

# オイルの長寿命化と最新のフィルター性能

|| 潤滑油の新油状態維持が可能な酸化物・水分・汚染物同時除去フィルターについて ||

日本濾過工業(株)

佐々木克英  
藤井 至

0914-6253/05/ ¥500/論文/JCLS

## 1 はじめに

近年、潤滑油の使用においては、ISO、京都議定書など大気汚染防止、環境保護の観点からも、廃油の排出抑制や処理の適正化が求められている。そこで、潤滑油に代わって水、空気、電気に置換された機械装置も数多く出現している。また、潤滑油も生分解性の開発や多種多様な添加剤の混入による延命が図られている。しかし、石油製品としての潤滑油の需要（第1表）および平成16年4月～17年3月までの潤滑油需給統計（第1図）を見てもそれぞれ減量は少なく、廃油排出もほぼ同量と考えられる。

本稿では、潤滑油が時間経過のみにおいても劣化し、さらには機械装置の潤滑部でその役割を果たすことにより、劣化の進行が早くなり使用限界に達すると、全量交換しなければならないという従来の概念を変える特殊フィルターを紹介し、新油状態をいかに長期に渡って維持するかを解説する。このことにより、潤滑油の廃油排出ゼロへの足がかりとし、環境保全に貢献されんことを願うものである。

## 2 潤滑油の性状と添加剤

潤滑油は、機械装置やエンジンの摩擦部分の潤滑剤として広く使用されている。この潤滑油の中には、石油系、動植物油系、合成系などがあるが、使用目的、効果の点で大半は石油系の炭化水素から作られたものが主流である。潤滑油の使用目的は、摩擦係数の低減、摩擦部の冷却、応力の分散、密封、防錆などがある。また、これらの作用を果たすために求められる主な性状は、次のことがあげられる。

- ① 粘度が運転速度、温度、荷重などの使用条件に適合していること。
- ② 使用温度範囲が広い場合は、温度による粘度変化が小さく、粘度指数が大きいこと。
- ③ 残留炭素分が少ないこと。
- ④ 酸化安定性が大きいこと。
- ⑤ 引火点が高いこと。
- ⑥ 流動点が低いこと。

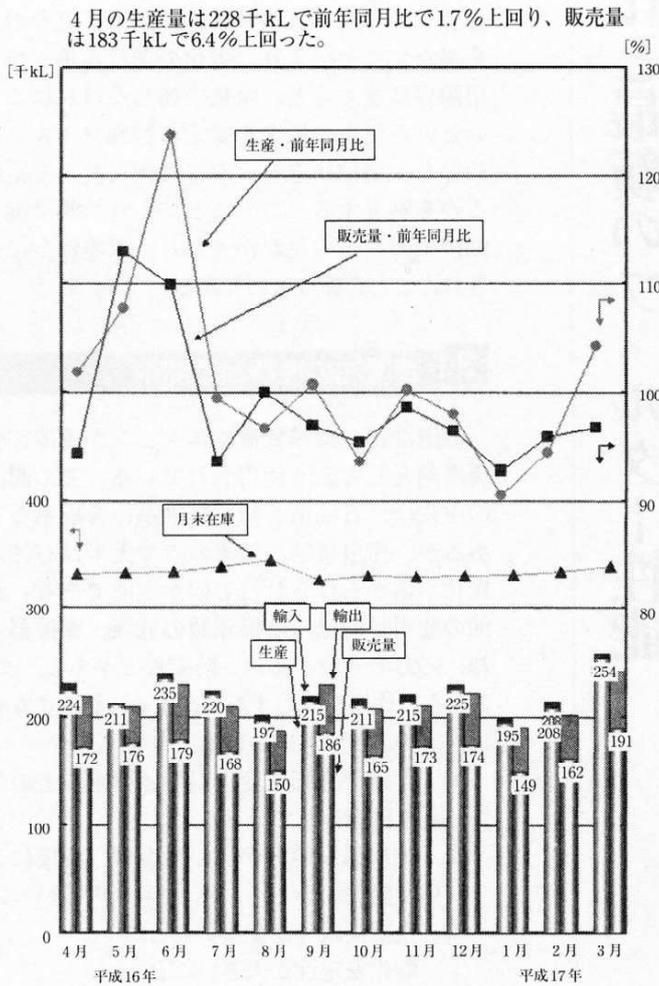
第1表 石油製品の用途別国内需要 (2003年度)

