

低濃度塩水を用いたソーラーポンドの蓄熱の利用に関する実験

東京電機大学 学生会員 佐藤 玲

東京電機大学 正会員 有田正光

東京電機大学 正会員 中井正則

1. はじめに

自然エネルギーである太陽エネルギーの利用は地球環境保全の観点から重要な課題であり、多くの利用法が提案されている。その中で実現可能性が高いとされる手法の一つに、ソーラーポンドと呼ばれる貯水池に太陽放射熱を蓄熱する技術がある。ソーラーポンドでは貯水池の下層水に塩化ナトリウムなどの無機塩類を溶解させ（下層水の密度を大きくし）、夜間の放射冷却による水深スケールの鉛直対流の発生を抑制することにより、下層に蓄熱することが可能となる。

本研究は、下層水に低濃度塩水を用いたソーラーポンドの下層蓄熱の利用方法について検討を行い、実用化への道を探ろうとするものである。

2. 蓄熱特性に関する実験

実験に使用した水槽は直径75cm×高さ80cmの円筒型水槽であり、水槽内に図-1に示すような3層系の密度成層を作成し、ソーラーポンドとした。実験は全水深80cm、上層厚さ20cm、中間層厚さ30cm、下層厚さ30cm、下層塩分濃度3%で実施した（上層には淡水を使用しており、塩分濃度は0%である）。また、中間層の塩分濃度勾配は0.1%/cmである。なお、水槽には内壁の黒色塗装、断熱材の取り付けの2点の蓄熱促進対策を施した。

実験期間は2001年11月1日～11月24日までの約一ヶ月間であり、1日につき2回（0:00と13:00）ずつ鉛直方向に12点の水温を測定した。図-2に、実験開始から約2週間後の水温鉛直分布を示す。同図より、下層水温が上層水温より高く、昼夜に関わらず下層に蓄熱が生じていることがわかる。

図-3はソーラーポンドの上層平均水温 T_1 、下層平均水温 T_3 、上下層の水温差 $\Delta T(=T_3-T_1)$ および外気温 T_{air} の全実験期間にわたる時系列を示したものである。同図のように、 T_1 、 T_3 は T_{air} の低下に伴って徐々に低下していくものの、 ΔT は実験開始から数日後以降5～6℃程度のほぼ一定値を保っている。

3. 下層蓄熱の利用に関する実験

ソーラーポンド下層の蓄熱は量的にはそれほど大きいものではなく、熱の形で直接利用することが最も効率的であると思われる。ここでは、下層蓄熱を家庭室内あるいは農業用温室内の夜間の補助暖房などとして活用することを考える。

下層蓄熱の利用の実験は以下の通りである。図-4のように密閉した2つの立方体の箱（空間A、B：体積0.2m³、一定の断熱が施されている）を設置し、空間Aにはなにも施さず、空間Bには2.で示したソーラーポンドから下層水をポンプで取水して循環させ、空間Aの気温 T_A と空間Bの気温 T_B を比較した。下層水循環の配管は空間B

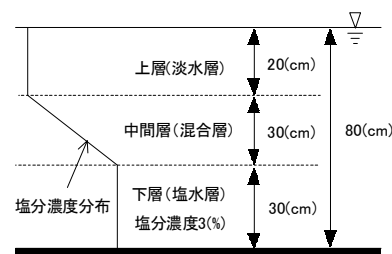


図-1 密度成層

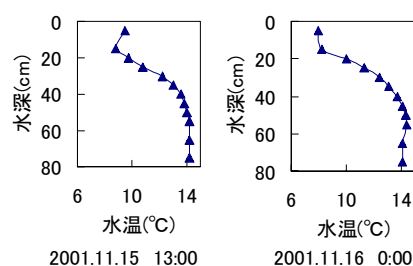


図-2 水温鉛直分布

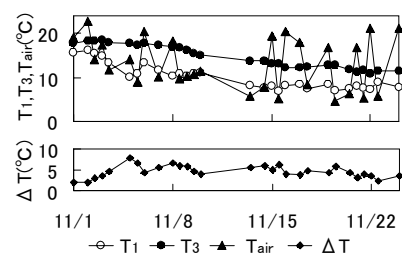


図-3 T_1 、 T_3 、 T_{air} 、 ΔT の時系列

キーワード：ソーラーポンド、蓄熱、低濃度塩水、放熱

連絡先：〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町大字石坂 TEL 049-296-2911（内線 2746） Fax 049-296-6501

内ではアルミニウム管(総延長11m)、空間Bの外側では断熱したビニールチューブによっており、アルミニウム管の熱伝導特性を利用して空間B内で集中的に放熱した。なお、下層水の循環流量は $2\text{cm}^3/\text{s}$ 、循環時間帯は22:00から翌日の8:00までの10時間であり、ソーラーポンドの下層水の50%程度が使用されている。

