

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560315

研究課題名(和文) 太陽光発電用リチウムイオン電池の HEMS 開発

研究課題名(英文) Development of HEMS for photovoltaic generation with lithium-ion battery

研究代表者

垣本 直人 (KAKIMOTO, NAOTO)

茨城大学・工学部・教授

研究者番号：70136133

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000 円、(間接経費) 480,000 円

研究成果の概要(和文)：本研究では、リチウムイオン電池を組み込んだ太陽光発電の HEMS を開発した。まず、過去 30 年間の日射量データを解析することにより太陽光発電の信頼性を検討した。一日の供給量と電池の容量から供給が不足する日数が 1 年に 10 日くらいになるよう設定した。解析にはマルコフモデルを用いた。つぎに実験を 2 年間行い、1 年目の不足日数が 7 日、2 年目は 2 日であることを確かめた。また、電池の劣化特性を測定した。使用した電池では約 750 回の充放電が可能であった。電池のモデル化を行い、充放電の電荷量によって劣化が進行することを示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a HEMS for a photovoltaic generation system with a lithium-ion battery. First, we analyzed past 30 years of solar radiations, and examined reliability of the photovoltaic system. We determined daily power supply and battery capacity so that the number of insufficient supply days is 10 a year. We executed experiments for two years; the number of insufficient days was 7 for the first year, and was 2 for the second year. Further, we measured capacity fading characteristics of the battery. The battery could iterate charging and discharging for about 750 times. We modeled the battery, and showed that the capacity fading proceeds according to the amount of charge in the charging and discharging process.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：太陽光発電 リチウムイオン電池 信頼性 劣化特性

1. 研究開始当初の背景

太陽光発電は再生可能なエネルギーであるが、天気によって出力が変動するという問題がある。リチウムイオン電池を組み込むことにより、東日本大震災のような時にも安定して電気を供給することが望まれる。

2. 研究の目的

本研究では、リチウムイオン電池を組み込むことによって、一定の信頼度をもって電気を供給できるようにする。また、リチウムイオン電池の劣化特性を調べ、そのモデリングを行う。

3. 研究の方法

(1) 供給信頼度の改善

図1のようなリチウムイオン電池を組み込んだ太陽光発電システムを考える。平常時は系統と連系して供給信頼度は高い。しかし単独系統では太陽光パネルからの供給のみとなって、信頼度は低くなる。

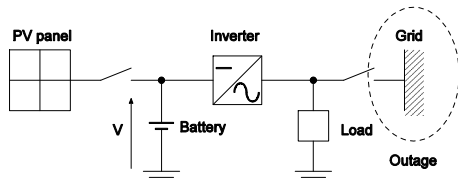


図1 システム構成

図2に一日日射量の変化を示す。水平面日射量は季節により異なるが、パネルを傾けることにより、その変化を軽減できる。

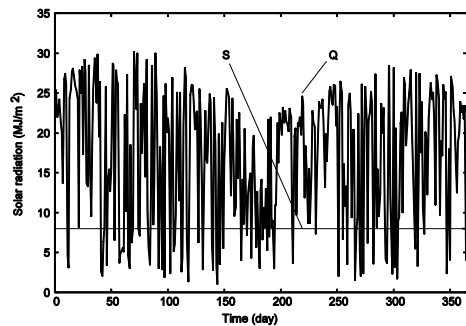
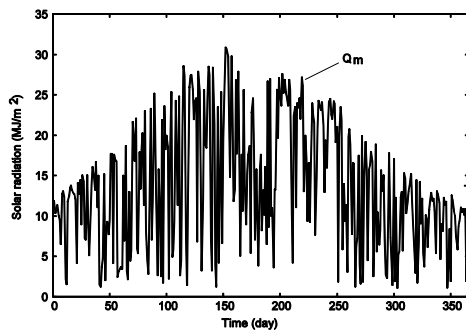


