

太陽光・熱ハイブリッドコレクタのエクセルギー評価

Exergetic Evaluation on Photovoltaic/Thermal Hybrid Collector

岩脇秀喜^{*1}

Hideki IWAWAKI

藤澤徹^{*1}

Toru FUJISAWA

谷辰夫^{*2}

Tatsuo TANI

Abstract

The global environmental problems are serious problems and solar energy is expected for useful use. There are two kinds of useful method of solar energy, solar thermal and photovoltaic applications.

A photovoltaic / thermal hybrid collector (PV/T) has been developed. It can supply thermal energy and electric energy with high efficiencies simultaneously. In our campus, these collector were set up, that is PV/T collector, photovoltaic module (PV) with single crystalline silicon solar cell and flat plate solar collector (FPC) with selective surface Cr_2O_3 . They have been operated from September, 1995 to March, 1997 under various conditions.

In this paper, the usefulness of PV/T has been evaluated by exergetic theory. Exergetic values of PV/T were 86.30kWh, PV were 80.69kWh and FPC were 0.05kWh. Operating optimum point, exergetic values of PV/T were higher than the former condition by 8.0%. It is found, that PV/T is the most useful collector point of view the exergetic collector.

Key words; photovoltaic/thermal hybrid collector (PV/T), exergetic theory, photovoltaic conversion efficiency, thermal efficiency, exergetic value

1.はじめに

地球環境問題が深刻となる中で、太陽エネルギーの利用への期待が高まっている。太陽エネルギーの利用形態は太陽光利用、太陽熱利用の2形態に大別され、その代表例として、太陽電池、太陽熱集熱器がそれぞれ挙げられる。

筆者等は電気エネルギー及び熱エネルギーの複合利用を意図したエネルギー変換器である太陽光・熱ハイブリッドコレクタを提案し、研究を展開している。本研究では設計試作したコレクタの有効性をエクセルギー理論に基づき評価した。このエクセルギー理論を導入した意義は、電気エネルギーと熱エネルギーは質の異なるエネルギーであるため、それを定量的に評価することができる点にある⁽¹⁾。本論文は同一条件の下に設置した太陽光・熱ハイブリッドコレクタ、太陽電池モジュール、平板型太陽熱集熱器の諸特性を取得し、これらのエネルギー変換器の有効性をエクセルギーの観点から論述したものである。論文の前半ではエクセルギー理論をこれら3種類のエネルギー変換器に適用したエクセルギー評価手法と1995年9月から1997年3月までに測定した気象データ及び各エネルギー変換器のエネルギー量、エクセルギー量を明らかにした。後半では取得したデータをもとに求めた各エネルギー

一変換器の光電変換効率や集熱効率を用いて、各月のエクセルギー量を最大にする条件を明らかにした。また、3種類のエネルギー変換器の長期にわたるエクセルギー量を比較した。その結果、太陽光・熱ハイブリッドコレクタの電気エクセルギー量と熱エクセルギー量の和である合計エクセルギー量は86.30kWhであり、太陽電池モジュールの80.69kWh、平板型太陽熱集熱器の0.05kWhに比べてそれぞれ、1.07倍、1726倍大きい値を得た。従って筆者らの開発した太陽光・熱ハイブリッドコレクタはエクセルギーの観点から最も優れたエネルギー変換器であることがわかった。

2.エクセルギー評価手法

2.1 エクセルギー理論の概要

エクセルギーとはある系において仕事として取り出すことのできるエネルギーの最大値である⁽²⁾。ある熱機関において、熱を仕事に変換させるには高温熱源から低温熱源への熱の移動によりなされる。

2つの熱源の間で働く理想的な熱機関の効率は高温熱源の熱量を Q_o 、その温度を T_o 、低温熱源の熱量を Q_i 、その温度を T_i とすると効率 η は(1)式で与えられる。

原稿受付 平成9年10月29日

*1 東京理科大学工学部大学院生

*2 同大学教授（東京都新宿区神楽坂1-3）

$$\eta = \frac{W_o}{Q_o} \quad (1)$$

なお、 W_o は熱機関 1 サイクル当たりに行われる仕事で、(2)式で与えられる。

$$W_o = Q_o - Q_i \quad (2)$$

(1)式と(2)式とから(3)式が導ける。

$$\eta = \frac{Q_o - Q_i}{Q_o} \quad (3)$$

理想気体のカルノーサイクルでは $Q_o / Q_i = T_o / T_i$ が成り立つので高温熱源と低温熱源の温度差 τ を $\tau = T_o - T_i$ とすると、カルノー効率 η_c は(4)式で表される。

