音響診断による設備監視効率化…(1)

P2301-08

解　説

音響診断による設備監視効率化

Acoustic Diagnostics for Efficient Equipment Monitoring

信号解析ソフトSigmaを用いた音響診断による回転機器の異常検知

㈱IIU　角皆　学

1．はじめに

多くの機器異常は音に現れるため、巡視点検による異音の有無の確認や、聴診棒を使用した音響診断は古くから行われている。精密診断を目的とした場合、対象部位に直接設置した振動センサによる振動診断が最も有力な手段と考えられるが、音響は非接触で広範囲の情報を取得できることから、設備監視の効率化という観点では優位な特性がある。

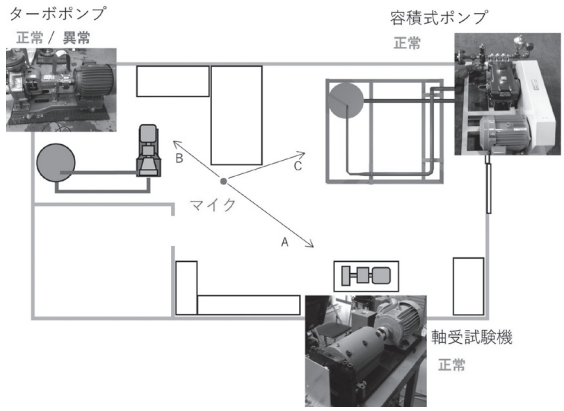
本稿では、音響診断を「設備の広域に対する１次スクリーニング技術」として適用することを目的とした、音響センサによる回転機器の異常検知試験の結果を紹介する。なお、本試験は、日本保全学会の「状態監視技術の高度化に関する調査検討分科会（CMT分科会）」にて実施されたものである。

2．回転機器異常付与試験

建屋内の複数の機器を音響診断により効率的に監視する手法を検討するため、実験室内で３台の回転機器を同時に運転し、マイクを用いてデータを取得する試験を行った。実験室は10m×5m程度の広さで、部屋の中心付近から、それぞれの機器の方向に指向性マイクの向きを変えながら音響データを取得した。全ての回転機器が正常な場合の他、３台のうち１台に異常を付与した状態でのデータを取得し、音響診断による異常の検知性を評価するとともに、異常機器の特定が可能かどうかを評価した。

(1)　試験環境

第１図に試験環境の模式図を示す。室内にはターボポンプ、容積式ポンプ、軸受試験機の３台の回転機器があり、これらを同時に運転する。回転機器の主な仕様を第１表に示す。



第１図　試験環境模式図

第１表　機器の主な仕様

機器	出力	回転周波数
ターボポンプ	1.5kW	48Hz
容積式ポンプ	3.7kW	10～30Hz
軸受試験機	1.5kW	24Hz

P2301-08_解説- IIU-5wt.indd　1　2023/01/27　10:01:01

音響診断による設備監視効率化…(2)

指向性マイクはaudio-technica製ショットガンマイクAT8015を使用し、サンプリングレート44.1kHzでデータを取得した。

(2) 異常の付与

軸受の内輪にハンドグラインダーで傷加工を施し、ターボポンプまたは軸受試験機に組み込むことで、回転機器の異常状態を模擬した。ターボポンプと軸受試験機は同じ型式の軸受が組み込める仕様となっており、同一の異常付与軸受を使用した。第２表に軸受の主な仕様を示す。