図2 日射量の変化(上)水平面 (下)斜面。

図3に日射量の持続曲線を示す。斜面日射量 Q の平均は 16 MJ/m^2 である。一日の供給量を 8 MJ/m^2 とすれば、年に73日供給量が不足する。

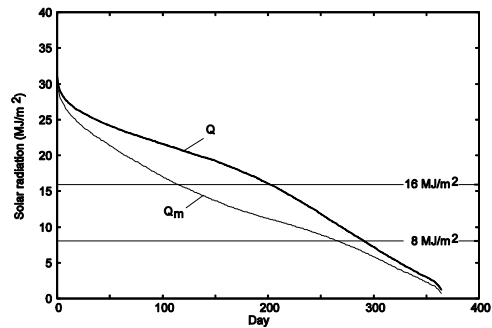


図3 日射量持続曲線

図4は、日射量が連続してある値を下回る頻度を表したものである。連続日数とともに急速にその頻度は少なくなる。

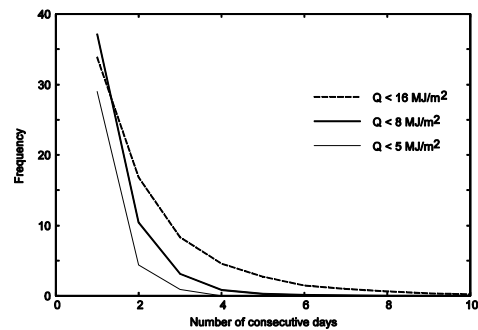


図4 連続不足日数の頻度

図5に日射量の2状態マルコフモデルを示す。 S_1 は日射量が Q より少ない状態、 S_2 は Q より多い状態を表す。 a と b は状態間の遷移確率、 p は状態の確率である。確率の値は Q とともに図(下)のように変化する。

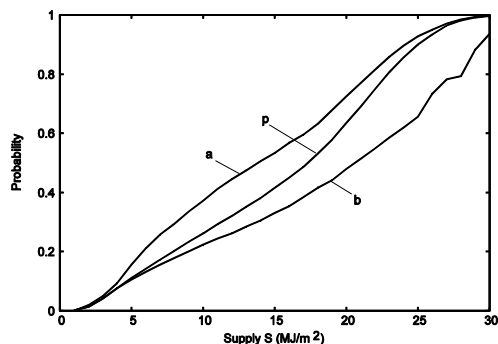
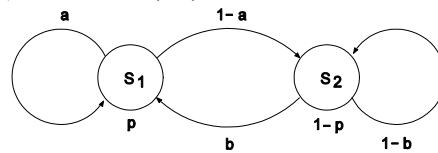


図5 2状態マルコフモデルとその確率

図6は連続不足日数をマルコフモデルによって計算した結果である。測定値と計算値の間により一致がみられる。正確な結果を得るためにはマルコフモデルが必要であることが確認された。また、図より供給量を8 MJ/m²に設定すれば、1年の供給不足日数が11.2日になることがわかる。

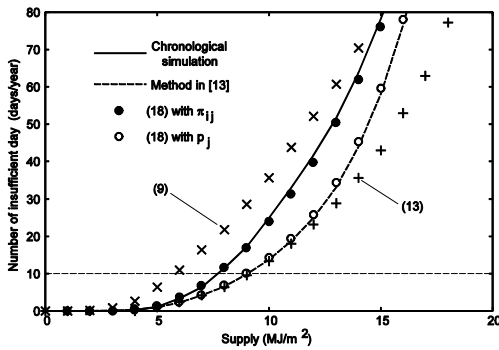
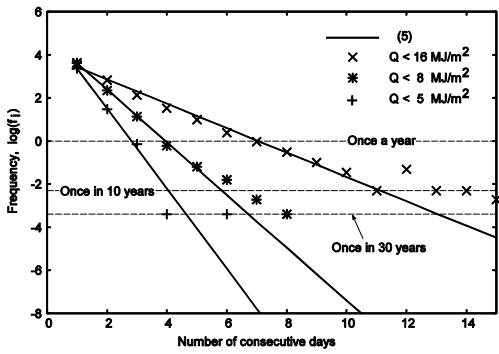


図6 マルコフモデルによる解析(上)連続不足日数の頻度 (下)供給量と不足日数

図7は日射量と発電量の測定結果を示す。発電量が日射量にほぼ比例することが確認できる。日射量8 MJ/m²により10 Ahの発電が可能であり、実験ではこの値を一日の供給量とした。リチウムイオン電池は10 Ahの電気を予備として貯蔵できるようにした。

