

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11号

2017（平成29年度）

神奈川工科大学

工学教育研究推進機構

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。

本年度は、FIT における太陽光発電による電力の買い取り価格がさらに下がり、太陽光発電から洋上風力発電など再生可能エネルギー電源の多様化が注目されました。また、海外を含めた自動車製造会社における電気自動車の開発が本格化しました。さらに、E S G（環境（Environment）、社会（Social）、ガバナンス（Governance））というキーワードが話題となり、投資の分野からも持続可能性を重視した会社が注目されるなど、社会の持続可能性が根付き始めた一年でした。このような社会情勢の基、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ます。本書では、その成果の一部を紹介いたします。

なお、研究活動の一部を「川崎国際環境技術展 2018」（板子教授）に出展しました。

先進太陽エネルギー利用研究所研究報告

目次

上部集熱式サーモサイホンの不安定挙動に関する制御システムの開発・・・・・・・・・・	1
---	---

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

塗料を用いた防除雪氷対策の構築と検証・・・・・・・・・・	7
------------------------------	---

機械工学科 木村茂雄
機械工学科 山岸陽一
ロボット・メカトロニクス学科 兵頭和人
基礎・教養教育センター 栗田泰生

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・・・・・・・・・・	11
--	----

電気電子情報工学科 板子一隆
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 黄哲新

太陽電池用のバイパスダイオードに低損失型自己バイアスチャネルダイオードを用いた電氣的特性の検討・・・・・・・・・・	15
---	----

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・・・・・・・・	19
---	----

情報工学科 田中博

クローラー型 Solar EV の研究・・・・・・・・・・	23
-------------------------------	----

自動車システム開発工学科 藤澤徹

上部集熱式サーモサイホンの不安定挙動に関する制御システムの開発

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 4 m 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を提案し、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 サーモサイホン実験模型

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、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。

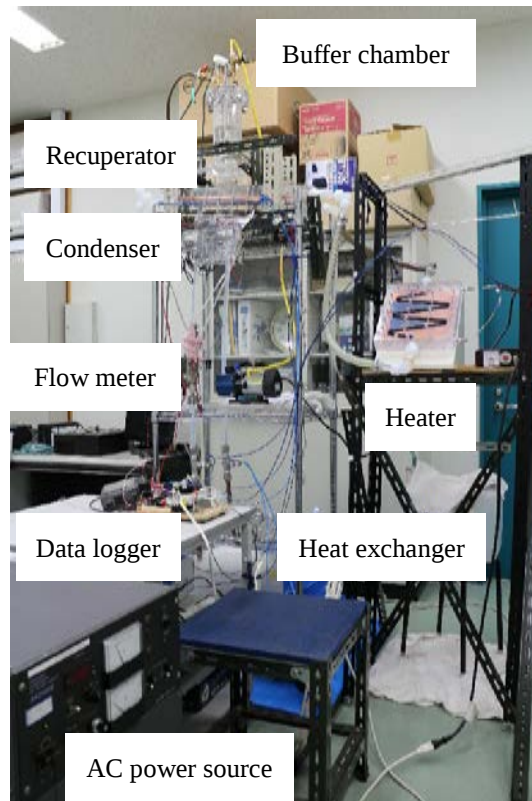


図1 蒸気泡ポンプ式サーモサイホン実験装置

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、少し離れたところに設置され、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。

サーモサイホンの作動実験より、以下のことが明らかになった。

1. 最大 200 W で日射量変化（春・秋分の日の日半日、日の出より 6 時間半）を模擬

した電力をヒータに入力した場合、最大電力の 64% まで増加したところで沸騰が生じ、作動水が流動する。しかし、ヒータに冷えた水が流入するため沸騰が治まる。これが繰り返され、作動水の間欠的な流動が続くが、ヒータへの入力電力が大きくなると、安定した流動となる。

2. 最大 600 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、間欠的な流動は生じず、直ぐに安定した流動となる。これは、ヒータに大きな熱量が加えられることで、ヒータに流入する冷たい水が連続的に沸騰させられるためである。
3. 最大 200W で最大電力の 64% まで日射量変化を模擬し、その後 64% の電力を維持した場合、すなわち天気が悪くなる場合は、連続した沸騰を維持する熱量が供給されないため作動水の間欠的な流動が継続する。

4-2 流量安定化の検討

上記の特性より、十分な熱量が供給されれば作動水の流量は不安定にならない。したがって、太陽熱を何らかの方法で蓄えておき、作動水の流量が間欠的であるときに供給できれば安定した熱移動を実現できる。しかし、太陽熱を屋根などの上部、特に野外に蓄えておくことは難しい。そこで本研究では、管内圧力を下げることで沸点を下げ、沸騰による作動水の循環を安定させることを提案する。

手動により圧力を上げる制御実験より、以下のことが明らかになった。

1. 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、最初の沸騰による作動水の流動が治まったときに液溜め圧力を -80 kPa まで下げることで、間欠的な流動を抑えられ、安定した流動を実現できる。
2. 最大 200W で最大電力の 64% まで日射量変化を模擬し、その後 64%の電力を維持した場合も、最初の沸騰による作動水の流動が治まったときに液溜め圧力を -80 kPa まで下げることで、間欠的な流動を抑えられ、安定した流動を実現できる。

4-3 流量安定化制御システム

上記結果を参考に、作動水の流量および液溜め圧力をセンシングし、最初の沸騰による作動水の流動が治まったときに低圧タンクに取り付けられている電磁弁を開閉して液溜め圧力を -80 kPa まで下げる制御システムを構築した。なお、マイコン Linduino One (Linear technology) とバッテリースタックモニタ LTC6804IG-1 より構成されるバッテリーマネジメントシステムを用いたエネルギーハーベスティングにより制御電力を得ることを前提として、本実験では互換機である Arduino Uno (こちらが元) を制御用マイコンとして用いた。

4-4 流量安定化制御実験

前述の制御システムを用いてサーモサイホンの作動実験を実施した。その結果を図

2に示す。ヒータ入口（緑色）および出口（青色）、熱交換器入口（橙色）および出口（茶色）温度、液溜め圧力（黄色）、ヒータにおける沸点の計算値（黒色）、作動水の流量（灰色）、ヒータの入力電力（赤色）である。

