

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108）

## ハイブリッド給湯システムの開発

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 108)

### Development of a Hybrid Heat Pump Hot Water System

技術フェロー ○長谷川 巖（日建設計）

正会員 田端 康弘（日建設計）

技術フェロー 大塚 雅之（関東学院大学）

特別会員 村上 周三（環境建築・省エネルギー機構）

Iwao HASEGAWA \*<sup>1</sup> Yasuhiro TABATA\*<sup>1</sup> Masayuki OTSUKA \*<sup>2</sup> Shuzo MURAKAMI\*<sup>3</sup>

\*<sup>1</sup> Nikken Sekkei \*<sup>2</sup> Kanto Gakuin University \*<sup>3</sup> Institute of Building and Environment Center

This report is a study on development of a Hybrid Heat Pump Hot Water System for BEST. Hybrid Heat Pump Hot Water System is combined high efficiency heat pump system by using electricity and high heat energy output boiler system by using combustion heat sources. The study in this report is considered to the character of this system and described simulation algorithm in BEST.

#### はじめに

BEST ではこれまで、衛生関連の給湯シミュレーションシステムとして、ボイラ等の燃焼系給湯機、ヒートポンプ給湯機、潜熱回収給湯機の開発を行ってきた<sup>1)~4)</sup>。本報では最近注目されているハイブリッド給湯システムに関して、その特徴と方式を整理するとともに、BEST で開発した際の計算方法とモデル建物における計算事例をまとめたものを報告する。

#### 1. ハイブリッド給湯システムの特徴と方式

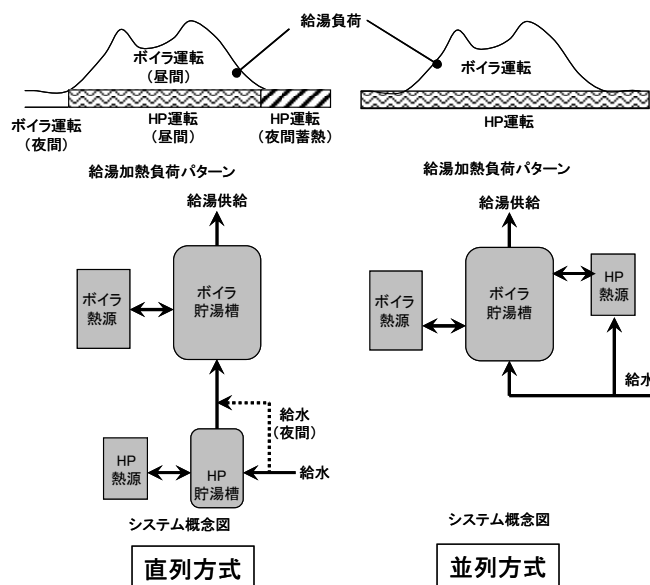
##### 1.1 ハイブリッド給湯システムの特徴

ハイブリッド給湯システムは、電力を用いた高効率なヒートポンプ給湯機とガスや油を熱源とする高出力の燃焼系給湯機を組み合わせたシステムである。これまで、ヒートポンプ給湯機は家庭部門で普及して来たが、給湯需要パターンが固定的でない、業務部門では突発的な給湯需要に追従が難しいことや、最大給湯負荷に合わせた機器容量選定をするとイニシャルコストや稼働率の面で不利となることなどの理由から導入の妨げとなっていた。そこで開発されたのが、ベース給湯負荷をヒートポンプ給湯機でまかない安定的な運転を行い、給湯負荷変動やピーク給湯負荷への追従性が高い燃焼式給湯機で対応するというハイブリッド給湯システムが開発された。図1上段はハイブリッド給湯システムのイメージを図示したものである。

