

# サンシャイン計画による長期土中蓄熱の研究 (その3)

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 Project (Part 3)

Sunshine Research Group

### Abstract

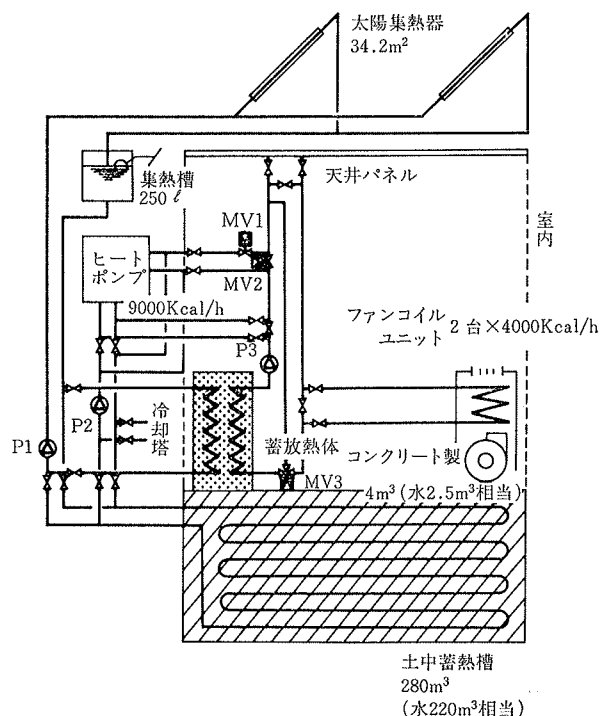
This report outlines the results of third-year experiment on long-term underground heat storage. To improve COP of the heat pump, heating panels were installed in place of ordinary water storage in order to prevent heat loss from the solar system, and solar heat collected was directly stored in this storage through heat exchanger. Since all of the heat loss from the storage was released to the room, the rate of utilization of solar heat was improved by that amount. The mean COP of the heat pump during the winter season reached above 4.0 owing to low temperature (around 30°C) of water supplied to heating panels.

### 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。昭和57年度は土中蓄熱を更に効率よく利用するために二次側システムを天井パネルによるふく射暖房方式とし温水温度を下げることによってヒートポンプのCOP向上を計った。また、ソーラーシステムからのヒートロスを極力防ぐことを目的として従来の水蓄熱の代りにコンクリートを蓄熱媒体とした蓄放熱体を室内に設置し、太陽集熱器によって捕集した太陽熱を熱交換コイルを介して直接蓄放熱体に蓄えた。これにより蓄放熱体は蓄熱槽としての役目も果たし従来問題となっていた蓄熱体からのヒートロスの大半はすべて室内に還元されるため太陽熱の利用率はその分改善された。ヒートポンプのCOPも天井ふく射パネルへの供給水温が50°C前後とかなり低いために暖房時平均で4以上の高効率を示した。

### 1. はじめに

本年度は二次側システムを天井ふく射パネルによる暖房方式とすることによって二次側利用温水温度を下げ、土中蓄熱槽からの回収水温との温度差を縮めもってヒートポンプのCOPの改善を試みた。また、従来から問題となっていたソーラーシステムの蓄熱槽からのヒートロスを極力防ぐことを目的としてコンクリートを蓄熱媒体とした蓄放熱体（蓄熱槽としての役目と放熱器としての役目を兼ねる）を室内に設置し、太陽集熱器により捕集した太陽熱を直接蓄放熱体すなわち室内側に送ることによって蓄放熱体からの放熱を積極的に暖房に利用できるシステムに改造した。土の熱的性質についても昨年度に引き続き計測を行なった。本年度は土の諸物性のうち熱伝導率に焦点を絞り季節、天候の変化による土中における土の熱伝導に与える影響について調査・検討を行なった。以下に本年度の実験概要につき詳述する。なお本研究は新エネルギー総合開発機構からの委託研究として実施されたものである。