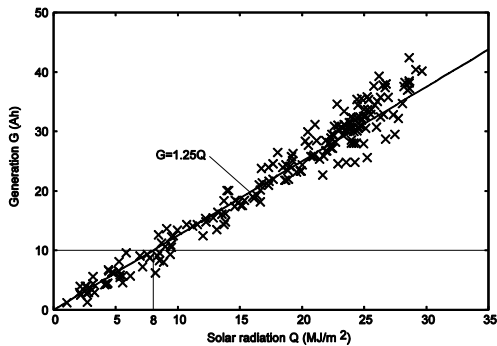


図7 日射量と発電量の測定

(2) リチウムイオン電池の劣化特性

図8にリチウムイオン電池の構成を示す。

電池は正極(LiCoO₂)と負極(C)から成り、リチウムイオンが両者の間を移動することにより充電と放電が行われる。

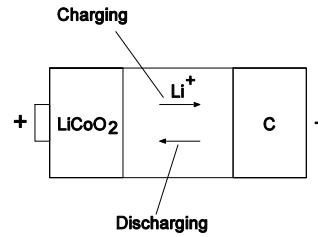


図8 リチウムイオン電池の構成

図9に充電時と放電時における電池電圧の変化を示す。充電時(図上)は電圧が電流によって上に並行移動する。放電時も電流が0.1 A(図下)のときは形状は変わらず、左方向に移動している。ただし、電圧が3 Vに下がった点を電池の容量とすると、容量は充放電の繰り返しにより少なくなっていく。

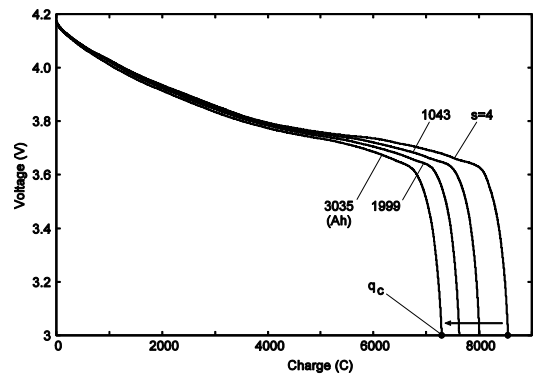
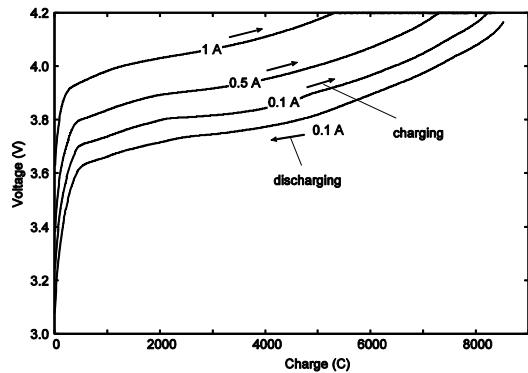


図9 電池の電圧変化(上)充電、(下)放電

すべての電流について同じように変化すれば、劣化特性の表現は容易である。しかし、図10(上)に示すように放電時の電圧の変化は電流値によってかなり異なる。電圧が3 Vに達する点を容量とすると、図(下)のようになる。電流値が0.1 Aと1 Aでは容量がほぼ平行して減少するが、2 Aでは容量の差が劣化とともに大きくなっている。

