

付録 対策効果予測シミュレーションの概要

本付録では、資料編第1章で使用した対策効果予測シミュレーションの概要を示す。

表面温度及び空調負荷の計算プログラムによる対策効果のシミュレーションの方法について、1.1項及び1.2項で説明する。さらに、シミュレーションの入出力データを用いた太陽光パネル発電量の推定方法については3項で、CO2削減量、固定量の推定方法については4項で説明する。

1. 表面温度及び空調負荷予測シミュレーション

1.1 表面熱収支式

地表面や建物表面などの表面熱収支式を次に示す。

$$S_n + L_a + R_L + R_s + H + E + G = 0 \quad (1.1.1)$$

各項の意味と内容は次のようになる。

S_n : 正味全天日射量

正味全天日射量 S_n [W/m²] は、地表面に吸収される正味の全天日射量で、地表面アルベト(反射率) α を用いて次のように表される。

$$S_n = (1 - \alpha) S_g \quad (1.1.2)$$

ここで、 S_g は全天日射量[W/m²]で、下式のように直達日射量 S_d [W/m²] と天空(散乱)日射量 S_s [W/m²] との和である。

$$S_g = \omega_d S_d + \omega_s S_s = \omega_d S_{d\perp} \cos \psi + \omega_s S_s \quad (1.1.3)$$

ただし、 $S_{d\perp}$: 法線面直達日射量[W/m²]、 ψ : 直達光と表面との成す角[rad.]である。また、 ω_d : 日向率、 ω_s : 天空率である。

観測値がない場合などでは、法線面直達日射量 $S_{d\perp}$ および天空日射量 S_s はそれぞれ以下のBouguer式およびBerlage式で評価されることが多い。

Bouguer式 :

$$S_{d\perp} = I_0 P^{1/\sin h} \quad (1.1.4)$$

Berlage式 :

$$S_s = 0.5 I_0 \sin h \frac{1 - P^{1/\sin h}}{1 - 1.4 \cdot \log P} \quad (1.1.5)$$

ここで、 I_0 : 太陽定数[W/m²]、 P : 大気透過率、 h : 太陽高度[rad]である。

太陽方位ベクトル (S_x, S_y, S_z) は次のように表される。

$$\begin{aligned} S_x &= -\cos\delta\sin\gamma \\ S_y &= \cos\phi\sin\delta - \sin\phi\cos\delta\cos\gamma \\ S_z &= \sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos\gamma \end{aligned} \quad (1.1.6)$$

ここで、 ϕ : 緯度[rad.]、 δ : 赤緯[rad.]、 γ : 時角[rad.]である。したがって、水平な地表面の場合、以下となる。

$$\cos\psi = S_z = \sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos\gamma \quad (1.1.7)$$

L_a : 大気放射量

大気放射量 L_a [W/m²]は Brunt の式で評価する。

Brunt 式 :

$$L_a = \omega_s (0.526 + 0.076\sqrt{e}) \varepsilon \sigma T_a^4 \quad (1.1.8)$$

ここで、 e : 水蒸気圧[mmHg]、 T_a : 大気温度[K]、 σ : Stefan-Boltzmann 定数[W/m²/K⁴]である。ただし、上式では天空率 ω_s を考慮している。

R_L : 正味長波放射量

大気放射量を除いた正味の長波放射量は周囲の面 i からの射度 $G_{L,i}$ および面 i の形態係数 F_i を用いて次のように表される。

$$R_L = \varepsilon \sum_i G_{L,i} F_i - \varepsilon \sigma T_G^4 \quad (1.1.9)$$

ここで、射度 $G_{L,i}$ は次式で定義される。

$$G_{L,i} = \varepsilon_i \sigma T_{G,i}^4 + (1 - \varepsilon_i) \sum_j G_{L,j} F_{ji} \quad (1.1.10)$$

R_s : 正味短波放射量

壁面での反射を繰り返し吸収される正味の短波放射量は周囲の面 i からの射度 $G_{s,i}$ および面 i の形態係数 F_i を用いて次のように表される。

$$R_s = (1 - \alpha) \sum_i G_{s,i} F_i \quad (1.1.11)$$

ここで、射度 $G_{s,i}$ は次式で定義される。

$$G_{s,i} = \alpha \sum_j G_{s,j} F_{ji} \quad (1.1.12)$$

H : 顕熱輸送量

顕熱輸送量 H [W/m²] は熱伝達係数 h [W/m²/K] を用いて次のように定式化される。

$$H = h(T_a - T_g) \quad (1.1.13)$$

E : 潜熱輸送量

潜熱輸送量 E [W/m²] は蒸発効率 β を考慮して次のように定式化される。

$$E = L\beta h_q (q_a - q_g) \quad (1.1.14)$$

ここで、 L : 蒸発潜熱[J/kg]、 h_q : 物質輸送係数[kg/m²/s]、 q_a : 大気中の比湿[kg/kg]である。

また、 q_g は地表面飽和比湿[kg/kg]で、地表面温度 T_g に対する飽和蒸気圧 e_g [Pa] から次のように計算できる。

$$q_g = \frac{\varepsilon(e_g/p_a)}{1 - (1 - \varepsilon)(e_g/p_a)} \quad (\varepsilon = M_v/M_d \approx 0.622) \quad (1.1.15)$$

$$e_g = 6.11 \times 10^2 \cdot \exp\left[\frac{M_v L}{273 R_o} \left(1 - \frac{273}{T_g}\right)\right] \quad (\text{Clausius-Clapeyron 式}) \quad (1.1.16)$$

ただし、 p_a : 大気圧[Pa]、 M_d : 乾燥空気の分子量[kg/mol]、 M_v : 水蒸気の分子量[kg/mol]、 R_o : 普遍気体定数[J/mol/K]である。

G : 固体内熱伝導量

地中内への熱伝導量 G [W/m²] は、表面 $z=0$ における固体温度 T_g の勾配を用いて、

$$G = k_g \left(\frac{\partial T_g}{\partial z} \right)_{z=0} \quad (1.1.17)$$

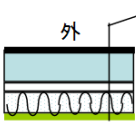
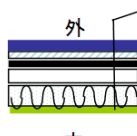
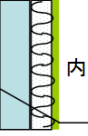
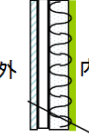
と表される。ここで、 k_g は固体の熱伝導係数[W/m/K]である。また、鉛直座標 z は下向きを正に

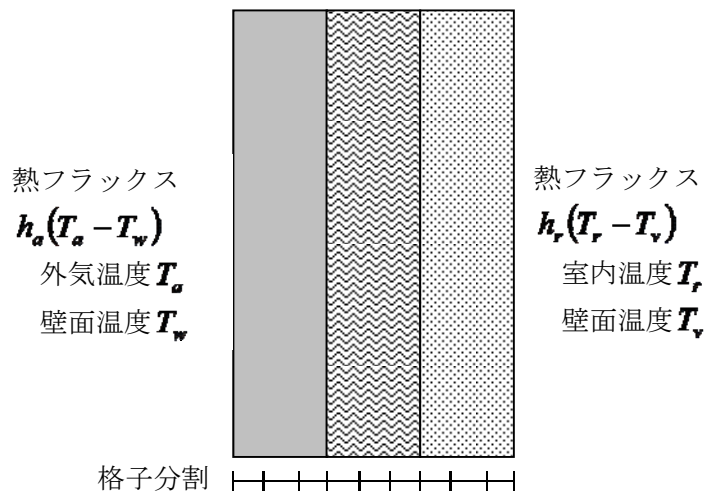
とる。固体内への熱伝導量 G を評価するため、1次元熱伝導方程式を考える。

$$\rho_g C_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(k_g \frac{\partial T_g}{\partial z} \right) \quad (1.1.18)$$

壁面内の熱伝導は、表1に示すように層状の材質構成を考慮して、1次元熱伝導方程式から算定する。

表1 屋上、壁の構成

	RC造	木造
屋根	 <p>外</p> <p>内</p> <p>アスファルト10 コンクリート120 空気10 グラスウール50 石膏ボード10</p>	 <p>外</p> <p>内</p> <p>瓦30 木板10 アスファルト10 空気50 グラスウール50 石膏ボード10</p>
壁	 <p>外</p> <p>内</p> <p>コンクリート100 グラスウール60 石膏ボード10</p>	 <p>外</p> <p>内</p> <p>プライウッド20 空気10 グラスウール50 石膏ボード10</p>



1次元熱伝導

$$\frac{\partial T_w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{\partial T_w}{\partial x} \right)$$

1.2 表面熱収支計算の要領

1.2.1 気象条件

表面熱収支計算における気象条件として、次に挙げる気象項目については、解析対象日における観測データを使用する（具体的な気温データは 1.3.7 に示す。）。

- ・気圧
- ・気温
- ・相対湿度
- ・全天日射量
- ・風速

これらのデータは 1 時間毎に与えられており、任意の時刻における気象条件は、時間に関して内挿して算定する。

1.2.2 1次元熱伝導方程式

固体内（地中内または建物壁面内）への熱伝導量 G を評価するため、鉛直方向の 1 次元熱伝導方程式を考える。

$$\rho_g C_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(k_g \frac{\partial T_g}{\partial z} \right) \quad (1.2.1)$$

ここで、 ρ_g : 固体の密度 [kg/m^3]、 C_g : 固体の比熱 [J/kg/K] である。日変化スケールの熱貫流が及ばない程度に十分な深さ z_B [m] まで計算領域をとると、固体表面 $z=0$ および固体底面 $z=z_B$ における境界条件はそれぞれ次のように与えられる。

$$\text{固体表面} : \left(T_g \right)_{z=0} = T_G \quad (1.2.2)$$

$$\text{固体底面} : \left(\frac{\partial T_g}{\partial z} \right)_{z=z_B} = 0 \quad (\text{断熱}) \quad (1.2.3)$$

