



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	位相事例ベースモデリング (TCBM) を用いた予測技術とその応用
Author(s)	御所園, 健士; 筒井, 宏明; 岡, 利明
Description	第9回衛生工学シンポジウム (平成13年11月1日 (木) -2日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 1 建築環境とエネルギー利用 . P1-16
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 9, 78-81
Issue Date	2001-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7148">https://hdl.handle.net/2115/7148</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	9-1-16_p78-81.pdf



1-16

位相事例ベースモデリング(TCBM)を用いた予測技術とその応用  
御所園健士(山武ビルシステム) 筒井宏明(山武) 岡利明(山武)

1. はじめに

1997年の地球温暖化防止京都会議を契機として1999年に改正省エネ法が施行された。これにより、工場はもとよりオフィス、ホテル、学校、病院など、ある一定規模の事業所では、業種によらずエネルギーの効率的な利用を推進する取り組みが義務付けられた。エネルギーを効率的に利用することは、工場の生産設備やビルの熱源・空調設備を効率的に運転することと同意である。そして、設備の最適な運転にエネルギー需要量を予測することが有効であることは古くから提案されている。しかし、これまで提案されている予測技術の多くは、実験では良好な結果が報告されているものの、実用化・実装化の問題点を抱えているものが多い。

エネルギー需要量の変化は、自然現象、地域性および人の生活などの要因が複雑に絡み合って生まれる現象である。このような外乱要素をもった非線形で複雑な対象を、定式化した物理モデルで表すことは非常に困難である。そのため近年の提案の多くは、入出力関係の定式化をしなくても良い、回帰モデルやニューラルネットワークなどを用いたブラックボックスモデルによる手法である。しかしこれらの手法は、モデル化に大量の実測データが必要である、膨大なデータ処理と試行錯誤によるモデル化作業が必要である、作成したモデル

が適正であることの検証が難しい、などの点が問題となる。

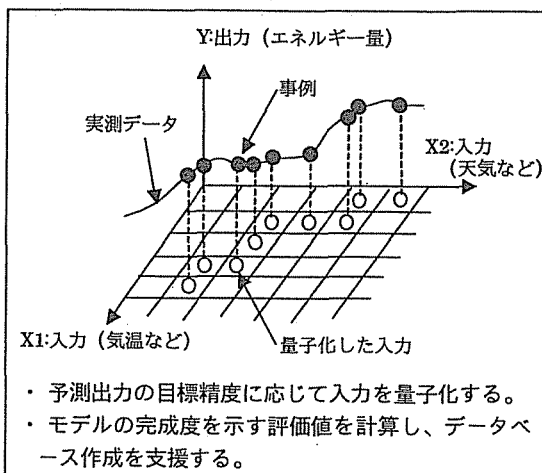
このような実用上の問題点に対応するために山武は、独自に開発した事例ベース型モデリング手法(TCBM: Topological Case-Based Modeling)を提案している。TCBMは過去の履歴データから新たな入力に対する出力の予測を容易に行え、かつモデルの完成度と予測値の信頼性を示すことができる手法である。本稿ではこのTCBMの概要と、実際にオンライン化したビルの受入熱量予測システム及び浄水場の水需要量予測システムについて紹介する。

2. TCBMの概要<sup>[1]</sup>

TCBMは過去の実測データをユーザが指定した予測出力の目標精度に応じて事例として圧縮し、事例ベース推論の仕組みにより出力を予測する方式である(図1)。TCBMには以下のような特徴がある。

- 1) 多入力1出力の非線形対象のモデリングに適している。これは局所的なモデリングおよび予測を行っていることによる。
- 2) モデリングが容易である。入出力変数を選択するのみで、入出力構造の同定技術なしに

