

機械設備の履歴管理システム調査・分析

1. 調査目的

本業務は、国土交通省関東地方整備局で管理する河川及び道路における機械設備の維持管理データを解析し、効率的な維持管理に資する傾向管理手法について検討することを目的とする。

平成 27 年度は、維持管理情報の電子化、傾向管理評価シート(案)の作成を行い傾向管理手法の改善案の提案、河川ポンプ設備の不可視部分診断手法の立案及び機械設備維持管理計画改善手法の検討とともに、設備の維持修理費推移について解析を行った。また、河川ポンプ設備の潤滑油分析に基づく管理指標(案)をまとめた。

2. 過去の経緯

平成 20 年度より調査をし、平成 25 年度からは次のとおりである。

平成 25 年度

- ・平成 24 年度に引き続き、揚排水ポンプ設備 4 施設を対象として FT 図作成および FMEA を行うとともに、維持管理情報については、データベース様式へ入力を行った。
- ・本業務において、過去に電子化した河川系・道路系機械設備の維持管理情報を H26 年度より運用を開始する機械設備維持管理システムのデータ入力支援システムフォーマットに変換した。
- ・各対象施設の傾向管理の評価シート(案)を作成した。
- ・平成 20 年度～平成 24 年度までの工数データをもとに、「機械設備維持管理システムのデータ蓄積」、「FMEA 解析・FTA 作成」、「実際のデータに基づく故障解析」、「傾向管理シートの作成」に係る歩掛(人工)をまとめた。
- ・関東地整管内排水機場ポンプ設備の潤滑油成分分析結果を収集し、当該情報を基に潤滑油 DB 構築と経年変化などの分析を実施した。

平成 26 年度

- ・平成 25 年度に引き続き、河川用水門設備 4 施設、揚排水ポンプ設備 7 施設、道路排水設備 3 施設を対象として維持管理情報については、データベース様式への入力を行った。
- ・各対象施設の傾向管理の評価シート(案)を作成した。
- ・対象施設の建設費(増設費含む)に対する維持修理費(点検費・更新費・修繕費)の比率の値および経時変化傾向について確認を行った。
- ・関東地整管内排水機場ポンプ設備の潤滑油成分分析結果を収集し、当該情報を基に潤滑油 DB 構築、経年変化分析と故障情報との因果関係などの把握を実施した。

3. 調査概要

3. 1 機械設備維持管理情報の電子化

水門設備 4 施設、排水ポンプ設備 4 施設、道路排水設備 3 施設について、完成図書、運転日報、点検整備報告書、定期整備完成図書、更新工事完成図書、故障記録・不具合報告書、点検整備修理・改

造等の履歴に関する情報を、施設管理事務所から収集する。当該情報は、機械設備維持管理システムのデータベース様式へ入力する。

3. 2 実際のデータに基づく解析

水門設備 4 施設、排水ポンプ設備 5 施設、道路排水設備 3 施設について、過年度資料をもとに、各種計測項目について、データの変化傾向を解析（傾向管理）する。

3. 3 傾向管理の評価シート(案)作成

水門設備 4 施設、排水ポンプ設備 5 施設、道路排水設備 3 施設について、継続的に適切なデータ収集・解析及び傾向管理ができるように、解析対象施設ごとに作業の手順などを体系的にまとめた傾向管理手法のマニュアル化を図る。以降継続使用できる評価シート（表計算ソフト）としてとりまとめを行う。

3. 1 項で収集したデータを時系列的に整理し、施設毎に傾向管理グラフを作成する。

3. 4 河川ポンプ設備の不可視部分診断手法の立案

河川ポンプ設備の不可視部分を対象として、状態監視に効果的な新たな診断手法を立案する。不可視部分としては、通常の点検では把握することが難しい主ポンプ本体のケーシング内部（主軸、羽根車、水中軸受）及び主原動機本体内部（燃料部、過給機）を対象として検討を行う。

診断手法としては、内視鏡を用いた内部画像撮影及び振動計を用いた振動波形と周波数の分析を実施し、これらを通常の年点検時に付加して実施する手法を検討する。

3. 5 機械設備維持管理計画改善手法の検討

維持管理計画とは、設備の保全を安全かつ効率的に実施し、その機能を維持することを目的として施設毎に作成するもので、具体的には「設備諸元台帳」「維持管理計画（中長期保全計画・年度保全計画）」「維持管理台帳」で構成される。維持管理計画は、設備の健全度評価によって適切に見直しを行う必要がある。

本年度は、水門設備 2 施設、排水ポンプ設備 5 施設、道路排水設備 3 施設について、機械設備維持管理計画を状態監視保全の適用拡大を考慮して見直しを行う。

なお、状態監視保全の適用拡大は、H26 年度の「河川用ゲート設備点検・整備・更新マニュアル(案)」及び「河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル(案)」(以下「点検・整備・更新マニュアル(案)」という)の改訂に伴う致命的機器の見直し、年度保全計画の考え方、中長期保全計画の立て方の他、健全度評価手法において示すものとする。

3. 6 維持修理費推移の解析

維持修理費について、工事实績から算定し、建設費（増設費含む）に対する維持修理費（点検費・更新費・修理費）の比率の値および経時変化傾向について確認を行う。

3. 7 潤滑油分析

関東地整管内排水機場ポンプ設備の潤滑油成分分析結果を収集し、当該情報を基に潤滑油 DB 構築、経年変化分析と故障情報との因果関係などの把握を実施し、分析結果と J I S 規格・オイルメーカーな

どが定める性状や組成などの規格値を基に、更油してからそれらの数値がしきい値に到達するまでの年数を解析あるいは推計する。

4. 調査結果

本年度調査結果を次に示す。なお、本報告における施設名は略称である。

4. 1 機械設備維持管理情報の電子化

対象施設について維持管理情報を機械設備維持管理システムデータベース様式へ入力した。

4. 2 実際のデータに基づく解析

対象施設について過年度データを基に解析を行った。なお、過年度情報量は次に示すとおりとする(表-1)。

表-1 対象施設の過年度データ量

施設名	過年度情報量 (年分)
E11 水門	16
E17 水門	9
E79 水門	9
KE22 堰 洪水吐ゲート	12
TK3 排水機場	19
TK5 排水機場	11
K2 排水機場	13
E3 排水機場	12
K5 排水機場	13
C3 排水機場	7
C5 排水機場	7
C8 排水機場	7

設備の異常傾向を示す事例は少なかったが、状態監視保全の推進に資するため、次の事例に基づき今後の計測方法や傾向管理に関する提案を【対応案】としてとりまとめた。

4. 2. 1 TK3 排水機場

対象機器：主原動機 2号機

測定値：過給機排気出口ガス温度

状況：過給機排気温度がH21年度から徐々に上昇し、H24年度5月に予防保全値を超過している。

【原因の推定】

図-1 に 2 号主原動機過給機排気温度の推移を示す。2 号主原動機は、H17 年度に空気冷却器の更新を行っている。2 号主原動機過給機排気温度は H12 年度から徐々に上昇し、H24 年度 5 月には 420℃ となり予防保全値を超過している。また、シリンダ出口ガス温度についても過給機排気温度と同じ上昇傾向がみられた。

施設管理者と点検整備業者にヒアリングをした結果、過給機排気温度上昇の原因の一つとして、過給機の能力が低下しており、エンジンは本来の回転を維持しようとすることから、燃料消費量が

上がり、排気温度が上昇した可能性が高いことがわかった。過給機以外の原因として、吸気系統の目詰まりピストンリングの摩耗が考えられる。ただし、エンジン潤滑油分析の結果では、異常な摩耗粉は検出されておらず、吸排気系統の目詰まり及びピストンリングの摩耗は考え難い。H27年5月以降に過給機フィルタの交換を行った際、フィルタの汚れが確認できたことから、過給機フィルタの汚れが蓄積されていたことが原因の可能性もある。

図-1に示すとおり、H27年8月以降さらに高い値で推移しており尚も上昇傾向がみられることから、注意が必要である。また、H10年度にも一時期、測定値が上がっているが原因は不明である。

同じ過給機の健全度を評価する傾向管理項目として、過給機(給気)圧力があるが、この傾向管理については、5. 1. 1項で詳述する。

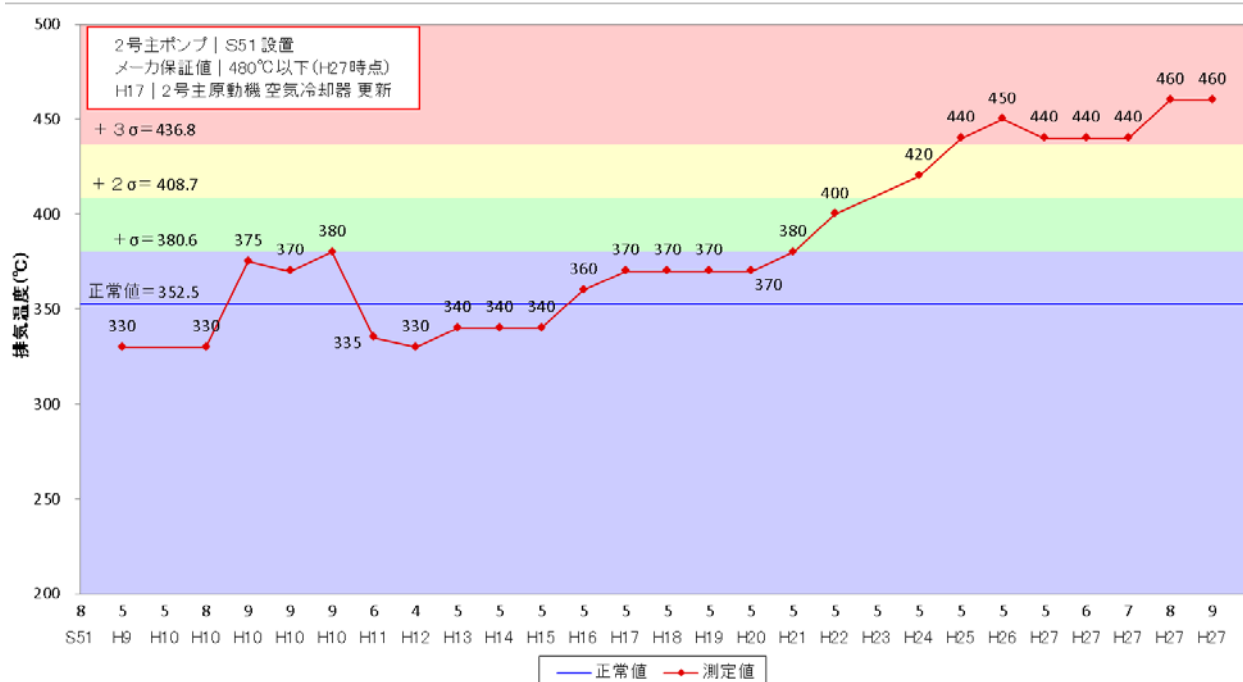


図-1 過給機排気出口 ガス温度傾向管理グラフの事例

【対応案】

対応案としては、来年度年点検 (H28年5月) の排気温度測定結果を踏まえた傾向管理を実施し、その結果 H27 年度データと比較し変動がなければ、現地で過給機部分を分解し、ブレード表面の腐食や凹凸、ススや汚れ等の内部状況について目視点検を行うことが考えられる。この目視点検での過給機の健全度状態を判断する方法の一つとして、他の排水機場の故障事例である過給機内部状態写真を比較する方法がある。

測定した排気温度の傾向、過給機の目視点検による結果を総合的に評価し合理的な改善策や更新の方向付を検討することが必要だと考えられる (総合診断)。

4. 2. 2 K2 排水機場

対象機器：主原動機 1 号機, 2 号機

測定値：潤滑油冷却器 (入口, 出口) 潤滑油温度

状況：潤滑油温度がメーカー基準値 (100°C) に近く高温である。

【原因の推定】

図-2 に 1 号主原動機潤滑油冷却器 (入口) 潤滑油温度の推移を示す。平成 26 年度に 1 号、2 号共にディーゼル機関の更新し、あわせて冷却方式を 2 次冷却方式からラジエータ方式へ変更してい

る。更新前までの点検では 45℃ 近辺で推移していたが、更新後 H27 年 5 月の年点検において約 2 倍のエンジンメーカ許容値 100℃ に近い 87℃ となった。なお、1 号主原動機潤滑油冷却器(入口, 出口)、2 号主原動機潤滑油冷却器 (入口, 出口) 共に同傾向である。1 号、2 号共に主原動機と冷却方式の変更に伴い潤滑油温度が上昇した要因として、2 次冷却方式に対する装置の設計思想の相違が考えられる。

施設管理者、点検整備業者及びエンジンメーカにヒアリングした結果、潤滑油温度がメーカ許容値 100℃ で推移していることに対するシステム設計については問題がないとの回答であった。

