

電気設備プログラムの概要

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 35)

Outline of the Models of Electrical Installation

正会員 ○滝澤 総（日建設計） 特別会員 村上 周三（建築研究所）
 稗田 雄大（日本設計） 櫻井 文雄（日建設計）

So TAKIZAWA*¹ Shuzo MURAKAMI*² Takehiro HIEDA*³ Fumio SAKURAI*¹
¹Nikken Sekkei ²Building Research Institute ³Nihon 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 models of electrical installation in BEST. Lighting systems, electrical power supply systems and elevators are the subject of electrical installation.

はじめに

BEST の電気設備プログラムは4つの目的、すなわち電力を中心としたエネルギーの流れの総合的な把握、建築・気象条件との連動、機器・システムの特長や運用パターンとエネルギー消費量の関係把握、建築、空調との更なる連成を掲げて開発を行ってきた¹⁾。開発の対象は、

電源（変圧器、太陽電池、盤類）、照明、コンセントおよびエレベータの6モジュールである。

本報では、電気設備プログラムの概要及び各要素モジュールの構成について報告した後、電源部分を一体として簡易に扱うテンプレートについて提案する。

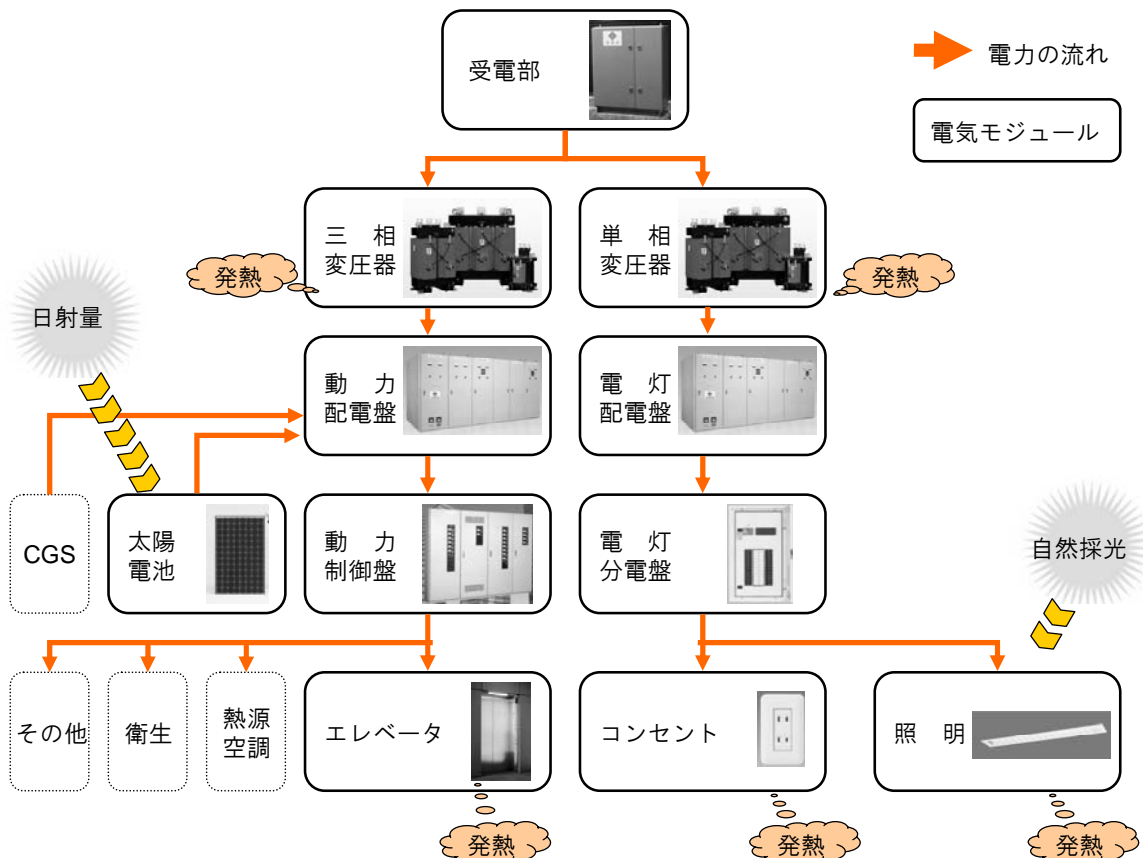


図1 電気設備プログラムの構成

1. 電気設備プログラムの概要

図1に、電気設備プログラムの構成を示す。電力の流れに沿って、電源システムを盤類（受電部、配電盤、動力制御盤、分電盤など）、変圧器、各種発電システムのモジュール接続で構成し、これに負荷機器（照明、コンセント、エレベータ、熱源、空調、衛生など）を接続することで電力量の計算を行う。図は高圧受電設備+低圧発電機器（CGS、太陽電池）の例であるが、特高受変電設備があれば上位階層を1段追加する、発電設備が高圧出力であれば接続箇所を上位に変更する、などで対応する。なおBESTにおいて電力とは、BestElectricityというクラスで扱われ、有効電力（これの時間積算値が消費電力量）、電圧、電流、相数、力率、周波数の状態を有したものである。以下において『消費電力量』との簡易記述するが、BestElectricityというクラスを指すものとする。

