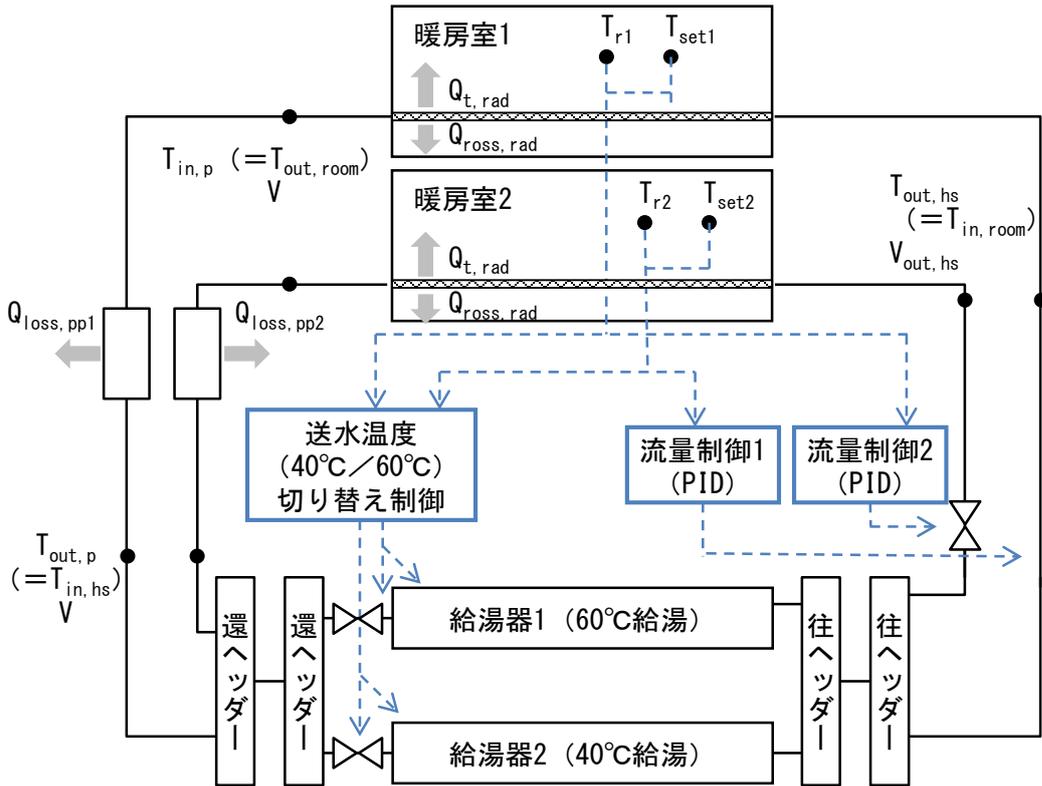


# 1. 温水床暖房

## 1.1.1. システム全体図

暖房室が2室ある場合の床暖房のシステム全体のイメージを以下に示す。



※給湯器について、潜熱回収型ガス給湯器で送水温度の切り替えを行う場合、実際には1つの給湯器で送水温度を変化させるが、計算上は送水温度の異なる給湯器間で切り替え制御を行うものとして扱う。

図 1.1 システム全体のイメージ

以下、(※)印の付いている項目は、BEST で計算するために追加もしくは変更した計算式。

それ以外の項目は、省エネ基準通りの計算式。

## 1.1.2. 設定項目と計算式

### (1) 床暖房入口水温(※)

床暖房の入口水温  $T_{in, room}$  [°C] は、次式より計算する。

$$T_{in, room} = T_{out, hs} \quad \dots (式 1)$$

$T_{out, hs}$ : 送水温度 (= 熱源機の出口温度) [°C]

## (2) 床暖房出口水温(※)

床暖房の出口水温  $T_{out,room}$  [°C] は、次式より計算する。

$$T_{out,room} = T_{in,room} - \frac{Q_{sp}}{c \times \rho \times V / 3600} \quad \dots (式 2)$$

$Q_{sp}$ : 床暖房の供給熱量[kW]

ただし、ここでは床暖房パネルの熱容量を考慮し、温水より床暖房パネルに放熱される熱量とする。

$c$ : 水の比熱[kJ/kgK]

$\rho$ : 水の密度[kg/m<sup>3</sup>]

$V$ : 循環流量[m<sup>3</sup>/h]

ただし  $V=0$  [m<sup>3</sup>/h] のとき、

$$T_{out,room} = T_{in,room} \quad \dots (式 3)$$

## (3) 循環水量(※)

循環水量  $V$  [m<sup>3</sup>/h] は、暖房室の室温を制御対象として、PID 制御で操作する。

PID 制御は、BEST の既存モジュールを使用する。

## (4) 温水供給運転率

床暖房の温水供給運転率  $r_{ws}$  [-] は、次式より計算する。

$$r_{ws} = \frac{V}{V_{max}} \quad \dots (式 4)$$

$V_{max}$ : 循環流量の最大値[m<sup>3</sup>/h]

ただし、床暖房が複数ある場合は、

$$r_{ws} = 1 \quad \dots (式 5)$$

## (5) 配管入口温度(※)

配管の入口温度  $T_{in,p}$  [°C] は、次式より計算する。

$$T_{in,p} = T_{out,room} \quad \dots (式 6)$$

## (6) 配管出口温度(※)

配管内の水の熱収支式は、次式のようになる。

$$M_p \frac{dT_p}{dt} = c \rho \frac{V}{3600} (T_{in} - T_p) + K_p L_p (T_{amp} - T_p) \quad \dots (式 7)$$

