

「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト」

第1回ライフラインコアモニタリング プロジェクト成果報告会

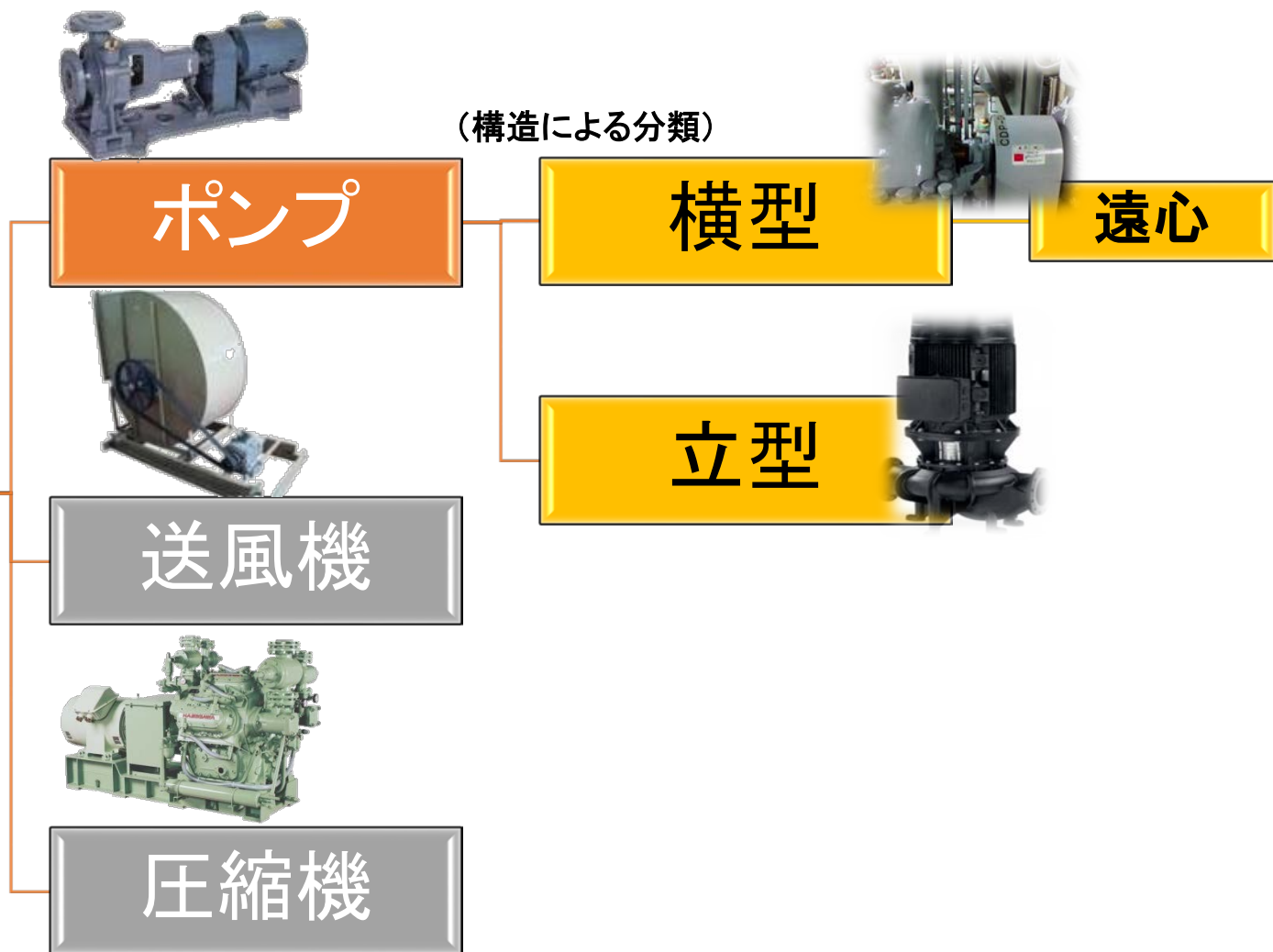
～回転機器の振動特性と モニタリングシステムの開発～

高砂熱学工業株式会社

2015年4月23日

回転機器の振動特性

機械設備の 回転機器



■ 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%

回転機器の振動特性

■ 回転機器の日常診断と診断基準(ポンプの事例)

