

## IoTデバイス電源とした太陽電池の発電量予測モデルの開発 (2)

森田寛之\* 白石知久\*\*\*

## Development of a Model for Predicting the Amount of Electricity Generated by Solar Cells Using IoT Devices as Power Sources

MORITA Hiroyuki\*, SHIRAISHI Tomohisa\*\*\*

## 抄録

太陽電池及びバッテリーを搭載した屋外用IoTデバイスにおいて、バッテリー容量を抑えながらも、電源喪失を起こすことなく運用が可能な、AIを用いた太陽電池の発電量予測モデルの開発を令和5年度に引き続き試みた。学習データは、前日の天気予報、5分間隔で測定・保存した日時、太陽電池（南向き、仰角30度）の発電電力、日射量とした。太陽電池の1日の発電量の平均実測値と予測値の差は、「晴れ」が-7%、「晴れのち曇り/曇りのち晴れ」が-4%、「曇り」が-9%、「雨」が+4%であった。さらに太陽電池の設置方向を南西向きに変更した場合における発電量の補正を試みた。

キーワード：太陽電池、発電量予測、AI、IoTデバイス

## 1 はじめに

通信技術の発達や業務効率化の必要性などから、自動化・遠隔制御用IoTデバイスの普及が進んでいる<sup>1,2)</sup>。屋外でIoTデバイスを使用する場合、太陽電池とバッテリーを組み合わせた電源が主流であり、太陽電池で発電した電力をバッテリーに蓄え、電子機器に供給する。しかし、電源喪失を防ぐため、過大な容量のバッテリーが必要となるケースが多く、コストや設置スペースの確保に課題が生じている。さらに、太陽光発電には、(1)天候変化により太陽電池の発電量が安定しない、(2)夜間での太陽電池による発電量がない、などの問題があり運用上の対策が必要となる。

そこで、この研究では、バッテリー容量を抑えながらも、電源喪失を起こすことなく運用が可能な、AIを用いた太陽電池の発電量予測モデルの開

発を試みた。

## 2 実験方法

## 2.1 太陽電池の最大電力の測定方法検討

太陽電池の最大電力を得るためには、ある時刻における太陽電池の発電電力（電流×電圧）を求める必要がある。太陽電池の電流と電圧関係（I-V特性）は図1の青線となり、太陽電池に接続する負荷（抵抗）の値を変化させて図1の赤線のように最大電力[W]（以下、「発電電力」とする）を求める必要がある。そのため、太陽電池に接続したトランジスタのベースに0.4~1Vの電圧を印加し、トランジスタの抵抗値を変化させI-V特性を求めることを試みた。

太陽電池の発電電力は時刻や天候により刻々と変化するため、電流・電圧値を自動取得するプログラムを作成し、これを「2.2 測定データ自動取得プログラムの開発」に用いた。

\* 電気・電子技術・戦略プロジェクト担当

\*\*\* 現 計量検定所

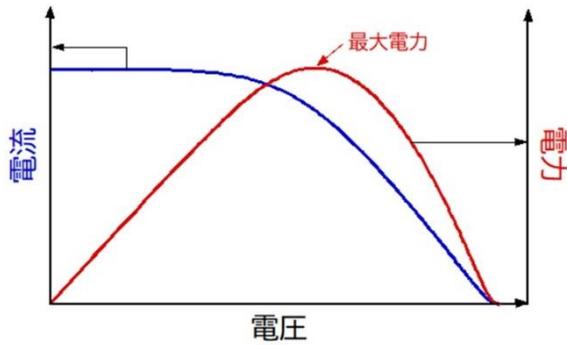


図1 太陽電池の I-V 特性

## 2.2 測定データ自動取得プログラムの開発及び発電量予測モデルの開発

当センター建屋 (SKIP シティ) 屋上にて、東京で一般的に最適と言われる<sup>3)</sup>南向き・仰角 30 度 に設定した太陽電池及び、日射量計、気圧センサを設置した。図 2 に示すフローチャートのロジックを実装する測定データ自動取得プログラムを用いて、5 分ごとの太陽電池の発電電力、周辺の日射量・気圧を取得した。同時に空模様を確認できるように USB カメラにて空画像を撮影・保存した。