図一 システム系統図

## 2. システムの改造

図-1に本年度改造後のシステム系統図を示す。土中蓄熱はいままでどおり太陽集熱器と土中蓄熱槽を直結して集熱量を土中に投入した。暖房時には太陽集熱器と蓄放熱体を直結し集熱した太陽熱を直接室内へ導入して蓄放熱体に蓄熱することにより蓄放熱体表面からの放熱および土中蓄熱による床暖房によって室内の暖房を行ない、蓄放熱体からの放熱では十分でない場合には熱交換コイルを介して蓄放熱体から熱回収し天井パネルによるふく射暖房を行なった。曇天日が続く太陽熱が利用できない場合には土中蓄熱を熱源としてヒートポンプを運転し天井パネルおよび蓄放熱体に熱を補給した。図-2には天井パネルの取付位置、図-3には蓄放熱体の設置位置を示す。それぞれの詳しい仕様については図-4、図-5を参照されたい。また、冬季太陽集熱器内における熱媒の凍結防止のため図-1に示した集熱槽を集熱器内の熱媒を夜間に落水できる開放式システムとした。なお、実験棟は平屋建のプレハブ建物であり、延床面積 70 m<sup>2</sup> (空調面積 50 m<sup>2</sup>, 機械室の専有面積 20 m<sup>2</sup>) である。写真-1に建物の外観を示す。

## 3. 運転結果と考察

土中蓄熱運転は昭和57年9月12日より開始し同年11月13日まで行なった。本年度も昨年同様集熱量の95%~100%が土中に投入された。集熱温度は15~30℃と低いために土中蓄熱期間トータルで土中投入熱量は集熱面日射量の60%に達した。集熱効率も開始時80%以上あったが終了時には30%前後に降下した。土中蓄熱終了時において土中蓄熱槽内中心部におき30℃前後の熱核が形成された。総投入熱量は2.8Gcalである。暖房運転は昭和58年12月17日より開始し同年2月28日まで行なった。土中からの熱回収および太陽熱の組み合わせによる暖房運

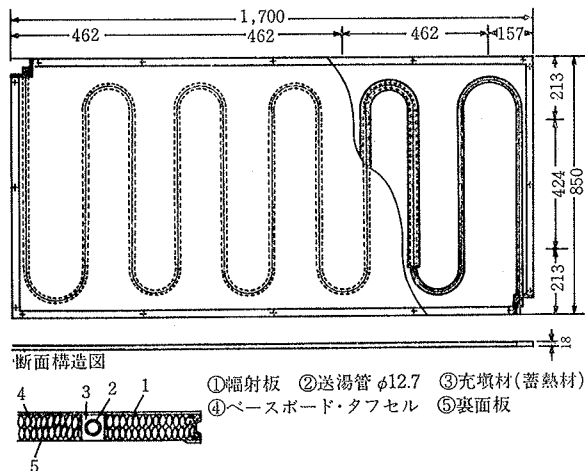


図-4 天井パネル詳細

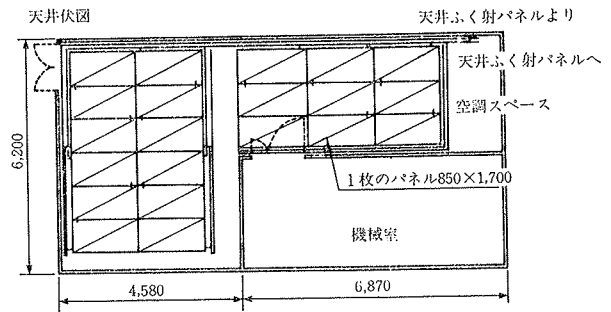


図-2 天井パネル取付位置 (天井伏図)

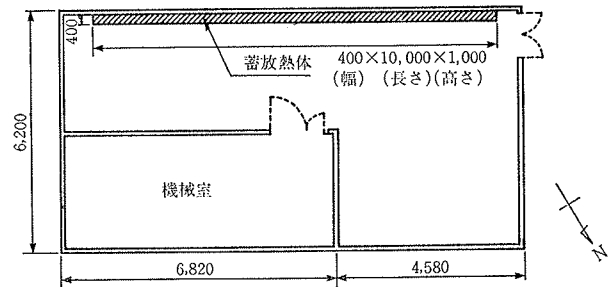


図-3 蓄放熱体設置位置 (平面図)

