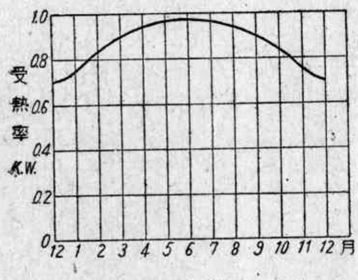
太陽熱利用の話

——橘　藤　雄——

太陽熱を人類の日常生活に利用することは原始時代から實際にやつていることであり，考えようによつては，われわれの利用するエネルギーの大部分がその源泉を太陽に仰いでいるといつてもよいくらいである。したがつてこと新しく太陽熱利用などというのも妙なものであるが，こゝではあまり間接的な利用ではなくもつと直接的な利用方法について述べる。

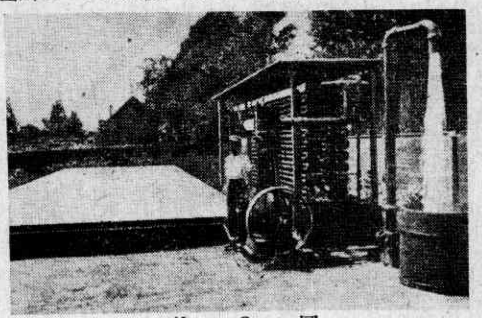
だいたい太陽から地球上にどの位のエネルギーが供給されるかという問題であるが，これは地球上の位置と季節と1日のうちの時刻と天候によつて違う。それらが同一であるときでも面の方向で違い，太陽光線に直面する面が最も多くのエネルギーをうけることも申すまでもない。その程度は第1圖のグラフ(1)を見ればわかるように一平方メートルにうける熱量が家庭用のヒーター1個の發熱量と同じくらいであるからなかなか馬鹿にならない。太陽熱を利用して熱原動機を動かし機械的なエネルギーを得るということは誰しも考えることだが，いろいろな人が試みて成功している。熱原動機としては蒸汽機關や蒸汽タービンを使うわけであるがこれらの機關は蒸汽さえ供給すれば作動してなにがしかの機械的仕事をすることは確かだから，結局太陽熱機關の成否は太陽熱ボイラーをいかにして作るか，果して經濟的に引き合うかということに歸着する。



第1圖　北緯 35° 附近の日射方向に垂直な平面の受熱率（正午の値）

記錄によると 1878 年に Monehart が直徑 2.84 m の圓錐形の反射鏡を使つて約 20 kg の水をいれたボイラーを加熱し，20°C の給水で 5.3 氣壓の蒸汽を毎時 5 kg の割で供給することに成功した。全反射面積當りの毎時蒸發量は 1.2 kg/m²h である。次いで 1883 年には Ericsson が 15.0 m² の反射面積をもつ拋物線鏡を使い直徑 15.9 cm，長さ 3.36 m のボイラーを加熱する裝置をニューヨークに作つた。これで壓力 1.4 氣壓の蒸汽を作つて蒸汽機關により 3.25 馬力を出すことができた。蒸汽機關は筒徑 152 mm，行程 203 mm のものを使い復水器の良好なものを用いたという。この種の反射鏡は多くは自働的に太陽の方を向いて移動する裝置をもつているがいずれも高級科學玩具という感じであつた。

