点検・診断の最新ソリューション

～TPM®優秀商品賞の技術～

◆プラント機器音響診断システムAMADIS-01◆

株式会社 IIU　**堀　　輝人**

トヨタ自動車株式会社　**佐々木圭介**

Plant Engineer Mar.2016

TPM優秀商品賞

プラント機器音響診断システムAMADIS-01

株式会社 IIU **堀　輝人**
トヨタ自動車株式会社 プラント・環境生技部 **佐々木圭介**

1 はじめに

工場内に設置されているさまざまなプラント機器(コンプレッサー、ポンプ、空調機等)に関し、稼働中でも手軽にかつ一定の精度を有した異常診断を行えるシステムの需要が高い。従来は、これらのプラント機器に対し振動センサーを用いた診断・保全を実施している現場が大半であるが、その信頼性と引換えに運用上の問題点も多い。

たとえば、振動センサーはその取付け法や取付け位置によって計測値が大きく変わってしまうため保全作業員に比較的高度な専門知識が要求されるとともに、設置作業を含めた計測にかかる工数も多く、手間やコストの観点からも効率的な手法とは言いがたいのが実情である。また、稼働状態のプラント機器を診断する場合、センサーを設置する計測点へのアクセスに多大な危険をともなう環境も多く、安全面から見ても、簡易な作業のみで完結可能な計測手法にはなっていない。

図表―1　AMADIS-01 の外観



これらの問題点を排除した計測器として、音響センサー(マイクロフォン)を用いた機器診断システム AMADIS（Acoustic Measurement And Diagnosis System）-01 を考案し、開発を行った。本診断システムは安全・手軽・高精度を特長としており、人的コスト・補修コストの両面から保全コストの削減を実現できる製品である。本体は可搬型で、そのロッド部を伸縮構造としたことで作業員が 2m の距離から計測・診断を実施でき、終始安全性が確保された位置からの作業が可能である。

また、音響センサーが組み込まれた装置先端の音波検知部を測定対象部位へ押し当てるだけで計測準備が完了し、手元の操作盤上の測定ボタンを押すだけで測定結果および診断結果が瞬時に自動で表示される簡易設計である。そのため、作業員の特別な専門知識を必要とせず、誰でも手軽に計測・診断作業を行うことが可能である。計測や診断に関する精度・異常検知能については、従来の振動加速度センサーとの比較実験により、振動診断と全く同等の精度で計測および診断・評価可能なことを検証した。

このような特長を持った機器診断システムの導入により、保全の大幅な効率化やコスト削減が期待できる。

2 AMADIS-01の装置構成

本装置は、信号取得部・操作部・データ処理部・管理診断部が本体に全て備わったオールインワンタイプの可搬型製品である(**図表―1**)。

具体的な構成としては、装置先端に音響センサーと集音カバーを備え、伸縮ロッド内部を信号線が通り、末端の手持ちグリップ部直上にはタブレット PC と A/D コンバーターを保持したホルダー部を備える。また、グリップ内部には自立用の三脚を内蔵している。

装置先端の集音カバーは取外しやサイズ交換可能な構造となっており(**図表—2**)、測定対象や目的によって柔軟に形状変更が可能である。本装置のセンサーはマイクロフォンであるため非接触計測が可能であるが、測定精度が要求される場合には集音カバー先端を測定対象に押し当てる方式を推奨している。この際、ロッドを垂直に押し当てる必要がなくなるよう、集音カバーの根元には角度許容範囲の広いフレキシブルな機械構造を用いており、斜角押当て時にも負荷を逃がせる構造としている(**図表—3**)。

