

機関番号：57403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560787

研究課題名（和文） 光・熱ハイブリッド型太陽光発電システムの開発

研究課題名（英文） Development of Photovoltaic-Thermal Hybrid System

研究代表者

古嶋 薫 (FURUSHIMA KAORU)

熊本高等専門学校・機械知能システム工学科・教授

研究者番号：20209175

研究成果の概要（和文）：本研究は、太陽光発電システムに構造が簡素で低コストの冷却装置を実装し、太陽電池の冷却による出力増加と廃温水の利用によりハイブリッド型太陽光発電システムを実現することを目標としている。また、冷却装置を個人住宅用の屋根に設置することを前提に、屋根の面積や形状に柔軟に対応できるように太陽電池モジュール単位で設置可能な冷却装置の開発を行った。

研究成果の概要（英文）：The power generated by a PV module decreases as the PV module temperature becomes high. Therefore, the power generated in summer does not necessarily increase even if the irradiance increases. Our goal is to develop an efficient PV power-generation system equipped with a simple cooling device which can be installed not only in a new PV system but also in an existing PV system at low cost.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：太陽光発電，ハイブリッド，自然エネルギー，地球温暖化

## 1. 研究開始当初の背景

本研究では、我が国が COP3 の目標達成の三本柱として省エネルギー、原子力とともに大きな期待を寄せている新エネルギー、その中で特に太陽エネルギーに注目した。太陽エネルギー利用による石油代替エネルギーの供給見通しは、これまでの温暖化大綱では、2010年頃に太陽光発電で原油換算 118 万 k1、太陽熱利用で 439 万 k1 と期待されていたが、新しい見通しでは太陽熱利用が 90 万 k1 と大幅に下方修正された。その主な原因は、現在の太陽熱利用の中心である一般家庭用の太

陽熱温水器の設置台数が 1990 年度をピークに、その後、原油価格等の低下とともに毎年減少していることによる。太陽電池の発電効率は 10%程度であるが、太陽熱集熱器の効率は通常のもので 40～50%程度あり、太陽光発電と共に太陽熱の利用を拡大していくことが、COP3 で掲げた目標を達成するための条件と考えられる。

## 2. 研究の目的

もともと太陽電池の発電効率は 10%程度とあまり高くない上、電池温度が高くなると

発電効率が低下するため、日射量が多い夏期でもあまり発電量は増加しない。この問題を解決するため、本研究では、太陽エネルギーの有効利用およびその普及促進を目指し、電気エネルギーと熱エネルギーの両方を取り出すことができる構造が簡単で低コストな個人住宅用の太陽光・熱ハイブリッド型太陽光発電システムを開発することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 太陽光発電システムの構成

本研究で使用している太陽光発電システムは、熊本高専八代キャンパス敷地内の専攻科棟屋上に設置してある。設備としては、太陽光発電モジュール、直交流変換機、各測定装置などから構成されている。

図1に本研究で用いた実験用太陽光発電システムの外観を示す。太陽電池は多結晶シリコン製(京セラ LA721G102S)で1モジュール当たり  $0.86\text{m}^2$  (988mm×868mm) のものを48枚用いており総面積は  $41.16\text{m}^2$  である。太陽電池モジュールを縦2枚×横3枚の計6枚を直列に接続したものを1ストリングとし、2ストリングを2列並列につないだものを1アレイとして全部で4つのアレイに分けて設置してある。また、それぞれのストリングにはスイッチがあり、ストリング単位での部分運転が可能である。設置場所は専攻科棟(3階建)の屋上で、方位は真南、傾斜角は20度に固定してある。その南側には遮蔽物はなく平坦な農地が続いている。各太陽電池アレイの公称最大出力は1224Wである。

太陽電池からの発生電流は、直流を交流へ変換するインバータと、事故などの場合にシステムを保護する系統連系保護装置からなるパワーコンディショナにより電気システムに供給される。パワーコンディショナの許容電圧は、5kWで変換効率は90%以上である。この変換器は日射量が変わっても出力電圧が一定になるように常に制御してある。