第２表　軸受仕様

軸受型式	深溝玉軸受 6304
内輪傷周波数	212Hz（軸回転周波数 48Hz の場合） 106Hz（軸回転周波数 24Hz の場合）

(3) 試験条件

各試験における回転機器の状態を第３表に示す。

第３表

試験番号	軸受試験機	ターボポンプ	容積式ポンプ
1	正常	正常	正常
2	正常	異常	正常
3	異常	正常	正常

3. 分析

(1) 使用ソフトウェア

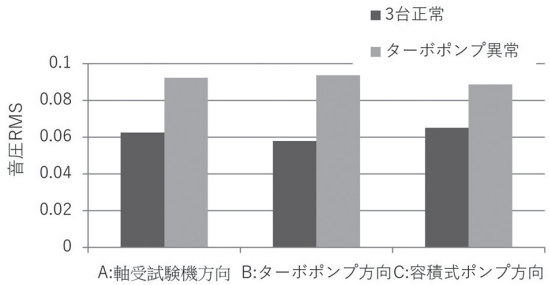
取得した音響データの分析には、当社製の時系列データ解析ソフトウェア Sigma（シグマ）を使用した。Sigmaは振動や音響データ等、任意の時系列信号の分析や管理を直感的な操作で行うことができ、即座にデータを可視化したい場合や、プログラムを書くことなく詳細な分析を行いたい場合に適している（第２図）。

(2) 音圧レベルの比較

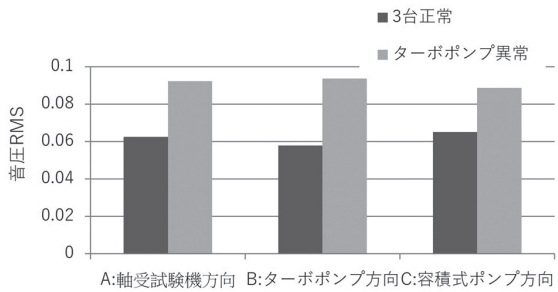
試験１（３台正常）と試験２（ターボポンプ異常）における、指向性マイクで取得した音圧



第２図　信号解析ソフトSigma



第３図　指向性マイク音圧RMS（試験１、２）



第４図　無指向性マイク音圧RMS（試験１、２）

RSMの結果を第３図に示す。図中のＡ～Ｃはマイクの向きの違いを表している。また、比較として、無指向性マイクの場合の結果を第４図に示す。

いずれの場合においても、試験１より試験２の音圧RMSが大きくなっており、ターボポンプの異常を捉えている。

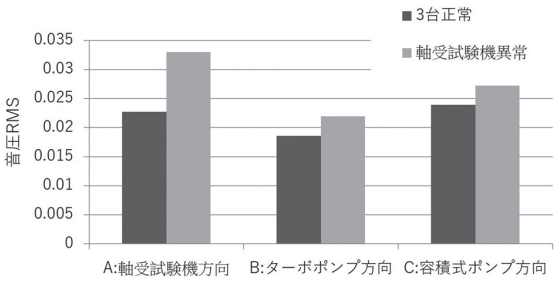
指向性マイクでは、ターボポンプ方向に向けて取得したデータの場合、正常時に対する異常時の音圧の増大率が顕著に大きく、３台のうち

P2301-08_解説- IIU-5wt.indd　2　2023/01/27　10:01:01

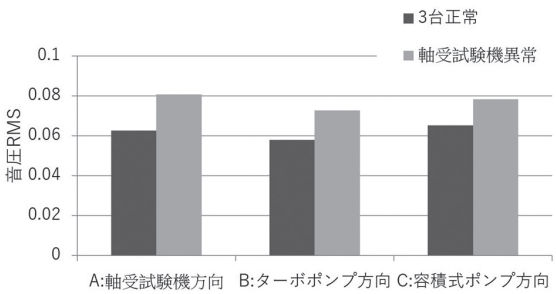
音響診断による設備監視効率化…(3)

ターボポンプに異常が発生していることを示す結果となっている。一方、無指向性マイクでは当然のことながら、マイクの方向による大きな違いは見られない。

試験１と試験３の指向性マイクの結果を第５図に、無指向性マイクの結果を第６図に示す。異常時の音圧レベルの増大率はターボポンプ異常の場合ほど大きくないが、全体としては同様の結果が得られており、指向性マイクのデータは、軸受試験機に異常が発生していることを示している。



