



日本の潤滑剤工業の発展

藤 田 稔*

1. まえがき

最近における航空機、自動車、船舶、産業機械、工作機械などの進歩はいちじるしいものがある。これにともなって、それらの分野において使用される潤滑剤の種類はますます多種多様となり、また潤滑条件も苛酷化の一途をたどり、潤滑剤の性状・性能に対する要求も一段と厳しくなりつつある。機械の潤滑を行なう場合には、その機械の潤滑条件に最も適した潤滑剤を選択しなければならないことはもちろんであるが、一方、潤滑剤の保守・管理が重要であることも言をまたない。また、いかにすぐれた潤滑剤であっても、ある期間使用すれば限界に到達し、交換しなければならないが、この場合、適正な交換時期を把握するということもまた大切である。このように、正しい潤滑を行なうためには、潤滑剤の選択、保守・管理、交換をそれぞれ正しく行なわなければならない。

潤滑という仕事は縁の下の力持ちである。

しかし、機械の性能の維持発揮やその寿命に対して潤滑剤が果たす役割の重大性をおもうとき、潤滑という問題は真剣にとりくまなければならない大切なことである。これは経費節減に密接に関係してくる。

トライボロジー (Tribology) という耳なれない言葉が最近使われ話題となっている。この言葉の発生はイギリスであり、その背景となったのは、ポンド防衛などのために、イギリスが潤滑に関する教育、研究および指導を行なうことによって、年間515Mポンド (約4,400億円) を工業界は節約できるという委員会の回答にはじまっている。これを実現化するための委員会が1966年にイギリス工業省によって発足し、こ

の名を Committee on Tribology とした。これをもみても、いかにイギリスが潤滑に関する教育、研究と潤滑の保守管理の技術を高めることによる経済性について必死にとりくんでいるかがわかる。

Tribology という言葉はギリシャ語のTribos (摩擦) から出たものであり、摩擦に関する学問という意味であり、定義は次のようになっている。

Tribology is the Science and Technology of interacting surfaces in relative motion and of the practices related thereto.

トライボロジーとは相対的に運動して互に作用し合う表面およびそれに関連した実際の面の科学と技術である。このことばは摩擦、潤滑、摩耗の諸問題を含んでおり、物理、化学、機械工学、金属工学などの各分野の研究者と技術者が相協力してこそ成果が期待でき、発展されるものなのである。

本論においては主として石油系潤滑剤に焦点をしばり、化学の立場から、潤滑剤および添加剤の種類と特徴および需給、潤滑剤のつくり方と組成、潤滑剤の発展の動向について述べる。

2. 潤滑剤の種類と特徴

潤滑剤とは2つの固体表面間の摩擦を減少させるような物理化学的性質をもつ物質の総称であり、表—1に示すように液体、半固体、または固体の状態で用いられる。

一般に広く用いられているのは液体潤滑油で、とりわけ石油系潤滑油は最も豊富で安価であるため最も広く用いられている。本論では石油系潤滑油にしばって述べることにする。潤滑油を使用する目的はいうまでもなく、機械の摩擦部分を潤滑して摩擦抵抗を減少させ、焼けつきや摩耗を防ぐと同時に動力の損失を少なくし、機械の効率を高めることにあるが、そのほ

*藤田 稔 (Minoru FUJITA), 昭和石油(株)中央技術研究所, 研究第三部, 部長, 工学博士, 石油, エネルギー, 潤滑油, 分析

かにも実用上いくつかの機能をもっている。すなわち、潤滑油はおよそ次のような働きをもつ。

- (1) 摩擦力および摩擦を減少させる「減摩作用」
- (2) 摩擦熱を運び去る「冷却作用」
- (3) 荷重を局部的に受けさせずに分散させる「応力分散効果」
- (4) 摺動面を油膜で覆い、水や腐食性ガスの侵入による金属のさびを防ぐ「さび止め作用」
- (5) 摺動部を密閉し、たとえばシリンダーとピストンリング間のガスの流出を防げる「密封作用」

