

国土技術政策総合研究所 委託研究

下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）

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
中間とりまとめ

平成30年9月

国土交通省 国土技術政策総合研究所

目次

第1章 総則.....	1
第1節 目的.....	1
§1 中間とりまとめ（案）の目的.....	1
第2節 適用範囲.....	3
§2 適用範囲.....	3
第3節 中間とりまとめ（案）の構成.....	4
§3 中間とりまとめ（案）の構成.....	4
第4節 用語の定義.....	5
§4 用語の定義.....	5
第2章 本技術の概要.....	8
第1節 本技術の目的と概要.....	8
§5 本技術の目的.....	8
§6 本技術の概要.....	10
第2節 要素技術の概要.....	16
§7 センサーモニタリング.....	16
§8 タブレット点検.....	18
第3節 設備劣化診断の概要.....	20
§9 設備劣化診断技術の概要.....	20
§10 設備劣化予測技術の概要.....	24
第4節 実証事業の概要.....	26
§11 実証事業の概要.....	26
第3章 導入検討.....	29
第1節 導入検討手法.....	29
§12 導入検討の手順.....	29
§13 適用対象の選定.....	30
§14 導入効果の評価.....	32
§15 導入判断.....	33
第2節 導入効果.....	34
§16 故障予防による損害低減効果.....	34
§17 補修点検周期の延伸によるコスト縮減効果.....	36
§18 診断効率化による作業量低減効果.....	39

第 4 章 導入計画.....	41
第 1 節 センサーモニタリング.....	41
§19 測定項目の選定.....	41
§20 導入の手順.....	42
第 2 節 タブレット点検.....	46
§21 点検情報の選定.....	46
§22 導入の手順.....	47
 第 5 章 本技術の運用.....	 48
第 1 節 センサーモニタリング.....	48
§23 運用方法.....	48
§24 運用上の留意事項.....	49
第 2 節 タブレット点検.....	50
§25 運用方法.....	50
§26 運用時の留意事項.....	51
第 3 節 設備劣化診断技術.....	52
§27 運用方法.....	52
§28 運用時の留意事項.....	56
 第 6 章 維持管理.....	 57
第 1 節 センサーモニタリング.....	57
§29 システム保守.....	57
第 2 節 タブレット点検.....	58
§30 システム保守.....	58
 参考文献.....	 59
 資料編.....	 60
第 1 節 実証研究結果.....	60

第1章 総則

第1節 目的

§1 中間とりまとめ（案）の目的

本中間とりまとめ（案）は、下水道施設の設備劣化診断の効率化に向け、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。ただし、中間とりまとめの段階であり、記載する技術的事項は、実証研究期間（平成 27 年 7 月～平成 29 年 3 月）の成果に準じた内容となっており、今後一般化が必要な事項を含んでいる。

【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削減を実現し、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。

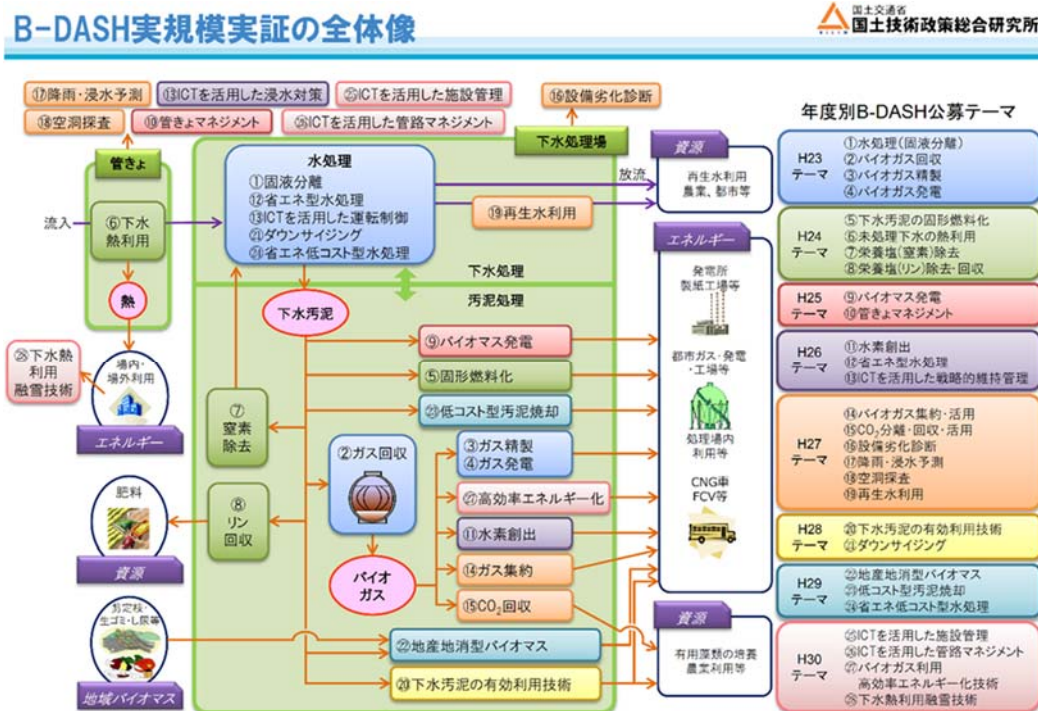


図 1-1 下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）の概要（全体）

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>）において、現時点で一定の評価が得られたと評価されている。

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革新的技術として採択されたものである。本事業では、以下の事項について調査・検討・実証のうえ、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による劣化診断及び劣化予測の精度向上効果

(2)本中間とりまとめ（案）の目的

本中間とりまとめ（案）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、本中間とりまとめ（案）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。

なお、本書に記載された内容は、平成 28 年度末日時点での B-DASH 実証研究によって得られた中間結果および中間評価であるため、今後の実証研究を通じたデータ蓄積・分析により一般化が必要な事項を含んでおり、最終的に策定する技術導入ガイドライン（案）において内容が変更される場合がある。

第2節 適用範囲

§2 適用範囲

本中間とりまとめ（案）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先行的な導入検討・判断、および運用ならびに保守等に適用する。

また、本中間とりまとめ（案）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】

本中間とりまとめ（案）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先行的に検討する際に、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、本中間とりまとめ（案）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。

本中間とりまとめ（案）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PDCAの実践に基づく創意工夫を妨げるものではない。

第3節 中間とりまとめ（案）の構成

§3 中間とりまとめ（案）の構成

本中間とりまとめ（案）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】

本中間とりまとめ（案）は、図 1-2 に示す構成からなる。

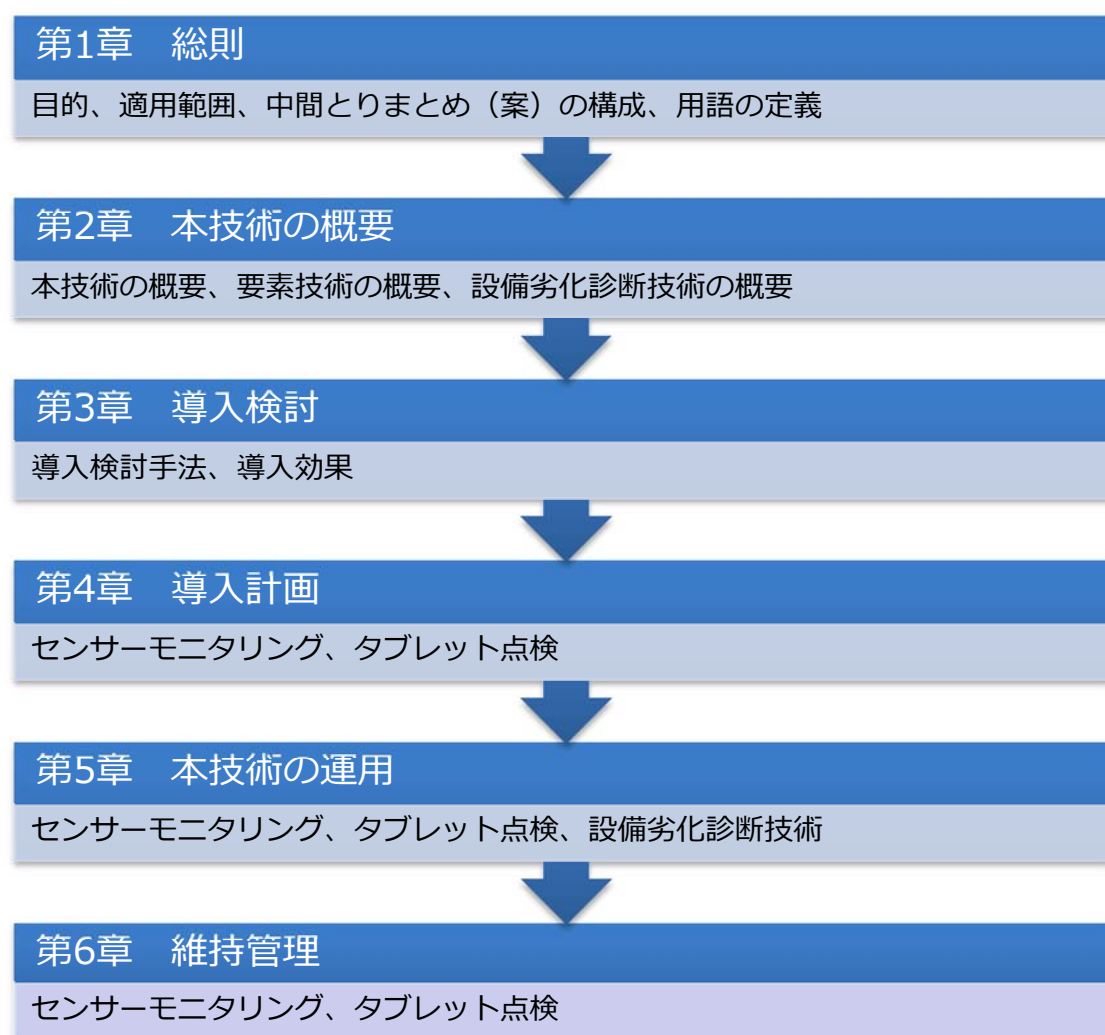


図 1-2 本中間とりまとめの構成

第4節 用語の定義

§4 用語の定義

本中間とりまとめ（案）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-」（(社)日本下水道協会）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）

(2) 連続センサー

設備の常時監視に用いるセンサーをいう。

(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) 点検

施設・設備の状態を把握するとともに、異常の有無を確認すること。

管路施設にあつては、マンホール内部からの目視や、地上からマンホール内に管口テレビカメラを挿入する方法等により、異常の有無を確認すること。

処理場等施設・設備にあつては、機能維持のために定期的に目視や測定装置の使用等によ

り、異常の有無を確認すること。

(10) 調査

施設・設備の健全度評価や予測のため、定量的に劣化の実態や動向を確認すること。

管路施設にあつては、管内に潜行する調査員による目視、または、下水道管渠用テレビカメラを挿入する方法等により、詳細な劣化状況や動向等を定量的に確認するとともに、原因を検討すること。