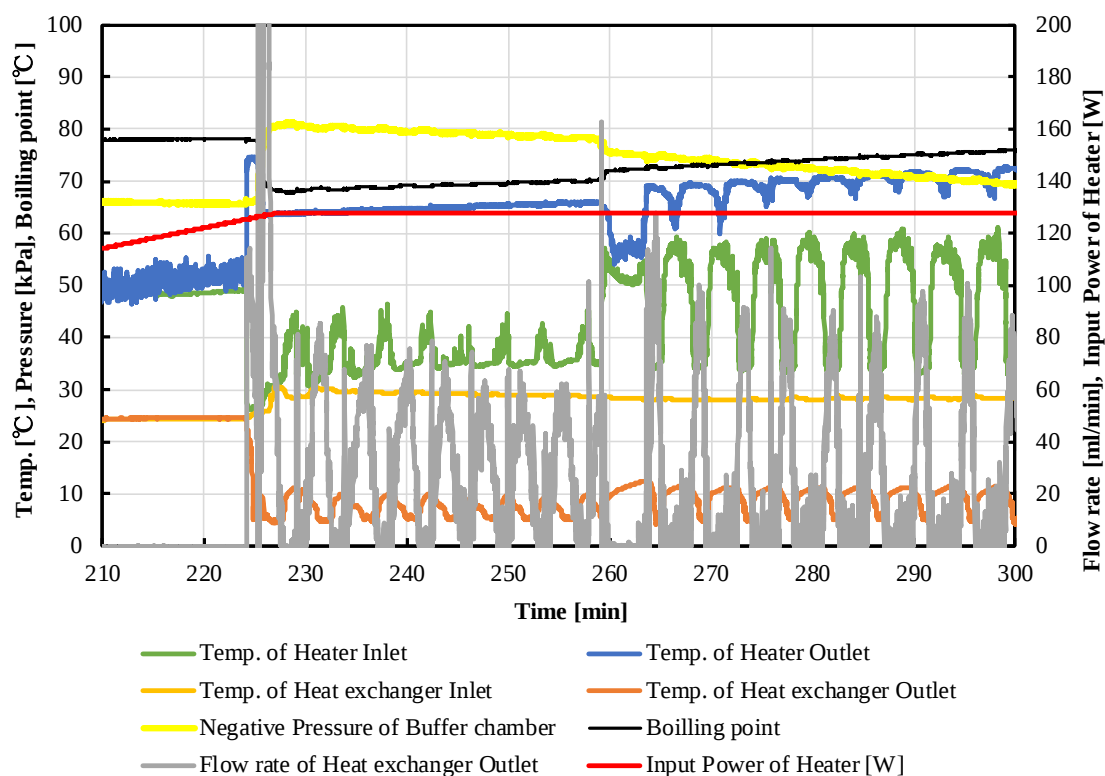


図2 サーモサイホンの圧力制御実験結果

図2より、224分頃に最初の沸騰が生じ、226分頃に制御システムにより圧力が -80 kPa まで下げられている。その後、作動水の変動は完全には抑えられていないものの、約 259 分に手動で -76 kPa まで戻すと大きな変動となり、圧力制御により作動水の不安定性を小さくできていることが確認できる。完全に作動水の間欠的な流動を抑えられなかったのは、圧力を下げる速度が速すぎて、配管内の温度分布がその後のエネルギー供給によってもなかなか定常にならなかったことが原因と考えられる。

4-5 ま と め

上部集熱式サーモサイホンにおいて安定した熱移動を実現するため、液溜め圧力を下げることで間欠的な流動を抑えることを提案、作動水の流量および液溜め圧力をセンシングして電磁弁を制御するシステムを構築、その有効性をサーモサイホンの模型を用いた制御実験により確認した。

5. 今後の計画

1. 屋内実験装置により提案している圧力制御の有効性を確認できたので、実際に太陽熱を利用する屋外用の実験装置を製作し、フィールド実験により圧力制御の有効性を確認する。
2. 太陽熱を蓄熱し、作動水の循環が不安定なときに放熱するシステムを開発して比較検討する。
3. 地元、厚木に多い冷泉をクリーンエネルギーで加熱するシステム、バイオマスの有効利用などへの展開を目指してシステムを設計する。

6. 研究成果の発表

研究成果の一部は、第 28 回環境工学総合シンポジウム 2018（2018 年 7 月 11 日～12 日）および国際会議、EuroSun2018（2018 年 9 月 10～13 日）で発表予定。

- [1] 川口, 藤澤, 成澤, 川島、上部集熱式サーモサイホンに関する制御用モデルの構築、第 27 回環境工学総合シンポジウム 2017、No.402。

塗料を用いた防除雪氷対策の構築と検証

工学部 機械工学科 木村 茂雄

工学部 機械工学科 山岸 陽一

創造工学部 ロボット・メカトロニクス学科 兵頭 和人

基礎・教養教育センター 栗田 泰生

1. 研究の目的

本研究では、まず初めに、Bleed - air 方式に替えて電気ヒータを用いた加熱法(環境に応じた制御の容易さ、無エンジン抽気のため飛行性能低下がない)を採用し、この欠点とされる水滴の除去性を解決するために物理化学的手法(超撥水性塗料塗布)を組み込んだ新規の防除雪氷システムを提案し、その効果について評価すること、さらに、この手法の、同じく着氷雪環境で用いられている地上構造体(風力タービン、気象観測機器等)への適用を検討することを目的とした。

2. 研究の必要性及び従来の研究

研究代表者がこれまでに参加した日欧共同研究(革新的防水技術開発)や国内外の各種共同研究は全て寒冷環境下での構造体上への着氷雪問題に関係している。これらの研究から、現状の把握と問題点の指摘は、本研究の対象とする航空機、風力タービンの分野では概ねなされたと判断できるが、それでも未だ有効な手段がない、或は、より効率的(機能・経済面で)な手法の構築が求められている状況にあることが理解される。こうした中、防雪氷性塗料塗布による対策の検討が世界的に始まってきたが、現状、それ自身で防雪氷を完結しえる程度には至っておらず、化学的見地からもその実現は非常に困難であると考えられる。それ故、当該塗料は他の手段と併用されることで着氷雪防止に寄与することとなるが、ここで問題となるのが、塗料開発とその応用に際する両者の境界(橋渡し)の研究が殆どなされておらないことにある。本研究は塗料の航空機や風力タービンへの適用を念頭に、そこで発生する問題を抽出し、問題解決に必要な基礎知見を得ることを目的とするため、今後の同種塗料の利用に際し広く貴重な情報提供が可能となると考える。また、着氷風洞を有し、またこれまでの経験・知見、および他研究機関との連携も可能であることから、研究遂行の実行性は高くあると判断する。

3. 期待される効果

航空機、特に Jet 機の防水では、エンジンからの高温ガスの抽気を利用した加熱法(ブリードエア方式)が現在主流であり、今後は電気ヒータ方式への移行が想定される。電気ヒータの場合はブリードエア方式に比して防水面の温度上昇に制限があり、過度な

ヒータの具備は重量や必要電力の増加を招く。反面、着氷環境、あるいは、必要防氷部位に応じた制御が可能であり、かつ、配管を必要としないなど多くの利点が考えられる。本研究の成果は、この電気ヒータ利用に加え、超撥水性塗料の適切な塗布により（物理化学法）、着氷防止効果の増加と要求電力量の低下が期待できることにある。また、加熱法と物理化学法の組合せは、単に航空機の防氷のみならず、寒冷環境下で使用される気象観測機器、風カタービンプレード、電力輸送施設などにも適用が可能である。以上のように、先行研究例がなく、かつその効果が期待できうることから本研究の意義は高くあると判断する。

