



設備安定化に向けた 音響診断技術高度化への取り組み

Efforts to Upgrade Acoustic Diagnostic Technology for Equipment Stabilization

設備安定稼働のためには、設備の重要度に応じた保全方式の選定と設備状態に応じた適正なメンテナンスが求められる。中でも稼働中点検、休止点検、開放点検に代表される設備状態把握を適切なタイミングで正確に行うことは、設備機能を健全な状態に保つためのスタートラインと言える。故障が顕在化する前段階の異常兆候を早期に捉えて、状態に応じた適切な保全行為を遅滞なく実施することで、故障を原因とする設備への影響を最小限にとどめることが出来る。そのため点検員が聴音棒を用いて稼働中の回転機器の特徴的な音を聞き分け、軸受内部状態の異常有無を判断するということが長年実施されてきた。

しかし昨今少子高齢化が進む中で、ベテラン点検員から若手への技能伝承を支援する技術が必須となってきた。今回電子聴診器を活用した音響データ採取とデータ可視化により、音響データとベテラン点検員の知見との関連付けが可能となった。その技術を活用した技能伝承の効率化とリモート診断への展望について報告する。

For stable operation of equipment, it is necessary to select a maintenance system according to the importance of the equipment and to conduct appropriate maintenance according to the equipment condition. In particular, timely and accurate equipment condition monitoring, typically including on-stream inspection, shutdown inspection, and overhaul inspection, can be considered the starting line for keeping the equipment's function in a healthy state. The impact caused by a failure can be minimized by detecting the early-stage signs of anomaly before the manifestation of a failure and implementing appropriate maintenance actions without delay. For this purpose, inspectors have long been using listening sticks to audibly distinguish the characteristic noises within rotary machines while they are running and judge whether or not there are any abnormalities in the internal condition of the bearings. However, with the progression of population aging, there is a need for technology that supports the transfer of skills from experienced inspectors to younger workers. Our recent progress in the collection of acoustic data using electronic stethoscopes and the visualization of the data has made it possible to associate acoustic data with findings gathered by highly skilled inspectors. In this paper, we report on the use of this technology to improve the efficiency of skill transfer and discuss the prospects for remote diagnostics.



小森 俊也
KOMORI Toshiya
阪神支店長
前 機械事業本部
整備事業部長



大石 直樹
OISHI Naoki
機械事業本部
整備事業部長



竹内 一迅
TAKEUCHI Kazuhaya
機械事業本部
整備事業部
整備企画グループ



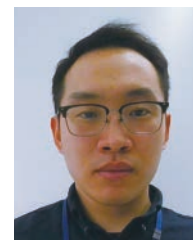
佐々木 義明
SASAKI Yoshiaki
機械事業本部
整備事業部
室蘭機械整備部
保全整備グループ



吉田 和久
YOSHIDA Kazuhisa
機械事業本部
整備事業部
八幡機械整備1部
保全技術グループ



渋谷 治郎
SHIBUYA Jiro
機械事業本部
整備事業部
東日本機械整備3部
保全技術グループ



孫 成毅
SON Seiki
電計事業本部
システムソリューション事業部
CX推進部
インテリジェントソリューショングループ

1 はじめに

設備安定稼働のためには、設備の劣化モードと重要度に応じた保全方式の選定と、設備状態に応じた適正なメンテナンスが求められる。中でも、稼働中点検において設備の状態を正確に把握することは、設備を健全な状態に保つためのスタートラインである。

回転体の設備点検として、聴診棒、振動測定機器が広く用いられている。この聴診棒による点検は、人の五感（音感区分）によるものであり、その習得には長年の経験に培われた設備保全に関する深い知識やスキルが必要となる。

近年、電子聴診器が開発され、環境音を含むことなく機械が発生する音のみを収録することができるようになった。測定した音響を電子音データとしてパソコンに保存することで、以下の活用ができるようになった。

