

佐藤冬樹\* 野中美緒\*\*  
 小林直樹\*  
 川野裕希\*

# ビル群の電力ピーク平準化技術

## Peak Load Leveling Technology for Group of Buildings

Fuyuki Sato, Naoki Kobayashi, Hiroki Kawano, Mio Nonaka

### 要旨

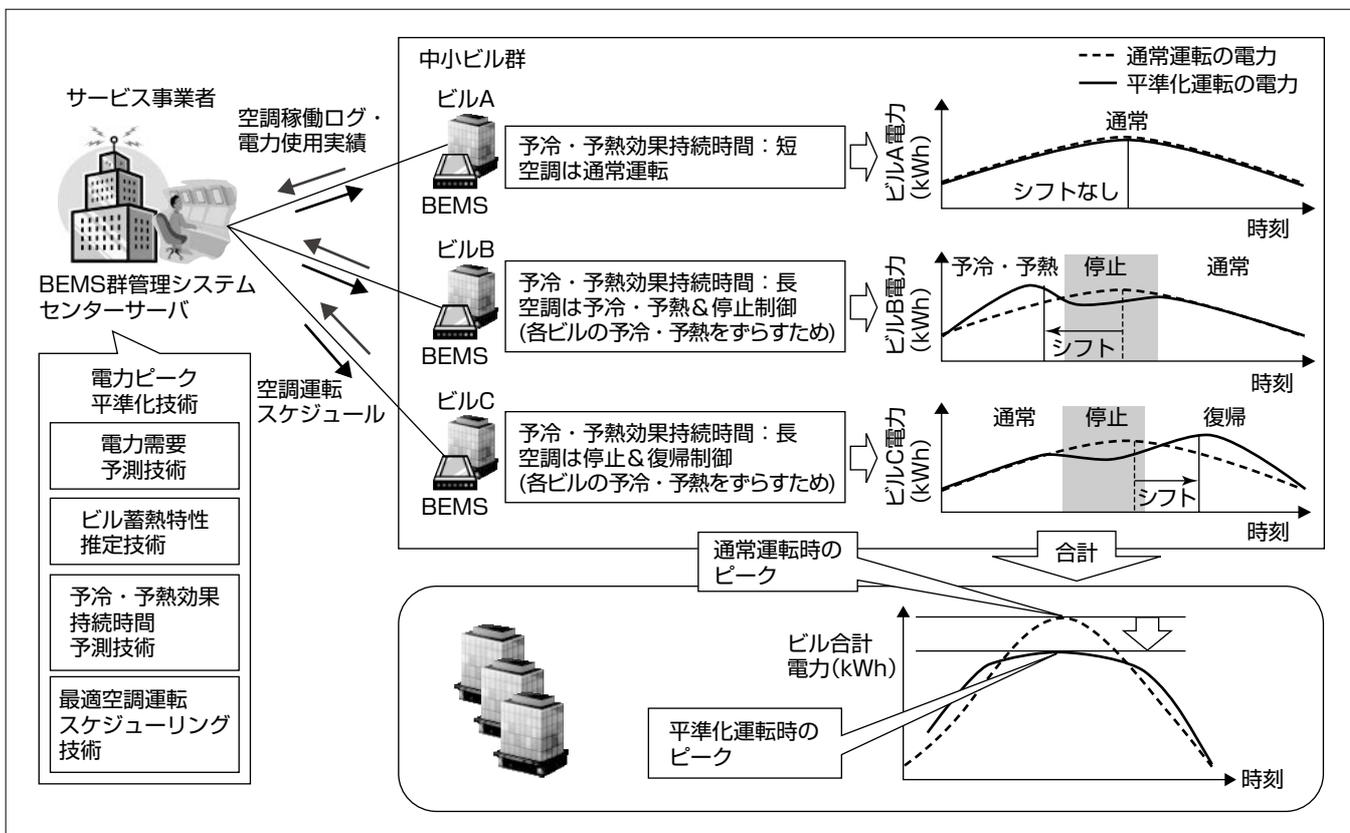
東日本大震災以降、継続する電気料金の値上げに対応し、ビルのエネルギー管理を活用した省マナー施策が求められている。ビルの電気料金のうち、基本料金は、1年間の電力ピーク時の使用実績から算出されるため、BEMS (Building Energy Management System)によって電力ピークを抑制するように機器の運転スケジュールを管理することが有効である。

