

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 38）

雨水利用プログラムの概要

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 38)

Operation and Management of Amenity Water Facilities

Outline of Rainwater Utilization Program

正会員 ○ 小瀬 博之（東洋大学）

特別会員 村上 周三（建築研究所）

正会員 大塚 雅之（関東学院大学）

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）

Hiroyuki KOSE ^{*1} Shuzo MURAKAMI ^{*2} Masayuki OTSUKA ^{*3}

Kengo KAMEOKA ^{*4} Iwao HASEGAWA ^{*5}

^{*1} Toyo University ^{*2} Building Research Institute ^{*3} Kanto Gakuin University

^{*4} Nishihara Engineering Company ^{*5} Nikken Sekkei

This study aims to develop a calculation tool, which is able to simulate overall energy consumption of air-conditioning systems, electric systems and plumbing systems for buildings. In this paper, the linkage in modules and modular construction is explained on rainwater utilization system made on the basis of water supply system. And, each module and the calculation method are explained. In addition, the calculation result by the difference between water tank capacity and catchment area of each part is shown.

はじめに

雨水利用システムは、都市における水資源の有効利用及び雨水の一時貯留による都市水害対策等の観点から有用性が期待されているが、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（以下 BEST と呼ぶ）において雨水利用プログラムを開発することによって、降水量時系列を用いたこれらの具体的な検討に加え、雨水利用システムの導入によって、上水のみシステムと比較したエネルギー消費の比較など、多角的な検討が可能となる。

本報では、給排水衛生システムの一つとして開発が進められた雨水利用プログラムの概要と、その計算例について報告する。

1. 雨水利用システムに関する研究動向

建物における雨水利用システムの時系列な検討について扱った研究には、越川ら（2000）¹⁾、山下ら（2001-2002）²⁾の報告があるが、これらは、いずれも給水負荷について1時間ごとのデータもしくは1日ごとのデータを使用して、雨水による上水代替率及び雨水貯留槽の容量検討などを行っているものであり、ポンプの発停などの運転状態については言及していない。既報⁴⁾で述べているとおり、動的な給水負荷パターンをとらえ、さらに降水量

に関する気象データとの連携を図ることができれば、水槽容量の変動によるポンプの発停など、雨水利用システムのエネルギー消費をとらえることができるようになる。空気調和・衛生工学会負荷算定と最適計画小委員会で検討した結果を報告した小瀬ら（2001）⁶⁾の報告では、給水負荷の変動に応じたポンプの発停と水槽の水位変動に関するシミュレーションを行っている。本報で報告する雨水利用プログラムでは、この論文で作成されたアルゴリズムを参考にするとともに、これにポンプや衛生器具にかかるエネルギー消費量を算出するプログラムを盛り込むことで、エネルギーシミュレーションができるようにした。

2. 雨水利用システム及びモジュールの概要

BEST における雨水利用システムは、近年の事務所における標準的なシステムを想定している。建物屋上から雨水集水装置を通じて、雨水が雨水貯留槽に流入し、雨水貯留槽の満水時は、雨水遮断装置により屋外の排水ますを通じて排水される。雨水貯留槽の水は、雑用水受水槽の水位が設定した水位以下になると、ろ過ポンプ（送水ポンプ）が起動して、水処理装置を通して雑用水受水槽に流入する。雑用水高置水槽は、雑用水給水負荷（便器洗浄水の使用）によって水位が変動し、

