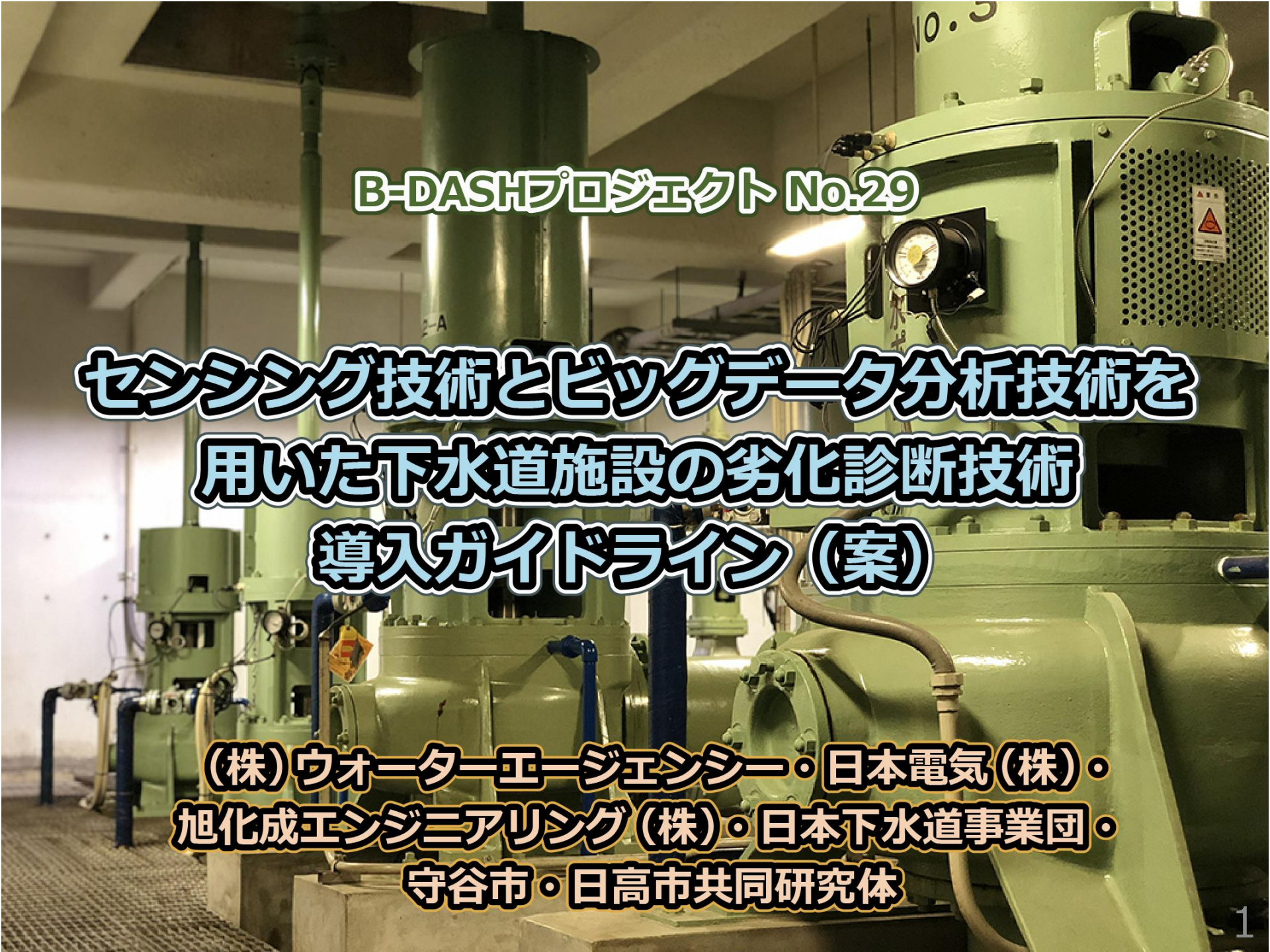


The background of the slide is a photograph of industrial machinery, likely part of a wastewater treatment plant. It features large green cylindrical tanks, pipes, and a pressure gauge. The lighting is somewhat dim, with a bright light source visible in the background.

