



ソーラーポンドにおけるポリマー層の物理的特性

著者	多賀 正夫, 松本 俊郎
引用	大阪府立工業高等専門学校研究紀要, 1983, 17, p.9-18
URL	http://doi.org/10.24729/00008004

ソーラーポンドにおけるポリマー層の物理的特性

On the Physical Properties of Polymer Layer in Solar Pond

多賀正夫* · 松本俊郎*

MASAO TAGA* , TOSHIRO MATSUMOTO*

(昭和58年4月13日受理)

あ ら ま し

粘性流体ソーラーポンドの非対流層を形成する高粘性物質であるポリマー層の光学的ならびに熱的特性に関する実験結果が述べられた。前者では、ポリマー層の厚さが5 cmの場合、各種の波長の光の吸光度と濃度との関係が調べられた。また、波長が632.8nmの場合濃度に関して吸光度とポリマー層の厚さとの関係が定量的に検討された。後者では、ポリマーの温度による粘性への影響、対流限界および蓄熱特性が実験された。その結果、粘度はポリマーの温度上昇とともに減少し、暗室で常温で保持した場合、粘度は1ヶ月以上にわたって変化しなかった。蓄熱特性については、ポリマー層以外に塩水濃度こう配層および、純水についても実験が行なわれポリマー層、塩水濃度こう配層についてエネルギーが蓄積され温度が上昇していることが認められた。

1. はじめに

最近、太陽エネルギーの農業用、工業用および民生用への利用に関する研究が国内外においてさかんに行なわれるようになってきた。その中で、温水器、太陽電池などについては経済的にも成り立つ技術として、すでに実用化時代に入っている。また、暖冷房や発電への利用についても各種の研究が進められ、その成果があげられつつある。

ソーラーポンドは集熱器などの機械装置を用いず数100～数1000m²の池に大規模かつ安価に太陽エネルギーを集めて、これを数ヶ月にわたって貯蔵する新しいアイデアである。この方法の農漁業用、脱塩用および空調用などへの利用は非常に有望であるので、最近10年間にその基礎的ならびに実用的研究が活発に進められてきた。ソーラーポンドの基本原理にはポンド内に池底部ほど濃度の高い塩水濃度こう配層をつくりその対流抑制作用で自然循環を防止する方法と高粘性のポリマー等の物質で対流を防止して池底部の温度を保持する方法とがある。¹⁾前者に関しては、C.E.Nielsen²⁾やA.Rabl³⁾らが、塩水濃度こう配層の形成およびその断熱特性等についての基礎的ならびに実用的研究を行なっている。後者に関しては、塩水に比し必要経費がやや高いが、濃度こう配維持装置が不要、漏えいした場合周囲環境への害が無い等の特性を有しているにもかかわらず、現段階ではいまだ十分な研究は行なわれておらず、わずかにL.H. Shaffer⁴⁾、E.S.Wilkins⁵⁾および、多賀ら^{6,7)}による基礎的研究が行なわれたに過ぎない。

本論文では、後者の粘性流体ソーラーポンドの非対流層を形成する高粘性物質であるポリマー層に関する光学および熱的特性を調べた実験結果が述べられた。実験に先立ってまず、16種類のポリマーについて溶解性、均一性、透明性ならびに粘性に関する検討を行ない、ソーラ

* 機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

ーポンドの高粘性材料としてはアニオン性ポリアクリルアミド(三洋化成製, 以後SPR-402と略す) およびカルボキシメチルセルロース(以降CMCと略す)が最適であることを確かめた。⁸⁾ つぎに, 光学的特性に関する実験では, ポリマー層の厚さ5cmの場合については, 各種の波長の光の吸光度と濃度との関係が調べられた。また, 波長が514.5nmおよび, 632.8nmの場合については, 0.4%, 0.5%および0.8%の各濃度に関して, 吸光度とポリマー層の厚さとの関係が実験された。熱的特性に関する実験では, ポリマー層の粘性とその温度による影響ならびに対流限界および蓄熱特性が検討された。その結果, 粘度はポリマーの温度上昇とともに小となることおよび, 暗室で常温で保持したならば, その粘度は, 1ヶ月以上にわたって変化しない。しかし, 70℃の温度で長時間保持した場合には粘度が低下し, 温度による影響を大きく受けることがわかった。対流限界については各種濃度の場合についてポリマー層内に温度こう配をつくり, その対流力が抑制できなくなる限界値を測定した。蓄熱特性については, 太陽灯を用いたシミュレーション実験を行ない, ポリマー層の温度上昇を測定した。