4. 研究の経過及び結果

4-1. 着氷現象における幾何学的相似則の検証

米国連邦航空規定 FAR-25 Appendix— C に従うと、航空機を対象とする着氷現象で想定する過冷却水滴径は $10 \sim 40 \mu\text{m}$ となる。風洞試験用供試体は一般に実機のそれと比較して小さい規模であるため（H28 年度試験も同様）、水滴径と航空機翼における幾何学的な相似則を満足しえていない。同時に、流体力学的な相似則の不一致にもつながる。そこで、大型の翼模型を利用できる米国 NASA Glenn 研究所にての風洞試験を計画した。試験は JAXA が主導し、米国 Notre Dame 大学、申請者と協力して、平成 30 年 2 月下旬に実施した。NASA Glenn 研究所着氷風洞内に設置した模型と、着氷試験後の模型上に発生した着氷の様子をそれぞれ図 1、2 に示す。これまでに本学の着氷風洞にて実施した結果と比して、同様の結果を得ることができ、翼の幾何学的相似則の成立することが確認された。本結果により、本学着氷風洞の性能が一定レベルで確保されていること、および、今後同様の試験は本学の風洞にて実施可能であることを確認できた。



図 1. 着氷風洞内設置翼模型



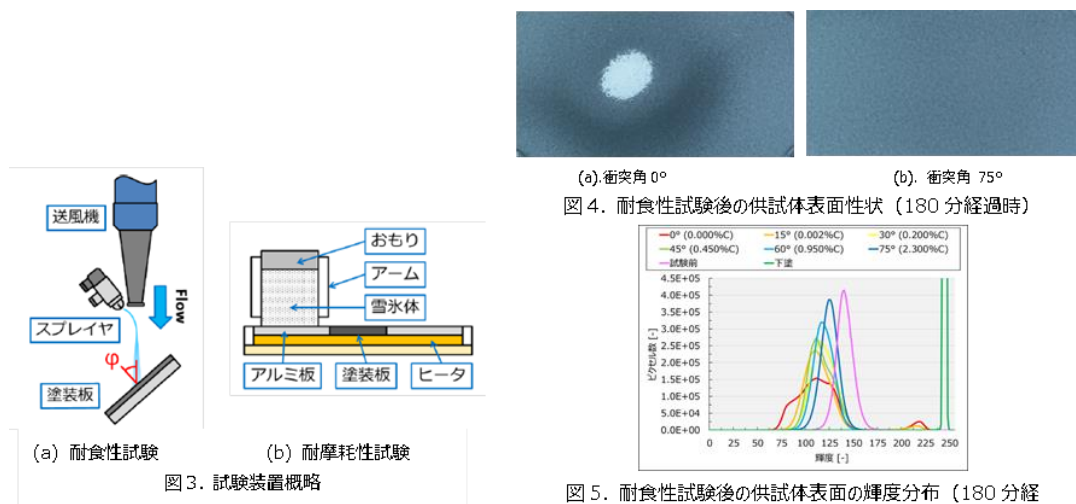
図 2. 着氷試験後の翼模型上の着氷

4-2. 塗装表面の浸食性評価法の確立

本研究では超撥水性塗料を有効に適用した防雪氷システム構築を目標としている。一

般に超撥水性塗料は、水滴等が高速で衝突した場合(図 1 参照)の耐久性に弱点を持つ。そこで水滴衝突現象の数値解析結果に基づき、これを補うよう前縁部は高耐浸食面を、後縁側には超撥水面を形成する手法を考案した。しかし、現実では雲中の水滴粒子径分布はかなりの程度の範囲に渡るため、撥水面への水滴の衝突も起こり得る。そこで、微小水滴の高速での衝突による塗装面の浸食性について試験装置を製作し(図 3.)、表面性状に与える微小水滴の影響を調査した。当該研究の先行例はなく、従って ISO 等による基準はないため、基準構築を将来的に計画する。本研究では、試験後の表面性状の評価基準として、従来から適用されている接触角と転落角に加え、新たに定義した損傷率(試験前後の塗装面の画像の輝度分布から損傷の程度を評価)と摩耗率(試験前後の塗膜面の厚さを測定)を用いた。

結果の一例を紹介する。図 4. に耐食性試験時 180 分経過時の供試体の表面状態を、図 5. にそれぞれの表面の輝度分布を示す。表面状態は試験の経過時間に比例して損傷の程度が増す。輝度分布も同様な傾向で明確な差異を呈しており、この評価法により損傷の程度を定量的に示しえることが言える。



4-3. 「加熱十物理化学的」法の翼以外の分野への展開

気象観測器は電気ヒータの組込みによる加熱法を利用する。既に加熱スタック型超音波風速計での撥水性塗料の防雪氷効果の高いことを風洞試験によって検証してきた。そこで、塗料の有無による実際の風計測に与える影響及び降雪・着氷環境時における塗料塗布の効果を評価するため風速計を着雪氷環境が期待できる野外に設置し、塗料の耐候性評価も含めて試験を行う。風データ取得に加え、Video により表面の観察を実施した。試験場所は山形県新庄市の防災科学技術研究所、共同研究として実施した。



図 6. 新庄における風速計設置状況

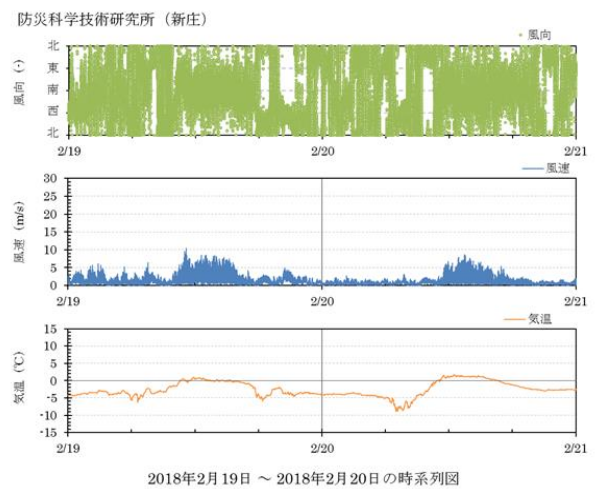


図 7. 新庄における風速計測結果

5. 今後の計画

本学の着氷風洞を用いた航空機用の防水塗料の研究は、外部機関との共同研究で継続される。本研究の手法、結果を応用することが期待される。

6. 研究成果の発表

Kimura, S. et al.: Development and verification of a new aircraft ice protection system using icephobic coating (Journal of Aircraft へ投稿予定)

