

電力需要のピークカットに貢献する 蓄電池マネジメント手法

西原 英[†] 谷口 一徹[†] 加藤 晋也[†] 福井 正博[†]

本研究では、太陽光パネルと蓄電池を持つ家庭を対象とした電力需要のピークカットに貢献する蓄電池マネジメント手法を提案する。提案手法では、過去の類似した発電/需要パターンを基に、蓄電池マネジメントを数理計画問題として定式化することで電力需要のピークカットを実現する。提案手法により、電力需要のピークが大きくなる夏や冬の日において、最大51%もの大幅なピークの削減を行うことができた。

A Peak-Cut Battery Management for Electric Power Demand

HIDE NISHIHARA[†] ITTETSU TANIGUCHI[†]
SHINYA KATO[†] MASAHIRO FUKUI[†]

This paper proposes a peak-cut battery management for electric power demand. The target model is a house having a PV panel and a battery, and proposes a battery management method at the household level to cut an electric power demand for one day. Proposed method is based on mixed integer programming model with electric power demand/power generation forecasting. Experimental results show that proposed method drastically cut the electric power demand by up to 51%.

1. はじめに

近年、日本国内では電力需要は増加の一途を辿り、ピーク時の電力不足が深刻化している。特に東日本大震災以降、国内の原子力発電所の相次ぐ稼働停止により、その深刻性は増すばかりである。このような状況では、真夏の昼間等の莫大な電力が必要とされる電力のピーク時には、電力の需要量が系統電力の発電容量を超えてしまい大規模停電が発生する可能性が生じてしまう。

電力需要のピークに対する解決策として、ピークカットやピークシフトに関する研究が注目されている。図1はピークカット及びピークシフトの概念を示す。ピークカットとは電力需要のピークを抑えることを意味する。また、ピークシフトとは、ピークの時間帯をずらして、電力需要ピーク時における電力消費を抑えることである[1]。

現在、電力需要のピークカットを行う方法として、ピーク時の電気料金の増額やマスメディアによる事前の省エネ要請が一般的に行われている。これらはデマンドサイドマネジメントと呼ばれ、需要家が行動を起こすことが前提である[2]。このようなピークカットを行っても、更なる電力需要の削減が必要な時は地域別に計画停電が行われるが、社会への影響は多大である。

近年、太陽光パネルの普及に加え、各家庭やオフィスに蓄電池が設置される場面が増えてきた。蓄電池を設置することで停電対策や深夜の安価な電力の使用が可能になる。また、この蓄電池を効果的に使用することで電力需要のピークカットへの貢献も期待されている。すなわち、電力需

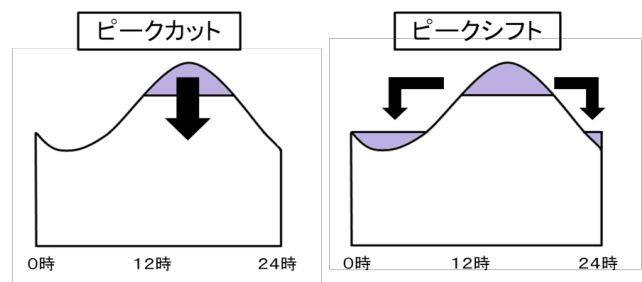


図1 ピークカットとピークシフト

Figure 1 Peak-Cut and Peak-Shift.

要が比較的少ない時間帯に蓄電池に充電し、需要が逼迫する時間帯に蓄電池の電力を使用することでピークカットに貢献できる。しかし、このようなピークカットに関する手法は未だ確立されていない。

そこで本研究では、太陽光パネルと蓄電池を持つ家庭において、電力需要のピークカット、ピークシフトに貢献する蓄電池マネジメント手法を提案する。提案手法は、電力需要予測と発電予測ならびに線形計画法によるピーク最小蓄電池手法を組み合わせることで電力需要のピークカットを実現する。

本稿の構成を以下に述べる。第2章では関連研究について述べる。第3章では、電力需要パターンと発電パターンが既知の場合にピーク最小な蓄電池制御を求めるための問題を線形計画法により定式化し、その評価実験について述べる。第4章では電力需要/発電予測に基づくピーク最小蓄電池制御手法を提案し、その評価実験について述べる。そして、第5章でまとめる。