処理場施設・設備にあつては、目視や測定装置等により、定量的に劣化の実態や動向等を確認するとともに、原因を検討すること。

(11) 診断

「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-」における定義は、「点検・調査結果を踏まえ、健全度や緊急度を判定すること。なお、緊急度は管渠のみに適用する。また、処理場等施設・設備においては劣化予測も含む。」としている。

一方、ISO 13372:2004「機械の状態監視と診断 用語集」では、設備診断を設備の「状態監視」と「診断」に分けて次のように定義している。

①「状態監視」とは、設備の状態を示す情報やデータを検出・収集すること

②「診断」とは、異常状態の特性を示す兆候を評価すること

また、ISO 18436-2:2003「機械の状態監視及び診断」においても「状態監視」と「診断」の項目は分かれており、「状態監視」は「簡易診断」、「診断」は「精密診断」に位置づけられている。

(12) 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。

(13) 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。

(14) 絶対判定基準

ISO10816-1 等で規定されている振動速度閾値(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。

(15) 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。

(16) 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。

(17) 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。

(18) 振動速度

一定時間に対する変位の変化率で、一般に単位として mm/s が使用される。

(19) 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^2 が使用される。

(20) 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。

第2章 本技術の概要

第1節 本技術の目的と概要

§5 本技術の目的

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による劣化診断及び劣化予測の精度向上効果

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を要素技術とし、各要素技術にて収集した情報をデータベースに蓄積し、劣化簡易診断情報として見える化することを基本としている。それにより、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。

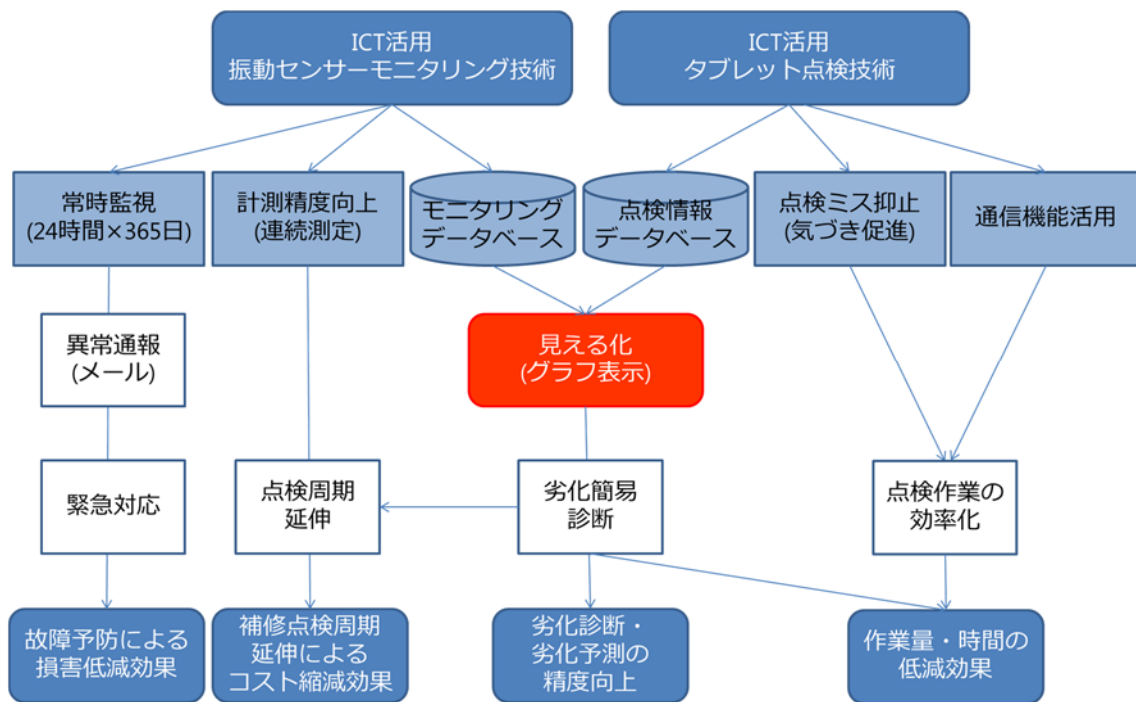


図 2-1 技術の全体概要と実証成果の位置付け

§6 本技術の概要

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。

- ・ ICT活用/振動センサーモニタリング技術
- ・ ICT活用/タブレット点検技術

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を実施し、設備の精密診断の要否を判断するための情報を提供する。

【解説】

本技術における「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精密診断を実施するかどうかの決定

一方、「精密診断」は、「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が進められるのが一般的な状態監視方法である。

本技術は、下水道施設の機械設備の「簡易診断」を効率的に行うために適用するものである。図 2-2 に示すとおり、①振動法による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と、②点検情報をクラウドサーバに登録するタブレット点検から構成され、それぞれの蓄積データを可視化し、「精密診断」を実施するか否かの判断する情報を提供するものである。

なお、各要素技術については、第 2 節要素技術の概要を参照されたい。

また、図 2-3 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。

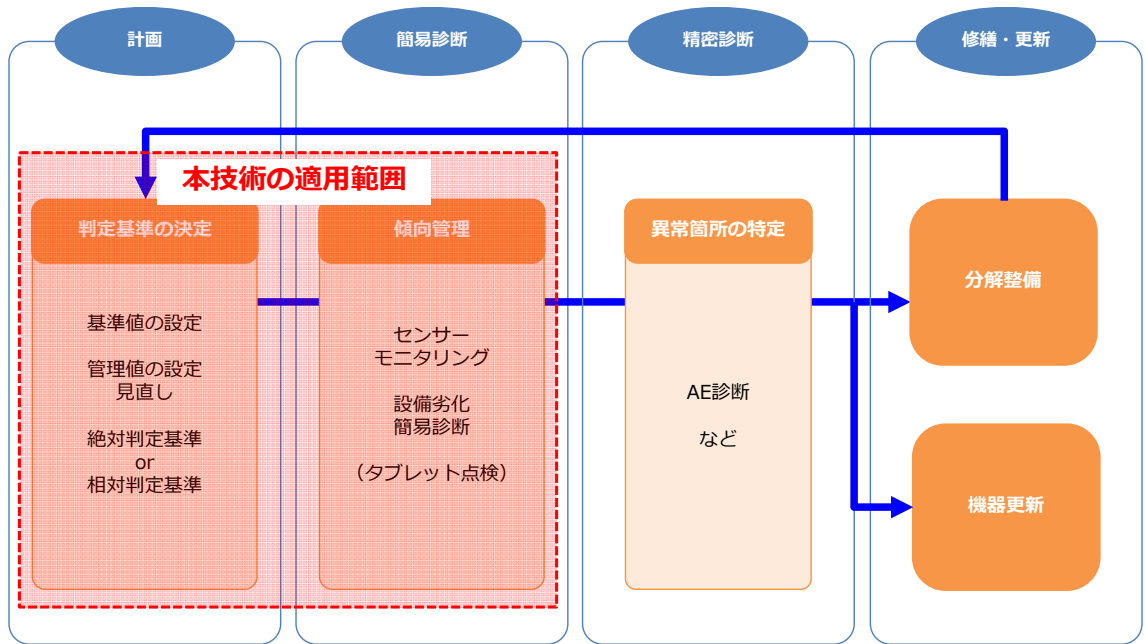
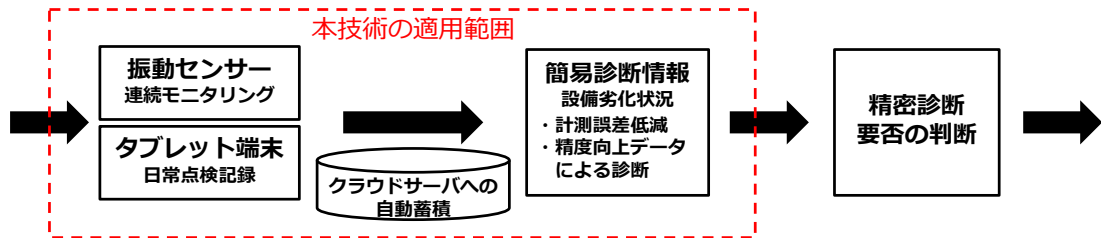


図 2-2 状態監視保全における本技術の適用イメージ

◆ 本技術



◆ 従来技術

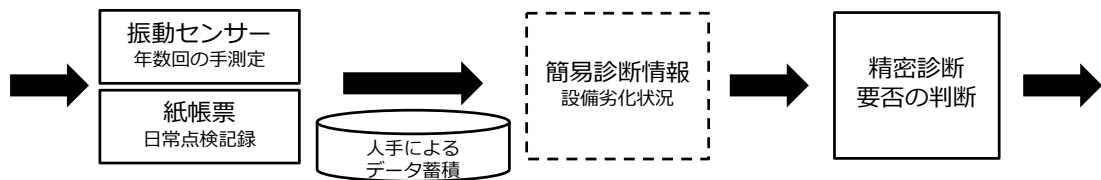


図 2-3 本技術と従来技術との比較

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 モニタリング	<ul style="list-style-type: none"> ・ポータブルタイプの振動センサーを使用 ・設備を巡回して手測定によりデータを収集・蓄積 ・年数回の測定 	<ul style="list-style-type: none"> ・常設タイプの振動センサーを使用 ・自動測定によりデータを収集・蓄積 ・連続測定(最低10分周期)
タブレット点検	<ul style="list-style-type: none"> ・紙帳票を使用 ・設備を巡回して点検記録を記入することで収集 ・点検記録データを手入力して蓄積 	<ul style="list-style-type: none"> ・タブレット端末を使用 ・設備を巡回して点検記録を入力することで収集 ・点検記録データを自動で蓄積
設備劣化 簡易診断	<ul style="list-style-type: none"> ・簡易診断情報を手作業でデータ処理・可視化 または振動データと点検記録データをそのまま利用 	<ul style="list-style-type: none"> ・簡易診断情報を自動でデータ処理・可視化

