

太陽電池パネル保守点検技術の開発と事業化への課題

(株)テイコク・テクノ

太陽電池パネルの設置件数は「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（FIT法）」の固定価格買取制度により飛躍的に伸びており、設置する場所や環境も多岐に渡る傾向にある。本年4月のFIT法の改正により、発電事業者による太陽電池パネルの保守点検の重要性が高まり、今後は効率的な保守点検手法の開発が必要になる。岐阜大学、(株)テイコク、日本エコシステム(株)の3者は、平成26年度に「次世代太陽電池パネル保守点検技術開発研究会」を立ち上げ、岐阜県次世代エネルギー産業創出コンソーシアムの補助制度を活用して「西秋沢発電所」を実証フィールドとした模擬点検を行ってきた。その結果、UAVからの熱赤外線画像やモニタリングデータを活用して太陽電池パネルの健全度を効率的に評価できる手法を開発し、事業化を目指している。

§1. はじめに

我が国の太陽光発電は、2012年からスタートしたFIT法の固定価格買取制度により急激に普及が進み、発電所設置件数の増大や規模の拡大が飛躍的に進んでいる。しかし、これに伴って設置する場所や環境も多岐に渡っており（写真1～4）、野立て方式のほか、ルーフトップ方式、水上方式など様々な空きスペースを利用して設置されている。

一方、本年4月施行の改正FIT法では、発電事業者による適切なO&M（オペレーション・メンテナンス）の遵守が求められており、今後のパネル保守点検に対しては、より効率的な点検手法の開発が必要となる。



写真 1. 大規模野立て方式設置例



写真 2. ルーフトップ方式設置例



写真 3. 水上方式の設置例



写真 4. 斜面を利用した設置例

§2. 太陽電池パネルのトラブル要因とホットスポット

太陽光発電施設に設置するソーラーパネル（太陽電池アレイ）は、太陽電池を多数つなげたものであり、最小単位を「セル」、そのセルを板状につなげたものが「クラスタ」、「モジュール」と呼ばれる。さらに、複数のモジュールを直列に配置した「ストリング」とそれを並列に配線したものが太陽電池「アレイ」と呼ばれるものである（図1）。

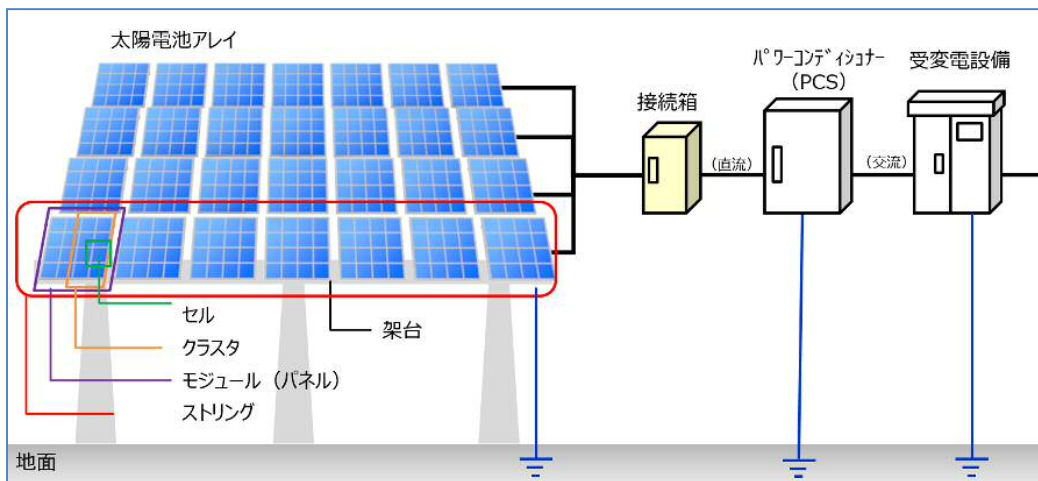


図1. 太陽光発電設備の概要（NTTレンタル・エンジニアリング®(株)のホームページより）

一方、太陽光発電施設では、様々な要因によって構成するセルやクラスタ等にトラブルが発生し発電量の低下につながるケースがある。この場合のトラブル要因には、ハンダ不良といった製造不具合のほか、落ち葉の付着や鳥の糞による汚れ、豪雪地域の積雪荷重による破損や野立て方式での雑草の繁茂による日陰化など様々のものがある（写真5～7）。

