

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 9 号

平成 27 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、太陽エネルギー利用に関わる先進的な研究を遂行している。

本研究所の使命は、エネルギー創出、蓄積・利用、マネジメントの 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ある。

本年度は、各所員が精力的に研究している中、2016 年 1 月には熊本で大きな余震の後に本震がくる特異な地震があり、どこでも利用できる太陽エネルギーを活用した災害支援について改めて考えさせられ、その実現には、各所員の優れた要素技術の研究と共にそれらのシステム化が重要であることを再認識させられることとなった。このことを踏まえ、さらなる研究の推進を誓うものである。

本研究所の成果を本文に記載する共に、研究活動の一部は「厚木商工会議所ビジネス交流会」、「川崎国際環境技術展 2016」等に出展したことを併せて報告させていただく。

目次

1. サーモサイホンにおける制御システムの研究（実験装置の特性確認）
機械工学専攻 川島 豪 1
2. 間歇充電式新電気バスシステムに関する基礎研究
（電気バスシミュレータによる消費エネルギーの検討）
機械工学専攻 川島 豪 5
3. 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
電気電子情報工学科 板子一隆 12
4. 塗料を用いた防除雪氷対策の構築と検証
機械工学科 木村 茂雄 16
5. 植物を利用した持続可能な移動システム
自動車システム開発工学科 高橋良彦 20
6. IT を活用した創生電力マネジメントシステム
情報工学専攻 田中 博 22

サーモサイホンにおける制御システムの研究 (実験装置の特性確認)

研究者名：機械工学専攻 川島 豪

1. 研究の目的

広く分布しているが低密度の太陽エネルギーを有効利用するには、小規模なパワープラントをいたるところに設置する必要がある。本研究では、日本においてあまり利用されていない太陽熱に注目し、分散型で省エネルギーな集熱システムを、サーモサイホンを応用して確立する。サーモサイホンは、図1に示す1日の流量変化からわかるように集熱量の多い昼間は安定した

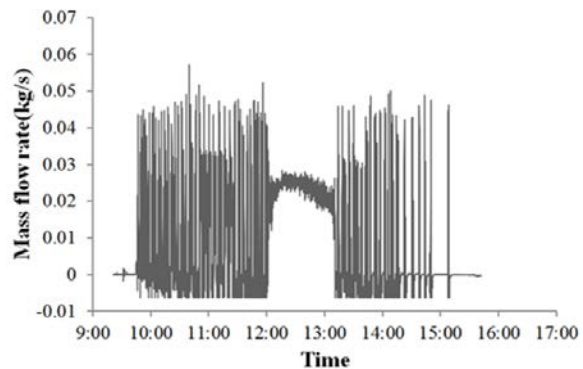


図1 サーモサイホン実験結果

循環が得られるが、少ない朝と夕方は流量が大きく変動し、安定した温水の循環が得られない問題がある。実用化するには安定な循環を持続させ、定常な熱移動を実現する必要がある。そこで、制御システムを適用して定常な熱の移動を実現する。さらに、外部からの動力を必要としないというサーモサイホンの特徴を犠牲にしないため、制御システムに必要な電力は太陽光発電、もしくはハイブリッドパネル（太陽光パネルの下に太陽熱温水器を設置したもの）で発電して供給する。すなわち、エネルギーハーベスティングを実現する。

本年度は、昨年度に作成されたサーモサイホン模型の特性を確認し、制御システムの適用を検討する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

2011年3月11日に起きた東北地方太平洋沖地震とそれに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取制度が始まり、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、一時的に二酸化炭素に代表される温室効果ガスの排出が増加しており、温室効果ガスの削減は喫緊の課題である。この現状を打破するには、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。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研究され、実用化されつつある。日本では、太陽光発電が普及する以前に風呂用に太陽熱温水器が流行した。しかし、木造住宅の屋根に重量のある太陽熱温水器を設置することの危うさなどにより廃れてしまった。現在のエネルギーの主流は何にでも使える電力であるが、温水など熱で利用する量も少なくない。したがって、天候に左右され難い太陽熱の有効利用は重要な研究課題である。本学では、故伊藤教授が太陽熱の有効利用を目指して上部集熱式サーモサイホン（図2に示すように、太陽熱温水器で温められた低圧の循環水が沸騰し、その慣性で温水を循環させるシステムで、電力を使用しないことが特徴）の研究に着手し、ハイテクリサーチセンターに応募、補助金を得て基礎データを蓄積、プレハブを利用したモデルハウスにサーモサイホンを構築した。その後、吉田教授（2015年3月退職）が引き継ぎ、4 m程度の揚程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。このようにサーモサイホンは本学の特色ある研究となっている。

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。

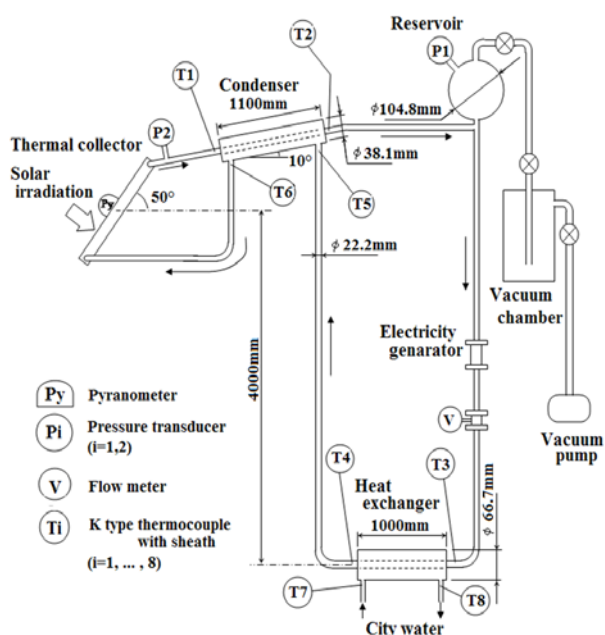


図2 サーモサイホンシステム図

4. 研究の経過及び結果

昨年度製作された実験装置を用い、液溜め圧力および蒸発器への入力エネルギーを変化させて管内流速およびその安定性を調べた。液溜め圧力を -90 kPa に設定し、蒸発器に 100 W のエネルギーを供給した場合の結果を図3に示す。このとき、手動で液溜め圧力を -90 kPa を保つように調整した。実験装置全体の温度分布 (T1~T8) が定常になると安定した流れ (Q: 空色) が得られること、圧力 (-P: 深緑色) 制御により安定した流れが維持できることが確認できる。しかし、凝縮／再生器の性能不足により、ほとんどのエネルギーが液溜めまで移動して減圧の際に失われてしまい、エネル

ギー移動という観点からは効率の悪いことが明らかになった。鉛直に設置されている凝縮／再生器を、長くして水平から僅かな角度を持たせて設置することで効率的な熱交換が行われるように改良するとともに、蒸発器を実験装置の上側に設置してトップヒート型にすることが次年度の課題である。

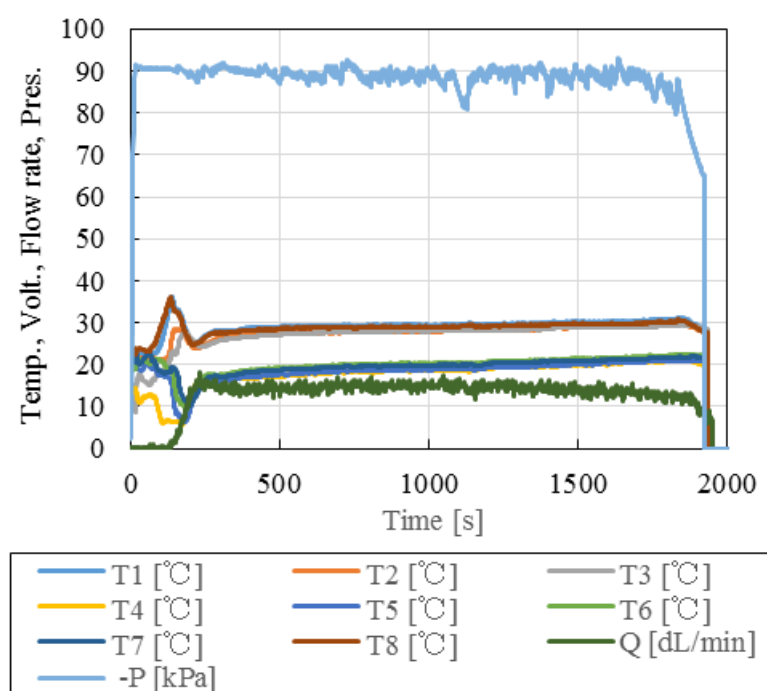


図3 サーモサイホン実験装置の結果

5. 今後の計画

本年度に特性を確認したサーモサイホン模型をベースに制御システムを開発していく。まず、本年度の実験で明らかになった問題点を解決する。蒸発器の設置位置を上げてトップヒート形とし、凝縮／再生器で凝縮が生じるよう、熱交換が行われる距離を長くして僅かな傾斜を持たせるように改良する。