表1 潤滑剤の種類

液体潤滑油	<ul style="list-style-type: none"> 石油系潤滑油 非石油系潤滑油 	<ul style="list-style-type: none"> 動植物油 合成潤滑油
半固体潤滑剤：グリース	<ul style="list-style-type: none"> 石ケン基 非石ケン基 	<ul style="list-style-type: none"> 石油系基油 合成基油 石油系基油 合成基油
固体潤滑剤	グラファイト、二硫化モリブデンなど	

これらの各種の機能を十分発揮させるために機械の使用条件にマッチした適切な潤滑油を選択することが大切である。「潤滑」という分野は、機械と化学の中間領域にあって、科学的解明の困難な問題を多くかかえているので経験に

依存して選択されてきた傾向がある。現在あるていど選定の基準が系統づけられてきたが、まだ研究すべき問題は多く残されている。現在までに制定されている主な潤滑油の日本工業規格(JIS)を表-2に示す。

3. 潤滑剤の需給

過去10年間のアメリカ、日本、イギリスの潤滑油消費量をみると図1のとおりである。

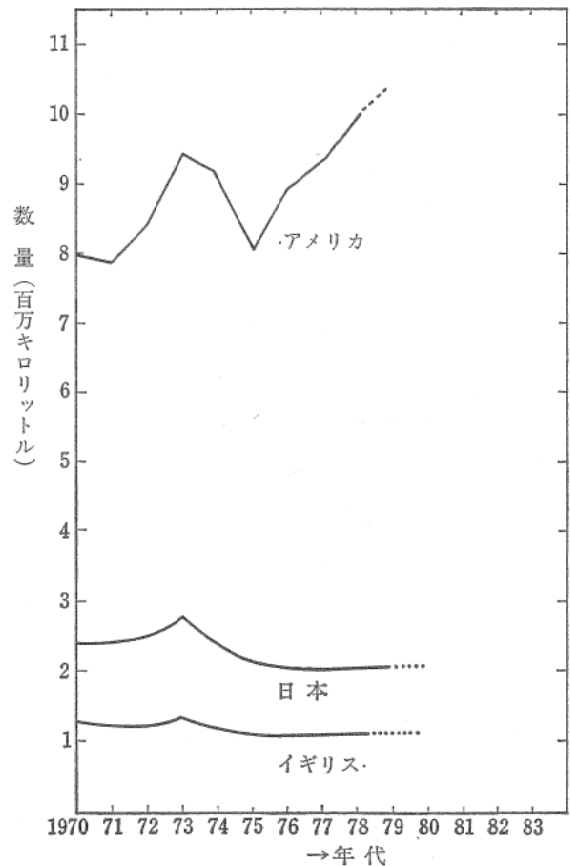


図1 各国の潤滑油消費量

表2 主な潤滑剤の JIS 規格

潤滑剤名 (JIS 番号)	適用範囲
冷凍機油 (JIS K 2211)	アンモニア、炭酸ガス、フロンなどを冷媒として用いる冷凍機の内部用潤滑油
タービン油 (JIS K 2213)	蒸気タービン、水力タービン、ターボ形送風機、ターボ形圧縮機用のタービン油
マシン油 (JIS K 2238)	主として全損式給油方法による各種機械の潤滑油
軸受油 (JIS K 2239)	主として循環式、油浴式、はねかけ式給油方法による各種機械の軸受部の潤滑油
内燃機関用潤滑油 (JIS K 2215)	主として陸用および船用内燃機関に使用する潤滑油
ギヤ油 (JIS K 2219)	工業用および自動車用のギヤ油
グリース (JIS K 2220)	一般用グリース、転がり軸受用グリース、自動車用シャーシーグリース、自動車用ホイールベアリンググリース、集中給油用グリース、高荷重用グリース、ギヤコンパウンド

