

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36）

給水システムプログラムの概要

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 36)

Outline of Water Supply System Program

正会員 ○大塚 雅之（関東学院大学） 特別会員 村上 周三（建築研究所）
 正会員 小原 直人（ピーエーシー） 正会員 土井 章弘（竹中工務店）
 正会員 甕岡 賢悟（西原衛生工業所） 正会員 長谷川 巖（日建設計）

Masayuki OTSUKA*¹ Shuzo MURAKAMI*² Naoto OBARA *³

Akihiro DOI *⁴ Kengo KAMEOKA *⁵ Iwao HASEGAWA *⁶

*¹ Kanto Gakuin University *² Building Research Institute *³ PAC Corporation

*⁴ Takenaka Corporation *⁵ Nishihara Engineering Company *⁶ Nikken Sekkei

The purpose of this study is to develop a calculation tool, which is able to simulate overall energy consumption of air-conditioning systems, electric systems and plumbing systems for buildings. The first report (part4) outlined the framework and system that facilitate especially the development of a simulation tool, which enabled the design of plumbing systems as well as calculating energy and water consumption spent on system operation while contributing to the conservation of energy and water sources. This paper discusses water supply calculation modules ,calculation method in these modules and several case study results.

はじめに

本研究は、地球環境負荷削減を目的に建築物での空調、電気、衛生の各設備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。衛生分野では、主に、給水システム、給湯システム、雨水利用システムでの運用時の消費エネルギー量や水・湯使用量を計算でき、省資源化と省エネルギー化に寄与できる計算ツールの開発を目的とする。前報¹⁾²⁾までに、給排水衛生システム計算の体系化と主に給水システム計算のそれぞれの概要を中心に説明した。本報では、実際に BEST 給水計算におけるモジュール構成とモジュール内の計算方法と計算例について解説する。

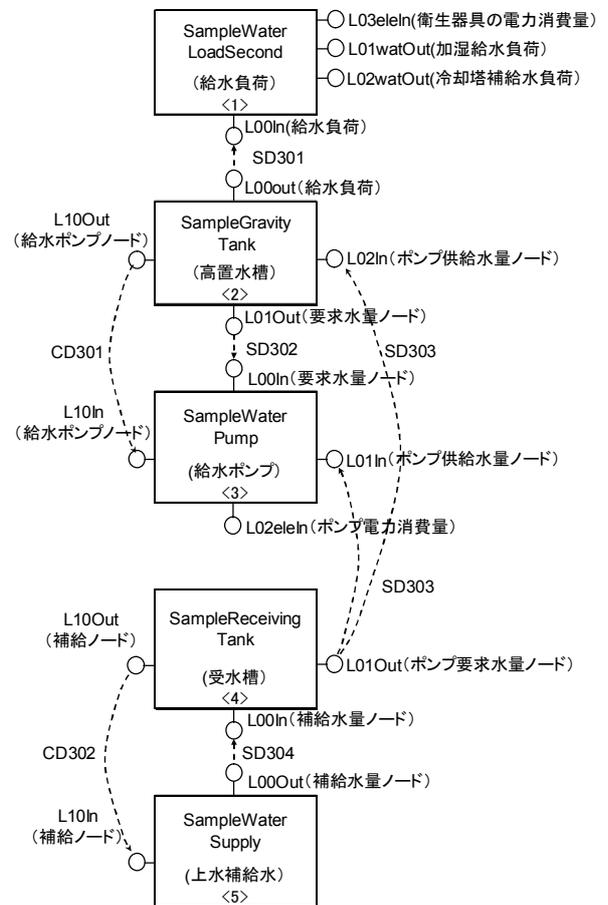
1. 給水システムとモジュールの考え方

図1に各モジュール構成とそれらの結合を示す。給水負荷算定から高置水槽の水位変動、給水開始水位の設定によるポンプの起動、ポンプの運転に伴う受水槽の水位変動、受水槽への給水補給という計算順序にて、給水負荷、水槽やポンプ等の機器類の計算を計算時間間隔毎に実施し、水位変動状態や電力消費量を算出する。

2. 各モジュールと計算方法

2.1 給水負荷算定のモジュール

給水負荷の算定は同じ時間間隔の時刻別、男女器具別



注)◇内の数字は計算順序を示す。

図1 各モジュール構成と結合(高置水槽方式の場合)

