

砂丘砂の熱収集に関する基礎的研究

樋口英夫*

(昭和63年5月31日受付)

Fundamental Study on Heat Absorption of Dune Sand

Hideo HIGUCHI*

The temperature of sand dunes in daytime in summer is higher than other places and reaches over 60 °C. On the other hand, the summer temperature of sand dunes at night is lower. To further investigate this phenomenon, a study of heat absorption of dune sand was made. At first, the temperatures of the atmosphere, surface sand and underground sand of Tottori sand dune were measured and the most suitable method of absorbing heat was investigated. Two identical vinyl green houses were built and a heating system using dune sand heat was designed. One green house was warmed at night by the heat of dune sand warmed by solar heat in the daytime, while the other was not warmed at night and the temperatures of the two vinyl green houses inside were compared. The main results obtained were as follows :

- 1) The maximum temperature of the sand dune surface in summer was over 60 °C while the temperature underground at 40 cm depth remained at 20 °C.
- 2) Black colored pipe absorbed the heat of dune sand most effectively.
- 3) A small pipe of about 10 mm diameter set on the sand surface absorbed a great amount of dune sand heat.
- 4) The temperature of the vinyl green house warmed by the heat of dune sand was higher than the other green house.
- 5) The temperature of the small vinyl green house was higher than the large green house.

緒 言

近年, 有限のエネルギー資源の代替エネルギーとして波力, 風力, 太陽熱, 水力などの利用が研究されている。

砂丘は地球上に多く点在しており, これまでほとんど利用されない状態にあったが, 世界人口の増加, 都市開発などにより, 放置されていた砂丘地も農業, あるいは, エネルギー資源の場として使用されるようになって来た。

* 鳥取大学農学部農林総合科学科情報科学講座

* *Department of Agricultural Information Science, Faculty of Agriculture, Tottori University*

砂丘地の地表は他の地質の地域と比較して、太陽が当たるとより高温に熱せられ、夜間になると温度が降下する¹⁻⁴⁾。一方、温度、圧力、位置などに差が生じると気体、液体の移動、あるいは、圧力などの変動が生じる。そこで、その差を利用した発電などが行われている。本研究の終局的目標は砂丘砂の熱およびその変動を利用して農業用施設の暖房、あるいは、発電を行って、農業用エネルギー源とすることである。本報においてはまず、砂丘地環境温度の測定を行い(環境温度の測定)、つづいて、ソーラーシステムの一環として砂丘砂の熱の効果的収集方法について検討を加えた(集熱実験)。すなわち、砂丘砂の熱の収集方法として、寸法、色、材質の異なるパイプを砂丘砂の上にいろいろな位置に設置し、その中に集熱媒体(水、あるいは、油)を充てんし、昼間、太陽熱によって暖められた砂丘砂の熱を収集し、高温化した集熱媒体を地下に貯蔵した。そして気温が降下する夜間に、地下に貯蔵された暖かい集熱媒体をビニールパイプを通して地上のビニールハウス施設内の放熱部に送り、放熱させ、ビニールハウス内の温度を上昇させた(放熱実験)。この場合、砂丘砂表面の集熱部、地下の貯蔵部、ビニールハウス内の放熱部の各部分はパイプで連結し、一定温度になると集熱媒体が自動的に集熱部、貯蔵部、放熱部と移動する循環機構とした。また同時に、ビニールハウス内の保温性も検討した(保温実験)。

実験装置および方法

1. 環境温度の測定

鳥取大学農学部附属砂丘利用研究施設の砂丘地ほ場の気温、地表面および地中の温度を自動センサー打点式温度計によって測定し、他の地域(土質が壤土の裸地および草地:草丈が1~10cmの高麗芝—鳥取市湖山町)の温度と比較した。期間は1982年4月~1985年4月、測定項目は砂丘地の気温、砂丘地の地表面から0, 5, 10, 20, 50, 100, 180cm深さの地温、1982年6~9月における壤土の裸地および草地の気温、また、その地表面から0, 5, 10, 20cmの地中温度であった。

