

AIを活用した業務建物の エネルギーマネジメントシステム

アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー
環境ソリューション本部 係長

名古屋 知志

はじめに

2016年に発効したパリ協定を踏まえ、温室効果ガスの削減が喫緊の課題となっている。特に、業務部門（オフィス、ホテル、病院、商業施設など）のエネルギー消費量は、1973年度比で約2.4倍と大きく増加していることもあり、強くエネルギーの削減が求められている。具体的には、政府の地球温暖化対策計画にて、業務部門は温室効果ガスを2030年度に約40%（2013年度比）削減することが想定されている。

目標の達成に向けて、様々なエネルギー対策が検討・実施されているが、その中でも、業務建物のエネルギーマネジメントシステムであるBuilding Energy Management System (BEMS) の活用が重要視されている。地球温暖化対策計画には、BEMSの普及目標があり、2013年度時点で8%の普及率に対して、2030年度には47%への拡大を目指している。これにより見込まれる効果は、省エネ診断などの施策も含めての数値ではあるが、1,005万t-CO₂と大きく、業務部門全体の削減目安量の約1割に相当する。本稿では、省エネルギー技術として期待されているBEMSについて、その制御技術を中心に人工知能（AI）を活用した先進的な取り組みを紹介する。

1. BEMSについて

BEMSは、室内環境とエネルギー性能の最適化を図るビル管理システムと定義される（図-1）。基本機能として、建物内に設置されている空調や照明等に対する集中的・自動的な制御・監視・管理がある。この基本機能は、主に建物設備の効率的な運用管理を目的にしているが、そ

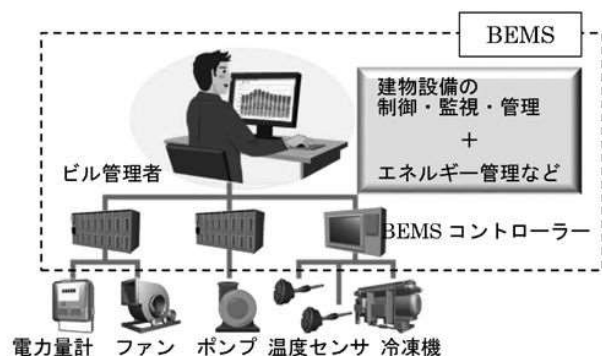


図-1 BEMSの概略

の他に、エネルギー管理に特化した「エネルギーデータの計量計測」「設備の稼働状況やエネルギー消費量の見える化」「最適運転制御」などの機能もあり、省エネルギーを図ることが可能となる。

2. BEMS制御の高度化

1960年代、国内においてBEMSの初期形が登場した。制御は、単純な比例動作が主流であり、設定値に対して残留偏差が残るなど制御性に課題はあった¹⁾。ただ、この当時は、建物管理の省力化が主目的であったため、BEMSにより自動化や集中化が実現されるだけでも機能的には十分とされた。1970年代に入りオイルショックを経験すると、省エネルギー志向のシステムが追及された。BEMSにもコンピューターが導入され始めたこともあり、制御理論の進展とともに、最適化という概念を有した省エネルギー制御が実装されていった。

現在は、更なる高度化を図るため、クラウドの活用が進められている。従来、BEMSの標準スペックでは、AI活用など、高度な演算については処理できないという課題があった。そこで、BEMSとクラウドを専用回線で接続し、クラウド上の遠隔サーバーにて高度演算処理をする方式が採用されている。クラウドを活用する制御上の主な利点をまとめると次の通りである。

- 高度計算処理
高度なアルゴリズムを搭載する場合、現地システムよりもクラウド上に実装する方が、システム制約が少なく経済性が高い。
- 外部情報の活用
クラウド上のシステムに、最新の外部情報（気象予報、電力需給逼迫状況など）を取り入れることで、外部環境に合わせた柔軟な制御が可能となる。
- 最新のアプリケーションの提供
アプリケーションのバージョンアップや機能追加はクラウド側で実施するため、常に最新のアプリケーションの利用が可能となる。

3. AIの活用

高度制御の事例として、アズビル株式会社（BEMSメーカー）のAIの技術開発について紹介する。現在、3回目

の流行を迎えているAIであるが、BEMSの分野においても過去から活用を試みてきた。AIの技術トレンドと当社の技術開発の歴史を図-2に示す。図にある通り、これまでAIを活用したアプリケーションをいくつか開発している。ここでは、一例として「学習型VWT（Variable Water Temperature）制御」について詳述する。

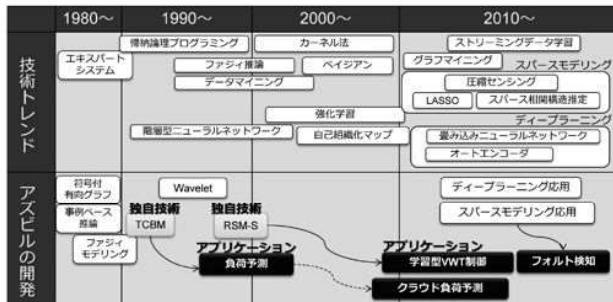


図-2 アズビルAI開発の軌跡²⁾

【学習型VWT制御】

送水温度設定の課題

大規模建物の多くは、セントラル空調方式を採用している。熱源機器（冷凍機・ヒートポンプなど）で冷水/温水を製造し、それをポンプで空調機に送水し、空調機で冷風/温風に熱交換することで空調をしている。ここで、熱源機器から送水する冷水/温水の温度設定（熱源送水温度）に省エネルギーの観点で課題がある。

