

Acoustic Expert—プラントを音響監視診断する

Acoustic Expert - We Listen to Your Plant



Anna Mayrhofer*¹ Franz Hartl*¹

Andreas Rohrhofer*¹

Primetals Technologies の Acoustic Expert システムは、各種プラントの保守を支援する新しいアプローチである。稼働中のプラントの装置のさまざまな音から、その装置の状態に関する情報を得ることができる。これらの音を録音し分析することで、設備のみならずプロセスの監視などの幅広い分野への適用が可能である。この24時間年中無休の音響監視システムは、予知保全の新しい方法を可能にする。環境プラント、製鉄設備、鋳造・圧延、マテリアルハンドリング等へ適用されていることが、このシステムの汎用性を示している。いくつかの適用例を元に、この音響監視システムについて詳細に解説し、その得られた結果も紹介する。

そして、主な利点と見通しを述べる。

1. はじめに

プラント保守にかかるコストは、総生産コストの相当の部分占める。すべてのプラントでは、保守にかかるコストを可能な限り削減し、同時に純粋な修理コスト及び生産停止の結果として生じるコストを低減するために4つの戦略が存在する。どの戦略がもっとも適当であるかは、装置ごとに個別に決定する必要がある(図1)。

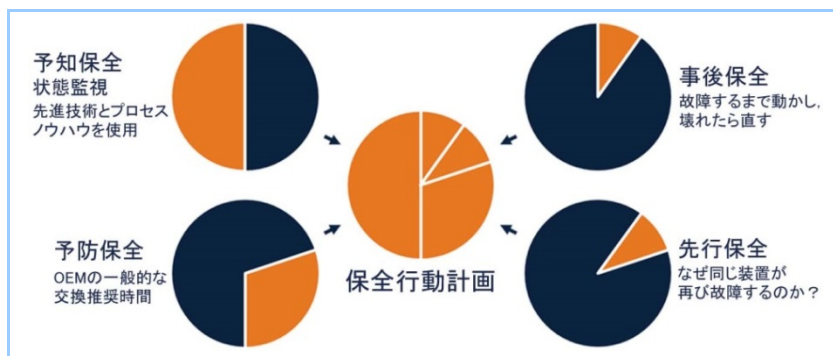


図1 保守戦略

本報告では、予知保全、または状態に基づく保全(状態監視)に重点を置く。装置の状態を判定して残りの寿命時間を推定するために、いくつかの測定技術が適用される。そうすることで、計画外の停止を最小限に抑え、計画された保守停止を有効に活用することができる。

ほとんど使用されないひとつのアプローチは、経験豊富な保守作業員の聴覚分析能力を模して、向上させた音の分析であり、それは発せられる音だけで装置の状態を判定することができる。

*1 Technology & Innovation, Electrics & Automation Iron, Steel & Casting; Primetals Technologies Austria GmbH

さまざまな装置が稼働しているとき、特定のコンポーネントに特有の、他とは異なる音を検出することができる。このような音から、装置の現在の状態を非常に正確に把握することが可能である。

2. Acoustic Expert

2.1 基本概念

この生体工学的なアプローチを使って、Primetals Technologies は Acoustic Expert システムを設計した。Acoustic Expert は、マイクロホンやハイドロホンのような音響センサーを使ってプラント機器や構成装置を継続的に監視する。このような音の分析は、機器が適切な状態で動作しているか否かを監視診断する。このシステムは、新しい分野でのプラント機器の監視や動作モードの検証を可能にする。このシステムにより、例えばバルブステーションの漏れ検出や切り替え動作の監視、及び連続鋳造プラントにおけるトーチ切削機械のノズル監視などを実現することができる。

プラント機器から発生する音の長期的分析により、クリープ摩耗の検出や客観的な状態判定が可能になる。これにより保守作業者の作業、精神的負担は軽減され、製鉄プラント内の他の重要な作業へ集中できるようになる。

