

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8号
平成26年度

神奈川工科大学
工学教育研究推進機構

目 次

はじめに	-----	研究代表者 吉田 博夫	1
------	-------	-------------	---

1. エネルギー創生

改良型 MPPT 制御の大容量インバータ回路への適用の検討	-----	板子一隆	3
太陽熱サイフォン	-----	吉田博夫	6
PV-T シミュレータ	-----	吉田博夫	9

2. エネルギー貯蔵・利用

間歇充電式新電気バスシステムの研究開発	-----	川島 豪	12
水素エネルギーの利用	-----	矢田直之	21
水素と植物油を利用した移動体の開発	-----	高橋良彦	26

3. エネルギーマネジメント・エネルギーシステム

IT を活用した創生電力マネジメントシステム	-----	田中 博	32
自立エネルギーシステム	-----	吉田博夫	38

はじめに

研究所所長：機械システム工学専攻 吉田 博夫

本学における太陽エネルギー利用研究の伝統は、初代学長谷下市松先生にまでさかのぼる。その後研究の流れは故伊藤定祐名誉教授、森武昭副学長らの先達に率いられ今日に至っている。直近の歩みとしては、平成 19 年度～23 年度の 5 年間文部科学省「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」が遂行された。続いて平成 24 年度から本学重点研究プロジェクトとして、それまでに開発された各要素技術をさらに発展させ、共通のエネルギーシステムに相互補完的に組み込まれることを念頭にしつつ実用化のための研究開発が推進されてきた。この間、平成 22 年 3 月には東日本大震災があり巨大津波によって東京電力福島原子力発電所が甚大な被害を受け、廃炉の途上にあることは記憶にあたらしい。また、再生可能エネルギーの寄与に一段と高い期待を込めた新しいエネルギーミックスの姿も固まりつつある。

このような時代状況のもとで大学の重要な役割の一つともいえる長期的視点に立つならば、エネルギーシステムの究極のゴールはエネルギー地産地消を成り立たしめかつ循環型社会を回復するシステムに深く関連付けられるものでなければならないと言えよう。我々が構想するエネルギーシステムはエネルギー創出、蓄積・利用、マネジメント 3 要素技術を統合した自立エネルギーシステムのことである。これは災害時には大学が避難拠点の機能をそなえるにはどうすればよいかという検討も含んでいる。

最終年度においてはこのような理念の下、初めて自立エネルギーシステムのモデルを構築した。本モデルは今後のエネルギーシステムに関する課題抽出ならびに最適化のためのツールとなる。また、各要素技術においては一部実用化がなされており、今後さらにこの実用化の流れが加速されるものと期待している。新しいエネルギー関連研究の展開を念頭に、本学 HEMS センターとの研究協力体制の検討が開始されたことは重要な一歩となった。本年度研究成果の詳細については本文を参照いただくこととして、我々の研究活動の一部は TV・新聞等でも紹介されている(2015 年 1 月 4 日 TBS 未来の起源、2014 年 9 月 18 日日経産業新聞)。

東北大学名誉教授齋藤武雄先生、東京理科大学名誉教授谷 辰夫先生、(株)ソーラシステム研究所前署長蒲谷昌生先生には本プロジェクトの間終始暖かいご指導ご鞭撻を賜った。また本学からは多大な研究予算の支援を頂いた。関係者一同心より謝意を表する。

1. エネルギー創生

改良型 MPPT 制御の大容量インバータ回路への適用の検討

研究者名：電気電子情報工学科 板子一隆

1. 研究の目的

筆者は先に太陽光発電のための新しい IV 特性スキャン型 MPPT 制御法を提案した。この方式は、ある一定間隔で I-V 特性をスキャンして最大電力点を追従する方式であり独立型太陽光発電システムにおいて、パネルの部分影時や混成使用時に従来の山登り法(P&O 法)と比較して、取得電力を増加させることができることが明らかとなっている。ところで、この方式では、L の値を小さくすると I-V 特性を検出するための時間が短くなり、A/D コンバータの分解能によっては検出精度に問題が生じる恐れがある。そこで、新たに検出時間制御付 IV 特性スキャン型 MPPT 制御法（改良型 MPPT 制御）を提案し、良好な結果を得ることができた。

本研究では、この改良型 MPPT 制御を大容量負荷でも使用できる三相インバータ回路に適用したシステム(PCS)を開発し、部分影時の電力取得特性を従来の PCS と比較し、本システムの有効性を明らかにした。

2. 研究の必要性および従来の研究

大容量太陽光発電システムの設置件数はすでに全量買い取り制度によって急速に増加しており、部分影をはじめとする様々な条件において、思うように出力が得られないといった事例が今後増加して来るものと予想される。従来の PCS には、山登り法と呼ばれる MPPT アルゴリズムが搭載されており、この方式ではパネルへの光の照射の不均一条件では出力が低下してしまう場合があり、より効率の高い MPPT アルゴリズムの適用が求められている。

3. 期待される効果

近年注目されてきている太陽電池の部分的な影(例えば落ち葉、鳥の糞、電柱、樹木、建物、汚れや積雪などによって)などでアレイに照射される光が不均一になることや一部のセルの劣化、また太陽電池パネルの異方位設置等で PCS の出力が大幅に低下(小さな落ち葉 1 枚で出力が 1/2~1/3 に低下)してしまうという問題や雲によって日射強度が頻繁に大きく変動する場合に従来のパワコンの動作点が迷走し、出力が低下してしまうという問題が改善され、発電量の増加をもたらすことができる。これは結果として、設備利用率の向上により発電コストの低下を加速させ、グリッドパリティの時期を早めることにより、政府のコントロールの下に国民負担(再エネ賦課金)の低減をもたらすものと考えられる。

4. 研究経過および結果

図 1 に実験回路図を示す。太陽電池アレイと DC-DC コンバータが接続され、MPPT 制御を行う。大容量負荷にも対応できるように三相インバータを使用する。このシステムに構築に際して、スキャン動作による直流電圧への影響、三相線電流への影響が懸念されるため、これらの点の確認が必要となる。

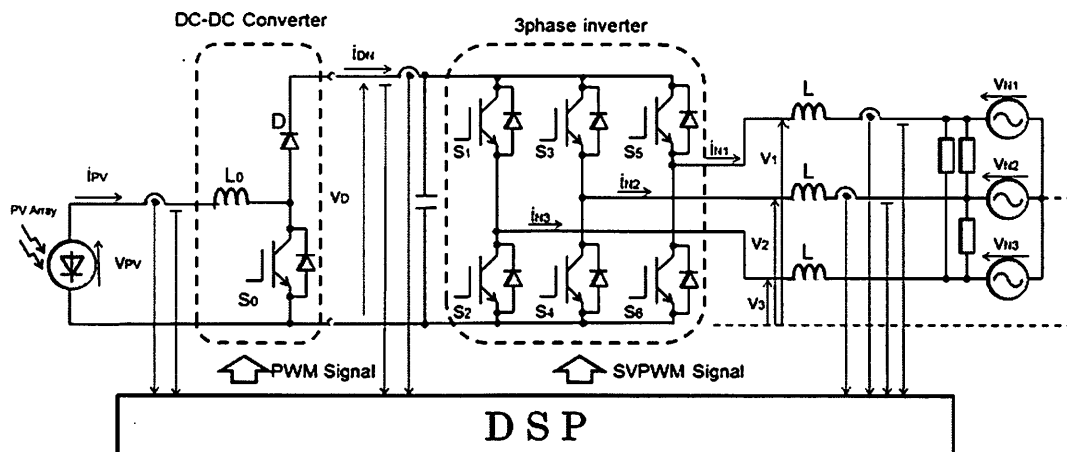
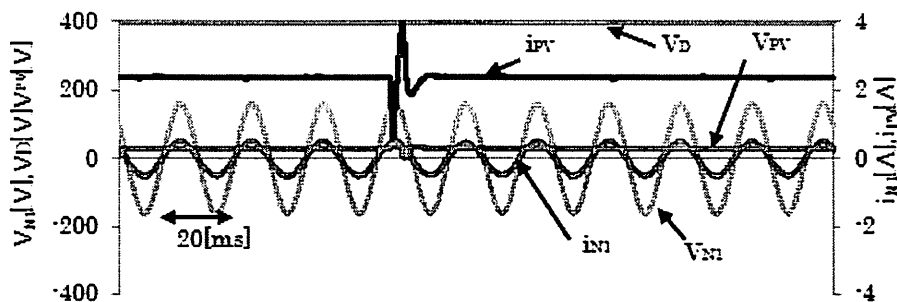
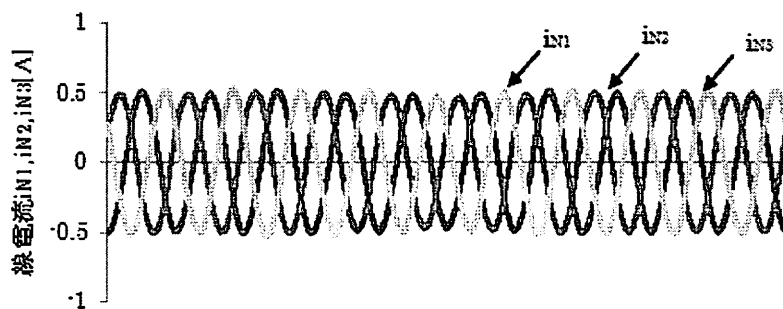


図1 実験回路

図2(a)はスキャン法を用いたときの動作波形である.スキャン動作時にも中間電圧 v_D の変動や相電流 i_{N1} の乱れがないことが確認できる. また, 相電流 i_{N1} と相電圧 V_{N1} は設定通り同位相で安定していることが確認できる. 同図(b)は, 3相分の系統相電流を示しており非常に安定していることが確認できる.