の単位時間あたりの使用頻度パターンをユーザーが設定することで計算する。パラメータとしては、使用頻度負荷パターン、1回あたりの器具吐水量、人員といった給水負荷計算で良く使われる要素に分割し、給水負荷＝使用頻度負荷パターン×1回あたりの器具吐水量×人員で、時刻別の給水負荷パターンを計算している。人員については、建築の基本情報であり、建物用途によっては延床面積や来客数となるなど可変性を意図している。使用頻度パターンについては、幾つかデフォルト値を設定しているが、将来ユーザーの知見や研究により変えることも視野に入れている。1回あたりの器具吐水量をパラメータとしたのは、節水器具による省資源量を計算可能なように反映したものである。

2.2 高置水槽モジュール

重力式給水方式を計算するために必要なモジュールである。給水負荷が発生すると高置水槽の水位が下がり、ある一定以下の水位(ポンプ起動水位)となると給水ポンプへ起動指令が出され給水される。一度給水を開始すると規定水位(ポンプ停止水位)までポンプが稼動し高置水槽を満水にする。

2.3 受水槽モジュール

受水槽を持つ給水方式を計算するために必要なモジュールである。給水ポンプにより負荷側に給水されると受水槽の水位が下がり、ある一定の水位(補給水起動水位)となると補給水へ指令が出され給水される。一度給水を開始すると規定水位(停止水位)まで受水槽を満水にする。

2.4 給水ポンプモジュール

3種類の給水方式に対応するポンプ電力消費量算出のための計算式を検討した。

①高置水槽方式の揚水ポンプ

パラメータは揚水量、全揚程、ポンプ最高効率(規定水量に基づく関数)である。揚水ポンプの電力消費量の算定式は以下に示す。最高効率は参考文献³⁾によるポンプ選定水量の関数で算出されるB効率の近似曲線を用いた。

$$\text{消費電力} = \text{揚水時間(sec)} \times \frac{(\text{ポンプ選定給水量/sec}) \times (\frac{60}{1,000} \text{ L} \cdot \text{min/g} \cdot \text{sec}) \times (\frac{\text{全揚程Pa}}{10,000})}{6,120 \times \text{最高効率} \times 3,600(\text{sec/h})}$$

ここに、

$$\begin{aligned} \text{最高効率} = & -0.0145 \times (\log(\text{ポンプ選定給水量 g/sec}) \times (\frac{60}{1,000} \text{ L} \cdot \text{min/g} \cdot \text{sec}))^2 \\ & + 0.2682 \times (\text{ポンプ選定給水量 g/sec}) \times (\frac{60}{1,000} \text{ L} \cdot \text{min/g} \cdot \text{sec}) - 0.6018 \end{aligned}$$

②加圧給水方式(吐出圧一定制御)の給水ポンプ

パラメータは負荷水量、全揚程、ポンプ最高効率(規定水量に基づく関数)、効率比(定格水量に対する負荷水量の関数)である。加圧給水ポンプの電力消費量の算定式を以下に示す。揚水ポンプの電力消費量算定で用いた最高効率の他、流量比の関数で算出される効率比の近似式を

用いた。

ここに、

$$\text{消費電力} = \text{計算時間間隔(sec)} \times \frac{(\frac{\text{要求水量g}}{\text{計算時間間隔sec}}) \times (\frac{60}{1,000} \text{ L} \cdot \text{min/g} \cdot \text{sec}) \times (\frac{\text{全揚程Pa}}{10,000})}{6,120 \times \text{最高効率} \times \text{効率比} \times 3,600(\text{sec/h})}$$

$$\text{流量比} = \frac{\text{合計水負荷}}{\text{ポンプ選定給水量} \times \text{計算時間間隔}}$$

$$\text{効率比} = -1.02073 \times (\text{流量比})^2 + 1.99581 \times (\text{流量比}) + 0.0369718$$

③加圧給水方式(推定末端圧一定制御)の給水ポンプ

パラメータは負荷水量、全揚程、実揚程、流量比、ポンプ最高効率(規定水量に基づく関数)、効率比(定格水量に対する負荷水量の関数)である。加圧給水ポンプの電力消費量の算定式を以下に示す。全揚程の他実揚程を考慮した計算式とした。

消費電力＝計算時間間隔(sec)

$$\times \frac{(\frac{\text{要求水量g}}{\text{計算時間間隔sec}}) \times (\frac{60}{1,000} \text{ L} \cdot \text{min/g} \cdot \text{sec}) \times (\frac{\text{流量比}}{10,000})^2 \times (\text{全揚程} - \text{実揚程})}{6,120 \times \text{最高効率} \times \text{効率比} \times 3,600(\text{sec/h})}$$

