

特別講演

UDC 621.997 : 621.351 : 621.472

太陽エネルギー利用における諸問題\*

桜井 武 磨\*\*

Problems in the Utilization of Solar Energy

Takemaro SAKURAI

太陽は地球から約  $1.5 \times 10^8$  km のかなたにある巨大な高温の物体で、その直径は  $1.4 \times 10^6$  km であります。その内部は  $10^7$  K あるいはそれ以上の超高温にあると推測されておりますが、表面の温度ははるかに低く 6 000 K、(5 700°C) と考えられております。この表面からの熱放射がほとんど減衰することなく地球の大気圏に到達するわけで、これがわれわれが利用しようとする太陽エネルギーであります。

図 1 の a は大気圏外における太陽エネルギーの分光分布で、紫外から赤外に及んでいることがわかります。b は 6 000 K の黒体放射の理論的な分光分布で、これが a とよく一致していることから太陽の表面温度が 6 000 K であることがわかるわけであります。光線に垂直な面における総エネルギーの強さは  $2.0 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$  で、これは  $1.4 \text{ kW/m}^2$  に相当致します。ところが太陽エネルギーが大気圏を通過致しますと、大気の散乱によつて全体的に弱まり、大気中のオゾンや酸化窒素によつて紫外部が cut off され、水蒸気や炭酸ガスによつて赤外部に吸収が生じて、地表に到達する太陽エネルギーの分光分布は c のようになり、大気圏外の 70% 以下になつてしまいます。光線に垂直な面における全エネルギーを直達日射量と呼び、地方時の正午における値は  $1.3 \sim 1.4 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$  で、 $0.91 \sim 0.98 \text{ kW/m}^2$ 、ほぼ  $1 \text{ kW/m}^2$  に相当致します。この値は緯度や季節によつてほとんど変わりありません。

太陽エネルギーの利用を唱える人はよく「地球に降りそそぐ太陽エネルギーは  $170 \times 10^{12} \text{ kW}$  もある。人類が 1 年間に消費する総エネルギーは  $60 \times 10^{12} \text{ kWh}$  であるから、太陽エネルギーにすればわずかに 20 min のエネルギーにすぎない。」と太陽エネルギーの膨大であることを誇示されますが、地球に降りそそぐエネルギーが大きいのは地球の断面積が大きいからであつて、 $1 \text{ m}^2$  にすればきわめて弱いものであります。従つて多量のエネルギーを得ようとするならばどうしても広い面積が必要で太陽エネルギー即面積と考えていただきたいのでありま

す。

直達日射量は朝夕は弱くなり、夜間はもとより昼間でも曇れば 0 になりますから、太陽エネルギーは断続的なエネルギーということが出来ます。それでは 1 年間にどのくらいの日照時間があるかと申しますと、日本の太平洋側では約 2 000 時間内外で、これを 1 日平均に致しますと約 6 時間になります。これは 1 昼夜の 1/4 にすぎません。従つて、たとえば出力 4 000 kW の太陽エネルギー発電ができたとしても、昼夜運転できる水力電気の 1 000 kW の出力にしか相当しないわけであります。それでは太陽エネルギーの利用に関する研究がいつ頃から本格的になつたのかと申しますと、わたくしの記憶では、1950 年代の初め頃ではなかつたかと思ひます。この頃これを推進させる二つの動機がありました。その一つは国連、特にその中の UNESCO が地球上の低開発地域を開発するためのエネルギーとして風力、地熱とともに太陽エネルギーの利用を提唱したことであります。この思想は国連が 1960 年ローマで開催した国際会議においても、その後においても一貫して持ち続けてきたものであります。他の一つの動機は当時ソ連やアメリカにおいて人工衛星を宇宙空間に発射するため懸命な努力が続けられておりましたが、宇宙空間における通信用エネルギーとして太陽エネルギーの利用が考えられていたことでありま

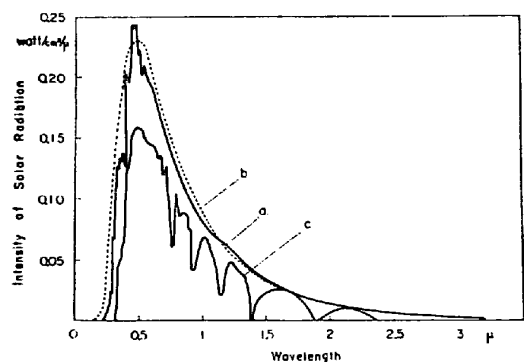


図 1 太陽エネルギーの分光分布

\* 昭和 51 年 10 月本会講演大会における特別講演

\*\* 東北大学科学計測研究所所長 理博 (Director, Research Institute for Scientific Measurements, Tohoku University, 19-1 Sanjo-machi Sendai 980)

す。この二つは全く対蹠的な方向で宇宙用としては打ち上げに莫大な費用がかかるのでありますから、その方法たるや軽くて形が小さく、できるだけ能率のよいものが望ましい、しかし金に糸目はつけないということであり、一方地球用としては何といてもその方法が経済的であるということが第一の条件になります。その後、都市の汚染がやましくなるにつれ、クリーンエネルギーという見地から太陽エネルギーが見直されたのであります。何といても一般の人々の注意を喚起したのはかの石油危機でありましょう。現在開発国におきましてはそのエネルギーの大部分を化石燃料特に石油に仰いでおります。石油はあと 50 年とも 100 年ともいいますが、いずれはなくなってしまうものであります。従つて 21 世紀のエネルギー源として別のものを今から考えておく必要があるわけでありまして。原子力はあるいはその本命かも知れませんが、これにはいろいろむづかしい問題があります。そこで太陽エネルギーの利用ということが各国で真剣に考えられるようになり、わが国においても通産省がサンシャイン計画なるものを始めるに至つたというわけでありまして。