2. 集熱実験

Fig. 1に示すように、砂丘砂の熱を最も効果的に収集する手法を見出すための集熱実験を行った。すなわち、材質、大きさおよび色の異なる集熱媒体の容器(パイプ)を砂丘地表面のいろいろな深さに設置し、パイプ内の集熱媒体の温度を測定した。なお、集熱媒体は水と油(自動車用エンジンオイル: Castle motor oil, Clean super,

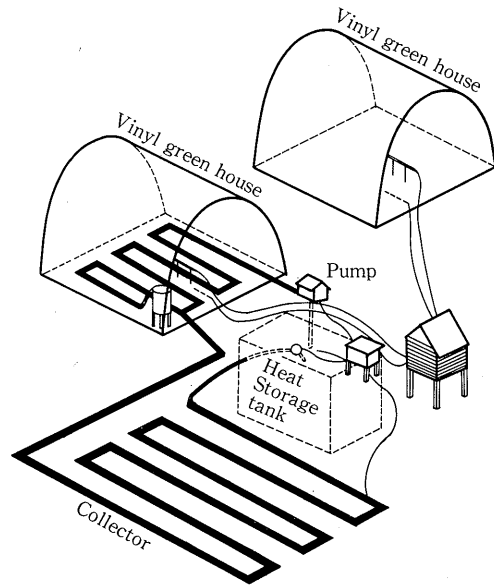


Fig. 1 Outline of the experimental apparatus

20W-40,)の2種類を使用した。パイプの材質は塩化ビニール、アクリル系樹脂、ガラスの3種類を用いた。パイプの大きさは内径が10, 20, 30, 40, 50, 60, 80mmの7種類、肉厚は内径が10, 20, 30mmのものは0.5, 1.0, 1.5, 2.0mmの4種類、内径が40, 50, 60, 80mmのものは2.5, 3.0, 3.5, 4.0mmの4種類、合計28種類のパイプを使用した。また、内径40mm、肉厚2.5mmの透明ビニールパイプの外面を黒、赤、紺、白色の水性塗料で塗布し、集熱媒体を入れ、パイプの色の相異による集熱効果を比較した。そして、内径40mm、肉厚2.5mmの透明パイプをFig. 2に示すように、(a)パイプを砂の上に置くだけの場合、(b)1/2を埋設した場合、(c)表面が見えなくなるまで埋設した場合、(d)パイプの上部より5cm埋設した場合の4通りに設置した。

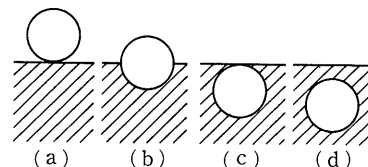


Fig. 2 Situation of pipe

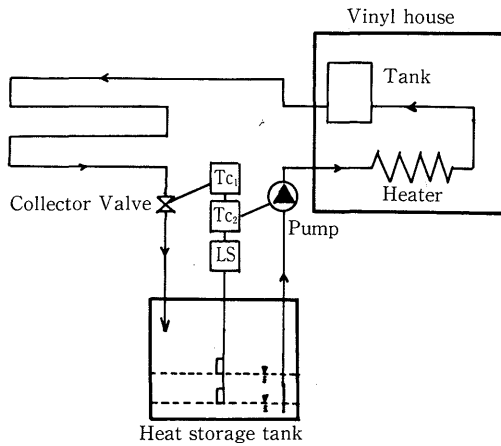


Fig. 3 Circulation system of heat medium

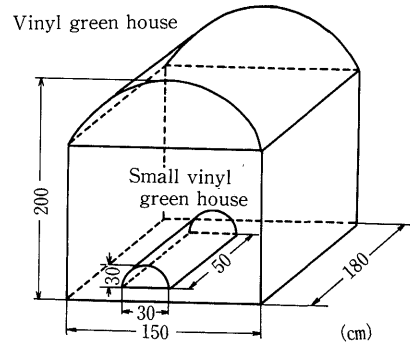


Fig. 4 Outline of vinyl green house and small vinyl green house

3. 放熱実験

地表で砂丘砂の熱を収集した集熱媒体を地下に貯蔵し、気温が下がった夜間に高温化された集熱媒体をビニールハウス内に送り、ラジエータにより放熱させ、ハウス内の温度を高めた。この場合、ビニールハウス内の温度を経時的に測定した。また同時に、Fig. 1に示したように熱を放熱しないもう1基の同一のビニールハウスを設置し、熱を放熱する場合としない場合のハウス内温度を比較した。Fig. 3は試作した集熱媒体の自動循環装置の模式図を示したものである。

