

## 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およ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 25 年度は、近年分解整備を行った施設を対象として、維持管理情報のデータベース化、FTA・FMEA 等の信頼性解析、傾向管理評価シートの作成を行うとともに、整備・修繕前後の状態監視項目の変化を解析し、機器が劣化に至るまでの指標（経過年数、運転時間）について検討した。また、新しい状態監視保全技術の現場への適用方法等についても検討した。

### 2 過去の経緯

平成 20 年度より、次の調査・検討を行っている。

平成 20 年度

- ・整備局管内の機械設備の維持管理に係るデータベース構築を目的に、維持管理システムの機能や入力帳票等について検討し提案を行った。
- ・河川排水ポンプ設備について、傾向管理に必要な管理項目と異常を判断する目安となる「しきい値」の検討を行い、正常値に対する標準偏差「 $\sigma$ 」の 3 倍（ $3\sigma$ ）をしきい値とする事例の提案を行った。その他、FT 図を作成し、設備のリスク評価を行った。
- ・トンネル換気設備について、傾向管理項目・しきい値の検討を行うとともに、FT 図によるリスク評価を行った。

平成 21 年度

- ・揚水ポンプ設備について、傾向管理項目・しきい値の検討を行った。当該年度の解析対象である 1 施設の軸受振動値に特異な変化傾向が現れていることが解り、詳細調査の結果、設備の劣化傾向を把握する状態監視項目として採用できることがわかった。
- ・ポンプ設備の振動値については、標準偏差だけでなく ISO10816「機械の振動・非回転部分にて測定された機械振動の評価」の考え方を準用し、正常稼働時の振動値からの変化率に着目した相対評価手法を提案した。
- ・水門設備について、傾向管理すべき状態監視項目の検討を行った。
- ・道路排水設備について、傾向管理項目・しきい値の検討を行った。当該年度の解析対象である 3 施設の維持管理データを確認した結果、羽根車の腐食による劣化傾向を把握するためには、駆動電流値の状態監視が有効であることがわかった。
- ・基本的な設備構成を想定した FTA 及び FMEA を実施した。
- ・各設備について、維持管理データの収集とデータベース様式への入力を行った。

平成 22 年度

- ・排水ポンプ設備 3 施設、道路排水設備 1 施設、トンネル換気設備の 1 施設を対象として、維持管理情報の電子化を図るとともに各設備の実際の点検データに基づく解析を実施し、傾向管理すべき状

態監視項目の検討を行った。

- ・解析対象施設の維持管理情報から、振動・温度・絶縁抵抗・圧力など点検作業で通常計測するパラメータに着目し、現場における傾向管理導入ツールとしての「傾向管理評価シート(案)」を作成した。作成にあたり、維持管理実態を把握するとともに、傾向管理手法のマニュアルをとりまとめた。
- ・関東地整管内排水機場ポンプ設備の潤滑油性状調査結果に基づく解析を実施した。
- ・解析対象施設の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。

平成 23 年度

- ・平成 22 年度に引き続き、揚排水ポンプ設備 7 施設、道路排水設備 2 施設、トンネル換気設備 4 施設を対象として傾向管理の評価シート(案)の検討を行い、評価方法について改善を図った。
- ・「温度」等のパラメータを用いる傾向管理に採用してきた標準偏差「 $\sigma$ 」を用いた管理基準値に関し、従前の「 $3\sigma$ 」に対して注意値「 $2\sigma$ 」及び危険値「 $3\sigma$ 」を用いる評価手法を提案し、現場における判断指標の具体化と活用のし易さを向上させた。
- ・揚排水ポンプ設備の傾向管理については、各系統機器についても適用範囲を拡大し評価シート(案)の種類を充実させた。
- ・各対象施設の点検結果と傾向管理の評価シート(案)を併用し、設備の健全度評価運用手法を提案した。
- ・維持管理情報の電子化、FT 図作成は各対象施設について実施した。
- ・潤滑油分析に基づく設備の劣化評価については、関東地整管内排水機場の主原動機における異常摩耗係数に着目し、経年変化について横断的解析を実施した。

平成 24 年度

- ・平成 23 年度に引き続き、揚排水ポンプ設備 4 施設、道路排水設備 2 施設、トンネル換気設備 2 施設を対象として傾向管理の評価シート(案)を作成した。
- ・対象施設のうち、近年分解整備・修繕を行った設備の経過年数や運転時間を考慮した上で、整備・修繕前後の機器の劣化程度を分解整備時の計測データと点検データを比較して評価した。
- ・関東地整管内排水機場ポンプ設備の潤滑油分析に基づく設備の劣化評価を実施した。
- ・各対象施設の FT 図作成及び 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の入力を行った。

### 3 調査概要

#### 3. 1 機械設備維持管理システムデータベース様式への入力

排水ポンプ設備4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・改造等の経歴に関する情報を、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 解析対象施設に対する FMEA 及び FTA の実施

整備局管内の排水ポンプ施設3施設について、設備構成を確認のうえ、FMEA、FTAを実施する。なお、FMEA（故障モード影響解析）とは、システムを構成する機器に故障が発生したときに、その故障が全体に与える影響を解析し、システムにとって致命度の高い機器を明確化する手法である（設備構成毎の故障発生頻度・システムへの影響・故障モード発見の可能性を総合評価）。また、FTA（故障の木解析）は、起こしてはならない事象をトップ事象として設定し、発生要素（事象）を樹状に掘り下げ、

発生する確率を評価する手法である（トップ事象の故障発生確率の算出）。本調査では、排水ポンプ設備のFTAを行う場合、トップ事象を「排水機能の低下」としており、排水を要求されるときに定格排水量を排水できない事象を想定している。よって、複数台設置されているケースで1台でも稼働できない場合、全台稼働できてもフル稼働できない号機があるケースも含まれる。これは、一般的に河川の排水ポンプ設備では、計画上予備機を設けない設計に基づく措置である。

