

## 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 16,875m<sup>3</sup>/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 110m<sup>3</sup>/分) 3 台  
脱臭ファン (ターボ式 空気量 140m<sup>3</sup>/分) 2 台  
劣化加速試験機 (ルーツ式ブロワ 空気量 1.71m<sup>3</sup>/分) 1 台

4-2) みやぎ中山ポンプ場

- ・揚水量 6.0m<sup>3</sup>/分
- ・対象設備 汚水ポンプ（横軸スクリー式 口径 200mm）3 台

4-3) 国見第一ポンプ場

- ・揚水量 2.6m<sup>3</sup>/分
- ・対象設備 汚水ポンプ（横軸スクリー式 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 26m<sup>3</sup>/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



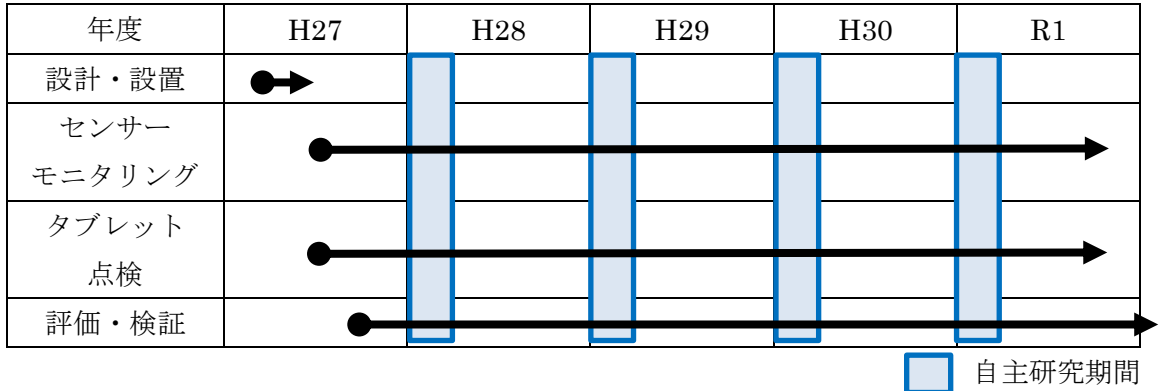
図\_資 1-1 実証フィールド

表\_資 1-1 対象設備と設置センサー一覧

施設	機番	型式	メーカー (本体/電動機)	仕様	電動機出力	設置年	測定対象	機種	中継機	監視・警体内温度 N社センサーA	監視・警体内湿度 N社センサーB	圧力	流量	電流量
広瀬川浄化センター	NO.1ポンプ	立軸渦巻給流ポンプ	西島製作所/富士電機	300mm×10m3/min	30kW-400V	1982	電動機 中間軸受 本体	1		3	1			1
	NO.2ポンプ	立軸渦巻給流ポンプ	西島製作所/富士電機	300mm×10m3/min	30kW-400V	1982	電動機 本体	1	7	3	2			1
	NO.4ポンプ	立軸渦巻給流ポンプ	西島製作所/富士電機	400mm×20m3/min	55kW-400V	2007	電動機 中間軸受 本体	2		2	9			1
	NO.1プロワ	歯車増速式単段ターボ	川崎重工/富士電機	110m3/min	170kW-400V	1983	電動機 本体	2		2				
	NO.2プロワ	歯車増速式単段ターボ	川崎重工/富士電機	110m3/min	170kW-400V	1983	電動機 本体	2		2				
	NO.3プロワ	歯車増速式単段ターボ	川崎重工/富士電機	110m3/min	170kW-400V	1983	電動機 本体	2		2				
	NO.1除臭ファン	ターボファン	協和化工/日立製作所	140m3/min	7.5kW-400V	1982	電動機 中間軸受	1	8		1	1		1
	NO.2除臭ファン	ターボファン	協和化工/日立製作所	141m3/min	7.5kW-400V	1987	電動機 中間軸受				2	2		1
	加速試験用プロワ	ルーツ式	アンレント/三菱	1.78m3/min	3.7kW-200V	2015	電動機 本体				2	4	1	1
	NO.1ポンプ	立軸渦巻給流ポンプ	荏原製作所/明電舎	300mm×8.68m3/min	90kW-400V	1989	電動機 中間軸受 本体			2				1
	NO.2ポンプ	立軸渦巻給流ポンプ	荏原製作所/明電舎	300mm×8.68m3/min	90kW-400V	1989	電動機 中間軸受 本体	1	4	2				1
	NO.3ポンプ	立軸渦巻給流ポンプ	荏原製作所/明電舎	300mm×8.68m3/min	90kW-400V	1989	電動機 中間軸受 本体			2				1
	NO.1ポンプ	横軸スクルー	荏原製作所/東芝	200mm×3.0m3/min	55kW-200V	1988	電動機 中間軸受 本体			1				1
NO.2ポンプ	横軸スクルー	荏原製作所/東芝	200mm×3.0m3/min	55kW-200V	1989	電動機 中間軸受 本体	1	3	2				1	
NO.3ポンプ	横軸スクルー	荏原製作所/東芝	200mm×3.0m3/min	55kW-200V	1988	電動機 中間軸受 本体			2				1	
NO.1ポンプ	横軸スクルー	荏原製作所/東芝	150mm×1.32m3/min	22kW-200V	1987	電動機 本体			1				1	
NO.2ポンプ	横軸スクルー	荏原製作所/東芝	150mm×1.32m3/min	22kW-200V	2001	電動機 本体	1	2	1				1	
NO.1ポンプ	立軸渦巻ポンプ	クボタ/東芝	100mm×1.1m3/min	7.5kw-200V	2008	本体			1				1	
NO.2ポンプ	立軸渦巻ポンプ	クボタ/東芝	100mm×1.1m3/min	7.5kw-200V	2008	本体			3				1	
NO.3ポンプ	立軸渦巻ポンプ	クボタ/東芝	100mm×1.1m3/min	7.5kw-200V	2008	本体			3				1	

※1、※2、※4: 電気設備工事に伴い、該目ポンプ場およびみやき中山ポンプ場のセンサーの一部を志波東ポンプ場へ移設(平成28年度)  
 ※3: 更新工事に伴い、国原第一ポンプ場のセンサー一式を撤去(令和元年度)

5) 実施工程



(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
センサーモニタリング	劣化診断の効率化	作業量・時間の低減	実証フィールドでの従来技術を代替した場合の作業時間を測定	振動計測に係る100%の作業時間低減	振動計測に係る100%の作業時間低減→年間約10.5時間(14設備)
	劣化診断の高度化	計測誤差低減	手測定による測定値との比較	手測定による測定値との一致(±10%以内)	手測定による測定値との一致(±10%以内)
	下水処理場への適用性	適用範囲・適用条件	機械設備への適用範囲を確認	ポンプ・送風機の機種別センサー設置可否の提示	水中軸受以外の設備に設置可能
				センサー設置面条件の提示	サイズ・温度条件・設置位置・固定方法を整理
設置環境下での耐久性	劣化耐久性	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	
タブレット点検	劣化診断の効率化	作業量・時間低減	実証フィールドでの従来技術を代替した場合の作業時間を測定	10%程度の作業時間低減	平均10%の作業時間低減
	劣化診断の高度化	精度向上	タブレット点検導入効果を確認	タブレット端末利用による副次的効果を整理*	遠隔監視、図面管理、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
設備劣化簡易診断(1/5)	故障予防	損害低減	国総研アンケート結果に基づく低減効果を試算	損害低減率※試算方法の確立とその方法による試算	故障対応費標準値からの試算方法確立→0.06～0.51%の低減率
			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づく試算相当の損害低減率	劣化加速試験機の故障対応標準値から試算→0.10%の低減率
			突発故障発生前の振動値推移から故障検知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、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リットを整理	復旧対応の迅速化・施設管理の相対的な信頼性向上等のメリットを整理

※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
設備劣化簡易診断(2/5)	設備補修点検周期の延伸	コスト縮減	国総研アンケート結果に基づく縮減効果を試算	経費回収年の試算方法の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
			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ーホール費から延伸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※	メーカー推奨補修周期を延伸した場合に想定されるリスクを整理	故障発生確率増大等のリスクを整理

※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
設備劣化簡易診断 (3/5)	劣化診断の高度化	精度向上	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用の情報可視化	不要データ除去処理方法と移動平均処理方法の確立 <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
			タブレット点検蓄積データによる設備劣化簡易診断用の情報可視化	日毎の蓄積データのグラフ表示方法の確立 <sup>※2</sup>	日毎の蓄積データのグラフ表示方法を確立
			劣化加速試験機のセンサーモニタリング蓄積データから劣化予測の精度を確認	劣化予測情報の可視化と目安となる予測精度の評価	1パターンによる劣化予測情報の可視化と予測精度 <sup>※4</sup> を確認
			精密診断により設備劣化簡易診断結果を検証	簡易診断結果がAE診断結果の劣化状態と同等 <sup>※5</sup>	簡易診断結果がAE診断結果の劣化状態と同等を確認 <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
設備劣化簡易診断 (4/5)	モニタリングデータの蓄積	精度向上	実証フィールド既設設備の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よる設備劣化簡易診断用補完情報の確認	補完情報項目と補完方法の確立	2項目の補完情報可能性発現 <sup>※1</sup>
			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規格の優良・良好ゾーン <sup>※4</sup> である割合を整理 <sup>※2</sup>	86%の設備が優良・良好ゾーンにて絶対判定基準適用可能(14%が注意・危険ゾーン <sup>※4</sup> )
			判定基準に適用するISO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と関連ISO規格の整理 注意・危険ゾーンにある設備の管理方法をフロー化
			振動値が変化している既設設備の要因追跡調査	流量・圧力等のプロセス値変化との関連を確認 <sup>※3</sup>	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
設備劣化簡易診断(5/5)	劣化診断の効率化	作業量・時間の低減	劣化予測曲線制定に必要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評価	1日1回程度の計測が必要で従来技術では代替不可能
	下水処理場への適用性	適用範囲・適用条件	普及展開に向けた建設費・維持管理費用の確認	導入モデルケースの策定と費用関数の整理	処理量別導入モデルケース <sup>※1</sup> を策定し、費用関数を整理
			本技術適用にあたり適用対象設備の選定フローを整理	ストマネガイドラインに沿った選定フローの整理	選定フローの整理 実証フィールドでの適用例として14設備を抽出
			本技術適用にあたり設備劣化簡易診断タイミングとフローを整理	保全に係る中期計画・次年度計画における対象設備の選定フローを整理	中期計画(5年間)・夕刊年度・次年度計画(翌年)における対象設備選定フローを整理
			本技術適用にあたり突発故障検知時の緊急連絡フローを整理	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 <sup>※1</sup> における経費回収年の検討	5年程度 <sup>※2</sup>	5年程度を確認

