

HASP の非定常熱負荷計算

(4) 理論編・熱応答と非定常熱負荷計算

<目次>

1. 非定常熱負荷計算の基礎	1
(1) 用語	1
(2) 定常と非定常と周期定常	1
(3) 熱貫流率と貫流応答	2
(4) 畳み込み演算	2
(5) 項別公比	3
(6) 熱取得から時間遅れを伴って連続空調負荷へ	3
(7) 吸熱応答	4
(8) 蓄熱応答係数 (室温湿度変動の重み係数)	4
2. 熱負荷計算/連続空調負荷から除去熱量へ	5
2-1 励振～熱取得～連続空調負荷～除去熱量	5
2-2 熱平衡式と除去熱量・室温湿度変動	5
(1) 除去熱量の熱平衡式	5, 6
(2) Δ 波の熱平衡式	5, 6
(3) ∇ 波の熱平衡式 (運転開始時・外気導入開始時・運転停止時)	7
(4) 室温湿度の変動量	7, 8
(5) 蓄熱熱流・蓄熱負荷の計算	7, 8
3. シミュレーションモードによる除去熱量と室温湿度変動の計算	9
(1) 運転停止中の計算 (Δ 波)	9
(2) 運転開始直後の計算 (∇ 波)	9
(3) 運転継続中の計算 (Δ 波)	10
(4) 運転継続途中での外気導入開始時の計算 (∇ 波)	10
(5) 運転停止時の計算 (∇ 波)	11
(6) 室温変動の計算	11
(7) 蓄熱熱流と蓄熱負荷の計算	12
4. ピークモードの除去熱量の計算	13
(1) ピークモードの反復計算の仕組み	13
(2) 未知数である予熱中の除去熱量を求める計算	14
(3) シミュレーションモードに戻って/予熱中の除去熱量一定での計算	17
(4) 予熱終了後/装置容量の制限を外した除去熱量の計算	18
5. 応答係数を求める理論 (ここはやや難解ですので読み飛ばしても構いません)	20
(1) 非定常熱伝導の微分方程式をラプラス変換して伝達関数を求める	20
<微分方程式>, <ラプラス変換>, <多層壁への展開>, <ステップ応答と伝達関数>	20-22
【補足】基礎方程式(5-1)から伝達行列の式(5-3)を導くまで	23
【補足】貫流応答 ψ_T の相反則	25
(2) 逆変換してステップ応答を求める	26
【補足】 A_i, α_i を決定するための正規方程式の導き方	27
(3) ステップ応答から Δ 波応答を求める <積分してランプ応答>, <項別公比法の解>	28
(4) 直角 ∇ 波応答を求める <項別公比法の解>, <修正解>	30
6. 冷房負荷重み係数 と 蓄熱応答係数	34
(1) 室内放射伝熱の基礎式	34, 35
(2) 重み係数の標準形	34, 35
(3) 冷房負荷重み係数と蓄熱応答係数	36, 37
(4) 各部位での伝達関数への組み込み方	36, 37
(5) 蓄熱応答係数の補正	37
7. 任意の時間間隔にするためのプログラムの変更	39
7-1 任意の時間間隔の Δ 波と ∇ 波応答を求めるためのプログラム変更	39
(1) 熱応答の理論(復習)	39
(2) sub. CPARAM に計算時間間隔を追加	40, 41
(3) call CPARAM 文の修正	40, 41
(4) 任意の時間区分の項別公比の検証 (20180604 版の結果による)	41
7-2 照明の重み係数の修正	43
(1) 元々の HASP の照明の重み係数の項別公比	43
(2) 任意の時間区分に対応するための照明の sub_CAL_WF_for_LIGHT を追加	44
(3) 照明の重み係数の検証 (20180604 版の結果による)	45
7-3 その他のプログラム上の変更	45
(1) 入力データ	46, 48, 50, 51
(2) 配列	46, 48, 50, 51
(3) XMQ 配列	46, 48, 50, 51
(4) 計算式	46, 48, 50, 51
(5) 時間ループ	46, 48, 50, 51
補 1 ACLD_HEX15 の時間区分数の上限	52
補 2 ACLD_HEX15 と NewHASP の計算細部での違い	53
参考資料/Ver. 2022-1111 での変更点	巻末

Ver. 20220330-1111

(社) 建築設備技術者協会

1. 非定常熱負荷計算の基礎

(1) 用語

- ・外乱 気温、日射量など建物の外部で時間変化して熱負荷を生じさせる要因を総称して外乱と言います。
- ・励振 (Excitation) 気温、湿度、SAT、日射、内部発熱など熱の発生する元が励振と言います。
- ・熱取得 (HG : Heat Gain) 励振から時間遅れを伴って室内に侵入した状態の熱流を熱取得 (HG) と言います。内部発熱についても、例えば、照明を on にしても直ちに熱になるのではなく、時間遅れを伴って熱取得となります。なお、熱取得はまだ熱負荷ではありません。
- ・連続空調負荷 (CL : Cooling Load) 例えば、外壁から室に侵入した熱取得のうち対流成分は空気に伝達されて熱負荷になります。一方、輻射成分は他の壁面に輻射され吸収され、その壁体の温度を上昇させ、時間遅れを伴って室内に再流入します。この時、対流成分は熱負荷となり、輻射成分は他の壁面に輻射され、時間遅れを伴って室内に再流入します。これを繰り返します。熱取得から時間遅れを伴った熱流を熱負荷と言います。また、室内が基準温湿度一定として計算しますので、連続空調負荷と呼びます。
- ・除去熱量 (HE : Heat Extraction) 連続空調負荷は空調の条件によらない建物固有の負荷と言えます。一方、空調の on/off スケジュール (間欠空調) や空調の能力 (装置容量) の制限や、季節毎の設定温湿度などの制約の下で、空調装置が実際に処理する熱が除去熱量です。
- ・室温湿度変動と蓄熱負荷 空調停止時や空調の能力不足で熱負荷を処理しきれない状態を“過負荷”と言います。過負荷になると室温湿度は所定の条件を維持できなくなり変動します。室温湿度の変動自身が励振となって熱流が生じ、建物の壁や床などに蓄熱されます。その熱の一部は室外に出て行きますが、大部分は時間遅れを伴って室内へ再放熱されます。この時間遅れを伴って室内に再放熱される熱を蓄熱負荷と言います。

(2) 定常と非定常と周期定常

- ・定常熱負荷計算 定常とは安定な状態、あるいは変化しない状態を言います。手計算のピーク熱負荷計算では、このような定常で、外気温湿度や日射が同じ条件でずっと続くような状態で計算します。
 - ※ このような条件で熱負荷を計算すると、実際にはあり得ない過大な熱負荷になってしまいます。手計算法では過大にならないように気象データに超過確率を考慮するなどの工夫をしています。
 - ※ 手計算でも外壁の熱負荷では時間遅れを見込んだ ETD (実効温度差) を用います。なお、この ETD は、コンピュータで時間遅れを計算した熱負荷から逆算して外気温湿度差に換算したものです。
- ・非定常熱負荷計算 温度や湿度や日射量、在室人数も照明の点灯も機器類の使い方などは時間と共に変化します。このような状態を非定常と言います。非定常熱負荷計算を手計算ですることは無理ですので、コンピュータを使って計算します。
 - ※ ALCD_HEX15 や NewHASP/ACLD は非定常熱負荷を計算するためのプログラムです。
- ・周期定常熱負荷計算 空調設計用の熱負荷計算です。気温や日射量や熱負荷が 1 日周期 (あるいは 1 週間周期) で変化するのが周期定常です。周期定常といっても、時々刻々の励振は変化しますから、計算の中身は非定常熱負荷計算です。周期定常熱負荷計算では、解が安定するまで、反復計算をして、周期定常の解とします。
 - ※ この周期定常に用いられるピーク気象データは、実際の気象データから、気温・湿度・日射の同時性などを考慮して抽出したものです。なお、冷房用と暖房用があり、また、超過確率で数種類の気象データが用意されています。

(3) 熱貫流率と貫流応答

- 熱貫流率とは、壁体の熱の通しやすさのことです。単位は $[W/(m^2\text{°C})]$ 、つまり、面積当たり・温度差 1°C 当たり・時間当たりの、壁体を通り抜ける熱量が熱貫流率です。
- 定常では、熱貫流率の値は1つの値で、式(1-1)は熱貫流率を使った定常の熱負荷計算の式です。

$$q = K \cdot \Delta t \tag{1-1}$$

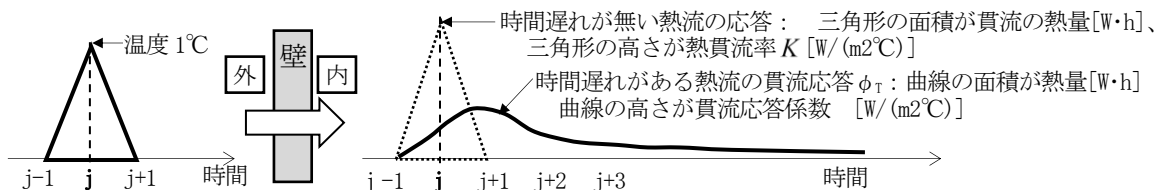
ここに、 q は熱負荷 $[W/m^2]$ 、 K は熱貫流率 $[W/(m^2\text{°C})]$ 、 Δt は内外温度差 $[°C]$ です。

- 実際は、内外に温度差が生じて、直ぐには熱は伝わらず、時間をかけてゆっくりと熱が伝わってきます。非定常熱負荷計算では式(1-2)のように計算します。 $\phi_{T(0)}, \phi_{T(1)}, \phi_{T(2)}, \phi_{T(3)} \dots$ を貫流応答係数と言います。

$$\begin{aligned} q_j &= \phi_{T(0)} \cdot \Delta t_j \\ q_{j+1} &= \phi_{T(1)} \cdot \Delta t_j \\ q_{j+2} &= \phi_{T(2)} \cdot \Delta t_j \\ q_{j+3} &= \phi_{T(3)} \cdot \Delta t_j \\ &\vdots \end{aligned} \tag{1-2}$$

ここに、 j は現在の時刻、 Δt_j は j 時刻における内外の温度差、 $\phi_{T(k)}$ は貫流応答係数 $[W/(m^2\text{°C})]$ 、で $k=0, 1, 2, 3 \dots$ の時系列で値を持ちます。 q が $j \dots$ の時間遅れを伴う貫流の熱取得 $[W/m^2]$ です。

- 下図の左側は高さが 1°C 、底辺が 2h の△波の励振です。面積は $1\text{°C}\cdot\text{h}$ になります。右側は、時間遅れがないと点線の△波の熱取得になります。この破線の△波の面積がちょうど熱貫流率 K になります。
- 時間遅れがある場合の熱取得は曲線になります。熱取得は初め 0 ですが、だんだん大きくなってやがて 0 に戻ります。この応答の曲線の面積もちょうど熱貫流率 $K [W/(m^2\text{°C})]$ に一致します。

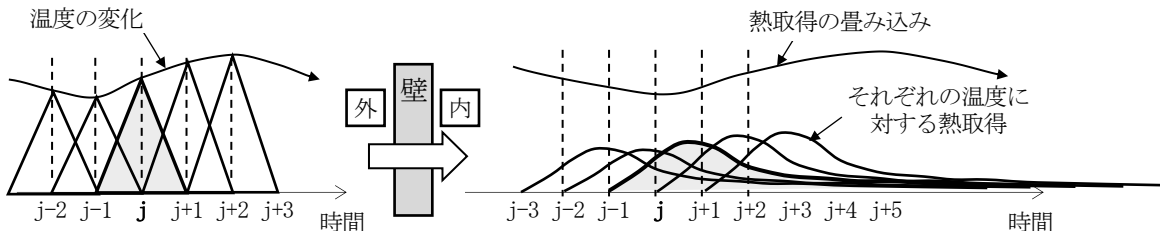


- 熱貫流率 K と貫流応答係数 ϕ_T の関係は式(1-3)になります。貫流応答係数の和が熱貫流率と一致します。つまり、貫流応答係数は時系列で値をもつ熱貫流率と言えます。

$$K = \sum_{k=0}^{\infty} \phi_{T(k)} \tag{1-3}$$

(4) 畳込み演算

- 内外の温度差に△波を採用すると時間変化を滑らかに近似できます。温度×貫流応答係数で熱取得ですが、これを時刻毎に集計すれば、変化する温度による貫流の熱取得を求めることができます。



- これを△波を使って式で表すと次のようになります。このような計算を“畳込み演算”と言います。

$$HG_{(j)} = \sum_{k=0}^{\infty} \phi_{T(k)} \Delta t_{(j-k)} \tag{1-4}$$

ここに、 $HG_{(j)}$: 時刻 j の貫流の熱取得 (ここからは記号に HG を使うことにします。

$\phi_{T(k)}$: $k=0 \sim \infty$ の時系列を持つ貫流応答係数、 $\Delta t_{(j-k)}$: 過去から現時刻 j までの温度差

(5) 項別公比

- 式(1-4)の畳込み演算は無限級数になっています。しかし、いかにコンピュータといえども無限回数の計算はできません。実際の非定常熱負荷計算では、ある項以降は等比数列とみなして計算します。
- 更に、HASP では、より合理的な式(1-5)に示す項別公比法を使います。

$$\begin{aligned} HG_j &= \Delta t_j P_0 + S_1 + S_2 \\ S_1^* &= \Delta t_j P_1 + S_1 R_1 \\ S_2^* &= \Delta t_j P_1 + S_2 R_2 \end{aligned} \quad \dots (1-5)$$

ここに、 HG_j : 時刻 j の熱取得、 Δt_j : 時刻 j の内外温度差 (励振)、 P_0, P_1, P_2 : 項別の係数、 R_1, R_2 : 項別公比、 S_1, S_2 : 過去～現在までの時間遅れを伴う熱流、 S_1^*, S_2^* : 時刻 j に更新された時間遅れの熱取得で次の時刻に S_1, S_2 となります。

- 式(1-5)の第2式と第3式は、 P_1, P_2 を初項とし R_1, R_2 を公比とする等比数列であることを利用しています。掛算5回、足算4回だけで、式(1-4)の無限回数の計算と同等です。(項別公比については→5章(3)(4))

※ 項別公比 P_0, P_1, P_2, R_1, R_2 から貫流応答 ϕ_T の各項を求めると次のようになります。

$$\begin{aligned} \phi_{T(0)} &= P_0 \\ \phi_{T(1)} &= P_1 + P_2 \\ \phi_{T(2)} &= P_1 \cdot R_1 + P_2 \cdot R_2 \\ \phi_{T(3)} &= P_1 \cdot R_1^2 + P_2 \cdot R_2^2 \\ \phi_{T(4)} &= P_1 \cdot R_1^3 + P_2 \cdot R_2^3 \\ &\vdots \end{aligned} \quad \dots (1-6)$$

(6) 熱取得から時間遅れを伴って連続空調負荷へ

- 式(1-2)、式(1-4)、式(1-5)、式(1-6)は熱取得です。まだ、熱負荷ではありません。
- 右下図は、熱取得から時間遅れを伴って熱負荷になるまでの模式図です。

室内に侵入した熱取得のうち対流成分は直ちに熱負荷になりますが、輻射成分は室内の他の壁面に熱輻射され、その部位の温度が上昇し、(一部は外部に逃げて行きますが) 大部分は時間遅れを伴って室内に再放熱されます。再放熱のうち対流成分は直ちに熱負荷となり、輻射成分は室内の他の壁面に熱放射され、その部位の温度が上昇し、(一部は外部に逃げて行きますが) 大部分は時間遅れを伴って室内に再放熱されます。・・・これを繰り返します。

- 計算式にすると次式(1-7)になります。

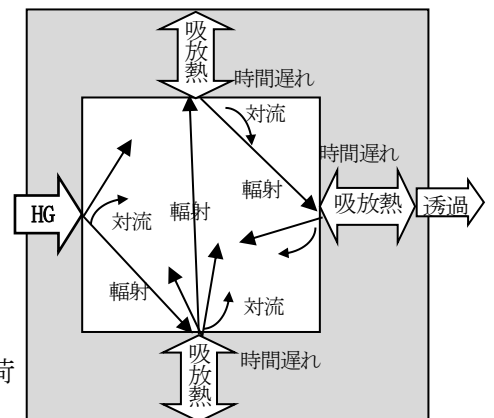
$$\begin{aligned} CL_{(j)} &= HG_{C(j)} + HG_{R(j)} P_0 + S_1 \\ S_1^* &= HG_{R(j)} P_1 + S_1 R_1 \end{aligned} \quad \dots (1-7)$$

ここに、 P_0, P_1 : 冷房負荷重み係数 (1項近似の無次元数)、
 R_1 : 公比

- 式(1-7)で、 $CL_{(j)}$ が現時刻 j の熱負荷 (連続空調負荷) です。
 $HG_{C(j)}$ は時刻 j の熱取得の対流成分で即時に熱負荷になります。
第2項の $HG_{R(j)}$ は時刻 j の熱取得の輻射成分で、これに冷房負荷重み係数 P_{W0} を掛けた成分が即時に熱負荷になります。

第3項の S_{W1} は過去の熱取得の時間遅れで、時刻 j に熱負荷になる成分です。

式(1-7)の2行目の右辺の $HG_{R(j)}$ は第1式の $q_{R(j)}$ と同じですが、 P_{W1} を掛けると時間遅れの成分になります。第2項の S_{W1} は第1式の S_{W1} と同じですが、公比 R_{W1} を掛けると更なる時間遅れとなり、かつ、過去の全ての時間遅れ成分が畳み込まれたこととなります。



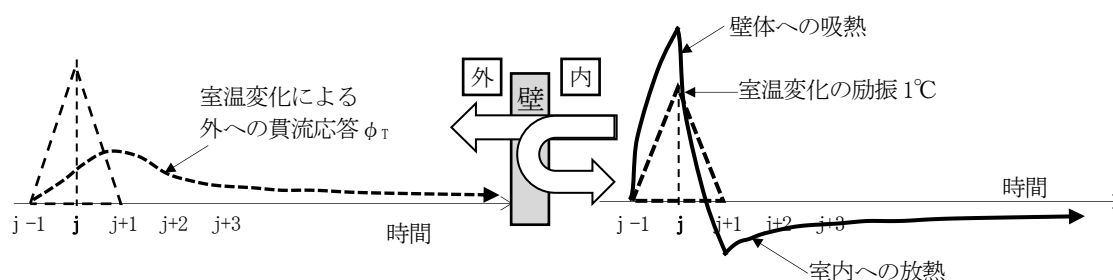
※ HASP では、冷房負荷重み係数は P_0, P_1, R_1 で時間遅れの項が1項近似となっています。

(7) 吸熱応答

- これまでの貫流応答は、室内が一定条件で外界が変動した場合の熱流でした。逆に、外界が一定条件で、室内の温湿度が変化する場合は下図のようになります。
- 室温が変動すると壁体に熱が吸熱（ \leftarrow ）され、壁体は温度が上昇します。壁体の温度が上昇すると、一部は外に逃げていきますが、大部分は時間遅れを伴って室内へ逆流して放熱（ \rightarrow ）されます。
- 下図右の曲線がこの吸熱応答です。時刻 $j-1$ の 0 から始まり、時刻 j で吸熱が最大になります。以後の吸熱は小さくなり、 ± 0 になって逆転して放熱に転じます。時刻 $j+1$ で放熱が最大になり以後徐々に 0 に戻ります。この吸熱と放熱を合わせて吸熱応答と言います。
- 吸熱応答を ϕ_A とすると、その+-を相殺した総和は熱貫流率 K に等しくなります。

$$K = \sum_{k=0}^{\infty} \phi_{A(k)} = \sum_{k=0}^{\infty} \phi_{T(k)} \quad \dots (1-7)$$

※ 室内励振による外への貫流応答 ϕ_T は、外部の励振による室内への貫流応答 ϕ_T と大きさも形も全く同じになります。なお、内→外への貫流応答は非定常熱負荷計算では計算しません。



- 外界の励振による貫流応答と、室内の励振による吸熱応答とを重ね合わせることで、外界と室内が同時に変化した状態が再現されます。
- 前(6)の冷房負荷重み係数は、室全体の部材の吸熱応答を組み込んで算定したものです。後の(8)の蓄熱応答係数は室全体の部材の吸熱応答+室の熱容量を組み込んで算定したものです。(⇒6章)

(8) 蓄熱応答係数

- 間欠空調では空調停止時は室温湿度が変動します。あるいは空調運転中でも空調能力が不足する時は室温湿度が変動します。これにより吸熱応答が生じ、壁体に熱が蓄積され、時間遅れを伴って室内へ再放熱されるのが蓄熱熱流（蓄熱負荷）です。この蓄熱負荷を含めて空調で処理する熱が除去熱量です。
- 蓄熱熱流（蓄熱負荷）の計算は先の吸熱応答に他なりません。なお、床・壁・天井・梁・柱などの室全体の吸熱応答の他に、〈FURN〉で入力した室の熱容量（室の空気や什器や書類などの熱容量で結構大きい）の吸熱応答を加えたものが蓄熱応答係数です。(⇒6章)

<△波の吸熱応答>

- 空調の運転開始時や外気導入時や空調停止時では運転が不連続に変化します。この不連続を計算するために蓄熱応答係数には、通常の△波の他に△波（実際は右向きの直角三角波）を使います。

蓄熱応答係数は次の4種になります。（本書では記号にWFを使いますが、これは蓄熱応答係数を昔、室温変動の重み係数と言っていた頃の名残です）

△波の蓄熱応答係数：（顕熱） $WF_{S0}, WF_{S1}, WF_{S2}, CR_{S1}, CR_{S2}$ 、（潜熱） $WF_{L0}, WF_{L1}, WF_{L2}, CR_{L1}, CR_{L2}$

△波の蓄熱応答係数：（顕熱） $WF_{S0\Delta}, WF_{S1\Delta}, WF_{S2\Delta}, CR_{S1\Delta}, CR_{S2\Delta}$ 、（潜熱） $WF_{L0\Delta}, WF_{L1\Delta}, WF_{L2\Delta}, CR_{L1\Delta}, CR_{L2\Delta}$

（本書では△波には添え字なし、△波には添え字△を使って区別することにします）

※HASP/ACSS/8502では0～8項の蓄熱応答係数と公比を使っています。ACLD_HEX15で項別公比に改めました。

2. 熱負荷計算／連続空調負荷から除去熱量へ

2-1 励振～熱取得～連続空調負荷～除去熱量

- ・HASP 系のプログラムは、計算過程を大きく 3 つに分けることができます。0) 前処理計算、1) 熱取得の計算、2) 連続空調負荷計算、3) 間欠空調での除去熱量や室温湿度変動や蓄熱負荷の計算です。

0) 前処理： 入力データを読み込み、応答係数や冷房負荷重み係数や蓄熱応答係数を求めます。また、1 日毎に気象データを読み込み、時刻毎に太陽位置を計算するのが前処理です。

1) 熱取得の計算： 外壁の貫流熱、窓の貫流や日射熱、隙間風などの室内に侵入する熱や、内部発熱などの熱ですが、HASP ではこの段階の熱を熱取得と言います。

2) 連続空調負荷計算： HASP では室内に対流で伝わった成分を熱負荷と言います。輻射成分は室内で相互輻射され、時間遅れを伴って対流で伝わった成分が熱負荷です。対流成分は更に室内で相互輻射され時間遅れを伴って・・・延々と繰り返します。

熱取得に、冷房負荷重み係数を畳み込んで、熱負荷を求めます。この段階までは、室内温湿度は基準温湿度で一定とするので、この熱負荷を連続空調負荷と言います。

3) 除去熱量の計算： 空調の運転スケジュールや外気の導入スケジュールや装置容量を与条件として、室温湿度変動や除去熱量を求めます。更に、室温湿度変動により発生する蓄熱負荷を求めます。

蓄熱負荷は、室内温湿度を励振として、蓄熱応答係数で畳み込み計算して求めますが、この畳み込み演算を特に、逆畳み込みと言います。

※1) と 2) は本書の (4) をご覧下さい。

- ・かつて、ACLD/ACSS では、HASP/ACLD/8501 で、熱取得から連続空調負荷までを 1 年間計算し、その後に、連続空調負荷の結果を受けて、HASP/ACSS/8502 で、空調システムと連動して 1 年間の除去熱量や空調システムでのエネルギー消費量を求める計算をしていました。

- ・NewHASP/ACLD や、ACLD_HEX15 は、1 日毎に、前半の熱取得と連続空調負荷の計算をして、この 1 日分の連続空調負荷を受けて、後半の除去熱量の計算をしています。1 年間ではありませんが、1 日毎に前半の計算と後半の計算を繰り返すのは、ACLD/ACSS の名残です。

※1 時間毎 (あるいは時間区分した場合は 1 時分毎) に、連続空調負荷と間欠空調を繰り返すように計算することも可能ですが、こうするためにはプログラム構造を大きく変える必要があります。

2-2 熱平衡式と除去熱量・室温湿度変動

- ・ここでは、後章の 3 章と 4 章で共通に使われる、(1) 除去熱量の熱平衡式、(2) 室温湿度の変動、(3) 蓄熱熱流・蓄熱負荷の説明を先におきます。

(1) 除去熱量の熱平衡式

- ・熱負荷計算の前半が連続空調負荷 CL の計算で、後半はこれを受けて除去熱量と室温湿度変動を計算します。以下に熱平衡式を説明しますが、その前に、本章で使う変数を示しておきます。

なお、 \triangle の添字が付いているのは \triangle 波の変数です。 Δ 波の変数には添え字を省いています。

CL_S, CL_L	連続空調負荷は、熱負荷計算の前半で求められている既知の値
ST_S, ST_L	過去の室温湿度変動による蓄熱熱流の 1 項目が蓄熱負荷
t_O, x_O	外気温度 [°C] と外気絶対湿度 [g/kg]
t_B, x_B	<BUIL> で入力した基準温湿度で、連続空調負荷を計算するときの仮の室温湿度
t_R, x_R	実現される室温と室温 (Δ 波) <未知数>
$t_{R\triangle}, x_{R\triangle}$	実現される室温と室温 (\triangle 波) <未知数>

HE_S, HE_L	除去熱量の顕熱および潜熱 (Δ 波) <未知数>
$HE_{S\Delta}, HE_{L\Delta}$	除去熱量の顕熱および潜熱 (\triangleleft 波) <未知数>
$cp\gamma, R\gamma$	空気の容積当たりの比熱と水蒸気の容積当たりの蒸発潜熱
$G_{OA}, G_{OA\Delta}$	外気量 (Δ 波と \triangleleft 波)
WF_S, WF_L	顕熱および潜熱の蓄熱応答係数の第0項目 (Δ 波)
$WF_{S\Delta}, WF_{L\Delta}$	顕熱および潜熱の蓄熱応答係数の第0項目 (\triangleleft 波)

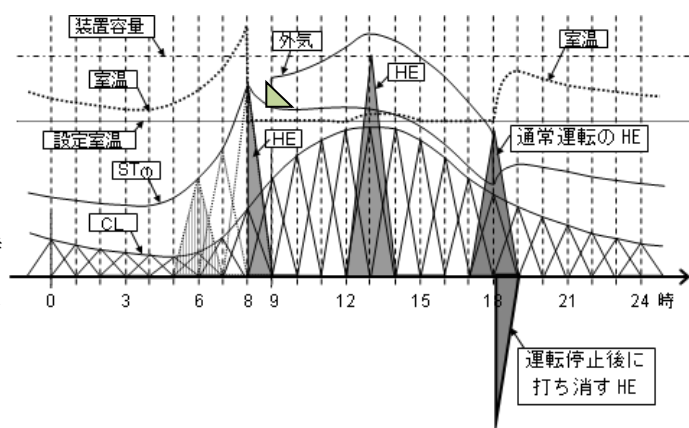
なお、 $WF_S = WF_{S0} + \Delta WF_S$ 、 $WF_L = WF_{L0} + \Delta WF_L$
 $WF_{S\Delta} = WF_{S0\Delta} + \Delta WF_{S\Delta}$ 、 $WF_{L\Delta} = WF_{L0\Delta} + \Delta WF_{L\Delta}$
 $WF_{S0}, WF_{S0\Delta}$ 、 $WF_{L0}, WF_{L0\Delta}$ 蓄熱応答係数の第0目です。(項別公比の $P_0, P_{0\Delta}$)
 $\Delta WF_S, \Delta WF_L$: 隙間風とブラインドの開閉による蓄熱応答係数0項目の補正項です。

※ $\Delta WF_S, \Delta WF_L$ は本来 $WF_{S0}, WF_{S0\Delta}$ や $WF_{L0}, WF_{L0\Delta}$ に含まれるべきものですが、これらは室の使い方によって値が変化することと時間遅れが無視できるとして、後付けで補正します。

- ・上記の変数の添え字のは Δ と \triangleleft は、それぞれ Δ 波と \triangleleft 波に対応します。

(2) Δ 波の熱平衡式

- ・右図の0~6時および19~24時は継続停止中で、9~17時は継続運転中です。これらの時間では Δ 波で計算しますが、これが計算の基本になります。
- ・8時は運転開始時、9時は外気導入開始時、18時は運転停止時です。このような時刻では、同じ時刻に2度計算します。直前を Δ 波で計算し、直後を \triangleleft 波で計算します。
- ・式(2-1)に Δ 波の熱平衡式を示します。上段が顕熱の熱平衡式(添え字が S)、下段が潜熱の熱平衡式(添え字が L)です。時刻 j は式が煩雑になるので省いています。



$$\begin{cases} CL_S + ST_S + WF_S(t_B - t_R) + cp\gamma G_{OA}(t_O - t_R) = HE_S \\ CL_L + ST_L + WF_L(x_B - x_R) + R\gamma G_{OA}(x_O - x_R) = HE_L \end{cases} \quad \dots (2-1)$$

- ・式(2-1)の Δ 波の熱平衡式には、熱負荷計算に関係する全ての要素が登場します。
- ・左辺の第1項が連続空調負荷 CL_S, CL_L 、第2項が過去の室温湿度変動による蓄熱負荷 ST_S, ST_L 、第3項が室温湿度変動による吸熱応答、第4項が外気負荷です。これらと右辺の除去熱量 HE_S, HE_L が釣り合うという式です。
- ・第3項は、基準室温湿度 t_B, x_B と室温湿度 t_R, x_R との差に蓄熱応答係数の第0項目の WF_S, WF_L を乗じたもので、室内側の励振による吸熱応答そのものです。基準室温湿度(t_B, x_B)と室温湿度(t_R, x_R)との差を取っていますが、室温湿度変動とは連続空調負荷(CL_S, CL_L)を計算した基準室温湿度(t_B, x_B)からの変動、という意味です。
- ・運転停止中は、除去熱量が $HE_S = 0, HE_L = 0$ です。外気量も $G_{OA} = 0$ で、室温湿度 t_R, x_R を求めます。
- ・運転中は、室温湿度に設定室温湿度(季節毎に変わる)を与えて、除去熱量 HE_S, HE_L を求めます。なお、装置容量が不足していると室温湿度 t_R, x_R が変動します。

(3) 波の熱平衡式 (運転開始時・外気導入開始時・運転停止時)

- ・上図の8時は運転開始時(運転状態が off→on)、9時は外気導入開始時(外気量が off→on)、18時は運転停止時(on→off)、外気量(on→off)、これらの時間では不連続に変化します。
- ・不連続な時刻では、直前(変化前)の状態を△波で計算して、直後(変化後)の状態を∠波で計算します。同じ時刻に2度計算するわけですが、直後(変化後)は直前(変化前)からの変動分の補正です。
- ・直後の∠波の熱平衡式を式(2-2)に示します。式(2-2)では、直前から変化した要素で式を立てます。

$$\begin{cases} WF_{S\Delta}(t_R - t_{R\Delta}) + cp\gamma G_{OA\Delta}(t_O - t_{R\Delta}) - Q_{OA,S} = HE_{S\Delta} - HE_S \\ WF_{L\Delta}(x_R - x_{R\Delta}) + R\gamma G_{OA\Delta}(x_O - x_{R\Delta}) - Q_{OA,L} = HE_{L\Delta} - HE_L \end{cases} \quad \dots (2-2)$$

