

開発工学研究室打ち合わせ

都市熱環境評価のための人工排熱曲線の作成

Drawing of Artificial Exhaust Heat Curve for Evaluation of Urban Thermal Environment

07186 井原 智彦*

平成 15 年 6 月 5 日

概要

ヒートアイランド現象の顕在化にともない、都市熱環境の評価・研究がおこなわれるようになってきている。これらの評価に際しては、メソスケールレベルでのシミュレーションを基本としているが、メソスケールレベルのシミュレーションにおいて都市化の産物の一つである人工排熱データをどのように入力するかを、著者はひとつの問題と考えている。現状では、大半のメソスケールモデルでは、エネルギー消費量をそのまま人工排熱量と捉えて、モデルに代入している。しかし、この場合、建築断熱やヒートポンプ冷暖房による発熱から排熱までの時間遅れを全く表現できない。一方、メソスケールモデル内に建築熱負荷モデルを組み込み排熱計算をおこなっている例もある。しかし、計算量の観点から、部分的にしか建築熱負荷モデルを組み込めない。

本研究では、空調機器および建築形態による排熱の時間遅れについて分析をおこなった。特に、メソスケールモデルでのシミュレーション分野においてよく用いられる時刻別人工排熱曲線を描き、都市街区ではなくメソスケールレベルで容易に時間遅れを考慮できるようにすることを目的とした。

手法としては、著者らが開発した後退差分法に基づく建築熱負荷モデルを用いて、建築物の毎時の保有熱量を計算した。これと空調排熱量および外気温度を考慮することにより、毎時の排熱量を計算、人工排熱曲線の作成をおこなった。

上記手法を用いて排熱曲線を作成したところ、空調需要に関しては、排熱を他の需要による排熱とは別に考慮した場合、負の排熱となっている時間帯も存在し、排熱を熱需要とは別に考慮する必要性が示された。

1 はじめに

都市への人口や産業の集中、いわゆる「都市化」の進行は、社会としての利便性や効率性の工場に有効であり、産業革命以降連続と続いてきたものであり、近年においても、より一層の都市化が進行中である。一方で、過度の進行は、また、さまざまな弊害をもたらす。都市気温の高温化、いわゆるヒートアイランド現象もそのひとつである。日本の各大都市においてもヒートアイランド化が進んでおり、たとえば 2000 年の「気温が 30[°C] を超えた延べ時間数」を 1980 年のそれと比較すると、東京や名古屋で 2 倍、仙台で 3 倍の増加となっている [1]。

ヒートアイランド現象の顕在化にともない、都市熱環境の評価・研究がおこなわれるようになってきている。これらの評価に際しては、メソスケールレベルでのシミュレーションを基本としているが、メソスケールレベルのシミュレーションにおいて都市化の産物の一つである人工排熱データをどのように入力するかを、著者はひとつの問題と考えている。現状では、大半のメソスケールモデルでは、エネルギー消費量をそのまま

* 東京大学大学院工学系研究科地球システム工学専攻博士課程， E-mail ihara@globalenv.t.u-tokyo.ac.jp

人工排熱量と捉えて、モデルに代入している。しかし、この場合、建築断熱やヒートポンプ冷暖房による発熱から排熱までの時間遅れを全く表現できない。一方、メソスケールモデル内に建築熱負荷モデルを組み込み排熱計算をおこなっている例 [2] もある。しかし、計算量の観点から、部分的にしか建築熱負荷モデルを組み込めない。

これに対し、亀谷ら [3] は、空調機器の特性に着目し、HASP/ACLD/8501[4] を改良し、外気側に対しても応答係数 [5] を算出することで、空調需要と排熱の時間遅れを算出した。また、その結果を用いて都市街区における熱環境の評価 [6] をおこなっている。

本研究は、空調機器ではなく、建築形態による排熱の時間遅れについて分析をおこなうものである。また、メソスケールモデルでのシミュレーション分野においてよく用いられる時刻別人工排熱曲線を描き、都市街区ではなくメソスケールレベルで容易に時間遅れを考慮できるようにすることを目的とする。

手法としては、著者らが開発した後退差分法に基づく建築熱負荷モデル [7] を用いて、建築物の毎時の保有熱量を計算する。これと空調排熱量および外気温度を考慮することにより、毎時の排熱量を計算、人工排熱曲線を作成する。同時にエネルギー消費曲線と人工排熱曲線の間の時間遅れ、および、建築形態による排熱の時間遅れ特性についても分析する。

2 建築熱負荷モデル

本研究で開発したモデルは、宇田川らの熱負荷計算理論 [8, 9, 10] を基本としたシミュレーションモデルである。

2.1 概略

建築物は室と壁体（重量壁およびガラス・軽量壁）より構成されている。

室内を均質と仮定し、1室に1点ずつ熱点（温度点）を設定する。室内はすべてその温度の空気で満たされているものとする。すると、その室の保有熱量は、室内温度に室内熱容量を乗じることで、算出可能である。

重量壁については、構成材料ごとに壁層として分割し、各壁層境界に熱点を設定する。ただし、1層あたりの熱容量が過大になる場合は計算精度上、問題となるので、壁層をさらに分割する。ある熱点における温度は、左隣の壁層の右半分と右隣の壁層の左半分の壁層の温度を代表していると考えることができる。そして、保有熱量は、被代表部分の熱容量に温度を乗じることで算出できる。

ガラス・軽量壁は、壁層と空気層が交互にあるため、各壁層中央に熱点を設定する。

以上のように熱点を設定し、熱点ごとの熱平衡を1次元熱伝導方程式で表し、それを連立させ解くことによって、各熱点の温度もしくは除去熱量を算出する。同時に建築物全体の保有熱量も算出可能である。

2.2 数式に用いる記号

本研究ではオブジェクト指向プログラミング (OOP) 言語によりシミュレーションモデルを記述する。それに伴い、以下の理論説明で用いる数式も OOP 風の記述となっている。数式中に含まれる記号を、あらかじめ説明する。

2.2.1 使い方

例えば、 $C_p|_{R[i]}$ と記述すれば「 i 室の室内顕熱容量 C_p 」を表す。添字がオブジェクトを表し、変数がメンバを表す。

2.2.2 オブジェクト

室や壁体などメンバを持つオブジェクトの記法を説明する。

なお、建築物は、 N_R 個の室 R と N_W 個の壁 W から構成され、壁は重量壁とガラス・軽量壁に分けられる。重量壁は 2 個の壁面 S と N_L 個の壁層 L から構成され、壁層境界ごとに熱点 P を設定するので、 $N_P = N_L + 1$ となる。一方、ガラス・軽量壁は 2 個の壁面 S と N_L 個の壁層から構成される。ガラス・軽量壁層は熱容量がなく、また壁層間ごとに空気層が挟まれる。そして熱点は壁層中央に設定するので、 $N_P = N_L = N_{L_a} + 1$ となる。

- $R[i]$: i 室 (建築物において第 i 番目の室)
- $W[i]$: i 壁
- $W[i]L[j]$: i 壁 j 層
- $W[i]L_a[j]$: i 壁 j 層 (空気層)
- $W[i]S[0]$: i 壁 0 側壁面
- $W[i]S[1]$: i 壁 1 側壁面
- $P[i]$: i 番目の熱点
- $R[i]P$: i 室の熱点
- $W[i]P[j]$: i 壁の j 番目の熱点
- $R[i]S[j]$: i 室に隣接する中で j 番目の壁面
- $R[i]S[j]P$: i 室に隣接する中で j 番目の壁面上の熱点
- $R[i]S[j]W$: i 室に隣接する中で j 番目の壁面を含む壁
- $W[i]S[0]R$: i 壁 0 側壁面に隣接する室

2.2.3 一般的な変数

単値しか持たない変数の記法については以下の通り。

- α_c : 室側表面对流熱伝達率 [W/m²K]
 α_o : 外気側表面総合熱伝達率 [W/m²K]
 β : 輻射熱交換行列の係数 [W/m²°C]
 Δt : 単位時間 [s]
 ρ_a : 空気の密度 [kg/m³]
 ρ_{ao} : 外気の密度 [kg/m³]
 θ : 温度 [°C]
 θ_e : 相当外気温度 [°C]
 θ_o : 外気温度 [°C]
 A : 面積 [m²]
 c_a : 空気の比熱 [J/kg·K]
 c_{ao} : 外気の比熱 [J/kg·K]
 C_p : 顕熱容量 [J/K]
 C_{pw} : 壁体の熱容量 [J/m²K]
 C_w : 壁体の熱コンダクタンス [m²K/W]
 E : 排顕熱量 [W]
 H : 除去顕熱量 [W]
 L_c : 室内発熱の対流成分 [W]
 L_{c0} : (基準値 (0[°C])) [W]
 l_{cR} : (室温によって変動する値) [W/°C]
 L_r : 吸収される長波長輻射 [W]
 L_{r0} : (基準値 (0[°C])) [W]
 l_{rR} : (室温によって変動する値) [W/°C]
 N_L : 壁層数 [-]
 N_{L_a} : 空気層数 [-]
 N_P : 熱点数 [-]
 N_R : 室数 [-]
 N_S : 壁面数 [-]
 N_W : 壁数 [-]
 Q : 流入する空気量 [m³/s]
 Q_o : 外気流入量 [m³/s]
 R_{sw} : 壁体の熱抵抗 [m²K/W]
 S_r : 吸収される短波長輻射 [W]
 T_m : 平均温度 [K]
 V : 容積 [m³]
 U : 保有熱量 [J]