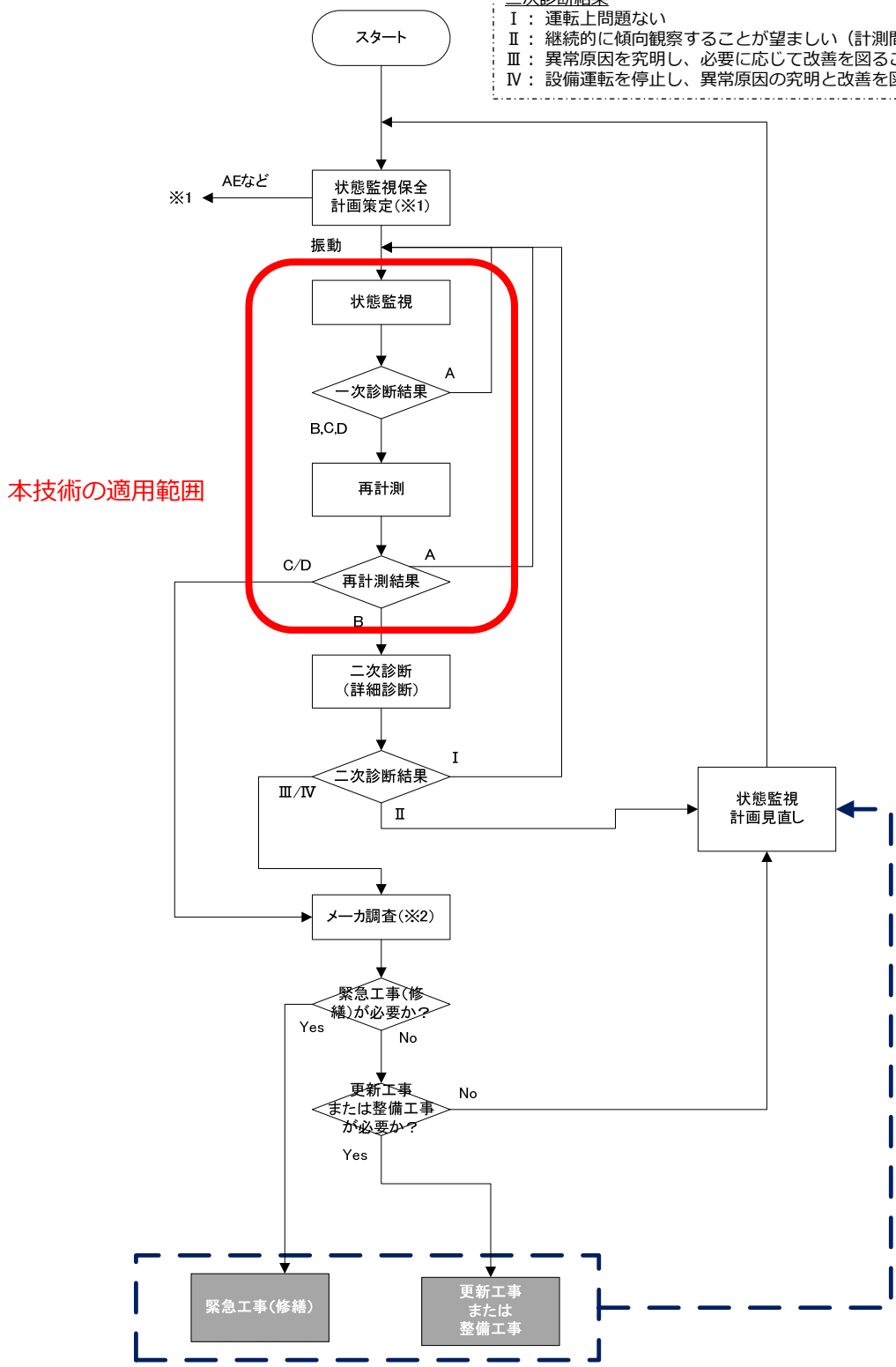
図 2-4 に、実証フィールドにおける従来技術を利用した機器保全フローの例を示す。この例では、手測定による年 1 回の振動モニタリングデータから ISO 絶対判定基準に基づいて精密診断(図 2-4 では二次計測)ないし分解整備(図 2-4 ではメーカー調査)の要否を判断している。すなわち、振動速度値が A 判定(正常)の場合は監視を継続し、B 判定(注意 1)の場合は精密診断(二次診断)、C 判定(注意 2)、および D 判定(危険)の場合は、分解整備(メーカー調査)をそれぞれ実施している。

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 2-5 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(正常)、および B 判定(注意 1)の場合は監視を継続し、C 判定(注意 2)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(正常)、B 判定(注意 1)、C 判定(注意 2)、および D 判定(危険)は、ISO10816-1 等で規定されている振動速度閾値による絶対判定基準に基づいている。

一次診断結果(ISO判定)
 A : 正常 B : 注意1 C : 注意2 D : 危険

二次診断結果
 I : 運転上問題ない
 II : 継続的に傾向観察することが望ましい (計測間隔見直し)
 III : 異常原因を究明し、必要に応じて改善を図ることが望ましい
 IV : 設備運転を停止し、異常原因の究明と改善を図ることが望ましい



※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ーによる調査

図 2-4 実証フィールドの機器保全フロー(抜粋)
 (ISO 絶対判定に基づく状態監視)

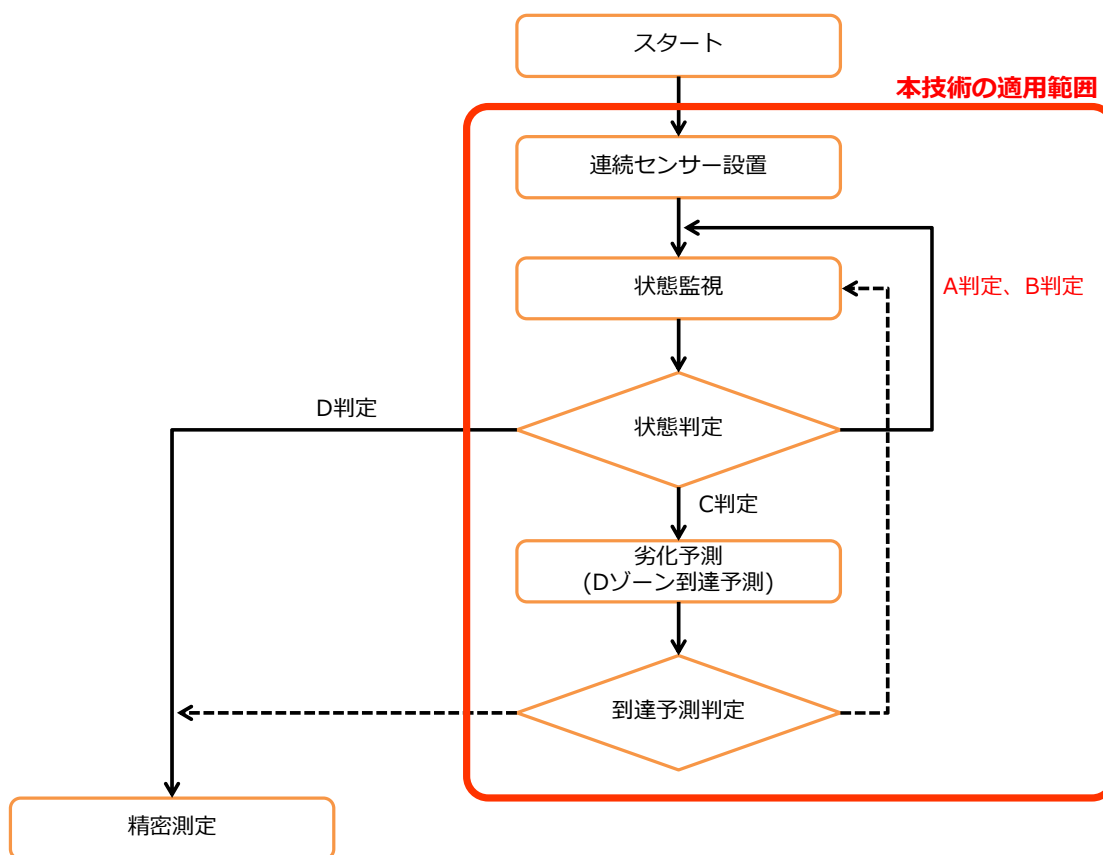


図 2-5 連続センサーを用いた設備劣化の簡易診断フロー

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(§ 16 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。

(2) 補修点検周期の延伸によるコスト縮減

「コスト縮減効果に関する計算方法。計算例は § 17 参照。」

補修点検の周期を延伸した場合、メンテナンス費用縮減の効果が期待できる。

今後、ガイドライン化に向けては精密診断の実施回避にかかるコスト縮減効果の定量的評価結果について示す。

(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。

② タブレット点検による作業量低減(§ 18 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、点検情報が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。

今後、ガイドライン化に向けては、連続測定における必要最低測定周期と、当該周期で手測定(従来技術)により実施した場合の作業時間を整理し、両者を比較して作業量の低減効果について示す。

(4) タブレット端末利用による副次的効果

タブレット端末が備える機能を使うことで、以下の副次的な効果が得られる。

- 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の把握が可能となる。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、ペーパーレス化が図れる。
- 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。

第2節 要素技術の概要

§7 センサーモニタリング

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路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】

振動法を用いた陸上回転機器(§19 参照)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。

「センサーとしての仕様は §20 表 4-2 参照。」

図 2-6 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(§20 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、振動モニタリングデータと同時に電流、吐出圧力、温度等の各種計装機器の測定データの常時監視やクラウドサーバへの蓄積が可能である。

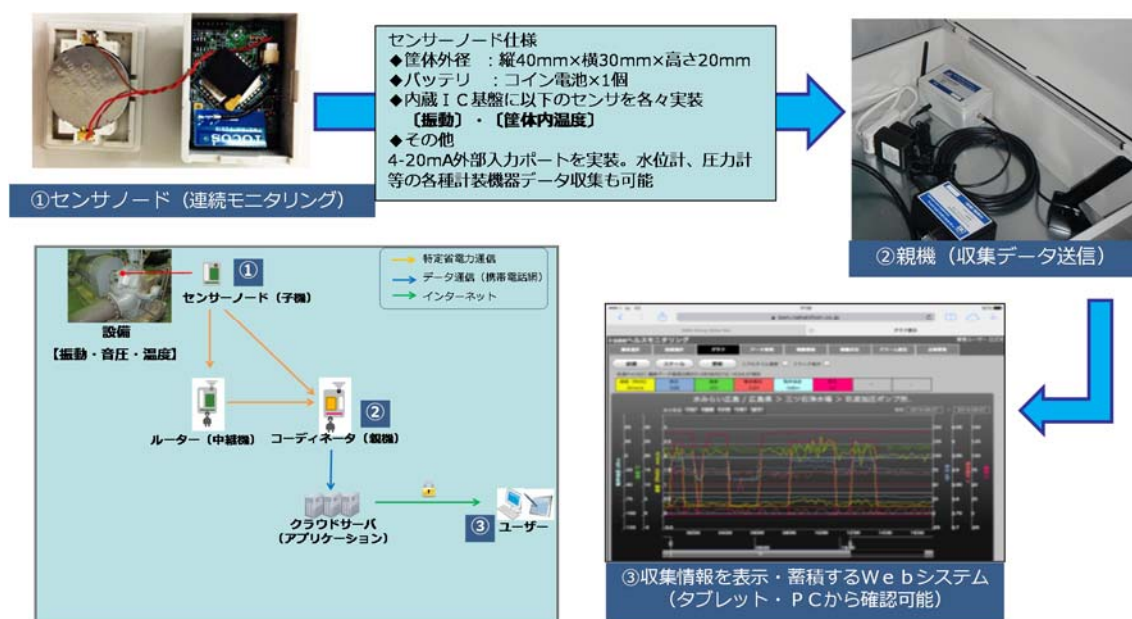


図 2-6 センサーモニタリングシステム構成イメージ

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 2-7 に振動速度の傾向監視グラフの表示例を示す。

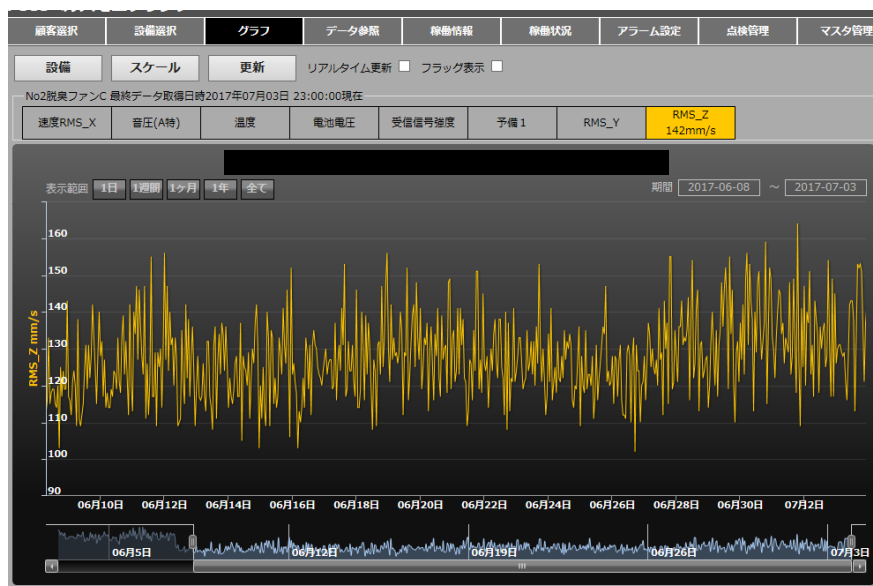


図 2-7 振動速度の傾向監視グラフ表示例

連続センサーによるセンサーモニタリングは、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あらかじめ閾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

