

熱回路数値解析法による自然空調に関する研究

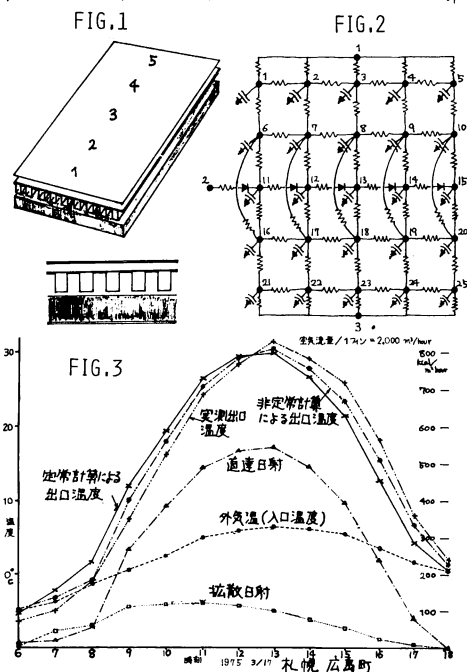
正会員 木村建一 * ○岡 奥山博康 **

1. はじめに。太陽熱集熱器の数値モデルとして定常からさらに非定常のモデルを仮定するとともに熱システムすべての汎用プログラムを作成した。次に同じ手法により自然空調の家のシステムシミュレーションを行って各サブシステムの有知性を調べてみた。

2. 計算法。非定常熱伝導微分方程式 $\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{C_p \delta} (\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2})$ を適用する対象を有限要素に分割し、これをそれぞれ節点とみなす。j 節点に注目しこれに熱的に接続している節点を一般に i 節点とすれば $(mC_p)_j \frac{dT_j}{dt} = \sum C_{ij}(T_i - T_j) + H_j$ と書き換えられる。(mCp)_j は j 節点の熱容量であり、C_{ij} は i から j に向かう熱コンダクタンス、H_j は j 節点で自ら発生する熱である。実際には節点が流れてゐる流体を表わす場合を静止しているとみなし熱だけの流れと考へた。たとえば i 節点から j 節点に定圧比熱 C_p、比重 ρ、流量 V で流体が流れているとすれば C_{ij} = C_p ρ V となる。後進差分表示した式 $((mC_p)_j \Delta t + \sum C_{ij}) T_j - \sum C_{ij} T_i = (mC_p)_j \Delta t H_j$ から得られる方程式 [C]・T = H は汎用プログラムによって機械的に作製、解くことができる。すなわち求めるべき未知数となる節点のグループに順に番号をふり、かつ温度が与えられるような節点のグループに別々に順に番号をふるのである。回路形態、回路素子の変化しないう場合には [C]⁻¹ を求めて記憶しておくことにより計算時間を短縮することもできる。回路の形態が運転モードによって変化する場合にはクロネッカーデルタを使用することにより対処した。以下に回路図は電気的にアナログした記号をもちて表わした。

3. 集熱器について。ここでいう太陽熱集熱器とは空気加熱形式のものであり某工場の換気予熱用として製作、実験された。この数値モデルとして2通り作製した。1つは上述の方法でありもう1つはコンベンショナルな定常計算である。定常計算とは熱媒について流れ方向の微分方程式を立て、これに入りこんでくる他の層の未知数を裏立てた方程式の逆行列を使って消去して積分を行うものである。Fig. 1 は集熱器の1つのユニットであって実物ではこれを7つ並列に7つ連らなつてゐる。Fig. 2 はこの集熱器を回路図にアナログしたものである。節点11から15は熱媒としての空気流が流れてゐるために熱として一方通行であるからダイオードを回路素子としてアナログしてある。1から5までは前面のガラス、6から10までは吸収板、16~20は背後の断熱材の表半分、21~25はその裏半分をそれぞれ水流方向に分割してわけた。6から16、7から17のようにとんで結線してあるのは吸収板裏と断熱材表面との相互放射熱交換があるからである。Fig. 3 はこれらの結果である。この計算法により実測値とのタイムラグを定常計算にくらべて15分ほど縮めることができた。すなわち日射は垂直南面全日射量から、Liu & Jordan の近似式により直散分離を行った。

実測値と完全に一致しなかつた原因は簡単にわかるものではないが、実物は7つ並列された集熱器の出口部をダクトで継ぎ、中央部からファンで吸上げているから、風量の不均一とそれに相対する煙突効果により何らかの全体として蓄熱作用を持つようになりこれが残りのタイムラグ15分を占めているのではないかと思ふ。



4. 自然空調の家において、同じ計算法を自然空調の家のシステムシミュレーションに適用して各サブシステムの有効性について調べてみた。サブシステムとしては主に3つ考えてみた。1つはFig.5の断面図にあらわされるような空気加熱集熱器とこれによって加熱された空気が通過してあいたまま2重格子配列水んが積みの蓄熱材である。2つめはFig.6によってあらわされるウォーターバグシステムである。これはプラスチックの袋に入らされた水が屋根と天井を兼ねて置かれ、その外部側でコントロールパネルによって日射、熱流の制御を行うのである。冬期においては昼間に日射によってあいたためられたウォーターバグは夜間、天井輻射で室内を暖房する。夏期は夜間輻射でウォーターバグを冷し昼に輻射冷房をみるむ。もう一つはFig.7のようにコンクリート屋根スラブの上に回転ルーバーをつけて日射、熱流の制御を行いウォーターバグ同様の効果を期待するサブシステムである。

これらを図にアナログしたもののがFig.8である。節点2, 3, 4, 5はレンガ積みを上下方向に4分割してうける、2いる。Fig.9, 10は種々の運転モードによって運転した例のいくつかを抽出したものである。上の方には日射量、下には外気、室温、環境温度をえおいた。環境温度は室温4割、MRT 6割で評価する環境指標である。

ここに載せた運転タイプAはサブシステムをフルに使った形態である。つまりコレクターで集熱可能と計算した時はレンガをあいたためたこれを夜間に放熱させる。さらにウォーターバグにおいてコントロールパネルを閉鎖し、コンクリート屋根スラブにおいて回転ルーバーを閉鎖する。タイプBはタイプAにおいて蓄熱を省き直接室内を暖房するようにしたものである。以上のようなシミュレーションによってウォーターバグタイプのサブシステムは非常によい効果をおくことがわかった。一方、マッスグはコンクリートと回転ルーバーを組み合わせたサブシステムは全く効果がなかった。もし改良しようと思うならルーバーの断熱性を上げコンクリートスラブを薄くしてトラップされた熱が有効に室内側へ流れるようにすべきであろう。

5. 結語。全体としてプログラムの細工に凝中してしまつて熱的分析と評価がおろそかになってしまつた感じがある。本質的には面倒な式の扱いを省いただけでよいのであるが熱システムの構造と見通し、おぼろけなりや、簡単に解けるようにおぼろけと自分では思ふ。

— 参考文献 —

"Modeling of Solar Heating and Air Conditioning" Solar Energy Laboratory Univ. of Wisconsin Madison
31 January 1973

* 早稲田大学教授・工学博士 ** 清水建設株式会社・研究所

