

太陽光・熱同時利用システムに関する研究

2015年2月6日
人間環境学専攻 47126729 岩崎拓海
指導教員 飛原英治教授

To achieving energy affairs, solar cells are getting attention because of enormous energy resources. Especially multijunction solar cells made of different semiconductor materials have high efficiency. Multijunction solar cells have good temperature character so can use high concentrating light and be chilled at high temperature. In this study, we simulate performance of HCPVT (High Concentrating PhotoVoltaic and Thermal system) and compare other systems.

Keyword: microchannel, heat transfer, flow regime

1 研究背景と目的

急速に消費エネルギーが増える中で供給と消費の両面からエネルギー問題への対策が講じられている。エネルギー供給に関しては特にその莫大なエネルギー源から太陽電池が注目されており技術開発が行われている。現在一般に普及しているのはシリコン型太陽電池であるが、より効率的にエネルギーの変換が可能な多接合太陽電池がある。また多接合型太陽電池の課題であるコストを解決するためにモジュールの小型化が可能な集光技術が注目を集めている。シリコン型太陽電池には集光すると出力が低下するという課題があるが、化合物半導体を材料とした多接合太陽電池はその特性から温度上昇による出力低下が発生しにくく高温での冷却、熱利用が可能である

上記のように化合物半導体は温度特性に優れてはいるものの、高倍率で集光を行えばそれだけコストの低下が可能であり、例えば 1000 倍程度に集光をした場合その表面温度は 400℃以上にもなるという。これは熱流束に変換すると 800kW/m²にもなる。

このことから太陽光・熱同時利用システムの有益性の検証と共に、高集光時に除熱が可能なマイクロチャネルの実現が不可欠なのである。

2 太陽光・熱同時利用システムの効用解析

新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が公開する年間水平面日射量データを元に、高集光型太陽電池(HCPVT)の算出エネルギー量、回収可能な年間投資額、投資回収に必要な年数の算出及び他システムとの結果の比較を行い高集光型太陽電池の有用性を検証する。

NEDO 日射量データベースには国内 837 地点の水平面直達日射量と水平面散乱日射量が一時間毎に公開されている。本研究では代表地点として東京を採用した。東京における一時間毎の日射量が Fig1 である。

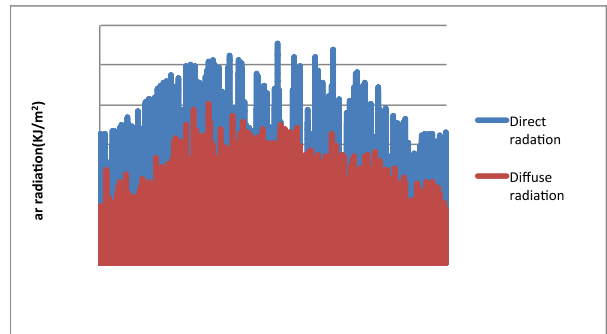


Fig.1 Hourly direct radiation and diffuse radiation in Tokyo

検証は Table1 に示す 5 つのシステムについて行う。

Table.1 Condition of each system

	PV-30	CPV	HCPVT	Vacuum	Trough
solar-to-thermal efficiency			0.3		

また Fig.2 は HCPVT の系統図である。これを参考に各システムの概要を述べる。

- 1. PV-30**
変換効率 15% のシリコン型太陽電池を利用した太陽光利用システムであり、生産された電気エネルギーは全て売却される。
- 2. CPV**
変換効率 30% の多接合太陽電池を用いた追尾型集光システムである。フレネルレンズにより 500 倍程度の集光が可能であり、モジュールの小型化が可能である。生産された電気エネルギーは全て売却される。
- 3. HCPVT**
太陽光、太陽熱同時取り出しシステムである。CPV 同様に追尾型集光システムであるが、2000 倍程度まで集光が可能であり効率的な太陽熱利用が見込める。発電された電力は全て売却され、回収した太陽熱は吸収式冷凍機の再生器に投入され暖房及び冷房運転に用いられる。
- 4. Vacuum**
水平に設置された真空管型集熱器である。回収した熱エネルギーは HCPVT 同様吸収式冷凍機に投入される。
- 5. Trough**