部位・部品	診断項目	診断基準
能力	圧力計・真空計の指示値 電流値	<ul style="list-style-type: none"> ・指示値により、規定全揚程付近にあることを確認 ・指示値により、銘板電流値以下であることを確認
ポンプ本体	グランド部水漏れ グランド部加熱	<ul style="list-style-type: none"> ・1分間30滴～150ccを超える ・1分間1滴を超える ・溶液温度+30℃以下
軸受け・軸継手	振動 異音 過熱	<ul style="list-style-type: none"> ・全振幅で2Pモートル使用は30μm ・4Pモートル使用は40μm ・異音の確認 ・温度上昇40℃以内
外形全体・配管・バルブ	変形・損傷・さび・水漏れ	目視による
ケーブル・電動機	絶縁抵抗、損傷	1MΩ以上 目視による

回転機器の振動特性

回転機器の診断周期と判定基準(ポンプの事例)

区分		本体診断/ 部品交換周期	劣化判定基準
本体	陸上ポンプ	5年(分解点検) 15年(寿命)	<ul style="list-style-type: none"> 変形・損傷・さに・・・清掃、塗装、目視 回転不能・・・目視 圧力・吐出量・過負荷・・・初期データ 振動・・・50μm以上 音響・・・聴音某 軸受温度・・・温度上昇値40$^{\circ}$Cを超える
	水中ポンプ	5年(分解点検) 10年(寿命)	
消耗部品	角パッキン	1年	・水漏れ・・・1分間30滴～150ccを超える場合
	メカニカルシール	1年	・水漏れ・・・1分間1滴以上
摺動部部品	スリーブ	3年	・角パッキンを取り換えても適量以上の漏れがある場合 ・寸法の目安・・・直径差で2mm以上摩耗の場合
	ライナーリング	3年	・圧力・吐出量・過負荷・・・初期に比べ10% ・寸法の目安・・・隙間直径差で1mm以上摩耗
	ボールベアリング	3年	・振動・・・50 μ m ・音響・・・聴覚による ・温度上昇・・・40 $^{\circ}$ C以内
	フランジ型たわみ軸継手	5年	・損傷・摩耗している場合
主要部品	羽根車	5年	・圧力・吐出量・過負荷・・・初期に比べ10%異常の劣化 ・損傷・腐食・摩耗している場合
	羽根車キー	5年	・軸または羽根車交換時 ・損傷・摩耗している時
	軸	5年	・腐食している場合 ・軸振れが \geq 30 μ m以上

回転機器の振動特性

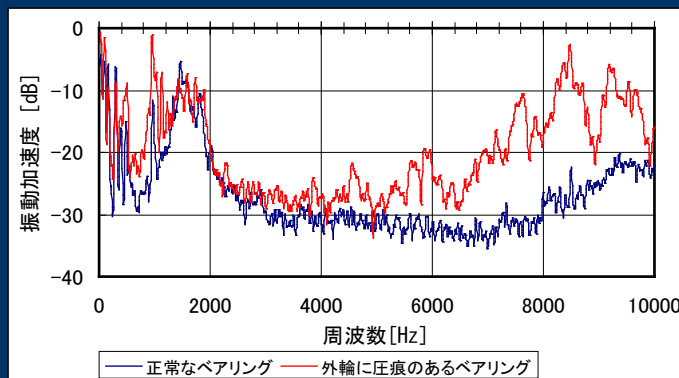
振動の発生原因に固有の周波数(監視周波数)

機械振動の周波数特性

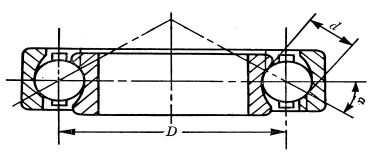
振動原因	固有周波数
ガタ	$1/2fr, fr, Nfr$
アンバランス	fr
軸曲がり	$2fr$

軸受の傷による振動の周波数特性

1) 1kHz 以上の高周波数成分の振動加速度が増加する



2) 傷の接触に固有の周波数



d : 球の直径 (mm)
 D : ピッチ円の直径 (mm)
 α : 接触角 (deg)

$$fi = \frac{1}{2} fr \left(1 + \frac{d}{D} \cos \alpha \right)$$

$$fo = \frac{1}{2} fr \left(1 - \frac{d}{D} \cos \alpha \right)$$

$$fb = \frac{1}{2} fr \frac{D}{d} \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \cos^2 \alpha \right)$$

