

リチウムイオンバッテリーの経時特性の測定結果

Measured Results of Lithium Ion Batteries Time Elapsed Characteristics

袴田 吉朗*

加藤 大貴**

恩田 一***

Yoshiro HAKAMATA

Daiki KATOH

Hajime ONDA

Abstract: The paper describes the time elapsed characteristics of Lithium Ion batteries that are built and used in the Battery Management System (BMS). The BMS consists of series connected fourteen batteries that are charged from or discharged to a solar system constructed in the SIST campus. A program was newly developed and used to measure and record the time elapsed characteristics, including cell's voltage, current and temperature. The program has measured Lithium Ion batteries voltages and temperature of the batteries every two minutes through this year. In this paper, the measured and recorded data are reported.

1. はじめに

静岡理工科大学では、開学20周年記念事業の一環としてH23年度に太陽光発電を主体とした蓄電型太陽光発電式電気自動車(PV/EV)充電システムの構築が行われ、その後落雷の被害に遭うなどの不測の事態も経験したが、H25年の2月以降になってから正式に稼働を始めてきたところである [1]。

太陽光や風力などの自然エネルギーは不安定であり、その出力電圧を平準化するためにバッテリーフローティングの手法が採用されるのが通常である。PV/EV充電システムにおいてもその目的を果たすべく、鉛電池およびリチウム電池が使用されている。

本報告で述べるバッテリーマネジメントシステム(以下BMS)は太陽光発電システムにおけるリチウム電池に関するものである。BMSの目的は第一にバッテリーフローティングを実行すること、第二にハイブリッドカーなどに使用して不要になったリチウムイオンバッテリーを再利用することにある。

しかしながら現状では中古のリチウムイオンバッテリーが市場に出回っている訳ではなく、今回は新品のリチウムイオンバッテリーを14個直列接続して構成されたBMSを測定対象に用いた[2]。このBMSを前記の太陽光発電システムに接続し、太陽光により充放電する構成を取っている。なおシステムの構築に併せてBMSを構成する各バッテリーセルの電圧値、電流値および温度を2分毎に測定しデータを記録、収集するプログラムを開発した[3]。本プログラムを用いて H25年2月以降データの記録、収集を行うとともに、異常な高電圧あるいは低電圧を示すセルの有無を1年間に亘って監視してきた。

本報告ではH25年度に測定、収集したBMSにおけるセル電圧、電流およびセル温度のデータ等について報告する。今回の測定結果からは、セル電圧の経時特性における最大電圧と最小電圧のバラツキは非常に小さく、特別に大きい場合でも0.13V程度であることが分かった。通常は、バラツキの値は測定器の分解能

に相当する10mV程度の値であることも分かった。またセル電圧の最大値は4.0Vを超えることはなく、バランスングを行う必要もなかった。これらの理由は、新品で、しかも非常に特性の揃ったリチウムイオンバッテリーがシステムに使用されていたからであると思われる。

以下本報告では測定結果の詳細について述べる。

2. バッテリーマネジメントシステムの概要

(1) システムの概要

図2.1にPV/EV充電システムの構成図を示す。BMSはこの全システムの内○で囲った部分である。BMSのシステム構成図の詳細を図2.2示す。

- 被測定対象は直列接続された14個のリチウムイオンバッテリーである。これらのバッテリーは双方向性DC/DCコンバータを介してHVDCに接続されており、太陽光発電システムから充放電される。なお負荷は時々刻々変動しており、一定ではない。
- この回路に放電用のリレー14個、メインリレーおよび電流検出用の0.1Ω抵抗を直列接続して制御に用いている。なお正の電流値はBMSへの充電、負の電流値はBMSからの放電を意味する。
- 制御部分は、データロガーGL820(AD/DA変換器)、8ポートミニリレー(2台)、放電用の4.7Ω抵抗(14個)、K熱電対(7個)、3ポートハブ、端子台、回転灯およびPCなどからなる。
- なお低電圧アラームを含む各種のアラームが発生した場合に、保守者に対して異常を連絡するためのメーラーボードを今年度新たに取り付けた。

(2) 使用したリチウムイオン電池の仕様

型式: LEV50 (GS ユアサ製), 定格容量: 50 Ah
 定格電圧: 3.7 V, 重量: 1.7 kg
 重量エネルギー密度: 109 Wh/kg
 体積エネルギー密度: 218 Wh/L

