

ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発

Development of Utility Infrastructure Core Monitoring System (UCoMS)

研究開発の目的

- 都市インフラ（ライフライン）は、経験にもとづく目視・聴音点検が主体であり、近年各種の遠隔管理システムが進化しているとはいえ、普及については緒に就いたばかり。
- 病院、地域エネルギー供給施設等のインフラはその公共性も高く、その中核となる発電機、ボイラ、ポンプ等の回転機器をコアとしたシステムの保全が都市機能の安定化・安全化に重要な役割を担う。
- 本研究開発では、ライフラインのコア設備の早期異常検知、健全性確保が行える、低コストの常時モニタリングシステムの開発を目的とする。

現状と課題

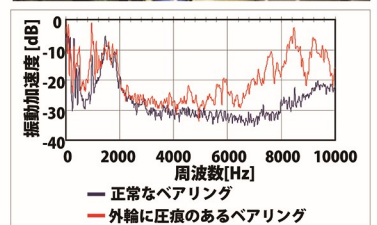
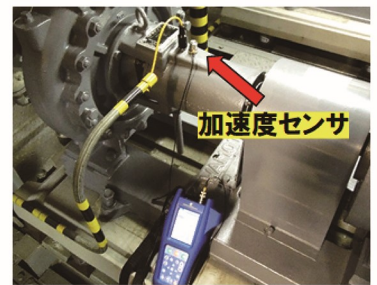
- エネルギー供給施設の心臓部にあたる回転機器は、月1回の定期点検、年2回の精密検査、日常は保守員が振動音や機器温度を確認
- 振動値の傾向管理、周波数解析による異常原因推定
- 有線モニタリングシステムの課題：敷設コストを含め100点程度のモニタリングシステムで1000～2000万円
- 無線ネットワークシステムの課題：センサ端末の電池交換によるメンテナンスコスト増大、遮蔽物・電磁波発生環境での通信性能の低下

課題解決のための取り組みと研究開発項目

- 限られたデータ量でモニタリングを可能にする技術
- 限られた発電量で自立動作する低コスト端末の開発
- 低コスト・低消費電力の高信頼性無線ネットワークシステム
- 低周波数域振動発電センサデバイス、鹿威し方式自立発電センシング
- 振動発電センサデバイスの低コスト化・量産技術
- 耐振性端末実装構造、低コスト設置方法、信頼性試験方法の開発
- 時刻同期型の省電力通信方式、再送を伴わない衝突回避制御方式
- 圧電振動発電センサデバイスを用いた監視技術、シームレスに処理するモニタリングシステムの開発

UCoMSの開発推進体制

- 研究開発コンソーシアムであるコアモニタリング研究体で推進（研究体長：東京大学 新領域創成科学研究科 伊藤寿浩教授）
- センシング・発電デバイスの開発（担当：産業技術総合研究所）
- AIN圧電デバイスのウエハレベルパッケージ技術の開発（担当：マイクロマシンセンター）
- コアモニタリング用センサ端末の開発（担当：明星電気）
- コアモニタリング用ネットワークシステムの開発（担当：沖電気工業）
- コアモニタリングシステムの開発（担当：高砂熱学工業）
- コアモニタリングシステムの構築と実証実験（担当：高砂熱学工業）



圧電MEMS振動発電デバイスと超低消費電力アナログ回路を 搭載した長寿命小型無線振動センサ端末

研究のポイント：Point

- 回転機器からの微弱な振動を電力に変換する窒化アルミニウム (AlN) 系圧電MEMS振動発電デバイス
- 待機時の消費電力を極限まで下げる“鹿威し”方式超低消費電力アナログ回路技術
- 圧電MEMSデバイスを活用した超低消費電力振動センサ