$$\eta_c = \frac{Q_o - Q_i}{Q_o} = \frac{\tau}{\tau + T_i} \quad (4)$$

熱機関の投入エネルギーを Q とすると熱機関で最大に取り出すことのできる仕事 W は(5)式となる。

$$W = \eta_c Q \quad (5)$$

この W がエクセルギーとなる⁽¹⁾。

2.2 太陽熱集熱器から取り出されるエクセルギー

熱量 Q は物体の温度の低下によって与えられ、物体の温度が dT だけ低下すると、それに従って $dQ = M_p \cdot dT$ だけの熱量が発生する。 M_p は圧力一定のもとでの物体の熱容量であり、すなわち物体の低圧比熱 C_p に物体のモル数 n を乗じたもので(6)式で表される。

$$M_p = nC_p \quad (6)$$

ここで、 C_p は集熱温度 T の関数であり、(7)式である。

$$C_p = a + bT \quad (7)$$

そこで、 dQ なる微分熱量のうち、仕事に転化できる分 de_i は dQ にカルノー効率を乗じたものであり、

$$de_i = dQ \times \frac{T_o - T_i}{T_o} = M_p \times \frac{T_o - T_i}{T_o} dT \quad (8)$$

従って、太陽熱集熱器から取り出されるエクセルギーは(8)式を T_i から T_o まで積分することによって得られ、

$$e_i = \int_{T_i}^{T_o} M_p dT - T_i \int_{T_i}^{T_o} \frac{M_p}{T} dT \quad (9)$$

$$= n \cdot \left(a + \frac{b}{2} (T_o - T_i) \right) (T_o - T_i) - n \cdot T_i \cdot a \cdot \ln \left(\frac{T_o}{T_i} \right)$$

この(9)式が太陽熱集熱器から取り出されるエクセルギーの瞬時値となる⁽²⁾。

また、太陽熱集熱器から取り出されるエクセルギー量 E_i は e_i を積算したものであり、測定点数を k とすると、(10)式で表せる。

$$E_i = \sum_{i=1}^k e_i \quad (10)$$

2.3 太陽電池から取り出されるエクセルギー⁽³⁾

電気エネルギーは周囲環境からの影響を受けないため、それと等量の仕事に変換される。従って、太陽電池の出力をエクセルギーで評価するためには、出力として取り出しうる最大の電力を用いればよい。日射強度を H 、太陽電池の光電変換効率を η_e とすれば、太陽電池の瞬時最大出力 P_m 、すなわちエクセルギーの瞬時値 e_e は(11)式となり

$$e_e = \eta_e H = P_m \quad (11)$$

また、太陽電池から取り出されるエクセルギー量 E_e は(12)式となる。

$$E_e = \sum_{i=1}^k e_e \quad (12)$$

2.4 太陽光・熱ハイブリッドコレクタから

取り出されるエクセルギー⁽³⁾

太陽光・熱ハイブリッドコレクタをエクセルギーで評価するためには、太陽熱集熱器から取り出されるエクセルギーと太陽電池から取り出されるエクセルギーとの合算値となる。すなわち、合計エクセルギーの瞬時値 e_h は(13)式で表せる。

$$e_h = e_i + e_e \quad (13)$$

また、太陽光・熱ハイブリッドコレクタから取り出されるエクセルギー量 E_h は(14)式で表せる。

$$E_h = \sum_{i=1}^k e_h \quad (14)$$

3. 実験装置及び測定方法

3.1 実験装置

筆者らは本学 1 号館屋上(地上約 70m)に、設計試作した太陽光・熱ハイブリッドコレクタ(以下、PV/T と言う)、太陽電池モジュール(以下、PV と言う)、平板型太陽熱集熱器(以下、FPC と言う)を設置し、受光面を真南に向けて傾斜角 35.5° に固定した。これらの測定装置の外観を図 1 に示す。日射強度、風速、外気温度、太陽電池モジュールの電流-電圧特性やセル温度、集熱特性を求めるための集熱媒体の流量、入口、出口温度などのデータは 5 分ごとにコンピュータに取り込まれる。PV/T、FPC の集熱媒体には濃度 40 重量%のエチレングリコールを用いた。PV/T の動作には集熱媒体流量を増大させ、電気エネルギーを多く取得する形態(以下、電主熱從と言ふ)と、集熱媒体流量を減少させ、熱エネルギーを多く取得する形態(以下、熱主電從と言ふ)と大きく分けて 2 形態がある。本論文では 1995 年 9 月

から 1996 年 11 月まで前者の形態を選択し、集熱媒体流量を $2.5 \times 10^{-2} \text{ kg/s}$ とした。また、1996 年 12 月から、後者の形態として出口温度を高く動作させるため、流量を $6.7 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ に変化させた。循環系には集熱媒体循環用ポンプ(15W)と集熱媒体の温度制御用の放熱器をそれぞれ設けている。表 1 に実験装置の仕様を示す。また、測定装置の概略を図 2 に示す。