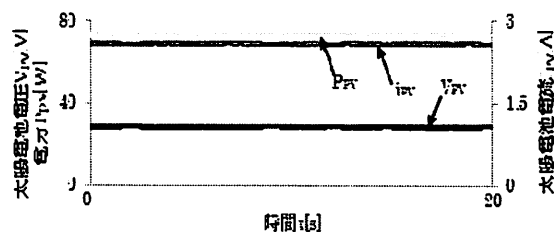
(a)定常動作



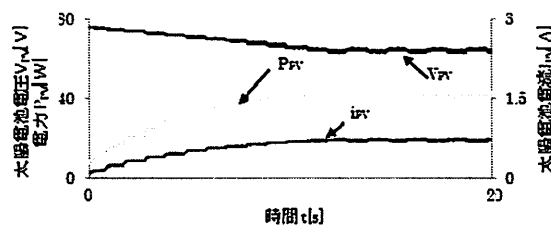
(b) i_{N1} , i_{N2} , i_{N3}

図2 動作波形

図3はスキャン法と市販のパワーコンディショナで用いられている最大電力点追従(MPPT)制御方式である山登り法(P&O 法)での起動時の応答波形である。同図(a)のスキャン法では瞬時に最適動作電圧を検出して定常状態になっていることが分かる。しかし、同図(b)の P&O 法では最適動作電圧をとらえるのに時間がかかっていることが分かる。また、スキャン法では電力の高い低電圧側のピーク点を追従し、P&O 法では電力の低い高電圧側のピーク点を追従しており、そのときの取得電力はスキャン法が 76.8[W], P&O 法が 44.2[W] となり、1.74 倍取得電力が増加した。



(a)スキャン法



(b)山登り法

図3 応答波形

5. 今後の計画

今後は、設置されたシステムが故障なく安定した動作を維持するための監視システムや不具合を検出するための方法について継続して検討を行っていく予定である。

6. 研究成果の発表

発表論文

- (1) C. Huang, K. Itako, T. Mori and Q. Ge "MPPT Control System for PV Generation System with Mismatched Modules" Journal of Energy and Power Engineering (USA) , vol. 9, No. 1, pp. 83 ~90 (2015)
- (2) K. Itako, " PCS with Scanning-type MPPT Control for Industrial Grid-Connected PV Power Generation System" Proceedings of IPEC 2014 (CD-ROM) (5pages)
- (3) 板子, " 新型 MPPT 制御を用いた高効率パワーコンディショナの開発" 特集解説, ケミカルエンジニアリング, Vol. 60, No. 2, pp. 1~6, 2015
- (4) C. Huang, K. Itako, T. Mori, Q. Ge" MPPT Control Method Using Buck Type DC-DC Converter for PV Generation System with Mismatched Modules" Proceedings of ICEE 2014 (CD-ROM) (4pages)
- (5) C. Huang, K. Itako, T. Mori, Q. Ge" MPPT Control Method Using Boost Type DC-DC Converter for PV Generation System with Mismatched Modules" Proceedings of PEE 2014 (6pages)

太陽熱サイフォン

研究者名：機械システム工学専攻 吉田 博夫

1. 研究の目的

本学太陽熱サイフンの特徴は、①構造が単純であること、②作動流体が水であること、③作動温度範囲が 80℃以下であること、などである。これはできるだけ身の回りにある材料や条件を利用するという地産地消の理念に基づいている。集熱部構造は太陽光をそのまま黒色の平板で受けその平板上に銅パイプを並べた単純構造である。銅パイプは直接風に当たることが無いようガラス板で覆われている。本集熱器で得られる年間最高温度は、本学のある神奈川県厚木市で 80℃程度である。

本学故伊藤定祐教授によって発明・試作された上部加熱型熱サイフンは、集熱部が温められると流動が始まり熱輸送が可能であること、即ちその駆動原理が実証された。⁽¹⁾ 以後これまでの熱サイフンシステムの動作特性について詳細に検討されてきた。⁽²⁾ また、熱サイフンの新たな利用法として水力発電が試みられ、微弱ながら出力が確認された。⁽³⁾ 駆動理論の検討も深まってきた。⁽⁴⁾

本研究では、これまでの熱サイフンの実験的研究と駆動理論の整理・集大成を目的とした。

2. 研究の必要性および従来の研究

エネルギー地産地消ならびに循環型社会構築を考えると、再生可能エネルギー依存度はより一層向上させなければならないことは自明である。これまでの太陽熱サイフン研究では熱を熱として利用する視点での研究が多かった。また、低温熱を利用した発電はほとんど注目されておらず、低温熱の活用法として検討すべき課題である。

無尽蔵な低温熱の利用法の拡大のためには熱サイフンの駆動原理について理論的に検討し、実験的に検証することは大変重要である。

3. 期待される効果

熱サイフンの基本原理が理解されれば、熱サイフン発電の家庭への普及のみならずさらに規模を拡大して池などに適用できる可能性がある。理論的検討については 6.の国際会議（査読付き）文献 2 に詳述した。

4. 研究経過および結果

故伊藤名誉教授が上部加熱型熱サイフンの原理を提唱して以来、その動作特性が室内外の装置を利用して検討されてきた。定常特性ならびに変動特性の実験をともし駆動原理の理解はほぼ十分な程度に至ったと考えられる。発生電力が供給熱量に比例することが、沸騰気泡の浮力が駆動力になることを前提に、理論的に導かれた（査読付き文献 2）。また、本熱サイフン発電に関する特許が 2015 年 4 月 20 日公開された（特開 2015-75311）。

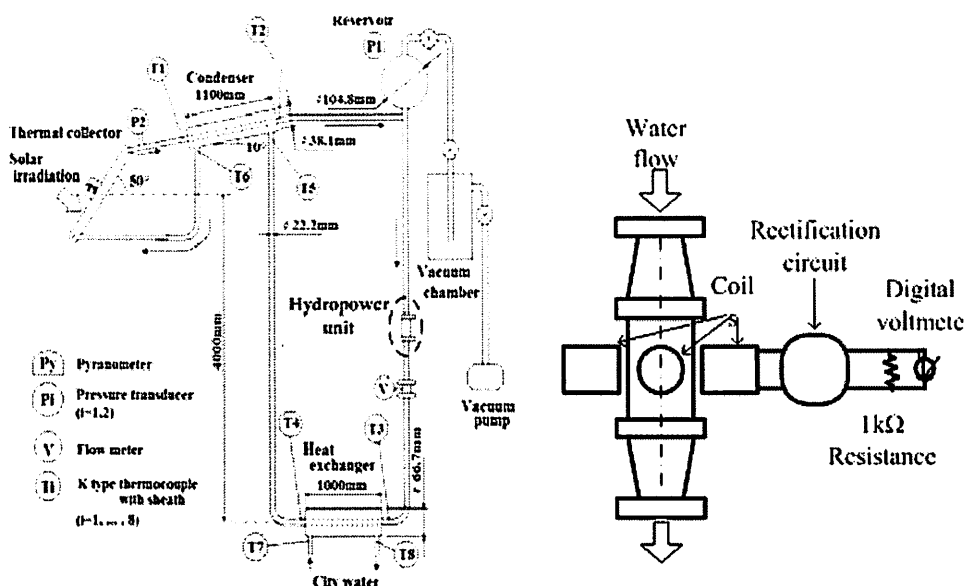


図1 太陽熱サイフォンと水力発電部

5. 今後の計画

太陽熱利用による、低温発電方式についてその可能性が確認された。小規模システムの実用化ならびに池など自然の水たまりを利用した大規模システムの可能性検討が今後の課題である。これまでの成果の集大成は目下論文としてまとめているところであり、適宜投稿公開の予定である。

6. 研究成果の発表

国際会議（査読付き）

1. Hiro YOSHIDA, Haruhiko IMADA, Naoto HAGINO, “Hydropower Generation by a Self-Circulating Solar Thermosyphon”, Proceedings of the ASME 2014 Power Conference, July 28-31, Baltimore, USA, POWER2014-32023 (CD-ROM).
2. Hiro YOSHIDA, Haruhiko IMADA, Naoto HAGINO, Nayuki YADA, “Hydropower Generation by Solar Thermosyphon”, Conference Proceedings, EuroSun 2014, Aix-les-Bains, France, September 16-19, 2014.

国際・国内会議（査読無）

1. 萩野直人、今田晴彦、吉田博夫、“自己循環型熱サイフォンの研究-変動負荷に対する運転特性”、日本機械学会第24回環境工学総合シンポジウム2014、2014年11月18日、つくば、No.418 (CD-ROM).
2. 今田晴彦、萩野直人、吉田博夫、金 高義、“太陽熱サイフォンによる水力発電”、日本機械学会第24回環境工学総合シンポジウム2014、2014年11月18日、つくば、No.417 (CD-ROM).
3. Hiro YOSHIDA, Haruhiko IMADA, Naoto HAGINO, Nayuki YADA, “Hydropower Generation by Solar Thermosyphon – field experiment”, IWES November 19-20, 2014, Tsukuba, No.401(CD-ROM).

特許公開

1. 吉田博夫、“太陽熱システム”、特開 2015-75311（平成 27 年 4 月 20 日）。

※熱サイフォンの基本特許は故伊藤名誉教授が出された。本特許は熱サイフォンの利用法として水力発電が可能であることを主張している。

参考文献

- (1) Sadasuke ITO, Kenichi TATEISHI, Naokatsu MIURA, “Studies of a Thermosyphon System with a Heat Source Near the Top and Heat Sink at the Bottom”, Proceedings of ISES Solar World Congress 2007, September 18-21, 2007, Beijing, China, Volume 2 pp.930-934.
- (2) 萩野直人、今田晴彦、吉田博夫、“自己循環型熱サイフォンの研究-変動負荷に対する運転特性”、日本機械学会第 24 回環境工学総合シンポジウム 2014、2014 年 11 月 18 日、つくば、No. 18 (CD-ROM)。
- (3) Hiro YOSHIDA, Haruhiko IMADA, Naoto HAGINO, “Hydropower Generation by a Self-Circulating Solar Thermosyphon”, Proceedings of the ASME 2014 Power Conference, July 28-31, Baltimore, USA, POWER2014-32023 (CD-ROM).
- (4) Hiro YOSHIDA, Haruhiko IMADA, Naoto HAGINO, Nayuki YADA, “Hydropower Generation by Solar Thermosyphon”, Conference Proceedings, EuroSun 2014, Aix-les-Bains, France, September 16-19, 2014 (web 公開受理)。

PV-T シミュレータ

研究者名：機械システム工学専攻 吉田 博夫

1. 研究の目的

太陽エネルギーを取り込む量はほぼ面積に比例するため、面積の有効利用は大きな課題である。それ故、ソーラーパネルで太陽光を電力に変換しその裏面に配置した集熱器で熱を集めるハイブリッドシステム（Photovoltaic-Thermal, PV-T）の効果的な利用法の検討は不可避であり、PV-T システムの高効率利用法解明が本研究の目的である。

2. 研究の必要性および従来研究

これまでPV-Tシステムの評価は野外実験をとおして行われてきたため、概ね定性的であった。例えば、PVの発電効率は周囲温度の影響を受けるが、年間を通してのPVの温度制御の効果についての定量的な評価ほとんど見当たらない。種々の環境条件下でのPV-Tシステムの定量的な検討が求められている。

そこで本研究ではPV-Tシミュレータを作成してその基本特性を理解することを目的とした。

3. 期待される効果

これまでの研究においてPV-Tシミュレータを完成した。これにより、それぞれの運用環境下におけるPV-Tシステムの最適運用法をシミュレートするツールがさらに充実した。断熱処置など一部改良を必要とするが、本シミュレータにより運転アルゴリズム開発がさらに促進されると期待される。

最近、農業生産と太陽光発電を共存させるソーラーシェアリングに関心が集まっている。PV-Tシステムはそのような考え方にも沿うものであり、太陽エネルギー利用小型分散システムコジェネシステムの一つとしてさらなる利用拡大が望まれる。

4. 研究経過および結果

最初にPV自身の発熱効果の可能性に思い付き、その現象を直接サーマルカメラでとらえてから今日まで4年ほどを要した。⁽¹⁾一連のシミュレータ実験をとおしてPVの自己発熱効果が無視できないことが徐々に明らかになった。我々はこの自己発熱効果を初めて直接定量的に測定することに成功した。PVの自己発熱量は光を照射したときの発電電力にほぼ匹敵するものであった。

