

機械設備の履歴管理システム調査・分析

1. 調査目的

本調査は、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効率的な維持管理に資する傾向管理手法の確立を行うために、維持管理データを電子化及び解析し、測定データに基づく傾向管理手法について検討するとともに、河川ポンプ設備の精密診断手法等を立案することを目的とする。

平成 28 年度は、河川系及び道路系全 13 施設の維持管理情報を電子化し、傾向管理評価シート（案）を作成したうえで維持管理上の改善点を提案するとともに、河川ポンプ設備のディーゼル機関を対象とした潤滑油の管理指標をまとめた。

2. 過去の経緯

平成 20 年度より調査をし、平成 26 年度からは次のとおりである。

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。
- ・関東地整管内河川ポンプ設備ディーゼル機関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。

平成 27 年度

- ・平成 26 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 4 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。
- ・河川ポンプ設備の不可視部分診断手法の検討として、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の立案を行った。
- ・機械設備維持管理計画改善手法の検討として、「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について、設備の健全度評価によって適切に見直しを行った。
- ・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。
- ・関東地整管内河川ポンプ設備ディーゼル機関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 JIS 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、更油の指標となる管理基準値と従前の性

状データを活用した余寿命の評価方法を「河川ポンプ設備ディーゼル機関潤滑油管理指標（案）」にまとめた。

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 6 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した。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した。

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 6 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）した。

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 6 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った。

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した。

3. 4 河川ポンプ設備の精密診断手法の立案

現場での精密診断方法への適用を考慮し、状態監視の高度化となる診断方法として、排水機場主ポンプ及び自家発電機駆動用ディーゼル機関の診断について、現在の設備状態を踏まえ検討を行う。検討では、解析結果と分解整備情報との因果関係について、どのように異常兆候を捉えるか、どの程度の劣化具合であるかを把握する。精密診断手法としては、現地で内視鏡を用いた内部画像撮影を行い、評価指標(案)を作成した。

3. 5 潤滑油分析

平成 27 年度に構築した関東地整管内排水機場ポンプ設備の潤滑油成分に関するデータベースに、新たな分析データを付加し、成分数値の変化傾向と JIS 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、更油してからの成分数値が管理基準値に到達するまでの年数を解析あるいは推計した。また、成分分析値のうち構成部品の組成に関係のある Fe、Cu、Pb の金属元素に着目し、これらの金属元素含有量の推移が急増（急減）、又は漸増傾向にあるものを抽出し整理した。

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

測定項目の変化傾向における解析は、対象施設について過年度データを基に行った。なお、過年度情報量は表-1 に示すとおりとする。

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)
TK34 堰	22
E12 閘門	19
E13 水門	19
E18 水門	18
TJ9 排水機場	18
TK4 排水機場	21
E17 排水機場	22
S3 排水機場	23
S5 排水機場	23
AK4 排水機場	21
M1 排水機場	8
M2 排水機場	8
KS3 排水設備	9

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. TK34 堰

対象機器：4号低水路ゲート開閉装置

測定値：2段ギヤ(右岸)バックラッシ

状況：測定値がH21年度に急増し予防保全値を超過している。

【原因の推定】

図-1 に 4 号低水路ゲート開閉装置 2 段ギヤ(右岸)バックラッシ測定値の推移を示す。H21 年度 2 月～H27 年度 2 月にかけて測定値が、H15 年度 3 月～H20 年度 2 月を初期値設定区間(正常値)とした場合の予防保全値(3 σ)を超過し増加を続け 3.5mm 付近で推移している。この値は、メーカー基準値(上限値 1.32mm)の 2 倍を超える値である。本測定値について H23 年度 2 月の点検結果では、「現状、歯面に損傷(アブレーション摩耗等)が見受けられないため運用に支障はないが、定期的に推移観察の実施をする」ことの記載があり現在に至るまで報告している。

施設管理者と点検整備業者にヒアリングした結果、バックラッシ異常値の原因として考えられるものは、次の 3 点であるとわかった。

- (1) 歯車の歯面や歯が痩せた状況は見られないこと、及び大ギヤ(ドラム側)からの荷重により常にサイクロ減速機側の軸が外側に押されており、サイクロ減速機内のベアリングに負荷がかかるため、ベアリングが摩耗し芯ズレが発生している可能性がある。
- (2) 減速機架台と開閉装置架台を連結しているスプリングピンが破損した場合には、減速機本体にズレが生じてバックラッシに影響が出る可能性があることからスプリングピンが破損している可能性がある。

(3) H21年度から管理技術者が変わっていること、及びバックラッシの測定方法及び測定位置に社内規定はないため、前管理技術者との測定方法及び測定位置の相違がある可能性がある。

ギヤが片持ちのため、測定位置が変わるとバックラッシが変動する可能性がある。

今回測定項目であるギヤの健全度を評価する傾向管理項目として、歯当りがあるが、この傾向管理については、6. 5. 1. 1項に示す。

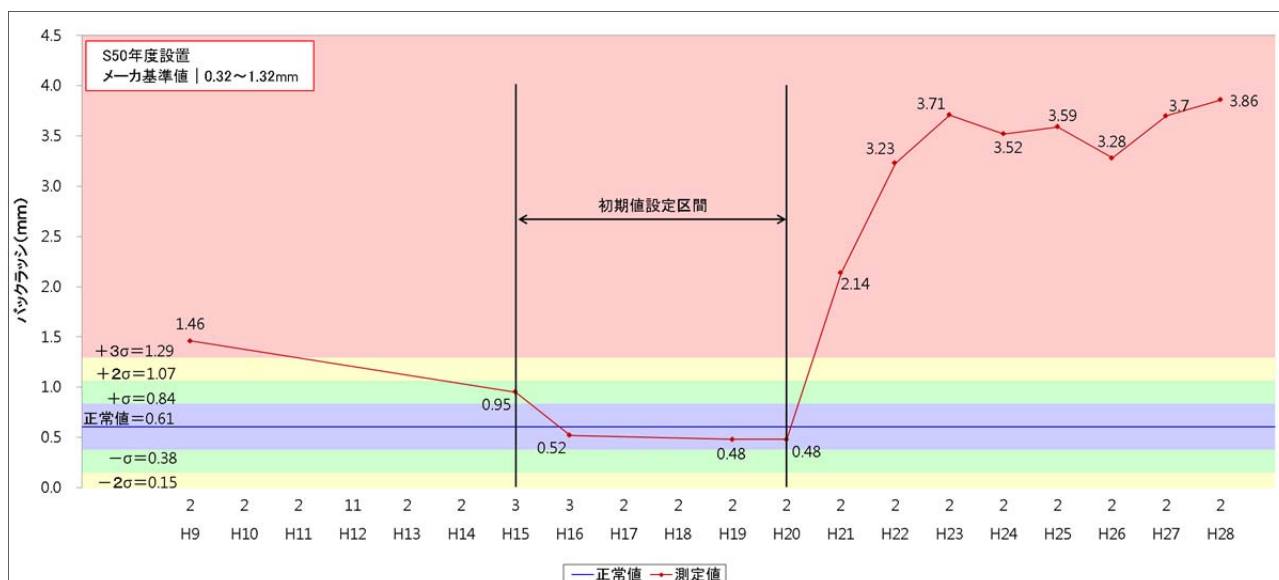


図-1 4号低水路ゲート開閉装置2段ギヤ(右岸)バックラッシの傾向管理グラフ

【対応案】

サイクロ減速機内のベアリングの摩耗・芯ズレ、やスプリングピンの破損が発生している場合には、歯当りが異常となり軸受の温度上昇や金属くずの発生などが考えられるため、運転中及び運転後に注視する必要がある。また、サイクロ減速機のベアリング内の摩耗の影響を確認するため潤滑油分析を検討する必要がある。

