

# 室外機振動のスペクトル解析に基づく空調設備の異常事前予測システムの開発

## Development of predictive maintenance system for air conditioning equipment based on spectrum analysis

三島直人<sup>1)</sup>

指導教員 鈴木 雅人<sup>1)</sup>, 北越 大輔<sup>1)</sup>, 西村 亮<sup>1)</sup>

1) 東京工業高等専門学校 機械情報システム工学専攻 知識情報研究室

キーワード：ビルオートメーションシステム，ベイジアンネットワーク，空調設備，予知保全

### 1. 背景

ビルオートメーションシステム（以下、BA システムという）の構築において、現状ではインフラ整備に加え、他社で開発された管理システムを導入した構築が行われている。BA システムは、小・中規模の一般的なビルへの実装も考慮されるため、採用する管理システムの価格も低く抑えられた製品もあるが、機能面の充実が十分に図れない問題がある。また、どれだけ十全な設備の管理ができるとしても、設備が複雑である場合、不測の事態が発生した際、専門的な知識や資格を有する技術者でないと対応できない場合が多い。そのため、BA システムにとって、事前に異常の発生を予測する機能の需要は非常に高くなっている。これらをふまえ、本研究では、空調設備が設置された建物に対して、予知保全が可能で、異常発生時の対応支援を行うシステムを開発する。

### 2. 研究概要

#### 2. 1 従来の BA システムの概要

BA システムの基本的な構成や仕組みについて説明する。建物内の機器の状態やセンサの計測値などの監視対象（以下、管理点という）は、現場に設置された PLC (Programmable Logic Controller) を経由して中央監視装置に取り込まれ、一元的に管理される。管理情報は、系統ごとに設計された画面に、管理者が分かりやすいように表示される。他にも、管理点の異常を検知するための計測機器が設置されており、この計測値によって、対象の管理点に該当する異常が発生しているかどうかが検知できる。このような管理点の異常も前述の画面に表示されるため、現場を巡回して点検しなくとも、監視画面を確認していれば管理者はどの管理点にどのような異常が発生しているのかを発見することができる。管理者はメンテナンスに必要な資格をある程度所有している場合が多く、異常が検知できた場合、メンテナンス専門の技術者を派遣し対応してもらうことがほとんどである。

#### 2. 2 従来の BA システムの改善点

前述の BA システムでは、異常時の対処機能を導入する上での問題点が残されている。異常の発生を事前に検知する異常予測システムは既に製品化されているものもあるが、現状では実装費用が高

く、小規模なビルに見合った、安価でかつ高精度異常予測機能の実装は難しい。また、異常が発生した際に、常時すぐに技術者の派遣ができるとは限らない。従来の BA システムの異常検知では、個々の管理点の異常発生しか見ることができないため、本当の異常箇所や設備全体に発生した現象など、根本的な原因を把握することができない。そのため、修理作業に入る前に、その原因の調査を行うために異常箇所周囲のチェックを行う必要がある。以上のことから、結果として修理作業に入るのが遅れてしまい、設備の完全復旧が遅れてしまう。この問題に対して、異常が発生する前に検知することができれば、修理対応をスムーズに行うことができる。

#### 2. 3 提案手法

予知保全の手段として、ベイジアンネットワーク（以下、BN という）を用いた手法を検討する。あらかじめ各機器のデータの異変と、設備に想定される異常の関係性を定義し、過去から現時点までの広い時系列での設備データをもとに、現在の入力データから発生していると考えられる現象を特定する。しかし現状では、空調設備から得られるのは主に温度、湿度の 2 つであるため、本研究では室外機の異常検知に利用され始めている振動に着目する。例えば文献<sup>1)</sup>では、設備に異常が発生した際、異常の種類に応じて対象設備の振動の周波数成分が変化することが報告されている。この性質を利用し、本研究では、センサで取得した室外機の振動データに対してスペクトル解析を行い、評価を基に異常検知、診断を行う手法を提案する。

まず、本手法を実際に検証するため、振動の取得を行う装置を製作した(Fig. 1)。安価な 3 軸加速度・3 軸ジャイロセンサである MPU-6050 から得られた

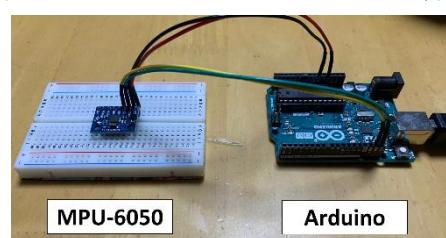


Fig. 1 製作した振動取得装置

加速度情報を、Arduino を経由して PC に取り込んでいる。異常の種類によるが、0~100[Hz]という低周波帯域にも異常振動のスペクトルが表れることが判明している。本研究では、低周波数帯のみの観測でも異常発生時における振動の成分の変化の検知は可能であると考察しており、その上で精度、コスト面を考慮してこのセンサを採用している。