2014年2月28日受理

*理工学部 電気電子工学科

**理工学部 電気電子工学科4年生

***総合技術研究所 客員教授

SIST 静岡理科大学 自律型双方向性電力システム

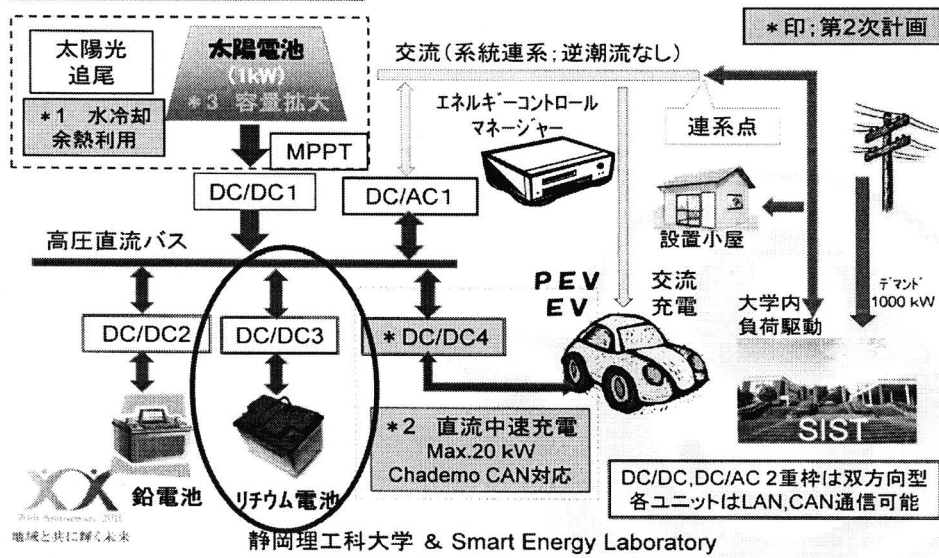


図2.1 SIST 蓄電型PV/EV 充電システム 端子台

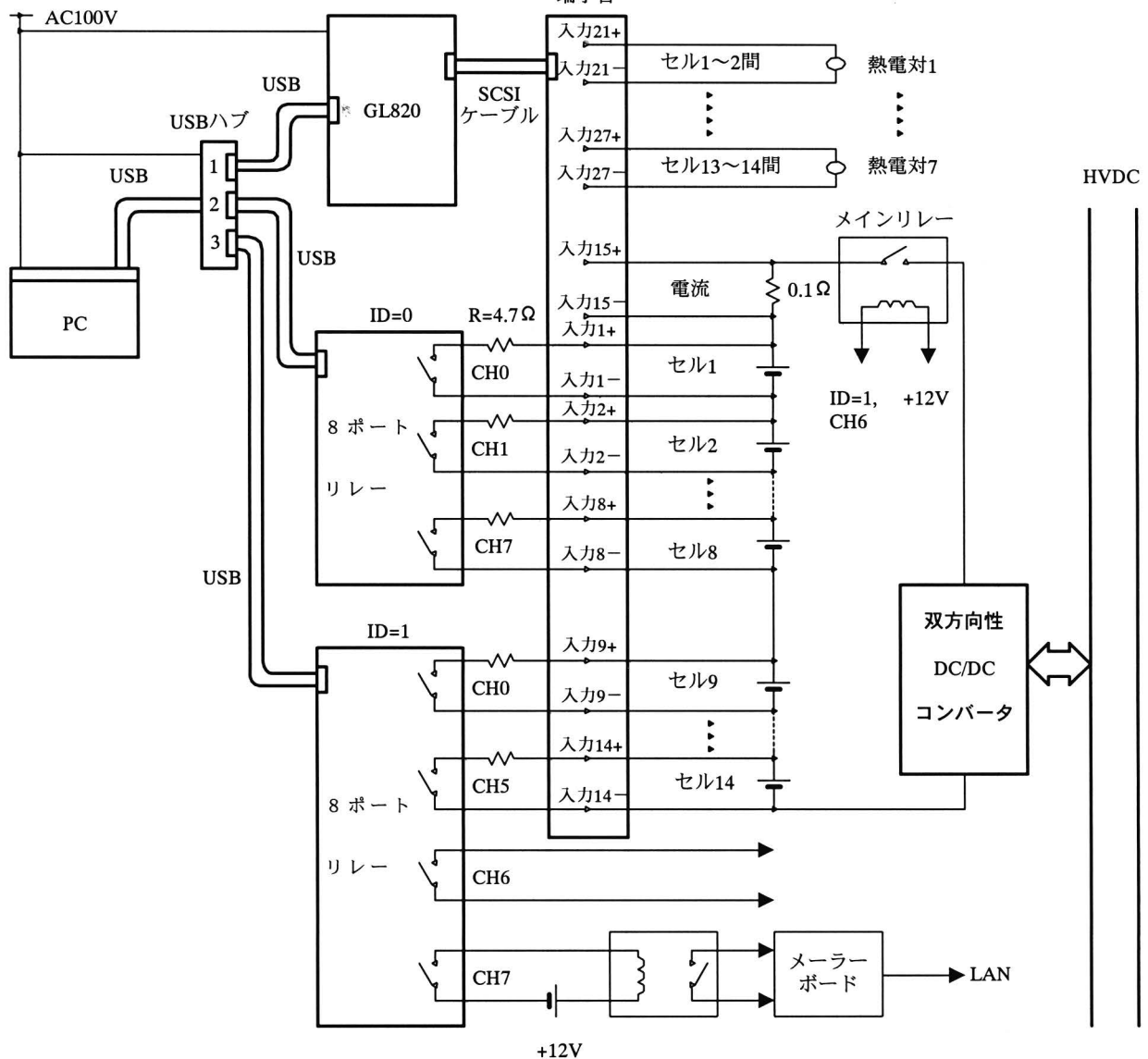


図2.2 バッテリーマネジメントシステムのハードウェア構成

3. 測定結果

(1) セル電圧, 電流の日間変動

典型的な測定例を図 3.1 に示す。太い線は 14 個のセル電圧を重ね書きしたものである。横軸は 2 分毎の測定時刻であり、最大で 1 日当たり 720 個のデータがある。午前 6 時頃から充電に伴う電圧上昇が始まり、午後 3 時過ぎ頃から逆に放電が起こり電圧は徐々に低下している。電圧の低下は翌日の午前 6 時頃まで続いている。電圧の最大値と最小値の差は、図 3.1 の場合には 90mV であった。

破線はリチウムイオンバッテリーへの充電電流の測定結果である。+が充電電流、-が放電電流である。電流は、電圧の挙動と整合性のある挙動になっている。すなわち充電が始まると電流は急速に最大値に到達し、その後バッテリー電圧の上昇とともに漸減している。午後 3 時過ぎになって、電圧が低下を始めるとともに電流の向きも変わり HVDC 側に電流を供給する動きになっている。

図 3.2 は別の日のデータにおける平均電圧と、偏差 (バラツキ) を示したものである。

(2) セル電圧の経時特性におけるバラツキ

図 3.1 および図 3.2 に示した日間変動の典型的な例においては、同一時刻においてセルを変えた場合の最大電圧と最小電圧の差は 10mV であった。この値は測定に使用したデータロガー (GL820) における測定分解能と同等である。

最も大きなバラツキが生じたのは、盛夏の渦中であった 8/13~8/16 のデータである。図 3.3~図 3.4 にこの間の測定結果を示す。8/14 に最大のバラツキが生じており、その値は 130mV であった。電圧の値は 8/13 から 8/14 にかけて 3.1V 程度にまで低下していた。電流の値はほ