追尾型集光集熱器であり曲面鏡を用いることで真空管型よりも熱媒を高温にすることができ、吸収式冷凍機のCOPもHCPVTや真空管型集熱器に比べ高くなる。

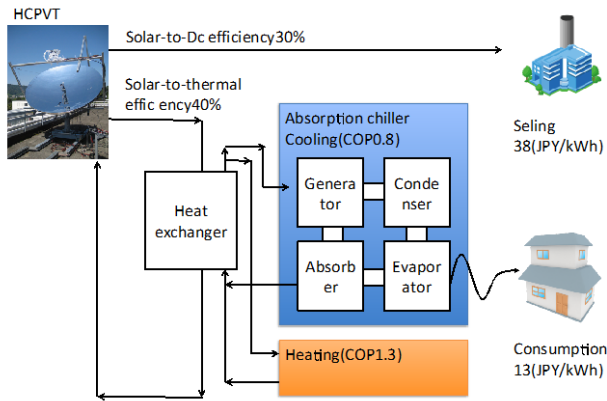


Fig.2 Diagram of HCPVT system

2.1 解析方法

2.1.1 産出エネルギー量評価

算出エネルギー量評価にあたり、水平面直達日射量 I_b 及び水平面散乱日射量 I_s を傾斜角 θ 、方位角 α における日射量 $I_{b\beta\gamma}$ 、 $I_{s\beta\gamma}$ に変換する必要がある。直達太陽高度 h 及び太陽方位角 A から傾斜角 θ 、方位角 α を算出し(1)式により一時間毎の太陽入射角 i を導いた。入射角 i 、太陽高度 h における直達日射量は(2)により求められる¹⁾。また傾斜角 θ における散乱日射量は(3)式により求められる²⁾。直達日射量は太陽電池により電気エネルギーに変換され、排熱されるエネルギーを熱エネルギーとして回収されるものとする。

$$i = \cos^{-1}\{\sinh\cos\theta + \cosh\sin\theta \cos(|A - \alpha|)\} \quad (1)$$

$$I_{b\beta\gamma} = (I_b) \frac{\cos i}{\sinh} \quad (2)$$

$$I_{s\beta\gamma} = (I_s) \frac{(1 + \cos\theta)}{2} \quad (3)$$

2.1.2 回収可能額評価

各システムの年間投資回収可能額の評価においては、2.1で評価した電気、熱エネルギーを別々に評価する。本研究においては産出された電気エネルギーは固定価格買い取り制度(FIT)により定められる38(円/kWh)で全て売電するものとした。また熱エネルギーは全て吸収式冷凍機で消費されるものとし、その価値は標準的なガス価格である165(円/m³)を換算し(13円/kWh)として冷凍機から供給される熱量を評価した³⁾。

2.1.3 投資回収年数評価

投資回収年数とはシステムを設置するのに必要な費用を年間回収可能額で除したものであり、システムの評価において重要な指標である。本研究ではIBM Research³⁾などの資料を元に各システムにおける設置費用を算出し、2.2の計算結果とあわせて投資回収年数を求めた。