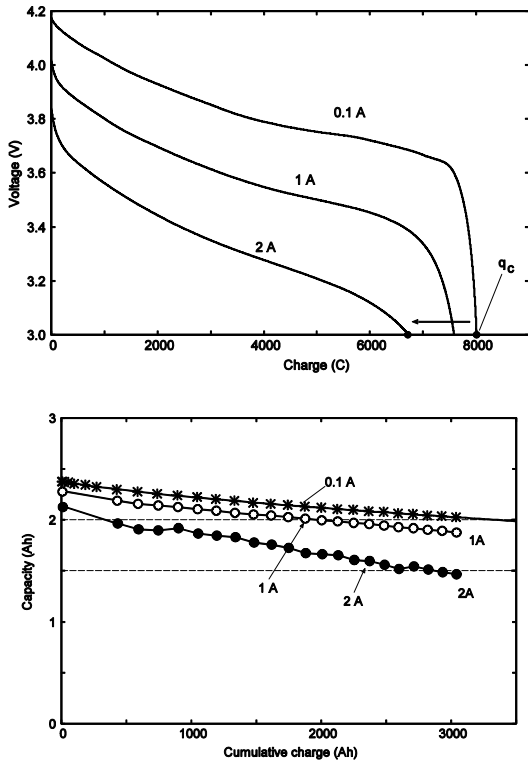


図 10 電池の容量(上)電圧 (下)容量変化

モデリングでは二つの極における電位 E_p と E_n をそれぞれの極にある電荷の量 x と y で表す (図 11 参照)。電池の電圧はその差 ($E_p - E_n$) となる。また劣化は電荷の総量 ($x + y$) が充放電によって減少していくことで表現する。

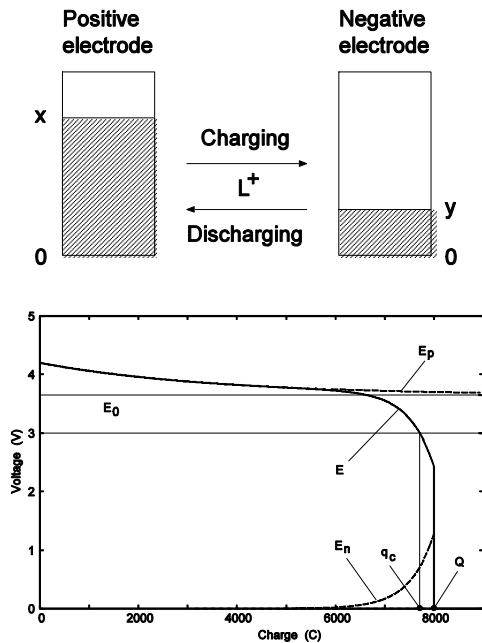


図 11 電池のモデリング(上)極の電荷 (下)極の電位

ただし、負極の特性は電流によって異なるの

で、電圧の変化を時定数 T_3 で表す。もし同じ時定数を用いると図 12 (上)の破線のように容量が実際より大きくなってしまう。そこで、時定数を図(下)のように、電流値および劣化の度合いに応じて変えた。

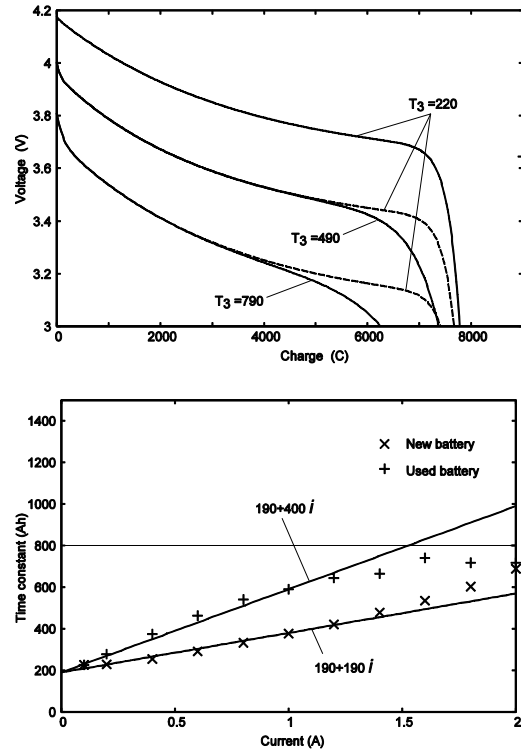
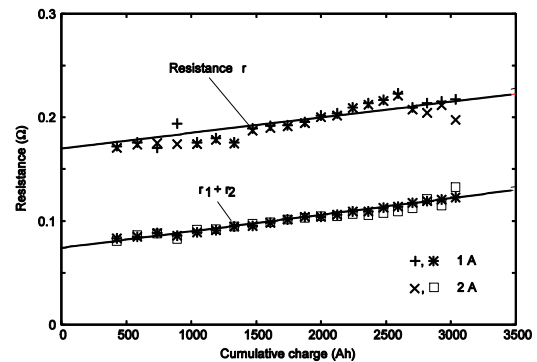