その後 Shuman[2] が 1907 年に固定式の太陽熱ボイラーを作り蒸汽機關で 32 馬力を出すにおよんで漸く實用性が認められるようになつた。こゝに掲げた寫眞（第2圖）がそれである。彼のボイラーは一邊が 0.91 m の正方形で罐水の深さ約 3 mm のブロックを多數平面上にならべて周圍に設けた反射鏡で加熱する仕組である。ボイラーの面積が 464 m² 反射鏡面積が 492 m²，合計 956 m² の受熱面を有する。これで大氣壓程度の壓力の蒸汽を作り特殊な設計の蒸汽機關を運轉する。受熱面積當りの蒸發量は 0.28 kg/m² で Monehart のボイラーにくらべると受熱面積が4倍以上要る勘定であるが，その理由の一つは太陽の動くのを追跡しないこととおそらくは保溫上の困難に由來するものであろう。このように太陽熱利用を實用化するときの最大の問題は保溫にある。水に充分熱を吸收させようと思えば Shuman 式におそろしく平たい容器にせざるを得ないが，これは反面において溫水の體積に對する冷却面積の割合をもいちじるしく大きくし熱損失をますのである。この際罐水の壓力を高くするとそれに應じて溫度も高まり熱損失を增す上に，膨大なボイラー本體に强度をもたせるため材料が不經濟になるから，なるべく大氣壓附近の蒸汽を使い，復水器で低壓を作つて機關を運轉することが望ましい。こうした低壓の蒸汽のエネルギーを利用するのにはタービンの方が蒸汽機關よりはるかに適しているから今後出現するものはそういう形式をとるものと思われる。



第　2　圖

さて Shuman は 1913 年にエヂプトのカイロで再び太陽熱機關を作つた。今度は太陽を追いかけて廻る拋物線反射鏡を用い，焦點に偏平な鑄鐵製のボイラーをおいた。これを5個使つて 1 日 10 時間使用して平均毎時 500 kg の蒸汽を作つた。全反射面積は 1,770 m² で反射面積當り蒸發率は，やはり 0.28 kg/m² で前の固定式ボ

イラーと同じである。蒸汽機關は筒徑，行程とも 914mm で 110 r.p.m で 54 馬力をだしている。この装置は土地の購入費を別にして當時 7,600 ドルを要し1馬力當りの設備費 140 ドルであつた。これは 1911 年の某蒸汽原動所の設備費 250,000 ドルで發生馬力 2,000 馬力1馬力當り設備費 125 ドルと匹敵し得る値である。Shuman はエジプトのように石炭の高價な土地では充分に引き合うといつている。同じ頃米國の Willsie がカリフォルニアに太陽熱機關を作つた。これはガラスの箱の中にパイプコイルを入れたものでまず水を加熱し，これを用いて無水亜硫酸を加熱して使う仕組であつた。彼の裝置は 20 馬力であつたが，同樣の方法で 400 馬力の原動所を作つたとすると太陽熱ボイラーの費用が1馬力當り 100 ドル，他の附帶設備一切をふくめて1馬力當り 164 ドルとなり，やや高價であるが運轉費は何しろエネルギー源が無料であるだけに格安になるといつている。その他にもいろいろ計畫した人があり時々新聞面にでたりして興味をひくが，充分な保温技術と適當なタービン，復水器などを準備すればかなり有利に動力が得られる可能性がある。たゞ何といつても工合の惡いのは天候の惡い日や夜間に休止することで，多少は温水を貯藏することで調節し得るが梅雨期などは如何とも致しがたく，こんなことが，結局本氣で利用する人のでない理由であろう。

さて次には太陽熱を暖房に利用しようという試みである。太陽熱で暖をとるのは日當りのいいところで背中を丸めているのも一案だがもう少し氣のきいた利用法がある。日當りのいいところに温水ボイラーをおいて，その湯を各室に設けた放熱器に通す手もあるが，それには湯の温度を 70°C～80°C ぐらいにしなければ放熱器ばかり大きくなつて費用もかゝるしじやまでもある。しかしこんな高い温度にするとボイラー配管の熱損失が增して困るから，もつと低い温度で利用する方法が望ましい。柳町氏[3]は熱ポンプ暖房に利用することを提唱しているがうまい方法である。熱ポンプ暖房は簡單にいえば冷凍機を使つて加熱する方法で古くから原理は知られており近年盛んに實用されている方法である。冷凍機は低温物體から Q_2 の熱をうばい，外から運轉のために加えられた機械的仕事を熱に換算したものと合せて高温物體にだす。これを Q_1 とすれば Q_1-Q_2 のエネルギーを他から供給して高温物體に Q_1 の熱を與えることになり Q_2 だけ得になる。この冷凍機がもしカルノーの逆サイクルのような可逆サイクルを行うものであれば熱力學でよく知られているように高温，低温兩物體の絶對温度を T_1, T_2 とすると

