

# オフィスビル省エネシミュレーション技術

川岸元彦\*  
竹内浩一\*\*

## Energy Saving Simulation for Office Building

Motohiko Kawagishi, Koichi Takeuchi

### 要旨

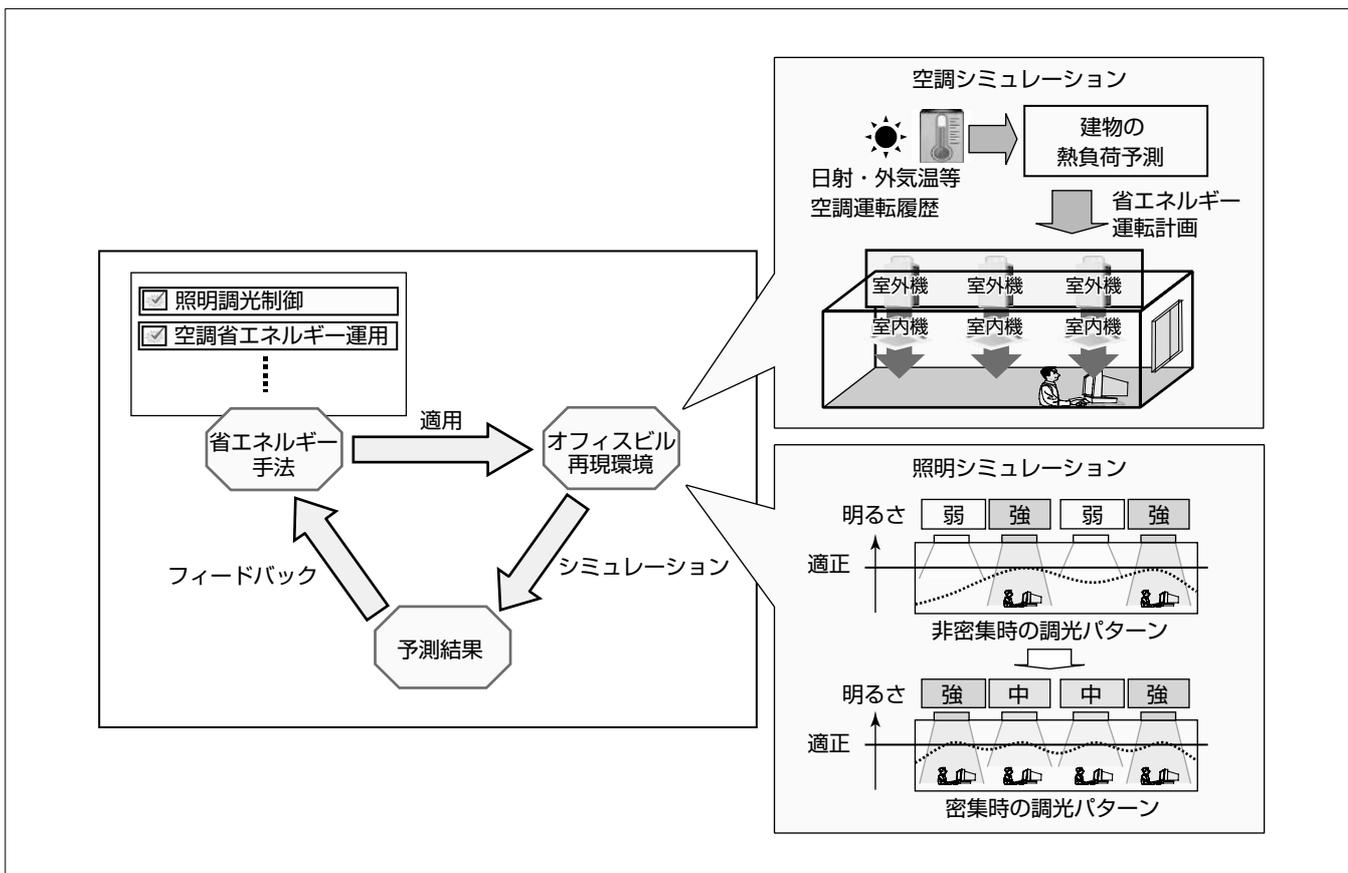
昨今、持続可能な循環型社会の実現の観点から、エネルギーの有効利用が重要な課題となっている。特に業務用ビル(以下“オフィスビル”という)では、近年のエネルギー消費の増加が著しいため、省エネ法改正や東日本大震災後の節電対応を踏まえた省エネルギー対策が急務である。