パネルにこのようなトラブルが発生した場合、その部分が発熱して「ホットスポット」と呼ばれる現象（写真8）が生じることがあり、その現象が長期に及んだ場合にはセル破損の原因となる。発熱は太陽光発電システムがセルを直列に接続しているために生じるもので、影などにより発電を行わないパネルに電気が流れた場合、セルが抵抗体となるために熱が発生する現象である。このため、以前からパネルの保守点検にはホットスポットの検出にサーモグラフィーによる熱赤外線画像が用いられてきた。しかし、近年の発電施設の巨大化に伴って個々のパネル撮影では作業効率が悪く、対応策としてサーモグラフィーを搭載したUAVの活用が試行されつつある。

なお、最近の太陽電池モジュールには「バイパスダイオード」と呼ばれるパネルがある。太陽電池は並列に接続さ、トラブルにより発電をしないセルがある場合、電気を「バイパスダイオード」に流すことでパネルを保護し、システム全体の発電量低下を予防することができるようになっている。



写真5. パネル破損例

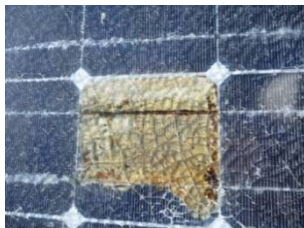


写真6. パネル破損例



写真7. 表面の汚れ

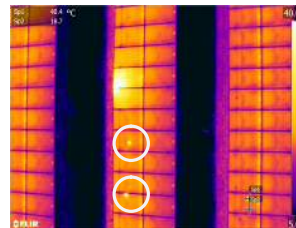


写真8. ホットスポット

§ 3. 実証フィールドにおける模擬点検と成果

(1) 実証フィールドの概要

JES ティコク(株)が運用している「西秋沢太陽光発電所」(写真 9) は、岐阜市西秋沢地内に設置した約 1.5MW の発電規模を有する施設である(平成 27 年に 1 MW から 1.5MW に増設)。施設内には約 6,000 枚の太陽電池パネルが 10 系統に分かれて設置しており、各パワーコンディショナーでの発電量のほか、日射量、気温、風向、風速が常時モニタリングしている。



写真 9. 西秋沢太陽光発電所 (増設後)

(2) 模擬点検に使用した機材

模擬点検には 2 機の UAV と、これに搭載した 2 台のサーモグラフィーを使用した(表 1)。このうち、ルーチェサーチ社製の SPIDER には FLIR 社製のサーモグラフィー(T640)を搭載し、DJI 社製の INSPIRE1 には専用サーモグラフィーを搭載している。なお、前者のサーモグラフィー T640 と後者の機体は、「岐阜県次世代エネルギー産業創出コンソーシアム」の補助制度を活用して購入したものである。以下に使用機材の仕様をまとめる。



ドローン SPIDER CS8		サーモカメラ FLIR T640		ドローン INSPIRE1 PRO		サーモカメラ Zenmuse-XT	
ローター数	8枚	温度測定範囲	-40°C~2,000°C	ローター数	4枚	温度測定範囲	-25°C~135°C
機体サイズ	800×900×200mm	温度分解能	<0.035°C(30°Cの場合)	機体サイズ	438×451×301mm	温度分解能	50mKf/1.0以下
機体総重量	約10kg(バッテリー+サーモカメラ込)	解像度	640×480ピクセル	機体総重量	約3kg(バッテリー+サーモカメラ込)	解像度	640×512ピクセル
飛行時間	約10~20分(運用時は8分)	画像保存	温度データ付JPEG画像	飛行時間	約18分(運用時は15分)	画像保存	温度データ付JPEG画像
耐風速	15m/s(運用時5m/s以下)	サイズ/重量	143×196×94mm/ 1.3kg(電池含)	耐風速	10m/s(運用時5m/s以下)	サイズ/重量	103×74×102mm/270g