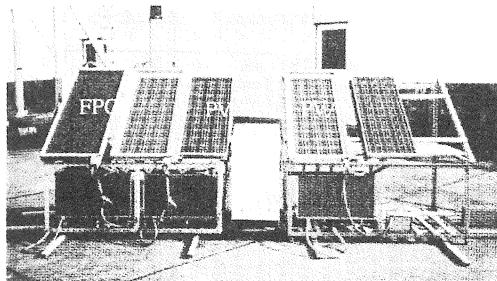


図 1 実験装置の外観

表 1 PV, PV/T, FPC の仕様

	PV	PV/T	FPC
Electrical	Element Area [m ²]	0.48	0.48
	Maximum Power [W]	65.0	65.0
	Efficiency [%]*	12.7	12.7
Thermal	Thermal Area [m ²]	0.61	0.61
	Efficiency [%]**	55.4	72.0
	Absorber Plate Surface	Mono-Silicon PV Cell	Selective Surface
	Outward Form [mm]	1186 × 430 × 35	1309 × 539 × 65
	Weight [kg]	6.5	9.5

* 基準状態時の定格値

** 集熱効率変数 $\eta/H = 0.005 [\text{C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h} / \text{kcal}]$ の時の実測値

3.2 太陽光・熱ハイブリッドコレクタ

本研究に使用した PV, PV/T, FPC の断面図を図 3 に示す。PV/T はアルミニウムロールボンド®集熱板を基板として太陽電池素子群(単結晶 Si 太陽電池)をサブストレート式⁽⁴⁾のモジュールとしたものである。この PV/T の特徴として 1) 太陽電池単体では光電変換効率が 10% 程度であり、その残りが熱エネルギーとして散在しているが、集熱機能を設けることによりエネルギー利

用率の増加が見込まれる。2) 集熱媒体を循環させることにより、太陽電池の冷却効果を促しその結果、セル温度上昇に伴う光電変換効率の低下を抑制できる。3) 太陽電池モジュール、太陽熱集熱器をそれぞれ単体で設置した場合に比べ設置面積が削減できる、ということが挙げられる⁽⁵⁾。

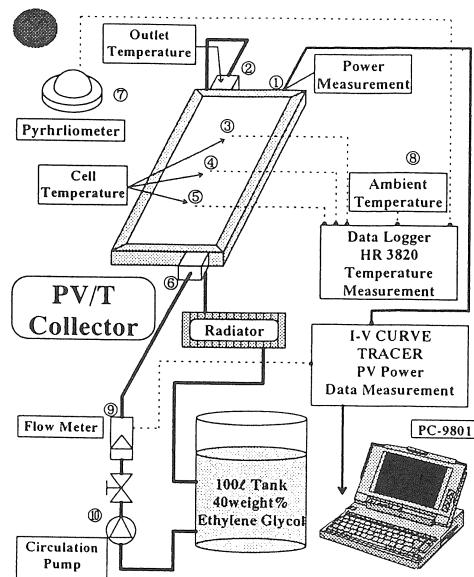


図 2 測定装置の概略

4. 実験結果

4.1 測定データ

1995 年 9 月から 1997 年 3 月までの 490 日間の各月の測定データを図 4 に示す。図 4(a)に 1 日当りの傾斜面全日天日射量と外気温度の推移、図 4(b)に PV/T, FPC の各月の出口温度と入口温度との差、図 4(c)に PV/T, PV のセル温度と外気温度との差をそれぞれ示す。これらのデータは各月の積算値を測定日数で除した値として表示してある。

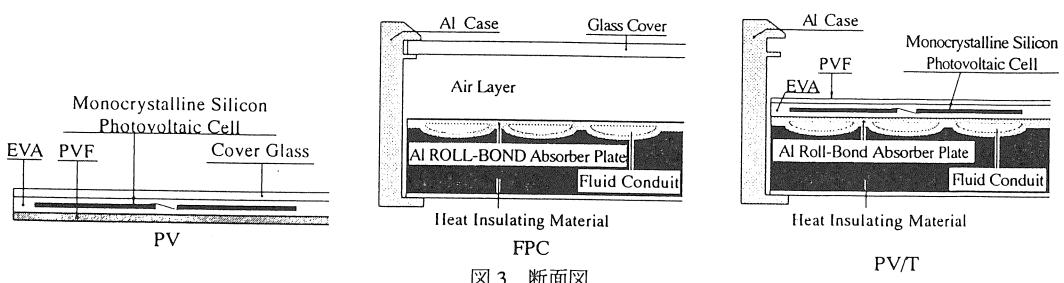
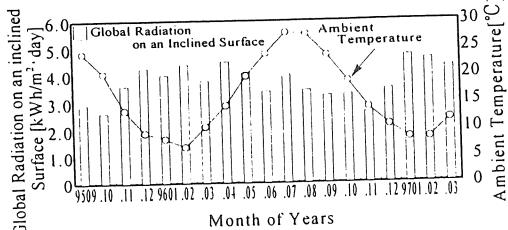
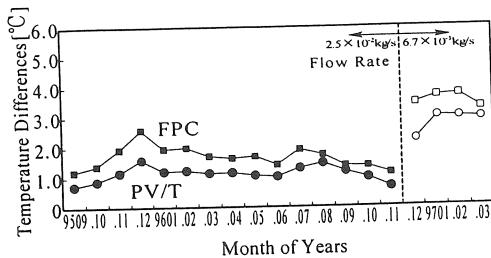


