

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が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を確立するために、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の立案を目的とする。平成 29 年度は、河川系及び道路系全 16 施設の維持管理情報を電子化し、傾向管理の評価シート(案)を作成したうえで各施設について維持管理上の改善点を提案するとともに、過年度に実施してきた河川ポンプ設備の精密診断に関する技術要件を整理し、「河川ポンプ設備精密診断マニュアル(試行案)」をまとめた。

2. 過去の経緯

平成 20 年度より調査をし、平成 27 年度からは次のとおりである。

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。
- ・河川ポンプ設備主ポンプ内部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)の比率の値及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。

平成 28 年度

- ・平成 27 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 6 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。
- ・上記各対象施設の過年度からの測定値を使用して、傾向管理評価シート(案)を作成した。
- ・河川ポンプ設備の精密診断手法として、工業用内視鏡を活用したディーゼル機関及び主ポンプ内部の撮影を行い、適用性を評価した。
- ・平成 27 年に引き続き、河川ポンプ設備ディーゼル機関の潤滑油成分分析及び余寿命評価を継続した。

また、潤滑油性状を適正に管理した上で、ディーゼル機関自体の診断手法としての分析フェログラフィの適用性を評価した。

3. 業務概要

3. 1 評価対象となる施設

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・改造等の紙媒体の情報を電子化し、設備の傾向管理に利用出来るよう機械設備維持管理システムへ登録することでデータベースの充実を図った。

3. 2 実際のデータに基づく解析

対象施設の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。

また、次年度以降の作業効率化を見据え、機械設備維持管理システムに実際のデータに基づく解析を実施する際の情報の出力機能を追加し、出力したデータから傾向管理グラフの作成支援を行うマクロ機能を構築した。

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、4. 3. 2 項で作成した傾向管理グラフから各施設の測定項目に対して変曲点の有無を確認した。また、確認結果から傾向管理評価シート案をとりまとめた。

評価シート(案)作成作業効率化のため、4. 3. 2 項で作成した傾向管理グラフの結果を傾向管理評価シートへ転記するマクロ機能を構築した。

3. 4 精密診断の試行

ゲート設備において適用性を評価してきた精密診断技術をポンプ設備において試行するとともに、前年度に引き続き、振動測定及び工業用内視鏡の試行も継続し、精密診断マニュアル(試行案)をまとめた。試行対象のポンプ設備は過年度までの傾向管理の結果、不具合傾向が出ていると想定された TJ4 排水機場と TK3 排水機場を選定した。各施設の概要は以下の通り。

(1) TJ4 排水機場

主ポンプ：形式 縦軸斜流、口径 2000mm、吐出量 10m³/s、全揚程 5.8m、台数 2 台

原 動 機：形式 ディーゼル機関、定格出力 883kW、始動方式 空気式、台数 2 台

減 速 機：形式 直交軸歯車減速機、伝達容量 883kW、冷却方式 水冷、台数 2 台

(2) TK3 排水機場：

主ポンプ：形式 縦軸渦巻斜流、口径 2600mm、吐出量 15m³/s、全揚程 4.1m、台数 2 台

原 動 機：形式 ディーゼル機関、定格出力 883kW、始動方式 空気式、台数 2 台

減 速 機：形式 直交軸歯車減速機、伝達容量 883kW、冷却方式 水冷、台数 2 台

3. 4. 1 主ポンプの振動測定・解析

TJ4 排水機場 2 号主ポンプを対象とし、管理運転時に主軸の振動を渦電流式変位計により測定した。得られた測定データにより、FFT 処理やリサージュ図の作成を行い、周波数領域の解析及びオービット解析を併用することで、主ポンプの劣化状況を把握した。

3. 4. 2 減速機の振動測定・解析

TJ4 排水機場 2 号減速機を対象とし、管理運転時に入出力部の振動を測定した。得られた測定データにより FFT 処理による周波数分布の確認及び速度換算 RMS 値を算出して減速機の劣化状況を把握した。

3. 4. 3 主ポンプの工業用内視鏡撮影・評価

TJ4 排水機場 2 号主ポンプを対象とし、内部を工業用内視鏡で直接観察することで、羽根車及び主軸の摩耗や腐食等の劣化状況を把握した。

3. 4. 4 主原動機の工業用内視鏡撮影・評価

TK3 排水機場 1 号主原動機を対象とし、シリンダや過給機内部を工業用内視鏡で直接観察することにより、ピストンの摩耗や過給機の腐食等の劣化状況を把握した。なお、各部の内視鏡挿入方法についても検証した。

3. 4. 5 赤外線サーモグラフィによる撮影・評価

TJ4 排水機場 2 号主原動機および TK3 排水機場 1, 2 号主原動機を対象とし、赤外線サーモグラフィによる表面温度分布撮影を実施し、劣化箇所の特定を試みた。

3. 4. 6 漏洩電流計測・解析

TJ4 排水機場及び TK3 排水機場の監視操作制御設備を対象とし、コントロールセンタ（機側操作盤）から二次側の電気系統における漏洩電流を活線状態で測定し、機器の劣化状況を把握した。

4. 実施結果

本年度の実施結果を次に示す。

4. 1 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

施設分類	施設名	過年度情報量（年分）
水門設備	TJ80 ゲート	18 年
	TJ81 ゲート	18 年
	TJ82 ゲート	18 年
	TJ83 ゲート	18 年
	TK69 水門	22 年
	E77 水門	23 年
	AK15 水門	18 年
揚排水ポンプ設備	TJ2 浄化取水機場	18 年
	W1 排水機場	6 年
	W2 排水機場	6 年
	S9 排水機場	10 年
	AJ4 機場	16 年
	AJ6 貯水池機場	16 年
道路排水設備	04 道路設備	6 年
	013 道路排水設備	6 年
	N3 排水設備	3 年

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. 1. 1 E77 水門

対象機器：1号ゲート開閉装置

測定値：中間ギヤ（右岸）バックラッシ

状況：平成29年5月の計測値が、平成1年7月～平成24年5月を正常値期間とした場合の予防保全値（ 3σ ）を超過している。

【原因の推定】

図-1に1号ゲート開閉装置中間ギヤ(右岸)バックラッシの測定値の推移を示す。平成29年5月の計測値の測定値が2.03mmとなっており、平成1年7月～平成24年5月を正常値期間と設定した場合に、予防保全値（ 3σ ）1.77mmを超える値であった。過去の報告書及び整備記録等を確認したところ、当該部品について更新及び分解整備の記録はなかった。

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、次に示す事項であると分かった。

- (1) 過去の油膜切れ（潤滑不良）が原因と考えられる歯面の傷があり、目視確認できるほどの凹凸が発生している。
- (2) 毎年、年点検での計測は定点位置として扉体開度9.5mから0.3m下降させた時の歯面中心部分としていたが、本年は、計測者が例年の熟練者ではなかった（当時、熟練者は2号ゲート担当）ため、ゲート開度は例年とおりであったが、歯面中心位置から外れた位置にて計測してしまった可能性がある。
- (3) 歯面凹凸部の凹部分でのバックラッシ計測となり、鉛線が例年よりも厚くなってしまったものと考えられる。

今回の測定項目の健全度を評価するため対象のバックラッシと歯当りの相関関係にて傾向管理を実施した。傾向管理結果は、4.5.1.1項において考察する。

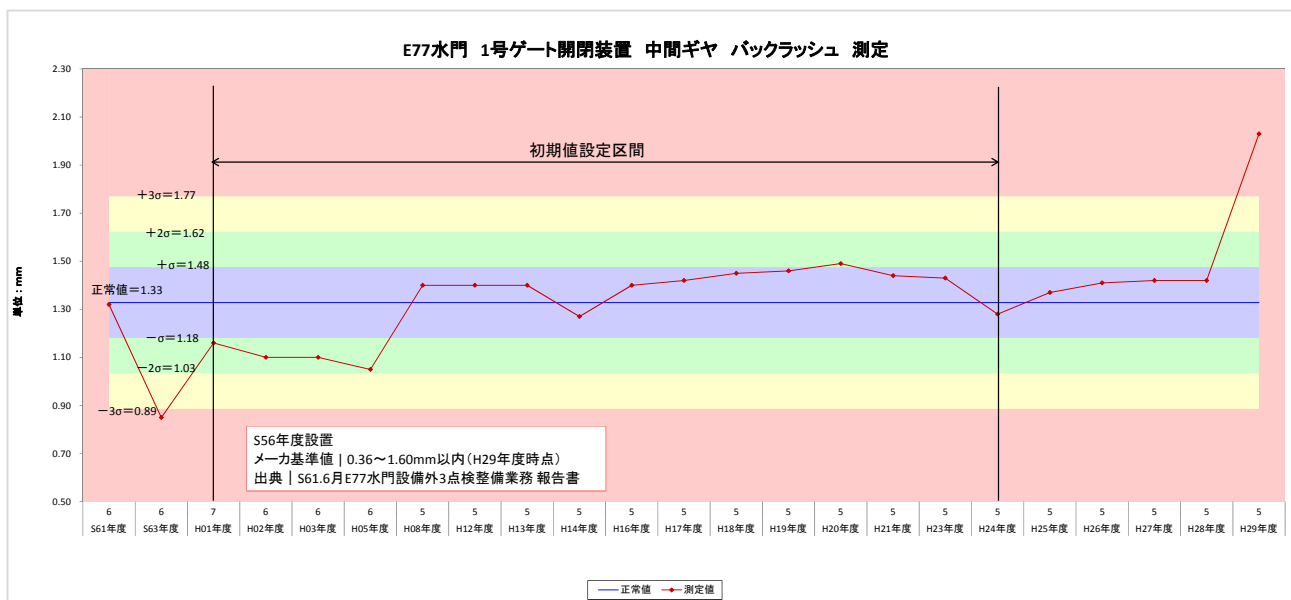


図-1 1号ゲート開閉装置 中間ギヤ（右岸）バックラッシの傾向管理グラフ

【対応案】

対応案を以下に記載する。

- ・次回点検時は、目視による歯面の傷やゲート操作の異音・振動等の変化を継続的に確認し、推移観察を実施する。

4. 1. 2 S9 排水機場

対象機器：2号自家発電機

測定値：気筒温度4

状況：平成28年5月及び平成29年5月の計測値が、平成19年5月～平成27年5月を正常値期間とした場合の予防保全値（ 3σ ）を超過している。

【原因の推定】

図-2に2号自家発電機気筒温度4の測定値の推移を示す。平成28年5月及び平成29年5月の計測値が 350°C となっており、平成19年5月～平成27年5月を正常値期間と設定した場合の予防保全値（ 3σ ） 338.12°C を超える値であった。