### 3. 実験

#### 3.1 計測方法及び実験内容

室外機の振動を分析することで異常を検知するためには、まず室外機の実際の振動が変化する要因を確認する必要がある。一般的に、室内の設定温度と外気温度の差が大きいとファンの回転数は増加する。そこで、外気温度の違いによる室外機の振動の成分の変化を調査するため、Fig. 1 に示した簡易的な装置を構築し、計測を行った。

加速度センサ MPU-6050 を接続したブレッドボードの裏に薄型マグネットを両面テープで接着し、室外機に接着して計測を行った。計測は自宅の室外機と本校の 7308 室の室外機の 2 か所である。室外機の振動を計測するにあたり、振動部に直接センサを設置することは困難である。そのため、室外機の外面において振動を検知するにあたり有効な場所を調べるために、自宅の室外機では、ファンの真上の上面、ファンから遠い上面の端、ファンに近い面の側面の 3 か所にブレッドボードを設置して計測を行い、解析を行った。本校の室外では後述する解析結果を受けてファンに近い上面と、側面の 2 か所で計測を行った。また、計測位置のずれによる振動の変化を極力軽減するため、計測位置は毎回固定して行った。

計測して得られたデータを利用し、外気温度による違いにより、室外機の振動の分散に変化があるのかどうかを解析した。対象データは、自宅の室外機で計測したデータのうち、外気温度の異なる 4 回分のデータである。同計測場所、同軸の振動同士の組み合わせで F 検定を行い、分散の有意性を検証した上で、各計測場所の妥当性を評価した。次に、本校の室外機から計測した振動に対してスペクトル解析を行い、振動の成分の調査を行った。

#### 3.2 実験結果及び考察

自宅の室外機で計測したデータのうち、x 軸の振動の各計測場所における分散の分布を、Fig. 2 に示す。ファンの真上と側面で計測した振動においては、計測時の外気温度が高くなるにつれて分散がなだらかに上昇しており、その関係の有意性は F 検定でも立証することができた。

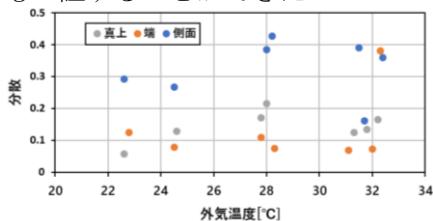


Fig. 2 各場所で計測した振動の分散の分布

実際に、外気温度が高い日時に測定した振動の方が、低い日時よりも分散が大きい割合は、真上が

78%、側面が 89%、端が 44% であったため、室外機の端での測定は有意性が見られず不適切であり、できるだけ振動部分に近い場所にセンサを設置しなければならないことがわかった。なお、室外機の端で計測したデータを除いた全体の割合は約 83% であり、外気温度は室外機の振動に大きな影響を及ぼしていると言える。

次に、本校の室外機で測定した振動データに対して、スペクトル解析を行った。時間をずらして計測した、同測定箇所、同軸の振動の振幅スペクトルの一例を Fig. 3 に示す。

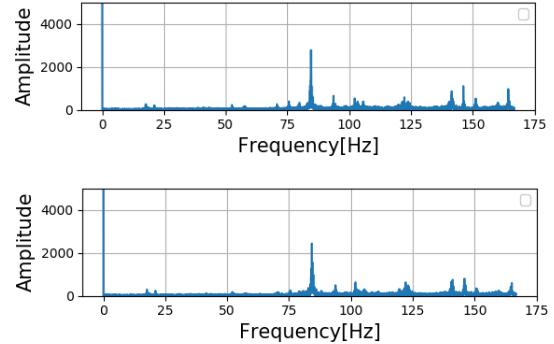


Fig. 3 解析した振幅スペクトルの一例

その結果、波形に多少の違いはあるが、この 2 つの振動は、およそ 85Hz 付近に共通のスペクトルが顕著に表れており、非常に似た形状をしていることが確認できる。この他の組み合わせでも、互いに似た形状が現れていることが確認できている。よって、室外機に異常が見られない場合、多少の時間の差異であれば、同様のスペクトルが観測できることが分かった。この解析結果から、長期的な計測及び解析を行うことでスペクトルの変化の観測を行うことが十分に可能であることが実証でき、本研究の目的である室外機の振動のスペクトルを用いた異常検知も同様に可能であると考えられる。

#### 4. まとめ

本研究では、新たな BA システム開発の支援として、予知保全に扱える管理データが少ない空調設備を対象に、室外機の振動を計測してスペクトル解析を行い、スペクトルの変化を観測することで予知保全を行う手法を提案する。現段階では、外気温度の違いによる室外機の振動の成分の変化及び計測を行うにあたり有効な設置場所の考察、そして少しづつ日時をずらして計測した振動に対してスペクトル解析を行い、比較することで、時間経過によるスペクトルの変化の観測が可能であるかを検証した。

今後の課題としては、業務用の室外機に対しての計測、解析を、対象を増やしつつ継続的に行うことで比較的新品の室外機、経年劣化している室外機のスペクトルの判別を可能にし、その分析を基に異常予測システムの構築を行う必要がある。

#### 参考文献

- 江海洋：回転機械設備の状態監視・診断法に関する研究：振動・AE 信号およびベイジアンネットワークによるアプローチ、(2014).