

河川ポンプ設備における潤滑油成分分析結果を活用した傾向管理

村上 大幹

国土交通省関東地方整備局

関東技術事務所施設技術課

1. はじめに

河川ポンプ設備は、洪水や高潮による堤内地への氾濫浸水を防止する内水排除施設等に設置され、国民の安全と社会経済活動を支える重要な設備である。河川ポンプ設備は、公共施設としての性格上、万一その機能が損なわれた場合に周辺地域へ与える影響が大きいいため、良好な状態を維持する必要がある。それに対して、今後老朽化した河川ポンプ設備の増加により維持管理費が増大する事態が懸念されることから、維持管理の効率化が求められている。

河川ポンプ設備の主原動機及び自家発電機用原動機には、ディーゼル機関が多く採用されており、ディーゼル機関に使われる潤滑油は、原動機部品の摩耗の防止、冷却、内部の防錆、燃費の向上など非常に重要な役割を担っている。そのため、適正な潤滑油管理はディーゼル機関の信頼性確保に不可欠である。

常用系のディーゼル機関では、主にオイルメーカー、エンジンメーカーの推奨する潤滑油交換基準（主に時間計画保全）がある。しかし、河川ポンプ設備の主原動機は運転頻度が一般的に低いことから、劣化の過程が原動機によって様々であり、常用系に用いられる時間計画保全を適用すると過剰メンテになる可能性がある。このため、河川ポンプ設備の予防保全においては、時間計画保全に加えて、動作値及び傾向を監視する状態監視保全を取

り入れている。関東技術事務所では、状態監視保全の手法の一つとして河川ポンプ設備で年点検時に行っている潤滑油の成分分析の結果を収集し、統計・解析に取り組んでいる。

2. 潤滑油分析

河川ポンプ設備の主ポンプ設備・自家発電機用の原動機及び減速機を対象として、平成22年度より年点検時に専門会社を実施する潤滑油成分分析の結果報告書を施設管理事務所から収集し、当該情報を時系列に整理し、傾向管理に取り組んでいる。取り組んでいる内容は、分析結果から潤滑油の点検時点の潤滑油劣化状態は把握できるが、分析結果のみでは判断できない以下の2点である。

① 潤滑油の性状値の傾向から潤滑油交換時期予測

最適なタイミングに潤滑油交換することで、潤滑油交換コストの最適化を図りつつ、適正な潤滑を維持することにより機械劣化や故障を防止する。分析結果を見て潤滑油交換（事後保全）を行うのではなく、潤滑油交換時期を予測し計画的な潤滑油交換（予防保全）を行う。

② 設備の異常兆候把握

潤滑油中の金属摩耗粉の種類と量、金属元素の種類と量の変化を時系列で整理することで、設備の異常兆候を把握する。

潤滑油成分分析結果を活用した傾向管理を行う手段として、施設管理事務所か

ら収集した潤滑油成分分析報告書の内容、機器毎の潤滑油交換実施状況、分解整備・更新時期などの情報を、潤滑油データベースへ登録し、傾向管理グラフ、潤滑油余寿命の予測、及び変化傾向を捉えた潤滑油成分分析について資料を作成し、関係施設管理事務所へ情報提供している。

3. サンプルング

潤滑油の傾向管理を行う上でサンプルングは、その入口に位置する作業であり、分析データの信頼性、安定性等の確保の観点から非常に重要である。また、サンプルングを行う場合、分析値のバラツキ防止や精度の向上のためには設備の特性にあった方法で行うことが重要である。サンプルング時の注意事項について以下に示す。

- ・ サンプルングのタイミングとサンプルング箇所は毎回同一とする。
- ・ 標準的には、管理運転完了後にサンプルングを実施する。
- ・ オイルゲージやサンプタンクからの場合、サンプルング管の先端をオイルパンやタンクの下部に着けず、中間位置からサンプルングする。（底部に溜まったスラッジなどの影響を避けるため）
- ・ オイルフィルター部の場合、フィルタを通過した潤滑油は不純物が捕捉されることから、エンジンを潤滑しているオイルの状態と異なる可能性があるため、できるかぎりエンジン側から戻ってくる潤滑油をサンプルングする。なお、蓋やフィルタの構造によって適切なサンプルング方法は異なるので適宜工夫する。
- ・ サンプルング管やサンプルング瓶は清浄なもので使い回しを厳禁とし、作業中に不純物が混入しないように留意する。
- ・ サンプルング時にサンプルング瓶の口