2.2 システム構成

このシステムは主に、音響センサー、シグナルプロセッサ及び評価システムで構成される。プロセスの更なる情報が必要な場合は、産業用インターフェイスが使用される。洗練された数学的な音響分析アルゴリズムが、確実な分析を可能にする。そのため、バックグラウンドの騒がしいノイズによって結果が干渉されることはない。音響データは分析のためだけに録音され、処理後に消去される。さらに、プライバシーを維持するため、Acoustic Expert は作業者の声を特定することはない(図2)。

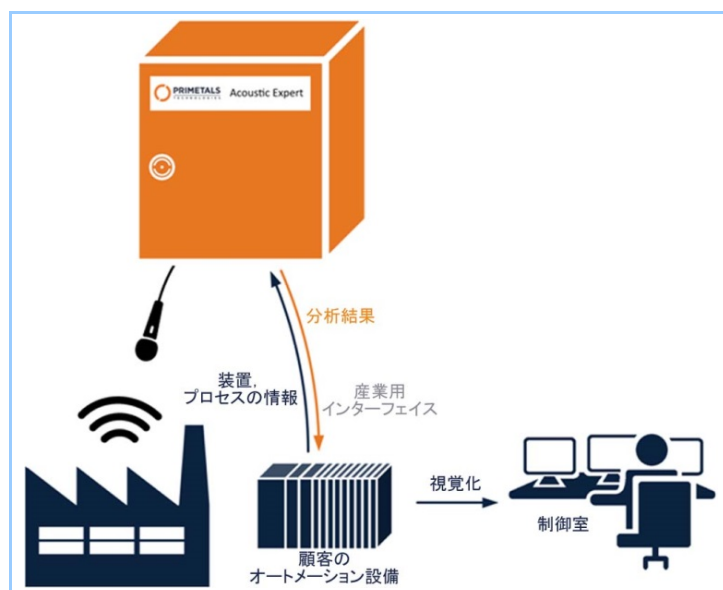


図2 Acoustic Expert システム概要

2.3 鍵となる特徴

音響分析アルゴリズムは、主に信号の特性を表す鍵となる特徴に基づいている。鍵となる特徴はフーリエ変換を利用して時間領域の信号に基づいた計算で周波数領域を示す。

以下の式にフーリエ変換の定義を示す。

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

継承された離散フーリエ変換 (DFT)

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-i\frac{2\pi}{N}nk} \quad k = 1, 2, \dots, N-1$$

及び分割統治法を使って、高速フーリエ変換 (FFT) を得る。

2.4 バグフィルタバルブ監視

Acoustic Expert は、焼結工場の乾式除塵システムで初めてテストされた(図3)。このバグフィルタプラントでは、特別な高流量ソレノイドバルブを作動させることによってバグフィルタが洗浄され、その作動時に特徴的な音を発するクリーニングパルスが生成される。この場合、Acoustic Expert はクリーニングバルブの音によりプラントを監視する。その音はさまざまな特徴と共に記録及び分析される。更なるプラント情報、例えば実際に作動したバルブ情報は、産業用インターフェイスにより受信される。各クリーニングパルスの音響情報は記録され、直ちに評価される。データの評価後、結果は顧客の操作画面であるHMI(ヒューマンマシンインターフェイス)で視覚化される。

Acoustic Expert が導入されるまで、この種のプラント監視診断方法は、製鉄業界でこのような用途では使用されていなかった。



図3 乾式除塵プラント

2.5 システムの柔軟性

Acoustic Expert システムはオンライン接続と組み合わせることで、クラウドベースのサービスとして利用することもできる。クラウドを使用すれば、さまざまな異なるプラントの監視情報全体を1つのデータベースに統合することができる。この場合、システムをローカルのITネットワークから分離すれば、完全なスタンドアロンな監視ソリューションを実現することができる。HMIによる視覚化に加え、エンドユーザはモバイルデバイス上の直感的なアプリを使い、指先で触れるだけで分析結果を利用できるようにもなる。

3つの異なるクリーニングバルブの結果を図4に示す。上部の緑色の部分は、正常動作のプロセスを表す。下部の赤い部分は異常動作を表す。過去の履歴に加えて、異常状態の種類も表示される。