オフィスビルの消費電力量の約7割を占める照明と空調の省エネルギー対策は重要な課題であり、これまでに各種センサを活用した運転方法や高い省エネルギー性能を持つ機器への更新などの様々な対策が提案されている。しかし、これらの対策に伴う効果の予測では、例えば、照明の場合は、各執務者の座席配置や動態情報等が十分に考慮されて

はならず、一方、空調の場合は、オフィスビルの熱特性と空調機の運転データ等が有機的に連携していないために予測精度に課題があった。

そこで、三菱電機では、執務者の在席状況に基づく照明制御による省エネルギー効果と、気象データや空調機の運転データ等から推定したオフィスビルの熱特性を用いた空調運転による省エネルギー効果をそれぞれ予測できる“オフィスビル省エネシミュレーション技術”を開発した。

本稿では、この省エネシミュレーション技術と当社ビルを対象にした実証実験の結果について述べる。



### オフィスビル省エネシミュレーション

オフィスビル省エネシミュレーションは、空調シミュレーション及び照明シミュレーションから構成される。空調シミュレーションでは日射、外気温及び空調運転履歴から推定した建物の熱負荷を基に、除去熱量や室温の変化を予測し消費電力を試算可能である。一方、照明シミュレーションでは、ビルモデルに、照明器具配置、機種及び入退室管理装置から得た過去の在/不在情報を適用することによってビルにおける照明の稼働状態、消費電力及び机上面照度などを予測できる。

## 1. ま え が き

近年、オフィスビルのエネルギー消費増加は著しく、省エネルギー対策が急務となっている。特にオフィスビルの消費電力量の約7割を占める照明と空調の省エネルギー対策は重要な課題であり、人の動きと連動した自動制御による省エネルギー運用<sup>(1)</sup>や高い省エネルギー性能を持つ機器への入替え等、様々な省エネルギー対策が提案されている。

オフィスビルオーナーへの提案時には、運転方法の変更や新たな機器導入による省エネルギー効果を提示する必要がある。しかし、現状の省エネルギー効果予測は、例えば、照明の点灯を模擬する場合は執務者一人一人の座席位置や在／不在の頻度までは考慮されておらず、一方、空調の場合は導入先のオフィスビルについて、例えば、断熱性や蓄熱性等の熱的な特性が考慮されていないために、予測精度に課題があった。

## 2. 省エネシミュレーション技術の概要

現状の省エネルギー効果の算出では、開発した省エネルギー制御方式をオフィスビルで実際に運用することによって、その効果を検証する方法が一般的である。一方、本稿では①オフィスビルを計算機上でモデル化し、②モデル化したオフィスビルで照明・空調機器の実運用を模擬することによって、省エネルギー効果と快適性を検証し、③空調機や照明等の機器制御へフィードバックするという手法を提案する。

## 3. シミュレーション技術の特長

### 3.1 照明シミュレーション

照明の省エネルギー手法として、人感センサや入退室管理装置から得られる人の在／不在情報を利用し、照明を点

灯（調光）させる制御手法が実用化されている<sup>(1)</sup>。しかし、これらの省エネルギー制御によってどれだけの節電効果が得られるかは、オフィスビルごとの立地条件や照明器具の配置、座席配置の偏り等によって異なる。そのため省エネルギー制御による節電効果を正確に予測することは難しい。