図 軸受の傷による振動加速度の周波数特性

fi : 内輪の傷が球と接触する周波数

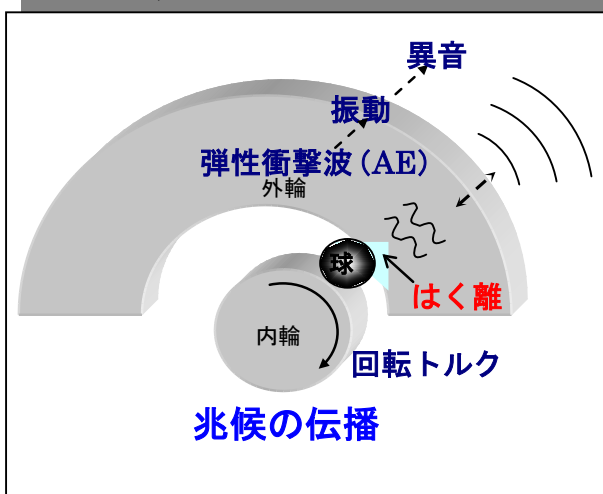
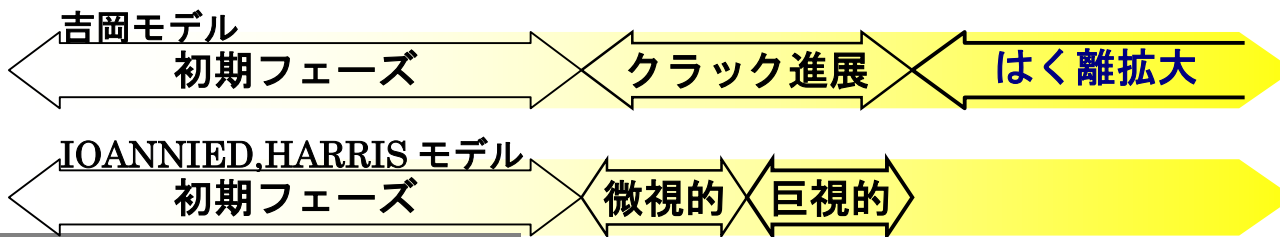
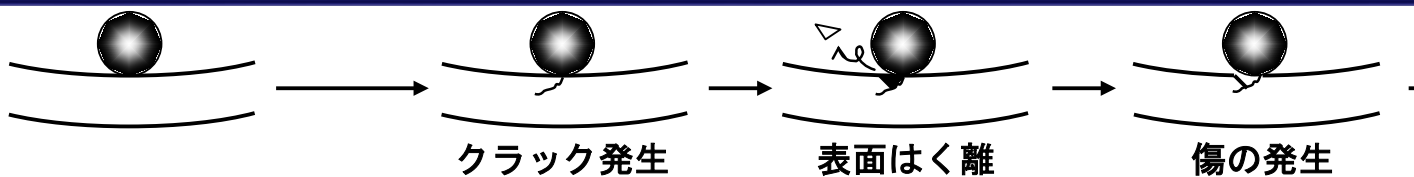
fb : 球の傷が内輪または外輪と接触する周波数

fo : 外輪の傷が球と接触する周波数

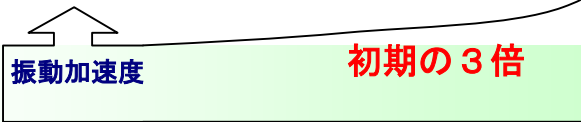
回転機器の振動特性

軸受の破壊モデルと兆候 ⇒ 非定常現象のため、従来は連続データで監視

軸受の磨耗劣化による回転接触表面のはく離が拡大して傷になり破壊（停止）



AE



モニタリングシステムの開発

モニタリングシステムの課題

- ◆ 圧電振動発電センサデバイスを用いた監視技術の開発
 - 課題: 不定期な鹿威し方式振動データのフィルタリングと異常検知ロジック
- ◆ 汎用モニタリングシステムの開発
 - 課題: 簡便な初期設定で、データ収集から異常検知, 余裕時間予測までをシームレスに処理

