

節電・省エネ用クラウドサービスの開発

Development of Cloud Services for Electric Power & Energy Savings

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

小柳 隆

Takashi Koyanagi

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

東島 浩史

Koji Higashijima

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

小野寺 博

Hiroshi Onodera

アズビル株式会社
技術開発本部基幹技術開発部

近田 智洋

Tomohiro Konda

アズビル株式会社
技術開発本部基幹技術開発部

今西 祐

Tasuku Imanishi

キーワード

クラウド, Web-Infilex, SaaS/ASP, 節電, 電力モニタリング, 省エネ / 省 CO₂, 送水温度最適制御

従来、高度なアルゴリズムを搭載したコントローラ（空調の省エネ制御などを実装）を建物に導入しようとする、高価なシステムとなるため、投資対効果が悪く、大規模な建物でないと導入できない課題があった。そこで、顧客ビルや工場と、遠隔に設置されたサーバを専用回線で結び、高度なアルゴリズムを遠隔サーバに実装し、遠隔から建物の省エネ制御などを実施するクラウドサービスを開発した。これにより、学習型VWT（Variable Water Temperature：可変送水温度）制御や、電力予測機能など、従来、建物ごとに実装するのが困難であったシステムを、多くの建物に提供することが可能になった。

A controller with advanced algorithms, such as an energy-saving control for a building air conditioning system, has conventionally been expensive, resulting in doubts about the return on investment, and installation that has been limited mainly to large buildings. We therefore developed cloud-based services which connect remote servers with client buildings and factories using dedicated communication lines. High-level algorithms on the servers are used to achieve energy savings, etc., at the buildings from the remote location. With this service, we can provide many buildings with systems and functions that were previously difficult to install, such as a variable water temperature (VWT) system with a learning function, and power-prediction functions.

1. はじめに

クラウドコンピューティング技術の発展は、建築設備分野でも少なからず影響を与えている。現地システムで監視、制御、計測、データ分析していた時代から、クラウド上のシステムへ、役割が移行しつつある。この流れの中で、特に制御、計測値の保存・表示部分の役割を現地システムからクラウド上のシステムに移行し、アプリケーションやサービスとして顧客に提供する遠隔制御システム（以下 Web-InfilexTM）を開発している。

Web-Infilex は、クラウド上のシステムの長所である

高度なサービスを安価に提供することが可能で、現地側のシステム制約に拠らないアプリケーションや、クラウド上で気象予報などの外部リソースを活用したアプリケーションを提供することが可能である。

今までに、制御関連では、CO₂総量リミット制御アプリケーション、学習型VWT制御アプリケーションを開発し⁽¹⁾、計測関連では、電力の見える化システムを開発し⁽²⁾、顧客にサービスを提供している。

2. システム構成

Web-Inflex は、遠隔監視センターやインターネットから、現場にある設備機器を制御するシステムである。Web-Inflex システム全体の構成を図1に示す。

Web-Inflex は、ユーザー設定機能、見える化機能を担う「フロントエンド」と、遠隔制御機能を担う「バックエンド」に分けられる。

フロントエンドは、データセンターに設置しており、インターネットからのアクセスが可能である。

バックエンドは、各種制御プログラムを動作させる基盤である①制御フレームワークプラットフォーム、制御プログラムの設定、モニタリングを行う②制御プログラムエンジニアリング機能、フロントエンドとのデータのやり取りを行う③Web インターフェースで遠隔制御機能を実現している。

