

展 望

太 陽 炉

桜 井 武 磨*

太陽炉 (solar furnace) は、太陽の光を光学系を用いて集中し、高い温度を得る装置である。太陽炉の使い方には、光化学反応の実験のように、集中された光の作用を利用し、高い温度の発生を伴わない場合もあるが、そもそもこの装置は高温を得るために開発されたものであり、またその用途もほとんどが発生された高温を利用するものであるから、一応上述のように定義しておく。光学系としては反射鏡が用いられる。まず、探照燈を逆に用い、炭素アークの陰極の位置に試料を置いて高温にするものと考えていただければよい。

1. 炉に利用しうる太陽光線のエネルギー

太陽炉に先立ち、まずこれに利用する太陽光線のエネルギーについて述べよう。太陽は地球からきわめて遠いところにある超高温の大きな球形の物体で、その直径は約 1.4×10^6 km、地球からの距離は季節によつて異なるが、年間平均約 1.5×10^8 km である。この直径を距離で割った値が地球から太陽を見た場合の視直径を与え、その値は約 $1/100$ ラジアン、角度で表わすと約 $31'59''$ となる。この事は太陽を写真にとると、レンズの焦点距離の約 $1/100$ の直径の像がうつるということを意味する。

太陽の内部は1500万度もあるが、その表面は遙かに温度が低く、約 6000°K と推定されている。この表面から

輻射される光がほとんど吸収を受けることなしに地球の大気圏まで到達するわけで、その分光分布は図1aに示す如く、可視部の緑 (波長 0.5μ) あたりに最大値を有し、紫外部から赤外部に及んでいる。もつとも、この中には太陽外部の気体による多数の吸収線、いわゆる Fraunhofer 線、を含んでいるが、概略的に見て連続スペクトルと見なしてよい。b は 6000°K の黒体輻射の分光分布の理論値で、a と b とから太陽表面の温度が推定されるわけである。大気圏外における太陽光線の強さは、光線に垂直な平面上で単位時間に単位面積に流入するエネルギーで測られ、これを太陽定数と呼んでいる。この測定値は約 $2.00 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$ で、 1m^2 当たり 1.4 kW に相当する。

この光線が大気圏を通ると、空気の散乱によつて全体的に多少弱まり、また大気中に含まれているオゾンなどによつて 0.3μ 以下の紫外線が吸収され、一方水蒸気、炭酸ガスなどによつて赤外部に吸収が生じて、地表に達するものはcに示すような分光分布となる。地表に達した光線の強さ、すなわち光線に垂直な単位面積に単位時間に流入するエネルギーを直達日射量と呼んでいる。表1は種々の場所で種々の季節に測定された直達日射量の例¹⁾

表 1 12 時前後の直達日射量 ($\text{cal/cm}^2/\text{min}$).
1934~38 の日射報告からの加重平均値

月	盛岡 39°42'N	東京 35°41'N	名古屋 35°10'N	台北 25°02'N	パラオ 7°20'N
1	1.359	1.108	1.369	1.217	1.358
2	1.427	1.224	1.379	1.255	1.400
3	1.402	1.190	1.351	1.153	1.386
4	1.311	1.131	1.324	1.170	1.351
5	1.349	1.137	1.323	1.276	1.360
6	1.343	1.158	1.322	1.170	1.343
7	1.303	1.159	1.300	1.278	1.319
8	1.297	1.093	1.292	1.298	1.360
9	1.388	1.134	1.289	1.309	1.333
10	1.373	1.115	1.319	1.312	1.388
11	1.319	1.082	1.306	1.253	1.386
12	1.323	1.052	1.299	1.287	1.396

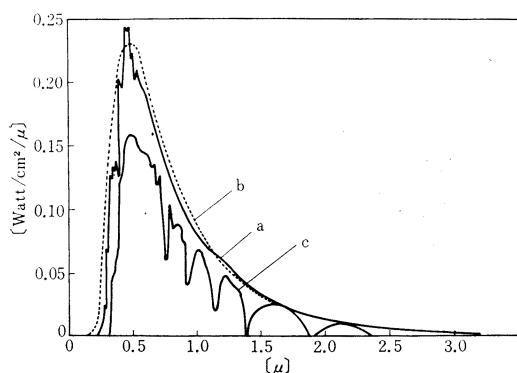


図 1 太陽光線エネルギーの分光分布

* 東北大学 科学計測研究所

で、大体 $1.3 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$, 1m^2 当たり 0.9kW 前後の値を示している。これが太陽炉に利用する太陽光線のエネルギーとなるわけである。この表からわかる通り、日射量は緯度や季節によつてあまり変わらない。この事は太陽炉に対し、日本においても赤道直下と同様の能率を期待するというを意味する。

2. 構造

太陽光線を一点に集中するためには集光器が必要である。子供がよく虫眼鏡で黒い紙を焼いているが、このような透過系も一つの方法である。レンズに入射する太陽光線の量は口径 D の2乗に比例し、また太陽像の面積は焦点距離 f の2乗に比例するから、 f/D が出来るだけ小さい方が明るい像が得られ、従つて高い温度が得られるわけである。この f/D を focal ratio と呼んでいる。写真でいう F 数がこれである。さて f/D を小さくすると収差が大きくなる。これを取るためにレンズを組合わせるとガラスの吸収が非常に大きくなる。非球面を導入すると1枚のレンズでよい像を作ることができるが、それでもレンズの厚さは相当な値になる。この点 Fresnel レンズを用いると厚さは少なくなるが、大型になると可成りの量となり、また周辺の光線は入射角が大きいため反射損失が相当多くなる上、良質の光学ガラスは大きくなると非常に高価になり、製作も困難である。

図2はアメリカ C.I.T. にある太陽炉²⁾で、口径 61cm のレンズ19枚で光線を取入れ、反射鏡とレンズの組合

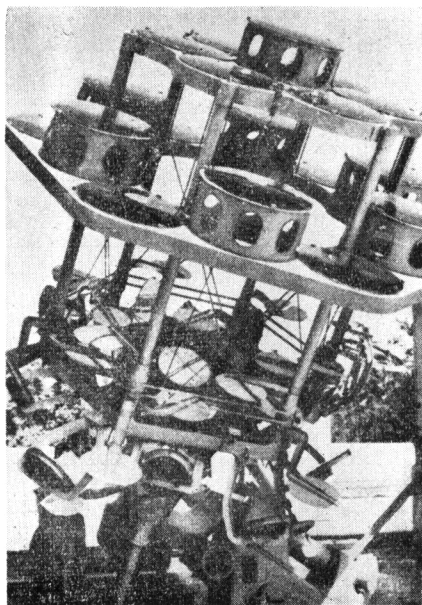


図2 C.I.T. の透過型太陽炉

せて1点に集光するものであるが、実際に使用されているのはこれくらいのもので、現在透過系は余り用いられていない。

太陽光線は非常に平行度がよく、その拡がりはいずれのラジアンにすぎないから、反射系の集光器としては廻転放物面鏡が最も便利である。放物面鏡の形状は二つの parameter, 例えば口径と焦点距離、あるいは口径と focal ratio とによつて定まる。口径は炉に流入する太陽光線のエネルギーすなわち入力支配する。口径 1m の反射鏡の入力は、その面積と直達日射量とを乗じた値すなわち約 0.7kW となる。今口径を一定にし、焦点距離を変えた場合の放物面鏡の断面を図3に示してある。(a)