4. 保温実験

Fig. 4に示すように、ビニールハウス内にさらに小さなハウス（2重ハウス）を設置し、2重ハウス内の温度を1重ハウス内の温度および外気温と比較した。

実験結果および考察

1. 環境温度の測定

Fig. 5は1982年8月13日における砂丘地表面から0, 5, 10, 20, 50, 100および180cm深さの砂の温度を示したものである。砂丘地における砂の温度は地表に近いほど変

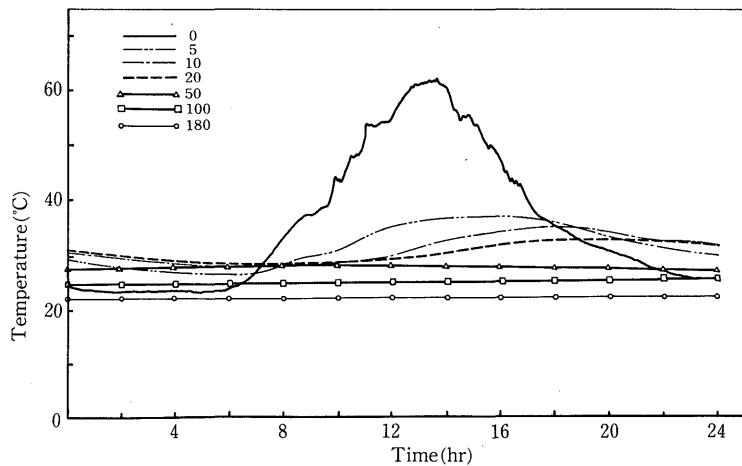


Fig. 5 Temperature of underground of sand dune

動が大きく、地表から約50cm以上になると温度の変化はほとんどなかった。また、測定日の天候は晴であったが、時々雲が現われて日照のない時があり、その場合には地表に近いほど温度の変化が顕著に現われた。

Fig. 6は1982年8月1日から31日までの砂丘地および鳥取市街地（鳥取市吉方町：鳥取地方気象台）の気温の最高値、平均値および最低値を示したものである。砂丘地と市街地の測定場所は10kmも離れていないが、気温の値

に多少の差が生じることを示した。とくに、気温が高い日の最高値にその差異が大きく現われることを示した。

Fig. 7は1982年8月13日の砂丘地の気温、砂丘地、壤土土質の裸地および草地（草丈が1cmの高麗芝地）の地表温度の経時的変化を示したものである。草地は草丈が短く刈込んであるにもかかわらず、草地の地表面の温度は砂丘地および裸地の温度より低かった。また、気温と地表温度との時間的なずれが生じた。

