

ビル内機器エネルギー消費の時系列予測を用いた異常予兆検知手法

Anomaly Detection Method Using Time - Series Prediction of Energy Consumption in Building Equipment

*先端技術総合研究所

要 旨

ビルの省エネルギー化に向けては、機器の“いつもと違う”運転状態をいち早く検知することが重要である。従来の固定しきい値による異常検知手法は、季節や時間帯による変動への追従が難しく、検知精度に課題があった。この課題を解消するために、ビル内機器のエネルギー消費を時系列予測し、その予測誤差を基に、動的な正常範囲を設定する異常予兆検知手法を提案する⁽¹⁾。実在のビルの受電電力量データを用いた検証では、ビル内機器のエネルギー消費予測精度はMAPE(Mean Absolute Percentage Error：平均絶対誤差率)1.46%の高い予測精度を達成した。このエネルギー消費予測結果に基づいて、ビル監視システムへの適用を想定した異常予兆検知手法の検証用アプリケーションを開発した結果、機器構成図上での異常予兆の可視化が実現できることを確認した。

1. ま え が き

地球温暖化対策やエネルギーコスト削減の観点から、ビルのエネルギー効率化は社会的に重要なテーマになっている。政府が推進するZEB(ネット・ゼロ・エネルギー・ビル)の実現に向けて、ビルの消費エネルギーを削減する取組みが各所で加速している。

ビルのエネルギー効率を高めるためには、図1に示すように、“可視化”“検知”“診断”の三つのステップで取り組むことが有効である。まず消費エネルギーの現状を“可視化”し、次に“いつもと違う”状態を“検知”し、最後にその原因を“診断”する。この中でも“検知”は、効率悪化の早期発見につながる重要なステップである。例えば、空調設備の効率低下が数か月気付かれないまま放置されると、無駄なエネルギー消費が積み重なる。異常を早期に検知できれば、こうした無駄を未然に防ぐことができる。

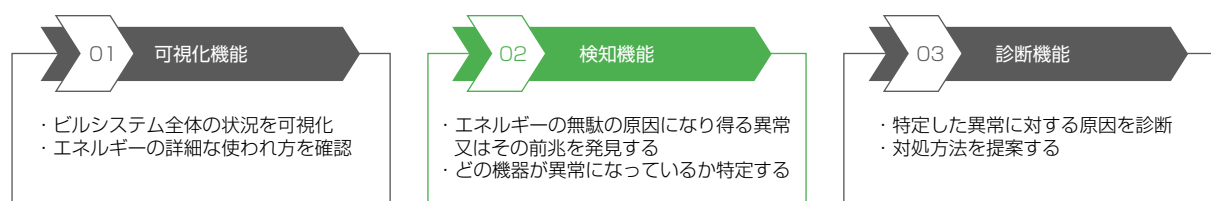


図1-エネルギー効率向上の三つのステップ(可視化→検知→診断)

異常検知の従来手法としては、機器の消費電力量などに対してあらかじめ固定したしきい値を設けて、それを越えた場合に異常と判定する方法が一般的である。しかしこの手法には、季節・曜日・時間帯によってエネルギー消費量が大きく変化するビル設備への適用が難しいという課題がある。例えば、真夏の空調消費電力と真冬のそれとは大きく異なるにもかかわらず、同一のしきい値で判定しようとする、正常な運転状態を誤って異常と判定したり、本来検知すべき異常を見逃したりするリスクがある。

そこで本稿では、エネルギー消費の時系列予測結果を用いて、正常範囲を動的に設定する異常予兆検知手法を提案する。併せて、実在ビルのデータを用いたビル内機器のエネルギー消費予測の精度検証結果と、ビル監視システムへの適用を想定した異常予兆検知手法の検証用アプリケーションについても述べる。

2. 提案手法

この章では、動的正常範囲方式(提案手法)について述べる。

2.1 基本的な考え方

提案手法の核心は、“固定された基準値”ではなく“その時々予測値からのずれ”で異常を捉える点にある。天気予報に例えると、30℃という気温に対して、予報気温が32℃であれば何も感じず、予報気温が20℃であれば“何かおかしい”と判断することと同じ発想である。この考え方によって、季節変動や時間帯変動を自然に吸収した上で、真の異常を検知できる。

図2に、固定しきい値方式(従来手法)と提案手法の動作の違いを示す。従来手法では消費量がしきい値を超えたかどうかで異常を判定するため、季節・時間帯によって消費量が変動するビル設備には追従できない。提案手法では時系列予測値を基に正常範囲を動的に設定することで、変動への追従と異常の早期検知を両立する。

