

大規模空調システムにおける VAV ユニット故障診断システム Diagnosis System of VAV Units in Large-scale Air Conditioning Systems

吉岡 健太¹⁾ 乃村 能成²⁾
Kenata Yoshioka Yoshinari Nomura

1. はじめに

現在、多くの高層ビルの空調制御は、セントラル空調と呼ばれる方式を導入している [1]. この方式では、Variable Air Volume(VAV) ユニットが空調機から送られる風を調整して送り出し、風量制御を行うことで部屋の温度制御を行う [2]. VAV ユニットが故障すると、風量制御が正常に行えず、設定温度と室温にずれが生じ、電力費が増える等の問題が起きる. このため、VAV ユニートを継続的に監視し、早期に故障を発見する必要がある. しかし、多数の VAV ユニートを人力で監視するのは高いコストがかかる.

そこで、故障診断手法 [3] を用いた故障診断システムの設計と実装および運用を行う. また、システムを実際に運用し、故障診断手法の評価、システム改善の検討を行う.

2. VAV の故障診断手法

故障が疑われる VAV を絞り込むため、VAV が正常に動作しているか診断を行う必要がある. そこで、この故障診断に用いる故障診断手法について要求風量と計測風量の乖離による故障診断が提案されている [3].

空調システムでは、VAV ユニットのセンサから計測データがリアルタイムに収集されている. 計測データ中には設定されている風量 (要求風量) と計測される風量 (計測風量) がある. 要求風量と計測風量の乖離が大きい場合、故障の疑いがあると判断できる.

$$\text{風量乖離度} = \left| 1 - \frac{\text{計測風量}}{\text{要求風量}} \right| \times 100[\%] \quad (1)$$

式 (1) は、要求風量に対する計測風量の比を求めることで VAV がどれだけ要求に沿った風量を出しているかを求めている. つまり、式 (1) の風量乖離度が高い場合、故障の疑いがあると診断できる.

3. VAV ユニット故障診断システムの設計

3.1 故障診断システムの運用における問題

2 章で述べた故障診断手法を用いた VAV ユニット故障診断システムを運用する際の問題を以下に示す.

問題 1 データ分析者がビル内にいない

VAV ユニットの故障診断システムでは、毎日 VAV ユニットから収集される計測データを継続的に分析している. 評価をもとに評価方法の更新を行う場合、専門的な知識が必要となるが、システム管理者

1) 岡山大学大学院環境生命自然科学研究科, Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University

2) 岡山大学環境生命自然科学研究学域, Faculty of Environment, Life, Natural Science and Technology, Okayama University

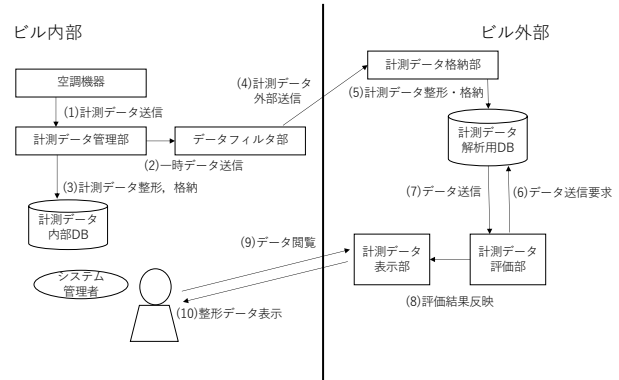


図 1: 大規模空調システムにおける VAV ユニットの故障診断システムの構成図

がこれらの知識を持たない場合、システムを運用するのは難しい.

問題 2 ビル内のデータベースに直接アクセスするのはセキュアではない

VAV ユニットの故障診断システムにおいて、ビル内部のデータベースでは空調機器に関する計測データ以外にも機密情報が格納されている. ビル外部も含めたシステムを運用する場合、外部から内部のデータベースに直接アクセスして、計測データを取得するのは、セキュリティ上問題がある.

3.2 VAV ユニットの故障診断システムの構成

運用における問題に対する対処として図 1 のような構成を提案する. 以下にその詳細を示す.

対処 1 システム管理者と計測データ分析者の分離

システム管理者が計測データの分析を行う必要のないシステムの設計を行うために、評価をもとに外部で評価方法の更新を行う. 具体的には、システム構成をビル内部とビル外部に分けて、ビル外部に計測データを分析する機構を設置する.

対処 2 分析の対象となる計測データの抽出

ビル内の 1 次データから VAV ユニットに関するデータのみを抽出し、外部のデータベースで管理を行う. 具体的には、フィルタ部にてデータの抽出を行い、ビル外部に計測データ解析用データベースを設置する.

3.3 VAV ユニットの故障診断システムの運用

3.3 節にて示した VAV ユニットの故障診断システムを実際に設計、実装、運用を行った. 具体的には VAV が 1600 台あるビルに対して 2021 年 12 月 22 日から 2022 年 11 月 16 日までシステムを導入し、ビル外部で VAV ユニットの計測データの分析、評価を行った.