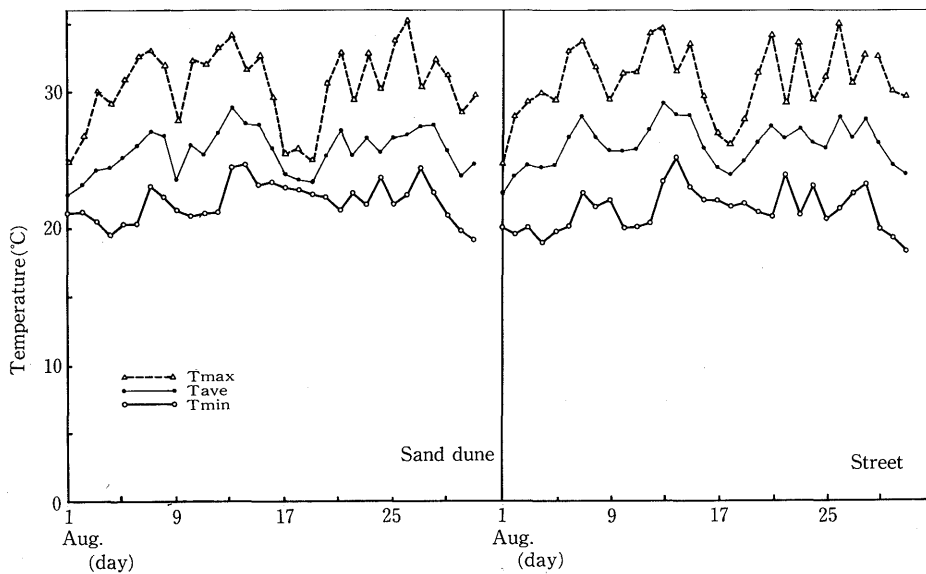


Fig. 6 Atmospheric temperature of sand dune and street

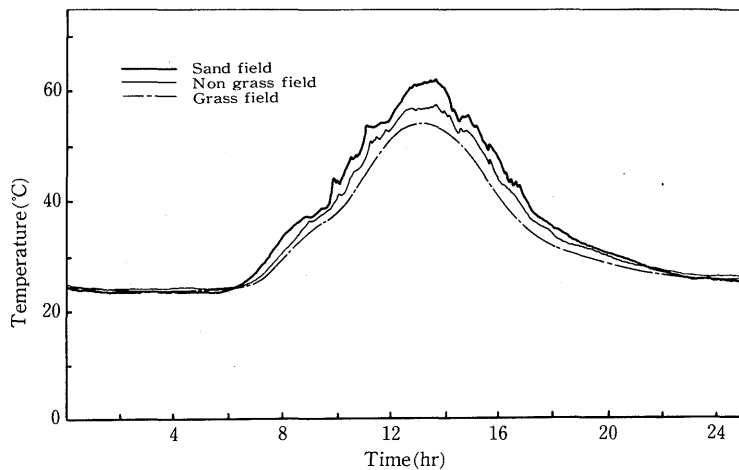


Fig. 7 Temperature of surface of sand field, non grass field and grass field

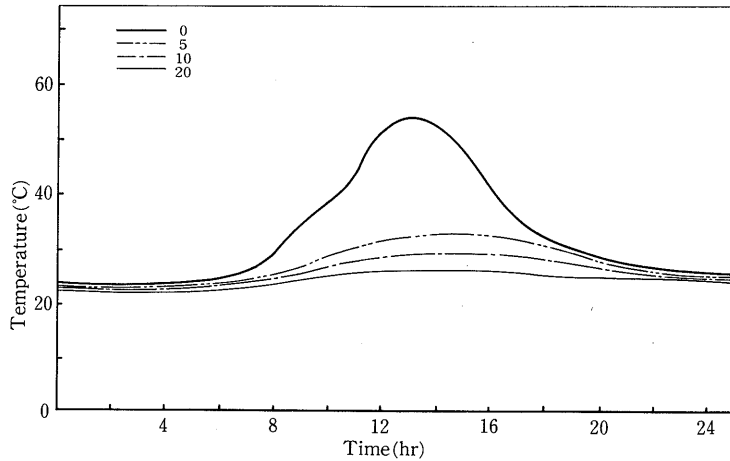


Fig. 8 Temperature of underground at grass field

Fig. 8は1982年8月13日の草地(草丈が1cmの高麗芝)の地表面から0, 5, 10および20cmの地中温度を示したものである。草地の地下の温度変動は非常に少なく、とくに、深さが20cm位になると地下の温度はほとんど変化しなかった。

2. 集熱実験

Fig. 9は1982年8月13日, Fig. 10は1984年8月13日の砂丘地の気温, 砂丘地表面の温度, 集熱媒体(水および油)の経時的温度を示したものである。なお, 集熱媒体を収納したパイプは肉厚が2.5mm, 内径が40mm, 透明のビ

ニールパイプを使用し, 地表に半分だけ埋めて設置した (Fig. 2 (b) 参照)。集熱媒体が水と油の場合との温度差はほとんど示さなかったが, 両者の間にいくぶん時間的なずれが生じた。

Fig. 11は1984年8月13日の砂丘地表面の温度, 集熱媒体を入れる容器の材質がガラス, ビニールおよびアクリル樹脂の場合におけるパイプ内部の集熱媒体の経時的温度を示したものである。なお, パイプは肉厚が2.5mm, 内径が40mm, 透明のパイプを, また, 集熱媒体は水を使用した。そしてパイプは地表に半分だけ埋設した。パイプ