B-DASHプロジェクト No.29

**センシング技術とビッグデータ分析技術を用いた下水道施設の劣化診断技術
導入ガイドライン (案)**

**(株)ウォーターエージェンシー・日本電気(株)・
旭化成エンジニアリング(株)・日本下水道事業団・
守谷市・日高市共同研究体**

1.革新的技術の概要と目的

2.革新的技術の概要

3.革新的技術の導入効果

4.革新的技術の計画・設計

5.革新的技術の維持管理

6.実証期間中に行った技術上の工夫・改善点

7.問い合わせ先

1.革新的技術の概要と目的

1-1.下水道事業が抱える課題

- 進行するインフラの老朽化
- 改築更新・修繕等にかかるメンテナンスコストの増加
- 技術者の減少による脆弱な維持管理体制

1-2.下水道ビジョンとの関連

- 「循環のみち」実現のための3つの方針

<基本方針>

水のみち

<基本方針>

資源のみち

<基本方針>

施設再生

新規整備と改築更新、維持管理を一体にとらえ新たな社会ニーズに応えるサステナブル下水道

①「発生対応型」から「予防保全型」への転換

1.革新的技術の概要と目的

1-3.革新的技術の特徴と課題解決のアプローチ

○センシング技術

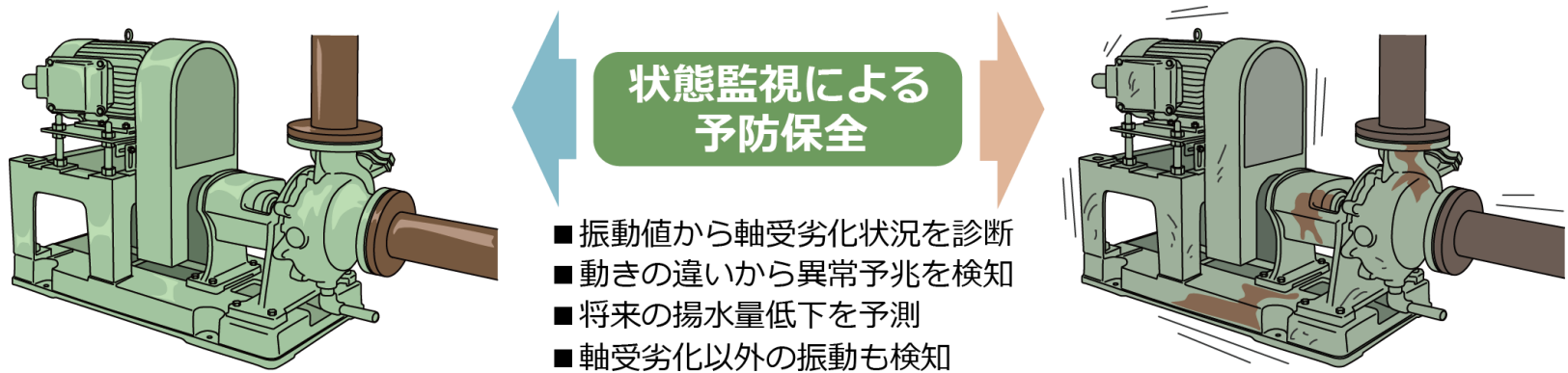
- ・オンライン振動センサを設置して機器の劣化状況を常時監視する。

○ビッグデータ分析技術

- ・既設センサのデータを用いて「いつもと違う」動きから異常を検知する。
- ・過去の劣化状況から将来の劣化進行を予測する。

○組合せ技術

- ・両技術を組み合わせることで、より細かな異常を捉える。



定性的でなく定量的な良否判定

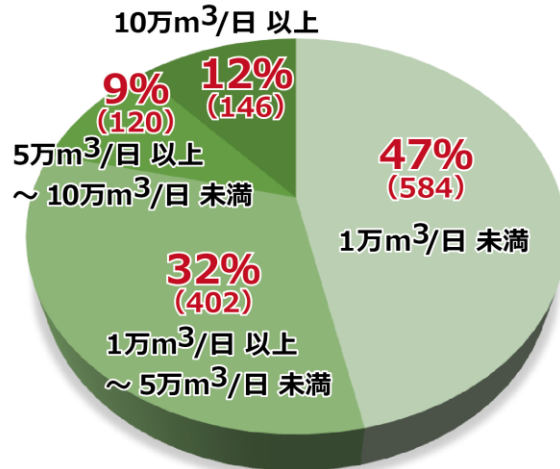
1.革新的技術の概要と目的

1-4.革新的技術の普及対象範囲（ターゲット）

センシング技術がターゲットとする施設は、監視対象機器がある程度配置されている**現有処理能力1万m³/日以上**の**下水処理場**である。よって、生活排水処理施設の種類としては公共下水道や流域下水道が対象となる。

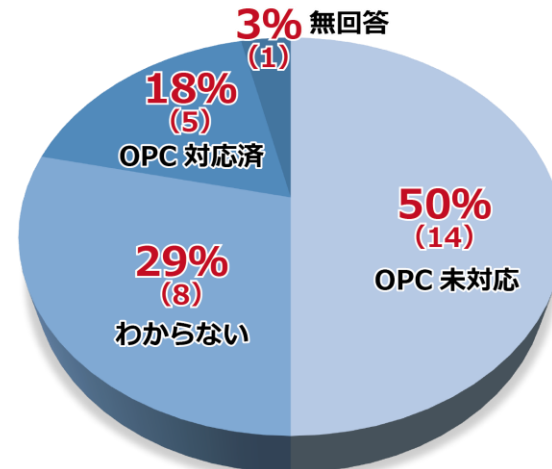
ビッグデータ分析技術がターゲットとする施設は、下水処理場の各種センサデータを容易に取得できる「**OPC規格**」に**準拠した監視用コントローラ**が**設置されている**ことを条件としている。

—センシング技術—
規模別下水処理場の建設件数



平成25年度版 下水道統計より
※公共、流域下水処理場のみ（全1,252施設）

—ビッグデータ分析技術—
OPC対応コントローラ導入状況



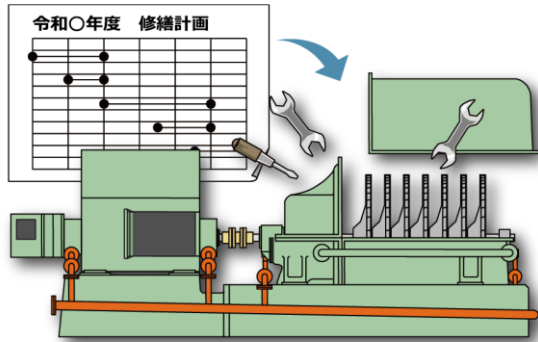
平成30年度版
下水道革新的技術の評価のための基礎資料
作成業務報告書より（アンケート対象全28施設）

