

◆◆ 2019 年度 論文賞 ◆◆

部分陰によりホットスポットが発生した PV セルの温度分布を  
予測する連成モデル

山本稜之\*・南野郁夫 (宇部工業高等専門学校)

この度は 2019 年度の太陽エネルギー学会論文賞を賜り、誠にありがとうございます。このような栄誉ある賞に選出頂いたことに大変光栄に思うとともに、本論文を評価して下さいました審査員各位ならびに学会関係者各位に対し、改めて感謝の意を表します。

太陽光発電システムの急速な普及に伴い、その安全性が重要視されるようになってきました。安全性の課題の 1 つとして部分陰により太陽電池セル上に発生するホットスポットが挙げられます。これはバイパスダイオードが開放故障し、セルが部分的に遮光されると降伏電圧を超える逆方向バイアス電圧が印加され発生します。そのため、ホットスポットはどのモジュールでも発生する可能性があり、数十分で数百°C の高温になる事例が報告されています。しかし、ホットスポットが発生する詳細なメカニズムは複雑であり、各製品で特性が異なるため、動作時の I-V 特性に基づいたホットスポットの再現手法が確立されていないのが現状です。また、従来の解析では予め発熱箇所と大きさを指定する必要があるため、セルの I-V 特性の温度変化を考慮したホットス

ポットの解析ができないという課題がありました。

そこで本研究では、シリコン系太陽電池 1 セル分の I-V 特性から発熱量を算出する電気モデルと、様々な部分陰の条件下で発熱量を基に温度分布を算出する熱モデルを組み合わせた連成モデルを提案し、過去の実験結果と比較することでモデルの有効性を評価しました。解析の結果、実験結果に近い温度上昇量を得ることができ、発熱部の精度はいずれも 25°C 以内であることを確認しました。太陽電池セルの I-V 特性の温度変化を考慮した解析により発熱分布を得ることができ、ホットスポット再現において高温時の誤差が増えた場合でも高温領域では熱輻射が支配的になるため、より高温なホットスポットの解析では誤差が小さくなると考えられ、太陽電池セルの危険性を再現するには十分有効であると結論付けました。

最後になりますが、本研究を進めるにあたり、ご指導、ご助言頂きました宇部工業高等専門学校の南野郁夫教授をはじめ、共著者である和木大祐氏、南野研究室の皆様にご心より感謝申し上げます。

◆◆ 2019 年度 押田賞 ◆◆

壁面設置型集熱器に向けた放物面鏡を用いた太陽集光系の設計

秋澤 淳 (東京農工大学)

この度は押田賞をいただき、大変名誉なことと光栄に存じます。関係各位に御礼申し上げますとともに、一緒に研究に取り組んだ共同研究者に感謝いたします。

この研究では太陽集熱器を建物の壁面に設置することを目指しました。固定買取制が導入されて以来、太陽光発電が目覚ましく進展し、多くの建物に設置が進みました。住宅における太陽熱利用の場合、集熱器の面積は 4 ~ 6m<sup>2</sup> 程度であり、太陽光発電に比べると少ない面積で十分です。将来太陽エネルギーをフルに利用するには、屋根には PV を設置する一方、壁面に太陽集熱器を取り付け、再生可能エネルギーを重点的に活用する住宅をイメージしました。

集熱器としての特徴はシンプルな構造です。二つ

の放物面を組み合わせた複合放物面鏡 (CPC : Compound Parabolic Concentrator) と呼ばれる集光方式があります。これは対称的な許容入射半角を持つ設計です。本研究で取り入れた集光方式は、単純に一つの放物面で構成されています。日本の場合、冬季の給湯負荷が夏季より圧倒的に大きいので、年間を通じて一様に集熱する必要はありません。むしろ冬季の集光・集熱を重視する方が有効ではないかと考えました。そうすると、CPC のように放物面を二つ用いるのではなく、一つで済ませるという設計思想になりました。

太陽熱利用の有効性は昔も今も変わらないと思いますが、太陽熱利用には固定買取制のような支援制度がなく、鳴かず飛ばずの状況が続いているのは残念なことです。熱の脱炭素化を考えたとき、再生可