図-2 に示すとおり、夏季では潤滑油温度は更に上昇しているが上昇量は低く、現状の潤滑油温度(夏季において 92℃) で安定していると考えられる。

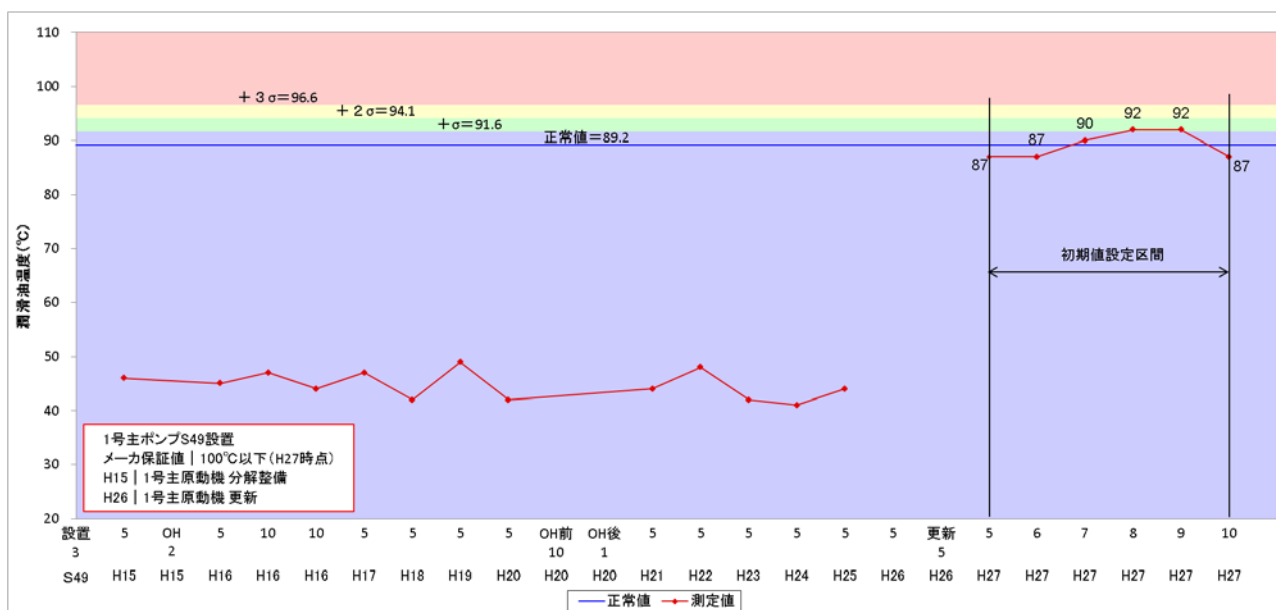


図-2 潤滑油冷却器 (入口) 潤滑油温度傾向管理グラフの事例

【対応案】

潤滑油温度がメーカ許容値の近傍であることから、初期不良のリスクを考慮し今後も傾向管理を適切に行うことが重要である。

4. 2. 3 K2 排水機場

対象機器：主ポンプ 3 号機

測定値：振動値(変位量)

状況：H26 年度、H27 年度に計測値が注意値を超過している。

【原因の推定】

図-3 に 3 号主ポンプ軸受水平方向 (Y-Y 方向) 振動値の推移を示す。3 号主ポンプは平成 22 年度に分解整備を行っている。分解整備後、平成 24 年度までは、正常値 6.9μm で推移していたが、平成 25 年度から上昇し、平成 26 年度は正常値の約 5.5 倍の 39μm、平成 27 年度では約 5 倍の 29μm となり注意値を超過している。なお、特に計測値に影響を与えるような整備等は行っていない。

施設管理者と点検整備業者にヒアリングした結果、以下の事項がわかった。

- ①振動値が注意値を超過している原因の一つとして、振動計が統一されていないことが考えられる。また、現在使用している計測器はセンサと本体が一体型のもので、センサをマグネットで固定する標準的な手法ではない。
- ②運転中に時折大きな振動を発する場合があることから、その際の振動値を記録している可能性

がある。

なお、3軸計測されている各振動値の値を比較したところ、Y方向の傾向管理グラフとX方向Z方向のグラフとでは傾向が真逆であることから、計測者の計測箇所の違いや記録ミスも考えられる。

②については、運転時の水位の影響が考えられるため水位条件との関係を精査した。詳細を5.1.2項に示す。

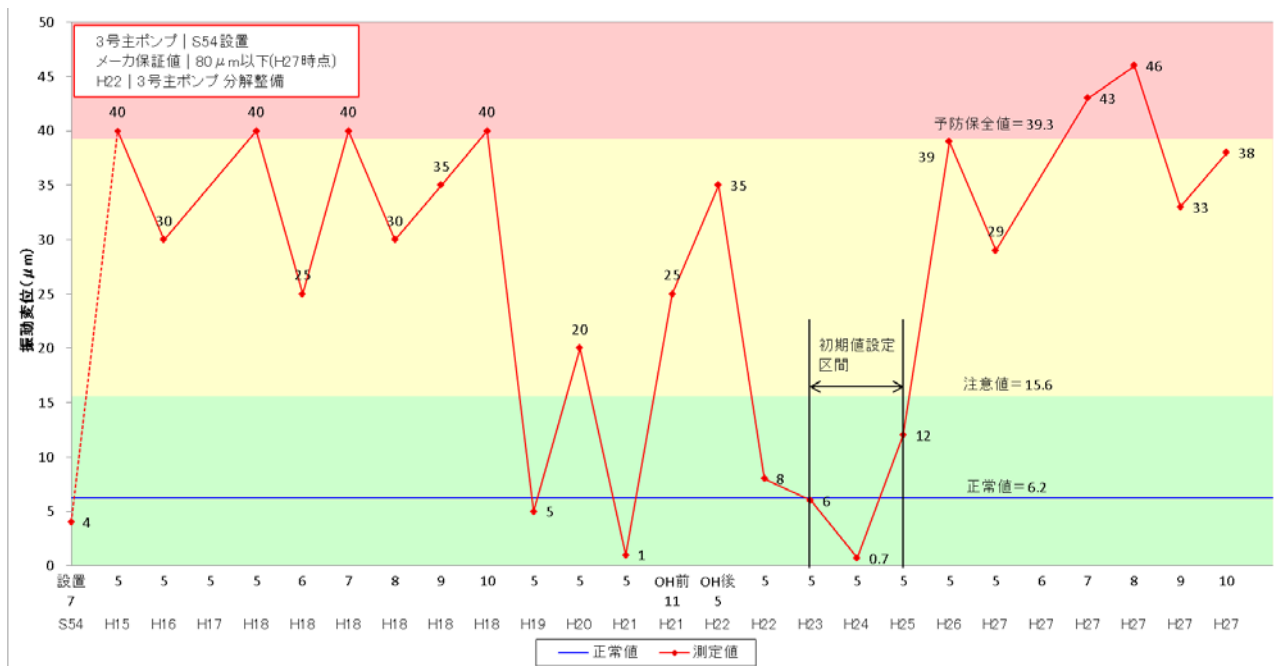


図-3 軸受 振動値傾向管理グラフの事例

【対応案】

今後、安定した状態のデータで傾向管理を実施する為、振動計の計器を統一し計測時はミスを排除する十分な確認を行うことが重要である。

4. 2. 4 K5 排水機場

対象機器：主原動機1号機

測定値：過給機（吸気）圧力

状況：H26年8月から、過給機（吸気）圧力の計測値が低下し予防保全値を超過している。

【原因の推定】

図-4に1号主原動機過給機（吸気）圧力の推移を示す。1号主原動機は平成19年度に分解整備を行っている。分解整備後H19年度からH26年度までは、0.04～0.05MPa付近を推移していたが、H26年度8月から圧力が0.02MPaに低下し予防保全値を超過している。その後低い値で推移している。なお、H20年度以降特に計測値に影響を与える様な整備等は行っていない。

施設管理者と点検整備業者にヒアリングした結果、過給機（吸気）圧力低下の原因として考えられるものは、以下の3点であるとわかった。

- ①エンジン自体の振動により計器が影響を受け、針が希に揺れることによる読み違いの可能性がある。
- ②過給機（吸気）圧力の計器も交換を行っていないことから計器故障による測定誤差も考えられる。

③H19 年度に、主原動機の分解整備は行っているが、過給機については分解整備及び更新を行っていないことから経年劣化により吸気圧が低下している可能性がある。

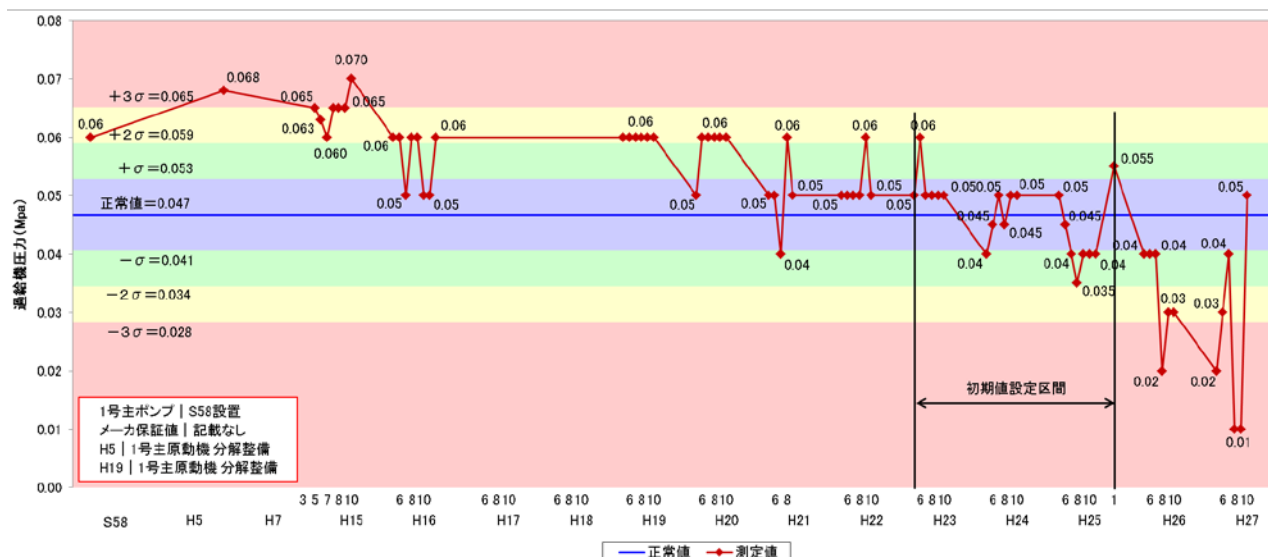


図-4 過給機(吸気) 圧力傾向管理グラフの事例

【対応案】

図-4 に示すとおり圧力は一時 0.01MPa まで低下したが、H27 年 10 月の測定では 0.05MPa の正常値付近に戻っていることから、今後も過給機（吸気）圧力については、圧力計の動作チェック、適正な測定方法で注意深く傾向管理を行い、再び圧力の低下等の傾向を把握した場合は、内視鏡等による精密診断あるいは総合診断の実施を検討する必要がある。

4. 3 傾向管理の評価シート(案)作成

対象施設について、「傾向管理の評価シート(案)」を作成した。

4. 3. 1 傾向管理の評価シート(案)作成手順

現状に至る点検データの把握後、健全度の評価を行うための注意値・予防保全値の設定を行い、傾向管理の評価シート(案)としてまとめるという一連の手順を示した。

4. 3. 2 正常値(初期値)の設定

正常値の設定は、計測データの傾向を確認した上で、正常値区間を設定する。

計測値が初期値から増加後安定するケースでは初期値＝正常値とし、初期値から一定期間徐々に変化した後安定するケースでは安定時の値を正常値とする。

4. 3. 3 傾向管理の評価シート(案)

今回、改善した項目は、施設全体の評価結果を明確に把握できる一覧形式の様式へ、点検結果の判定として指標となる健全度の評価について、注意値または予防保全値の超過より新たに追加した(表-2 の赤枠)。