これを後退差分を用いて離散化すると、配管の出口温度  $T_{out,p}$  [°C] は、次式のとおり計算される。

$$T_{out,p} = \frac{\frac{M_p}{\Delta t} T_p^* + c \rho \frac{V}{3600} T_{in,p} + K_p L_p T_{amp}}{\frac{M_p}{\Delta t} + c \rho \frac{V}{3600} + K_p L_p} \quad \dots (式 8)$$

$M_p$ : 管内水熱容量[kJ/K]

$\Delta t$ : 計算時間間隔[sec]      BEST では 5 分間隔=300[sec]

$T_p^*$ :  $\Delta t$  前の配管内部温度[°C]

$K_p$ :配管の線熱通過率[W/mK]

$L_p$ :配管長[m]

$T_{amp}$ :配管の周囲温度[°C]

ただし、出口温度  $T_{out,p}$  は配管内部温度  $T_p$  に等しいとする。

### (7) 配管熱損失(※)

配管の熱損失  $Q_{loss,p}$ [kW]は、次式より計算する。

$$Q_{loss,p} = K_p \times L_p \times (T_{amp} - T_p) / 1000 \quad \dots (式 9)$$

$T_p$ :配管の内部温度[°C]

### (8) 送水目標温度(※)

#### ① 潜熱回収型ガス熱源機の場合

制御対象の暖房室の室温について、目標値±許容誤差[°C] (例:暖房設定温度  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) の範囲に収まらない場合は、目標値との差が小さくなるよう、送水目標温度  $T_{out,hs}$  を  $40^\circ\text{C}$  と  $60^\circ\text{C}$  で切り替わる(図 1.2)。ただし、複数室で床暖房の同時使用を行う場合、いずれかの室が目標値－許容誤差[°C]を下回る場合、他の室温によらず、 $60^\circ\text{C}$ 送水とする。

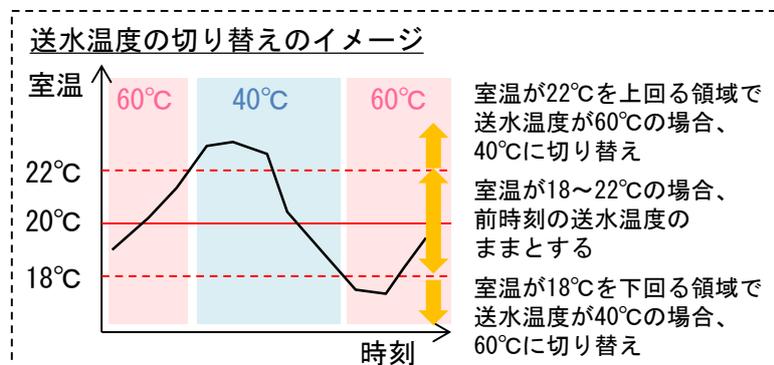


図 1.2 送水目標温度の切り替えのイメージ

#### ② 従来型ガス給湯器の場合

$$T_{out,hs} = 60[^\circ\text{C}] \quad \dots (式 10)$$

### (9) 熱源機入口温度(※)

熱源機の入口温度  $T_{in,hs}$ [°C]は、次式より計算する。

$$T_{in,hs} = T_{out,p} \quad \dots (式 11)$$

### (10) 熱源機の温水需要(※)

熱源機の温水需要  $Q_{\text{dmd,hs}}$  [kW] は、次式より計算する。

$$Q_{\text{dmd,hs}} = (T_{\text{out,hs,s}} - T_{\text{in,hs}}) c \rho V \quad \cdots (\text{式 } 12)$$

ただし、 $T_{\text{out,hs,s}} < T_{\text{in,hs}}$  のとき、

$$Q_{\text{dmd,hs}} = 0 \quad \cdots (\text{式 } 13)$$

### (11) 熱源機の最大出力

熱源機の最大出力  $Q_{\text{max,hs}}$  [kW] は、次式より計算する(省エネ基準の通り)。

$$Q_{\text{max,hs}} = Q_{\text{rtd,hs}} \quad \cdots (\text{式 } 14)$$

$Q_{\text{rtd,hs}}$ : 熱源機の定格能力[kW]

### (12) 熱源機の出力

熱源機の最大出力  $Q_{\text{out,hs}}$  [kW] は、次式より計算する(省エネ基準の通り)。

$$Q_{\text{out,hs}} = \min (Q_{\text{dmd,hs}}, Q_{\text{max,hs}}) \quad \cdots (\text{式 } 15)$$

### (13) 送水温度(※)

熱源機の送水温度  $T_{\text{out,hs,s}}$  は、次式より計算する。

$$T_{\text{out,hs}} = T_{\text{in,hs}} + \frac{Q_{\text{out,hs}}}{c \times \rho \times V / 3600} \quad \cdots (\text{式 } 16)$$

### (14) 筐体熱損失

熱源機の筐体熱損失  $Q_{\text{body}}$  [kW] は、次式より計算する(省エネ基準の通り)。

・潜熱回収型ガス熱源機の場合

$$T_{\text{out,hs,s}}=60[\text{°C}] \text{ のとき、} Q_{\text{body}}=225.26 \times 10^{-3} [\text{kW}] \quad \cdots (\text{式 } 17)$$

$$T_{\text{out,hs,s}}=40[\text{°C}] \text{ のとき、} Q_{\text{body}}=123.74 \times 10^{-3} [\text{kW}] \quad \cdots (\text{式 } 18)$$

・従来型ガス給湯器の場合

$$Q_{\text{body}}=240.96 \times 10^{-3} [\text{kW}] \quad \cdots (\text{式 } 19)$$