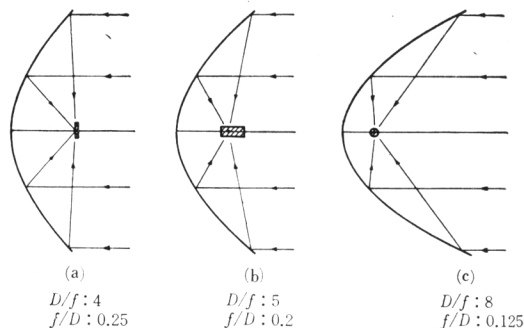


図3 口径の等しい種々の放物面鏡

は鏡の周辺と焦点が同一平面上にある場合で、この時 focal ratio は 0.25 となる。これによつて反射系が如何に明るいということが判るであろう。(b), (c) では focal ratio が更に小さくなる。このように放物面では focal ratio が小数となることが多いので、その逆数即ち口径比 (aperture ratio) を用いる場合がしばしばある。さてこの図でどの形のものがよいかということは照射される試料の形状によつて異なる。照射面が平面の場合には、(a) より深くなることは無意味であるが、円柱面の場合には (b) のように口径比が4以上が適当であり、更に球面で、しかも出来るだけ全体を照射したい時は (c) のように更に口径比の大きいことが望まれる。しかし一般には平面に対する照射が最も多いので、口径比は4より小さいのが普通で、大部分が1から3の間にある。

反射鏡はその形状が正しく所要の放物面をなしていると同時に、その面が光学的に平滑であり、しかも反射率の高いことが望ましい。1枚ガラスの表面を正しく研磨し、その上に Al を蒸着したものは光学的に最もよく、90%以上の反射率を期待出来る。しかし、このような表面鏡は傷み易いので、普通の鏡のように裏面にめつきした裏面鏡が多く用いられている。この場合には光がガラ

スの中を往復するので、ガラスの吸収による損失があり、厚さ 10mm の板ガラスの鏡では太陽光線の 60~70% ぐらいしか反射されない。裏面反射の放物面鏡としては大型探照燈の鏡があり、口径 1~2 m の太陽炉ではしばしば利用されている。大口径の放物面鏡は 1 枚ガラスで作ることが困難なので、多くの鏡を組合わせて用いている。これについては後で述べることにしよう。

金属の反射鏡は熔解物が飛んでも破れる心配がない点が良い。Al を電解研磨し、これを型で押して作ったものが用いられている。しかし光学面としては前者に及ばない。その他プラスチックの放物面鏡³⁾も報告されている。

集光器を用いて太陽光線を正しくその焦点に集めるためには、太陽光線を光軸に平行に送り込まなければならない。太陽光線は時々刻々その方向を変えるので、これに対する対策が必要である。その一つは図 4 (a) のよう

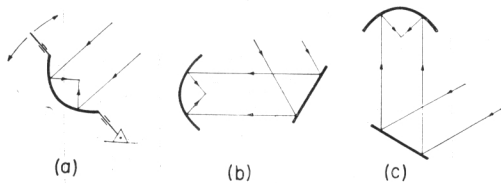


図 4 太陽炉の主要な型式

(a) 直達型, (b), (c) ヘリオスタット型

に放物面鏡の方向を変えられるようにし、その光軸を絶えず太陽に向けることである。このような方式を直達型とよぶ。他の方法は (b), (c) のように方向の変化出来る平面鏡を用い、放物面鏡の光軸に平行に光線を送り込む方法で、この装置をヘリオスタット (heliostat) と呼び、この方式をヘリオスタット型と呼ぶ。helio は太陽 stat は一定という意味である。直達型は装置も簡単であり、ヘリオスタット反射鏡による反射損失がない利点があるが、試料が熔解した時流れ落ちて鏡を傷める恐れがあり、時々刻々試料の方向が変化する上、大型炉では試料が高い中空にあるので種々の不便がある。これに反し、ヘリオスタット型は試料位置が固定されているので便利であるが、反射損失の多い欠点がある。試料の流れる心配を無くするには (c) の方式が最もよい。ただしこの方式は時刻によつて用いられない場合があり、又全体の高さが高くなるので (b) の方式を用いているものが多い。

図 5 はアメリカ Kansas の Conn⁴⁾ が作った直達型太陽炉で、放物面鏡は口径 3 m, 焦点距離 86 cm (口径比 3.5) で Al 製である。

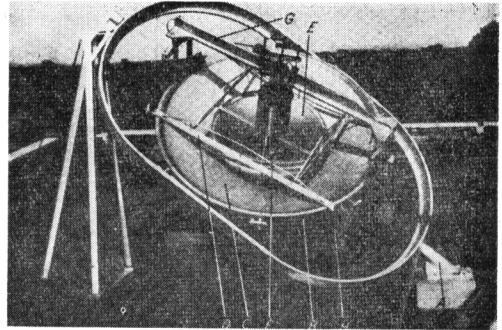
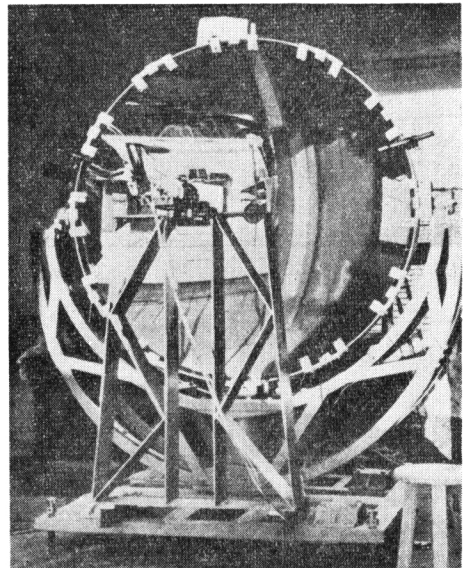
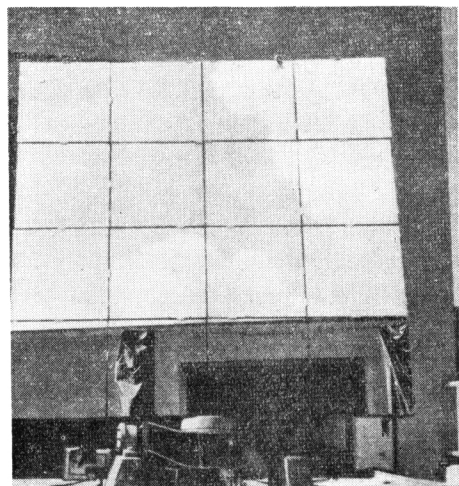