4. 2. 2E17 排水機場

対象機器：1号減速機

測定値：出力側軸受(垂直方向)振動

状況：測定値がH28年度に急増し注意値を超過している。

【原因の推定】

図-2に1号減速機出力側軸受(垂直方向)振動測定値の推移を示す。H28年度5月の測定値が、H22年度~H27年度を初期値設定区間(正常値)の2.5倍以上を示し注意値となり、前年度の約2倍の値と、それ以前の推移と比較しても増加の程度が大きい。そのためH28年度1月に再度測定したところ5月よりも減少した。H13年度の減速機メーカーからの報告では、「1号機減速機の1段目ベベルピニオンの大端側歯先とベベルギヤの歯元に強い片当たり現象が生じている」と報告があるが、H21年度以前のデータが欠落しておりH13年度の振動値との因果関係を検証できない。

施設管理者と点検整備業者にヒアリングした結果、機場の特性として水位確保が困難で管理運転時間が短いという傾向があるため、振動値が安定する前に測定した可能性があることが分かった。

今回測定項目である減速機出力側軸受の健全度を評価する傾向管理項目として主原動機デフレクションがあるが、この傾向管理については、5. 1. 2項に示す。

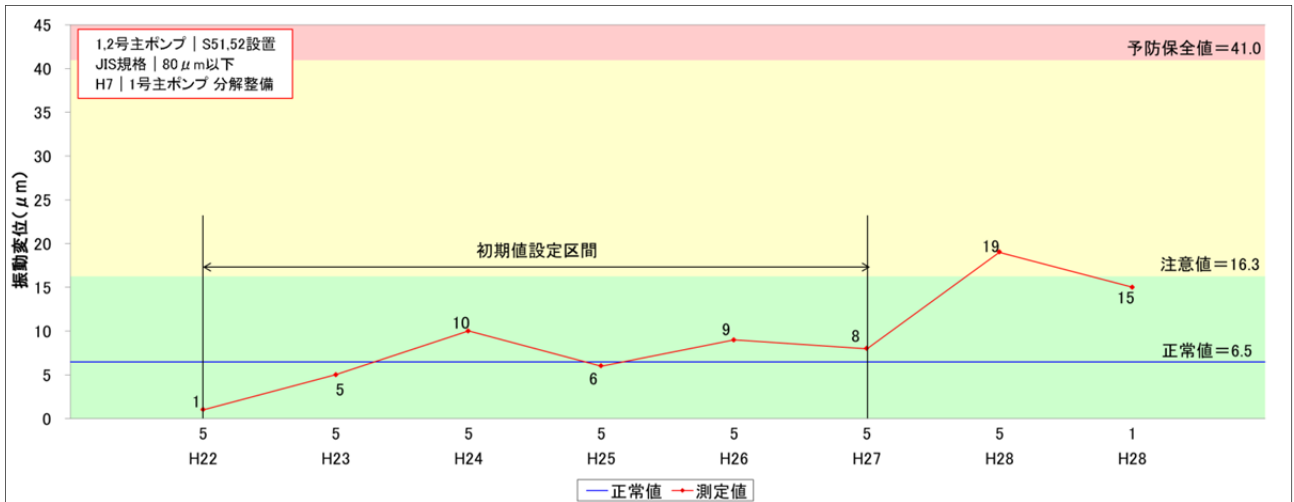


図-2 1号減速機出力側軸受(垂直方向)振動の傾向管理グラフ

【対応案】

振動を測定する場合の物理量としては、「加速度領域」「速度領域」「変位領域」があり、当該減速機の振動は変位領域(μm)で測定しているが、河川用ポンプ設備状態監視ガイドライン(案)²⁾では「速度領域(mm/s)による測定が適している」としている。現在の変位領域(μm)による測定では、高い信頼性で把握することが難しいことから物理量を速度領域(mm/s)に変更して測定することを薦める。

H13年度の減速機メーカーから報告があった「ベベルピニオンとベベルギヤの片当たり現象」については、運転時に減速機点検窓から状況確認をする必要がある。また、安定した状態のデータで傾向管理を実施するため、測定タイミングについては管理運転開始からの時間を定めるなど統一すべきである。

4. 2. 3 S5 排水機場

対象機器：4号減速機

測定値：出力側軸受(軸方向)振動

状況：測定値がH27年度から急増し、H28年度に注意値を超過している。

【原因の推定】

図-3に4号減速機出力側軸受(軸方向)振動測定値の推移を示す。H27年度年、及びH28年度の測定値が上昇傾向を示している。分解整備以降の期間(H12年度～H26年度)を初期値設定区間(正常値)とすれば、H28年度の値は正常値の2.5倍¹⁾以上を示す注意値となり、それまでの推移と比較しても増加の程度が大きい。

施設管理者と点検整備業者にヒアリングした結果、振動測定機器はニードル式を採用していたこと及び測定位置のマーキングがないことがわかり、測定方法あるいは測定位置のズレによる測定誤差である可能性も否定できないが、原因が特定できない現状においては維持管理上注意が必要である。

今回測定項目である減速機出力側軸受の健全度を評価する傾向管理項目として、減速機～ポンプ間芯出し測定及び主原動機デフレクションがあるが、この傾向管理については、5. 1. 3項に示す。

