

医療施設の電力予測および運用最適化に関する研究

稲形 僚也

A Study on Power Forecasting and Operational Optimization for Medical Facilities

INAGATA Tomoya

1. 緒言

医療施設では、停電時に医療サービスを継続する必要があるため、電力確保が重要な課題となっている。停電は、電力系統の異常だけでなく、地震、豪雨および台風などの自然災害により発生している。近年、地震により停電が発生した事例は、2011年3月の東日本大震災、2016年4月の熊本地震、2018年9月の北海道胆振東部地震、さらには、2021年から2022年にかけて数回に渡って発生している福島県沖地震などがある。豪雨により停電が発生した事例は、2017年7月の九州北部豪雨、2018年7月の西日本豪雨、2020年7月の九州豪雨および2023年7月の北陸地方豪雨などがある。近年の事例をみると、日本では毎年のように災害が発生しており、それに伴って停電が起こっていることが分かる。そのため、停電に対する電力系統のレジリエンス強化の重要性が高まっている。

一般的に多くの医療施設では、停電に備えて非常用発電機を導入している。停電時の非常用電源の稼働時間は、72時間以上されている。しかし、非常用発電機のみで医療施設全ての電力をまかなうことは、設備にかかる費用や容量の観点から難しいのが現状である。これは、停電時に医療施設

の負荷を抑制する必要がある、医療サービスの提供を困難にしている。

災害時は被災者に目を向けられがちであるが、現在、日本では、人工透析患者が、増加傾向にある¹⁾。人工透析は、1回最低4時間の治療を週3回行うことが推奨されている²⁾。そのため、停電時の電力確保の問題は、喫緊の課題となっている。

停電時に医療施設の負荷抑制をすることなく電力供給を行うために、現在、ディーゼル発電機(DG)と電気自動車(EV)を組み合わせた電力システムが検討されている。このシステムを長時間運用するために、電力運用システムの最適化が求められている。しかし、先行研究では、停電時を考慮した電力運用の最適化や複数台のEVが別の場所で充電後に、再び電力供給を行う場合の最適化については、十分な検討がなされていない。

そこで、本研究では、人工透析を行う医療施設を対象として、DGとEVを用いた場合の電力運用システムの最適化を検討する。

2. 電力運用システムの検討

図1に電力運用システムの構成図を示す。本研究で対象としている医療施設では、現在7台のディーゼル自動車が運用されているため、これをEVに置き換えた検討を行う。そのため、電力運

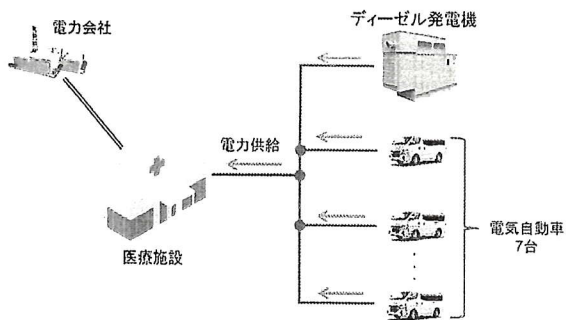


図1 電力運用システムの構成図

用システムは、DG と EV7 台で構成される。通常時は、図1の黒線で示す電力会社の系統から医療施設に電力が供給される。停電時は、電力事業者からの電力供給が途絶えるため、赤線で示す系統から電力が供給される。EV は、停電時に、自治体が運営するごみ焼却施設で、充電することを想定する。EV は通常運用では、患者の送迎に使用されるため、事前に運用方法を決定する必要がある。そのため、電力運用システムの最適化を行うためには以下に示す課題がある。

1. 医療施設の電力需要予測
 2. DG と EV の出力最適化
 3. EV の充電タイミングの最適化
3. 医療施設の電力需要予測手法

図2に2017年4月から2022年3月までの過去5年の医療施設の電力需要を示す。図2よりこの医療施設では、1月から2月の冬季の電力需要が年間を通して最も高いことが分かる。また、8月から9月の夏季も電力需要が高い。夏季の電力消費の主な要因は、冷房設備と考えられる。一方、冬季の電力消費は、暖房設備に加えて、患者が透析治療中に使用する電気毛布の電力消費であることが、医療施設から報告されている。また、人工透析で使用される透析液は、水道水から製造される。透析液は、最終的に人体の体温まで温める必要があり、その際に多くの電力が消費される。特に冬季は、水道水の温度が低いいため、夏季に比べてより多くの電力が使用される。このような要因から、冬季の電力消費量は、夏季と比較して高くなる。

