

HASP の非定常熱負荷計算

(3) 理論・基本編

非定常熱負荷計算の解説書や文献や資料は世の中に沢山あります。しかし、読んでも理論を理解することはなかなか難しく、理解してもこれをプログラミングするとなるとアルゴリズム（解法手順のことです）がややこしく、超えなければならないハードルが多々あります。本編は、理論と実際の橋渡しをすることを目的として、HASP ではどのように解いているかを、具体的にかつ分かりやすく解説していきます。

(3)理論・基本編では前半の熱取得までを取り上げます。(4)理論・応答係数編では後半の連続冷房負荷・除去熱量・応答係数の求め方などを取り上げます。

<目次>

0. はじめに	定常と非定常／手計算と非定常計算／熱取得と熱負荷 ／プログラム言語と単位系	1 1
1. 太陽位置の計算	緯度と経度と時差／HASP の太陽位置の計算日／太陽赤緯と均時差 ／時角と太陽高度・太陽方位角／直達日射の入射角／ガラスの入射角特性	3
2. 形態係数と影の計算	庇と隣接建物を考慮した天空と地物の形態係数／庇と隣接建物による直達 日射の日照面積率	5
3. 気象データ	has と hasH の気象データフォーマット／カレンダー情報／気象データの単位 変換／(ACLD_HEX15) 時間区分での気象データの補間	8
4. 窓ガラスの貫流熱取得と日射熱取得	ガラスの品種と品番／ブラインドの開閉による U 値・SC 値 ／AFW と PPW の場合の補正值(NewHASP で追加された機能)／U 値と SCC・SCR 値 の%補正(NewHASP で追加された機能)／窓の熱取得の輻射成分比 KLR(NewHASP で追加された機能)／窓ガラスの貫流熱取得／窓ガラスの日射熱取得 ／窓ガラスの熱取得 HG を求めるまでの手順	10
5. 昼光利用	昼光利用に係わる入力データ／<SAPC>と<WNDW>で決まる室の形状と反射率 ／日射量から照度への変換／消灯率	14
6. 外壁	不透明な壁体の日射熱の扱い(SAT の考え方)／内外の表面熱伝達の層 ／HASP の外壁の貫流熱／植栽の扱い (NewHASP で追加された機能) ／外壁の熱取得 HG を求める手順	15
7. 内壁・接地壁・異形部材	熱容量の役割／接地壁の土の層と異形部材の変形／内外の表面熱伝達の層と 境界温度／接地壁と異形部材の境界温度と熱取得／内壁の熱取得	18
8. 空気線図	HASP の空気線図の基本関数: SATX / 相対湿度から絶対湿度への変換	20
9. 隙間風の計算	風圧の求め方／温度差換気の浮力／隙間風量の求め方 (クラック法と換気回 数法) / 隙間風の熱取得	21
10. 内部発熱 / 人・照明・機器		23
10-1 人からの熱取得	在室人員と在室率／全発熱量／室温と顕熱：潜熱比／熱取得の計算	23
10-2 照明からの熱取得	照明器具のタイプと重み係数／照明量／使用率・昼光利用による消灯率 熱取得	24 24
10-3 機器からの熱取得	発熱量／使用量／機器による熱取得	25
参考資料		巻末

Ver. 20220303-0707

(社) 建築設備技術者協会

O. はじめに

HASP/ACLD/8501 が作られたのは1985年です。わずか2000 足らずのプログラムですが非定常熱負荷計算に必要なほとんどの内容が組み込まれています。当時のコンピュータの能力は現在よりも遙かに小さく、少ないメモリーで無駄な計算をしないように色々工夫されています。このために少々解読しにくい面もありますが、アルゴリズムは素直に記述されており、非定常熱負荷計算の原理やプログラムの勉強をするためのとても良い教材になっています。

1) 定常と非定常

定常とは“変化しない”とか“安定している”状態をいいます。一方、非定常では、時間的に変化することや時間遅れを伴う熱の流れなど、定常ではない事象を扱います。

例えば、気温や湿度や日射などの気象条件は時々刻々変化しています。人や照明や機器も使い方も一様ではありません。空調も運転したり停止したりします。このために室温湿度は変化し、熱負荷も複雑に変化します。このような変化を扱うのが非定常です。

2) 手計算と非定常の熱負荷計算

手計算は定常熱負荷計算です。手計算でも朝・昼・午後の3回くらい計算します。だからと言って非定常ではありません。単に朝10時の定常状態と、昼14時の定常状態と、午後16時の定常状態の3回計算しているだけです。

手計算でも、例外的に非定常的な手法を取り入れている部分があります。外壁のETD(実効温度差)のことです。熱容量の大きいコンクリート壁を定常と扱うのはさすがに無理があると考え、ここだけ非定常熱負荷計算の力を借りています。非定常で24時間周期の熱負荷を求め、これを時間毎の温度差(ETD)に逆算しているのです。ETDを使うことで定常と同じ式が使え、擬似的ですが非定常の熱負荷計算をしています。

3) 熱取得と熱負荷

非定常熱負荷計算では、励振⇒熱取得⇒連続空調負荷⇒除去熱量の順に計算を進めます。また、熱取得と熱負荷と除去熱量を厳密に区別します。いわゆる熱負荷は非定常では除去熱量のことを言います。

- ・**励振**(EX:Excitation): 温度差・湿度差・日射量など熱負荷の原因になるものをいいます。
- ・**熱取得**(HG:Heat Gain): 建物内部に侵入した熱を言います。この段階はまだ熱負荷ではありません。窓から侵入した日射熱や前述のETDは熱取得の段階です。熱取得には窓ガラスのように熱容量が小さく時間遅れを無視できるものもあれば、外壁など熱容量が大きいものは時間遅れを伴って熱取得になります。外壁等で時間遅れを伴う熱取得を計算するのに応答係数(Response Factor)を用います。
- ・**連続空調負荷**(CL:Cooling Load): 非定常熱負荷計算で熱負荷とは室内の空気に伝えられた熱を言います。熱取得のうち対流成分は直ちに熱負荷となります。一方、輻射成分は室内各面で相互輻射され、この過程の中で対流成分が熱負荷となり、輻射成分は更に遅れて熱負荷になります。

連続空調負荷の計算では、室温湿度は一定条件に維持された状態として計算します。また、CLと言いますが冷房だけではなく、1つの原理で計算し、結果が+なら冷房負荷、結果が-なら暖房負荷です。

- ・**除去熱量**(HE:Heat Extraction): 空調は運転と停止を繰り返します。このために室温湿度は変動します。運転中であっても熱負荷が空調装置の能力(装置容量と言います)を超える時も室温湿度は変動します。室温湿度が変動すると、それが熱となって建物躯体に蓄熱され、時間遅れを伴って室内に放熱されますが、これが蓄熱負荷です。このように空調の運転時間や能力などの条件を加えて、実際に空調装置が処理する熱負荷が除去熱量です。

連続空調負荷までが非定常熱負荷計算の前半部分です。連続空調負荷は純粋な建物の熱負荷と言えます。HASP/ACLD/8501 では連続空調負荷までの計算をします。後半の除去熱量の計算機能を加えたのが、ACLD_HEX15 であり NewHASP です。

本編の(3)理論・基礎編では、励振から熱取得までを解説します。連続空調負荷や除去熱量と応答係数の原理や求め方については、(4)理論・応答係数編で解説します。

4) プログラム言語／演算式と変数名と単位系

HASP は FORTRAN 言語で記述されています。また単位は SE 単位で記述されています。

<演算式> 本編の中で、数式が頻繁に出てきますが、

一般式や公式は Mathrype で記述し、

HASP の式の説明では、フォントも変え、FORTRAN 言語の書き方で記述しています。

$$\text{公式の記述例} \quad \sin H = \sin D \cdot \sin L + \cos D \cdot \cos L \cdot \cos T$$

$$\text{HASP の式の記述例} \quad SH = SS + CC * \cos T$$

演算子：“*”は乗算、“**”はべき乗を表します。“SQRT”は平方根の関数です。

1+2-3*4/5**2 は実数計算なら 2.52 ですが、コンピュータでは整数と実数を区別します。この場合は整数式なので小数は切り捨てられ、結果は3です。(2ではありません)

“=”の意味：コンピュータの言語で“=”は左辺の変数に新たな値を保存する意味です。

例 C = A+B は、A+B の結果を、左辺の C の値にするという意味です。

例 K = K+1 は K に 1 を加えた結果を新たな K にするという意味です。

<変数名> HASP では“X(155)”のように、配列“X”とポインターで表されているので、配列表がないと理解できないと思います。そこで、本編で式を記述する場合、“T0”のように分かりやすい変数名に変更しています。

$$\text{元の HASP の式} \quad EXC1 = WD(1, J) - X(155) - WD(5, J) * X(L+12)$$

$$\text{本編での記述} \quad EX = T0 - TB - JNT * (\varepsilon / \alpha_0)$$

<単位系> HASP は重力単位系 (SE 単位) で記述されています。

入力データは SI 単位ですが、入力データを読み込むと同時に SE 単位に変換されます。

計算は全て SE 単位で処理されます。結果を出力する時に、SE 単位から SI 単位に変換されます。SE 単位と SI 単位で係数や定数が異なることがあります。本編では、限り併記したり、注釈を加えるようにしています。

1. 太陽位置の計算

・<BUIL>で緯度 LAT [°]、経度 LON [°]、時差 UTC [h] を入力します。なお、hasH 気象データの場合は、これらの情報は気象データファイルの先頭行から自動的に読み込まれます。(⇒3 気象データ)

1) 緯度と経度と時差

- ・緯度 LAT は北緯の場合が+で南緯では-、経度 LON は東経の場合が+で西経では-です。
- ・緯度は読み込んだあと直ちに、sin、cos に変換します。 (“*” はコンピュータでは掛け算の演算子)

$$SL = \sin(LAT * \text{rad}), CL = \cos(LAT * \text{rad}) \quad (\text{SL と CL は変数として HASP では頻繁に使います})$$
 なお、 $\text{rad} = 3.14159/180 = 0.0174533$ (0.0174533 は [°] を [rad] への換算係数で、HASP では固定値)
- ・時差: 経度 LON [°] と時差 DT [h] から、標準時との時間差 DT [h] を計算します。

$$DT = LON / 15. - UTC$$

2) HASP の太陽位置の計算日

- ・太陽位置を計算する日は、ACLD_HEX15 と NewHASP_2 では N = 1~7 日毎の任意の間隔です。(オリジナルの NewHASP_ACLD では N = 7 日毎の固定です)
- ・太陽位置を計算する日は 1 月 1 日を起点日として、以下を計算日と代表日とします。
 - ・N = 7 の場合、計算日 1/1 (代表日 1/4)、計算日 1/8 (代表日 1/11)、計算日 1/15 (代表日 1/18) ……
 - ・N = 6 の場合、計算日 1/1 (代表日 1/3)、計算日 1/7 (代表日 1/9)、計算日 1/13 (代表日 1/15) ……
 - ・N = 5 の場合、計算日 1/1 (代表日 1/3)、計算日 1/6 (代表日 1/8)、計算日 1/11 (代表日 1/13) ……
- ※年間計算を途中から開始する場合は、開始日で計算し、あとは上記の年通日に従って計算します。
- ※年通日は 1/1 を起点日の 1 日とし、12/31 を 365 日とする日のことです。
- ・HASP では月 (MON), 日 (IDY) を引数として、関数 NDATE で年通日に換算します。

```
*** ANNUAL BASE DATING
      NDATE( MON, IDY ) = INT( 30.57 * MON - 31.06 - SIGN( 1, MON - 3 ) + IDY )
```

※ HASP の年通日は閏年には対応していません。(閏年の 2/29 と 3/1 が同じ年通日になります)

<注> この同じ SIGN 関数を Excel で計算すると結果が異なります。FORTRAN の SIGN 関数は、 $\text{MON}-3 \geq 0$ では値は “1” になりますが、Excel の SIGN 関数は、 $\text{MON}-3=0$ では値は “0” になるからです。

3) 太陽赤緯と均時差

- ・太陽赤緯: 赤道上での南中時の太陽高度の余角です。
 - ※ 秋分~冬至~秋分の太陽赤緯は $0 \sim 90^\circ$ 、秋分は 90° 、春分~夏至~秋分は $90^\circ \sim$ です。
- ・均時差: 真太陽時と平均太陽時のズレです。2 月頃が最大で -15 分程、11 月頃が最大で +16 分程です。
 - ・HASP の太陽赤緯 DEC と均時差 et を求める式: ※ 単位に注意

年通日を K とすると、公転上の位置 (角度) W [rad] は $W = 0.0171672 * K$ です。

なお、 0.0171672 は 1 日の角速度 [rad] で、 $2 * 3.14159 / 366 \approx 0.0171672$ です。

$$\begin{aligned} \text{太陽赤緯 DEC} [^\circ] \quad \text{DEC} &= 0.362213 - 23.2476 * \cos(W + 0.153231) - 0.336891 * \cos(2. * W + 0.207099) \\ &* -0.185265 * \cos(3. * W + 0.620129) \\ \text{均時差 eqt} [h] \quad \text{eqt} &= -0.000279 + 0.122772 * \cos(W + 1.49831) - 0.165458 * \cos(2. * W - 1.26155) \\ &* -0.005354 * \cos(3. * W - 1.1571) \end{aligned}$$
 - ・太陽赤緯は、直ちに三角関数に変換しておきます。

$$SD = \sin(DEC * \text{rad}), CD = \cos(DEC * \text{rad}) \quad \text{なお、rad} = 0.0174533$$
 - ・また、緯度と太陽赤緯を組み合わせた形を作っておきます。(SS, SC, CS, CC は頻繁に使います)

$$\begin{aligned} \text{緯度} \times \text{太陽高度} \quad SS &= SL * SD, \quad SC = SL * CD, \quad CS = CL * SD, \quad CC = CL * CD \end{aligned}$$