定量的検討に際してもっとも配慮しなければならないことは、いかに室温の影響を排除するかということである。恒温室を使用すればこの影響は取り除かれるが、簡便な使用法を最大のメリットとする小型シミュレータではこの問題が常に付随する。そこで本研究では各種測定温度をもとに熱伝達を考慮したデータ解析を行った。解析の結果配管系の熱伝達係数が確定し、室温の影響を取り除かれた熱交換器入り口・出口温度が確定されることになる。図1は縦軸に測定値をもとに真の（室温の影響が最小）発熱量を指定したときの誤差の二乗和、横軸は任意実験定数をとった。この図から誤差の二乗和を最小とする任意定数は $k \approx 0.7$ となることが判った。この任意定

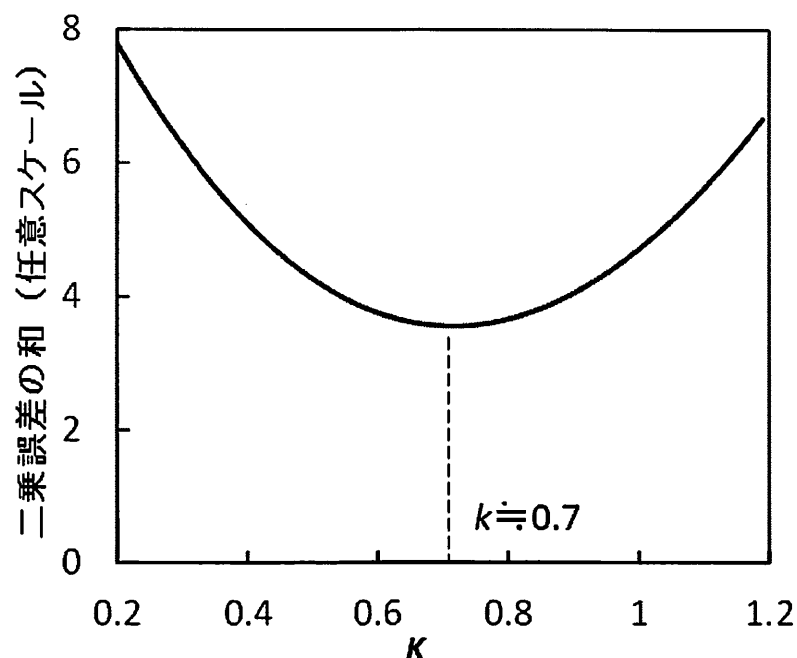


図1 最小二乗法による任意実験定数 k の決定

数から我々の系の熱伝達係数が約 $70\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ と計算された。これは空气中自然対流における熱伝達係数がとりうると思われる大きさの範囲の中にある。これらの解析により、PV 内部発熱量がほぼ最大発電出力に相当する程度の大きさになることが直接確認された。

5. 今後の計画

本シミュレータを用いて種々の条件下で発電効率、集熱効率、総合効率を最大化する運用アルゴリズムの開発が改題となる。自己発熱効果を論文としてまとめ論文投稿する予定である。発電・熱収集・食物育成に関わる新しいソーラーシェアリングの在り方も模索したい。

6. 研究成果の発表

当該年度における学会発表は行わなかった。これまで蓄積したデータを論文(一部リバイス版)にまとめているところである。

参考文献

- (1) 神奈川工科大学太陽エネルギーシステム研究開発センター研究成果報告書、第4号(平成22年度)、p.10.

2. エネルギー貯蔵・利用

間歇充電式新電気バスシステムの研究開発

(路線バスに関するシミュレーション)

研究者名： 機械工学専攻 川島 豪

1. 研究の目的

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、温室効果ガスの代表である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給電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理由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。さらにミニバンの実験結果を外挿して実際の路線バスの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を改造したバス模型のシミュレータを改良し、坂道を含むシミュレーションの有効性を確認、加速・減速実験より得られたパラメータを外挿して実際の路線バスのシミュレータを構築する。そして、ミニバンのパラメータより構築したシミュレータと比較する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

1997 年に京都市で開催された地球温暖化防止京都会議で議決された気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書において、二酸化炭素に代表される温室効果ガスの削減目標が設定された。しかし、議長国の日本においてその達成が危ぶまれている。その原因の 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。さらに、東日本大震災により、二酸化炭素を排出する火力発電所の稼働が増えていることも問題である。我々は、このように地球温暖化の防止が急務である状況下において、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ます。

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。

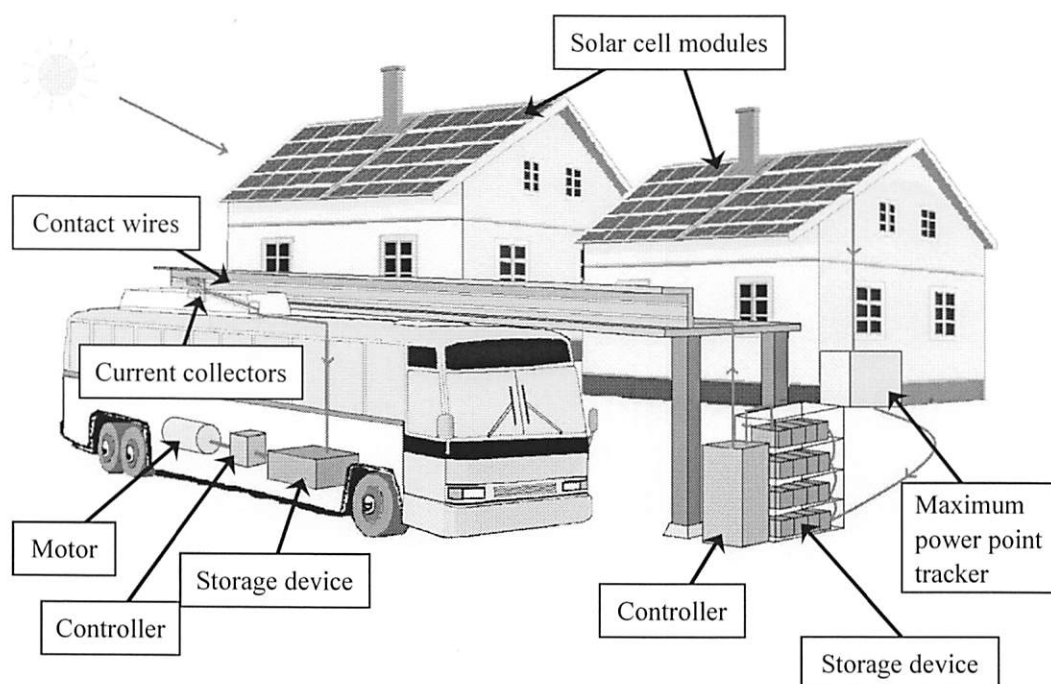


Fig. 1 Illustration of the proposed public transportation system in which an electric bus is charged at every bus stop using power generated from solar energy sources.

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、「モーダルシフト」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⁽⁷⁾。停留所にはのみ架線を張り、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、架線は停留所のみに張られることから、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となるバス停ごとの太陽電池の面積を試算した⁽¹⁾。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⁽²⁾。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⁽³⁾。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⁽⁴⁾。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⁽⁵⁾、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⁽⁶⁾。

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おり、「人と環境にやさしい交通をめざす協議会」のホームページで紹介されていた。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が異なる。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⁽⁸⁾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。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⁽⁹⁾もしくはニッケル水素電池⁽¹⁰⁾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。

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、停留所の上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。

本年度の成果である実際の路線バスのシミュレータにより路線ごとのエネルギー変化が予測できるようになり、提案している間歇充電式新電気バスシステムの特徴である搭載する蓄電装置の軽量化を生かした設計が可能となる。

4. 研究の経過及び結果

4.1 一人乗り電気自動車を改造したバス模型用シミュレータ

まず、図 2 に示す一人乗り電気自動車を改造したバス模型を用いた加速・惰性・減速走行実験の結果よりバス模型のシミュレータを構築する。

シミュレーションモデルにモータや電池などの電気系の動特性を含めることで正確なシミュレータを構築することが可能であるが、同定しなければならないパラメータが膨大になり、多くの時間と労力を費やすことになる。そこで本研究では、電気バスを図 3 に示す最も簡単な 1 質点モデルとして扱う。解析モデルの運動方程式は次式となる。

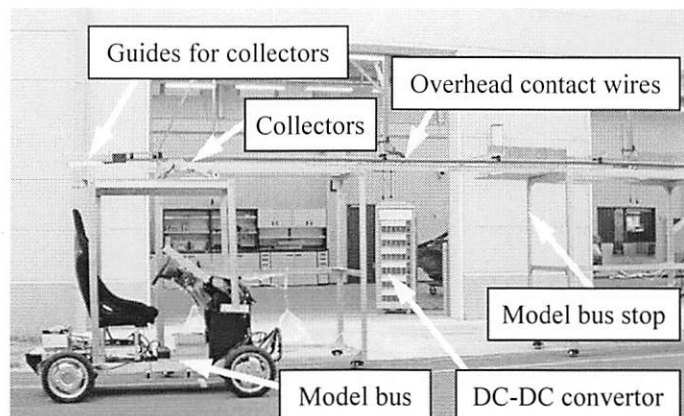


Fig. 2 Model bus based on single-passenger electric vehicle and model bus stop with overhead contact wires of 6 m long.

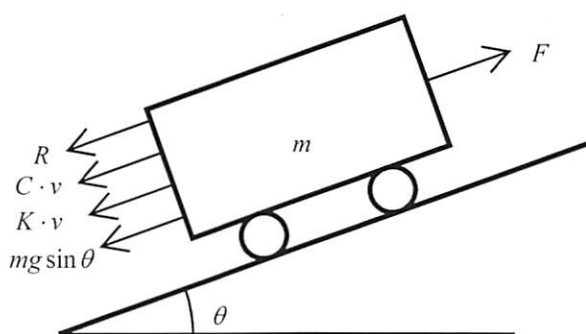


Fig. 3 Analytical model of an electric bus using in the simulator.

