

VPP技術を使った新たな住宅向けサービス(第3報)

(株)四国総合研究所 産業応用技術部 多田 安伸

キーワード： VPPサービス
EMS
蓄湯式給湯器
蓄電池
発電予想
需要予想

Key Words : Virtual Power Plant Service
Energy Management System
Hot water storage type water heater
Storage battery
Power generation prediction
Demand forecast

The new residential services with Virtual Power Plant technology (the 3rd report)

Shikoku Research Institute, Inc., Industry Application Technology Dept.

Yasunobu Tada

Abstract

The Virtual Power Plant(VPP) technologies that control many home devices remotely are in development for effective utilization and home use of solar photovoltaic generation.

We studied the concrete means to realize the VPP services. We proposed the methods to expect the generation kilowatts of photovoltaic cells and the demand kilowatts of houses using the past records of generation and demand kilowatts and the data of weather forecast. We proposed the methods to plan the operation programs of the hot water storage type water heaters (heat pump water heaters) and the Storage batteries of houses.

We studied the operation methods to manage both the home economy and the contribution to power supply and demand adjustments.

1. はじめに

小型太陽光発電(10kW 未満)に対する再生可能エネルギー固定価格買取制度(FIT)による買い取りが2019年11月より順次終了することを踏まえ、VPP技術を使った新たな住宅向けサービスに関して2016年度に検討を行った内容についてこれまで2回報告した¹⁾²⁾。前回報告においては、新たな住宅向けサービスとして、蓄エネルギー機器の蓄エネルギー時間帯を、エネルギー需給や価格にあわせて調整する方法、蓄エネルギー機器の運転時間帯調整を行った際の、調整回数や調整電力量を、実際の住宅内電力測定データを使用してシミュレーションを実施し、定量的に評価した結果および、シミュレーションで予想された調整電力量から、蓄エネルギー機器の運転時間帯調整の経済性や実現可能性を評価した結果を報告した。

引き続き2017年度は、太陽光発電電力予想方法、住宅需要予想方法の検討およびこれらを使ったエコキュート・蓄電池運転計画策定方法について検討した。太陽光発電電力予想および住宅需要予想は、全国大でサービスを展開することを想定して、比較的データの得やすい制御対象住宅での実績データと一般的な天気予報(天候および気温の予想)を使って予想することで計画した。2016年度と同じ実際の住宅の電力測定データや天気予報および同じ時期の実際の天候(いずれも気象庁発表データ)を使った検討結果を報告する。

2. 太陽光発電電力の予想

2.1 太陽光発電電力の予想方法

太陽光発電電力は下記2要素に大きく影響されると考えられる。

- 住宅固有の設置条件

太陽光パネル特性、太陽光パネル設置条件(方位、傾斜角など)

- 気象条件

日射量・気温条件など

すなわち、住宅固有の設置条件と気象条件を組み合わせることで、かなりの精度の予想が可能と考えられる。

ある期間の同じ時間帯の特定住宅の最大発電電力は、その期間の平均的な気温条件下での最高条件の日射量時の発電電力に相当し、住宅固有の設置条件を反映していると考えられる。

気象条件(日射量)により、実際の発電電力量は先に求めた最大発電電力より小さくなる。すなわち、天候による発電電力制限因子を天候係数($0 < \text{天候係数} < 1$)と名付

けると、特定時間帯の太陽光発電電力は、
 $\text{太陽光発電電力} = \text{最大発電電力} \times \text{天候係数}$
 で求めることができる。毎時のデータが並ぶため、1日では最大発電パターンとなる。(図1)

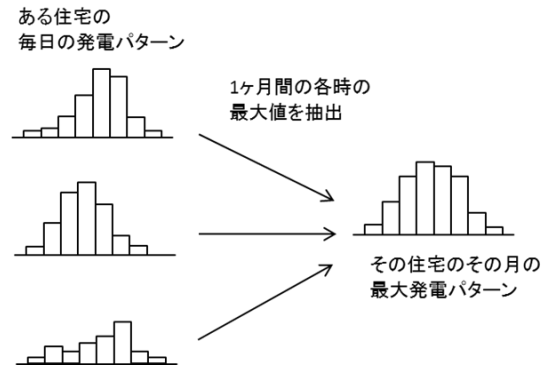


図1 太陽光最大発電パターンの求め方

なお、気温の影響についても補正すべきであるが、平均的な気温の影響は最大発電電力に含まれているため、今回は補正しなかった。

住宅固有の設置条件による特性を把握するためには、ある程度の期間のデータが必要なため、今回の検討では暦の月1ヶ月間のデータを使って特性を分析した。なお、期間の区切りは、実データ分析結果を見ると太陽の天球位置に基づく二十四節気を使った方法(月中旬～翌月上旬)の方が良いと思われる。

天候係数は今回は天気予報に対応させる必要があるため、天気予報の予報文(晴れ、晴れ時々曇り、曇りなど)に相当する天候実績時の太陽光発電データを使って求めた。(図2)

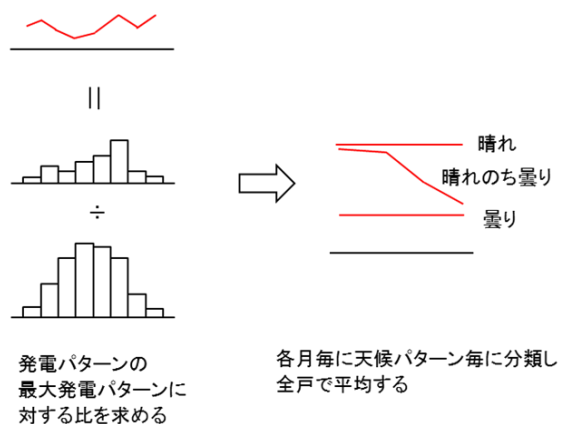


図2 天候係数の求め方

2.2 太陽光最大発電パターン

住宅太陽光発電実績データを使って、最大発電パターンを求めた例を図3に示す。太陽光単位容量(1kW)あたりの毎時の発電電力量で表示している。

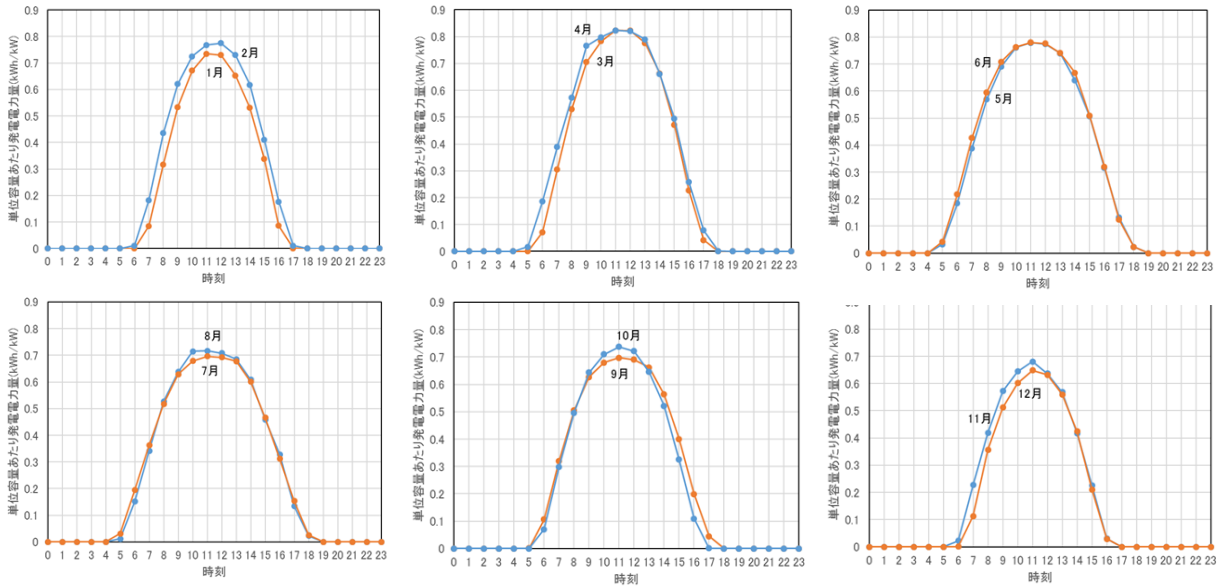


図3 太陽光最大発電パターンの例

2.3 天候係数

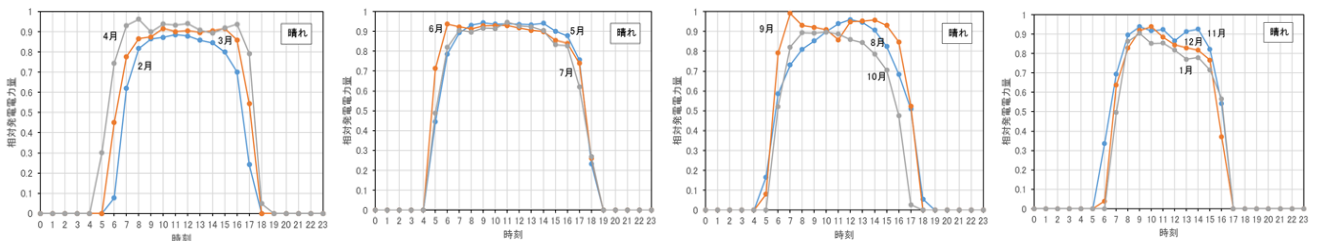
地理的に近い複数の住宅太陽光発電実績データを使って、天候係数平均値を求めた例を図4に示す。なお、天候が変化する場合(例えば晴れのち曇り)は、それぞれの天候の天候係数(晴れと曇り)を組み合わせて対応する。

