

2. 潤滑油の基礎知識

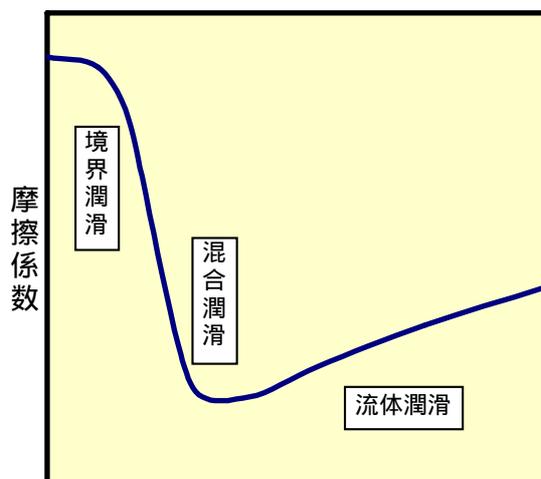
摩擦と潤滑油

もしこの世の中に摩擦力というものが存在しなければ、どうなるでしょう。例えば、ロープでしっかり結んだつもりでも、簡単にほどけてしまいます。また地面と足の裏にも摩擦力がないわけですから、私たちは歩くことすらできないこととなります。このように摩擦は人間の生活に必要な不可欠なものですが、一方、各種の機械や部品の立場からみれば、「摩擦抵抗」によるエネルギーのロスや、部品の摩耗による「表面損傷」などの点において、できるだけ小さくしたいものです。よって、面と面との間の直接接触を潤滑油によって防ぎ、摩擦の抵抗や摩耗などの軽減を図ることが重要となります。

すべり運動する面と面との間に潤滑油が介在したときの状態は「流体潤滑」と「境界潤滑」の2つに大きく分類することができます。

流体潤滑は、2つの面が油膜で隔てられた状態です。また境界潤滑は油膜が薄くなり、油膜がない部分においては局部的に2つの面が直接接触している状態です。この他に、これらが入り混じっている状態を「混合潤滑」と呼びます。

このような潤滑状態をわかりやすく説明するものとしては、下図のような「ストライベック



軸受定数
(粘度×速度/荷重 (ZN/P))

ストライベック線図

線図」があります。ストライベック線図は、縦軸を摩擦係数、横軸に[粘度×速度/荷重]をとったもので、潤滑状態が「流体潤滑」と「境界潤滑」の間で転移するのに伴って摩擦係数の特性が変化する様子を示しています。これによって、粘度、速度、荷重と潤滑状態との関係を考察することができます。

まず、すべり軸受に見られるような流体潤滑の領域では、粘度の上昇に伴って摩擦係数も上がり、動力損失や発熱などが生じてしまいます。よって粘度については、他への悪影響が出ない程度に、できるだけ下げて設定した方がエネルギーの損失が少ないということがわかります。

逆に、粘度を大幅に下げすぎると、混合潤滑から境界潤滑の領域に入り、やはり摩擦力が上がってしまうことがわかります。

また2つの面の間で直接接触を防いでいる潤滑油も、高荷重や高温などの厳しい摩擦条件においては油膜が断たれてしまいます。すると、固体同士の摩擦が生じてしまい、最後には「焼き付き」という現象が起こって、自動車や生産機械にとっての致命傷となってしまいます。