図 12 負極の表現

一方、電池に電流が流れると内部抵抗によって電圧が低下する。ここでは三つの抵抗を考えた。抵抗 r は瞬時に表れるもの、抵抗 r_1 と r_2 は一定の時間遅れをもつものである。図 13 (上)に劣化により抵抗が増加する様子を示す。電池を通過した電荷量に比例して抵抗が増加する。図(下)は抵抗 r_1 と r_2 を決める方法を示している。抵抗 r による電圧降下を取り除くと、抵抗値は図のようになる。電流の大きさによる差はほとんどない。放電電荷 3000 C までの抵抗値の変化から r_1 と r_2 およびその時定数を決定した。



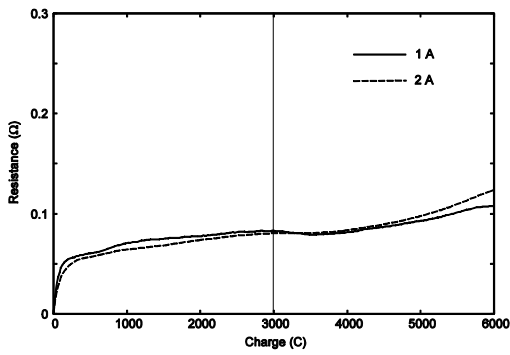


図 13 抵抗値(上)劣化特性 (下)抵抗 r_1 と r_2 の決定法

4. 研究成果

(1) 供給信頼度の改善

図 14 に 2011 年 9 月から 1 年間発電量と供給量を測定した結果を示す。この期間、発電量が 10 Ah より少なかった日数は 58 日であった。これに対して、供給が不足した日数は 7 日であった。なお、さらに 1 年間測定を継続したところ、供給不足日数は 2 日であった。これより 1 日分の供給量を予備として貯蔵すれば、ある程度の供給信頼度が確保できることがわかった。

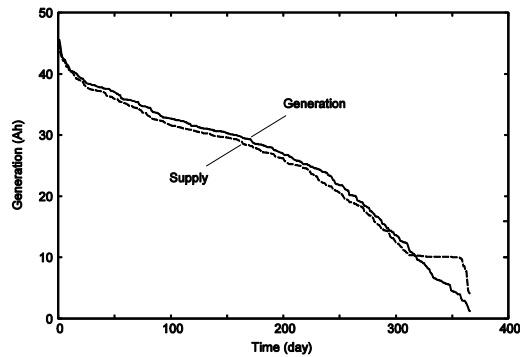


図 14 発電量と供給量の測定結果

図 15 は供給不足が起きたときの状況を示したものである。このときは、図(上)のように 4 日間連続して発電量が 10 Ah より少なくなった。その結果、図(中)のように供給量が 10 Ah に満たない日が 3 日間生じている。図(下)はこのときのバッテリー電圧の変化である。電圧が規定の値 18.3 V まで低下したため、その後の供給を停止した。

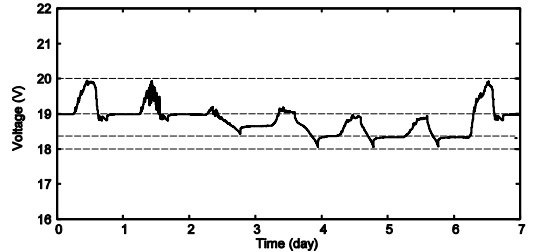
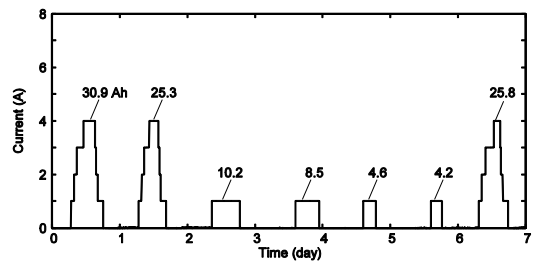
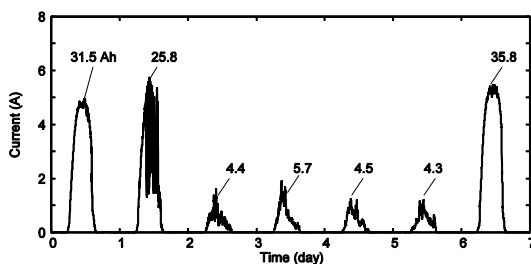