2. ポリマー層の光学的特性

太陽エネルギーがソーラーポンドのポリマー層に入射した場合, その光透過率を知ることが設計上重要である。そこで, 本研究ではまず図1に示す方法によって, 各種濃度の場合について波長別の吸光度を測定した。

ここで, 吸光度Aとは, I_0 , Iをそれぞれセル内にポリマーがある場合とない場合におけるセル通過後の各波長での強度とすると,

$$A = \log(I_0/I) \quad (1)$$

で定義される。

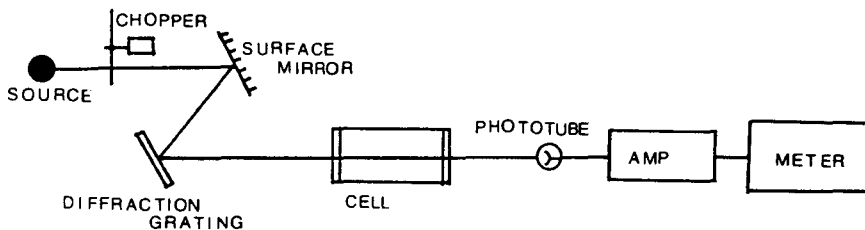


図1 吸光度測定装置

吸光度とパーセント透過率(以下透過率と略す) T

$$T = (I/I_0) \times 100 \quad (2)$$

との間には,

$$\begin{aligned} \log T &= \log(1/10^A) + 2 \\ &= -A + 2 \end{aligned} \quad (3)$$

となる関係式が導かれる。式(1)および式(2)の関係は図2および図3にグラフ化されている。

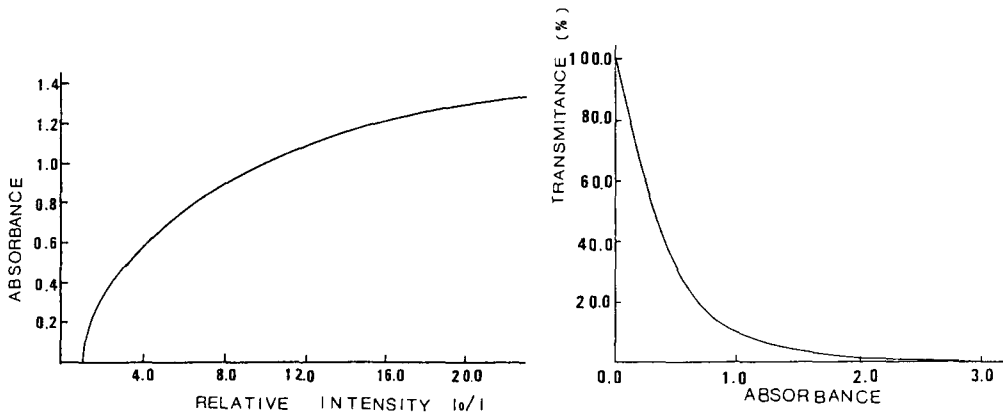


図2 吸光度Aと相対強度 I_0/I との関係

図3 吸光度Aとパーセント透過率Tとの関係

たとえば、図2で、相対強度 I_0/I が、4.0の場合、吸光度Aは0.60と求まる。この値を透過率Tになおすと図3より25.1%である。図1の分光光度計（東洋光電工業製）で得られる波長範囲は、340nmから900nmまでである。セルの長さすなわちポリマー層の厚みは1cmおよび5cmの2種である。光源には、タングステン電球（12V, 1.5A）を用いた。この光はチョッパーでパルス状の光に変えられ、表面鏡を経て回折格子（600本/mmの反射型回折格子）に入り、任意の波長の光がセルに入射するように構成されている。ポリマーが入れているセルを通過した光は光電管に入り増幅器で増幅されたあと、メータにより透過率または吸光度が指示される。実験ではポリマーSPR-402の濃度0.4%, 0.5%, 1.0%, 1.5%および2.0%の各場合について波長400nmより900nmまでの範囲における透過率または吸光度が100nmおきに測定された。セル長さが5cmの場合の測定結果を表1に示す。また、透過率と波長との関係は、図4のようになる。図示のように各濃度の場合とも透過率は波長によって変化しない。しかし、透過率の濃度による差異は大きく、低い濃度ほど高い透過率を示している。なお図中には比較のためにCMC