伸縮ロッドは、その多段接続部を捻るだけで自在に伸縮でき、全長 910mm から 2060mm まで、状況に合わせた長さに調節が可能となっている。

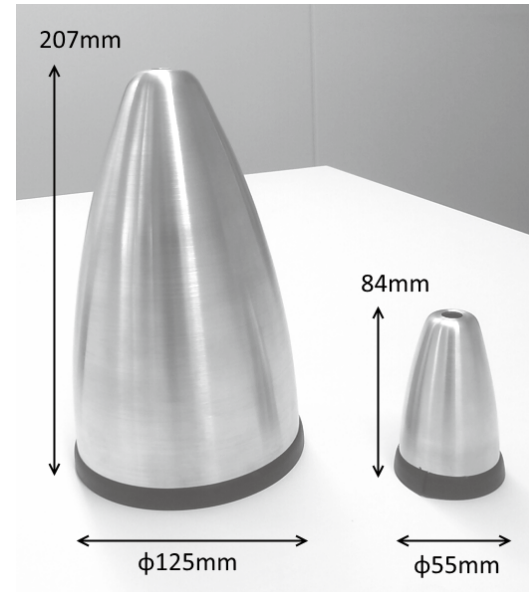
測定条件の設定や測定・判定・波形表示等の操作は、ホルダー部に設置されているタッチパネル式 Windows タブレット PC にて行う。本製品に付属の専用ソフトウェア上で FFT やトレンド管理まで行うことができるが、データを取り出して別の PC で作業を行うことも可能である。

3 専用ソフトウェアの機能

付属の専用ソフトウェアは主に 3 つのタブから成る。それぞれ『測定タブ』『トレンド管理タブ』『詳細設定タブ』である。

測定タブ(**図表—4**)では、測定実行・タグの新規追加や選択を行うことができ、測定結果波形の表示・各種診断パラメータ値の表示・判定結果の表示が同時に行われる。波形は時間波形と FFT スペクトル表示を切り替えることが可能で、タッチ操作による拡大・縮小機能も備えている。異常判定結果の表示については、パラメータごとに設定された 2 段階の閾値により、『良好域＋緑色背景』『注意域＋黄色背景』『危険域＋赤色背景』のいずれかが瞬時に表示される。診断パラメータとして現状で搭載しているものは、分散値・RMS・クレストファクター・エンベロープ RMS・FSA(FFT スペクトル平均値)

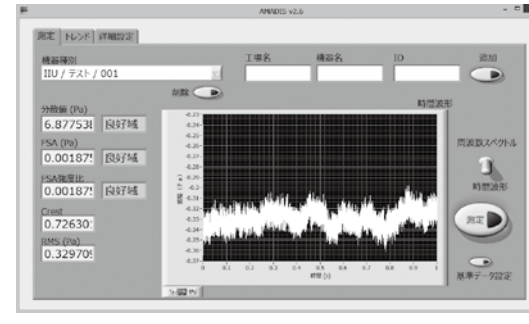
図表—2　集音カバーのサイズ例



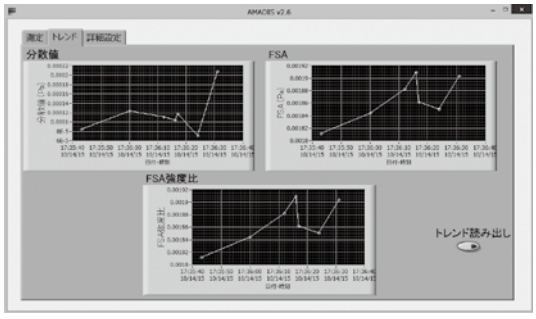
図表—3　押当て測定のイメージ



図表—4　専用ソフトウェアの測定タブ



図表—5　専用ソフトウェアのトレンド管理タブ



図表—6　専用ソフトウェアの詳細設定タブ

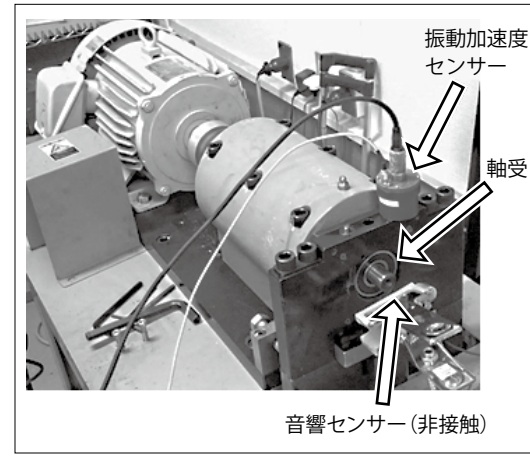


である。FSA は、ある周波数帯を切り出して FFT 振幅の平均値を計算するものであり、特定の診断に有効であることが確認できている。なお、本タブ内にある測定ボタンを押すと、測定実行と同時に、その生データおよび各診断パラメータ値が自動的に CSV ファイルとして保存される仕様となっている。