十分な深さを取らない場合、固体底面 $z=z_B$ における境界条件は次のように与えられる。

$$\text{固体底面} : \left(k_g \frac{\partial T_g}{\partial z} \right)_{z=z_B} = h_B (T_B - T_{g,z=z_B}) \quad (1.2.4)$$

ここで、 h_B は固体底面での対流熱伝達係数 [$\text{W/m}^2/\text{K}$] である。固体底面で温度固定とする場合は h_B を十分大きな値(例えば $1e20$)とすればよい。

式(1.2.1)は差分法により離散化する。時間刻みおよび格子幅をそれぞれ Δt および Δz_k とし、熱伝導項を 2 次中心差分、時間項を Euler 陰解法で離散化すると、

$$\frac{\rho_{g,k} C_{g,k}}{\Delta t} (T_{g,k}^{n+1} - T_{g,k}^n) = \frac{2}{\Delta z_k} \left(k_{g,k+1/2} \frac{T_{g,k+1}^{n+1} - T_{g,k}^{n+1}}{\Delta z_k + \Delta z_{k+1}} - k_{g,k-1/2} \frac{T_{g,k}^{n+1} - T_{g,k-1}^{n+1}}{\Delta z_k + \Delta z_{k-1}} \right) \quad (1.2.5)$$

となる。ここで、セル界面の熱伝導係数 $k_{g,k+1/2}$ は調和平均により内挿する。

$$k_{g,k+1/2} = \frac{k_{g,k} k_{g,k+1} (\Delta z_k + \Delta z_{k+1})}{k_{g,k} \Delta z_{k+1} + k_{g,k+1} \Delta z_k} \quad (1.2.6)$$

式(1.2.5)の係数行列は三重対角行列となるため TDMA 法により解くことができる。

時間積分法

手順 1 : 固体表面温度 T_G の計算

n 時刻レベルの固体温度分布 $T_{g,k}^n$ が与えられているとき、固体内への熱伝導量 G は次のように計算できる。

$$G = k_g \frac{T_{g,1}^n - T_G^n}{\Delta z/2} \quad (1.2.7)$$

このとき、表面熱収支式は、 n 時刻レベルの固体表面温度 T_G^n を未知数とした次のような非線形方程式になる。

$$S_{n\downarrow} + L_{a\downarrow} - \varepsilon \sigma (T_G^n)^4 + h(T_a - T_G^n) + L\beta h_q [q_a - q_G(T_G^n)] + k_g \frac{T_{g,1}^n - T_G^n}{\Delta z/2} = 0 \quad (1.2.8)$$

式(1.2.8)は Newton 法により解く。

$$\left[4\varepsilon \sigma (T_G^n)^3 + h + L\beta h_q \frac{\partial q_G}{\partial T_G} + \frac{2k_g}{\Delta z} \right] \Delta T_G^n = S_{n\downarrow} + L_{a\downarrow} - \varepsilon \sigma (T_G^n)^4 + h(T_a - T_G^n) + L\beta h_q [q_a - q_G(T_G^n)] + k_g \frac{T_{g,1}^n - T_G^n}{\Delta z/2} \quad (1.2.9)$$

手順2：固体温度分布 $T_{g,k}$ の計算

式(1.2.8)から計算される固体表面温度 T_G^n を用いて、境界条件(1.2.2)および(1.2.3)または(1.2.4)

のもと、式(1.2.5)を解くと、 $(n+1)$ 時刻レベルの固体温度分布 $T_{g,k}^{n+1}$ が与えられる。

手順3：収束判定

手順1. 2. により時刻レベルを更新し、24 時間毎に数値解を比較する。最新の解および 24 時間前の解をそれぞれ $T_G^{(2)}, T_{g,k}^{(2)}$ および $T_G^{(1)}, T_{g,k}^{(1)}$ で表すとき、次式を満足すれば収束とみなす。

$$\sqrt{\frac{(T_G^{(2)} - T_G^{(1)})^2 + \sum_k (T_{g,k}^{(2)} - T_{g,k}^{(1)})^2}{(T_G^{(2)})^2 + \sum_k (T_{g,k}^{(2)})^2}} < \varepsilon \quad (1.2.10)$$

ただし、 ε は収束判定のための微小数である。

1.2.3 樹冠の評価方法の概要

樹冠の葉面積密度は $1.5 \text{ m}^2/\text{m}^3$ とした。葉面と大気との顕熱輸送係数 A_{Hc} [$\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$] は次のように設定した。

$$A_{Hc} = \min[0.03\rho C_p U h_c, 6.79 + 5.99U] \quad (1.2.11)$$

ここで、風速 U [m/s] は、1.2.1 の気象観測データを用いた。気孔コンダクタンスのパラメータおよび放射計算のパラメータをそれぞれ表 2 および表 3 に示す。

表 2 気孔コンダクタンスのパラメータ

パラメータ	値
最大気孔コンダクタンス $g_{s\max}$	$1.175\text{e-}2$ [m/s]
PAR による気孔開口効率 a	$0.031\text{e-}2$ [m^3/J]
最低限界温度 T_l	284.7 [K]
最適温度 T_o	305.72 [K]
最高限界温度 T_h	322.65 [K]
$f(D)=0.5$ となる飽差 b_1	3830 [Pa]
飽差の関数の曲率 b_2	2.24 [-]

$$f(Q) = \frac{g_{s\max} Q}{Q + g_{s\max}/a}$$

$$f(T_c) = \frac{T_c - T_l}{T_o - T_l} \left(\frac{T_h - T_c}{T_h - T_o} \right)^{\frac{T_h - T_o}{T_o - T_l}} \quad (T_l \leq T_c \leq T_h)$$

$$f(D) = \frac{1}{1 + (D/b_1)^{b_2}}$$

$$D = e_{\text{sat}}(T_c) - e \quad (e \text{ は空気中の水蒸気圧})$$

表 3 放射計算のパラメータ

	透過率	反射率	射出率
PAR	0.1	0.1	—
NIR	0.4	0.5	—
長波	0.0	0.1	0.9

1.3 空調負荷計算の方法

1.3.1 室内熱負荷

室内熱負荷は以下の式により建物ごとに総和をとる。

$$\text{熱負荷（顕熱）} = \text{日射熱} + \text{貫流熱} + \text{内部発生顕熱} + \text{換気（顕熱）} \quad (1.3.1)$$

$$\text{熱負荷（潜熱）} = \text{内部発生潜熱} + \text{換気（潜熱）} \quad (1.3.2)$$

$$\text{室内熱負荷} = \text{熱負荷（顕熱）} + \text{熱負荷（潜熱）} \quad (1.3.3)$$

上式の各項は、以下のように求める。

日射熱：

四周の窓面から室内に入射する日射熱を建物全体で総和する。

貫流熱：

四周の壁面（窓含む）と屋上面から室内に入射する貫流熱を建物全体で総和する。貫流熱は表面温度計算機能により算定される値を利用する。室内温度および湿度は入力データより与える。

換気：

換気に伴う空気交換による熱負荷は次式で与える。

$$\begin{aligned} H_{vs} &= \beta C_{pa} \rho_a V (T_a - T_r) \\ H_{vl} &= \beta L \rho_a V (q_a - q_r) \end{aligned} \quad (1.3.4)$$

ここで、 H_{vs} ：換気による顕熱[W]、 H_{vl} ：換気による潜熱[W]、 β ：換気効率[-]、 C_{pa} ：空気の定圧比熱[J/kg/K]、 ρ_a ：外気の密度[kg/m³]、 V ：換気量[m³/s]、 L ：蒸発潜熱[J/kg]、 T_a ：外気の温度[K]、 T_r ：室内の気温[K]、 q_a ：外気の比湿[kg/kg]、 q_r ：室内の比湿[kg/kg]である。また、単位時間当たりの換気回数は0.5とし、建物容積は建物に関する入力データより与える。

内部発生潜熱：

ゼロとする。

内部発生顕熱：

夏季と冬季の1日の計算においては、内部発生顕熱として、建築研究所の既往調査¹⁾における夏季（8月）及び冬季（2月）の用途別の時刻別電力負荷を用いた（図1～図6）。

¹ 独立行政法人建築研究所：建築物エネルギー消費原単位作成業務報告書（平成21年度）

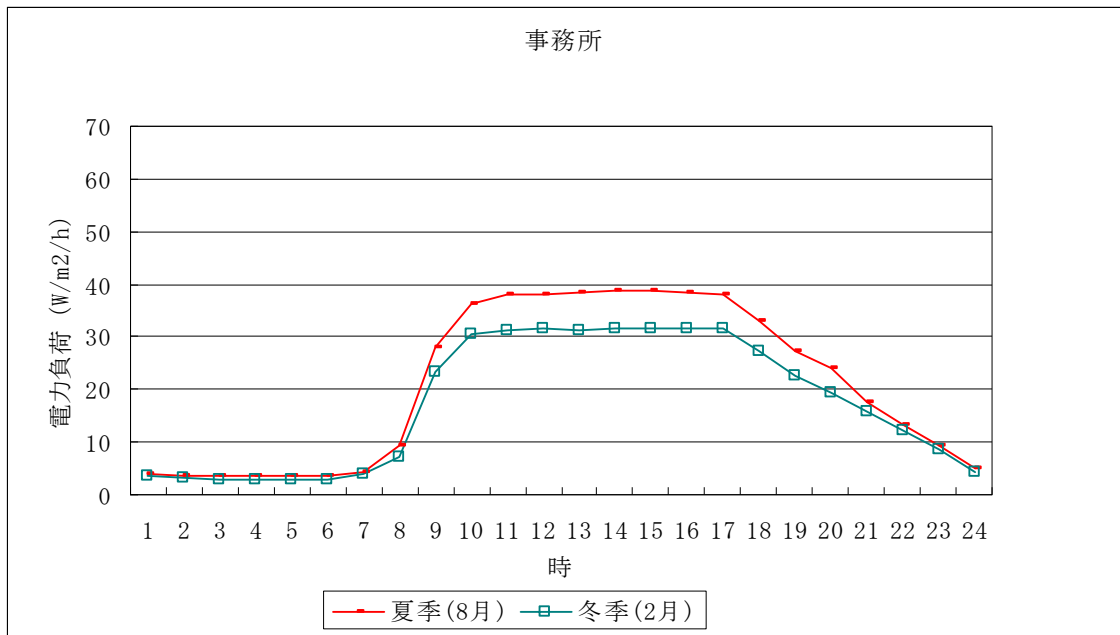


図1 夏季と冬季の内部発生顕熱の時間変動 (事務所)

