# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1138

December 2020

B-DASH プロジェクト No. 30 センサー連続監視とクラウドサーバ集約による 劣化診断技術および設備点検技術導入ガイドライン (案)

下水道研究部下水処理研究室

B-DASH Project No.30
Guideline for introducing a deterioration diagnosis and equipment inspection technology by sensor monitoring and data aggregated cloud server

Wastewater and Sludge Management Division
Water Quality Control Department

# 国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

B-DASHプロジェクト No.30

センサー連続監視とクラウドサーバ集約による

劣化診断技術および設備点検技術導入ガイドライン(案)

下水道研究部 下水処理研究室

### **B-DASH Project No.30**

Guideline for introducing a deterioration diagnosis and equipment inspection technology by sensor monitoring and data aggregated cloud server

Wastewater and Sludge Management Division
Water Quality Control Department

## 概要

本ガイドラインは、下水道事業におけるコスト縮減を目指し、下水道革新的技術の一つである「センサー連続監視とクラウドサーバ集約による劣化診断技術および設備点検技術」について、下水道事業者が導入検討する際に参考にできる資料として策定したものである。

キーワード: 設備点検、センサー連続監視、劣化診断、クラウドサーバ、改築更新、IoT(Internet of Things)

### **Synopsis**

This Guideline is introducing a deterioration diagnosis and equipment inspection technology by sensor monitoring and data aggregated cloud server, which is one of sewage high technologies, saving sewage service costs, is designed to support Japanese enterprises' overseas water business expansion.

Key Words : equipment inspection, sensor monitoring, deterioration diagnosis, cloud server, renovation, IoT(Internet of Things)

〒305-0804 茨城県つくば市旭1

電話: 029-864-3933 Fax: 029-864-2817 E-mail: nil-gesuisyori@mlit.go.jp

# 執筆担当者一覧

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 室 長 ・・・田隝 淳 国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 室 長 前 ・・・山下 洋正 国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 主任研究官 ・・・岩渕 光生 前 国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 主任研究官 ・・・太田 太一 国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 主任研究官 ・・・重村 前 浩之 国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 研究官 · · · 福間 泰之 ・・・山本 明広 国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 研究官 前

我が国の下水道は、国民生活に不可欠な社会資本として、下水道処理人口普及率は79.7%(令和元年度末)まで普及が進んできており、水洗トイレが普及するとともに川や海の水質の改善につながっている。しかしその一方で、多くの下水道施設は老朽化が進んでおり、管路の破損等による道路陥没や汚水処理施設の停止による公共用水域の水質悪化等のリスクが増大している。またこれらを予防するにあたり、老朽化した施設の修繕・改築に膨大な費用を要することが懸念されている。

持続的な下水道機能の確保と下水道施設のライフサイクルコスト低減を図るための手法としてストックマネジメントが着目されており、「下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015 年版-」(平成 27 年 11 月 国土交通省水管理・国土保全局下水道部、国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部)の発行や、平成 28 年度の下水道ストックマネジメント支援制度の創設等、国を挙げてその重要性が示されているところである。これを受けてストックマネジメントを実施するための一技術として、最新の ICT 技術を駆使した効率的な維持管理手法を開発し、故障の未然防止や改築更新時期の最適化を目指した予防保全型管理の実現が求められている。

国土交通省下水道部では、優れた革新的技術の実証・普及により効率的な下水道事業を促進し、併せて本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、「下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト※)」を平成23年度から開始し、国土技術政策総合研究所下水道研究部が実証研究の実施機関となっている。

本ガイドライン「センサー連続監視とクラウドサーバ集約による劣化診断技術および設備点検技術 導入ガイドライン(案)」で示す技術は、センサーを用いた機器状態の常時モニタリングとクラウド サーバへの点検情報集約を組み合わせたシステムであり、実証研究により点検・調査に要する作業量・ 時間が低減されることや、集約された点検情報から対象機器の劣化予測曲線を作成できること等が実 証されている。

本ガイドラインは、国土技術政策総合研究所委託研究(センサー連続監視とクラウドサーバ集約による劣化診断技術および設備点検技術の実証研究 受託者:水 ing 株式会社・仙台市共同研究体 実施期間:平成27~令和元年度)において実施した成果を踏まえ、下水道事業者が革新的技術の導入を検討する際に参考にできる資料として策定したものであり、これらの優れた技術が全国そして海外にも普及されることを強く願うものである。

技術選定から実証研究施設の設置、実運転による実証を踏まえたガイドラインの策定までを6年間でまとめるにあたり、大変なご尽力をいただいた下水道革新的技術実証事業評価委員会の委員各位、およびガイドラインに対する意見聴取にご協力いただいた下水道事業者の各位をはじめ、実証研究に精力的に取り組まれた研究体各位等全ての関係者に深く感謝申し上げる。

※B-DASH プロジェクト: Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部長 岡本 誠一郎

# 目次

| 第1章 総則                     |    |
|----------------------------|----|
| 第1節 目的                     |    |
| §1 目的                      |    |
| 第2節 ガイドラインの適用範囲            | 5  |
| <b>§</b> 2 ガイドラインの適用範囲     | 5  |
| 第3節 ガイドラインの構成              | 6  |
| <b>§3</b> ガイドラインの構成        | 6  |
| 第4節 用語の定義                  | 7  |
| <b>§</b> 4 用語の定義           | 7  |
| 第2章 技術の概要                  | 10 |
| 第1節 技術の目的                  | 10 |
| <b>§</b> 5 技術の目的           | 10 |
| <b>§</b> 6 技術全体の概要と特徴      | 12 |
| §7 振動センサーモニタリング技術の概要と特徴    | 20 |
| <b>§</b> 8 タブレット点検技術の概要と特徴 | 24 |
| §9 設備劣化診断技術の概要と特徴          | 27 |
| §10 設備劣化予測技術の概要と特徴         | 31 |
| 第2節 技術の適用条件                | 33 |
| §11 適用範囲                   | 33 |
| §12 推奨条件                   | 34 |
| §13 導入シナリオ例                | 35 |
| 第3節 実証研究に基づく評価の概要          | 36 |
| §14 技術の評価項目                | 36 |
| §15 技術の評価結果                | 38 |
| 第 3 章 導入検討                 | 45 |
| 第 1 節 導入検討手法               | 45 |
| <b>§16</b> 導入検討手順          | 45 |
| §17 基礎調査                   | 47 |
| §18 導入効果の検討                | 49 |
| <b>§19</b> 導入判断            | 52 |
| 第4章 計画・設計                  | 53 |
| 第1節 導入計画                   | 53 |
| 820 計画の手順                  | 53 |

| <b>§21</b> 運用の検討          | 54  |
|---------------------------|-----|
| <b>§22</b> システム構成の検討      | 55  |
| §23 導入効果の検証               | 56  |
| §24 導入計画の策定               | 57  |
| 第2節 設計・導入                 | 58  |
| §25 振動センサーモニタリングの設計・導入    | 58  |
| <b>§26</b> タブレット点検の設計・導入  | 66  |
| 第 5 章 維持管理                | 69  |
| 第1節 技術全体の維持管理             | 69  |
| §27 技術全体の維持管理の要点          | 69  |
| 第2節 運用方法                  | 70  |
| §28 振動センサーモニタリング技術の運用方法   | 70  |
| <b>§29</b> タブレット点検技術の運用方法 | 73  |
| §30 設備劣化診断技術/設備劣化予測技術の運用  |     |
| 第3節 保守管理                  | 83  |
| §31 振動センサーモニタリング技術の保守管理   | 83  |
| <b>§32</b> タブレット点検技術の保守管理 | 85  |
| 第4節 異常時の対応と対策             | 86  |
| §33 異常時の対応と対策             | 86  |
| 資料編                       | 88  |
| 第1節 実証研究結果                |     |
| 第2節 購入特記仕様書案              | 111 |
| 第3節 その他検証事項と提言            | 117 |
| 第 4 節 FS 調査ケーススタディ        |     |
| 第5節 導入効果の検討例              |     |
| 第6節 導入事例                  |     |
| 第7節 参考文献                  |     |
| 第8節 問い合わせ先                | 148 |

# 第1章 総則 第1節 目的

### § 1 目的

本ガイドラインは、下水道施設のストックマネジメントの効率化に向け、下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)で採択された「センサー連続監視とクラウドサーバ集約による劣化診断技術、および設備点検技術」(以下、本技術とする)について、実証研究の成果を踏まえて、技術の概要、導入検討・判断、および運用ならびに保守等に関する技術的事項を明示し、技術の普及展開を図るために策定したものである。

### 【解説】

(1)下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)の目的

下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト) は、新技術の研究開発、および実用 化を加速することにより、下水道事業における資源回収、大幅な省エネルギー・創エネルギー効果やコスト縮減を実現し、併せて、本邦企業における水ビジネスの海外展開を支援する ため、国土交通省が実施しているものである。

B-DASH プロジェクト全体の概要は、図 1-1 に示すとおりである。各実証事業においては、 国土技術政策総合研究所からの委託研究として、実証研究を実施している。

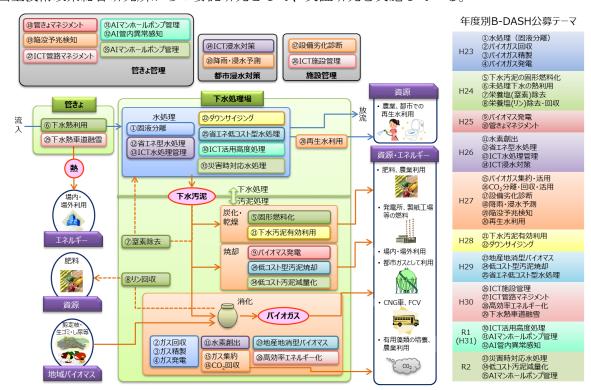


図 1-1 下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト) の概要 (全体)

実証研究のとりまとめにあたっては、専門的知識を有する有識者、および実務に精通した地方公共団体の下水道事業者より意見を聴取したうえで、学識経験者で構成される「下水道革新的技術実証事業評価委員会」(以下、評価委員会とする。詳細は

http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/bdash/bdash.htm 令和2年6月15日時点を参照)の評価を受け、十分な成果が得られたと評価された。

本技術は、老朽化が進む膨大な下水処理場設備を適切に管理し、ライフサイクルコストの低減や投資の最適化を図り、ストックマネジメントの効率的な実施に資するため、ICT を活用した振動データのモニタリングにより設備の劣化状況を診断する革新的技術として採択されたものである。本事業では、平成27年度から令和元年度にかけての5年間において以下の事項について調査・検討・実証を行い、得られた知見やデータによる分析・研究の成果を報告書としてとりまとめるものである。

### <調査・検討・実証事項>

- ①設備信頼性向上により故障を予防することによる損害低減効果
- ②設備補修点検周期の延伸によるコスト縮減効果
- ③劣化診断の効率化による作業量・時間の低減効果
- ④劣化診断の高度化による計測誤差低減、劣化診断及び劣化予測の精度向上効果
- ⑤モニタリングデータ蓄積よる劣化診断及び劣化予測の精度向上効果
- ⑥実証設備の設置環境下における劣化及び耐久性に関する調査(分解調査)

### (2) 本ガイドラインの目的

本ガイドラインは、ICTを活用した振動データのモニタリングにより、設備の劣化状況を 診断する技術を導入し、ストックマネジメントの効率的な実施に資するため、評価委員会で 評価された本技術の実証研究の成果を踏まえ、国土技術政策総合研究所において策定する ものである。

このため、本ガイドラインでは、地方公共団体等の下水道事業者が先行的に本技術の導入 を検討する際に参考にできるように、これまでの実証研究の成果に基づき技術の各要素に ついてとりまとめたものである。

### 第2節 ガイドラインの適用範囲

### §2 ガイドラインの適用範囲

本ガイドラインは、本技術のシステム全体または一部についての、下水道施設を対象とした導入検討・判断、および運用ならびに保守等に適用する。

また、本ガイドラインは、地方公共団体等の下水道事業者、および関連する民間企業等に利用されることを想定して策定している。

### 【解説】

本ガイドラインは、下水道施設を対象として、本技術のシステム全体または一部の導入を検討する際に、導入検討・判断、および運用ならびに保守等の参考となるようにとりまとめたものである。

また、本ガイドラインは、地方公共団体等の下水道事業者、および関連する民間企業等に 利用されることを想定して策定している。

本ガイドラインに記載する技術等は、多くの地方公共団体に活用してもらえるよう、考え 方の一例を記載したものであり、ここに記載されている内容以外に、各地方公共団体の実情 やストックマネジメントの実践に基づく創意工夫を妨げるものではない。

### 第3節 ガイドラインの構成

### §3 ガイドラインの構成

本ガイドラインは、本技術の目的、概要、導入検討、導入計画、運用、維持管理から構成される。

### 【解説】

本ガイドラインは、図 1-2 に示す構成からなる。

# 第1章 総則 目的、ガイドラインの適用範囲、ガイドラインの構成、用語の定義 第2章 技術の概要 技術の目的、技術の適用条件、実証研究に基づく評価の概要 第3章 導入検討 導入検討手法 第4章 計画・設計 導入計画、設計・導入

図 1-2 本ガイドラインの構成

技術全体の維持管理、運用方法、保守管理、異常時の対応と対策

### 第4節 用語の定義

### § 4 用語の定義

本ガイドラインで扱う用語は、以下に示すとおり定義する。なお、下水道施設の基本的な用語については、「下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン -2015 年版-」(国土交通省水管理・国土保全局下水道部、国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部)

「下水道維持管理指針-2014 年版-」((公社)日本下水道協会)<sup>2)</sup>に準拠する。

### (1) 劣化診断技術

設備の現在の状態量を把握して問題の発生の有無、種類、原因、程度、および将来への影響を予知、予測し必要な対策を見出す技術をいう。(最新実用設備診断技術、総合技術センターより<sup>3)</sup>)

(2) 連続センサー

設備の常時監視に用いる振動センサーをいう。

(3) センサーモニタリング

連続センサーにより設備の稼働状態を連続的に監視することをいう。

(4) タブレット端末

持ち運び可能な板状のコンピュータ端末・ハードウェアを指す。

(5) タブレット点検

タブレット端末を用いて設備の点検を行う業務をいう。

(6) クラウド (クラウドコンピューティング)

ソフトウェアやデータをインターネット等のネットワークを通じてサービスとして利用する方式の総称をいう。

(7) クラウドサーバ

クラウド上に構築されたサーバのことを指す。自社でサーバを用意せず、インターネットを通じてサーバの機能を利用することができる。ハードウェアの保守管理などを行う必要が無く、必要に応じて容易に規模を拡張できるといった利点がある。(IT 用語辞典 BINARY を元に編集)

(8) ICT (情報通信技術)

情報処理、および情報通信、つまり、コンピュータやネットワークに関連する諸分野における技術・産業・設備・サービスなどの総称である。IT (情報技術) のほぼ同義語。(IT 用語辞典 BINARY より)

(9) 設備劣化簡易診断

劣化傾向管理による異常の早期発見、自動停止等による設備の保護、精密診断を実施する かどうかの決定を目的に、設備の状態を迅速に効率よく把握すること。

### (10) 設備劣化精密診断

異常の種類、および発生位置の同定、同定した異常の危険度の把握、およびその進行の予測、最適な修復方法、および修復時期の決定を目的に、簡易診断で異常と判定された設備の状態を詳細に解析し、とるべき保全アクションを決定すること。

### (11) 振動法

設備の振動(変位・速度・加速度)を測定し、絶対判定基準や相対判定基準により設備の劣化 状況や異常発生有無を調べる手法で、本技術では設備の劣化状況を判定する用途から、振 動速度を採用している。

### (12) 絶対判定基準

IS010816-1<sup>4)</sup> 等で規定されている振動速度しきい値(ゾーン境界値)と比較して、設備の状態(良好、注意、危険)を判断する基準。

### (13) 相対判定基準

設備の振動速度値の実績から基準値を設定し、基準値のn倍等で任意に設定した管理値と 比較して、設備の状態(良好、注意、危険)を判断する基準。

### (14) 劣化加速試験

設備に負荷をかけ、人為的に経年劣化を加速させて振動速度値を収集するための試験。 本実証では、劣化状態での振動速度値を収集、評価することで、劣化予測を含む設備劣化簡 易診断情報としてのデータ処理やその判断基準の確立の位置づけで実施。

本実証で試験対象とした設備を劣化加速試験機と呼ぶ。

### (15) 振動変位

設備が振動する振幅(距離)で、一般に単位として μm が使用される。

### (16) 振動速度

一定時間に対する振動変位の変化率で、一般に単位として mm/s が使用される。

### (17) 振動加速度

一定時間に対する速度の変化率で、一般に単位として m/s<sup>2</sup>が使用される。

### (18) RMS 値(実効値、RMS: Root Mean Square)

測定瞬時値の2乗平均値の平方根値で、信号の平均的な大きさ(強度)を表す。

### (19) 機器標準費

故障発生した場合の対応(故障対応)や設備が能力を発揮できなくなった場合の更新、日常・ 定期点検、機器のオーバーホールといった設備の機能維持に係るライフサイクルコストを 1年1台当たりに換算した金額(千円/台/年)を表す。

### (20) 損害低減効果

機器標準費に対する対象設備の故障対応費の割合(%)を表す。

### (21) 突発故障

構成する部品の損傷などにより突発的に発生する故障で、事前の点検や診断によって予知することができない故障。

### (22) データ欠測

何らかの理由によりデータが測定、収集できなかった事象。

(23) ストックマネジメント

持続可能な下水道機能を確保するために、設備の状況を客観的に把握、評価し、中長期的な 設備の状態を予測しながら、処理場・ポンプ場施設を計画的かつ効率的に管理すること。

### (24) 保全計画

ストックマネジメントにおける点検や調査の計画策定や実施、点検結果に伴う保守の実施、 調査結果に伴う修繕・改築の計画策定と実施ならびにこれらの計画の見直しを含む一連の 計画を表す。

(25) 中長期保全計画 3~7年程度の期間の保全計画。

(26) 死活監視

システムやソフトウェアが動作しているか定期的かつ継続的に調べることを表す。

(27) 半導体センサー(MEMS センサー)

センサーおよび電子回路が一つの基板上に集積された電子機器。

MEMS: Micro Electro Mechanical Systems

# 第2章 技術の概要 第1節 技術の目的

### § 5 技術の目的

本技術は、ICT を活用したモニタリングにより、設備の劣化状況を診断する技術を導入し、ストックマネジメントの効率的な実施に資することを目的としている。

### 【解説】

下水道事業におけるリソース(ヒト・モノ・カネ)は課題を抱えている。ヒトの面では、地方公共団体の下水道職員は、平成27年度には平成9年度約47,000人のピーク時の約6割に減少している。また、モノの面では、下水処理施設約2,200箇所の約60%に、機械・電気設備の標準的な耐用年数15年を超えている設備が存在する。さらに、カネの面では、人口減少による使用料収入の減少等により、下水道事業の収支は厳しい環境にある。

このような下水道事業環境を背景に、適切な維持管理・改築など計画的かつ効率的に施設 管理を行うためのストックマネジメントの重要性が増している。

本技術は、老朽化が進む膨大な下水処理場設備を適切に管理し、ライフサイクルコストの低減や投資の最適化を図り、ストックマネジメントの効率的な実施に資するため、ICT を活用したモニタリングにより設備の劣化状況を診断する技術である。また、本技術の導入効果について、以下の事項を実証成果としている。

### <実証成果事項>

- ①設備信頼性向上により故障を予防することによる損害低減効果
- ②設備補修点検周期の延伸によるコスト縮減効果
- ③劣化診断の効率化による作業量・時間の低減効果
- ④劣化診断の高度化による計測誤差低減、劣化診断及び劣化予測の精度向上効果
- ⑤モニタリングデータ蓄積よる劣化診断及び劣化予測の精度向上効果
- ⑥実証設備の設置環境下における劣化及び耐久性に関する調査(分解調査)

図 2-1 に技術の全体概要と実証成果の位置付けを示す。

本技術は、ICT を活用した振動センサーモニタリング技術とその補完的な位置づけとしてのタブレット点検技術、またそれらを用いてクラウドサーバ上に蓄積した情報を元にした設備劣化診断/劣化予測技術を要素技術としている。これらにより、劣化診断及び劣化予測の精度向上や劣化診断の作業量・時間の低減を図り、劣化診断結果によっては補修点検周期の延伸が可能となる。

また、連続測定の振動センサー情報を常時監視することにより、故障を未然に防止して 損害低減する効果やタブレット端末活用による点検作業の効率化により、点検に係る作業 量・時間を低減する効果を期待できる。

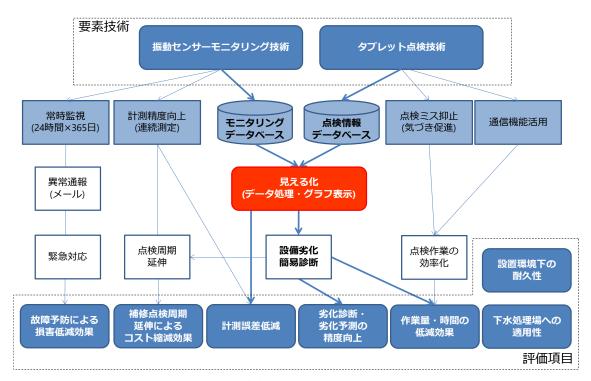


図 2-1 技術の全体概要と実証成果の位置付け

### §6 技術全体の概要と特徴

本技術は、ICT を活用したモニタリングにより、設備の劣化状況を診断する技術を導入 し、ストックマネジメントの効率的な実施に資する技術で、次の要素技術から構成され る状態監視技術である。

- ・振動センサーモニタリング技術
- ・タブレット点検技術
- ・クラウドサーバ上に蓄積した情報を元にした設備劣化診断技術/設備劣化予測技術 これらの要素技術により蓄積した情報を可視化することで、モニタリングデータに基 づき設備劣化の簡易診断情報を提供する。加えて、設備劣化簡易予測により、中長期の 保全計画策定のための情報を提供する。

本技術の導入により、故障予防による損害低減、補修点検周期の延伸によるコスト縮減、診断効率化による作業量低減、タブレット端末利用による利便性向上といった効果が期待できる。

### 【解説】

本技術は、図 2-2 に示すとおり、①ISO・振動法等の既存技術に基づき設備診断データ を常時監視する振動センサーモニタリング技術と、②点検結果をクラウドサーバに登録するタブレット点検技術から構成され、それぞれの蓄積データを可視化し、設備劣化の簡易 診断情報と劣化予測結果を提供するものである。

なお、各要素技術については、本節の当該セクションを参照されたい。

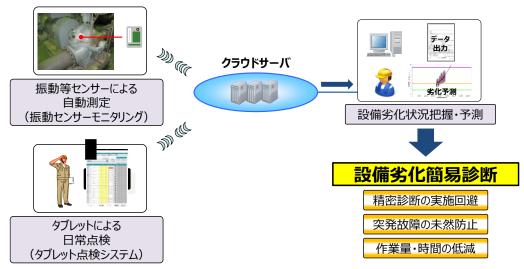


図 2-2 本技術の全体構成イメージ

下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015 年版-では、修繕・ 改築計画の策定に際し、設備の劣化状況を総合的に評価して健全度を算出している。その健 全度情報等から劣化予測を行い、対策の必要性を判断している。また、同ガイドラインでは、 設備の劣化状況の調査例(図 2-3 修繕・改築実施フロー例の赤枠で囲んだ部分)として、主ポンプや送風機の回転機械に対して振動診断による方法を例示しており、本技術はその振動診断の位置付けで活用可能である。

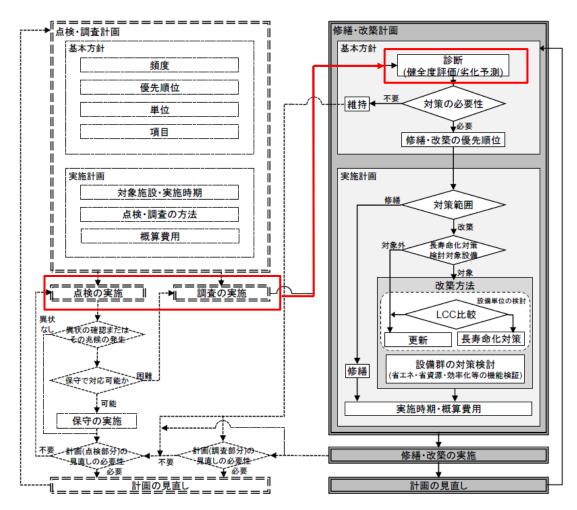


図 2-3 状態監視保全設備の修繕・改築実施フロー例

本技術における「設備劣化簡易診断」は、設備の状態を迅速に効率よく把握するステップであり、その目的は主に次のとおりである。

- ①劣化傾向管理による異常の早期発見
- ②自動停止等による設備の保護
- ③設備劣化精密診断を実施するかどうかの決定

一方、「設備劣化精密診断」は、「設備劣化簡易診断」で異常と判定された設備の状態 を詳細に解析し、とるべき保全アクションを決定するステップであり、その目的は主に次 のとおりである。

①異常の種類、および発生位置の同定

- ②同定した異常の危険度の把握、およびその進行の予測
- ③最適な修復方法、および修復時期の決定

このように、下水道施設の陸上回転機械設備の状態監視と診断では、「設備劣化簡易診断」を実施し、その結果に応じて「設備劣化精密診断」を実施するか否かを判断する手順で進められるのが一般的な状態監視方法である。

本技術は、下水道施設の陸上回転機械設備の「設備劣化簡易診断」を効率的に行うために適用するものである。図 2-4 に示すとおり、状態監視保全における計画・簡易診断のフェーズに適用し、クラウドサーバに収取、蓄積された振動センサーモニタリング情報と点検結果から、「設備劣化精密診断」を実施するか否かの判断する情報を提供する。

また、図 2-5 に示すとおり、従来技術では、手測定による年数回の振動モニタリングデータと紙帳票による日常点検記録データを人手により収集・蓄積し、設備劣化の簡易診断を実施していた。それに対し、本技術は、振動センサーによる連続モニタリングデータとタブレット端末による日常点検記録データを自動で収集・蓄積し、設備劣化の簡易診断を実施するものである。表 2-1 に、本技術と従来技術の特徴比較を示す。

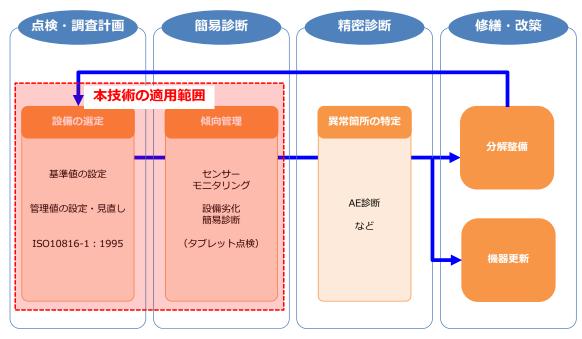


図 2-4 状態監視保全における本技術の適用イメージ

### 本技術 本技術の適用範囲 振動センサー 簡易診断情報 連続モニタリング 設備劣化状況 精密診断 ・計測誤差低減 要否の判断 タブレット端末 精度向上データ による診断 日常点検記録 クラウドサーバへの 自動蓄積 従来技術 振動センサー 年数回の手測定 精密診断 簡易診断情報 要否の判断 設備劣化状況 紙帳票 日常点検記録

図 2-5 本技術と従来技術との比較

人手による データ蓄積

表 2-1 本技術と従来技術との特徴比較

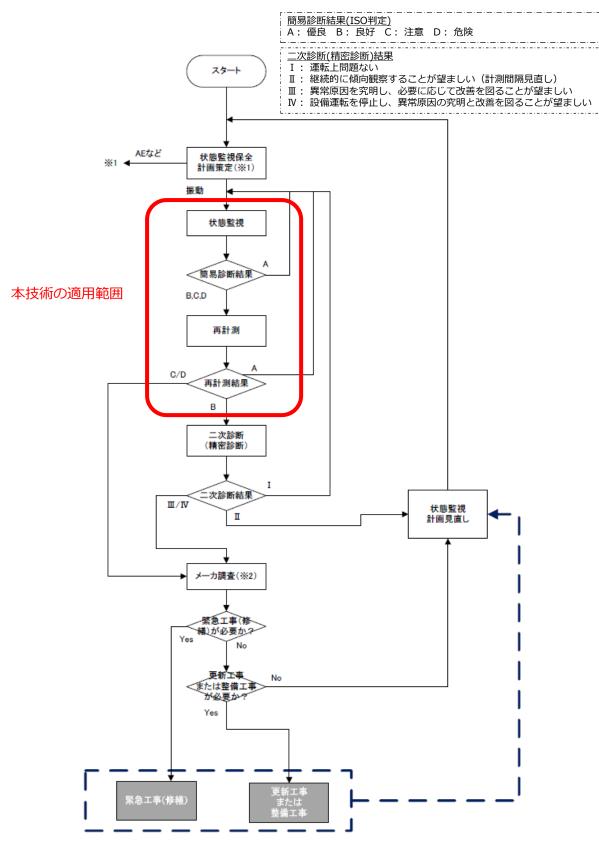
| 技術             | 従来技術  | 革新的技術   |
|----------------|---|---|
| センサー<br>モニタリング | <ul> <li>ポータブルタイプの振動センサーを使用</li> <li>設備を巡回して手測定によりデータを収集・蓄積</li> <li>年数回の測定</li> </ul>    | <ul> <li>・常設タイプの振動センサーを使用</li> <li>・自動測定によりデータを収集・蓄積</li> <li>・連続測定(最低10分周期)</li> </ul> |
| タブレット点検        | <ul> <li>紙帳票を使用</li> <li>設備を巡回して点検記録を記入することで収集</li> <li>点検記録データを<b>手入力して蓄積</b></li> </ul> | <ul><li>・タブレット端末を使用</li><li>・設備を巡回して点検記録を入力することで収集</li><li>・点検記録データを自動で蓄積</li></ul>     |
| 設備劣化<br>簡易診断   | ・簡易診断情報を <b>手作業でデータ処理・可視化</b><br>または振動データと点検記録データをそのまま利用                                  | ・簡易診断情報を自動でデータ処理・可視化  |

振動法(振動速度)による設備劣化の状態判定は、下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015年版-でも採用されている ISO 10816-1:1995 等の絶対判定基準を利用して実施する。 ISO 規格の絶対判定基準では、振動速度値に応じて優良・良好・注意・危険の各ゾーンが設定されており、そのゾーンにより設備劣化の状態を判定する。振動速度のゾーン境界値(ISO 10816-1:1995)は、図 5-7 を参照されたい。

図 2-6 に、実証フィールドにおける従来技術を利用した機器保全フローの例を示す。この例では、手測定による年 1 回の振動モニタリングデータから ISO 絶対判定基準に基づいて精密診断(図 2-6 では二次診断)ないし分解整備(図 2-6 ではメーカ調査)の要否を判断している。すなわち、振動速度値が A 判定(優良)の場合は監視を継続し、B 判定(良好)の場合は精密診断(二次診断)、C 判定(注意)、および D 判定(危険)の場合は、分解整備(メーカ調査)をそれぞれ実施している。

一方、本技術を利用した設備劣化の簡易診断フローでは、図 2-7 に示すとおり、連続センサーによる振動モニタリングデータから精密診断の要否を判断している。すなわち、A 判定(優良)、およびB 判定(良好)の場合は監視を継続し、C 判定(注意)の場合に劣化予測を行い、D 判定(危険)の到達時期を予測した上で、当該到達時期に精密診断を実施する。なお、A 判定(優良)、B 判定(良好)、C 判定(注意)、およびD 判定(危険)は、IS010816-1:1995で規定されている振動速度しきい値による絶対判定基準に基づいている。

なお、従来技術から本技術に診断方法を変えることにより、故障予防による損害低減 や、補修点検周期の延伸によるコスト縮減、診断効率化による作業量低減、タブレット端 末利用による利便性向上等の効果を得ることができる。



※1:状態監視に基づく機器保全フロー(振動以外)

※2:不具合発生時に行うメーカによる調査

図 2-6 実証フィールドの従来技術を利用した機器保全フロー(抜粋) (ISO 絶対判定に基づく状態監視)

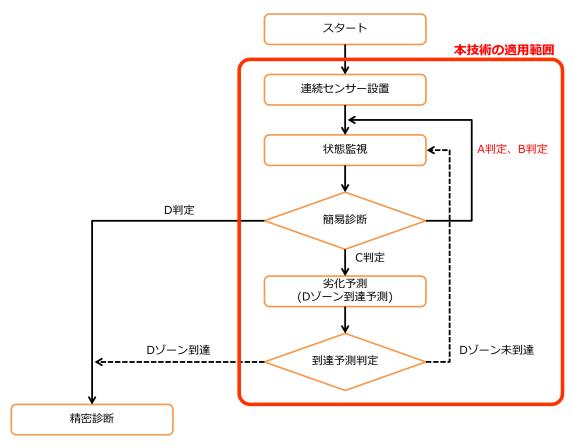


図 2-7 連続センサーを用いた設備劣化の簡易診断フロー

本技術を導入することで、以下の効果が期待できる。

### (1) 故障予防による損害低減(資料編5.1参照)

故障を未然に予防した場合、故障対応費の削減効果が期待できる。

実証においては振動連続センサーの測定周期(10分)により、突発故障発生の振動速度値の上昇を事前に検知できることを確認しており、設備を停止する等の対応を取ることで、 故障を未然に防止することが可能となる。

### (2)補修点検周期の延伸によるコスト縮減(資料編5.2参照)

補修点検の周期を延伸した場合、メンテンナンス費用縮減の効果が期待できる。

実証においては補修点検周期の延伸効果(倍率)を仮定し、更新費やオーバーホール費用、故障対応費、日常・定期点検対応費の縮減効果を試算している。

また、精密診断の実施回避によるコスト縮減の効果も期待できる。

### (3)診断効率化による作業量低減

### ①センサーモニタリング技術による作業量低減

振動法(振動速度)による測定技術を従来の手測定から連続センサーに替えた場合に、作業量低減効果が期待できる。なお、実証結果からは、設備の簡易劣化予測を実施するために最低1日1回の振動測定が必要となり、従来の手測定での実現は現実的でないことからも低減効果を期待できる。なお、本技術では、振動法の振動変位・振動速度・振動加速度のうち、振動速度を使用している。

### ②タブレット点検技術による作業量低減(資料編5.3参照)

点検結果を紙の点検帳票に記入する従来技術に替えてタブレット端末に直接入力する ことで、電子データとしてクラウドサーバに保存される。そのため、紙に記入した点検 情報を電子データ化するための時間削減効果が期待できる。

なお、点検帳票を電子化することにより、入力ミスや入力漏れが無いか確認しやすくなり、点検情報の精度向上効果を期待できる。

### (4) タブレット端末利用による利便性向上

タブレット端末が備える機能を使う副次的な効果として、以下の利便性向上を図ることができる。

- ①中央監視システムの遠隔監視機能により、施設の運転データを参照することで、中央操作室オペレータとの情報共有や現地での運用状況を把握できる。ただし、遠隔監視機能のシステム構築には、別途費用が必要となる。
- ②サーバ等に保存した電子データ化した図面や取扱説明書等をサーバ等にタブレット端末からアクセスすることで、図面類を現地で閲覧する等、ペーパレス化が図れる。
- ③ビデオ通話機能により、タブレットを介して、音声や映像によりリアルタイムに遠隔 地と情報共有できる。

