

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：37301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04559

研究課題名(和文) 災害を踏まえた病院電力システムのレジリエンス強化

研究課題名(英文) Enhance a resilience power systems for hospitals in order to disaster

研究代表者

松井 信正 (Matsui, Nobumasa)

長崎総合科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：90759797

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：日本透析学会の2018年の調査報告では、339,841人の患者が人工透析を受け、この内年間に約10%が死亡している。災害時に、かかりつけの人工透析施設が被災した場合には、患者は別の施設を探す必要があり、受け入れ側の透析施設が医療を維持するための電源の確保は、まさに喫緊の課題である。この課題を解決するために、早期復旧に対応できる災害を踏まえた持続可能な電力システムの運用手法の開発する。そこで、透析施設の非常用発電機を仮想発電所とし、電力事業者が要求するデマンドレスポンスに対応させる手法を開発した。その結果、早期復旧に対応できる災害を踏まえた持続可能な電力システムの運用手法の有効性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題で開発した持続可能な電力システムは、非常時の早期復旧と平常時の経済運用の両立を実現させる運用手法である。日本透析医学会による2018年の統計調査の対象となった約4,500の人工透析施設だけでも、その総電力需要は30万kWから50万kWもあり、火力発電所1機分に相当するため、研究成果の社会実装への展開が大きく期待できる。

研究成果の概要(英文)：This research project aims to reduce the impact of long-term power outages at dialysis clinics due to disasters. Since approximately 40,000 dialysis patient deaths are reported at dialysis clinics per year, the social significance is very large. In this research, the emergency generators at dialysis clinics are treated as virtual power plants. A method was developed to make the power plants compatible with the demand response required by power companies. As a result, the effectiveness of a sustainable power system operation method that takes disasters into account and can respond to early recovery was demonstrated in simulation.

研究分野：電力工学

キーワード：電力管理 災害復旧 電力システムモデル 負荷予測 太陽光発電出力予測

1. 研究開始当初の背景

日本透析学会の報告では、東日本大震災が発生した当日 21 時の時点で、宮城県内 53 箇所の透析施設は 100%が停電し、91%が断水している。翌日 9 時に透析が可能な施設は 9 施設のみで使用可能な病床は震災前の 14%に過ぎない。透析可能に復旧した透析施設では、電気とガスの備えが功を奏したことが報告されている。また、これらの透析施設は、阪神淡路大震災や新潟中越沖地震の教訓を踏まえて地震対策を積み重ねてきたことが強調されている。しかし、阪神淡路大震災で教訓を伝えた神戸市の災害対策に熱心な施設において、非常用電源の設備の経済的な負担が非常に大きく、災害から年月が立つにつれ、非常用電源設備を持続して維持することへの意欲が低下してきている。それは、燃料タンクが空になっている状況から示すことができる。タンクの燃料が空であっても、燃料はすぐに手に入るとの考え方もあるが、通信インフラの復旧や交通インフラの安全が確認といった燃料の配給に対する不確定要素が大きいため、自家発としての電源の早期復旧は再認識されるべきである。これが本研究の着想に至った経緯である。

2. 研究の目的

本研究では、透析施設の持続可能な電力運用のために、非常時の早期復旧と平常時の経済運用を両立できる電力システムモデルを開発する。具体的には、透析施設の電力需要の実績や気象庁の予報・計測データを用いて人工知能ベースの需要と太陽光発電の高精度な予測モデルを開発する。これらの予測モデルと非常用発電機モデルおよび蓄電池モデルを組み合わせ、透析施設の設備容量に対する経済運用を考慮した最適化設計モデルを提案する。その設計に基づいた電源構成をモデル化し、電源検証システムで評価する。