背景と目的：Background & Purpose

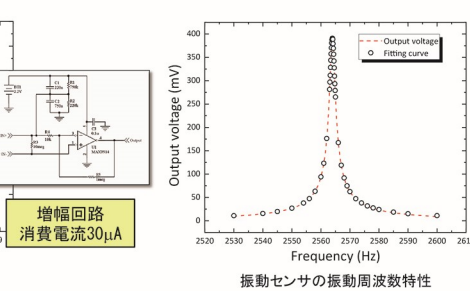
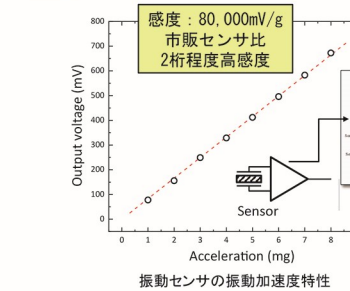
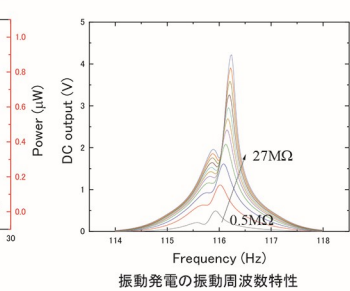
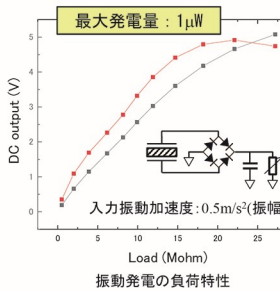
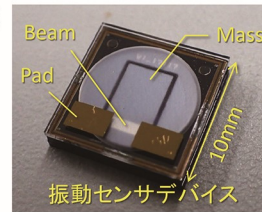
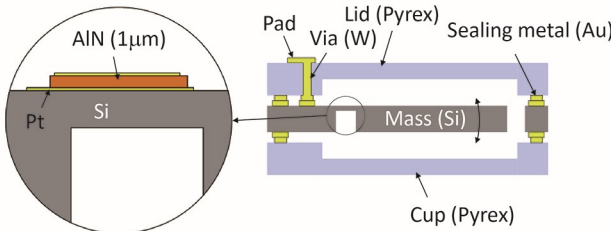
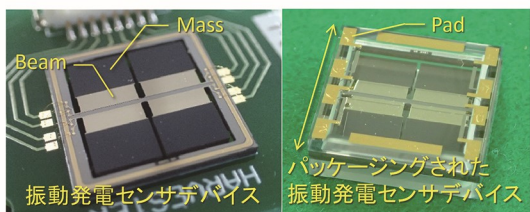
- 背景：回転機器の異常検知を自動化することで、生産性の向上を狙う。
- 対象の振動を常時モニタリングできるメンテナンスフリー（電池交換不要）・小型な無線振動センサ端末を開発する。

研究の内容：Summary

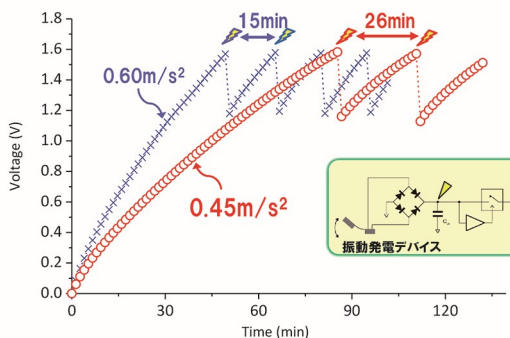
- 高効率圧電MEMS振動発電デバイス
- 低消費電力振動センサ

実験及び実証のデータ：DATA

開発した圧電MEMSデバイス

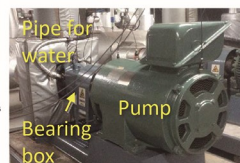
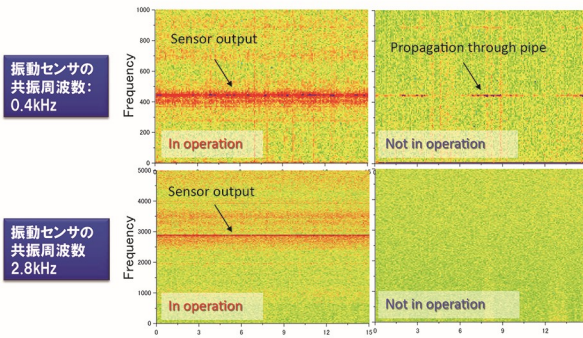


