

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

太陽電池と、
前記太陽電池に接続されたキャパシタと、
前記キャパシタに電圧変換器を介して接続された二次電池と、
前記太陽電池の発電量が所定値 T_s を超える場合に、前記太陽電池からの電力を負荷に供給し、前記太陽電池の発電量が所定値 T_s 以下である場合に、前記太陽電池からの電力を前記キャパシタに充電し、前記キャパシタに蓄積された電力を前記二次電池に充電する制御回路とを備えた、太陽光発電システム。

【請求項 2】

請求項 1 において、
前記制御回路は、
前記キャパシタの残容量が所定値 T_{c1} に達した場合に、前記キャパシタに蓄積された電力を前記二次電池に充電する制御を開始し、前記キャパシタの残容量が所定値 T_{c2} ($t_{c2} < t_{c1}$) 以下となった場合に、前記キャパシタに蓄積された電力を前記二次電池に充電する制御を停止する、太陽光発電システム。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 において、
前記制御回路は、
前記二次電池の残容量が所定値 T_b 未満である場合に、前記キャパシタに蓄積された電力を前記二次電池に充電し、前記二次電池の残容量が所定値 T_b 以上である場合には、前記キャパシタに蓄積された電力を負荷に供給する、太陽光発電システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、太陽光発電システムに関する。

【背景技術】

【0002】

低炭素社会へ向けた取り組みとして、太陽電池の使用が期待されている。太陽電池は、大きな物としてはビルディングなどの大型建築物から、一般家庭、道路のサイン標識や街灯に至るまで使用されている。しかし、太陽電池を利用した発電の効率は悪く、十分にその能力が発揮できていないのが現状である。太陽電池の使用時の出力は、日射量、日射方向、日射角度、天候、温度、季節、地域などの環境に大いに影響を受けるだけでなく、発電した電流の直流から交流への変換時の損失や、インバータやコンバータの使用による損失があり、元々の変換効率の悪さに加えて、更なる損失を許している。例えば、東京地区において 11 月から 2 月までの期間は日照量に比して発電量が低いことが分かっている。これは、この期間の日射量が日照量に比して低いことに原因があると考えられる。日射量が低いと太陽電池の発電電流は微弱になりうまく使うことができない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開平 7-38130 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来の技術では、太陽電池が発電した微弱な電流をうまく使うことができない。微弱な電流はパワーコンディショナや DC-DC コンバータ等でロスしてしまうため使用できていない。微弱な電流は季節によるものだけでなく、方位が悪い朝夕においても、直達日射がない曇りや雨天の場合も、太陽電池の発電電流は微弱になると考えられる。

【0005】

従来の技術として、太陽電池で発電した電流を鉛蓄電池やリチウムイオン電池に蓄電するものがある。しかし、鉛蓄電池やリチウムイオン電池には微弱な電流を蓄電することができないため、コンバータで昇圧する必要がある、その際に電力損失が発生する。

【0006】

本発明は、以上のような課題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、太陽電池で発電した電力を効率良く利用することが可能な太陽光発電システムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

(1) 本発明は、太陽電池と、前記太陽電池に接続されたキャパシタと、前記キャパシタに電圧変換器を介して接続された二次電池と、前記太陽電池の発電量が所定値 T_s を超える場合に、前記太陽電池からの電力を負荷に供給し、前記太陽電池の発電量が所定値 T_s 以下である場合に、前記太陽電池からの電力を前記キャパシタに充電し、前記キャパシタに蓄積された電力を前記二次電池に充電する制御回路とを備えた、太陽光発電システムに関する。

【0008】

本発明によれば、太陽電池の発電量が所定値を超える場合には、発電電力を負荷に供給し、発電量が所定値以下である場合には、発電電力をキャパシタに充電し、キャパシタに蓄積された電力を二次電池に充電することで、微弱な発電電流をキャパシタで効率良く回収して、太陽電池で発電した電力を効率的に利用することができる。

【0009】

(2) また本発明に係る太陽光発電システムでは、前記制御回路は、前記キャパシタの残容量が所定値 T_{c1} に達した場合に、前記キャパシタに蓄積された電力を前記二次電池に充電する制御を開始し、前記キャパシタの残容量が所定値 T_{c2} ($t_{c2} < t_{c1}$) 以下となった場合に、前記キャパシタに蓄積された電力を前記二次電池に充電する制御を停止してもよい。