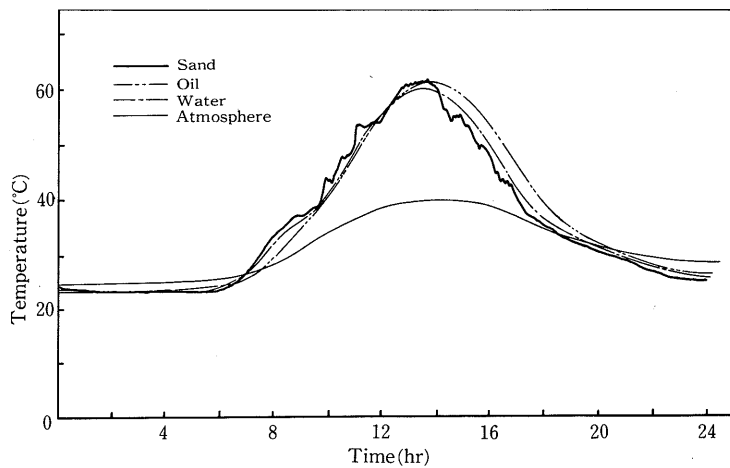


Fig. 9 Temperature of sand, oil, water and atmosphere, Aug. 13, 1982

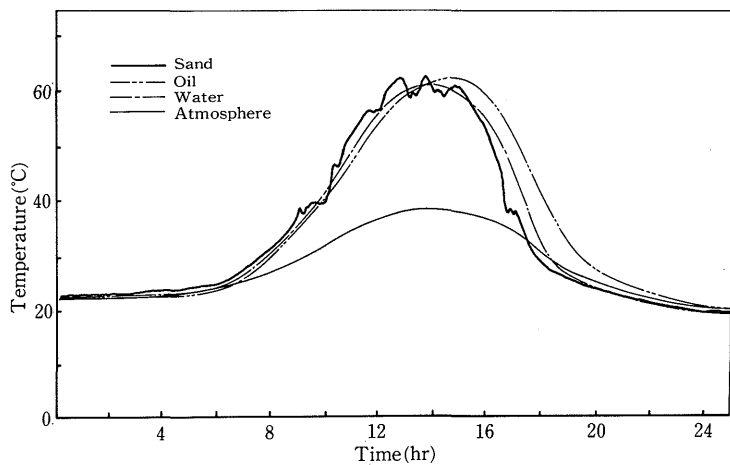


Fig. 10 Temperature of sand, oil, water and atmosphere, Aug. 13, 1984

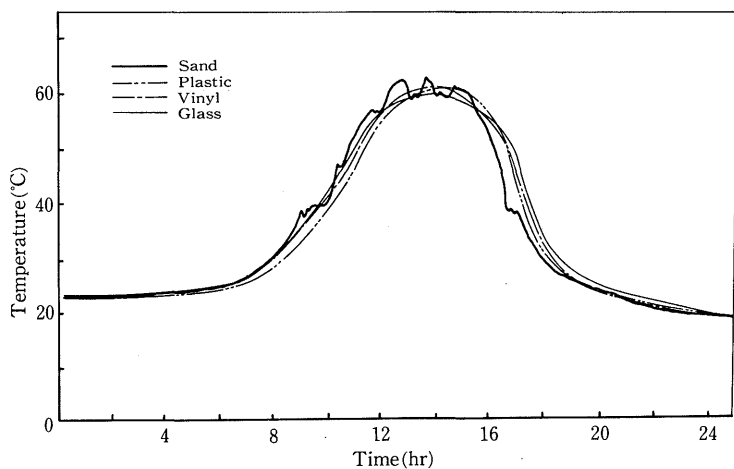


Fig. 11 Temperature of water in plastic, vinyl and glass pipe

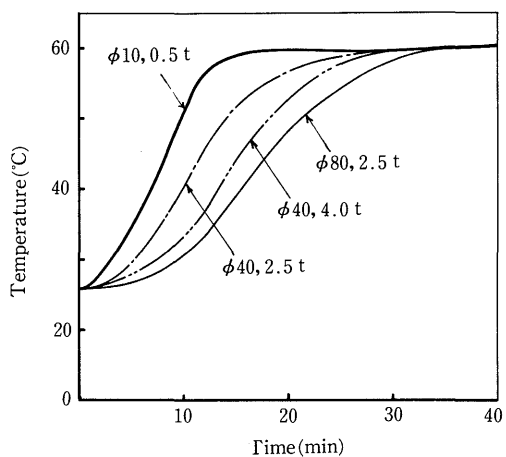


Fig. 12 Temperature of inside of various size's pipes absorbed with hot water

の材質による集熱媒体の大きな温度差は生じなかったが、いずれの場合も砂の温度と多少の時間的なずれが生じた。

Fig. 12は肉厚が0.5mmで内径が10mm, 肉厚が2.5mmで内径が40mm, 肉厚が4.0mmで内径が40mm, 肉厚が2.5mmで内径が80mmのビニールパイプに26°Cの水を入れ、一定温度(60°C)に設置した湯槽に浸した時のパイプ内の集熱媒体の経時的温度を示したものである。