施設管理者と点検整備業者にヒアリングした結果、温度上昇の原因として考えられるものは、次に示す事項との回答を受けた

(1) 運転開始後概ね5～10分程度目安として計測作業を行っているが、計測順序（1号機（NO.1気筒）から始めるか、4号機（NO.6気筒）から始めるか等）を定めておらず、当該気筒温度の計測タイミングが一定でなかった可能性がある。

(2) 測定者が毎回同じではない可能性があり、計測方法等の違いにより測定値に差が生じていた可能性がある。

今回の測定項目の健全度を評価するため、対象の気筒（NO.4気筒）以外の全ての気筒温度を含めての傾向管理結果は、5. 1. 2項において考察する。

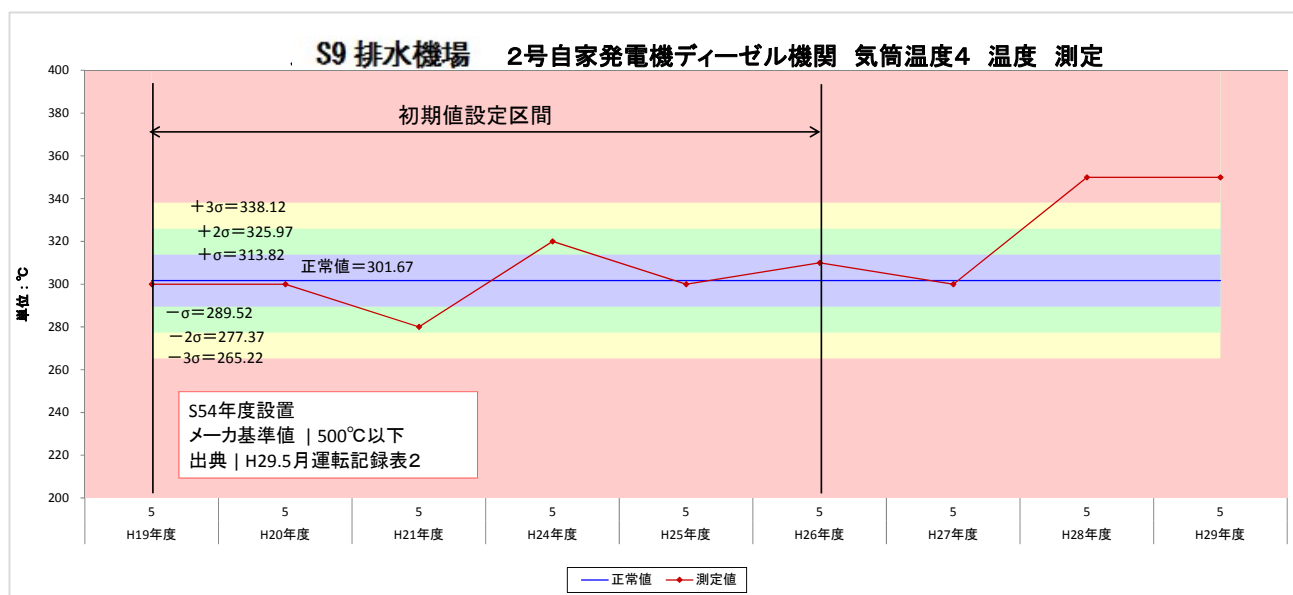


図-2 2号自家発電機気筒温度4の傾向管理グラフ

【対応案】

対応案を以下に記載する。

- ・次年度の年点検及び月点検の管理運転時に計測方法（時間・順番等）を統一するとともに、測定者が変更になっても踏襲できるよう周知徹底する。

4. 1. 3 傾向管理グラフ作成支援マクロ機能の構築

傾向管理グラフ作成を効率化するため、傾向管理グラフのマクロ作成支援機能を構築した。グラフ作成時の対象データとなる測定値は、機械設備維持管理システムで保有する測定項目を対象とし、

機械設備維持管理システムに対象施設の各測定項目の測定値をCSVファイルとして出力する機能を構築した。図-3に傾向管理グラフ作成マクロ機能のイメージを記す。

具体的には、各施設の設備カルテ画面において、計測データ（CSV形式）の出力機能を付加し、別途用意したマクロ機能付きエクセルファイルに当該データを貼り付けることで、傾向管理グラフを作成するものである。

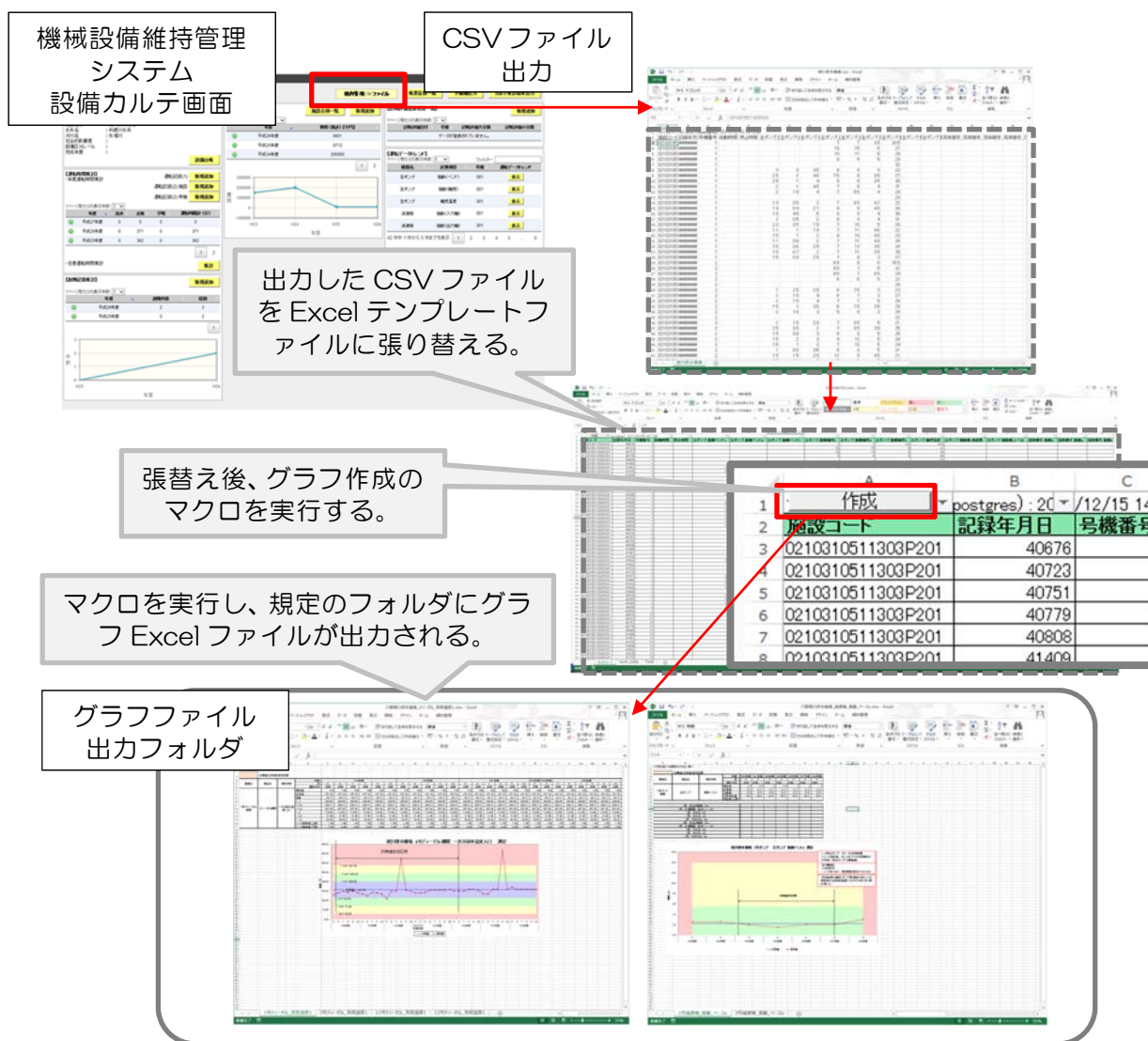


図-3 傾向管理グラフ作成マクロ機能イメージ

4. 2 傾向管理の評価シート(案)作成

表-1 に示す各対象施設について、現状に至るまでの点検データ及び定性的な判定結果を把握した後、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. 2. 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該当するデータの範囲を選択した。