ただし,

$$L_c \Big|_{R[i]} = L_{c0} \Big|_{R[i]} + l_{cR} \Big|_{R[i]} \theta \Big|_{R[i]P} \quad (2.1)$$

$$L_r \Big|_{W[i]S[0]} = L_{r0} \Big|_{W[i]S[0]} + l_{rR} \Big|_{W[i]S[0]} \theta \Big|_{W[i]S[0]RP} \quad (2.2)$$

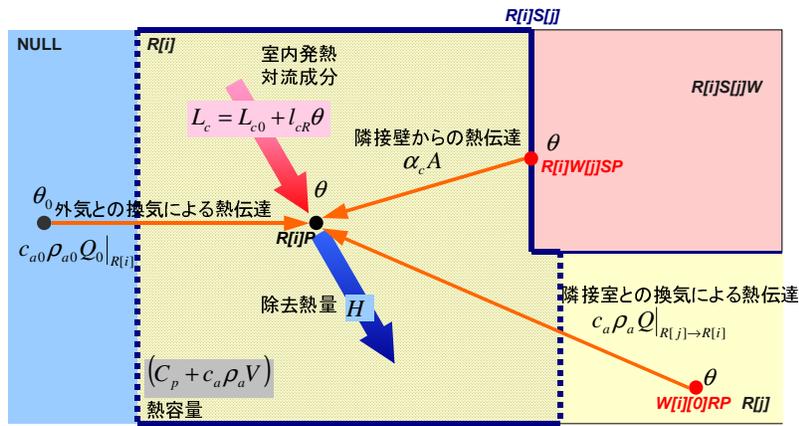


図 2.1 室の熱平衡

2.3 熱平衡式

2.3.1 室

i 室 ($R[i]$) の熱平衡式 (熱平衡は図 2.1 参照) は、以下の通りとなる。左辺がストック、右辺がフローであり、左辺は熱容量 × 温度変化となっている。右辺は、それぞれ隣接壁からの熱伝達、隣接室との換気による熱伝達、外気との換気による熱伝達、室内発熱対流成分、除去熱量である。

$$\begin{aligned}
 & C_p \Big|_{R[i]P} \frac{d\theta \Big|_{R[i]P}}{dt} \\
 &= \sum_{j=0}^{N_s \Big|_{R[i]} - 1} \alpha_c \Big|_{R[i]S[j]} A \Big|_{R[i]S[j]W} \left(\theta \Big|_{R[i]S[j]P} - \theta \Big|_{R[i]P} \right) \\
 &+ \sum_{\substack{j=0 \\ R[j] \neq R[i]}}^{N_R - 1} c_a \Big|_{R[j]} \rho_a \Big|_{R[j]} Q_{R[j] \rightarrow R[i]} \left(\theta \Big|_{R[j]P} - \theta \Big|_{R[i]P} \right) \\
 &+ c_{a0} \rho_{a0} Q_o \Big|_{R[i]} \left(\theta_o - \theta \Big|_{R[i]P} \right) \\
 &+ \left(L_{c0} \Big|_{R[i]} + l_{cR} \Big|_{R[i]} \theta \Big|_{R[i]P} \right) - H \Big|_{R[i]}
 \end{aligned} \tag{2.3a}$$

$$C_p \Big|_{R[i]P} = C_p \Big|_{R[i]} + c_a \Big|_{R[i]} \rho_a \Big|_{R[i]} V \Big|_{R[i]} \tag{2.3b}$$

$R[i]P$ は、図 2.1 中、太枠内の領域の代表点と考える。つまり、領域内の温度はすべて $\theta \Big|_{R[i]P}$ であり、また領域内の熱容量は $C_p \Big|_{R[i]P}$ である。

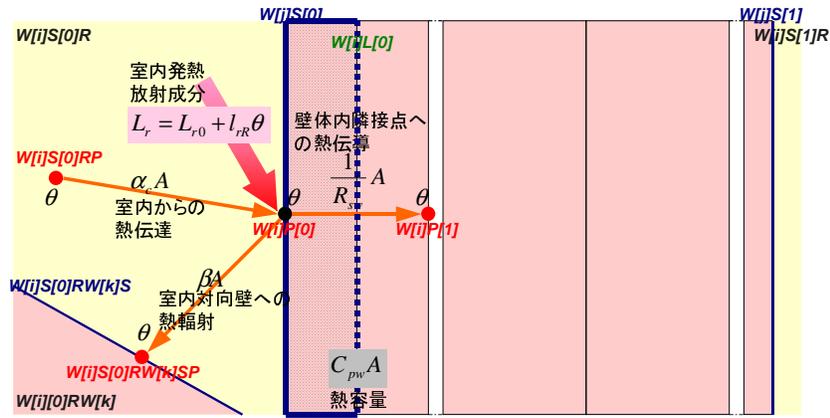


図 2.2 重量壁の熱平衡（壁体表面（室内側））

2.3.2 重量壁

i 壁内の j 番目の熱点 ($W[i]P[j]$) の熱平衡式は、室に隣接する点と壁体内部の点で、それぞれ以下の通りの式となる。

壁体表面の点 (0 側, $j = 0$) 右辺は、室内側の場合、それぞれ室内からの熱伝達、室内対向壁への熱輻射、壁体内隣接点への熱伝導、室内発熱放射成分（およびガラスを透過した短波放射成分）である。外気側は、外気からの熱伝達、壁体内隣接点への熱伝導である。ガラスを透過した短波放射成分は、室の床に位置する壁体表面が吸収するものとしている。室に隣接する熱点の熱平衡を図 2.2 に示す。

なお、 1 側 ($j = N_p|_{W[i]} - 1$) に関しても 0 側 ($j = 0$) と同様である。
(室内側)

$$\begin{aligned}
 & C_p \Big|_{W[i]P[0]} \frac{d\theta \Big|_{W[i]P[0]}}{dt} \\
 & = \alpha_c \Big|_{W[i]S[0]} A \Big|_{W[i]} \left(\theta \Big|_{W[i]S[0]RP} - \theta \Big|_{W[i]P[0]} \right) \\
 & - \sum_{k=0}^{N_s \Big|_{W[i]S[0]R} - 1} \beta_{W[i]S[0] \rightarrow W[i]S[0]RS[k]} \Big|_{W[i]S[0]R} A \Big|_{W[i]} \theta \Big|_{W[i]S[0]RS[k]P} \\
 & - \frac{1}{R_{sw} \Big|_{W[i]L[0]}} A \Big|_{W[i]} \left(\theta \Big|_{W[i]P[0]} - \theta \Big|_{W[i]P[1]} \right) \\
 & + \left(L_{r0} \Big|_{W[i]S[0]} + l_{rR} \Big|_{W[i]S[0]} \theta \Big|_{W[i]S[0]RP} \right)
 \end{aligned} \tag{2.4a}$$

$$C_p \Big|_{W[i]P[0]} = 0.5 C_{pw} \Big|_{W[i]L[0]} A \Big|_{W[i]} \tag{2.4b}$$

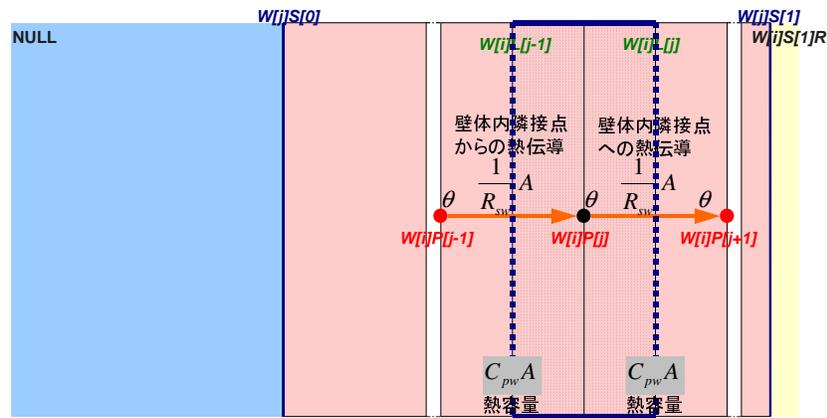


図 2.3 重量壁の熱平衡（壁体内部）

(外気側)

