



ソーラーポンド用が開発されたメタルハライドランプおよびマイコンを有するソーラーシミュレータ

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-11-12 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 松本, 俊郎, 多賀, 正夫, 越智, 敏明 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24729/00007988">https://doi.org/10.24729/00007988</a>

# ソーラーポンド用に開発されたメタルハライドランプ およびマイコンを有するソーラーシミュレータ\*

## Solar Simulator with Metal Halide Lamp and Microcomputer developed for Solar Pond

松本俊郎\*\*, 多賀正夫\*\*, 越智敏明\*\*

Toshiro MATSUMOTO\*\*, Masao TAGA\*\*, Toshiaki OCHI\*\*

(昭和59年4月18日)

### ABSTRACT

A simple solar simulator was developed to investigate the thermal performance for the solar pond. A metal halide lamp was used as the simulator lamp source which has similar radiation spectrum to the natural solar spectrum. Basic pattern of the daily radiation incident was achieved by physically moving the radiation source away from the surface of pond. The movement of source is controlled to simulate variation of the radiation incident by pulse motor aided with microcomputer (TK-85, NEC). To show the effectiveness of the solar simulator, temperature measurement of a model pond was carried out through five days under the real outdoor incident condition.

### 1. はじめに

わが国では二度にわたるオイルショック以来、太陽エネルギー利用技術に関しても低温熱源としての直接利用、高温集熱による発電および太陽電池等の各分野でさかんに研究が続けられている<sup>1)</sup>。特に低温熱の直接利用では、家庭用の太陽温水器、ソーラーハウス等が実用化されるようになったが、さらに、今後は産業用の利用技術の開発が望まれている。そこで、蓄熱技術として有望視されているソーラーポンドはその長期蓄熱作用により供給の不安定性が小さく、低温熱を大量に安価に供給できる特長を有するので予熱用の熱源、あるいはヒートポンプ用熱源として大きな可能性が見込まれている。この方法の原理である池底部の水温を保持するための対流抑制法には、今まで2つの方法が検討されている。一つは池底部ほど濃度の高い塩水濃度こう配層をつくる方法、他の一つは高粘性のポリマー溶液を上層に設けて対流を抑制し、蓄熱層として真水を下層に設ける方法である。前者については、H. Tabor<sup>2)</sup>, F. Zangrando<sup>3)</sup>, 多賀<sup>4)</sup>ならびに木の瀬ら<sup>5)</sup>によってポンド性能におよぼす多くの要因が研究されている。後者は1978年 L. H. Shaffer<sup>6)</sup>によって始めて構想が発表されたもので前者と比較して無害であり保守が不要という利点を有するので小規模の需要に対して有望である。しかしいまだ基礎的研究もほとんどなされていない状況である。実用化をはかるための基礎的問題としては粘性剤

\* 本論文の1部は、1984年春季第31回応用物理学関係連合講演会で講演したものである。

\*\* 機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

の選定、粘性と対流限界、光の透過率<sup>7)</sup> および蓄熱特性等があげられ、これらの解決のための理論的研究ならびに屋内外での実験が行なわれなければならない。屋外実験では、入力となるエネルギー源の太陽の日射が毎日の天候に左右されるので、各種の要因と蓄熱性能との関係を一般化することが困難である。

本研究では屋内において日射量が規定通りに変化し、しかも再現性がある方法としてポンド上面に擬似太陽灯である陽光ランプ®を吊り上げ、これをマイコン制御されたパルスモータで上下させ、照射距離を変えることによって任意の日射パターンを実現できる機能をもったソーラーシミュレータの試作に関する研究を行なった。その結果、400Wの陽光ランプ1灯を用い、日射時間を14時間に設定して日射量分布が正午(12時)に最大日射量になるようCOS曲線で近似した夜間10時間は消灯し、モータもOFFにできるシステムを構成できた。したがってプログラムの変更によって積算日射量 2804 kcal/m<sup>2</sup>・day 以内の地域についてはランプの上下移動で任意の日射量パターンを作成できることとなった。使用したマイコンはワンボードマイコン TK-85(NEC)である。

## 2. シミュレータの設計

日本における各地の日射量は気象庁により月別に平均の日積算日射量 (kcal/m<sup>2</sup>・day) が発表されている。ここでは、まずこの値を水平面時刻別日射量に換算するため COS 関数の時間分布を仮定する。すなわち、ある時刻Tでの日射量 I(T) は、

$$I(T) = (\pi Q / 2T_0) \cdot \text{COS} \{ \pi / T_0 \cdot (T - 12) \} \quad (1)$$