- ① 経験を有する有識者が、遠隔地から収録された電子音を聞くことで、リモート点検が可能となった
- ② 電子音データを蓄積することで、これまで十年以上かかっていた聴診の技能習得を、短期間で伝承することが可能となった
- ③ 電子音データの波形を解析し、発生している周波数を可視化して有識者の判断と照合させることで、電子音データでも回転体の診断が可能となった

このような取り組みにより、近年、労働人口が縮小して行く中でもベテラン点検員の技能を電子音データとして伝承することは大きな意義がある。

今回、その実例として、高回転のプロワー軸受、低回転のドラムミキサー軸受を対象に、電子聴診器での診断結果を紹介する。

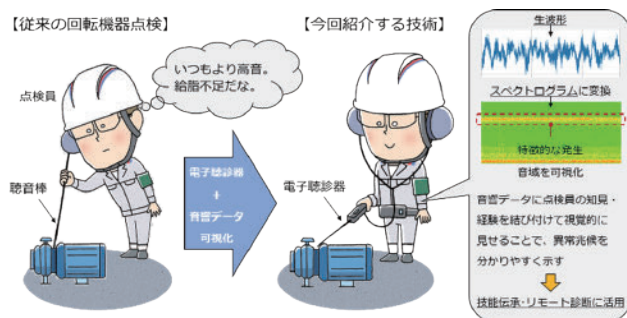


図1: 電子聴診器を使った点検

2 電子聴診器による測定

(1) 設備診断業務の流れ

電子聴診器を用いた設備診断業務の流れは以下のようになっている。

- ① 電子聴診器で機械音を測定し、録音した電子音データを共有パソコンに保存する

- ② 遠隔地の有識者（ベテラン）が、電子音データを聞いて設備の状態を判断する
- ③ リモートで判断した結果について、現地は指導を受ける
- ④ 電子音データの波形を解析し、発生している周波数を可視化する
- ⑤ 可視化した波形や周波数と有識者の判断とを照合し、教育や今後の利用技術として蓄積する

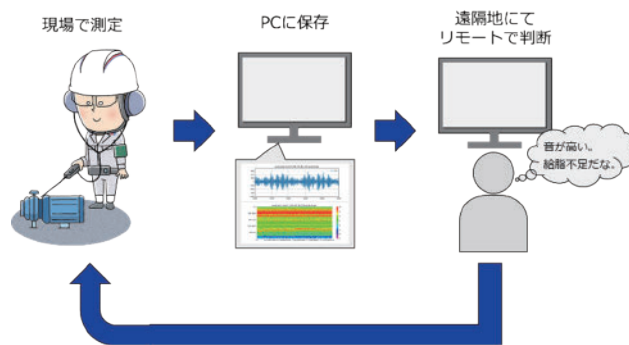


図2: 電子聴診器を使った設備診断業務の流れ

(2) 使用した電子聴診器

電子聴診器はプローブを直接対象物に当て機械音を測定する装置であり、電子聴診器を使うことで周囲の環境音を取り込むことなく、ピンポイントで軸受音や機械音を聞くことができる。

電子聴診器は、SKF製TMST3を使用した。測定時間は20秒間とし、その電子音データファイルの容量はmp3形式で約500 kBである。



図3: 電子聴診器TMST3

(出典: 日本エスケイエフ株式会社製品データシートより)

電子聴診器の仕様

- 型番：TMST3
- 周波数範囲：30 Hz～15 kHz
- ボリューム：32 レベル調整
- プローブ長さ：70 mm、220 mm
- レコーダー最大出力：250 mV
- データ形式：mp3、WAV

(3)電子 データの解析

測定は20秒間行い、電子音データの波形の出力、そのスペクトログラム(周波数の時間変化)を可視化した。電子音データの可視化は、Pythonでコードを作成して行った。

可視化にあたっての条件は以下の通りである。

- サンプリングレート : 44.1 kHz
- スペクトログラム : 窓関数を使用

3 測定と設備診断結果

高回転域の例としてブロワーの軸受、低回転域の例としてドラムミキサーの軸受について電子聴診器で測定し、その波形の可視化、有識者の判断と照合を実施した。

(1)事例1 高回転域の例

1)測定した設備

測定を行った集塵ブロワーのモーターと軸受の仕様を以下に、写真を図4に示した。

同一仕様のモーターが2台(No.1、No.2)