1.革新的技術の概要と目的

1-5.革新的技術の導入により期待される効果

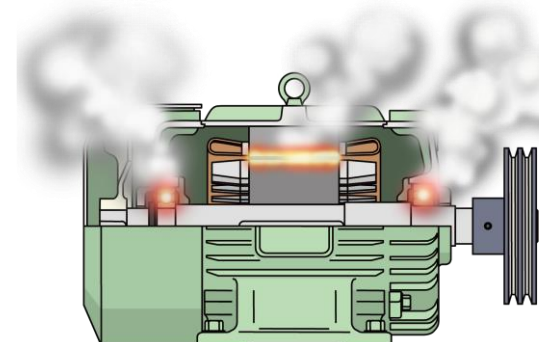
①修繕・更新の周期延伸

振動値の推移を見ながら修繕周期を延伸することで、修繕費の削減（長期比較）が期待できる



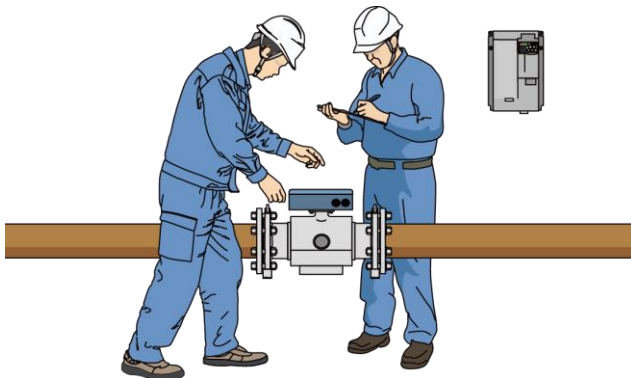
②突発故障の削減効果

異常箇所を早期発見し、故障範囲を最小限に抑えることで修繕費の削減が期待できる



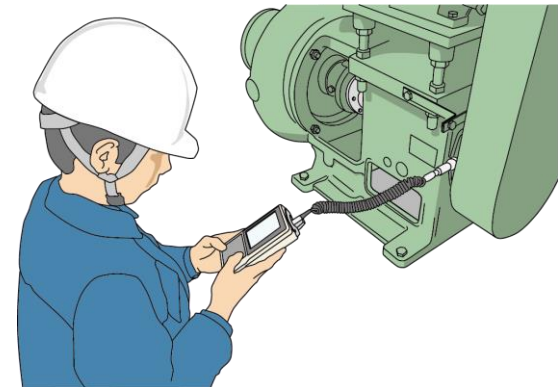
③計装設備点検の周期延伸

センサ状況に応じて計装設備点検周期を延伸することで、点検費の削減（長期比較）が期待できる



④振動測定作業の代替効果

振動測定作業をオンライン測定とすることで作業時間の大幅削減が可能となる



1.革新的技術の概要と目的

2.革新的技術の概要

3.革新的技術の導入効果

4.革新的技術の計画・設計

5.革新的技術の維持管理

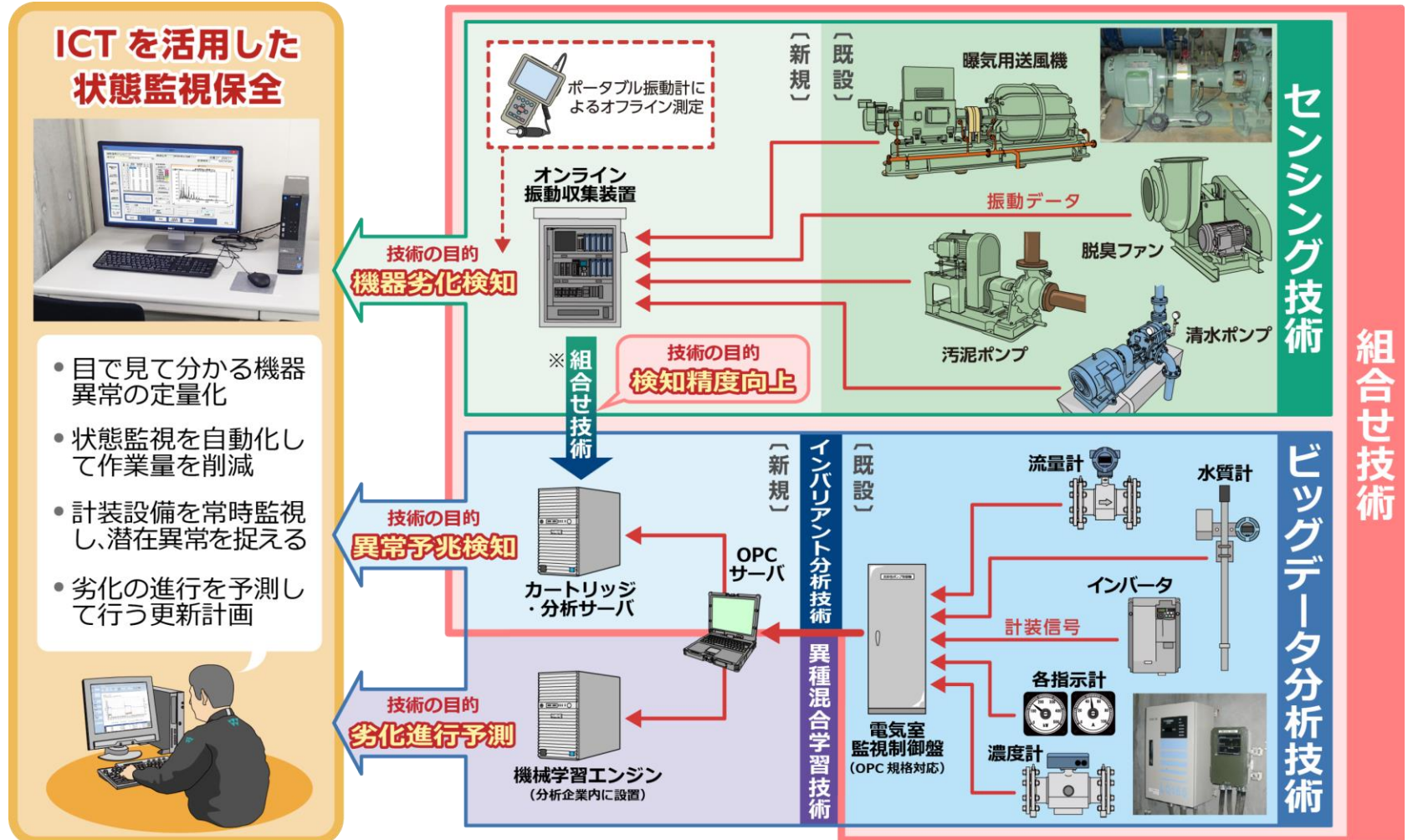
6.実証期間中に行った技術上の工夫・改善点

7.問い合わせ先

2.革新的技術の概要

2-1.技術の概要（詳細）

劣化状況を定量的に分析し、設備や機器の異常予兆を事前に把握することで、突発的な機器故障や異常状況等を未然に防止することが可能となる



※組合せ技術はセンシング技術とインバリアント分析技術の組合せのみ

2.革新的技術の概要

2-1-1.技術の概要（センシング技術）

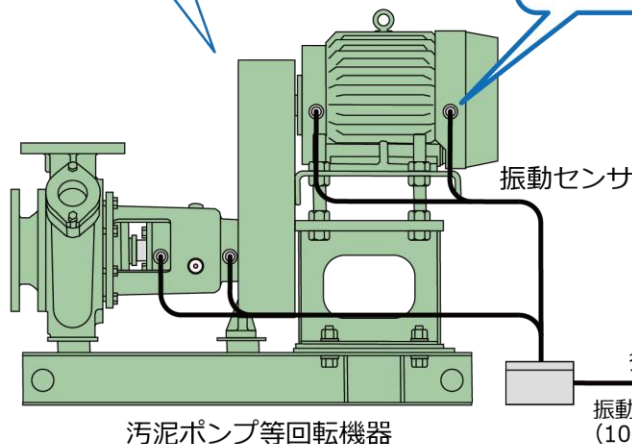
【機器の振動を見て異常を捉える】

- ◆特徴1：各機器に振動センサを設置し、軸受の振動状況を常時監視します。
- ◆特徴2：注意域や要処置域など「管理基準値」を設けて振動傾向を監視します。



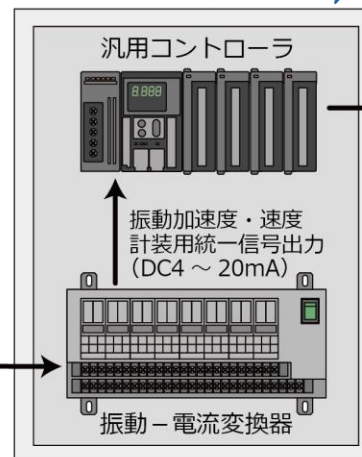
各機器の軸受部に振動センサを設置し、運転時の振動値を常時測定します。

1つの振動センサで速度・加速度の2モードを測定



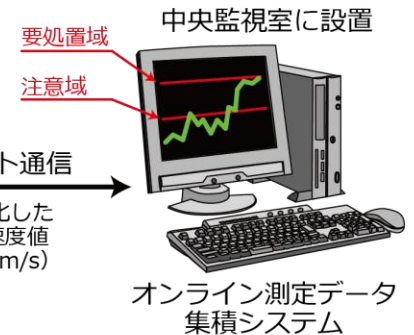
オンライン測定装置では、振動波形を計装信号に変えてから、パソコン上で取り扱いやすい CSV 形式に変換します。

オンライン測定装置盤内



イーサネット通信

CSV データ化した
加速度値・速度値
(G および mm/s)