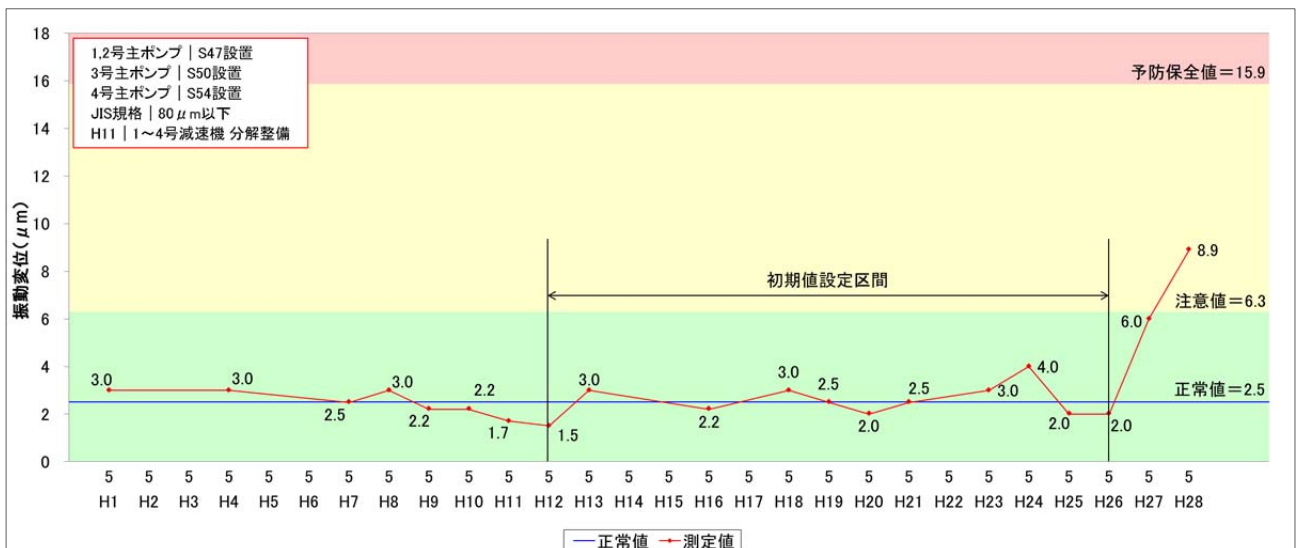


図-3 4号減速機出力側軸受(軸方向)振動の傾向管理グラフ

【対応案】

振動を測定する場合の物理量としては、「加速度領域」「速度領域」「変位領域」があり、当該減速機の振動は変位領域(μm)で測定しているが、河川用ポンプ設備状態監視ガイドライン(案)²⁾では「速度領域(mm/s)による測定が適している」としている。現在の変位領域(μm)による測定では、高い信頼性で把握することが難しいことから物理量を速度領域(mm/s)に変更して測定することを薦める。

振動測定機器は、マグネット式の採用による測定値の精度向上を検討するとともに、測定時は、同一箇所・同一方法による測定を徹底し、測定位置のズレによる測定誤差の防止に努めることが重要である。

4. 3 傾向管理の評価シート(案)作成

対象施設について、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、評価内容を「傾向管理の評価シート(案)」としてまとめた。

4. 3. 1 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. 2 傾向管理の評価シート(案)

今回、平成 27 年度にまとめた傾向管理評価シート(案)の作成手順に対して改善した項目は、表-2の赤枠のとおりである。

(1) 新たに計測項目該当区分欄を追加した。

河川ポンプ設備点検・整備標準要領(案)³⁾に記載されている計測項目を「○」とし、記載のない項目に「×」を追加した。

(2) 管理基準値欄に新たに区分欄を追加した。

河川ポンプ設備点検・整備標準要領(案)³⁾に記載されている項目のうち、傾向管理項目の対象となっている計測項目には「相対値評価基準値」を適用し(相対値と表記)、その他の項目は「絶対値評価基準値」を適用する(絶対値と表記)。なお、「相対値評価基準値」「絶対値評価基

準値」の設定の考え方は、河川ポンプ設備点検・整備標準要領(案)⁴⁾によるものとする。

表-2 評価結果一覧表 一部抜粋 (事例：TK4 排水機場)

No.	測定箇所		測定項目	測定方法	計測項目 該当区分	管理基準値			現状評価結果	注意値 超過	予防 保全値 超過	許容値 超過	健全度 の評価	備考	ページ 番号
	機器名	部品名				区分	注意値	予防保全値							
1	1号主ポンプ	軸受	温度	機付温度計による測定	○	絶対値	-	-	97℃未満 (H27年度時点)			○	○		P7-10
2	1号主ポンプ	吸込	圧力	機付圧力計による測定	×	絶対値	-	-	記載なし			-	-		P11-14
3	1号主ポンプ	吐出	圧力	機付圧力計による測定	×	絶対値	-	-	記載なし			-	-		P15-18
4	1号主ポンプ	本体	始動時間	ストップウォッチによる測定 (機付記録計による測定)	○	絶対値	-	-	記載なし			-	-		P19-22
5	1号主ポンプ	本体	停止時間	ストップウォッチによる測定 (機付記録計による測定)	○	絶対値	-	-	記載なし			-	-		P23-26
6	1号主ポンプ	ケーシング(横方向)	振動	振動計による測定	○	絶対値	-	-	80μm以下 (H28年度時点)			○	○		P27-34
7	1号主ポンプ	ケーシング(縦方向)	振動	振動計による測定	○	絶対値	-	-	80μm以下 (H28年度時点)			○	○		P27-34
8	1号主ポンプ	ケーシング(軸方向)	振動	振動計による測定	○	絶対値	-	-	80μm以下 (H28年度時点)			○	○		P27-34
9	1号主ポンプ	軸受(横方向)	振動	振動計による測定	○	相対値	7.9	19.9	80μm以下 (H28年度時点)		○	○	○		P35-42
10	1号主ポンプ	軸受(縦方向)	振動	振動計による測定	○	相対値	6.1	15.5	80μm以下 (H28年度時点)		○	○	○		P35-42
11	1号主ポンプ	軸受(軸方向)	振動	振動計による測定	○	相対値	6.6	16.6	80μm以下 (H28年度時点)		○	○	○		P35-42
12	1号主ポンプ	中間軸受(横方向)	振動	振動計による測定	○	相対値	13.6	34.4	80μm以下 (H28年度時点)		○	○	○		P43-50
13	1号主ポンプ	中間軸受(縦方向)	振動	振動計による測定	○	相対値	7.6	19.0	80μm以下 (H28年度時点)		○	○	○		P43-50
14	1号主ポンプ	中間軸受(軸方向)	振動	振動計による測定	○	相対値	6.8	17.2	80μm以下 (H28年度時点)		○	○	○		P43-50

4. 4 河川ポンプ設備の精密診断手法の立案

状態監視の高度化となる精密診断方法について、現場への適用を考慮して実機に基づき検討した。対象施設は、TK7 排水機場 3号主ポンプ及び E19 排水機場自家発電機駆動用ディーゼル機関とする。

4. 4. 1 TK7 排水機場 3号主ポンプ

(1) 調査背景

河川ポンプ設備の点検・整備・更新マニュアル(案)⁵⁾の「信頼性による修繕・取替の標準年数」から、主ポンプ羽根車が17年に達しているため内視鏡による精密診断の対象とした。