##### 1.2 ハイブリッド給湯システムの方式

ハイブリッド給湯システムの計画・設計のポイントはヒートポンプ給湯機と燃焼式給湯機の容量比率をどのようにするかにある他、給湯負荷パターンの特徴に応じて

数種のシステム構成を使い分けることにある。図1下段は、文献<sup>5)6)</sup>において整理されている給湯負荷パターン特性を捉えた建物用途別に選定されるハイブリッド給湯システムの方式をまとめたものである。ハイブリッド給湯システムには大きく分けて2種類あり、ヒートポンプ給湯機で加熱後に燃焼式給湯機で追い炊きをする直列方式と双方を共用の貯湯槽に加熱する並列方式がある。直列方式は夜間蓄熱運転を行い、その間の需要は燃焼式給湯機でまかなうが、並列式は夜間もヒートポンプ給湯機で給湯負荷を処理するという特徴がある。



※HP：ヒートポンプ給湯機、ボイラ：燃焼系給湯機

図-1 ハイブリッド給湯システムのイメージと方式

表1は各メーカーにおいてハイブリッド給湯システムで採用される熱源容量のラインナップ例を示したものである。比較的小容量のものが多く組み合わせ時には注意が必要である。

表-1 ハイブリッド給湯システムの熱源容量例

	A社	B社 (小型)	B社 (大型)	C社	D社	E社	F社	G社
	12kW, 26.3kW, 67.5kW	6kW	35kW	30kW	15kW	15kW	40kW	74kW
直列接続	○	○	○	○	○	○	○	○
並列接続	○	-	-	○	-	○	○	○

(凡例) ○:対応可能、-:対応しない機種

## 2. ハイブリッド給湯システム（直列方式）の開発

### 2.1 BESTにおけるハイブリッド給湯システム開発

BESTでは、ハイブリッド給湯機の特徴を活かせる直列方式の開発を行った。既に開発済みの燃焼系給湯機のテンプレートの中にヒートポンプ給湯機のテンプレートを変更したものを入れ、混合三方弁にて給水量を制御することで計算を行う方法とした。

### 2.2 BESTにおける計算手順

まず給湯負荷（給湯使用量）が発生すると、補給水が系統内に入る。この補給水の一部はヒートポンプ給湯機に付随する貯湯槽の下部へ入る。ヒートポンプ給湯機で加熱後の水量と給水が混合三方弁で合流し、燃焼系給湯機の貯湯槽下部へ入った後、燃焼系給湯機で加熱され、給湯循環系統内に供給され混合給湯栓から負荷側で消費される計算の流れとなっている。この計算サイクルを計算時間間隔ごとに繰り返し、期間合計値が期間給湯負荷、加熱負荷、電力消費量、燃焼系エネルギー消費量となって算出出来る仕組みとなっている。なお、貯湯槽はいずれも上下2層構成となった温度成層型とし、計算過程において、周囲温度と給湯循環温度との差による配管熱損失や貯湯槽から熱損失も同時に算出される。

### 2.3 運転パターン

次に、図2において各時間帯における運転パターンの特徴を示す。

#### (1) 昼間時間帯運転① (図2-2-1)

給湯負荷が少ない昼間時間帯でヒートポンプ給湯機のみで給湯負荷がまかなえる場合には、燃焼系給湯機は稼働せず、ヒートポンプ給湯機で加熱された湯がそのまま循環系配管に供給される。

#### (2) 昼間時間帯② (図2-2-2)

給湯負荷が増えるとヒートポンプ給湯機だけではまかなえなくなるため燃焼系給湯機が稼働する。このとき実際のシステムでは蓄熱槽がバッファとなるため使用量が多い場合には、蓄熱槽は湯60℃を確保出来なくなるが、シミュレーション上ではヒートポンプ加熱容量分の水量のみが分流され、ヒートポンプ給湯の蓄熱槽からは常に