3. 研究の方法

持続可能な電力システムとして、非常時の早期復旧と平常時の経済運用の両立を実現させる運用手法を開発することである。平常時に EG を使用することは、すなわち燃料タンクに常に燃料が備蓄されることを意味し、EG の使用頻度を上げることによって、整備不良のトラブルを回避し、施設の電力システムの早期復旧の課題が解決できる。平常時 EG の運用は、負荷のピーク対応、DR 対応、電気事業法・消防法・建築基準法に定められた定期点検の 3 に分けられる。経済性を考慮するためには、とにおいて EG 運用の損益分岐を決めることが重要である。では、電力の契約電力の削減効果と EG の運転における消費燃料を含めたコストで損益分岐が決まる。では、DR の報酬と EG の運転における消費燃料を含めたコストで損益が決定される。これらの課題解決のため、人工透析施設の電力システムにおいて、契約電力の低減を含む経済性を考慮した人工知能 AI ベースの予測モデルを開発する。

4. 研究成果

- (1) 図 1 に示す電力構成を有する透析病院の電力需要の実績や気象庁の予報・計測データを用いて人工知能ベースの需要と太陽光発電の高精度な予測モデルを開発した。
- (2) 図 2 は、最大需要目標値を与えて運用する場合に、蓄電池の容量を試算するための概念図を示す。図の上部の青色の時系列データは、透析病院の 5 年分の実需用であり、その縦軸は正味需要 [kW]、横軸は時間である。この時系列データでピークカットの閾値 P_c を設定する。図中の 2 段目のピークカットより需要が多い部分 (緑色) は削減したい電力である。これを拡大させたものを下段に示している。時系列データは 30 分ごとに計測し、 $P(n)$ は時間が n のときの正味需要である。ピークカットしたい電力需要を算出する条件を $P(n) < P_c$ かつ $P(n) \geq P_c$ 、 $P(n-1) \geq P_c$ かつ $P(n) \geq P_c$ 、 $P(n+1) \geq P_c$ かつ $P(n+2) < P_c$ とすることで、算出を容易にできる手法を提案した。

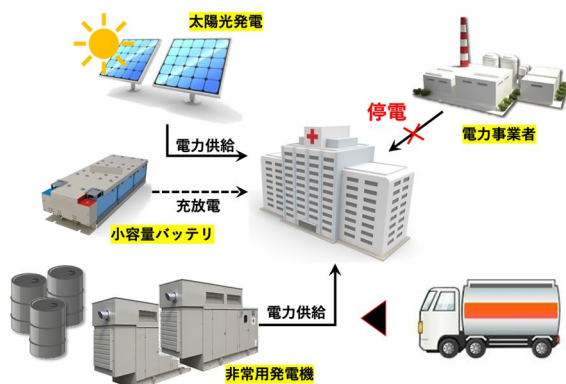


図 1 システム構成図

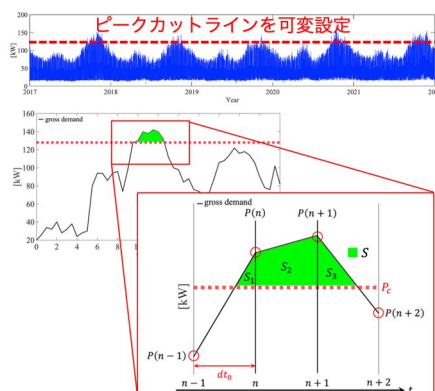


図 2 ピークカットの概念図

- (3) 図3に、PVと蓄電池を組み合わせた場合の最大電力需要試算できるシミュレーションモデルのブロック図を示す。電力需要のデータは、透析施設の1年間の実測データである。PVモデルは、気象庁で開示される日射データを与えている。気象庁からの日射データ Q [W/m^2]は定格にスケール変換して、PVモデルに与えている。PV出力 PV [kW]と負荷 L [kW]の差である余剰電力または不足電力を dP [kW]とすると、 $dP \geq 0$ のとき、 dP は充電電力 P_{cg} [kW]として蓄電池に充電される。 $dP < 0$ のとき、放電電力は P_{dg} [kW]となり、蓄電池からの不足電力 dP を補う。蓄電池の充電状態量 (SoC) [%]は、充電電力 P_{cg} と放電電力 P_{dg} の差を積分し、蓄電容量 CB で割り100を掛ける。蓄電池を保護するため、SoC > 90%の場合には充電電力 P_{cg} [kW]はゼロに設定する。SoCが下限値の場合には放電電力 P_{dg} [kW]をゼロとする。なお、電力系統への電力売買は不可としている。図4に、図3のモデルを用いて試算したPVと蓄電池を組み合わせた場合の最大電力需要を示す。図の縦軸は電力 [kW]、横軸はPV設置容量 [kW]である。提案のモデルは、年間の正味需要の最大値を削減するためのPVとESS容量の組み合わせを試算で、対象の施設の範囲内では、50kW容量のPVと40kWh容量のESSを組み合わせると、正味需要のピークを10.8%改善できることを示した。