【0010】

本発明によれば、キャパシタに溜めた電力を効率良く利用して、太陽電池で発電した電力を効率的に利用することができる。

【0011】

(3) また本発明に係る太陽光発電システムでは、前記制御回路は、前記二次電池の残容量が所定値 T_b 未満である場合に、前記キャパシタに蓄積された電力を前記二次電池に充電し、前記二次電池の残容量が所定値 T_b 以上である場合には、前記キャパシタに蓄積された電力を負荷に供給してもよい。

【0012】

本発明によれば、キャパシタに溜めた電力を効率良く利用して、太陽電池で発電した電力を効率的に利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】 本実施形態に係る太陽光発電システムの構成を模式的に示す図である。

【図2】 リチウムイオン電池とキャパシタの $I-V$ カーブを示す図である。

【図3】 太陽電池の出力電圧及び電流値とキャパシタの充電電圧及び電流値を示す図である。

【図4】 晴天の日の実験結果を示す図である。

【図5】 曇天の日の実験結果を示す図である。

【図6】 雨天の日の実験結果を示す図である。

【図7】 燃料電池の $I-V$ カーブを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本実施形態について説明する。なお、以下に説明する本実施形態は、特許請求の

10

20

30

40

50

範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではない。また本実施形態で説明される構成の全てが、本発明の必須構成要件であるとは限らない。

【0015】

1. 構成

図1は、本実施形態に係る太陽光発電システムの構成を模式的に示す図である。太陽光発電システム1は、太陽電池10と、キャパシタ20と、二次電池30と、パワーコンディショナ40と、DC-DCコンバータ41、42（電圧変換器）と、インバータ43と、スイッチ素子50～52を備えた制御回路（電源回路）とを含む。

【0016】

キャパシタ20は、スイッチ素子51を介して太陽電池10に接続され、太陽電池10により発電された電力を充電する。キャパシタ20に蓄積された電力は、二次電池30や負荷60に供給される。キャパシタ20としては、例えば、電気二重層キャパシタ（EDLC）を用いることができる。

【0017】

二次電池30は、DC-DCコンバータ41、42を介してキャパシタ20に接続され、キャパシタ20に蓄積された電力を充電する。二次電池30に蓄積された電力は、負荷60に供給される。二次電池30としては、例えば、リチウムイオン電池を用いることができる。

【0018】

パワーコンディショナ40は、スイッチ素子50を介して太陽電池10に接続され、太陽電池10により発電された電力（直流）を、交流に変換し、その電圧を最適化して、負荷60に供給する。DC-DCコンバータ41は、キャパシタ20からの出力電力の電圧制御を行い、DC-DCコンバータ42は、二次電池30への入力電力及び二次電池30からの出力電力の電圧制御を行う。DC-DCコンバータ41としては、例えば、非絶縁型DC-DCコンバータを用いることができ、DC-DCコンバータ42としては、例えば、絶縁型DC-DCコンバータを用いることができる。インバータ43は、キャパシタ20及び二次電池30からの電力（直流）を交流に変換して負荷60に供給する。

【0019】

制御回路は、太陽電池10の発電量を監視し、太陽電池10の発電量が所定値 T_s を超える場合には、スイッチ素子50をオンにし、スイッチ素子51をオフにして、太陽電池10からの電力を負荷60に供給し、太陽電池10の発電量が所定値 T_s 以下である場合（発電電流が微弱である場合）には、スイッチ素子50をオフにし、スイッチ素子51をオンにして、太陽電池10からの電力をキャパシタ20に充電する制御を行う。このように、太陽電池10で発電した微弱な電力を直接キャパシタ20に蓄電するように制御している。

