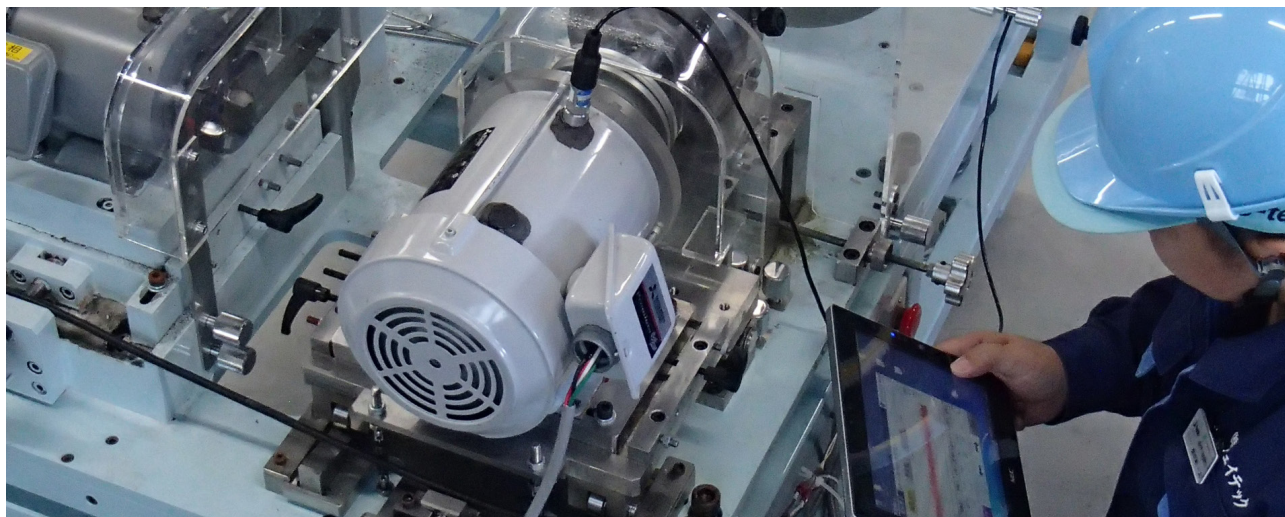


## 回転機器の振動診断技術

佐々木 一人



当社は回転機器の振動診断サービスを2004年から開始しており、設立以降の歴史に寄り添いながら技術力の研鑽を積んできた。

近年では各種学会における学術発表等の外部活動を通して見識を広げるとともに継続的な技術力の向上に努めている。

また、これらの経験から得られた知見を活用し、訓練用シミュレータの開発と教育訓練の開催を通して後進の育成、技術や知識の裾野の拡充といった活動にも取り組んでいる。

本稿では当社が実施する回転機器の振動診断サービスの技術的内容とその活動について紹介する。

**キーワード:** 回転機器、状態監視、振動診断、潤滑油診断、CBM

### 1. はじめに

工場全体を人間に例えると、ポンプは「心臓」、ブロワは「肺」となる。つまり、回転機器は工場という生き物の「内臓」に相当する重要な設備である。

臓器に異常が発生した場合、人間であれば体調不良となり、最悪な場合には“死”に至る。工場であれば一部プロセスの計画外の停止、最悪の場合は生産停止に陥ることとなる。工場の生産停止は莫大な損失を生み出すため、不具合や故障による計画外の停止は極力避けなければならない。

そのような事態にならないための有効な予防対策のひとつとして活用されるのが「振動診断技術」である。

当社は2004年から振動診断技術を活用したサービスを実施して回転機器の状態監視を行っている。

### 2. 振動診断技術について

#### 2.1 振動モード

回転機器が稼働すると回転に伴う影響（二次効果パラメータ）が振動となって顕出する。振動の状態を評価するモードには「変位量」、「振動速度」、「振動加速度」の3種類が存在している。