### 3. 3 実際のデータに基づく故障解析

対象施設の過年度資料をもとに、各種計測項目のデータ解析を行う。

平成 24 年度までの検討で、しきい値はメーカー等の定める管理値の絶対値評価だけではなく相対値評価とすべきことを提案した。振動について初期値は、正常稼働状態（または設置時）における計測平均値  $m$  とし、管理基準値として JIS B 0906:1998 (ISO 10816-1:1995) の考え方を基にした注意値 ( $2.5m$ )、危険値 ( $6.3m$ ) の 2 段階を設定し評価する。また、振動計測値以外については、注意値 ( $m \pm 2\sigma$ )、危険値 ( $m \pm 3\sigma$ ) を採用することとした。

### 3. 4 傾向管理の評価シート（案）作成

傾向管理を行ううえで、適切なデータ収集・解析ができるように、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り、評価シートとしてとりまとめを行う。

また、平成 23 年度から当該評価シートを現場で活用している事務所に対し、活用方法に関する支援を行うものとした。

### 3. 5 過年度とりまとめデータ変換

河川系設備の過年度とりまとめデータ変換対象施設について、機械設備維持管理システムの旧様式 (ver, H22. 8) から新様式 (ver, H24. 5) へ変換可能なソフトを作成しデータ入力を行う。変換方法については、マイクロソフトエクセルのマクロ機能を使用する。

### 3. 6 傾向管理手法の標準化調査

維持管理システムの有効活用を図るためには、過年度の維持管理情報（紙ベース）を当該システムに入力していく必要がある。今後も、本調査で実施している維持管理情報のデータベース化及び当該情報を活用した傾向管理等の解析は必要不可欠となることから、これらの業務に要する作業量を解析する。具体的には、上記 3. 1 ～ 3. 4 項の検討内容に係る歩掛（人工）を調査する。

### 3. 7 新しい状態監視保全技術の現場への適用方法の検討（潤滑油分析）

排水機場の原動機等の状態監視を行うために対象施設において実施している潤滑油分析結果をもとに (1) 性状分析、(2) フェログラフィ法、(3) SOAP 法について解析を行い、収集データのデータベース入力を行った。なお、フェログラフィ法はオイル中の金属切粉形状を、SOAP 法は含まれる元素を分析することで、劣化箇所や劣化程度を診断する技術である。

## 4 調査結果

### 4. 1 機械設備維持管理システムデータベース様式への入力

河川ポンプ設備等 4 施設、トンネル換気設備 1 施設の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 FMEA及びFTAの実施

本年度の解析対象施設は、横軸ポンプ設備 6 台を有する排水機場、主原動機(2 台)にラジエータ冷却を採用している排水機場、主原動機にディーゼル機関(2 台)とガスタービン機関(1 台)を採用している排水機場の 3 ケースである。

### (1) FMEAにおける所見

過年度の本調査では、立軸ポンプ設備を対象とした FMEA を実施してきた。本調査で実施している FMEA は、構成部品のシステムへの影響度、故障モード発見の容易性、故障発生頻度を勘案し、機器毎の故障等級を求める。解析対象施設によって詳細は異なるが、立軸ポンプ設備では故障等級が高い機器は、主原動機及び主ポンプに多い傾向がある。

横軸ポンプ設備においても傾向は同様であった。横軸ポンプでは、上部ケーシングを取り外すだけで羽根車等の点検が可能であるため、立軸ポンプに比べると内部機器の維持管理性は高いと言える。しかし、一般的には通常の点検でケーシングを外すことはないため、現状の維持管理レベルにおいては立軸ポンプと大きな違いとして評価できない。また、過去のポンプ設備の構成機器故障率算定においては、立軸と横軸で差別化していないため、故障発生頻度に同じ数値を使わざるを得ないことも、立軸ポンプと明確な差異が現れない一因である。

### (2) FTAにおける所見

以下の 3 ケースについて、FTA を実施した。なお、ケース No.3 においては、ディーゼル機関とガスタービン機関を分けて評価するものとした。

表-1 に、FTA の実施結果を示す。これらの設備については、現状の維持管理レベルを確保しても数年に 1 回程度は運転時に故障するリスクを抱えており、老朽化設備の増大とともに点検の重要性がより高まることがわかった。

ケース No.1 の横軸ポンプ設備は、アンアベイラビリティが大きくなっているが、設置台数が 6 台と多いためであり、ポンプ設備単体で立軸ポンプより故障率が高いというわけではない。また、減速機は立軸ポンプの直交軸歯車減速機に対して遊星歯車減速機を採用しており、構造が大きく異なるが、歯車の種類別に故障率を算定できないため、現状では FTA においても定量的な差が出にくい。過去の横断的な事象生起確率を採用した解析結果では、横軸ポンプと立軸ポンプ設備において大きなアンアベイラビリティの差異はないといえる。

ケース No3-2 のガスタービン機関を用いたポンプ設備における FTA では、必要となる事象の生起確率の全ては明らかになっていないため、類似事象の生起確率を準用したものであり参考値とする。