表 1. 模擬点検に使用した UAV とサーモグラフィー

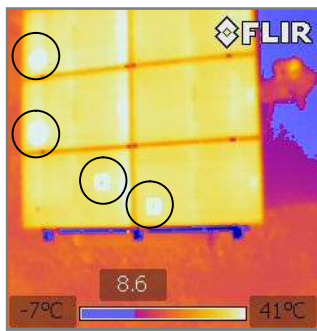
(3) 模擬点検の実施概要と結果

実証フィールドにおける模擬点検は、以下に示す内容で順次実施した。

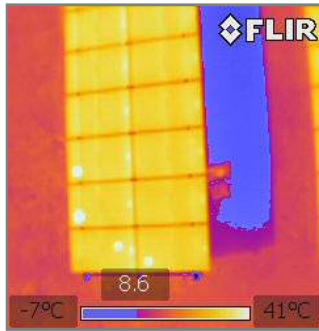
- ・サーモグラフィーによる人為的に発生させたホットスポットの検出確認
- ・UAVによる自動航行の精度確認と撮影高度による熱赤外線画像の解像度比較
- ・サーモグラフィーを搭載した UAVによる実証施設の写真及び動画撮影
- ・計測データによるパネル健全度評価手法の開発

① サーモグラフィーによる人為的に発生させたホットスポットの検出確認

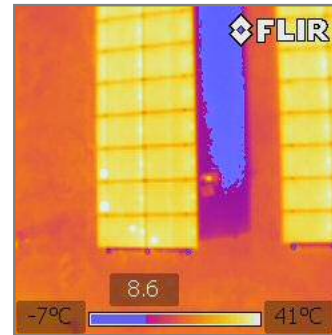
パネル上に設置した 1 辺 10cm の白色ウレタンを数分後に除去し、発生したホットスポットをハンディータイプのサーモグラフィーを搭載した UAVにより高度 10m、15m、20m から撮影した結果、十分検出可能であることが確認できた(写真 10)。



障害物除去後（高度 10m）



障害物除去後（高度 15m）



障害物除去後（高度 20m）

写真 10. 人為的に発生させたホットスポットの高度別判別状況

② UAVによる自動航行の精度確認と撮影高度による熱赤外線画像の解像度比較

地表に設置した 2 箇所の対空標識に対して、UAVを自動航行させた場合（図 2）の離隔距離は最大約 1m 程度であった。さらに、撮影高度によるホットスポット撮影画像の判別精度を確認した結果、高度 30m 以上でも判別が可能であることが判明した。

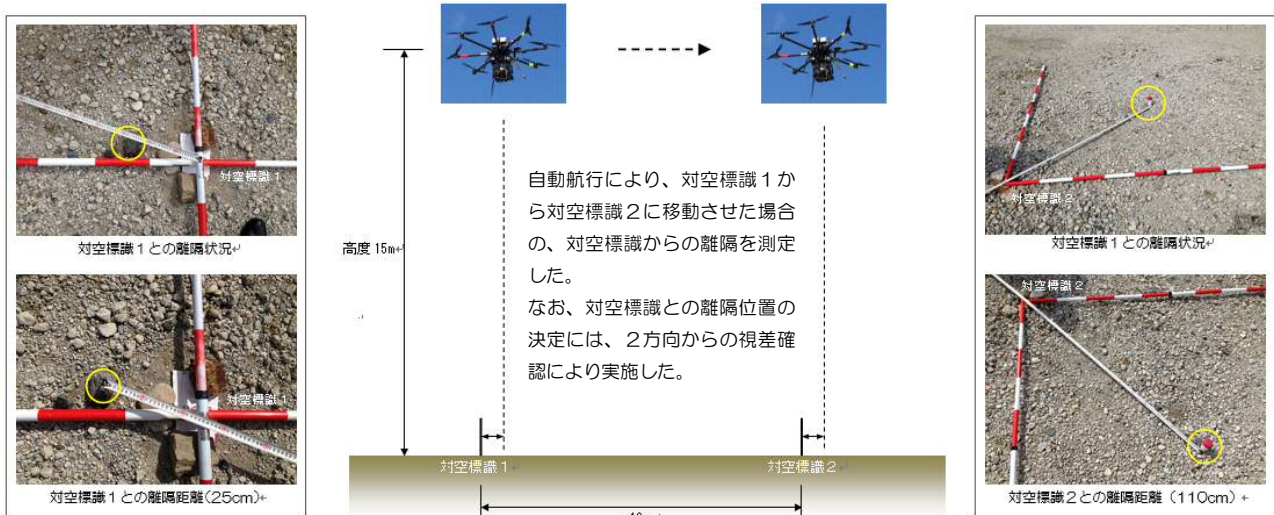
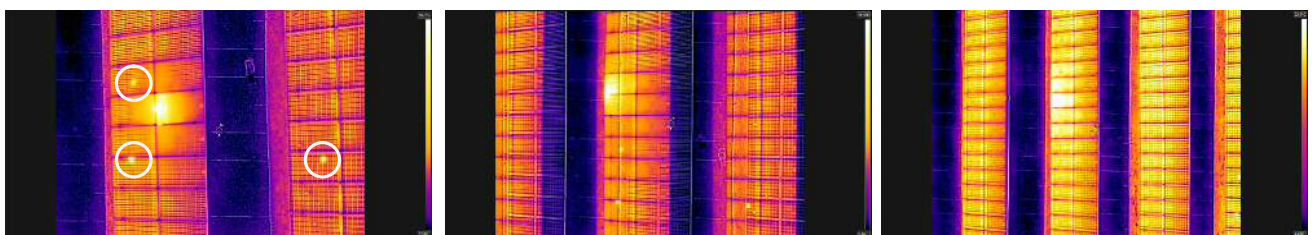