### (15) 熱交換効率

熱源機の熱交換効率  $e_{\text{ex}}$  [-] は、次式より計算する(省エネ基準の通り)。

$$e_{\text{ex}} = e_{\text{rtd}} \times f_{\text{rtd}} \times \frac{q_{\text{rtd}} + Q_{\text{body}}}{q_{\text{rtd}}} \quad \cdots (\text{式 } 20)$$

$e_{\text{rtd}}$ : 定格効率[-]

$f_{\text{rtd}}$ : 定格効率を補正する係数[-]

$q_{\text{rtd}}$ : 熱源機の定格能力[kW]

なお、定格効率を補正する係数  $f_{\text{rtd}}$  [-] は、以下のように決定する。

・潜熱回収型ガス熱源機の場合

$$T_{\text{out,hs}}=60[\text{°C}] \text{のとき, } f_{\text{rtd}}=1.038[-] \quad \dots \text{(式 21)}$$

$$T_{\text{out,hs}}=40[\text{°C}] \text{のとき, } f_{\text{rtd}}=1.064[-] \quad \dots \text{(式 22)}$$

・従来型ガス給湯器の場合、

$$f_{\text{rtd}}=0.985[-] \quad \dots \text{(式 23)}$$

### (16) 熱源機のガス消費量

熱源機のガス消費量  $E_{\text{G,hs}}$  [kW] は、次式より計算する(省エネ基準の通り)。

$$E_{\text{G,hs}} = \frac{Q_{\text{out,hs}} + Q_{\text{body}}}{e_{\text{ex}}} \quad \dots \text{(式 24)}$$

### (17) 送水ポンプ消費電力

熱源機の送水ポンプの消費電力は、 $E_{\text{E,p}}$  [kW] は、次式より計算する(省エネ基準の通り)。

$$E_{\text{E,p}} = E_{\text{E,p,rtd}} \times r_{\text{WS}} \quad \dots \text{(式 25)}$$

$E_{\text{E,p,rtd}}$ : 定格消費電力[kW]

$r_{\text{WS}}$ : 温水供給運転率[-]

### (18) 排気ファン消費電力

熱源機の排気ファンの消費電力は、 $E_{\text{E,fan}}$  [kW] は、次式より計算する(省エネ基準の通り)。

$$E_{\text{E,fan}} = E_{\text{G,hs}} \times r \quad \dots \text{(式 26)}$$

$r$ : 排気ファン効率=0.003[-]

## 2. 浴室暖房乾燥機

### 2.1.1. 浴室暖房機ユニットの機器仕様

表 2.1 主な機器仕様

		記号	デフォルト値	備考	
浴室暖房機	風量	$V_a$	300 m <sup>3</sup> /h		
	制御用吸込温度	サーモオン	$T_{a, out, on}$	42°C	
		サーモオフ	$T_{a, out, off}$	43°C	
	消費電力	暖房運転時	$E_{E, bh, o}$	0.038kW	
熱交換器	測定条件	往温水温度	$T_{in, room, s}$	80°C	
		吸込温度	$T_{a, out, s}$	20°C	
	定格能力	$Q_s$	4100W	定格能力測定時の熱通過有効度 $\varepsilon$ : 0.73 (水 80°C、空気 40°Cでの密度、比熱を使用して計算)	
温水循環流量		$V_{w, on}$	0.12 m <sup>3</sup> /h	2.0ℓ/分 BESTにおける計算上はサーモオン時の温水循環流量	
配管	配管長 (片道)	$L_p$	5m	給湯器は浴室の近くに設置されていると仮定 往 5m 還 5m 往復 10m	
	配管内径		7mm		
	配管内水熱容量	$M_p$	1.569kJ/K	水の密度 971.8kg/m <sup>3</sup> (80°C) 水の比熱 4.196J/gK (80°C) として計算	
	配管線熱通過率	$K_p$	循環温水流量 > 0 m <sup>3</sup> /h : 0.21W/mK 循環温水流量 = 0 m <sup>3</sup> /h : 0W/mK	省エネルギー基準の温水床暖房の配管の線熱損失係数を参考に設定。浴室暖房機運転停止時の配管熱損失は考慮しない。	
	周囲温度	$T_{amp}$	14.8°C	配管長 5m のうち 4m は隣室温度差係数 0.15 (4~8 地域) の断熱区画内を、1m は隣室温度差係数 0.7 の床下空間を通ると仮定し、外気温 0°C として求めた。	
熱源	定格能力	$Q_{rtd, hs}$	17kW		
	送水目標温度	$T_{out, hs, s}$	80°C		
	消費電力	ポンプ	$E_{E, p}$	温水床暖房なし : 0.073kW 温水床暖房あり : 0kW	省エネルギー基準の温水床暖房の熱源機を参考に設定 浴室暖房導入の実住戸では、温水床暖房と給湯器が共通である場合が多い。その場合、ポンプは共通。
		ファン	$E_{E, fan}$	$0.003 \times E_{G, hs}$ [kW]	省エネルギー基準温水の床暖房の熱源機を参考に設定 排気ファン効率 0.003 $E_{G, hs}$ : 熱源機のガス消費量 [kW]

※参考: ABD-3310ACSK (熱交換器以外) ABD-3310ACSK (熱交換器)