次に、実験装置に関するサーモサイホンの理論モデルを構築し、液溜めの圧力を変化させて温水の循環を安定させる制御システムを設計する。

制御アクチュエータを開発する。このとき、商用電源を使わないで制御できるよう、エネルギーハーベスティングを実現する。

サーモサイホン模型に開発したアクチュエータを設置し、設計した制御システムをインプリメントしてサーモサイホンにおける温水の安定した循環が得られることを実証する。

6. 研究成果の発表

な し

間歇充電式新電気バスシステムに関する基礎研究 (電気バスシミュレータによる消費エネルギーの検討)

研究者名：機械工学専攻 川島 豪

1. 研究の目的

地球温暖化の原因である二酸化炭素に代表される温室効果ガスを削減することは持続可能な社会を構築する上で急務である。我々は、バス停が地域に分散していることに着目し、低密度分散型の自然エネルギーを有効に活用でき、二酸化炭素を排出しない新交通システムとして、20 秒程度の乗客の乗降時間を利用してバス停ごとに再生可能エネルギーから発電された電力をバスに供給していく間歇充電式新電気バスシステムを提案、その有効性をゴルフカート、一人乗り電気自動車、ミニバンを改造したバス模型による実験により確認してきた。

提案している間歇充電式新電気バスシステムにおける最も大きな特徴は、バス停ごとに充電するため、搭載する蓄電装置の容量を小さくできることである。すなわち、電気バスが実用化できない最も大きな原因である蓄電装置の容積と重量を減らせることである。この特徴を生かすためには、提案している電気バスがバス停間で消費するエネルギーを推定し、運転を継続するために必要な最小限の容量の蓄電装置をバスに搭載する必要がある。そのためには、消費エネルギーを計算するシミュレータが必要となる。すなわち、バス路線の道路情報（距離と勾配）から路線を加速走行・定速走行・減速走行からなる走行パターンの組み合わせに分割（一般的には信号間）し、各パターンでの最高速度、最低速度およびペダル位置（電気自動車の場合はトルク率となり加速度に関係）を入力し、走行パターンと供給エネルギー、回生エネルギーを出力するシミュレータである。そこで著者らはバス停間の回生エネルギーを含む走行エネルギーを計算するシミュレータの構築手法について提案し、一人乗り電気自動車や乗客数の影響を確認することのできるミニバンを改造したバス模型でその有効性を確認してきた。さらに一人乗り電気自動車やミニバンの加減速および低速走行実験の結果を外挿して実際の路線バスシミュレータを構築し、シミュレーションを実施、その結果よりバス停における給電システムおよびバスに搭載する蓄電装置などの設計例を示してきた。

本年度は、一人乗り電気自動車の実験結果より得たパラメータを外挿して構築したシミュレータを用いて、路線上に坂がない場合、減速度を一定に保つため回生ブレーキに加えて機械ブレーキを併用した場合、回生ブレーキの特性を改善した場合、最高速度を上げるためにモータと車輪の間にギアを挿入した場合などについてシミュレー

ションし、結果を比較検討した。

2. 研究の必要性及び従来の研究

地球の環境を維持していくには、二酸化炭素に代表される温室効果ガスの削減が喫緊の課題である。しかし日本では、京都議定書の目標（基準年比 6 % 減）を森林等吸収源や京都メカニズムによりようやく達成したのが実情である。二酸化炭素の排出を削減できない原因の 1 つは、広く分布しているがエネルギー密度の低い自然エネルギーを有効に活用するインフラの整備が遅れていることと考える。我々は、このような状況において、公共交通機関は率先して二酸化炭素削減に貢献すべきであると考え、その解決策の 1 つとして、再生可能エネルギーを利用した間歇充電式新電気バスシステムを提案している。その概略図を図 1 に示す。

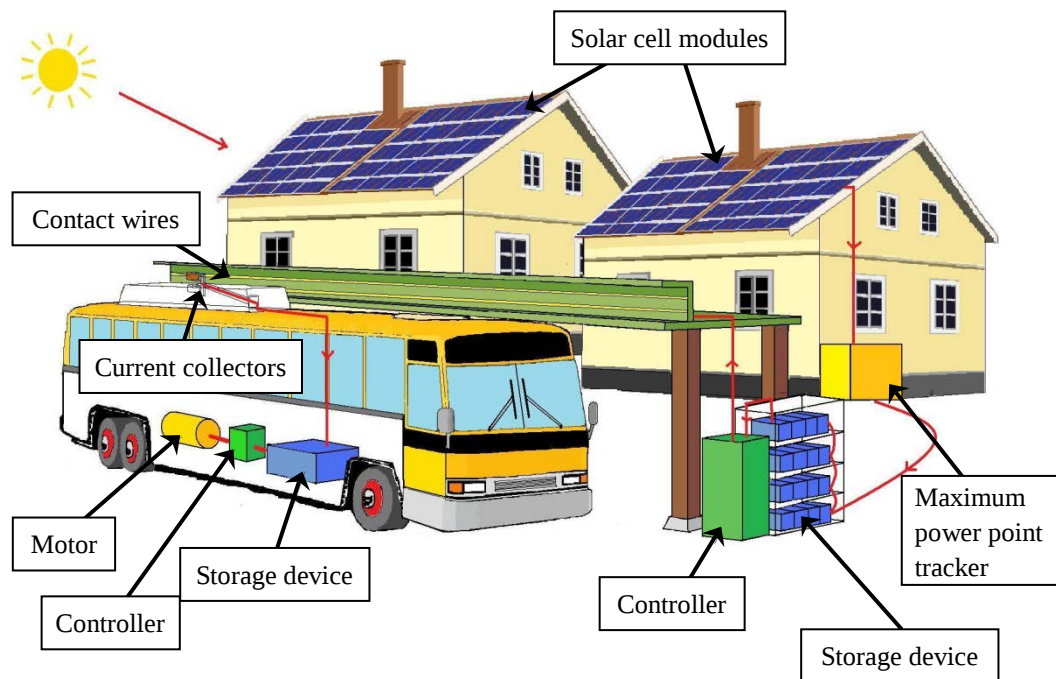


Fig. 1 Illustration of the proposed public transportation system in which an electric bus is charged at every bus stop using power generated from solar energy sources.