表-2 評価結果一覧表（事例：TK3 排水機場）

機組名	測定箇所 部品名	測定項目	測定方法	管理基準値		許容値	現状評価結果	注意値 超過	予防保全 要否	許容値 超過	健全度の 評価	備考	ページ 番号
				注意値	予防保全値								
2号主ポンプ	軸受	温度	温度計による測定	23.6℃	27.1℃	60℃以下	現状維持（増減経過） 増減あり。近年の急増なし。H9年度、分解整備実施。	○	○	○	○		P284-286
2号主ポンプ	軸受②	振動	振動計による測定 水平方向：(X-X)	3.93μm	9.9μm	80μm以下	現状維持（増減経過） 増減あり。近年の急増なし。H9年度、分解整備実施。	○	○	○	○		P287-289
2号主ポンプ	軸受③	振動	振動計による測定 水平方向：(Y-Y)	4.73μm	11.9μm	80μm以下	現状維持（増減経過） 増減あり。近年の急増なし。H9年度、分解整備実施。	○	○	○	○		P290-292
2号主ポンプ	軸受④	振動	振動計による測定 軸方向：(Z-Z)	7.05μm	17.8μm	80μm以下	現状維持（増減経過） 増減あり。近年の急増なし。H9年度、分解整備実施。	○	○	○	○		P293-295
2号主ポンプ	外部軸受①	振動	振動計による測定 水平方向：(A)	5.23μm	13.2μm	80μm以下	現状維持（増減経過） 増減あり。近年の急増なし。H9年度、分解整備実施。	○	○	○	○		P296-298
2号主ポンプ	外部軸受②	振動	振動計による測定 軸方向：(B)	4.45μm	11.2μm	80μm以下	現状維持（増減経過） 増減あり。近年の急増なし。H9年度、分解整備実施。	○	○	○	○		P299-301
2号主ポンプ	外部軸受③	振動	振動計による測定 軸方向：(V)	6.59μm	16.6μm	80μm以下	現状維持（増減経過） 増減あり。近年の急増なし。H9年度、分解整備実施。	○	○	○	○		P302-304
2号ディーゼル機関	二次冷却水 空気冷却器（出口）	冷却水温度	機付温度計による測定	20.7℃	21.6℃	記載なし	現状維持（増減経過） 増減あり。近年の急増なし。H17年度、空気冷却器更新実施。	○	○	—	○		P437-439
2号ディーゼル機関	シリンダー出口（No.1）	ガス温度	機付温度計による測定	411.7℃	449.0℃	480℃以下	現状維持（漸増） 増減あり。近年の急増なし。H17年度、空気冷却器更新実施。	×	○	○	△2		P440-442
2号ディーゼル機関	シリンダー出口（No.2）	ガス温度	機付温度計による測定	364.0℃	383.9℃	480℃以下	現状維持（漸増） 増減あり。近年の急増なし。H17年度、空気冷却器更新実施。	○	○	○	○		P443-445
2号ディーゼル機関	シリンダー出口（No.3）	ガス温度	機付温度計による測定	405.9℃	424.5℃	480℃以下	現状維持（漸増） 増減あり。近年の急増なし。H17年度、空気冷却器更新実施。	×	○	○	△2		P446-448
2号ディーゼル機関	シリンダー出口（No.4）	ガス温度	機付温度計による測定	398.1℃	439.2℃	480℃以下	現状維持（漸増） 増減あり。近年の急増なし。H17年度、空気冷却器更新実施。	○	○	○	○		P449-451
2号ディーゼル機関	シリンダー出口（No.5）	ガス温度	機付温度計による測定	422.5℃	463.7℃	480℃以下	現状維持（漸増） 増減あり。近年の急増なし。H17年度、空気冷却器更新実施。	×	○	○	△2		P452-454
2号ディーゼル機関	シリンダー出口（No.6）	ガス温度	機付温度計による測定	342.1℃	358.9℃	480℃以下	現状維持（漸増） 増減あり。近年の急増なし。H17年度、空気冷却器更新実施。	×	○	○	△2		P455-457
2号ディーゼル機関	過給機排気出口	ガス温度	機付温度計による測定	449.1℃	477.2℃	480℃以下	現状維持（漸増） 増減あり。近年の急増なし。H17年度、空気冷却器更新実施。	○	○	○	○		P458-460
2号ディーゼル機関	潤滑油	潤滑油圧力	機付圧力計による測定	0.591MPa 0.466MPa	0.622MPa 0.424MPa	0.20～0.70MPa	現状維持（増減経過） 増減あり。近年の急増、急減なし。H17年度、空気冷却器更新実施。	○	○	○	○		P461-463
2号ディーゼル機関	一次冷却水	圧力	機付圧力計による測定	0.210MPa 0.210MPa	0.210MPa 0.210MPa	0.05～0.50MPa	現状維持（変化なし） 変化なし。近年の急増、急減なし。H17年度、空気冷却器更新実施。	○	○	○	○		P464-466
2号ディーゼル機関	燃料油	圧力	機付圧力計による測定	0.265MPa 0.119MPa	0.301MPa 0.093MPa	0.05MPa以上	現状維持（増減経過） 増減あり。近年の急増、急減なし。H17年度、空気冷却器更新実施。	○	○	○	○		P467-469
2号ディーゼル機関	給気	圧力	機付圧力計による測定	0.028MPa 0.018MPa	0.021MPa 0.015MPa	記載なし	現状維持（増減経過） 変化が小さい。近年の急増、急減なし。H17年度、空気冷却器更新実施。	○	○	—	○		P470-472
2号ディーゼル機関	本体	始動時間	ストップウォッチによる測定	219.3秒	227.5秒	記載なし	現状維持（漸増） 漸増傾向。近年の急増なし。H17年度、空気冷却器更新実施。	○	○	—	○		P473-475
2号ディーゼル機関	本体	停止時間	ストップウォッチによる測定	385.8秒	416.1秒	記載なし	現状維持（増減経過） 増減あり。近年の急増なし。H17年度、空気冷却器更新実施。	○	○	—	○		P476-478

4. 4 河川ポンプ設備の不可視部分診断手法の立案

不可視部分の診断手法として、内視鏡を用いた画像撮影および振動センサ（渦電流式変位センサ）を用いた周波数分析について検討を行った。

4. 4. 1 内視鏡を用いた内部画像撮影による診断

主ポンプおよび主原動機の内部画像撮影では、現実的に活用できる適用機種を選定を目的として、AJ5 排水機場 2 号主ポンプを対象に実機デモ調査を行い、要求される仕様を確認した。

撮影した画像データは、精密診断における判定を行えるレベルでなければならない。その観点で、汎用の工業用内視鏡を広く調査し、仕様及び価格を調査した。その結果、カメラ性能の評価に必要な事項を次のとおりまとめた。

- ・高輝度であり、暗所でも撮影部が明るく見えること。
- ・カメラの焦点距離は、近接から遠距離まで対応可能であること。
- ・鮮明度の観点と普及製品の実績から、画素数は 30 万画素程度であること。
- ・カメラの操縦性として手元操作が容易であること。（特に主原動機の診断用）
- ・カメラの首振り機能は有効であるが、経済性を考慮すること
（首振り機能は、ケーブルが長い機種では非常に高価であるため）

主ポンプについては、ケーシングの長さに対応できる 4 社の工業用内視鏡製品について実機デモを行い、ライナ部の摩耗状況等について画像を撮影した。また、主原動機については、細部の確認を目的として操作性を重視した 2 社の製品について実施デモを行い、過給機内部やシリンダヘッド等について画像を撮影した。

調査結果として、画像データの比較表を次の表-3, 4 に示す。

表-3, 4 に示す各工業用内視鏡の写真から、ポンプ羽根車に対するライナ部の傷や、主原動機シリンダライナ及びシリンダヘッドの表面を確認することができるので、今回の撮影対象に対しての適用性は充分あったと評価できる。

表-3 主ポンプ内部（羽根車及びライナ部）画像データ比較表

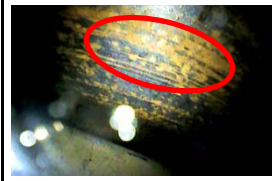
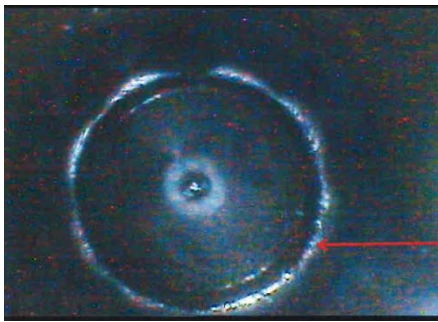
A 社	B 社	C 社	D 社
			
			

表-4 主原動機内部（シリンダライナ・ピストンヘッド）画像データ比較表

A 社	B 社
	

今回の実施デモにより、前述の仕様を含めて、精密診断を目的とした内視鏡カメラ購入するための標準的な仕様を把握できた。

主ポンプ内部の撮影では、主ポンプの構造に追従できる構造とする必要がある。挿入部カメラヘッドやケーブル外径は、案内羽根や羽根車上で形状に応じて円滑に追従できる先端の柔軟性を考慮したもので、挿入部有効長は、主ポンプ揚水管の長さを考慮し、概ね 7m～10m 以上のものとした。カメラ仕様については、画素数、光源、焦点距離などを診断が行えるレベルで設定した。

主原動機内部の撮影条件は、主ポンプとほぼ同じであるが、主ポンプと異なり小さな孔より挿入することや細部撮影となることから、ケーブル仕様については先端部の首振り機能を要件とするともに、挿入部外径を比較的小さく、挿入部有効長は短く設定した。

4. 4. 2 振動計を用いた振動波形および周波数分析による診断

主ポンプ主軸の診断手法の検討として、AJ5 排水機場 2 号主ポンプを対象に、常設渦電流式変位計による振動計測及び解析を行った。

(1) 計測信号の記録

当該機場には常設渦電流式変位計が設置されているが、信号は監視制御系統に記録されるシステムとなっており、監視制御系統からは解析可能なデータ形式（連続した時間領域波形を示す形式）での外部出力ができないことがわかった。そこで、変位計アンプ収納箱内の配線より変位計からのアナログ信号を直接ポータブルデータロガに記録した。

(2) 振動波形解析

データログに記録した変位信号に基づき、主ポンプ主軸の時間領域波形及びFFT解析を行った結果を図-5に示す。解析の結果、回転系のアンバランスを示す回転数成分と羽根車成分の微少な高調波が確認できた。この事例では、羽根車成分（回転数×羽根車枚数）は明確に検出されていない。検出された時間領域波形は回転数成分についてあまり大きくないことから、周波数分布は正常な状態を示していると考えられる。

しかし、ポンプの回転とは直接の因果関係がないと考えられる比較的高い周波数帯（x方向：40Hz～45Hz y方向：30Hz～40Hz付近）にノイズが発生していた。この振動の原因として変位センサ取付架台の共振が疑われたため、取付架台の固有振動数の調査を行った。

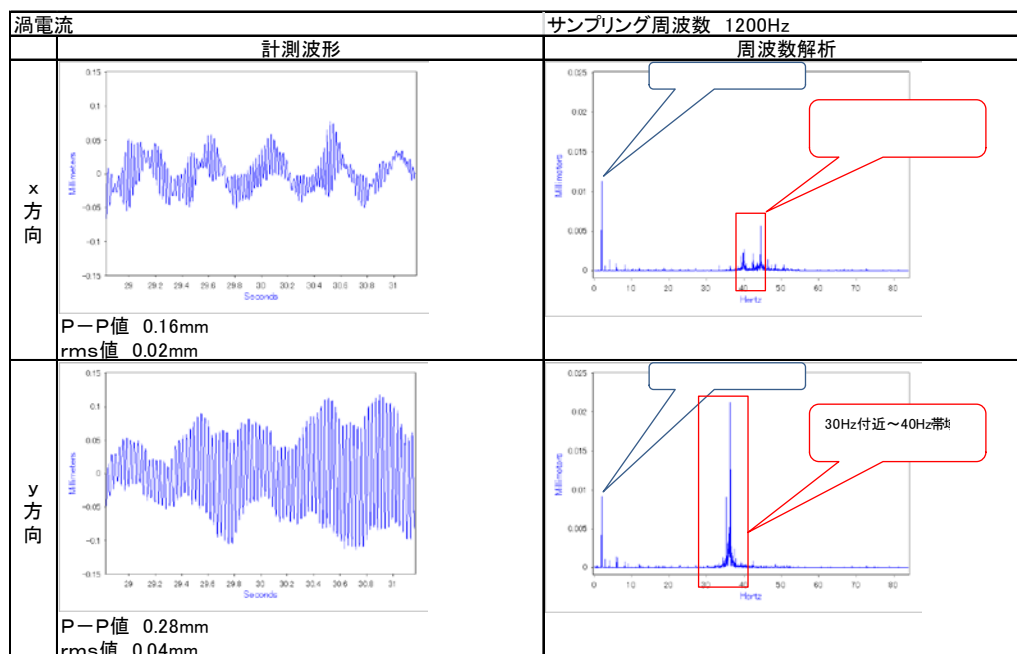


図-5 渦電流式変位計による計測波形・周波数解析図

(3) 変位センサ取付架台の共振調査

変位センサ取付架台にハンマで衝撃を与え、その振動をポータブル振動計で計測し、波形を調べることで架台の固有振動数を調査した。調査の結果、架台の固有振動数は、常設渦電流式変位計での解析で見られたノイズの周波数帯と一致した。解析結果を図-6に示す。