### § 7 振動センサーモニタリング技術の概要と特徴

振動法(振動速度)による陸上回転機器の設備状態の常時監視を実現する技術である。

振動センサーを内蔵するセンサーノードを測定対象となる設備に設置することで、自動連続 モニタリングされる。モニタリングデータは無線通信経由にてクラウドサーバに蓄積され、パ ソコンやタブレット端末から常時アクセス可能となる。

### 【解説】

振動法(振動速度)による設備劣化の状態判定は、下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015年版-でも採用されている ISO 10816-1:1995 等の絶対判定基準を利用して実施する。 ISO 規格の絶対判定基準では、振動速度値に応じて優良・良好・注意・危険の各ゾーンが設定されており、そのゾーンにより設備劣化の状態を判定する。振動速度のゾーン境界値(ISO 10816-1:1995)は、図 5-7 を参照されたい。

本技術は、ISO・振動法等の既存技術を用いた、陸上回転機器の設備状態の常時監視を実現する技術であり、状態監視パラメータとして振動速度を採用している。実証研究における振動センサーモニタリング技術の特長は、次のとおりである。また、本技術の導入に最低限必要な振動センサーの仕様を参考用一般仕様として表 2-2 に示す。

### <実証技術の特長>

- ・小型・軽量の振動センサー設置
- ・電池駆動・無線通信等による配線レスな構成
- ・常設型の連続測定(10 分周期)
- ・蓄積連続データのグラフ表示機能
- ・測定値異常検知時の電子メール通報機能

### <従来技術>

- ・ポータブルタイプの振動計使用
- ・設備を巡回して手測定
- ・蓄積スポットデータのグラフ表示機能
- ・測定値異常検知時の通報機能は無し

表 2-2 連続センサーの参考用一般仕様

| 項目         | 参考用一般仕様                      | 本技術における仕様                        |  |  |  |
|------------|------------------------------|----------------------------------|--|--|--|
| 形状         | 小型・軽量                        | SONOT                            |  |  |  |
| 寸法(mm)     | L40×W30×H30相当                | L40×W30×H20                      |  |  |  |
| 重さ(g) 電池込み | 最大100程度以下                    | 40                               |  |  |  |
| マイコン       | 不問                           | 32ビット RISCマイコンを内蔵                |  |  |  |
| 振動センサー     | MEMSセンサー<br>測定周波数範囲 ~1,000Hz | MEMSセンサー<br>測定周波数範囲 12.5~1,000Hz |  |  |  |
| 固定方法       | マグネット相当                      | マグネット                            |  |  |  |
| 電源         | コイン電池相当                      | DC3.0V コイン電池CR2450×1             |  |  |  |
| 無線通信       | 不問                           | IEEE802.15.4準拠 ZIGBEE規格          |  |  |  |
| 耐用年数       | 5年程度                         | 5年程度                             |  |  |  |

図 2-8 にシステム構成イメージを示す。振動センサーを筐体内に内蔵するセンサーノード(以下、子機)を対象設備にマグネット等にて固定する(§25 参照)。子機は内蔵する電池により駆動するため、外部からの電源供給を必要としない。振動センサーにより一定周期で取得されたデータは、無線通信にてコーディネータ(以下、親機)に送信され、更に、携帯電話網等を介してインターネット上のクラウドサーバに送信、蓄積される。

また、子機は外部信号入力ポートを実装しており、電流、流量、吐出圧力、温度等の各種計装機器の測定データを振動モニタリングデータと同じ時系列での常時監視やクラウドサーバへの蓄積が可能である。従い、従来技術では手作業で集計し比較していた振動データと他のプロセスデータの関係性を、本技術では自動で確認することができる。

クラウドサーバに蓄積された連続センサーのデータは、PC やタブレット端末からアクセスし参照することで、設備状態の振動速度の傾向監視が可能となる。図 2-9 に振動速度の傾向監視グラフの表示例を示す。

加えて、振動値を連続測定することで、故障発生時の振動値の上昇を事前に検知し、測定 値異常検知時の電子メール通報を受けて設備を停止する等の対応を取ることで、突発故障 を未然に防止することが可能となる。

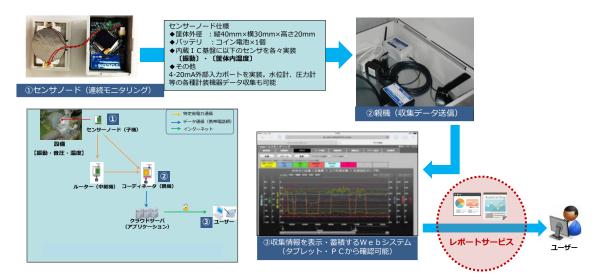


図 2-8 センサーモニタリングシステム構成イメージ

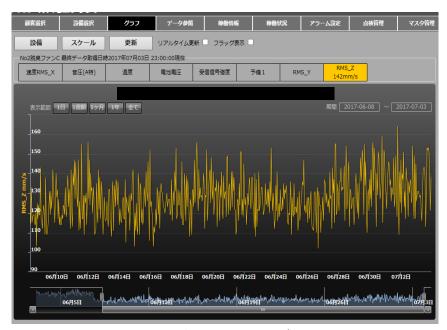


図 2-9 振動速度の傾向監視グラフ表示例

連続センサーによる振動センサーモニタリング技術は、従来技術である手測定タイプの測定器(センサー)を現場に持ち込み測定する間欠監視方式と比較し、以下のメリットがある。

- ①測定作業の無人化が可能
- ②測定者の技能や測定位置のズレによる測定結果のバラツキを排除可能
- ③あらかじめしきい値を設定しておくことで、異常検知時の電子メール通報が可能 →突発故障の未然防止が可能

また、クラウドサーバに蓄積されたデータを集計し、そのレポートを設備の簡易劣化診断情報として活用できる。図 2-10 に振動モニタリングレポート例を示す。

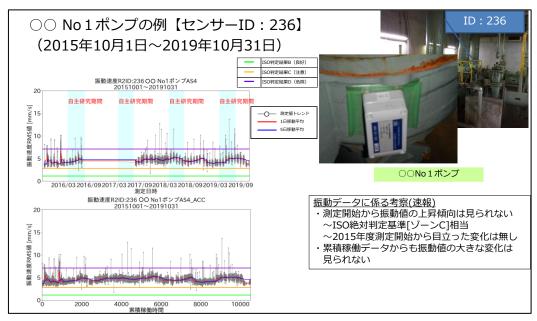


図 2-10 振動モニタリングレポート例

### §8 タブレット点検技術の概要と特徴

点検情報を紙の点検帳票に記入する従来技術に替えて、点検情報をタブレット端末に直接入力することでクラウドサーバに蓄積する技術である。

予めクラウドサーバに登録した点検帳票のテンプレートに、点検情報を直接入力することで、点検情報は無線通信経由にてクラウドサーバに蓄積され、パソコンやタブレット端末から常時アクセス可能となる。

### 【解説】

点検情報とは、設備状態に係る計器指示値や五感判定等の情報である。点検者が汚水処理施設や中継ポンプ場等の現地に携行するタブレット端末に、点検情報を入力することで、携帯電話網等を介してクラウドサーバにデータ送信、蓄積される(タブレット端末の仕様についての留意点は § 26 参照)。

クラウドサーバに蓄積された点検情報は、PC やタブレット端末からアクセスし参照することで、設備状態の傾向監視が可能となる。図 2-11 にタブレット点検状況例を示す。





タブレット端末と画面例

### タブレット端末入力画面

- ・前回点検値表示機能により前回値 を見ながら点検が可能
- ・管理値を逸脱した場合、色で作業者へ異常を認識させる。(気づき、誤記入力)
- ・オフライン対応により、電波環境 が悪い地下での点検にも対応

| ○汚泥掻寄機 |                        |                   |           |           |     |     |    |  |
|--------|------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----|-----|----|--|
|        |                        | 現場操作の確認           |           |           |     | 0   | 良  |  |
|        | 表示灯の確認                 |                   |           | 0         | 0   | 良   |    |  |
|        | 現場操作盤                  |                   | 1-1       | (1.4~2.5) | 1.5 | 1.2 | 異常 |  |
|        | 現場無TF2位                | 電流[A]             | 1-2       | (1.4~2.5) | 1.6 | 16  | 異常 |  |
|        | RE-SEL[A]              | 2-1               | (1.4~2.5) | 1.7       | 1.8 | 良   |    |  |
|        |                        | 2-2               | (1.4~2.5) | 1.8       | 1.8 | 良   |    |  |
|        | 外観 (汚れ、損傷、発錆、ポルト固定状態等) |                   |           | 0         |     | 未   |    |  |
|        | 本体                     | 本体 チェーン、スプロケットの異音 |           | 0         | Δ   | 注意  |    |  |
|        |                        |                   |           |           |     |     |    |  |

図 2-11 タブレット点検状況例

図 2-12 にタブレット点検のシステム構成イメージを示す。点検帳票のテンプレートは、システム構築時にクラウドサーバに登録する。点検作業時に点検帳票テンプレートをタブレット端末に取込み、その点検帳票テンプレートに入力した点検情報は、携帯電話網等を介してクラウドサーバのデータベース(DB)に蓄積される。

また、クラウドサーバに蓄積されたデータを集計し、月報等として活用することも可能である。図 2-13 に月報出力例を示す。

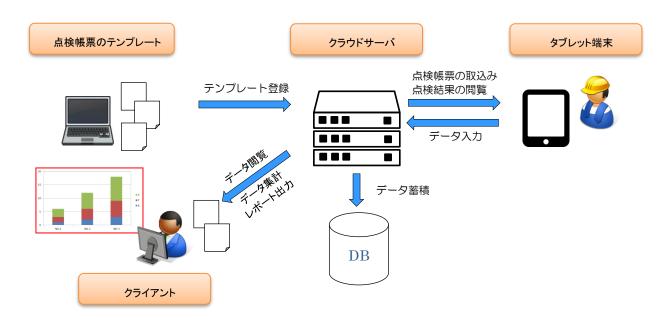


図 2-12 タブレット点検のシステム構成イメージ

### **令和1年1**2月03日(火) 点検者氏名 油漏れ 計器確認 辛重数 発電機 Vベルト $\circ$ 表示灯碟额 $\bigcirc$ 異音・振動 $\circ$ 計器確認 $\bigcirc$ 発電機ファン $\circ$ Δ 直流電源装置 $\circ$ 液位 配管の漏れ 外観・液漏れ 聖王 20.00 液位 無**伴電電**源装 置 (U FS) 0.00 電流 좑 制御蛇 周波数 51.40 Ηz 16.1ポンプ井 未実施(良好) 清掃実施 各指示値・表示 (投込み式) 防波管内確認 N2ポンプ井 水位計 (投込み式) 0.40 防波管内確認 清掃実施 油温 清掃 未実施(良好) 従入集水位針 (投込み式) 冷劫水温 防疫管内蕴积 40.00 良好 液面・漏れ 油脂確認·補充 良好 パッチリー 脱臭ファン **普里池電**圧 脱臭状沉着怒 排気(ガス色)益駆 $\bigcirc$ その他 受水槽 配容原益認 フロート動作確認 ٥ 運転方法 酸素・有害ガス濃度測定 水槽、貯留槽 天気 槽内 槽外 矒 周囲状況(運転時) **酸素基度 (96)** 21.00 貯留槽 運転時間 09 : 可燃性ガス(%) 0.00 李春油 单杂子生食的 12月04日(水) 東北電気保安協会 月次 自家発 無負荷運転 実施. \* 自家発素計運輸時間 前月(最終返回日) 今月(最終巡回日) 17.8 \* 当月し遺場外級出量 (宮城泰境衛星公社回収) 評価 〇:良好 △:運転に支障なし ×: 運動に支殖あり

○○○ ポンプ場月点検表

タブレット点検技術は、従来技術である紙の点検帳票による点検と比較し、以下のメリットがある。

図 2-13 タブレット点検月報出力例

- ①電子データ化の転記(データ入力)作業が不要 (作業時間の削減と転記ミスの排除、月報等の作成までを自動化)
- ②現地での過去データの閲覧が可能
- ③現地での入力ミスや入力漏れを軽減可能
- ④点検結果の比較やグラフ化による傾向管理が容易(§29参照)
- ⑤タブレット端末が備える機能を利用することによる副次的効果を享受

### § 9 設備劣化診断技術の概要と特徴

設備劣化診断は、振動センサーモニタリング技術とタブレット点検技術で収集、蓄積したデータを、グラフ表示により設備劣化傾向を可視化する技術である。主として振動センサーのモニタリングデータの可視化し、設備劣化の簡易診断情報を提供する。さらに、設備劣化の簡易診断情報を中長期保全計画に反映し、保全対象となる設備の選定や保全実施要否の判断の一助とする。

なお、本技術の振動速度値の判定基準は、下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドラインに例示されている ISO 規格(IS010816-1:1995)を採用する。

### 【解説】

図 2-14 に示すとおり、設備劣化診断においては、振動センサーモニタリング技術とタブレット点検技術で収集、蓄積したデータをグラフ表示・可視化し、その傾向から劣化傾向の簡易診断を実施して精密診断の要否を判断する。なお、主として振動センサーのモニタリングデータ技術の可視化情報から簡易診断を実施し、タブレット点検技術の点検情報は、必要に応じて振動センサーのモニタリングデータの補完情報として利用する。

加えて、設備劣化予測技術(§10 参照)と合わせて、設備劣化の簡易診断情報を中長期保全計画に反映し、改築対象となる設備の選定や改築実施要否の判断の一助とする。中長期保全計画に反映の運用方法については、§30 を参照されたい。

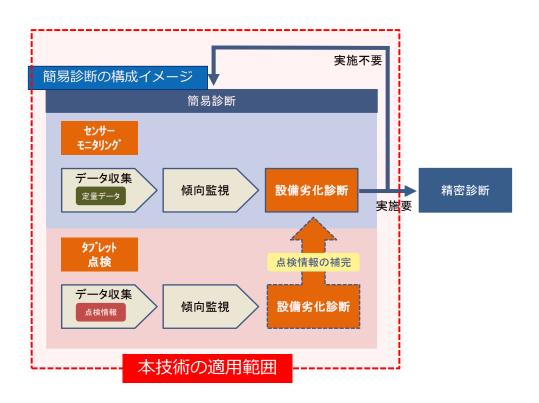


図 2-14 設備劣化診断技術の構成イメージ

図 2-15 に振動センサーモニタリング技術とタブレット点検技術のグラフ表示例を示す。センサーモニタリング技術のグラフ表示例は、振動センサーから収集、蓄積したデータを処理し、振動速度値の ISO 絶対判定基準(IS010816-1:1995)とともにグラフ表示している(§30 参照)。一方、タブレット点検技術のグラフ表示例は、触診による日常点検結果の定性情報をプロットして、グラフ表示している。

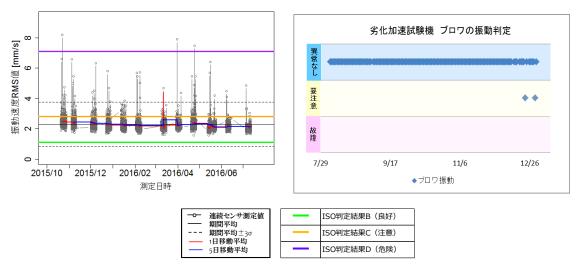


図 2-15 振動センサーモニタリング技術 (左図)・タブレット点検技術 (右図) グラフ表示例

### (1)振動センサーモニタリング技術

図 2-16 の振動センサーモニタリング技術のグラフ例に示すとおり、振動センサーで収集したモニタリングデータには、設備停止時のデータや複数の設備が同時運転した際の共振データ等が含まれる。そのため、不要データ除去のデータ処理を行ったモニタリングデータについて、その傾向をグラフ表示により可視化する(不要データ除去のデータ処理は**§ 30** 参照)。

可視化した振動モニタリングデータからの精密診断要否の判断は、A 判定(優良)、および B 判定(良好)の場合は監視を継続し、C 判定(注意)の場合に劣化予測(§10 参照)を行い、D 判定(危険)の到達時期を予測することで実施する。なお、A 判定(優良)、B 判定(良好)、C 判定(注意)、および D 判定(危険)は、ISO10816-1:1995 で規定されている振動速度しきい値による絶対判定基準に基づいている。

ただし、劣化傾向の簡易診断において、地方公共団体等の下水道事業者が既に保有する判定基準を本技術で収集・蓄積・表示したデータに適用することも可能である。

なお、下水道施設の機械設備には、IS010816-1:1995 で規定されている絶対判定基準の C 判定(注意)や D 判定(危険)に相当する、元々振動値の高い設備が存在する。それらの設備はメーカに問題ないこと確認し、運用を継続することになる。運用の詳細については § 30 を参照されたい。

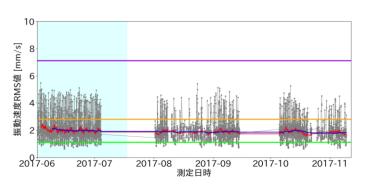




図 2-16 センサーモニタリング技術のグラフ例

### (2)タブレット点検技術

タブレット点検技術で収集した点検日毎の点検帳票データを集計し、現場計器の読み 値等の定量データも五感判定等の定性データもグラフ表示により可視化する。

図 2-17 にタブレット点検技術のグラフ例を示す。左側のグラフ例は定量データである 軸受温度の推移である。点検時に軸受温度を放射温度計で手測定した値が記録されるが、 点検日毎の帳票に個別に記録された数値が連続したグラフ表示されている。また、右側の グラフ例は定性データである触診による振動判定の推移である。点検時の触診による判 定結果(異常なし/要注意/故障)が記録されるが、点検日毎の帳票に個別に記録されたが 連続した判定結果がグラフ表示されている。

なお、図 2-18 に示すとおり、実証研究においてはセンサーモニタリング技術の方が、 タブレット点検技術よりも多くの情報を収集できることから、より正確かつ早期に劣化 傾向を把握できる結果となっている。従い、タブレット点検技術の点検情報は、設備のメ ンテナンス記録や現場指示計の読み値等を必要に応じて振動センサーのモニタリングデ ータの補完情報として利用する。





図 2-17 タブレット点検のグラフ例

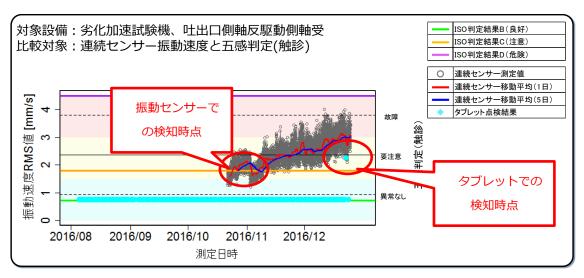


図 2-18 センサーモニタリング技術とタブレット点検技術の劣化傾向検知の比較

### (3)振動速度値判定に係る ISO 規格

振動測定データを判定する基準については、ISO 規格をはじめ数多く存在するが、常時連続測定振動データの蓄積データを活用した劣化診断および劣化予測の判断基準を明確化するため、本技術による設備劣化簡易診断においては、『下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015版-』に採用されている ISO10816-1:1995 を用いて判定することを基本とした。なお、ISO10816 改訂規格の適用も許容するが、ISO 規格の特徴を理解した上で適用することが望ましく、導入団体の基準に基づき柔軟に適用可能である。

本設備劣化診断技術は、従来技術である手測定による振動測定と紙帳票による点検情報 の組み合わせによる診断技術と比較し、以下のメリットがあることが実証研究において確 認された。

- ①設備停止時や他号機運転時の振動値を排除した、同一運転条件における傾向管理が容易
- ②振動測定データが増えることで診断の精度が向上
- ③データ集計・可視化作業の省力化が可能

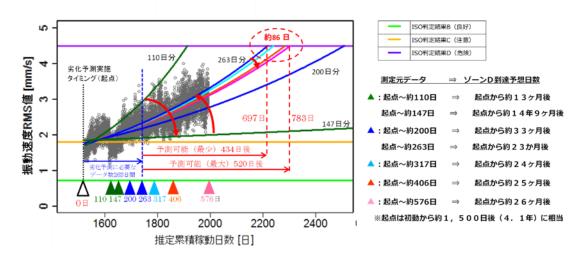
### § 10 設備劣化予測技術の概要と特徴

設備劣化予測は、センサーモニタリングで収集、蓄積し、設備劣化診断技術でのデータ 処理後のデータに、指数近似曲線を用いて設備が異常状態に到達する時期を予測する技術 である。

設備劣化診断技術で可視化したデータと合わせて、中長期の設備保全計画策定のための情報を提供することで、効率的なストックマネジメントの実施が可能となる。

### 【解説】

図 2-19 に示すとおり、設備劣化予測においては、センサーモニタリング技術で収集、蓄積し、設備劣化診断技術(§9 参照)でのデータ処理後のデータを使用し、指数近似曲線を用いて設備が異常状態である D 判定(危険)に到達する時期を予測する。設備劣化診断技術で可視化したデータと合わせて、精密診断の要否を判断する。加えて、設備劣化の簡易診断情報を中長期保全計画に反映し、保全対象となる設備の選定や保全実施要否の判断の一助とする。中長期保全計画に反映の運用方法については、§30 を参照されたい。



- ・予測に必要なデータ日数:9カ月以上
- ・予測期間の精度:ゾーンD到達時期を約3ヶ月の範囲で予想できる可能性あり
- ・劣化予測に必要な最低測定周期:1日1回程度

### 図 2-19 実証研究における設備劣化予測結果

実証研究においては、劣化加速試験機の連続モニタリングデータについて1日1回以上、9ヵ月間以上にわたって収集したものを使用し、指数近似曲線を用いて劣化予測を実施した。その結果、約2年後に設備劣化傾向がD判定(危険)に到達する時期を、約3ヵ月間の範囲に絞り込むことができた。一方、約200日間未満の連続モニタリングデータを用いた設備劣化予測では、D判定に到達する時期にばらつきが生じ、設備劣化予測で取得すべきデータとして不十分であることを示唆する結果となった。

従って、指数近似による劣化予測曲線制定処理は、振動測定データのC判定(注意)を超えるところを目安に起点を設定し、9ヵ月間以上のデータを用いて行う。本技術は、中長期保全計画立案年度に設備劣化予測を実施し、保全対象となる設備の選定判断の一助とすることを想定しており、年単位での判断を前提としていることから、運用には支障のない精度である。

#### 第2節 技術の適用条件

#### § 11 適用範囲

本技術の適用条件、適用対象施設は次の通りである。

## 適用条件

振動センサーモニタリング技術は、陸上設置の中速回転設備(600rpm 超)に適用する 技術である。次の設備には適用できない。

- ・汚泥掻き寄せ機等の低速回転設備
- ・水中ポンプ等の軸受が水中にある設備
- ・ターボ送風機等の金属筐体で覆われ無線通信に適さない設備
- ・汚泥脱水機等の補機類の組み合わせで作動する設備
- ・ガスタービン等の高性能な振動測定器が必要な高速回転設備

タブレット点検技術は、全ての設備に適用可能である。

#### 【解説】

振動センサーモニタリング技術は、振動速度値により設備劣化傾向を簡易診断するため、 陸上設置の中速回転設備(600rpm 超)に適用する技術である。従って、振動速度値が適用で きない汚泥掻き寄せ機等の低速回転設備や、振動センサーを設置できない水中ポンプ等の 軸受が水中にある設備には適用できない。

また、振動センサーが取得した計測値を無線通信にて送信するため、無線電波が届かない ターボ送風機等の金属筐体で覆われる設備には適用できない。その他、汚泥脱水機等につい ては付属の補機単体の診断は可能であるが、汚泥脱水機等の設備全体の劣化は判断できな いため適用できず、ガスタービン等は簡易診断可能な範囲を超える高速回転の設備である ことから、高性能な振動測定器が必要な高速回転設備にも適用できない。

タブレット点検技術は、全ての設備に適用可能である。

タブレット点検技術も携帯電話網等の無線通信にて入力したデータを送信するが、一時的にタブレット端末内に入力データを記憶し、電波状況が良好な場所で送信する機能を利用して運用することが可能である。

なお、本技術は、水質・水量・処理方式に依存することがないため、全ての処理場・ポンプ場施設に適用可能である。

#### § 12 推奨条件

本技術の導入効果および導入コストを鑑み、以下の推奨条件を示す。

- ・精密診断の費用を多く要している施設
- ・設備の故障頻度が多い施設
- ・巡回点検箇所が多く帳票集計作業に時間を要する施設
- ・クラウドサーバ及び場内通信環境の整備が可能である施設(必須)

# 【解説】

本技術は、水質・水量・処理方式に依存することがないため、全ての下水道施設に適用可能であるが、導入効果および導入コストを鑑み、次の施設への適用を推奨する。

- ・精密診断の費用を多く要している施設
- ・設備の故障頻度が多い施設
- ・巡回点検箇所が多く帳票集計作業に時間を要する施設

本技術は、設備簡易診断結果に応じて精密診断の実施頻度を低減できる可能性があることから、精密診断の費用を多く要している施設への適用を推奨する。また、振動値異常の自動通報により故障停止を未然に防止できること、タブレット点検技術によりデータ入力作業量が低減できることから、設備の故障頻度が多い施設や巡回点検箇所が多く帳票集計作業に時間を要する施設への導入を推奨する。代表的なものとしては、汚水ポンプやブロワが該当すると考えられる。

なお、クラウドサーバ及び場内通信環境の整備が可能であることは必須条件となる。

それぞれの導入効果および導入コストの詳細については**資料編第5節導入効果の検討例**を参照されたい。

## § 13 導入シナリオ例

本技術が導入される典型的なケースとして、二つのシナリオ例を示す。

- (1) 本技術を単独で導入して、ストックマネジメントの効率化を図る場合
- (2)維持管理業務委託にて本技術を導入して、総合的な業務の効率化を図る場合

#### 【解説】

本技術の導入が有効と考えられる典型的なシナリオ例を以下の(1)~(2)に示す。

(1) 本技術を単独で導入して、ストックマネジメントの効率化を図る場合

既に稼働している下水処理場においては、本技術を導入することでストックマネジメントの効率的な実施が可能となる。本技術は、既設設備を改造することなく導入が可能であるため、他の工事に影響なく、短い工期で導入することが可能である。主に地方公共団体職員の目線から、ストックマネジメントの精度を高めることを目的とした導入が想定される。

(2)維持管理業務にて本技術を導入して、ストックマネジメントの効率化を図る場合 稼働中の下水処理場において、新たに維持管理業務を外部に委託する際、または維持管 理業務委託の更新の際に、合わせて本技術を導入することでストックマネジメントの効率 的な実施が可能となる。この場合、維持管理業務におけるデータ蓄積にも活用すること で、総合的な業務の効率化を図ることが可能である。主に維持管理業務委託業者の目線か ら、機器点検に係る作業量・時間の低減を目的とした導入が想定される。

#### 第3節 実証研究に基づく評価の概要

#### § 14 技術の評価項目

実証研究における本技術の評価項目を以下に示す。

- (1) 設備信頼性向上により故障を予防することによる損害低減効果
- (2) 設備補修点検周期の延伸によるコスト縮減効果
- (3) 劣化診断の効率化による作業量・時間の低減効果
- (4) 劣化診断の高度化による計測誤差低減、劣化診断及び劣化予測の精度向上効果
- (5) モニタリングデータ蓄積による劣化診断及び劣化予測の精度向上効果
- (6) 実証設備の設置環境下における劣化及び耐久性に関する調査(分解調査)
- (7)経費回収年による導入効果

#### 【解説】

実証研究における本技術の評価項目とその概要は、次の通りである。

(1) 設備信頼性向上により故障を予防することによる損害低減効果

故障予防による故障対応費標準値からの低減効果の試算方法を確立し、自治体へのアンケート結果に基づく故障対応費標準値データから、本技術適用による損害低減効果を試算した。

(2) 設備補修点検周期の延伸によるコスト縮減効果

設備補修点検周期の延伸による標準値コスト縮減効果からの経費回収年の試算方法を確立し、自治体アンケート結果に基づく標準値データから、設備補修点検周期の延伸倍数を 仮定して本技術適用による経費回収年を試算した。

(3) 劣化診断の効率化による作業量・時間の低減効果

センサーモニタリング技術導入による作業量・時間の低減効果について、従来技術である 手測定を年1回(実証フィールド対象設備での実績)実施した場合の作業時間から試算した。 また、劣化予測に必要な振動測定周期から、その最低測定周期で手測定を行った場合にかか る作業時間および換算費用を算出した。

タブレット点検技術導入による作業量・時間の低減効果について、従来技術である紙帳票 への記録とデータ再入力の合計時間と比較し試算した。

(4) 劣化診断の高度化による計測誤差低減、劣化診断及び劣化予測の精度向上効果

センサーモニタリング技術は、連続センサーの計測誤差や振動センサー設置位置について、手測定による測定値と比較し、評価した。また、連続センサー測定値に含まれる不要データ(他号機運転時のデータ等)の除去と移動平均処理によるグラフ表示方法および劣化予

測処理方法を確立し、評価した。

また、タブレット点検技術は、タブレット端末を使用することによる副次的な効果を定性的に整理した。

(5) モニタリングデータ蓄積よる劣化診断及び劣化予測の精度向上効果

実証フィールド設備に連続センサーを設置して、継続して四季を通じたデータを取得し、評価した。また、下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015年版-下での適用対象設備を選定する判定フローや、中長期の保全計画策定時おける保全対象設備の選定フロー、劣化状態を判定する ISO 規格を整理し、評価した。

(6) 実証設備の設置環境下における劣化及び耐久性に関する調査(分解調査) 実証フィールド設備に設置した連続センサーを分解調査し、評価した。

# (7)経費回収年による導入効果

本技術の導入効果(**§6技術全体の概要と特徴**参照)である突発故障の未然防止、補修点 検周期の延伸、精密診断の回避、点検データ入力時間縮減等による費用縮減効果から、本技 術導入による建設費および維持管理費の費用回収年を試算し、評価した。なお、タブレット 端末利用による利便性の向上についてはあくまで副次的な効果であり、試算には含めず定 性的な評価とした。

# § 15 技術の評価結果

実証研究における本技術の評価結果を以下に示す。

- (1) 設備信頼性向上により故障を予防することによる損害低減効果
- (2) 設備補修点検周期の延伸によるコスト縮減効果
- (3) 劣化診断の効率化による作業量・時間の低減効果
- (4) 劣化診断の高度化による計測誤差低減、劣化診断及び劣化予測の精度向上効果
- (5) モニタリングデータ蓄積よる劣化診断及び劣化予測の精度向上効果
- (6) 実証設備の設置環境下における劣化及び耐久性に関する調査(分解調査)
- (7)経費回収年による導入効果

# 【解説】

実証研究における本技術の評価結果を表 2-3~表 2-8 に示す。なお、表中の(1)~(7)は上記の評価結果番号に対応する。

# 表 2-3 評価結果一覧(センサーモニタリング技術・タブレット点検技術)

| 技術         | 評価項目                     | 評価指標          | 評価方法                                 | 目標値                        | 評価結果                                       |
|------------|--------------------------|---------------|--------------------------------------|----------------------------|--|
|            | (3)劣化診断<br>の効率化          | 作業量・<br>時間の低減 | 実証フィールドでの従来<br>技術を代替した場合の<br>作業時間を測定 | 振動計測に係る100%の作<br>業時間低減     | 振動計測に係る100%<br>の作業時間低減→年間<br>約10.5時間(14設備) |
|            | (4)劣化診断<br>の高度化          | 計測誤差低減        | 手測定による測定値と<br>の比較                    | 手測定による測定値との一致<br>(±10%以内)  | 手測定による測定値との<br>一致(±10%以内)                  |
| センサーモニタリング | 下水処理場へ                   | 適用範囲・         | 機械設備への適用範                            | ポンプ・送風機の機種別セン<br>サー設置可否の提示 | 水中軸受以外の設備に<br>設置可能                         |
|            | の適用性                     | 適用条件          | 囲を確認                                 | センサー設置面条件の提示               | サイズ・温度条件・設置<br>位置・固定方法を整理                  |
|            | (6)設置環境<br>下での耐久性        | 劣化<br>耐久性     | 設置センサー内部の分解調査により腐食等を確認               | センサー内部劣化なし<br>5年程度の耐久性保有   | センサー内部劣化なし                                 |
| タブレット      | (3)劣化診断<br>の効率化          | 作業量·<br>時間低減  | 実証フィールドでの従来<br>技術を代替した場合の<br>作業時間を測定 | 10%程度の作業時間低減               | 平均10%の作業時間<br>低減                           |
| 点検         | (4)劣化診断 精度向上 タブレット点検導入効果 |               | タブレット端末利用による副<br>次的効果を整理             | 遠隔監視、図面管理、ビ<br>デオ通話の効果を整理  |  |

# 表 2-4 評価結果一覧(設備劣化簡易診断 1/5)

| 技術         | 評価項目    | 評価指標                          | 評価方法   | 目標値  | 評価結果                                     |
|------------|---------|-------------------------------|--|--|--|
|            |         | 国総研アンケート結果<br>に基づく低減効果を試<br>算 | 損害低減率試算方法の確<br>立とその方法による試算                       | 故障対応費標準値からの<br>試算方法確立→0.06~<br>0.51%の低減率     |  |
| 設備劣化       | ᄼᅧᄼᆉᄧᅙᆉ | 1)故障予防 損害低減                   | 劣化加速試験機・実<br>証フィールド既設設備の<br>故障対応標準値から低<br>減効果を試算 | 国総研アンケート結果に基<br>づく試算相当の損害低減率                 | 劣化加速試験機の故障<br>対応標準値から試算<br>→0.10%の低減率    |
| 簡易診断 (1/5) | (1)故牌才的 |                               | 突発故障発生前の振動値推移から故障検知<br>への適用可否を検証                 | センサ最小測定周期(10分)にて突発故障発生前の振動値上昇を検知し、突発故障への適用可能 | 突発故障発生20-60分前の振動値上昇を検知し、<br>突発故障への適用可能   |
|            |         |                               | 故障検知への適用による定性的な効果を整理                             | 突発故障未然防止によるメ<br>リットを整理                       | 復旧対応の迅速化・施設<br>管理の相対的な信頼性向<br>上等のメリットを整理 |

# 表 2-5 評価結果一覧(設備劣化簡易診断 2/5)

| 技術                    | 評価項目                   | 評価指標  | 評価方法                                 | 目標値                                  | 評価結果   |
|-----------------------|------------------------|-------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
|                       |                        |       | 国総研アンケート結果に<br>基づく縮減効果を試算            | 経費回収年の試算方法の<br>確立とその方法による試算          | 延伸倍数(仮定)における標準値コスト縮減効果より経<br>費回収年の試算方法確立<br>延伸1.1倍で経費回収年<br>8.5年 |
| 設備劣化<br>簡易診断<br>(2/5) | (2)設備補修<br>点検周期の<br>延伸 | コスト縮減 | 劣化加速試験機・実証フィールド既設設備の故障対応標準値から縮減効果を試算 | オーバーホール周期延伸倍数の可能性とそのコスト縮減率の提示        | 劣化加速試験機のオーバホール費から延伸2倍の可能性があり試算→約50%のコスト縮減率                       |
|                       |                        |       | 補修周期を延伸した場<br>合のリスクを整理               | メーカ推奨補修周期を延伸<br>した場合に想定されるリスク<br>を整理 | 故障発生確率増大等のリ<br>スクを整理   |