- 出力 : 37 kW
- 極数 : 4 POLE
- 実回転数 : 1485 rpm
- 軸受 : 深溝玉
- 軸径 : 22.2 mm
- PCD : 96.0 mm
- 転動体 : 8 個
- 接触角 : 0°

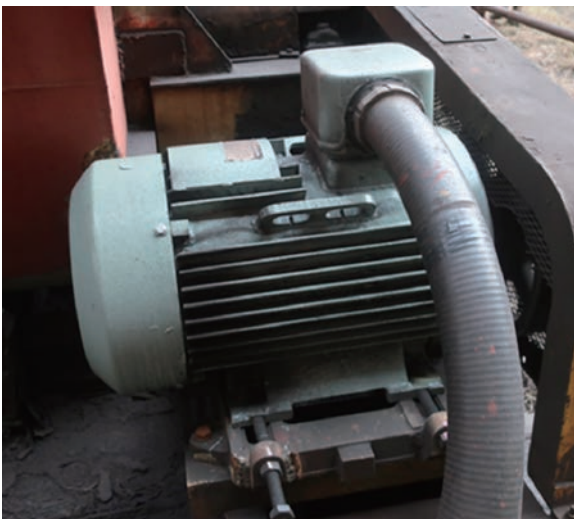


図4:集塵ブロワーモーター

2)測定結果

No.1、No.2モーターについて、2月と3月に測定を行った。モーターの反負荷側のデータについて、No.1、No.2モーターの順で2つずつ、4つのケースを表1に示した。表示した図は、時間軸として0.12秒間の信号データである。

現場での聴診結果は、以下であった。

ケース1は、No.1モーター:「キーン」という高音の音が顕著に聞かれた。

ケース2は、No.1モーター:正常な音が聞かれた。

ケース3は、No.2モーター:「キーン」という高音の音は小さいが、「シュン シュン」という接触音が聞かれた。

ケース4は、No.2モーター:「カラカラ」という音が聞かれた。

3)有識者による電子音の判断

有識者の判断は、以下であった。

ケース1は、給脂不足の音

ケース2は、正常音

ケース3は、接触がある音

ケース4は、フレーキングが発生している音

まず、No.1モーターで測定したケース1とケース2について説明する。

ケース1は、1か月前(2月)のデータであり、高音の金属音が聞かれたため、給脂を行った。この効果があったことで3月では同じ測定地点での金属音が減少し、正常な状態に戻ったと判断できた。

この現象を可視化した電子音データの波形と照合した。しかしケース1とケース2の左側に示した電子音信号波形からだけでは、このような変化を読み取ることは難しい。更に詳しい判断をするために、周波数の時間変化であるスペクトログラム解析を行い、収録した電子音データの周波数と有識者の判断との照合を行った。

4)スペクトログラムによる判定

測定したケース1~4のスペクトログラムの結果を、図5の右半分に示す。スペクトログラムは、横軸が時間、縦軸が周波数を表した図であり、信号の周波数スペクトルの強度を時間とともに色で表したものである。

No.1のモーターにおいて、2月に測定したケース1では周波数3,300 Hzに比較的強い波が見られる。この強い波は3月に測定したケース2では減少していることが分かる。これは、給脂によってこれまで発生していた高音の金属音が減少したことを表しているものと考えられる。次に、No.2モーターで測定したケース3とケース4について説明する。

ケース3は、2月の測定結果である。ケース4は、同じ測定地点での1か月後(3月)のデータである。ケース3は低周波数の波形、ならびに2,000、3,300 Hz付近の波が強く見られ、接触音と推定された。

ケース4では、波形の乱れがさらに大きくなり、その乱れが時間変化としても現れている。これは、1か月後には軸受の損傷がさらに進行して、軸受の振動が大きくなったものと推定された。有識者は、フレーキングを起こしているという判断であった。