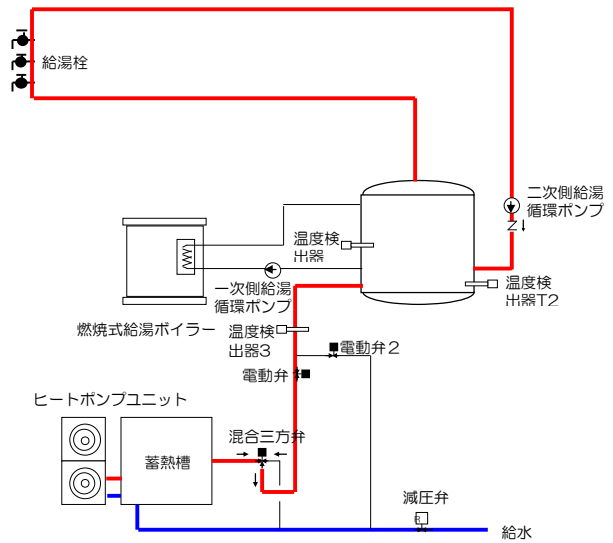


図2-2-1 昼間時間帯運転①

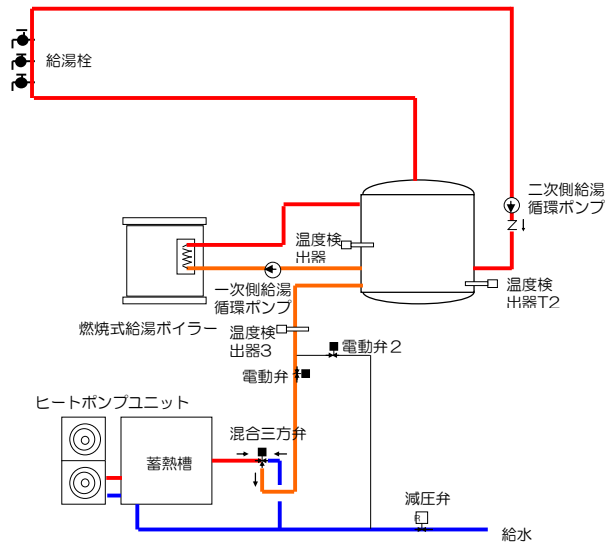


図2-2-2 昼間時間帯運転②

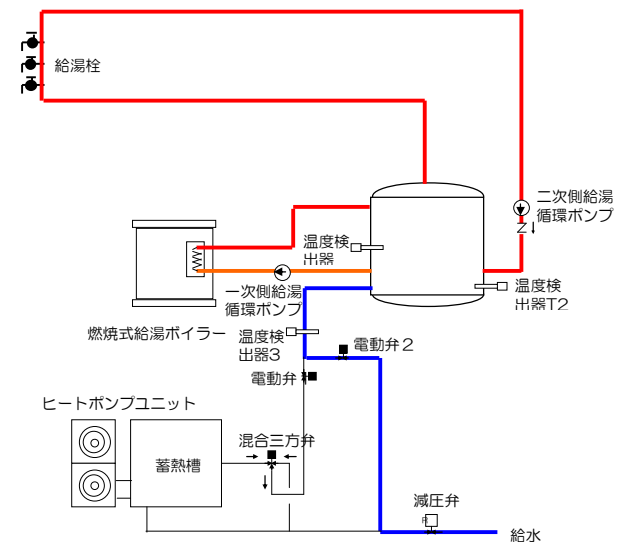


図2-2-3 夜間時間帯運転

60℃の湯を供給後、混合三方弁で給水と混合され水温が下がり、貯湯槽へ供給する仕組みとなっている。

(3) 夜間時間帯 (図2-2-3)