給水ポンプは汎用ポンプモジュールとして定義され、水槽等から起動指令に基づくON/OFF運転を行い、運転時間と送水量により計算時間間隔での電力消費量を算出する。

2.5 衛生器具の消費電力の算出

本プログラムでは衛生器具を使用することで消費される電力消費量の算出代表例として、温水洗浄便座とハンドドライヤーを取り入れた。温水洗浄便座の電力消費量の算定式を以下に示す。温水洗浄便座の使用電力は大便秘器を使用したときの使用頻度パターンにより算定している。

温水洗浄便座の電力消費量

$$= \text{大便秘器温水洗浄便座使用電力(Wh/回)} \times \text{人数} \times \text{大便秘器平均使用回数} \\ + \text{大便秘器温水洗浄便座待機電力(Wh/個)} \times \text{男子大便秘器個数}$$

ハンドドライヤーの電力消費量の算定式を以下に示す。ハンドドライヤーの使用電力は、洗面器を使用したときの使用頻度パターンにより算定している。

ハンドドライヤーの電力消費量

$$= \text{ハンドドライヤー使用電力(Wh/回)} \times \text{人数} \times \text{洗面器平均使用回数}$$

3. 計算例

BEST給水計算プログラムを用いた幾つかの計算事例を紹介する。本報では、節水効果を示す計算例(ケース1)、給水方式の違いによるポンプ消費電力の計算例(ケース2)、水槽容量の違いによる計算例(ケース3)、衛生器具の消費電力の計算例を示す。表1に計算条件を示す。

3.1 給水負荷の違いによる計算例(ケース1)

給水負荷の違いによる計算例として、衛生器具の吐水

量を変えた場合の節水効果とこれに伴うポンプ電力消費量の計算例を図2に示す。節水器具を採用することにより、水資源量の削減のみならず、電力消費量の削減効果も計算出来る。

3.2 給水方式の違いによる計算例（ケース2）

高置水槽方式、加圧給水方式(吐出圧一定制御)、加圧給水方式(推定末端圧一定制御)の3つの給水方式の違いによるポンプ電力消費量の計算例を図3に示す。

3.3 水槽容量の違いによる計算例（ケース3）

高置水槽方式において、受水槽容量と高置水槽容量を変えた場合の計算例を図4に示す。ここでは、合計水槽容量は同じとし、高置水槽容量と受水槽容量を逆転させたときの水量変動、上水補給の状態を計算結果として示す。これより水槽における水の入れ替え状態の観点など、給水負荷に応じた適正な水槽容量をシミュレーションすることが出来る。

3.4 衛生器具の消費電力の計算例

ケース1～3における給水負荷変動パターンを利用して、大便器温水洗浄便座とハンドドライヤー利用による衛生器具による電力消費量の計算例を図5に示す。

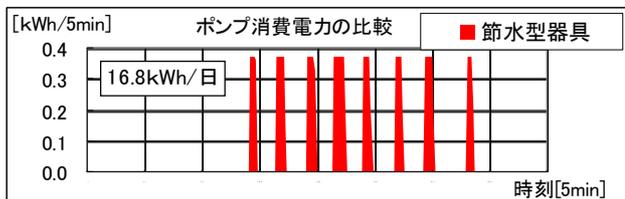
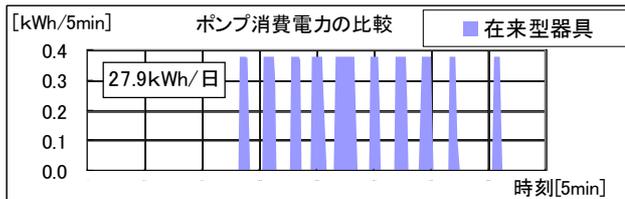
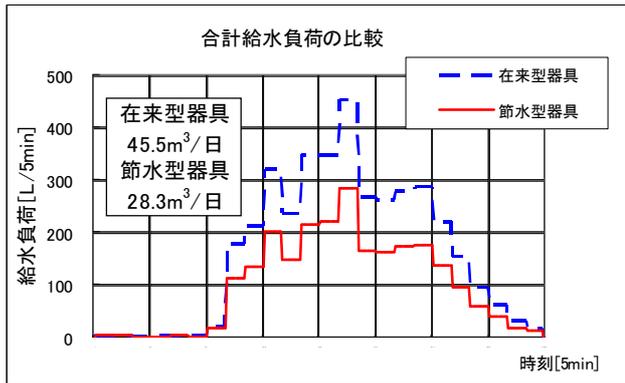


