

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 16 日現在

機関番号：17401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630114

研究課題名(和文)太陽電池モジュールのアクティブ診断技術の開発

研究課題名(英文)Development of active diagnostic method for PV module

研究代表者

池上 知顕 (Ikegami, Tomoaki)

熊本大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：20136518

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：発電動作中の太陽電池モジュールの故障・劣化診断技術として、方形波高周波電流を流した誘導コイルを用いて太陽電池セルに電圧を誘起させ、モジュール出力端子での応答波形を観測することで、モジュールの故障を検出できることを示した。また、モジュールの裏面側の磁束密度分布を測定することによって、モジュール内のセルの故障を検出する方法を開発した。CMOSカメラでモジュール電流がオンとオフの時のモジュールの差分画像を測定し、画像処理によって明るい環境における太陽電池のエレクトロルミネッセンス像の測定を可能にした。

研究成果の概要(英文)：Diagnostic methods of a PV module under operation were developed. An induction coil excited by high-frequency square-wave current was placed on the PV module to superimpose the voltage on the cell. It was found that failure of the module/cell can be detected by observing the waveform at the output response to its stimulus. Magnetic flux density profiles at the rear surface of a PV module were measured using a magnetic line sensor. Their profiles well reflect current intensities in the busbars of the cell and give information on the cell conditions. Images of a PV module with and without forward bias current were taken using a CMOS camera under bright environment. The differentiation of these images enabled to obtain an electroluminescence image of the outdoor PV module, which can be powerful tool for the PV diagnostic method in the field.

研究分野：環境エレクトロニクス

キーワード：太陽電池 故障診断 磁束密度分布 エレクトロルミネッセンス

1. 研究開始当初の背景

太陽光発電システムはシステムの低価格化や全量買い取り制度により、メガソーラー建設や住宅用太陽光発電システムの導入が進んでいる。一方、太陽電池(PV)モジュールの劣化・故障による発電電力量の減少や発熱・発火などの問題が懸念されている。

太陽光発電システムの効率的、かつ安全に運用するために、運転中の PV モジュールの劣化・故障診断方法として、赤外線(IR)カメラによる温度分布観測が行われているが、必ずしも検出されたホットスポットがモジュールの劣化・故障の要因になっておらず、PV モジュール内の個々のセルについて信頼性の高い、簡単な診断方法が必要である。

2. 研究の目的

発電動作中の PV モジュールにおいて、その出力は日射強度や気温などの自然環境に大きく影響され、準定常的な発電特性から劣化や出力低下などの検出は難しい。そこで外部からパルス光や電圧を印加したり、出力電流を変調させるなど能動的な刺激を与えて、それに対するモジュールの応答から故障モジュールを検出し、さらに、そのモジュール内の異常セルを同定し、故障モードを判別する診断技術を開発する。

3. 研究の方法

(1) 図 1 に誘導コイルによるセル診断の実験装置を示す。テストモジュールの表面に図 2 に示すような U 型又は P 型フェライトコアを用いた誘導コイルを置き、これに 50kHz の方形波を印加した。モジュール出力端子に抵抗負荷を接続し、セル上で誘導コイルを動かして励振場所を変えながら、モジュール出力電圧の交流成分波形をオシロスコープで測定した。一つのセルで EL 強度の異なる場所にコ

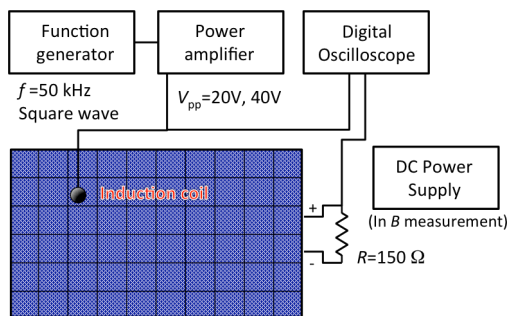


図 1 誘導コイルによる測定装置

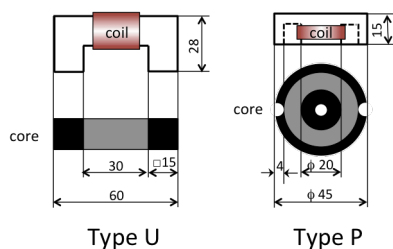


図 2 誘導コイルの形状

イルを置いて電圧を誘導印加し、モジュール出力の交流成分波形の関係を調べた。

(2) 図 3 に磁気ラインセンサによるモジュール表面磁束密度測定装置を示す。16 個の 3 軸 MI 磁気センサを 5mm ピッチで一行(x 方向)に並べた 2 個の磁気ラインセンサを光学マウスに取付け、PV モジュールのバスバーに沿って(y 方向)走査することで、PV モジュール表面の磁束密度分布を測定した。磁束密度の各成分 B_x , B_y , B_z の測定感度は $0.4\mu T$, y 方向空間分解能は 1mm である。PV モジュールやセルの表面と裏面における磁束密度分布にはほとんど違いは見られなかったため、光照射時の磁気センサによる陰の影響をなくすため、磁束密度は全てモジュール裏面側から測定した。また、地磁気などによる背景磁界の影響を除くことによってモジュール出力電流によって生じる磁束のみを測定した。

