

太陽電池モジュール劣化診断手法の開発

田畑 浩数^{†1} 夏梅 大輔^{†2} 橘 泰至^{†3} 齋藤 正史^{†1} 鈴木 康允^{†1}

概要：2017年4月に施行された改正FIT法（電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法）では、事業実施中の点検・保守の遵守が求められており、違反時は改善命令・認定取消が可能とされている。このような背景からも、異常や故障が存在する太陽電池モジュールをオンサイトで容易かつ経済的に点検・保守を行う手法が求められている。

太陽光発電設備設置後のオンサイトにおける太陽電池の保守点検は、目視検査、I-V特性計測や熱画像の撮影等により行われている。これらの点検手法の中には、日中の日射量の多い時間帯の実施に制限される手法、複数のストリングを同時に評価することが困難な手法、計測結果が日射や温度に依存する手法等様々な制約がある。

本研究では、従来から太陽電池モジュールの屋内評価で主に活用されているEL(Electroluminescence)画像を撮影する手法に着目し、屋外に設置されている太陽電池アレイに対してオンサイトでのEL撮影を行った。フレーム積分機能を備えたCCDカメラ・EL発光を認識するためのモニタ・試験電圧を印加するための電圧印加装置の組合せからなる可搬型EL撮影システムを構築し、太陽電池アレイのEL撮影により簡易劣化診断が実現できることが分かった。

キーワード：太陽光発電，保守点検，EL発光画像

1. はじめに

日本の太陽光発電設備は、2012年にFIT制度（Feed-in Tariff 固定価格買取制度）が始まったことで、導入量は大幅に増加した。今後の推移についても、2030年までの導入量試算によると累計設置量は増加傾向を示している。[9]また、温室効果ガス排出量削減において注目されている再生可能エネルギーの利用においても、供給の安定性・経済性・環境性および設置実績から太陽光発電がその主力になっている。[5]

これだけ普及した太陽光発電設備だが、その保守については、メンテナンスフリーというイメージを持つ人もいることから、信頼性・安全性の確保のため、その点検・保守の遵守が求められている。[8]

また、太陽光発電システムは20~30年もの長期間に亘る発電を期待される設備であることから、近年では、品質向上や保守による信頼性の確保に対する関心がより高まっている。

しかし、本来の機能を継続的に維持するための管理・保守が適正に行われていないことが一因とされる性能低下の調査結果も報告されている。[6]

太陽光発電設備を適切に保守していくには、それぞれの太陽電池モジュールが持つ電気的特性を事細かく調べ実施することが好ましいが、オンサイトで太陽光発電設備の設置環境下でこのような点検は、制約条件等により困難な場合が多い。

そのため、劣化した太陽電池モジュールをオンサイトで

容易かつ経済的に特定する手法が求められている。このような背景の下、簡易的にその劣化状況を掴める手法として、従来から太陽電池モジュールの屋内評価で主に活用され、セルからモジュールにいたるまで同様の方法で測定できることが利点とされているEL(Electroluminescence)発光検査による評価手法に着目した。[1]

開発した手法は、設置済み太陽光発電システムにおいて、オンサイトでストリングごとの太陽電池モジュールに順方向電圧を印加しEL発光させ、それを近赤外線CCDカメラで撮影し、その発光状態を可視化することで、劣化や不具合を画像により判断する簡易診断手法である。本研究において、その実証と評価結果を示す。

2. EL発光検査法

太陽電池におけるEL発光検査とは、太陽電池に順方向電圧を印加させることで、半導体内に入った電子と正孔が再結合して発光させ（図1）、それを特殊カメラで撮影して、その画像を分析することである。

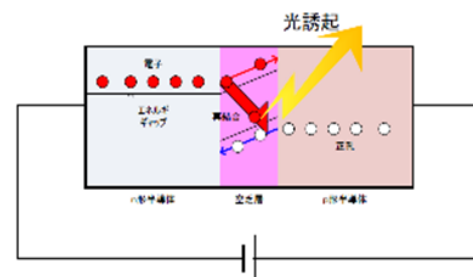


図1 EL発光の原理

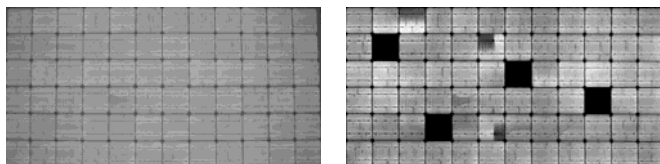
電圧を印加すると、電気が流れている部分は発光するが、流れていない部分は暗いままであり、シリコン結晶や電極

^{†1} 金沢工業大学
Kanazawa Institute of Technology.