## 2.1.2. システム全体図

浴室暖房乾燥機システムのシステム全体のイメージを以下に示す。

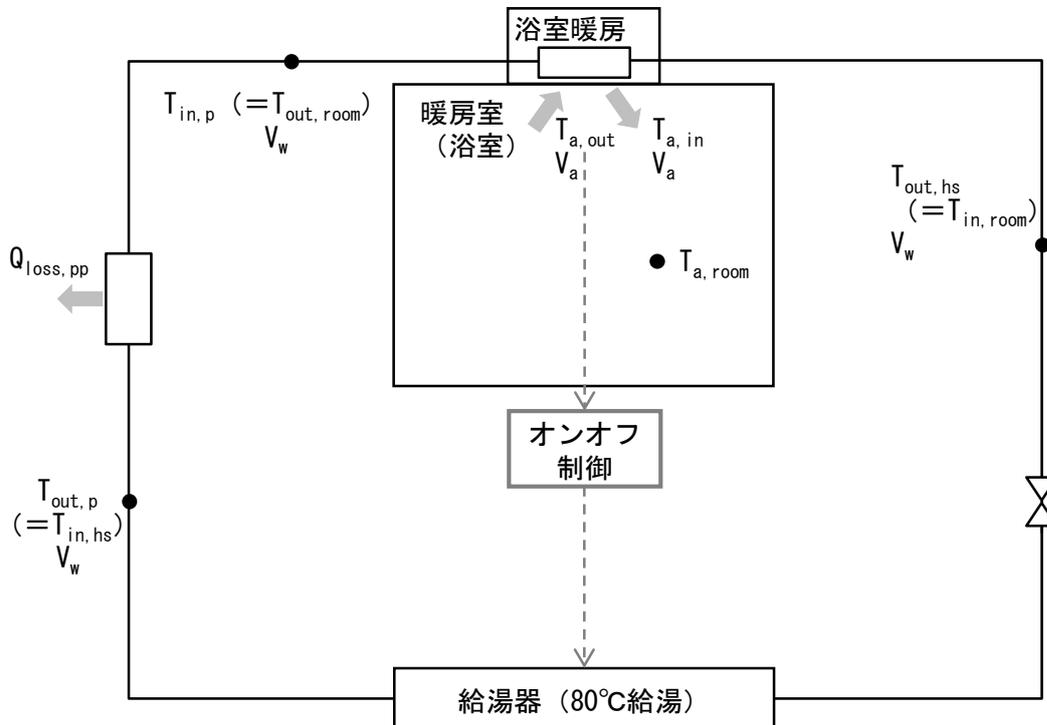


図 2.1 システム全体のイメージ

## 2.1.3. 設定項目と計算式

### (1) 入口水温

浴室暖房機の入口水温  $T_{in,room}$  [°C] は、次式により計算する。

$$T_{in,room} = T_{out,hs} \quad \dots (式 1)$$

$T_{in,room}$ : 浴室暖房機の入口水温 [°C]

$T_{out,hs}$ : 送水温度 (= 熱源機の出口温度) [°C]

### (2) 吸込空気温度

浴室暖房機の吸込空気温度  $T_{a,out}$  [°C] は、次式により計算する。

$$T_{a,out} = T_{a,room} \quad \dots (式 2)$$

$T_{a,out}$ : 浴室暖房機の吸込空気温度 [°C]

$T_{a,room}$ : 暖房室空気温度 [°C]

### (3) 吸込空気温度による制御

浴室暖房機の吸込空気温度  $T_{a,out}$  [°C] により、浴室暖房乾燥機システム全体の制御を行う。

・ $T_{a,out} < T_{a,out,on}$  のとき

サーモオン状態とする。

・ $T_{a,out} > T_{a,out,off}$  のとき

サーモオフ状態とする。

・ $T_{a,out,on} \leq T_{a,out} \leq T_{a,out,off}$  のとき

直前の状態を維持する。

#### (4) 温水循環水量

温水循環水量  $V_w$ [m<sup>3</sup>/h] は、次式により計算する。

①サーモオン時

$$V_w = V_{w,on} \quad \dots(\text{式 } 3)$$

$V_w$ : 温水循環流量[m<sup>3</sup>/h]

$V_{w,on}$ : サーモオン時の温水循環流量[m<sup>3</sup>/h]

②サーモオフ時

$$V_w = 0 \quad \dots(\text{式 } 4)$$

#### (5) 循環風量

浴室暖房機運転時の浴室暖房機の循環風量  $V_a$ [m<sup>3</sup>/h] は、サーモオン、サーモオフ状態に関わらず、一定値で与える。

#### (6) 熱交換器

熱交換器における温水と空気の交換熱量  $Q$ [W]は、次式により計算する<sup>1)</sup>。

$$Q = \varepsilon (cG)_s (T_{in,room} - T_{a,out}) \quad \dots(\text{式 } 5)$$

$$(cG)_s = \min(c_h G_h, c_c G_c) \quad \dots(\text{式 } 6)$$

$Q$ : 熱交換器における交換熱量[W]

$\varepsilon$ : 熱通過有効度[-]

$c_h$ : 高温流体の比熱[J/gK]

$c_c$ : 低温流体の比熱[J/gK]

$G_h$ : 高温流体の流量[g/s]

$G_c$ : 低温流体の流量[g/s]

熱通過有効度  $\varepsilon$  [-]は、次式により計算する。

<sup>1)</sup>宇田川光弘: パソコンによる空気調和計算法、1986年、p.16

$$\varepsilon = \frac{Q_s}{(cG)_s(T_{in,room,s} - T_{a,out,s})} \quad \dots(\text{式 } 7)$$

$Q_s$ : 熱交換器の定格能力[W]

$T_{in,room,s}$ : 定格能力測定時の浴室暖房機の入口水温[°C]

$T_{a,out,s}$ : 定格能力測定時の浴室暖房機の吸込空気温度[°C]