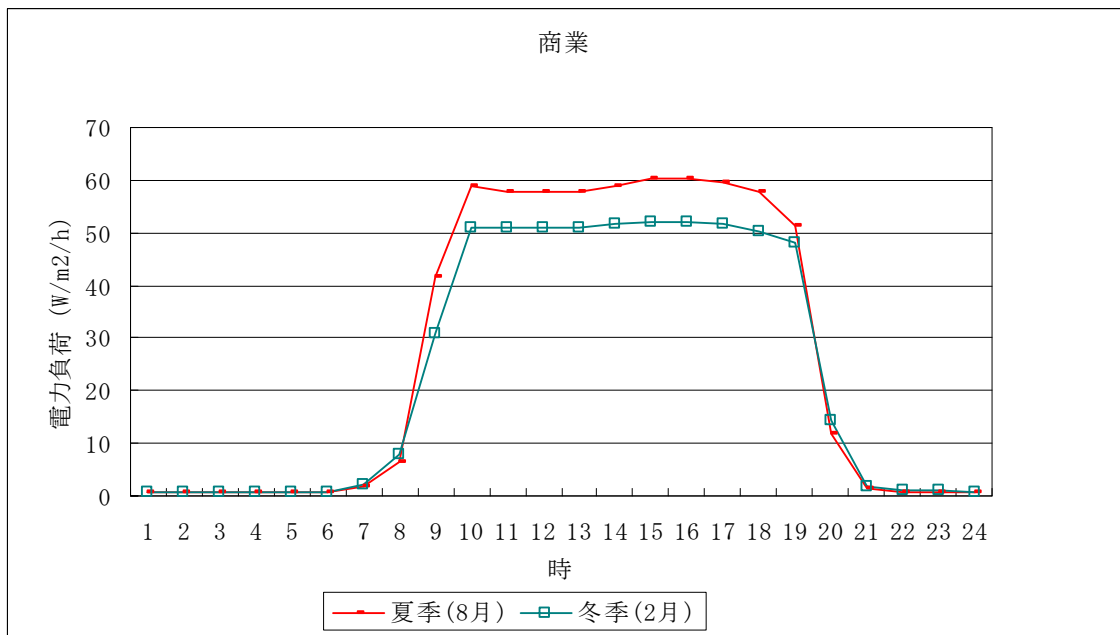


図2 夏季と冬季の内部発生顕熱の時間変動 (商業)

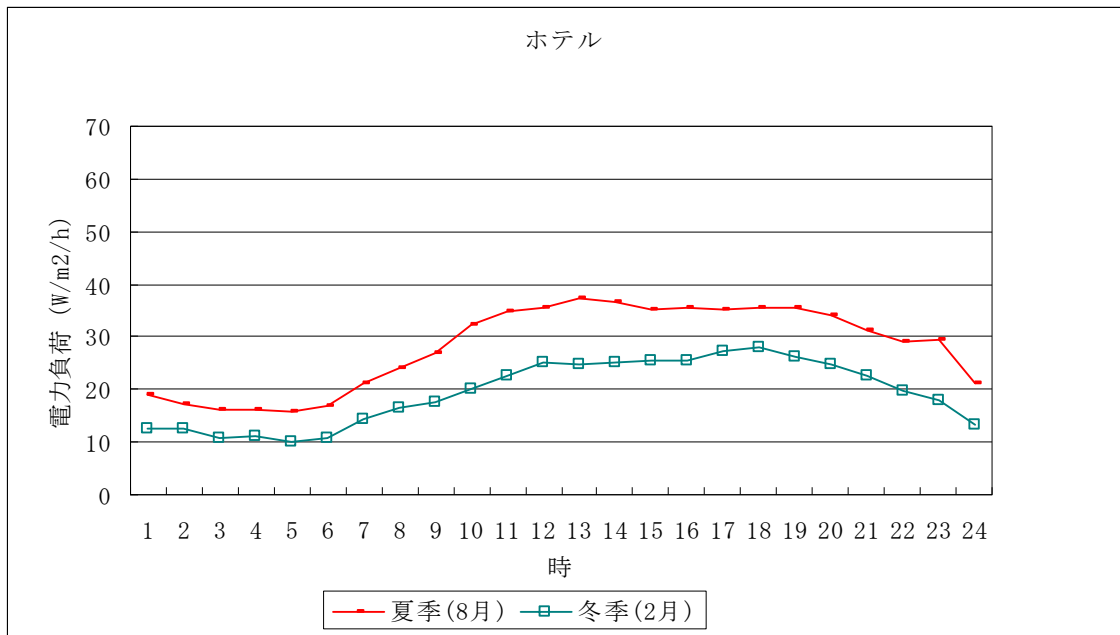


図3 夏季と冬季の内部発生顕熱の時間変動 (ホテル)

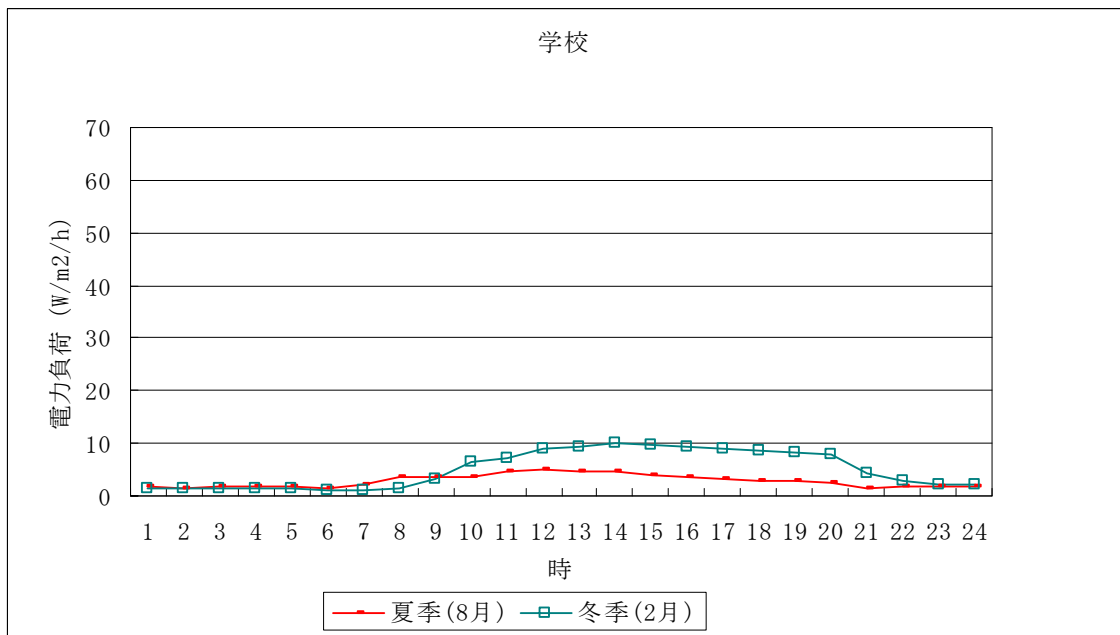


図4 夏季と冬季の内部発生顕熱の時間変動 (学校)