# 表 2-6 評価結果一覧(設備劣化簡易診断 3/5)

| 技術       | 評価項目             | 評価指標                                   | 評価方法  | 目標値  | 評価結果  |
|----------|------------------|--|---|--|---|
|          |                  |  | センサーモニタリング蓄積<br>データによる設備劣化簡易<br>診断用の情報可視化   | 不要データ除去処理方<br>法と移動平均処理方法<br>の確立              | 不要データ除去処理方<br>法と移動平均処理方法を<br>確立                   |
| 設備劣化簡易診断 | 1 (/1)2/3/F=%/kF | タブレット点検蓄積データに<br>よる設備劣化簡易診断用<br>の情報可視化 | 日毎の蓄積データのグラ<br>フ表示方法の確立                     | 日毎の蓄積データのグラフ<br>表示方法を確立                      |   |
| (3/5)    | の高度化             | 精度向上                                   | 劣化加速試験機のセンサー<br>モニタリング蓄積データから劣<br>化予測の精度を確認 | 劣化予測情報の可視<br>化と目安となる予測精<br>度の評価              | 1パターンによる劣化予<br>測情報の可視化と予測精<br>度 <sup>※1</sup> を確認 |
|          |                  |  | 精密診断により設備劣化<br>簡易診断結果を検証                    | 簡易診断結果がAE診<br>断 <sup>※2</sup> 結果の劣化状態と<br>同等 | 簡易診断結果がAE診断<br>結果の劣化状態と同等を<br>確認                  |

<sup>※1</sup>しきい値到達予測時期の幅と予測に必要なモニタリングデータ日数を1つの試験パターンで確認

# 表 2-7 評価結果一覧(設備劣化簡易診断 4/5)

| 技術                    | 評価項目                  | 評価指標 | 評価方法  | 目標値                                     | 評価結果  |
|-----------------------|-----------------------|------|---|---|---|
|                       |                       |      | 実証フィールド既設設備の<br>センサーモニタリング蓄積データによる設備劣化簡易診断<br>用の情報可視化 | 通年での可視化の確認                              | 通年での可視化可能   |
|                       |                       |      | タブレット点検蓄積データに<br>よる設備劣化簡易診断用<br>補完情報の確認               | 補完情報項目と補完<br>方法の確立                      | 2項目の補完情報可能<br>性発現   |
| 設備劣化<br>簡易診断<br>(4/5) | (5)モニタリング 精度向上 データの蓄積 | 精度向上 | 実証フィールドの設備において、ISO規格による絶対判<br>定基準が適用可能な割合を整理          | 振動速度値がISO規格の優良・良好ゾーンである割合を整理            | 86%の設備が優良・良<br>好ゾーンにて絶対判定基<br>準適用可能(14%が注<br>意・危険ゾーン)         |
| (4/3)                 |                       |      | 判定基準に適用するISO<br>規格の整理                                 | 絶対判定基準ISO規格の整理と絶対判定基<br>準適用不可の設備管理方法を整理 | ISO10816-1:1995と<br>関連ISO規格の整理<br>注意・危険ゾーンにある設<br>備の管理方法をフロー化 |
|                       |                       |      | 振動値が変化している既設<br>設備の要因追跡調査                             | 流量・圧力等のプロセス<br>値変化との関連を確認               | プロセス値により振動値も変化と推測設備の劣化進行に伴い振動値の上昇傾向が顕著化                       |

<sup>※2</sup>アコースティック・エミッション(Acoustic Emission, AE)とは、材料が変形あるいは破壊する際に、内部に蓄えていた 弾性エネルギーを音波(弾性波、AE波)として検出する精密診断方法

表 2-8 評価結果一覧(設備劣化簡易診断 5/5・全体効果)

| 技術                    | 評価項目            | 評価指標          | 評価方法                                  | 目標値  | 評価結果   |
|-----------------------|-----------------|---------------|---------------------------------------|--|--|
|                       | (3)劣化診断<br>の効率化 | 作業量・<br>時間の低減 | 劣化予測曲線制定に必要<br>な最低測定周期を確認             | 従来技術(手測定)による本技術の代替可否を<br>評価                  | 1日1回程度の計測が<br>必要で従来技術では代替<br>は現実的ではない                |
|                       |                 |               | 普及展開に向けた建設費・<br>維持管理費用の確認             | 導入モデルケースの策定<br>と費用関数の整理                      | 処理量別導入モデルケー<br>ス <sup>※1</sup> を策定し、費用関数<br>を整理      |
| 設備劣化<br>簡易診断<br>(5/5) | 下水処理場へ          | 適用範囲・         | 本技術適用にあたり適用対<br>象設備の選定フローを整理          | ストマネガイドラインに<br>沿った選定フローの整理                   | 選定フローの整理<br>実証フィールドでの適用例<br>として14設備を抽出               |
| (3/3)                 | の適用性            | 適用条件          | 本技術適用にあたり設備劣<br>化簡易診断タイミングとフ<br>ローを整理 | 保全に係る中期計画・<br>次年度計画における対<br>象設備の選定フローを<br>整理 | 中期計画(5年間)・夕刊<br>年度・次年度計画(翌年)<br>における対象設備選定フ<br>ローを整理 |
|                       |                 |               | 本技術適用にあたり突発故<br>障検知時の緊急連絡フロー<br>を整理   | 維持管理会社が運転<br>管理を受託する場合の<br>緊急連絡フローを整理        | 本実証研究での連絡フローに即して緊急連絡フローを整理                           |
| 全体効果                  | (7)費用           | 経費回収年         | 処理量別導入モデルケース<br>における経費回収年の検討          | 5年程度   | 5年程度を確認  |

#### (1) 設備信頼性向上により故障を予防することによる損害低減効果

全国 55 下水処理場へのアンケート結果の故障対応費から、実証フィールドにおける工事 履歴調査による低減効果を勘案し、本技術適用による損害低減効果を汚水ポンプ 0.51%、 曝気ブロワ 0.26%と試算した。(**資料編第 5 節導入効果の検討例** p137 参照)

また、実証研究の結果からは、突発故障による設備停止の20分から60分前に事前検知しており、突発故障の未然防止の可能性があるとされた。

#### (2) 設備補修点検周期の延伸によるコスト縮減効果

全国 55 下水処理場へのアンケート結果の標準値データから、設備補修点検周期の延伸倍数 1.1 倍と仮定し、本技術適用による経費回収年をそれぞれ、8.5 年と試算した。

#### (3) 劣化診断の効率化による作業量・時間の低減効果

センサーモニタリング技術導入による作業量・時間の低減効果について、従来技術である 手測定を年1回(実証フィールド対象設備での実績)実施した場合の作業時間から10.5時間 と試算した。また、劣化予測に必要な振動測定周期は最低1日1回と推定され、その最低測 定周期で手測定を行った場合にかかる作業時間および換算費用は年間それぞれ、1,200時間 および300万円程度と試算した。

タブレット点検技術導入による作業量・時間の低減効果について、従来技術である紙帳票への記録とデータ再入力の合計時間と比較し、約10%の効果と試算した。

- (4) 劣化診断の高度化による計測誤差低減、劣化診断及び劣化予測の精度向上効果
  - ・センサーモニタリング技術の計測誤差について、手測定による測定値と一致(誤差±10%以内)することを確認した。
  - ・振動センサーの設置位置について、手測定値との比較により、軸受けに接する部材上の できるだけ軸受の直近に設置することを確認した。
  - ・連続センサー測定値に含まれる不要データ(他号機運転時のデータ等)の除去と移動平 均処理によるグラフ表示方法および指数近似曲線を用いた劣化予測処理方法を確立し た。
  - ・設備が異常状態である D 判定(危険)に到達する時期を 3 ヶ月半程度の時間幅で予測可能であると確認した。
  - ・簡易診断結果から得られた設備の劣化状態の判断は振動データに基づくものであるが、 精密診断や分解調査により設備の劣化状態を評価した結果、簡易診断結果と同等であ り、簡易診断結果に信頼性があることを確認した。
  - ・タブレット点検技術について、タブレット端末を使用することによる定性的な副次的な効果を確認した(図 2-20)。

| 機能名   | 効果   |
|-------|--|
| 遠隔監視  | 施設の運転データをタブレット端末で参照することで、中央管理室オペレーターとの情報共有や現地での運用状況の把握が可能となる |
| 図面管理  | 電子データ化した図面や取扱説明書にサーバに保存することで、現地で閲覧するなどペーパーレス管理が可能となる         |
| ビデオ通話 | タブレット端末を介して、音声や映像によりリアルタイムに遠隔地との情報共有が可能となる                   |
| 遠隔監視  |  |

図 2-20 タブレット点端末利用による副次的効果

# (5) モニタリングデータ蓄積よる劣化診断及び劣化予測の精度向上効果

実証フィールド設備に連続センサーを設置して、4年3ヵ月(1,561日)間継続して四季を通じたデータを取得し、通年で設備劣化簡易診断情報として可視化可能であることを確認した。また、簡易診断結果から得られた劣化状態の判断について精密診断や分解調査により評価した結果、簡易診断結果と同等であることを確認した。

これらの結果から、劣化簡易診断による判断に信頼性があると確認された。これに伴い後段の導入検討にて、センサー設置の適用対象設備を選定する判定フロー(図 2-21)や、中長期の保全計画策定時における保全対象設備の選定フロー(図 2-22)を適用するものとする。なお、本技術の振動速度値の判定基準は、下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドラインに例示されている ISO 規格(ISO10816-1:1995)を採用することとした。

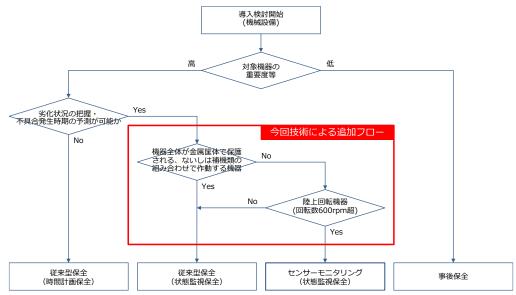


図 2-21 適用対象設備の選定フロー

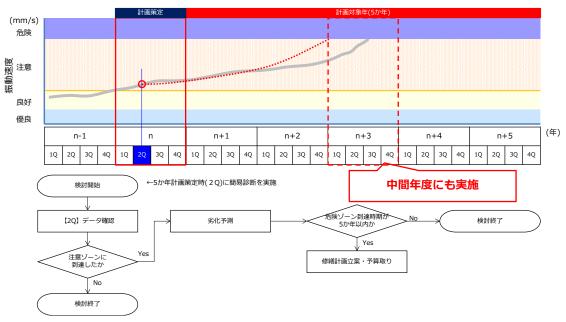


図 2-22 保全対象設備の選定フロー

#### (6) 実証設備の設置環境下における劣化及び耐久性に関する調査(分解調査)

4年3ヶ月(1,561日)間実証フィールド設備に設置した連続センサーを分解調査し、劣化が認められないことを確認した。

# (7)経費回収年による導入効果

本技術の導入効果である精密診断の回避、突発故障の未然防止、点検データ入力時間縮減による費用縮減効果から、本技術導入による建設費および維持管理費の費用回収年を試算し、表 2-9の通り、減価償却資産(電子機器)の耐用年数である5年程度であることを確認した。

表 2-9 処理規模別の経費回収年

| 処理規模     | 対象機器<br>(台数)         | 建設費<br>(千円) | 維持管理費 <sup>1)</sup> (千<br>円) | 導入効果 <sup>2)</sup><br>(千円) | 経費回収年<br>(年) |
|----------|----------------------|-------------|------------------------------|----------------------------|--------------|
| 1万m3/日   | 汚水ポンプ(4台)<br>ブロワ(4台) | 5,833       | 616                          | 1,955                      | 4.7          |
| 5万m3/日   | 汚水ポンプ(4台)<br>ブロワ(4台) | 5,833       | 616                          | 2,009                      | 4.5          |
| 10万 m3/日 | 汚水ポンプ(6台)<br>ブロワ(5台) | 7,493       | 696                          | 2,102                      | 5.9          |

<sup>| 1)</sup> 維持管理費には、センサーモニタリング技術が提供する付属するサービスにデータ分析費用を付加した。対象機器台数(センサー設置数)によりデータ量が異なることから、8台の場合で100千円/年に設定した。

[注]1万m3/日、5万m3/日で対象機器数が同数でも導入効果額が違う ~故障対応費の算出において、劣化起因の故障対応標準費が1万m3/日よりも5万m3/日規模の方が高いため

なお、クラウドサーバに蓄積されたデータを集計し、そのレポートを利用者に提供するサービス等を設備の簡易劣化診断情報として活用している。振動モニタリングレポート例は 図 2-10 を参照されたい。

<sup>2)</sup> 導入効果には精密測定の回避、故障対応費の低減、点検時間の削減効果が現れることで検討した。

# 第3章 導入検討 第1節 導入検討手法

# § 16 導入検討手順

本技術の導入にあたっては、適用対象を定め、導入効果の評価を行った上で、導入の是 非を判断する。

# 【解説】

本技術の導入検討にあたっては、図 3-1 に示される検討フローに従って、適用対象を定め、導入効果の概略試算を行い、導入の是非を判断する。

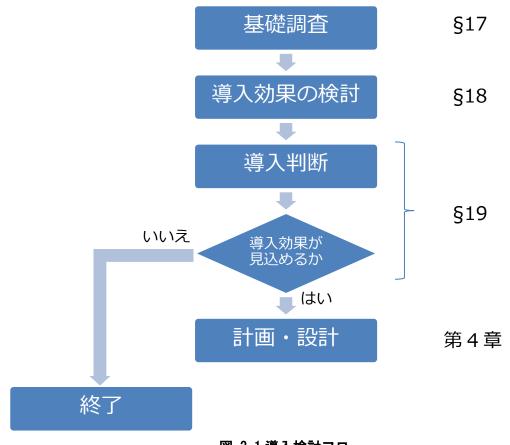
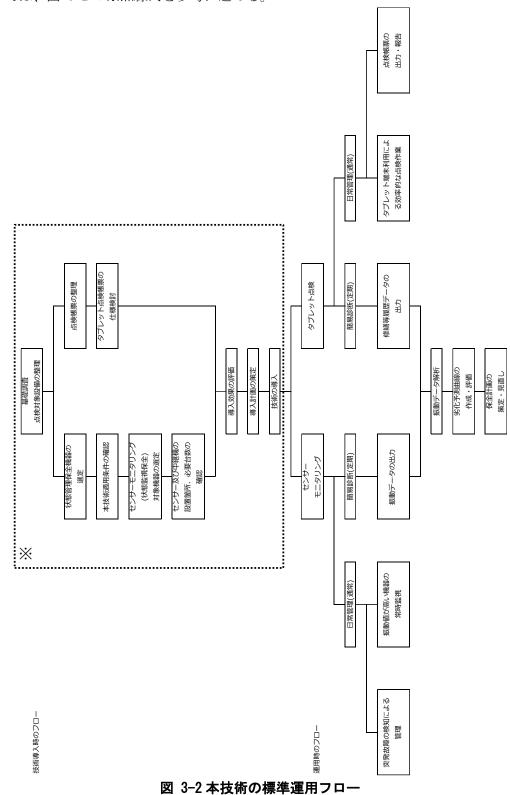


図 3-1 導入検討フロー

また、本技術の技術導入から、センサーモニタリング技術やタブレット点検技術の運用、保全計画での運用に亘る標準運用フローを図 3-2 に示す。本技術の導入検討~導入判断においては、図 3-2 の※点線内を参考に進める。



46

#### § 17 基礎調査

本技術の基礎調査として、設備の管理方法を確認し、対象設備を選定する。

(1)設備の管理方法の確認

下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015 年版-における 設備の管理方法の考え方に準じ、予防保全・状態監視保全の設備を対象とする。

(2)対象設備の選定

対象設備は、設備の重要度や劣化状況の把握の可否、制約条件を考慮して選定する。

(3) 適用条件

第2章第2節を参照する。

#### 【解説】

## (1) 設備の管理方法の確認

設備の管理方法には、予防保全と事後保全がある。予防保全は、寿命を予測し異常や故障に至る前に対策を実施する管理方法であり、処理機能への影響が大きい等、重要度の高い設備に適用する。一方、事後保全は、異常や故障の発生後に対策を行う管理方法で、重要度の低い設備に適用する。本技術は予防保全の設備を対象としており、事後保全の設備は対象外である。

重要度の高い設備であり、劣化状況の把握が可能な設備の観点からは、汚水ポンプや送風機等の主要機器を対象とすることが望ましい。表 3-1 に管理方法の考え方の例を示す。

# (2)対象設備の選定

本技術は、下水道施設における機械設備の軸受を対象に劣化診断する技術であることから、ポンプや送風機など、回転機器の機械設備を対象とする。対象設備は、設備の重要度や 劣化状況の把握の可否、制約条件を考慮して選定する。

対象設備の選定例として、実証フィールドにおける選定フローを図 3-3 に示す。実証フィールドでは、全1,011 設備のうち、改築通知(水道施設の改築について(平成28.4.1 国水下事第109号下水道事業課長通知))の大中小分類表から機械設備(小分類)の399点を抽出し、フローに沿って設備の重要度や劣化状況の把握の可否、制約条件を検討し、14 設備を選定している。

表 3-1 管理方法の考え方の例

|     | 予防              | 方保全       | 事後保全            |
|-----|-----------------|-----------|-----------------|
|     | 状態監視保全          | 時間計画保全    | 争饭 床土           |
| 管理  | 設備の状態に応じて       | 一定周期毎に対策を | 機能低下等の異常検知後や故障発 |
| 方法  | 対策を行う           | 行う        | 生後に対策を行う        |
|     | ○重要度の高い設備       | 情に適用      | ○重要度の低い設備に適用    |
|     | ・処理機能への影響の大きい設備 |           | ・処理機能への影響の小さい設備 |
| 適用  | ・予算への影響が大きい設備   |           | ・予算への影響が小さい設備 等 |
| 方法  | ・安全性の確保が必要な設備等  |           |                 |
|     | 劣化状況の把握が可       | 劣化状況の把握が不 | 重要度の高い設備であっても、予 |
|     | 能な設備に適用可能な設備に適用 |           | 備機で代替できる設備に適用   |
| 本技術 | 0               | _         |                 |

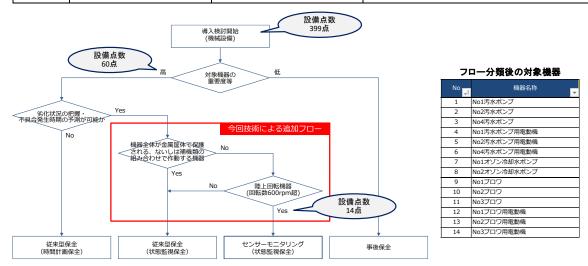


図 3-3 実証フィールドにおける対象設備の選定例

# (3) 適用条件

本技術の導入を検討する場合は、**第2章第2節技術の適用条件**に示した条件を満たしているか、もしくは将来的に満たす可能性があるかを確認する。適用条件を満たさない場合は、本技術の適用が不可となるため、導入検討はここで終了となる。

### § 18 導入効果の検討

本技術の導入により期待される、損害低減効果、コスト縮減効果、作業量低減効果、精 密診断の回避効果等を試算して評価する。または、FS 簡易シート等を活用し、導入効果の 概略検討、詳細検討により評価する。

#### 【解説】

本技術の導入効果 (§14 における(1)損害低減効果、(2)コスト縮減効果、(3)作業量低減効果等)を算出する。これらの効果と本技術の導入に要する費用(建設費・維持管理費)から経費回収年を勘案して事業性を評価する。

なお、効果試算の事例は、資料編第5節導入効果の検討例を参照されたい。

## (1) 経費回収年例

処理規模1万m³/日、5万m³/日、10m³/日別の経費回収年例を表 3-2 に示す。

本例は、本技術の導入効果である精密診断の回避、突発故障の未然防止、点検データ入力時間縮減による費用縮減効果から、本技術導入による建設費および維持管理費の費用回収年を試算している。その結果、経費回収年は減価償却資産(電子機器)の耐用年数である5年程度となっている。

表 3-2 処理規模別の経費回収年例

| 処理規模     | 対象機器<br>(台数)         | 建設費<br>(千円) | 維持管理費 <sup>1)</sup> (千<br>円) | 導入効果 <sup>2)</sup><br>(千円) | 経費回収年<br>(年) |
|----------|----------------------|-------------|------------------------------|----------------------------|--------------|
| 1万m3/日   | 汚水ポンプ(4台)<br>ブロワ(4台) | 5,833       | 616                          | 1,955                      | 4.7          |
| 5万m3/日   | 汚水ポンプ(4台)<br>ブロワ(4台) | 5,833       | 616                          | 2,009                      | 4.5          |
| 10万 m3/日 | 汚水ポンプ(6台)<br>ブロワ(5台) | 7,493       | 696                          | 2,102                      | 5.9          |

<sup>1)</sup> 維持管理費には、センサーモニタリング技術が提供する付属するサービスにデータ分析費用を付加した。対象機器台数(センサー設置数)によりデータ量が異なることから、8台の場合で100千円/年に設定した。

[注]1万m3/日、5万m3/日で対象機器数が同数でも導入効果額が違う 〜故障対応費の算出において、劣化起因の故障対応標準費が1万m3/日よりも5万m3/日規模の方が高いため

なお、クラウドサーバに蓄積されたデータを集計し、そのレポートを利用者に提供するサービス等を設備の簡易劣化診断情報として活用している。振動モニタリングレポート例は 図 2-10 を参照されたい。

<sup>2)</sup> 導入効果には精密測定の回避、故障対応費の低減、点検時間の削減効果が現れることで検討した。

# (2) 簡易 FS シートの活用

本技術の導入を検討する際の簡易 FS シートを図 3-4 に示す。簡易 FS シートは、概略検討、詳細検討から構成され、経費回収年を試算できる。

簡易 FS シートは本ガイドラインと同様に、国土技術政策総合研究所の WEB サイト (http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/bdash/bdash.htm 令和 3 年 4 月 1 日時点) から入手可能である。

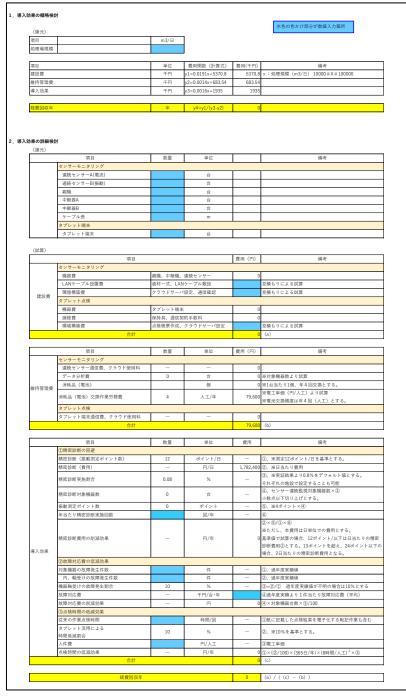


図 3-4 簡易 FS シート

#### (3) 簡易 FS シート活用による概略検討

実証研究にて整理した本技術の導入に要する費用(建設費・維持管理費)および導入効果について、処理場規模との費用関数を図 3-5 に示す。簡易 FS シートでは、処理場規模(m³/日)を入力することにより、本費用関数により経費回収年を自動的に試算される。

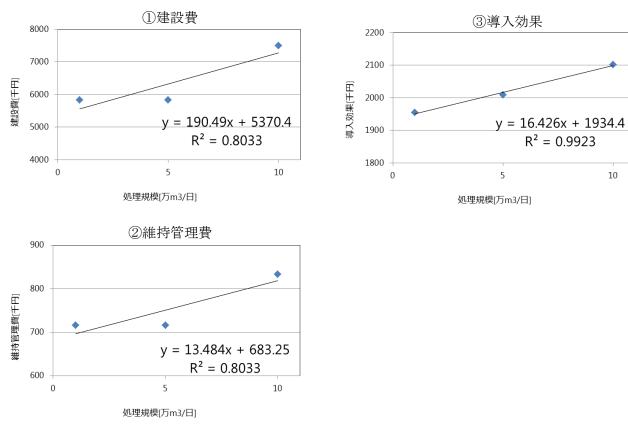


図 3-5 本技術導入に係る費用関数

#### (4) 簡易 FS シート活用による詳細検討

簡易 FS シート活用による詳細検討は、諸元、建設費の一部および導入効果の一部を入力することにより、経費回収年を自動的に試算される。

諸元では、連続センサーの設置台数、親機や中継機の台数、タブレット端末の台数および、必要に応じて LAN ケーブル長を入力する。建設費では、振動センサーモニタリング技術の環境構築費と必要に応じて LAN ケーブル設置費およびタブレット点検技術の環境構築費(クラウドサーバの設定費用やタブレット帳票作成費用)、それぞれの見積費用を入力する。また、導入効果では、年間の精密診断実施回数、振動センサー設置対象設備の故障発生件数と故障対応費および従来の点検作業時間と人件費を入力する。

なお、これらの数量の入力にあたっては、**資料編 5.4 精密診断の実施回避効果(処理** 規模 1 万m³/日の導入モデル施設)の例を参照されたい。

# § 19 導入判断

評価結果を踏まえて、本技術の適切な導入範囲について判断する。

# 【解説】

基礎調査(§17参照)により導入対象となる設備を選定し、導入効果の検討(§18参照)を行うことにより導入効果が見込める場合に、導入を進める意思決定を行う。

# 第4章 計画·設計 第1節 導入計画

# § 20 計画の手順

本技術の導入に関する計画は、以下の手順で実施する。

- (1)運用の検討
- (2)システム構成の検討
- (3) 導入効果の検証
- (4)導入計画の策定

# 【解説】

第3章導入検討において検討を行った結果、本技術の導入効果が見込まれると判断された場合には、導入計画を策定する、ここでは図 4-1 に示される検討フローに従って、運用の検討、システム構成の検討、導入効果の検証、導入計画の策定、の手順で検討を行う。



#### § 21 運用の検討

本技術の導入計画の策定にあたり、以下の項目について確認する。

- (1)資産の改築・更新及び維持管理に係る上位計画内における本技術の位置づけ
- (2)維持管理体制を踏まえた本技術の運用イメージ

#### 【解説】

本技術は長期的な運用を前提としたものであるため、関係者間で本技術を導入する必要性や意義が十分に共有されない場合、人事異動等で担当者が変わるたびに運用が疎かになり、導入から数年で陳腐化してしまう恐れがある。運用する当事者が変わっても十分に理解できるよう、本技術を導入する意図を明確にしておくことが肝要である。

(1) 資産の改築・更新及び維持管理に係る上位計画内における本技術の位置づけ

本技術の導入により、対象機器の連続モニタリングデータや劣化時期予測結果が得られるが、これらをどのように活用するかを明確にする。例えば図 2-3 のようなフローを示しつつ、「〇〇市ストックマネジメント計画において活用されるものであり、機器〇〇の点検・調査を行い、健全度算出のための情報の一部を点検結果として入手するところまでが、本技術の運用範囲である」等とし、上位計画との関係を整理する。

(2)維持管理体制を踏まえた本技術の運用イメージ

本技術を実際の点検で使用するイメージを明確にする。例えば、「機器〇〇の点検は維持管理体制上、これまで手作業で1年ないし数ヵ月に1回しか振動測定ができなかったが、本技術の導入により10分間隔で測定を行うこととする」「測定した振動データは〇〇期間おきに解析し〇〇の形態にまとめ保管する」「タブレット端末による現場での点検結果入力は、特に機器〇〇について効果が大きく、その測定頻度・人員から端末は〇台必要」等。本技術をどのように運用したいかを明確にしておくことで、後段のシステム検討や設計において、必要な機能が得られる導入計画となっているかを確認することができる。また、事前にこの運用イメージを実際の点検作業を行う当事者とも共有しておくと、より円滑な導入が期待できる。

# § 22 システム構成の検討

本技術の導入計画の策定にあたり、まず詳細調査を行うことにより、施設・設備の計画・現状等について把握する。

その後、システム構成に係る以下の項目について検討を行う。

- (1)連続センサー設置に関する検討
- (2) タブレット点検導入に関する検討

# 【解説】

**第3章導入検討**にて検討に必要な項目について調査を実施しているが、ここでは導入検 討時から導入計画時までの状況変化の確認を行うとともに、より詳細な調査を行う。

詳細調査項目を表 4-1 に示す

| 表 4-1 詳細調査項目 | 3 |
|--------------|---|
|--------------|---|

| 調査項目          | 手段        | 目的             |
|---------------|-----------|----------------|
| センサー設置対象設備の状況 | 振動測定結果、故障 | ・センサー設置対象設備の現在 |
|               | 報告書等      | の状況を確認する。      |
| 下水処理場の中期計画    | 計画書等      | ・当該下水処理場の中期計画と |
|               |           | して、修繕計画および期間を確 |
|               |           | 認する。           |

本技術の導入計画の策定にあたり、詳細調査の結果も踏まえ、システム構成に係る以下の項目について検討を行う。

- (1)連続センサー設置に関する検討
- (2) タブレット点検導入に関する検討

各項目について必要な検討内容を表 4-2 に示す。

# 表 4-2 システム構成の検討項目

| 検討項目            | 検討・確認内容                  |
|-----------------|--------------------------|
| (1)連続センサー設置に関する | ・対象機器ごとの設置台数、設置位置の検討     |
| 検討              | ・ネットワーク構成(親機・中継機の台数、有線ケー |
|                 | ブル長)の検討                  |
|                 | ・環境構築(クラウドサーバ設定)の検討      |
| (2)タブレット点検導入に関す | ・タブレット端末台数の検討            |
| る検討             | ・環境構築(クラウドサーバ設定、帳票作成)の検討 |

#### § 23 導入効果の検証

システム構成の検討に基づいて、導入効果について検討を行い、第3章第1節§16導入 効果の検討で試算した導入効果が得られるかについて検証する。

#### 【解説】

導入検討時に**§18 導入効果の検討**で簡易な方法による本技術の導入効果の検証を行ったが、ここでは**§22 システム構成の検討**で検討したシステム構成に基づいて、本技術の導入による各種コスト(建設費、維持管理費、導入効果)に基づいた経費回収年を算出し、十分な導入効果が得られるかについて検証する。

建設費については、検討したシステム構成に基づいて、より詳細に費用の積算を行う。 必要に応じてメーカへのヒヤリングを行い、試算精度を上げるようにする。維持管理費に ついては、検討したシステム構成に基づいて、発生することが予想される維持管理項目お よび必要な費用を算出する。導入効果についてはセンサー設置対象となる設備の保全計画 等から精密診断費用の見直しを行い、その精度を上げるようにする。

検討したシステム構成について、試算した結果から十分な導入効果(精密測定の実施回 避、故障対応費の縮減、点検作業時間の低減)が得られるかについて再度確認する。

# § 24 導入計画の策定

本技術の導入についての検討結果を、詳細調査、システム構成の検討、および導入効果の検証の各結果について導入計画書等として取りまとめる。

# 【解説】

導入効果が得られることが確認できた場合には、本技術の導入についての検討結果を導入計画書等として取りまとめる。

導入計画書としては、詳細調査(施設・設備の計画・現状等の把握)システム構成の検討を行った結果に加え、導入効果の検証結果を含めて取りまとめるものとする。

# 第2節 設計·導入

# § 25 振動センサーモニタリングの設計・導入

振動センサーモニタリングを導入するにあたり、以下の項目の設計を行う。

- (1)連続振動センサーの仕様
- (2)設置環境の調査
- (3)測定項目の選定
- (4)ネットワーク構築
- (5) クラウド環境の用意
- (6)機器設置計画の作成
- (7) その他参考情報

# 【解説】

導入計画書に基づき、連続振動センサーの選定、センサー設置対象、測定項目、ネットワーク構築、クラウド環境とのデータ取り合い、設置・調整に関して機器設置計画を作成し、現場導入を行う。

# (1)連続センサーの仕様

振動連続センサーの参考用一般仕様を表 4-3 に示す。

小型・軽量な形状であり、測定周波数範囲が 1,000Hz 程度まで測定可能な振動センサーを内蔵している必要がある。

表 4-3 連続センサーの参考用一般仕様

| 項目         | 参考用一般仕様                      | 実証研究における仕様                       |  |
|------------|------------------------------|----------------------------------|--|
| 形状         | 小型・軽量                        | SOOOT                            |  |
| 寸法(mm)     | L40×W30×H30相当                | L40×W30×H20                      |  |
| 重さ(g) 電池込み | 最大100程度以下                    | 40                               |  |
| マイコン       | 不問                           | 32ビット RISCマイコンを内蔵                |  |
| 振動センサー     | MEMSセンサー<br>測定周波数範囲 ~1,000Hz | MEMSセンサー<br>測定周波数範囲 12.5~1,000Hz |  |
| 固定方法       | マグネット相当                      | マグネット                            |  |
| 電源         | コイン電池相当                      | DC3.0V コイン電池CR2450×1             |  |
| 無線通信       | 不問                           | IEEE802.15.4準拠 ZIGBEE規格          |  |
| 耐用年数       | 5年程度                         | 5年程度                             |  |

# (2)設置環境の調査

#### 1) 基礎調査

次の図面・仕様書類を収集し、設備の配置や機械的・電気的仕様、過去のメンテナンス 情報等を確認する。

- ・対象施設の平面図
- ・対象設備に係る納入仕様書(外形図・写真を含む)、単線結線図、展開接続図
- 対象設備に係る修繕記録

# 2) 図面、仕様書による事前調査

設備図面や写真から振動測定の候補場所を検討する。測定候補場所における測定位置 と測定方向は、図 4-2 に示すように選び、以下の点に注意する。

- ①原則として、従来技術である手測定での測定ポイント近傍に設置する。手測定での測定ポイントは、軸受部周辺の複数ポイントを測定し、一番測定値が高いポイントに設定しており、その方法に準じて設置する。
- ②足場や手すりなど局所的な剛性不足で振動増幅している箇所は避ける。

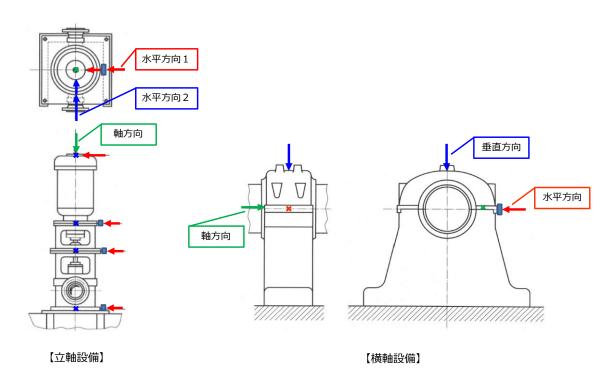


図 4-2 振動測定方向 (ISO 10816-1)

振動センサーは各軸受に1個設置する。測定方向は、図 4-2 に示す水平方向、垂直方向、軸方向のうち、水平方向がより感度良く振動値を捉えるため、水平方向とすることが望ましい。また、センサーの設置箇所は、設備の平坦部分であることが望ましい。接触面が粗い場合等は、研磨やグリース塗布により接触面の平坦化を行う。また、センサーの固定方法は、マグネットによる固定のみとし、接着剤やパテでの固定は不可としている。