回転機器で発生する主な異常事象は、軸受に傷や摩耗が発生する「軸受異常」と回転のバランスが狂う「回転状態異常」に二分される。

軸受キズが発生した際には初期兆候として振動加速度の値が増加し、損傷が進展していくと振動速度や変位量が増加する。一方、回転機器にバランスの狂い（不平衡）が生じた場合には、最初に振動速度が増加し、事象の度合いが増すと軸受の損傷に至るため振動加速度が増加する。（図1）

このように、振動モードの変化に着目することで、異常の内容を簡易的に推測することができる。

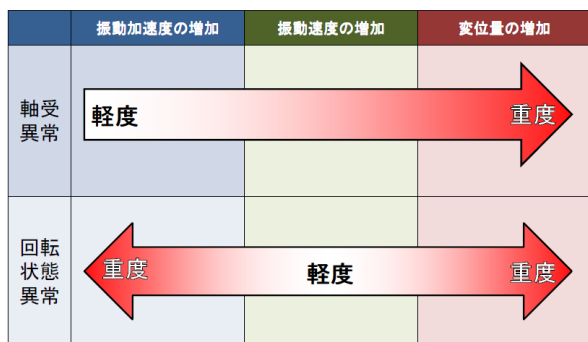


図1 振動モードと異常の相関性

## 2.2 トレンドグラフ管理

2.1項で述べた3つの振動モードを「値」として定量化し時系列にプロットして管理する手法がトレンドグラフ管理である。(図2)

トレンドグラフ管理を行うことで、対象機器の長期的な振動傾向を可視化することができる。

また、判定基準を設定することにより、異常の緊急性を評価することができ、分解点検を実施するタイミングの参考となる。

判定基準についてはISOにより大枠が示されている。当社では回転機器の多種多様な仕様に対応するため、機器ごとに過去の振動傾向との相対比較を行い最適かつセンシティブな判定基準を設定している。

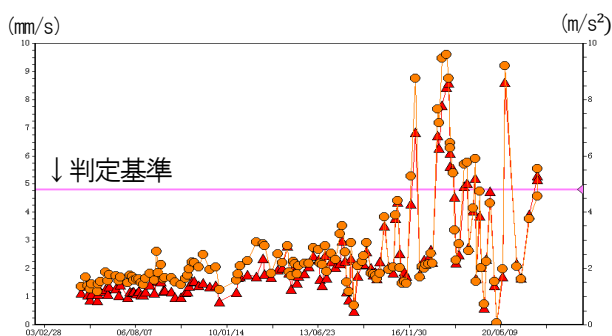


図2 トレンドグラフ

## 2.3 周波数解析

振動による物体の挙動は関数処理を行うことで周波数情報に変換することができる。この周波数情報を分析して機器の異常を評価・診断するのが周波数解析である。

周波数解析においては、物体の振動量と軌跡を時系列で表した「時間波形」と、時間波形をFFT処理した「スペクトル図」を用いる。(図3)