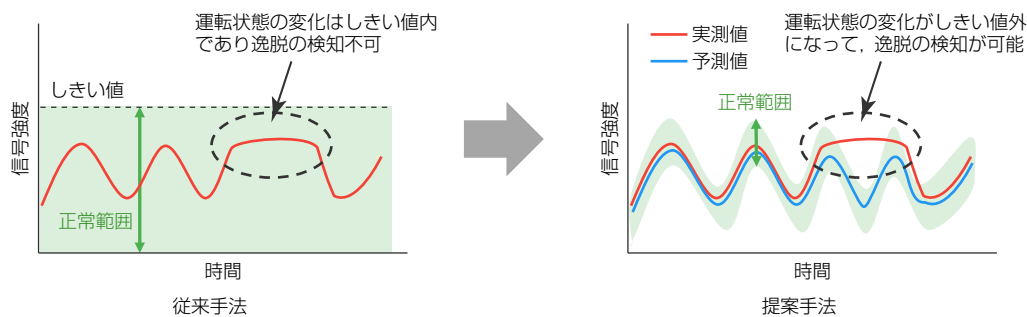


図2-従来手法と提案手法の比較

図3に提案手法の全体フローを示す。機器の過去のエネルギー消費データから時系列予測を実施し、予測値に基づく正常範囲を算出する。実際の消費量がその正常範囲から逸脱した場合に“異常予兆あり”と判定し、結果をビル監視システムの画面に表示する。

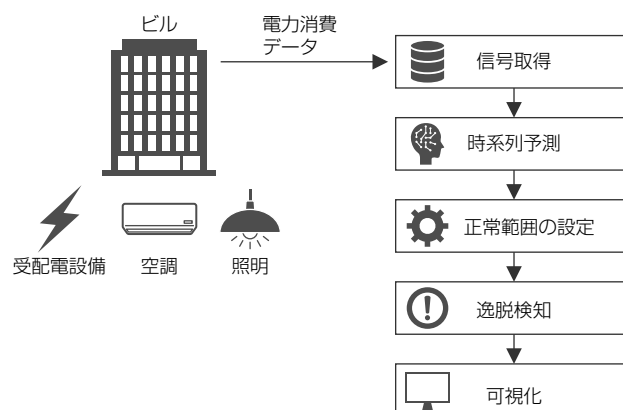


図3-提案手法の全体フロー

2.2 時系列予測手法(局所近似法)

時系列予測には、局所近似法⁽²⁾を採用した。局所近似法とは、“過去のデータの中から今の変動パターンに似ている期間を探し出して、その後どのような動きをしたかを参考にして未来を予測する”手法である。

この手法の実用上の大きな特長は、モデルレス(事前の学習モデル構築が不要)ということである。機械学習で一般的なニューラルネットワーク等の手法では、予測モデルの学習に多くのデータと計算時間が必要で、機器の運転状態が変化するたびにモデルの再学習が求められる場合がある。一方、局所近似法は予測対象の時系列データそのものから逐次的に予測するため、モデルの更新処理が不要であり、機器の状態変化にも柔軟に対応できる。図4に局所近似法の概念を示す。

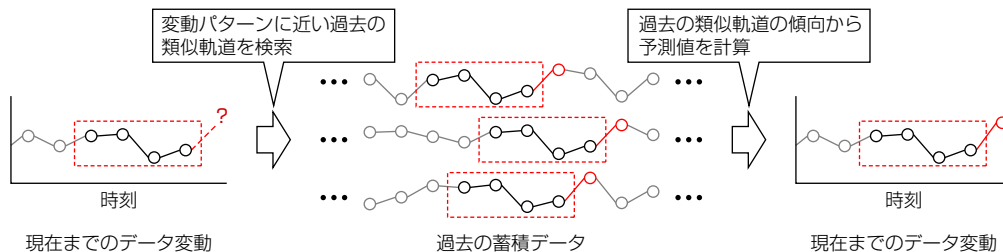


図4-局所近似法の概念

2.3 正常範囲の設定と異常予兆の判定

時系列予測結果を基に、正常範囲の上限値・下限値を式(1)、式(2)で定義した。

$$\text{上限値} = \text{予測値} \times (1 + k \times \text{MAPE}) \quad \text{..... (1)}$$

$$\text{下限値} = \text{予測値} \times (1 - k \times \text{MAPE}) \quad \text{..... (2)}$$

ここでMAPEは予測精度を示す指標であり、過去データから算出した予測の典型的な誤差率を表す。係数kは正常範囲の広さを調整するパラメーターである。実測値がこの上下限値を超えた場合を異常予兆として検知する。

この方式では、予測精度が高いほど正常範囲が狭まって、わずかなずれも検知できる。逆に予測精度が低い場合には正常範囲が自動的に広がって、過剰な誤報を抑制する仕組みになっている。

3. 検 証

この章では、予測精度の検証と、検証用アプリケーションについて述べる。

3.1 予測精度の検証

提案手法の有効性を確認するため、実在のビルの受電電力量データを用いて、ビル内機器のエネルギー消費予測精度を検証した。使用したデータは1時間周期で計測された約3年分の実測データである。図5に予測結果の一例を示す。予測値(青線)と実測値(赤線)の増減タイミングや値がほぼ一致しているため、予測値が実測値に高い精度で追従していることが分かる。