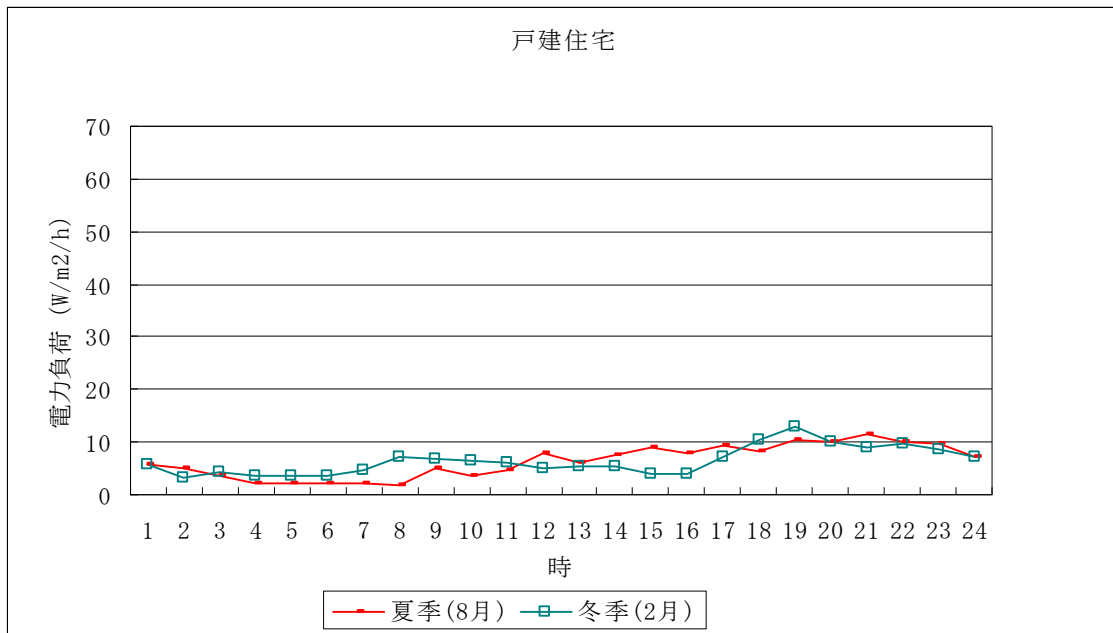


図5 夏季と冬季の内部発生顕熱の時間変動（戸建住宅）

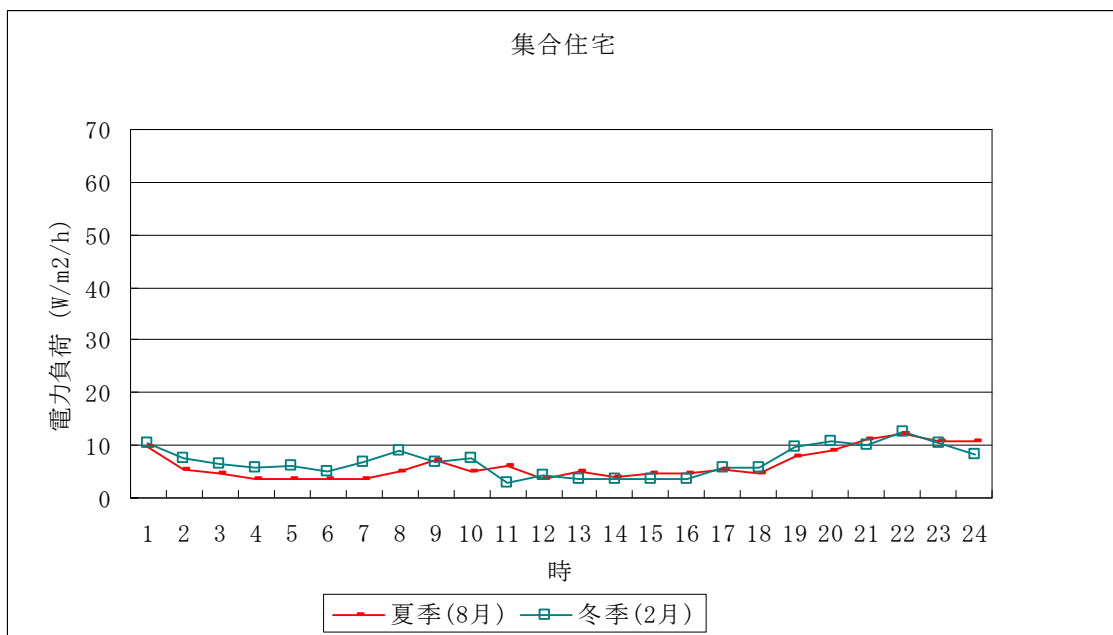


図6 夏季と冬季の内部発生顕熱の時間変動（集合住宅）

1.3.2 屋外への放熱量

屋外への放熱量は次のように評価する。

$$\text{顕熱} = \text{SHF} * (\text{室内熱負荷} + \text{室内熱負荷} / \text{COP}) - \text{換気 (顕熱)} \quad (1.3.5)$$

$$\text{潜熱} = (1 - \text{SHF}) * (\text{室内熱負荷} + \text{室内熱負荷} / \text{COP}) - \text{換気 (潜熱)} \quad (1.3.6)$$

ここで、SHFは顕熱比、COPは空調システム効率である。

放熱位置については、住宅（戸建、集合）は壁面から均一に放熱することとし、住宅以外は屋上面から集中的に放出するよう設定した。

1.3.3 空調システム効率

空調機器別の空調システム効率は、夏季については国土交通省・環境省の既往調査²⁾において用いられた値を利用し、冬季については前出の建築研究所の既往調査¹⁾における熱源機器毎に冬季の日平均気温に対する空調システム効率（COP）の値を用いた（表4）。

既往業務で作成されたプログラムは、建物毎の空調エネルギーや屋外への放熱量を算出する場合、各建物に空調システム効率を与えて平均的な評価を行う。そのため、建物毎の空調システム効率として、夏季・冬季各々の建物用途別、延床面積規模別の熱源機器の導入割合（夏季：表5～表8、冬季：表9～表12）に基づき、上記の熱源機器別の空調システム効率を按分した平均空調システム効率を与えた。なお、学校と住宅（戸建、集合）については、いずれも延床面積規模によらずそれぞれ単一の熱源機器とした（夏季：表5及び冬季：表12）。

表4 熱源機器別の空調システム効率（COP）^{1),2)}

熱源機器	夏季	冬季
直燃吸収式冷温水器	1.00	2.32
HPパッケージ	3.50	2.94
空冷電動チラー	3.00	2.62
蒸気吸収式冷凍機	0.83	1.94
ルームエアコン	3.00	2.87
ガスエンジンHP	—	1.47
水冷HPパッケージ	—	5.08
温水ボイラ	—	0.83
蒸気ボイラ	—	0.83

表5 事務所建物の空調機器導入割合（夏季）²⁾

ランク	延床面積	直燃吸収式冷温水機	HPパッケージ	空冷電動チラー	計
1	0㎡ ～ 千㎡	0.30	99.41	0.29	100
2	千㎡ ～ 2千㎡	3.98	92.15	3.86	100
3	2千㎡ ～ 5千㎡	10.97	78.95	10.09	100
4	5千㎡ ～ 10千㎡	23.57	57.16	19.27	100
5	10千㎡ ～ 20千㎡	43.27	29.34	27.39	100
6	20千㎡ ～ 40千㎡	72.56	6.09	21.35	100
7	40千㎡ ～	100.00	0.00	0.00	100

²⁾ 国土交通省・環境省：都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書（平成15年度）

表6 商業建物の空調機器導入割合（夏季）²⁾

ランク	延床面積	直焚吸収式 冷温水機	HPパッ ケージ	蒸気吸収式 冷凍機	計
1	0m ² ～ 千m ²	0.00	90.15	9.85	100
2	千m ² ～ 2千m ²	5.10	85.10	9.80	100
3	2千m ² ～ 5千m ²	16.14	74.33	9.53	100
4	5千m ² ～ 10千m ²	33.81	57.08	9.11	100
5	10千m ² ～ 20千m ²	55.70	35.63	8.67	100
6	20千m ² ～ 40千m ²	73.68	17.83	8.49	100
7	40千m ² ～	72.09	19.58	8.33	100

表7 ホテル建物の空調機器導入割合（夏季）²⁾

ランク	延床面積	直焚吸収式 冷温水機	HPパッ ケージ	蒸気吸収式 冷凍機	計
1	0m ² ～ 千m ²	65.11	34.89	0.00	100
2	千m ² ～ 2千m ²	66.08	33.92	0.00	100
3	2千m ² ～ 5千m ²	67.99	31.98	0.02	100
4	5千m ² ～ 10千m ²	70.60	27.76	1.63	100
5	10千m ² ～ 20千m ²	72.50	19.94	7.56	100
6	20千m ² ～ 40千m ²	65.98	7.63	26.39	100
7	40千m ² ～	50.65	0.00	49.35	100

表8 学校、住宅の空調機器導入割合（夏季）²⁾

用途	HPパッ ケージ	ルームエア コン
学校	100	0
戸建住宅	0	100
集合住宅	0	100

表9 事務所建物の空調機器導入割合（冬季）¹⁾

ランク	延床面積	直焚吸収式 冷温水機	空冷HPパッ ケージ	空冷電動チ ラー	温水ボイラ	計
1	0m ² ～ 千m ²	0.92	94.02	0.00	5.06	100
2	千m ² ～ 2千m ²	3.32	90.19	1.01	5.49	100
3	2千m ² ～ 5千m ²	8.57	77.78	7.71	5.94	100
4	5千m ² ～ 10千m ²	19.55	55.57	18.65	6.23	100
5	10千m ² ～ 20千m ²	38.79	27.38	28.74	5.09	100
6	20千m ² ～ 40千m ²	60.67	11.82	25.19	2.32	100
7	40千m ² ～	60.63	8.28	22.94	8.15	100

表 10 商業建物の空調機器導入割合（冬季）¹⁾

ランク	延床面積	直焚吸収式 冷温水機	ガスエンジン HP	空冷HPパッ ケージ	水冷HPパッ ケージ	計
1	0m ² ～ 千m ²	0.00	41.73	58.27	0.00	100
2	千m ² ～ 2千m ²	1.30	43.12	55.57	0.00	100
3	2千m ² ～ 5千m ²	8.24	43.75	47.66	0.35	100
4	5千m ² ～ 10千m ²	20.03	40.54	31.71	7.72	100
5	10千m ² ～ 20千m ²	34.24	32.55	17.18	16.03	100
6	20千m ² ～ 40千m ²	45.00	18.18	20.09	16.73	100
7	40千m ² ～	48.77	8.55	17.38	25.30	100

表 11 ホテル建物の空調機器導入割合（冬季）¹⁾

ランク	延床面積	直焚吸収式 冷温水機	温水ボイラ	蒸気ボイラ	空冷HPパッ ケージ	計
1	0m ² ～ 千m ²	24.91	10.35	31.73	33.01	100
2	千m ² ～ 2千m ²	30.99	10.78	27.34	30.89	100
3	2千m ² ～ 5千m ²	40.17	11.70	20.73	27.40	100
4	5千m ² ～ 10千m ²	50.16	13.55	13.66	22.64	100
5	10千m ² ～ 20千m ²	54.27	17.08	11.60	17.05	100
6	20千m ² ～ 40千m ²	42.73	21.41	27.23	8.63	100
7	40千m ² ～	39.57	10.92	48.81	0.69	100

表 12 学校、住宅の空調機器導入割合（冬季）¹⁾

用途	HPパッ ケージ	ルームエア コン
学校	100	0
戸建住宅	0	100
集合住宅	0	100

1.3.4 空調負荷計算結果の出力

毎正時における屋外への放熱量を顕熱、潜熱に分けて、建物毎のほか、流体計算格子のメッシュ単位に集計して出力する。顕熱比については、夏季は前出の国土交通省・環境省の既往調査²⁾、冬季については前出の建築研究所の既往調査¹⁾における建物用途毎、延床面積規模毎の排熱量原単位における顕熱比（表 13）を建物毎に適用した。