路線を電気バスで運行すれば二酸化炭素の排出を 50%程度に削減できる。さらに、再生可能エネルギーにより発電された電気で運行すれば二酸化炭素の排出を完全に抑えられる。しかし、Li-ion 電池が蓄えられる質量当りのエネルギーはガソリンの約 1/100 で、搭載できる電池の制約から電気乗用車でも 1 回の充電による走行距離は 150 km 程度に留まっており、大型バスでは内燃機関ほどの利便性が得られない。一方、「モデルシフト」に代表されるように環境面から鉄道輸送が見直されている。鉄道は架線よ

り電力の供給を受けるため蓄電装置を搭載する必要がない。バスではトロリーバスがこれに相当する。しかし、路線全線に張る架線のコスト、架線による大型トラックなどの通行障害、景観への悪影響などの点から、現在、日本では他の車両がほとんど通行せず、環境への配慮が最優先される黒部立山アルペンルートの特設トンネル区間に2路線残るのみである。これらの問題を解決するシステムとして、電気バスとトロリーバスの長所を組み合わせた間歇給電式電気車両システムが提案されている。停留所のみ架線を張り、トロリーバスのように集電装置を有する車両が停留所に停車しているときおよび最もエネルギーを必要とする発進・加速時に架線から電力の供給を受けるシステムで、車両には基本的に次の停留所までのエネルギーを蓄えておけばよく、搭載する蓄電装置の量を軽減できるシステムである。さらに、架線は停留所のみ張られることから、ほかの車両の通行障害となることや景観へ悪影響を及ぼすことのないシステムでもある。

著者らは、路線バスのバス停が広範囲に分布していることに注目し、間歇給電式電気車両システムが分散型の再生可能エネルギーを有効に活用できると考え、このシステムを発展させ、再生可能エネルギーを利用する間歇充電式新電気バスシステムとして提案してきた。乗客の乗降のためバス停に停車している20秒程度の間に、バス停周辺に設置された太陽電池などにより発電されたグリーン電力をバスに急速充電するシステムで、実現すれば運行中に二酸化炭素を全く排出しない公共交通機関となる。このシステムを実現する上での問題点を抽出し解決するため、まず、集電装置を搭載し、鉛電池をキャパシタに交換してDC-DCコンバータによりキャパシタの出力を安定させた一人乗りゴルフカートを用いた模型実験により、システムとしての実現可能性を示すとともに、実際に路線バスの運行に必要なバス停ごとの太陽電池の面積を試算した。次に、急速充電が必要となるこのシステムの蓄電装置としてLi-ion電池とキャパシタを比較し、それらの搭載量の計算方法を提案、その有効性をLi-ion電池またはキャパシタを搭載した一人乗り電気自動車による模型実験により確認した。さらに、急速充電するためのバスとバス停間の制御用信号の通信に架線を利用すると架線の本数が多くなることから、無線式充電電圧制御システムを開発し、実験によりその有効性を確認してきた。そして、単純な間歇充電式電気バスのシミュレータについて構築法を提案し、その有効性を一人乗り電気自動車を用いた実験により確認した。また、バスのシミュレータでは、乗客数の変化を考慮する必要があることから、学内で走行でき、乗員数を変化させられるミニバンに注目し、電気自動車に改造(EVコンバート)して提案しているシステムの実現可能性と乗員数による影響を調べ、加速・減速実験を実施してパラメータを決定し、ミニバン用シミュレータを構築してきた。

類似の交通システムとしては、中国・上海においてキャパシタを搭載したトロリーバスによる架線レス交通システムが実用化されている。本研究で提案しているシステムは、自然エネルギーを利用する点と、バス停に停車中のみならず発進・加速時にも

電力を供給することで停車時間を短くしている点異なる。また、日本においても 2008 年春に羽田空港のターミナル間輸送に非接触給電式のハイブリッドバスによる試験運行が実施されたが、乗客の乗降時間に合わせた秒単位の給電には至っていない。また、ドイツの Mannheim でも 2013 年より非接触充電バスの試験運行が実施されている。一方札幌市電において、2007～2008 年の冬にリチウムイオン電池もしくはニッケル水素電池を搭載し、架線のない区間でも電力の供給なしに走行できる 2 種類のハイブリッド式バッテリートラムの試験運転が実施された。これは、架線区間で充電し、無架線区間を蓄電池により走行するシステムで、既存の路線に新たな路線を延長する場合に架線などの設備コストを抑えることを目的としたものである。JR 東日本は烏山線に気動車にかわり電化区間とターミナル駅で充電し、非電化区間を蓄電池で走行する蓄電池駆動電車 (ACCUM) を 2014 年 3 月より運用している。

3. 期待される効果

ディーゼルエンジンで駆動している路線バスを、二酸化炭素を排出しない間歇充電式新電気バスシステムに置き換えることで、再生可能エネルギーを有効に活用できるようになり温室効果ガスの排出削減に多大な貢献が期待できる。さらに、本システムにより構築された分散型発電ネットワークは、マイクログリッドさらにはスマートグリッドの中核を成しえ、災害時の非常用電源としての役割も担うことができる。また、エネルギーの「地産地消」を具現化するもので、効率的な再生可能エネルギーによる電力供給にも貢献しうるシステムである。加えて、停留所のみに架線を張るので景観への影響が少ない公共交通機関としても期待できる。将来的には、電気自動車が普及するとそこに搭載されているバッテリーの大量廃棄が始まり問題となる。搭載蓄電装置の量が少ない本システムは、このような環境問題にも貢献できるものである。

本年度の各種路線におけるエネルギー収支のシミュレーション結果は、提案している間歇充電式新電気バスシステムの実用化を検討する際の有益な資料となる。

4. 研究の経過及び結果

まず、昨年度構築した一人乗り電気自動車のパラメータを外挿して構築した電気バスシミュレータを用い、始点より 3.76 km に勾配 2.68 % で距離 410 m, 6.94 km に 2.98 % で 335 m, 7.38 km に 5.88 % で 85 m, 7.78 km に 4.10 % で 170 m の坂を有する「厚木バスセンター」から「神奈川工科大学前」を経由して「蔦尾団地」に至る路線を選び、往復をシミュレートした結果を示す。なお、バスの走行を、加速走行、定速走行（距離によってはない場合がある）、減速走行を 1 つのパターンとし、路線を 85 パターンに分割した。車両速度および回生電力を含む消費電力の変化を図 2 に、バスに搭載されている蓄電装置を容量が 60 MJ の Li-ion 電池と仮定し、急速充電を実現するため充電状態 (SOC: State of Charge) が 60 % で始発停留所を発車するものとした場合の SOC

の変化を図 3 に示す。

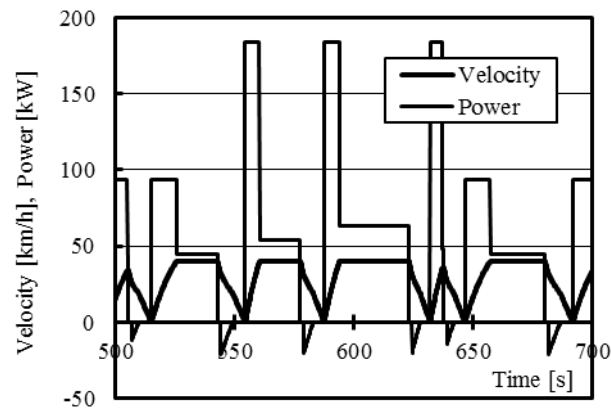


Fig. 2 Changes of the vehicle velocity and the power including regenerative power.

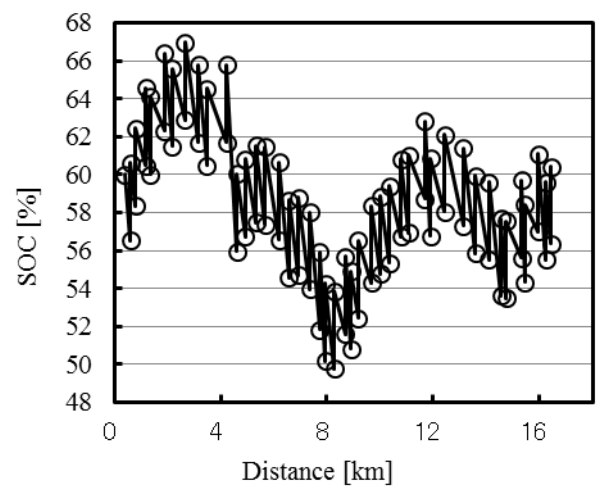


Fig. 3 Change of the SOC of the battery mounted on the bus.