そこで、省エネルギー制御による節電効果を予測可能にするため、照明省エネシミュレータを開発した。このシミュレータには、照明器具の配置、機種、及び壁の反射率などの情報に加え、執務者の座席位置と時間ごとに変化する執務者の在／不在の情報を用いて構成するビルモデルが組み込まれている。このモデルに実際のビルの照明器具配置、機種、及び壁の反射率、執務者座席位置、入退室管理装置から得た過去の在／不在情報を当てはめることで、実際のビルにおける照明設備の稼働を模擬することができ、結果として照明の消費電力とその際に得られる机上面照度が予測可能となった。これによって、例えば、①壁スイッチ単位でのON/OFFする制御と、②在室者付近の照明器具だけを調光点灯する省エネルギー制御とを比較し、節電効果と快適性(明るさ)を定量的に評価することが可能となった(図1)。

### 3.2 座席・照明関連モデルに基づく省エネルギー制御

ここで提案する照明制御では、執務エリアにおける在席状態に応じて、執務スペース付近にはあらかじめ設定された目標照度を与える一方、不在者エリアの明るさを抑えることで省エネルギーを実現する。まず、照明と執務者の座席位置に基づき照明が座席位置に与える明るさの影響度をモデル化し、在室者間の距離に基づき在席密度をモデル化する(図2)。そして、その影響度に基づき在席者の座席付近だけをあらかじめ設定された明るさになるように照明を調光制御する。一方、在席密度大の領域では、複数の照明が複数の在席者へ影響を及ぼすため、各在席者の明るさが



図1. 照明省エネシミュレータ

目標照度に近づき、かつ消費電力量を抑えるように照明を調光制御する。この省エネルギー制御方式の制御イメージを図2に示す。この図に示すとおり、在席状況や在席密度に応じて照明の調光率を変化させることで、執務者エリアの在席状態に合わせて照明を最適に制御することが可能となる(図3)。

3.3 空調シミュレーション

空調機は室内の温度を一定に保つために不要な熱を除去する、又は熱を室外から運んでくる仕事をしている(以下、冷房時の運転を想定して“除去する”という)。空調機の仕事効率化するためには、室内から除去すべき熱量を把握することが望ましい。しかし、その熱量は、壁の材質や厚

さ、窓の大きさ、在籍人数、OA(Office Automation)機器の稼働状況及び外気温や日射量などによって大きく変動するため、事前に把握するのは困難であった。

そこで、過去の気象データと空調機稼働データを用いて、オフィスビルの断熱性能や蓄熱性能などの熱特性を推定することによって、除去熱量や室温の変化を予測し、消費電力量を試算可能な空調省エネシミュレータ(図4)を開発した。このシミュレータによって、空調機の運転スケジュールや省エネルギー効果を事前に検証・評価することが可能となる。

次に、このシミュレータの核となる建物熱特性推定モデルと空調最適運転スケジュールの立案について述べる。

3.3.1 建物熱特性推定モデル

建物熱特性推定モデルは、窓・壁からの熱の侵入、人やパソコンの発熱、空調機の排熱等の関係を表す熱回路網モデルとして定式化する。モデルの係数として表現される壁の断熱性や蓄熱性等の熱特性は、過去の外気温・空調運転履歴等のデータを用いて推定する。この推定には、物理的な理論式とデータの統計処理とを組み合わせた、グレーボックスモデルと呼ばれるシステム同定手法を用いる。このモデルに翌日の気温変化を入力データとして与えることによって、翌日の除去熱量を予測できる。

3.3.2 空調機最適運転スケジュールの立案

次に、予測した熱負荷を除去しつつ、複数の空調機トータルでの消費電力が最小となるような運転スケジュールを立案する。その際、居住者の快適性を損なわないように、フロアを複数のエリアに分割し、各エリアの室温を設定温度に近づけるように運転する。

4. 実証実験

今回、震災に伴う節電対策の一環として、構内の複数ビルに分散していた執務者を1棟のビル(図5)に集約した。この機会を利用して、シミュレーション精度の検証と省エネルギー効果の実測を行う実証実験を実施した。実証対象のエリアは、このビルのうち7フロア(延床面積約12,000平米)、照明約1,500台、空調室内機約350台を対象とした。また、人員集約後の執務者数は約1,200名(震災前:約500名)となっている。