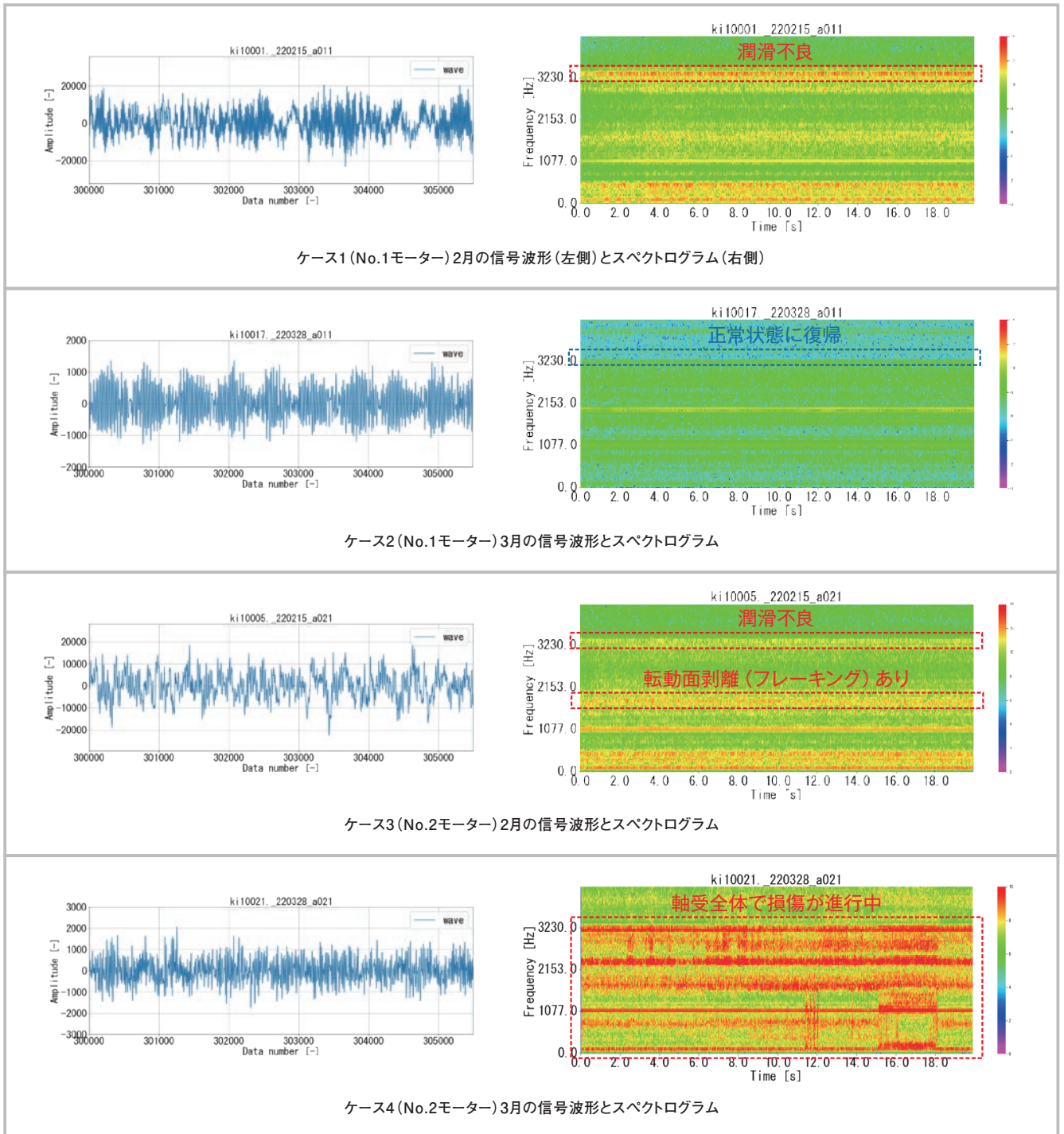


図5:集塵ブロワーモーターの信号波形とスペクトログラム

このように、スペクトログラムは回転機械の状態をよく表現しており、スペクトログラムで有識者の技能を可視化することができた。

(2)事例2 低回転域の例

1)測定した設備

測定を行ったドラムミキサーの軸受の仕様を以下に、測定箇所のイメージを図6に示した。

ドラムミキサー

回転数：25.7 rpm

軸受：自動調芯コロ軸受

軸径：100 mm

PCD：141.3 mm

転動体：18 個

接触角：10°

2) 測定結果

ドラムミキサー軸受部の点検を毎月実施している中で、軸受部からの異音がしだいに大きくなってきた。そこで、軸受の取替の計画をして取替を行った。ケース5(軸受取替前)とケース6(軸受取替後)のスペクトログラムを図7に示す。

3) 電子聴診音の判断と取り外した軸受の状態

軸受取替前の聴診音は、異物混入音、保持器摩耗音と判断される異常音が聞かれた。

軸受の取替中の取り外した軸受の写真を図8に示す。

錆の発生、異物の侵入、保持器の変形が見られた。

軸受取替前後でのスペクトログラムを比較すると、その違いが分かる。軸受取替後は、軸受取替前に見られた低周波数域の強く断続的な波は見られない。軸受取替後に得られた波形は、転動面の固有周波数域に、正常な走行音が認められた。

このことから、軸受取替後から定期的に電子聴診器で測定を行い、スペクトログラムで電子音データを可視化することで設備状態を把握でき、低回転域でも異常兆候を早期に捉える手段となることがわかった。なお、チェーン駆動であるため、チェーンとスプロケットの接触音も含まれている。