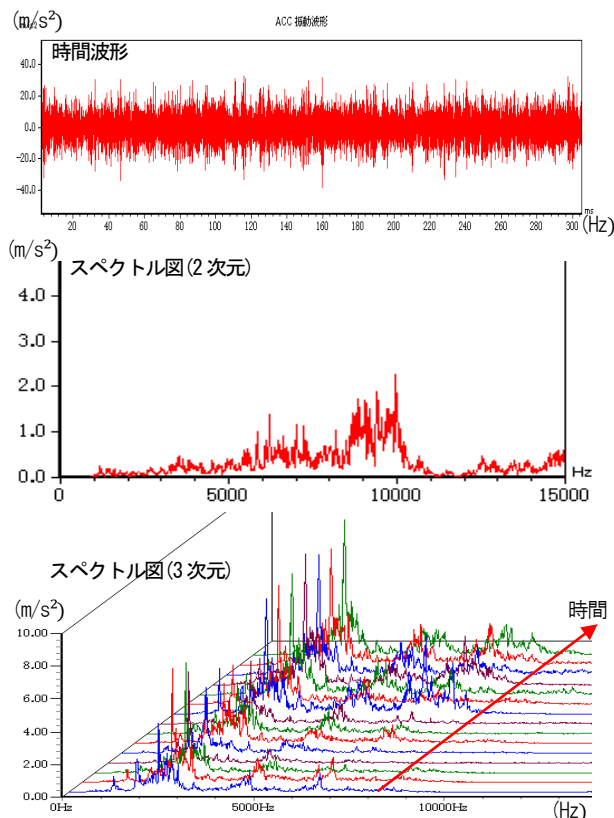


図3 時間波形とスペクトル図

## 3. 資格について

### 3.1 振動診断の資格

振動診断には「資格」が存在する。「ISO18436-2 準拠 機械状態監視診断技術者(振動)」である。当該資格は4つのカテゴリに区分されており、それぞれの技術の範疇は表1の通りとなっている。

当社においてはカテゴリⅢが1名、カテゴリⅡが2名在籍し振動診断を担当している。

表1 振動診断のカテゴリ区分と技術範疇

区分	測定	評価	指導	設計
カテゴリⅠ	○			
カテゴリⅡ	○	○		
カテゴリⅢ	○	○	○	
カテゴリⅣ	○	○	○	○

### 3.2 潤滑剤分析の資格

回転機器の軸受部には潤滑油やグリースといった「潤滑剤」が用いられ、振動に大きな影響を及ぼす。よって、潤滑剤に係る知識や技術を持つことも重要となる。

潤滑剤分析については「ISO18436-3 準拠 機械状態監視診断技術者(トライボロジ)」という資格があり、表2に示す通り3つのカテゴリで範疇が区分されている。

当社における資格保有状況は、カテゴリⅡが3名となっている。

表2 トライポロジーのカテゴリ区分と技術範疇

区分	採取	評価	計画
カテゴリⅠ	○		
カテゴリⅡ	○	○	
カテゴリⅢ	○	○	○

## 4. 当社振動診断部門の活動

### 4.1 回転機器の振動診断

当社が実施している振動診断関係の業務は図4の通り、PDCAに則したルーティーンで実施することで精度の高い診断を顧客に提供している。

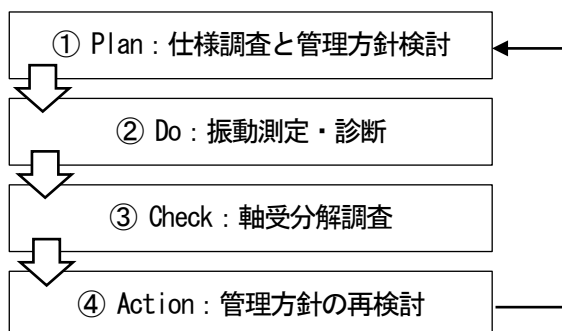


図4 振動診断におけるPDCAサイクル

#### ① Plan：仕様調査と管理方針検討

振動診断の対象となる機器の仕様や設置状況、安全重要度等から基本的な管理方針を設定する。

また、Action:状態監視方針の再検討の結果を勘案した上で管理方針の再設定を行う。

#### ② Do：振動測定・診断

##### ・振動測定

回転機器から発生する振動の大きさ（値）と周波数データを収集する。

継続的に振動データを採取して傾向管理を行う場合、測定周期は1～3か月に1回のペースが一般的である。ただし、振動診断で異常を確認した場合には適宜周期を設定して状態監視を行う。



図5 振動測定作業

##### ・振動診断(周波数解析)

現場で採取した振動データの解析を実施する。

「時間波形」と「スペクトル図」を読み取り、異常発生箇所や異常内容の診断、異常の程度の評価を行う。また、異常の内容によっては回転軸の軌跡を視覚化したりサーージュ解析や回転機器の物理的挙動を視覚化した実稼働解析を用いて多角的な診断を行う。

