

光ファイバーベース多点型レーザー振動計 ～設備監視の高精度化と省人化を可能に～

丹野 洋祐 木村 広太
藤井 亮浩 佐々木 浩紀

社会インフラを支える機械設備の老朽化が問題視され、IoTを用いた予兆保全が求められる今もなお、高性能な予兆保全システムが高価であるため人手による点検に頼らざるを得ない現状がある。そして、人手による点検には熟練工などの労働力不足という問題もあり、その頻度が定期的なものに留まるため点検が行き届かない。また、人手による点検では人間の五感を使うため、異常の検知精度が個人の感性に依存する。その結果、異常の検知が遅れて設備の故障が発生し、長時間のシステムダウンや高い修理コストに繋がってしまう。

一方、保守の観点では、重要な設備に対して定期的な交換や補修(TBM:Time Based Maintenance)を設備の想定寿命より短いサイクルで実施することで故障を回避しているため、余計なコストがかかっている。OKIは、設備が網羅的に常時監視され、その状態又は故障リスクに応じた交換や補修(CBM:Condition Based Maintenance、RBM:Risk Based Maintenance)が浸透した壊れない・止まらない社会インフラの実現を目指している。また、OKIは、光通信機器の製造と販売を通じて情報社会の発展に貢献してきた。その光通信の業界で培ってきた世界レベルの技術をより広い分野の発展に役立てるため、センシングに応用した成果が、本稿で取り上げる光ファイバーベース多点型レーザー振動計である。

非接触で多点の振動測定が可能な振動計である。レーザー振動計のコンセプトイメージを図1に示す。物体にレーザー光を照射した際に発生する散乱光を受光し、振動によるドップラー効果由来の波長の変化を検知することにより振動を測定する。さらに、光スイッチで照射光の方路を時分割的に切り替えることにより複数点での測定が可能となる。(原理や構成の詳細は参考文献1)を参照)レーザーを用いた振動測定の大きな特長は、接触型のMEMS(Micro Electro Mechanical Systems)加速度センサーでは困難な超音波振動を高精度に検出することが可能な点である。OKIが開発するレーザー振動計では、開発部門が保有する振動源の最大周波数である80kHzの振動測定が実験室で実現されている。一方、MEMS加速度センサーは自重により変化する固有振動を持つため、簡単なマグネットによる固定方法の場合5kHz以上の正確な測定が困難である^{1),2)}。図2はOKIのレーザー振動計とMEMS加速度センサーで10kHzの振動を測定した結果である。(a)はスペクトル、(b)は時間波形である。レーザー振動計のスペクトルは純粋な10kHzの振動のみ検出され、時間波形も雑音の無い正弦波が検出されている。一方MEMS加速度センサーのスペクトルは10kHzの整数倍の高調波が生じ、この影響により時間波形に歪みが生じ、実際とは異なる振動が検出されている。このようにレーザー振動計では超音波振動を共振の影響を受けずに測定することが可能である。