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

平成 29 年度は、研究代表者が先に検討を進めていたパネル 1 枚についての I-V 特性からの判別手法を発展させて、より実条件的な条件となるアレイ構成における判別手法について以下の検討を行った。①ホットスポット発生時のアレイの I-V 特性を分析し、正常状態とホットスポットを区別できるような基本手法を開発した。次に、②研究代表者がこれまで開発してきたホットスポット検出手法との関係性についても明らかにした。さらに、③この開発した手法を昇降圧形 DC-DC コンバータの制御システムに組込んで、④スキャン速度と I-V 特性の関係を実験により明らかにし、診断に最適なスキャン速度を決定した。⑤各種条件下において判定が可能であるかの実証実験を行った。図 1 は実証実験システムの構成である。図 2 は異常判定のフローである。これらのシステムを用いて異常判定動作を行った例が図 3 である。47 秒時点でホットスポットセルに影を付加したところ、太陽電池出力が 40 [W] 付近まで低下した。ホットスポットセルに影が生じた場合、正常な場合と異なりバイパスダイオードが ON にならないため、ホットスポットセルの欠陥部抵抗 R に電流が流れ発熱が生じた危険な状態となっている。50 秒時点でスキャンが行われると、ホットスポットを検出したことでホットスポットフラグが ON になった。以上より、本システムはストリングの異常状態をリアルタイムで検出できることが確認された。これらの成果は、国内外の学会や展示会などで発表した。

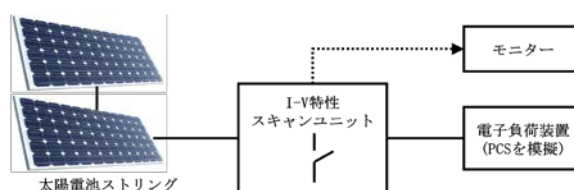


図 1 実証実験システム構成

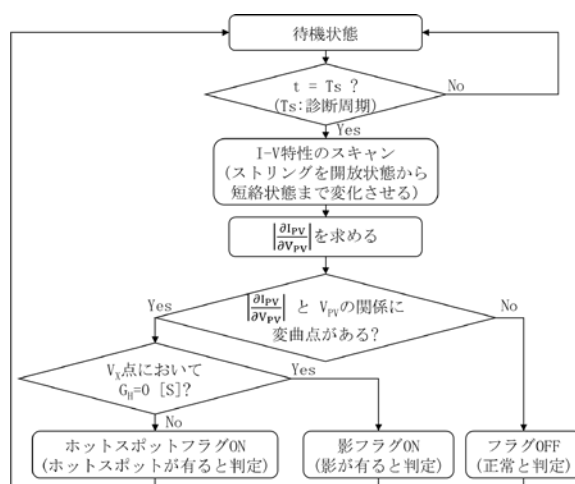


図 2 異常判定フロー

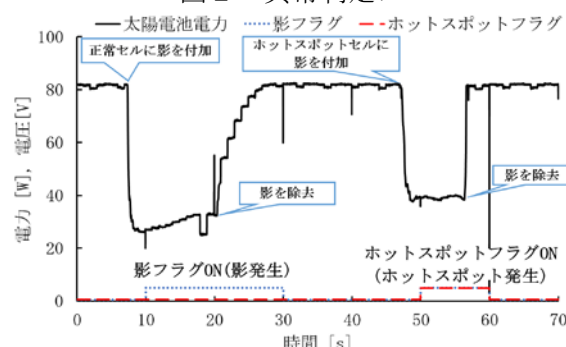


図 3 異常判定動作例

さらに、⑥申請の市販のパワーコンディショナ (PCS) を購入してその入力側の動作分析を行い、PCS と融合して動作させるためのユニットの制御アルゴリズムの構築を行った。

また、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提案し、特許出願を行った。

5. 今後の計画

今後は、特許出願を行った異常回避モードを含めた診断システムを構築するとともに、その有効性を検証する。また、その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も構築する予定である。さらに、この成果を PV Japan 2018 で発表する予定である。

6. 研究成果の発表

〈学会・展示会〉

【ジャーナル・学会誌】

1) N. Iiduka, K.Itako, M.Ochiai, B.Hossam ” Application of plug-in real time Hot-Spot detection system into PV peak bridge method in PV generation system” Journal of Advanced Science, vol.29,pp29101-1.~29101-4(2017)(査読付)

【国際学会】

1) K.Itako, N.Iiduka, T.Kudoh K.Koh,”Study on Real Time Abnormal Diagnostic System for PV Generation System”,Proceedings of ICNEA 2017(CD-ROM)(4pages)(査読付：添付資料)

【特 許】

1) 板子,”太陽電池の動作電圧制御装置” , 特願 2018-25880 (平成 30. 2. 16)

【展示会】

1) 2017 年 PV Japan2017 において研究成果発表

太陽電池用のバイパスダイオードに低損失型自己バイアスチャネルダイオードを用いた電気的特性の検討

研究者名：所属学科 電気電子情報工学科 氏名 工藤 嗣友

1. 研究の目的

太陽電池に使用されるバイパスダイオードは、一般的に低オン電圧が可能なショットキーバリアダイオード(以降：SBD)が用いられる。ところが周辺の温度が上昇すると SBD の逆方向リーク電流が増加し太陽電池の発電効率をより劣化してしまう問題がある。そこで、本研究では、SBD と同等、もしくはそれ以下を可能とした低オン電圧化と高温時における逆方向リーク電流の抑制を可能としたデバイスの開発を目的としている。このデバイスは、太陽電池パネルに影が入っても発電の劣化を最小限に抑えることに期待がもてる。

2. 研究の必要性及び従来の研究

太陽電池に使用されるバイパスダイオードは、低オン電圧を可能とするために金属の仕事関数の小さい材料を用いている。本研究室で動作確認用として Ti-SBD と Cr-SBD を試作し温度依存性に対する電力損失の特生取った結果を図 1 に示す。Cr-SBD は約 140℃付近、Ti-SBD は約 90℃付近より熱暴走を起こしていることが判った。よって、夏場の環境で、これらの SBD を用いると影が入ったときのバイパスダイオードの電気的動作に問題が生じる。

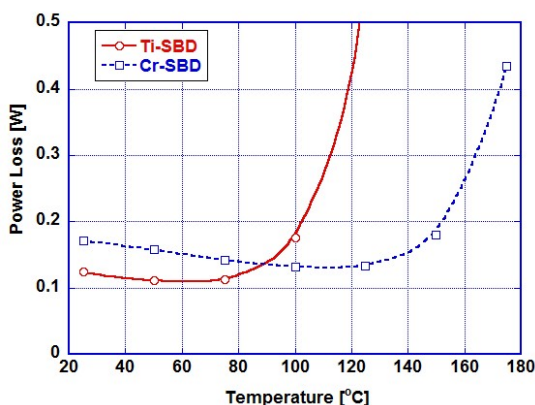


図 1 電力損失特生

3. 期待される効果

そこで、本研究では、自己バイアスにより 2 端子化を図った自己バイアスチャネルダイオード(SBCD: Self-Biased Channel Diode)を 2 種類提案し、その構造を図 2 に示す。このデバイスは DMOSFET 構造を有し、MOS ゲートのしきい値電圧の低減化により、低オン電圧化が可能であり、MOSFET 動作により

