

空調設計熱負荷計算プログラム DLC の解説

DLC (Design Load Calculation) は建築設備設計基準¹⁾ に準拠した空調設計熱負荷計算プログラムである。DLC の特徴は、気象データとして、世界の気象データ作成プログラム WEADAC が出力する世界 3700 地点余の気象データと、拡張アメダス気象データ (EA 気象データ) から作成された国内約 840 地点の設計用気象データが使用できる点である^{注1)、注2)}。

建築設備設計基準の熱負荷計算法は空調設備設計に用いる最大負荷を求めることを目的としており、冷房負荷は夏季の暑い日を対象とした非定常計算、暖房負荷は冬季の寒い条件での定常計算を行っている。冷房負荷の計算結果は日中の複数の時刻 (9 時, 12 時, 14 時, 16 時, 18 時等) について算出されるが、暖房負荷に関しては時刻別ではなく最大負荷のみが算出される^{注3)}。

I 冷房負荷計算

冷房負荷は、下記の要因を考慮して計算する。

1. 建物外皮 (外壁, 屋根, 窓ガラス, 外気に面するドア) からの通過熱負荷
2. 内壁 (間仕切り, 室内ドア, 床, 天井) からの通過熱負荷
3. 窓の日射熱負荷
4. 室内発熱 (照明による発熱, 人体からの発熱, 室内機器類からの発熱) による負荷
5. すきま風による負荷
6. ダクト負荷, 送風機負荷, 間欠運転負荷
7. 換気による負荷

計算対象とする室について上記の各要因による冷房負荷を求め、それらを集計することにより室全体の冷房負荷を求めることができる。以下に、それぞれの負荷の計算法を示す。

なお、冷房負荷、暖房負荷に関する記号は以下を用いる。

CS : 冷房顕熱負荷 [W], CL : 冷房潜熱負荷 [W], CT : 冷房全熱負荷 [W]

注1) DLC には国内約 840 地点の設計用気象データが組み込まれている。しかし、世界の気象データは別途 WEADAC で計算し、拡張子 wdc のファイルをユーザ・コンピュータに置いておく必要がある。

注2) WEADAC と EA の設計用気象データに同じ国内地点のデータが含まれていることがあるが、両気象データで設計熱負荷を計算すると WEADAC の熱負荷の方が大きくなることが多い。これはソースデータの違いにもよるが危険率 (TAC%) の定義の違いにもよる。また、WEADAC は冷房設計用気象データとして、気温、湿度、日射量とも苛酷なデータを作成するので、TAC 値を大きめに設定するか、あるいは、負荷総計だけでなく、負荷要因、発生部位、発生時刻にも注意して空調設備設計に使用するとよい。

注3) 冷房負荷は、日射熱の影響を受けて時刻と方位による違いが大きく、室の方位によってその最大負荷が発生する時刻が異なることが多い。そのため、非定常伝熱を考慮して複数の時刻の冷房負荷を算出し、それらの中の最大負荷を冷房設備設計に用いている。

一方、設計用暖房負荷計算では日射熱の影響を考慮しないため、負荷の時間変動が小さい。また暖房負荷の最大値は、殆どの場合、室内外の温度差が大きく構造体の温度が低下している朝の暖房開始時に発生する。そのため、暖房設備設計には、定常計算により求めた朝 9 時 (始業時) の暖房負荷を用いている。

1. 建物外皮の通過熱負荷（顕熱負荷）

(1) 外壁，屋根からの通過熱負荷

式(1)によって計算する。

$$CS_{ot}(h) = A_o \cdot K_o \cdot ETD(h) \quad \dots (1)$$

ここに，

$CS_{ot}(h)$: h 時の外壁または屋根からの通過熱負荷 [W]

A_o : 外壁または屋根の面積 [m²]

K_o : 外壁または屋根の熱通過率 [W/(m²K)]

$ETD(h)$: h 時の実効温度差 [°C]

熱通過率 K_o は次式により求める。

$$K_o = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_r} + \sum_i \frac{l_i}{\lambda_i} + \sum_j r_{aj} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad \dots (2)$$

ここに，

α_r, α_e : 室内側，外気側の表面熱伝達率 [W/(m²K)]

λ_i : 構造体を構成する i 材料の熱伝導率 [W/(mK)]

l_i : 構造体を構成する i 材料の厚さ [m]

r_{aj} : 構造体に含まれる第 j 空気層の熱抵抗 [m²K/W]

熱貫流率は，構造体の断面構造がわかれば計算することができる。典型的な断面構造について熱貫流率を計算して整理した一覧表を表 2 (a)，表 2 (b)，表 2 (c) に示す。表 2 において，外壁の表面熱伝達率 α_r, α_e ，建築材料の熱伝導率 λ_i ，空気層の熱抵抗 r_{aj} は表 1 の値を用いている^{1), 2)}。

実効温度差 $ETD(h)$ は非定常熱伝導を考慮し，6 タイプに分類された外壁，屋根の代表断面²⁾と，計算対象地点の相当外気温度から，あらかじめ計算する。外壁，屋根のタイプ分類も表 2(a)，(b) に掲載している。外壁のタイプ¹⁾ は表 2 (a) から選択すればよい。屋根のタイプは表 2 (b) のようにタイプ 6 である。ユーザーは，1～6 のタイプの中から当該外壁，屋根の $ETD(h)$ を選び，選んだ $ETD(h)$ に当該外壁・屋根の熱通過率を乗じることにより，その外壁・屋根の非定常熱通過量を求めることができる。DLC では $ETD(h)$ を非定常後退差分法によって求めている。 $ETD(h)$ の計算法はこの解説の末尾の【参考資料 1】を参照のこと。

表 1 表 2 の熱通過率の計算に用いた建築材料の熱伝導率，表面熱伝達率，空気層の熱抵抗

熱伝達率	[W/m ² K]	室内側	9 外気側	23	
空気層の熱抵抗	[m ² K/W]	密閉	0.15 半密閉	0.07	
材料の熱伝導率	[W/mK]	普通コンクリート	1.4	モルタル	1.5
		気泡コンクリート	0.17	合板	0.19
		スチレン発泡板	0.037	床用プラスチックタイル	0.19
		グラスウール	0.04	鋼板	45
		ロックウール吹付	0.051	アルミ板	210
		岩綿吸音板	0.064	石こう板	0.17
		アスファルト	0.11	土壌	1.5

表 2 (a) 外壁の熱通過率とタイプ分類 (屋根・外気に面するドア・土間床・地下壁を除く)