第５図　指向性マイク音圧RMS（試験１、３）

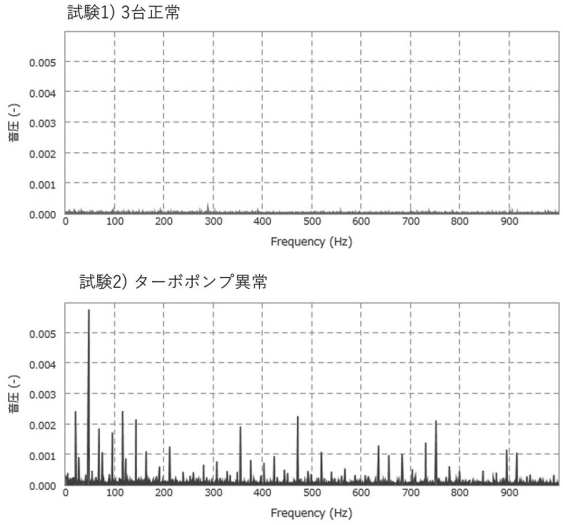


第６図　無指向性マイク音圧RMS（試験１、３）

(3)　周波数分析結果

試験１と試験２の取得信号に対し、1kHzのハイパスフィルター処理を行った後に、エンベロープ処理を行った周波数スペクトルを第７図に示す。この処理は、振動診断では一般的に用いられる手法で、高周波帯の衝撃振動の周期性を抽出する効果があり、特に軸受異常の検知に有効である。

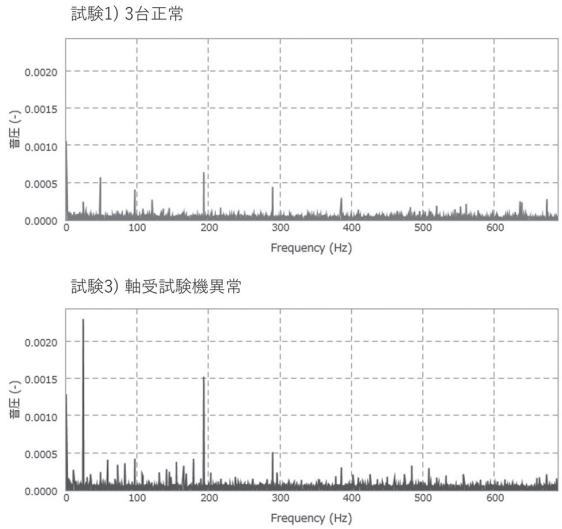
正常時と比較し、軸受異常時のエンベロープ



第7 図　エンベロープFFT
（指向性マイク、ターボポンプ方向）

FFTは、内輪傷を示す周波数（212Hz）にピークが見られる他、軸回転周波数（48Hz）間隔の多数のピークが現れており、内輪傷を示す典型的な周波数スペクトルとなっている。音響診断においても、振動診断と同様の手法で異常原因の特定が可能であることが分かる。

試験１と試験３の比較を第８図に示す。軸受



第８図　エンベロープFFT
（指向性マイク、軸受試験機方向）

P2301-08_解説- IIU-5wt.indd　3　2023/01/27　10:01:01

音響診断による設備監視効率化…(4)

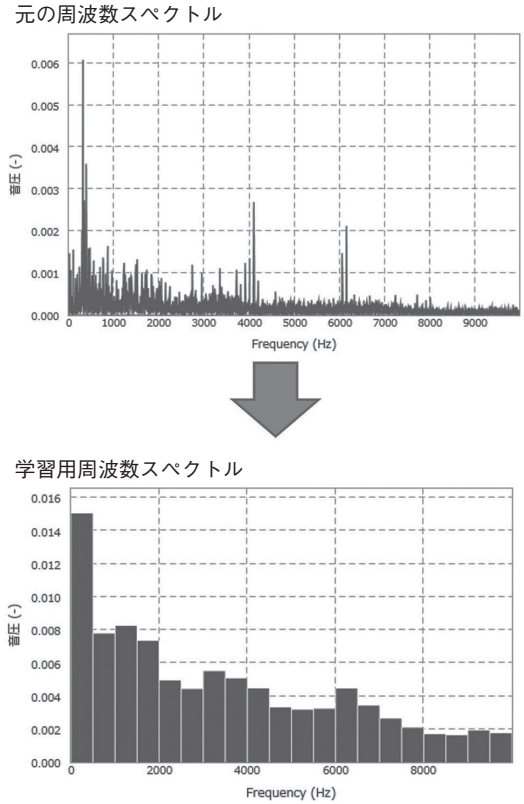
試験機の異常は、ターボポンプほど明確ではないものの、軸回転周波数（24Hz）や、軸回転周波数間隔の複数のピークが現れており、内輪傷を示唆する信号となっている。