さて、太陽光線をエネルギーとして利用する方法のうちで比較的簡単なものはこれを熱として利用することでありまして。昔から温室というものがありましたが、近頃農家でよく使われているビニールハウスなどは太陽熱利用のうちで最も成功している例でありましょう。水を温める太陽温水器もすでにならかなり使われておりますが、日本は世界中で太陽温水器が最も普及している国で、これは日本人の風呂好きによるものと思われまして。

温水ができればこれによる暖房が考えられるわけでありまして、図 2 は約 20 年前アメリカの Massachusetts Institute of Technology に作られた太陽熱暖房の家、いわゆる solar house 第 IV 号であります。建物は二階建てで、延坪が 135m<sup>2</sup>、温水器の面積が 59m<sup>2</sup> で、ここで作つた温水を地下にある 5.6m<sup>3</sup> のタンクに貯蔵して温水暖房をするものであります。これで冬季 6 ヶ月間に暖房に要する熱量の半分約  $4 \times 10^7$  BTU がえられたと報告しております。日本にもすでに 30 ぐらいの solar house

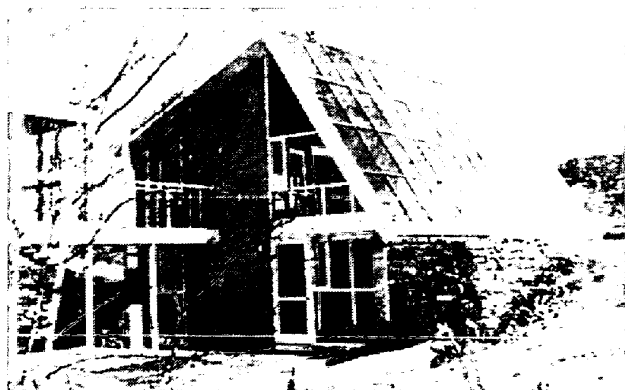


図 2 MIT の solar house IV

が作られておりますが、その大部分がこれと同じ原理で温水の温度が低下した場合にはヒートポンプでこれを補うようにしております。特別の例として、集熱板で空気を温め、その熱を碎石に貯え、さらにそこから温風を部屋に送り込むものもあります。

太陽熱による冷房もかなり古くから研究されておりますが日本の solar house には温水で LiBr を熱して含有水蒸気を出させ、これを減圧下に断熱膨張させることによつて冷房を行なつているものもあります。一般に現在まで作られたわが国の solar house は太陽エネルギーの可能性を示すということが先に立つて、その経済性に対する研究があと回しになつている感が致します。これと対蹠的なのがフランスの Odeillo にある太陽エネルギー実験所の solar house で、これは南側の壁の天井付近にスリットをあけ、その外側を黒く塗つてその外側に 10 cm ぐらひはなしてガラスをかぶせただけのものであります。壁で温められた空気がスリットから部屋の中にはいるほかに、熱が壁の中を伝わつて約 8 時間後に内側に到達するように壁の厚さが算出されております。この厚さは約 20 cm で、フランスの一般の壁より薄く、この節約分でガラスなどの費用がまかなえるというのが説明者の弁でありました。このような行き方はわたくしにとつて非常に魅力的に思われます。

図 3 はガラス窓から太陽光線を取り入れ、下のアスファルトを熱して水を蒸発させ、ガラス窓で凝結した水がガラスを伝わつて下の溝に流れ落ちるといふ方法で、海水とか悪質の水から飲料水をえる、いわゆる solar still であります。図 4 はチリの砂漠地域に作られた 2000m<sup>2</sup> の solar still で、天気の良い日は 5~6 l/m<sup>2</sup> の水がえ

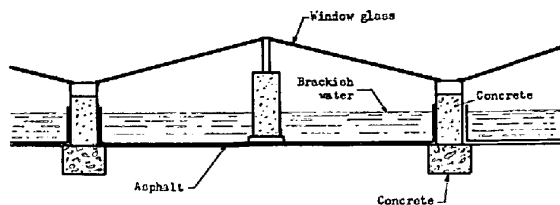


図 3 太陽熱による水の蒸留



図 4 太陽蒸留施設

られ、10年間で建設費を償却するものとする、水の値段は500~600円/m<sup>3</sup>になるとのことです。これはわれわれが使っている水の10倍ぐらいの値段ですが、日本ほど水にめぐまれたところは少ないので、この値段でも飲料水のほしい地域が世界には多いのであります。

以上太陽エネルギーを熱の形で利用することはかなり研究され、そのあるものは実用化されておりますが、エネルギーとして利用するためにはもつと使いやすい形、たとえば電気に変えることが望ましいわけです。光を電気に変えるものとしては皆様よくご存じの太陽電池があります。これはSiのp-n junctionで、1954年Bell Telephone Co.のPEARSONその他によつて開発されたものであります。それまで光を電気に変えるものとしてはSe光電池があつたのでありますが、その変換効率はわずかに1%ぐらいであつたのに対し、太陽電池はその発表後間もなく効率10%を越すに至つたのでありますから全く画期的な出来事だつたわけです。太陽電池は早速宇宙用に利用され、1958年アメリカが打ち上げた人工衛星Vanguard I号には図5のように初めて太陽電池が通信用電源として積みこまれたのであります。その後わが国でも太陽電池が作られるようになり、福島市の信夫山にあるマイクロ波の無人中継所に4320の太陽電池(出力70W)とNi-Cd電池からできている電源が使われておりますし、その後山口県筏田瀬に太陽電池による10Wの無人燈台が作られております。しかし太陽電池を地球上で電源として利用する場合、その最大の欠点は値段がきわめて高いということであり、現在出力1Wにつき\$100(30000円)ぐらいというのが世界的な常識で、1kWでは3000万円もするわけです。このようなコストの装置でえられる電力の値

