太陽集熱器に関する計測技術

Measurement of Solar Collector parameters

太陽熱集熱器に関係した計測法として、i) 日射量, ii) 集熱効率測定法, iii) 熱吸収面の光学特性測定法について述べる。

大 野 二 郎*

Jiro Ohno

1. は じ め に

太陽エネルギーはトータルではぼう大な量が地上にふり注いでいるが、密度が希薄であるために、利用しようとしても経済性が成立つ場合とそうでない場合を生ずる。それを判断するベースデータは日射量であり、次いで太陽熱集熱器の集熱効率である。日射量や集熱効率などは一般になじみの薄いものであるが、ここでは測定法を中心に概要を述べた。

2. 日 射

2-1 太陽放射

太陽エネルギーはすべての地域でまんべんなく利用できるわけではなく、日射量や気温によって大きく左右される。

大気圏外における太陽放射強度の平均値を

太陽常数 I_0 (solar constant) と呼び、1353 Wm^{-2} である。この値は太陽の黒点活動などで $\pm 1.5\%$ 程度変化する。地表の日射量は快晴でも大気の吸収、散乱によって減衰する。太陽の高度を β とすると、 $m=1/\sin\beta$ は規格化された大気の厚みとなり、 m を大気質量 (air mass) と呼ぶ。大気圏外は $m=0$ とし、海拔 0 m の地点で太陽が天頂にある時は $m=1$ となる。快晴時の任意の太陽高度における日射量 I は

$$I = I_0 \left(\frac{I_N}{I_0} \right)^m \dots\dots\dots (1)$$

で表すことができる。 I_N は $m=1$ での日射量である。図 1 は太陽放射の波長分布で、大気圏外では 6000 K の黒体放射によく一致する。 $m=1$ では、ピーク波長は $0.48\mu\text{m}$ 、エネルギーは $0.4\mu\text{m}$ 以下の紫外部に 7.6%、 $0.4\sim 0.7\mu\text{m}$ の可視部に、44.7%、 $0.7\sim 2.5\mu\text{m}$ の近赤外部に 44.7% が分布している。

2-2 日射量

* 新日鉄(株)基礎研究所 課長, 研究員, 工博
〒211 川崎市中原区井田1618
☎ 044(777)4111

* Nippon Steel Corporation
1618, Ida Nakahara-ku, Kawasaki, 211

図1 太陽放射の分光強度, $m=0$: 大気圏外, $m=1$: 海拔0m比較, 5762 K黒体放射

(a) 法射面直達日射を測る直達日射計
(Eppley normal incidence pyrheliometer)

(b) 全天日射量を測る全天日射計
(Eppley pyranometer)

写真1 日射計

日射の形態は、直接受熱面に到達する直達日射と、大気や雲で散乱して全天から到達する拡散日射に分けられる。日射量の測定は写真1(a)に示す直達日射計、写真1(b)に示す全天日射計および拡散日射計で行なう。直達日射計は放射検出器の前に円筒を取付けて周囲からの拡散光を遮り、これを太陽に向けて法線面直達日射量を測る。全天日射計は受熱面を水平に置き、水平面直達日射と水平面拡散日射が重畳した量を測る。拡散日射の測定は、全天日射計の前面に太陽軌道に一致

したリングを取付けて太陽光が直接検出器に入射しないようにして拡散光のみを測る。

図2(a)は晴天日、(b)は薄曇り日、(c)は曇天日の日射量である。図2(b)から分るように、太陽に雲がかかると直達日射量は急減するが拡散日射量はほとんど変化しない。太陽熱発電のように集光するシステムでは拡散日射は集光効率が落ちるので、集熱量評価の場合にはこのように詳しいデータが必要になる。図3は日射量の季節間変動を示す。

図2 天空散乱日射および法線面直達日射の記録例

2-3 利用可能な日射

日本の全日射量分布を図4に示すが、地域および季節による差が著しい。この分布図から、太陽熱利用機器の経済性を判断することができるが、集熱器の集熱量を求めるには更に詳しい日射データが必要になる。