なお、測定時の気温は27°Cであった。パイプの径が小さいほど、また、肉厚が薄いほど湯の温度に速く近づいた。すなわち、内径が10mmのパイプは10分余りで湯槽の湯の温度と等しくなったが、内径が80mmのパイプの場合は湯の温度と等しくなるまでに約30分を要した。

Fig. 13は黒、紺および白色パイプのパイプ内部の水の経時的温度を示したものである。なおこの場合、パイプ

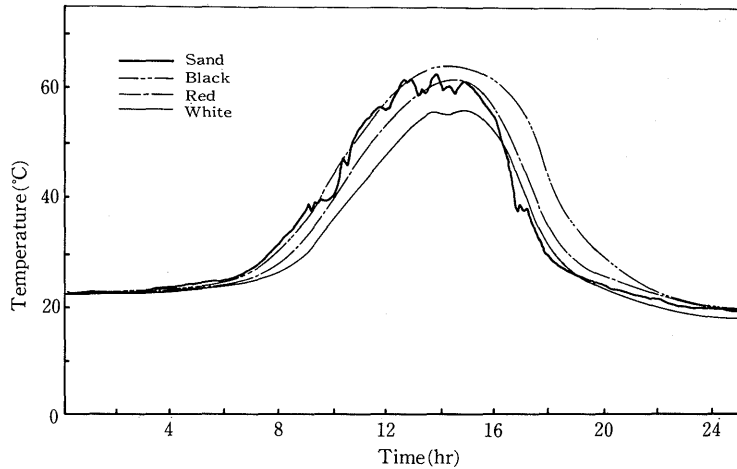


Fig. 13 Temperature of inside of colored pipe

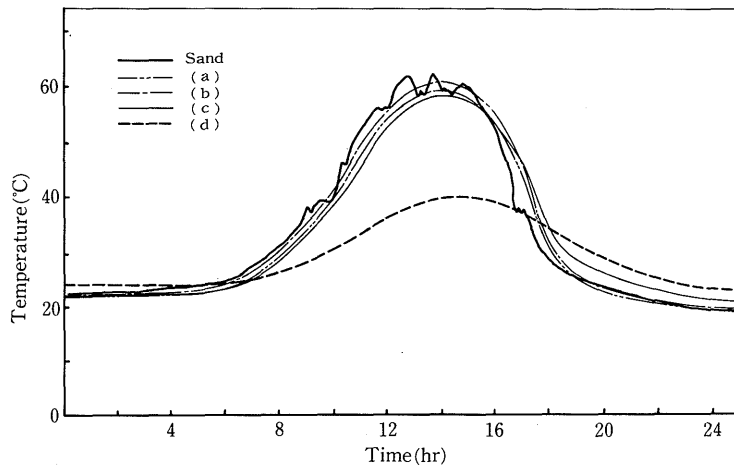


Fig. 14 Temperature of inside of pipes at various situation

はFig. 2 (b) に示したように砂に半分だけ埋設し、パイプの色による集熱効果の比較を行った。なお、測定日は1984年8月13日であった。また、赤色のものも測定したが、紺色のものとはほぼ同一の結果を得た。パイプの色が黒の場合は高温になり、砂の温度よりかなり高い場合が生じた。しかし、白色の場合は砂の温度よりかなり低くなった。すなわち、パイプの色による集熱効果の差が顕著に現われた。