表1 波長別の濃度Cと吸光度Aの測定結果（T：透過率，セル長さ5cm）

WAVELENGTH (nm)	C%	0.4	0.5	1.0	1.5	2.0
400	A	0.040	0.090	0.158	0.276	0.354
	(T, %)	(91.3)	(82.1)	(69.5)	(53.0)	(44.3)
500	A	0.040	0.074	0.147	0.267	0.345
	(T, %)	(92.0)	(84.3)	(71.3)	(54.1)	(45.2)
600	A	0.034	0.068	0.140	0.258	0.338
	(T, %)	(92.4)	(85.6)	(72.5)	(55.2)	(45.9)
700	A	0.031	0.061	0.132	0.256	0.327
	(T, %)	(93.1)	(86.8)	(73.8)	(55.4)	(47.1)
800	A	0.023	0.057	0.125	0.253	0.314
	(T, %)	(94.9)	(87.8)	(75.0)	(55.8)	(48.5)
900	A	0.018	0.046	0.118	0.243	0.300
	(T, %)	(95.9)	(89.9)	(76.2)	(57.2)	(50.1)

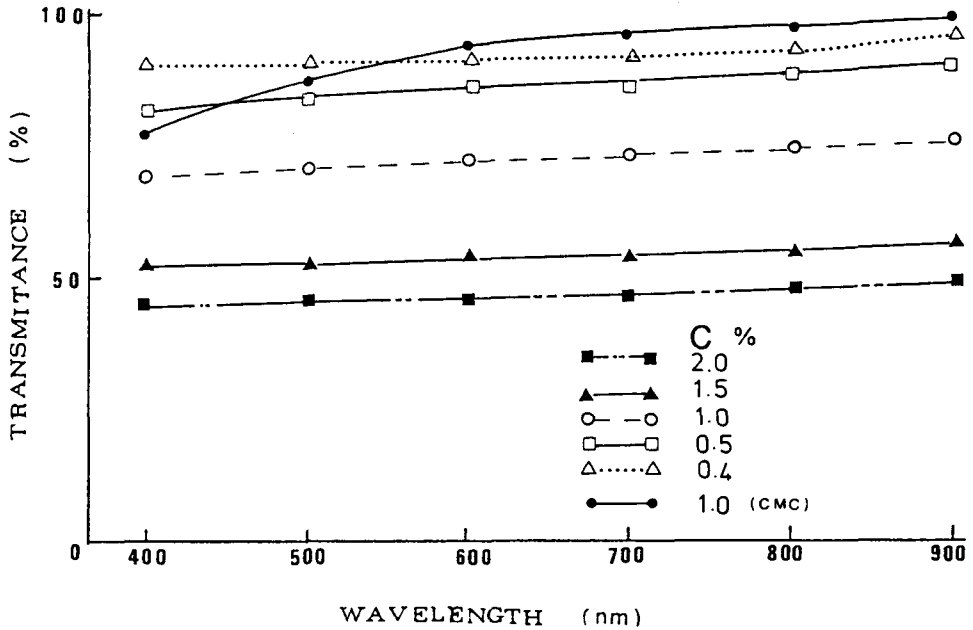


図4 透過率と波長との関係 (セル長さ 5 cm)

の測定結果を示してあるが、この場合は低い波長域で透過率が波長によって異なっている。また、同一濃度のもとではCMCはSPR-402より透過率はかなり高い。なお1 cmのセルを用いてSPR-402の透過率を測定した結果によれば、このように厚さの小さいポリマー層においては透過率の波長依存性はなく濃度による差異もほとんどなかった。つぎにポリマー層の厚みが5 cmの場合について吸光度と濃度の関係を波長別に示すと図5のようになる。図示のように各波長の場合とも濃度と吸光度との間には、あきらかに直線関係が成立する。次に、吸光度