§8 タブレット点検

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路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 § 22 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 2-8 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						
現場操作盤	現場操作の確認		○	○	良	
	表示灯の確認		○	○	良	
	電流[A]	1-1 (1.4~2.5)	1.5	1.2	異常	
		1-2 (1.4~2.5)	1.6	16	異常	
		2-1 (1.4~2.5)	1.7	1.8	良	
2-2 (1.4~2.5)		1.8	1.8	良		
本体	外観(汚れ、損傷、発錆、ボルト固定状態等)		○		未	
	チェーン、スプロケットの異音		○	△		

図 2-8 タブレット点検状況例

図 2-9 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。

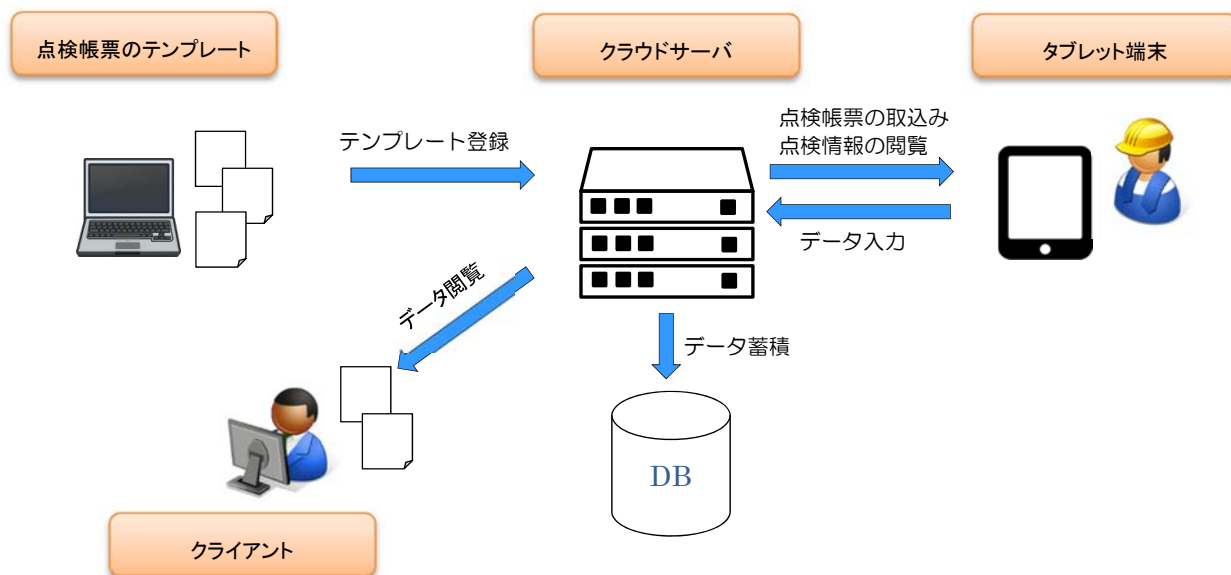


図 2-9 タブレット点検のシステム構成イメージ

タブレット点検は、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。

- 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)
- 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(§ 25 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享受

第3節 設備劣化診断の概要

§9 設備劣化診断技術の概要

設備劣化診断は、センサーモニタリングとタブレット点検で収集、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情報から設備劣化傾向の簡易診断を実施し、精密診断の要否を判断することで、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 2-10 に示すとおり、設備劣化診断においては、センサーモニタリングとタブレット点検で収集、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の可視化情報から簡易診断を実施し、タブレット点検の点検情報は、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。

図 2-11 にセンサーモニタリングとタブレット点検のグラフ表示例を示す。センサーモニタリングのグラフ表示例は、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 絶対判定基準等とともにグラフ表示している (§ 27 参照)。一方、タブレット点検のグラフ表示例は、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。

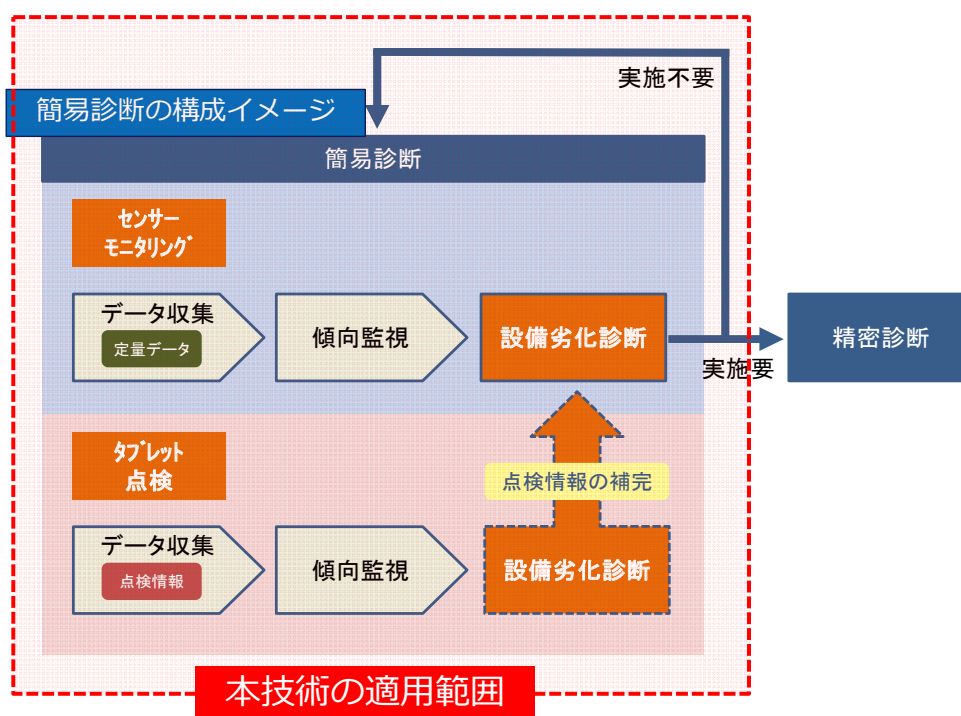


図 2-10 設備劣化診断技術の構成イメージ

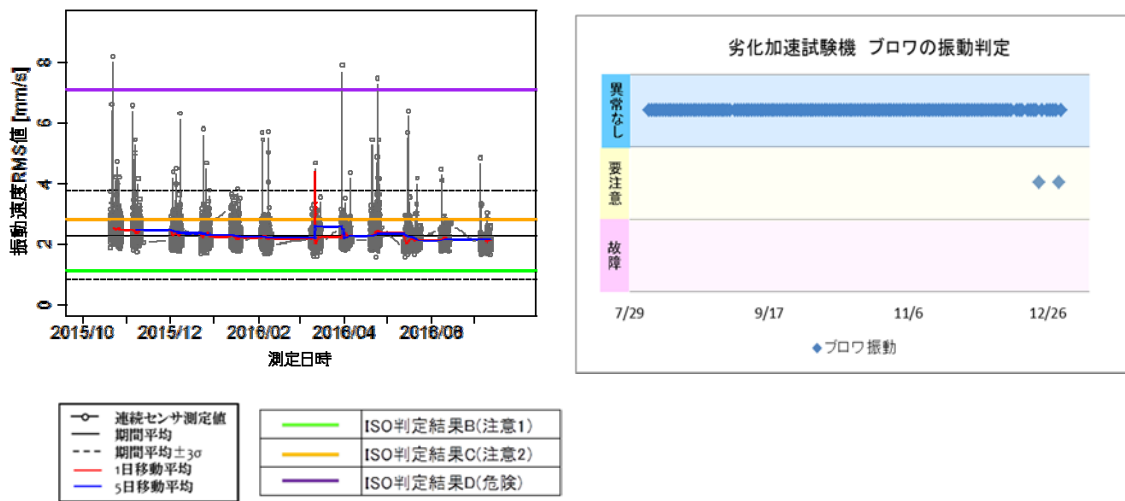


図 2-11 センサーモニタリング (左図)・タブレット点検 (右図) グラフ表示例

(1) センサーモニタリング

図 2-12 のセンサーモニタリング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 § 27 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(正常)、および B 判定(注意 1) の場合は監視を継続し、C 判定(注意 2) 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(正常)、B 判定(注意 1)、C 判定(注意 2)、および D 判定(危険) は、ISO10816-1 等で規定されている振動速度閾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。

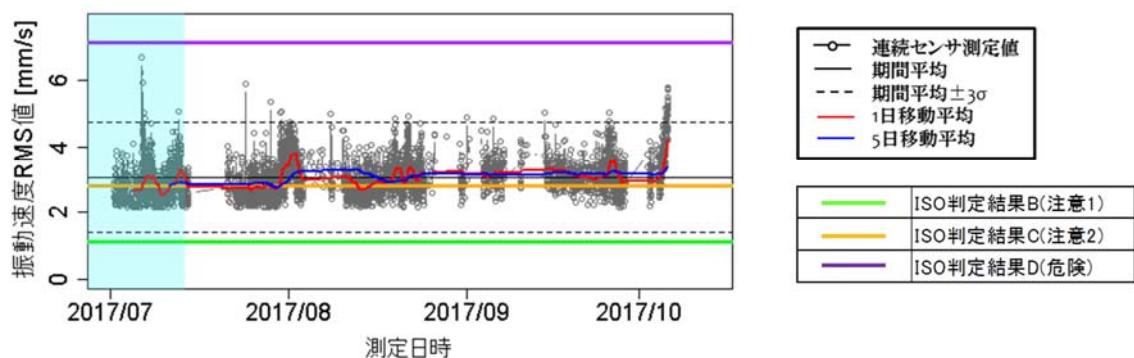


図 2-12 センサーモニタリングのグラフ例

(2) タブレット点検

タブレット点検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及び五感判定等の定性データをグラフ表示により可視化する。