図 5 Conn の直達型太陽炉



(a)



(b)

図 6 名古屋工業技術試験所のヘリオスタット型太陽炉

図4(b)の方式では、三井その他の諸氏⁵⁾によつて名古屋工業技術試験所に設置された炉がある。図6(a)はその放物面鏡で、これは直径1.5m、焦点距離65cm(口径比2.3)の軍用探照燈の反射鏡を利用したものである。(b)はヘリオスタットで、大きさは2.4m平方、表面めつきした16枚の平面鏡から成り立っている。

図7はフランス Pyrénées の Mont'ouis にある

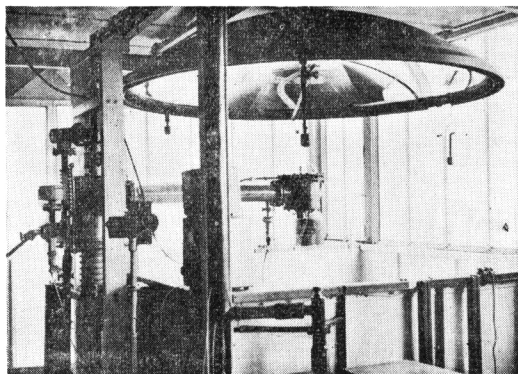


図7 Mont'ouis のヘリオスタット型太陽炉

C.N.R.S. の太陽エネルギー研究所にある炉の一つで、図4(c)方式である。ヘリオスタットはこの図に現われていない。放物面鏡の口径は2m、焦点距離85cm(口径比2.35)である。

太陽炉を使用する場合、直達型にあつては放物面鏡の光軸が絶えず太陽を指向する必要がある、またヘリオスタット型にあつてはヘリオスタット平面鏡の方向が絶えず放物面鏡の光軸と太陽光線とを2等分する方向をとらなければならない。これら放物面鏡あるいはヘリオスタットのとりべき方向は炉を使用する場所の地方時に依存することは勿論であるが、更にその場所の緯度及び季節によつて支配される。太陽の方位及び高度は緯度、地方時、赤緯から球面三角法を用いて求められる。赤緯の時間的变化は、最も大きい春秋分の頃でも毎時1'以下で小さい量であるから、直達炉の場合は、地軸に平行な廻転軸をつけ、これと放物面鏡の光軸との角度を緯度と赤緯から計算して設定すれば、この軸を時間軸とする等速廻転で機械的に太陽を追尾することも出来る。

図3(b)のごとく放物面鏡光軸が水平の場合、仙台(38°17')においてヘリオスタット平面鏡のとりべき方向⁶⁾を方位角と仰角とに分けて示すと図8及び図9のようになる。これでわかる通り、方位角は地方時に対しほぼ直線的に変化し、その傾きが季節によつて異なる。一方仰角は正午に極大値を有する曲線となり、その高さは季節によつて異なるがその形はほぼ等しい。直達炉の場

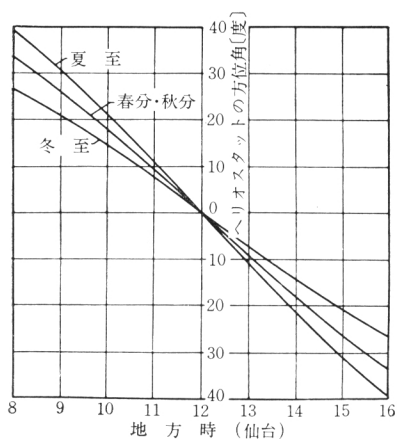


図8 仙台における地方時とヘリオスタット方位角との関係

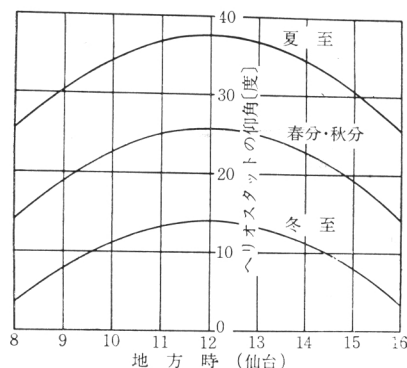


図9 仙台における地方時とヘリオスタット仰角との関係

合には方位角、仰角共にこれらの2倍に近い値と考えればよい。

太陽光線の動きは割合緩慢であるから、最も簡単な炉では、これらの変化を手動で追っているものもある。しかし結像を不動にして温度を定常にし、またある時間が必要とする仕事をするためには、どうしても太陽追尾装置が必要になって来る。この装置には大別して二つの方式がある。その一つは天体望遠鏡で用いる時計仕掛けを簡略化したものであり、他の一つはいわゆる image follow 方式で、放物面鏡の光軸に対して平行な光軸を持ったレンズを置き、これによつてできる太陽像の周囲に光電管あるいは phototransister を置き、像の正規の位置からの偏異を検出し、これによつてサーボ機構が働き方位角あるいは仰角を修正し、太陽を追尾するものである。この方式は正確な追尾ができるが、太陽が雲にさえぎられると作用しなくなり、再び太陽が出た時狂つ

た位置に集光し事故を起こす恐れがある。時計仕掛けにはこのような心配はないが、正確なものは機構が複雑になり製作費がかさむ。

このほか太陽炉の装置としては温度調節器がある。これは光線の量を加減するもので、小型の炉では図 10 のように、円筒を光軸に平行に移動し、焦点に向かう光の

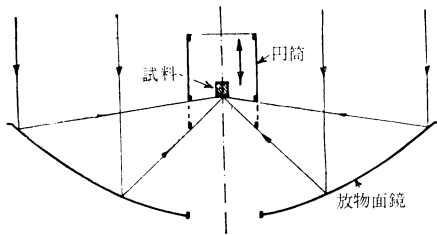


図 10 温度調節装置

量を変化するのがしばしば用いられている。大型炉ではそれぞれ独特の方法がとられているが、これについては後で述べよう。

3. 特性

放物面鏡が完全な場合、これを正しく太陽に向けると、図 11 のごとく、太陽の中心から来た光は鏡の上の

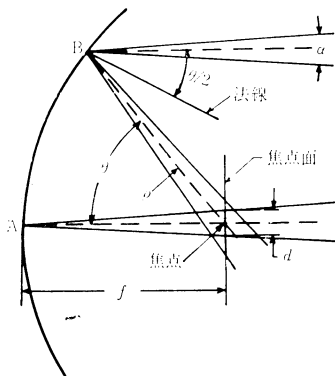


図 11 放物面鏡による太陽光線の反射

1点で反射した後焦点を通るが、太陽の各部分から来た光は反射した後、視直径 α を頂角とする円錐をなして進行する。そこで、反射点と焦点との距離を ρ とすると、焦点を通り光線に垂直な面上には $\rho\alpha$ なる直径の太陽像が出来る。さて、放物面鏡は幾何光学の用語をかりていうならば正弦条件を満足していない光学系で、 ρ は鏡の各点で一定ではなく、周辺に近づく程大きい。従つて周辺の ρ を ρ_{\max} とすると、すべての光線が $\rho_{\max}\alpha$ を直径とする球形に当たることになる。口径が一定の場合、口