<事例データベースの作成～モデリング>



<予測>

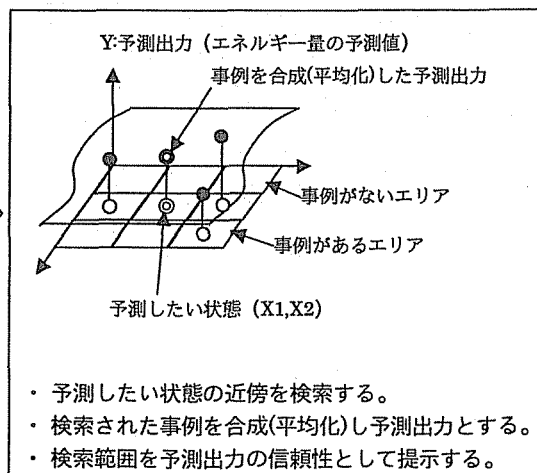


図1 TCBMによるモデリングと予測

モデリングが可能である。

- 3) モデルの完成度を評価できる。出力許容誤差を指定すると、その値に基づき独自のモデル評価指標を算出する。データ処理や入出力変数同定の問題への指針を示すことが可能。
- 4) 出力予測値の信頼性を評価することができる。実際の入力と予測値演算に使用した入力の距離を表す「類似度」を出力する。
- 5) モデルの学習が容易である。新たに得られた入出力情報を、再モデリングすることなく事例ベースの部分改訂という方式で逐次容易に取り入れることができる。

### 3. 地域冷暖房受入熱量予測への応用<sup>[2]</sup>

空調機が必要とする冷水、蒸気を生成するのが熱源である。この熱源を自身の建物では持たずに、地域冷暖房と呼ばれる熱供給プラントから購入する形態をとっている建物が都市部には多い。

熱供給プラントと需要側の建物は、年間の最大使用熱量を基に契約を結ぶ。冷水の使用熱量が最大となるのは、7月下旬から8月にかけての約1ヶ月間である。この間の使用熱量の最大値を抑えて契約熱量を下げることができれば契約料金が下がる。これは需要側の建物オーナーにとっては大幅なコスト削減となる。

使用熱量の最大値を抑える制御を行うために、あらかじめ使用熱量を予測することが有効であることは明らかであろう。そこで、地域冷暖房からの受入熱量を予測し、仮に予測値が契約熱量（もしくは契約目標の熱量）を越えていたら、使用量を抑える制御を行うシステムを実現したので紹介する。

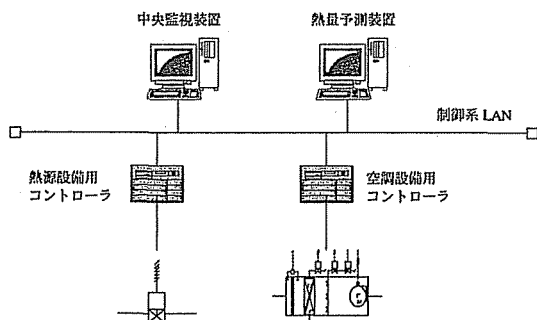


図2 オンライン熱量予測システム構成

### 3.1 システム構成

北九州の多目的複合建物で実現したオンライン熱量予測システムを図2に示す。このシステムの構成は以下の通り。

- 1) 中央監視装置  
建物の電気、水、空調などの設備、制御を監視する装置。
- 2) 熱量予測装置  
制御系LANより計測データを収集して、そのデータを元に30分周期で1時間後の使用熱量を予測する。その他仕様は表3参照。
- 3) コントローラ  
熱量予測装置から出力される省エネルギー制御の要求信号をうけとり、要求に応じた省エネルギー制御を実行する。

表3 熱量予測装置仕様

モデル数	最大20個(1システム)
入力数	最大20個(1モデル)
使用データ	デジタル計測データ アナログ計測データ スケジュールデータ
予測周期	30分
学習周期	1日
モニタ出力	使用熱量とその予測値 予測値の信頼度 モデルの評価値 室内環境データ(図4参照)
制御出力	予測値に応じた省エネルギー制御の要求信号を山武製コントローラに出力

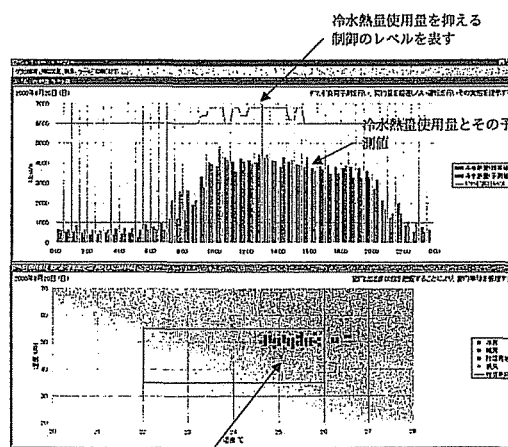


図4 熱量予測装置のモニタ出力例

### 3. 2 モデル

予測対象の要因が不明な場合は要因分析が必要となるが、建物の使用熱量の場合、空調機の起動時間、外気温度、外気湿度、建物内負荷(人・コンピュータ)などが要因であることは明らかである。