また、当該機器は、本年度に分解整備が予定されているため、内視鏡画像と実際の状態を工場整備時に確認し検証することが可能となった。

(2) 内部画像撮影結果

現地での内視鏡撮影箇所は図-4(赤枠)のとおりで、現地内視鏡画像と工場整備時画像を比較(図-5)すると、現地内視鏡画像の羽根車先端(赤枠)が腐食し端面にも不陸がありそうに見えたが、工場整備時画像からは錆が発生しているものの端面の不陸は少ないことを確認した。

また、現地内視鏡画像のケーシングライナで全体的に黄色く写っている状況は、母材が腐食しているのではなく、水中浮遊物が付着したものであることを確認した。

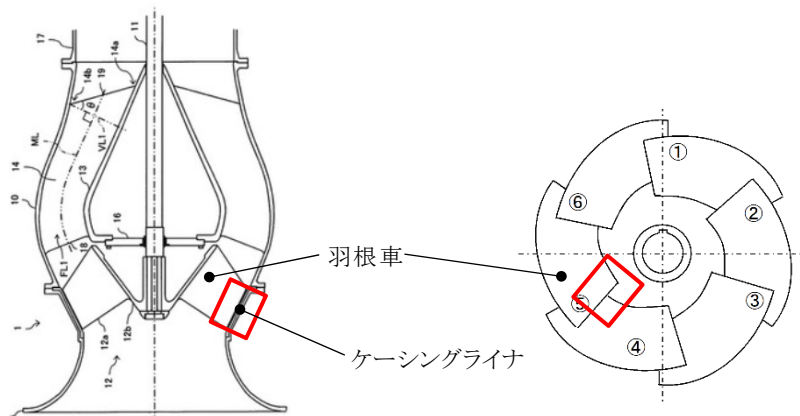


図-4 現地内視鏡撮影箇所 ポンプ構造図(左図)と羽根車の平面図(右図)

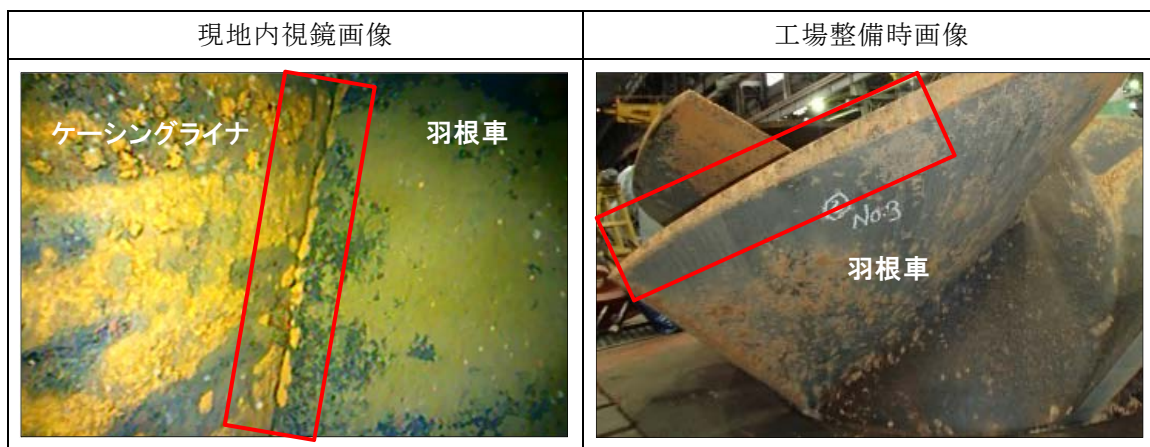


図-5 現地内視鏡画像と工場整備時画像の比較

4. 4. 2 E19 排水機場自家発電気駆動用ディーゼル機関

(1) 調査背景

当該機器は、平成 27 年 6 月点検の管理運転において、気筒間の排気温度差が 140℃（No1 気筒：370℃に対して負荷側に近い No6 気筒：510℃）となり、また、No6 気筒はメーカーの定める許容排気温度 480℃も超過していたため、負荷運転はエンジンの損傷につながる危険があるとして、それ以降現在に至るまでの運転は行っていない状況にある。このような背景から今回、精密診断の対象とした。

(2) 内部画像撮影結果

現地での内視鏡撮影箇所は図-6（No. 1～4）のとおりで、No. 3 及び 4 のシリンダヘッド内部の撮影は 6 気筒全てに対して実施した。このエンジンにはシリンダヘッド部に予燃焼室があり、その先のシリンダ内に至る開口が非常に小さかったため、シリンダライナ及びピストンヘッドの状況を撮影することはできなかった。

撮影画像及び排気温度上昇要因となり得る要素を調査結果として表-3 に示す。この結果から、明確な不具合原因を特定するには至らなかったが、撮影範囲における気筒温度上昇要因の絞り込みを行うことができた。