2. 要素モジュール

BESTにおけるモジュール基本記述（図2）に従い、各要素モジュールについて説明する。

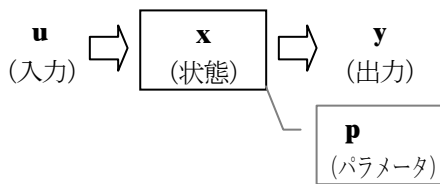
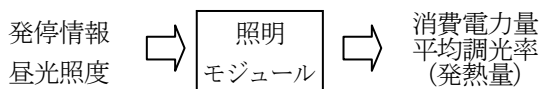


図2 要素モジュールの基本記述

2.1 照明モジュール

照明モジュールには、照明器具、センサなどの情報を入力しフィードバック制御を行う場合の消費電力量を算出する詳細法と、単位消費電力に需要率スケジュールを乗じて電力量を算出する在来法の2種類がある。ここでは詳細法について説明する。（在来法は2.2に準じる）



状態	センサごと直下の昼光照度、人工照明による直接照度、間接照度、調光率
パラメータ	設定照度 lx 制御種別（昼光連動/適正照度補正、在室検知 [在室パターン]、なし） 照明器具形式（配光分布）、定格消費電力 W 、電力-調光率特性、保守率、器具、センサ配置 室形状・作業面高さ、室反射率 熱換算係数

図3 照明モジュールの入出力、状態、パラメータ

計算順序は発停状態 ON において下記とする。

①前処理

- ・センサ（計 n 台）ごとに制御する照明器具群を設定する（群数も n となる）。
- ・調光率 x と照度 E の関係式(1)を求める。具体的には、センサ直下の直接照度と制御配下以外を含めた照明器具群からの出力の関係(2)を示す行列 A を求め、逆行列として算出する。

$$x = A^{-1} \cdot E \quad \dots (1)$$

$$E = A \cdot x \quad \dots (2)$$

- ・ E_n : $n \times 1$ 行列 E の要素、センサ直下直達照度 [lx]
- ・ a_{nm} : $n \times n$ 行列 A の要素、センサ位置 n における照明器具群 m による直接照度（逐点法） [lx]

$$a_{nm} = \sum (I_{\theta\phi} \times F / 1000 \times \cos \theta / L^2)$$
- ・ $I_{\theta\phi}$: ランプ光束 $1000lm$ 当たり $\theta \phi$ 方向の光度 [cd]、BEST では IESNA（北米照明学会）形式を採用
- ・ F : ランプ光束 [lm]
- ・ L : 各器具とセンサ直下との距離 [m]
- ・ Σ : 群 m のすべての照明器具について、平、断面方向のすべてについて合算（積分）
- ・ x_m : $n \times 1$ 行列 x の要素、照明器具群 m の調光率 ($0 \leq x \leq 1$ 、 $x = 1$ が 100%点灯)

- ・ 間接照度の平均寄与率 P を求める。ここで P は部屋全体の直接照度に対する間接照度の割合とし、間接照度は作業面切断公式を用いて算出するものとする。

②人工照明の照度、調光率計算

- ・ センサ位置の昼光照度 E_{dn} を取得し、設定照度 E_{setn} との差に、間接照度の寄与率を減じ人工照明による必要照度 E_n を求める（負になった場合はゼロ）。

$$E_n = (E_{setn} - E_{dn}) / (1+P) \quad \dots (3)$$

- ・ 式(1)を用いて各群の調光率 x'_m を計算し、保守率 M で割り戻して、保守率を考慮した調光率 x_m とする（調光率が最小出力を下回る場合は、最小出力値）。

③消費電力計算

- ・ 照明器具の調光-電力特性（図4）から調光率 x_m に対応した電力入力率 f_m を求め、定格消費電力に乘じて当該照明器具の消費電力 W_m [W] を算出する。