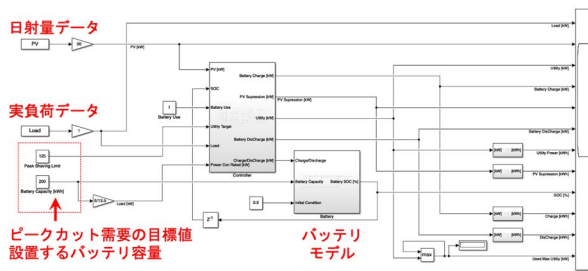


図3 最大電力需要の試算モデル

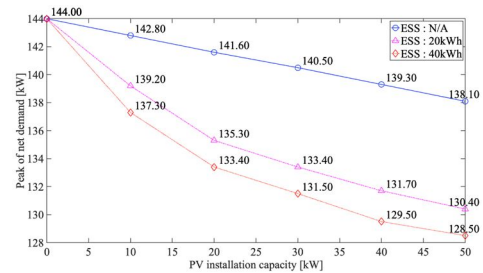


図4 最大電力需要

- (4) 図5に、透析施設の電力需要の傾向と特徴を示す。上段の時系列データは、電力需要が多い1月の2週間分の電力需要を一例として示している。下段は、日曜日を除外した5年分の電力需要のデータの当日と2日前の自己相関を左図に、右図に7日前(同じ曜日)の自己相関を示す。2日前の自己相関は、曜日を「月水金」と「火木土」する分類することで相関性が向上している。対象の透析施設では、2月の電力需要が1年の中で最も高い。そのため、2月の予測精度が重要になる。これらの特徴量を用いて、ニューラルネットワークによる機械学習AIの需要予測モデルの精度向上を検討した。2日前の電力需要で予測した場合の2022年2月の平均は、平均絶対誤差MAEが4.528 [kWh]、二乗平均平方根誤差RMSEが5.709 [kWh]、RMSEとMAEの比が1.284の結果が得られた。また、7日前の電力需要で予測した場合の2022年2月の平均は、MAEが4.829 [kWh]、RMSEが6.094 [kWh]、RMSEとMAEの比が1.268であった。7日前の電力需要で予測した場合でも、2日前の電力需要で予測した場合と同程度の結果が得られた。これらの結果、曜日の特徴量を用いることで、高い精度の機械学習AIモデルの生成が可能となった。

- (5) 図6は、本研究課題で開発した予測モデルと非常用発電機モデル、蓄電池モデルの3つのモデルを組み合わせて、設備容量に対する経済運用を考慮した最適化設計モデルの更なる向上を図った。これらの予測モデルや最適化の手法は、電源システム検証装置で検証・評価した。これらの知見をもとに、燃料コスト、DR対応の報酬、契約電力低減および保守の経済性モデルを開発できた。