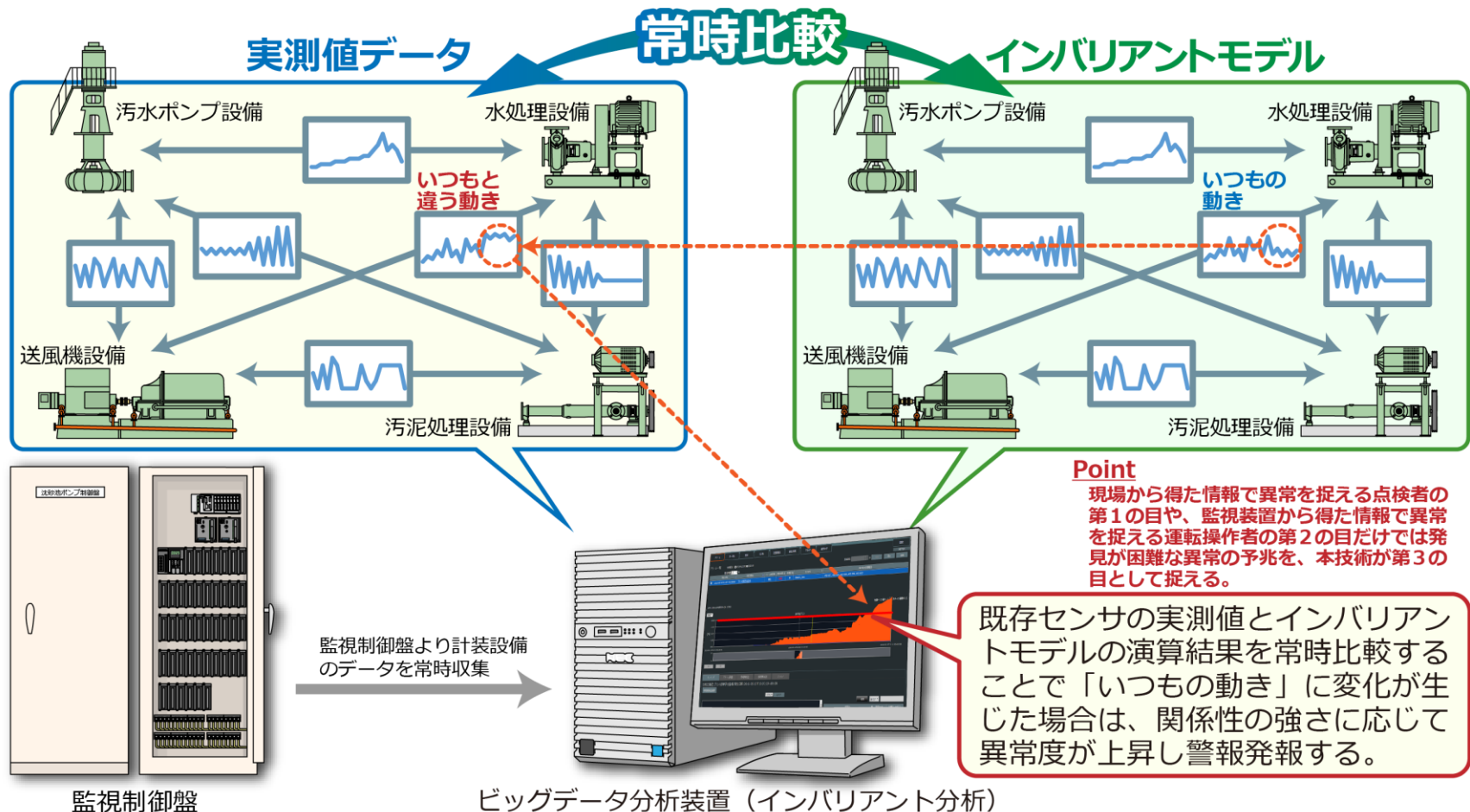
オンライン測定データ集積システムは、AMD 基準値を超過したときに警報アラームを発報します。

2.革新的技術の概要

2-1-2.技術の概要（インバリエント分析技術）

【いつもとちがう機器の関係性から異常を捉える】

- ◆特徴1：インバリエントモデル（正常値）と実測値データを比較監視する。
- ◆特徴2：いつもと違う動きをしたときに異常予兆の警報をアラートする。



2.革新的技術の概要

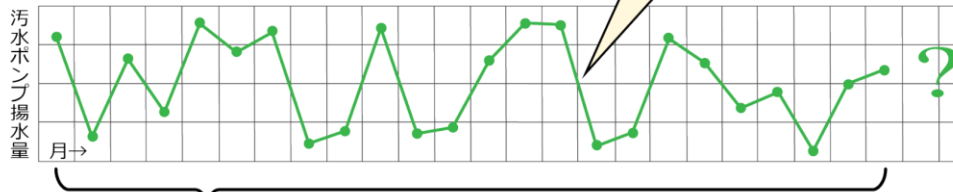
2-1-3.技術の概要（異種混合学習技術）

【汚水ポンプの将来性能を予測する】

- ◆特徴1：過去の運転データから、現在までのポンプ性能を推定する。
- ◆特徴2：推定したポンプ性能をさらに学習し、将来の劣化進行を予測する。

(汚水ポンプ例)

1. 汚水ポンプの揚水量は、降雨の影響や休日の工場排水変動等により、流入水量が増減することから、月ごとの比較が困難となる



2. 機械学習エンジンに汚水ポンプの運転状態を学習させ、月ごとの数式モデルを作成する



$$\text{モデル式: } y = ax_1 + bx_2 + cx_3 + dx_4 + \text{定数項}$$

↑ 数式化した汚水ポンプ揚水性能の例

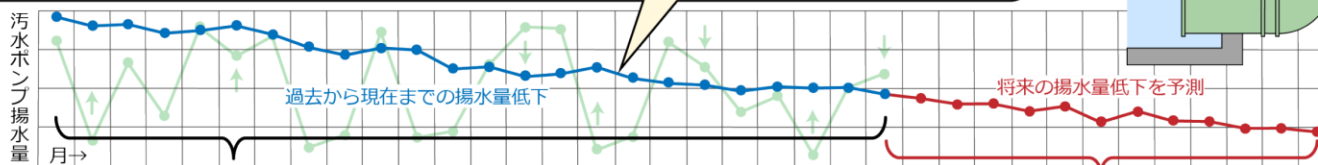
3. 汚水ポンプ性能を学習した数式モデルに固定値※を代入し、機械学習エンジンにて再演算する



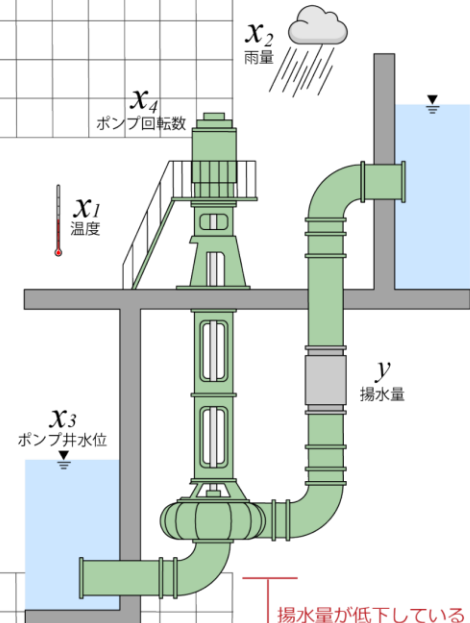
x_1 = 温度※(期間平均値を固定値として入力)
 x_2 = 雨量※(降雨はないものとして固定値を入力)
 x_3 = ポンプ井水位※(期間平均値を固定値として入力)
 x_4 = ポンプ回転数※(定格回転数を固定値として入力)

y = 揚水量

4. 固定した数値で再演算すると、バラツキの少ない直線的な揚水量が月ごとに求められる



5. 月ごとに求めた直線的な揚水量モデルを使って、再度機械学習すると将来の揚水量が予測できる



揚水量が低下していることが分かる(性能劣化)