外壁番号	壁工法	壁断面図	断面構成	外壁のタイプ区分と厚さ (mm) 別の熱通過率 (W/m ² K)																	
				壁タイプ1			壁タイプ2			壁タイプ3			壁タイプ4			壁タイプ5		壁タイプ6			
1	単層壁 (普通コンクリート)		① 普通コンクリート厚 dmm	d=10	20	30	d=60	100	140	d=160	190	230	d=300	450	600	(該当なし)					
				6.18	5.92	5.68	5.06	4.42	3.93	3.72	3.44	3.14	2.71	2.1	1.71						
2	単層壁 (気泡コンクリート)		① 気泡コンクリート厚 d mm	d=10	20	30	d=50	90	130	d=140	170	210	d=250	400	550	(該当なし)					
				4.69	3.67	3.02	2.23	1.46	1.09	1.02	0.87	0.72	0.62	0.4	0.29						
3	内断熱工法		① 普通コンクリート厚 dmm ② スチレン発泡板 Lmm ③ 石こう板 12mm	(該当なし)			L=25			L=25			L=25			(該当なし)					
							d=40	70	100	d=130	160	190	d=250	350	500						
							1.08	1.05	1.03	1.01	0.99	0.96	0.93	0.87	0.79						
							L=50			L=50			L=50								
							d=30	60	90	d=120	150	180	d=250	350	500						
							0.63	0.62	0.61	0.6	0.59	0.58	0.57	0.55	0.52						
L=100			L=100			L=100															
d=20	50	80	d=110	140	170	d=250	350	500													
0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	0.32	0.31	0.3													
4	内断熱工法 (吸音材有)		① 普通コンクリート厚 dmm ② スチレン発泡板 厚Lmm ③ 空気層 半密閉 ④ 岩綿吸音板 12mm ⑤ 石こう板 9mm	(該当なし)			L=0			L=0			L=0			(該当なし)					
							d=40	70	100	d=130	160	200	d=250	350	500						
							2.03	1.94	1.86	1.79	1.73	1.65	1.55	1.4	1.22						
							L=25			L=25			L=25								
							d=30	60	90	d=120	150	190	d=250	350	500						
							0.86	0.84	0.83	0.82	0.8	0.78	0.76	0.72	0.67						
L=50			L=50			L=50															
d=20	50	80	d=110	140	180	d=250	350	500													
0.55	0.54	0.53	0.53	0.52	0.51	0.5	0.48	0.46													
5	カーテンウォール (鋼板)		① 鋼板 1.5mm ② ロックウール吹付厚 Lmm	L=10	20	30	L=40	50	60	L=70	80	90	L=100	150	200	(該当なし)					
				2.85	1.83	1.35	1.07	0.88	0.75	0.65	0.58	0.52	0.47	0.32	0.25						
6	カーテンウォール (アルミ)		① アルミ板 3.0mm ② 空気層 半密閉 ③ ロックウール吹付厚 Lmm ④ 石こう板 12mm	L=10	15	20	L=30	40	50	L=60	70	80	L=100	150	200	(該当なし)					
				2.04	1.7	1.45	1.13	0.93	0.78	0.68	0.6	0.54	0.44	0.31	0.24						
7	外断熱・通気層工法		① アルミ板 3.0mm ② 空気層 半密閉 ③ グラスウール 75mm ④ 普通コンクリート 厚dmm	(該当なし)												d=60	100	140	d=200	300	400
0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43																
8	外断熱・密着工法		① アルミ板 3.0mm ② スチレン発泡板 Lmm ③ 普通コンクリート厚 dmm	(該当なし)												L=25			L=25		
																d=60	100	140	d=200	300	400
																1.15	1.11	1.07	1.03	0.96	0.9
L=50			L=50			L=50															
d=60	100	140	d=200	300	400																
0.65	0.63	0.62	0.61	0.58	0.56																
9	外断熱・密着工法 (吸音板有)		① アルミ板 3.0mm ② スチレン発泡板 Lmm ③ 普通コンクリート厚 dmm ④ 空気層 半密閉 ⑤ 石こう板 9mm ⑥ 石綿吸音板 12mm	(該当なし)												L=25			L=25		
																d=40	60	80	d=150	250	350
																0.86	0.84	0.83	0.8	0.76	0.72
L=50			L=50			L=50															
d=20	40	60	d=100	200	300																
0.55	0.54	0.54	0.53	0.51	0.49																

注 1) 壁タイプ I~III の上限厚は、各タイプの 3 通りの厚さ区分のうち、3 番目の区分の厚さに等しい。壁タイプ V の上限厚も同様に、3 通りの厚さ区分のうち、3 番目の区分の厚さに等しい。

表 2 (b) 屋根・接地床・壁・外気に面するドアの熱通過率

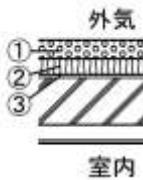

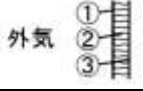
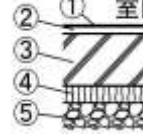
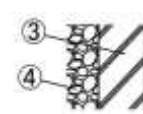




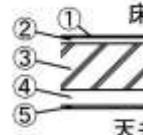

番号	壁仕様	壁断面図	断面構成	厚さ(mm)別 熱通過率 (W/m ² K)		
				L=0	50	100
1	屋根 (外壁タイプ分類: IV相当)		①気泡コンクリート60mm ②発泡スチレン 厚 Lmm ③アスファルト 10mm ④コンクリート 150mm ⑤半密閉空気層 ⑥石こうボード 10mm	L=0	50	100
				1.2	0.46	0.28
				L=150	200	250
2	外気に面するドア (合板)		①合板 12mm ②グラスウール 厚 Lmm ③合板 12mm	L=0	25	50
				3.56	1.1	0.65
3	外気に面するドア (鋼板)		①鋼板 厚1mm ②グラスウール 厚 Lmm ③鋼板 厚1mm	L=0	25	50
				6.47	1.28	0.71
4	接地床		①フローリング 5mm ②モルタル 20mm ③普通コンクリート 150mm ④発泡スチレン 厚 Lmm ⑤地盤 (土壌) 1000mm	L=0	50	100
				1.08	0.44	0.28
5	接地壁		①石こう板 10mm ②発泡スチレン 厚Lmm ③普通コンクリート 厚 150mm ④地盤 (土壌) 1000mm	L=0	50	100
				1.06	0.44	0.27

表 2 (c) 内壁・床・屋内ドアの熱通過率

内壁 番号	壁工法	壁断面図	断面構成	厚さ(mm)別 熱通過率 (W/m ² K)		
				d=100	150	200
1	普通コンクリート (耐力壁)		①普通コンクリート厚 dmm	d=100	150	200
				3.41	3.04	2.74
2	普通コンクリート (耐力壁) + 石こう板仕上げ		①石こう板 10mm ②空気層 (半密閉) ③普通コンクリート 厚 dmm ④空気層 (半密閉) ⑤石こう板 10mm	d=100	150	200
				0.62	0.61	0.59
3	気泡コンクリート		①気泡コンクリート 厚 dmm	d=50	100	150
				1.94	1.23	0.91
4	石こう板間仕切り (耐火間仕切りを含む)		①石こう板 10mm ②空気層 半密閉 ③ロックウール Lmm ④石こう板 10mm	L=0	25	50
				2.44	1.11	0.72
5	普通コンクリート床・天井		①フローリング 5mm ②モルタル 20mm ③普通コンクリート厚 dmm ④空気層 (半密閉) ⑤石こう板 10mm	d=100	150	200
				2.48	2.28	2.11
6	屋内ドア		①合板 4mm ②密閉空気層 ③岩綿吸音板 厚 Lmm ④合板 4mm	L=0	15	30
				2.41	1.54	1.13

(2) 窓ガラス, 外気に面するドアからの通過熱負荷

$$CS_{wt}(h) = A_w \cdot K_w \cdot \{\theta_e(h) - \theta_r\} \quad \dots \quad (3)$$

$$CS_{dt}(h) = A_d \cdot K_d \cdot \{\theta_e(h) - \theta_r\} \quad \dots \quad (4)$$

