

外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発（その6）
電気設備～照明システム・電源システム・搬送システムの計算体系

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 6)

Outline of the Modeling Method of Electrical Installation

– Lighting Systems, Electrical Power Supply Systems, and Elevators

正会員 滝澤 総 (日建設計) 特別会員 村上 周三 (慶応義塾大学)
稗田 雄大 (日本設計)
So TAKIZAWA^{*1} Shuzo MURAKAMI^{*2} Takehiro HIEDA^{*3}
^{*1}Nikken Sekkei ^{*2}Keio University ^{*3}Nihon Sekkei Inc.

This study aims to develop a calculation tool “BEST”, which is able to simulate overall energy consumption of MEP systems. This paper presents the outline of the modeling method of electrical installation in BEST. Lighting systems, electrical power supply systems and elevators are the subject of electrical installation.

はじめに

本研究は、地球環境負荷削減を目的とした建築物での空調、電気、衛生の各システムに関する総合的エネルギー消費量の計算ツールの開発と実用化を目的としたものである。前報において、全体開発意義と構想、空調システム、給排水衛生システムの計算の骨子と概要を述べた。

電気設備分野におけるシミュレーションとしては、照度や輝度といった視環境解析を主たる目的とした照明・採光シミュレーションや、エレベータのサービス検討を目的とした交通計算シミュレーションツールなどの使用頻度が高い。エネルギー消費を扱ったものとしては、エネルギー使用の合理化に関する法律（省エネ法）における照明エネルギー消費係数 CEC/L、エレベータエネルギー消費係数 CEC/EV があり、計算方法や諸係数が整理されている。CEC 計算では、高効率変圧器や自然エネルギー発電、コージェネレーションシステムなどのエネルギー効率化設備を導入した場合の反映の枠組みも用意されているが、エネルギー消費量そのものを計算するといった形での使用頻度は少ないと思われる。また電気設備学会の地球環境を考慮した電気設備調査研究委員会¹⁾では、環境負荷低減手法 14 技術を建物に適用した効果として、エネルギー消費量、LCCO₂ 及び LCC などを試算しているが、年間値で評価しており気象データとの連動や空調設備との相乗効果を考慮できていないなど、改善の余地がある。その他、太陽光や風力といった発電システム、コージェネレーションシステムの個々の計算ツールも普及しているが、建物全体を扱える枠組みにはなっていないという現状がある。

本報では、既往研究の知見を生かしながら、業務用建物におけるエネルギー消費量を算出し、省エネルギーに寄与できる計算ツール BEST の開発のうち、電気設備に関する骨子とその体系の概要を述べる。ここで電気設備とは、エネルギー供給設備である電源システム（発電装置などを含む）、電力供給を受けサービスを提供する照明システム、搬送システムなどを対象とする。

1. 電気設備の計算プログラム開発の目的

1.1 電力を中心としたエネルギーの流れを総合的に把握する

空調、給排水、照明、コンセント、搬送システムなどを、電源設備の負荷システムとして同じ枠組みで扱うことによりエネルギー消費の流れを総合的に把握する。例えば空調システム部分負荷時における電源の需要率（最大需要電力と負荷設備容量の比）などを捉えることができる。

さらに、時刻ごとのエネルギー消費量を算出することにより、発電システムやコージェネレーション導入時のシステムや商用電力の挙動、電力貯蔵などのバッファ機能の必要性・容量についても把握できる。

1.2 建築、気象条件との連動を図る

照明システムにおける自然採光の寄与など、室・窓・ブラインドなどの建築形状、本プロジェクトで収集された日射量などの気象条件との連動を図ることで、具体的なエネルギー消費量を把握できる。

また、太陽光や風力発電システムなどにおいては設置位置と時刻ごとの日射量や風量により発電量を計算することにより、システムの最適設計に寄与できる。

1.3 機器・システムの特性、使用・運用パターンとエネルギー消費量の関係を把握する

空調系シミュレーションツールで、これまで条件として入力されてきた照明やコンセントのデフォルト負荷パターンも用意しつつ、実状に合った機器・システム特性・容量や使用・運用パターンを入力できることとする。ここで機器・システムの特性は、製造者を特定しない標準形（一般型、省エネルギー型、従来品）を選択できるものとし、更に固有の特性値も入力できるものとする。これにより、例えば電源システムの損失計算において、現況の使用パターンのまま、1970年頃に導入した変圧器（従来品）と現在のトップラナー変圧器や超高効率変圧器のエネルギー消費量の比較シミュレーションなどが可能となる。

1.4 空調、給排水システムとの更なる連成を図る

1.1において述べた空調、給排水システムなど負荷システムと電源システムの連成に加え、照明やコンセント発熱の空調システムへの影響、負荷率に応じた変圧器発熱と空調システム（換気）への影響などの更なる連成を図ることにより、総合的な設計・運用が可能となる。