蓄熱槽内に残った水は夜間ヒートポンプ給湯機で加熱され、蓄熱槽内で給湯温度が維持される。夜間需要がある場合には燃焼系給湯機が追従して稼働する。

3. モデル建物における計算事例

店舗面積 1,100 m<sup>2</sup>、想定来店人員 600 人/日の店舗をモデル建物として、BEST で開発されたハイブリッド給湯システムのシミュレーションを行った。表2に計算パターンと各検討ケースの諸元を示す。燃焼系給湯機のみを用いた CASE 1 に対して、ヒートポンプ給湯機の割合を 10%、20%、30%とした場合の計算を行った。このとき加熱能力の割合に応じて、ヒートポンプ給湯機用の貯湯槽 (蓄熱槽) の容量も変化させている。なお、計算時間間隔は 10 分間隔で年間計算を行っている。

Case 2 のヒートポンプ給湯機の比率が 20% の場合の 1 日の計算結果を図3～5に示す。図3は最大給湯負荷が発生する 1 月 7 日の 10 分間隔データで、加熱負荷・給湯負荷・熱損失を示したものである。最大給湯負荷時はヒートポンプ給湯機で約 35% 程度まかなっており、朝と夜の給湯負荷が少ない時間帯は、ヒートポンプ給湯機のみでの運転となっている。なお配管や貯湯槽からの熱損失は、保温仕様が良く、設置位置の空調空間と外気の間としているため、ほとんど発生していない。図4は最大負荷時の一次エネルギー消費量を示す。加熱負荷を給湯ボイラとヒートポンプ給湯機の機器特性を考慮して算出している。定格 COP は、給湯ボイラで 0.8、ヒートポンプ給湯機で 4 と設定しているため、ヒートポンプ給湯機用の電力消費量が少なくなっている。図5は最大負荷時の各種水温を示す。給水温度は外気温度との一次関数で近似しているが、建物内に入った給水温度の変動は少ないため、計算上は 1 日毎に外気温度から換算して算出しているため給水温度は 3℃で一定となっている。次にボイラ貯湯槽への流入温度は、ヒートポンプ給湯機で処理可能な水量だけがヒートポンプ給湯機にて 60℃まで加熱され、補給水量のうち残りの水量は給水温度 3℃でバイパスされ、ヒートポンプ給湯機で加熱された湯と混合される。日中は給湯負荷変動に応じて 33℃～60℃まで変動していることが図から読み取れる。そしてボイラにて加熱され所定の給湯温度 60℃にて給湯使用箇所に供給され、二次側給湯循環配管でわずかながら熱損失をしてボイラ貯湯槽に返湯される。本検討では二次側給湯循環配管の保温性能が高いため、二次側給湯循環による温度降下は 1℃程度であった。

次に Case 2 における月別年間の計算結果を図6～8に示す。図6は給湯ボイラとヒートポンプ給湯機の加熱

負荷を示す。いずれも夏期が低く冬期が高くなっている。図7は給湯負荷と配管熱損失、貯湯槽熱損失を示す。本検討では熱損失はほとんど生じていない。図8は熱源とポンプ類の月別年間の一次エネルギー消費量を示す。

表-2 モデル建物における計算パターン

検討ケース	Case1	Case2	Case3	Case4	備考
給湯システム	燃焼式給湯方式	ハイブリッド給湯方式			
熱源種別容量 (比率)	HP側 ボイラ側	50kW(10) 430kW(90)	100kW(20) 380kW(80)	150kW(30) 330kW(70)	
熱源エネルギー消費量	HP側 ボイラ側	12.5kW 537.5kW	25kW 475kW	37.5kW 412.5kW	2次COP4 1次COP0.8
貯湯槽容量	HP側 ボイラ側	— 8m <sup>3</sup>	2m <sup>3</sup> 6m <sup>3</sup>	3m <sup>3</sup> 4m <sup>3</sup>	
給湯一次ポンプ	HP側 ボイラ側	— 125L/min	13L/min 125L/min	26L/min 125L/min	39L/min 125L/min
給湯一次配管	20m ステンレス鋼管 保温仕様1				
給湯二次配管	100m ステンレス鋼管 保温仕様1				
給湯二次ポンプ	20L/min × 100kPa				
給湯使用量	店舗面積 1,100m <sup>2</sup> × 32L/m <sup>2</sup> ・日				
	想定人員 600人 × 3.8L/日				
	合計日使用湯量 37.5m <sup>3</sup> /日 (43℃換算値)				