鹿威し方式端末動作実証



入力振動レベルに依って送信頻度が変化

振動センサによるポンプ振動検知



実験に使用した送水ポンプ

微弱なポンプ振動を十分検知可能な高感度低消費電力振動センサ

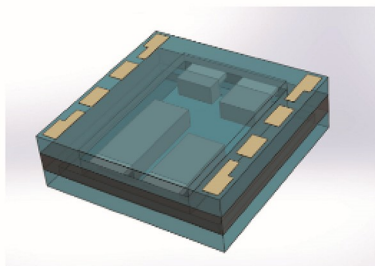
大口径 Si 基板圧電デバイス加工技術 低コスト高信頼性パッケージング技術

研究のポイント：Point

- AlN・ScAlN圧電デバイス量産プロセス開発
- ウエハレベルパッケージング技術開発

背景と目的：Background & Purpose

- ポンプ稼働状況の異常を検知するセンサ端末用、高周波振動センサ、発電デバイスを開発
- 電極取り出し構造と封止構造を同時接合プロセスで可能にするウエハレベルパッケージングプロセスを開発



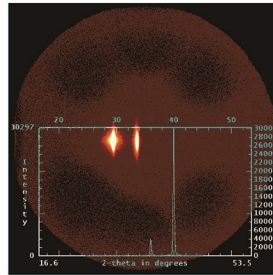
センサ端末用ScAlN/AlN圧電デバイスイメージ

研究の内容：Summary

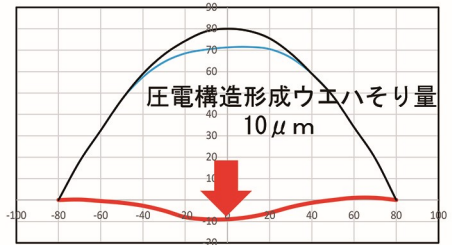
- 目標値
 - ・ 圧電デバイス AlN/ScAlN圧電定数 d_{31} : 1.0/6.0(pm/V)
 - ・ ウエハレベルでパッケージ可能な低温接合技術

実験及び実証のデータ：DATA

- AlN/ScAlN圧電薄膜成膜工程



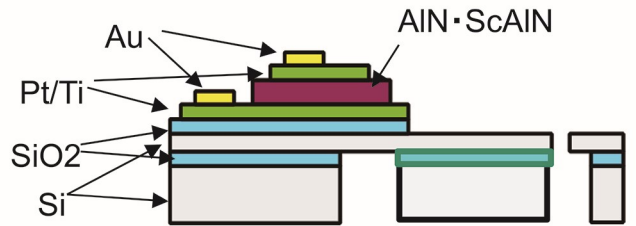
ScAlN膜のXRD例



AlN膜内部応力 (8"φ) 測定例

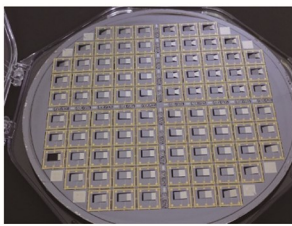
スパッタ諸条件を制御し、良好な配向ScAlN/AlN圧電薄膜、そりの少ないカンチレバー構造を実現

- AlN/ScAlN圧電構造加工技術



難エッチング材料からなる圧電電極構をCl₂/BCl₃+ArガスによるICP-RIEエッチング加工実施

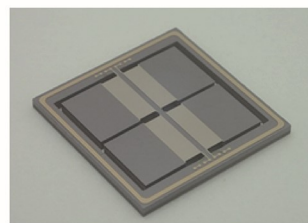
- 8インチAlN/ScAlN圧電デバイス加工ウエハ



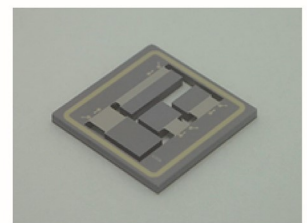
圧電定数
AlN d_{33} : 6.4 (pm/V)
ScAlN d_{33} : 20 (pm/V)