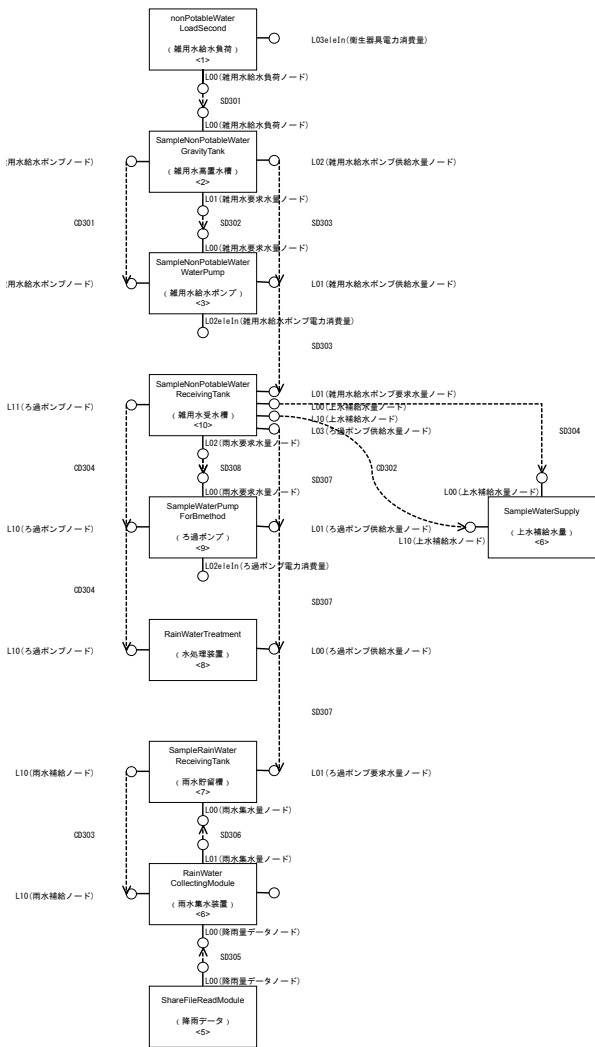


図-1 雨水利用システムのモジュールフロー

設定した水位以下になると雑用水給水ポンプが起動して、雑用水受水槽の水が雑用水高置水槽に揚水される。

BEST 雨水利用システムのモジュールフローを図-1に示す。これらのモジュールのうち、雑用水給水ポンプから先のモジュールは、連報⁷⁾の給水システムと同じ計算方法を用いている。雑用水給水ポンプは給水ポンプと同一、雑用水高置水槽は高置水槽と同一、雑用水給水負荷は給水負荷と同一である。また、降雨データについては、BEST-気象から降水量を取得できるようにしている。

各モジュールの詳細については、次章に示す。

3. 雨水利用システムにおける各モジュールについて

3.1 雑用水給水負荷モジュール

給水負荷については、給水システム⁷⁾の計算方法を流用しているが、雑用水給水負荷であることから、各用途のうち大便器・小便器の器具別の使用頻度パターンのみを用いて算出している。また、衛生器具の使用に基づいて温水洗浄便座の使用電力とハンドドライヤーの使用電力を算出している。今後、建物の実情に応じて散水等の使用用途の選択や、器具ごとの雑用水の使用の有無の選

択などを実装していく必要がある。

3.2 雑用水高置水槽モジュール

給水システム⁷⁾における高置水槽モジュールを流用している。雑用水高置水槽の水位が一定以下（ポンプ起動水位）になると、雑用水給水ポンプノードを起動コマンドにして、雑用水給水ポンプが起動した状態となる。一度起動させた場合には、設定した停止水位まで雑用水の供給が行われるようになっている。

3.3 雑用水給水ポンプモジュール

給水システム⁷⁾における給水ポンプモジュールを流用している。本報の計算では、高置水槽方式の揚水ポンプを用いているが、加圧給水方式も選択が可能となっている。

3.4 雑用水受水槽モジュール

この水槽への補給水として、雨水貯留槽からの雨水または上水が設定水位の変化によって供給されるようになっている。雑用水給水ポンプの要求水量により減少する貯水量が、ある時刻で設定した雨水補給開始水量（起動水量）以下となり、かつ、雨水貯留槽の貯水量があれば、ろ過ポンプを起動させて雨水貯留槽から雨水が供給される。また、同様の場合で、雨水貯留槽の貯水量がない場合は、上水が供給される。そして、貯水量が、雨水及び上水においてそれぞれ設定した停止水量より多くなった場合に雨水の供給または上水の補給が止まる。