[単位：千kL]

| 用途    | 製品 | ガソリン   | ナフサ    | ジェット燃料油 | 灯油     | 軽油     | 重油     | 原油    | LPガス   | 潤滑油   | 合計      |
|-------|----|--------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|---------|
| 自動車   |    | 60,453 |        |         |        | 36,506 |        |       | 2,776  | 697   | 100,433 |
| 航空機   |    | 6      |        | 4,502   |        |        |        |       |        |       | 4,508   |
| 運輸・船舶 |    |        |        |         |        | 498    | 4,918  |       |        | 186   | 5,602   |
| 農林・水産 |    |        |        |         | 2,807  | 824    | 4,615  |       |        |       | 8,246   |
| 鉱工業   |    | 106    |        |         | 6,652  | 57     | 25,686 |       | 8,802  | 1,190 | 42,493  |
| 都市ガス  |    |        | 45     |         |        |        |        |       | 2,713  |       | 2,757   |
| 電力    |    |        |        |         |        | 252    | 12,455 | 5,705 | 731    |       | 19,143  |
| 家庭・業務 |    |        |        |         | 19,595 |        | 12,273 |       | 14,185 |       | 46,054  |
| 化学用原料 |    |        | 48,610 |         |        |        |        | 1,847 | 3,602  |       | 54,059  |
| 合計    |    | 60,565 | 48,655 | 4,502   | 29,053 | 38,137 | 59,946 | 7,552 | 32,809 | 2,073 | 283,294 |

(注) 1. 記入用途別は、産業活動および国民生活のうち「身近なもの」の一例  
 2. 四捨五入の関係により合計が一致しない場合がある

<出所：石油連盟>



第1図 潤滑油需給統計

<出典：経済産業省、資源・エネルギー統計月報>

⑦ 色相が良好であること。

⑧ 添加剤の効果が高いこと。

さらに、最近では機械装置やエンジンの高性能化に伴い、厳しい条件下で長期間使用できる潤滑油が求められ、さまざまな添加剤の開発（種類と働きを第2表に示す）と、その効力の向上が図られている。しかし、これらの添加剤もそれぞれの効果は得られるが、流動途上での化学変化により効力は減少し、劣化の進行と相まってやがては消失する。

一般に潤滑油の清浄度を維持管理するためには、汚染度（コンタミネーション）、水分、動粘度、全酸値を測定して、それぞれの使用限界値（第3表）を見ることで行われている。

第2表 添加剤の種類と働き

| 添加剤の種類  | 添加剤の働き   |
|---------|--|
| 油性向上剤   | 潤滑油の油性（潤滑性）を向上させ、境界摩擦を低減させる。また、金属表面への油の付着性能を向上させる。                     |
| 極圧剤     | 境界摩擦条件下で、金属表面と反応して強固な油膜を形成し、摩耗および焼き付きを防止する。                            |
| 摩擦調整剤   | 境界摩擦条件下での摩擦特性を向上させ、摩擦防止や燃費改善を図る。また、湿式クラッチ・フレイキ等の摩擦調整を行う。               |
| 酸化防止剤   | 「熱・燃焼酸化物・空気・水・金属粉」等による潤滑油自身の酸化劣化を防止する。                                 |
| 清浄分散剤   | 燃焼残物および潤滑油の酸化劣化物を油中に分散させるとともにエンジン内部付着・堆積することを防止する。また、油中に混入する酸化物を中和させる。 |
| 粘度指数向上剤 | 油中において、高温で流動性を妨げ、低温での流動性に影響が少ない高分子化学物質で、潤滑油の温度を1粘度特性を向上させる。            |
| 流動点降下剤  | 低温域で発生する固形ワックス分の精製を防止し、低温域での潤滑油の流動性を改善させる。                             |
| さび止め剤   | 金属表面に油膜を形成させ、酸化物・水・空気の接触を防止する。   |
| 消泡剤     | 油中に発生する気泡を抑制するとともに、発生した気泡を大きくし早期に油中より排出させる。                            |