能エネルギー利用の重要な技術の一つとして太陽集熱はもっと活躍が期待されるはずと思います。

本研究による集光・集熱方法が太陽熱利用に少しでも役に立つことができれば大変うれしく思います。

す。今回の受賞を励みとして、今後も引き続き太陽集光・集熱の研究に取り組む所存です。あらためて関係の皆様のご支援に御礼申し上げます。

## ◆◆ 2019年度 奨励賞（学生部門） ◆◆

### EL画像を用いたPIDモジュールの出力推定に関する研究

澤田 賢（名城大学）

この度は2019年度日本太陽エネルギー学会奨励賞（学生部門）を賜り、誠にありがとうございます。このような栄誉ある賞に選出して頂いたことを大変光栄に存じます。そして、本研究を評価して下さいました審査員の皆様、並びに貴学会の関係者の皆様に対して心よりお礼申し上げます。

太陽光発電は当初メンテナンスフリーと言われておりましたが、近年では出力低下や火災などの不具合が報告され、現在では保守点検・管理維持が義務化されております。太陽電池の不具合の一例としてPID現象が挙げられます。PID現象により出力が大幅に低下することが報告されておりますが、PID現象の発生したPVモジュールは外観の変化が見られないことも多く、目視では発見することが困難です。そこでPID現象を診断する有効な方法の一つとしてEL画像が挙げられます。EL画像は発電部分に欠陥がある場合、暗部として検出することができます。そのため目視点検では発見することが困難であったPID現象を、EL画像を用いることで容易に発見することが可能になりました。現在ではEL撮影用のドローンが開発され、上空から大量のPVモジュールを一度に撮影できるようになり、測定の効果

率化が可能となっております。しかし、現場でのEL画像を用いた診断はPID現象の発見にとどまり、経済的な損失につながる太陽光発電システムの出力低下を定量的に評価するにはI-V測定等により再検査する必要があります。

そこで、我々の研究室では、ドローンを用いて上空からEL画像の撮影を行い、PVモジュールのPID現象を発見するだけでなく、出力低下を定量且つ簡便に推定する方法を検討しています。

受賞対象となりました研究では、PID現象による出力低下の一因であるPVセルのRshとEL輝度の相関性をPVセル単位で検討しました。その後、EL画像から推定したRshの結果を用いI-V特性をシミュレーションしたところ、約3%の絶対誤差率で出力低下を推定できました。さらにEL画像の輝度を2値化しRshを推定することでより簡便に出力推定できることもわかりました。

最後になりましたが、本研究を進めるにあたり懇切丁寧なご指導をくださった名城大学の山中三四郎教授をはじめ、ご助言・ご協力を賜りましたトーエネック株式会社の青山泰宏様、西戸雄輝様、小林浩様に心より感謝申し上げます。

## ◆◆ 2019年度 奨励賞（学生部門） ◆◆

### 地上日射計測を用いた雲影挙動把握方法における雲影到来時の日射強度変化

竹内悠人（豊橋技術科学大学）

この度は奨励賞（学生部門）を賜り、誠にありがとうございます。このような栄誉な賞へ選出いただき大変光栄に思います。本研究を評価して下さいました審査員の皆様、ならびに表彰委員会の方々、学会関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

太陽光発電は雲影の通過によって急激な出力変動が発生するため、この解決策として、短期での発電量予測が必要です。予測方法として、多地点に日射センサを配置し、雲影到来による日射強度変化から、雲影の挙動を算出し、太陽光発電の予測を行う手法があります。我々の研究室ではこれまでに、複数の日射センサを用いて、予測対象地点の日射強度を予測し、精度の良い予測結果を得ました。

今回の論文では、雲の観測動画と多点日射計測を行い、雲影通過時の日射センサの信号変化を分析しました。複数台の日射センサの出力変化の時間差から雲影のベクトルを求める場合、そのセンサ出力変化から、雲影の入出を正確に判断する必要があります。センサ出力変化は雲影によって、出力低下開始から低下した出力が一定値に落ち着くまで変わらない場合、出力低下の途中で順番が入れ替わる場合、出力低下開始もしくは直後から順番が入れ替わる場合の3パターンに分けられました。また、雲の観測動画から、センサの出力低下中にその低下順が入れ替わる原因が、雲影の濃度にあることがわかりました。今後も本研究のさらなる発展に貢献できるよう

