

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 54）

## 雨水利用プログラムによる計算事例

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 54)

## Calculation Case Studies of Rainwater Utilization Program

正会員 ○ 小瀬 博之（東洋大学）  
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 長谷川 巖（日建設計）

Hiroyuki KOSE <sup>\*1</sup> Shuzo MURAKAMI <sup>\*2</sup>

Masayuki OTSUKA <sup>\*3</sup> Iwao HASEGAWA <sup>\*4</sup>

<sup>\*1</sup> Toyo University <sup>\*2</sup> Building Research Institute

<sup>\*3</sup> Kanto Gakuin University <sup>\*4</sup> 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, rain water utilization of the national 9 regions (Sapporo, Sendai, Tokyo, Niigata, Nagoya, Osaka, Kochi, Fukuoka and Kagoshima) using the expansion AMeDAS data is simulated as calculation case of rain water application program, and the individual region characteristic is being compared.

### はじめに

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雨水利用の有用性が期待されている。しかし、建物の利用条件に加えて地域の気象条件によって適切なシステムの選定が異なってくるため、上水のみを供給する給水システムと比較すると適切なシステムの選択が難しい。空調、電気、衛生の各設備システムに関する総合的なエネルギーシミュレーションツール（以下 BEST）においては、都市別の拡張アメダスデータを用いたシミュレーションが可能であり、建物条件や設備の条件、利用条件に加え、地域の気象条件による適切な雨水利用システムの選択が可能になる。

そこで本報では、雨水利用プログラムの概要及び建物条件や設備の条件によるシミュレーション結果をまとめた既報<sup>1)</sup>及び年間を通じたシミュレーションを実施した既報<sup>2)</sup>に続き、都市別の拡張アメダスデータを用いたシミュレーションの実行及び結果の比較を行うことで、地域の気象条件に応じた適切な雨水利用システムの設計条件について考察を行う。

### 2. 雨水利用プログラムの概要と計算内容

BEST 雨水利用プログラムは、既報<sup>1)</sup>のとおり、給排水衛生設備における大便器や温水洗浄便座、ハンドドライヤー等の衛生器具、ポンプや水槽、水処理装置等の機器、雑用水及び上水の給水負荷や降雨量等の負荷等を「モジ

ュール」として捉え、モジュール単位において計算式・計算方法を定め、このモジュール間において「ノード」と呼ばれる演算情報のやりとりを行うことでシステム全体の計算を行っている。ここでいうノードとは、使用水量や集水量、降雨量、給水負荷等の水量や機器の動作等の情報を示している<sup>1)</sup>。

プログラム上の操作では、モジュールの仕様（水槽であれば、水槽容量、補給水開始水量、停止水量等）を入力し、モジュール同士を「接続」することでシステムを構築する作業となるが、あらかじめ典型的な標準システ

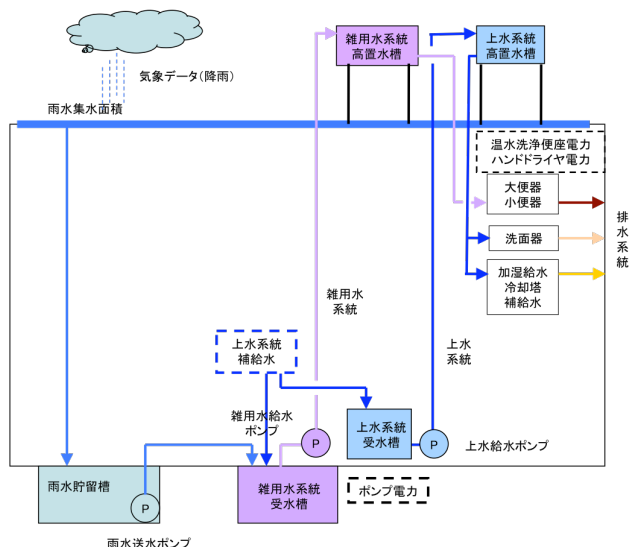


図-1 テンプレート化された標準的な雨水利用システム

ムを用意しておくことでユーザーが容易にシミュレーションできるように工夫を行っている。これを「プレート」機能と呼び、既報<sup>2)</sup>と同様の雨水利用システムを含む上水・雑用水による2系統給水システム(図-1)を例題として備えた。

