

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K14171

研究課題名（和文）生活行動パターン・高解像度気象予報による住宅電力需要・PV出力予測手法の開発

研究課題名（英文）Developing a forecast method of residential electricity demand and PV power output based on life activity pattern and high-resolution weather forecast

研究代表者

小澤 暁人 (Akito, Ozawa)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・主任研究員

研究者番号：20783640

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）：本研究は、効果的な住宅エネルギー管理のために、生活行動や天候といった不確実性に対して住宅電力需要・PV出力を適切に予測する手法の開発を目的とする。第一に、居住者の生活リズムが電力需要予測に与える影響を評価し、予測モデルに居住者の生活リズムを表現する周波数成分を入力することで、予測精度を20～23%向上できることを示した。第二に、需要家のアグリゲーションが電力需要・PV出力予測に与える影響を評価し、家庭部門におけるアグリゲーションビジネスの適切な事業規模を検討した。第三に、住宅用PV・蓄電池システムを対象に導入効果や経済性を評価するツールを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

家庭部門の省エネ・低炭素化対策として、新築住宅では太陽光発電（Solar photovoltaics; PV）が標準設備となる。一方でPVなどの再生可能エネルギー発電（再エネ発電）導入時には、出力変動に対する調整力の確保が課題となる。そこで新たな調整力として、住宅の電力需要・PV出力に対して住宅エネルギー設備（蓄電池・燃料電池等）を制御することにより住宅内で出力変動を吸収するエネルギー管理が検討されている。本研究で開発する住宅電力需要・PV出力予測手法を用いることで、効果的な住宅エネルギー管理を可能にし、家庭部門のエネルギー消費・GHG排出削減に貢献する。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop a method for appropriately predicting housing power demand and PV output against uncertainties such as living behavior and weather, for effective residential energy management. First, we evaluated the effect of the residents' life rhythm on the electricity demand forecast and showed that the prediction accuracy can be improved by 20-23% by inputting the frequency components expressing the residents' life rhythm into the forecast model. Second, we evaluated the impact of consumer aggregation on electricity demand and PV output forecasts and examined the appropriate scale of the aggregation business in the residential sector. Third, we have developed a tool for evaluating the introduction effect and economic efficiency of residential PV and battery system.

研究分野：エネルギー・環境システム工学

キーワード：家庭部門 電力需要 太陽光発電 蓄電池 エネルギー管理 予測モデル 機械学習 生活リズム

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

2016年11月、パリ協定発効に伴い日本は約束草案に示した2030年度26%（2013年度比）の温室効果ガス排出削減義務を負った。日本の温室効果ガス排出量の約9割はエネルギー起源であり、地球温暖化対策はエネルギー政策と密接に関わっている。日本のエネルギー政策によって実現されるであろう将来のエネルギー需給構造の見通しを示した「長期エネルギー需給見通し」では、2030年における最終エネルギー消費量に関して産業部門では6%増加としているのに対して、家庭部門では徹底的な省エネにより27%削減（いずれも2013年度比）を見込んでいる。これは家庭生活に伴うエネルギー消費を1980年代前半レベルにまで削減しなければいけないことを意味しており、家庭部門の省エネルギー化は喫緊の課題である。

家庭の省エネ対策は①住宅の省エネ化、②高効率家電等の導入、③国民運動の推進（夏場の軽装等）に分類される。このうち住宅の省エネ化では、2030年の新築住宅平均について分散型エネルギーによる年間エネルギー供給量が年間エネルギー消費量を上回る「ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス（ZEH）」の実現を政策目標としており、新築住宅では太陽光発電（Solar photovoltaics: PV）が標準設備となる。一方でPVなどの再生可能エネルギー発電（再エネ発電）導入時には、出力変動に対する調整力の確保が課題となる。現在の電力システムでは大型火力発電を制御することで再エネ発電の出力変動を平準化しているが、今後再エネ発電の導入が加速すれば火力発電のシェアは相対的に減少して十分な調整力を担保できなくなる。実際に2017年4月、九州地方において電力供給に対するPVのシェアが最大73%に達した。長期エネルギー需給見通しでは、電源構成における再エネ発電の割合が現在の12%から2030年には24%に倍増すると見込んでおり、そのようなエネルギーミックスを実現する社会では電力供給の大半を再エネ発電が占める状態が日常茶飯事となる。