表 13 用途別延床面積規模別顕熱比^{1), 2)}

用途	ランク	延床面積[m ²]	顕熱比	
			夏季	冬季
事務所	1	0～1,000	0.95	0.96
	2	1,000～2,000	0.91	0.96
	3	2,000～5,000	0.85	0.97
	4	5,000～10,000	0.75	0.99
	5	10,000～20,000	0.63	0.95
	6	20,000～40,000	0.50	0.66
	7	40,000～	0.49	0.58
商業	1	0～1,000	0.80	0.99
	2	1,000～2,000	0.76	0.96
	3	2,000～5,000	0.69	0.89
	4	5,000～10,000	0.59	0.74
	5	10,000～20,000	0.47	0.38
	6	20,000～40,000	0.38	0.21
	7	40,000～	0.37	0.16
ホテル	1	0～1,000	0.47	0.61
	2	1,000～2,000	0.46	0.59
	3	2,000～5,000	0.45	0.55
	4	5,000～10,000	0.44	0.44
	5	10,000～20,000	0.41	0.11
	6	20,000～40,000	0.37	0.40
	7	40,000～	0.34	0.51
学校	—	—	1.00	0.98
戸建住宅	—	—	0.94	1.00
集合住宅	—	—	0.97	1.00
その他	—	—	0.55	0.74

1.3.5 物性値

ケーススタディにおける屋上や壁面、窓面の建材の標準構成は表 14 のとおりとし、建物の窓面積率は一律 30%とした。対策を適用する対象の建物構造と位置として、屋上緑化は RC 造建物の屋上、ソーラーパネルは RC 造及び木造建物の屋上、高反射性塗装は RC 造及び木造の屋上に実施した。

ソーラーパネルや屋上緑化による対策は、標準の屋上面の外側に表 15 に示す対策材をそれぞれ付加した。高反射性塗装については、表 14 に示す屋上の最も外側の層の反射率を 0.5 とした。

建物の各建材の熱物性値は表 16、地表面被覆の各物性値は表 17 とした。

表 14 屋上や壁面、窓面の建材の仕様と厚さ（表 1 に基づく）

構造	位置	層No (外→内)	厚さ[m]	建材
RC造	屋上	1	0.01	アスファルト
		2	0.12	コンクリート
		3	0.05	グラスウール
		4	0.01	石膏ボード
	壁面	1	0.1	コンクリート
		2	0.06	グラスウール
		3	0.01	石膏ボード
窓面	1	0.008	板ガラス	
木造	屋上	1	0.03	瓦
		2	0.01	木板
		3	0.01	アスファルト
		4	0.05	グラスウール
		5	0.01	石膏ボード
	壁面	1	0.02	プライウッド
		2	0.05	グラスウール
		3	0.01	石膏ボード
	窓面	1	0.003	板ガラス

注) 窓面積率は 30%とした

表 15 標準の屋上面の外側に追加する対策材の仕様（ソーラーパネル³⁾、屋上緑化⁴⁾）

対策材	適用構造	適用位置	層No (外→内)	厚さ[m]	建材
ソーラー パネル	RC造 木造	屋上	1	0.0032	白板強化ガラス
			2	0.0016	ポツタント(EVA)
			3	0.00035	シリコンセル
			4	0.0001	バックシート
屋上緑化	RC造	屋上	1	0.08	植栽基盤(土壌層)

³⁾ 芳村恵司：太陽光発電システムによる空調負荷軽減効果についての研究，京都精華大学紀要第 28 号

⁴⁾ (財)日本建築センター：環境改善のための屋上緑化建築技術認定基準（BSJ-CS-7 2002）

表 16 各建材の熱物性値

建材	反射率	蒸発効率		射出率	密度 [kg/m ³]	比熱 [J/(kg・K)]	熱拡散係数 [mm ² /s]	備考
		夏季	冬季					
アスファルト	0.18	0	0	0.91	2100	882	0.38	標準
コンクリート	0.18	0	0	0.96	2400	790	0.69	
グラスウール	0.18	0	0	0.96	32	840	1.34	
石膏ボード	0.18	0	0	0.96	910	1130	0.14	
瓦	0.18	0	0	0.96	2000	760	0.63	
木板	0.18	0	0	0.96	550	1300	0.21	
プライウッド	0.18	0	0	0.96	550	1300	0.21	
板ガラス	0.07	0	0	0.9	2540	770	0.40	
白板強化ガラス	0.09	0	0	0.9	2540	770	0.15	
ポツタント(EVA)	0.18	0	0	0.96	2000	1011	0.06	
シリコンセル	0.18	0	0	0.96	2000	1011	83.10	
バックシート	0.18	0	0	0.96	2000	1011	0.08	
植栽基盤(土壌層)	0.16	0.30	0.05	0.95	1800	1176	0.53	屋上緑化
アスファルト(高反射性)	0.50	0	0	0.91	2100	880	0.38	高反射性外壁
コンクリート(高反射性)	0.50	0	0	0.96	2400	790	0.69	
瓦(高反射性)	0.50	0	0	0.96	2000	760	0.63	
プライウッド(高反射性)	0.50	0	0	0.96	550	1300	0.21	

表 17 地表面の熱物性値

地表面被覆	反射率	蒸発効率		射出率	密度 [kg/m ³]	比熱 [J/(kg・K)]	熱拡散係数 [mm ² /s]
		夏季	冬季				
建物敷地	0.18	0	0	0.96	2400	882	0.72
アスファルト	0.18	0	0	0.91	2100	882	0.38
草地	0.16	0.3	0.05	0.95	1800	1176	0.53

1.3.6 室内条件

本プログラムは、室内の温度や湿度の条件を設定して空調負荷や建物から屋外への放熱を計算する。夏期及び冬期の室内条件は以下のように設定した。

気温(夏季) : 26℃、気温(冬季) : 22℃

相対湿度 : 50%、換気回数 : 0.5 回/hour、換気効率 : $\beta = 0.6$

内部発生顕熱については、建物用途毎に図 1～図 6 を用いて設定し、内部発生潜熱についてはゼロとした。

1.3.7 気象条件

図 7 に解析対象日 (夏季 : 2007/8/10、冬季 : 2008/2/19) の東京における気象条件を示す。

東京 2007年8月10日 (1時間ごとの値) 一覧

時	気圧(hPa)		降水量 (mm)	気温 (°C)	露点 温度 (°C)	蒸気圧 (hPa)	湿度 (%)	風向・風速(m/s)		日照 時間 (h)	全天 日射量 (MJ/m ²)	雪(cm)		天気	曇量	視程 (km)
	現地	海面						風速	風向			降雪	積雪			
1	1009.4	1013.5	--	28.6	22.6	27.4	70	2.7	南西			--	--			
2	1009.1	1013.2	--	28.5	22.7	27.5	71	2.0	南西			--	--			
3	1009.1	1013.2	--	28.1	22.8	27.8	73	1.2	西南西			--	--	○	0	30.0
4	1009.2	1013.3	--	27.9	22.8	27.8	74	1.4	西			--	--			
5	1009.6	1013.7	--	28.0	23.1	28.3	75	1.8	西北西	0.6	0.17	--	--	○	1	30.0
6	1009.7	1013.8	--	28.5	23.2	28.4	73	1.4	北北西	1.0	0.77	--	--			
7	1009.6	1013.7	--	29.2	22.7	27.5	68	2.7	北北西	1.0	1.45	--	--			
8	1009.3	1013.4	--	30.4	22.6	27.4	63	2.9	北北西	1.0	2.11	--	--	○	1	30.0
9	1009.4	1013.5	--	33.3	21.8	26.1	51	2.9	北北東	0.9	2.46	--	--			
10	1008.6	1012.7	--	34.2	21.6	25.3	48	3.9	東北東	0.8	2.56	--	--			
12	1008.5	1012.5	--	34.7	21.0	24.3	45	2.6	東	0.5	2.03	--	--	⊙	6	15.0
13	1007.6	1011.6	--	34.8	22.5	27.2	49	2.2	南	0.4	1.64	--	--			
14	1007.2	1011.2	--	34.7	21.4	25.5	46	3.6	南東	1.0	2.84	--	--			
15	1007.3	1011.4	--	33.9	22.3	26.3	51	6.4	東南東	0.6	1.54	--	--	⊙	2	15.0
16	1007.5	1011.6	--	33.5	22.6	27.1	53	4.8	南	1.0	1.68	--	--			
17	1007.6	1011.7	--	32.2	23.2	28.1	59	2.4	南西	1.0	0.93	--	--			
18	1008.5	1012.6	--	31.9	23.2	28.1	60	2.6	南南西	0.4	0.30	--	--	⊙	2	15.0
19	1008.9	1013.0	--	30.9	22.2	26.3	60	2.9	南西	--	0.02	--	--			
20	1009.6	1013.7	--	30.7	22.3	26.3	61	2.2	南西		0.00	--	--			
21	1009.6	1013.7	--	30.5	21.9	26.3	60	2.3	南西			--	--	⊙	3	15.0
22	1009.4	1013.5	--	30.4	21.8	26.1	60	1.7	南西			--	--			
23	1009.3	1013.4	--	30.2	21.8	26.1	61	2.4	南西			--	--			
24	1009.2	1013.3	--	30.0	21.7	26.0	61	1.1	南西			--	--			