ここに,

$CS_{wt}(h)$: h 時の窓ガラスの通過熱負荷 [W]

$CS_{dt}(h)$: h 時の外気に面するドアの通過熱負荷 [W]

A_w : 窓の面積 [m²]

A_d : 外気に面するドアの面積 [m²]

K_w : 窓ガラスの熱通過率 [W/m²K]

K_d : 外気に面するドアの熱通過率 [W/m²K]

$\theta_e(h)$: h 時の外気温度 [°C]

θ_r : 冷房時の設計室温 [°C]

窓ガラスの熱通過率 K_w は表 3³⁾ を参照のこと。外気に面するドアの熱通過率 K_d の計算式は、式(2)と同じである。

2. 内壁 (間仕切り, 室内ドア, 床, 天井) からの通過熱負荷 (顕熱負荷)

$$CS_{pt}(h) = A_p \cdot K_p \cdot \Delta\theta(h) \quad \dots \quad (5)$$

ここに,

$CS_{pt}(h)$: h 時の内壁からの通過熱負荷

A_p : 内壁の面積

K_p : 内壁の熱通過率

$\Delta\theta(h)$: h 時の計算対象室と内壁が面する隣室の温度差

K_p の計算は式(6)による。

$$K_p = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_r} + \sum i \frac{1}{\lambda_i} + \sum i \gamma_a + \frac{1}{\alpha_r}} \quad \dots \quad (6)$$

式(2)に対して、式(6)では、壁の両側とも、表面熱伝達率に室内側の値を用いている。

式(5)の $\Delta\theta(h)$ は隣室の温度条件を考慮して次のように計算する¹⁾。

① 内壁が非冷房室や廊下等と接する場合

$$\Delta\theta(h) = f_p \cdot \{\theta_e(h) - \theta_r\} \quad \dots \quad (7)$$

f_p は非空調隣室温度差係数であり表 4 による²⁾。

② 内壁が厨房等熱源のある室と接する場合

$$\Delta\theta(h) = \theta_e(h) - \theta_r + 2 \quad \dots \quad (8)$$

③ 内壁が冷房温度差のある冷房室と接する場合

$$\Delta\theta = \theta_{pr} - \theta_r \quad \dots \quad (9)$$

ここに,

θ_{pr} : 空調温度差がある冷房室または暖房室の室温 [°C]

表3 窓ガラスのしゃへい係数と熱通過率

ガラスの種類	ガラスの種類	遮へい係数			熱通過率	
		ブラインドなし	明色ブラインド	中間色ブラインド	ガラス	ガラス+ブラインド
単層ガラス	透明ガラス 3mm	1.00	0.54	0.66	6.5	5.1
	透明ガラス 5mm	0.97	0.54	0.63	6.4	5.0
	透明ガラス 6mm	0.96	0.53	0.63	6.3	5.0
	透明ガラス 8mm	0.93	0.52	0.62	6.2	4.9
	透明ガラス 10mm	0.90	0.50	0.60	6.0	4.8
	透明ガラス 12mm	0.89	0.50	0.59	5.9	4.8
	熱線吸収ガラス 3mm	0.93	0.52	0.61	6.5	5.1
	熱線吸収ガラス 5mm	0.86	0.49	0.56	6.4	5.0
	熱線吸収ガラス 6mm	0.83	0.48	0.55	6.3	5.0
	熱線吸収ガラス 8mm	0.77	0.46	0.52	6.2	4.9
	熱線吸収ガラス 10mm	0.72	0.43	0.48	6.0	4.8
	熱線吸収ガラス 12mm	0.68	0.41	0.45	5.9	4.8
	透明膜熱線反射ガラス 8mm	0.74	0.48	0.55	6.2	4.9
	発色膜熱線反射ガラス 8mm	0.65	0.44	0.49	6.2	4.9
	熱吸収線反射ガラス 8mm	0.58	0.38	0.42	6.2	4.9
複層ガラス	透明ガラス3mm+透明ガラス3mm	0.89	0.54	0.63	3.5	3.0
	透明ガラス5mm+透明ガラス5mm	0.85	0.52	0.60	3.5	3.0
	透明ガラス6mm+透明ガラス6mm	0.83	0.52	0.59	3.4	3.0
	透明ガラス8mm+透明ガラス8mm	0.79	0.50	0.57	3.4	2.9
	熱線吸収ガラス3mm+透明ガラス3mm	0.81	0.48	0.56	3.5	3.0
	熱線吸収ガラス5mm+透明ガラス5mm	0.72	0.45	0.51	3.5	3.0
	熱線吸収ガラス6mm+透明ガラス6mm	0.69	0.43	0.49	3.4	3.0
	熱線吸収ガラス8mm+透明ガラス8mm	0.62	0.39	0.44	3.4	2.9
	発色膜熱線反射ガラス6mm+透明ガラス8mm	0.56	0.40	0.44	3.4	3.0
	高断熱複層ガラス	透明ガラス6mm(外側)+低放射ガラス(Low-εガラス)6mm(内側)	0.60	0.46	0.49	2.6
高遮熱断熱複層ガラス	低放射ガラス(Low-εガラス)6mm(外側)+透明ガラス6mm(内側)	0.51	0.34	0.39	2.6	2.2

備考(1) 複層ガラス、高断熱複層ガラス、高遮熱複層ガラスの空気層の厚さは、すべて6mmである。

備考(2) 単層ガラス、複層ガラスの値は、空調調和・衛生工学会 熱負荷計算小委員会「設計用最大負荷」による。

(一般社団法人公共建築協会 建築設備設計基準2017年版による)

表4 非空調隣室温度差係数

非空調室の種別		f_p	
事務室	非空調	0.4	
	廊下	廊下一部還気方式	0.3
		廊下還気方式	0.1
	便所	還気による換気	0.4
		外気による換気	0.8
	倉庫ほか	0.3	

3. 窓の日射熱負荷（顕熱負荷）

$$CS_{ws}(h) = A_w \cdot \{I_{gd}(h) \cdot SG + I_{gs}(h) + I_{gg}(h)\} \cdot SC \quad \dots (10)$$

ここに、

- $CS_{ws}(h)$: h 時の窓ガラスの日射熱負荷 [W]
- $I_{gd}(h)$: 庇, 袖壁がないとき h 時に窓面に入射する直達日射 [W/m²]
- $I_{gs}(h)$: 庇, 袖壁がないとき h 時に窓面に入射する天空日射 [W/m²]
- $I_{gg}(h)$: 地物反射日射 [W/m²]
- SC : しゃへい係数 [-] (0~1) (表 3 参照)
- SG : ガラス面日照面積率 (0~1) [-]