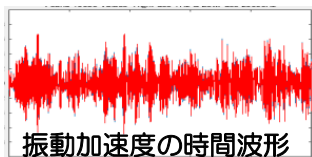
【対象機器】



渦巻きポンプ



立型ポンプ



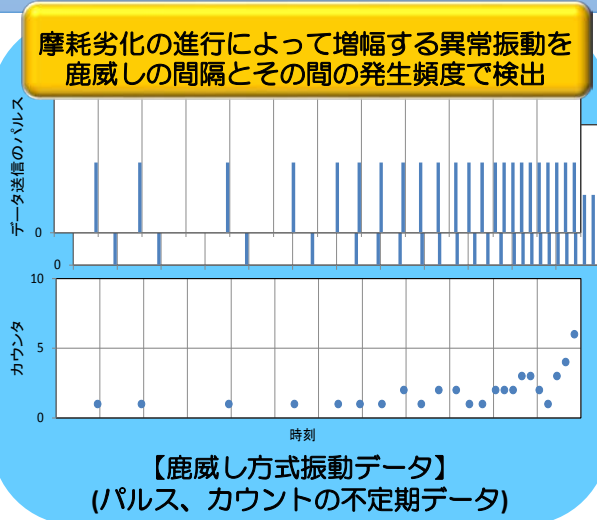
振動加速度の時間波形



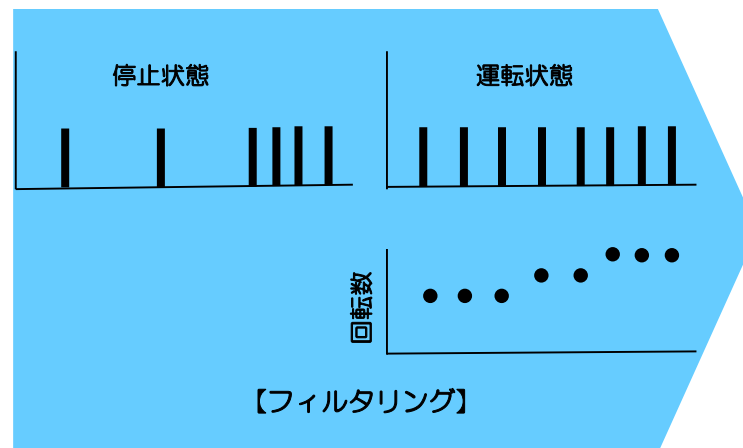
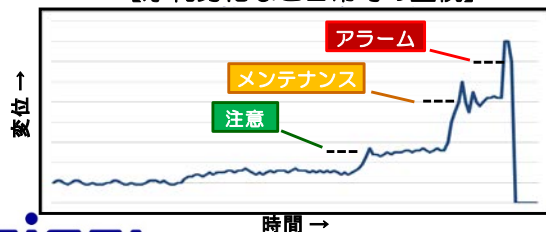
M型端末



M型端末



【摩耗劣化など日常時の監視】



モニタリングシステムの開発

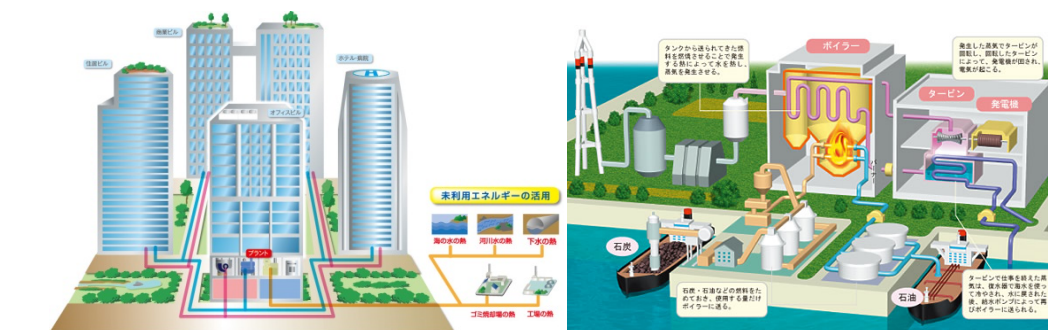
■モニタリングシステムの課題

- ◆顧客のBCP(Business Continuity Plan-事業継続計画)対応に合致
 - 課題: 熱エネルギーの安定供給が求められる病院施設、地域冷暖房施設を対象とした実証実験
- ◆都市インフラの安全な維持管理
 - 課題: 熱エネルギー供給の最重要機器(ポンプ)に加え、送風機・圧縮機などの回転機器、配管、ダクトを対象に安価な監視システムを提供