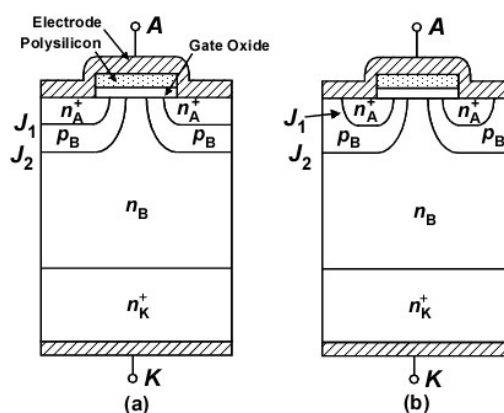


図 2 提案構造 (a) NBS-SBCD, (b) BS-SBCD

温度増加に対する電力損失の増加割合も小さく、熱的に安定した動作が得られている。図 2(a)は、アノード側の n^+ 層が全面に形成されているノンボディ型自己バイアスチャネルダイオード(以降：NBS-SBCD)、図 2(b)は、アノード側の P 層とアノード電極を短絡したボディ短絡型自己バイアスチャネルダイオード(以降：BS-SBCD)で、両デバイスともゲート電極とアノード電極が短絡した構造である。これらのデバイスのポイントは、設計時においてゲート電圧が 0[V]でも MOS ゲート直下に弱い n チャネルを形成するよう、拡散密度、深さ、ゲート酸化膜厚さを調整しながら設計している。よって、低い電圧から電流が流れるようになり低オン電圧化を可能としている。両デバイスは、ユニポーラ動作とバイポーラ動作の丁度中間に位置する動作を期待しているため、少数キャリアデバイスでみられるスイッチングロスの増加や多数キャリアデバイスにみられるオン電圧の増大などの改善に期待がもてる。

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、試作したCr-SBDとデバイスシミュレーターによる解析で得られたNBS-SBCD、BS-SBCD の 75°Cの結果を示す。BS-SBCD のオン電圧値は、他のデバイスと比べて小さい結果が得られた。これは、基板バイアス効果により電子促進効果によってオン電圧が小さくなったと考えられる。一方で、図 4 は、-5[V]までの逆方向リーク電流の特性を示す。オン電圧の高いCr-SBD は、逆方向リーク電流が小さくなっているが、SBCD は多少

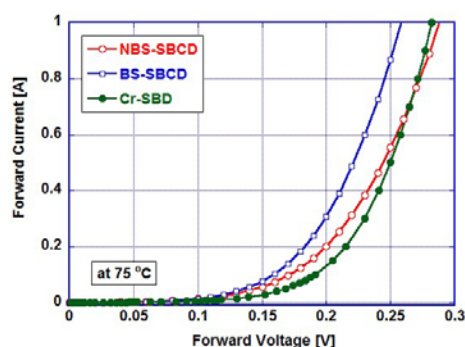


図 3 75°Cにおける順方向特性

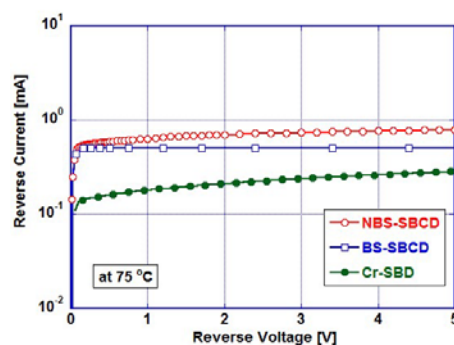


図 4 75°Cにおける逆方向特性

のリーク電流が大きくなる傾向が見られるもののリーク電流が抑えられているのが確認できた。

図 5 は、75℃における各素子のスイッチング特性（逆回復特性）を示す。逆回復特性の結果より、2 つの SBCD とともに正孔の蓄積効果が若干発生している。これは、逆方向になった瞬間、 J_2 接合から空乏層が延び、この接合に電界が集中、空乏層内で正孔が発生し、損失の原因となっている。ただし、定常状態になると正孔が速やかにアノード側に排出しており、スイッチング動作上問題無いと考えている。一方、Cr-SBD は、多数キャリアデバイスのため SBCD のような蓄積効果が無いのでスイッチング損失が、元々少ない特性である。

図 6 は、2 つの SBCD と Ti-SBD、Cr-SBD の電力損失の結果である。提案している SBCD は、100℃以上でも熱暴走を起こしていないことが判った。よって、SBD よりも熱耐圧に強いことから太陽電池のバイパスダイオードとして、特に夏場の温度が高い環境でも発電効率の劣化を抑える効果に期待がもてる。

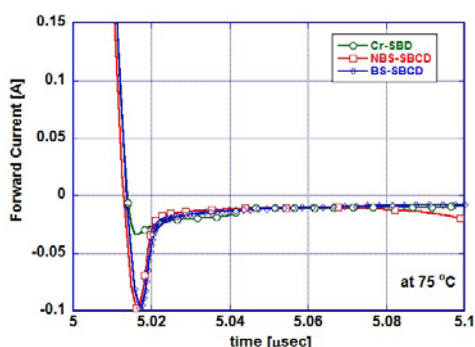


図 5 75℃における逆回復特性

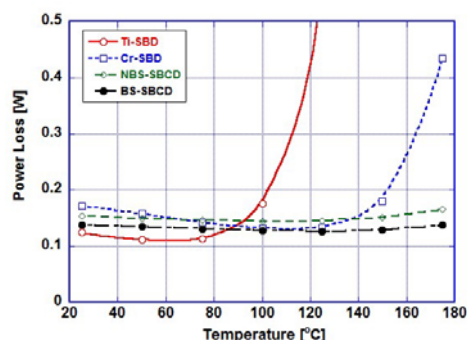


図 6 75℃における逆回復特性

太陽電池に関する過渡応答シミュレーションは、図 3 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 8 は、75℃におけるバイパスダイオードに NBS-SBCD と Cr-SBD をそれぞれ用いた場合で Solar2 に光の照射から遮

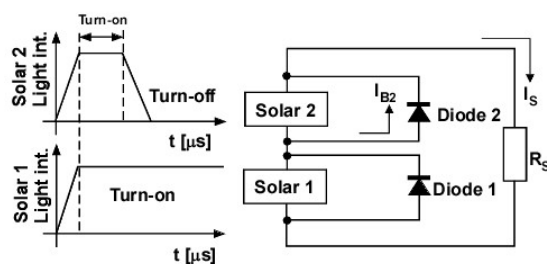


図 7 シミュレーションで採用した回路図

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 9 は、BS-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。この結果より、提案したデバイスは、周囲の温度が高い地域や夏場の環境でも発揮できると期待出来る。