産総研8インチMEMS試作ラインにて、カンチレバー構造のScAlN/AlN圧電デバイスを試作

- AlN/ScAlN圧電デバイス



発電デバイス (15mm□)
共振周波数: 約100Hz

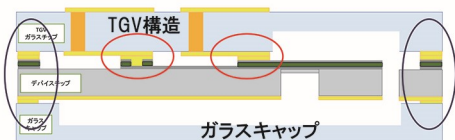


振動センサ (10mm□)
共振周波数: 1,2,4,8 kHz
マルチ共振デバイス

パッケージ

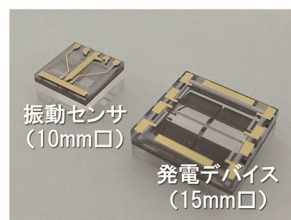
- 圧電デバイスパッケージング

【振動センサ/発電デバイスパッケージ品】



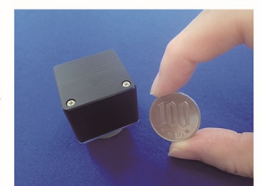
○ 電気(封止)接続部 ○ 封止接合部

- ・ 封止部と電気接続部を同時に接合
- ・ 熱的なダメージを抑えたAu-Auプラズマ活性化低温接合技術開発
- ・ 発電量の損失を防ぐTGV(Through Glass Via)配線ガラスキャップ



振動センサ (10mm□)
発電デバイス (15mm□)

センサ端末に供給



(低活性条件例)
プラズマ活性化処理: Ar:20sccm, 100W, 60Pa, 1min.
(接合処理)
接合温度: 250°C以下 接合時間: 5分, 圧力60Mpa

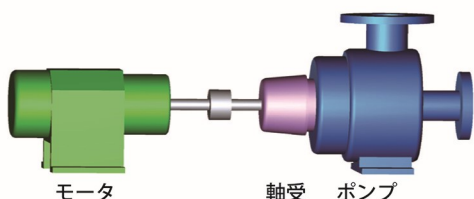
簡単にポンプ振動変化を捉える超小型振動センサ端末 停電検出、感震器搭載のデータ収集端末

研究のポイント：Point

- 状態監視・保全に有用な計測センサの搭載
- 多くの回転機器振動で効率よく発電する振動発電
- センサー普及のための機能

背景と目的：Background & Purpose

- ポンプ、軸受の保全のため、振動計測、表面温度計測
- センサ設置工事簡略化のため、センサ配線を無くす
(通信無線化、電源無線化(自立発電))

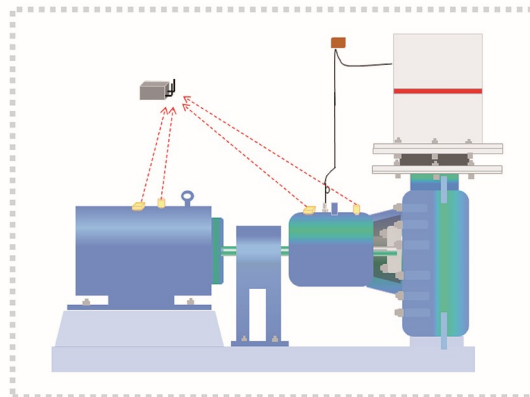


回転機器への端末取付イメージ

研究の内容：Summary

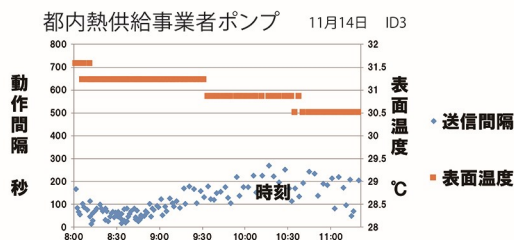
- 目標値
 - ・ 無線センサ端末小型化検討
 - ・ 無線センサ端末固定部の長期間耐久性の実証