そこで新たな調整力として、住宅の電力需要・PV出力に対して住宅エネルギー設備（蓄電池・燃料電池等）を制御することにより住宅内で出力変動を吸収するエネルギーマネジメントが検討されている。効果的な住宅エネルギーマネジメントには、住宅単位で電力需要・PV出力を予測し、住宅エネルギー設備の最適な運転パターンを計画する必要がある。しかしながら、生活行動や天候といった不確実性に対して住宅電力需要・PV出力を適切に予測する手法はいまだ確立していない。一方で申請者は省エネアドバイスを目的として、HEMS（Home Energy Management System）データから生活行動パターンを推定する手法を開発している。この手法を需要予測に応用することで、住宅電力需要を精度よく予測することが期待できる。また2017年12月から新たに配信開始される気象庁の高解像度気象予報データを利用することで、PV出力予測の高精度化が期待できる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、再エネ発電大量導入時の出力変動調整力としての住宅エネルギーマネジメントの実現に向けて、様々な住宅における電力需要・PV出力の予測手法を開発することである。既往研究における予測手法は特定の世帯・PV設置場所を対象にモデルを構築するため、構築したモデルを他の住宅の電力需要・PV出力予測に用いることができない。本研究では電力需要・PV出力に加えて世帯構造・PV設置容量等を入力データとして、機械学習アルゴリズムの一つであり近年急速に一般化しつつある深層学習を実装することにより、1時間ごとの住宅電力需要・PV出力を予測可能なモデルを構築する。このような予測モデルを構築するに当たって、世帯間の生活行動の違いや地域間の天候の違いをいかにモデルに反映するかが課題となる。そこで、HEMSデータに基づく生活行動パターンの推定手法を需要予測に応用する。この手法は生活行動に合わせた省エネアドバイスの提供を目的として申請者が開発しているものであるが、推定した生活行動パターンを予測モデルの入力データとすることで電力需要予測誤差の低減が期待できる。また、PV出力予測には気象庁が2017年12月に新たに配信を開始した高解像度気象予報データを利用する。

以上のように、本研究は最新のデータ分析手法や気象予報データを住宅電力需要・PV出力予測に利用する点で独自性があると考えられる。また申請者はHEMSデータから生活行動パターンを推定するという独創的手法を開発・論文化しており、この手法の需要予測への応用可能性を検討することは、住宅エネルギーマネジメントを実現するうえで重要な意味を有する。

3. 研究の方法

① 学習用データセットの整備

a. 電力需要・PV出力データの収集

住宅メーカーの協力のもとに、全国1万世帯超の過去4年間における1時間ごとの住宅電力需要・PV出力データの提供を受けた。データ収集期間や欠損率等に基づいてデータ提供を受けた全住宅の中から分析対象とする住宅の絞り込みを行い、欠損データの補完等の前処理を施して電力需要・PV出力データを作成した。データの前処理にはIBM社が開発するデータマイニング用ソフト「SPSS Modeler」を使用した。

b. 気象データの収集

本研究課題では、全国の住宅電力需要・PV 出力データを収集することができたため、あらゆる地域における電力需要・PV 出力の分析が可能となった。一方で、気象庁の高解像度 1 時間毎気象予報データ「局地数値予報モデル格子点値」（データ提供機関：一般財団法人気象業務支援センター）は費用が高額で全国各地のデータ取得は不可能であるため、本研究で当該データを使用する場合には分析対象地域を絞らなければならない。そこで、全国の住宅電力需要・PV 出力データを有効活用するために、本研究課題申請時に使用を想定していた高解像度気象予報データではなく、無料で利用可能な過去気象データを用いて分析を行うこととした。

② 予測モデルの構築

①で用意したデータセットを入力データとして深層学習・機械学習手法を実装することにより、住宅電力需要・PV 出力を予測するモデルを構築する。深層学習の実装に当たっては Sony が開発する「Neural Network Console」を使用し、機械学習の実装には IBM 社の「SPSS Modeler」を使用した。