4) 時角と太陽高度・太陽方位角

- 1日24時間分の時角 T と太陽高度 A と太陽方位角 H を求めます。

※ NewHASP では1~24時の正時で計算します。ACLD_HEX15 では1~24×nJHM時分を計算します。

※ 元々のHASPでは国内用に5~20時のみ計算していましたが、WEADACで世界の気象データを扱うことになったことから、NewHASP、ACLD_HEX15とも終日計算に変えました。

- 時角 T :** 時角とは、南の 0° を基準に時計回りの角度をいいます。なお、HASPの時刻 J は平均太陽時なので、平均太陽時の時刻 J を真太陽時の時角 T に変換する必要があります。

$$T = 15 * (J + DT + eqt - 12) * \text{rad} \quad \text{ただし、rad} = 0.0174533$$

※ T [rad] : 時角、 DT [h] : 標準時との時間差 (⇒1)、 eqt [h] : 均時差 (⇒3)

- 太陽高度 H と太陽方位角 A の一般的な式 :** 色々な書き方がありますが、例えば下記のようにです。

$$\sin H = \sin D \cdot \sin L + \cos D \cdot \cos L \cdot \cos T$$

$$\cos H = \pm(1 - \sin^2 H)^{1/2}$$

$$\sin A = \cos D \cdot \sin T / \cos H$$

$$\cos A = (-\sin D \cdot \cos L + \cos D \cdot \sin L \cdot \cos T) / \cos H$$

- HASPの太陽高度と方位角の3つの式 :** HASPでは次の3つを求めます。

$$\sin H \quad \quad \quad SH = SS + CC * \cos T$$

$$\cos H \cdot \sin A \quad \quad \quad CHSA = CD * \sin T$$

$$\cos H \cdot \cos A \quad \quad \quad CHCA = -CS + SC * \cos T$$

※ SH と $CHSA$ と $CHCA$ の3つがあればほとんどの計算ができます。 SH は一般的な式と同じですが、 $CHSA$ と $CHCA$ は曲面三角法から直接的に得られる形なので、バラバラに求めるよりも簡単で使い易い形です。

5) 直達日射の入射角

- <EXPS>で、面の方位角を AW [$^\circ$] と面の傾角を TW [$^\circ$] を入力します。

- AW 、 TW は直ちに \sin 、 \cos にしておきます。

$$SA = \sin(AW * \text{rad}), \quad CA = \cos(AW * \text{rad}), \quad ST = \sin(TW * \text{rad}), \quad CT = \cos(TW * \text{rad})$$

$$SAST = SA * ST, \quad SACT = SA * CT, \quad CAST = CA * ST, \quad CACT = CA * CT$$

- 各面の直達日射の入射角 I を求めます。

<入射角 I を求める一般式> 次のようです。

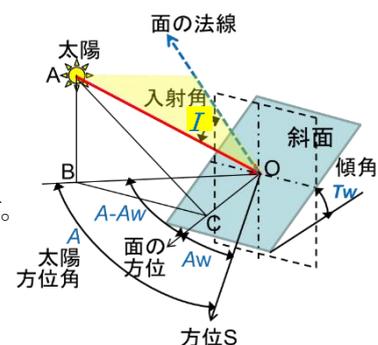
- 傾斜面では $\cos I = \sin H \cos T_w + \cos H \sin T_w \cos(A - A_w)$

※ 垂直壁なら $\cos T_w = 0$, $\sin T_w = 1$ なので $\cos I = \cos H \cos(A - A_w)$

<HASPの入射角 I を求める式>

- 一般式と同じですが、4)で作った SH 、 $CHSA$ 、 $CHCA$ などを利用します。

$$\cos I = SH * CT + CHCA * CAST + CHSA * SAST$$



6) ガラスの入射角特性

<直達日射の入射角特性を求める一般的な式> $\cos I$ の7次式です。

$$Gi = 2.392 \cos I - 3.8636 \cos^3 I + 3.7568 \cos^5 I - 1.3985 \cos^7 I$$

<HASPの直達日射の入射角特性の関数>

$$Z = \cos^2 I$$

$$GF(Z) = Z * (2.392 + Z * (-3.8636 + Z * (3.7568 - Z * 1.3985)))$$

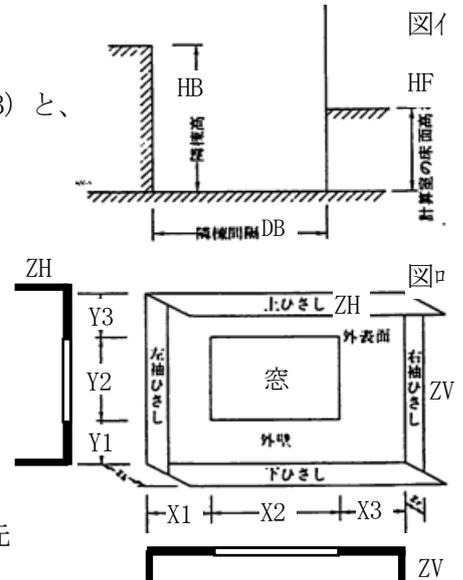
※ $\cos^2 I$ が引数で、全体で $\cos I$ の8次式になっています。これは外皮面での直達日射量を求める時に法線面直達日射 $\times \cos I$ とするので、 $\cos I$ を入射角特性のGFの関数に予め組み込んでいるのです。

<天空日射など的一様拡散の入射角特性> $G_d = 2 \int_0^{\pi/2} G_i \cdot \cos I \cdot \sin I \cdot dI \cong 0.808$

- HASPでは0.808を定数として使っています。

2. 形態係数と影の計算

- HASP のオプションとして、〈EXPS〉で①隣棟建物（高さ HB と距離 DB）と、②底の寸法（ZH, Y1, Y2, Y3, ZV, X1, X2, X3）を設定します。また、〈SPAC〉で室の③床面高さ HF を設定します。
- HASP の影の計算は、あちこちに分散していて分かりにくいですが、
 - ①入力データで直ぐに決まること（散乱光の形態係数など）、
 - ②年間計算になって決まること（直達光の日照面積率）
 など、計算順序に従って処理しています。

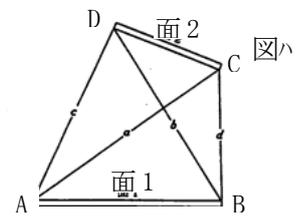


2-1 底と隣接建物を考慮した天空と地物の形態係数

- 形態係数を 3 次元で扱うと煩雑になりすぎるので、HASP では 2 次元で扱い、組み合わせて用いています。

1) 上底と袖底の形態係数／〈EXPS〉の読み込み直後に決まること

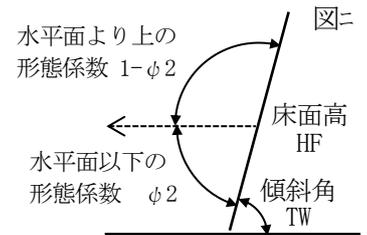
- 図ハの台形 ABCD で、線分 AB から見る線分 CD の形態係数の公式は
 (公式) $\psi_{AB,CD} = (\overline{AC} + \overline{BD} - \overline{AD} - \overline{BC}) / (2 \times \overline{AB})$ です。
- これを用いて、垂直方向は外皮 (y2+y3) から見る上底 (Zh) の形態係数 $\phi 1$ と、水平方向は外皮 (X1+X2+X3) から見る左右の袖底 (ZV) の形態係数 $\phi 4$ を求めます。



$$\phi 1 = (Y2 + Y3 + ZH - \sqrt{(Y2 + Y3)^2 + ZH^2}) / (2(Y2 + Y3))$$

$$\phi 4 = (X1 + X2 + X3 + ZV - \sqrt{(X1 + X2 + X3)^2 + ZV^2}) / (2(X1 + X2 + X3))$$

※ 水平底は独立でなく、左右に伸びた連続底を想定しています。
 ※ 下底は無視し地面の形態係数に含まれるものします。



2) 隣接建物による空と地物の形態係数／〈SPAC〉の〈WNDW〉〈OWAL〉で決まること

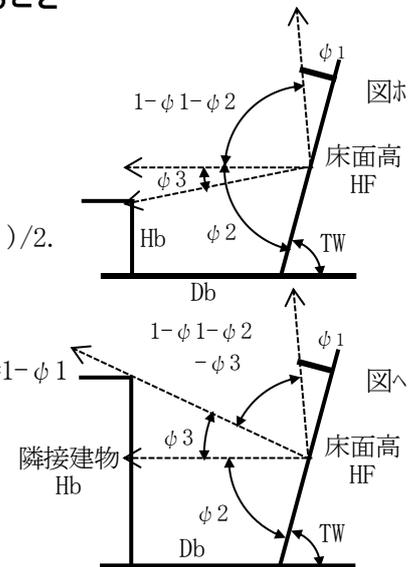
- 隣接建物がある場合は、〈SPAC〉の床面高 HF [m] を代表高さとして、隣接建物の高さ Hb [m] と距離 Db [m] により形態係数を求めます。
- 図ニと図ハで、水平面より下の形態係数は $\phi 2 = (1 - \cos TW) / 2$ です。床面高さから見る隣接建物の高低差 Hb-HF 部分の形態係数は

$$\phi 3 = (1 - (DB \cdot \cos TW - (Hb - HF) \cdot \sin TW) / \sqrt{DB^2 + (Hb - HF)^2}) / 2$$

※ $\phi 3$ は Hb-HF によって正または負の値になります。

- 地物と空の形態係数は (右ホ) : $\phi g = \phi 2 + \phi 3$, $\phi s = 1 - \phi 1 - \phi g$
 - 隣接建物が非常に高い場合 $\phi 1 + \phi 2 + \phi 3 > 1$ となるので $\phi s = 0$, $\phi g = 1 - \phi 1$
- ※隣接建物と地面の反射率は共通として、形態係数 $\phi g'$ にまとめます。

$$\phi g' = \phi g + \phi b \quad (\text{以下では } \phi g' \Rightarrow \phi g \text{ として用います})$$

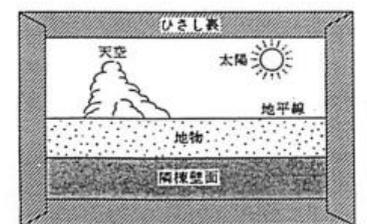


3) 袖底による補正／〈SPAC〉の〈WNDW〉〈OWAL〉で決まること

- 先の空 ϕs と地物 ϕg の形態係数を袖壁の形態係数 $\phi 4$ で補正します。
 $\phi g' = \phi g * (1 - \phi 4)$, $\phi s' = \phi s * (1 - \phi 4)$

(以下では $\phi g' \Rightarrow \phi g$, $\phi s' \Rightarrow \phi s$ として用います)

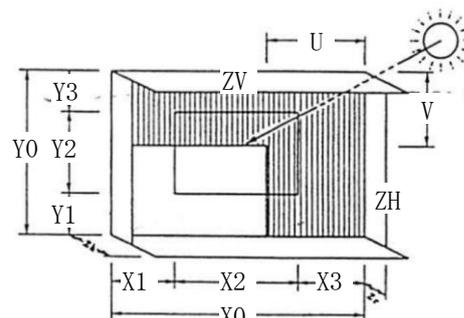
- 外皮から見る形態係数は右の図トのようにになります。



図ト 外皮から外部諸物体の見え方

2-2 庇と隣接建物による直達日射の日照面積率 / 計算実行中に決まること

- 直達日射の日照面積率（窓 ζg と壁 ζw ）を求めるのですが、先ず右下図の<EXPS>の庇による日照面積率を求めます。その後で、<SPAC>の床面高における隣接建物による直達日射の有無を<WNDW>と<OWAL>でチェックして、隣接建物によって直達日射が遮られていることが分かれば、日照面積率を0にします。



1) <EXPS> での日照面積率の計算

- 太陽の入射角 $\cos I$ (1章の5)で示しましたが、再掲します)

$$\cos I = SH * CT + CHCA * CAST + CHSA * SAST$$
- $\cos I \leq 0$ ならば直達日射なしで、日照面積率 $\zeta g = \zeta w = 0$
- $\cos I > 0$ 直達日射ありで、かつ、隣接建物も庇も無い場合は、
 - <OWAL>の日照面積率 $\zeta w = \cos I$... ζw には入射角 $\cos I$ を含めます。
 - <WNDW>の日照面積率 $\zeta g = GF(\cos^2 I)$... ζw には入射角特性 $GF(\cos^2 I)$ を含めます。
- ※ 日照面積率に $\cos I$ やガラスの入射角特性 GF の値を含めるのは、後々の日射の計算で、これらを含めた計算をするので、予め組み込んでおきます。(プログラムの合理化を図るためです)
- $\cos I > 0$ 直達日射ありで、庇がある場合は、次の2)で庇による日照面積率を詳細に求めます。