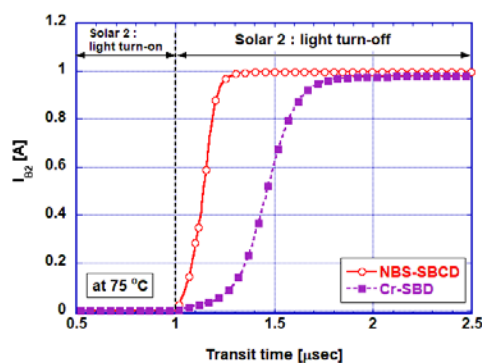


図 8 75℃におけるバイパスダイオード 2 に流れる電流特性

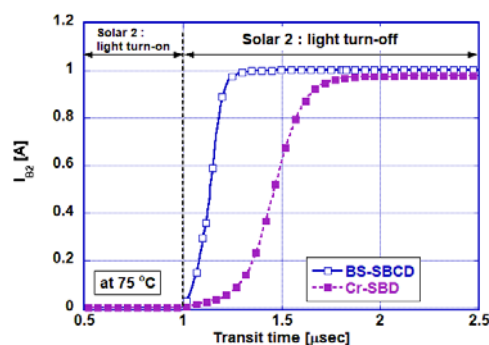


図 9 75℃におけるバイパスダイオード 2 に流れる電流特性

5. 今後の計画

本提案デバイスは、以下の項目を実施し特性の改善を行いたい。

- ・NBS-SBCD の耐圧は、約 30[V] と低く、使用用途が狭いため耐圧を向上するような構造の設計
- ・SBCD の更なる集積化（トレンチ構造の導入の検討）
- ・レイアウト設計の見直し
- ・ゲート酸化膜形成の確立（薄膜のため面分布のバラツキの改善）
- ・ポリシリコンゲートの形成の確立

6. 研究成果の発表

T. Kudoh, F. Sugawara and H. Tsushima, “A Study of Electrical Properties When Low-Loss, Self-Biased Channel Diode are Used as Bypass Diodes for Photovoltaic Panels”, 2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), pp. 614-617 Nagoya.

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

2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波及効果による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、学内使用電力のモニタシステムを開発し、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。また、定期的な運動が精神的な健康維持や向上にも寄与があるという報告もある。一方、循環型社会、サステナブルな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。

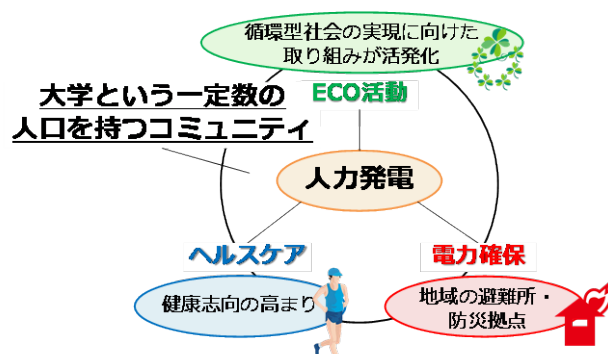


図1 人力発電システムのコンセプト

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

電力利用の最適化の必要性は論を俟たない。特に震災以降、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きた。しかし、現状では各学部、学科の事情もあり、全学として取り組む状況にはないと思われる。このため、現段階として学内の使用電力状況の蓄積とリアルタイムでブラウザを介してモニタするシステムを開発し（H24年度）、以降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、日常的に利用しているシステムであることが重要であり、そのスキーム、運用体制の確立が必須である。

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)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と電力利用の最適化

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。

<http://i.power-monitor.kanagawa-it.ac.jp/>

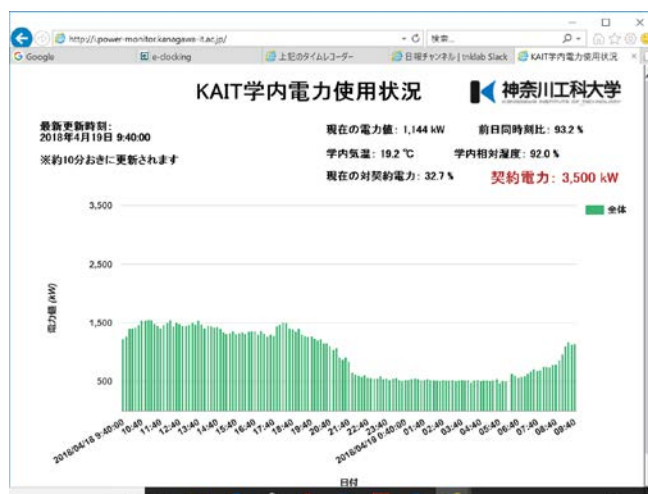


図2 学内電力使用状況

(2) 人力発電バイクシステムの開発と運用

(2-1) ECO 推進用 人力発電バイクの開発と運用

H26 年度に着手した ECO 推進用 人力発電バイクに関しては、ユーザである ECO 推進チーム“みどり”の要望を踏まえて、H28 年度に二次試作システムを設計、開発し、“みどり”によって定常運用を行っている。得られた充電型の電池（エネループ）を学内で利用、再充電している。発電電力の推移を図3に示す。

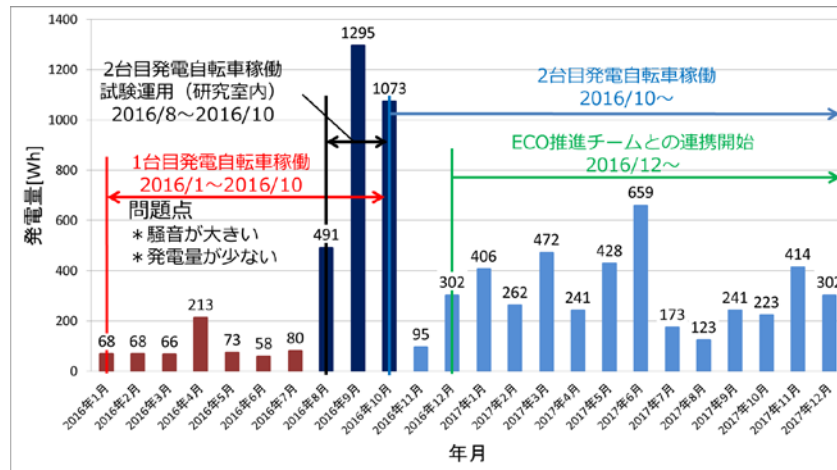


図3 ECO推進用電力発電バイクの運用状況

(2-2) KAIT アリーナ設置用電力発電バイクの開発と運用開始

より多数のユーザの獲得、より大きな発電電力の確保を目的に H29 年度は、KAIT アリーナ設置用の電力発電バイクを開発した。前試作発電バイクとの比較を表 1 に示す。また、KAIT アリーナ トレーニングルームへの設置状況を図 4 に示す。ここには、可搬型リチウムイオンバッテリーへ充電可能な構成とするとともに、スマートフォンの充電スポットの提供、エネルギーへの充電を可能とする構成を実現している。