実験期間は2001年11月14日～11月28日であり、2.で示した蓄熱の実験と一部並行して実施されている。これは、日中(1日)の蓄熱分をその日の夜間に使用し、夜間に使用された熱量分は翌日の日中に再び太陽から供給されるというシステムを念頭に置いているためである。このシステムが成功すれば、ソーラーポンドの利用が(原理的には)半永久的に可能となる。

なお、蓄熱利用の対象とする実際の空間の大きさは六畳一間程度(15m^3 程度)を考えており、この時のソーラーポンドの大きさは著者らが既往の研究¹⁾において用いた $4\text{m} \times 5\text{m} \times 1.2\text{m}$ 程度のもの(体積 24m^3 程度)を考えている。ここでは、空間A、Bの体積(0.2m^3)をこのソーラーポンドとここでのそれ(体積 0.35m^3)との体積比に合わせて縮小した。

図-5は T_A 、 T_B および T_3 の一週間にわたる時系列を示している(空間Bへの下層水の循環は、11月18日を除いて毎日行っている)。同図より、11月18日を除くすべての日の夜間において T_B が大きく上昇していることがわかる。また、 T_3 はこの一週間でわずかに低下しているものの、外気温の低下を考慮すればほぼ一定値を保っていると言える。

以上のことから、ここで用いているシステムを採用することにより、ソーラーポンドの利用が半永久的に可能になると考えられる。なお、日中の12:00時頃に T_B が T_A より高くなっているが、これはアルミニウム管の(比熱が大きいために)温度上昇が激しく、アルミニウム管から空間B内の空気中へ熱が再輸送されるからと考えられる。

図-6は11月27日～11月28日における空間Aと空間Bの気温差 ΔT_{AB} ($=T_B - T_A$)の時系列を示している。同図より、 ΔT_{AB} は下層水の循環開始直後に上昇し始め、開始から1時間後に 5°C 程度に達し、6:00頃には 6.5°C まで上昇していることがわかる。

図-7は11月27日～11月28日における T_B 、空間Bから出た直後のビニールチューブ内の水温 T_c および T_3 の時系列を示している。 ΔT_{AB} が最大になる6:00頃(図-6参照)について見ると、 $T_B=6^\circ\text{C}$ 、 $T_c=9^\circ\text{C}$ 、 $T_3=11^\circ\text{C}$ 程度となっており、下層蓄熱は約 2°C 分しか使用されていないことがわかる。

これらの結果より、下層水の循環流量を小さくして下層水の使用量の削減と空間B内の通過時間の増大を図れば、ソーラーポンドの下層水温の低下を抑えながら、空間B内の気温上昇を促進できると考えられる。また、本実験では空間B内での放熱にアルミニウム管を使用した。より熱伝導率の大きい材料を用いて放熱させることにより、利用効率を向上させることができる。

4. まとめ

本研究より、ソーラーポンド下層の蓄熱は室内や温室内の夜間の補助暖房など、用途によっては十分な利用価値があることがわかった。今後、利用効率の向上について研究を進める予定である。

参考文献

1) 有田・中井・佐藤：水工学論文集，第46巻，pp.1223-1228，2002。

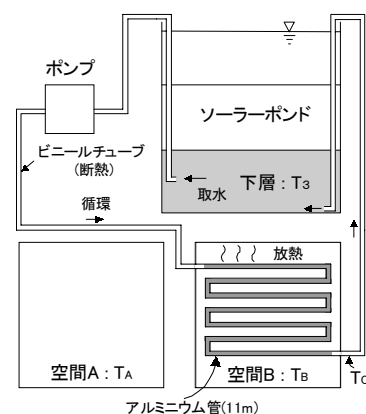


図-4 実験装置

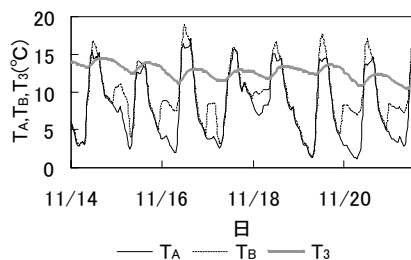


図-5 T_A 、 T_B 、 T_3 の時系列

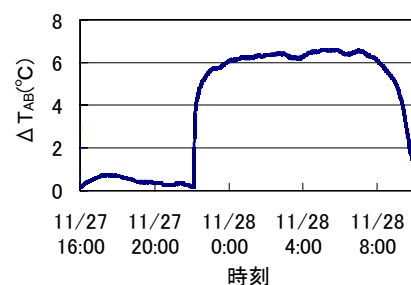


図-6 ΔT_{AB} の時系列

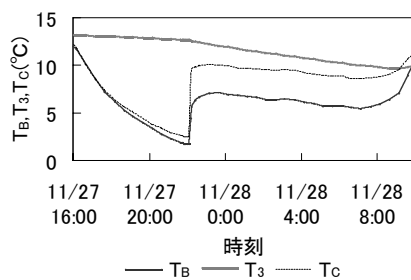


図-7 T_B 、 T_3 、 T_c の時系列