シミュレーションより得られた走行距離は 16.44 km で設定した走行距離 16.61 km と 1.02 % の誤差であり、シミュレータの有効性が確認できる。また運行時間は 20 s の停車時間を考慮したシミュレーション結果が 3164 s で、バス会社の設定が往路で 22 分、復路で 23 分であり 17.2 % 程度長く推定されている。この原因はモータのパワーを制限しているため、登坂時に充分加速できず速度が出ないこと、および回生ブレーキのみの減速方法による。

図 3 はバス停ごとに 2.45 MJ を充電した結果であり、往路は登りとなるためバス停での充電が追い付かず充電状態が 50 % 以下まで低下するが、復路の下り坂での電力回生により始発停留所に戻ってくるまでには 60 % まで回復している。

次に、この路線が全線において平坦である場合をシミュレートした。図 4 に蓄電池

の SOC の変化を示す。

エネルギーを多く消費する坂がないので SOC の変化が小さい。したがって、平坦な路線の場合は、セル配置、すなわち給電システムの電圧を考慮する必要があるが、蓄電装置の容量をさらに減らせる可能性があることがわかる。なお、各バス停での充電電力は 2.41 MJ であり、下り坂での電力回生の効果により充電電力はそれほど減らない。

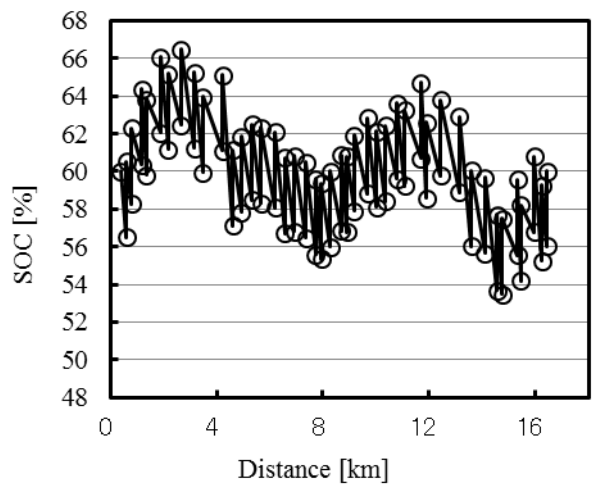


Fig. 4 Change of the SOC of the battery mounted on the bus in the case of the flat road.

さらに、乗り心地、特に減速時の乗り心地を改善するため、減速度が一定になるよう、速度が低下して回生ブレーキの作用が弱くなるところで機械式ブレーキを併用し、一定の減速度で減速する場合についてシミュレーションを実施した。運行時間は 3124 s と僅かに短くなるが、回生電力が少なくなったため、各バス停での充電電力が 2.53 MJ (3.27%増) に増加した。

一人乗り電気自動車のパラメータを外挿して構築した電気バスシミュレータでは、19.0 km/h で回生ブレーキが働かなくなる。そこで、回生ブレーキの性能を改善した場合として、7.31 km/h まで回生ブレーキが働くものとし、機械ブレーキを併用して減速度を一定にした場合をシミュレートした。その結果、各バス停での充電を 2.41 MJ (4.74%減) に減らせることが明らかになり、蓄電装置を減らすには回生ブレーキの性能向上が重要であることがわかる。

さらに、一人乗り電気自動車のパラメータを外挿して構築した電気バスシミュレータでは、最高速度が 65.0 km/h であるため、増速ギアにより最高速度を 2 倍にした場合のシミュレーションを実施した。駆動力が減り、加速度が低下したため運行時間が 3419 s に延びるとともに、各バス停で 3.83 MJ (58.9%増) の充電が必要となる。したがって、運行速度に適した駆動系の設計も重要な課題であることがわかる。

5. 今後の計画

電気バス用シミュレータによりいろいろな条件でのシミュレーションを実施し、間歇充電式新電気バスシステムに関する設計資料を充実させていくとともに、バス停の架線が2本必要であることから難しいバス停への進入を支援する運転支援システムの構築が今後の課題である。

一方、非接触で電力を送電する非接触給電が精力的に研究されている。架線やパンタグラフを用いない電気バスへの給電方法として、本システムへの非接触給電の適用も今後の課題である。特に、提案しているシステムの特徴の1つでもある、加速時にも非接触で給電できるシステムの開発を目指していく。

電気バスシミュレータをもとに電動バイク用シミュレータを構築し、授業時間に大学の太陽電池で充電して本厚木駅と大学の通学用に用いることで、通学時の温室効果ガスの排出削減に貢献できるレンタル電動バイクシステムについてもCO₂プロジェクト等などで検討していく予定である。

6. 研究成果の発表

- (1) Takeshi KAWASHIMA, "Basic Research on a Novel Zero-Emission Public Transportation System (Investigation of Consumption Energy using a Simple Electric Bus Simulator for an Electric Bus System with Rapid Charging at Every Bus Stop using Renewable Energy)", *Proceedings of 16th Asia Vibration Conference*, pp.419-426, HUST, Hanoi, Vietnam (2015-11).

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

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

日本国内での太陽光発電のコストは普及と共に低下しており、第一のグリッドパリティ（電気料金と太陽光発電の発電コストが等しくなる時点）は既に達成された。ドイツでは一足先に政府のコントロールの下、2012 年に第一のグリッドパリティを達成している。日本では売電を目的とするメガソーラーについては既に飽和状態に達してきているが、政府の指針となる PV2030+の太陽光発電ロードマップにおいて今後蓄電設備と併用したオフグリッドシステムに向かっていく一般家庭用の太陽光発電システムでは、その導入が堅調に進んでおり、依然として本事業への新規参入メーカーからの技術開発相談が後を絶たないのが現状である。これら太陽光発電の効率を下げる最も大きな要因は太陽電池パネルの故障である。太陽電池パネルの不良は、現時点で国内認定出力合計約 27GW(出力開始済み 3 割程度)と期待されている太陽光発電量が大幅な未達となる危険性を含んでおり、その原因に関しては、多くの研究がなされ、主要な原因がホットスポット現象によることが明らかになっている。しかしながら、その検査方法としては、太陽電池パネルに組み上げた状態では、確実な方法としてドローンなどを用いて発熱を赤外で観察する方法などに限られ、電氣的に効率よく検査する手段がなく、そのためユーザーや設置業者は期待通りの発電量が得られなくても対応するすべがなかった。最も困難にしているのがパネルのセルごとに測定端子がなく各セルの状況を電氣的に測定することが出来ないことであった。そこで、研究代表者は、太陽電池パネル内のセルレベルでの故障をセル毎の測定端子がなくても電氣的に検出する方法・システムを開発し(特許出願済 特願 2013-33614)、プロジェクトを用いて検出する方法を現在研究中である(平成 26 年～28 年科研費一般研究 C の支援により実施中)。この方法は太陽電池パネルの出荷検査・受入検査などでの用途が主となっている。しかしながら、ホットスポットは、設置前に問題がなかったとしても設置後に様々な要因で結晶に欠陥を生じることがあり、後々にホットスポットが発生するケースもあるため、設置後にも定期的に検査できることが関連業界で強く要求されている。

そこで本研究では、設置後に運用しながらパワーコンディショナを通してパネルの電氣的特性(電流・電圧特性: I-V 特性)を監視し、ホットスポット現象等をリアルタイムで診断できるシステムを新たに構築す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

本研究では、これまで実現出来ていなかった太陽光発電システムの設置後に、運用しながらパワーコンディショナを通してパネルの電気的特性(I-V 特性)を監視し、ホットスポット現象等をリアルタイムで診断できるシステムを構築することを目的としている。

太陽光発電システムは FIT 制度で普及しており、一般家庭ではすでに 160 万件を超える世帯で導入された。研究代表者は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 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。さらに、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し、特許を取得している(US 9,143,082 B2(2015))。

本研究ではこの特許技術をベースとして、まず、第一段階として①ホットスポット発生時特有の I-V 特性を分析し、正常状態と区別できるような基本手法を開発することを目標とする。次に、②この開発された手法を DC-DC コンバータの制御システムに組み込んで、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う。最終段階として、③本手法を搭載したパネル毎に接続する高効率なパワーコンディショナ(パワコン)を開発し、そのパワコンから出力される I-V 特性をモニタリング(表示)するための通信システムを構築する。さらに LAN 通信プロトコルとして ECHONET Lite を採用し、HEMS に対応した次世代型 PV 発電システム実現の可能性について検討することを目標とする。

3. 期待される効果

本システムの開発により、設置後に運用しながらパワーコンディショナを通してパネルの電気的特性(電流・電圧特性：I-V 特性)を監視し、ホットスポット現象等をリアルタイムで診断できるため、異常が発生した場合に速やかに対処することが可能となる。これまで、ホットスポットを発見出来ずに火災が発生した事例が多発しており、これらの問題を解決することが可能となる。