をウエスで拭くあるいは手で触るなども厳禁とする。

- ・ サンプタンクの専用バルブからサンプルングする場合は、配管内に溜まったスラッジをサンプルングしないように、当該配管容量の5倍程度のオイルをフラッシングで流してからサンプルングする。



写真－1 オイルゲージ孔からのサンプルング



写真－2 オイルフィルター部からのサンプルング



写真－3 サンプタンクからのサンプルング

4. 潤滑油成分分析とりまとめ内容

4-1 とりまとめ手順

潤滑油成分分析結果のとりまとめ手順、施設管理事務所と関東技術事務所の分担内容を図-1に示す。

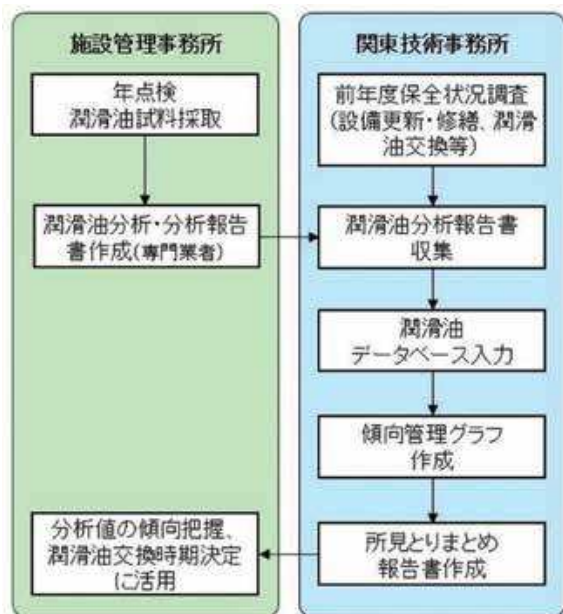


図-1 潤滑油成分分析結果のとりまとめ手順

4-2 潤滑油データベース

① 潤滑油性状分析

潤滑油交換の参考となる分析で、動粘度、酸価、塩基価は潤滑油の劣化状況把握、水分は潤滑油の汚染状況把握に用いられる。

データベースに記録している性状分析項目は、動粘度、酸価、塩基価、水分である。

② 摩耗粒子濃度分析（定量フェログラフィ法）

定量フェログラフィ法は、金属摩耗粉を含んだ潤滑油を、磁石を下に敷いた沈着チューブ内に流し、油中の摩耗粉を捕捉分離することで潤滑油中の摩耗粉を分析する方法である。機械の摩耗状態を粒子量の経時変化から評価し、摩耗が進行

すると、大きい粒子の増加が顕著になるケースが多いとされている。

データベースに記録している項目は、大摩耗粒子濃度、小摩耗粒子濃度、摩耗粒子濃度、摩耗異常指数である。

③ 摩耗粒子や異物の形態と量（分析フェログラフィ法）

分析フェログラフィ法は、ガラス板上に捕捉した摩耗粉を顕微鏡などで観察し、摩耗粉の形態分類分析を行う方法である。摩耗の発生源や摩耗の過酷度合いなどの判定に用いられる。

データベースに記録している項目は、代表的な粒子群の写真、分析会社の所見である。

④ 金属元素分析（SOAP法）

SOAP法は、試料油を燃やした炎をICP（誘導結合プラズマ）などで分光分析して潤滑油中の金属元素とその濃度を測定する方法である。

機械の摩耗状態、摩耗箇所の推定等に用いられる。

データベースに記録している金属元素の種類は、鉄、鉛、銅を含む17元素である。

4-3 傾向管理グラフ

潤滑油の傾向管理から正常でない状態を把握し、設備の異常兆候を見つけ対策を講じることを目的として、潤滑油データベースへ登録した内容を基に以下項目について傾向管理グラフを作成している。

- ・潤滑油性状分析項目：動粘度、酸価、塩基価、水分
- ・摩耗粒子濃度分析項目：摩耗粒子や異物の形態と量：大摩耗粒子濃度（DL）、小摩耗粒子濃度（DS）、摩耗粒子濃度（大摩耗粒子濃度と小摩耗粒子濃度の合計）、摩耗異常指数（DL2 - DS2）