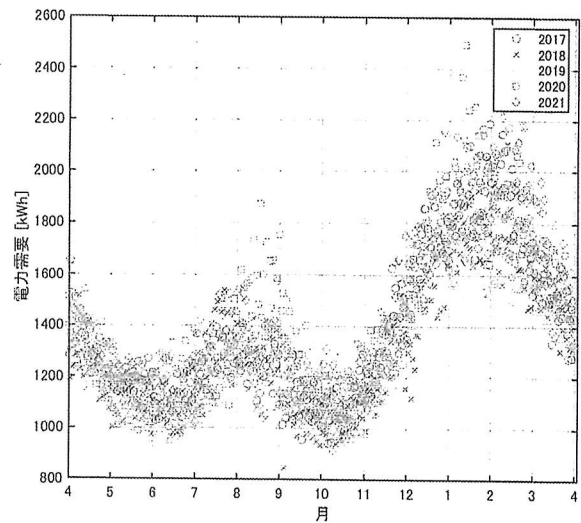


図2 医療施設の過去5年分の電力需要

電力需要予測に用いる予測子として外気温と過去の電力需要の検討を行った。予測日の電力需要と2日前の外気温との決定係数は、0.2913 と低い値が得られた。日曜日と異常値を除外すると決定係数は、0.7403 となり、電力需要と外気温の相関性が高まる結果となった。また、医療施設の診療時間をもとにグループ分けした場合、月曜日、水曜日、金曜日のグループの決定係数は、0.7824 であり、火曜日、木曜日、土曜日のグループの決定係数は、0.8047 であった。これらの結果より、予測日の電力需要と2日前の外気温の関係性は、日曜と異常値を取り除くことで、関係性が高まり、さらに曜日による分類を行うことで、より関係性が増加することがわかった。

次に電力需要の自己相関性の検討を行った。予測日の電力需要と2日前の電力需要との相関係数は、0.2890 と弱い相関であった。日曜日と異常値を除外した場合の相関係数は、0.949 と強い相関が得られた。この結果より、電力需要の自己相関性は、日曜日と異常値を除外することで、高めることが可能であることがわかった。電力需要予測は、AI を用いて行う。先行研究では、主に Multilayer perceptron (MLP) や Long short-term memory (LSTM) が使用されているため、本研究でも MLP および LSTM を使用する^{3,4)}。

電力需要予測手法の評価は、Root mean squared

error (RMSE) 、 Mean absolute error (MAE) および RMSE と MAE の比を用いて評価を行った。

予測子に 2 日前の外気温と曜日、AI モデルに MLP を使用した場合の予測結果は、2021 年 2 月において、RMSE と MAE の値は、日曜日が最も低い値となった。RMSE は、1.688 kW、MAE が 2.115 kW であった。RMSE と MAE の値が最も高い土曜日でも、RMSE が 3.703 kW、MAE が 4.832 kW であり、良好な予測結果が得られた。

予測子に 2 日前の電力需要、AI モデルに LSTM を使用した場合の予測結果は、2021 年 2 月において、RMSE と MAE の値は、月曜日が最も低い値となった。RMSE は、1.940 kW、MAE が 2.506 kW であった。RMSE と MAE の値が最も高い水曜日でも、RMSE が 3.232 kW、MAE が 4.111 kW であり、良好な予測結果が得られた。

MLP と LSTM を用いて電力需要予測を行った結果は、両モデルにおいて良好な結果である。したがって、医療施設の電力需要は、外気温や過去の電力需要を予測子として使用し、MLP や LSTM を用いて予測できることがわかった。

4. 電力運用システムの最適化手法

電力運用システムの最適化は、以下の手順で行われる。

1. DG が電力供給を行う時間帯を算出
2. DG と EV の出力最適化
3. 燃料タンクの燃料残量更新
4. 各 EV の充電率更新
5. 充電条件の確認

DG は、医療施設の電力需要が EV5 台の最大出力よりも高い時間帯に電力供給を行う。EV のみで電力供給を行う時間帯は、EV のみの出力最適化となり、燃料タンクの燃料残量更新は行われない。DG と EV で電力供給を行う時間帯の目的関数は、DG 出力の最小化である。制約条件は、DG 出力範囲の制約、燃料タンクの燃料残量の制約、各 EV の充電率 (SOC) の制約、医療施設の電力バランスの制約が含まれる。

EV のみで電力供給を行う時間帯の目的関数は、

EV 出力と SOC の比の最小化である。制約条件は、各 EV の SOC および医療施設の電力バランスの制約である。

出力最適化後は、各 EV の充電率を更新し、EV の SOC が充電条件に該当するかどうかを判断する。充電条件は、以下の通りである。

1. EV7 台の合計 SOC が閾値以下である
2. 充電中の EV 台数が充電許容台数未満である

この条件に該当する場合は、最も SOC の低い EV が充電に行く。

EV がごみ焼却施設で充電して、医療施設に戻ってくるまでには、1 時間程度かかる。そこで、充電許容台数および充電時間を変化させた場合に、電力供給が可能であるかどうかを検討する。

充電許容台数と充電時間を変化させた場合の EV の SOC 最低値の結果を表 1 に示す。結果は冬季のみを示す。充電許容台数が 2 台の場合、夏季では、充電時間が 1.5 h と 2 h の時に電力供給が行えない結果となった。また冬季では、表 1 に示すように充電時間が 2 h の時に、SOC の最低値が 20% を下回っており、電力供給が行えないことが分かる。

