

サンシャイン計画による長期土中蓄熱の研究 (その2)

サンシャイン研究グループ

Study on Long-term Underground Heat Storage as a Part of the Sunshine Projects (Part 2)

Sunshine Research Group

Abstract

This report outlines second-year experimental results on long-term underground heat storage. Referring to the first year's results the system was improved by connecting solar collectors directly with an underground heat storage coil, by using a heat pump as an auxiliary heater instead of an electric heater, by minimizing circulation pump capacities to reduce electric power consumption, etc. The underground heat storage operation in the second year was from September 11 to December 13, 1981, while the heating operation was from December 30, 1981 to February 28, 1982. These operations made it clear that there was still room for improvements on the system although almost 100% of solar heat collection could be charged underground in heat storage and the combination of solar collectors and ground-source heat pump was practical for heating. This paper briefly reports also on the measurement results of soil around the experimental house regarding its thermal characteristics.

概 要

前報に引き続き垂直型蓄熱コイルを用いた長期土中蓄熱の実験結果について報告する。前年度の実験によって一次蓄熱槽を省き土中コイルと太陽熱集熱器を直結することにより土中投入効率(土中投入熱量/集熱量)が改善されること、補助熱源として土中蓄熱を熱源としたヒートポンプが使用可能なことおよびポンプの小型化によって搬送動力を低減できることなどが判明したため、これらの点について改造工事を行なった。システムの運転は昭和56年9月11日より12月13日まで土中蓄熱運転を行ない、昭和56年12月30日より昭和57年2月28日まで太陽熱と土中蓄熱(床暖房+ヒートポンプによる熱回収)の組み合わせによる暖房運転を行なった。この結果土中蓄熱効率は大幅に改善され、太陽熱と土中蓄熱の組み合わせによる暖房運転も実用上支障のないことが判明した。しかし土中蓄熱に関し、なお改善の余地があることも分かった。また実験施設付近の土の熱的諸物性に関し調査を行なったのでその結果についても報告した。

1. はじめに

前年度の実験によって土中蓄熱による長期蓄熱及び暖房補助熱源としての土中蓄熱利用ヒートポンプの実用性が明らかとなった。本年度は前年度により判明した改良点に関するシステムの改造工事を行ない本格的な土中蓄熱及び土中蓄熱回収、暖房実験を行なうと共に、土中における熱挙動解析のための実験棟周辺の土のサンプルを採取し、その熱的諸物性につき年4回にわたって調査した。以下実験の概要及び土の物性値測定結果について

報告する。なお本研究は通産省工業技術院からの委託研究であり、サンシャイン計画の一環として行なわれたものである。研究を行なうにあたり御支援いただいた通産省工業技術院サンシャイン計画推進本部の方々に深く感謝の意を表すものである。

2. システムの改造

2.1. 土中蓄熱システムの改造

中間期の余剰熱を効率良くしかも最小のランニングコストで土中に蓄熱するために一次蓄熱槽を省き太陽熱集

熱器と土中コイルを直結することによって集熱器で集熱した熱を直接土中へと送り土中蓄熱効率(土中投入熱量/集熱量)の高効率化を計ると共に集熱ポンプと蓄熱ポンプを一台のポンプで兼用させることによって搬送動力の低減化を可能とした。(図-1参照のこと)。

2.2. 熱回収専用土中コイルの増設

建物直下の土中コイルから外周部へ逸散した熱を回収するため熱回収専用の土中コイルを建物外周部に埋設した。この回収コイルを用いて既設の土中コイルから熱回収不能なまでに拡散した熱をどの程度回収できるか検証を行なった。(図-2参照のこと)。

2.3. 暖房一次システムの改造

補助熱源として二次蓄熱槽内に電気ヒーターを取付けたが、前年度の実験によって土中蓄熱を熱源とするヒートポンプのみで十分に補助熱量を確保できることが明らかとなったため、電気ヒーターを省き太陽熱と土中蓄熱(床暖房+ヒートポンプによる熱回収)の組み合わせによる暖房方式とした。(図-1参照のこと)。