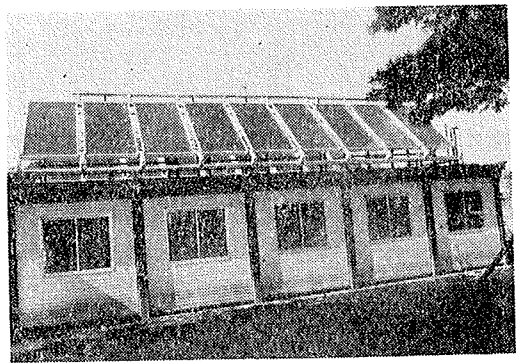


写真-1 建物外観

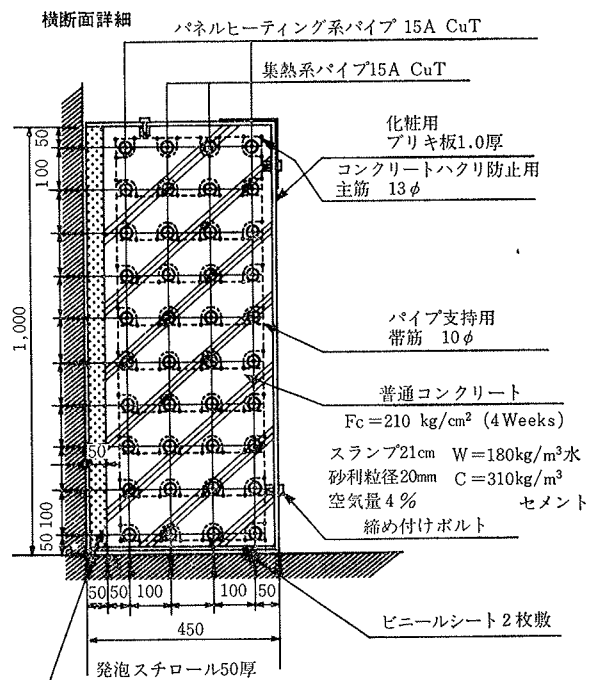


図-5 蓄放熱体詳細 (断面図)

転は予定どおり進行し実験棟内暖房負荷の100%をまか  
 になった。運転時刻は午前8時より午後10時まで日中に集  
 めた太陽熱を蓄放熱体に蓄えこれによりふく射暖房を行  
 なうと共に補助熱源として土中蓄熱を熱源としたヒート  
 ポンプを用いた。暖房期トータルで集熱量 2.23 Gcal, ヒ  
 ートポンプ供給熱量 0.48 Gcal, 蓄放熱体および天井パ  
 ネルから室内への放熱量はそれぞれ 1.40 Gcal, 0.61  
 Gcal または床表面における熱収支は暖房期トータルで  
 はほぼゼロとなった。ヒートポンプの COP は天井ふく射  
 パネルへの供給水温が30°C前後とかなり低いために暖房  
 時平均で4以上の高効率を示した。晴天日蓄放熱体表面  
 温は16時前後において最高温度(35~40°C)に達し暖房  
 終了時においても30°C前後に保たれた。曇天日におい  
 てもかなりの放熱量があり前日の蓄熱分を翌日にわたって  
 有効に利用できることが確かめられた。土中蓄熱による  
 床暖房に関しては顕著なる効果を期待できなかったが暖  
 房の行なわれない夜間および曇天日において室内に向  
 う熱流が観測された。図-6, 7には晴天日, 曇天日にお  
 ける暖房時の熱収支および室内温度分布を示す。晴天日  
 においては太陽熱の集熱によって蓄放熱体表面温が急上昇  
 し午後4時から5時にかけてピークに達しその温度は40  
 °Cを越え午前0時においても35°Cに維持されている。蓄

放熱体表面温の上昇と共に室温も上昇し午後4時には28  
 °Cに達した。グローブ温度も上昇してはいるものの壁面  
 温, 窓ガラス表面温が低くその影響を受け蓄放熱体表面  
 温に比べ2°C程度低くなっている。床表面温はなかなか  
 上昇せず午後6時前後に最高に達した。集熱量のピーク  
 と室温のピークとの間にはほぼ5時間の遅れが生じてい  
 る。蓄放熱体からの放熱量は夜間においてもかなりの量  
 に達し, その結果室温の低下は緩慢に推移し午前0時  
 においても18°Cに保たれている。床表面温は日中で室温  
 より低いが夜間では逆に高くなり, 床表面から室内へと向  
 う熱流が観測された。曇天日においては蓄放熱体内に供  
 給される熱がなく蓄放熱体表面温は次第に低下してい  
 る。暖房開始時における室温は設定温度18°Cより低いた  
 め天井パネルによるふく射暖房が開始されて以後室温  
 は18°Cに保たれた。この時蓄放熱体の温度が低く熱回収  
 が不可能となったため土中蓄熱回収によるヒートポンプ  
 運転によって天井パネルには熱が供給されている。この  
 日のヒートポンプの COP は 運転時間が長期間にわた  
 ったため3.2と暖房期平均以下の値を示した。床表面温は  
 室温より常に高く床表面より室内に向うかなりの熱流が  
 生じた。蓄放熱体表面よりは次第に低下してはいるもの  
 の一日中室内へ放熱が続いている。本年度は昨年度まで