ガラス面日照面積率 SG とは、直達日射が当たる窓の面積が窓面積全体に占める比率であり、図 1 の窓において、以下のように計算する。

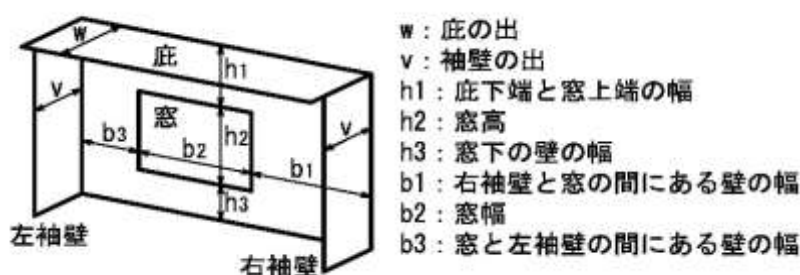


図 1 窓と庇・袖壁の位置関係（寸法の単位はm）

図 1 において、太陽方位角を s_z , 当該窓のある壁面の方位角を w_z とする。

(1) $\cos(s_z - w_z) \leq 0$ のとき、

この窓に直達日射は当たらない。したがって、

$$SG = 0 \quad \dots (11)$$

(2) $\cos(s_z - w_z) > 0$ のとき、

まず、庇と袖壁によって当該窓のある壁面にできる影の幅を求める。

庇によって生じる影の幅 l_1 [m] は

$$l_1 = w \cdot \tan(s_h) / \cos(s_z - w_z) \quad \dots (12)$$

式(12)の s_h は太陽高度である。

袖壁によってできる影の幅 l_2 [m] は、

$$l_2 = v \cdot \tan(s_z - w_z) \quad \dots (13)$$

(2. 1) $l_2 \leq 0$ のとき、

このときは図 1 の b_1 側に影ができる。

① $l_1 \geq (h_1 + h_2)$, または、 $|l_2| \geq (b_1 + b_2)$ では、庇, 袖壁の影は窓全体にかかるので、

$$SG = 0 \quad \dots (14)$$

以下の②~④では、窓の一部に、庇, 袖壁の影がかかる。

$$\begin{aligned} \textcircled{2} \quad & (h_1 + h_2) > l_1 \geq h_1, \text{ かつ, } (b_1 + b_2) > |l_2| \geq b_1 \text{ では,} \\ & SG = \{(l_1 - h_1) \cdot b_2 + (|l_2| - b_1) \cdot h_2 - (l_1 - h_1)(|l_2| - b_1)\} / (h_2 \cdot b_2) \quad \dots \quad (15) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{3} \quad & (h_1 + h_2) > l_1 \geq h_1, \text{ かつ, } |l_2| < b_1 \text{ では,} \\ & SG = (l_1 - h_1) / h_2 \quad \dots \quad (16) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{4} \quad & l_1 < h_1 \text{ かつ, } (b_1 + b_2) > |l_2| \geq b_1 \text{ では,} \\ & SG = (|l_2| - b_1) / b_2 \quad \dots \quad (17) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{5} \quad & l_1 < h_1 \text{ かつ, } |l_2| < b_1 \text{ では, 窓に庇, 袖壁の影が全くかからないので,} \\ & SG = 1.0 \quad \dots \quad (18) \end{aligned}$$

(2. 2) $l_2 > 0$ のとき,

このときは, (2. 1) とは逆に図 1 の b_3 側に影ができる。この場合は, ①～⑤の区分と SG の計算式(15)～(17)において, $|l_2|$ の代わりに l_2 , b_1 の代わりに b_3 とおけばよい。

4. 室内発熱による負荷

(1) 照明発熱による負荷 (顕熱負荷)

$$CS_l = A_r \cdot WS_l \quad \dots \quad (19)$$

ここに,

CS_l : 照明発熱による負荷[W]

A_r : 室の面積 [m²]

WS_l : 室面積 1m² 当たりの照明器具による消費電力[W/m²] (表 5 (1))

(2) 人体発熱による顕熱負荷・潜熱負荷

$$CS_p = n_p \cdot A_r \cdot WS_p \quad \dots \quad (20)$$

$$CL_p = n_p \cdot A_r \cdot WL_p \quad \dots \quad (21)$$

ここに,

CS_p : 人体による顕熱負荷[W]

n_p : 室面積 1m² 当たりの人員数 (人員密度) [人/m²] (表 5 (2))

WS_p : 1 人当たりの顕熱発熱量[W/人] (表 5 (2))

CL_p : 人体による潜熱負荷[W]

WL_p : 1 人当たり潜熱発熱量[W/人] (表 5 (2))

(3) 室内機器類の発熱による顕熱負荷・潜熱負荷

$$CS_m = A_r \cdot WS_m \quad \dots \quad (22)$$

$$CL_m = A_r \cdot WL_m \quad \dots \quad (23)$$

ここに,

CS_m : 室内機器類による顕熱負荷[W]

WS_m : 室面積 1m² 当たりの室内機器による顕熱発熱量[W/m²] (表 5 (3))

CL_m : 室内機器類による潜熱負荷[W]

WL_m : 室面積 1m² 当たりの室内機器による潜熱発熱量[W/m²]

表5 照明器具, 人体, その他の機器による室内発熱量

(1) 照明器具の消費電力 (W/m ²)					
設計照度 (lx)	室の例	蛍光灯			LED照明
		下面 開放型	ルーバー有	アクリル カバー有	下面 開放型
750	事務室、上級室、設計室、製図室	19	20	28	14
500	電子計算機室、会議室、講堂、 厨房、監視室、制御室	12	13	19	10
300	受付、食堂	7	8	11	6
200	電気室、機械室、書庫、湯沸室、 便所、洗面所、更衣室	5	5	8	4
150	階段室	4	4	6	3
100	玄関ホール、廊下、倉庫	2	3	4	2
75	車庫	2	2	3	1
(2) 人体の発熱量 (W/人)					
室名	人員密度 (人/m ²)	室内温度が28°Cの場合		室内温度が26°Cの場合	
		顕熱	潜熱	顕熱	潜熱
事務室	0.1~0.2 (0.15)	55	66	69	53
会議室	0.3~0.6 (0.5)	55	62	67	49
講堂	0.3~1.0 (0.7)	51	47	64	34
食堂	0.5~1.0 (0.8)	65	81	79	67
(3) 照明器具、人体以外の室内発熱量 (その他の室内発熱量)					
事務機器、OA機器による消費電力(W/m ²)		一般事務室の場合			10~15
		OA化を考慮した事務室			15~30
複写機、大型事務機器等による発熱 (W/1台)		複写機			210~560
		シュレッダー			260~580
(一社) 公共建築協会、建築設備設計基準平成27年版による。					
複写機、シュレッダーの発熱量は、空気調和ハンドブック改訂5版による。					

5. すきま風による顕熱負荷・潜熱負荷

(1) 窓の隙間風による顕熱負荷・潜熱負荷

最多風向に近い外壁2面に取り付ける窓について、次式により計算する。

$$CS_{aw}(h) = 0.33 \cdot Q_w \cdot A_w \cdot \{\theta_e(h) - \theta_r\} \quad \dots (24)$$

$$CL_{aw}(h) = 833 \cdot Q_w \cdot A_w \cdot \{X_e(h) - X_r\} \quad \dots (25)$$

ここに、

$CS_{aw}(h)$: h 時の窓の隙間風による顕熱負荷[W]

Q_w : 窓 1m² 当たり 1 時間当たりの隙間風量[m³/(m²・h)] (表6)

$CL_{aw}(h)$: h 時の窓の隙間風による潜熱負荷[W]

$X_e(h)$: h 時の外気絶対湿度[kg/kg(DA)]

X_r : 冷房時の室内絶対湿度[kg/kg(DA)]