またコージェネレーションシステムにおける電力・熱の総合利用など、空調、給排水、電源システムを連成した制御の計算への導入、データのやり取りを可能とする。

なお、気象やシステム相互間の連成が不要な場合は連成解除設定も可能とし、単独のシステム検討なども可能とする。

2. 開発の枠組み

2.1 マクロデザイン

1. の目的を達成するための電気設備のマクロデザイン

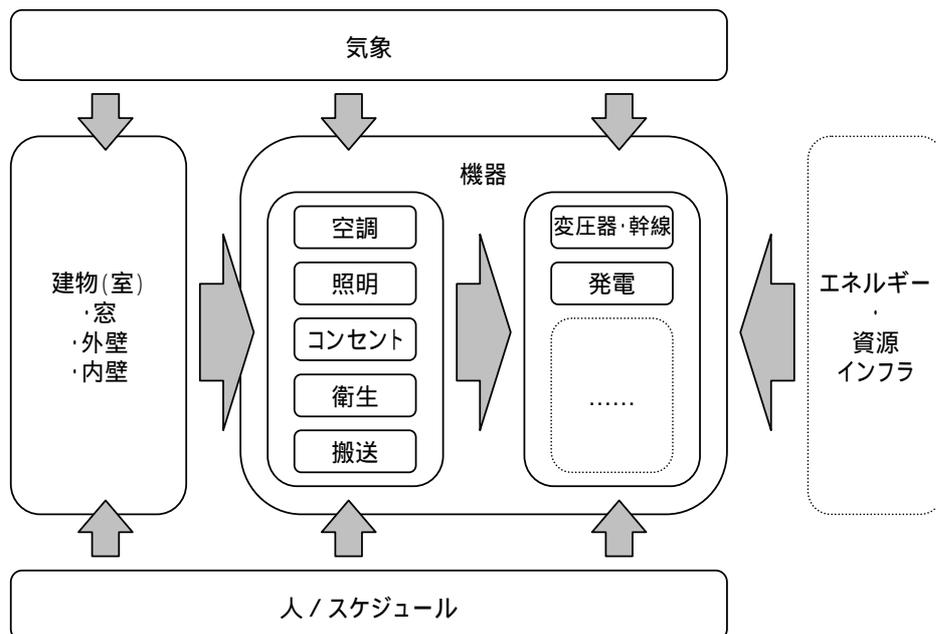


図1 電気設備のエネルギー計算のマクロデザイン

を図1に示す。例えば照明システムのシミュレーションは、日射という気象データが当該室に寄与する自然採光量を把握し、必要照度など視環境形成に必要な挙動（点滅、調光）を行い、見合う電力を変圧器・幹線などの電源システムに対し要求する、といったフローとなる。

2.2 エネルギー消費量を総合的に把握する仕組み

電力などエネルギー消費量の総合的把握のための仕組みとしては、負荷機器に供給元に関する属性を割り当てることを考えている。図2にイメージを示すが、実際はBESTのGUI画面（平面図）において、供給元の盤と負荷機器間をコネクタ（図2の幹線、配線に相当）で接続することで電力供給を受けることとする。

さらに、これを煩瑣とする場合には、負荷機器側の单相（電灯コンセント）、三相（動力）の設定だけで接続する電源システムを想定した計算を行うなどの簡易方式も検討している。

なお電力に関しては、電力[kW]・電流[A]のどちらかと力率を変数として扱うことで有効分、無効分を含めた総合的な検討を可能とする。



図2 電力量を総合的に把握する仕組みのイメージ

3. プログラムの活用方法と将来展望

3.1 電源システム設計・運用のガイドとして使う

(1) 変圧器・幹線の容量設計ガイド

変圧器や幹線の容量設計に当たっては、機器の負荷特性や運用パターンなどによる需要率の影響が大きい。需要率が不明な場合、国土交通省の設計基準に記載の補正係数²⁾を使用することが多いが、運用・使用形態に依存すること、将来の負荷増設などを見越して安全側に設計することが多いと思われ、機器未決定段階の安全率、需要率の安全率、必要容量の上位で電源機器を選ぶことの余裕などの相乗効果で電源設備容量が大きくなることが多い。(社)日本電機工業会に拠れば変圧器の負荷率は19%～43%程度(高圧需要家)³⁾とされており、機器特性や使用・運用状態を推定できる場合にBESTにて解析を行うと、変圧器や幹線容量の低減可能性がある。