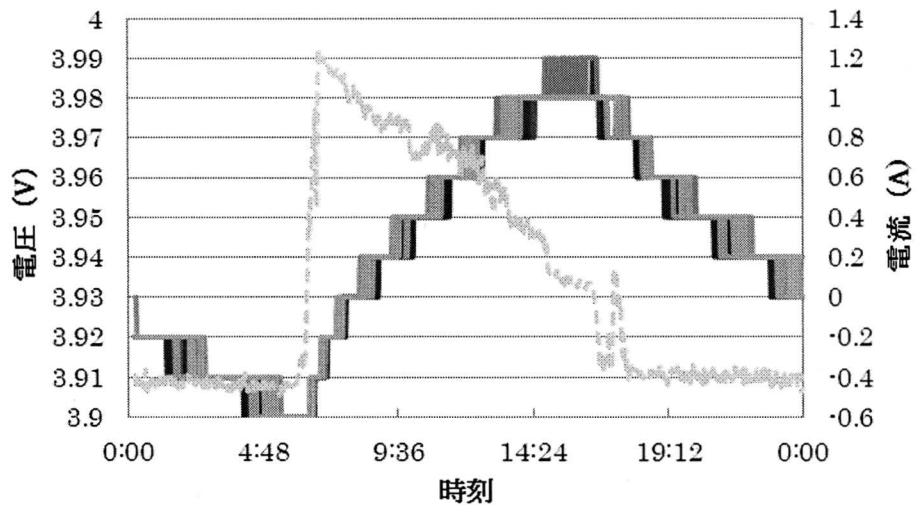


図3.1 2013/4/1 (晴 17℃/11℃)

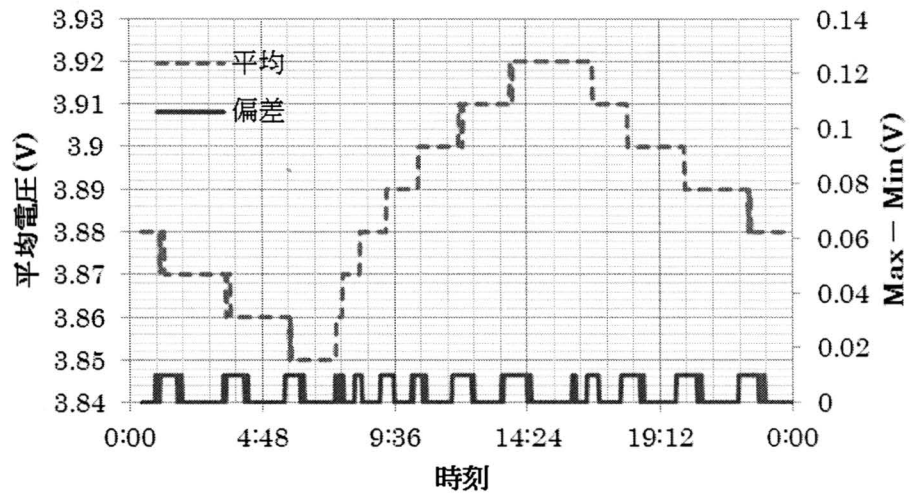


図3.2 2013_12_01 (晴 14℃/4℃)

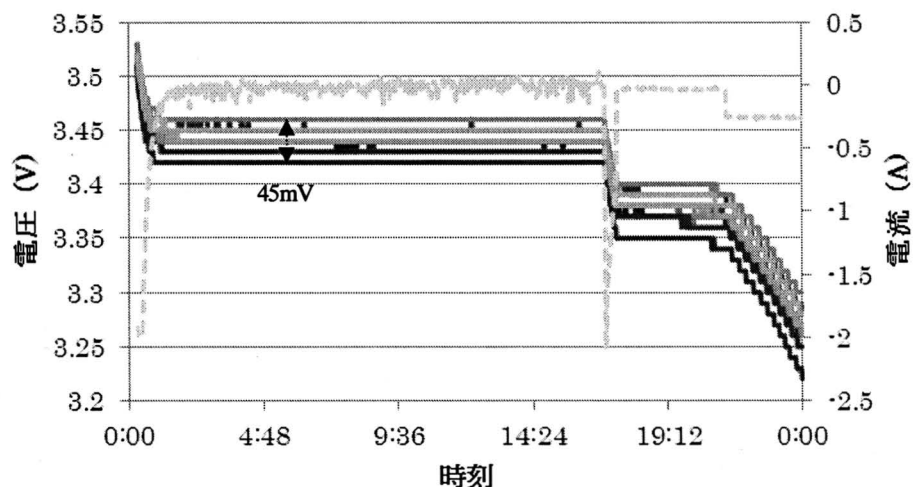


図3.3 2013/8/13 (晴 33℃/27℃)

ぼ 0 に近い値であった。

8/16 もほぼ同様な傾向が続いていた。8/17 から月末までは残念ながらデータを取得できなかった。

図 3.5 は 9/19 における測定結果である。バラツキの大きさは 120mV と大きい。その特性は図 3.4 の特性と酷似しており、電圧の値は 3V 程度にまで低下している。

他のバラツキの大きいデータもセル電圧が低下してきた時に発生しており、バラツキ大は低セル電圧時に発生し易い傾向が見て取れる。

一方図 3.1 や図 3.2 に示した典型的な例においては、電圧そのものの値は高く、バラツキは 10mV 程度と小さい傾向が見られる。

(3) 最大電圧の推移

BMS プログラム開発時に最も苦勞したのはセル電圧がアラーム発出電圧を超えた場合に対する処置である。アラーム発出電圧と PC への表示を以下に示す。

- ・電圧 < 3.0V・・・低電圧アラーム、青色を点灯
- ・電圧 ≥ 3.0V・・・正常状態、緑色を点灯
- ・電圧 ≥ 4.0V・・・アラーム発出、黄色を点灯
- ・電圧 ≥ 4.1V・・・放電開始電圧、3 段の保護動作中は黄色と赤色を 1s 毎に点滅、その後赤色の点灯に移行

ログによれば、電圧が 4.1V 以上となり放電が開始される状況になることはなかった。

図 3.6 は 1 日における最大電圧を集計し、まとめたものである。最大値は 4.01V 程度であり、月別に見た場合に最大値を記録したのは、5 月である。4 月も 4.0V を記録した。8 月は幾分低く、3.9V 程度であった。なお○の中の数字は月を表す。

