

神奈川工科大学

先進太陽エネルギー利用研究所

研究報告

第 12 号

2018 年度

はじめに

研究所所長：機械工学専攻 川島 豪

本研究所は、平成 19 年度～23 年度に文部科学省「ハイテクリサーチセンター整備事業」のもと「環境対応型太陽光・熱エネルギー利用のための革新的システムの研究」を推進した組織をもとに設立され、太陽エネルギーの利用に関わる先進的な研究を遂行しています。

本研究所の使命は、エネルギー創出、蓄積・利用、マネージメントの 3 要素技術を統合し、災害時に大学が避難拠点の機能を果たすためのエネルギーシステム、すなわちエネルギーの地産地消を基盤とする循環型社会を成立させる自立システムの研究推進です。

2018 年度は太陽光発電の出力抑制が実施され、変動する再生可能エネルギーを利用することの難しさが顕著になるとともに系統のインテリジェント化が話題になりました。また、期待されていた風力発電が伸び悩み、強風による故障などが問題になりました。さらに住宅用 FIT の 10 年間の買取制度が 2019 年 11 月より順次終了していきます。これにより、余剰電力を蓄電するか新電力を含む電力会社に売電することになり、再生可能エネルギーの新たな市場が形成されていくことになります。一方で、SDGs が話題となり持続可能な発展に配慮しない企業は投資を受けられない社会環境がつくられつつあります。このような社会情勢の基、太陽エネルギーに関してもまだまだ研究開発していかなければならないテーマが多く残されています。本研究所では、各所員が持続可能な自立システムの確立を目指して優れた要素技術の開発に取り組んでおり、本書でその成果の一部を紹介いたします。

なお、研究活動の一部は「イノベーションジャパン 2018」（8 月 30 日から 31 日：板子教授）、「PV Japan 2018」（6 月 20 日から 22 日：板子教授）「テクニカルショウヨコハマ 2019」（2 月 6 日から 8 日：板子教授）に出展し、「影での出力低下抑制」（日刊工業新聞 6 月 20 日：板子教授）が新聞に掲載されました。

目次

太陽光発電システムの後付け型アレイ異常診断ユニットの開発.....	1
電気電子情報工学科 板子一隆、工藤嗣友 ホームエレクトロニクス開発学科 黄哲新	
サーモサイホンにおける制御システムの研究.....	5
機械工学科 川島豪 自動車システム開発工学科 藤澤徹、川口隆史	
太陽電池用バイパスダイオードに使われる新型バイパスダイオードの高耐圧化に関する研究	12
電気電子情報工学科 工藤嗣友	
IT を活用した学内消費電力モニタと人力発電バイクシステムの開発・運用	17
情報工学科 田中博	
上部加熱式太陽熱サイフォンの制御システム用自立電源に関する研究	22
自動車システム開発工学科 藤澤徹	

平成30年度 重点配分 成果報告書

太陽光発電システムの後付け型アレイ異常診断ユニットの開発

研究代表者 電気電子情報工学科 板子一隆

共同研究者 電気電子情報工学科 工藤嗣友

ホームエレクトロニクス開発学科 黄 啓新

1. 研究の目的

研究代表者は、先にシステムの非稼働時に太陽電池パネル内のセルレベルでの異常を電氣的にプロジェクタを用いて検出する新しい方法を提案し、その有効性を実証した(平成26年～28年科研費基盤研究C)。そこで研究代表者は、新規に太陽光発電システムを導入する場合を想定して、システムの一部であるパワーコンディショナ(PCS)に異常診断システムを組み込み、システムが稼働しているときにリアルタイムでパネルの異常を診断できる新しいシステムを提案し、主にパネル1枚を用いた場合において、その有効性を示した(平成27年度～28年度重点配分)。

ところで、平成29年度からの改正FIT(Feed-in Tariff)制度の施行に伴い、適切な事業実施を確保する仕組みとして事業前の審査に加え、事業実施中の点検や保守が義務づけられるなどO&M(Operation and Maintenance)の重要性が益々高まってきており、産業界からも事業実施中の更なるメンテナンスコストの低減やシステムの信頼性向上の要求が高まってきているのが現状である。

そこで、本研究ではこのような背景を踏まえて、設置済みのシステムに対しても後付けしてリアルタイムで太陽電池パネルのホットスポットなどの異常状態を検出できるユニットを新たに開発することを目的としている。さらに、異常を検出するだけでなくホットスポット現象を検出したならば直ちに火災などを発生しないように安全な動作領域に動作点を移動させるホットスポット回避モードを新たに開発し、その有効性を確認する。また、その異常診断システムから得られたI-V特性をモニタリング(表示)するためのモニタリングシステムを構築する。さらに、市販のPCSを用いて実規模でのデータを申請の絶縁型デジタルスコープを用いて取得し、データ解析を行い、本開発ユニットの有効性を検証することを目標としている。なお、これまで太陽光発電(PV)システム関連の研究課題として、より効率の高い発電システムを実現するための新しいMPPT(Maximum Power Point Tracking)制御方式”スキャン法”を開発し、改良を行い実用化に成功しているが、ここでは、このスキャン法を応用し、定期的に行われるスキャン動作時(太陽電池電流を高速でゼロから短絡電流までスイープさせる)に得られるI-V特性から異常状態を検出する方法を提案するも

ので、特許出願を行い、既にアメリカで権利化されている (US 9, 143, 082 B2, Sep. 22, 2015). 本研究では、これをさらに前進させたホットスポット回避モードを新たに開発し、特許出願を行う。

2. 研究の必要性及び従来の研究

本研究で新しく開発する手法は、従来から行われているように必要に応じてシステム動作を止めて一旦太陽電池をシステムから切り離して太陽電池の電気的特性(電流・電圧特性:I-V 特性)を測定するものとは異なり、提案の異常診断ユニットのスキャン機能を利用して I-V 特性を定期的に計測する新しい手法のため、常時監視できるので異常事態に即対応できる上に発電に影響を与えないのが大きな特長となっている。本提案ユニットは、研究代表者がこれまで産業界も交えて取り組んできた新型 MPPT 制御方式(スキャン法)および部分影によるセルの診断を組み合わせた独創的手法であり、これまで既設のシステムに電氣的に効率よくリアルタイムで診断する手段がなかったところに一石を投じ、学術的にも産業的にも大きなインパクトを与えるものと考えられる。

なお、平成 27 年度～平成 28 年度の重点配分でのテーマ「太陽光発電システムのリアルタイムパネル診断システムの開発」では、パネル異常診断システムをパワーコンディショナ(PCS)に直接組み込むため、適用が新規にシステム(PCS)を導入する場合に限られていたが、本ユニットは既設のシステムの太陽電池アレイと PCS の間に後付けして異常診断を行える点に加えて、異常が検出された際の異常動作を回避するモードを新たに付加した点が大きく異なっている。

3. 期待される効果

本手法は、太陽光発電システムの監視機能の必須項目となり得、太陽光発電の信頼性・効率の向上・O&M コスト低減ひいては今後の主要なモニタリング方式として定着させるための必須技術・システムとなる可能性が期待できる。なお、本提案手法では、提案の診断ユニットを取り付けるだけで定期的に太陽電池の I-V 特性をモニターできるため、今回主な対象としているホットスポットだけでなく太陽電池のあらゆる異常状態、例えば部分影、パネルの性能劣化、断線故障などによる出力低下を瞬時に検出できるため、今後のモニターシステムの主流となり得る優れた方式と考えられる。また、異常状態による深刻な火災等を回避することができるためより安全なシステムを提供することができる。

4. 研究の経過及び結果

前年度の検討から、ホットスポットを検出することが可能となった。そこで平成 30 年度は、まずホットスポット現象の発生を検出するとともに、特許出願を行ったホットスポットを回避するための制御手法を前年度開発した検出制御法と組み合わせて DC-DC コンバータに組み込み、実際の太陽電池パネルを用いたシステムで実験を行った。図 1 は実験シス

テム図である．太陽電池を二枚直列接続している．パネル一枚の公称値はそれぞれ定格電力=50W，短絡電流=3.35A，開放電圧=20.5V，最適動作電圧=16.4V，最適動作電流=3.05A である，DC-DC コンバータには昇圧型を用いた，本実験では，スキャン周期 T は 30 秒に設定した．なお，日射強度は $800\sim 850[\text{W}/\text{m}^2]$ であった．図 2 に、ホットスポットセルに影 ($X=0.75$) を付加した実験結果を示す．影を付加すると PV 電流 I_{pv} が急激に増加することが分かる．次に，スキャン法による I-V 特性から安全動作電圧 V_{sov} を検出し，PV 電圧 V_{pv} がそれに移動して，発熱回避動作が行われ，同時にホットスポットフラグが ON (5V) になった．図 3 に，ホットスポットと判定されたストリングのサーモ画像を示す．発熱回避動作を行わない同図 (a) より，ホットスポットと判定されたストリングでは影の生じていたセルの温度が約 $100[^\circ\text{C}]$ になり，危険な状態であることが確認できる．しかし，安全動作を行った同図 (b) では，ホットスポットセルが発熱しない状態となることが確認できた．