注1) 機械学習エンジンは、需要予測用コンピュータの一種で、データ中に混在する複数の規則性を自動的に分割・抽出しながら高い予測精度を確保します。

注2) 機械学習エンジンによる劣化進行予測は、劣化予測分析企業が実施し、分析結果を報告書としてご提示します。

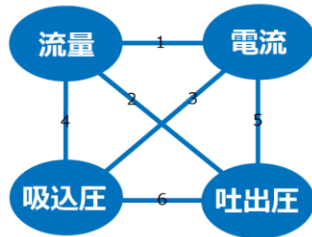
2.革新的技術の概要

2-1-4.技術の概要（組合せ技術）

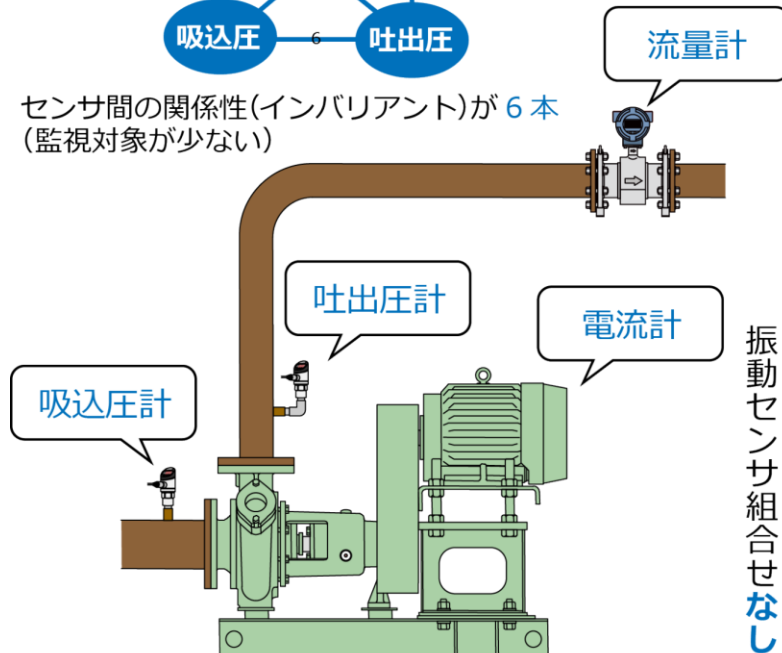
【単独で捉えられない異常を捉える】

- ◆特徴1：少ないセンサ点数を補完し、敏感になりがちな反応を抑える。
- ◆特徴2：振動基準値以下の微細な振動でも予兆として捉えることができる。

振動センサ追加前の既存センサ設置例

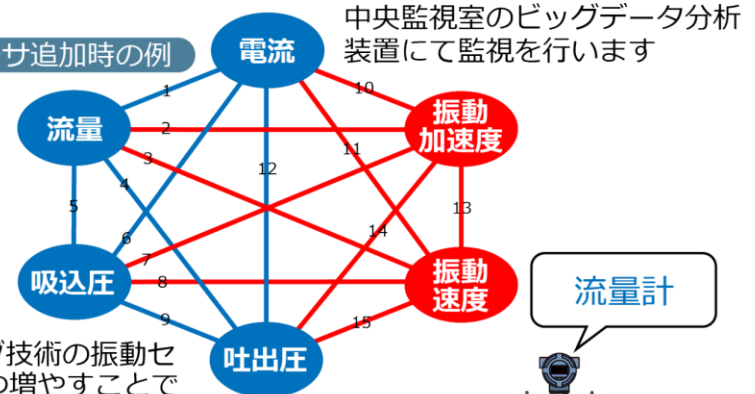


センサ間の関係性(インバリエント)が6本
(監視対象が少ない)

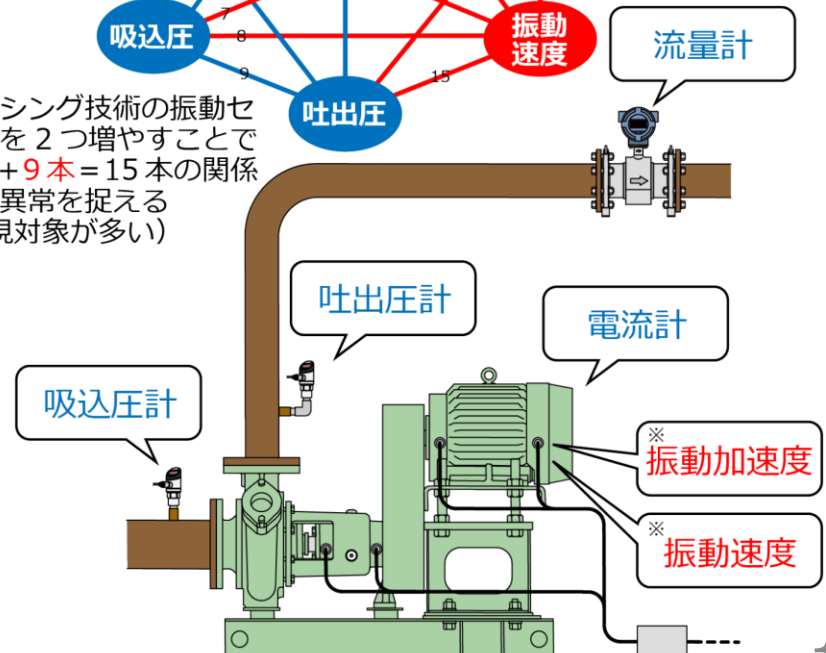


振動センサ組合せなし

振動センサ追加時の例



センシング技術の振動センサを2つ増やすことで
6本+9本=15本の関係性で異常を捉える
(監視対象が多い)



振動センサ組合せあり

※ 1つの振動センサで振動加速度・振動速度の2項目を検出します

2.革新的技術の概要

2-2.実証研究結果（技術性能に関する評価結果）

○センシング技術

- ・研究体目標の定期修繕周期1.2倍以上、機器更新周期1.1倍以上とした機器の多くの振動値は「要処置域」以下であることを確認した。
- ・本研究期間中に振動値が「要処置域」以上と判定した機器は5.8%あった。
- ・全数調査の結果、振動センサに劣化がないことを確認した。（4年間利用）
- ・分解調査の結果、振動値と軸受劣化状況の一致を確認した。（10台調査）

○インバリエント分析技術

- ・正常値モデルを作成するにあたり学習方法を最適化（学習期間1年、特殊運用及び故障期間を除く等）することで、検知精度の向上を確認した。
- ・異常検知しきい値の設定は、過去データと照合して正常時Anomaly Scoreの1.1倍が最適であった。（初期値として設定）

○異種混合学習技術

- ・学習データ期間を3年以上とし、特殊運用及び故障期間等を学習データから除くことで1年後の劣化進行予測精度誤差目標0.5%以下を達成した。

○組合せ技術

- ・対象機器の異常を捉える場合、停止時データを省くことで検知精度が向上することを確認した。

2.革新的技術の概要

2-3.技術の適用条件・推奨条件

○センシング技術

- ・回転数600rpm以上の陸上型回転機器。（振動センサ検出限界が10Hz）
- ・回転数600rpm以下の一軸ねじ式ポンプ及び横軸渦巻きポンプ。（加速度）
※インバータ駆動機器及び防振構造機器は一部制限あり。

○インバリアント分析技術

- ・適正周期（分単位）のデータを収集していること。
- ・一定期間以上のデータが蓄積されていること。（1年以上）
- ・監視制御装置コントローラ（PLC）がOPC規格※に準拠していること。