周波数解析の結果、異常と判断した際には、異常の種類と程度、処置推奨等を記載した診断見解書を発行し顧客に報告する。

精度の高い診断を遂行するためには、資格要件に係る知識の他、回転機器の構造的知識、論理的（ロジカル）な思考、経験や知見の応用、文章および資料作成のスキルといった多角的な技能が要求される。

これまでの診断活動における顕著な事例を表3に示す。



図6 振動診断

表3 顕著な診断事例

異常分類	診断事例
軸受異常	横型遠心ファンにおける軸受外輪グリップの兆候検知[2]
	軸受封入グリスの枯渇に伴う振動異常[1]
	電動機ケーブルブレッティング不良に伴う振動異常[3]
	電動機における雨水および散水の曝露影響調査
回転状態異常	基礎コンクリート老朽化に伴う共振[1]
	発熱に伴う残留応力の解放による電磁振動の増加
	カップリングギアの欠損による振動増加
	ルーツプロットのタイミングギア損傷による振動増加
	複数本懸架のベルト駆動機器におけるVベルト緩みの兆候検知
	横型据付モータを縦置きに設置した際の影響調査
基礎の揺動に伴う電氣的振動の増加	

#### ③ Check：軸受分解調査

周波数解析で軸受の異常と診断した際には、実際の損傷程度と振動データ（値、周波数）の整合性を確認するため、軸受の分解調査を実施する。

分解調査においては、外観の損傷程度を確認すると共に、各部品の寸法計測や残留したグリースの性状分析を行って新品のカタログ値と比較することで損傷程度を定量的に調査する。

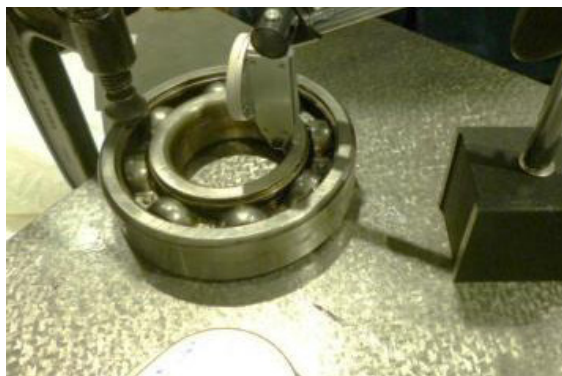


図7 軸受の寸法計測



図8 分解した軸受

#### ④ Action：管理方針の再検討

周波数解析や軸受分解調査で得られた情報をもとに測定周期や判定基準の再検討を行い、対象機器の特性に沿った管理方法の再検討を行う。

また、これらの活動によって得られた経験や知見は、教育・訓練や学会での学術講演を通して周知することで関係者全体の知識の底上げを図っている。

## 4.2 開発

振動診断の技能を向上させる上で回転機器の異常を数多く経験することが重要となる。しかし現場の実機で異常が発生する機会は少なく、技能の習得に多大な時間を要していた。この問題を解決するため、回転機器で発生する異常事象を任意で発生させることができる「回転機器異常振動模擬訓練装置 J-RAV®」(図9)を開発した。

J-RAV®は様々なプラント内に設置されている回転機器と同等の仕様(寸法、出力、部品)で構成しており、実機相当の異常を再現することが可能である。(表4)そ

のため、振動診断技術の他、回転機器の巡視点検を行う上での状態監視技能の育成にも有効活用できる仕様としている。

本装置は教育・訓練の他、振動診断における難解な異常事象を検証する際のモックアップとしても活用している。表3に挙げた「複数本懸架のベルト駆動機器におけるVベルト緩みの兆候検知」は本装置を活用することで得られた知見である。

