

# 製造業 IoT 向け振動による異常検知

高橋 佑輔

製造業では、工場内のデータ利活用を目的としたIoT (Internet of Things) の普及を受け、効率的な現場データ収集と、設備保全効率のさらなる改善を結びつける、異常・予兆検知の顧客ニーズが拡大している。

人手不足や技能継承を背景に、人間の感覚を利用して異常を検知する官能検査には、これを自動化する顧客ニーズが多い。

OKIは、機械学習を用いた独自の振動解析アルゴリズムを用いて、「異常検知」への取組みを推進しており、本アルゴリズムを用いた異常検知の可否検証ができる評価キットをリリースした。また、本評価キットによるモーター出荷判定の自動化、金型のひび割れ検知、工作機械ボールネジの異常検知などで、実証実験を重ねている。

本稿では、振動を利用した工場の設備監視について、OKIの取組みを紹介する。

## 異常検知ニーズ拡大の背景

経済産業省のものづくり白書2017によると、直近の製造業では、現場力の維持・向上といった日本のものづくり産業の強みを活かすための人材確保、及び、付加価値の創出・最大化に向けたビジネス変革が、主要な課題として認識されている。これら課題へのアプローチとして、デジタルツールなどの活用が注目されており、日本国内工場では2017年時点で66.6%が何らかの現場データ収集を実施しているが、具体的なソリューションなどへの活用には至っていない<sup>1)</sup>。

また、工場設備の設備ビンテージ(設備年齢)率は、1990年代から近年に至るまで上昇傾向にあり、稼働率の向上、品質の維持・向上を目的に、老朽化する設備保全のさらなる工夫が求められている<sup>2)</sup>。

最近のIoTに対する関心の高さを受け、工場設備に各種センサーを取り付け、設備状態を常時監視し、異常検知への応用を期待する顧客ニーズが拡大している。

## 設備状態監視の2つのアプローチ

状態監視を「異常検知」と「異常診断」に大別する。

「異常検知」とは、設備の“いつもと違う”を検出し、設備異常の発生に気付く仕組みである。これまでは、熟練した作業員だけが感知していたような、気づき難い設備異常を、早期に検出する。

「異常診断」とは、設備異常の発生原因と、その時の設備状態を予め特定し、その設備状態の再現を監視する仕組みである。異常が発生した際に、いち早く異常原因を突き止め、復旧するためのアクションを取る。

## 高度な解析技術を用いた「異常検知」

「異常検知」は、異常診断と同様に、様々なセンサーデータや設備から出力される各種ログ情報を監視し、常時と異なる異常状態の発生にいち早く気付くための仕組みである。異常検知の一つとして、人間の知覚を利用した官能検査と呼ばれる手法がある。これは、音や振動などを利用する検査手法で、熟練した作業員が微妙な異常振動を手で触れて感知したり、いつもと異なる設備の稼働音を耳で聞き分けたりする。

官能検査は、熟練作業員の人材不足、教育に時間がかかる、作業員が違えば判定にバラツキが出てしまうなど、課題が多い。そこで、官能検査の自動化を目的に、機械学習などの高度な解析技術を応用することが考えられる。

## 様々な監視技術を用いた「異常診断」

「異常診断」では、設備の制御信号、エラーログ情報、温度、電流、電圧、トルク値、振動などを監視し、これらを組み合わせる様々な異常箇所や異常現象を突きとめる。

特定の構造を持つ設備は、JISやISOで、設備異常診断のガイドラインが定められており、これを元に、異常箇所や異常現象を突きとめる。モーター、ポンプ、ベアリングなどには振動を利用した異常診断が適用されている。

## OKI独自の振動解析アルゴリズム

OKIでは、機械学習を用いた独自の振動解析アルゴリズムを開発している。本アルゴリズムは、人間が耳で知覚する音に近い、高周波数帯の振動をレスポンスよく解析するためのものであり、官能検査の自動化への応用が期待できる。

本アルゴリズムは、もともと、社会インフラ市場での構造物の打音検査（トンネルなどの建造物の打音検査）を目的に開発された音響分析技術である。振動データの周波数の発生パターンの特徴抽出にNMF（Non-negative Matrix Factorization：非負値行列因子分解）を用い、機械学習One-class SVMを組み合わせ、異常検知の精度・パフォーマンスを向上させた<sup>3)</sup>。

OKIでは設備の異常検知への適用を目的に、本アルゴリズムを組み込んだ、「振動による異常検知 評価キット」を開発し、販売を開始した。本評価キットは、正常状態にある設備の振動データを基準として学習し、この基準からの外れ度合いをスコア値として、リアルタイムに画面表示するソフトウェアである。

本評価キットは、お客様の定期メンテナンスのタイミングを利用し、以下のようなフローに従って、OKIの振動解析アルゴリズムの適用可否が検証できるようデザインされている。