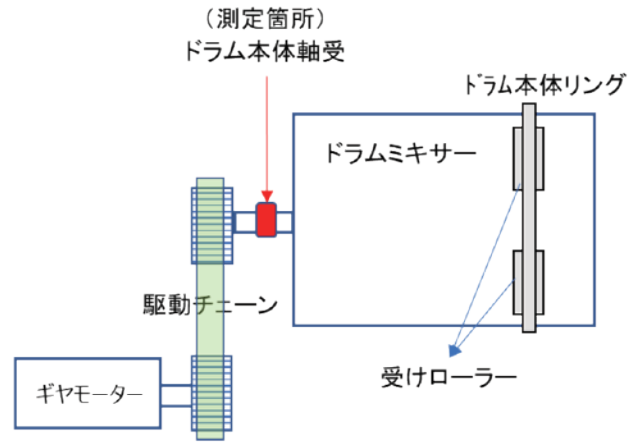


図6:ドラムミキサー軸受測定箇所

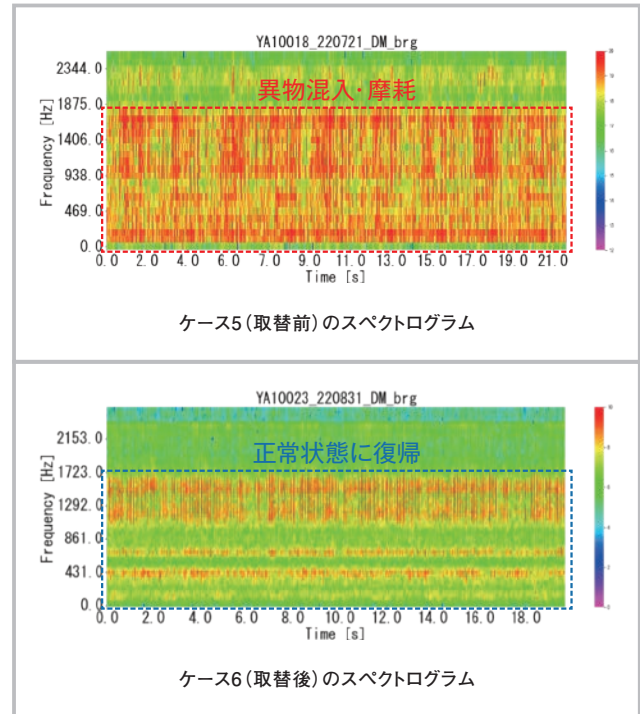


図7:ドラムミキサーのスペクトログラム



図8:取り外した自動調芯コロ軸受

4 標準化への取り組み

(1) 軸受特徴音データライブラリーの作成

本取り組みでは、有識者が持つ聴診棒での点検技能を伝承できるよう、軸受の状態ごとに電子音データを保存し、軸受特徴音データライブラリーとして蓄積している。

ライブラリーには、軸受の状態が分かるように電子聴診音の聞こえ方を表1のように分類し、それに対応する判定ラベルをつけ、判定ラベルごとに代表する電子データ音を保存している。

これにより、ベテランの聴診技能を、音として保存し再生して聞くことができるようになった。このライブラリーを、技術伝承するための教育訓練教材として活用している。

(2) 電子聴診器を使った設備診断の業務フロー

電子聴診器を使った設備点検を、作業標準として運用している。その業務フローを、図9に示す。

① 測定対象の選定

測定箇所、測定の頻度を定める

② 測定準備

測定台帳に、設備名、測定箇所、運転条件を記入する

③ 測定実施

電子聴診器で測定し、電子音データにファイル名を付けて保存する

④ 記録

- 電子音データの波形を可視化する
- 電子音データのスペクトログラムを可視化する
- 点検員および有識者の状態判定結果を記載し、照合する
- 上記を、測定台帳に記入し保存する

さらに、電子音データの波形をスペクトログラムとして可視化することで軸受の状態が把握でき、現場での判断が容易になった。

このように、電子聴診器を活用した音響データの採取と波形データの可視化、有識者の知見との関連付けを行う事で、希少リソースであるベテランによるリモート診断に加え、ベテランから若手への技能伝承の効率化が可能となった。