[†] 立命館大学
Ritsumeikan University

2. 関連研究

ピークカットに関してさまざまな研究がなされてきた[3][4]. 篠原らは40台のノートPCのバッテリーを効果的に使用することでピーク時のノートPCに由来する電力需要を削減し、ピークカットに貢献する手法を提案している[3]. 篠原らの手法は、コミュニティの特性を考慮した複数パターンの電力需要予測技術とピーク電力を削減するための充放電制御技術から構成されており、約2.5%のピーク電力削減が実現された. この研究では、電力ピークの削減を行う対象が40台のノートPCであり、1つのコミュニティを対象としている. しかし、本研究では、蓄電池と太陽光パネルを持つ1軒の家庭を対象としている. すなわち、コミュニティレベルのピークカット手法よりもさらにマイクロな1軒の家庭を対象としているため、住人の小さな行動の変化によって電力需要は大きく変化する. したがって、従来のコミュニティレベルのピークカット手法を用いるのは困難であると考えられる.

一方、ノートPCのバッテリーを他への電力供給に使用するという観点から、複数台のノートPCのバッテリーを単一の大容量バッテリーとして使用するためのバッテリーマネジメント手法も提案されている[4].

3. 線形計画法によるピーク最小蓄電池制御手法

本章では、電力需要パターンと発電パターンが既知の場合に、ピーク最小蓄電池制御を求めることを目的に、ピーク最小蓄電池制御問題を線形計画法[5]として定式化する.

3.1 クラスタモデル

本研究で対象とする1軒の家庭をクラスタと呼び、そのクラスタモデルを図2に示す. 各クラスタは太陽光パネル、蓄電池、消費機器、電力ルーターの4つのコンポーネントを持つ. さらに系統電力網と接続されており、必要場合は電力の購入が可能である. ここで、各クラスタはクラスタ内で余剰電力が発生した場合でも系統電力への逆潮流は起こさないとする.

3.2 準備

本節では、問題の定式化の準備として変数の定義を行う. まず、図2のクラスタに対して以下の記号を導入する.

■ 日 t ($t=1, \dots, T$)

■ 時刻 u ($u=1, \dots, U$)

T は計画期間、 U は1日あたりの電力ルーターの制御回数を表す. 例えば $U=24$ の場合、1日に24回電力ルーターの動作が決定される. U の数を増やすことで、より細かな電力制御が可能となる. 蓄電池に関する以下の定数を定義する.

■ X_0 : 蓄電池の初期蓄電量

■ X_{max} : 蓄電池の蓄電最上限

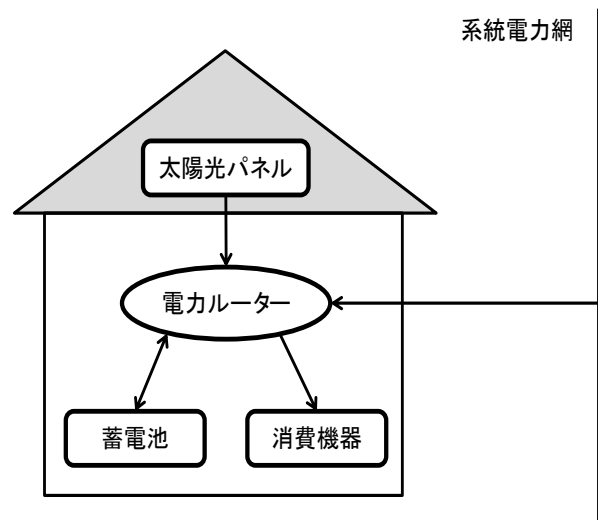


図2 クラスタモデル

Figure 2 Model of Cluster.

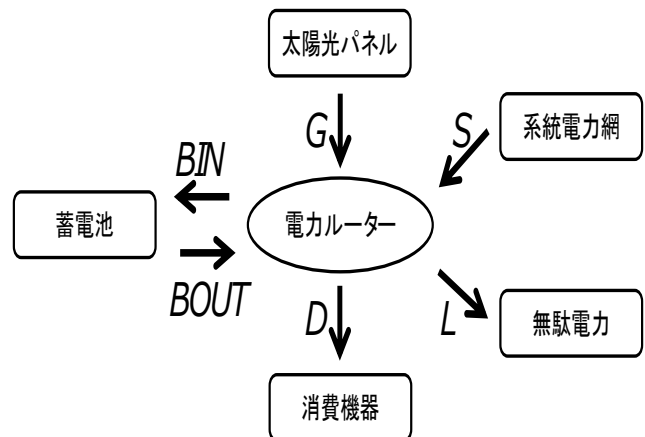


図3 クラスタモデルと変数の関係

Figure 3 Definition of Variables on Cluster Model.