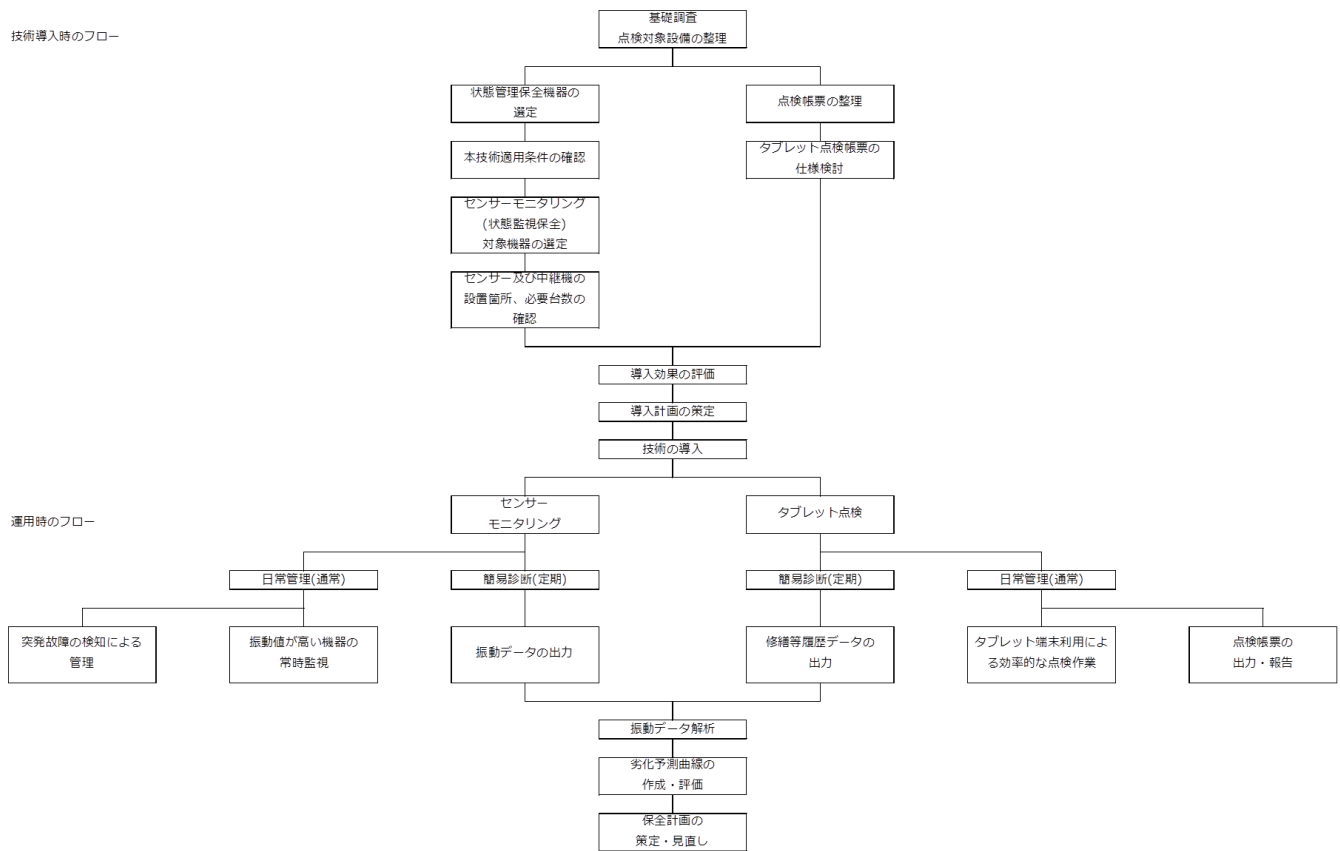
※1 処理量1万m<sup>3</sup>/日・5万m<sup>3</sup>/日・10万m<sup>3</sup>/日に対して、精密診断回避・突発故障未然防止・点検作業時間低減効果より検討

※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。



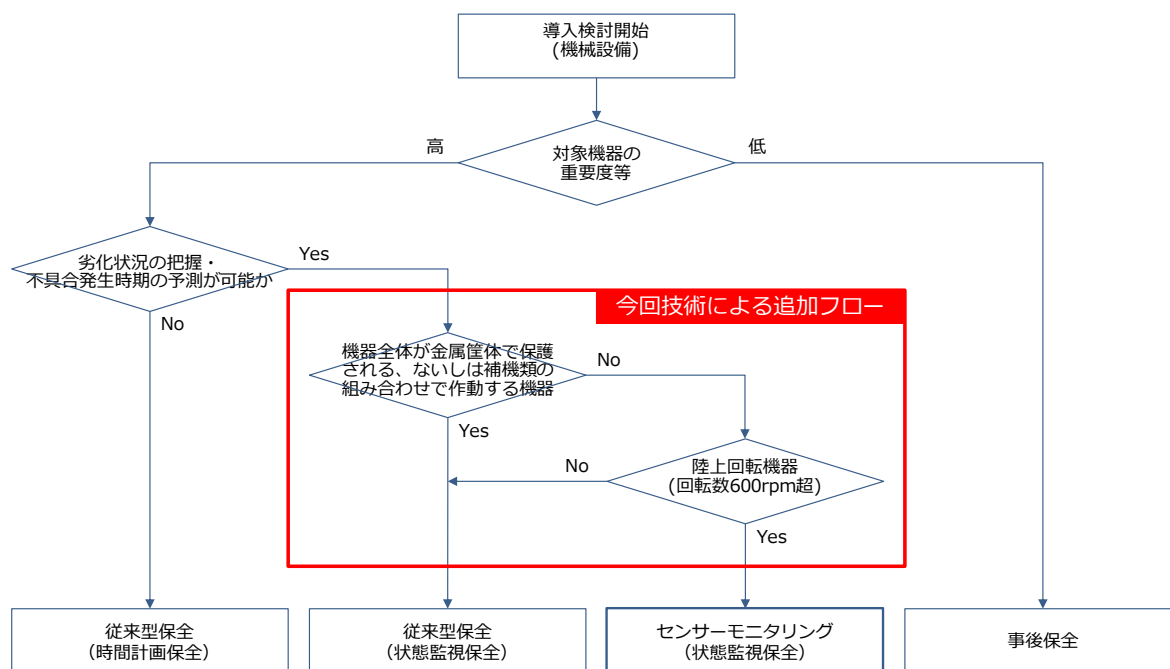
図\_資 1-2 本技術の標準運用フロー(全体)



## (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。



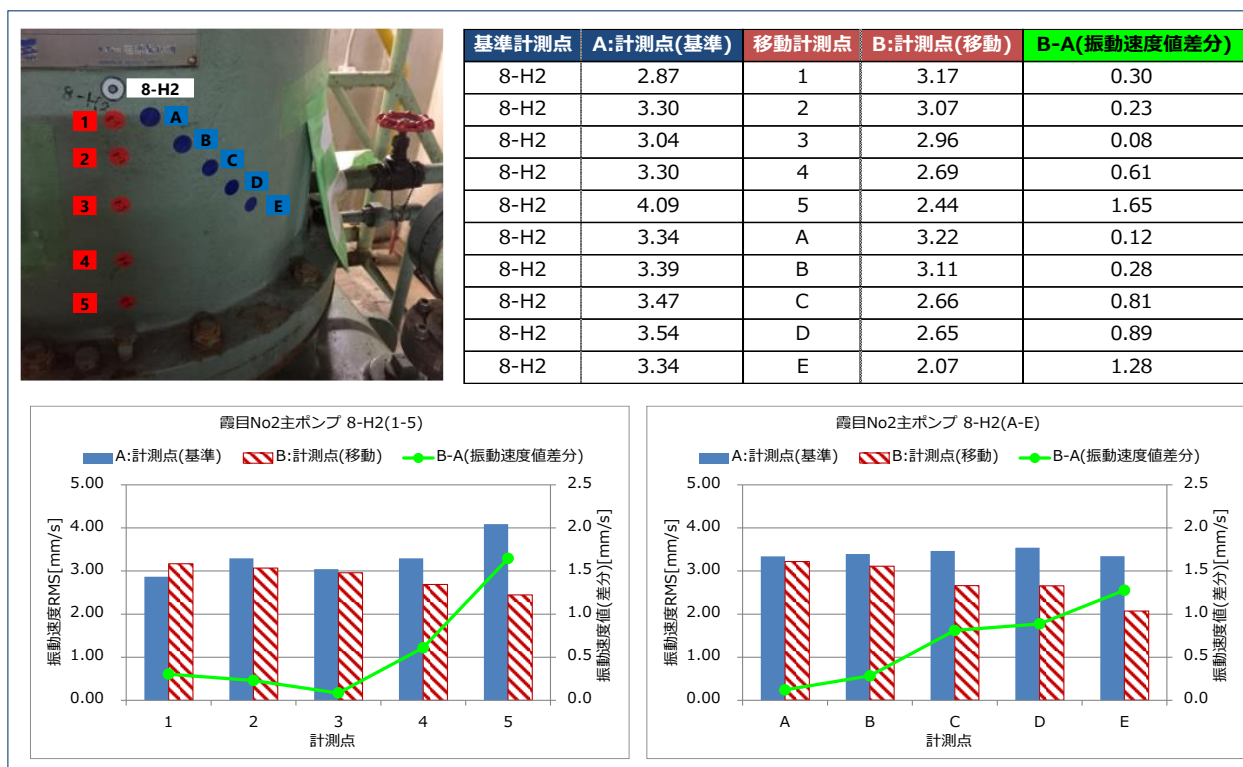
図\_資 1-3 適用対象選定フロー

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、改築通知の大小分類表（下水道施設の改築について(平成 28. 4. 1 国水事第 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<sup>5)</sup>、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切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。



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

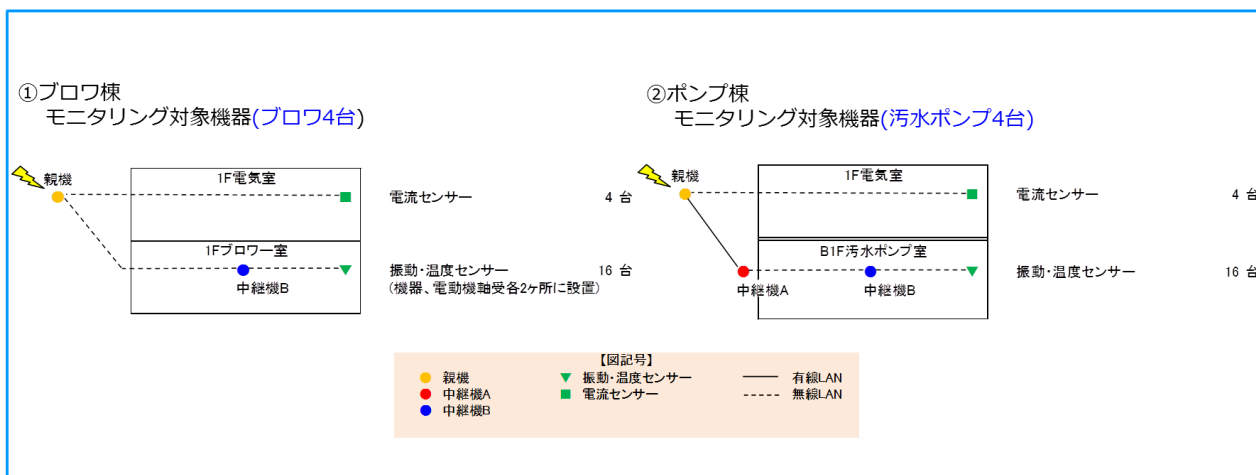
4) 本技術導入判断に必要な評価項目

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 万 m<sup>3</sup>/日・5 万 m<sup>3</sup>/日・10 万 m<sup>3</sup>/日)別の導入モデルを設定した。表\_資 1-9 に対象機器台数と連続センサー設置台数を、図\_資 1-5 に連続センサーの設置構成図(処理規模 1 万 m<sup>3</sup>/日)をそれぞれ示す。