このことから、常設振動計の取付架台は、架台の固有振動数（共振周波数）がノイズとして発生することから十分な剛性が必要であるとの知見を得ることができた。

架台の共振周波数が発現するケースでは、実態に鑑みた補強などが必要となるが、解析上で共振が明らかな場合は、周波数フィルタを使用することでノイズをカットすることができる。

(4) 渦電流式変位計の仕様について

想定される最大変位量、周波数範囲、解析を考慮したデータ出力形式統を考慮して、精密診断を目的とした渦電流変位計の仕様は検討する必要がある。また、主ポンプの変位量を計測するための要件として、ケーブル及びアンプに関してデータの「直線性」、「分解能」を、データログについては、入力信号として、電圧信号であることや、サンプリング周波数（2kHz程度まで、ある間隔で設定できること）、ファイル容量、収録時間などを指定する必要がある。

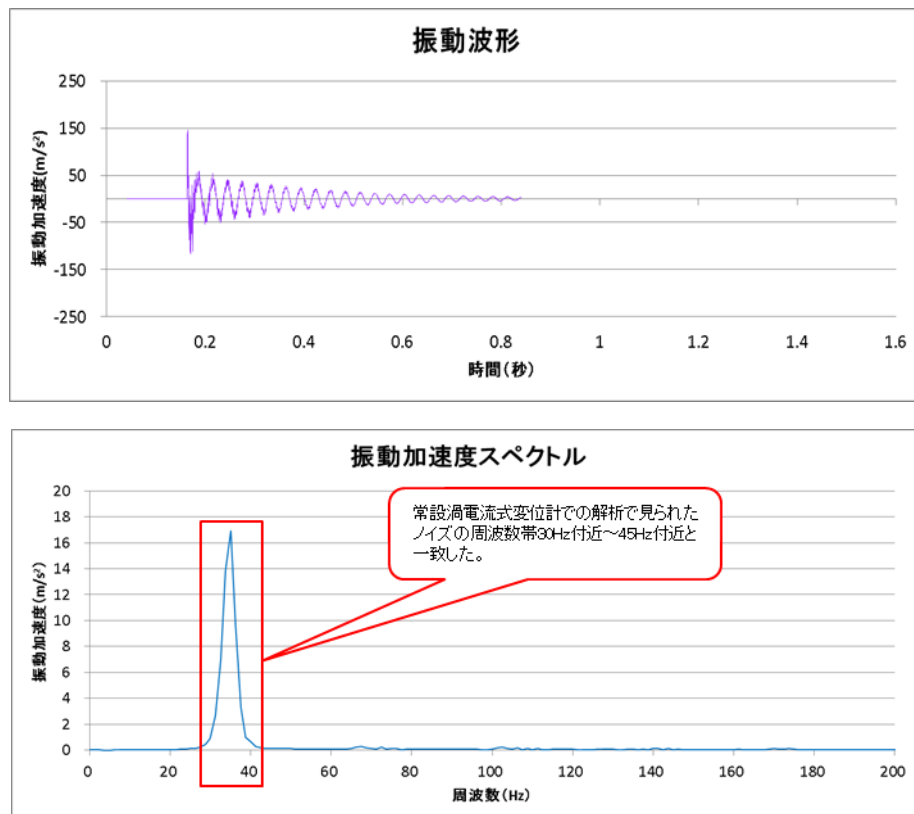


図-6 取付架台の共振解析図

4. 4. 3 ヒアリングの実施

内視鏡を用いた画像撮影及び振動センサを用いた周波数分析による診断手法の実施可否について、ポンプ及びエンジンメーカーにヒアリング調査を行った。

(1) 内視鏡を用いた内部撮影画像による診断手法について

本診断手法については、ポンプメーカー3社及びエンジンメーカー3社にヒアリングを行った。調査結果を次に示す。

- ・ポンプメーカーでは、3社ともに内視鏡を保有しており診断依頼があれば対応可能であった。現状では診断依頼のニーズが少ないため、多くの実績は無いものの診断技術者を配置した診断体制は確立している状況にある（表-5）。

表-5 ポンプメーカーヒアリング結果表

会社名	A 社	B 社	C 社
内視鏡保有有無	○	○	○
診断可否	○	○	○

- ・エンジンメーカーでは、2社が保有し1社が保有していない状況で、内部撮影診断の実績としては、ガスタービンの確認が主体であり、ディーゼル機関の内部診断での分解整備必要性の判定までは実施していない状況にある（表-6）。

表-6 エンジンメーカーヒアリング結果表

会社名	D 社	E 社	F 社
内視鏡保有有無	○	○	×
診断可否	○	○	×

(2) 振動センサを用いた振動波形および周波数分析による診断

本診断手法については、ポンプメーカ 3 社にヒアリングを行った。調査結果を次に示す。

- ・ 管理者側で渦電流式変形を常設している動向については認識している。
- ・ 実際に設置工事も受注しているメーカが多い。
- ・ 診断については、2 社は社内の診断技術者で対応可能であったが、1 社は診断技術者がいないため、専門業者に委託するという状況である（表-7）。

表-7 ポンプメーカヒアリング結果表

会社名	A 社	B 社	C 社
設置工事の可否	○	○	○
診断技術者の有無	×	○	○

点検時に計測し診断することは可能であるが、この振動だけで分解整備の要否を判定するにはメーカに十分な知見が蓄積されていない状況にあるため、内視鏡結果や点検整備履歴等を総合的に把握したうえで判定することになる。

4. 4. 4 実施手法の検討

(1) 診断方法・診断頻度の検討

工業用内視鏡調査では、主ポンプ羽根車部や主原動機過給機内部、シリンダライナやピストンヘッド部等を撮影し、その撮影画像から分解整備の必要性についての判定を行う。

渦電流変位計による計測では、主ポンプの主軸部の変位量を振動解析する。センサは取付架台を設置し、センサから電圧信号を受けデータログに情報を蓄積後 FFT 変換することにより振動解析を行う。

(2) 実施方法の立案

本調査診断は、精密診断として実施する。精密診断は図-7 に示す維持管理フローの赤枠の通り、健全度の評価により精密診断の必要が生じた場合に、専門技術者が実施するものとした。

精密診断は、内視鏡や渦電流式変位計によるものとし、その結果を診断者の判断で継続使用可否について判定する。継続使用が不可と判定した場合は、メーカによる部分的な分解を伴う総合診断による判定に委ねるものとした。

なお、この他に精密診断の実施については、以下の項目に留意する必要がある。

①主ポンプの振動解析

診断に係る知見が十分に蓄積されていない現状から、管理者側でもデータ蓄積及び診断手法の高度化に努める必要がある。また、主要機器である減速機の診断については、加速度計による計測・診断を実施する必要がある。

②ディーゼル機関内部の内視鏡撮影

ディーゼル機関内部の内視鏡撮影による診断事例がまだ少ないため、実施事例を増やしいろいろな原動機機種で検証を行う必要がある。撮影画像での異常傾向（例えばシリンダライナ部の傷、摩耗、ピストンヘッドの摩耗など）が疑われる場合、潤滑油分析との総合的な評価も有効となる。

③機器の貸与

ヒアリングの結果、点検実施者において計測機器の調達が難しいケースでは、管理者が必要機器を保有して実施者へ貸与する方法も検討する必要がある。

維持管理フロー

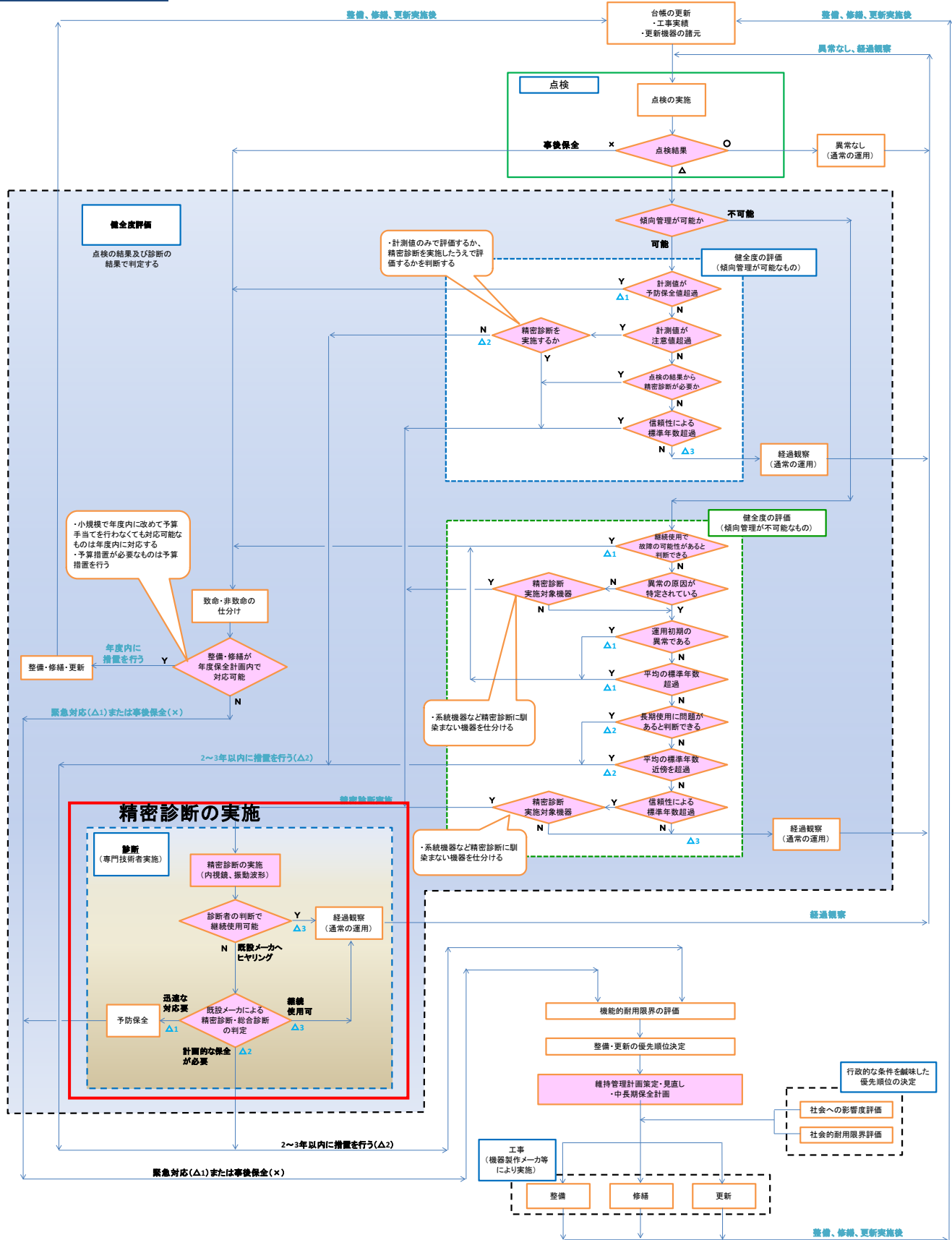


図-7 維持管理フロー

4. 5 機械設備維持管理計画改善手法の検討

4. 5. 1 維持管理計画の見直し

対象施設について、点検・整備・更新マニュアル(案)の改定に伴う見直しを行った。具体的な作業は次のとおりである。

- (1) 設備台帳および完成図書に基づく機器構成の把握と致命・非致命の分類
- (2) (1)を基にし、点検結果、設置条件等を考慮した健全度評価の実施
- (3) (2)を基にした中長期保全計画対象機器の抽出と中長期保全計画の作成

4. 5. 2 維持管理(保全)手法の検討

点検・整備・更新マニュアル(案)の改定に伴い、具体的な維持管理手法を以下の着眼点から検討・整理し、図-7 維持管理フロー図として取りまとめた。

- (1) 傾向管理が可能なものと不可能なものの「健全度の評価」の流れを整理した。
- (2) 点検結果を用いた「健全度の評価」から、状況に応じて「精密診断・総合診断」を実施し、これらに基づき「健全度評価」を実施する流れを整理した。
- (3) 「×」および「△1」評価の機器に対して、年度保全計画内で対応可能なものについて年度内に措置を講じる流れを整理した。
- (4) 健全度評価結果の、緊急的対応（×、△1）及び計画的対応（△2）の維持管理計画への反映と、機能的耐用限界や社会への影響度評価の位置づけを整理した。
- (5) 整備・修繕・工事の内容を設備台帳等に反映し、次年度以降の維持管理の流れにつなげるサイクルを整理した。