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = F - R - (C + K)v - mg \sin \theta \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 m はバスの質量、 θ は道路の傾斜角、 F は駆動力、 R は速度に依存しない走行抵抗、 v は速度、 C は粘性減衰係数、 K は速度 v に関する逆起電力定数、そして $mg \sin \theta$ は重力の斜面方向成分である。

また、加速・惰性・減速走行実験より得られたパラメータを次に示す。

1. 加速走行

○スロットル位置 T_p [%] と消費電力 P [W] の関係：

$$P = 27.1 \cdot T_p - 85.1 \quad \dots \dots (2)$$

○スロットル位置 T_p [%] と駆動力 $F - R$ [N] の関係：

$$F - R = m(-1.21 \times 10^{-4} \cdot T_p^2 + 0.0403 \cdot T_p - 0.141) \quad \dots \dots (3)$$

○スロットル位置 T_p [%] と係数 $C+K$ [kg/s] の関係：

$$C+K = m(7.95 \times 10^{-4} \cdot T_p + 0.170) \quad \dots\dots (4)$$

2. 惰性走行

○走行抵抗 R [N]：

$$R = 0.504 \cdot m \quad \dots\dots (5)$$

○係数 $C+K$ [kg/s]：

$$C+K \approx 0 \quad \dots\dots (6)$$

3. 減速走行

○車速 v [m/s] と回生電力 P_r [W] の関係：

$$P_r = 24.9 \cdot v^2 - 346 \cdot v + 600 \quad \dots\dots (7)$$

○走行抵抗 R [N]：

$$R \approx 0 \quad \dots\dots (8)$$

○係数 $C+K$ [kg/s]：

$$C+K = 0.268 \cdot m \quad \dots\dots (9)$$

さらに、簡単化のためアクセルペダルは床まで踏み込むか離すかの ON-OFF 的に操作されるものとする。回生ブレーキの起動をブレーキペダルに担わせているため、回生ブレーキも ON-OFF 的に操作されるものとし、速度が 7.31 km/h 以下では機械式ブレーキとの併用により一定の制動力で減速していくものとする。

平地を加速、減速、停止後右折し、0.0436 rad の坂を登り、平地を加速後、減速して左折、加速、減速後左折、加速、減速、停止後左折して加速し、0.0698 rad の坂を回生ブレーキで下り、加速後減速して停止する走行実験を実施して回生電力を含む消費電力を測定した結果（黒実線）と、実験に対応したシミュレーション結果（赤太線）を図4と5に示す。

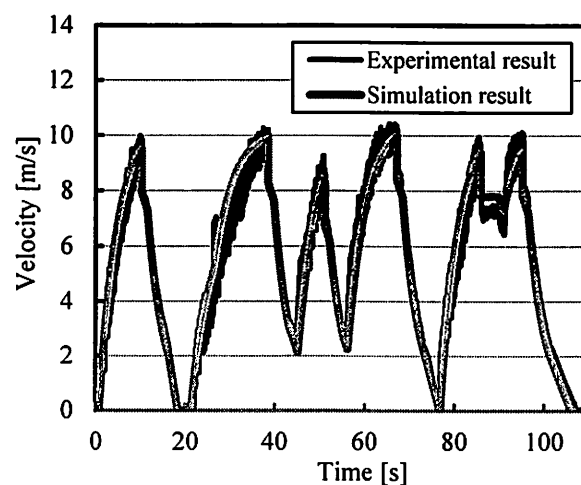


Fig. 4 Vehicle velocities estimated by the simulator and measured by the experiment.

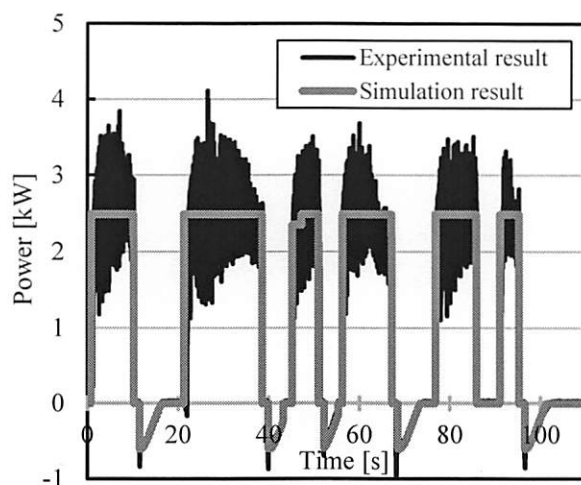


Fig. 5 Power consumptions estimated by the simulator and measured by the experiment.

実験においてもアクセルペダルを ON-OFF 的に操作するように心がけたため図 4 に示すように走行結果をほぼシミュレートできている。さらに、図 5 に示す消費電力も推定できていることがわかる。これらの結果より、構築したシミュレータの有効性を確認できる。

4.2 電気バス用シミュレータ

路線バス用シミュレータは各パラメータを質量比で外挿することで構築する。すなわち、一人乗り電気自動車を改造したバス模型の重量が 207.4 kg、路線バスの重量が約 15000 kg であることから、各パラメータを 73.8 倍にする。また、速度に関するパラメータに関しては、バス模型のタイヤ径が 0.38 m、路線バスのタイヤ径が 0.99 m で 2.6 倍であることも考慮する。なお、構築された路線バス用シミュレータのパラメータは、EV コンバートしたミニバンの走行実験より求められたパラメータを外挿して構築したシミュレータのパラメータ⁽⁶⁾とほぼ同一であった。

構築された路線バス用シミュレータを用いて、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「鳶尾団地」に至る路線を選び、往復をシミュレートした。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 パターンに分割して実施した。

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が 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。また走行時間は 20 s の停車時間を考慮したシミュレーション結果が 2988 s で、バス会社の設定が往路で 22 分、復路で 23 分であり 10.7 % 程度長く推定されている。このことより、電気バスに

内燃機関の路線バスと同様の走行をさせるには、登坂において勾配に合わせた最大パワーの設定が必要であることがわかる。

さらに蓄電装置を Li-ion 電池とし、急速充放電を実現するため充電状態(SOC: State of Charge)が 60 % で始点を発車するものとして路線バスの充電状態をシミュレートした結果を図 6 に示す。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 % 近くまで低下するが、復路の下り坂での電力回生により始点に戻ってくるまでには 60 % まで回復している。この結果からも提案している間歇充電式新電気バスシステムの有効性が確認できる。

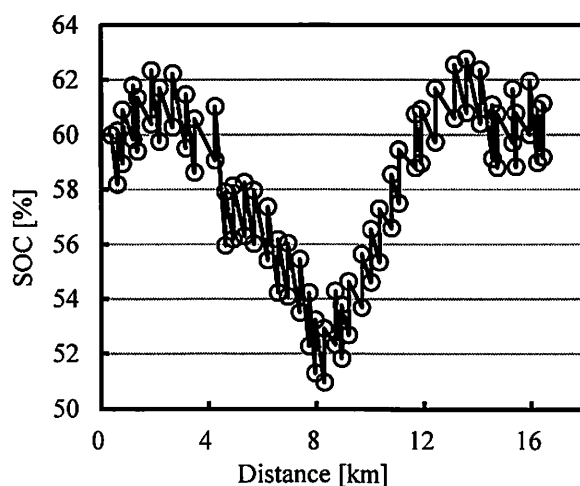


Fig. 6 Change of the SOC of the lithium-ion battery mounted on the bus.

5. 今後の計画

構築した路線バス用シミュレータを用いて種々の路線に関するシミュレーションを実施し、坂のあるなし、バス停の間隔等、提案している間歇充電式新電気バスシステムに適した路線等を明らかにしていく。さら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検討していく予定である。

6. 研究成果の発表

- (1) Takeshi KAWASHIMA, "Electric bus system with rapid charging at every bus stop using renewable energy", *Bulletin of the JSME, Mechanical Engineering Journal*, Vol.2, No.1 (2015), DOI: 10.1299/mej.13-00085.
- (2) Takeshi KAWASHIMA, " Basic Research on a Novel Zero-Emission Public Transportation System (Development of a Quick Charging System and Simulator for a Model Electric Bus System with Rapid Charging at Every Bus Stop using Renewable Energy)", *Proceedings of*

International Workshop on Environment & Engineering 2014, No.104, Japan Society of Mechanical Engineering, Tsukuba, Japan (2014-11).

参考文献

- (1) Takeshi KAWASHIMA and Ichiro FUJIOKA, "New Public Transportation System with Bus Charged Intermittently at Every Bus Stop Using Green Energy (Model Experiment Using Golf Cart)", *J. Environment and Engineering*, Vol.3, No.2 (2008), pp.374-384.
- (2) Yasuro HASEO and Takeshi KAWASHIMA, "Basic Research on a Novel Zero-Emission Public Transportation System (Design of Charge-Boosting System for an Electric Bus System Charged at Every Bus Stop)", *J. Environment and Engineering*, Vol.5, No.1 (2010), pp.168-182.
- (3) 川島豪, 長谷尾康朗, "二酸化炭素排出ゼロを目指した新公共交通システムに関する基礎研究(無線による充電電圧制御システムと実験車両用シミュレータ)", 第20回環境工学総合シンポジウム講演論文集, No.419 (2010-6), 277-280.
- (4) 川島豪, "間歇充電式バスシステムに関する基礎研究(シミュレータの開発)", *Dynamics and Design Conference 2011 CD-ROM 論文集*, No.212 (2011-9).
- (5) Takeshi KAWASHIMA, "Basic Research on an Electric Bus System Charged Quickly at Every Bus Stop Using Green Energy (Demonstration Experiment Using EV Converted Minivan)", *Proc. JSME 2012 11th Motion and Vibration Conference joint with the ASME 2012 5th Annual Dynamic Systems and Control Conference*, Fort Lauderdale, Florida, USA(2012-10), pp.2352-2359.
- (6) Takeshi KAWASHIMA, "Electric bus system with rapid charging at every bus stop using renewable energy", *Bulletin of the JSME, Mechanical Engineering Journal*, Vol.2, No.1 (2015), DOI: 10.1299/mej.13-00085.
- (7) 藤岡一路, "間歇給電式電気車両システムおよび電気車両", 特開 2005-86876.
- (8) http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha08/09/090206_3_.html.
- (9) 小笠正道, 田口義晃, 前橋栄一, 架線レス LRV の開発, *Railway Research Review*, Vol.65, No.2 (2008-2), pp.22-25.
- (10) 秋山悟, 低床電池駆動路面電車(SWIMO)(架線なしでスイスイ走る, 人に・地球に優しい次世代 LRV), *日本機械学会誌*, Vol.111, No.1075 (2008-6), pp.468-469.

水素エネルギーの利用

研究者名：工学研究科機械工学専攻 准教授 矢田直之

1. 研究の目的

平成 24 年度までは、蓄エネルギー材として水素ガスを提案し、その基礎実験について報告を行った⁽¹⁾。平成 25 年度および平成 26 年度では、平成 26 年 1 月から 3 月にかけて静岡県袋井市において、9 月から 11 月にかけて北海道帯広市において実験を行った、水素ガスを直接燃焼させて燃料として利用する方法について研究成果を記述する。

農業分野においては、冬期における温室の暖房(加温)に使用する燃料が、経済的にも環境的にも大きな問題として指摘されている。冬場においても昼間の時間帯には、太陽エネルギーを直接取り込むことにより温室内は植物の育成に適した温度になるが、夜間および荒天時においてエネルギーを確保することの困難さを挙げることができる。そのため、太陽エネルギーの恒常的な利用には蓄エネルギーが必然的に必要となる。本研究所ではそのための蓄エネルギー剤として水素ガスに着目した。すなわち、太陽光発電によって得られた電気エネルギーにより、水の電気分解を原理とした水素発生器を稼働させ、発生した水素を水素吸蔵合金ボンベに蓄えることで、夜間や荒天時は、吸蔵合金ボンベに蓄えられた水素を利用して、燃料電池による発電や燃焼させることによる熱エネルギーを得ることが可能となる。

平成 25 年度から平成 26 年度にかけては、年度末の冬期期間において、静岡県袋井市にある実際の農家にご協力をいただき、水の電気分解による水素発生装置を夜間に稼働させ、同時に専用の