■ X_{min} : 蓄電池の蓄電最下限

■ XC : 蓄電池の充放電許容速度

ここで充放電許容速度 XC は単位時間あたりに蓄電池に充電/放電できる電力量を表す.

次に、図3に示すように、日 t 、時刻 u におけるクラスタの状態を記述する以下の変数を導入する.

■ $D_{t,u}$: 需要電力量

■ $G_{t,u}$: 太陽光パネルの発電量

■ $X_{t,u}$: 蓄電残量

■ $BIN_{t,u}$: 蓄電池への充電量 (決定変数)

■ $BOUT_{t,u}$: 蓄電池の放電量 (決定変数)

■ $S_{t,u}$: 系統電力網からの購入電力量 (決定変数)

■ $L_{t,u}$: 無駄電力量 (決定変数)

本研究で対象とするクラスタは余剰電力が発生した場合で

も系統電力への逆潮流は起こさない。従って、そのような余剰電力が発生した場合、各クラスタにおいて無駄電力として消費する。

ここで、本章で定式化するピーク最小蓄電池制御問題の決定変数は、 $BIN_{t,u}$, $BOUT_{t,u}$, $S_{t,u}$, $L_{t,u}$ である。

また、本研究で対象とする電力需要のピークを表す変数を以下のように定義する。

■ $PMAX$: 計画期間内の電力需要のピーク値

3.3 線形計画法による問題の定式化

本章で対象とするピーク最小蓄電池制御問題の目的関数を以下に示す。

$$\text{minimize } \sum_{t=1}^T \sum_{u=1}^U L_{t,u} + PMAX \quad (1)$$

ここで、計画期間内の電力需要のピーク値 $PMAX$ は以下のような制約式により得られる。

$$PMAX \geq S_{t,u} \quad t=1, \dots, T \quad u=1, \dots, U \quad (2)$$

本章で定式化する問題のうち、蓄電池に関する制約式を式(3)~(11)に示す。

$$X_{1,1} = X_0 \quad (3)$$

$$X_{t+1,1} = X_{t,u+1} \quad t=1, \dots, T-1 \quad (4)$$

$$X_{t,u} \geq X_{min} \quad t=1, \dots, T \quad u=1, \dots, U \quad (5)$$

$$X_{t,u} \leq X_{max} \quad t=1, \dots, T \quad u=1, \dots, U \quad (6)$$

$$X_{t,u+1} \leq X_{t,u} + BOUT_{t,u} - BIN_{t,u} \quad t=1, \dots, T \quad u=1, \dots, U \quad (7)$$

$$BIN_{t,u} \geq 0 \quad t=1, \dots, T \quad u=1, \dots, U \quad (8)$$

$$BIN_{t,u} \leq XC \quad t=1, \dots, T \quad u=1, \dots, U \quad (9)$$

$$BOUT_{t,u} \geq 0 \quad t=1, \dots, T \quad u=1, \dots, U \quad (10)$$

$$BOUT_{t,u} \leq XC \quad t=1, \dots, T \quad u=1, \dots, U \quad (11)$$

式(5), 式(6)では、蓄電残量に関する下限と上限に関する制約を与えている。式(7)では、次の時刻の蓄電残量の計算を与えている。次の時刻の蓄電残量は充電量と放電量を考慮した値として計算される。式(8), 式(9), 式(10), 式(11)では、充電量と放電量に関する制約を与えている。特に、変数の定義より、式(8)と式(9)に示す通り、 $BIN_{t,u}$ と $BOUT_{t,u}$ は常に正の値を取る。