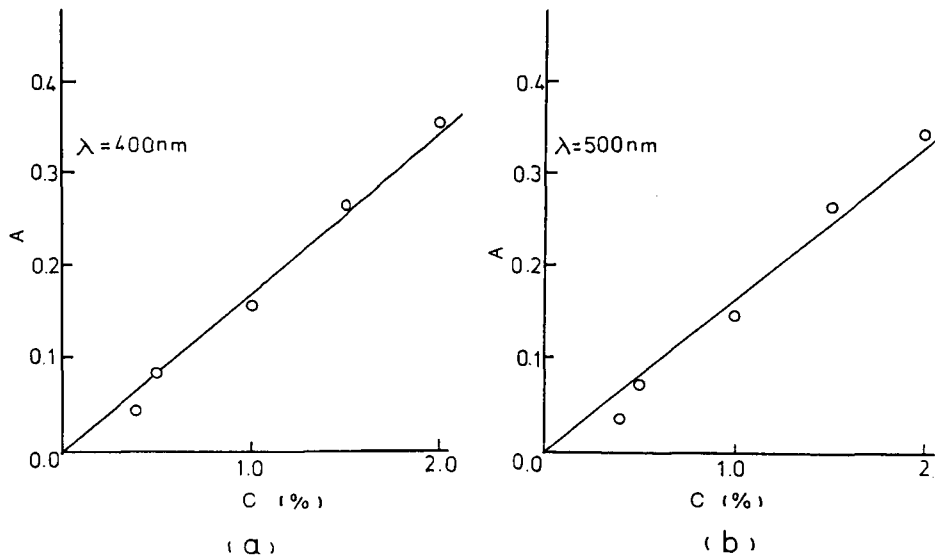


図5 吸光度Aと濃度Cとの関係 (波長 $\lambda = 400\text{nm}$, 500nm の場合)

とポリマー層の厚さとの関係を測定した結果について述べる。図1の測定装置では使用できるセルの厚みは5 cmまでであった。そこで、5 cm以上の厚さの場合の吸光度を測定するためには図6に示すような測定装置が用いられた。光源として、アルゴン (Ar) レーザ (波長 514.5 nm, G L G 3200, 日本電気製) が用いられた。レーザから出た光を入射させるセルは、一辺20 mmの正方形断面を有するアルミ製の容器で、光が通過する両端面に光学ガラスが接着されている。セルの内面には、反射防止のためつや消しの黒色ペイントを塗布した。入射光はポリマー層を通過する間に散乱を生じセルの厚さが大きい程光はよく広がる。透過率したがって吸光度は、この場合セル入射前の光の最大強度および通過後の光の最大強度との比を用いて計算した。セルの出射端面より出た光は、直径0.45mmのピンホールをはりつけたシリコンフォトダイオード (S1336-8 B Q, 浜松テレビ製) によってその強度が測定された。濃度0.4%, 0.5%および0.8%のSPR-402について、セルの厚さが5 cm, 10cm, 20cm, 30cmおよび40cmの各場合に測定した吸光度とポリマー層の厚さとの関係が図7に示された。この場合の光源は、He-Neレーザである。図のように吸光度の値は、ポリマー層の厚さに比例して増加する。

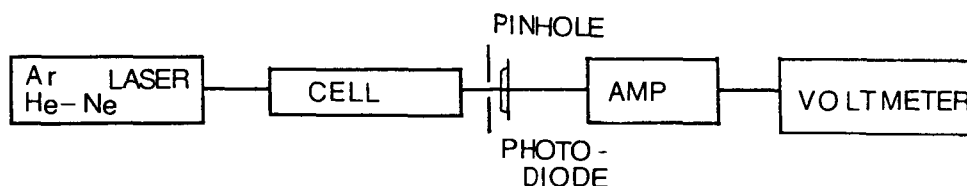


図6 吸光度測定装置 (セル長さ 5 cm 以上の場合)

3. ポリマーの粘性とその経年効果

ポリマーの粘性は高粘性ソーラーポンドの設計上重要な物理量である。特にポンド内の温度が上昇した場合、ポリマーの粘性が温度によってどのように影響されるか、またこのような高温の状態で日数の経過と共に粘性がどのように変化するかを研究することが重要である。そこでここではまずSPR-402およびCMCの両ポリマーに関して各濃度における粘度を測定した。ポリマーは、非ニュートン流体であるのでその粘性係数は測定時におけるずり速度の速度こう配の関数である。したがって回転粘度計を用いて真の粘度を評価するためには各種回転数での粘度を測定して、上記の関数関係を明らかにする必要がある。しかし通常はポリマーの粘性を評価する目安として、常温で60rpmでの粘度が用いられているので、ここでも62.5rpmの粘度計 (VT-02, リオン製) で測定した値にもとづいて粘性を議論する。図8は各濃度でのポリマーを一時的に加熱して粘度と温度との関係を調べた結果である。同濃度の場合、温度が上昇すれば、粘度は温度に比例して、小さくなり特に高い濃度の場合にその傾向が大きくなる。図示のように同一温度での濃度による粘度の違いは大きく、たとえば室温付近(20℃)