STUDIO SPARROW
【平成26年度実証実験施設】
病院施設の冷温水ポンプ8台を実測

【平成27年度以降に実証実験追加予定の施設】



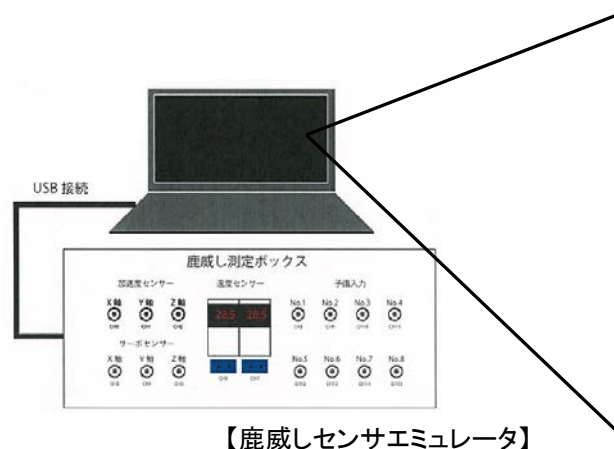
熱供給会社が運営する複数の地域冷暖房施設
ポンプ類300台規模

動力数百kW規模の
大型ポンプ類

平成26年度の開発成果

モニタリングシステムの開発

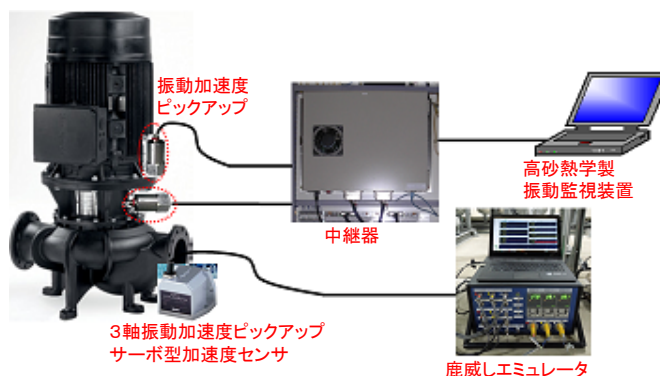
従来の連続監視データと、今回の不定期監視データの振動計測精度の感度解析に供する鹿威しセンサエミュレータを構築
⇒鹿威しセンサデバイスの開発とモニタリングシステムの開発を同時進行可能とした



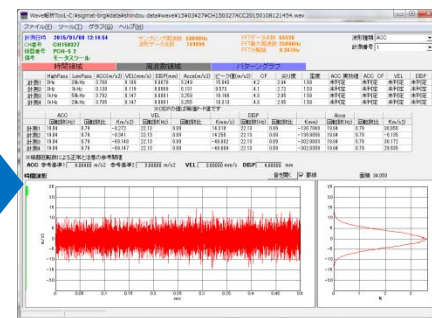
【鹿威しセンサエミュレータ】

システムの構築と実証

病院施設において、連続振動データと鹿威しセンサエミュレータを用いた、不定期データ収集の実証
⇒高効率、省設置スペースの立型ポンプの振動実態を獲得



【オンサイトでのデータ収集装置】

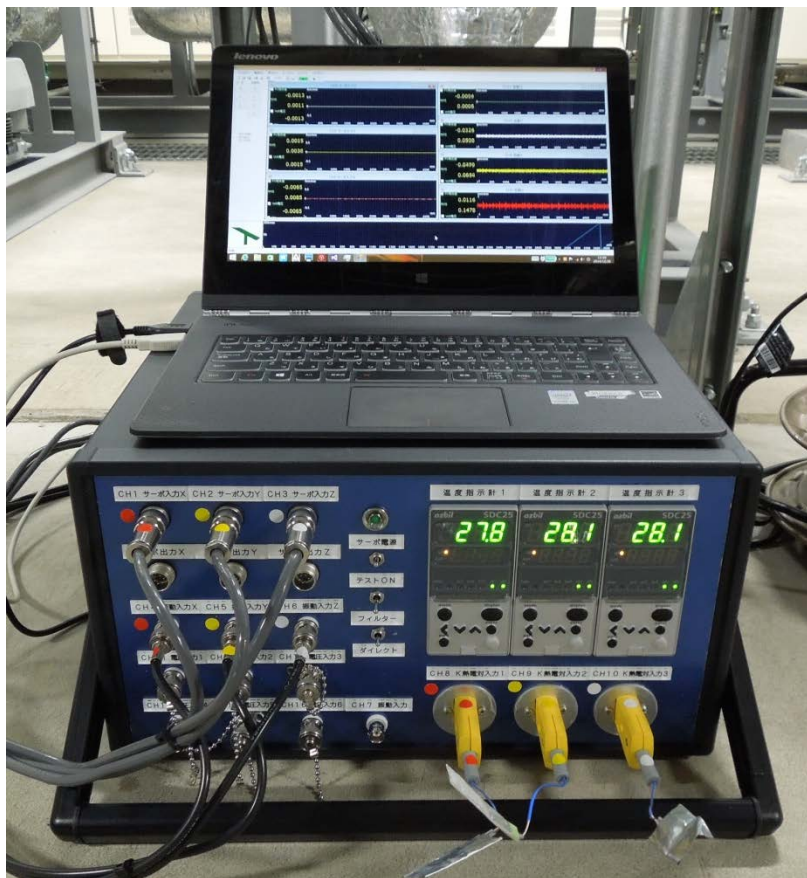


【収集データの一例】

平成26年度の開発成果(詳細)