図1 太陽光発電システムの外観

#### (2) 太陽電池冷却システムの概要

本研究で使用している太陽電池冷却システムの特徴は二つにまとめられる。一つ目の

特徴は、太陽電池裏面に冷却水を下から上へ流すことにより太陽電池を冷却することである。冷却水を上から下へ流した場合、冷却水は流れやすいところにしか流れず、太陽電池を均等に冷却することができない。その点を考慮し、本冷却システムでは、サイホンの原理を利用し、図2のように、冷却水を下から上へ引き上げるにより太陽電池を冷却する。冷却水出口を負圧にして、冷却水を冷却水入口から吸い出した場合、図3のように太陽電池裏面を冷却水がまんべんなく行き渡り、上から流した場合と比べて冷却効果が高い。また、冷却水出口側を負圧にして吸い出す場合は、冷却水を水道圧やポンプ等で入口から押し込む場合のように、太陽電池モジュールや冷却装置に水圧や水の自重に耐える強度をもたせる必要がないので、装置自体を軽量化することも可能である。この冷却システムでは冷却パネルの材料としてアルミ材を使用したがる、もっと軽い材料を使用することも可能である。

二つ目の特徴は、冷却水の制御を電磁弁の開閉のみで行うことである。この冷却システムは、太陽電池温度が設定温度以上になったら電磁弁が開き、冷却水を流す仕組みになっている。太陽電池が冷却され、電池温度が設定温度以下になると電磁弁が閉じ冷却水の供給は止まる。冷却後の水は、地上の貯湯槽に蓄えられ再利用が可能である。

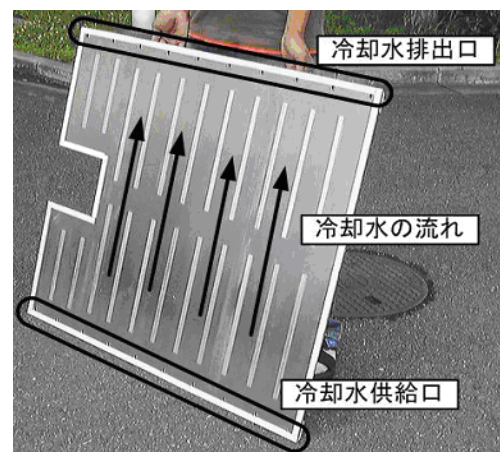


図2 冷却パネル内の水の流れ



図3 冷却パネル内の冷却可視実験

図4に冷却パネルの構造を示す。冷却パネルと電池裏面の間に冷却水を流す隙間を確保するため、アルミ板に厚さ2mmのアルミ材

を周辺部と内側に図4のように配置して両面テープで接着してある。冷却パネルの大きさは、冷却面積を大きく取るためできる限り太陽電池裏面の面積に近づけ、縦816mm×横950mmとした。

図5に冷却パネルを付ける前後の太陽電池裏面を示す。冷却パネルの設置は、太陽電池裏面と冷却パネルの設置面を両面テープで接着し、空気の漏れがないようパネルの周囲をシリコンで密封することで行う。

また、冷却パネルには一般家庭用の屋根直置き型の状況を想定し、裏面に断熱材が取り付けられている。実験で使用した太陽電池には、断熱効果の高いエアバックと発泡スチロールを重ねた断熱材を施した。図6に断熱材を取り付けた太陽電池裏面を示す。



図4 冷却パネル（裏面と設置面）

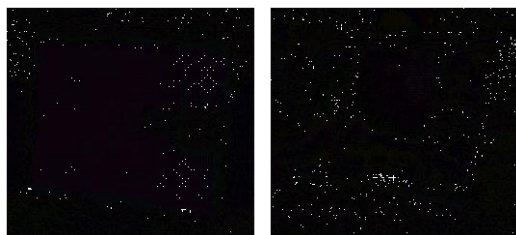


図5 太陽電池裏面  
（冷却パネルを付ける前と後）



図6 断熱材を取り付けた太陽電池裏面

図7に太陽電池冷却システムの冷却水路背面図を示す。この冷却システムは、冷却パネルを電池裏面に貼り付け、電池裏面と冷却パネルの間に冷却水を流すことで電池裏面か

ら太陽電池を冷却する。図7に示すように冷却パネルは、下段と上段を連結したものを1モジュールとし、全部で6つの冷却モジュールが隣り合わせに並んでいる。冷却水タンクからの冷却水は、電磁流量計を通過後、六つの冷却モジュールに分岐して供給され、それぞれのモジュールから排出される。その後、冷却水は再び1つにまとめられ地上の貯湯槽に送られる。