段は今われわれが使っている電力の値段とは比較にならない程高いものとなり、宇宙用は別として、われわれのエネルギー源としては使えないのであります。そこでいかにしてこれを安くするかということが世界的な課題になつておりました、Siを薄くしてコストを下げるという考えから薄膜を作るため、熔融状態からスリットを通して引上げるとか、融けている表面を横に流しながら固化するとか、化合物を真空中で熱分解して蒸着するかといったいろいろな試みが行なわれております。

Siはppm程度の不純物によつてpになつたりnになつたり致しますから、junctionの母体としてはきわめて純度の高いSiが必要で、これが値段の高い原因となつております。そこで超高純度の物質を必要としないp-n junctionという考えが浮び上つてくるわけで、この中で最も注目を集めておりますのがCdSの太陽電池であります。図6はCdSとCu<sub>2</sub>Sとでできているp-n junctionを示したもので、わかりやすくするため厚さを非常に誇張して書いてあります。CdSの電池は寿命が短い欠点がありましたが、ヨーロッパの研究者たちがこれがCu<sub>2</sub>Sの酸化によるものであることを見出し、プラスチックで表面を保護することによつて寿命を長くすることに成功してから、Siにとつて代わるべきものと目されるに至りました。

図7はある人が予想したSiとCdSの太陽電池の生産高に対するコストの変化で、生産が多くなるとCdS電池の方が安くなり現在のSi電池の1/10以下になることがわかります。しかし、電池が10年間使えるものと致しますと、このコストでも、えられる電力の値段はわれわれが現在使っているものの数十倍になつてしまいます。これをさらに下げるにはどうしても科学の分野における画期的な進展が必要であると思われま

次に熱を直接電気に変換する方法としては、熱電子放射を利用するもの、熱電堆を利用するものなどが考えられますが、熱電子放射にはかなりの高温が必要で、太陽

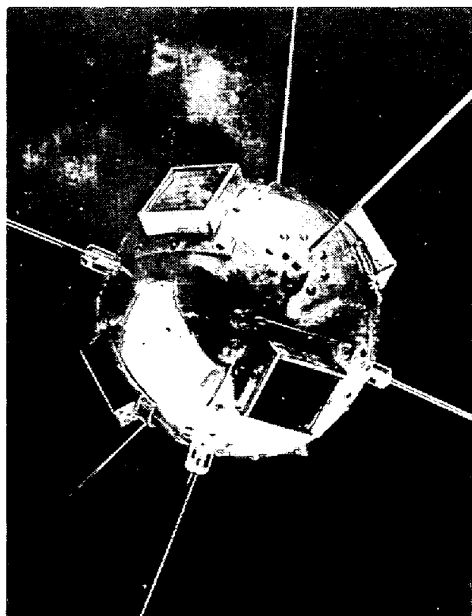
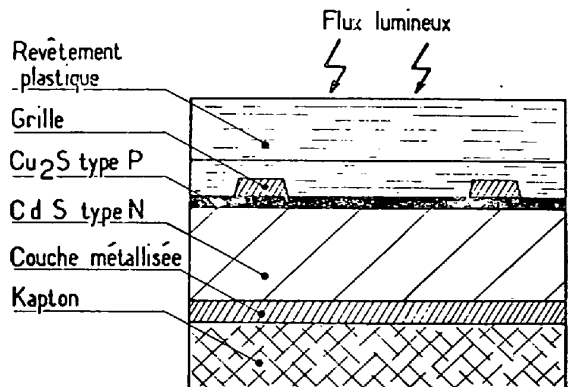