表-1 FTAに基づくアンアベイラビリティ算定結果

| 施設ケース No | アンアベイラビリティ <sup>※</sup><br>1 (1/h)     | 発生間隔<br>(年)       | 設備構成                                      |
|----------|----------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------|
| No. 1    | $5.68224 \times 10^{-5}$               | 2.0 <sup>※2</sup> | ポンプ 6 台 DE 二次冷却方式<br>自家発電機 2 台 機付ラジエータ    |
| No. 2    | $2.78967 \times 10^{-5}$               | 4.1               | ポンプ 2 台 DE ラジエータ冷却方式<br>自家発電機 1 台 機付ラジエータ |
| No. 3-1  | $2.62048 \times 10^{-5}$               | 4.4               | ポンプ 2 台 DE 二次冷却方式<br>自家発電機 2 台 水冷式        |
| No. 3-2  | $3.66723 \times 10^{-5}$ <sup>※3</sup> | 3.1               | ポンプ 1 台 GT<br>自家発電機 1 台 機付ラジエータ           |

※1:FTA では設備の仕様と構成機器・部品の故障率をもとに算出されたトップ事象の発生する確率を「アンアベイラビリティ」といい、信頼性の指標としている。なお、トップ事象については、「排水機能の低下」として設定している。

※2:発生間隔は以下にて算出する。

$$1 \div (5.68224 \times 10^{-5} \times 24(\text{h}) \times 365(\text{日})) = 2.0089 \cdots \approx 2.0(\text{年})$$

※3:参考値とする。

#### 4. 3 傾向管理の評価シート（案）作成

排水機場 3 施設、浄化機場 1 施設について、「傾向管理の評価シート（案）」を作成した。

##### （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、注意値・危険値等管理値及び健全度の設定を行い、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整理した。

なお、本調査において河川ポンプ設備の傾向管理項目として取り扱った主な事項は下記のとおりである。

①主ポンプ設備：吐出しベント管（振動）、外部軸受（振動・温度）

②減速機：軸受等（振動・温度）、潤滑油冷却器（潤滑油温度）、潤滑油ポンプ（潤滑油圧力）  
作動油ポンプ（作動油圧力）

③ディーゼル機関：過給器・燃料噴射ポンプ・燃料供給ポンプ（気筒排気温度）

外部軸受（振動・温度）、内部潤滑油ポンプ・初期潤滑油ポンプ（潤滑油圧力）

オイルパン・潤滑油冷却器（潤滑油温度）、内部冷却水ポンプ（冷却水圧力）

内部冷却水ポンプ・ラジエータ・清水冷却器（冷却水温度）

始動弁・セルモータ（始動時間）

停止用エアピストン・停止ソレノイド（停止時間）

機関本体（振動）、クランク軸等（デフレクション）

④ガスタービン機関：本体（振動・始動時間・停止時間）、排気系統（排気温度）

潤滑油（温度・圧力）、軸受（温度）

⑤電動機：軸受（振動・温度）

⑥水中ポンプ：本体（電流・電圧・振動・絶縁抵抗）

##### （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。

##### （3）傾向管理の評価シート（案）

傾向管理評価シート（案）の例を表-2 に示す。解析対象とした各施設については、4. 3. 1 項に示す各項目の構成機器について作成した。

表-2 傾向管理の評価シート（案）の例（主ポンプ設備吐出しベント振動）

| 機器名                    | 傾向管理項目                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                     |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 立軸ポンプ                  | 部品名称：④ 流れ方向（X-X'）<br>※測定方法参照                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 振動 健全度レベル：                                                                                                          |
| 定義                     | 初期値（m）<br>管理基準値<br>許容値                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <p>注意値：2.5m=12.5μm<br/>危険値：6.3m=31.5μm</p> <p>新規据付時<br/>正常値=5.0μm</p> <p>メーカー保障値=80μm または、JIS B 8301-2000付属書2図1</p> |
| 評価フロー                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                     |
| 評価方法                   | <p>振動の評価法には、大きくわけて絶対判定基準法と相対判定基準法があるが、傾向管理を行う場合は一般に相対判定基準法がもちいられる。</p> <p>1. 初期値設定<br/>初期値（正常値）の設定方法は、以下によるものとする。<br/>【設置時または稼働初期段階における計測データがある場合】<br/>設置時または稼働初期段階における計測データの値、または平均値とする。ただし、計測データが初期段階で一定期間漸減後安定するケースでは、漸減後の安定時の計測データとする。<br/>【設置時または稼働初期段階における計測データが無い場合】<br/>以下の2条件を満たす直近データの平均値とする。<br/>①計測値に急激な増減が無いこと。<br/>②点検時の不具合コメントが無いこと。</p> <p>今回の初期値設定：<br/>計測機器がH24年度で変更になっている。<br/>H24年度の値を初期値（正常値）とした。</p> <p>2. 管理基準値設定<br/>注意値は、初期値の2.5倍の値、危険値は6.3倍の値とする。<br/>機器が正常であれば測定データは注意値以下に収まる。<br/>ただし、ポンプの振動に関しては、絶対値での許容値が存在する場合は、許容値も含めて評価しなければならない。</p> <p>初期値（m）<br/>注意値：2.5m（初期値の2.5倍）<br/>危険値：6.3m（初期値の6.3倍）</p> |                                                                                                                     |
| 現況評価結果                 | <p>現状維持（変化なし）/増減繰反・漸増・漸減 要対応（急増・急減）</p> <p>全体的に変化が少ない。近年の急増なし</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                     |
| 対処方法                   | <p>計測値の評価は、傾向管理グラフにより確認し、<br/>①注意値となった場合は、計測頻度を増やす等の対策を取り、簡易診断（異常の有無を判定）する。<br/>②危険値となった場合は、精密診断（異常の原因を究明）し、メーカー詳細確認などを行い、対策を施す。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                     |
| 測定方法                   | <p>【計測箇所】<br/>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。</p> <p>【運転条件】<br/>運転条件として、水位条件を明記する。</p> <p>【計測タイミング】<br/>運転5分後以降とする。</p> <p>【計測時間】<br/>数秒程度</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                     |
| しきい値<br>参考規格名          | <p>1. 許容値：JIS B 8301-2000付属書2図1 振動基準値</p> <p>2. 管理基準値：ISO 10816-3 (2009) mechanical vibration</p> <p>3. 管理基準値：JIS B 0906 (2009) 機械振動—排回転部分における機械振動の測定と評価—一般的指針</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                     |
| ※④による特色<br>（製造年月による変化） | <p>「H10」、「H14～H18」、「H19～H23」、「H24」<br/>それぞれ計測機器が異なる。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                     |