### 3. シミュレーションの条件及び内容

シミュレーションの諸条件を表-1に示す。4つのケースのうち、ケース1は、既報<sup>1)</sup>と同一条件、ケース2は、既報<sup>2)</sup>と同一条件とした。なお、ケース2においては、雨水貯留槽を20.0m<sup>3</sup>から40m<sup>3</sup>きざみで180.0m<sup>3</sup>まで5段階に変化させたときのシミュレーションを行った。ケース3は、ケース2の条件に代えて、大便器洗浄を13L/回から6L/回に、小便器洗浄を2.7L/回から1.5L/回として、節水型便器の使用を想定したケースとした。ケース4は、ケース3の条件に代えて、さらに雑用水受水槽の雨水補給開始水量を4.0m<sup>3</sup>から10.0m<sup>3</sup>に、雨水補給停止水量を16.0m<sup>3</sup>から20.0m<sup>3</sup>として、雨水が可能な限り雑用水受水槽に供給される制御に変更したケースとした。

表-1 シミュレーションの諸条件

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
建物規模・用途	約10,000m <sup>2</sup> の事務所ビルを想定			
人員	男子466人 女子200人		男子400人 女子200人	
衛生器具吐水量	男子・女子大便器	13L/回	6L/日	
	男子小便器	2.7L/回	1.5L/回	
衛生器具電力消費原単位	洗面器	0.5L/回		
	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		
雑用水高置水槽	ポンプ起動水量	0.7m <sup>3</sup>	0.8m <sup>3</sup>	
	ポンプ停止水量	2.8m <sup>3</sup>	3.2m <sup>3</sup>	
揚水ポンプ	初期貯水量	2.8m <sup>3</sup>	3.2m <sup>3</sup>	
	全揚程	80mAq(800,000Pa)		
雑用水受水槽	給水量	108L/min(1,800g/sec)	60L/min(1,000g/sec)	
	雨水補給開始水量	3.6m <sup>3</sup>	4.0m <sup>3</sup>	10.0m <sup>3</sup>
	雨水補給停止水量	14.4m <sup>3</sup>	16.0m <sup>3</sup>	20.0m <sup>3</sup>
	上水補給開始水量	1.8m <sup>3</sup>	6.0m <sup>3</sup>	
	上水補給停止水量	14.4m <sup>3</sup>	14.0m <sup>3</sup>	
	初期受水槽貯水量	18.0m <sup>3</sup>	4.0m <sup>3</sup>	
ろ過ポンプ	全揚程	5mAq(50,000Pa)		
	給水量	108L/min(1,800g/sec)	60L/min(1,000g/sec)	
雨水貯留槽	雨水貯水量	50.0m <sup>3</sup>	20.0m <sup>3</sup> ~180.0m <sup>3</sup> (40m <sup>3</sup> きざみ)	20.0m <sup>3</sup>
	雨水補給開始水量	40.0m <sup>3</sup>	雨水貯留槽の80%	
	雨水補給停止水量	50.0m <sup>3</sup>	雨水貯留槽の容量と同じ	
	初期雨水貯水量	0m <sup>3</sup>		
降雨データ	表-1・図-2のとおり9都市			
雨水集水面積	集水面積	500m <sup>2</sup>	1000m <sup>2</sup>	
	流出係数	0.8	0.9	