径比が4の時、この球形が最も小さくなる。この事は全エネルギーを利用する場合重要なことである。

照射面が平面で焦点面にある時、近軸光線による像は円形となり、この場合 ρ は焦点距離 f になるから、像の直径は $f\alpha$ となる。しかし反射点が軸を離れるにつれて像は楕円となるから像全体としては近軸光線による像の部分で最も光の強度が強くしかも強度一様で、それから強度が減少して周辺の光線による楕円の長軸を直径とする円で終わる。そこで図 12 のような強度分布を持つ

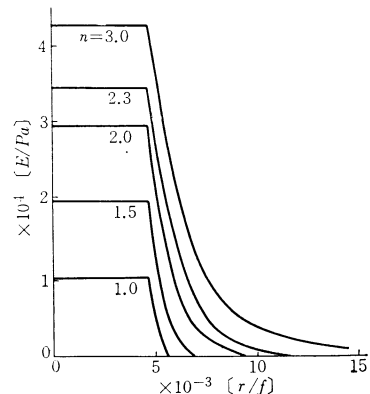


図 12 焦点面における集中強度分布（太陽面の見かけの輝度を一樣とする場合）

ことになる。最も強度の大きい円形部分で単位面積に単位時間流入する輻射エネルギー E_{\max} はつぎの式⁸⁾で与えられる。

$$E_{\max} = \frac{4 P_a}{\alpha^2} \left\{ 1 - \left(\frac{16 - n^2}{16 + n^2} \right)^2 \right\}$$

但し、 P_a は直達日射量、 n は口径比である。この式で E_{\max} が口径比 n と共に増加するが口径には無関係であることは注目すべきことである。以上は太陽の各部分で

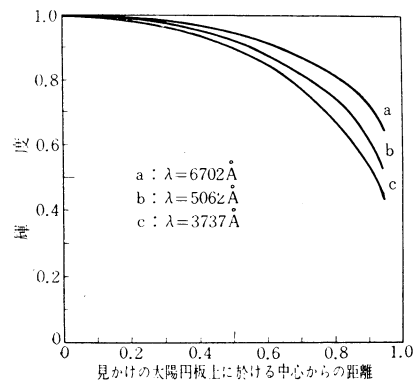


図 13 太陽面の見かけの輝度分布

輝度が等しいものとした議論であるが、実際は直径方向に対し図 13 のような輝度分布⁹⁾を持っているので、これを考慮すると焦点面の強度分布¹⁰⁾は図 14 のようなものとなる。

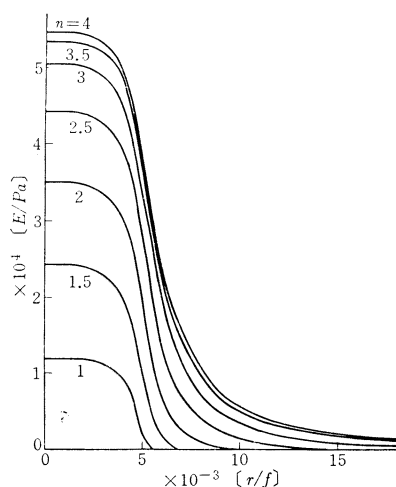


図 14 焦点面の集中強度分布 (図 13 の強度分布を考慮した場合)

さて太陽炉にあつては試料への熱エネルギーの流入は輻射によつて行なわれるから、その大小は試料の光学的性質によつて支配される。完全に黒いものは最も温度の上昇が大きく、金属反射するものや白いものは上昇が少ない。この事は伝導や対流によつて熱の受授の行なわれる他の炉と著しく異なる点である。更に試料の到達温度を求めようとすると、その表面からどのような法則に従つて熱の輻射が行なわれるか、また伝導や対流によつて如何程度熱が失われるかなどを知らなければならない。高温におけるこれらの事柄は未だわかつていない事が多いので、理論的に到達温度を求めることはきわめて困難である。そこでここではまず対流及び伝導による損失がなく唯輻射によつてのみ熱が失われるものとし、更にその輻射が Lambert の法則に従う、すなわち法線方向の輻射を E_0 とし法線に対し θ だけ傾いた方向への輻射を E_θ とするとき、

$$E_\theta = E_0 \cos \theta$$

なる関係が成立するものと仮定しよう。この場合には最高到達温度が計算出来て、その値は

$$T_m \div \left[\frac{4 P_a}{\sigma \alpha^2} \left\{ 1 - \left(\frac{16 - n^2}{16 + n^2} \right)^3 \right\} \right]^{1/4}$$

となる。ここに σ は Stefan-Baltzman の定数で 5.77×10^{-12} Watt/cm²/deg⁴, P_a は直達日射量, α は太陽の視直径, n は口径比である。これで最高到達温度は口径

比のみに関係し、口径には関係しないことがわかる。すなわち口径比さえ等しければ小型の炉でも大型の炉と同じ温度が得られるということである。しかしこれは伝導や対流による熱損失を考えないからで、これらを考慮に入れ、更に最高温度の部分が焦点距離の $1/100$ の直径に過ぎないことを考えると、どうしても大型炉がはしくなる。

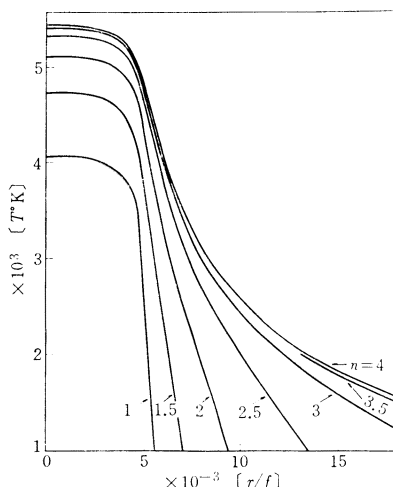


図 15 焦点面の温度分布 (図 14 にたいする)