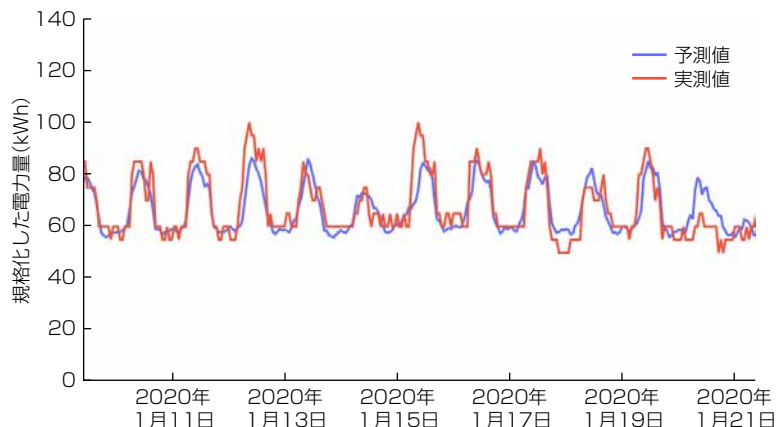


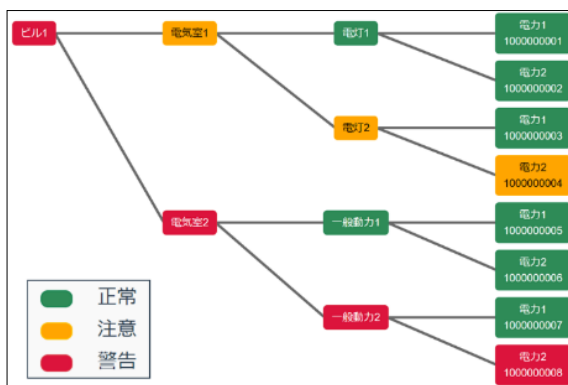
図5-時系列予測結果

予測誤差はMAPE1.46%であり、ノイズが少なく周期性を持つ電力量データに対して局所近似法を用いた時系列予測が高い精度で機能することが確認された。

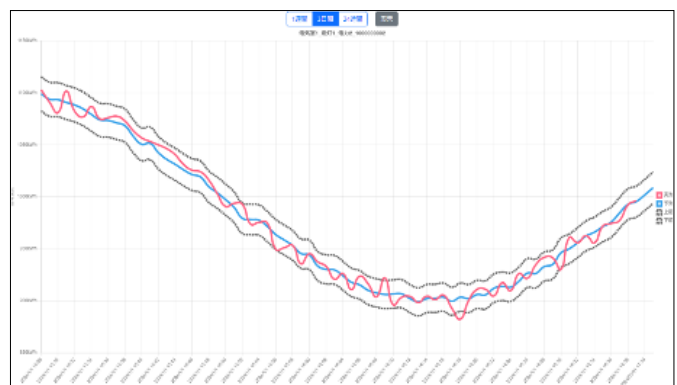
3.2 検証用アプリケーション

提案手法のビル監視システムへの適用可能性を評価するため、異常予兆検知手法の検証用アプリケーションを開発した。このアプリケーションは、ビル管理者が実際に使う場面を想定して設計されており、複数の機器・信号を一元的に管理できる。

図6に検証用アプリケーションの画面例を示す。図6(a)は異常予兆の検知結果一覧画面である。ツリー構造で表した機器構成図上に異常予兆の有無を重畳表示することで、どの系統で何が起きているかが一目で分かる。図6(b)は信号のトレンドグラフ画面であり、実測値・予測値・正常範囲のグラフで逸脱の詳細を確認できる。1時間先の消費エネルギー予測処理と異常予兆の検知処理に必要な時間は8信号に対して約20秒であり、1時間ごとに最新データで異常予兆を判定する運用サイクルに対して十分な速度である。



(a) 異常予兆の検知結果一覧画面



(b) 信号のトレンドグラフ画面

図6-検証用アプリケーションの画面例

4. む す び

ビル内機器の“いつもと違う”運転状態を早期に検知することを目的として、エネルギー消費の時系列予測を活用した異常予兆検知手法を提案した。

局所近似法によるモデルレスの時系列予測を採用し、事前のモデル学習なしに動的な正常範囲を設定できる手法を実現した。実在のビルの受電電力量データを用いたビル内機器のエネルギー消費予測精度の検証で、MAPE1.46%の高い予測精度を達成した。また、異常予兆検知手法の検証用アプリケーションによって、機器構成図上での異常予兆可視化と、トレンドグラフによる詳細確認という直感的な操作インターフェースを実現した。

なお、本稿での精度検証はビル内機器のエネルギー消費予測の精度確認を主目的としており、実際の異常事象との照合による異常検知性能の評価は今後の課題である。併せて“診断”機能との統合も検討していく。提案手法をビル監視システムに組み込んで、エネルギー効率改善への貢献を検証していく予定である。

参 考 文 献

- (1) 長瀬誉英, ほか: ビル内機器エネルギー消費の時系列予測を用いた異常予兆検知手法の検討, 2024年電気学会電子・情報・システム部門大会論文集, OS1-2-8 (2024)
- (2) 五百旗頭正, ほか: 局所ファジィ再構成法を用いた水力発電所流入量データの短期予測, 電気学会論文誌D, **118**, No.3, 329~334 (1998)