電力ピークを平準化するには、空調の消費電力が最大となる時間帯を予測し、その時間帯を避けて予冷・予熱、停止又は復帰運転を行う空調運転スケジュールが必要になる。そのためには予冷・予熱効果の持続時間予測が重要である。

そこで、BEMSが日々収集している空調稼働ログや気象

実績からビルの蓄熱特性を求め、その蓄熱特性と翌日の空調運転スケジュールから予冷・予熱効果の持続時間を予測する技術を開発した。この技術を活用すると、室温変化を設定温度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内に収めながら、ビルの電力ピークを平準化する空調運転スケジュールを生成できる。また、複数のビルを対象として、各ビルの予冷・予熱時間をずらし、ビル群全体の電力ピークを平準化することで、さらに電力ピークの抑制効果を高めることが可能である。

今回、9階建てビルの各階を1つのビルと見なしてビル群を構成し、この技術を適用した結果、ビル群全体の電力ピークを6.0%抑制できた。



### ビルごとの蓄熱特性を考慮した電力ピーク平準化技術

電力ピークを平準化するために空調を停止すると、室温が快適な範囲から乖離(かいり)してしまう。しかし、ビルの蓄熱特性を考慮することで、空調を停止した際の室温変化を予測でき、室温が変化する幅を設定温度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ などと制御しながら、電力消費の時間帯をシフトする空調運転スケジュールを立案することができる。そのため、特性の異なる複数のビルを組み合わせつつ、ビル群全体の電力ピークを平準化することが可能である。

## 1. ま え が き

BEMSとは、ビル内の各設備のエネルギーデータを収集し、長期間にわたって保存することで、エネルギーデータの高度な傾向・特性分析を可能とするエネルギー管理システムである<sup>(1)</sup>。東日本大震災以降、ビルの電気料金は値上がりが続いており、電気料金節約のニーズは高い。このような背景からBEMSを導入し、エネルギー消費の無駄を発見することで、その無駄を削減するビルが増えている。また、電気料金を節約する方法として、ビルの電力ピークを平準化することも効果的である。これは、ビル向けの高圧電気料金契約が、1か月の総使用量から算出する従量料金と、1年間の電力ピークから算出する基本料金の合算となっているからである。

本稿では、BEMSに蓄積されたデータを活用して、ビル群の電力ピークを平準化する技術を述べる。この技術は、電力ピークを単純にカットするのではなく、ピーク時間帯に消費する電力を他の時間帯に移動して平準化するピークシフトを行うものである。また、この技術を三菱電機の実証設備で検証をした結果についても併せて述べる。

## 2. 電力ピーク平準化技術

### 2.1 概 要

ビルの電力ピークを平準化するには、ビルの電力ピーク時間帯を避けるように機器や設備を稼働させる必要がある。図1に、一般的なビルの電力消費傾向を設備ごとに分け模式的に示す。照明電力やコンセント電力は全時間帯を通して変化が少なく、電力ピークは空調電力の増加によって生じる。したがって、空調を適切に制御することでビルの電力ピークを制御できる。しかし、電力ピーク時に空調を停止すると、室内環境が悪化するという課題が生じる。その課題に対しては、電力ピーク時間帯を正確に予測し、その時間帯の前に室内を予冷・予熱することで対応する。予冷・予熱をすることで、空調を停止した場合に室内環境が悪化す