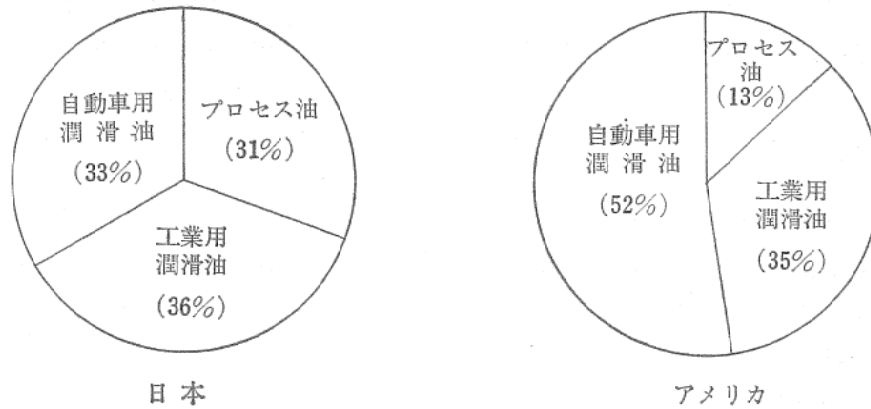


図2 日本とアメリカの潤滑油消費比率

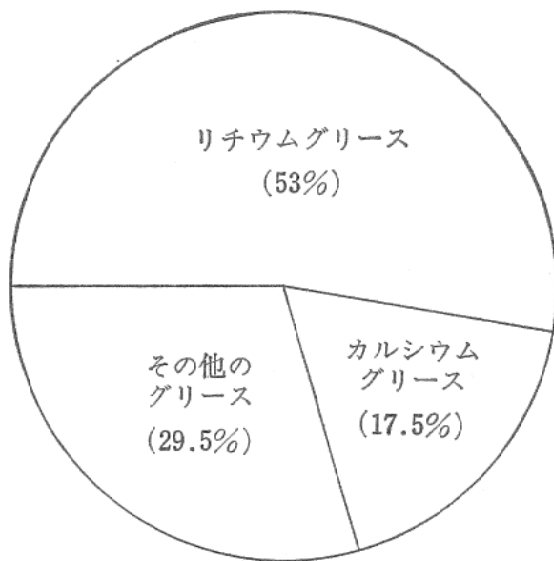


図3 グリースの消費量比率

図1より明らかなように、1973年の第一次石油危機の年を頂点として、日本とイギリスは消費量が減少し、横ばいになっているのにくらべ、アメリカは一時減少したが再び急速に消費量が增大している。

1978年のアメリカの消費量は約1000万KLで、日本は約200万KLでアメリカの2割、イギリスは約120万KLで日本の6割位である。

つぎに1978年の日本とアメリカの潤滑油消費比率をみると図2のとおりである。

図2より明らかなように、日本にくらべアメリカでは自動車用潤滑油の比率が非常に大きいことがわかる。工業用潤滑油の比率はほぼ同じくらいであり、プロセス油の比率はむしろ日本のほうが高い。

なお、ここでいう自動車用潤滑油とは、乗用

車、トラック、バス、農業用、建設機械用のエンジン油、ギヤー油、油圧作動油等を含む。工業用潤滑油とはタービン油、油圧作動油、圧縮機油、ギヤー油、軸受油、冷凍機油、金属加工油、船用エンジン油、鉄道エンジン油等を含む。プロセス油とは絶縁油、流動パラフィン、ゴム伸展油等を含む。

つぎに、グリースの需給についてみると、1980年に日本では67,000トン消費され、その内訳は図3のとおりであり、性能のすぐれた高級グリースであるリチウムグリースが35,000トンと大半を占めており、ついでカルシウムグリース12,000トンその他となっている。

4. 潤滑油添加剤の需給

潤滑油添加剤とはつぎのような目的で潤滑油に加えられる。

(1) 潤滑油の成分中にもともと存在していた望ましい物質が、精製過程で失われたとき、その失われた性能を回復し、より効果のあるものにするために加える。硫黄を含む多環芳香族炭化水素は天然の酸化防止剤であるが、これは精製過程に除去されるので、合成酸化防止剤を加える。

(2) 潤滑油がもともと持っている性質をさらに助長し高める。溶剤精製法によって製造された高級潤滑油基油は粘度指数が95~100で、通常の条件下で使用される場合はこれで十分であるが、さらに特殊な潤滑要求にこたえるために粘度指数向上剤が加えられる。