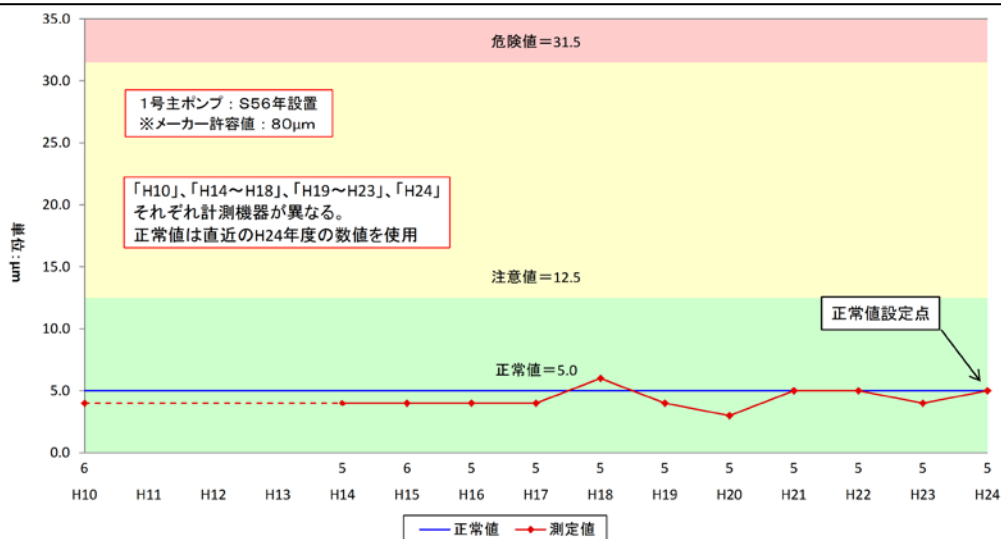


図-1 傾向管理グラフ例（主ポンプ設備吐出しベント 振動値）

## 4. 4 実際のデータに基づく故障解析

対象施設について過年度データを基に解析を行った。

### (1) 振動計測値

振動計測値については、平成 21 年度提案のしきい値（注意値 2.5m、危険値 6.3m、m は初期値）を使い、実データでの確認を行った。図-2 は、今年度調査した排水機場における減速機の振動値を示す。

H12 年度及び H17 年度に減速機の分解整備を実施している。H17 年度の整備完了後 50  $\mu$ m と大きい数値になっているが、メーカー管理基準は 80  $\mu$ m であることからその後も通常の管理を行った。その後振動値は徐々に値は小さくなっていったが、H23 年度減速機のスラスト軸受に摩耗異常が発見された。当該スラスト軸受の再整備後は振動値が 5  $\mu$ m 以下になって安定していることから、H17 年度の整備時に何らかの原因でスラスト軸受に負荷がかかり、徐々に摩耗しながら振動値が逆に低下していった可能性がある。

従って、本減速機の傾向管理は、初期値を安定状態にある 4.6  $\mu$ m とし、注意値 11.5  $\mu$ m、危険値 29  $\mu$ m として行うことを設備管理者に提案した。

### (2) 振動以外の項目

振動以外の傾向管理項目についてのしきい値は、JIS Z 9021:1998 での記述を基に、2 $\sigma$  を注意値、3 $\sigma$  を危険値とする 3 ゾーンによる段階的な傾向管理手法を用いている。これは、管理において注意値を追加することで、異常の早期発見を期待するものである。実データでの検証事例として、図-3 に今年度解析した排水機場における機関冷却水温度（入口）の計測結果を示す。

この事例においては、平成 24 年 5 月以降、計測値の増加傾向が見られ注意値にあることが分かる。設備管理者にヒアリングした結果、主原動機を更新し、温調弁の設定温度が変わっていたことが判明した。

このようなケースもあることから、変曲点については追跡調査し管理値を設定することが必要となる。

## 4. 5 過年度取りまとめデータ変換

機械設備維持管理システムの改良により存在する旧様式（ver, H22.8）の維持管理情報を、新様式（ver, H24.5）へ変換できるマイクロソフトエクセルのマクロを作成し、過年度データの変換を行った。