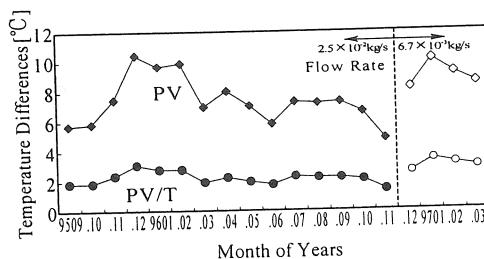
図 3 断面図



(a) 一日当りの傾斜面全天日射量と外気温度の推移



(b) PV/T, FPC の出口温度と入口温度との差

(集熱媒体流量 1995.9 ~ 1996.11 は $2.5 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ それ以降は $6.7 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$)

(c) PV/T, PV の外気温度とセル温度との差

(集熱媒体流量 1995.9 ~ 1996.11 は $2.5 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ それ以降は $6.7 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$)

図 4 測定データ

4.2 エネルギー評価

4.2.1 光電変換効率、集熱効率

1995年9月から1997年3月までのPV/T, PVのセル温度に対する光電変換効率を図5に、PV/T, FPCの集熱効率変数に対する集熱効率を図6にそれぞれ示す。

集熱効率変数とは出口温度と外気温度との差を日射強度で除した値である。また、両図とも日射強度が 600 W/m^2 以上のデータを整理してある。ここで、図5, 図6を求める際には、以下の(15)式から(17)式を使用した⁽⁶⁾。

$$\eta_e = \frac{P_m}{A_1 \cdot H} \cdot 100 \quad (15)$$

$$\eta_t = \frac{Q}{A_2 \cdot H} \cdot 100 \quad (16)$$

$$\frac{\tau}{H} = \frac{T_o - T_a}{H} \quad (17)$$

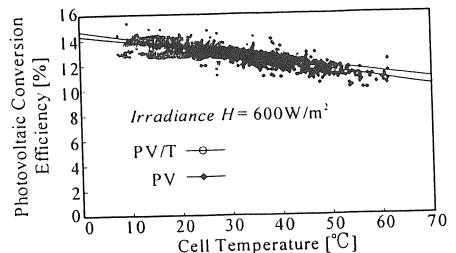


図5 セル温度に対する光電変換効率

最小2乗法で求めたPV/T, PVの光電変換効率の近似式は以下のようである。

$$\eta_{e_{PV/T}} = 14.3 - 0.05 T_c \quad (18)$$

$$\eta_{e_{PV}} = 14.7 - 0.064 T_c \quad (19)$$

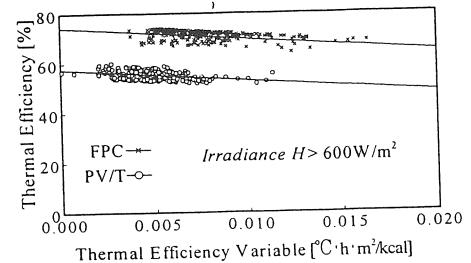


図6 集熱効率

同様に集熱効率の式は次式となった。

$$\eta_{t_{PV/T}} = 57.5 - 464.6 \tau/H \quad (20)$$

$$\eta_{t_{FPC}} = 74.2 - 480.8 \tau/H \quad (21)$$

なお、図6で集熱効率変数が $0.01 \text{ °C} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2 / \text{kcal}$ から $0.02 \text{ °C} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2 / \text{kcal}$ の範囲でデータが少ないので、すでに述べたように電主熱從で動作させた期間が、熱主電從で動作させた期間に比べ圧倒的に多いことによる。データは一部に集中してプロットされているが近似式に良く乗っており一次近似式として表示した。