2.2 解析結果

2.1で求めた各システムにおける年間産出エネルギー量を Fig.3 に示す。

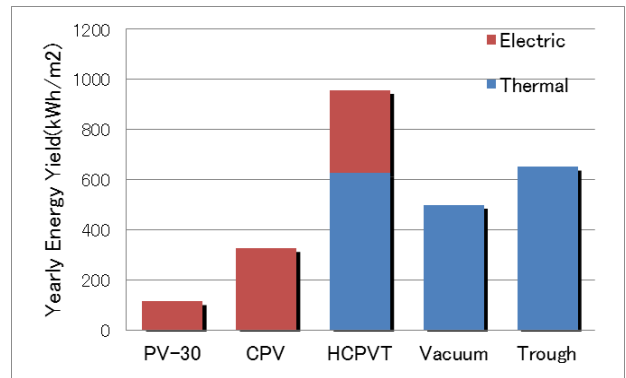


Fig.3 Comparison of Yearly Energy Yield against each power generation system

次に2.2で求めた各システムにおける年間算出額を Fig.4 に示す

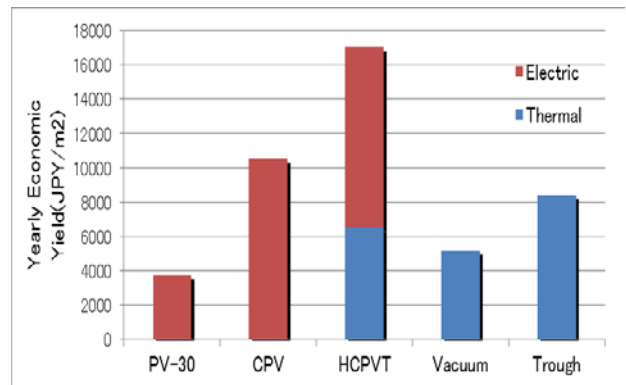


Fig.4 Comparison of Yearly Economic Yield against each power generation system

最後に2.3で求めた各システムにおける投資回収年数を Fig.5 に示す。

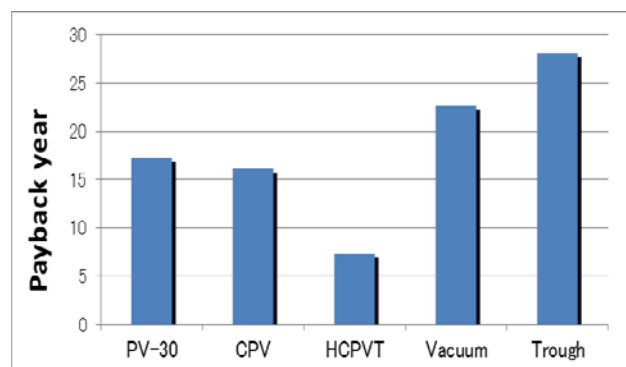


Fig.5 Comparison of Payback year against each power generation system

2.3 考察

高集光型太陽電池(HCPVT)がエネルギー生産性だけでなく、導入に必要なコスト面からも十分に高いポテンシャルを持つことが認められた。またより効率的なシステム開発のためには、高集光実現時に発生する排熱を有効に利用しモジュールの表面温度を低下させることが必要だと言える。

3 マイクロチャネル可視化実験

3.1 実験方法

3.1.1 マイクロチャネルの製作

マイクロチャネルの製作には NC フライス盤を用いる。10cm*10cm*1cm の銅板上に幅 0.8mm、深さ 0.9mm、長さ 30mm の流路を 50 本切削する。流路セクションは 50mm*50mm である。またマイクロチャネルの加熱面から 0.2mm, 1.0mm の 2ヶ所には熱電対の挿入ができるよう、直径 1.7mm の穴が開けられている。Fig6 に概略図を示す。

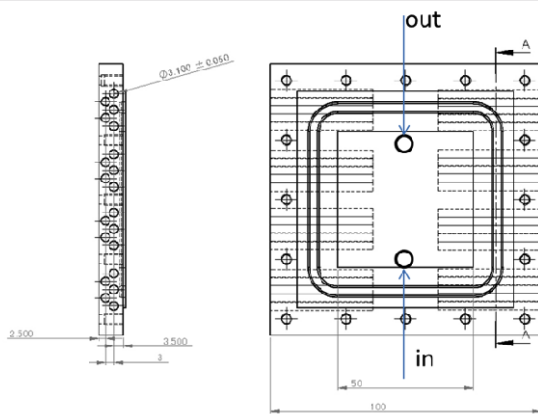


Fig.6 Drawing of Microchannel

3.1.2 実験装置

装置はテストセクション、ポンプ、スピードコントローラ、圧力トランスミッタ、流量計、凝縮器、恒温槽からなり、外径 6mm 内径 4mm のテフロンチューブ中を純水が循環し流路は大気圧に開放している。テストセクションはマイクロチャネル、ヒーター、ハイスピードカメラ、光源などにより構成され、加熱中のマイクロチャネル流路の可視化が可能である。またマイクロチャネルは垂直に設置しており恒温槽から Fig.6 の in から 35°C の純水が流れ込み out から凝縮器へと排出される。チャネルを流れる流量はスピードコントローラにより制御し流量計で確認ができるようになっている。また熱流束はヒーターの加熱温度により制御しており、目標値による ON/OFF 制御をしている。Fig.7 に実験装置概略図を示す。

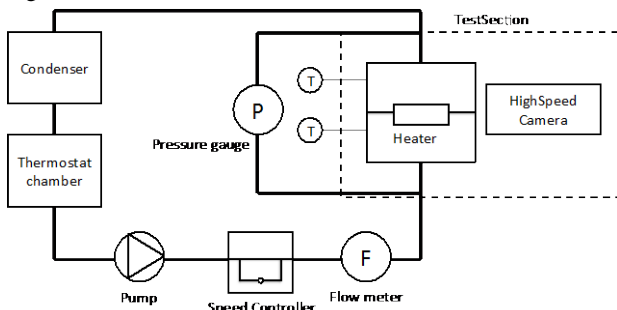


Fig.7 experimental equipment of flow visualization

3.2 実験結果

実験はヒーターの加熱温度を徐々に変化させ、その都度温度勾配および流動様式の測定をすることで行った。加熱の終了は流動様式によりバーンアウトした温度で限界熱

流束に達したものと判断する。Fig8 に測定により得られた温度勾配の一例を示す。

熱電対により測定した 2 点の温度と加熱面からの距離から伝熱面温度を求める。熱流束は(4)式のフーリエの法則を用い、推定された伝熱面における温度とヒーターの制御温度の差から算出した。