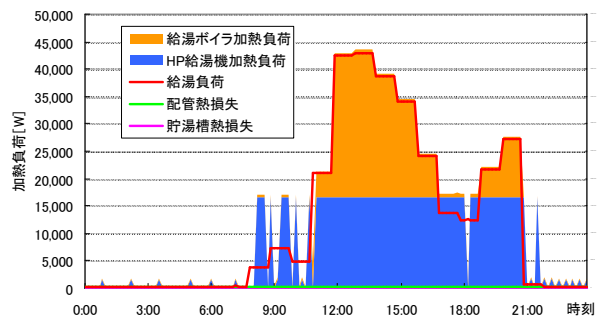


図-3 Case2 最大負荷時の加熱負荷・給湯負荷・熱損失

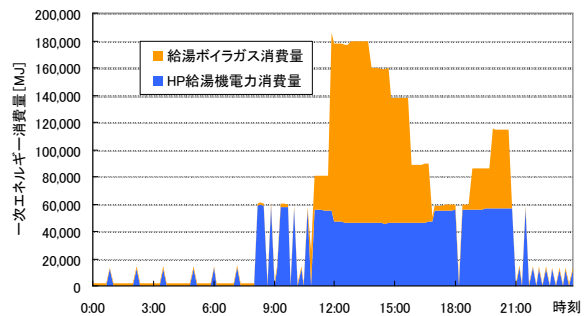


図-4 Case2 最大負荷時の電力・ガスエネルギー消費量

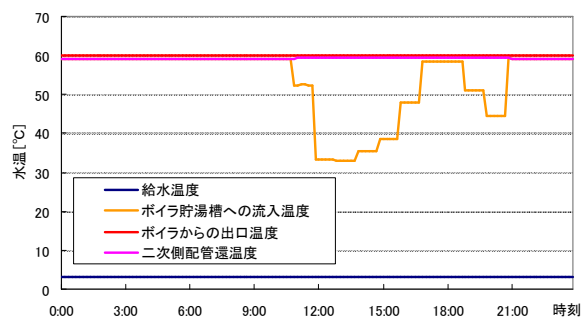


図-5 Case2 最大負荷時の各種水温

ポンプの電力消費量は熱源と比べほとんどない。また図6の加熱負荷における給湯ボイラとヒートポンプ給湯機の比率と比較すると、エネルギー消費比率ではヒートポンプ給湯機の部分の比率が下がっていることが分かり、ヒートポンプ給湯機が高い効率で運転されていることが分かる。

図9は Case1～Case4 までの年間一次エネルギー消費量を給湯ボイラにおけるガス消費とヒートポンプ給湯機における電力消費別に示したものである。ヒートポンプ給湯機の比率を上げるとエネルギー消費量下がるがその削減効果は徐々に狭まる傾向にある。よって高効率のヒートポンプ給湯機の比率を高めても、その効果が少なくなる点が生じる。これより、給湯負荷に応じて適切な熱