図5 Vanguard I



COUPE SCHEMATIQUE D'UNE PHOTOPILE CdS - Cu<sub>2</sub>S

図6 CdS 太陽電池

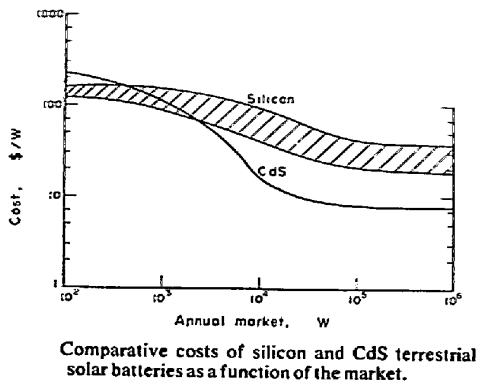


図7 太陽電池の生産高に対するコスト

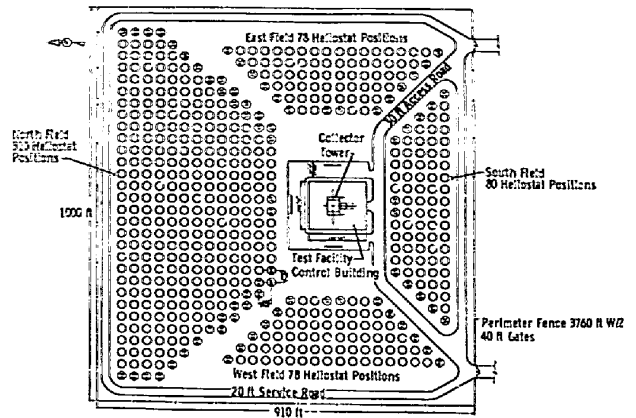


図9 5MWの太陽熱ボイラー平面図

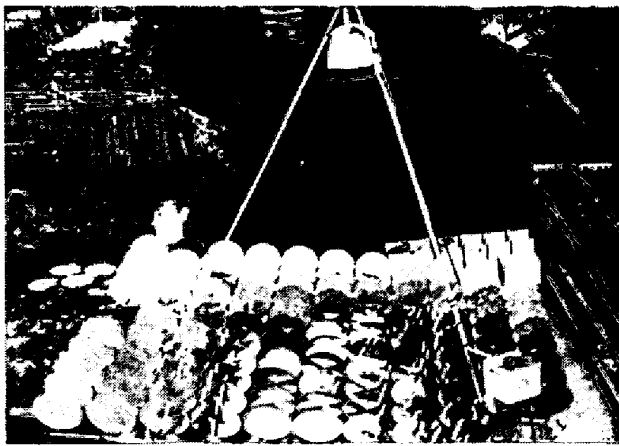


図8 Francia 教授の太陽熱ボイラー

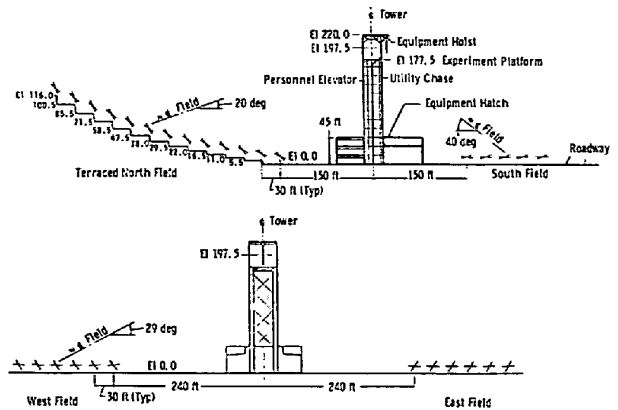


図10 5MWの太陽熱ボイラー側面図

集光器に高度の性能を要求することになりますので経済性の上で困難があるように思われます。熱電堆は以前かなり研究されたのでありますが、現在はあまり注目されておられません。しかし、あるいはダークホース的存在かもしれません。太陽熱を電気に変える方法で誰もが考えつくことは熱で水蒸気を作り、蒸気タービンで発電機を回す太陽熱機関による発電でありましょう。太陽熱・ボイラーには parabolic cylinder 状の集光器を使つてパイプを熱する方式もありますが、図8はイタリアのGenova大学にいるFRANCIA教授が考案したものであります。彼は10年以上前からこの研究を始めておられて、この装置はその第1号であります。集光器は直径60cmの平面鏡121個から成り立っておりまして、これらが絶えず太陽光線を高いところに固定されたボイラーに送り込むようになっております。彼はこれらの鏡に太陽追尾をさせるため独特の運動学的方法を考案しております。このような集光方法をタワー方式と呼んでおります。その後彼は直径80cmの平面鏡271個を使つた太陽熱ボイラーを作りましたが、正午付近では鏡に入射する太陽エネルギーが100kWを越え、600°C、150 atmの蒸気を1時間に130kgも作れたと報告致しております。アメリカのNational Science Foundationは数年前から新しいエネルギー源として太陽エネルギー利用の開発を始めま

したが、そのプロジェクトの第1にタワー方式による大規模な太陽熱発電を取り上げております。このため1974年世界の大型集光器を作つた研究者数人を集め、集光器についての経験を聞くとともにNSFのプロジェクトに対する意見を求めるセミナーを開催致しましたが、私も招かれましたので、プロジェクトの内容についてかなり知ることができました。その最初のテストプラントはGeorgia Institute of Technologyが中心になつて進めている5MWの太陽熱発電施設で、これは図9のように300m四方の地域に多数の鏡を置き、その中央に図10に示すような高さ70mのタワーがあつて、その最上部にボイラーを置くものであります。この施設によつて太陽熱発電に対する基礎データがえられるものと思われまますが、その後続くさらに大きい施設の予備的な研究がすでにMinnesota大学やMartin Marietta, Honeywellなどの会社に依頼されております。それらの計画をまとめてみますと、鏡のある地域が $1.4\sim 2.6 \times 10^6 \text{ m}^2$ 、鏡の面積が $0.5\sim 1.2 \times 10^6 \text{ m}^2$ 、入射する太陽エネルギーが450~1000MWで、温度480~510°C、圧力60~90 atmの蒸気を作り、100~200MWの発電をしようとするもので、タワーの高さが120~450mで完成の暁には図11のような雄大なものとなる予定であります。ちな

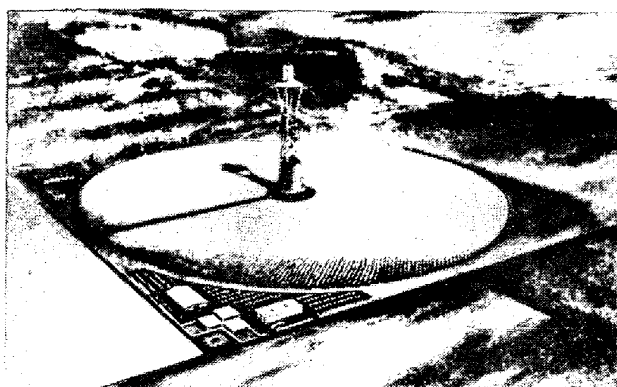


図11 大型太陽熱発電施設の予想図

みに東京タワーは333mであります。ところで、太陽熱発電所が実現した場合、これをどのように使うかということではありますが、私の想像では、このような発電所をアメリカ全土に多数作り、原子力発電所と一体となつて電力ネットワークを組み、日の出ない地方があつても全国的には電力のバランスがとれるようにするのではないかと思います。電力消費のピークは昼間にありますから、これをカバーする上で太陽熱発電が非常に都合がよいわけであります。