- ・ $t_R, x_R, Q_{OA,S}, Q_{OA,L}, HE_S, HE_L$ は直前の結果で、既知の値です。
- ・ $Q_{OA,S}, Q_{OA,L}$ は直前の△波の外気負荷で $Q_{OA,S} = cp\gamma G_{OA}(t_O - t_R)$, $Q_{OA,L} = R\gamma G_{OA}(x_O - x_R)$ です。
- ・ 式(2-2)には、 CL_S, CL_L や ST_S, ST_L がありませんが、これらは直前の△波で計算済で、直前の室温湿度 t_R, x_R に反映されています。

<室温> 左辺第1項は室温湿度変動による吸熱応答です。蓄熱応答係数に△波の $WF_{S\Delta}, WF_{L\Delta}$ を使います。直後の室温湿度差は $t_{R\Delta}, x_{R\Delta}$ と直前の既知の室温湿度 t_R, x_R との差を取っていますが、∠波は直前の△波からの変化を表していることが分かります。

<外気負荷> 状況に応じて代入する値を変えます。

- ・ 式(2-2)の第2項は直後の∠波の外気負荷、第3項は直前の△波の外気負荷です。
- ・ 運転開始時は、直前が $G_{OA} = 0 \rightarrow$ 直後が $G_{OA\Delta} = \langle \text{OPCO} \rangle$ です。(外気導入前なら直後も $G_{OA\Delta} = 0$ です)
- ・ 外気導入開始時は、直前が $G_{OA} = 0 \rightarrow$ 直後が $G_{OA\Delta} = \langle \text{OPCO} \rangle$ での外気導入量
- ・ 運転停止時の直後は $G_{OA\Delta} = 0$ です。直前の外気負荷は既知で、これを $-Q_{OA,S}, -Q_{OA,L}$ で打ち消します。

<除去熱量> 状況に応じて代入する値を変えます。

- ・ 運転開始時ならば、直前は $HE_S = 0, HE_L = 0$ です。
- ・ 運転継続中での外気導入開始時ならば、直前と直後で除去熱量が変化するはずですが、これを式(2-2)では、 $-HE_S, -HE_L$ として打ち消すことで△波の左半分を残します。直後に新たに∠波の $HE_{S\Delta}, HE_{L\Delta}$ を投入します。
- ・ 運転停止時ならば、直後の∠波は $HE_{S\Delta} = 0, HE_{L\Delta} = 0$ です。直前の△波の除去熱量は既知の値でこれを $-HE_S, -HE_L$ として打ち消します。

※ $-Q_{OA,S}, -Q_{OA,L}$ や $-HE_S, -HE_L$ で打ち消すことで、△-∠ (実際は右向き) ⇒ ∠ (左向き) が残ります。

(4) 室温湿度の変動量

- ・ 熱平衡式(2-1)～式(2-2)によって△波と∠波の室温湿度を得てから、下式(2-3)で変動量を求めます。この変動量を次の(5)の蓄熱熱流の計算に使います。

△波では、連続空調負荷の基準室温湿度 (t_B, x_B) と実現された室温湿度 (t_R, x_R) の差が変動量です。

∠波では、直前の△波の室温湿度 (t_R, x_R) からの∠波の室温湿度 ($t_{R\Delta}, x_{R\Delta}$) の差が変動量です。

$$\left. \begin{array}{l} \Delta t_R = t_B - t_R \\ \Delta x_R = x_B - x_R \\ \Delta t_{R\Delta} = t_R - t_{R\Delta} \\ \Delta x_{R\Delta} = x_R - x_{R\Delta} \end{array} \right\} \dots (2-3)$$

- ・ 運転や停止が継続し外気量も変化しない時刻では△波のみを計算し、∠波は計算しません。このような場合の∠波の室温湿度は $t_{R\Delta} = t_R, x_{R\Delta} = x_R$ であり、∠波の室温湿度の変動量は $\Delta t_{R\Delta} = 0, \Delta x_{R\Delta} = 0$ です。

(5) 蓄熱熱流・蓄熱負荷の計算

- ・各時刻の△波と△波の室温湿変動の $\Delta t_R, \Delta t_{R\Delta}, \Delta x_R, \Delta x_{R\Delta}$ が決まると蓄熱熱流の計算に移ります。
- ・蓄熱熱流は吸熱応答と同じです。下式(2-4s)および式(2-4L)のように過去の室温湿度変動による蓄熱熱流に新たな蓄熱熱流を重ね合わせます。
- ・式(2-4s)、式(2-4L)の重ね合わせも畳み込み演算ですが、励振が室内で逆向きの熱の流れなので、“逆畳み込み演算”といいます。
- ・△波と△波は別々に求め、また項別公比なので項別毎に求め、最後に式(2-5)で合算します。

$$\begin{array}{ll}
 \text{<△波の顕熱の蓄熱熱流>} & \text{<△波の顕熱の蓄熱熱流>} \\
 ST_{S1}^* = ST_{S1} \times CR_{S1} + \Delta t_R \times WF_{S1} & ST_{S1\Delta}^* = ST_{S1\Delta} \times CR_{S1\Delta} + \Delta t_{R\Delta} \times WF_{S1\Delta} \\
 ST_{S2}^* = ST_{S2} \times CR_{S2} + \Delta t_R \times WF_{S2} & ST_{S2\Delta}^* = ST_{S2\Delta} \times CR_{S2\Delta} + \Delta t_{R\Delta} \times WF_{S2\Delta} \\
 \text{<△波の潜熱の蓄熱熱流>} & \text{<△波の潜熱の蓄熱熱流>} \\
 ST_{L1}^* = ST_{L1} \times CR_{L1} + \Delta x_R \times WF_{L1} & ST_{L1\Delta}^* = ST_{L1\Delta} \times CR_{L1\Delta} + \Delta x_{R\Delta} \times WF_{L1\Delta} \\
 ST_{L2}^* = ST_{L2} \times CR_{L2} + \Delta x_R \times WF_{L2} & ST_{L2\Delta}^* = ST_{L2\Delta} \times CR_{L2\Delta} + \Delta x_{R\Delta} \times WF_{L2\Delta}
 \end{array} \quad \dots (2-4S)$$

ここに、 $\Delta t_R, \Delta t_{R\Delta}$

室温の変動量です。(△波と△波)

$WF_{S1}, WF_{S2}, WF_{S1\Delta}, WF_{S2\Delta}$

顕熱の項別の蓄熱応答係数です。(△波と△波)

$CR_{S1}, CR_{S2}, CR_{S1\Delta}, CR_{S2\Delta}$

顕熱の項別公比です。

項別公比は△波と△波は同じで $CR_{S1} = CR_{S1\Delta}, CR_{S2} = CR_{S2\Delta}$ です。

$ST_{S1}, ST_{S2}, ST_{S1\Delta}, ST_{S2\Delta}$

過去の室温変動による項別の蓄熱熱流 (△波と△波)

$ST_{S1}^*, ST_{S2}^*, ST_{S1\Delta}^*, ST_{S2\Delta}^*$

新たな蓄熱熱流が畳み込まれた項別の蓄熱熱流です。

$\Delta x_R, \Delta x_{R\Delta}$

室温の変動量です。(△波と△波)

$WF_{L1}, WF_{L2}, WF_{L1\Delta}, WF_{L2\Delta}$

潜熱の項別の蓄熱応答係数です。(△波と△波)

$CR_{L1}, CR_{L2}, CR_{L1\Delta}, CR_{L2\Delta}$

潜熱の項別公比です。

項別公比は△波と△波は同じで $CR_{L1} = CR_{L1\Delta}, CR_{L2} = CR_{L2\Delta}$ です。

$ST_{L1}, ST_{L2}, ST_{L1\Delta}, ST_{L2\Delta}$

過去の室温変動による項別の蓄熱熱流 (△波と△波)

$ST_{L1}^*, ST_{L2}^*, ST_{L1\Delta}^*, ST_{L2\Delta}^*$

新たな蓄熱熱流が畳み込まれた項別の蓄熱熱流です。

- ・逆畳み込み演算した△波と△波の顕熱の蓄熱熱流 $ST_{S1}^*, ST_{S2}^*, ST_{S1\Delta}^*, ST_{S2\Delta}^*$ を合計して ST_S^* を求めます。潜熱も同様に、△波と△波の潜熱の蓄熱熱流 $ST_{L1}^*, ST_{L2}^*, ST_{L1\Delta}^*, ST_{L2\Delta}^*$ を合計して ST_L^* を求めます。

$$\begin{array}{l}
 ST_S^* = ST_{S1}^* + ST_{S2}^* + ST_{S1\Delta}^* + ST_{S2\Delta}^* \\
 ST_L^* = ST_{L1}^* + ST_{L2}^* + ST_{L1\Delta}^* + ST_{L2\Delta}^*
 \end{array} \quad \dots (2-5)$$

この ST_S^* と ST_L^* が、これが次の時刻の△波の蓄熱負荷 ST_S と ST_L になります。

3. シミュレーションモードによる除去熱量と室温湿度変動の計算

- 本章では、実際の計算手順に沿って除去熱量と室温変動・蓄熱負荷の計算方法を解説します。
なお、計算方法は、顕熱も潜熱も同じなので、これ以降は顕熱で説明します。

- 運転状態の初期値は、原則として“停止”です。よって、「(1)の運転停止中」から始まります。
なお、〈OSCH〉で運転開始時刻を“0:00”とした場合、あるいは、夜間が運転となる間欠運転を設定した場合は、「(3)運転継続中」から始まります。

(1) 運転停止中の計算 (△波)

- 継続停止中の熱平衡式は△波の式(2-1)を使います。

$$CL + ST + WF(t_B - t_R) + cp\gamma G_{OA}(t_O - t_R) = HE \quad \dots (2-1) \text{再}$$

- 式(2-1)で、外気量 $G_{OA} = 0$ 、除去熱量 $HE = 0$ と置き、室温 t_R (空調しない場合の自然室温) を解きます。

$$\text{室温} \quad t_R = \frac{CL + ST + WF \times t_B}{WF}$$

- 停止状態が継続する場合、直前と直後で状態に変化は無いので、△波の計算は必要なく $HE_{\Delta} = 0$ 、 $t_{R\Delta} = t_R$ です。(6)室温変動と(7)蓄熱熱流の計算に進みます。
直後に運転開始する場合は、(2)に進みます。

(2) 運転開始直後の計算 (∠波)

- 基本式は∠波の式(2-2)です。

$$WF_{\Delta}(t_R - t_{R\Delta}) + cp\gamma G_{OA\Delta}(t_O - t_{R\Delta}) - cp\gamma G_{OA}(t_O - t_R) = HE_{\Delta} - HE \quad \dots (2-2) \text{再}$$

運転開始直前の△波の室温 t_R は既知、外気量は $G_{OA} = 0$ 、除去熱量は $HE = 0$ です。

運転開始時と同時に外気導入ならば、 $G_{OA\Delta} > 0$ (外気導入) ですが、導入前なら $G_{OA\Delta} = 0$ です。

これらを代入すると、運転開始直後の熱平衡式は式(2-2)sになります。

$$WF_{\Delta}(t_R - t_{R\Delta}) + cp\gamma G_{OA\Delta}(t_O - t_{R\Delta}) = HE_{\Delta} \quad \dots (2-2) \text{s}$$

- 1) 運転開始ですが、いきなり HE_{Δ} を解くことはしません。冷暖房の要/不要の判定のため、式(2-2)sで除去熱量を $HE_{\Delta} = 0$ と置いて仮の室温 $t_{R\Delta}$ を求めます。

$$t_{R\Delta} = \frac{WF_{\Delta} \times t_R + cp\gamma G_{OA\Delta} \times t_O}{WF_{\Delta} + cp\gamma G_{OA\Delta}}$$

- 2) 冷暖房の要/不要の判定：〈OPCO〉で入力した設定室温の上限値を $t_{set,U}$ 、下限値を $t_{set,L}$ とします。

室温が $t_{set,L} \leq t_{R\Delta} \leq t_{set,U}$ の場合、室温 $t_{R\Delta}$ と除去熱量 $HE_{\Delta} = 0$ が確定します。

$t_{R\Delta} < t_{set,L}$ の場合、加熱が必要です。 $t_{R\Delta} = t_{set,L}$ と置いて、除去熱量の計算3)に進みます。

$t_{set,U} < t_{R\Delta}$ の場合、冷却が必要です。 $t_{R\Delta} = t_{set,U}$ と置いて、除去熱量の計算3)に進みます。

- 3) 除去熱量：冷却または加熱が必要と判断された場合、熱平衡式(2-2)sを除去熱量 HE について解きます。

$$HE_{\Delta} = WF_{\Delta}(t_R - t_{R\Delta}) + cp\gamma G_{OA\Delta}(t_O - t_{R\Delta})$$

- 4) 過負荷の判定：〈SOPC〉で入力した装置容量の冷房能力を HE_C と暖房能力を HE_H とします。

(熱負荷計算では暖房は－値です。 HE_H の入力値は＋ですが、プログラム内では－に変わります)

除去熱量が $HE_H \leq HE_{\Delta} \leq HE_C$ の場合、“軽負荷”で除去熱量 HE_{Δ} と室温 $t_{R\Delta}$ が確定します。

$HE_{\Delta} < HE_H$ の場合、加熱の“過負荷”です。 $HE_{\Delta} = HE_H$ と置き除去熱量が確定します。

$HE_C < HE_{\Delta}$ の場合、冷却の“過負荷”です。 $HE_{\Delta} = HE_C$ と置き除去熱量が確定します。

5) 過負荷の場合、4)の HE_{Δ} を与条件として、熱平衡式(2-2)s を再計算して室温 $t_{R\Delta}$ を確定します。

$$t_{R\Delta} = \frac{WF_{\Delta} \times t_R + cp\gamma G_{OA\Delta} \times t_O - HE_{\Delta}}{WF_{\Delta} + cp\gamma G_{OA\Delta}}$$

※(1)で直前の△波と、(2)で直後の△波の室温が得られたので、(6)室温変動と蓄熱熱流の計算に進みます。

(3) 運転継続中の計算 (△波)

・基本式は△波の式(2-1)がそのまま使えます。

$$CL + ST + WF(t_B - t_R) + cp\gamma G_{OA}(t_O - t_R) = HE \quad \dots (2-1) \text{再}$$

なお、外気量は $G_{OA} = \langle \text{OPCO} \rangle$ の入力値です。(外気導入時刻以前ならば $G_{OA} = 0$ です)

1) 運転中ですが、冷暖房の要/不要の判定のために、式(2-1)で、除去熱量を $HE = 0$ として仮の室温 t_R を求めます。

$$t_R = \frac{CL + ST + WF \times t_B + cp\gamma G_{OA} \times t_O}{WF + cp\gamma G_{OA}}$$

2) 冷暖房の要/不要の判定： $\langle \text{OPCO} \rangle$ で入力した設定室温の上限値を $t_{set,U}$ 、下限値を $t_{set,L}$ とします。

仮の室温が $t_{set,L} \leq t_R \leq t_{set,H}$ の場合、室温 t_R と除去熱量 $HE = 0$ が確定します。

$t_R < t_{set,L}$ の場合、加熱が必要です。 $t_R = t_{set,L}$ と置いて、除去熱量の計算 3) に進みます。

$t_{set,U} < t_R$ の場合、冷却が必要です。 $t_R = t_{set,U}$ と置いて、除去熱量の計算 3) に進みます。

3) 除去熱量： 冷却または加熱が必要と判断された場合、熱平衡式(2-1)を除去熱量 HE について解きます。

$$HE = CL + ST + WF(t_B - t_R) + cp\gamma G_{OA}(t_O - t_R)$$

4) 過負荷の判定： $\langle \text{SOPC} \rangle$ で入力した装置容量で冷房能力を HE_C と暖房能力を HE_H とします。

(熱負荷計算では暖房は一値です。 HE_H の入力値は+ですが、プログラム内では-に変わります)

除去熱量が $HE_H \leq HE \leq HE_C$ の場合、“軽負荷”で除去熱量 HE と室温 t_R が確定します。

$HE < HE_H$ の場合、加熱の“過負荷”です。 $HE = HE_H$ と置き除去熱量が確定します。

$HE_C < HE$ の場合、冷却の“過負荷”です。 $HE = HE_C$ と置き除去熱量が確定します。

5) 過負荷の場合は、4)の HE を与条件として、式(2-1)を再計算して室温 t_R を確定します。

$$t_R = \frac{CL + ST + WF \times t_B + cp\gamma G_{OA} \times t_O - HE}{WF + cp\gamma G_{OA}}$$

※運転が継続する場合： △波の計算の必要はなく $t_{R\Delta} = t_R$ で、(6)室温変動と(7)蓄熱熱流の計算に進みます。

直後が、運転停止の場合： (5)に進みます。

直後が、外気導入時刻の場合： (4)に進みます。

(4) 運転継続途中での外気導入開始時の計算 (△波)

・基本式は△波の式(2-2)です。

$$WF_{\Delta}(t_R - t_{R\Delta}) + cp\gamma G_{OA\Delta}(t_O - t_{R\Delta}) - Q_{OA,S} = HE_{\Delta} - HE \quad \dots (2-2) \text{再}$$

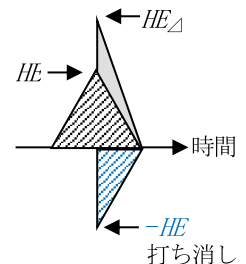
・外気導入直前の△波の室温 t_R は既知、除去熱量 HE も既知です。

直前の外気量は $G_{OA} = 0$ で、外気負荷も $Q_{OA,S} = 0$ です。

これらを代入すると、運転開始直後の熱平衡式(2-2)oaになります。

$$WF_{\Delta}(t_R - t_{R\Delta}) + cp\gamma G_{OA\Delta}(t_O - t_{R\Delta}) = HE_{\Delta} - HE \quad \dots (2-2) \text{oa}$$

($-HE$ をしないと△波の右半分が二重カウントになります)



1) 運転継続中ですが、冷暖房の要/不要の判定のため、

式(2-2)oa で、除去熱量を $HE_{\Delta} = 0$ とし仮の室温 $t_{R\Delta}$ を求めます。

$$t_{R\Delta} = \frac{WF_{\Delta} \times t_R + cp\gamma G_{OA\Delta} \times t_O + HE}{WF_{\Delta} + cp\gamma G_{OA\Delta}}$$

2) 冷暖房の要/不要の判定： <OPCO>で入力した設定室温の上限値を $t_{set,U}$ 、下限値を $t_{set,L}$ とします。

室温が $t_{set,L} \leq t_{R\Delta} \leq t_{set,U}$ の場合、冷暖房は必要なく、室温 $t_{R\Delta}$ と除去熱量 $HE_{\Delta} = 0$ が確定です。

$t_{R\Delta} < t_{set,L}$ の場合、加熱が必要です。 $t_{R\Delta} = t_{set,L}$ と置いて、除去熱量の計算 3) に進みます。

$t_{set,U} < t_{R\Delta}$ の場合、冷却が必要です。 $t_{R\Delta} = t_{set,U}$ と置いて、除去熱量の計算 3) に進みます。

3) 除去熱量： 冷却または加熱が必要と判断された場合、熱平衡式(2-2)a を除去熱量 HE について解きます。

$$HE_{\Delta} = WF_{\Delta}(t_R - t_{R\Delta}) + cp\gamma G_{OA\Delta}(t_O - t_{R\Delta}) + HE$$

4) 過負荷の判定： <SOPC>で入力した装置容量の冷房能力を HE_C と暖房能力を HE_H とします。

(熱負荷計算では暖房は一値です。 HE_H の入力値は+ですが、プログラム内では-に変わります)

除去熱量が $HE_H \leq HE_{\Delta} \leq HE_C$ の場合、“軽負荷”で除去熱量 HE_{Δ} と室温 $t_{R\Delta}$ が確定します。

$HE_{\Delta} < HE_H$ の場合、加熱の“過負荷”です。 $HE_{\Delta} = HE_H$ と置き除去熱量が確定します。

$HE_C < HE_{\Delta}$ の場合、冷却の“過負荷”です。 $HE_{\Delta} = HE_C$ と置き除去熱量が確定します。

5) 過負荷の場合は、4)の HE を与条件として、熱平衡式(2-2)oa を再計算して室温 $t_{R\Delta}$ を確定します。

$$t_{R\Delta} = \frac{WF_{\Delta} \times t_R + cp\gamma G_{OA\Delta} \times t_O - HE_{\Delta} + HE}{WF_{\Delta} + cp\gamma G_{OA\Delta}}$$

※(3)で直前の△波と、(4)で直後の△波が求められたので、(6)室温変動と(7)蓄熱熱流の計算に進みます。

(5) 運転停止時の計算 (△波)

・基本式は△波の式(2-2)です。

$$WF_{\Delta}(t_R - t_{R\Delta}) + cp\gamma G_{OA\Delta}(t_O - t_{R\Delta}) - Q_{OA,S} = HE_{\Delta} - HE \quad \dots (2-2) \text{再}$$

・運転停止直前の△波の室温 t_R は既知、除去熱量 HE も既知です。

外気負荷も $Q_{OA,S} = cp\gamma G_{OA,S}(t_O - t_R)$ で既知です。

一方で、停止直後の除去熱量は $HE = 0$ 、外気量も $G_{OA\Delta} = 0$ です。

これらを代入すると、運転開始直後の熱平衡式(2-2)e になります。

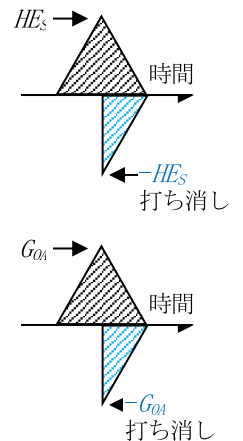
$$WF_{\Delta}(t_R - t_{R\Delta}) - Q_{OA,S} = -HE \quad \dots (2-2)e$$

($-Q_{OA,S}$ と $-HE$ をしないと△波の右半分が二重カウントになります)

1) 式(2-2)e で室温 $t_{R\Delta}$ を求めます。

$$t_{R\Delta} = \frac{WF_{\Delta} \times t_R - cp\gamma G_{OA}(t_O - t_R) + HE}{WF_{\Delta}}$$

・直前の△波と直後の△波が求められたので、(6)室温変動と(7)蓄熱熱流の計算に進みます。



(6) 室温変動の計算

・各時刻で直前直後の、室温が確定しました。

・△波は基準温度 (t_B) からの変動で、△波は直前の△波の室温 (t_R) からの変動です。

△波の室温変動は $\Delta t_R = t_B - t_R$ で、

△波の室温変動は $\Delta t_{R\Delta} = t_R - t_{R\Delta}$ です。

※ 室温が季節毎の設定温度になっけていても、その室温が基準温度と同じでない限り、室温変動になります。

(7) 蓄熱熱流と蓄熱負荷の計算

- 蓄熱熱流は、室温変動を励振とする吸熱応答と同じです。

下記のように過去の室温変動による蓄熱熱流に新たな蓄熱熱流を重ね合わせる“逆畳込み演算”をします。
また、△波と∠波の両方を、また、項別公比なので項別に求めます。

<△波の顕熱の蓄熱熱流>

$$ST_1^* = ST_1 \times CR_1 + \Delta t_R \times WF_1$$

$$ST_2^* = ST_2 \times CR_2 + \Delta t_R \times WF_2$$

<∠波の顕熱の蓄熱熱流>

$$ST_{1\Delta}^* = ST_{1\Delta} \times CR_{1\Delta} + \Delta t_{R\Delta} \times WF_{1\Delta} \quad \dots (2-4S) \text{再}$$

$$ST_{2\Delta}^* = ST_{2\Delta} \times CR_{2\Delta} + \Delta t_{R\Delta} \times WF_{2\Delta}$$

※ 蓄熱熱流は、△波は ST_1^*, ST_2^* 、∠波は $ST_{1\Delta}^*, ST_{2\Delta}^*$ のように項別に求めます。

- 逆畳込み演算した△波と∠波の顕熱の蓄熱熱流 $ST_1^*, ST_2^*, ST_{1\Delta}^*, ST_{2\Delta}^*$ を合計して ST^* を求めます。

$$ST^* = ST_1^* + ST_2^* + ST_{1\Delta}^* + ST_{2\Delta}^* \quad \dots (2-5) \text{再}$$

この ST^* が次の時刻の△波の蓄熱負荷 ST になります。

- 蓄熱負荷を求めたら、時刻を1つ進めて

運転停止中なら → (1)の△波に戻ります。(運転開始時も停止の△波の(1)から入ります)

運転継続中なら → (3)の△波に戻ります。(運転停止時、外気導入開始時も△波の(3)から入ります)

【補足】

- ACLD_HEX と NewHASP はどちらも、HASP/ACLD/8501 を基に、除去熱量の計算機能を付加したものです。

若干、計算手順が異なるところがありますが、計算内容は同じです。

- 室温の計算手順にも若干の違いがあります。

- ACLD_HEX では、室温 $t_R, t_{R\Delta}$ を熱平衡式から求め、室温の上下限チェックを行います。その後の蓄熱熱流の逆畳込み演算の直前に温度変動量 $\Delta t_R = t_B - t_R$ 、 $\Delta t_{R\Delta} = t_R - t_{R\Delta}$ を求めています。

- 一方、NewHASP では、室温変動量 $\Delta t_R, \Delta t_{R\Delta}$ を熱平衡式から求め、この値で蓄熱熱流の逆畳込み演算をします。室温に戻すのは結果の出力の時です。($t_R = t_B - \Delta t_R$ 、 $t_{R\Delta} = t_R - \Delta t_{R\Delta}$)

手順の違いだけで、内容は同じです。

4. ピークモードの除去熱量の計算 (この章の前に3章を読んでください)

(1) ピークモードの反復計算の仕組み

<シミュレーションモードとピークモードの計算の違い>

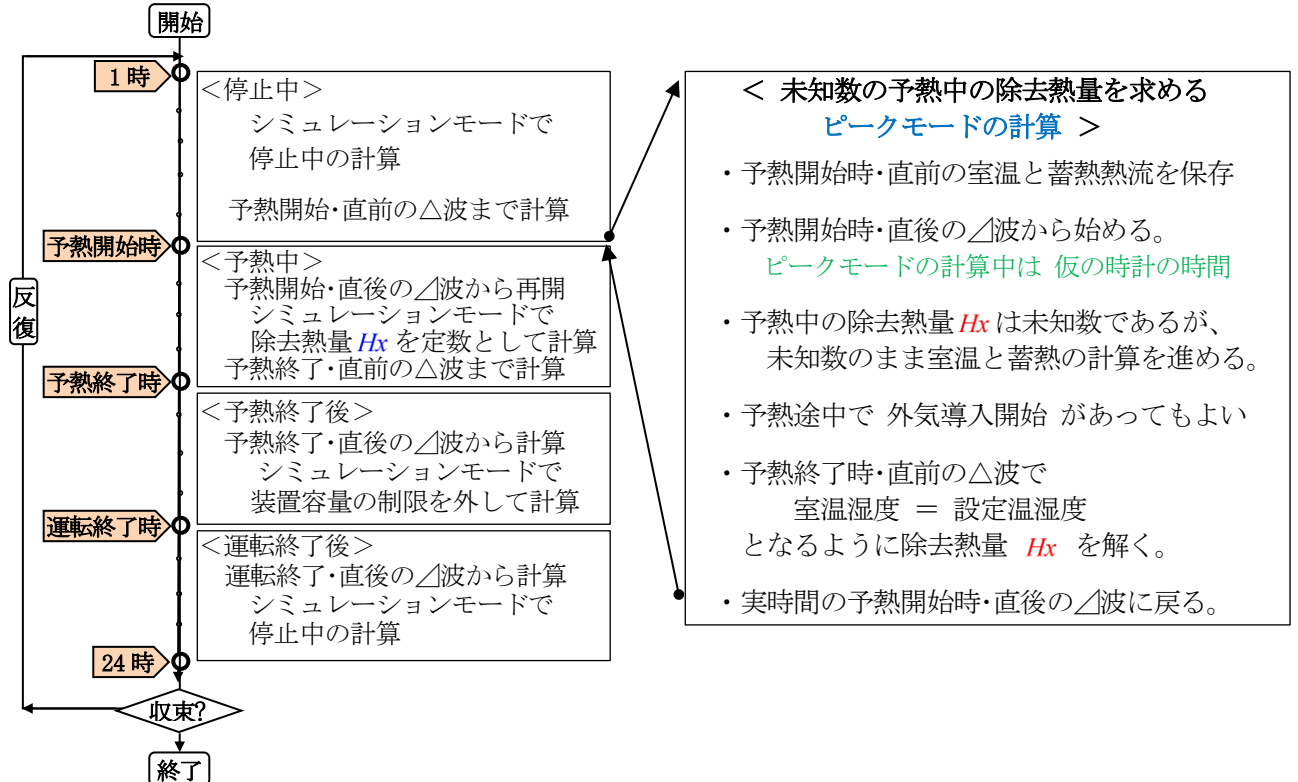
<シミュレーションモード>

- 年間の冷暖房負荷を求める。
- 気象データは主に平均年気象データを用いる。
- 非定常熱負荷計算
- **装置容量 (冷却・加熱・除湿・加湿) を与条件とし、この能力の範囲で、熱負荷 (除去熱量) を求める。**

<ピークモード>

- 空調設計のための最大熱負荷を求める。
- 厳しい条件のピーク気象データを用いる。
- (1日を周期とする)周期定常 (計算は非定常)
- **予熱時間数を与条件として装置容量を求める。**
この装置容量は予熱中の除去熱量で一定値、予熱終了時に 室温湿度=設定温度湿度 となるように予熱中の除去熱量を決める。

<計算のフロー>



<ピークモードの解き方>

- 予熱開始時/直前の△波までは通常のシミュレーションモードの停止中の計算
- 直前の蓄熱熱流と室温を保存し、ピークモードの計算に分岐 (時間が仮の時計に替わる)
- 予熱中の除去熱量 H_x は一定値の未知数
未知数のまま、仮の時計で、予熱終了時・直前の△波まで計算を進める
- 予熱終了時・直前の△波で 室温湿度=設定温度湿度 として、未知数の除去熱量 H_x の値を解く
ここで、元のシミュレーションモードの予熱開始時・直後の△波に戻る
- 保存してあった直前の室温や蓄熱の値を戻して、直後の△波の計算から再開
予熱時間帯では、求めた除去熱量 H_x を定数としてシミュレーションモードで計算
予熱終了時・△波の室温が設定温度湿度に一致すると、ピークモードの計算が正しいことが確認できる
- 予熱終了後は、装置容量の制限を外して、シミュレーションモードで室温・蓄熱を計算
運転終了後は、通常のシミュレーションモードの停止中の計算
- 24時まで計算を進める。反復計算の途中なら1時に戻り、反復回数の上限に達していれば計算が完了

(2) 未知数の予熱中の除去熱量を求める計算

① 予熱開始時・直前の△波

- 1時から始まって予熱開始・直前までの△波は通常のシミュレーションモードの停止中と同じです。外気量 $G_{OA} = 0$ 、除去熱量 $HE = 0$ として、室温 t_R （空調しない場合の自然室温）を解きます。

$$\text{室温} \quad t_R = \frac{CL + ST + WF \times t_B}{WF} \quad (\text{記号は3章と同じ}) \quad (4-0)$$

- 予熱開始時・直前の室温や蓄熱熱流の値を保存してから ⇒ ①予熱開始時・直後の△波に進みます。

① 予熱開始時・直後の△波（ここからピークモードの計算です。仮の時計に切り替わります）

- 熱平衡式 $WF_{\Delta}(t_R - t_{R\Delta}) + cp\gamma G_{OA\Delta}(t_O - t_{R\Delta}) = Hx$ (4-1)

除去熱量 Hx は未知数ですが、直前の△波の室温 t_R と入力条件の外気量 $G_{OA\Delta}$ は既知です。

- 式(4-1)を△波の室温 $t_{R\Delta}$ について解きます。なお、既知の成分と未知の成分に分けておきます。

$$t_{R\Delta} = \frac{WF_{\Delta} \times t_R + cp\gamma G_{OA\Delta} \times t_O}{WF_{\Delta} + cp\gamma G_{OA\Delta}} + \frac{-1}{WF_{\Delta} + cp\gamma G_{OA\Delta}} \times Hx \quad (4-2)$$