これらの自動取得したデータを用いて、発電量予測モデルを開発することとした (図 3)。なお本報告では、発電量 [Wh] は太陽電池の発電電力の時間積算値と定義する。

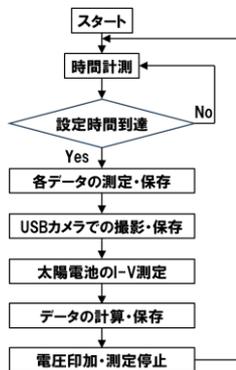


図2 測定データ自動取得プログラム  
フローチャート

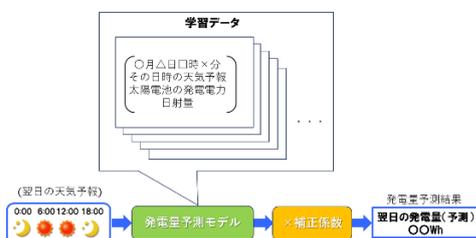


図3 太陽電池発電量予測モデル概要

## 2.3 発電量予測モデルの補正係数算出

実際に IoT デバイスを設置する際には、建物や地形などにより太陽電池の設置場所が制限されることが予想される。そのため、太陽電池が南向きに設置できないことを想定し、南西向きに設置した場合の予測モデルを補正する係数を求めた。

## 2.4 ボードコンピュータでの稼働試験

IoT デバイスとして、現在では小型 PC、スマートフォン、Arduino、Raspberry Pi 等様々な機器が利用されている。本研究では、低消費電力かつ開発言語を搭載可能な Linux の稼働する汎用性の高い Raspberry Pi 5 を用いた。開発した予測モデルを IoT デバイス (Raspberry Pi 5) で稼働可能か確認を行った。

## 3 結果及び考察

### 3.1 太陽電池の発電量予測モデルの開発

令和 5 年度の冬の空画像<sup>4)</sup>と令和 6 年度の春・夏・秋の空画像及び測定した日射量により、以下のことが分かった。

(1)実際に天気が晴れであっても一時的に太陽が雲に隠れることがあった。(2)実際に曇りであっても一時的に雲の隙間からの強い日射量を測定することがあった。

太陽の日差しと太陽電池の発電電力には強い相関関係があるため、空画像がなくても発電電力のデータを用いることで、(1)~(2)を考慮できると推定される。さらに天候による気圧の変化が約 980hPa~1013hPa と変化量が約 2%と小さく、予測への影響が小さいと想定された。そのため、今年度では空画像の天候判定結果及び気圧を学習データとして使用せず、天気予報、発電量、日射量を学習データとして、太陽電池の発電量予測モデルとした。

開発した太陽光発電の予測モデルを用いて、前日の天気予報から計算した 1 日の発電量の予測値と実測値との比較を図 4 に示す。

晴れの日々の発電量の実測値平均を基準(100%)とし、この基準に対して各天候の発電量の実測値

の平均値と予測値の差がどのくらいの割合かを示す。最大発電量積算値の実測値との差の割合  $\gamma$  は式(1)となる。

$$\gamma = \frac{Wh_{Wea,Pred} - Wh_{Sun,Ave}}{Wh_{Sun,Ave}} \quad (1)$$

$Wh_{Sun,Ave}$  は晴れの日の1日の発電量の実測値の平均、 $Wh_{Wea,Ave}$  はある天候時の1日の発電量の平均値、 $Wh_{Wea,Pred}$  はある天候時の1日の発電量の予測値を示す。