対象ファイル数は、ゲート設備 4 施設、河川ポンプ設備等 17 施設、道路排水設備 14 施設、トンネル換気設備 8 施設である。

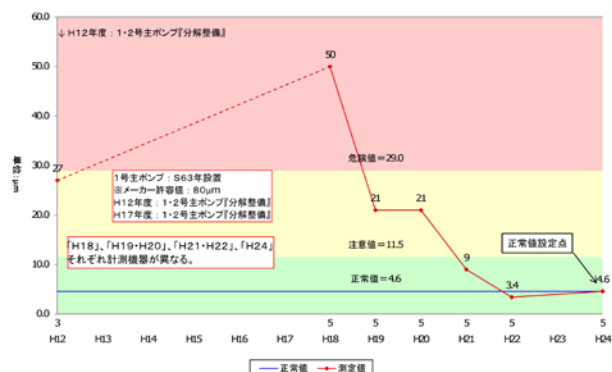


図-2 振動計測値傾向管理グラフの事例

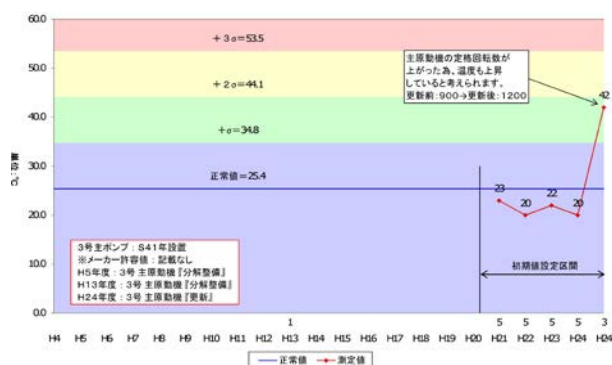


図-3 潤滑油圧力傾向管理グラフの事例

#### 4. 6 傾向管理手法の標準化調査

今後過年度の維持管理情報を基に傾向管理検討手法業務を実施する場合を想定し、その作業量を標準化できないか検討を行った。

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）を調査した。調査対象施設の情報量をパラメータとして考慮しているが、現状では対象施設の種類（排水ポンプ設備、道路排水設備など）別ではなく、これらを総合した標準値となる。

調査結果を表-3に示す。

表-3 歩掛（人工）調査結果

| 標準化調査集計表                   |     |       |       |       |       |       |            |
|----------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| 単位(人日/固定値、人日/台/年または人日/施設数) |     |       |       |       |       |       |            |
| 種 別                        | 技師長 | 主任技師  | 技師A   | 技師B   | 技師C   | 技術員   | 摘 要        |
| <b>検討業務</b>                |     |       |       |       |       |       |            |
| ① 設計計画                     |     | 1.000 | 1.950 | 1.200 | 0.350 | 0.100 | 単位(人日/固定値) |
| ② 機械設備維持管理システムのデータベース入力    |     | 0.025 | 0.033 | 0.056 | 0.057 | 0.136 | 単位(人日/台/年) |
| ③ FMEA/FTAの作成              |     | 0.365 | 0.524 | 0.785 | 0.824 | 0.565 | 単位(人日/施設数) |
| ④ 実際のデータに基づく解析             |     | 0.960 | 1.288 | 1.084 | 1.285 | 1.750 | 単位(人日/施設数) |
| ⑤ 傾向管理の評価シート(案)作成          |     | 0.443 | 1.065 | 1.209 | 0.805 | 0.833 | 単位(人日/施設数) |
| ⑥ 報告書作成                    |     | 0.850 | 2.150 | 2.350 | 1.650 | 1.750 | 単位(人日/固定値) |

#### 4. 7 新しい状態監視保全技術の現場への適用方法の検討（潤滑油分析）

排水ポンプ設備主原動機（ディーゼルエンジン）潤滑油のフェログラフィデータを用いて、摩耗粒子濃度と経過年数の関係を、SOAP法については元素量と経過年数との関係について整理した。

フェログラフィ試験では、定量フェログラフィによる全摩耗粒子濃度（WPC）と分析フェログラフィによる摩耗粒子の状態から診断が行われている。経時変化をみても、全摩耗粒子濃度（WPC）は比較的単調な増加傾向を示していることがわかった（図-6）。SOAP試験の結果は、鉄Feの数値が経年による増加を示している（図-7）。ただし、他の元素についても突然の増加に注意し傾向観察することが重要とする。

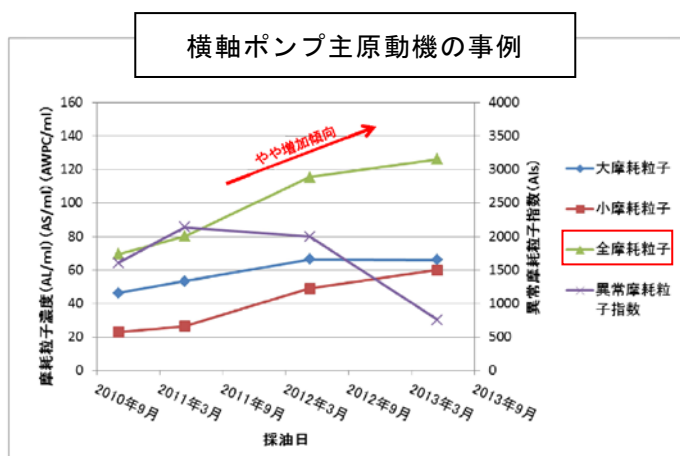


図-6 経過年数と摩耗粒子濃度の関係

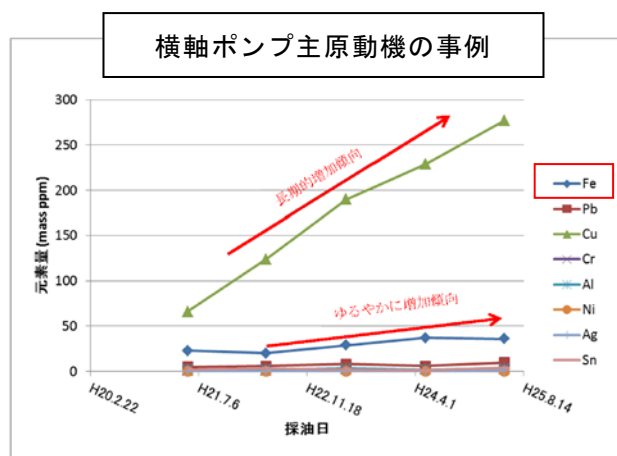


図-7 経過年数と試験元素量の関係

このような潤滑油分析結果から劣化傾向が認められたため減速機歯車については、異常時に発生する噛み合い周波数の解析をした。その結果、減速機加速度の周波数分布と減速機仕様による異常時発