東京 2008年2月19日 (1時間ごとの値) 一覧

時	気圧(hPa)		降水量 (mm)	気温 (°C)	露点 温度 (°C)	蒸気圧 (hPa)	湿度 (%)	風向・風速(m/s)		日照 時間 (h)	全天 日射量 (MJ/m ²)	雪(cm)		天気	曇量	視程 (km)
	現地	海面						風速	風向			降雪	積雪			
1	1022.6	1027.2	--	3.7	-8.7	3.2	40	1.7	北北西			--	--			
2	1022.9	1027.5	--	3.9	-8.8	3.2	39	1.0	北北西			--	--			
3	1022.2	1026.8	--	3.4	-8.6	3.2	41	2.0	北			--	--	⊙	3	30.0
4	1021.8	1026.4	--	2.5	-7.9	3.4	46	3.0	北北西			--	--			
5	1021.9	1026.5	--	2.4	-8.0	3.4	46	1.2	北			--	--			
6	1022.3	1026.9	--	2.2	-8.2	3.3	46	2.1	北北西		0.00	--	--	○	0+	20.0
7	1022.8	1027.4	--	1.7	-8.4	3.3	47	1.5	北	0.2	0.04	--	--			
8	1022.7	1027.3	--	2.8	-7.7	3.4	46	4.0	北北西	1.0	0.55	--	--			
9	1022.2	1026.8	--	3.6	-9.1	3.1	39	3.6	北北西	1.0	1.28	--	--	⊙	6	30.0
10	1021.8	1026.4	--	4.8	-9.4	3.0	35	2.7	北北西	1.0	1.64	--	--			
11	1020.9	1025.4	--	6.3	-8.8	3.2	33	2.1	北	1.0	2.20	--	--			
12	1019.3	1023.8	--	6.9	-7.5	3.5	35	2.3	北	0.9	2.42	--	--	⊙	8	30.0
13	1018.1	1022.6	--	7.9	-7.4	3.5	33	1.5	北	0.9	1.93	--	--			
14	1017.4	1021.9	--	7.7	-7.6	3.5	33	1.4	北東	0.9	1.64	--	--			
15	1017.2	1021.7	--	8.3	-7.4	3.5	32	1.8	北西	0.9	1.52	--	--	⊙	3	20.0
16	1016.9	1021.4	--	8.5	-8.1	3.3	30	2.0	北西	1.0	1.01	--	--			
17	1016.9	1021.4	--	8.3	-5.9	3.9	36	1.7	北北東	1.0	0.36	--	--			
18	1017.2	1021.7	--	8.2	-6.3	3.8	35	0.9	南南東	--	0.02	--	--	⊙	2	30.0
19	1017.5	1022.0	--	8.1	-6.1	3.9	36	1.6	東			--	--			
20	1018.0	1022.5	--	7.0	-0.5	5.9	59	2.5	南南東			--	--			
21	1017.8	1022.3	--	6.7	-1.0	5.7	58	2.0	南南東			--	--	○	0+	30.0
22	1017.6	1022.2	--	4.9	-1.8	5.4	62	0.7	南			--	--			
23	1017.2	1021.8	--	4.7	-1.7	5.4	63	0.8	南西			--	--			
24	1017.3	1021.8	--	5.3	-0.7	5.8	65	3.8	北西			--	--			

出典) 気象庁ホームページ (<http://www.data.ima.go.jp/obd/stats/etrn/>)

図7 東京管区気象台における 2007/8/10 および 2008/2/19 の気象条件

2. 年間空調負荷の推定方法

2.1 気象条件

年間の空調負荷計算における気象条件としては、空気調和・衛生工学会の空調設備基準委員会第2小委員会標準気象データ分科会(斉藤平蔵主査、松尾陽幹事、昭和47～48年)が提案した気象データの作成方法に基づく標準気象データを用いた。

上記の分科会で定義された3種類の標準気象データ(「代表年」、「平均年」および「極端年」)のうち、「平均年気象データ」のみが作成され、この「平均年気象データ」は、毎年の実データ「各年気象データ」より冷房および暖房の期間負荷が平年並み(平均的)になるように月ごとに選定し、継ぎ合わせた1年分(365日×24時間)のデータである。具体的な作成方法等については下記文献に詳しく述べられている。

「標準気象データと熱負荷計算プログラム LESCOM」

武田仁、稲沼實、吉澤望、磯崎恭一郎 著、井上書院

また、同文献には東京標準年における60年代～90年代の標準年気象データがCD-ROMに提供されている。本業務における計算では90年代の標準気象データを利用した。計算に利用した気象要素は次の5項目である。

- ① 乾球温度
- ② 絶対湿度
- ③ 法線面直達日射量
- ④ 水平面天空日射量
- ⑤ 風速

2.2 物性値

緑化対策を講じた場合には、蒸発効率の季節変動を考慮する必要があるが、月毎の具体的な数値に関する知見は見当たらないのが現状である。季別に夏季0.3、冬季0.05とする先例は見受けられるため、夏季、冬季についてはこれらの値を利用した。夏季、冬季以外については内挿した値を利用することも考えられるが、ここでは

夏季：5月～10月、冬季：11月～4月

として各期間で上記の0.3および0.05を使い分けた。

2.3 日陰

年間計算における日陰・日向判定は、各月の代表日として15日における日出から日没までの毎正時において行い、当該月の間はそのデータを利用して計算を行った。

2.4 空調システムの設定

2.4.1 空調システム効率

年間計算における熱源機器毎の空調システムの効率については、2.2節の物性値における季節の関係の定義と合わせ、表18の夏季(5月～10月)、冬季(11月～4月)の値を用いた。

表18 熱源機器別の空調システム効率 (COP) (再掲)

熱源機器	夏季	冬季
直燃吸収式冷温水器	1.00	2.32
HPパッケージ	3.50	2.94
空冷電動チラー	3.00	2.62
蒸気吸収式冷凍機	0.83	1.94
ルームエアコン	3.00	2.87
ガスエンジンHP	—	1.47
水冷HPパッケージ	—	5.08
温水ボイラ	—	0.83
蒸気ボイラ	—	0.83

夏季：5月～10月、冬季：11月～4月

2.4.2 室内条件

年間計算における室内条件について、室内温度は、2.2節の物性値における季節の関係の定義と合わせ、夏季(5月～10月)を26℃、冬季(11月～4月)を22℃に設定した。

一方、室内湿度については、通年で一律50%とした。

2.4.3 内部発生熱

建築研究所の既往調査¹⁾より、下図に示す建物用途別月別時刻別の電力負荷パターンから年間計算に用いる内部発生熱を設定した。

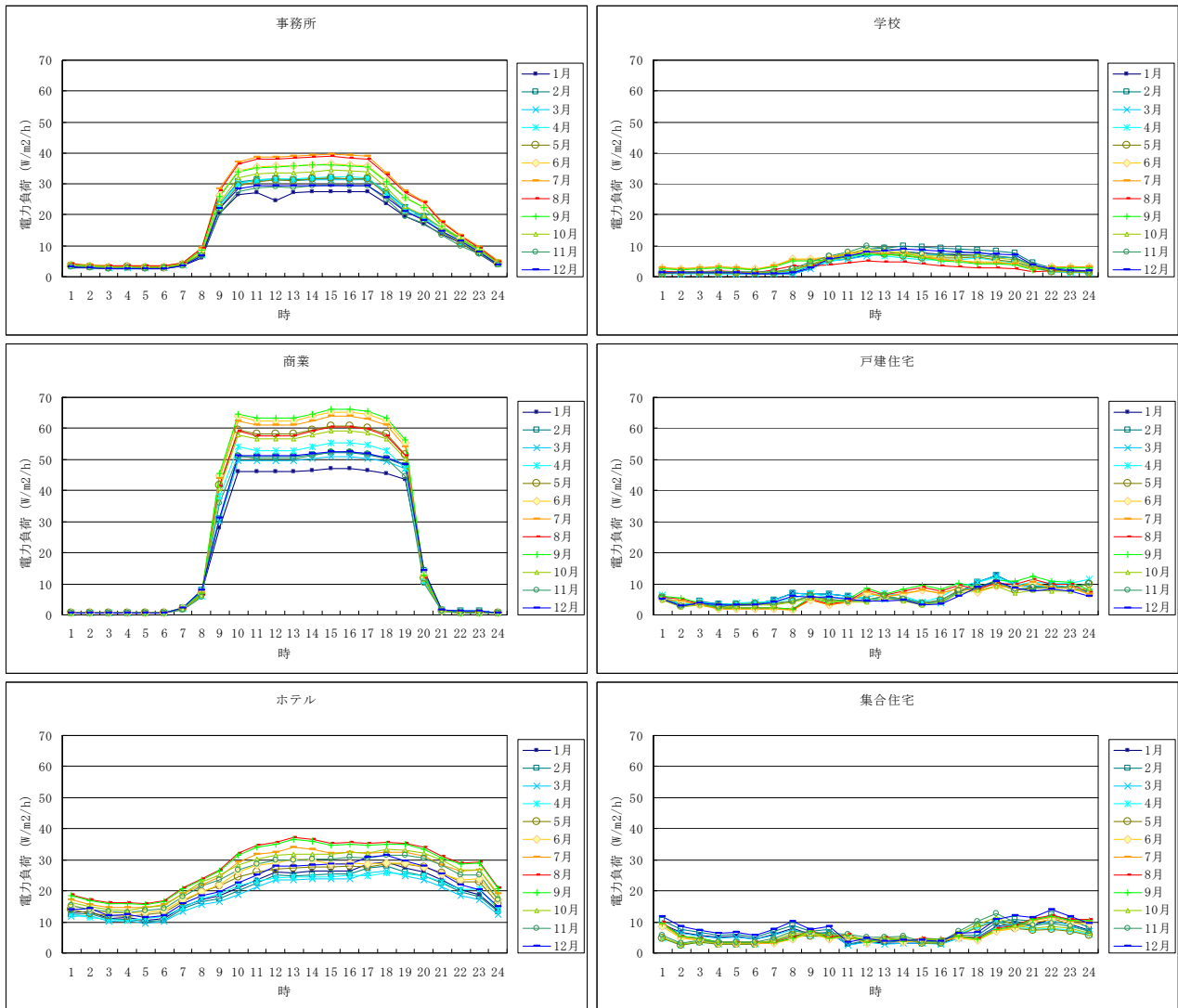


図8 用途別の月別時刻別電力負荷パターン

3. 太陽光発電量の推定方法

屋上面に設置したソーラーパネルによる夏期・冬期の昼夜間と終日及び年間における発電量は図9の流れにより推定した。推定方法の概要を以下に記す。

- ・ JIS の「太陽光発電システムの発電電力量推定方法 (JIS C 8907)」に準拠し、設計パラメータ法により、エネルギー源の日射量に各種の損失係数 (パラメータ) を乗じて発電量を推定した