図 2-13 にタブレット点検のグラフ例を示す。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て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連続した判定結果がグラフ表示されている。

なお、図 2-14 に示すとおり、実証研究においては振動センサーモニタリングの方が、タブレット点検で収集した情報より早く劣化傾向を検知する結果となっている。従い、タブレット点検の点検情報は、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。

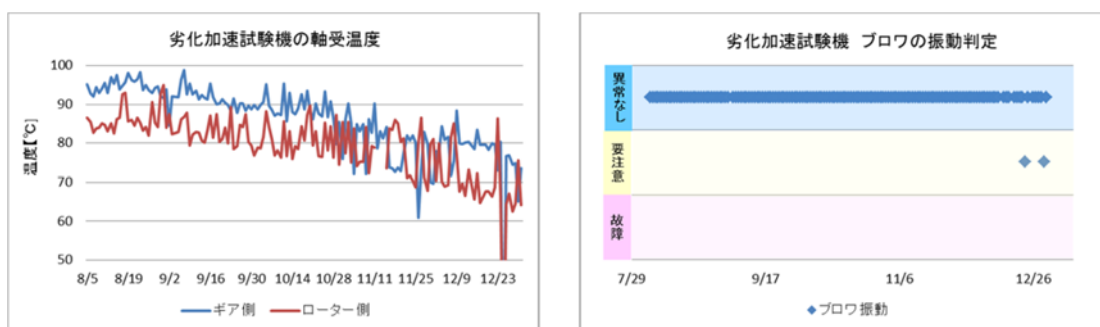


図 2-13 タブレット点検のグラフ例

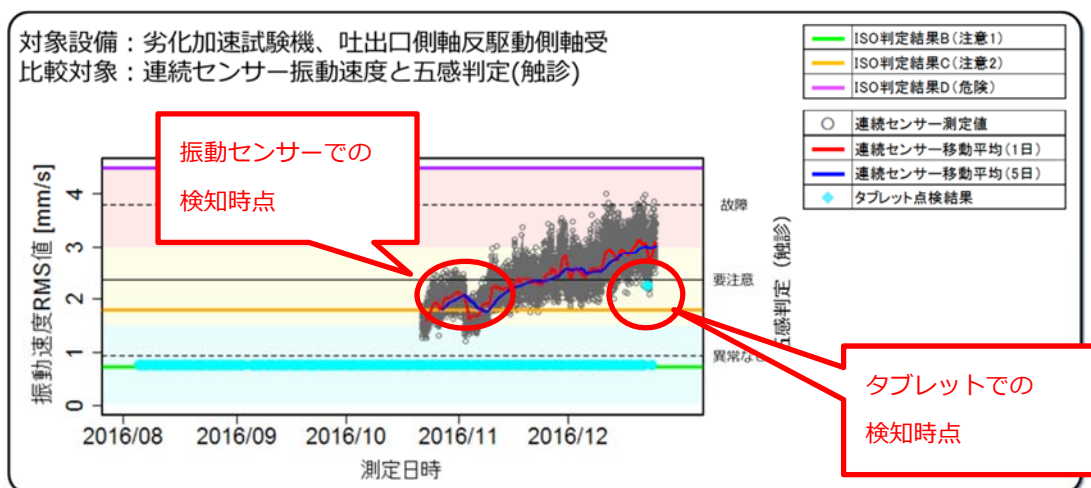


図 2-14 振動センサーとタブレット点検の劣化傾向検知の比較

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

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を回帰分析することにより、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、精密診断の要否を判断する。

【解説】

図 2-15 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て回帰分析を行い外挿することで、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。

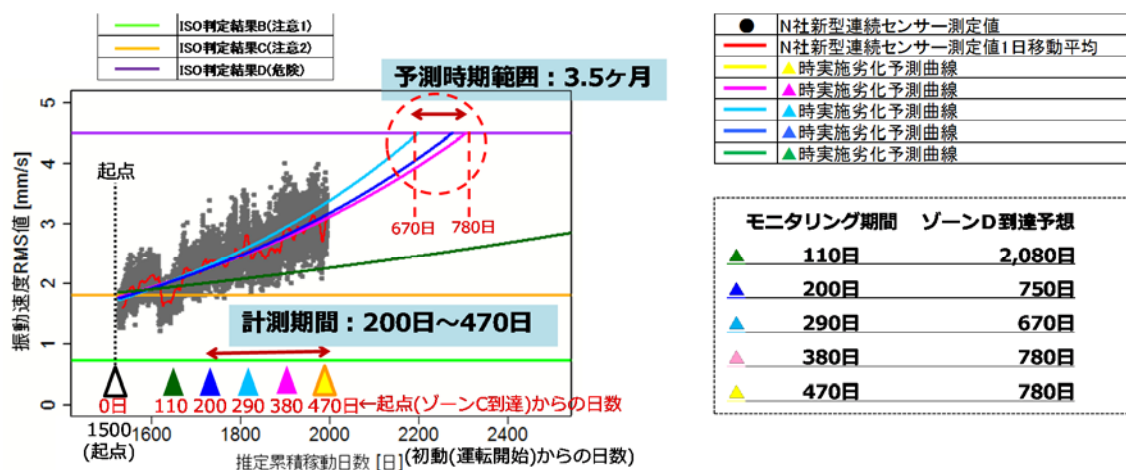


図 2-15 設備劣化予測例

実証研究において実施した劣化加速試験機を用いた設備劣化予測では、約 200 日間以上の連続モニタリングデータの移動平均値データを使用して回帰分析を行い外挿することで、200 日間を超える連続モニタリングデータを用いた設備劣化予測のケースを含め、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 3.5 ヶ月の収束した範囲で予測する結果となった。約 110 日間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 判定に到達する予測結果とはならず、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。

今回示した実証研究の結果は、現時点において劣化加速試験 1 パターンのみのデータであり、今後、ガイドライン化に向けては、設備劣化予測技術の再現性について、追加継続して実証研究を進め確認する。また、過年度実証研究において移動平均値データを使用して回帰

分析を外挿しているが、劣化予測処理を、連続モニタリング全データとした場合の予測精度の向上効果について検証する予定としている。

第4節 実証事業の概要

§11 実証事業の概要

本実証事業は、仙台市下水道施設の実証フィールド1処理場、3ポンプ場の16設備に加えて、広瀬川浄化センターに劣化加速試験機（ルーツ式ブロワ）を設置し、合計17設備を対象設備としている。

【解説】

実証フィールドの位置関係を図2-16に、対象設備一覧を表2-2にそれぞれ示す。

(1) 広瀬川浄化センター

- 1) 処理能力 16,875m³/日（日最大）
- 2) 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）
- 3) 放流水質 目標 BOD₃mg/L以下、SS5mg/L以下
- 4) 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

(2) みやぎ中山ポンプ場

- 1) 揚水量 6.0m³/分
- 2) 対象設備 汚水ポンプ（横軸スクリー式 口径200mm）3台

(3) 国見第一ポンプ場

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

(4) 霞目ポンプ場

- 1) 揚水量 26m³/分
- 2) 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 2-16 実証フィールド

表 2-2 対象設備と設置センサー一覧

施設	機器	型式	メーカー(本体/電動機)	仕様	電圧出力	設置年	測定対象	設置・本体位置 #柱センサー-A	設置・本体位置 #柱センサー-B	温度	圧力	流量	電流量
広瀬川浄化センター	NO.1ポンプ	立軸渦巻斜流ポンプ	西島製作所/富士電機	300mm×10m3/min	30kW-400V	1992	電動機	3		1			1
							中間軸受	1					
							本体	3		1			
	NO.2ポンプ	立軸渦巻斜流ポンプ	西島製作所/富士電機	300mm×10m3/min	30kW-400V	1992	電動機	3	2				1
							中間軸受	1	1				
							本体	3	2	1			
	NO.4ポンプ	立軸渦巻斜流ポンプ	西島製作所/富士電機	400mm×20m3/min	55kW-400V	2007	電動機	2					1
							中間軸受	1					
							本体	2					
	NO.1ブロー	軸車増速式単段ターボ	川崎重工/富士電機	110m3/min	170kW-400V	1993	電動機	2					
							本体	1					
							本体	2					
NO.2ブロー	軸車増速式単段ターボ	川崎重工/富士電機	110m3/min	170kW-400V	1993	電動機	2						
						本体	1						
						本体	1						
NO.3ブロー	軸車増速式単段ターボ	川崎重工/富士電機	110m3/min	170kW-400V	1993	電動機	2	1					
						本体	1	1					
						本体	1	1					
NO.1脱臭ファン	ターボファン	協和化工/日立製作所	140m3/min	7.5kW-400V	1992	電動機		1				1	
						中間軸受	2						
						電動機	2						
NO.2脱臭ファン	ターボファン	協和化工/日立製作所	141m3/min	7.5kW-400V	1997	電動機		1				1	
						中間軸受	2						
						電動機	2						
加速試験用ブロー	ルーツ式	新明和工業/三菱	1.71m3/min	5.5kW-200V	2017	電動機		2			1	1	
						中間軸受	2						
						本体	4	1					
NO.1ポンプ	立軸渦巻斜流ポンプ	在原製作所/明電舎	300mm×8.68m3/min	90kW-400V	1989	電動機	1					1	
						中間軸受	2						
						本体	2						
NO.2ポンプ	立軸渦巻斜流ポンプ	在原製作所/明電舎	300mm×8.68m3/min	90kW-400V	1989	電動機	2					1	
						中間軸受	1						
						本体	2						
NO.3ポンプ	立軸渦巻斜流ポンプ	在原製作所/明電舎	300mm×8.68m3/min	90kW-400V	1995	電動機	2					1	
						中間軸受	1						
						本体	2						
NO.1ポンプ	横軸スクリュウ	在原製作所/東芝	200mm×3.0m3/min	55kW-200V	1988	電動機	1					1	
						中間軸受	2						
						本体	1						
NO.2ポンプ	横軸スクリュウ	在原製作所/東芝	200mm×3.0m3/min	55kW-200V	1989	電動機	1					1	
						中間軸受	2						
						本体	1						
NO.3ポンプ	横軸スクリュウ	在原製作所/東芝	200mm×3.0m3/min	55kW-200V	1988	電動機	1			1		1	
						中間軸受	2	1					
						本体	1	1					
NO.1ポンプ	横軸スクリュウ	在原製作所/東芝	150mm×1.32m3/min	22kW-200V	1997	電動機	1					1	
						中間軸受	1						
						本体	1						
NO.2ポンプ	横軸スクリュウ	在原製作所/東芝	150mm×1.32m3/min	22kW-200V	2001	電動機	1				1	1	
						中間軸受	1	2					
						本体	1	1					