生周波数の間に、合致するものがないことがわかった。

また、潤滑油交換時期の目安の検討として、各機場の潤滑油交換実績を調査し、潤滑油使用期間を求め、これと潤滑油性状分析結果との相関について解析を行った。動粘度の複数機場による解析からはデータのばらつきが多いことから、交換時期を明確に提示することは困難であった(図-8)。ただし、動粘度の単一機場による解析からは、傾向のばらつきはあるものの、経年的に動粘度が低下する様子が読み取れるため(図-9)、今後データを増やして調査を行うことが有効と考えられる。

なお、データのばらつきは潤滑油交換記録を保存するルールが整理されていないことによる、使用期間の不確かさが原因のひとつと考えられるため、より正確なデータを集め精度の高い解析を行うためには、今後は機械設備維持管理システムの整備記録に必要な情報を記録するよう周知・浸透させることが重要であると考えられる。

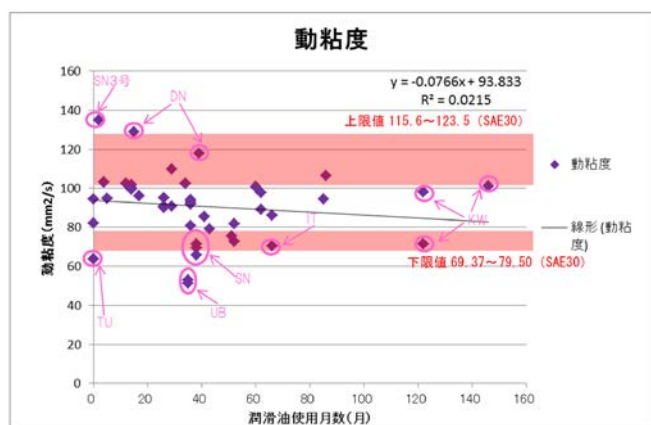


図-8 動粘度の複数機場による解析

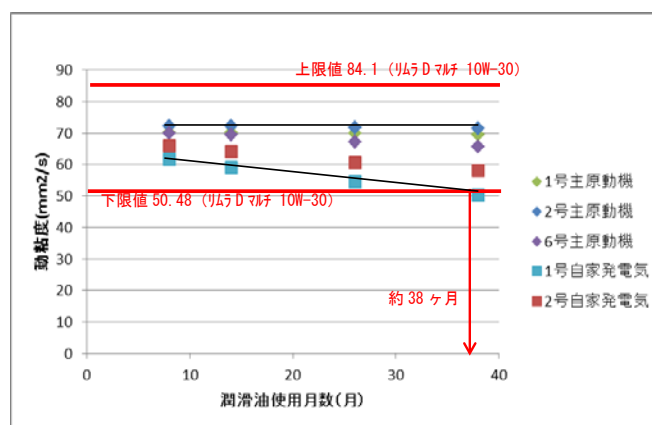


図-9 動粘度の単一機場による解析

## 5 考察

### 5. 1 維持管理情報データベース化の重要性

維持管理情報をデータベース化することにより、次のような成果を施設管理事務所に提供することができる。

- ① 設備の状態を監視する計測項目と適正なしきい値などの判定基準の検討・設定方法の提案により、維持管理上の判定基準の精度向上に役立ち、日常管理において不具合の回避につながる。
- ② 経過年数に応じた点検項目・頻度や修繕項目の提案により、維持管理計画の作成に役立ち、効率的な整備・更新につながる。
- ③ データベース化された長期的な維持管理情報の提供により、設備のカルテとして活用でき、設備管理者が設備自体の故障傾向や過去の更新履歴など把握できる。

上記の成果を得るには、継続的な維持管理情報のデータベース化が非常に重要であり、設備管理を担う各関係者の予断無き努力が不可欠である。

### 5. 2 重要な傾向管理項目の確立

排水ポンプ設備においては、振動や圧力の傾向に変化が認められた。メーカ等による管理値の絶対値に着目するだけでなく、計測データに明確な変化が認められる場合は、何らかの不具合が生じていると疑う必要があり、引き続き傾向管理を行うことで状態監視保全（特に主要機器の整備実施時期）の精度向上を図ることができる可能性が高いと考える。

平成 20 年度以降の解析において、以下の事例が確認されている。今後も、このような事例を蓄積

し、予防法全と故障発生時の早期発見に資するため、より多く重要な傾向管理項目の確立を目指すことが重要である。

解析事例を表-4 に示す。

表-4 解析事例

| 年度 | 施設区分          | 不具合内容         | パラメータ      | 傾向管理グラフ |
|----|---------------|---------------|------------|---------|
| 21 | 浄化施設主ポンプ      | ポンプ軸受損傷       | 振動         |         |
| 21 | 排水機場ポンプ設備主原動機 | エンジンクランク軸微小変形 | デフレクション    |         |
| 22 | 排水機場ポンプ設備主ポンプ | インペラの腐食       | モーター電流値    |         |
| 23 | 排水機場ポンプ設備減速機  | 減速機軸受損傷       | 潤滑油冷却器出口温度 |         |

### 5. 3 「傾向管理の評価シート（案）」の現場への適用

本調査において作成した「傾向管理の評価シート（案）」が、現場において問題なく活用できるかの確認を平成 24 年度に引き続き行った。

平成 25 年度は、これまでに試行した事務所から、次のような意見を得ることができた。これらの意見については今年度版に反映している。

- ・主機関潤滑油温度については、入口温度と出口温度を同一グラフ内に併記する。また、出入口温度差として表記する。

- ・振動値については、3方向を同一グラフ内に併記する。
- ・運転条件を明確にする必要があるため、運転水位等を記載する。
- ・現場での計測値記録様式と評価グラフ入力様式を統一する。