2) <EXPS> での直達日射ありの場合の庇による日照面積率

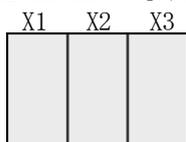
- 入射角 $\cos I$ の面での横成分 $CS = CHSA * CA - CHCA * SA$
- 入射角 $\cos I$ の面での縦成分 $CC = SH * ST + CHCA * CACT + CHSA * SACT$
- 横方向の影の長さ $U = ZV * \text{abs}(CS) / \cos I$ ZV : 袖庇の出の長さ
- 縦方向の影の長さ $V = ZH * \text{abs}(CC) / \cos I$ ZH : 上庇の出の長さ

※ 水平庇は独立庇ではなく、左右に伸びた連続庇を想定しています。

- U と V によってガラス部分の日照面積率 ζg と外壁部分の日照面積率 ζw を求めます。
 - $U > X1 + X2 + X3 - U$ または $V > Y1 + Y2 + Y3$ の場合は、全て影の $\zeta w = \zeta g = 0$ が確定です。

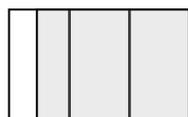
<横方向>

左と右の両方
求めます。



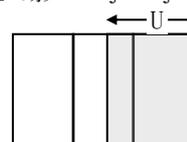
$$U \leq X1 + X2 + X3 = X0$$

$$\zeta w = \zeta g = 0$$



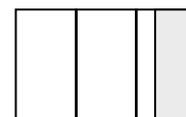
$$U > X2 + X3$$

$$Ug = 0$$



$$U > X3$$

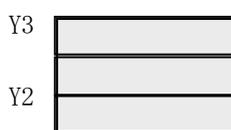
$$Ug = X2 + X3 - U$$



$$U \leq X3$$

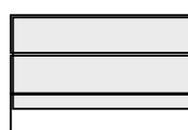
$$Ug = X2$$

<縦方向>



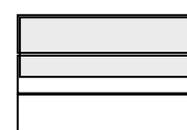
$$V \geq Y1 + Y2 + Y3 = Y0$$

$$\zeta w = \zeta g = 0$$



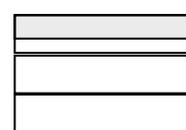
$$V > Y2 + Y3$$

$$Vg = 0$$



$$V > Y3$$

$$Vg = Y2 + Y3 - V$$



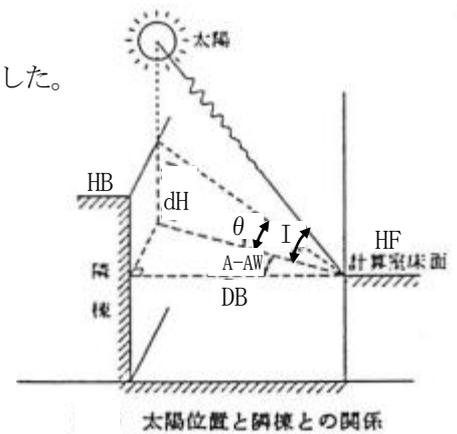
$$V \leq Y3$$

$$Vg = Y2$$

- 最後に、縦と横を掛け合わせ、かつ、入射角を考慮した日照面積率 ζw と ζg を求めます。
 - 日照面積 窓 $Sg = Ug * Vg$ 、 外壁 $Sw = (X1 + X2 + X3 - U) * (Y1 + Y2 + Y3 - V)$
 - 日照面積率 窓 $\zeta g = Ug * Vg / (X2 * Y2)$ 、 外壁 $\zeta w = (Sw - Sg) / (X0 * Y0)$
 - 窓<WNDW>の ξg $\xi g = GF(\cos^2 I) * \zeta g$ この ξg 、 ζg を窓ガラスの熱取得の計算で用います。
 - 外壁<OWAL>の ξw $\xi w = \cos I * \zeta w$ この ξw 、 ζw を外壁の熱取得の計算で用います。
- ※ ξw に入射角 $\cos I$ 、 ξg に入射角特性 $GF(\cos^2 I)$ を含めるところまでを<EXPS>で求めます。

3) <OWAL>と<WNDW>での隣接建物による直達日射の有無の判定

- 先の2)で、<EXPS>の底による日照面積率 ζg , ζw , ξg , ξw が決まりました。
- 次に、隣接建物による直達日射の有無を判定します。
この判定では、建物側は<SPAC>の床面高さ HF を代表点とします。
- 個々の窓<WNDW>や外壁<OWAL>で引用する、方位<EXPS>の方位角 (AW) を隣接建物 (HB, DB) を利用しますが、あくまで代表点である<SPAC>の床面高さ HF における直達日射の有無での判定です。
- 直達日射がなければ、窓<WNDW>や外壁<OWAL>の日照面積率 $\zeta = 0$, $\xi = 0$ とし、直達日射があれば先の2)で求めた ζ や ξ を使います。



- 先ず、床面高 HF での入射角で判断します。

※ 直達日射の有無の判別なので、面の方位角 (AW) だけを用います。

- 入射角 $\cos I' = CHCA * CA + CHSA * SA$ なお、 $CA = \cos AW$, $SA = \sin AW$
 $\cos I' \leq 0$ ならば 直達日射なし。よって、 $\zeta g = \zeta w = \xi g = \xi w = 0$ が確定です。
 $\cos I' > 0$ ならば 直達日射ありの可能性があり、つぎのステップに進みます。

- 隣棟の影響 $\cos \theta = (HB - HF) \cdot CA / DB * CHSA \cdot SA / DB$
 $\cos \theta > \cos I'$ ならば 隣接建物で直達日射なし。 $\zeta g = \zeta w = \xi g = \xi w = 0$ が確定です。
 $\cos \theta \leq \cos I'$ ならば 直達日射ありです。

先の2)の ζg , ζw , ξg , ξw を計算に用います。

- ※ 参考) 直達日射の有無だけなら、太陽のプロファイル角と隣接建物の仰角で考えるのがより簡単です。
 太陽のプロファイル角 $\tan Ps = SH / \cos I'$ なお、 $SH = \sin H$ (太陽高度)
 隣接建物の仰角 $\tan Pb = (Hb - Hf) / DB$
 $\tan Pb \leq \tan I'$ ならば 直達日射あり
 $\tan Pb > \tan I'$ ならば 隣接建物の影になり、直達日射なし
 プロファイル角とは、太陽を真横から見たときの高度 (仰角) です。

3) 気象データの単位変換

・気象データの読み込み値の整数 K を HASP では下記のように変換して使います。

- ①外気乾球温度 T_0 [°C] $T_0=0.1*(K-500)$ ……has など 3 カラムデータの場合
 $T_0=0.1*K$ ……hasH などの 4 カラムデータの場合
- ②外気絶対湿度 X_0 [g/kg'] $X_0=0.1*K$
- ③法線面直達日射量 JDN [kcal/hm²] $JDN=K$ ……重力単位(SE)の kcal/hm² の場合
 $JDN=K*0.4186$ ……SI 単位の W/m² の場合は重力単位に変換します。
- ④水平面天空日射量 JSH [kcal/hm²] $JSH=K$ または $JSH=K*0.4186$ ……同上
- ⑤夜間放射量 JNT [kcal/hm²] $JNT=K$ または $JNT=K*0.4186$ ……同上
- ⑤が全雲量 [全天比] の場合 K は、全天を 10 とするときの雲で覆われる比率 0~10 です。
 HASP では、これを Brunt の式によって水平面の夜間放射量 JNT [kcal/hm²] に変換します。
 Brunt の式 $JNT= 4.88*(0.01*(T_0+273.16))^{**4}*(1.-0.062*K)*(0.49-2.1*SQRT(X_0/(X_0+622.)))$
- ⑥風向 WD 気象データは 16 方位で NNE=1、NE=2…S=8…N=16、WD=0 は無風
 方位角 Awd [°] に変換 $AWD=(K-8)*360/16$ ……南を基準に時計回りの角度です。
- ⑦風速 WV [m/s] $WV=0.1*K$

4) ACLD_HEX15/時間区分での気象データの補間

・ACLD_HEX15 は 60 分よりも短い時間間隔の計算ができますが、気象データは同じものを使います。
 従って、正時と正時の間の途中の気象データはプログラム内部で比例補間して作ります。

例： JH=1~24 の正時の気象データの外気乾球温度を $T_{024}(j)$ とします。

時間区分数が $nJhm$ で、 $i=0\sim nJhm-1$ の i 番目の時分の場合、

通しの時分は $J=(JH-1)*nJhm+i$ であり、内分比は $x=i/float(nJHM)$ です。

J 時分の外気乾球温度は $T_0(J) = T_{024}(JH-1)*(1-x) + x*T_{024}(JH)$ となります。

※ 外気絶対湿度 X_0 、日射量 JDN 、 JSH 、夜間放射量 JNT も同様に補間します。

※ ACLD_HEX15 では、前日 24 時の気象データを当日 0 時の気象データとして保存しています。

・風向と風速の場合

・風向と風速については単純な比例補間ではなく、ベクトルに変換してから比例補間しています。

・JH=1~24 の正時の風向の方位を $AWD_{24}(JH)$ 、風速を $WV_{24}(JH)$ とします。

正時の風向風速のベクトルは 南北成分が $WV_{24s}(JH)=WV_{24}(JH)*\cos WD_{24}(JH)$

東西成分が $WV_{24w}(JH)=WV_{24}(JH)*\sin WD_{24}(JH)$

・J 時分の風向風速ベクトルは 南北成分は $WV_s=WV_{24s}(JH-1)*(1-x) + x*WV_{24s}(JH)$

東西成分は $WV_w=WV_{24w}(JH-1)*(1-x) + x*WV_{24w}(JH)$

・J 時分の方位角 [°] に戻します $AWD(J) = ATAN(WV_w, WV_s) * 360. / 3.1415926$

・J 時分の風速に戻します $WV(J) = SQRT(WV_w**2 + WV_s**2)$

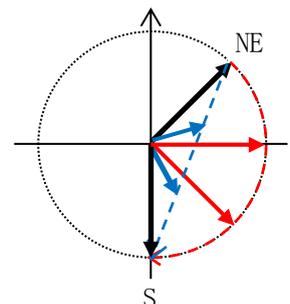
※ 風向と風速の補間には色々な方法が考えられます。

・右図で、風向が NE から S に変わった場合を例に説明します。

・風向と風速を独立に補間すると、右図の赤の線のように補間されます。

・ベクトルで補間する場合は、右図の青の線のように補間されます。

ACLD_HEX15 では、このベクトルで補間する方法を採用しています。



4. 窓ガラスの貫流熱取得と日射熱取得

- ・窓ガラスは、①貫流熱取得と、②日射熱取得とに分けて計算します。また、貫流熱取得には熱貫流率U値を使い、日射熱取得には遮蔽係数SCを使います。ここまでは手計算法と同じです。
- ・熱取得は、対流成分と輻射成分に分けますが、これは、対流成分は直ぐに熱負荷になりますが、輻射成分は時間遅れを伴って熱負荷になるので、非常では対流成分と輻射成分に分けなければなりません。
- ・窓ガラスの対流と輻射の分け方に、ACLD_HEX15 と NewHASP とで若干の違いがあります。
 - ・ NewHASP では元の HASP には無い新たな機能が追加されています。
 - ・ ガラスの品種・品番が大幅に増えました。また、AFW、PPW が追加されました。⇒1)
 - ・ AFW と PPW ではU 値や SCC・SCR 値を補正します。 ⇒3)
 - ・ U 値や SCC・SCR 値の%補正（これは AFW、PPW 以外の窓ガラスにも適用できます。⇒4)
 - ・ 内表面熱伝達率の対流と放射の比率が変更されています。⇒5)（ただし窓のみ適用）

1) ガラスの品種と品番

<ACLD_HEX15> 元々の HASP/ACLD/8501 で選べる品種は 30 です。（欠番があるので 18 品種）
ブラインドは無・明色・中等色の 3 通りです。

ACLD_HEX15 では 3 種類の LowE が追加されています。⇒ (2)入力編

※ U 値、遮蔽係数 SC 値の詳細は ⇒ [HASP-ACLD-8501 解説書](#)

<NewHASP> HASP では、計 584 の品番あります。

ブラインドは無・明色・中等色・暗色の 4 通りです。

※ U 値と遮蔽係数 SC 値の詳細は ⇒ [NewHASPACLD 操作マニュアル 附表 A-1~A-4](#)

※ 同じ品番のガラスでも ACLD_HEX15 と NewHASP とで U 値や SCC・SCR 値に若干の違いがあります。

2) ブラインドの開閉による U 値・SC 値

- ・U 値でブラインド開と閉の 2 通り、SCC・SCR 値にはブラインド開と閉では色による違いがあります。
- ・毎時刻の日射条件によって次のようにブラインドの開閉を判断します。

$HGs(r) < HGo/c$ ならば ブラインド開、 $HGs(r) \leq HGo/c$ ならば ブラインド開
人が不在の時間帯は無条件に ブラインド閉 です。