4. 5. 3 維持管理計画作成手順の整理

点検・整備・更新マニュアル(案)の改定内容を反映した維持管理計画の作成手順を整理した。

排水機場の稼働状況の評価基準として、関東地整管内の排水機場の運転実績を集計し、年間平均運転時間を求め、これを用いた稼働状況の評価方法を整理した。

4. 6 維持修理費推移の解析

維持管理計画を適切に作成するうえで、当該施設が過去にどれだけの維持修理費を要し、これまで建設費に対してどれだけの割合となるかを把握することは以後の維持管理上有益な情報となる。

維持修理費の解析は、土木研究所報告 No. 217「河川ポンプ設備の信頼性と経済性を考慮したマネジメント手法に関する研究」¹⁾（以後「土木研究所報告」という）に基づき実施するものとした。

なお、修繕工事の中に増設が含まれている場合は、当該費用は「修理費」ではなく「建設費」として計上した。

対象施設について建設当初から今までの維持修理費と年間平均維持修理費率（累積維持修理費を供用年数と建設費で除した率）を整理したものを表-8 に、維持修理費率の推移を図-8～10 に示す。また、参考に H26 年度業務対象施設の年間平均維持修理費率を表-9 に示す。

(1) 水門設備

対象施設の基本仕様

E11 水門：ローラーゲート 26×10.8m×1 門

E17 水門：ローラーゲート 15×7.11m×1 門

E79 水門：ローラーゲート 22×7.38m×2 門

対象施設のデータに基づき解析結果をまとめたところ、1.8%～4.6%とバラツキがあること

がわかった。

維持修理費率のバラツキとして、以下の理由が挙げられる。

- ・ E17 水門では、建設時期は他の水門設備と同年代であるが、把握できる建設費が他の水門設備に比べ大幅に少ないため、年間平均維持修理費率が大きくなっている。
- ・ E79 水門は、他の水門設備と比べ修繕工事の回数が多く、総維持修理費が高くなっている。そのため、維持修理費率の分子となる年間平均維持修理費が高くなり、年間平均維持修理費率が大きくなっている。

(2) 水門設備（堰）

対象施設の基本仕様

KE22 堰：起伏ゲート 29.75×2.5m×5 門

年間平均維持修理費率は 2.1%であり、表-9 に示す同規模のローラーゲートより高い傾向である。ローラーゲートより建設費が安価であることが要因と考えられる。

(3) 揚排水ポンプ設備

対象施設の基本仕様

TJ6 排水機場：立軸斜流ポンプ 口径φ1350×2 台

TK3 排水機場：立軸斜流ポンプ 口径φ2600×2 台

TK5 排水機場：立軸斜流ポンプ 口径φ2200×2 台

E3 排水機場：立軸斜流ポンプ 口径φ3760×4 台

K2 排水機場：立軸斜流ポンプ 口径φ1500×2 台、φ2000×1 台

K5 排水機場：立軸斜流ポンプ 口径φ1500×2 台

土木研究所報告によれば、河川ポンプ設備の維持修理費率は、供用期間が 20 年を超過した段階で 0.3～2.3%であり、表-9 の結果と一致している。また、傾向としては規模が大きく建設費が高い設備ほど維持修理費率は小さくなることがわかっている。

対象施設の年間平均維持修理費率は、0.6～4.6%であった。

一部の施設において、年間平均維持修理費率が 4%を超えている理由として以下の可能性が考えられる。

- ・ K5 排水機場の維持修理費率が 4.6%と若干高い理由は、対象施設のなかでは比較的小規模であり建設費が小さいことと、供用年数が長く主要機器の整備や系統機器等の更新が実施されてきたことに起因すると考えられる。
- ・ K2 排水機場は、K5 排水機場より規模や 1 台分大きいのが、供用年数が長く、傾向としては E5 排水機場と同じである。

(4) 道路排水設備：0.7～1.1%

対象施設の基本仕様

C3 排水機場：水中ポンプφ500×3 台

C5 排水機場：水中ポンプφ700×4 台

C8 排水機場：水中ポンプφ600×3 台

対象施設の年間平均維持修理費率は 0.7～1.1%であり、表-9 に示す H26 年度の対象施設より小さい傾向となった。理由には以下が考えられる。

- ・ ひとつの点検業務で当該事務所管内全域の施設の点検を行うため、1 施設当たりの点検費用が縮減されていること。

- ・今年度対象施設は、月点検回数を縮減することで点検費の低減を図っていること。
- ・H26 年度業務対象施設の 03 道路排水設備は、供用年数が長く(34 年)大規模更新工事を実施していることから他施設に比べ維持修理費率が高いが、今年度対象施設はいずれも 20 年未満であり、大きな更新工事は実施していないこと。

表-8 今年度（H27）業務対象施設の年間平均維持修理費率

分類	施設名	① 供用年数 (年)	② 総建設費 ¹⁾ (百万円)	③ 総維持修理費 ¹⁾ (百万円)	④=③/① 年間平均 維持修理費 (百万円)	⑤=④/② 年間平均 維持修理費率
水門	E11水門	40	248.5	176.6	4.4	1.8%
	E17水門	39	50.6	90.2	2.3	4.6%
	E79水門	40	210.5	260.6	6.5	3.1%
	KE22堰 洪水吐きゲート	18	1,110.2	411.7	22.9	2.1%
排水機場	TJ6排水機場	4	1,058.7	72.8	18.2	1.7%
	TK3排水機場	38	1,642.7	1,253.2	33.0	2.0%
	TK5排水機場	10	2,413.6	222.4	22.2	0.9%
	E3排水機場	13	30,323.5	2,497.4	192.1	0.6%
	K2排水機場	36	1,266.6	1,826.4	50.7	4.0%
	K5排水機場	30	764.6	1,063.3	35.4	4.6%
道路排水 施設	C3排水機場	17	413.3	50.0	2.9	0.7%
	C5排水機場	18	784.0	121.7	6.8	0.9%
	C8排水機場	17	413.3	74.7	4.4	1.1%

1) 建設費および維持管理費はデフレータを用いて物価変動の影響を調整したもの

表-9 H26 年度業務対象施設の年間平均維持修理費率（参考）

分類	施設名	① 供用年数 (年)	② 総建設費 ¹⁾ (百万円)	③ 総維持修理費 ¹⁾ (百万円)	④=③/① 年間平均 維持修理費 (百万円)	⑤=④/② 年間平均 維持修理費率
水門	TJ76排水門 ²⁾	44	0.0	245.1	5.6	-
	AK2水門	40	216.0	111.3	2.8	1.3%
	AK14水門	44	167.0	79.2	1.8	1.1%
	KE22堰 水位調整ゲート	16	353.2	24.0	1.5	0.4%
排水機場	TJ8排水機場 ³⁾	39	4,071.9	534.7	13.7	0.3%
	TK8排水機場	46	555.0	730.6	15.9	2.9%
	TK9排水機場	21	1,189.0	299.2	14.2	1.2%
	S2排水機場	58	2,265.5	650.3	11.2	0.5%
	AJ2排水機場	23	51.9	13.5	0.6	1.1%
	AJ5排水機場 ⁴⁾	32	1,595.1	1,784.0	55.8	3.5%
	AJ8排水機場	27	3,830.7	463.1	17.2	0.4%
道路排水 施設	O3道路排水設備 ⁵⁾	34	58.9	133.8	3.9	6.7%
	O14道路排水設備	11	202.0	71.2	6.5	3.2%
	H3道路排水設備	10	241.0	41.0	4.1	1.7%