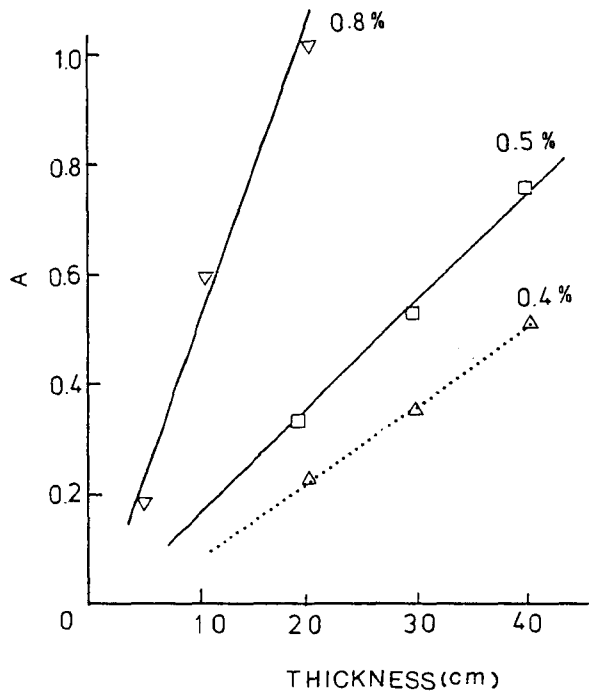


図7 吸光度Aとポリマー層の厚みdとの関係 (波長632.8nmの場合)

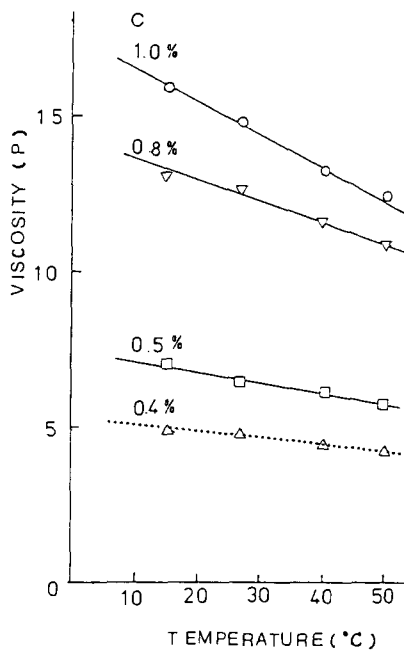


図8 ポリマーの粘度と温度との関係
(ポリマーの濃度C=0.4%~1.0%)

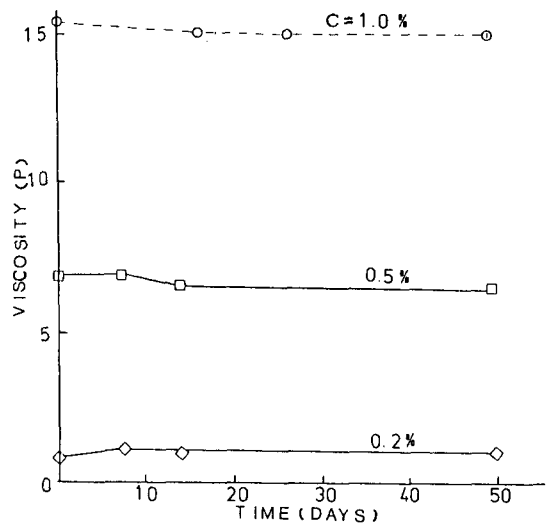


図9 粘性劣化 (暗室, 常温放置)

で濃度が0.4%および1.0%の場合の各ポリマーの粘度はそれぞれ5 Pおよび17 Pであった。

つぎにポリマーの経年効果を明らかにするために、まず暗室で常温の条件のもとで、日数の経過と共に粘度がどのように変わるか、また暗室で70℃の温度にポリマーを保持した場合の粘度変化が測定された。図9に前者の結果を示す。各濃度の場合とも初期において溶解時の不均質性のためわずかな変化があるが、一定期間を過ぎるとその粘度のままほとんど変化しない。つぎに図10に後者の結果を示す。濃度0.5%のポリマーについて酸化防止剤0.05%混入した場合の経年効果も示されている。防止剤を入れない場合60日間で12Pより7Pに減少するのに対して、防止剤を入れると粘度はほとんど変化しない。したがって、単に高温で持続するだけであれば、酸化防止剤を混入することによって長期にわたって粘度を高く保つ効果があることが認められた。なお、図10で各濃度における測定開始時の粘度が図8の場合より高い値になっているのは、測定時の試料の実際濃度が水分の蒸発によって2倍程度高くなっていたためである。