(3) 潤滑油がもっていない成分を新たに加えることによって新たな性能を付与する。たとえ

ば清浄分散剤，極圧添加剤などがある。

主な添加剤の機能と化合物名および添加量を表—3に示す。

つぎに潤滑油添加剤の需給であるが，日本においては1979年に115,000トン消費された。この内訳は清浄分散剤80,500トン(70%)，粘度指数向上剤18,400トン(16%)，極圧剤6,500トン(5.6%)，酸化防止剤3,200トン(2.8%)，流動点降下剤1,800トン(1.6%)その他4,600トン(4.0%)となっている。これを図—4に

示すが，清浄分散剤が圧倒的に多く，これは自動車用の高級エンジン油(ガソリンおよびディーゼル)に必ず添加されているものであり，また，船舶用のエンジン油およびシリンダー油にも多く添加されているものである。

添加剤は1kg当たり約400~500円なので，年商400~500億円の工業であるが，日本の技術で独自に開発，製造されているものはほとんどなく，主としてアメリカおよびヨーロッパで長年にわたり研究開発されたものが多い。それらの

表3 潤滑油添加剤の機能，化合物，添加量

添加剤種類		目的および機能	化合物	添加量
耐荷重添加剤	油性剤	低荷重下における摩擦面に油膜を形成し摩擦および摩耗を減少させる	長鎖脂肪酸(オレイン酸)など	0.1~1%
	耐摩耗剤	摩擦面で2次的化合物の保護膜を形成して摩耗を防止する	りん酸エステル，金属ジチオフォスフェート塩など	5~10%
	極圧剤	極圧潤滑状態における焼付きやスカuffリングを防止し，潤滑油の潤滑性能を向上させる	有機硫黄化合物，有機ハロゲン化合物など	
さび止め剤	潤滑油にさび止め性を付与し，金属製品などの保管，輸送，保守における一時的なさび止めをする	カルボン酸，アミン，アルコール，エステルなど	0.1~1%	
腐食防止剤	潤滑油の酸化防止および腐食性酸化生成物の破壊，抑制，金属表面における防食被膜を形成する	窒素化合物(ベンゾトリアゾールなど)，硫黄および窒素を含む化合物(1,3,4-チアジアゾリル-2,5-ビスジアルキルジチオカルバメートなど)	0.4~2%	
あわ消し剤	潤滑油などのあわ立ちを抑制し，あわ消し作用をする	シリコーン油，金属せっけん，脂肪酸エステル，りん酸エステルなど	2~700 ppm	
清浄分散剤	清浄剤	エンジンなどの高温運転で生成する沈積物およびこれの発着物質などを取り除きエンジン内部を清浄にする	中性，塩基性のスルフォネートおよびフェネートなど(金属塩型)	2~10%
	分散剤	カーボンおよびスラッジとして沈積する物質を懸濁分散する	こはく酸イミド，エステルおよびベンジルアミン共重合系ポリマーなど(無灰型)	
流動点降下剤	低温における潤滑油中のろう分の結晶固着を防止し，流動点を低下させる	塩素化パラフィンとナフタレンまたはフェノールの縮合物，ポリアルキルアクリレート，およびメタクリレート，ポリブテン，ポリアルキルスチレン，ポリ酢酸ビニルなど	0.1~1%	
粘度指数向上剤	潤滑油や作動油などの粘度指数を向上させる	ポリメタクリレート，ポリイソブチレンオレフィン共重合体，ポリアルキルスチレンなど	2~10%	
酸化防止剤	遊離基またはヒドロパーオキシドと反応して安定な物質に変える	アミン，ヒンダードフェノール，チオリン酸亜鉛，トリアルキルフェノール類	0.4~2%	
乳化剤	油を乳化し，生成したエマルションを安定化する	硫酸，スルホン酸およびりん酸エステル，脂肪酸誘導体，アミン誘導体，第四アンモニウム塩，ポリオキシエチレン系の活性剤など	~3%	
抗乳化剤	エマルションを破壊し，その構成成分に分離する	第四アンモニウム塩，硫酸化油，りん酸エステルなど		
かび防止剤(エマルション用)	エマルション中に生存する細菌，かび，酵母などの微生物が起す障害作用を抑制および防止する	フェノール系化合物，フォルムアルデヒド供与体化合物，サリチルアニリド系化合物など	~0.1%	