表 1 発電バイクの比較

	ECO推進室設置	KAITアリーナ設置
対象ユーザ	ECO推進チームみどりのメンバー	トレーニング目的の人
設置場所	K2 4F ECO推進室	アリーナ2F トレーニングルーム
発電バイクへの基本要件	・ ござやすさ ・ 実際の路上に近い感覚 ・ 平均発電電力目安：40~100W	・ 耐久性 ・ 利用者の姿勢の最適化 ・ 平均発電電力目安：100~200W
バイクの調整部	・ サドルの上下位置	・ サドルの上下位置 ・ ハンドルの前後位置 ・ ハンドルの上下位置
発電情報管理部	開発 http://kait-humanpowergeneration.appspot.com/	左記開発システムを利用
電力供給対象	・ エネルギー ・ 220Wh蓄電池	・ 1900Wh蓄電池
充電制御器	・ 接続負荷によってペダルの負荷が決定	・ ペダルを漕ぐ力によって発生電力が決定



図4 H29 年度試作電力発電バイクの KAIT アリーナへの設置

5. 今後の計画

H30 年度は、学内使用電力のモニタシステムの運用を継続、ECO 推進チーム“みどり”で運用している人力発電システムの運用と保守の支援を継続するとともに、H29 年度開発した KAIT アリーナ設置の人力発電バイクの本格運用を開始する。そして、学内でのエネルギー利用を促進し、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)海老原 樹，大賀 佑基，谷代 一哉，田中 博，“学内定常利用のための情報技術と連動した発電自転車システムの開発”，神奈川工科大学研究報告 B 理工学編 第 42 号，March, 2018, pp1-8 (ISSN 2188-2878)

(2)田中 博，大賀 佑基，谷代 一哉，倉石 誠也，菊池 由美，久保田 昌彦，“学内の ECO 推進のための人力発電システムの運用状況と現状の取り組み”，IT を活用した教育シンポジウム 2017, pp. 69-72 (ISSN 2432-0285)

クローラー型 Solar EV の研究

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

自走式脱穀機を EV にコンバートしたクローラー車両に屋根として太陽電池パネルを設置し、走行時に必要な電力と計測用電力を自給する Solar EV とするとともに、消費電力や太陽依存率を明らかにすることが目的である。本研究では、砂利地、草地、アスファルト舗装路において走行時の消費電力と 3 軸加速度を計測するものとした。

2. 研究の必要性及び従来の研究

従来のソーラーEV は、アスファルト舗装路を走行する前提の 3 輪車ないし 4 輪車が一般的であった。農業用や被災地、不整地でも移動および走行ができる Solar EV の開発がなされれば、将来にわたってモビリティの確保が可能となる。廃棄される自動式脱穀機を改修してコンバート型の EV にすることで、循環型社会の実現を図るという側面もある。

3. 期待される効果

持続可能なモビリティに資するエネルギーの自給可能性を示すとともに、エネルギーの地産地消、農工連携の一助となることが期待される。本学の特徴である 3V 自動車開発プロジェクトの教育成果を研究発表することで学生の取り組みを広く知って頂ける側面もある。

4. 研究の経過及び結果

冬季の 30°前後の低い太陽高度であっても、晴天時には平地の走行時に必要な電力の 40%程度を走行時の発電のみで得られた。走行時の垂直方向振動加速度と消費電力との間に直接の関係はみられなかった。本研究はアブダビ (UAE) で開催された査読付き国際会議 ISES SWC 2017/IEA SHC にて発表し、フルペーパーは Proceedings に採択されるという成果が得られた。

5. 今後の計画

本研究の成果を活かして、9 月にスイスで開催される EuroSun2018 にて上部加熱式太陽熱サイフォンの研究発表を行う予定である。

6. 研究成果の発表

[1] Toru Fujisawa, Yuki Nemoto, Takashi Kawaguchi, “Study on Crawler-Type Solar EV”, ISES Solar World Congress 2017, WED-19, (2017.11), Abu Dhabi.

以下, Proceedins から転載します。

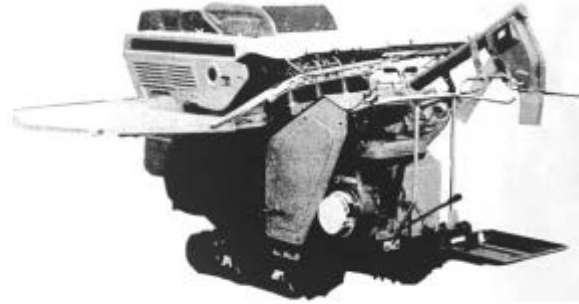


Fig. 1: Oshima MK-100 thresher

Tab. 2: Specifications of major components for converted crawler-type Solar EV

Battery	Motor	Inverter	PV module	Tracker	Pyranometer
VRLA 12 V $\times$ 4, 20 Ah	FBLM86 PMSM 660 W	BLD4820 ≤ 1200 W	MD-HH210T 210 W	Boost PT-209U	Silicon sensor ML-020VM

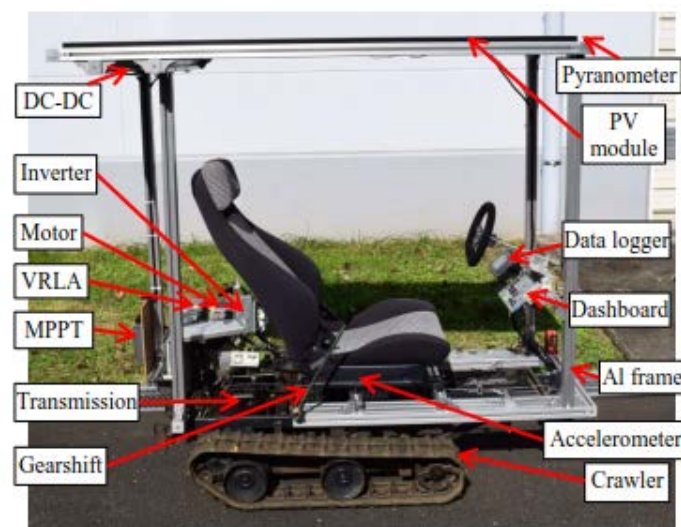


Fig. 2: Crawler-type Solar EV

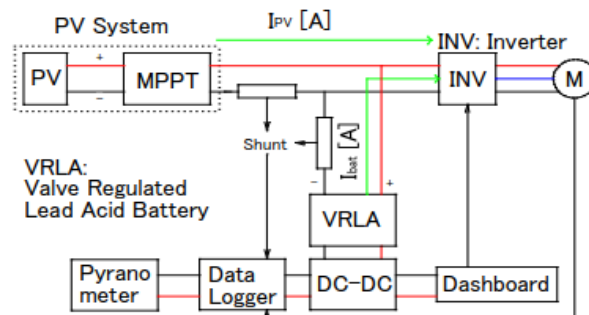


Fig. 3: Block diagram of electrical system



Fig. 4: Converted crawler-type solar EV (Left: outdoor charging in summer, Right: in a garage in winter)