潤滑油には、摩擦の低減以外にも、機械の摩耗を防いだり、機械の冷却や圧力伝達、防錆、電気の絶縁といった大きな役割を担うこともあります。

次に潤滑油そのものについて詳しく説明することとします。

潤滑油ができるまで

潤滑油は機械装置の”血液”として、さまざまな機械の円滑な運転を助けています。

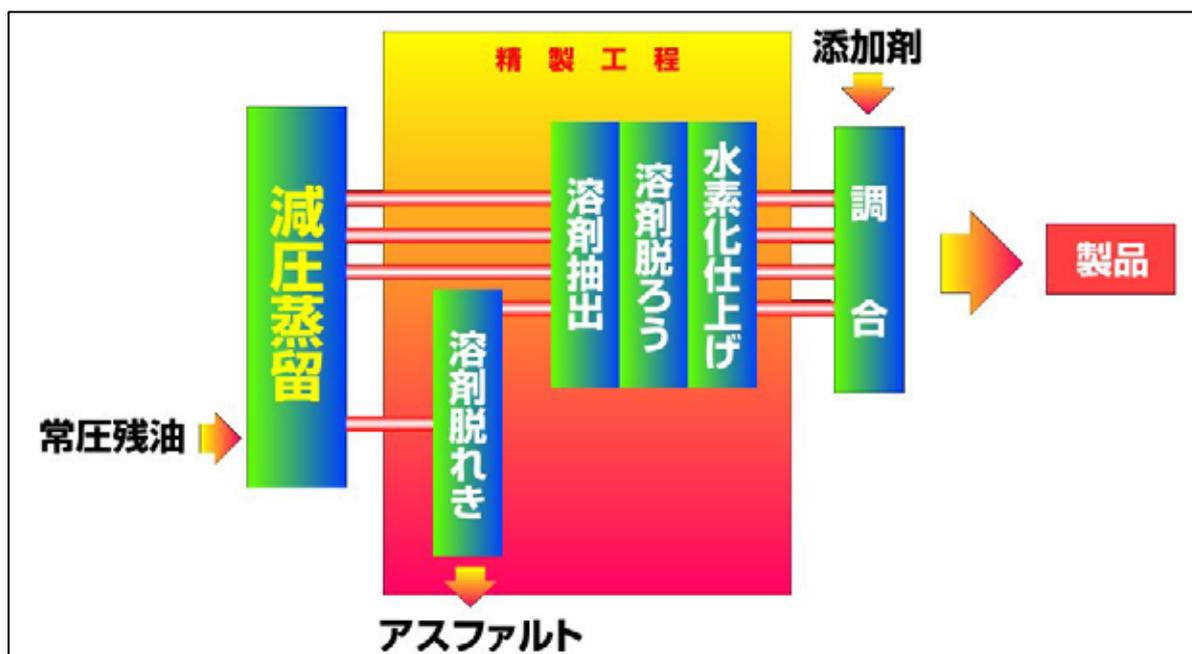
潤滑油の年間生産量は約 260 万 kL で、燃料の生産量と比較すると約 1%を占めるにすぎませんが、機械にはなくてはならない存在として、エンジン油、機械油、絶縁油等、その種類は多岐にわたります（潤滑油の統計情報につきましては、巻末の「潤滑油統計情報」を参照下さい。）

潤滑油の使用目的としては、(1)焼付き防止、(2)摩耗防止、(3)摩擦損失の低減の他に(4)冷却作用、(5)応力の分散、(6)洗浄作用、(7)さび止め・防食作用、(8)密封作用などがあげられます。

一般に潤滑油は、基油と各種の添加剤を組み合わせ、その使用目的に応じて調合されています。潤滑油の基油として最も一般的に用いられているのは、原油からガソリンや灯油を作るときに同時に得られる、精製した鉱油系基油です。一部特殊用途向けとして、化学的に合成された合成油も用いられています。潤滑油の精製工程の代表的な例を下図に示しました。

減圧蒸留により、粘度の低い軽質留分から粘度の高い重質留分まで、いくつかの留分が取り出されます。各留分は、そのままでは潤滑油として不安定な多環芳香族、樹脂分、含硫黄分及びロウ分等の不純物を含有しているため、まずフルフラールなどの溶剤に溶かされ、潤滑油として有効な留分を分離させた後、これらの不純物を取り除きます（溶剤抽出）。次に脱ロウ装置で潤滑油留分に溶け込んでいるワックス分を取り除いた後（溶剤脱ろう）、高温高压の条件下で Co-Mo、Ni-Mo などの触媒と水素、潤滑油留分を接触させ、選択的に硫黄、窒素などを硫化水素、アンモニアなどの化合物として取り除き、また芳香族やオレフィン、飽和炭化水素へ変換し（水素化仕上げ）基油を得ます。

潤滑油には、その使用目的によって各種の添加剤が配合されています。主な添加剤の種類と使用目的及び機能について、以下にまとめてみました。



潤滑油製造の流れ（一例）

1.酸化防止剤 (Oxidation Inhibitors)

潤滑油は、使用中にしばしば高温にさらされ、空気中の酸素と反応して酸性物質、ワニス、スラッジ等が生成し、酸価の増加、粘度の増加と言った劣化が進行します。この酸化劣化を防止する目的で使用するのが酸化防止剤です。

使用温度が比較的低温度では、酸化の連鎖反応を停止するヒンダードフェノール系、芳香族アミン系のものが使用されます。エンジン油のように比較的高温で使用されるものには、過酸化物分解型のジチオリン酸亜鉛と熱に強い連鎖反応停止型のヒンダードフェノールや芳香族アミン系酸化防止剤を併用して使用します。

2.清浄分散剤 (Detergent Dispersants)

エンジン油では、使用中に燃料の不具合燃焼、金属摩耗粉及び高温による酸化劣化により、油中に固形の物質が生成します。これらがラッカーやカーボン沈積物となってエンジン内部に付着し、リング膠着や焼付きなどの原因になります。

そのため酸化生成物の成長や沈積を防ぎ、エンジン内を常にきれいに保つ必要があります。

また燃料の燃焼によって生成する腐食性の硫黄酸化物を中和して無害にすることも必要です。

これらのために使用する添加剤が清浄分散剤です。スルホネート化合物などが用いられます。

3.耐荷重添加剤 (Load carrying Additives)

・油性向上剤

摩擦面の金属に吸着して強い膜を作り、摩擦や摩耗を減少させる働きを持つ物質を油性向上剤といいます。オレイン酸等の脂肪酸、動植物油脂類、合成エステル類が一般的に使用され、主に金属加工油、ギヤ油、摺動面油に用いられます。