1) 建設費および維持管理費はデフレータを用いて物価変動の影響を調整したもの

2) 建設費が不明のため維持管理費率計算不可

3) 複数の修繕工事で工事費が不明であり、維持管理費として計上していない分、維持管理費率が小さく計算されている

4) 設置工事費が不明であり、増設工事費のみ建設費として計上している分、維持管理費率が大きく計算されている

5) 供用年数が長く、大規模更新を実施しているため維持管理費が比較的大きい

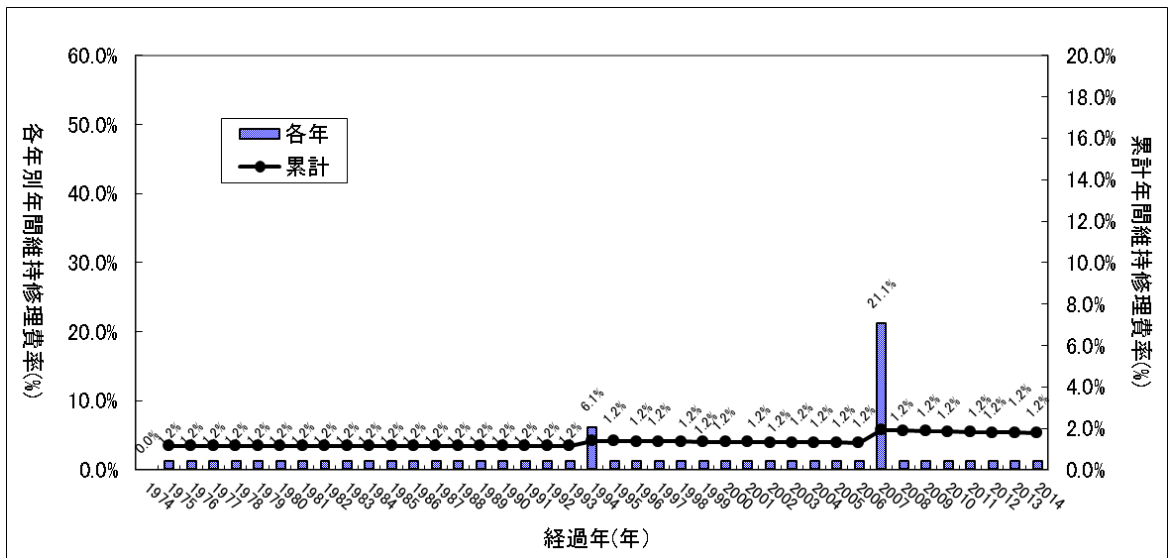


図-8 E11 水門維持修理費率の推移

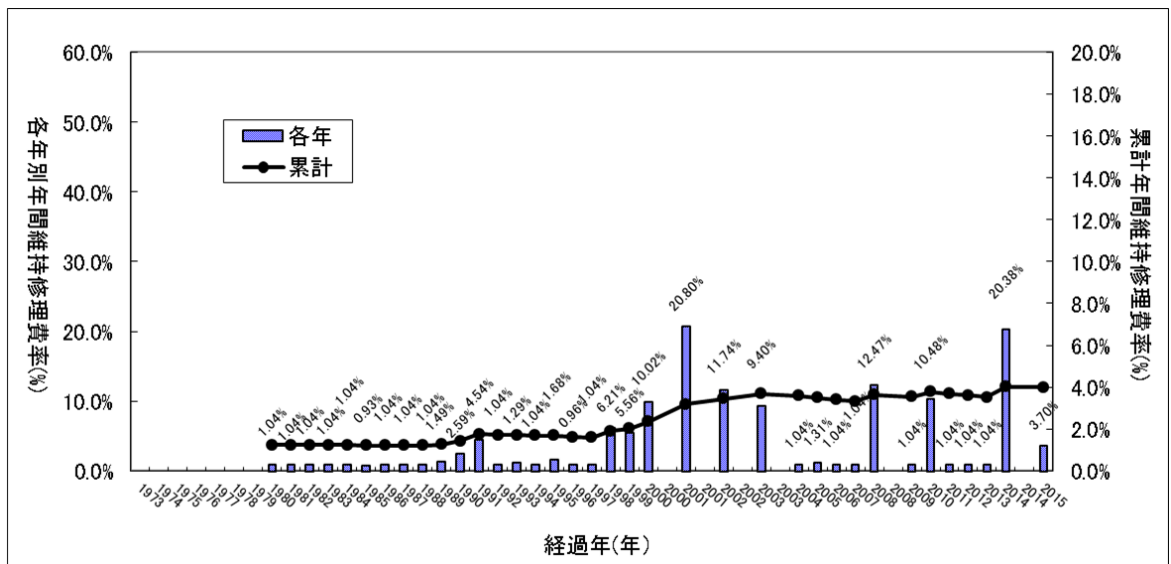


図-9 K2 排水機場維持修理費率の推移

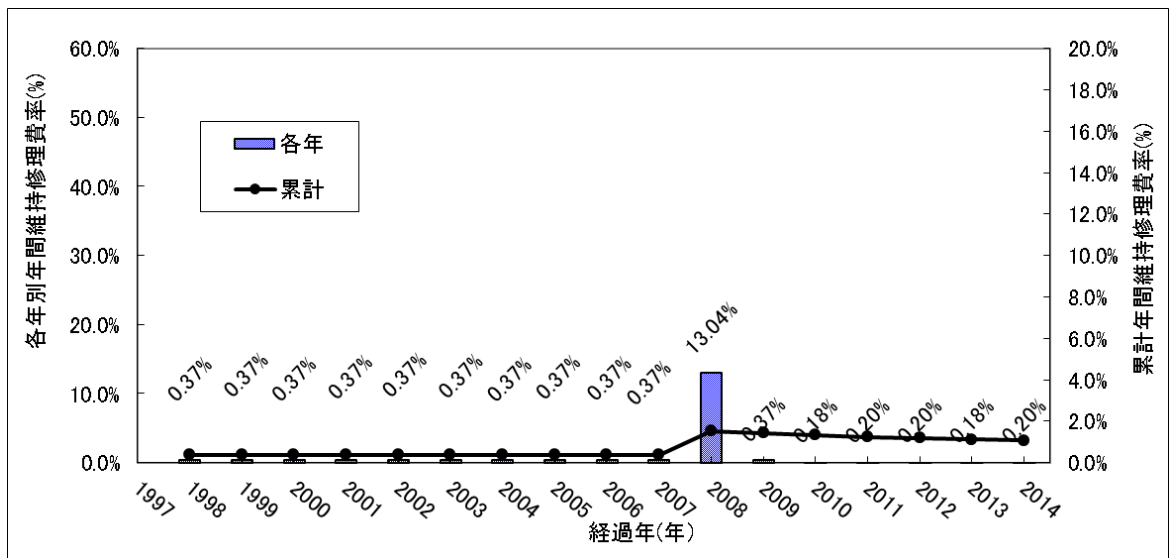


図-10 C8 排水機場維持修理費率の推移

4. 7 潤滑油分析

関東地整管内排水機場ポンプ設備の潤滑油分析結果を基に、更油してからそれらの数値がしきい値に到達するまでの年数を調査した。

4. 7. 1 潤滑油の性状と添加剤

(1) 潤滑油の機能

潤滑剤の主な働きは、互いに接触する固体の間に潤滑剤の膜をつくり、固体同士が直接接触しないようにすることによって両者の摩擦を少なくしすべりをよくするとともに、摩耗や焼付きを防ぐことにある。

しかし、潤滑剤はこれ以外にもさまざまな働きをしている。潤滑剤の代表として潤滑油の機能を挙げると次のようになる。

1) 摩耗防止・低減作用

2) 冷却作用

3) その他の作用 ※1

① 腐食防止作用

② さび止め作用

③ 密封作用

④ 圧力伝達作用

⑤ 応力分散

⑥ 電気絶縁作用

⑦ 清浄分散作用

※1 一般的に認められる機能を網羅したもの

従って、潤滑油の性状を良好に保つことは非常に重要であり、これらの機能が低下する場合によってはディーゼル機関本体の故障原因となりえる。

(2) 潤滑油の性能と添加剤

潤滑油に使用されている基油には本来粘度、流動性、溶解性、密封性などが備わっている。しかし、そのままでは多様化し、高性能化した現在のエンジンの用途を満たすことはできない。そこで、用途に応じて様々な添加剤を加えることで、性能を高めた製品が使用されている。

各種添加剤の使用目的および機能を次に示す（表 10）。

表-10 添加剤の種類、使用目的および機能²⁾

種 類	使 用 目 的 及 び 機 能
酸 化 防 止 剤	油の酸化劣化を遅らせ酸性物質、スラッジの生成を抑制
錆 止 め 剤	金属表面へ吸着し、空気や水分の金属表面への接触を防止
腐 食 防 止 剤	金属表面に防食被膜を形成し、腐食防止
抗 乳 化 剤	基油の持つ優れた特性を回復、油と水の分離を促進
粘度指数 (VI) 向上剤	潤滑油の温度変化に伴う粘度変化を小さくする(粘度温度特性向上)
金 属 型 清 浄 剤	エンジン燃焼で生成する劣化物、劣化開始物の取り囲み、清浄に保つ
無 灰 型 分 散 剤	油劣化において発生する沈殿物(カーボンやスラッジなど)を懸濁分散
流 動 点 降 下 剤	低温状態における油中ワックス分の結晶固化を防止し、流動性を維持
消 泡 剤	泡立ち抑制、消泡作用
耐 磨 耗 (AW) 添 加 剤	摩擦面に保護膜を形成し、摩耗防止
極 圧 (EP) 添 加 剤	高荷重領域での潤滑において、焼付きやかじりを防止、耐荷重能を向上

ディーゼルエンジンオイルでは、酸化防止剤、錆止め剤、抗乳化剤、粘度指数向上剤、清浄分散剤、流動点降下剤、消泡剤、AW 添加剤等が使用されている。

4. 7. 2 ディーゼル機関用潤滑油の種類

(1) エンジンオイルの種類

エンジンオイルは、内燃機関の種類により、次のように分類できる。

- 1) 陸上用 2 サイクルガソリンエンジンオイル
- 2) 自動車用 4 サイクルガソリンエンジンオイル
- 3) 自動車用 4 サイクルディーゼルエンジンオイル
- 4) 船用 4 サイクルディーゼルエンジンオイル
- 5) 2 サイクルディーゼルエンジン用シリンダオイル (クロスヘッド型)
- 6) 2 サイクルディーゼルシステムオイル (クロスヘッド型)
- 7) ガスエンジンオイル

5), 6) は大型の船用エンジンを想定したもので、燃焼室用とクランク室が構造的に分離されている「クロスヘッド型」エンジンのオイルを想定したものである。この場合、シリンダ部に用いるオイルはシリンダオイルといい、クランク室に用いるオイルをシステムオイルという。

河川ポンプ設備に使用されているディーゼル機関は、パッケージ型発電装置を除き、多くが船用エンジンであるが、主にシリンダとクランク室が分けられていない「トランクピストン型」であり、オイルとしては 4) (一部 3)) が使用されている。

一方、パッケージ型発電装置は、非常用発電設備としての用途で開発された製品 (規格品) である場合が多く、運転時間は比較的短時間を想定した設計がなされる。従って、原動機は長時間で定格運転を行う船用エンジンよりコストの安い陸用エンジンが採用され、オイルは 3) である場合が多い。

これらのエンジンオイルについては、「陸用及び船用内燃機関に使用する潤滑油」として JIS K 2215 に規定されている。

(2) 基準値の整理

1) ディーゼル機関用潤滑油の JIS 規格

JIS K 2215 において、陸用及び船用内燃機関に使用する潤滑油について規定している。以下に、主な項目の規定値を示す (表-11)。前項における 4) は、主に船用 3 種である。また、③は、主に陸用 3 種である。

表-11 JIS K2215 における主な規定値

JIS区分	動粘度 (100℃) (mm ² /s)	引火点 (℃)	流動点 (℃)	全酸価 (mgKOH/g)	全塩基価 (mgKOH/g)
船用1種	2号	5.6以上9.3未満	190以上	-12.5以下	—
	3号	9.3以上12.5未満	200以上	-7.5以下	
	4号	12.5以上16.3未満		-5以下	
	5号	16.3以上21.9未満			
船用2種	2号	5.6以上9.3未満	190以上	-12.5以下	3以下
	3号	9.3以上12.5未満	200以上	-7.5以下	
	4号	12.5以上16.3未満		-5以下	
	5号	16.3以上21.9未満			
船用3種	3号	9.3以上12.5未満	200以上	-7.5以下	—
	4号	12.5以上16.3未満		-5以下	
	5号	16.3以上21.9未満			
船用4種	3号	9.3以上12.5未満	200以上	-7.5以下	—
	4号	12.5以上16.3未満		-5以下	
	5号	16.3以上21.9未満			
陸用1種	2号	5.6以上9.3未満	180以上	-12.5以下	—
	3号	9.3以上12.5未満	190以上	-7.5以下	
	4号	12.5以上16.3未満	195以上	-5以下	
	5号	16.3以上21.9未満	200以上	-2.5以下	
陸用2種	2号	5.6以上9.3未満	180以上	-12.5以下	3以下
	3号	9.3以上12.5未満	190以上	-10以下	
	4号	12.5以上16.3未満	195以上	-7.5以下	
	5号	16.3以上21.9未満	200以上	-5以下	
陸用3種	2号	5.6以上9.3未満	180以上	-12.5以下	—
	3号	9.3以上12.5未満	190以上	-10以下	
	4号	12.5以上16.3未満	195以上	-7.5以下	
	5号	16.3以上21.9未満	200以上	-5以下	

2) オイルメーカーの基準値

関東地方整備局管内で使用しているディーゼル機関用のオイルは多様であり、その各々について、新油代表値と管理指標値がある。これらの数値については、メーカーにヒアリング調査を実施して把握する必要があるが、JIS 規格全ての項目に数値が定められているわけではなく、また、新油については動粘度の指標が 40℃基準となっており、運用時に計測する 100℃基準と単純に比較できないなどの課題がある。

3) オイル分析専門技術者の管理基準値

一般的に、河川ポンプ設備の年点検時に実施する潤滑油分析は、オイル分析会社において実施される。

オイル分析会社は、各メーカーの各オイルに対する管理基準値を、独自に設定しているケースと敢えて定めていないケースがある。これらは、オイル分析会社のノウハウによってとられる手法であり、同一オイルを使用している場合でもエンジンの規模や設置環境から、管理基準値を変えている場合もある。

4. 7. 3 サンプルング

(1) サンプルング

潤滑油性状を分析するための採油作業をサンプルングという。

潤滑油分析を用いた潤滑油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。しかし、現状年点検で実

施されているサンプリング方法に関して基準がない。

そのため、今後の分析データの信頼性を確保するために、サンプリング方法のガイドラインを示す。

(2) サンプリングの方法

サンプリングを行う場合、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。

1) オイルパン式を採用した原動機

オイルパン式を採用した原動機からサンプリングする場合、サンプリング箇所の優先度は次の順番とする。

- ① オイルフィルター循環経路のサンプリングロ（フィルターへの戻り配管）
 - ② オイルゲージ孔（写真-1）
 - ③ オイルフィルター部（フィルターケースの蓋を開けてのサンプリング）（写真-2）
- ただし、オイルフィルター循環経路にサンプリングロは設けられていないケースが多い。



写真-1 オイルゲージ孔からのサンプリング



写真-2 オイルフィルター部からのサンプリング

2) サンプタンク式を採用した原動機

サンプタンク式を採用した原動機からサンプリングする場合、サンプリング箇所の優先度は次の順番とする。

- ① オイルフィルター部（写真-3）
- ② サンプタンクの専用バルブ（写真-4）



写真-3 オイルフィルター部からのサンプリング

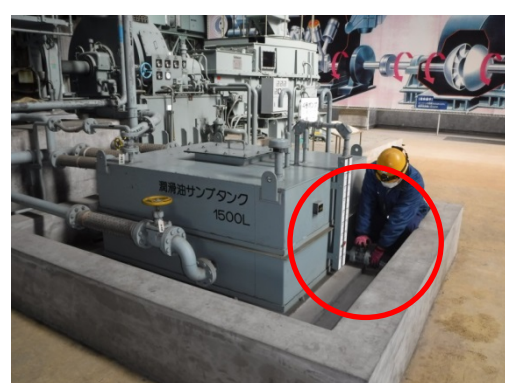


写真-4 サンプタンクからのサンプリング

(3) サンプリング時の注意事項

- ・ サンプリングは、サンプリングのタイミングとサンプリング箇所を毎回同一とする。

- ・標準的には、管理運転完了後にサンプリングを実施する。
- ・オイルゲージやサンプタンクからの場合、サンプリ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リングすること。(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リングする。なお、蓋やフィルタの構造によって適切なサンプリング方法は異なるので適宜工夫する。
- ・サンプリング管やサンプリ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。
- ・サンプリング時にサンプリ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リングする場合は、配管内に溜まったスラッジをサンプリングしないように、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リングする。

5. 考察

5. 1 実際のデータに基づく解析

傾向管理グラフの変曲点より原因の推定を行う際、運転条件による影響項目（水位やエンジン回転数等）や、同様に健全度を評価する他の傾向管理項目についての相関性をグラフで現すことで、原因や不良機器部品を特定できる可能性が高まると考えられる。

対象施設を例に2件の検討事例を以下に示す。

5. 1. 1 TK3 排水機場

対象機器：主原動機2号機

測定値：過給機排気出口ガス温度

解析内容：同様に健全度を評価する傾向管理項目での相関性

【解析結果】

過給機の健全度を評価する他の傾向管理項目として、過給機給気圧力がある。図-11 に過給機排気温度と過給機給気圧力を併記したグラフを示す。グラフのH26年度の5月は記載ミスだと考えられる。