現場の意見としては、状態監視に点検結果を反映させるためにより使いやすい工夫を提案する傾向がある。今後本格運用していくためには、さらに試行現場を増やし問題点等を洗い出すことにより改善案を示し、「傾向管理の評価シート（案）」に反映させる必要がある。

#### 5. 4 「傾向管理基準値の設定及び評価方法」の再評価

「傾向管理値の設定及び評価方法」の傾向管理項目と管理基準値一覧については、今後、整備局管内での試行結果に基づき、定期的に整理し、傾向管理項目・しきい値設定方法の再評価を行うことが必要と考える。

#### 5. 5 分解整備データに基づく時間計画保全の精度向上

分解整備データをもとに、これまでに得られた知見及び考察を以下にまとめる。

##### （1）分解整備データの整理結果

対象施設におけるディーゼル機関の分解整備データをもとに、構成部品の摩耗などの劣化予測に関する検討を行った。

摩耗などの劣化が、供用時間や運転時間に対してほぼ線形で増加すると想定すると、傾向管理での正確な予測を行う場合、同一機器で少なくとも2点以上のデータが必要となる。今回対象施設では分解整備データが1回分しかないため、設計値を初期値と考え、分解整備時の計測記録と比較し摩耗限界値に至る年数を推定した。図-10 にディーゼル機関におけるクランクピンメタルを想定した模式図を示す。

図-10より、製作時に設計値であったと仮定すれば、摩耗量は設計値と計測値を結ぶ黄色の線形で示すことができ、使用限界に至るまで53年要すると推定できる。しかし、極限まで条件を振り、製作時の内径が許容値まで大きかったと仮定すると、単位供用年当たりの摩耗量は著しく減少し、限界値に至るまでに倍以上の年数を要するイメージを表している。

実際の管理では時間計画保全に危険側の数値を採用できないので、部品の設計値（模式図における黄色い線形）を採用し、主原動機2台、発電機用原動機2台の分解整備時の計測データから限界値到達年数を予測した結果を表-5に示す。この結果から同じエンジンでも部品によって限界摩耗量に至る年数は異なり、また、同じ種類の部品でも個体差が存在することがわかる。

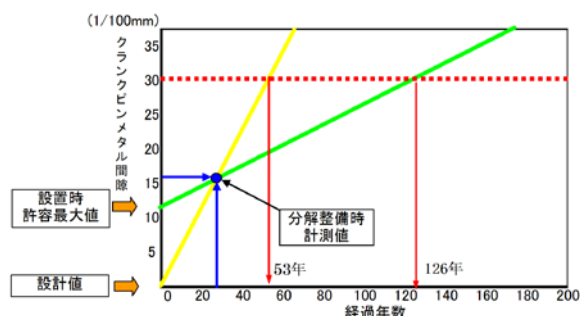


図-10 分解整備データからの劣化予測模式図  
（クランクピンメタルを想定）

表-5 限界値到達予測年数

|               | 単位(年)   |         |         |         |
|---------------|---------|---------|---------|---------|
|               | MS主No.1 | MS主No.2 | MS自No.1 | MS自No.2 |
| クランク軸軸受間隙     | 90.0    | 160.0   | 240.0   | 240.0   |
| クランク軸デフレクション  | 19.2    | 38.4    | 81.6    | 40.8    |
| ピストンピンとピン孔の間隙 | 30.0    | 20.0    | 24.0    | 26.7    |
| ピストンピン軸受内径・間隙 | —       | —       | —       | —       |
| クランクピンメタル間隙   | 120.0   | 80年     | 20.6    | 26.2    |
| 給気弁及び弁ガイド間隙   | 16.0    | 23年     | 22.0    | 26.4    |
| 排気弁及び弁ガイド間隙   | 22.9    | 27年     | 22.3    | 24.0    |

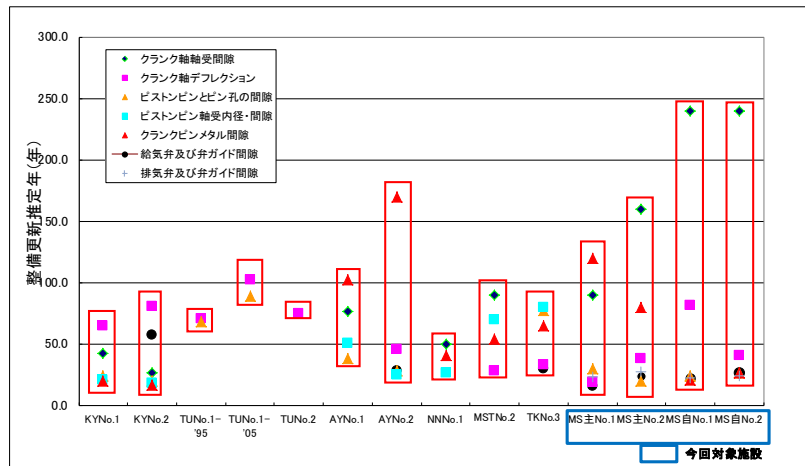


図-11 分解整備データからの劣化予測図

## (2) 分解整備データの活用方法

ディーゼル機関はポンプ設備のうちで故障等級が大きい構成機器・部品が多い。クランクピンメタルは分解しなければ摩耗量が把握できないことから予防保全が難しい内部部品である。よって、分解整備時の計測データを基に部品の余寿命を推定する予測式を求めることが可能である。予測式があれば、長期保全計画に役立てることができる。