ここで、室温 $t_{R\Delta}$ の既知の成分を $t_{Rq\Delta}$ とし、未知の成分の係数を $f_{Rx\Delta}$ とします。

$$t_{Rq\Delta} = \frac{WF_{\Delta} \times t_R + cp\gamma G_{OA\Delta} \times t_O}{WF_{\Delta} + cp\gamma G_{OA\Delta}} \quad (4-2q)$$

$$f_{Rx\Delta} = \frac{-1}{WF_{\Delta} + cp\gamma G_{OA\Delta}} \quad \dots \text{係数は既知の値です。} \quad (4-2x)$$

- ⇒ ②室温変動量⇒④蓄熱熱流の計算に進みます。

② 室温変動量

- この計算は、①予熱開始時、③継続予熱中、④予熱途中で外気導入開始がある場合、に共通です。
- ここまでで、△波の室温 $t_R = t_{Rq} + f_{Rx} \times Hx$ 、△波の室温 $t_{R\Delta} = t_{Rq\Delta} + f_{Rx\Delta} \times Hx$ が得られています。
 - ①運転開始時の時は、△波の既知の成分は①の $t_{Rq} = t_R$ で、未知の成分は初期値の $f_{Rx} = 0$ です。
 - ③継続予熱中では、△波の成分は $t_{Rq\Delta} = 0, f_{Rx\Delta} = 0$ です。

- 室温の変動量は、△波は基準温度 t_B からの変動量、△波は直前の△波の室温 t_R からの変動量です。室温の変動量を、△波と△波と、既知の成分と未知の成分の組み合わせで分類します。

$$\left. \begin{array}{l} \Delta t_{Rq} = t_B - t_{Rq} \\ \Delta t_{Rq\Delta} = t_{Rq} - t_{Rq\Delta} \\ \Delta f_{Rx} = -f_{Rx} \\ \Delta f_{Rx\Delta} = f_{Rx} - f_{Rx\Delta} \end{array} \right\} \quad (4-3)$$

※ 未知の成分の室温変動量は、既知の成分の室温変動量の補正值になります。

- ⇒ ③蓄熱熱流の計算に進みます。

③ 蓄熱熱流の計算

- この計算は、①予熱開始時、③継続予熱中、④予熱途中で外気導入開始がある場合、に共通です。
- $ST_{q1}, ST_{q2}, ST_{q1\Delta}, ST_{q2\Delta}$ は、過去の室温変動による既知の蓄熱熱流です。
 - ①予熱開始時は①で保存した値と同じ値です。（なお、同じ値をピークモードにコピーして使います）
- $f_{STx1}, f_{STx2}, f_{STx1\Delta}, f_{STx2\Delta}$ は、未知数の除去熱量 Hx による蓄熱熱流の係数です。（係数は既知の値です）
 - ①予熱開始時は初期値で $f_{STx1} = f_{STx2} = f_{STx1\Delta} = f_{STx2\Delta} = 0$ です。

・蓄熱熱流の逆畳み込み演算

既知と未知、 Δ 波と \triangle 波の組み合わせで4通り、項別公比の2項があり、8つの式になります。
(実際は、潜熱があるので全部で16の式です)

<既知の成分： Δ 波>

$$\begin{aligned} ST_{q1}^* &= ST_{q1} \times CR_1 + \Delta t_{Rq} \times WF_1 \\ ST_{q2}^* &= ST_{q2} \times CR_2 + \Delta t_{Rq} \times WF_2 \end{aligned}$$

<既知の成分 \triangle 波>

$$\begin{aligned} ST_{q1\triangle}^* &= ST_{q1\triangle} \times CR_{1\triangle} + \Delta t_{Rq\triangle} \times WF_{1\triangle} \\ ST_{q2\triangle}^* &= ST_{q2\triangle} \times CR_{2\triangle} + \Delta t_{Rq\triangle} \times WF_{2\triangle} \end{aligned} \quad (4-4-1)$$

<未知の成分の係数： Δ 波>

$$\begin{aligned} f_{STx1}^* &= f_{STx1} \times CR_1 + \Delta f_{Rx} \times WF_1 \\ f_{STx2}^* &= f_{STx2} \times CR_2 + \Delta f_{Rx} \times WF_2 \end{aligned}$$

<未知の成分の係数： \triangle 波>

$$\begin{aligned} f_{STx1\triangle}^* &= f_{STx1\triangle} \times CR_{1\triangle} + \Delta f_{Rx\triangle} \times WF_{1\triangle} \\ f_{STx2\triangle}^* &= f_{STx2\triangle} \times CR_{2\triangle} + \Delta f_{Rx\triangle} \times WF_{2\triangle} \end{aligned} \quad (4-4-2)$$

※ WF_1, WF_2, CR_1, CR_2 が Δ 波の項別項と公比、 $WF_{1\triangle}, WF_{2\triangle}, CR_{1\triangle}, CR_{2\triangle}$ が \triangle 波の項別項と公比
初項の WF, WF_{\triangle} は室温の計算で使っています。蓄熱熱流の逆畳み込み演算には出てきません。

・次の時刻の蓄熱負荷

既知の成分と未知の成分別に、 Δ 波と \triangle 波のそれぞれの項別の2項を合計します。

$$\text{既知の成分の蓄熱負荷} \quad ST_q^* = ST_{q1}^* + ST_{q2}^* + ST_{q1\triangle}^* + ST_{q2\triangle}^* \quad (4-5-1)$$

$$\text{未知の成分の蓄熱負荷の係数} \quad f_{STx}^* = f_{STx1}^* + f_{STx2}^* + f_{STx1\triangle}^* + f_{STx2\triangle}^* \quad (4-5-2)$$

ST_q^*, f_{STx}^* が、次の時刻の Δ 波の蓄熱負荷 ST_q, f_{STx} になります。

$$ST = ST_q + f_{STx} \times Hx \quad (4-6)$$

※本書では、蓄熱熱流で、対流で熱負荷になる成分を蓄熱負荷と読んでいます。

- ・次の時刻が 継続予熱中 ならば \Rightarrow ④継続予熱中 (Δ 波) に進みます。
- ・次の時刻が 予熱途中の外気導入開始時 でも \Rightarrow ④継続予熱中 (Δ 波) を先に計算します。
- ・次の時刻が 予熱終了時 ならば \Rightarrow ⑥予熱終了時・直前 (Δ 波) に進みます。

④ 継続予熱中の計算 (Δ 波)

- ・未知の蓄熱熱流と除去熱量を含めた熱平衡式は次式となります。

$$CL + ST_q + f_{STx} \times Hx + WF(t_B - t_R) + cp\gamma G_{OA}(t_O - t_R) = Hx \quad (4-7)$$

式(4-7)で、 $ST_q + f_{STx} \times Hx$ が蓄熱負荷で、 ST_q が既知の成分、 $f_{STx} \times Hx$ が未知の成分です。

外気は、外気が継続的に導入されていれば $G_{OA} > 0$ 、外気導入前ならば $G_{OA} = 0$ です。

- ・式(4-7)を室温 t_R について解きます。なお、既知の成分、未知の成分に分けて表示します。

$$t_R = \frac{CL + ST_q + WF \times t_B + cp\gamma G_{OA} \times t_O}{WF + cp\gamma G_{OA}} + \frac{f_{STx} - 1}{WF + cp\gamma G_{OA}} \times Hx \quad (4-8)$$

ここで、室温 t_R の既知の成分を t_{Rq} とし、未知の成分の係数を f_{Rx} とします。

$$t_{Rq} = \frac{CL + ST_q + WF \times t_B + cp\gamma G_{OA} \times t_O}{WF + cp\gamma G_{OA}} \quad (4-8q)$$

$$f_{Rx} = \frac{f_{STx} - 1}{WF + cp\gamma G_{OA}} \quad \dots \text{係数は既知の値です。} \quad (4-8x)$$

$$\text{なお、} \quad t_R = t_{Rq} + f_{Rx} \times Hx \quad (4-8r)$$

- ・この時刻が 外気導入開始時刻 ならば、直後の \Rightarrow ⑤予熱途中で外気導入 (\triangle 波) に進みます。
- ・そうでなければ、②室温変動量 \Rightarrow ③蓄熱熱流 の計算に進みます。

⑤ 予熱途中で外気導入を開始する場合の計算（△波）

- △波では、直前の△波から変化した要素だけで式を作ります。熱平衡式は次式になります。

$$WF_{\Delta}(t_{Rq} + f_{Rx} \times Hx - t_{R\Delta}) + cp\gamma G_{OA\Delta}(t_O - t_{R\Delta}) = Hx_{\Delta} - Hx = 0 \tag{4-9}$$

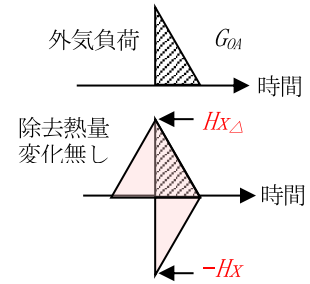
- $t_{Rq} + f_{Rx} \times Hx$ は、先の④の式(4-8r)の直前の△波の室温 t_R です。

t_{Rq} が既知の成分、 $f_{Rx} \times Hx$ が未知の成分です。

外気量 $G_{OA\Delta}$ は入力データによる与条件です。

予熱中の除去熱量は一定で△波と△波で変化しないので、

$$Hx_{\Delta} = Hx \text{ であり、右辺は } Hx_{\Delta} - Hx = 0 \text{ です。}$$



- 式(4-9)を室温 $t_{R\Delta}$ について解きます。

なお、既知の成分と、未知の成分けて表示します。

$$t_{R\Delta} = \frac{WF_{\Delta} \times t_{Rq} + cp\gamma G_{OA\Delta} \times t_O}{WF_{\Delta} + cp\gamma G_{OA\Delta}} + \frac{WF_{\Delta} \times f_{Rx}}{WF_{\Delta} + cp\gamma G_{OA\Delta}} \times Hx \tag{4-10}$$

$$t_{Rq\Delta} = \frac{WF_{\Delta} \times t_{Rq} + cp\gamma G_{OA\Delta} \times t_O}{WF_{\Delta} + cp\gamma G_{OA\Delta}} \tag{4-10q}$$

$$f_{Rx\Delta} = \frac{WF_{\Delta} \times f_{Rx}}{WF_{\Delta} + cp\gamma G_{OA\Delta}} \quad \dots \text{ 係数は既知の値です。} \tag{4-10x}$$

- ②室温変動量 ⇒ ③蓄熱熱流に進みます。

⑥ 予熱終了時・直前の△波 / 未知数の除去熱量を求める

- 予熱終了時・直前の△波で計算します。
- 熱平衡式は、△波の式(4-7)と同じです。

$$CL + ST_q + f_{STx} \times Hx + WF(t_B - t_R) + cp\gamma G_{OA}(t_O - t_R) = Hx \tag{4-7} \text{再}$$

なお、外気が継続導入中なら $G_{OA} > 0$ 、外気導入前なら $G_{OA} = 0$ です。

- 式(4-7)を未知数 Hx について解くのですが、いきなり Hx を求めることはしません。

何故ならば、予熱終了時の室温が設定室温の上下限の範囲にあれば、除去熱量は $Hx = 0$ になるからです。

- $Hx = 0$ として仮の室温 t_R を求めます。

$$\text{仮の室温} \quad t_R = \frac{CL + ST_q + WF \times t_B + cp\gamma G_{OA} \times t_O}{WF + cp\gamma G_{OA}} \tag{4-11}$$

- ここで 冷暖房の要/不要 の判定をします。

<OPC>で入力した設定室温の上限値を $t_{set,U}$ 、下限値を $t_{set,L}$ とします。

$t_{set,L} \leq t_R \leq t_{set,U}$ の場合、室温 t_R と除去熱量 $Hx = 0$ が確定します。

$t_R < t_{set,L}$ の場合、加熱が必要です。 $t_R = t_{set,L}$ と置いて、次の除去熱量の計算に進みます。

$t_{set,U} < t_R$ の場合、冷却が必要です。 $t_R = t_{set,U}$ と置いて、次の除去熱量の計算に進みます。

- 冷却または加熱が必要と判断された場合、熱平衡式(4-7)を除去熱量 Hx について解きます。

$$\text{予熱中の除去熱量} \quad Hx = \frac{CL + ST_q + WF(t_B - t_R) + cp\gamma G_{OA}(t_O - t_R)}{1 - f_{STx}} \tag{4-12}$$

- ピークモードの予熱中の除去熱量 Hx が得られました。この Hx は既知の値です。

この値 Hx をもって、元のシミュレーションモードの予熱開始時・直後の△波に戻ります。

(3) シミュレーションモードに戻って／予熱中の除去熱量一定での計算

- 予熱を完了してシミュレーションモードに戻って、予熱開始時・直後（△波）から再スタートです。計算方法は3章と同じシミュレーションモードですが、条件の設定が若干異なります。予熱中は、除去熱量 Hx を一定値の与条件として室温を求めます。

⑦ 予熱開始時・直後（△波） …… ここからは実時計に戻ります。

- 最初の⑥での予熱開始時・直前の△波の続きの、直後の△波の計算です。
- 熱平衡式 $WF_{\Delta}(t_R - t_{R\Delta}) + cp\gamma G_{OA\Delta}(t_O - t_{R\Delta}) = Hx$ (4-1) 再直前の△波の室温 t_R と入力条件の外気量 $G_{OA\Delta}$ は既知です。除去熱量 Hx は⑥で求めた値です。
- 室温 $t_{R\Delta}$ について解くと $t_{R\Delta} = \frac{WF_{\Delta} \times t_R + cp\gamma G_{OA\Delta} \times t_O - Hx}{WF_{\Delta} + cp\gamma G_{OA\Delta}}$ (4-13)
- 予熱開始時の⑥直前と⑦直後の計算が完了したので、⇒ ⑧室温変動と蓄熱熱流に進みます。

⑧ 室温変動量と蓄熱熱流の計算

- この計算は、⑦予熱開始時、⑨継続予熱中、⑩予熱途中で外気導入開始がある場合、および、予熱後の⑫継続運転、⑬外気導入開始時、⑭運転停止時、⑮停止中 に共通です。
 - 室温の変動量は、△波は基準温度 t_B からの変動量、△波は直前の△波の室温 t_R からの変動量です。
- | | | | |
|----------|--|---|--------|
| △波の室温変動量 | $\Delta t_R = t_B - t_R$ | } | (4-14) |
| △波の室温変動量 | $\Delta t_{R\Delta} = t_R - t_{R\Delta}$ | | |

- 蓄熱熱流の逆畳み込み演算
 - $ST_1, ST_2, ST_{1\Delta}, ST_{2\Delta}$ は過去の室温変動による蓄熱熱流です。⑦予熱開始時は⑥で保存した値です。

△波	$ST_1^* = ST_1 \times CR_1 + \Delta t_R \times WF_1$	△波	$ST_{1\Delta}^* = ST_{1\Delta} \times CR_{1\Delta} + \Delta t_{R\Delta} \times WF_{1\Delta}$	(4-15)
	$ST_2^* = ST_2 \times CR_2 + \Delta t_R \times WF_2$		$ST_{2\Delta}^* = ST_{2\Delta} \times CR_{2\Delta} + \Delta t_{R\Delta} \times WF_{2\Delta}$	

※ WF_1, WF_2, CR_1, CR_2 が△波の項別項と公比、 $WF_{1\Delta}, WF_{2\Delta}, CR_{1\Delta}, CR_{2\Delta}$ が△波の項別項と公比
初項の WF, WF_{Δ} は室温の計算で使っています。蓄熱熱流の逆畳み込み演算には出てきません。

- △波と△波の各項を合計 $ST^* = ST_1^* + ST_2^* + ST_{1\Delta}^* + ST_{2\Delta}^*$ (4-16)
この ST^* が次の時刻の△波の蓄熱負荷 ST になります。

※本書では、蓄熱熱流で、対流で熱負荷になる成分を蓄熱負荷と読んでいます。

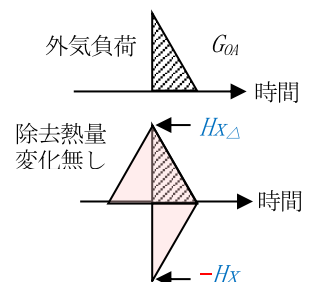
- 次の時刻が 予熱終了時 までなら ⇒ ⑨継続予熱中（△波）に進みます。
- 次の時刻が 予熱終了後の停止中なら ⇒ ⑭継続停止中（△波）に進みます。

⑨ 継続予熱中（△波）

- 熱平衡式 $CL + ST + WF(t_B - t_R) + cp\gamma G_{OA}(t_O - t_R) = Hx$ (4-17)
- 外気が継続的に導入されていれば $G_{OA} > 0$ 、外気導入前ならば $G_{OA} = 0$ です。 Hx は既知の除去熱量です。
- 室温 t_R について解くと $t_R = \frac{CL + ST + WF \times t_B + cp\gamma G_{OA} \times t_O - Hx}{WF + cp\gamma G_{OA}}$ (4-18)
- この時刻が 外気導入開始時刻 ならば ⇒ ⑩予熱途中の外気導入（△波）へ進みます。これ以外は ⇒ ⑧室温変動量と蓄熱熱流へ進みます。

⑩予熱途中の外気導入開始時・直後（△波）

- 熱平衡式 $WF_{\Delta}(t_R - t_{R\Delta}) + cp\gamma G_{OA\Delta}(t_O - t_{R\Delta}) = Hx_{\Delta} - Hx = 0$ (4-19)
 t_R は直前の△波の室温、外気量 $G_{OA\Delta}$ は入力データによる与条件です。予熱中の除去熱量は一定なので右辺は $Hx_{\Delta} - Hx = 0$ です。
- 室温 $t_{R\Delta}$ について解くと $t_{R\Delta} = \frac{WF_{\Delta} \times t_R + cp\gamma G_{OA\Delta} \times t_O}{WF_{\Delta} + cp\gamma G_{OA\Delta}}$ (4-20)
- この後は ⇒ ⑧室温変動量と蓄熱熱流へ進みます。



⑪ 予熱終了時 (△波) (計算は⑨の△波と同じです)

- ・⑨の計算で、室温が設定温度になっていれば、ピークモードの計算が正しかったことが分かります。
- ・予熱終了と同時に外気導入を開始する場合は ⇒ ⑬予熱後の外気導入開始 (△波) に進みます。
このケースは、いわゆる予熱時間中の外気カットに相当します。
- ・予熱終了時が運転停止時ならば、⇒ ⑭運転停止時・直後 (△波) に進みます。
- ・その他の場合は ⇒ ⑧室温変動量と蓄熱熱流へ進みます。

(4) 予熱終了後/装置容量の制限を外した除去熱量の計算

- ・予熱終了時・直後の△波からは、室温湿度を与条件として、除去熱量 HE, HE_{Δ} を求めます。
なお、予熱終了後の除去熱量には、装置容量の制約を外して計算します。
- ・最後の 24 時に、反復計算継続か、反復計算終了かを判断します。

⑫ 継続運転の計算 (△波)

・熱平衡式 $CL + ST + WF(t_B - t_R) + cp\gamma G_{OA}(t_O - t_R) = HE$ (4-21)

外気が継続的に導入されていれば $G_{OA} > 0$ 、外気導入前ならば $G_{OA} = 0$ です。

・先ず、 $HE = 0$ として自然室温を求めます。 $t_R = \frac{CL + ST + WF \times t_B + cp\gamma G_{OA} \times t_O}{WF + cp\gamma G_{OA}}$ (4-22)

・室温のチェック： <OPCO>で入力した設定室温の上限値を $t_{set,U}$ 、下限値を $t_{set,L}$ とします。

$t_{set,L} \leq t_R \leq t_{set,U}$ の場合は、室温 t_R と除去熱量 $HE = 0$ が確定します。

$t_R < t_{set,L}$ の場合、加熱が必要です。 $t_R = t_{set,L}$ と置いて、除去熱量を求めます。

$t_{set,U} < t_R$ の場合、冷却が必要です。 $t_R = t_{set,U}$ と置いて、除去熱量を求めます。

・除去熱量 $HE = \frac{CL + ST + WF(t_B - t_R) + cp\gamma G_{OA}(t_O - t_R)}{WF + cp\gamma G_{OA}}$ (4-23)

- ・予熱終了後の運転では、装置容量の制限を外します。
- ・この時刻が、外気導入開始時ならば ⇒ ⑬予熱後に外気導入を開始 (△波) へ進みます。
- ・この時刻が、運転終了時ならば、⇒ ⑭運転停止時・直後 (△波) に進みます。
- ・その他の場合は ⇒ ⑧室温変動量と蓄熱熱流へ進みます。

⑬ 予熱後に外気導入を開始する場合の計算 (△波)

・熱平衡式 $WF_{\Delta}(t_R - t_{R\Delta}) + cp\gamma G_{OA\Delta}(t_O - t_{R\Delta}) = HE_{\Delta} - HE$ (4-24)

・外気量 $G_{OA\Delta}$ は入力データによる与条件です。右辺の HE は直前の△波の除去熱量です。なお、直前が予熱終了時の△波ならば H_x になります。

・予熱終了後の運転では装置容量の制約がなくなります。

・先ず $HE_{\Delta} = 0$ として自然室温を求めます。 $t_{R\Delta} = \frac{WF_{\Delta} \times t_{Rq} + cp\gamma G_{OA\Delta} \times t_O}{WF_{\Delta} + cp\gamma G_{OA\Delta}}$ (4-25)

・室温のチェック： 設定室温の上限値を $t_{set,U}$ 、下限値を $t_{set,L}$ とします。

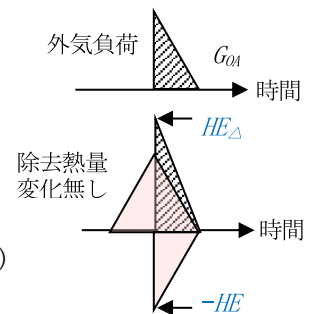
$t_{set,L} \leq t_{R\Delta} \leq t_{set,U}$ の場合は、外気導入時の室温 $t_{R\Delta}$ と除去熱量 $HE_{\Delta} = 0$ が確定します。

$t_{R\Delta} < t_{set,L}$ の場合、加熱が必要です。 $t_{R\Delta} = t_{set,L}$ と置いて、除去熱量を求めます。

$t_{set,U} < t_{R\Delta}$ の場合、冷却が必要です。 $t_{R\Delta} = t_{set,U}$ と置いて、除去熱量を求めます。

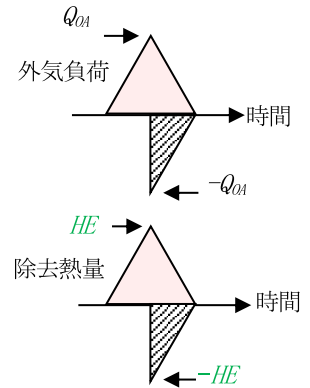
・除去熱量 $HE_{\Delta} = \frac{WF(t_R - t_{R\Delta}) + cp\gamma G_{OA\Delta}(t_O - t_{R\Delta}) + HE}{WF + cp\gamma G_{OA\Delta}}$ (4-26)

- ・予熱終了後の運転では、装置容量の制限を外します。
- ・この後は ⇒ ⑧室温変動量と蓄熱熱流へ進みます。



⑭ 運転停止時・直後（△波）

- ・直前は、⑫継続運転（△波）で、その直後の△波の計算です。
- ・熱平衡式 $WF_{\Delta}(t_R - t_{R\Delta}) - Q_{OA} = -HE$ (4-27)
 Q_{OA} は、直前の△波の外気負荷で $Q_{OA} = cp\gamma G_{OA}(t_0 - t_R)$ です。
 HE も直前の△波の除去熱量で、これらを△波で打ち消します。
- ・室温 $t_{R\Delta}$ を解くと $t_{R\Delta} = \frac{WF_{\Delta} \times t_R - Q_{OA} + HE}{WF_{\Delta} - cp\gamma G_{OA}}$ (4-28)
- ・この後は ⇒ ⑧室温変動量と蓄熱熱流 へ進みます。



⑮ 運転終了後の継続停止（△波）

- ・⑩と同じです。外気量 $G_{OA} = 0$ 、除去熱量 $HE = 0$ として、室温 t_R （空調しない場合の自然室温）を解きます。

$$\text{室温} \quad t_R = \frac{CL + ST + WF \times t_B}{WF} \quad (4-0) \text{再}$$

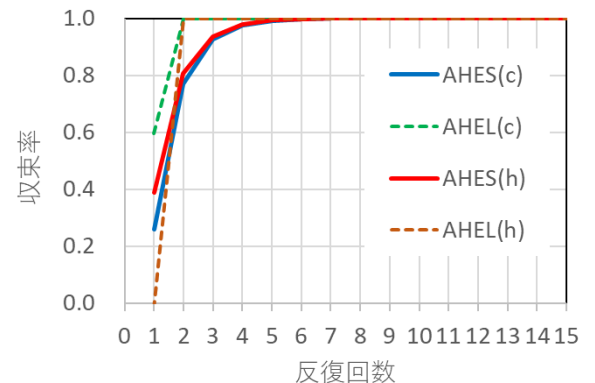
- ・この後は ⇒ ⑧室温変動量と蓄熱熱流 へ進みます。

⑯ 反復計算の判定

- ・24時まで計算を進めて
 - ・反復回数の上限に達していなければ、最初（⑩）の1時に戻って計算を続行します。
 - ・反復回数の上限に達していれば、全ての計算が完了です。

右の例) 実行編の例題の SPAC_MFW

- ・冷房(c)と暖房(h)の空調負荷(AHE)のピーク計算です。
- ・潜熱(L)は1次遅れなので2回目で収束しています。
- ・顕熱(S)は時間遅れの要素が多くあるので、収束までの反復回数が多くなります。
 冷暖房とも5回目で99%を超え、7回目で99.9%超、
 10回目で99.999%超、11回目で99.9999%超、
 14回目で99.99999%超えです。
- ・HASPは15回がdefaultですが、
 実用的にも、精度的にも十分です。



<補足>

- ※ 予熱開始、即予熱終了の場合：これは予熱時間数が0時間の場合です。このケースは、ピーク計算の指定があっても、面倒なピークモードの計算に入りません。
 装置容量の制限が外されたシミュレーションモードの計算と同じなので、予熱開始と同時に、予熱終了状態となり、装置容量の制限が外されたシミュレーションモードの計算に入ります。
- ※ “ピークモード” + “ピーク気象データ” は設計用の最大熱負荷計算として使われます。
 なお、予熱時間以外は、装置容量の制限を外したシミュレーションモードで計算するので、予熱時間以外の時間に、予熱中の除去熱量を超える熱負荷が生じることがあります。
- ※ “ピークモード” + “年間気象データ” の組み合わせもできます。この場合、毎日がピークモード計算になります。年間熱負荷の結果からピーク熱負荷を見つけることができます。

なお、1度の年間計算で、冷房ピークと暖房ピークを見つけようとすると無理があります。

何故ならば、季節の変わり目が特異点になるからです。

季節の変わり目では、設定室温湿度が不連続に変化したり（設定温湿度の変化が蓄熱負荷になります）、また、内部発熱の発熱割合が夏期と冬期で変化するため、ここで大きな除去熱量が発生することがあります。これを避けるために、例えば、次のように処理します。

- ・年間通して冷房ピークの使用条件で計算し、同様に、年間通して暖房の使用条件で計算します。
 それぞれで冷房ピーク負荷と暖房ピーク負荷を見つけます。
 こうすれば、季節の変わり目での特異点の発生を抑えることができます。

5. 応答係数を求める理論 (ここはやや難解ですので読み飛ばしても構いません)

多層壁の熱応答を求めることは、非定常熱負荷計算の最も核心的な部分です。詳細は、下記および巻末に記した文献①～④を参照していただくとして、ここでは要約して説明します。

【参考文献】

- ① SHASE 雑誌講座動的熱負荷計算法. pdf (¥DATA¥Reference¥)
- ② 空調設備の動的熱負荷計算入門. pdf (¥DATA¥Reference¥)
- ③ HASP-ACLD-8501 解説. pdf (¥HASP¥HASP-ACLD-8501¥Doc¥)
- ④ HASP-ACLD-8501 プログラミングメモ. pdf (¥HASP¥HASP-ACLD-8501¥Develop¥Note¥)

多層壁の熱応答を解析的に求めることはできません。なお、いくつかの近似解法がありますが、ここではラプラス変換を用います。

この解法では、微分方程式・偏微分・二階微分・行列・ラプラス変換・逆変換・級数・積分などの数学が出てきます。数学が苦手な人にとってはイヤかも知れませんが、これらは単に解くための手段に過ぎません。概念を理解するようにすればよいので、それほど難しく考える必要はありません。

応答係数は次のステップで求めます。

- Step1: 微分方程式をラプラス変換して多層壁の伝達関数を求めます。 (subroutine GVECTR)
 - Step2: 伝達関数を逆変換して、単位応答を求めます。 (subroutine CPARAM)
 - Step3: 単位応答を積分して二等辺三角波応答と直角三角波応答を求めます。 (subroutine CPARAM)
- 任意の計算時間間隔に対応するためのプログラム変更は、Step3の最後のその中の最後の部分だけです。

(1) 非定常熱伝導の微分方程式をラプラス変換して伝達関数を求める

<微分方程式>

- ・右図の壁体の1次元の熱伝導を微分方程式で書くと

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad \dots (5-1) \quad \text{です。}$$

θ が温度、 x は壁内部での場所、 t が時間、 a は熱拡散係数です。

【補足】 温度 θ は場所 x と時間 t の関数 $\theta(x, t)$ です。左辺は時間 t と共に温度 θ が変化することを表しています。右辺は場所 x での温度 θ の変化を表しています。

偏微分 $\frac{\partial \theta}{\partial t}$ は時間 ∂t と温度 $\partial \theta$ の変化の割合 (勾配)、偏微分 $\frac{\partial \theta}{\partial x}$ は場所 ∂x と温度 $\partial \theta$ の変化の割合 (勾配) です。 a は比例定数の温度拡散係数です。

右図は、部材内部の微少な場所 $x \rightarrow x + \Delta x$ を通過する熱流 q を表したものです。この微少な部分の温度差 $\theta_x \rightarrow \theta_{x+\Delta x}$ により、熱流 $q_x \rightarrow q_{x+\Delta x}$ が生じ、一部は壁体蓄熱され、場所と時間での温度変化が生じます。

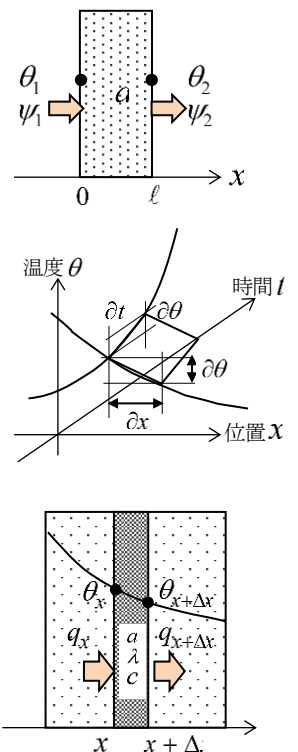
詳細は式の誘導は省きますが、この微少な幅 Δx での変化は、更に x で微分すればよく、

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(a \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) = a \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad \text{となります。}$$

※ これを二階微分といいます。(2回微分ではありません)

※ 時間 t と場所 x を独立に微分することを偏微分といい、 t で微分するときは x は定数として扱い、 x で微分するときは t を定数として扱います。偏微分では d の代わりに ∂ を使います。

t と x のどちらも変数として微分するときの微分を全微分といいます。



<ラプラス変換>

- 前ページのような単層壁なら、式(5-1)の微分方程式は煩雑ですが解析的に解くことができます。しかし、下図のような多層壁では解析的に解くことができません。そこでラプラス変換を利用します。
 ※ラプラス変換は時間領域の微分方程式などを代数的な関数に変換して、元の時間領域では解けない問題を解くための数学の1つです。フランスの数学者ピエール・シモン・ラプラスの名に因んでいます。

- 時間領域の温度 $\theta(x,t)$ をラプラス変換した s 領域の関数を $L\{\theta(x,t)\} = \Theta(x,s)$ とすると、
 先の微分方程式は $s_j \Theta = a \frac{d^2 \Theta}{dx^2}$ …(5-2) の線形常微分方程式になります。