図 15 供給が不足したときの様子

(2) リチウムイオン電池の劣化特性

図 16 にモデルによるシミュレーション結果を示す。劣化のため、1 A で連続して充放電を行ったとき(図上)と容量を調べるため、満充電後に放電をしたとき(図下)の結果である。いずれの場合も、測定結果との間に良い一致が見られる。

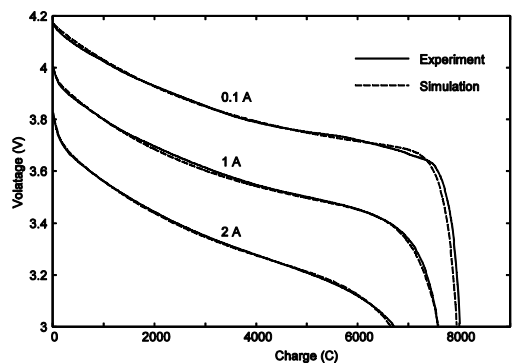
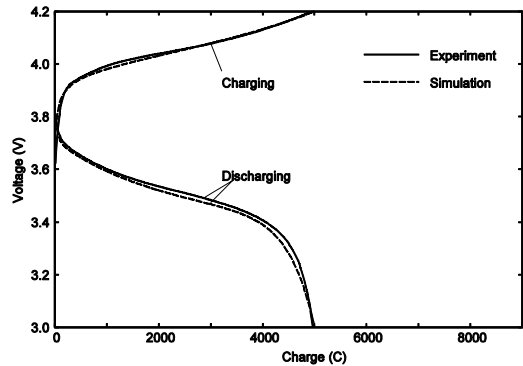


図 16 電圧変化のシミュレーション(上)連続充放電 (下)満充電後の放電

図 17 は測定時と同じように、充放電を繰り返し、50 サイクルごとに満充電し、放電することによって容量を計算した結果である。測定結果をほぼ再現している。

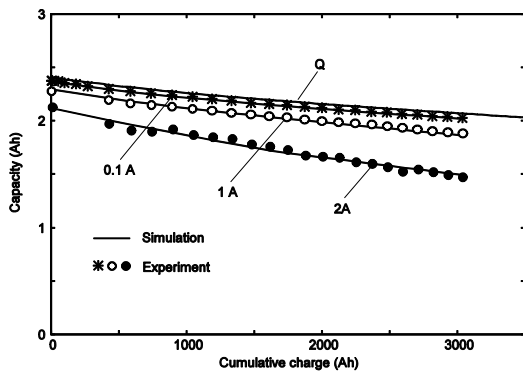


図17 容量のシミュレーション

また、図18(上)のように電池を4本並列にして劣化特性を測定した結果を図(下)に示す。図から明らかなように、4本の電池はほぼ平行に劣化している。シミュレーションも、同様の結果を示している。以上より、4本の電池は一つのまとまった電池として劣化していくことが確認できた。

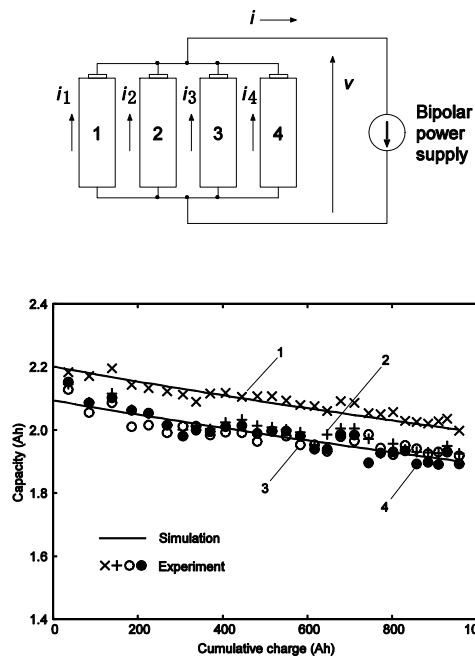


図18 並列した電池の劣化特性

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1件)

Naoto Kakimoto, Shun Matsumura, Kazuma Kobayashi, and Masaki Shoji, Two-state Markov model of solar radiation and consideration on storage size, IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 5, no. 1, pp. 171-181, 2014, 査読有

6. 研究組織

(1)研究代表者

垣本 直人 (KAKIMOTO NAOTO)

茨城大学・工学部・教授

研究者番号：70136133