とする。ここで Q は、1日あたりの積算日射量、T<sub>0</sub> は日照時間である。日の出より日の入り

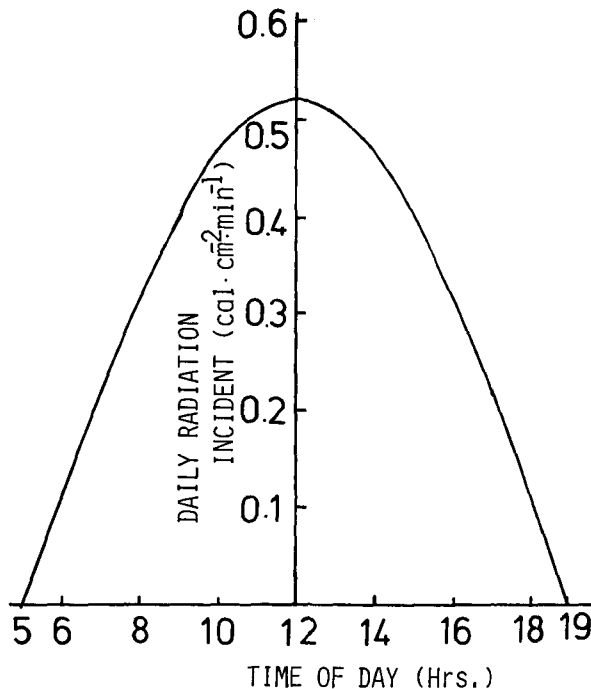


図1 1日の時刻別日射量分布

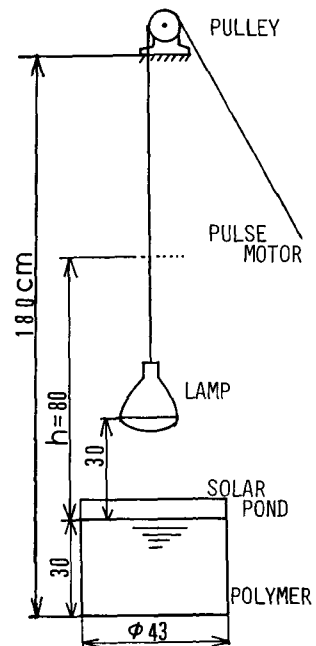


図2 ランプの移動による日射量変化装置 (h: ランプとポンド表面間の距離)

までをたとえば午前5時から午後7時つまり  $T_0=14$  時間とし、 $Q=2804 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{day}$  とした場合の日射量分布は図1に示すとおりである。シミュレータの機能はこのような時間的分布をもった日射を図2に示すようにポンドの上方に滑車を介して吊り下げたランプの上下移動によってソーラーポンド表面に与えることにある。ランプにはメタルハライドランプの一種であり、太陽のスペクトルと類似した陽光ランプ®400W 1灯を用いた。あらかじめ、日射量と照射距離との相互関係を知るためにランプを各種の高さに設定してポンド表面で日射計 (MS-61, 英弘精機) により日射量分布を測定した。その結果を図3に示す。図示のようにランプを