$$\begin{aligned}
 C_p \Big|_{W[i]P[0]} \frac{d\theta \Big|_{W[i]P[0]}}{dt} &= \alpha_o \Big|_{W[i]S[0]} A \Big|_{W[i]} \left(\theta_e \Big|_{W[i]S[0]} - \theta \Big|_{W[i]P[0]} \right) \\
 &\quad - \frac{1}{R_{sw} \Big|_{W[i]L[0]}} A \Big|_{W[i]} \left(\theta \Big|_{W[i]P[0]} - \theta \Big|_{W[i]P[1]} \right)
 \end{aligned} \tag{2.5a}$$

$$C_p \Big|_{W[i]P[0]} = 0.5 C_{pw} \Big|_{W[i]L[0]} A \Big|_{W[i]} \tag{2.5b}$$

壁体内部の点 ($0 < j < N_p \Big|_{W[i]} - 1$) 右辺は，壁体内隣接点（左隣）からの熱伝導，壁体内隣接点（右隣）への熱伝導である（図 2.3 参照）。

$$\begin{aligned}
 C_p \Big|_{W[i]P[j]} \frac{d\theta \Big|_{W[i]P[j]}}{dt} &= \frac{1}{R_{sw} \Big|_{W[i]L[j-1]}} A \Big|_{W[i]} \left(\theta \Big|_{W[i]P[j-1]} - \theta \Big|_{W[i]P[j]} \right) \\
 &\quad - \frac{1}{R_{sw} \Big|_{W[i]L[j]}} A \Big|_{W[i]} \left(\theta \Big|_{W[i]P[j]} - \theta \Big|_{W[i]P[j+1]} \right)
 \end{aligned} \tag{2.6a}$$

$$C_p \Big|_{W[i]P[j]} = \left(0.5 C_{pw} \Big|_{W[i]L[j-1]} + 0.5 C_{pw} \Big|_{W[i]L[j]} \right) A \Big|_{W[i]} \tag{2.6b}$$

2.3.3 ガラス・軽量壁

ガラス・軽量壁は熱容量をほとんど持たない薄い壁層から構成されるので，壁層 L 上に熱点を設定し，壁層間は空気層 L_a が存在すると考える．そして，ガラス・軽量壁層 L は熱容量・熱コンダクタンスを 0 とし，空

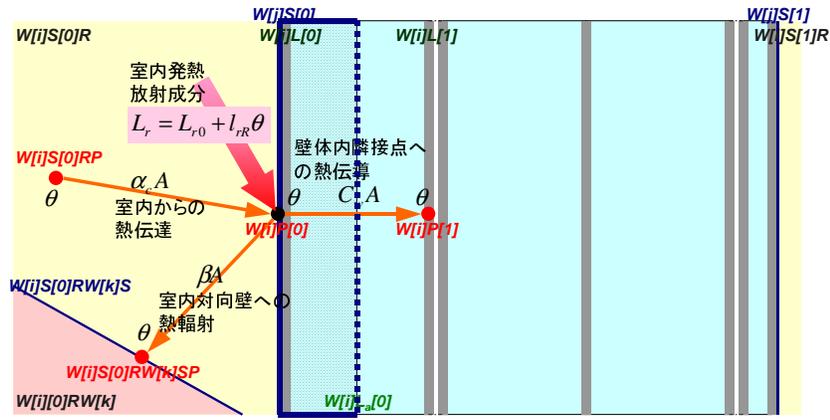


図 2.4 ガラス・軽量壁の熱平衡（壁体表面（室内側））

気層 L_a には熱コンダクタンス [10] を設定する． i 壁内の j 番目の熱点 ($W[i]P[j]$) の熱平衡式は，室に隣接する点と壁体内部の点で，それぞれ以下の通りの式となる．

なお，以下の式ではガラス・軽量壁に入射する短波放射のうち，ガラス・軽量壁の各層で吸収する短波放射についてのみ扱っている．吸収せずに透過する短波放射は，前述した通り，室内床が吸収するとしている．

壁体表面の点 (0 側, $j = 0$) 右辺は，室内側の場合，それぞれ室内からの熱伝達，室内対向壁への熱輻射，壁体内隣接点への熱伝達，この層が吸収した日射*1，室内発熱放射成分である．外気側は，外気からの熱伝達，壁体内隣接点への熱伝達，この層が吸収した日射である．ガラス・軽量壁の場合，熱容量が小さく，計算上，左辺を 0 とできる．室に隣接する熱点の熱平衡を図 2.4 に示す．

1 側 ($j = N_p \Big|_{W[i]} - 1$) についても 0 側 ($j = 0$) と同様である．
(室内側)

$$\begin{aligned}
 & C_p \Big|_{W[i]P[0]} \frac{d\theta \Big|_{W[i]P[0]}}{dt} \\
 &= \alpha_c \Big|_{W[i]S[0]} A \Big|_{W[i]} \left(\theta \Big|_{W[i]S[0]RP} - \theta \Big|_{W[i]P[0]} \right) \\
 & - \sum_{k=0}^{N_s \Big|_{W[i]S[0]R} - 1} \beta_{W[i]S[0] \rightarrow W[i]S[0]RS[k]} \Big|_{W[i]S[0]R} A \Big|_{W[i]} \theta \Big|_{W[i]S[0]RS[k]P} \\
 & - C_w \Big|_{W[i]L_a[0]} A \Big|_{W[i]} \left(\theta \Big|_{W[i]P[0]} - \theta \Big|_{W[i]P[1]} \right) \\
 & + S_r \Big|_{W[i]L[0]} \\
 & + \left(L_{r0} \Big|_{W[i]S[0]} + l_{rR} \Big|_{W[i]S[0]} \theta \Big|_{W[i]S[0]RP} \right)
 \end{aligned} \tag{2.7a}$$

$$C_p \Big|_{W[i]P[0]} = 0 \tag{2.7b}$$

*1 室内側になる場合，日射は存在せず，この項は 0 となる．ただし，数式をできるだけ共通化させたいので，この項を外していない．

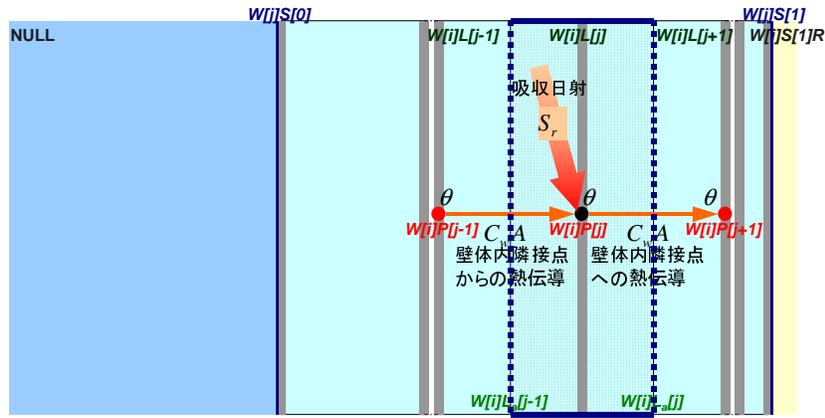


図 2.5 ガラス・軽量壁の熱平衡 (壁体内部)

(外気側)

$$\begin{aligned}
 C_p \Big|_{W[i]P[0]} \frac{d\theta \Big|_{W[i]P[0]}}{dt} &= \alpha_o \Big|_{W[i]S[0]} A \Big|_{W[i]} \left(\theta_e \Big|_{W[i]S[0]} - \theta \Big|_{W[i]P[0]} \right) \\
 &- C_w \Big|_{W[i]L_a[0]} A \Big|_{W[i]} \left(\theta \Big|_{W[i]P[0]} - \theta \Big|_{W[i]P[1]} \right) \\
 &+ S_r \Big|_{W[i]L[0]}
 \end{aligned} \tag{2.8a}$$

$$C_p \Big|_{W[i]P[0]} = 0 \tag{2.8b}$$

壁体内部の点 ($0 < j < N_p \Big|_{W[i]} - 1$) 右辺は、壁体内隣接点 (左隣) からの熱伝達, 壁体内隣接点 (右隣) への熱伝達, この層が吸収した日射である (図 2.5 参照).

$$\begin{aligned}
 C_p \Big|_{W[i]P[j]} \frac{d\theta \Big|_{W[i]P[j]}}{dt} &= C_w \Big|_{W[i]L_a[j-1]} A \Big|_{W[i]} \left(\theta \Big|_{W[i]P[j-1]} - \theta \Big|_{W[i]P[j]} \right) \\
 &- C_w \Big|_{W[i]L_a[j]} A \Big|_{W[i]} \left(\theta \Big|_{W[i]P[j]} - \theta \Big|_{W[i]P[j+1]} \right) \\
 &+ S_r \Big|_{W[i]L[j]}
 \end{aligned} \tag{2.9a}$$

$$C_p \Big|_{W[i]P[j]} = 0 \tag{2.9b}$$

2.4 熱点ごとの温度の算出

以上の微分方程式を熱点ごとに作成し, 連立させる. なお, 室に関しては, 状況により温度 $\theta \Big|_{R[i]P}$ ではなく, 除去熱量 $H \Big|_{R[i]}$ が未知数となる.