図 15 は図 14 に対する焦点面の温度分布¹⁰⁾である。この図は勿論反射鏡の形が完全なものとして求めたものであるが、反射鏡の形が次第にくずれて行く場合を考えると、始めの内は唯単に最高温度の部分の面積が減少するだけで最高温度の値は変わらないが、面の誤差が視直径 ($1/100$ ラジアン) を越すあたりから最高温度の値が次第に下がり始める。従つて最高の性能を求める場合でも面の精度は $1/1000$ ラジアンぐらいあれば十分である。到達温度が低くてよい場合には面の精度は大して必要としないので、炉の使用目的に応じて精度を定め製作すべきである。

光の吸収の悪い試料はグラファイトのような黒いものの上に置いて間接的に熱してもよいが、図 16 のような

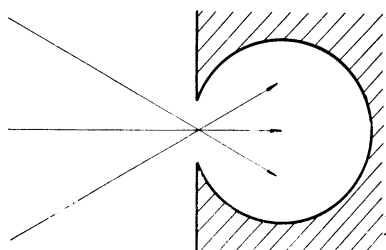


図 16 空洞

空洞の中に入れて熱することが出来る。この場合には窓を通して流入したエネルギーの大部分が吸収されるので、完全黒体に近い状態となり、内部は一様の温度になる。

今直達日射量を $1.3 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$ とし、鏡の反射率を80%とした場合、空洞の到達温度を口径比に対し画くと図17のようになる。同図には同じ条件による平面試

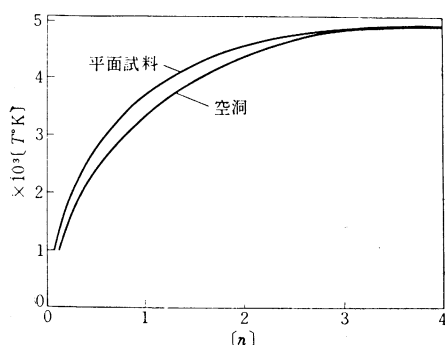


図17 空洞および平面の温度
($P_a=1.3 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$, 鏡の反射率80%とする場合)

料の到達温度も合わせて画いてある。実際の試料では伝導や対流による熱損失があり、また光の吸収も完全でないから、このような温度は実現できないが、吸収率のよいものでは優に 3000°K を越え、他の方法ではなかなか到達し得られない高温が得られる。これが太陽炉の優れた特性である。

話が少しそれるが、ここで試料温度の計測法について一言しよう。高温といつても熱電対やボロメータの使えるうちはよいが、更に温度が高くなると、現在のところ光学的高温計に頼らなければならない。ところが太陽炉では試料面に太陽光線が当たっているため、その反射光が温度計に入り、場合によっては太陽の温度を計ることになり兼ねない。この困難を除くために図18のような

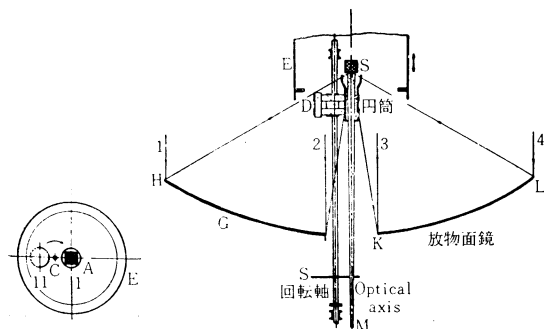


図18 試料からの光線だけを温度計に入れる装置

装置¹¹⁾が工夫されている。これは軸の回りに廻転する円筒があつて、これが試料の前に来た時は放物面鏡からの太陽光線を遮断すると共に筒の中を通して試料からの光が温度計に入るが、他の位置では放物面鏡からの光が試料に当たり試料からの光が板で遮断されて温度計に入らないようになっている。この方法では太陽光線の損失があつて到達温度が下がることは止むを得ない。図1に見る如く太陽光線は波長が 1.4μ で強度が0になる。そこでこの波長によつて光学的温度計を働かせようとする試みが我々のところで行なわれている。この方法は太陽光線を遮断する必要がない点が良い。

太陽炉を用いて試料を高温にする場合、酸化その他空気との反応を起こす危険のある時は、図19のような容

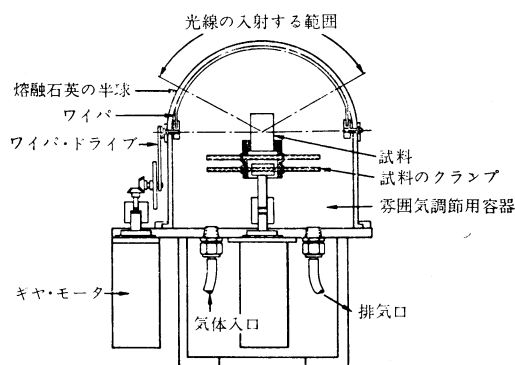


図19 試料雰囲気調節用容器

器¹²⁾に入れて、中を真空にするかあるいは稀ガスを入れ、窓を通して太陽光線を送りこめばよい。試料からの蒸気で窓がよごれるのを防ぐためのワイバも見られる。

このように試料を清浄な雰囲気置いて高温にすることができ、またプラズマや酸水素焰などと異なつてイオンによる汚染を生じないことは太陽炉の大きな特徴である。

また光線の量を加減することによつて簡単に温度の調節ができ、急熱や急冷の可能であることもすぐれた特性であり、更に電場や磁場を伴わないので電気的あるいは磁氣的計測に妨害を受けないこと、高温部分がきわめて狭いので計測器を十分近づけ得ることなど、いろいろの長所がある。

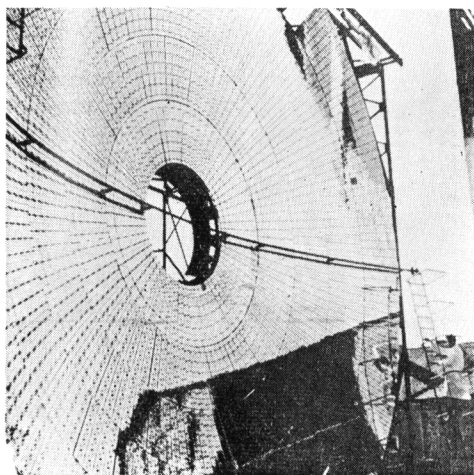
4. 世界の大型炉

太陽炉によつてできる最高温度の部分の直径は僅かに焦点距離の $1/100$ であるから、ある程度の大きさの試料をできるだけ高い温度にする為には大型の炉が必要でありまたきわめて高い温度でなくとも高温における半工業的