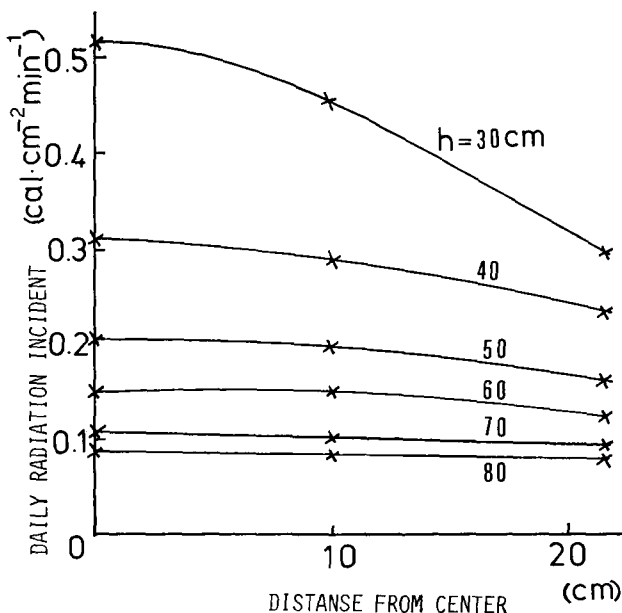


図3 各種高さにおけるポンド表面での日射量

ポンド表面に近づけるほど、大きな日射量が得られるが同一平面での日射量の分布はしだいに一定でなくなる。ランプがポンド表面より 30cm の位置では、中心と半径 20cm での日射量の違いが  $0.23 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$  であり、この高さが一定日射量を得る限界である。逆に、ランプをポンドから離せば日射量は減少して 0 に近づくが、実験装置全体の高さの制約から最大距離はポンド表面から 80cm の位置とした。モデルポンドは図2に示すように直径 43cm、深さ 34cm の塩化ビニール製の円筒容器である。ポンドの周囲は熱伝導による損失を防止するため断熱材でカバーしてある。図1に示された日射量をランプ高さに換算すれば、図3のポンド中心での日射量 (I) とランプの高さ (h) との関係式として、

$$I = 290 \cdot h^{-1.9} \quad (2)$$

が得られる。表1は日射量とランプの高さとの関係を示す。表に示されているように1時間ごとのランプ移動量は、12時に近づくほど小さくなる。このようにして求めた移動量をマイコンに記憶させ、ランプの移動はこの数値を基準にしたパルスモータにより行なう。なお5時におけるランプ高さは、無限大とすべきであるが実際には図2に示すように 80cm である。モータの1パルスによる回転角は  $1.8^\circ$  で、滑車の直径 8.0cm を用いて計算した1パルスあたりのランプ移動量は 1.25mm である。したがって、5時を起点とした1時間ごとのランプ移

表1 日射量とランプの高さとの関係

時刻 (T)	日射量(I) (cal/cm <sup>2</sup> ・min)	ランプの高さ(h) (cm)	ランプ移動量 (mm/Hour)	パルスを出す 周期 (sec)
5	0	80.0	12.7	35
6	0.117	67.3	20.3	22
7	0.228	47.0	8.3	54
8	0.327	38.7	4.5	102
9	0.410	34.2	2.5	180
10	0.472	31.7	1.3	360
11	0.511	30.4	0.4	1200
12	0.524	30.0	—	—

動量に相当するパルス周期は表1に示した値となり、たとえば6時より7時の間は22秒おきにパルスモータが動作すればよいことになる。図2に示されたランプの可動範囲内でシミュレートできる1日あたりの積算日射量は最大日射量の得られるランプの高さが30cmであるから(2)式より、 $I=0.524\text{cal/cm}^2\cdot\text{min}$ であり、この値を(1)式における $T=12$ 時の振幅に代入して $Q=2804\text{Kcal/m}^2\cdot\text{day}$ となる。したがって、太陽灯が1個のこの装置では最大日射量がこの値以内の場合のシミュレーションを行なうことができることになる。

### 3. パルスモータ制御システム

図4に装置の構成を示す。パルスモータの制御系は、図のようにマイコン(TK-85)にインターフェースとパルスモータを接続したものである。インターフェース<sup>7)</sup>は分周回路IC<sub>1</sub>、タイマー回路IC<sub>2</sub>、割り込み制御回路IC<sub>3</sub>およびモータ駆動回路よりなる。回路IC<sub>2</sub>にはタ