表\_資 1-9 対象機器台数と連続センサー設置台数

費用項目	対象の機器設置台数		連続センサーの設置台数		タブレット点検
	汚水ポンプ [台]	曝気ブロウ [台]	振動センサー [台]	電流センサー [台]	
処理規模 1 万 m <sup>3</sup> /日	4	4	32	8	日常点検 1 回/日 (端末 2 台)
処理規模 5 万 m <sup>3</sup> /日	4	4	32	8	
処理規模 10 万 m <sup>3</sup> /日	6	5	44	11	



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)

次に、処理規模(1 万 m<sup>3</sup>/日・5 万 m<sup>3</sup>/日・10 万 m<sup>3</sup>/日)別の導入モデルに係るコストとして、センサー類や LAN ケーブル設置、タブレット端末の購入等の「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・タブレット端末の通信費用、モニタリング技術が提供するデータ分析費用等の「維持管理費」とを設定した。一方、導入効果(コストメリット)は、「精密診断の回避」や「故障対応費の低減」、「点検時間の低減」を設定した。表\_資 1-10 に費用項目一覧を示す。

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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機器費(連続センサー、親機、中継機、タブレット端末)</li> <li>・LANケーブル設置費(LANケーブル資材費、設置費等)</li> <li>・センサー設置費(クラウド設定費、現地通信試験確認等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・タブレット本体の購入費</li> </ul>
維持管理費	<ul style="list-style-type: none"> <li>・連続センサー通信費(クラウド使用費、親機通信費)</li> <li>・連続センサーの電池交換、作業労務費 <b>(年4回/4人工を想定)</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・タブレット端末の通信料</li> <li>・クライアント証明書費用</li> </ul>
導入効果	精密診断の回避	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。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。</li> <li>・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継続する。</li> <li>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(H25~H28年度仙台市実績)</li> <li>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</li> </ul>
	故障対応費の低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機器の軸受部分に関わる故障件数が全体発件数の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。</li> <li>・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。</li> </ul>
	点検時間の低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul>

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。

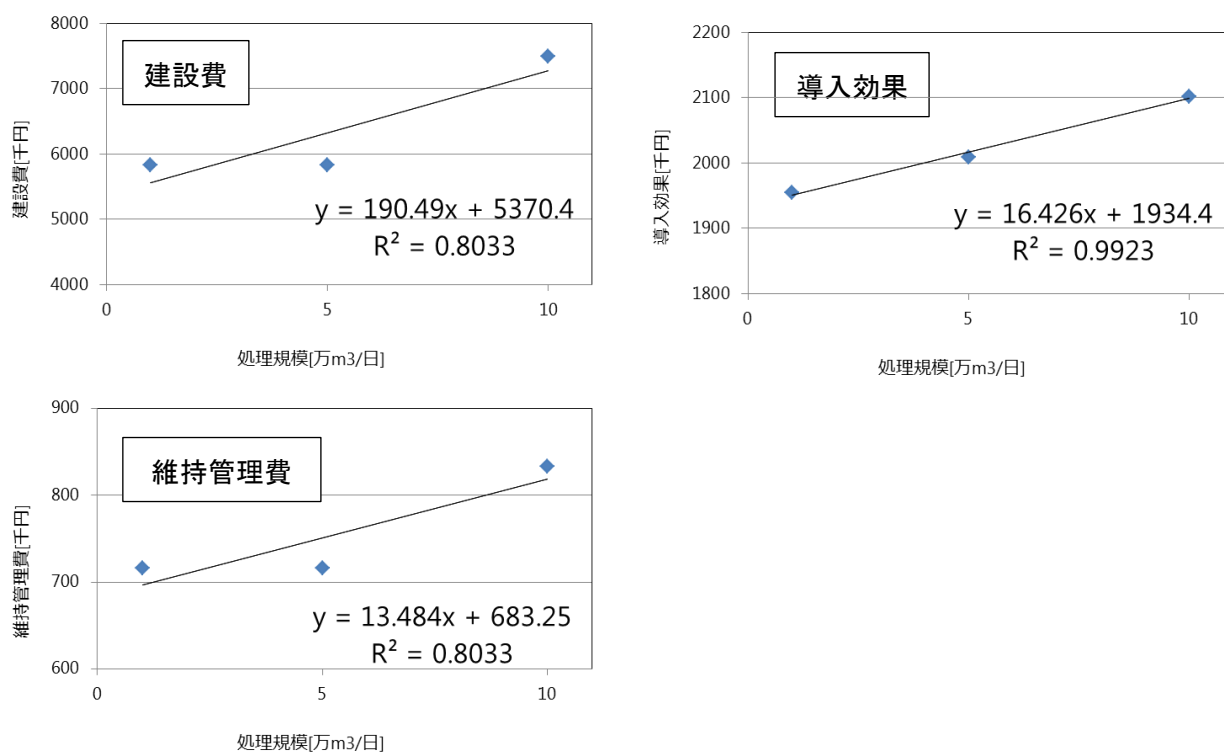
(経費回収年の計算式)

$$\text{経費回収年(年)} = \frac{\text{建設費(百万円)}}{\text{導入効果(百万円/年)} - \text{維持管理費(百万円/年)}}$$

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 (台数)	建設費 (千円)	維持管理費 <sup>1)</sup> (千円)	導入効果 <sup>2)</sup> (千円)	経費回収年 (年)
1万m <sup>3</sup> /日	汚水ポンプ(4台) ブロワ(4台)	5,833	616	1,955	4.7
5万m <sup>3</sup> /日	汚水ポンプ(4台) ブロワ(4台)	5,833	616	2,009	4.5
10万m <sup>3</sup> /日	汚水ポンプ(6台) ブロワ(5台)	7,493	696	2,102	5.9

また、処理規模(1万m<sup>3</sup>/日・5万m<sup>3</sup>/日・10万m<sup>3</sup>/日)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

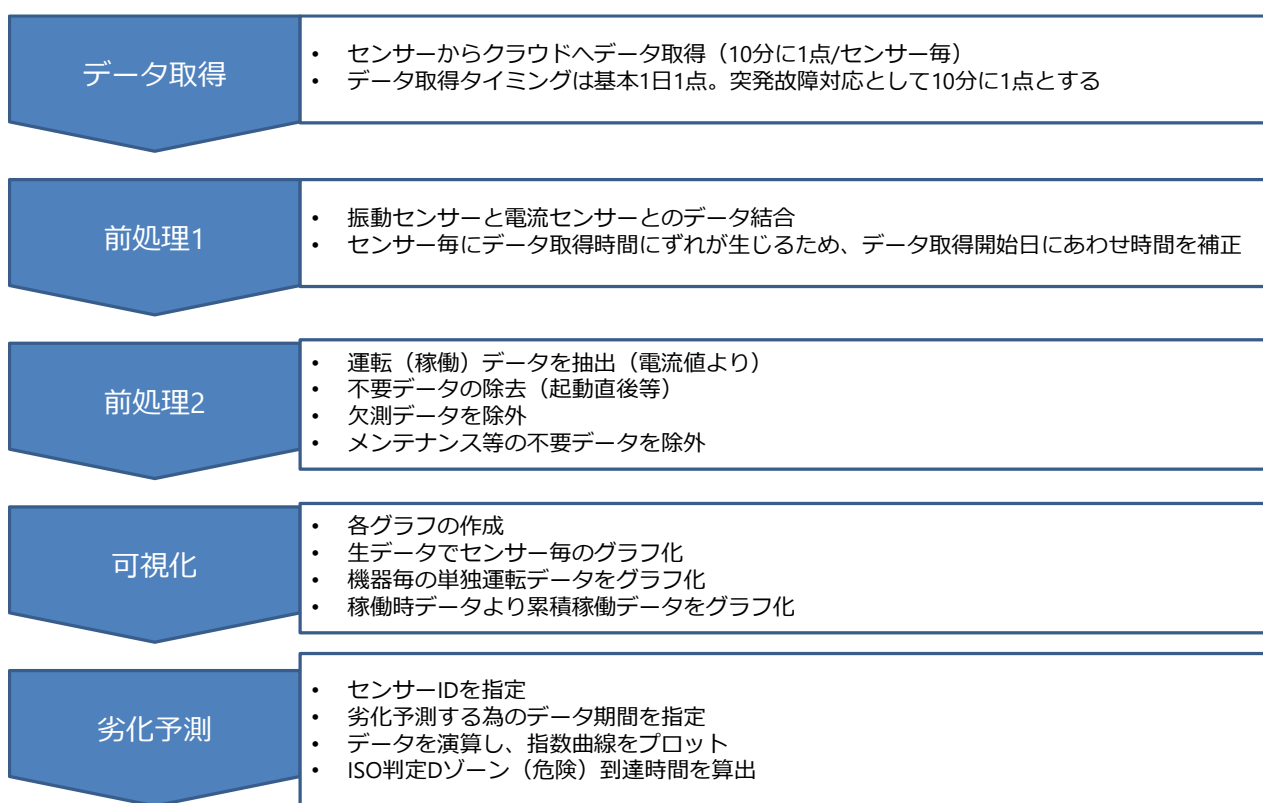
本技術の導入判断に係るその他の評価項目として、以下の項目を整理し、定量評価項目については試算結果例を合わせて提示した。

- 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)

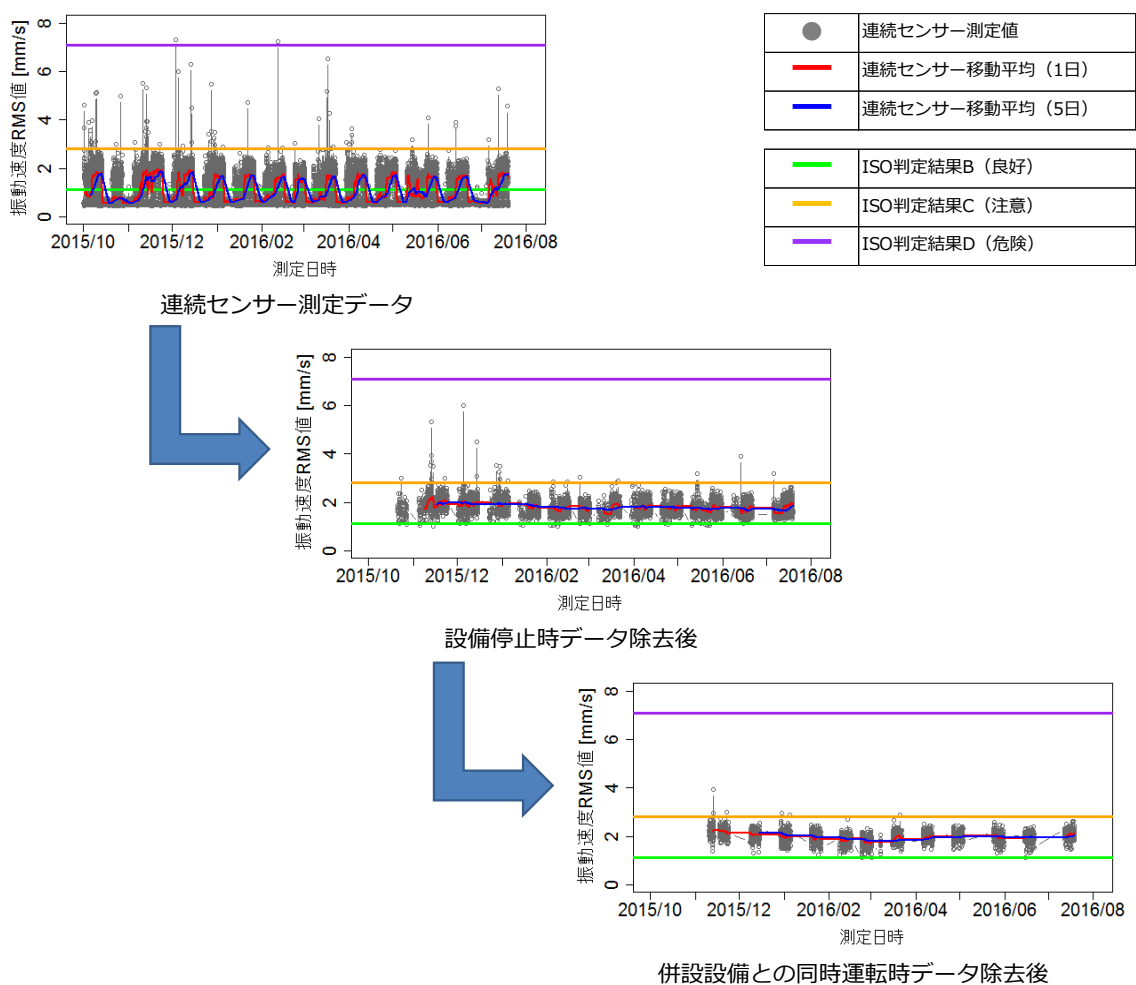
1)振動データのデータ処理手法

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。



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 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<sup>※</sup>)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