#### (3)測定項目の選定

本技術では、設備の劣化状態監視項目として振動速度を測定する。その他に振動センサーの運転監視および対象設備の運転状態監視(データ処理補完用)として、表 4-4 に示す項目を一定周期で測定・収集する。

| X T T M/L XXXI |            |           |  |  |
|----------------|------------|-----------|--|--|
| 状態監視項目         | 目的         | 取得方法      |  |  |
| 振動速度           | 設備劣化状態監視   | 振動センサー内蔵  |  |  |
| 電流值※           | 設備運転状態監視   | 外付け電流センサー |  |  |
|                | (データ処理補完用) |           |  |  |
| 振動センサー内温度      | 連続センサー運転監視 | 振動センサー内蔵  |  |  |
| 振動センサー電池電圧     |            |           |  |  |
| 通信電波強度         |            |           |  |  |

表 4-4 測定・収集項目

#### ※電流値は動力盤や現場操作盤等で測定している電流計の配線に

CT (CurrentTransformer) を装着し、既存設備に影響を及ぼさない形で測定する事が望ましい。

本技術は、振動速度により回転機械の設備劣化傾向を簡易診断する技術であり、回転機械の軸振れ等を検知する振動変位や、精密診断の領域である振動加速度は使用しない。また、音圧センサーが内蔵されている連続センサーも存在するが、音の大きさのみを測定する音圧データからは設備の劣化傾向を診断できないため、音圧センサーは不要である。またその他の流量・圧力・温度等の周辺プロセスデータを測定する事も有用であるが、プロセスデータの変化に応じて振動速度値が変化することを実証研究で確認済みであり、振動速度と電流値で傾向把握が可能であることから、本技術においては振動速度と電流値による簡易診断として記述する。

# (4)ネットワーク構築

連続センサー類の設置例として、実証フィールドにおけるセンサーネットワーク構成図および平面図を、図 4-3、図 4-4 にそれぞれ示す。なお、温度センサーは実証研究用に設置しているもので、本技術の導入にあたっては不要である。また、設備の発停状況を管理するため、電気室より対象設備の電流値を測定する。

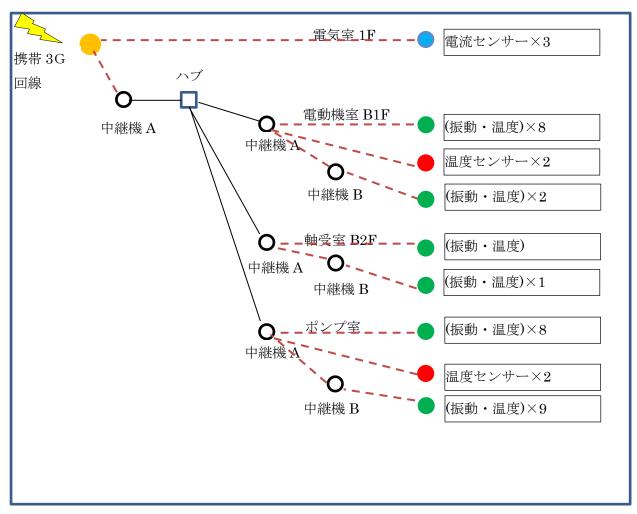


図 4-3 センサーネットワーク構成図例

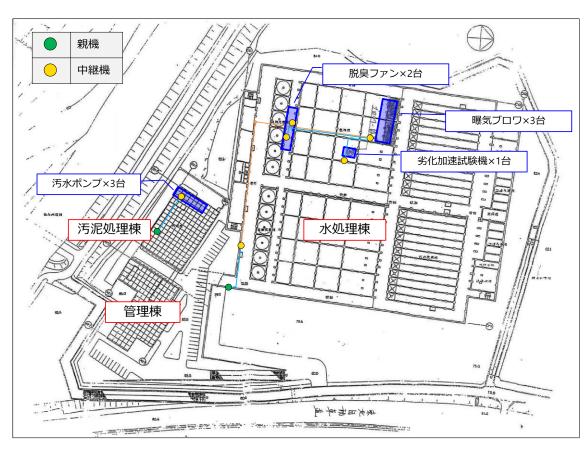


図 4-4 センサーネットワーク平面図例

#### 4-1) 親機設置位置の確認

携帯電話網や無線の通信状態(電波状態)を確認し、親機の設置位置を決める。 親機は子機からの無線信号を受信し、クラウドへ携帯電話網等を利用してデータを送信する役割を備える機器であり、子機との通信が届かない場合は中継器を設置するか、 有線 LAN の敷設を行い、間断なく子機からの信号を受信できるように配置する。 図 4-4 に示す実証フィールドの例では、建屋出口の携帯電話網の電波が良好な位置に 親機を設置している。

# 4-2) 子機(振動センサー) 設置位置の確認

- (2)で検討した設置候補場所に設置可能か確認する。
  - ①設置面状態(形状・塗装等)の条件を確認し取り付け方法を検討
    - ・子機設置に充分な平面があること
    - ・子機の動作保証温度・湿度を超えない場所であること(設置面表面を含む)
    - ・子機と親機もしくは中継機間の無線通信が可能であること
  - ②対象設備の基礎状況を確認(剛性・柔性)

なお、必要に応じて、以下の例を参考に振動値を手測定し、設置場所を確認する。測定 位置や測定方向については、図 4-2 を参照されたい。

- ・横置きの回転機械の計測では、水平・垂直の2方向あるいは直角2方向であれば傾いた方向(位相)から計測し、最も高い値を示す箇所を採用する。
- ・縦置きの回転機械では水平面の2方向(東西/南北)から計測する。この計測を高さ方向に渡り数カ所で計測し、最も高い値を示す箇所を採用する。

#### (5) クラウド環境の用意

本技術では、振動センサー等のセンサー情報をクラウドに蓄積する為、クラウドにデータ蓄積・可視化を行う為のサーバ環境を用意する必要がある。図 4-5 のシステム構成例のように、GW (Gateway) 又は親機からクラウドへデータを送り、ユーザーが任意にインターネットを介してセンサー情報を確認できる環境を構築する。又は§7 図 2-10 に示すような、振動モニタリングシステムから出力されるレポートを簡易劣化診断情報として活用する。また、資料編2.1 の購入特記仕様書案も参考にされたい。

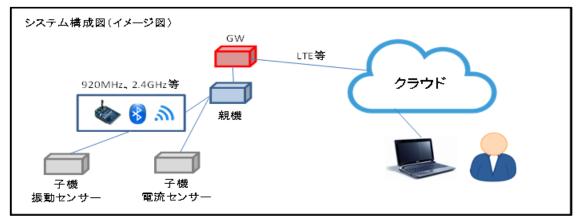


図 4-5 システム構成例

#### (6)機器設置計画

現地調査結果を元に機器設置計画を作成する。

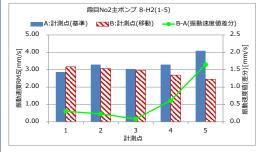
- ①親機設置位置
- ②ネットワーク構成(有線 LAN の敷設要否、中継機の設置要否及び台数)
- ③振動センサー台数、設置位置および取り付け方法

振動センサーの設置位置および取り付け方法の計画にあたっては、以下の設置条件に 留意する。

- ・連続センサーと測定対象の接触面積を大きくするため平坦面への取り付け ~円筒面への設置は接触面積が小さく、接着剤やパテでの固定を含め不可
- ・軸受(手測定位置)近傍への取り付け
  - ~振動センサーの測定値は、図 4-6 に示す実証研究での検証データ例の通り、センサーの設置位置が基準計測点から離れるほど差分が大きくなる。従って、センサーの設置位置は、数 mm レベルの精度は不要だができるだけ軸受(振動手測定位置)の近傍とすることが望ましい。



| 基準計測点 | A:計測点(基準) | 移動計測点 | B:計測点(移動) | B-A(振動速度値差分) |
|-------|-----------|-------|-----------|--------------|
| 8-H2  | 2.87      | 1     | 3.17      | 0.30         |
| 8-H2  | 3.30      | 2     | 3.07      | 0.23         |
| 8-H2  | 3.04      | 3     | 2.96      | 0.08         |
| 8-H2  | 3.30      | 4     | 2.69      | 0.61         |
| 8-H2  | 4.09      | 5     | 2.44      | 1.65         |
| 8-H2  | 3.34      | Α     | 3.22      | 0.12         |
| 8-H2  | 3.39      | В     | 3.11      | 0.28         |
| 8-H2  | 3.47      | С     | 2.66      | 0.81         |
| 8-H2  | 3.54      | D     | 2.65      | 0.89         |
| 8-H2  | 3.34      | Е     | 2.07      | 1.28         |



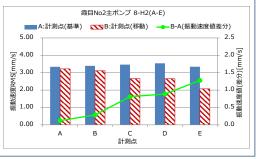


図 4-6 センサー設置位置検証データ例

## (7) その他参考情報

導入後の確認事項として、以下の事項を参考にする。

- 1) 振動センサー・通信機器の設置
  - ①設備と一体となるよう取り付けること
    - ・接触面が粗い面の場合は研磨し平坦化する。
    - ・研磨不可の場合、ワックスやグリースを塗布し連続センサーとの空隙を埋める。
    - ・塗装膜は振動を減衰させる可能性があるため、塗装膜をはがして設置する。
  - ②測定中に取り付け状態が変わらないこと
    - ・連続センサー設置位置には位置出しを行い、校正等による再設置時に位置や向きが 変わらないようにする。

#### 2)動作確認

- ①クラウドサーバにデータが蓄積されていることを確認する。
- ②子機-親機間の通信状態を確認し、電波状態が悪い場合には子機設置位置や電波状態の改善措置(ネットワーク構成の見直し含む)を実施する。

#### 3) 設置後の作業

- ①状態判定基準に基づき、振動速度しきい値の警報設定を行う(突発故障検知用)。
- ②振動センサーメーカーの推奨値に基づき、振動センサーの運転状態監視項目の警報 設定を行う(振動センサー異常検知用)。

# § 26 タブレット点検の設計・導入

タブレット点検を導入するにあたり、以下の項目の設計を行う。

- (1)点検項目の検討
- (2) タブレット端末の検討
- (3) 点検帳票の構成設計

# 【解説】

タブレット点検の設計にあたっては、大きく(1)点検項目の検討、(2)タブレット端末の検討、(3)点検帳票の構成設計の3つがある。これらの設計内容および留意点について説明する。

## (1) 点検項目の検討

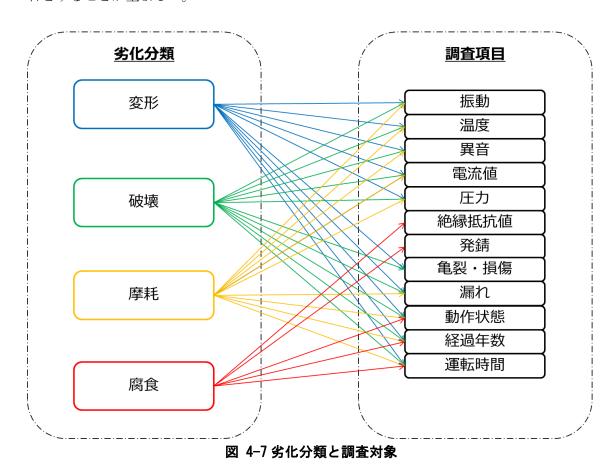
タブレット点検技術で収集する点検項目は、陸上回転機械設備の設備劣化診断として 必要となるものを選定する必要があり、その例を表 4-5 に示す。ただし、タブレット点 検技術は広く下水道施設の日常点検に利用可能であり、その他の点検項目全般を選定す ることを妨げるものではない。

表 4-5 陸上回転機械設備の状態診断に必要な点検項目の例(軸受部分)

| 点検種別 | 点検項目       | 点検結果から推測する主な異常兆候(軸受部分)         |
|------|------------|--------------------------------|
| 五感判定 | 異音         | 音の種類、大きさ                       |
|      | 触診         | 異常振動、異常温度                      |
|      | 損傷・汚れ      | 固形異物の噛込み、潤滑油不良、磨耗粉の発生          |
|      | 油漏れ        | 潤滑油の過多、異物混入                    |
|      | 臭気         | 潤滑不良による焼付き、潤滑油過多による漏えい         |
| 計測判定 | 温度         | 潤滑油の不良、軸受の取付不良、軸受内部の隙間あるいは荷重状態 |
|      | 圧力(差圧、吐出圧) | 運転状態(過負荷、低負荷)                  |
|      | 電流         | 運転状態(過負荷、低負荷)、軸受の状態(破損、磨耗)     |
|      | 電圧         | 供給電源系統に関する状態確認                 |
|      | 周波数        | 同上                             |

クラウドシステムの構築については、採用するタブレット点検技術のベンダーが提供するシステム環境を使用することを想定しているが、安全かつ堅牢な環境のデータセンターに構築される必要がある。また、**資料編2.2**の購入特記仕様書案も参考にされたい。

なお、下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015 年版-では、修繕・改築計画の策定に際し、設備の劣化状況を総合的に評価して健全度を算出している。その健全度情報等から劣化予測を行い、対策の必要性を判断している。また、同ガイドラインでは、設備の劣化状況の調査例として振動診断による方法を例示しており、本技術はその振動診断の位置付けで活用可能である。加えて、設備の劣化は軸受以外にも様々な要因で進行することから、設備劣化診断は、総合的な判断で行う。図 4-7 に例示するような、劣化分類に応じた調査対象も踏まえて判断することが望ましく、日常点検や月例点検の点検項目とすることが望ましい。



# (2) タブレット端末の検討

タブレット端末の選定に当たっては、下水道事業者の情報諸規定等も考慮し、以下の 点に留意する。

- ①点検現場での作業環境に適した諸元(寸法、重量、バッテリー容量、端末保持具等)
- ②点検作業者数に応じた台数(予備機を含む)
- ③セキュリティ確保(端末パスコード、クライアント証明書、端末管理ツール等)

#### (3) 点検帳票の構成設計

点検結果を入力する帳票は、以下の点に留意して帳票構成を設計する必要がある。

## 1) 点検帳票のテンプレート作成

①点検項目

#### §26(1)点検項目の検討を参照

②入力情報(数値、記号、文字、画像データ)

点検結果の入力は現場で行うことを基本とするため、点検項目によっては文字入力だけでなく、プルダウンのような選択形式にする方が入力時間の効率化に繋がる。また、入力情報には数値や文字等の結果記録の他に機器状況や異常発生時の状況等を撮影した画像データを点検結果として残すことを含めて、点検帳票の構成を検討する。

## ③点検順序

点検項目を対象施設や設備ごとにまとめ、点検ルートに順じて配置する。

④計測判定の点検項目の管理基準値(上下限値)

計測項目には管理基準値(上下限値)を設定して、入力値に対する数値判定をすることを基本とする。入力した数値に異常があった場合に文字色の変化やポップアップ表示などのアラートが現れるようにすることで、点検者への気づきを促すと共に誤入力防止になる。アラート表示には注意や異常などの段階に応じた表示方法を検討する。

# 2) 点検帳票テンプレートの登録と動作確認

作成した点検帳票は動作を確認してから、実点検で使用する。

- ①点検帳票テンプレートをクラウドサーバに登録
- ②タブレット端末でクラウドサーバにアクセスし、点検帳票の動作を確認
- ③クラウドサーバに点検情報が登録されていることを確認

# 第5章 維持管理

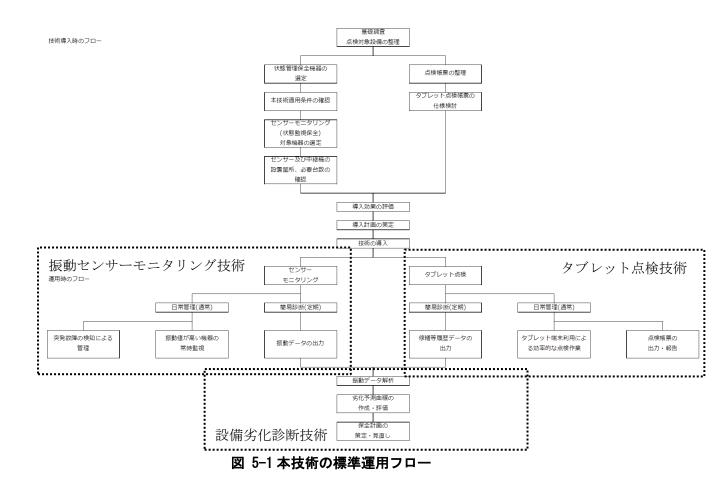
# 第1節 技術全体の維持管理

## § 27 技術全体の維持管理の要点

本技術の維持管理は、振動センサーモニタリング技術、タブレット点検技術、設備劣化診断技術それぞれの運用方法や保守管理、異常時の対応と対策に従い進める。

### 【解説】

本技術の技術導入から、センサーモニタリング技術やタブレット点検技術の運用、保全計画での運用に亘る標準運用フローを図 5-1 に示す。本技術の維持管理にあたっては、振動センサーモニタリング技術、タブレット点検技術、設備劣化診断技術それぞれの運用方法(第2節)や保守管理(第3節)、異常時の対応と対策(第4節)に従い進める。



69

# 第2節 運用方法

## § 28 振動センサーモニタリング技術の運用方法

本技術の運用では、以下に示す事項を実施する。

- (1) 振動センサーの維持管理
- (2) 振動センサー測定値の監視
- (3) 設備メンテナンス時の振動センサー取り付け状態の確認
- (4)データ欠測の確認

## 【解説】

#### (1)振動センサーの維持管理

振動センサーの維持管理、定期的な電池交換やセンサー異常の確認を実施する。

定期的な電池交換については、警報機能を利用するなどし、振動センサーの内蔵電池残量を把握し計画的に電池交換を実施する。1年に4回程度の交換周期となる。また、センサー異常の確認については、**§31振動センサーモニタリング技術の保守管理**に示すシステムの死活監視の他、振動センサー内の温度環境について、振動センサーモニタリングシステムが保有する通信ログ機能や欠測時のメール送信機能を利用して実施する。

## (2)振動センサー測定値の監視

設備の劣化進行に伴う振動センサー測定値の挙動は急激な上昇ではないため、常時振動値を監視する必要はない。

しかしながら、クラウドサーバに蓄積された振動センサーのデータは、PC やタブレット 端末からアクセスして参照することができるため、設備の振動速度値の傾向を年に数回程 度確認することが望ましい。

設備が良好な状態(振動速度値が優良または良好ゾーン/IS010816-1:1995・A または B ゾーン)では、プロセス条件等、設備の運転環境により振動速度値が上昇下降する傾向が見られる。また、設備の要注意の状態(振動速度値が注意ゾーン/IS010816-1:1995・C ゾーン)では、設備の劣化進行と共に、振動速度値が徐々に上昇する傾向が見られる。

それにより、振動センサーモニタリングシステムの運転状態を確認できるとともに、様々な運転状況下におけるデータが含まれる設備毎のデータ傾向を把握することができる。図 5-2 に振動速度のトレンドグラフ表示例を示す。

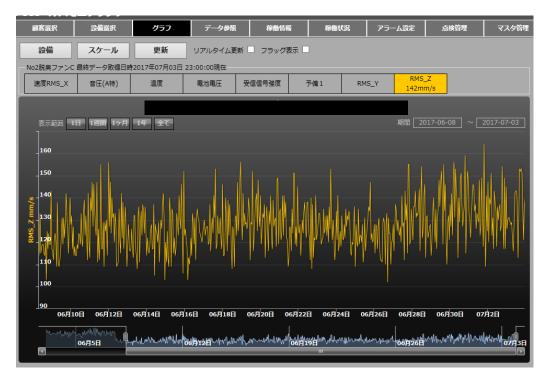


図 5-2 振動速度のトレンドグラフ表示例

一方、設備の突発故障に伴う振動速度値の変動は急激であるため、設備の突発故障はセンサーモニタリング技術導入時(§25)に警報設定したメール通報等により検知する。故障発生検知時は、図5-3に示すような緊急連絡フロー等により、速やかに故障対応を実施する。

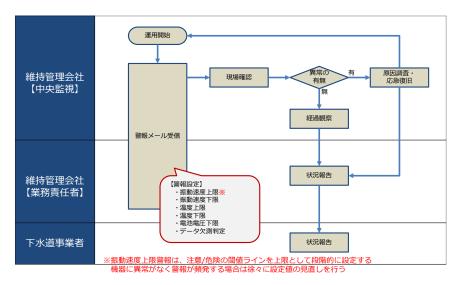


図 5-3 緊急連絡フロー

(3) 設備メンテナンス時の振動センサー取り付け状態の確認 測定対象設備のメンテナンス等 (オーバーホール等) を実施した際に、連続センサーの

取り付け位置や向きが初期状態と変わらないことを確認する。加えて、PC やタブレット端末からトレンドグラフを確認し、測定値に大きな変化が無いことも確認する。その際、測定対象設備のメンテナンスそのものの作業不備により測定値の変化が発生する場合もあり、その見極めに留意する。

# (4)データ欠測の確認

通信状況の悪化などの影響によりデータの欠測が無いか、PC やタブレット端末からトレンドグラフを確認する。データの欠測が継続する場合は、速やかに対処する。

# § 29 タブレット点検技術の運用方法

本技術の運用では、以下に示す事項を実施する。

- (1) 点検準備
- (2) 点検結果の入力
- (3) 入力データのサーバ登録
- (4)データの出力処理
- (5) 留意事項

### 【解説】

点検時に五感により取得した情報を着実にタブレット端末にデータ入力し、メンテナンス作業等のイベントを記録する。設備劣化診断として必要となる点検情報は、要注意状態の設備を中心に慎重に確認する。

### (1) 点検準備

本技術はタブレットに表示する帳票に点検結果を入力して、通信環境下でデータをクラウドサーバに保存するため、地下管廊などの通信電波の届きにくい場所(オフライン状態)では、データの送受信ができなくなる。点検準備として、点検場所の通信環境を確認しておく。また、点検に使用するタブレット端末のバッテリー残量が少ない場合は、十分な状態にしてから点検に用いる。

# (2) 点検結果入力

点検時に目視や触診等により取得した情報を着実にタブレット端末にデータ入力する。また、設備のメンテナンス作業等のイベントを記録することで、振動データの変動理由を後から確認する補完情報となる。タブレット点検システムは、入力数値チェック機能や入力漏れ機能、コメント記録機能を保有しており、その機能を活用する。加えて、クラウドサーバに蓄積されたタブレット点検の点検情報は、点検帳票の形式でPC やタブレット端末からアクセスし参照可能であり、適時入力情報に誤りが無いか確認することが望ましい。図 5-4 に点検帳票の表示例を示す。



図 5-4 点検帳票の表示例

表 4-5 に示す振動センサー設置対象の設備として必要となる点検情報は、従来の点検帳票項目に加えて、本技術の運用にあたり必須となる。特に、要注意状態の設備(振動速度値が注意ゾーン/IS010816-1:1995・C ゾーン)を中心に慎重に確認する必要がある。また、振動センサー設置対象の設備については、設備のメンテナンス履歴を記録することが振動センサーデータの補完情報として有用である。

### (3) 入力データのサーバ登録

点検帳票に点検結果を入力した後、通信環境でクラウドサーバにデータを送信する。 データ送信操作後は、データが正常にクラウドサーバに登録されていることを確認する。

#### (4)データの出力処理

端末から送信したデータは、クラウドサーバにデータベース化される。出力対象データを抽出して印字様式で出力することや CSV 形式で出力したデータを元にグラフ化することで、点検データの見える化をすることができる。

# (5)留意事項

タブレット点検の運用を継続する上で、次の点に留意する。

- 1) 保持具の利用
- 2) セキュリティの確保
- 3) タブレット端末の充電

### 1) 保持具の利用

タブレット端末への衝撃や水滴による端末の破損や、タブレット端末の水槽等への落下のリスクが考えられる。従い、タブレット端末を利用する際には、タブレット端末を保持具に収納すると共に保持具に肩掛けストラップを付けて利用する。

2) セキュリティの確保

情報漏えいのリスクを低減するため、下水道事業者の情報諸規定等も考慮し、セキュリティを確保する手段(端末パスコード、クライアント証明書、端末管理ツール等)を有効に活用して管理する。

3) タブレット端末の充電

タブレット端末を使用していない間は、常に充電することが望ましい。

## §30 設備劣化診断技術/設備劣化予測技術の運用

連続センサーにより取得された測定値を、各データ処理により設備劣化診断を行う。また元々振動値の高い設備については、設備メーカに問題ないことを確認し、運用を継続する。設備劣化診断の判断基準については、ISO 規格(ISO 10816-1:1995)の絶対判定基準等を使用する。

収集、蓄積したデータを元に、中長期保全計画立案年度に設備劣化予測を実施し、修繕・ 改築対象となる設備の選定判断の一助とする。保全計画立案の中間年度にも設備劣化予 測を実施し、修繕・改築対象となる設備の選定を実施することが望ましい。対象となる設 備は、保全実施前年度に設備劣化予測を実施し、修繕・改築実施の要否を最終確認する。

#### 【解説】

#### (1)データ処理運用

本技術によるデータ取得から設備劣化診断を行うには図 5-5 に示すようなデータ解析 処理が必要となる。なお、本データ解析処理を利用者が構築することも可能ではあるが、 **§7**図 2-10 に示すような、振動センサーモニタリングシステムから出力されるレポート 等を必要に応じて活用する。また、**資料編2.1**の購入特記仕様書案も参考にされたい。

データ取得

- センサーからクラウドヘデータ取得(10分に1点/センサー毎)
- ・ データ取得タイミングは基本1日1点。突発故障対応として10分に1点とする

前処理1

- 振動センサーと電流センサーとのデータ結合
- センサー毎にデータ取得時間にずれが生じるため、データ取得開始日にあわせ時間を補正

前処理2

- 運転 (稼働) データを抽出 (電流値より)
- 不要データの除去(起動直後等)
- 欠測データを除外
- ・ メンテナンス等の不要データを除外

可視化

- 各グラフの作成
- 牛データでセンサー毎のグラフ化
- 機器毎の単独運転データをグラフ化
- 稼働時データより累積稼働データをグラフ化

劣化予測

- センサーIDを指定
- 劣化予測する為のデータ期間を指定
- データを演算し、指数曲線をプロット
- ISO判定Dゾーン(危険)到達時間を算出

#### 図 5-5 データ解析処理フロー

設備劣化状況の傾向監視は同一条件下での測定結果を用いることが重要であるが、クラウドサーバに蓄積された連続センサーのデータには、以下に示す様々な運転条件下におけるデータが含まれる。

①下水道施設では365日24時間稼働の設備は少なく、間欠運転が行われるため設備停止

時の測定値が含まれる。

- ②流量等の変動により停止や複数の設備が同時運転する場合があり、稼働中の測定値に も単独運転・複数設備運転の測定値が混在する。
- ③センサーが常設のため、対象設備のメンテナンスや連続センサー自体のメンテナンス によって発生する異常振動が含まれる。
- ④振動速度値は外気温の影響を受け、外気温の上昇・下降とともに振動値が上昇・下降する傾向にある。

より正確な傾向監視を実施するには、図 5-5 に示すデータ処理を行った上で可視化して、傾向監視を実施する。

- 1) データ取得
  - ① センサーからクラウドにデータ取得。
- 2) 前処理1 (時間補正)
  - ② センサー毎にデータの取得時間に差が発生する為、データ取得日に合わせデータ 取得時間を補正
  - ③ 電流データ等と振動データを紐づけ
- 3)前処理2 (不要データ除去)
  - ④ 連続センサーメンテナンス履歴より異常データの除去 校正などの連続センサーメンテナンス中に取得されたデータを、メンテナンス履 歴を参照し除去。また欠測データも除去。
  - ⑤ 対象設備の電流値から連続センサーのデータが設備稼働中のものか停止中のものか判定し、起動直後や停止直前のデータを除去。
  - ⑥ 対象設備の併設設備の電流値から併設設備との同時運転時の連続センサーのデータを除去
- 4) 可視化 (グラフ化)
  - ⑦ 生データ、単独運転データ、累積稼働データ等をグラフ化
  - ⑧ 1日移動平均、5日移動平均の演算データもプロットする。 1日データないし5日データの移動平均処理によりバラツキのある振動速度データを平滑化する。なお、蓄積した既設モニタリングデータの傾向より、移動平均処理として1日ないし5日が適切と判断している。
  - ⑨ 対象機器に合わせ ISO 閾値をプロットする。
- 5) 劣化予測(予測データのグラフ化)
  - ⑩ 劣化予測を行うセンサーを特定
  - Ⅲ 予測計算をするためのデータ期間を指定
  - ② 指数曲線をプロットし、ISO 判定 D ゾーン(危険)到達時間を算出
- 図 5-6 に連続センサーのデータ可視化例を示す。上記それぞれのデータ処理を行ったデ

一タを、対象設備に設定した状態判定基準の値とともに可視化することで、傾向監視する。

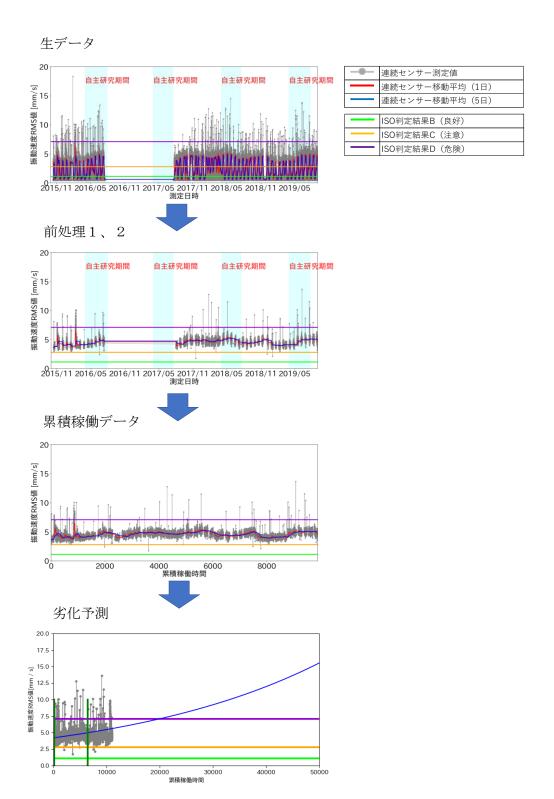


図 5-6 連続センサーのデータ可視化例

本技術による設備劣化簡易診断の状態判定は、下水道事業のストックマネジメント実施

に関するガイドライン-2015 年版-でも採用されている ISO 10816-1:1995 の絶対判定基準を利用して実施する。図 5-7 に振動速度のゾーン境界値(ISO 10816-1:1995)を示す。図 5-6 のグラフには図 5-7 のゾーン境界値も明示されており、振動速度データとの比較により状態判定を実施する。なお、ISO10816 改訂規格の適用も許容するが、ISO 規格の特徴を理解した上で適用することが望ましいが、導入団体の基準に基づき柔軟に適用可能である。

| 振動速度<br>のrms値<br>(mm/s)    | Class1 | Class2 | Class3 | Class4 |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| 0.71mm/s                   | Α      | Α      |        |        |
| _ 1.12mm/s _               | В      |        | Α      | Α      |
| - 1.8mm/s 2.8mm/s -        | С      | В      | В      |        |
| 2.8mm/s<br>4.5mm/s         | C      | С      | В      | В      |
| 7.1mm/s                    |        |        | С      | _      |
| — 11.2mm/s —<br>— 18mm/s — | D      | D      | D      | С      |
| a=11107.5.                 |        |        | ם      | D      |

| Class I | (TOKW以下OZNI用电到版书)  |
|---------|--|
| Class 2 | 特別な基礎を持たない中型機械(15kW~75kWの電動機等)、<br>及び堅固な基礎に据え付けられたエンジン又は機械(300kW以下)          |
| Class 3 | 大型原動機又は、大型回転機で剛基礎上に据え付けられたもの   |
| Class 4 | 大型原動機又は、大型回転機で比較的柔らかい<br>剛性をもつ基礎上に据え付けられたもの<br>(出力10MW以上のターボ発電機セット及びガスタービン等) |
| ゾーンム    | 新設された機械の振動値が含まれるゾーン(→ 優)   |
|         | 何の制限もなく長期運転が可能なゾーン(→ 良)  |
| ゾーンC    | 長期の連続運転は期待できないゾーン(→ 可)   |
|         |  |

ゾーンD 損傷を起こすのに十分なほど厳しいゾーン (→ 不可)

図 5-7 振動速度のゾーン境界値 (ISO 10816-1:1995)

出典:下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015年版-

なお、この状態判定基準は広く状態判定の目安として使用されているが、劣化傾向の簡易診断において、地方公共団体等の下水道事業者が既に保有する判定基準を本技術で収集・蓄積・表示したデータに適用することも可能である。

#### (2)元々振動値の高い設備の取り扱い

下水道施設の機械設備には、ISO10816-1:1995 で規定されている絶対判定基準の C 判定 (注意)や D 判定(危険)に相当する、元々振動値の高い設備が存在する。それらの設備はメーカに問題ないことを確認し、運用を継続することになる。

# 図 5-8 に振動値管理運用フローを示す。

設置当初より ISO10816-1:1995 注意ゾーン(ゾーン C) にある設備は、メーカに確認を依頼して設備に異常がないことを確認した上で運用するが、連続して振動値を測定し、ISO10816-1:1995 危険ゾーン(ゾーン D) に到達しない範囲で運用することが望ましい(図 5-8※C)。また、設置当初より ISO10816-1:1995 危険ゾーン(ゾーン D) にある設備は、メーカに確認を依頼して設備に異常がないことを確認した上で運用するが、連続して振動値を測定し、振動に上昇傾向が見られたら運転を止めることが望ましい(図 5-8※D)。

なお、実証では、日常巡回点検において表面温度や電流値、異音等を確認することで設備 の運転を止める判断をしている。

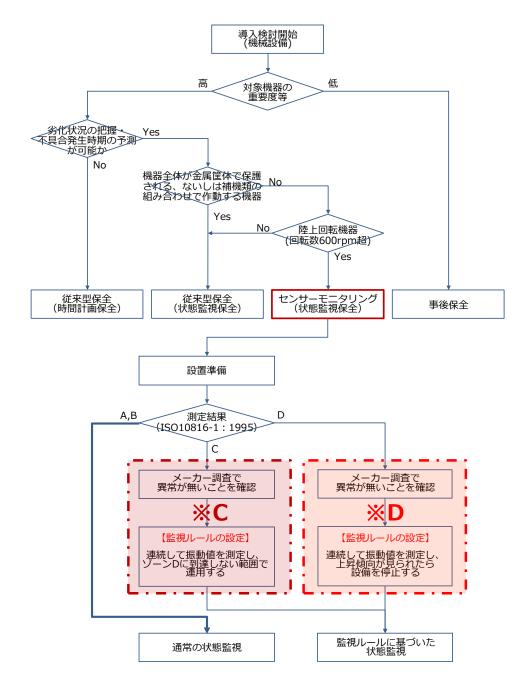


図 5-8 振動値運用管理フロー

#### (3)振動値以外の要因

設備の劣化は軸受以外にも様々な要因で進行することから、設備劣化診断は、振動値以外の項目も踏まえた総合的な判断で行う。図 5-9 に例示するような、劣化分類に応じた調査対象を日常点検や月例点検として実施し、判断することが望ましい。