天候は表1の13分類とした。日射を主に考慮して雨天は(曇り一時雨～雨)ひとくりにまとめた。

表1 天候分類

晴れ	晴れ時々曇り	曇り時々晴れ	晴れのち曇り
晴れのち時々曇り	曇りのち晴れ	曇りのち時々晴れ	曇り
雨	曇りのち雨	雨のち曇り	晴れのち雨
雨のち晴れ	—	—	—

(1) 晴れ



(2) 晴れ時々曇り

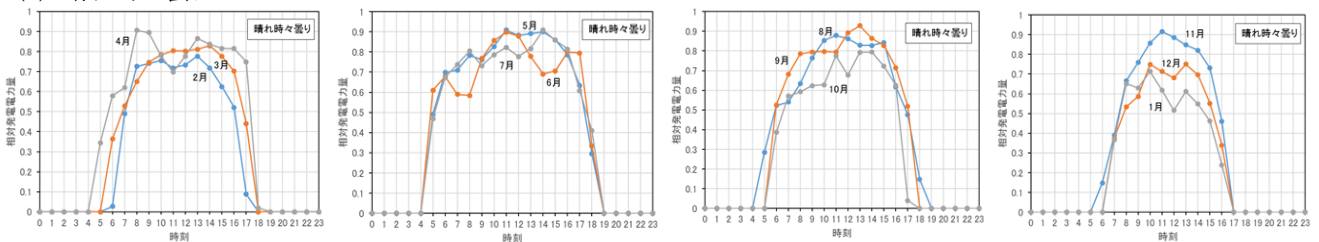
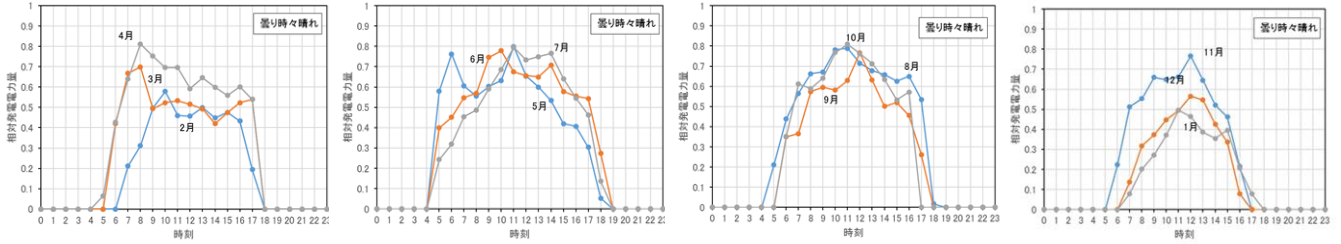
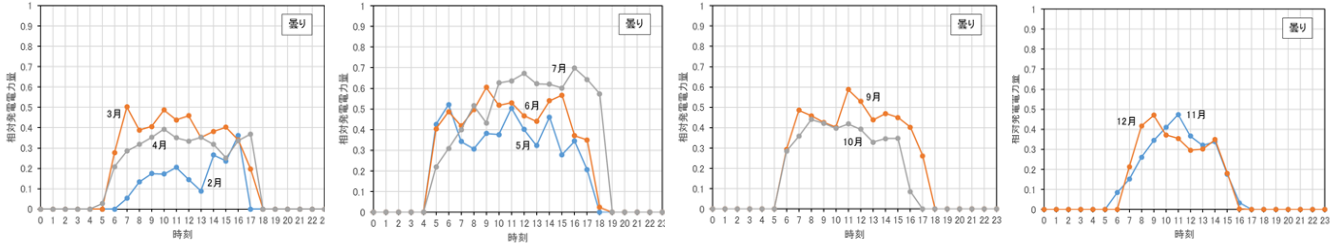


図4 天候係数の例〔(1)～(2)〕

(3) 曇り時々晴れ



(4) 曇り



(5) 雨

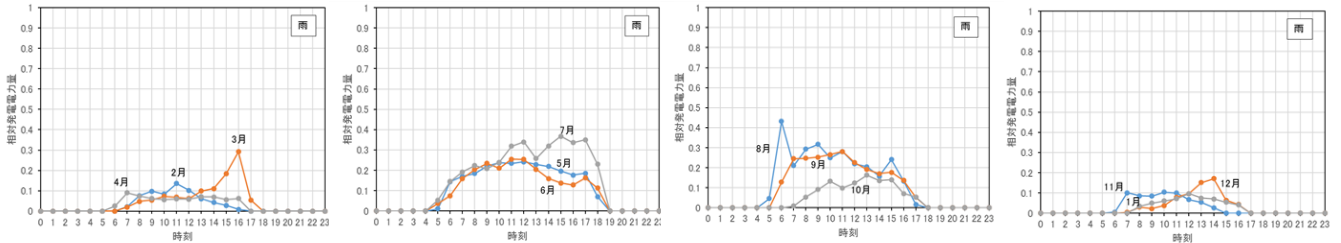


図 4 天候係数の例[(3)~(5)]

天候係数には変動があるため、8時~15時の間の天候係数を平均した結果を図5に示す。冬場は太陽高度が低いため、特に悪天候時に値が小さくなる傾向がある。なお、雨天に関しては比較的明るい(日射量が多い)場合と非常に暗い(極端に日射量が少ない)場合があり本来は2分類する必要があるが、普通の天気予想では区別できないため、ひとまず平均値とした。

図の平均値は予想に使うには変動が大きいため、予想用の単純化した天候係数割切り値を作成した。(図6)