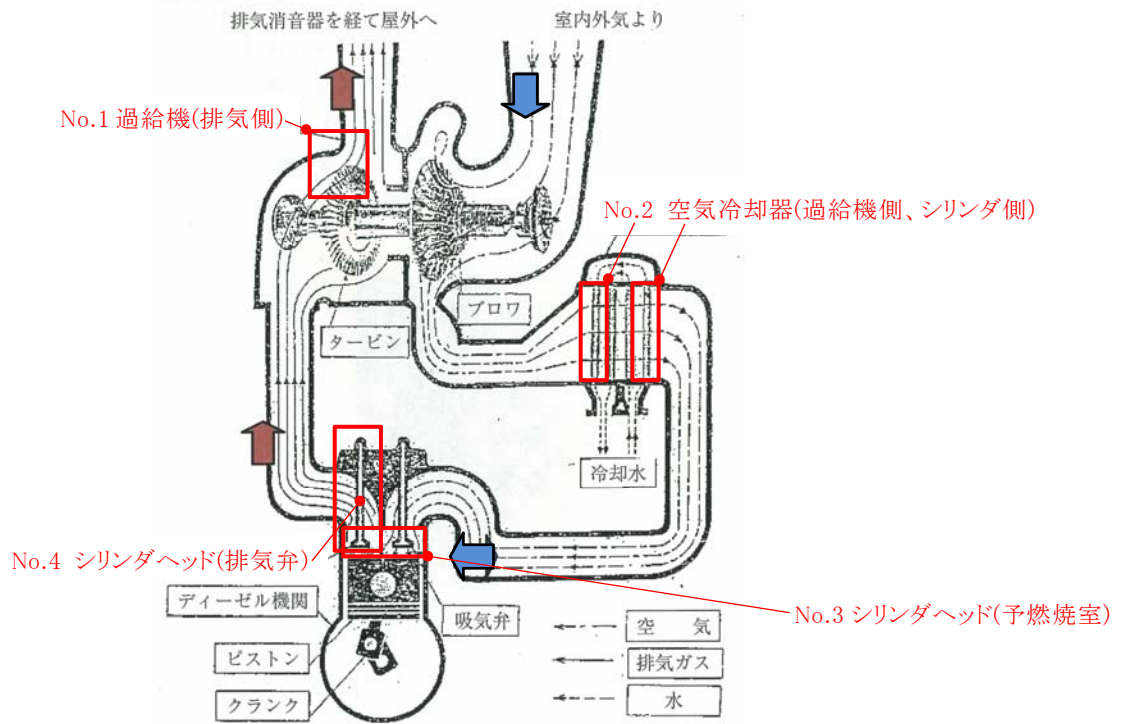


図-6 現地内視鏡撮影箇所 ディーゼル機関模式図⁶⁾

表-3 撮影結果一覧表

No.	撮影対象部品	現地内視鏡画像	調査結果
1	過給機(排気側)		汚れは認められなかった
2	空気冷却器(過給機側)		汚れ(油)が付着していることを確認した また、シリンダ側より過給機側の方が汚れている
	空気冷却器(シリンダ側)		
3	シリンダヘッド(予燃焼室)		亀裂は認められなかった
4	シリンダヘッド(排気弁)		汚れ(油)が付着していることを確認した

4. 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を集計し、経年変化グラフの更新を行った。その結果を基に、潤滑油の余寿命予測（更油時期の推定）及び各測定項目に関する傾向管理グラフの変曲点について検討を行った。

4. 5. 1 余寿命予測

現状までのデータの推移が管理基準値（JIS 規格、オイルメーカ基準値）に対して漸増及び漸減の傾向があり、管理基準値に到達することが予測されるものについて、更油時期の推定を行った。

今回の調査では、塩基価や酸価、水分から余寿命を予測することはできなかった。動粘度の推移から管理基準値（下限）到達への傾向が読み取れたのは、6 施設 9 機器であった。その一例を図-7 に示す。

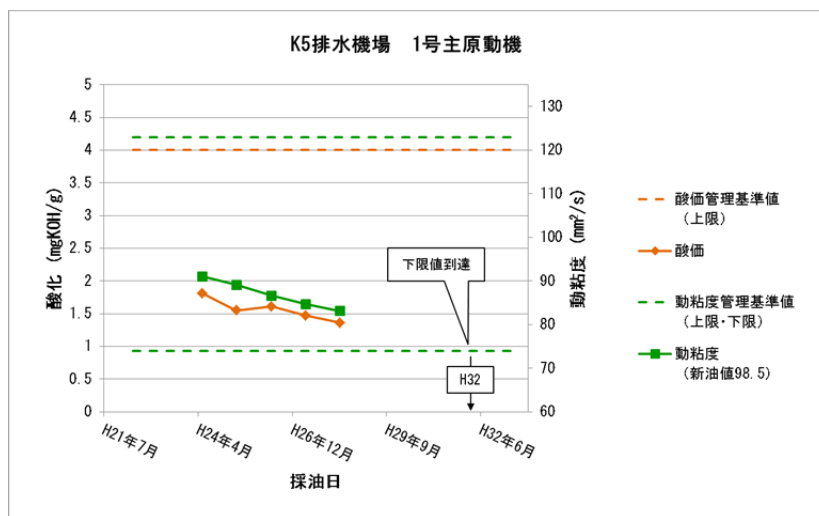


図-7 経年変化グラフ（動粘度）

4. 5. 2 傾向管理グラフの変曲点

潤滑油に関する計測値のうち、金属元素類については、機械構成要素の摩耗・劣化・損傷を示す可能性がある指標として傾向管理を行っている。平成 22 年度から現在までの Fe、Cu、Pb の推移に着目し、①急増、漸増、又は急減の傾向、②潤滑油成分分析結果報告書による管理基準値（絶対値）に対して接近または超過の傾向を整理した。顕著な傾向が読み取れたのは 19 施設 43 機器で、急増・急減が 21 機器、漸増が 22 機器であった。その一例を図-8 に示す。

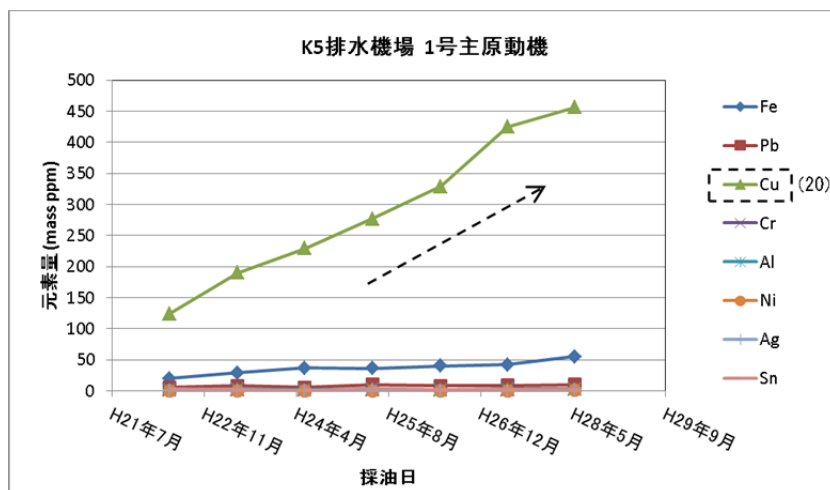


図-8 経年変化グラフ（金属元素）

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、測定項目の健全度を評価する複数の傾向管理項目について、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 3 施設 3 件の検討事例を以下に示す。

5. 1. 1 TK34 堰

対象機器：4号低水路ゲート開閉装置

測定値：2段ギヤ(右岸)バックラッシ

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(歯当り)

【解析結果】

2 段ギヤの健全度を評価する他の傾向管理項目として、歯当りがある。図-9 に 2 段ギヤ(右岸)バックラッシと歯当りを併記したグラフを示す。

H21 年度 2 月からのバックラッシの上昇とともに歯当りは H22 年度 2 月から全体的に低下傾向にある。2 段ギヤの不調であればバックラッシだけでなく、歯当りにも変化が現れる可能性がある。

バックラッシと歯当りが相関する理由は、バックラッシはギヤの噛み合う隙間であり、それが増加すると歯当りが低下するためと考えられる。

4.2.1 項に示したとおり、バックラッシが増加し歯当たりが片持ち構造ピニオンの支持側に偏っていること、及び減速機位置ズレの可能性のあることから、減速機内部の軸受摩擦耗が懸念されるので年点検時の「速度実効値(mm/s)」による振動測定を実施し傾向管理による変化を認めた場合については、減速機の分解整備を推奨する。