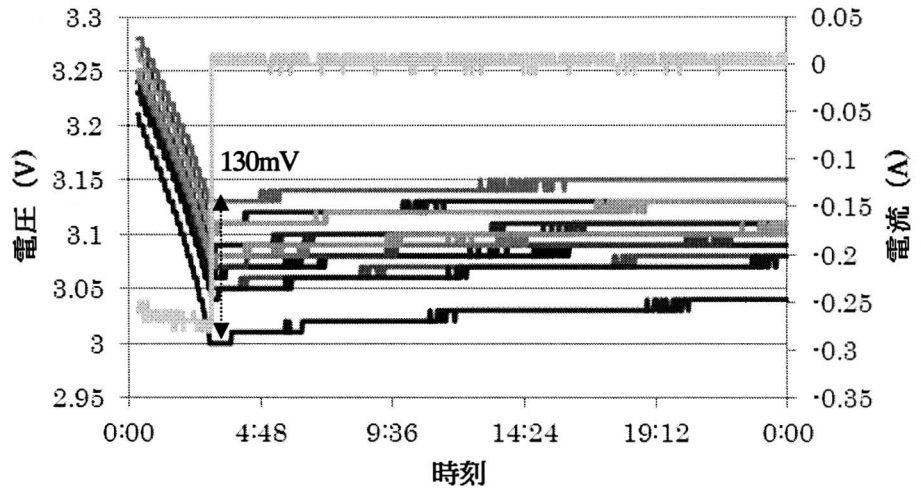


図3.4 2013/8/14(晴 33℃/27℃)

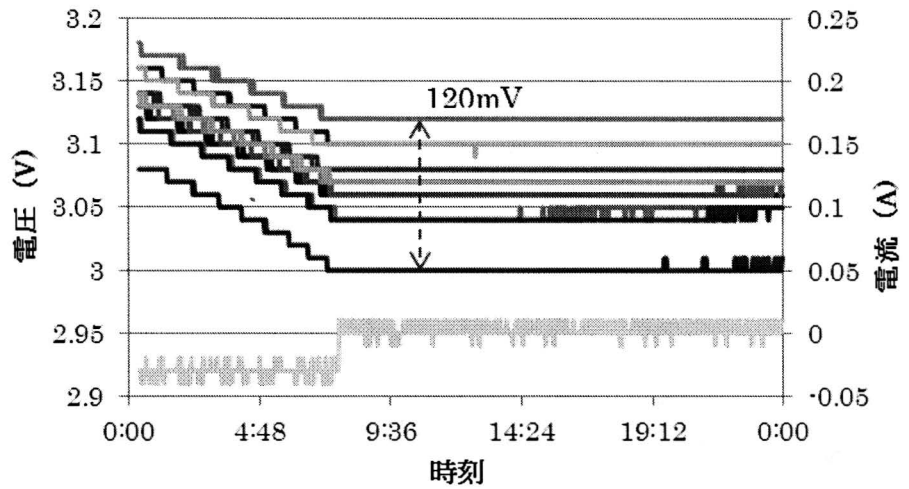


図3.5 2013/9/19(晴 28℃/19℃)

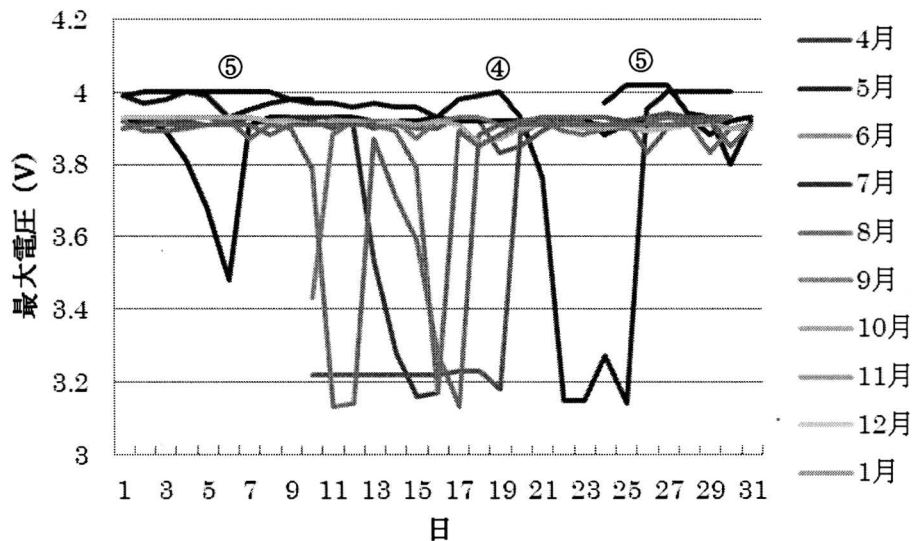


図3.6 1 日における最大電圧の推移

(4) 最小電圧の推移

図 3.7 に 1 日における最小電圧の推移を示す。これによるとアラーム発出電圧である 3.0V 未満に到達したのは以下の 8 日である。
4/21, 8/14, 9/19, 11/10, 11/11, 11/13, 1/15, 1/16

最初のうちは低電圧に関する関心が低く、装置が設置してある自転車駐輪場横のミニハウスに出かけていった時に、システムが異常になっていた場合のみ対処していた。ログにも記録を取っていなかった。しかしながらこれでは不味いため、プログラムを修正して 2013/11/20 以降ログに記録を残すようにした。なお○の中の数字は月を表す。

ログで低電圧アラームが確認できるのは 1/15, 1/16 の 2 回だけである。

図 3.8 に 1/15 におけるログの抜粋を示す。

		23:33
		23:35
2014/1/15	23:37	低電圧
	23:39	低電圧
	23:41	低電圧
	23:43	低電圧
	23:45	低電圧
	23:47	低電圧
	23:49	低電圧

図 3.8 1/15 の低電圧発生時におけるログ

なお卒業研究の一環としてアラーム発生時に異常があった旨を、メールを通じて保守者に知らせるためのメーラーボードを加藤が製作した。2013/12/23 にこの装置を実際に設置した。1/16 に受信したメーラーボードからのメッセージを図 3.9 に示す。