4. 研究の経過及び結果

本年度は、各種パネルにおいてホットスポット発生時特有の太陽電池の I-V 特性を分析し、正常状態と区別できるような基本手法を見だし、診断に利用できる技術を開発した。さらに、この開発した手法を DC-DC コンバータの制御システムに組み込んで、各種条件下において判定が可能であるかの検証を行い、以下の国際学会や展示会にて成果発表を行った。

図 1 に DC-DC コンバータを用いて実際のパネルのホットスポットをリアルタイムで検出したシステム構成を示す。

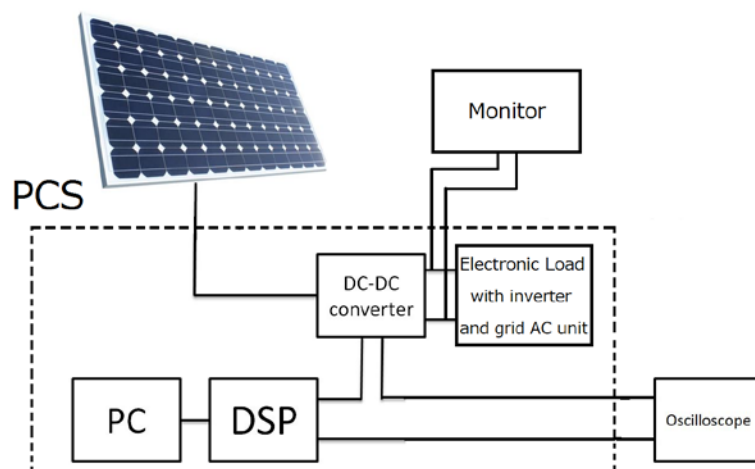


図1 実験システムの構成

図2にホットスポットモジュールを使用した場合の動作試験結果をそれぞれ示す。今回、スキャン周期を10秒に設定し、スキャン時にホットスポットが発生していると、ホットスポットフラグが5Vを出力する。同図において、4秒時点でホットスポットセルに影を付加している。これにより、太陽電池出力は低下している。この時点ではスキャン周期ではないため、ホットスポットフラグは0である。10秒時点でスキャン周期になると、ホットスポットフラグが5Vを出力している。これにより、ホットスポットの発生を確認することができる。次に23秒時点で影を取り除いた。これによって、太陽電池出力が上昇し、次のスキャンでホットスポットフラグが0になることが確認できる。

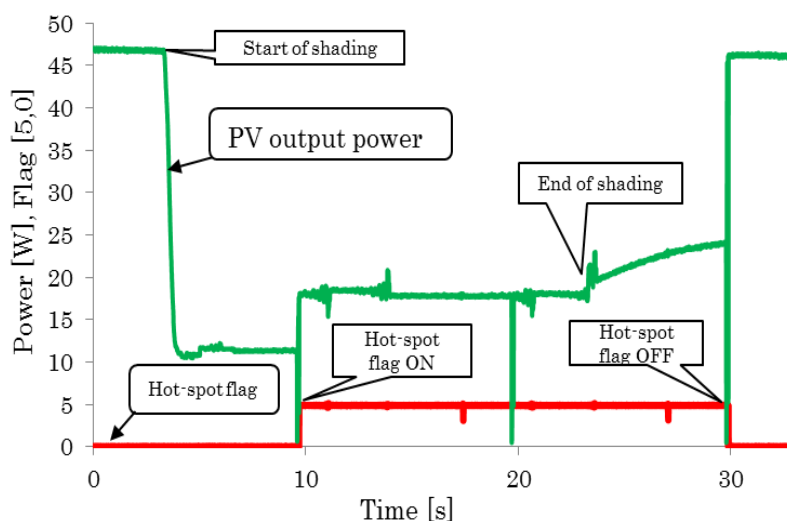


図2 実験結果

以上により、本システムを用いることで正常モジュールとホットスポットモジュールを判別できることが実験により確認され、本方式の有効性が示された。

5. 今後の計画

今後は残された課題として、前年度までに検討した本手法を搭載したパネル毎に接続する高効率なパワコンを開発し、そのパワコンから出力される I-V 特性をモニタリング(表示)するためのシステムを構築する。さらに、HEMS に対応させることの可能性も検討し、次世代型 PV 発電システムを目指し、実用化を目指す予定である。

6. 研究成果の発表

〈学会・展示会〉

【受賞】

- 1)ホサーム 平成 27 年度電気学会東京支部神奈川支所研究会において論文発表賞受賞

【ジャーナル・学会誌】

- 1)H.Bakhsh and K.Itako “Investigation of PV Solar Pnael Characteristics for Real-time Hot-spot Detection System”

Journal of Advanced Science, vol.27, No.1&2, pp.7～10, 2015

【国際学会】

- 1) K. Itako,B.Hossam,A.Ahmed, “Primary Investigation for Real Time Hotspot Detection of PV Generation System” ,Proceedings of ICEE 2015(CD-ROM) (4pages)

- 2)K. Itako,B.Hssam,T.Kudoh,K.Koh, ” Development of Real Time Hotspot Detection System Using Scan-Method for PV Generation System ” ,Proceedings of IECON2015(IEEE) (CD-ROM) (5pages) (添付資料)

【口頭発表】

- 1) ホサーム, 板子” 太陽光発電システムの” スキャン法” を用いたリアルタイムホットスポット検出システム” 平成 27 年度電気学会電力エネルギー部門大会
- 2) ホサーム, 落合, 飯塚, 工藤, 板子” スtring構成された太陽電池モジュールのリアルタイムホットスポット検出の検討” 平成 27 年度電気学会東京支部神奈川支所研究会

【展示会】

- 1)スマートコミュニティーJapan2015(展示会:東京ビッグサイト)
- 2)PV Japan2015(展示会:東京ビッグサイト)
- 3)イノベーション Japan2015(本研究課題内容採択)(展示会:東京ビックサイト)
- 4)計測展 2015(展示会:東京ビッグサイト)

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

航空機あるいは風力タービンの翼を防雪氷策の対象とし、電気式ヒータ (Electrothermal) 方式の防氷装置を具備した場合の塗料塗布策を立案することを第一次目的とし、本年度はその準備段階とする。具体的には、最適な塗料の選定、塗布方法（範囲・種類の組合せ）の最適化を検討する。また、翼への適用に先立ち、翼の前縁半径に相当する円柱模型を用いた予備試験を行い、基礎情報（水・氷の挙動、塗料塗布法）の取得を目指す。また、翼模型作成に際しては、従来のアルミ加工に加え、最新の 3D-Printer を用いた手法を試み、作成の負荷・コスト低減、耐温度性の評価を試みる。

2. 研究の必要性及び従来研究

現在研究代表者はこれまでに寒冷環境下での構造体上への着氷雪問題に関係した国内外の各種共同研究に参画してきた。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

寒冷環境下での航空機翼上の着氷防止は安全かつ高効率な運航に不可避である。近年は「電気ヒータによる加熱＋塗装による表面性状改質」手法への注目・期待が高まり

つつある。当該手法を採用する場合、適切な塗料の選択、塗装範囲、加熱範囲・温度・サイクルなどの因子を適切に選択することが求められる。本研究はこうした必要決定事項に関しての基礎的な知見を与えるものであり、成果に基づいて継続する、翼模型を用いた試験の準備となりえる。

4. 研究の経過及び結果

4-1. 塗料の選定

宇宙航空研究開発機構によって開発された JAXA-4, 航空機メーカーによる XX-4 を基本対象塗料とし、塗料メーカー開発であり一般に市販されている YYY を参照塗料として選択した。評価法は、図 1. に示す自動接触角および転落角計測装置による塗面上の微小水滴の接触角と転落角であり、環境温度を変えて計測した。結果いずれも、本研究で要求している Icephobic 特性（高接触角・低転落角）を満足した。