燃焼機で燃焼させて室内の加温状況を計測した。図 1 は、本研究で使用したガラス製の温室である。



サイズ 5.85 m × 24.7 m × 3.55 m

ガラス温室外観

図 1 本研究で使用したガラス温室（静岡県袋井市）

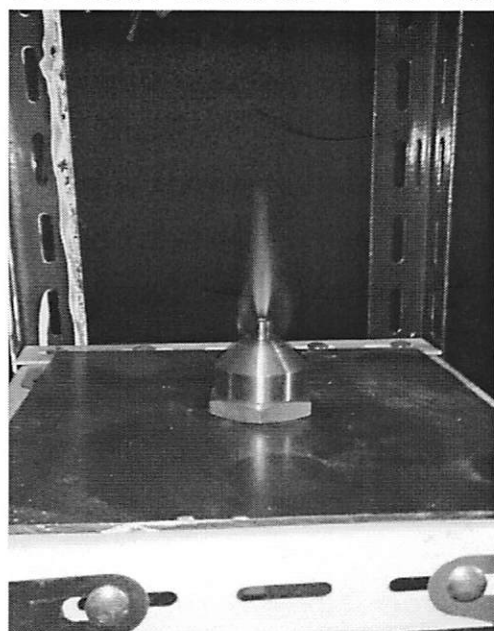
2. 研究の必要性および従来の研究

従来から太陽光発電および太陽エネルギーの熱利用に関しては、太陽エネルギーが確保できない時期のエネルギーの供給が大きな欠点として指摘されており、それに対抗する蓄電および蓄熱技術の開発が必要不可欠であった。現在実用化が進んでいる蓄電技術としては、太陽光発電で得られた電気エネルギーをバッテリーやキャパシタで蓄える方法であり、蓄熱技術としてはタンクに封入された水や断熱素材などを蓄熱媒体として活用する方法が存在する。

本研究では、蓄エネルギー技術の媒体として注目されている水素ガスを直接燃焼させて、エネルギー源とすることに着目した。水素ガスは安全に蓄える技術にいくつかの欠点を有しているが、その欠点を克服するため、本研究では水を電気分解する水素発生装置と燃焼装置を同時に使用することで、水素を蓄えずに燃焼させるシステムを考案し、実際に使用されているガラス温室での実証実験を行った。なおこの研究テーマは、本研究グループで大規模温室において過去に実験を行っており、その成果は国際シンポジウムにおいても報告した(1)。

3. 期待される効果

太陽エネルギーの利用は、地球温暖化防止すなわち二酸化炭素の排出削減の実用化が進んでいる方法の一つである。そして、その欠点を補うための水素を蓄エネルギー材、または直接の燃焼ガスとして使用する実証実験は、今後の太陽エネルギーの利用に大いに資するものと考えている。



燃焼中の水素

また、従来扱いにくい燃焼性ガスとして実用化が進まなかった燃料としての水素ガスについても、その貯蔵に関する安全性や燃焼エネルギーから見た有効性を実際に明らかにすることは、今後の水素エネルギーの発展にも大いに寄与すると考えられる。

4. 研究経過および結果

平成 25 年度は、農業用温室の暖房に水素燃焼を使用し、実際に水素燃焼装置を設計・製作した。数種類の燃焼用ノズルを試作、検討した結果、最終的に図 2 に示すような 2 重構造の燃焼器を採用して実証実験に臨んだ。

図 2 において、ノズルの中央部からは酸素を放出させて燃焼器の火力の増加を図っており、燃焼ガスである水素は中央のノズルを囲むような形で 3 カ所の穴から放出されている。

図 2 燃焼ノズル外観

本研究で使用した実験装置の概略を、図 3 に示した。

図 3 において A で示した装置が水を電気分解することで水素を得ることが可能な水素発生器であり、燃焼ガスとしての水素を最大で 1 分間に 3 リットル発生させる。実験では水素発生器によって 1 分間に約 2 リットルの水素を発生させ、同じ水素発生器から放出される酸素（1 分間に約 1 リットル）を燃焼器 F に送り、そこで図 2 に示すように燃焼させた。

水素および酸素の供給量は、Eの流量計で計測し、温室内の温度および湿度の測定データは5分ごとにデータロガーで収録した。また、図3のC1およびC2は、温室内温度および外気温をそれぞれ計測するために設置した白金抵抗温度計である。

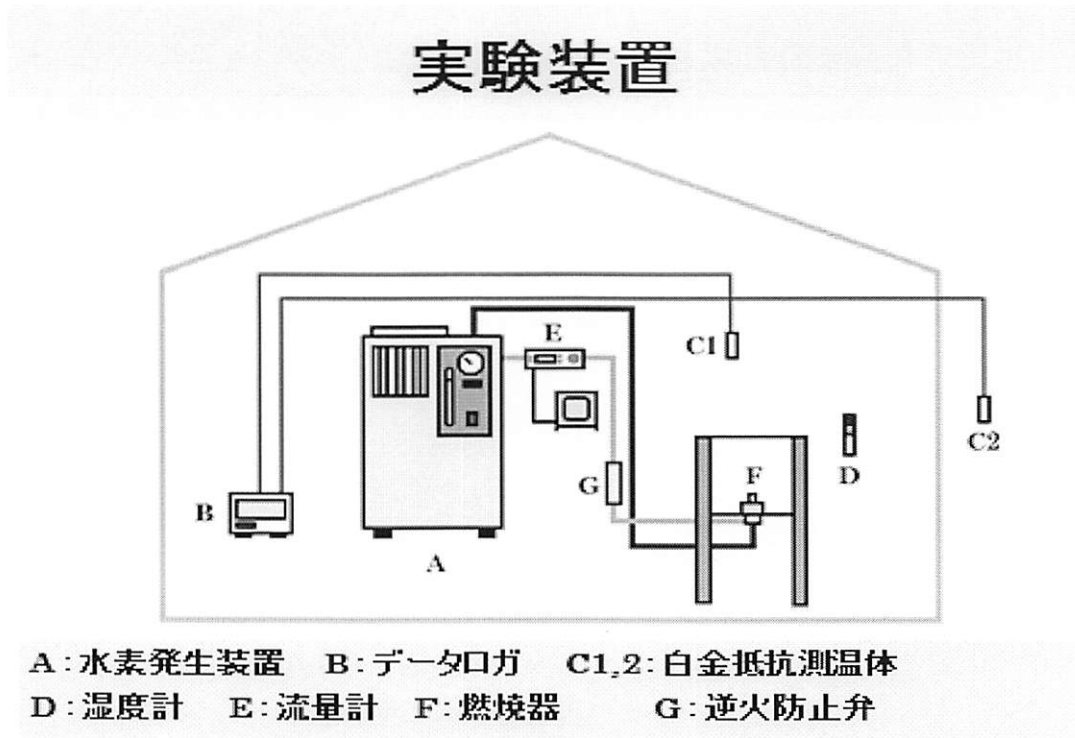


図3 実験装置概略

実験は、日没約1時間後の夜間に150分間水素発生装置および燃焼器を稼働させて水素エネルギーによる温室の暖房実験を行った。図4に実験結果の一例を示した。

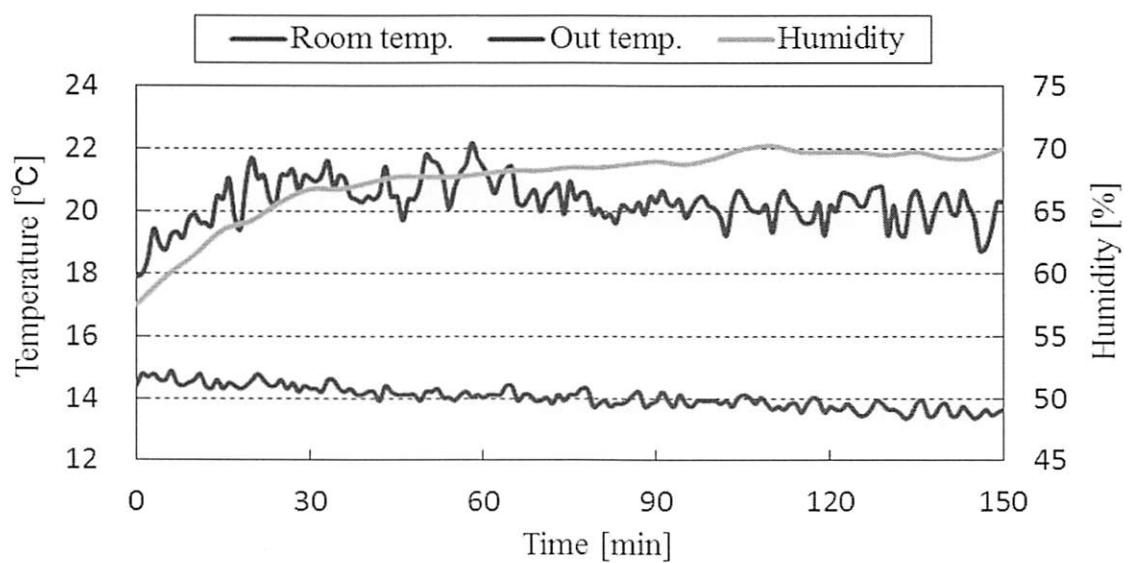


図4 3月11日夜の実験結果

図4から明らかなように、実験開始時から外気温は徐々に低下している。その一方で、室内の温度は実験開始後 30 分までの間に大きく上昇し、実験終了時の 150 分経過後まで外気温よりも約 6℃ 高い温度で保たれていることが分かる。また湿度に着目すると、実験開始後 30 分までは、大きく湿度の値が上昇しているが、その後は実験終了時まで約 70 % の湿度で安定していることが分かる。

今回の実験では、水素の供給量が温室の大きさに比して十分でなかったものの、実験を行った地域が静岡県袋井市という比較的温暖な地域であったため、植物の育成に十分とされる 20℃ を保つことができたが、より気象条件の厳しい地域および広い温室を暖房するためには、本研究以上の水素供給および燃焼が必要であるものと予想された。

その結果を踏まえて、北海道で実施した実験においては、より水素の発生量が多い水素発生装置を持ち込み袋井市と同様の実証実験を行った。図5に実験装置の概略を示した。

比較稼働実験装置

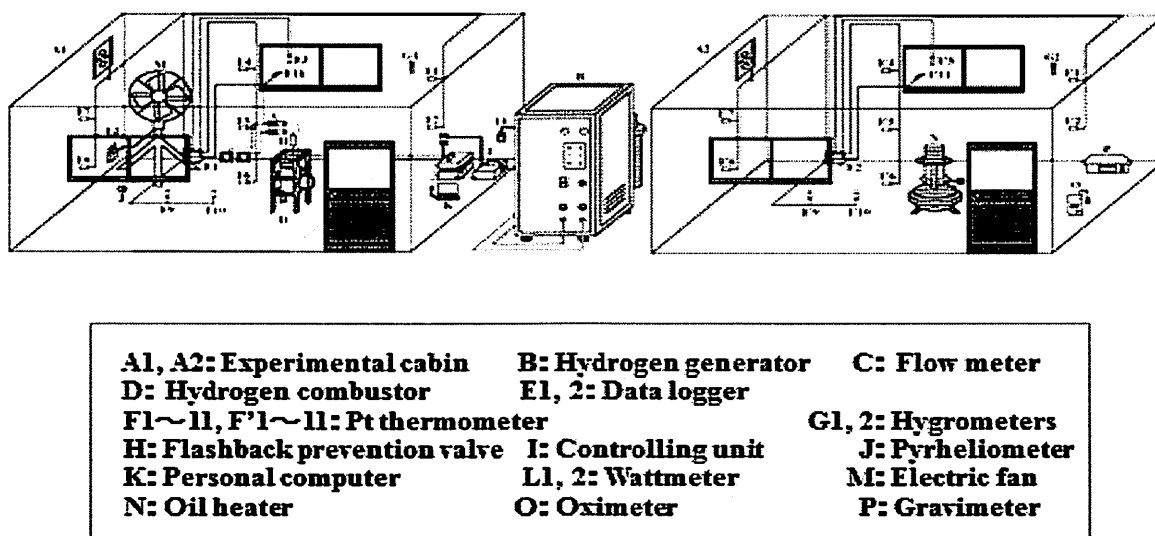


図5 北海道帯広市における実験装置の概略

平成 25 年度から平成 26 年度にかけて実施した水素による温室暖房に関する実験の成果は、国際会議にて公表した(3)。

5. 今後の計画

平成 26 年度に実施した北海道帯広市における燃焼実験により、水素による暖房が従来の重油燃焼方式の暖房と同様以上に温室を暖房することが明らかになった。しかしながら、本研究で使用した大型の水素発生装置は、水を電気分解することで水素ガスを発生させるものの、その触媒として取り扱いが難しい強アルカリ溶液（水酸化カリウム水溶液）を使用しており、実用化に向けての安全面に課題がある。