4. 2. 2 管理基準値の設定

絶対評価に用いる管理基準値は、点検・整備標準要領(案)や点検業者独自の点検様式等に記載

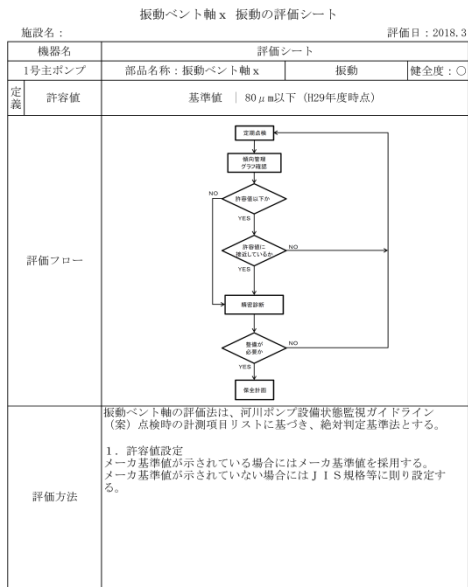
されている基準値を採用した。採用した基準値の出典は、傾向管理評価シート（案）に記載した。

4. 2. 3 傾向管理の評価シート(案)

作成した傾向管理評価シート（案）は、平成 28 年度までに得られた知見に基づき作成している。評価項目の一部抜粋を表-2 に、評価シート事例を図-4 に示す。

表-2 傾向管理評価結果一覧表 一部抜粋（事例：W2 排水機場）

No.	測定箇所		測定項目	測定方法	計測項目 録画区分 ¹⁾	管理基準値			現状評価結果	注意値 超過	予防保全 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 ²⁾	注意値	予防保全値							
1	1号主ポンプ	振動ベント軸 x	振動	振動計による測定	○	絶対値	-	-	基準値 80 μm以下 (H29年度時点) 出典 河川ポンプ設備点検・整備標準要領 (案)	現状維持 (基準値以下)	-	-	○	○	P14
2	1号主ポンプ	振動ベント軸 y	振動	振動計による測定	○	絶対値	-	-	基準値 80 μm以下 (H29年度時点) 出典 河川ポンプ設備点検・整備標準要領 (案)	現状維持 (基準値以下)	-	-	○	○	P5-8
3	1号主ポンプ	振動ベント軸 z	振動	振動計による測定	○	絶対値	-	-	基準値 80 μm以下 (H29年度時点) 出典 河川ポンプ設備点検・整備標準要領 (案)	現状維持 (基準値以下)	-	-	○	○	P9-12
4	1号主ポンプ	振動軸受 x	振動	振動計による測定	○	相対値	25.5	64.4	基準値 80 μm以下 (H29年度時点) 出典 河川ポンプ設備点検・整備標準要領 (案)	現状維持 注意値・予防保全値の超過はない。	○	○	○	○	P13-16
5	1号主ポンプ	振動軸受 y	振動	振動計による測定	○	相対値	56.4	142.2	基準値 80 μm以下 (H29年度時点) 出典 河川ポンプ設備点検・整備標準要領 (案)	現状維持 注意値・予防保全値の超過はない。	○	○	○	○	P17-20
6	1号主ポンプ	振動軸受 z	振動	振動計による測定	○	相対値	17.7	44.6	基準値 80 μm以下 (H29年度時点) 出典 河川ポンプ設備点検・整備標準要領 (案)	現状維持 注意値・予防保全値の超過はない。	○	○	○	○	P91-94
7	1号減速機	スラスト軸受温度	温度	接触温度計による測定	○	絶対値	-	-	基準値 記載無し (H29年度時点)	現状維持 基準値の記載がないため絶対値による評価はできないが、計測値の傾向に異常な変動等は認められない。	-	-	-	-	P25-28
8	1号減速機	軸受温度 a	温度	接触温度計による測定	○	絶対値	-	-	基準値 記載無し (H29年度時点)	現状維持 基準値の記載がないため絶対値による評価はできないが、計測値の傾向に異常な変動等は認められない。	-	-	-	-	P29-32
9	1号減速機	潤滑油圧力	圧力	接触圧力計による測定	○	絶対値	-	-	基準値 記載無し (H29年度時点)	現状維持 基準値の記載がないため絶対値による評価はできないが、計測値の傾向に異常な変動等は認められない。	-	-	-	-	P33-36
10	1号減速機	潤滑油冷却機温度入口	温度	接触温度計による測定	○	相対値	28.98 20.22	31.17 18.03	基準値 記載無し (H29年度時点)	現状維持 注意値・予防保全値の超過はない。	○	○	-	○	P37-40
11	1号減速機	潤滑油冷却機温度出口	温度	接触温度計による測定	○	相対値	23.39 19.51	24.28 18.92	基準値 記載無し (H29年度時点)	現状維持 注意値・予防保全値の超過はない。	○	○	-	○	P41-44
12	1号減速機	振動入力軸 x	振動	振動計による測定	○	相対値	32	80.6	基準値 記載無し (H29年度時点)	現状維持 注意値・予防保全値の超過はない。	○	○	○	○	P45-48
13	1号減速機	振動入力軸 y	振動	振動計による測定	○	相対値	19.5	49.1	基準値 記載無し (H29年度時点)	現状維持 注意値・予防保全値の超過はない。	○	○	○	○	P49-52
14	1号減速機	振動入力軸 z	振動	振動計による測定	○	相対値	28.7	72.3	基準値 記載無し (H29年度時点)	現状維持 注意値・予防保全値の超過はない。	○	○	○	○	P53-56
15	1号減速機	振動出力軸 x	振動	振動計による測定	○	相対値	43.5	109.7	基準値 記載無し (H29年度時点)	現状維持 注意値・予防保全値の超過はない。	○	○	○	○	P57-60



現状評価結果	X方向	現状維持 (許容値以下)	要対応 (許容値超過)
	Y方向	現状維持 (許容値以下)	要対応 (許容値超過)
	Z方向	現状維持 (許容値以下)	要対応 (許容値超過)
対処方法	【その他記載事項】 X方向: 特記なし Y方向: 特記なし Z方向: 特記なし		
	計測値の評価は、傾向管理グラフにより確認し、 ①許容値を超過した場合には、直ちに運用を停止のうえ、精密診断(異常の原因を究明)を実施し、メーカー詳細確認などを行い、対策を施す。 ②許容値以下の場合でも、計測値の許容値への接近や、急増が認められる場合には、精密診断(異常の原因を究明)を実施し、メーカー詳細確認などを行い、対策を施す。		
	【計測箇所】 振動測定はポータブル振動計を用い、測定点にはマーキングを付けて測定を行う。測定データの環境及び測定条件は極力、同一条件で測定する。		
測定方法	【運転条件】 運転条件として、運転方法や水位条件等を明記する。 ・記載なし		
	【計測時期(頻度)】 設置・修繕・更新・分解整備及び、年点検時等を記載する。		
許容値 参考規格名	※管理運転30分以内での測定が難しい場合、運転時間の追加・計測人数の増加を検討する		
備考 (A-1)による 特色(製造年月による変化)、測定機器の特性等)			

図-4 傾向管理評価シート抜粋（事例：W2 排水機場 振動）

4. 2. 4 傾向管理評価シート(案)作成支援マクロ機能

各施設の管理事務所における傾向管理評価シート作成を効率化するため、維持管理システムより得られる傾向管理グラフ(Excelファイル)の情報から診断評価結果一覧表を作成するための支援機能を構築した。図-5は傾向管理評価シート(案)作成支援マクロ機能のイメージである。傾向管理グラフ Excelファイルから診断評価一覧表に記載する情報は、傾向管理グラフ上で設定した正常値や管理基準値、注意値、予防保全値等であり、診断評価一覧表も出力できる。