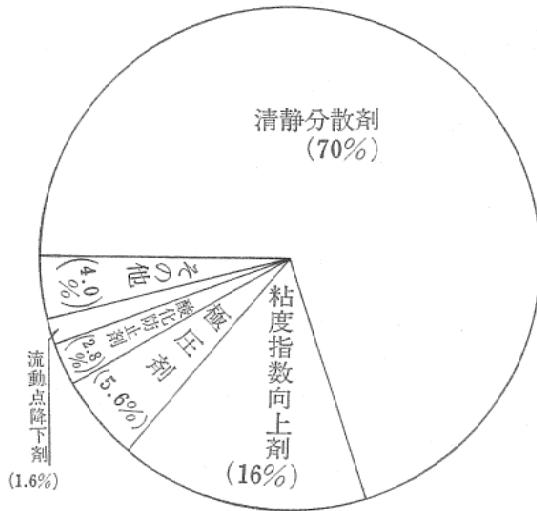


図4 添加剤の消費量比率

技術を導入して日本で製造されている現状で、誠に残念なことであり、わが国独自のすぐれた添加剤の開発が切に望まれるゆえんである。

5. 潤滑油のつくり方と組成

(1) 潤滑油のつくり方

石油系潤滑油は低粘度のスピンデル油から高粘度のシリンダー油まで各種のものがあるが、そのつくり方は原油の種類、製品に要求される性状および性能によって異なる。

一般に原油の常圧蒸留残油が潤滑油の原料となるが、ナフテン基油の場合には硫酸洗浄、白土精製（あるいは水素精製）が、パラフィン基油の場合には溶剤抽出、溶剤脱ろう、白土精製（あるいは水素精製）および最近開発されてきた水素化分解法が行われ、精製した各粘度の基油を適度に調合して粘度を合わせて製品化し、必要に応じて潤滑油の要求される性能を高めるために各種添加剤が加えられる。

ナフテン基油の硫酸洗浄法による潤滑油のつくり方を図-5に示す。この方法は安価なつくり方であるが、硫酸スラッジや廃白土の処分問題があり、現在では小規模にしか行われていない。