なお、 $HGs(r)$; 窓からの直達日射の熱取得の輻射成分で、ブラインド開と仮定した場合の値
 HG_{up} : ブラインド開閉の限界日射量 : <BUIL>で入力した値です。

※ 限界日射量 HGo/c の Default 値は、ACLD_HEX15 と NewHASP とも 200 W/m² です。

3) AFW と PPW の場合の補正值 (ΔU 、 ΔSC) / NewHASP で追加された機能

- ・ NewHASP では、AFW と PPW が加わりました。
- ・ AFW と PPW は、夏は日射をブラインドで受けて、その熱を窓通気によって排出することで日射熱負荷を低減します。冬は窓通気することで窓空間の温度を室温に近づけ、室内温熱環境の改善を図るものです。
なお、窓通気量は、元々換気で排出する空気なのでエネルギーの無駄にはなりません。
- ・このように AFW や PPW は通常の窓とは異なるので、先の 1)や 2)の U 値と SCC・SCR 値をそのまま使うことはできません。NewHASP には AFW と PPW の窓性能を補正する機能があります。
- ・U 値と遮蔽係数 SC 値の補正值 ΔU 、 ΔSC は、NewHASPACLD 操作マニュアル附表 A-5、A-6A-7、A-8 にあります。
次のように修正します。

修正後のU値 = 元のU値 - ΔU

修正後のSCC値 = 元のSCC値 - ΔSC*(1-kLR)

修正後のSCR値 = 元のSCR値 - ΔSC*kLR

※ 補正值ΔU、ΔSCは、ガラスの品番とブラインドの状態と窓通気量によって決まります。PPWでは更に排気率(〈WNDW〉での入力値)によっても補正值が変わります。

※ 補正すると元のU値、SCC・SCR値よりも値が小さくなります。(省エネになります) 附表のΔU、ΔSCは負の値ですが、混乱するので、上式のように表現しました。

※ ΔU、ΔSCともブラインド開閉の2通りの値があります。2通りとも補正します。

※ kLRはNewHASPでの、ガラスの内表面熱伝達率の輻射の比率です。⇒ 5)

4) U値とSCC・SCR値の%修正 / NewHASPで追加された機能

・NewHASPでは、〈WNDW〉毎にUやSCC・SCRの値を修正することができます。

・〈WNDW〉では、①と②の2通りの修正方法が選べますが、②が①に優先します。

①空調運転時間中のみですが、一律に修正する方法 ⇒ %値を入力します。

②〈DSCH〉を引用することで時間別に修正する方法 ⇒ 〈DSCH〉を引用します。

・この%修正は、AFWやPPWに限らず、全ての窓ガラスに適用できます。

・修正は、熱取得を求める最後の段階で修正します。

U=修正前のU*%修正値/100、SCC=修正前のSCC*%修正値/100、SCR=修正前のSCR*%修正値/100

※ %修正値を0にすると、この〈WNDW〉での熱取得が0になります。

5) 窓の熱取得の輻射成分比kLR / NewHASPで追加された機能

・NewHASPでは、窓ガラスについてですが、内表面熱伝達率の輻射成分比を変えています。

輻射成分比kLRの詳細は、⇒ NewHASPACLD操作マニュアル附表A-9

・元々のHASP 内表面熱伝達率は 対流 $\alpha_{ic}=3.5$ 、輻射 $\alpha_{ir}=4.5$ [kcal/hm²] なので、
輻射成分比 = $\alpha_{ir}/(\alpha_{ic} + \alpha_{ir}) = 0.5625$ です。

・NewHASPでは 外側が透明ガラスで、内側に膜面がある高性能ガラスの場合 kLR = 0.3~0.44

その他の窓ガラスの場合は kLR = 0.47

内ブラインドが閉の場合は一律で kLR = 0.23

・この輻射成分比kLRは、次の2つの場面で使います。

① AFWとPPWのΔSCを対流成分と輻射成分に分ける場面で使いました。⇒ 前述の3)

② 熱取得を対流と輻射に分けるときに使います。

・貫流熱取得 対流成分 $HG_t(c) = EX_t * Aw_{ndw} * U * (1-kLR)$

輻射成分 $HG_t(r) = EX_t * Aw_{ndw} * U * kLR$

・日射熱取得 対流成分 $HG_s(c) = EX_s * Aw_{ndw} * SCC * (1-kLR)$

輻射成分 $HG_t(r) = EX_s * Aw_{ndw} * SCC * kLR + EX_s * Aw_{ndw} * SCR$

ただし、HG_t、HG_s：貫流熱取得、日射熱取得

EX_t、EX_s；貫流の励振の温度差、日射の励振の日射量

Aw_{ndw}：窓面積、U：熱貫流率、SCC、SCR：遮蔽係数

kLR：輻射成分比 …… SCRには適用されません

※ 励振EX_t、EX_s、熱取得HGについては ⇒ 6), 7), 8)をご覧ください。

6) 窓ガラスの貫流熱取得

- ・内外温度差と夜間放射量（長波放射）による貫流熱を考えます。
- ・励振の温度差 $EX_t = (T_0 - TR) - (JNT * \phi_{gb} * \varepsilon / \alpha_o)$
- ・貫流熱取得 $HG_t = EX_t * A_{wndw} * U * \alpha_{ic} / (\alpha_{ic} + \alpha_{ir})$

※ 熱取得 HG_t はこの後で対流と輻射に分けます。 ⇒ 8)

ただし T_0, TR ; 外気乾球温度と室の基準温度 [°C]

※ TR は室温ですが、熱取得の段階では $TR = TB$ (基準室温で入力データ) です。

JNT : 水平面の夜間放射量 [W/m^2] … 気象データの1つです ⇒ 3の4)の⑤

※ 夜間放射 JNT は SAT (⇒6 外壁) と同様の考えで温度に換算します。

※ 夜間放射は地表付近と上空との長波放射のことで24時間存在します。

ϕ_g : 地物の形態係数 … 2.1 で求めた値

ε : 長波の放射率 … HASP では窓ガラスの場合は0.9に固定

α_o : 外表面熱伝達率 … HASP では $\alpha_o = 20 \text{kcal}/(\text{hm}^2\text{C}) \div 23 \text{W}/(\text{m}^2\text{C})$

A_{wndw} : 窓面積 [m^2]

U : 窓の熱貫流率 [W/m^2]

☒ ※ NewHASP では U 値を補正・修正するオプションがあります。⇒2)3)4)

7) 窓ガラスの日射熱取得

直達と天空と地物反射は短波長の日射です。これらによる日射熱取得を求めます。

- ・励振の日射量 $EX_s = JDN * \xi_g + JSH * \phi_s * 0.808 + (JDN * \sin H + JSH) * \rho_g * \phi_g * 0.808$
- ・日射熱取得 $HG_s = EX_s * A_{wndw} * SC$

※ 実際は、熱取得を SCC と SCR で対流と輻射に分けます。⇒ 8)

ただし JDN : 法線面直達日射量 … 3の4)5)

$\xi_g = GF(\cos^2 I) * \zeta_g$

GF : 入射角特性の関数 ⇒ 1の6)、 $\cos I$: 入射角 ⇒ 1の5)

ζ_g : 日照面積率 ⇒ 2-2

Jsh : 水平面天空日射量 … 3の4)5)

ϕ_s : 空の形態係数 … 2-1の2)3)

0.808 : 拡散日射の日射熱取得率 … 1の6)、HASP では固定値

$(JDN * \sin H + JSH)$: 水平面全日射量

ρ_g : 地物の反射率 … <BUIL>の入力データ

ϕ_g : 地物の形態係数 … 2-1の2)3)

0.808 : 拡散日射の日射熱取得率 … 1の6) HASP では固定値

A_{wndw} : 窓面積 [m^2]

SC : 窓の遮蔽係数 なお、 $SC = SCC + SCR$ 、 SCC : 対流の遮蔽係数、 SCR : 輻射の遮蔽係数)

☒ ※ NewHASP では SCC 、 SCR を補正・修正するオプションがあります。⇒3)4)

8) 窓ガラスの熱取得 HG を求める手順

添字 o と c はブラインド開閉、c と r は対流と輻射

以下の式で “=” は等号ではなく、プログラムの置き換え (save 命令) です。

<プログラムでの固定値または入力データで決まる値>

- ①内表面熱伝達率 (対流と放射) $\alpha_{ic}=3.5, \alpha_{ir}=4.5$ …… プログラムでの固定値
 ②ガラスの性能値 (ブラインド開) U_o, SCC_o, SCR_o 、(ブラインド閉) U_c, SCC_c, SCR_c ⇒ 前述 1) 2)

③NewHASP 窓に吸収された後に室内に侵入する熱のうちの長波放射成分の比率 (kLR) ⇒ 前述の 5)

- ④NewHASP AFW と PPW の場合 補正值 $\Delta U_o, \Delta U_c, \Delta SCC_o, \Delta SCC_c$ …… 前述の 3)

輻射成分比 kLR によって ΔSC を対流と輻射とに按分します。⇒ 前述の 3)

$$SCC_o' = SCC_o + \Delta SC \times (1 - kLR_o) \quad SCR_o' = SCR_o + \Delta SC \times kLR_o \quad \dots \text{ブラインド開}$$

$$SCC_c' = SCC_c + \Delta SC \times (1 - kLR_c) \quad SCR_c' = SCR_c + \Delta SC \times kLR_c \quad \dots \text{ブラインド閉}$$

※ 以後 $SCC_o', SCC_c', SCR_o', SCR_c'$ を $SCC_o, SCC_c, SCR_o, SCR_c$ として使います。

<計算中の処理>

- ⑤励振 (貫流の温度差) $EX_t = T_o - T_r - JNT * \phi_{gb} * \epsilon / \alpha_o \Rightarrow 6)$

※ T_r は室温ですが、熱取得の段階では $T_r = T_b$ (基準室温で入力データ) です。

(日射) $EX_s = JDN * \xi_g + JSH * \phi_s * 0.808 + (JDN * \sin H + JSH) * \rho_g * \phi_g * 0.808 \Rightarrow 7)$

- ⑥NewHASP の場合 U, SCC, SCR の%補正

$$U_o' = U_o * \%u, \quad SCC_o' = SCC_o * \%c, \quad SCR_o' = SCR_o * \%r \Rightarrow \text{前述の 4)}$$

$$U_c' = U_c * \%u, \quad SCC_c' = SCC_c * \%c, \quad SCR_c' = SCR_c * \%r \Rightarrow \text{前述の 4)}$$

※以後 $U_o', U_c', SCC_o', SCC_c', SCR_o', SCR_c'$ を $U_o, U_c, SCC_o, SCC_c, SCR_o, SCR_c$ として使います。

- ⑦ブラインドの開閉 $HG_s(r) = EX_s * SCR_o < HG_{o/c} = \text{限界日射} \Rightarrow \text{ブラインドを閉} \Rightarrow \text{前述 2)}$

$$HG_s(r) = EX_s * SCR_o \geq HG_{o/c} = \text{限界日射} \Rightarrow \text{ブラインドを開} \Rightarrow \text{前述 2)}$$

人が不在の時間帯 ⇒ 日射の条件に係わらず、ブラインドを開 ⇒ 前述 2)

開閉によって U_o か U_c 、 $SCC_o \cdot SCR_o$ か $SCC_c \cdot SCR_c$ が決まります。

- ⑧熱取得 HG を対流 c と輻射成分 r に按分して求めます。

<ACLD_HEX15 の場合> 対流は α_c と α_r で按分し、輻射は SCC と SCR で按分します。

$$(\text{対流}) \quad HG_c = EX_t * U * \alpha_{ic} / (\alpha_{ic} + \alpha_{ir}) + EX_s * SCC \Rightarrow \text{前述の 6) 7)}$$

$$(\text{輻射}) \quad HG_r = EX_t * U * \alpha_{ir} / (\alpha_{ic} + \alpha_{ir}) + EX_s * SCR \Rightarrow \text{前述の 6) 7)}$$

<NewHASP の場合> ③の kLR によって按分します。 SCC も kLR によって按分します。

$$(\text{対流}) \quad HG_c = EX_t * U * (1 - kLR) + EX_s * SCC * (1 - kLR)$$

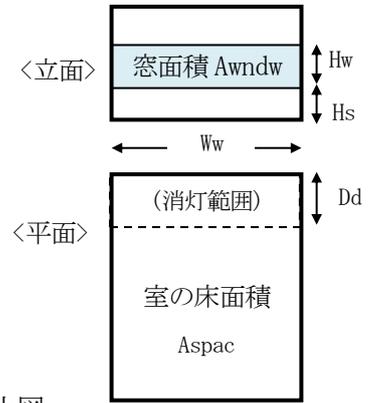
$$(\text{輻射}) \quad HG_r = EX_t * U * kLR + EX_s * SCC * kLR + EX_s * SCR$$

※kLR で補正するのは、NewHASP の窓ガラスの時だけです。

5. 昼光利用

1) 昼光利用に係わる入力データ

- ・<BUIL> 地物反射率 ρ_g 、ブラインド閉の限界日射熱取得 HGO/c [lx]
- ・<SPAC> 室内仕上げ 0:消灯しない、1:明色、2:中等色、3:暗色
消灯範囲の奥行き Dd [m]
- ・<WNDW> 窓台の高さ H_s [m]、窓面幅 W_w [m]、窓面積 A_{wndw} [m²]
- ・<LIGH> 設計照度 E_{lx} [lx]