さらに本報では、地域特性を見るため、2006年の1年間における札幌、仙台、東京、新潟、名古屋、大阪、高知、福岡、鹿児島9都市における1時間ごとの拡張メダスデータを用いた。月ごとの降雨量を表-2に、年間の累積降雨量を図-2に示す。各都市の年間降雨量は、札幌が1,065mm、仙台が924mm、東京が1,739mm、新潟が1,675mm、名古屋が1,441mm、大阪が1,289mm、高知が1,779mm、福岡が1,753mm、鹿児島が2,120mmである。この年の全体的な傾向として、6月から9月にかけての降雨量が多くなっており、東京と福岡では平年よりも降雨量が多い。なお、このシミュレーションにおいては、降雪を考慮せずに、雨が降ったものとしてシミュレーションを行っている。

給水負荷パターンは、あらかじめ設定を行った衛生器具別の負荷頻度パターン[回/(人・h)]×衛生器具吐水量[L/回]×人員[人]により時刻ごとに算出を行っている。なお負荷頻度パターンは、平日と休日の2種類、各衛生器具別に用意をした。ケース2・ケース3・ケース4において雨水が利用される雑用水系統における雑用水使用量の合計値は、平日が41.0m<sup>3</sup>/日、休日が21.3m<sup>3</sup>/日で、年間で12,510m<sup>3</sup>/年となる。よって年間の雨水代替率は、東京の場合、雨水集水面積1,000m<sup>2</sup>×流出係数0.9×年間降雨量1,739mm/1,000 ÷ 年間雑用水使用量12,510m<sup>3</sup>/年 = 12.5より最大でも12.5%である。

表-2 各都市における月ごとの降雨量(2006年, 単位mm)

月	札幌	仙台	東京	新潟	名古屋	大阪	高知	福岡	鹿児島
1	121	11	67	143	34	33	56	62	38
2	107	14	113	135	31	53	91	51	70
3	102	68	80	82	120	107	139	114	181
4	34	70	123	123	100	139	125	142	258
5	43	111	99	93	162	115	124	101	268
6	21	79	139	61	150	198	287	402	493
7	45	117	165	258	258	115	204	113	329
8	170	45	126	88	63	129	137	323	238
9	131	274	176	113	227	108	384	194	75
10	80	87	318	151	135	144	108	77	14
11	114	19	135	243	132	66	62	98	63
12	97	29	200	185	29	82	62	76	93

合計 1,065 924 1,739 1,675 1,441 1,289 1,779 1,753 2,120

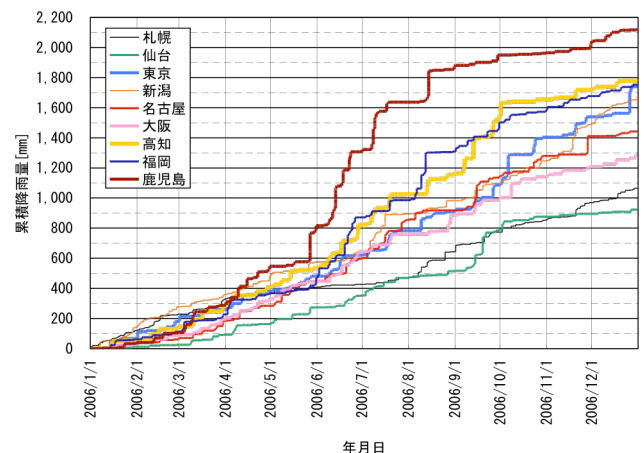


図-2 各都市における年間の累積降雨量

#### 4. シミュレーション結果

##### 4.1 雨水貯留槽の容量の変化による評価

ケース 2 において、雨水貯留槽の容量を 20.0m<sup>3</sup> から 180.0m<sup>3</sup> まで、40m<sup>3</sup> ごとに 5 段階に変化させた場合の雨水利用率（雨水利用量/雨水集水量）の変化を、9 都市についてシミュレーションした結果を図-3 に示す。