実験及び実証のデータ：DATA



実証試験 ポンプ上のセンサ端末(2種類)と加速度センサ

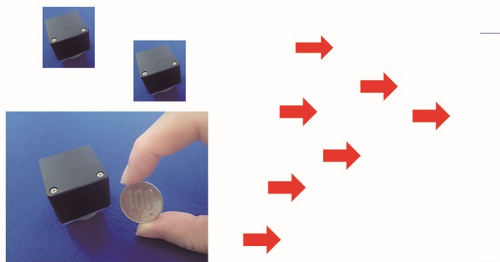
実証データ



ポンプ振動が大きくなる(動作する)と
振動発電量が多くなり送信間隔が短くなる
ポンプ振動が小さくなると送信間隔が長くなり、表面温度が低下する

■ センサ端末

ポンプ・軸受・モータの
1, 2, 3, 4 kHz
振動データと
表面温度データ、
90~130Hz
振動データ
(無線送信間隔)



振動発電デバイス出力を整流後
コンデンサに電荷がたまった時点で測定・無線送信する

■ センサデータ収集端末



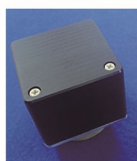
(中継器→親機→データセンター)

まとめ送信

データセンターで
データ解析して
ポンプ保全に役立てる

各センサ端末のデータをまとめ
感震器、A C 停電情報を加えて
中継器に送信

■ センサ端末



項目	端末仕様
無線通信	920MHz帯
通信距離	30m以上
測定データ	振動・表面温度
電源	振動発電+補助電池
外形寸法	40□,24mm (突起部除く)

■ センサデータ収集端末



項目	端末仕様
無線通信	920MHz帯
無線中継	センサ(単向非同期通信) 中継装置(同期通信)へ中継
機能	感震検知機能 停電バックアップ機能
外形寸法	外形寸法

【お問い合わせ先】

明星電気株式会社
気象防災事業部

URL: <http://www.meisei.co.jp>

三澤 浩之 Mail: misawah@meisei.co.jp

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結果得られたものです。

メンテナンスフリーで10年間連続動作できる端末 環境変化に自律的に対応できる無線端末

研究のポイント：Point

- ライフラインコアモニタリングシステム実現のための省電力な無線マルチホップ通信システムの開発

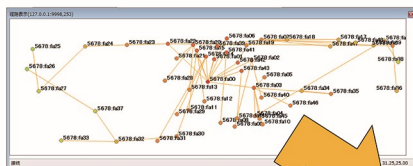
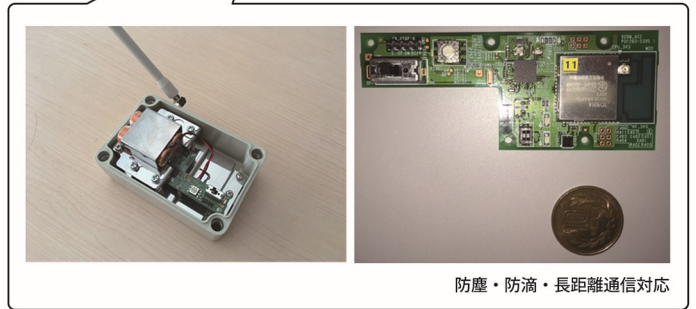
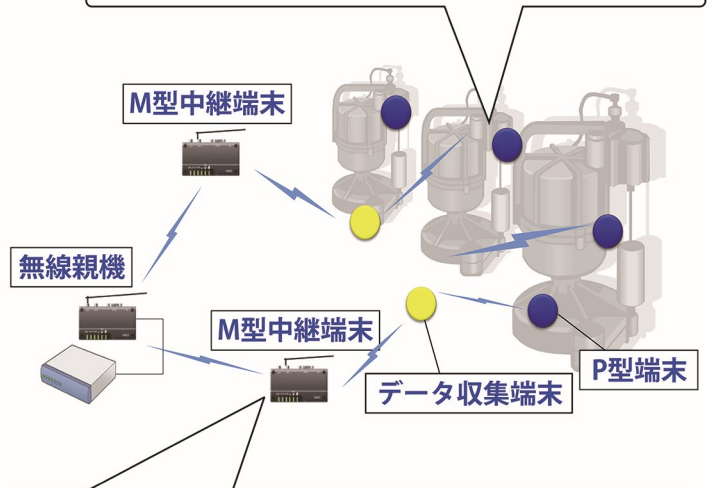
背景と目的：Background & Purpose