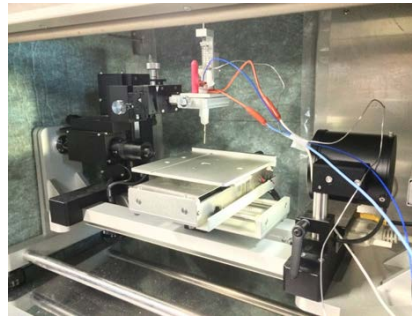


図 1. 自動接触角および転落角計測装置

4-2. 予備試験

4-2-1. 円柱を用いた模擬試験

円柱では水滴の衝突範囲と衝突速度の数値解が既知であるため、翼模型による試験に先立ち円柱を用いて超撥水塗装面、未塗装面（弱撥水性）における微小水滴の挙動を解析した。風洞内にて、円柱（多種に塗装された複数個）にあけた微小孔から水を湧出させ、この水滴の挙動を高速度カメラで撮影し、画像処理を施して水滴の軌跡を数値化した。

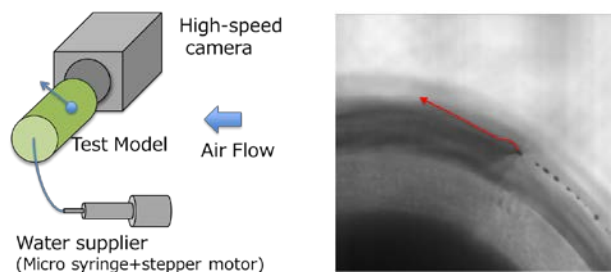


図 2. 円柱模型と表面上での水滴の軌跡

4-2-2. IR カメラの補正試験

風洞試験に際しては模型表面の温度を非接触で計測することが求められる。そこで、ヒータを具備した平板模型を風洞内に設置し、IR カメラによる温度データと、同様の条件下において模型表面に貼付した熱電対のデータから、IR カメラによる計測温度の補正関数を求めた。

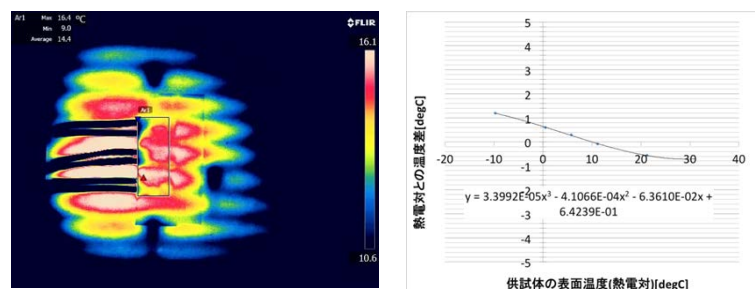


図 3. 加熱平板を用いた IR カメラの補正関数導出

4-3. 模型製作

従来の翼模型製作は、アルミニウム材からの削りだし法を採用していた。むろん、熱特性を考慮した試験、あるいは要求される表面性状を実現するためにはアルミ材と削りだし法を必要とする。しかし、予備試験、あるいは非加熱での試験に際しては模型本体の材質は問わず、簡易に模型を製作することが試験の効率化につながる。そこで、3D プリンタを利用して翼型模型を形成し模型を製作した。なお、試験に要求される表面性状を実現するためには、この模型の表面を適宜加工することで試験に供しうる模型の製作が可能とできる。



(a) 3DPrinter による整形模型



(b) アルミニウム製の前縁模型

図 4. 製作した模型

5. 今後の計画

本研究の成果をもとに、翼模型による試験を実施する。

- ・ 翼模型の製作（一部模型には電気ヒータを組込む）
- ・ 翼表面の性状（塗装）を変えて水滴の挙動を解析する
- ・ 加熱翼模型に塗装面を形成し、着氷風洞試験によって塗装の効果を評価する

6. 研究成果の発表

1. Hyugaji, T, S. Kimura, et al.: Runback water behavior on hydro-phobic/philic surfaces of circular cylinder placed in flow field, SAE-2015-01-2158, 2015
2. M., Hasegawa, S, Kimura., K, Morita., H, Sakaue. "Experimental Study of

Droplet Shedding on Superhydrophobic Surface in Shear Flow,” Langmuir, 2015 (submitted)

3. 日向寺竜磨：気流中に置かれた円柱表面の親水／撥水面上における水滴挙動，第 53 回 飛行機シンポジウム，2015
4. 日向寺竜磨：円柱表面の親水／撥水面上の水滴挙動，第 12 回 着氷研究会，2015
5. 日向寺竜磨，高橋祐貴，木村茂雄，守田克彰：Dual-Surface Scheme 検証のための基礎的考察 - その 1，第 14 回着氷研究会，2016
6. 日向寺竜磨，高橋祐貴，木村茂雄，守田克彰：Dual-Surface Scheme 検証のための基礎的考察 - その 2，第 14 回着氷研究会，2016

植物を利用した持続可能な移動システム

自動車システム開発工学科 高橋良彦

1. 研究概要

化石燃料の利用により地球温暖化が進んでおり、地球を持続可能な状態に維持するためには、再生可能な資源の利用をさらに進める必要がある。一方、植物は太陽エネルギーと水を利用して世界中どこでも栽培が可能な再生可能な資源である。本研究では、その植物資源を利用した持続可能な移動システムの構築を目的とした。具体的には、廃棄植物資源を燃料とする移動システムを開発する。本研究は、ガソリン等が不足しても移動体が動かせるため、大規模災害時にも役立つ技術である。

本研究では、植物油を用いてディーゼル発電し、その発電した電気で走行するシリーズハイブリッド電気自動車の開発を行う。走行試験を行い、問題点の把握を行い、その解決方法のアイデア出しと解決を行う。

開発中の移動システムは以下の構成である。50cc ガソリン・エンジンで駆動する一人乗りの原付4輪(ミニカー)を改造して、小型電気自動車とした。300W 級モータ二個で後輪を駆動した。後輪サスペンション系は自作した。ヤンマー製 300CC 級ディーゼル・エンジンで直流モータを回転させて発電する新規発電システムを製作した。燃料には、学内食堂から廃棄植物油を入手して用いた。

2. 研究経過

移動体システムに関しては製作を行い、機構システム、制御システムなどが長時間走行試験を行えることが確認された。長時間走行は、秋田県大潟村スポーツラインで開催された小型電気自動車の競技会(ワールド・グリーン・チャレンジ)に参加して行った。ほぼ公道と同様な条件での走行試験ができた。長時間走行では、(1)エンジンの燃料噴射弁(インジェクタ)に植物油の燃え残りのカーボンが付着する現象、そして(2)走行開始時などの高負荷時にエンジンの回転数が減少して発電電圧がコントローラのシステム電圧より低下してしまう現象が明らかになった。

(1)のカーボン付着現象に関しては、燃料温度の影響、噴射圧力の影響、回転数の影響、吸入空気量の影響などを詳細に調べた。回転数に関しては、燃費効率が良い回転数の条件で少しカーボンの付着が減少することが明らかになった。吸入空気量は、エアフィルターのカバーを外すことで増加させた。増加により、少しカーボンの付着が減少することが明らかになった。ただし、両対策もカーボンの付着を少し減少させることができたが、まだ不十分である。カーボンの付着はエンジントラブルの原因となるため、対策が必要である。

(2)高負荷時のエンジン回転数の低下現象については、発電電圧を計測し、そのデータに基づいて発電電圧を一定に保つ制御システムを構案した。製作を予定している。

3. 研究成果の概要

得られた成果

- ・長時間走行が可能な車両システムを製作できた。

秋田県大潟村スポーツラインで開催された小型電気自動車競技会(ワールド・グリーン・チャレンジ)に参加して長時間走行を行うことができた。再生可能な植物油を燃料としてディーゼル・エンジンを回転させることで発電用モータを駆動し、その発電した電気で走行するシリーズハイブリッド電気自動車の開発ができた。これまでにない新発想のサステーナブル・モビリティが開発できた。

- ・問題点の把握ができた。

長時間走行試験により、問題点の把握ができた。植物油の燃え残りが燃料噴射弁(インジェクタ)に残りカーボンとなって付着した。このままだとエンジントラブルとなるため、対策が必要である。また、高負荷時にエンジン回転数が減少し、発電電圧が減少する現象も明らかになった。車両の制御システムのシステム電圧よりも低くなり、システムがダウンした。