$$q = -k \frac{\partial T}{\partial X} \quad (4)$$

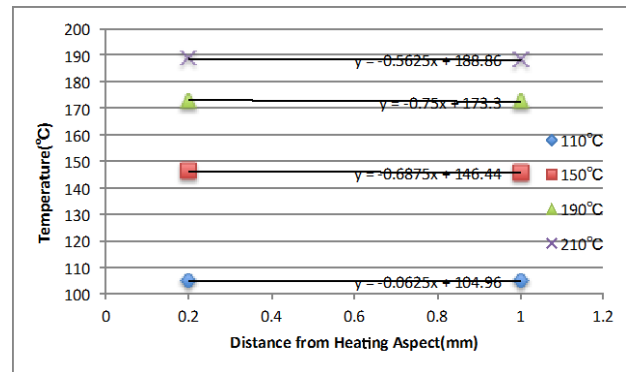


Fig.8 relationship between temperature and distance from heating aspect

3.2.1 流量変化による熱流束への影響

マイクロチャネルの性能は上記手法で求めた熱流束と、伝熱面と水の飽和温度の差である過熱度により評価する。流量の変化による熱流束と過熱度との関係は Fig.8、Fig.9 のようになった。

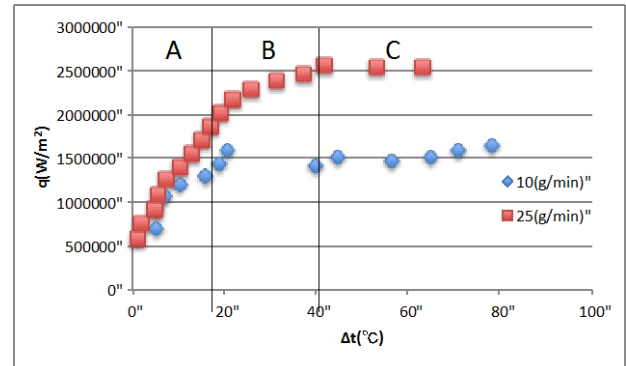


Fig.9. Effect produced by changes of flow rate (hydrophobic)

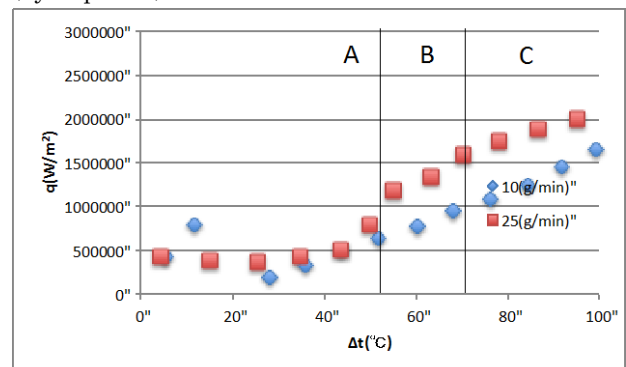


Fig.10. Effect produced by changes of flow late rate (non hydrophobic)

Fig.9および Fig.10 に示す沸騰曲線に記載されたA,B,C の各領域は流動様式の変化を示しており、それぞれ A は

気泡流、Bはスラグ流、Cは環状流である。Fig.11に各流動様式の実測データを示す。気泡流はチャンネル壁面から小さな気泡が発生し流路下部から上部へと流れている状態であり、スラグ流は成長した気泡が結合し弾丸のような形状になったもの、そして環状流はスラグが連なりチャンネル壁面を液膜が覆った状態である。