2.4. 擬似負荷装置の製作

現在の建物の空調面積は約50m²と小さいため、一般の2階建住宅(延床面積100m²)に生じる暖房負荷を作り出し一次側と二次側システムの正常なる反応を可能とすべく既設ファンコイルユニットの他に擬似負荷装置(2階建一船住宅に生ずる仮想の暖房負荷をマイクロコンピューターによって算出し、この負荷から既設ファンコイルユニットに生じた実際の負荷を差し引いた分を外気との熱交換により擬似的に作り出す装置)を製作し、ファンコイルと並列に連結して設置した。

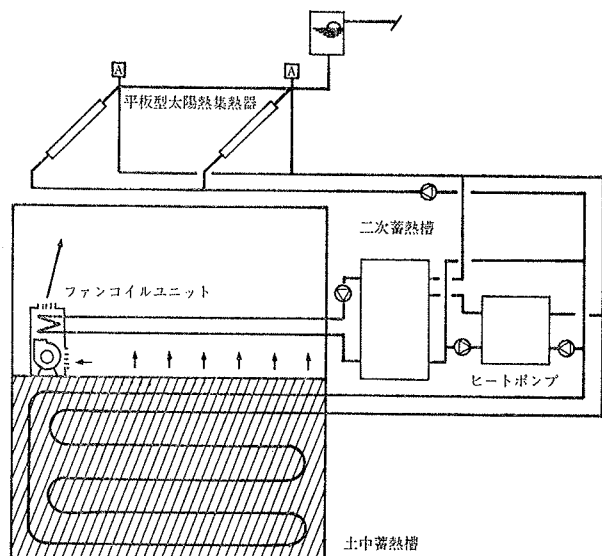


図-1 改造後のシステム系統図

3. 運転結果と考察

本年度の土中蓄熱運転は昭和56年9月11日より開始し同年12月13日まで約3ヶ月間行なった。表-1に各月の熱収支を、図-3, 5, 6に運転結果の一部を示す。前年度と異なり一次蓄熱槽を介せず集熱量を直接土中へと投入したため土中投入熱量は日単位で集熱量の95~100%に達した。集熱効率も集熱温度が20~40℃と低いため50~70%の高効率を示した。集熱ポンプの総消費電力量は94.4kWhであり土中投入熱量1Mcalに要する搬送動力は約20wとなった。土中蓄熱運転は本年度においてほぼ最適化されたものと考えられる。ただし、制御方式に関しては集熱ポンプの発停を太陽熱集熱器内集熱板温度と土中コイル内水温にて行なうことが可能であり次年度においてはこの方式にて制御の簡易化を計る予定である。

暖房運転は昭和56年12月30日より開始し昭和57年2月28日まで約2ヶ月間行なった。表-2に各月の熱収支を、図-4, 7, 8に運転結果の一部を示す。太陽熱集熱器及び土中蓄熱を熱源とするヒートポンプにより二次蓄熱槽内に熱を蓄え(槽内平均水温40~50℃)、ファンコイルユニット及び擬似負荷装置への熱供給を行ない、予定通り負荷の100%をまかなうことに成功した。二次供給熱量(実験棟内暖房負荷+擬似負荷)はトータルで2.97Gcalとなり一次供給熱量(集熱量+ヒートポンプ供給熱量)5.62Gcalの53%が有効に利用された。残りの47%は配管、蓄熱槽からの放熱及び凍結防止運転により失われたものと考えられる。集熱系を密閉式としたことによって生じた凍結防止運転によるヒートロス又は集熱量の15%に達し、メンテナンス及び経済性を考慮すれば落水式の方が有利と考えられ次年度においては落水式にて実験を行なう予定である。システムからのヒートロスの主たる原因は外置の蓄熱槽でありこれを室内に設置し