なお、元の関数とラプラス変換した関数とは1対1の関係にあります。ラプラス変換すると、時間微分 $1/dt$ が s になります。 s はラプラスパラメータでベクトルになります。HASPでは $s_0 \sim s_9$ に、0.0, 0.00025, 0.001, 0.004, 0.016, 0.064, 0.128, 0.256, 1.024, 4.096, 16.384 の4倍値を使っています。

本来の表記は $\sum_j^n s_j$ ですが、 s_j あるいは s と簡略に表記することがあります。

<< sub. GVECTR >> ここからは実際のプログラムでどのように計算するかを見ていきます。

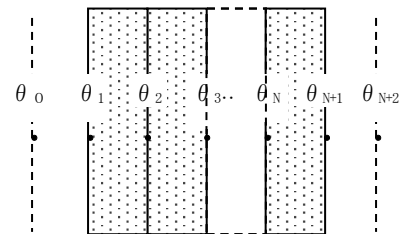
- 熱負荷計算で知りたいのは壁体表面を流入・流出する熱流なので、壁体表面の温度と熱流に着目します。時間領域で、温度 θ は場所 x と時間 t の関数 $\theta(x,t)$ です。壁体の厚さを l とすると、壁体の表面1と表面2の温度は $\theta(0,t) = \theta_1(t)$ 、 $\theta(l,t) = \theta_2(t)$ と表せます。
- 一方、 s 領域では、壁体表面の温度は $\Theta(0,s) = \Theta_1(s)$ 、 $\Theta(l,s) = \Theta_2(s)$ と表せます。温度 Θ_1, Θ_2 と表面での熱流 ψ_1, ψ_2 について式(5-2)を解くと……(中略→詳細は本(1)節末の【補足】)……式(5-3)が導かれます。

$$\begin{bmatrix} \Theta_1 \\ \psi_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \sqrt{sRC} & \frac{R}{\sqrt{sRC}} \sinh \sqrt{sRC} \\ \frac{\sqrt{sRC}}{R} \sinh \sqrt{sRC} & \cosh \sqrt{sRC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Theta_2 \\ \psi_2 \end{bmatrix} \quad \dots(5-3)$$

- 右辺最初の [] が熱の伝達行列です。また、この行列の形を4端子基本行列と言います。式(5-2)では温度伝達率 a ですが、式(5-3)では R, C に変わっています。熱負荷でよく使う材料の熱伝導率を λ 、容積比熱を c とすると、 $a = \lambda / c$ です。また、部材の厚さを l とすると、熱抵抗は $R = l / \lambda$ 、熱容量は $C = cl$ となります。 $a = l^2 / RC$ で、厚さを加味した熱伝導の式になります。(→(1)節末の【補足】)

※式(5-3)は $\begin{bmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \end{bmatrix} = [] \begin{bmatrix} \Theta_1 \\ \Theta_2 \end{bmatrix}$ 、や $\begin{bmatrix} \Theta_1 \\ \Theta_2 \end{bmatrix} = [] \begin{bmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \end{bmatrix}$ などのようにも表せますが、左辺を $\begin{bmatrix} \Theta_1 \\ \psi_1 \end{bmatrix}$ 、右辺を $\begin{bmatrix} \Theta_2 \\ \psi_2 \end{bmatrix}$ としたのは、式(5-5)以下で多層壁を扱うためです。

- 熱容量が無視できる空気層は、式(5-3)で $C = 0$ とすると、
 空気層の伝達行列は $\begin{bmatrix} 1 & R \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ …(5-4) となります。
 部材内の空気層の他に、内表面と外表面の熱伝達にも適用できます。



<多層壁へ展開>

- 式(5-3)、式(5-4)を右上図の N 層の部材で構成される多層壁に展開します。また、0層目に内表面熱伝達の空気層と、 $N+1$ 層目に外表面熱伝達の空気層を加えます。
 なお、簡略のために各層の伝達行列を $[F_i]$ とします。境界条件は、室内温度が Θ_0 、外気温度が Θ_{N+2} 、室内側の熱流が ψ_0 、室外側の熱流が ψ_{N+2} です。
- 式(5-3)を室内側の0層目から、から順番に $N+1$ 層目まで適用すると、

室内表面は $\begin{bmatrix} \Theta_0 \\ \psi_0 \end{bmatrix} = [F_0] \begin{bmatrix} \Theta_1 \\ \psi_1 \end{bmatrix}$ 、第1層目は $\begin{bmatrix} \Theta_1 \\ \psi_1 \end{bmatrix} = [F_1] \begin{bmatrix} \Theta_2 \\ \psi_2 \end{bmatrix}$ 、第2層目は $\begin{bmatrix} \Theta_2 \\ \psi_2 \end{bmatrix} = [F_2] \begin{bmatrix} \Theta_3 \\ \psi_3 \end{bmatrix}$ 、 \dots

となり、部材内部の温度と熱流を消去すると、次の式(5-5)が得られます。

$$\begin{bmatrix} \Theta_0 \\ \psi_0 \end{bmatrix} = [F_0][F_1][F_2]\dots[F_n][F_{n+1}] \begin{bmatrix} \Theta_{N+2} \\ \psi_{N+2} \end{bmatrix} \quad \dots(5-5)$$

更に、各層の伝達行列の $[F_0][F_1][F_2]\dots[F_n][F_{n+1}]$ の積を求めると最終的に式(5-6)が得られます。

$$\begin{bmatrix} \Theta_0 \\ \psi_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Theta_{N+2} \\ \psi_{N+2} \end{bmatrix} \quad \dots(5-6)$$

- ・右辺の伝達行列の A, B, C, D は部材の入力値で決まるので、既知の値の定数になります。

<ステップ応答と伝達関数>

- ・ステップ応答とは、右上図の時刻0から単位1の温度を与えた時の熱流の応答を言います。(右下図は貫流のステップ応答)

- ・式(5-6)で、室内温度に“1”のステップ関数の励振を与え、外気温度は“0”として、熱流のステップ応答 ψ_0, ψ_{N+2} を求めます。

なお、時間領域でステップ関数の室温 $f(t)=1$

をラプラス変換する

と $L\{1\} = \Theta_0 = 1/s$ となります。外気温度“0”のラプラス変換は、

$L\{0\} = \Theta_{N+2} = 0$ です。(→下段の補足)

- ・式(5-6)は式(5-7)になります。

$$\begin{bmatrix} 1/s \\ \psi_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \psi_T \end{bmatrix} \quad \dots(5-7)$$

- ・式(5-7)を解くと (→文献①) pdf. 7-8, ②) pdf. 162-164)、

吸熱と貫流の単位応答 $\psi_A = \frac{D}{sB}$ と $\psi_T = \frac{1}{sB}$ $\dots(5-8)$ を得ます。

また、出力 ψ_A, ψ_T と入力 $1/s$ の関係を $\frac{\psi_A}{1/s}, \frac{\psi_T}{1/s}$ とすると、

$$\frac{\psi_A}{1/s} = \frac{D}{B} = G_A(s) \quad \text{と} \quad \frac{\psi_T}{1/s} = \frac{1}{B} = G_T(s) \quad \dots(5-9) \quad \text{となります。}$$

この G_A を吸熱の伝達関数、 G_T を貫流の伝達関数といいます。(→p. 23 【補足】)

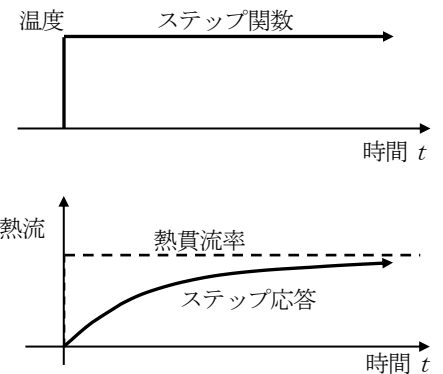
※外壁の熱取得で使う貫流応答は、外気が1°Cの励振で室内への貫流応答ですが、これは式(5-8)の、室内が1°Cの励振で外気への貫流応答と同じになります。

※ラプラスパラメータ s : 式(5-3)～式(5-9)では単に s と表記していますが、 s はベクトルです。

HASP では $s_0 \sim s_9$ に、0.0, 0.00025, 0.001, 0.004, 0.016, 0.064, 0.128, 0.256, 1.024, 4.096, 16.384 の4倍値を使っています。式(5-8)の解の A, B, C, D も ψ_A, ψ_T も $s_0 \sim s_9$ のベクトルです。

※<ラプラス変換の演算> : 時間 t の関数 $f(t)$ のラプラス変換の一般式は $L\{f(t)\} = \int_0^\infty f(t)e^{-st} dt$ です。

$$\begin{aligned} f(t)=1 &\rightarrow \int_0^\infty 1e^{-st} dt = \frac{1}{s} & f(t)=t &\rightarrow \int_0^\infty te^{-st} dt = \frac{1}{s^2} \\ f(t)=e^{-\alpha t} &\rightarrow \int_0^\infty e^{-\alpha t} e^{-st} dt = \frac{1}{s+\alpha} & f'(t) = \frac{df(t)}{dt} &\rightarrow \int_0^\infty f'(t)e^{-st} dt = sF(s) - f(0) \end{aligned}$$



【補足】基礎方程式(5-1)から伝達行列の式(5-3)を導くまで

この間のプロセスは、巻末に示した文献でも説明が省略されています。長かつ煩雑なので、本書でも初めは省略するつもりでしたが、完全理解のためには必要なプロセスなので、この【補足】で説明することにしました。なかなかの難題ですが、式の展開を1つ1つ丁寧に追うと理解できるはずですが、また、式を展開していくと自然に解に至ると言うよりは、巧みに解まで誘導していると考えないと納得しやすすいと思いません。また、何故、次の式になるか分からない場合は、逆算すると理解できることがあります。

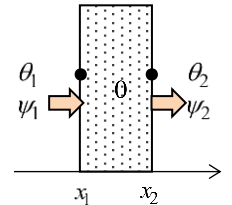
それでは始めます。なお、下記の式⑧までは二階偏微分方程式を解く時の常套手段です。

※原典は松尾陽著の手書きの講義ノート「熱負荷・室温変動の理解と算法」です。
これに猪岡が補足を加えたり、場合によっては簡略化しています。

<熱伝導の二階微分方程式>

・実時間領域の基礎方程式である式(5-1)の二階偏微分方程式から始めます。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad \dots \text{式(5-1)}$$



- ・境界条件 $\theta_1 = \theta(0, t) = 1$ 内側表面温度が1°Cのステップ関数 $\dots \text{①}$
- $\theta_2 = \theta(l, t) = 0$ 外側表面温度0°C一定 $\dots \text{②}$
- ・初期条件 $\theta(x, 0) = 0$ 壁体内部は初め0°C $\dots \text{③}$

i) 変数分離： 温度を $\theta(x, t) = X(x) \cdot T(t)$ のように、場所 x のみの関数 $X(x)$ と時間 t のみの関数 $T(t)$ の積になると仮定します。これを式(5-1)に代入すると、 $X(x) \cdot T'(t) = a X''(x) \cdot T(t)$ となります。

変形して $\frac{T'(t)}{aT(t)} = \frac{X''(x)}{X(x)} = -r^2$ (r はある定数)

これより $T'(t) = -r^2 a T(t)$ $\dots \text{④}$

$X''(x) = -r^2 X(x)$ $\dots \text{⑤}$

ii) 式④の一般解 $T(t) = B \cdot e^{-r^2 a t}$ $\dots \text{⑥}$

iii) 式⑤の一般解 $X(x) = \begin{cases} b_1 x + b_2 & (r = 0) \\ B_1 \cos(rx) + B_2 \sin(rx) & (r \neq 0) \end{cases} \dots \text{⑦}$

iv) 式⑥と式⑦をまとめる $\theta(x, t) = \begin{cases} b_1 x + b_2 & (r = 0 : \text{定常解} \dots t \text{の微分が} 0) \\ (B_1 \cos(rx) + B_2 \sin(rx)) \cdot e^{-r^2 a t} & (r \neq 0 : \text{過渡応答}) \end{cases}$

一般解を求めます。(可能な解を全て加え合わせたものです)

$\therefore \theta(x, t) = b_1 x + b_2 + \sum_{k=1}^{\infty} \{ (B_{1k} \cos(r_k x) + B_{2k} \sin(r_k x)) \cdot e^{-r_k^2 a t} \}$ $\dots \text{⑧}$

v) 境界条件： $\theta(0, t) = b_2 + \sum_{k=1}^{\infty} \{ B_{1k} \cdot e^{-r_k^2 a t} \} = 1$ \dots 内側表面温度が1°Cのステップ応答(一定)です。

これより、 $b_2 = 1$ 、 $B_{1k} = 0$ を得ます。

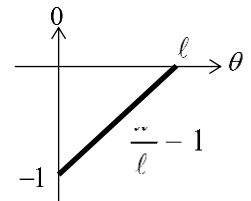
$\theta(l, t) = b_1 l + 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \{ B_{2k} \sin(r_k l) \cdot e^{-r_k^2 a t} \} = 0$ \dots 外側表面温度が0°C(一定)です。

これより、 $b_1 = -1/l$ 、 $\sin(r_k l) = 0$ を得る。 $\therefore r_k l = k\pi$ $\therefore r_k = k\pi/l$

$\therefore \theta(x, t) = -\frac{1}{l} x + 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \{ B_k \sin(\frac{k\pi}{l} x) \cdot e^{-\frac{(k\pi)^2}{l^2} a t} \}$ (B_k は任意の定数) $\dots \text{⑨}$

vi) 初期条件： $\theta(x, 0) = -\frac{1}{l} x + 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \{ B_k \sin(\frac{k\pi}{l} x) \} = 0$

$\therefore \sum_{k=1}^{\infty} \{ B_k \sin(\frac{k\pi}{l} x) \} = \frac{1}{l} x - 1$ $\dots \text{⑩}$



式⑩は、右図の図形をフーリエ解析する問題と同じです。

両辺に $\sinh(\frac{k'\pi}{l} x)$ を掛けて0~ l まで積分します。

左辺 = $\int_0^l \sum_{k=1}^{\infty} B_k \left\{ \sin(\frac{k\pi}{l} x) \cdot \sinh(\frac{k'\pi}{l} x) \right\} dx = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{\infty} B_k \left\{ \frac{\sin(k-k')\pi}{(k-k')\pi/l} - \frac{\sin(k+k')\pi}{(k+k')\pi/l} \right\} = \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \frac{0}{2} B_k \quad (k \neq k') \right. \\ \left. \frac{l}{2} B_k \quad (k = k') \right\} = \frac{l}{2} B_k$ ($k \neq k'$ は棄却)

右辺 = $\int_0^l (\frac{x}{l} - 1) \sinh(\frac{k\pi}{l} x) dx = \left[-(\frac{x}{l} - 1) \cdot \frac{l}{k'\pi} \cos(\frac{k\pi}{l} x) + \frac{1}{l} \cdot (\frac{l}{k'\pi})^2 \sin(\frac{k\pi}{l} x) \right]_0^l = -\frac{l}{k\pi}$

$\therefore B_k = -\frac{2}{k\pi}$

vii) 温度 $\theta(x,t)$ の解
$$\theta(x,t) = -\frac{1}{\ell}x + 1 - \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \frac{2}{k\pi} \sin\left(\frac{k\pi}{\ell}x\right) \cdot e^{-\left(\frac{k\pi}{\ell}\right)^2 at} \right\} \quad \dots \textcircled{11}$$

viii) 熱流を $\phi(x,t)$ とすると
$$\phi(x,t) = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{1}{\ell} + \frac{2\lambda}{\ell} \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \cos\left(\frac{k\pi}{\ell}x\right) \cdot e^{-\left(\frac{k\pi}{\ell}\right)^2 at} \right\} \quad \dots \textcircled{12}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{内表面での吸熱応答} \quad \phi_1(t) = \phi(0,t) = \frac{\lambda}{\ell} + \frac{2\lambda}{\ell} \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \cos\left(\frac{k\pi}{\ell} \times 0\right) \cdot e^{-\left(\frac{k\pi}{\ell}\right)^2 at} \right\} = \frac{\lambda}{\ell} + \frac{2\lambda}{\ell} \sum_{k=1}^{\infty} e^{-\left(\frac{k\pi}{\ell}\right)^2 at} \\ \text{外表面での貫流応答} \quad \phi_2(t) = \phi(\ell,t) = \frac{\lambda}{\ell} + \frac{2\lambda}{\ell} \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \cos\left(\frac{k\pi}{\ell} \times \ell\right) \cdot e^{-\left(\frac{k\pi}{\ell}\right)^2 at} \right\} = -\frac{\lambda}{\ell} + \frac{2\lambda}{\ell} \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ (-1)^k \cdot e^{-\left(\frac{k\pi}{\ell}\right)^2 at} \right\} \end{array} \right\} \dots \textcircled{13}$$

<ラプラス変換> ここでは L をラプラス変換記号とします。

i) 記号 壁内の温度 $L\{\theta(x,t)\} = \Theta(x,s)$
内表面温度 $L\{\theta_1(t)\} = \Theta_1(s)$ 、外表面温度 $L\{\theta_2(t)\} = \Theta_2(s)$

ii) 像空間への移行

基礎方程式 $L\left\{a \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}\right\} = a \frac{d^2 \Theta}{dx^2}$ 、 $L\left\{\frac{\partial \theta}{\partial t}\right\} = s\Theta$ ※ $L\{f'\} = sF(s) - f(0)$ ただし、初期条件より $f(0) = 0$

$\therefore s\Theta = a \frac{d^2 \Theta}{dx^2}$ 像空間では x のみの常微分方程式になります。 $\dots \textcircled{14} = \text{式 5-2}$

iii) 一般解 $\Theta = e^{\mu x}$ として式⑭に代入すると、 $s = a\mu^2$ $\therefore \mu = \pm\sqrt{s/a}$
※ 式⑭ $\Rightarrow \Theta = e^{\mu x}$ の形は、式⑤の $X'' = -r^2 X \Rightarrow X(x) = B_1 \cos(rx) + B_2 \sin(rx)$ 同じ形

$\therefore \Theta(x,s) = P_1 e^{\sqrt{s/a} \cdot x} + P_2 e^{-\sqrt{s/a} \cdot x}$ または
 $\Theta(x,s) = P_1 \cosh(\sqrt{s/a} \cdot x) + P_2 \sinh(\sqrt{s/a} \cdot x) \quad \dots \textcircled{15}$

※ 公式 $\cosh A = (e^A + e^{-A})/2$, $\sinh A = (e^A - e^{-A})/2$

iv) 境界条件 $x = 0$ で $\Theta_1 = \Theta(0,s) = P_1 \cosh(\sqrt{s/a} \cdot 0) + P_2 \sinh(\sqrt{s/a} \cdot 0) = P_1$ $\therefore P_1 = \Theta_1$
 $x = \ell$ で $\Theta_2 = \Theta(\ell,s) = \Theta_1 \cosh(\sqrt{s/a} \cdot \ell) + P_2 \sinh(\sqrt{s/a} \cdot \ell)$ $\therefore P_2 = \frac{\Theta_1 \cosh(\sqrt{s/a} \cdot \ell) - \Theta_2}{\sinh(\sqrt{s/a} \cdot \ell)}$

像空間における温度の一般解 $\Theta(x,s) = \frac{\Theta_1 \sinh\{\sqrt{s/a}(\ell-x)\} + \Theta_2 \sinh(\sqrt{s/a} \cdot x)}{\sinh(\sqrt{s/a} \cdot \ell)} \quad \dots \textcircled{16}$

v) ステップ応答 式⑯で $\Theta_1 = 1/s$ (実空間における 1°C のステップ関数)、 $\Theta_2 = 0$ (実空間での 0°C 一定)

と置くと、 $\Theta(x,s) = \frac{\sinh\{\sqrt{s/a} \cdot (\ell-x)\}}{s \cdot \sinh(\sqrt{s/a} \cdot \ell)} \quad \dots \textcircled{17}$

式⑰が、実空間の式⑪のステップ応答に対応する、像空間でのステップ応答です。

<均質壁での表面温度と熱流の関係> 知りたいのは、表面の温度と表面の熱流の関係です。

i) 実空間での熱流 $\phi(x,t)$ を、像空間では $L\{\phi(x,t)\} = \Phi(x,s)$ とします。

$\Phi = -\lambda \frac{d\Theta}{dx} = -\lambda \sqrt{s/a} \cdot \frac{-\Theta_1 \cosh\{\sqrt{s/a}(\ell-x)\} + \Theta_2 \cosh(\sqrt{s/a} \cdot x)}{\sinh(\sqrt{s/a} \cdot \ell)} \quad \dots \textcircled{18}$

ii) 表面熱流: 内表面熱流を Φ_1 、外表面熱流を Φ_2 とします。

$$\left. \begin{array}{l} \Phi_1 = \Phi(0,s) = -\lambda \sqrt{s/a} \cdot \frac{-\Theta_1 \cosh\{\sqrt{s/a}(\ell-0)\} + \Theta_2 \cosh(\sqrt{s/a} \cdot 0)}{\sinh(\sqrt{s/a} \cdot \ell)} = \lambda \sqrt{s/a} \cdot \frac{\Theta_1 \cosh(\sqrt{s/a} \cdot \ell) - \Theta_2}{\sinh(\sqrt{s/a} \cdot \ell)} \\ \Phi_2 = \Phi(\ell,s) = -\lambda \sqrt{s/a} \cdot \frac{-\Theta_1 \cosh\{\sqrt{s/a}(\ell-\ell)\} + \Theta_2 \cosh(\sqrt{s/a} \cdot \ell)}{\sinh(\sqrt{s/a} \cdot \ell)} = \lambda \sqrt{s/a} \cdot \frac{\Theta_1 - \Theta_2 \cosh(\sqrt{s/a} \cdot \ell)}{\sinh(\sqrt{s/a} \cdot \ell)} \end{array} \right\} \dots \textcircled{19}$$

iii) 行列表示: 式⑱を变形すると $\left. \begin{array}{l} \Theta_1 = \cosh(\sqrt{s/a} \cdot \ell) \cdot \Theta_2 + \frac{1}{\lambda \sqrt{s/a}} \sinh(\sqrt{s/a} \cdot \ell) \cdot \Phi_2 \\ \Phi_1 = \lambda \sqrt{s/a} \cdot \sinh(\sqrt{s/a} \cdot \ell) \cdot \Theta_2 + \cosh(\sqrt{s/a} \cdot \ell) \cdot \Phi_2 \end{array} \right\} \dots \textcircled{20}$

また、熱伝導率を λ 、容積比熱を c とすると $a = \lambda/c$ 、また、部材の厚さを ℓ とすると、熱抵抗が $R = \ell/\lambda$ 、熱容量が $C = c\ell$ で $RC = \ell^2 c/\lambda = \ell^2/a$ $\therefore \sqrt{s/a} \cdot \ell = \sqrt{sRC}$ また $\lambda \sqrt{s/a} = \sqrt{sRC}/R$

これより式(5-3)を得ます。
$$\begin{bmatrix} \Theta_1 \\ \Phi_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \sqrt{sRC} & \frac{R}{\sqrt{sRC}} \sinh \sqrt{sRC} \\ \frac{\sqrt{sRC}}{R} \sinh \sqrt{sRC} & \cosh \sqrt{sRC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Theta_2 \\ \Phi_2 \end{bmatrix} \quad \dots \text{式(5-3)}$$

【補足】貫流応答 ψ_T の相反則

先の式(5-7) $\begin{bmatrix} 1/s \\ \psi_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \psi_T \end{bmatrix}$ で $1/s$ は室温のステップ関数、 ψ_A は内→内（室温励振による吸熱応答、 ψ_T は内→外（室温励振による外部への貫流応答）を表します。
 なお、HASP で使う貫流応答は外→内の ψ_{T^*} （外気温を励振とする室内への貫流応答）ですが、相反則により $\psi_T = \psi_{T^*}$ であることをこの【補足】で確認します。

まず、最も単純な右図の単層壁で考えます。

式(5-7)を元の形で表すと $\begin{bmatrix} 1/s \\ \psi_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \psi_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 & S_1 \\ S_1^* & C_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \psi_T \end{bmatrix} \dots (1)$ です。

なお、 $C_1 = \cosh \sqrt{sRC}$, $S_1 = -\frac{R}{\sqrt{sRC}} \sinh \sqrt{sRC}$, $S_1^* = \frac{\sqrt{sRC}}{R} \sinh \sqrt{sRC}$ です。

また $AD - BC = C_1 C_1 - S_1 S_1^* = 1$ （双曲線関数の公式 $\cosh^2 x - \sinh^2 x = 1$ になります。これは後で使います）

式(1)を解くと、 $\psi_A = \frac{D}{sB} = \frac{C_1}{s \times S_1} \dots (2)$ 、 $\psi_T = \frac{1}{sB} = \frac{1}{s \times S_1} \dots (3)$ を得ます。

外部励振の場合は、 $\begin{bmatrix} 0 \\ -\psi_{T^*} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 & S_1 \\ S_1^* & C_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/s \\ -\psi_{A^*} \end{bmatrix} \dots (4)$ です。

※右辺の $1/s$ が外気温のステップ関数です。なお、熱流には向きがあり、式(5-7)、式(1)は室内→外部の熱流の向きを+としているので、外→内の屋外→室内の熱流を表す式(3)では、熱流には $-\psi_{T^*}, -\psi_{A^*}$ のように-の符号を付けます。

式(4)を ψ_{A^*} について解くと、 $\psi_{A^*} = \frac{C_1}{s \times S_1} \dots (5)$ を得ます。

更に ψ_{T^*} について解くと、 $\psi_{T^*} = -\frac{S_1^*}{s} + C_1 \psi_{A^*} = -\frac{S_1^*}{s} + \frac{C_1 C_1}{s \times S_1} = \frac{-S_1^* S_1 + C_1 C_1}{s \times S_1} = \frac{1}{s \times S_1} \dots (6)$ を得ます。

式(3)と式(6)より $\psi_T = \psi_{T^*}$ と相反則が確認できます。

次に多層壁の場合ですが、式が複雑になるので右図の二層の場合で考えます。先ず室温励振の場合、式(1)は式(7)になります。

$\begin{bmatrix} 1/s \\ \psi_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 & S_1 \\ S_1^* & C_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_2 & S_2 \\ S_2^* & C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \psi_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 C_2 + S_1 S_2^* & C_1 S_2 + S_1 C_2 \\ S_1^* C_2 + C_1 S_2^* & S_1^* S_2 + C_1 C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \psi_T \end{bmatrix} \dots (7)$

これを解くと貫流応答 $\psi_T = \frac{1}{s \times (C_1 S_2 + S_1 C_2)} \dots (8)$ 、吸熱応答 $\psi_A = \frac{1}{s} \times \frac{C_1 C_2 + S_1 S_2^*}{C_1 S_2 + S_1 C_2} \dots (9)$ を得ます。

外部励振の場合は、式(4)は式(10)になります。

$\begin{bmatrix} 0 \\ -\psi_{T^*} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 C_2 + S_1 S_2^* & C_1 S_2 + S_1 C_2 \\ S_1^* C_2 + C_1 S_2^* & S_1^* S_2 + C_1 C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/s \\ -\psi_{A^*} \end{bmatrix} \dots (10)$

式(10)を吸熱応答 ψ_{A^*} について解くと、 $\psi_{A^*} = \frac{1}{s} \times \frac{C_1 C_2 + S_1 S_2^*}{C_1 S_2 + S_1 C_2} \dots (11)$ を得ます。

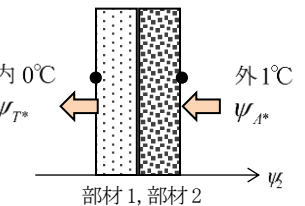
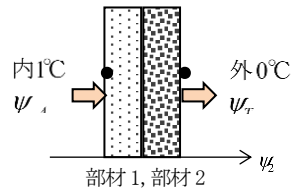
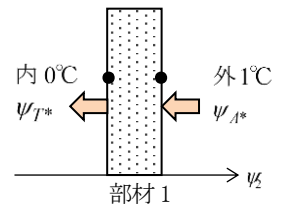
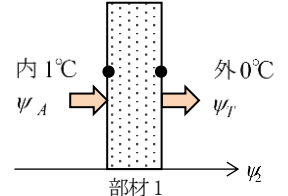
更に貫流応答 ψ_{T^*} について解くと $\begin{bmatrix} 0 \\ -\psi_{T^*} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 C_2 + S_1 S_2^* & C_1 S_2 + S_1 C_2 \\ S_1^* C_2 + C_1 S_2^* & S_1^* S_2 + C_1 C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/s \\ -\psi_{A^*} \end{bmatrix}$
 $\psi_{T^*} = -\frac{S_1^* C_2 + C_1 S_2^*}{s} + (S_1^* S_2 + C_1 C_2) \psi_{A^*} = \frac{1}{s} \times \frac{-(S_1^* C_2 + C_1 S_2^*)(C_1 S_2 + S_1 C_2) + (S_1^* S_2 + C_1 C_2)(C_1 C_2 + S_1 S_2^*)}{C_1 S_2 + S_1 C_2} \dots (12)$

式(12)の右辺分母を整理すると、

右辺の分母 = $C_1 C_1 C_2 C_2 + C_1 S_1 C_2 S_2^* + C_1 S_1^* C_2 S_2 + S_1 S_1^* S_2 S_2^* - C_1 C_1 S_2 S_2^* - C_1 S_1 C_2 S_2^* - C_1 S_1^* C_2 S_2 - S_1 S_1^* C_2 C_2$
 $= C_1 C_1 C_2 C_2 + S_1 S_1^* S_2 S_2^* - C_1 C_1 S_2 S_2^* - S_1 S_1^* C_2 C_2 = C_1 C_1 (C_2 C_2 - S_2 S_2^*) + S_1 S_1^* (S_2 S_2^* - C_2 C_2)$
 $= C_1 C_1 \times 1 + S_1 S_1^* \times (-1) = C_1 C_1 - S_1 S_1^* = 1$

よって、 $\psi_{T^*} = \frac{1}{s \times (C_1 S_2 + S_1 C_2)} \equiv \psi_T \dots (13)$ 、で多層壁での相反則が確認できました。

なお、吸熱応答は内→内と外→外では異なるので $\psi_A \neq \psi_{A^*}$ です。



(2) 逆変換してステップ応答を求める

- ・ラプラス変換から時間領域に戻すのが逆変換です。これが難題ですが、以下に考え方の骨子を示します。
- ・時間領域での熱流のステップ応答の近似式が式(5-10)のように得られたものとします。

$$h(t) = A_0 + \sum_{i=1}^m A_i e^{-\alpha_i t} \quad \dots (5-10)$$

これをラプラス変換すると式(5-11)になります。

$$\psi(s) = \frac{G(s)}{s} = \frac{A_0}{s} + \sum_{i=1}^m \frac{A_i}{s + \alpha_i} \quad \dots (5-11)$$

式(5-10)と式(5-11)の各項が対応します。なお、定数 A_0 は熱貫流率です。 $G(s)$ は、先の式(5-9)で得られた伝達関数で既知の値、 s はラプラスパラメータ $s_0 \sim s_9$ のことです。

式(5-10)と式(5-11)で未知数は $A_i, \alpha_i (i=1,2,\dots,m)$ です。式(5-11)を次の式(5-12)のように変形します。

$$H(s) = \frac{G(s) - A_0}{s} = \sum_{i=1}^m \frac{A_i}{s + \alpha_i} \quad \dots (5-12)$$

- ・式(5-12)の左辺側は既知で、この精解値を $H(s) = \frac{G(s) - A_0}{s}$ として、右辺との残差 $\delta_j = \sum_i \frac{A_i}{s_j + \alpha_i} - H_j$ が最