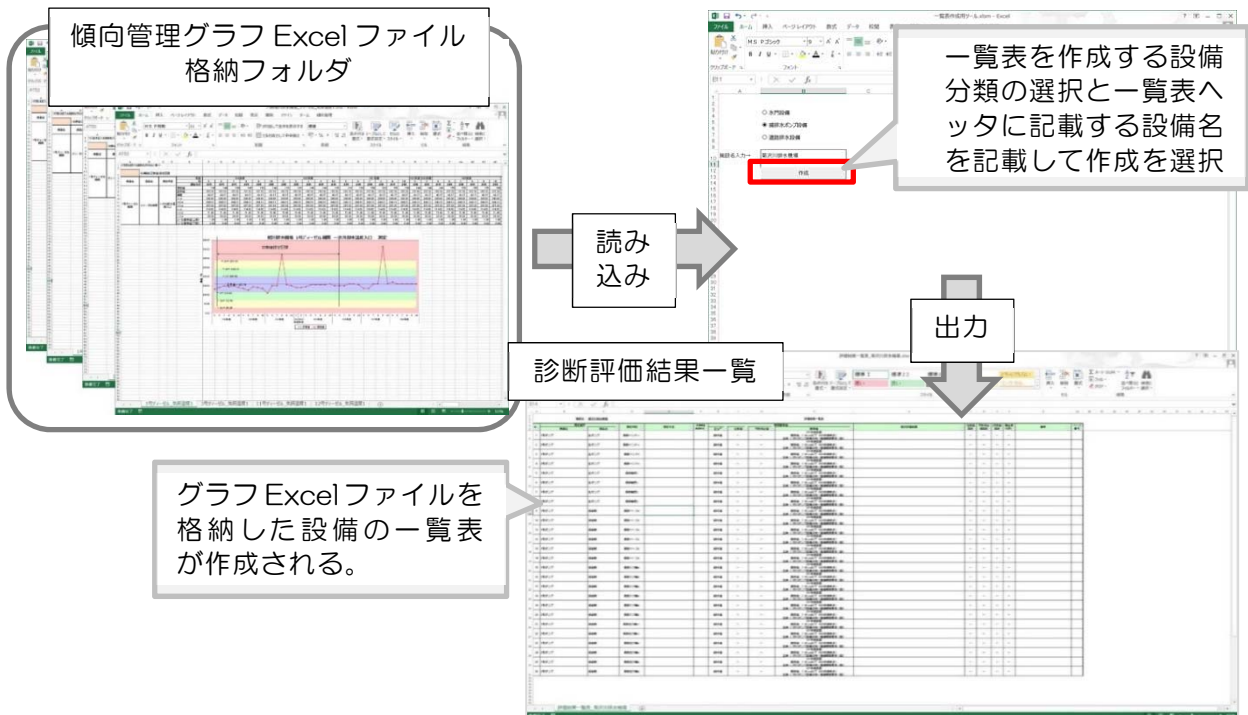


図-5 傾向管理評価シート（案）作成支援マクロ機能イメージ

4. 3 精密診断の試行

4. 3. 1 主ポンプの振動測定・解析

主ポンプの主軸振動は、ポンプのグラウンド部における主軸露出部で渦電流式変位計をマグネットスタンドにより仮設し、サンプリング周波数 1000Hz によりデータロガで波形を記録した。

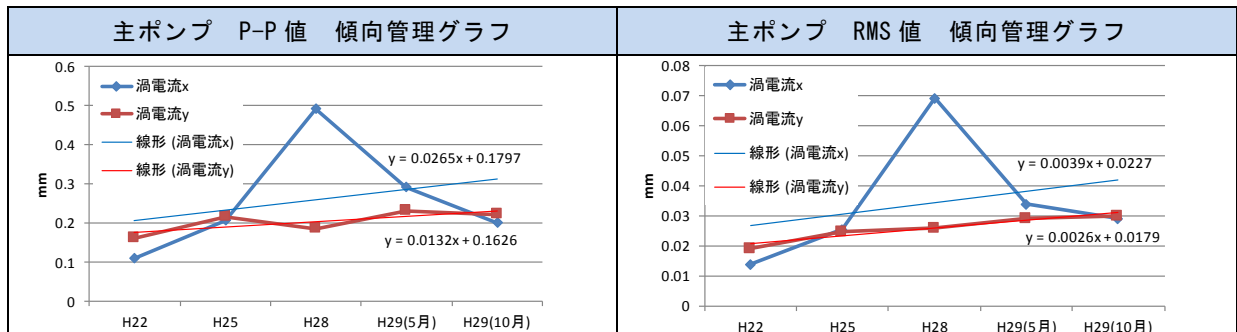


図-6 主ポンプ主軸振動の傾向管理グラフ

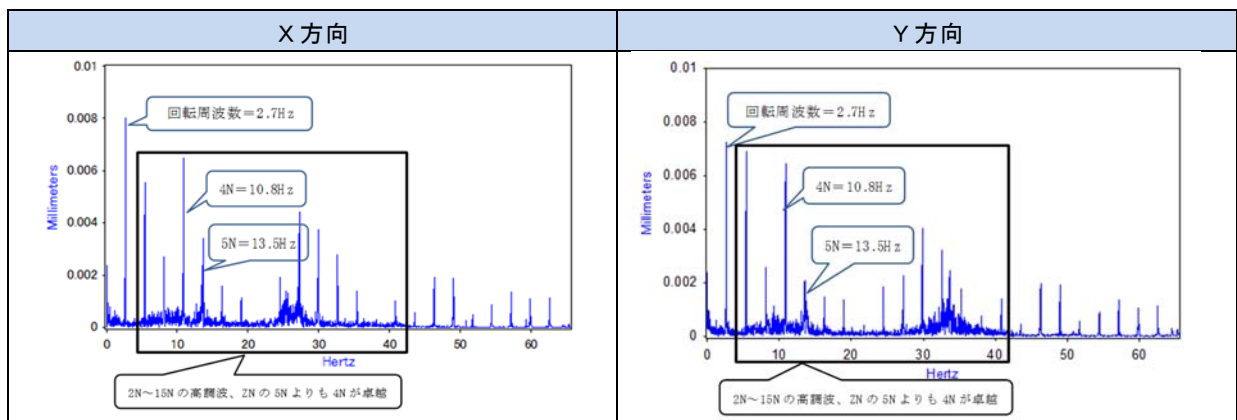


図-7 主ポンプ主軸振動の周波数解析結果

記録したデータを、振動解析ソフトにより解析した結果を図-6～7に示す。図-6はTJ4排水機場における主軸振動のP-P値及び変位の実効値（RMS値）についてH22年から今年度までの変化を示したグラフである。Xはポンプの吐出方向、Yはその水平直角方向の変位を示す。H28年度はH25年の計測データに比べ大きく増加しているが、その後H29年度の管理運転時においてはH25年の計測データから微増状態になっている。また、図-7は主軸振動の周波数解析結果である。回転数成分が突出しており、回転数の2倍及び整数倍の周波数も広く分布している。H28年の振幅増大については、運転条件の相違など現段階で確認できない要因もあるが、この計測値を除外してもTJ4排水機場の2号主ポンプは、主軸周りのアンバランスが進行している可能性があり、また、若干の芯ずれが発生している波形の特徴も示している。

4. 3. 2 減速機の振動測定・解析

TJ4排水機場2号減速機を対象として、入力軸・中間軸・出力軸における振動加速度を波形記録機能のある加速度計により収録し、振動解析ソフトを用いて解析した。特徴的な事例として入力軸の解析結果を図-8に示す。TJ4排水機場の主ポンプ減速機は入力883kWであることから、ISO10816-1における区分ではクラスⅢに相当する。今回計測された波形の実効値はV方向（入力軸に対して鉛直上方向）が最も大きく3.47mm/sであるが、ISO10816-1におけるクラスⅢの絶対値評価においては、4.5mm/s以下であれば長時間運転が可能な領域とされており、絶対値評価において問題はない。ただし、波形からは、理論値とは若干の差があるが、歯車の噛み合いによると思われる周波数（515Hz前後）が見られた。特に噛み合い周波数の2倍（1030Hz前後）も見られることから、今後の傾向に注意すべきである。