光ファイバーベース多点型レーザー振動計

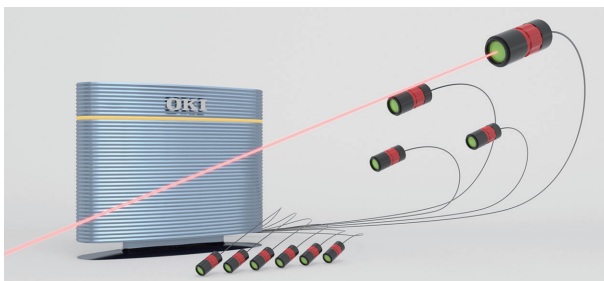


図1 光ファイバーベース多点型レーザー振動計のコンセプトイメージ

光ファイバーベース多点型レーザー振動計(以下、レーザー振動計)は、複数の振動物体にレーザー光を照射し、

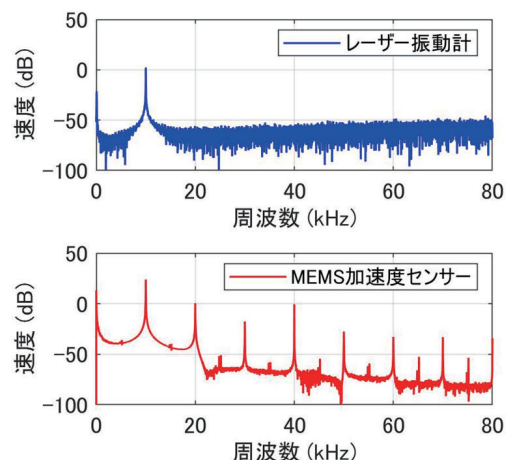


図2(a) スペクトル波形

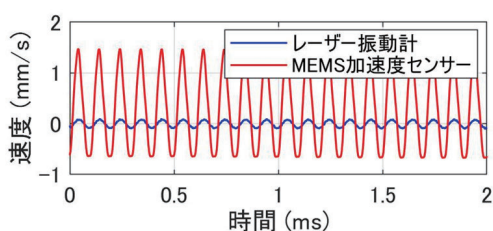


図 2(b) 時間波形

図 2 MEMS 加速度センサーとの比較

産業用回転機器の故障予兆検出には、従来10kHz程度までの帯域が一般に用いられる。しかし、早期の故障予兆の検出には30kHzの超音波領域までの測定が必要であるとの報告例がある³⁾。従って、より高周波領域で高精度に検出可能なレーザー振動計により早期の故障検出が期待できると考えられる。

次に、設備管理の観点からOKIのレーザー振動計の提供価値を述べる。多点測定により施設内の複数の設備を一台の装置で網羅的に管理可能である。また、測定点が増加するにつれて一点当たりのコストが削減される。(多点測定の評価結果は参考文献1)を参照)

さらに、本体とセンサーヘッドを光ファイバーで繋ぐため、容易に長延化が可能となり、大規模な製造現場やプラントでの網羅的な早期故障予兆の一助となる。図3は本体とセンサーヘッドの間の光ファイバーを200mと600mに長延化し1kHzの振動を測定した結果である。高周波帯に多少の雑音が生じるが、十分低いレベルまで抑えられている。また、いずれの長さでも1kHzに鋭いピークが検出され、光ファイバーを長延化した場合でも高精度な振動測定が可能であると考えられる。

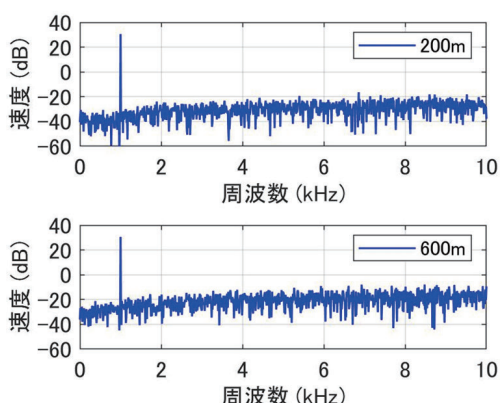


図 3 長延化時の測定結果

振動計の市場は製造業を中心に成長しているが、そのコストや設置の難しさから導入が進んでいない。

しかし、OKIのレーザー振動計は、従来の振動センサーにはない前述の特長に加えてしばしばIoTに必要とされる現場のセンサー用の電源もデータ通信環境も必要とせず、図4に示す多くの産業の導入が可能であると考えられる。

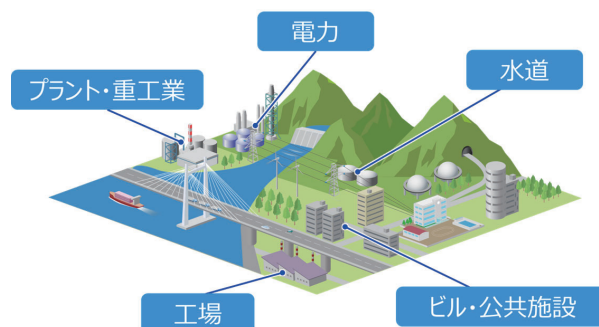


図 4 導入が可能と想定される産業

なお、OKIのレーザー振動計の特長と提供する価値を表1にまとめた。

表 1 レーザー振動計の特長と提供価値

特長	提供価値
非接触	・設置容易性の向上 ・広帯域の振動測定が可能 ・動体の振動測定が可能 ・高温、低温体の振動測定が可能
光信号のデジタル処理	・長距離照射による振動測定が可能
多点計測	・網羅的な常時振動監視が可能 ・施設全体の設備の一元管理が可能 ・測定点毎のコスト削減
光ファイバー方式	・測定対象付近の追加電源が不要 ・測定対象付近のデータ通信環境が不要 ・広範囲の振動測定が可能