誠意努力する所存です。

最後になりますが、本研究を進めるにあたりご指導頂いた滝川浩史先生をはじめ、共著者の針谷達先生、小林宏規君、株式会社エイムの平塚元久様、伊

藤和彦様、また、協力いただいた株式会社サイエンスクリエイトの白坂敬之介様、播充様に心より感謝を申し上げます。

## ◆◆ 2019年度 奨励賞（学生部門）◆◆

### 卒 FIT 後の既設 PV システムへの蓄電池設置に関する経済性の検証

石川 廉（静岡大学）

この度は令和1年度日本太陽エネルギー学会奨励賞を賜り、誠にありがとうございます。このような名誉ある賞へ選出いただいたことを大変光栄に思います。また、本研究を評価して下さった審査員の皆様、ならびに表彰委員会の方々や学会関係者の皆様に心より御礼申し上げます。

固定価格買取制度（FIT）の開始から十年が経過し、契約期間が満了した家庭では、順次売電単価が大幅に低下することとなりました。初期に導入した家庭では、その額は48円から8円前後へと6分の1となります。FIT終了後、太陽光発電の発電電力は売電するより自家消費したほうが経済的であるため、多くの業者が蓄電池の設置を推奨しています。しかしながら蓄電池の価格は未だ高額であり、蓄電池の寿命を迎えるまでに初期投資回収する事は難しいと考えられます。

本論文ではオール電化住宅を対象とし、既設太陽

光発電システムに蓄電池を設置する際の一次エネルギー削減量と経済性をシミュレーションにより検証しました。シミュレーションの際には、蓄電池の容量、接続方法及び充放電制御方法、ヒートポンプ給湯機の沸上時間等をパラメータとして変化させました。その結果、現在の導入価格では、蓄電池の初期費用回収することはできず、設置する蓄電池の容量が大きいほど経済性が悪化しました。また、蓄電池設置をせず、ヒートポンプ給湯機の沸上時間を昼間にシフトした場合、初期費用がかからず年間約4千円の利益を生じることが分かりました。今回発表した内容を大幅に改定し、投資回収の実現可能性や時積算値を用いることによる誤差等の検討を加えた論文を投稿させて頂く所存です。

最後になりましたが、本研究を進めるにあたりご指導頂いた静岡大学の松尾廣伸准教授をはじめ、ご助言を賜りました皆様に深く感謝申し上げます。

## ◆◆ 2019年度 奨励賞（学生部門）◆◆

### 赤外線カメラによる太陽電池モジュールのバイパス回路の開放故障検出技術 — 方形波電流による部分開放故障検出技術について —

黒田拓希（日本大学）

この度は2019年度太陽エネルギー学会奨励賞（学生部門）を賜り、誠にありがとうございます。このような名誉ある賞に選出いただいたことを大変光栄に存じます。また、本論文を評価して下さった審査員の皆様、表彰委員会の方々、ならびに学会関係者に対して、深く感謝致します。

本研究は、太陽電池モジュールのバイパス回路の開放故障、およびバイパスダイオードの抵抗値が完全開放故障には至らないまでも正常時より増加した故障（部分開放故障）を検出するための方法について発表させていただきました。バイパス回路は太陽光発電設備の安全上きわめて重要なデバイスであり、その開放または高抵抗化に起因すると推定される火災が実際に発生する可能性があることから、早期発見の必要があります。従来、外部から電圧を印加しストリング単位で故障を検出する方法は知られ

ていましたが、低抵抗の部分開放故障を正常と誤検出する可能性がありました。そこで本提案は、外部から電圧を印加する従来の方法と電流を注入する新規の方法を比較し、周波数解析を行い得られる熱画像を判別分析することで故障検出を行いました。その結果、後者の実験結果において、低抵抗の部分開放故障の特定が可能となりました。今後は1ストリング内に複数の開放故障が発生した場合においての実験、解析を行っていく予定です。また、実測調査を継続し、バイパス回路の故障位置を検出できる技術の確立に向け精進して参ります。

最後になりましたが、本研究を進めるにあたりご指導いただいた日本大学の西川省吾教授および西川研究室の皆様、ご助言・ご協力を賜りました株式会社チノアの深山大輔様、寺田大亮様にこの場を借りて心より御礼申し上げます。