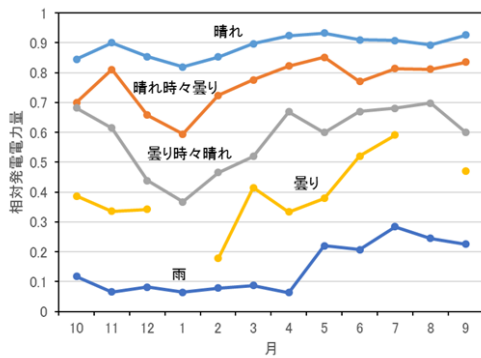


図 5 天候係数 8 時~15 時平均値

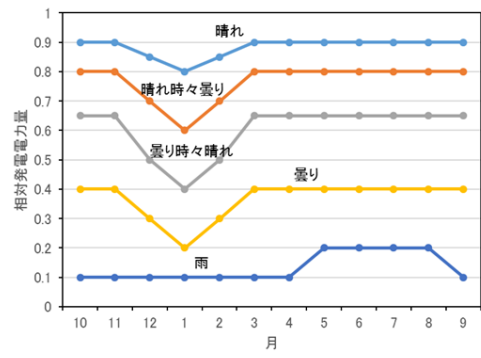


図 6 天候係数割切り値

天候係数割り値を使って予想用の天候係数を求めた結果を図7に示す。

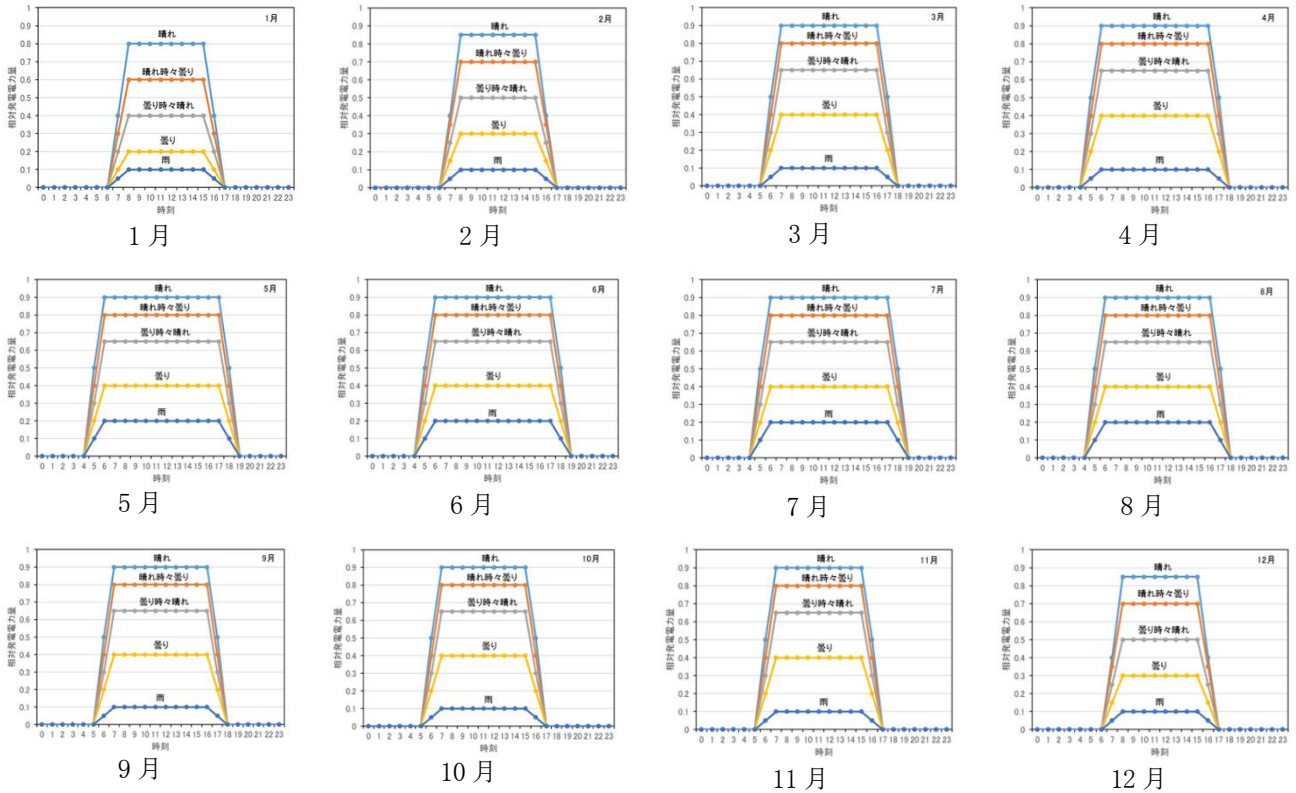


図7 予想用天候係数

天候が変わる場合(例えば晴れのち曇り)は、天候係数を途中で切り替えることで対応する。天候がどの時刻で変わるかで発電電力量に大きな影響があるが、通常の天気予報では対応できず 12 時切替とせざるを得ない。地域時系列予報(3 時間毎の予報)の利用が可能であれば、切替時刻を調整できる。ただし、現状の地域時系列予報では9時、12時、15時の切替となる。晴れのち曇りで切替時刻を変えた場合の天候係数および単位容量あたりの発電電力量の例を図8および図9に示す。

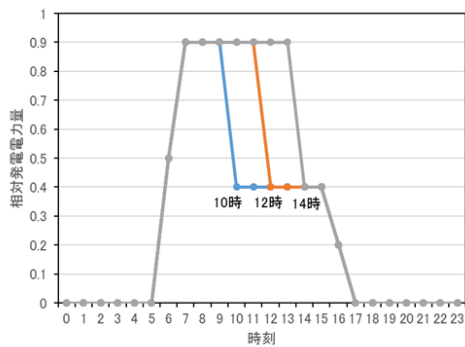


図8 晴れのち曇りの天候係数例

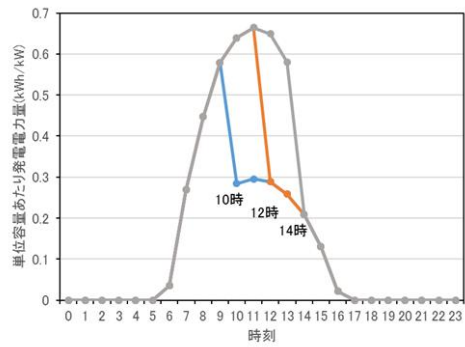


図9 晴れのち曇りの発電予想例

2.4 実際の住宅での予想

実際の住宅の最大発電パターンと天候係数および天気予報から毎時の太陽光発電電力を予想した結果と実際の発電電力を比較した例(10月および1月)を図10および11に示す。秋はかなり一致しているが冬は季節風に伴う雨(雪)が予想される際の外れが大きい(予想より実績が相当多い)。冬期の通り雨(雪)時は晴れ間も多いことがこの原因と考えられ、発電実績分析により地域特性を把握し、これに合わせた補正が必要ながうかがわれる。

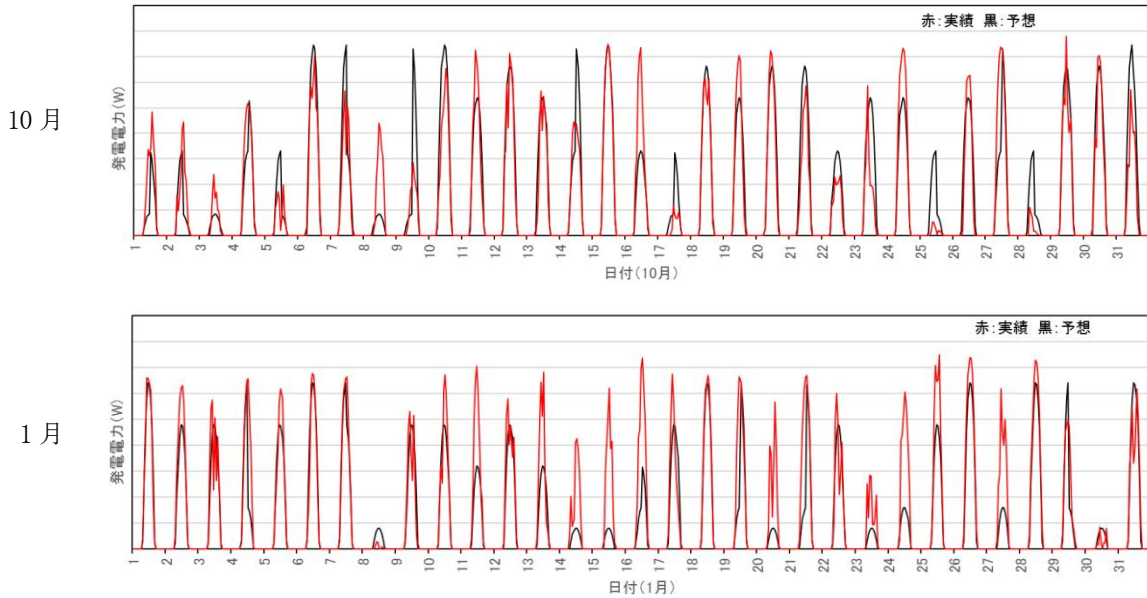


図10 太陽光発電電力予想および実績の例(10月、1月)

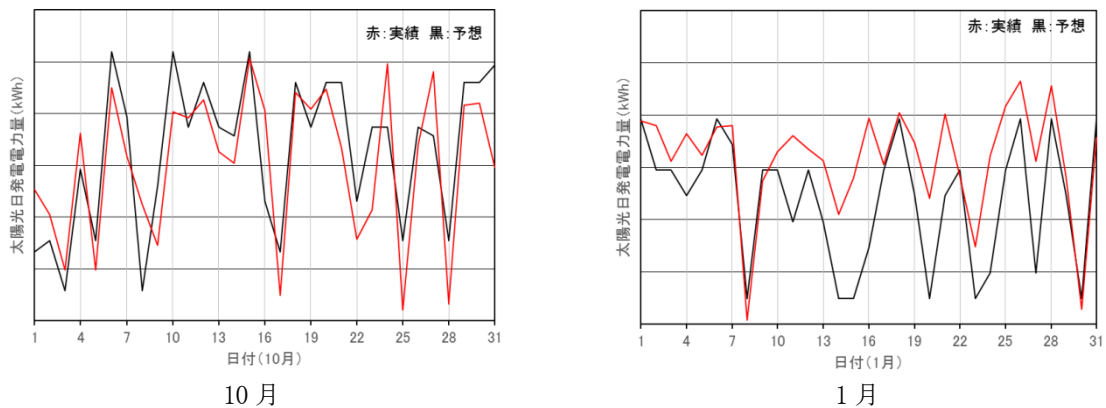


図11 太陽光日発電電力量予想および実績の例(10月、1月)

3. 住宅電力需要の予想

3.1 住宅電力需要の特徴

ZEH(ゼロエネルギーハウス)の住宅需要の分析結果²⁾から、対象住宅の電力需要は下記特徴がある。

- ・空調需要、給湯需要(エコキュート)は外気温の影響が大きい。
- ・その他需要(照明、調理等)は季節間の差異はあるがほぼ一定である。

このことから、住宅電力需要の予想は下記3要素に分けて予想し、加算することで可能と考えられる。

- ・空調需要(温度補正必要)
- ・給湯需要(温度補正必要)
- ・その他需要

3.2 空調電力需要温度特性

複数の住宅の空調日消費電力量と当該日の近隣測候所の平均気温、最低気温、最高気温との関係を図12に示す。住宅間の差をなくするために消費電力量は住宅毎の最大消費電力量で正規化している。ほぼ同じ仕様の住宅のため住宅間の差異はほとんどなかった。住宅の空調消費電力量と気温との相関は、