○異種混合学習技術

- ・適正周期（時単位）のデータを収集していること。（3年以上）
- ・設備能力の変化を示す劣化指標データがあること。
- ・劣化指標データに対して因果関係がありそうな複数データを有している。

○組合せ技術

- ・センシング技術及びインバリアント分析術の条件を満たしている。

1.革新的技術の概要と目的

2.革新的技術の概要

3.革新的技術の導入効果

4.革新的技術の計画・設計

5.革新的技術の維持管理

6.実証期間中に行った技術上の工夫・改善点

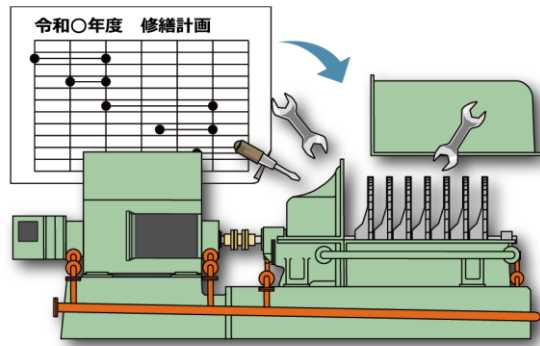
7.問い合わせ先

3.革新的技術の導入効果

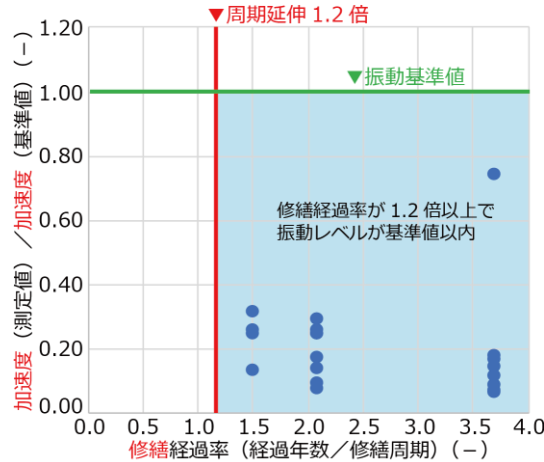
3-1-1.期待される効果を評価するための方法

①修繕・更新の周期延伸

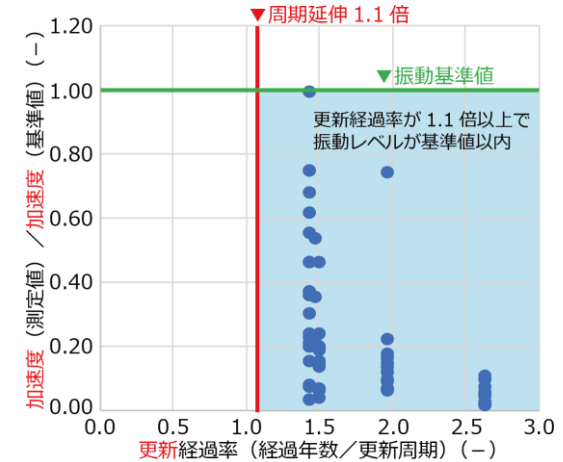
実証フィールド内の機器の周期年数と振動値を調査し、現在の経過率を求めた。



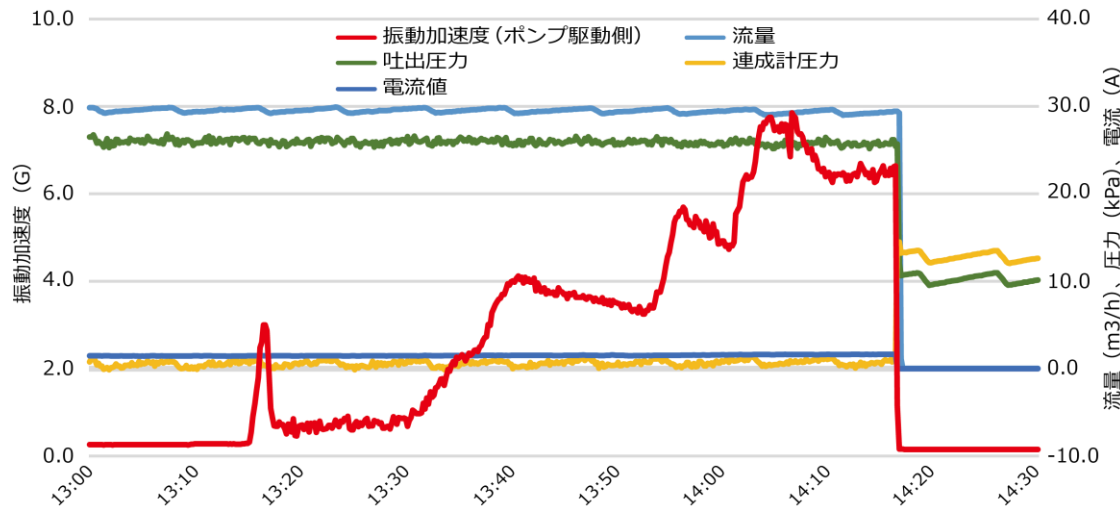
定期修繕経過率（加速度）



機器更新経過率（加速度）

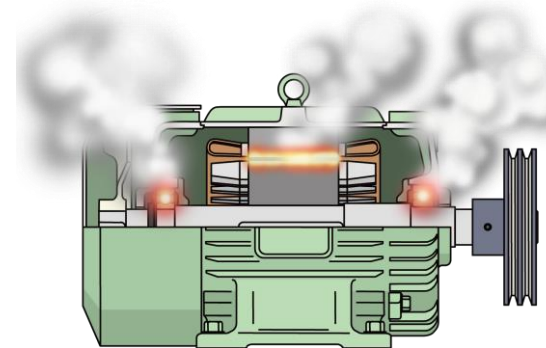


突発故障未然防止における振動監視の優位性（劣化加速試験）



②突発故障の削減効果

実験期間中に振動値が要処置域となった機器は、年間あたり何台あるか調査した。

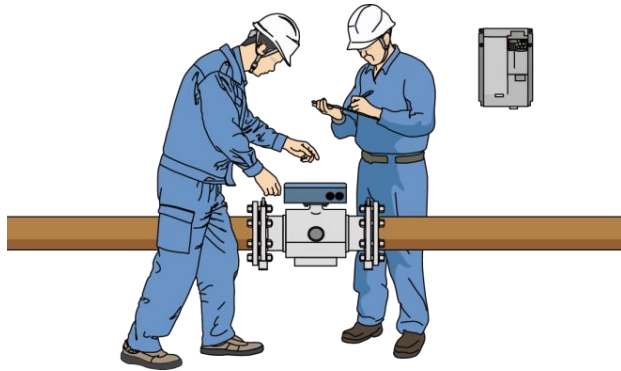


3.革新的技術の導入効果

3-1-2.期待される効果を評価するための方法

③計装点検の周期延伸

全計装機器点数の中からインバリエント分析の監視対象となる機器数を調査した。



インバリエント分析対象（加速度）

施設名	計装機器点数	インバリエント計装信号使用数	割合(%)
沈砂池ポンプ設備	8	7	88
送風機設備	10	7	70
水処理設備	19	10	53
消毒・用水設備	10	5	50
濃縮設備	6	6	100
脱水設備	11	11	100
計	64	46	72%