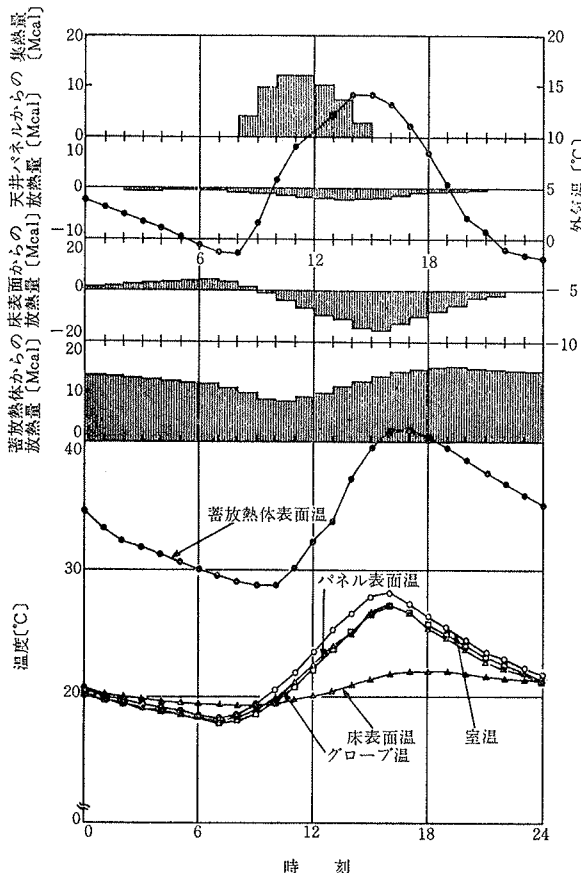


図-6 暖房時における熱収支および室内温度分布 (晴天日, 昭和58年1月28日)

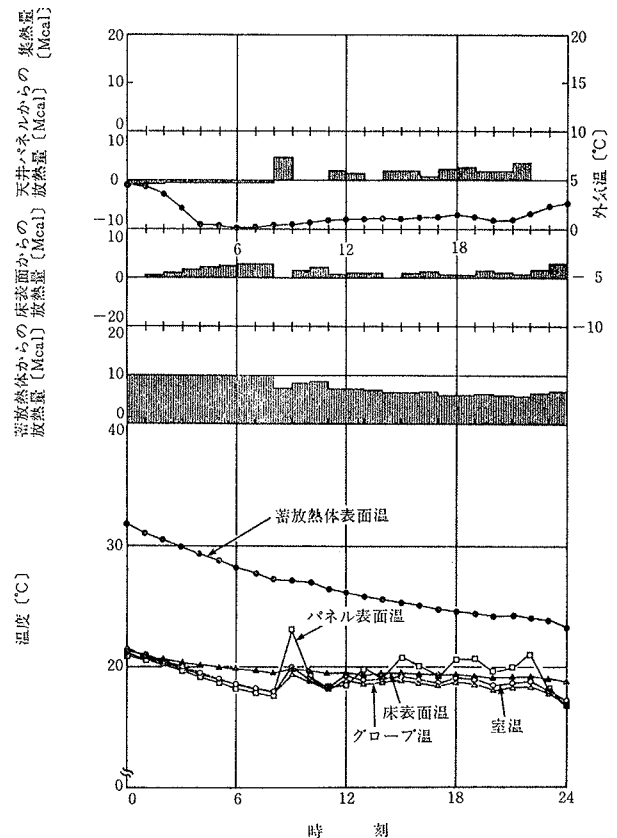


図-7 暖房時における熱収支および室内温度分布 (曇天日, 昭和58年2月17日)