Fig. 14はパイプの設置位置の相異によるパイプ内部の集熱媒体の経時的温度を示したものである。なお、測定

日は1984年8月13日、集熱媒体は水、パイプの肉厚は2.5 mm、内径は40mmであった。パイプが地表面に設置されている場合は、砂の多少の埋設深さの差によるパイプ内部の温度差は少ないが、埋設深さが約5 cm以上になるとパイプ内部の温度は急激に低くなった。

3. 放熱実験

Fig. 15は1984年8月13日、1984年10月15日および1984年11月7日の砂丘地の気温、地表の砂の温度、放熱したビニールハウス内の温度および放熱しないハウス内の温度を示したものである。気温が高い季節（7～9月）の

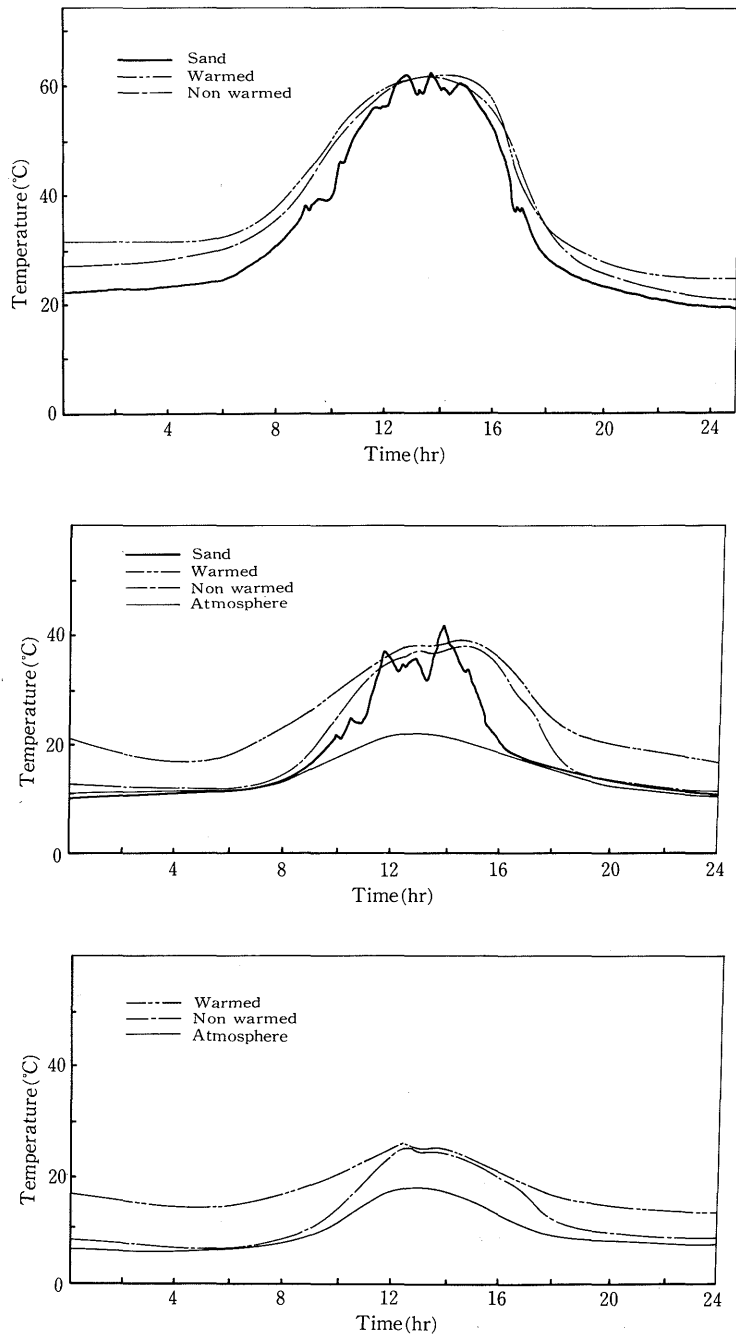


Fig. 15 Temperature of sand and inside of house

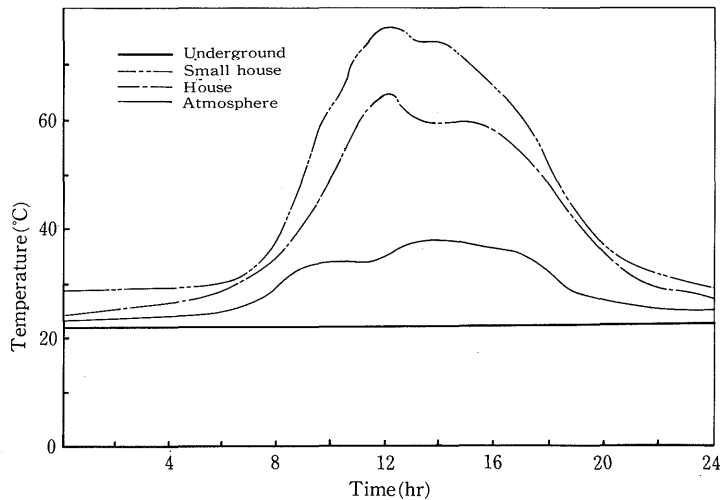


Fig. 16 Temperature in vinyl green house and small vinyl green house

ハウス内の温度は放熱した場合と放熱しない場合との差は少なかったが、気温が低くなる季節（11～3月）においてはその差が顕著に現われた。なお、ハウス内の温度はハウス中央部の気温を測定したものである。放熱は気温が下がる夜間にだけ放熱させるメカニズムに試作したが、Fig. 15は常時放熱した場合を示したものである。また、Fig. 15は日照のあった日の温度を示したものであるが、曇天、雨天の日の場合には集熱体の温度が上昇しないために、ビニールハウス内の温度は外気温と変わらない場合が多かった。

4. 保温実験