^{†2} 株式会社成宏電機
Seiko Electric Corporation

^{†3} 石川県工業試験場
Industrial Research Institute of Ishikawa.

に不具合があれば EL 発光の強度が低下し、画像に明暗で表示される(図2)。そのため、目視で確認することのできない劣化や不具合が可視化できることになり、外観からの判断が困難な場合においても、視覚的に電氣的損傷を見つけ、発電量の低下につながる可能性があるセルの亀裂や、PID(Potential Induced Degradation :高電圧より誘発される出力低下)現象、断線・接続不良などを確認することができる検査法である。EL 発光を確認するには、周囲が暗いことが条件となるため、主に室内検査で利用されている。



損傷前の EL 発光写真 損傷後の EL 発光写真
 図2 損傷前後の EL 発光の比較写真

3. 可搬型診断手法

今回開発した診断手法は、EL 発光検査法を可搬型装置で行えるようにすることで、太陽電池モジュールが設置している現地で、薄明りが含まれる環境にあっても、オンサイトにて行うことが可能となる簡易診断手法である。

この手法は現地で太陽電池アレイの中から不良あるいは劣化が疑われる太陽電池セルをモニタを通じ素早く視覚的に確認し、それを容易に見極めることを目的としている。

具体的には、図3のような構成で実現する。作業性を考慮した可搬型とすることで、携帯にも優れ、メガソーラ等大規模アレイへの適用が可能な診断手法となっている。

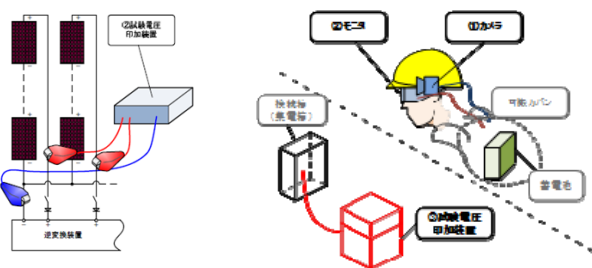


図3 EL 撮影による可搬型診断手法

これらを構成する主要機器(図4)構成は、

①カメラ

太陽電池アレイの EL 発光を画像として撮影できるフレーム積分機能を持った近赤外線 CCD カメラで、発光量が小さくても EL 発光現象を捉えることができることを評価済みのもの。

②モニタ

モニタにより EL 発光を確認することで異常が疑われるモジュールのセルを特定することができる。

③電圧印加装置

診断対象のストリングが接続されている接続箱等に電圧を印加するための装置で、微小電流を制御できることから、1回路の電力で多くのストリングを同時に撮影可能となる。[13]



図4 小型カメラ, タブレットモニタ, 可搬型バッテリー, 電圧印加装置

この組合せによる可搬型システムにより、5m 以上離れた状態からオンサイトで EL 発光が捉えられるか評価した。その結果、図5に示すような画像を得ることができた。これにより、複数のストリングに対し同時に評価することが可能となり、太陽電池アレイのモジュール不良や劣化が疑われるセルに対する絞り込みが容易となると考えられる。



敷設状況(日中) 敷設状況(夜間 EL 発光中)