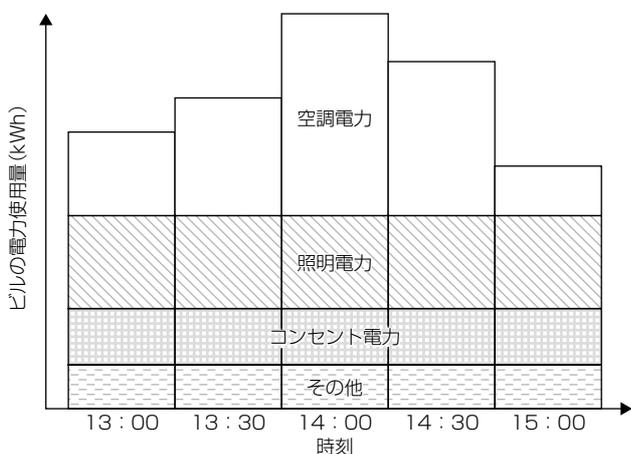


図1. 一般的なビルの電力消費傾向と内訳

るのを遅らせると同時に、電力ピーク時間帯に消費するはずであった空調電力を電力ピーク時間帯の前にシフトすることができる。

### 2.2 電力ピークを平準化するシステム構成

同一敷地内にある複数の中小ビルの電力を一括管理している場合などは、ビル群全体の電力ピーク平準化が必要になる。このとき、各ビルの電力ピークをそれぞれ平準化するよりも、各ビルの予冷・予熱時間をずらしてビル群全体の電力ピークを平準化することで、更に電力ピークの抑制効果を高めることが可能である。複数ビルの電力ピークを平準化する場合のシステム構成例を図2に示す。各ビルにはBEMSが設置されており、BEMSはビル内の空調を集中管理している空調コントローラとビルの電力使用実績値を計測している電力計測システムに接続している。BEMSは空調コントローラから空調稼働ログを、電力計測システムからビルの電力使用量を定期的に収集する。収集したデータはネットワークを介してセンターサーバに集約される。センターサーバでは、各BEMSが収集した空調稼働ログと受電電力量に加えて、気象情報配信サービス事業者から取得した気象実績や天気予報を用いて、ビル群全体の電力ピークを平準化する各ビルの空調運転スケジュールを計画する。その後、空調運転スケジュールはセンターサーバから各BEMSへ転送され、各BEMSはそれにしたがって空調を制御する。この構成例の場合、人間の意思決定が不要なため、常駐の管理人がいない中小ビルとの親和性も良い。

### 2.3 電力ピーク平準化を実現する要素技術

電力ピークの平準化技術は、図3に示すように、大きく分けて4種類の要素技術を組み合わせて実現している。これらの技術は、複数のビルを群管理することを想定し、センターサーバ側の機能として構成している。単一ビルの電力を平準化する場合、ビルに設置するBEMS上に構成することも可能である。次に、それぞれの要素技術を述べる。