送信者：メーラーボード
日時：2014年1月16日 20:01
宛先：加藤; 袴田; 恩田; 中田
件名：メーラーボードからのお知らせ

太陽光発電システムです。
何か異常が発生しています
至急確認をしてください。

図 3.9 メーラーボードの受信結果

4. 温度依存性

図 4.1 にセル電圧のセル温度に対する依存性の測定例を示す。データ数は 14708 個である。セル温度が高くなるとセル電圧も

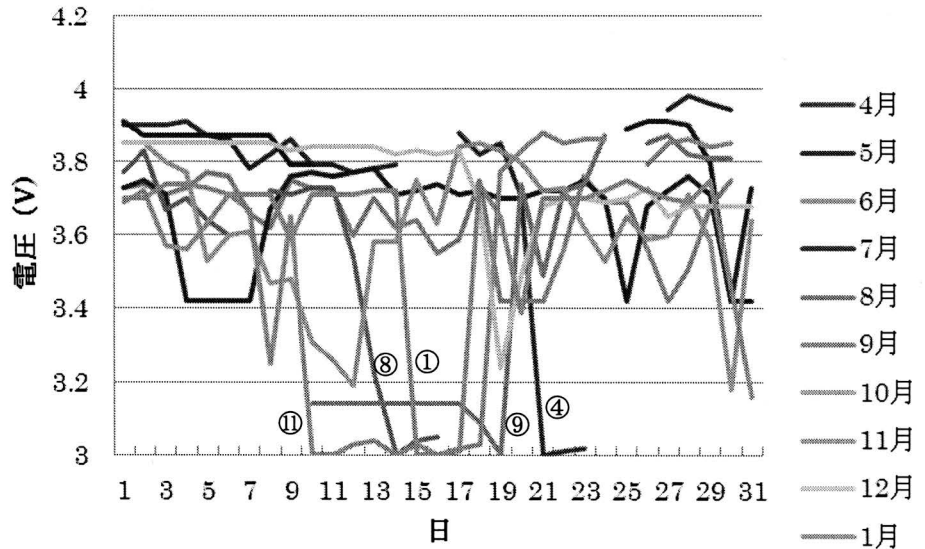


図 3.7 1 日における最小電圧の推移

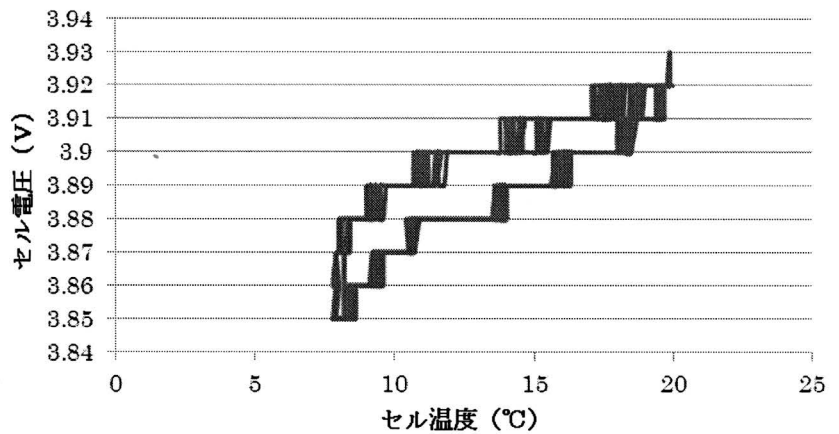


図 4.1 2013/12/01

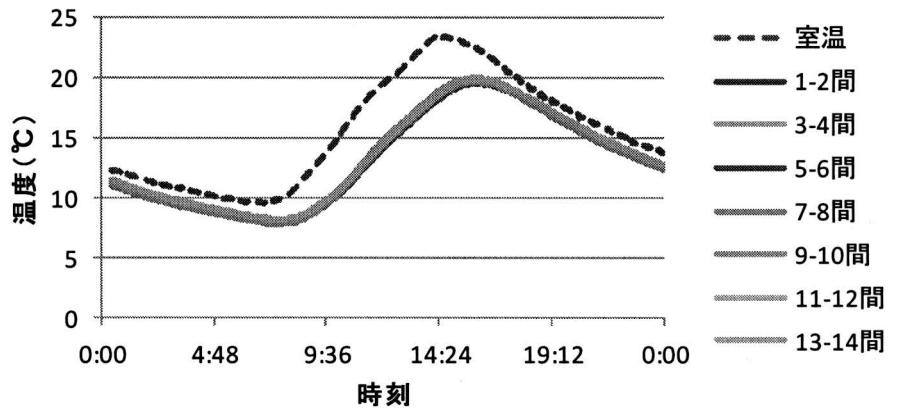


図 4.2 セル平均温度と室温の関係 (2013/12/1)

高くなるという正の相関に近い関係が得られている。

図 4.2 は室温とセル温度の測定例である。セル温度は室温よりも幾分低めであるという結果が得られている。

図 4.3 は室温とセル平均電圧との相関の測定例である。セルのバラツキの程度は非常に小さいので、平均電圧はほぼセル電圧を表しているものと考えて良い。また室温とセル平均温度の

相関も良好であることを考えると、図4.3の特性はセル電圧の温度依存性を示していると考えられる。

図4.3の場合には、15℃以上の温度では電圧と温度の関係は1次式を呈していると言える。但しこの関係は各データによって非常に異なっているので一般性はない。

図4.4は日射量および積算電力の時刻依存性の測定例である。午前7時頃から日射量が増大し、変動はあるものの日中はほぼ0.5kW前後の値を示していた。また午後1時頃から日射量が低下を始め午後4時頃になるとほぼ日射量が0となる特性を示していた。破線は積算電力である。日射のある間の積算電力はほぼ直線的に増大し、この特性は図3.1の特性と対照すると良好な相関を示している。日射がなくなると積算電力は増加しなくなり、HVDC側に放電が始まりセル電圧は低下している。

付図2.3に日間変動の測定結果を示した10/30のデータでは、日の出から日中における電圧の上昇が0.7Vと非常に大きかった。なおこのときの積算電力は5kWhであり、図4.4に示した12/1のデータに比べて約1.4倍になっていた。

図4.5は12/18における測定例である。この日は曇天であり、積算電力は0.39kWhと図4.4における12/1のデータに比べて約1/10の値であった。積算電力の時間依存性は図4.4とほぼ同様の傾向を示していた。またセル電圧(付図2.4)は、日射量はあるものの漸減する傾向を示していた。