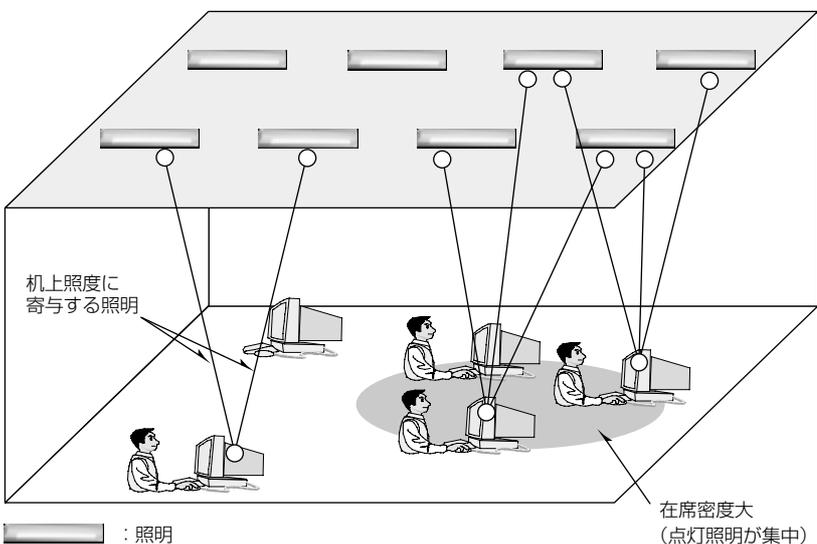


図2. 座席・照明相関モデル

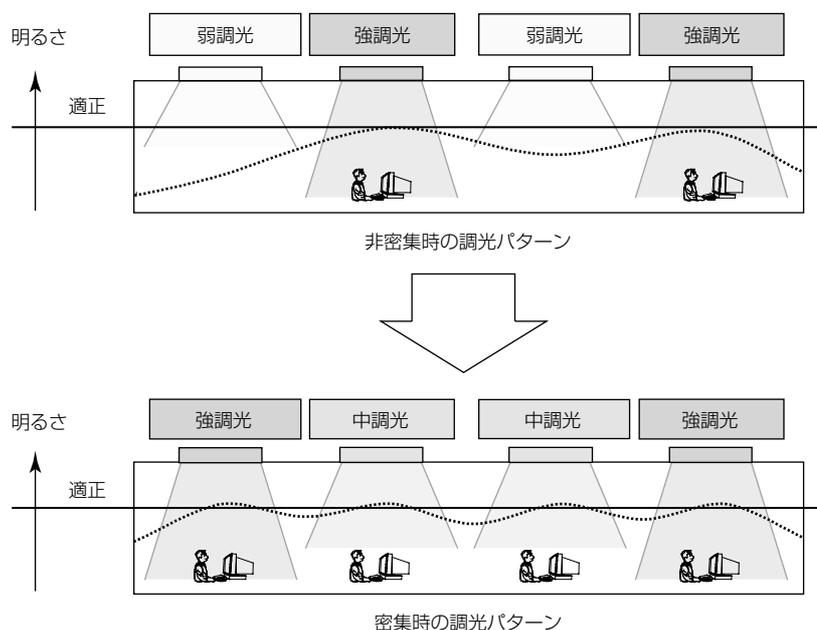


図3. 省エネルギー制御方式

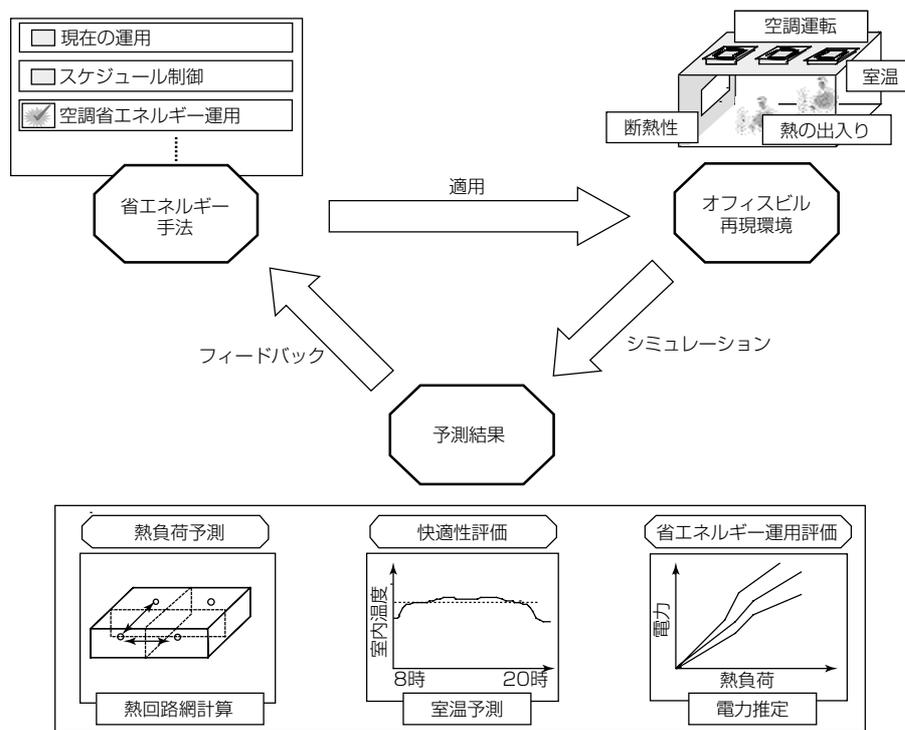


図4. 空調省エネシミュレータ

#### 4.1 照明シミュレーションの検証

照明器具の情報、及び執務者の座席位置と在／不在の情報を入力としてビルを再現し、省エネルギー制御を適用した場合の消費電力量を算出した。なお、在／不在の情報は、実験対象ビルに設置済みの当社製入退室管理システムから取得した執務者の出入り情報を利用した。その後、実証対象ビルに省エネルギー制御を実際に適用し、消費電力量を実測評価した。シミュレーションの結果、執務者をビルへ集約した場合でも、入退室と連動した調光制御による省エネルギー制御によって、壁スイッチによる通常運用と比較してピーク時の消費電力を30kW削減可能と予測した。その後の実測評価では、ほぼ想定どおりに電力を削減できたことを確認した。