4.2.2 エネルギー量

1995年9月から1997年3月までの各エネルギー変換器の各月の1日当りの電気エネルギー量、熱エネルギー量を図7に示す。図7(a)は電気エネルギー量、図7(b)は熱エネルギー量である。各エネルギー変換器の1日当りのエネルギー量は各月のエネルギー積算値を測定日数で除して求めた。集熱媒体流量はすでに述べたように、1995年9月から1996年11月までは $2.5 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ に、1996年12月から1997年3月までは $6.7 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ に制御している。また、電主熱從で動作させた場合の

1995年9月から1996年11月までのエネルギー量の積算値を表2に示す。

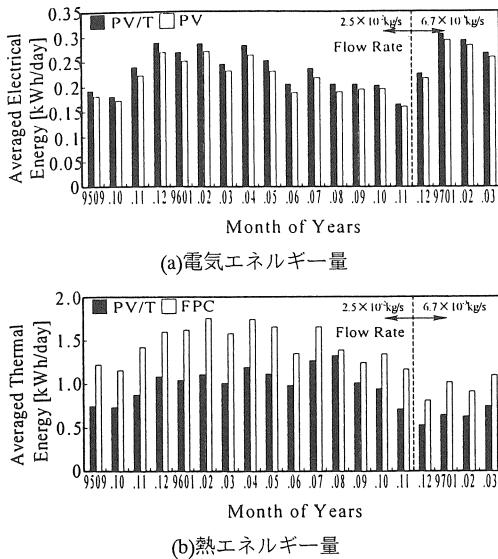


図7 1日当たりのエネルギー量(1995.9-1997.3)

	PV/T	PV	FPC
Electrical[kWh]	86.27	80.69	
Thermal[kWh]	381.93		548.93
Total [kWh]	468.20	80.69	548.93
Electrical(Ratio)	1	0.94	
Thermal (Ratio)	1		1.44
Total (Ratio)	1	0.93	0.0006

表2より、3種類のエネルギー変換器のエネルギー積算値を比較すると、FPCが最も多く、次いでPV/T、PVの順になる。この期間では電主熱従の形態で動作させており、PV/Tの出口温度の平均値は19.0°Cである。PV/TとPVの電気エネルギー積算値の差異はPV/T中に集熱媒体が循環しているため、太陽電池モジュールに対して冷却効果がもたらされているためである。また、PV/TとFPCの差異はPV/Tにはカバーガラスが取り付けられていないため、太陽電池前面の断熱層としての空気層がないことと、太陽電池が遮光するため吸収体として作用してしまうという構造上の理由による。また、1996年12月から1997年3月までの熱主電従で動作させたときのエネルギー積算値はFPC、PV/T、PVの順に113.84kWh, 107.57kWh, 30.89kWhになった。以上の様にエネルギー積算値の最も大きいのはどちらの形態でもFPCであるが、流量を絞って出口温度を上昇させるとコレクタが高温となり損失が大きくなり熱エネルギー

一量は減少し、動作条件によって熱エネルギー量は大きく変化する。しかも、本来電気エネルギーと熱エネルギーは質の異なるエネルギーであり、これらのエネルギーを単純に合算したエネルギー量でこれらのエネルギー変換器の優劣を決めることはできない。

4.3 エクセルギー評価

4.3.1 エクセルギー量

1995年9月から1997年3月までの各エネルギー変換器の各月の1日当たりの熱エクセルギー量を図8に示す。各エネルギー変換器の1日当たりのエクセルギー量は4.2.2項のエネルギー量と同様に各月のエネルギー積算値、エクセルギー積算値を測定日数で除して求めた。集熱媒体流量は1995年9月から1996年11月までの $2.5 \times 10^3 \text{ kg/s}$ 、1996年9月から1997年3月までの $6.7 \times 10^3 \text{ kg/s}$ である。表3は電主熱従で動作させ測定した際のエクセルギー量の積算値である。

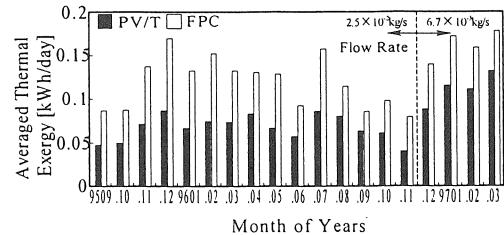


図8 1日当たりの熱エクセルギー量(1995.9-1997.3)

表3より、3種類のエネルギー変換器をエクセルギーで評価するとPV/Tが最も多く、次いでPV、FPCの順になつた。電主熱従で動作させたときのPV/Tの熱エクセルギー量は0.03kWhであり、表2に示したPV/Tの熱エネルギー量の381.93kWhとの比は1対12371で、熱エネルギーには無効となるエネルギーが多く含まれていることが分かる。また、熱主電従で動作させたときのエクセルギー積算値もPV/Tが32.13kWhで最も多く、次いでPVの30.89kWh、FPCの0.02kWhとなり、どちらの形態で動作させてもPV/Tは最も多くエクセルギー量を取得した。従つて、エクセルギーの視点でPV/T