制御フレームワークプラットフォーム上で動作するプログラムを開発することで、現場の機器に手を加えることなく制御機能をリモートシステムへ提供することが可能である。

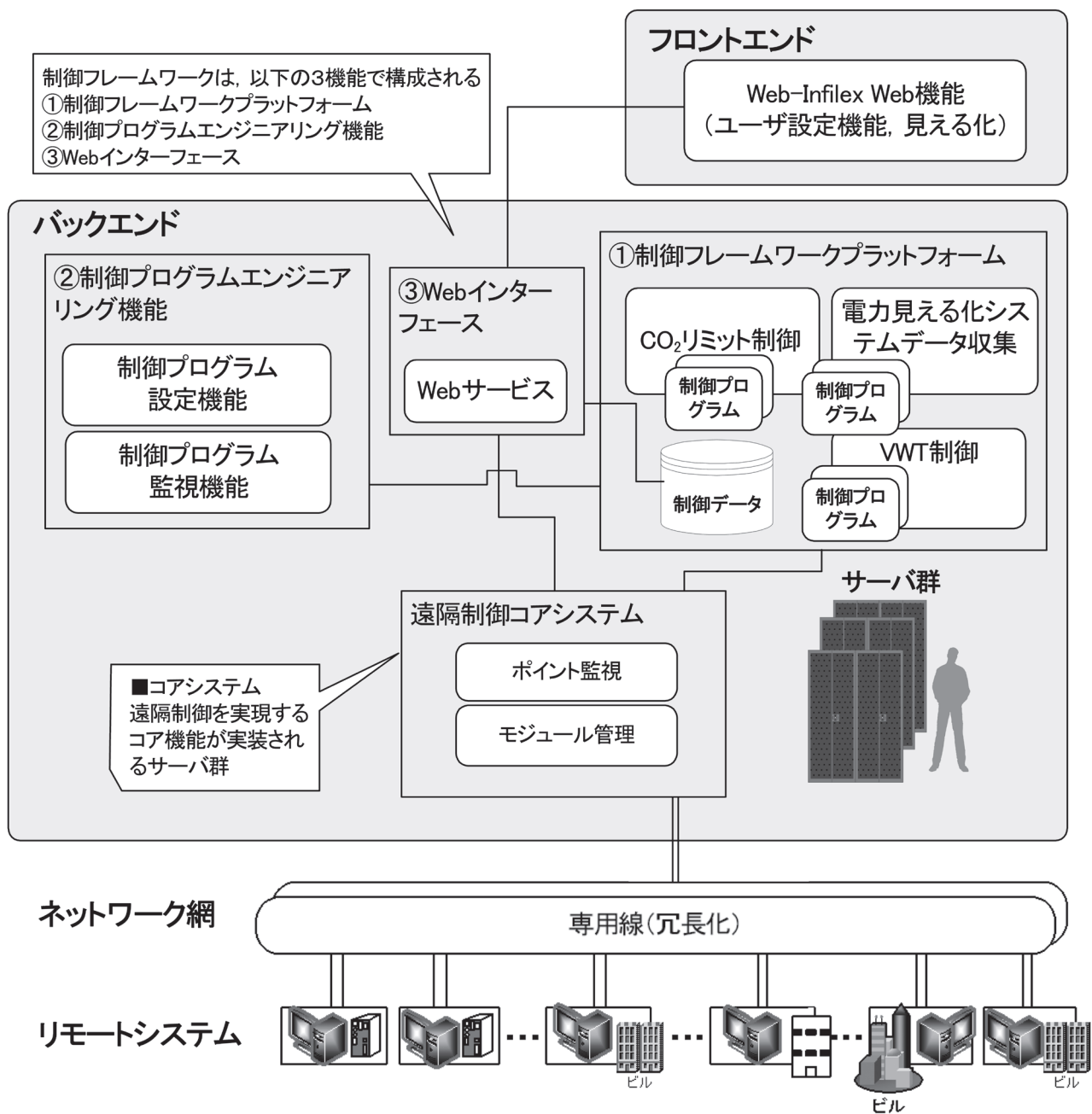


図1. システム構成図

3. CO₂ 総量リミット制御

3.1 概要

本アプリケーションは、建物で使用した燃料・熱・ガス・電気などの年間の総量（CO₂ 排出量，原油換算量または電力量）が目標値以下になるように、空調設備を主体に運転状態（発停，設定温度）を抑制制御する（図2）。

対象建物の「管理対象となるエネルギー計量ポイント」，「抑制対象となる空調関連機器の監視・操作ポイント」をクラウド上の本アプリケーションに登録することで利用可能である。