図4.6は横軸に積算電力をとり、縦軸にセル平均電圧における最大値と最小値の差をとったグラフであり2013/12に測定したデータである。積算電力は4.3kWh~0.5kWhとばらついている。積算電力とセル平均電圧の最大と最小の偏差の間には、有意な相関関係は見られない。

図4.7は2014/1における測定例である。ほぼ図4.6の場合と同様な特性を示している。

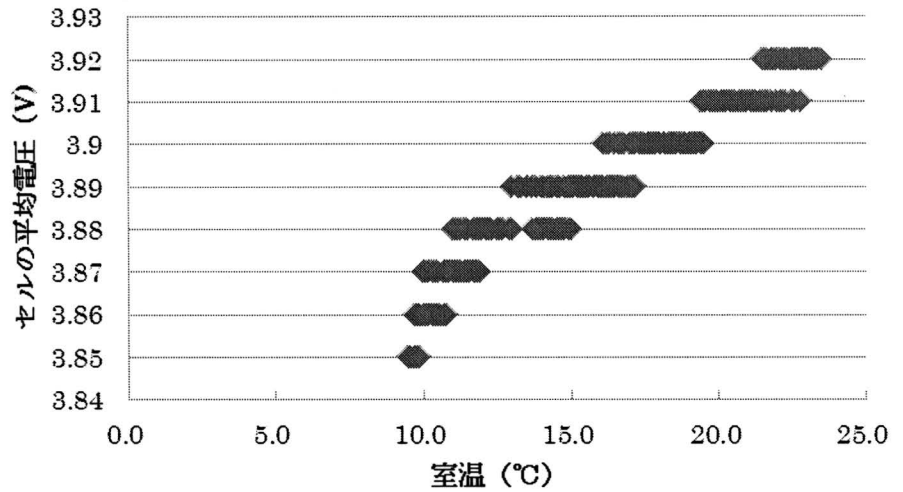


図4.3 2013_12_01

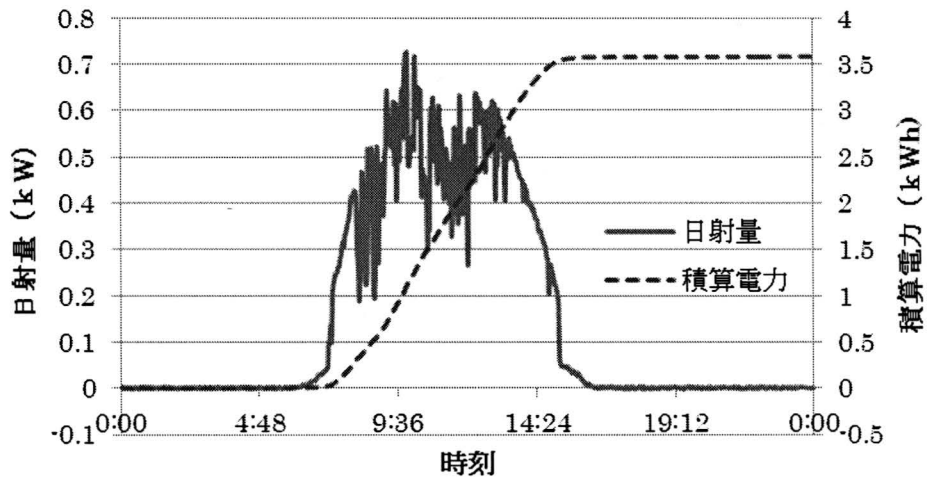


図4.4 日射量の時刻依存性(2013/12/1)

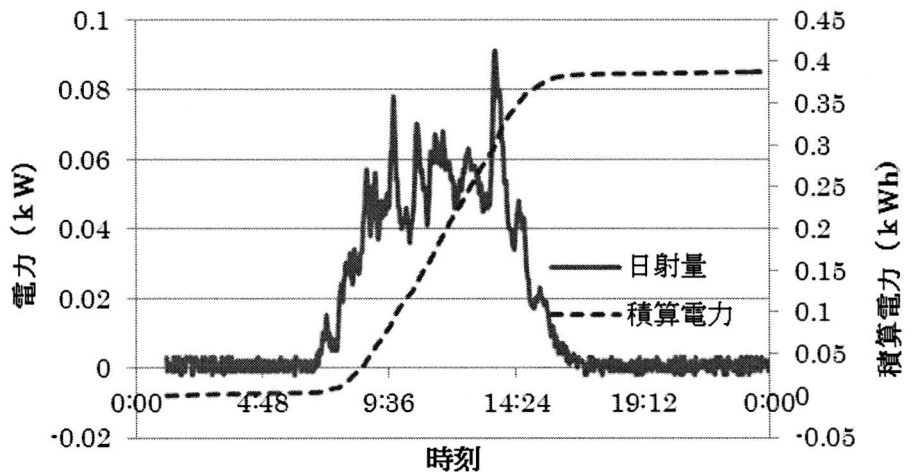


図4.5 日射量の時刻依存性(2013/12/18)

5. むすび

昨年度に開発した BMS の経時特性を測定するプログラムを連続稼働させて、2 分毎にリチウムイオンバッテリーの電圧、電流および温度の経時特性を測定して、約 1 年間に亘って BMS のデータの収集を行ってきた。本報告ではその測定結果について述べた。

- 1) 今回使用したリチウムイオンバッテリーに関しては、セル電圧のセルに対する依存性は、通常時は非常に小さく測定器の分解能に相当する 10mV 程度であった。
- 2) 最大のバラツキは、盛夏の 8/14 に記録され 130mV であった。低電圧時にバラツキが大きくなる傾向が見られた。
- 3) セルの最大電圧は 4.01V であり、アラーム発出電圧 4.1V を超えることはなかった。
- 4) ログによるとセル電圧が 3.0V 未満となった低電圧アラームは計 8 回記録されており、その内 2 回はメーカーボードを用いて保守者に対して異常を通知することができた。
- 5) 温度や日射量に対する測定結果も示した。
- 6) 本文には得られたデータのうち典型的な例を載せたが、それとは異なる特性例については付録 2 に掲載した。