※実験フィールドでの参考値。定期的な校正が必要な機器は対象外。

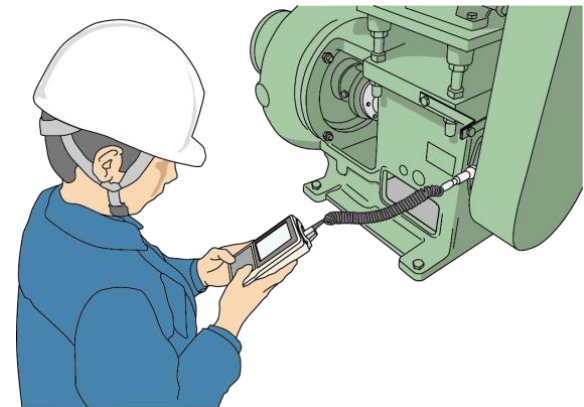
ポータブル振動計による測定点数

現有処理能力	1万m ³ /日	5万m ³ /日	10万m ³ /日
振動測定対象機器	20	28	41
測定時間(h)/台	0.25	0.25	0.25
測定回数/年	12	12	12
年間作業時間	60h	84h	123h

※移動時間を含む

④振動測定作業の代替効果

測定対象となる機器に対し、ポータブル振動計を使って測定したときの作業時間を計った。



3.革新的技術の導入効果

3-1-3.ターゲット規模での検証結果（まとめ）

評価項目	評価指標	達成状況
【導入効果1】 ①修繕・更新の周期延伸	実験フィールド実績値 (対象年度毎に検証)	全国調査結果の修繕周期の1.2倍 延伸確認 標準耐用年数の更新周期の1.1倍 延伸確認
【導入効果2】 ②突発故障の削減効果	実験フィールド実績値 (H27～R1の実績を集計)	故障発生防止5.8% 検知確認 ※13台/56台中/4年 (振動値が要処置域に達した機器の割合)
【導入効果3】 ③計装点検の周期延伸	実験フィールド実績値 (H30年度実績)	計装設備機器の約70%が ※対象46器/全64器中 常時監視により周期延伸可能
【導入効果4】 ④振動測定作業の代替効果	実験フィールド実績値 (H27年度実績)	1台あたり約15分かかっている 測定作業時間を自動化で削減 (移動時間含む)

1.革新的技術の概要と目的

2.革新的技術の概要

3.革新的技術の導入効果

4.革新的技術の計画・設計

5.革新的技術の維持管理

6.実証期間中に行った技術上の工夫・改善点

7.問い合わせ先

4.革新的技術の計画・設計

4-1.革新的技術の導入による既存施設への影響

○センシング技術

- ・処理場の実機（ポンプ・送風機等）に、振動センサをパテ付けしてデータ取得する方式を採用しているため、本技術が停止しても既存施設への影響はない。

○ビッグデータ分析技術（インバリアント・異種混合学習）

- ・OPC対応の監視・制御コントローラからプロセスデータを取り出して監視・分析を行うことから、本技術が停止しても既存施設への影響はない。

4-2.計画・設計で考慮すべき事項

○関連計画

- ・下水処理場の更新計画を策定する際は、電気設備で使用する監視・制御用コントローラ（PLC）の仕様を「OPC規格準拠品」とする。
- ・また、コントローラ間の通信ケーブル敷設替えする際は、本技術用の通信線として事前に予備ケーブル（LAN）を敷設しておくのが良い。

1.革新的技術の概要と目的

2.革新的技術の概要

3.革新的技術の導入効果

4.革新的技術の計画・設計

5.革新的技術の維持管理

6.実証期間中に行った技術上の工夫・改善点

7.問い合わせ先

5.革新的技術の維持管理

5.革新的技術の導入による既存維持管理への影響・留意点

○技術全体の影響・留意点

- ・ 本技術は、機器の振動や計装プロセス信号を取り込んで分析・診断する仕組みであることから、既存維持管理への影響は少ない。
- ・ 本技術導入後は、各種装置（振動センサ、オンライン振動収集装置、OPCサーバ等）および監視用PCの外観や表示画面等を定期的に確認する。

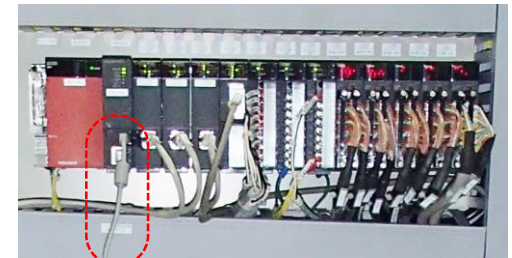
振動センサ取り付け状況（污水主ポンプ）



監視盤内全景



コントローラ拡大（USB接続）



OPCサーバ拡大



1.革新的技術の概要と目的

2.革新的技術の概要

3.革新的技術の導入効果

4.革新的技術の計画・設計

5.革新的技術の維持管理

6.実証期間中に行った技術上の工夫・改善点

7.問い合わせ先

6.実証期間中に行った技術上の工夫・改善点

6-1.センシング技術の工夫・改善点

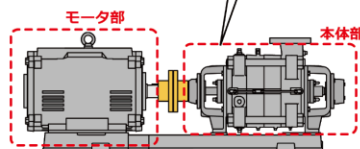
○低回転ポンプ、インバータ機器、防振構造機器への専用基準値作成

- ・センシング技術の対象機器は「600rpm以上の陸上回転型機器」としているが、下水処理場で採用が多いVベルトを使って減速する一軸ねじ式汚泥ポンプなどは600rpmを下まわる状況での利用が多いため、対象範囲を広げる目的から「専用基準」の設定方法を確立した。
- ・同様にノイズや過振動が原因で管理対象外となるインバータ機器や防振構造機器にも「専用基準」を設けることができた。