$$\frac{Q_1}{T_1}=\frac{Q_2}{T_2}$$

$$\text{熱ポンプ效率}=\frac{Q_1}{Q_1-Q_2}=\frac{T_1}{T_1-T_2}$$

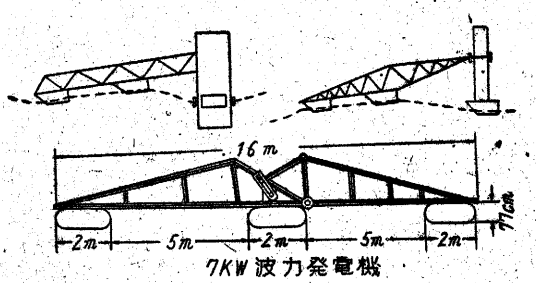
したがつて T_1 と T_2 の差が少い程效率は大きくなる。

今放熱器の温度を 80°C にしようと思うと低温物體として池の水か何か 0°C のものを用いたとして $T_1=237+80$, $T_1-T_2=80$ で效率は約 4.4 となる。この時太陽熱ボイラーを併用して 30°C の温水を作り，これを低温物體として使うならば $T_1-T_2=50$ で效率は約 7.1 となり同じ動力で6割以上も暖房の效果があがることになる。しかも太陽熱ボイラー內の温水が低温であるから，熱損失が少くてすむ。なお同氏は建物の下に温水槽を設けることにより相當長期の天候不良に耐え得ることを計算で示している。

さてもつと直接に手輕に太陽熱を利用する方法はないか。一番簡單なのはこれで相當高温の湯を作つて炊事や浴用に使うことであろう。誰でもそういう設備があつたら便利だろうとは思いながらもつい面倒くさいので實行して見る氣にならないというところであろう。しかし全戸數の約1割がこの裝置を作つて夏季3ヶ月は燃料なしで入浴しているという村がある。それは埼玉縣の水深村という村である[4]。(口繪參照) 大體は屋根の上に並べたトタン製の管（直徑4寸位）の中に水約1石程度をいれたもので，これにコールタールを塗つただけである。縱が4尺3寸，橫が8尺6寸ぐらいに作られていて，管の直徑は約3寸7分である。銅で作る方が水がきれいで水持ちする。しかし昨今は「光もの」の値段があがつているから，これだけの裝置を作るのには材料費が 15,000 圓ぐらいかゝる（口繪のグラビヤ參照）。

保温のためにはまづ風に吹きさらしにしないことが最も重要な要件である。風よけをしたり，できればガラス板の覆いをすれば上等である。管の徑はもつと細い方がいいそうである。これだけで冬季でも無風の日には燃料を半減できる程度にあたたまるというのであるから無精をしないで設備する値打は充分にある。谷下氏[5]は氏の考案になる太陽熱ボイラーと温水貯藏用の槽（ドラム罐）をおいて4月頃に實驗している。水の量は 250 kg でこれは1石4斗ぐらいに當る。受熱面積は 3.7 m², タンクや導管などで湯から熱が逃げてゆく面積は全體で 11 m² であつた。こうした冷却面の熱通過率は普通の保温方法で 1～2 kcal/m²h°C に見積ればよいらしい。晴天の日の實驗で午後3時近くには湯の温度は最高の値に達し，約 60°C になつている。その後はまた温度が下るが4時頃はまだ 52°C 位であるから仕事をすませて夕方一風呂あびるのには充分すぎる。入浴の湯の温度は 43°C ぐらいだから。設備費のことは報告されていないが簡單なものだからそう大したものでないことは間違いない。さて，次はやや夢物語めくが，太陽熱を利用して冷凍を行うことはできないものだろうか。室內の冷房まで行えるかどうかは具體的な計算をし見なていとわからないが冷藏庫を氷なしで冷却することぐらいはできよう。原理

(28 頁へ續く)