- インフラコアモニタリングシステム完全無線化のメリット
 - ・ 通信や電源配線の敷設コスト不要
 - ・ センサ設置が容易となり工事コスト削減
- インフラコアモニタリングシステム無線化の課題
 - ・ 自立電源で動作可能な省電力無線通信技術の確立
 - ・ 構造的に複雑で多くの遮蔽物が存在する環境での、無線ネットワークの信頼性確保
- 電池駆動可能な無線機（M型中継端末）を使ったマルチホップ通信（多段通信）ネットワークを構築する

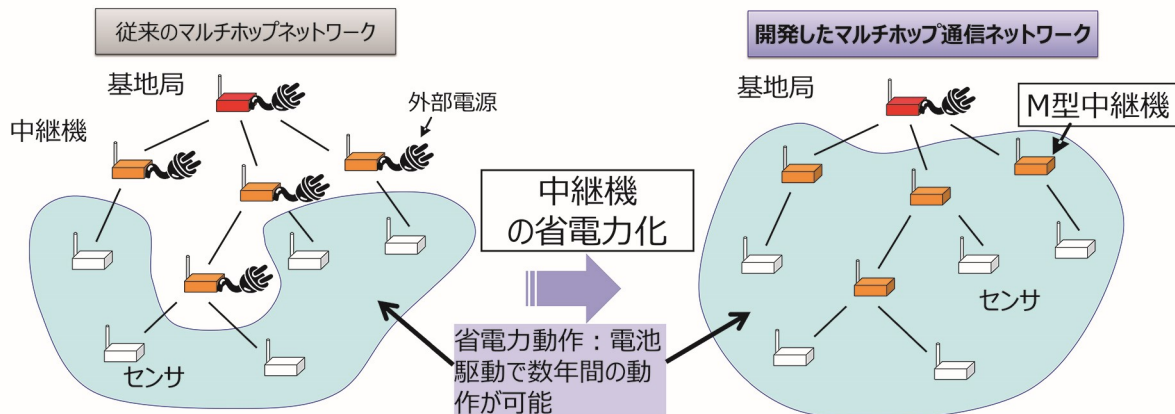
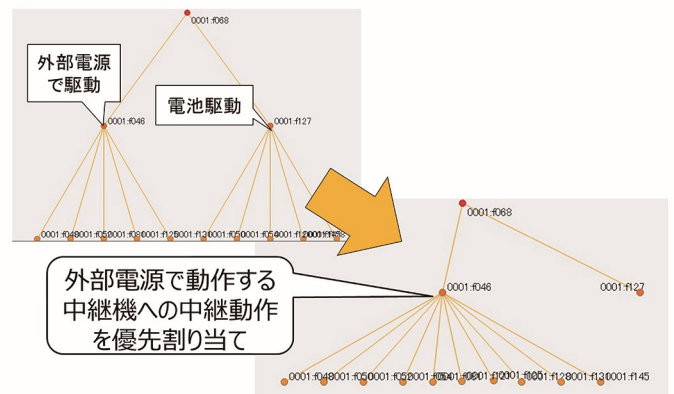
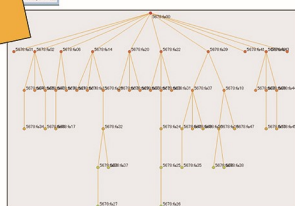
研究の内容：Summary

- 目標値：配管が入り組んだUCoMS設置環境下で5000 mAhで10年間連続動作可能なマルチホップ無線通信システムを構築する
- 課題：目標が大変高いので、クロスレイヤで対応が必要
 - ・ 物理層：920 MHz帯域を採用：通信速度と回り込み性能の両立
 - ・ MAC層：間欠動作による中継機の省電力化
 - ・ ネットワーク層：特定の電池駆動ノードに対するデータ中継集中の解消データ中継を外部電源駆動ノードへ優先して割り当て