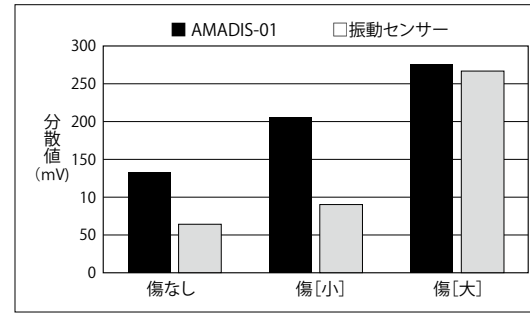
トレンド管理タブ(**図表—5**)では、選択中のタグに対し、繰返しの測定を行った過去のデータ群に関して各診断パラメータの値を時系列にプロットしたトレンド管理グラフの確認が可能である。このグラフでは、横軸の時間軸に関して実際の時間間隔に比例した位置に過去データがプロットされるため、定期測定に限らず不定期に測定を繰り返した場合でも、その傾向が一目で正確に把握できる特長がある。

詳細設定タブ(**図表—6**)では、サンプリング周波数や測定時間長の設定・各診断パラメータの判定閾値設定・診断パラメータの計算法(フィルター等)に関する設定・診断パラメータの追加表示設定等を行うことができる。閾値は、

図表—7　軸受試験装置とセンサー設置位置



図表—8　軸受傷と信号強度の相関性



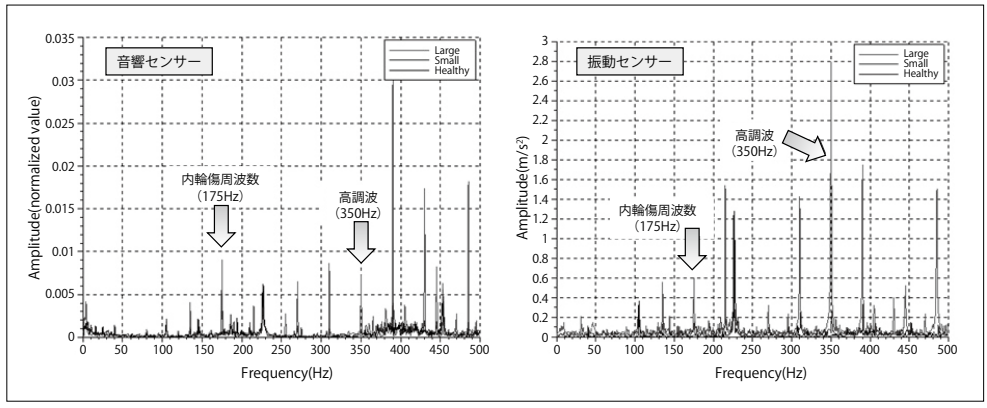
タグごとに異なる値を設定可能である。また、用途や使用環境によって必要な診断パラメータも異なることが想定されるため、購入時のオプションとして、任意の診断パラメータをソフトウェアに搭載するカスタマイズサービスも行っている。

4 測定精度の検証結果

本装置が、従来の振動診断と比べて、どの程度の異常検出能力や測定精度を備えているか検証するため、いくつかの実験設備を用いて実際にデータ取りを行った。音響センサーと比較するための振動加速度センサーには、高精度である一般的な ICP タイプの製品(PCB 社製 608 A11)を用いた。

初めに、ポンプを模擬した軸受試験装置(**図**

図表—9
FFT スペクトルでの信号比較

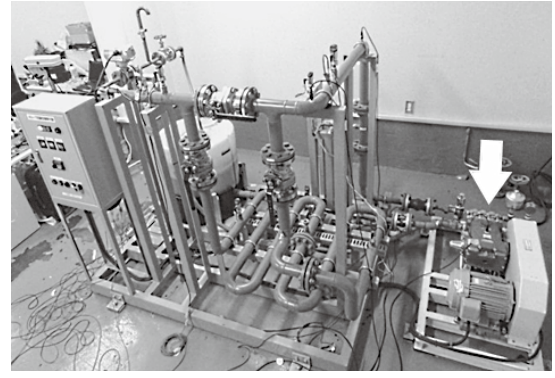


表—7）を使用し、軸受の傷検知実験を行った。軸受の内輪に小さな傷を付けたもの・大きな傷を付けたもの・傷なしのものの 3 種を用意し、試験装置の同じ位置に順番に設置して、2400rpm で回転させた際の測定値に違いが出るか比較を行った。実験の結果を**図表—8** に示す。この結果を見ると、音響センサー（AMADIS-01）、振動センサーともに軸受傷の程度に応じた強さの信号が得られており、同等の精度で傷検知ができていると言える。