- ・金属元素分析項目：鉄 (Fe)、鉛 (Pb)、銅 (Cu)、クロム (Cr)、アルミ (Al)、ニッケル (Ni)、銀 (Ag)、錫 (Sn)

4-4 潤滑油余寿命の予測

傾向管理グラフ(潤滑油性状分析)を基に、動粘度、酸価、塩基価から潤滑油の劣化状況、水分から潤滑油の汚染状況を把握し、データの推移が管理基準値(JIS規格・オイルメーカー規格)に対して漸増又は漸減の傾向があり、管理基準値に達する時期が予測できる場合は、潤滑油の交換予測時期を施設管理事務所に情報提供している。

4-5 変化傾向を捉えた潤滑油成分分析

傾向管理グラフ(摩耗粒子濃度分析、摩耗粒子や異物の形態と量、金属元素分析)を基に、現状までの鉄 (Fe)、鉛 (Pb)、銅 (Cu) の推移が、急増、漸増、急減の傾向、また、潤滑油成分分析結果報告書による管理基準値(絶対値)に対して接近又は超過の傾向を把握し施設管理事務所に情報提供している。

5. 令和3年度の潤滑油成分分析結果

5-1 潤滑油成分分析数量

令和3年度に潤滑油成分分析結果をとりまとめた施設数は44施設である。機器別潤滑油分析数量を表-1に示す。

表-1 機器別潤滑油成分分析数量

機器名称	分析数量
主原動機 (ディーゼル)	87
発電機用原動機 (ディーゼル)	83
ガスタービン	11
減速機	44
ポンプ (救急排水ポンプ等)	13
計	238

5-2 分析結果 (事例1)

令和3年度の潤滑油性状分析値(動粘度)の傾向からA排水機場の主原動機の潤滑油が1年後の令和4年度に下限値に到達する予測をした事例が図-2である。予測手順は、①潤滑油性状分析値、管理基準値のグラフ化、②予想線の記載、③判定である。

動粘度の低下原因としては、一般的に燃料等の異種油や水の混入、添加剤の劣化がある。

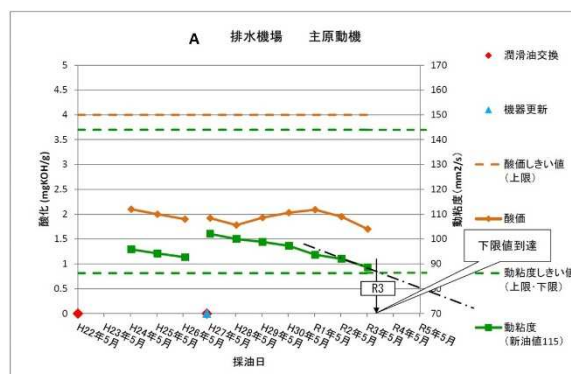
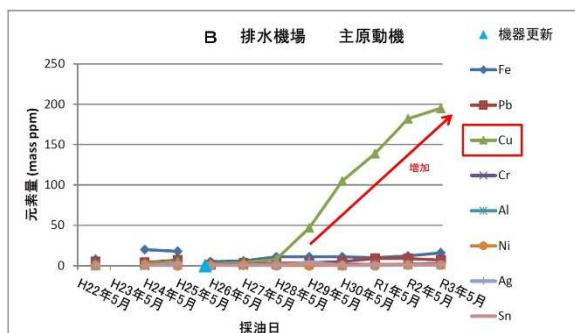


図-2 傾向管理グラフ (動粘度下限値到達予測)

5-3 分析結果 (事例2)

図-3は、B排水機場主原動機の金属元素分析において銅 (Cu) が5年連続急増した事例である。銅 (Cu) において変化が顕著であることから、これらの元素を含有するメタルなどの内部部品の摩耗が懸念される事例であり、施設管理事務所に点検会社、エンジンメーカーに確認することを推奨した事例である。