第3表 作動油自身の一般性状劣化による使用限界

| 分析性状           | 使用限界（変化量） |
|----------------|-----------|
| 密度             | 0.05      |
| 引火点 [°C]       | 60        |
| 粘度 [%]         | ± 10 ~ 15 |
| 全酸化 [mgKOH/g]  | 0.1       |
| 界面張力 [dyne/cm] | 15        |
| 色 [ASTM]       | 2         |
| 不溶解分（ノルマルペンタン） | 0.025     |

剤、防錆剤の添加や静電浄油機の使用が試みられるが、いずれも多少の酸化抑制となるが進行、劣化を止めることは不可能とされている。

潤滑油の劣化要因と相対機構を第2図に、作動油の性状変化と使用限界を第5表に示す。

### 3 潤滑油劣化の要因

潤滑油の劣化の要因は、いくつかのことが考えられている。まず、基油や添加剤（ほとんどが酸性成分からなる）が、空気中の酸素や熱の影響を受け酸化することである。このほか、潤滑油流量、流速が大きくなればなるほど帯電する割合も増え、汚染粒子の増加と共に酸化が促進される。これらの酸化物は、潤滑部へ循環を繰り返していく内に空気中の酸素と結合拡大化する。また、蒸発水分の液化による混入や金属摩耗の触媒作用によるヒドロパーオキシドの生成、増長を招き、酸化スラッジとなり、潤滑部の各所にトラブルを起し、油分子間に侵入することで粘度を極度に下げ、潤滑性も著しく低下する。さらには錆の発生を招き、一層劣化を早めることとなる。現状での汚染粒子の混入限界とその測定法を第4表に示す。

このような酸化防止対策としては、酸化防止

### 4 酸化スラッジを除去する特殊フィルター

前述したように潤滑油の酸化要因は多要素が考えられるが、これらの発生する酸化粒子は、油分子と同等レベルで、0.1ミクロン以下で混然化している。しかし、この酸化粒子が幾度となく繰り返し循環する中で、空気中の酸素をはじめ、汚染粒子中の酸性成分等と反応結合することにより、0.5ミクロンほどの酸化スラッジに拡大するものが出現する。

これまで、この拡大した酸化スラッジも捕捉はほとんど不可能とされていたが、NRK特殊フィルターでは酸化物吸着層のスリット状の繊毛構造により捕捉を可能にしている。従って、潤滑油が循環する中で徐々に発生、拡大した酸化スラッジを、汚染粒子、水分と共に同様に捕捉、除去するため、劣化が進行せず清浄度が保たれ、新油状態を維持できる。このことは、後述する事例の他、さまざまな機械装置の潤滑油において実証されている。NRK特殊フィルターの内部吸着構造を第3図に示す。

第4表

(a) NAS 1638規格 (作動油の粒子量)

(100mL中の個数)

| サイズ分類<br>[μ] | 級   |     |     |       |       |       |       |
|--------------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|
|              | 00  | 0   | 1   | 2     | 3     | 4     | 5     |
| 5~15         | 125 | 250 | 500 | 1,000 | 2,000 | 4,000 | 8,000 |
| 15~25        | 22  | 44  | 89  | 178   | 356   | 712   | 1,425 |
| 25~50        | 4   | 8   | 16  | 32    | 63    | 126   | 253   |
| 50~100       | 1   | 2   | 3   | 6     | 11    | 22    | 45    |
| 100以上        | 0   | 0   | 1   | 1     | 2     | 4     | 8     |

| サイズ分類<br>[μ] | 級      |        |        |         |         |         |           |
|--------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|-----------|
|              | 6      | 7      | 8      | 9       | 10      | 11      | 12        |
| 5~15         | 16,000 | 32,000 | 64,000 | 128,000 | 256,000 | 512,000 | 1,024,000 |
| 15~25        | 2,850  | 5,700  | 11,400 | 22,800  | 45,600  | 91,000  | 182,400   |
| 25~50        | 506    | 1,012  | 2,025  | 4,050   | 8,100   | 16,200  | 32,400    |
| 50~100       | 90     | 180    | 360    | 720     | 1,440   | 2,880   | 5,760     |
| 100以上        | 16     | 32     | 64     | 128     | 256     | 512     | 1,024     |