図5 撮影画像

以下、EL 発光画像を用いた太陽光モジュール劣化診断手順を図6に示す。

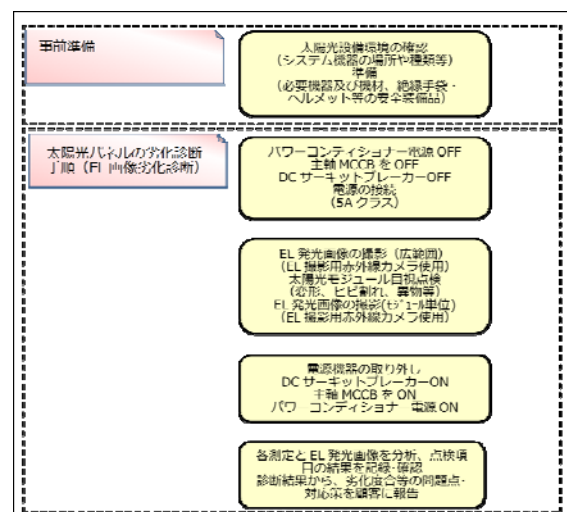


図6 EL 発光画像を用いた太陽光モジュール劣化診断手順

4. 開発した可搬型 EL 診断手法の有用性

4.1 中古太陽光モジュールの EL 検査

太陽光発電設備については、これまでに導入された発電設備が既に使用済みとなって排出され始めており、その排出量は過去の普及カーブに沿って加速度的に増加することが想定され、再生可能エネルギーの大量導入を支えるリユース・リサイクル・適正処分の体制の構築が求められている。[7]

リユースにおいて、その専門業者も見受けられるようになってきた。[12]

経年劣化で使用されていない中古太陽光モジュール(130W×2個)を入手し、中古品の再利用を目的とした劣化評価を行った(図7)。

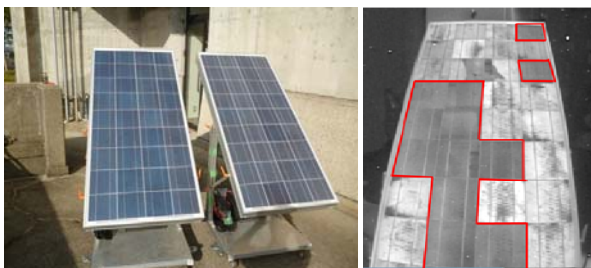


図7 検査に使用した中古太陽電池モジュール(130W×2個)と EL 撮影した太陽電池モジュール画像

中古太陽電池モジュールの内1枚を可搬型 EL 診断手法にて撮影したものである。この太陽電池モジュールは、32個のセルが敷き詰められており、赤い枠で囲われている箇所が、故障によって発光していないセルで、赤い枠で囲われていない箇所のセルの中に見られる黒い影が、ヒビやキズなどによりできたものである。

この画像の濃淡から、外観からは判断できない発電量の低下につながる可能性があるセルのキズやヒビを素早く特定することができる。このことから、劣化が疑われるセルを見つけることに関してはこの手法が有効であることが確認できた。

しかし、定性的データだけではセルの劣化度合いが判断できないため、この EL 診断手法だけでは診断を完結することができないが、太陽電池モジュールの劣化疑いがある箇所の特定には適していると考えられる。

現時点では EL 発光検査データと I-V 特性との関連性を求めてはいないため、明確な定量的データによる診断はできていない。そのため、モジュールの交換要件の数値的根拠とはならない。しかし、撮影によって得られた画像データと故障症状を比較検討することで、不具合原因が明確化できれば、モジュールの品質の担保はもとより精度の高い診断評価を行うことが可能になると考える。[1]

4.2 太陽光モジュール損傷個所の EL 検査

本検証では、意図的に各部位に傷をつけ、外的損傷とその撮影画像との規則性について評価した。

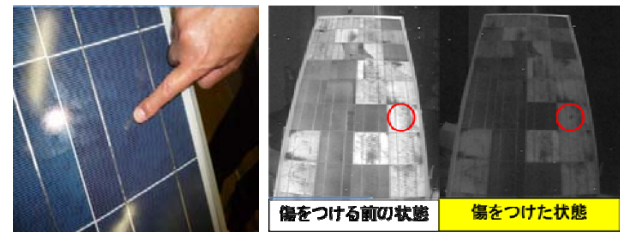


図8 セルに傷をつけた箇所を EL 発光検査で診断

図8は、セルのフィンガーバー(横方向のバー:太陽電池セルで発生した電気を集めるための細かいバー)に傷をつけて可搬型 EL 発光診断手法にて撮影した画像である。傷をつけた箇所が、丸い形の黒い影として表示されたことで、故障の疑いのあるセルとして特定することができる。