の調査結果をふまえ土の諸物性値のうち熱伝導率に焦点を絞ってその季節、天候状態による深さ別の変動について調査・検討を行なった。従来より熱伝導率の測定は土壌サンプルを切り出して行なうのが一般的であるがそれでは自然状態時の熱伝導率はなかなか得にくい。そこで今回はセンサーを土中深さ 0.5 m, 2.0 m の地点に埋設し熱線法型熱伝導率計を用いて測定を行なった。また、土の密度、含水率についても本調査中に数回にわたり土壌試料を直接サンプリングし計測を行なった。サンプリングは土中深さ 0.5 m, 1.25 m および 2.0 m の地点から行なった。なお本実験施設付近の土質は土中深さ 0.7 m 前後までは腐植土、0.7~7.0 m が関東ローム、それ以下は砂れき層が続いている。表-1 には熱伝導率の季節変動を示す。計測は昭和58年1月10日より1~2週間の間隔で行なった。土中深さ 0.5 m の腐植土は外乱(外気温、日射、降水等)の影響を受け易く、熱伝導率の値も 0.57~0.67 W/m・K のバラツキがみられた。土中深さ 2.0 m の関東ロームは外的影響を受けにくく、熱伝導率もほぼ一定で 0.68 W/m・K 付近の値を示した。表-2 には、採取土壌の密度の測定結果を示す。土中深さ 0.5 m の腐植土の密度は 1.28 g/cm<sup>3</sup> 程度であった。また土中深さ 1.25 m および 2.0 m の関東ロームは共に 1.28~1.30 g/cm<sup>3</sup> 程度でほぼ一定の値を示した。表-3 には採取土壌の含水率の測定結果を示す。土中深さ 0.5 m の腐植土の含水率は 85% 程度であった。また、土中深さ 1.25 m および 2.0 m の関東ロームはともに 130% 程度でほぼ一定の値を示した。

4. おわりに

3年にわたる実験によって暖房用熱源として土中蓄熱の実用性が明らかとなった。土中への熱投入は集熱温度が20~40℃と比較的低くかつ中間季(秋季)の外気温も冬季に比べ高いため集熱量の大半、集熱面日射量の60%程度期待でき、回収量も次第に低下するものの長時間にわたって連続的に回収運転でき、太陽熱利用できない場合の補助熱源として十分その役目を果たすことが確かめられた。土中蓄熱による床暖房は土中蓄熱時における土中槽内の到達温度が30℃と低くその顕著な効果を期待できなかったが、床からのヒートロスとはゼロとなった。またヒートポンプのCOPは二次側システムを輻射暖房方式

測定月日	熱伝導率 (W/m・K)	
	① 0.50 m	② 2.00 m
(昭和58年)		
1.10	0.616	0.678
1.20	0.617	0.681
2. 4	0.567	0.691
2.22	0.673	0.679
3. 5	0.577	0.692
3.12	0.672	0.655
3.22	0.614	0.692

表-1 熱伝導率の測定結果 (季節変動)

採取ケース	平均密度 (g/cm <sup>3</sup> )		
	深さ0.50 m	深さ1.25 m	深さ2.00 m
第1回(昭和58年2月22日)	欠測	1.33	1.39
第2回(昭和58年3月5日)	1.23	1.23	1.23
第3回(昭和58年3月12日)	欠測	1.29	1.28
第4回(昭和58年3月22日)	1.32	1.28	1.28

表-2 採取土壌の平均密度

採取ケース	平均含水率 (%)		
	深さ0.50 m	深さ1.25 m	深さ2.00 m
第1回(昭和58年2月22日)	欠測	132	128
第2回(昭和58年3月5日)	86	132	136
第3回(昭和58年3月12日)	82	127	134
第4回(昭和58年3月22日)	86	130	125

表-3 採取土壌の平均含水率

とし温水温度を下げることによって改善され本年度の実験では冬季平均で4以上の値を示した。

本研究は本年度にて終了するが、課題として残る土中蓄熱槽の熱的性能の解析については本研究とは別に引き続き検討を行ない、解析プログラムの開発を行なう予定である。

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、岡 建雄、小宮英孝、安江 進、岩波 洋、渡辺真知子(以上技術研究所)、酒井寛二(以上本社 建築本部 設備部)、蜂須賀舜治、宮崎友昭(以上本社 建築本部 設備設計部)。

(文責 安江 進)