- ・問題の解決を行った。

燃料噴射弁(インジェクタ)のカーボン付着については、種々の条件の実験を行った。

その結果、エンジン回転数の調整そしてエンジンへの空気流入量の調整によりカーボンの付着を減少できることがわかった。

- ・高負荷時の発電電圧の低下については、発電電圧を検出して一定値に制御する制御システムを考案した。製作を予定している。

問題点

- ・燃料噴射弁(インジェクタ)のカーボン付着については、少し付着を減少させる条件を見出すことができたが、まだ不十分である。他の対策を考える必要がある。

成果の活用予定

国内学会で発表を行った：日本太陽エネルギー学会研究発表会、日本機械学会関東支部講演会、日本機械学会ロボメック講演会

国際会議で発表を行った：IEEE-VPPC2015

国際会議で発表を予定：IEEE-ICCAS2016

今後の展開

現在判明している問題点を解決して車両の完成度を高める。

国内外の学会で発表していく。

IT を活用した創生電力マネジメントシステム

研究者名：情報工学専攻 田中 博

1. 研究の目的

ダイエット、健康志向の高まりがあり、ジョギング愛好者などが増加している(1)。また、運動をサポートする各種健康機器の販売も広く展開されている(2)。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、太陽光を初めとした化石燃料に依存しない再生可能エネルギーの利用の拡大が社会的に求められている状況にある。これらの周辺状況を踏まえ、学生ボランティアのマンパワーを有効に活用したスモールスタートとして、従来の使い捨て型の乾電池から、充電型の再利用可能な蓄電池への充電とその利用や比較的小電力で駆動させる装置の電力を自力で賄うシステムを提案、開発する。

発電を行うための装置として、発電機を内蔵したエアロバイクを選択した。人力を利用して発電する装置には他の種類の運動を用いるものもあるが(3)、その中では最も発電電力が大きいこと、健康志向という目的にも合致していることから、この装置を選択した。ここで、定常的に利用するシステムとするために、利用者のモチベーションを維持、向上させるための“しくみ”を提案、導入する。提案するシステムコンセプトを図1に示す。ここでは、バイクを漕ぐという労力を必要とする運動に、図に示す“楽しみ”を加えることにより、日常的に使える／使いたくなるシステムとすることを目指す。



図1 提案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

一般のエアロバイクは、ユーザの健康志向に対応するためのものであり、エアロバイクの利用とカロリー消費という関係であり、本システムの検討対象ではない。一方、発電型のエアロバイクは、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(4)。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ず、発電電力を効率

よく蓄積すること、そしてその定常的な利用を検討していないことによるためと思われる。したがって、本システム開発では、・発電電力の効率的な充電と蓄積、・発電電力の定常的な利用方法の確保、・発電する→貯める→使う、というサイクルを定常的なものとするための体制づくりが必要となると考えられる。

3. 期待される効果

1 章の研究の目的で述べたように、楽しみやエンターテインメント性を確保することにより、定常的に利用してもらえることになれば、安定して充電電池の確保が可能となる。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り、極めて小さなことではあるが環境保全、持続社会の実現に寄与できる。何よりも、学生の意識向上につながることを期待できる。二次的な効果として、エアロバイク利用者によるカロリー消費を促すことになり、結果として健康促進にもつながる可能性がある。

4. 研究経過および結果

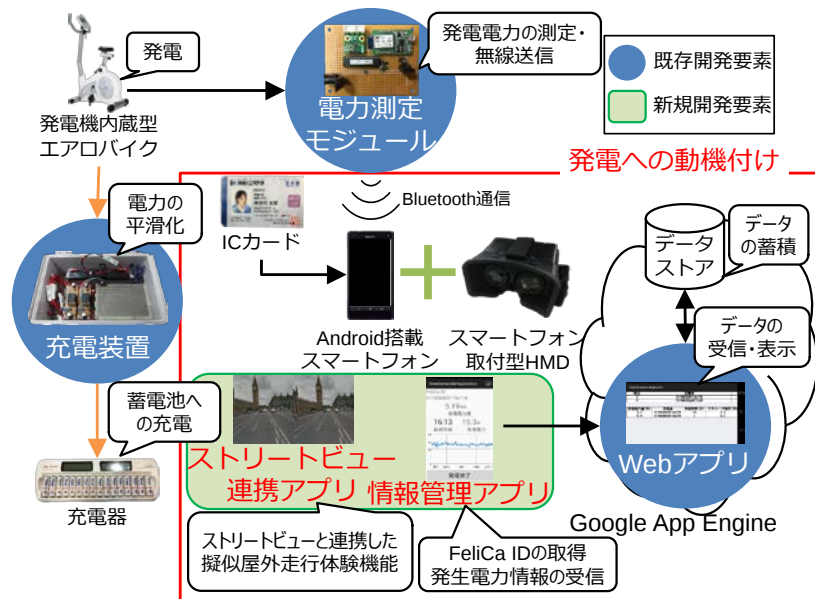
H24 年度では「学内使用電力の見える化」システムの設計と構築、H25 年度は見える化システムの運用と使用電力データの基本解析、H26 年度は上記に述べてきた「創生電力マネジメントシステム」の開発と定常利用に向けた取り組み、H27 年度は、ECO 推進室の協力を得てシステム運用を開始するとともにスマートフォンを用いた仮想現実（VR：Virtual Reality）技術を取り入れた本システムのエンターテインメント性の向上を行った。以下に H27 年度に実施した主な施策を述べる。

4.1 開発システムの課題と解決方針

H27 年度は ECO 推進室の協力を得て、システム利用とそれによる充電電池の学内利用に取り組んできた。その中で、システムとしての利用上の課題が明確になってきた。それらの課題と H27 年度の取り組んだ解決方針を表 1 に示す。この表に基づき、開発要素を決定した。開発システムの構成を図 1 に示す。

表 1 前年度開発したシステムの課題と解決方針

項目	従来構成	課題	解決方針
操作端末と表示機器	- PC - プロジェクタ	(1)システムの利用が難しい (2)消費電力が大きい	スマートフォンへの変更
ストリートビューとの連携機能の表示方法	2D - 進行方向画像固定	(3)臨場感に欠ける	VR技術を用いる
情報取得の方法	- XBee受信機 - FeliCaリーダーライタ	(4)コード類が頭部の動きを阻害する	- 内蔵Bluetooth通信 - 内蔵NFC機能



4.2 システム設計とその実装および確認

(1) 情報管理アプリケーションの開発と動作確認

各ユーザ（発電者）の識別には IC カードである学生証を使用している。本カードの読み込み、また、各ユーザの発生電力のモニタも PC 接続機器と PC を用いて行っていた。ECO 推進室より、PC の操作が煩雑という指摘を受け、これをスマートフォンに置き換えることにした。スマートフォンでは ZigBee 機能は内蔵されていことから、スマートフォン内蔵の Bluetooth 通信機能を用いて情報を取得する必要が生じ、このためのソフトウェアを開発した。

ID カードによる発電者と利用時の発電量およびトータルの発電量の一元管理のために、情報管理アプリケーションを開発し、スマートフォン内に実装した。その構成を図 2 に示す。ここで、スマートフォンから無線 LAN 経由でクラウド内にこれらの情報を格納するとともに、発電量ランキングとして WEB ページから情報共有できるしくみを実現した。スマートフォン実装後の動作確認結果を図 3 に示す。