降雨量が多い鹿児島と高知においては、雨水貯留槽がの容量が小さいとオーバーフロー等の雨水排水量が多くなり、20m<sup>3</sup> の雨水貯留槽の場合、雨水利用率は、鹿児島が 56.1%、高知が 63.7% と低くなっている。その他の都市においては、降雨量の多少が必ずしも雨水利用率の多少と一致していない。年間降雨量の最も少ない仙台よりも、札幌のほうが雨水利用率は高い。これは、大雨の発生により雨水がオーバーフロー等で排水を起こしているためである。図-4 に 9 都市における累積の雨水排水量を示す。仙台では、9 月 19 日における 108mm/日の降雨で、雨水排水量が 1 日で 73m<sup>3</sup> 生じている。東京、高知、福岡も年間の降雨量がほぼ同じであるが、雨水排水量は、大雨の発生によって大きく異なる結果となっている。

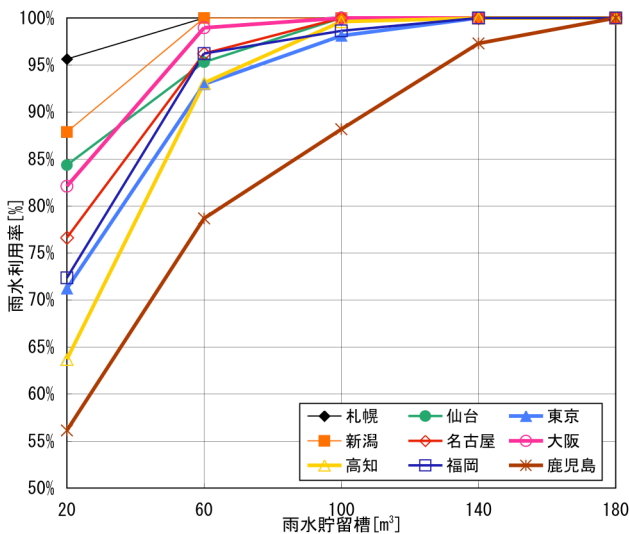


図-3 9 都市における雨水貯留槽の容量と雨水利用率

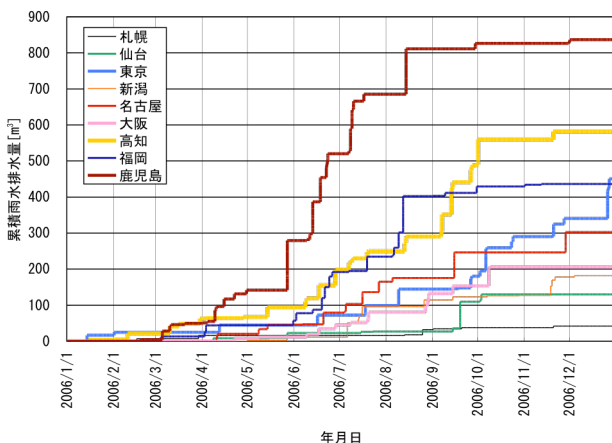


図-4 9 都市における累積の雨水排水量

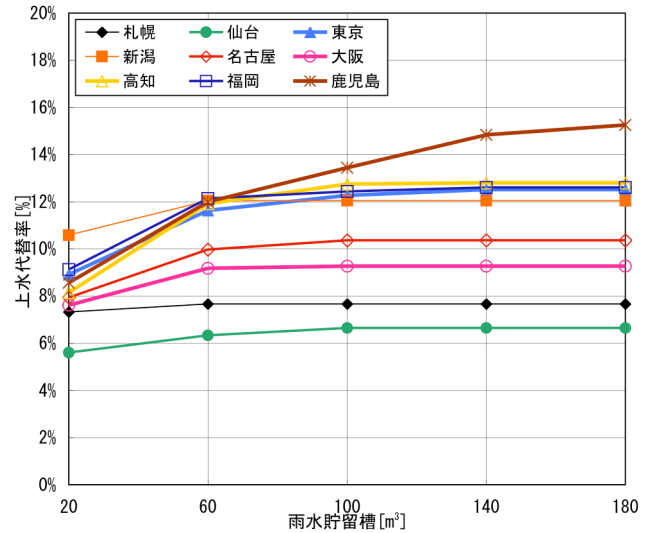


図-5 9 都市における雨水貯留槽の容量と上水代替率

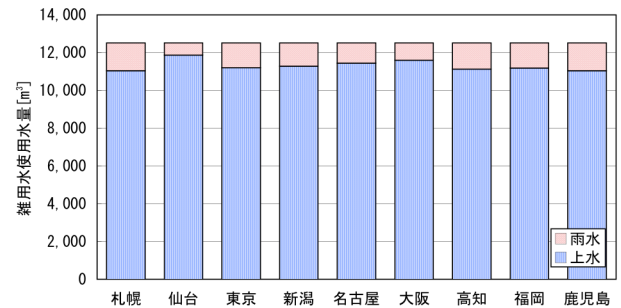


図-6 雑用水使用量に対する雨水・上水の使用量  
(ケース 2・雨水貯留槽容量 100m<sup>3</sup> の場合)