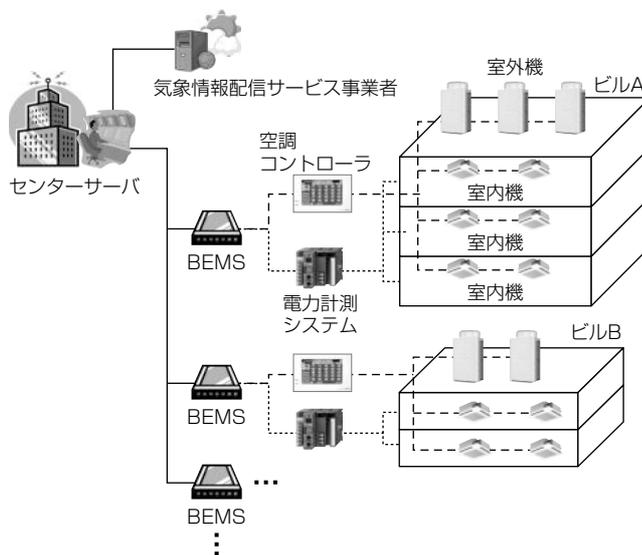


図2. 電力ピーク平準化をするシステムの構成例

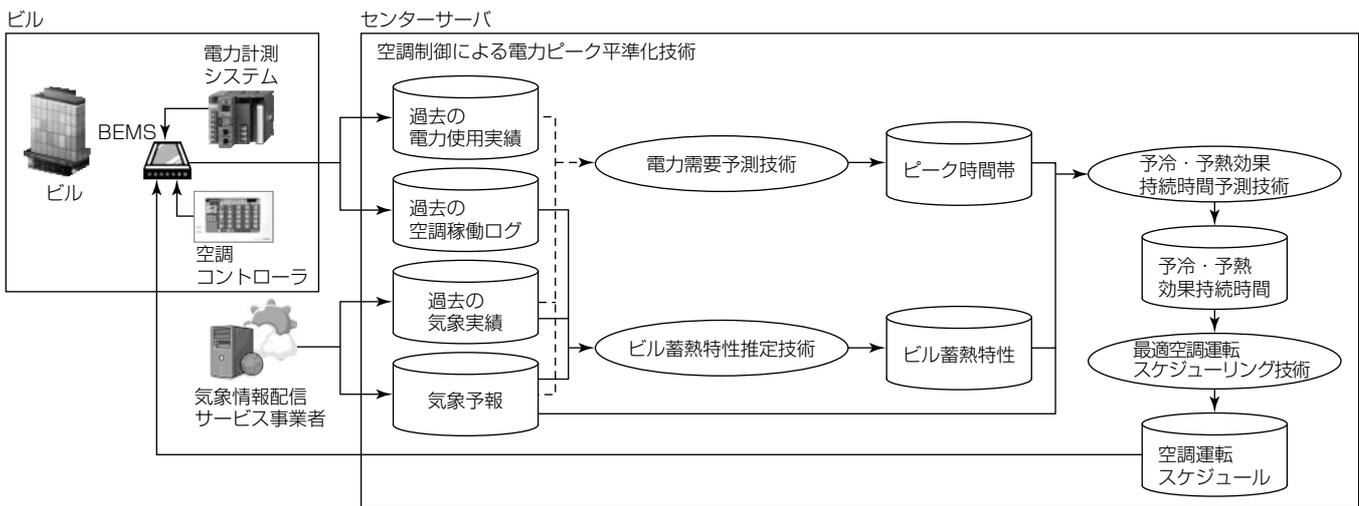


図3. 電力ピーク平準化技術の要素技術とシステム構成

### 2.3.1 電力需要予測技術

電力需要予測技術は、翌日又は当日にビルが消費する電力を30分単位で予測する技術である。まず、ビルの電力使用実績と気象実績データから回帰分析などを用いて、ビルの電力消費を表す数式モデルを構築し、そのモデルに翌日の気象予報を入力することによって、翌日の電力需要を予測する<sup>(2)(3)</sup>。当日の電力需要を予測する場合には、翌日の電力需要予測値に、当日朝の電力消費傾向を考慮することで、より高精度の需要予測ができる。

### 2.3.2 ビル蓄熱特性推定技術

ビル蓄熱特性推定技術は、ビルやフロアによって異なる室内の暖まりやすさ、冷めにくさを定量化する技術である。空調稼働状態と室温変化の相関に加えて、屋外からの熱の侵入、人体やパソコンからの発熱を考慮した熱回路網モデルを構築し、実測データから室内の蓄熱特性を表す熱容量という物理パラメータを生成する<sup>(4)</sup>。

### 2.3.3 予冷・予熱効果持続時間予測技術

予冷・予熱効果持続時間予測技術は、空調を停止したことによる室温変化の時間を予測する技術である。空調稼働ログや気象実績、翌日の気象予報から空調電力に特化した需要予測を行う。そして、空調の需要予測結果とビル蓄熱特性推定技術が出力する蓄熱特性パラメータを組み合わせることで、室温変化に要する時間を予測する。このとき、ビルが許容する室温変化制約条件(例：26～28℃)を与えれば、空調を停止しても制約条件を満たす予冷・予熱効果持続時間を算出できる<sup>(5)</sup>。