表1:ライブラリー化のための状態分類一覧

聞こえ方	判定	現象
「シャー シャー」 「シュー シュー」	0.正常音	潤滑が問題無く行われている
「キーン」	1.金属音	潤滑が不足、給脂が不足
「チャリチャリ」	2.異物音	ゴミが混入
「ガタッガタッ」	3.ガタ音	ベースが共振
「ゴロゴロ」 「カラカラ」	4.摩擦音	転動輪がキズ・フレーキング 転動体が、転動輪が、保持器が摩擦
「シュン シュン」 「チャン チャン」	5.接触音	ラピンス部が接触 保持器がシールに接触
「ウーン ウーン」 「ゴーゴー」	6.うなり音	転動輪・転動体がびびる 軸受が共振・軸のはめ合いが不良
「キュル キュル」	7.すべり音	すきまが増加
「・・・」	8.雑音	外部環境の音が入る

お問い合わせ先

機械事業本部 整備事業部

TEL. 03-6860-6600 (本社代表)

[メールの場合]:

more_information-kikai1@tex.nipponsteel.com

	測定対象の選定	準備	測定	記録
業務内容	・測定箇所	・台帳作成 - 設備・装置名称	・測定 - 測定コード	・データ可視化 - 生波形
	・測定頻度	- 設備仕様 - 運転条件	- ファイル形式	- FFT - スペクトログラム ・作業内容の併記 - 保全活動 - 調整記録

図9:電子聴診を使った設備診断の業務フロー

室蘭、君津、鹿島、名古屋、和歌山、広畑、八幡、大分の保全スタッフが、図9の業務フローに沿って回転機械の設備診断を実施している。

機械音のデータに、有識者の知見や経験を結び付けて視覚的に見ることで、若手でも異常兆候を分かりやすく把握することができるようになった。

5 まとめ

これまで、回転機器の軸受の点検において、点検員が聴診棒を用いて稼働中の特徴的な機械音を聞き分け、軸受内部状態の異常有無を判断してきた。

この機械音を電子音データとして共有化することで、遠隔地に居る有識者によるリモート点検ができるようになった。