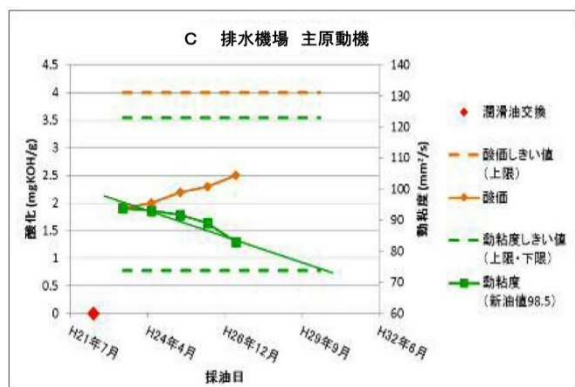


図－3 傾向管理グラフ（金属元素量）

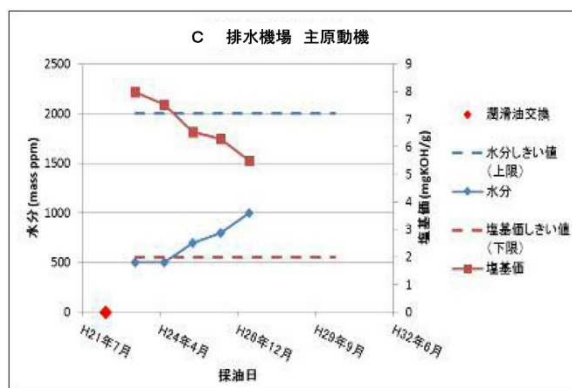
6. 令和2年度以前の潤滑油成分分析結果

6-1 分析結果（事例3）

C排水機場の場合、前回の更油後5年間の経年変化を見ることで、その後の3年間（回帰線）の動きを予測することができる。この場合、あと3年で動粘度の下限値に到達すると推定できる（図-4）。よって、この施設の更油期間は8年と推定できる。また、水分および酸価は上昇傾向、塩基価は低下傾向が見られる（図-5）。



図－4 傾向管理グラフ（動粘度・酸化）

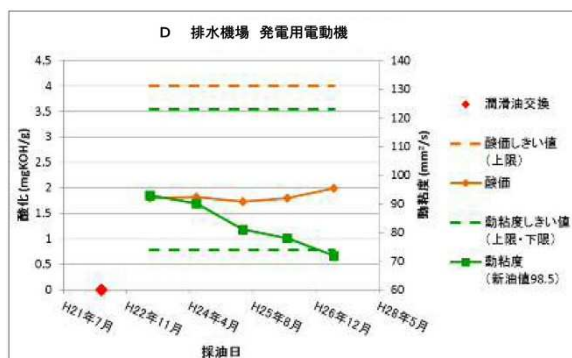


図－5 傾向管理グラフ（水分、塩基価）

6-2 分析結果（事例4）

D排水機場の場合、動粘度は下限値に達しているが（図-6）、水分や酸価、塩基価に大きな変化は見られない（図-7）。このような場合は、潤滑油の更油を検討するだけでなく、エンジンの排気温度など他の計測値に注意し、機関本体の状態監視にも配慮する。

例えば、排気温度が上昇傾向を示している場合は、機関から発生する熱がオイルの劣化を進めているだけでなく、内部摩耗が進んでいる可能性がある。



図－6 傾向管理グラフ（動粘度・酸化）

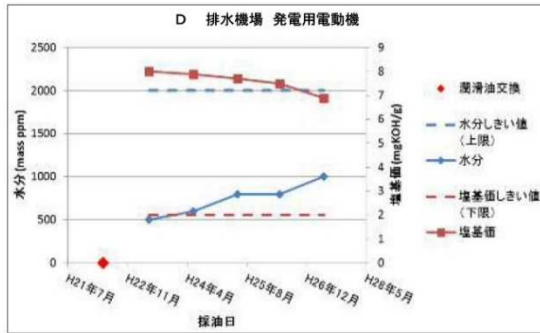


図-7 傾向管理グラフ(水分、塩基価)

6-3 分析結果(事例5)

図-8は大摩耗粒子濃度が急増した後に主原動機の分解整備を実施した過去の事例である。

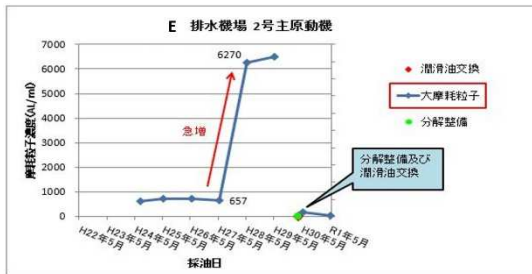


図-8 傾向管理グラフ(大摩耗粒子濃度)

大摩耗粒子濃度の推移

657 (H27) → 6,270 (H28)