実環境での評価概要と結果

本節では、表1に示した提供価値のうち、多点計測の実験結果を示す。測定対象物はOKI内の空調用ポンプとした。測定箇所はポンプのベアリング近傍、及び周辺機器の合計4か所とした。便宜的にベアリングに近い場所から順に、測定点1、2、3、4とした。測定箇所ごとの振動速度のスペクトルを評価した結果、各測定点で、MEMS加速度センサーでは正確な測定が困難な10~30kHzの超音波振動が検出された。

一方、測定箇所によって結果に大きな差分が生じたため、

測定結果の2例を図5に示す。例えば測定点1の9kHz、23kHz近傍や測定点2の13kHz近傍では他の測定点に比べて振動が強く検出された。このことから、一箇所の測定結果から装置の状態を同定することは難しいと考えられる。従って回転機器の状態を高精度に判断するためには、複数の測定箇所から振動を取得し、それらのデータの相関や傾向を入念に検証する必要があることが示唆される。このようなデータ解析の手法を組み合わせることで、より信頼性の高い判断結果が得られるものと考えられる。

OKIでは、振動データの変遷の傾向を高精度に検知して早期に異常振動を検出可能な波形解析エンジンForeWave[®]*1)を既に製品化している⁴⁾。次節では、今回OKIが開発したレーザー振動計で取得したデータをForeWaveで異常振動検知した結果を述べる。

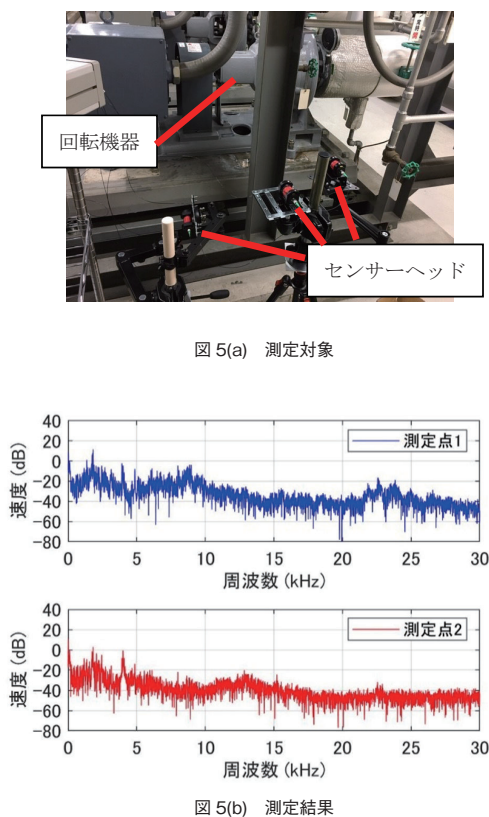


図5 回転機器の振動測定実験

ForeWave による異常振動検知

ForeWaveは、取得した振動データから自動で特徴成分を抽出し機械学習にかけることで、より複雑な異常を高速で検知可能で、既に従来のMEMS加速度センサーとの組み合わせによる十分な異常振動検出の実績がある⁵⁾。ForeWaveの異常検知では学習、評価の2段階の過程から

*1) ForeWaveは、OKIの登録商標です。

構成される。正常時及び異常時の振動データをあらかじめ学習させ評価モデルを作成し、そのモデルを用いて新たに取得した振動データの正常、或いは異常判定が行われる。

本節では、レーザー振動計で取得した振動データを基にForeWaveによる異常振動検知を行った評価結果を述べる。機器の振動を模擬するために、2機のステッピングモーターにより構成された治具を使用した(図6)。片方のモーターの羽根部分にネジを装着しネジの重みによってわずかに振動を変化させ異常振動を模擬した。レーザー振動計で取得した正常、異常の振動のスペクトrogramを図7に示す。1kHz以下の帯域で強度の大きい振動が検出され、異常時には約1秒おきに強度が変わる様子も検出された。取得したデータで評価モデルを作成し、評価用データの正常/異常を判別した。学習及び評価に用いた振動データの件数と内訳は表2に示した。評価の結果、評価用データ20件中20件が正しく正常及び異常判別され、異常検知率100%となった。今回の評価により、ForeWaveを用いた異常振動検知は、レーザー振動計に対しても十分適応可能であると考えられる。今後、レーザー振動計の広帯域特性を生かし、より早期の異常検知の実現に向けて実証実験を進めていく予定である。