鹿威しエミュレータの開発

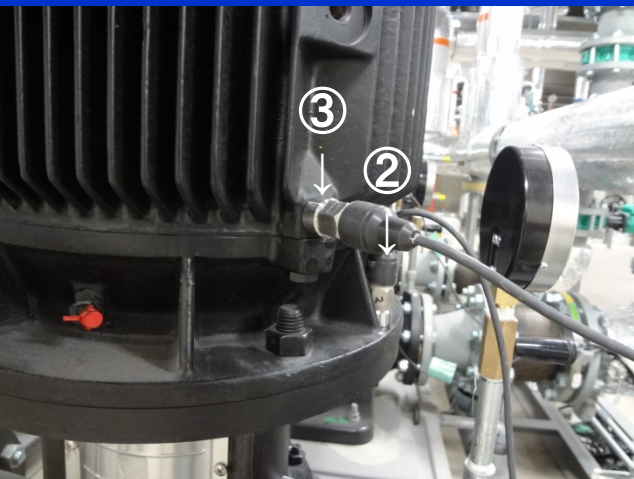
⇒ 機器の運転停止判断、軸回転数、振動加速度の補正に有効なフィルタ仕様の特定



測定ボックスの機能

- ・AIO変換機(16ch差動入力)
- ・加速度センサ電源供給
- ・加速度センサ、温度センサの出力変換
- ・アナログフィルタ

平成26年度の開発成果(詳細)



②モータツール(Z方向)
③モータ(Y方向)



①カップリング(Y方向)

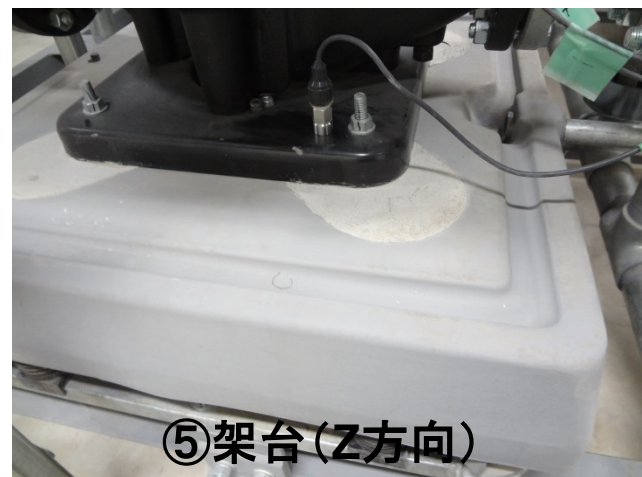
立型ポンプ実証実験の様子



設置状況の全景



④ハウジング(Z方向)

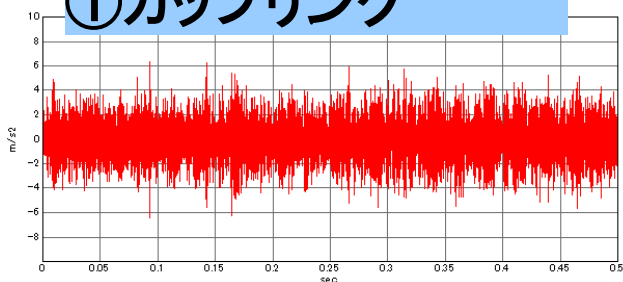


⑤架台(Z方向)

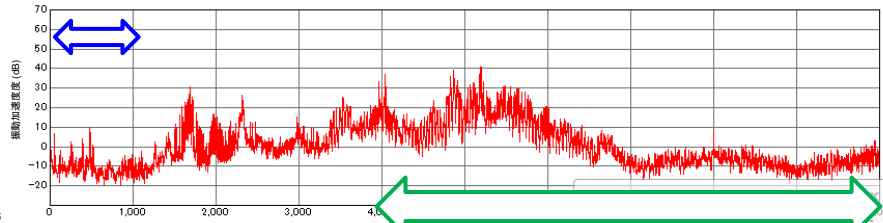
モニタリングシステムの開発

平成26年度の開発成果(詳細)