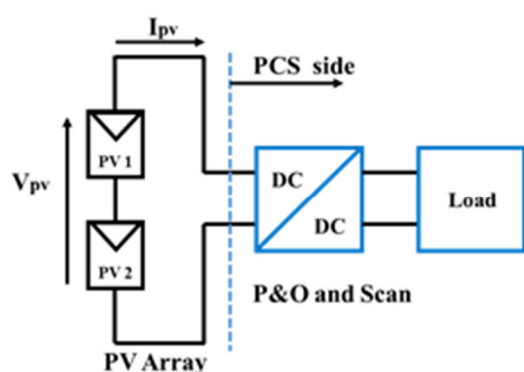


図 1 実験システム

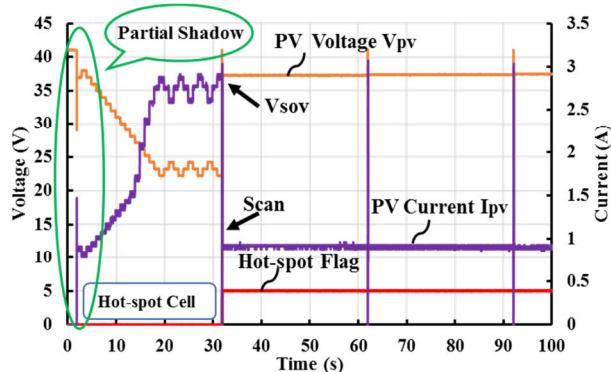
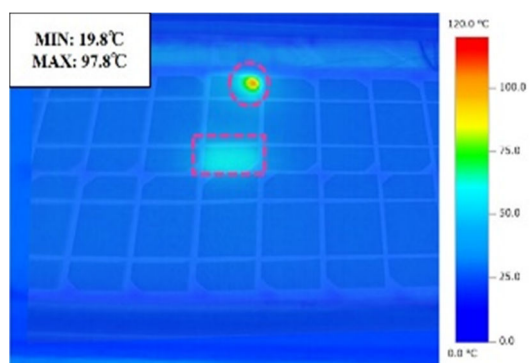
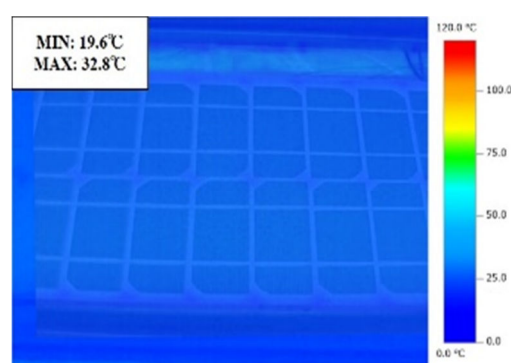


図 2 本制御システムの動作波



(a) 従来制御方式 (97.8°C)



(b) 本制御方式 (32.8°C)

図 3 スtringのサーモ画像

5. 今後の計画

ホットスポットを検出・回避するための基本システムを構築することができた．今後は，新たな高効率 MPPT 制御の提案と同時に，その方式と今回開発した診断システムを融合し，常時発電や異常状態を監視出来るような IoT を用いた通信システムの構築を目指す予定である．

6. 研究成果の発表

〈学会・展示会〉

【ジャーナル・学会誌】

(1) S. Yang, K. Itako, T. Kudoh and K. Koh and Q. Ge “Monitoring and Suppression of the Typical Hot-Spot Phenomenon Resulting from Low-Resistance Defects in a PV String” , IEEE Journal of Photovoltaics, Vol. 8, No. 6, pp. 1809～1817 (2018) (査読付)

(2) 飯塚直明、板子一隆、工藤嗣友、黄啓新

“単結晶太陽電池モジュールにおけるリアルタイムホットスポット検出システムの検討”
電気設備学会誌、Vol. 38, No. 2, pp. 9～15, 2018 (査読付)

【国際学会】

(1) S. Yang, K. Itako, N. Iiduka, T. Kudoh and Q. Ge, ” Development of Heat Avoided Control System for Hot-spot Phenomenon of PV String” , Proceedings of ICEE 2018, (5pages) (査読付)

【展示会】

(1) イノベーションジャパン 2018 8. 30～8. 31 (東京ビッグサイト) (採択展示)

(2) PV Japan 2018 2018 6. 20～6. 22 (パシフィコ横浜) (展示)

【特 許】

(1) 板子一隆” 太陽電池の動作電圧制御装置”，特願 2018-25880

サーモサイホンにおける制御システムの研究

研究者名：機械工学科 川島 豪
自動車システム開発工学科 藤澤 徹
自動車システム開発工学科 川口 隆史

1. 研究の目的

2011年3月11日に起きた東北地方太平洋沖地震とそれにともなう津波による東日本大震災において福島第1原子力発電所が事故を起こし、日本における電力供給のあり方が問われ、再生可能エネルギーの一層の普及促進が求められるようになった。加えて、2012年より再生可能エネルギーの固定価格買い取り制度が始まり、本格的な再生可能エネルギーの時代が始まった。一方で、原子力発電所からの電力供給が滞るなか、石油や石炭による火力発電所から電力供給が増え、二酸化炭素排出量が増加した。二酸化炭素に代表される温室効果ガスを削減するには、広く分布しているが低密度の再生可能エネルギーを有効利用する必要がある。現在、太陽光発電、風力発電、地熱発電、バイオマスによる発電等、自然エネルギーによる発電システムが精力的に研究され、実用化されてきている。このようなシステムは利用しやすいエネルギーである電力を供給するが、温水など熱で利用するエネルギー量も少なくない。天候が安定しない日本では、太陽光より天候に左右され難い太陽熱を有効利用するシステムの開発が必要である。なお、日本では太陽光発電が普及する以前に風呂用に太陽熱を利用した温水器が流行したが、メンテナンスシステムの不備等により廃れてしまった。そこで本研究では、新しい太陽熱利用システムとして、外部電源を使わずに熱移動できるサーモサイホン（熱サイホン）、特に屋根の上に設置した太陽熱集熱器から地上に熱エネルギーを移動することを目的にした上部加熱式（トップヒート式）サーモサイホンを対象とし、安定した熱移動を実現する制御システムの開発を目的とする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

サーモサイホンには、毛細管方式、浸透圧方式、蒸気圧方式、蒸気泡ポンプ方式などがある。毛細管方式、浸透圧方式は毛細管や半透膜が必要となり、流量の増加に対応し難い。蒸気圧方式は弁などの構造が複雑となる。本研究では、構造が簡単な蒸気泡ポンプ方式を対象とする。この方式は1970年代より研究され（例えば、Morrisonによるレビュー⁽¹⁾、平嶋らの研究⁽²⁾、一法師らの研究⁽³⁾）、伊藤が凝縮器を改良し⁽⁴⁾、吉田が引き継いでプレハブのモデルハウスに設置したサーモサイホンにより高低差4mの循環を実現するとともに小規模の発電ができることを実証した⁽⁵⁾⁽⁶⁾。しかし屋外に設置

したモデルハウスによる実証実験では、朝や夕方の太陽熱が少ない状況において、熱の移動、すなわち作動流体の循環が間欠的となる問題が残されている。この間欠的な流動は太陽熱集熱器での突沸などシステム故障の原因となる。そこで本研究では、安定した熱移動（作動流体の流速がほぼ一定）を実現するため、エネルギーハーベストによる電力を用いた制御システムを開発する。本報告では、制御方法として管内圧力を下げることが提案し、蒸気泡ポンプ方式のサーモサイホン実験装置を用いて作動流体の間欠的な循環を安定化させられることを確認する。

- (1) Morrison, G.L., “Solar Water Heating”, *Solar Energy edited by J. Gordon*, ISES (2001), pp. 223-289.
- (2) 平嶋雅雄, 木村憲一郎, 宇積陽一, 木村賢一, 根岸完二, “トップヒート形サーモサイフオンの実験的研究”, 日本冷凍協会論文集, Vol. 10, No. 2 (1993), pp. 247-256.
- (3) Ippohshi, S., Tabara, S., Motomatu, K., Mutoh, A. and Imura, H., “DEVELOPMENT OF A TOP-HEAT-MODEL LOOP THERMOSYPHON”, *Proceedings of The 6th ASME-JSME Thermal Engineering Joint Conference (JSME)*, TED-AJ03-578 (2003-3), pp. 1-8.
- (4) Ito, S., Tateishi, K. and Miura, N., “STUDIES OF A THERMOSYPHON SYSTEM WITH A HEAT SOURCE NEAR THE TOP AND HEAT SINK THE BOTTOM”, *Proceedings of ISES Solar World Congress 2007 (Beijing, China)*, (2007-9), pp. 930-934.
- (5) Yoshida, H., Imada, H., Hagino, N. and Yada, N., “Hydropower Generation by Solar Thermosyphon”, *Proceedings of International Conference on Solar Energy and Buildings (EuroSun2014, ISES)*, (2014), doi: 10.18086/eurosun.2014.16.24.
- (6) 萩野直人, 吉田博夫, 今田晴彦, “自己循環型熱サイフォンに関する研究（基本的特性について）”, 日本機械学会論文集, Vol. 82, No. 837 (2016), DOI: 10.1299/transjsme.15-00596.