大摩耗粒子濃度は潤滑油 1 mlの時の摩耗粒子濃度であり、沈着チューブに捕捉された大摩耗粒子の面積被覆率に希釈倍率を乗じた値である。

金属元素量の推移

鉄 (Fe) 42 (H27) → 37 (H28)

鉛 (Pb) 4 (H27) → 6 (H28)

銅 (Cu) 53 (H27) → 74 (H28)

金属元素量の単位はmass ppmである。

E排水機場2号主原動機

原動機形式 4サイクルディーゼル機関

設置年度 昭和51年3月

今回整備 平成30年3月分解整備

分解時にスラストメタル(クランク軸

の軸受の両端に取り付けられている輪状の部品)に摩耗が多く見られ交換を実施している。スラストメタルの摩耗が大摩耗粒子濃度の増加原因の1つとして考えられるが、急増している金属元素はなく大摩耗粒子濃度増加とは相関がとれていない。

平成27年度に大摩耗粒子濃度が急増した原因として平成27年9月関東・東北豪雨による長時間運転(約60時間)の影響が考えられる。平成27年度の年間運転時間は、約63時間である。平成27年度前後の平成25、26、28年度の年間運転時間はいずれも約3時間であり、この間の大摩耗粒子濃度は急増していない。

6-4 分析結果(事例6)

図-9は金属元素分析で銅(Cu)の値が増加した自家発電機用原動機を分解整備した過去の事例である。

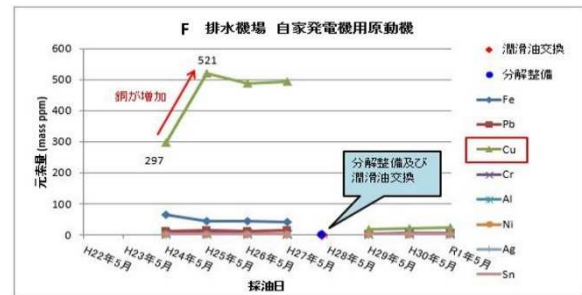


図-9 傾向管理グラフ(金属元素量)

銅(Cu)の推移

297 (H24) → 521 (H25)

大摩耗粒子濃度の推移

641 (H24) → 366 (H25)

F排水機場自家発電機用原動機

原動機形式 4サイクルディーゼル機関

設置年度 昭和54年3月

今回整備 平成28年3月分解整備

分解整備時の点検で摩耗が確認された

のは、シリンダライナ内面のクロムめっき層であり、銅（Cu）増加の原因は判明していない。

7. 現時点での課題

傾向管理の課題としては、摩耗粒子量、金属元素量において異常兆候を示す数値を示せていないこと、年度単位で潤滑油成分分析を実施しているが、潤滑油を交換すると摩耗粒子量及び金属元素量のデータがリセットしてしまうことがある。

また、動粘度、水分、塩基価などの指標が悪化したときに、添加剤によって性状を改善できる可能性、及び水分が増加した潤滑油から、水分を除去することのできるフィルタがある。しかし、これらを待機系のディーゼル機関に使用した場合の潤滑油の寿命延長や耐久性については未評価な部分があるため、今後の検討が必要である。

8. おわりに

本稿では、現在関東技術事務所で取り組んでいる河川ポンプ設備ディーゼル機関等の潤滑油成分分析結果を活用した傾向管理の取り組みについて述べた。

河川ポンプ設備ディーゼル機関等において、摩耗粒子量や金属元素量の増加量がどの程度になったら設備の異常兆候を示しているかなどの分析技術は、まだ確立していないため、全面的な活用ができていない。潤滑油成分分析結果を活用した傾向管理については、データを蓄積し、分析精度の向上や知見を高め、更なる故障防止等の効果を目指して、今後の河川ポンプ設備ディーゼル機関等の維持管理に役立てていきたい。

参考文献

1) (一社)河川ポンプ施設技術協会編集：ぽんぷNo. 64 p4-p7「潤滑油分析結果を活用した傾向管理」国土交通省関東地方整備局関東技術事務所 山中 勇樹

2) 国土交通省関東地方整備局関東技術事務所：機械設備の履歴管理システム調査・分析（関東技術事務所HP＞事務所の取り組み＞技術的な取り組み＞技術的な取組例＞技術的な取組例 平成30年度）