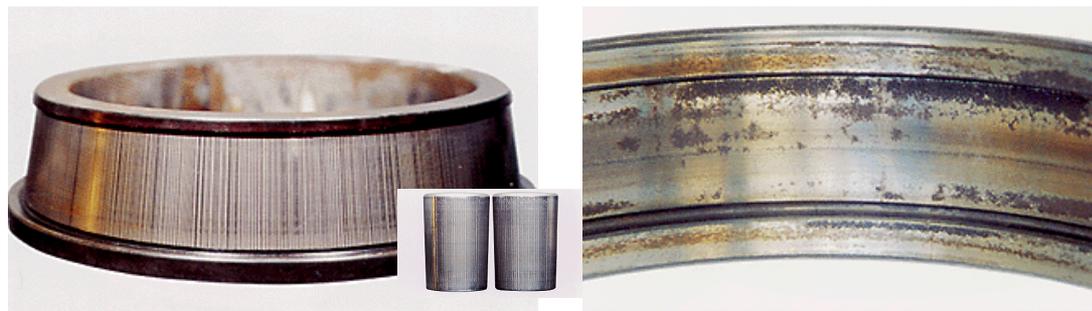


図38-31 電食(左)と腐食(右) (NSK)



図38-30 損傷各種 (上から フレーキング、かじり、割れ、磨耗、焼付き) (NSK)

課題

産業のグローバル化	軸受産業のグローバル化が更に進展していくことが予想される。軸受業界は、1970年代以降北米や欧州で需要地生産をはじめた。1990年代の後半からは需要地生産だけではなく、最適地生産のニーズが出てきて、東南アジア、さらには中国での生産も始まった。今後は米州、欧州、アジアといった各極における市場構造が、さらに変わってきている中で、グローバルな企業経営を確立することが必要 ⑦
技術開発	軸受業界では地球環境の保護・保全を積極的に行いながら、より小形・軽量化、高速・高精度化、長寿命化を可能とした商品を生産できるよう取り組んでいる。周辺部品との一体化(ユニット化)や軸受産業で培われた製品技術を活用して応用商品・新商品の開発によりユーザとともに、高性能で、使いやすくなるように、一層の研究を進めている ⑦
地球環境対応	軸受は、回転部分の摩擦を大きく低減させ、力やエネルギーロスをほとんど生ずることなく伝えることができ、さまざまな製品の省エネルギーに大きく貢献している。また、軸受自体の製造についても、原料となる鋼材は、大部分がスクラップからのリサイクル材であり、さらに製造工程から出る廃棄物のリサイクル率の向上(2010年における目標は90%)に努力している ⑦

キーワード

軸受鋼	ころがり軸受の転動体、内外輪に使用される合金鋼。高速で変動する繰り返し荷重に耐える必要性から高い疲れ強さと耐摩耗性が要求される。高炭素低クロム鋼が代表的。呼称名ではSUJ1～5がある
軸受合金	すべり軸受に用いる合金。耐摩耗性が大きく荷重と衝撃に耐える強度と粘性を持ち、摩擦係数が小で摩擦熱を放散する高い熱伝導性が要件。鋼などの合金に内張りして用いる。Cu系(砲金、ケルメット)、錫系(バビットメタル)がある。錫、鉛系ではホワイトメタルと総称(コトバンク)
油膜	すべり軸受などにおいて、金属と金属の間に油膜を形成することにより直接接触を防ぎ、摩擦力を低下させる。油膜の強さは油の表面張力、浸透力、金属との親和力、粘度などに影響される
PV値	すべり軸受材質の性能の指標の一つ。P[軸受け面圧]にV[軸の周速(回転数×軸径)]をかけた値の範囲が使用できる領域であるという、選定のガイドライン。軸受部の摩擦による発熱が熱伝導による放熱を上回ると軸受材料が熔融し焼き付きに至る