雨水貯留槽の容量を大きくすると、雨水を全量雨水貯留槽に蓄えることができる。雨水利用率は、札幌・新潟では 60m<sup>3</sup> 以上、仙台・名古屋・大阪では 100m<sup>3</sup> 以上、東京・高知・福岡では 140m<sup>3</sup> 以上、鹿児島では 180m<sup>3</sup> で 100% となっている。

図-5 に雨水貯留槽の容量と上水代替率（雨水利用量/雑用水使用量）との関係を示す。このシミュレーションにおける給水負荷パターンでは、雨水貯留量と比較して雑用水使用量が大きくなっているため、この規模の建物では、雨水による上水の代替率は、降雨量の多い鹿児島で、最大の 15.3%、最も低い仙台で、最低の 5.6% となっている。ケース 2 で雨水貯留槽容量が 100m<sup>3</sup> の場合における雑用水使用量に対する雨水・上水それぞれの使用量を図-6 に示す。雨水の利用割合を増やすためには、集水面積を大きくして雨水集水量を増やす必要がある。このシミュレーションでは、約 10,000m<sup>2</sup> の事務所ビルに対して、集水面積が 1,000m<sup>2</sup> (10 階程度) としているが、低層の建物であれば、その分集水面積が増し、雨水利用の有効性が高まる。

## 4.2 ケースごとの雨水集水量の変化

雨水貯留槽容量が  $20\text{m}^3$  の場合における、ケース 1 からケース 4 のシミュレーションの結果を、9 都市における各ケースの雨水集水量と雨水排水量を求めた結果により図-7～図-10 に示す。

