

# サンシャイン計画による長期土中蓄熱の研究 (その1)

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 1)

Sunshine Research Group

### Abstract

A study of long-term underground heat storage has been going on at the Technical Research Institute of Ohbayashi-Gumi Ltd. since April 1980 as one of a series of studies on solar heating, air conditioning and water-supply system research and development under the Sunshine Project. This study is aimed at developing technology for heat storage by which surplus heat in spring and autumn is stored underground and drawn for use in winter. The experiment was performed with vertical heat storage coils. This report briefly outlines the experimental system, the measuring system and the results of system operation. The experiment for this year consisted of preliminary operation, but the possibilities for underground heat storage and auxiliary heating by use of a ground-source heat pump unit were confirmed.

### 概 要

昭和55年4月よりサンシャイン計画「太陽冷暖房および給湯システムの研究開発」の一環として、大林組技術研究所において土中蓄熱の研究を開始した。本研究の目的は、太陽冷暖房・給湯システムに生ずる春秋の余剰熱を土中に蓄え、冬季の暖房に利用する蓄熱技術を開発し、太陽熱の有効利用率を高めると共に省エネルギー化を計り、もって太陽冷暖房・給湯システムの実用性の向上を実現させることにある。本研究のため技術研究所内に垂直型蓄熱コイルによる土中蓄熱システムを建設した。本論文は、この実験システムの設備概要および昭和55年10月より昭和56年2月にわたって行なった土中蓄熱・回収運転の結果について報告するものである。本年度の実験は、初年度の予備的な運転であったが、土中蓄熱による長期蓄熱および地熱利用ヒートポンプ暖房システムの可能性については満足できる結果が得られた。

### 1. はじめに

現在の冷暖房給湯用ソーラシステムにおいて、コレクターにより集められた太陽熱は夏季は冷房・給湯用熱源として、冬季は暖房・給湯用熱源として利用することができる。しかし、春秋において集められた熱は給湯用熱源として利用できるだけで剰余となる。この太陽熱を何らかの方法で長期間蓄熱し、夏季・冬季に有効に利用することができるならば、システムの太陽熱依存率は大幅に改善されるであろうし、また冬季日射量の少ない地域においても夏季において集めた太陽熱を長期蓄熱することによって冬季利用することが可能となる。太陽熱の長期蓄熱の方法としては、顕熱蓄熱、潜熱蓄熱、化学反応利用などの方法が考えられるが、いずれも現在ではまだ研究開発の段階である。顕熱を利用した長期蓄熱の方

法としては、水による蓄熱、土中への蓄熱等があるが水による蓄熱は巨大な蓄熱槽が必要となるために実用的ではない。後者の土中への蓄熱は特に建物と一体化した場合には床下のぼう大な土の熱容量をそのまま利用することができる利点がある。土中蓄熱方式は、適当な位置に断熱壁を設けない限り、蓄熱・回収過程における土中遠方への熱の逸散により高い回収効率は望めない。また蓄熱温度が低いためにヒートポンプを利用せねばならないなど制約がある。しかし、システムが簡単に建設コストが安い点も見逃せない。我国におけるこれまでの土中蓄熱システムの研究としては、工学院大学中島研究室による一連の基礎的研究とこれを実際のソーラーハウスに適用した熱核方式による実証的研究<sup>1)</sup>、建設省建築研究所による土中蓄熱槽上下に集放熱板を設置し、年間の蓄熱・蓄冷効果を利用するソーラーファウンテン方式<sup>2)</sup>な

どが上げられる。

図-1 に実用化の可能性のあると思われる土中蓄熱方式を示す。図-1 (b)の放熱体埋設方式は、パイプあるいは放熱板を水平多段に土中に埋設するものである。季節により利用する段を自由に変えることができるため、年間を通して蓄放熱の運転をする上できわめて有効な方式である。しかし、パイプあるいは放熱体を埋設する場所を一度に掘削する必要があるため、蓄熱槽が大規模になるに従って掘削土の保管の煩雑さと建設コストの上昇の問題が生じてくる。図-1 (c)の放熱体垂直埋設方式は、ユニット化したパイプあるいは放熱体を垂直に埋設するものである。この方式では、一つのユニット毎に土の掘削、埋設をくり返して行なうことができるために土の掘削量は少なくて済み、工事コストが低減されると共に敷地に余裕のない場所においても施工が容易になる。しかしながら、年間における土中蓄熱槽の熱的なコントロールに関しては水平埋設方式に比べて多少不利である。