今年度はデータの測定を始めた元年と言うことであり慣れない点もあったが、この経験を踏まえて H26 年度もデータの測定を継続し積み上げていく予定である。

【参考文献】

- 1) 恩田 一, “蓄電型太陽光発電システム用リチウムイオン蓄電池の調査”, 静岡理科大学紀要, Vol.20, pp.37-40, (2012)
- 2) 恩田 一, 梶田吉朗, 中田篤史, “蓄電型 PV/EV 充電システム用バッテリーマネジメントシステムの開発”, 静岡理科大学紀要, Vol.21, pp.23-26, (2013)
- 3) 梶田吉朗, 恩田 一, “リチウムイオンバッテリーの経時特性測定用プログラムの開発”, 静岡理科大学紀要, Vol.21, pp.7-16, (2013)

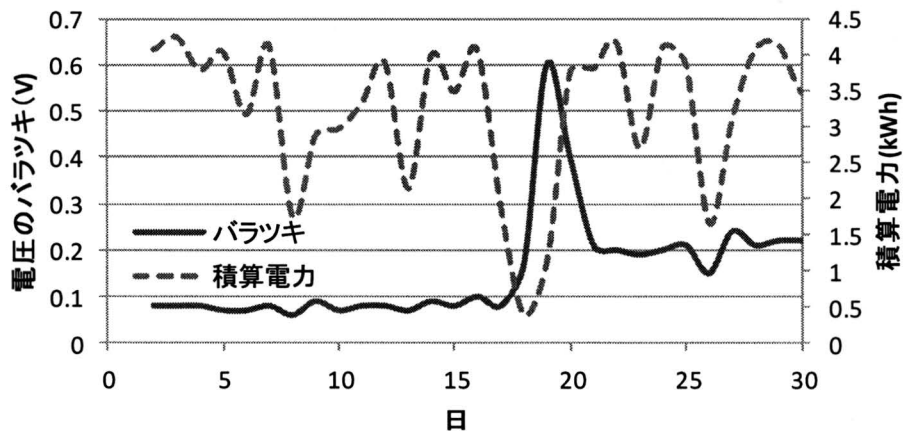


図 4.6 積算電力と電圧のバラツキ(2013/12)

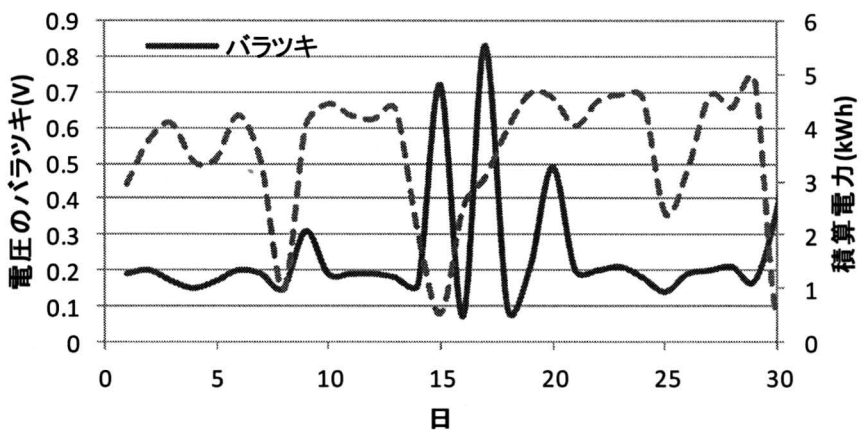


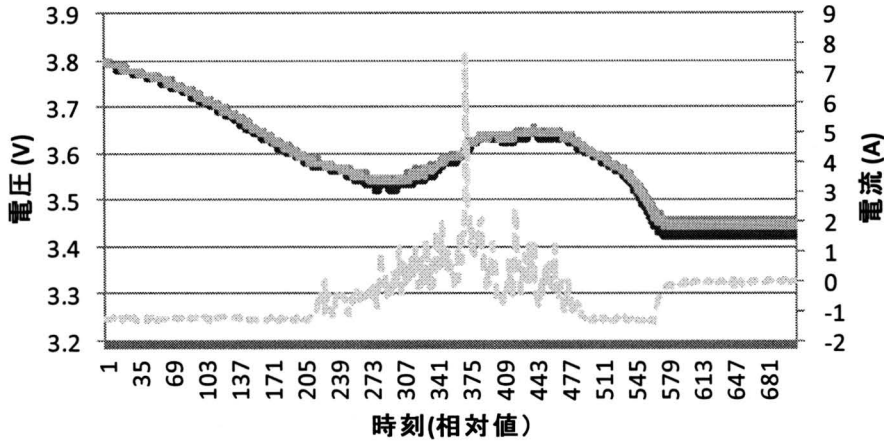
図 4.7 積算電力と電圧のバラツキ(2014/1)