過給機排気温度の上昇とともに過給機給気圧力は全体的に低下傾向にある。過給機排気温度と過給機給気圧力について、相関係数のグラフを作成し確認したところ、相関が強いことが分かった(図-11)。エンジン過給機の不調であれば排気温度だけでなく、過給機給気圧力にも変化が現れる可能性がある。

総合的には、当該過給機は過給機吸気圧力を低下させる何らかの変化が内部で発生しており、その結果、吸気に活用されない排気エネルギーによって出口ガス温度が高くなっていると考えられる。

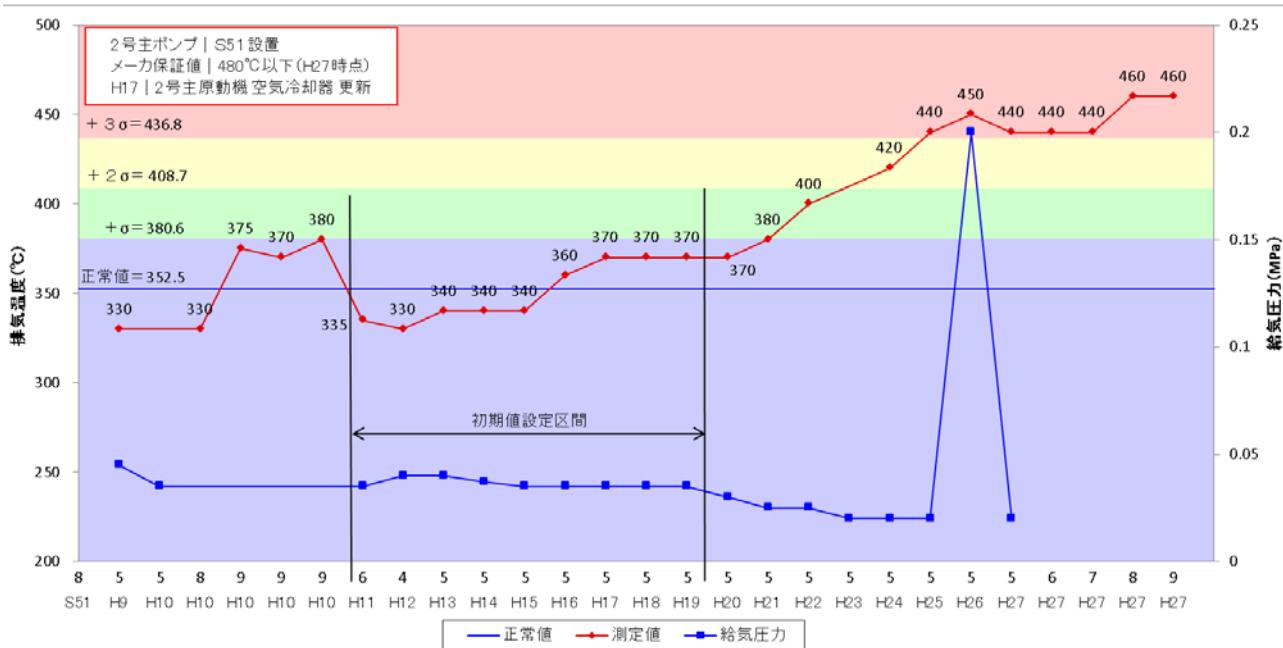


図-11 過給機排気温度と過給機給気圧力の傾向管理グラフ

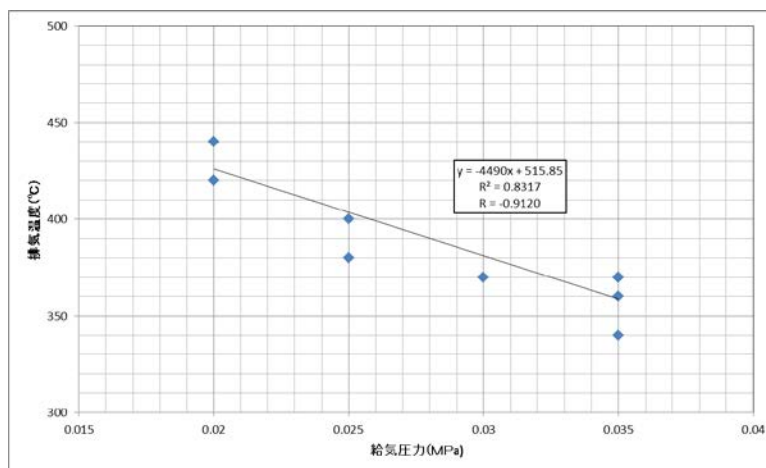


図-12 過給機排気温度と過給機給気圧力の相関グラフ

5. 1. 2 K2 排水機場

対象機器：主ポンプ 3 号機

測定値：振動値(変位量)

解析内容：運転条件による影響項目(水位)での相関性

【解析結果】

主ポンプの軸受水平方向(Y-Y 方向)振動値のように、点検データに変曲点があった場合に、故障や不具合を示すものであるかを計測時点の運転条件による影響を考慮し判断する必要がある。ポンプの振動では、計測時の水位で振動値が変化することから、主ポンプ振動傾向管理グラフに振動計測時の水位をグラフに記載した。図-13 に軸受振動と水位のグラフを示す。K2 排水機場では、水位の変位が小さいためか強い相関はみられなかった。

しかしながら、このような振動値の変化を認めた場合については、今後も運転条件を合わせた評価を実施していく。

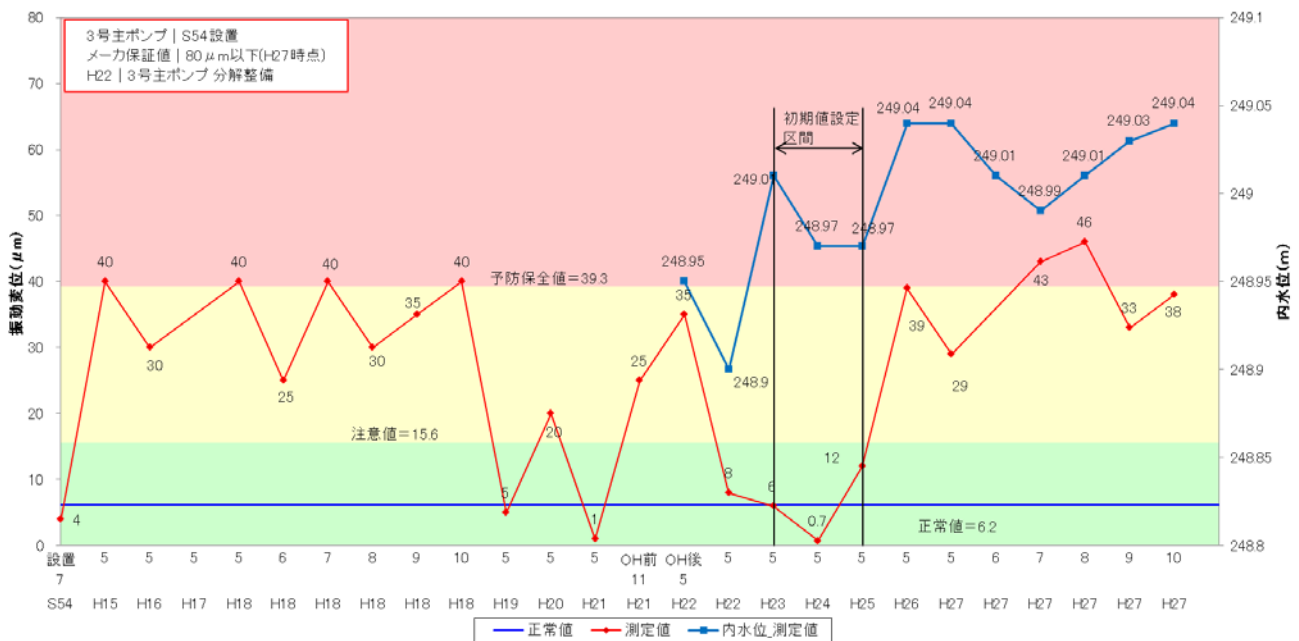


図-13 軸受振動値と水位の傾向管理グラフ

5. 2 河川ポンプ設備の不可視部分診断手法の立案

5. 2. 1 工業用内視鏡による診断

精密診断を実施するための具体的手法として、内視鏡を用いた画像撮影による診断と振動センサを用いた周波数分析診断について立案した。

内視鏡の実機デモでは、時間管理では分解整備時期にあると思われた主ポンプを対象にして、劣化状況を確認したが、画像からは健全であると判定できる結果であった。従って、画像撮影によって劣化状況の程度を知るまでには至らなかったが、ライナ表面の傷や羽根車上面の状態及び両者のクリアランスを確認することができたことから、ポンプ性能に影響を与えるような羽根車端部の欠損、大きな腐食などの異常については把握できる可能性が高い。

また、診断者の立場として、主ポンプを対象とした最適な内視鏡仕様については抽出できたので、今後はその仕様を満足する内視鏡によって現場試行していくことが重要である。

課題としては、先端のレンズ位置調整を点検口から挿入する実施者が手で行う必要があり、案内羽根をかわす作業が難しいこと、及び羽根車に到達したカメラが撮影した画像の向き（上下左右）が分かりにくいことである。現場試行のなかで、画像による診断の信頼性を評価するとともに、操作性を改善する工夫についても検討していく。

5. 2. 2 振動解析による診断

主軸の振動を解析することによって、①羽根車の摩耗や腐食などによって増加する回転系のアンバランス、②羽根車の異常によって増大する羽根車成分、③軸の曲がりによって発生する回転時の変位量増大、④水中軸受の摩耗により発生するホワール成分などを検出するが、実際にこれらの検出結果と異常を照合できたケースは軸曲がりなどで件数は少ない。

今回、渦電流式変位計による振動解析を試行した主ポンプ設備については、周波数分析による解析では特に異常を示すデータは得られなかった。しかし、センサ取付け架台の剛性が充分でなかったことによるノイズが発生し、振動波形に影響があることが分かったため、取付け架台を適切に設置する重要性を再認識した。このようなノイズの検出は、これまで実施してきたマグネットスタン

ドなどの仮設センサによる計測でも頻繁に見られる現象であり、精度の高い解析を行うためには充分な剛性を有した架台に取り付けた固定式センサの普及が有効である。

現状では、渦電流式変位センサが常設されている排水機場はまだ少ないことから、今後はセンサ常設機場を増やすとともに、現場試行しながら診断者の育成や解析力の向上を図ることが重要である。

5. 3 機械設備維持管理計画改善手法の検討

現状、設備の構成機器は設備台帳に整理されているが、今後は、より詳細に施設の機器構成を把握し各機器の設置年や設置条件を考慮して、点検結果に基づく健全度評価を実施しなら、維持管理計画の更新を行っていくことが望ましい。

5. 4 維持修理費推移の解析

水門設備、揚排水ポンプ設備および道路排水設備は、高価な機器を装備した非常用設備であるが、各機場および各水門とも稼働すべきときの機能低下によって周辺に被害を発生させたような事例は少ないことから、求められる一定の信頼性は確保されていると考えることができる。

しかしながら、通常の保全サイクルのなかで発見される軽微な構成機器・部品の故障や不具合は発生しており、老朽化設備が増大している現状では「定常的に実施する点検・整備・修繕」の必要性は高まっている。従って、現状の設備信頼性を示すアンアベイラビリティなどを故障実績等から算定する信頼性評価と合わせて、信頼性を確保するために要した維持修理費を把握することも重要である。

一方で、設備の建設費に対して、建設以来の累積の維持修理費をどの程度要してきたかということについては、明確に整理されていない例が多く、今後の設備老朽化を勘案すると、この累計年間維持修理費率を明確にしていくことが当面の課題となる。

昨年度までの解析においては、対象施設の建設工事費、修繕工事費および点検業務費の調査を、施設管理者に対して対象施設毎に行う必要があったが、維持管理システムの運用が本格的に開始されたことに伴い、登録されている設備台帳や点検整備記録から必要な情報を取得できるようになった。

このことにより、本年度分は不明な工事費がなくなったうえ、同一工事の中に増設と更新が混在しているものについて、それぞれの内訳を調査し解析に反映させるなど、昨年度に比べより高い精度で解析できたことは、データベースの有用性を示している。

5. 5 潤滑油分析

関東地整管内排水機場ポンプ設備の潤滑油分析結果に基づく、河川ポンプ設備ディーゼル機関潤滑油管理指標(案)として次のとおりまとめた。

5. 5. 1 更油指標の考え方

ディーゼル機関潤滑油管理において、最も重要な更油に関する考え方を示す。

今回整理した JIS 規格、オイルメーカーの基準値、オイル分析会社の基準値を基に、各施設に対する管理基準値を設定した。

設定にあたっての優先度は、専門技術者として知見が多いオイル分析会社の定める指標、オイル固有の指標であるオイルメーカーの基準値、JIS 規格の順とし、その値が無い施設については、未設定とした。