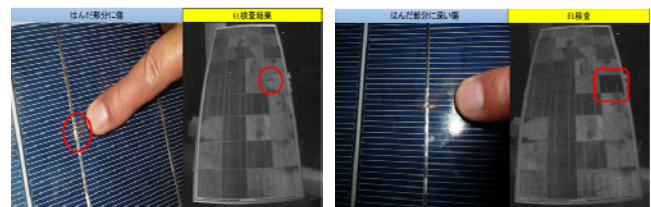


図9 セルに浅い傷(左)・深い傷(右)をつけた箇所を EL 発光検査で診断

図9(左)は、セルのバスバー(縦方向のバー:太陽電池セルで発生した電気をフィンガーバーに通して集めるバーのこと)に浅い傷をつけて撮影を行った画像である。傷をつけた箇所が横長の黒い影として表示されたことで、故障の疑いのあるセルとして特定することができる。

図9(右)は、セルのバスバーにつけた浅い傷をさらに深くし、撮影した画像である。傷をつけた箇所のセル全体が黒い影として表示されたことで、故障の可能性が高いセルとして特定することができた。

この結果から、傷をつけた部位の違いや具合により、暗い影の形が明らかに違っていることが分かった。このような画像データの蓄積と分析を進め、その規則性を検証することができれば、不具合原因の明確化が図れ、EL 発光検査により、太陽電池モジュールやセルの品質劣化度合を定量的に判断できるものと考えられる。

また、セルに傷が入った場合、経年劣化等の原因で傷が深くなると図9(右)から(左)が示すようにバーが断線する可能性が高く、損傷箇所によっては発電損失を起こす可能性があることが確認できた。そのため、簡易診断手法等により、傷が浅い内の早期に故障要因を見つけ対応する

ことが重要となる。

5. ドローンを利用した EL 発光検査の検討

メガソーラ等大型化した太陽光発電装置を、アレイまたはストリング単位で一括撮影し、EL 発光検査を行うためには、検査対象である太陽電池モジュールとカメラとの撮影間隔をとる必要がある。特に屋根等の高所に設置してあるパネルに関しては、ある程度の高度を確保することが必要となる。それらに対応するため、ドローンと可搬型診断手法を組み合わせた EL 発光検査の可能性について検証した。

本手法におけるドローン利用の評価のため、屋根に取り付けられている太陽電池モジュールに対して高所作業車を使用し(図 10)高い位置から可搬型診断手法による EL 発光検査を行った。診断は日没後とし 1 回 1 分～2 分間の撮影を計 17 回行い、撮影距離 3.4m, 6m, 8m, 9.6m に分けて行った。

なお、画像確認する際に、ドローンに近赤外線カメラを取り付けて飛行させた場合の振動を想定し、手振れ動作も加え評価した。



図 10 高所作業車を使用した撮影の様子

以下、検証結果を報告する。



図 11 撮影距離 3.4m からの EL 発光画像

撮影距離 3.4m からの EL 発光前と発光後の画像を比較した。EL 発光は確認されたが、印加電圧と電流を低く設定したため、発光を捉えられなかつたため、この画像(図 11)による故障判断は難しいことが分かった。次の検証から印加電圧と電流の数値を高く設定し実行することにした。

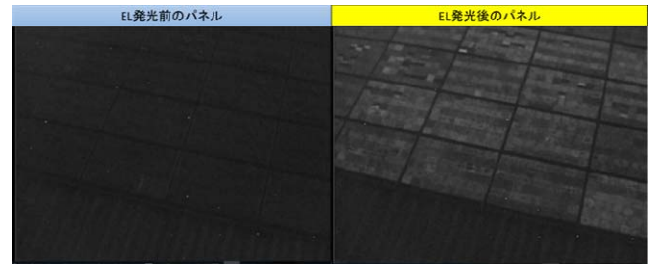


図 12 距離 6m の撮影画像

撮影距離 6m からの EL 発光前と発光後の画像(図 12)を比較した。印加電圧と電流の数値を高く設定したことにより、発光を捉えることができたので、故障個所の判断が可能であることが分かった