mm/s	ISO10816-1 : 1995				ISO10816-3 : 2009			
	クラス1	クラス2	クラス3	クラス4	グループ2	グループ1		
0.71	A	A	A	A	A	A	A	
1.12	B	B	A	A	B	A	A	
1.4								
1.8	C	B	B	A	B	B	A	
2.3								
2.8								
3.5		C	B	B	C	B	B	
4.5	D	C	C	B	D	C	B	
7.1								
9.3								
11.0				C	D	D	C	
14.7								
18.0				D	D	D	D	
28.0								
機械の基礎状態	-	-	固い	柔らかい	固い	柔らかい	固い	柔らかい

◆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らかい剛性をもつ基礎上に据え付けられたもの

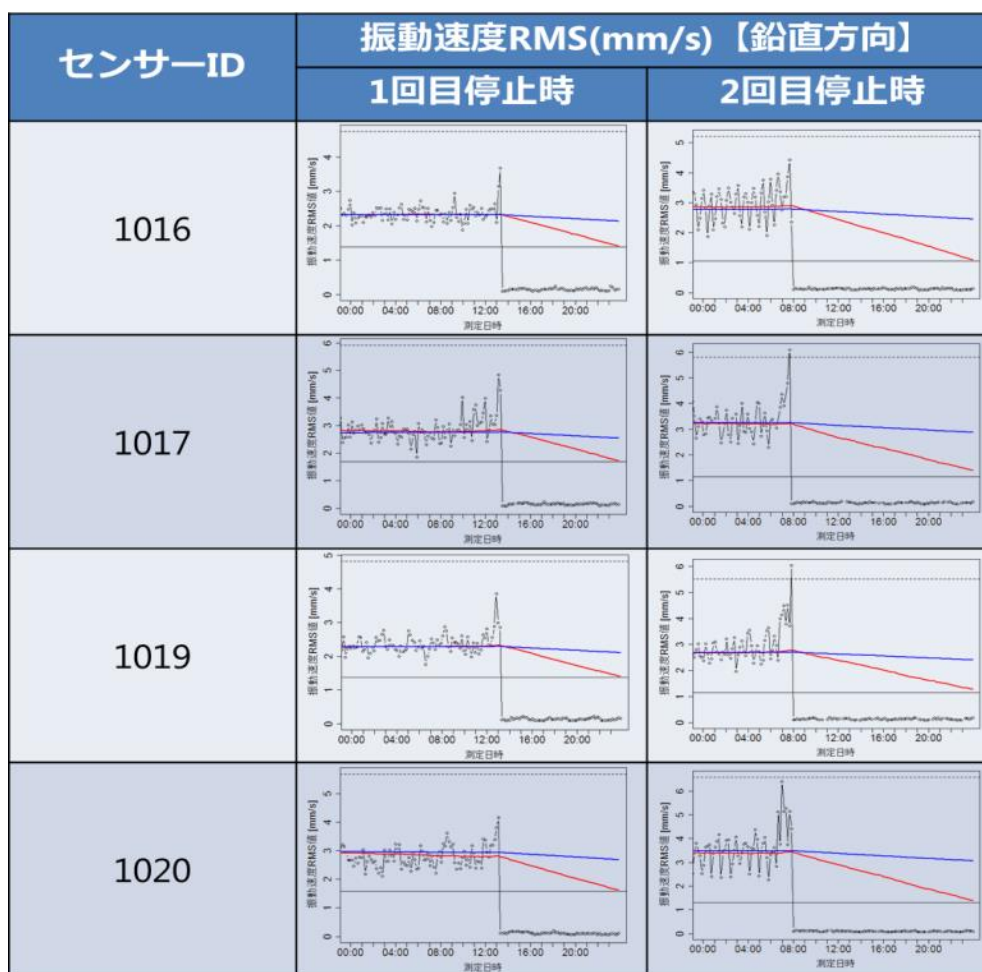
◆ISO10816-3  
 グループ1：大型機械、出力300kW～50MW  
 グループ2：中型機械、出力15kW～300kW

図\_資 1-9 振動評価 ISO 規格の変遷

## 3) 突発故障への適用

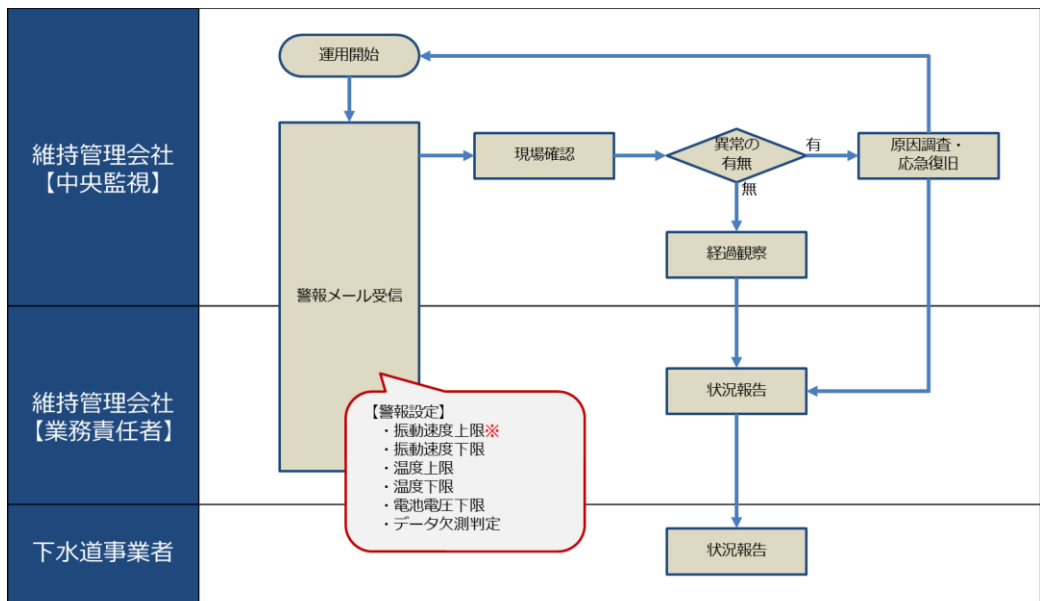
機器に定格以上の負荷をかけて劣化を促進し、設備の劣化傾向を示すセンサーモニタリングデータを収集する目的で実施した劣化加速試験において突発故障が発生し、その際に収集していたセンサーモニタリングデータを検証した。劣化の兆候として振動速度RMS値の上昇傾向が現れたのは、突発故障による設備停止の20分から60分前であり、連続センサーの測定最低周期である10分間隔での測定により、本技術により、劣化診断・劣化予測のみならず突発故障の事前検知が可能であるとした。図\_資 1-10 に突発故障発生時のセンサーモニタリングデータを示す。





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。

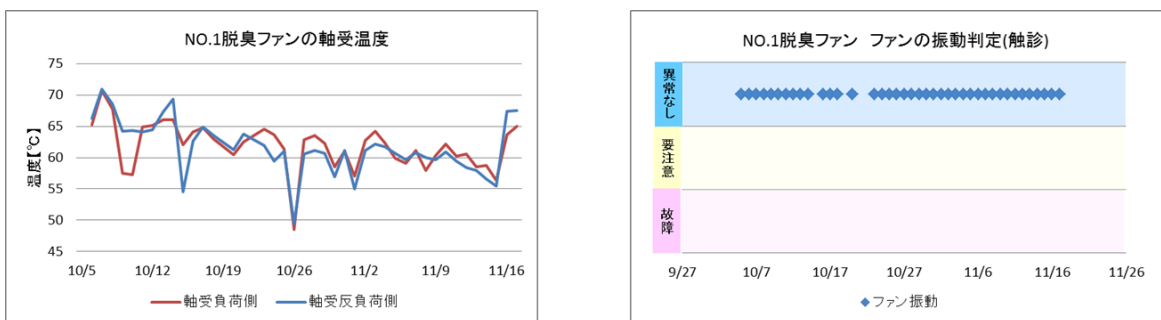


図\_資 1-11 突発故障発生時の緊急連絡フロー

(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。

表\_資 1-12 日常点検記録に係る作業時間低減効果例

対象施設	巡回点検対象項目数	従前技術			革新的技術	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)		
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