第3章 導入検討

第1節 導入検討手法

§12 導入検討の手順

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い、本技術の適切な導入範囲について判断する。

適用対象の範囲

- (1) 対象設備
- (2) 設備の管理方法
- (3) 制約条件

【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、導入範囲について判断する。

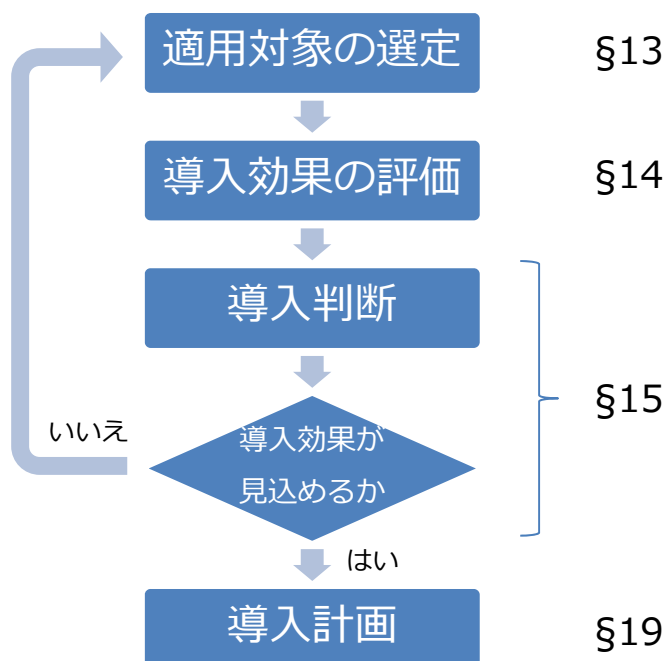


図 3-1 導入検討フロー

§13 適用対象の選定

本技術の適用対象は、以下の点を検討して選定する。

(1) 対象設備

ポンプや送風機など回転機器の機械設備を対象とし、汚泥掻寄せ機等の低速回転機器や汚泥脱水機等の機器全体が金属筐体で保護される、ないしは補機類の組合せで作動する機器は対象外となる。

(2) 設備の管理方法

(3) 制約条件

【解説】

(1) 対象設備

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。ただし、汚泥掻寄せ機等の低速回転機器や、汚泥脱水機等の機器全体が金属筐体で保護される、ないしは補機類の組合せで作動する機器は対象外となる。

(2) 設備の管理方法

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、事後保全は対象外である。

重要度が高く、劣化状況の把握が可能な設備の観点から、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。

なお、詳しくは、「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）第2編第3章第2節『(1)管理方法の選定』を参照されたい。その一例として、表 3-1 管理方法の考え方の例を示す。

表 3-1 管理方法の考え方の例

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

※完全な状態監視保全を適用しているケースは少なく、時間計画保全や事後保全をベースに設備の状態を診断して保全時期を調整しているケースがほとんどである。それらの設備状態の診断にも本技術は適用可能である。

(3) 制約条件

連続センサーを取り付けられない水中部に軸受が存在する水中ポンプ等の簡易診断はできないため、対象外とする。また、高性能な振動測定が必要なタービン等の高速回転機器も簡易診断ができないため、対象外とする。

今後、ガイドライン化に向けては、実証フィールドにおける対象設備例として、汚水ポンプや送風機等の主要機器への適用事例を整理予定である。

§14 導入効果の評価

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、作業量低減効果等を試算して評価する。

【解説】

本技術の導入により得られる損害低減効果、コスト縮減効果、作業量低減効果等を算出する。従来技術と比べて損害低減効果、コスト縮減効果、作業量低減効果等の効果が得られる場合、事業性があるものと評価する。

なお、効果試算の詳細は、**第2節 導入効果**を参照されたい。

今後、ガイドライン化に向けては、本技術導入に係る建設費と維持管理費の費用関数を整理予定である。

§15 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】

本技術の適用対象の検討（§13 参照）により導入対象となる設備を選定し、導入効果の評価（§14 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2節 導入効果

§16 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ための措置には、日常・定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 3-2 に機器標準値、および損害低減効果の計算式を示す。

表 3-2 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

$$\text{◎損害低減効果(\%)} = \text{対象設備に該当する③故障対応費} \div \text{⑤標準値} \times 100$$

(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： 50,000m³/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 3-3 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		送風機標準値	
項目	〔千円/年/台〕	項目	〔千円/年/台〕
更新費(15年周期)	1,600	更新費(20年周期)	2,850
オーバーホール費(8年周期)	467	オーバーホール費(9年周期)	700
故障対応費	118	故障対応費	97
日常・定期点検対応費	140	日常・定期点検対応費	151
計	2,324	計	3,798

◎表 3-3 より、各対象設備の損害低減効果は次のとおりである。

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

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

§17 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。

(§ 16 故障予防による損害低減効果 表 3-2 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。コスト低縮減については、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 § 16、日常・定期点検費用が § 18 それぞれの考え方に基づいて算出する。

◎コスト縮減効果(%)

$$= \text{コスト縮減を加味した機器標準値} \div \text{機器標準値} \times 100$$

(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： 50,000m³/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

(§16 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

(§18 診断効率化による作業量低減効果参照)

表 3-4 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〕		
		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
導入効果合計		—	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 3-4 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%

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

今後、ガイドライン化に向けては、処理規模 10,000m³/日、50,000m³/日、100,000m³/日別の主要機器設置モデルを示し、精密診断を回避することによる経費回収年の評価例について整理予定である。

§18 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情報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方で同等であるが、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 3-5 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

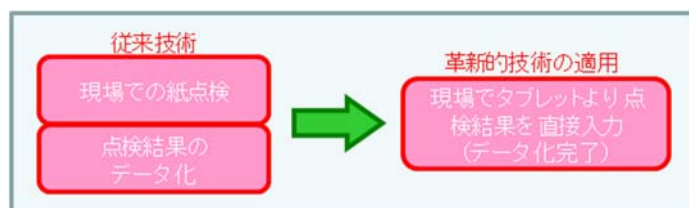


図 3-2 従来技術とタブレット点検の比較

表 3-5 場外施設巡回点検における時間削減の例

対象施設	巡回点検対象項目数	従前技術			本技術	削減時間(分)	時間削減率※(%)
		紙点検時間(分)	データ入力(分)	小計(分)	タブレット点検時間(分)		
M ポンプ場	94	84.7	6	90.7	82.5	8.2	9.1
K ポンプ場	71	59.7	6	65.7	59.4	6.3	9.6

※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 3-5 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

今後、ガイドライン化に向けては、処理規模 10,000m³/日、50,000m³/日、100,000m³/日別の主要機器設置モデルを示し、本技術を従来技術で代替した場合の作業時間について整理予定である。

第4章 導入計画

第1節 センサーモニタリング

§19 測定項目の選定

センサーモニタリングを導入する上で、振動速度以外に必要な測定・収集項目を整理する。

【解説】

本技術では、設備の状態監視パラメータとして振動速度を測定する。その他に設備の運転監視、および連続センサーの運転監視として、表 4-1 に示す項目を一定周期で測定・収集する。

表 4-1 測定・収集項目

状態監視パラメータ	目的	取得方法
振動速度（連続センサー）	設備状態監視	連続センサー内蔵
電流値	設備運転監視 →データ処理（不要データ除去）補完用	外付け電流センサー
筐体内温度（連続センサー）	連続センサー運転監視	連続センサー内蔵
電池電圧（連続センサー）		
電波強度（連続センサー）		

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。

なお、本技術でモニタリングできない機器は次のとおりである。

- ・汚泥掻寄せ機等の低速回転機器
- ・汚泥脱水機等の機器全体が金属管体で覆われないし補機類の組合せで作動する機器
- ・水中ポンプ等の水中部に軸受が存在する機器
- ・タービン等の高速回転機器

§20 導入の手順

センサーモニタリングの導入は、以下の手順で実施する。

- (1) 連続センサーの選定
- (2) 設置環境の調査
- (3) 対象設備への設置・調整

【解説】

(1) 連続センサーの選定

表 4-2 に示す連続センサーの参考用一般仕様相当の連続センサーを選定する。

小型・軽量の形状であり、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ことが望ましい。

表 4-2 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	
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 測定周波数範囲 ~1,000Hz	MEMSセンサー 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) 図面、仕様書による事前調査

1-1) 測定候補場所の検討と判定基準の仮設定

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 4-1 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。

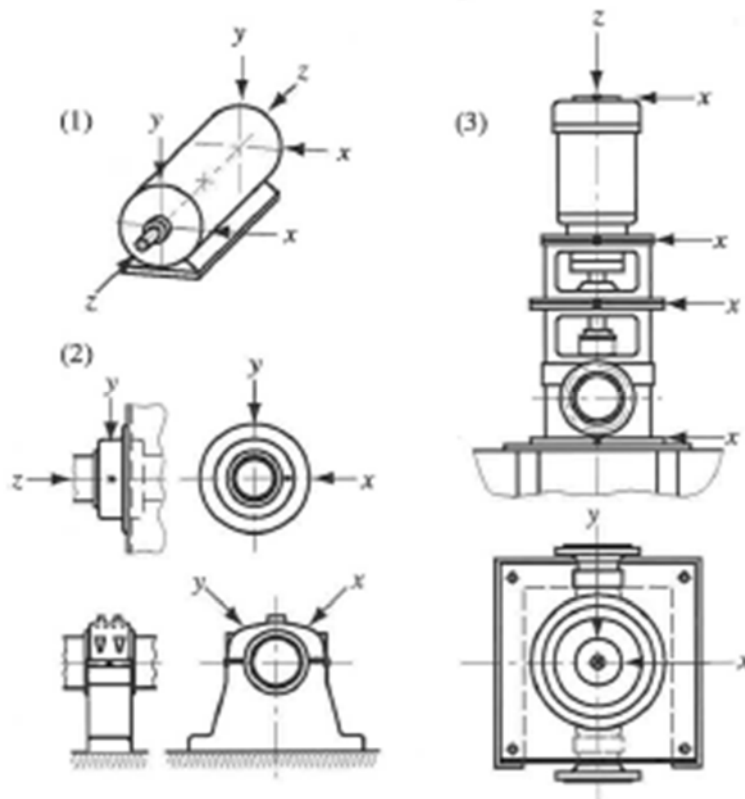


図 4-1 振動測定方向 (ISO 10816-1)

2) 現地調査

2-1) 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。

2-2) 子機設置位置の確認

1) 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

- ・連続センサー設置に十分な平面があること
- ・連続センサーの動作保証温度・湿度を超えない場所であること
- ・親機もしくは中継機との無線通信が可能であること
- ・表面温度と湿度が連続センサーの動作保証温度を超えないこと
- ・子機－親機間の通信状態が良好であること

②対象設備の固定状況を確認

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。

- ・横置き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。

(3) 対象設備への設置・調整

1) 機器設置計画の作成

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連続センサー台数、設置位置及び取り付け方法
- ④連続センサー測定周期
- ⑤状態判定基準

2) 連続センサー・通信機器の設置

機器設置計画に基づき設置する。

なお、連続センサーの取り付けに当たっては、次の点に注意する必要がある。

- ①設備と一体となるよう取り付けること
 - ・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に取り付ける。
 - ・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。
 - ・円筒面への設置は接触面積が小さく望ましくないが、接着剤やパテで固定して設置することも可能である。