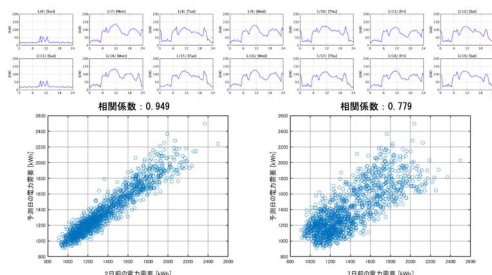


図5 透析施設の電力需要の傾向

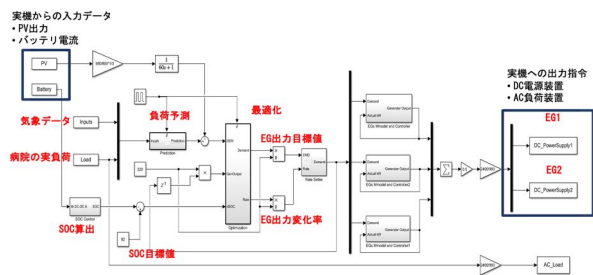


図6 最適化設計モデル

本研究課題の成果を通し、持続可能な開発目標 (SDGs) の「11. 住み続けられるまちづくりを」に主眼を置き「7. エネルギーをみんなにそしてクリーンに」および「13. 気候変動に具体的な対策を」の3項目に対して、学術的な見知から社会実装への展開を目指している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yuji Mizuno, Masaharu Tanaka, Yoshito Tanaka, Fujio Kurokawa and Nobumasa Matsui	4. 巻 vol.12, no. 3
2. 論文標題 New Sustainable Operation Method for a Power Grid without an Energy Storage System: A Case Study of a Hospital in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Renewable Energy Research	6. 最初と最後の頁 1289-1300
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20508/ijrer.v12i3.13240.g8514	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Yuji Mizuno, Masaharu Tanaka, Yoshito Tanaka, Fujio Kurokawa and Nobumasa Matsui
2. 発表標題 Improvement of Modelling for an Optimal Facility Design Using Renewable Energy in a Clinic
3. 学会等名 International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuji Mizuno, Masaharu Tanaka, Yoshito Tanaka, Fujio Kurokawa and Nobumasa Matsui
2. 発表標題 A Prediction of Power Demand using Weather Forecasting and Machine Learning: A Case of a Clinic in Japan
3. 学会等名 International conference on Smart Grid (icSmartGrid) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉屋勇太, 水野裕志, 田中雅晴, 梶原一宏, 松井信正
2. 発表標題 地域のクリニックの消費電力と天候相関性の検討
3. 学会等名 電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小坂忠義, 松井信正, 西村忠史
2. 発表標題 需要家エネルギーマネジメント技術動向
3. 学会等名 電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松井信正, 谷内利明, 金井康通, 服部慎一郎, 和泉晃浩, 大津智, 酢山明弘, 千坂光陽
2. 発表標題 民生分野の創エネ, 蓄エネ設備および制御技術動向 (Part-)
3. 学会等名 電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuji Mizuno, Yoshito Tanaka, Fujio Kurokawa and Nobumasa Matsui
2. 発表標題 A Modelling for an Optimum Facility Design in a Clinic as a Smart Grid
3. 学会等名 International conference on SmartGrid (icSmartGrid) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉屋勇太, 梶原一宏, 水野裕志, 黒川不二雄, 松井信正
2. 発表標題 PV予測のための天気予報を用いた分類器の比較
3. 学会等名 電気学会, 産業応用部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉屋勇太, 梶原一宏, 水野裕志, 黒川不二雄, 松井信正
2. 発表標題 天気予報を用いたPV出力予測のための前処理方法
3. 学会等名 電子情報通信学会, 第29回九州支部(学生講演会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松井信正, 木村誠一郎
2. 発表標題 府県天気予報と機械学習を用いた地域新電力の電力需要予測
3. 学会等名 エネルギー・資源学会, 第38回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

researchmap https://researchmap.jp/Matsui_Nobumasa 長崎総合科学大学新技術創成研究所 https://www.iist.nias.ac.jp/#gsc.tab=0 スマートエレクトロニクス研究室 https://edison.elc.nias.ac.jp/smart-elec/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	田中 雅晴 (Tanaka Masaharu) (00543894)	長崎総合科学大学・総合情報学部・准教授 (37301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	水野 裕志 (Mizuno Yuji) (30591234)	大阪電気通信大学・医療健康科学部・准教授 (34412)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関