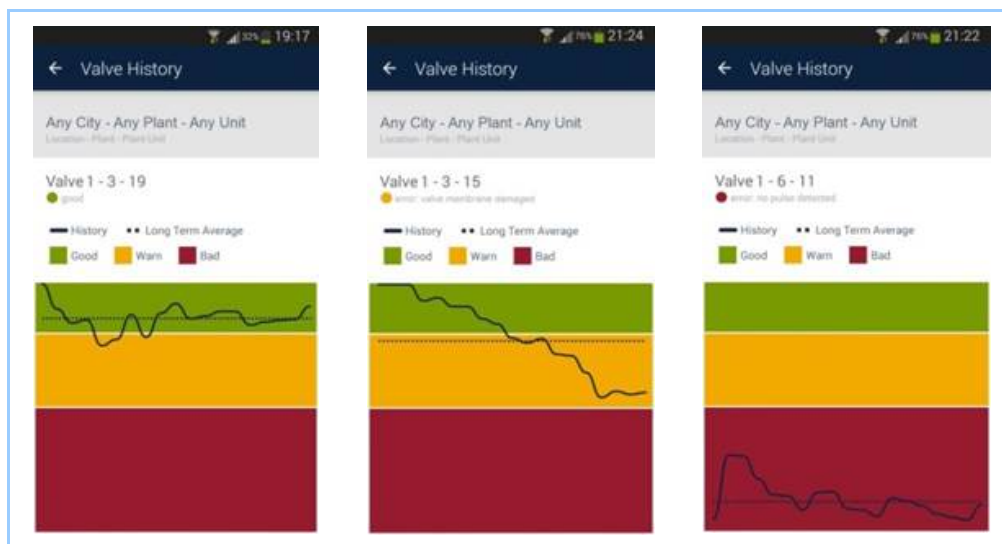


図4 モバイルデバイスにおける3つの異なるバルブ性能の視覚化

3. 広範な用途

さまざまな試験施設での実績により、重工業に留まらず、主に生産と保守を支援するため、継続的な診断システムを提供できる。Primetals Technologies は、プラント使用者と協力して、製鉄機械の保守と運用を可能な限り簡単に行うためにこの技術の普及を目指している。Acoustic Expert システムの柔軟性は、新しい分野での用途を継続的に開拓することを可能にする。以下、具体的用途の例について述べる。

3.1 ベルトコンベヤ間の受け渡し部での材料の品質及び種類の検知

搬送される材料はベルトコンベヤ(図5)の受け渡し部で落下音を発生する。搬送される材料が異なると、音の特徴も異なる。例えばアルミニウムの音が石灰の音とは異なるように、細かい砂と粗粒の材料は異なるパターンの音を発する。Acoustic Expert はこの現象を使い、材料の種類を自動的に特定する。



図5 ベルトコンベヤ

図6に、2つの異なる材料の分析結果を示す。主要な 20 の特徴が分析され、相互に比較される。図内の各線は 10 秒間の記録を示す。この2つの材料の主な違いは、F1, F2, F3, F4, F17, F18 に現れている。

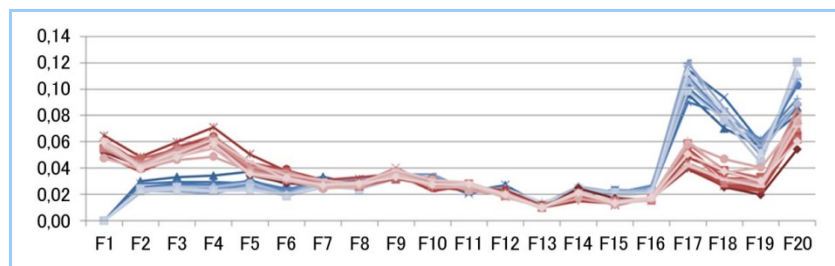


図6 各特徴において種類の異なる2つの材料を分析した結果

主要な特徴の分析の違いを使って、Acoustic Expert システムは数秒で材料の種類を特定する。監視するベルトコンベヤが多くの種類の材料を運ぶときほど、材料の区別にはより多くの特徴が必要となる。運ばれる材料の種類の区別の他、Acoustic Expert は粒度を判別することにより、材料の品質の良否を判定することもできる。