以上太陽エネルギーをエネルギーとして用いるための方法をいくつかお話致したわけではありますが、エネルギーをえるためではなく他の目的のために太陽エネルギーを利用するものに太陽炉があります。太陽炉は太陽光線を集中して試料にあて、高温をえる装置であります。太陽光線は平行光線に近いので反射型の集光器としては放物面鏡が最も適しております。サーチライトの放物面鏡を利用した小型の炉は世界各地で使われておりますが、学術研究用の大型炉として最も高い性能をもつものに東北大学の大型太陽炉があります。図12はその配置図で、放物面鏡がコンクリートの建物の中にあつて、ヘリオスタットと呼ぶ方向可変の平面鏡で太陽光線を絶えず放物面鏡の光軸に平行に送り込むようになっております。図13は放物面鏡で、口径10m、焦点距離3.2mで、入射する太陽エネルギーは約70kWであります。口径比(口径/焦点距離)は3.1で、平面試料に対しては極限に近い値をとつてあります。放物面鏡は181の鏡片のモザイクであります。ほかの大型炉では鏡片として球面鏡や平面鏡を機械的に磨いたもので代用しているのに対し、これらの鏡片はそれぞれが正しく放物面の一部になるように研究所内で光学研磨されたものであり、他の炉の部分鏡がガラスの裏側をメッキした裏面鏡であるのに対しこれらの鏡片はAlを真空蒸着しその上に1~2 $\mu\text{m}$ のプラスチックをコーティングした表面鏡で太陽光線の約90%を反射致します。図14はヘリオスタットで、幅2m、長さ15.5mの鏡帯7個がシンクロナイズして仰角を変え、さらにヘリオスタットの枠組が円形軌道上を回転することによつて方位角を変えるようになってお

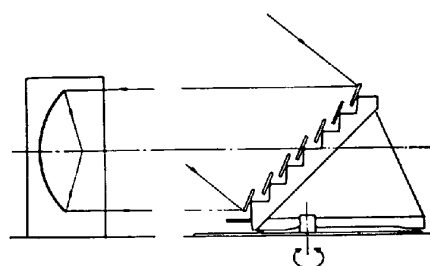


図12 東北大学大型太陽炉の配置図



図13 東北大学大型太陽炉の放物面鏡

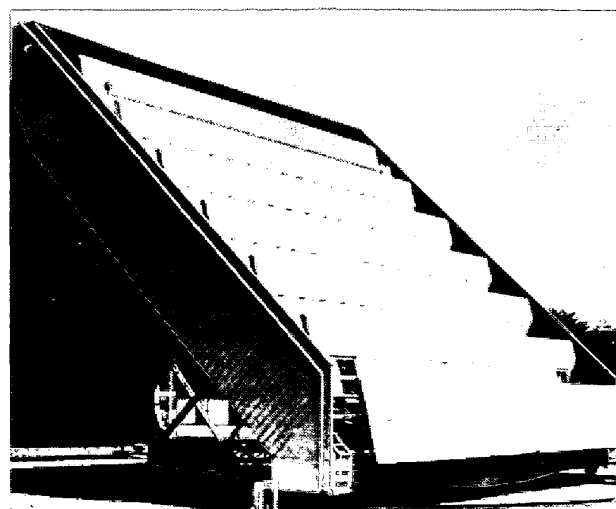


図14 東北大学大型太陽炉のヘリオスタット



図15 照射された耐火レンガ S K 35

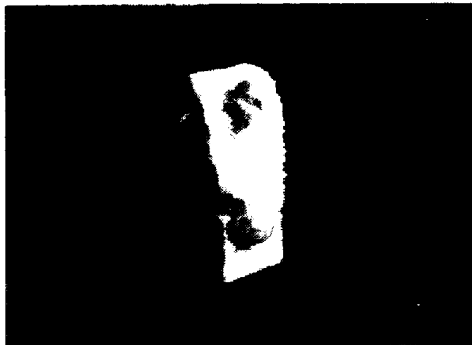


図16 照射された  $\text{ThO}_2$  90%- $\text{ZrO}_2$  10% 試料

ります。各鏡帯は 34 枚の平面鏡から成り立っておりますが、これらも表面に Al を真空蒸着しプラスチックコーティングをほどこしたものであります。

図 15 は焦点位置に立てて照射した耐火レンガ (SK 35) で、照射された部分が流れ落ち、天気の良い日には 2~3 min で図のような火口ができます。この炉を使って  $\text{CaO}$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{ThO}_2$  などの高融点酸化物を融かして結晶を作っておりますが、小さい結晶でよい時は酸化物粉末を  $1 \times 1 \times 3 \text{ cm}^3$  の角柱にプレスし、これを放物面鏡の焦点位置に立て上部を照射すると、上端から融けて流れ落ち、角柱の中程で固化して図 16 にみるような直径数 mm の球状結晶をえることができます。この図の試料は  $\text{ThO}_2$  90%- $\text{ZrO}_2$  10% で融点は  $3080^\circ\text{C}$  であります。大きい結晶がほしい時は粉末を短い円筒状にプレスし、平らな部分を水平から  $10^\circ$  ぐらい傾けて焦点位置に置き、その表面を融かしてから固化させます。いづれの場合にも融けた部分が融けない部分に支えられ