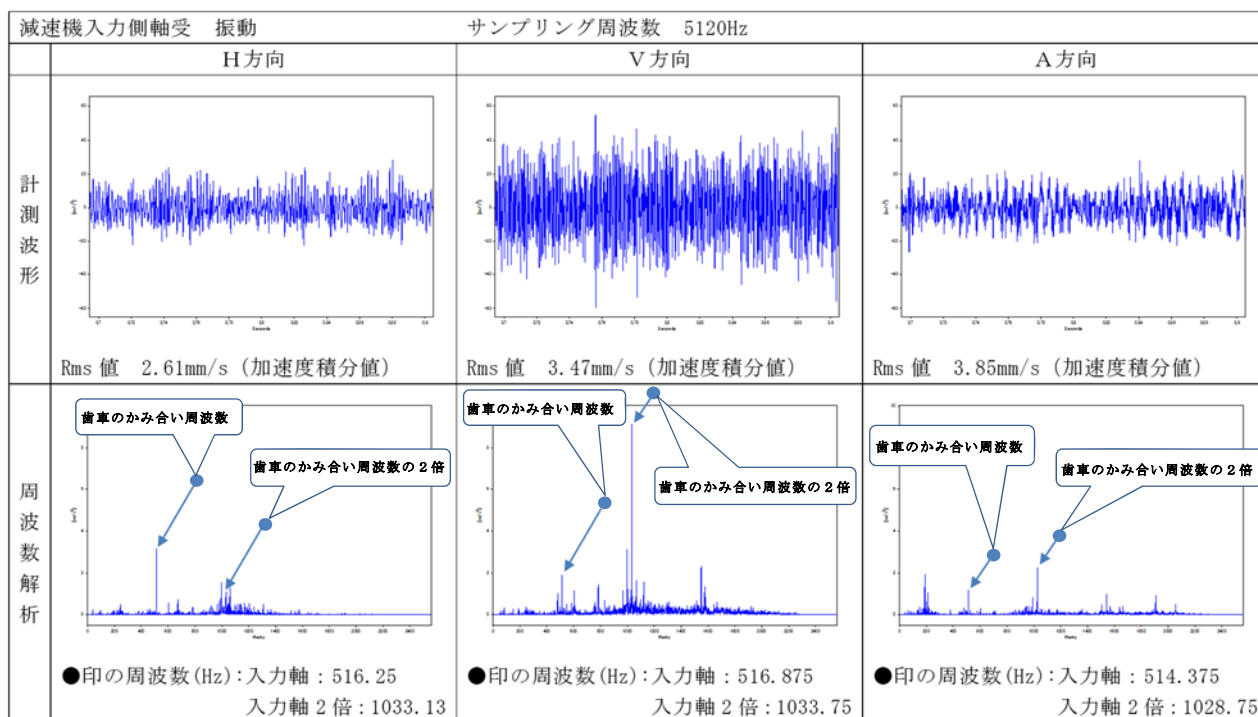


図-8 減速機の周波数解析結果

4. 3. 3 主ポンプの工業用内視鏡撮影・評価

主ポンプの工業用内視鏡撮影においては、前年度の試行結果を踏まえ、ベント管の点検口を解放し、撮影位置を確認しながら内視鏡を挿入することとした。

TJ4 排水機場 1 号主ポンプについての撮影状況を図-9 に示す。

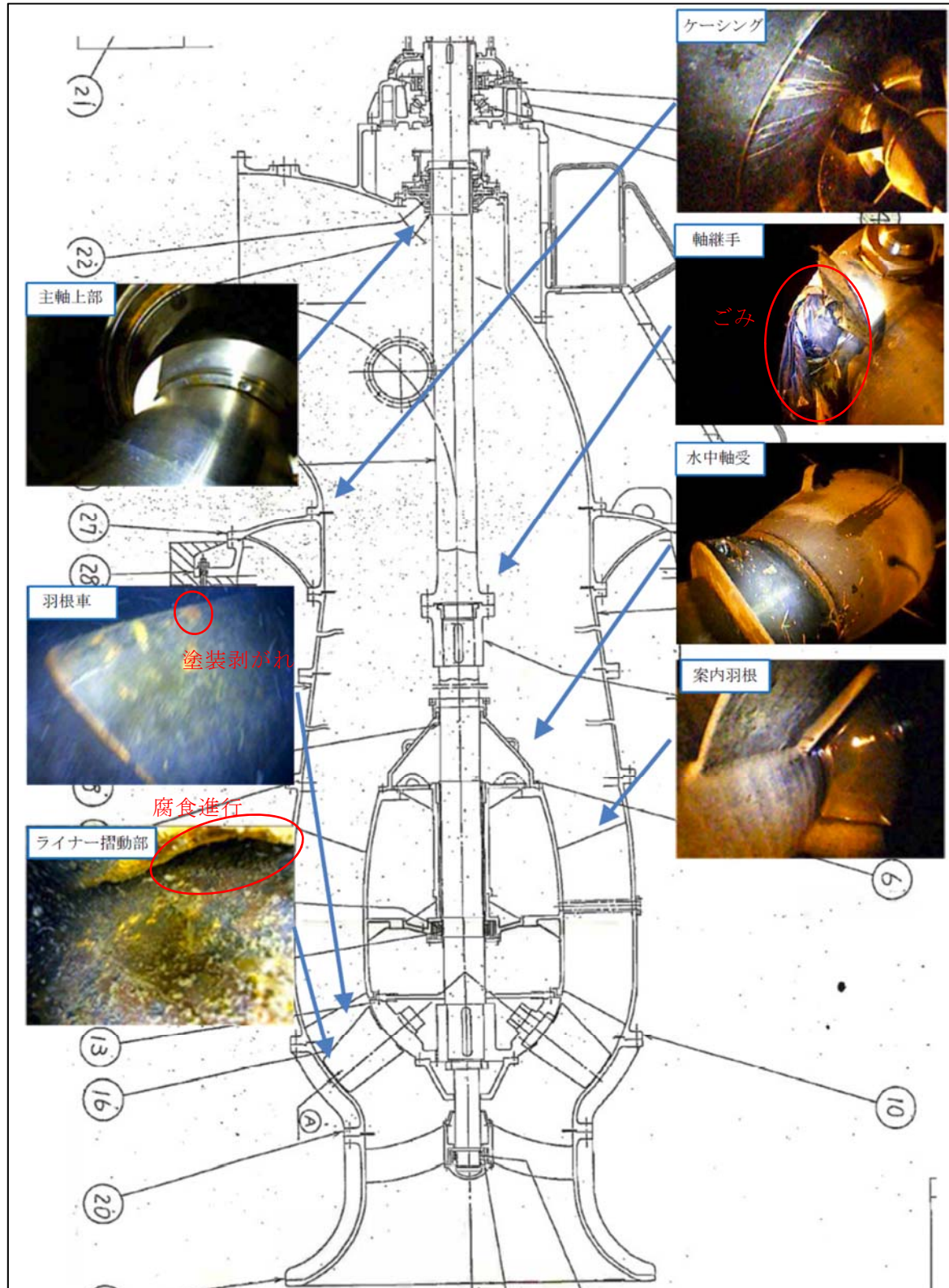


図-9 主ポンプの工業用内視鏡撮影結果

映像から、羽根車とライナーが近接した部分に腐食の進行が認められ、一部塗装剥がれも確認された。予防保全の観点からは、羽根車を継続して使用できるように計画的に分解整備を検討することが望ましい段階であると考えられる。また、主軸については、傷や著しい腐食は確認されなかったが、ごみの付着や汚れなどを映像で確認することができた。

工業用内視鏡撮影では、昨年度の試行において図-10 のように羽根車に付着した汚れが羽根車の腐食に見え、実際に分解した段階では大きな腐食がなかった事例がある。今回の精密診断では、図-11 に示す清掃用具を使用して、汚れの撤去を試みた。図-12 から図-14 において腐食のように見えている箇所が清掃によって消失したため、これは汚れであったと判断できる。



図-10 工業用内視鏡撮影と工場整備時の照合（腐食がなかった事例）



図-11 清掃用具



図-12 清掃前



図-13 清掃中



図-14 清掃後

4. 3. 4 主原動機の工業用内視鏡撮影・評価

TK3 排水機場の 1 号主原動機について、工業用内視鏡の撮影結果を図-15 に示し、表-3 及び図-16 に工業用内視鏡撮影・評価結果と分解整備結果との比較を示す。

ピストン上部については、上部全体を工業用内視鏡撮影で撮影した結果、異常が無く、分解整備でも異常は見られなかった。また、シリンダライナーについては、工業用内視鏡で異常をとらえることはできなかったが、分解整備でメッキ剥がれが確認された。今回、メッキ剥がれは非摺動部に発生していたが、工業用内視鏡撮影では、摺動部を重点的に確認していたため、確認できなかったと考える。また、工業用内視鏡の撮影範囲は限られており、ライナー全体の撮影が困難であったことも要因として考えられる。

一方、タービンブレードについては、工業用内視鏡撮影で、異常が確認されず、分解整備でも同様の結果であった。ノズルリングに関しては、工業用内視鏡で亀裂を確認し、分解整備でも、著しい劣化が確認された。したがって、過給機内部の撮影に関しては、妥当な評価であったと考えられる。