## (7) 浴室暖房機出口水温

浴室暖房機の出口水温  $T_{out,room}$ [°C]は、次式により計算する。

$$T_{out,room} = T_{in,room} - \frac{Q}{c_w \times \rho_w \times V_w / 3600} \quad \dots(\text{式 } 8)$$

$T_{out,room}$ : 浴室暖房機の出口水温[°C]

$c_w$ : 水の比熱[kJ/kgK]

$\rho_w$ : 水の密度[kg/m<sup>3</sup>]

## (8) 吹出空気温度

浴室暖房機の吹出空気温度  $T_{a,in}$ [°C]は、次式により計算する。

$$T_{a,in} = T_{a,out} + \frac{Q}{c_a \times \rho_a \times V_a / 3600} \quad \dots(\text{式 } 9)$$

$T_{a,in}$ : 浴室暖房機の吹出空気温度[°C]

$V_a$ : 浴室暖房機風量[m<sup>3</sup>/h]

$c_a$ : 空気の比熱[kJ/kgK]

$\rho_a$ : 空気の密度[kg/m<sup>3</sup>]

## (9) 消費電力

浴室暖房機の消費電力は、 $E_{E,bh}$ [kW]は、次式より計算する。

・浴室暖房機運転時(サーモオン、サーモオフ状態によらない)

$$E_{E,bh} = E_{E,bh,o} \quad \dots(\text{式 } 10)$$

$E_{E,bh}$ : 浴室暖房機の消費電力[kW]

$E_{E,bh,o}$ : 浴室暖房機の運転時の消費電力[kW]

## (10) 配管入口温度

配管の入口温度  $T_{in,p}$ [°C]は、次式より計算する。

$$T_{in,p} = T_{out,room} \quad \dots(\text{式 } 11)$$

$T_{in,p}$ : 配管入口温度[°C]

### (11) 配管出口温度

配管内の水の熱収支式は、次式のようになる。なお、配管は、往きと還り(配管長各  $L_p$ )をまとめて配管長  $2L_p$ として扱う。

$$M_p \frac{dT_p}{dt} = c_w \rho_w \frac{V_w}{3600} (T_{in,p} - T_p) + 2K_p L_p (T_{amp} - T_p) \quad \dots(式 12)$$

$M_p$ : 管内水熱容量[kJ/K]

$T_p$ : 配管内部温度[°C]

$T_{out,p}$ : 配管出口温度[°C]

$K_p$ : 配管の線熱通過率[W/mK]

※配管の熱通過有効度  $K_p$  は、温水循環流量  $V_w$  が 0 m<sup>3</sup>/h の時間帯には、0W/mK とする。

$L_p$ : 配管長(片道)[m]

$T_{amp}$ : 配管の周囲温度[°C]

これを、後退差分を用いて離散化すると、配管の出口温度  $T_{out,p}$ [°C]は、次式のとおり計算される。ただし、出口温度  $T_{out,p}$ は配管内部温度  $T_p$ に等しいとする。

$$T_{out,p} = \frac{\frac{M_p}{\Delta t} T_p^* + c_w \rho_w \frac{V_w}{3600} T_{in,p} + 2K_p L_p T_{amp}}{\frac{M_p}{\Delta t} + c_w \rho_w \frac{V_w}{3600} + 2K_p L_p} \quad \dots(式 13)$$

$\Delta t$ : 計算時間間隔[sec]      BEST では 5 分間隔=300[sec]

$T_p^*$ :  $\Delta t$  前の配管内部温度[°C]

### (12) 配管熱損失

配管の熱損失  $Q_{loss,p}$ [kW]は、次式より計算する。

$$Q_{loss,p} = 2K_p L_p (T_{amp} - T_p) / 1000 \quad \dots(式 14)$$

$Q_{loss,p}$ : 配管の熱損失[kW]

### (13) 送水目標温度

送水目標温度  $T_{out,hs,s}$ [°C]は、一定値で与える。

### (14) 熱源機入口温度

熱源機の入口温度  $T_{in,hs}$ [°C]は、次式より計算する。

$$T_{in,hs} = T_{out,p} \quad \dots(式 15)$$

$T_{in,hs}$ : 熱源機入口温度[°C]

### (15) 熱源機の温水需要

熱源機の温水需要  $Q_{dmd,hs}$ [kW]は、次式より計算する。

$$Q_{\text{dmd,hs}} = c_w \rho_w V_w \times \max(0, T_{\text{out,hs,s}} - T_{\text{in,hs}}) \quad \dots(\text{式 } 16)$$

$Q_{\text{dmd,hs}}$ : 熱源機温水需要[kW]

$T_{\text{out,hs,s}}$ : 送水目標温度[°C]

### (16) 熱源機の最大出力

熱源機の最大出力  $Q_{\text{max,hs}}$ [kW]は、次式より計算する。

$$Q_{\text{max,hs}} = Q_{\text{rtd,hs}} \quad \dots(\text{式 } 17)$$

$Q_{\text{max,hs}}$ : 熱源機の最大出力[kW]

$Q_{\text{rtd,hs}}$ : 熱源機の定格能力[kW]

### (17) 熱源機の実出力

熱源機の実出力  $Q_{\text{out,hs}}$ [kW]は、次式より計算する。

$$Q_{\text{out,hs}} = \min(Q_{\text{dmd,hs}}, Q_{\text{max,hs}}) \quad \dots(\text{式 } 18)$$

$Q_{\text{out,hs}}$ : 熱源機の実出力[kW]