パラフィン基油の溶剤精製法による潤滑油のつくり方を図-6に示す。これは高級潤滑油のつくり方として最も一般的な方法で広く行なわれている。

つぎに水素化分解法による潤滑油のつくり方

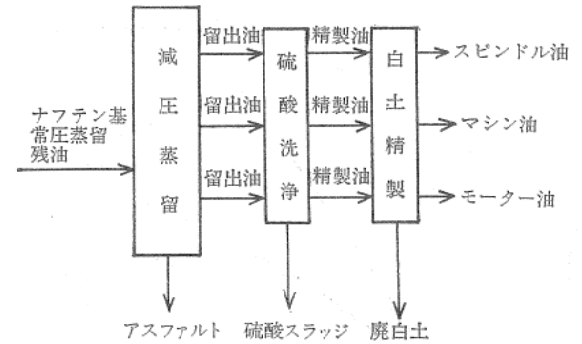


図5 硫酸洗浄法による精製工程

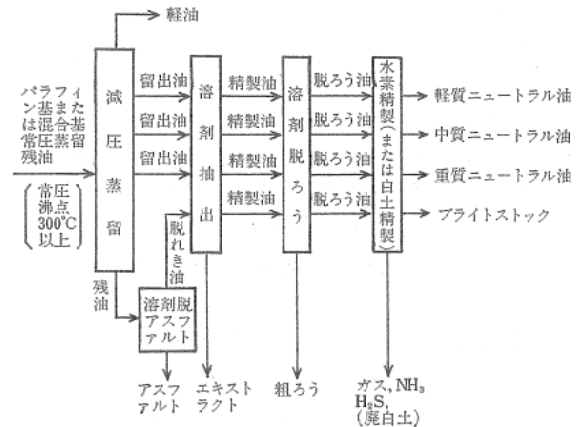


図6 溶剤精製法による精製工程

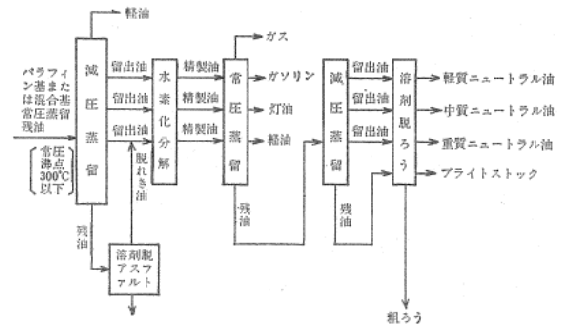


図7 水素化分解法による精製工程

を図-7に示す。この方法はどんな種類の原油からでもすぐれた品質の潤滑油を自在につくることができる新しい方法である。これは Co-Mo-Al₂O₃, Ni-Mo-Al₂O₃ などの触媒を用いて、高温、高圧、低空間速度で原料油に高度の水素添加を行なって油成分の変換を行なうものである。ガス、ガソリン、灯油、軽油が副生し、潤滑油基油の硫黄、窒素はきわめて少なく、酸化安定性、熱安定性、粘度指数が向上する。

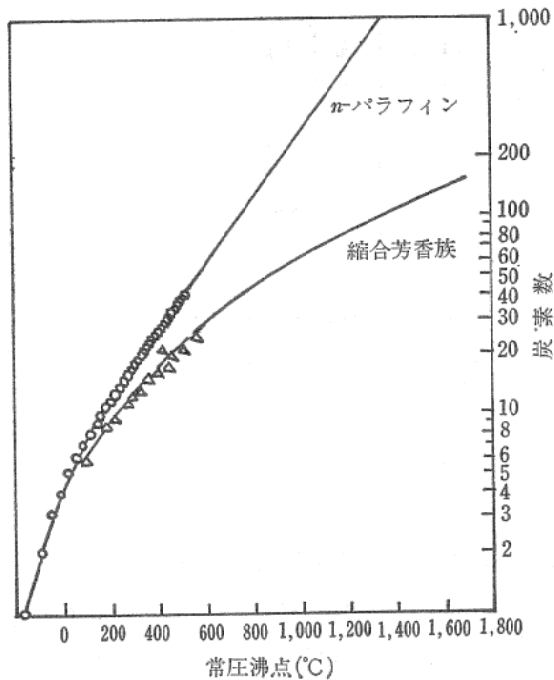


図8 炭化水素の沸点と炭素数の関係

いままで述べたようないろいろな方法で精製された各粘度の基油は、目的とする製品規格に応じて2~3種の基油を混合して粘度を合わせ、高級潤滑油は必要に応じてさらに何種類かの添加剤を加えて最終製品をつくる。製品の性能は基油の精製度、性状および添加剤によって大きく左右されるので、基油および添加剤の選択はきわめて大切である。ナフテン基油よりつくられた電気絶縁油、冷凍機油、流動パラフィンなど一部のは基油のみで製品になる。

(2) 潤滑油の組成

潤滑油はスピンドル油からブライトストックまで各種のものがあ、粘度範囲が広い。その炭素数はC₁₅~C₅₀、分子量は200~700、常圧換算沸点は250~600°Cの範囲内にあるとみてよい。同一炭素数でも縮合芳香族のほうがn-パラフィンよりも沸点は高い。図8に炭化水素の沸点と炭素数との関係図を示す。

潤滑油はガソリンや灯油や軽油と異なり、炭素数が多いために異性体の数が非常に多く、かつその構造も複雑である。したがって、ガソリンなどはガスクロマトグラフィー分析などにより、存在する炭化水素の構造と量が明らかにされているが、潤滑油の場合には個々の炭化水素の構造を決定することも、また、その量を測定

することもまず不可能で、グループ別のタイプ分析が行われる。グループタイプ分析法としては、n-d-M 環分析、液体クロマトグラフィー質量スペクトル分析などが広く行われている。