(b) NAS指数重量測定法

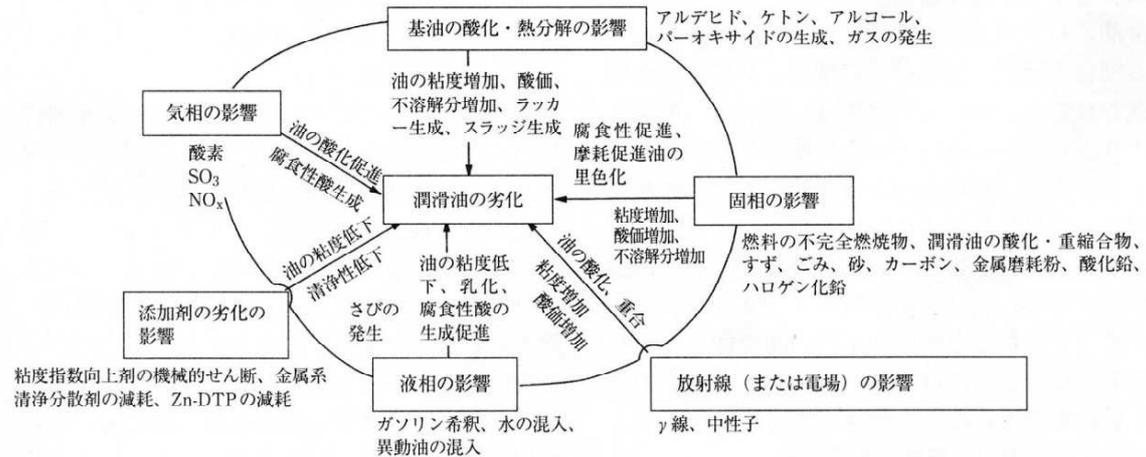
| クラス      | 100  | 101  | 102  | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 |
|----------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| mg/100mL | 0.02 | 0.05 | 0.10 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 1.0 | 2.0 | 4.0 |

(c) MIL重量測定法

| クラス      | A     | B       | C       | D       | E       | F       | G        | H         | I         |
|----------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|
| mg/100mL | 1.0以下 | 1.0~2.0 | 2.0~3.0 | 3.0~4.0 | 4.0~5.0 | 5.0~7.0 | 7.0~10.0 | 10.0~15.0 | 15.0~25.0 |

(d) 汚染粒子の混入限界

| 使用条件   | カウント法<br>(NAS級) | 重量法<br>(NAS級) |
|--|-----------------|---------------|
| 一般の油圧装置  | -               | G             |
| サーボ弁または10μ以下のフィルタを用いた装置  | 9               | 105           |
| 電磁弁または流量制御弁を用いた装置で微小流量を制御する装置および直径すき間15μ以下の摺動部分を持つ機器を用いた装置       | 11              | 107           |
| 油圧装置の一部または全部を安全装置 (または長時間加压状態で停止しておく装置) として電磁弁その他精密制御弁などを含んでいる装置 | 12              | 108           |
| 油圧機器および装置のテストスタンド  | 12              | 108           |