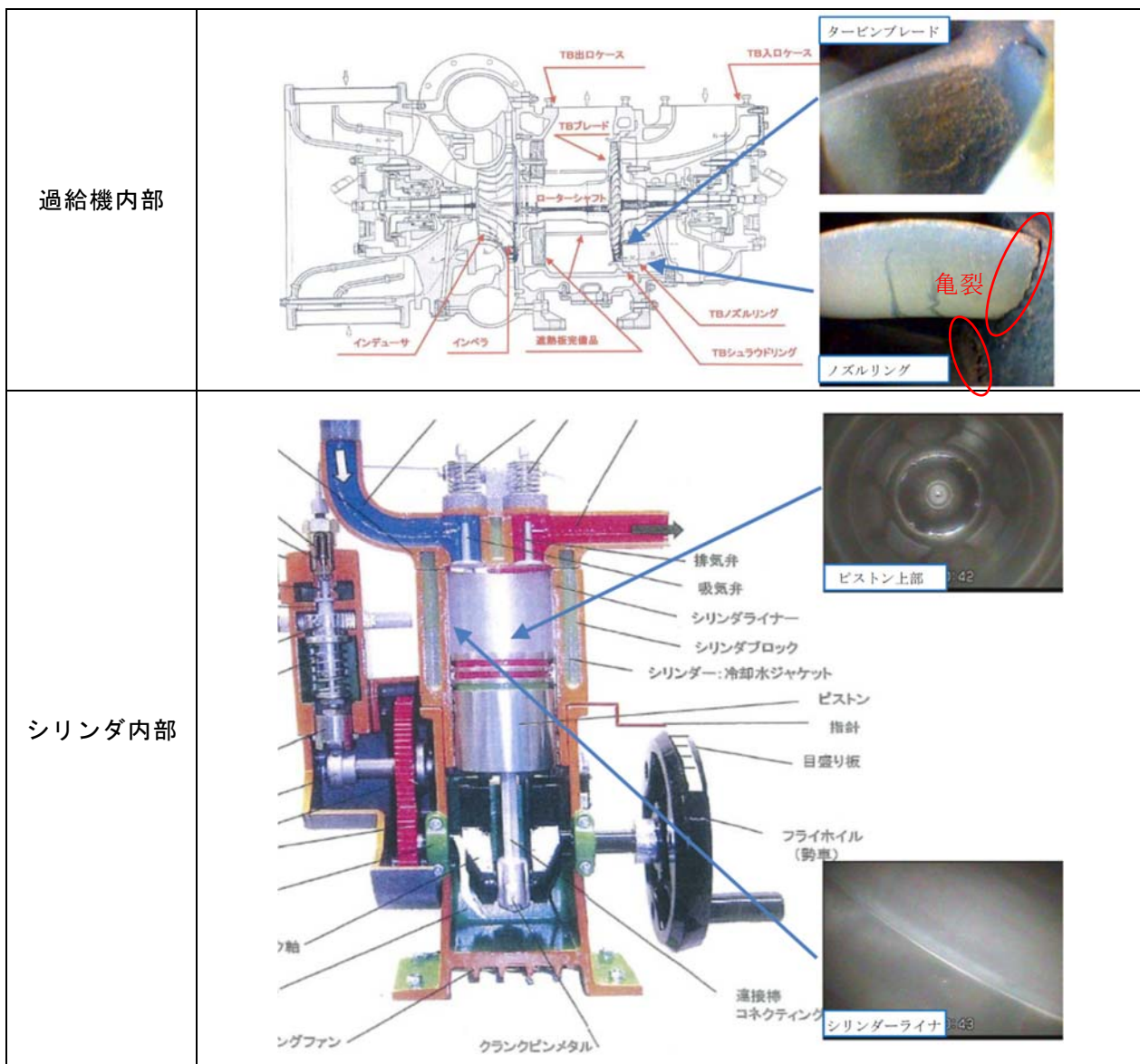

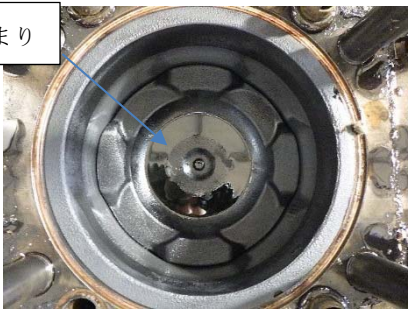








図-15 主原動機の工業用内視鏡撮影結果

表-3 工業用内視鏡撮影・評価結果と分解整備結果との比較

部品名	工業用内視鏡撮影・評価	分解整備結果	結果の相違
ピストン	目立った劣化は確認されず。	異常なし。清掃後に再利用。	なし
シリンダライナ	目立った劣化は確認されず。	メッキ剥がれを確認。部品交換。	あり
タービブレード	目立った劣化は確認されず。	異常なし。清掃後に再利用。	なし
ノズルリング	著しい腐食が確認された。	著しい劣化を確認。部品交換。	なし

部品名	工業用内視鏡撮影・評価	分解整備結果
ピストン (No. 3)		
シリンダライナ (No. 3)		
タービブレード		
ノズルリング		

※工業用内視鏡撮影は、シリンダライナやタービブレードのように部分的な撮影しかできない場合、場所の特定が困難である。したがって分解整備結果の写真とは撮影範囲が異なることに留意しなければならない。

図-16 工業用内視鏡撮影結果と分解整備結果との比較

4. 3. 5 赤外線サーモグラフィによる撮影・評価

TJ4 排水機場 2 号主原動機の過給機及び各気筒に関して、図-17 に示すとおり異常高温は確認されなかったが、排気管の一部に異常高温が確認されたため、ガス漏れもしくは断熱材の劣化が考えられる。一方、TK3 排水機場 1, 2 号主原動機に関しては、図-18 に示すとおり、異常高温は確認されなかった。

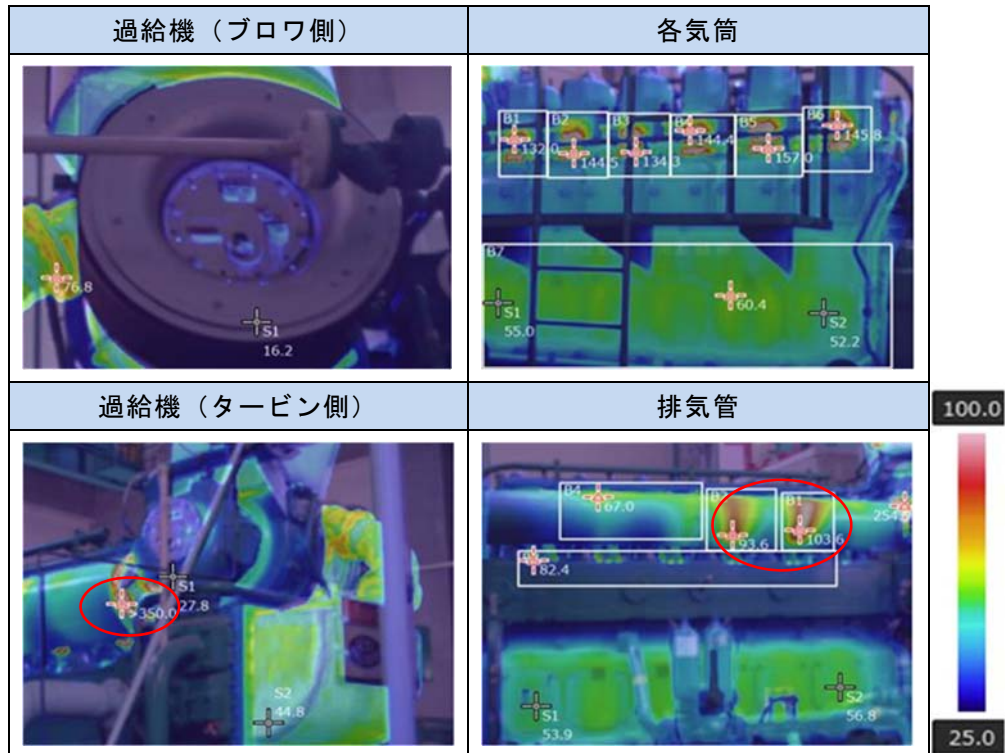


図-17 主原動機の赤外線サーモグラフィによる撮影結果（TJ4 排水機場）

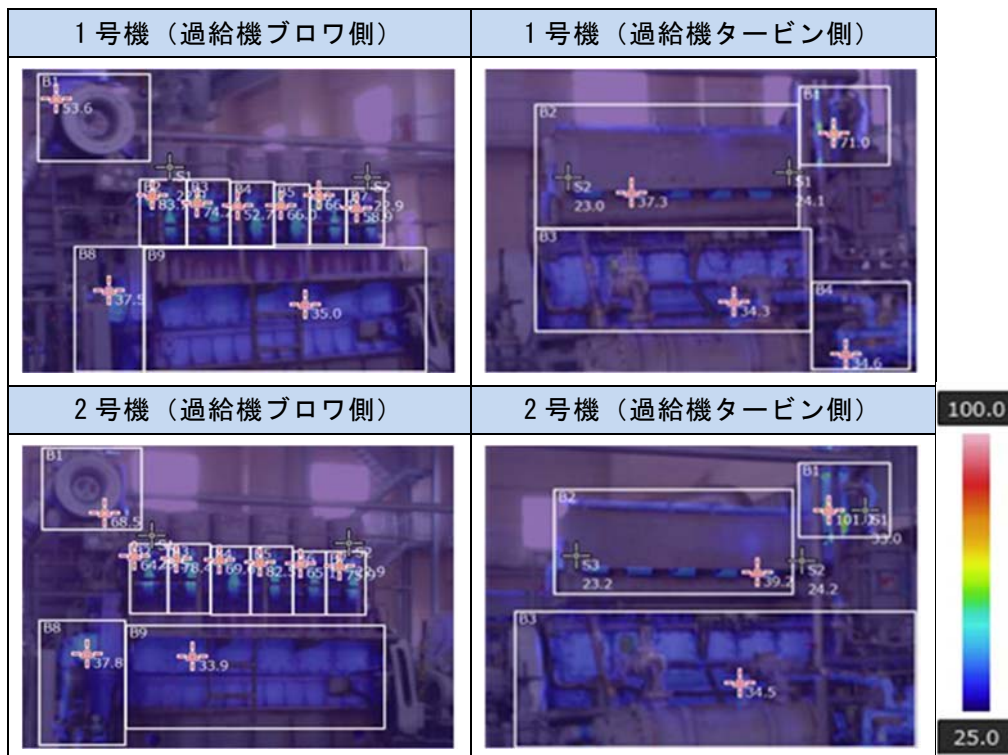


図-18 主原動機の赤外線サーモグラフィによる撮影結果（TK3 排水機場）

4. 3. 6 漏洩電流計測・解析

TJ4 排水機場及び TK3 排水機場の各機器において、漏洩電流計測を実施した結果を表-4 から表-7 に示す。電気設備技術基準の解釈（経済産業省）に記載される基準値（1mA）を超える漏洩電流値は確認されなかったため、健全な状態と判断される。

表-4 漏洩電流測定調査結果（TJ4 排水機場自家発系コントロールセンタ）

	No1 吐出弁	No2 吐出弁	No1 機関潤滑油ポンプ	No2 機関潤滑油ポンプ	No1 減速機初期潤滑油ポンプ	No2 減速機初期潤滑油ポンプ	No1 清水ポンプ	No2 清水ポンプ	翼角制御電動機
I_{0r} (mA)	0.130	0.212	0.010	0.014	0.074	0.098	0.012	0.084	0.150
I_0 (mA)	0.378	0.232	0.190	0.092	0.162	0.168	0.102	0.200	0.142
	No1 除塵機	No2 除塵機	水平コンベヤ	傾斜コンベヤ	No1 燃料移送ポンプ	No2 燃料移送ポンプ	No1 給気ファン	No2 給気ファン	-
I_{0r} (mA)	0.032	0.140	0.088	0.094	0.088	0.042	0.302	0.156	-
I_0 (mA)	0.090	0.252	0.158	0.252	0.146	0.096	0.382	0.150	-