マルチホップ通信（多段通信）を採用することで、無線化しながら信頼性を確保



電池駆動M型中継機への
中継動作集中を解消



振動発電量の大小からポンプ異常を検知診断 高い信頼性で保全の確実な省力化に貢献

研究のポイント：Point

- 熱エネルギーの供給拠点、災害時の防災拠点となる施設の心臓部であるポンプの状態監視
- 鹿威し方式の不連続なデータから異常兆候の高確度検知、保全時期の実務精度予測

背景と目的：Background & Purpose

- 施設設備のセンサシステムで常時・継続モニタリングしたい事象として、振動加速度、表面温度への要望が大多数
- ポンプの軸受など回転部位の損傷は、傷端部のバリと鈍りが繰り返しながら進行する非正常現象
- 監視の信頼性向上には、非正常現象を確実に検知し、かつ特殊な技能がなくても判定ができるマンマシンインタフェースを開発

研究の内容：Summary

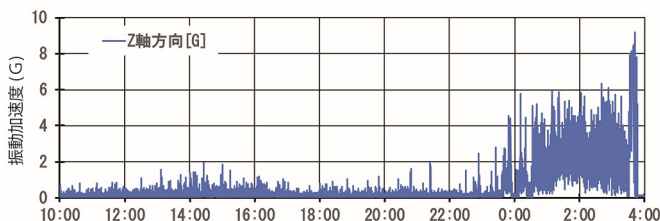
- 研究開発フェーズ（平成26年度～平成28年度）
コアモニタリングシステムの要素技術である「振動データのフィルタリング機能」「運転モード別の異常検知手法」「保全までの余裕時間予測手法」を開発
- 実証フェーズ（平成29年度～平成30年度）
要素技術を統合したオンサイト型／クラウド型ネットワーク利用のモニタリングシステムを開発し、監視の信頼性と保全の省力化を検証する。

【平成29年度】

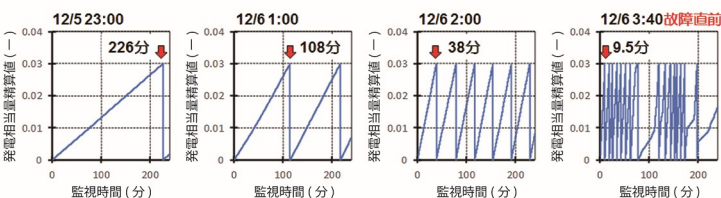
- ◆ オンサイト型モニタリングシステムの開発
⇒ P型センサデータ端末の情報を収集し、鹿威しデータを監視するオンサイト用モニタリングシステムの完成。
- ◆ オンサイト型モニタリングシステムの開発
⇒ 実稼動ポンプの模擬故障実験にて、振動特性を獲得。

実験及び実証のデータ：DATA

- 軸受模擬故障時の振動加速度⇒破損3時間前から急激に上昇



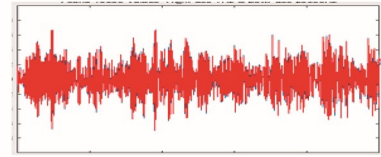
- 鹿威しデータの発生間隔の変化（鹿威しデータは振動加速度の信号処理で生成）
⇒破損傷の進行に伴い、徐々に発生間隔が短くなる