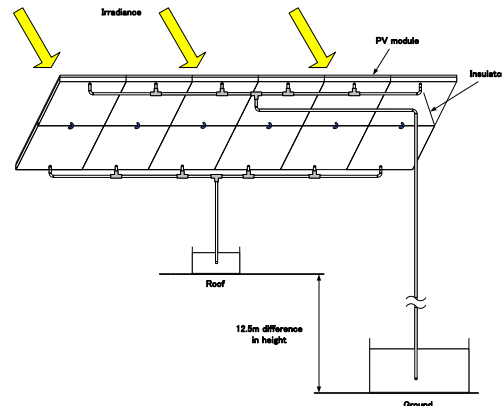


図7 冷却水路背面図

図8に貯湯槽の外観を示す。貯湯槽は、プラスチック製で、容量は5000L。外部を包装用のエアパッキンで覆い、更に側面及び底面に断熱用の発泡スチロール、防水及び補強用にプラスチックダンボールを順に貼り付けてある。貯湯槽の上には側面と同仕様の蓋を乗せて乗せる。更にその上からビニールシートを被せてシャコ万力で固定することにより、雨水等の進入を防いでいる。貯湯槽内部には温度計を取り付け、貯湯槽内に貯められた温水の温度変化を測定している。



図8 貯湯槽の外観

### (3) 太陽電池冷却システムの作動原理

図9に太陽電池冷却システムの概略図を示す。このシステムは、建物の高低差を利用したサイホンの原理で冷却水を流す仕組みになっており、基本的に電磁弁①から④の開閉



操作のみで外部動力は必要としない。

図9より、電池温度  $T_2$  が設定温度  $T_c$  以上になると電磁弁①、③、④が開き、管継手①で分岐した水道水③は重力により加速されながら地上に落下する。同時に水道水③はアスピレーターにより管継手②のもう一方に接続されている冷却装置排出口に繋がる管内の空気を引き摺り込み、管内圧力を徐々に低下させていく。負圧タンクの圧力  $P$  が設定圧力  $P_c$  以下になると電磁弁③を閉じ、負圧を作るための排水である水道水③の供給を停止する。同時に電磁弁②が開き、管継手①で分岐した水道水②は冷却水タンク①を満ちし、大気圧によって太陽電池の下部から上部へと引き上げられる。そして、太陽電池を冷却しつつ太陽電池上部まで上がってきた水道水②は地上の貯湯槽へ送られる。電池温度  $T_2$  が設定温度  $T_c$  以下になると電磁弁④が閉じ、貯湯槽へ温水を送るのを止める。それから、流量計の示す流量  $Q$  が低下していき、設定流量  $Q_c$  を下回ると電磁弁①、②が閉じ、太陽電池の冷却を停止する。再び電池温度が設定温度を超えた場合は、冷却装置排出口側はこの負圧状態が維持されているので、大気圧により自動的に冷却水は流れ始める。もし、圧力が上昇し、冷却水が流れなくなった場合でも、以上のような一連の動作が自動的に起きるため、人為的な操作を必要としない。

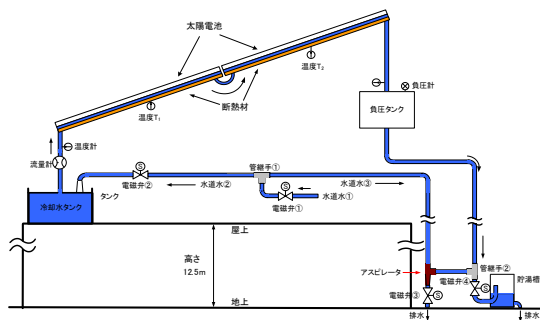


図9 冷却システムの概略図

#### 4. 研究成果

##### (1) 問題点①とその解決方法について

本研究で開発したハイブリッド型太陽光発電システムを実用化するに当たりこれまでいくつかの問題点が出てきた。まず、前節で述べたとおりこのシステムは太陽電池を冷却するためにサイホン作用を利用する。このため如何に少量の水道水でサイホンを始動させるかが問題となる。これまでは、図9に示すように、地上付近にアスピレータを設置し、サイホン始動の実験を実施した。これは、吸引が必要な冷却水路内の空気量は増えるが、位置エネルギーにより地上付近がアスピレータに入る水道水の勢いが最も強くな