3. 期待される効果

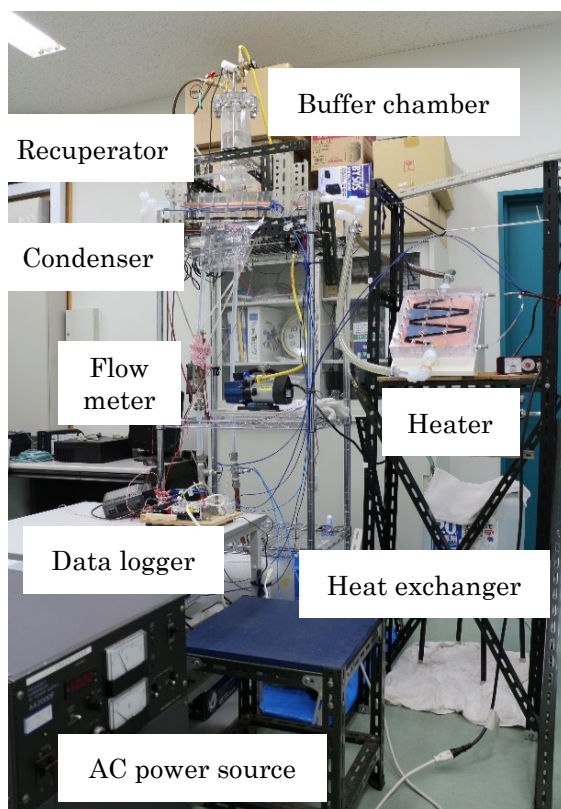
発電量が天候・昼夜に左右される太陽光ではなく、安定している太陽熱を利用すること、加えてその制御システムを構築することで、エネルギーを効率よく安定して得られるようになる。さらに、その制御システムの電力をエネルギーハーベスティングで創り出すことで、再生可能エネルギーでの運用が可能となり、温室効果ガスの排出削減に貢献できる。

加えて、外部電源なしで駆動できることから外部電源が消失した災害時にも使用できる BCM (Business Continuous Management) にも有用なシステムとなりえる。

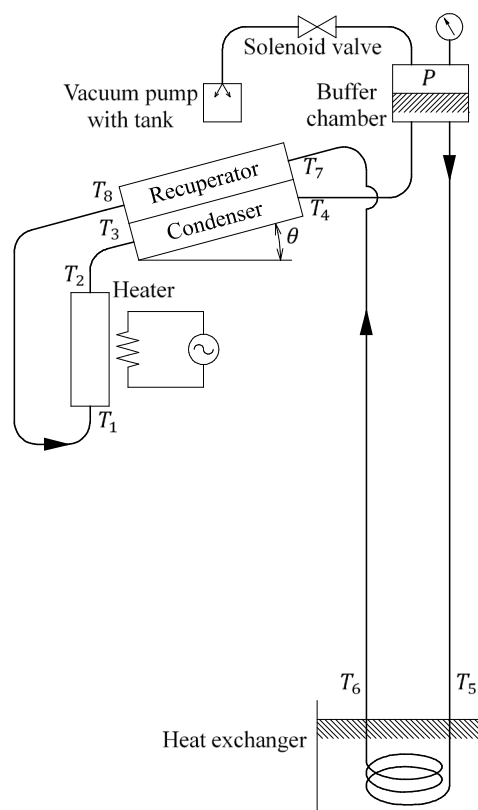
4. 研究の経過及び結果

4-1 蒸気泡ポンプ方式サーモサイホン実験模型

蒸気泡ポンプ方式サーモサイホン実験模型の写真を図 1 に示す。ヒータでの沸騰、ヒータから凝縮器への 2 層流の流れ、凝縮器で冷やされて蒸気が消える様子を観察できるように、ヒータおよび凝縮・復熱器における流路の 1 面は透明なアクリル板で製作され、熱交換器以外の流路は半透明な PFA チューブで配管されている。



(a) 写真



(b) 概略図

図 1 蒸気泡ポンプ方式サーモサイホンの実験模型

本実験装置では、まず液溜め (Buffer chamber) を減圧させて作動水の沸点を下げる。そして太陽熱集熱器を模擬したヒータで作動水を加熱して沸騰させ、2 相流 (スラグ流) の気泡の浮力で作動水を駆動させる。復熱器 (Recuperator) と一体の凝縮器 (Condenser) で気泡を凝縮させて液体に戻し、少し離れた下部に設置され、氷により銅管周囲の温度が一定に保たれている熱交換器 (Heat exchanger) で顕熱を放出させる。冷えた作動水を凝縮器と一体の復熱器で凝縮器から得た潜熱と顕熱により予熱し、ヒータに循環させる。これにより外部電力なしで熱を上部から下部に移動させることが可能となる。

4-2 実験結果

本年度は、より現実に近い状態、すなわち春・秋分の日の日、日の出より 6 時間

半の日射量変化を模擬した電力をヒータに入力した場合の制御効果を確認した。

最大 800 W で日射量変化を模擬した電力をヒータに入力した場合は、2 時間ほどで安定した流動が実現することを確認した。

しかし、最大 200 W で日射量変化を模擬した電力をヒータに入力した場合は、3 時間 45 分ほどで間欠的な流動が現れる。ヒータからの入力が大きくなると連続的な流動となる。

さらに、最大 200 W の日射量変化を 3 時間 45 分ほど (128 W) で一定にすると図 2 に示すように、間欠的な流動が持続するようになる。以上の結果より、管内流体の流動を生じさせる最小の熱エネルギーの入力が続くと間欠的な流動が生じることが確認できる。このような状態が長時間続くと、太陽熱集熱器の配管などが過熱と冷却が繰り返され、熱疲労により寿命が短くなったり、故障の原因となる。したがって、この間欠的な流動を抑える必要がある。

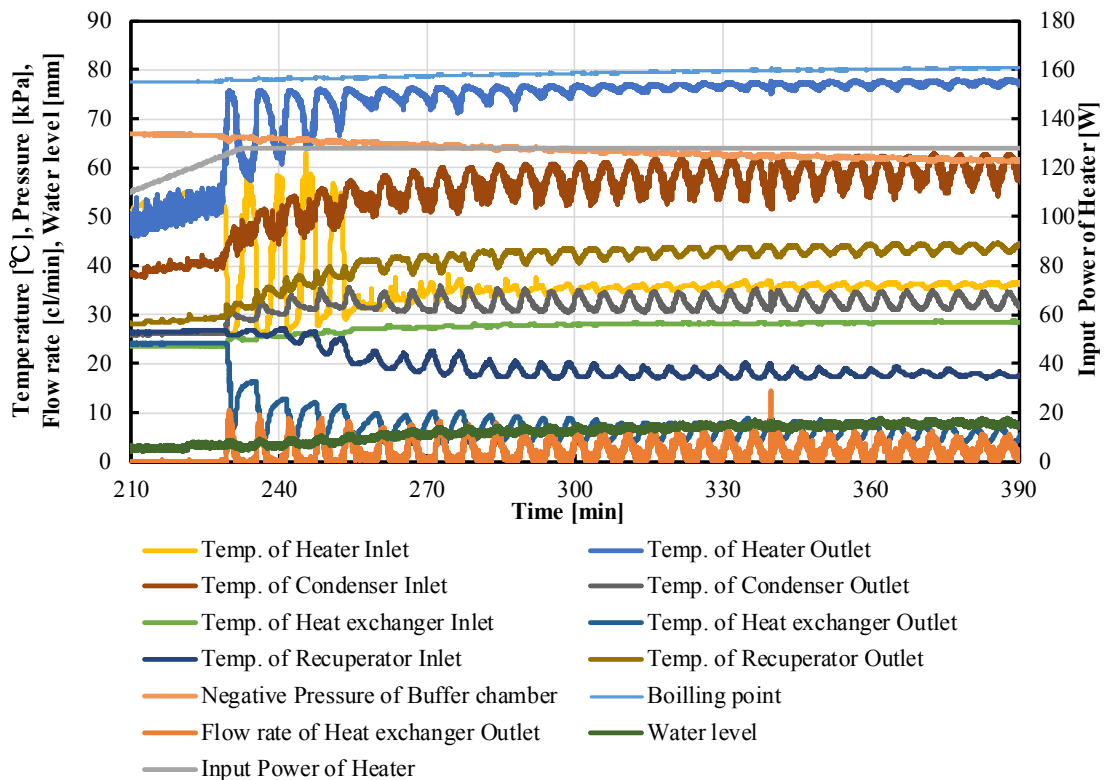


図 2 蒸気泡ポンプ方式サーモサイホン模型による実験結果（制御なし）

4-3 間欠流動を抑える制御の提案

間欠的な流動が生じた場合に太陽熱を増加させて抑えることはできない。そこで、管内圧力を下げて沸点を下げることにより、間欠的な流動を連続的な流動にする制御を提案、構築した。制御のブロック線図を図 3 に示す。間欠的な流動を検知