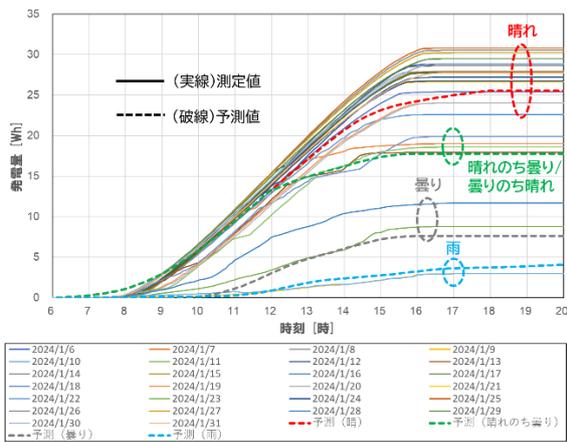


図4 予測モデルによる発電量の予測値と実測値との比較

式(1)を用いて、1日の発電量の実測値との差の割合は、「晴れ」が-7%、「晴れのち曇り/曇りのち晴れ」が-4%、「曇り」が-9%、「雨」が+4%であった。

1日の発電量の実測値と予測値との差は10%以下と良好であったが、全体的に予測値は実測値に比べて低い傾向となった。

天気予報が「晴れ」や「晴れのち曇り/曇りのち晴れ」で晴れの予報の時間帯において、移動する雲が一時的に太陽光を遮り発電量が減少したとしても、そのデータは晴れの学習データとして扱った。また、天気予報が「曇り」で実際の天気も曇りの場合、実際の曇りの雲の厚みが様々に発電量に影響したとしても、天気予報の「曇り」では雲の厚みを考慮できないため、学習データにバラつきが生じた。その結果、予測値は低い傾向をとったものと考えられる。

また一般的に、AIモデルは学習データに数値

のばらつきがあると、予測値を低めに出す傾向があることも、影響している可能性がある。

### 3.2 予測モデルにおける補正係数の算出

屋外に太陽電池を設置するには、周辺環境により取り付け場所が制限されることが想定される。太陽電池の設置向きを変更したときに発電量がどのように変化するか、補正係数の算出を検討した。

太陽電池を南向きから南西向きに変更した場合の発電電力を図5、発電量を図6に示す。

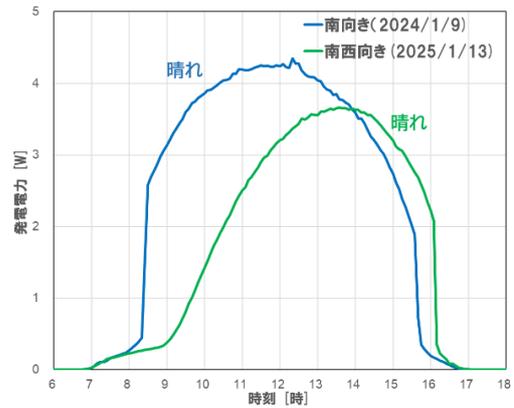


図5 南向きから南西向きに変化させたときの太陽電池の発電電力

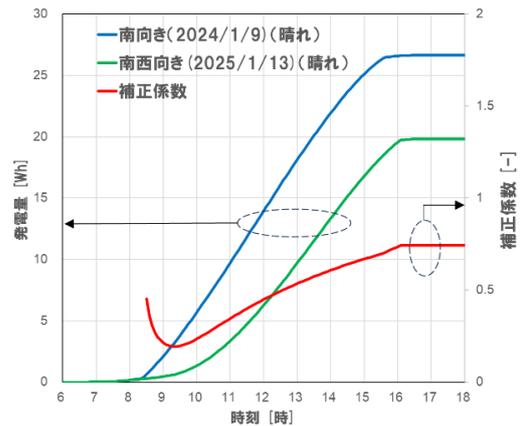


図6 南向きから南西向きに変化させたときの太陽電池の発電量及び補正係数

図5に示すとおり、太陽電池の発電電力のピークは12時から14時に移動した。また、図6に示すとおり1日の発電量も26.6Whから19.8Whと大きく低下し、設置向きにより1日の発電量が大きく変わることを確認した。この晴れの日の南向き及び南西向きの5分毎の発電量をもとに、太陽電池の南西向きの発電量の5分毎の補正係数を求めた。