結局、潤滑油基油は次の化学的組成から成っている。

- 飽和成分 (n-パラフィン, イソパラフィン, ナフテン)
- 単環芳香族成分 + チオフェン類
- 二環芳香族成分 + ベンゾチオフェン類
- サルフェイド
- 多環芳香族成分 + ジベンゾチオフェン類 + カルバゾール類
- レジン分 (硫黄化合物, 窒素化合物, 酸素化合物)

油の成分中レジン分 (硫黄化合物, 窒素化合物, 酸素化合物) や多環芳香族成分, 二環芳香族成分は油の色相を悪くし、熱・酸化安定性をそこない、また、金属に対して腐食作用などをするのでこれらは極力除去しなければならない。硫酸洗浄法、溶剤精製法の目的はこれらの潤滑油として好ましくない成分を効率よく除去するプロセスである。溶剤脱ろう法は炭素数の大きいn-パラフィンを主とするいわゆるワックスを除去し、低温でも油が流動するようにするプロセスである。

溶剤精製法によってつくられた高級潤滑油基油は飽和成分と単環芳香族成分から成っており、その他の成分はごく微量である。このように精製した基油に各種添加剤を加えて製品とする。

硫酸洗浄法によってつくられた電気絶縁油や冷凍機油は二環~多環芳香族成分を含むものが多いが、これは添加剤を加えることができない油であるために天然の酸化防止剤としての働きを芳香族成分に期待していることと、冷媒の溶解性をもたせるためにわざと芳香族成分を残存させているのである。

次に、グリースは上述の潤滑油基油に対して、増ちょう剤として各種の金属せっけんを加え、かつ、性能を向上させるために各種の添加剤が配合される。グリースがどのような成分から構成されているかをみると図9のようにな

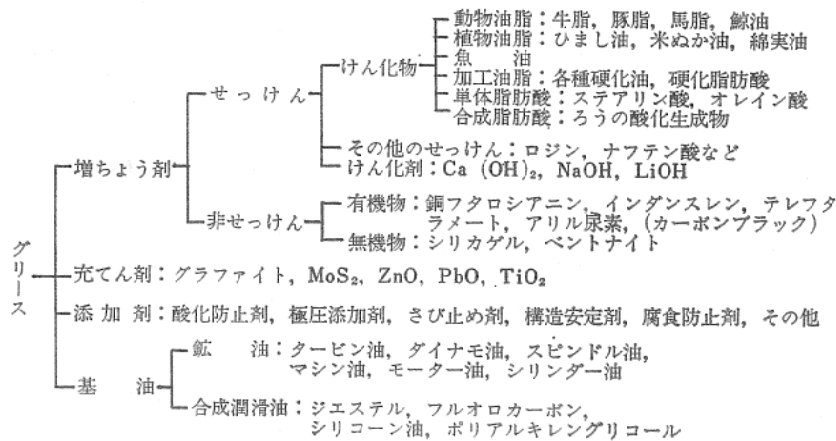


図9 グリースの構成成分

り、たいていのグリースはこのなかに包含されよう。また、グリースに用いられている添加剤はだいたい潤滑剤と同じとみてよい。

6. 潤滑剤の発展の動向

(1) ガソリンエンジン油

ガソリンエンジン油は本来の潤滑という役目のほかに、燃料の燃焼によって生成するカーボンやラッカーを清浄分散剤の力によって油中に分散せしめ、エンジン部品への沈着を防止するという重要な役割をもっている。このため、清浄分散剤の研究開発が盛んに行なわれて現在は一応の完成をみたといってよい。

つぎに夏でも冬でも一年中一種類の油でもうまく潤滑できるようにした粘度指数向上剤の発展は特筆すべきであり、マルチグレード油が華々しく登場し、広く用いられている。

さらに数年前から自動車の排気ガス規制がやかましくいわれるようになり、燃焼ガスを無害な H₂O と CO₂ にして排出する触媒コンバーターの装着が義務づけられるようになり、これに対応して潤滑油も触媒を劣化しない添加剤配合とする必要にせまられ、低灰分、低りん油が開発された。