第３圖 波力發電機のいろいろ

この方法において困難を感ずる點は，週期運動である，から發動機を用いる場合に電壓も電力も週期的に變化し一様な電力が得られない點であるが，益田氏はこれについて特殊の考慮を拂いその解決につとめた。また暴風時に機械が破壊されないよう注意する必要があろう。

最後に潮汐力の利用であるが，周知のように潮汐現象は海面が毎日二回づつ昇降するから，昇つた時に海水を廣い淺い貯水池に誘導して，それが干潮までの間に流出するのを利用して發電させる原理である。エネルギーとしては極めて大きいものであり，瀬戸内の兒島灣等で具體化されるうわさも古くから聞いているが，これもその後實施を見ない。波浪と同様，動力が絶えず増減することがこの裝置の缺點であるがこれもなんとか別に解決の方法があるであろう。

波力にせよ，潮汐力にせよ，その目的は主としてまず發電にあるから，わが國のように水力の豐富な國ではあまり實用化されるに至らないのではあるまいか。

(30 頁より續く)
的に不可能でないことは太陽熱機關で動力を得て，これで蒸汽壓縮式冷凍機の壓縮機を運轉するという方式を考えれば明瞭である。しかし原理上可能であるということになれば何もそんな不手際なことをしないでも方法はあろう吸收式冷凍機というものは日本では試作品以外には見られないが，米國などでは普通の小型冷凍機として普及している。これはモーターもなければ壓縮機もなく，裝置の一部を電氣ヒーター又はガスで加熱するだけでよい。冷凍をやるのにヒーターで熱するというというのだから一見奇異な感じがするものである。このヒーターのかわりに太陽熱を利用することはどうだろう。一度湯をわかしてそれで加熱するのがいいかも知れない。伊豆方面の溫泉では溫泉で加熱する吸收式冷凍機を作つて成功した人もあるという話であるから同様の手法で成功するに違いない。酷暑の候に，太陽が照りつければ照るほど冷たいビールやシロップができたりアイスクリームができたりしたらこんな愉快なことはないであろう。

文 獻

(1) 衞生工業便覽上卷（昭和 23 年）
(2) Engineer 1912, 6 月 6 日
(3) 柳町政之助，太陽熱利用の暖房並に給湯裝置について，衞生工業協會誌 21 卷 第 11～12 號
(4) 谷下市松；埼玉縣水深村における太陽熱利用の現況，學術研究會議エネルギー經濟研究特別委員會第二分科會，同分科會パンフレット昭和 23 年 2 月
(5) 谷下市松；太陽熱の利用に關する研究，同パンフレット昭和 23 年 2 月

“生產研究” 第３卷 第４號 (工業分析特集號)

正 誤 表

頁	段	行	種 別	正	誤
4	左	1	口 繪	福田式	藤田式
7	〃	15	本 文	協力者中には Upton	協力者中には Elihn Thomson, Upton
〃	〃	16	〃	後では Elihu Thomson, Houston	後では Houston
〃	〃	32	〃	11 kV, 150 kW,	11 kW, 150 kV,
11	〃	下 8	〃	直讀分光器	直流分光器
〃	〃	8	〃	2. $CH_2(CO_2C_2H_5)_2$	2. $CH_2(CO_2C_3H_5)_2$
18	右		〃	β結合の二糖類	β 結合
〃	〃	9	〃	-guanine	-guanidire
〃	〃	11	〃	tetrazolivm	tetrayoliun
26	〃	6	〃	滴定によつて	測定によつて
28	〃	2	〃	應用例	應向例
31	左	6	〃	分析計	分析量
32	右	1	〃	第 9, 10 圖	第 8, 9 圖
〃	左	4	〃	(削除)	ガラ分析による
〃	〃	24	式	精度は誤差數%	精度は數%
35	右	12	〃	$x=\frac{b(m-n)}{a^u}\times100$	$x=\frac{b(m-n)}{an}\times100$
40	左	16	〃	21, 32(1949)	21, 32(1944)
43	〃	下17	第1表	溶製する	作る