### (18) 送水温度

熱源機の送水温度  $T_{\text{out,hs}}$  は、次式より計算する。

$$T_{\text{out,hs}} = T_{\text{in,hs}} + \frac{Q_{\text{out,hs}}}{c_w \times \rho_w \times V_w / 3600} \quad \dots(\text{式 } 19)$$

### (19) 熱交換効率

熱源機の熱交換効率  $e_{\text{ex}}$ [-]は、次式より計算する。

$$e_{\text{ex}} = 0.65786 \times Q_{\text{out,hs}} \quad (Q_{\text{out,hs}} < 1\text{kW}) \quad \dots(\text{式 } 20)$$

$$e_{\text{ex}} = 0.069252 \ln(Q_{\text{out,hs}}) + 0.65786 \quad (1\text{kW} \leq Q_{\text{out,hs}}) \quad \dots(\text{式 } 21)$$

### (20) 熱源機の実ガス消費量

熱源機の実ガス消費量  $E_{\text{G,hs}}$ [kW]は、次式より計算する。

$$E_{\text{G,hs}} = \frac{Q_{\text{out,hs}}}{e_{\text{ex}}} \quad \dots(\text{式 } 22)$$

$E_{\text{G,hs}}$ : 熱源機の実ガス消費量[kW]

### (21) 排気ファン消費電力

熱源機の排気ファンの消費電力は、 $E_{\text{E,fan}}$ [kW]は、次式より計算する。

$$E_{\text{E,fan}} = E_{\text{G,hs}} \times r \quad \dots(\text{式 } 23)$$

$E_{\text{E,fan}}$ : 熱源機の排気ファンの消費電力[kW]

$r$ : 排気ファン効率=0.003[-]

## (22) 送水ポンプ消費電力

送水ポンプの消費電力  $E_{E,p}$ [kW]は、浴室暖房機の運転時間帯は、サーモオン、サーモオフ状態に関わらず、一定値とみなす。当該住戸に温水床暖房が設置されている場合は、0kW とみなす。

### 3. 燃料電池システム

#### 3.1.1. 燃料電池ユニットの機器仕様

表 3.1 主な機器仕様

		PEFC	SOFC
発電範囲		200～750W	50～700W
貯湯槽	容量	100～147L	20～90L
	熱損失	2.1W/K	1.8W/K
排温水循環流量		FC 出口温度が 60℃となるように制御 最大循環流量は 1L/min	FC 出口温度が 70℃となるように制御 最大循環流量は 0.313L/min
排温水循環配管	線熱通過率	0.21W/mK	0.21W/mK
	配管長	往還各 0.75m	往還各 0.75m
給湯補助熱源		潜熱回収型	潜熱回収型
ラジエータ		なし	燃料電池入口水温が 40℃を超えた場 合、40℃まで冷却

※) 発電時の消費電力は発電量との正味なので 0W とする。

### 3.1.2. システム全体図

BEST では、建築と設備システムの連成計算の際には前進法を用いるが、燃料電池の貯湯槽部分に関しては、後退法で計算を行う。

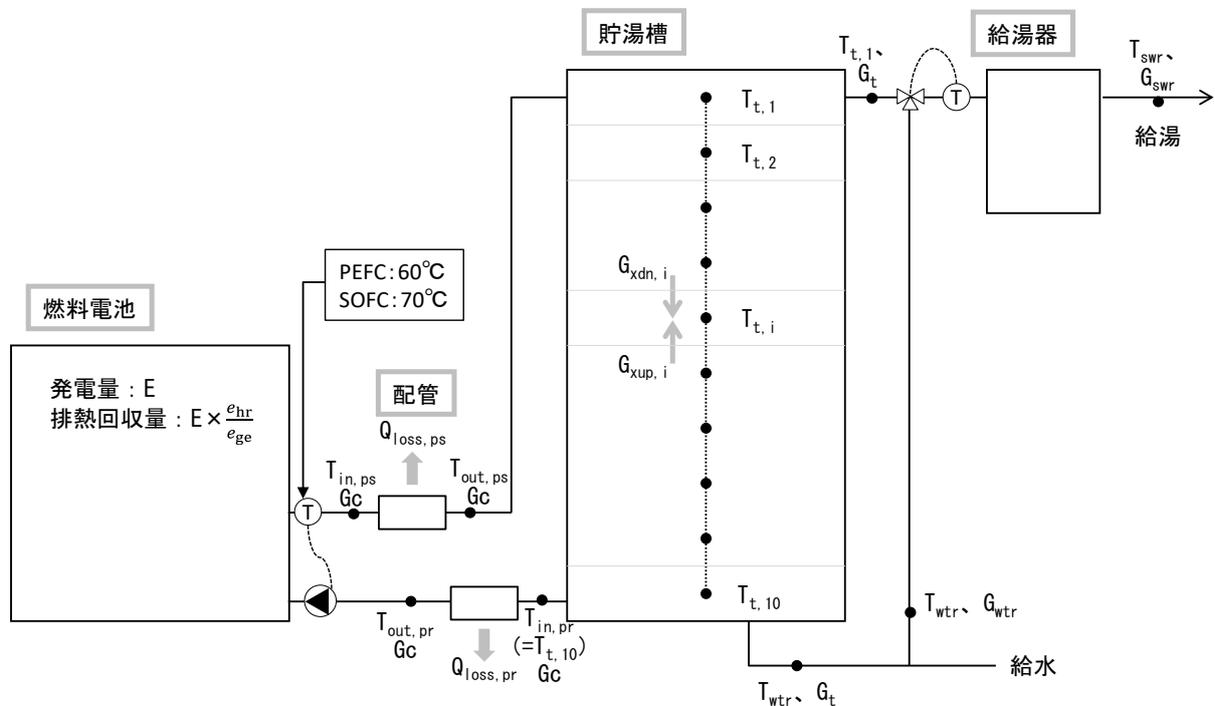


図 3.1 システム全体のイメージ

### 3.1.3. 設定項目と計算式

#### (1) 制御

SOFC は、電力需要に応じて電主熱従運転。PEFC は、電力・給湯需要予測に応じた熱主電従運転。

#### (2) 部分負荷特性

発電・排熱回収の部分負荷特性は、機種により、以下のいずれかの方法で求める。

① 効率曲線で与える場合

PEFC および SOFC の発電時の発電効率  $e_{ge}[-]$ 及び排熱回収効率  $e_{hr}[-]$ は、実測値を基に按分して効率を算出した数値を適用する。