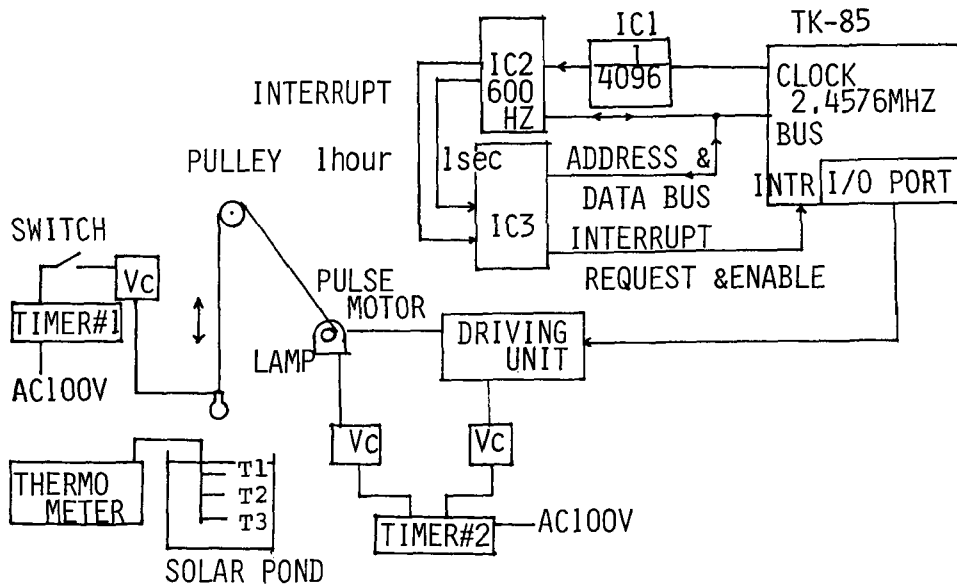


図4 ソーラーシミュレータの構成 (T<sub>1-3</sub>:熱電対, IC<sub>1</sub>:分周回路, HD14040, 日立; IC<sub>2</sub>:タイマー回路,  $\mu$ PD8253, NEC; IC<sub>3</sub>:割り込み制御回路,  $\mu$ PD8259, NEC)