他の建物への転用も考慮して、モデルの入出力は基本的に以下の通りとした。

表 5 使用熱量予測モデルの入出力

予測出力	・1時間後の熱量
予測入力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現在の熱量</li> <li>・1時間前の熱量</li> <li>・空調機スケジュール情報(学習時は、スケジュールではなく実際のON/OFFを使用する)</li> <li>・現在の外気温度</li> <li>・現在の外気湿度</li> <li>・省エネルギー制御要求信号</li> </ul>

### 3. 3 運用結果

1999年2月1日から6月27日までのデータを使用してモデリングを行い、6月28日からオンラインでの予測、モデル学習および省エネルギー制御の運用を開始している。現在も稼働中であり、良好な結果が得られている。

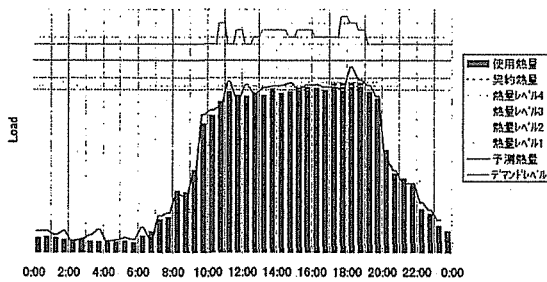


図 6 熱量予測結果(1999年8月13日)

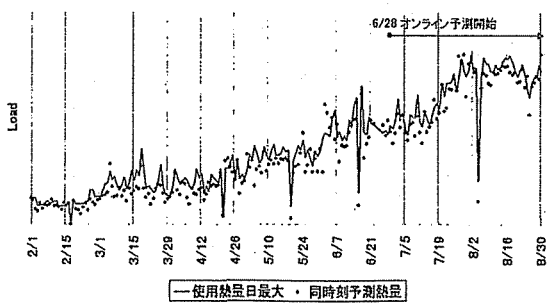


図7 使用熱量最大値と同時刻予測値(1999年)

### 4. 浄水場水需要予測への応用<sup>[3]</sup>

浄水場において、需要側に必要な水量を、24時間前に高精度で予測することは、夜間電力の有効利用や、夏季のピーク電力使用の回避につながるようになる。また、配水までに必要な浄水処理時間で生じるタイムラグを考慮した最適運転計画の実現などにもつながる可能性がある。そのため、水需要予測は、近年の浄水場システムにおいて注目されている重要な機能の1つである。本項では、上記のような最適運転計画の支援を目的とした水需要量24時間予測システムをオンライン化したので紹介する。

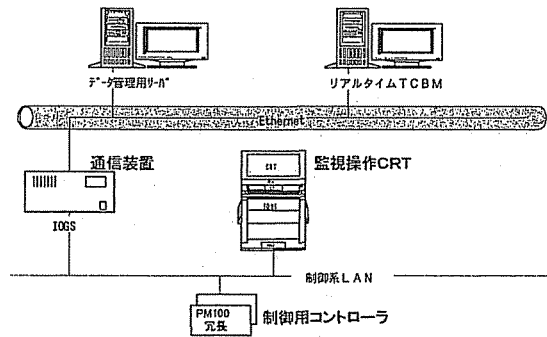


図 8 オンライン水需要量予測システム構成

#### 4. 1 システム構成

図 8 に実現したオンラインシステムの構成を示す。予測は毎正時に24時間先の水需要量を予測するものとした。特定日(正月、盛大な祭日など)により水需要の大きな変動も考えられるため、複数の予測モデルを作成し、運転員が簡単にモデルの切替が行えるようにした。

表 9 水需要量予測システム仕様

モデル数	最大 20 個(1システム) モニタより手動による切替可
入力数	最大 16 個(1モデル)
使用データ	デジタル計測データ アナログ計測データ カレンダー、時刻情報
予測周期	1分以上
学習機能	なし
モニタ出力	水需要量とその予測値 予測条件など(図 10 参照)
コントローラ出力	予測値を山武製コントローラへ出力。 TCBMによる予測出力と手動による出力の切替可。