平板型集熱器の単位面積あたりの集熱量 q は

$$q = F_R [\bar{\tau} \alpha I - U(t_1 - t_0)] \dots \dots \dots (2)$$

となる。 F_R は集熱器の断熱性能などを表す係数、 $\bar{\tau} \alpha$ はカバーガラスの透過率も含む受熱面の熱吸収率、 U は集熱器の熱損失に関係した熱伝達係数、 t_1 は流体の入口温度、 t_0 は気温である。 $q > 0$ が集熱条件なので、

$$I_0 = \frac{U(t_1 - t_0)}{\bar{\tau} \alpha} \dots \dots \dots (3)$$

(a) 月平均日射量の季節変化

(b) 快晴日の法線面直達日射量の時間変化

図3 日射量の変化例(香川県仁尾)

が利用可能な最少日射量となる。(2)式に(3)式を代入して $q = F_{R\tau\alpha}(I_t - I_c)$ と書直せる。 q を1カ月間積算した値を Q とする。

$$Q = F_{R\tau\alpha} \Sigma^+(I_t - I_c) \dots (4)$$

ここで Σ^+ は1カ月間の $I_t > I_c$ である時間の総和である。表1に I_c を、0.4, 0.6 KWm^{-2} とした時の法線面直達日射量, 日照時間, および全天日射量, 全日照時間との比を示す。この地域では利用可能エネルギーは15~65%減少することになる。平板型集熱器では, この他に設置方角, 角度によって集熱量が変化する。

日本では全国的に集熱量の正確な評価が可能となるように詳細な日射量のデータ集積が引続き行なわれている。

図4 月平均全天日射量(cal/cm²·day)

3. 集熱効率

集熱器の集熱効率を求める方法は大きく分けて次の2通りある。

(i) 開放方式 図5(a)に示すように集熱

器に水や空気を流し, 流体が得た熱量 q_u と入射熱量 I との比から効率 η を求める。

$$\eta = \frac{q_u/A}{I} = \frac{\dot{m} C_P (t_1 - t_2)}{I} \dots (5)$$

表1 0.4kwm⁻²および0.6kwm⁻²以上の法線面直達日射量とその時間数, 鹿児島, 1976年

	法線面直達日射量 I_{DN}					日照時間 T				
	0.4kwm ⁻² 以上 I_{DN}^4	0.6kwm ⁻² 以上 I_{DN}^6	総量 I_{DN}^0	I_{DN}^4/I_{DN}^0	I_{DN}^6/I_{DN}^0	0.4kwm ⁻² 以上 T_4	0.6kwm ⁻² 以上 T_6	全日照 時間 T_0	T_4/T_0	T_6/T_0
	kwm ⁻²	kwm ⁻²	kwm ⁻²	%	%	hr	hr	hr	%	%
1 月	75.5×10 ³	60.2×10 ³	38.0×10 ³	86	68	123.9	88.5	164.8	75	54
7 月	55.8×10 ³	38.8×10 ³	73.4×10 ³	76	53	100.3	60.7	173.6	58	35

(a) 開放系方式

(b) 閉ループ方式

図5 集熱器の集熱効率測定原理図

Aは集熱面積, $\dot{m}$ は流体の質量速度, C_p を比熱, t_1 , t_2 は流体の入口, 出口温度である。

(ii) 閉ループ方式 図5(b)に示すように流体を循環させて一定時間 $\Delta\tau$ 後に流体温度は上昇値 Δt 求め, 上昇率 $\Delta t/\Delta\tau$ から η を求める。

$$\eta = \frac{q_u/A}{I} = \frac{\dot{m}C_p(\Delta t/\Delta\tau)}{I} \quad (6)$$

開放方式は測定量が $\dot{m}$, t_1 , t_2 , I であるが, 閉ループ方式は $\Delta t/\Delta\tau$ と I のみで良い。反面

後者は空気式集熱器の評価ができず, 測定誤差要因が多い。現在は集熱器単体の評価は開放方式であり, 自然循環式集熱装置は閉ループ方式が用いられている。

さて集熱器の集熱量 q を(2)式と類似の(7)式で表す。

$$\frac{q}{A} = F_R[fI - U(t_c - t_a)] \quad (7)$$

f は入射光のうち集熱器の受熱面が吸収する割合, t_c は集熱器の代表温度である。したがって(5)式から, 集熱効率 η は

$$\eta = F_R[f - U \frac{(t_c - t_a)}{I}] \quad (8)$$

となる。 t_c には流体の入口温度 t_1 や, 入口と出口温度の算術平均値 $(t_1 + t_2)/2$ が用いられている。(8)式から分るように $(t_c - t_a)/I$ を変化させて η を求めると, 集熱器の特性を示す諸パラメータ, F_R , f , U が得られる。