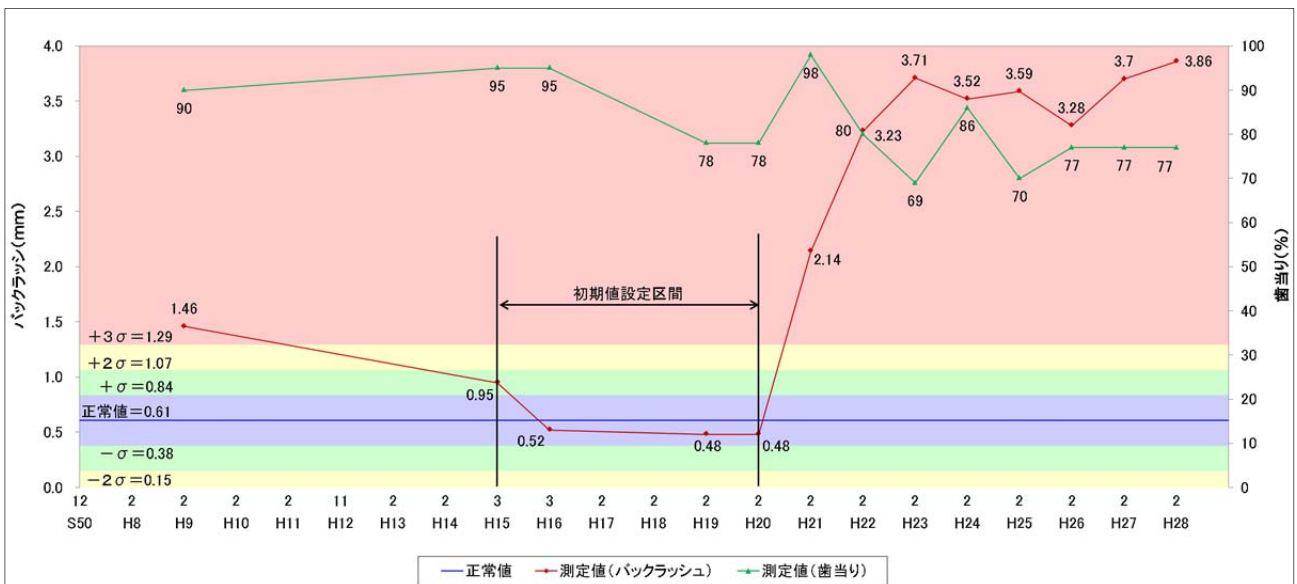


図-9 4号低水路ゲート開閉装置 2段ギヤ(右岸)バックラッシと歯当り測定の傾向管理グラフ

5. 1. 2 E17 排水機場

対象機器：1号減速機

測定値：出力側軸受(垂直方向)振動

解析内容：主原動機デフレクションとの相関性

【解析結果】

E17 排水機場においては、年点検時に主原動機のデフレクションを計測しているのですが、当該値との相関を評価した。図-10-1 に減速機出力側軸受(垂直方向)振動と図-10-2 に主原動機クランクシャフトの No.6 デフレクションのグラフを示す。

H22 年度 5 月～H28 年度 5 月にて、減速機出力軸受(垂直方向)の振動が増加傾向にあり、H28 年度 5 月に急増している。振動の急増(赤枠)に対し、デフレクションはメーカー基準値(±2.6[1/100mm]以内)を超過せず、安定して推移(赤枠)していることから関連性はないものとする。

現在の点検データからは異常を示す他の知見は得られないが、過去に減速機ギアの片当たりが報告されているため、年点検時に点検窓から歯面の状態を充分確認するとともに、4.2.2 項で示したとおり「速度実効値(mm/s)」による振動測定と測定タイミングの統一を図り、今後もこのような振動値の上昇を認めた場合については、歯当り測定や入力軸の芯ズレ量測定の実施を推奨する。