図 4-2 にセンサー取り付け状態の良否を示す。図はねじ固定によるものであるがマグネット固定の場合でも基本は同様である。

- 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が変わらないようにする。

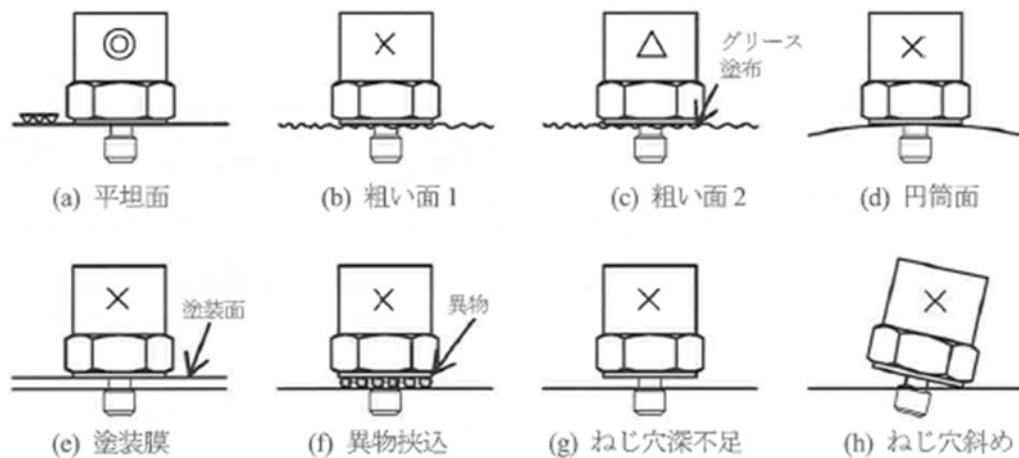


図 4-2 センサー取り付け状態（ねじ固定）

（出典）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】

3) 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。

4) 設置後の作業

- ①状態判定基準に基づき、状態監視パラメータの警報設定を行う。
- ②連続センサーメーカーの推奨値に基づき、連続センサーの運転状態監視パラメータの警報設定を行う。

今後、ガイドライン化に向けては、実証フィールドでの設置事例について計画図や写真等を交え整理予定である。また、連続センサーの測定最低周期についても整理予定である。

第2節 タブレット点検

§21 点検情報の選定

点検情報は、陸上回転機械設備の状態監視に必要な点検項目を選定する。

【解説】

タブレット点検で収集した点検情報の傾向を監視し、設備状態の異常の有無を判定する。その判定結果は、精密診断を実施するか否かを決定する補完情報として活用する。

タブレット点検における点検情報は、表 4-3 に示す陸上回転機械設備の状態診断に必要な点検項目を選定する。

表 4-3 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

なお、本技術の導入において必要な点検項目としては上記のとおりであるが、タブレット点検は広く下水道施設の点検に利用可能であり、その他の点検項目を選定することを妨げるものではない。

§22 導入の手順

タブレット点検の導入は、以下の手順で実施する。

- (1) タブレット端末の選定
- (2) 点検帳票の準備と登録

【解説】

(1) タブレット端末の選定

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)

(2) 点検帳票の準備と登録

1) 点検帳票のテンプレート作成

以下の要件を検討し、対象設備の点検帳票のテンプレートを作成する。

- ① 点検項目(§21 参照)
- ② 入力情報(数値、記号、文字)
- ③ 点検順序
- ④ 計測判定の点検項目の管理基準値(上下限值)

2) 点検帳票テンプレートの登録と動作確認

- 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 本技術の運用

第1節 センサーモニタリング

§23 運用方法

連続センサーにより取得された測定値について、その傾向を適時確認する。

【解説】

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、その傾向を適時確認する。測定値には、様々な運転状況下におけるデータが含まれるが、大まかに上昇傾向が確認できる場合は、設備劣化診断を実施する。

図 5-1 に振動速度のトレンドグラフの表示例を示す。

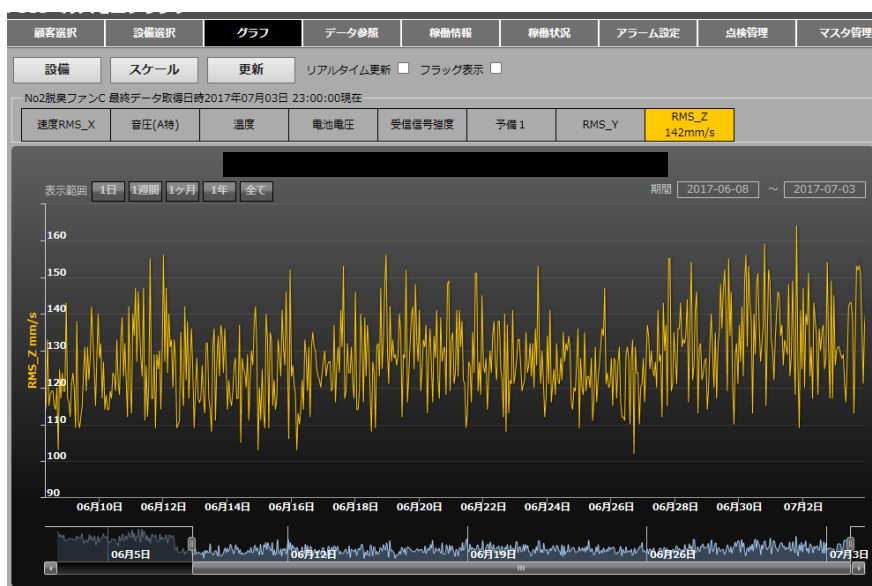


図 5-1 振動速度のトレンドグラフ表示例

§24 運用上の留意事項

センサーモニタリングの運用を継続する上で、次の点に留意する。

- (1) 設備メンテナンス時の連続センサー取り付け状態の確認
- (2) データ欠測の確認

【解説】

- (1) 設備メンテナンス(オーバーホール等)の連続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を実施した際に、連続センサーの取り付け状態が初期状態と変わらないことを確認する。

また、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。

- (2) 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。

今後、ガイドライン化に向けては、設備をオーバーホールした後の状態判定方法(基準値や管理値の取り方)について実証研究にて検証する予定である。

第2節 タブレット点検

§25 運用方法

点検時に五感により取得した、表 4-3 に示す陸上回転機械設備の状態診断に必要な情報を着実にタブレット端末にデータ入力する。

【解説】

§21 表 4-3 に示すような点検項目について、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。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を保有しており、その機能を活用する。

また、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。

図 5-2 に点検帳票の表示例を示す。

広瀬川浄化センター
日常点検
水処理棟 脱臭ファン設備

過去データ指定
2017 年 10 月 21 日

年月日 2017 年 10 月 23 日 月

作業番号 20171023

開始時刻 11 時 15 分
終了時刻 11 時 25 分

天気 雨
気温 °C 湿度 %

取得 水ing太郎

取得

取得

取得

取得

点検者

水処理棟 脱臭ファン設備
001

設備	項目	測定方法	過去データ	点検結果	判定	記事
NO.1脱臭ファン	ファン		○	○	良	
	電動機		○	○	良	
NO.2脱臭ファン	ファン		○	○	良	
	電動機		○	○	良	
	損傷汚れ		○	○	良	
	油漏れ		○	○	良	
	臭気漏れ		○	○	良	
	差圧		182	174	良	
	周辺温度	現場設置の温度計で測定(°C)	20.5	21.2	良	
	Vベルトの状況		○	○	良	

図 5-2 点検帳票の表示例

§26 運用時の留意事項

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

【解説】

(1) 保持具の利用

タブレット端末に衝撃が加わることや水滴がかかることでの破損、水槽等への落下などのリスクが考えられる。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(端末パスワード、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。

第3節 設備劣化診断技術

§27 運用方法

連続センサーにより取得された測定値を、以下のデータ処理を行った上で傾向監視する。

- (1) 不要データの除去処理
- (2) 移動平均処理

設備劣化簡易診断の判断基準については、ISO 10816-1 の絶対判定基準等を使用する。

【解説】

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ます、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。

より正確な傾向監視を実施するには、以下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) 不要データの除去

- ① 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。
- ② 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、停止中のデータを除去
- ③ 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

(2) 移動平均処理

- ① 移動平均処理
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。

図 5-3 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ータを、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。

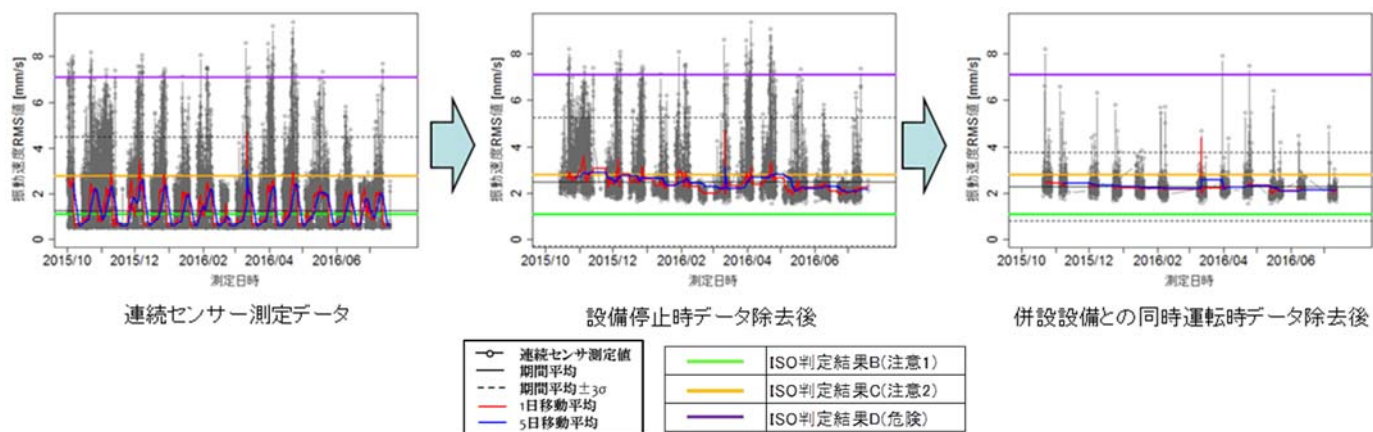


図 5-3 連続センサーのデータ可視化例

本技術による設備劣化簡易診断の状態判定は、ISO 10816-1 の絶対判定基準等を利用して実施する。図 5-4 に振動速度のゾーン境界値(ISO 10816-1)を示す。図 5-3 のグラフには図 5-4 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。

振動速度のrms値 (mm/s)	Class1	Class2	Class3	Class4
0.71mm/s	A	A	A	A
1.12mm/s	B			
1.8mm/s	C	B	B	B
2.8mm/s				
4.5mm/s	D	C	C	C
7.1mm/s		D		
11.2mm/s				
18mm/s		D	D	D

Class 1	全体の構成要素の一部として組み込まれたエンジンや機械 (15kW以下の汎用電動機等)
Class 2	特別な基礎を持たない中型機械(15kW～75kWの電動機等)、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剛性をもつ基礎上に据え付けられたもの (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A	新設された機械の振動値が含まれるゾーン (→ 優)
ゾーンB	何の制限もなく長期運転が可能ゾーン (→ 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 5-4 振動速度のゾーン境界値 (ISO 10816-1)