ているのが太陽炉溶融の特長であります。酸化物は高温で必ずしも安定ではなく、化学量論的組成を保たせるためには酸化雰囲気中に置く必要がある場合が多々あります。太陽炉は空気中で加熱できるので酸化物を熱する上で非常に都合がよろしいわけであります。金属や  $\text{UO}_2$  などのように酸化しやすい試料は熔融石英のフラスコをかぶせて、He あるいは Ar を流しながら熔融致します。この方法で W (融点  $3400^\circ\text{C}$ ) も融かすことができます。到達温度は快晴の日には  $4000\text{K}$  ( $3700^\circ\text{C}$ ) に達します。

以上でおわかりのことと存じますが、太陽炉はただ単に超高温が簡単にえられるばかりでなく、坩堝を用いないので試料と坩堝との反応がなく、プラズマや酸水素焰

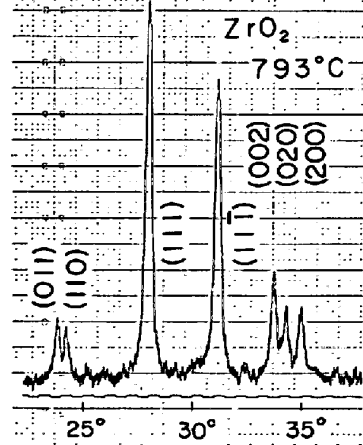
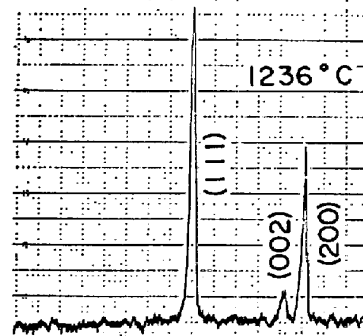
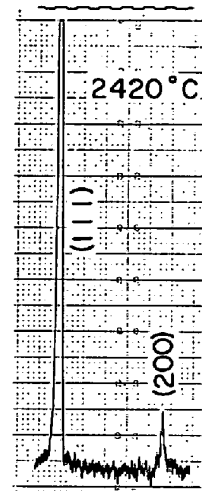


図17  $\text{ZrO}_2$  の相転移

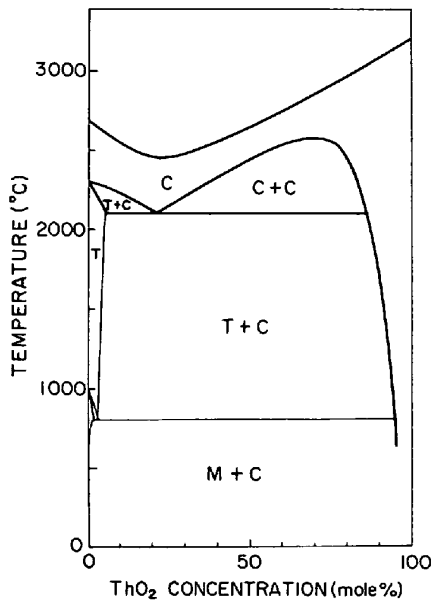


図18 ThO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub>系の相図

の場合に見られるイオンによる汚染がない上に、試料を適当な雰囲気中に置くことができ、急熱急冷が可能である上に、試料が露出しているので計測器を近づけ得るなど、他の高温発生装置では達成できない多くの長所を持つておりまして、全くユニークな炉と申すことができます。特に酸化物に対しましては酸化雰囲気中で溶解や計測ができることが非常に都合がよい点であります。従来酸化物の2000°C以上の高温における物性につきましては化学量論的組成の状態における信頼すべきデータがほとんどないといつても過言ではありません。そこでわれわれは化学量論的組成をもつた酸化物の性質を明確にしておくことが現在最も大切な仕事であると考えております。このような見地から目下太陽炉による酸化物の高温物性の研究を進めておりますが、その1~2の例をご紹介致します。図17はわれわれが太陽炉用として作った高温X線回折装置を用いて測定したZrO<sub>2</sub>の回折パターンであります。ZrO<sub>2</sub>は常温で単斜晶、1000°C以上で正方晶であることはよく知られた事実であります。さらに高温では正方晶をとるといわれながら信頼できる回折パターンがあまりえられないのであります。この度2300°C以上でZrO<sub>2</sub>がCaF<sub>2</sub>型立方晶をとることが明らかに示されたばかりでなく、さらにZrO<sub>2</sub>-ThO<sub>2</sub>系の2000°C以上の相図を図18のように与えることができたのであります。

酸化物の高温における電氣的性質はきわめて重要な問題であります。これを酸化雰囲気中で計測することはこのような条件にたえる電極がえられないのではなはだ困難であります。この問題を解決するため新たにマイクロ波楕円偏光解析法がわれわれのところで開発されました。直線偏光のマイクロ波が電導性のある試料面で反射されますと反射波は楕円偏光となりますが、この楕円偏