(2) 力率改善コンデンサの容量設計ガイド

受電点における力率を改善するコンデンサ容量も機器の負荷特性、特に(改善前)力率と需要率の影響が大きい。一般的に、制御盤内にコンデンサを有しない低圧電動機の改善前力率は0.80とされている²⁾が、負荷力率が自明の場合は低減の可能性が高い(表1)。さらに変圧器の無効電力改善分も合算してコンデンサ必要容量となるため、変圧器特性も重要でBESTで機器選択することにより、コンデンサ容量の総合的な検討が可能となる。

表1 負荷力率とコンデンサ必要容量の関係

改善前力率 cos θ_0	改善後力率 cos	
	0.98	1.00
0.80	Qc=0.438P	Qc=0.600P
0.85	Qc=0.354P	Qc=0.526P
0.90	Qc=0.253P	Qc=0.436P
0.95	Qc=0.119P	Qc=0.312P

注) コンデンサ必要容量 $Qc[kVar]=P \cos \theta_0 (\tan \theta_0 - \tan \theta)$
P[kVA]の負荷力率を改善する場合

(3) 電源設備の設計・運用ガイド

BESTでは、時刻ごと、受電点、変圧器単位、幹線単位、盤単位、機器単位など、さまざまなレベルでの電力量の把握ができる。また各サブシステムの機器選択も可能であるので、例えば電気設備設計者が、設計初期段階で、熱源種別や主要室方位など空調システムの概要を入力することで、電源設備の概略容量を検討可能となる。

設計内容が固まってくると、計算結果により契約電力の推定や、デマンド制御対象負荷機器・制御方法の抽出、更にはデレーションカーブなどによる負荷平準化のための検討も可能となる。また夏季休暇がある学校など季節による負荷変動が大きい施設の変圧器バンク構成の検討、外気高温時に定格容量を超過することが良く知られ

ている自己冷却式の熱源・空調機の必要電力、電流計の検討などにも利用できる。

運用時には実使用データを入力することにより、設計値の検証や、運用改善の目安を得られる可能性がある。また機器増設時の電力余力判定検討⁴⁾や、電源設備更新時のガイドとしても有効なツールとして機能すると思われる。

(4) 計量システムの設計・運用ガイド

環境負荷削減のためのエネルギー計量器の設置箇所の選定は重要である。文献5)においては電力量計の設置箇所について整理しているが、BESTをシミュレータとして利用することにより、容量・負荷変動が大きい重要ポイントや、負荷変動が小さく常設機器が不要となるポイントの把握などが可能と思われる。

運用時には、実況値と設計時・推定値と比較することにより、BEMS機能としても利用することが可能である。

3.2 高効率機器採用時の省エネ効果を把握する

電気設備機器の高効率化の進展は目覚ましいものがあり、例えば照明器具では30年間で1.7倍に達している(図3)。照明器具のみならず、変圧器、エレベータについても効率化が進んでおり、BESTでは高効率機器を採用する場合の省エネルギー効果を具体的に把握し、ライフサイクル評価に反映することが可能である。リニューアル時には実負荷値にて省エネルギー効果を把握できるため、高効率機器導入促進に寄与する可能性が高い。さらに負荷システムの高効率化が電源システムの容量低減にも寄与するような場合は導入効果なども、BESTでは一元的に把握でき、有用なツールとなると思われる。

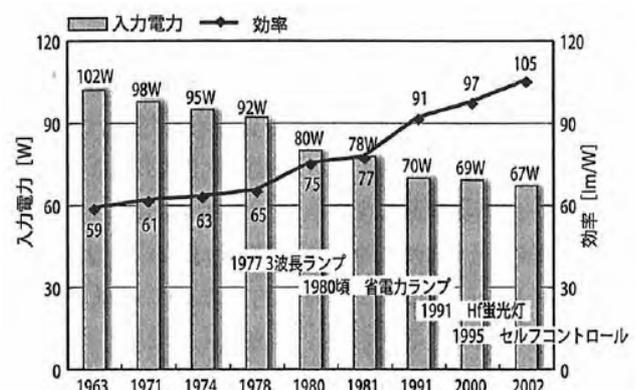


図3 照明器具の効率の変遷⁶⁾

3.3 照明制御システムの総合的な効果を検証する

電気設備に関するエネルギー消費量は建物全体の約1/3を占め、その約90%が照明用途で消費されている(コンセント設備を除いた場合、図4)。照明システムの省エネルギーは前項の高効率化機器の採用に加え、各種制御の適用により達成される。制御システムを適用した場合

の削減量の把握のための計算法として文献⁷⁾などがあるが、窓の大きさ・性能、センサ配置、在室率を固定し期待値を求める簡易計算法であって、建築・気象データと連動した昼光利用照明制御と人感センサによる在室検知制御などを総合的に評価するツールとしては、BEST は初の試みと言って良い。さらに自然採光による熱負荷増の処理など、光と熱のトレードオフの検討も可能であるので、二次的な効果に踏み込んだ検討が可能である。人感センサ・明るさセンサの複合的な制御、空調やブラインドとの協調制御などの適用事例が増えていることもあり^{8)~10)}、BEST は有効な設計ツールとなると思われる。