図 2. 自動航行による対空標識との整合性確認



高度 15m（判別可）

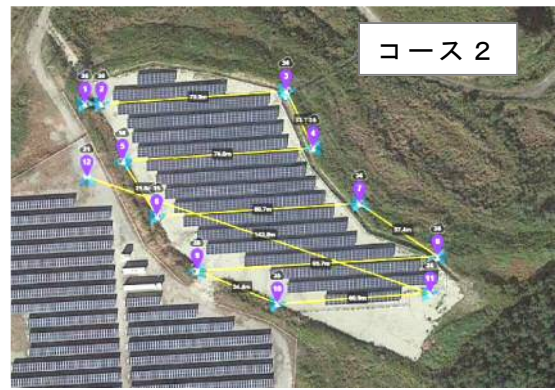
高度 25m（判別可）

高度 35m（判別可）

写真 11. 飛行高度の相違によるホットスポット判別状況

③ サーモグラフィーを搭載した UAVによる実証施設の写真及び動画撮影

実証施設に対してあらかじめコース設定した航路（写真 12）に沿って自動航行させた場合の写真撮影と動画撮影を行った（写真 13）。その結果、施設内のパネル不良箇所の位置を特定する上で、動画画像の使用がより効率的であることが判明した。



コース	コース長	撮影時	撮影対地高度
コース 1	1100m	10 分	35m
コース 2	650m	6 分	40m

写真 12. 自動航行によるコース設定（西秋沢発電所）

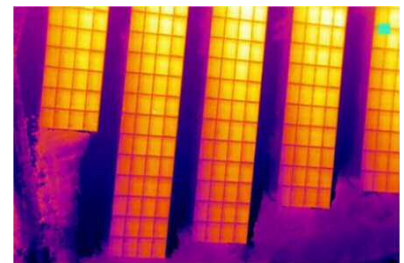
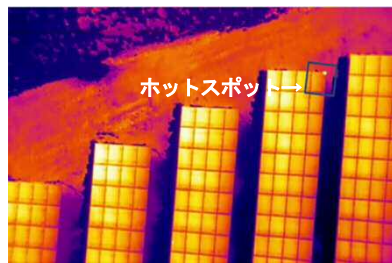
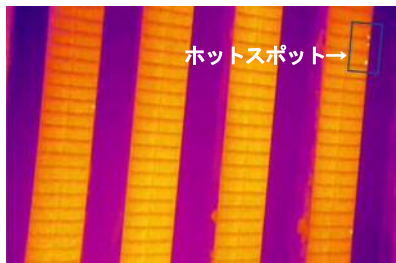


写真 13. 自動航行による撮影画像（撮影高度 35m～40m）

④ 計測データによるパネル健全度評価手法の開発（岐阜大学提供資料）

1) 重回帰分析によるアレイ間の発電量評価

計 9 箇所のパワーコンディショナー(PC1～PC9)で計測した直流電力について重回帰分析を行い、PC 間の直流電力の相関性に着目して異常エリアを検出する手法である。図 3 は実証施設で計測した 1 日（H27.9.14）の発電量に対する解析結果であるが、PC7 と PC8 での発電量は他の PC との相関性にばらつきが大きく、何らかの原因で発電量が低下したことを示唆している。図 4 は PC7 と PC8 のアレイ設置エリアを PCS7 と PCS8 で示す。