600rpm 以上の陸上回転機器

	本体部	モータ部
速度	AMD基準	AMD基準
加速度	AMD基準	AMD基準

600rpm 以上の陸上型回転機器は、一部の機器を除いて AMD 基準による振動管理を行う

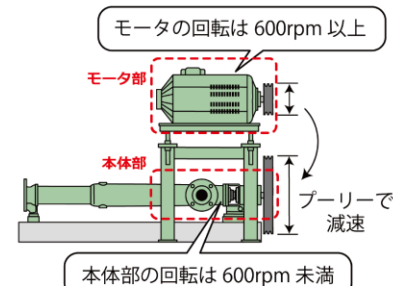


※絶対値判定方として速度・加速度の管理に AMD 基準を用いる

600rpm 未満の陸上回転機器

	本体部	モータ部
速度	適用外	AMD基準
加速度	専用基準	AMD基準

専用基準の対象となるのは一軸ねじ式ポンプおよび横軸渦巻ポンプのみとする

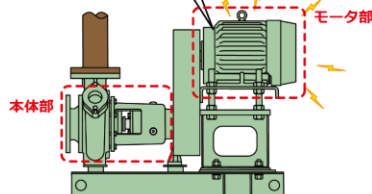


※軸受きずは衝撃振動(高周波)を出すため、加速度で捉えることができる

インバータ駆動の機器

	本体部	モータ部
速度	AMD基準	AMD基準
加速度	AMD基準	専用基準

キャリアノイズの影響を受けやすいモータ回りの軸受



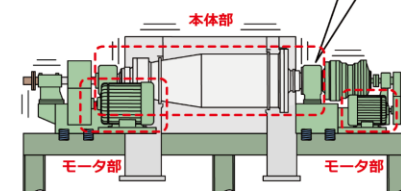
専用基準の対象となるのはキャリアノイズが要処置域に達していない場合とする

※速度は周波数帯が低いのでキャリアノイズの影響を受けない

防振構造型の機器

	本体部	モータ部
速度	専用基準	専用基準
加速度	AMD基準	AMD基準

防振台の上にモータ部と本体部を配置していることから、軸受部が加振されて振動値が高く計測される



※加速度は周波数帯が高いので防振装置(スプリング等)の影響を受けない

6.実証期間中に行った技術上の工夫・改善点

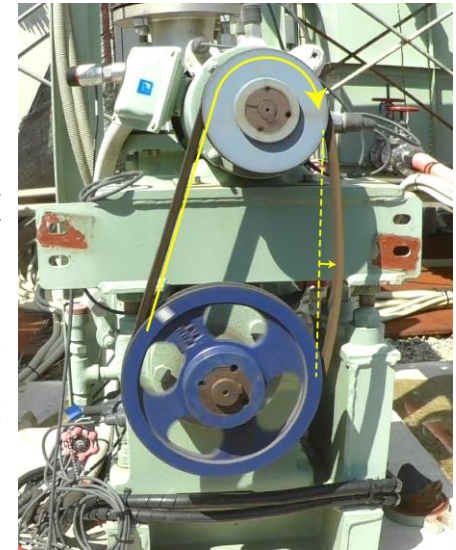
6-2.ビッグデータ分析技術の工夫・改善点

○インバリアントモデル作成時の工夫

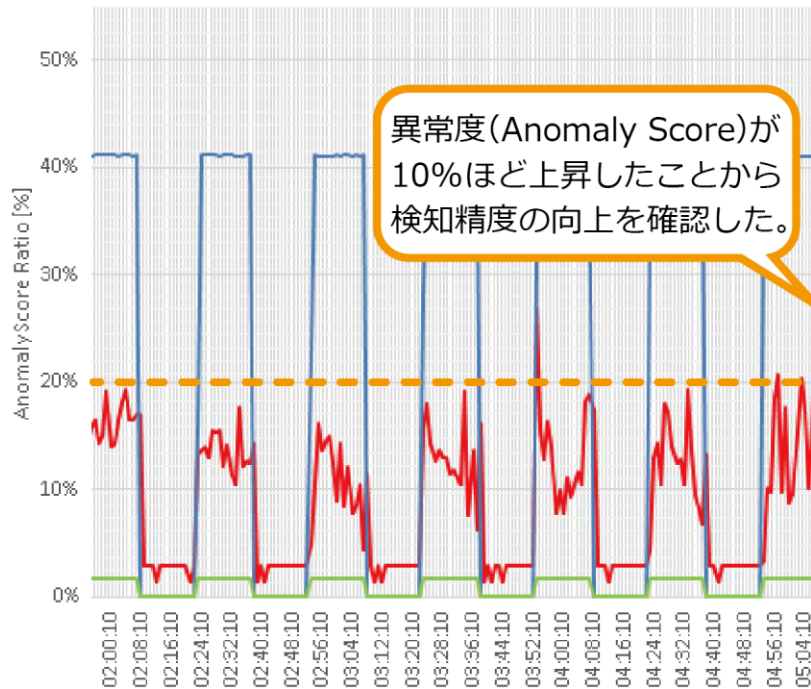
- ・初期異常のわずかな変化を捉えたい場合は、学習するデータの中に停止時データを含めない方が良いことが分かった。機器の運転信号を取り込んで停止時データを自動的に排除する工夫も加えた。

※組合せ技術として汚泥ポンプ専用インバリアントモデルの作成時

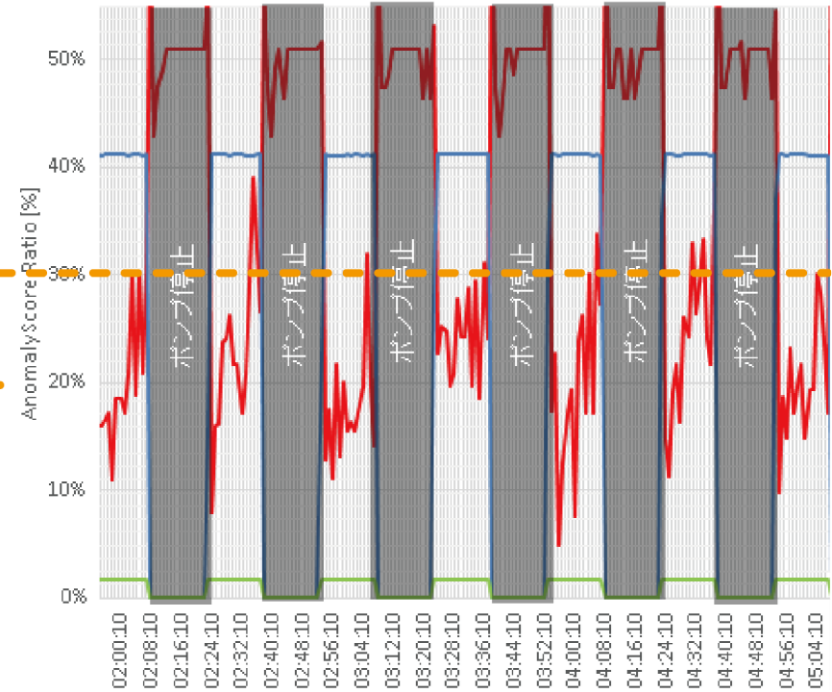
【Vベルトの緩み実験】



運転時と停止時のデータを全て学習したモデル



運転時だけを学習したモデル



1.革新的技術の概要と目的

2.革新的技術の概要

3.革新的技術の導入効果

4.革新的技術の計画・設計

5.革新的技術の維持管理

6.実証期間中に行った技術上の工夫・改善点

7.問い合わせ先

問い合わせ先

株式会社 ウォーターエージェンシー

水マネジメント事業本部
フューチャーソリューション推進室
〒162-0813
東京都新宿区東五軒町3-25
TEL : 03-3267-4039
URL : <https://www.water-agency.com>

日本電気株式会社 (NEC)

公共・社会システム営業本部
第一都市インフラソリューション営業部
〒108-8001
東京都港区芝5丁目7-1 NEC本社ビル
TEL : 03-3798-6018
URL : <https://jpn.nec.com>

旭化成エンジニアリング 株式会社

プラントライフ事業部 事業推進部
〒305-0804
神奈川県川崎市川崎区日進町1番14
キューブ川崎6F
TEL : 044-382-4600
URL : <https://www.asahi-kasei.co.jp/aec/>

日本下水道事業団

ソリューション推進部
技術援助課
〒113-0034
東京都文京区湯島二丁目31番27号
TEL : 03-6361-7832
URL : <https://www.jswa.go.jp/>

謝 辞

B-DASHプロジェクトにおいて、実証研究にご協力頂いた共同研究体各位、
貴重なご意見を頂いた有識者及び地方公共団体の下水道事業者各位に
深く感謝いたします。

ご清聴ありがとうございました。