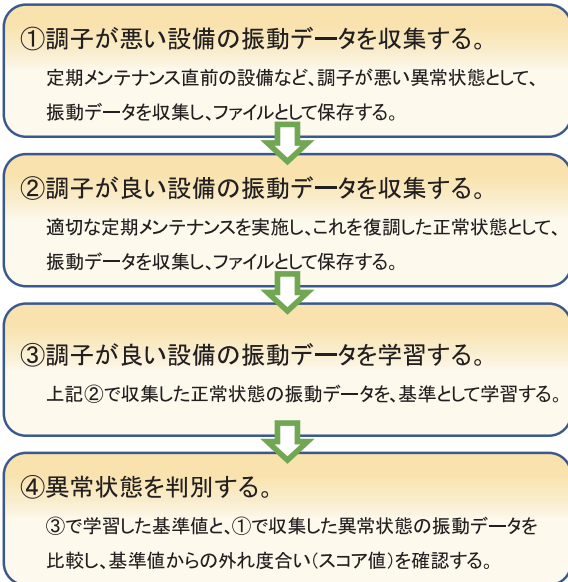


図1 適用可否の検証フロー

図1のフローにより得られた④のスコア値を確認し、異常状態であることが判別できていれば、異常検知の仕組みとして、OKIの振動解析アルゴリズムが適用でき、次

のステップとして、お客様の要望に応じたシステム化へつなげられる。

## OKIの振動解析アルゴリズムの活用用途

OKIの振動解析アルゴリズムは、官能検査を含め、製造業の様々な用途への活用が期待される。

設備機械メーカーにとっては、自社の保守サービス契約の中に、本アルゴリズムを用いた異常検知の仕組みを組み込み、工場現場で発生した設備異常をタイムリーに補足することで、稼働率の低下を防ぐための保守サービスへつなげることが想定される。

また、エンドユーザーにとっては、自社の工場設備の異常検知の仕組みとして導入することで、設備稼働率の維持・向上、不要・不急の保守メンテナンス費用の削減など、直接的な効果を上げることが想定される。

以降、いくつかの実証実験の事例を元に、本アルゴリズムの活用用途を紹介する。

### (1) モーター製品の出荷判定

これは、モーター製造の最終工程である出荷検査事例である。モーターの出荷検査工程では、振動（音）を用いた官能検査による出荷検査が行われており、検査担当者の育成やストレス低減が課題となっていた。そこで、この官能検査の自動化を目的に、振動による異常検知の仕組みの構築を検討している。

この仕組みでは、モーター製品に振動センサーを取り付け、試験的に数秒間モーター回転させて、その振動から出荷判定を行う。（図2：振動によるモーター製品の出荷判定）

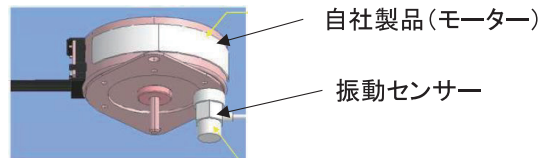


図2 振動によるモーター製品の出荷判定

本出荷検査では、正常製品と異常製品の振動は大きく4つのパターンが得られることが分かっている。正常製品から得られる振動は、振幅が大きなもの、小さなものが存在する。また、異常製品も同様だが、正常製品から得られる振動と比較して、振幅の波幅が大きい。振幅の閾値を設定した異常検知が一般的であるが、小さい振

幅の異常製品と、大きな振幅の正常製品が判別できない、という課題に突きあたる(図3)。

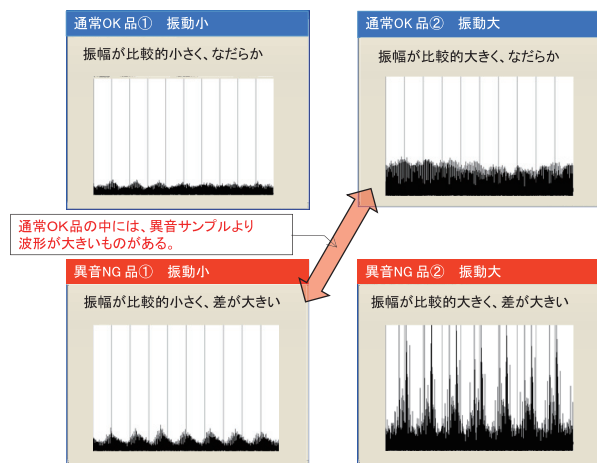


図3 モーター製品の正常・異常の振動データ

そこで、OKI独自の振動解析アルゴリズムを組み合わせ、一般的な判定方法では区別できないパターンへ対応した。本アルゴリズムを用いると、振幅の大小に関わらず、正常製品と異常製品が区別できる見込みがあることが分かった(図4)。

青：通常OK品① 振動小      黄：異常NG品① 振動小  
赤：通常OK品② 振動大      紫：異常NG品② 振動大

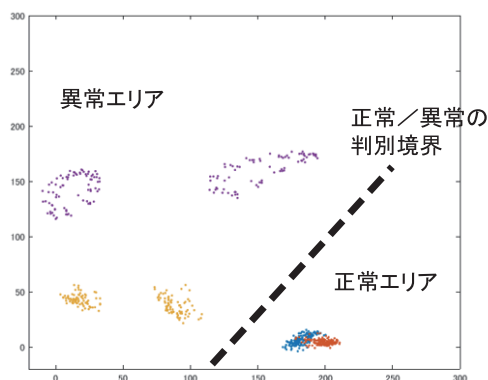


図4 OKI 振動解析アルゴリズムによる判定

本事例は、評価キットを用いた実証実験中であり、さらに多くのデータセットを利用した検証が必要であるが、官能検査の自動化に向けて、システム化を進めている。

## (2) 金型のひび割れ検知

これは、プレス加工で利用される金型のひび割れ検知の事例である。金型の磨耗や劣化によりひび割れが発生

すると、求められる加工精度が得られず、不良品の発生につながる。加えて、ひび割れの発生に気付かずにプレス加工すると、破片が飛び散ってしまう可能性があり、作業者の怪我につながる可能性もある。