② 定格効率に対する部分負荷特性を与える場合

SOFC(2016 年度発売製品)以降の機種は、発電と排熱回収についてそれぞれ、定格効率に対する部分負荷特性をテーブル形式で与える。

$$e_{ge} = r_{ge} \cdot e_{ger} = r_{ge} \cdot \frac{E_r}{Q_r} \quad (1)$$

$$e_{hr} = r_{hr} \cdot e_{hrr} = r_{hr} \cdot \frac{Q_{hrr}}{Q_r} \quad (2)$$

$Q_r$ : 定格燃料消費量 [W]

$E_r$ : 定格発電出力 [W]

$Q_{hrr}$ : 定格排熱回収量 [W]

$e_{ger}$ : 定格発電効率 [-]

$e_{hrr}$ : 定格排熱回収効率[-]

$e_{ge}$ : 発電効率 [-]

$e_{hr}$ : 排熱回収効率[-]

$r_{ge}$ : 定格発電効率に対する発電効率比(テーブル形式の入力データを線形補完して使用)[-]

$r_{hr}$ : 定格排熱回収効率に対する排熱回収効率比(テーブル形式の入力データを線形補完して使用)[-]

### (3) 排熱回収

回収する排熱は、還出口温度と往入口温度の差として扱う。

$$T_{in,ps} = T_{out,ps} + \frac{E \cdot e_{hr} + E_s}{e_{ge} \cdot c \cdot \rho \cdot Gc} \quad (3)$$

$T_{in,ps}$ : 行き配管入口温度 [°C]

$T_{out,pr}$ : 還り配管出口温度 [°C]

$E$ : 発電量[kW]

$c$ : 水の比熱[kJ/kgK]

$\rho$ : 水の密度[kg/m<sup>3</sup>]

$Gc$ : 循環流量[kg/s]

ただし  $V=0\text{kg/s}$  のとき、

$$T_{in,ps} = T_{out,pr}$$

発電量について、

$$E = \min(\max(E_d, E_{\min}), E_{\max}) \quad (4)$$

$E_d$ : 電力需要[kW]

$E_{\min}$ : 最小発電量[kW] PEFC 0.20kW SOFC 0.05kW

$E_{\max}$ : 最大発電量[kW] PEFC 0.75kW SOFC 0.70kW

余剰電力について、

$$E_s = \max(E_{\min} - E_d, 0) \quad (5)$$

電力需要が最小発電量を下回る発電時間帯については、それぞれ最小発電量の発電を行い、余剰電力は循環水の加熱に使用するため、余剰電力の熱量の分だけ排熱回収量が増加する。

#### (4) 消費電力

消費電力は、3.1.1 のとおり。

#### (5) 配管

配管には BEST に組み込まれている熱容量配管を用いる。仕様は 3.1.1 の通り。

#### (6) 貯湯槽

##### 1) 層分割

貯湯槽内の水温の上下分布を考慮するため、ここでは垂直方向に 10 分割を行う。

上層より順に、 $i$  層目 ( $i=1,2,\dots,10$ ) として表す。

##### 2) 熱収支式

$i$  層における熱収支式は(6)式となる。

$$M_i \frac{dT_{t,i}}{dt} = c \cdot Gwin_i \cdot (Twin_i - T_{t,i}) + UA_i \cdot (Tamb - T_{t,i}) + c \cdot Gxup_i \cdot (T_{t,i+1} - T_{t,i}) + c \cdot Gxdn_i \cdot (T_{t,i-1} - T_{t,i}) \quad (6)$$

$M_i$ : i 層目の熱容量[J/K]  
 $T_{t,i}$ : i 層目の温度[°C]  
 $t$ : 時間[秒] ここでは 300 秒  
 $c$ : 水の比熱[kJ/kgK]  
 $G_{win}$ : i 層への流入流量[kg/s]  
 $T_{win}$ : i 層への流入温度[°C]  
 $UA_i$ : i 層目の熱損失係数[W/K]  
 $G_{xup,i}$ : 下層より i 層目に流入する仮想移動流量[kg/s]  
 $G_{xdn,i}$ : 上層より i 層目に流入する仮想移動流量[kg/s]

(6) 式は層の上流、下流の関係があいまいであり、後退差分で計算するのが実用的である。(6) 式を後退差分で離散化して整理すると(7) 式となる。

$$\begin{aligned}
 [U] \cdot \{T\} &= \{C\} \\
 \{T\} &= [U]^{-1} \cdot \{C\}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