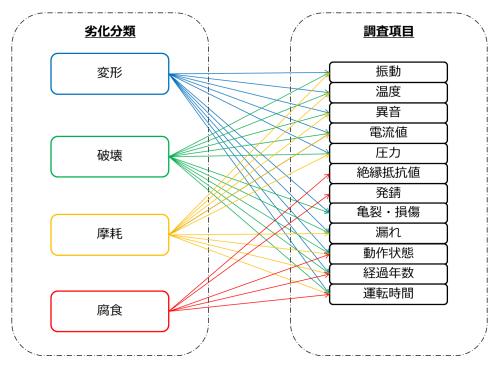


図 5-9 劣化分類と調査対象

#### (4) 中長期保全計画における設備劣化予測技術の運用

下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015 年版-では、**§6**図 2-3 に示す通り、設備の劣化状況の調査結果に応じて修繕・改築計画を立案することとしている。

本技術にて収集、蓄積したデータを基に、中長期保全計画立案年度に設備劣化予測を実施し、改築対象となる設備の選定判断の一助とする。保全計画立案の中間年度にも設備劣化予測を実施し、改築対象となる設備の選定を実施することが望ましい。対象となる設備は、改築実施前年度に設備劣化予測を実施し、実施の要否を最終確認する。

図 5-10 に中長期保全計画立案年度に実施する改築対象設備の選定フローを示す。実証フィールドでは 5 ヵ年の保全計画を策定しており、本選定フローはその期間での例となるが、本技術を導入する事業体の保全計画期間に応じて適用可能である。本選定フローでは、保全計画立案年度に設備劣化予測を実施し、5 ヵ年間に振動速度値が異常状態であるD判定(危険)に到達する設備を改築対象としている。また、設備の劣化進行に伴う振動速度値の上昇は年単位での上昇傾向であるが図 5-10 に示すように保全計画立案の中間年度にも設備劣化予測を実施し、改築対象となる設備の選定を実施することが望ましい。

図 5-11 に改築実施前年度に実施する改築対象設備の実施判定フローを示す。本判定フローでは、改築実施前年度に設備劣化予測を実施し、次年度に振動速度値が異常状態である D 判定(危険)に到達する設備を改築実施対象としている。

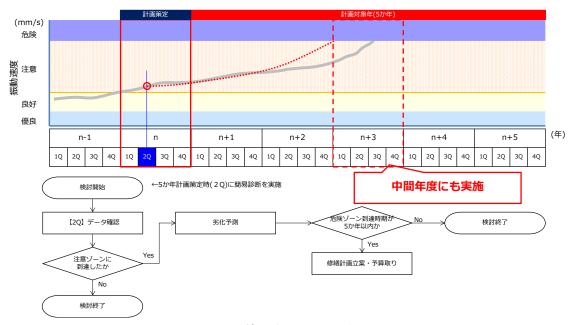


図 5-10 改築対象設備の選定フロー

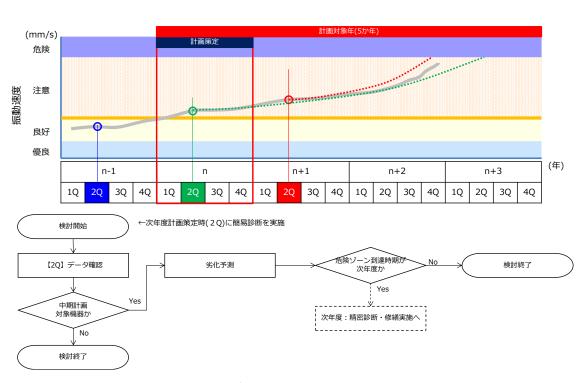


図 5-11 改築対象設備の実施判定フロー

# 第3節 保守管理

# §31 振動センサーモニタリング技術の保守管理

振動センサーモニタリングの安全・安定運転のために、以下のシステム保守を行う。

- (1)連続センサーの校正
- (2)システムの運転状態の監視
- (3)データ閾値・アラーム設定の変更管理

# 【解説】

通常時におけるシステム保守は、次の通りである。

#### (1)連続センサーの校正

振動センサーは半導体センサーのため校正は不要である。 § 25 表 4-3 のとおり、電子機器の標準的な耐用年数(5 年程度)を満足するセンサーを選定することとしているが、万一、測定値等が異常となった場合は、振動センサー本体を交換することで対応する。

### (2)システムの運転状態の監視

#### ①死活監視

定期的かつ継続的なデータ監視を行い、連続センサーを含む振動センサーモニタリングシステムが問題なく稼働していることを確認する。異常値が検出された場合に警報を発する機能等を利用し、監視にかかる労力を削減することが望ましい。死活監視の結果、欠測等の不具合を発見した場合、速やかに対処する。

死活監視の具体例としては、図 5-12 に示すような、振動センサーモニタリングシステムが保有する通信ログ機能や欠測時のメール送信機能を利用して実施する。

#### ②電池交換

定期的な監視や警報機能を利用するなどし、子機の内蔵電池残量を把握し計画的に電池交換を実施する。1年に4回程度の交換周期となる。

| 顧客選択   | 設備選択             | グラフ | Π  | デー | 夕参 | 照  |    | 稼 | 動情報 | ž |   | 稼 | 挑状》 | ł |   | アラ- | - <b>[</b> \] | 淀  |    | 点  | <b>美管</b> 理 | Ł  |    |    |    |    |
|--|------------------|-----|----|----|----|----|----|---|-----|---|---|---|-----|---|---|-----|---------------|----|----|----|-------------|----|----|----|----|----|
| 2018-03-14 18時 センサーの稼働状況です。<br>i参期間は 昨日 19時 から今日 18時 まで、1時間ごとに届いたデータの件数を表示しています。 |                  |     |    |    |    |    |    |   |     |   |   |   |     |   |   |     |               |    |    |    |             |    |    |    |    |    |
| 設備   |                  |     | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 0 | 1   | 2 | 3 | 4 | 5   |   | 7 | 8   | 9             | 10 | 11 | 12 | 13          | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 400:流量計  |                  |     | 6  | 6  | 6  | 6  | 5  | 5 | 6   | 6 | 6 | 6 | 6   | 6 | 6 | 6   | 5             | 6  | 6  | 6  | 6           | 6  | 6  | 4  | 4  | 0  |
| 231:No1汚水オ   | (ンプΑ             |     | 6  | 6  | 6  | 6  | 5  | 5 | 6   | 6 | 6 | 6 | 6   | 6 | 6 | 6   | 5             | 6  | 6  | 6  | 6           | 6  | 6  | 4  | 4  | 0  |
| 232:No1汚水オ   | ∜ンプΒ             |     | 6  | 6  | 6  | 6  | 5  | 5 | 6   | 6 | 6 | 6 | 6   | 6 | 6 | 6   | 5             | 6  | 6  | 6  | 6           | 6  | 6  | 4  | 4  | 0  |
| 233:No2汚水オ   | (ンプΑ             |     | 6  | 6  | 6  | 6  | 5  | 5 | 6   | 6 | 6 | 6 | 6   | 6 | 6 | 6   | 5             | 6  | 6  | 6  | 6           | 6  | 6  | 4  | 4  | 0  |
| 234:No2汚水オ   | <sup>(</sup> ンプΒ |     | 6  | 6  | 6  | 6  | 5  | 5 | 6   | 6 | 6 | 6 | 6   | 6 | 6 | 6   | 5             | 6  | 6  | 6  | 6           | 6  | 6  | 4  | 4  | 0  |
| 408:No1汚水オ   | ペンプ電流            |     | 6  | 6  | 6  | 6  | 5  | 5 | 6   | 6 | 6 | 6 | 6   | 6 | 6 | 6   | 5             | 6  | 6  | 6  | 6           | 6  | 6  | 4  | 4  | 0  |
| 409:No2汚水オ   | ペンプ電流            |     | 6  | 6  | 6  | 6  | 5  | 5 | 6   | 6 | 6 | 6 | 6   | 6 | 6 | 6   | 5             | 6  | 6  | 6  | 6           | 6  | 6  | 4  | 4  | C  |
| 1022:No1汚水   | ポンプC             |     | 6  | 6  | 6  | 6  | 5  | 5 | 6   | 6 | 6 | 6 | 6   | 6 | 6 | 6   | 5             | 6  | 6  | 6  | 6           | 6  | 6  | 4  | 4  | C  |
| 1023:No1汚水   | ポンプD             |     | 6  | 6  | 6  | 6  | 5  | 5 | 6   | 6 | 6 | 6 | 6   | 6 | 6 | 6   | 5             | 6  | 6  | 6  | 6           | 6  | 6  | 4  | 4  | C  |
| 1024:No1汚水   | ポンプE             |     | 6  | 6  | 6  | 6  | 5  | 5 | 6   | 6 | 6 | 6 | 6   | 6 | 6 | 6   | 5             | 6  | 6  | 6  | 6           | 6  | 6  | 4  | 4  | 0  |

図 5-12 振動センサーモニタリングシステム通信ログ画面例

# (3) 振動データ閾値・アラーム設定の変更管理

本技術は連続振動センサーのデータを傾向管理する事で、機器の状態を把握し劣化状況や機器の異常状態をいち早く把握する事が可能となる技術である。日常の管理において、振動データが大きくなる傾向がある場合は、任意に閾値を変更、またアラーム設定を変更する事で管理者の気づきを促す事により、機器の故障を未然に阻止する可能性がある。図 5-13 に示すような振動センサーモニタリングシステムが保有する振動データ閾値やアラームの設定機能を利用して実施する。

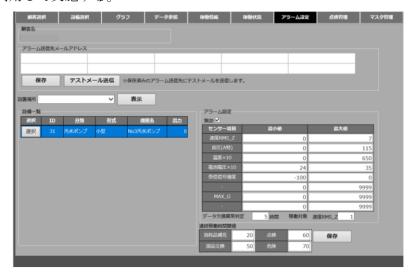


図 5-13 振動センサーモニタリングシステムアラーム設定画面例

# §32 タブレット点検技術の保守管理

本技術を利用するにあたり、定期的なシステム保守を行う。

- (1) タブレット端末の保守
- (2) クラウドサーバの保守

### 【解説】

通常時におけるシステム保守は、次の通りである。

(1) タブレット端末の保守

タブレット端末メーカが推奨する周期と方法で保守を行う。保守項目には、以下の様な事項がある。

- ソフトウェア保守0S、ソフトウェアのバージョンアップ等
- ・ハードウェア保守 バッテリーメンテナンス、点検システムが動作推奨するデータ領域の確保等
- ・データ保守 データバックアップ、ウイルス対策ソフトの設定等
- (2) クラウドサーバの保守

クラウドサーバのサービスプロバイダーが推奨する周期と方法で保守を行う。 保守項目には、以下の様な事項がある。

- ・ハードウェア保守 サーバのデータ領域の確保、セキュリティパッチ対応等
- ・データ保守データバックアップ等
- ・セキュリティチェック セキュリティ状態の確認と対策の見直し等
- ・監視・障害対応 サーバの不具合発生の監視と発生時の対応等

## 第4節 異常時の対応と対策

## §33 異常時の対応と対策

本技術の運用において発生し得る異常に対して、その影響および対処方法を事前に想定し、異常が発生した場合には適切に対処する。

#### 【解説】

本技術の運用において発生し得る異常に対して、その影響および対処方法を事前に想定し、異常が発生した場合には適切に対処する必要がある。

# (1) センサーモニタリング

緊急・異常時の維持管理を図 5-14 に示す。連続センサーの不具合の事象には、電池の異常消耗や通信ネットワーク障害によるデータ欠測、測定値異常等が挙げられる。また、サーバ障害では通信障害や大規模震災発生等による影響が挙げられる。緊急・異常時の対応では、連続センサーに関わるものとして、連続センサー本体や親機/中継機の予備機への交換、電池交換、親機等の電源リセットや設置位置の変更を行う。サーバ障害が発生した場合には、バックアップデータによる復旧を試みる。

# ◆ 連続センサーの不具合・故障

- ・電池の減りが早い(トレンド確認)
- ・欠測発生 (連続センサー単体)
- ・欠測発生(同時に複数センサー)
- ・連続センサー本体の破損
- ・測定値が異常に大きい又は小さい

#### ◆原因について

- ・電池の異常又は連続センサー本体異常
- ・電波障害又は電池残量不足
- ・親機本体のフリーズ
- ・作業員及び搬入機材等のぶつかり
- ・連続センサー本体異常

## ◆対策について

- ・電池交換又は連続センサー本体交換
- ・電波障害原因の除去又は中継器/親機の位置変更 及び電池交換
- ・親機本体の電源入切り、親機本体の交換
- ・連続センサー本体の交換

## ◆サーバ障害

- ◆原因について
- 诵信障害
- 大規模震災
- |◆ 対策について
- ・バックアップデータによる復旧 ※サーバ復旧まではデータ欠損

# 図 5-14 異常・緊急時の対応(センサーモニタリング)

## (2) タブレット点検

緊急・異常時の維持管理を図 5-15 に示す。緊急・異常時としては、タブレット端末の不具合・故障とサーバ障害、タブレット端末の遺失の3つがあり、タブレット端末

に関わる事象ではタッチパネルに反応しない等の動作不良や本体破損がある他、点検担当者が現場作業でタブレット端末を外した場合に置き忘れによる遺失のリスクも挙げられる。サーバ障害に関する事象では、通信障害や大規模震災発生等による影響が挙げられる。緊急・異常時における対応としては、タブレット端末本体に関わるものでは、予備機への交換や使用環境に適した保持具を使用する。遺失対策では置き忘れ防止のアラーム機器の使用や端末位置情報の取得設定、データ流出防止のための暗号化等の事前対策を執っておき、不具合・故障が発生した場合には速やかに位置情報の取得や遠隔操作によるデータ削除等を行う。サーバ障害が発生した場合には、バックアップデータによる復旧を試みる。

# ◆ タブレット端末の不具合・故障

- ・電池の減りが早い
- ・タッチパネルが反応しない
- ・点検データが正常に送信されない
- ・画面が黒いまま起動しない
- ・ソフトウェアの動作が遅い、突然終了する
- ・タブレット端末の破損

### ◆原因について

- ・タブレット端末の経年劣化、故障
- ·物理的衝擊
- ・仕様環境外での使用(温度、水、粉塵 薬品等)

#### ◆ 対策について

- ・予備機の用意、該当機器の修理
- ・使用環境に適した保持具の使用(耐衝撃、防水等)

# ◆サーバ障害

- ◆原因について
- ・通信障害
- ・大規模震災
- ◆対策について
- ・バックアップ回線への切替え
- ・一時的に紙媒体に点検結果を記録し、 復旧後にデータを送信する

# ◆ タブレット端末の遺失

- ◆原因について
- ・タブレット端末の置き忘れ、盗難
- ◆対策について
- ・置き忘れ防止のアラーム機器の使用
- ・パスワード設定
- ・位置情報取得の設定
- ・端末内データの暗号化
- ・データ削除できる遠隔操作の設定

図 5-15 異常・緊急時の対応(タブレット点検)

## 資料編

# 第1節 実証研究結果

- 1. 1 実証研究概要
- (1) 実証研究
  - 1) 研究名称

センサー連続監視とクラウドサーバ集約による 劣化診断技術および設備点検技術の実証研究

## 2) 実施者

水 ing 株式会社·仙台市共同研究体

## 3) 実施期間

平成 27 年 8 月 11 日~平成 28 年 3 月 31 日 (平成 27 年度委託研究期間) 平成 28 年 7 月 30 日~平成 29 年 3 月 31 日 (平成 28 年度委託研究期間) 平成 29 年 7 月 19 日~平成 30 年 3 月 30 日 (平成 29 年度委託研究期間) 平成 30 年 7 月 18 日~平成 31 年 3 月 29 日 (平成 30 年度委託研究期間) 令和 1 年 7 月 25 日~令和 2 年 3 月 31 日 (令和元年度委託研究期間)

# 4) 実施フィールド

宮城県仙台市建設局

広瀬川浄化センター・みやぎ中山ポンプ場・国見第一ポンプ場・志和東ポンプ場・ 霞目ポンプ場

- 4-1) 広瀬川浄化センター
- · 処理能力 16,875m³/日(日最大)
- ・処理法 高度処理(2段式嫌気・好気活性汚泥法+砂ろ過+オゾン消毒)
- ・放流水質 目標 BOD3mg/L 以下、SS5mg/L 以下
- ・対象設備 汚水ポンプ(立軸渦巻斜流式 3床式 口径300mm)2台
   汚水ポンプ(立軸渦巻斜流式 3床式 口径400mm)1台
   曝気ブロワ(単段ターボ式 空気量110m³/分)3台
   脱臭ファン(ターボ式 空気量140m³/分)2台
   劣化加速試験機(ルーツ式ブロワ 空気量1.71m³/分)1台

# 4-2) みやぎ中山ポンプ場

- · 揚水量 6.0m³/分
- ・対象設備 汚水ポンプ (横軸スクリュー式 口径 200mm) 3 台

# 4-3) 国見第一ポンプ場

- · 揚水量 2.6m³/分
- ・対象設備 汚水ポンプ (横軸スクリュー式 口径 150mm) 2 台

### 4-4) 志波東ポンプ場

- 揚水量 2.6m<sup>3</sup>/分
- ・対象設備 汚水ポンプ (立軸渦巻式 口径 100mm) 2 台

# 4-5) 霞目ポンプ場

- · 揚水量 26m³/分
- ・対象設備 汚水ポンプ (立軸渦巻斜流式 4 床式 口径 300mm) 3 台



図\_資 1-1 実証フィールド

表\_資 1-1 対象設備と設置センサー覧

|                                      |                   |                   |                   |            | 邳          | 【          | • •         | -I X        | 3 201         | H~ NU              | ⊂故』                | 直でノ                | ノ <b>ザー</b><br>      | ·克<br>               |                      |                       |                    | П                 |                   | $\neg$                       |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------------------|
| 電液量                                  | 1                 | -                 | 1                 |            |            |            | ı           | -           | ı             | 1                  | -                  | -                  | -                    | -                    | -                    | -                     | -                  | -                 | -                 | -                            |
| 事態                                   |                   |                   |                   |            |            |            |             |             |               |                    |                    |                    |                      |                      |                      |                       | -                  |                   |                   |                              |
| 田力                                   |                   |                   |                   |            |            |            |             |             | 1             |                    |                    |                    |                      |                      |                      |                       |                    |                   |                   |                              |
| 温度                                   |                   |                   |                   |            |            |            |             |             | 1             |                    |                    |                    |                      |                      | -                    |                       |                    |                   |                   |                              |
| 原動・管体内温度<br>N社センサーB                  |                   | 2 - 6             |                   |            |            |            | 1 2         | 1 2         | 2 4           |                    |                    |                    |                      |                      |                      |                       |                    |                   |                   |                              |
| 振動・重体内温度 振動・筐体内温度<br>N社センサーA N社センサーB | e – e             | m - m             | 2 1 2             | 1 1        | 2 1        | 1 2        |             |             |               | 2 2                | 2 2 2              | 2 2 2              | - 2 -                | - 2 -                | - 2 -                |                       |                    | 3                 | 3                 | 3                            |
| 中職権                                  |                   | ۲                 |                   |            |            | c          | 0           |             | •             |                    | 4                  |                    |                      | m                    |                      | c                     | 8                  |                   | -                 |                              |
| 机体                                   |                   | ÷                 |                   |            |            | •          | -           |             |               |                    | -                  |                    |                      | -                    |                      |                       | =                  |                   | -                 |                              |
| 瀬定対象                                 | 電動機<br>中間軸受<br>本体 | 電動機<br>中間軸受<br>本体 | 電動機<br>中間軸受<br>本体 | 電動機本体      | 電動機本体      | 電動機本体      | 電動機中間軸受     | 電動機中間軸受     | 電動機本体         | 電動機中間軸受本体          | 電動機<br>中間軸受<br>本体  | 電動機中間軸受本体          | 電影機<br>中間軸受<br>本体    | 電動機中間軸受本体            | 電動機中間軸受本体            | 電動機本体                 | 電助機本体              | 本体                | 本体                | *                            |
| 設置年                                  | 1992              | 1992              | 2007              | 1993       | 1993       | 1993       | 1992        | 1997        | 2015          | 1989               | 1989               | 1995               | 1988                 | 1999                 | 1988                 | 1997                  | 2001               | 2008              | 2008              | 2008                         |
| 電動機出力 設置年                            | 30kW-400V         | 30kW-400V         | 55kW-400V         | 170kW-400V | 170kW-400V | 170kW-400V | 7.5kW-400V  | 7.5kW-400V  | 3.7kW-200V    | 90kW-400V          | 90kW-400V          | 90kW-400V          | 55kW-200V            | 55kW-200V            | 55kW-200V            | 22kW-200V             | 22kW-200V          | 7.5kw-200V        | 7.5kw-200V        | 7.5kw-200V                   |
| 仕様                                   | 300mm × 10m3/min  | 300mm × 10m3/min  | 400mm × 20m3/min  | 110m3/min  | 110m3/min  | 110m3/min  | 140m3/min   | 141m3/min   | 1.78m3/min    | 300mm × 8.68m3/min | 300mm × 8.68m3/min | 300mm × 8.68m3/min | 200 mm × 3.0 m3/ min | 200 mm × 3.0 m3/ min | 200 mm × 3.0 m3/ min | 150 mm × 1.32 m3/ min | 150mm × 1.32m3/min | 100mm × 1.1m3/min | 100mm × 1.1m3/min | 100mm × 1.1m3/min 7.5kw-200V |
| メーカー<br>(本体/電影像)                     | 酉島製作所/富士電機        | 酉島製作所/富士電機        | 西島製作所/富士電機        | ・          | 川崎重工/富士電機  | 三路闸工/喧士電機  | 協和化工/日立製作所  | 協和化工/日立製作所  | アンレット/三菱      | 荏原製作所/明電舎          | 荏原製作所/明電舎          | 荏原製作所 / 明電舎        | 荏原製作所/東芝             | 荏原製作所/東芝             | 荏原製作所/東芝             | 荏原製作所/東芝              | 荏原製作所/東芝           | クボタ/東芝            | クボタ/東芝            |                              |
| 福                                    | 立軸渦巻斜流ポンプ 酉       | 立軸渦巻総流ポンプ国        | 立軸渦巻斜流ポンプ 酉       | 歯車増速式単段ターボ | 歯車増速式単段ターボ | 歯車増速式単段ターボ | ターボファン      | ターボファン 協    | レーツ式          | 立軸渦巻斜流ポンプ          | 立軸渦巻斜流ポンプ          | 立軸渦巻総流ポンプ          | 横軸スクリュー              | 横軸スクリュー              | 横軸スクリュー              | 横軸スクリュー               | 横軸スクリュー            | 立軸渦巻ポンプ           | 立軸渦巻ポンプ           | 立軸渦巻ポンプ                      |
| ##                                   | NO.1ポンプ           | NO.2ポとプ           | NO.4ポンプ           | NO.1ブロワ    | NO.2ブロワ    | NO.37.07   | NO.1脱臭ファン 5 | NO.2脱臭ファン 5 | 加速試験用ブロワ ルーツ式 | NO.1ポンプ            | NO.2ポンプ            | NO.3ポとプ            | NO.1ポンプ              | NO.2ポンプ              | NO.3ポンプ              | NO.1ポンプ               | NO.2ポンプ 格          | NO.1ポンプ           |                   | NO.3ポンプ                      |
| 施股                                   |                   |                   |                   | 広瀬三浄化センター  |            |            |             |             |               |                    | 韓田ポンプ場※1           |                    |                      | みやぎ 中山ポンプ場※2         |                      |                       | 国児第一ポンス場           |                   | 志波東ポンプ場※4         | NO.3ポンプ 立軸渦巻ポンプ クポタ/東芝       |

※1、※2、※4・電気設備工事に伴い、韓目ボンゴ場およびみやぎ中山ボンブ場のセンチーの一部を形波東ボンブ場へ移設(平成28年度)※3・更新工事に伴い、国民第一ボンブ場のセンサーー式を撤去(今和57年度)

# 5) 実施工程

| 年度             | H27      | H28 | H29 | H30 | R1     |
|----------------|----------|-----|-----|-----|--------|
| 設計・設置          | <b>→</b> |     |     |     |        |
| センサー<br>モニタリング |          |     |     |     |        |
| モニタリング         |          |     |     |     |        |
| タブレット          |          |     |     |     |        |
| 点検             |          |     |     |     |        |
| 評価・検証          | •        |     |     |     |        |
|                |          |     |     |     | 自主研究期間 |

# (2)結果まとめ

実証研究における本技術の評価結果を表\_資 1-2~表\_資 1-7 に示す。

表\_資 1-2 評価結果一覧(センサーモニタリング技術・タブレット点検技術)

| 技術             | 評価項目           | 評価指標          | 評価方法                                 | 目標値                                   | 評価結果                                       |
|----------------|----------------|---------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|
|                | 劣化診断の<br>効率化   | 作業量・<br>時間の低減 | 実証フィールドでの従来<br>技術を代替した場合の<br>作業時間を測定 | 振動計測に係る100%の作<br>業時間低減                | 振動計測に係る100%<br>の作業時間低減→年間<br>約10.5時間(14設備) |
|                | 劣化診断の<br>高度化   | 計測誤差<br>低減    | 手測定による測定値と<br>の比較                    | 手測定による測定値との一<br>致(±10%以内)             | 手測定による測定値と<br>の一致(±10%以内)                  |
| センサー<br>モニタリング | 下水処理場          | 適用範囲・         | 機械設備への適用範                            | ポンプ・送風機の機種別セン<br>サー設置可否の提示            | 水中軸受以外の設備に<br>設置可能                         |
|                | への適用性          | 適用条件          | 囲を確認                                 | センサー設置面条件の提示                          | サイズ・温度条件・設置<br>位置・固定方法を整理                  |
|                | 設置環境下<br>での耐久性 | 劣化<br>耐久性     | 設置センサー内部の分<br>解調査により腐食等を<br>確認       | センサー内部劣化なし<br>5年程度の耐久性保有              | センサー内部劣化なし                                 |
| タブレット          | 劣化診断の<br>効率化   | 作業量·<br>時間低減  | 実証フィールドでの従来<br>技術を代替した場合の<br>作業時間を測定 | 10%程度の作業時間低減                          | 平均10%の作業時間<br>低減                           |
| 点検             | 劣化診断の<br>高度化   | 精度向上          | タブレット点検導入効<br>果を確認                   | タブレット端末利用による副<br>次的効果を整理 <sup>※</sup> | 遠隔監視、図面管理、<br>ビデオ通話の効果を整理                  |

※センサーモニタリングの補完情報が発現しなかったことから端末が保有する機能の副次的効果を整理

表\_資 1-3 評価結果一覧(設備劣化簡易診断 1/5)

| 技術         | 評価項目 | 評価指標 | 評価方法                                 | 目標値  | 評価結果                                     |
|------------|------|------|--------------------------------------|--|--|
|            |      |      | 国総研アンケート結果に<br>基づく低減効果を試算            | 損害低減率 <sup>※</sup> 試算方法の<br>確立とその方法による試算     | 故障対応費標準値からの<br>試算方法確立→0.06~<br>0.51%の低減率 |
| 設備劣化       |      |      | 劣化加速試験機・実証フィールド既設設備の故障対応標準値から低減効果を試算 | 国総研アンケート結果に基<br>びく試算相当の損害低減率                 | 劣化加速試験機の故障<br>対応標準値から試算<br>→0.10%の低減率    |
| 簡易診断 (1/5) |      |      | 突発故障発生前の振動<br>値推移から故障検知へ<br>の適用可否を検証 | センサ最小測定周期(10分)にて突発故障発生前の振動値上昇を検知し、突発故障への適用可能 | 突発故障発生20-60分前の振動値上昇を検知し、<br>突発故障への適用可能   |
|            |      |      | 故障検知への適用による定性的な効果を整理                 | 突発故障未然防止によるメ<br>リットを整理                       | 復旧対応の迅速化・施設<br>管理の相対的な信頼性向<br>上等のメリットを整理 |

<sup>※</sup>設備の機能維持に係るライフサイクルコストを機器標準値(千円/台/年)として表し、機器標準値に対する対象設備の故障対応標準費(千円/台/年)の割合から損害低減率(%)を算出

# 表\_資 1-4 評価結果一覧(設備劣化簡易診断 2/5)

| 技術                    | 評価項目                   | 評価指標  | 評価方法                                 | 目標値                                  | 評価結果   |
|-----------------------|------------------------|-------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
|                       |                        |       | 国総研アンケート結果に<br>基づく縮減効果を試算            | 経費回収年の試算方法の<br>確立とその方法による試算          | 延伸倍数(仮定)における標準値コスト縮減効果より経費回収年の試算方法確立延伸1.1倍で経費回収年8.5年 |
| 設備劣化<br>簡易診断<br>(2/5) | 設備補修<br> 点検周期の<br>  延伸 | コスト縮減 | 劣化加速試験機・実証フィールド既設設備の故障対応標準値から縮減効果を試算 | オーバーホール周期延伸倍数の可能性とそのコスト縮減率の提示        | 劣化加速試験機のオーバホール費から延伸2倍の可能性があり試算→約50%のコスト縮減率           |
|                       |                        |       | 補修周期を延伸した場合のリスクを整理 <sup>※</sup>      | メーカ推奨補修周期を延伸<br>した場合に想定されるリスク<br>を整理 | 故障発生確率増大等のリ<br>スクを整理                                 |

<sup>※</sup>仮定で設定した補修周期の延伸を実証することが困難なことからリスクを整理

# 表\_資 1-5 評価結果一覧(設備劣化簡易診断 3/5)

| 技術            | 評価項目  | 評価指標 | 評価方法  | 目標値   | 評価結果  |
|---------------|-------|------|---|---|---|
|               |       |      | センサーモニタリング蓄積<br>データによる設備劣化簡易<br>診断用の情報可視化   | 不要データ除去処理方<br>法と移動平均処理方法<br>の確立 <sup>※1</sup> | 不要データ除去処理方法 <sup>※3</sup> と移動平均処理方法を確立            |
| 設備劣化簡易診断      | 劣化診断の | 精度向上 | タブレット点検蓄積データに<br>よる設備劣化簡易診断用<br>の情報可視化      | 日毎の蓄積データのグラ<br>フ表示方法の確立 <sup>※ 2</sup>        | 日毎の蓄積データのグラフ<br>表示方法を確立                           |
| 間易診断<br>(3/5) | 高度化   | 相送问上 | 劣化加速試験機のセンサー<br>モニタリング蓄積データから劣<br>化予測の精度を確認 | 劣化予測情報の可視<br>化と目安となる予測精<br>度の評価               | 1パターンによる劣化予<br>測情報の可視化と予測精<br>度 <sup>※4</sup> を確認 |
|               |       |      | 精密診断により設備劣化<br>簡易診断結果を検証                    | 簡易診断結果がAE診<br>断結果の劣化状態と同<br>等 <sup>※5</sup>   | 簡易診断結果がAE診断<br>結果の劣化状態と同等を<br>確認 <sup>※6</sup>    |

- ※ 1 センサーモニタリングデータはバラツキがあるため、設備劣化簡易診断に資する情報とする目的でデータ処理方法を確立
- ※ 2 タブレット点検情報は日毎の帳票データのため、設備劣化簡易診断に資する情報とする目的で連続グラフ表示方法を確立
- ※3電流測定値による設備停止時や他号機運転時のデータ除去処理
- ※ 4 しきい値到達予測時期の幅と予測に必要なモニタリングデータ日数
- ※5既に技術が確立している精密診断結果と同等であれば設備劣化簡易診断結果の裏付けとなることからの目標設定
- ※ 6 簡易診断結果:注意ゾーン⇔AE診断結果:疲労の蓄積傾向は見られるが損傷は無い

# 表\_資 1-6 評価結果一覧(設備劣化簡易診断 4/5)

| 技術                    | 評価項目             | 評価指標 | 評価方法  | 目標値   | 評価結果   |
|-----------------------|------------------|------|---|---|--|
|                       |                  |      | 実証フィールド既設設備の<br>センサーモニタリング蓄積デー<br>タによる設備劣化簡易診断<br>用の情報可視化 | 通年での可視化の確認  | 通年での可視化可能  |
|                       |                  |      | タブレット点検蓄積データに<br>よる設備劣化簡易診断用<br>補完情報の確認                   | 補完情報項目と補完<br>方法の確立  | 2項目の補完情報可能<br>性発現 <sup>※1</sup>                                      |
| 設備劣化<br>簡易診断<br>(4/5) | モニタリング<br>データの蓄積 | 精度向上 | 実証フィールドの設備において、ISO規格による絶対判定基準が適用可能な割合を整理                  | 振動速度値がISO規<br>格の優良・良好ゾーン <sup>※</sup><br><sup>4</sup> である割合を整理 <sup>※ 2</sup> | 86%の設備が優良・良<br>好ゾーンにて絶対判定基<br>準適用可能(14%が注<br>意・危険ゾーン <sup>※4</sup> ) |
|                       |                  |      | 判定基準に適用するISO<br>規格の整理                                     | 絶対判定基準ISO規格の整理と絶対判定基準適用不可の設備管理方法を整理 <sup>*2</sup>                             | ISO10816-1:1995と<br>関連ISO規格の整理<br>注意・危険ゾーンにある設<br>備の管理方法をフロー化        |
|                       |                  |      | 振動値が変化している既設<br>設備の要因追跡調査                                 | 流量・圧力等のプロセス<br>値変化との関連を確認<br>※3   | プロセス値により振動値も<br>変化と推測<br>設備の劣化進行に伴い<br>振動値状況が顕著化                     |

- ※1設備メンテナンス情報→最終的に電流値で代用、触診結果情報→センサーモニタリングの方が早期に検知する事を確認
- ※2振動値は高いが健全な状態で稼働している設備が一定数存在することから、その割合と管理方法(フロー)を整理
- ※3健全な状態で稼働している設備の振動値が定常的に変化することから、その要因を確認
- ※ 4 優良ゾーン・良好ゾーン : 問題なく長期運転可能な状態、注意ゾーン : 劣化が進行し長期運転は期待できない状態、 危険ゾーン : 損傷を起こす可能性がある状態 ~ISO10816-1:1995による

表\_資 1-7 評価結果一覧(設備劣化簡易診断 5/5・全体効果)