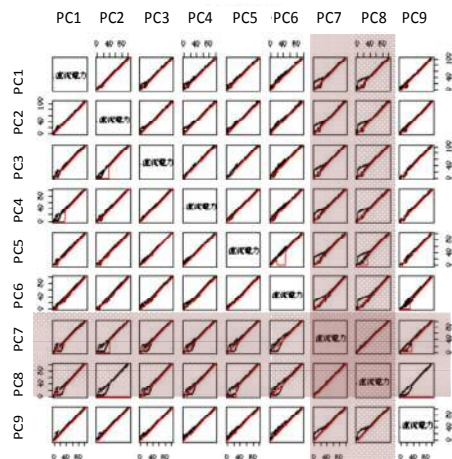


図 3. PC 間の直流電力回帰結果（2015.9.14）



図 4. PC 間の回帰不良エリア

2) 機械学習による太陽光発電システムの診断指標

太陽光発電施設での発電量は日射や気象、環境により変化する。さらに、経年劣化によっても変化するため、発電量の減少が故障によるものか否かの判断が難しい。このため、現在のもっともらしい発電量の期待値が分かれば、太陽光発電システムの故障や急激な劣化を診断する指標となる。図5に上記の指標を得るために導入したサポートベクターマシン(SVM)による機械学習の概念を示す。

- 手順 1. (a)図に示すように、太陽光発電システムでモニタリングした日射量と、月、日、時、気温から直流発電電力を推定できる様に学習（訓練）する。
- 手順 2. (b)図に示すように、発電量の期待値が知りたい時刻の、日射量、月、日、時、気温を与えると、学習に基づいた直流発電電力の期待値を得る。
- 手順 3. 期待値を指標として実際の直流発電電力と比較することにより、太陽光発電システムの故障や急激な劣化を診断する。