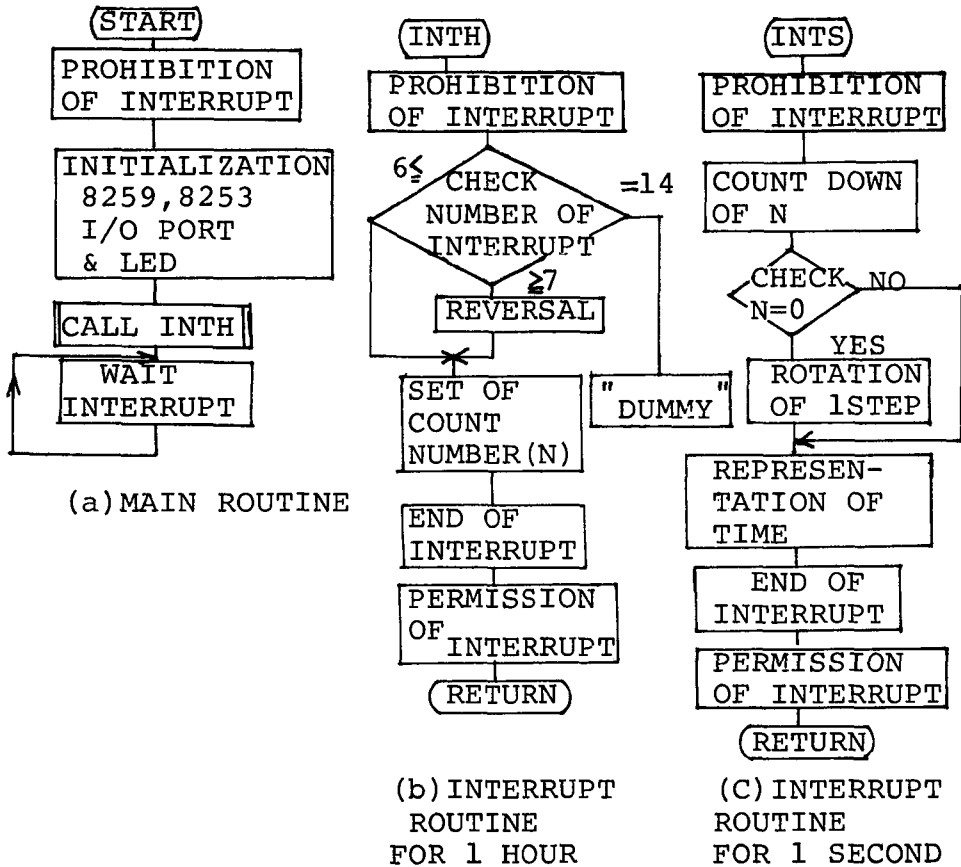


図5 ソフトウェアの構成

イマ専用 IC ( $\mu$ PD8253, NEC) を用いる。この基準時間は、分周回路 IC<sub>1</sub>(HD14040, 日立) を用いてマイコンのクロック 2.4576MHz を1/4096 にして 600Hz とする。8253 のタイマー設定部に 1 秒および 1 時間を設定する。したがって 8253 に入るパルスによって各設定値がカウントダウンされ、0 になった時、それぞれ出力部からパルスがでる。これらのパルスは割り込み制御回路 IC<sub>3</sub>( $\mu$ PD8259, NEC) に入る。この回路はマイコンにおいて INTR 割り込みに接続し、1 秒と 1 時間の 2 つの割り込み制御を行なう。陽光ランプの上昇、下降は滑車を介してパルスモータ (PH299-02, オリエンタルモータ) の回転により行なわれる。モータは駆動回路 (SPD4209, オリエンタルモータ) により制御されマイコンがこの回路に信号を送る。マイコンより信号が出る時間は、表 1 のパルス周期に示した通りで、これらの値がメモリに記憶される。何日も連続して日射量をシミュレーションする場合には夜間を想定する必要があるが、この時間帯はランプを消灯すると共にモータも動作停止状態にしておく。マイコンは時間管理のため運転を止めない。そこで、陽光ランプ® (DR400, 400W, 東芝電材) には電源との間に安定器 (4 MT-105H-B, 東芝電材) およびタイムスイッチ 1 (TU-4, 三菱電機) が接続されており、所定の夜間時間 (19 時より翌日の 5 時まで) および日射開始時刻においてランプを消灯および点灯できるようにしてある。またパルスモータについても何日も続けて励磁することを避けるため、夜間の時間帯においてタイムスイッチ 2 を切る。

ソフトウェアの構成を図5に示す。このプログラムの場合1日の日射量分布は5時より19時までとし、その間日射量はCOS分布をし、以後10時間は日射量0とする。図(a)において最初に割り込み禁止命令を出しておき、8253には、1秒、1時間の設定、8259には、割り込みがかかった場合のジャンプテーブル作成、マイコンのI/OポートおよびLEDの初期設定を行なう。それからパルスモータへのパルスを出す周期は、図(b)の1時間割り込みルーチンに入っているので、サブルーチンINTHを呼び出し最初のカウンタデータを読み込んでくる。割り込み許可を出してRET命令でメインルーチンにもどり割り込みがかかるまで同じルーチンを回る。1秒ごとに割り込みがマイコンにかかってくるのでサブルーチンINTSが呼び出される。割り込みが禁止されデータを1だけカウントダウンする。0になったかどうかを判断し0であればI/Oポートの中のCポートのビット“0”が“1”になりモータを1ステップ回転させる。0でなければLEDに時間を表示し8259へ終了コマンドを送り、割り込みを許可してRET命令で割り込み待ちルーチンへもどる。以下この動作を続けるが、1時間ごとに割り込みがかかる。このときINTHが呼び出される。割り込みが禁止され、割り込み回数を調べ、7回目であれば、12時を過ぎることを意味しておりI/Oポートの中のCポートのビット“1”が“0”になりモータは逆転を始め、ポンドより遠ざかっていく。新しいパルスを出す周期を読みこんできて8259へ割り込み終了コマンドを送り、RET命令で再び割り込み待ちルーチンへもどる。以上の動作を割り込み回数が14になるまで1時間ごとにくり返す。14時間が経過すなわち19時以後になると日射量は0となる。この状態を10時間継続するのでダミープログラムとしてジャンプテーブルを書き変えて割り込みがかかってもINTHやINTSを呼ばないようにし、1時間ごとの割り込み回数が8回までは何もしないが、9回目では陽光ランプ®を高さ8cmの位置に巻き上げ、10回目ではジャンプテーブルをもとにも