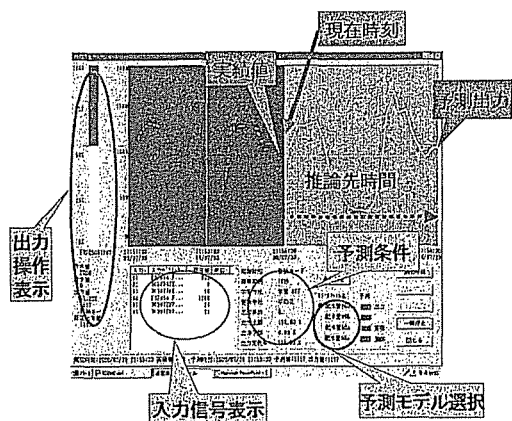


図 10 水需要量予測システムのモニタ出力例

#### 4. 2 モデル

浄水場に蓄積されている数年分のデータを用いて、モデルの入力変数候補の検討を行った。24 時間後の水需要量に関係が深いと思われる候補としては、現在の時刻、曜日、気温、水需要量、天候などが挙げられる。また、水需要量との関係は単純な線形相関ではない。例えば、水需要量と時刻の関係を見ても明らかである(図 12 参照)。

これら候補の中から変数の絞込みを行うために、山武では解析ツール dataFOREST を用意している。このツールは Stepwise 法、Cluster 分析法<sup>[4]</sup>などの変数組合せ分析機能と TCBM のモデリングおよび評価機能をもつオフラインツールである。分析結果として以下のモデル変数を選択した。

表 11 水需要量予測モデルの入出力

予測出力	・24 時間後の水需要量
予測入力	・現在の水需要量 ・時刻 ・気温 ・曜日

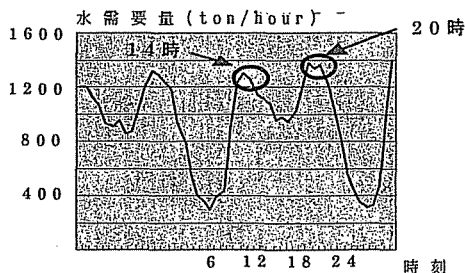


図 12 水需要量と時刻の関係

#### 4. 3 運用結果

現在稼働中のオンラインシステムでの予測結果と実績の相対誤差は、平日 3.5%、休日 5%程度である。これは、過去の 1 年分のデータを用いたオフライン検証結果と同じである(図 13 参照)。

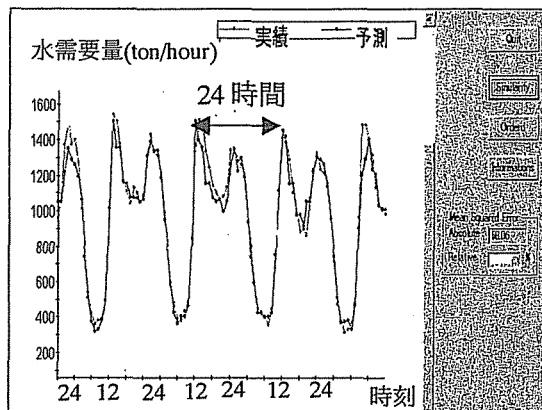


図 13 水需要量予測結果

#### 5. おわりに

建物の使用熱量予測および浄水場の水需要量予測をおこなうオンラインシステムについて報告した。どちらの場合も、予測対象と要因の関係は非線形性が強くモデル化が難しかったものであるが、TCBM によって比較的簡易にモデリングが可能であることが実証できた。また、学習機能、モデル評価機能などを有することからオンライン化にも適していることがいえた。今後はそれぞれの用途においてモデルの標準化(入力の標準化)を進めていきたいと考えている。

#### 参考文献

- [1]筒井、黒崎、佐藤:履歴データを事例として使用する非線形モデリング技術 TCBM:Topological Case Based Modeling、計測自動制御学会論文集 Vol.33, No.9, 947/954(1997)
- [2]平岡、筒井、御所園:ビルエネルギー環境管理システムの運用 第五報 熱負荷予測による地域熱源受入熱量のデマンド制御、空気調和衛生工学会学術講演会講演論文集, 685/688(1999)
- [3]岡:TCBM/事例ベースモデリングの浄水場水需要予測への応用、Savemation Review Vol.19, 20/27(2001)
- [4] 共立出版:統計解析ハンドブック・多変量解析、30/40, 135/151