今回、当社がサンシャイン計画の一環として昭和55年4月より開始した通産省受託研究「長期土中蓄熱システムの研究」は、この放熱体垂直埋設方式を用いた土中蓄熱の研究である。本研究の目的を以下に記す。

- 土中蓄熱実験システムを建物と一体化して建設し、長期土中蓄熱・回収運転の実験および数値シミュレーションを行ない、その特性を把握する。
- 土中蓄熱システムの最適設計手法（土中コイルの最適配置、土中蓄熱システムの最適運転方式など）を開発する。
- 土中蓄熱システムの経済的施工法を開発する。

## 2. サンシャイン計画土中蓄熱実験システムの概要

### 2.1. 全体システム

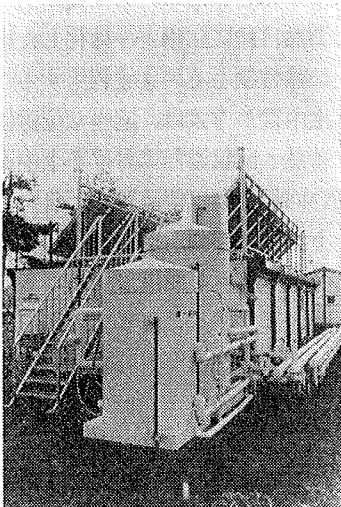


写真-1 実験システム外観

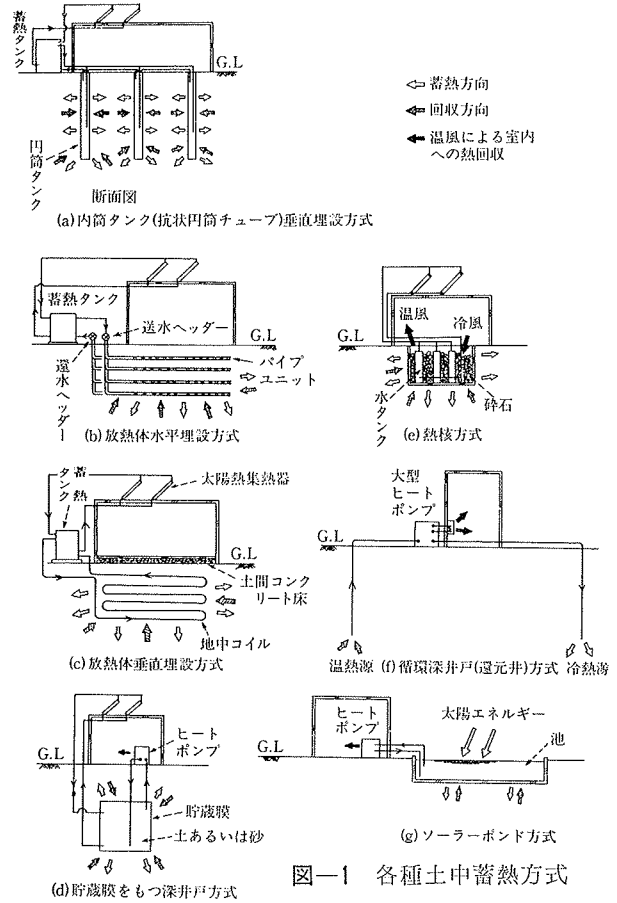


図-1 各種土中蓄熱方式

本実験システムの外観を写真-1 に、系統図を図-2 に示す。本システムの工事は昭和56年6月に着工し、同年9月に終了した。システムの構成は右のようである。

- 一次側システム
  - 太陽熱集熱システム
  - 土中蓄熱システム
  - ヒートポンプによる熱回収システム
- 二次側システム
  - ファンコイルユニットによる冷暖房システム
  - 土中蓄熱による床暖房システム

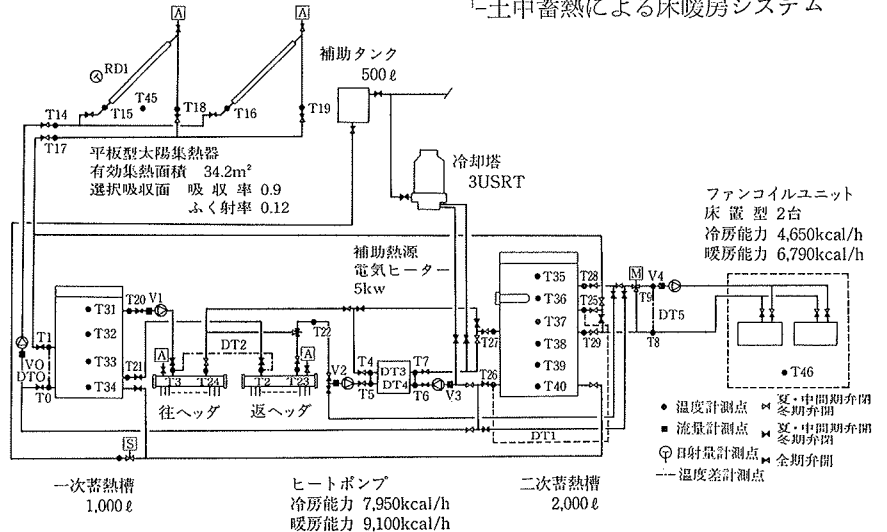


図-2 土中蓄熱実験システム系統図および計測ポイント

● 太陽熱集熱システム

太陽熱をソーラーコレクターによって一次蓄熱槽に蓄えるシステム。平板型集熱器，集熱ポンプおよびこれらを結ぶ配管，弁，計器類よりなる。凍結防止のため，落水制御による開放式システムを採用した。

● 土中蓄熱システム

一次蓄熱槽に集められた太陽熱を蓄熱ポンプにより土中コイルを介して土中に蓄熱するシステム。一次蓄熱槽，土中コイル，土中コイル往還ヘッダ，蓄熱ポンプおよびこれらを結ぶ配管，弁，計器類よりなる。土中コイルは，外径34mmの架橋ポリエチレン製パイプで，図-3に示すように建屋の真下の土中に地表面より深さ4mまで一定間隔80cmを保って垂直つづら折り状に折り曲げられて埋設されている。熱媒は往ヘッダより土中コイルを通して最下部へと送り込まれ，順次上部へと向いながら土中に放熱して返ヘッダへと戻る。写真-2に示した土中コイルユニットが全部で7組，図-4に示した位置に埋設されている。1ユニットには39mの長さのパイプが計4組取り付けられており，全ユニットのパイプ長，容積，内表面積はそれぞれ1,092m，0.72m<sup>3</sup>，99.5m<sup>2</sup>である。

● ヒートポンプによる熱回収システム

土中蓄熱槽からヒートポンプにより熱を汲み上げ，二次蓄熱槽へと送るシステム。土中コイル，土中往還ヘッダ，ヒートポンプ，熱源水ポンプ，温水一次ポンプおよびこれらを結ぶ配管，弁・計器類よりなる。太陽熱で十分に暖房用熱源が確保できない場合のための補助熱源システムである。また，夏季においては冷却塔とヒートポンプを組み合わせることによって冷水を二次蓄熱槽へと供給することができる。

● 二次側システム

二次蓄熱槽，冷温水二次ポンプ，ファンコイルユニットおよびこれを結ぶ配管，弁，計器類よりなる室内冷暖房システムならびに土中蓄熱を直接利用する床暖房システム（土間コンクリート床を通し土中からの熱が室内へと放出される。）よりなる。

2.2. 実験建物

鉄骨プレハブ建物で，土中蓄熱による床暖房が可能のように，床は土間コンクリート構造となっている。建物外周部からの熱損失を防ぐために，基礎外周部にはビニール被膜した50mm厚の発泡スチレンを断熱壁として地表面から90cmの深さまで埋設した。写真-3に断熱壁

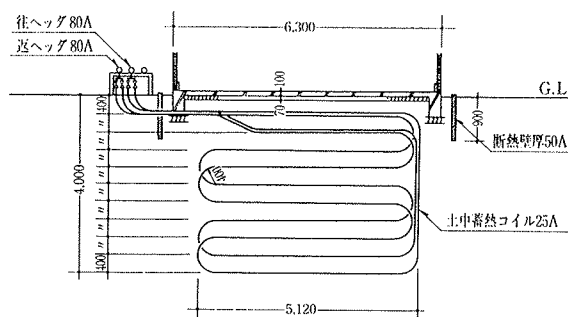


図-3 土中コイル埋設仕様

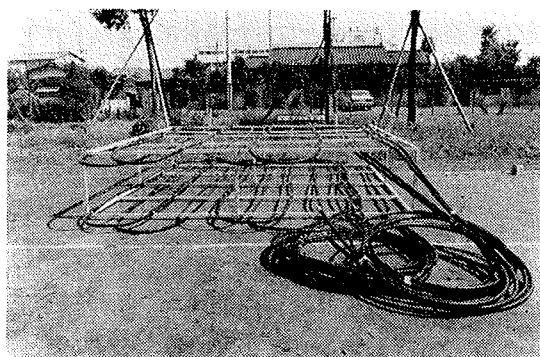


写真-2 土中コイルユニット外観

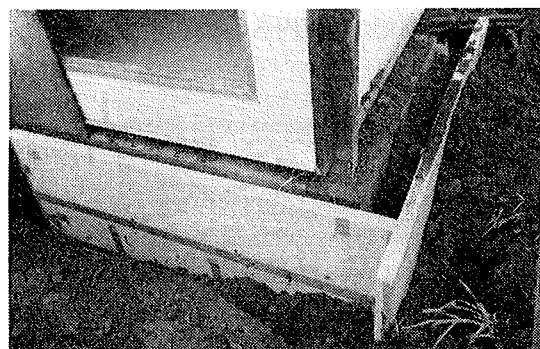


写真-3 建物布基礎外周部への断熱材の埋設

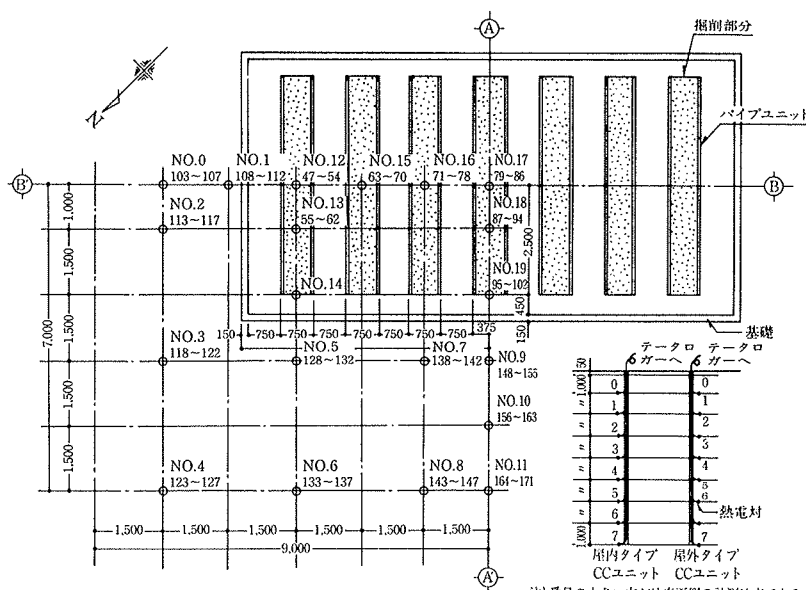


図-4 土中コイルユニット埋設位置および土中温度計測ポイント

の設置工事状況を示す。

### 2.3. 運転制御方式

#### ● 集熱システム

集熱板温度と蓄熱槽下部水温との温度差により集熱ポンプの発停を行なう。すなわち、温度差が3℃以上でON, 0.5℃でOFFする。過熱防止, 凍結防止に対しては, 落水制御による開放システムを採用した。

#### ● 蓄熱システム

一次蓄熱槽内の平均水温が40℃以上になった場合に蓄熱ポンプを起動させ, 土中往返ヘッダの往返温度差が1℃以下となった場合にポンプの運転を停止させる。

#### ● 暖房一次システム

二次蓄熱槽への熱の供給は, 主にソーラーコレクターによって行ない, 槽内平均水温を40~50℃に保つ。補助熱源として熱回収ヒートポンプを用いる。

#### ● 暖房二次システム

室内温度を20℃に保つために, 冷温水二次ポンプ, ファンコイルユニットを作動させ, 二次蓄熱槽から室内へと熱を

供給する。

### 3. 昭和55年度における運転実績

#### 3.1. 土中蓄熱実験

昭和55年10月1日より開始し, 同年12月15日まで行なった。ソーラーコレクターによって集められた太陽熱を一旦一次蓄熱槽に蓄え, 槽内水温が40℃に達した時この熱を土中へと投入した。図-5に集熱面日射量, 集熱量および土中投入熱量の日変化を示す。

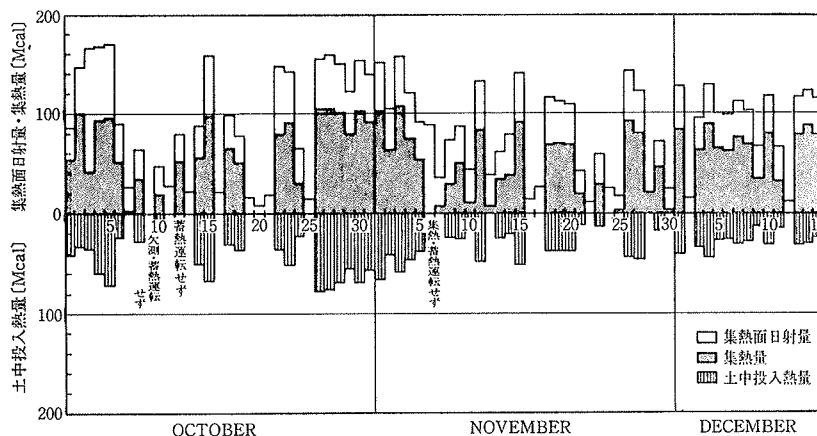


図-5 土中への投入熱量の日変化

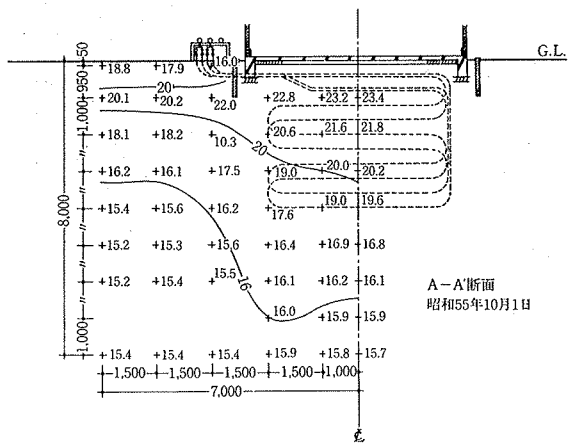


図-6 実測土中温度分布(昭和55年10月1日)

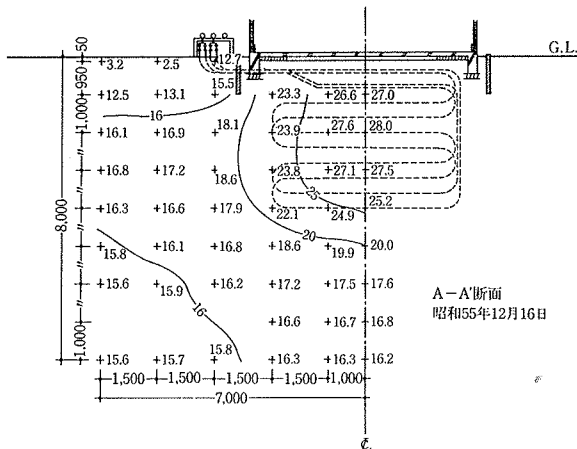


図-7 実測土中温度分布(昭和55年12月15日)

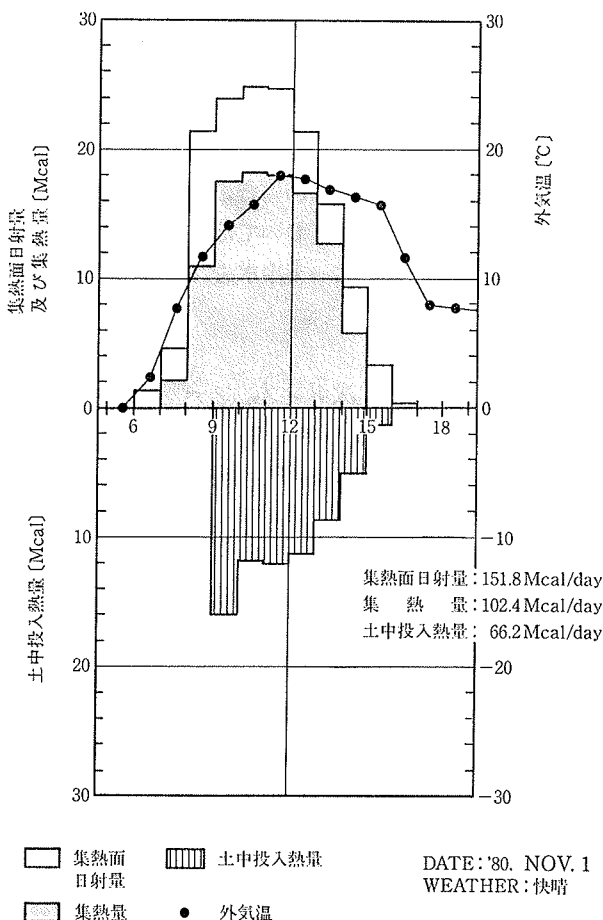


図-8 蓄熱時における一日の熱収支(昭和55年10月15日)

各月の土中への投入熱量は次の通りである。

昭和55年10月	1,012.5 $\mu$ cal
11月	70.3 $\mu$ cal
12月	382.6 $\mu$ cal

総投入熱量 2,098.4  $\mu$ cal

蓄熱運転開始時および終了時における実測土中温度分布を図-6, 図-7, 日単位の熱収支の一例を図-8, 各部水温の時刻変化の一例を図-13に示す。

### 3.2. 土中蓄熱回収実験

昭和56年1月26日より開始し, 同年2月28日まで行なった。回収運転は午前9時より午後5時までを原則とし, 土中からの回収熱を熱源としてヒートポンプを運転することにより二次蓄熱槽に熱を蓄え(槽内水温を40°Cに保つ), ファンコイルユニットを介して建屋の暖房を行なった。ソーラーコレクターは使用せず熱回収ヒートポンプによる暖房を行ない地熱ヒートポンプの可能性についてのみ検証を行なった。図-9に一次回収熱量(土中からの回収熱量), 二次回収熱量(ヒートポンプによる供給熱量)および室内供給熱量の日変化を示す。各月の回収熱量は次の通りである。

	一次回収熱量	二次回収熱量
昭和56年1月	1,015.2 $\mu$ cal	1,347.8 $\mu$ cal
2月	926.1 $\mu$ cal	1,301.5 $\mu$ cal

総回収熱量 1,931.3  $\mu$ cal 2,649.3  $\mu$ cal

回収運転開始時および終了時における日単位の熱収支の一例を図-10, 実測土中温度分布を図-11, 12, 各部水温の時刻変化の一例を図-14に示す。

### 3.3. 実験結果の考察

本年度の実験は, 初年度の予備的な運転ではあったが, 土中蓄熱による長期蓄熱および地熱利用ヒートポンプの実用的な可能性について十分に検討することができた。総回収熱量は1,931.3  $\mu$ calで, 総投入熱量2,098.4  $\mu$ cal

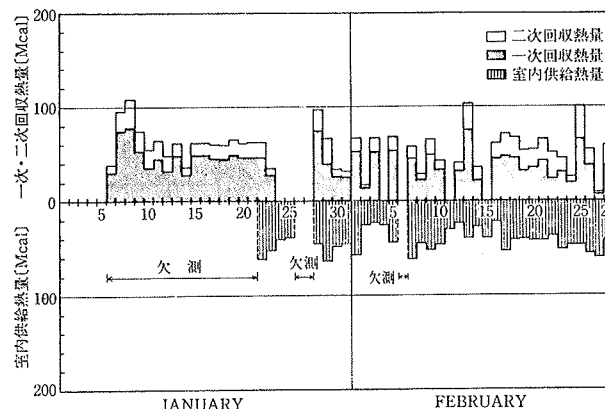


図-9 土中からの回収熱量および室内供給熱量の日変化

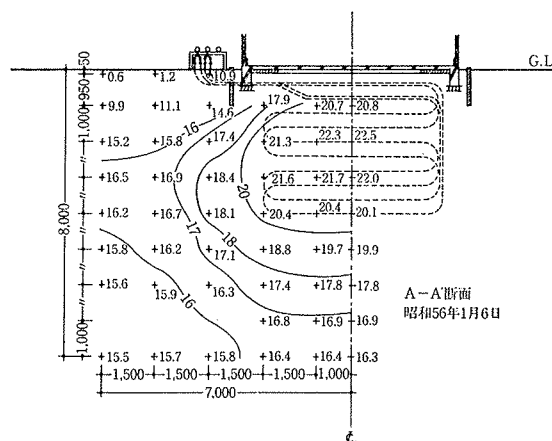


図-10 回収時における一日の熱収支 (昭和56年2月17日)

の92%にも達したが, これは土中に投入した太陽熱の92%が回収されたということではなく, 単にヒートポンプにより回収された熱量が土中に投入した熱量の92%となったことを意味するものであり, ヒートポンプにより回収された熱量の中には土中の本来保有する熱の回収分も含まれている。投入熱量の回収効率は, 床スラブを通して室内へ流入する熱量を除いても40%程度に達するものと推定されるが, 詳しい検討は次年度以降において行な

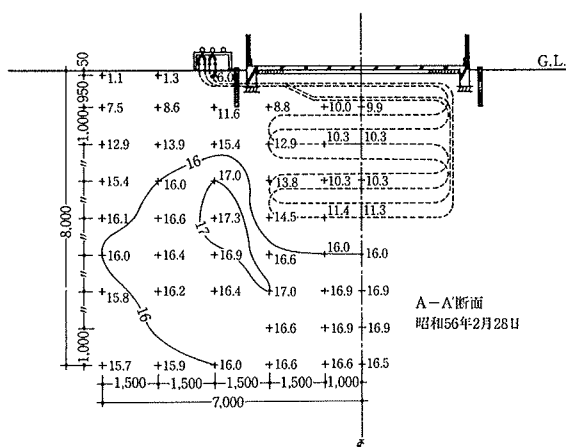


図-11 実測土中温度分布(昭和56年1月6日)

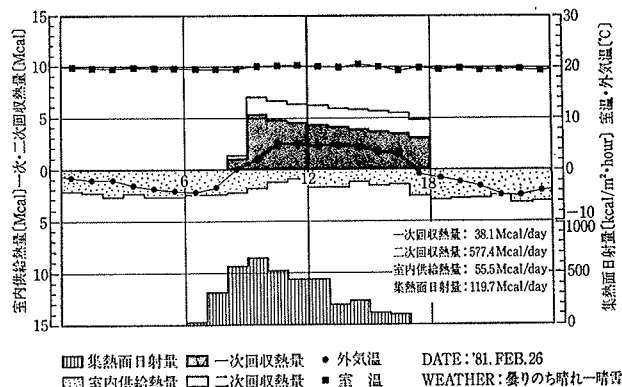


図-12 実測土中温度分布(昭和56年3月1日)

う予定である。

蓄熱運転は、設計どおりで支障なく土中に熱を投入できることが確かめられた。しかしながら、一時蓄熱槽を省き土中コイルとソーラーコレクターを直結して運転する方が効率的かつ経済的であり、この方針で今後システムの改良を行なう予定である。

ヒートポンプによる熱回収も順調に行なわれ、運転が断続するなど回収不能となる状態は生ぜず、また容量源としてその役割を果たすことが判った。

土中蓄熱による床暖房については、暖房開始時における床下温が20℃と低くその効果を期待することはできなかったが、通常の住宅と比較するならば床下へのヒートロス大幅に減るものと推定され、次年度においては熱流計を床表面に設置し、土中蓄熱による暖房効果について定量的な検討を行なう予定である。

断熱壁は、土中の蓄熱効率および床暖房床暖房効果を高める上において非常に重要な要素であると考えられる。しかし今回の実験の土中計測点数ではその熱的な効果を解析できる程のデータが得られないため、今後はコンピューターによるシミュレーション(数値解析)によってその効果について詳しく検討する予定である。

#### 4. おわりに

今回の報告においては、本土中蓄熱実験システムの概要と初年度にあたる昭和55年度の運動実績について述べた。運転計測は次年度以降も行なう予定であり、これらの実験結果をもとにして、一般的な土中蓄熱システムの最適設計手法、経済的な施工法等について研究開発を行なってゆく所存である。

なお、本研究は次の研究メンバーによって行なわれた。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)

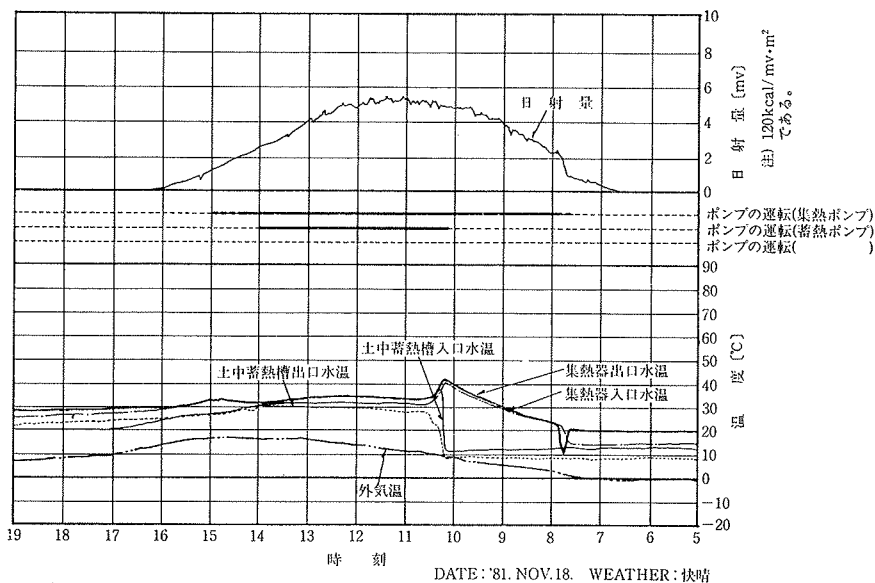


図-13 土中蓄熱時における各部水温、外気温および日射量の時刻変化

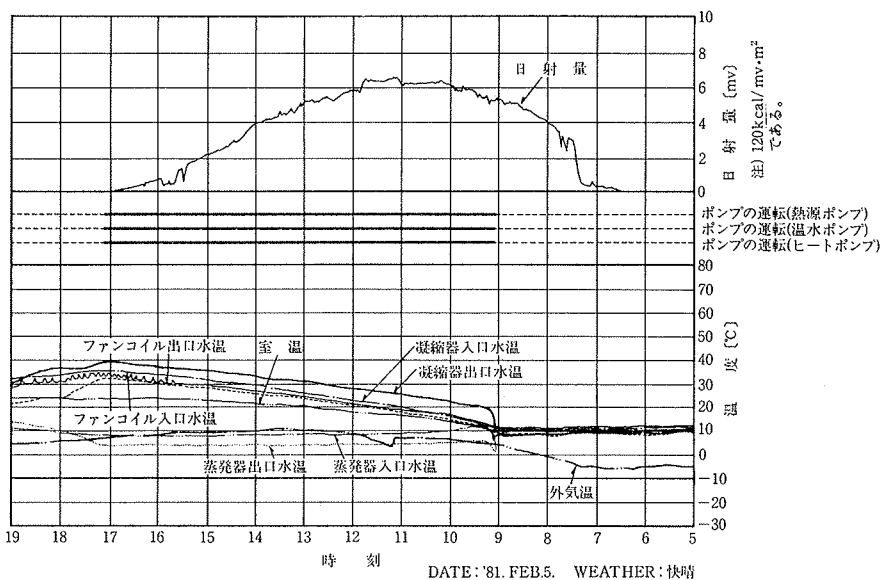


図-14 土中蓄熱回収時における各部水温、外気温および日射量の時刻変化

最後に、本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謝意を表するものである。

#### 参考文献

- 1) 中島康孝: 地中熱利用と土中蓄熱の可能性について, 日本太陽エネルギー学会誌, Vol. 5, No. 1, (1979), pp. 10~20
- 2) 木村建一: ソーラーハウス入門, オーム社
- 3) 田中俊六: 太陽熱冷暖房システム, オーム社
- 4) 回屋高雄: 太陽エネルギーの地中蓄熱による暖房利用, 建築技術, No. 335, (1979. 7), pp. 103~114

(文責 安江 進)