熱供給時の GHS ハウスエネルギー収支　―室温上昇過程における熱の流れ―

鉄建建設（株）　正会員　○藤　拓也*
福井大学工学部　正会員　福原輝幸**
鉄建建設（株）　熊井和雄*

1. はじめに

二酸化炭素の排出抑制とエネルギー節約型のライフスタイルが 21 世紀に望まれる一方で，快適な生活に対する要求は留まることがない．この両者を同時に解決するためには，環境に優しい未利用エネルギーを利用していくことが必要である．その一つである地中熱は，地域偏在性の少ない有望なエネルギーである．本システムは，掘削杭熱交換方式(Bore-hole Heat Exchange System, BHES)により採取した地中熱を屋根融雪と室内空調に利用するものである．既報では省エネルギー型の Ground Heat Source House(GHS ハウス)の冬期における室内温度測定について報告した[1)]．

そこで本論文では，GHS ハウスのエネルギー収支に着目し，室内，天井および床のエネルギー収支について検討を行った．

2. 地中熱源ハウスの概要

地中熱源ハウスは福井大学構内に設置され，Fig. 1 のように，BHES, ヒートポンプ(H.P.)およびハウスで主に構成される．ハウスは, 内壁を断熱材(発砲スチロール 100mm)により高断熱とされたもので, 熱交換パイプを配置した厚さ 6cm のコンクリートパネルが床および屋根に用いられる．各パネル表面積は 6.48m^2，総合壁面積 18m^2，総合窓面積は 3.6m^2 である．ヒートポンプは地中熱を熱源とする水冷式である．GHS ハウスは 18℃～24℃に自動制御される．温度測定は，ハウス内部鉛直方向に８点，天井と床パネル内部鉛直方向に７点とし，熱電対を用いて行われた．

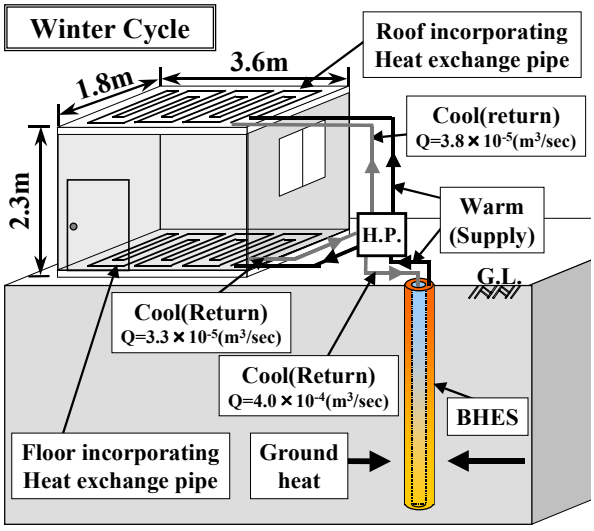

Fig. 1　Ground Heat Source House

3. GHS ハウスのエネルギー収支に関する検討

天井および床パネルのエネルギー収支は，単位時間当たりの熱交換パイプからパネルへの供給エネルギー E_{pipe}，パネル底部を横切るエネルギー E_b，パネル頂部を横切るエネルギー E_t およびパネルの内部エネルギー変化量 ΔU_{panel} で規定され，次式で表される．

$$\Delta U_{panel} = E_b + E_t + E_{pipe} \quad (1)$$

$$\Delta U_{panel} = (\rho c)_c V \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

$$E_{pipe} = (\rho C)_{water} Q (T_{water.in} - T_{water.out}) \quad (3)$$

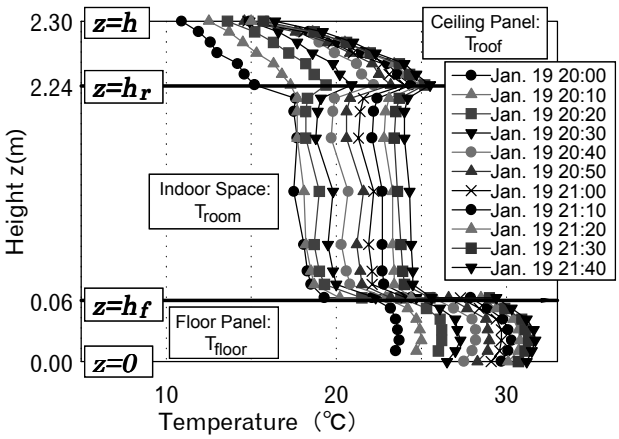

Fig. 2　GHS ハウスの温度鉛直分布

ここで，パネル境界を横切るエネルギー E_b および E_t は次式で計算される．

キーワード：BHES，GHS ハウス，ヒートポンプ，地中熱，熱移動
* 〒286-0825　千葉県成田市新泉 9-1　TEL 0476-36-2359　FAX 0476-36-2380
** 〒910-8507　福井県福井市文京 3-9-1　TEL 0776-23-0500 (2809)　FAX 0776-27-8746

床パネル　$E_b = -A\lambda_c \left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{z=0}$　$E_t = -A\lambda_c \left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{z=hf}$　(4)

天井パネル　$E_b = -A\lambda_c \left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{z=hr}$　$E_t = -A\lambda_c \left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{z=h}$　(5)