無駄電力と系統電力網からの購入電力量に関して、式(12), 式(13), 式(14)が成立する。

$$L_{t,u+1} = S_{t,u} + G_{t,u} - D_{t,u} + BOUT_{t,u} - BIN_{t,u} \quad t=1, \dots, T \quad u=1, \dots, U \quad (12)$$

$$S_{t,u} \geq 0 \quad t=1, \dots, T \quad u=1, \dots, U \quad (13)$$

$$L_{t,u} \geq 0 \quad t=1, \dots, T \quad u=1, \dots, U \quad (14)$$

本研究におけるクラスタモデルは図3に示すように電力ルーターを中心として全ての値を決定する。従って、電力ルーターを中心とした電力収支は式(12)の関係を満たす。また、クラスタモデルでは、系統電力網に余剰電力を逆潮流させないため、式(13)が成立する。

3.4 評価実験

本節では提案したピーク最小蓄電池制御手法を評価する。太陽光発電、需要データは滋賀県東近江市で計測された一般家庭の発電、需要の実測データを用いた。計画期間は1日 ($T=1$)、電力ルーターの制御は1時間ごとに行われる ($U=24$)。蓄電池容量の上限は5kWh ($X_{max}=5$)、下限は0kWh ($X_{min}=0$)、初期蓄電量は0kWhとした ($X_0=0$)。また、数値計画ソルバとしてIBM ILOG CPLEX12.1[6]を用いた。

図4に既知の需要量と発電量、ならびにピーク最小化された系統電力網から購入された電力量の推移を示す。図4より、購入電力量が比較的小さい深夜のうちに平均的に蓄電池に充電することで、発電量が無い夜間の需要に備えていることが分かる。このようにピーク最小化の効果が確認できる。

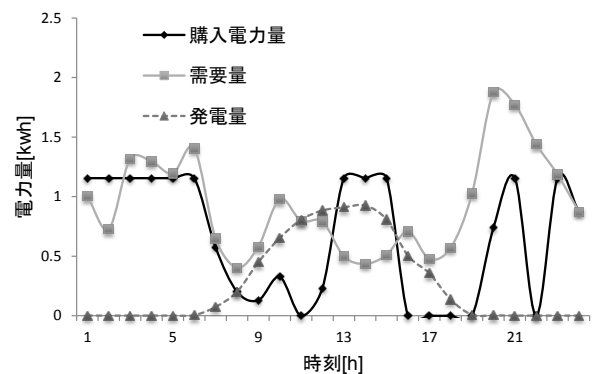


図4 既知の需要量と発電量に対するピーク最小化結果
 Figure 4 A Result of a Peak-Cut Battery Management.

4. 需要/発電予測に基づくピーク最小蓄電池制御手法

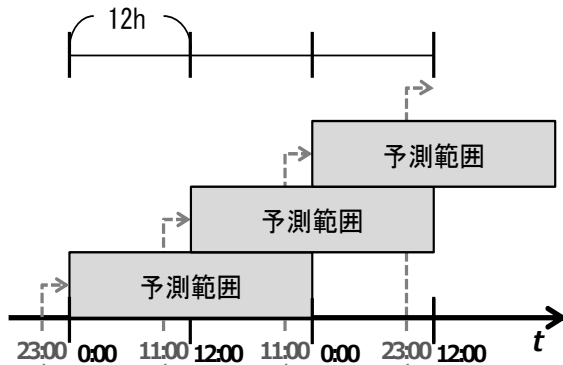
第3章では既知の電力需要パターンと発電パターンに対してピーク電力最小化問題を線形計画問題として定式化した。本章では、未知の電力需要と発電量に対して発電量と需要量の予測に基づくピーク最小化手法を提案する。

4.1 概要

提案する需要/発電予測に基づくピーク最小蓄電池制御手法の概要を図5に示す。第3章で述べた手法は既知の電力需要と発電パターンに対する手法である。そこで提案手法では電力需要と発電パターンを12時間ごとに予測し、予測された電力需要パターンと発電パターンを用いて第3章

で提案した最適化計算を行う。予測する範囲は来る 24 時間である。例えば、図 5 に示すように 23 時に 1 時間後の 0 時から 24 時間後までの電力需要と発電パターンを予測する。そして第 3 章で提案した最適化計算により来たる 24 時間の電力ルーターの制御を決定する。これを 12 時間おきに行うことでピーク最小化を実現する。

ここで、電力需要のピークは 1 日のうち特定の時間帯に発生することが多い。そのため、ピーク最小化を 24 時間で行う方が確実にピーク最小化を実現できると考えられるため、24 時間単位で予測を行う。



※次の24時間の需要量と発電量を予測&最適化計算

図 5 需要/発電予測と最適化計算のタイミング

Figure 5 Time Chart for Demand/Generation Forecast and Optimization.