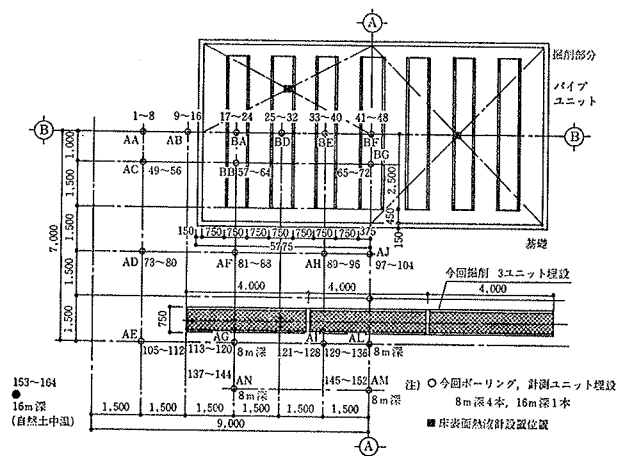


図-2 熱回収専用土中コイルの増設

月	熱量 集熱面 日射量	集熱量	土中投入 熱量
昭和56年 9月	1853.6	1273.9	1279.0
〃 10月	3225.2	1952.1	1932.5
〃 11月	2562.7	1329.0	1313.0
〃 12月	1441.7	276.0	271.0
合計	9083.2	4831.0	4795.5

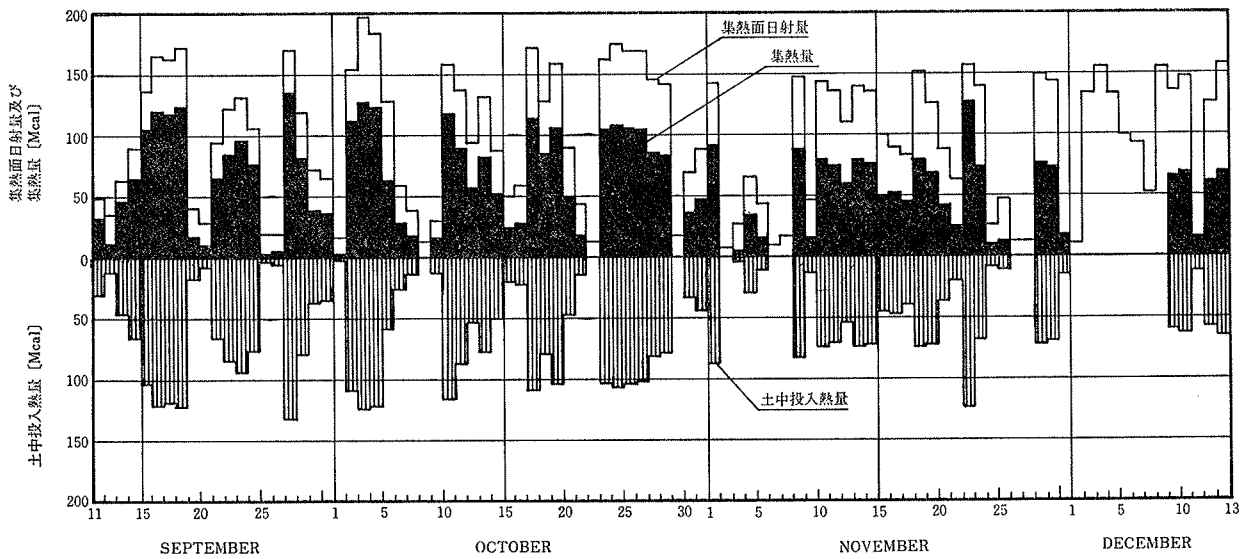
[単位：Mcal]

表一 土中蓄熱時における各月の集熱面日射量、集熱量および土中投入熱量

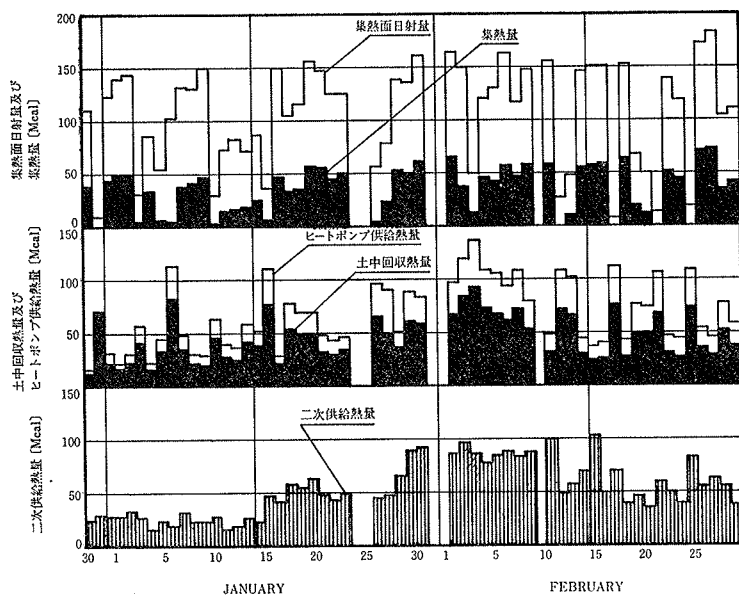
月	熱量 集熱面 日射量	集熱量	土中回 収熱量	ヒートポン プ供給熱量	二次供 給熱量
昭和56年12月	118.8	36.6	62.0	85.0	53.5
昭和57年 1月	2929.2	886.8	1085.4	1543.9	110.1
〃 2月	2769.5	1005.3	1378.4	2062.9	1802.5
合計	5817.5	1928.7	2525.8	3691.8	2966.1