- ・ パラメータ K として以下を考慮することとし、LPT は表 19 に示す月別の値を、LC=0.08、LPO=0.07 と仮定した

$$K = (1 - \text{セルの温度上昇による損失 LPT}) \times \\ (1 - \text{パワーコンディショナによる損失 LC}) \times \\ (1 - \text{配線、受光面の汚れ等の損失 LPO})$$

- ・ 発電量を推定するための日射量データとして、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) により整備、公開されている以下の①と②を用いた

① MONSOLA05(801)データ : JIS の推奨データ

- ・ 国内 801 地点・30 年 (1961~1990 年) 平均の日射量データ
- ・ 月平均の日積算水平面日射量 (全天、散乱)、日積算傾斜面日射量 (方位角、太陽高度別)

② METPV-3 データ

- ・ 国内 836 地点・14 年間 (1990~2003 年) の標準気象・日射量データ
- ・ 直散分離された毎時の平均水平面日射量 (全天、直達、散乱)

- ・ METPV-3 の時刻別平均水平面日射量 (全天、直達、散乱) を MONSOLA05(801)の月平均日積算水平面日射量 (全天、散乱) により 30 年平均相当に補正し、30 年平均相当の月平均時刻別水平面日射量 (全天、直達、散乱) を推定した

- ・ ソーラーパネルの最大の発電量が期待される設置角度として、方位は南向き、傾斜角は上記の MONSOLA05(801)における最適傾斜角の年平均値 (東京の場合 32°) と仮定した

- ・ 上記の 30 年平均相当の月平均時刻別水平面日射量 (全天、直達、散乱) とソーラーパネルの設置角度からソーラーパネル傾斜面における月平均の時刻別日射量 (直達、散乱、反射) を推定した

- ・ 月平均の時刻別日射量より発電量を予測するため、建物屋上面のソーラーパネルをメッシュ分割した「面素」毎に各月の代表日 (各月 15 日) における各時刻の日影判定を行い、上記の月平均時刻別傾斜面日射量 (直達、散乱、反射) より面素毎の時刻別有効日射量を推定した (日影時は斜面日射量の直達成分を除外)

- ・太陽電池アレイの形状によらず、太陽電池の単位モジュール面積を 1 m^2 と仮定し、面素別の太陽電池設置面積を算出した
- ・太陽電池モジュール 1 m^2 当たりの出力は、製品等により異なるが、メーカーカタログ等を参考に 150 W （モジュール変換効率 15% に相当）と仮定した
- ・以上より面素毎の月平均時刻別有効日射量、面素毎の太陽電池出力、面素毎のパラメータ K により面素毎の月平均発電量や年間発電量を推定した

表 19 月別温度損失係数

月	温度損失(-)
1	0.1
2	0.1
3	0.15
4	0.15
5	0.15
6	0.2
7	0.2
8	0.2
9	0.15
10	0.15
11	0.15
12	0.1

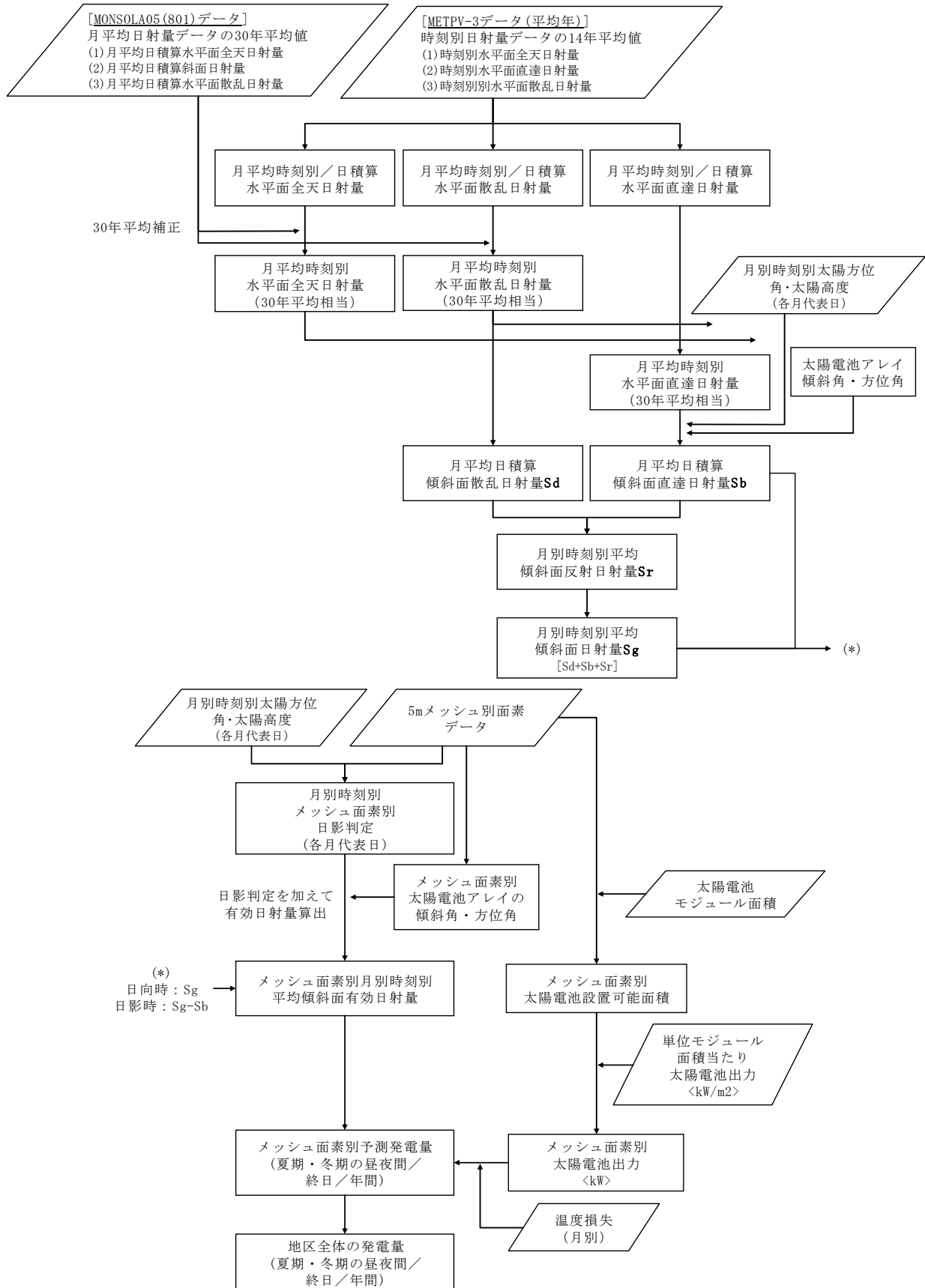


図9 太陽光発電量の推定フロー

4. CO₂削減量・固定量の推定方法

本調査においてヒートアイランド対策の導入による省CO₂効果の評価に用いるCO₂削減量及びCO₂固定量の推定方法を以下に示す。

4.1 CO₂削減量

ヒートアイランド対策の導入による建物空調エネルギーの削減によるCO₂削減量、自動車の燃料消費に伴うCO₂削減量、太陽光発電によるCO₂削減量を以下の方法で推定した。エネルギー源毎のCO₂排出係数については表20の値を用いた。

表20 CO₂排出係数

	排出係数	単位
ガソリン	0.0671	kgCO ₂ /MJ
灯油	0.0679	kgCO ₂ /MJ
軽油	0.0679	kgCO ₂ /MJ
A重油	0.0693	kgCO ₂ /MJ
C重油	0.0716	kgCO ₂ /MJ
LPG	0.0598	kgCO ₂ /MJ
都市ガス	0.0513	kgCO ₂ /MJ
電気	0.378	kgCO ₂ /kWh

4.1.1 建物空調エネルギー削減によるCO₂削減量

ヒートアイランド対策としての建物外皮対策により削減されるのは、建物のエネルギー消費のうち、暖房や冷房の空調エネルギーである。建物ごとの空調負荷や空調エネルギーの変化は、既往業務で作成したプログラムによる建物空調負荷シミュレーションの結果から把握できる。

まず、住宅の場合は、表21に示す建物用途別エネルギー源別エネルギー消費量より、表22に示す暖房、冷房の消費エネルギー量に対するエネルギー源の比率を求めた。表面温度計算プログラムにより計算された建物別の空調（冷房、暖房）エネルギー消費量にこの比率を適用してエネルギー源別のエネルギー消費量を推定し、表のCO₂排出係数をエネルギー源別のエネルギー消費量に乗じてCO₂排出量を推定した。そして、ヒートアイランド対策を導入したケースと標準ケースのCO₂排出量の差よりCO₂削減量を求めた。

表21 家庭部門世帯あたり用途別エネルギー源別エネルギー消費量（MJ/世帯/年）

	暖房	冷房	給湯	厨房	動力他	合計
電力	1424.5	666.5	889.5	189	11704	14873.5
都市ガス	2115.5	0	7816.5	2160	0	12092
LPG	91.5	0	1849.5	563.5	0	2504.5
灯油	2568	0	321	0	0	2889
石炭など	0	0	100.5	0	0	100.5
太陽熱	0	0	0	0	0	0
合計	6199.5	666.5	10977	2912.5	11704	32459.5

出典) (財)日本エネルギー経済研究所：エネルギー消費状況調査（民生部門エネルギー消費実態調査）平成20年度

表 22 住宅における暖房、冷房のエネルギー源別比率

	暖房	冷房
電力	0.23	1
都市ガス	0.34	0
LPG	0.01	0
灯油	0.41	0
合計	1	1

一方、非住宅については、表 23 の建物用途別年間 CO2 排出量原単位における右端の建物用途別単位エネルギー当たりの年間 CO2 排出量の換算原単位を用い、表面温度計算プログラムにより計算された建物用途別の空調（冷房、暖房）エネルギー消費量にこの値を適用し、表 20 の CO2 排出係数を乗じて CO2 排出量を推定した。そして、ヒートアイランド対策を導入したケースと標準ケースとの CO2 排出量の差より CO2 削減量を求めた。