【0020】

図2（A）に太陽電池のI-Vカーブ（I-V特性）を示す。図2（A）に示すように、太陽電池では、発電が始まると0Vから段々に電圧が上がっていく。図2（B）にリチウムイオン電池の充電カーブ（I-V特性）を示し、図2（C）にキャパシタの充電カーブを示す。図2（C）に示すように、キャパシタの充電カーブは、電圧が0Vから段々に上がっていく。太陽電池で発電した電力をキャパシタで充電する場合、発電が進むにつれて太陽電池の出力電圧が上がっていくのを、キャパシタはそのまま一緒に電圧が上昇して充電していくことができる。そのため、キャパシタを用いれば、太陽電池で発電した電力をDC-DCコンバータなしに直接充電することができ、非常に効率的な充電が可能となる。一方、図2（B）に示すように、リチウムイオン電池は、ある一定の電圧で平坦な充電カーブを持つため、その電圧までDC-DCコンバータで昇圧しなければ充電することができない。また、リチウムイオン電池では、安全性のため電流値の下限と上限が決められているため、キャパシタと比較して効率性に劣る。図3に、実際に測定した太陽電池の出力電圧及び電流値とキャパシタの充電電圧及び電流値を示す。図3を見ると、キャパシタが太陽電池の出力電圧に沿う形で電圧を変化させて充電している。また、キャパシタが

コンバータ等を介さずに直接充電し且つ効率良くロスなく充電していることが、太陽電池の出力電流値と殆ど同じ電流値で充電されていることから分かる。また、太陽電池の発電量は環境（日射量、日射方向、日射角度等）に応じて絶えず激しく変化するため、急速充放電特性が良好でサイクル特性（寿命）に優れたキャパシタは、太陽電池で発電した微弱な電力を蓄電するのに適している。なお、キャパシタ 20 の $I-V$ 特性は、必ずしも図 2 (C) に示すような直線的な特性でなくてもよく、キャパシタ 20 として、図 2 (D) に示すように、プラトーがないスロープ状の $I-V$ 特性を有する蓄電デバイスを用いてもよい。

【0021】

また、制御回路は、キャパシタ 20 の残容量 (SOC) を監視し、キャパシタ 20 の残容量が所定値 $Tc1$ に達した場合に、スイッチ素子 52 にオンにして、キャパシタ 20 に蓄積された電力を二次電池 30 に充電する制御を開始し、キャパシタ 20 の残容量が所定値 $Tc2$ ($Tc2 < Tc1$) 以下となった場合に、スイッチ素子 52 にオフにして、キャパシタ 20 に蓄積された電力を二次電池 30 に充電する制御を停止する。このように、キャパシタ 20 にある程度溜めた電力を二次電池 30 に供給する制御を行っている。

【0022】

また、制御回路は、二次電池 30 の残容量 (SOC) を監視し、二次電池 30 の残容量が所定値 $Tb1$ 未満である場合に、キャパシタ 20 に蓄積された電力を二次電池 30 に充電し、二次電池 30 の残容量が所定値 $Tb1$ 以上である場合には、キャパシタ 20 に蓄積された電力を負荷 60 に供給する制御を行う。これにより、キャパシタ 20 に溜めた電力を効率良く利用することができる。

【0023】

このように、本実施形態に係る太陽光発電システム 1 によれば、太陽電池 10 の発電量が所定値 Ts 以下である場合に、太陽電池 10 からの電力をキャパシタ 20 に充電し、キャパシタ 20 に蓄積された電力を二次電池 30 に充電し（或いは、二次電池 30 の残容量が $Tb1$ 以上である場合には負荷 60 に供給し）、二次電池 30 に蓄積された電力を負荷 60 に供給して使用することで、太陽電池 10 で発電した微弱な電力をキャパシタ 20 で効率良く回収して、太陽電池 10 で発電した電力を効率的に利用することができる。

【0024】

また、二次電池 30 を有効利用するため、制御回路は、深夜の時間帯に、外部電源からの電力を二次電池 30 に充電し、白昼の時間帯（例えば、10 時～14 時）に、二次電池 30 の残容量が所定値 $Tb2$ ($Tb2 < Tb1$) を下回るまで、二次電池 30 に蓄積された電力を負荷 60 に供給する（放電する）制御を行う。

