

蓄電池あり系統連系太陽光発電システム

学生員 嶋田 尊衛* (東京農工大学) 正員 黒川 浩助 (東京農工大学)
 非会員 吉岡 俊樹 (日本電池株式会社)

Grid-connected photovoltaic system with battery

Takae Shimada*, Student-member, (Tokyo University of Agriculture and Technology)
 Kosuke Kurokawa, Member, (Tokyo University of Agriculture and Technology)
 Toshiki Yoshioka, Non-member, (Japan Storage Battery Co., Ltd)

1. はじめに

近年、加速度的に普及し始めた住宅用の太陽光発電システムは、大部分が系統連系型である。通常このシステムは蓄電設備を備えておらず、発電電力と使用電力の差は、配電系統との融通によって処理している。したがって、このシステムが高密度に配電系統に連系した場合、日射急変や大量逆潮流の際にかかる負担が配電系統の処理能力を上回り、種々の問題が発生する危険性が指摘されている。また、太陽電池の発電量は日射強度に依存するため、停電時に日射がなければ電気を使用することができない。これらの現状に着目し、本研究では蓄電池を付加した系統連系太陽光発電システムを検討している。

今回は、新しいシステムを提案し最適化するために必要となる、住宅用の蓄電池あり系統連系太陽光発電システムのシミュレーションプログラムを開発した。まず、独自の手法によって鉛蓄電池をモデリングし、次にシステム内の各部の電力潮流をシミュレーションするプログラムを開発した。さらに実証試験を行った結果、高いシミュレーション精度が確認されたので報告する。

2. モデルの検討

本研究では、図 1 に示すような構成のシステムを想定している。以下、要素ごとにモデルを概説する。

2.1 太陽電池モデル 太陽電池の等価回路から導かれる基礎式^[1]によって基準 I-V カーブを作り、任意の日射強度とセル温度の条件に換算^[2]している。セル温度は、気温 15℃、風速 1 m/s、ルーフ型アレイを想定して、日射強度から計算している。

2.2 鉛蓄電池モデル 鉛蓄電池には従来から太陽光発電の分野で広く用いられているモデルが存在する^[1]。このモデルは 図 2 に示す等価回路に基づいているが、充放電特性を測定した結果、充放電中に電流値が大きく変化した場合に推定精度が低下してしまうことが判明した。そこで本研究において、内部抵抗の電流に対する依存性を考慮した

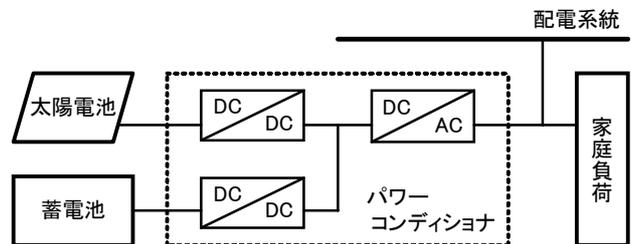


図 1. システム構成

Fig.1 System configuration

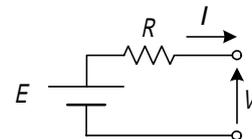


図 2. 鉛蓄電池の等価回路

Fig.2 Equivalent circuit of lead-acid battery

$$\begin{aligned}
 V &= E - RI \\
 E &= E_0 + k_e \ln \left(1 - \frac{Q}{C_T} \right) + E_d \cdot u(-I) \\
 E_0 &= E_{00} + E_{01} T \\
 k_e &= k_{e0} + k_{e1} T \\
 E_d &= E_{d0} - E_{d1} \exp \left\{ -E_{d2} \left(1 - \frac{Q}{C_T} \right) \right\} \\
 C_T &= C_{T0} - C_{T1} e^{-C_{T2} T} \\
 R &= R_T \left(R_0 + R_1 e^{-\frac{U}{R_2}} + R_g G \right) \\
 R_T &= R_{T0} + R_{T1} e^{-\frac{T}{R_{T2}}} \\
 R_0 &= (R_{00} - R_{01} Q) \cdot u(I) + (R_{c00} + R_{c01} e^{-R_{c02} Q}) \cdot u(-I) \\
 R_1 &= (R_{10} - R_{11} Q) \cdot u(I) + (R_{c10} - R_{c11} Q) \cdot u(-I) \\
 R_2 &= (R_{20} + R_{21} Q) \cdot u(I) + (R_{c20} + R_{c21} Q) \cdot u(-I) \\
 Q(t) &= Q(t_0) + (1 - G) \int_{t_0}^t I(t) dt \\
 G &= G_0 e^{-G_1 Q} \cdot u(-I)
 \end{aligned}$$

図 3. 鉛蓄電池の新モデル

Fig.3 New model of lead-acid battery

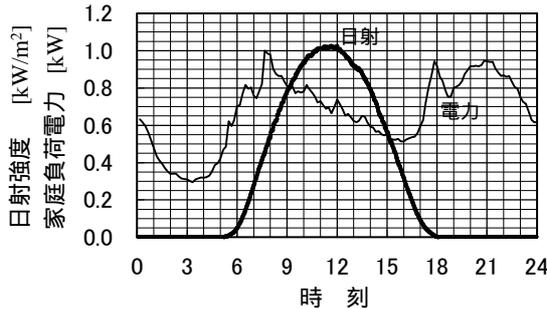


図 4. 快晴日の日射データと住宅の平均負荷データ
Fig.4 Irradiance data and domestic power consumption data