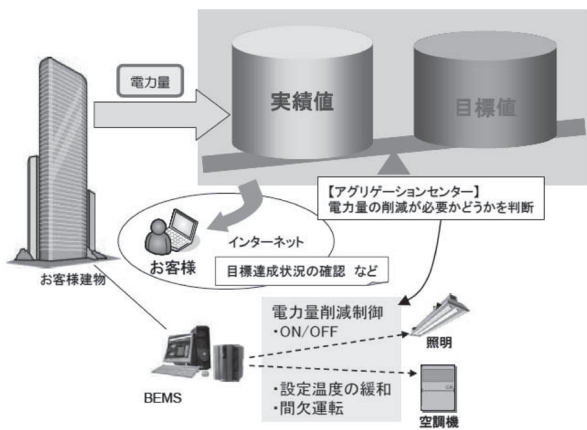


図2. CO₂ 総量リミット制御イメージ図

3.2 特長

(1) 現地中央監視装置と情報連携

中央監視装置で保持している建物運用情報（カレンダー情報など）や空調設定値情報，空調運転状態を勘案した演算・制御が可能である。クラウドシステムと現地管理運用が連携した動作が可能となっている。

(2) 複数の省エネルギープログラムがワンパッケージで手軽に導入可能

「年間の総量を目標値以下に抑制する」という目的の下に、「目標値管理」「設定値の自動変更制御（ゆらぎ設定運転/省エネ設定運転）」「機器の運転停止制御（間欠運転/運転停止）」の各種省エネルギープログラムをワンパッケージにまとめたプログラムである（図3）。省エネルギープログラムは系統ごとに選択可能であり，重要系統は抑制禁止の指定も可能となっている。

(3) 年間の累計使用量が年間目標値を超過しないように抑制

年々強化されていく環境関連のビルへの規則に対応して，年間の累計使用量を目標値以下に抑制することを目的とした省エネルギープログラムである。

設定された月間目標値と当月の使用量予測値を比較してエネルギー抑制の要否を判断し，抑制が必要な場合は各種省エネルギー制御を起動させる（図4）。

抑制方法	省エネ対策		
	ゆらぎ設定運転	クールビズ/ウォームビズ	運転時間短縮
室温設定の自動変更	現在設定±緩和幅の間を周期的に往復します	○	—
	省エネ設定の管理温度にプリセットします	○	—
機器の運転停止	間欠運転	—	○
	運転停止	—	○

図3. 省エネルギー制御一覧

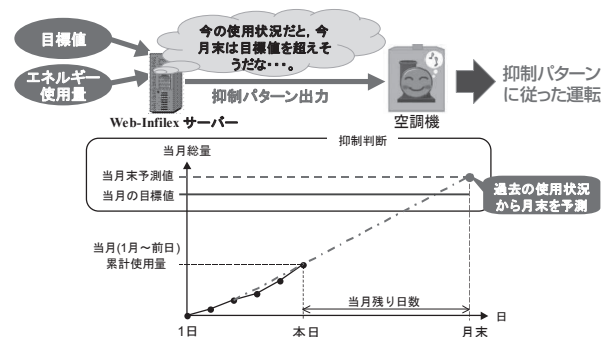


図4. エネルギー抑制の要否判断

(4) エネルギー使用量の合計値を容易に把握可能

ビルで使用する燃料，熱，ガス，電気などの各種エネルギー使用量の計量ポイントを本プログラムに登録することで，これらを合計した総量を算出し，数値およびグラフをWeb画面で表示可能である。