#### 4.2 空調シミュレーションの検証

実証対象ビルで収集した空調運転履歴と気象情報を用いてビルの熱特性を推定した。その後、実証対象ビルの1フロアに対して、先に述べた熱特性推定に基づく空調機省エネルギー運転を実際に適用し、消費電力量を実測評価した。なお、震災による人員集約に伴い、このフロアの収容人員は約130名(震災前：約60名)である。昨年同時期と比較した結果、収容人員約2倍に対してほぼ同等の消費電力量(2週間の平日平均で5%削減)で空調制御が可能であることを確認した。また、制御対象フロアを7エリアに分割して制御した結果、各エリアにおける設定温度に対する室温の二乗誤差平均が1℃未満となり、エリア間の室温のばらつきが改善されたことも確認した。



図5. 実験対象のビル

### 5. むすび

本稿で述べたシミュレーション技術は、オフィスビルの空調や照明機器の運転方式改善や省エネルギー機器への更新に伴う省エネルギー効果の事前検証に不可欠である。今後、オフィスビルの省エネルギー、及びゼロエミッションビルの実現に向けて、このシミュレーション技術の更なる深化と空調や照明に対する省エネルギー制御技術の研究開発を進める所存である。

#### 参考文献

- (1) 金子洋介, ほか: 入退室管理-照明連携省エネ制御システム, 三菱電機技報, **83**, No.9, 551~554 (2009)
- (2) 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)