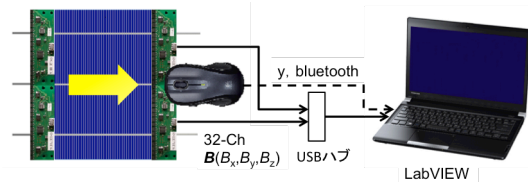


図 3 磁気センサによるモジュール表面磁束密度測定

(3) Si 結晶系太陽電池のエレクトロルミネッセンス(EL)やフォトルミネッセンス(PL)は PV セルの電氣的、構造的特性を反映することから、太陽電池の評価・診断に EL, PL 測定がよく用いられる。しかし Si 結晶からの EL, PL 光のスペクトルは近赤外域(波長~1,150nm)で、しかも発光強度が小さいため、一般には暗室で測定する必要がある。明るい場所や屋外で EL 測定ができれば、サーモグラフによる太陽電池表面温度の測定を補完し、より精度の高い診断を行うことができる。そこで、本研究では図 4 に示す装置を用いて明環境や屋外における EL 測定を試みた。PV セル・モジュールに定電流電源で順バイアス電流を流し、EL を発光させ、バンドパスフィルタ(中心波長=1,125nm, 半値幅 50nm)を付けた 400 万画素の CMOS カメラを用いて、背景光に EL 光が重畳した画像を測定した。この画像から、バイアス電流を流さずに EL

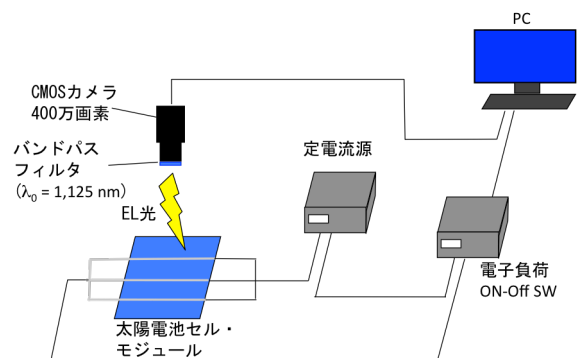


図 4 明環境や屋外における太陽電池 EL 測定装置

光がない背景光のみの画像を差し引くことにより、EL 像を算出した。

4. 研究成果

(1) 図 5 に本研究で用いた破損セルを含む PV テストモジュールの EL 像を示す。このモジュールの(a)正常なセル, (b)発熱セル, (c)EL 非発光セルを誘導コイルで励振し、モジュール出力中の交流成分波形を図 6 に、それぞれ示す。正常セルと異常セルの応答波形には著しい違いがみられ、この結果から本手法はモジュール中の異常セルの同定と異常の判別に利用できることが分かった。

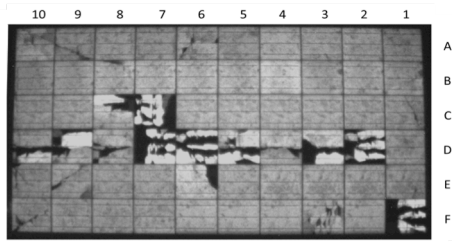
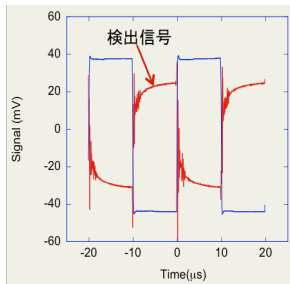
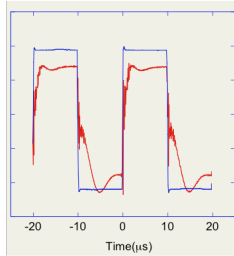


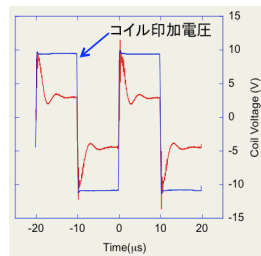
図 5 テストモジュール EL 像



(a) 正常セル



(b) 発熱セル



(c) EL 非発光セル

図 6 正常セルと異常セルにおける誘導コイル励振応答波形

(2) 破損したテストモジュールに光照射し、出力端子を短絡した状態で、モジュールの裏面側から EL 強度分布の異なるセルの磁束密度を測定した。モジュール内の各セルの位置を図 5 に示すように記号(A-F)と数字(1-10)で示す。B2, C5 セルは EL 強度が均一であることから正常であり、一方、D2, C7 セルには EL 非発光領域があり、クラック等により破損していると考えられる。図 7 の(a)~(d)に、これらのセルの磁束密度の強度分布を示す。いずれのセルでもバスバー上で磁束密度が大きくなり、電流は主に 3 本のバスバーを流れていることが分かる。B2 セルでは、3 本のバスバー上での磁束密度分布はほぼ一様で、