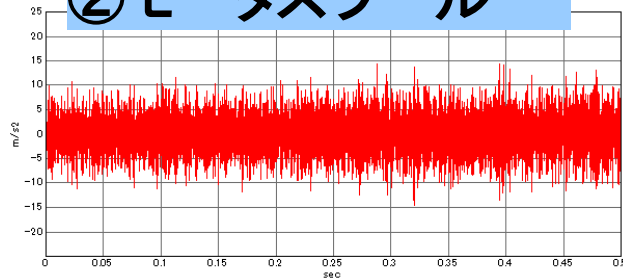
①カップリング



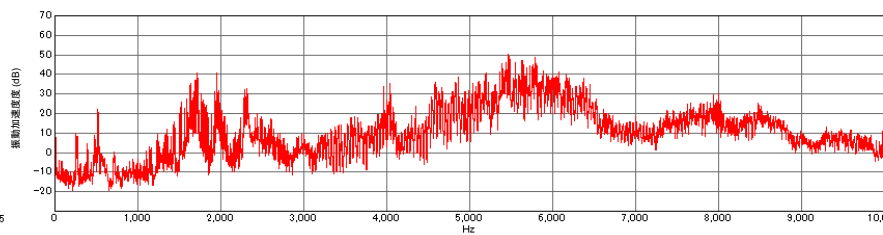
低周波帯域にピークが見られるか



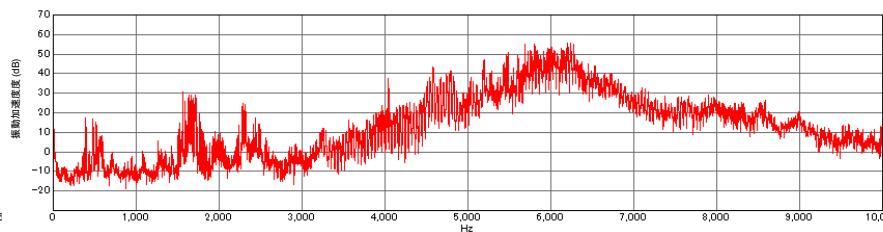
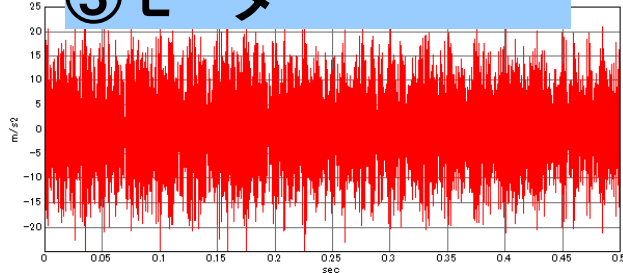
②モータツール



中高周波帯域に増加が見られるか



③モータ



平成26年度の開発成果(詳細)