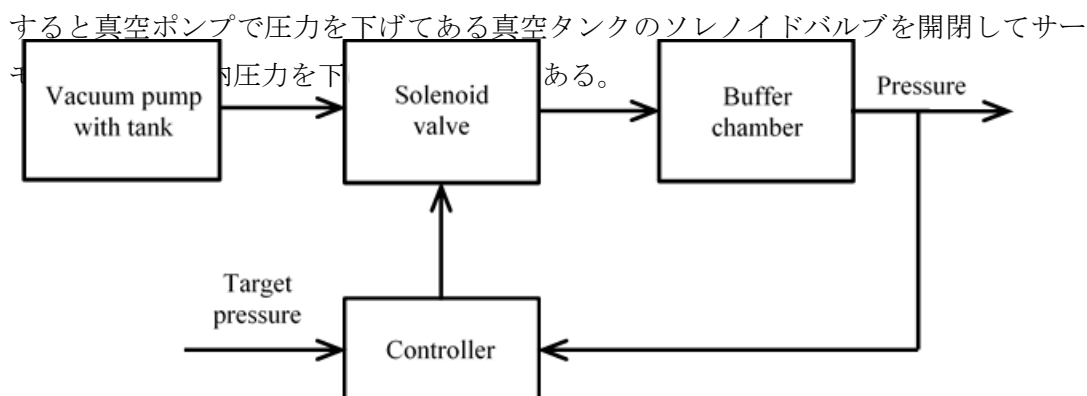


図3 蒸気泡ポンプ方式サーモサイホンの圧力制御システム

4-4 制御システムの有効性

図2に示す管内流動が間欠的になる、最大 200 W で日射量変化を 3 時間 45 分ほど (128 W) で一定にする条件で制御システムを作動させた場合の実験結果を図4に示す。225 から 240 分に注目すると、完結的な流動が制御により抑えられており、提案した制御システムの有効性を確認できる。

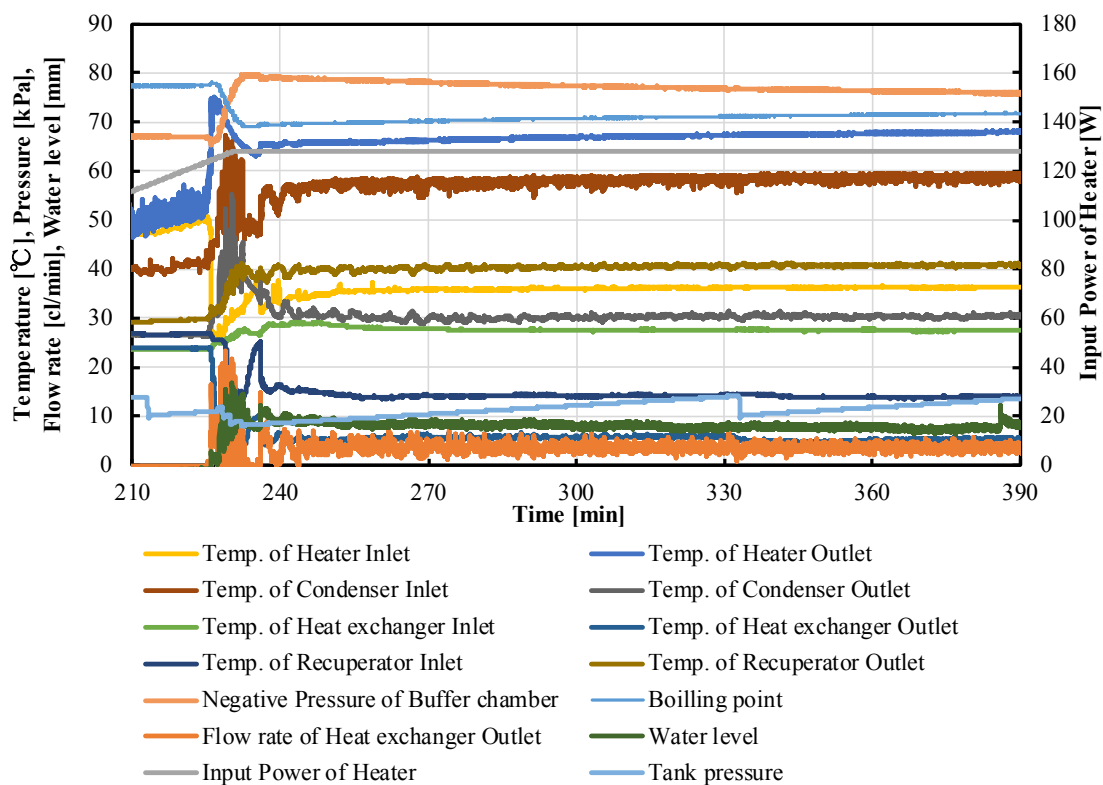


図4 蒸気泡ポンプ方式サーモサイホン模型による実験結果（圧力制御）

4-5 再生可能エネルギーによる制御システムへの電力供給

上部集熱式サーモサイホンの特徴は、太陽熱を外部電源なしに階下に移動できる点である。制御に外部電源を使用してはこの特徴を生かせなくなる。そこで、制御システムの消費電力を計算し、太陽光発電によるエネルギーの地産地消システムを設計、製作した。入力電圧 DC 24 V、定格電流 1.3A の真空ポンプ（アルバック機工：DAP-9D-DC24）を 1 日 15 分間づつ駆動することとし、ポンプへの定電圧出力機能を含む BMS(Battery Manegenment System)での効率を 80%、蓄電池の充電効率を 90%、放電効率を 90%とし、ポンプの突入電流（定格電流の 5 倍）に対応でき、7 日間分の電力を蓄えられるものとし、10~90%の蓄電量で使用するものとするれば、公称最大出力 40 W のソーラーパネルに、自動車用蓄電池を 2 台直列に接続することでエナジーハーベスティングが実現できる。

そこで、太陽光パネル（KYOCERA：KC40TJ、公称最大出力 43W）の出力を、24 V への昇圧を含む MPPT（KW-MPPT：ソーラーカー用）で最適化し、太陽電池充電コントローラ（Phocos AG：CML-20-2.2）により自動車用蓄電池の充放電を制御する。そして、入出力の電位差が小さい定電圧回路（秋月電子通商：AE-SI8008HFE, DC 24 V, 5.5 A：少し容量不足）を介して真空ポンプと電磁弁を、流量計や圧力計からの情報をもとにワンボードマイコン Arduino で制御するシステムを構成した。

4-6 屋外用蒸気泡ポンプ方式サーモサイホン実験模型

提案している圧力制御システムの有効性を、ヒータ加熱による模型実験により確認できたので、ヒータを太陽熱集熱器に置き換え、実際に太陽熱を階下に移動できるか、制御システムが有効に働くか確認するため、図5に示す屋外用蒸気泡ポンプ方式サーモサイホン実験模型を製作した。

5. 今後の計画

1. 蒸気泡ポンプ方式サーモサイホンにおいて管内水を駆動する原理をさらに解明、特に、液溜めの水位を静電容量型水位計により測定したデータより、蒸気泡の量と作動流体の流速の関係などから明らかにし、効果的な制御方法を提案する。また、凝縮器と復熱器における熱移動を利用して熱伝素子による発電により、コンパクトなエナジーハーベスティングを目指す。
2. 設計した太陽光発電による制御システムへの電力供給の有効性を実験により確認する。
3. 製作した屋外用蒸気泡ポンプ方式サーモサイホン実験模型により、提案した制御システムの有効性を確認する。