2) <SPAC>と<WNDW>で決まる室の形状と反射率

- ・室の形状：床面積 $Aspac$ で、間口が窓面幅 W_w の矩形とします。⇒上図
- ・窓の形状：窓面幅 W_w の連窓とします。(※<EXPS>の寸法と無関係に決めます) ⇒上図
窓面積 A_{wndw} 、窓面幅 W_w より、窓高さ $H_w = A_{wndw}/W_w$ とします。
- ・内面の平均反射率：上面 $\rho_1 = 0.7, 0.5, 0.3$ 、下面 $\rho_2 = 0.3, 0.2, 0.1$ (明色・中等色・暗色の順)
- ・上方からの下向き入射(直達と天空)の多重反射による反射率 $\rho_{dn} = \rho_1 \rho_2 / (1 - \rho_1 \rho_2)$
下方からの上向き入射(地物反射)の多重反射による反射率 $\rho_{up} = \rho_1 / (1 - \rho_1 \rho_2)$
※ ρ_{dn}, ρ_{up} は等価反射率に相当します。また “ $/(1 - \rho_1 \rho_2)$ ” は多重反射です。

3) 日射量から照度への変換

- ・HASPの昼光利用のアルゴリズムは<SPAC>と<WNDW>に分かれており、また、日射と昼光が平行して記述されているためにやや煩雑になっています。下記では整理しています。
- ・日射量から照度への変換：HASPでは109 [(lm)/(kcal/h)]を固定値としています。

<ブラインド“開”の場合の作業面照度> { }の部分は窓を通過する日射量の輻射成分そのものです。

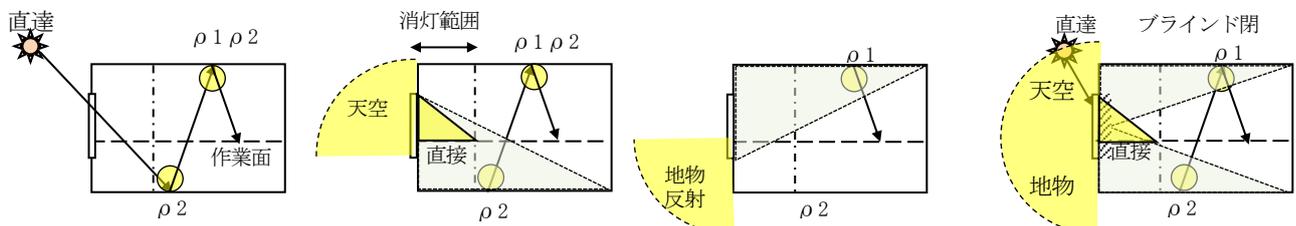
- ・天空日射による直接照度 $E_{dS} = 109 * \{JSH * \phi_s * SCRO\} * \phi_w$
 ϕ_w は作業面から見る窓の2次元の形態係数で $\phi_w = 0.5 * \{1 - Dd / \sqrt{Dd^2 + H_w^2}\}$ …公式通り
※ 作業面の高さの下限を0.75mとして、これより下にある窓からの直接成分は算入しません。
※ 直達日射による直接照度は算入しません。間接照度で見込みます。
- ・直達日射による間接照度 $E_{rd} = 109 * \{JDN * \zeta * g * GF(\cos^2 I) * SCRO\} * \rho_{dn} * A_{wndw} / Aspac$
- ・天空日射による間接照度 $E_{rs} = 109 * \{JSH * \phi_s * 0.808 * SCROp\} * \rho_{dn} * A_{wndw} / Aspac$
- ・地物反射による間接照度 $E_{rg} = 109 * \{(JDN * \sin H + JSH) * \rho_g * \phi_s * 0.808 * SCRO\} * \rho_{up} * A_{wndw} / Aspac$
※ $A_{wndw} / Aspac$ は窓面積 (A_{wndw}) からの入射が下面(または上面)に平均して当たるとしてしています。
- ・直接+間接による全照度 $E_t = E_{dS} + E_{rd} + E_{rs} + E_{rg}$

<ブラインド“閉”の場合の作業面照度> { }の部分は窓を通過する日射量の輻射成分そのものです。

- ・ブラインドに入射する日射量 $JT = JDN * \zeta * g * GF(\cos^2 I) + JSH * \phi_s * 0.808 + (JDN * \sin H + JSH) * \rho_g * \phi_s * 0.808$
- ・全ての日射による作業面への直接照度 $E_d = 109 * \{JT * SCRC\} * \phi_w * A_{wndw} / Aspac$
- ・全ての日射による間接照度 $E_r = 109 * \{JT * SCRC\} * (\rho_{dn} + \rho_{up}) / 2 * A_{wndw} / Aspac$
※ 間接照度は、ブラインドから上面と下面に1/2ずつ一様に投射されたものの反射です。
- ・直接+間接による全照度 $E_t = E_d + E_r$

4) 消灯率

- ・消灯の判定 $E_t > E_{lx}$ の時に消灯、消灯率は $X_{off} = (DD * W_w) / Aspac$
- ※ 同一<SPAC>で複数の<WNDW>で消灯した場合、消灯率は単純加算で $\sum X_{off}$ です。
なお、照明<LIGH>で、 $\sum X_{off} > 1.0$ となった場合は、 $\sum X_{off} = 1.0$ に制限されます。
- ※ 消灯率は人工照明の削減に反映されます。(⇒10-2節)



6. 外壁

1) 不透明な壁での日射の扱い/SAT の考え方

- 外壁は不透明なので日射は透過しませんが、熱として室内に侵入します。
温度と日射を独立に扱うこともできますが、“SAT” の考え方を取り入れると温度と日射をまとめて計算することができるので便利です。(熱貫流率 U が共通に使えるため)
- 外表面での熱授受を考えます。

$$\begin{array}{ll} \text{外気と外表面との熱伝達} & Q_T = \alpha_o(t_o - t_s) \quad \alpha_o : \text{外表面熱伝達率} \\ \text{表面での日射の吸収} & Q_S = a \cdot J \quad a : \text{日射吸収率、} J : \text{外壁での日射量} \end{array}$$

$$2 \text{ つをまとめると} \quad Q_{T+S} = \alpha_o(t_o - t_s) + a \cdot J = \alpha_o \left(t_o + \frac{a}{\alpha_o} J - t_s \right)$$

$$\text{ここで右辺の } \{ \} \text{ の中で} \quad SAT = t_o + \frac{a}{\alpha_o} J \quad \text{と置くと}$$

$$Q_{T+S} = \alpha_o(SAT - t_s) \quad \text{と書けます。}$$

この SAT を相当外気温度 (Sol-Air temperature) といいます。

SAT は、日射を等価な温度に換算し、あたかも外気温度が上がったかのように扱う仮定の温度です。

- 上式は、外壁の外表面での熱伝達 Q_{T+S} ですが、壁体全体で考えた場合、壁体内部での熱伝導でも、内表面熱伝達でも熱流の大きさ Q_{T+S} は同じです。(フーリエの法則)。

$$\text{即ち、} \quad Q_{T+S} = \alpha_o(SAT - t_s) = \frac{\lambda}{d}(t_s - t_R) = \alpha_i(t_i - t_R)$$

ここで α_o : 外表面熱伝達率、 α_i : 内表面熱伝達率、 λ : 材料の熱伝導率、 d : 材料の厚さ、
 t_o : 外気温度、 t_s : 外表面温度、 t_i : 内表面温度、 t_R : 室温
 J : 日射量、 a : 日射吸収率、SAT : 相当外気温度 (Sol-Air temperature)

- HASP では内部の温度は直接的に扱わないので、上記の連立方程式を解いて t_s や t_i を消去します。

こうすると $Q_{T+S} = U(SAT - t_R)$ 貫流熱の式得られます。

ここで、 U は“熱貫流率”で、 $U = \frac{1}{1/\alpha_o + \sum(d/\lambda) + 1/\alpha_i}$ です。(式は複数の部材の場合)

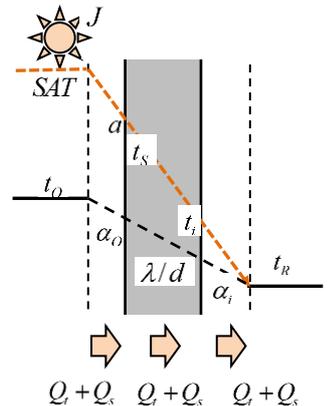
※ 外表面で吸収された日射の全てが室内への熱となるわけではありません。

上式を元の日射 J に戻します。 $Q_{T+S} = U(SAT - t_R) = U(t_o + (a/\alpha_o) \cdot J - t_R) = U(t_o - t_R) + U(a/\alpha_o) \cdot J$

この中の $U(a/\alpha_o)$ が日射熱取得率に相当します。

$a = 0.8$ 、 $\alpha_o = 23$ とし、少し断熱した RC 壁で熱貫流率を $U = 1$ とすると、日射侵入率は $U \cdot (a/\alpha_o) \doteq 0.035$

即ち、日射の約 3.5% が室内への日射熱となります。残りの 96.5% は外表面から外気へ逃げていきます。



2) 内外表面熱伝達の層

- 〈WCON〉の入力時点では、その壁体が何に使われるか (外壁か内壁か接地壁か異形部材か) は未定です。
- 〈SPAC〉の下で、〈OWAL〉で引用されると外壁になり、〈IWAL〉なら内壁、〈GWAL〉なら接地壁、〈BECO〉なら異形部材 (梁・柱) になります。
- 〈WCON〉では壁体の n 層の実質部のみの入力です。内外の表面熱抵抗の層はありません。
- 〈OWAL〉の場合は 0 層目に内表面熱抵抗の層、 $n+1$ 層目に外表面熱抵抗の層をプログラムが追加します。
 - 0 層目の熱抵抗 $= 1/\alpha_i = 1/8 = 0.125$ [$\text{m}^2\text{Ch/kcal}$] $\doteq 0.1075 \doteq 1/10$ [$\text{m}^2\text{C/W}$]
 - $n+1$ 層目の熱抵抗 $= 1/\alpha_o = 1/20 = 0.050$ [$\text{m}^2\text{Ch/kcal}$] $\doteq 0.0430 \doteq 1/23$ [$\text{m}^2\text{C/W}$]

3) HASP の外壁の貫流熱

- ・外気と日射の場合の熱取得の一般式は $Q_{T+S} = U(SAT - t_R) = U(t_o + (a/\alpha_o) \cdot J - t_R)$ です。
- ・HASP で、植栽が無い場合は、温度差と日射(直達・天空・地物反射)と夜間放射とで次のように計算します。

励振の温度差 $Ext = (T_o - T_R) + JDN \cdot \cos I \cdot \zeta w \cdot a / \alpha_o + JSH \cdot \phi s \cdot a / \alpha_o$
 $+ (JDN \cdot \sin H + JSH) \cdot \rho g \cdot \phi g \cdot a / \alpha_o - JNT \cdot \phi s \cdot \varepsilon / \alpha_o$

貫流熱取得 $HG = U \cdot A_{owal} \cdot Ext$

※ 非定常では熱貫流率Uではなく、実際は応用係数を使います。

ここに、 T_o, T_R : 外気温度と室内の基準温度 [°C] ※熱取得 HG を求めるまでは $T_R = T_B$ (基準温度)です。

a, ε : 日射吸収率(入力値)、長波放射率(入力値)、

α_o : 外表面熱伝達率 (HASP では 20[kcal/hm²°C]の固定値)

$JDN, \cos I, \zeta w$: 法線面直達日射量、入射角の余弦、外壁の直達日射の日照面積率 ⇒2 の2))

$JSH, \phi s$: 水平面天空日射量、天空の形態係数 (⇒2 の1))

($JDN \cdot \sin H + JSH$): 水平面全反射日射量 ⇒ ($JDN \cdot \sin H + JSH$) * ρg で地物反射量

$\sin H, \rho g, \phi g$: 太陽高度の正弦、地物の反射率(入力値)、地物の形態係数 ⇒ 2 の1))

JNT : 夜間放射量

4) 植栽の扱い / NewHASP で追加されたオプション機能

- ・植栽の蒸発比 β [%] と植栽層の熱抵抗 $1/\alpha_v$ [m²°C/W] が入力データです。($\beta = 0$ の場合は植栽無し)

<植栽モデル> 永田の2層モデル (⇒文献) によります。

$$q = \{ \alpha_o + R_v \cdot \alpha_x \cdot \beta \cdot (dx/dt) \} (t_o - t_v) - R_v \cdot \alpha_x \cdot \beta \cdot (x_s - x) + a \cdot J - \varepsilon \cdot Jnt = \alpha_{gv} (t_v - t_g)$$