3.5 ろ過ポンプ及び水処理装置モジュール

雨水送水ポンプ及び水処理装置の形式として、1.砂ろ過ユニット（渦巻ポンプ）→滅菌装置、2.水中ポンプ→ストレーナー→滅菌装置の2つの方式を採用しているが、本報では、1の方式を用いている。ろ過ポンプは、雑用水受水槽からの起動または停止命令に連動して動作し、電力消費量が、次式に従って算出される。

$$\text{消費電力} = \text{揚水時間} \times \{ (\text{ろ過ポンプ選定給水量} \times 1000/60 \times \text{全行程}) / (6120 \times \text{最高効率}) \}$$

ここに、

$$\text{最高効率} \eta = -0.0145 \times \log(\text{ろ過ポンプ選定給水量} \times 1000/60)^2 + 0.2682 \times \log(\text{ろ過ポンプ選定給水量} \times 1000/60) - 0.6018$$

3.6 雨水貯留槽モジュール

雨水貯留槽の貯水量がある場合、ろ過ポンプの要求水量に応じて貯水量が減少する。その水量が設定した雨水補給開始水量（起動水量）以下であれば、雨水集水装置から雨水が流入する。また、雨水補給停止水量より多くなった場合には、雨水集水装置からの雨水の流入が停止する。

3.7 雨水集水装置モジュール

屋上から雨水を集水し、雨水貯留槽へ流入させる役割を持つ。雨水貯留槽の貯水量が一定以上の場合には、降雨した雨水がオーバーフローして、その雨水排水量が記録

される。なお標準設定では、降水量の流出係数を0.8、屋上からの流達時間（時間遅れ）を計算時間間隔の値としている。雨水集水量は、次の式により求められる。

$$\text{雨水集水量[L]} = \text{集水面積[m}^2\text{]} \times \text{降雨量[mm]} \times \text{流出係数} / 1000$$

3.8 降雨データモジュール

BEST-気象から降雨データを取得するとともに、指定された計算時間間隔に変換している。

4. 計算例

BEST 雨水利用プログラムを用いた計算例を紹介する。本報では、基準のケース（ケース1）と比較する形で、ケース2からケース6のそれぞれのケースにおける各水量の変化及び消費電力の計算結果を示す。表-1に各ケースの計算条件を示す。なお、本報では1日分のみの計算を行っており、ポンプの発停などの挙動を短期間の計算でとらえるために、降雨データは降雨量の多いものを使用している。また、給水データは給水システム⁷⁾のデータのうち、衛生器具の給水負荷のみを用いている。

4.1 集水面積及び高置水槽の全揚程の変化による計算結果（ケース2）

計算例においては、ポンプにかかる消費電力は、ハンドドライヤーや温水洗浄便座にかかる消費電力よりかなり小さい（図-2）。

基準のケース（ケース1）における各水量の変化及び消費電力の結果を図-3に、建物条件を考慮し、集水面積

表-1 計算条件

		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
建物規模・用途		約10,000m ² 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	男子・女子大便器		13L/回				8L/回
	男子小便器		2.7L/回				1.5L/回
	洗面器		0.5L/回				0.32L/回
	男子大便器		30個				
衛生器具電力消費原単位	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				
雑用水高置水槽	ポンプ起動水量		0.7m ³			0.35m ³	0.7m ³
	ポンプ停止水量		2.8m ³			1.4m ³	2.8m ³
	初期貯水量		2.8m ³			1.4m ³	2.8m ³
揚水ポンプ	全揚程	80mAg (800,000Pa)	40mAg (400,000Pa)			80mAg (800,000Pa)	
	給水量		108L/min (1,800g/sec)				
雑用水受水槽	雨水補給開始水量		3.6m ³			7.2m ³	3.6m ³
	雨水補給停止水量		14.4m ³			28.8m ³	14.4m ³
	上水補給開始水量		1.8m ³			3.6m ³	1.8m ³
	上水補給停止水量		14.4m ³			28.8m ³	14.4m ³
	初期受水槽貯水量		18.0m ³			36.0m ³	18.0m ³
	上水補給水量	上水補給水量		120L/min (2,000g/sec)			
ろ過ポンプ	全揚程		5mAg (50,000Pa)				
	給水量		108L/min (1,800g/sec)				
雨水貯留槽	雨水貯水量		50.0m ³		25.0m ³		50.0m ³
	雨水補給開始水量		40.0m ³		20.0m ³		40.0m ³
	雨水補給停止水量		50.0m ³		25.0m ³		50.0m ³
	初期雨水貯水量		0m ³				
	降雨データ	降雨量	126mm/日		63mm		126mm/日
雨水集水面積	集水面積	500m ²	1,000m ²				500m ²
	流出係数			0.8			