5. 5. 2 指標となる数値と優先順位

エンジンオイルのグレードはほぼ動粘度で規定されていることもあり、本指標では第一指標として動粘度、第二指標は塩基価及び水分を設定した。

動粘度を指標とすることで現在使用している潤滑油の交換時期が明らかな場合、現状までの変化率から余寿命（更油までの年数）を推定できる。

余寿命については、中長期保全計画の立案・見直しあるいは年度保全計画の立案に活用できる。多量のオイルを要する原動機では、中長期保全計画で実施時期と必要経費の明確化が必要となる。比較的少ないオイル量の機関は、管内における通常の保全サイクルに予定される維持費で賄うことができるか検討する。

5. 5. 3 評価方法

今回設定した管理基準値を基に各指標の経年変化について検討する。添加剤の追加や水分除去などで改善を図る方法も考えられるが、信頼性・経済性に関する評価が未知である現状において、潤滑油が管理基準値を超えるものは更油すべきである。具体的には、各指標の直近数年の動きを基に、何年後に管理基準値に達するかを予測するものとする。評価方法の手順としては、①データ・しきい値のグラフ化、②予測（回帰）線の記載、③判定 とする。

なお、潤滑油更油のための評価以外に注意する点として、このときエンジンの排気温度などエンジン自体の健全度を示す計測値に変化がないかを合せて確認することとする。また、性状に大きな変化が見られなくても、10年以上同じオイルを使用した場合には更油することを標準とした。これは主原動機を対象として従来実施されていた定期整備の標準的間隔であり、実質的にこれ以上同じ潤滑油を使用し続けることの信頼性を評価できるデータがない。また、主原動機メーカーの定める取扱説明書においては、2年あるいは1年での更油を推奨しており、10年はこの5倍以上という長さになる。待機系設備における新たな知見が得られるまで、これ以上の使用は行わないものとした。

次に、評価方法として想定される3つの事例を整理した。

【事例1】

下記のA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-14）。また、水分及び酸価は上昇傾向、塩基価は低下傾向が見られる（図-15）。よって、この施設の更油期間は8年と推定できる。

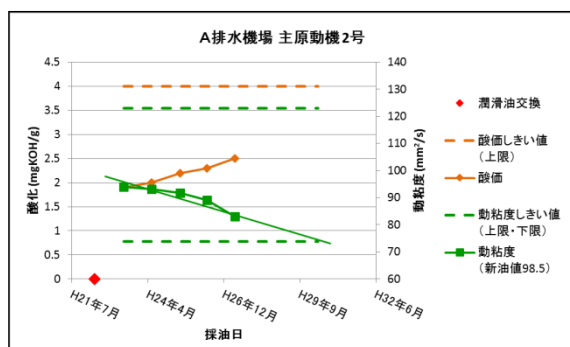


図-14 経年変化グラフ（動粘度）

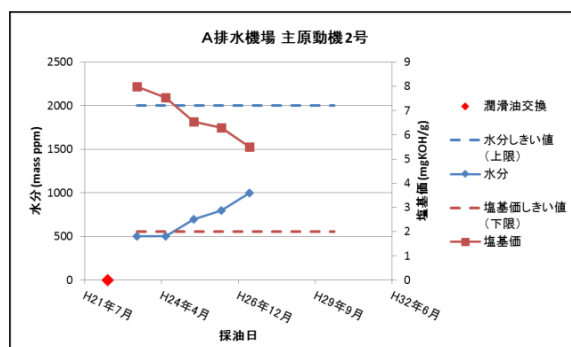


図-15 経年変化グラフ（水分、塩基価）

【事例2】

下記のB排水機場の場合、動粘度は下限値まで低下しており（図-16）、水分および酸価の上昇、塩基価の低下していることから（図-17）、更油時期に達したと判断できる。5年で管理値に到達したため、更油期間は5年とする。

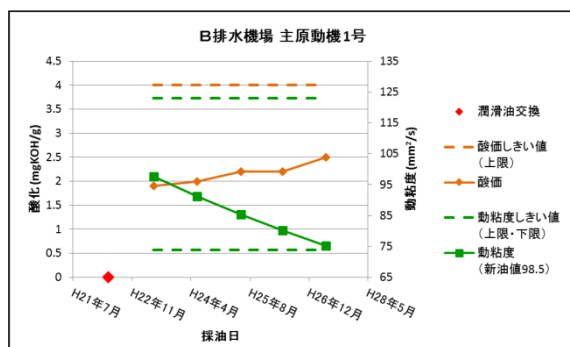


図-16 経年変化グラフ（動粘度）

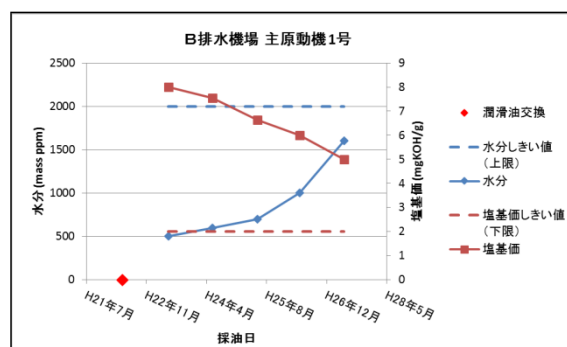


図-17 経年変化グラフ（水分、塩基価）

【事例3】

下記のC排水機場の場合、動粘度は下限値に達しているが（図-18）、水分や酸価、塩基価に大きな変化は見られない（図-19）。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ため、内視鏡撮影や部分分解による診断を実施すべきと判断する。

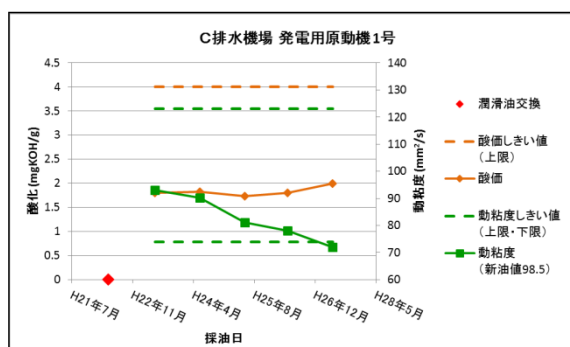


図-18 経年変化グラフ（動粘度）

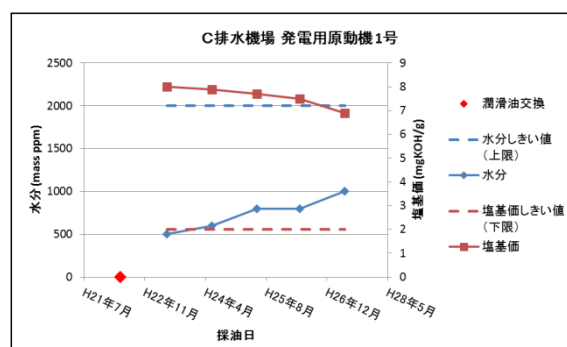


図-19 経年変化グラフ（水分、塩基価）

5. 5. 4 指標値に変化があった場合の原因特定

動粘度、塩基価及び水分という評価指標を明確にしておくことによって、これまでの傾向管理結果と異なる変化が現れた場合、原因を特定できる可能性がある。

動粘度、塩基価、水分の変化が大きい場合にはその理由を整理することが重要である。具体的には、現場の専門技術者と技術的対話を行い、何が原因なのかを探り、必要に応じて対応策を立てなければならない。

例えば、「水分の上昇が大きい場合には、それがエンジン内部の結露によるものなのか、排気管側からの侵入など他に原因があるのか、またどういった対応が必要なのかを確認する」という事例が考えられる。

6. 今後の計画

6. 1 実際のデータに基づく解析

点検データに変曲点があったときの原因が、異常傾向を示す変化か、あるいは計測方法による測定誤差か慎重にその過程を見極める必要がある。今後、計測時の運転条件による影響も考慮するとともに、施設管理者と点検整備業者との技術対話から得られた知見等を踏まえ、各傾向管理項目の相関性

についても新たな取り組みとして実践する。

6. 2 河川ポンプ設備の不可視部分診断の試行

今後は、精密診断を試行的に実践する。技術的要件を満たす診断者を立て、既設メーカーの総合診断を含めたうえで、具体的な問題点や有効となる視点等を把握していく。

また、撮影画像結果については、施設管理者、診断者とポンプ及びエンジンメーカーが対話方式で専門的知見から判定する方法などを取り入れる必要があると考えられる。

6. 3 現場への技術サポート

維持管理フロー(図-7)の作成により、維持管理の全体的な流れは整理されたが、現場での実際の維持管理においては、健全度の評価や精密診断実施の有無の判断において、判断事例があることが望ましい。

本業務では、概略の判断事例のみを示したが、今後も判断事例を充実させていく必要がある。

6. 4 維持修理費推移の解析

維持管理システムの運用に伴い、解析に必要となる建設費、維持修理費の情報を取得しやすくなったため、今後引き続き解析事例を増やすことによって、経年による LCC の推移など施設横断的な解析が可能となる。

より高度な解析として、維持修理費に占める通常の保全サイクルに要した費用と定期整備（主要機器の分解整備あるいは更新）に要した費用の内訳比率を整理・比較することで、今後の維持管理のあり方を検討する上で有効な視点となる可能性がある。

6. 5 潤滑油分析

河川ポンプ設備ディーゼル機関潤滑油管理指標(案)（以下、「管理指標(案)という。）」は、排水機場で年点検時に行っている潤滑油の性状調査結果を基に、更油してからしきい値に到達するまでの年数の考え方を示した。関東地整では管理指標(案)を平成 28 年度より試行する予定である。

管理指標(案)の試行において、配慮すべき留意事項は次のとおりである。今後の試行によって新たな知見が得られた場合、取扱を明確にしていく予定である。

6. 5. 1 添加剤の問題

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がある。しかし、これらを待機系のディーゼル機関で長時間使用した潤滑油に対して添加したときの信頼性は未知である。

6. 5. 2 水分除去

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。

6. 5. 3 潤滑油の延命措置

潤滑油の更油は、原動機規模によっては大きな金額を要する。特にサンプタンク方式の潤滑油において、性状が悪化した場合に、添加剤あるいは水分除去などの手法は更油予算化までの延命措置としては試行する余地がある。

ただし、後の耐久性を考慮したコスト（潤滑油としての LCC）の問題があるため、実施において

6. 5. 4 状態監視への活用

潤滑油の性状を良好に保つことによって、ディーゼル機関の寿命を延伸することができる。

また、潤滑油を一定の基準をもって管理することで、状態監視保全におけるトライボロジーの導入効果を高めることができる。

一般的な設備を対象とした潤滑油管理のフローの例を次に示す（図-20）。



クランク軸のメタルやシリンダライナあるいはピストン内の摩耗部品等エンジン構成部品の劣化を評価する場合、分析フェログラフィが重視されている。定量フェログラフィは、同条件

(サンプリング、測定方法、測定機器)で実施してくことにより、原動機内で進行しつつあるシビアな摩耗に対する傾向管理が可能である。

(3) SOAP 法

SOAP 法は、試料油を燃やした炎を ICP 法(誘導結合型プラズマ発光分析)などで発光分析し、試料油中の金属成分の割合を算出するものである。この方法では原理的に $10\mu\text{m}$ 以下の微小な摩耗粉しか分析できないが、逆に微小な摩耗粉の検出を得意とし、このシステムの最大の特徴は、試料油中に含有される金属成分を ppm オーダで検出できることで、機械システムのほんの僅かな摩耗粉の検出により、損傷状況をすこぶる早い段階から認識することができる。

(4) 検証

今後更油指標の試行とともに、SOAP 法の各計測値、分析フェログラフィで検出される粒子成分、定量フェログラフィの摩耗危険指数などの推移と主原動機の状態を逐次解析していく。

潤滑油の更油を管理指標(案)に基づいてしっかり行うことは、定常的な整備に要する費用を増加させる可能性もあるが、ディーゼル機関の故障発生傾向及び L C C の推移などがどのように改善されるかを試行によって検証していく必要がある。

参考文献

- 1) 藤野健一, 田中義光, 山元弘, 林輝, 河北憲治: 河川ポンプ設備の信頼性と経済性を考慮したマネジメント手法に関する研究, 国立研究開発法人土木研究所報告 No. 217, pp. 67-119, 2011. 2
- 2) 一般社団法人日本トライボロジー学会: IS018436-4 準拠トライボロジーに基づくメンテナンス カテゴリー I, p. 39, 2009. 8
- 3) 一般社団法人日本トライボロジー学会: IS018436-4 準拠トライボロジーに基づくメンテナンス カテゴリー I, p. 222, 2009. 8

担当課 施設技術課