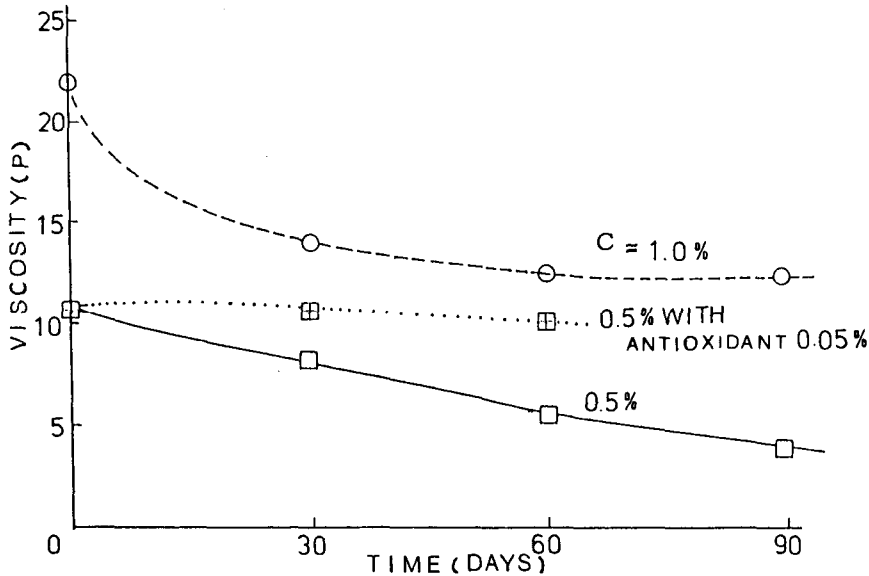


図10 粘性劣化および酸化防止剤の効果 (暗室, 70℃一定)

4. ポリマー層の対流限界

粘性液体ポンドでは、ポリマーのもつ高粘性力によって対流が抑制されている。しかし、長期間の蓄熱によってポンド底部の温度が上昇して、深さ方向での温度こう配の値がある一定限界を越えた場合には、その温度差にもとづく対流力にポリマーの粘性力がおよばなくなってポリマー層内に流動が生じ断熱効果を失うにいたる。以下にはこの対流限界の値に対する各種濃度および各種ポンド深さでの実験結果について述べる。図11に測定装置の概略図を示す。ポリマーを入れる水槽は直径30cmで深さ10cmおよび20cmの円柱容器である。このタンクの底面が一樣に加熱されるように、タンクの周囲は断熱材で十分に保温されているのでポリマー層内には、

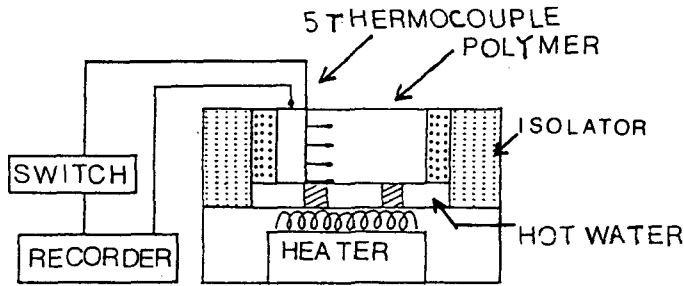


図11 対流限界測定装置

底部ほど温度の高い直線的な温度こう配ができる。この深さ方向の温度分布は図示のように等間隔で配置された5mmのC. Cシース熱電対5本によって測定され、タイマーつき切り変えスイッチ（島津製作所製）によって記録計（理化電気製）に自動記録された。温度差が小さくポリマーの粘性効果によって対流が抑制されている間は、記録された温度分布は底部ほど高く表面に近づくにつれて低くなっている。しかし、しだいに底部温度が上昇し温度差が大となると対流抑制作用がなくなり底部から表面までの直線的な温度こう配が崩れて上下の測定点の間で、温度に逆転関係が生じるようになる。この時の表面と底の温度差より温度こう配を求め、この値をその粘度における対流発生限界値とする。測定開始前に各種濃度のポリマーについて、粘度を測定し、これらの値と対流限界の温度こう配値との関係を求めた結果を図12に示す。ポンドの深さが20cmの場合、ポリマーの粘度1 Pでは、 $0.6^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 以上の温度こう配に達すると、対流が生じる。すなわち、ポンドの表面と底面間で 12°C の温度差までは対流が抑制され、断熱効果を發揮できることを示している。図の直線はその限界線であり、この直線より上の条件では対流が生じ、下部の条件では生じない。図示のように同一粘度であればポリマー層の深さが大きい程限界値が小となる。すなわち対流限界に関しては層の深さが関係するのでこの点さらに研究を進める必要がある。