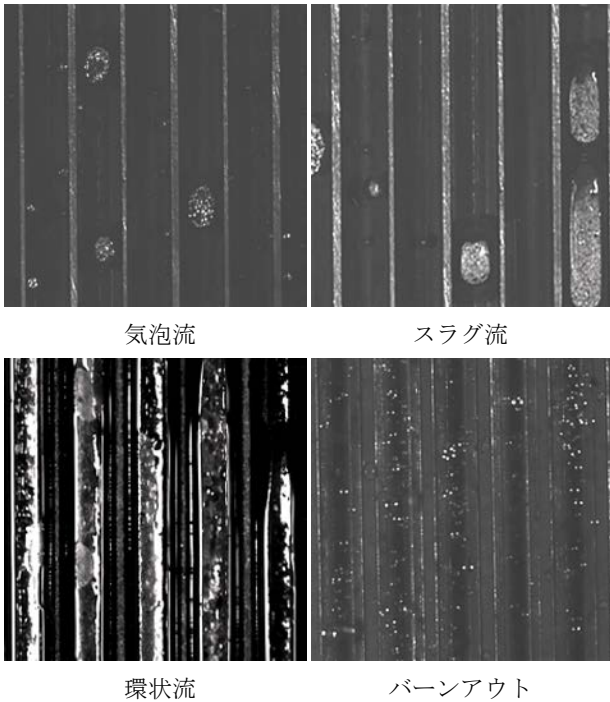


Fig.11. Transition of Flow regime

撥水加工、非撥水加工のマイクロチャンネルについてそれぞれ流量の変化が与える影響を調べたが、どちらも流量を増加させると熱流束も増加しており伝熱へ好影響を与えていることがわかる。しかし、流量 10(g/min)、25(g/min)のどちらにおいても流動様式は大きく変化しなかった。

3.2.2 伝熱面の特性による熱流束への影響

流量を 10(g/min)と 25(g/min)に固定し沸騰曲線を伝熱面の特性の違いによりまとめたものが Fig.11、Fig12 である。

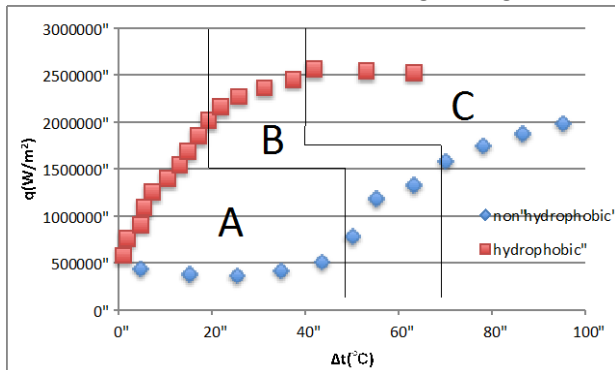


Fig.11 Effect produced by changes of heating surface property (F=25g/min)

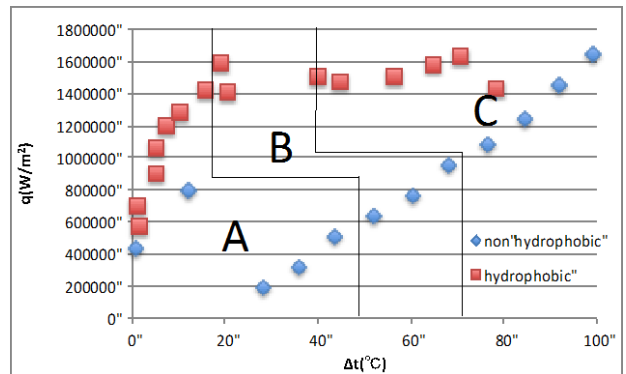


Fig.12 Effect produced by changes of heating surface property (F=10g/min)

撥水加工を施したマイクロチャンネルとそうでないものを比較すると撥水加工のものはより低い過熱度で流動様式の遷移が起こっていることがわかる。この傾向は特に流量 25(g/min)において顕著に表れている。これは撥水加工を施した伝熱面に関する先行研究とも一致する[5]。

3.3 考察

熱流束の変化は流動様式に依るところが大きく、撥水加工をしたマイクロチャンネルはより早く流動様式の遷移が起こっているため低過熱度において高い熱流束を示していると推測される。またこの理由としては撥水面ではそうでないものに比べて、発生した気泡をより捕らえやすい特性を持っているためだと考えられる。

4 結論

- ・ 太陽光・熱同時利用システムでは他のシステムに比べエネルギー的には 1.28 倍程度の優位性を持つ。
- ・ 太陽光・熱同時利用システムでは他のシステムに比べコスト的には 1.33 倍程度の優位性を持つ
- ・ 流量、過熱度を変化させ撥水加工を施したマイクロチャンネルとそうでないものの伝熱性能と流動様式を比較することで、撥水加工を施した伝熱面は特に核沸騰領域において優位性を持つことが判明した。

文献

- 1) 金山公夫, 馬場弘: 「ソーラーエネルギー利用技術」, 森北出版, (2004)
- 2) 高知大学学術研究報告 第 47 巻 (1998 年) 自然科学
- 3) 高田秋一: 「吸収冷凍機とヒートポンプ」, 日本冷凍協会, (1989)
- 4) IBM Research: Concentrator photovoltaic thermal technologies for Japan
- 5) YASUYUKI TAKATA, SUMITOMO HIDAKA, and TAKASHI URAGUCHI, Boiling Feature on a Super Water-Repellent Surface, Heat Transfer Engineering Volume 27, Issue 8, 2006