【0025】

2. 実験結果

本実施形態に係る太陽光発電システム 1 を評価する実験を、東京地区で行った。本実験では、太陽電池 10 として、多結晶シリコン型太陽電池モジュール（最大出力：5.2 kW、開放電圧：383.0 V）を用い、キャパシタ 20 として、電気二重層キャパシタモジュール（蓄電容量：150 Wh、入力電圧範囲：0～414 V）を用い、二次電池 30 として、リチウムイオン電池モジュール（負極材料：グラファイト、正極材料： $LiFePO_4$ 、蓄電容量：26.0 kWh、電圧範囲：260～374.4 V、最大電流：180 A）を用いた。また、所定値 Ts （発電量が微弱であるか否かを判定する閾値）を 1000 W とし、所定値 $Tc1$ （キャパシタ 20 の放電を開始する閾値）を、キャパシタ 20 の蓄電容量の 80% とし、所定値 $Tc2$ （キャパシタ 20 の放電を停止する閾値）を、キャパシタ 20 の蓄電容量の 40% とし、所定値 $Tb1$ （キャパシタ 20 から二次電池 30 への充電を停止する閾値）を、二次電池 30 の蓄電容量の 100% とし、所定値 $Tb2$ （二次電池 30 の放電を停止する閾値）を、二次電池 30 の蓄電容量の 31% とした。また、外部電源からの電力を二次電池 30 に充電する深夜の時間帯を、22 時～2 時とし、二次電池 30 に蓄積された電力を負荷 60 に供給する白昼の時間帯を、10 時～14 時とした。

10

20

30

40

50

【0026】

晴天、曇天、雨天の日のそれぞれにおける、太陽電池10の発電量、キャパシタ20の充放電電力量及び電圧、二次電池30の電圧及びSOCの変化を測定した。

【0027】

図4に、晴天の日(2016年7月30日、晴れ)のデータを示す。図4を見ると、朝夕の激しく変化する1000W(所定値Ts)以下の微弱な発電電流が、その変化の通りにキャパシタ20に溜まっているのが分かる。また、昼間においても雲の陰り等により時折発電量が微弱になり、この微弱な電流がキャパシタ20に溜められているのが分かる。この日の太陽電池10の発電量は、82.87MJ(23.02kWh)であり、キャパシタ20の放(充)電量は、7.89MJ(2.19kWh)であった。すなわち、総発電量の10%弱にあたる微弱電流がキャパシタ20に蓄電された。なお、キャパシタ20から二次電池30に充電された電力量は、2.89MJ(0.80kWh)であった。

10

【0028】

図5に、曇天の日(2016年7月21日、雨後一時曇)のデータを示す。図5を見ると、発電量は一日中僅かな時間を除いて微弱であり、この微弱な電流がその変化の通りにキャパシタ20に溜められているのが分かる。この日の太陽電池10の発電量は、22.08MJ(6.13kWh)であり、キャパシタ20の放(充)電量は、13.15MJ(3.65kWh)であった。すなわち、総発電量の60%弱にあたる微弱電流がキャパシタ20に蓄電された。なお、キャパシタ20から二次電池30に充電された電力量は、3.60MJ(1.00kWh)であった。

20

【0029】

図6に、雨天の日(2016年8月27日、雨時々曇)のデータを示す。図6を見ると、発電量は一日中微弱であり、この微弱な電流がその変化の通りにキャパシタ20に溜められているのが分かる。この日の太陽電池10の発電量は、12.20MJ(3.39kWh)であり、キャパシタ20の放(充)電量は、8.26MJ(2.29kWh)であった。すなわち、総発電量の67.7%もの微弱電流がキャパシタ20に蓄電された。なお、キャパシタ20から二次電池30に充電された電力量は、2.30MJ(0.64kWh)であった。

【0030】

このように、本実験の結果、本実施形態に係る太陽光発電システム1により、微弱な発電電流をキャパシタ20で効率良く回収することができ、朝夕であっても曇りや雨天の場合であっても、太陽電池10で発電した電力を効率良く利用できることが確認された。

30

【0031】

なお、本発明は、上述の実施の形態に限定されるものではなく、種々の変更が可能である。本発明は、実施の形態で説明した構成と実質的に同一の構成(例えば、機能、方法及び結果が同一の構成、あるいは目的及び効果が同一の構成)を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成の本質的でない部分を置き換えた構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成と同一の作用効果を奏する構成又は同一の目的を達成することができる構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成に公知技術を付加した構成を含む。

40

【0032】

例えば、上記実施形態では、太陽光発電システム1がキャパシタ20を1つ備える場合について説明したが、太陽光発電システム1は複数のキャパシタ20を備えてもよい。例えば、太陽光発電システム1が2つのキャパシタ20を備える場合、制御回路は、太陽電池10からの電力を一方のキャパシタ20に充電する期間に、他方のキャパシタ20に蓄積された電力を二次電池30に充電(他方のキャパシタ20を放電)し、一方のキャパシタ20に蓄積された電力を二次電池30に充電(一方のキャパシタ20を放電)する期間に、太陽電池10からの電力を他方のキャパシタ20に充電するといった制御を繰り返してもよい。このようにすると、太陽電池10で発電した微弱な電力を、継続して複数のキャパシタ20に蓄電することができ、当該微弱な電力をより効率良く回収することができ