3.2 連続鋳造機におけるトーチカッター

連続鋳造機の終端にあるトーチカッター(図7)は、プラントのシームレスな運転に不可欠である。スラブの切断に失敗すると、予定外の生産停止状態により望ましくない損失を生じる。Acoustic Expert は、切断プロセス中に発生する音を監視する。発せられた音の評価によって異なるプロセスの段階(表1)を検知した後、ガスの混合レベルの判定情報、更には切断の品質に関する判定情報も提供し、トーチカッターノズルの現在の状態を診断する。さらに、別の利点としては、スラブ切断の成否を検知することである。



図7 連続鋳造機のトーチカッターノズル

表1 トーチカッタープロセスステップ

プロセスステップ		
名称	説明	シーケンス
スタンバイ	着火準備	1-7
切断準備	ガス流量増加	8-14
同調	トーチカッター設置固定	17-19
切断段階 A	切断開始	20-25
切断段階 B	切断完了	26-60

分析のために記録は約3秒間のシーケンスに分割され、3つの特徴(F1~F3)を基に分析される。単一のシーケンスに関する分析結果を図8に示す。定義された3つの特徴F1~F3に従い、異なるプロセスステップ(表1)を評価することができる。

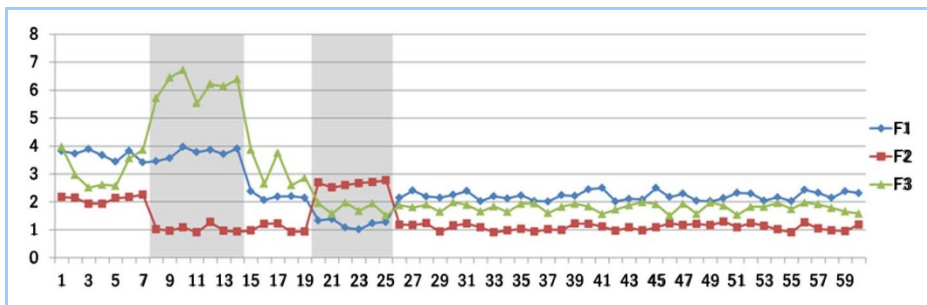


図8 トーチカッター分析結果

3.3 スプレーノズルの監視

現在注目されている分野の1つに圧延機がある。スプレーノズル(潤滑用及び冷却用)のための監視ではすでにテストがなされている。スプレーノズル使用時に発せられる音を使用して、さまざまな詰まり状態を判定することができる。Acoustic Expert システムでは更に摩耗の監視も可能である。

スプレーノズルは他の分野でも多く使用されるので、同じ原理を使って、例えば連続鋳造プラント(図9)の冷却ノズルなどにも、Acoustic Expert システムの適用が可能である。



図9 連続鋳造機用二次冷却ノズル

3.4 圧延機の監視

直近では主に、圧延機のギアボックスとスピンドルの監視でテストが実施された(図 10)。



図 10 ハイパーUCミル

4. 本システムの主な利点

- ・ いくつもの構成機器が同時に特徴的な音響スペクトルを示すプラント全体の監視が可能
- ・ ハードウェアの改善は最小限で済み、主にソフトウェアに基づくソリューションであるため、低コストでプラント監視が可能
- ・ さまざまな広い用途に対応可能
- ・ 鉄鋼業界以外の用途にも適用可能

5. 結論と見通し

あらゆる装置の状態を診断する古典的な方法は、人間が装置のところに出向き、そして装置を見て、触れて、聞くことである。Acoustic Expert はこの最後の“聞く”部分に着眼し、これを再現可能かつ定量化できるシステムに仕上げた。

すべての重工業の工場では稼働音や生産音が発せられるため、Acoustic Expert の適用範囲は拡大し続けている。新しい使用事例の実証試験は定期的に行われており、多くは大手製鉄会社との緊密な協力関係に基づいている。他の業界においても、このシステムの活用に大きな可能性がある。