平均気温 > 最低気温 > 最高気温

となっている。

したがって、空調電力需要を予想する際の温度補正は、当該日の平均気温予想を使うことが望ましいが、通常の天気予報には最高気温、最低気温の予想しかないので、最低気温予想を使用した。また、5月および10月は空調はほとんど使われていないため、暖房時(11月～4月)、冷房時(6月～9月)に分けて相関式を求めた。

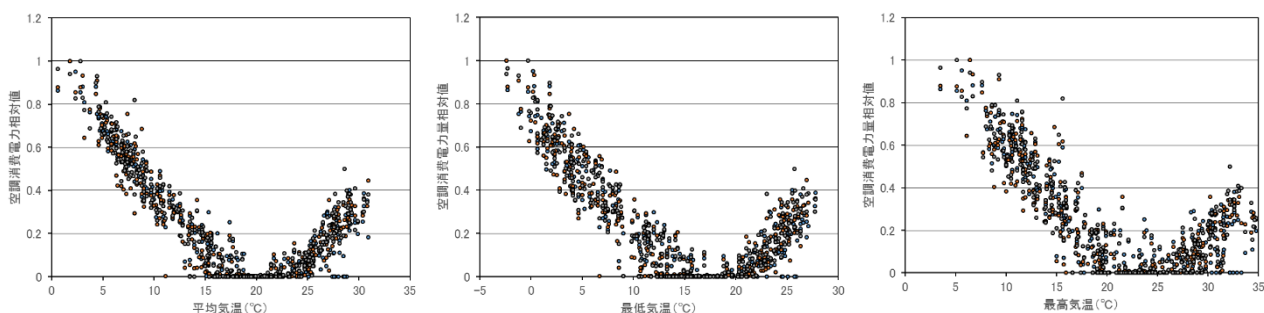


図12 気温と空調日消費電力量の関係

3.3 給湯(エコキュート)電力需要温度特性

複数の住宅のエコキュート日消費電力量と当該日の近隣測候所の平均気温、最低気温、最高気温との関係を図13に示す。住宅間の差をなくするために消費電力量は住宅毎の最大消費電力量で正規化している。住宅間の差異はほとんどなかった。消費電力量と気温との相関は、

平均気温 ~ 最低気温 > 最高気温

となっている。

エコキュートの運転は現状夜間のため最低気温との相関も高く、エコキュート消費電力を予想する際の温度補正は、当該日の最低気温予想を使用した。最低気温と消費電力量の相関式を求めた。

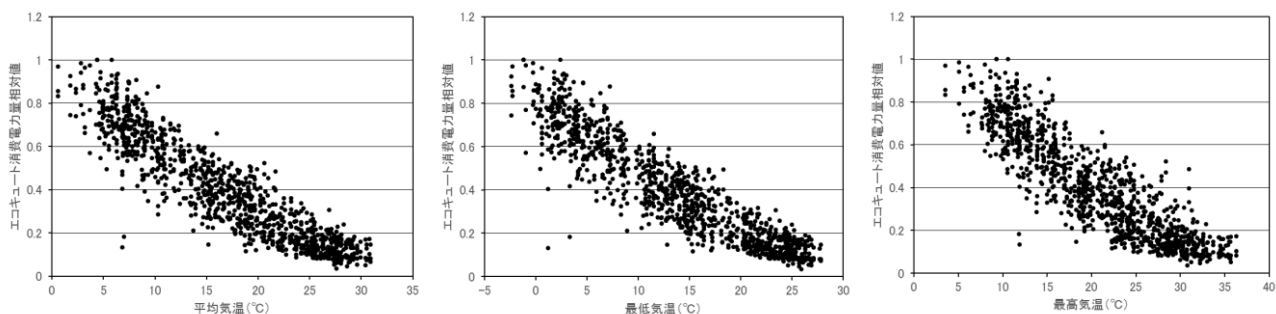


図13 気温とエコキュート消費電力量の関係

3.4 住宅電力需要予想方法

住宅電力需要の特徴から、空調電力需要予想、エコキュート電力需要予想、その他電力需要予想を個別に行い、足し合わせて全体の電力需要予想を行った。

それぞれの需要の予想は、複数の過去実績、ただし空調およびエコキュートは実績時の最低気温と予想時の最低気温の差異により先に求めた温度感度で補正した実績値を平均する手法を採用した。

どの過去実績を使用するかは、実際のデータを調査して、下記2とおりの方法を試した。

(1) 極力至近データを使う方法

昨日実績、一昨日実績、1週間前実績の平均

(2) 1年前のデータを使う方法

昨日実績、1週間前実績、1年前実績の平均

至近日のデータは、気温に近いこともありかなり類似性が見られた。実際のデータでは明確な傾向は見いだせなかったが、生活パターンには曜日の周期性があると考えられることから1週間前のデータを採用した。ただし、2週間より前のデータでは気温の差異が大きく、温度補正量が大きくなるため、適切でないと判断した。1年前のデータに関しても天候や生活パターンが反映されると考え採用した。

一方で、データ蓄積の観点からは極力至近データを使う方がデータ蓄積量が少なく済むことから、(1)の方が望ましい。

3.5 住宅電力需要予想結果

予想に使用する過去実績データを2通りとして住宅電力需要を予想した。予想結果の例(1月)の各要素の日消費電力量を図14に、予想誤差の絶対値の1ヶ月合計を表2に示す。また、毎時の電力値を図15に示す。

正月は昨年実績使用分が実績に近い。その他の通常日は至近実績使用分と昨年実績使用分の差異はほとんどなかった。また、過去実績平均のためいずれの場合でも突発的な需要の大きな変動は予想できていないが、実用レベルの予想はできている。

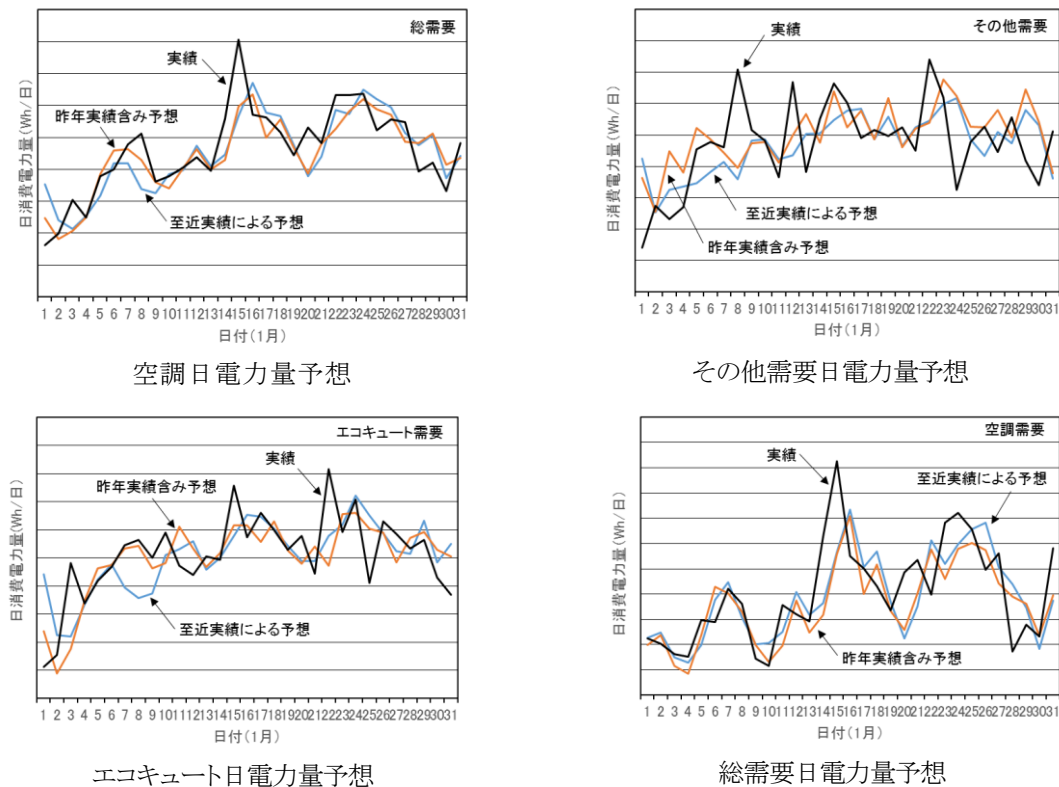
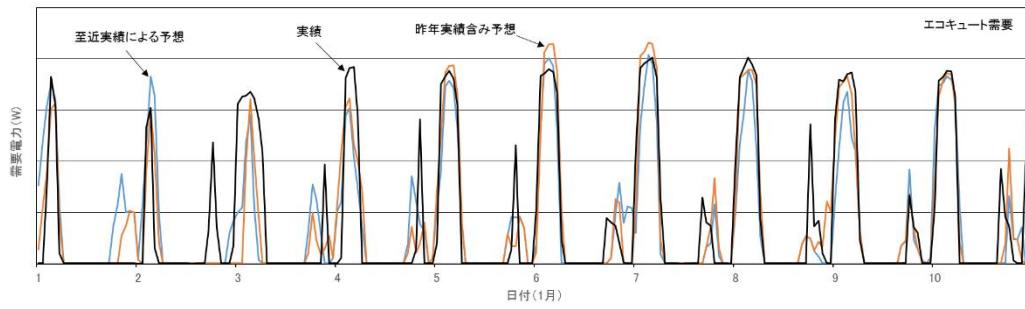
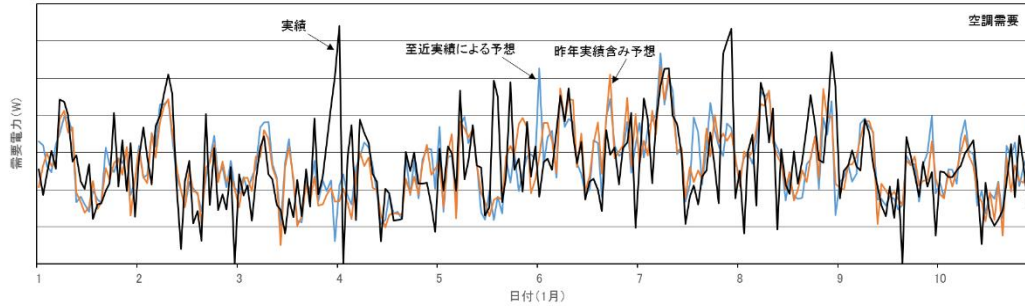