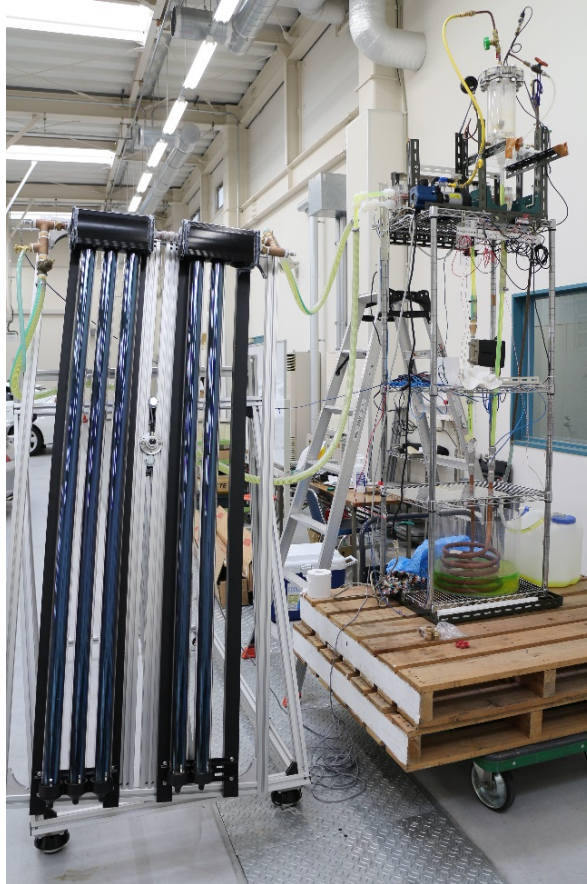


図5 屋外用蒸気泡ポンプ方式サーモサイホン実験模型

6. 研究成果の発表

- [1] 川口，藤澤，成澤，川島、上部集熱式サーモサイホンの不安定挙動に関する基礎研究、第28回環境工学総合シンポジウム2018、No.402。
- [2] Fujisawa, T., Kawaguchi, T. and Kawashima, T., “Basic Study on Flow Stabilization of Top-heat-type Thermosiphon”, EuroSun 2018 Conference Proceedings, International Solar Energy Society, doi:10.18086/eurosun2018.10.15, <http://proceedings.ises.org>, September 10-13, 2018, Rapperswil, Swiss.

太陽電池用バイパスダイオードに使われる新型バイパスダイオードの高耐圧化に関する研究

研究者名：電気電子情報工学科 氏名 工藤 嗣友

1. 研究の目的（以下タイトルは、11 ポイント、MS ゴシック）

近年、LSI の低電圧化や携帯機器の普及に伴い、低損失ダイオードの要求が高まっている。現在、低損失化を狙ったダイオードとしては、バリアを小さいショットキーバリアダイオード(以降 SBD)が挙げられる。しかし従来の低電圧動作の SBD は、温度上昇に伴い熱暴走を起こしてしまう。そこで、熱的に安定でかつ低損失特性を示すボディ短絡型自己バイアスチャネルダイオード(Self-Biased Channel Diode 以降 SBCD)が提案されている。このダイオードはオン電圧と耐圧にトレードオフの関係があり、この問題の改善が求められている。本研究では SBCD に大使、スーパージャンクション構造(以降 SJ 構造)を導入することにより、オン電圧の大きな劣化すること無く高耐圧化への向上を図ることを目的としている。

2. 研究の必要性及び従来の研究

これまで、研究開発してきた耐損失ダイオード構造を図 1 に示す。この素子は、MOS 構造と 2 重拡散構造を有している。同図には逆方向電圧時の 3 角形の電界分布を示している。この構造は 2 重拡散部が非バイポーラトランジスタ構造になっている。そのため逆方向の耐圧は、エピ厚さ $5\mu\text{m}$ に対して約 $60[\text{V}]$ 程度の耐圧しか得られない。このため、この程度の規格の場合、応用回路へのアプリケーションが狭い問題が生じる。

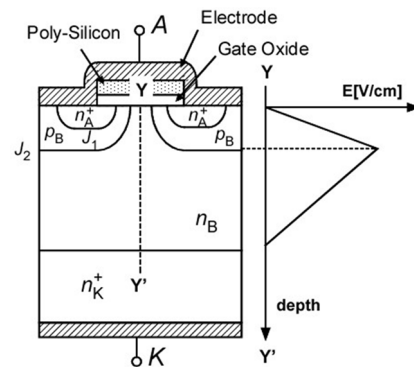


図 1 通常の SBCD 断面構造と逆方向電圧時の電界分布

3. 期待される効果

そこで、本研究では、図 2 の構造において電界分布の広がりを工夫したスーパージャンクション構造(以降：SJ 構造)を図 2 に示している。この構造は、通常の SBCD の P ベース層直下に P ピラー層、そして MOS ゲート直下に n ピラー層を設け交互に配置した構造となっている。この構造により、逆方向の電界分布は同図右側にある台形のような分布となり、通常の SBCD と比較して広い電界を分布を可能としている。本

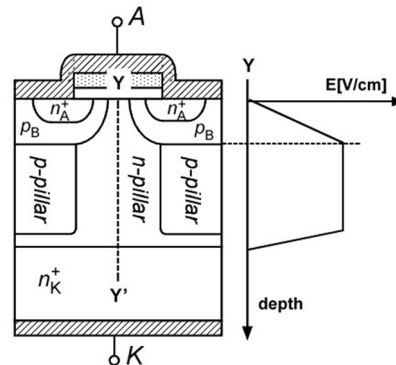


図 2 高耐圧化に適した断面構造 (SJ-SBCD) と電界分布

デバイスは、低いオン電圧を得るために不純物密度と酸化膜厚さにより 0V でも弱い n チャネルを形成する様に設計している。

本デバイスの動作原理は、順方向において、カソード電極 K に対してアノード電極 A に正電圧が印加された状態である。このとき、電子はカソードから n チャネルを経由してアノードに流れる。BS-SBCD 構造は J_1 接合において基板バイアス電圧が印加された状態となるのでチャネルに流れる電流が促進される。

上記と逆の印加状態において、(a)の構造では、逆バイアス接合が J_2 となり、印加電圧のほとんどがこの接合に加わり、順バイアス接合 J_1 にはほとんど電圧が印加されない。よって、チャネルは形成されにくいので電流が流れにくくなる。一方で、(b)の構造では、印加電圧のほとんどが J_2 接合に加わるために、MOS ゲートには電圧が印加され非導通状態となる。

4. 研究の経過及び結果

図 3 は通常の SBCD と SJ-SBCD の 1A(40A/cm²)時におけるオン電圧値の温度依存性について示す。両デバイスともほぼ同じオン電圧であることが確認できる。両デバイスとも温度上昇に伴ってオン電圧が低下している。これは、反転層の電子密度が温度上昇に伴って緩やかに増加するが、キャリアの移動度に関しては温度上昇に伴って低下するので、よってチャネルに流れる電流の増加率が小さくなったと考えられる。

図 4 は通常の SBCD と SJ-SBCD の 75℃ におけるブレイクダウン時の図 1 の Y-Y'間の電界分布を示す。通常の SBCD では J_2 接合付近で電界集中が見られる。一方、SJ-SBCD では両ピラー層内でともに完全空乏化され