を評価することにより、またハイブリッド化のメリットが顕著に現れることがわかる。

5. 考察

以下に PV/T に限って考察を加えることとする。

5.1 最適動作条件

4.2.1 項で求めた光電変換効率、集熱効率の近似式とともに、PV/T のエクセルギー量が最大となる動作条件を最適動作条件と定義し、その動作条件を考察する。

考察するにあたって PV/T のエクセルギーフローチャートを図 9 に示す。

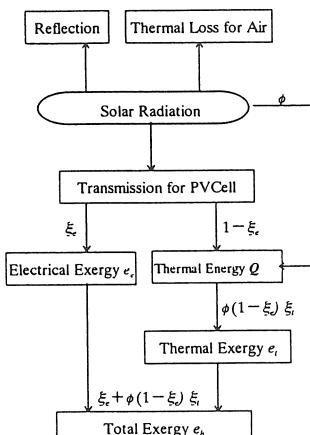


図 9 PV/T のエクセルギーフローチャート

PV/T に太陽光が放射されると PVF で一部が反射さらに大気への熱損失がされそのエネルギーが PVCell 中に入射する。PVCell でエネルギーの一部は電力に変換され、その残りのエネルギーが集熱媒体によって回収される。4.2.1 項より太陽電池の光電変換効率 η_e 、太陽熱集熱器の集熱効率 η_i は(22)、(23) 式でそれぞれ表される。

$$\eta_e = \alpha_1 - \beta_1 T_c \quad (22)$$

$$\eta_i = \alpha_2 - \beta_2 \frac{\tau}{H} \quad (23)$$

また、太陽電池のエクセルギー効率 ξ_e 、太陽熱集熱器のエクセルギー効率 ξ_i は(24)、(25)式のように表せる。

$$\xi_e = \eta_e = \alpha_1 - \beta_1 T_c \quad (24)$$

$$\xi_i = \eta_i \eta_c = \frac{\tau}{\tau + T_i} \left(\alpha_2 - \beta_2 \frac{\tau}{H} \right) \quad (25)$$

太陽光・熱ハイブリッドコレクタのエクセルギー効率 ξ_h は太陽電池のエクセルギー効率 ξ_e に電力変換されなかったエネルギー効率 $(1-\xi_e)$ と太陽熱集熱器のエクセルギー効率 ξ_i を掛けたものを合算して求めることができ、(26)式となる。

$$\xi_h = \xi_e + \phi(1-\xi_e)\xi_i \quad (26)$$

ここで、 ϕ は PV/T の PVCell が利用できなかった太陽エネルギーのうち、集熱器で吸収される割合である。(26)式が最大となるときの入口、出口温度差 τ_m は $d\xi_h/d\tau = 0$ のときに実現される。

本論文では、PV/T の最適動作条件を評価するため(18)式、(20)式で表された光電変換効率、集熱効率の切片、傾きを α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 とし表 4 に示す。

表 4 系数一覧

α_1	14.3	α_2	57.5
β_1	0.05	β_2	464.6

まず、最適動作条件を求めるためには、瞬時の動作特性を把握しておくことが必要である。そこで、各エネルギー変換器の出口温度、セル温度に対するエクセルギー効率を図 10 に示す。図 10 は電主熱從で動作させた期間である 1995 年 11 月 7 日のデータを一例として使用し、(24)式から(26)式を用いて求めた瞬時特性である。この時の平均日射強度は 358.0W/m²、平均外気温度は 16.0°C であった。

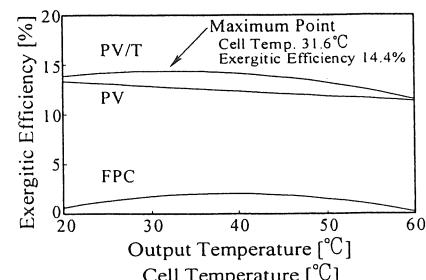


図 10 PV/T の瞬時動作特性

図 10 より PV/T は PV, FPC に比べてエクセルギー効率が高く、PV/T の優位性がわかる。また、PV/T, FPC はエクセルギー効率を最大にする出口温度が存在することがわかる。その時の出口温度は 31.6°C であり、エクセルギー効率は 14.4% あった。ここで、エクセルギーの瞬時値を最大にする出口温度を最適温度と定義し、この温度は(26)式が最大となるときの入口、出口温度差 τ_m と測定値の入口温度を加算して求めることができる。