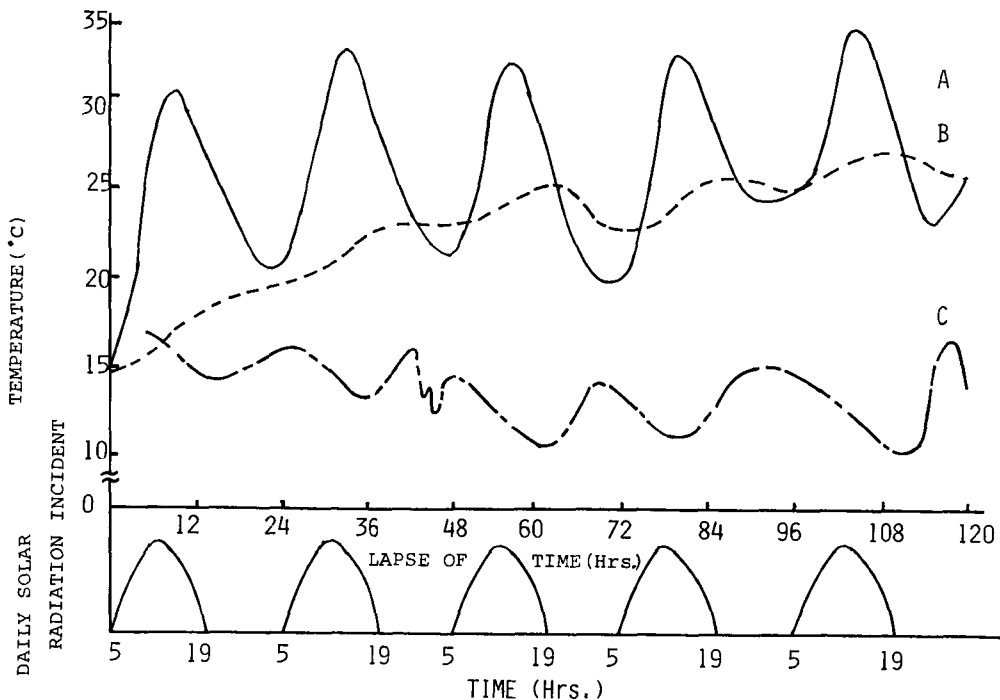


図6 温度測定結果（ポリマー濃度0.3%、A、上部温度；B、内部温度；C、室内温度）

どし、再びメインルーチンの最初にもどるようにしてある。

#### 4. ポンド内ポリマー層の温度測定

シミュレータの性能を確認する目的で、モデルポンドとして図2の円筒内に対流抑制限界以上の濃度である0.3%のポリマー溶液を満たし、連続5日間の試運転を行なった。温度測定位置は図4に示すようにタンク中央の上下方向3個所とし、熱電対には銅-コンスタンタンのシース熱電対を用いた。図6は温度上昇の測定結果で、図中の上部温度は最上部の熱電対  $T_1$  の測定値、内部温度は下2つの熱電対  $T_2$ 、 $T_3$  の測定値の平均値である。上部、内部共に初期には  $15^{\circ}\text{C}$  であるが日射量の増大と共にまず上部温度が急上昇する。最上昇点である  $30^{\circ}\text{C}$  は最大日射量があった12時より少し遅れている。その後日射の減少と共に温度は低下し、 $20^{\circ}\text{C}$  近くまで下がる。しかし内部温度は、図のように日射が減少する12時以降も減少せず翌日日射エネルギーが加算されながら上昇ししだいに一定の平衡値に近づく。すなわち、表面は蓄熱、放熱のための振幅が大きいが、内部でははるかに小さいことがわかる。5日目には内部温度は  $27^{\circ}\text{C}$  に達しポンドの蓄熱効果があらわれている。なお、ここでは全体がポリマー層の場合の試験結果を一例として示したが、実際の粘性ソーラーポンドをモデル化して、上部にポリマー層・下部に真水の蓄熱層を設けた場合等について各種厚みおよび各種濃度でのシミュレーション実験が可能であることがこの試験によって明らかになった。

#### 5. ま と め

ソーラーポンドのポリマー剤の選定、蓄熱特性等の基礎的研究を行なうためにソーラーシミュレータを作成しその有用性を示した。その構成は、ランプ、パルスモータ、マイコンおよびインターフェースであり、ソフトウェアは、パルスを出す時間幅のみを入力データとして、ランプの上昇、下降および夜間における時間管理等を行なう機能を持っている。さらに充実したシミュレータとするため、ランプの個数を増加して日射量を増すと共に、数日にわたって連続運転する場合、日照時間や日照量分布を毎日異なった条件に設定できるようにソフトの改良を行なう予定である。

最後に、本研究に携われた昭和58年度本校機械工学科卒業生杉山誠治氏（鐘紡勤務）、ならびに池田弘樹氏（日立電子エンジニアリング勤務）に感謝の意を表わします。

#### 引用文献

- 1) 財団法人エンジニアリング振興協会、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（昭和57、58年）。
- 2) H. Tabor, Solar Energy, **27** (1981) 181.
- 3) A. Rabl 他 Solar Energy, **17** (1975) 1.
- 4) 多賀正夫, 日本太陽エネルギー学会第6回研究発表会講演論文集, (1980) 49.
- 5) 木ノ瀬紘一, 桜井喜十郎, 第27回水理講演会論文集。
- 6) L. H. Shaffer, Proc. of the Int. Solar Energy Society, (1978) 117.
- 7) 多賀正夫, 松本俊郎, 大阪府立工専研究紀要, **17** (1983) 9.
- 8) 大谷忠雄, 大沢瑛, TK-85 によるマイコン制御入門（啓学出版）。