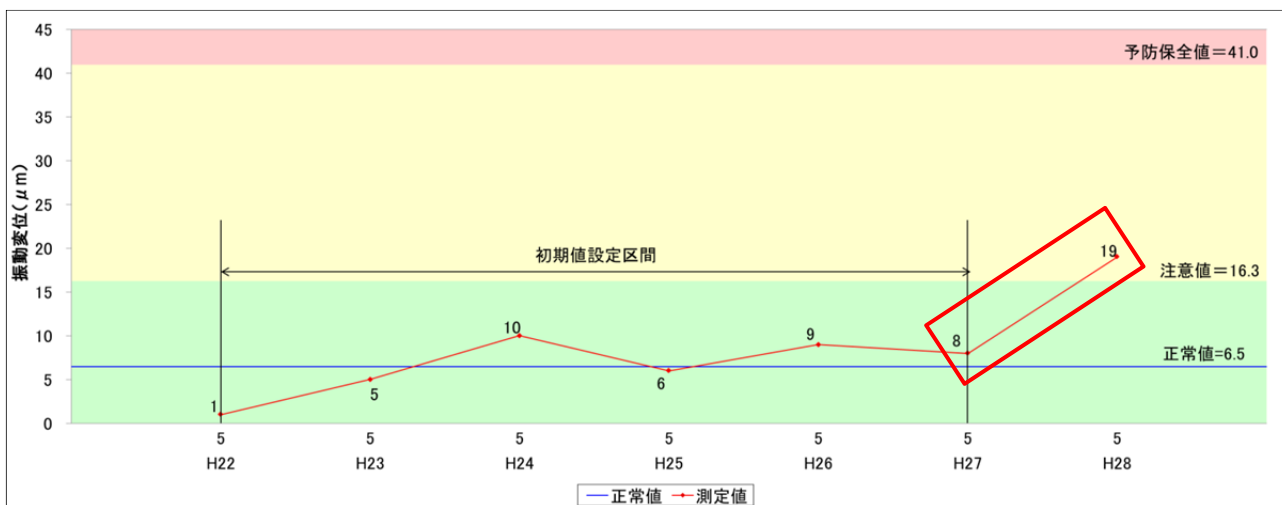


図-10-1 1号減速機出力側軸受(垂直方向)振動の傾向管理グラフ

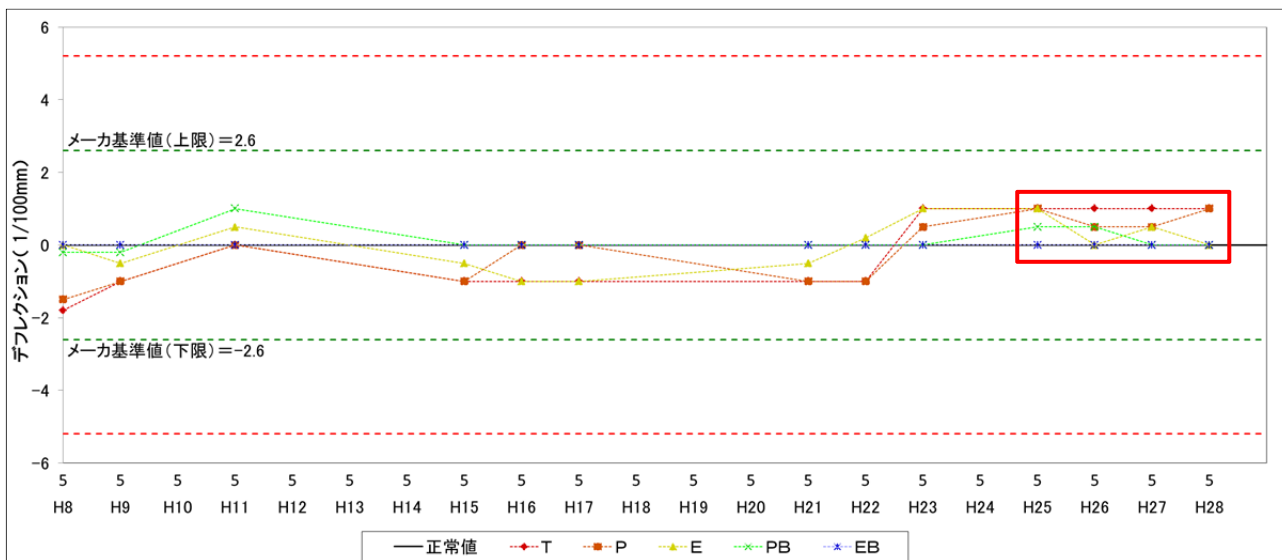


図-10-2 1号主原動機デフレクションの傾向管理グラフ

5. 1. 3S5 排水機場

対象機器：4号減速機

測定値：出力側軸受(軸方向)振動

解析内容：減速機－ポンプ間芯出し調整時の軸芯ズレとの相関性

【解析結果】

管理運転時には、ポンプ-減速機間のカップリングを外して運転しており、運転前後に芯出し調整を行っていることから、減速機-ポンプ間芯出し調整時の軸芯ズレ測定結果をグラフに記載した。

図-11 に減速機出力側軸受(軸方向)振動と軸芯ズレのグラフを示す。H18 年度以降は軸心ズレに大きな変化はなく、強い相関はみられなかった。

4.2.3項に示したとおり、変位による振動計測においては精度が問題となるので、「速度実効値(mm/s)」による振動測定に移行し、今後もこのような振動値の変化を認めた場合については、傾向管理項目による健全度の評価を実施していく。

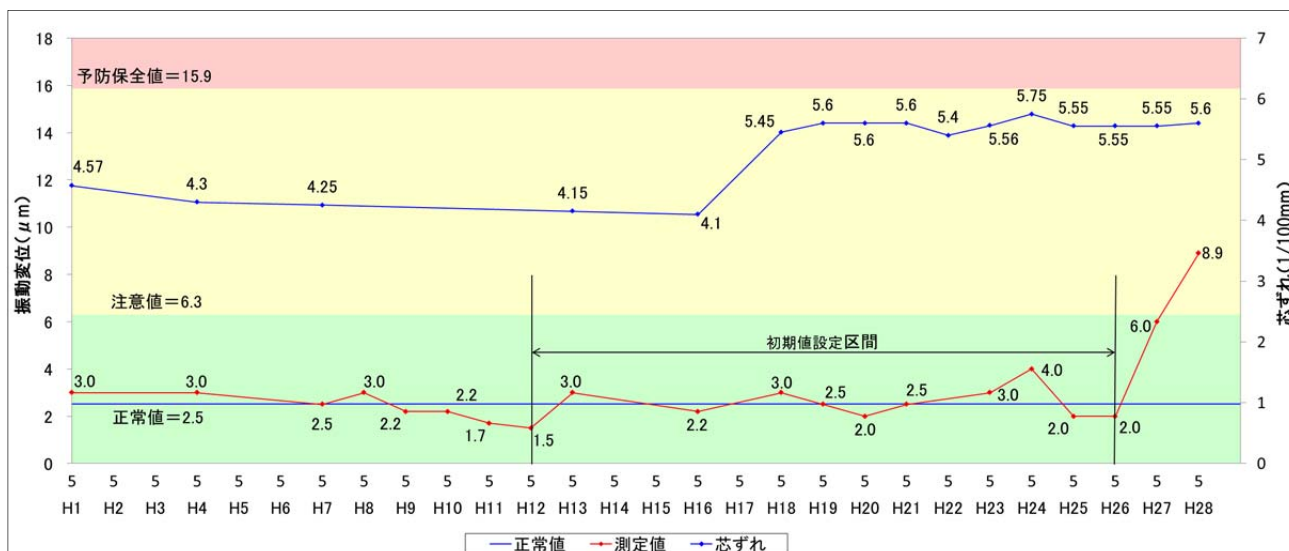


図-11 4号減速機出力側軸受(軸方向)振動と減速機-ポンプ間芯ズレの傾向管理グラフ

5. 2 河川ポンプ設備の精密診断手法の立案

5. 2. 1 TK7 排水機場 3号主ポンプ内部画像

撮影した画像により羽根車の劣化状況を確認するには、羽根車とケーシングライナ間の摺動部の腐食状況を確認することが有効であり、さらに異物の噛み込みなども確認できれば「異常」と判定できると考えていたが、今回撮影した内視鏡画像では、羽根車の劣化状況を診断することが難しかった。羽根車の水中撮影では、羽根車上やケーシングライナ内面に堆積物がある場合があり、これらを効果的に除去できることができれば診断精度が向上すると考えるが、今回使用した内視鏡は医療用内視鏡のようにカメラ先端から洗浄水を噴射する機構を有しておらず、また清掃作業用装置をファーバー部に挿入できるような機種ではない。これらの機構は工業用内視鏡では一般的ではなく、水中撮影を行う場合の課題となる。

5. 2. 2 E19 排水機場自家発電機駆動用ディーゼル機関内部画像

今回撮影した内視鏡画像では、機関本体内部の劣化状況を明確に診断することが難しかった。そのため、過給機や排気温度の高い気筒に対する部分分解の必要性について検討を行った。今回のケースでは、故障を招く劣化要因を特定するためには部分分解によって、表-4 に示す事項の確認を行うことが有用であると考えられる。

表-4 部分分解による確認項目

部分分解対象部品	確認項目
過給機	タービンノズルの状態 ロータ軸の状態を確認
シリンダヘッド	給・排気弁の状態確認 給・排気通路の状態確認 予燃焼室の状態確認 給気管内の状態 (シリンダヘッド開放する事で点検可能) 排気管内の状態 (シリンダヘッド開放する事で点検可能) 燃料噴射ポンプの作動状態

5. 2. 3 精密診断による評価指標(案)の作成

河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル(案)⁷⁾の「健全度の評価指標(傾向管理が可能なもの)」を適用する場合、これまで工業用内視鏡で撮影した実績とメーカーヒアリングをもとに、想定される劣化状態と健全度の評価指標の関係をまとめた(表-5,6)。

(1) TK7 排水機場 3号主ポンプ

表-5 羽根車内視鏡画像の評価指標(案)