[単位：Mcal]

表二 暖房時における各月の集熱面日射量、集熱量、土中回収熱量、ヒートポンプ供給熱量および二次供給熱量



図一三 土中蓄熱時における熱収支の日変化 (昭和56年9月11日～昭和56年12月13日)



図一四 暖房時における熱収支の日変化 (昭和56年12月30日～昭和57年2月28日)

て蓄熱槽からの放熱量が直接室内に還元されるようにするか、土中蓄熱槽に短期蓄熱槽としての役割をさせる

など打開策を検討中である。配管からのヒートロスも無視できず配管長を極力短かくすると共に室内側に配管を設置することで改造を行なう予定である。なお、ヒートポンプの成績係数は暖房期間平均で約3.0となった。土中蓄熱による床暖房は今回の実験では期待できなかったが床表面における熱収支は暖房期トータルで-76 Mcalとなり床下へのヒートロスが大幅に減少することが確認された。土中蓄熱槽(床下4mの土中コイルが埋設されている部分)内温度は10月末の時点においてピークに達し(25~30℃)、以後熱の投入にもかかわらず降下し土中蓄熱終了時には20~25℃となった。これは土中コイルの埋設密度が粗いために投入熱量が拡散し易いこと、土中温の上昇と共に土中蓄熱槽から床表面、周辺土壌への逸散熱量が増大すること、冬季に近づき外気温が低下し従って周辺土壌への逸散熱量も増大することなどの原因により生じたものと考えられる。次年度においては、土中蓄熱による床暖房

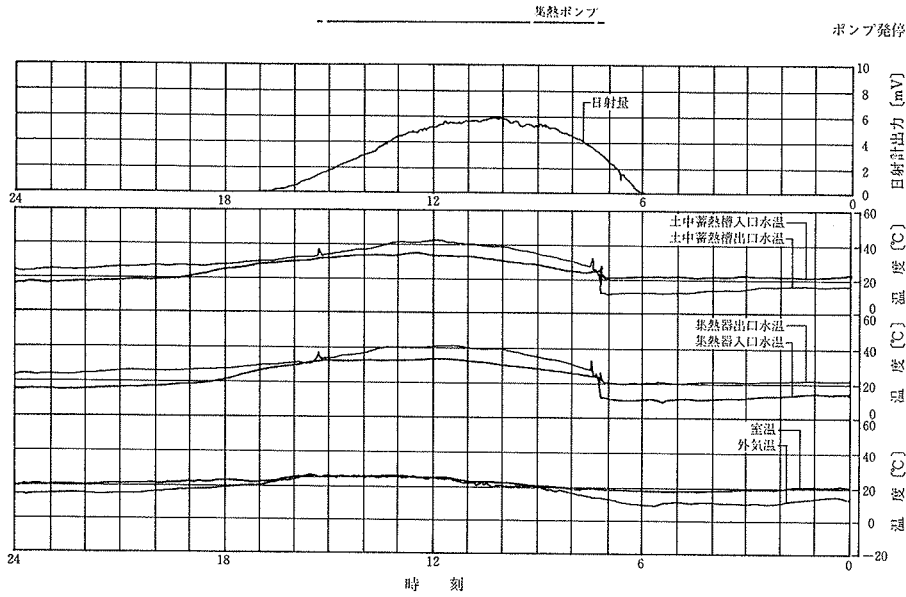


図-5 蓄熱時における運転状況の一例 (昭和56年10月19日)