充電許容台数が 3 台および 4 台の場合、夏季と冬季の両方で EV の SOC の最低値が 20% 以上であり、電力供給が行えることがわかった。

充電許容台数が 3 台および 4 台の燃料残量の比較を図 3 に示す。図 3 の結果より、充電時間が長くなると、充電許容台数 3 台は 4 台と比べて、燃料残量が多いことが分かる。また、夏季も同様の結果が得られた。従って、充電許容台数は 3 台が最適である。図 4 に冬季における充電許容台数 3 台、充電時間を 1.5 h としたときの DG と EV の電力分担を示す。図 4 より、DG は、EV だけでは不足する電力を補うように電力供給を行っていることが分かる。充電許容台数 3 台、充電時間 1.5 h の時の DG の燃料残量は、夏季で、209.76 L、冬季で 150.76 L であった。この結果より、夏季では、72 時間以上、冬季では、48 時間以上は、医療施設に負荷抑制を行うことなく電

表1 EVのSOC最低値(冬季)

充電許容台数	充電時間		
	1h	1.5h	2h
2台	20%	20%	12.61%
3台	31.04%	26.50%	20%
4台	31.04%	31.04%	26.43%

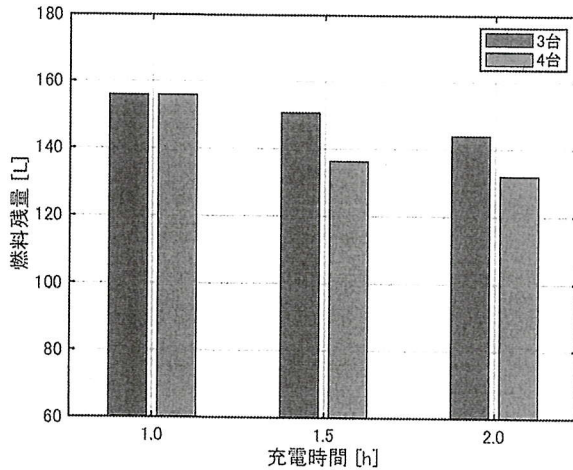


図3 燃料タンクの燃料残量の比較(冬季)

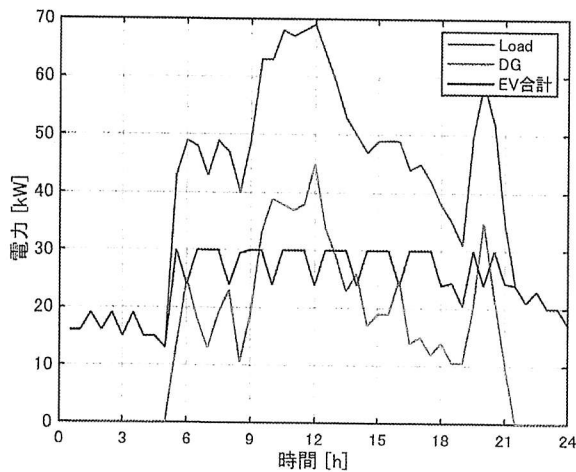


図4 充電許容台数3台および充電時間1.5hの時のDGとEVの電力分担(冬季)

力供給できることが明らかになった。

5. まとめ

本研究では、人工透析を行う医療施設を対象として、DGとEVを用いた場合の電力運用システ

ムの最適化を検討した。

- (1) 医療施設の電力需要予測では、外気温と電力需要の相関性および電力需要の自己相関性を検討し、それぞれで相関性が得られることを示した。AIモデルにMLPおよびLSTMを用いた電力需要予測の検討の結果は、それぞれで良好なRMSEおよびMAEの値を得ることができ、MLPおよびLSTMを用いて電力需要予測が行えることを示した。
- (2) 電力運用システムの最適化では、各EVの充電タイミングを考慮した最適化手法を提案した。充電許容台数と充電時間を変化させ、検討を行った。EVのSOC最低値の結果と燃料タンクの燃料残量の結果から、充電許容台数は3台が最適であることがわかった。
- (3) 充電許容台数3台、充電時間1.5hの時のDGの燃料残量は、夏季で、209.76L、冬季で150.76Lであった。この結果より、夏季では、72時間以上、冬季では、48時間以上は、医療施設に負荷抑制を行うことなく、電力供給が可能であることが明らかになった。

参考文献

- [1] 花房 規男ほか, “わが国の慢性透析療法の現況(2022年12月31日現在),” 日本透析医学会雑誌, 56巻, 12号, p. 473-536, 2023.
- [2] 一般社団法人 日本透析医学会, “維持血液透析ガイドライン: 血液透析処方,” 日本透析医学会雑誌, 46巻, 7号, p. 587-632, 2013.
- [3] Y. Mizuno, M. Tanaka, Y. Tanaka, F. Kurokawa and N. Matsui, “A Prediction of Power Demand using Weather Forecasting and Machine Learning: A Case of a Clinic in Japan,” in Proc. 2022 10th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid), Istanbul, Turkey, pp. 190-193, 2022.
- [4] Idris Bodur, Emre Celik, and Nihat Ozturk, “A Short-Term Load Demand Forecasting based on the Method of LSTM,” in Proc. 2021 International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), pp. 171-174, Sep. 2021.