ここで，$(\rho c)_c$ ：パネルの体積熱容量(J/m^3K)，V ：パネルの体積(m^3)，T :パネル内部の温度(K)，A :パネルの表面積(m^2)，λ_c ：パネルの熱伝導率(W/mK)，$(\rho c)_{water}$ ：流体の体積熱容量(J/m^3K)，Q ：パネル内流体流量($m^3/\sec$)，$T_{water.in}$ ：パネル入口の流体温度(K)，$T_{water.out}$ ：パネル出口の流体温度(K)である．

一方，ハウス室内の単位時間当たりの内部エネルギー変化量 ΔU_{room} は，単位時間当たりに天井パネルと室内の間を移動するエネルギー E_{roof}，床パネルと室内の間を移動するエネルギー E_{floor}，壁を貫流するエネルギー E_{wall}，窓を貫流するエネルギー E_{window} および漏気に伴う顕熱エネルギー E_{air} で規定され，次式で表される．

$$\Delta U_{room} = E_{roof} + E_{floor} + E_{wall} + E_{window} + E_{air} \quad (6)$$

ここでエネルギー連続条件より，E_{roof} は天井パネルの E_b に，E_{floor} は床パネルの E_t にそれぞれ等しい．

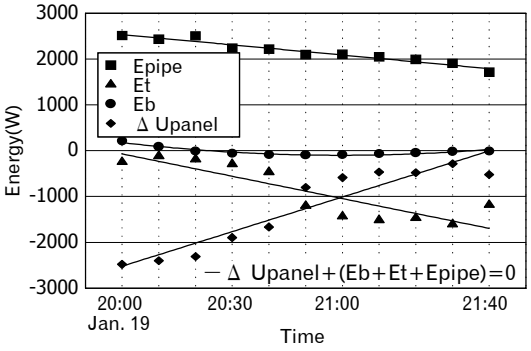

Fig. 3　天井パネルエネルギー収支

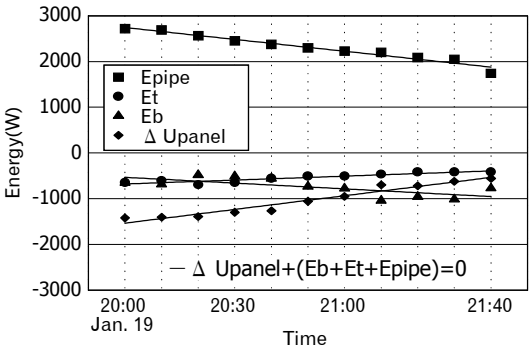

Fig. 4　床パネルエネルギー収支

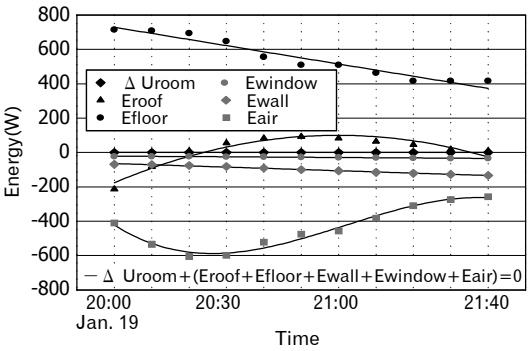

Fig. 5　室内エネルギー収支

4. 結果および考察

Fig. 2 はヒートポンプが作動している間の GHS ハウスの温度鉛直分布の経時変化を示す．室内の高さは 1/10 の縮尺で表わされる．床パネルの温度 T_{floor} は，熱供給前から室温 T_{room} より高く，床パネルから室内に向かうエネルギー輸送がある．一方，天井パネルの温度は底部($z = hr$ ：室内頂部高さ)から頂部($z = h$ ：ハウス高さ)に向かって単調低下しており，ヒートポンプ作動開始前には室内から天井パネルへ向かうエネルギー輸送が生じる．しかしながら，ヒートポンプが作動すると天井パネル内の熱交換パイプ周辺温度が上昇して，天井パネルから室内へ向かうエネルギー輸送に変わる．室内は，床および天井の両者からエネルギーを受け，床から天井近傍まで T_{room} の昇温の時間変化率は同程度となり，T_{room} は一様となる．

今後，室内温熱環境のシミュレーションを実施するにあたり重要となるのが，パネルおよび室内のエネルギー収支である．Fig. 3 は天井パネルのエネルギー収支であり，実線は計測値の近似を表す．天井パネル底部を横切るエネルギー E_b は時間の経過につれて正から負，すなわちパネルから室内へ向かうエネルギー輸送に変わる．天井頂部を横切るエネルギー E_t は常に負であり，時間とともにこのエネルギー損失は大きくなる．

Fig. 4 は床パネルのエネルギー収支であり，実線は計測値の近似を表す．床パネル頂部および底部を横切るエネルギー E_t，E_b は常に負であることから，恒常的に床パネルから室内，および室外へのエネルギー輸送が生じている．特に，床パネルの昇温につれて絶対値 $|E_b|$ は増大しており，改善すべき点と言える．

Fig. 5 は室内のエネルギー収支であり，実線は計測値の近似を表す．室温の上昇は主に床からのエネルギー供給によることがわかる．一方，ハウスのエネルギー損失に注目すると，E_{window} および E_{wall} は E_{air} よりも小さく，室温低下の最大の要因は気密性である．

今後は，以上の結果をふまえて室内空調の数値シミュレーションを行っていきたい．

最後に，BHES の利用に際してはミサワ環境技術株式会社の協力を得た．記して謝意を表します．

参考文献　1) 洪　淵清･福原輝幸：地中熱源ヒートポンプによる屋根融雪と暖房負荷軽減，土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集第 7 部，PP.516-517, 2000