また，中央監視装置に取り込まれていないエネルギー使用量は，現地の読み値をWeb画面から直接入力することで総量の算出に加えることも可能である。

3.3 省エネルギー制御

前述のように，本プログラムは省エネルギー制御として「設定値の自動変更制御」，「機器の運転停止制御」を実施する。

(1) 設定値の自動変更制御（ゆらぎ設定運転）

室温設定値を，現在設定±緩和幅（冷房時は「+」方向，暖房時は「-」方向）の間を一定周期で段階的に変更する。周期は系統ごとにずらすことも可能である。

(2) 設定値の自動変更制御（省エネルギー設定運転）

室温設定値を省エネルギー設定の管理基準温度にプリセットする。

(3) 機器の間欠運転制御

運転中の機器を周期的に一時停止する。

(4) 機器の運転停止制御

運転中の機器に停止指令を出力する。

(5) 自動復帰機能

省エネルギー制御が動作中に手動にて設定値が変更されたり、機器が運転された場合に、一定時間経過後に元の省エネルギー制御に復帰する。これは省エネルギー効果を確実にするための機能であるが、現地の運用上、再度省エネルギー制御が動作することが望ましくない場合は、本機能を動作させないことも可能である。

3.4 見える化画面

総量の使用状況、目標達成状況、省エネルギー制御の動作履歴および室内の温熱環境を Web 画面上のグラフに表示している。

ユーザーはこれらの画面を見ることで、目標と実績の進捗管理や制御パラメータの変更検討を行うことができる (図 5)。

詳細に分析したい場合には、Excel ファイルでの出力も可能である (図 10)。

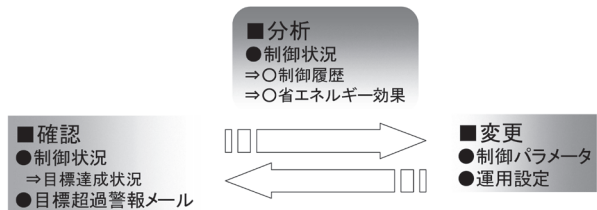


図 5. CO₂ リミット制御運用

(1) 目標達成状況

年間目標値や月間目標値に対する実績の状況を確認できる (図 6, 図 7)。

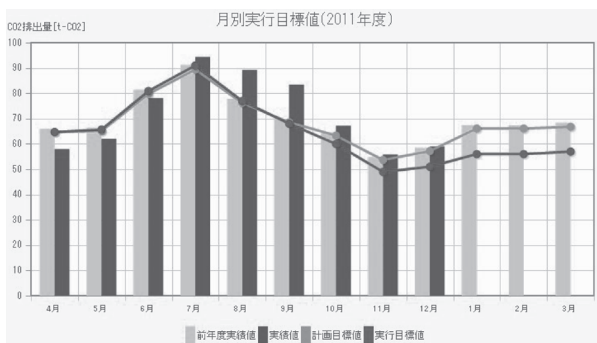


図 6. 年間目標達成状況

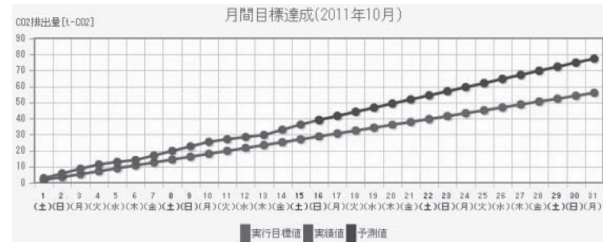


図 7. 月間目標達成状況

(2) 制御状況

日別の実績値、および系統全体の省エネルギー制御利用状況と室内温度状況を確認できる (図 8, 図 9)。

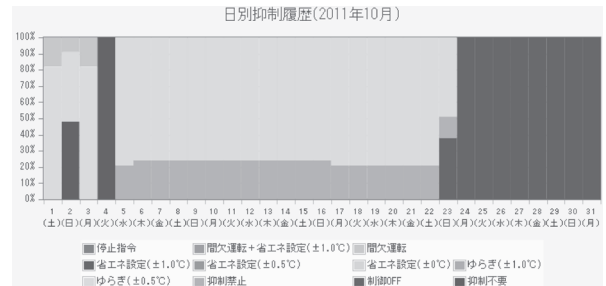


図 8. 抑制履歴

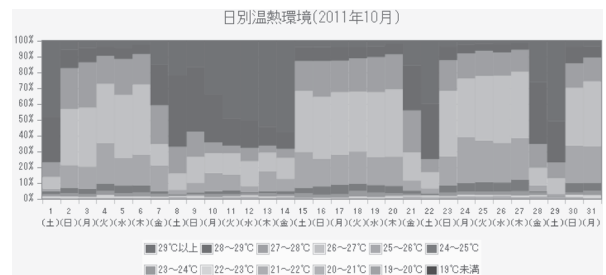


図 9. 温熱環境履歴

(3) 制御状況出力 (Excel ファイル出力)