【付録 1】 最終的なプログラムの所在

本資料に使用した BMS プログラムは、改修を進めてきた結果、2014/2/26 にデバッグを完了したプロジェクト GLSample122 に基づいている。

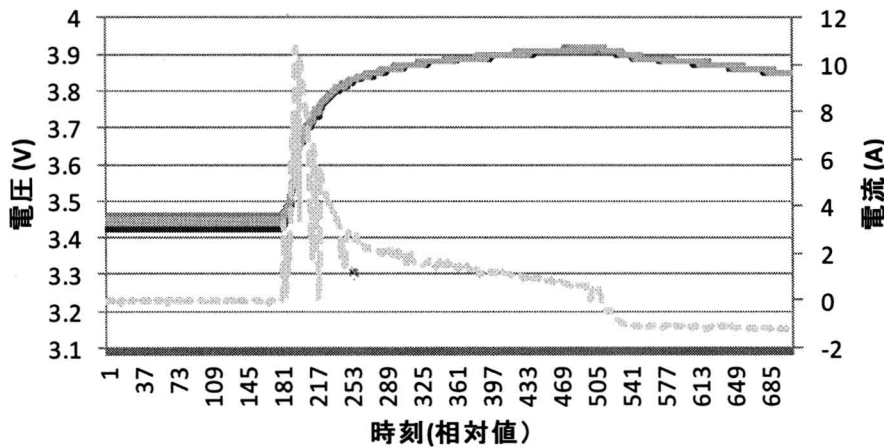
【付録 2】 図 3.1 の特性と異なる特性の測定例

セル電圧の日間変動の典型的な例を図 3.1 に示したが、ここではそれ以外の特徴的な状況を示した例を示す。



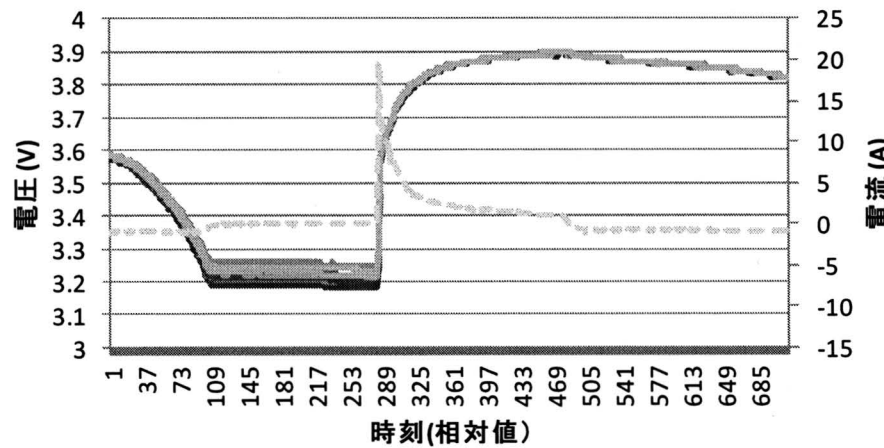
1日の電圧低下量が0.45Vと大きい。また電圧が一旦低下し、その後上昇してからまた低下している例

付図2.1 2013_05_30(雨 22°C / 18°C)



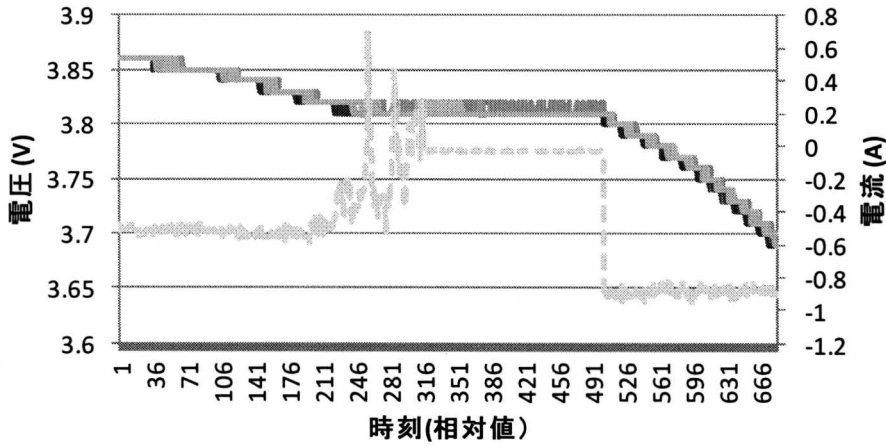
1日の電圧増加量が0.45Vと大きい例。低電圧時にバラツキが生じている

付図2.2 2013_05_31(晴 27°C / 21°C)



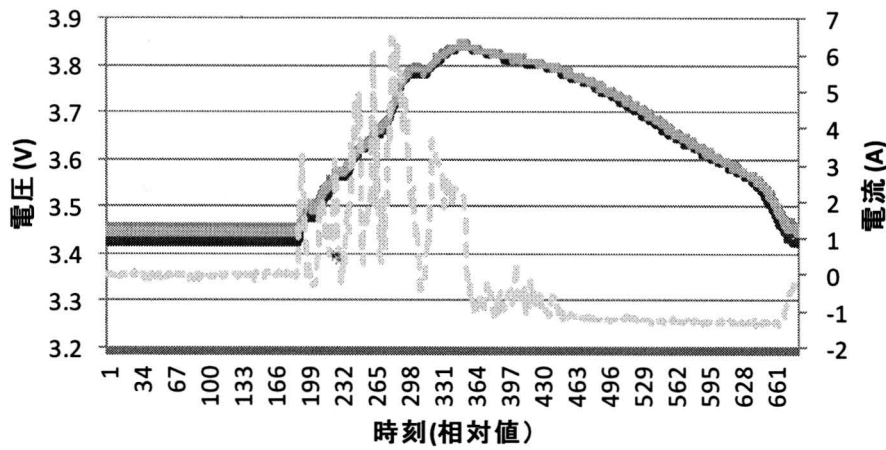
1日の電圧増加量が0.7Vと大きい例、付図2.2よりもさらに増加量が多い。低電圧時にバラツキが生じている。

付図2.3 2013_10_30(晴 23°C / 14°C)



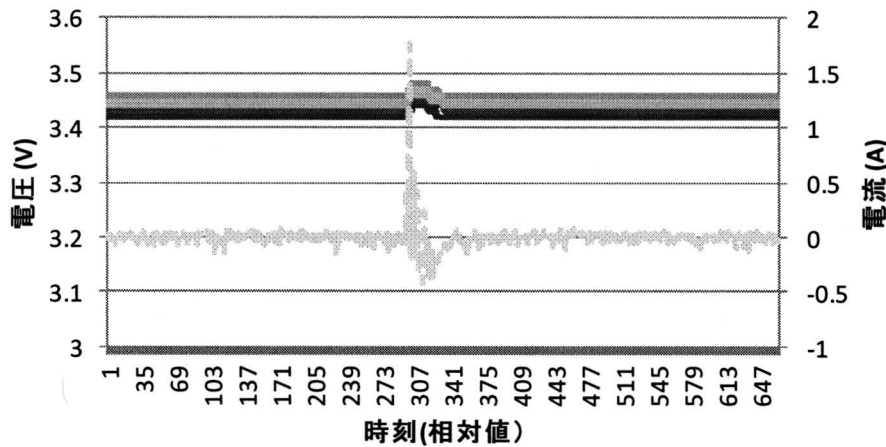
1日の電圧低下量は0.2Vであり大きくないが、電圧が漸減している例

付図2.4 2013_12_18 (曇 10°C/6°C)



電圧が0.35Vと大きく増加し、また同じ程度減少している例

付図2.5 2013_06_20 (雨 23°C/20°C)



電圧の値が3.45Vと低く、また殆ど変化していない例

付図2.6 2013_07_06 (曇 29°C/26°C)