この連立微分方程式を後退差分法し、

$$\frac{d\theta}{dt} \rightarrow \frac{\theta^K - \theta^{K-1}}{\Delta t} \quad (2.10)$$

解くことによって、各時刻の熱点ごとの温度（もしくは除去熱量）を算出する。

3 建築排熱の算出

3.1 保有熱量

熱負荷モデルにより、各熱点の温度および熱容量が算出されるので、外気との温度差に熱容量を乗じたものを保有熱量と定義すると、毎時の、建築全体の保有熱量 U は式 (3.1) により算出される。

$$U = \sum_{i=0}^{N_P-1} C_p \Big|_{P[i]} (\theta \Big|_{P[i]} - \theta_o) \quad (3.1)$$

3.2 建築排熱量

各熱点において熱平衡が成立しているので、建築全体の保有熱量（ストック）の変化 $\frac{dU}{dt}$ は、建築に対する熱の流入（フロー）に一致する（式 (3.2) 参照）。これを用いて内部発熱や除去熱量による排熱を算出することが可能である。

$$\begin{aligned} \frac{dU}{dt} &= (\text{自然状態での熱流入}) + (\text{内部発熱}) - (\text{除去熱量}) \\ &\quad - (\text{自然状態での排熱}) - (\text{内部発熱に起因する排熱}) \\ &\quad - (\text{除去熱量に起因する排熱}) \end{aligned} \quad (3.2)$$

式 (3.2) において、 $\frac{dU}{dt}$ が算出可能であることは既に述べた。内部発熱や除去熱量がない条件でのシミュレーションをおこなえば、(自然状態での熱流入 - 自然状態での排熱) は算出できる。これと(内部発熱)のある場合、さらに(除去熱量)がある場合のシミュレーションをおこなえば、(内部発熱)や(除去熱量)は別途熱負荷計算中に算出可能であるので、(内部発熱に起因する排熱)や(除去熱量に起因する排熱)も算出可能となる。これに直接外気に放出される内部発熱や外調機による排熱を加算すると、人工排熱が算出できる。

なお、以降、便宜上、(自然状態での熱流入 - 自然状態での排熱)を(躯体排熱)とよぶ。

4 計算条件

本研究の計算結果はメソスケールシミュレーションモデルへの入力値とすることを考えており、そのため、標準的な条件で計算をおこなう必要がある。そこで、以下のような条件で計算をおこなう。

4.1 建築仕様データ

戸建住宅の標準モデルに関しては、これまでいくつか提案されているが、最も広く用いられているのは、日本建築学会（環境工学委員会 伝熱解析小委員会）で宇田川が提案した「住宅用標準問題」[11]であるとみられる。また、近年、空気調和・衛生工学会（空気調和設備委員会 住宅の消費エネルギー計算小委員会）で「新

表 4.1 住宅種別世帯数と割合 (1995 年)

世帯数	戸建住宅		共同住宅		長屋建住宅		その他	
	[万戸]	[%]	[万戸]	[%]	[万戸]	[%]	[万戸]	[%]
主世帯 (99.1%)	2507.7637	59.4	1503.5049	35.6	205.6314	4.9	7.1086	0.2
持ち家	2279.4892	90.9	234.6641	15.6	46.2323	22.5	2.9171	41.0
公営の借家	6.8273	0.3	156.2937	10.4	48.0041	23.3	0.0040	0.1
公団・公社の借家	0.0045	0.0	88.9378	5.9	1.2521	0.6	0.0002	0.0
民営の借家	190.8228	7.6	870.8980	57.9	98.6957	48.0	1.4258	20.1
給与住宅	30.6199	1.2	152.7103	10.2	11.4472	5.6	2.7615	38.8
間借り (0.9%)	25.9698	69.3	9.1662	24.5	1.6065	4.3	0.6911	1.8

築戸建住宅」[12] (その後、住宅設備委員会 住宅のエネルギーシミュレーション小委員会にて若干変更 [13]) が提案されている。

本研究で用いる戸建住宅の標準モデルの選定にあたっては、国勢調査の結果 (表 4.1) を参考とした。

表 4.1 には延床面積、室数、居住人員も示されており、「間借り」を除く「主世帯」を対象とすると、延床面積は 115.7[m²]、室数は 5.73[室]、居住人員は 3.33[人] である。主世帯の 90% を占める「持ち家」だけで見ると、120.9[m²]、5.94[室]、3.39[人] となっている。つまり、一戸建住宅の平均として、延床面積は約 120[m²]、室数は 6[室]、居住人数は 3-4[人] となる。ここで、「標準問題」と比較すると、標準問題の延床面積は約 125[m²] で若干大きい、浴室などを除く室数は 6 室で合致しており、現在の平均的な住宅として申し分のない規模であることが分かる。

よって、本研究では、戸建住宅の標準モデルとして「住宅用標準問題」(木造) を用いる。

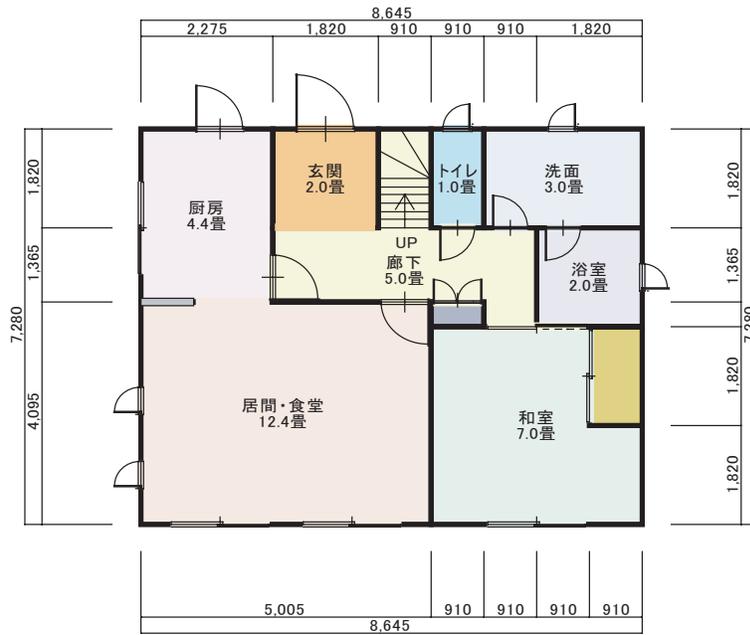
住宅用標準問題 「住宅用標準問題」とは、1985 年に日本建築学会環境工学委員会の熱シンポジウム熱分科会で宇田川によって提案された計算モデルであり、熱負荷計算プログラムやエネルギー消費量算定プログラムの開発や検証の際のテストデータとして使用することを主たる目的としている。そのため、標準計算モデルとして、建物モデルのほかに、空調スケジュールや室内発熱スケジュールなどスケジュールデータも含んだ形で提案された。

当時、我が国では住宅を対象とした数多くの熱負荷シミュレーションプログラムが作成されており、これらのプログラムを用いて、同一の例題 (標準問題) を解いてみること (ベンチマークテスト) で、標準計算モデルの性質を明らかにすること、そして、シミュレーションプログラムごとの計算方法の違いによって、計算結果にどの程度の差異が生じるのか、を知ることを目的としている。

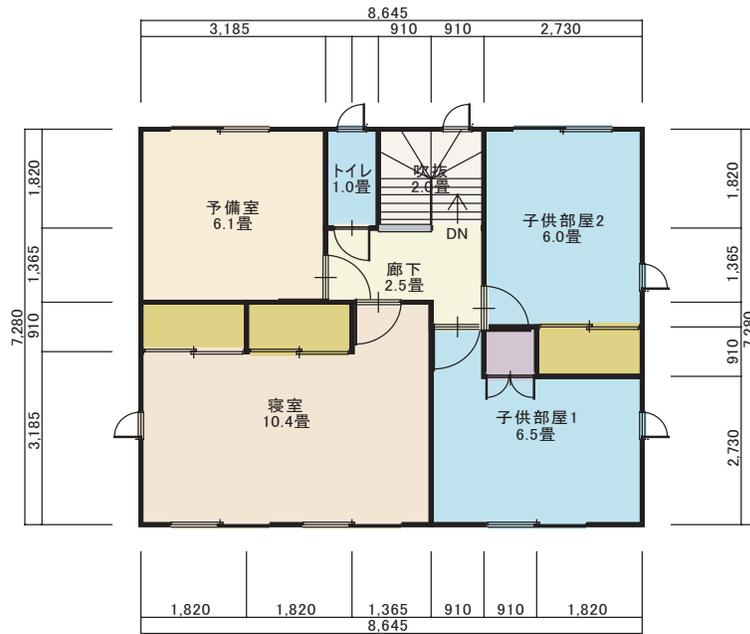
しかし、この標準モデルは、実際の建築物と無関係に単にベンチマークテスト用の例題として作成されたのではなく、当時の戸建住宅として常識的な水準といえる住宅モデルに作成されている。すなわち、この標準モデルは、夫婦 + 子供 2 人の 4 人家族が住むことを想定し、延床面積は 120[m²] 程度としている。そして、この家族人員や延床面積などの設定はソーラーハウスや省エネルギーモデルハウスのような当時の実験住宅でも採用されている。