熱源送水温度は、冷房の場合を例にとると、高く設定すれば熱源機器のエネルギー効率は向上する。一方で、空調機の冷却能力が低下するため、冷水流量を大きくする必要があり、冷水ポンプの動力が増加する。このように、熱源機器と搬送機器の動力は、トレードオフの関係（図-3）にあり、さらに、その最適点は外気条件や負荷熱量などにより異なってくるため、最適な設定温度の把握は困難であった。

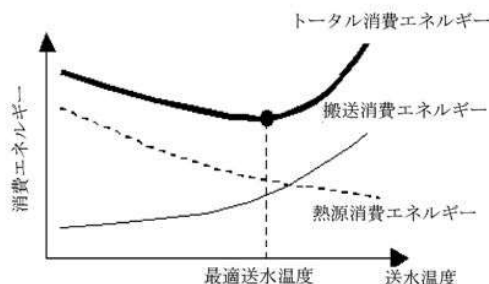


図-3 熱源送水温度と消費エネルギーの関係

制御概要

本制御は、熱源機器やポンプなどの運転データを収集し、各条件下（外気温度、冷却水温度、負荷熱量など）における熱源送水温度とトータル消費エネルギーの関係を随時学習する。その学習結果から作成した最適化モデルにより、トータル消費エネルギーを最小にする熱源送

水温度を算出し、熱源機器へ自動出力する（図-4）。学習機能を有しているため、設備の経年劣化や運用変更などにも柔軟に対応できる。省エネルギー効果は、夏期において9%程度が見込まれる。

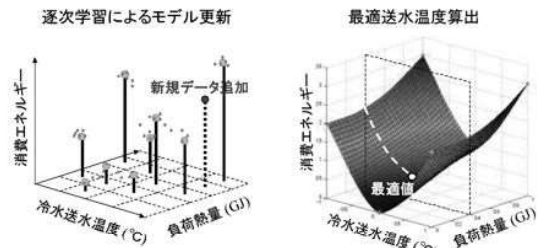


図-4 学習型VWT制御の概要

AI技術の活用

本制御には、当社の保有するAI技術である位相事例ベースモデリング（TCBM:Topological Case-Based Modeling）と多次元スプラインによる応答曲面法（RSM-S:Response Surface Methodology by Spline）を利用している。

TCBMは、学習機能に活用される技術であり、入力データ間と出力データ間の類似度合いをもとに、データを事例化するモデリング手法である。与えられた入力に類似した過去の事例を参照して、必要な出力を導く。こうした事例ベース推論法では、過去に経験した事例ベースの中に入出力関係が内包されているため入出力関係を規定するモデル構造を特別に作る必要がなく、非線形な入出力関係にも対応することができる。

RSM-Sは、最適値演算に活用される技術であり、最適値演算に活用され少ないデータをもとに最適条件を探索する最適化手法である。入出力関係が複雑なシステムにおいて、理想的な実験計画データがなくとも、実際に計測された離散的データからすばやく応答曲面モデルを生成でき、かつ再現性のあるモデル構築が可能となる。応答曲面モデルの構築には、式(1)に示す多変数スプラインを利用する。式(1)により応答曲面モデルを生成し、これを最適化演算のための目的関数とすることで、実計測データを利用した最適送水温度設定が可能となる。

$$y = f(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i g(d_i) + \sum_{j=1}^p c_j x_j + c_0 \quad (1)$$

ここで、 α_i 、 c_j は係数、 P は入力変数 x の次元数、 n はデータ数、 d_i はあるデータ i と任意のデータとの入力変数のユークリッド距離、 $g(d_i)$ はグリーン関数である。

4. おわりに

本稿では、BEMSの先進的な省エネ制御として、AIの活用を中心に紹介した。BEMSに関わる新しいテクノロジー

ーとしては、AIの他にも、ビッグデータやIoTなどが世間で注目を集めている。BEMSは、これらのテクノロジーを取り込むことで、既存の技術課題をブレイクスルーできる可能性を秘めており、大きく進化できるステージにある。今後、省エネルギーはもとより、ビルのダウンタイムの短縮、居住空間の快適性向上など幅広い観点から、社会に対して新たな価値を提供できるようにBEMSの開発を進めたい。

参考文献

- 1) 空気調和衛生工学会：環境・エネルギー性能の最適化のためのBEMSビル管理システム、2001年
- 2) 西口純也：アズビルにおけるAI技術開発とその応用事例、空気調和衛生工学会 技術講演会（東京）、2017年

（環・エネ 平成15年卒 平成17年修士 平成20年博士）