小になる $A_i, \alpha_i (i=1,2,\dots,m)$ を見つければ良いことになります。

∴
∴
∴
∴

∴ 途中の過程は複雑なので飛ばします。 →次ページの【補足】

∴ 高次の項は極めて微小な値なので無視できるとして $i=1,2$ の2項とします。

- ・最終的に、項 $i=1,2$ について、式(5-13)の正規方程式を得ます。

$$\left. \begin{aligned} \sum_i \left\{ A_i \sum_j \frac{1}{(s_j + \alpha_i^*)(s_j + \alpha_k^*)} + B_i \sum_j \frac{1}{(s_j + \alpha_i^*)^2 (s_j + \alpha_k^*)} \right\} &= \sum_j \frac{H_j}{s_j + \alpha_k^*} \\ \sum_i \left\{ A_i \sum_j \frac{1}{(s_j + \alpha_i^*)(s_j + \alpha_k^*)^2} + B_i \sum_j \frac{1}{(s_j + \alpha_i^*)^2 (s_j + \alpha_k^*)^2} \right\} &= \sum_j \frac{H_j}{(s_j + \alpha_k^*)^2} \end{aligned} \right\} (k=1,2) \quad \dots (5-13)$$

- ・式(5-13)は、 A_1, A_2, B_1, B_2 を未知数とする4元連立方程式です。また、式(5-13)の各項はラプラスパラメータ $s_j (j=1,2,\dots,9)$ の和になっています。ここで、 $\alpha_i^* = \alpha_i - \Delta_i$ とします。また $B_i = -\Delta_i A_i$ です。

<sub. CPARAM> での近似解 α_i^* の見つけ方

- ・問題は α_i の近似値 α_i^* をどうやって求めるかです。式(5-13)は A_1, A_2, B_1, B_2 を未知数とする4元連立方程式なので、 α_i^* を仮定すれば解くことができます。 A_1, A_2, B_1, B_2 が得られれば、 $\alpha_i^* = \alpha_i - \Delta_i = \alpha_i - B_i / A_i$ と修正して、反復計算すればよいのですが、 α_i^* の出発点を解の近傍に設定できるとは限りません。
 - ・そこで、sub. CPARAMでは以下のようにして近似解を見つけてます。
 - ・まず $i=1$ として1項で始めます。出発点として $\alpha_1^* = s_9$ を与えて式(5-13)を解いて A_1, B_1 を得ます。
 - ・ここで、 $w_1 = \frac{B_1 / A_1}{\alpha_1^* + B_1 / A_1} = \frac{-\Delta_1}{\alpha_1^* - \Delta_1}$ として $\alpha_1^* \rightarrow \alpha_1^* e^{-w_1}$ と修正します。この $\alpha_1^* e^{-w_1}$ を新たな α_1^* にして反復計算をします。なお、 $|w_1| \leq 0.0001$ (α_1^* の誤差が0.01%)で収束したものと見做します。
 - ・1項目の α_1^* が求まったら、次に $\alpha_2^* = s_9$ を与えて連立方程式(5-13)を解いて A_1, A_2, B_1, B_2 を得ます。
 - ・ここで、 $w_i = \frac{B_i / A_i}{\alpha_i^* + B_i / A_i}$ として $\alpha_i^* \rightarrow \alpha_i^* e^{-w_i}$ と修正します。この $\alpha_i^* e^{-w_i}$ を新たな α_i^* にして反復計算をします。なお、 $|w_2| \leq 0.0001$ (α_2^* の誤差が0.01%)で収束したものと見做します。
 - ・以上の逆変換によって A_1, A_2 と α_1^*, α_2^* の近似解を得ます。
なお、 $|w_2|$ の誤差が $|w_1|$ の誤差よりも大きくなる場合は、 $i=1$ の1項の近似解に戻します。
- ※具体的な計算手順は→ソースプログラム HASP/ACLD/8501 および ACLD_HEX15 の sub. CPARAM を参照下さい。

【補足】 A_i, α_i を決定するための正規方程式の導き方

※この【補足】は、文献⁽²⁾の pdf. pp117-125) を基に、猪岡が若干の補足と簡略化してまとめたものです。残差から始めます。ここでは、 $A_1, \alpha_1, A_2, \alpha_2$ の $i=1, 2$ の2項近似とします。

また、 s はラプラスパラメータで HASP では $s_0 \sim s_9$ の値を持ちます。

$$i) \text{ 残差 } \delta_j \quad \delta_j = \sum_{i=1}^2 \left\{ \frac{A_i}{s_j + \alpha_i} \right\} - H_j = \frac{A_1}{s_j + \alpha_1} + \frac{A_2}{s_j + \alpha_2} - H_j \quad \dots \textcircled{1}$$

$$\cdot \text{ 残差の2乗和 } \quad S = \sum_{j=0}^9 (\delta_j)^2 = \sum_{j=0}^9 \left\{ \sum_{i=1}^2 \frac{A_i}{s_j + \alpha_i} - H_j \right\}^2 = \sum_{j=0}^9 \left\{ \frac{A_1}{s_j + \alpha_1} + \frac{A_2}{s_j + \alpha_2} - H_j \right\}^2 \rightarrow \text{最小化} \quad \dots \textcircled{2}$$

・残差の2乗和 S が最小になる $A_1, A_2, \alpha_1, \alpha_2$ を見つければ良いのです。

最小2乗法の常套手段で、残差の2乗和 S を A_i, α_i で偏微分し、微分係数が0となる条件を見つめます。

$$\text{よって、} \quad \left. \begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial A_i} &= \sum_{j=0}^9 \left\{ \frac{2A_i}{(s_j + \alpha_i)^2} + \frac{2A_k}{(s_j + \alpha_i)(s_j + \alpha_k)} - \frac{2H_j}{(s_j + \alpha_i)} \right\} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial \alpha_i} &= \sum_{j=0}^9 \left\{ \frac{2A_i^2}{(s_j + \alpha_i)^3} + \frac{2A_i A_k}{(s_j + \alpha_i)^2 (s_j + \alpha_k)} - \frac{2A_i H_j}{(s_j + \alpha_i)^2} \right\} = 0 \end{aligned} \right\} (i=1, 2 \quad k=3-i) \quad \dots \textcircled{3}$$

・以上より、次式④の正規方程式を得ます。(式③と式④は表記が異なりますが、内容的には同じです)

$$\text{正規方程式は} \quad \left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^2 A_i \left\{ \sum_{j=0}^9 \frac{1}{(s_j + \alpha_i)(s_j + \alpha_k)} \right\} &= \sum_{j=0}^9 \frac{H_j}{s_j + \alpha_k} \\ \sum_{i=1}^2 A_i \left\{ \sum_{j=0}^9 \frac{1}{(s_j + \alpha_i)(s_j + \alpha_k)^2} \right\} &= \sum_{j=0}^9 \frac{H_j}{(s_j + \alpha_k)^2} \end{aligned} \right\} (k=1, 2) \quad \dots \textcircled{4}$$

なお、式④は非線形連立方程式であるため、簡単には解けません。

ii) HASP での解き方

・HASP では、 α_i の近傍値 α_i^* を $\alpha_i = \alpha_i^* + \Delta_i$ として、逐次近似的に求める方程式に作り直します。

※式(5-13)を得るための数学的処理 : t を任意の数、 n は $n > 1$ の整数とします。

$$1 - t + t^2 - t^3 + \dots + (-1)^{n-1} t^{n-1} \{ (1+t) = 1 + (-1)^{n-1} t^n \} \quad \dots \textcircled{5}$$

$$t \neq 1 \quad \text{として、式⑤の両辺を } 1+t \text{ で割ると右辺は } \frac{1 + (-1)^{n-1} t^n}{1+t} = \frac{1}{1+t} + \frac{(-1)^{n-1} t^n}{1+t} \quad \text{となります。}$$

$$\therefore \frac{1}{1+t} = 1 - t + t^2 - t^3 + \dots + (-1)^{n-1} t^{n-1} + \frac{(-1)^{n-1} t^n}{1+t} \quad \dots \textcircled{6}$$

ここで $s_j + \alpha_i = s_j + \alpha_i^* + \Delta_i$ と置き換え、また、 $\frac{\Delta_i}{s_j + \alpha_i^*} = t$ とします。すると、 $\frac{A_i}{s_j + \alpha_i}$ は、

$$\frac{A_i}{s_j + \alpha_i} = \frac{A_i}{s_j + \alpha_i^* + \Delta_i} = \frac{A_i}{s_j + \alpha_i^* (1 + \frac{\Delta_i}{s_j + \alpha_i^*})} = \frac{A_i}{s_j + \alpha_i^* (1+t)} = \frac{A_i}{s_j + \alpha_i^*} \times \frac{1}{1+t} = \frac{A_i}{s_j + \alpha_i^*} \times \{ 1 - t + t^2 - t^3 + \dots \}$$

誤差は $\Delta_i \neq 0$ であることより t の高次項 t^2 以降は無視できます。よって、

$$\frac{A_i}{s_j + \alpha_i} \doteq \frac{A_i}{s_j + \alpha_i^*} (1-t) = \frac{A_i}{s_j + \alpha_i^*} - \frac{A_i}{s_j + \alpha_i^*} t = \frac{A_i}{s_j + \alpha_i^*} - \frac{\Delta_i A_i}{(s_j + \alpha_i^*)^2} \quad \dots \textcircled{7} \quad \text{を得ます。}$$

$$\cdot \text{ここで } B_i = -\Delta_i A_i \text{ と書き換えると、式①は } \delta_j = \sum_i \frac{A_i}{s_j + \alpha_i} - H_j \doteq \sum_i \left\{ \frac{A_i}{s_j + \alpha_i^*} - \frac{B_i}{(s_j + \alpha_i^*)^2} \right\} - H_j \quad \dots \textcircled{1}'$$

式①' によって A_1, A_2, B_1, B_2 を決定する正規方程式を作ると、式(5-13)が得られます。

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^2 \left\{ A_i \sum_{j=0}^9 \frac{1}{(s_j + \alpha_i^*)(s_j + \alpha_k^*)} + B_i \sum_{j=0}^9 \frac{1}{(s_j + \alpha_i^*)^2 (s_j + \alpha_k^*)} \right\} &= \sum_{j=0}^9 \frac{H_j}{s_j + \alpha_k^*} \\ \sum_{i=1}^2 \left\{ A_i \sum_{j=0}^9 \frac{1}{(s_j + \alpha_i^*)(s_j + \alpha_k^*)^2} + B_i \sum_{j=0}^9 \frac{1}{(s_j + \alpha_i^*)^2 (s_j + \alpha_k^*)^2} \right\} &= \sum_{j=0}^9 \frac{H_j}{(s_j + \alpha_k^*)^2} \end{aligned} \right\} (k=1, 2) \quad \dots (5-13) \text{ 再}$$

(3) ステップ応答から△波応答を求める

・前(2)で $A_1, A_2, \alpha_1, \alpha_2$ を得たので、式(5-10)の時間領域の熱流のステップ応答が求められました。

改めて示すと、 $h(t) = A_0 + A_1 e^{-\alpha_1 t} + A_2 e^{-\alpha_2 t}$ ($i = 1, 2$ の 2 項とします) …(5-10)'

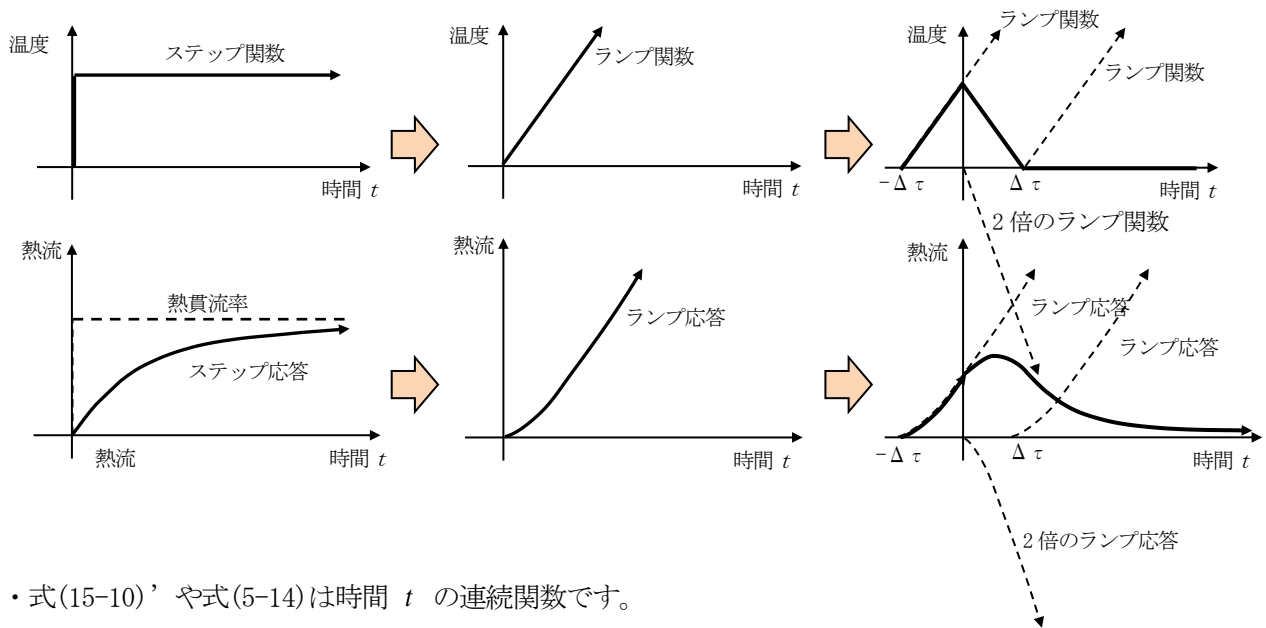
式(5-10)'の熱流の単位は $[W/^\circ C m^2]$ です。

・式(5-10)'のステップ応答を積分すると式(5-14)のランプ応答になります。

$$F(t) = \int h(t) = A_0 t + \frac{A_1}{\alpha_1} (1 - e^{-\alpha_1 t}) + \frac{A_2}{\alpha_2} (1 - e^{-\alpha_2 t}) \quad \dots(5-14)$$

式(5-14)は熱流の積算値である熱量で、単位は $[J/^\circ C m^2]$ です。

・下図に示すように、ランプ関数の位相をずらしながら重ね合わせると、励振の温度の△波が得られます。熱応答も同様に、ランプ応答を重ね合わせることで、△波励振に対する△波の熱応答が得られます。



・式(5-10)' や式(5-14)は時間 t の連続関数です。

コンピュータで計算する場合は、時間間隔 $\Delta\tau$ 毎に離散化して使います。

また、式(5-14)は熱量で単位が $[J/^\circ C m^2]$ なので、これを計算時間間隔 $\Delta\tau$ で割って熱流に戻した式(5-15)を使います。単位が $[W/^\circ C m^2]$ になります。

$$\frac{F(t)}{\Delta\tau} = \frac{A_0}{\Delta\tau} t + \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_1 t}) + \frac{A_2}{\alpha_2 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_2 t}) \quad \dots(5-15)$$

・この後の△波および△波を求める時は、式(5-10)' と式(5-15)を使います。

・式(5-15)のランプ応答を、位相をずらしながら組み合わせて、△波応答を求めます。なお、計算時間間隔は任意の $\Delta\tau$ (単位は [h]) とします。

0) $-\Delta\tau \leq t \leq 0$: 式(5-15)のランプ応答ですが、位相を $\Delta\tau$ だけ早めます。

連続関数は、 $\frac{F(t+\Delta\tau)}{\Delta\tau} = \frac{A_0}{\Delta\tau} (t+\Delta\tau) + \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_1 (t+\Delta\tau)}) + \frac{A_2}{\alpha_2 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_2 (t+\Delta\tau)})$

ここで $t = 0$ を代入して、離散系の△波の応答値 ϕ_0 を得ます。

$$\phi_0 = \frac{A_0}{\Delta\tau} \Delta\tau + \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_1 \Delta\tau}) + \frac{A_2}{\alpha_2 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_2 \Delta\tau}) = A_0 + \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_1 \Delta\tau}) + \frac{A_2}{\alpha_2 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_2 \Delta\tau})$$

1) $0 < t \leq \Delta\tau$: 先の0)の連続関数に、式(5-15)の上下逆さまで勾配が2倍のランプ応答を加えます。

連続関数は、

$$\frac{F(t+\Delta\tau) - 2F(t)}{\Delta\tau} = \frac{A_0}{\Delta\tau}(t+\Delta\tau) + \frac{A_1}{\alpha_1\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_1(t+\Delta\tau)}) + \frac{A_2}{\alpha_2\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_2(t+\Delta\tau)}) - \frac{2A_0}{\Delta\tau}(t) - \frac{2A_1}{\alpha_1\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_1(t)}) - \frac{2A_2}{\alpha_2\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_2(t)})$$

ここで、 $t = \Delta\tau$ を代入して、離散系の Δ 波の応答値を ϕ_1 得ます。

$$\begin{aligned}\phi_1 &= \frac{A_0}{\Delta\tau}(2\Delta\tau) + \frac{A_1}{\alpha_1\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_1(2\Delta\tau)}) + \frac{A_2}{\alpha_2\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_2(2\Delta\tau)}) - \frac{2A_0}{\Delta\tau}(\Delta\tau) - \frac{2A_1}{\alpha_1\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_1(\Delta\tau)}) - \frac{2A_2}{\alpha_2\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_2(\Delta\tau)}) \\ &= -\frac{A_1}{\alpha_1\Delta\tau}(1-2e^{-\alpha_1\Delta\tau} + e^{-2\alpha_1\Delta\tau}) - \frac{A_2}{\alpha_2\Delta\tau}(1-2e^{-\alpha_2\Delta\tau} + e^{-2\alpha_2\Delta\tau}) \\ &= -\frac{A_1}{\alpha_1\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_1\Delta\tau})^2 - \frac{A_2}{\alpha_2\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_2\Delta\tau})^2\end{aligned}$$

2) $\Delta\tau \leq t \leq 2\Delta\tau$: 先の2)の連続関数に、式(5-15)で位相が $\Delta\tau$ 遅れたランプ応答を加えます。

連続関数は

$$\begin{aligned}\frac{F(t+\Delta\tau) - 2F(t) + F(t-\Delta\tau)}{\Delta\tau} &= \frac{A_0}{\Delta\tau}(t+\Delta\tau) + \frac{A_1}{\alpha_1\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_1(t+\Delta\tau)}) + \frac{A_2}{\alpha_2\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_2(t+\Delta\tau)}) \\ &\quad - \frac{2A_0}{\Delta\tau}(t) - \frac{2A_1}{\alpha_1\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_1(t)}) - \frac{2A_2}{\alpha_2\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_2(t)}) + \frac{A_0}{\Delta\tau}(t-\Delta\tau) + \frac{A_1}{\alpha_1\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_1(t-\Delta\tau)}) + \frac{A_2}{\alpha_2\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_2(t-\Delta\tau)})\end{aligned}$$

ここで、 $t = 2\Delta\tau$ を代入して、離散系の Δ 波の熱応答 ϕ_2 以下を得ます。

$$\begin{aligned}\phi_2 &= \frac{A_0}{\Delta\tau}(3\Delta\tau) + \frac{A_1}{\alpha_1\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_1(3\Delta\tau)}) + \frac{A_2}{\alpha_2\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_2(3\Delta\tau)}) - \frac{2A_0}{\Delta\tau}(2\Delta\tau) - \frac{2A_1}{\alpha_1\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_1(2\Delta\tau)}) - \frac{2A_2}{\alpha_2\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_2(2\Delta\tau)}) \\ &\quad + \frac{A_0}{\Delta\tau}(\Delta\tau) + \frac{A_1}{\alpha_1\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_1(\Delta\tau)}) + \frac{A_2}{\alpha_2\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_2(\Delta\tau)}) \\ &= 3A_0 - 4A_0 + A_0 - \frac{A_1}{\alpha_1\Delta\tau}(e^{-3\alpha_1\Delta\tau} - 2e^{-2\alpha_1\Delta\tau} + e^{-\alpha_1\Delta\tau}) - \frac{A_2}{\alpha_2\Delta\tau}(e^{-3\alpha_2\Delta\tau} - 2e^{-2\alpha_2\Delta\tau} + e^{-\alpha_2\Delta\tau}) \\ &= -\frac{A_1}{\alpha_1\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_1\Delta\tau})^2 e^{-\alpha_1\Delta\tau} - \frac{A_2}{\alpha_2\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_2\Delta\tau})^2 e^{-\alpha_2\Delta\tau}\end{aligned}$$

3) $2\Delta\tau \leq t$

・先の2)の連続関数に $t = 3\Delta\tau$ を代入して、離散系の Δ 波の熱応答 ϕ_3 以下を得ます。

$$\phi_3 = -\frac{A_1}{\alpha_1\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_1\Delta\tau})^2 e^{-\alpha_1(2\Delta\tau)} - \frac{A_2}{\alpha_2\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_2\Delta\tau})^2 e^{-\alpha_2(2\Delta\tau)}$$

・同様に、連続関数に $t = 4\Delta\tau$ を代入して、離散系の Δ 波の熱応答 ϕ_4 以下を得ます。

$$\phi_4 = -\frac{A_1}{\alpha_1\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_1\Delta\tau})^2 e^{-\alpha_1(3\Delta\tau)} - \frac{A_2}{\alpha_2\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_2\Delta\tau})^2 e^{-\alpha_2(3\Delta\tau)}$$

以下、 $\phi_5, \phi_6, \phi_7, \phi_8, \phi_9, \phi_{10}, \dots$ も同様です。

<項別公比法による Δ 波の熱応答の解>

・上記の0)~3)より、 ϕ_2 以下は、 ϕ_1 の右辺の各項を初項として、公比が $e^{-\alpha_1\Delta\tau}, e^{-\alpha_2\Delta\tau}$ の等比数列であることが分かります。

・HASPでは、初項を P_0 、 ϕ_1 の各項を P_1 と P_2 とし、項別公比を R_1 と R_2 とする項別公比法を用います。

・ Δ 波応答	初項	$P_0 = A_0 + \frac{A_1}{\alpha_1\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_1\Delta\tau}) + \frac{A_2}{\alpha_2\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_2\Delta\tau})$	…(5-16-0)	}	(5-16)	
	項別項	$P_1 = -\frac{A_1}{\alpha_1\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_1\Delta\tau})^2$ 、	$P_2 = -\frac{A_2}{\alpha_2\Delta\tau}(1-e^{-\alpha_2\Delta\tau})^2$			…(5-16-1)
	項別公比	$R_1 = e^{-\alpha_1\Delta\tau}$ 、	$R_2 = e^{-\alpha_2\Delta\tau}$			…(5-16-2)

<熱応答の総和が熱貫流率と一致するかの検証>

- ・熱量の保存則が成立しないと、熱負荷に誤差が生じたり、発散する原因になりかねません。
- ・式(5-16)の△波応答の総和が熱貫流率 A_0 に等しくなるかを検証します。
なお、 A_0, A_1, A_2 の項別に和を取ると分かりやすくなります。

- ・ A_0 項の和：式(5-16-0)の右辺第1項 $S_0 = A_0$ (熱貫流率)
- ・ A_1 項の和：式(5-16-0)の右辺第2項と、式(5-16-1)の P_0 と、 P_1, R_1 による等比級数との和です。

$$S_1 = \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta \tau} (1 - e^{-\alpha_1 \Delta \tau}) - \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta \tau} (1 - e^{-\alpha_1 \Delta \tau})^2 / (1 - e^{-\alpha_1 \Delta \tau}) = \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta \tau} (1 - e^{-\alpha_1 \Delta \tau}) - \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta \tau} (1 - e^{-\alpha_1 \Delta \tau}) = 0$$

- ・ A_2 項の和：同様に

$$S_2 = \frac{A_2}{\alpha_2 \Delta \tau} (1 - e^{-\alpha_2 \Delta \tau}) - \frac{A_2}{\alpha_2 \Delta \tau} (1 - e^{-\alpha_2 \Delta \tau})^2 / (1 - e^{-\alpha_2 \Delta \tau}) = \frac{A_2}{\alpha_2 \Delta \tau} (1 - e^{-\alpha_2 \Delta \tau}) - \frac{A_2}{\alpha_2 \Delta \tau} (1 - e^{-\alpha_2 \Delta \tau}) = 0$$

- ・結局、式(5-16)の総和は、

$$S_0 + S_1 + S_2 = A_0 + 0 + 0 = A_0 \quad (\text{熱貫流率})$$

項別公比法の熱応答の総和が熱貫流率 A_0 に等しくなりました。

熱量の過不足が生じず、熱量の保存が成立することが証明されました。

<貫流応答と吸熱応答>

- ・上記では、貫流応答の場合を説明しました。
貫流応答は外壁や内壁の貫流熱を求める時に使います。
一方、吸熱応答は、室重み係数(冷房負荷重み係数)や蓄熱応答係数(室温変動の重み係数)に使います。
- ・貫流応答では、(3)節の式(5-12)で貫流の伝達関数 $G_T(s)$ を使って得た近似解 $A_0, A_1, A_2, \alpha_1, \alpha_2$ を用いて、式(5-16)の各項を求めました。
- ・吸熱応答では、(3)節の式(5-12)で吸熱の伝達関数 $G_A(s)$ を使って得た近似解 $A_0, A_1, A_2, \alpha_1, \alpha_2$ を用います。
- ・貫流と吸熱では、 A_0 は熱貫流率と同じで、 $A_1, A_2, \alpha_1, \alpha_2$ 値が異なりますが、△波の熱応答の求め方は全く同じで、また、得られる熱応答も式(5-16)と同じ形になります。
求め方も、式(5-16)の式の形も同じなので、吸熱応答の説明は省略します。

(4) 直角△波応答を求める

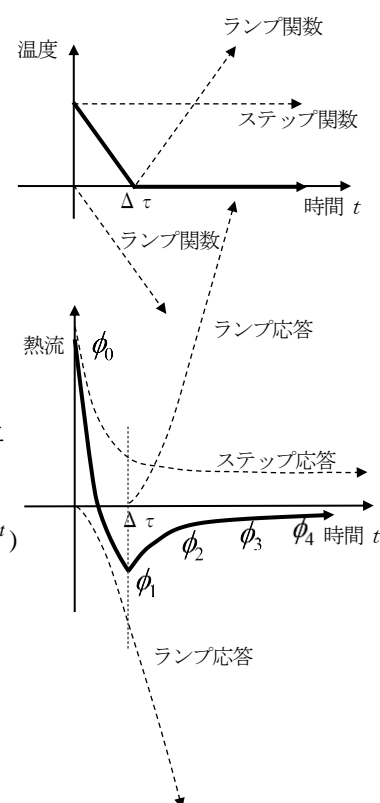
- ・直角△波の吸熱応答を求め方を示します。直角△波の吸熱応答は、2章の間欠空調の不連続運転となる空調開始時や外気導入開始時や空調停止時の計算に用いられます。
- ・右図のように、ステップ応答とランプ応答を組み合わせると直角△波応答を求めます。(実際は右向きですがフォントの都合で△を使います)

- 0) $0 \leq t \leq \Delta \tau$: 式(5-10)'のステップ応答と式(5-15)のランプ応答を組み合わせます。ランプ応答は $\Delta \tau$ で割って単位時間あたりの熱流に換算したものです。連続関数は

$$h(t) - \frac{F(t)}{\Delta \tau} = A_0 + A_1 e^{-\alpha_1 t} + A_2 e^{-\alpha_2 t} - \frac{A_0}{\Delta \tau} t - \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta \tau} (1 - e^{-\alpha_1 t}) - \frac{A_2}{\alpha_2 \Delta \tau} (1 - e^{-\alpha_2 t})$$

上式に、 $t = 0$ を代入して、離散系の直角△波の熱応答 ϕ_0 を得ます。

$$\phi_0 = A_0 + A_1 + A_2 + 0 + 0 + 0 = A_0 + A_1 + A_2$$



1) 先の0)の連続関数の式に $t = \Delta\tau$ を代入して、離散系の直角△波の熱応答 ϕ_1 を得ます。(A_0 の項が消えます)

$$\begin{aligned} \phi_1 &= A_0 + A_1 e^{-\alpha_1 \Delta\tau} + A_2 e^{-\alpha_2 \Delta\tau} - \frac{A_0}{\Delta\tau} \Delta\tau - \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_1 \Delta\tau}) - \frac{A_2}{\alpha_2 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_2 \Delta\tau}) \\ &= A_1 \left(e^{-\alpha_1 \Delta\tau} - \frac{1 - e^{-\alpha_1 \Delta\tau}}{\alpha_1 \Delta\tau} \right) + A_2 \left(e^{-\alpha_2 \Delta\tau} - \frac{1 - e^{-\alpha_2 \Delta\tau}}{\alpha_2 \Delta\tau} \right) \end{aligned}$$

2) $\Delta\tau < t \leq 2\Delta\tau$: 0) と 1) の連続関数の式に $\Delta\tau$ だけ位相が遅れた式(5-15)のランプ応答を組み合わせます。

連続関数

$$\begin{aligned} h(t) - \frac{F(t)}{\Delta\tau} + \frac{F(t - \Delta\tau)}{\Delta\tau} &= A_0 + A_1 e^{-\alpha_1 t} + A_2 e^{-\alpha_2 t} - \frac{A_0}{\Delta\tau} t - \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_1 t}) - \frac{A_2}{\alpha_2 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_2 t}) \\ &\quad + \frac{A_0}{\Delta\tau} (t - \Delta\tau) + \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_1 (t - \Delta\tau)}) + \frac{A_2}{\alpha_2 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_2 (t - \Delta\tau)}) \end{aligned}$$

ここで $t = 2\Delta\tau$ を代入して、離散系の直角△波の熱応答 ϕ_2 を得ます。(A_0 の項が消えます)

$$\begin{aligned} \phi_2 &= A_0 + A_1 e^{-\alpha_1 (2\Delta\tau)} + A_2 e^{-\alpha_2 (2\Delta\tau)} - \frac{A_0}{\Delta\tau} (2\Delta\tau) - \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_1 (2\Delta\tau)}) - \frac{A_2}{\alpha_2 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_2 (2\Delta\tau)}) \\ &\quad + \frac{A_0}{\Delta\tau} (2\Delta\tau - \Delta\tau) + \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_1 (2\Delta\tau - \Delta\tau)}) + \frac{A_2}{\alpha_2 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_2 (2\Delta\tau - \Delta\tau)}) \\ &= A_1 e^{-\alpha_1 (2\Delta\tau)} - \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_1 \Delta\tau}) e^{-\alpha_1 \Delta\tau} + A_2 e^{-\alpha_2 (2\Delta\tau)} - \frac{A_2}{\alpha_2 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_2 \Delta\tau}) e^{-\alpha_2 \Delta\tau} \\ &= A_1 \left(e^{-\alpha_1 \Delta\tau} - \frac{1 - e^{-\alpha_1 \Delta\tau}}{\alpha_1 \Delta\tau} \right) e^{-\alpha_1 \Delta\tau} + A_2 \left(e^{-\alpha_2 \Delta\tau} - \frac{1 - e^{-\alpha_2 \Delta\tau}}{\alpha_2 \Delta\tau} \right) e^{-\alpha_2 \Delta\tau} \end{aligned}$$

3) $2\Delta\tau < t \leq 3\Delta\tau$

2)の連続関数に、 $t = 3\Delta\tau$ を代入して離散系の直角△波の熱応答 ϕ_3 を得ます。(A_0 の項が消えます)

$$\phi_3 = A_1 \left(e^{-\alpha_1 \Delta\tau} - \frac{1 - e^{-\alpha_1 \Delta\tau}}{\alpha_1 \Delta\tau} \right) e^{-2\alpha_1 \Delta\tau} + A_2 \left(e^{-\alpha_2 \Delta\tau} - \frac{1 - e^{-\alpha_2 \Delta\tau}}{\alpha_2 \Delta\tau} \right) e^{-2\alpha_2 \Delta\tau}$$

以下、 $\phi_4, \phi_5, \phi_6, \phi_7, \dots$ も同様です。

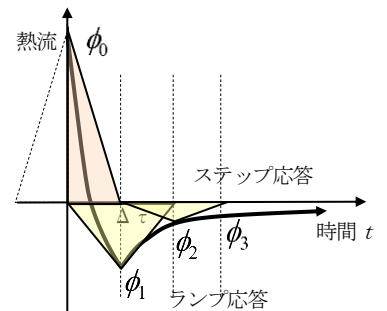
<項別公比法による直角△波応答の解> ※下の式(5-17)はあとで式(5-20)に修正されます