50

る。また、制御回路は、太陽電池 10 からの電力を複数のキャパシタ 20 に同時に充電し、複数のキャパシタ 20 を同時に放電する制御を行ってもよい。これにより、キャパシタ 20 の高出力化を図ることができる。

【0033】

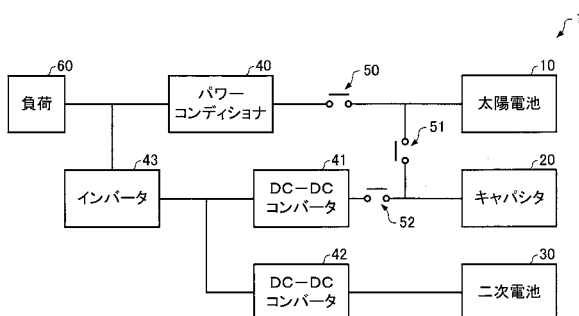
また、発電装置として燃料電池やエネルギーハーベストを用いてもよい。図 7 に、燃料電池の I-V カーブを示す。なお、図 7 には、二次電池（鉛蓄電池）の電圧も示している。図 7 に示すように、燃料電池は太陽電池と同様の I-V 特性を有している。燃料電池では、電流値が上がっていくと、様々な抵抗が増して電圧が急激に低下する。そのため、燃料電池で発電した電力を二次電池で充電するには、DC-DC コンバータを用いて降圧又は昇圧しなければならない。一方、キャパシタを用いれば、電圧の変化に関係なく効率良く充電することができる。特に低い電圧での微弱な発電は殆ど使われてこなかったため、燃料電池をキャパシタと組み合わせることで、効率的な充電が可能となる。また、エネルギーハーベストでは、発電電力が非常に小さい（ μW 単位）ため、コンバータを使用するのは現実的ではない。一方、エネルギーハーベストを小型のキャパシタと組み合わせれば、電圧の変化があり且つ微弱な電流をそのまま充電することができ、効率的な充電が可能となる。

【符号の説明】

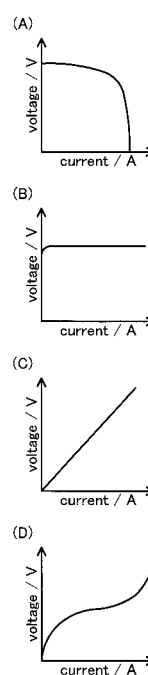
【0034】

1…太陽光発電システム、10…太陽電池、20…キャパシタ、30…二次電池、40…パワーコンディショナ、41, 42…DC-DC コンバータ（電圧変換器）、43…インバータ、50, 51, 52…スイッチ素子、60…負荷