図 4.1 に平面図を示す。建物正面は南面とし、居室は南面に配置しているが、ベンチマークとしての利用を考慮して北室 (子供部屋 2) も用意している。単純化のため総 2 階であり、バルコニーや庇は設けられていない。そして、建物周囲には障害物が何もなく、地面の反射率は 0 である (反射率は無視する) と仮定している。

各室とも単位容積あたり 18.84[kJ/m³K] (4.5[kcal/m³°C]) の熱容量を設定している。これは、家具、衣類、本などが室内に置かれていることに由来する熱容量である。



(1階)



(2階)

図 4.1 住宅用標準問題の間取り

表 4.2 家族構成

名前	属性	喫煙本数 [本/h]
花子	家庭婦人	0
一郎	勤め人・男	2
太郎	中学生	0
陽子	小学生	0
計 4 人		

なお、標準問題では木造・RC造の双方が用意されており、図 4.1 に示した平面図は双方に共通であるが、木造と RC 造とで屋根の形態を違えており、木造の屋根は切妻、RC 造では陸屋根としている。それぞれの部材構成も異なり、木造の部材構成に関しては図、RC 造の部材構成に関しては図に示す。材料の熱物性は表に示す通りである。断熱材はグラスウール 24K 相当となっており、厚みはすべて 50[mm] である。

図 4.4 (木造) および図 4.5 (RC 造) に、それぞれ与えられた条件より建築した住宅の外観を示す。

4.2 気象データ

日本建築学会で作成された拡張アメダス気象データ [14] の「東京・標準年」を使用する。

4.3 各種スケジュールデータ

「住宅における生活スケジュールとエネルギー消費」[13] 付属のスケジュールデータプログラムを用いてデータを作成した。作成条件は、建築物は標準問題（木造）、家族構成は「家庭婦人」・「勤め人・男」・「中学生」・「小学生」の 4 人家族である。

戸建住宅 作成条件は、建築物は標準問題（木造）、家族構成は「家庭婦人」・「勤め人・男」・「中学生」・「小学生」の 4 人家族（表 4.2 参照）とする。室用途は表 4.3 のように対応させる。

4.4 空調機器条件

排熱量の算定に当たっては、空調機器の COP が必要である。ここでは、表 4.4 に示すように、冷暖房それぞれ 2 種類の条件を用意する。

5 計算結果

5.1 保有熱量

保有熱量を算出したところ、2 月は図 5.1、8 月は図 5.2 の通りとなった。空調をおこなうことによって、保有熱量が 2 月には増大、8 月には減少していることが分かる。