大きなひび割れとなれば、目視で確認できるものの、微小なひび割れは目視でも確認しづらく、気付かないままプレス加工を進める可能性があり、現場の課題となっていた(図5)。



図5 プレス加工金型のひび割れ状況

そこで、金属棒に集音マイクを取り付け、金型を叩いてひび割れ有無を検知する仕組みを構築した。

数点のサンプル金型を用いて、OKI独自の振動解析アルゴリズムによる異常検知の可否検証をしたところ、新品、小さな傷あり、ひび割れありの3つの状態について、9割以上を検知できる見込みという結果を得た(図6)。



図6 ひび割れ検査に用いた金属棒とマイク

本事例では、さらに多くのデータによる検証に加え、具体的な運用への適用検討へ進んでいる。

## (3) 工作機械ボールネジの異常検知

これは、工作機械で利用されるボールネジの磨耗やメンテナンス不良による異常振動を検知する事例である。ボールネジは多くの工作機械などに利用される機構で、加工ヘッドの位置決めをする重要なものである。このボールネジに、磨耗、傷、錆びの付着などが発生すると、加工精度の悪化による不良品の発生につながってしまう(図7)。

ボールネジに異常が発生した場合、高周波数帯の振動（異常音）が発生することが多い。これは人間の耳で異音として聞こえるため、官能検査を行っている工場も多い。

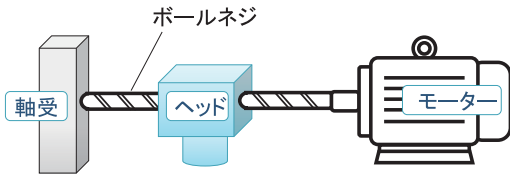


図7 一般的なボールネジの機構

現在、OKI独自の振動解析アルゴリズムを利用し、パンチ加工精度とボールネジ振動の相関解析を検討している。パンチ加工中のボールネジ振動を常時監視し、加工精度へ影響ありそうな異常振動を監視し、発報する仕組みへ繋がりたいと考えている（図8）。

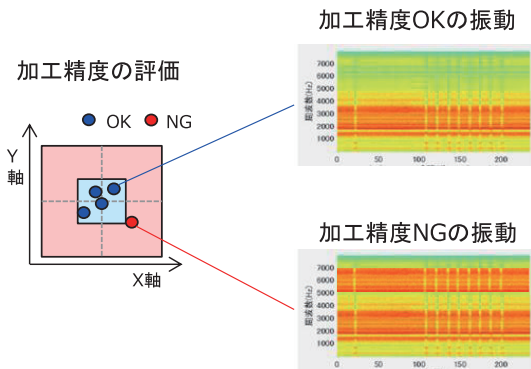


図8 加工精度と振動の相関を表す概念図

本事例は、技術的な難易度が高く、十分な検知精度の検証が今後の課題となっているが、センサー設置場所やケーブル配線方法など、設備への具体的な組込み方法を、さらに検討を進めている。

### OKIの振動解析アルゴリズムの展望

OKIの振動解析アルゴリズムを用いて、いくつかの用途で、異常検知に向けた有効性が確認されている。これまで熟練の作業が行ってきた官能検査を代表例とし、本アルゴリズムが適用可能な用途が、今後も出てくることを想定している。

また、製造業以外にも活用用途を求めることができると考えている。社会インフラ市場での保全の現場では、橋梁、鉄塔、トンネル、マンホールなど、音や振動を利用した異常検知が実施されており、製造業と同様に人手不

足を背景にした自動化への期待がある。

製造業のお客様を主たる対象としつつ、社会インフラ保全業務への展開も視野に入れ、本稿で紹介したOKI独自の振動解析アルゴリズムを改良し続け、今後も技術・ソリューション開発を進めていく。◆◆

### 参考文献

- 1) 2017年版ものづくり白書（経済産業省）  
<http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2017/index.html>
- 2) 平成25年度 年次経済財政報告（内閣府）  
[http://www5.cao.go.jp/j-j/wp/wp-je13/h05\\_hz020112.html](http://www5.cao.go.jp/j-j/wp/wp-je13/h05_hz020112.html)
- 3) 特開2017-151872、分類装置、分類方法、プログラム、及びパラメータ生成装置 平成29年8月31日  
特願2016-35641 平成28年2月26日

### 筆者紹介

高橋佑輔：Yusuke Takahashi. 情報通信事業本部 IoTプラットフォーム事業部 IoTソリューション推進部