### 2.3.4 最適空調運転スケジューリング技術

最適空調運転スケジューリング技術は、ビルの電力ピークを平準化する空調の運転スケジュールを生成する技術である。まず、電力需要予測技術から得られた翌日の需要曲線のピークを最小化する最適化問題を解く。このときの制約条件として、予冷・予熱効果持続時間予測技術が算出した空調が停止できる時間を与える。空調を停止する時間と削減で

きる空調電力の間には相関関係があるので、室温の制約条件を電力の制約条件に変換することができる。こうして、生成した空調運転スケジュールを使って、ビルの空調を制御する。

## 3. 実証実験

### 3.1 実験条件

電力ピーク平準化技術を当社の実証設備で実験した結果を述べる。実証実験に用いるビルは、表1に示す中規模(総床面積約10,000m<sup>2</sup>)のオフィスビルである。9つのフロアを持っているが、居室として利用されている3階から9階の7フロアを対象とした。

この実験では、この7フロアの各フロアを小規模ビルと仮定し、ビル全体をビル群と見立てる。各小規模ビル(フロア)にBEMSを設置し、そのBEMSをネットワークでセンターサーバに接続することで、BEMS群管理システムを構築した。

表2に示すように、実験対象期間は2015年1月19日(月)～2015年1月23日(金)の5日間とした。また、今回実験を行ったビルでは、冬期は空調運転を開始する午前中に電力の使用量が多くなるため、実験対象時間を8:00～13:00とした。

この5日間のうち、電力需要予測技術によって、ビル群の電力需要予測がピークとなる電力ピーク日は、2015年1月21日(水)であった。

本稿では、5日間のうちの電力ピーク日である2015年1月21日(水)の電力需要予測に対して電力ピーク平準化技術を適用した場合の、電力使用実績とその抑制効果を述べる。ここで、室内の快適性(室温)変化の制約条件は、通常時の空調設定温度22℃の±1℃以内とした。

### 3.2 実験結果

図4に示すように、2015年1月21日(水)のビル群の電力ピークの電力需要予測値223.7(kWh)に対して、電力ピーク平準化技術を適用した結果、電力使用実績値210.3(kWh)となり、13.4(kWh)の電力使用量削減を達成した。これは6.0%の電力ピーク抑制である。

表1. 実証実験環境

項目	諸元
所在地	神奈川県
総床面積	約10,000m <sup>2</sup>
フロア数	9階建て
実験対象階	3～9階

表2. 実証実験条件

項目	条件
実験対象期間	2015年1月19日(月)～2015年1月23日(金)
実験対象時間帯	8:00～13:00
電力ピーク日	2015年1月21日(水)
空調設定温度	22℃
上限温度	23℃
下限温度	21℃

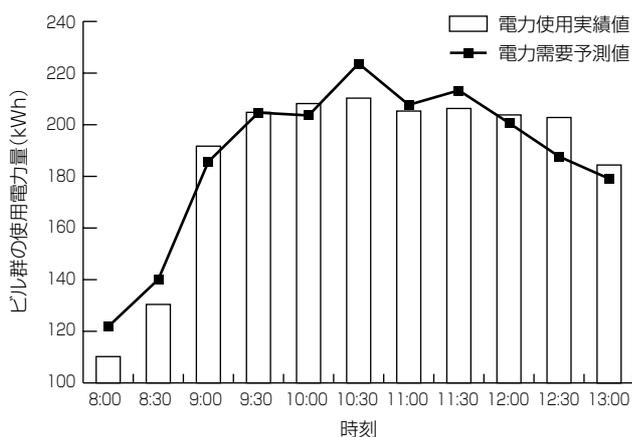


図4. 電力需要予測と電力使用実績

このときの、あるフロアの空調設定温度と室温変化を図5に示す。空調を制御して電力ピークを抑制しつつも、室温は21～23℃の範囲にはほぼ収まっていることが確認できた。また、ほかのフロアにおいても、同様の結果が確認できた。