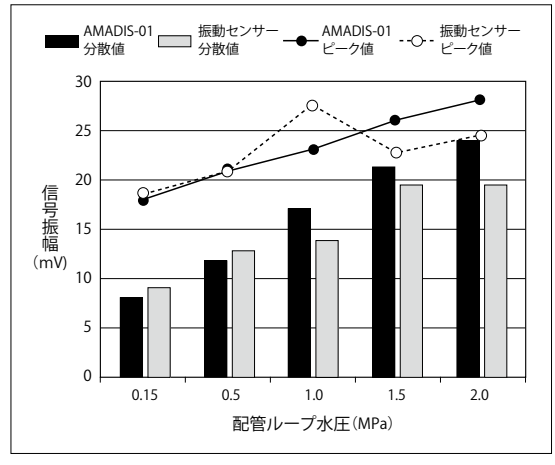
また、S/N（信号対雑音比）の比較も兼ねて、それぞれの測定データに関する FFT スペクトルでの信号比較を行った（**図表—9**）。どちらのセンサーでも、内輪傷周波数にあたる 175Hz およびその高調波 350Hz の信号が明瞭に現れており、ノイズフロアのレベルも十分に低いことが確認できる。とくに本実験のデータでは、FFT 図から S/N を算出した場合、振動センサーよりも音響センサー（AMADIS-01）の方が高い S/N を持つことがわかった。

次に、配管ループ試験装置（**図表—10**）を用いて、正常な状態でループ水圧のみを変えた場合の信号変化を比較した。センサーは、図表—10 に矢印で示したプランジャーポンプのピストン付近に設置した。水圧は、0.15MPa、0.5MPa、1.0MPa、1.5MPa、2.0MPa の 5 通りに設定し、それぞれ安定した運転状態での動作音や振動値を測定した。実験の結果を**図表—11** に示す。これを見ると、振動センサーでは中・高圧ではピーク値でも分散値でも水圧順の信号

図表—10　配管ループ試験装置とセンサー設置位置



図表—11　配管ループ水圧と信号強度の相関性



強度にはならず、設備の運転状態を正確に把握することができないことがわかる。一方、音響センサーでは、ピーク値も分散値も水圧と線形の関係で信号強度が変化しており、設備に異常がないときでも、その動作状態を非接触で精度

良く把握できることが確認できた。

以上の結果から、音響センサーでも AMADIS-01 のように指向性を考慮したセットアップで測定を行えば、振動センサーと同等以上の精度で計測可能なことが検証できた。したがって、振動センサーを用いた接触測定ではこれまで測定ができなかった回転部位等や、安全性の面からセンサー設置が危険な部位の測定・診断も、AMADIS-01 を用いることで効果的に実施できるようになる。

5 高い安全性・経済性

本製品は、安全・手軽・高精度を同時に実現することを特長とした装置であり、人的コスト・補修コストの両面から保全コストの削減を達成するコンセプトで開発された製品である。

測定は遠隔から行うことができ、操作には専門的知識を必要とせず、安全性を確保しながら初心者でも短時間で診断・点検作業を行うことが可能である。保管時や測定中断時には、グリップ下端に内蔵された自立用三脚で仮置きができる構造となっている。そのため、作業員に要求される質の面でも、作業にかかる時間的な側面からも、人件費の大幅な削減が可能である。また、装置を構成する各部品はそれぞれ単独で交換できる構造となっているため、破損や紛失時も最小限のコストで復帰が可能である。

AMADIS-01 は従来の音響診断装置と異なり、測定対象の直近で測定することを推奨しており、それにより振動診断と同等以上の計測が可能となるとともに、ある程度具体的な異常部位の特定能力を有する。その結果、実際に振動診断と等価な有用性も確保でき、測定対象設備の補修コスト削減にも寄与できる製品となっている。

6 おわりに

本稿では、音響診断システム AMADIS-01 の機能や特徴と、測定精度検証実験について紹介した。非接触であるにもかかわらず振動診断と同等の精度を持ち、操作の手軽さと安全性確保を特長とする本装置を用いることで、保全コストの大幅な削減が可能である。

現在開発済みの装置形状としては、伸縮ロッドタイプの本モデルのみであるが、コンパクトモデルや常時監視用の常設用モデル等、製品ラインナップを増やす取組みもすでに開始している。

今後も、保全効率化に有効と考えられる新システムに関し、ハードウェア・分析ソフトウェア問わず、革新的な技術および製品の開発を継続していく予定である。