表 23 建物用途別年間 CO2 排出量原単位

建物用途	資料数	一次エネルギー消費量 MJ / m ² 年	エネルギー種別の1次エネルギー構成比率 %			CO2排出量原単位 kg-CO2 /年 m ²	換算原単位 kg-CO2 /MJ
			電力	ガス	その他		
事務所 (事務所)	558	1,936	87	11	1	108.98	0.0563
学校	28	1,209	87	9	3	68.53	0.0567
物販店 (百貨店 /スーパー)	20	3,225	92	7	1	182.28	0.0565
飲食店 (百貨店)	28	2,923	89	10	1	164.57	0.0563
集会所 (事務所)	188	2,212	80	14	6	125.46	0.0567
病院 (病院)	45	2,399	67	15	18	139.15	0.0580
ホテル (ホテル)	50	2,918	66	19	15	167.47	0.0574
戸建住宅 (住宅)						36.0	
集合住宅 (住宅)						29.5	

注) (住宅以外) 建築物総合環境性能評価システム(CASBEE 新築 2008 年版)、(住宅) CASBEE すまい・戸建、及び CASBEE 新築の集合住宅運用に係る CO2 排出量原単位を引用

出典) 国土交通省都市局：低炭素都市づくりガイドライン資料編

4.1.2 自動車の燃料消費削減に伴う CO2 削減量

自動車排熱を削減した際の CO2 削減量については、対象地区ごとに推定した車種別自動車排熱量（エネルギー消費量）に表 24 に示す車種別燃料別の発熱量比率を適用して燃料別のエネルギー消費量を推定し、表 20 の CO2 排出係数を乗じて CO2 排出量を求めた。そして、自動車排熱削減を導入したケースと標準ケースとの CO2 排出量の差より CO2 削減量を求めた。

表 24 車種別燃料構成比と発熱量比率

車種	燃料	車種別燃料構成比	発熱量比率
乗用車	ガソリン	0.835	0.821
	ディーゼル	0.165	0.179
小型貨物	ガソリン	0.41	0.386
	ディーゼル	0.59	0.614
普通貨物	ガソリン	0.006	0.005
	ディーゼル	0.994	0.995
バス	ガソリン	0	0.000
	ディーゼル	1	1.000

出典) 大城、松下、並河、大西「自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数」,土木技術資料 Vol.43,No.11(2001)

4.1.3 太陽光発電導入によるCO₂削減量

太陽光発電は日光を直接電力に変換し、発電に燃料が不要なため、1 kWh 当たりの CO₂ 排出量は、表 25 に示すように、電力の温室効果ガス (CO₂) 排出原単位に比べると非常に小さい。太陽光発電の導入により、発電所で使用される燃料消費量を削減し、CO₂ 排出量を減らすことができる。太陽光発電による CO₂ 削減効果の算定には、電力需要の増減に影響を受けない原子力、水力の発電は含めず、需要に応じて発電量が調整される電源 (マージナル電源) である火力発電の CO₂ 排出原単位を用いて評価を行うことが適切とされる (中央環境審議会地球環境部会「目標達成シナリオ小委員会中間取りまとめ」)。太陽光発電による CO₂ 排出削減量は平均で約 0.66kg-CO₂ ((独)産業技術総合研究所太陽光発電工学研究センター) とされ、本調査ではその値を用いた。

表 25 現在の日本の電力の排出原単位

種類	温室効果ガス排出原単位
電力全体の平均	約360g-CO ₂ /kWh
化石燃料火力発電全体の平均(石油、石炭、天然ガスなど)	約690g-CO ₂ /kWh
太陽光発電の平均	約17~48g-CO ₂ /kWh

出典) (独)産業技術総合研究所ホームページ

4.2 CO₂固定量

都市のみどりの CO₂ 吸収源としての定量的評価対象は、気候変動枠組条約への報告などより「高木」の吸収係数が概ね整っているため、主として「高木」の炭素固定による CO₂ の固定・吸収とされている。CO₂ 固定量は、活動量 (樹木本数又は面積等) に吸収係数を乗じて推計し、活動量は評価に必要な高木本数、または緑化面積を把握する。

本調査において対策効果の原単位の作成のために検討するヒートアイランド対策のうち、CO₂ の固定・吸収に関連した対策は街路樹 (樹木) 緑化のみである。

国土交通省の低炭素都市づくりガイドラインにおいては、高木本数が把握可能な場合は表 26 の上段の吸収係数に本数を乗じ、高木本数が把握できない場合は、表 27 の吸収係数と推計式を用い、高木本

数や樹種の把握が困難な場合には、緑化面積により低炭素効果の定量的評価を行う方法がまとめられている。

表 26 CO2 の固定・吸収量の吸収係数と推計式の選択(1)

条件	吸収係数と推計式
対象とする都市のみどりの高木本数が把握できる場合	0.0356t-CO2/本・年(北海道)×「本数」(本) 0.0334t-CO2/本・年(北海道以外)×「本数」(本)注)
対象とする都市のみどりの高木本数が把握できない場合	表CO2の固定・吸収量の吸収係数と推計式の選択(2)へ

注)京都議定書目標達成計画全部改定(H20)の参考資料2『都市緑化等の推進』P112の「地上バイオマス」「地下バイオマス」の算定方法のデータを
北海道:0.0097t-C/本×44/12=0.0356t-CO2/本 北海道以外:0.0091t-C/本×44/12=0.0334t-CO2/本

表 27 CO2 の固定・吸収量の吸収係数と推計式の選択(2)

都市のみどりの形態	条件	吸収係数と推計式
樹林地状の様相を呈した都市のみどり	全域で間伐更新や補植などの管理が行われていない場合	1.54t-CO2/ha・年×「区域面積」(ha)注1)
	全域で間伐更新や補植などの管理が行われている場合	4.95t-CO2/ha・年×「管理実施面積(=区域面積)」(ha)注2)
	間伐更新や補植などの管理が部分的に行われている場合	1.54t-CO2/ha・年×「区域面積-適正管理面積」(ha)+4.95t-CO2/ha・年×「管理実施面積」(ha)
	新規樹林地	14.71t-CO2/ha・年×「区域面積」(ha)注3)
都市公園など	単位緑化面積当たり200本/ha以上のみどりの場合	9.78t-CO2/ha・年×「緑化面積」(ha)注4)
	単位緑化面積当たり200本/ha未満のみどりの場合	実本数を把握し、推計する。

注1)京都議定書目標達成計画全部改定(H20)の参考資料2『森林吸収源対策』P110の天然生林のデータを使用 0.42t-C/ha×44/12=1.54t-CO2/ha

注2)京都議定書目標達成計画全部改定(H20)の参考資料2『森林吸収源対策』P110の育成林のデータを使用 1.35t-C/ha×44/12=4.95t-CO2/ha

注3)京都議定書3条3及び4の下でのLULUCF活動の補足情報に関する報告書(2008.5)のP21のAR吸収量データとP50のAR活動量データを使用
391.95Gg-CO2÷27.5kha=14.25t-CO2/ha

注4)京都議定書3条3及び4の下でのLULUCF活動の補足情報に関する報告書(2008.5)のP45のRV吸収量データとP50のRV活動量データを使用
670.70Gg-CO2÷(71,981-5203)ha=10.04t-CO2/ha

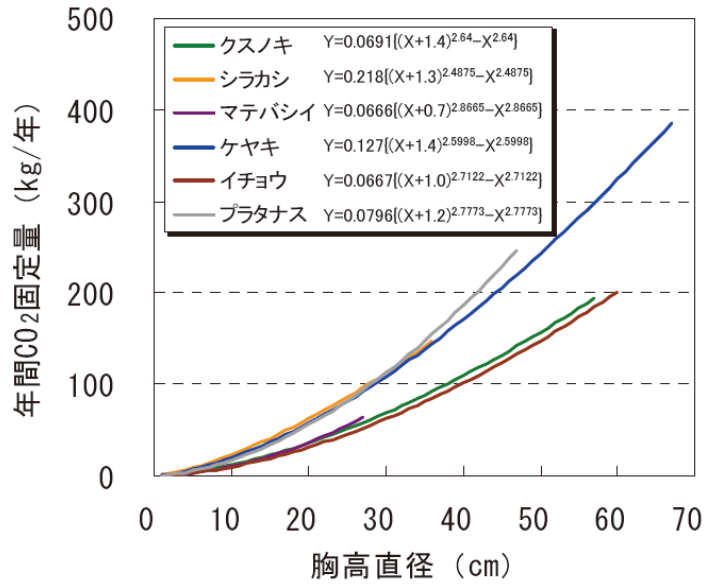
出典) 国土交通省都市局:低炭素都市づくりガイドライン資料編

一方、国土技術政策総合研究所においては、図 10 に示すように都市緑化に多く使われている代表樹種毎の樹木 1 本あたりの年間 CO2 固定量を算出する予測式を開発しており、以下に示す全樹種を統合した年間 CO2 固定量算定式も作成している。

なお、これらの予測式における CO2 固定量の算定対象は、木質化することで長期間固定が継続する幹・枝・根からなる木質部とし、葉は算定対象から除外されている。

$$Y = 0.111 \left\{ (X + 1.1)^{2.6173} - X^{2.6173} \right\}$$

Y : 年間 CO2 固定量 (kg) , X : 胸高直径 (cm)



原典注) 調査木は関東地方の圃場等に植栽されていた生育良好な樹木であり、調査本数は各樹種 5 本～8 本である

出典) 我が国における都市緑化用樹木の CO2 固定量予測式の開発 (国総研アニュアルレポート 2009)

図 10 樹木 1 本あたりの CO2 固定量予測式

CO2 固定量の推計値の信頼性を高めるためには本数ベースの吸収係数を用いることが望ましいとされているため、本調査においては国土技術政策総合研究所による樹木 1 本あたりの CO2 固定量予測式を用いた。