- 上記の0)~3)より、△波応答と同様に、直角△波応答でも、 ϕ_2 以下は、 ϕ_1 の右辺の各項を初項として、公比が $e^{-\alpha_1 \Delta\tau}, e^{-\alpha_2 \Delta\tau}$ の等比数列であることが分かります。
- HASP では、初項を P_0 、 ϕ_1 の各項を P_1 と P_2 とし、項別公比を R_1 と R_2 とする項別公比法を用います。

• 直角△波応答 初項	$P_0 = A_0 + A_1 + A_2$.. (5-17-0)
項別項	$P_1 = A_1 \left(e^{-\alpha_1 \Delta\tau} - \frac{1 - e^{-\alpha_1 \Delta\tau}}{\alpha_1 \Delta\tau} \right), P_2 = A_2 \left(e^{-\alpha_2 \Delta\tau} - \frac{1 - e^{-\alpha_2 \Delta\tau}}{\alpha_2 \Delta\tau} \right)$.. (5-17-1)
項別公比	$R_1 = e^{-\alpha_1 \Delta\tau}, R_2 = e^{-\alpha_2 \Delta\tau}$.. (5-17-2)

<△波応答が熱貫流率と一致するかの検証>

- 直角△波は、励振が△波の半分なので、熱応答の総和は熱貫流率 A_0 の 1/2 にならなければなりません。
- 直角△波の場合、式(5-17-0)の P_0 は△波の頂点の値ですが、△波は右半分だけなので、積算するときは 1/2 だけ算入しなければなりません。第2項以下は、 P_1, P_2 を初項とし、項別公比の等比数列です。なお、この P_1, P_2 の熱応答は△波なので、そのまま積算します。



- A_0, A_1, A_2 の項別に和をとります。
- A_0 の項の和は $S_{0\Delta} = A_0/2$ (熱貫流率の 1/2 です) …(5-18-0)
- A_1 の項の和は、 P_0 の半分の $A_1/2$ と、 P_1, R_1 による等比級数との和です。

$$\text{積算値は } S_{1\Delta} = \frac{A_1}{2} + A_1 \left(e^{-\alpha_1 \Delta \tau} - \frac{1 - e^{-\alpha_1 \Delta \tau}}{\alpha_1 \Delta \tau} \right) / (1 - e^{-\alpha_1 \Delta \tau}) = \frac{A_1}{2} + \frac{A_1 e^{-\alpha_1 \Delta \tau}}{1 - e^{-\alpha_1 \Delta \tau}} - \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta \tau} \neq 0 \quad \dots(5-18-1)$$

- A_2 の項の和も同様に、

$$\text{積算値は } S_{2\Delta} = \frac{A_2}{2} + A_2 \left(e^{-\alpha_2 \Delta \tau} - \frac{1 - e^{-\alpha_2 \Delta \tau}}{\alpha_2 \Delta \tau} \right) / (1 - e^{-\alpha_2 \Delta \tau}) = \frac{A_2}{2} + \frac{A_2 e^{-\alpha_2 \Delta \tau}}{1 - e^{-\alpha_2 \Delta \tau}} - \frac{A_2}{\alpha_2 \Delta \tau} \neq 0 \quad \dots(5-18-2)$$

※式(5-18-1)と式(5-18-2)で、右辺の第1項と第2項はステップ応答、第3項がランプ応答です。

- A_0 の項の和が $S_{0\Delta} = A_0/2$ ですから、 A_1, A_2 の積算値は0になるべきですが、 $S_{1\Delta} \neq 0$ 、 $S_{2\Delta} \neq 0$ です。離散系の Δ 波の熱応答の総和が $A_0/2$ に一致しません。

<直角 Δ 波応答の修正>

- 直角 Δ 波熱応答の総和が $A_0/2$ (熱貫流率の半分)にならず、熱量保存が崩れては困ります。修正が必要です。
- 以下の修正方法は、HASP の解説書などに記述がないので、筆者の推測です。

- A_0 の積和は $A_0/2$ なので、残りの A_1, A_2 の各々の積算値 $S_{1\Delta}, S_{2\Delta}$ がゼロになるように修正します。また、ステップ応答由来の $A_1 \rightarrow A_1^*$ 、 $A_2 \rightarrow A_2^*$ と修正することにします。

$$\bullet S_{1\Delta} \text{ で示すと、 } S_{1\Delta} = -\frac{A_1^*}{2} + \frac{A_1^* e^{-\alpha_1 \Delta \tau}}{1 - e^{-\alpha_1 \Delta \tau}} - \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta \tau} \quad \dots(5-19-0) \text{ とします。}$$

$$\text{式(5-19-0)を } A_1^* \text{ について解きます。 } A_1^* = \frac{2(1 - e^{-\alpha_1 \Delta \tau})}{\alpha_1 \Delta \tau (1 + e^{-\alpha_1 \Delta \tau})} A_1 \quad \dots(5-19-1) \text{ を得ます。}$$

$$\bullet \text{同様に } A_2^* \text{ について解くと } A_2^* = \frac{2(1 - e^{-\alpha_2 \Delta \tau})}{\alpha_2 \Delta \tau (1 + e^{-\alpha_2 \Delta \tau})} A_2 \quad \dots(5-19-2) \text{ を得ます。}$$

- ステップ応答そのものを修正するのではなく、直角 Δ 波応答の $\phi_0, \phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots$ における、ステップ応答由来の $A_1 \rightarrow A_1^*$ 、 $A_2 \rightarrow A_2^*$ と修正します。

$$0) P_0 \text{ では、 } P_0 = A_0 + A_1^* + A_2^* = A_0 + \frac{2(1 - e^{-\alpha_1 \Delta \tau})}{\alpha_1 \Delta \tau (1 + e^{-\alpha_1 \Delta \tau})} A_1 + \frac{2(1 - e^{-\alpha_2 \Delta \tau})}{\alpha_2 \Delta \tau (1 + e^{-\alpha_2 \Delta \tau})} A_2$$

$$1) P_1 \text{ では、 } P_1 = A_1^* e^{-\alpha_1 \Delta \tau} - \frac{1 - e^{-\alpha_1 \Delta \tau}}{\alpha_1 \Delta \tau} A_1 \text{ の右辺第1項がステップ応答由来で、これを修正します。}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{2(1 - e^{-\alpha_1 \Delta \tau})}{\alpha_1 \Delta \tau (1 + e^{-\alpha_1 \Delta \tau})} A_1 \times e^{-\alpha_1 \Delta \tau} - \frac{1 - e^{-\alpha_1 \Delta \tau}}{\alpha_1 \Delta \tau} A_1 = \frac{2(1 - e^{-\alpha_1 \Delta \tau})e^{-\alpha_1 \Delta \tau} - (1 + e^{-\alpha_1 \Delta \tau})(1 - e^{-\alpha_1 \Delta \tau})}{\alpha_1 \Delta \tau (1 + e^{-\alpha_1 \Delta \tau})} A_1 \\ \therefore &= -\frac{1 - 2e^{-\alpha_1 \Delta \tau} + e^{-\alpha_1 (2\Delta \tau)}}{\alpha_1 \Delta \tau (1 + e^{-\alpha_1 \Delta \tau})} A_1 = -\frac{(1 - e^{-\alpha_1 \Delta \tau})^2}{\alpha_1 \Delta \tau (1 + e^{-\alpha_1 \Delta \tau})} A_1 \end{aligned}$$

$$2) P_2 \text{ も同様に、 } P_2 = A_2^* e^{-\alpha_2 \Delta \tau} - \frac{1 - e^{-\alpha_2 \Delta \tau}}{\alpha_2 \Delta \tau} A_2 \text{ の右辺第1項がステップ応答由来で、これを修正します。}$$

$$\therefore P_2 = -\frac{(1 - e^{-\alpha_2 \Delta \tau})^2}{\alpha_2 \Delta \tau (1 + e^{-\alpha_2 \Delta \tau})} A_2 \text{ を得ます。}$$

以上より修正した直角 Δ 波応答の項別公比法の式は以下になります。

<直角△波応答の修正解>

・ 直角△波応答 初項	$P_0 = A_0 + \frac{2(1-e^{-\alpha_1\Delta\tau})}{\alpha_1\Delta\tau(1+e^{-\alpha_1\Delta\tau})}A_1 + \frac{2(1-e^{-\alpha_2\Delta\tau})}{\alpha_2\Delta\tau(1+e^{-\alpha_2\Delta\tau})}A_2$.. (5-20-0)	}	.. (5-20)	
項別項	$P_1 = -\frac{(1-e^{-\alpha_1\Delta\tau})^2}{\alpha_1\Delta\tau(1+e^{-\alpha_1\Delta\tau})}A_1$ 、	$P_2 = -\frac{(1-e^{-\alpha_2\Delta\tau})^2}{\alpha_2\Delta\tau(1+e^{-\alpha_2\Delta\tau})}A_2$.. (5-20-1)
項別公比	$R_1 = e^{-\alpha_1\Delta\tau}$	、 $R_2 = e^{-\alpha_2\Delta\tau}$.. (5-20-2)

<直角△波応答の修正解 式(5-20) が熱貫流率と一致するかの検証>

・ 一致するように修正したのですが、直角△波応答の総和は熱貫流率の半分に一致しますが、念のため検証します。

- ・ A_0 の項の和は $S_{0\Delta} = A_0/2$
- ・ A_1 の項の和 P_0 の半分と、 P_1, R_1 による等比級数との和を求めます。

$$S_{1\Delta} = \frac{1}{2} \times \frac{2(1-e^{-\alpha_1\Delta\tau})}{\alpha_1\Delta\tau(1+e^{-\alpha_1\Delta\tau})}A_1 - \frac{(1-e^{-\alpha_1\Delta\tau})^2}{\alpha_1\Delta\tau(1+e^{-\alpha_1\Delta\tau})} \times \frac{A_1}{(1-e^{-\alpha_1\Delta\tau})} = \frac{(1-e^{-\alpha_1\Delta\tau})}{\alpha_1\Delta\tau(1+e^{-\alpha_1\Delta\tau})}A_1 - \frac{(1-e^{-\alpha_1\Delta\tau})}{\alpha_1\Delta\tau(1+e^{-\alpha_1\Delta\tau})}A_1 = 0$$

- ・ 同様に A_2 の項の和も $S_{2\Delta} = 0$ です。
- ・ よって直角△波の熱応答の総和は $S_{\Delta} = S_{0\Delta} + S_{1\Delta} + S_{2\Delta} = \frac{A_0}{2} + 0 + 0 = \frac{A_0}{2}$ で、熱貫流率の半分に一致します。

以上より、 $\Delta\tau \rightarrow 0$ とすると $A_1^* = A_1$ となり離散誤差がなくなることがわかります。

$\Delta\tau = 0$ は連続関数に他なりません。(誤差の原因は離散化による誤差)

※ 修正前の式(5-17)の項別公比法の結果は離散化誤差を含んでいました。

では、どのような条件なら離散誤差がなくなるのか、修正前の式(5-18-1)で検証します。

式(5-18-1)を変形します。 $\frac{A_1^*}{A_1} = \frac{2(1-e^{-\alpha_1\Delta\tau})}{\alpha_1\Delta\tau(1+e^{-\alpha_1\Delta\tau})}$ 、右辺で $\Delta\tau \rightarrow 0$ とします。

$$\lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \left\{ \frac{2(1-e^{-\alpha_1\Delta\tau})}{\alpha_1\Delta\tau(1+e^{-\alpha_1\Delta\tau})} \right\} = \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \left\{ \frac{2}{(1+e^{-\alpha_1\Delta\tau})} \times \frac{(1-e^{-\alpha_1\Delta\tau})}{\alpha_1\Delta\tau} \right\} = \frac{2}{2} \times 1 = 1$$

上記の極限の式は、次のようにしても解けます。

【公式】 $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^x - 1}{x} = 1$ $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - e^{-x}}{x} = 1$

【公式】 関数 $f(x), g(x)$ が $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(x)}{g(x)} = \frac{0}{0}$ または $\frac{\infty}{\infty}$ と不定であり、 $f(x)$ と $g(x)$ が共に微分可能で、

$$f(x) \neq 0 \text{ かつ } g(x) \neq 0 \text{ である場合に、} \lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(x)}{g(x)} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{f'(x)}{g'(x)} \text{ として解けます。}$$

これを利用すると、

$$\lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \left\{ \frac{2(1-e^{-\alpha_1\Delta\tau})}{\alpha_1\Delta\tau(1+e^{-\alpha_1\Delta\tau})} \right\} = \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \left\{ \frac{2\alpha_1 e^{-\alpha_1\Delta\tau}}{\alpha_1(1+e^{-\alpha_1\Delta\tau}) + \alpha_1\Delta\tau(-\alpha_1 e^{-\alpha_1\Delta\tau})} \right\} = \frac{2\alpha_1}{\alpha_1(1+1)+0} = \frac{2\alpha_1}{2\alpha_1} = 1$$

6. 冷房負荷重み係数 と 蓄熱応答係数 (ここはやや難解ですので読み飛ばしても構いません)

HASP では室内に対流によって伝えられる熱を熱負荷とします。

- 例えば、外壁から時間遅れを伴って室内に流入した熱は、まだ対流と輻射を区別していないので、熱負荷とは言いません。負荷と区別するために、熱取得 HG と呼びます。
- 熱取得のうち対流成分は即、熱負荷になりますが、輻射成分は室内の他の壁面に放射され、時間遅れを伴って室内へ再放出されます。再放出された熱の対流成分は熱負荷となりますが、輻射成分は更に他の壁面に放射され……延々と続きます。この室内相互輻射による時間遅れを“冷房負荷重み係数”で求めます。また、室温変動による蓄熱応答係数も同様のプロセスで求めることができます。
- 違いは、冷房負荷重み係数
- これらをどのように求めるのかを本章で見えていきます。(⇒資料ハ) ほか)

なお、資料ハ) pp30-35 に詳しい解説がありますが、ここでは、難解な部分には補足説明を加えます。

(1) 室内放射伝熱の基礎式

室を構成する熱的諸部位を

- 表面積を有するもの：外壁・内壁・接地壁・異形部材（柱や梁）・窓など
- 表面積を有しないもの：室内空気・換気・家具や書類など

先ず、i) を対象に放射熱伝導の基礎式を導くことにします。(ii) はその後に補正します)

< 部位 i の内表面での等価気温 >

$$\text{等価気温 } \theta_{ei} \text{ は} \quad \theta_{ei} = \frac{\alpha_c \theta_R + \alpha_r \sum g_{ij} \theta_{sj} + h_i}{\alpha_t} \quad (6-1)$$

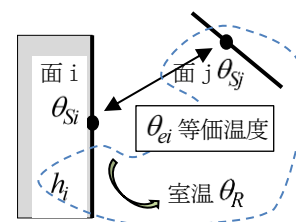
ここで、 θ_R , θ_{sj} : 室温と他の壁面の表面温度、 α_c , α_r , $\alpha_t = \alpha_c + \alpha_r$: 表面熱伝達率 (対流, 輻射, 対流+輻射), g_{ij} : 面 i から見る面 j の放射吸収係数、 h_i : 面 i での発熱 (一般式なので見込んでいます)

この等価気温は、面 i での対流・放射・発熱を 1 つの温度 θ_{ei} で代表させ、表面 i と全熱伝達率で熱授受することを表したものです。(外壁の等価温度 SAT と同じ考え方です)

下式の左辺が対流・放射・発熱で、右辺が等価温度の熱伝達です。

$$\alpha_c (\theta_R - \theta_{Si}) + \alpha_r \sum (g_{ij} \theta_{sj} - \theta_{Si}) + h_i = \alpha_t (\theta_{ei} - \theta_{Si})$$

これを θ_{ei} についてまとめると先の式(6-1)が得られます。



一方、この熱授受 $\alpha_t (\theta_{ei} - \theta_{Si})$ は、熱取得で得られる熱流と平衡しているはずですが。

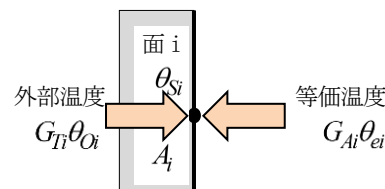
$$G_{Ai} \theta_{ei} - G_{Ti} \theta_{Oi} = \alpha_t A_i (\theta_{ei} - \theta_{Si}) \quad (6-2)$$

ここで、 $G_{Ai} \theta_{ei}$ は壁体 i の内表面での室内での吸熱応答

$G_{Ti} \theta_{Oi}$ は壁体 i の内表面での外部からの貫流熱応答

左辺の差引と表面 i での全熱伝達を平衡しているという式です。

G_{Ai} , G_{Ti} は吸熱の伝達関数と貫流の伝達関数です。



補足) 伝達関数とは： 微分方程式をラプラス変換した非定常熱伝導が伝達関数です。この伝達関数を逆変換すると、時間軸の熱伝導の解が得られます。(⇒以上は5章で解説)

5章では、単位面積あたりの伝達関数ですが、6章では、伝達関数に全て面積が掛かっています。

よって、式(6-2)の右辺には面積を乗じる必要があります。

本章の解説は、元の資料ハ) に合わせています。6章では、室全体を扱うので、面積を含む伝達関数の方が分かり易いと思います。

式(6-1)と式(6-2)から等価温度を消去すると、次式(6-3)が得られます。

この式(6-3)が室内放射伝熱の基礎式になります。

$$A_i \theta_{Si} - \frac{\alpha_r}{\alpha_t} (A_i - \frac{G_{Ai}}{\alpha_t}) \sum (g_{ij} \theta_{Sj}) = \frac{G_{Ti}}{\alpha_t} \theta_{Oi} + (A_i - \frac{G_{Ai}}{\alpha_t}) \frac{\alpha_c \theta_R + h}{\alpha_t} \quad (6-3)$$

やや煩雑ですが、式(6-2)の θ_{ei} に式(6-1)を代入すれば式(6-3)が得られます。

<蓄熱応答の解>

導出したい目的の式が次式で、この Φ は室内空気から室内各表面に向けての熱流です。

$$\Phi = \sum \alpha_c A_i (\theta_R - \theta_{Si}) \quad (6-4)$$

ここで、式(6-1)、式(6-2)のを以下のように近似します。

$$g_{ij} = \frac{A_j}{A} \quad \text{ただし、} \bar{A} = \sum A_j \quad (6-5)$$

これは、熱放射 g_{ij} を面積に比例して放射するものとして、面と面の関係を簡略化したものです。

式(6-5)を式(6-3)に代入します。

そして左辺が $A_i \alpha_c (\theta_R - \theta_{Si})$ の項になるように変形すると、次式(6-6)が得られます。

$$\alpha_c A_i (\theta_R - \theta_{Si}) - \frac{\alpha_r}{\alpha_t} (A_i - \frac{G_{Ai}}{\alpha_t}) \frac{\sum \alpha_c A_j (\theta_R - \theta_{Sj})}{A} = \frac{\alpha_c}{\alpha_t} \{ (G_{Ai} \theta_R - G_{Ti} \theta_{Oi}) - (A_i - \frac{G_{Ai}}{\alpha_t}) h_i \} \quad (6-6)$$

式(6-3)から式(6-6)の誘導では $\alpha_t = \alpha_c + \alpha_r$, $\alpha_c / \alpha_t = (\alpha_t - \alpha_r) / \alpha_t = 1 - \alpha_r / \alpha_t$ を利用します。

この式(6-6)の左辺第2項の分子の $\sum \alpha_c A_j (\theta_R - \theta_{Sj})$ は式(6-4)の Φ の定義に一致します。

また、式(6-6)を i に関して室全体で総和をとります。そうすると左辺第1項も Φ に一致します。

式(6-6)の総和の式を Φ を使って表すと、下式になります。

$$\Phi - \frac{\alpha_r}{\alpha_t \bar{A}} \sum (A_i - \frac{G_{Ai}}{\alpha_t}) \Phi = \frac{\alpha_c}{\alpha_t} \sum \{ (G_{Ai} \theta_R - G_{Ti} \theta_{Oi}) - (A_i - \frac{G_{Ai}}{\alpha_t}) h_i \}$$

更に Φ についてまとめると次式(6-7)が得られます。

$$\Phi = \frac{\sum \{ (G_{Ai} \theta_R - G_{Ti} \theta_{Oi}) - (A_i - \frac{G_{Ai}}{\alpha_t}) h_i \}}{1 + \frac{\alpha_r}{\alpha_c \alpha_t} \cdot \frac{\sum G_{Ai}}{\bar{A}}} \quad (6-7)$$

この式(6-7)が求める蓄熱応答の解です。右辺の分母は熱応答の総和であり、これを分子で修正した式になっています。なお、まだ冷房負荷重み係数でも蓄熱応答係数でもありません。

(2) 重み係数の標準形

式(6-7)の分母で $\sum G_{Ai} / \bar{A}$ は室を構成している書部位の吸熱応答の面積加重平均です。

これを改めて次のように記すことにします。

$$\bar{G}_A = \sum G_{Ai} / \bar{A} \quad (6-8)$$

この式(6-8)を用いて式(6-7)を書き改めると、次の式(6-9-1)が得られます。

また、式(6-9-1)に若干の変形を施すと、式(6-9-2)が得られます。

$$\Phi = \frac{\alpha_c}{\alpha_c + \alpha_r \bar{G}_A / \alpha_t} \sum \{ (G_{Ai} \theta_R - G_{Ti} \theta_{Oi}) - (A_i - \frac{G_{Ai}}{\alpha_t}) h_i \} \quad (6-9-1)$$

$$\Phi = \left(\frac{\alpha_c}{\alpha_t} + \frac{\alpha_r}{\alpha_t} \cdot \frac{\alpha_c - \alpha_c \bar{G}_A / \alpha_t}{\alpha_c + \alpha_r \bar{G}_A / \alpha_t} \right) \sum \{ (G_{Ai} \theta_R - G_{Ti} \theta_{Oi}) - (A_i - \frac{G_{Ai}}{\alpha_t}) h_i \} \quad (6-9-2)$$

これらが重み係数の標準形です。

なお、式(6-9-1)から式(6-9-2)への展開はやや巧妙ですので難しいかと思ひます。逆に、式(6-9-2)から式(6-9-1)に展開するのは分かりやすく、2つの式が同じであることを確認できると思ひます。

<貫流熱伝達と内表面での熱授受の関係>

ここで、部位 k のみに外気温度 θ_{Ok} が作用したものとし、他の条件は全て 0、即ち、 $\theta_R = 0$ 、K を除いた部位で $\theta_{Oi} = 0$ ($i \neq k$)、

$h_k = 0$ とすると、 Φ は部位 k での貫流熱負荷の式になります。

この Φ を $\Phi_{T,k}$ で表します。また、式(6-9-1)と式(6-9-2)で、貫流の伝達係数は G_{Tk} のみを取り出し、慣例に従って符号を逆に取ると、次式(6-10-1)と式(6-10-2)が得られます。

$$\Phi_{Tk} = \frac{\alpha_c}{\alpha_c + \alpha_r \bar{G}_A / \alpha_t} \cdot G_{Tk} \theta_{Oi} \quad (6-10-1)$$

$$\Phi_{Tk} = \left(\frac{\alpha_c}{\alpha_t} + \frac{\alpha_r}{\alpha_t} \cdot \frac{\alpha_c - \alpha_c \bar{G}_A / \alpha_t}{\alpha_c + \alpha_r \bar{G}_A / \alpha_t} \right) \cdot G_{Tk} \theta_{Ok} = \frac{\alpha_c}{\alpha_t} \cdot G_{Tk} \theta_{Ok} + \frac{\alpha_c - \alpha_c \bar{G}_A / \alpha_t}{\alpha_c + \alpha_r \bar{G}_A / \alpha_t} \cdot \frac{\alpha_r}{\alpha_t} \cdot G_{Tk} \theta_{Ok} \quad (6-10-2)$$

式(6-10-1)と式(6-10-2)は、外気温度 θ_{Ok} から貫流冷房負荷 $\Phi_{T,k}$ を求める式を示しています。なお、これら式より、室内の相互輻射を考慮した解法が3通りあることが分かります。

1つ目は、式(6-10-1)で、外気温度 θ_{Ok} を貫流伝達関数 $\frac{\alpha_c G_{Tk}}{\alpha_c + \alpha_r \bar{G}_A / \alpha_t}$ で畳み込んで、貫流冷房負荷 $\Phi_{T,k}$ を

直接得る方法。

2つ目は、式(6-10-1)で、外気温度 θ_{Ok} を伝達関数 G_{Tk} で畳み込んで貫流熱取得 $G_{Tk} \theta_{Oi}$ を得て、

更に、これを $\frac{\alpha_c}{\alpha_c + \alpha_r \bar{G}_A / \alpha_t}$ で畳み込んで貫流冷房負荷 $\Phi_{T,k}$ が得る方法。

3つ目は、式(6-10-2)の対流と輻射を分離して、熱取得のうちの対流成分 $\frac{\alpha_c}{\alpha_t} \cdot G_{Tk} \theta_{Ok}$ はそのまま冷房負荷

になり、輻射成分 $\frac{\alpha_r}{\alpha_t} \cdot G_{Tk} \theta_{Ok}$ は $\frac{\alpha_c - \alpha_c \bar{G}_A / \alpha_t}{\alpha_c + \alpha_r \bar{G}_A / \alpha_t}$ で畳み込めば冷房負荷になる方法です。

(3) 冷房負荷重み係数と蓄熱応答係数

<冷房負荷重み係数の伝達関数>

HASP では熱取得の段階で対流と輻射を分離しているため、3つ目の方法を採用します。よって、輻射成分に時間遅れを見込むための伝達関数に φ は下式となります。

$$\text{冷房負荷重み係数の伝達関数} \quad \varphi = \frac{\alpha_c - \alpha_c \bar{G}_A / \alpha_t}{\alpha_c + \alpha_r \bar{G}_A / \alpha_t} \quad (6-11)$$

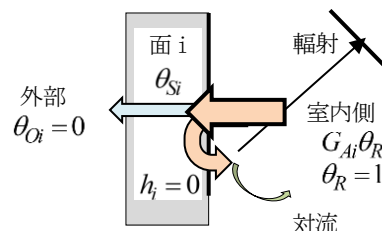
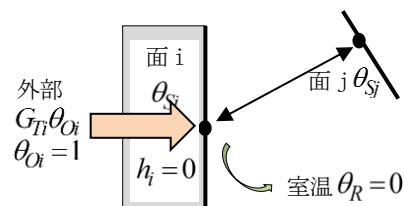
<蓄熱応答係数の伝達関数>

蓄熱応答係数は、室温が単位振動を受けたときに、空気から室を構成する部位へ流出する熱ですから、式(6-9-1)で室温 $\theta_R = 1$ 、外気温度は $\theta_{Oi} = 0$ 、 $h_i = 0$ とした場合に相当します。これらを式(6-9-1)に代入すると、

$$\Phi = \frac{\alpha_c}{\alpha_c + \alpha_r \bar{G}_A / \alpha_t} \sum \{ (G_{Ai} \times 1 - G_{Ti} \times 0) - (A_i - \frac{G_{Ai}}{\alpha_t}) \times 0 \} \quad \text{となります。}$$

これを整理すると次式 Φ を得ます。

$$\Phi = \frac{\alpha_c \sum G_{Ai}}{\alpha_c + \alpha_r \sum G_{Ai} / \alpha_t} = \frac{\alpha_c \bar{G}_A}{\alpha_c + \alpha_r \bar{G}_A / \alpha_t} \quad (6-12)$$



冷房負荷重み係数では面と面の放射のみが関係しますが、蓄熱応答係数には、(1)項で示した ii) 表面積を有しないもの（室内空気・換気・家具や書類など）の熱容量も関係します。

このうち、時間的に変化する換気を除いた熱容量の吸熱応答を G_A^* として式(6-12)に加えます。こうして室温変動による室全体の蓄熱応答が得られます。これを Φ_S とします。

$$\text{蓄熱応答係数の伝達関数} \quad \Phi_S = \frac{\alpha_c \bar{G}_A}{\alpha_c + \alpha_r \bar{G}_A / \alpha_t} + G_A^* \quad (6-13)$$

<ラプラス逆変換して 冷房負荷重み係数 と 蓄熱応答係数 を求める>

先の式(6-11)の φ や、式(6-13)の Φ_S は伝達関数です。これらをラプラス逆変換して冷房負荷重み係数と蓄熱応答係数を求めます。なお、ラプラス逆変換の方法は、5章(2)節 (pp. 25-26) と同じなので、そちらを参照して下さい。

冷房負荷重み係数は、項別公比で P_0, P_1, R_1 を得ます。HASP では1項近似です。($P_2=0, R_2=0$ です)

蓄熱応答係数も項別公比で P_0, P_1, P_2, R_1, P_2 を得ます。(こちらは2項近似です)

なお、蓄熱応答係数の記号は、第2章と第3章では、昔の記号 WF を使っています。

(4) 各部位での伝達関数への組み込み方

ところで、式(6-9)の $\sum G_{Ai}$ は室を構成している各部位の吸熱応答の伝達関数の総計です。なお、各部位の面積が掛かっています。 $\sum G_{Ai}$ をどのようにして求めるかを以下で見っていきます。

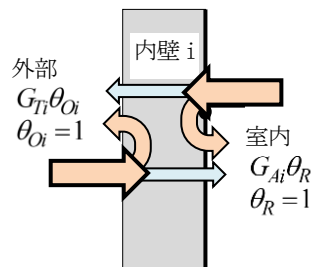
各部位の部材 i の伝達関数を $G_{Ai(j)}$ (吸熱) と $G_{Ti(j)}$ (貫流)、面積 A_i とします。

補足： $\sum G_{Ai}$ は吸熱応答ですが、個々の部位では吸熱と貫流の両方の伝達関数を組み込む場合があります。

- ・外壁 $G_{Ai(j)} A_i$ を組み込みます。
- ・内壁・接地壁・異形部材 $(G_{Ai(j)} - G_{Ti(j)}) A_i$ を組み込みます。
- ・内壁で温度差係数 f を使う場合 $\{G_{Ai(j)} - (1-f) \cdot G_{Ti(j)}\} A_i$ を組み込みます。
 $f=0$ の時は他の内壁・接地壁・異形部材と同じで、 $f=1$ なら外壁と同じになります。
- ・窓 $K_{i,blind} A_i$ を組込みます。($K_{i,blind}$ はブラインドが閉の時の熱貫流率)
- ・隙間風 は組込みません。(蓄熱応答係数には補正項として組み込みます⇒(5)項)
- ・室の熱容量 $G_{Ai(j)} A_i$ を組み込みます。

内壁や接地壁・異形部材で、 $(G_{Ai(j)} - G_{Ti(j)}) A_i$ と、吸熱と貫流の差引が組み込まれています。(⇒右図)

これは、内壁などで、室温と外部の温度が同じだから熱取得を見込まないことと関係します。つまり、室温が変化した場合、外部も同じ温度で変化することになります。 $(G_{Ai(j)} - G_{Ti(j)}) A_i$ の式の $-G_{Ti(j)} A_i$ が、熱取得では見込まなかった外部からの貫流になります。(室内への流入をマイナスとしています)



(5) 熱応答係数の補正

蓄熱応答係数の記号は、第2章と第3章では、昔の記号 WF を使っています。

<窓ガラスの熱貫流率の補正>

窓ガラスは厚さが小さく熱容量が小さいので、HASP では熱取得の計算で時間遅れを見込んでいません。先の式(6-13)の伝達関数には、ブラインドが“閉”の時の熱貫流率×面積が定数として組込まれます。

窓はブラインドの開閉によって熱貫流率の値が時々刻々変化します。

これを補正するのが蓄熱応答係数の補正值です。

窓の蓄熱応答係数の補正值 ΔWF_{GL} は $\Delta WF_{GL} = (K_{GL} - K_{GL,blind}) \times A_{GL}$

ここに、 $K_{GL}, K_{GL,blind}$: その時の窓の熱貫流率とブラインド閉の時の熱貫流率、 A_{GL} : 窓面積

<隙間風による補正>

隙間風は、その時の風向や風速によって変化します。よって先の式(6-13)には隙間風の熱容量は含まれていません。隙間風による蓄熱応答係数の補正值は次のようになります。

隙間風による蓄熱応答係数の補正值 (顕熱) $\Delta WF_{INFL(S)}$ は $\Delta WF_{INFL(S)} = C\rho \cdot V_{INFL}$

隙間風による蓄熱応答係数の補正值 (潜熱) $\Delta WF_{INFL(L)}$ は $\Delta WF_{INFL(L)} = R\rho \cdot V_{INFL}$