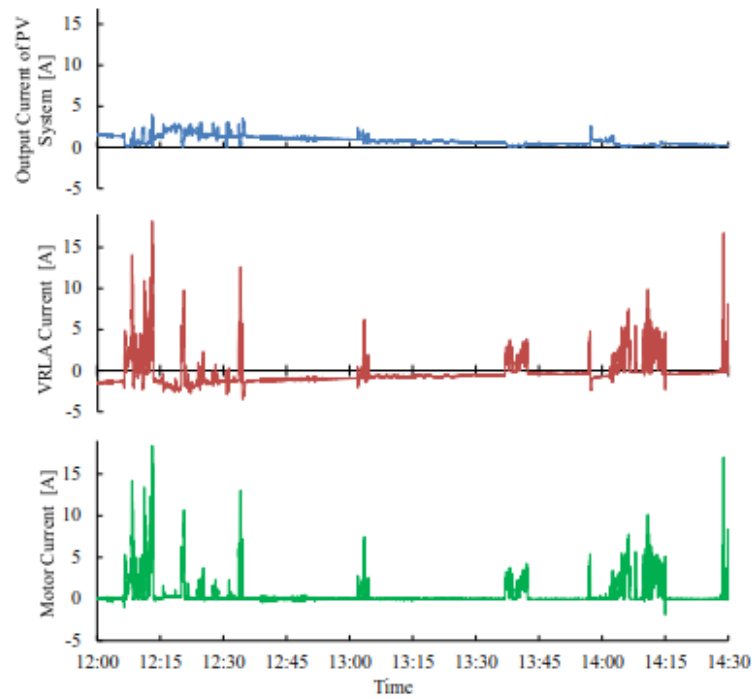


Fig. 5: Motor current and PV system output current in summer (climbing backward a step from asphalt to greenbelt ground)

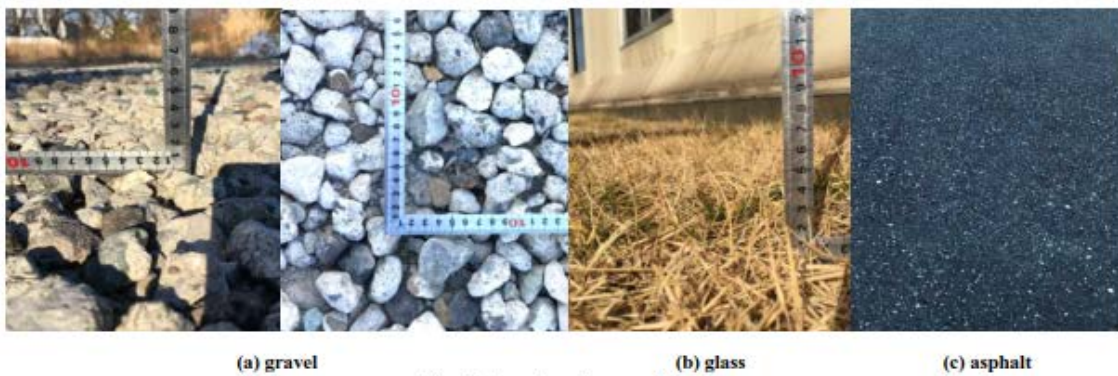


Fig. 7: Ground surface conditions

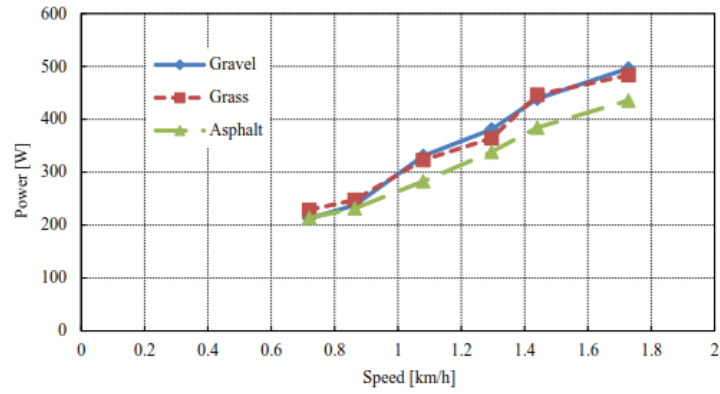


Fig. 8: Speed vs. average power consumption for three different roads

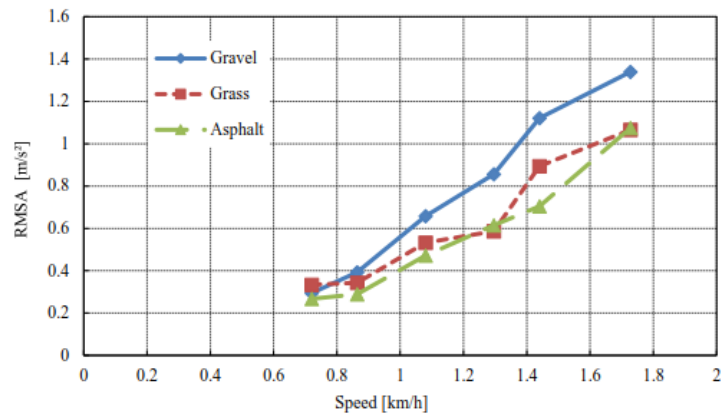


Fig. 9: RMS acceleration of vertical direction (z-axis) vs. vehicle speed

Tab. 3: Solar fraction of crawler-type solar EV on different flat surfaces on a clear winter day

Motor Speed	Gear	Speed [km h ⁻¹]	Gravel	Grass	Asphalt
			15th Dec 17	26th Jan 17	21st Jan 17
1000 [rpm]	First	0.720	60.9 %	56.6 %	60.6 %
	Second	0.864	54.5 %	52.3 %	55.9 %
1500 [rpm]	First	1.08	39.2 %	40.1 %	45.8 %
	Second	1.30	34.0 %	35.6 %	38.3 %
2000 [rpm]	First	1.44	29.5 %	29.0 %	33.7 %
	Second	1.73	26.1 %	26.8 %	29.7 %
Average			40.7 %	40.1 %	44.0 %
Peak Irradiance [W/m ²]			645	527	637
Solar Altitude [deg.]			30.9	25.9	34.8

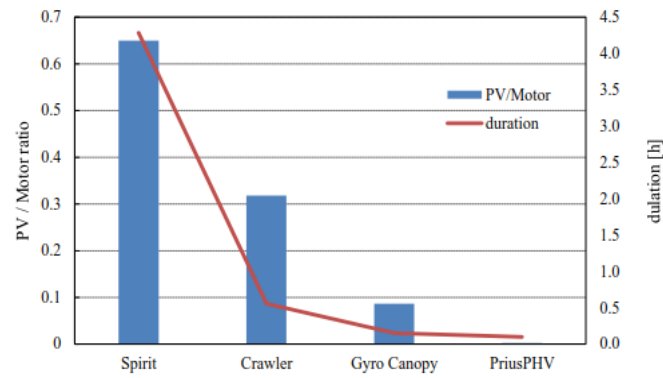


Fig. 10: The ratio between PV and power ratings