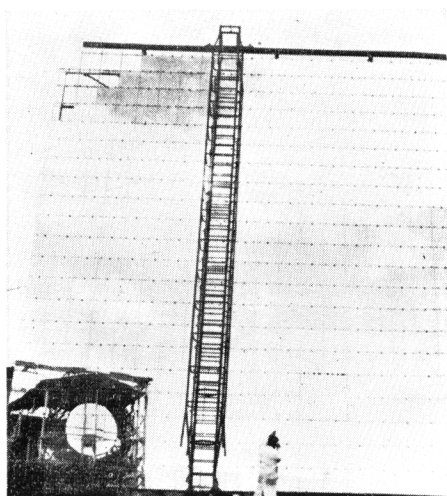
実験を試みる為にも入力の大い炉が入用になつて来る。太陽エネルギーの利用に関する研究の盛んなフランス、アメリカ、ソ連などはいずれも大型炉を持っている。この内でソ連の Tashkent にあるものは口径 10m, 直達型の炉であるが、太陽熱機関の集光器として用いられる程度で、精度の高いものではない。

大型炉で最も有名なものはフランス Montlouis の太陽エネルギー研究所にあるヘリオスタット型太陽炉である。これは 1952年 Trombe¹³⁾ によつて作られたもので放物面鏡の口径 10.3 m, 入力 75kW に達する。焦点距離は 6 m, 口径比 1.72 である。

図 20 (a) はその放物面鏡で、裏面めつきた薄い平



(a) 放物面鏡



(b) ヘリオスタット

図 20 Montlouis の大型太陽炉

面鏡を枠で機械的に撓め、これを 3500枚放物面状に配列したものである。従つて結像精度は高いものではない。

(b) はヘリオスタットで、大きさは約 10×13 m, 46 cm 平方の裏面鏡のモザイクである。

図 21 はフランスがアルジェリアの Alger に建設した

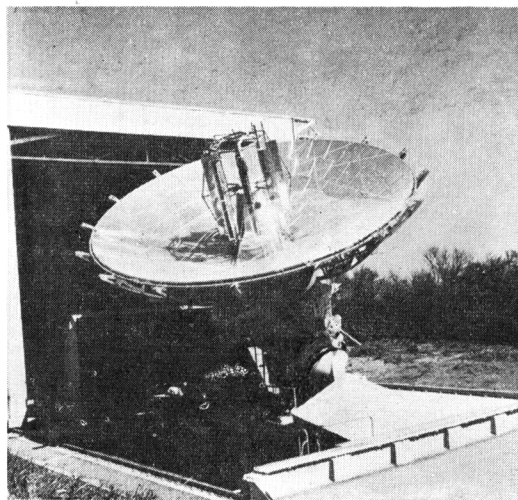


図 21 Alger の大型太陽炉

直達式太陽炉¹⁴⁾で、1955年完成した際見学する機会を得た。放物面鏡は口径 8.4 m, 焦点距離 3.4 m, 口径比は 2.47 で前者より可成り大きい。これは電解研磨した Al 板を型で押して作った 108 個の反射鏡から成り立っている。温度調節器は光軸の周りに放射状に取り付けられた金属板で、この各々が廻転すると、最後には光軸と同軸の円筒を形成し、光を遮断するものである。

目下フランスは工業的目的のため、1000 kW の炉を Odeillo-Font-Romeu に計画中である。これは Montlouis と同じ型で、放物面鏡は焦点距離 18m, Montlouis と同じく平面鏡を撓める方式を用い、山の傾斜に配列された 65 のヘリオスタットで太陽光線を送り込むという雄大なものである。

アメリカには Massachusetts の Natick に陸軍 Quartermaster Research and Engineering Center のヘリオスタット型の炉¹⁵⁾がある。図 22 がそれで、この集光器は、62cm 平方の鏡 180枚が 9.1m 平方の枠内に、焦点を中心とする球面をなして配列されているのが特徴である。即ち正弦条件を満足している。各々の鏡は球面鏡の表面に Al を蒸着し、更に SiO を付けたものである。焦点距離は 10.7 m, 有効口径比は約 1.0 である。ヘリオスタット反射鏡は 62 cm 平方のものを 365 枚配列したもので、屋外におく関係から厚さ 6 mm の裏

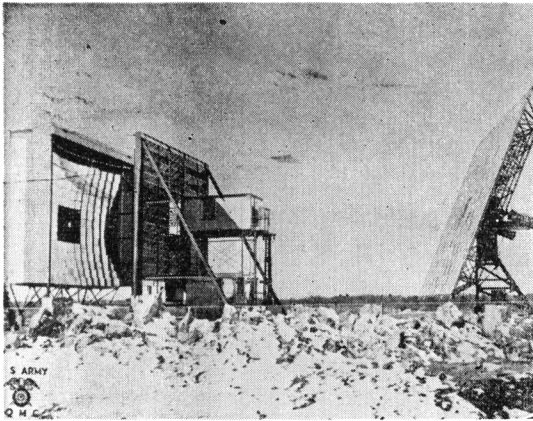


図 22 Natick の大型太陽炉

面鏡となつている。写真の中央にあるのはベネチアンブラインド式の温度調節器で、その右側の小屋が観測室である。

わが国で実際使用されている太陽炉は前に述べた名古屋工業試験所のものだけであつたが、今度仙台の東北大学科学計測研究所に始めて大型炉¹⁶⁾が設置された。型式は図 23 に示すようなヘリオスタット型で、口径は 10m、

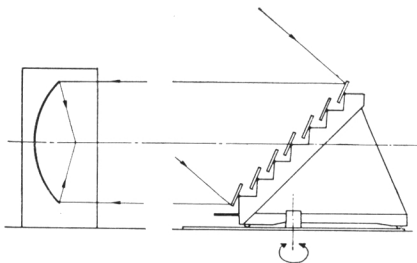


図 23 仙台の大型太陽炉の光学系

世界最大級の入力をも有すると共に、最高の到達温度を得るよう設計がなされた。焦点距離は 3.2m、口径比は 3.1 で従来の大型炉より遙かに大きい値を採用し、また太陽像に対し十分なる結像精度を与えるよう放物面鏡及びヘリオスタット反射鏡の光学面の精度及び支持機構の精度は $1/2000$ ラジアンを目標とすると共に、反射鏡は研磨した硝子表面に Al を蒸着したものを用い、最高の反射率を得るようにした。従来のヘリオスタット平面鏡は一平面上に配列されているため、仰角が変化した時自重による枠の撓みの変化によつて誤差を生ずる恐れがあるので、この炉では図のように数段に鏡帯を配列する方式を試みた。

放物面鏡を図 24 に示すように 181 個の鏡片に分割しこの各鏡片が正しく放物面の一部をなすよう製作するこ

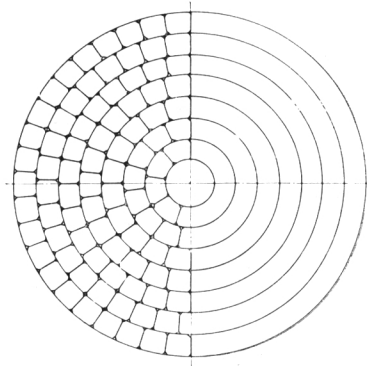


図 24 放物面鏡の構成

とにした。素材は 1cm の板硝子を用い、これを耐火物で作つた型に乗せて電気炉で加熱し大体の形を作つた後、非球面研磨機にかけて放物面の一部になるよう切削した。図 25 及び図 26 は研磨機の外観の一部及びそ