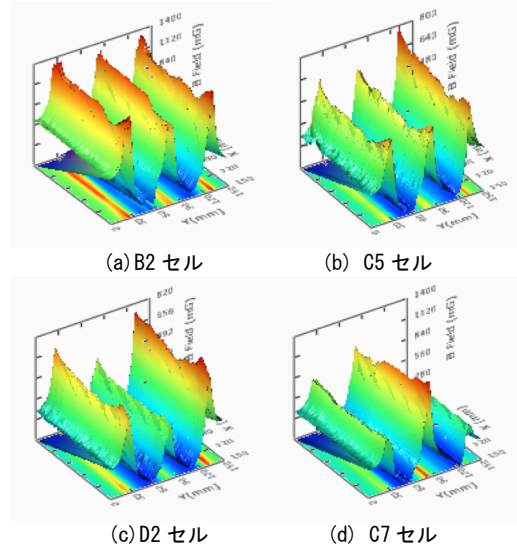


図 7 異なる EL 強度のセル表面の磁束密度強度分布

バスバーを流れる電流はほぼ等しく、セルの健全性が確認できる。一方、D2, C7 セルでは磁束密度がバスバー間で大きく異なり、電流が 1 本のバスバーに集中して流れ、異常なセルであることが確認でき、本手法が有効であるといえる。

(3) 図 8(a)-(d)に窓際の比較的明るい場所で、CMOS カメラで測定した PV セルの EL 像を示す。図(a)は順バイアス電流 $I_f=8A$ を流して測定した像で、PV セルの保護用にセル表面を覆った厚さ 3mm のアクリル板から反射した外乱光による像が写っており、これには EL の発光像も含まれている。図(b)はバイアス電流を流さずに測定した外乱光像で、図(c)は(a)の画像から(b)の画像を差し引いた差分像で、背景の外乱光成分が取り除かれて EL 像が確認できるが、SN 比が小さい。図(d)は図(c)の像を 30 回積算したもので、EL 像のコントラストが改善され、図(e)の暗室で測定した EL 像とほぼ同様の EL 像が得られた。これにより、曇天時の屋外での EL 測定は可能であるといえる。

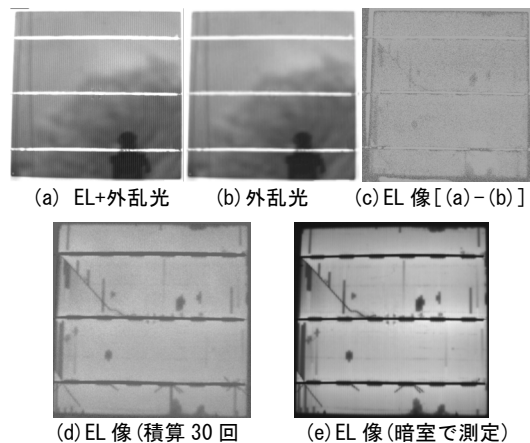


図 8 窓際の明環境および暗室で測定した Si 単結晶 PV セルの EL 像

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 0 件)

〔学会発表〕(計 5 件)

① T. Yamaguchi, T. Ikegami, R. Hayashida, F. Mitsugi and A. Tanaka, “Fault Diagnostic Method of PV Module Using An Induction Coil”, WCPEC-6, 7TuPo.10.12, 2014.11.25, 国立京都国際会館(京都市)

② R. Hayashida, T. Ikegami, T. Yamaguchi, F. Mitsugi and A. Tanaka, “Measurement of the Magnetic Flux Density Distribution in PV Cells for Fault Detection” WCPEC-6, 7TuPo.10.14, 2014.11.25, 国立京都国際会館(京都市)

③ 安藤 駿平, 山口 達郎, 池上 知顯, 光木 文秋, 田中 昭雄, 「EL 測定による太陽電池モジュールの診断」, 2014 年度応用物理学会九州支部学術講演会, 2014.12.6, 大分大学 (大分市)

④ 横尾 憲大, 林田 峻, 池上 知顯, 光木 文秋, 田中 昭雄, 「異常 PV セル検出のためのセル表面磁束密度分布の測定」, 2014 年度応用物理学会九州支部学術講演会, 2014.12.6, 大分大学 (大分市)

⑤ Tomoaki Ikegami, Ryouhei Kunimatsu, Satoshi Hashizume, Taturou Yamaguchi, Ryou Hayashida, Fumiaki Mitsugi, AkioTanaka, ” PV module diagnostics using dynamic response to external cell excitation”, PVSEC-23, 2013.10.30, Taipei(Taiwan)

6. 研究組織

(1)研究代表者

池上知顯 (IKEGAMI, Tomoaki)

熊本大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号：20136518