図14 住宅電力需要(日消費電力量)予想例

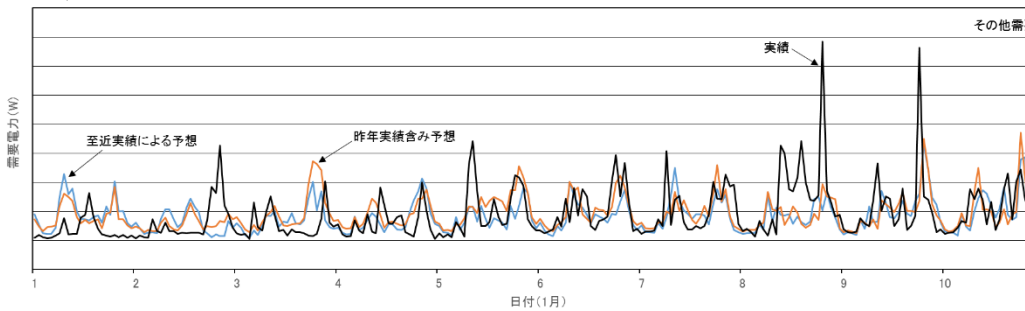
エコキュート



空調



その他



総需要

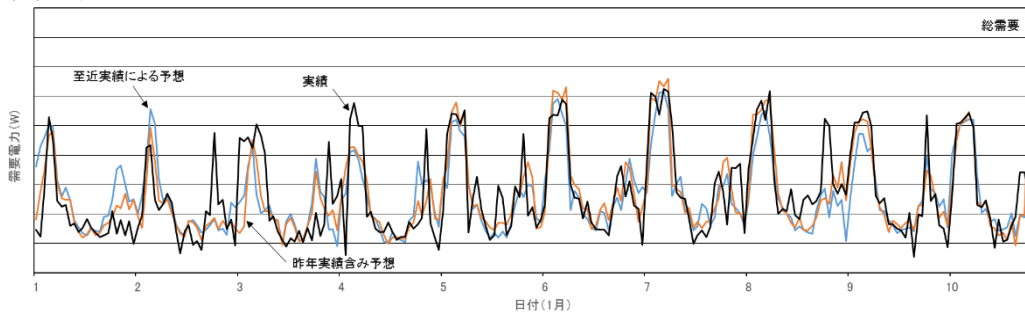


図 15 住宅電力需要(電力)予想例

表2の予想誤差絶対値の合計を見ると、昨年実績使用分が総需要で若干誤差が少ないが、ほぼ同等である。以上のことから、住宅電力需要予想は1週間前までの至近データ使用で十分といえる。

表2 1ヶ月間予想誤差絶対値累計(kWh)

	その他需要	空調需要	EQ需要	総需要
至近実績による予想	32.8	69.7	56.8	101.2
昨年実績を含む予想	33.4	68.4	52.7	86.7

4. エコキュート・蓄電池運転計画の作成

4.1 運転計画作成方法の基本的な考え方

基本的な考え方は、先に行ったシミュレーション²⁾と全く同じである。昼間に太陽光余剰電力の発生が予想される場合、まずエコキュートを太陽光余剰電力で運転することができるか検討し、優先順位の高い時間帯に運転時間をシフトする。次にエコキュートシフト後の余剰電力を蓄電池の充電に充て、夕方に放電して供給することを検討する。

4.2 エコキュート運転計画作成方法

住宅の立場からは昼間時間帯のエコキュートの運転は夕方の給湯需要までの放熱の少ない午後が望ましい。晴天で広い時間帯にシフトできる場合は、電力需給状況に合わせて運転時間帯を調整することも可能である。

朝の給湯需要を考慮して運転シフト時間は最大4時間とし、エコキュートの運転時間が4時間を超える場合は残り時間分は夜間に運転する。夜間運転時間帯は住宅の立場からは朝の給湯需要までの放熱が少ない早朝が望ましいが、電力需給状況に合わせて運転時間帯を調整することも可能である。また、外部からの指令なしに自律的に負荷平準化を行える乱数を使った平準化手法³⁾により運転時間帯を調整することも考えられる。エコキュートの運転時間が4時間以下の場合、残湯量が十分あると考えられることから夜間運転は行わず、昼間運転のみとする。(図16)

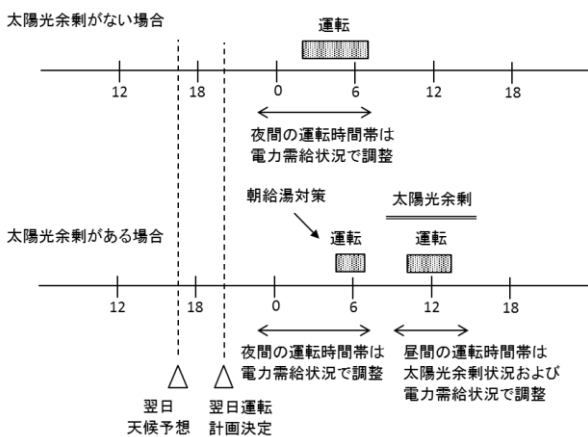


図16 エコキュート運転時間帯シフトの考え方

昼間運転時間帯の決定は、まず昼間運転するエコキュートの予想消費電力カーブを求め、複数の想定する運転時間帯(図17の例では5つの時間帯)にエコキュート予想消費電力カーブをあてはめ、別途太陽光発電電力予想、需要電力予想から求めた余剰電力カーブと比較して受電が発生しない(余剰電力でエコキュート運転電力をまかなえる)場合はシフト可能と判断する。複数の運転時間帯でシフト可能な場合は、午後の遅い時間帯から選択する。電力需給調整の要請がある場合は、要請のある時間帯を選択する。

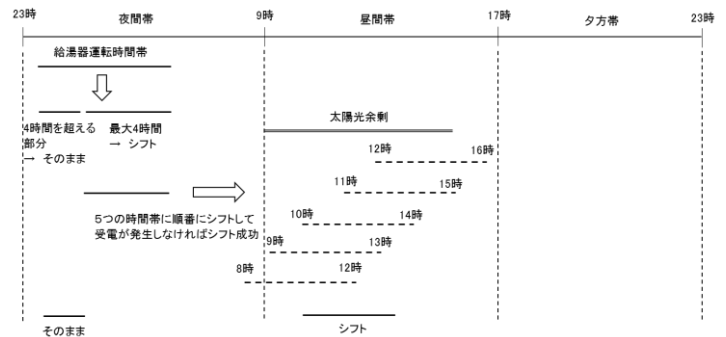


図17 運転シフト可否の判断方法

4.3 蓄電池運転計画作成方法

蓄電池の運転は次の2つの目的がある。

- ・太陽光余剰の有効活用

太陽光余剰電力を蓄電し、夕方放電する。

- ・昼夜間電力価格差による需要シフト

夜間帯の安価な電力で充電し、電力単価の高価な昼間夕方に放電する。

太陽光余剰の有効活用は余剰電力買取り価格に影響を受け、昼夜間電力価格差による需要シフトは昼夜間電力価格差に影響を受け、価格によっては成立しない¹⁾。太陽光地産地消の観点から、太陽光余剰有効活用を優先することにした。また、調整の柔軟性に劣るエコキュートの昼間シフトを蓄電池より優先させた。

晴天で太陽光発電が見込まれる場合は蓄電池は朝方には全放電として、太陽光余剰電力を積極的に蓄電池充電に使用することとし、太陽光発電が停止する夕刻からは蓄電池から放電して住宅需要をまかなう。