Fig. 16は1984年8月1日における砂丘地の地下1m深さの地温、気温、1重ビニールハウス内の温度、2重ハウス内の温度を示したものである。ハウスを2重にすることにより、小ビニールハウス内の温度は大きいハウス内の温度よりかなり高くなった。

総 括

砂丘砂の熱を農業用に利用するために、砂丘砂の熱の収集方法、放熱効率および保温性について検討を加えた。昼間、太陽熱で暖められた砂の熱を集熱媒体に収集し、地下に貯留し、外気温が低下する夜間にビニールハウス内に送り、ハウス内温度を高めた。その結果、ヒートポンプなどを使用すれば、砂丘砂の熱を多量に地域のエネルギー源に利用することが可能であると判明した。

測定・実験の過程で明らかになったことを要約すると

次のとおりである。

- 1) 夏季における昼間の砂丘地表の温度は60°C以上に達し、夜間は20°Cに低下する。すなわち、砂丘地の地表は他の地域の地表より温度差が大きい。
- 2) 集熱パイプは黒色で、しかも、内径および肉厚の小さい場合が集熱効果が高い。
- 3) 外気温が低い季節に放熱効果が顕著に現われた。
- 4) ビニールハウスを2重にすると保温効果が大きかった。

最後に本実験の遂行にあたり、協力を頂いた昭和59年度および60年度の農用作業機械学研究室の専攻生に感謝の意を表する。

文 献

- 1) 青山宏昭・樋口英夫・石原 昂・清家浩三：砂丘砂の熱利用に関する基礎的研究。農業機械学会関西支部報，54 16—18 (1983)
- 2) 樋口英夫・石原 昂・野村悦之：砂丘砂の熱利用に関する研究。農業機械学会関西支部報，56 78—79 (1984)
- 3) 樋口英夫・石原 昂・沼丸晴彦：砂丘砂の熱利用に関する研究。農業機械学会関西支部報，58 124—125 (1985)
- 4) フジ・テクノシステム出版部：施設農業への新エネルギー利用・(株)フジ・テクノシステム，東京 (1980) pp. 17—42