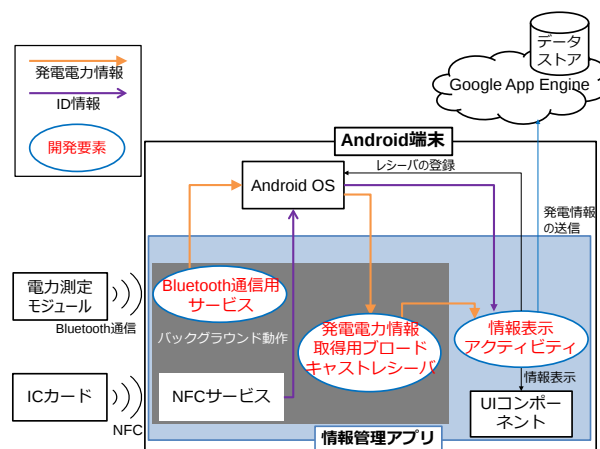


図2 情報管理アプリケーションの構成

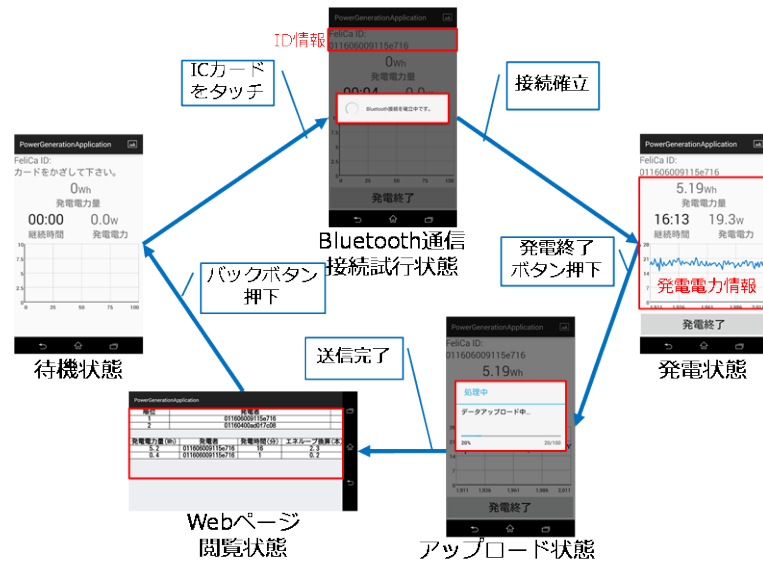


図3 情報管理アプリケーションの動作結果

(2) ストリートビューとの連携アプリケーションの開発と動作確認

Unity を利用することにより、3次元空間の生成と立体表示のためのステレオグラムの生成が可能である。これにより、仮想現実（Virtual Reality）空間を発電者に提供して、エンターテインメント性、臨場感を高め、発電者のモチベーションの向上に寄与できると思われる。結果として、発電量が増加し、充電した電力の適用範囲を広げることができる。発電電力に応じてストリートビュー風景が変化するコンテンツをUnityで制作し、スマートフォン内で動作可能な形式に変換してスマートフォンに実装した。そのための構成を図3に示す。あわせて、動作確認した結果を図4に示す。エアロバイクからの発電量に応じて、風景画面が変化すること、立体感を持って画像が見えること、頭部の上下左右の動きに連動して、その方向の風景が見えることを確認した。

これらの開発システムを統合したシステムの外観とその利用のようすを図5に示す。普通に漕ぐことにより、50W 前後の電力が発生し、2時間程度で30本以上の単三型の eneloop の充電が可能となっている。問題点は、発電バイク利用時に発生する発電機が原因となる騒音である。このため、

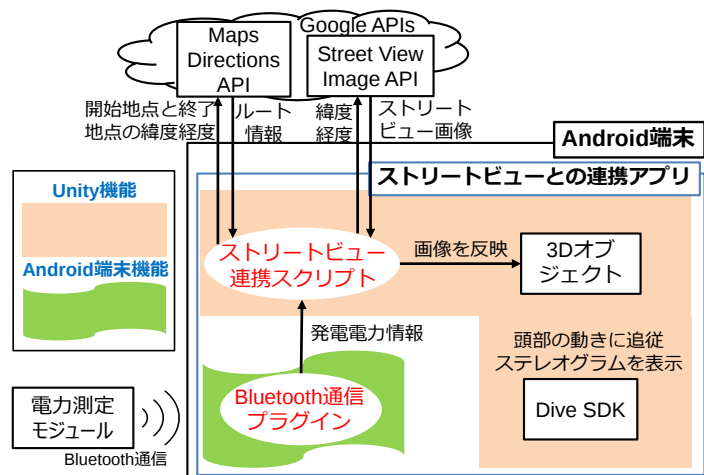


図4 ストリートビューとの連携アプリケーションの構成

ECO 推進室では授業時間内での利用を差し控えているとのことである。H28 年度は、この解決を図る予定である。

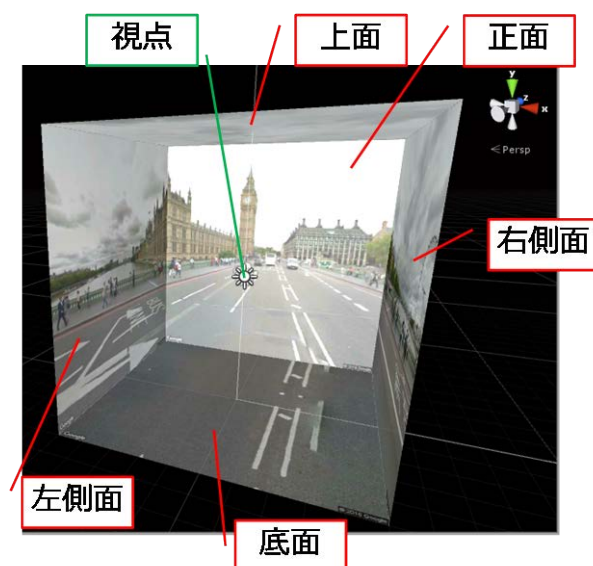


図5 ストリートビュー画像の全方位表示の一例



図6 VR技術を取り入れたシステムの外観と利用

5. 今後の計画

H28 年度は、H25 年度に開発した使用電力見える化システムの定常運用を管財課と連携して継続し、学内で使用電力状況のリアルタイムモニタに資するとともに、学内電力使用に関する基本データ取得を継続する。H26 年度に開発に着手し、H27 年度に改善を加えた創生電力マネジメントシステムについては、ECO 推進チーム“みどり”と連携し、学内での運用を開始しているが、利用の活発化を目標とする。そのために、講習会などの実施を計画する。現在の運用の課題となっている発電バ

イクの騒音については、新たな発電バイクの開発とともに充電制御器の改良などを行い（リソース状況から判断）、保守性の向上を含め、定常運用を確実なものとするように進めていく。

6. 研究成果の発表

学会発表として、2015年9月に英国ケンブリッジで開催された国際会議（NGMAST2016）においてシステムコンセプトと一次試作の結果を述べた。さらに、発電電力と連携した仮想現実（VR）システムの開発については、2016年2月に開催された電子情報通信学会 ASN 研究会において、“センサネットワークとクラウドを用いた創生電力マネジメントシステム”として発表した。また、川崎国際環境技術展 2016 にて、「エアロバイクを用いた人力発電に連動するスマートドント仮想現実（VR）技術を用いた疑似屋外走行システム」としてデモ展示を行い、本学の取り組みとして紹介した。その展示が契機となり、その後某大手企業から4名の見学と意見交換としての訪問が研究室にあり、一定のインパクトを与えたことが確認された。

参考文献

- (1) 笹川スポーツ財団、“「ジョギング・ランニング人口」増加 推計1,000万人を超える！、”
http://www.ssf.or.jp/press/pdf/121005_press_release.pdf
- (2) 矢野経済研究所、“セルフケア健康機器市場に関する調査結果 2013、”<https://www.yano.co.jp/press/pdf/1212.pdf>
- (3) Pavegen Systems、“Pavegen、” <http://www.pavegencom/home>
- (4) 創作機械工房ピッコロ SPA、“人力発電所、”
<http://www.geocities.jp/piccolosp/bat2.html>

発表論文

- (1) Tatsuki Ebihara, Shotaro Murata and Hiroshi Tanaka,” Development of Management System for Generated Power using Cloud Services - Application to Aero-bike equipped with Dynamo”, Next Generation Mobile Apps, Services and Technologies 2015(NGMAST), pp.41-46, Cambridge, UK.
- (2) 海老原 樹, 村田 翔太郎, 五百蔵 重典, 田中 博,” スマートフォンと VR 技術を用いた人力発電システムのための情報管理・エンターテインメントアプリケーションの開発” 信学技報, Vol. 115, No. 467, ASN2015-110, pp. 189-194.