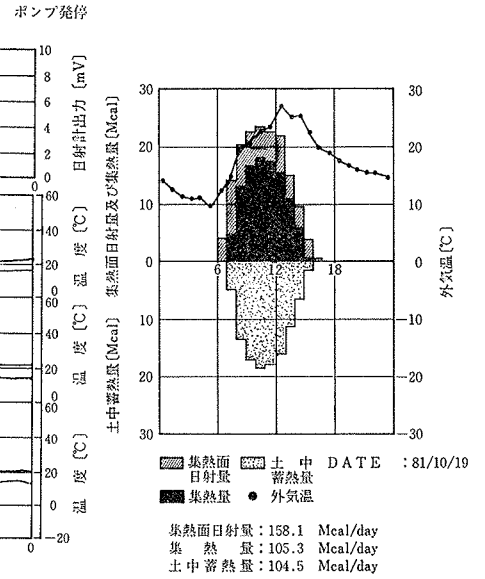


図-6 蓄熱時における熱收支の一例 (昭和56年10月19日)

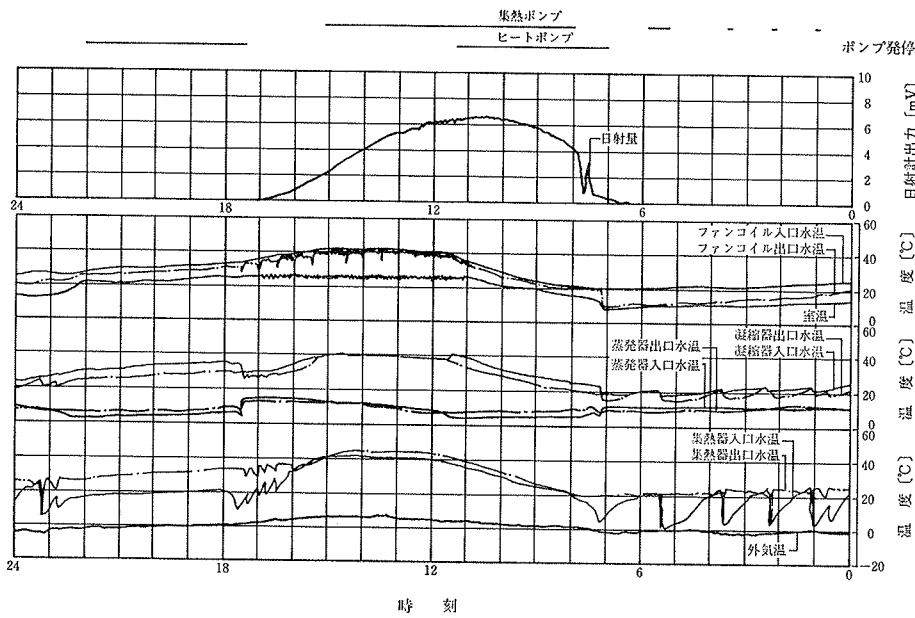


図-7 暖房時における運転状況の一例 (昭和57年1月30日)

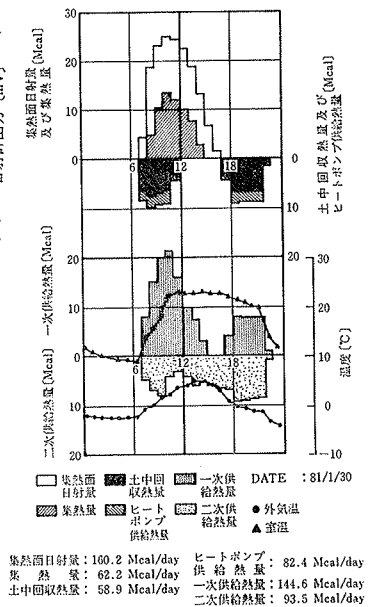


図-8 暖房時における熱收支の一例 (昭和57年1月30日)

項目 回数(時期)	密度 (g/cm ³)	重量含水率 (%)	熱伝導率 (kcal/mh°C)	比熱 (kcal/kg°C)	熱拡散率 (m ² /h)
第1回 (昭和56年7月)	1.22	122	0.54	0.67	7.5×10 ⁻⁴
第2回 (昭和56年12月)	1.26	129	0.55	0.64	6.7×10 ⁻⁴
第3回 (昭和57年1月)	1.26	130	0.60	0.64	7.4×10 ⁻⁴
第4回 (昭和57年2月)	1.29	123	0.61	0.64	7.4×10 ⁻⁴
平均	1.26	126	0.58	0.65	7.3×10 ⁻⁴