③ 予測結果の検証

機械学習モデルの性能評価手法として知られる交差確認法を用いて、②で構築したモデルから得られる予測値と実際の電力需要・PV 出力を比較・検証する。検証結果を参考に①のデータセットの項目を見直し、予測モデルの精度向上を図った。

4. 研究成果

① 居住者の生活リズムが電力需要予測に与える影響の評価

住宅の電力需要は、居住者の生活リズムによって大きく左右される。そこで、深層学習モデルで居住者の生活リズムを考慮することで、電力需要の予測精度が向上できるか検討した。具体的な方法としては、電力需要パターンの周期性に着目して居住者の生活リズムを推定した。住宅電力需要の 12 時間周期・24 時間周期成分を比較することで、居住者の生活リズムが、朝型か夜型か判別できる。そこで、時刻データを周期関数形式で深層学習モデルに入力することで、居住者の生活リズムをモデル内で表現した。「Neural Network Console」を用いて深層学習モデルを実装し、時刻データ以外に曜日・平休日フラグ・気象データを入力データとして、住宅電力需要 1 時間値を 24 時間先まで予測し、精度を検証した。検証の結果、居住者の生活リズムを考慮することで、予測精度を 20～23%向上（ベンチマーク比）できることを示した。

② 需要家のアグリゲーションが電力需要・PV 出力予測に与える影響の評価

同一街区に位置する住宅でも、電力需要・PV 出力は大きく異なる場合が多い。これは居住者のライフスタイル、住宅の断熱性能・設備、局所的な大気現象の違いなどが電力需要・PV 出力に影響するためである。そこで、近隣住宅の電力需要・PV 出力を合わせることで、住宅間のばらつきが抑制されて予測精度が向上することが期待されており、需要家側のエネルギーリソースのアグリゲーションビジネスへの応用が期待されている。そこで機械学習手法・アグリゲーション世帯数の違いによる住宅電力需要・PV 出力の予測精度を評価した。検証の結果、電力需要は 100 世帯程度、PV 出力は 10 世帯程度までアグリゲーションすると予測精度が向上し、それ以上は世帯数を増やしても精度向上が得られないことを明らかにした。以上の結果から、家庭部門のアグリゲーションビジネスを実施する際の、適切な事業規模を示した。

③ 住宅エネルギーマネジメントの経済性評価

データ提供を受けた住宅メーカーとの議論を通じて、企業にとっては住宅エネルギーマネジメントを実施することによる節約効果などに高い関心があることが明らかになった。そこで、近年にわかに注目を集めている住宅用蓄電池に着目して、PV・蓄電システムの導入効果を左右する要因（地理的要因・技術的要因・社会経済的要因）をパラメタとして、システム導入の経済性評価を実施した。

地理的要因が与える影響の例として、2つの地域（中部地方・北陸地方）における投資回収可能な PV 単価[円/kW]と蓄電池単価[円/kWh(定格容量)]（いずれも税込）の関係を **図 1** に示す。中部は PV・蓄電システムの経済性が最も大きい地域であり、投資回収を実現しやすい。現在の価格相場では PV（パワコン除く）が 20～30 万円/kW、蓄電池が 15～30 万円/kWh であり、適切な機器を選択することで 20 年以内での投資回収が可能である。一方、北陸は経済性が最も小さい地域であり、投資回収条件はより厳しくなる。PV 単価を相場の下限である 20 万円/kW と仮定した場合でも、蓄電池は 2020 年度目標価格である 9 万円/kWh 以下 32) を達成しないと 20 年以内での投資回収は実現しない。以上のように、分析結果から地域によって投資回収の条件が異なることが分かる。また、社会経済的要因では電力量料金単価の上昇や卒 FIT 後の売電価格、技術的要因では蓄電池容量保持率の大幅低下がシステムの経済性に大きく影響することを明らかにした。

以上の研究を通じて、住宅エネルギーマネジメントの要素技術である電力需要・PV 出力予測手法の開発だけでなく、合理的な住宅エネルギーマネジメントに求められるシステム要件までも明らかにすることができた。