図6は実証施設である西秋沢太陽光発電所での適用例を示す。

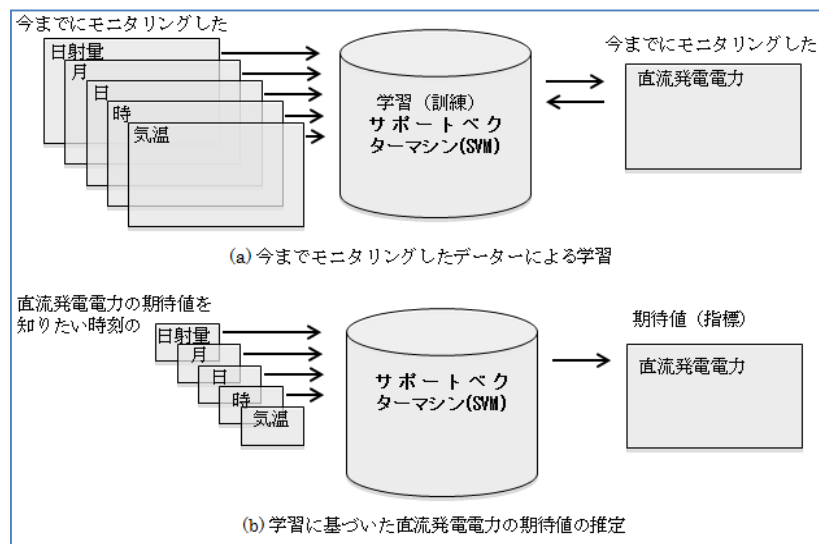


図5. サポートベクターマシンによる学習の概念

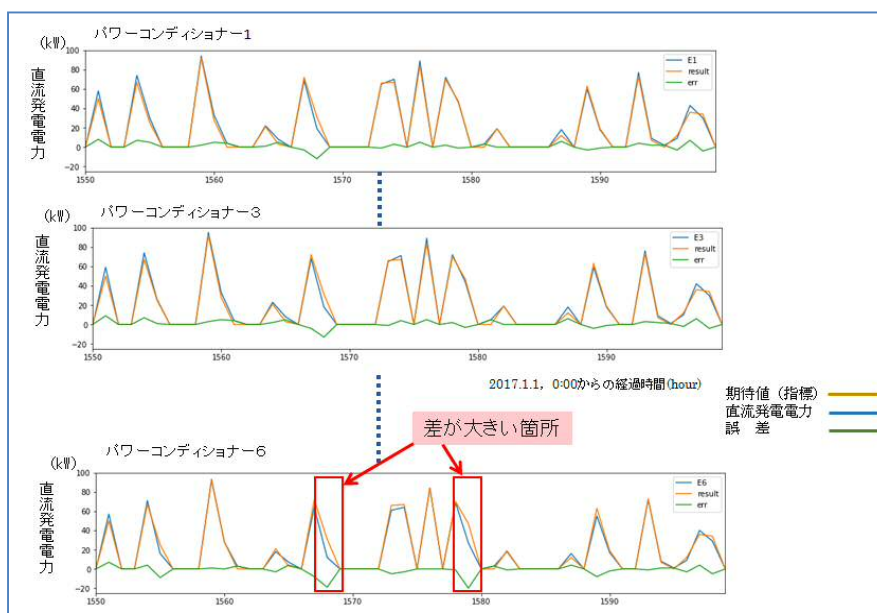


図6. 西秋沢太陽光発電所での適用例

(4) 実証フィールドにおける異常箇所検出成果

実証フィールドでの自動航行による模擬点検では、点検実施中にクラスタに発熱現象があるモジュールを検出した（写真14）。現地でのパネル外観に対する目視点検では異常は発見されなかったが、現地計測の結果、異常パネルでは電圧値が正常箇所比べて2/3に低下していることが判明したためパネルの交換が行われた。なお、回収した異常パネルについては、その後の調査により太陽電池セルを直列接続する配線材のハンダ接合不良が原因であったことが報告された（図7）。

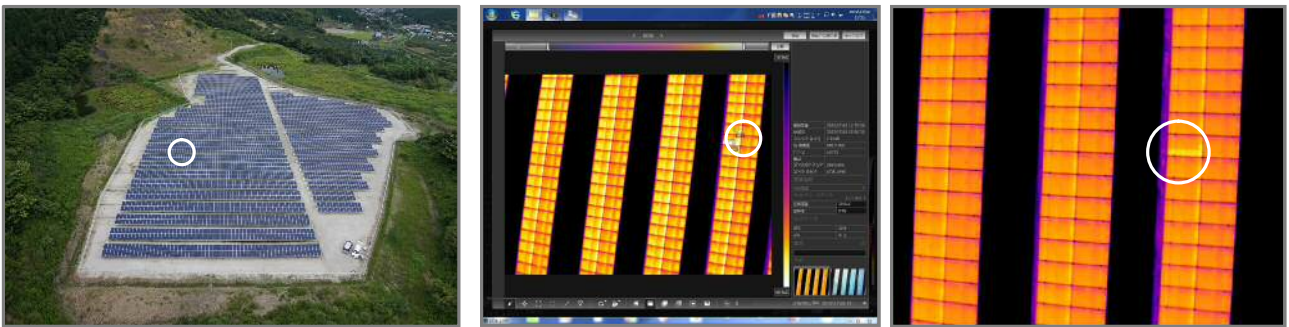


写真 14. 模擬点検で検出した異常パネルの位置と撮影画像



図 7. 異常パネルの現地計測結果と解析結果（日本エコシステム(株)提供資料）

(5) その他の模擬点検事例

研究会では、西秋沢太陽光発電所での模擬点検以外にも、これまでに戸建住宅や1MW以下の施設を対象に模擬点検を実施しており、ホットスポットに相当すると考えられるパネルの発熱現象を確認した。写真15、16に模擬点検で撮影した熱赤外線画像を示す。