表-3 土の物性値測定結果

を可能とすると共に土中蓄熱槽内温度を上げるため、第一に土中蓄熱時期を早めることにより土中コイル周辺土壌の温度を上げ冬季における土中蓄熱槽から周辺土壌への熱の逸散を防ぐ、第二に土中蓄熱後期においては床下中心部の土中コイルのみを用いて蓄熱を行ない槽内温度を高く保つと共に太陽熱により室温を25℃に保ち床表面から室内への熱の逸散を防ぐ、第三に断熱壁の工夫により周辺土壌への熱の逸散を防ぐか、建物周辺の地表面に断熱層を設け周辺土壌の温度を上げるなどの方策を講じること検討中である。昭和56年度囲中蓄熱による投入熱量は4.83 Gcalで蓄熱終了時における土中蓄熱槽内蓄熱量は投入熱量の31% (約1.5 Gcal) となった。上述の方策を講ずるならば長期土中蓄熱効率(土中蓄熱量/土中投入熱量)は40%以上になるものと推定される。冬季ヒートポンプによる土中からの総回収熱量は2.52 Gcalで総投入熱量の68%に達したがヒートポンプは補助熱源であり、できる限り用いない方が良く、次年度は床暖房を中心とした土中蓄熱の有効利用を極力計ると共に補助熱源として用いるヒートポンプについてはその成績係数の極大化(4.0程度)を可能とする方向で運転方式の変更及びシステムの改造を行なう予定である。なお、55年度暖房運転終了時より56年度蓄熱運転開始時までにおける周辺土壌から土中蓄熱槽への流入熱量は約1.5 Gcalであり、槽内土中温度分布は蓄熱運転開始時において周辺土壌の自然土中温度分布より2~3℃低い値を示した。

熱回収専用コイルについては2月20日より運転を開始したが、土中蓄熱槽の残余熱量の存在する高温域と若干ずれている(高温域の直上部分には土中コイルヘッドがあるため掘削、埋設が不可能であった。)ためはかばかしい回収効果を得ることができなかった。蓄熱コイルと回収コイルを分離する方法は土の熱拡散率が小さい場合かなり難しく、また今回の実験システムのように蓄熱コイル埋設部分において十分に暖房のための蓄熱容量が確保されている場合においては蓄熱、回収を兼ねた土中コイルにより運転を行なう方がのぞましく、断熱壁により

土中蓄熱槽外に熱が逸散しないようにする方が得策と言えよう。

4. 土の物性値の測定

土中蓄熱システムの熱的特性は土の物性により大きく左右される。このため本実験施設付近深さ2.5mの位置における土のサンプル(関東ローム)を採取し、その熱的諸物性(密度、含水率、熱伝導率、比熱、熱拡散率)の測定を行なった。表-3にその測定結果の一部を示す。この結果からこの深さにおける土の熱的物性は季節的にほぼ一定と考えられること、土中における熱挙動を決定する熱拡散率は $7.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{h}$ 程度であることなどが判明した。次年度においては土の熱的物性の深さ方向による変化および経時変化などについて更に詳しく調査する予定である。

5. おわりに

2年にわたる実験によって暖房用熱源としての土中蓄熱の実用性が明らかとなった。今後の課題は実用化に当たって必要とされる設計法(土中蓄熱槽の熱的な性能を解析できる計算プログラム)及び経済的な施工方法を確立することにある。次年度においては、これらの点につき更に詳しい検討を行なう必要がある。

なお、本研究は次の研究メンバーによって行なわれたものである。田中辰明、宮川保之、斎藤隆雄、岡 建雄、安江 進、渡辺真知子(以上技術研究所)、酒井寛二、宮崎友昭、蜂須賀舜治(以上本社建築本部 設備部、設備設計部)

参考文献

- 1) 田中辰明、宮川保之、斎藤隆雄、岡 建雄、安江進他：サンシャイン計画による長期土中蓄熱の研究(その1)、大林組技術研究所報、No. 25、(1982)、pp. 151~156

(文責 安江 進)