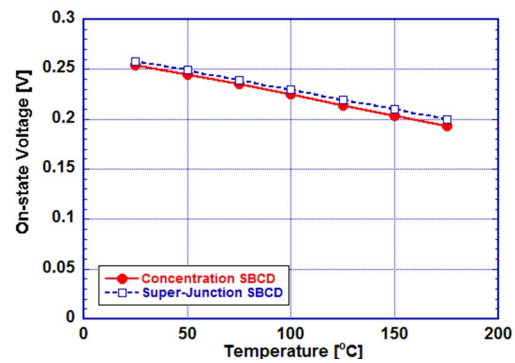


図 3 温度依存性によるオン電圧値

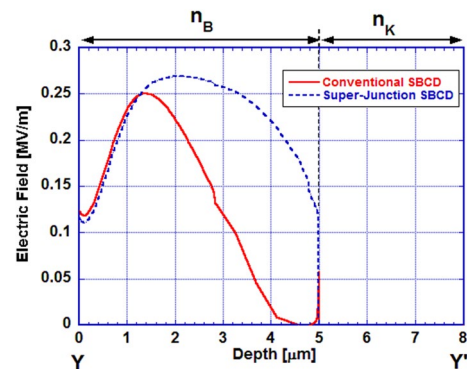


図 4 Y-Y'での電界分布

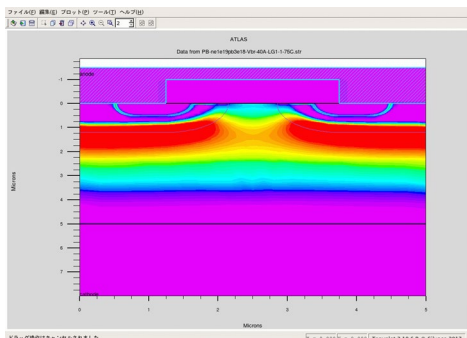


図 5 SBCD の電界分布

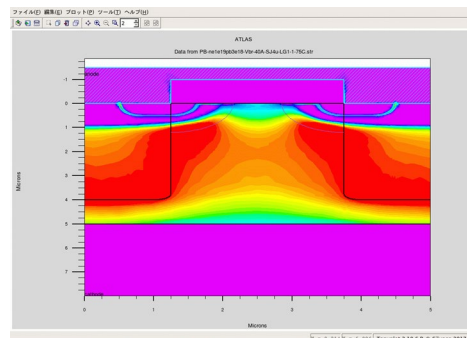


図 6 SJ-SBCD の電界分布

ており深さ方向に沿って電界が台形のような分布を示しているので、通常の SBCD と比べて耐圧が向上していることが分かる。

図 5 は、通常の SBCD のブレークダウン時の電界分布を示す。 J_2 接合の極率半径部分に特に電界集中が起こっていることがわかる。一方で、スーパージャンクション構造の場合、図 6 の電界分布にも示すように深さ方向に様に電界が分布しており耐圧改善に貢献できていることを示す結果となった。

図 7 は、オン電圧と耐圧のトレードオフを示す。この結果から提案したダイオードは、スーパージャンクション構造の導入により通常の SBCD と比較してオン電圧を維持しつつ耐圧が約 2 倍の 120[V] 程度改善できた。

図 8 は、75°C における各素子の逆回復特性を示す。SJ-SBCD は、通常の SBCD と比較して若干ながら逆回復電荷が増加している。この理由として、SJ 構造のピラー部は、pn 接合の接合面積が通常の SBCD 構造と比べて広いので、順バイアス時において p ピラー層から n ピラー層に注入される正孔の量が多くなるためである。逆回復特性の結果より、両デバイスとも逆回復電荷量の若干の違いはあるものの定常状態になるまでの回復時間はほぼ同じであった。このことから、SBCD 構造は、逆バイアス時におけるキャリアの排出がしやすいことがわかった。

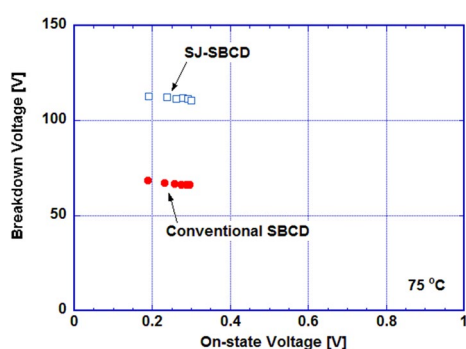


図 7 オン電圧と耐圧のトレードオフ

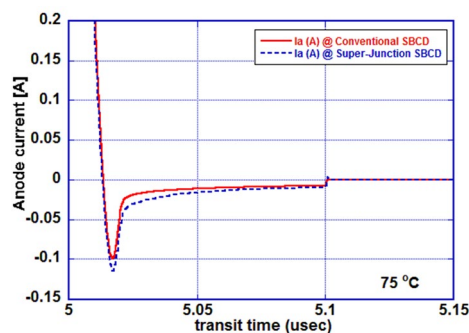


図 8 75°C における逆回復特性

太陽電池に関する過渡応答シミュレーションは、図 9 に示すように太陽電池セルを 2 枚直列に接続し、それぞれ並列にバイパスダイオード Diode1、Diode2 に接続した。バイパスダイオードは、同じ種類のダイオードを用いて解析を行った。さらに太陽電池セルの規格は短絡電流 1[A] を想定とした。照射パターンは、Solar1 において一定の光を照射した状態とし、一方の Solar2 は光のターンオン・ターンオフの光パルスとした。このとき照射されない時間区間はセルに影が入っていることを想定している。

図 10 は、75°C におけるバイパスダイオードに通常 SBCD (BS-SBCD) と比較のために Cr-SBD をそれぞれ用いた場合で Solar2 に光の照射から遮蔽に切り替わったときにバイパスダイオード 2 に流れる電流の変化を示す。図 11 は、SJ-SBCD を用いた場合の結

果を示す。2つのSBCDは、Cr-SBDよりも速やかにターンオンしており、バイパスダイオードの使用に適していることがわかった。このことより、耐圧改善用として開発したダイオードは、メガソーラ用のバイパスダイオードとして使用可能であることが解析結果から得られた。

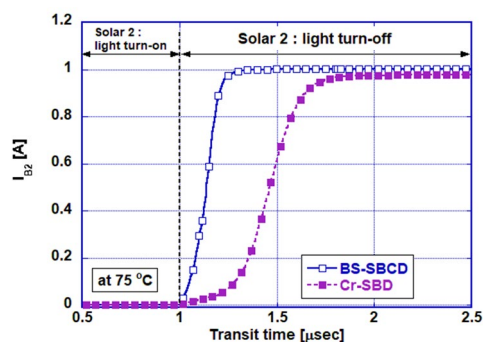


図 10 ターンオン特性（その 1）

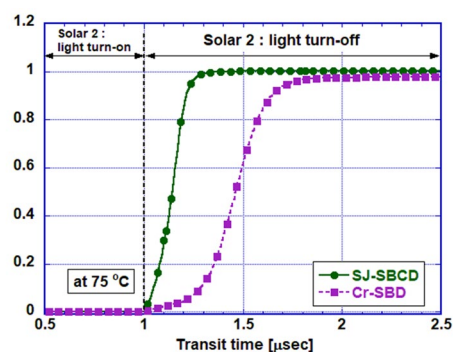


図 11 ターンオン特性（その 1）

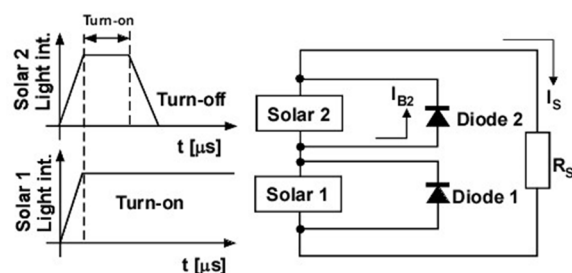


図 9 シミュレーションで採用した回路図

5. 今後の計画

本提案デバイスは、以下の項目を実施し電氣的特性の改善を進めていきたい。

- ・ オン電圧と耐圧のトレードオフ特性において、耐圧を維持しながら低オン電圧化に向けての試みとしてデバイスの集積化の設計と解析
- ・ 集積化の検討として MOS ゲートのトレンチ化
- ・ 3D デバイスシミュレータによるデバイス解析と、レイアウト設計の為の検討

6. 研究成果の発表

- (1) T. Kudoh, H. Tsushima, and F. Sugawara, “Simulation Analysis of Self-biased Channel Diode Manufactured with Super-Junction Structure”, 24th International Conference on Electrical Engineering 2018tei, pp. 1742-1746, Seoul, Korea.
- (2) T. Kudoh, H. Tsushima, and F. Sugawara, “A study of the electrical characteristics using bypass diodes of new structure for photovoltaic applications”, KAIT シンポジウム, 2018, 本学

IT を活用した学内消費電力モニタと人力発電バイクシステムの開発・運用

研究者名：情報工学専攻 田中 博

1. 研究の目的

3つの観点からの学内電力の利用の最適化や人力発電を通じた学内への寄与を目指す。

(1) 学内使用電力のモニタと電力利用の最適化

学内の電力利用の最適化のためには、現状の分析が必須である。このため、H24 年度に開発した学内使用電力のモニタシステムの運用を継続し、使用電力状況のデータを蓄積する。

(2) 人力発電バイクシステムの開発と運用

ダイエット、健康志向の高まりがある。一方、循環型社会の実現という言葉で表現されているように、ECO 活動の重要性も高まっている。さらに、本学には地域の災害時の避難所としての役目もある。このとき、太陽光発電、風力発電以外の気象条件に依存しない電力が確保できることが望ましい。これらを踏まえた開発・運用中の人力発電システムのコンセプトを図 1 に示す。本学 5000 人というコミュニティの潜在能力を発揮し、これら 3 つの観点からの寄与を目指す。

(3) 発電電力の有効活用

発電バイクの利用による発電電力はバッテリーに蓄えられ、このバッテリーを介してエネループへの充電が可能である。使い捨て型の乾電池から、循環利用可能なエネループの学内利用を推進し、ECO 活動に寄与する。バッテリーは災害時における避難所の電力供給として使用する。