太陽電池の発電量は、日射量だけでなく太陽電池に差し込む太陽光の向きが大きなパラメータとなる。このことから、実際に設置した太陽電池の発電量は、南向きに設置したときの発電量との比がその設置向きの補正係数と考えられる。南向きのときの晴天時の発電量実測値を  $Wh_{South}$ 、設置した向きでの晴天時の発電量実測値を  $Wh_{Site}$  として補正係数  $\alpha$  を式(2)と定義する。この計算式(2)を用いて、時刻毎の補正係数を算出し図 6 に示した。

$$\alpha = \frac{Wh_{Site}}{Wh_{South}} \quad (2)$$

予測モデルによる南向きの発電量を  $Wh_{Pred, South}$  とすると、南西向きのある時刻までの発電量の予測値  $Wh_{Pred, Site}$  は(3)となる。式(3)を用いると、南西向きでの晴れ及び曇りの実測値、予測値は図 7 となる。

$$Wh_{Pred, Site} = \alpha \times Wh_{Pred, South} \quad (3)$$

図 7 によると、太陽電池を南向きに設置したときの晴れの日の 1 日の発電量の平均実測値を 100%とした場合、式(1)より南西向きに設置したときの 1 日の発電量の予測値と実測値の差は、晴れでは-3%、曇りでは-6%であった。

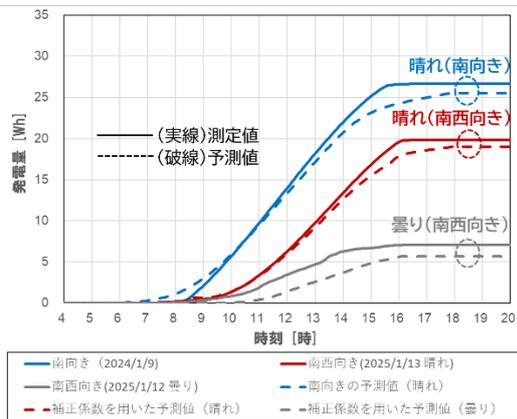


図 7 設置向きを変化させたときの 1 日の発電量の実際値と予測値

### 3.3 ボードコンピュータでの稼働試験

開発言語に Python を用いて、開発した予測モデルを稼働させた。その結果、30 秒以内に予測値を算出することを確認した。昨年度の空画像を用いた予測モデルの場合は、学習データ容量が大きく、取得した空画像を AI により天候判定するには非

常に時間がかかった。そのため、空画像を用いた予測行程を省略し、IoT デバイスの負荷を大幅に低減した。

## 4 まとめ

以上の結果をまとめると、次のとおりとなる。

- (1) 空画像の天候判定結果及び気圧データを除いた学習データを用いて太陽電池の発電量予測モデルを開発した。1 日の発電量の実際値の平均値と予測値の差の割合は、「晴れ」が-7%、「晴れのち曇り/曇りのち晴れ」が-4%、「曇り」が-9%、「雨」が+4%であった。
- (2) 太陽電池の設置向きを考慮した補正係数を求めて適用することにより、南西向きに設置した太陽電池の 1 日の発電量の実際値と予測値の差の割合は晴れでは-3%、曇りでは-6%であった。
- (3) Raspberry Pi 5 を用いて予測モデルを稼働させ、30 秒以内で予測値を算出できた。

今回の結果を用いることにより、電源喪失が発生しない IoT デバイスの適切な運用に寄与することができる。これにより、容量を抑えたバッテリーの使用が可能となり、小型化とコスト削減が実現できるため、これまで設置が難しかった場所でも IoT デバイスの屋外設置の普及が期待できる。

### 参考文献

- 1) 境野 哲, 「IoT への期待と課題～IoT システム開発者・利用者の心得～」, 情報の科学と技術 67 巻 11 号(2017)
- 2) 矢野 祐二, 岩本 久, 「IoT ハードウェアの変遷・歴史と IoT システムが有する課題」, システム/制御/情報, 67 巻 7 号 p. 257-262 (2023)
- 3) 太陽光発電協会, よくあるご質問, <https://www.jpca.gr.jp/faq/590/>
- 4) 森田寛之, 白石知久, 「IoT デバイス電源とした太陽電池の発電量予測モデルの開発 (1)」, 埼玉県産業技術総合センター研究報告 第 22 巻(2024)