2倍、高置水槽の全揚程を0.5倍にした条件の結果を図-4に示す。集水面積が大きいために、ケース2では、同一の降雨データでも雨水貯留槽が満水（雨水補給停止水量）になる。なお、全揚程を0.5倍にしているため、揚水ポンプの電力消費量も0.5倍となる。

4.2 降雨量の変化による計算結果（ケース3）

他のケース（126mm/日）と比較して、降雨量を0.5倍（63mm/日）にしたケース3の各水量の変化及び消費電力の結果を図-5に示す。ケース3では、この条件では21時から23時の間、雑用水受水槽に上水が補給される。この計算では、上水にかかる電力消費がないために、雨水貯留槽の水を雑用水受水槽に送る送水ポンプの消費電力が減少するが、そうすると、雨水を使用しないことが最も消費電力が少なくなる結果となってしまい、雨水利用のメリットがなくなってしまうことから、上水のインフラ等で消費する電力の増加も考慮すべきといえる。

4.3 雨水貯留量の変化による計算結果（ケース4）

他のケース（50m³）と比較して、雨水貯留槽を0.5倍（25m³）にしたケース4の各水量の変化及び消費電力の結果を図-6に示す。このケースでは、雨水が満水となり遮断されてオーバーフローする。ケース3と同様に、21時から23時の間、雑用水受水槽に上水が補給される。

4.4 雑用水高置水槽及び雑用水受水槽の変化による計算結果（ケース5）

他のケースと比較して、雑用水高置水槽容量を0.5倍、雑用水受水槽容量を2倍にした結果（ケース5）を図-7に示す。初期受水槽容量が大きいため、雨水貯留槽の雨水を使用することが少なく、このケースでは、雨水貯留槽が満水となる。高置水槽容量が小さいため、ポンプの発停階数は、他のケースの10回と比較して2倍以上の21回となる。なお、高置水槽にかかる消費電力は、ケース1と同じである。

4.5 節水器具の使用による計算結果（ケース6）

節水器具を使用したとき（ケース6）の、各水量の変化及び消費電力の結果を図-8に示す。給水負荷が減少することにより、ポンプの発停階数がケース1の10回と比較して8回に減少している。ポンプにかかる消費電力の合計は、ケース1の26.8kWhから15.6kWhとなり、約42%減少する。