そこで、平成 26 年度後半から強アルカリ溶液を使用しない水素発生装置の開発に新たに取り組んだ。製造した水電気分解を原理とした水素発生装置は、まだ平成 27 年度前期の段階では、1 分間当たりの水素発生量が 1000 ml と小さな容量の水素発生装置しか製作に成功していないが、今後は以前に行われた大型農業用ビニルハウスにおける水素エネルギーの実証実験(1)にも利用可能な大容量、すなわち 1 分間当たりで 20000 ml の水素を発生することが可能な装置の開発、製造を目指している。

なお、新たな水素発生装置の開発・製造のために平成 26 年度 6 月に、学生ベンチャー企業（株式会社 M&K テクノロジー）を設立した。

6. 研究成果の発表

平成 27 年度は、一昨年度(2)に引き続き「水素エネルギー協会大会」（東京）や環境技術関連の国際会議で、成果の一部を公表する予定である。

参考文献

(1) Naoyuki Yada and Takeshi Yamazaki, “Test operation of hydrogen-fueled heating system for large plastic-covered greenhouse”, *Proceedings of Renewable Energy 2010 (RE2010)*, P-Hf-28, Yokohama (2010, 6/27-7/2).

(2) 城倉祐太郎、三井美佳、深瀬元博、矢田直之, 「小型暖房用燃料としての水素エネルギーに関する研究」、第 3 3 回水素エネルギー協会大会予稿集（東京）、pp. 17-20 (A05), (2013 年 12 月).

(3) Mika MITSUI, Naoyuki YADA, Yutarou JOUKURA and Hiro YOSHIDA,

“ Test operation of the hydrogen-fueled heating system for greenhouse”,
International Workshop on Environment & Engineering 2014 (IWEE2014), 421 (2014).

水素と植物油を利用した移動体の開発

研究者名：機械システム工学専攻 高橋 良彦

1. 研究の目的

自動車は非常に便利な道具である。日本でも、地方に行くと自動車の利用が生活の基本スタイルとなっており、自動車が無くなると、病院にも学校にもスーパーにも行けなくなり、生活が成り立たない。2011年3月11日に発生した東日本大震災では、電気等インフラが使えなくなると同時にガソリンが流通せず、自動車が使えなくなり、震災被害地は孤立状態となった。生命の危機に直面する場面等もあり、震災被害地では、ガソリンの流通を待ち望んでいた。もし、自動車がガソリン等の化石燃料を使わず、再生可能な自然エネルギーで走行ができれば、震災があっても、自動車を利用でき、地域の孤立状態を防ぐことができたと思われる。

一方で、自動車は、一般的にガソリン等の化石燃料を利用して走行するため、二酸化炭素等の地球温暖化ガスを排出し、地球温暖化の大きな原因となっていると言われている。もし、再生可能な自然エネルギーで自動車が走行可能であれば、二酸化炭素の排出を低減させることができ、地球の生態系を良好に維持することもできる。

そのような背景から、太陽エネルギーを利用した移動体(自動車)の開発を試みることにした。太陽エネルギーは、偏在しておらず、地球上どこでも利用可能であるという大きな利点を有している。太陽エネルギーとして具体的には、水素と植物油の利用を検討している。水素は、太陽電池で発電した電気を用いて水を電気分解して生成し、タンクに保存することができる。移動体は、その生成した水素を利用して燃料電池で発電して電気自動車を走行させる。このような電気自動車は、燃料電池電気自動車と呼ばれている。燃料電池は高価であり、そのことが燃料電池電気自動車の普及の妨げとなっていることから、我々は小型の燃料電池を用いた燃料電池電気自動車(micro FCV と命名)を開発している。

別の太陽エネルギーの利用として植物油が考えられる。ヒマワリや菜の花等の種から搾り出した植物油を利用してディーゼルエンジンを動かし移動体を駆動する。ディーゼルエンジンは駆動時に二酸化炭素を排出するが、植物は成長時に二酸化炭素を吸収するため、相殺される。この考え方は、カーボンニュートラルと呼ばれる。燃料として、育てた植物から直接自分で絞った油、あるいは家庭で使用された植物油の排油も利用可能である。震災時に、家庭用植物油で自動車を動かせれば、地域を孤立させないですむ。

我々は、ディーゼルエンジン発電システムと電気自動車を組み合わせたハイブリッドシステムを検討している。ディーゼルエンジンで発電した電気で行けるのみではなく、バッテリーを搭載しており、通常の電気自動車としてバッテリーで走行も可能である。各種の自然エネルギーを利用して発電した電気をバッテリーに充電して走行もできる。例えば、太陽電池した電気も利用できる。我々は、bio EV と命名して開発を進めている

本報告では、以上に述べた小型の燃料電池を用いる小型燃料電池電気自動車と、植物油を用いたディーゼル発電システムと電気自動車を組み合わせた bio EV について報告する。

2. 研究の必要性および従来の研究

太陽エネルギーを利用した移動体の開発は、地球温暖化を防ぎ地球の生態系を良好に維持するため、そして有限である化石燃料の使用を抑えるため、そして震災時等非常時に地域を孤立させないために、非常に重要である。本研究では、太陽エネルギーを利用した移動体の具体例として、水素を利用した小型燃料電池電気自動車(micro FCV)と、植物油を利用してディーゼル発電して走る電気自動車(bio EV)を開発している。

燃料電池電気自動車は、多くの企業で研究開発されているが、100kW 程度の大出力の燃料電池を用いているため、非常に高価であり、実用化には長い年月が必要とされている。我々が提案しているシステムは、小型の燃料電池を用いるため、実用化までの年月を短縮することができる。

燃料電池はデリケートなシステムであり、その劣化や破損が心配されている。実用化のためには、一台の車両に複数の燃料電池を使用し、一部が使用出来なくなっても走行を続けられるシステムが望まれる。そこで本研究では、2 台の燃料電池を並列に使用するデュアル FC 制御システムの構築を目指す。

植物油を利用したディーゼル自動車も一部で研究されている。我々の提案している bio EV は、電気自動車とのハイブリッドシステムとすることで、各種自然エネルギーも利用しやすくする。また、一般的に、バイオ燃料は、植物油をエステル化により粘度を下げ、さらに軽油に 5%程度混合させて用いる。我々は、完全に自然エネルギーのみを使用したシステムとするため、さらには製造工程の簡素化と低価格化のため、絞った植物油あるいは排油をエステル化せず、直接に使用するシステムの構築を目指す。

3. 期待される効果

太陽エネルギーを利用した移動体の開発は、地球温暖化を防ぎ地球の生態系を良好に維持すること、有限である化石燃料の使用を抑えること、そして震災時等非常時に地域を孤立させないこと等が可能となる。

具体的には、小型燃料電池電気自動車(micro FCV)は、小型低価格の燃料電池を利用するため、実用化までの開発期間を短縮できる。さらには、デュアル FC 制御システムを用いることで走行中の安全性を向上させることができる。

植物油を利用してディーゼル発電して走る電気自動車(bio EV)は、家庭用植物油で走行が可能であり、カーボンニュートラルシステムが構築できる。絞った植物油あるいは排油をエステル化せず、直接に使用すると、燃料の価格を低く抑えること、あるいは個人的に絞った植物油を直接使用できる。

4. 研究経過および結果

小型燃料電池電気自動車は、1kW 級の燃料電池を用いるシステムがほぼ完成して、走行が可能な

状態となった。2012 年 7 月末に、秋田県大潟村スポーツラインにて長時間長距離試験走行を実施し、3 日間で 375km を走行した。車両全体機械系、車両全体制御系、計測制御系、後輪駆動機械系、後輪駆動制御系、燃料電池制御系、水素配管系等が完成している。

植物油を利用してディーゼル発電して走る電気自動車(bio EV)は、試作第一号がほぼ完成した。エステル化していない市販天ぷら油を直接に用いて、2013 年 8 月に秋田県大潟村スポーツラインにて長時間長距離試験走行を実施し、3 日間で 150km を走行した。2014 年 8 月にも秋田県大潟村スポーツラインにて二回目の長時間長距離試験走行実験を行い、システムの安定性を確認した。大型の台風の影響で一日間のみの走行試験となったが、一日のみで 100km を走行した。

5. 今後の計画

小型燃料電池電気自動車に関しては、デュアル FC 制御システムの構築を目指した研究を行なう。具体的には、実験車両として、一人乗り 100W 級燃料電池電気自動車を開発する。開発項目としては、車両全体機械系、車両全体制御系、計測制御系、後輪駆動機械系、後輪駆動制御系、燃料電池制御系、水素配管系等がある。その後、デュアル FC 制御システムの開発を行なう。走行中に、二台の燃料電池が同じ程度の発電をすることが目的となる。

植物油を利用してディーゼル発電して走る電気自動車(bio EV)に関しては、これまでの実験により、種々の問題点の発掘が出来たため、その対策を行う。特に、市販植物油が燃料噴射弁(インジェクター)にカーボンとして付着したため、時々分解して除去する必要があった。今後は、インジェクター観察システムの開発を行い、観察の自動化を行なう。また、バイオ燃料の加温制御システム等の開発を行い、カーボン付着の低減を行なう。植物油の使用済廃油を用いた実験も行い、廃油の場合の問題点の発掘を行なう。発電用ディーゼルエンジンの自動回転制御システムの開発を行ない、走行時のドライバーへの負担を低減させる。