(2) 外気に面するドアの隙間風による顕熱負荷・潜熱負荷^{注4)}

$$CS_{ad}(h) = 0.33 \cdot n_{ad} \cdot V_r \cdot \{\theta_e(h) - \theta_r\} \quad \dots (26)$$

$$CL_{ad}(h) = 833 \cdot n_{ad} \cdot V_r \cdot \{X_e(h) - X_r\} \quad \dots (27)$$

ここに,

$CS_{ad}(h)$: h 時の外気に面するドアの隙間風による顕熱負荷[W]

n_{ad} : 外気に面するドアの換気回数[回/h] (表 7)

V_r : 室容積[m³]

$CL_{ad}(h)$: h 時の外気に面するドアの隙間風による潜熱負荷[W]

表 6 窓面積 1m² に対するアルミサッシの隙間風量[m³/(m²・h)]

窓種別	気密度	風速 (m/s)					
		2	4	6	8	10	
引違い	A	0.070	0.16	0.25	0.35	0.46	
	B	1.42	2.0	2.4	2.7	3.0	
	C	5.1	7.0	8.4	9.6	10.5	
片引き	A	—	0.021	0.039	0.059	0.077	
	B	0.057	0.11	0.16	0.21	0.26	
	C	0.078	0.18	0.28	0.40	0.52	
内倒し	A	0.070	0.094	0.112	0.13	0.14	
	B	0.14	0.23	0.30	0.40	0.52	
	C	0.068	0.19	0.34	0.52	0.72	
すべり出し	A	0.030	0.040	0.049	0.056	0.062	
	B	0.050	0.14	0.27	0.42	0.60	
	C	0.23	0.56	0.93	1.30	1.70	
回転窓	A	0.012	0.031	0.058	0.090	0.12	
	B	0.054	0.16	0.27	0.40	0.56	
	C	0.22	0.50	0.81	1.01	1.05	
引違い二重サッシ	A	0.044	0.11	0.18	0.27	0.36	
	B	0.95	1.75	2.5	3.2	3.9	
	C	1.6	3.3	5.1	7.1	9.0	
住宅用	引違い	A	1.10	2.3	3.4	4.7	5.9
		B	2.8	6.4	10.5	14.5	19
		C	5.0	10.5	16	22	27
	BL型、防音	A	0.060	0.11	0.15	0.20	0.24
		B	0.13	0.28	0.48	0.66	0.86
		C	1.10	2.3	3.4	4.7	5.9

備考(1) 気密性の度合いは次の通り。 A:良好 B:中程度 C:不良

備考(2) 風圧は、風速2、4、6、8、10(m/s)に対し、それぞれ、1.8、7.2、16.2、28.8、45.0 (Pa)

(井上宇一編 空気調和ハンドブック 改訂5版による)

注4) 面積 300m²、容積 1000m³の室の人員密度を 0.15 人/m²、1 人当たり換気量を 30m³/h とすると、換気量は 1350m³/h である。この室に外気に面するドアを設置したとする。このドアの換気回数 1.5 回/h とすると隙間風量は 1500m³/h となり必要換気量に匹敵する。外気に面するドアは、開閉頻度にもよるが、この例からわかるように、隙間風量が非常に多く、体感的にも熱負荷的にも悪影響を与える。したがって、外気に面するドアは廊下等の非居室につながるエントランスホールに設置するか、風除室やエアカーテン等を設けることにより、ドアの開閉による外気が直接居室に侵入するのを極力避けるようにする。

表7 外気に面するドアの換気回数[n 回/h]

附表7 外気に面するドア*の換気回数 n回/h		
ドアの方位	n	
	冷房時	暖房時
ドアが風上側の場合	2	3~4
上記以外の場合	1	1~2
(一社) 公共建築協会、建築設備設計基準平成27年版による		
* 省エネと快適性の観点から人が常時出入りする居室に設置するのは極力避ける。		

6. ダクト負荷, 送風機負荷, 間欠空調負荷

- ① ダクト表面からの熱取得や空気漏洩を考慮し、以上で求めた冷房顕熱負荷の合計値に、表8のダクト余裕係数を乗じる。
- ② 空調機やファンコイルユニットの送風機運転の発熱を考慮し、以上で求めた冷房顕熱負荷の合計値に、表8の送風機負荷係数を乗じる。
- ③ 朝の予冷負荷を考慮し、9時に日射を受けている面についてのみ、以上で求めた冷房顕熱負荷の合計値に、表8の間欠運転係数を乗じる。

表8 余裕係数・負荷係数(冷房時)

冷房時	余裕係数 負荷係数
間欠運転係数(9時に日射を受けている面の顕熱負荷にかかる係数)	1.1
ダクト余裕係数(ダクト表面からの熱取得、空気漏洩を考慮した係数)	1.0~1.1
送風機負荷係数(送風機からの熱取得を考慮した係数)	1.05

(一社) 公共建築協会、建築設備設計基準平成27年版による。

7. 換気による負荷(全熱(顕熱+潜熱)負荷)

$$CT_v(h) = 0.33 \cdot n_p \cdot A_r \cdot Q_p \cdot \{E_e(h) - E_r\} \quad \dots \quad (28)$$

ここに、

- $CT_v(h)$: h時の換気による全熱負荷[W]
 Q_p : 1人当たり1時間当りの必要外気量 [m³/(h・人)]
 $E_e(h)$: h時の外気のエンタルピー[kJ/kg(DA)]
 E_r : 冷房時の室内エンタルピー[kJ/kg(DA)]

必要外気量の参考資料を表9に示す。一般事務庁舎の場合は30 [m³/(h・人)]である。

表9 必要換気量

	必要外気量	備考
建築基準法	20m ³ /(h・人)	
ビル衛生管理法の基準から求めた必要換気量	30m ³ /(h・人)	室内CO ₂ 許容濃度1000ppm、外気CO ₂ 濃度300ppm、人のCO ₂ 排出量25g/(kg・人)より求めた必要換気量
一般的な設計	15~25m ³ /(h・人)	事務室の在室人員密度と在室人員一人当たり必要外気量から求めた一般的な必要外気量

空調調ハンドブック 改訂5版による

II 暖房負荷計算

暖房負荷^{注5)}は、下記の要因を考慮して計算する。

1. 建物外皮（外壁，屋根，窓ガラス，外気に面するドア）からの通過熱負荷
2. 接地床，接地壁からの通過熱負荷
3. 内壁（間仕切り，室内ドア，床，天井）からの通過熱負荷
4. すきま風による負荷
5. ダクト負荷，間欠空調負荷
6. 換気による負荷

計算対象とする室について上記の各要因による暖房負荷を求め、それらを集計することにより室全体の暖房負荷を求めることができる。以上に加え、必要加湿量を別途求める。

7. 加湿量（加湿負荷）

以下に、それぞれの負荷の計算法を示す。

なお、暖房負荷に関する記号は以下を用いる。

HS：暖房顕熱負荷 [W]，HL：暖房潜熱負荷 [W]，HT：暖房全熱負荷 [W]

1. 建物外皮の通過熱負荷（顕熱負荷）

(1) 外壁，屋根からの通過熱負荷

式(29)によって計算する。

$$HS_{ot} = A_o \cdot K_o \cdot (\theta_e - \theta_r) \cdot \delta \quad \dots (29)$$