表-5 漏洩電流測定調査結果（TJ4 排水機場商用系コントロールセンタ）

	No1 自家発初期潤滑油ポンプ	No2 自家発初期潤滑油ポンプ	空気圧縮機
I_{0r} (mA)	0.010	0.012	0.072
I_0 (mA)	0.173	0.146	0.139

表-6 漏洩電流測定調査結果（TK3 排水機場自家発系コントロールセンタ）

	1号機関初期潤滑油ポンプ	2号機関初期潤滑油ポンプ	1号減速機初期潤滑油ポンプ	2号減速機初期潤滑油ポンプ	1号流体継手初期潤滑油ポンプ	2号流体継手初期潤滑油ポンプ	1号原水ポンプ	2号原水ポンプ	3号原水ポンプ
I_{0r} (mA)	0.047	0.048	0.054	0.098	0.051	0.054	0.095	0.130	0.202
I_0 (mA)	0.024	0.034	0.027	0.069	0.040	0.051	0.093	0.073	0.124
	1号吐出ゲート油圧ポンプ	2号吐出ゲート油圧ポンプ	1号オートストレーナ	2号オートストレーナ	1号二次冷却水ポンプ	2号二次冷却水ポンプ	3号二次冷却水ポンプ	1号送風機	2号送風機
I_{0r} (mA)	0.078	0.072	0.036	0.042	0.501	0.407	0.485	0.167	0.061
I_0 (mA)	0.058	0.043	0.021	0.023	0.277	0.234	0.254	0.112	0.040

表-7 漏洩電流測定調査結果（TK3 排水機場商用系コントロールセンタ）

	空気圧縮機	1号清水ポンプ	2号清水ポンプ
I_{0r} (mA)	0.165	0.047	0.103
I_0 (mA)	0.075	0.025	0.053

4. 3. 7 各診断方法の適応性の評価

精密診断は、点検の結果、異常の傾向が認められる等の場合に、劣化箇所や原因、その程度を把握し、健全度の評価の判定に資する結果が得られる必要がある。このような観点で、今回の精密診断の実施結果を踏まえて、各診断方法の適応性の評価を行った。評価結果の概要を表-8に示す。

表-8 適応性の評価結果の概要

No	計測・解析等技術	適応性の評価結果	評価の理由等
1.	振動測定・解析 (主ポンプ)	有効	今回の渦電流式変位計による軸振動計測・解析で、回転数成分と回転数の整数倍成分が確認され、主軸のアンバランス及び芯ずれの可能性が発見できた。これまでの関東地方整備局の試行でも主軸の曲がりやアンバランスが検出され、一定の成果が得られている。
2.	振動測定・解析 (減速機)	有効	今回のポータブル振動計 (FFT アナライザ付) による計測・解析の結果、歯車噛み合い周波数の2倍成分を明確に確認できた。波形や噛み合い周波数を用いた歯車や軸受の異常発生時の振動診断についてはほぼ学術的に解明されており、メーカ等でも同じ解析手法を採用している。
3.	工業用内視鏡撮影・評価 (主ポンプ)	有効	今回の工業用内視鏡撮影の結果、羽根車の腐食進行など直接映像で目視確認できるデータが得られ、精密診断手法として有効である。今後の実績の蓄積により診断手法としての検証や評価基準の整理が期待できる。
4.	工業用内視鏡撮影・評価 (主原動機)	有効	今回実施した結果、直接映像で目視確認できるデータが得られ、分解整備結果との比較でも概ね妥当であった。シリンダライナ部で内視鏡で確認できなかった点は本技術に併せて部分分解実施等の対応を考慮すべきである。
5.	赤外線サーモグラフィによる撮影・評価 (主原動機)	補助的な活用技術として有効	主原動機の運転時の表面温度分布が観測できたが、その良否の判断が現状では困難だった。エンジンメーカの排気温度や部品温度の評価に関する考え方は一致していないものも多く、明確な指針を得ることが難しい。しかし、原動機全体の表面温度分布を即座に把握できるので、実運転時の状況確認や温度計がない箇所の温度測定など、傾向管理の判定等で補助的に有効活用出来るものと考えられる。
6.	漏洩電流計測・解析	課題はあるが有効	今回は設備の異常はなかったが対象電路の異常の有無を確認できた。劣化程度の評価基準について一部課題があるが、漏電計測箇所の下流側全体が健全であるか確認できるので、精密診断に有効であると考えられる。

4. 4 河川ポンプ設備精密診断マニュアル（試行案）とりまとめ

「河川ポンプ設備精密診断マニュアル（試行案）」のとりまとめにおいては、点検結果及び測定データの傾向管理により異常な兆候が見られた際に必要となる「精密診断」を対象として、データ測定法を含めた技術的事項をまとめ、現場の実務に役立つよう留意した。今後、現場における試行によって採用した技術の評価実績を積み上げ、改善すべき事項に対処するとともに、新たな技術の採用も視野に入れ改定を行っていく。

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。なお、河川ポンプ設備では、別途とりまとめた「河川ポンプ設備状態監視ガイドライン（案）」に計測項目と不具合事象の関連についてまとめているので、今後はこれを参考とし、1つのパラメータに変化傾向を確認した場合、関連項目を確認することが重要である。

5. 1. 1 E77 水門

対象機器：1号ゲート開閉装置

測定値：中間ギヤ（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】

中間ギヤバックラッシの健全度を評価する際の他の傾向管理項目として歯当りがある。図-19に対象の中間ギヤ（右岸）バックラッシと歯当りの測定値を併記したグラフを示す。

H29年度5月のバックラッシの測定値が上昇しているが、歯当りの測定値に大きな変化は見られない。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ため、中間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が今回の傾向管理では、中間ギヤバックラッシと歯当りの相関関係は見られなかった。

4. 1. 1項に示したとおり、測定箇所や測定者の熟練度によって測定値が異なっていた可能性がある。また、歯当たりの計測は、計測者の判断による定性的要因も影響する。高速回転系の減速機では、噛み合う2つの歯車の回転軸に偏心があると、精密診断による周波数領域波形に特徴が現れる可能性がある。ゲート設備のドラムギヤ部は非常に低速で回転しているので、精密診断（振動解析）の有効性は未評価であるが、計測位置によってバックラッシ量が増加するのであれば今後の計測において複数箇所計測する等の対応を検討し、今後もこのような測定値の変化を認めた場合については、精密診断（振動解析）を試みたうえで、歯面の目視状況・歯当たりと合わせ健全度の評価していく必要がある。

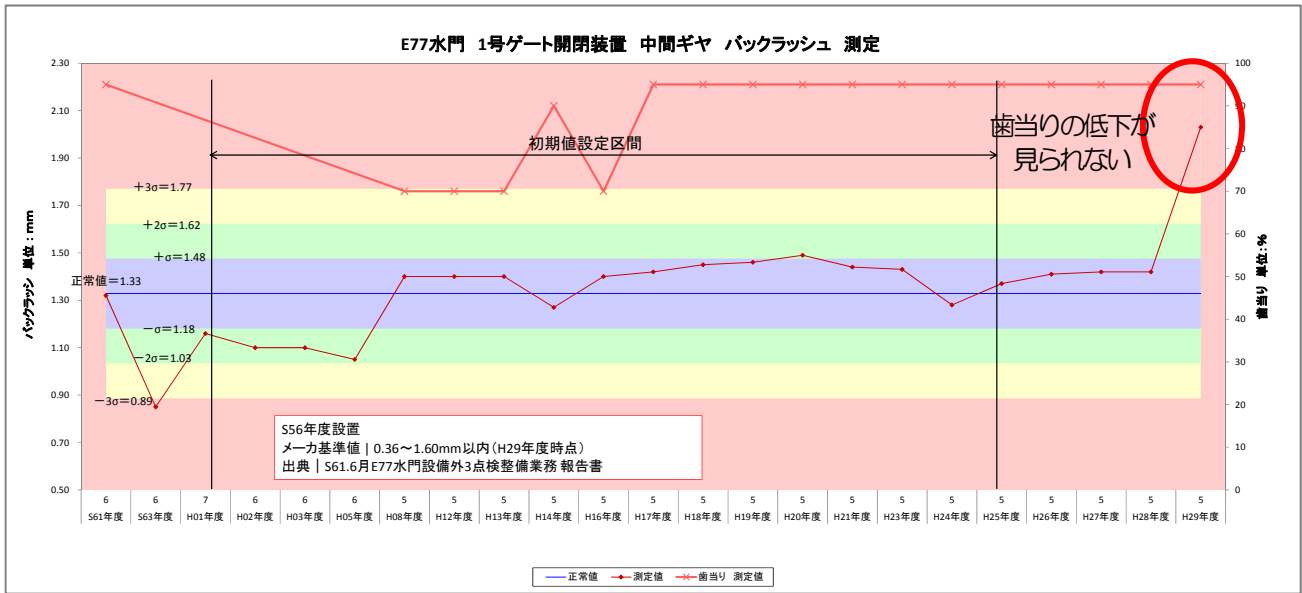


図-19 1号ゲート中間ギヤ（右岸）バックラッシュと歯当り測定の傾向管理グラフ

5. 1. 2 S9 排水機場

対象機器：2号自家発電機

測定値：気筒温度4

解析内容：他の気筒温度の遷移との相関性

【解析結果】

気筒温度4の健全度を評価する際の他の傾向管理項目として他の気筒温度との相関がある。図-20に対象の気筒温度4とその他気筒温度（気筒1～3及び5，6）と併記したグラフを示す。