電力需要及び発電量を予測し、それを実際の蓄電池制御に用いる場合、予測値と実測値の誤差が生じる。そこで、予測値を元に最適化計算して得られた蓄電池制御パターンを元に実際の実測値に対する蓄電池制御アルゴリズムを 4.4 節で提案する。

4.2 電力需要予測手法

1 つのクラスタの電力需要を予測するために、提案する電力需要予測手法では過去の需要パターンから需要パターンを予測する。ここで提案手法では、同一クラスタにおいて同じ季節や天気、曜日における住人の行動パターンは酷似し、かつ、その日の電力需要パターンも酷似すると仮定する。

そこで、提案手法では予測する 24 時間の午前と午後それぞれ 12 時間に対して、過去同じ曜日で同じ天気の直近の日を選択する。そして、その時の 12 時間の電力需要パターンをそのまま予測パターンとして用い、午前と午後それぞれの需要パターンを結合して 1 日の電力需要パターンとする。ここで、過去の天気の情報は、晴れ、雨、曇りの 3 パターンのみとした。

4.3 発電予測手法

1 つのクラスタの発電パターンを予測するために、提案

する発電予測手法では過去の発電パターンから発電パターンを予測する。通常、同じ季節で同じ天気の場合はほぼ同じ日照条件であると考えられる。そこで、提案手法では予測する 24 時間の午前と午後それぞれ 12 時間に対して、過去同じ天気の直近の日の発電パターンをそれぞれ求め、それらを結合して 1 日の発電パターンとする。ここで、前節同様、過去の天気の情報は、晴れ、雨、曇りの 3 パターンのみとした。

4.4 電力需要ならびに発電予測に基づく蓄電池制御アルゴリズム

本節では、クラスタの電力需要ならびに発電パターンに基づく蓄電池制御アルゴリズムについて述べる。4.2 節及び 4.3 節による予測手法で得られた電力需要パターンと発電パターンを用いて第 3 章で提案した最適化計算を行うことで予測パターンにおける最適な蓄電池制御が得られる。しかし、実際の電力需要や発電量のパターンと予測パターンは異なるため、予測パターンにおける最適な蓄電池制御を用いて実際の電力需要や発電量のパターンに対する蓄電池制御を決定する必要がある。

そこで本研究では、予測パターンにおける最適な蓄電池制御から実際のパターンに対する蓄電池制御を決定するアルゴリズムを提案する。提案するアルゴリズムを図 6 に示す。ここで、図 6 の $pred[u]$ は予測パターンにおける最適な蓄電池制御を表す。特に、 $pred[u]$ が正の場合は放電、負の場合は充電を表す。つまり、 $pred[u]$ には $BOUT_{t,u}$ もしくは $-BIN_{t,u}$ が格納される。提案手法では、書く時間に対する蓄電池制御は $pred[u]$ の値に従って行われる。この値を元に、各時間の無駄電力量と系統電力網から購入する購入電力量を毎時間決定する事で電力ルーターの動作を決定する。

```
// pred[u]: 予測パターンにおける最適な蓄電池制御
//          (BOUT[u]もしくは-BIN[u]となる)
// gen[u]: u における実測発電量
// dem[u]: u における実測需要量
// l[u]: u において実際に発生する無駄電力量
// s[u]: u において実際に購入される電力量

for(各時間 u に対して以下を行う){
    if(pred[u]+gen[u]-dem[u] > 0){
        l[u] = pred[u]+gen[u]-dem[u];
        s[u] = 0;
    }
    else{
        l[u] = 0;
        s[u] = -(pred[u]+gen[u]-dem[u]);
    }
}

電力ルーターは pred[], l[], s[] に基づき動作
```

図 6 提案する蓄電池制御アルゴリズム

Figure 6 Proposed Battery Management Algorithm.