ここに、

HS_{ot}	: 外壁または屋根からの通過熱負荷 [W]
A_o	: 外壁または屋根の面積 [m ²]
K_o	: 外壁または屋根の熱通過率 [W/(m ² K)]
θ_r	: 暖房設計用室温 [°C]
θ_e	: 暖房設計用外気温 [°C]
δ	: 方位係数 ^{注6)} (表 10)

式(28)中の熱通過率の計算式は、式(2)と同じである。

注5) 負荷の符号は、冷房，暖房にかかわらず、室内に流入する負荷を正、室内から流出する負荷を負とすることにした。すなわち、冷房負荷をプラスで、暖房負荷をマイナスで表示する。ただし、暖房時の加湿量は正で表示する（もし加湿量が負で表示されていれば、加湿ではなく除湿が発生していることになる）。

世界には、設計用に設定した過酷な条件下でも、冷房負荷が発生しない地点や暖房負荷が発生しない地点が多くある。設計用冷房負荷計算で冷房負荷が発生しない場合は冷房負荷をゼロ、設計用暖房負荷計算で暖房負荷が発生しない場合は暖房負荷をゼロと表示する方が一般的であるかもしれないが、計算対象地点の暑さ、寒さのレベルを示すという観点から、冷房の負値、暖房の正値は何らかの参考になるのではないかと考え、値をそのまま残して上記のように符号で識別するようにした。

注6) 方位係数は、設計用暖房負荷計算では考慮しない日射の影響の方位差を補正する係数である。

表 10 方位係数

方位別	方位係数
陸屋根、最下階の床（空隙床）、ピロティ	1.20
北・北東・北西・東・西向外壁	1.10
南東・南西向外壁	1.05
南向外壁	1.00

(一社) 公共建築協会、建築設備設計基準平成27年版による

(2) 窓ガラス、外気に面するドアからの通過熱負荷

$$HS_{wt} = A_w \cdot K_w \cdot (\theta_e - \theta_r) \cdot \delta \quad \dots (30)$$

$$HS_{dt} = A_d \cdot K_d \cdot (\theta_e - \theta_r) \cdot \delta \quad \dots (31)$$

ここに、

- HS_{wt} : 窓ガラスの通過熱負荷 [W]
 HS_{dt} : 外気に面するドアの通過熱負荷 [W]
 A_w : 窓の面積 [m²]
 A_d : 外気に面するドアの面積 [m²]
 K_w : 窓ガラスの熱通過率 [W/m²K]
 K_d : 外気に面するドアの熱通過率 [W/m²K]

窓ガラスの熱通過率 K_w は計算によってもよいし、表 3³⁾ の値を引用してもよい。外気に面するドアの熱通過率 K_d の計算式は、式(2)と同じである。

2. 接地床、接地壁からの通過熱負荷

式(32)によって計算する。

$$HS_{gt} = A_g \cdot K_g \cdot (\theta_{gf} - \theta_r) \quad \dots (32)$$

ここに、

- HS_{gt} : 接地床、接地壁からの通過熱負荷 [W]
 A_g : 接地床、接地壁の面積 [m²]
 K_g : 接地床、接地壁の熱通過率 [W/(m²K)] (表 2 (b))
 θ_{gf} : 地中深さ f[m] の地中温度

式(32)中の熱通過率の計算式は、式(33)による。

$$K_g = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_r} + \sum_i \frac{l_i}{\lambda_i} + \sum_i r_{ai}} \quad \dots (33)$$

表 2 (b) の熱通過率は、接地床、接地壁の構造体の熱抵抗に、厚さ 1[m] の土壌の熱抵抗を付

加して求めている^{注7)}。 θ_{gf} はその地点の気象条件と土壌の物性値^{注8)}から計算する。

深さ f [m]としては、熱通過率に厚さ 1[m]の土壌の熱抵抗を付加したことに伴い、接地床（土間床、地下床）では床下 1m とし、その深さの地中温度 θ_{gf} [°C]を用いる。また、接地壁（地下壁）の深さ f [m]は、地下壁の高さの中央の地中深さとし、その深さの地中温度を用いる。

3. 内壁（間仕切り，室内ドア，床，天井）からの通過熱負荷

$$HS_{pt} = A_p \cdot K_p \cdot \Delta\theta \quad \dots (34)$$

ここに、

- HS_{pt} : 外壁または屋根からの通過熱負荷 [W]
 A_p : 外壁または屋根の面積 [m²]
 K_p : 外壁または屋根の熱通過率 [W/(m²K)]
 $\Delta\theta$: 計算対象室と内壁が面する隣室の温度差

式(34)中の熱通過率 K_p の計算式は、式(2)と同じである。

$\Delta\theta$ は隣室の温度条件を考慮して次のように計算する¹⁾。

- ① 内壁が非暖房室や廊下等と接する場合

$$\Delta\theta = f_p \cdot (\theta_e - \theta_r) \quad \dots (35)$$

f_p は非空調隣室温度差係数であり表4による²⁾。

- ② 内壁が暖房温度差のある暖房室と接する場合

$$\Delta\theta = \theta_{pr} - \theta_r \quad \dots (36)$$

ここに、

- θ_{pr} : 暖房温度差がある隣室の室温 [°C]

4. すきま風による負荷

(1) 窓の隙間風による顕熱負荷・潜熱負荷

最多風向に近い外壁2面に取り付ける窓について、次式により計算する。

$$HS_{aw} = 0.33 \cdot Q_w \cdot A_w \cdot (\theta_e - \theta_r) \quad \dots (37)$$

$$HL_{aw} = 833 \cdot Q_w \cdot A_w \cdot (X_e - X_r) \quad \dots (38)$$

ここに、

- HS_{aw} : 窓の隙間風による顕熱負荷[W]

注7) 厚さ 1[m]の土壌の熱抵抗を付加する理由は、次のように解釈される。

接地床、接地壁の熱通過量を計算するための設計資料としてあらかじめ与えられた地中温度は、地下室が無いと仮定した場合の地中温度である。この地中温度は、地下室を設けることによって変化するが、接地床（土間床、地下床）、接地壁からの距離が離れるにしたがって、地下室が無い場合の地中温度に接近していく。1mは必ずしも十分な厚さとはいえないが、この厚さの土壌を付加した位置（位置とは、地下床・土間床では床下の深さであり、地下壁では壁と土との接点からの水平方向の距離である。）の地中温度は、地下室が無い場合の地中温度を近似すると考えられる。

注8) 文献2²⁾の土壌（粘土質）の熱伝導率 1.5[W/m·K]、容積比熱 3.1[MJ/m³·K]。これらは ISO 13370²⁰⁰⁷の粘土またはシルト（沈泥）の値（各 1.5, 3.0）とほぼ同じ。計算法は1次元非定常後退差分による。

- Q_w : 窓 1m² 当たり 1 時間当たりの隙間風量[m³/(m²・h)] (表 6)
 HL_{aw} : 窓の隙間風による顕熱負荷[W]
 X_r : 暖房時の室内絶対湿度[kg/kg(DA)]
 X_e : 外気絶対湿度[kg/kg(DA)]