## ◆◆ 2019 年度 奨励賞 (学生部門) ◆◆

## 三角カット Si 太陽電池セルの 3 次元曲面对応性検討

早川佳孝 (長岡技術科学大学)

この度は 2019 年度日本太陽エネルギー学会奨励賞 (学生部門) を賜り、誠にありがとうございます。このような名誉ある賞に選出いただいたことを大変光栄に思うとともに、今後の研究活動の励みとさせて頂きます。本論文を評価して下さった審査員の皆様、並びに表彰委員会の方々や学会関係者の皆様に対して、深く感謝申し上げます。

地球温暖化対策として太陽光発電 (PV) の導入量拡大が急務とされています。この実現のためには、これまで PV が適用されてこなかった分野への導入を推進する必要があります。その 1 つとして、自動車や航空機などの乗り物への PV 搭載が研究開発されていますが、乗り物の表面は空力性能などのために滑らかな 3 次元 (3D) 曲面であり、且つ、搭載可能な面積が限られるため、3D 曲面に適應可能な高効率 PV 技術が求められています。局面に適應可能な PV モジュールとして、薄膜太陽電池を用いたフレキシブル PV モジュールが挙げられますが、これには市場に最も受け入れられている結晶 Si 系太陽電池 (Si) モジュールと比べると変換効率が低い

といった課題が存在します。そこで本研究では、通常は四角形の Si セルを三角形状にカットすることで 3D 曲面への対応性が向上するか否かについて、応力解析、曲げ試験、モジュール試作により検証しました。結果として、Si セルを三角形状にカットすることにより、セルに作用する応力が低減し、一般的な自動車車体の曲率半径 (1 ~ 3m) を有する 3D 曲面に適應可能であることが示されました。また、小面積曲面モジュールの試作に成功し、発電が可能であることが示されました。今後も本研究のさらなる発展に貢献できるよう誠意努力する所存です。

最後になりましたが、本研究の遂行及び発表準備にあたりご指導を賜りました長岡技術科学大学の山田 昇教授、本研究の遂行にご協力を賜りました同修士課程学生の長谷 知将君、込山 輝君、ご助言・ご協力・試験材の提供を賜りました豊田工業大学の山口 真史名誉教授、同荒木 建次招聘研究員、トヨタ自動車株式会社の増田 泰造様にこの場を借りて心より御礼申し上げます。

## ◆◆ 2019 年度 奨励賞 (学生部門) ◆◆

## 夏季の気候特性や熱的履歴が想像温度に与える影響

## ～札幌・福山・熊本における被験者実験～

原 大介 (札幌市立大学)

この度は 2019 年度太陽エネルギー学会奨励賞 (学生部門) を賜り、誠にありがとうございます。このような名誉ある賞に選出いただいたことを大変光栄に存じます。また、本論文を評価して下さった審査員の皆様、表彰委員会の方々、ならびに学会関係者に対して、深く感謝致します。

本研究は夏季における快適な建築環境の設計・運用の支援を目指し、熱環境に対する心理尺度である「想像温度」に基づく検討を行ったものです。気候の異なる札幌市・福山市・熊本市において被験者実験を行ない、直前の熱環境や行動などの短期履歴と、普段過ごしている熱環境や住まい方などの長期履歴 (地域性) が想像温度に与える影響について明らかにしました。

現在、設備設計では地域を問わず目指すべき室温や湿度などが概ね定まっており、それを基準として設計がなされることがルーティーン化されていま

す。こういった基準があることで全国どこでも一定の質を担保した室内環境を設計が行なえるようになったのは確かです。しかし、ヒトにはこれまで生まれ育ってきた気候や生活習慣があり、快適と感じる熱環境にも地域差があると考えられます。本研究は想像温度の地域差を明らかにした一例にすぎませんが、今後も様々な地域・季節での想像温度申告を丁寧に取り上げていくことで、地域ごとの目指すべき新たな室内環境の指標を体系的にまとめることができると考えております。

最後になりますが、本研究を指導して下さった札幌市立大学の齊藤雅也教授をはじめ、ご助言・ご協力を賜りました熊本県立大学の辻原万規彦教授、中村きらら氏、福山大学の伊澤康一准教授、ならびに実測・アンケートにご協力いただいた皆様に深く感謝申し上げます。