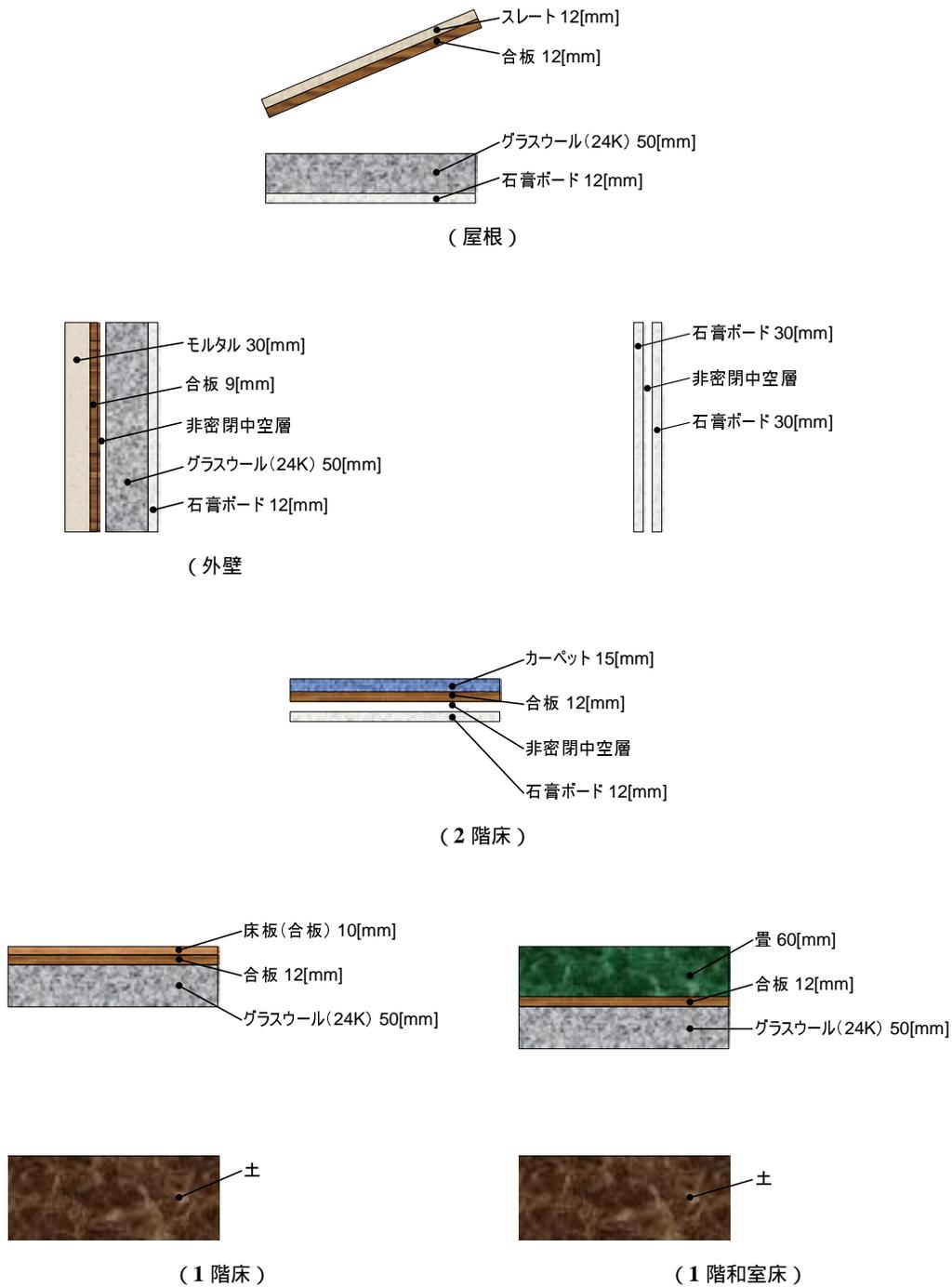


図 4.2 住宅用標準問題(木造)の壁体構成

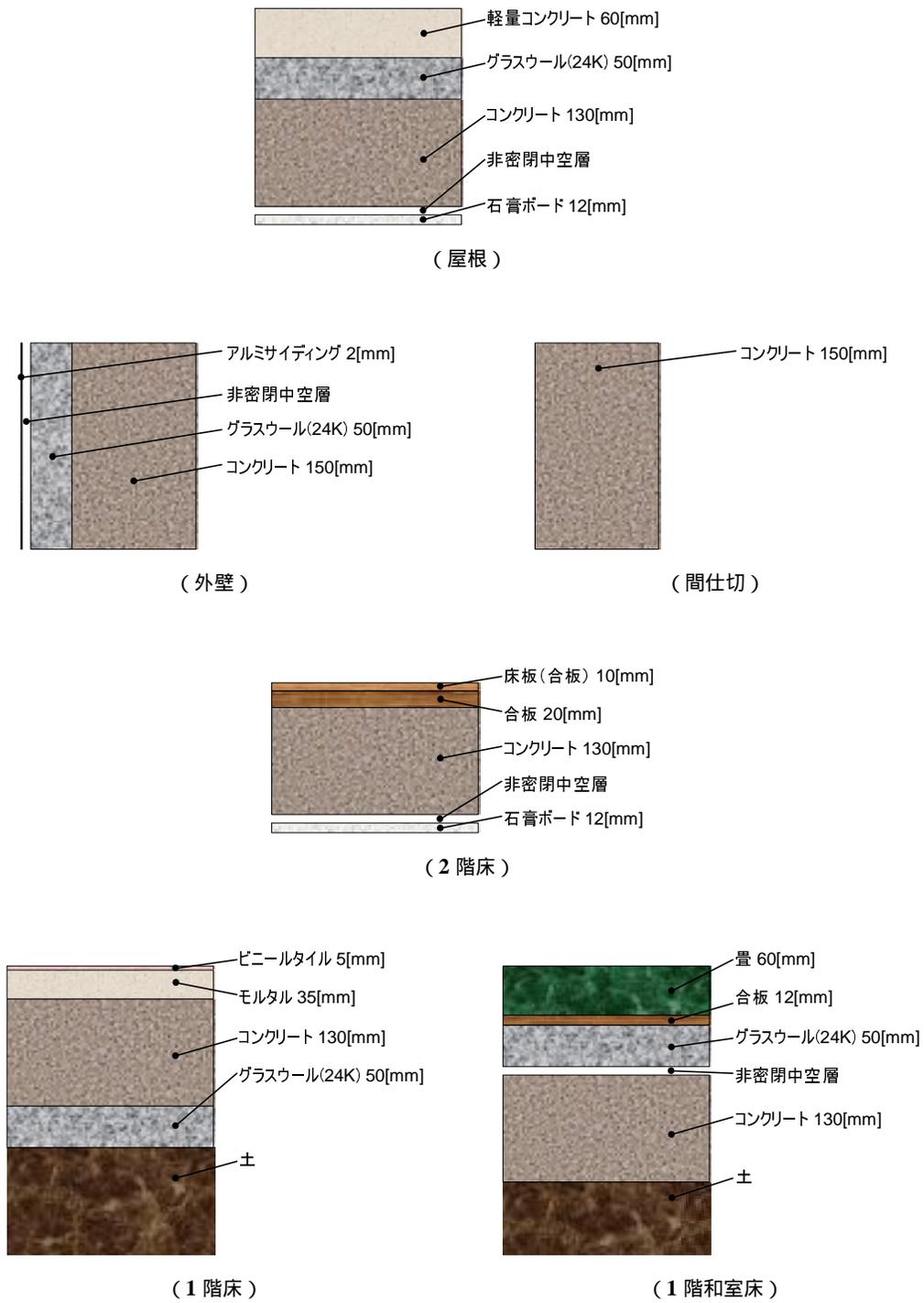


図 4.3 住宅用標準問題 (RC造) の壁体構成



図 4.4 住宅用標準問題（木造）の外観

表 4.3 床面積および室用途

部屋名	用途	床面積 [m ²]	使用者
主寝室	個室	20.50	花子, 一郎
子供部屋 1	個室	11.59	太郎
子供部屋 2	個室	11.59	陽子
予備室	その他	10.14	
2階トイレ	トイレ	1.66	
2階廊下	廊下	7.45	
居間・食堂	居間, 食堂	20.50	
厨房	厨房	7.25	
和室	個室	13.25	
洗面	洗面	4.97	
浴室	浴室	3.31	
1階トイレ	トイレ	1.66	
1階廊下	廊下	12.00	
延床面積		125.87	



図 4.5 住宅用標準問題（RC 造）の外観

表 4.4 空調機器の COP

冷暖種別	条件	空調方式の例	COP [-]	空調需要 1 のときの	
				エネ消費量 [-]	外気排熱量 [-]
冷房	1	ルームエアコン（冷暖用）	3	0.33	1.33
	2	ルームエアコン（冷房用）	3	0.33	0.67
暖房	1	ルームエアコン（冷暖用）	2.5	0.40	1.40
	2	ストーブ	1	1	0

5.2 排熱量

保有熱量の時刻変化より排熱量のグラフを作成した。2月 は図 5.3, 8月 は図 5.4 の通りとなった。また, 断熱材をグラスウール (24K) 50[mm] とした場合のグラフも描いた。それぞれ 2月 は図 5.5, 8月 は図 5.6 の通りである。

6 おわりに

今回の結果は暫定的なものであるが, 空調需要に関しては, 排熱を他の需要による排熱とは別に考慮した場合, 負の排熱となっている時間帯も存在し, 排熱を熱需要とは別に考慮する必要性が示された。

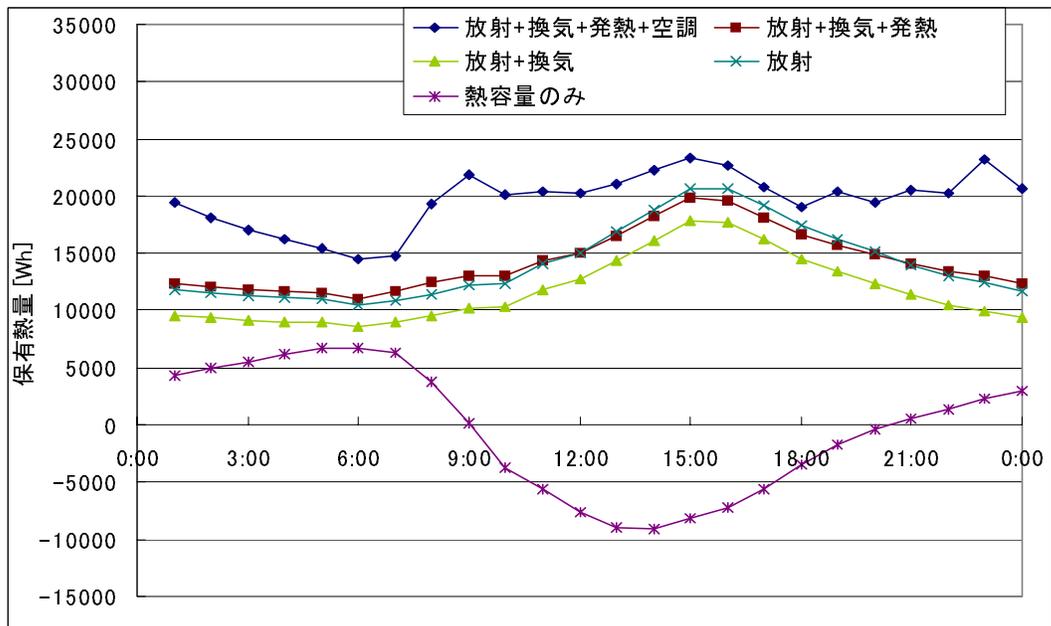


図 5.1 保有熱量 (2月)

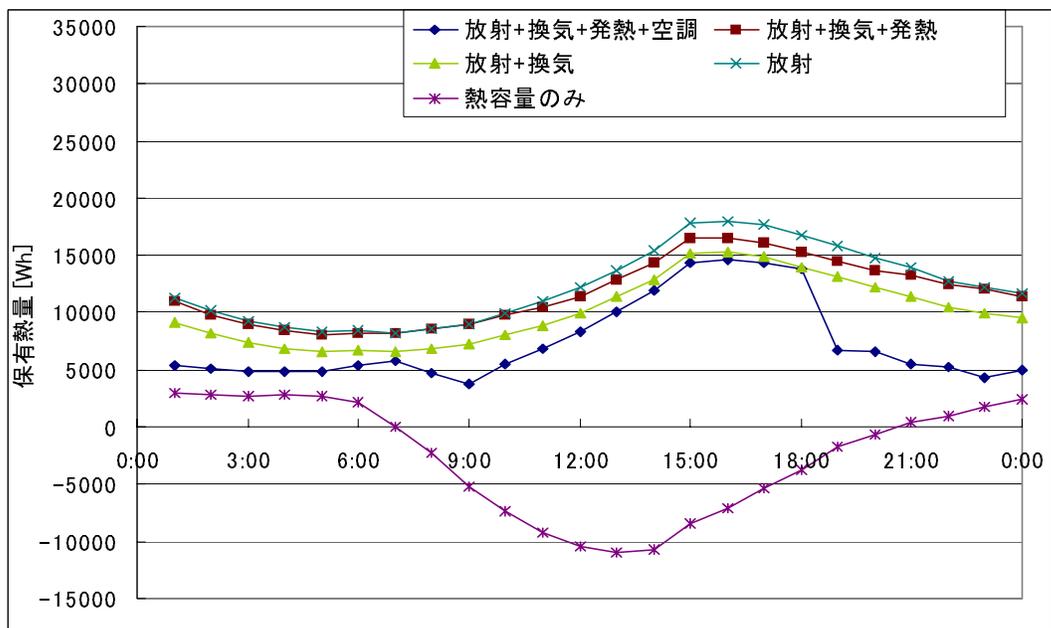


図 5.2 保有熱量 (8月)