・摩耗防止剤

摩擦熱によって金属表面に反応膜を生成し、摩擦、摩耗を減少させます。主なものにジアル

キルジチオリン酸亜鉛、トリクレジルフォスフェートがあり、耐摩耗性作動油、エンジン油等に用いられます。

・極圧添加剤

力の伝達が行われるギヤ等負荷が大きい摩擦面では温度が上昇し、油膜も切れ易くなります。

このような極圧の条件下で作用する添加剤を極圧添加剤と言い、硫黄化合物、リン化合物等があり、主として自動車及び圧縮機等のギヤ油、金属加工油剤に用いられています。

4.粘度指数向上剤 (Viscosity Index Improvers; VII)

潤滑油は、温度が低い時も、高い時も常に同じ状態であることがベストですが、残念ながら、一般的には冬の明け方のような温度の低いときには粘度が高くなり、操作性等機械の動き、特に始動性に良くない影響を与えます。

一方、運転中は温度が上がり、粘度が下がってしゃばしゃばになり、油膜切れなどによる摩耗、焼き付きを起こし易くなる傾向があります。

温度の変化によって粘度が変わることは、現象として避けられないことですが、その差(粘度温度特性と言います)は、小さければ小さい程、望ましいといえます。

ある種のポリマーを添加すると粘度温度特性を改善させることができます。

この添加剤が粘度指数向上剤です。

主としてエンジン油、自動変速機油(ATF)、ギヤ油、油圧作動油に使われます。

5.流動点降下剤 (Pour Point Depressants)

流動点降下剤とは、潤滑油の低温における流動性を向上させ、流動点(凝固する一歩手前の温度のこと)を下げるための添加剤です。原油から精製される潤滑油のうち、特にパラフィン系と呼ばれるものはパラフィンワックスをたくさん含み、低温(-15 ~ -20 位)になるとそれらが析出してくるため流動性を失います。

流動点降下剤は、ワックスの成長過程において、その網目構造の成長を妨害して、固まることを遅らせる働きをします。

代表的な流動点降下剤には主に4つのタイプがありますが、一般的に使われているのは、粘度指数向上剤としても用いられているポリアルキルメタクリレート（PMA）です。流動点降下剤としてのPMAには、粘度指数向上剤に比べ、粘度の増加作用の少ない、炭素数の小さいものが使われます。

6.さび止め剤（Rust Preventatives）

鉄や鋼の表面に吸着膜を作り、水や空気中の酸素が金属面に接触するのを妨げ、さびの発生を防止するのが基本的なメカニズムです。

エンジン油にはカルシウムスルホネートなどが、タービン油、油圧作動油などにはカルボン酸有機アミン中和物系が使用されます。

7.腐食防止剤（Corrosion Inhibitors）

油の酸化劣化生成物や極圧添加剤に代表される金属反応性の高い物質による腐食から、主として非鉄金属の表面を守るために使う添加剤です。金属不活性化剤とも言われています。

生産設備には銅、銅合金、アルミなど変色、腐食を起こし易い材質が使われていますので、活躍の場は広い範囲に及びます。ベンゾトリアゾール及びその誘導体が代表格です。

8.あわ消し剤（Anti-Foam Additives）

機械部品の動き、ギヤの回転などによる攪拌作用、或いは使われている添加剤の影響によって、潤滑油では使っている間に泡が発生します。

泡立ちが多いと油膜切れによる焼き付きや給油系のエアロック、作動不良、またオーバーフローによる漏洩などの原因となります。

あわ消し剤としてはさまざまな種類のものがありますが、潤滑性への影響、安定性、濁りなどの理由から、シリコンが一般的です。

9.乳化剤（Emulsifier）

乳化剤は、切削、研削に使われる水溶性切削油剤、高温条件或いは火災予防が求められる圧延油などに用いられ、油と水を乳化させるために使われます。乳化剤のほとんどは界面活性剤です。

乳化に使われる界面活性剤にはオレイン酸、ラウリン酸などの脂肪酸の他、石油スルホン酸ソーダなどのアニオン系活性剤、脂肪酸エステルなどの非イオン系活性剤がありますが、それらはさび止め剤、浸透剤などとしての働きも持っています。

10.防腐剤（Preservatives）

エマルション中の細菌、かび、酵母などが引き起こす障害を抑制または停止するために用いられます。これらの微生物は水溶性切削油剤、圧延油などの水系油剤における異臭、さび、エマルション破壊の原因となるため、防腐剤に求められる性能としては、

- 1)殺菌または静菌作用に持続性のあること
- 2)広範囲の細菌、かび、酵母などに対して有効であること
- 3)人体への刺激性、毒性のないこと
- 4)魚類及び水生生物に無毒であること
- 5)組成、効果、安全性について明確であることなどがあげられます。

主に、フェノール系化合物、ホルムアルデヒド供与体化合物などが使われます。

最近では、機械技術の進歩や環境対応などからの要求により、潤滑油メーカーではさまざまな新しい潤滑油の開発に取り組んでいます。