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



図面管理

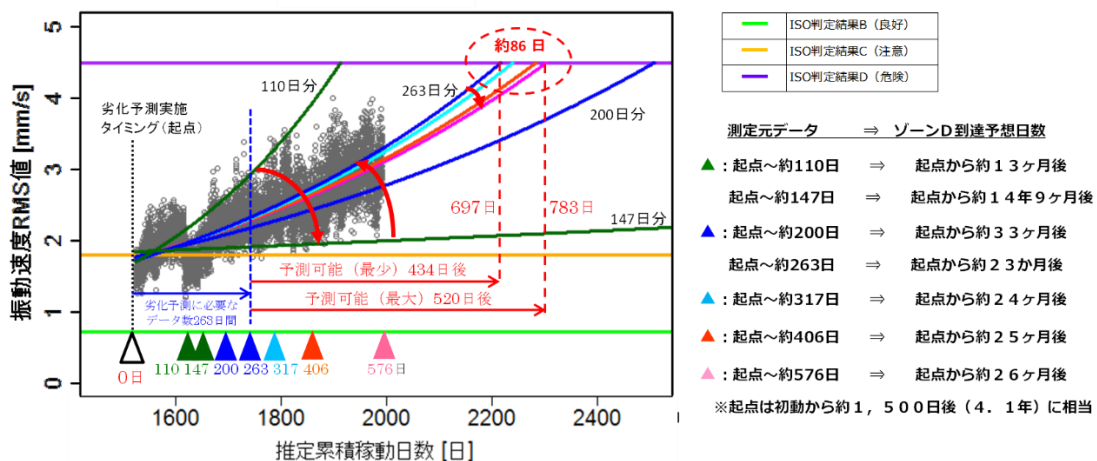
図\_資 1-13 タブレット端末による副次的効果

(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。



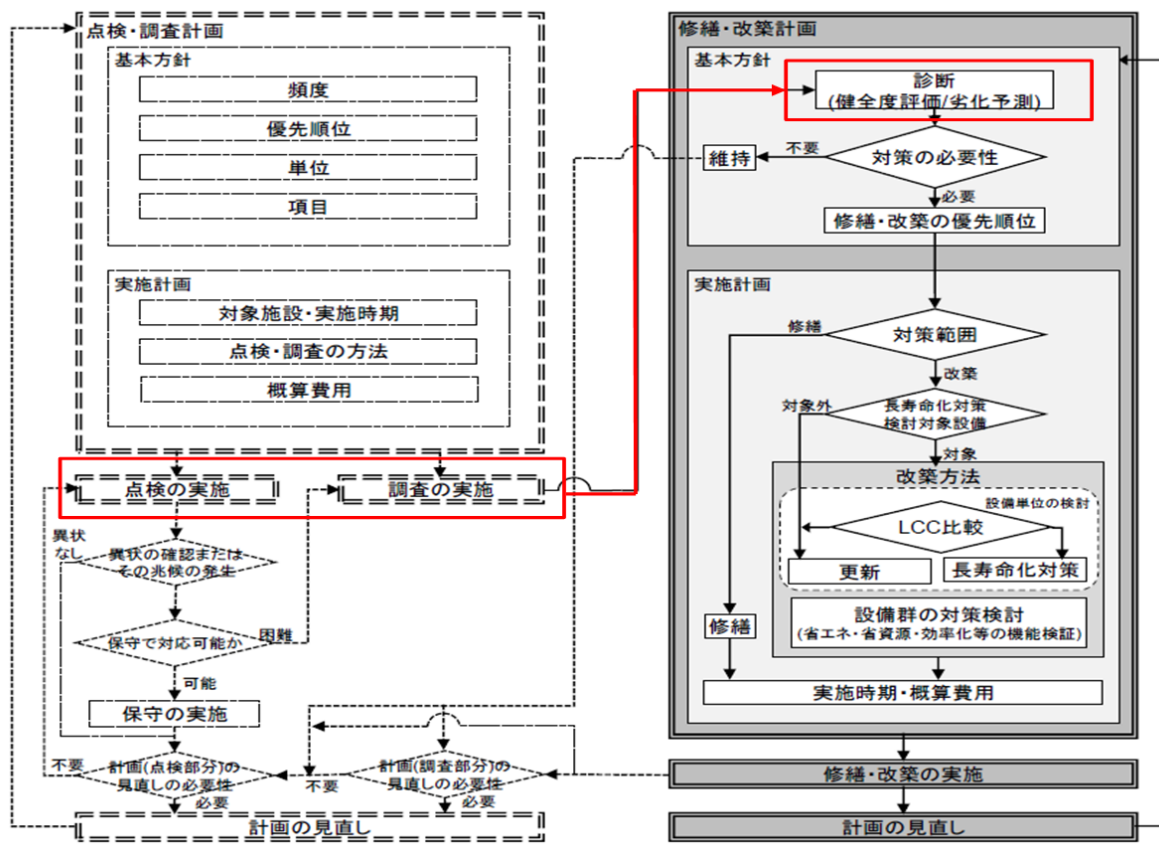
- ・ 予測に必要なデータ日数：9カ月以上
- ・ 予測期間の精度：ゾーンD到達時期を約3ヶ月の範囲で予想できる可能性あり
- ・ 劣化予測に必要な最低測定周期：1日1回程度

図\_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。

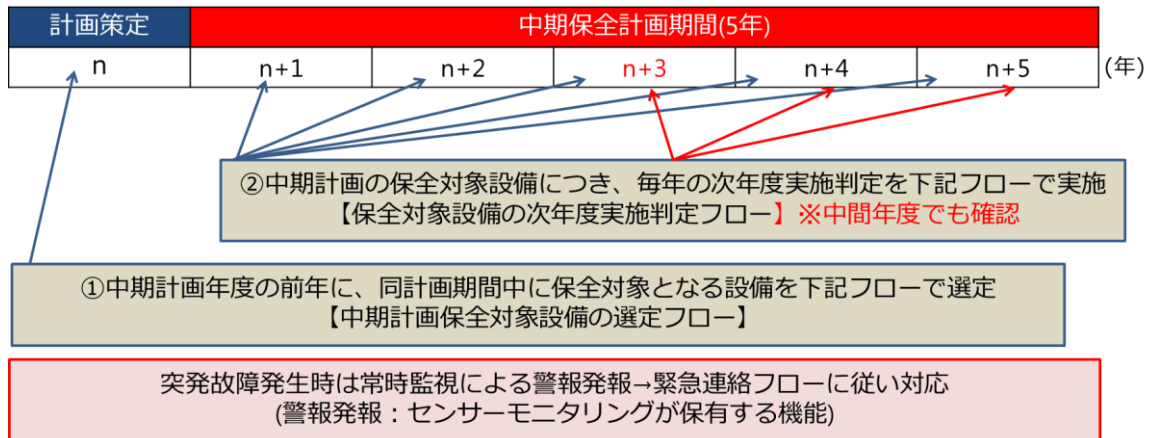
図\_資 1-15 にストックマネジメントにおける修繕・改築計画策定フローを示す。図\_資 1-15 赤線部分が、本技術の位置付けとなる。



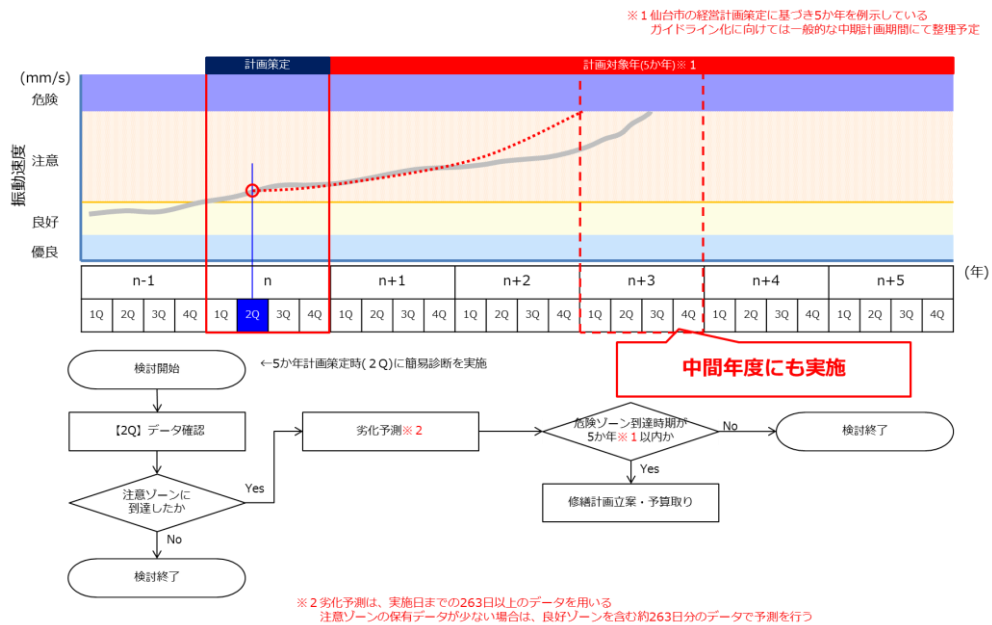
図\_資 1-15 スtockマネジメントにおける修繕・改築計画策定フロー

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。

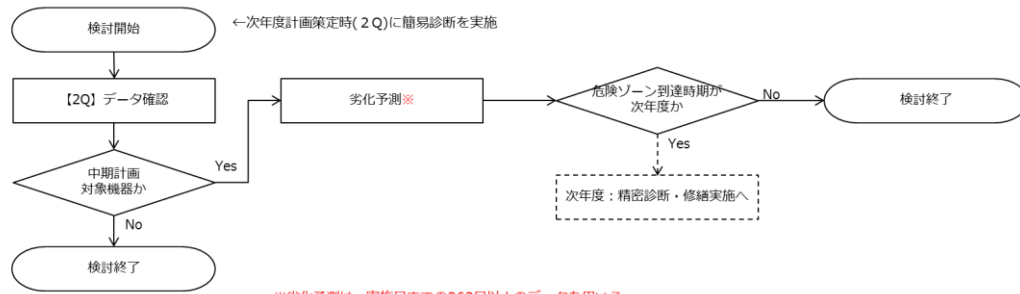
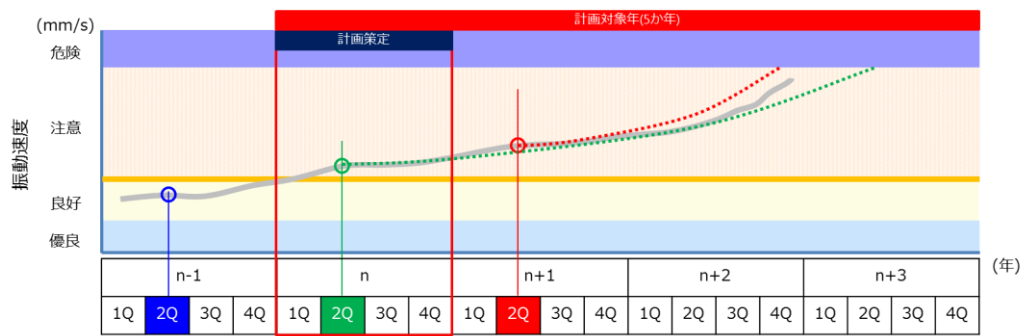
中期保全計画策定時においては、図\_資 1-17 に示す通り、振動測定データが ISO 規格の注意ゾーンに到達した設備に対して劣化予測を実施し、当該保全計画年度の間振動測定データが ISO 規格の危険ゾーンに到達した設備を保全対象としている。また、当該保全計画年度の間での振動測定データの上昇を考慮し、中間年度および保全実施前年度にも劣化予測を実施して確認することとしている。また、保全計画実施前年度においては、図\_資 1-18 に示す通り、保全計画対象の設備に対して劣化予測を実施し、次年度 (保全実施年度) の間に振動測定データが ISO 規格の危険ゾーンに到達した設備を保全実施対象としている。



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)



※劣化予測は、実施日までの263日以上のデータを用いる  
 注意ゾーンの保有データが少ない場合は、良好ゾーンを含む約263日分のデータで予測を行う

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

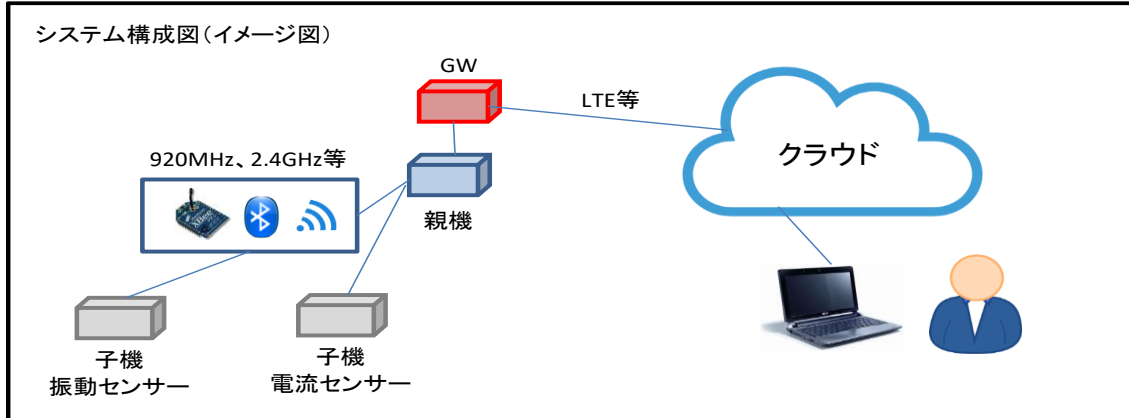
##### 2) 外部信号の取り込み

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－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	℃
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	