※ 右辺の第2項が蒸散の潜熱の項です、

右辺の { } の中の第2項が蒸散の熱伝達率の項です。

ここで t_o, t_v, t_g : 外気温度と植栽表面温度と地面の表面温度 [°C]

x_s, x : 飽和絶対湿度とその時の絶対湿度 [g/kg'], $\Delta x = x_s - x$

α_o, α_{gv} : 通常の外表面熱伝達率、植栽層の熱伝達率

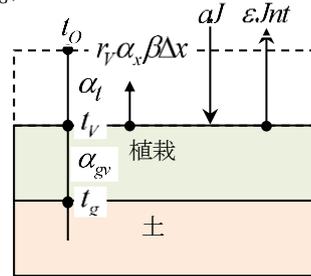
R_v : 水の蒸発潜熱 = 2500 [kJ/kg] = 0.60 [kcal/g]、 β : 蒸発率

α_x : 植栽層と外気の水分伝達率 = 60 [g/m²h(g/kg')]

dx/dt : 飽和絶対湿度の微分係数 = 1.0 [(g/kg')/°C] に固定します。

- ・蒸散に伴う熱伝達率 $R_v \cdot \alpha_x \cdot \beta \cdot (dx/dt) = 0.60 \cdot 60 \cdot \beta \cdot 1.0 = 0.36 \cdot \beta$ [kcal/hm²°C]
- ・蒸散を含む総合熱伝達率 $\alpha_T = \alpha_o + R_v \cdot \alpha_x \cdot \beta \cdot (dx/dt) = 20 + 0.36 \cdot \beta$ [kcal/hm²°C]
- ・モデル式を α_T で括ると $q = \alpha_T \{ (t_o - t_v) - (R_v \alpha_x \beta / \alpha_T) \Delta x + (a / \alpha_T) J - (\varepsilon / \alpha_T) Jnt \}$

※ { } の中の単位が温度になるのは SAT と同じ考え方です。



<HASP での蒸散の計算>

- ・植栽がある場合は、上記の Ext の式が次のように変わります。

励振の温度差 $Ext = (T_o - T_R) + JDN \cdot \cos I \cdot \zeta w \cdot a / \alpha_T + JSH \cdot \phi s \cdot a / \alpha_T$
 $+ (JDN \cdot \sin H + JSH) \cdot \rho g \cdot \phi g \cdot a / \alpha_T - JNT \cdot \phi s \cdot \varepsilon / \alpha_T$
 $- R_v \cdot \alpha_x \cdot \beta \cdot (X_s - X)$

<植栽の熱抵抗の層と外表面の熱抵抗>

- ・植栽がある場合は、n+1 層目に、植栽の熱抵抗 (1/alpha_rv) が追加され、更に、n+2 層目の外表面は、上記で示した総合熱伝達率の逆数 (1/alpha_T) の抵抗の層が追加されます。

※ 植栽がある場合は外表面熱伝達率が 1/alpha_T に変わります。

5) 外壁の熱取得 HG を求める手順

- ・壁体は熱容量が大きい材料で構成されるので、熱負荷となるまでの時間遅れが無視出来ませんが、時間遅れのこと(4)理論編で説明します。

<プログラムでの固定値>

- ①内表面熱伝達率 外表面熱伝達率 $\alpha_o=20$ [kcal/hm²°C] ⇒ 植栽がある場合は α_T に変わります。
 内表面熱伝達率 $\alpha_i=8$ 、(対流) $\alpha_{ic}=3.5$, $\alpha_{ir}=4.5$
- ②壁体材料の熱定数 熱伝達率 λ [W/m°C]、容積比熱 C [kJ/m³°C]

<入力データで決まる値>

- ③<WCON>で壁体を構成する材番と材厚 D [mm] を入力します。(<OWAL>で引用します)
- ④<OWAL>で外表面の日射侵入率 a 、外表面の長波放射率 ε を入力します。
- ⑤オプション：植栽被覆の蒸発率 β と植栽の熱抵抗 $1/\alpha_v$ [m²°C/W] を入力します。
 総合熱伝達率 $\alpha_T = \alpha_o + R_v \alpha_x \beta (dX/dT)$ と $R_v \alpha_x \beta$ が求められます。
 壁体の外側に植栽の熱抵抗 $1/\alpha_v$ の層が追加されます。
- ⑥内表面熱伝達抵抗 ($1/\alpha_i$) の層と外表面熱伝達抵抗 ($1/\alpha_T$) の層を追加します。⇒ 2), 4)
- ⑦応答係数 (HASP では項別公比法) を求めます。⇒ (4)理論編

<計算中の処理>

- ⑧励振の温度差 $EX_t = (T_o - T_r) + JDN \cdot \cos I \cdot \zeta_w \cdot a / \alpha_T + JSHh \cdot \phi_s \cdot a / \alpha_T$
 $+ (JDN \cdot \sin H + JSH) \cdot \rho_g \cdot \phi_g \cdot a / \alpha_T - JNT \cdot \phi_s \cdot \varepsilon / \alpha_T - R_v \cdot \alpha_x \cdot \beta \cdot (X_s - X)$
 ※ 右辺の最後の項は植栽による温度降下です。植栽が無い場合は $\beta=0$ です。

- ⑨熱取得 (定常の場合) $HG = EX_t \cdot A_{owal} \cdot U_{owal}$ U_{owal} : 熱貫流率

(応用係数の場合)

$$\left\{ \begin{array}{l} HG = EX_t \cdot A_{owal} \cdot RF(0) + Q(1) \\ Q(1)' = EX_t \cdot A_{owal} \cdot RF(1) + Q(2) \\ Q(2)' = EX_t \cdot A_{owal} \cdot RF(2) + Q(3) \\ Q(3)' = EX_t \cdot A_{owal} \cdot RF(3) + Q(4) \\ \vdots \\ Q(n)' = EX_t \cdot A_{owal} \cdot RF(n) + Q(n) \cdot CR \end{array} \right.$$

※ $RF(0), RF(1), RF(2), RF(3) \dots RF(n)$ は時系列に値を持つ応答係数です。

なお、応答係数の和は熱貫流率になります。即ち、 $\sum RF = U$

応答係数は無限数列ですが、これではコンピュータといえども計算できないので、一般には $n=6 \sim 8$ でとどめ、以下は公比 CR とする等比数列とします。

$Q(1), Q(2), Q(3) \dots$ は応答の時間遅れの項です。毎時新たに発する熱流の遅れと重ね合わせられ、次の時間に繰り上がります。この重ね合わせ演算を“畳み込み”といいます。

(HASP の項別公比法) 応答係数を P_0, P_1, R_1, P_2, R_2 に分解します。 P_0 は時系列の 0 項目で $RF(0)$ と同じです。応答係数の $RF(1)$ を P_1 と P_2 に分解します。 P_1 と P_2 は、 R_1 と R_2 を公比とする等比数列になります。この性質を利用するのが項別公比法です。

項別公比法を利用すると、先の応答係数による畳み込み演算は次のようになります。

$$\left\{ \begin{array}{l} HG = EX_t \cdot A_{owal} \cdot P_0 + Q_1 + Q_2 \\ Q_1' = EX_t \cdot A_{owal} \cdot P_1 + Q_1 \cdot R_1 \\ Q_2' = EX_t \cdot A_{owal} \cdot P_2 + Q_2 \cdot R_2 \end{array} \right.$$

※ 項別公比の場合は、この 3 行で無限数列の計算ができるので、非常に合理的です。

- ⑩熱取得を対流成分と輻射成分に分離します。

(対流成分) $HG_c = HG \cdot \alpha_c / (\alpha_c + \alpha_r)$ (輻射成分) $HG_r = HG \cdot \alpha_r / (\alpha_c + \alpha_r)$

※ 非常数の計算では、対流成分は即熱負荷になりますが、輻射成分は熱負荷になるまでに時間遅れが伴います。(⇒(4)理論編)

7. 内壁・接地壁・異形部材（梁・柱）

1) 熱容量の役割

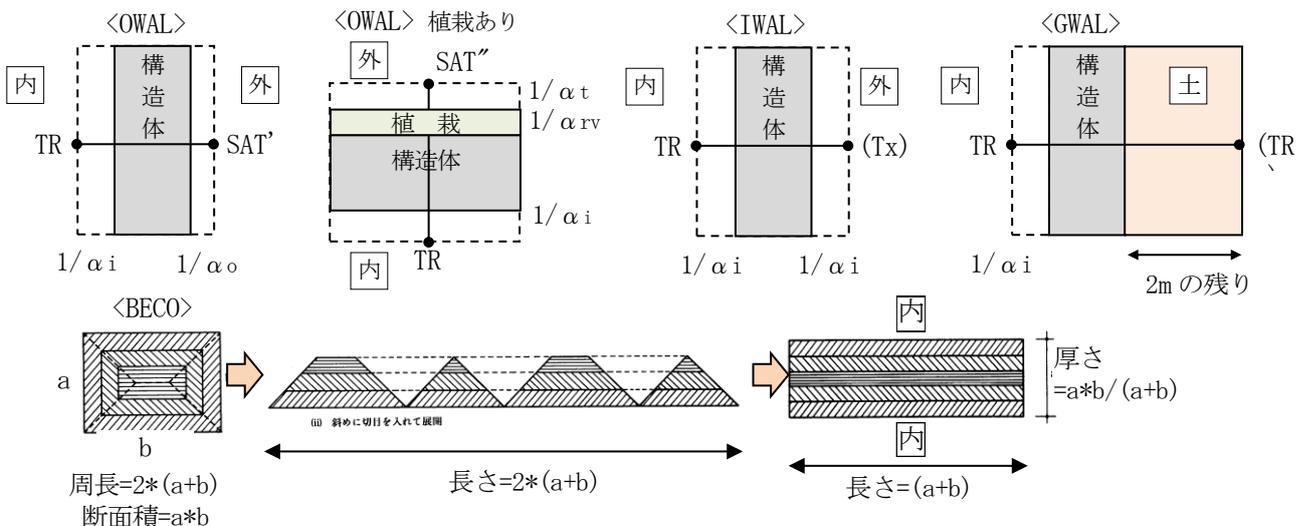
- ・手計算では、内壁・床・天井などの熱負荷に関係しない部位は熱負荷の計算対象外です。
 ※ 内壁で壁の外側と温度差を見込む場合は熱負荷の計算をします。
- ・一方、非定常熱負荷計算では、内壁・床・天井などは、熱取得に関係する／しないに係わらず、必ず入力しなければなりません。これらは“室の熱容量”という重要な働きが有るからです。
 ※ 熱取得に関係しない内壁・床・天井を無視しても非定常熱負荷計算は可能ですが、熱負荷結果の信頼性が落ちます。特に問題なのは室温です。室の熱容量をきちんと見込まないと、熱容量が小さく熱的に軽い室となります。このために、室温が過剰に変動することになります。

2) 接地壁の土の層と異形部材の変形

- ・接地壁<GWAL>では、全体の厚さが十分に大きい2mとし、最後の層の厚さ（の入力を無視して）を調整しています。 ⇒ 下図参照のこと
- ・<BECO>は断面の縦aと横bの寸法を入力しますが、HASP では2次元の応答係数を求めることはできないので、等周長で等面積の内壁に形を変えています。 ⇒ 下図参照のこと

3) 内外の表面熱伝達の層と境界温度

- ・HASP の<WCON>では、壁体の実質部のみ（ここではこれをn層とします）を入力します。
 内外表面の熱伝達の層は入力しませんが、<WCON>では壁体は何（外壁か内壁かなど）かが未定だからです。
- ・<SPAC>の下で、<OWAL>で引用されると外壁や屋根となり、<IWAL>で引用されると内壁や天井や床になり、<GWAL>で引用されると接地壁や土間床になり、<BECO>で引用されると梁や柱になります。
- ・それぞれの部位で内外の層の熱伝達抵抗の条件が変わりますが、HASP では下記のように内外熱伝達抵抗の層をプログラムで追加します。
 - ・外壁；内表面熱伝達抵抗の層 ($1/\alpha_i$)、外表面熱伝達抵抗の層 ($1/\alpha_o$ または $1/\alpha_t$)
 - ・内壁；内側が内表面熱伝達抵抗の層 ($1/\alpha_i$)、外側も内表面熱伝達抵抗の層 ($1/\alpha_i$)
 - ・接地壁；内側が内表面熱伝達抵抗の層 ($1/\alpha_i$)、外側はn層目の部材（厚さは2mの残り）の層
 - ・異形部材；内側が内表面熱伝達抵抗の層 ($1/\alpha_i$)、外側も内表面熱伝達抵抗の層 ($1/\alpha_i$)



4) 接地壁と異形部材の境界温度と熱取得

- HASP の異形部材と接地壁では熱取得は発生しません。
異形部材（梁・柱）は、両面とも同じ室温になるので、熱取得は発生しません。
接地壁も、土の境界温度は、室温と同じという仮定です。よって、熱取得は発生しません。

5) 内壁の熱取得

- HASP で熱取得が発生するのは内壁だけです。
- 内壁では、外側の温度条件にオプションがあり、ケースにより熱取得 HG が発生します。
 - 0: $\alpha * \text{外気温} + (1 - \alpha) * \text{室温}$ α : 温度差係数 (0~1.0) \Rightarrow 温度差 $\text{EXt} = (\text{T0} - \text{TR}) * \alpha$
 - ☒ 1: 外気温 + α \Rightarrow 温度差 $\text{EXt} = \text{T0} + \alpha - \text{TR}$
 - ☒ 2: α \Rightarrow 温度差 $\text{EXt} = \alpha - \text{TR}$
 - ☒ 3: 隣室 SPAC の室温 \Rightarrow 温度差 $\text{EXt} = \text{隣室 TR} - \text{TR}$