H28年度5月から気筒温度4の測定値が上昇しており、予防保全値を超過している。他の気筒の温度については、予防保全値等は超過していないが、傾向としては、気筒温度4と同様に上昇傾向が認められる。

他のエンジンの計測事例を確認すると、気筒温度の変化傾向はエンジンによって異なっている。本事例のように全体的に上昇傾向を示すケースもあれば、最も負荷側に近い気筒の温度が上昇し、その他の気筒温度と差異が生じてくるケースもある。逆にある気筒温度が他の気筒温度より低い事例については、管理運転時に見られる着火不全であることも考えられる。気筒温度の変化傾向が現れた場合は、事象毎に評価を行う必要がある。

本事例では、気筒温度4に併せて全体的に上昇傾向を示しているので、シリンダライナなど内部部品の劣化や排気温度の上昇につながる過給機の不具合について、内視鏡撮影あるいは部分分解による異常箇所の特定を行うことが必要であると考察する。

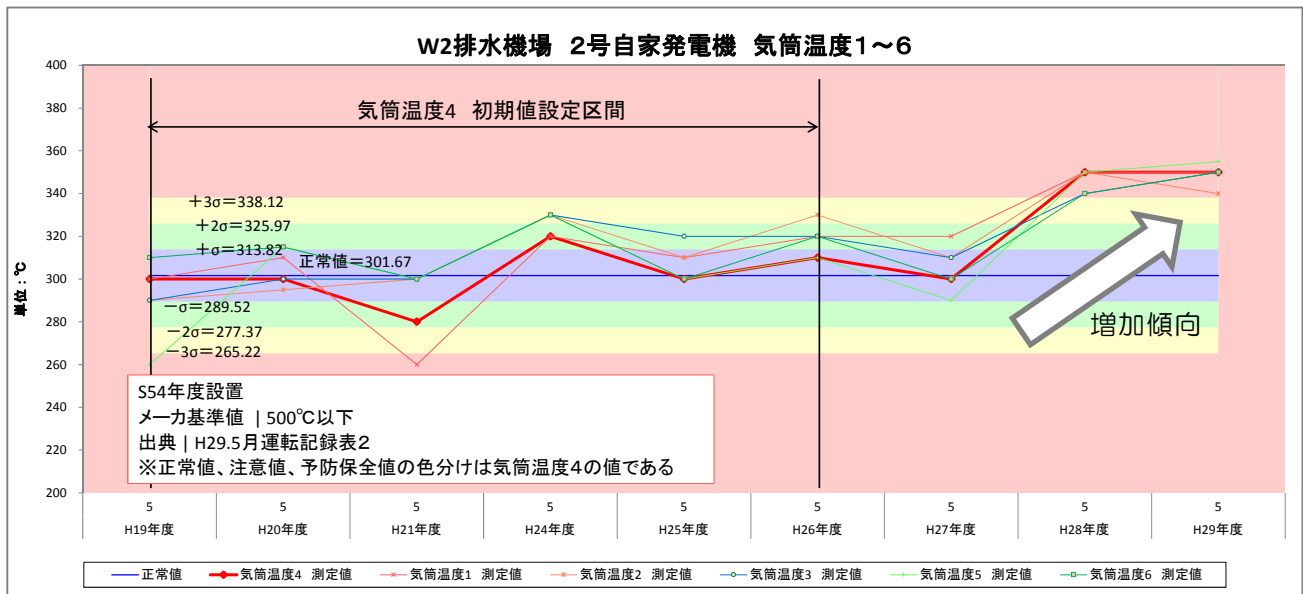


図-20 2号自家発の気筒温度1~6の傾向管理グラフ

5. 2 精密診断の適用性

5. 2. 1 振動測定・解析

振動解析による精密診断は、主軸曲がりなど1回の測定で把握できる場合もあるが、これまでの実績では正常な状態における時間領域波形・周波数領域波形を把握しておくことが重要である。また、ポンプの運転状況（運転時の水位、弁開度、機関回転数、クラッチのスリップ率等）や測定位置に影響されるという特徴もあるため、今後測定を実施する際は、水位などの運転状況を記録するとともに、毎回同一箇所で測定できるように、常設のセンサー及びデータログを設置していくことが有効である。これによって、正常な状態の振動特性が把握でき、変化が生じた場合の運転条件の勘案も可能になる。また、分解整備前後で振動波形の違いがはっきり出る場合があるため、主ポンプ設備の整備後について振動計測データを取得・蓄積しておき、以降の診断の基礎資料としていく必要がある。

5. 2. 2 工業用内視鏡撮影・評価

本年度は、ポンプメーカー等にヒアリングを実施して、内視鏡写真に基づく評価指標（案）を作成した。しかし、評価指標（案）は、まだ内視鏡写真による不具合部撮影事例が少なく、今後継続的にデータを収集し、評価指標を拡充しなければならない。

また、内視鏡撮影においては内視鏡の基本的な仕様が同じでも、それには現れない実用上の性能の差異があるのが実態である。主原動機シリンダヘッド内部の撮影に関しては、外部からの光が遮断されており内視鏡先端のLEDライトだけで撮影箇所を照らすことから、シリンダライナ表面に油が付着しているという条件下では図-21に示すように、使用機器によって撮影の結果が大きく左右されることが分かった。ただ、4.3.4項に示したとおり、シリンダライナの部分的な劣化については、いずれの撮影においても識別できないケースがあることも事実である。

エンジンメーカーのヒアリング結果から、シリンダライナの劣化は、本事例のようにピストンの上死点近傍で発生することが多いということがわかった。よって、当該部分の効果的な撮影方法の検討も必要となるが、当面は気筒温度を参考として部分分解を採用するなど柔軟な対応が必要と考える。また、排気温度全体が上昇している場合、過給機の異常が原因であることも多いこと

から、その場合においては内視鏡撮影で状態を把握できる可能性が高い。





	使用機器：A社製	使用機器：B社製
ピストン上部		
シリンダライナ		

図-21 使用機器の違い

5. 2. 3 赤外線サーモグラフィによる撮影・評価

燃料を燃焼させる内燃機関において、各部の温度を状態監視に活用することは一般論として重要である。しかし、前述のとおり温度評価に関するエンジンメーカーの考え方は統一されていない。赤外線サーモグラフィの特徴は、温度計より広い面の温度分布を把握できることにあるので、点検及び診断時の補助的手法、特に異常箇所のスクリーニングには有用であると考察する。エンジン本体、排気系統に温度ムラがある場合、その結果をもってエンジンメーカーに見解を求めることができる。

また、排気管は多くの場合被覆が施されているため、内部の配管の腐食を外部から把握することができない。管理運転後に、排気系統をサーモグラフィで確認することで、温度上昇箇所があれば、内部配管の腐食や被覆材の劣化などが疑われるなど幅広い活用方法が考えられる。

5. 2. 4 漏洩電流計測・解析

漏洩電流は、天気、温度、湿度、高調波、磁界等、様々な周囲環境の影響を受ける。したがって、傾向管理を実施する際は、測定条件を確認し、十分に注意することが必要であるとする。

また、本業務で評価指標（案）を作成したが、機器の故障・著しい劣化状態を判断するための基準値が、計測器メーカーの経験による基準になっている。経済産業省発行の電気設備基準の解釈における基準値（1mA）からは、劣化の兆候を判断することはできるが、1mAを超える漏洩電流値については、継続的に漏洩電流の計測を行う中で、配線系統の異常発熱などの事例が発生した場合、基準値の見直しをする必要がある。

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 傾向管理作業のさらなる自動化

本業務では、傾向管理作業の効率化のため、傾向管理作業の支援ツールとしてExcelマクロでの支援機能や機械設備維持管理システムに格納されている測定項目を出力する機能を構築した。

機械設備維持管理システムに格納されている測定項目を出力する機能は、揚排水ポンプ設備と道路排水設備の測定値のみである。水門設備については、測定値が記入される運転記録表2の記載項目の定義や測定箇所の定義が確定していないため、機械的な項目の出力は困難であり、現状は手作業での測定値の抽出が必要である。平成29年度から水門設備用運転記録表2新様式の運用が開始されており、新様式での測定値の収集及びシステムへの登録が進めば、対象の測定値を機械的に出力する事が可能である。

将来的には、機械設備維持管理システムに登録された測定値を活用して自動的に傾向管理グラフを描画する事が求められているが、収集する情報の確度を向上させ、Excelマクロでの傾向管理作業の支援機能を活用した運用を行い、各作業項目で必要となる要件や操作性が明確化された段階で、自動化機能の検討を進める必要がある。

6. 3 精密診断技術の確立に向けて

河川ポンプ設備に対する精密診断技術は現状では技術確立を目指した研究段階であり、今後実績を集め有効性を検証していく必要がある。傾向管理と精密診断の評価については、設備管理者の横断的な知見共有が重要であり、組織的に精密診断と併せて健全度評価を実施していく必要がある。

担当課 施設技術課