さらに、最近に至っては、自動車の省燃費が叫ばれるようになり、潤滑油の低粘度化、高品質化によって、燃料消費量を従来より2%低減することが可能となった。

ガソリンエンジン油の品質評価方法はアメリカが制定している各種の試験法に合格し、さらに日本の各自動車メーカーがそれぞれ制定して

いる試験法に合格しなければならない。

ガソリンエンジン油の市場は大きく、各社はその技術力をフルに発揮して、しのぎをけずる競争が展開されている。

昭和石油は上述のすべての要請に応える低粘度の SF 級 5 w/30 のエンジン油を開発し、日本で初めて市販した。

(2) ディーゼルエンジン油

ディーゼルエンジン油についてもガソリンエンジン油とほぼ同じような発展の過程をたどってきたといえよう。自動車メーカーはエンジンの小型化と高速化をはかっている。ターボチャージャーつきエンジンも増加しつつある。このように高出力、高負荷化が進むにしたがい、潤滑油に対する要求もますます苛酷になりつつある。

最近の問題としては、ディーゼルエンジン油の長寿命化、排気ガス対策にマッチする潤滑油の開発、省燃費型潤滑油の開発が重要である。

ディーゼルエンジン油の品質評価方法もガソリンエンジン油の場合と状況は全く同じである。この分野の市場も大きく、日本の各石油会社は相当な力を注いで開発に懸命である。

(3) 船舶用シリンダー油

硫黄分の多い残さ重油を燃料とすることを可能にした大型低速ディーゼルエンジンのシリンダー油の開発の歴史はドラマチックともいえよう。燃焼によって生成する SO₂, SO₃, H₂SO₄ は金属材料を著るしく腐食するが、潤滑油に抱きこませたアルカリ性物質によって中和し、シ

リンダーライナーやピストンの腐食摩耗を防止し、かつ清浄性を保持せしめた、高アルカリ価船用シリンダー油が開発されたことはまさに画期的なことであった。

アルカリ性物質としては無機物の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 CaCO_3 の懸濁油、酢酸カルシウムの分散油を経て、現在は油溶性高アルカリ価物質である金属フェネート、金属スルホネート、金属ナフテネートが広く用いられ成功を収めている。

(4) グリース

自動車用および工業用ともに、耐熱性のものへの要望が高くなり、リチウムグリース、リチウムコンプレックスグリース、および合成増稠剤グリースが増加している。また、低温性や長寿命化の要望から合成油グリースも徐々にふえつつある。さらに、省力化、省エネルギーの要望からより品質の高いグリースが求められている。

日本のグリース製造プラントはすべてバッチ式であるが、昭和石油は、1979年日本で初めてコンピューターコントロールによるバッチ式のグリース製造プラントを建設し稼動した。

このプラントは原料の張りこみから、すべての製造工程がコンピューターで完全にコントロールされ、一定品質のあらゆる種類の高級グリースを短時間に、大量生産することができるのでこのメリットはきわめて大きい。

7. あとがき

日本の潤滑剤工業の発展についてその概要を述べたが、今後の展望をしてみると、(1)潤滑剤の需要量は今後はそれほど伸びると思われず横ばいあるいは微増と考えられる。

(2) 潤滑剤の品質は今後はさらに要求性能がきびくなるであろうし、省エネルギー、省資源、環境保全の要請がふえ、それに対処してゆかねばならないであろう。

潤滑という学問は機械と化学の両方にまたがる境界領域であり、混合物の化学という面で中なか論文になりにくい面もあって大学でも独立して講座のあるところは少ない。

本論でものべたようにトライボロジーの重要性にかんがみ、大学ではもっとこの分野に力を入れてほしいというのが筆者のいつわらざる気持である。

産学協同してトライボロジーに真剣にとりくみ、日本の工業における一層の省エネルギー、効率化に貢献したいと切にこい願うのである。

参考文献

- 1) 藤田稔, “潤滑剤の実用性能”, (1980)幸書房.
- 2) 櫻井俊男, “石油製品添加剤”, (1979)幸書房.
- 3) O'Connor, J. J., Boyd, J., “Standard Handbook of Lubrication Engineering” (1968) Mc Graw-Hill Book Co., New York.
- 4) 通産省, 石油資料 (昭和55年).