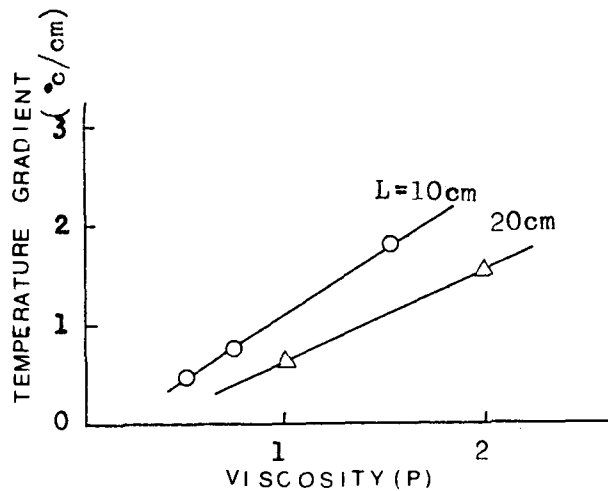


図12 対流限界 (L:ポンドの深さ)

5. ポリマー層の蓄熱特性

ポリマー層に太陽光が入射した場合の温度上昇と蓄熱効率を調べる目的で、太陽灯を用いた室内でのシミュレーション実験を行なった。図13は太陽灯による室内実験装置を示す。実験は比較のために、SPR-402の1%溶液と塩水濃度こう配層および純水の各場合について行なわれた。400Wの東芝製陽光ランプDR400/TLを12時間毎に点灯と消灯を繰り返し、その場合の層内温度分布の時間的変化が各種深さに設置されたシース熱電対によって測定された。

図14はポリマー1%溶液の場合の底部温度と表面下5mmの位置での温度の時間的变化を示す。表面温度は点灯と消灯毎に周期的に温度上昇と下降を繰り返すのみであるが、底部温度は図示のように周期的変化をしつつだいに温度が上昇し、ポリマー層内にエネルギーが蓄積されてゆく。この場合、点灯時の集熱効率は、この温度範囲では50~60%であった。また、次式で定義される24時間毎の蓄熱効率= (日射時蓄熱量-消灯時放熱量) / (日射時蓄熱量) の値は図15に示すようになる。点灯開始当初の第1日目は周囲壁温度が定常状態に達するまで、その加熱のために入射エネルギーの一部が費やされるので、効率は低い値を示す。また、第3日以降は、日数の経過と共に層内温度は上昇する。したがって消灯時の放熱量が増加して、やがて点灯時の蓄熱量とその値が平衡するので、蓄熱効率は0に近づく。

図16は同様の実験によって調べられた塩水濃度こう配層、ポリマー層および、純水の場合について底部温度の差異を示す。純水の場合には日数が経過しても、ほとんど温度が上昇しないが塩水層とポリマー層の場合には、だいにエネルギーが蓄積され、温度が上昇していることが示されている。