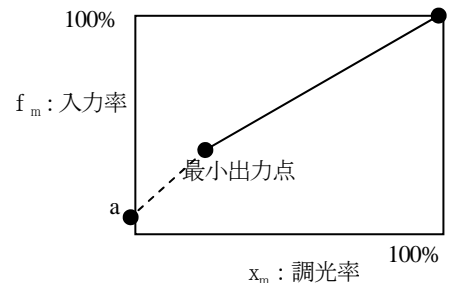


図4 調光特性

- ・ 各群の台数を乗じた上で、部屋全体 (n 群) を集計し、さらに在室制御係数を乗じ照明の総消費電力とする。

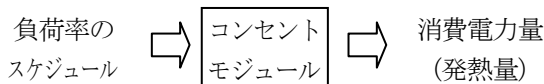
$$\text{照明消費電力量} = \sum \sum W_m \times \text{在室制御パターン} \dots (4)$$

照明発熱量 = 照明消費電力量 × 発熱換算係数
 (以下、発熱量への換算の考えはモジュール共通)

2.2 コンセントモジュール

コンセントモジュールは、従来シミュレーションの設定と原則同様であって、定格消費電力原単位 VA/m²に負荷率スケジュールを乗じて消費電力量を算出することとしている。例えばオフィスビルでのコンセントの貸方基準容量はリーシングで決めるため実使用値に対しては過大となっていることが多いため、BEST では (公称) 定格消費電力に対する最大使用割合として需要率を設定できることとし、負荷率は最大使用 (需要率) に対する時間変動とした。

コンセント消費電力量 =
 定格消費電力原単位 × 面積 × 需要率 × 負荷率パターン…(5)



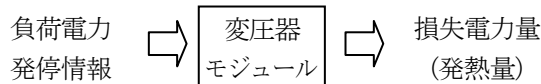
パラメータ	定格消費電力原単位 VA/m ² 、室面積 m ² 需要率%、熱換算係数
-------	---

図5 コンセントモジュールの入出力、パラメータ

2.3 変圧器モジュール

変圧器モジュールは、負荷電力に応じて変化する変圧器負荷率を状態変数として、式(6)にて算出される。

変圧器損失電力量 =
 無負荷損 + 負荷損 × 変圧器負荷率² …(6)



状態	変圧器の負荷率 (定格容量に対する負荷電力の割合)
パラメータ	相、定格容量 kVA、無負荷損 W、負荷損 W、熱換算係数

図6 変圧器モジュールの入出力、状態、パラメータ

2.4 盤モジュール

盤モジュールは受電部、配電盤、動力制御盤、分電盤など電力を分配する箇所で使用するもので、名称は異なるが機能は同じく、二次側の電力を集計し一次側へ出力するものとする。

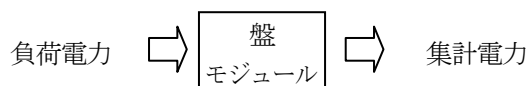
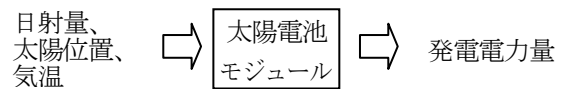


図7 盤モジュールの入出力

2.5 太陽電池モジュール

太陽電池モジュールは、アレイの公称出力にアレイへの日射量を乗じて求めることができる。ここでアレイ日射量としては気象データ (法線面直達日射量、水平面直達日射量、太陽方位角、太陽高度および気温) をアレイ設置角、方位角に対しての入射となるよう変換する必要がある。また表1に示すような補正係数の考慮が必要で、最終的な発電電力量は式(7)にて算出される。BEST では気象データとして日射量のみならず、太陽方位角、太陽高度データを有しているため、補正のためのグラフ読み取りが不要となり、原理式に基づく算出が可能となっている。

太陽電池発電電力量 =
 アレイ公称出力 × アレイ日射量 × 補正係数 …(7)



状態	アレイ日射量
パラメータ	太陽電池アレイ公称出力 kW、 アレイ設置方位角、傾斜角 補正係数 (表1)

図8 太陽電池モジュールの入出力、状態、パラメータ

表1 太陽電池の出力算出における補正係数²⁾

補正係数	内容
経時変化	汚れなどを考慮した係数
日陰	周辺構造物などから、アレイ面に投影される影の面積、時間を考慮した係数
温度	素子温度の上昇によりエネルギー変換効率が低下することを考慮した係数、25℃の公称値に対し、気温+アレイ面の温度上昇値 (30℃) との差に、太陽電池セルタイプの低下割合を乗じる。
システム損失	インバータ損失、負荷不整合損失、アレイ損失を乗じた係数。フィールドテストデータを用いる。