ると考えたためである。しかし、これまで行った実験と比較して、サイホン始動までの有意な時間の短縮には繋がらなかった。この原因としては、地上付近に設置しても水道水と管の摩擦や空気抵抗により、思ったほど水道水の流速が増加しなかったためだと考えられる。

このため、新たにサイホン始動ポンプを考案、製作し実験を実施した。サイホン始動ポンプの設置場所や作動原理等の詳細については、今後特許申請を予定しているため割愛する。なお、サイホン始動ポンプを使用することでこれまでと比較して、明らかにサイホン始動までの時間は短縮され、また、サイホンが確実に始動することが確認された。

##### (2) 問題点②とその解決方法について

図4、5に示すように太陽電池裏面に設置した冷却装置は、冷却パネルと電池裏面に冷却水を流すためのすき間を確保するため、ベースとなる厚さ3mmのアルミ板の周辺部とその内側に厚さ2mm×幅12mmの短冊状のアルミ材を接着し、そのアルミ板を電池裏面にアルミ板の周囲から空気が漏れないようにシリコンで貼り付けたシンプルな構造である。このシステムを利用して長期計測運転を行ってきたが、アルミ板の接着に使用しているシリコンの経年劣化により、冷却パネルを設置している12枚の太陽電池のほとんどで太陽電池に微細な空気漏れが生じるなど耐久性に問題があることが明らかになった。空気漏れがあると図9で示す冷却パネル上部の水が全て下部の冷却パネル内に貯まるため、最悪の場合、水の自重によって冷却パネルが破壊される恐れもある。また、空気漏れは前述したサイホン始動までの時間にも大きな影響を与えおり、このシステムの実用化に向けた大きな課題となった。図10は、太陽電池裏面に冷却パネルをシリコンで接着した部分を拡大した写真である。

この問題を解決するためにシリコンを全て取り除き、それに替えてより接着力が強くなりある程度の弾力性あるセメダイン製の接着剤(図11)を使用して冷却パネルの修復作業を実施し、冷却パネル一枚一枚について空気漏れが無いことを確認した。しかし、この冷却パネルを使用した長期計測運転を行うまでには至っておらず、この接着剤がどの程度の耐久性があるのか評価はこれからとなる。今後、水の自重による冷却パネルの破壊、空気漏れを防ぎサイホンの状態を維持するため、これまでの問題点を点検し、新たな冷却パネルの試作、計測運転を実施していく予定である。

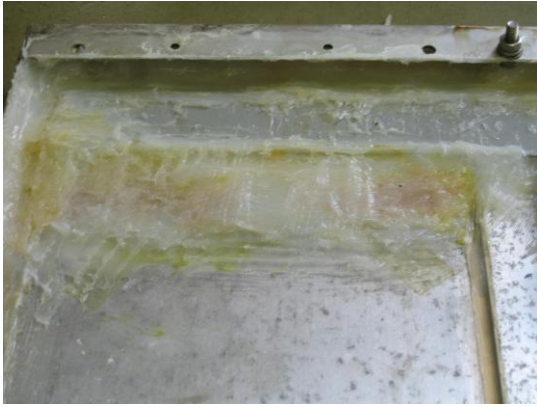


図 10 冷却パネル(シリコン接着部)



図 11 冷却パネル(改良型の接着部)

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

無し

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

古嶋 薫 (FURUSHIMA KAORU)

熊本高等専門学校・機械知能システム工学科・教授

研究者番号：20209175

##### (2) 研究分担者

無し

##### (3) 連携研究者

無し