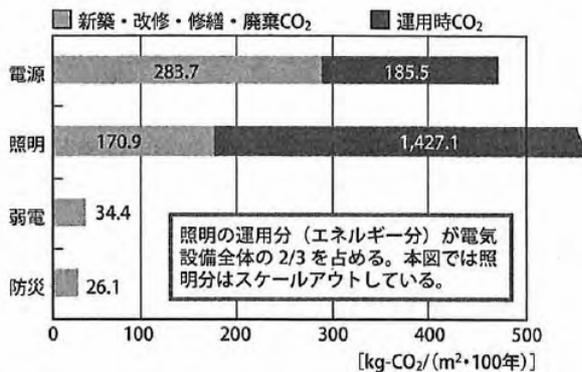


図4 電気設備に関するLCCO₂排出量試算例⁶⁾

3.4 気象データを活用し、自然エネルギー発電の最適設計へ適用する

例えば太陽光発電の検討では、これまで月間日射量を用いることが一般的で、自然エネルギー発電の検討では変換された気象データを使用することが多かった。BESTでは豊富な気象データを用い、時刻ごとの太陽光発電や風力発電システムを計算で、電力融通や商用電力との系統連系（逆潮流の有無、量）の検討に有効なツールと思われる。また悪条件、例えば不照が続く場合の太陽光発電システムの検討なども可能であるため、単独運転の場合の蓄電池バックアップ時間の検討などにも使用できる。

3.5 その他

建物全体の待機出力など小容量電力は、計量機器の設置場所によっては計量誤差範囲¹¹⁾に入っており、把握困難な場合が多い。BESTは計算上、計量器誤差をゼロと設定できるため、小容量電力の推定などにも活用できる。

おわりに

総合エネルギーシミュレーションツールBESTの電気設備関連の開発の骨子と体系を示した。ツールの使用により、エネルギー消費係数CEC値に相当する計算も可能であり、更なる検討としたい。また電気設備の設計ツールとしても有用で、特に電源システムの設計のあり方を変える可能性があると思われる。検討を続けたい。

【謝辞】

本報は、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する「BEST 開発普及事業研究会(村上周三委員長)」ならびにアーキテクチャ検討部会(坂本雄三部会長) 電気設備作業部会(滝澤総部会長)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表すものである。電気設備作業部会名簿(順不同) 部会長:滝澤総(日建設計) 幹事:稗田雄大(日本設計) 委員:高橋文雄(松下電工)、久保田正治(東芝) 笹生健司(きんでん) 小澤正一(東京電力) 船谷昭夫(大阪ガス) 協力委員:櫻井文雄(日建設計) オブザーバ:野原文男、事務局:吉田剛司、水谷周(以上、日建設計) 諏佐庄平、生稲清久(以上、建築環境・省エネルギー機構)

【参考文献】

- 1) (社)電気設備学会「地球環境を考慮した電気設備調査研究委員会」、地球環境を考慮した電気設備～電気設備から見た地球環境負荷削減の基本知識～、2003年9月、pp.資10-1～10-214
- 2) 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課監修「建築設備設計基準」(平成18年版)、(社)公共建築協会・(財)全国建設研修センター、2006、pp.88～89、pp.97
- 3) 望月良朗:省エネルギー法特定機器「受配電用変圧器」の判断基準、電機、2002年4月、pp.13～17
- 4) 電気設備学会関西支部:電力余力判定方法の調査研究、2007、pp.22～28
- 5) (社)空気調和・衛生工学会:SHASE-M007、設備システムに関するエネルギー性能計測マニュアル、2006、pp.5-1～5-4
- 6) 日本建築学会:「資源・エネルギーと建築」8.5 電気設備の省エネルギー、2004、pp.259-265
- 7) (社)日本照明器具工業会:技術資料130-2001「照明制御装置による消費電力削減効果の評価手法」、2002年2月
- 8) 村上昌史、本間睦朗、天野昌幸、山根浩:省エネルギーと環境、快適性を考慮した協調制御に関する研究、平成15年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.1445～1448
- 9) 本間睦朗、吉田剛司:人感センサを用いた省エネルギーに関する研究、平成18年度電気設備学会全国大会講演論文集、pp.73～76
- 10) 上村昌人、藤岡茂、山際将司、小原和輝:執務者に配慮した照明制御システムの省エネルギーと視環境の検証、平成18年度電気設備学会全国大会講演論文集、pp.171～172
- 11) (社)電気設備学会「地球環境委員会」、地球環境委員会活動報告、平成18年度電気設備学会全国大会講演論文集、pp.437～438