第2図 潤滑油の劣化機構

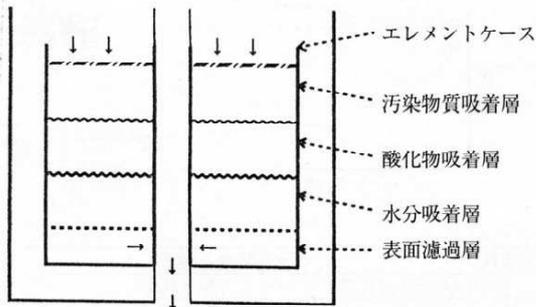
第5表 作動油の性状変化と使用限界

(a) 性状変化

| 項目   | 変化                | 原因と検討項目                                 |
|------|-------------------|---|
| 密度   | 増加または減少           | 異種油の混入、作動油の劣化                           |
| 引火点  | 低下                | 異種油の混入、熱による分解                           |
| 色相   | 濃くなる              | 作動油の劣化、スラッジの生成                          |
|      | 不透明になる            | 水分の混入による乳化、金属粉などの混入                     |
| 粘度   | 増加または低下           | 異種油の混入、作動油の劣化、高粘度指数油の場合は、添加剤のせん断による粘度低下 |
| 全酸価  | 増加または減少           | 作動油の劣化、添加剤の消耗・変質                        |
| 水分離性 | 分離時間が長くなる         | 異種油の混入、作動油の劣化                           |
| 消泡性  | 泡立ちの増大<br>放気性能の低下 | 添加剤の消耗、作動油の劣化                           |

(b) 使用限界

| 分析項目                      |     | 使用限界値(変化度) |
|---------------------------|-----|------------|
| 粘度変化率 [%]                 |     | +10~15以内   |
| 全酸価 [mgKOH/g]             | R&O | 0.25以下     |
|                           | AW  | 0.4以下      |
| 水分 [Vol%]                 |     | 0.1以下      |
| ミリポフィルター-0.8μm [mg/100mL] | 高圧  | 5以下        |
|                           | 低圧  | 10以下       |



第3図 特殊フィルタの汚染粒子吸着構造

## 5 水分混入も捕捉、除去

一般に潤滑油中への水分混入は、酸化と同様に避けられない要素であり、その影響は次のことがあげられている。

- ① 潤滑系内もしくは、油圧装置内で錆の発生が促進され、酸化スラッジによる潤滑不良や金属を腐食させる。
- ② 潤滑油のもつ本来の潤滑性が低下し、機器類の摩耗や損傷の危険度が増大する。
- ③ 油圧装置では、キャピテーションが非常に起きやすくなる。

作動油の場合の水分混入による使用限界値について、第6表に示す。

第6表 作動油の水分混入による使用限界

| 装置の条件  | 使用限界   |
|--|--------|
| 作動油が水分により白濁したもの  | ただちに交換 |
| 装置内の作動油が循環して油槽にもどる回路で、しかも長時間運転を停止しておくことのないような回路        | 500ppm |
| 配管系の長い装置などで回路内の作動油が完全に循環しないような装置                       | 300ppm |
| 長時間運転を停止しておく装置(安全装置)または回路内の作動油がほとんど移動しないような装置および精密制御装置 | 200ppm |

ただし、無添加油は上表の1/2を許容値とする。

このように各所に悪影響を及ぼす水分は、速やかに捕捉、除去して行くことが望ましいわけであるが、現在まで濾過処理前に遠心分離等による油水分離機により、ある程度の除去はなされているものの、新油基準(日本工業規格)の含水値200ppm以内までは難しいとされてきた。

NRK特殊フィルターは、水分除去について水の性質に着目し、置換作用の原理を応用している。通常、油中に浮遊している水分の粒子は、潤滑油の粘度(固い分子体)を突き破って進むことは難しいため、比重の違いから沈殿による分離除去も考えられるが、流動する中では期待できない。そのため、吊るした木綿のハンカチーフに潤滑油を浸み込ませ、そこへ密度の異なる水を付けると油分の層が薄いことから、水は潤滑油を押し退けてハンカチーフに浸み込もうとする。つまり、この作用を応用することにより、一度捕捉された水分は、物理的にもハンカチーフ(水分吸着層)を抜け出すことは非常に困難となる。