【図 1】

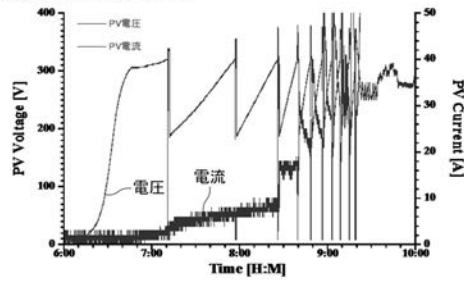


【図 2】

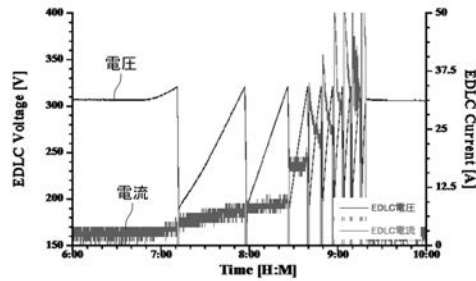


【図 3】

太陽電池/出力電圧・電流値

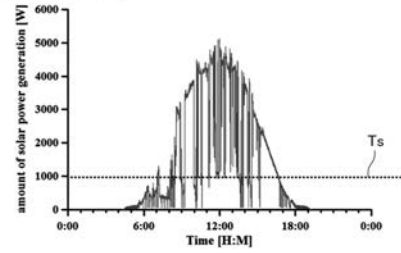


キャパシタ/充電電圧・電流値

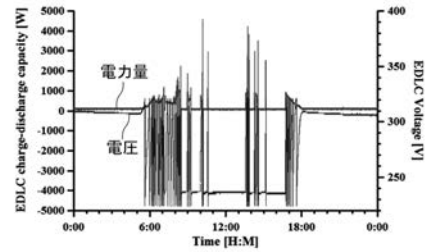


【図 4】

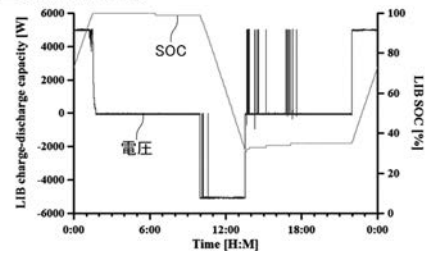
太陽電池/発電量



キャパシタ/電力量・電圧

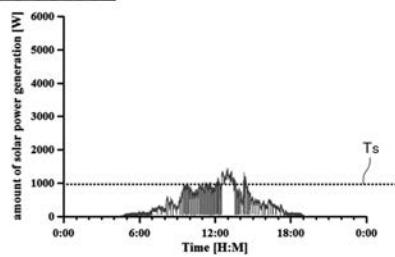


二次電池/電圧・SOC

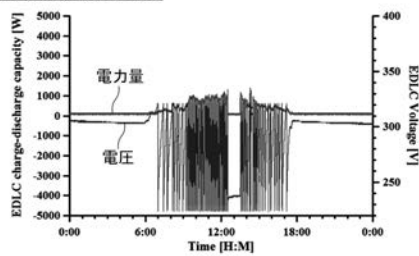


【図 5】

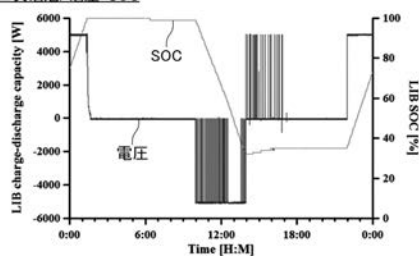
太陽電池/発電量



キャパシタ/電力量・電圧

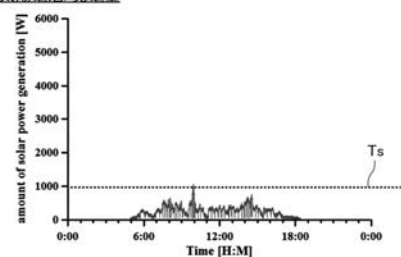


二次電池/電圧・SOC

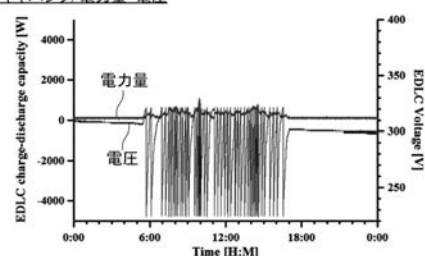


【図 6】

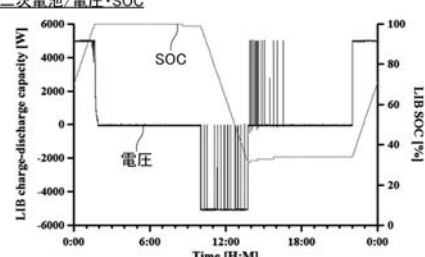
太陽電池/発電量



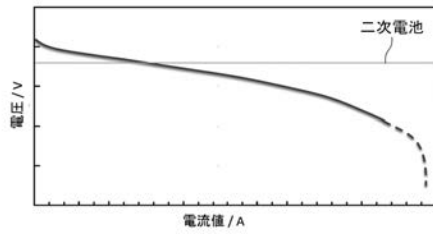
キャパシタ/電力量・電圧



二次電池/電圧・SOC



【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 直井 和子

東京都国立市東1-3-16 アトランティス国立901号室

Fターム(参考) 5G503 AA04 AA05 AA06 AA08 BA01 BA04 BB02 BB03 CA08 CA12
CC08 DB03 GB03 GB06