集熱器の性能試験法は日本では名工試を中心に検討されているが, ここでは米国の標準方式について簡単に説明する。試験装置は図6のように, ヒータで水を加熱して集熱器に導く。この時の t_1 , t_2 , t_a , $\dot{m}$, I を測定する。1回の測定は約15分継続する。したがって η は次式から算出する。

$$\eta = \frac{\int_0^{\tau} \dot{m}C_p(t_2 - t_1)d\tau}{\int_0^{\tau} Id\tau} \quad (9)$$

ここに τ は15分間とする。1回の試験には最低16点のデータが必要で, 南天時をはさんで

図6 液体用集熱器の集熱効率測定装置

対称に測定することが好ましい。
また15分間の測定中は日射量は 600 Wm^{-2} 以上で準定常状態とし、太陽光線の集熱器への入射角は 45° 以内とする。日本のように日照が安定した季節に限られている地域では、1つの集熱器の特性を測定するのに長い日数を要することがあるので、図7に示すようなソーラシミュレータを作り、屋内の一定した条件下で試験することも行なわれている。図8は平板型集熱器の試験データで、受熱面を黒色塗装した場合と選択吸収処理した場合とを比較している。

4. 受熱面の光学特性

集熱器の性能をあげるためには、(i) カバ
ーガラスと受熱面との間の熱対流を押える、

図7 NASA Lewis Research Center のソーラシミュレータ

(ii) 受熱面を選択吸収処理して熱放射損失を押える、などが行なわれている。いずれも(8)式において U を小さくする効果をもたらすので、 $(t_c - t_a)/I$ の大きい領域、すなわち冷暖房などの高温集熱を目的とした集熱器に用いられている。

図8 平板型集熱器の屋外試験による集熱効率測定例

図9 反射率測定用積分球の構造

選択吸収面は、太陽放射の集中している $0.3 \sim 2.0 \mu\text{m}$ の波長域 (図1参照) では吸収率 α が高く、自己放射する $4.0 \mu\text{m}$ 以上の波長域では放射率 ε を小さく押えている。一般には α や ε を測定する代りに反射率 ρ を測定して、次式から α や ε を求める。

$$\alpha = \varepsilon = 1 - \rho \dots\dots\dots (10)$$

反射率は測定面が平滑で鏡面反射をするならば正反射成分を測定する。また凹凸があったり、表面が誘電体などで覆われている場合には乱反射するので、正反射成分を測定すると誤差が大きくなる。このような試料は図9に示すような積分球が用いられる。積分球内面は MgO など反射率が 1.0 に近く反射特性

図10 選択吸収面の反射率

が拡散性のある材料でコーティングしている。入射光を試料表面にあて、反射した光を積分球内面で乱反射させると球内はほぼ一様な照度になる。この明るさを検出器で測定する。積分球方式は、試料が鏡面性の強い反射特性を有すると大きい誤差を生じたり、 $2.0\mu\text{m}$ 以上の測定ができないなどの欠点があり、特殊な反射率測定装置も考案されている。

図10はさまざまな選択吸収面の反射率測定データの例である。

5. お わ り に

太陽熱利用機器はコストが高いので、10～20年の寿命が要求される。したがって集熱器

の性能はここで述べた熱特性に加えて、耐食性、耐候性、その他多くの項目の検討が要求されており、それらは決して容易なことではない。将来太陽熱利用機器が十分に実用性あるものとの評価を確立するために各方面で慎重な検討が進められている。

文 献

(財)日本産業技術振興協会編；サンシャイン計画，太陽エネルギー技術の研究開発講演集（昭和53年12月）

R.C. Jordan and B.Y.H. Liu(edit); Applications of Solar Energy for Heating and Cooling of Buildings, ASHRAE GRP 170 (1977).

叩 * 4,000台突破 *

めっき厚の品質管理に!!

金めっきまで測れます。

● **電解式めっき
厚さ測定器**

株式会社 **中央製作所**

NEW MODEL

(カタログ進呈)

本社・工場 名古屋市瑞穂区内浜町2丁目75番地
営業所 千467 ☎ <052> 821-6111(大代表)
東京 <03> 432-1571
大阪 <06> 762-1901
福岡 <092> 522-1785
新潟 <02563> 4-8394