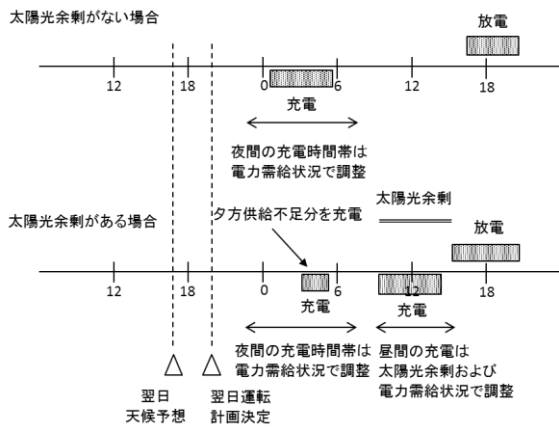


図 18 蓄電池運転の考え方

まず、太陽光発電電力と住宅電力需要の翌日予想(エコキュート昼間シフト後)を作成し、太陽光余剰電力を求め、蓄電池は朝方全放電である前提で太陽光余剰電力を制限内で最大限蓄電池に充電することで蓄電池の蓄電電力量を求める。蓄電電力量は充放電損失を除いた値(蓄電池容量は放電基準のため、充電時にすべての損失が生じるとした計算が蓄電池容量を適切に反映できる)とする。通常は太陽光の容量より蓄電池の容量が小さいため、太陽光余剰により早めに蓄電池は満充電となる。電力需給調整のための余剰充電時間帯調整は、モード切替(停止・グリーンモード)の時刻調整で行う。昼間夕方太陽光余剰がない時間帯は制限内で最大限蓄電池を放電して受電電力量を削減する。

曇天や雨天で昼間に太陽光余剰での充電で蓄電池が満充電にならず夕方需要をまかなえない場合は、蓄電池の残り充電可能電力量と夕方不足電力量の少ない方を夜間(早朝)に充電する(充電電力量は充放電損失分蓄電電力量より多くなる)。ここで、当日の夕方時間帯終了時(23時以降は原則蓄電池放電なし)に蓄電池が全放電でない場合は、蓄電池の蓄電残量と夜間追加充電量を比較し、蓄電残量が多い場合は夜間充電電力量を超えている部分を夜間(早朝)に放電する。夜間充電電力量が多い場合は不足分を充電する。

さらに太陽光余剰が発生するまでの朝方の昼間帯受電を蓄電池でまかなうため、受電電力量予想値に見合う電力を充電する。ただし、蓄電池容量制限までとなる。

翌日の蓄電池運転計画作成の基本手順を図19に示す。夜間充電時間帯については別途外部からの指令で調整し、指令がない場合は0時から実施する。夜間の放電に関しては0時から需要に応じて逆潮流がない条件で行う。夜間需要は少ないため、使い切れないことも十分あり得、

その場合は昼間の送電が増えることになる。なお、当日夕刻に翌日予想を行う必要があるため、需要予想のための需要実績データは当日分のデータがそろっておらず、当日の前日、前々日および当該日(翌日)の1週間前データを使用する。

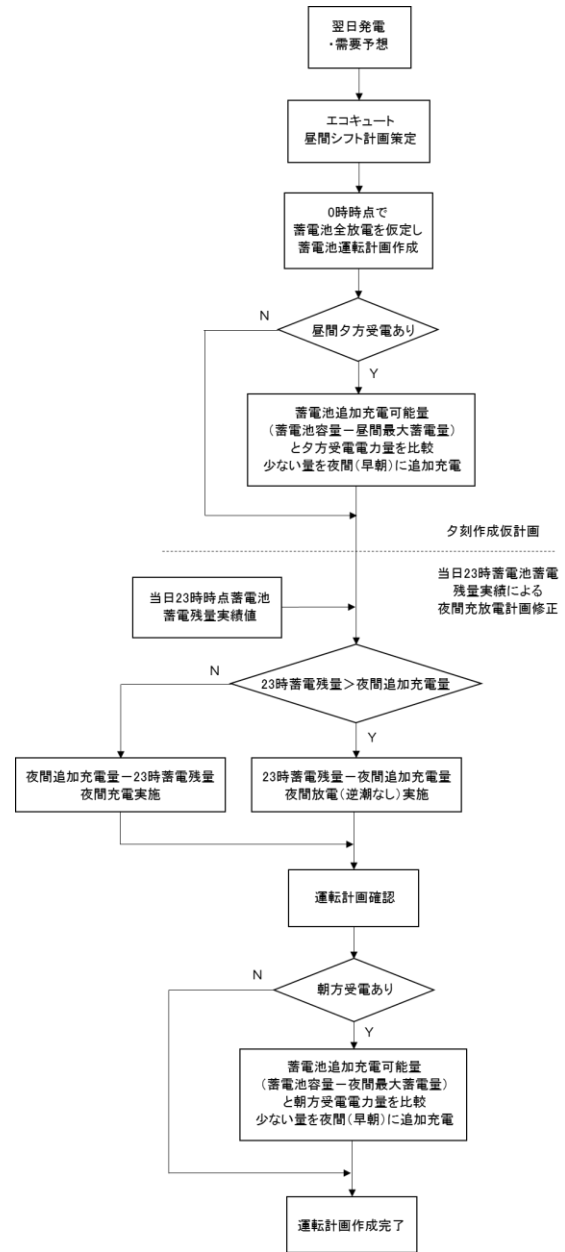


図 19 蓄電池運転計画作成手順

4.4 実績データ蓄積期間中の対応

実績データを使って発電や需要の予想を行うためには実績データの蓄積が必要であり、その間(最低1年間)は発電・需要予想による運転制御が行えない。その間の運転制御をどうするかという課題への対応を検討した。

エコキュートの夜昼シフトに関しては、晴れの日（天気予報で晴れあるいは晴れ時々曇り、春～秋は曇り時々晴れまで可）の10時から運転でも詳細な制御と大きな差異はないとの報告⁴⁾があり、この方式でひとまず対応できると考えられる。

蓄電池に関しては、太陽光余剰を充電するグリーンモード（あるいは環境モード）を常時使用し、夜間の充電は天気予報で悪天候（曇り～雨 冬期は曇り時々晴れまで）の場合は満充電、それ以外は充電しないことである程度対応できると考えられる。

なお、この簡易な制御手法は、通信異常などにより十分な制御データが得られない場合の応急措置（ただし、天気予報データは必要）としても利用可能と考えられる。

4.5 住宅内電力測定

太陽光発電電力予想や住宅電力需要予想のためには個別の住宅内電力測定が不可欠である。住宅電力需要を空調需要、給湯需要、その他需要に分類して分析・予想を行っているため、これらの電力需要測定が必要である。その他電力需要は全体電力需要計測値から空調電力需要計測値、給湯電力需要計測値を差し引く（分電盤構成によっては太陽光発電電力も差し引く）ことで求めることができるが、空調需要はかなり多くのフィードから供給されていることが多く、ECHONET-Lite 対応電力計測機能付き分電盤あるいは後付けの多回路電力計測装置を利用することが現実的である。

新築住宅であれば電力計測付き分電盤を設置すれば事足りるが、既築住宅で分電盤取替が難しい場合どうするかという課題への対応を検討した。

(1) スマートメータの利用

エコキュートの夜昼シフトの判断や蓄電池の夜間充電量の判断は、太陽光余剰電力（送電電力）と昼間夕方の電力需要（受電電力）から行っており、スマートメータ計測値と同じであるので、スマートメータ計測値から余剰電力や受電電力の予想ができれば事足りる。ただし、スマートメータ計測値は、発電・需要の合成値のため、このままでどこまで予想ができるかが課題である。

昼間需要は少ないことから、至近の同じ天候パターンの時の余剰電力データからある程度の余剰電力予想は可能と考えられる。同様に至近の受電電力データからある程度の受電電力予想は可能と考えられる。空調需要・給湯需要の温度補正に関しては、夕方（太陽光発電がなくなる以降）夜間需要電力量全体の温度感度を求めることである程度の補正は可能と考えられる。スマートメータデ

ータの利用でどこまで余剰・受電電力予想が可能かの評価は今後の課題である。

(2) 蓄電池の電力計測機能の利用

スマートメータ以外で住宅受電点の電力を計測する方法として、蓄電池の持つ計測機能の活用がある。蓄電池は逆流防止のため受電点電力を常時計測しており、一部機種では ECHONET-Lite で電力計測値（瞬時値および積算値）の読み出しが可能であり簡単にデータを得ることができる（スマートメータより簡単にデータを得ることができる）。

4.6 データ処理箇所

一連のデータフローを図20に示す。HEMSコントローラの処理能力や記憶容量は非常に大きいので、実際には全機能を住宅のHEMSコントローラに持たせることは可能であり、モニタリング用に実績データを住宅外に転送することでも十分と考えられる。（表3）ただし、ひとまず実証実験段階では試行錯誤もあり、CEMS やデータ分析・予想機能は外部に持たせることで検討した。

データ分析や運転計画作成は外部で行い、HEMSコントローラは機器制御のゲートウェイとしての機能とデータ収集伝送機能となっている。ただし、現状でも23時の夜間充放電計画修正はCEMSで行うと全住宅が対象のため処理が同じ時間帯に集中すること、HEMSコントローラでも必要データはそろっており処理可能なことからHEMSコントローラでの処理が適切と考えられる。