◆フィルタ仕様の特定

⇒インバータ制御による軸回転数の変化と振動加速度の特性把握

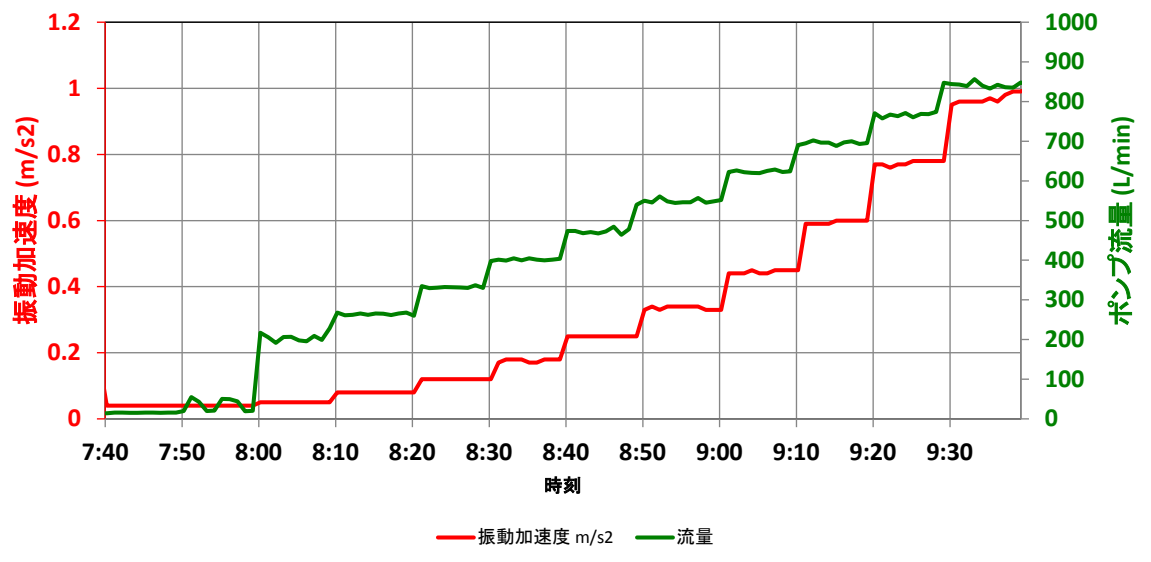
インバータによりポンプ流量を制御した時の振動特性

軸回転数 \propto 流量でデータ整理

振動特性は、振動加速度(RMS,peak)、波高率(C.F)、振動速度、振動変位

※波高率(C.F) = ピーク値/実効値、正弦波の場合は $\sqrt{2}$

【汎用渦巻きポンプ(軸動力18.5kW、軸回転数1,500rpm)】



【振動加速度ピックアップ】
(軸受上部 Z軸方向)
リオン製PV-41
せん断型、1.09mV/m/s²
3Hz~10kHz



【振動計】
リオン製 VA-12

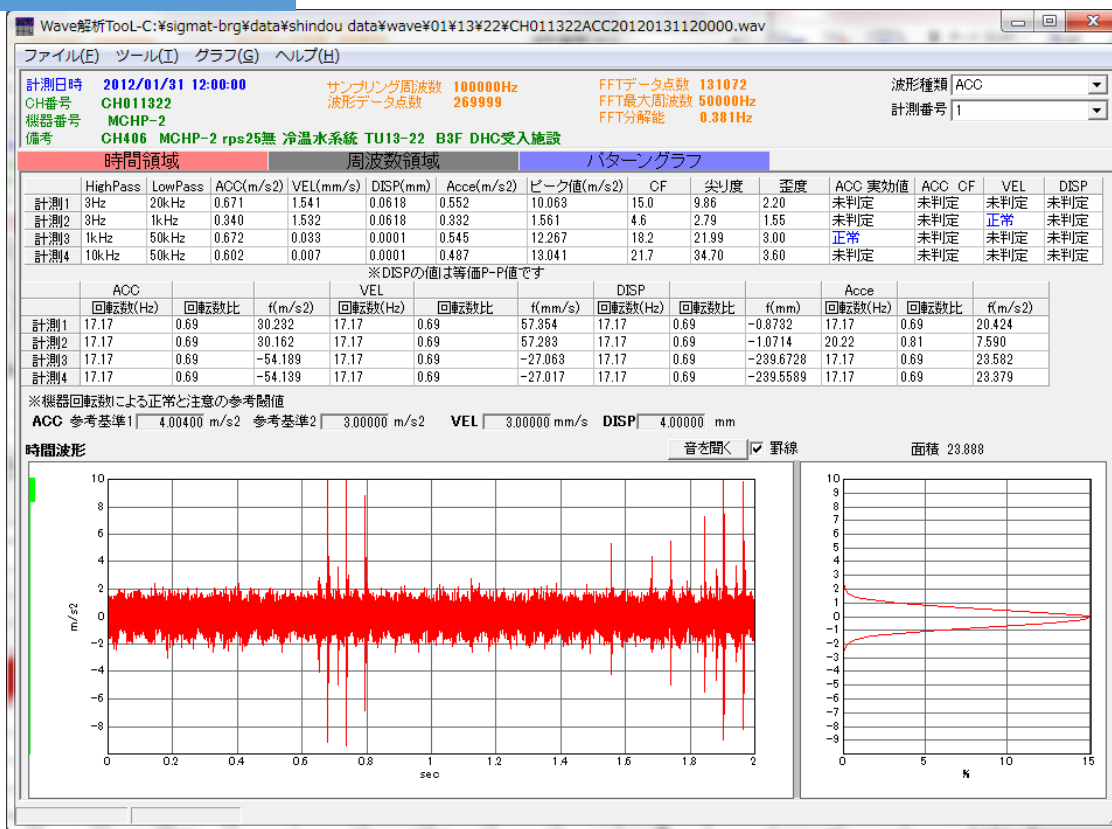
平成26年度の開発成果(詳細)

◆横型ポンプの振動データの解析

⇒高周波帯域の鹿威し方式の振動データから、軸受の損傷が主たる要因の衝撃波の検知

渦巻き型ポンプ② 軸動力18.5kW、軸回転数1,500rpm 軸受NTN-6310ZZ

異常レベル2(クラックの発生程度)



ご清聴ありがとうございました

高砂熱学工業株式会社