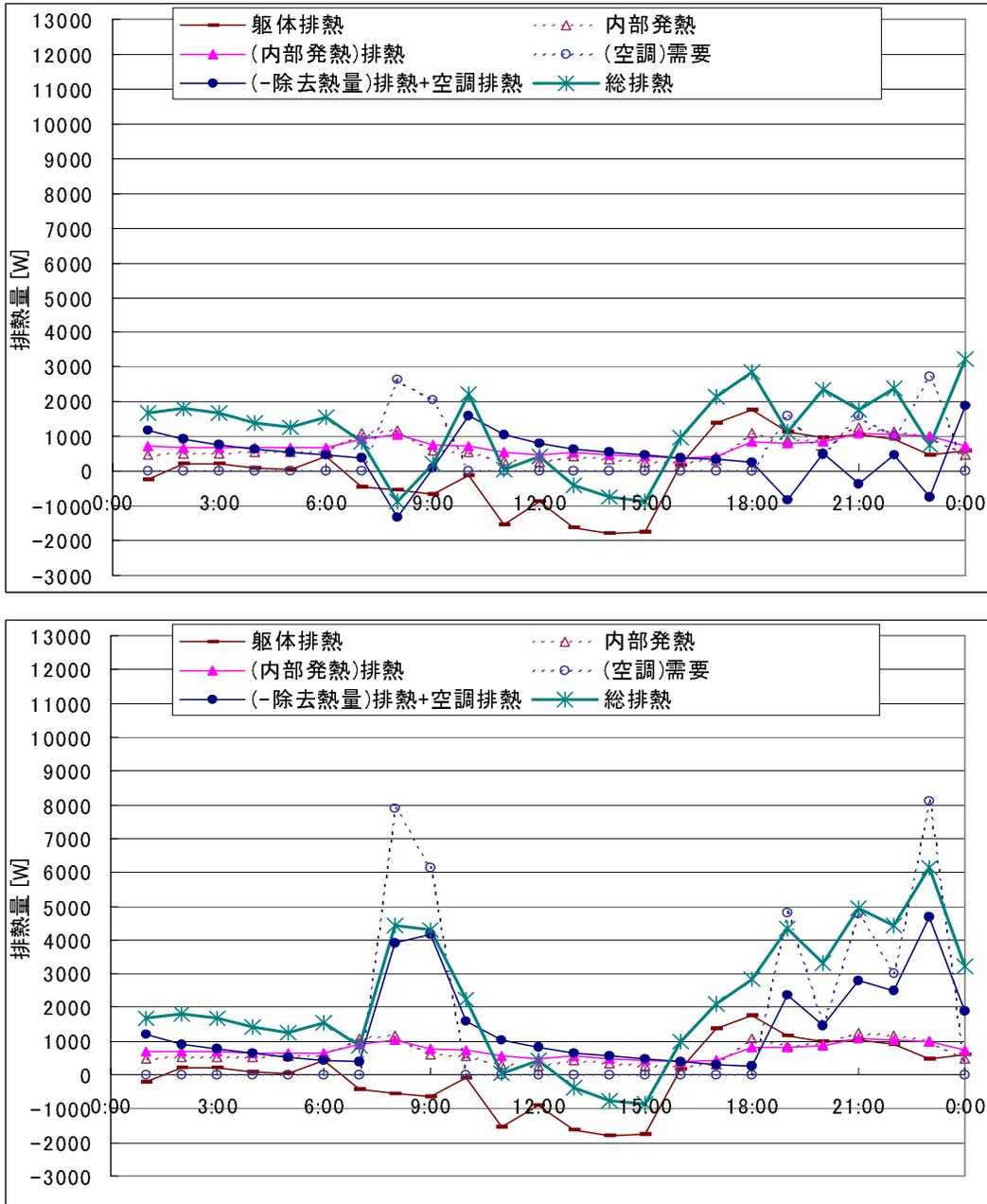


図 5.3 排熱量 (2月)(上:暖房 COP=3, 下:暖房 COP=1)

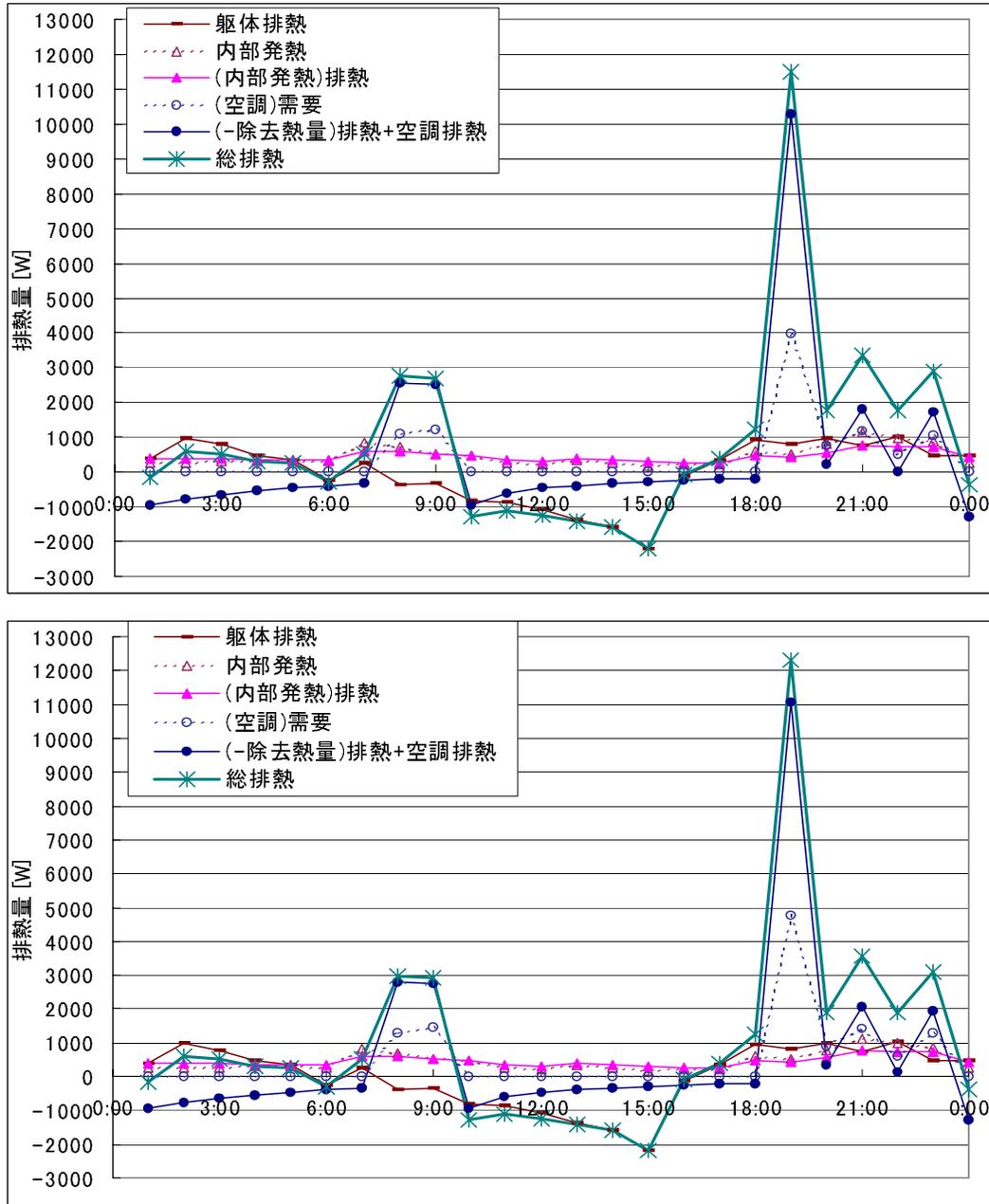


図 5.4 排熱量 (8月)(上:冷房 COP=3, 下:冷房 COP=2.5)