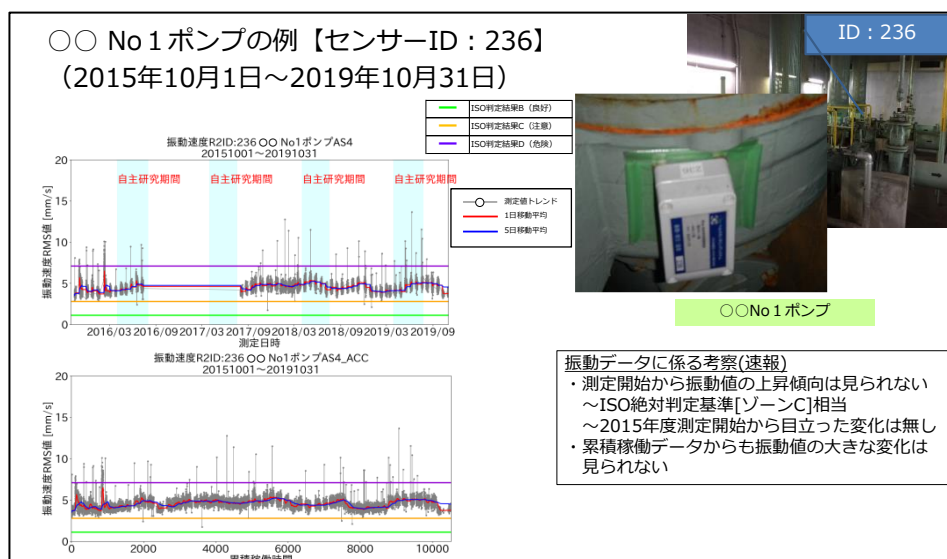
### 2) 計測データ蓄積

	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	報告書集計配信	計測データをデータ処理および推移予測処理してグラフ化した報告書に集計し、配信する。

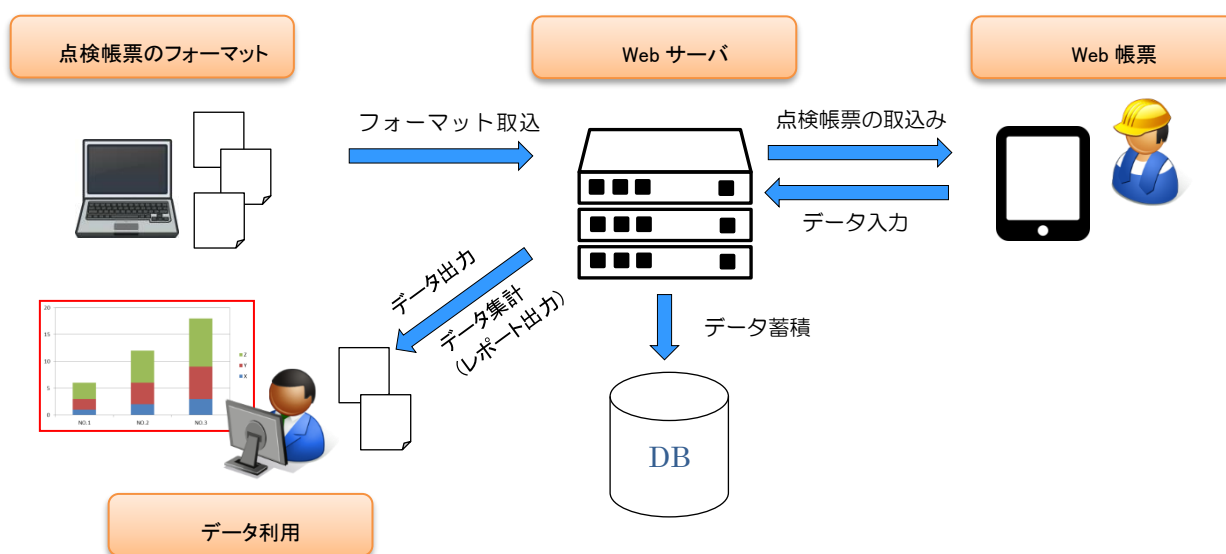
### 4) 報告書例



## 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を入力して、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
定性状態	異音
	触診結果(振動・温度)
	損傷・汚れ
	油漏れ
	臭気
計測値	温度
	圧力
	電流
	電圧
	周波数

## 2) 機能概要

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、凶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	WindowsServer2019 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)
HD 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

- ・サーバー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 (ISO27001)
- ・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 (ISO9001)
- ・環境マネジメントシステム (ISO14001)

### 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	現在の移動平均値位置	合計	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
優良ゾーン	32 (42%)	66 (86%)	
良好ゾーン	34 (44%)		
注意ゾーン	7 (9%)	11 (14%)	
危険ゾーン	4 (5%)		

図\_資 3-1 実証フィールド設備の振動データ分布

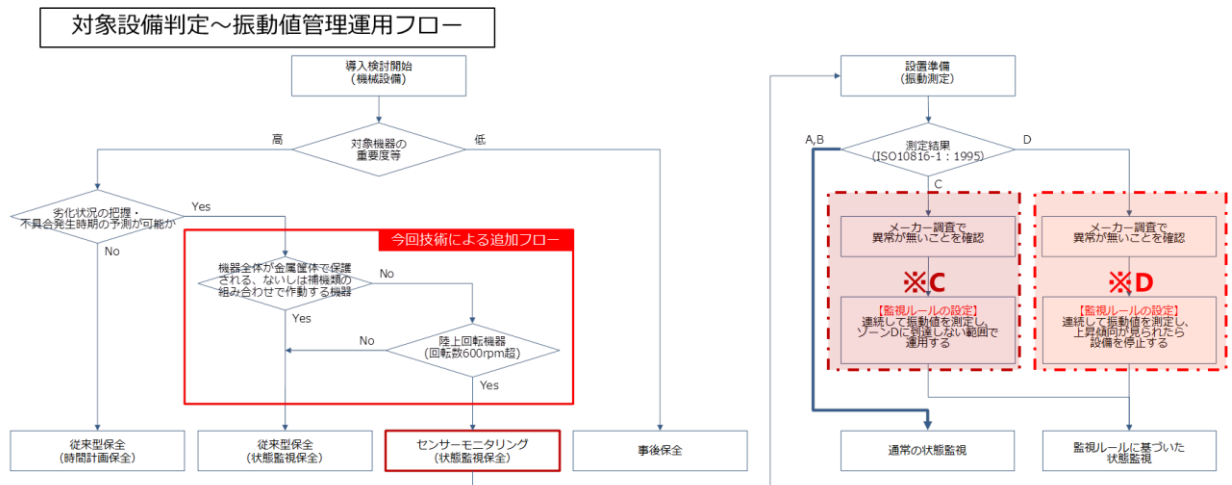
本技術の採用にあたり、元々振動測定データの高い設備の管理方法については次のように定め、図\_資 3-2 に示す振動値管理運用フローを策定した。

#### ①設置当初より ISO10816-1:1995 注意ゾーン(ゾーンC)にある設備

メーカー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、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\_資 3-2※C)。

#### ②設置当初より ISO10816-1:1995 危険ゾーン(ゾーンD)にある設備

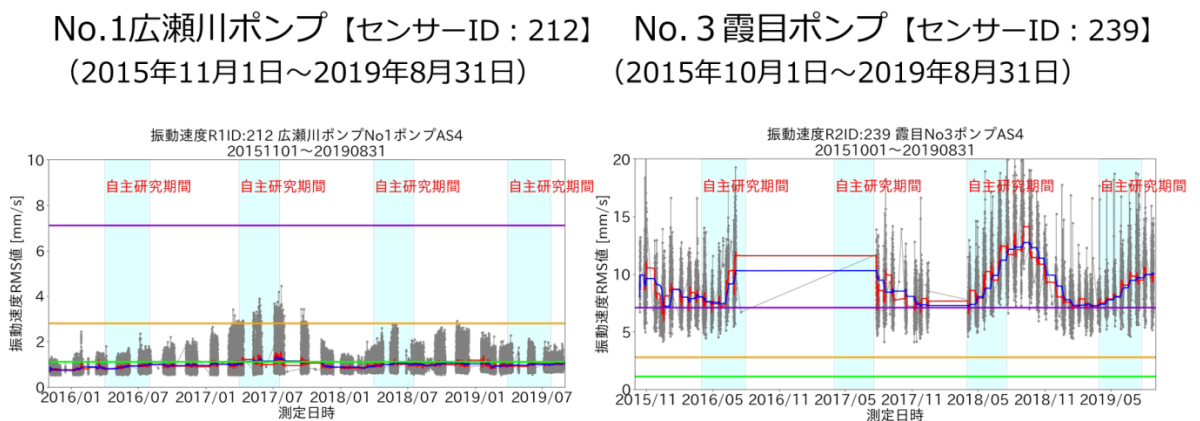
メーカーに確認を依頼して設備に異常がないことを確認した上で運用する。振動値を連続測定し、振動に上昇傾向が見られたら運転を止めることが望ましい(図\_資 3-2※D)。