5.2 動作特性

図 11 は PV/T の出口温度、日射強度、エクセルギー効率の関係を示したものである。この図では集熱媒体の入口温度を測定期間の平均値である 16.8°C 一定とし、

またエクセルギー効率は(26)式によって計算している。

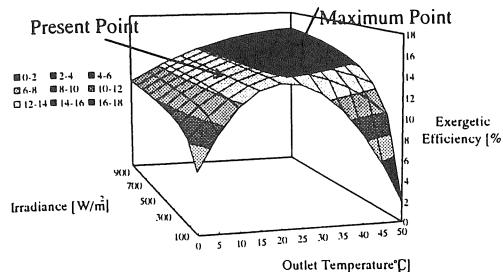


図11 PV/Tの動作特性(1995.9-1996.11)

筆者等が電主熱従で動作させた際の出口温度、日射強度の平均値はそれぞれ 19.0°C , 358.0W/m^2 であり、図11中の Present Point に相当している。一方、最適温度で動作させた場合では出口温度の平均値は 32.3°C であり、高温側の Maximum Point にシフトする。その時のエクセルギー効率は測定時の値に比べ 8.0% 上昇する。

5.3 エクセルギー積算値の年間推移

各月の最適温度の平均値と(14)式に最適温度を代入することによって求めた最適動作条件で動作させたときのエクセルギー量の計算値(以下、O.V.と言う)の年間推移を図12に示す。O.V.の電気エクセルギー量、熱エクセルギー量は各月のエクセルギー量を測定日数で除した1日当たりのエクセルギー量である。

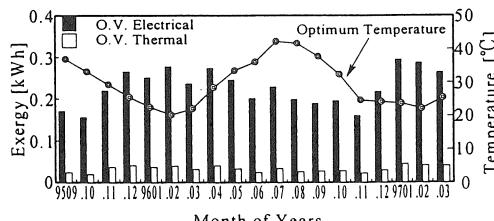


図12 PV/Tの瞬時値の年間推移

図12より PV/T の 1 日当たりの電気エクセルギーで比較すると図7(a)で求めた電主熱従で動作させた時の実測値(以下 M.V. と言う)と O.V.との差は 1996 年 9 月が最大で 1.13 倍である。一方、熱エクセルギー量で比較すると図 8 で求めた M.V. と O.V.との差は 1996 年 8 月が最小で 328 倍小さくなつた。これは、電主熱従で動作させているため、集熱媒体流量が多くなっているためである。また、1996 年 11 月から 1997 年 3 月まで熱主電従で動作させたことにより、電気エクセルギー量の M.V. と O.V. の差は 1996 年 12 月が最大で 1.04 倍である。一方、熱エクセルギー量の M.V. と O.V. の差は

1997 年 3 月が最小で 304 倍である。このことから集熱媒体流量を変化させることにより、エクセルギー量が大きく変化していることが分かる。

5.4 エクセルギー積算値

1995 年 9 月から 1996 年 11 までの O.V. のエネルギー量、エクセルギー量を表5に示す。O.V. は図10で求めた各月の O.V. に測定日数を乗じて積算したものである。また、表6は O.V. のエネルギー量と表2で求めた PV/T のエネルギー積算値(実測値)を除した値、O.V. のエクセルギー量と表3で求めた PV/T のエクセルギー積算値(実測値)を除した値を示している。

表5 エネルギー、エクセルギー計算値

(1995.9 - 1996.11)

Data	Energy	Exergy
Electrical [kWh]	82.05	82.05
Thermal [kWh]	180.88	11.53
Total [kWh]	—	93.58

表6 エネルギー量、エクセルギー量比

(1995.9 - 1996.11)

Data	Energy	Exergy
Electrical [kWh]	0.95	0.95
Thermal [kWh]	0.47	231
Total [kWh]	—	1.08

表5、表6より、エネルギー量で比較すると電気エネルギー量の O.V. は表2で求めた M.V. に比べ 1.05 倍小さく、熱エネルギー量においても 1.53 倍小さい値となつた。一方、エクセルギー量で比較すると電気エクセルギー量の O.V. は M.V. に比べ 1.05 倍小さくなるが、熱エクセルギー量では O.V. は表3で求めた M.V. に比べ 231 倍大きくなつた。従つて、合計エクセルギー量は 1.08 倍大きくなり、最適動作条件で動作させると電主熱従で動作させた筆者らが測定値よりも 1.08 倍多くエクセルギー量を見積もることができる。また、熱主電従で動作させたときの合計エクセルギー量と O.V. はそれ 32.13 kWh, 35.87 kWh となり後者は前者に比べ 1.12 倍大きくなつた。

6. まとめ

電気エネルギー及び熱エネルギーを同時に供給できる太陽光・熱ハイブリッドコレクタ(PV/T)を設計試作し、太陽電池モジュール(PV)と平板型太陽熱集熱器(FPC)を