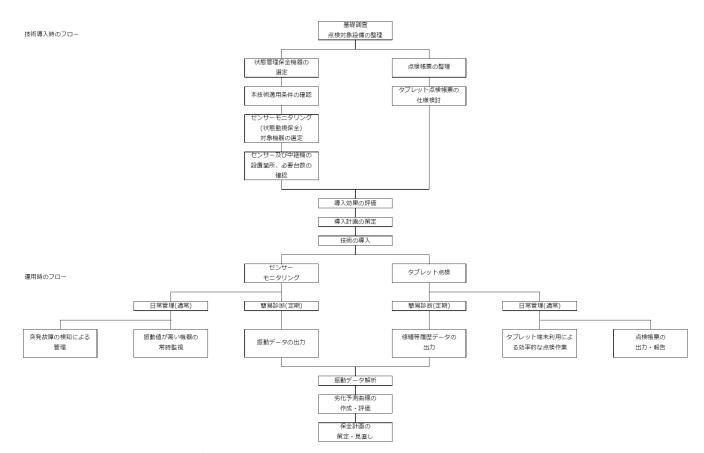
| 技術                    | 評価項目         | 評価指標          | 評価方法                                  | 目標値  | 評価結果   |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------------------------|--|--|
|                       | 劣化診断の<br>効率化 | 作業量・<br>時間の低減 | 劣化予測曲線制定に必要<br>な最低測定周期を確認             | 従来技術(手測定)による本技術の代替可否を<br>評価                  | 1日1回程度の計測が<br>必要で従来技術では代替<br>不可能                     |
|                       |              |               | 普及展開に向けた建設費・<br>維持管理費用の確認             | 導入モデルケースの策定<br>と費用関数の整理                      | 処理量別導入モデルケー<br>ス <sup>※1</sup> を策定し、費用関数<br>を整理      |
| 設備劣化<br>簡易診断<br>(5/5) | 下水処理場        | 適用範囲・         | 本技術適用にあたり適用対<br>象設備の選定フローを整理          | ストマネガイドラインに<br>沿った選定フローの整理                   | 選定フローの整理<br>実証フィールドでの適用例<br>として14設備を抽出               |
| (3/3)                 | への適用性        | 適用条件          | 本技術適用にあたり設備劣<br>化簡易診断タイミングとフ<br>ローを整理 | 保全に係る中期計画・<br>次年度計画における対<br>象設備の選定フローを<br>整理 | 中期計画(5年間)・夕刊<br>年度・次年度計画(翌年)<br>における対象設備選定フ<br>ローを整理 |
|                       |              |               | 本技術適用にあたり突発故<br>障検知時の緊急連絡フロー<br>を整理   | 維持管理会社が運転<br>管理を受託する場合の<br>緊急連絡フローを整理        | 本実証研究での連絡フローに即して緊急連絡フローを整理                           |
| 全体効果                  | 費用           | 経費回収年         | 処理量別導入モデルケース<br>**1における経費回収年の検<br>討   | 5年程度 <sup>※2</sup>                           | 5年程度を確認  |

<sup>※1</sup>処理量1万m3/日・5万m3/日・10万m3/日に対して、精密診断回避・突発故障未然防止・点検作業時間低減効果 より検討 ※2減価償却資産(電子機器)の耐用年数

# 1. 2 実証研究成果

## (1)標準運用フロー

本技術は、ストックマネジメントの効率的、効果的な実施のために、振動センサー連続データおよび日常点検記録を簡易に収集、蓄積し、その蓄積情報から設備の健全度を簡易診断し、保全計画への情報活用を図るものである。本技術の技術導入から、センサーモニタリング技術やタブレット点検技術の運用、保全計画での運用に亘る標準運用フローを策定した。図\_資 1-2 に本技術の標準運用フロー(全体)を示す。

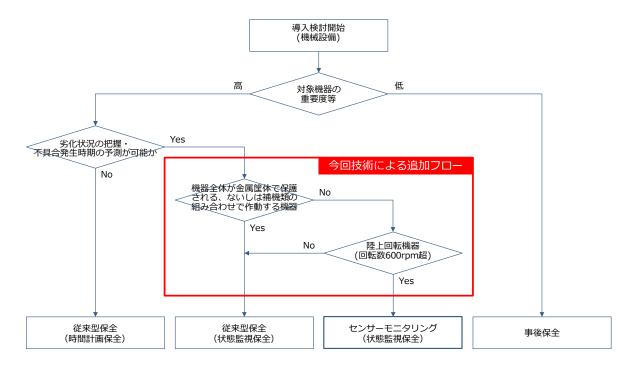


図\_資 1-2 本技術の標準運用フロー(全体)

#### (2)実証研究成果~標準運用フロー(技術導入段階)

#### 1) 本技術適用時の対象設備選定

下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015 年版-では、設備の劣化状況の調査例として、振動診断による方法を例示しており、本技術はその振動診断の位置付けで活用可能である。そこで、同ガイドラインに沿った形での選定フローを新たに作成した。図\_資 1-3 に適用対象選定フローを示す。



図\_資 1-3 適用対象選定フロー

本適用対象選定フローを実証フィールドに適用した結果、実証フィールドにおける設備台帳1,011点から、改築通知の大中小分類表(下水道施設の改築について(平成28.4.1 国水下事第109号下水道事業課長通知)の別表)で分類した機械設備399点から、適用対象を14点に絞り込むことができた。

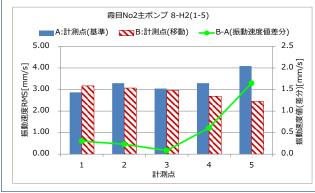
### 2) 振動センサー設置条件・設置方法

振動センサーの設置位置について JIS B 0906:1998では「軸受、軸受箱又は動荷重に十分応答し、機械の振動の全体を特徴付ける構造部材で行うべき」と記載されており 50、本技術では従来技術である手測定の測定ポイント近傍での平坦部に設置することとしている。しかし、設備によっては測定ポイント近傍に適当な設置場所が確保できないことも想定されることから、手測定位置から許容できる距離について整理した。その結果、数 mm レベルの精度は不要だが、できるだけ軸受(手測定位置)の近傍にセンサーを設置することが望ましいとした。

図\_資 1-4 に検証データ例を示す。基準計測点から離れるほど振動計測値の差分が大きい結果となったが、基準計測点から移動計測点 No2 までの距離は約 60mm であり、数 mm レベルの精度は不要であることを確認した。



| 基準計測点 | A:計測点(基準) | 移動計測点 | B:計測点(移動) | B-A(振動速度値差分) |
|-------|-----------|-------|-----------|--------------|
| 8-H2  | 2.87      | 1     | 3.17      | 0.30         |
| 8-H2  | 3.30      | 2     | 3.07      | 0.23         |
| 8-H2  | 3.04      | 3     | 2.96      | 0.08         |
| 8-H2  | 3.30      | 4     | 2.69      | 0.61         |
| 8-H2  | 4.09      | 5     | 2.44      | 1.65         |
| 8-H2  | 3.34      | А     | 3.22      | 0.12         |
| 8-H2  | 3.39      | В     | 3.11      | 0.28         |
| 8-H2  | 3.47      | С     | 2.66      | 0.81         |
| 8-H2  | 3.54      | D     | 2.65      | 0.89         |
| 8-H2  | 3.34      | Е     | 2.07      | 1.28         |



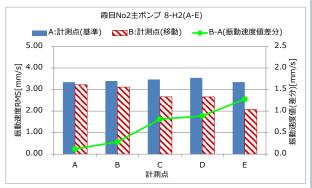


図 資 1-4 検証データ例

センサーの設置箇所は、設備の平坦部分であることが望ましい。接触面が粗い場合等は、 研磨やグリース塗布により接触面の平坦化を行う。また、センサーの固定方法は、マグネットによる固定のみとし、接着剤やパテでの固定は不可としている。

### 3) 振動センサーを補完する日常点検項目

タブレット点検技術で収集する点検情報は、陸上回転機械設備の設備劣化診断として 必要となる点検項目を選定する必要がある。実証フィールドにおける点検項目例を表\_資 1-8 に示す。

実証研究を通じて、振動センサーを補完する情報として次の2項目が発現した。

- ①設備のメンテナンス記録→振動値が計測されていない期間の把握
- ②触診による点検記録→異常な振動の検知

なお、①については、最終的に振動センサーとともに連続計測している電流値にて代用、 自動化された。また、②については、振動センサーの方が振動値の上昇を早く検知される 結果となった。

表\_資 1-8 実証フィールドにおける点検項目の例

| 点検種別 | 点検項目       | 点検結果から推測する主な異常兆候(軸受部分)         |
|------|------------|--------------------------------|
| 五感判定 | 異音         | 音の種類、大きさ                       |
|      | 触診         | 異常振動、異常温度                      |
|      | 損傷・汚れ      | 固形異物の噛込み、潤滑油不良、磨耗粉の発生          |
|      | 油漏れ        | 潤滑油の過多、異物混入                    |
|      | 臭気         | 潤滑不良による焼付き、潤滑油過多による漏えい         |
| 計測判定 | 温度         | 潤滑油の不良、軸受の取付不良、軸受内部の隙間あるいは荷重状態 |
|      | 圧力(差圧、吐出圧) | 運転状態(過負荷、低負荷)                  |
|      | 電流         | 運転状態(過負荷、低負荷)、軸受の状態(破損、磨耗)     |
|      | 電圧         | 供給電源系統に関する状態確認                 |
|      | 周波数        | 同上                             |

### 4) 本技術導入判断に必要な評価項目

本技術の導入判断に必要な評価項目として、本技術導入に係る経費回収年を設定し、その試算方法を提示した。

はじめに本技術の導入モデルケースとして、国土技術政策総合研究所の行った全国 55 件の下水処理場を対象にしたアンケート結果を基に、処理規模 $(1 \, \, {\rm fm^3/H \cdot 5} \, \, {\rm fm^3/H$ 

表\_資 1-9 対象機器台数と連続センサー設置台数

|                | 対象の機器設置台数    |              | 連続センサーの設置台数   |               |         |
|----------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------|
| 費用項目           | 汚水ポンプ<br>[台] | 曝気ブロワ<br>[台] | 振動センサー<br>[台] | 電流センサー<br>[台] | タブレット点検 |
| 処理規模1万 m³/日    | 4            | 4            | 32            | 8             | 日常点検    |
| 処理規模 5 万 m³/日  | 4            | 4            | 32            | 8             | 1回/日    |
| 処理規模 10 万 m³/日 | 6            | 5            | 44            | 11            | (端末2台)  |

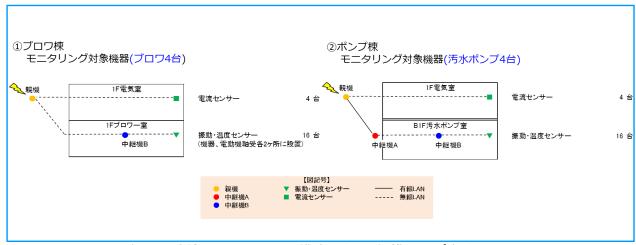


図 資 1-5 連続センサーの設置構成図(処理規模1万 m<sup>3</sup>/日)

表 資 1-10 費用項目一覧

|       | 費用項目 センサーモニタリング  |   | タブレット点検                      |  |  |
|-------|--|---|------------------------------|--|--|
| 建設費   |  | ・機器費(連続センサー、親機、中継機、タブレット端末)<br>・LANケーブル設置費(LANケーブル資材費、設置費等)<br>・センサー設置費(クラウド設定費、現地通信試験確認等)  | ・タブレット本体の購入費                 |  |  |
| 維持管理費 |  | ・連続センサー通信費(クラウド使用費、親機通信費)<br>・連続センサーの電池交換、作業労務費<br>(年4回/4人工を想定)   | ・タブレット端末の通信料<br>・クライアント証明書費用 |  |  |
| 導入効   | 精密診断の回避  | ・精密測定にかかる現地作業人工を <b>振動測定ポイント(12ポイント迄/日)</b> として、費用を算出した。<br>尚、精密測定にかかる費用は本研究での実績値を採用した<br>・簡易診断を適用した場合、状態判定B(注意1)のものは精密診断を行わずに連続センサーによる状態監視を<br>継続する。<br>本技術の適用対象となる測定ポイントの割合を仙台市実績より <b>全体8%</b> に設定した<br>(H25~H28年度仙台市実績)<br>状態判定B(330ポイント)/総測定ポイント数(4169ポイント) = 0.08 |                              |  |  |
| 果     | 故障対応費の低減   | ・機器の軸受部分に関わる故障件数が全体発生件数の10%程度(仙台市実績)であることから、 <b>損害低減効果を標準値(故障対応費)の10%</b> に設定した。<br>・故障対応費は、平成28年度に実施した国総研アンケート結果より処理規模別の値を採用した。  |                              |  |  |
|       | 点検時間の低減 ・点検にタブレット端末を利用した場合、従来の紙を用いた場合と比較して <b>10%</b> の作業時間が低減される。 |   |                              |  |  |

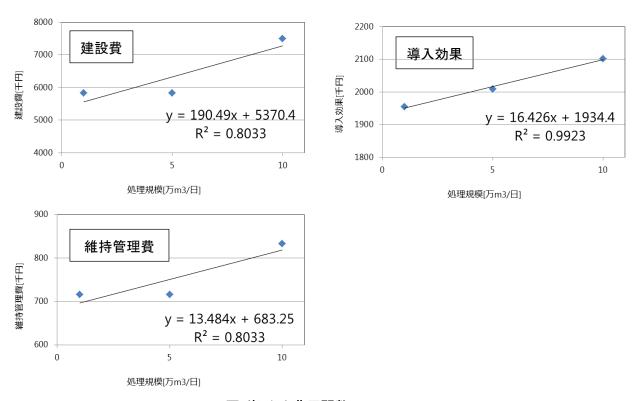
最後に、以下に示す計算式にて経費回収年を試算し、目標である減価償却資産(電子機器)の耐用年数である5年程度であることを確認した。なお、各費用については、実証研究において計上した実績値を用いた。表\_資 1-11 に処理規模別の経費回収年試算を示す。

(経費回収年の計算式)

表\_資 1-11 処理規模別の経費回収年試算

| 処理規模    | 対象機器<br>(台数)         | 建設費<br>(千円) | 維持管理費 <sup>1)</sup><br>(千円) | 導入効果 <sup>2)</sup><br>(千円) | 経費回収年<br>(年) |
|---------|----------------------|-------------|-----------------------------|----------------------------|--------------|
| 1万m3/日  | 汚水ポンプ(4台)<br>ブロワ(4台) | 5,833       | 616                         | 1,955                      | 4.7          |
| 5万m3/日  | 汚水ポンプ(4台)<br>ブロワ(4台) | 5,833       | 616                         | 2,009                      | 4.5          |
| 10万m3/日 | 汚水ポンプ(6台)<br>ブロワ(5台) | 7,493       | 696                         | 2,102                      | 5.9          |

また、処理規模 $(1 \ Tm^3/H \cdot 5 \ Tm^3/H \cdot 10 \ Tm^3/H)$ 別の導入モデルから、簡便に建設費や維持管理費、導入効果を算出できる費用関数も整理した。図\_資 1-6 に費用関数を示す。



図\_資 1-6 費用関数

本技術の導入判断に係るその他の評価項目として、以下の項目を整理し、定量評価項目については試算結果例を合わせて提示した。

- ①故障対応標準値からの損害低減効果
- ②突発故障未然防止による定性的なメリット
- ③設備補修点検周期の延伸(仮定)による機器標準値コスト縮減効果
- ④補修点検周期の延伸に伴う定性的なリスク
- ⑤日常点検作業に係る作業時間低減効果
- (3)実証研究成果~標準運用フロー(センサーモニタリング技術運用段階)
- 1) 振動データのデータ処理手法

振動測定データに含まれる不要データの除去処理や移動平均処理、劣化簡易診断用のグラフ表示処理および指数近似による劣化予測曲線制定処理等一連のデータ解析処理フローを図 資 1-7 に示す。

#### データ取得

- センサーからクラウドヘデータ取得(10分に1点/センサー毎)
- データ取得タイミングは基本1日1点。突発故障対応として10分に1点とする

# 前処理1

- 振動センサーと電流センサーとのデータ結合
- ・ センサー毎にデータ取得時間にずれが生じるため、データ取得開始日にあわせ時間を補正

# 前処理2

- 運転(稼働)データを抽出(電流値より)
- 不要データの除去(起動直後等)
- 欠測データを除外
- メンテナンス等の不要データを除外

### 可視化

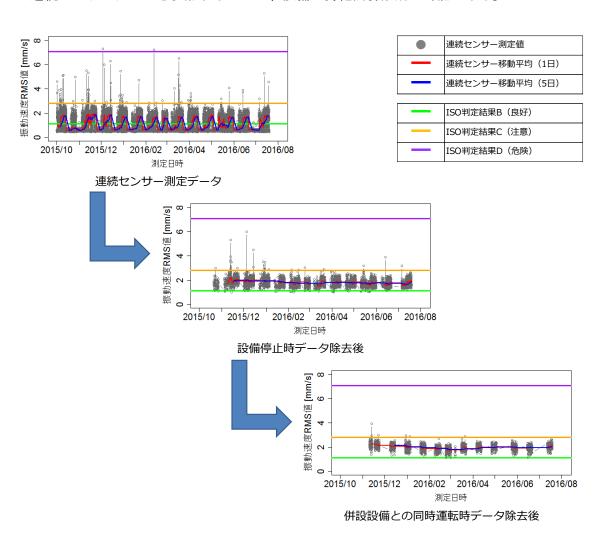
- 各グラフの作成
- 生データでセンサー毎のグラフ化
- 機器毎の単独運転データをグラフ化
- ・ 稼働時データより累積稼働データをグラフ化

# 劣化予測

- センサーIDを指定
- ・ 劣化予測する為のデータ期間を指定
- データを演算し、指数曲線をプロット
- ISO判定Dゾーン(危険)到達時間を算出

## 図 資 1-7 データ解析処理フロー

振動測定データに含まれる不要データの除去処理や移動平均処理の前処理および、劣化簡易診断用のグラフ表示処理は、次の流れとなる。まず、振動連続センサーから収集した振動速度データに対して、設備の発停時に発生する不要データを除去する(図\_資 1-8 の①→②)。次に、他号機が運転時に発生する不要データを除去し、当該号機が単独稼働時のデータを抽出する(図\_資 1-8 の②→③)。さらに、1 日または 5 日の移動平均処理を加え、ISO 判定基準値とともにグラフにより可視化する。これにより、グラフ化した振動連続センサーデータを参照することで、設備の劣化簡易診断が可能となる。



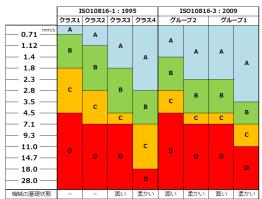
図\_資 1-8 データ前処理例

### 2) 振動データ判定の ISO 規格

振動測定データを判定する基準については、ISO 規格をはじめ数多く存在するが、常時 連続測定振動データの蓄積データを活用した劣化診断および劣化予測の判断基準を明確 化するため、本技術による設備劣化簡易診断においては、『下水道事業のストックマネジ メント実施に関するガイドライン-2015 版-』に採用されている IS010816-1:1995 を用い て判定することを基本とした。 なお、IS010816 改訂規格の適用も許容するが、IS0 規格の 特徴を理解した上で適用するこが望ましいとしている。図 資 1-9 に振動評価 ISO 規格の 変遷を示す。

#### 振動評価の変遷

- (1)1939年: Rathboneが回転数と振幅の関係を表すチャートを発表 ⇒その後評価基準は軸受箱振動と軸振動に分かれた
- (2)1969年: VDI2056を制定(軸受箱振動を速度RMSで評価) ⇒軸受箱に対する振動速度RMSを評価尺度とした管理方法
- ⇒機械を出力、基礎剛性などにより6つのグループに分け、 振動レベルを4つの評価ゾーンに分類した
- (3)1974年:ISO2372を制定(軸受箱振動を速度RMSで評価) ⇒VDI2056とほぼ同じ内容で制定された
- (4)1977年: ISO3975を制定(軸受箱振動を速度RMSで評価) →大型機械の現地基準として採用、評価ゾーンの定義が与えられた
- (5)1995年: ISO10816を制定(軸受箱振動を速度RMSで評価)
- →機械の種類、適用範囲、評価条件等を明確にした
- (6)1996年: ISO7919を制定(軸振動を変位の最大値で評価)
- ⇒機械の種類、適用範囲、評価条件等を明確にした
- (7)2009年: ISO10816を修正
- ⇒10816-1(一般的指針)附属書Bの表について表現を修正した ⇒10816-3(一般産業機械\*)を修正し、絶対判定基準を示した
- (8)2016年: ISO20816を制定
- ⇒10816シリーズ(軸受台振動)と7919シリーズ(軸振動)を統合した



♦ISO10816-1

クラス1:小型機械(15kW以下の汎用電動機等)

クラス2: 特別な基礎を持たない中型機械 (15kW~300kW)

クラス3:大型原動機又は、大型回転機で剛基礎上に据え付けられたもの

クラス4:大型原動機又は、大型回転機で比較的柔かい剛性をもつ基礎上に据え付けられたもの

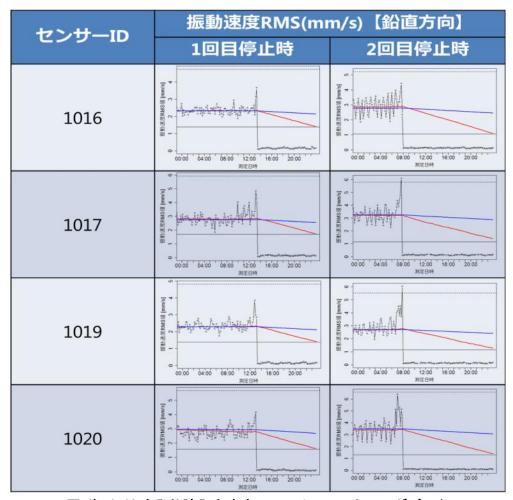
◆ISO10816-3

グループ1: 大型機械、出力300kW~50MW グループ2: 中型機械、出力15kW~300kW

# 図\_資 1-9 振動評価 ISO 規格の変遷

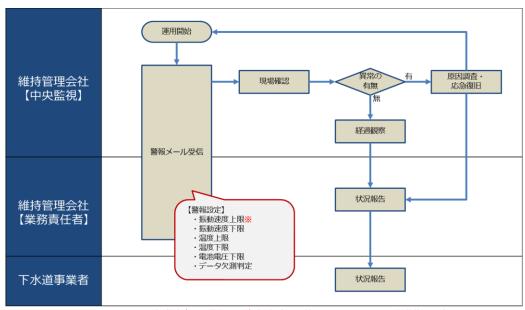
# 3) 突発故障への適用

機器に定格以上の負荷をかけて劣化を促進し、設備の劣化傾向を示すセンサーモニタ リングデータを収集する目的で実施した劣化加速試験において突発故障が発生し、その 際に収集していたセンサーモニタリングデータを検証した。劣化の兆候として振動速度 RMS 値の上昇傾向が現れたのは、突発故障による設備停止の 20 分から 60 分前であり、 連続センサーの測定最低周期である 10 分間隔での測定により、本技術により、劣化診 断・劣化予測のみならず突発故障の事前検知が可能であるとした。図\_資 1-10 に突発故 障発生時のセンサーモニタリングデータを示す。



図\_資 1-10 突発故障発生時時のセンサーモニタリングデータ

また、本技術の故障事前検知に適用するにあたり、実証研究にて運用しているフローをベースに、維持管理会社が運転管理を受託する場合の緊急連絡フローを策定した。図\_ 資 1-11 に突発故障検知時の緊急連絡フローを示す。

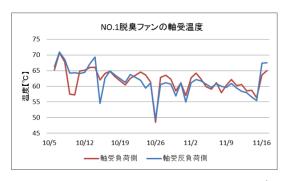


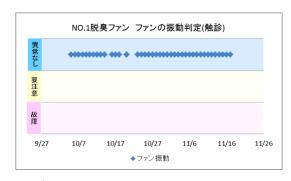
※振動速度上限警報は、注意/危険の閾値ラインを上限として段階的に設定する機器に異常がなく警報が頻発する場合は徐々に設定値の見直しを行う

図\_資 1-11 突発故障発生時の緊急連絡フロー

- (4)実証研究成果~標準運用フロー(タブレット点検技術運用段階)
  - 1) 日常点検記録のデータ処理・可視化手法

タブレット点検情報は、点検作業日毎の帳票データとして記録されている。その点検情報を設備劣化簡易診断で利用するにあたり、帳票データから連続グラフ表示方法を確立し、自動化している。これにより、現場メータの数値データだけでなく、五感による定性データのグラフ化も可能としている。図\_資 1-12 に点検情報グラフ表示例を示す。





図\_資 1-12 タブレット点検グラフ表示例

## 2) タブレット点検技術による効果

タブレット点検技術により、日常点検記録は従来紙帳票で記録した情報をPC等に手入力する作業が、タブレット端末への入力で自動化される。実証フィールドでの日常点検作業の結果、自動化されるデータ入力時間が点検作業全体の10%であったことから、10%の作業時間が低減される。表\_資 1-12に実証フィールドにおける日常点検記録に係る作業時間低減効果例を示す。

また、図\_資 1-13 の通り、タブレット端末を使用することによる定性的な副次的な効果について整理した。

| *+********* | 巡回点検  |              | 従前技術                      |           | 革新的技術            | 削減時間 | 時間削減率 |  |
|-------------|-------|--------------|---------------------------|-----------|------------------|------|-------|--|
| 対象施設        | 対象項目数 | 紙点検時間<br>(分) | データ入力<br>( <del>分</del> ) | 小計<br>(分) | タブレット点検<br>時間(分) | (分)  | (%)   |  |
| みやぎ中山ポンプ場   | 94    | 84.7         | 6                         | 90.7      | 82.5             | 8.2  | 9.1   |  |
| 国見第一ポンプ場    | 71    | 59.7         | 6                         | 65.7      | 59.4             | 6.3  | 9.6   |  |

表 資 1-12 日常点検記録係る作業時間低減効果例



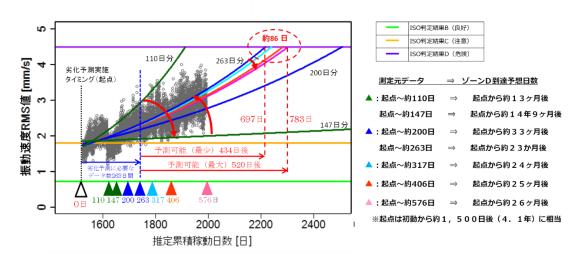
図\_資 1-13 タブレット端末による副次的効果

#### (5)実証研究成果~標準運用フロー(保全計画運用段階)

#### 1) 設備劣化診断用グラフ化・劣化予測処理

振動測定データに含まれる不要データの除去処理や移動平均処理の前処理および、劣化簡易診断用のグラフ表示処理は、図\_資 1-7 に記載した。グラフ化した振動連続センサーデータを参照することで、設備の劣化簡易診断が可能となる。

さらに、将来の劣化傾向や精密点検や修繕等が必要となる ISO 危険ゾーン到達時期を簡易予測するための劣化予測処理を確立している。指数近似による劣化予測曲線制定処理は、振動測定データの ISO 判定値 C を超えるところを目安に起点を設定し、9 カ月間以上のデータから指数近似により行う。実証研究からは、劣化予測処理に必要な振動測定データの精度として、1 日 1 回以上、9 カ月以上の期間の振動測定データで予測することにより、ISO 危険ゾーン到達時期が3カ月程度の範囲となることを確認している。図\_資 1-14 に劣化予測処理例を示す。



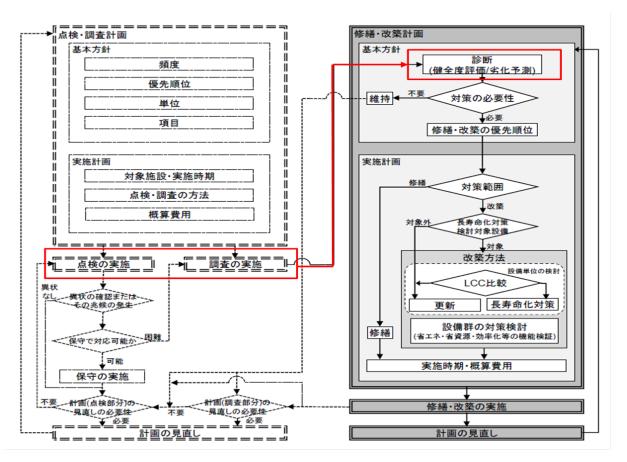
- ・予測に必要なデータ日数:9カ月以上
- ・予測期間の精度:ゾーンD到達時期を<mark>約3ヶ月</mark>の範囲で予想できる可能性あり
- ・劣化予測に必要な最低測定周期:1日1回程度

図 資 1-14 劣化予測処理例

### 2) 保全計画における適用フロー

本技術は、ストックマネジメントの効率的、効果的な実施のために、振動センサー連続データおよび日常点検記録を簡易に収集、蓄積し、その蓄積情報から設備の健全度を簡易診断し、保全計画への情報活用を図るものである。『下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015 年版-』では、修繕・改築計画の策定に際し、設備の劣化状況を総合的に評価して健全度を算出し、その健全度情報等から劣化予測を行い対策の必要性を判断している。同ガイドラインでは、設備の劣化状況の調査例として、振動診断による方法を例示しており、本技術はその振動診断の位置付けで活用可能である。

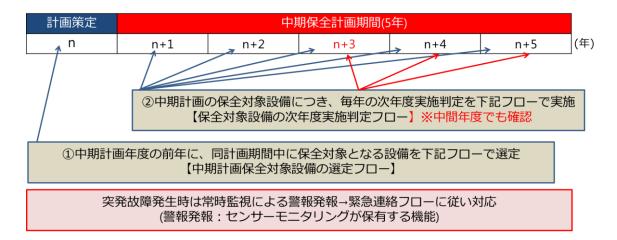
図\_資 1-15 にストックマネジメントにおける修繕・改築計画策定フローを示す。図\_資 1-15 赤線部分が、本技術の位置付けとなる。



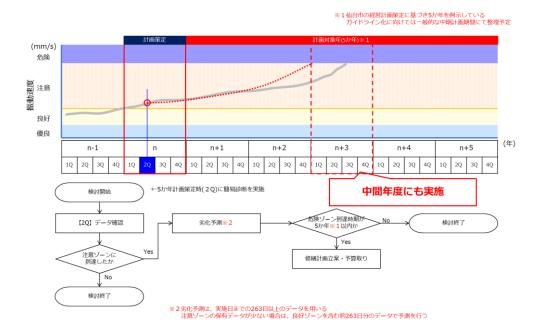
図\_資 1-15 ストックマネジメントにおける修繕・改築計画策定フロー

ストックマネジメントガイドラインの下で本技術を利用するにあたり、中期保全計画 策定時に、当該保全計画年度の間に設備が保全の対象となるか否かにつき、本技術の劣 化簡易診断および劣化予測により確認することになる。図\_資 1-16 に中期保全計画策定 スケジュール例を示す。

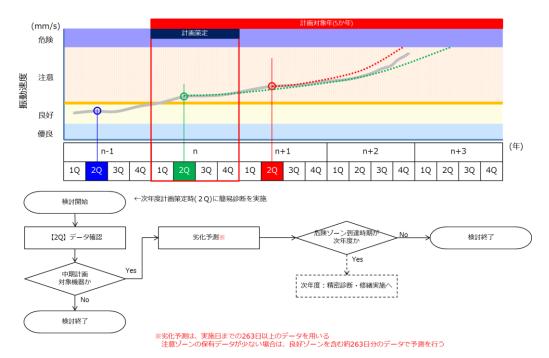
中期保全計画策定時においては、図\_資 1-17 に示す通り、振動測定データが ISO 規格の注意ゾーンに到達した設備に対して劣化予測を実施し、当該保全計画年度の間に振動測定データが ISO 規格の危険ゾーンに到達した設備を保全対象としている。また、当該保全計画年度の間での振動測定データの上昇を考慮し、中間年度および保全実施前年度にも劣化予測を実施して確認することとしている。また、保全計画実施前年度においては、図\_資 1-18 に示す通り、保全計画対象の設備に対して劣化予測を実施し、次年度(保全実施年度)の間に振動測定データが ISO 規格の危険ゾーンに到達した設備を保全実施対象としている。



図\_資 1-16 保全計画策定スケジュール例



図\_資 1-17 保全対象設備判定フロー(保全計画策定年度・中間年度)



図\_資 1-18 保全対象設備判定フロー(保全計画実施前年度)

なお、研究初年度からの振動測定データの蓄積により、設備の劣化に伴う振動測定データの上昇は年単位となる。従い、1年程度以下での振動測定データの上昇は、突発故障として判断し、図\_資 1-11 記載の突発故障発生時の緊急連絡フローでの対応としている。

## 第2節 購入特記仕様書案

## 2. 1 センサーモニタリングシステム特記仕様書案

### 1. システム概要

無線型振動センサーにより、連続的に振動値を測定し、自動的にクラウドサーバへデータ蓄積する。クラウドサーバに蓄積した振動値データは、PC やタブレット端末からインターネットを介して確認する事ができ、必要なデータをダウンロードできる機能および集計した報告書を配信する機能を有する。また、任意に閾値を設定する事で自動警報メールにて担当者へ通知できる機能を有する。

## 2. システム仕様

#### 2-1. 振動センサー

本振動センサーは振動速度値のデータ取得を行い、一定周期で無線方式によりデータ送信を行う装置とする。

### 1) 振動センサー基本仕様

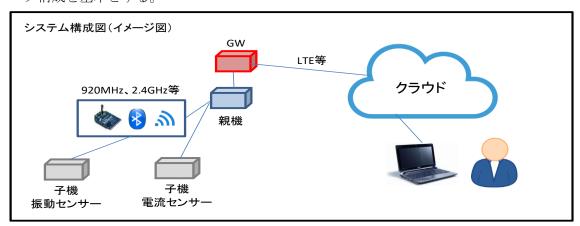
| 項目      |         | 仕様              |  |
|---------|---------|-----------------|--|
| 寸法      | 全長 (mm) | 40~60mm 程度      |  |
|         | 幅 (mm)  | 30~60mm 程度      |  |
|         | 厚さ (mm) | 20~50mm 程度      |  |
| 防水・防塵仕様 |         | 簡易防塵・防滴程度       |  |
| 使用環境    | ケース耐熱温度 | ~60℃程度(-10~60℃) |  |
| 振動      | 測定周波数範囲 | ~1000Hz         |  |
|         |         | (ローパスフィルタ付)     |  |
|         | 測定周期    | ~10分            |  |
|         | A/D 分解能 | 10bit 以上        |  |
| 通信方式    |         | 無線方式            |  |
| 電源      |         | 電池式(一次電池/二次電池)  |  |
| 取り付け方法  |         | マグネット           |  |

### 2) 外部信号の取り込み

電流値およびプロセス値等の外部信号を、振動センサー等を介して取り込み、振動値 データと同時にデータ通信する機能を有する装置とする。

# 2-2. ネットワーク

ネットワーク構成は納入者の任意とするが、下記の参考構成図のような無線ネットワーク構成を基本とする。



# <通信方式例>

- ・子機一親機:wi-fi、bluetooth、zigbee等
- ・親機-ゲートウェイ(GW): イーサネット等
- ・親機-クラウドサーバ:携帯データ通信網(4G、LTE)等

# 2-3. システム仕様

# 1) 計測データ項目

| No. | 項目       | 単位           |
|-----|----------|--------------|
| 1   | 速度(RMS)値 | mm/s         |
| 2   | 子機内部温度   | $^{\circ}$ C |
| 3   | 子機電池電圧   | V            |
| 4   | 電界強度     | dBm          |
| 5   | 設備電流値    | A            |
| 6   | 予備 1     |              |
| 7   | 予備 2     |              |
| 8   | 予備 3     |              |

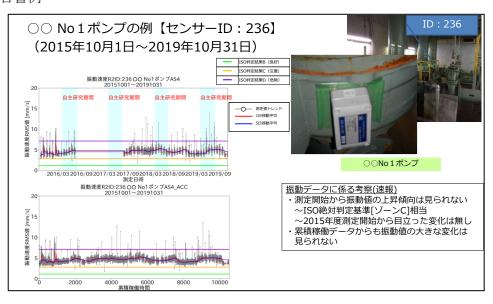
# 2) 計測データ蓄積

|      | 条件       |          |  |
|------|----------|----------|--|
| 設備台数 | 400, 000 | 400, 000 |  |
| 保存年数 | 10       | 5        |  |
| 保存容量 | 約 17TB   | 約 8.5TB  |  |