図\_資 3-2 振動値管理運用フロー

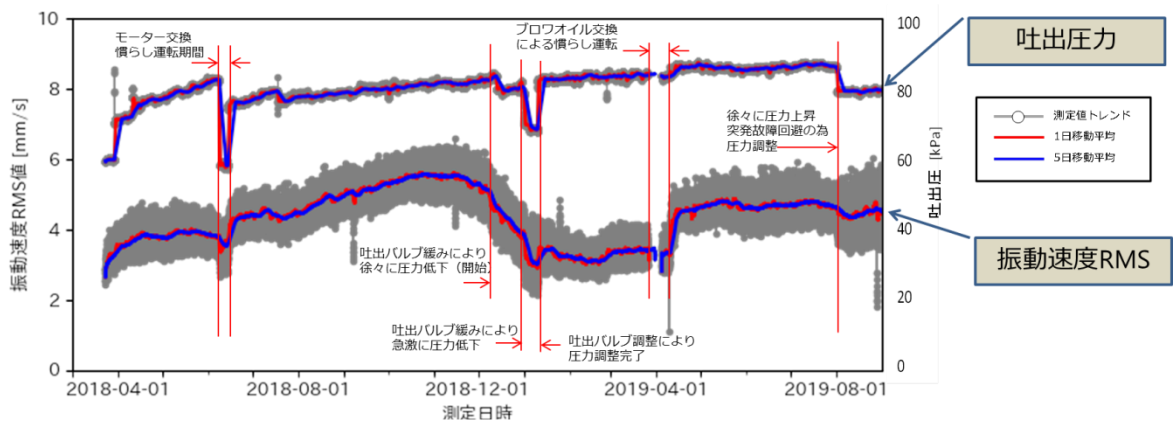
### 3. 2 健全状態にある設備の振動値の挙動

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。



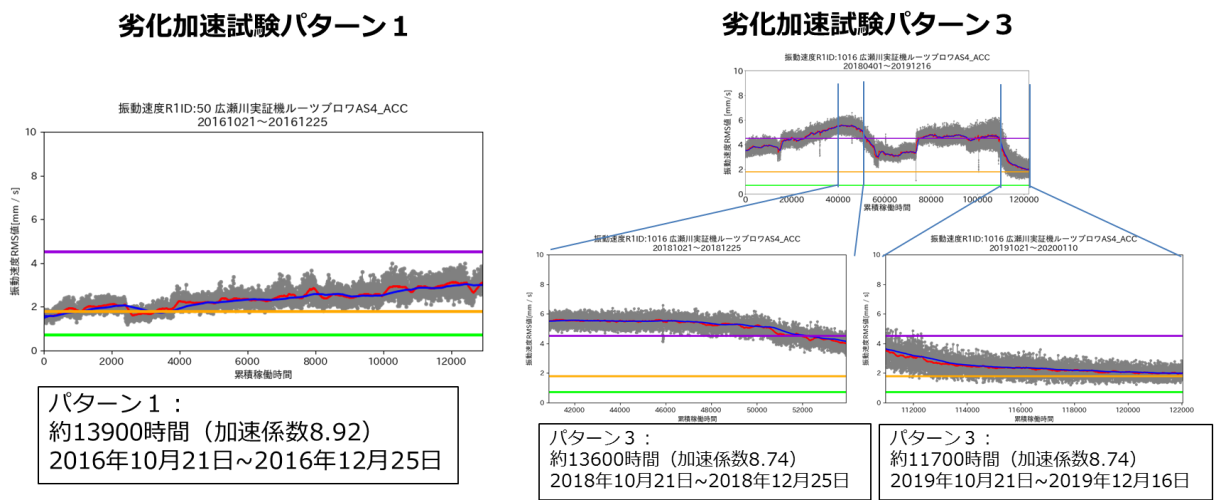
図\_資 3-3 振動測定データ変動例

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

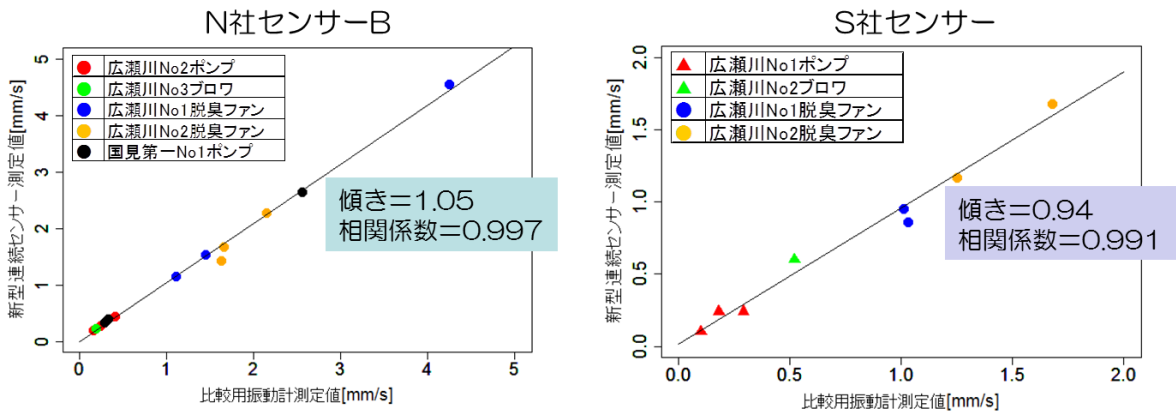
導入判断の評価項目の一例として設備補修周期延伸による経費回収年の試算例を示しているが、実際に延伸可能な設備補修点検周期については検証が困難である。即ち、同試算例においては設備補修点検周期が仮定となるため、補修周期延伸によるリスクを整理した。実証フィールドの設備は、予備機が設置されているため設備の稼働率が20%から50%程度と低い傾向にあり、既にメーカー推奨のオーバーホール周期(4～7年)よりも長い周期となっている。従い、コスト縮減効果の試算に用いた設備補修点検周期の更なる補修周期延伸により、次のリスクが想定される。

<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ー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 日・4 年 3 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：横軸スクリーウポンプ  
 仕様：150mm×1.32m<sup>3</sup>/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

写真	項目
	設置施設: 国見第一ポンプ場
	設置場所: ポンプ室
	設置機器: No.2ポンプB
	測定項目: 振動・音圧・温度
	ノード番号: 234
	内観: 基板上面
	評価: 問題なし
	設置施設: 国見第一ポンプ場
	設置場所: ポンプ室
	設置機器: No.2ポンプB
	測定項目: 振動・音圧・温度
	ノード番号: 234
	内観: 基板裏面
	評価: 問題なし

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。

No	写真	項目	No	写真	項目
1		設置施設: 国見第一ポンプ場		設置施設: 国見第一ポンプ場	設置場所: ポンプ室
		設置機器:			設置機器:
		測定項目: 親機			測定項目: 親機
		シリアル番号: 36037			シリアル番号: 36037
		外観: 上面			内観: 基板1上面
		評価: 問題なし			評価: 問題なし
2		設置施設: 国見第一ポンプ場		設置施設: 国見第一ポンプ場	設置場所: ポンプ室
		設置機器:			設置機器:
		測定項目: 親機			測定項目: 親機
		シリアル番号: 36037			シリアル番号: 36037
		外観: 下面			内観: 基板1裏面
		評価: 問題なし			評価: 問題なし
3		設置施設: 国見第一ポンプ場		設置施設: 国見第一ポンプ場	設置場所: ポンプ室
		設置機器:			設置機器:
		測定項目: 親機			測定項目: 親機
		シリアル番号: 36037			シリアル番号: 36037
		外観: 側面			内観: 基板1上面
		評価: 問題なし			

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

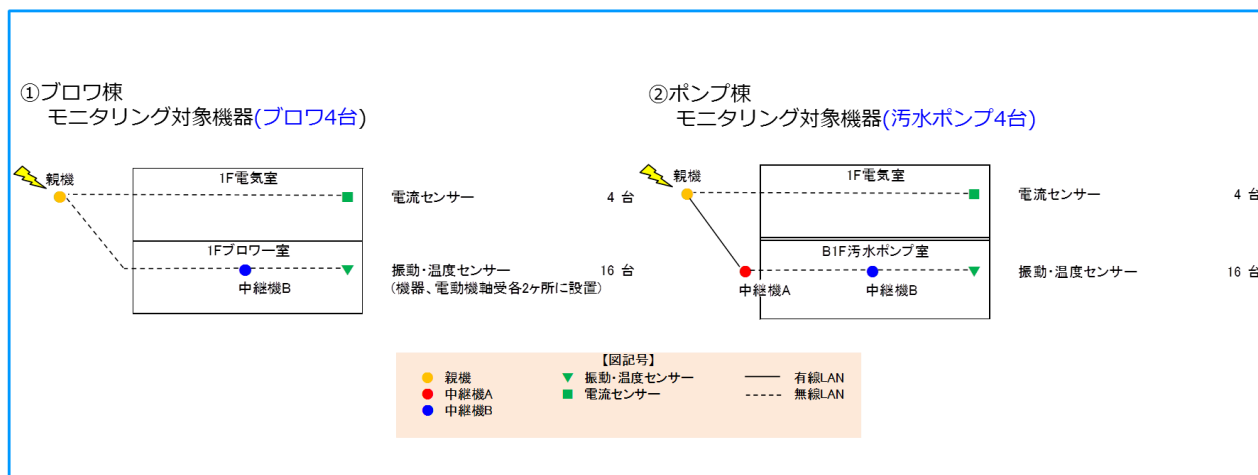
表\_資 3-1 センサー測定値確認結果

大分類	中分類	小分類	センサー数	子機種別	測定項目	センサー数	合格	不合格	割合
広瀬川浄化センター	汚泥棟	電気室	3	振動A	振動速度RMS	60	60	0	100%
		電動機室	12		音圧		60	0	100%
		軸受室	4		温度		60	0	100%
		ポンプ室	19		振動速度RMS		24	0	100%
	水処理棟	フロワ室	9	振動B	音圧	24	18	6	75%
		脱臭室	8		温度		24	0	100%
		加速試験機	9		電流		電流	14	14
国見第一ポンプ場	-	ポンプ室	7	熱電対	温度	6	6	0	100%
霞目ポンプ場	-	電動機室	7	アナログ変換計測値	計測値	2	2	0	100%
		B1軸受室	3		誤差5%以内を合格とした				
		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						

## 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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/日の建設費は 5,833,500 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 4-2 : 3,367,600 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 4-2 : 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
センサー モニタリング	親機	132,000	2	264,000
	中継機A	63,000	1	63,000
	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

3,367,600

### ③環境構築費

対象	品目	単価	個数	小計
センサー モニタリング	計測支援	657,100	1	657,100
	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ケーブル設置費

対象	品目	単価	個数	小計
センサー モニタリング	【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
	ブラボックス	11,500	5	57,500
	漏電遮断器	4,100	5	20,500
	防水タップコード	4,800	5	24,000
	【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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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
センサー モニタリング	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
	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 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 4-3 処理規模 1万・5万 m<sup>3</sup>/日の維持管理費

### 3) 導入効果

導入効果は、「精密測定回避」「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 m<sup>3</sup>/日での導入効果は、1,955,600 円になった。

#### 3-1) 精密測定回避

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
<b>【振動詳細診断業務】</b>			
振動詳細診断業務	450,000	1	450,000
<b>【AE診断業務】</b>			
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
<b>【測定結果の報告】</b>			
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
<b>【諸経費】</b>			
諸経費	176,000	1	176,000
<b>【一般管理費】</b>			
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<sup>3</sup>/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		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*	59	故障対応費*	49
日常・定期点検対応費	140	日常・定期点検対応費	151
計	2,265	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m<sup>3</sup>/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m<sup>3</sup>/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(台)	点検項目	点検項目数(項目)	点検時間*(分)	データ入力*(分)
汚水ポンプ	4	・五感判定(異音、触診、損傷・汚れ、油漏れ、臭気) ・計測判定(温度、圧力、電流、電圧、周波数)	40(=10項目/台×4台)	80	6
ブロワ	4		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 4-6 処理規模1万・5万m<sup>3</sup>/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)<sup>-1</sup> × 19,900円/人工 ≒ 130,000円/年

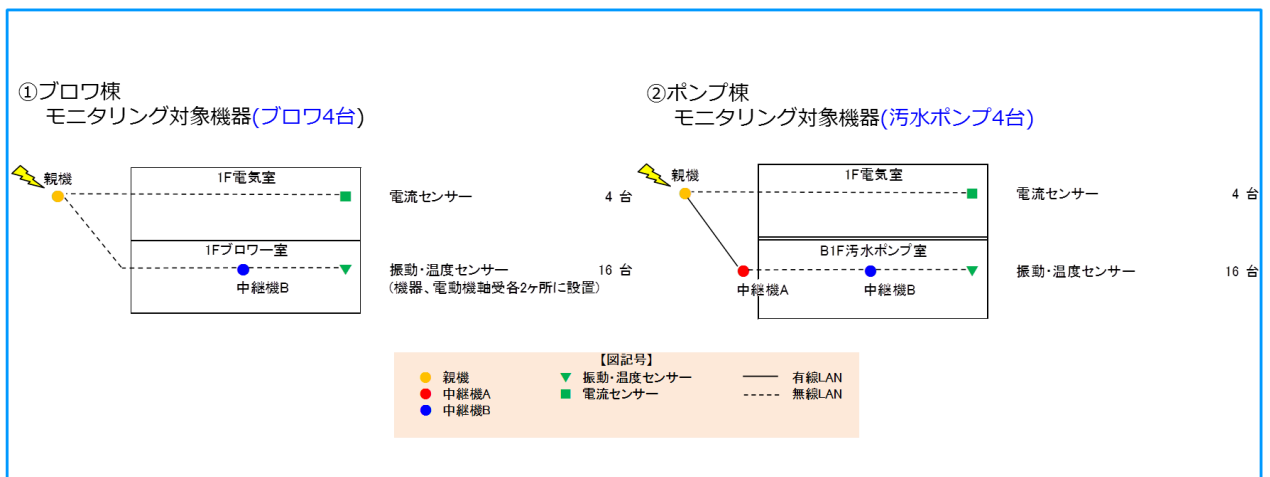
#### 4) 経費回収年

処理規模 1万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。

$$\text{経費回収年(年)} = \frac{\text{建設費(5,833,500円)}}{\text{導入効果(1,955,600円)} - \text{維持管理費(716,400円)}} = 4.7\text{年}$$