同一条件のもとに設置し、1995年9月から1997年3月までの諸特性を取得した。本論文では、特にPV/Tの有効性をエクセルギー理論に基づき比較検討を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) PV/Tをエクセルギーで評価する手法を構築することができた。
- (2) この手法によって性質の異なる電気エネルギーと熱エネルギーを同時に供給することができるPV/TはPV、FPCに比べ優れたエネルギー変換器であることが分かった。例えば、電主熱従で動作させたときの合計エクセルギー量はPV/Tで86.30kWh、PVで80.69kWhでFPCで0.05kWhでPV/TはPV、FPCに比べ、1.07倍、1726倍大きい値を得た。
- (3) PV/Tは電気エネルギーと熱エネルギーを同時に供給することができるエネルギー変換器であり、流量を制御することによって年間を通してエクセルギー効率を最大する最適動作条件が明らかとなった。1995年9月から1996年11月までのPV/Tを最適動作条件で動作させたときの合計エクセルギー量は93.58kWhとなり、電主熱従で動作させた時の合計エクセルギー量である86.30kWhに比べ8.0%増加することが分かった。

7. 記号一覧

- Q_h : 高温熱源の温度 [J]
 T_h : 高温熱源の熱量 [K]
 Q_c : 低温熱源の熱量 [J]
 T_c : 低温熱源の温度 [K]
 η : 効率
 W : 热機関1サイクル当たりの仕事 [J]
 τ : 高温熱源と低温熱源の温度差 [K]
 Q : 热機関の投入エネルギー [J]
 W : 热機関で取り出せる仕事の最大値 [J]
 n : 物体のモル数
 M_p : 热容量 [kcal/kg]
 e_t : 热エクセルギーの瞬時値 [W]
 E_t : 热エクセルギー量 [Wh]
 C_p : 物体の低圧比熱 [kcal/kg·K]
 T : 集熱温度 [K]
 H : 日射強度 [W/m²]
 P_m : 太陽電池の瞬時最大電力 [W]
 e_e : 電気エクセルギーの瞬時値 [W]
 E_e : 電気エクセルギー量 [Wh]
 e_h : PV/Tの電気エクセルギーの瞬時値[W]
 E_h : PV/Tの電気エクセルギー量 [Wh]
 k : 測定回数
 A_1 : 太陽電池面積 [m²]
 A_2 : 有効集熱面積 [m²]
 η_s : 集熱効率
 η_e : 光電変換効率
 ξ : 太陽電池のエクセルギー効率

- ξ_t : 太陽熱集熱器のエクセルギー効率
 ξ_h : PV/Tのエクセルギー効率
 ϕ : PV/TのPVCellが利用できなかった太陽エネルギーのうち、集熱器で吸収される割合
 τ_m : 最適温度差 [K]
 α_1 : 光電変換効率係数（切片）
 α_2 : 集熱効率の係数（切片）
 β_1 : 光電変換効率係数（傾き）
 β_2 : 集熱効率の係数（傾き）
 $\eta_{e_{PV/T}}$: PV/Tの光電変換効率
 $\eta_{e_{PV}}$: PVの光電変換効率
 $\eta_{d_{PV/T}}$: PV/Tの集熱効率
 $\eta_{d_{FPC}}$: FPCの集熱効率

<謝辞>

本研究を進めるにあたり御支援をいただいた昭和シェル石油株式会社、昭和アルミニウム株式会社の関係各位に深謝する次第である。

<参考文献>

- (1) 岩脇、森田、藤澤、谷：「太陽光・熱ハイブリッドパネルのエクセルギー評価」平成8年度日本太陽エネルギー学会日本風力エネルギー協会合同研究発表会、P113～P116、No.31 (1996.10)
- (2) 押田勇雄：「エクセルギー講義」、太陽エネルギー研究所、P9、P18～P23 (1986.3)
- (3) 岩脇、藤澤、谷：「太陽光・熱ハイブリッドパネルのエクセルギー評価」平成8年度電気学会全国大会講演論文集、Vol.7-297、No1745 (1996.3)
- (4) 浜川圭弘、桑野幸徳：アドバンスエレクトロニクス「太陽エネルギー工学（太陽電池）」、培風館、P223～P226、(1994.5)
- (5) 佐久間、田中、谷：「エクセルギー理論に基づく太陽光熱ハイブリッドパネルの年間特性」電学論B、vol.113、No7、P736～P744、(1993.7)
- (6) 森田、酒井、藤澤、谷：「太陽光・熱ハイブリッドパネルのエネルギー評価」平成8年度電気学会全国大会講演論文集、Vol.7-295、No1744 (1996.3)