表1 計算条件

	ケース1 節水効果の検討	ケース2 給水方式の比較	ケース3 水槽容量の違い
建物規模・用途	約10,000㎡の事務所ビルを想定		
人員	男子:466人、女子200人		
衛生器具吐水量	A.在来型 男子・女子大便器:13L/回 男子小便器:2.7L/回 洗面器:0.5L/回	A.在来型で計算	A.在来型で計算
	B.節水型 男子・女子大便器:8L/回 男子小便器:1.5L/回 洗面器:0.32L/回	同左	同左
		—	—
衛生器具電力消費原単位	※上記の他パントリー負荷を加算 男子大便器:30個 女子大便器:50個 大便器温水洗浄便座使用電力:10Wh/回 大便器温水洗浄便座待機電力:1Wh/個 ハンドドライヤー使用電力:100Wh/回		
高置水槽	容量:4m ³ ポンプ起動水量:0.8m ³ ポンプ停止水量:3.2m ³		容量:20m ³ ポンプ起動水量:4m ³ ポンプ停止水量:16m ³
受水槽容量	容量:20m ³ 補給開始水量:4m ³ 補給停止水量:16m ³ 上水補給水量:200L/min (3,300g/sec)		容量:4m ³ 補給開始水量:0.8m ³ 補給停止水量:3.2m ³ 上水補給水量:200L/min (3,300g/sec)
給水ポンプ容量	A.揚水ポンプで計算 120L/min (2,000g/sec) ×全揚程80mAq (800,000Pa)	A.揚水ポンプ 120L/min (2,000g/sec) ×全揚程80mAq (800,000Pa)	A.揚水ポンプで計算 120L/min (2,000g/sec) ×全揚程80mAq (800,000Pa)
		B.加圧給水ポンプ(吐出圧一定) 180L/min (3,000g/sec) ×全揚程80mAq (800,000Pa)	
		C.加圧給水ポンプ(推定末端圧一定) 180L/min (3,000g/sec) ×全揚程80mAq (800,000Pa) 、実揚程70mAq (700,000Pa)	

図2 節水効果とポンプ電力消費量

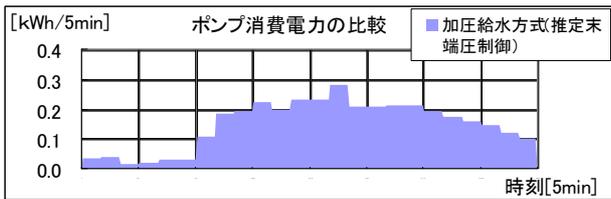
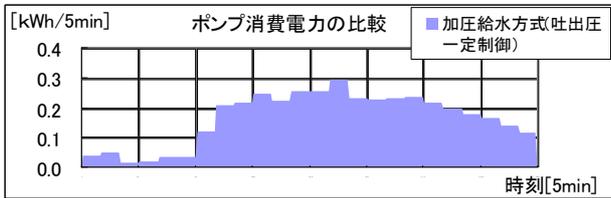
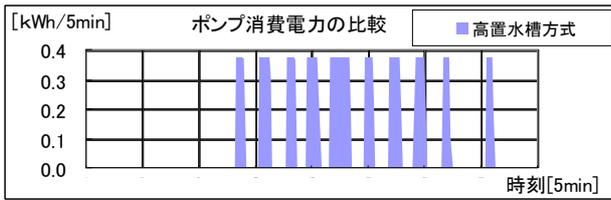