# 3) 機能概要

| 分類  | 機能     | 概要                          |
|-----|--------|-----------------------------|
| 収集  | 収集機能   | センサーデータを収集しサーバのデータベース       |
|     |        | に登録を行う                      |
| 表示  | ログイン認証 | ユーザーID、パスワードを使用し認証を行う       |
|     | グラフ表示  | 各計測データをグラフ表示する              |
|     |        | センサーデータを重ねて表示が可能である事        |
|     | データ参照  | 計測データを参照、ダウンロードする           |
|     |        | ダウンロードファイル形式は Excel/CSV 等の汎 |
|     |        | 用ソフトウェアで取り扱える形式とする          |
| 警報  | アラーム通報 | センサー毎に監視用閾値を設定し、閾値逸脱時お      |
|     |        | よびセンサー電池電圧低下時に警報メールを送       |
|     |        | 信する                         |
| 報告書 | 報告書集計配 | 計測データをデータ処理および推移予測処理し       |
|     | 信      | てグラフ化した報告書に集計し、配信する。        |

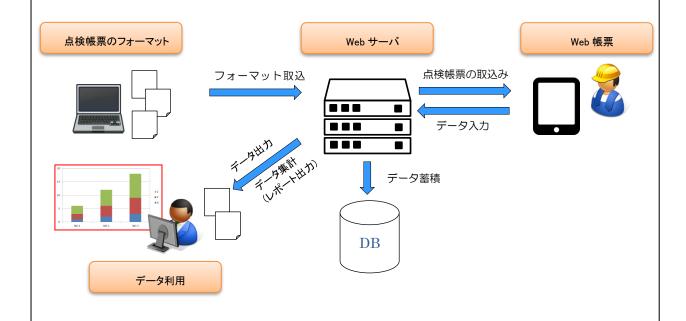
# 4) 報告書例



# 2. 2 タブレット点検システム特記仕様書案

# 1. システム概要

現場で行う日常点検等の点検結果をタブレット端末に表示する点検帳票に入力して、 無線通信により点検データをクラウドサーバに自動的に蓄積する。クラウドサーバに蓄 積した点検データは、PC やタブレット端末からインターネットを介して確認する事がで き、必要なデータのダウンロードや集計する機能を有する。



# 2. システム仕様

## 1) 点検項目

| 種別   | 項目          |
|------|-------------|
|      | 異音          |
|      | 触診結果(振動・温度) |
| 定性状態 | 損傷・汚れ       |
|      | 油漏れ         |
|      | 臭気          |
|      | 温度          |
|      | 圧力          |
| 計測値  | 電流          |
|      | 電圧          |
|      | 周波数         |

### 2)機能概要

| <b>                 </b> |                               |
|--------------------------|-------------------------------|
| 項目                       | 仕様                            |
| 帳票作成                     | Excel 等の汎用ソフトで点検帳票を作成する       |
| サーバ機能                    | 点検帳票雛形を登録する                   |
|                          | タブレット端末から送信される点検データを自動的に蓄積する  |
|                          | 点検実績を Excel や CSV ファイル形式で出力する |
|                          | 点検実績の集計・分析結果を可視化して、レポート出力する   |
| 端末機能                     | サーバにアクセスしタブレット端末に点検帳票を参照する    |
|                          | タブレット端末のキーボードで数値・文字入力する       |
|                          | 管理値閾値逸脱時に、アラートを表示する           |
|                          | 点検項目に未実施があれば、アラートを表示する        |
|                          | 過去実績値を参照する機能を有する              |
|                          | 通信環境がない場合でもデータ入力するオフライン機能を有する |
|                          | 中央監視端末機能、図面閲覧機能等をインストール可能である  |

## 3. クラウドサーバ・クライアント環境

納入者の任意とするが、下記のサーバ・クライアント環境、安全かつ堅牢なデータセン サー環境を想定する。

### 1) 動作環境

納入者の任意とするが、下記のサーバ・クライアント環境を想定する。

## 1-1) サーバ

プロトコル HTTP/HTTPS 等

インターフェース REST API コントロールパネル (GUI)

OS WindowsSever2019以上

Web サーバ InternetInformationServices (ⅡS) 10.0 等 DB サーバ MySQL5.6 以上等 (特に限定するものではない)

ID 容量 無制限(ユーザー任意選択可能である事)

認証方式 API 認証 (DIGEST 認証) 等

データ保護 3分散による保護 (バックアップ環境がある事)

# 1-2) クライアント(PC またはタブレット端末)

種類 Windows、iPad OS Windows10、iOS

ブラウザ InternetExplorer11、GoogleChrome等

画面解像度 1024×768

### 2) データセンター

### 2-1)データセンター構造

- 耐震構造である
- ・地盤の強いエリアにある

# 2-2) 電源設備

- ・電力会社からの引込が2系統以上である
- ・無停電電源設備や非常用発電設備を有する

### 2-3) 空調設備

・サーバルームは一定の温度と湿度に保たれ、サーバの健全な稼働を可能とする設備を 有する

#### 2-4) セキュリティ

- ・データセンターへの立ち入りやサーバへのアクセス権限等を管理する
- ・データセンター内における監視は24時間365日常時監視体制である

### 2-5) 防災設備

・高感度煙感知器、地震計、漏水センサー等による 24 時間監視体制で災害を未然に防止する

## 2-6) 消火設備

・各フロアにハロンガス消火設備及び一般消火器等が設置されている事

### 2-7) 設備監視体制

・電源設備、空調設備、セキュリティ設備、災害防止設備等の管理を 24 時間 365 日の 管理体制とする

### 2-8) 認証資格

- ・情報セキュリティマネジメントシステム(IS027001)
- ・IT サービスマネジメントシステム (ISO20000-1)
- ・品質マネジメントシステム (IS09001)
- ・環境マネジメントシステム(IS014001)

# 第3節 その他検証事項と提言

3. 1 元々振動値の高い設備の管理方法

本技術による設備劣化簡易診断においては ISO10816-1:1995 で判定することを基本としているが、一方で ISO10816-1:1995 規格では注意領域、危険領域として扱われる振動測定データが元々高い設備も稼働している。図\_資 3-1 に示す通り、実証フィールドにて稼働している設備においては、86%の設備が ISO10816-1:1995 にて判定可能であり、14%の設備が当初より振動測定データの高い結果となっている。

・既設機器を振動センサー毎に**絶対判定基準(ISO10816-1:1995)**で評価 ※各振動値の移動平均値が現在どのゾーンにあるか判定

| ゾーン名  | 現在の<br>移動平均値位置 | 合計       |
|-------|----------------|----------|
| 優良ゾーン | 32 (42%)       | 66 (86%) |
| 良好ゾーン | 34 (44%)       | 00 (00%) |
| 注意ゾーン | 7 (9%)         | 11 (14%) |
| 危険ゾーン | 4 (5%)         | 11 (14%) |

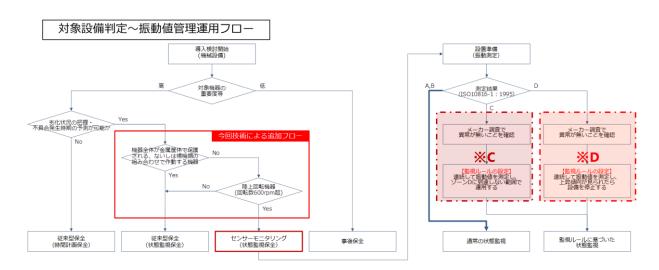
対象機器点数:14台 センサー数(振動):77台

※表内の数値:センサー台数( )は総センサー数(77台)に対する割合を表示

図\_資 3-1 実証フィールド設備の振動データ分布

本技術の採用にあたり、元々振動測定データの高い設備の管理方法については次のように定め、図\_資 3-2 に示す振動値管理運用フローを策定した。

- ①設置当初より IS010816-1:1995 注意ゾーン(ゾーン C) にある設備 メーカに確認を依頼して設備に異常がないことを確認した上で運用する。振動値を 連続測定し、IS010816-1:1995 危険ゾーン(ゾーン D) に到達しない範囲で運用するこ とが望ましい(図 資 3-2※C)。
- ②設置当初より IS010816-1:1995 危険ゾーン(ゾーン D) にある設備 メーカに確認を依頼して設備に異常がないことを確認した上で運用する。振動値を 連続測定し、振動に上昇傾向が見られたら運転を止めることが望ましい(図\_資 3-2 ※D)。

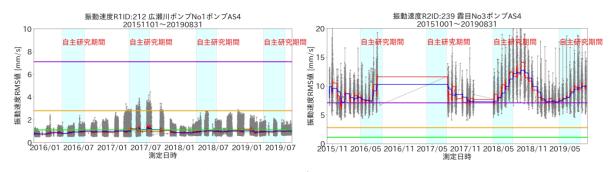


図\_資 3-2 振動値管理運用フロー

### 3. 2 健全状態にある設備の振動値の挙動

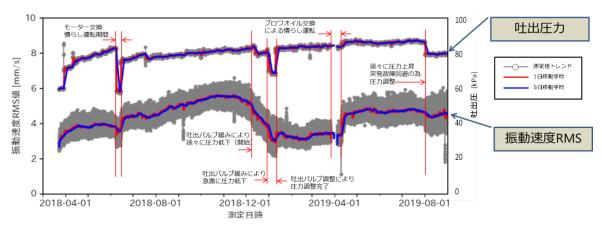
実証研究にて蓄積した振動測定データからは、図\_資 3-3 に示すように振動測定データは常時変動することが確認された。

No.1広瀬川ポンプ【センサーID:212】 No.3 霞目ポンプ【センサーID:239】 (2015年11月1日~2019年8月31日) (2015年10月1日~2019年8月31日)



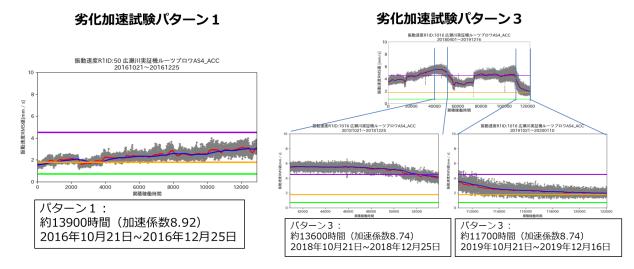
図\_資 3-3 振動測定データ変動例

実証研究における劣化加速試験機では、図\_資 3-4 に示す通り、プロセス値(吐出圧力)の変化により振動測定データも変化しており、流量や圧力等のプロセス値の変化が振動値の変化に影響を与えるものと推測された。



図\_資 3-4 振動測定データとプロセス値の変化(劣化加速試験機)

また、図\_資 3-5 に示す通り、設備の状態が健全で劣化は進行していない設備では、プロセス量の変化に応じて振動データが変化するが、劣化が進行した設備では振動測定データの上昇傾向は顕著化する傾向にあることが確認された。



図\_資 3-5 劣化加速試験パターン1(劣化進行)・パターン3(健全)比較

これらの結果から、簡易劣化診断、簡易劣化予測により設備の劣化を判断する際は、振動測定データが ISO 規格の危険ゾーンを超えて上昇している設備に適用することで劣化 判断の精度が高められると考えられる。

一方、健全状態にある設備に対しても簡易劣化診断、簡易劣化予測は適用可能であるが、 振動測定データの上昇下降は正常な範囲での挙動であることを理解して、利用すること が望ましい。

### 3. 3 突発故障の未然防止による定性的なメリット

本技術により故障発生を未然に検知することが可能であり、導入判断の評価項目の一例として、突発故障を未然に防ぐことによる定性的なメリットを整理した。

突発故障を未然に防ぐことによる定性的なメリットとしては、復旧対応の迅速化(時間短縮)、施設管理の相対的な信頼性向上が挙げられた。図\_資 3-6 に突発故障未然防止による定性メリットを示す。

- ・故障検知が適用されていれば原因特定をする際の参考となるため、復旧対 応の迅速化に繋がる
- ・中央監視が手薄になるリスク\*が低減されるため、施設管理の信頼性が相対的に高まる
- ・経験の浅い所員が配置されている日に故障が発生しても、所長や設備担当 者による確認ができるため、復旧対応に係る時間が短縮される
- ※維持管理業務では2名で中央監視業務を行う時間帯(夜間休日)が約8割を占めている そのため、夜間休日に異常が発生すると1名が現地対応を行うことになり中央監視が手薄になる

### 図 資 3-6 突発故障未然防止による定性メリット

#### 3. 4 設備補修周期延伸によるリスク

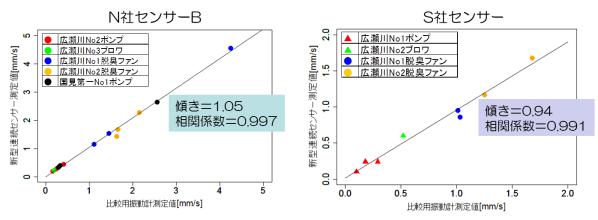
導入判断の評価項目の一例として設備補修周期延伸による経費回収年の試算例を示しているが、実際に延伸可能な設備補修点検周期については検証が困難である。即ち、同試算例においては設備補修点検周期が仮定となるため、補修周期延伸によるリスクを整理した。実証フィールドの設備は、予備機が設置されているため設備の稼働率が20%から50%程度と低い傾向にあり、既にメーカ推奨のオーバーホール周期(4~7年)よりも長い周期となっている。従い、コスト縮減効果の試算に用いた設備補修点検周期の更なる補修周期延伸により、次のリスクが想定される。

### <想定されるリスク>

- ・故障発生確率の増大
- ・オーバーホール周期実施後のメーカ動作保証度合の劣後

#### 3.5 振動連続センサーの精度

本技術で採用している常設型の振動連続センサーは、測定精度の面で従来技術である ポータブルタイプの手測定振動計と同等であることを確認している。比較用振動計(手測 定)と振動連続センサーとの振動速度値の比較を図\_資 3-7 に示す。



図\_資 3-7 手測定振動計と連続センサーの測定データ比較

#### 3.6 振動連続センサーの耐久性

実証研究ではセンサーモニタリング機器は累積 37,450 時間  $(1,561 \text{ 日} \cdot 4 \text{ 年} 3 \text{ ヶ月})$  安定して連続稼働しており、これまで故障等の停止は発生していない。

センサーモニタリング機器を構成する子機(振動連続センサー)、中継機、親機について、内部の分解点検調査を実施した。図\_資 3-8 に示す通り、実証フィールドに設置した子機(振動センサー)の分解点検調査結果からは、外観や内部基板の腐食や劣化は認められず、測定値の異常も認められなかった。



**国見第一ポンプ場 No2ポンプ** 形式: 横軸スクリューポンプ 仕様: 150mm×1.32m3/min 電動機出力: 22kW-200V

センサー番号:234 センサー設置期間:2015/9/7~2019/4/9 (3年7ヶ月) 設置環境:換気設備あり、湿度未測定(ジメジメ感なし)

: 室温26℃ (2019/8/29)、結露なし



図\_資 3-8 分解点検調査結果例(実証フィールド設置子機)

また、実証フィールドに設置した親機、中継機の分解点検調査結果からも、腐食や劣化は認められなかった。図\_資 3-9 に実証フィールド設置の親機の調査結果例を示す。

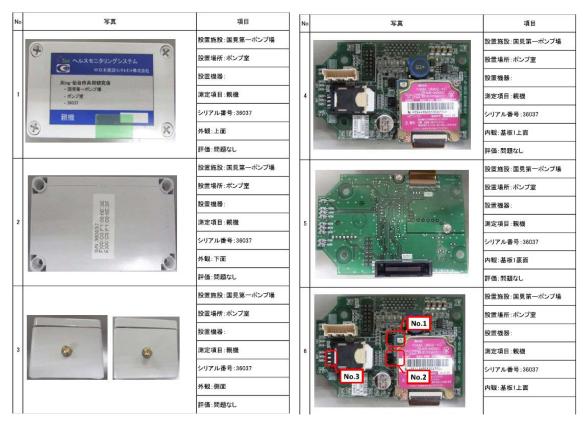


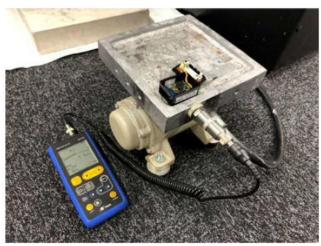
図 資 3-9 分解点検調査結果例(実証フィールド設置親機)

センサーの測定値について、図\_資 3-10 に示すような加振機による手測定振動値との 比較にて確認し、センサー測定値の異常も認められなかった。表\_資 3-1 にセンサー測定 値確認結果を示す。

なお、音圧については、異音検知の代用不可であることを実証研究にて確認しており、 音圧はセンサーとして使用していない。

これらの結果から、構成する子機(振動センサー)、中継機、親機について、外観や内部 基板の腐食や劣化は認められず、センサー測定値の異常も認められなかった。従い、本技 術導入における経費回収年として設定している5年程度(電子機器の減価償却資産の耐用 年数)の耐久性を有するものと評価した。





図\_資 3-10 センサー測定値確認状況例

# 表\_資 3-1 センサー測定値確認結果

| 大分類       | 中分類  | 小分類    | センサー数 |
|-----------|------|--------|-------|
|           |      | 電気室    | 3     |
|           | 汚泥棟  | 電動機室   | 12    |
|           |      | 軸受室    | 4     |
| 広瀬川浄化センター |      | ポンプ室   | 19    |
|           |      | ブロワ室   | 9     |
|           | 水処理棟 | 脱臭室    | 8     |
|           |      | 加速試験機  | 9     |
| 国見第一ポンプ場  | -    | ポンプ室   | 7     |
|           |      | 電動機室   | 7     |
| 霞目ポンプ場    |      | B1軸受室  | 3     |
| 段日小ノノ物    | _    | B2軸受室  | 3     |
|           |      | B3ポンプ室 | 6     |
| みやぎ中山ポンプ場 | _    | ポンプ室   | 16    |
| 計         | _    |        | 106   |

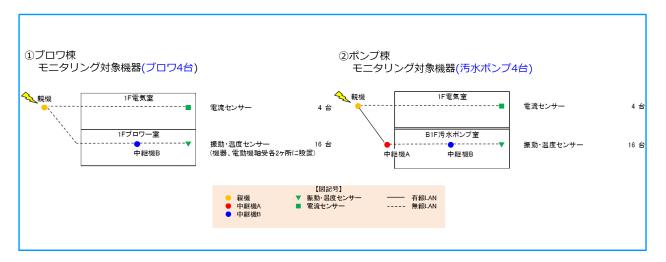
| 測定項目    | センサー数  | 合格   | 不合格  | 割合             |
|---------|--|--|--|----------------|
| 振動速度RMS |  | 60   | 0  | 100%           |
| 音圧      | 60   | 60   | 0  | 100%           |
| 温度      |  | 60   | 0  | 100%           |
| 振動速度RMS |  | 24   | 0  | 100%           |
| 音圧      | 24   | 18   | 6  | 75%            |
| 温度      |  | 24   | 0  | 100%           |
| 電流      | 14   | 14   | 0  | 100%           |
| 温度      | 6  | 6  | 0  | 100%           |
| 計測値     | 2  | 2  | 0  | 100%           |
|         | 振動速度RMS<br>音圧<br>温度<br>振動速度RMS<br>音圧<br>温度<br>電流<br>温度 | 振動速度RMS<br>音圧<br>温度<br>振動速度RMS<br>音圧<br>温度<br>電流 14<br>温度 6<br>計測値 2 | 振動速度RMS 60 60 60 高圧 60 60 編度 60 振動速度RMS 24 18 温度 24 18 温度 24 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 6 6 6 6 1計測値 2 2 | 振動速度RMS 60 0 0 |

誤差5%以内を合格とした

### 第4節 FS 調査ケーススタディ

#### 4. 1 処理規模 1 万 m<sup>3</sup>/日

連続センサーを図\_資 4-1 に示す設備(ブロワ4台、汚水ポンプ4台)に設置し、タブレット点検を含めた状態監視を行うケースについて、導入効果および経費回収年を試算した。



図\_資 4-1 モニタリング対象機器と連続センサーの設置図(処理規模 1 万 m³/日)

# 1)建設費

建設費には、タブレット端末や連続センサーの購入費用や利用環境を整えることを含めた「機器費」や「LAN ケーブル設置費」「環境構築費」が必要になる。処理規模1万 m³/日の建設費は5,833,500 円になる。

### 機器費

点検に使用するタブレット端末購入に関わる費用が含まれる。また、センサーモニタリングに使用する連続センサーやモニタリングデータをクラウドサーバに送信する親機・中継機の費用が含まれる。(図\_資 4-2: 3,367,600円)

#### LAN ケーブル設置費

センサーモニタリングに使用する LAN 配線の材料費他、設置工事費や親機・中継機を設置する電源ケーブル等が費用に含まれる。(図\_資 4-2: 278,200円)

## ③ 環境構築費

タブレット点検用の帳票作成費やクラウドサーバ側の設定費用等が含まれる。センサーモニタリングでは、連続センサーを現地設置して、モニタリングデータがクラウドサーバに登録される通信確認やクラウドサーバ側の設定費用が含まれる。(図\_資 4-2:2,187,700円)

#### ①機器費

| 対象             | 品目          | 単価      | 個数 | 小計        |
|----------------|-------------|---------|----|-----------|
|                | 親機          | 132,000 | 2  | 264,000   |
|                | 中継機A        | 63,000  | 1  | 63,000    |
| センサー<br>モニタリング | 中継機B        | 76,000  | 2  | 152,000   |
|                | 連続センサーA(電流) | 45,000  | 8  | 360,000   |
|                | 連続センサーB(振動) | 76,000  | 32 | 2,432,000 |
|                | タブレット端末     | 37,800  | 2  | 75,600    |
| タブレット点検        | タブレット保持具    | 7,500   | 2  | 15,000    |
|                | 契約事務手数料     | 3,000   | 2  | 6,000     |

### ③環境構築費

| 対象      | 品目    | 単価        | 個数 | 小計        |
|---------|-------|-----------|----|-----------|
| センサー    | 計測支援  | 657,100   | 1  | 657,100   |
| モニタリング  | 旅費交通費 | 530,600   | 1  | 530,600   |
| タブレット点検 | 環境構築費 | 1,000,000 | 1  | 1,000,000 |

2,187,700

3,367,600

### ②LANケーブル設置費

| 対象   | 品目         | 単価     | 個数 | 小計     |
|------|------------|--------|----|--------|
|      | 【材料費】      |        |    |        |
|      | LANケーブル材料費 |        |    |        |
|      | ポンプ棟(20m)  | 210    | 20 | 4,200  |
|      | メタルラック     | 7,900  | 5  | 39,500 |
|      | プラボックス     | 11,500 | 5  | 57,500 |
| センサー | 漏電遮断器      | 4,100  | 5  | 20,500 |
| モニタリ | 防水タップコード   | 4,800  | 5  | 24,000 |
| ング   | 【工事費】      |        |    |        |
|      | LAN配線工事費   | 750    | 20 | 15,000 |
|      | 成端工事費      | 1,000  | 2  | 2,000  |
|      | LAN測定費     | 1,500  | 1  | 1,500  |
|      | 機器取付工事費    | 64,000 | 1  | 64,000 |
|      | 諸経費        | 50,000 | 1  | 50,000 |

278,200

建設費(①+②+③): 5,833,500円

# 図\_資 4-2 処理規模1万・5万 m³/日の建設費

# 2)維持管理費

タブレット点検では、タブレット端末の通信費用や情報セキュリティ対策費用が含まれる。センサーモニタリングでは、連続センサーが収集したデータをクラウドサーバに送信する為の親機の通信費やクラウド使用料の他、連続センサーの電池交換が年4回の頻度で必要になることから、交換電池費用や作業労務費が含まれる。また、クラウドサーバに蓄積されたデータを解析するのにセンサーモニタリング技術が提供するデータ分析費用が含まれる。処理規模1万 m³/日の維持管理費は716,400 円になる。

# ④維持管理費

| 対象               | 品目                  | 単価      | 個数  | 小計      |
|------------------|---------------------|---------|-----|---------|
|                  | 親機 通信費              | 82,800  | 2   | 165,600 |
|                  | 連続センサーA(電流) クラウド使用料 | 1,800   | 8   | 14,400  |
|                  | 連続センサーB(振動) クラウド使用料 | 5,400   | 32  | 172,800 |
| センサー<br>  モニタリング | 電工単価(宮城県・主任)※       | 19,900  | 4   | 79,600  |
|                  | 交換電池(電流用) 単三電池3本セット | 250     | 32  | 8,000   |
|                  | 交換電池(振動・温度用) CR電池   | 150     | 128 | 19,200  |
|                  | データ分析費用             | 100,000 | 1   | 100,000 |
| タブレット            | タブレット端末の通信料         | 68,400  | 2   | 136,800 |
| 点検               | クライアント証明書費用         | 10,000  | 2   | 20,000  |

716,400

図\_資 4-3 処理規模1万・5万㎡/日の維持管理費

### 3) 導入効果

導入効果は、「精密測定の回避」「故障対応費の低減」「点検時間の低減」が挙げられる。 3-1)~3-3)に示す処理規模1万m³/日での導入効果は、1,955,600円になった。

## 3-1)精密測定の回避

実証フィールド実績で精密診断を行う対象機器は全体数の 8%であることから、対象機器数を1台に設定した。その際の測定ポイント数を軸受部分の4ポイントに設定した場合の費用効果を図\_資 4-4に示す。

精密測定対象機器 : 1台(8台 × 0.08 ≒ 1台)

振動測定ポイント数: 4ポイント(機器側2ポイント、電動機2ポイント)

# ⑤精密測定1回(測定12ポイント/日迄)にかかる費用

|               | 単価      | 個数 | 小計      |
|---------------|---------|----|---------|
| 【振動詳細診断業務】    |         |    |         |
| 振動詳細診断業務      | 450,000 | 1  | 450,000 |
| 【AE診断業務】      |         |    |         |
| 軸受評価および振動詳細診断 | 625,000 | 1  | 625,000 |
| 旅費交通費         | 109,000 | 1  | 109,000 |
| 【測定結果の報告】     |         |    |         |
| 測定結果の報告書作成    | 150,000 | 1  | 150,000 |
| 現地説明          | 150,000 | 1  | 150,000 |
| 旅費交通費         | 37,500  |    | 37,500  |
| 【諸経費】         |         |    |         |
| 諸経費           | 176,000 | 1  | 176,000 |
| 【一般管理費】       |         |    |         |
| 一般管理費         | 84,900  | 1  | 84,900  |

1,782,400

### 図\_資 4-4 精密測定 1回(測定 12 ポイント/日迄)にかかる費用

#### 3-2) 故障対応費の低減

平成 28 年度に国土技術政策総合研究所が全国 55 件の下水処理場に対して行った調査 結果では、汚水ポンプと送風機の故障対応費は図\_資 4-5 の通りであった。発生する機 器故障の中で、軸受部分に関わる故障件数は実証フィールド実績より全体発生件数の 10%程度であることから、損害低減効果を標準費の 10%に設定して故障対応費を算出した。処理規模 1 万  $m^3$ /日では、故障対応費は 43,200 円(汚水ポンプ 23,600 円、送風機 19,600 円)になった。

#### ⑥故障対応費

#### 全国55下水処理場のアンケート結果に基づく標準値(平成28年度国総研実施)

### 汚水ポンプ標準値

| 項目             | [千円/年/台] |
|----------------|----------|
| 更新費(15年周期)     | 1,600    |
| オーバーホール費(8年周期) | 467      |
| 故障対応費※         | 59       |
| 日常・定期点検対応費     | 140      |
| 計              | 2,265    |

送風機標準値

| 項目                 | [千円/年/台] |
|--------------------|----------|
| 更新費(20年周期)         | 2,850    |
| オーバーホール費(9年周期)     | 700      |
| 故障対応費 <sup>※</sup> | 49       |
| 日常・定期点検対応費         | 151      |
|                    |          |

計 3,749

# 図\_資 4-5 アンケート結果に基づく故障対応費(処理規模1万 m³/日)

導入効果 : 43,200 円

汚水ポンプ: 59,000(円) × 0.1 × 4(台) = 23,600円 送風機 : 49,000(円) × 0.1 × 4(台) = 19,600円

# 3-3) 点検時間の低減

従来の紙に点検結果を記録する手法と比べて、タブレットを利用した点検では点検結果をデータ化する時間削減効果が10%程度\*現れる。連続センサーを設置した機器(汚水ポンプ4台、ブロワ4台)を対象にタブレット点検を行った場合、処理規模1万㎡/日で年間130,000円であった。※平成27年度・28年度実証研究成果より約10%の時間低減効果があった。

#### ⑦点検時間の低減

| 対象機器  | 台数<br>(台) | 点検項目                       | 点検項目数<br>(項目)  | 点検時間*<br>(分) | データ入力*<br>(分) |
|-------|-----------|----------------------------|----------------|--------------|---------------|
| 汚水ポンプ | 4         | ・五感判定(異音、触診、損傷・汚れ、油漏れ、臭気)  | 40(=10項目/台×4台) | 80           | 6             |
| ブロワ   | 4         | ・計測判定(温度、圧力、電流、電圧、周波数)<br> | 40(=10項目/台×4台) |              | , i           |

※平成28年度実績より、対応時間を推測

みやぎ中山ポンプ場(点検項目数94):点検時間90.7分、データ入力6分国見第一ポンプ場(点検項目数71):点検時間65.7分、データ入力6分

## 図\_資 4-6 処理規模 1 万・5 万 m³/日における対象機器の点検時間

### 1日1回点検した場合の時間削減効果:130,000円/年

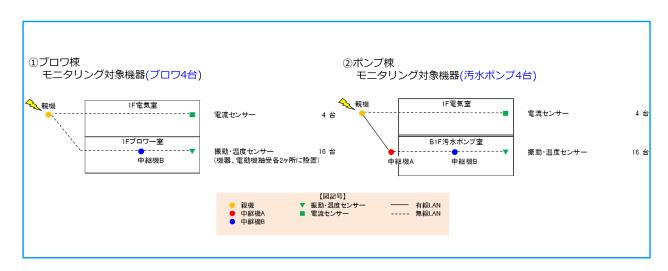
点検時間 86 分/回 × 0.1 × 365 日/年 = 3,139 分(=52.3 時間) 52.3 時間 × (8 時間/人工) $^{-1}$  × 19,900 円/人工 = 130,000 円/年

#### 4) 経費回収年

処理規模1万m³/日を想定したケースでは、経費回収年は5年以内と試算された。

### 4. 2 処理規模 5 万 m³/日

連続センサーを図\_資 4-7 に示す設備(ブロワ4台、汚水ポンプ4台)に設置し、タブレット点検を含めた状態監視を行うケースについて、導入効果および経費回収年を試算した。



図\_資 4-7 モニタリング対象機器と連続センサーの設置図(処理規模 5 万 m³/日)

### 1)建設費

対象機器設置台数が処理規模  $1 \, \text{万} \, \text{m}^3/\text{日の場合と同数であることから、処理規模 } 5 \, \text{万} \, \text{m}^3/\text{日の建設費は } 5,833,500 円になる。(費用内訳は図_資 4-2 参照)$ 

### 2)維持管理費

対象機器設置台数が処理規模 1万 m³/日の場合と同数であることから、処理規模 5万 m³/日の維持管理費は 716,400 円になる。(費用内訳は図\_資 4-2 を参照)

### 3) 導入効果

導入効果は、「精密測定の回避」「故障対応費の低減」「点検時間の低減」が挙げられる。 3-1)~3-3)に示す処理規模 5 万m³/日での導入効果は、2,009,600 円になった。

#### 3-1)精密測定の回避

対象機器設置台数が処理規模 1 万 m³/日の場合と同数であることから、処理規模 5 万 m³/日で精密測定の回避できる費用(導入効果)は、1,782,400 円になった。(費用内訳は図\_資4-2 を参照)

### 3-2) 故障対応費の低減

平成 28 年度に国土技術政策総合研究所が全国 55 件の下水処理場に対して行った調査結果では、汚水ポンプと送風機の故障対応費は図\_資 4-8 の通りであった。発生する機器故障の中で、軸受部分に関わる故障件数は実証フィールド実績より全体発生件数の 10%程度であることから、損害低減効果を標準費の 10%に設定して故障対応費を算出した。処理規模 5 万 m³/日では、故障対応費は 97,200 円 (汚水ポンプ 51,600 円、送風機 45,600 円) になった。

#### ⑥故障対応費

### 全国55下水処理場のアンケート結果に基づく標準値(平成28年度国総研実施)

#### 汚水ポンプ標準値

| 項目             | [千円/年/台] |
|----------------|----------|
| 更新費(15年周期)     | 1,600    |
| オーバーホール費(8年周期) | 467      |
| 故障対応費※         | 129      |
| 日常・定期点検対応費     | 140      |
| 計              | 2,335    |

送風機標準値

| 項目                 | [千円/年/台] |
|--------------------|----------|
| 更新費(20年周期)         | 2,850    |
| オーバーホール費(9年周期)     | 700      |
| 故障対応費 <sup>※</sup> | 114      |
| 日常・定期点検対応費         | 151      |

計 3,815

#### 図\_資 4-8 処理規模 5 万 ㎡/日における対象機器の点検時間

導入効果 : 97,200 円

汚水ポンプ: 129,000(円)  $\times$  0.1  $\times$  4(台) = 51,600 円送風機 : 114,000(円)  $\times$  0.1  $\times$  4(台) = 45,600 円

# 3-3) 点検時間の低減

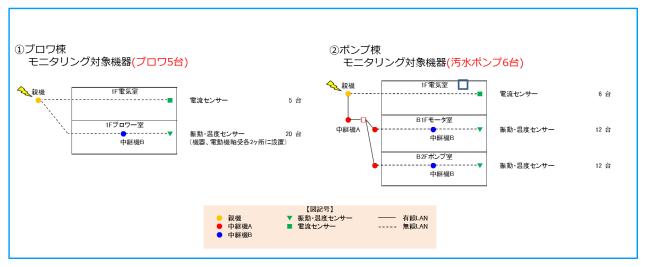
対象機器設置台数が処理規模 1 万 m³/日の場合と同数であることから、処理規模 5 万 m³/日で点検にかかる時間を費用換算した場合は 130,000 円になる。(費用内訳は図\_資 4-6 を参照)

### 4) 経費回収年

処理規模5万m<sup>3</sup>/日を想定したケースでは、経費回収年は5年以内と試算された。

### 4.3 処理規模 10 万m<sup>3</sup>/日

連続センサーを図\_資 4-9 に示す設備(ブロワ5台、汚水ポンプ6台)に設置し、タブレット点検を含めた状態監視を行うケースについて、導入効果および経費回収年を試算した。



図\_資 4-9 モニタリング対象機器と連続センサーの設置図(処理規模 10 万 m³/日)

#### 1)建設費

建設費には、タブレット端末や連続センサーの購入費用や利用環境を整えることを含めた「機器費」や「LAN ケーブル設置費」「環境構築費」が必要になる。処理規模  $10 \, \mathrm{ Tm}^3/$ 日の建設費は 7,493,900 円になる。

### ① 機器費

点検に使用するタブレット端末購入に関わる費用が含まれる。また、センサーモニタリングに使用する連続センサーやモニタリングデータをクラウドサーバに送信する親機・中継機の費用が含まれる。(図\_資 4-10: 4,616,600円)

### ② LAN ケーブル設置費

センサーモニタリングに使用する LAN 配線の材料費他、設置工事費や親機・中継機を設置する電源ケーブル等が費用に含まれる。(図\_資 4-10: 426,700円)