ここで、(7) 式の各行列要素は(8) 式であらわされる。

$$\begin{aligned}
 U_{i,j} &= \begin{cases} \frac{M_i}{\Delta t} + UA_i + c \cdot G_{xdn,i} + c \cdot G_{xup,i} + [c \cdot Gc]_{j=1} + [c \cdot Gt]_{j=10} & (i = j) \\ -c \cdot G_{xdn,i} & (i = j - 1) \\ -c \cdot G_{xup,i} & (i = j + 1) \\ 0 & (else) \end{cases} \\
 T_i &= T_{t,i} \\
 C_i &= \frac{M_i}{\Delta t} \cdot T_{t-1,i} + UA_i \cdot T_{amb} + [c \cdot Gc \cdot T_{out,ps}]_{j=1} + [c \cdot Gt \cdot T_{wtr}]_{j=10}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

ただし、[]については添え字で示された行以外についてはゼロとする。

$V$ : 燃料電池排温水循環流量[L/min]  
 $T_{out,ps}$ : 燃料電池行き配管出口温度[°C]  
 $W_{str}$ : 5 分間の貯湯槽流入給水流量[L]  
 $T_{wtr}$ : 給水温度[°C]

### 3) 仮想移動流量

貯湯槽内の上下方向の流量は、以下により求める。隣接する2層について、上層より下層の温度が高い場合は、十分に攪拌が起これると予想されるため、十分に大きな値(1)を加える。

表 3.2 貯湯槽内の上下方向の流量

	Gxup	Gxdn
i=1	$\begin{cases} G_t & T_{t-1,i} \geq T_{t-1,i+1} \\ G_{t+1} & T_{t-1,i} < T_{t-1,i+1} \end{cases}$	0
i=2~9		$\begin{cases} G_c & T_{t-1,i-1} \geq T_{t-1,i} \\ G_{c+1} & T_{t-1,i-1} < T_{t-1,i} \end{cases}$
i=10	0	

Gc: 燃料電池排熱回収の循環流量[kg/s]

Gt: 貯湯槽湯使用量[kg/s]

T<sub>t-1,i</sub>: 前時刻の i 層目の温度[°C]

## (7) 給湯器

潜熱回収型ガス給湯機のモデルを用いる。

### 3.1.4. 運転計画(PEFC)

SOFC は需要電力に追従する電主熱従運転、PEFC は電力と給湯負荷の実績値をもとに運転計画(発電開始および終了時刻の設定)を立案しそれに従った運転を行う。

#### (1) 需要予測値の算定

電力・給湯の需要予測値は過去 7 日間の実績値の平均値とする。そのため、電力・給湯の実績値を平日と休日に分けそれぞれ 24 時間×7 日間分記録する。

運転計画の立案には、現在時刻の 1 時間後から 48 時間分の予測値(曜日に応じた予測値を結合)を用いる。

#### (2) 前提条件

起動は 1 回/日とし、1 回の最長発電時間は 20 時間(起動時間除く)、再起動間隔は 4 時間以上とする。

運転計画立案は 1 回/日とし、停止から 4 時間経過時に行う。その日起動済みの場合は日付変更後に行う。

#### (3) 運転計画の立案

運転計画は、熱需要ピーク時刻(ピーク時刻が複数ある場合は最も早い時刻)を起点として、発電開始からピーク時刻正時までにピーク熱需要量を賄えるだけの熱量を、またピーク時刻後から発電終了までに翌日発電開始時刻までの熱需要量を賄えるだけの熱量を蓄熱できるように立案する。熱需要がない場合には運転は行わない。

#### (4) 発電開始予定時刻の決定(ピーク時刻前)

ピーク時刻正時における目標貯湯量をピーク熱需要量と貯湯可能量のいずれか小さい方とする。

発電開始予定時刻をピーク時刻正時から、貯湯量または排熱回収量の累積値が目標貯湯量を超えない最も早い時刻まで、あるいは設定された最長発電時間まで遡る。

貯湯量または排熱回収量の累積値について、ピーク時刻残蓄量が 0 となる時刻より後の時間帯については、貯湯量の累積値とする。

残蓄量が 0 となる時刻以前まで遡る場合は、残蓄量が 0 となる時刻以前については、貯湯量ではなく排熱回収量の累積とする。

#### (5) 発電終了予定時刻の決定(ピーク時刻後)

発電終了時における目標貯湯量をピーク時刻正時の 1 時間後から発電開始予定時刻の 24 時間後までの熱需要の合計とする。発電終了予定時刻をピーク時刻正時から排熱回収量の累積値が目標貯湯量を超える時刻まで、または最長発電時間まで延長する。

#### (6) 貯湯量の推定

電力・給湯の予測値から各時刻の運転した場合の貯湯量を推定する。

$$\text{発電量} = \text{MIN}(\text{MAX}(\text{電力需要予測値}, E_{\min}), E_{\max})$$

$$\text{排熱回収量} = \text{発電量} \times \text{排熱回収効率} / \text{発電効率}$$

$$\text{貯湯量} = \text{排熱回収量} - \text{熱需要予測値}$$

#### (7) (運転しなかった場合)運転計画立案のピーク時刻残蓄量と貯湯可能量の推定

運転しなかった場合の運転計画立案のピーク時刻残蓄量と貯湯可能量を、現在の貯湯槽平均温度、最高貯湯温度、給水温度および貯湯容量から推定する。

$$\text{現在時刻残蓄量} = \text{比熱} \times \text{貯湯容量} \times (\text{判定時貯湯槽温度} - \text{給水温度})$$

$$\text{ピーク時刻残蓄量} = \text{MAX}(\text{現在時刻残蓄量} - \sum_{\text{現在時刻からピーク時刻正時まで}} \text{熱需要予測値}, 0)$$

$$\text{貯湯可能量} = \text{比熱} \times \text{貯湯容量} \times (\text{最高貯湯温度} - \text{給水温度})$$