(2) 外気に面するドアの隙間風による顕熱負荷・潜熱負荷

$$HS_{ad} = 0.33 \cdot n_{ad} \cdot V_r \cdot (\theta_e - \theta_r) \quad \dots (39)$$

$$HL_{ad} = 833 \cdot n_{ad} \cdot V_r \cdot (X_e - X_r) \quad \dots (40)$$

ここに、

- HS_{ad} : 外気に面するドアの隙間風による顕熱負荷[W]
 n_{ad} : 外気に面するドアの換気回数[回/h] (表 7)
 V_r : 室容積[m³]
 HL_{ad} : 外気に面するドアの隙間風による潜熱負荷[W]

5. ダクト負荷, 間欠空調負荷

- ① ダクト表面からの熱損失と空気漏洩を考慮し、以上で求めた暖房顕熱負荷の合計値に、表 11 のダクト余裕係数を乗じる。
- ② 朝の予熱負荷を考慮し、以上で求めた暖房顕熱負荷の合計値に、表 11 の間欠運転係数を乗じる。

表 11 余裕係数・負荷係数 (暖房時)

暖房時	余裕係数 負荷係数
間欠運転係数 (顕熱負荷にかかる係数)	1.0~1.1
ダクト余裕係数 (ダクト表面からの熱損失、空気漏洩を考慮した係数)	1.0~1.1

(一社) 公共建築協会、建築設備設計基準平成27年版による。

6. 換気による負荷

$$HT_v = 0.33 \cdot n_p \cdot A_r \cdot Q_p \cdot (E_e - E_r) \quad \dots (41)$$

ここに、

- HT_v : 換気による全熱負荷[W]
 E_r : 暖房時の室内エンタルピー[kJ/kg(DA)]
 E_e : 外気のエンタルピー[kJ/kg(DA)]
 Q_p : 1 人当たり 1 時間当りの必要外気量 [m³/(h・人)]

必要外気量の参考資料を表 9 に示す。一般事務庁舎の場合は 30 [m³/(h・人)] である。

7. 加湿負荷 (加湿量)

加湿量は、隙間風量と換気量の和に外気と室内空気の絶対湿度差を乗じて算出する。

$$G = 1.2 \times \{ \sum Q_w \cdot A_w + \sum n_{ad} \cdot V_r + n_p \cdot A_r \cdot Q_p \} (X_r - X_e) \quad \dots (42)$$

ここに,

G	: 加湿量[kg/h]
$\sum Q_w \cdot A_w$: 窓の隙間風量の合計[m ³ /h]
$\sum n_{ad} \cdot V_r$: 外気に面するドアの隙間風量の合計[m ³ /h]
$n_p \cdot A_r \cdot Q_p$: 換気量[m ³ /h]
X_r	: 室内絶対湿度[kg/kg(DA)]
X_e	: 外気絶対湿度[kg/kg(DA)]

【参考文献・引用文献】

1. 建築設備設計基準, 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課監修, 一般社団法人 公共建築協会, 平成 27 年度
2. 空気調和・衛生工学便覧 第 14 版 1 基礎編 空気調和・衛生工学会, 丸善
3. 井上宇一編, 空気調和ハンドブック 改訂 5 版, 丸善出版
4. 浦野良美, 中村洋編著, 建築環境工学第 6 章 建築伝熱, 森北出版株式会社
5. 日本建築学会編 建築設計資料集成 設備計画 6 丸善株式会社, 1966

【参考資料 1】外壁・屋根の ETD（実効温度差）の計算法

実効温度差は、まず、各タイプを代表する外壁（または屋根）について非定常熱伝導を考慮して室内への流入熱を求め、次に、その流入熱を代表タイプの外壁（または屋根）の熱通過率で割って求める。

（1）外壁・屋根の表面及び内部温度の計算

ここでは、外壁・屋根の表面と内部の温度を、非定常熱伝導を考慮した後退差分法により求める¹⁾。図 A に計算対象とする外壁・屋根の断面図を示す。

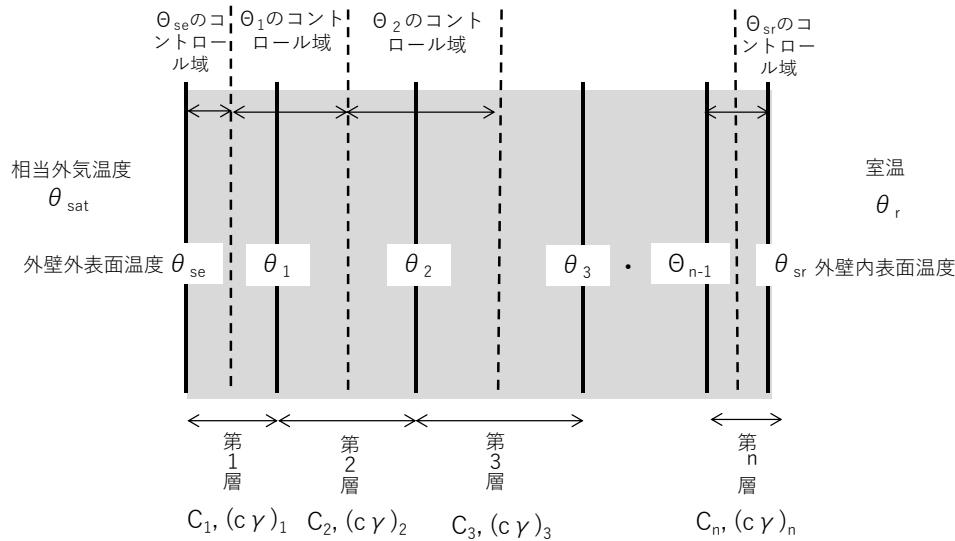


図 A 外壁・屋根の非定常熱通過量の計算モデル

図 A において、 C_i と $(c\gamma)_i$ は、それぞれ第 i 層 ($i=1\sim n$) の熱コンダクタンス [$W/(m^2K)$] と熱容量 [$J/(m^2K)$] であり、第 i 層の熱伝導率を λ 、容積比熱 ($c\gamma$) [$J/(m^3K)$]、厚さを l_i [m] とすると、 $C_i = \lambda_i / l_i$ 、 $(c\gamma)_i = (c\gamma) \times l_i$ で表される。第 i 層が中空層の場合は、 $C_i = 1/r_{ai}$ (r_{ai} は中空層の熱抵抗)、 $(c\gamma)_i = 0$ とする。層の区分は材料の境目にとるが、同じ材料でも層が厚い場合は複数に分割してもよい。

図 A において、外壁または屋根の p 時における外気側表面温度 θ_{se}^p については、 θ_{se}^p のコントロール域^{注9)} の熱平衡から、次式が成立する。

$$\tau \{ \alpha_e (\theta_{sat}^p - \theta_{se}^p) - C_1 (\theta_{se}^p - \theta_1^p) \} = (c\gamma)_{se} (\theta_{se}^p - \theta_{se}^{p-1}) \quad \dots (A1)$$

ここに、

- α_e : 外気側表面熱伝達率 [W/m^2K]
- θ_{sat}^p : p 時の相当外気温度 [$^{\circ}C$]
- θ_{se}^p : p 時の外表面温度 [$^{\circ}C$]

注9) コントロールボリュームのこと。差分法の計算において定めた、固体表面または内部の温度が影響する熱容量の領域をいう。

- θ_{se}^{p-1} : (p-1)時の外表面温度[°C]
 τ : 計算時間間隔($\tau=3600$ [s])
 $(c\gamma)_{se}$: θ_{se} のコントロール域の熱容量 [J/(m²K)]