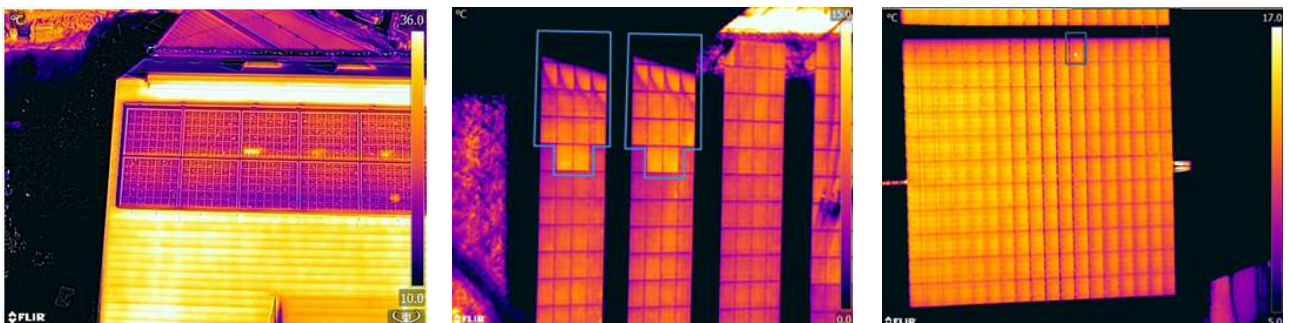


写真 15. 戸建住宅及び中規模発電所を対象にした熱赤外線画像

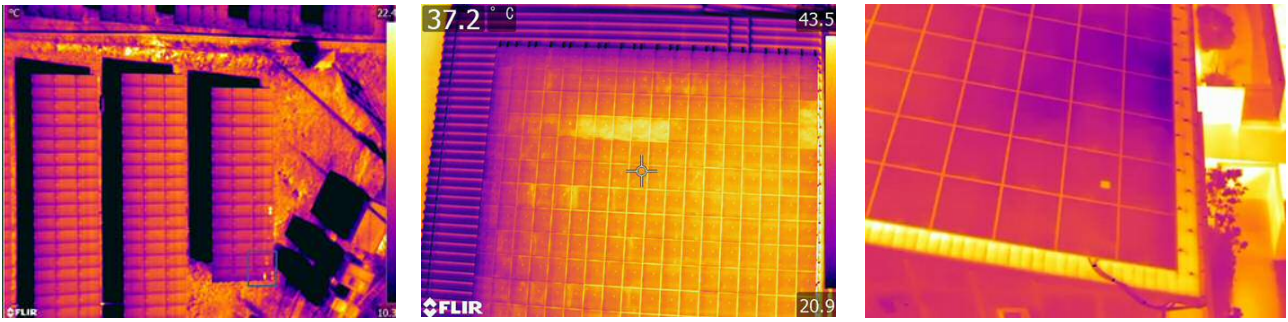


写真 16. 戸建住宅及び中規模発電所を対象にした熱赤外線画像

§ 4. パネル保守点検の事業化に向けた課題

平成 29 年 4 月以降に施行した改正 F I T 法では、すべての太陽光発電所に対して保守・点検が義務づけている。このため、中～大規模施設では効率面で有利な U A V を活用したパネルの定期点検が実施する機会も多くなると予想する。しかし、§ 2. の「太陽電池パネルのトラブル要因とホットスポット」で述べたようにトラブル要因には様々なものが考えられ、生じる症状も多岐にわたる。従って、パネルの保守点検ではサーモグラフィーによる熱赤外線画像や太陽電池 I-V 測定器（電流-電圧特性曲線測定装置）等の現地計測機器のみでは検出しないケースも予想される。点検には太陽光発電に関する総合的な知識が必要なため、事業化に際しては電気事業者との密な連携が必要となる。

また、発電規模が数メガから数 10 メガに達するような大規模な発電施設では、事前のスクリーニング点検として当研究会で試行したようなモニタリングデータを活用した解析評価手法の採用も効果的と考えられ、今後も解析精度の向上を図っていく必要がある。

一方、平成 27 年 12 月に一部改正した航空法（平成 27 年法律第 67 号）では、無人航空機の飛行に関する基本的なルールが定められた。これにより、無人航空機の利用に際しては、同法及び関連法令を遵守し、第三者に迷惑をかけることなく安全に飛行させることが求められている。本事業で進めている U A V を用いた太陽電池パネルの保守点検においても、同法律に沿った安全航行が必要であり、飛行禁止空域の事前確認や飛行許可承認申請の手続きなど、改正航空法に則した点検マニュアルを作成する必要がある。さらに、市街地や幹線道路などに接近した太陽光発電所では、点検時の観測体制（人員配置）や、パネル点検に必要な事前確認事項（風速、パネル表面温度、日射強度、位置座標の確認等）のチェック体制をマニュアル化し、安全航行に向けた環境整備を行う必要がある。

【事業化に向けて対応すべき課題のまとめ】

- ・ホットスポット等のパネル異常発見に対する診断、コンサルティング対応
- ・パネル定期点検における U A V 活用のコストパフォーマンスの向上
- ・モニタリング情報と連携させた、より効率的な点検手法の確立
- ・点検費用と発電能力の安定確保に対する費用対効果の検証技術開発

§ 5. おわりに

太陽電池パネル保守点検の事業化に際してはいくつもの課題が残されているが、改正 F I T 法に対応するためにも具体化を進めたい。なお、本開発研究の実施に際して、岐阜大学工学部 電子工学科の吉田弘樹准教授、及び日本エコシステム㈱の松永義彦氏、滝本裕二氏には大変お世話になりました。ここに謝辞を申し上げます。