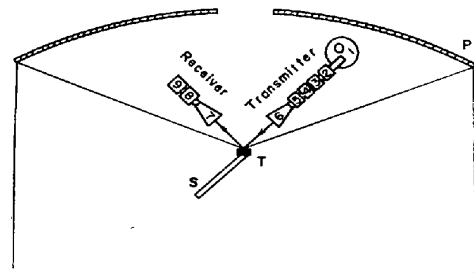


図19 マイクロ波楕円偏光解析装置

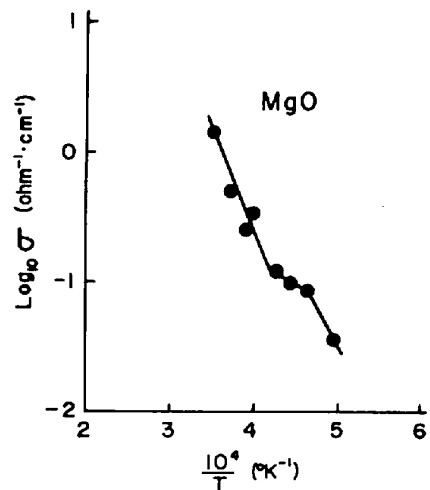


図20 MgOの電気伝導度

光を解析することによつて試料の誘電率と電気伝導度を求めることができます。図19は試作された50GHzの楕円偏光解析装置、図20はこの装置で測定された1800°Cから融点(2800°C)に至るまでのMgOの電気伝導度であります。

2000°C以上の高温における物性は未開のまま残された科学の分野で、太陽炉を科学的手段として用いることにより、この分野において今後多くの成果が上げられ、その結果として核融合その他の高温プロセスに必要な欠くべからざる新しい耐熱物質が生まれ、大きな未来が開かれるのであります。そして、その時こそ初めて太陽炉が工業的な手段ともなりうるものと考えられます。

フランスのTROMBEは古くから太陽炉を工業的手段に用いようと夢みてきた人であります。彼は数年前ピレネー山中のOdeilloに巨大な太陽炉を建設致しました。図21はその配置図で、南斜面に63個のヘリオスタットを置き、これらで放物面鏡に太陽光線を送り込むものであります。図22は放物面鏡で、コンクリート建物の側面全部に取り付けられ、幅54m、高さ40mで、45cm平方の平面鏡9500個のモザイクであります。結像をよくするため各平面鏡を裏面から引いて機械的に撓めてあります。入射する太陽エネルギーは1800kWに上りますが、放物面鏡、ヘリオスタットともに裏面鏡であるためその反射損失を考慮致しますと、出力は1000kW

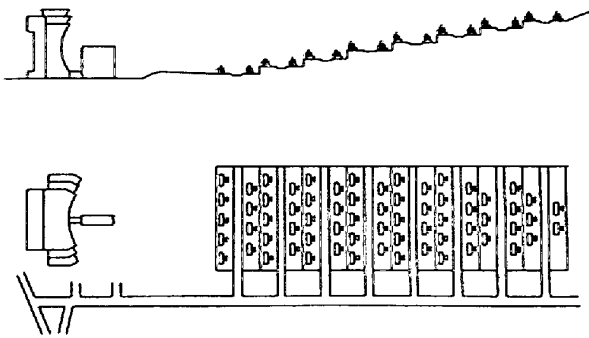


図21 Odeillo の工業用太陽炉の配置図

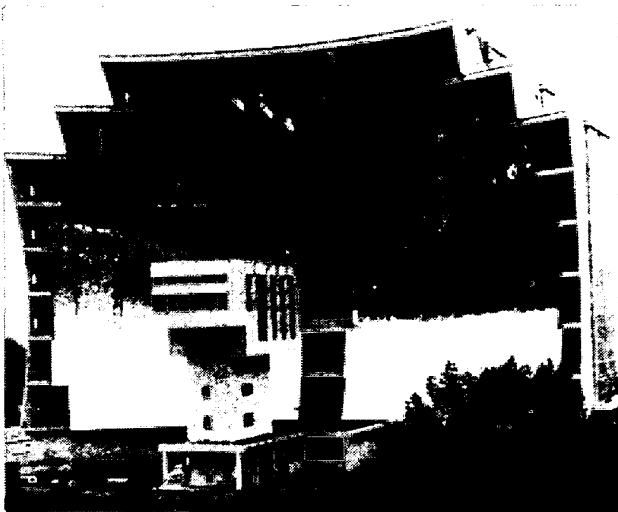


図22 Odeillo の工業用太陽炉の放物面鏡

ぐらいになります。このような大型の炉がペイされる高温工業施設となる日もそう遠い将来のことではないと思われれます。

太陽炉についてはこれぐらいにとどめておきまして再びエネルギー源としての太陽エネルギーの利用について話を進めてみたいと存じます。先程地上の太陽エネルギーの強さは  $1\text{m}^2$  当り約  $1\text{kW}$  と申し上げましたが、これは光線に垂直な面に対する正午付近の値でありまして、朝夕弱くなることと水平面に対して太陽光線が斜めに入射することを考慮致しますと  $1\text{kW}$  の太陽エネルギーをえるためには約  $4\text{m}^2$  の土地が必要であると考えられます。そこで  $4\text{m}^2$  の土地で 10 年間にどれだけの太陽エネルギーがえられるかと申しますと、年間日照時間を 2000 時間として

$$1 \times 2000 \times 10 = 20000 \text{ kWh}$$

になります。そこで太陽エネルギーすなわち入力を 20% の効率で電気に変換できるものと致しますと、10 年間にえられる電力は

$$20000 \times 0.2 = 4000 \text{ kWh}$$

となります。現在われわれが水力や火力でえている電力の値段は大口消費の場合  $1\text{kW}$  当り約 10 円でありましてから、この割合で換算致しますと 10 年間にえられる電