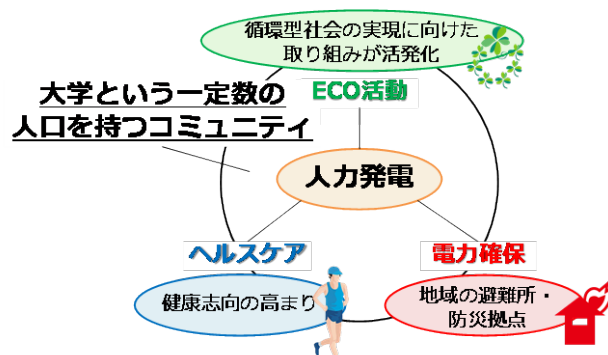


図 1 人力発電システムのコンセプト

2. 研究の必要性および従来の研究

(1) 学内使用電力のモニタと電力利用の最適化

震災以降、製造現場を持つ企業をはじめ多くの企業で取り組みが進められている。しかし、現状では各学部、学科の事情もあり、全学として電力利用の最適化に取り組む状況にはないと思われる。このため H24 年度に開発したシステムは、電力の利用状況のデータ取得の位置づけで、継続して運用を行っている。

(2) 人力発電バイクシステムの開発と運用

人力発電バイクは、既にイベント会場などで出し物の一つとして使用されている実績が多々ある。しかし、いずれもイベントという一過的な利用に限定されており、定常的に利用するシステムには

至っていない。それは一時的にライトを点灯させる、テレビをつけてみるという発電体験に過ぎない。我々は図1で示したように“ECO活動”、“ヘルスケア”、“避難所での電力確保”という観点からの利用を目標している。このためには、「防災や災害時対策は日常に組み込ませる」ことが重要であり、そのスキーム、運用体制の確立と維持が重要である。

(3) 発電電力の有効活用

発電電力を平時には日常で、災害時には特定の用途で使用することで、システムの意義があることになる。平時では充電したエネループの学内利用によるECO活動を推進し、災害時では避難所としての電力提供（スマホ充電スポットの提供等）を実現する。

3. 期待される効果

目的(1)に対しては、節電を含めた電力利用に対する意識の向上、最適な電力利用のためのデータ収集に寄与する。実際、夏季の使用電力量が契約電力を超過しそうになったときは、学内に周知し超過を回避することができた。(2)、(3)に関しては、学内でこれまで利用していた使い捨て型の乾電池から充電型の電池への切り替えや新たに設置する機器の電池を充電型とすることによる一つのECO活動として寄与できる。ユーザの定常的な利用により、健康促進にもつながる。また、一定の充電容量のバッテリーに充電することにより避難所の電力確保にもつなげることができる。

4. 研究経過および結果

(1) 学内使用電力のモニタの運用

H24年度に開発した「学内使用電力の見える化」システムの運用を継続している。下記に運用中のホームページを示す。本サイトは、大学ホームページ→教職員向け情報→管財課の箇所にリンク設定いただいている。



図2 学内電力使用状況（2019年4月15日11:10モニタ状況）

(2) 人力発電バイクシステムの開発と運用

(2-1) KAITアリーナ設置用人力発電バイクの機能追加

H29 年度に開発した KAIT アリーナ設置のバイクシステムの運用における課題として

- ・現場に行って初めて、人が使用中であることが分かる．空いているか、遠隔から確認したい．
- ・リチウムイオン蓄電池の充電率も現場に行かなくても、確認したい．

という要望があり、卒論の課題として、その開発を行った．図 3 にそのための構成と図 4 にモニタ出力の一例を示す．スマホでの遠隔モニタを実現した．ユーザ側，運用側ともに有用なシステムである．

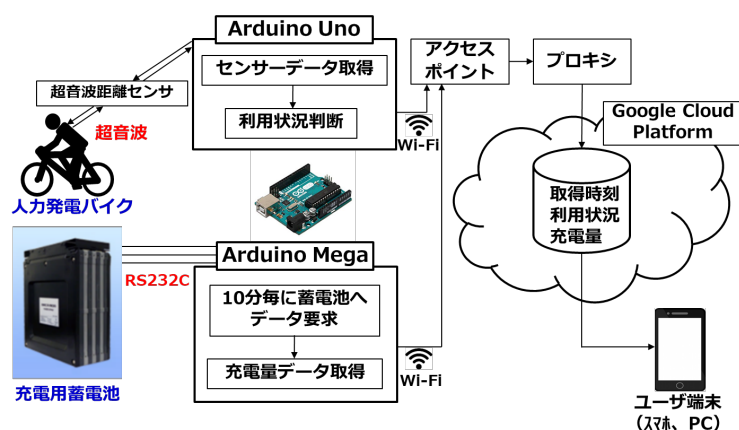


図 3 遠隔モニタのための構成



図 4 遠隔モニタの出力結果の一例

(2-2) 運用状況とエネルギーの循環利用状況

現在、ECO 推進室と KAIT アリーナに各 1 台の合計 2 台の発電バイクを運用している．ユーザ数の推移と発電電力量を図 5、図 6 に示す．月による変動はあるものの、一定のユーザは確保している．しかし、学内に浸透しているとは言い難い状況にある．

エネルギーの昨年 H30 年の学内の循環利用を表 1 に示す．この結果から、学内での循環利用が行われ、ECO 活動としての取り組みが進みつつあることが確認できた．

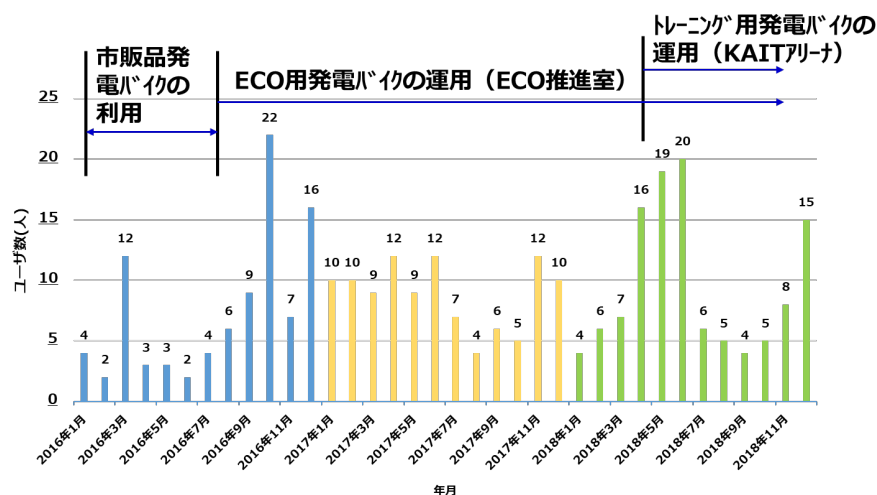


図5 ユーザ数の推移

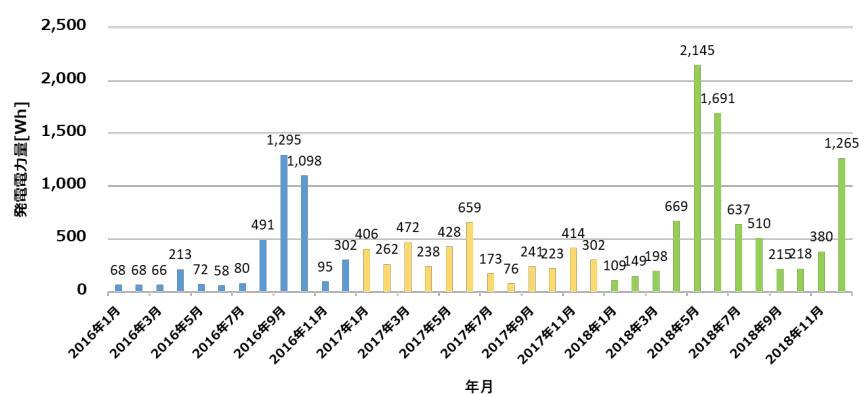


図6 発電電力量の推移

表1 エネループの学内循環利用状況

貸出し		返却	
単三型	単四型	単三型	単四型
240	154	110	97

2018年1月～2018年12月

5. 今後の計画

H31年度は、学内使用電力のモニタシステムの運用を継続、人力発電システムの運用を継続する。学内掲示により認知度を向上させるとともに、利用方法の動画へのアクセスを誘導し、使用の障壁を軽減させる。結果として学内でのエネループ利用を促進し、学内のECO意識の向上を図るとともに、ヘルスケアおよび大学の避難場所としての電力確保の観点からの寄与を目指す。