ただし、図-10 に示す結果から、以下のとおり留意しなければならない事項を整理する。

- ① 予測式はあくまで計算上の数値であり、また使用限界値までの年数を算定しているにすぎない。この数値を基に、予防保全における交換サイクルをどのように定めるかは別途検討が必要。
- ② 設備建設時の各部品の初期計測データが非常に重要であり、供用年数や運転時間をパラメータとした劣化予測を行うためには、これらの情報を残しておく必要がある。
- ③ ディーゼル機関の場合、構成部品により計算した寿命に違いがあることから、原動機をユニットと考え、最もサイクルの短い部品を念頭に置いた保全計画の立案が必要。

## 5. 6 「潤滑油分析」の実施

潤滑油分析については、フェログラフィ試験及び SOAP 試験ともに、傾向管理の指標になり得ると考える。しかし、各々単独の解析結果で評価を行うことは難しい。

図-6 に示す事例では、摺動部に摩耗が発生すると増加するといわれる「大摩耗粒子数」は微弱な増加傾向ではあるが、「異常摩耗粒子指数」は逆に低下しており、定量フェログラフィ単独での評価では限界があることを示している。よって、図-7 に示す SOAP 法の解析結果を併用するとともに、異常摩耗粒子については分析フェログラフィで実態を目視確認することも重要になる。

近年の複数の原動機、減速機を対象とした解析結果から、傾向管理に活用できる有効な指標となりうる事例を把握できている反面、データを組み合わせた評価手法の確立にはデータの蓄積が重要であることが明らかであり、今後も定期的に分析を実施することが必要である。

これまでに得られた知見及び考察を以下にまとめる。

- ① 潤滑油分析による原動機や減速機の状態監視を実施するためには、潤滑油の性状（水分・酸価・アルカリ価・粘度・汚染度）を管理し、潤滑油自体が使用に耐える状態であることを確認する。特に、排水ポンプ設備に使用されている潤滑油では、短期間で水分が高くなりやすい傾向がある。
- ② 定量フェログラフィ、分析フェログラフィ、SOAP 法は、測定会社や測定方法（使用する機械の

種類・希釈率等の選定)が複数存在し、同じサンプルであってもそれらの数値が一致する保証はなく、相互のキャリブレーション手法も確立していない。よって、定量フェログラフィ及び SOAP 法は横断的な統計によるしきい値の設定を目指すより、1つの機器に関する時系列変化に着目すべきである。

- ③ サンプル量が使用している潤滑油量に対して非常に少ないため、同一会社、同一方法によっても採油方法(場所)を変更するあるいは誤ると評価に大きな影響を及ぼす。
- ④ SOAP 法においては、軸受や回転軸の素材である鉄、銅、すず、鉛、アルミニウム等の濃度に注意を要する。また、長期間更油していない油では鉄分が高くなる傾向がある。
- ⑤ 分析フェログラフィでは分析会社によってサンプル油の希釈方法に差異がある。管理者としては、分析フェログラフィによって粒子の形状を見極めたいため、特異な粒子を判別できるまで希釈したいが、逆に希釈率を上げることによって、サンプルのさらに限定された部分を評価することになる。よって、希釈率及び粒子の判定については、分析会社や研究機関との連携とデータの蓄積が必要である。

## 5. 7 新しい状態監視保全技術の現場への適用方法の検討(潤滑油分析)

前項①において、潤滑油交換の重要性を示した。潤滑油交換時期の目安を定めるためには、個々の機器の潤滑油性状の時系列変化から求めることが有効であると考えられるが、同じような使用条件でも時系列的に一樣に劣化しない例もあり、今後さらにデータを集めて検討する必要があると考えられる。なお、水分が短期間に増加してもアルカリ価や粘度に問題がない場合、水分だけ除去する民間技術もあるため、更油と併せて総合的な検討も必要である。

潤滑油分析は、点検業者(分析会社)への委託作業となるため、管理者としては個々の設備毎に採油場所、手法を徹底する必要がある。また、一般的に分析会社は数値や写真とともに評価結果を付記するのが通例であり、各数値と評価結果の因果について不明疑義が生じた場合は見解を明確に聴取しておく必要がある。

## 6 今後の計画

### 6. 1 傾向管理基準値の設定マニュアル(案)の作成

今後、統一運用に向けて標準偏差「 $\sigma$ 」から管理値を設定する傾向管理手法を確立するため、今回作成の「傾向管理の評価シート(案)作成手順」及び「傾向管理基準値の設定及び評価方法」を基に、実際の現場で試行しながら作成していく。特に傾向管理基準値は、施設の号機単位で設定することを目指す。

### 6. 2 測定点・測定方法の統一化に向けた現状調査

設備の劣化評価に、点検で得られる計測データを活用していくには、毎回同じ方法で実施し、方法や計測者によるばらつきを排除する必要がある。よって、現状の測定点・測定方法については、実態を把握するとともに設備毎の時系列での解析に最も有効な方法を提案し、「傾向管理の評価シート(案)」へ継続的に写真を貼り付け、図面を添付するなど反映していく。また、故障・トラブル発生時にどのような計測事項によって状況を把握してきたか事例を調査し評価に活用していく。

### 6. 3 ポンプ設備分解整備の傾向管理項目（案）の作成

主ポンプ、減速機、除塵機などの分解整備時に計測する傾向管理項目の設定を行う。分解整備時に計測されている各所の摩耗量を解析することによって、軸受や歯車、羽根車などの耐用部品に関する供用年数や運転時間をベースとした摩耗量を把握することができる。これにより、主要機器の時間計画保全の精度を高めることができる。

実現のためには、設備建設時の各部品の形状寸法等のデータが不可欠であり、データベース構築上の重要なポイントとして把握に努めていく。

施設技術課