新モデル(図 3 参照)を提案し, 推定精度を向上した。ここで, T は蓄電池温度, Q は満充電を基準とした放電電流量, t は時刻である。また, $u(\cdot)$ は単位ステップ関数である。その他の記号は蓄電池の特性を表すパラメータであり, 実測データに最小二乗法を適用して決定した。

2・3 パワーコンディショナモデル 図 1 に示した 3 つの変換器で発生する損失を, それぞれの出力の 2 次式で表し, 各係数を実測データから最小二乗法で決定した。

3. シミュレーション

システム全体のシミュレーションプログラムを開発し, 一般家庭に設置した場合を想定して 10 日間のシミュレーションを行った。日射条件は, 筑波において観測された快晴日の実測データを用いている。また住宅の負荷データは, 自然エネルギー推進市民フォーラムにより計測された一般 5 家庭の実測データを利用した。2001 年の 1 月 9 日から 3 月 31 日までの 82 日間データを 10 分ごとに平均している。これらのデータを 図 4 に示す。ただし, 精度確認用としては実証試験で観測された負荷データを入力として与えた。

4. 実証試験

本研究ではシミュレーション精度を確認するために実証試験を行っている。パワーコンディショナ「LSS-4.5-S3C」および鉛蓄電池「SLC70」(128 V, 70 Ah) は, 日本電池製「パワーソーラーシステム」の標準装備を使用している。また, 太陽電池としてはマイウェイ技研製の太陽電池模擬電源を, 住宅負荷は筆者が試作したプログラマブル家庭模擬負荷装置を使用することで, 実験の再現性を確保している。シミュレーションと同一の条件を設定して計測した。

5. 結果

図 5 にシミュレーション結果を示すが, 実測結果は 図 5 と良く一致しており区別がつかないので省略する。また, システム内の各部を 1 日に通過する電力量を方向別に積算し 図 6 で比較する。誤差率の高い項目で $\pm 1.0\%$, 全体では 0.65% である。この誤差電力量は実証試験における計測系のフルスケールと比較すると 0.1% であり, 期待される計測誤差を下回っている。したがって, 十分に精度の高いシミュレーション結果を得ることができたと考えられる。

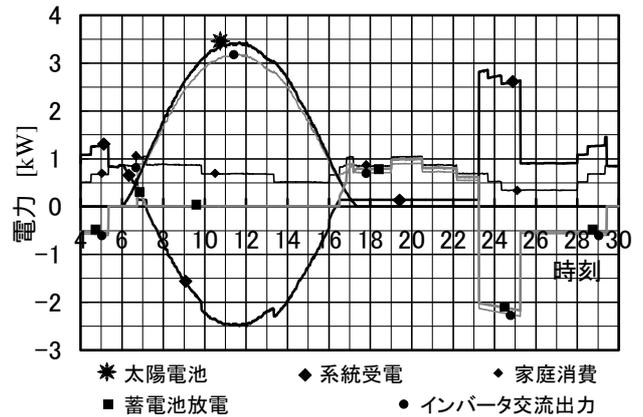


図 5. シミュレーション結果
Fig.5 Simulation result

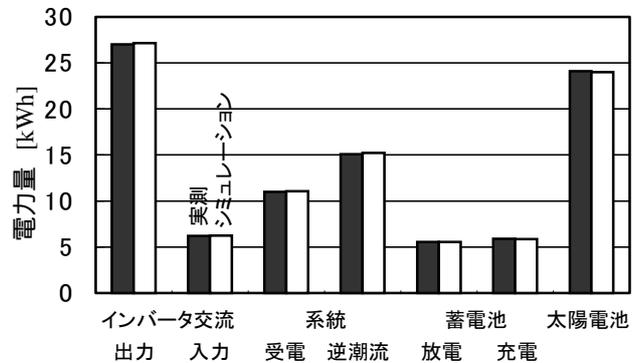


図 6. 1 日に通過する電力量
Fig.6 Passed electric energy per day

6. まとめ

鉛蓄電池シミュレーションに関して, 従来の手法にとらわれずにモデリングすることで, 精度を大幅に向上できる可能性を示した。システム全体についても高精度なシミュレーションが可能となり, 今後の研究の足場を固めた。

7. 展望

鉛蓄電池モデルについては今後も検討する。過度応答や充電状態がバラつく現象, 発熱による温度上昇, さらには休止時間を考慮した履歴現象も推定できればおもしろい。

日射予測と需要予測を制御に生かしたシステムや, 人と意志を疎通できるシステムなど, 新しいシステムを提案し, 経済性, 社会性, 地球環境問題など, 多様な視点から検討を重ね, 蓄電池あり系統連系太陽光発電システムの可能性を追求していく。

文 献

- [1] 黒川浩助・若松清司, 「太陽光発電システム設計ガイドブック」, (1994)
- [2] 日本工業規格, 「結晶系太陽電池セル出力測定方法」, JIS C 8913, (1998)