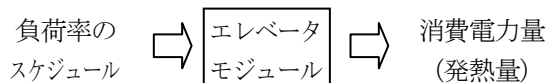
2.6 エレベータモジュール

エレベータの消費電力量は、エネルギー使用の合理化に関する法律 (省エネ法) におけるエレベータエネルギー消費係数 CEC/EV の計算式³⁾をベースとした。これはエレベータが、群台数、階間連絡の強さ、階段の使いやすさなどの使用状態により大きく異なって平均的な使用勝手といった知見が乏しく、他に適切な研究成果を入手できなかったためである。なお実態に合わせた調整係数、群制御や部分停止、照明減光など省エネオプションを反映できる係数を乗じる構成としており、得られた年間エ

エレベータ消費電力量を負荷（運転）パターンで割り戻すことによって時刻変動する消費電力を算出する。

$$\begin{aligned} \text{エレベータ消費電力量} = \\ \text{年間エネルギー消費電力量} \times \text{負荷パターン (年間で正規化)} \end{aligned} \quad \dots(8)$$

$$\begin{aligned} \text{年間エネルギー消費電力量} = \\ \Sigma (\text{積載質量} \times \text{速度} \times \text{制御係数} \times \text{運転時間} \times \text{台数}) \\ / 860 \times \text{調整係数} \times \text{省エネ係数} \end{aligned} \quad \dots(9)$$



パラメータ	エレベータ積載質量、速度、制御係数、相当年間運転時間、台数、調整係数、省エネ制御係数
-------	--

図9 エレベータモジュールの入出力、パラメータ

3. 電源テンプレートの検討

通常の電気設備の計画では、電圧降下や配線サイズ、保守点検範囲などを考慮し、電灯分電盤は各階ごとに、動力制御盤は各機械室ごとに設けるなど、建物全体で相応の面数となる。この方法では、設定面数が多くて煩雑であることから、設計初期段階での検討には適さないと思われる。変圧器の仕様、容量、台数を、図10のような電源テンプレートに設定すれば電源システムからの損失電力量を把握できる仕組みが必要と思われる。

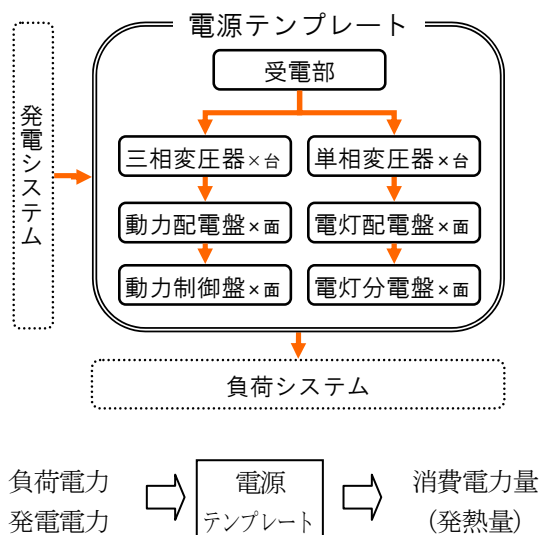


図10 電源テンプレートの考え方

変圧器についても、負荷容量をそのまま提供する場合は少なく、将来対応（増分）、同時稼働を考慮した補正係数（低減分）、供給エリア、単相不平衡率、高調波流出抑制などを考慮して設計することが一般的であるが、概ね

の変圧器構成（容量・台数）を以て（あるいは、それを意識せずに）熱源や空調システムの先行検討を必要とする場合も多いと考えられ、統計データ⁴⁵⁾などを用いた自動設定も望まれると考える。

おわりに

総合エネルギーシミュレーションツール BEST の電気設備プログラムの概要とモジュールの構成を示した。本プログラム（BEST 専門版）は機器仕様が定まった段階での使用を対象としているが、付带的に電源設備を検討する場合、設計初期段階などの簡易検討用に3.で示したテンプレートなどが有意な場合も多いと思われ、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るものである。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）、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) 滝澤総、村上周三、稗田雄大、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、平成19年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 1989～1992
- 2) 黒川浩助、若松清司、太陽光発電技術研究組合監修「太陽光発電システム設計ガイドブック」、pp. 398～400、オーム社、1994
- 3) (財)環境・省エネルギー機構、建築物の省エネルギー基準と計算の手引—新築・増改築の性能基準（PAL/CEC）—、pp. 347～349、2006
- 4) 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課監修、建築設備計画基準（平成17年版）、(財)全国建設研修センター、pp. 92、2005
- 5) 建築設備技術者協会、建築設備士、建築設備情報年鑑（毎年12月に建物用途ごとの竣工データが特集される）