6. おわりに

高粘性ソーラーポンドに関しては、いまだ基本構想が発表されているだけで設計に必要な基礎的資料は皆無に等しい。本研究によって明らかにされたポリマー層の吸光度、粘度お

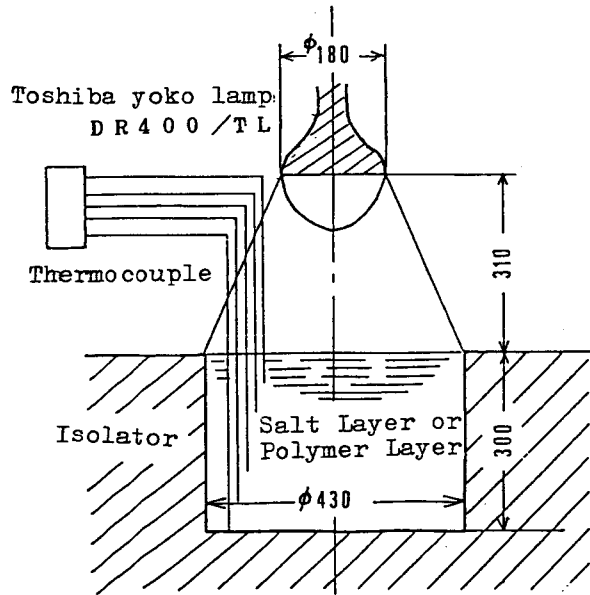


図13 太陽灯による実験装置

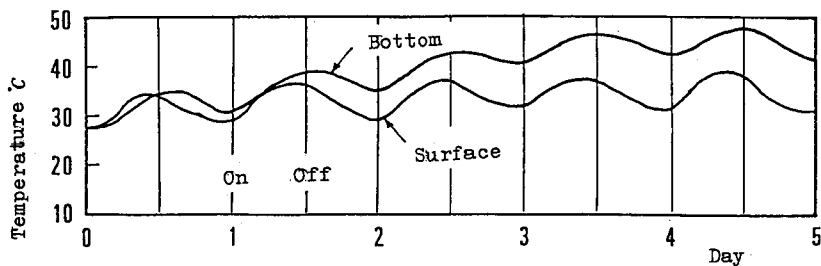


図14 ポリマー層 (濃度1%) の温度変化

よび蓄熱に関する特性はこの種のソーラーポンドの実用性を検討する上で最も基本となるものである。ただし、実用ポンドを設計するためには今後さらに広範囲の実験条件で精密な測定を行なうことが必要である。

最後に、本論文のテーマを卒業研究として遂行された熱工学研究室卒業生各位に、測定法全般についてご助言いただいた工業化学科村田幸進助教教授ならびに Ar レーザの使用を許可いただいた近畿大学理工学部木原利喜講師に感射いたします。なお、試料の提供その他に多大のご協力をいただいた三洋化成株式会社に対し謝意を表します。

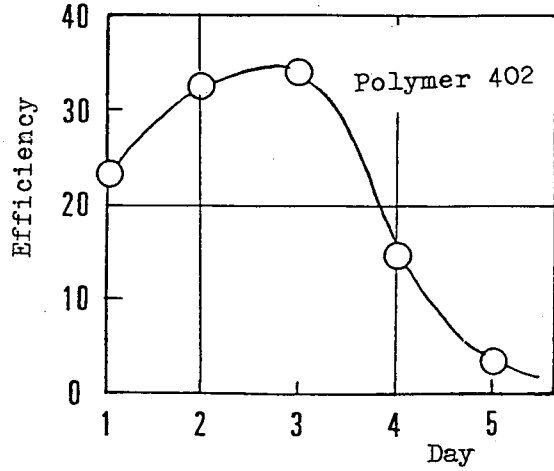


図15 ポリマー層の蓄熱効率

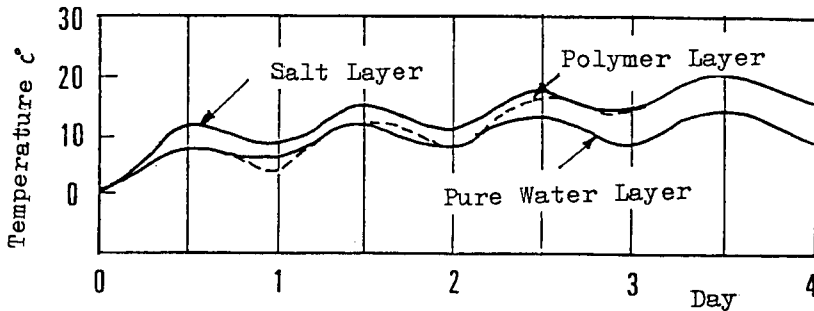


図16 純水、塩水およびポリマー層の温度変化の比較

引用文献

1. モデル地域に適した新しい太陽熱利用システムに関する調査研究報告書、(財) エンジニアリング振興協会 (1982年6月)。
2. C.F.Nielsen and A.Rabl, Proc-Joint Conf. An. Section, Int. Solar Energy, Solar Energy Con. (1975)183.
3. A.Rabl and C.Nielsen, Solar Energy 17(1975)1.
4. L.H.Shaffer, Proc. of the Int. Solar Energy Society (New Delhi) (1978)1171.
5. E.S.Wilkins, Int. Society Energy Conversion Eng. Conf. 2(1981)1726.
6. 多賀, 日本太陽エネルギー学会講演論文集, 13 (1980) 49.
7. 大阪府立工業高等専門学校機械工学科卒業論文, 昭和53年度 河合, 森永, 昭和54年度 松井, 昭和55年度 木村, 南場, 昭和57年度 佐田谷, 林, 古川, 松本.
8. 三洋化成(株), 私信.