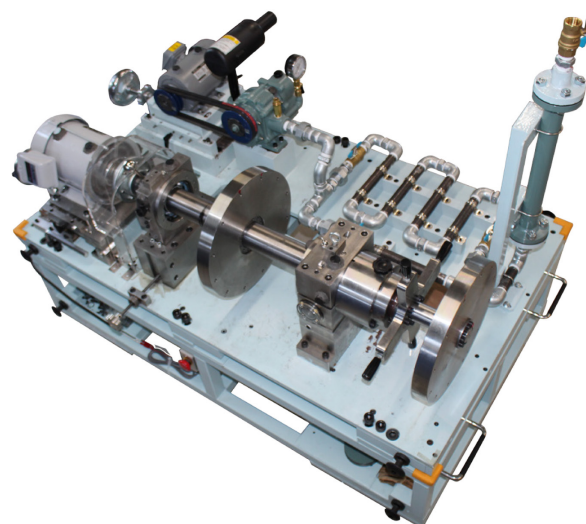


図9 回転機器異常振動模擬訓練装置「J-RAV®」

表4 J-RAVが模擬する機種と再現する異常

ユニット	模擬する機種	再現する異常
横型回転ユニット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ブロー</li> <li>・横型渦巻ポンプ</li> <li>・モータ</li> <li>・ハンジールポンプ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ベアリング潤滑不良</li> <li>・軸受キズ・摩耗</li> <li>・軸受クリープ</li> <li>・ミスアライメント</li> <li>・アンバランス</li> <li>・共振</li> <li>・ガタ・ゆるみ</li> <li>・電磁振動</li> </ul>
ベルト駆動ユニット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ベルト駆動機器</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プーリ・ベルト異常</li> <li>・ミスアライメント</li> <li>・ガタ・ゆるみ</li> <li>・圧力変動に伴う振動</li> </ul>

## 4.3 教育・訓練

回転機器の状態監視においては、異常の発生を早期に検知するため、巡視を行う観察者の状態監視技能を向上させることが重要である。

当社では振動診断の知識を活用し、回転機器の状態監視技能向上に係る教育訓練を開催している。

本教育訓練においては「論理的視点」、「相対比較」、「定量評価」を状態監視の三本柱に据え、表5に示したカリキュラムを実施することで些細な異常兆候も的確に捉えられる状態監視技能の習得を目指している。

表5 教育訓練カリキュラム

大項目	中項目	小項目
論理的視点	回転機器の構造	回転機器の概要
		回転機器の構成
		回転機器と回転数との相関性
		軸受の種類と構造
	異常の種類	回転機器の異常の種類
		軸受異常発生時のメカニズム
		回転状態異常発生時のメカニズム
		Vベルトのテンション変化 縦型回転機器の過負荷運転
相対比較	聴音検査	聴音検査の基本
		異常発生時の聴音の特徴
定量評価	振動測定	振動測定の目的
		振動モードの種類
		異常と振動モードの相関性
		軸受異常発生時の特徴
		回転状態異常発生時の特徴



図11 日本保全学会学術講演会での発表の様子

表6 日本保全学会学術講演会発表実績

年度	題目
2014	六ヶ所再処理工場における回転機器の設備診断 —振動解析による設備診断— [1]
2015	六ヶ所再処理工場の横型遠心ファンにおける軸受 外輪クリープの振動診断について [2] [6]
2017	電動機のウェーブワッシャ不良による深溝玉軸受 の早期損傷メカニズムと振動診断 [3]
2019	回転機異常振動模擬訓練装置(J-RAV <sup>®</sup> )の開発と活用 計画 [4] ※企業展示あり
2021	回転機器の異常振動模擬訓練装置(J-RAV <sup>®</sup> )を活用し た状態監視技能向上への取り組み(その2) [5]



図10 J-RAV<sup>®</sup>を用いた教育・訓練

#### 4.4 学会活動

当社振動診断部門は2014年度から日本保全学会学術講演会に参加し学術発表に取り組んでいる。(表6) [1] [2] [3] [4] [5]