(4) 機械学習による異常検知

次に異常の検知性の向上を目的とし、SigmaのAIモジュールの機能を用いて機械学習による異常検知手法を適用した。

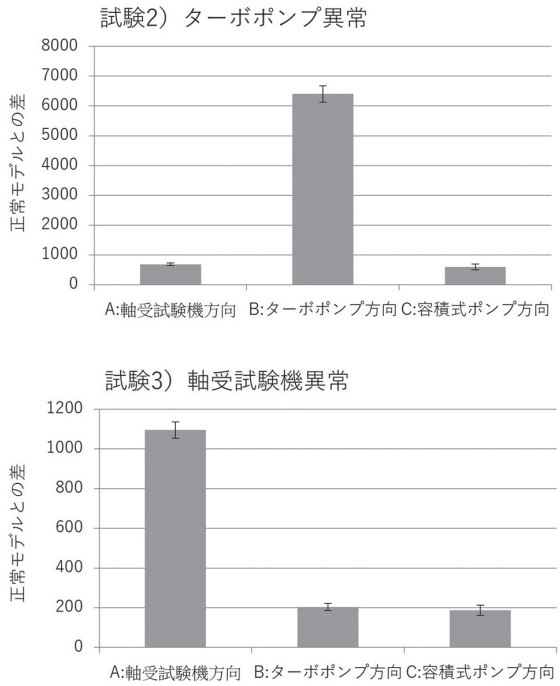
本手法は、正常時のデータ群の特徴量（特徴ベクトル）をモデル化し、そこからの逸脱度合をマハラノビス距離により評価するものである。設備診断において、異常時のデータを数多く入手することは通常困難であるため、本手法のように正常時のデータのみから評価する手法は実用的である。

特長ベクトルとしては、0～10kHzの周波数スペクトルの周波数分解能を落とした、20次元のベクトルを用いた。第９図に周波数スペクトルから特徴ベクトルへの変換例を示す。Sigmaでは、特徴ベクトルを任意の周波数帯と次元数に調整することが可能である。



第９図　周波数スペクトルから特徴ベクトルへの変換例

第10図に指向性マイクで取得したデータについて、マハラノビスで評価した正常モデルとの差（以下、異常スコア）を示す。マイクの方向の違いで比較すると、異常がある機器に向けた場合の値は顕著に大きく、音圧レベルでの評価よりも明確に異常の発生源を特定可能となっている。なお、学習に用いていない正常データを評価した場合の異常スコアは平均で1.7程度であり、いずれの方向を向けた場合でも異常の発生は明確に捉えている。



第10図　指向性マイク取得データの
マハラノビス距離による評価

4. おわりに

複数の回転機器が運転している環境下において、指向性マイクを用いた音響診断により、異

P2301-08_解説- IIU-5wt.indd　4　2023/01/27　10:01:01

音響診断による設備監視効率化…(5)

常の検知および異常発生機器の特定が可能であることが確認できた。また、機械学習を用いることで、異常の検知性と異常発生源の特定性が大きく向上することが示された。

振動診断と比較して、様々なノイズの影響を受けやすく、S/N比が落ちるという欠点はあるものの、適切なデータ取得方法や信号処理・診断手法を用いることで、設備診断の効率化に資する技術になるという見通しが得られた。

【筆者紹介】

角皆　学

㈱IIU　統括研究員

＜主なる業務歴および資格＞

東京大学システム量子工学科卒。2008年より㈱IIUで設備診断・機械学習・AI等の研究を行うほか、ソフトウェア開発を行う。

＜会社の主な事業内容＞

設備診断技術の研究開発を行うほか、近年は画像AI技術を用いたサービスの開発と販売を行っている。

P2301-08_解説- IIU-5wt.indd　5　2023/01/27　10:01:02