横型ポンプ

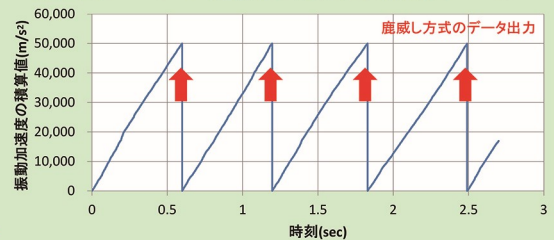


立型ポンプ



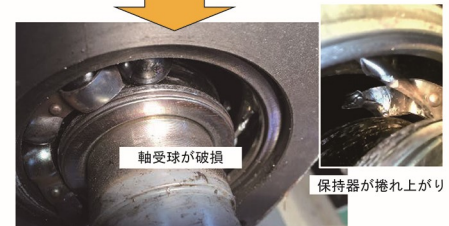
従来データ：振動加速度の時間波形

開発データ：鹿威し方式の振動データ



フォルトディクショナリによる異常原因の特定

異常原因	原因 1	原因 2	原因 3
異常診断 センサ温度	—	F	N
鹿威し間隔 Δt	F	F	F
振動センサ1	N	N	N
振動センサ2	—	N	F



【軸受模擬故障実験の様子】脱脂と異物挿入後にポンプ運転

クラウド型ネットワークシステムでインフラを監視 熱供給施設、病院など多様な施設にて実証中

研究のポイント：Point

- 施設BCP(Business Continuity Plan事業継続計画)対応に合致
- 都市インフラ(熱エネルギー供給施設、病院施設)の安全な維持管理を実現

背景と目的：Background & Purpose

- 設備全体における劣化発生頻度の高い機器
1位：回転機器37%、2位：配管17%、3位：制御機器9%
- 熱エネルギーの安定供給が求められる病院施設、地域熱供給施設を特定
- 熱エネルギー供給の重要機器（ポンプ）、配管を対象として、広く設備に普及展開可能で安価な監視システムを提供
- クラウド利用型のネットワークシステムを用いた遠隔での群管理システムを実証

研究の内容：Summary

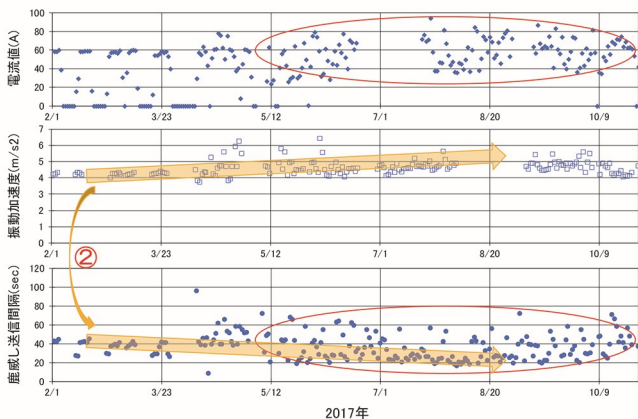
- 研究開発フェーズ（平成26年度～平成28年度）
実証現場におけるセンサ端末仕様、設置方法、ネットワークシステム構築上の課題抽出、汎用振動加速度センサを用いた遠隔でのモニタリングを実証
- 実証フェーズ（平成29年度～平成30年度）
鹿威しセンサデバイスを用いたモニタリングシステムを実設備に構築し、設備群の遠隔モニタリングを実証
【平成29年度】
 - ◆ P型センサデータ端末の試作機を用いた実証実験を病院、域熱供給施設で開始
 - ◆ 機械室内でのオンサイト型監視を試行
 - ◆ 製造施設、発電施設、上下水施設など、適用施設の拡大を検討

実験及び実証のデータ：DATA

■ P型センサ端末での監視事例

時間平均値、日平均値にて傾向監視することで、

- ① ポンプの負荷変動に応じた鹿威し間隔の変動、
- ② 振動加速度の増加傾向に応じた鹿威し間隔の短縮が、観察される。



【ポンプ負荷率(電流)、振動加速度とP型センサデータ端末の比較】

■ 実証実験の内容



異常発生	異常発生	異常発生	異常発生
異常発生	異常発生	異常発生	異常発生
異常発生	異常発生	異常発生	異常発生
異常発生	異常発生	異常発生	異常発生
異常発生	異常発生	異常発生	異常発生
異常発生	異常発生	異常発生	異常発生
異常発生	異常発生	異常発生	異常発生
異常発生	異常発生	異常発生	異常発生
異常発生	異常発生	異常発生	異常発生
異常発生	異常発生	異常発生	異常発生

【オンサイトでのデータ収集装置】