ここに、 V_{INFL} : その時の隙間風量、

$C\rho$: 空気の容積比熱 (HASP では $0.288\text{kcal/m}^3\text{C}$) ,

$R\rho$: 水蒸気の気体定数 (HASP では $0.720\text{kcal/m}^3(\text{g/kg})$)

<蓄熱応答係数への補正>

窓ガラスと隙間風は、時刻によって変化するので、予め伝達関数に組込むことはできません。

なお、窓ガラスは熱容量が小さいので時間遅れを見込まないことと、隙間風は対流によるものなので時間遅れを見込む必要がありません。

よって、その時刻時刻で、蓄熱応答係数の0時の項に、直接補正すれば良いことになります。

蓄熱応答係数の補正值 (顕熱) $\Delta WF_{(S)} = \Delta WF_{GL} + \Delta WF_{INFL(S)}$

蓄熱応答係数の補正值 (潜熱) $\Delta WF_{(L)} = \Delta WF_{INFL(L)}$

7. 任意の時間間隔にするためのプログラムの変更

- ・気象データの変換については、本書(3)理論・基本編 3章を見て下さい。
- ・前章で、ステップ応答とランプ応答や△波応答と∟波応答を求めました。
ステップ応答とランプ応答は連続関数で、計算時間間隔は関係しません。計算時間間隔が関係するのは、離散系の△波と∟波の熱応答を求める段階です。
- ・元々の HASP/ACLD/8501 や NewHASP/ACLD では計算時間間隔が1時間固定、つまり $\Delta\tau = 1$ なので、プログラムには”1”が省略されていて、 $\Delta\tau$ に相当する変数がありません。
任意の計算時間間隔にするためには $\Delta\tau$ に相当する変数を組み込む必要があります。
- ・なお、例えば、計算時間間隔を15分と固定するのと、自由に選べるようにするので、プログラムの手間はそれほど違いません。よって、ACLD_HEX15では、任意の計算時間間隔（といっても60分、30分、20分、15分、12分、10分の60の約数）を選べるようにプログラム変更することにします。
- ・熱応答の△波と∟波の熱応答を任意の計算時間間隔にするのが6-1節です。
また、照明の重み係数も、計算時間間隔が“1”となっており、これを任意の計算時間間隔に対応するように修正する必要があります。これを6-2節で解説します。
更に、気象データも任意の時間間隔の値を比例補間する必要がありますが、これは6-3節で解説します。
- ・理論に関係する変更は以上です。難解なのは理論ですが、(理論さえ分かれば)プログラム作りそれほど難しくはないはずです。
- ・プログラム作りで、面倒で手間と時間が掛かるのは、これ以外の部分です。例えば、入力データの追加、時間の配列や時間のループの拡張、HASP 独特の XMQ 配列やポインタなども修正しなくてはなりません。本書は理論の解説なので、要点のみを記します。

7-1 任意の計算時間間隔の△波と∟波応答を求めるためのプログラム変更

(1) 熱応答の理論 <復習>

- ・ステップ応答は
$$h(t) = A_0 + A_1 e^{-\alpha_1 t} + A_2 e^{-\alpha_2 t} \quad (2 \text{項近似}) \quad \dots (5-10)' \text{再}$$
- これを積分したランプ応答は
$$F(t) = \int h(t) = A_0 t + \frac{A_1}{\alpha_1} (1 - e^{-\alpha_1 t}) + \frac{A_2}{\alpha_2} (1 - e^{-\alpha_2 t}) \quad \dots (5-14) \text{再}$$

ここに、 t : 時間、 A_0, A_1, A_2 : 項 (A_0 は熱貫流率に等しい)、 α : 根

- ・計算時間間隔が関係するのは、離散化した△波応答(下式5-16)と∟波応答(下式5-20)です。

$\Delta\tau$ が計算時間間隔(単位は[h])です。元々のHASPは1時間毎の計算($\Delta\tau = 1$)なので、プログラムでは $\Delta\tau$ を省略していましたが、これを任意の時間間隔で記述することになります。

$$\left. \begin{aligned} \Delta\text{波の項別公比法の式} \\ P_0 &= A_0 + \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_1 \Delta\tau}) + \frac{A_2}{\alpha_2 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_2 \Delta\tau}) \\ P_1 &= -\frac{A_1}{\alpha_1 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_1 \Delta\tau})^2, \quad P_2 = -\frac{A_2}{\alpha_2 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_2 \Delta\tau})^2 \\ R_1 &= e^{-\alpha_1 \Delta\tau}, \quad R_2 = e^{-\alpha_2 \Delta\tau} \end{aligned} \right\} \dots (5-16) \text{再}$$

$$\left. \begin{aligned} \angle\text{波の項別公比法の式} \\ P_0 &= A_0 + \frac{2A_1(1 - e^{-\alpha_1 \Delta\tau})}{\alpha_1 \Delta\tau (1 + e^{-\alpha_1 \Delta\tau})} + \frac{2A_2(1 - e^{-\alpha_2 \Delta\tau})}{\alpha_2 \Delta\tau (1 + e^{-\alpha_2 \Delta\tau})} \\ P_1 &= -\frac{A_1(1 - e^{-\alpha_1 \Delta\tau})^2}{\alpha_1 \Delta\tau (1 + e^{-\alpha_1 \Delta\tau})}, \quad P_2 = -\frac{A_2(1 - e^{-\alpha_2 \Delta\tau})^2}{\alpha_2 \Delta\tau (1 + e^{-\alpha_2 \Delta\tau})} \\ R_1 &= e^{-\alpha_1 \Delta\tau}, \quad R_2 = e^{-\alpha_2 \Delta\tau} \end{aligned} \right\} \dots (5-20) \text{再}$$

(2) sub.CPARAM に計算時間間隔を追加

- プログラム ACLD_HEX15 で項別公比を計算しているところは `subroutine CPARAM` です。
`subroutine CPARAM` のプログラムリストを下に示しますが、修正するのは赤字で示した 4 行だけです。
この修正だけで、任意の計算時間間隔の応答係数を求めることができます。
- なお、実際の ACLD_HEX15 のプログラムでは $\Delta\tau$ ではなく、時間区分数 “nJHM” を使っています。
サブルーチンの中で $dT = 1.0 / \text{FLOAT}(JHM)$ として、 $\Delta\tau$ に相当する数値に変換しています。
※ `FLOAT` は整数を実数に変換する関数です。なお、分子に実数 “1.0” を使っているため、 $1.0/nJHM$ と記述しても問題ありません。実数と整数の混合計算は、実数に変換して計算されます。
なお、 $1/nJHM$ とすると整数の割り算になります。コンピュータでは整数の割り算の余りは切り捨てられ、結果の値が 0 になるのでダメです。

```

***          4.4. CONVOLUTION PARAMETERS *****
*
*          SUBROUTINE CPARAM (NT, G, P, nJHM)          ! 引数 nJHM は時間区分数であり、これを追加する
*
*          REAL *8          G(0:9), S(9), H(9), P(8), E(2), A(2)
*          DOUBLE PRECISION Z(4,5), ZZ(5)          ! REAL *8 と DOUBLE PRECISION は同じ役割です。
*
*          DATA S/    0.00025,  0.001,  0.004,  0.016,  0.064,  0.256
*          *          ,  1.024,  4.096,  16.384/
*          :
*          :          ! 前半の逆変換の部分までは変更が無いので飛ばします。
*          :
*          :
*-----
22 P(1)=G(0)          ! Δ波 P(1)=G(0)=Ao : G(0)は熱貫流率の値
   P(2)=G(0)          ! ㄧ波 P(2)=G(0)=Ao : G(0)は熱貫流率の値

          dT = 1.0 / FLOAT ( nJHM )          ! 計算時間間隔 dT=1.0/nJHM : dTがΔτの値

DO 21 I=1,N          ! 近似の項数のループ

A(I)=Z(I, NN1)          ! A(I)=ZZ(I, NN1) : ZZ(I, NN1)がAiの値
II=3*I
   U = A(I) / ( E(I) * dT )          ! U= Ai/(αi*Δτ) : E(I)が極αi
   V = dEXP ( - E(I) * dT )          ! V= exp(-αi*Δτ) : 以下ではEXPiと表記
P(1)=P(1)+U*(1.-V)          ! Δ波 P(1) : Po = Ao+Σ Ai*(αi*Δτ) *(1-EXPi)
P(2)=P(2)+2.*U*(1.-V)/(1.+V)          ! ㄧ波 P(1) : Po = Ao+Σ 2*Ai*(αi*Δτ)*(1-EXPi)/(1+EXPi)
P(II)=-U*(1.-V)**2          ! Δ波 P(3), P(6) P1, P2 = -Ai/(αi*Δτ)*(1-EXPi)^2
P(II+1)=-U*(1.-V)**2/(1.+V)          ! ㄧ波 P(4), P(7) P1, P2 = -Ai/(αi*Δτ)*(1-EXPi)^2/(1+EXPi)
P(II+2)=V          ! Δ波とㄧ波共通 R1, R2 = EXPi

21 CONTINUE
*
   RETURN
   END

```

補足 プログラムの配列 P は以下の通りです。

- | | | |
|--------|-----------------|---------------------------------------|
| P(1) : | Δ波の応答係数の 0 項目 | 式(5-16)の P_0 に相当 |
| P(2) : | ㄧ波の応答係数の 0 項目 | 式(5-20)の P_0 に相当 |
| P(3) : | Δ波の応答係数の 1 項目 | 式(5-16)の P_1 に相当 |
| P(4) : | ㄧ波の応答係数の 1 項目 | 式(5-20)の P_1 に相当 |
| P(5) : | 応答係数の 1 項目の項別公比 | 式(5-16)と式(5-20)の R_1 に相当 (Δ波とㄧ波に共通) |
| P(6) : | Δ波の応答係数の 2 項目 | 式(5-16)の P_2 に相当 |
| P(7) : | ㄧ波の応答係数の 2 項目 | 式(5-20)の P_2 に相当 |
| P(8) : | 応答係数の 2 項目の項別公比 | 式(5-16)と式(5-20)の R_2 に相当 (Δ波とㄧ波に共通) |

(3) call CPARAM 文の修正

- ・サブルーチン CPARAM を呼び出す CALL 文も修正しなければなりません。
ACL_D_HEX15 で、サブルーチン CPARAM を呼び出すところは全部で5箇所あります。
- ・引数の最後の5番目に、時間区分数の変数 **nJHM** を追加します。

外壁の応答係数	CALL CPARAM(2, GTR, P, nJHM)
内壁の応答係数	CALL CPARAM(2, GTR, P, nJHM)
冷房負荷重み係数	CALL CPARAM(1, G , P, nJHM)
蓄熱応答係数 (顕熱)	CALL CPARAM(2, G , P, nJHM)
蓄熱応答係数 (潜熱)	CALL CPARAM(1, GTL , P, nJHM)

※ nJHM そのものは入力データとして読み込みます。(→6-4)

(4) 任意の時間区分の項別公比の検証 (20180604 版の結果による)

- ・検証は、蓄熱応答係数 (室温変動の重み係数) で比較しました。
- ・左図 : ACLD_HEX の場合、ACLD_HEX15(dT=1)の計算時間間隔 60 分の場合、ACLD_HEX15 (dT=0.5) の計算時間間隔 30 分の結果から 60 分間隔に合成した場合、この3つは完全に一致します。
HASP2 (NewHASP/ACLD と同じ) だけが外れてますが、これは<FURN>の熱容量の扱いに違いがあるためです。
- ・右図 : <FURN>の熱容量を 0 にすると、全ての結果が一致します。

no	spacWFの検証		data by ACCLD_HEX		data by ACCLD_HEX15		data by ACCLD_HEX15		data by ACCLD_HEX15		data by ACCLD_HEX15	
	HASP2	ACCLD_HEX	ACCLD_HEX	ACCLD_HEX	ACCLD_HEX15	ACCLD_HEX15	ACCLD_HEX15	ACCLD_HEX15	ACCLD_HEX15	ACCLD_HEX15	ACCLD_HEX15	ACCLD_HEX15
	FURN=0	dT=1	FURN=0	dT=1	FURN=0	dT=1	FURN=0	dT=0.5	FURN=0	dT=0.5	FURN=0	dT=0.5
-1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0	3597.953	4838.827	4838.830	2338.750	4838.830	2338.750	6116.300	2459.810	4838.830	2459.810	4838.830	2338.751
1	-1308.938	-302.441	-2463.993	-301.313	-2463.990	-301.313	-2554.940	-242.118	-2463.996	-242.118	-2463.996	-301.314
2	-154.348	-147.529	-438.665	-146.895	-438.665	-146.895	-985.224	-135.087	-438.665	-135.087	-438.665	-146.896
3	-141.937	-114.898	-153.668	-114.411	-153.668	-114.411	-402.603	-90.335	-153.668	-90.335	-153.668	-114.412
4	-130.529	-102.907	-107.761	-102.473	-107.761	-102.473	-185.489	-70.873	-107.761	-70.873	-107.761	-103.150
5	-120.037	-94.796	-95.126	-94.392	-95.126	-94.392	-103.748	-61.710	-95.126	-61.710	-104.367	-95.503
6	-110.388	-87.772	-87.516	-87.391	-87.516	-87.391	-72.178	-56.767	-87.516	-56.767	-87.516	-88.423
7	-101.515	-81.343	-81.025	-80.984	-81.025	-80.984	-59.232	-53.580	-81.025	-53.580	-81.025	-81.868
OR	0.920	0.927	0.927	0.927	0.927	0.927	0.959	0.962	0.919	0.962	0.919	0.926
Σ	368.841	384.692	384.692	384.690	384.698	384.693	384.678	384.707	384.678	384.707	384.678	384.707
Σの相対比率	95.8781%	99.9985%	100.0000%	99.9992%	100.0000%	100.0000%	99.9949%	100.0036%	99.9949%	100.0036%	99.9949%	100.0036%
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> </div> <div style="width: 45%;"> </div> </div>												
<p>HASP2とACCLD_HEXの違い 違い1: 項別公比の解法が異なる 違い2: 室の熱容量の違い</p> <p>ACCLD_HEXの ACSSデータとHEX内部データの違い 出力の有効数値の桁数の違いによるもので、実際は誤差ゼロ</p> <p>ACCLD_HEX(dt=1)、ACCLD_HEX15(dt=0.5)の違い Σ WFは、ほぼ完全に一致 誤差 0.0061%</p> <p>HASP2とACCLD_HEXの違い FURN=0とすることで、室の熱容量の違いを解消 (実際は、FURN=0の入力だとエラーになるので、 furn=0.0001と入力してある)</p> <p>これにより、HASP2、ACCLD_HEX、ACCLD_HEX15の spacWFがすべて一致した。</p>												

7-2 照明の重み係数の修正

(1) 元々の HASP の照明の重み係数の項別公比

- もととの HASP/ACLD/8501 や NewHASP/ACLD では、照明の重み係数は計算時間間隔が 60 分の△波の項別公比で、下記のようにデータ文で固定的に与えられています。

<データ文>

```
***      WF FOR LIGHTING FIXTURE
          DIMENSION FL(5,3)
          DATA FL/0.4438,0.0534,0.8972,0.0362,0.0000    ! 埋め込み (時間遅れが大きい)
          *      ,0.7321,0.0254,0.8926,0.0309,0.0000    ! 半埋め込み (時間遅れが小さい)
          *      ,1.0000,0.0000,0.0000,0.0000,0.0000 /  ! 直づけ (時間遅れを見込まない)
          ※ 5個で一組のデータは項別公比で、各行左から  $P_0, P_1, R_1, P_2, R_2$  です。
```

- この照明の重み係数も任意の計算時間間隔に対応できるように修正する必要があります。
ここでは簡便に、文献 =)pdf. 35 にあるステップ応答から計算時間間隔 $\Delta\tau$ を見込んだ△波を作る方法を採用します。(⇒次頁に他方法を載せています)

- 文献 =)pdf. 35 に記述されているステップ応答の式は下記の通りです。

- 埋込み式 $\phi_{\xi}(t) = 1 - 0.5487e^{-0.1805t} - 0.4268e^{-11.76t}$
- 半埋込み式 $\phi_{\xi}(t) = 1 - 0.2437e^{-0.0552t} - 0.4367e^{-14.15t}$
- 直付け式 $\phi_{\xi}(t) = 1$

これより、埋込み式の係数 $A_0 = 1, A_1 = -0.5487, \alpha_1 = 0.1805, A_2 = -0.4268, \alpha_2 = 11.76$
 半埋込み式の係数 $A_0 = 1, A_1 = -0.2437, \alpha_1 = 0.0552, A_2 = -0.42687, \alpha_2 = 14.15$
 直付け式の係数 $A_0 = 1, A_1 = 0, \alpha_1 = 0, A_2 = 0, \alpha_2 = 0$

- この係数を新たな DATA 文とします。

```
***      DATA B / 1.0, -0.5487, 0.1085, -0.4268, 11.76    ! ステップ応答(埋め込み)
          *      , 1.0, -0.2437, 0.0552, -0.4367, 14.15    ! ステップ応答(埋め込み) (参考値)
          *      , 1.0, -0.2437, 0.1136, -0.4367, 14.15    ! ステップ応答(半埋め込み)
          *      , 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 /                ! ステップ応答(直付け)
```

※ ステップ応答の係数 DATA 文の 2 行目の半埋込み式の α_1 の値を変更しています。

これは、半埋込み式のステップ応答から時間区分 60 分の△波応答に変換したときに、元の△波応答と一致しなかったからです。

試行錯誤で一致するように $\alpha_1 = 0.0552 \rightarrow 0.1136$ に修正してあります。

なお、この修正は暫定値です。

- ステップ応答が決まったことで、これより下式で△波応答の項別公比法の P_0, P_1, R_1, P_2, R_2 を求めます。

時間区分数を n とすると、計算時間間隔は $\Delta\tau = 1/n$ となります。

$$\begin{aligned}
 P_0 &= A_0 + \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_1 \Delta\tau}) + \frac{A_2}{\alpha_2 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_2 \Delta\tau}) \\
 P_1 &= -\frac{A_1}{\alpha_1 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_1 \Delta\tau})^2 & R_1 &= e^{-\alpha_1 \Delta\tau} \\
 P_2 &= -\frac{A_2}{\alpha_2 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_2 \Delta\tau})^2 & R_2 &= e^{-\alpha_2 \Delta\tau}
 \end{aligned} \tag{7-2-1}$$

- P_0, P_1, R_1, P_2, R_2 は計算時間間隔 $\Delta\tau$ で変わります。

ACLD_HEX15 では、任意の計算時間間隔に自動的に対応するために新たなサブプログラムを追加します。

(2) 任意の時間区分に対応するための照明の sub_CAL_WF_for_LIGHT を追加

- この修正のために、新たなサブルーチン sub_CAL_WF_for_LIGHT を作ります。
 - ここで、ステップ応答の係数をデータ文で与えます。
 - 照明の重み係数を作るときに、計算時間間隔 $\Delta\tau$ を見込みます。なお、実際は、時間区分数 nJHM を使います。
 - また、照明の重み係数は△波のみです。

```

C***** ! add 20171124 HEX15
SUBROUTINE sub_CAL_WF_for_LIGHT ( FL, nJHM )
C***** ! add 20150125
INCLUDE 'cmn_iDBG_work.cmn'
***
*** WF FOR LIGHTING FIXTURE
*** 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/
*
DIMENSION FL ( 5,3 )
DIMENSION B ( 5,3 )
DATA B / 1.0, -0.5487, 0.1085, -0.4268, 11.76
* * , 1.0, -0.2437, 0.0552, -0.4367, 14.15 ! ステップ応答(埋め込み) (参考値)
* * , 1.0, -0.2437, 0.1136, -0.4367, 14.15 ! ステップ応答(半埋め込み)
* * , 1.0, 0.0 , 0.0 , 0.0 , 0.0 / ! ステップ応答(直付け)
C-----
IF( nJHM .GE. 2 ) THEN ! add 20180125 HEX_15
  T = 1.0 / nJHM
C
  DO K = 1, 2
    A1 = B ( 2, K ) / ( B ( 3, K ) * T )
    A2 = B ( 4, K ) / ( B ( 5, K ) * T )
    R1 = EXP ( - B ( 3, K ) * T )
    R2 = EXP ( - B ( 5, K ) * T )
    FL ( 1, K ) = B ( 1, K ) + A1*( 1.0 - R1 ) + A2*( 1.0 - R2 )
    FL ( 2, K ) = - A1*( 1.0 - R1 ) ** 2
    FL ( 3, K ) = R1
    FL ( 4, K ) = - A2*( 1.0 - R2 ) ** 2
    FL ( 5, K ) = R2
  END DO
END IF
C-----
IF( iDBG_WF .GE. 1 ) THEN
WRITE( 7, '( ''<WF_for_LIGHTING> nJHM=', I3 )' ) nJHM
WRITE( 7, '( '' FL(1-5, '', I1, '') ='', 5F12.8 )' )
* ( K, ( FL ( I, K ), I=1, 5 ), K=1, 3 )
WRITE( 7, '( '' ', '' )' )
END IF
C-----
RETURN
END

```

補足：任意の時間間隔の照明の重み係数を求める 他の方法

- 文献 ②)pdf. 34-36 にある照明のモデルからステップ応答を再現する方法もありますが、プログラム変更が大きくなるので省略します。
- HASP に組み込まれている重み係数を補正する方法を記します。

元々の HASP の重み係数の項別公比を $[P_0], [P_1], [P_2], [R_1], [R_2]$ とします。また、 $e^{\Delta\tau} \equiv E$ とします。

式(7-2-1)の R_1 は、 $R_1 = e^{-\alpha_1 \Delta\tau} = (e^{-\alpha_1})^{\Delta\tau} = ([R_1])^E$ 、 R_2 も同様です。

$$P_1 \text{ は } P_1 = -\frac{A_1}{\alpha_1 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_1 \Delta\tau})^2 = -\frac{A_1}{\alpha_1} (1 - e^{-\alpha_1})^2 \times \frac{(1 - e^{-\alpha_1 \Delta\tau})^2}{\Delta\tau (1 - e^{-\alpha_1})^2} = [P_1] \times \frac{(1 - [R_1])^E}{\Delta\tau (1 - [R_1])^2}, \quad P_2 \text{ も同様です。}$$

$$P_0 \text{ は } P_0 = A_0 + \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_1 \Delta\tau}) + \frac{A_1}{\alpha_1 \Delta\tau} (1 - e^{-\alpha_1 \Delta\tau}) = [1] + [P_1] \times \frac{(1 - [R_1])^E}{\Delta\tau (1 - [R_1])} + [P_2] \times \frac{(1 - [R_2])^E}{\Delta\tau (1 - [R_2])} \text{ です。}$$

数式の修正なので簡単ですが、元の結果を補正することとべき乗を多用するので精度がやや落ちます。

(3) 照明の重み係数の検証 (20180604 版の結果による)

照明のWFの検証		20180604							
―― 検算 T=1 ――									
1-1)	<subでの B のdata文の値>	17	22	31	39	48			
	B(1-5,1)	3	7	6	7	5			
	B(1-5,2)	1.0000	-0.5487	0.1085	-0.4268	11.7600			
	B(1-5,2)暫定値	1.0000	-0.2437	0.0552	-0.4367	14.1500			※このB(3,2)ではdata文のFL(2,2)と合わない
	B(1-5,3)	1.0000	-0.2437	0.1136	-0.4367	14.1500			※FL(2,2)に合うようにB(3,2)を修正した
	B(1-5,3)	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
1-2)	K T	A1=E2/(E3*T)	A2=B4/(E5*T)	R1=exp(-E3*T)	R2=exp(-E5*T)				shoumeino
	1 1	-5.0571428571	-0.0362925170	0.8971788948	0.0000078108				
	2 1	-4.4148550725	-0.0308621908	0.9462958699	0.0000007157				
	2暫定 1	-2.1452464789	-0.0308621908	0.8926149305	0.0000007157				
	3 1								
1-3)	K T	FL1 =B1+A1*(1-R1) +A2*(1-R2)	FL2 =-A1*(1-R1)^2	FL3 R1	FL4 =-A2*(1-R2)^2	FL5 R2			Σ
	1 1	0.44372675	0.05346502	0.89717889	0.03629195	0.00000781			1.00000
	2 1	0.73204188	0.01273303	0.94629587	0.03086215	0.00000072			1.00000
	2暫定 1	0.73877039	0.02473802	0.89261493	0.03086215	0.00000072			1.00000
	3 1	1.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000			1.00000
1-4)	J=	1	2	3	4	5	6	7	
	1 1	0.4437267488	0.0479679736	0.0430355993	0.0386106314	0.0346406436	0.0310788543	0.0278832922	
	2 1	0.7320418799	0.0120492375	0.0114021228	0.0107897817	0.0102103259	0.0096619892	0.0091431005	
	2暫定 1	0.7387703890	0.0220815515	0.0197103028	0.0175937106	0.0157044088	0.0140179897	0.0125126669	
	3 1	1.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	
1-5)	FLの結果	17	29	41	53	65			
	<T=1ではこの値は用いない>	10	10	10	10	10			Σ
	FL(1-5,1) T=1	0.44380000	0.05340000	0.89719999	0.03620000	0.00000000			0.99946
	FL(1-5,2) T=1	0.73210001	0.02540000	0.89260000	0.03090000	0.00000000			0.99950
	FL(1-5,3) T=1	1.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000			1.00000
1-6)	<ACLD_HEX data文>	18	25	32	39	46			
	<T=1ではこの値を用いる>	6	6	6	6	6			Σ
	FL(1-5,1) T=1	0.4438	0.0534	0.8972	0.0362	0.0000			0.99946
	FL(1-5,2) T=1	0.7321	0.0254	0.8926	0.0309	0.0000			0.99950
	FL(1-5,3) T=1	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			1.00000
―― 検算 T=0.5 ――									
2-1)	B(1-5,1)	1.0000	-0.5487	0.1085	-0.4268	11.7600			
	B(1-5,2)	1.0000	-0.2437	0.0552	-0.4367	14.1500			
	B(1-5,2)暫定値	1.0000	-0.2437	0.1136	-0.4367	14.1500			
	B(1-5,3)	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
2-2)	K T	A1=E2/(E3*T)	A2=B4/(E5*T)	R1=exp(-E3*T)	R2=exp(-E5*T)				
	1 1	-5.0571428571	-0.0362925170	0.8971788948	0.0000078108				
	2 1	-4.4148550725	-0.0308621908	0.9462958699	0.0000007157				
	2暫定 1	-2.1452464789	-0.0308621908	0.8926149305	0.0000007157				
	3 1								
2-3)	K T	FL1 =B1+A1*(1-R1) +A2*(1-R2)	FL2 =-A1*(1-R1)^2	FL3 R1	FL4 =-A2*(1-R2)^2	FL5 R2			Σ
	1 1	0.44372675	0.05346502	0.89717889	0.03629195	0.00000781			1.00000
	2 1	0.73204188	0.01273303	0.94629587	0.03086215	0.00000072			1.00000
	2暫定 1	0.73877039	0.02473802	0.89261493	0.03086215	0.00000072			1.00000
	3 1	1.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000			1.00000
2-4)	J=	1	2	3	4	5	6	7	
	1 1	0.4437267488	0.0479679736	0.0430355993	0.0386106314	0.0346406436	0.0310788543	0.0278832922	
	2 1	0.7320418799	0.0120492375	0.0114021228	0.0107897817	0.0102103259	0.0096619892	0.0091431005	
	2暫定 1	0.7387703890	0.0220815515	0.0197103028	0.0175937106	0.0157044088	0.0140179897	0.0125126669	
	3 1	1.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	
2-5)	FLの計算結果	17	29	41	53	65			
	<T≠1ではこの値を用いる>	10	10	10	10	10			Σ
	FL(1-5,1) T=0.5	0.39353594	0.02820204	0.94719529	0.07217988	0.00279478			1.00000
	FL(1-5,2) T=0.5	0.70141983	0.01308134	0.94478303	0.06161999	0.00084599			1.00000
	FL(1-5,3) T=0.5	1.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000			1.00000

7-3 その他のプログラム上の変更 (ACLD_HEX15)

・任意の計算時間間隔で計算できるようにするためには、以下の変更を合わせて行う必要があります。

(1) 入力データに時間区分数 nJHM を追加

<CNTL> 時区分数の入力項目を追加

計算制御	気象データ				計算期間				太陽位置				人の発熱の		時区分数 nJHM 1~6	PEAK 熱負荷
	計算 モード	出力 形式	雲量 モード	SI データ 形式	助走開始 年	月	日	本計算開始 年	月	日	計算終了 年	月	日	計算 サイクル		
CNTL	default→ 0:シミ	1:詳細出力	0	0	1:海外ピーク	12	15	1	1	12	31	15	7	0:TB(基準温)	2	AHXT
<small>←複数行指定不可</small> <small>←雲量モードとSIモードは入力不良(Inpでは自動入力、hasHではファイルから直接入力)</small>																

<DCSH・OSCH・OPCO> 時間入力の入力方法を変更

- ・ACLD_HEX15_inp の入力画面では「12:30」のように入力します。
- ・これが入力変換プログラムで、2桁の「時」と1桁の「分」に変換されます。
- ・ACLD_HEX15 の負荷計算本体では、この「通し時分」で扱われます。

例えば、nJHM=2 (計算時間区分が2) の場合は0~48になり、12:30 は通しで 25 時分に変換されます。

※ 実際は、入力画面では「時:分」→入力変換で「分」は60進数に変換され、ACLD_HEX15 の読み込みの時に24×時間区分の時分制の「通しの時分」に変換されます。

日間 スケジュール	DSCH 命名	人・照明・機器の1日の使用パターン		入力例		1行目・2行目・3行目は<WSCH>の[1][2][3]の曜日に対応します。																			
時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	時刻	
DSCH	OCU	8:00	0	9:00	100	12:00	100	12:30	20	13:00	100	17:00	100	18:00	50	20:00	0								
OSCH	OSC	8:00	20:00																						
OPCO	OPC1																								

(2) 時間に関する配列の拡張

<時分に関する COMMON>

```

***** cmn_ACLD_HEX15_JHM.par *****
PARAMETER ( mmJHM = 6 ) ! 時間区分数の最大値
PARAMETER ( mm24JHM = 24 * mmJHM ) ! 1日の時区分数の最大数
PARAMETER ( mm024JHM = 1 + 24 * mmJHM ) ! 0時を含めた1日の時区分数の最大数
COMMON / cJHM / nJHM ! 実際に入力された時間区分数
* , n24JHM ! 実際に使う1日の時区分数
* , n024JHM ! 0時を含めた1日の時区分数
COMMON / cTIME / nJHM_h, nJHM_m ! 表示用の時 nJHM_h、表示用の分 nJHM_m
    
```

<気象値・太陽位置の配列>

```

*--- DIMENSION WD(7,24), ID(7,5), SH(24), CHSA(24), CHCA(24) ! 元々のHACP/ACLD/8501の配列
DIMENSION WD24R(7,0:24) ! 読み込んだ1日分の気象値(単位変換前)
DIMENSION WD24(7,0:24) ! 単位変換後の1日分の気象値
DIMENSION WD(7,0:mm24JHM), ID(7,5) ! 時区分に拡大した1日分の気象値
DIMENSION SH(0:mm24JHM) ! 時区分に拡大した1日分の太陽高度
DIMENSION CHSA(0:mm24JHM) ! 時区分に拡大した1日分の太陽高度*方位角
DIMENSION CHCA(0:mm24JHM) ! 時区分に拡大した1日分の太陽高度*方位角
    
```