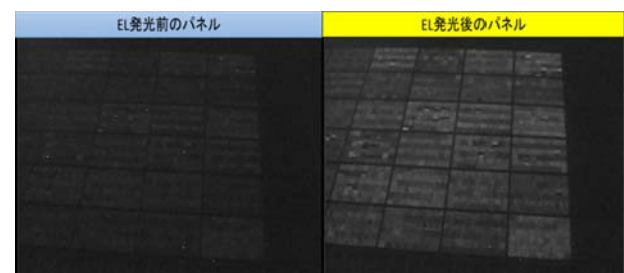


図 13 距離 8m, 電圧 403V, 電流 9.9A での撮影

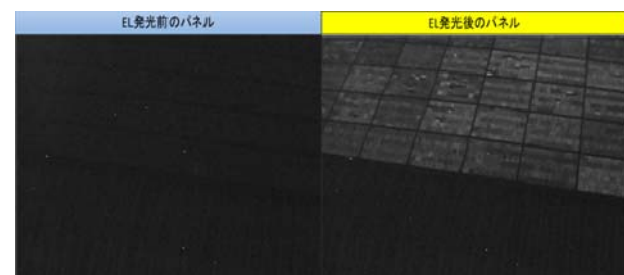


図 14 距離 9.6m, 電圧 403V, 電流 9.9A での撮影

撮影距離 8m, 9.6m それぞれの EL 発光前と発光後の画像(図 13 図 14)を比較した。撮影距離 6m(図 12)時よりも印加電圧と電流の数値を少し低く設定(電圧 403V, 電流 9.9A)しても、故障個所を判断できるまでの EL 発光を確認することができた。

太陽電池モジュールの EL 発光の画像を確認しながら、設置されている環境における印加電圧と電流の最適値(電圧 403V, 電流 9.9A)を設定できたことで、撮影距離(高度)を変更しても、EL 発光が不明瞭になることはなかった。

その結果から、EL 発光検査の印加電圧と電流の最適値を設定することで、対象となる太陽電池モジュールの撮影範囲を確保するためにドローンが高度を変えても EL 発光画像を捉えることができることが分かった。

また、ドローンにカメラを取り付けた場合を想定し、手振れと静止した場合の画像を比較したが、診断を妨げるほ

どの悪影響は見られなかった。

これらのことから、今回開発した可搬型 EL 診断手法におけるドローン利用を実証研究段階に移すことが可能と考える。

6. 可搬型 EL 診断手法の考察

今回開発した可搬型 EL 診断手法は携帯に優れており、オンサイトにおいての点検項目に組み込むことで、素早くストリングのセル異常を発見することが可能となる簡易診断手法である。今回の検証により、各設置条件下の太陽電池モジュールを EL 発光検査した結果、その発光を確認することで、目視によりセル異常を判断することができた。

しかし、オンサイトでの EL 発光検査による画像診断は定量的データをもって評価する点検・診断方法としては確立されていない。今後今回開発した可搬型 EL 診断手法等でオンサイトによる画像診断が数多く行われ、本検証で得られたような画像データが蓄積され、そのことから定量的に劣化度合等が判断できるようになれば、故障セルを迅速に発見することが可能となり、メーカーの交換・修理に適應される有効性のある検査として認知されると考える。

他に、まだ需要は大きくないが、今後、太陽電池モジュールのリユースが活発化することがあれば、その品質の担保が必要となる。それについても、今回開発した可搬型 EL 診断手法が有効利用できると考える。

また、ドローンを利用した可搬型 EL 診断手法については、まだ可能性の検証段階だが、高所設置の太陽電池アレイに対して撮影を行う場合は、カメラとアレイの間隔を確保する必要があり、それに対してのドローン利用は有効と考える。そして、一括の撮影が可能となれば、少ない時間でより多くの太陽電池モジュールの診断が行え、劣化セルを素早く発見できる利点がある。また、高所や広大な場所においての利用により、効率化が図られ作業少数の削減が実現できるものとする。