このように吸着する水分量は、1個のフィルターで約1リットルが可能である。また、浮遊水分だけでなく、油分子に混入している溶解水分までを除去することもでき、油中の水分を98%吸着、除去する。

## 6 改善された潤滑油清浄度管理の事例

### 6-1 発電所のサーボシリンダ油圧装置の濾過

前述のNRK特殊フィルター内蔵の濾過装置が、次のような過程を経て採用され、以後において油の清浄度は、常に新油状態を保たれている。

この発電所では、発電機を回す水車に送る水量を調整する機構のサーボシリンダにおいて、変動の激しい電力消費に対してリアルタイムで発電量を切換えて行くため、精密な油圧制御を行っている。これに対して、従来は多層膜式のバイパス濾過機が接続されていたが、定期的な更油（オイル交換）、フィルター交換、油タンクと回路内のフラッシングは必須の作業であった。そこでNRK特殊フィルター内蔵の濾過装置により、廃棄直前の汚染油を試験濾過した結果、汚染粒子、酸化スラッジ、水分共、高レベルに除去し、新油状態にまで濾過できることが確認された。

#### (1) NRK特殊フィルター内蔵の濾過装置導入目的

作動油タンク3,100リットル（1,800リットルと1,300リットルの2層タンク）と濾過装置を接続して、潤滑油の清浄度を高レベルに維持することにより、突発的な故障などトラブルを防止、さらには保全経費の低減、廃油排出をなくする。

#### (2) 同濾過装置の運転条件

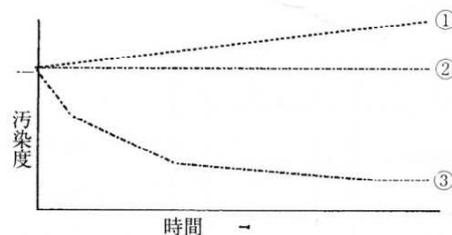
濾過装置の運転は、24時間連続運転とする。接続は、潤滑装置の回路とは別に独立した濾過回路として、潤滑回路が停止中であっても濾過装置は稼動し、常に濾過作業を行うこと。また、逆にフィルター交換等で短時間の濾過装置を停

止する場合でも、潤滑装置の運転には何等の影響も与えないこと。

#### (3) 同濾過装置の能力設定

濾過装置の濾過容量は、基本的には、汚染物質発生量<濾過装置の汚染物質捕捉量として選定する。捕捉量が発生量を上回れば清浄度は向上し、ある一定の清浄度（新油レベル）に達すると安定する。理想的には容量が大きい濾過装置が望ましいが、ここでは最低限必要な濾過容量により設定した。仮に捕捉容量が不足する場合は、定期的な潤滑油性状分析データを検討して清浄度回復速度が適正になるように、フィルター交換のサイクルなどを検討する。ここで選定された濾過装置は、油圧作動油タンクが2,000リットルを目安にするもので、今回の作動油量3,100リットルから見ると容量不足ではあるが、潤滑装置が連続運転ではないこと、濾過装置を連続運転することを考慮に入れている。

濾過装置の設置前と設置後での汚染物質発生量と捕捉量の相関関係について第4図に、また濾過装置と潤滑油タンクとの接続について第5図に示す。

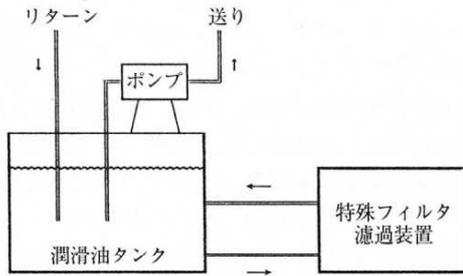


|              |  |
|--------------|--|
| ①現状          | 濾過装置を設置しない。                                  |
| ②「発生量」=「捕捉量」 | バランスがとれている。                                  |
| ③「発生量」<「捕捉量」 | 濾過装置の能力が上回り、徐々に清浄度が上がる。汚染度の下降スピードは、濾過装置容量に比例 |