健全度の評価指標/健全度の評価	劣化状態
早急に措置を行うべきと評価した場合/△1(予防保全段階)	<ul style="list-style-type: none"> 羽根車表面：塗装が剥がれディンプル状に凹凸が現れている。 羽根車摺動部：摺動摩耗が大きく現れている。
2～3年以内に措置を行うことが望ましいと評価した場合/△2(予防保全計画段階)	<ul style="list-style-type: none"> 羽根車表面：一部塗装が剥がれ、腐食が現れている。 羽根車摺動部：摺動摩耗が若干現れている。

(2) E19 排水機場自家発電駆動用ディーゼル機関

表-6 エンジン内部内視鏡画像の評価指標(案)

健全度の評価指標/健全度の評価	劣化状態
早急に措置を行うべきと評価した場合/△1(予防保全段階)	<ul style="list-style-type: none">・過給機ノズルリングの欠損・破損が見受けられる。・排気弁シートの角度がズレ、カーボン噛みこみが見受けられる。・空気冷却器フィン部に、大量の油付着、カーボン付着及び多数の腐食が見受けられる。
2～3年以内に措置を行うことが望ましいと評価した場合/△2(予防保全計画段階)	<ul style="list-style-type: none">・過給機ノズルリングの腐食が見受けられる。・排気弁シートの角度がズレ始めている。・空気冷却器フィン部に、若干の油付着、カーボン付着及び腐食は見受けられる。

5. 3 潤滑油分析

5. 3. 1 余寿命予測

潤滑油の余寿命予測においては、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、及びこれまでの傾向管理結果と異なる変化が現れた場合にその原因を整理することが重要である。

動粘度については、通常の使用状態では添加剤（粘度指数向上剤など）の分子がせん断によって機能を徐々に失い次第に低下していくが、急激に低下する場合はその理由として、ピストンリングやライナなどの摩耗によってピストン周りの隙間が発生し、燃料（A 重油）が潤滑油に混入することが考えられる。また、新油から間もない時期に一端上昇した酸価が下降する場合があるが、その理由としては添加剤（酸化防止剤）の効果発現が考えられる。

5. 3. 2 傾向管理グラフの変曲点

機関摺動部の摩耗により、潤滑油内の組成が増加すると推察する Fe、Cu、Pb の傾向を把握することで、劣化・損傷を検知できる一つの指標となると推測される。Fe の増加はライナやバルブ等鉄製品の摩耗、Cu や Pb の増加はメタル類・熱交換器等の摩耗が考えられる。

急増・急減の傾向が見られる設備では、2 つの視点で確認が必要となる。1 点は、サンプリングの確認であり、採油場所・タイミング・方法が徹底されているか確認が必要である。2 点目は、設備診断手法として普及している分析フェログラフィ結果の確認である。図-8 に示す K5 排水機場 1 号主原動機では、近年急速に Cu が増加しているが、分析フェログラフィでは銅の剥離による大きな破片（シビア粒子）が確認できていないこと（表-7）及び Fe の組成が横ばいであることなどから、熱交換器の劣化を懸念する判定結果を得ている。

表-7 分析フェログラフィ

分析フェログラフィ解析シート (2)				分析 No.	021061321	
				粒子の形態		
No.	量	名称	形状	発生形態		
1	多	正常ラビング	15μ以下の薄片	表面薄層のはくり境界潤滑,始動		正
2		なじみ	長方形の薄片	なじみ,始動		常
3		カッティング	切り粉状	硬い異物の混入,突起物の切削作用		切削
4		シビアスライディング	15μ以上,条痕	片当り,すべり,高速,高荷重		シ
5		スカuffイング	15μ以上,テンパーカラー局在	ギヤ,高速,高荷重,潤滑剤不足		ピ
6		球状	球形(~200μ)	溶着,高速,高荷重		ア
7		スポール	15μ以上,表面にピット	ピッチング,フレーキング,キア,軸受の疲労		疲
8		ラミナー	15μ以上,厚さ5μ以下の層状薄片	疲労粒子の圧延,主にころがり軸受の疲労		
9		チャンク	15μ以上,厚さ5μ以上の塊状	ギア,転動部の疲労		
10		球状	球形(~10μ)	主にころがり軸受の疲労		労
11		赤さび	赤かつ色の多晶質	水分の混入,酸化,フレッティング		腐
12		黒さび	灰黒色の多晶質	酸化,潤滑剤不足,焼付き,高速・高荷重		食
13		腐食	透明・半透明粒子	酸,アルカリ,活性イオン塩素の混入,油不適合		
14		エロージョン	あらい面,球形	侵食,キャビテーション		侵食
15		銅合金	黄金色	軸受,リテーナ,ポンプの摩耗		メタルシユの摩耗
16		白色非鉄	白色	軸受の摩耗		化学変化
17		フリクションポリマー	ころ状,球形無定形	摩擦部,油,添加剤などの重合反応		
18		溶剤不溶物	粒子状	異種油の混入,添加剤の変成		
19		砂	透明・半透明粒子鋭角面	天然砂,鑄砂の混入		汚
20		溶接スパッタ	球形(~数mm)	フラッシング不足		
21		研磨粉	切り粉状,球形(~数mm)	研磨粉の残存,フラッシング不足		
22		樹脂	無定形(~数mm)種々の色	シールの摩耗,ふんい気からの混入		染
23						

倍率	400	25μ	No.	-	場所	mm
熱処理	前	後	光種	白色/緑色	偏光/偏光	

倍率	400	25μ	No.	-	場所	mm
熱処理	前	後	光種	白色/緑色	偏光/偏光	

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、あるいは測定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り、測定時の運転条件による影響も考慮して解析する。

6. 2 河川ポンプ設備の精密診断の試行

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選任し、内視鏡調査や振動解析に関する適用性について検討し、具体的な問題点や有効となる視点等を把握していく。

内部画像撮影結果については、評価指標(案)を作成することを目的に、施設管理者、診断者とポンプ及びエンジンメーカーの専門的知見を取り入れる必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課、水管理・国土保全局河川環境課:河川ポンプ設備点検・整備・更新検討マニュアル(案), p.4-6, 2015.3
- 2) 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課: 河川用ポンプ設備状態監視ガイドライン(案), pp.12-13, 2015.3
- 3) 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課施工安全企画室:河川ポンプ設備点検・整備標準要領(案), 添付資料3-1, 2016.3
- 4) 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課施工安全企画室:河川ポンプ設備点検・整備標準要領(案), pp.24-25, 2016.3
- 5) 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課、水管理・国土保全局河川環境課:河川ポンプ設備点検・整備・更新検討マニュアル(案), p.2-22, 2015.3
- 6) 八木規雄:ポンプ駆動用ディーゼルエンジンの低負荷運転について, ぽんぷ(一般社団法人河川ポンプ施設技術協会), No.55, p.27, 2016.3
- 7) 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課、水管理・国土保全局河川環境課:河川ポンプ設備点検・整備・更新検討マニュアル(案), p.4-5, 2015.3

担当課 施設技術課