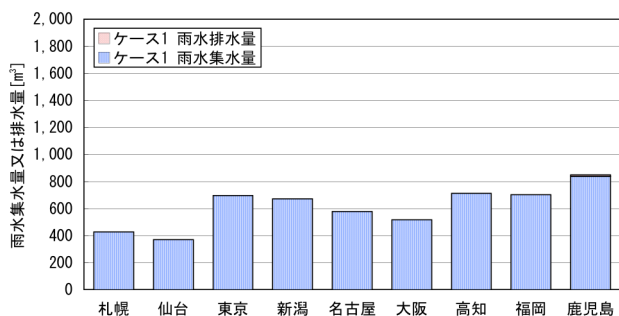


図-7 ケース 1 における 9 都市の雨水集水量と雨水排水量

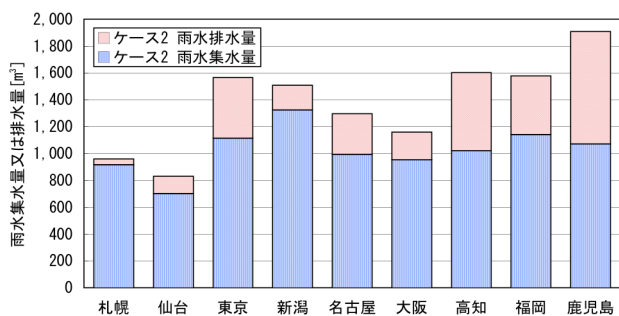


図-8 ケース 2 における 9 都市の雨水集水量と雨水排水量

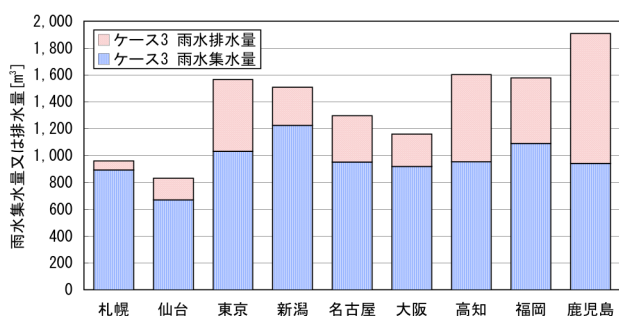


図-9 ケース 3 における 9 都市の雨水集水量と雨水排水量

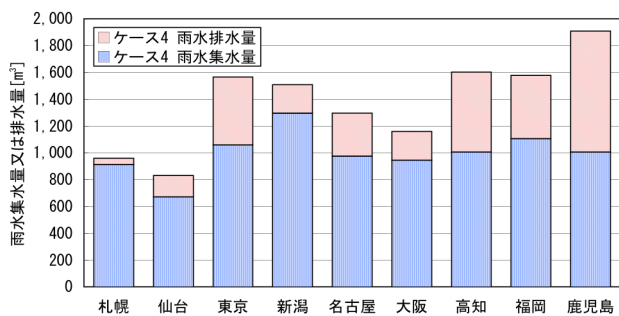


図-10 ケース 4 における 9 都市の雨水集水量と雨水排水量

ケース 1 は、集水面積が  $500\text{m}^2$  であり、他のケースの半分であるため、すべての雨水を集水できるが、集水量は少ない。ケース 2 からケース 4 では、集水面積が  $1,000\text{m}^2$  あり、雨水貯留槽容量が  $20\text{m}^3$  では、雨水排水量が一定の割合で生じる。節水型便器の使用を想定したケース 3 の場合、雑用水使用量が  $5,854\text{m}^3/\text{年}$  となり、ケース 2 の  $12,510\text{m}^3/\text{年}$  と比較して半分以上に減少するため、雨水集水量が 2.7% (札幌) ～6.9% (鹿児島) 減少する。

制御条件を変更して、雨水が可能な限り雑用水受水槽に供給される制御に変更したケース 4 では、0.3% (仙台) ～4.7% (新潟) 雨水集水量が増加する。

## 5. まとめ

本報では、BEST 雨水利用プログラムの計算事例として、都市別の拡張アメダスデータを用いたシミュレーションを行うとともに、算出された数値についての分析を行った。

年間の降雨量だけでなく、降雨量のパターンを用いたシミュレーションを行うことで、降雨の集中度合いを加味した雨水貯留槽の設計等が検討でき、効率の高い設計が期待できる。

降雨量については、年ごとの変化が大きいこと、また、地域による変化も大きいことから、豊富なデータベースから複数年のデータによる分析を行うことで、より精度の高いシミュレーション結果が得られ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 コンソーシアム」・「BEST 企画委員会 (村上周三委員長)」および専門版開発委員会 (石野久彌委員長)、行政支援ツール開発委員会 (坂本雄三委員長)、クラス構想 WG (石野久彌主査) 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 SWG 名簿 (順不同) 主査: 大塚雅之 (関東学院大学)、幹事: 長谷川巖 (日建設計)、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)、壺岡賢悟 (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 (斎久工業)、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、日建設計)、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) 小瀬博之 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 38) 雨水利用プログラムの概要、平成 20 年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集、OS-26、pp.1153-1156、2008/8
- 2) 長谷川巖 他: 建築エネルギー・環境シミュレーションツール BEST の開発 第 20 報 雨水利用プログラムによるシミュレーション活用事例、2009 年度日本建築大会学術講演梗概集、2009/8