#### 4.2 処理規模 5万m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/日)

#### 1) 建設費

対象機器設置台数が処理規模 1万 m<sup>3</sup>/日の場合と同数であることから、処理規模 5万 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/日の場合と同数であることから、処理規模 5 万 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/日での導入効果は、2, 009, 600 円になった。

3-1) 精密測定回避

対象機器設置台数が処理規模 1 万 m<sup>3</sup>/日の場合と同数であることから、処理規模 5 万 m<sup>3</sup>/日で精密測定回避できる費用(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 m<sup>3</sup>/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*	114
日常・定期点検対応費	151
計	3,815

図\_資 4-8 処理規模 5 万 m<sup>3</sup>/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) × 0.1 × 4(台) = 51, 600 円
送風機	: 114, 000(円) × 0.1 × 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 m<sup>3</sup>/日の場合と同数であることから、処理規模 5 万 m<sup>3</sup>/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)

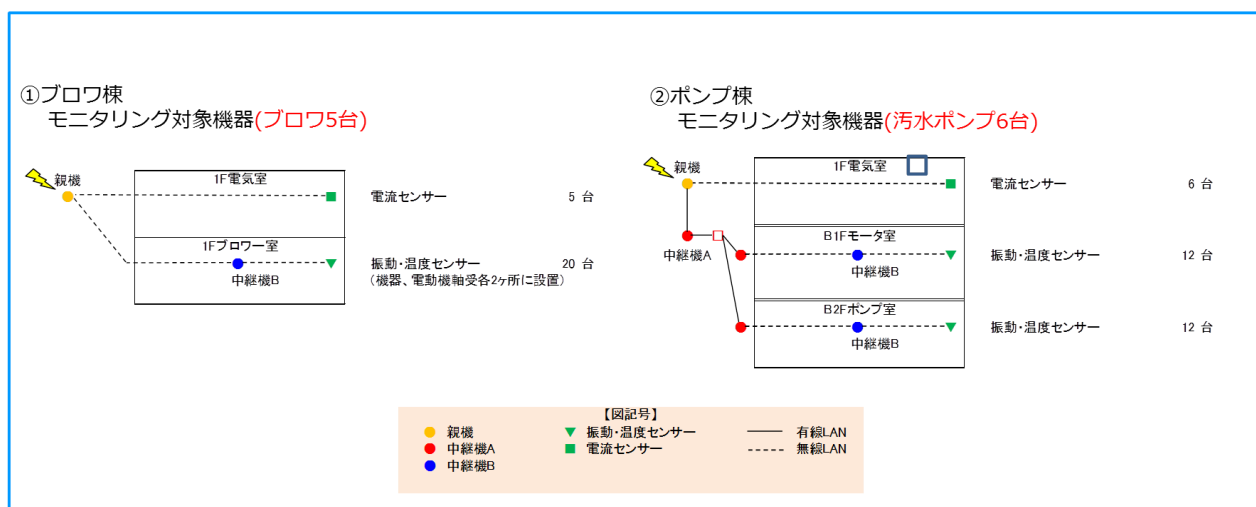
### 4) 経費回収年

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。

$$\text{経費回収年(年)} = \frac{\text{建設費(5,833,500 円)}}{\text{導入効果(2,009,600 円)} - \text{維持管理費(716,400 円)}} = 4.5\text{年}$$

### 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 m<sup>3</sup>/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 万 m<sup>3</sup>/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
センサーモニタリング	親機	132,000	2	264,000
	中継機A	63,000	3	189,000
	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
				4,616,600

③環境構築費

対象	品目	単価	個数	小計
センサーモニタリング	計測支援	920,000	1	920,000
	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
				2,450,600

②LANケーブル設置費

対象	品目	単価	個数	小計
センサーモニタリング	【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
	ブラボックス	11,500	8	92,000
	漏電遮断器	4,100	8	32,800
	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 m<sup>3</sup>/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 10万 m<sup>3</sup>/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
センサー モニタリング	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
	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 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

834,300

図\_資 4-11 処理規模 10 万 m<sup>3</sup>/日の維持管理費

3) 導入効果

導入効果は、「精密測定回避」「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 m<sup>3</sup>/日での導入効果は、2,102,600 円になった。

3-1) 精密測定回避

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<sup>3</sup>/日及び 5 万 m<sup>3</sup>/日と同数であることから、精密測定回避(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 m<sup>3</sup>/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		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*	162	故障対応費*	126
日常・定期点検対応費	140	日常・定期点検対応費	151
計	2,368	計	3,827

図\_資 4-12 処理規模 10万m<sup>3</sup>/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m<sup>3</sup>/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%の時間削減効果があった。

⑦点検時間の低減

対象機器	台数(台)	点検項目	点検項目数(項目)	点検時間*(分)	データ入力*(分)
汚水ポンプ	5	・五感判定(異音、触診、損傷・汚れ、油漏れ、臭気) ・計測判定(温度、圧力、電流、電圧、周波数)	50(=10項目/台×5台)	100	6
ブロワ	6		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m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/日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。

$$\text{経費回収年(年)} = \frac{\text{建設費(7,493,900 円)}}{\text{導入効果(2,102,600 円) - 維持管理費(834,300 円)}} = 5.9\text{年}$$

## 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\_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

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



(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： 50,000m<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 50,000m<sup>3</sup>/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\_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。

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

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

## 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台当たりで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(%)

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

#### (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： 50,000m<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 50,000m<sup>3</sup>/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\_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

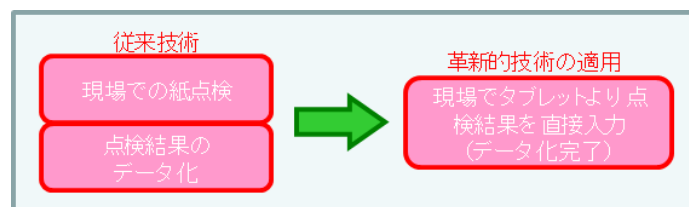
導入効果の検討例として、タブレット点検の導入した場合の作業量低減効果について試算する。

#### 【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\_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

表\_資 5-4 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\_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が進められる。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)

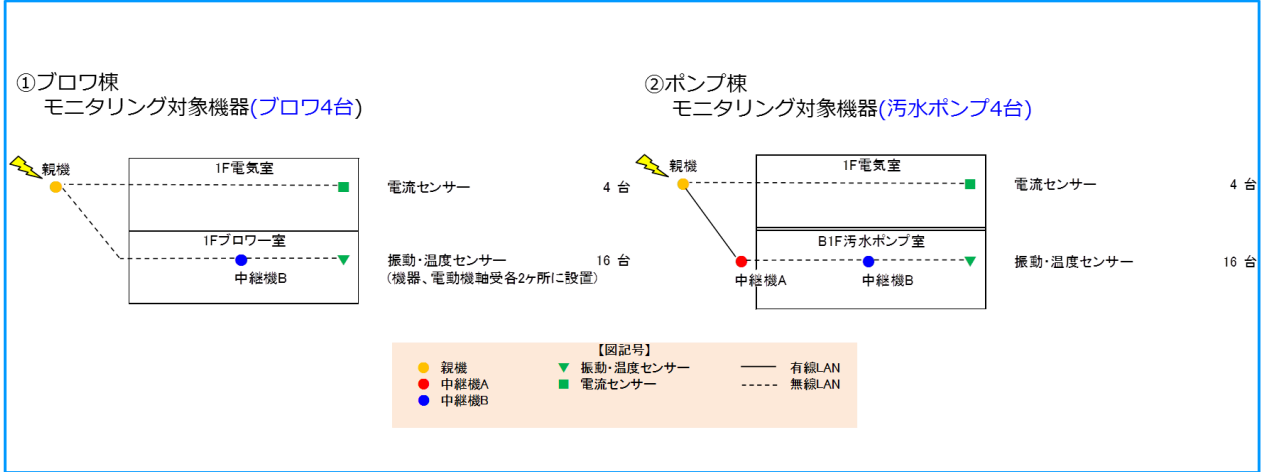
$$\text{経費回収年(年)} = \frac{\text{建設費(百万円)}}{\text{導入効果(百万円/年)} - \text{維持管理費(百万円/年)}}$$

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	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器費(連続センサー、親機、中継機、タブレット端末)</li> <li>LANケーブル設置費(LANケーブル資材費、設置費等)</li> <li>センサー設置費(クラウド設定費、現地通信試験確認等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>タブレット本体の購入費</li> </ul>
維持管理費	<ul style="list-style-type: none"> <li>連続センサー通信費(クラウド使用費、親機通信費)</li> <li>連続センサーの電池交換、作業労務費</li> <li><b>(年4回/4人工を想定)</b></li> <li>モニタリング技術が提供するデータ分析費用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>タブレット端末の通信料</li> <li>クライアント証明書費用</li> </ul>
導入効果	精密診断の回避	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。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</li> <li>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継続する。</li> <li>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(H25~H28年度仙台市実績)</li> <li>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</li> </ul>
	故障対応費の低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>
	点検時間の低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>

(2) 経費回収年の試算(モデル施設：処理規模 1 万 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/日の建設費は 5,833,500 円になる。

①機器費

対象	品目	単価	個数	小計
センサー モニタリング	親機	132,000	2	264,000
	中継機A	63,000	1	63,000
	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
				3,367,600

③環境構築費

対象	品目	単価	個数	小計
センサー モニタリング	計測支援	657,100	1	657,100
	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ケーブル設置費

対象	品目	単価	個数	小計
センサー モニタリング	【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
	漏電遮断器	4,100	5	20,500
	防水タップコード	4,800	5	24,000
	【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 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m<sup>3</sup>/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
センサー モニタリング	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
	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 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m<sup>3</sup>/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。

<p>精密測定回避対象機器 : 1台(8台 × 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)</p>
--

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 m<sup>3</sup>/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) × 0.1 × 4(台) = 23,600 円

送風機 : 49,000(円) × 0.1 × 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(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*	49
日常・定期点検対応費	151
計	3,749

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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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 (台)	点検項目	点検項目数 (項目)	点検時間* (分)	データ入力* (分)
汚水ポンプ	4	・五感判定(異音、触診、損傷・汚れ、油漏れ、臭気) ・計測判定(温度、圧力、電流、電圧、周波数)	40(=10項目/台×4台)	80	6
ブロワ	4		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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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。

$$\text{経費回収年(年)} = \frac{\text{建設費(5,833,500 円)}}{\text{導入効果(1,955,600 円)} - \text{維持管理費(716,400 円)}} = 4.7\text{年}$$

## 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楽しむ

## 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】