※ 熱取得 HG の段階では $\text{TR} = \text{TB}$ (基準温度) なので、3: では $\text{EXt} = 0$ です。

※ 0: 温度差係数は ACLD_HEX15 と NewHASP とも選択可能です。

1~3: は NewHASP のみ選択できます。

- 上記の熱取得 HG の式は、外壁と同様に次のように計算します。

(励振の温度差) $\text{EXt} = (\text{T0} - \text{TR}) * \alpha$... 温度差係数の場合

(熱取得) $\text{HG} = \text{EXt} * \text{P0} + \text{Q1} + \text{Q2}$

$\text{Q1}' = \text{EXt} * \text{P1} + \text{Q1} * \text{R1}$

$\text{Q2}' = \text{EXt} * \text{P2} + \text{Q2} * \text{R2}$

(熱取得の対流成分) $\text{HGc} = \text{HG} * \alpha c / (\alpha c + \alpha r)$

(熱取得の輻射成分) $\text{HGr} = \text{HG} * \alpha r / (\alpha c + \alpha r)$

※ P0、P1、R1、P2、R2 の記号については \Rightarrow 6 (外壁) と同じです。

※ HG の段階では、室温は基準温度の $\text{TR} = \text{TB}$ を使います。

※ 接地壁や異形部材には熱容量の役割があります。

HASP ではこれらの熱取得は $\text{HG} = 0$ としています。

接地壁は、土の厚さが大きいので熱貫流率は非常に小さく $\text{HG} = 0$ と見做せます。

なお、理論的に熱取得 $\text{HG} = 0$ とするためには、接地壁の境界上の温度は室温と同じという 仮定が必要です。

こうすると、両側からの貫流熱が互いに打ち消し合うので、熱取得 $\text{HG} = 0$ となります。

異形部材の熱取得が $\text{HG} = 0$ であるのも両側の温度が同じ室温だからです。

このように扱うことで、HASP では接地壁と異形部材では熱取得の計算はしません。

※ 接地壁や異形部材の熱容量ですが、これは熱取得から連続空調負荷の計算の時と、除去熱量での室温変動の計算の時と、蓄熱負荷の計算の時に、これらの熱容量が使われます。 \Rightarrow (4)理論・応答係数編

8. 空気線図

- HASP で空気線図の計算をすることは多くありません。
 <BUIL>の基準湿度と<OPCO>の設定室湿度で、相対湿度を絶対湿度に換算するときだけです。
 相対湿度を絶対湿度に一度変換すれば、あとあと HASP で空気線図の計算をすることはありません。
- 気象データも絶対湿度が提供されますので、空気線図の関数を使う必要はありません。

1) HASP の空気線図の基本関数 : SATX

- HASP に組み込まれているのは、飽和絶対湿度[g/kg']を求める関数です。

```
***          SATURATION HUMIDITY
SATX(T)=1000.*EXP(-5.58001+T*(0.0780136+T*(-2.87894E-04
*          + T*(1.36152E-06+T*3.49024E-09)))-4.87306E-03*ABS(T))
```

引数 (T) は乾球温度で、単位は [°C] です。

- この近似式の精度は非常に良く、誤差率を (SATX 値 - 精解値) ÷ 精解値 とすると、0.1%以下です。
 ※ 精解値は<ウェクスラー・ハイランドの式>によるものとします。

2) 相対湿度から絶対湿度への変換

- <BUIL>や<OPCO>の入力値に相対湿度があり、これを絶対湿度に変換しなければなりません。
- HASP では、下式で相対湿度 RH [%] から絶対湿度 X [g/kg'] に変換します。

$$X_x = \text{SATX}(T) * \text{RH} / 100$$

※ 先の絶対湿度の近似関数 SATX と下記のウェクスラー・ハイランドの式から求めた絶対湿度で検証すると、温度 20~30°C、40~60%の範囲で誤差率は 1~2% です。十分に良い近似関数と言えます。

※ ウェクスラー・ハイランドの式で飽和水蒸気を求め、これから相対湿度と絶対湿度は次式で求められます。相対湿度 ϕ [%] とは、飽和水蒸気分圧に対する比率です。

$$\cdot \text{相対湿度} \quad \phi = \frac{P_v}{P_s} \times 100 \quad [\%], \quad \text{絶対湿度 } x \text{ [g/kg']} \quad x = 0.622 \times \frac{P_v}{P - P_v} = 0.622 \times \frac{P_s \cdot \phi}{P - P_s \cdot \phi}$$

なお、 $P = 101.325$: 標準大気圧 (1 気圧) [kPa]、 P_s : 飽和水蒸気圧 [kPa]

<参考> 飽和水蒸気分圧を求める近似式

- ウェクスラー・ハイランドの式が有名ですが、ここでは HASP/ACLD/8501 とペアのシミュレーション・プログラム HASP/ACSS/8502 に組み込まれている松尾の近似式を紹介します。
- 引数は乾球温度 T [°C] で、飽和水蒸気分圧 [mmHG] を求めます。精度は非常に良く、誤差率 0.1% です。

$$\begin{aligned} \text{PSWF}(T) = & \text{EXP} (((((6.181450 \text{ E-12} \quad * T - 3.429809 \text{ E-09}) * T \\ & * \quad \quad \quad + 1.113417 \text{ E-06}) * T - 2.986334 \text{ E-04}) * T \\ & * \quad \quad \quad + 7.265429 \text{ E-02}) * T - 5.111336 \quad) * 760. \end{aligned}$$

※ 最後の係数を * 760. とすると [mmHG] となり、 * 101.325 とすると [kPa] になります。

※ 上式が exp の関数になっているので微分が簡単です。ACSS では冷却塔の湿り熱交換性能を湿球温度で変化させるために上式を微分して利用しています。

9. 隙間風の計算

- ・<SPAC>単独で隙間風を算定します。建物全体の回路網を考えてはいません。
- ・HASPの計算法として ｲ)クラック法 と ｾ)換気回数法 ｻ)換気回数法(常時換気)が選べます。
- ・ｲ)とｾ)では、内外の差圧を求め、外部圧力>室内圧力の場合に隙間風が侵入するものとします。
- ・ｻ)の場合は、内外圧力に関係なく常時隙間風が侵入するものとします。

※ 風圧と浮力の合計での内外差圧を求めます。

1) 風圧の求め方

<SI 単位での風圧の一般式>
$$P_v = \frac{1}{2} C \cdot \rho \cdot V_{wd}^2 \quad [\text{kPa}] \quad \dots (1)$$

なお、 P_v : 風圧[Pa]、 C : 風圧係数、 ρ : 空気の密度[kg/m³]、 V_{wd} : 外部の風速[m/s]

<重力単位系での風圧の式>
$$P_v = \frac{1}{2g} C \cdot \rho \cdot V_{wd}^2 \quad \dots (2)$$

なお、 g は重力加速度で $g=9.8$ [m/s²] です。

<HASP での風圧の計算式>
$$P_v = CF(Z) * f_v * VW^{**2} \quad \dots (3)$$

P_v : 風圧[kg/m²]、 $CF(Z)$: 風向による関数、 f_v : 風速の補正、 VW : 気象データの風速[m/s]

※ HASP は古いプログラムなので重力単位系で記述されています。圧力の単位は[kg/m²]です。

※ HASP では、平面形での風圧を考え、面の方位角と風向の成す角度で決まります。

・HASPの風圧の関数
$$CF(Z) = -0.01107 + Z * (0.03675 + Z * 0.02332) \quad \dots (4)$$

AWD : 気象データの風向の方位角[°]、 AW : <EXPS>の面の方位角[°] とすると、

$$Z = \cos(AWD - AW)$$

- ・風速による風圧補正 f_v : 風速を <SPAC> の地上高 HF で補正します。

$HF < 25$ [m] の場合は $f_v = 1.0$ 、 $HF \geq 25$ [m] の場合は $f_v = \text{SQRT}(HF / 25)$

※ 左下図にあるように、 $CF(Z)$ を16倍すると風圧係数 C になります。

※ 式(3)では、式(2)の $\rho/(2g)$ に相当する項がありませんが、 $\rho=1.2$ (一般的な熱負荷計算で使われる空気の比重) とすると、 $16 \times \rho/(2g) = 16 \times 1.2 / (2 \times 9.8) \approx 0.979591 \dots \approx 1.0$ となります。

式(4)の $CF(Z)$ には16倍と $\rho=1.2$ が含まれています。

1) 風圧係数 $CF(Z) = -0.01107 + (0.03675 + 0.02332Z)Z$

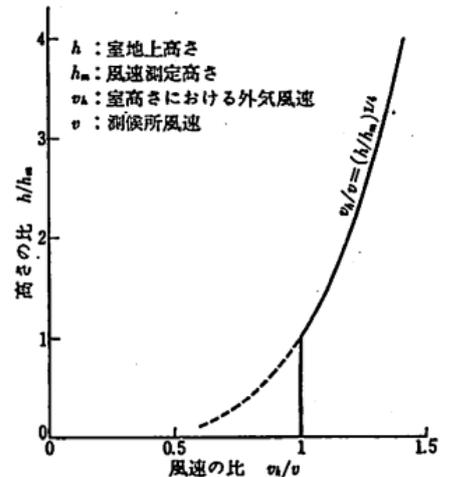
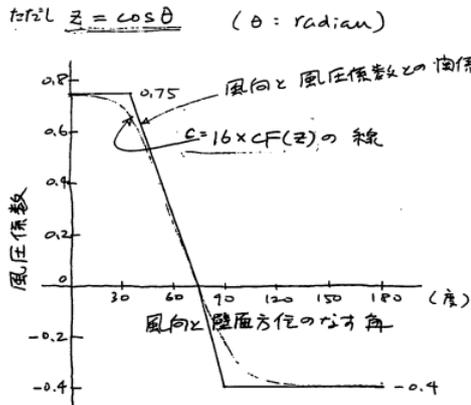
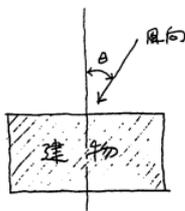


図-14.3 室の地上高さによる外気風速の補正

2) 温度差換気の浮力

<SI 単位での浮力の一般式> $P_t = (\rho_o - \rho_R) \cdot g \cdot \Delta H$ [Pa] … (5)

なお、 P_t : 浮力 [Pa]、 ρ_o : 外気の空気密度 [kg/m³]、 ρ_R : 外気の密度 [kg/m²]
 g : 重力加速度 [m/s²]、 ΔH : 高低差 [m]

<重力単位での浮力の一般式> $P_t = (\rho_o - \rho_R) \cdot \Delta H$ [kg/m²] … (6)

<HASP の浮力を求める式> $P_t = (T_O - T_B) * cF * (HF - H_{buil}/2)$ … (7)

P_t : 浮力 [kg/m²]、 T_O, T_B : 気象データの気温 [°C] と<BUIL>で決めた基準温度 [°C]

HF, H_{buil} : <SPAC>の地上高 [m] と、<BUIL>の軒高 [m]

※ HASP では軒高 H_{buil} の 1/2 の高さを中性帯 (内外の浮力が一致する高さ) としています。

$cF = 0.004$ (HASP の浮力に係わる定数)

<cF=0.004 の算出根拠> …この説明が元の HASP 解説書や文献等にはありません。以下は筆者の推測です。

・ 空気の密度 ρ を求める一般式 $\rho = \frac{P_A}{(R_a + R_v \cdot x)T}$

$P_A = 101.325$: 標準大気圧 [Pa]、 T : 空気の絶対温度 [K]、 x : 空気の絶対湿度 [kg/kg']、
 $R_a = 0.28706$: 乾き空気の気体定数 [kJ/kgK]、 $R_v = 0.46152$: 湿り空気の気体定数 [kJ/kgK]

・ 密度差の式 $\rho_B - \rho_o = \frac{P_A}{(R_a + R_v \cdot x_B)T_B} - \frac{P_A}{(R_a + R_v \cdot x_o)T_o}$

ここで簡略にするために、湿度を無視した乾き空気にします。

$$\rho_o - \rho_B = \frac{P_A(R_a \cdot T_o - R_a \cdot T_B)}{R_a \cdot T_B \cdot R_a \cdot T_o} = \frac{P_A(T_o - T_B)}{R_a \cdot T_B \cdot T_o}$$

分母のみ定数化します。分母に代表温度として $t_o = 15, t_B = 24$ [°C] を仮に代入すると、

$$\rho_o - \rho_B \doteq \frac{101.325 \times (t_o - t_B)}{0.28706 \cdot (273.15 + 15) \cdot (273.15 + 24)} = 0.004122 \dots \times (t_o - t_B) \doteq 0.004(t_o - t_B)$$