この内、2015年度発表の「六ヶ所再処理工場の横型遠心ファンにおける軸受外輪クリープの振動診断について」は技術論文として保全学 [6]に掲載された。

#### 5. 今後の展望 -振動診断のIoT化-

従来の振動診断サービスにおいては、振動測定作業は現場に足を運び振動測定を行う「巡回測定」を実施してきた。しかし、昨今はマンパワーを必要としない無線センシングとIoTの活用が時代の潮流となっている。

このことから、当社においても無線センシングを用いたオンライン振動診断サービスを準備中である。(図12)

振動診断をオンライン化することにより、振動測定に係る人件費を発生させることなく回転機器の振動状態のモニタリングや振動診断を実施することができる。また、接近が困難な箇所(高所、暗所、酸欠箇所等)や移動が困難な僻地に設置された回転機器の状態監視に活用することができる。

従来の巡回測定と併せて、オンラインによる振動診断サービスを提供して顧客の要望に幅広く対応していきたい。

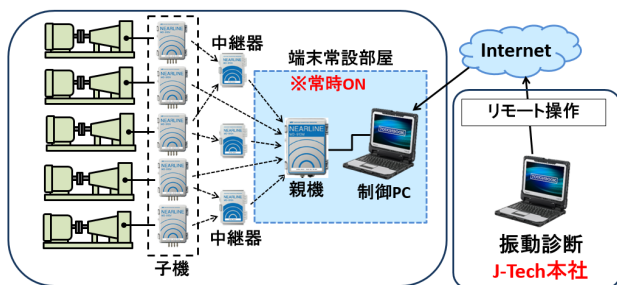


図 12 IoT を活用したオンライン振動診断

## 6. まとめ

振動診断は経験の蓄積が診断精度に直結する技術である。当社は2004年以来、多くの台数と多種にわたる回転機器の診断を実施し、豊富な実績と知見を有している。

振動診断はプラントや施設の特色に捉われない汎用性に富む技術であり、また、設備の安定稼働と効率的なコスト効果を生む保全技術である。

今後も新たな診断技術の導入や技術者の育成を通して技術価値を高め、顧客にとって有益となる保全サービスを提供できるよう努めていきたい。

## 参考文献

- [1] 佐々木一人、瀬川佑太、他 “六ヶ所再処理工場における回転機器の設備診断—振動解析による設備診断— ”、日本保全学会 第11回学術講演会要旨集、2014、pp.439-446.
- [2] 佐々木一人、瀬川佑太、他 “六ヶ所再処理工場の横型遠心ファンにおける軸受外輪クリープの振動診断について ”、日本保全学会 第12回学術講演会要旨集、2015、pp.309-314.
- [3] 佐々木一人、瀬川佑太、他 “電動機のウェーブワッシャ不良による深溝玉軸受の早期損傷メカニズムと振動診断”、日本保全学会 第14回学術講演会要旨集、2017、pp.21-24.
- [4] 佐々木一人、瀬川佑太、他 “回転機異常振動模擬訓練装置 (J-RAV<sup>®</sup>) の開発と活用計画”、日本保全学会 第16回学術講演会 要旨集、2019、pp.601-608.
- [5] 佐々木一人、瀬川佑太、他 “回転機器の異常振動模擬訓練装置 (J-RAV<sup>®</sup>) を活用した状態監視技能向上への取り組み (その2)”、日本保全学会 第17回学術講演会 要旨集、2021、pp.585-588.
- [6] 佐々木一人、瀬川佑太、“六ヶ所再処理工場の横型遠心ファンにおける軸受外輪クリープの振動診断について”、保全学 Vol.15・No.3・2016、pp.109-114.



佐々木 一人  
(株)ジェイテック  
機械保修部 兼  
プラント保修部 技術統括センター