第4図 汚染物質の発生と捕捉の相関

#### (4) NRK特殊フィルターの交換

濾過装置の運転開始から2ヶ月後に、初回のフィルター交換を行う。この2ヶ月の間に潤滑油中の汚染粒子、配管内部や軸受部の汚染物質、



上記の接続によりタンク内潤滑油中の汚染物質を連続的に除去する。

第5図 濾過装置とタンクの接続

酸化スラッジ、水分などを除去し、文字通り新油レベルの清浄度にする。従って、フィルターを新しくすることで、以後の汚染速度は極度に低下する。初回以降のフィルター交換については、潤滑油の定期的なサンプリングにより、清浄度が下降し始めた兆候を検知し、第2回目のフィルター交換を行う。この際の潤滑油性状データは、第3回目以降のフィルター交換インターバル基準とする。

作動油2,000リットルに対応するNRK特殊フィルター内蔵濾過装置を写真1に示す。

### 6-2 軸受潤滑油濾過で新油レベルを継続維持

製紙工場の抄紙機ドライヤーの軸受部潤滑油タンクにNRK特殊フィルター内蔵の濾過装置が接続され、平成2年5月から平成5年5月まで

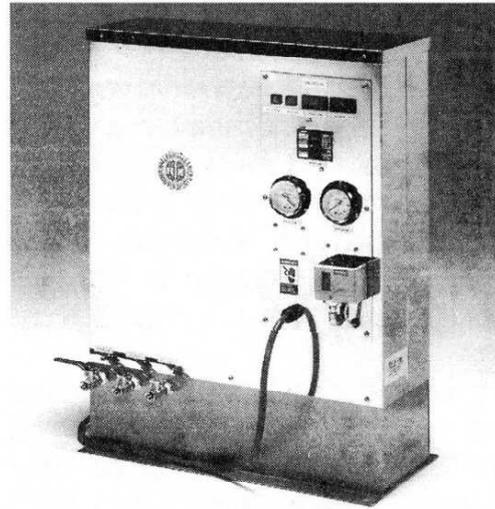
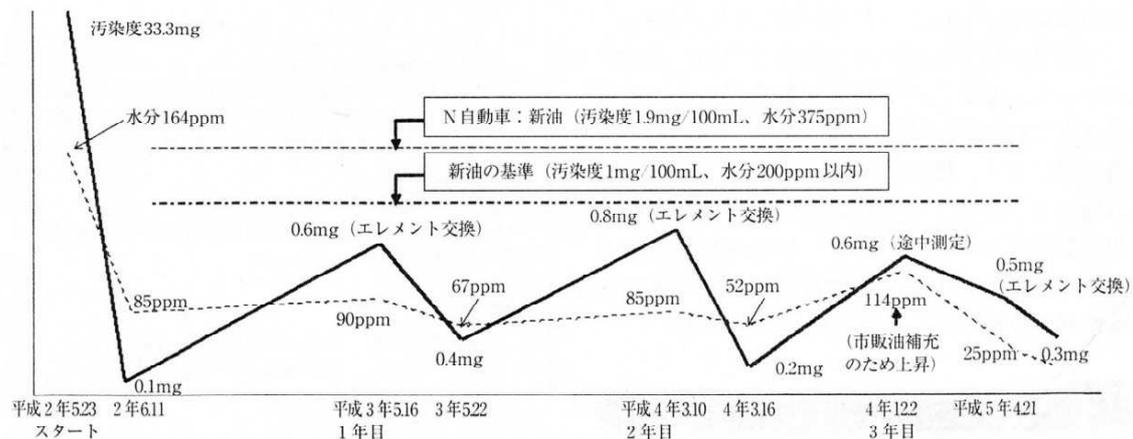


写真1 作動油2,000Lタンクに対応の濾過装置

の3年間、潤滑油の清浄度について、定期的に分析調査を行った。その経過について第6図に示す。

同濾過装置に接続前では、潤滑油の汚染度(汚染粒子量:質量法による計測)は33.3mg、水分164ppmであった。接続後、僅か96時間経過で測定してみると、汚染度0.1mg、水分85ppmにまで、それぞれ除去されていた。ここで初回のフィルター交換を行い、以後1年目(6,196時間)に2回目のフィルター交換を行ったが、濾過装置接続前のような汚染状態ではな