<除去熱量の計算に関わる配列>

```

COMMON / cDBO / DBO(0:mm24JHM) ! 出力用の気温(0-24時分)
COMMON / cXGO / XGO(0:mm24JHM) ! 出力用の湿度(0-24時分)

C-----
COMMON / cCL_RM / CLS_RM(0:mm24JHM, mmRM) ! 顕熱のCL(0-24時分)
* , CLL_RM(0:mm24JHM, mmRM) ! 潜熱のCL(0-24時分)
COMMON / dWF_RM / dWFS_RM(0:mm24JHM, mmRM) ! 顕熱のWFSの補正項(0-24時分)
* , dWFL_RM(0:mm24JHM, mmRM) ! 潜熱のWFLの補正項(0-24時分)

C-----
COMMON / cSTS_RM / STS_RM(0:2, 2, mmRM) ! 顕熱の蓄熱熱流(1-7), (Δ波, ∠波)
* , STL_RM(0:2, 2, mmRM) ! 潜熱の蓄熱熱流(1-7), (Δ波, ∠波)

C-----
COMMON / cMRT_RM / rMRT_RM(0:mm24JHM, 3, mmRM) ! MRT(0-24時分)(直前,直後,平均)
COMMON / cDBR_RM / DBR_RM(0:mm24JHM, 3, mmRM) ! 室温(0-24時分)(直前,直後,平均)
COMMON / cXGR_RM / XGR_RM(0:mm24JHM, 3, mmRM) ! 室温(0-24時分)(直前,直後,平均)
COMMON / cHES_RM / HES_RM(0:mm24JHM, 3, mmRM) ! 顕熱の除去熱量(0-24時分)(同上)
COMMON / cHEL_RM / HEL_RM(0:mm24JHM, 3, mmRM) ! 潜熱の除去熱量(0-24時分)(同上)
COMMON / cRES_RM / RES_RM(0:mm24JHM, 3, mmRM) ! 室顕熱の除去熱量(0-24時分)(同上)
COMMON / cREL_RM / REL_RM(0:mm24JHM, 3, mmRM) ! 室潜熱の除去熱量(0-24時分)(同上)
COMMON / cFSL_RM / IFS_RM(0:mm24JHM, 3, mmRM) ! 運転状態フラッグ(前,後,平均)
* , IFL_RM(0:mm24JHM, 3, mmRM) ! 運転状態フラッグ(前,後,平均)
    
```

(3) XMQ 配列の拡張とポインタの変更

- XMQ 配列は、HASP 独特の配列です。
整数・実数・文字列（整数に変換）が同じ記憶場所に取られます。
- XMQ 配列を X で呼び出すと実数扱いになり、XMQ 配列を M で呼び出すと整数扱いになります。
- 先の(2)で示した配列や変数は例外で、XMQ 配列には入りません。

<<固定領域>>

- X(1)～の前半は「固定領域」です。
固定領域は番地でその意味が決められています。
例えば、X(155) は基準温度の TB です。
M(161) は本計算開始の月です。

X(1)～X(96) ⇒ 移動

- WF の補正項と、CL が入る work space です。
時間区分で拡張するので、この場所はランダム領域の最後に移動させます。

M100>～Q(109)

- EXPS・WCON・DSCH・SPAC・WSCH のそれぞれの最初の場所の番地が入る場所です。
ここから任意の情報を検索することができます。

M(110)～M(118) <WKLY> ⇒ 移動

- これは HASP/ACLD/8501 の段階で、ランダム領域の <WSCH> に移りました。

X(128)～X(143) <休日用ダミー> ⇒ 移動

- これは ACLD_HEX15 でランダム領域に移動しました。

<X(150)～X(167) <BUIL>

- 「BUIL」の入力データが入る場所です。

M(170)～M(192) <SDAY>

- 「SDAY」の特別日（11 日分）が入る場所です。
※ 2020 版より 11 日分に増えました。

M(193)～M(557) <曜日番号>

- 1/1～12/31 の曜日番号が入る場所です。
※ 11 日分に増えたことにより番地が 2 つずれました。

M(560)～M(1340) <入力データチェック情報>

- 入力データチェック用の情報が納められている場所です。

<WF 補正項と CL>

- ACLD_HEX15 では ランダム領域の場所が決まったその後に WF の補正項と CL の場所が確保されます。

WF の補正項と CL の場所

- ACLD_HEX15 では、ランダム領域の最後に確保されます。

X(1)	work space 顕熱負荷	固定領域の最後の X(1400)～に移動 ACLD_HEX15 では 使わないので 空き領域
X(24)	work space 顕熱WF補正項	
X(49)	work space 潜熱負荷	
X(72)	work space 潜熱WF補正項	
X(96)		
M(100)	EXPS 名ポインタ	EXPS などの 起点ポインタ が納められる M(108) WSCH の名ポインタ Q(109) WSCH のダミー名
Q(101)	ダミー名	
M(102)	WCON 名ポインタ	
Q(103)	ダミー名	
M(104)	DYLY 名ポインタ	
Q(105)	ダミー名	
M(106)	SPAC 名ポインタ	
Q(107)	ダミー名	
④ WKLY		
M(110)	固相スケジュール 月曜	デフォルト値=1
M(111)	火	1
M(112)	水	
M(113)	木	ACLD_HEX15
M(114)	金	1 の時から
M(115)	土	ランダム領域
M(116)	日	3 に移動
④ DYLY		
X(120)	0	
X(143)	0	4 休日用ダミースケジュール
④ BUIL		
X(150)	sw 4	
(151)	ws 4	
(152)	均時差 (φ-135)/15	単位 hour
(153)	HB	
(154)	R.G. Reflection Ground	
(155)	TB 基準温度	
(156)	RH 湿度(相対湿度)	
(157)	XB 湿度 [g/kgDA]	
(158)	BL フライド基準日割	
M(159)	助走開始 月	
(160)	日	
(161)	本計算開始 月	
(162)	日	
(163)	計算終了 月	
(164)	日	
(165)	K.U (助走開始 面算日)	
(166)	K.B (本計算 " ")	
(167)	K.E (計算終了 " ")	
④ SDAY		
M(170)	日数	11 日分
M(171)	月	
M(172)	日	
M(189)	月	365
M(190)	日	
M(191)	特別日表示 (特別日と 1-3)	365
(192)	(0) 1月1日	
(193)	(0) 1月1日	
M(557)	(0) 12月31日	

M(560)～M(1340) 入力データチェック情報

<<ランダム領域>>

- 固定領域の後にランダム領域が取られます。
- ランダム領域では、入力データの順に場所が確保されます。
- ランダム領域が始まるポイント L の値は、右図では L=1000 ですが、これは HASP/ACLD/8501 の場合で、ACLD_HEX15 では、L=1400 になります。

<EXPS>

- M(L) の番地は、EXPS の先頭の番地です、この番地を外から参照すると、EXCS に辿り着けます。M(L) の中味は、次項ポイントで、この EXPS の次に入る番地を示しています。
- EXPS 名：入力した 4 文字の識別名が整数変換されて入ります。
- 入力データ毎にデータの構成と番地は決まっています。参照する番地は L+1 のように相対番地になります。
- <X(L+28)~X(L+59)>
外壁と窓の日射率が入る領域ですが、ACLD_HEX15 では、0 時を含み、かつ、時間区分数 nJHM で場所の大きさが変わります。
X(28)~X(27+n024JHM) 外壁面の日射率
X(28+n024JHM)~X(27+n024JHM*2) 窓面の日射率
- 次項ポイント：次のデータの始まりのポイントです。
L=28+n024JHM*2 となります。

<WCON>

- 壁体の部材数によって場所の大きさが変化しますが、時間区分には関係しません。
- 次項ポイントの値は L+2*NL+2
なお、NL は入力した部材の層数です。

<DSCH>

- ACLD_HEX15 から、新たに休日スケジュールが加わり、平日・半日・休日の 3 パターンになります。
- 0 時を含め、時間区分 nJHM で場所の大きさが変わります。
- X(L+2)~X(L+1+n024JNM) 平日スケジュール
X(L+2+n024JHM)~X(L+1+n024JNM*2) 半日
X(L+2+n024JHM*2)~X(L+1+n024JNM*3) 休日
- 次項ポイントの値は L+2+n024JHM*3

<WSCH>

- HASP/ACLD/8001 にはなく、HASP/ACLD/8501 の時に加わったデータです。

EXPS (L=1000)	
M(L)	次項ポイント
Q(L+1)	EXPS 名
X(L+2)	方位角+180
X(L+3)	sin α
4	cos α
5	sin β
6	cos β
7	sin $\alpha\cos\beta$
8	sin $\alpha\sin\beta$
9	cos $\alpha\cos\beta$
10	cos $\alpha\sin\beta$
X(L+11)	(1-cos β)/2 : 外周より地中下を見る φ_2
X(L+12)	D α 樹木距離
X(L+13)	H α 高さ
X(L+14)	Z α 庇の長
15	y $_2$
16	y $_1+y_2$ y $_2$
17	y $_2+y_3$ y $_3$
18	y $_1+y_2+y_3$
X(L+19)	Z α 庇の出
20	x $_2$
21	x $_1+x_2$
22	x $_2+x_3$
23	x $_1+x_2+x_3$
X(L+24)	壁面面積 (x $_1+x_2+x_3$)(y $_1+y_2+y_3$)-x $_2$ y $_2$
X(L+25)	窓面積 x $_2$ y $_2$
X(L+26)	φ_1 = 外周より上庇を見る
X(L+27)	φ_2 " 内周庇を見る
X(L+28)	5時
...	...
X(L+43)	20時
X(L+44)	5時
...	...
X(L+59)	20時

WCON	
M(L)	次項ポイント
Q(L+1)	WCON 名
M(L+2)	壁体層数 NL
M(L+3)	材
X(L+4)	厚(m)
M(L+5)	材
X(L+6)	厚(m)
...	...
X(L+2NL+2)	

DSCH	
M(L)	次項ポイント
Q(L+1)	DSCH 名
X(L+2)	1時
X(L+3)	2時
...	...
X(L+25)	24時
X(L+26)	1時
X(L+27)	2時
...	...
X(L+49)	24時

WSCH	
M(1)	次項ポイント
Q(L+1)	WSCH 名
X(L+2)	週間スケジュール(月)
...	...
X(L+10)	週間スケジュール(特別日)

計算時間を 16 時間から終日の拡大したこと、時間区分数 nJHM によって大きさが変わります。
 X(28)~X(28+nJHM*25) 外壁面
 X(28+nJHM*25)~X(27+nJHM*25*2) 窓面

新たに休日スケジュールが加わります。

M(1)	次項ポイント
Q(L+1)	WSCH 名
X(L+2)	週間スケジュール(月)
...	...
X(L+10)	週間スケジュール(特別日)

<SPAC>

- ランダム領域で、共通データの後に<SPAC>データが続きます。ここは ACLD_HEX15 での変更はありません。
 - 元々の HASP/ACLD/8501 には無く、ACLD_HEX で追加した除去熱量に関する配列や変数や、ACLD_HEX15 で拡張した機能の配列や変数は、XMQ 配列とは別に定義しています。(→本節の 2) がその例
- <SPAC>の中で、内部発熱 (照明・機器・人) は固定的な番地が割り当てられています。
- <SPAC>の中で、外壁(OWAL)・内壁(IWAL)・窓(WNDW)・隙間風(INFL)は入力順に場所が割り当てられます。
- SPAC の部材に、接地壁(GWAL)・梁柱(BECO)・熱容量(FURN)が下記の場所にはありませんが、これらは貫流応答の計算はしないので場所を確保する必要がありません。一方、吸熱応答には関係しますが、これは冷房負荷重み係数や蓄熱応答係数に、SAPC 全体で組み込まれています。

① SPAC		② OWAL	
M(L)	次回ポイント	Q(L)	'OWAL'
Q(L+1)	SPAC 名	M(L+1)	EXPS. ポイント
X(L+2)	床面積 Af	X(L+2)	露点 RF
3	階高	3	P0
4	天井高	4	P1
5	床面高 Hf	5	P2
6	中性層対中心間接係数 $0.004(Hf - Hb/2)$	6	R2
7	風速 7.0 の対中心間接係数 $(1.2) V H f / 5$ $R_{w,IL} \geq 1.2$	7	Q1
X(L+8)	冷房負荷係数 P0	8	Q2
9	P1	9	ϵ_s/d_o
10	R1	10	$\rho_g \rho_g \epsilon_s/d_o$
11	Q1	11	$(\rho_s + \rho_g \rho_g) \epsilon_s/d_o$
12	(ダミー)	12	$\rho_s \epsilon_e/d_o$
13		13	$(H_a - H_e) \alpha_d / D_a$
14		14	$(H_a - H_f) \omega_s d / D_a$
X(L+15)	壁蓄熱応答係数 P _{Δ0}	③ IWAL (露点条件 1 の場合のみ)	
16	P _{Δ0} (蓄熱)	Q(L)	'IWAL'
17	P _{Δ1}	M(L+1)	露点条件番号 (=1)
18	P _{Δ1}	X(L+2)	露点条件左
19	R1	3	P0
20	P _{Δ2}	4	P1
21	P _{Δ2}	5	R1
22	R2	6	P2
23	Q1	7	R2
24	Q2	8	Q1
X(L+25)	壁蓄熱応答係数 P _{Δ0}		Q2
26	P _{Δ0} (蓄熱)	④ WNDW	
27	P _{Δ1}	Q(L)	'WNDW'
28	P _{Δ1}	M(L+1)	EXPS. ポイント
29	R1	X(L+2)	(ガラス開口時)
30	Q1	3	KwAw
31	(ダミー)	4	SCC Aw
32		5	SCR Aw
33		6	KwAw
34		7	SCC Aw
M(L+35)	LIGHT スケジュールポイント	8	SCR Aw
X(L+36)	照明熱取得 P0		(BL) Aw
37	P1	X(L+9)	$\rho_g \rho_g \bar{\rho}$
38	R1	10	$(\rho_s + \rho_g \rho_g) \bar{\rho}$
39	P2	11	$\rho_s \bar{\rho}$
40	R2	12	$\rho_s \epsilon_e/d_o$
X(L+41)	Q1	13	$(H_a - H_e) \omega_s d / D_a$
42	Q2	14	$(H_a - H_f) \omega_s d / D_a$
43	日光利用 無: 0 有: 1/2 設計照度	15	$C_1 = \frac{1}{2} (1 - \frac{1}{\tau}) \times 10^9 : (SCR)_{open}$
44	LED 照度 σ_0	16	C2
45	内装照明の係数 $\rho_1, \rho_2 / Af (1 - \rho_1, \rho_2)$	17	C3
46	$\rho_2 / Af (1 - \rho_1, \rho_2)$	18	C4
M(L+47)	HEAT スケジュールポイント	19	直射面得率 σ_w / Af
X(L+48)	対流放熱量		
49	放射		
50	蓄熱		
M(L+51)	OCCUP スケジュールポイント		
X(L+52)	AM1 x 人数		
53	AM2 x "		
54	AM3 x "		
		⑤ INFL	
		Q(L)	'INFL'
		M(L+1)	EXPS. ポイント
		M(L+2)	計算方式
		X(L+3)	(i) 南向度 x 南向長 / (ii) 換気量 m ³ /h

(4) 計算式の変更

- XMQ 配列を使った HASP の計算式は暗号文のようで見分り難いのですが、式の形を見ると何の計算をしているかが凡そ見当がつきます。また、時間に関しては変数 J を探せば計算時間間隔による修正すべき箇所が見つかります。

例 1) 方位 EXPS で、外壁や窓での直達日射の日射率を計算する部分

```

SS=SH(J)*X(L+6)+CHCA(J)*X(L+9)+CHSA(J)*X(L+7)      ! 直達日射の入射角 cos
IF(SS.LE.0.) THEN                                     ! 方位の面に日射が当たらない時間
  X(L+J+23)=0.          ⇒ X(L+J+Lowal)=0.           ! 外壁面の日射率
  X(L+J+39)=0.          ⇒ X(L+J+Lwndw)=0.           ! 窓面の日射率
  GO TO 530
END IF
IF(X(L+14).EQ.0..AND.X(L+19).EQ.0.) THEN             ! 庇なしの場合
  X(L+J+23)=SS          ⇒ X(L+J+Lowal)=SS           ! 外壁の日射率 (SS=cos i)
  X(L+J+39)=GF(SS**2) ⇒ X(L+J+Lwndw)=GF(SS**2)     ! ガラスの日射率、GF は入射角特性
  GO TO 530
END IF
:

```

- SS が直達日射の入射角の cos です。SH(J), CHCA(J), CHSA(J) は太陽位置で、J は時刻ですが、時間区分を拡大しても J は修正の必要がありません。配列 X の L は方位 EXPS の先頭のポインタです。
- EXPS の X(L+6)、X(L+9)、X(L+7) は EXPS の固有の値です。傾角を α 、方位角を β とすると、それぞれ、 $\sin \alpha$ 、 $\sin \alpha \cos \beta$ 、 $\sin \alpha \sin \beta$ になります。
- X(L+J+23) と X(L+J+39) は方位 L の外壁面と窓面の日射率です。時間 J は前述のとおり修正の必要はありません。なお、ポインタ L からのオフセット 23 と 39 は、元の 5~20 時から 0~24 時の終日計算に拡大したことと時間区分数 nJHM を拡大したことで、時間区分数のパラメータ Lowal, Lwndw になるように修正します。
 $Lowal = 28$! 外壁面日射率のポインタ offset
 $Lwndw = 28 + n024JHM$! 窓面日射率のポインタ offset
- GF は 3mm 標準ガラスの入射角特性の関数です。

例 2) 窓面での励振： 例 1 の変更に応じて、これを受ける側でも修正する必要があります。

```

EXC1=WD(1,J)-X(155)-WD(5,J)*X(L+12)                ! EXC1 は温度の励振 (内外温度差)
V1=W*X(LE+J+39) ⇒ V1 = W*X(LE+J+Lwndw)           ! V1 は直達日射量
V2=W*SH(J)*X(L+9)                                   ! V2 は直達日射の地面反射
V3=WD(4,J)*X(L+11)                                  ! V3 は天空日射量
V4=WD(4,J)*X(L+9)                                   ! V4 は天空日射の地面反射
EXC2=V1+V2+V3+V4                                    ! EXC2 は日射の励振

```

- EXC1 は温度の励振ですが、変更はありません。WD(1, J) と WD(5, J) は時刻 J の気温と長波放射量、X(155) が基準温度、X(L+12) は方位 L での天空への形態係数×放射率です。
- V1 は方位 L での直達日射量です。W は気象データの時刻 J の法線面直達日射 WD(4, J) のことで、日射が当たらない時は W=0 です。X(L+J+Lwndw) は例 1) で求めた日射率で、日除けの影響やガラスの入射角特性を考慮した値です。
- V3 は天空日射量です。WD(4, J) が時刻 J の水平面天空日射量で、X(L+11) は空の形態係数×散乱日射の日射熱取得率の積です。
- V2+V3 が地面の反射日射量です。W は先の法線面直達日射です。SH(J) が太陽高度、WD(4, J) が水平面天空日射量で、合わせて水平面の日射量になります。これに X(L+9) の地面の形態係数×散乱日射の日射熱取得率を乗ずれば地面反射日射量になります。

(5) 時間ループの変更

- ・時間のループは下記のように変更します。

DO 670 J=1, 24 ⇒ DO 670 J = 1, nJHM ! 時間区分で拡張した時間ループ

元々の1~24時間が、時間区分では1~nJHMに変わるだけです。

配列を、先の2)項や3)項のように配列の大きさのみを修正すれば、時間のループは、ほとんど変更の必要がありません。

※別の修正の方法

次のように時間と時間区分の二重のループにしても同じです。

```
DO 670 Jh = 0, 24                ! 時間区分で拡張した時分ループ (終日計算)
DO 671 Jm = 0, nJHM             ! 時間区分で拡張した時分ループ (終日計算)
  IF ( Jh.EQ.0 .and. Jm.EQ.0 )
  IF ( Jh.EQ.24 .and. Jm.GT.0 )
  J = Jh * Njhm + Jm
```

なお、時分の変数Jは、時間Jhと時間区分Jmによる変数にしておきます。こうしておく、計算式での時間の変数を変更する必要がなくなります。

補足：配列を時間と時間区分の2つの配列要素（例えば、SH(24, nJHM)）にすると、配列構造を変更することになります。これは、時間ループの変更のみならず、式の変更など、大きな変更になるので避けるべきです。

補足の補足：仮に時間を 時間 ⇒ 時分 ⇒ 時分秒 と拡張する場合、

ACLD_HEX15 の1次元配列なら SH(0:24) ⇒ SH(0:24*60) ⇒ SH(0:24*60*60) と修正するだけです。

配列の次元を増やすと SH(0:24) ⇒ SH(0:24, 0:60) ⇒ SH(0:24, 0:60, 0:60) となります。

1日の終わりの24時0分0秒は、1次元ならSH(24*60*60)で、配列の最後と一致します。

3次元の場合は、SH(24, 0, 0)ですが、24時0分1秒以降は無いので、SH(24, 60, 60)までの60×60の領域は無駄になります。

時間は連続しており、1次元配列の方が素直なのです。

【余談】

- 1) プログラムエラーの中でも、コンパイルエラーは文法上のエラーで最初は多量に出ますが、大して心配することはありません。コツコツ修正すれば解決する問題です。
- 2) やっかいなのは、実行中に起きる想定外のエラーです。この原因の多くが、配列の領域を超えるなど、配列に関わるものです。従って、プログラムはできるだけ単純明解な構造にするのが賢明です。
- 3) 最もやっかいなエラーは、一見正しそうな結果です。答えが予測と大きく違うときは気がつきますが、微妙な違いの場合は、間違いではない有効数値による誤差なのか、プログラムのミスかが区別できないで見逃してしまうことがあります。プログラム開発ではこの辺りまできっちりと検証する必要があります。
- 4) 理論（ロジック）とデータ構造とIOU（ユーザーインターフェース）
この3つがプログラム作業の概ね1/3ずつです。
 - ・理論を理解することは大変ですが、理解して計算手順をアルゴリズムとして整理する必要はありますが、これができるれば後は素直に記述すれば良いのでプログラム作業としては難しくありません。
 - ・データ構造、つまり変数や配列の命名方法、あるいは配列要素の取り方などは、アルゴリズムと密接に関係するので、合理的に考えることが肝要です。これによりプログラム作業の能率を上げることができますが、思いつきでデータ構造や配列名、変数名を決めると、後々が面倒になります。
 - ・IOUはHASPでは単純なものしかありませんが、それでもプログラム全体の1/3を占めています。GUIなどとの連動を考えるとIOUは際限なく膨らみます。

補1 ACLD_HEX15の時間区分数の上限

- ACLD_HEX15は、実は時間区分数を60（計算時間間隔が1分）まで対応できるようにプログラムしてあります。なお、ACLD_HEX_inpのExcelの入力画面では時間区分数を6までに制限しており、ACLD_HEX15のプログラム本体でもパラメータ文で時間区分数の上限を6に制限しています。

<制限している箇所>

1) 時間区分のパラメータ変数 mmJHM

- パラメータ変数 mmJHM は cmn_ACLD_HEX.cmn なるファイルで定義しています。

```
C***** cmn_ACLD_HEX15_JHM.par *****
PARAMETER ( mmJHM = 6 ) ! 時間区分数の最大値
```

- mmJHMの値を変更するだけで、時間に関係する配列や領域や計算式などの全てが自動的に修正されます。
- mmJHMの値を変更した場合は、プログラムを再コンパイルし直さなければなりません。

2) XMQ配列のサイズ

- XMQ配列の大きさは cmn_ACLD_XMQ.cmn なるファイルで定義しています。

```
PARAMETER ( MX = 30000 )
DIMENSION X ( MX ), M ( MX )
EQUIVALENCE ( X, M )
COMMON / XMQ / X
```

- 一般的な室 (SPAC) が50室程度で、時間区分数がnJHM=6ならば、MX=30000でも余裕があると思います。
- SPACの数や部材の数や時間区分数を増やすと、配列XMQの容量を超える可能性があります。
- 配列の大きさを変更した場合は、プログラムを再コンパイルし直さなければなりません。

3) 時間の入力データでの制約

- HASPでは、入力データの「DSCH」「OSCH」「OPCO」の時間入力のカラム数は3桁です。元々のHASPでは1時間毎の計算なので、時間入力は1~24時で問題ありません。

- これが、時間区分を設けた時に、3桁では収まらなくなります。

ACLD_HEX15では、時間入力を次のように変更しました。

- ACLD_HEX15_inpのExcelの入力画面では“JJ:MM”のように入力します。

例えば、時間区分数がnJHM=6の場合 ⇒ 12:00、12:10、12:20、12:30、12:40、12:50 です。

- これを入力データ変換のプログラム (HASP_inp.exe) で、「分」を60進数に変換します。

12:00⇒120、12:10⇒12A、12:20⇒12K、12:30⇒12U、12:40⇒12e、12:50⇒12o です。

なお、60進数には次の文字を割り当てています。

```
CHARACTER ( 62 ) C60
DATA C60 / '0123456789ABCDEFGHIJKLMNPOQRSTUVWXYZabcdefghijklmnopqrstuvwxyz' /
*          0-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----
```

- 最後に、ACLD_HEX.exeの本体で、2桁の「時間」と1桁の「分」を通しの“時分値”に変換します。(時間区分数nJHM=6、計算時間間隔が10分の場合)

120→72、12A→73、12K→74、12U→75、12e→76、12o→77 です。

※ ACLD_HEX15_inpを使って入力する時は“12:10”“12:20”“12:30”“12:40”“12:50”のように入力するので分かりやすく、しかもプルダウンメニューでリストから選ぶので間違いが生じにくいのですが、直接、テキストで手入力する場合は“12A”“12K”“12U”“12e”“12o”と入力しなくてはなりません。

※ 時間入力の桁数を4桁に増やすのが簡単そうですが、HASPの入力のフォーマットが変わることや、XMQ配列によるデータチェックの仕組みを変えることになり、プログラム変更が大きくなります。

※ ACLD_HEX15では1分単位の計算も可能なようにプログラムしていますが、実際は、ガラス窓での熱取得には時間遅れを見込んでいないことや、熱応答係数をA1、A2の2項で近似していることなどを考慮すると、10分間隔程度の計算までにとどめておくのが良いかと思います。

補2 ACLD_HEX15 と NewHASP の計算細部での違い

- ACLD_HEX15 では 60 分以下の時間間隔での計算ができます。一方、NewHASP では ACLD_HEX15 にない色々な計算機能があります。例えば、多室計算、壁面緑化、AFW などの窓が扱えるなどです。これらの機能の違いは本書(0) 導入編の p4 表 1 に比較してあります。また、本書の随所で解説しています。
- また、NewHASP では壁面緑化により表面熱抵抗が変わるとか、ガラス窓では U、SCr、SCr の値が変更されますが、これらは入力データ項目にあるので結果に違いが生じることは分かると思います。
- ここでは、同じ条件で計算した積もりでも結果が微妙に異なる、これは物性値や解法や計算手順などによるものですが、これらについて以下にまとめておきます。

1) 物性値の違い

- ACLD_HEX15 と NewHASP で、同じ種類や同じ材料でも物性値が若干異なることがあります。
- 例 1) 8mm 透明ガラス ACLD_HEX15 $U=5.35\text{kcal}/(\text{hm}^2\text{K}) \doteq 6.22\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$, $SCr=0.92$, $SCc=0.02$
NewHASP $U=6.3\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$, $SCr=0.784$, $SCc=0.079$
- 例 2) 普通コンクリート ACLD_HEX15 $\lambda=1.2\text{kcal}/(\text{mhK}) \doteq 1.395\text{W}/(\text{mK})$, $Cp=462\text{kcal}/(\text{m}^3\text{K}) \doteq 1934\text{kJ}/(\text{m}^3\text{K})$
NewHASP $\lambda=1.4\text{W}/(\text{mK})$, $Cp=1930\text{kJ}/(\text{m}^3\text{K})$

2) ガラスの内表面熱伝達率の輻射成分比

- ACLD_HEX15 では内表面熱伝達率 $[\text{kcal}/(\text{hm}^2\text{K})]$ は 対流 3.5、輻射 4.5 で、輻射成分比は 4.5/8 一律です。
- NewHASP でも基本は ACLD_HEX15 と同じですが、一部のガラス（主に内側に膜面があるもの）やブラインドがある場合に輻射成分比に補正が入ります。（⇒本書(3)理論・基本編 p.12）（NewHASP/ACLD 操作マニュアル）

3) 熱応答の解法

- ACLD_HEX15 の応答係数の求め方は、参考資料②) そのものです。NewHASP でも基本は同じですが、応答係数を求める最後のところ、逆ラプラス変換で A_1 、 A_2 の係数を求める反復計算が部分的に改良されています。
- ACLD_HEX15 では A_1 を決め、次ぎに A_2 を求めるのですが、NewHASP では、 A_1 を求め（ここまでは同じ）、次ぎに A_2 を反復計算で求める際に、 A_1 と A_2 を同時に修正しています。
- 反復計算での修正法が異なるので、応答係数の解も若干ですが変わります。
 - HASP の応答係数を求める時に希にエラーが起きることがあります。反復計算中の数値誤差原因かと思えます。NewHASP はこれを回避するための修正です。なお、1985 年に HASP/ACLD/8501 を公開して以来、筆者の知る限りエラーが起きたのは数回です。

4) 蓄熱応答係数における室の熱容量の扱い

- 蓄熱応答係数は、室を構成する壁体の吸熱応答ですが、これに室の熱容量が組込まれます。元々の HASP/ACLD/8501 では、室の熱容量を蓄熱応答係数の伝達関数に組み込みます。NewHASP/ACLD では、これを改善して、室の熱容量に時間遅れを考慮した無次元ステップ吸熱応答が組込まれており、これを蓄熱応答係数の伝達関数に反映させます。
- この室の熱容量の扱いによる結果への影響は先の 1)2)3) よりも大きいと言えます。なお、ACLD_HEX15 には元々の HASP の方法の他に、NewHASP/ACLD と同じ方法が使えるオプションを用意してあります。

5) 除去熱量および室温湿度の計算アルゴリズム

- 熱平衡式は ACLD_HEX15 も NewHASP も同じですが、計算アルゴリズム（解き方や解く手順）が異なります。
- ACLD_HEX15 は、本書の 3 章と 4 章で解説したとおり、1 つ 1 つステップを追って計算しています。
（先ず室の自然温湿度を求めます。室温湿度が設定値の上下限を超えると、室温湿度を設定値の上下限に固定して除去熱量を求めます。除去熱量が装置容量を超えると除去熱量を装置容量の値に固定して室温湿度を求め直すという計算アルゴリズムです。元は 1 つの熱平衡式ですが、条件によって非線型となるので、条件に合わせて式の形を変えつつ解いています）
- NewHASP も熱平衡式は同じで、室温湿度の上下限や装置容量の制約などがある非線型方程式であることも同じです。条件に合わせて係数の与え方を変え、反復しつつ方程式を解くという方法です。多数室の場合はより複雑な連立方程式になります。これで解くと、例えば、運転停止中の除去熱量が 0 にならず微妙な数値誤差がでます。誤差と言っても 6 桁目以下の微少な誤差です。NewHASP/ACLD の結果の出力は固定小数で、有効数字は 4~5 桁なので、誤差は結果に表れません。
- NewHASP.2 では、結果を有効数字 7 桁の浮動小数で出力しています。これでグラフを描くと停止中の除去熱量が 0 にならずおかしいグラフになってしまいます。これを避けるために、運転停止中（フラグで分かる）の時は、強制的に 0 を出力するように修正しています。

※室温湿度と書きましたが、HASP では温度（顕熱）と湿度（潜熱）は独立に解いています。

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¥)

Ver. 20220202-0707 版から Ver. 20220202-1111 版で追加した内容

- ・ 4 章 ピークモードの計算
旧版 (Ver. 20220202-の 0707) の解説はやや簡略でしたので、丁寧な説明にしました。
 - ・ 6 章 冷房負荷重み係数 と 蓄熱応答係数
旧版 (Ver. 20220202-0707) では、結果の伝達関数のみを 5 章の最後に 1 ページで示していました。これを、室内放射伝熱の基礎式から始め、伝達関数の解を求め、逆変換して最終的な重み係数と応答係数に至るまでの解説に加えしました。更に、時刻毎に変化する要素を蓄熱応答係数に補正するまでの一連のプロセスを 4 ページに亘って解説しました。この 6 章を独立した章としました。
 - ・ 用語 (冷房負荷重み係数、蓄熱応答係数、照明の重み係数) を統一しました。
-
- ・ 本書の執筆者 猪岡達夫 (元中部大学)

HASPinp は、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。
 なお、HASPinp の公開の際に全てをシステック研究所に移管しています。
 ただし、移管後も、HASP の講習会の資料をまとめながら、ボランティアで HASPinp のメンテを猪岡が継続して行っています。