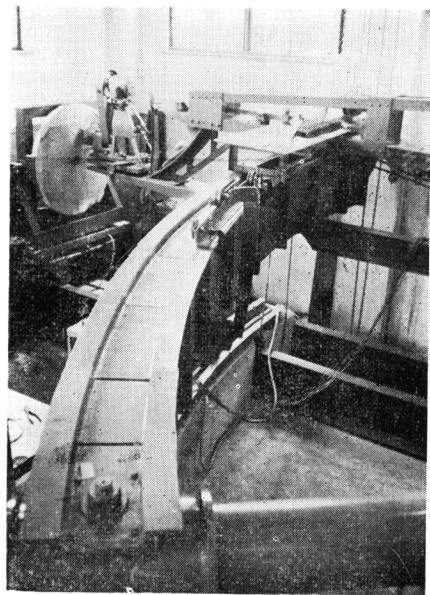


図 25 非球面研磨機の外観

の構造である。Xは放物面鏡の光軸で、円弧AはTに固定されXのまわりを回転する。Aの上にビームBが乗り、これにダイヤモンド工具Wの付いた高速モータMが取り付けられている。BはOを中心として回転するので、Wは円を画くわけであるが、Aの上にカムCがあり、Bの移動と共にレバRを動かしMを僅かに出入させて工具Wに放物線を描かせる仕組みになつている。これとAの回転と相俟つて素材Gが放物面状に切削される。切削されたガラス

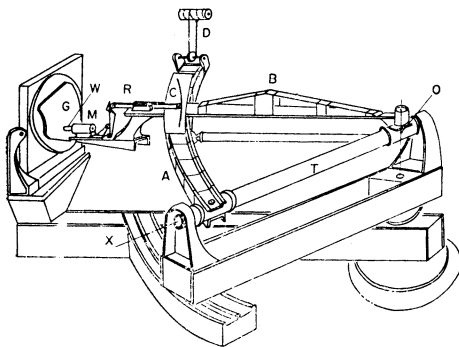


図 26 非球面研磨機の構造

は金剛砂によって砂掛けし、フレキシブルなピッチ面と酸化セリウムとで仕上げ研磨を行ない、最後に A1 を真空蒸着する。以上研磨機の試作は勿論、反射鏡の製作もすべて研究所内で行なわれた。

図 27 は放物面鏡支持台の構造である。反射鏡は枠に取付け、この枠が同心円状のフレームに三点で支持さ

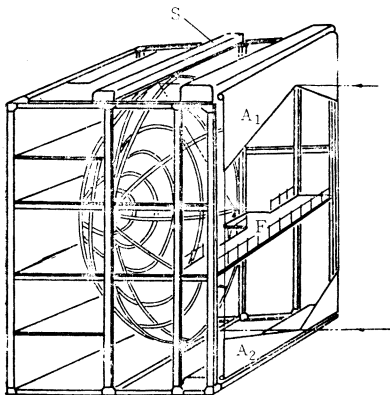


図 27 放物面鏡支持台の構造

れ、方向が調節されるようになってい。F は廊下で、その中央、床から 86cm 上方が焦点になっている。A₁、A₂ は温度調節器で、V 字型の幕が上下から近づいて口径を変化するようになってい。なお S は放物面鏡のカバーである。

ヘリオスタットの反射鏡は 90×100cm、厚さ 1 cm の板硝子中から所要の精度のものを選び、その表面に A1 を真空蒸着して用いた。一つの鏡帯が 2 列に 17 枚で計 34 枚、これが 7 段で計 238 枚の鏡が用いられた訳である。ヘリオスタットは図 28 のごとく、ピラミッドを倒したような形で、その四角な面が、水平面に対し 45° 傾いて、これに長さ 15.5 m、幅 2 m の鏡帯が階段状に配

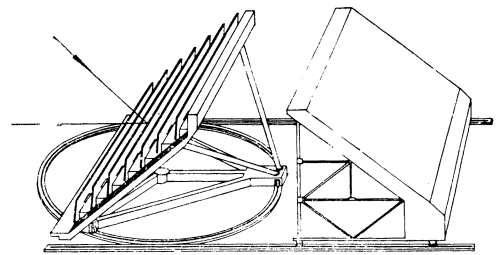


図 28 ヘリオスタットの構造

列され、連桿とレバによって連動するようになってい。ピラミッドの三角形の三つの頂点に車があり、その一つが動輪で、円形軌道上を回転し方位角を変える。使用しない時は鏡を北に向け、外被を南進させて完全にヘリオスタットを保護する。

太陽追尾には時計仕掛けと image follow の両方法を併用した。前に図 8 に示したように、方位角は地方時に対し直線に近い関係を示すので、モータによって動輪を大体所要の速度で回転し、更に image follow によってその速度を微細に調整することとした。一方仰角は地方時に対し図 9 のような変化を示すが、図 29 に示すよ

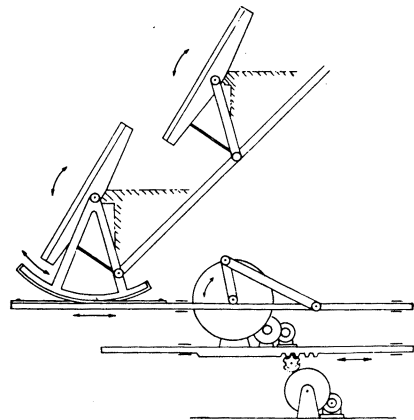


図 29 ヘリオスタットの俯仰機構

うなクランク機構を用いたところ、きわめてよい近似をもつて仰角を変化させることが出来た。季節に対する変化及び image follow による微細調整はクランク機構全体をモータで移動することによって行なつた。

この太陽炉は一昨年夏装置としての完成を見たが、その後放物面鏡を内蔵する太陽炉研究室の建築工事が始まり、すべての反射鏡を取りはずしてしまつた。昨年春に至つて建物が完成、引続き内部が整備されて、再び鏡の取り付けが行なわれ、12 月完成したところである。図 30 及び図 31 はヘリオスタットと放物面鏡の写