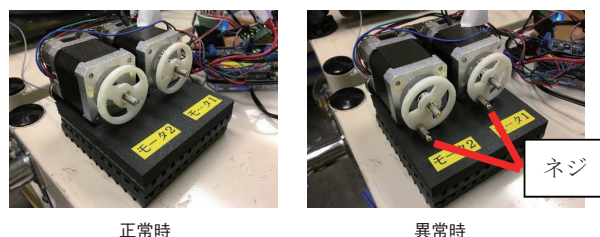


図6 ステッピングモーター

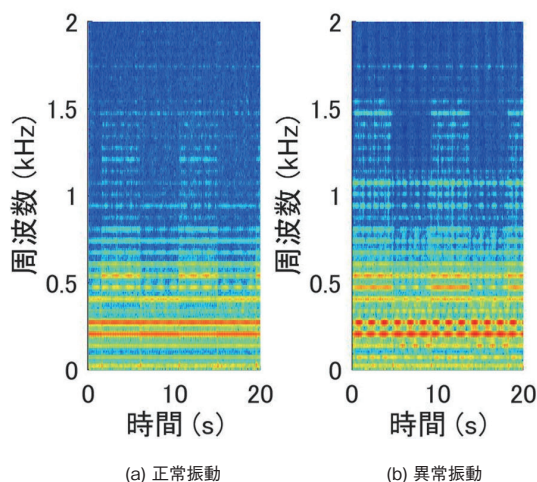


図7 測定結果

表2 学習及び評価に用いた振動データ詳細

	件数	内訳
学習	100 件	正常データ 50 件 + 異常データ 50 件
評価	20 件	正常データ 10 件 + 異常データ 10 件

今後の展望

本稿では著者らが独自に取り組んでいる多点型レーザー振動計について述べた。多点振動測定では回転機器の複数箇所結果にばらつきが生じた。この結果、状態を高精度に判断するためには複数箇所測定してデータ解析をする必要があることが示唆された。また、レーザー振動計とForeWaveの併用により異常振動検知が可能であることが示された。今後、多点とレーザー振動計の高精度・広帯域特性を生かして、故障の影響が大きい重要な社会インフラの安定的な稼働に向けて、予兆検知技術の開発を進める予定である。さらに、ドローンやサービスロボットへの搭載が可能となるように、OKIが培ってきたシリコンフォトリソグラフィ技術の応用し、レーザー振動計を超小型化することにより、広く産業界の発展に貢献することを目指す。

あとがき

OKIでは、Yume Proと称するイノベーションマネジメントシステムの上で、イノベーション活動、すなわち新規事業創出活動に取り組んでいる。SDGsに掲げられた社会課題解決をビジョンとし、自社が社会に提供できる価値の仮説を検証しながら事業の創出を目指している。本稿は、著者らが仮説を立て、提供価値の実現に向けた技術を開発し、仮説を検証してきたことの結果である。◆◆

参考文献

- 1) 木村広太: 多点型レーザー Doppler 振動計、OKIテクニカルレビュー、Vol.86、No.2、p40、2019年12月第234号
- 2) 旭化成エンジニアリング株式会社、”振動診断基礎講座”、<https://www.asahi-kasei.co.jp/aec/pmseries/shindoshindan/4th.html>
- 3) 迫孝司: 軸受における異常兆候の早期検知と診断に関する研究、早稲田大学審査学位論文(博士)、2012年
- 4) OKIプレスリリース 機械学習を用いた波形解析ソフトウェアライブラリー「ForeWave」を販売開始、2018年10月24日
<https://www.oki.com/jp/press/2018/10/z18058.html>
- 5) 伊藤航介: 高速なエッジコンピューティングを実現する波形解析アプリケーション「ForeWaveTM for AE2100」、

OKIテクニカルレビュー第234号、Vol.86、No.2、p24、2019年12月

● 筆者紹介

丹野洋祐: Yosuke Tanno. イノベーション推進センター イノベーション推進部

木村広太: Kota Kimura. イノベーション推進センター センシング技術研究開発部

藤井亮浩: Akihiro Fujii. イノベーション推進センター センシング技術研究開発部

佐々木浩紀: Hironori Sasaki. イノベーション推進センター 企画室

TIPS 【基本用語解説】

ドップラー効果

振動の発生源若しくは観測者が移動することによって観測される周波数が変化する現象のこと。