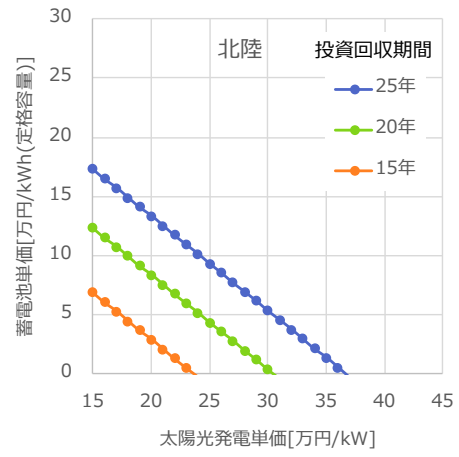
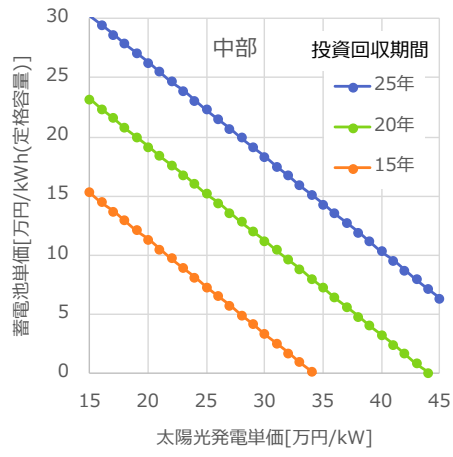


図1 PV・蓄電池単価と投資回収期間の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 小澤暁人、本田智則、工藤祐揮	4. 巻 -
2. 論文標題 深層学習を用いた住宅電力需要予測手法の開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第15回日本LCA学会研究発表会講演要旨集	6. 最初と最後の頁 2-3
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 -
1. 著者名 小澤暁人、本田智則、工藤祐揮	4. 巻 -
2. 論文標題 住宅電力需要予測に向けた深層学習の実装	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第14回日本LCA学会研究発表会講演要旨集	6. 最初と最後の頁 374-375
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 -
1. 著者名 小澤暁人、本田智則	4. 巻 41
2. 論文標題 電力データを用いた家庭用太陽光発電・蓄電システムの経済性評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 エネルギー・資源学会論文誌254～265	6. 最初と最後の頁 254-265
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24778/jjser.41.6_254	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 -
1. 著者名 本田智則、小澤暁人、若松弘子	4. 巻 13(10)
2. 論文標題 Profitability Assessment of Residential Photovoltaic Battery Systems in Japan Using Electric Power Big Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sustainability 1～20	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/su13105370	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10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小澤暁人
2. 発表標題 家庭電力需要の短期予測に向けた深層学習の適用
3. 学会等名 BECC Japan 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小澤暁人、本田智則
2. 発表標題 HEMS最適運用に向けた家庭エネルギー需給予測のためのAI活用
3. 学会等名 AIST 太陽光発電研究 成果報告会 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小澤暁人、本田智則、工藤祐揮
2. 発表標題 深層学習を用いた住宅電力需要予測手法の開発
3. 学会等名 第15回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小澤暁人
2. 発表標題 深層学習を用いた家庭エネルギー利用予測手法の開発
3. 学会等名 第16回環境研究シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小澤暁人、本田智則、工藤祐揮
2. 発表標題 住宅電力需要予測に向けた深層学習の実装
3. 学会等名 第14回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小澤暁人、本田智則
2. 発表標題 電力ビッグデータを活用した家庭エネルギーマネジメント予測
3. 学会等名 第16回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本田智則、小澤暁人
2. 発表標題 環境情報を活用した行動変容・ライフスタイル解析
3. 学会等名 第16回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小澤暁人、本田智則
2. 発表標題 電力データを用いた住宅用太陽光発電・蓄電システムの経済性評価
3. 学会等名 AIST太陽光発電研究成果報告
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小澤暁人、本田智則
2. 発表標題 電力ビッグデータを用いた家庭用太陽光発電・蓄電システムの分析
3. 学会等名 BECC JAPAN 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本田智則、小澤暁人
2. 発表標題 住宅エネルギー消費削減に向けた AI 活用の可能性
3. 学会等名 BECC JAPAN 2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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

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