#### ③ 環境構築費

タブレット点検用の帳票作成費やクラウドサーバ側の設定費用等が含まれる。センサーモニタリングでは、連続センサーを現地設置して、モニタリングデータがクラウドサーバに登録される通信確認やクラウドサーバ側の設定費用が含まれる。(図\_資 4-10:2,450,600円)

#### ①機器費

| 対象             | 品目          | 単価      | 個数 | 小計        |
|----------------|-------------|---------|----|-----------|
|                | 親機          | 132,000 | 2  | 264,000   |
|                | 中継機A        | 63,000  | 3  | 189,000   |
| センサー<br>モニタリング | 中継機B        | 76,000  | 3  | 228,000   |
|                | 連続センサーA(電流) | 45,000  | 11 | 495,000   |
|                | 連続センサーB(振動) | 76,000  | 44 | 3,344,000 |
|                | タブレット端末     | 37,800  | 2  | 75,600    |
| タブレット点検        | タブレット保持具    | 7,500   | 2  | 15,000    |
|                | 契約事務手数料     | 3,000   | 2  | 6,000     |

#### ③環境構築費

単価 対象 品目 個数 八計 計測支援 920.000 920.000 センサー モニタリング 旅費交通費 530,600 530,600 タブレット点検 環境構築費 1,000,000 1,000,000

#### ②LANケーブル設置費

| 対象   | 品目         | 単価     | 個数 | 小計     |
|------|------------|--------|----|--------|
|      | 【材料費】      |        |    |        |
|      | LANケーブル材料費 |        |    |        |
|      | ポンプ棟(20m)  | 210    | 80 | 16,800 |
|      | メタルラック     | 7,900  | 8  | 63,200 |
|      | プラボックス     | 11,500 | 8  | 92,000 |
| センサー | 漏電遮断器      | 4,100  | 8  | 32,800 |
| モニタリ | 防水タップコード   | 4,800  | 8  | 38,400 |
|      | 【工事費】      |        |    |        |
|      | LAN配線工事費   | 750    | 80 | 60,000 |
|      | 成端工事費      | 1,000  | 8  | 8,000  |
|      | LAN測定費     | 1,500  | 1  | 1,500  |
|      | 機器取付工事費    | 64,000 | 1  | 64,000 |
|      | 諸経費        | 50,000 | 1  | 50,000 |
|      |            |        |    |        |

426,700

建設費(①+②+③): 7,493,900円

図 資 4-10 処理規模 10 万 m³/日の建設費

4.616.600

2,450,600

### 2)維持管理費

タブレット点検では、タブレット端末の通信費用や情報セキュリティ対策費用が含まれる。センサーモニタリングでは、連続センサーが収集したデータをクラウドサーバに送信する為の親機の通信費やクラウド使用料の他、連続センサーの電池交換が年4回の頻度で必要になることから、交換電池費用や作業労務費が含まれる。また、クラウドサーバに蓄積されたデータを解析するのにセンサーモニタリング技術が提供するデータ分析費用が含まれる。処理規模10万 m³/日の維持管理費は834,300円になる。

### ④維持管理費

| 対象               | 品目                  | 単価      | 個数  | 小計      |
|------------------|---------------------|---------|-----|---------|
|                  | 親機 通信費              | 82,800  | 2   | 165,600 |
|                  | 連続センサーA(電流) クラウド使用料 | 1,800   | 11  | 19,800  |
|                  | 連続センサーB(振動) クラウド使用料 | 5,400   | 44  | 237,600 |
| センサー<br>  モニタリング | 電工単価(宮城県・主任)※       | 19,900  | 4   | 79,600  |
|                  | 交換電池(電流用) 単三電池3本セット | 250     | 44  | 11,000  |
|                  | 交換電池(振動・温度用) CR電池   | 150     | 176 | 26,400  |
|                  | データ分析費用             | 137,500 | 1   | 137,500 |
| タブレット            | タブレット端末の通信料         | 68,400  | 2   | 136,800 |
| 点検               | クライアント証明書費用         | 10,000  | 2   | 20,000  |

834.300

## 図 資 4-11 処理規模 10 万 m³/日の維持管理費

### 3) 導入効果

導入効果は、「精密測定の回避」「故障対応費の低減」「点検時間の低減」が挙げられる。 3-1)~3-3)に示す処理規模10万m³/日での導入効果は、2,102,600円になった。

### 3-1)精密測定の回避

実証フィールド実績で精密診断を行う対象機器は全体数の 8%であることから、対象機器数を1台に設定した。これは、処理規模1万 $m^3$ /日及び5万 $m^3$ /日と同数であることから、精密測定の回避(1回)による費用効果は1,782,400円である。(費用内訳は図\_資4-4を参照)

精密測定対象機器 : 1台(11台 × 0.08 = 1台)

振動測定ポイント数: 4ポイント(機器側2ポイント、電動機2ポイント)

### 3-2) 故障対応費の低減

平成 28 年度に国土技術政策総合研究所が全国 55 件の下水処理場に対して行った調査結果では、汚水ポンプと送風機の故障対応費は図\_資 4-12 の通りであった。発生する機器故障の中で、軸受部分に関わる故障件数は実証フィールド実績より全体発生件数の10%程度であることから、損害低減効果を標準費の10%に設定して故障対応費を算出した。処理規模10万 m³/日では、故障対応費は160,200円(汚水ポンプ 97,200円、送風機63,000円)になった。

#### ⑥故障対応費

#### 全国55下水処理場のアンケート結果に基づく標準値(平成28年度国総研実施)

#### 汚水ポンプ標準値

| 項目             | [千円/年/台] |
|----------------|----------|
| 更新費(15年周期)     | 1,600    |
| オーバーホール費(8年周期) | 467      |
| 故障対応費※         | 162      |
| 日常・定期点検対応費     | 140      |

計 2,368

#### 送風機標準値

| 項目             | [千円/年/台] |
|----------------|----------|
| 更新費(20年周期)     | 2,850    |
| オーバーホール費(9年周期) | 700      |
| 故障対応費※         | 126      |
| 日常・定期点検対応費     | 151      |

† 3,827

# 図 資 4-12 処理規模 10万m3/日における対象機器の点検時間

導入効果 : 160,200 円

汚水ポンプ: 162,000(円) × 0.1 × 6(台) = 97,200円

送風機 : 126,000(円) × 0.1 × 5(台) = 63,000円

### 3-3) 点検時間の低減

従来の紙に点検結果を記録する手法と比べて、タブレットを利用した点検では点検結果をデータ化する時間削減効果が 10%程度\*現れる。連続センサーを設置した機器(汚水ポンプ5台、ブロワ6台)を対象にタブレット点検を行った場合、処理規模 10万 m³/日で年間 160,000 円であった。※平成 27 年度・28 年度実証研究成果より約 10%の時間低減効果があった。

### ⑦点検時間の低減

| 対象機器  | 台数<br>(台) | 点検項目                      | 点検項目数<br>(項目)  | 点検時間*<br>(分) | データ入力*<br>(分) |
|-------|-----------|---------------------------|----------------|--------------|---------------|
| 汚水ポンプ | 5         | ・五感判定(異音、触診、損傷・汚れ、油漏れ、臭気) | 50(=10項目/台×5台) | 100          | 6             |
| ブロワ   | 6         | ・計測判定(温度、圧力、電流、電圧、周波数)    | 60(=10項目/台×6台) |              |               |

※平成28年度実績より、対応時間を推測

みやぎ中山ポンプ場(点検項目数94): 点検時間90.7分、データ入力6分 国見第一ポンプ場(点検項目数71): 点検時間65.7分、データ入力6分

### 図\_資 4-13 処理規模 10万m3/日における対象機器の点検時間

1日1回点検した場合の時間削減効果:160,000円/年

点検時間 106 分/回 × 0.1 × 365 日/年 = 3,869 分(=64.8 時間) 64.8 時間 × (8 時間/人工) × 19,900 円/人工 = 160,000 円/年

# 4) 経費回収年

処理規模 10 万  $\mathrm{m}^3/\mathrm{H}$  を想定したケースでは、経費回収年は約 5 年と試算された。

建設費
$$\left(7,493,900 \, \Pi\right)$$
 基設費 $\left(7,493,900 \, \Pi\right)$ 
 = 5.9年

## 第5節 導入効果の検討例

## 5. 1故障予防による損害低減効果

導入効果の検討例として、設備の故障を未然に予防した場合の損害低減効果について試算する。

- (1)計算方法
- (2)損害低減効果の試算例

### 【解説】

設備がその機能を維持するには、日常・定期期点検やオーバーホール(OH)を行う以外に、 故障発生した場合の対応(故障対応)や設備が能力を発揮できなくなった場合の更新も含ま れる。それらの設備の機能維持に係るライフサイクルコストを1年1台当たりに換算した 金額を機器標準値(千円/台/年)とする。

設備の故障を未然に予防した場合の損害低減効果は、機器標準値に対する対象設備の故障対応費の割合(%)から算出する。

### (1)計算方法

設備の機能維持に係るライフサイクルコストを機器標準値(千円/台/年)として表す。機器標準値に対する対象設備の故障対応費の割合を損害低減効果(%)として算出する。 表\_資 5-1 に機器標準値、および損害低減効果の計算式を示す。

表 資 5-1 機器標準値(千円/台/年)の計算式

| 項目          | 計算式                               |
|-------------|-----------------------------------|
| ①更新費        | 更新費(千円)÷耐用年数(年)÷台数(台)             |
| ②オーバーホール費   | オーバーホール費(千円)÷周期年数(年)÷台数(台)        |
| ③故障対応費      | 【外注人件費(千円)+職員人件費(千円)】×故障件数(件/年/台) |
| ④日常・定期点検対応費 | 委託単価(千円/hr)×対応時間(hr/年/台)          |
| ⑤標準値        | ①+②+③+④                           |

◎損害低減効果(%) = 対象設備に該当する③故障対応費 ÷ ⑤標準値 × 100

### (2)損害低減効果の試算例

国土技術政策総合研究所が全国 55 処理場を対象に実施した平成 28 年度のアンケート 調査結果を基に機器標準値を設定し、設備の故障を未然に予防した場合の損害低減効果 を試算した例を示す。なお、ここで示す標準値は日常、および定期点検における振動測定 を従来技術である手測定で行った場合の概算値である。

### 【試算条件】

①処理規模: 50,000m<sup>3</sup>/日

②対象設備: 汚水ポンプ、送風機

③対象設備の故障対応費の割合:

本技術の対象となる設備の故障対応費は、実証研究フィールドの事例で陸上回転機械設備が処理施設全設備の10%程度であることから、全故障対応費の10%に相当すると仮定して算出

表\_資 5-2 国総研実施平成 28 年度のアンケート調査結果に基づく機器標準値(処理場規模 50,000m³/日)

汚水ポンプ標準値

| 項目             | 〔千円/年/台〕 |
|----------------|----------|
| 更新費(15年周期)     | 1,600    |
| オーバーホール費(8年周期) | 467      |
| 北陸共古書          | 440      |

 故障対応費
 118

 日常·定期点検対応費
 140

 計
 2,324

送風機標準値

| 項目             | 〔千円/年/台〕 |  |  |  |  |
|----------------|----------|--|--|--|--|
| 更新費(20年周期)     | 2,850    |  |  |  |  |
| オーバーホール費(9年周期) | 700      |  |  |  |  |
| 故障対応費          | 97       |  |  |  |  |
| 日常·定期点検対応費     | 151      |  |  |  |  |
| 計              | 3,798    |  |  |  |  |

◎表\_資 5-2 より、各対象設備の損害低減効果は次のとおりである。

汚水ポンプ:  $0.51\% = (118 \times 0.1 \div 2, 324) \times 100$ 

送風機:  $0.26\% = (97 \times 0.1 \div 3,798) \times 100$ 

### 5. 2補修点検周期の延伸によるコスト縮減効果

導入効果の検討例として、補修点検周期を延伸した場合コスト縮減効果について試算する。

- (1)計算方法
- (2)コスト縮減効果の試算例

#### 【解説】

設備がその機能を維持するには、日常・定期期点検やオーバーホール(OH)を行う以外に、 故障発生した場合の対応(故障対応)や設備が能力を発揮できなくなった場合の更新も含ま れる。それらの設備の機能維持に係るライフサイクルコストを1年1台当たりに換算した 金額を機器標準値(千円/台/年)とする。

補修点検周期を延伸した場合のコスト縮減効果は、設備状態に応じた予防保全によるライフサイクルコスト全体の縮減効果について、機器標準値に対する割合(%)から算出する。

### (1)計算方法

設備の機能維持に係るライフサイクルコストを機器標準値(千円/台/年)として表す。

# (5.1故障予防による損害低減効果 表\_資 5-1参照)

機器標準値に対する対象設備の全台数の機器標準値それぞれの項目(千円/年)について、コスト縮減を加味した機器標準値(千円/年)を算出し、その割合をコスト縮減効果(%)として算出する。コスト縮減については、更新費、オーバーホール費用が時期(周期)の延伸効果、故障対応費が5.1、日常・定期点検費用が5.3それぞれの考え方に基づいて算出する。

### ◎コスト縮減効果(%)

=コスト縮減を加味した機器標準値 ÷ 機器標準値 × 100

#### (2)コスト縮減効果の試算例

国土技術政策総合研究所が全国 55 処理場を対象に実施した平成 28 年度のアンケート 調査結果を基に機器標準値を設定し、補修点検周期を延伸した場合のコスト縮減効果を 試算した例を示す。

## 【試算条件】

①処理規模: 50,000m<sup>3</sup>/日

②対象設備: 汚水ポンプ4台、送風機4台、脱臭ファン4台

③延伸効果(倍率): 1.1倍(仮定)

④更新費の低減効果: 更新費の標準値÷③延伸倍率

- ⑤オーバーホール費用の低減効果: オーバーホール費用の標準値÷③延伸倍率
- ⑥故障対応費の低減効果: 故障対応費×低減効果(10%)

低減効果を故障対応費(外注費+職員人件費)の10%に仮定

~本技術の対象となる設備の故障対応費は、実証研究フィールドの事例で陸上回転機 械設備が処理施設全設備の10%程度であることから、全故障対応費の10%に相当す ると仮定して算出

### (5.1故障予防による損害低減効果参照)

- ⑦日常・定期点検対応の低減効果: 日常・定期点検対応費×低減効果(10%)
  - タブレット点検導入による作業時間低減を10%に仮定
  - ~タブレット端末による点検作業により、紙帳票のデータ入力に相当する時間である 点検業務全体の10%程度が削減されると仮定して算出
  - (5.3診断効率化による作業量低減効果参照)

表\_資 5-3 処理規模 50,000m3/d における周期延伸時の標準値の例

〔千円/年〕

|       |          |        |        | (     J/ <del>   </del> J |
|-------|----------|--------|--------|---------------------------|
|       |          | 標準     | 延伸0    | 延伸1.1倍                    |
| 汚水ポンプ | 更新費      | 6,400  | 6,400  | 5,818                     |
|       | OH費      | 1,867  | 1,867  | 1,697                     |
|       | 故障対応費    | 472    | 425    | 425                       |
|       | 日常·点検対応費 | 558    | 502    | 502                       |
|       | 小計       | 9,297  | 9,194  | 8,442                     |
|       | 導入効果     |        | 103    | 855                       |
| 送風機   | 更新費      | 11,400 | 11,400 | 10,364                    |
|       | OH費      | 2,800  | 2,800  | 2,545                     |
|       | 故障対応費    | 390    | 351    | 351                       |
|       | 日常·点検対応費 | 603    | 543    | 543                       |
|       | 小計       | 15,193 | 15,093 | 13,803                    |
|       | 導入効果     | _      | 99     | 1,390                     |
|       | 入効果合計    | _      | 202    | 2,245                     |

※ここで示す標準値は日常、および定期点検における振動測定を従来技術である手測定で行った場合の概算値である。延伸効果についても標準値に対して算出している。

(延伸1.1倍の場合のコスト低減効果)

◎表\_資 5-3 より、各対象設備のコスト低減効果は次のとおりである。

汚水ポンプ: 9.20%

 $= (9, 297 - 8, 442) \div 9, 297 \times 100$ 

送風機: 9.15%

 $= (15, 193 - 13, 803) \div 15, 193 \times 100$ 

### 5. 3診断効率化による作業量低減効果

導入効果の検討例として、タブレット点検の導入した場合の作業量低減効果について試算する。

### 【解説】

従来技術である紙帳票に点検結果を記述する手法では、点検作業終了後に事務所 PC 等で 紙から電子媒体に移行する転記(データ入力)作業が発生する。点検業務にタブレット端末 を利用した場合には、タブレット端末に点検結果を入力することで電子データとしてクラ ウドサーバに保存され、転記作業時間が不要になる。

現場での点検作業時間は、従来の紙帳票による点検作業とタブレット端末による点検作業の両者で同等であるが、紙帳票のデータ入力に相当する時間の低減(点検業務全体の 10% 程度)が削減される。表\_資 5-4 に場外施設巡回点検における時間削減例を示す。

~時間削減率(10%)=(従前技術による点検時間-タブレット点検による時間)÷従前技術による点検時間



図\_資 5-1 従来技術とタブレット点検の比較

| Ī | 対象施設       | 巡回点検  |                  | 従前技術         |           | 本技術              | 削減時  | 時間削     |
|---|------------|-------|------------------|--------------|-----------|------------------|------|---------|
|   |            | 対象項目数 | 紙点検時<br>間<br>(分) | データ入<br>力(分) | 小計<br>(分) | タブレット点<br>検時間(分) | 間(分) | 減率※ (%) |
|   | M ポンプ<br>場 | 94    | 84. 7            | 6            | 90. 7     | 82. 5            | 8.2  | 9. 1    |
| Ī | Κポンプ       | 71    | 50. 7            | 6            | 65.7      | 50 /             | 6.3  | 9.6     |

表 資 5-4 場外施設巡回点検における時間削減の例

※時間削減率 = (従前技術による点検時間-タブレット点検による時間) ÷ 従前技術による点検時間

- ◎表\_資 5-4より、月、年の時間削減効果は次のとおりである。
- ・M ポンプ場: 32.8分/月、6.6時間/年 削減時間8.2分/回(=90.7-82.5) × 月間点検回数(4回/月) = 32.8分/月 月削減時間32.8分/月 × 12ヶ月 = 393.6分/年 = 6.6時間/年
- ・K ポンプ場: 25.2分/月、5.0時間/年 削減時間 6.3分/回(=65.7-59.4) × 月間点検回数(4回/月) = 25.2分/月 月削減時間 25.2分/月 × 12ヶ月 = 302.4分/年 = 5.0時間/年

### 5. 4精密診断の実施回避効果

導入効果の検討例として、精密診断の実施を回避した場合の経費回収年について、簡易 FS シート等を活用して試算する。

## 【解説】

下水道施設の機械設備の状態監視と診断では、簡易診断を実施し、その結果に応じて精密診断を実施するか否かを判断する手順で進められる。本技術の導入により、簡易劣化診断結果から精密診断の実施を回避した場合のコスト縮減効果として、本技術導入に要する費用(建設費・維持管理費)の経費回収年を算出する。

### (1)コストの考え方

本技術を導入に係るコストの考え方を表\_資 5-5 に示す。

コストは、センサー類やLANケーブル設置、タブレット端末の購入等に係る建設費と、センサーメンテナンスに関わる作業人工やセンサーモニタリング技術が提供するデータ分析費用、センサーやタブレット端末の通信費用等に係る維持管理費として現れる。なお、試算に用いたコストは、本実証研究に要した費用をベースとしている。一方、導入効果は精密診断の実施回避、故障対応費の縮減、点検作業時間の低減の効果として現れる。これらの効果を建設費と維持管理費と対比させて、下記の計算式より経費回収年を算出している。

### (経費回収年の計算式)

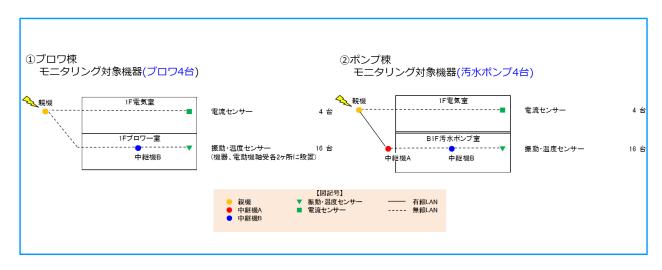
経費回収年(年) = 建設費(百万円) 導入効果(百万円/年) — 維持管理費(百万円/年)

# 表\_資 5-5 コストの考え方

|     | 費用項目 センサーモニタリング |   | タブレット点検                      |  |  |  |
|-----|-----------------|---|------------------------------|--|--|--|
|     | 建設費             | ・機器費(連続センサー、親機、中継機、タブレット端末)<br>・LANケーブル設置費(LANケーブル資材費、設置費等)<br>・センサー設置費(クラウド設定費、現地通信試験確認等)  | ・タブレット本体の購入費                 |  |  |  |
|     | 維持管理費           | ・連続センサー通信費(クラウド使用費、親機通信費)<br>・連続センサーの電池交換、作業労務費<br>(年4回/4人工を想定)<br>・モニタリング技術が提供するデータ分析費用  | ・タブレット端末の通信料<br>・クライアント証明書費用 |  |  |  |
| 導入効 | 精密診断の回避         | ・精密測定にかかる現地作業人工を <b>振動測定ポイント(12ポイント迄/日)</b> として、費用を算出した。<br>尚、精密測定にかかる費用は本研究での実績値を採用した<br>・簡易診断を適用した場合、状態判定B(注意1)のものは精密診断を行わずに連続センサーによる状態監視を<br>継続する。<br>本技術の適用対象となる測定ポイントの割合を仙台市実績より <b>全体8%</b> に設定した<br>(H25~H28年度仙台市実績)<br>状態判定B(330ポイント)/総測定ポイント数(4169ポイント) = 0.08 |                              |  |  |  |
| 果   |                 |   |                              |  |  |  |
|     | 点検時間の低減         | ・点検にタブレット端末を利用した場合、従来の紙を用いた場合と比較して10%の作業時間が低減される。   |                              |  |  |  |

# (2)経費回収年の試算(モデル施設:処理規模1万m³/日)

振動センサーを図\_資 5-2 に示す設備(ブロワ4台、汚水ポンプ4台)に設置し、タブレット点検を含め、本技術を導入するケースについて、経費回収年を試算した。



図\_資 5-2 対象設備と振動センサー設置構成図

## 1)建設費

建設費には、タブレット端末や連続センサーの購入費用等の機器費や LAN ケーブル設置費、環境構築費等が必要になり、処理規模1万 m³/日の建設費は5,833,500 円になる。

| 対象             | 品目          | 単価        | 個数 | 小計        |
|----------------|-------------|-----------|----|-----------|
| N) SK          |             | 14-100    | 加致 | 1197      |
|                | 親機          | 132,000   | 2  | 264,000   |
|                | 中継機A        | 63,000    | 1  | 63,000    |
| センサー<br>モニタリング | 中継機B        | 76,000    | 2  | 152,000   |
|                | 連続センサーA(電流) | 45,000    | 8  | 360,000   |
|                | 連続センサーB(振動) | 76,000    | 32 | 2,432,000 |
| タブレット点検        | タブレット端末     | 37,800    | 2  | 75,600    |
|                | タブレット保持具    | 7,500     | 2  | 15,000    |
|                | 契約事務手数料     | 3,000     | 2  | 6,000     |
| ③環境構築費         | į           |           |    | 3,367,600 |
| 対象             | 品目          | 単価        | 個数 | 小計        |
| センサー           | 計測支援        | 657,100   | 1  | 657,100   |
| モニタリング         | 旅費交通費       | 530,600   | 1  | 530,600   |
| タブレット点検        | 環境構築費       | 1,000,000 | 1  | 1,000,000 |
|                |             |           |    | 2,187,700 |

| ②LAN   | レナー ゴ | リレ設は  | 罢违 |
|--------|-------|-------|----|
| (Z)LAN | ソーノ   | ノレi立」 | 旦貝 |

| 対象   | 品目         | 単価     | 個数 | 小計      |
|------|------------|--------|----|---------|
|      | 【材料費】      |        |    |         |
|      | LANケーブル材料費 |        |    |         |
|      | ポンプ棟(20m)  | 210    | 20 | 4,200   |
|      | メタルラック     | 7,900  | 5  | 39,500  |
|      | プラボックス     | 11,500 | 5  | 57,500  |
| センサー | 漏電遮断器      | 4,100  | 5  | 20,500  |
| モニタリ | 防水タップコード   | 4,800  | 5  | 24,000  |
| ング   | 【工事費】      |        |    |         |
|      | LAN配線工事費   | 750    | 20 | 15,000  |
|      | 成端工事費      | 1,000  | 2  | 2,000   |
|      | LAN測定費     | 1,500  | 1  | 1,500   |
|      | 機器取付工事費    | 64,000 | 1  | 64,000  |
|      | 諸経費        | 50,000 | 1  | 50,000  |
|      |            |        |    | 279 200 |

建設費(①+②+③): 5,833,500円

図 資 5-3 建設費

#### 2)維持管理費

センサーモニタリング技術では、連続センサーが収集したデータをクラウドサーバに送信する為の親機の通信費やクラウド使用料の他、連続センサーの電池交換(10 分周期計測にて年 4 回)が必要になることから、交換電池費用や作業労務費が含まれる。また、クラウドサーバに蓄積されたデータを解析するのにセンサーモニタリング技術が提供するデータ分析費用が含まれる。

タブレット点検技術では、タブレット端末の通信費用や情報セキュリティ対策費用が含まれる。処理規模1万m³/日の維持管理費は716,400円になる。

#### ④維持管理費

| 対象               | 品目                  | 単価      | 個数  | 小計      |
|------------------|---------------------|---------|-----|---------|
|                  | 親機 通信費              | 82,800  | 2   | 165,600 |
|                  | 連続センサーA(電流) クラウド使用料 | 1,800   | 8   | 14,400  |
|                  | 連続センサーB(振動) クラウド使用料 | 5,400   | 32  | 172,800 |
| センサー<br>  モニタリング | 電工単価(宮城県・主任)※       | 19,900  | 4   | 79,600  |
|                  | 交換電池(電流用) 単三電池3本セット | 250     | 32  | 8,000   |
|                  | 交換電池(振動・温度用) CR電池   | 150     | 128 | 19,200  |
|                  | データ分析費用             | 100,000 | 1   | 100,000 |
| タブレット<br>点検      | タブレット端末の通信料         | 68,400  | 2   | 136,800 |
|                  | クライアント証明書費用         | 10,000  | 2   | 20,000  |

716,400

# 図\_資 5-4 維持管理費

### 3) 導入効果

導入効果は、精密測定の実施回避、故障対応費の縮減、点検作業時間の低減が含まれ、 処理規模1万m³/日での導入効果は、1,955,600円になった。

# 3-1)精密測定の実施回避

実証フィールドの実績で精密診断の実施対象となるは全体設備数の 8%であることから、回避対象設備数を 1 台に設定した。その際の精密診断測定ポイント数を軸受部分の 4 ポイントに設定した場合の費用効果を図\_資 5-5 に示す。

精密測定回避対象機器 :  $1 台 (8 台 \times 0.08 = 1 台)$ 

精密診断測定ポイント数: 4ポイント(機器側2ポイント、電動機2ポイント)

# ⑤精密測定1回(測定12ポイント/日迄)にかかる費用

|               | 単価      | 個数 | 小計      |
|---------------|---------|----|---------|
| 【振動詳細診断業務】    |         |    |         |
| 振動詳細診断業務      | 450,000 | 1  | 450,000 |
| 【AE診断業務】      |         |    |         |
| 軸受評価および振動詳細診断 | 625,000 | 1  | 625,000 |
| 旅費交通費         | 109,000 | 1  | 109,000 |
| 【測定結果の報告】     |         |    |         |
| 測定結果の報告書作成    | 150,000 | 1  | 150,000 |
| 現地説明          | 150,000 | 1  | 150,000 |
| 旅費交通費         | 37,500  |    | 37,500  |
| 【諸経費】         |         |    |         |
| 諸経費           | 176,000 | 1  | 176,000 |
| 【一般管理費】       |         |    |         |
| 一般管理費         | 84,900  | 1  | 84,900  |

1,782,400

図\_資 5-5 精密測定 1回(測定 12 ポイント/日迄)にかかる費用

### 3-2) 故障対応費の縮減

平成 28 年度に全国 55 件の下水処理場に対して行った調査結果では、汚水ポンプと送風機の故障対応費を図\_資 5-6 に示す。発生する機器故障の中で、軸受部分に関わる故障件数は実証フィールド実績より全体発生件数の 10%程度であることから、損害低減効果を標準費の 10%に設定して故障対応費を算出している。処理規模 1 万 m³/日では、故障対応費は 43,200 円(汚水ポンプ 23,600 円、送風機 19,600 円)になった。

導入効果 : 43,200円

汚水ポンプ: 59,000(円)  $\times$  0.1  $\times$  4(台) = 23,600 円 送風機 : 49,000(円)  $\times$  0.1  $\times$  4(台) = 19,600 円

### ⑥故障対応費

#### 全国55下水処理場のアンケート結果に基づく標準値(平成28年度国総研実施)

#### 汚水ポンプ標準値

| 項目             | [千円/年/台] |
|----------------|----------|
| 更新費(20年周期)     | 2,850    |
| オーバーホール費(9年周期) | 700      |
| 故障対応費※         | 49       |
| 日常・定期点検対応費     | 151      |
| 計              | 3,749    |

送風機標準値

| 項目                 | [千円/年/台] |
|--------------------|----------|
| 更新費(15年周期)         | 1,600    |
| オーバーホール費(8年周期)     | 467      |
| 故障対応費 <sup>※</sup> | 59       |
| 日常・定期点検対応費         | 140      |
| =+                 | 2.205    |

計 2,265

## 図\_資 5-6 アンケート結果に基づく故障対応費(処理規模1万 m³/日)

### 3-3) 点検作業時間の低減

実証結果からタブレット点検技術による点検では、従来の紙に点検結果を記録する手法 と比べ、点検結果をデータ化する時間削減効果が10%程度となる。連続センサーを設置 した機器(汚水ポンプ4台、ブロワ4台)を対象にタブレット点検を行った場合、処理規模 1万 m³/日で年間 130,000 円であった。

#### ⑦点検時間の低減

| 対象機器  | 台数<br>(台) | 点検項目                      | 点検項目数<br>(項目)  | 点検時間*<br>(分) | データ入力*<br>(分) |
|-------|-----------|---------------------------|----------------|--------------|---------------|
| 汚水ポンプ | 4         | ・五感判定(異音、触診、損傷・汚れ、油漏れ、臭気) | 40(=10項目/台×4台) | 80           | 6             |
| ブロワ   | 4         | ・計測判定(温度、圧力、電流、電圧、周波数)    | 40(=10項目/台×4台) |              |               |

※平成28年度実績より、対応時間を推測

みやぎ中山ポンプ場(点検項目数94):点検時間90.7分、データ入力6分 国見第一ポンプ場(点検項目数71) : 点検時間65.7分、データ入力6分

## 図 資 5-7 処理規模 1 万㎡/日における対象機器の点検時間

1日1回点検した場合の時間削減効果:130,000円/年

点検時間 86 分/回 × 0.1 × 365 日/年 = 3,139 分(=52.3 時間) 52.3 時間 × (8 時間/人工)-1 × 19,900 円/人工\* ≒ 130,000 円/年

※平成29年度実証フィールド電工単価(主任)

#### 4) 経費回収年

処理規模1万m³/日を想定したケースでは、経費回収年は5年程度と試算された。

建設費 (5,833,500円) 経費回収年(年) 4.7年 導入効果 (1,955,600円 維持管理費(716,400円)

5. 5その他の導入効果

その他の導入効果として、定性的な導入効果を評価する。

# 【解説】

連続センサーによる振動センサーモニタリング技術は、従来技術である手測定タイプの測定器(センサー)を現場に持ち込み測定する間欠監視方式と比較し、以下の効果がある。

- ①測定者の技能や測定位置のズレによる測定結果のバラツキを排除可能
- ②あらかじめしきい値を設定しておくことで、異常検知時の電子メール通報が可能 →突発故障の未然防止が可能

また、タブレット点検技術は、従来技術である紙の点検帳票による点検と比較し、以下の効果がある。

- ①電子データ化の転記(データ入力)作業が不要(転記ミスの排除)
- ②現地での過去データの閲覧が可能
- ③現地での入力ミスや入力漏れを軽減可能
- ④タブレット端末が備える機能を利用することによる副次的効果を享受

# 第6節 導入事例

# 6. 1 センサーモニタリングシステム導入事例

| 地域       | 分類 | 設置年度        | 対象設備  |
|----------|----|-------------|-------|
| 中国 (広島県) | 上水 | 2013年~2017年 | 送水ポンプ |
| 中国 (広島県) | 上水 | 2016年~現在    | 送水ポンプ |
| 四国(香川県)  | 上水 | 2019年~2020年 | 送水ポンプ |

# 6. 2タブレット点検システム導入事例

| 地域       | 分類 | 設置年度      | 対象施設     |
|----------|----|-----------|----------|
| 中国 (広島県) | 上水 | 2013年~現在  | 浄水場、場外施設 |
| 東北 (宮城県) | 下水 | 2014年~現在  | 処理場、場外施設 |
| 九州 (宮崎県) | 上水 | 2014年~現在  | 浄水場      |
| 東北 (宮城県) | 上水 | 2015 年~現在 | 場外施設     |
| 中国 (広島県) | 上水 | 2015 年~現在 | 浄水場      |
| 東北 (青森県) | 下水 | 2018年~現在  | 処理場      |
| 四国 (愛媛県) | 上水 | 2018年~現在  | 浄水場      |
| 関東 (栃木県) | 下水 | 2018年~現在  | 処理場      |

# 第7節 参考文献

- 1)「下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン -2015 年版-」(国土交通省水管理・国土保全局下水道部、国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部)
- 2)「下水道維持管理指針-2014年版-」((公社)日本下水道協会)
- 3)最新実用設備診断技術(総合技術センター)
- 4)ISO 10816-1:1995 Mechanical vibration-Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts -Part 1: General guidelines
- 5)JIS B 0906:1998 機械振動-非回転部分における機械振動の測定と評価 一般指針
- ・振動技術研究会、ISO 基準に基づく機械設備の状態監視と診断 (振動 カテゴリーII)【第4版】

# 第8節 問い合わせ先

本技術ガイドラインに関する問い合わせは、以下にお願いします。

|             | 下水道研究部 下水処理研究室             |
|-------------|----------------------------|
| 国土交通省       | 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地      |
| 国土技術政策総合研究所 | TEL 029-864-3933           |
|             | URL http://www.milim.go.jp |

本書は、下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト) により国土交通省国土技術政策総合研究所が、以下の企業・団体に研究委託を行い、その成果をとりまとめたものです。

# <実証研究者連絡先>

|            | デジタルイノベーション統括   |
|------------|---|
| 水 ing 株式会社 | IT サービス開発部  |
|            | 〒108-8470 東京都港区港南 1-7-18  |
|            | TEL 03-6830-9085  |
|            | URL https://www.swing-w.com   |
| 仙台市        | 仙台市 建設局 下水道経営部 経営企画課<br>〒980-8761 仙台市青葉区国分町3丁目7番1号<br>TEL 022-214-8509<br>URL https://www.city.sendai.jp/ |

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1138 December 2020

編集·発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675