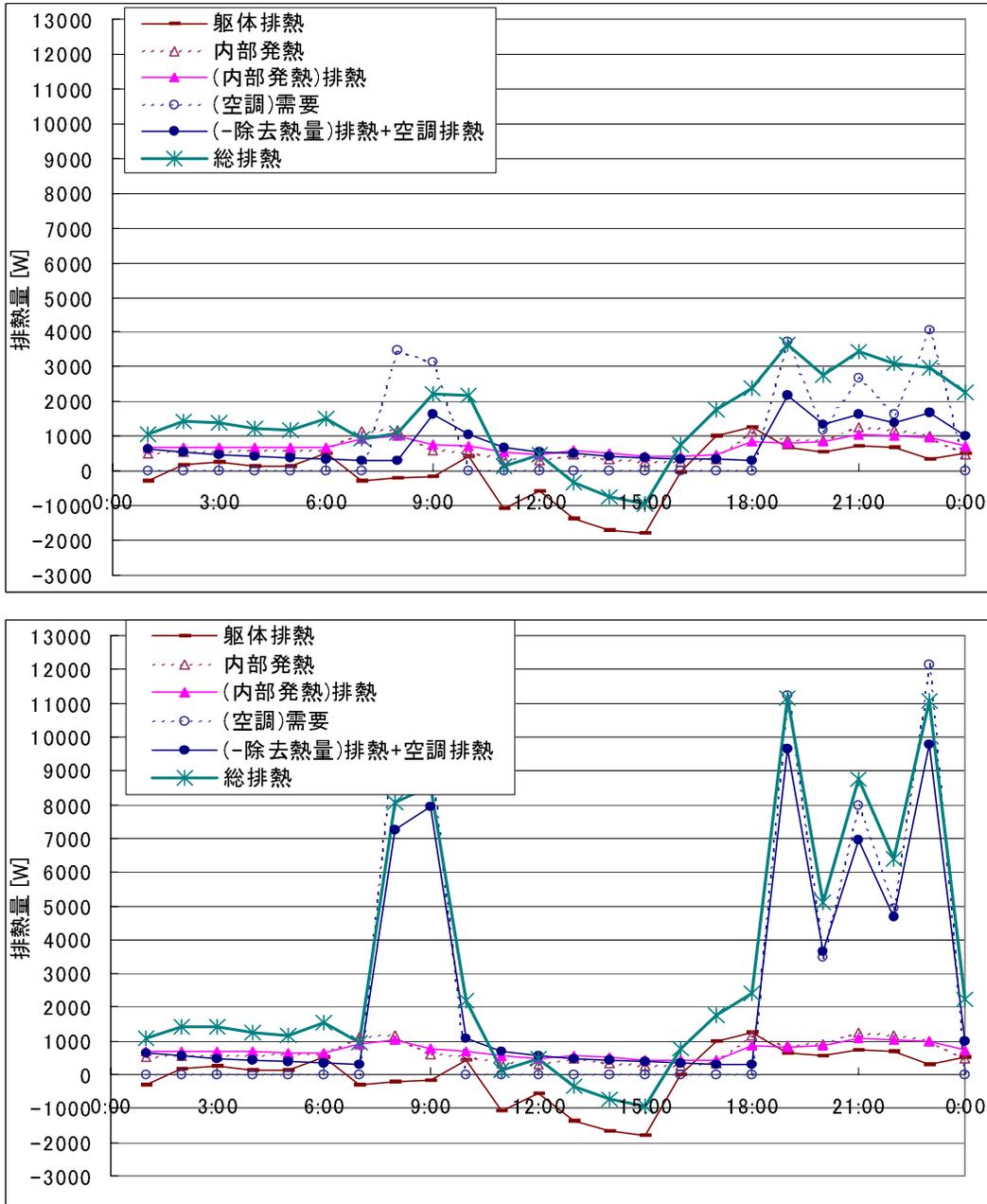


図 5.5 排熱量 (グラスウール (24K) 50[mm] , 2月)(上:暖房 COP=3 , 下:暖房 COP=1)

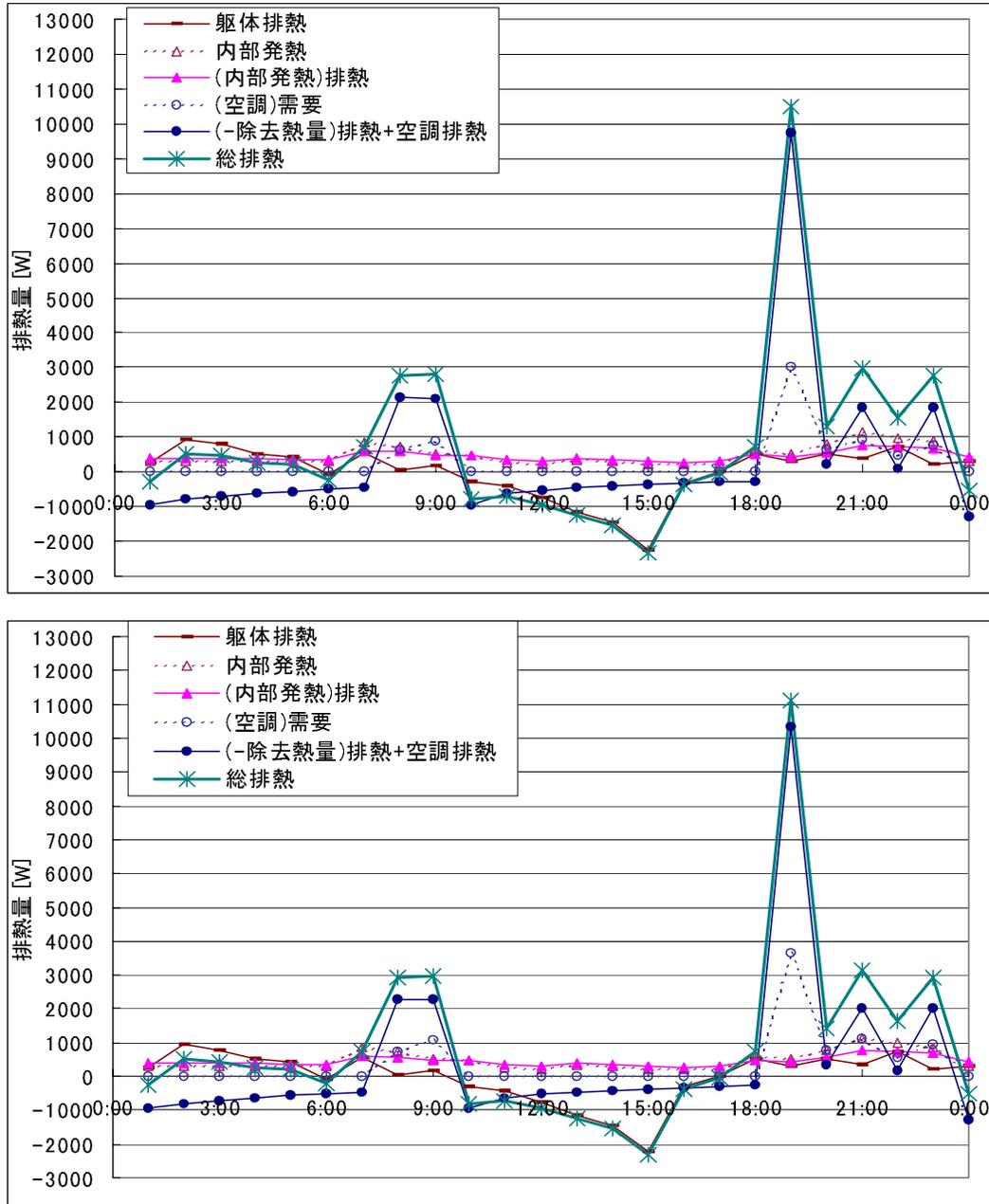


図 5.6 排熱量 (ガラスウール (24K) 50[mm], 8月)(上:冷房 COP=3, 下:冷房 COP=2.5)

今後、空調需要だけではなく他のエネルギー需要に関しても、熱需要と排熱との間の時間遅れ特性を、建築の断熱状態と合わせて、分析していく予定である。

参考文献

- [1] 環境省ヒートアイランド対策手法調査検討委員会. 平成 13 年度ヒートアイランド対策手法調査検討業務報告書. 平成 13 年度環境省請負業務報告書, 環境省, Mar 2002.
- [2] 亀卦川幸浩. 熱環境と空調エネルギー需要の相互作業を考慮した都市高温化対策. 平成 13 年度博士論文, 東京大学, 2001.
- [3] 亀谷茂樹, 水野稔, 下田吉之, 葛原浩美, 西隆良. 空調システムをもつ建物からの熱環境負荷に関する研究第 1 報—空調システムの相違による建物からの廃熱特性の検討. 空気調和・衛生工学会論文集, No. 62, pp. 1–11. 空気調和・衛生工学会, Jul 1996.
- [4] 日本建築設備士協会. HASP/ACLD/8501 解説, 1986.
- [5] 松尾陽, 横山浩一, 石野久禰, 川元昭吾. 空調設備の動的熱負荷計算入門. (社) 建築設備技術者協会, 第 1 版, 1980.
- [6] 亀谷茂樹, 水野稔, 下田吉之, 西隆良. 空調システムをもつ建物からの熱環境負荷に関する研究第 2 報—地域による廃熱特性の相違とモデル地区における都市熱環境負荷の推定. 空気調和・衛生工学会論文集, No. 64, pp. 49–59. 空気調和・衛生工学会, Jan 1997.
- [7] 井原智彦, 吉田好邦, 半田隆志, 松橋隆治, 石谷久. 高反射高放射塗料もしくは低反射低放射性外表面導入による建築物からの CO₂ 排出削減効果. エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, 第 21 巻, pp. 163–168. エネルギー・資源学会, Jan 2002.
- [8] 宇田川光弘, 木村建一. 多数室室温変動の実用的計算手法と断熱雨戸の熱的效果の検討例. 日本建築学会論文報告集, No. 265, pp. 125–132. 日本建築学会, Mar 1978.
- [9] 石田建一, 宇田川光弘. 換気および壁面相互ふく射を考慮した多数室室温・熱負荷計算法. 日本建築学会計画系論文報告集, No. 381, pp. 46–55. 日本建築学会, Nov 1987.
- [10] 宇田川光弘. パソコンによる空気調和計算法. オーム社, 第 1 版, 1986.
- [11] 宇田川光弘. 標準問題の提案 (住宅用標準問題). 日本建築学会環境工学委員会熱分科会熱シンポジウム, No. 15, pp. 23–33. 日本建築学会, 1985.
- [12] 空気調和・衛生工学会 空気調和設備委員会住宅の消費エネルギー計算法小委員会. 住宅の消費エネルギー計算用設定条件のモデル化. 住宅の消費エネルギー計算法小委員会報告書, 空気調和・衛生工学会, Mar 1996.
- [13] 空気調和・衛生工学会 住宅設備委員会住宅のエネルギー消費シミュレーション小委員会. 住宅における生活スケジュールとエネルギー消費. 空気調和・衛生工学会シンポジウム, 空気調和・衛生工学会, Mar 2000.
- [14] 日本建築学会 (編). 拡張アメダス気象データ. 丸善, 初版, 2000.