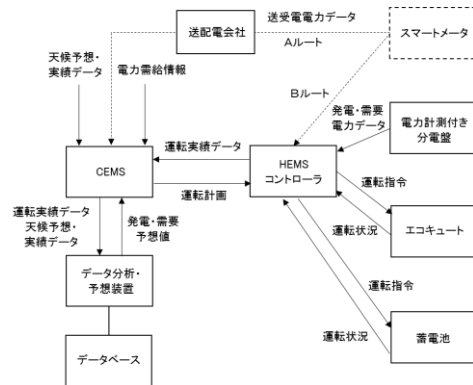


図20 制御用データフロー図

表3 データ内容

機器	運転実績データ	運転計画内容
電力計測付き分電盤	発電・需要電力データ (30分周期)	-
エコキュート	起動・停止時刻データ (1分単位)	夜間運転開始・停止時刻 昼間運転開始・停止時刻
蓄電池	蓄電電力量データ (あるいはSOC) (1分周期) 運転モード切替時刻データ	夜間蓄電kWh 夜間充電開始時刻 昼間運転モード 昼間運転モード開始時刻

5. 電気料金との関係

ここまでは、昼夜でかなり大きな電気料金単価差があるという前提で検討を行ってきた。一方で Loop でんきのように基本料金なし 24 時間単一単価という単純な電気料金がすでに出現していること、太陽光の大量導入で火力燃料費限界価格は昼間が安価で夕方夜間が高価と料金とは逆になっていること等を考えると、今後は昼夜の電気料金単価差は小さくなっていく(夜間が上昇し昼間は低下する)ことが考えられ、その影響を検討した。

5.1 給湯器(エコキュート)への影響

夜間の電力単価の上昇は、太陽光余剰電力買取り単価(火力燃料費限界価格から高価になるとは考えにくい)との差が大きくなり、太陽光余剰電力によるエコキュート昼間運転の利益が大きくなる。太陽光 FIT 買取り終了住宅におけるエコキュート昼間運転は、今後とも経済性が得られると考えられる。

5.2 蓄電池への影響

蓄電池の 2 つの運転目的

- ・太陽光余剰の有効活用
- ・昼夜間電力価格差による需要シフト

のうち、昼夜間電力価格差による需要シフトに関しては蓄電池充放電損失から昼夜間で 1.5 倍程度の単価差が必要で、今後経済的に成り立たなくなる可能性がある。また、この場合は夜間充電がなくなることからその制御も不要となる

需要シフトにより得られる利益がなくなることで蓄電池設置により得られる利益は小さくなり、現状でも蓄電池の経済性は低いとさらに低くなると考えられる。また、需要シフトに使われる蓄電池容量は不要ということになる。2 つの運転目的下での住宅用蓄電池最適容量は 6kWh 程度(実効容量)とされている⁵⁾が、昼夜間需要シフトがなくなると最適容量は小さくなると予想される。現に Loop でんきは蓄電池容量 4kWh を推奨している。また、太陽光 5kW 蓄電池 6kWh の蓄電池運用シミュレーション²⁾において、昼夜間需要シフトをなくすると充電電力量は約 30%減少する。

このように蓄電池の経済性は現状でも低いと今後さらに低下する恐れがあり、経済性だけの設置は難しいと思われる。蓄電池の導入にあたっては停電時の安全安心対策等電気代以外の効用も考慮する必要があると考えられる。

5.3 高速 VPP への影響

住宅蓄電池を準リアルタイムで電力需給調整に使用する国プロで開発されている高速 VPP において、外部から

の遠隔運転操作を行った際の電気代精算方法については現時点で一切報告がなされていない。そこであくまで目安を得る目的で単純な仮定をして試算を行った。

住宅側から見ると、外部指令で蓄電池を放電するとその分蓄電池蓄電電力量が不足するため、不足分を系統から受電しなければならない。外部指令で蓄電池を充電するとその分蓄電池蓄電電力量が余るため、余剰分を消費しなければならない。太陽光余剰を充電する予定の場合は充電できずその分余剰を送電しなければならない。住宅蓄電池を外部から操作した後の住宅での受電や消費の時期は不明確であり、電力単価が一定でない場合はその時期が特定できないことから精算が難しい。電力単価が一定であると受電や消費の時期に影響されないため、精算が比較的容易に可能となる。

試算にあたって、下記の条件等を仮定した。

- ・蓄電池外部制御の精算は、蓄電池充放電電力量で行う。そのため、蓄電池出口に取引用電力量計を設置する。(図 21)
- ・蓄電池外部制御による充放電中でも、住宅側は住宅送受電電力量で通常どおり代金の精算を行う。住宅の送受電電力量は、受電点電力量(スマートメータ計量値)から蓄電池充放電電力量を差し引いて求める。(図 21)
- ・蓄電池外部制御後の影響は、余剰分は住宅で使用する、不足分は外部から受電する、太陽光が余る場合は売電するなど住宅側で処理する。
- ・蓄電池外部制御による充放電の電力量は住宅には課金しない。
- ・蓄電池外部制御後の住宅側での処理に対してアグリゲータは充放電電力量に応じた礼金を支払う。
- ・余剰分の消費時にはその分(充電電力量×蓄電池充放電効率)住宅は受電しないため、礼金を差し引いた安価な単価で精算(電力使用分請求)する。
- ・不足分の受電時には住宅はその分(放電電力量)余剰分に受電するため、受電電力量に対応する代金に礼金を加算して精算(通常の電力使用分請求を補填)する。
- ・蓄電池外部制御の充電により太陽光余剰が発生し売電した場合は、余剰分(充電電力量×蓄電池充放電効率)の精算(電力使用分請求)は同じである。ただし、本来太陽光で充電して自己消費するはずであったので、この請求分を補填する。なお、別途太陽光の売電利益が発生しているため、この分は補填から差し引く。

- 蓄電池外部制御の放電により太陽光余剰を充電した場合は、本来余剰は売電されるはずだったので、この部分を補填する。ただし、太陽光余剰が発生する場合は事前に蓄電池を放電しておくため、そもそも外部制御により放電できるだけの蓄電量は無い。従ってこのようなケースは基本ないため、考慮する必要はない。
- 蓄電池外部制御による充電および放電が短時間内に続けて行われた場合は、住宅への影響は実質充放電差のみとなるため、充放電差分で精算する。

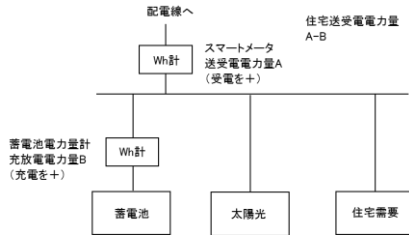


図 21 電力量計位置

表4の単価を仮に設定して、住宅の収支がどうなるか試算した。

表 4 単価等

種別	単価等
受電単価	20円/kWh
太陽光余剰売電単価	7円/kWh
VPP協力礼金	5円/kWh
充放電効率	70%

(1) 外部制御で放電した場合(図 22)

蓄電池外部制御で3kWh 放電したとすると、住宅は後で不足分 3kWh 余分に受電するため、その分の電気代とVPP 協力礼金を精算する。

$$3\text{kWh} \times (20 \text{ 円/kWh} + 5 \text{ 円/kWh}) = 75 \text{ 円}$$

この内 3kWh 分の 60 円は受電電気代として請求されるため、差し引き礼金分の 15 円が住宅の利益となる。

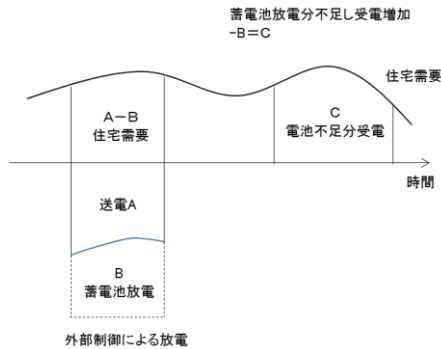


図 22 外部制御で放電した場合

(2) 外部制御で充電した場合(図 23)

蓄電池外部制御で3kWh 充電したとすると、住宅は後で充電分(充電電力量×充放電効率)を消費する。その分受電電力量は減少するため、その分の電気代を請求しVPP 協力礼金を精算する。

$$\text{消費分 } 3\text{kWh} \times 0.7 \times 20 \text{ 円/kWh} = 42 \text{ 円}$$

$$\text{礼金 } 3\text{kWh} \times 5 \text{ 円/kWh} = 15 \text{ 円}$$

差し引き 42-15=27 円の請求となる。礼金分 15 円が住宅の利益となる。

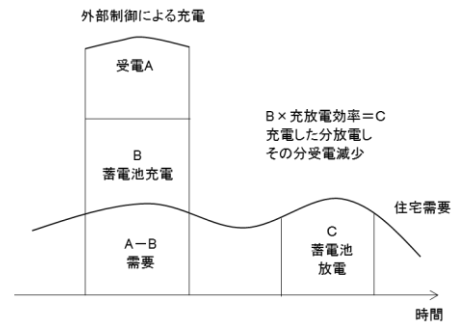


図 23 外部制御で充電した場合

(3) 外部制御で充電し太陽光余剰が発生した場合(図 24)