図3 給水方式の違いによるポンプ電力消費量の計算例

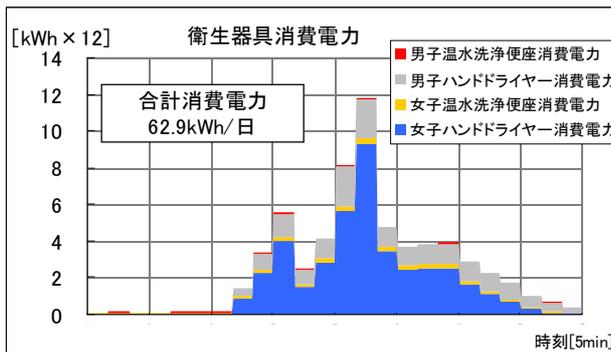
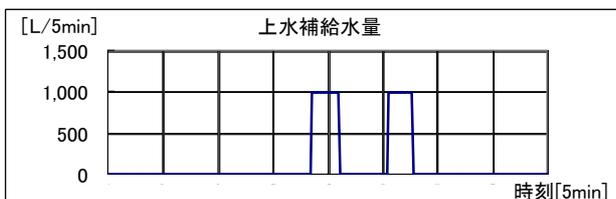
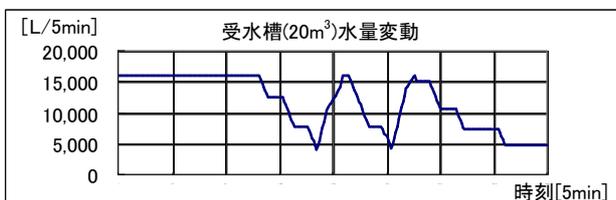
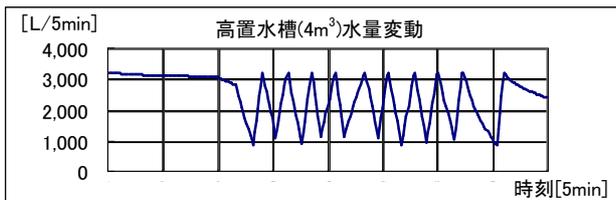


図5 衛生器具による電力消費量の計算例



(1) 高置水槽 4m³・受水槽 20 m³ の場合

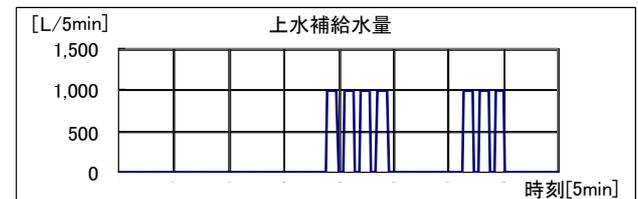
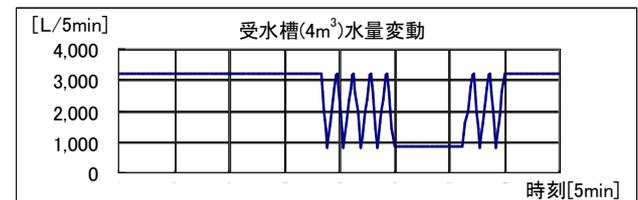
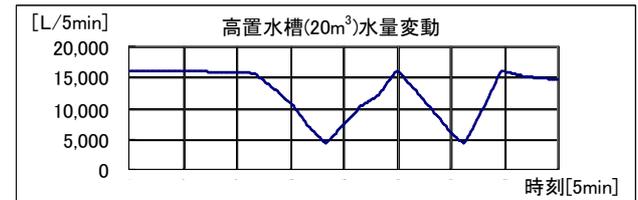
4. まとめ

本報では BEST 給水計算におけるモジュール構成とモジュール内の計算方法について解説し、本プログラムによる特徴的な計算例を示した。BEST 衛生計算の特徴は負荷パターンを用いた水使用量の算定だけでなく、機器容量を設定することで負荷パターンに応じた水量変動の挙動を計算し、これに伴うポンプ消費電力を算出するものである。本給水プログラムのモジュール構成及び計算方法は BEST 衛生計算における骨格を示すものであり、この給水計算モジュール構成の考え方を基に、次報以降で示す給湯計算や雨水利用計算に応用している。

【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)」ならびに衛生作業部会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。衛生設備作業部会名簿(順不同) 部会長: 大塚雅之(関東学院大学)、幹事: 長谷川巖(日建設)、委員: 小瀬博之(東洋大学)、前真之(東京大学大学院)、飯田芳史(長谷工コーポレーション)、菊池健二(三機工業)、小原直人(ピーエーシー)、夔岡賢悟(西原衛生工業所)、山口幸寛(2008.7.12 まで草深隆道)(東邦ガス)、久保田祥彰(大成建設)、佐々木真人(日本設計)、武田成司(齊久工業)、土井章弘(竹中工務店)、村江行忠(戸田建設技術研究所)、宮本和弘(東京電力)、協力委員: 久野岳人、曾我部伸雄(以上、INAX)、梶田卓司、事務局: 野原文男、藤井拓郎(以上、日建設)、諏佐庄平、生稻清久(以上、建築環境・省エネルギー機構)

【参考文献】

- 1)大塚雅之他; 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 4) 給排水衛生システムの計算体系, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2007.9)
- 2)長谷川巖他; 同上(その 5)給排水衛生システムの計算法, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2007.9)
- 3)建築設備設計基準: 公共建築協会



(2) 高置水槽 20m³・受水槽 4 m³ の場合

図4 水槽容量の違いによる水量変動の計算例