## ◆◆ 2019年度 奨励賞（学生部門） ◆◆

## 居住者の温熱感覚と熱中症危険度の認識に関する実態調査

## —夏季における北海道と新潟を対象として—

田中佑一郎（首都大学東京）

この度は栄誉ある奨励賞（学生部門）を頂き、大変光栄に存じます。こうして受賞できたのも論文を審査して下さった先生方や、論文発表に向けて協力して下さった方々のおかげだと思っております。また今回の発表で頂いたコメントはその後の研究や修士論文作成において役立つものとなりました。本当にありがとうございました。

ここでまず、論文の概要を振り返りたいと思います。今回の論文では「居住者の温熱感覚と熱中症危険度の認識に関する実態調査 ～夏季における北海道と新潟を対象として～」と題して、主に寒冷地域における熱中症に注目し、居住者の温熱感覚（想像温度・湿度）と熱中症危険度の認識度合いから、その実態を明らかにすることを目的として研究を行いました。その結果、地域による温熱感覚の違いや、居住者の多くが実際の熱中症危険度よりも低く予想していること等を示すことができました。

また今回発表した内容は修士論文の内容の一部であり、論文作成に向けて弾みをつけたいと考え学会に参加しました。学会に参加して良かったことは、発表を聞いて下さった先生方からいろいろな意見を頂き、その後の研究の視野が広がったことです。実際にこの発表後にさらなる分析を行い、熱中症危険度の地域差について検討することができました。近年熱中症が注目されている中で、このような結果が熱中症防止の一助となれば良いなと思っております。

最後になりますが、この研究を指導して下さった指導教授である須永修通先生をはじめ、札幌市立大学の斎藤先生、原さん、新潟大学の棒田先生、道総研の佐々木さん、下之園さん、実測・アンケート調査にご協力頂いた皆様に感謝を申し上げます。今回の受賞を励みに本学会と建築業界の発展に少しでも貢献できるよう、より一層努力したいと思います。

## ◆◆ 2019年度 奨励賞（学生部門） ◆◆

## 電磁リレーを使用したラピッドシャットダウンシステムの提案

中本健太（宇部工業高等専門学校）

この度は2019年度太陽エネルギー学会奨励賞（学生部門）を賜り、大変光栄に思います。本研究を評価して頂いた審査員の皆様、表彰委員会の皆様ならびに学会関係者の皆様に深く御礼申し上げます。

本研究は、太陽光発電システム（Photovoltaic system：PVS）の安全性に着目した研究です。太陽電池セルには光が照射される限り起電力が生じるため、火災等の緊急時にPVSの発電を止めることはできません。米国の一部の州では、PVSの消火活動に従事する消防隊員の感電を防止するため、ラピッドシャットダウンの導入が義務付けられています。ラピッドシャットダウンはPVSの回路電圧を瞬時に低電圧（数十V程度）に制御する機能です。多くの場合、マイクロインバータによって実現されています。マイクロインバータは太陽電池モジュール1枚単位で接続する小型のインバータです。1枚単位で電力制御を行えるため、ラピッドシャットダウンを比較的容易に実現できます。

我が国ではストリング単位で接続するストリングインバータが主流で、ラピッドシャットダウンのような感電防止策は施されていません。また、風害に

よるモジュールの飛散では、周辺住民が飛散したモジュールに不用意に接触すると感電事故に発展する恐れがあります。ラピッドシャットダウンのような感電防止機能を既存のPVSに導入するためには、ストリングインバータの交換が必要となるため、コスト面から現実的ではありません。したがって、既存のPVSに安価に導入できるラピッドシャットダウンシステムの開発が望まれます。

本研究では消防隊員の感電事故ならびに飛散したモジュールの撤去時に発生する感電事故を防止でき、既存のPVSへ安価に導入できる電磁リレーで構成したラピッドシャットダウンシステムを提案しました。動作試験の結果および先行技術との比較から、本提案システムはフェールセーフかつ信頼性の高い感電防止機能をPVSに付与でき、感電事故の低減を見込めることがわかりました。

最後になりましたが、本研究の遂行にあたりご指導頂きました宇部工業高等専門学校電気工学科の濱田俊之准教授に深く感謝いたします。また、ご協力いただきました研究室の皆様にも感謝の意を表します。