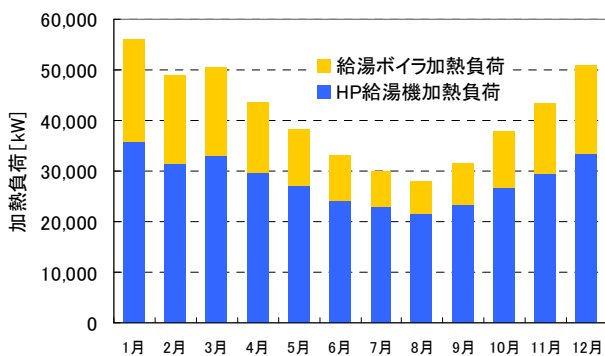


図-6 Case2 月間HP 給湯機、給湯ボイラ加熱負荷

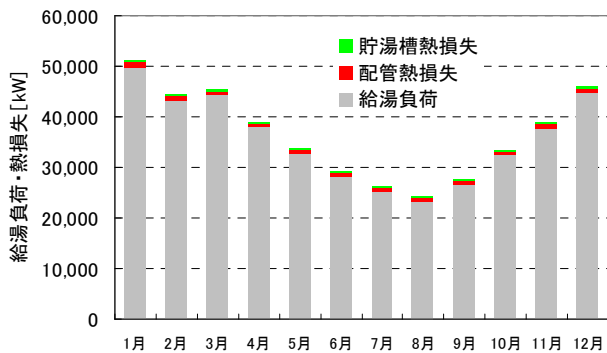


図-7 Case2 月間給湯負荷・熱損失

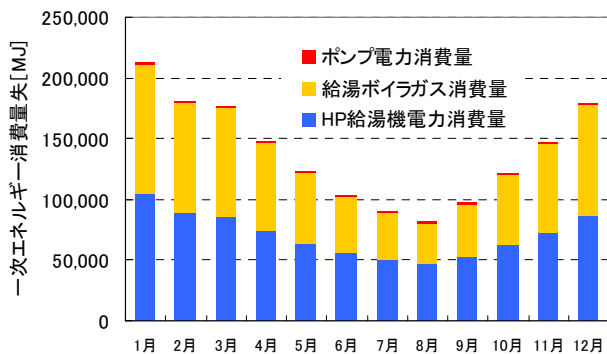


図-8 Case2 熱源及びポンプのエネルギー消費量

源容量比率について、本シミュレーションツールを利用することで検討することが出来ると考えられる。

### まとめ

本研究はハイブリッド給湯方式の特徴と方式を整理した後、直列式システムの開発を BEST で行った際の計算方法を示すとともに、店舗を例としたモデル建物における計算を実施した。計算事例では、給湯ボイラとヒートポンプ給湯機の加熱負荷とエネルギー消費量をはじめ、熱損失や系内の水温分析を行い、本シミュレーションによるハイブリッド給湯システム解析の有効性を示した。

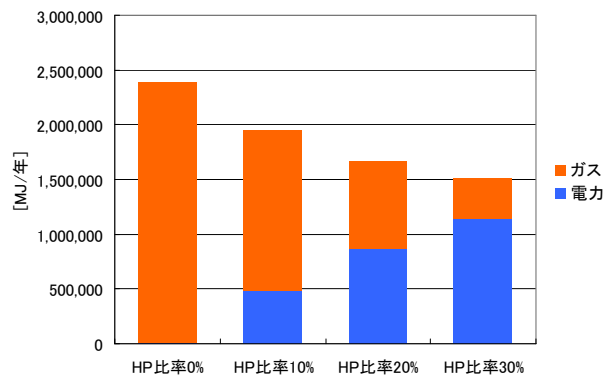


図-9 Case1～4 年間一次エネルギー消費量比較

【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)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(給湯)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)、委員: 前真之(東京大学大学院)、宮崎隆(東京電力)、出原早人(中部電力)、鈴木孝彦(戸田建設)、小川聡嗣(東邦ガス)、土井章弘(竹中工務店)、小原直人(ピーエーシー)事務局: 生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)

### 参考文献

- 1)前真之他: 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 37) 給湯プログラムの概要、平成 20 年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2008/8
- 2)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 53) 給水・給湯負荷パターンの検討、平成21年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2009/8
- 3)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 55) 給湯プログラムによる計算事例、平成 21年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2009/8
- 4)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 74) 給湯プログラムによる省エネルギー検討、平成 22 年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2010/8
- 5)特集「給湯の省エネ最前線」、平成 22 年 空気調和・衛生工学 Vol84 no.8
- 6)業務用ヒートポンプ給湯システム設計ガイドブック、平成 24 年 3 月 財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター