

## 土壌蓄熱システムにおける蓄熱効率について

### Efficiency of a soil heat-storing system.

○築田卓弥, 小野良博, 原 道宏

○Takuya Yanada, Yoshihiro Ono, Michihiro Hara

岩手大学

Iwate University

キーワード： 土壌蓄熱(soil heat-storing), 余剰熱の利用(utility of abundant heat), 熱物性  
(thermophysical properties), 地温分布(distribution of soil temperature),  
蓄熱効率(efficiency of heat-storing), 放熱(heat radiation)

連絡先：〒020-8550 盛岡市上田 3-18-8 岩手大学 農学研究科 農林環境科学専攻 環境制御工学研究室  
築田卓弥, Tel.&Fax.: (019)621-6125, E-mail: [a3206032@iwate-u.ac.jp](mailto:a3206032@iwate-u.ac.jp)

#### 1. はじめに

現在、国内の畜産業において、家畜排せつ物は年間約 9 千万トンもの量が排出されており、法律によって適正な処理が規定され、管理の負担が増している。家畜排せつ物の処理方法の一つとして堆肥化が上げられる。堆肥化時には微生物による有機物の分解が行われ、多量の熱が発生する。その熱が微生物を活性化させ、堆肥化の進行をより速める。この時の最適温度は 45°C~65°C程度と考えられ、これを超えた高温になってしまうと著しく効率が下がり、堆肥の質も落ちてしまう。

そこで、著者らは堆肥化の進行の効率と質の向上を図る方法として、堆肥化過

程で発生する余剰熱を除去・回収し、有効利用するための研究を行った。その結果、余剰熱の除去・回収は成功し、冬期の作物生産に利用することができたり。しかし、熱媒体である堆肥パイルの一定管理が難しく、回収できる熱量が不安定であるなどの問題から、継続的な熱の利用が困難であることが明らかになった。そのため、回収熱量の変動による影響を受けにくい堆肥熱利用システムの構築が必要である。その方法の一つとして、熱が回収できている期間に蓄熱し、その熱量を利用することにより、熱供給の無い期間の放熱を抑えるということが考えられる。

本研究では土壌蓄熱を利用し、その蓄熱効果を明らかにすることによって、土壌蓄熱が回収熱量の変動による影響を受けにくい堆肥熱利用システムの構築に有効かどうかを検証することを目的とした。

## 2. 材料および実験方法

実験は岩手大学農学部内の草地おいて行った。実験現場には直径 500mm、深さ 5m の縦穴を一つ、その周囲に直径 300mm、深さ 5m の縦穴を四つ掘削した。地中の様子は、深さ 3m を越えたあたりから地下水が出水した。穴の場所により出水の深さは異なったが、平均 4m を越えると全ての穴で出水が確認された。さらに、深さ 5m より深い部分は粘土層となっていた。実験装置は、堆肥から熱を回収したとの想定の下、熱蓄積供給装置を中央の縦穴に埋設し、そこを中心として、東西南北に地温測定用の温度測定装置をそれぞれ 1 本ずつ、周囲の縦穴に計 4 本埋設した。

熱供給装置は、底にキャップをつけた長さ 4m の塩ビ管(内径 40 cm, 肉厚 2cm)を深さ 310cm まで埋設し、水深にして 3.5m まで注水し、水量は 0.48m<sup>3</sup>であった。その中に 100V、500W の農電ケーブルを巻きつけた塩ビ管を入れ、農電電子サーモによって水温が 40℃に維持されるように設定した。また、40cm φ塩ビ管内では定格出力 220W の水中ポンプを使用して水を循環させた。

温度測定装置は、一辺 36mm、長さ 3600mm のスプロース角材をつなぎ合わせ 545cm の長さにした棒に、地表を 0cm として深さ 0,20,40,80,160,320,480cm の

位置になるように熱電対 (T型熱電対、0.3mm φ、銅・コンスタンタン) を設置し、これを温度測定棒と呼ぶ。この温度測定棒を塩ビ管の中心から四方にそれぞれ東 0.9m、西 1.1m、北 2m、南 3m の位置に埋設した (以下、0.9m 地点等と表す)。さらに塩ビ管外壁にも熱電対を同じ間隔で 320cm まで張り付け、塩ビ管直下の深さ 480cm の位置にも埋め込んだ。また、水温や外気温の測定用にも熱電対を使用し、データは、データロガー(CR-10X, Campbell Scientific 社) により 10 分ごとに測定し、60 分平均値を 1 データとして蓄積した。熱供給は 2006 年 12 月 4 日に開始し、2007 年 1 月 25 日までのデータを用いて解析した。

土壌の熱物性を計測する試料として深さ 1m から 5m まで 1m 毎に採土した。

## 3. 結果と考察

### (1) 土壌の性質

測定や計算によって求められた実験現場の土壌の性質を表 1, 2 に示す。

### (2) 各地点の時間経過による温度推移

測定期間内の水温と、環境条件値の時間経過を図 1 に示す。水温は熱供給開始から 64 時間後に設定温度の 40℃付近に達した。水温の低下時は、ヒータがオフの状態であることや、日射量や風速、気温などの影響があり、地上部に露出した熱供給装置と水が大きく関係していると考えられる。

塩ビ管外壁及び直下 (以下、0.22m 地点) では、最も熱の影響を受ける場所であり、地表から深さ 20cm までが他より 5℃以上、下回っており、外気温の影響を

大きく受けているといえる。また、深さ 480cm は一ヶ月以上経過しても熱供給の影響を受けている様子は見られない。0.9, 1.1m 地点では、蓄熱を開始して 4 日後から地温の上昇が見られ、およそ 30 日経過してピークに達したが、深さ 480cm ではほとんど変化が見られなかった。深さ 320cm の地温が東 0.9m と西 1.1m 地点で特徴的な差異が見られる。すなわち、東 0.9m 地点ではほぼ一定温度であるのに、西 1.1m 地点の温度は熱供給開始後 10 日間程度、明らかな温度上昇が見られる。このことは東から西へと地下水が流れていることを示唆するものであろう。この地下水流は現場の地形と矛盾しない。

2m と 3m 地点では、温度の上昇は見られず、深さ 320, 480cm の地温が高かった。0.9m~3m 地点での深さ別の温度の時間経過を図 2~5 に示す。

### (3) 場所別の垂直温度分布

ここでは比較しやすくするため 0.9m と 1.1m 地点での地温データを平均し、1m 地点の地温として計算した。熱供給の影響を受けている、0.22m と 1m 地点では日数が経過するにつれ地温が上昇しており、特に深さ 80cm と 160cm で影響を強く受けている。逆に影響が見られない 2m と 3m 地点では、深さ 480cm を除き地温は低下している。全体として、測定した深さ 0~480cm の地温の中では深さ 320cm の地温がおおよそ最も高く、また深さ 480cm の地温はほぼ一定だが、冬期など他の深さでの地温が低下する場合、逆に上昇している。中心から 1m 地点での垂直温度分布と、深さ 480cm での温度の時間経過を図 6, 7 に示す。

### (4) 蓄熱量

装置全体の各深さ帯における深さ 1cm 当たりの蓄熱量を求めた。深さ 0-20cm 帯では 1.59MJ/cm、以下それぞれ 20-40, 40-80, 80-160, 160-320, 320-480cm 帯での蓄熱量は 1.92, 2.05, 1.94, 1.15, 0.28 MJ/cm となった。深さ 1cm 当たりの蓄熱量は 40-80cm 帯が最も高くなっており、160-320cm 帯では意外と低かった。また、320-480cm 帯は温度変化がほとんど見られなかったため蓄熱量も最低値となった。よって、今回の実験現場の土壌では深さ 320cm までに蓄熱され、中でも深さ 20~160cm 帯に最も蓄熱されたとと言える。各深さ帯における深さ 1cm 当たりの蓄熱量を図 8 に示す。

塩ビ管内の水の熱量も含めた装置全体の総蓄熱量は最大 544.8MJ に達した。これは供給された総熱量 1923.9MJ に対して 28.3%の蓄熱率である。その他の熱量は放熱されたと考えられ、計算から熱供給装置である塩ビ管の地上部から 733.6MJ もの熱量が放熱された。蓄熱量と放熱量の詳細を表 3 に示す。

## 4. 結論

土壌への蓄熱は 40°C の熱源では、少なくとも熱源より 1m 離れた距離へと、熱源のある深さと同程度の位置への蓄熱効果がある。地温の上昇は距離 1m まで 1 日ほどかかり熱が伝達されるが、その後地表面などからの放熱により遠くまでは熱が伝わりづらい。本研究で測定した範囲では蓄熱率は 28.3%であり、熱供給装置から大気へと直接の放熱が供給された総熱量の 38.1%にも達し、現土壌蓄熱シ

システムの蓄熱率を低下させている。この点を改善することで、放熱量を減らし蓄熱率を上げることができよう。

熱源 40°Cが健在であるときの土壌蓄熱効果は確認されたので、今後は土壌蓄熱後の熱供給停止時の熱量低下を測定し、熱利用システムへの組み込みが可能であるかを検討していく必要がある。

#### 参考文献

- 1) 原 道宏, 伊林侑香, 坂下慎吾, 羽野誠一郎: 堆肥パイルからの余剰熱除去回収及び生物生産環境調節への回収熱利用システム, 計測自動制御学会東北支部第 221 回研究集会, 資料 221-10(2005)

表 1 実験現場の土壌の性質

土の種類	含水比	密度(kg/L)
地下 1m	0.5848	1.71
地下 2m	0.4798	1.42
地下 3m	0.4791	1.62
地下 4m	0.4123	1.54
地下 5m	0.4403	1.57
粘土	0.6723	1.51

表 3 蓄熱量と放熱量の詳細

土壌による蓄熱	492.3MJ
水による蓄熱	52.5MJ
地上部からの放熱	733.6MJ
その他の放熱	645.5MJ
供給した総熱量	1923.9MJ

表 2 現場土壌 1~4 m 深さまでの単位体積重量、比熱および体積熱容量

	単位体積重量 kg/L	比熱 kJ/(kg degC)	体積熱容量 kJ/(L degC)
固相	1.057	0.837	0.885
液相	0.517	4.186	2.163
土壌	1.574		3.048

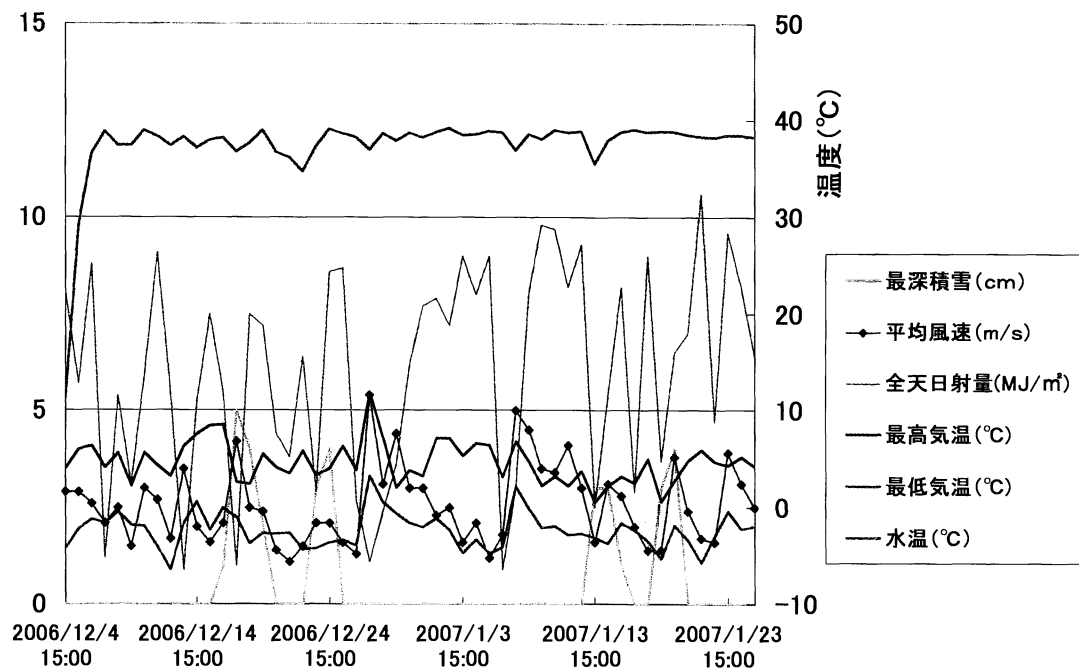


図1 期間内における水温と環境条件値の時間経過  
(水温以外のデータは盛岡気象台による)

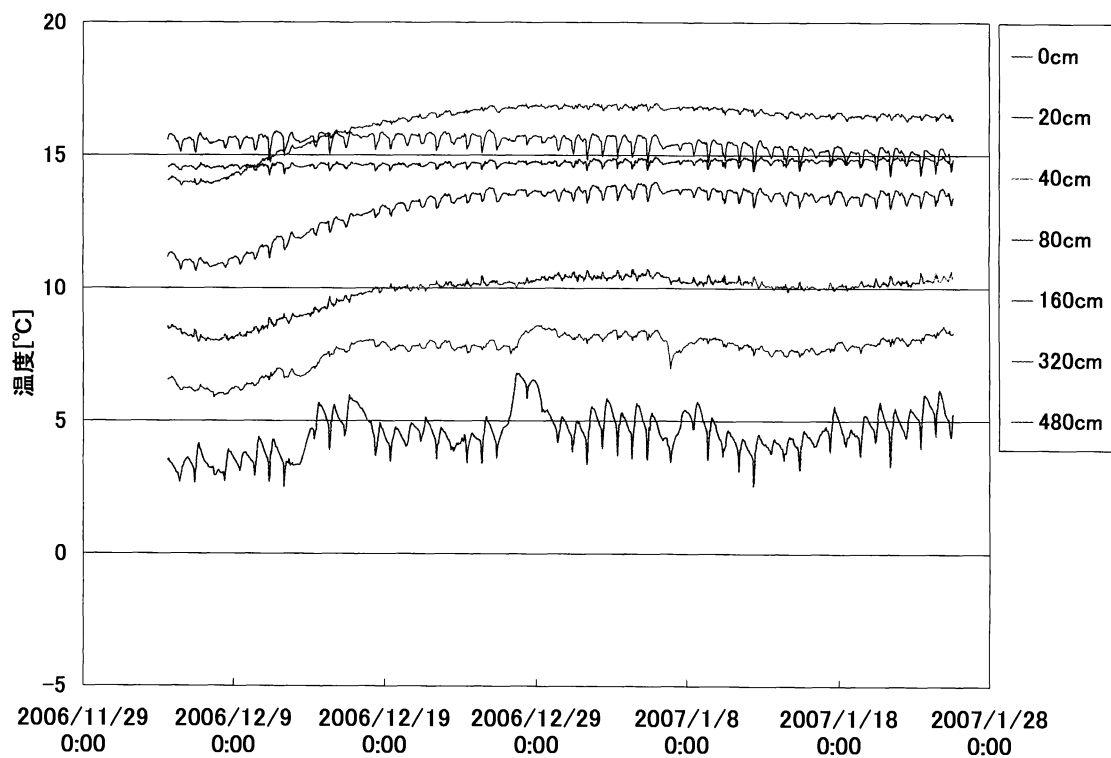


図2 中心から0.9m地点での温度の時間経過

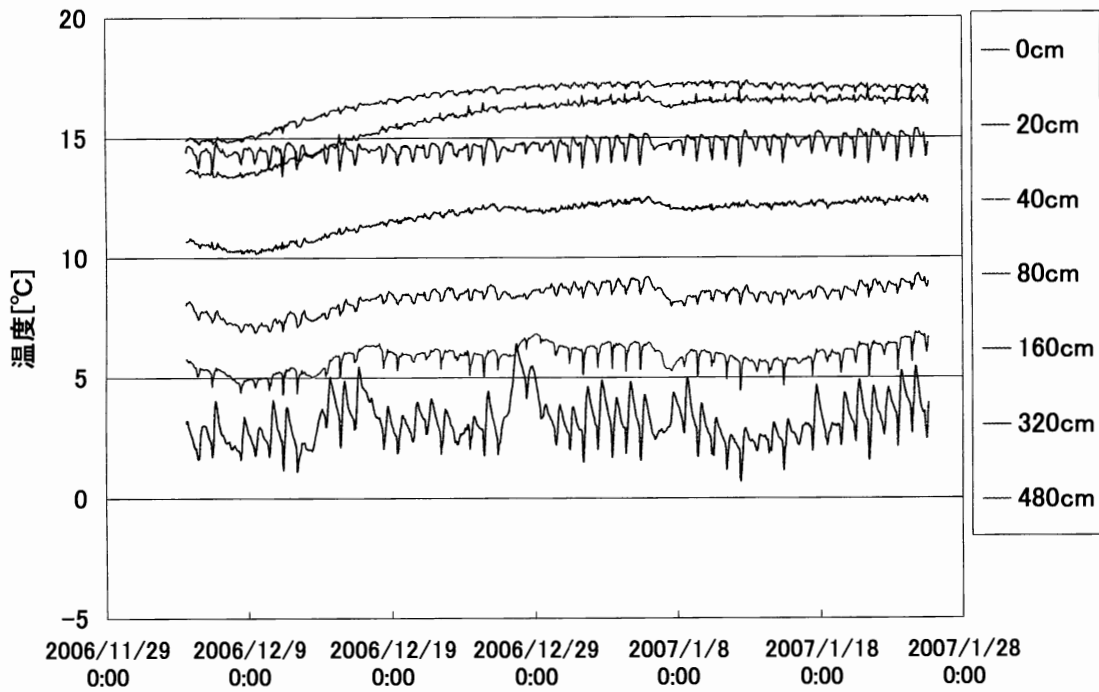


図3 中心から 1.1m 地点での温度の時間経過

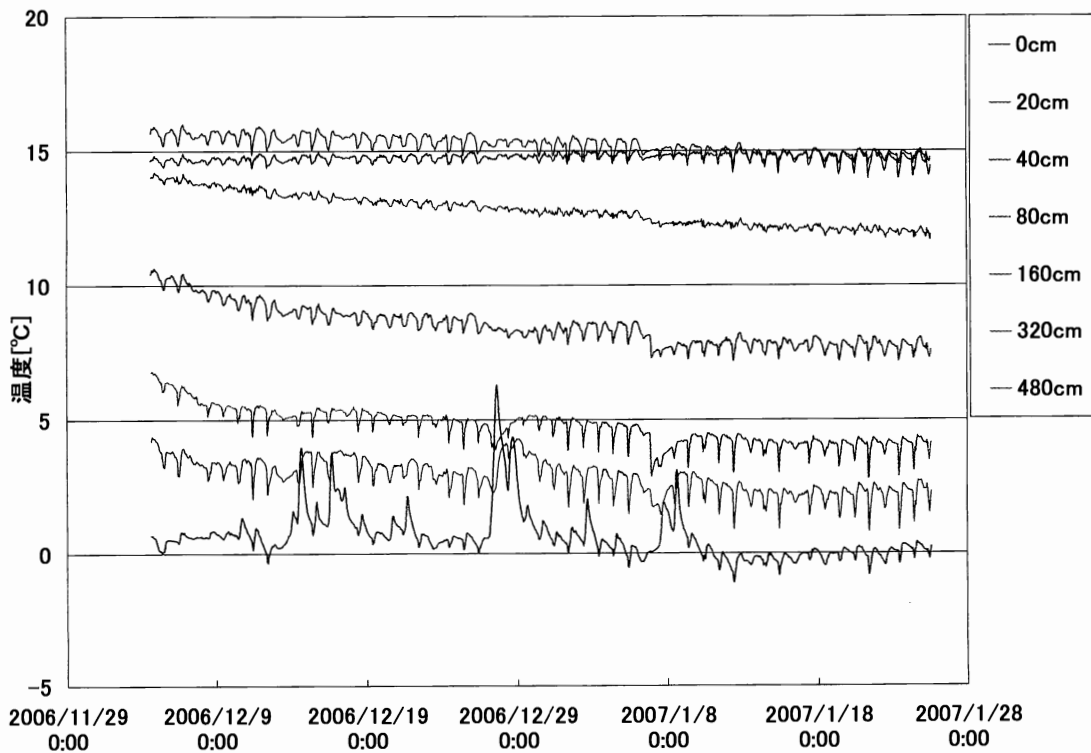


図4 中心から 2m 地点での温度の時間経過

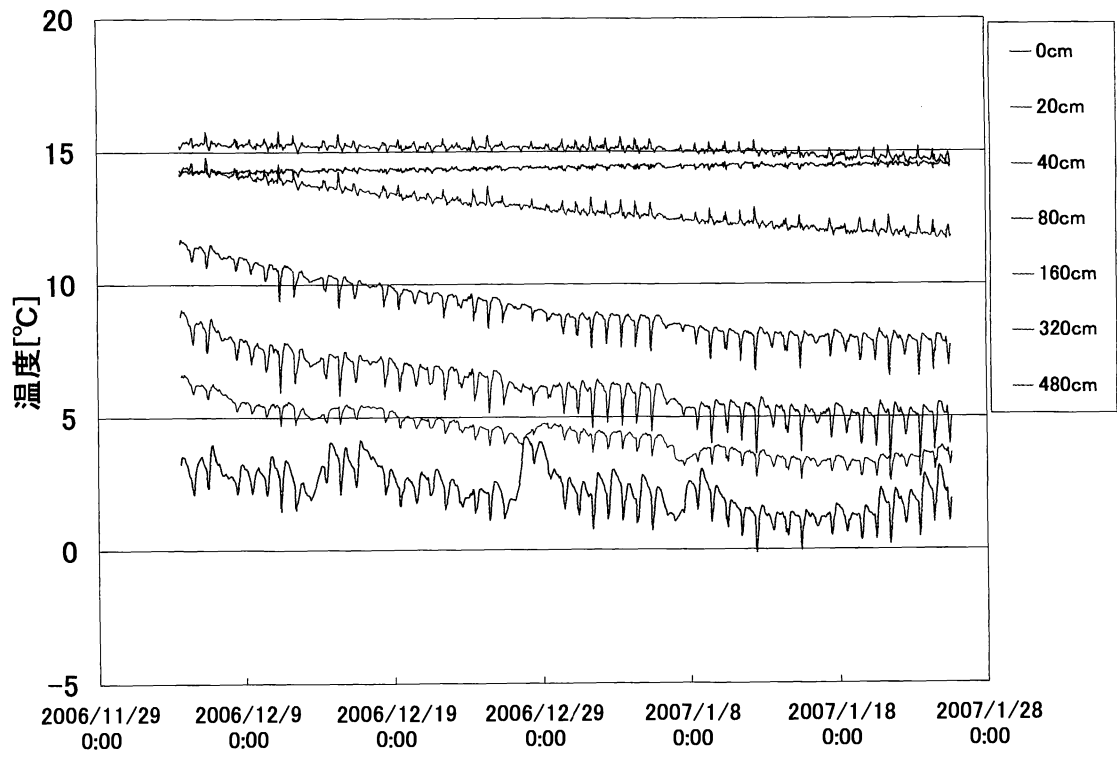


図5 中心から3m地点での温度の時間経過

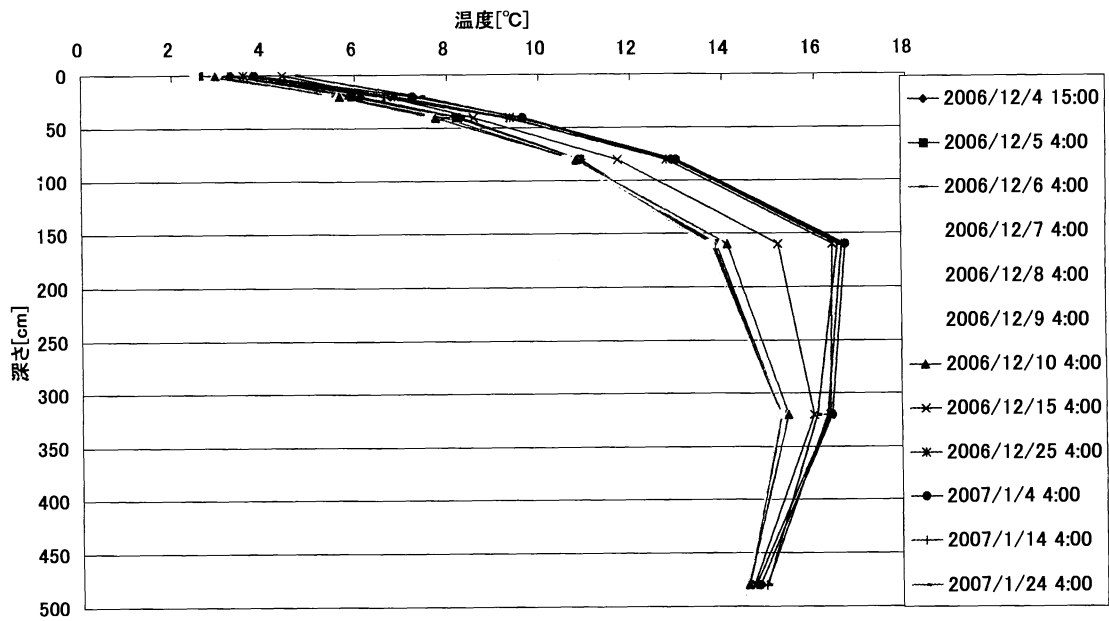


図6 中心から1m地点の垂直温度分布

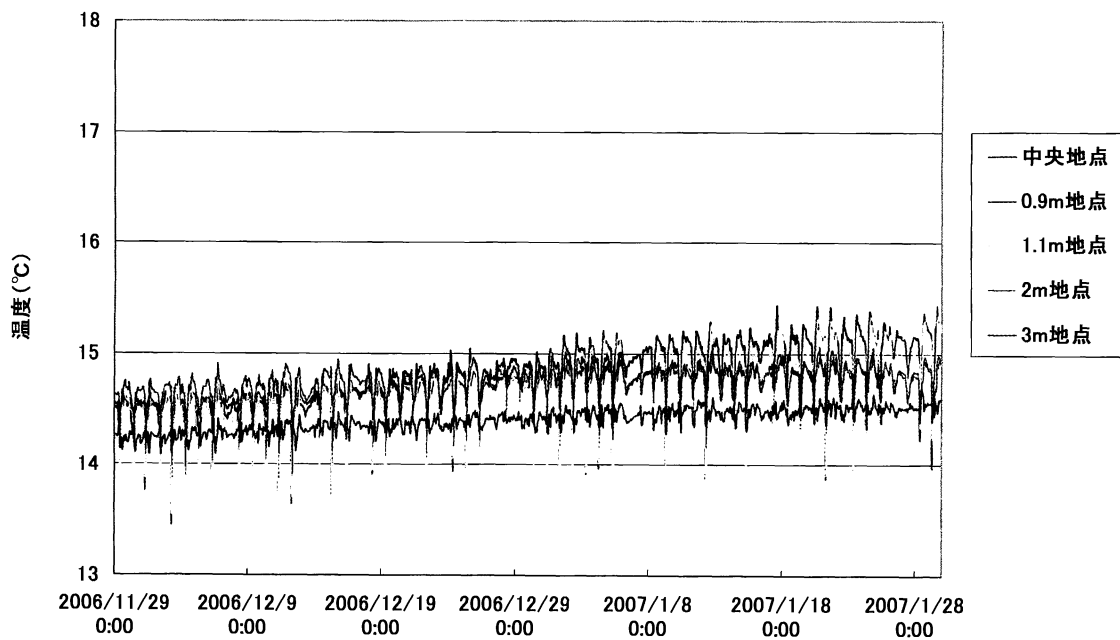


図7 深さ480cmでの温度の時間経過

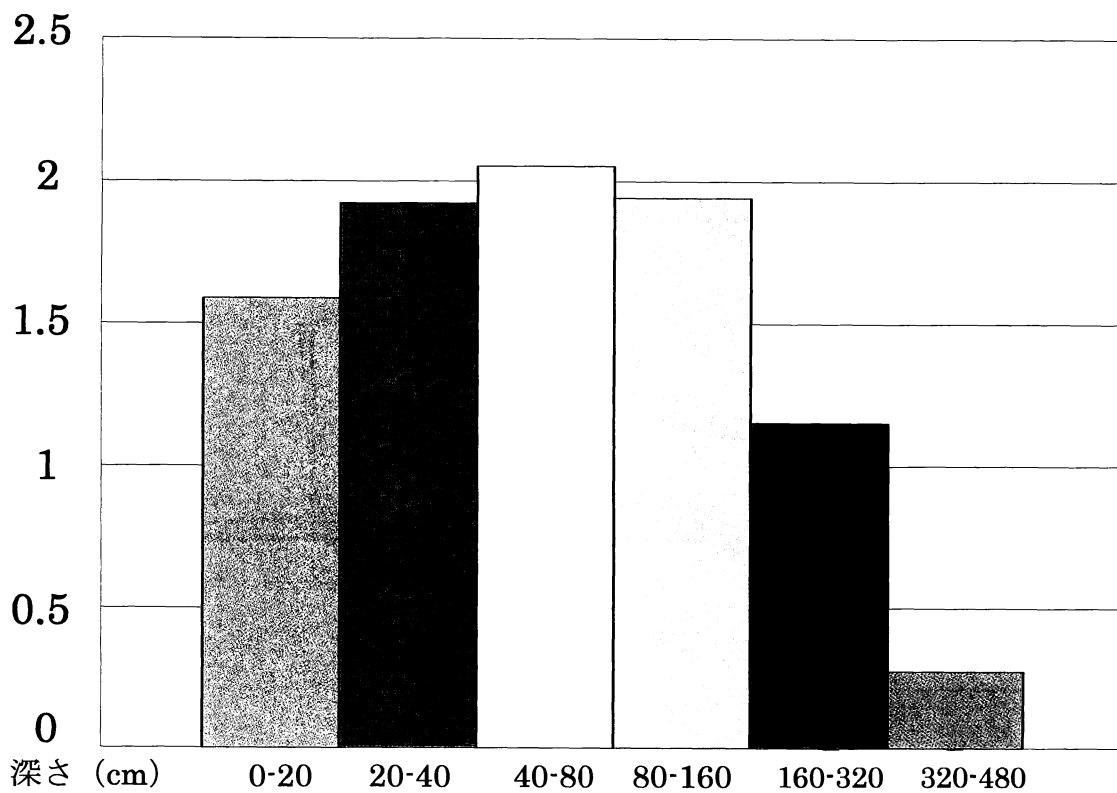


図8 各深さ帯における深さ1cm当たりの蓄熱量 [MJ/cm]





図9 実験現場の様子

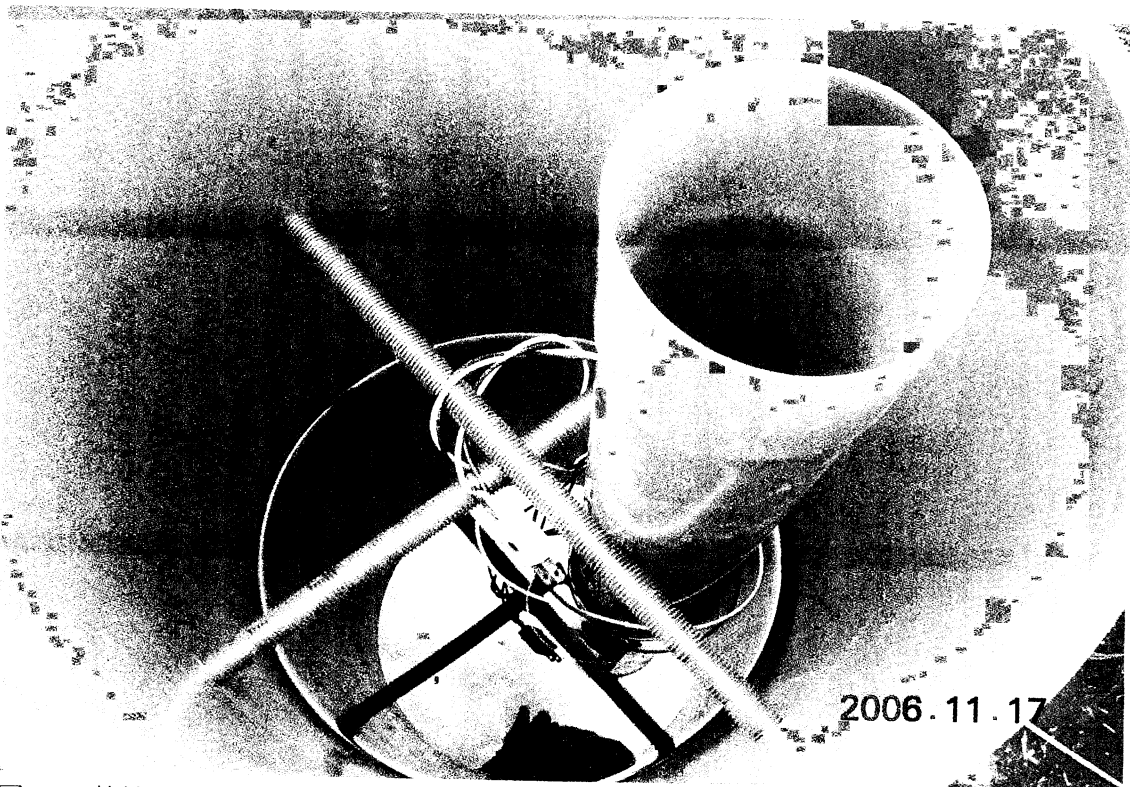


図10 熱供給装置の内部