3.3 考察

電力ピーク平準化技術によって、室温を維持しつつピーク時間帯に空調を停止することで、電力ピークを13.4(kWh)削減できた。一方で、この技術ではピーク時間帯の前に空調の予熱・予冷運転をしたり、ピーク時間帯の後に復帰運転をしたりするので、図4に示すように、8:30～9:00や12:00～12:30などで電力使用量は増加した。空調制御した時間帯の電力使用実績の総量は、電力需要予測の総量と比較すると6.1(kWh)増加した。

このとき、従量料金単価を17(円/kWh)、基本料金単価を1,600(円/kW)と仮定して電気料金を試算する。電力ピーク平準化運転による従量料金の増加分は103.7円(=17(円/kWh)×6.1(kWh))となる。一方、2015年1月21日(水)の予測電力ピークが年間電力ピークであったと仮定した場合、電力ピーク平準化による基本料金の削減分は42,880円(=1,600(円/kW)×(13.4×2)(kW))となる。したがって、従量料金の増加分比べて、基本料金削減分が大きく上回り、この電力ピーク平準化技術は、ビル群の電気料金節約に有効であると言える。

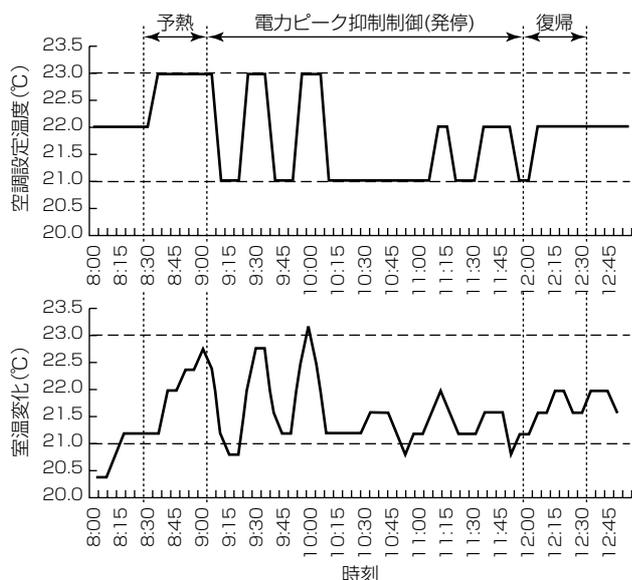


図5. 空調設定温度と室温変化

4. むすび

BEMSに蓄積している電力データや空調の稼働データを活用して、ビル群の電力ピークを平準化する技術とその実証結果について述べた。

今後は、ビル群に閉じた電力ピーク平準化だけでなく、デマンドレスポンスと呼ばれる電力系統からの節電要請への対応も必要になっていくだろう。BEMSに対する様々なニーズを的確に捉え、ユーザーへの訴求力を高める技術開発に邁進(まいしん)していく所存である。

参考文献

- (1) 柴 昇司：ビルエネルギーマネジメントシステム“Facima BA-system BEMS”，三菱電機技報，88，No. 3，209～212 (2014)
- (2) 川野裕希，ほか：複数の予測法の組合せによる需要家向けの電力需要予測方式の提案，情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム(CDS)，3，No. 1，53～63 (2013)
- (3) 川野裕希，ほか：スモールデータアプローチによるオフィスビルの電力需要予測方式，情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム(CDS)，4，No. 2，1～9 (2014)
- (4) 野中美緒，ほか：Grey-boxモデルを適用した建物熱評価モデルの検討，空気調和・冷凍連合講演論文集，44，131～134 (2010)
- (5) 佐藤冬樹，ほか：フロア蓄熱を用いたピークシフト空調制御方式，電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集，TC11-10，536～539 (2014)