以上より、密度差の代わりに温度差を取り、係数として $cF = 0.004$ を得ます。

※ $t_o = 15$ [°C] は気温の代表値、 $t_B = 24$ [°C] は HASP の基準室温の default 値です。

0.004 は概数ですが、隙間長さや換気回数の有効数字が 1~2 桁なので十分な精度と言えます。

※ 浮力の正負 : 気温が低いと $(t_o - t_B)$ は負、中性帯より地上高が低いと $(H_F - H_B/2) < 0$ です。

3) 隙間風量の求め方

・ 差圧 : HASP は重力単位系なので差圧 ΔP は(4)式と(7)式より $\Delta P = P_v + P_t$ [kg/m²] です。

・ i) クラック法 : 差圧が $\Delta P > 0$ の時に、隙間風量 G [m³/h] $G = L * \Delta P * V_w * 0.67$

・ ㊦) の換気回数法 : 差圧が $\Delta P > 0$ の時に、隙間風量 G [m³/h] $G = (Aspac * HCL) * N$

・ ㊧) の換気回数法 : 差圧によらず常に隙間風量 G [m³/h] $G = (Aspac * HCL) * N$

なお、 $Aspac$: <SPAC>の床面積 [m²]、 HCL : <SPAC>の天井高 [m]、 N : 換気回数 [回/h]

4) 隙間風の熱取得

・ 隙間風の熱負荷 : HASP は重力単位での表記なので、計算式の係数は次のようです。

(顕熱の熱取得) $HGS = 0.288 * G * (T_O - T_B)$ … SI 単位なら係数は 0.34

(潜熱の熱取得) $HGL = 0.720 * G * (T_O - T_B)$ … SI 単位なら係数は 0.83

※ この熱取得での隙間風は、室温湿度が基準温度湿度 T_B, X_B で求めています。

この後の、除去熱量の時に求める実際の室温湿度とは異なることとなりますが、きちんと補正されます。

⇒ (4) 理論編

10. 内部発熱 / 人・照明・機器

10-1 人からの熱取得

<在室人員と在室率>

- ・<OPCO> 在室人員を、人数で入力するか、人員密度かが選べます。

例) 人員密度 0.20 人/m²、<SPAC>の面積を 100m²とすると 人数 P = 0.2*100=20 [人]

- ・<DSCH>の時間% 時刻毎の在籍率の時間%があり、曜日として (1, 2, 3) の3パターンあります。
- ・<WSCH>の週パターン 月～日・祝・特別日があり、どの曜日が<DSCH>の1, 2, 3と対応するかを決めます。
- ・<HRAT>の季節%補正 <OCUP>の人数に対して季節毎に低減率を決めます。(Default は 100%)

<人の全発熱量>

- ・下表は HASP に組み込まれた人の発熱量で、内容は一般の熱負荷計算で使われるものと同じです。

3つがひと組で、例えば、3組目は作業強度=3 (事務作業) の場合です。

全熱発熱量 qoT=102 [kcal/h/人]、顕熱発熱量 A=54 [kcal/h/人]、温度勾配 B=-3.4 [kcal/h 人℃]
です。A は 24℃を基準としています。

※ 全熱発熱量 qoT は一定値ですが、温度が高くなるほど顕熱が減り、その分だけ潜熱が増えます。

```
*** OCCUPANCY HEAT DISCHARGE
DIMENSION AM(3,9)
DATA AM/ 79., 50., -3.0, 91., 53., -3.1, 102., 54., -3.4, 113., 55., -3.6
*      , 125., 59., -3.8, 170., 65., -5.6, 194., 72., -6.0, 227., 85., -6.3
*      , 329., 118., -5.4/
```

- ・<OCUP>で、作業強度の 1～9 を決めます。人の全発熱量 qoT と A、B が決まります。

<室温と顕熱：潜熱比>

- ・<CNTL>で、人の発熱量の顕熱：潜熱比 (qoS : qoL) を決める基準となる室温の決め方を選択します。

- ・0:TB 基準の場合 … <BUIL>の基準温度と同じです。年間一定値です。 例) 24℃
- ・1:TR 基準の場合 … TR は<OPCO>の設定室温で、季節毎に上限 TRU と加減 TUL があります。
例として、 TRU=27℃、TRL=25℃ とします。

- ・1:TR 基準の場合、<SOPC>の運転モードで上限 TRU・下限 TRL のどちらを取るかが決まります。

- ・<SOPC>の運転モード 冷房が"C"で 暖房が"-"の場合は 上限 TRU を取ります ⇒ 27℃
冷房が"-で 暖房が"H"の場合は 下限 TRL を取ります ⇒ 25℃
その他の場合は下限と下限の平均値を取ります。⇒ (25+27)/2=26℃

- ・ここでは、例として TR=26℃ が選ばれたものとします。

$$\begin{aligned} \text{人の顕熱発熱量 } qoS &= A+B*(TR-24) = 54.0+(-3.4)*(26-24) = 47.2 \text{ [kcal/hm}^2 \text{人]} \\ \text{人の潜熱発熱量 } qoL &= qoT-qoS = 102-47.2 = 54.8 \text{ [kcal/hm}^2 \text{人]} \end{aligned}$$

<熱取得の計算>

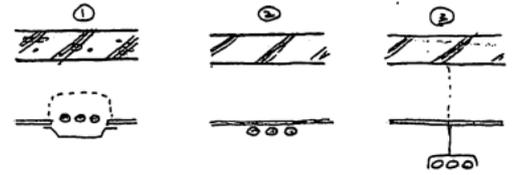
- ・在室率による補正 例) <DSCH>の%時間が 80%、<HRAT>の季節補正が 60%とします。

- ・顕熱・発熱量 $HGOS = qoS * P * \%時間 * \%季節 = 47.2 * 20 * 0.80 * 0.60 = 453.12 \text{ [kcal/h]}$
- 熱取得 (対流成分) $HGOSc = HGOS * \alpha c / (\alpha c + \alpha r) = 453.12 * 3.5 / (3.5 + 4.5) = 198.24 \text{ [kcal/h]}$
- (輻射成分) $HGOSr = HGOS * \alpha r / (\alpha c + \alpha r) = 453.12 * 4.5 / (3.5 + 4.5) = 254.88 \text{ [kcal/h]}$
- ・潜熱の熱取得 $HGOL = qoL * P * \%時間 * \%季節 = 54.8 * 20 * 0.80 * 0.60 = 526.08 \text{ [kcal/h]}$

10-2 照明からの熱取得

<照明器具のタイプと重み係数 WF>

- ・ 3種類あります。右図で左から 埋込・直付・吊下です。
点灯してから熱取得になるまでの時間の遅れが違います。



※ 埋込は天井に吸熱される割合が大きく時間遅れも大きくなります。

- ・ 照明の WF： HASP では、これらの照明器具の時間遅れの重み係数 (WF) を予め計算してあり、その結果をプログラムにデータ文で組み込んでいます。

*** WF FOR LIGHTING FIXTURE

DIMENSION FL(5, 3)

DATA FL/0.4438, 0.0534, 0.8972, 0.0362, 0.0000

* , 0.7321, 0.0254, 0.8926, 0.0309, 0.0000

* , 1.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000 /

… 埋め込みタイプ

… 直付けタイプ

… 吊り下げタイプ

- ・ 各行とも、左から P0、P1、R1、P2、R2 です。(これらの記号は応答係数と同じ項別公比法です)

吊下タイプは、P0=1.0 で、P1=R1=P2=R2=0.0 ですが、これは時間遅れを見込まないことを意味します。

※ HASP では計算時間間隔が 60 分の場合の WF が予め組み込まれています。

ACLD_HEX15 では、60 分以下の任意の時間間隔で計算しますが、この場合は上の表は使えません。

ACLD_HEX15 では、任意の時間間隔の WF をプログラム内で作っています。 ⇒ (4)理論編

<照明器具とランプのタイプと照明量に関する入力データ>

- ・ <LIGH> ・ 照明器具のタイプとして 埋込・半埋込・吊下 から選びます。
また、ランプのタイプとして 蛍光灯・白熱球 から選びます。
- ・ 照明量として、照明電力 [kW] を入力するか、照明電力密度 [W/m²] を入力します。

例) 照明電力密度 20W/m²、<SPAC>の面積 100m² とすると

照明発熱 QL=20*1.15*100*0.86=1978 [kcal/h] (1.15 は蛍光灯の安定器の増分)

<使用率・昼光利用による消灯率>

- ・ <DSCH>の時間% 時刻毎の%を設定します。曜日として (1, 2, 3) の 3パターンあります。
- ・ <WSCH>の週パターン 月～日、祝日、特別日が、<DSCH>のどの曜日と対応するかを決めます。
- ・ <HRAT>の季節% <LIGH>の照明量に対して季節毎に低減率を決めます。(Default は 100%)

<使用率・昼光利用による消灯率>

- ・ 昼光利用による消灯率 ΣX_{off} ですが、 $\Sigma X_{off} > 1.0$ の時は $\Sigma X_{off} = 1.0$ に制限します。

<熱取得> 照明では熱取得の時に時間遅れを見込みます。

- ・ 照明の使用率 <DSCH>の時間%が 90%、<HRAT>の季節%が 80% とします。
- ・ 昼光利用による消灯率 $\Sigma X_{off} = 0.2$ とします。(昼光利用しない場合は $\Sigma X_{off} = 0$ です)
- ・ 照明発熱 $QL' = QL * \text{時間}\% * \text{季節}\% * (1 - \Sigma X_{off}) = 1978 * 0.90 * 0.80 * (1 - 0.2) = 1139.328$ [kcal/h]
- ・ 照明の熱取得 $HGL = QL' * P0 + Q1 + Q2$
 $Q1' = QL' * P1 + Q1 * R1$
 $Q2' = QL' * P2 + Q2 * R2$ ※ 項別公比法の畳み込み演算は ⇒ 6(外壁)の 5)⑨

- ・ 熱取得を対流成分と輻射成分に分けます。

(熱取得の対流成分) $HGLc = HGL * \alpha c / (\alpha c + \alpha r)$

(熱取得の輻射成分) $HGLr = HGL * \alpha r / (\alpha c + \alpha r)$

3) 機器の発熱

<機器発熱に関する入力データ>

- ・<HEAT> ・機器タイプとして 顕熱発熱機器、潜熱発熱機器 があります。
また、顕熱発熱機器には、 自然冷却か強制冷却かを選べます。
- ・機器発熱として、機器の電力 [kW] を入力するか、機器の電力密度 [W/m²] を入力します。

例) 顕熱発熱機器 15W/m²、<SPAC>の面積 100m² とすると
 顕熱発熱量は $Q_{LS} = 15 \times 100 \times 0.86 = 1290$ [kcal/h]

例) 潜熱発熱機器 2kW とすると
 顕熱発熱量は $Q_{HL} = 2000 \times 0.86 = 1720$ [kcal/h]

<機器の使用率>

- ・<DSCH>の時間% 時刻毎の%を設定します。曜日として (1, 2, 3) の3パターンあります。
 - ・<WSCH>の週パターン 月～土日、祝日、特別日が、<DSCH>のどの曜日と対応するかを決めます。
 - ・<HRAT>の季節% <OCUP>の人数に対して季節毎に低減率を決めます。(Default は 100%)
- ※ この機器使用率は、顕熱発熱機器と潜熱発熱機器に共通です。

<機器による熱取得>

- ・機器の使用率 <DSCH>の時間%が 50%、<HRAT>の季節%が 60% とします。
- ・機器の発熱量 (顕熱発熱機器) $Q_{HS}' = Q_{HS} \times \text{時間}\% \times \text{季節}\% = 1290 \times 0.50 \times 0.60 = 387$ [kcal/h]
 (潜熱発熱機器) $Q_{HL}' = Q_{HL} \times \text{時間}\% \times \text{季節}\% = 1720 \times 0.50 \times 0.60 = 516$ [kcal/h]

- ・機器発熱の熱取得

顕熱機器の場合、自然対流の場合は対流成分と輻射成分に分離します。強制冷却の場合は全て対流成分になります。

(自然対流の場合) 対流成分 $H_{GSc} = Q_{HS}' \times \alpha_c / (\alpha_c + \alpha_r)$

輻射成分 $H_{GSr} = Q_{HS}' \times \alpha_r / (\alpha_c + \alpha_r)$

(強制対流の場合) 対流成分 $H_{GSc} = Q_{HS}'$

輻射成分 $H_{GSr} = 0$

潜熱発熱機器の熱取得 $H_{GLc} = Q_{HL}'$

※ 顕熱機器の熱取得では時間遅れは見込みません。

参考資料

- イ) SHASE 雑誌講座動的熱負荷計算法. pdf (¥DATA¥Reference¥)
- ロ) 空調設備の動的熱負荷計算入門. pdf (¥DATA¥Reference¥)
- ハ) HASP-ACLD-8501 解説. pdf (¥HASP¥HASP-ACLD-8501¥Doc¥)
- ニ) HASP-ACLD-8501 プログラミングメモ. pdf (¥HASP¥HASP-ACLD-8501¥Develop¥Note¥)
- ホ) NewHASP アルゴリズム. pdf (¥HASP¥NewHASP-ACLD¥Develop¥Note¥)
- ヘ) NewHASPACLD 操作マニュアル. pdf (¥HASP¥NewHASP-ACLD¥Doc¥)

- 本書の執筆者 猪岡達夫 (元中部大学)
- HASPinp の開発 システック環境研究所の協力を得て猪岡が開発しました。
HASPinp の公開の際に全てをシステックに移管しています。
(なお移管後もボランティアで HASPinp のメンテを猪岡が継続しています)