6. 研究成果の発表

(1) 小川真輝，三好公大，町田郁弥，谷代一哉，田中 博，“人力発電システムの運用と娯楽性向上

を目的とした IoT と Web サービスの活用”，第 81 回情処全大，5X-01，Vol. 3，pp. 243-244

(2) 田中 博，小川 真輝，三好 公大，谷代 一哉，和田 美賀子，久保田 昌彦，“学内利用のための
人力発電バイクシステムの運用状況と今後の課題”，IT を活用した教育シンポジウム 2018，
pp. 105-109 (ISSN 2432-0285)

上部加熱式太陽熱サイフォンの制御システム用自立電源に関する研究

研究者名：自動車システム開発工学科 藤澤 徹

1. 研究の目的

上部加熱式太陽熱サイフォンの作動水は、集熱量が少ないときに振動的な流れとなる。この問題を解消するために、エネルギーハーベスティング（小さな太陽光発電パネルによる制御電源の自然エネルギー100%自給、以下 RE100%化）を研究目的とした。ここで、集熱量が少ないときとは、太陽の日射強度から加熱部にて吸収する量が 150W 以下程度の場合である。

2. 研究の必要性及び従来の研究

このようなケースにおいて、吉田教授、萩野氏、川島教授らは作動水の管内における質量流量が振動的になる要因を地道な基礎データの収集によって明らかにされてきた。昨年度は、作動水の振動的（間歇的）な循環が生じた場合に、液だめと接続したバッファチャンバーのバルブを数回にわたって開閉させることで、突沸を防ぎながら振動を除去することを見出した。これを受けて、電磁バルブの開閉やセンサ類の駆動に伴う制御電源を RE100%化することが必要となった。

3. 期待される効果

上部加熱式太陽熱サイフォンは外部電源を必要としない太陽エネルギーのみによる自然循環が最大の特長であった。制御電源の RE100%化と太陽光発電システムの小型化によって、この特長を損なうことなく目的を達成することが期待されている。

4. 研究の経過及び結果

本研究では、30W 程度の太陽電池モジュールと最大電力点追従制御装置（以下、MPPT）、電力貯蔵用の二次電池、インバータ類を用いて電磁バルブや真空ポンプの駆動並びにセンサ類の駆動電源の確保といったシステムの構築に取り組んできた。実験に用いたものは、Solar EV 用としてデリバリーBOX にインストールする形で構築したスタンドアロン型の太陽光発電システムである⁽¹⁾⁽²⁾。

少ない接地スペースで年間を通じて安定した発電量を得るため、上面に加えて鉛直面3面を含む4方位に設置した太陽電池モジュール群を独立電源とするための分散型 MPPT システムとしてバッテリーを充電する実験装置を図1のように構築した。

このシステムは、各面に入射する日射量の不均一さと負荷電圧の確保の観点から、従来より、4直列ないし一部直並列接続の MPPT が適することが見出されていた。昨年度は、東西の並列に対して南と上面を直列にする従来型に対して、東南西の並列接続を上面と直列にした上で各々に MPPT で制御する方式（図 2）へと改良することで、より多くの日積算発電量が得られることを屋外での比較実験によって示した（図 3、表 1）。

さらにそのような結果が得られる要因について非追従動作（スルーモード）や動作点電流・電圧の制約条件の発生状況等について分析し、学会発表 2 件にて成果をまとめて報告した（うち 1 件は国際会議のピアレビューつきフルペーパーとして掲載された）。

5. 今後の計画

今後の計画として、実際に上部加熱式太陽熱サイフォンを RE100%化した電源にて駆動し、屋外実験を行うことを想定している。安定性の面で問題がないか検証を行い、可能であれば昇降圧システムへの展開も視野にいて行きたい。

6. 研究成果の発表

- (1) Yuki NEMOTO, Toru FUJISAWA, Study on Distributed MPPT System in Solar EV, ISES EuroSun2018, Rapperswil, (2018. 10).
- (2) 根本悠希, 藤澤 徹, 宅配用電動バイクのための 分散型 MPPT システムの研究, JSES/JWEA 合同研究発表会, 松江, (2018.11).

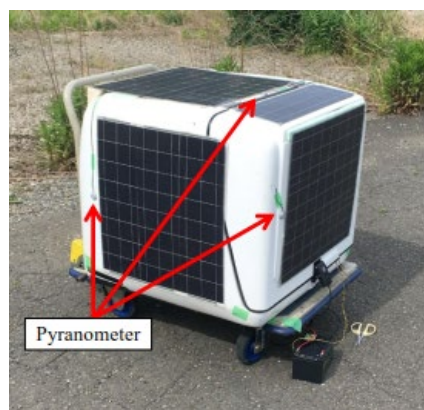


Fig. 1 Stand-alone Photovoltaic System

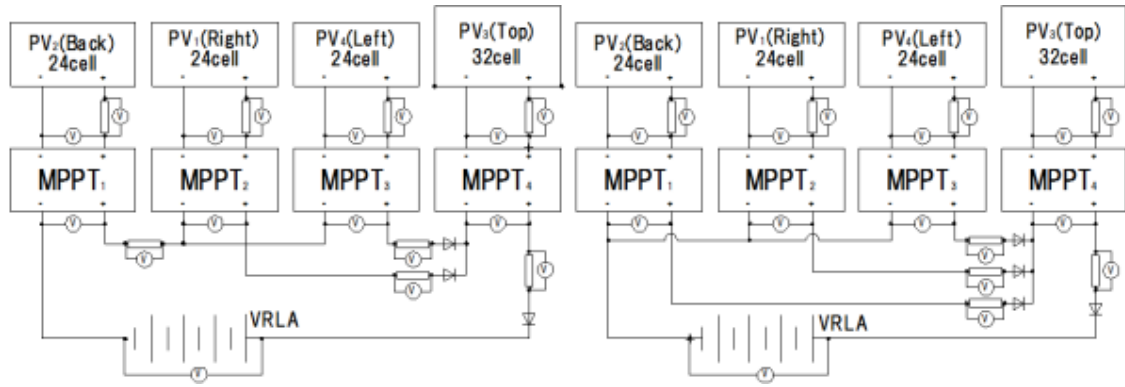
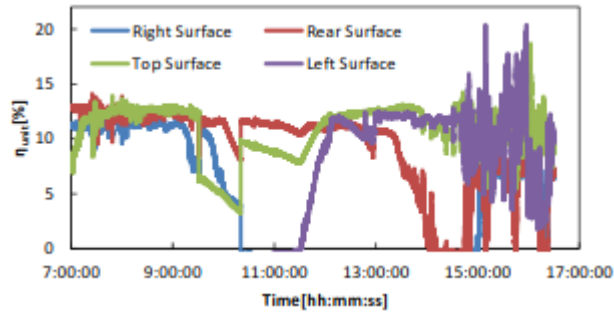
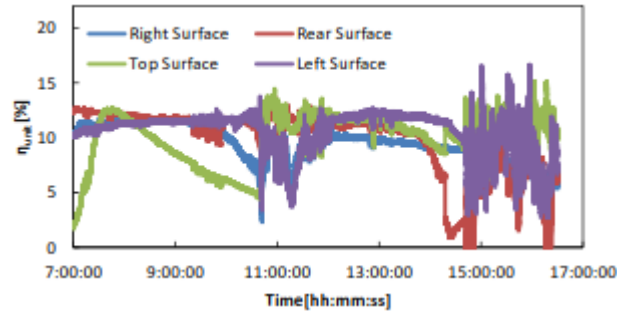


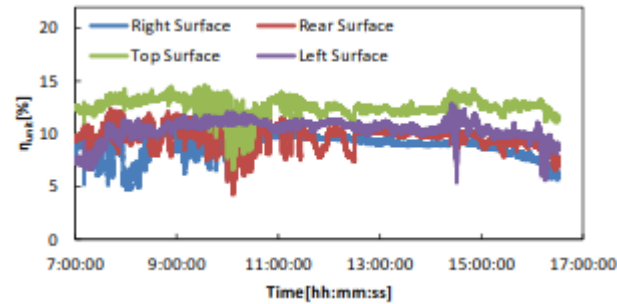
Fig. 2 MPPT System for different azimuth panels



(a) Series system



(b) Series-parallel system (Right and Left)



(c) Series-parallel system (Right, Left and Rear)

Fig. 3 Output characteristics of Unit efficiency

Table 1 Outdoor experimental results

Date	1 st OCT 2018	2 nd OCT 2018	3 rd OCT 2018
Connection	Series	Series-Parallel	
		Right & Left	Right, Left & Rear
E [kWh]	0.378	0.395	0.197
$\frac{H}{[kWh/m^2]}$	5.44	5.15	2.60
E/H [m ² %]	6.95	7.67	7.58
η_{mppt} [%]	90.1	90.5	88.0