各系統の制御状況を Excel ファイルで確認できる (図 10)。

時刻別系統制御状況														
建物名		品川シーサイドサウスタワー												
温度帯		(以上)未帯 29℃~ 28~29℃ 27~28℃ 27℃ 26~27℃ 26℃ 25~26℃ 25℃ 24~25℃ 24℃ 23~24℃ 23℃ 22~23℃ 22℃ 21~22℃ 21℃ 20~21℃ 19~20℃ 19℃未満												
2011年7月11日	時刻	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
抑制状況	抑制状況	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
101	IT事務所	室内温度(℃)	26.0	26.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
102	IT事務所	抑制リターン	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
103	IT事務所	室内温度(℃)	26.1	26.1	27.1	27.1	27.1	27.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
104	IT事務所	抑制リターン	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
105	IT事務所	室内温度(℃)	26.2	26.2	27.2	27.2	27.2	27.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2
106	IT事務所	抑制リターン	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
107	IT事務所	室内温度(℃)	26.3	26.3	27.3	27.3	27.3	27.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3
108	IT事務所	抑制リターン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109	IT事務所	室内温度(℃)	26.4	26.4	27.4	27.4	27.4	27.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4
110	IT事務所	抑制リターン	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
111	IT事務所	室内温度(℃)	26.5	26.5	27.5	27.5	27.5	27.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5
112	IT事務所	抑制リターン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
113	IT事務所	室内温度(℃)	26.6	26.6	27.6	27.6	27.6	27.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6
114	IT事務所	抑制リターン	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
115	IT事務所	室内温度(℃)	26.7	26.7	27.7	27.7	27.7	27.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7

図 10. Excel ファイル出力

4. 学習型 VWT 制御

4.1 概要

熱源送水温度を最適に制御するアプリケーションである。学習機能を有しており、設備の経年劣化や運用変さらにも柔軟に対応できる。

4.2 課題

熱源は通常 7℃ 程度の冷水を送水しているが、これを高く設定すると熱源の効率が上昇する特性があることがわかっている。

夏期には冷房能力を確保するために 7℃ の冷水が必要であるが、多くの建物では春や秋などの中間期にこままでの低温度は必要なく、10℃ などの冷水でも十分に冷房可能である。しかしながら、冷水流量が増加しポンプの搬送動力が増加するトレードオフの関係が存在し、最適な設定温度の把握が困難であるため、従来は送水温度 7℃ 固定で運用される場合が多かった (図 11)。

上記のような最適送水温度を決定するためには、高度なアルゴリズムや多くの演算量が必要となり、高価なシステムとなるため、投資対効果が悪く、大規模な建物でないと導入が難しかった。

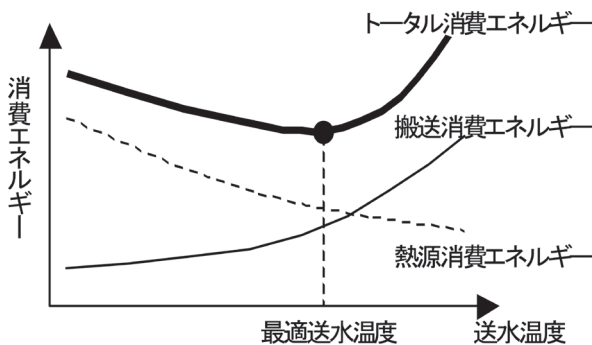


図 11. 熱源送水温度と消費エネルギーの関係

4.3 クラウドシステムによる課題解決

この課題に対して、当社保有技術である位相事例ベースモデリング (TCBM™: Topological Case-Based Modeling)^{*1} と多次元スプラインによる応答曲面法 (RSM-S: Response Surface Methodology by Spline)^{*2} を利用した送水温度最適設定制御 (以下、学習型 VWT 制御) をクラウドシステムに構築した。