力の値段は

$$10 \times 4000 = 40000 \text{ 円}$$

になります。そこでもし土地や装置など発電に必要な施設の建設費を 10 年間で償却しようとするならば、装置が“ただ”であつても  $40000 \text{ 円}/4\text{m}^2$  すなわち  $10000 \text{ 円}/\text{m}^2$  以上の値段の土地を使つたのでは現在のような値段で電力が供給できないことになるわけでありまして。逆に“ただ”のような土地が使えたとしても太陽エネルギーすなわち入力に対して  $40000 \text{ 円}/\text{kW}$  以上の値段の変換装置を使つたのでは現在のような値段で電力が供給できないことになるわけでありまして。これは出力に対する値段で申しますと  $200000 \text{ 円}/\text{kW}$  になります。さて太陽電池は出力で申しますと現在  $30000000 \text{ 円}/\text{kW}$  でありますからたとえ  $1/10$  になつてもまだ一桁以上の差があるわけでありまして。それでは太陽熱機関による発電の場合はどうかということですが、蒸気が発生してからこれを電気に変えるまでの費用については現在ある火力発電所によつて十分データがえられておりますので太陽熱ボイラーに要する費用が問題になるわけでありまして。そこでわれわれの研究室でタワー方式の模型を作ってみました。図 23 がそれでありまして。この場合には一品ものため入力  $1\text{kW}$  に対し  $500000 \text{ 円}$  の費用がかかりましたが、検討の結果大型になるとこれを  $1/10$  以下にすることが十分可能であるという結論に到達致しました。これによりタワー方式はかなり実用に近いと申し上げてよいと思います。

さて太陽熱機関による発電が可能になつたとして、これを実施する上で日本にはアメリカなどには見られない困難さがあります。それは日本が南北に長いのに対し気象変化がこれと直角方向すなわち西から東へ進行することでありまして。このため日本全国が日の目を見ないことも稀ではありません。電力が全体的にバランスのとれるようなネットワークを組むためにはどうしても気圧の山から山にまたがる広い地域において実施する必要があります。しかしこれはなかなかむづかしいことだと思ひます。さりとて太平洋上は施設を浮べるための費用が加わ

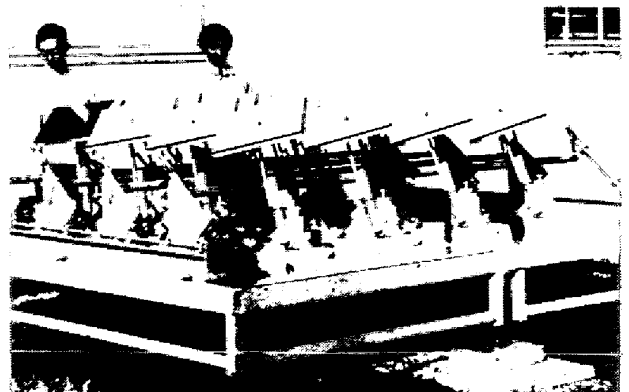


図23 タワー方式集光器の模型



る上に揺れている所で太陽光線を集中させることは容易なことではありません。そこで太陽熱発電で水力電気用の水を貯水湖に揚げるといったようなエネルギーを貯える方法を付け加えなければならぬことになります。それならば、現在日本が必要とするエネルギーを全部太陽エネルギーでまかなうものとしてどれだけの土地が必要かと申しますと、四国の1.5倍、できれば2倍の地積がほしいのであります。これだけの土地を1m<sup>2</sup>当り1000円以下で日本国内に求めることはきわめてむづかしいことでありましょう。そこでもし日本が将来エネルギー源のかなりの部分を太陽エネルギーに求めようとするならばその時使える土地を今のうちから心がけておく必要があるものと思われまふ。いづれこのような土地は日本から遠くはなれたところになるでありましょうから、そこから送電線を引くわけにはいかないことになります。そこで太陽エネルギーを石油のような化学的エネルギーに変換することが最も望ましいわけで、このような化学的エネルギーのうちで最も可能性のあると思われるのが水素であります。水素は燃焼しても水となるだけでありますから全くクリーンなエネルギーで公害を起こす心配がありません。またその輸送もボンベ内に圧縮するほか金属との化合物を作らせる方法も考えられます。

そこで太陽エネルギーを使つて水素を作る方法となるわけでありまふが、まず太陽熱発電によつて作った電力によつて水を電気分解することが考えられます。しかし発電の経済性が問題になつているのでありますから、こ

れはかなりむづかしい問題と思ひます。次に水を高温で直接分解させることが考えられますが、これには2500°C以上の高温が必要で、このような高温を発生させるためには太陽炉に用いるような高性能の太陽集光器が必要であります。東北大学の太陽炉は1964年完成致しましたが、その当時1kW当り100万円以上の建設費がかかりました。現在これを作るとなれば1kW当り200万円以上かかると思ひます。Odeilloの炉も同程度と聞いております。このような値段の施設で作られたエネルギーが使いものにならないことは先刻お話し申し上げたとおりであります。これに対しもし化学変化に必要な温度が1000°C程度の低いものであれば、太陽集光器の値段は格段に安くなることはわれわれが試作した装置によつても明らかであります。そこでこの程度あるいはそれ以下の温度で水から水素をえる熱化学反応が見い出せればよいことによります。現在このような熱化学反応に対して多くのプロセスが提唱されておりますが、現段階では成功したものがありません。これは今後太陽エネルギー利用における最も大きな問題の一つであります。

以上申し述べましたとおり、太陽エネルギーを熱の形で利用することは現在の技術水準でかなり実現の可能性を持つておりますが、われわれがいつでもどこでも使える定常的なエネルギーとするためには、現在の技術だけでは不可能で科学の分野における画期的な研究成果が必要欠くべからざるものであると思ひます。ご静聴を感謝致します。