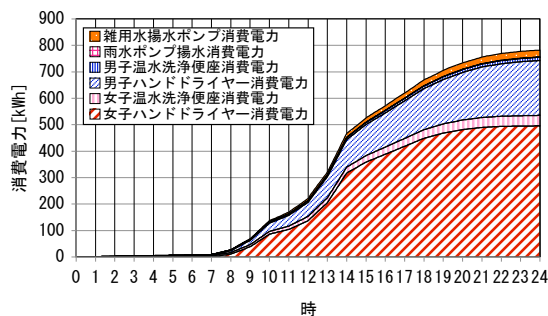


図-2 各器具及びポンプにおける消費電力の累計（ケース1）

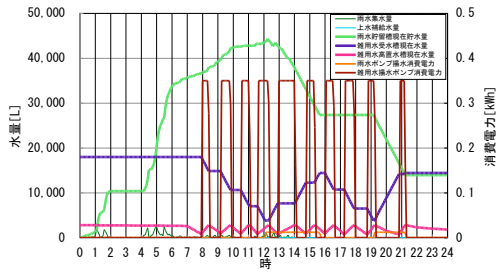


図-3 ケース 1 における水量及び消費電力の変化

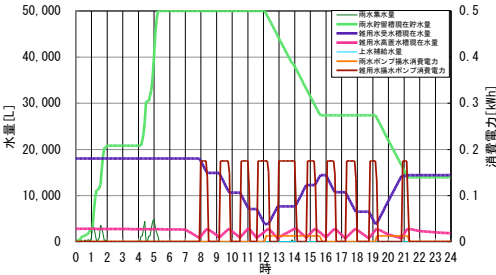


図-4 ケース 2 における水量及び消費電力の変化

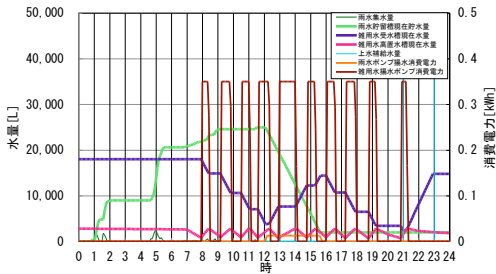


図-5 ケース 3 における水量及び消費電力の変化

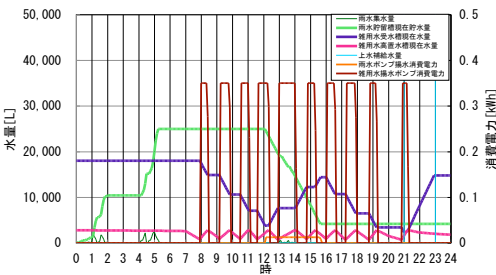


図-6 ケース 4 における水量及び消費電力の変化

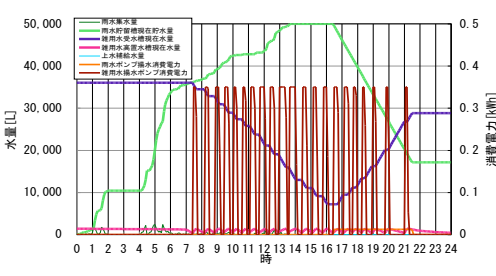


図-7 ケース 5 における水量及び消費電力の変化

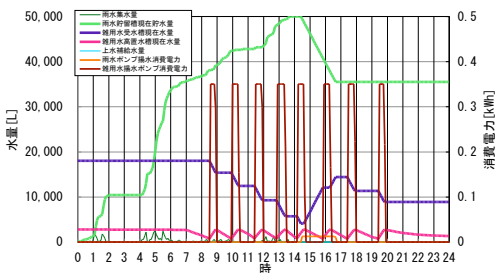


図-8 ケース 6 における水量及び消費電力の変化

5. まとめ

本報では、BEST 雨水利用プログラム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た。また、計算例を示すことで、プログラムの挙動を示すとともに、算出された数値についての分析を行った。

BEST 雨水利用プログラムでは、雨水利用システムの導入による水資源量及びエネルギー消費量の計算、気象データとの連成、適切な容量の雨水貯留槽を検討するためのシミュレーションツールとして活用ができ、BEST の有用性がさらに高まるものと考えられる。

【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るものである。

衛生設備作業部会名簿(順不同) 部長: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)、甕岡賢悟(西原衛生工業所)、山口幸寛(2007.12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、オプザバーバ:小熊晃介(当時東洋大学卒論生)、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) 越川康夫 他: 駅舎トイレを対象とした雨水利用システムに関する研究、日本建築学会計画系論文集、No. 538、pp. 31-36、2000/12
- 2) 山下拓伸 他: 雨水利用における降水特性の影響に関する考察、日本建築学会大会(関東)学術講演梗概集D-1分冊、40267、pp. 551-552、2001/9
- 3) 山下拓伸 他: 雨水利用における降水特性の影響に関する考察: その2 雨水貯留槽容量を変数としたシミュレーション、日本建築学会大会(北陸)学術講演梗概集D-1分冊、40226、pp. 461-462、2002/8
- 4) 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、平成19年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集III、OS-21、pp. 1981-1984、2007/9
- 5) 長谷川巖 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5)給排水衛生システムの計算体系、平成19年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集III、OS-21、pp. 1985-1988、2007/9
- 6) 小瀬博之 他: 負荷変動を考慮した給排水設備の機器設計法の検討、平成13年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集III、G-46、pp. 1813-1816、2001/9
- 7) 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36)給水システムプログラムの概要、平成20年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2008/8
- 8) 建築設備設計基準、(社)公共建築協会