別途、菜の花やひまわり等の植物の栽培も行い、植物を用いた持続可能社会の教育モデル構築も目指す。

単三充電電池を用いた小型電気自動車競技会を実施して、太陽エネルギーを利用した電気自動車教育モデルの構築も目指す[11, 15]。

6. 研究成果の発表

国内の日本機械学会や太陽エネルギー学会、そして IEEE 関係の国際会議等で論文発表を行う。

参考文献

- [1]高橋良彦、西村一郎、小型燃料電池電気自動車を用いた環境システム教育、燃料電池、vol.9, no.1, pp.128-131 (2009)
- [2]Y.Takahashi, S.Matsuo, and K.Kawakami, Energy control system of solar powered wheelchair, Solar Energy, Intech, pp.131-144 (2010)
- [3]高橋良彦、西村一郎、20W 級燃料電池を用いた一人乗り超小型燃料電池移動システム(Pico FCV)を用いたエコラン競技会、燃料電池、vol.10, no.2, pp.113-121 (2010)

- [4]Y. Takahashi, K. Hirayama, K. Iwaki, H. Suzuki, and T. Tanaka, Optimum Ecology Driving for Electrical Vehicle and Fabrication of Small Fuel Cell Electrical Vehicle, IEEE Int. Conf. on Sustainable Energy Technologies, pp.631-636 (2008)
- [5]Y. Takahashi, Ultra Light Weight Fuel Cell Electrical Vehicle (UL-FCV), IEEE Int. Symposium on Industrial Electronics, pp.189-194 (2009)
- [6]Y.Takahashi, and S. Matsuo, Running Experiments of Electric Wheelchair Powered by Natural Energies, IEEE Int. Symposium on Industrial Electronics, pp.945-950 (2011)
- [7]S.Yamaguchi, T.Yamazaki, Y.Namekawa, R.Nakajima, and Y.Takahashi, Running Experiments and Energy Saving Running Simulations of Practical Single Person Operated Ultra Small Fuel Cell Vehicle (micro FCV), ISES Solar World Congress, pp.149-160 (2011)
- [8]T.Yamazaki, Y.Namekawa, S.Yamaguchi, R.Nakajima, and Y.Takahashi, Control System and Purging Effects of Practical Single Person Operated Ultra Small Fuel Cell Vehicle (micro FCV), ISES Solar World Congress, pp.101-109 (2011)
- [9]Y.Namekawa, S.Yamaguchi, T.Yamazaki, R.Nakajima and Y.Takahashi, Mechanical Designs and Fuel Cell Temperature Characteristics of Single Person Operated Fuel Cell Vehicle with 1kW Fuel Cells (micro FCV), ISES Solar World Congress, pp.121-132 (2011)
- [10]Y.Takahashi, and Y.Kaji, Measurements of Metal Hydride Hydrogen Tank used for Hybrid Electrical Chair with Photovoltaic and Fuel Cell, IEEE Int. Conf. of Sensing Technology, pp.478-483 (2011)
- [11]Y.Takahashi, Step-by-Step Mechatronics Programming Learning for Solar Energy Education, Int. Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET), 6 pages (2012)
- [12]S.Yamaguchi, T.Yamazaki, Y.Namekawa, and Y.Takahashi, Hybrid Energy Control Using DC-DC Converter for Single Operator Fuel Cell Vehicle, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), pp.1188-1193 (2012)
- [13]T.Yamazaki, Y.Namekawa, S.Yamaguchi, and Y.Takahashi, Dual Drive Train for Single Operator Fuel Cell Vehicle, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), pp.1182-1187 (2012)
- [14]Y.Namekawa, S.Yamaguchi, T.Yamazaki, and Y.Takahashi, Running Management of Single Operator Fuel Cell Vehicle, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), pp.1176-1181 (2012)
- [15]Y.Takahashi, and K.Uda, Ultra-Small Electric Vehicle Competition Using Small Rechargeable Batteries – pico-EV Eco Challenge 2012 -, Int. Conf. on Control, Automation and Systems, pp.498-503 (2012)
- [16] Y.Takahashi, and K.Uda, Project Based Learning using Natural Energy Powered Small Electric Vehicle for Sustainable Technology Education, IEEE Int. Conf. on Control, Automation and Systems, pp.788-793 (2013)

- [17] Y.Takahashi, and K.Uda, pico-EV Eco Challenge in Japan: Administration, Int. Conf. of the Portuguese Society for Engineering Education, pp.1-4 (2013)
- [18] K.Uda, and Y.Takahashi, Trail Production of Ultra-Lightweight and Small EV: pico-EV using Bamboo Fiber Laminated Plates, Int. Symp. on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, pp.1-6 (2013)
- [19] 高橋良彦、佐々井博岳、坂口正樹、松本亮、植物油を利用したシリーズハイブリッド電気自動車のコンセプト設計、太陽エネルギー、vol.40、no.1、pp.13-18 (2014)
- [20] 宇田和史、高橋良彦、藤澤 徹、竹繊維積層板を用いた超小型電気自動車:pico-EV の開発、設計工学、vol.49、no.6、pp.311-316 (2014)
- [21] Y.Takahashi, M.Tomike, and T.Hirayama, pico FCV: small single-operator electric-vehicle using 20W hydrogen fuel cell developed for mechatronics education, J. Robotics and Mechatronics, Vol.26, no.4, pp.515-517 (2014)
- [22] 宇田和史、高橋良彦、植物の繊維および皮の静的引張り特性に関する基礎研究、設計工学、vol.50、No.4、pp.188-193 (2014)
- [23] Y.Takahashi, Running Experiments of Small Single-Operator Electric Vehicle Using 20W Hydrogen Fuel Cell, IEEE Int. Conf. on Control, Automation and Systems, pp.704-709 (2014)
- [24] T.Hayashi and Y.Takahashi, Development of Small Compact Electric Motor Tricycle for shopping, IEEE Int. Conf. on Control, Automation and Systems, pp.710-715 (2014)
- [25] Y.Takahashi, Control System of Series Hybrid Electric Vehicle with Plant Oil Electric Generator, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, pp.1-6 (2014)

3. エネルギーマネージメント ・ エネルギーシステム

IT を活用した創生電力マネージメントシステム

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旨とする。

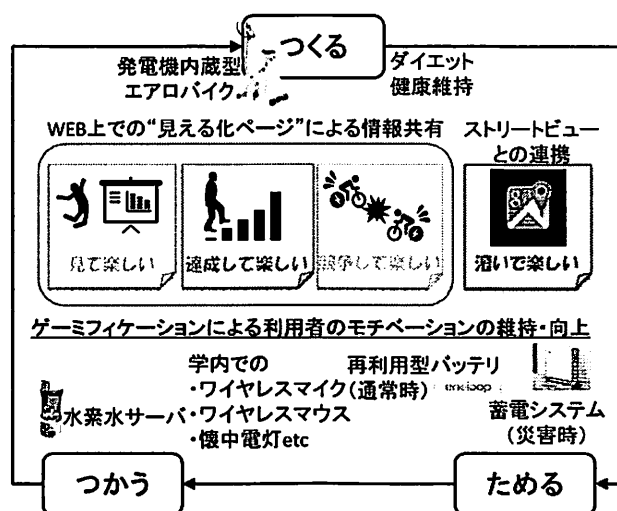


図1 提案システムの構成

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事が期待できる。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 年度では前述の通り、「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取得と基本解析、および「学内創生電力見える化」システムの開発、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を行ってきた。以下に H26 年度に実施した主なポイントを示す。

4. 1 システムの要件定義と機能構成の明確化および開発

システムの定常的な利用と発電、充電電池への蓄積を考慮し、以下の要件をシステムに課すこととした。

- ① 発電した電力の情報と発電者を識別する情報の取得が行えること。
- ② 発電者にデータを公開できること。
- ③ 発電電力で蓄電池の充電が行えること。
- ④ 発電者の体力に応じた負荷に調整できること。
- ⑤ 発電中に楽しめる機能を提供できること。

上記を満足するために、IC カードでもある学生カード(5)の読み込みによる発電者の識別機能、データ格納と表示のためのクラウドサービスと WEB システムの利用と情報システム開発、安定した充電のための充電装置の開発を行うことにした。また、本システムの特徴的な提案として、利用時の“楽しみ”を実現するために、Google が提供している場所の風景を提供している StreetView と連携することとした。

提案する創生電力マネジメントシステムのシステム機能構成を図 2 に示す。発電機内蔵型エアロバイクを漕ぐことによって発電した電力を充電装置で安定化した後、充電器を介して蓄電池への充電に用いる。充電装置では発電者の体力に応じた負荷を設定できる。具体的には、接続する充電器の数を変更できる構成としている。

この際、発電前に発電者を識別する情報の取得と、発電時に発電した電力の計測を専用のモジュールで行う。このモジュールを創電モニタモジュールとして新規開発した。本モジュールで収集したデータはデータ中継 PC に送信する。データ中継 PC でストリートビューとの連携と、Google App Engine（以下、GAE と表記）に実装したアプリケーションへデータ送信を行う。

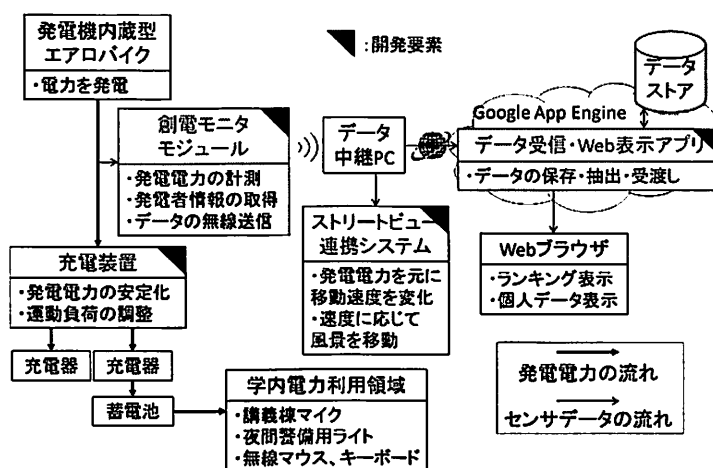


図2 提案システムの機能構成と開発要素

4.2 機能確認

(1) エアロバイク発電電力の平滑化

人力発電の場合、一方の足でのペダルの踏み込みと逆の足での踏み込みとの間のペダルに与える力が一定ではないこと、また、常に一定したペースで漕ぐことができないことから、安定した充電を行うためにはバイクによる発電電力を充電回路に合わせた電圧に変換するとともに、平滑化が必要がある。バイク内部の発電機単体の出力電圧と、開発した充電装置を介した出力電圧を図3に示す。なお、30秒の発電停止により、充電回路への充電を停止することとしている。

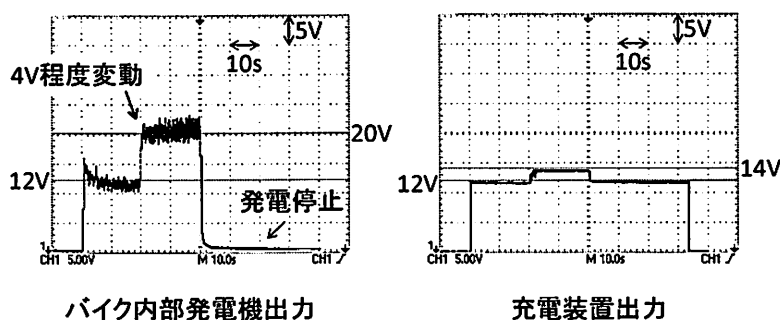


図3 発電状態と充電装置の出力

(2) 発電電力のセンシングとPCへの伝送

発電者を識別するための学生証のIDと、発電電力情報の取得、これらのデータの無線送信が正常に行えるか動作を確認した。データの取得結果のPCへの表示を図4に示す。発電者、発電電力（電圧、電流）と利用セッションあたりの発電電力量を正しく表示していることを確認した。