この状態判定基準は絶対判定基準であり、広く状態判定の目安として使用されているが、すべての設備にそのまま使用できるとは限らないため、相対管理や傾向管理を含めた状態判定を採用する。また、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。

今後、ガイドライン化に向けては、設備劣化簡易診断の相対判定方法について整理予定である。また、設備のライフサイクル下での運用イメージについても整理予定である。

タブレット点検では、連続センサーが設置されているベアリング以外の部位を含め、設備の稼働状況を確認する。点検ごとに蓄積される計器指示値や五感による判定結果を可視化することで、機器全体の傾向監視をする。

図 5-5、および図 5-6 にタブレット点検の点検情報可視化例を示す。

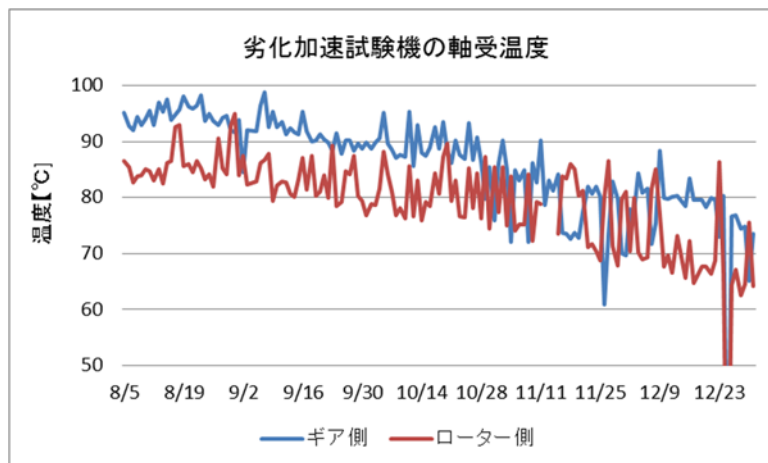


図 5-5 タブレット点検の点検情報可視化例(計測判定)

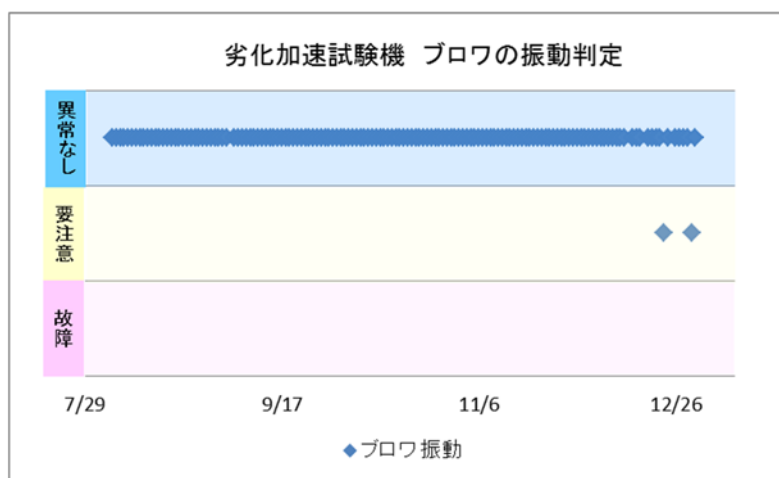


図 5-6 タブレット点検データの点検情報可視化例(五感判定)

例えば図 5-5 では放射温度計によるプロワの軸受温度の測定結果をプロットしているが、温度は低下傾向であり特段異常は無いと判断できる。

また、図 5-6 では触診によるプロワの振動状態をプロットしているが、要注意が続いて判定された際にセンサーモニタリング値等を確認することになる。ただし、センサーモニタリングでは、データを連続的に収集することからデータ収集頻度が高く、実証研究では点検者が現地で行う点検よりも早く機器の異常傾向を検知することができている(図 5-7 参照)。

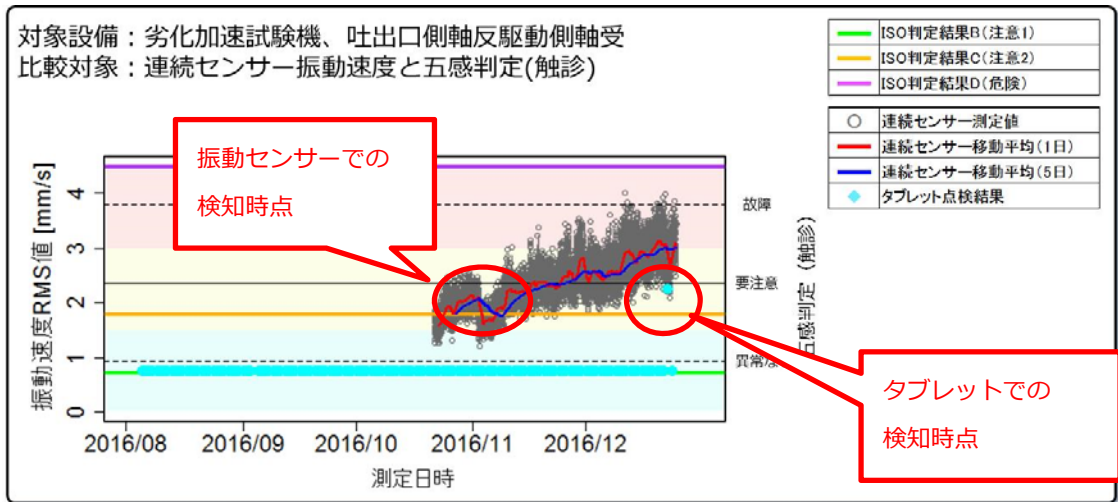


図 5-7 連続測定(振動速度)と五感判定(振動)の比較

§28 運用時の留意事項

設備劣化診断は、簡易診断における情報を補完するものであり、精密診断の実施判断はタブレット点検結果を踏まえた総合的な判断で運用する。

【解説】

本技術は、下水道施設の機械設備、特に陸上回転機械設備を対象に、その軸受状態の簡易診断に適用し、効率的なストックマネジメントの実施に資する精密診断の実施要否を判断する情報を提供するものである。

一方、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。例として図 5-8 に示すような、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。

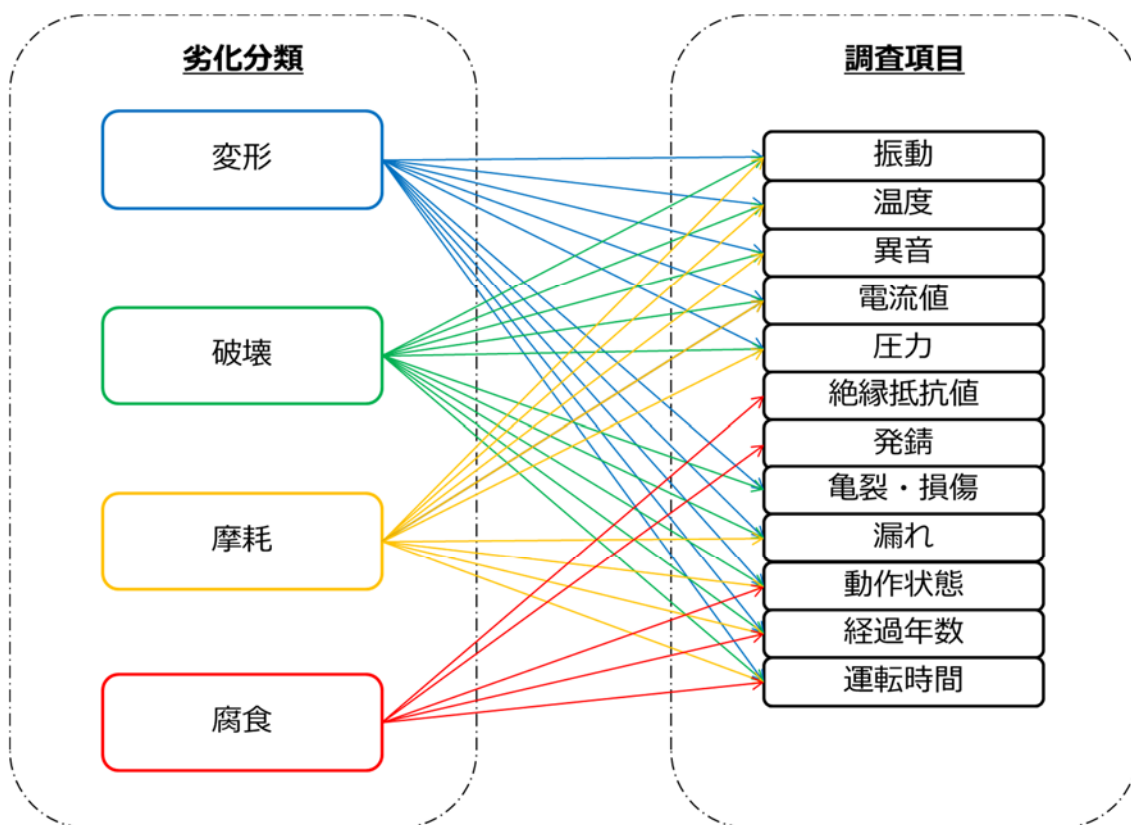


図 5-8 劣化分類と調査対象

第6章 維持管理

第1節 センサーモニタリング

§29 システム保守

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

【解説】

(1) 連続センサーの校正

内蔵する振動センサーは、半導体センサーのため校正は不要である。§20 表 4-2 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、連続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

定期的な監視や警報機能を利用するなどし、連続センサーを含むセンサーモニタリングシステムの死活監視を実施し、問題なく稼働していることを確認する。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 6-1 に示すような、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1回程度の交換周期となる。

顧客選択	設備選択	グラフ	データ参照	稼働情報	稼働状況	アラーム設定	点検管理																	
2018-03-14 18時 センサーの稼働状況です。																								
対象期間は 昨日 19時 から今日 18時 まで、1時間ごとに属し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	6	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	4	4	0	
231:No1汚水ポンプA	6	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	4	4	0	
232:No1汚水ポンプB	6	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	4	4	0	
233:No2汚水ポンプA	6	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	4	4	0	
234:No2汚水ポンプB	6	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	4	4	0	
408:No1汚水ポンプ電流	6	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	4	4	0	
409:No2汚水ポンプ電流	6	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	4	4	0	
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	4	4	0	
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	4	4	0	
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	4	4	0	

図 6-1 センサーモニタリングシステム通信ログ画面例

第2節 タブレット点検

§30 システム保守

タブレット点検を利用するに当たり、以下の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】

(1) タブレット端末の保守

タブレット端末メーカ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。

- ・ソフトウェア保守
OS、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

参考文献

- ・「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-」（(社)日本下水道協会）
- ・最新実用設備診断技術（総合技術センター）
- ・ISO 10816-1:1995 Mechanical vibration-Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts -Part 1 : General guidelines
- ・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】

資料編

第1節 実証研究結果

今後、ガイドライン化に向けて、整理予定である。