第6図 軸受潤滑油の新油状態維持経過

く、汚染度0.6mg、水分90ppmといずれも新油基準（日本工業規格：JIS K 2213-1983）より低い数値を示している。それ以後においても、濾過装置の連続運転により汚染度、水分共に新油基準を越えることはないが、清浄度を維持して行くためにフィルターは1年ごとに交換された。なお、3年目の際、減少した量（目減り）に合わせて市販の潤滑油を補充し、この時点で多少上昇した汚染度、水分共、その後、数値は低下した。

ここで特筆すべきことは、通常、汚染油を濾過することで汚染度は一時的に低下しても、酸化物が除去されないため、直ぐに上昇して行く速度が速く、フィルター交換サイクルも短くなり、劣化を抑制することは難しいとされている。油の性状を見る代表的な項目では、動粘度（40℃）、水分、全酸価、汚染度が上げられるが、中でも全酸価については、酸性成分の総合値であることから油の種類や粘度、添加剤の混入度合いによってすべて異なるため、基準値は定められない。今回の潤滑油の場合、汚染された油の全酸価値（この中に酸化スラッジが含まれている）を酸化物混入の基準値として、濾過することにより、この数値が下げられれば、劣化の要因である酸化スラッジが除去されたことと判断できる。

つまり、1年ごとのフィルター交換時においても新油基準以下の清浄度を維持することは、全酸価値が下がっているためであると言える。

これまで機械故障の3大元凶と言われる酸化スラッジ、水分、汚染粒子を除去するために苦慮されていたが、NRK特殊フィルター内蔵の濾過装置により、機械故障はほとんど皆無となり、設備のメンテナンス、修理費、動力費などが大幅に低減されている。なお、現在も毎年のフィルター交換時においても油自体は交換せず、新油基準より優れた清浄度を維持している。

## 7 おわりに

NRK特殊フィルターと、それを内蔵する濾過

装置の仕組み、効果、また採用事例について述べたが、汚染度改善、廃油排出ゼロの事例は、この他にも多数報告されている。毎年使用される潤滑油の大半は廃油として処理されているが、添加剤の効能や濾過装置の向上により、廃油量を減少させることは難しいことではなくなってきたと言える。むしろ、清浄度を高レベルで維持して行くことにより、機械装置の故障が起らず、稼働率を高め、ユーティリティ費を削減し、さらには環境保護対策に繋がることになる。

このような潤滑油の清浄度管理体制が、今後一層向上して行くことを願う次第である。

### <参考文献>

- (1) (社)日本プラントメンテナンス協会潤滑技術委員会編：“わかりやすい潤滑技術”（1995）
- (2) 富田正久・磯野醇二・佐藤宗男：“最新燃料油と潤滑油の実務”、成山堂書店（1997）
- (3) (社)日本フルードパワー工業会編集委員会編：“実用油圧ポケットブック2003版”（2003）
- (4) 坂本俊雄・三木一伯：“油圧・空気圧回路図”、オーム社（2004）

### 筆者紹介

佐々木克英（昭和41年生・東京都出身）

日本濾過工業(株) 本社 技術営業部

専務取締役

〒417-0061 静岡県富士市伝法2364

TEL：0545-55-0055

FAX：0545-51-1401

E-mail：info@roka.co.jp

<主なる業務歴および資格>

1989年より日本濾過工業技術部にて濾過システムの開発に従事。自動車工場向け、製紙工場向け、天然ガス運搬船搭載型などを開発。2000年から、北米向け輸出も担当する。

<過去の執筆実績>

(社)火力原子力発電技術協会発行「火力原子力発電」（2002年1月号）

藤井至

日本濾過工業(株) 本社 技術営業部 顧問

〒417-0061 静岡県富士市伝法2364

TEL：0545-55-0055

FAX：0545-51-1401

E-mail：i-fujii@roka.co.jp