$(c\gamma)_{se}$ は次式で表す。

$$(c\gamma)_{se} = (c\gamma)_1/2 \quad \dots (A2)$$

θ_{sat}^p は次式で表す。

$$\theta_{sat}^p = \theta_e^p + \{a_l(I_{gd}^p + I_{gs}^p + I_{gg}^p) - L^p\}/\alpha_e \quad \dots (A3)$$

ここに、

- θ_e^p : p 時の外気温[°C]
 a_l : 外壁または屋根外表面の日射吸収率(0~1)[—]
 I_{gd}^p : p 時に外壁面または屋根面に入射する直達日射量[W/m²]
 I_{gs}^p : p 時に外壁面または屋根面に入射する天空日射量[W/m²]
 I_{gs}^p : p 時に外壁面または(傾斜のある)屋根面に入射する地表面反射日射量[W/m²]
 L^p : p 時の外壁面又は屋根面の夜間放射量^{注10)} [W/m²]

式(A1)を温度について整理すると、

$$-\{\tau(\alpha_e + C_1) + (c\gamma)_{se}\}\theta_{se}^p + \tau C_1 \theta_1^p = -(c\gamma)_{se} \theta_{se}^{p-1} - \tau \alpha_e \theta_{sat}^p \quad \dots (A4)$$

図 A の第 1 層の p 時における温度 θ_1^p についても θ_1^p のコントロール域の熱平衡から、次式が成立する。

$$\tau\{C_1(\theta_{se}^p - \theta_1^p) - C_2(\theta_1^p - \theta_2^p)\} = (c\gamma)_{12}(\theta_1^p - \theta_1^{p-1}) \quad \dots (A5)$$

式(A5)を温度について整理すると、

$$\tau C_1 \theta_{se}^p - \{\tau(C_1 + C_2) + (c\gamma)_{12}\}\theta_1^p + \tau C_2 \theta_2^p = -(c\gamma)_{12} \theta_1^{p-1} \quad \dots (A6)$$

$$(c\gamma)_{12} = \{(c\gamma)_1 + (c\gamma)_2\}/2 \quad \dots (A7)$$

図 A の第 2 層の p 時における温度 θ_2^p についても次式が成立する。

$$\tau\{C_2(\theta_1^p - \theta_2^p) - C_3(\theta_2^p - \theta_3^p)\} = (c\gamma)_{23}(\theta_2^p - \theta_2^{p-1}) \quad \dots (A8)$$

式(A8)を温度について整理すると、

$$\tau C_2 \theta_1^p - \{\tau(C_2 + C_3) + (c\gamma)_{23}\}\theta_2^p + \tau C_3 \theta_3^p = -(c\gamma)_{23} \theta_2^{p-1} \quad \dots (A9)$$

$$(c\gamma)_{23} = \{(c\gamma)_2 + (c\gamma)_3\}/2 \quad \dots (A10)$$

以下第 3 層の p 時における温度 θ_3^p , ..., 第(n-1)層の p 時における温度 θ_{n-1}^p についても同様の熱平衡式を導くことができる。

外壁または屋根の p 時における室内側表面温度 θ_{sr}^p については、 θ_{sr}^p のコントロール域の熱平衡から次式が成立する。

$$\tau\{C_n(\theta_{n-1}^p - \theta_{sr}^p) - \alpha_r(\theta_{sr}^p - \theta_r)\} = (c\gamma)_{sr}(\theta_{sr}^p - \theta_{sr}^{p-1}) \quad \dots (A11)$$

式(A11)を温度について整理すると、

$$\tau C_n \theta_{n-1}^p - \{\tau(C_n + \alpha_r) + (c\gamma)_{sr}\}\theta_{sr}^p = -(c\gamma)_{sr} \theta_{sr}^{p-1} + \tau \alpha_r \theta_r \quad \dots (A12)$$

注10) 壁面から大気・地物への正味の長波長放射量。

$$(c\gamma)_{sr} = (c\gamma)_n/2 \quad \dots \quad (A13)$$

以上の熱平衡式を行列式で表すと、次式が得られる。

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & & & & & & & \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & & & & & & \\ & a_{32} & a_{33} & a_{34} & & & & & \\ & & \vdots & & \ddots & & & & \\ & & & & & \vdots & & & \\ \dots & & & & a_{n,n-1} & a_{n,n} & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_{se}^p \\ \theta_1^p \\ \theta_2^p \\ \vdots \\ \theta_{sr}^p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(c\gamma)_{se}\theta_{se}^{p-1} - \tau\alpha_e\theta_{sat}^p \\ -(c\gamma)_{12}\theta_1^{p-1} \\ -(c\gamma)_{23}\theta_2^{p-1} \\ \vdots \\ -(c\gamma)_{sr}\theta_{sr}^{p-1} - \tau\alpha_r\theta_r \end{bmatrix} \quad \dots \quad (A14)$$

ここに、

$$a_{11} = -\{\tau(\alpha_e + C_1) + (c\gamma)_{se}\} \quad \dots \quad (A15)$$

$$a_{12} = \tau C_1 \quad \dots \quad (A16)$$

$$a_{21} = \tau C_1 \quad \dots \quad (A17)$$

$$a_{22} = -\{\tau(C_1 + C_2) + (c\gamma)_{12}\} \quad \dots \quad (A18)$$

$$a_{23} = \tau C_2 \quad \dots \quad (A19)$$

$$a_{32} = \tau C_2 \quad \dots \quad (A20)$$

$$a_{33} = -\{\tau(C_2 + C_3) + (c\gamma)_{23}\} \quad \dots \quad (A21)$$

$$a_{34} = \tau C_3 \quad \dots \quad (A22)$$

$$a_{n,n-1} = \tau C_{n-1} \quad \dots \quad (A23)$$

$$a_{n,n} = -\{\tau(C_n + \alpha_r) + (c\gamma)_{sr}\} \quad \dots \quad (A24)$$

式(A14)を解くことにより、外壁・屋根の外気側表面、内部及び室内側表面の温度を逐次求めることができる。冷房設計用外界条件としては通常 1 日分の毎時刻のデータが準備されている。壁の構造にもよるが、1 日分の外界気象データを数日から 10 日程度繰り返し用いて計算すれば、周期的非定常^{注11)}に達した壁表面及び内部の温度を求めることができる。

(2) 実効温度差の計算

p 時の外壁または屋根の実効温度差 ETD^p は、室内側表面温度 θ_{sr}^p を用いて次式で表される。

$$ETD^p = \alpha_r(\theta_{sr}^p - \theta_r)/K_{ETD} \quad \dots \quad (A25)$$

K_{ETD} は実効温度差の計算に用いた外壁（または屋根）タイプの熱通過率 $[W/(m^2K)]$ である。

式(A25)の ETD^p を式(1)の $ETD(h)$ として用い、計算対象の外壁または屋根の通過熱負荷を求めることができる。

【参考文献】

- 1) 浦野良美, 中村洋編著: 建築環境工学, 第 6 章建築伝熱, 森北出版株式会社

注11) 外界条件は時刻によって変わるが、毎日同じ時刻には同じ条件が繰り返される状態。周期(的)定常ともいう。外界条件を一定とする定常状態、時々刻々変化する純非定常と対比して用いられる用語である。