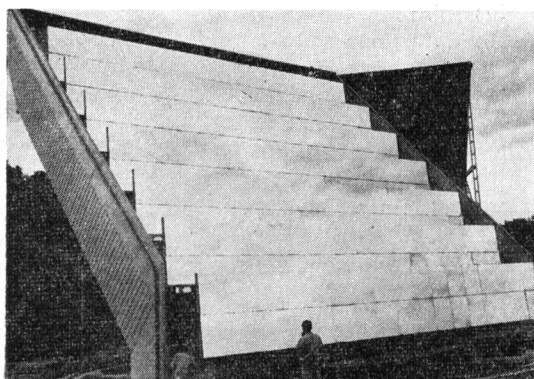


図 30 ヘリオスタットの外観

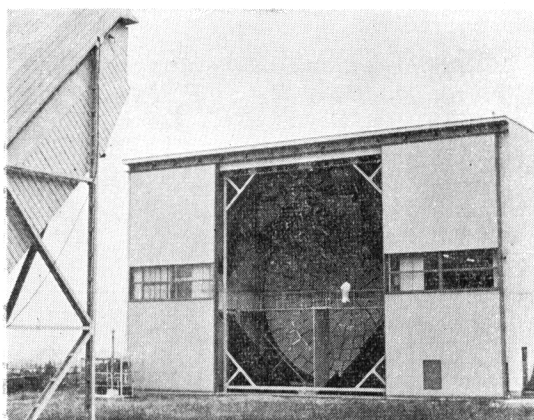


図 31 放物面鏡（調整中のため各鏡片には紙カバーがついている）

真である。

5. 用 途

太陽炉は 3000°C 以上の高温が得られ、しかもそれが定常的であること、試料雰囲気を清浄に保ち得ることなど多くの長所を有し、高温発生装置として大きな意義をもっている。何如なる炉を用いたにせよ、2000°C 以上の高温における実験は現在までのところ極めて数が限られているので、今後太陽炉を用いてなされる高温科学の研究は相当見る可きものがあると思われる。

物理的分野では、この炉を用いて高温における融解点、比熱、熱伝導度、熱膨脹係数、電気伝導度、熱起電力、熱電子放射、輻射能などの物理量が測定でき、酸化物あるいは窒化物などの高融点物質が如何なる物理的性質を示すかは今後興味深い問題である。物理量の内、輻射能は光学的に温度を与えるために知らなければならない基本的な量で、まず測定する可きものであり、また熱起電

力は耐熱温度計や太陽エネルギーの熱電気変換など実用的問題につながっている。

太陽炉によつて生ずる高温は化学反応を起こさせる上にきわめてよい条件を与える。二つの固体を照射することによる固体—固体反応や、試料容器に気体を入れ固体試料を照射することによる固体—気体反応などが可能であると共に、気体に対し反応を起こさないような固体を試料位置に置くことによつて気体—気体反応も行なわせることができる。この種の仕事では炭素と棚素とから炭化棚素を作つた例¹⁷⁾、その他が報告されている。

最近は何々の方面で高融点物質が要求されているが、これらを精製¹⁸⁾することにも太陽炉が利用される。この場合試料は表面から融解するので汚染の少ないことが都合がよい。アルミナその他の酸化物を熱して、まず揮発性の不純物を取除き、更に部分的に結晶させたり zone melt したりして純粋にしているが、Montlouis の大型炉では 1 回に相当多量の酸化物が精製されているという。また太陽炉が単結晶の製造に利用しうることはいうまでもない。

なお太陽炉には、その熱を利用せず、集中された強い光線を用いて光化学反応を起こさせる使い方がある。既にキシレン C_8H_{10} 、ベンゼンなどを塩素と反応させる試み¹⁹⁾²⁰⁾が行なわれているが、これも今後の大きな問題である。

以上太陽炉は現在のところ実験炉としての性格が強いが、これは高温科学の歴史の短いことによるもので、今後多くの成果が得られた場合には大型の工業用炉が建設されることになるであろう。

太陽炉にはもう一つこれをエネルギー源として用いるという大きな用途がある。その最も簡単な例はその発生熱による炊飯で、インドなどで可成り多く用いられている。熱機関もその一つで、最近の研究としては太陽炉によつてルビヂウム蒸気を作り、これでタービンを廻して 15kW の発電を試みた報告²¹⁾がある。熱機関は高熱源の温度が低熱源の温度に比し高い程、能率のよいことは熱力学の示すところで、高熱源の温度を高める上に太陽炉が役立つわけである。太陽電池は広く用いられ始めたが、超高純度の物質を必要とするのでコストが高い。そこで太陽光線を集中して光線の強さを増し電池の数を減少させようとする動きが見られる。この傾向は熱電対による太陽エネルギーの電気変換においても同様である。熱電子放射による太陽エネルギーの電気変換も研究されているが、この場合は熱電子を放射させるのであるから是非太陽炉を用いて陰極の温度を上げなければならない。このような目的に用いる太陽炉にあつては、光学系の高い

精度をうることもむしろ少ない費用で製作する方法を研究することが重要なことである。これら太陽炉による太陽エネルギーの利用はきわめて大きな問題であるが、その詳しい話は別の機会に譲ることにしよう。

文 献

- 1) 中央気象台日射報告, 1934~38年.
- 2) E. Loh, N. K. Hiester and T. E. Tietz : Solar Energy, 1, (1957) 24.
- 3) P. E. Glaser : U. N. C. N. S. E. (United Nations Conference on New Sources of Energy 予稿), 35/S/16 (1961).
- 4) W. M. Conn : Z. Ang. Phys., 6, (1954) 284.
- 5) 三井, 福尾, 小塚, 藤城, 吉田 : 名工試報告, 8, (1959) 99, 166, 173, 467.
- 6) T. Sakurai, K. Shishido, O. Kamada and K. Inagaki : U. N. C. N. S. E., 35/S/21 (1961).
- 7) W. M. Conn : Rev. Sci. Instr., 22, (1951) 945
- 8) N. K. Hiester, T. E. Tietz, E. Loh and P. Duwez : Jet Propulsion, 27, (1957) 507.
- 9) 理科年表, 昭和 37 年.
- 10) 桜井, 鎌田 : 未発表.
- 11) W. M. Conn and G. Braught : J. O. S. A., 44, (1954). 45
- 12) T. S. Laszlo and M. K. Klamkin : Solar Energy, 4, (1960) 21.
- 13) F. Trombe and M. Foex : C. R., 235, (1952) 704.
- 14) F. J. Coumat : Bul. de l' I. E. S. Univ. Alger, No. 2 (1960).
- 15) J. M. Davies and E. S. Conn : Solar Energy, 1, (1957) 16.
- 16) Reference 6.
- 17) G. E. Vuillard : U. N. C. N. S. E., 35/S/36 (1961).
- 18) F. Trombe and M. Foex : U. N. C. N. S. E., 35/S/52 (1961).
- 19) F. Trombe : U. N. C. N. S. E., 35/GR/20 (S), (1961).
- 20) R. J. Marcus and H. C. Wohlers : Solar Energy, 5, (1961) 121.
- 21) B. T. Macauley : U. N. C. N. S. E., 35/S/27 (1961).