しかし、ドローンを利用した診断は天候の影響が大きいかかわってくる。最大離陸重量がドローンとカメラ両方を合わせ、重量が 25kg 以上になることが想定されるため、強風・雨や雪等の天候不良時は、飛行不可能となり診断日が限られてくる。また、EL 発光検査は夜間に行うため、夜間にドローンを飛行する必要があることから、その安全面の対策が課題となる。

7. 終わりに

2017 年 4 月より施行された改正 FIT 法 においては、事業開始前の審査に加え、事業実施中の発電所の点検・保守が義務化され、既設発電所の健全な発電維持が命題となっている[8]。本研究により可搬型 EL 診断手法が、太陽光発

電設備の予防保全に適用可能であることが明らかになった。

画像による劣化診断については、太陽電池モジュールによる EL 発光の暗化度合いと発電電力能力に規則性があるとされているものの^[1]、本研究段階では、試験回数が少ないこともあり EL 発光画像評価と出力低下との相関が不明瞭である。

今後、EL 発光画像から出力を推測するために、多くの EL 画像と劣化等のデータを解析する必要がある。その解析より、出力劣化を的確に画像から読み取れるようになり、その適応性が高まれば、可搬型であることの優位性は増すものとする。また、ドローン利用に関しては、大きい面積のメガソーラを診断できるカメラを搭載しながら長時間飛行可能なドローンの選定と EL 発光検査を繰り返すことにより、その有効性を実証することができ、新たな診断手法として提案できるものとする。

謝辞 本研究・学会論文の作成にあたり実証実験にご協力いただいた北陸電話工事株式会社中野勇介様、奥野陽一様、青木仁志様に厚く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 富本 剛史, 都築 翔太, 谷 あゆみ. エレクトロルミネサンス (EL)発光強度を用いたシリコン太陽電池モジュールの機能解析, 電気情報学会, 信学技法, p.19-25, 2014.12
- [2] 木下 雅彦. イチから理解する太陽光発電—電気理論編—, (株)リック, 2013. 128p.
- [3] 加藤 和彦. 太陽光発電システムの運用・保守の実態と課題, 安全工学会, Vol.52, No. 1, p.19-25, 2013.
- [4] 保木本 正史. 太陽光発電システムの調査研究報告と保守の基礎知識, 電気設備学会誌, Vol. 33, No. 1, p.65-66, 2013.
- [5] “再エネ固定価格買取設備の導入容量”, <http://www.shigemitsu-shoji.co.jp/PV/TOP.html>, (参照 2017-04-10).
- [6] “産総研メガ・ソーラタウン全数調査の中間報告”, https://unit.aist.go.jp/rcpv/ci/results/past_presentation/2013/T01ikedata.pdf, (参照 2017-04-10).
- [7] “環境省：太陽光発電設備等のリユース・リサイクル・適正処分の推進に向けた検討結果について”, <http://www.env.go.jp/press/101130.html> (参照 2017-04-12).
- [8] “資源エネルギー庁：改正 FIT 法による制度改正について”, http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/fit_2017/setsumeishiryu.pdf, (参照 2017-04-12).
- [9] “一般社団法人 太陽光発電協会”, <http://www.jpea.gr.jp/pdf/pvoutlook2015-1.pdf>, (参照 2017-04-15).
- [10] “国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：太陽光発電開発戦略 (NEDO PV Challenges)”, http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100318.html, (参照 2017-04-13).
- [11] “日本電機工業会・太陽光発電協技術資料：太陽光発電システム保守点検ガイドライン”, http://www.jpea.gr.jp/pdf/161228_pv_maintenance.pdf, (参照 2017-04-13).
- [12] “ネクストエナジー株式会社”, <http://www.nextenergy.jp/service/reuse.php>, (参照 2017-04-13).
- [13] 夏梅 大輔, 橋 泰至, 田畑 浩数, 鈴木 康允. オンサイトにお

る太陽電池アレイのEL撮影,産学協力研究委員会,第13回次
世代の太陽光システム,シンポジウム予稿集, p.242-243,
2016.5