4. 評価

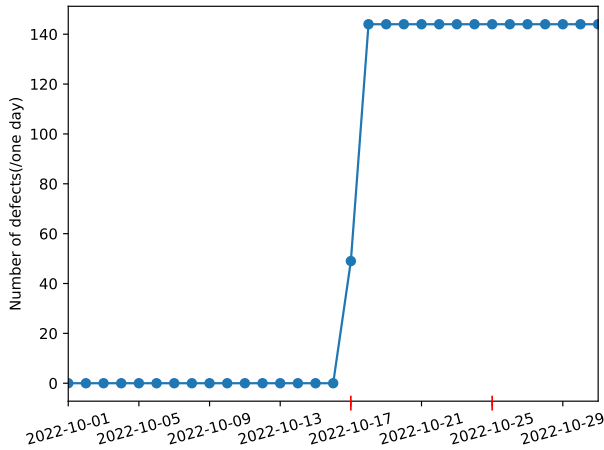


図 2: 2022/10/1 から 2022/10/29 までの故障履歴にある VAV のデータ欠損数の変化を示す。10/17 からデータが欠損しており、10/25 に故障記録を確認した。

4.1 評価の概要

本章では評価として実際の故障記録と、計測データの関係について調査し、システムの運用によってどのような知見が得られたのかを示す。2022 年 10 月 25 日から 2022 年 10 月 28 日までの 14 件の故障履歴を対象とした。

4.2 データ欠損と故障履歴の関係

14 件の故障の内 5 件の故障について、故障時にデータの欠損が確認できた。このうち 1 件の VAV に着目して、図 2 に故障前後の欠損数の変化について示す。この VAV では、10 月 25 日に故障が確認されている。

図 2 から以下のことが確認できる。

- (1) 故障記録のある 10 月 25 日以前について、すでに 10 月 17 日時点でデータの欠損が確認できる。
- (2) 故障後は、データ欠損が毎日発生している。

他の 4 件の VAV についても同様の結果が得られたことから、VAV の故障によってデータ欠損は発生していた。よって、管理者はデータ欠損から VAV ユニットの故障が推定できる。

4.3 計測風量と要求風量の乖離の事例

得られたデータの中で最も風量乖離度の高い VAV について図 3 に示す。図 3 では、要求風量は一定であるのに対して、計測風量は要求風量を中心として変動していることが確認できる。この VAV は故障とは診断されていないが、今後故障の疑いが高いと考えられる。このような VAV に対して管理者は点検や保守を行うことで、故障が早期に発見でき、無駄な電力費を抑えられる。

5. VAV ユニットの故障診断システムの改善

故障診断システムの運用結果から、システム内の解析用データベースへの 1 日の計測データである 17,000 件の挿入処理に 30 分以上の時間を要していることが分かった。処理が遅い主な原因は、データベースへのアクセスを反復して行っている点である。以下にその具体的な処理内容を示す。

- (1) CSV データの構造からデータベースの構造への変換
ビル内から送られる CSV データと解析用データ

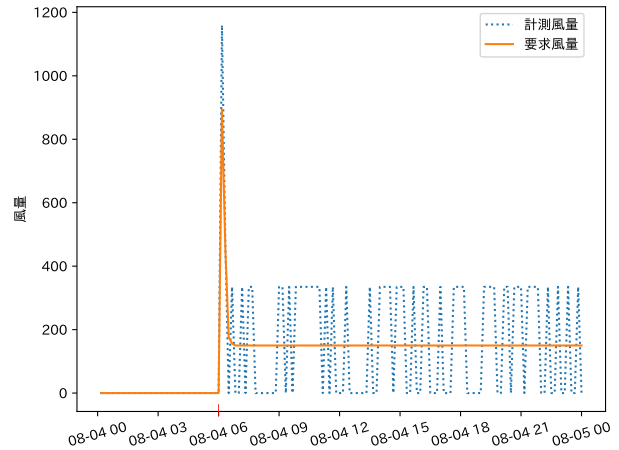


図 3: 2022/8/4 から 2022/8/5 までの風量乖離度の高い VAV の計測風量と要求風量の変化を示す。8/4 の 6 時ごろから要求風量が上昇し、風量の乖離を確認した。

ベースの構造の違いは、データベースのカラムとなっている計測データを一意に示す ID が CSV データにない点である。そのため、CSV データを用いてデータベースで ID の値を検索する必要がある。

(2) 挿入データの重複に対する処理

挿入処理では、データベースを検索することで、挿入前に重複のチェックを行っている。具体的には、CSV データ挿入時に各データの計測日と ID に該当するデータをデータベースで検索して、該当するデータがなければ、挿入の処理を行っている。

これに対し以下の改善を行い、1 日の計測データである 17,000 件の挿入処理に対して 20 分以上を短縮した。

- (1) 挿入について、一度リストに格納を行い、一括でデータベースへ挿入を行った。
- (2) データベースの主キーを変更することで、データベースにて重複のチェックを行った。

6. おわりに

本稿では VAV ユニットの故障診断システムの構成について提案し、実際にシステムを運用することで既存の故障診断手法について評価した。まず、既存の VAV ユニット故障診断手法について述べた。次に、VAV ユニットの故障診断システムの運用における問題点について述べ、これらの問題を考慮した VAV ユニットの故障診断システムの構成について示した。そして、設計したシステムの運用を実際に行い、故障診断手法の評価を行った。その結果、管理者はデータ欠損から故障を診断できることを確認した。また、既存の診断手法についても故障を早期発見できることが分かった。最後に、運用結果をもとにシステムの改善を行った。

参考文献

- [1] サンフロンティア: 個別空調とセントラル空調の違いとメリット・デメリットについてご紹介, サンフロンティア (オンライン), 入手先 (<https://search.sunfrc.co.jp/support/column/office/p20201109/>) (参照 2023-1-12).
- [2] 田崎 茂, 染谷 博行: 環境共生世代の建築設備の自動制御入門, 日本工業出版 (2018).
- [3] 松尾和樹, 乃村能成: ビル空調システムにおける VAV ユニットの故障発見を支援するシステムの検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2020-DPS-184, No. 10, pp. 1-6 (2020).