これにより、従来、建物ごとに実装するのが困難であったシステムを、多くの建物に提供することが可能になった。

※1 TCBM: 入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り、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⁽³⁾。

※2 RSM-S: 計測データをもとに近似モデル (応答曲面モデル) を生成し、最適条件を探索する最適化手法である。本手法では応答曲面モデルとして、多変数スプラインを利用している。これにより、入出力関係が複雑なシステムにおいて、実際に計測された離散的データからすばやく滑らかな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っている⁽⁴⁾。

4.4 制御ロジック

学習型 VWT 制御の概略の枠組みを示す (図 12)。

- (1) 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し、外部環境変動や建物の運用変化にも追従するモデルを構築する。
- (2) 得られたモデルから、現在の状況下でトータル消費エネルギーが最小となる熱源送水温度設定値を算出し、出力する。
- (3) 再度、制御結果を学習し、次の制御に活用する。

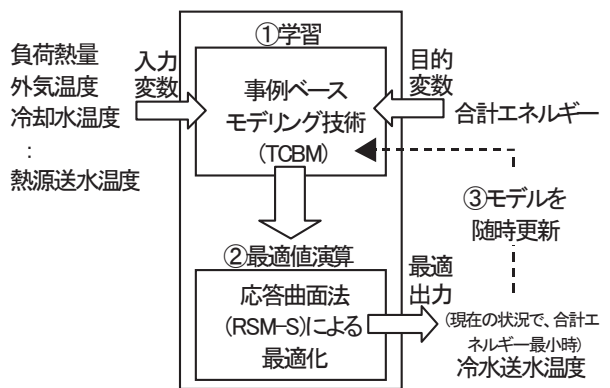


図 12. 学習型 VWT 制御の枠組み

5. 電力見える化システム

5.1 概要

近年の電力不足への対応は、これまでのように建物管理者が主体的に行う対策だけでは不十分となり、建物居住者の節電・省エネ対策に対する理解と協力および、自発的な行動が不可欠となってきている。

そのためには、建物の電力需要量と今後の見通しを、簡潔かつリアルタイムに情報提供することが重要であると考え、本機能を開発した。

5.2 グラフ表示機能

主なユーザーには建物居住者を想定しており、パソコンからだけでなくスマートフォンに対応した画面を

用意している。

提供しているグラフには、1時間ごとの電力量実績値、前日の電力量実績値、1週間前の電力量実績値、当日の電力量予測値、電力量の上限値、現在時の使用率を表示している。電力量実績値は、毎時10分ごとに更新する。また、グラフの印刷機能や表示データのCSV出力機能を用意している(図13)。