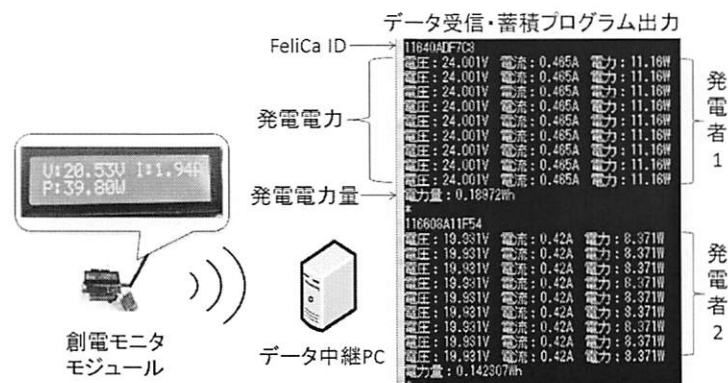


図4 センサデータ取得結果

GAEIに実装したアプリのURL			ランキング表示		
順位	発電者	発電電力量			
1	116608A11F54	13.87			
2	114C4D6B103125	6.93			
3	1164026E182	6.79			
4	11640ADF7C8	3.7			
5	11640ADF786	0.23			
発電電力量	発電者	発電時間	エネルギー換算	消費カロリー	発電開始時刻
10.41Wh	116608A11F54	0時間28分	4.6本分	170.5kcal	2014/12/26/13:37
3.46Wh	116608A11F54	0時間15分	1.5本分	91.4kcal	2014/12/20/12:31
個人データ表示					

図5 ブラウザによる格納データの確認

(3) センサデータのクラウド内への格納と WEB 表示

クラウドサーバ内に格納したデータをブラウザで表示した結果を図5に示す。個人データの表示では、個人データ用カインドから学生証IDの一致するエンティティを抽出する。ランキングの表示を行う時は、ランキング用カインドから、期間がランキングの対象期間と一致するエンティティを抽出し、発電電力量の大きい順にソートする。Web ページでは、ランキング形式で当月の総合発電電力量(Wh)を表示し、個人データ表示では、入力したFeliCa IDの発電者のデータを表示していることを確認した。

開発システムの外観を図6に示す。(本写真では、StreetViewの見え方を示すためにプロジェクターを使用しているが、実際の利用時は消費電力の観点からHead Mount Displayを用いている。当然、用いない利用も可能である。) 開発した充電装置で発電電力を平滑化し、市販の充電器を介して充電型の電池に充電する構成である。16本/充電器であり、成人男子であれば、2〜3個の充電器接続、すなわち、30本前後の電池充電の構成でバイクを漕ぐことができる。概ね、充電電池を満充電にするための要する時間は、1.5時間〜2時間弱である。

4.3 定常運用に向けた取り組み

本開発システムを定常的に利用し、そして充電した蓄電池の学内利用に向けてECO推進チーム“みどり”との協業を開始した。図7はその説明会(平成27年5月25日実施)のもようである。管財

課の支援のもと、充電した蓄電池は学内の駐車場の人感センサ付 LED (図 8) に使用されている。また、本システムの商用化の可能性の開拓、本学の知名度向上を目的として、平成 27 年 2 月 5、6 日に開催された「川崎国際環境技術展 2015」での展示も行った (図 9)。



図 6 開発システムの外観

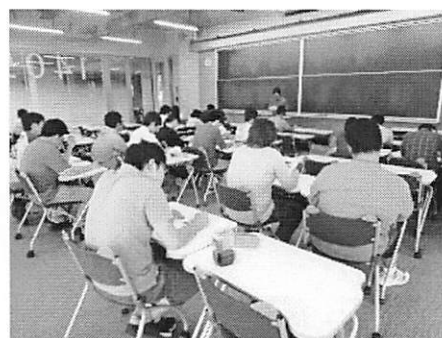


図 7 ECO 推進チーム“みどり”への説明会



図 8 充電した蓄電池の利用対象



図 9 川崎国際環境技術展 2015 での展示状況

5. 今後の計画

H27 年度は、H25 年度までに開発した使用電力見える化システムおよび創生電力見える化システムの定常運用を継続し、学内電力使用に関する基本データ取得を継続する。H26 年度に開発し、本稿で述べ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、その定常運用を支援するとともに、より使い勝手のよいシステムのための機能追加を含め、要求に対応していく。

6. 研究成果の発表

本件は、電子情報通信学会 知的環境とセンサネットワーク研究会 (ASN (Ambient Intelligence and Sensor Networks) 研究会：リンク) 主催のセンサアプリケーションアイデアコンテストで、イノベーション賞を受賞した (2014 年 12 月)。また、開発した本人とシステムの紹介として、TBS 系の TV 番組「未来の起源」として、2015 年 1 月 4 日に 11:09 から 6 分間番組として放映された。

学会発表は、2015 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、2015 年 3

月開催の本学主催の IT を活用した教育シンポジウムにおいて、“IT を活用し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て”として発表を行った。上述の川崎国際環境技術展 2015 にて、「エアロバイク・創生電力マネジメントシステム」としてデモ展示を行い、本学の取り組みとして紹介した。発電体験として多くの児童が興味を持ち、バイクによる人力発電を経験した。

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.pavegen.com/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>
- (5) ITpro、“FeliCa ケータイが学生証に、神奈川工科大学が来春から導入、” <http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20051216/226366/>

自立エネルギーシステム

研究者名：機械システム工学専攻 吉田 博夫

1. 研究の目的

エネルギー・環境を取り巻く昨今の状況は、従来の考え方を大きく変更すべきこと迫っている。我々が根本に立ち返り、大局的にどこを・何を指すかを明らかにすることが求められている。そこで我々は、エネルギー地産地消実現、循環型社会構築を究極の目標として自立エネルギーシステムの研究に着手した。可能な限り身の回りにある材料・条件を用いること、ライフスタイル改善も念頭に置いている。これらの基本的事項は新しい研究方向・研究課題を見極める上で重要である。

従来の考え方の変更が求められている以上、従来の方法や原理を出発点にするのではなく、具体的に自立エネルギーシステムを構築することで何が課題となるかを吟味しつつ研究開発を行おうとしていることが大きな特徴である。

本稿は板子一隆、川島 豪、田中 博各研究員と共同で取り組んだ成果を吉田がとりまとめた。

2. 研究の必要性および従来の研究

研究の必要性に関しては一部目的の項でも触れた。エネルギー地産地消・循環型社会構築に資する研究開発をめざし、実際に自立エネルギーシステムのモデルを試作した。本システムは①エネルギー創生、②エネルギー貯蔵・利用、③エネルギーマネジメントの三つの要素から構成される。モデルを使用しながら試行錯誤を重ねつつ課題抽出を行っている。このような取り組み姿勢は従来の研究ではそれほど明確には意識されていない。

3. 期待される効果

従来の取り組みでは見過ごされる可能性がある重要な課題が認識される。ライフスタイル改善を含む新しい省エネ意識が覚醒するものと期待される。これは飽食、肥満、生活習慣病克服とも密接に関わるものと考えられる。

4. 研究経過および結果

今年度は、特にエネルギー貯蔵について検討した。具体的に、一日におけるエネルギー消費ならびに（PVによる）エネルギー創生パターンを想定して、与えられた貯蔵容量のものでシステムが成立するか否かの検討を行った。⁽¹⁾ また、現状における電力貯蔵単価の調査を行った。固定型貯蔵装置では@28~48 万円/kWh、移動型貯蔵装置では@10~23 万円/kWhであった。今のところ移動型装置の価格が固定型装置の半分以下となっている。また、貯蔵エネルギー密度の検討を行った。化石資源、木材、水素に比べ現状のバッテリー系は圧倒的に大きな容積を必要とする。図1に示すように、70MPa 圧縮水素のエネルギー密度が木質バイオマスのそれにほぼ匹敵することは注目に値する。⁽¹⁾

また、実際に神奈川県在住するある家庭の電力使用データ、発電データをもとに必要な設定さ

れた無停電期間に対する必要貯蔵容量を算出する方法を開発した。⁽²⁾

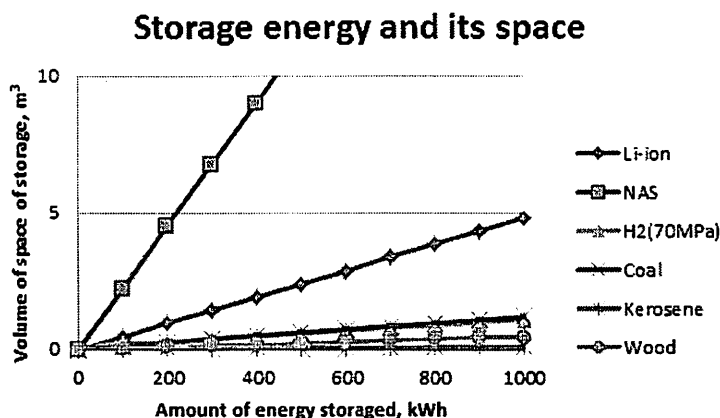


図1 各種エネルギー貯蔵媒質と体積⁽¹⁾

5. 今後の計画

今後さらに、さまざまな電力使用者に対する必要かつ適切な電力貯蔵容量を算出する方法を検討する。これにより最適自立エネルギーシステムの検討が促進される。これまで検討では PV をエネルギー創出要素として想定したが、水力、地熱、太陽熱、風力などこれ以外の自然エネルギーを利用する方法も検討したい。規模は小さいが、マンパワー発電も生活習慣病予防・克服との視点に立つと重要になるのではないかと。第 28 回（2015 年）サラリーマン川柳では「皮下脂肪、資源にできればノーベル賞」（イソノ家）が一位だそうだ。専門家に対する問題提起でもあろうか。

6. 研究成果の発表

査読付き論文・同国際会議

なし

査読無国内外学会

1. Takeshi KAWASHIMA, Hiroshi TANAKA, Kazutaka ITAKO, Hiro YOSHIDA, “An Approach to Feasible Stand-Alone Energy System”, IWES November 19-20, 2014, Tsukuba, No.402 (CD-ROM).
2. 大道寺重俊、吉田博夫、“自立エネルギーシステムのエネルギー貯蔵に関する検討”、日本機械学会関東支部第 21 期総会、2015 年 3 月 20 日-21 日、横浜国立大学、10201 (CD-ROM).

参考文献

- (1) Takeshi KAWASHIMA, Hiroshi TANAKA, Kazutaka ITAKO, Hiro YOSHIDA, “An Approach to Feasible Stand-Alone Energy System”, IWES November 19-20, 2014, Tsukuba, No.402 (CD-ROM).
- (2) 大道寺重俊、吉田博夫、“自立エネルギーシステムのエネルギー貯蔵に関する検討”、日本機械学会関東支部第 21 期総会、2015 年 3 月 20 日-21 日、横浜国立大学、10201 (CD-ROM).

4. 先進太陽エネルギー利用研究所 平成 26 年度成果