蓄電池外部制御で3kWh 充電したとすると、住宅は後で充電分(充電電力量×充放電効率)を消費する。その分受電電力量は減少するため、その分の電気代を請求しVPP 協力礼金を精算する。ただし、太陽光余剰増加による売電増があるためこの分も精算する。

$$\text{消費分 } 3\text{kWh} \times 0.7 \times 20 \text{ 円/kWh} = 42 \text{ 円}$$

$$\text{礼金 } 3\text{kWh} \times 5 \text{ 円/kWh} = 15 \text{ 円}$$

$$\text{売電増 } 3\text{kWh} \times 7 \text{ 円/kWh} = 21 \text{ 円}$$

差し引き 42-15+21=48 円の請求となる。売電利益は別途支払われるため、差し引き礼金分 15 円が住宅の利益となる。

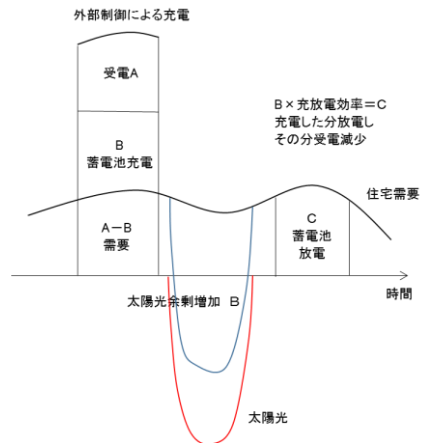


図 24 外部制御で充電(余剰発生)した場合

5.4 蓄電池を外部が所有する場合

これまで住宅側で蓄電池を所有している前提であったが、蓄電池を外部で所有し、住宅に有料で使ってもらうビジネスモデル（太陽光のいわゆる屋根貸しと同じ）もありうる。この場合は外部からの充放電には住宅との金銭の授受は生じず、蓄電池の住宅側の利用に課金（太陽光余剰充放電など 充電すれば放電するので充電側だけに課金で十分）することになる。住宅側で充電していた分を外部制御で放電した場合は、同様な精算を行えば良い。

高速 VPP 制御を頻繁に行う場合は、住宅から場所を借りて外部が蓄電池を設置する、このビジネスモデルの方がわかりやすいと思われる。もちろん別途場所借り代を住宅に支払う必要がある。問題はここまでして高速 VPP 制御することに経済合理性があるかどうかである。現状では調整力市場等いわゆる kW 価値の情勢が不透明なため、評価することができなかったが、おそらく経済的に成立することは難しいと予想される。

6. まとめ

(1) 太陽光発電・住宅需要予想

- 個々の住宅の発電実績データと天気予報レベルの天候実績および予報で、実用レベルの発電電力予想は可能である。ただし、天候の地域特性の配慮は必要である。
- 個々の住宅の需要実績データを、温度感度の高い空調需要・給湯器（エコキュート）需要、年間を通してほぼ一定のその他需要の 3 要素に分けて分析することで、実用レベルの住宅電力需要予想は可能である。
- 実績データを得るまでの期間（1 年間）は、エコキュートは晴天予想時に 10 時から運転、蓄電池はグリーンモードとし、悪天候予想時に夜間満充電で対応できると考えられる。
- 電力計測付き分電盤の使用を前提に検討したが、既築住宅では分電盤を交換できない場合も想定される。その場合はスマートメータあるいは蓄電池の連系点電力計測機能を利用して送受電電力から予想する必要がある。同じ考え方で対応できると考えられるが、その評価は今後の課題である。

(2) エコキュートの運転時間帯調整

- 太陽光余剰活用を目的としたエコキュート運転時間帯夜昼シフトは、十分経済性に成り立つと予想される。
- 昼間シフト時のエコキュート運転時間帯は、夜間と昼間に分割し、それぞれの運転時間帯は電力需給状況に合わせて調整する。

(3) 蓄電池運転調整

- 太陽光 FIT 買取り終了住宅での太陽光余剰電力有効活用のための蓄電池運転は、グリーンモード（余剰電力充電）を基本とし、悪天候による蓄電不足時に夜間に適切量充電することで対応できる。
- 蓄電池容量が相対的に小さいため、自然体では早い時刻に満充電となるため、電力需給状況に合わせて充電開始時刻を調整することができる。同様に電力需給状況に合わせて夜間充電時間帯の調整ができる。
- 現状の夜昼格差の大きい電力単価であれば、夜昼需要シフトのための夜間充電は有効であるが、単価差が小さくなると夜間充電の意味がなくなる。この場合蓄電池設置の利益が小さくなり、必要蓄電池容量も小さくなる。現状でも蓄電池は高価で経済性は成り立たないが、昼夜電力単価差が小さくなればさらに成り立たなくなる恐れがある。
- 蓄電池に取引用電力量計を設置し、受電点電力量計（スマートメータ）計量値から蓄電池充放電電力量計計量値を差し引くことで住宅の送受電電力量を計測できる。2 個の取引用電力量計計測値で蓄電池を外部制御で充放電した際の精算を行うことができる。

7. 今後の課題

- 太陽光発電電力予想への天気予報の利用に関して、今回は 1 地域のみでの検討であったので、多数の地域の実績データ分析を行うことにより地域特性差がどの程度あるか評価が必要である。もちろん外部の太陽光発電電力予想値を活用することも検討に値する。
- 住宅内の詳細な電力量測定が困難な場合も十分あり得るため、スマートメータや蓄電池から得られる受電点送受電電力データ分析から太陽光余剰電力や住宅需要を予想し、エコキュートや蓄電池の運転計画を作成する手法の検討が必要である。かなり多数の住宅のデータ分析が必要と思われる。
- 机上で検討できる範囲はこれまでにほぼ網羅できたと思われ、今後は実際の住宅あるいは住宅を模擬した実験装置での機器制御実験およびデータ測定が必要である。実証実験を通じて制御装置や制御方法の改良を進めていく必要がある。
- 蓄電池取引用電力量計設置による住宅との費用精算ビジネスモデルの例や外部から住宅に蓄電池を置かしてもらったビジネスモデルの例を示した。今後の実用的なシステムの構築にはビジネスモデルの確定が不

可欠なため、早急にビジネスモデルを確定させる必要がある。

8. むすび

本稿は平成29年に実施した社内自主調査研究の成果の一部をまとめたものである。一連のVPPサービスに関する3部作で、VPPサービスの基本的な考え方から装置構成、制御方法、制御した場合のシミュレーションによる評価、簡単ではあるがビジネスモデルの提案等事業化に必要な事項をひとつとおり網羅できたと思われる。検討を開始した平成28年年初と比べVPPを取り巻く社会情勢は大きく好転し、VPPは社会インフラとして必要であるという方向に大きく変化してきたと思われ、事業化が待たれる。

住宅の経済性を優先した住宅向けサービスと、電力系統の需給調整を目的とした高速VPPサービスをいかに両立させるかが最大の課題と考えてきた。基本的に両立はしないため、まず、住宅側の経済性確保を前提とした運用を行い、電力需給調整のための運用により住宅側に不利益を与えた場合は金銭的な補填を行うしかないと考えられる。住宅側での電力帳尻あわせがどの時間帯で行われたかは特定できないため、住宅側の電気料金を一定額にしないと精算が難しく、電気料金制度も含めた総合的なビジネスモデルの構築が不可欠である。また、蓄電池に関しては頻繁に電力需給調整のための運転を行う場合は、住宅側でなく第三者が所有する(住宅に蓄電池を置かしてもらい)ビジネスモデルの方がわかりやすいと思われる。

住宅向けVPPサービスや高速VPPサービスの実現にあたって本稿が参考になれば幸いである。

【謝辞】

本研究の実施にあたり、住宅太陽光発電量や住宅電力需要の予想手法検討や予想精度の検証に不可欠な住宅内電力データのご提供を快諾いただいた某住宅メーカー殿に深く感謝いたします。また、さまざまな住宅に関する知見や研究に対するアドバイスをいただいた住宅メーカー関係各位に深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 四国電力/四国総合研究所 研究期報 No.105
VPP技術を使った新たな住宅向けサービス 2016.12
- 2) 四国電力/四国総合研究所 研究期報 No.106
VPP技術を使った新たな住宅向けサービス第2報
2017.6

- 3) 四国電力/四国総合研究所 研究期報 No.94
電気自動車深夜電力充電時の充電負荷平準化対策
2010.6
- 4) すまエコ第2回VPP事業者連絡会議
東京大学 岩船由美子
HP給湯機のデマンドレスポンス活用 2017.10
- 5) 資源エネルギー庁/三菱総合研究所
平成28年度新エネルギー等導入促進基礎調査
(ソーラーシンギュラリティの影響度等に関する調査)
2017.3