過去のデータを参照することも可能であり、月ごとの日単位の電力量実績値、および日ごとの時間単位の電力量実績値の表示が可能である(図14)。

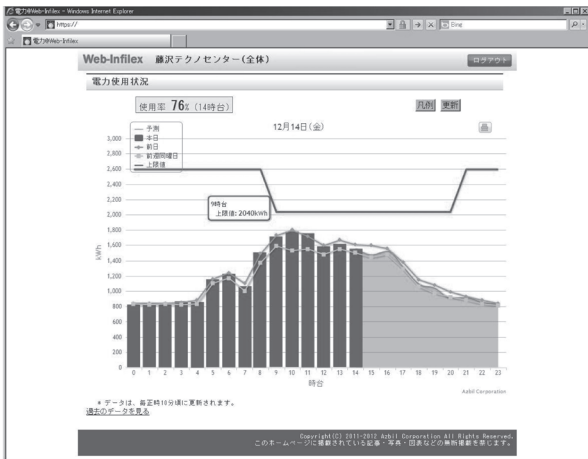


図13. 当日の電力量の表示例

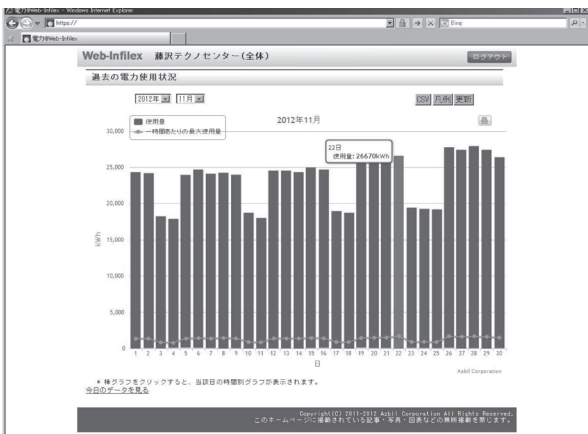


図14. 月ごとの電力量の表示例

5.3 電力予測機能

電力量予測には、TCBMを利用し、電力量の実績データ、外気温度、外気湿度の実測データから演算した外気エンタルピーに基づき、0時に1時~24時までの電力需要量を1時間単位で予測する(図15)。さらに、当日の電力需要量に応じて、電力需要量予測結果を補正する機能を有している。また、自動学習機能により、1日1回、電力需要量の実績データに基づいて、予測モデルが更新されるため、季節による変化やお客さまの建物の運用状況が変化した場合に、迅速に対応することができる。

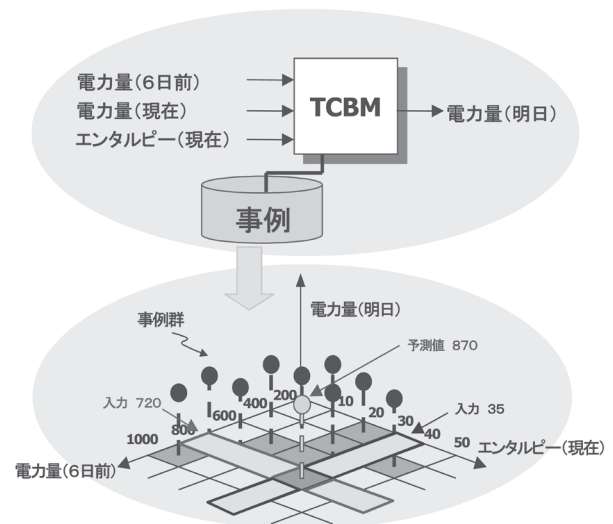


図15. TCBMモデルイメージ

6. おわりに

本論文では、節電・省エネルギーに役立つクラウドサービスであるWeb-Inflexのシステム概要、アプリケーション群を紹介した。

東日本大震災以降の全国的な電力需給逼迫により、節電・省エネルギーに対するニーズはさらに大きくなっている。クラウドサービスの特性を活用し、広域でのエネルギー需給連携を想定したデマンドレスポンス機能や、熱源・蓄熱システム制御の開発に取り組んでいる。また、建物居住者の快適性・利便性が向上するようなクラウドサービスも併せて提供していく予定である。

<参考文献>

- (1) 近田, 西口, 平田, 太宰, 中村, 小野寺: ASP型省CO₂サービスと学習型熱源最適化制御, azbil Technical Review (2011), pp. 10-15, 株式会社山武
- (2) アズビル株式会社: 「製品紹介」電力の見える化クラウドサービス 電力@Web-InflexTM, 計測と制御 51-7 (2012)
- (3) 筒井ほか: データマイニングにおける非線形システムのモデリングとその応用, システム/情報/制御 40-12, pp. 552-530 (1996)
- (4) C. Kaseda: The Practical Study on Response Surface Methodology, JSM 2004 Proceeding, pp. 2128-2134 (2004)

<商標>

Web-Inflexは、アズビル株式会社の商標です。
TCBMは、アズビル株式会社の商標です。
電力@は、アズビル株式会社の商標です。

<著者所属>

小柳 隆	ビルシステムカンパニー 開発本部開発3部
東島 浩史	ビルシステムカンパニー 開発本部開発3部
小野寺 博	ビルシステムカンパニー 開発本部開発3部
近田 智洋	技術開発本部基幹技術開発部
今西 祐	技術開発本部基幹技術開発部