4.5 評価実験

本節では、提案する需要/発電予測に基づくピーク最小蓄電池制御手法の有効性を評価するために、2010年12月26日~27日、2011年4月12日~13日、8月8日~9日の計6日に対して提案手法を適用した。太陽光発電、需要データは滋賀県東近江市で計測された一般家庭の発電、需要の実測データを用いた。予測に使用する過去の天気はgooが提供する過去の天気を元に行った[7]。予測パターンを元に行う最適化計算において、電力ルーターの制御は1時間ごとに行われるとした ($U=24$)。また、蓄電池容量の上限は5kWh ($X_{max}=5$)、下限は0kWh ($X_{min}=0$)、初期蓄電量は0kWhとした ($X_0=0$)。また、数理計画ソルバとしてIBM ILOG CPLEX12.1[6]を用いた。

ここで、ピーク最小化を行わなかった場合として、第3章で提案した線形計画問題のうち、目的関数を以下の式(15)に置き換えたものを用いた。

$$\text{minimize } \sum_{t=1}^T \sum_{u=1}^U L_{t,u} + S_{t,u} \quad (15)$$

目的関数が式(15)になった場合、系統電力網からの購入量を極力減らし、太陽光パネルで発電された電力で可能な限り自給自足を行う方向で全体が最適化される。これにより得られた結果をピーク最小化が行われなかった場合として使用した。

表1に、提案する需要/発電予測に基づくピーク最小蓄電池制御手法によるピーク削減率を示す。比較対象は第3章で定式化した問題の目的関数を式(15)で置き換えたものである。そして、需要パターン及び発電パターンの予測を行った場合と行わなかった場合、それぞれの組合せに対してピーク削減率を比較した。予測を行わなかった場合は、実際の実測値を用いた。

表1より、需要量と発電量に予測値を用いてピーク最小化を行うことで、最大51%の購入電力のピークを削減することができた。また、ピーク削減率は季節に大きく依存する傾向が見てとれる。特に季節が春のときはピーク削減率が他の季節に比べて低くなっている。これは、春や秋は家庭の電力需要の大部分を占める暖房器具や冷房器具が使用される頻度が少ないため、消費電力が全体的に低く、その効果が相対的に小さくなる。また、実測値と予測値によるピーク削減率を比較すると、需要量に実測値、発電量に予測値を使用した場合、需要量、発電量共に実測値を用いて最適化計算を行った結果とほぼ同じピーク削減を実現できた。これは、1クラスタ程度の非常にマイクロなレベルでの需要の変化は、数名程度の住人の行動が直接的に反映されるため、予測が非常に困難で、実測値との誤差が大きくなるからと考えられる。

次に、購入電力量の総和、及び、無駄電力量の総和を表2、表3に示す。ここで、"w/o Peak Cut"がピーク最小化を行わなかった場合、"w/ Peak Cut"がピーク最小化を行った

場合を表す。

表1に示した結果より、最大で需要のピークを51%削減することに成功したが、表2、表3より購入電力量や無駄電力量が全体を通して増加することが確認された。特に、購入電力量が10%~20%増加することが確認された。その理由は、需要量や発電量の予測が外れた場合の過不足分の電力は追加購入や無駄に消費することでバランスが取られるからである。

表1 ピーク削減率 [%]

Table 1 Peak Cut Ratio [%]

	需要：実測 発電：実測	需要：実測 発電：予測	需要：予測 発電：実測	需要：予測 発電：予測
4/12	35.4	34.9	13.2	13.2
4/13	25.4	25.4	14.8	14.2
8/8	68.6	68.6	68.6	49.7
8/9	66.2	66.2	51.0	51.0
12/26	51.7	47.4	51.7	38.6
12/27	36.7	36.3	9.8	9.8

表2 購入電力量の総和 [kWh]

Table 2 Sum of Purchased Electricity [kWh]

	w/o Peak Cut	w/ Peak Cut			
		需要：実測 発電：実測 (増加率)	需要：実測 発電：予測 (増加率)	需要：予測 発電：実測 (増加率)	需要：予測 発電：予測 (増加率)
4/12	9.37	9.37 (+0.0%)	9.75 (+3.9%)	10.88 (+14.9%)	10.91 (+14.1%)
4/13	9.28	9.28 (+0.0%)	9.5 (+2.3%)	10.42 (+10.9%)	10.43 (+11.0%)
8/8	15.79	15.79 (+0.0%)	16.69 (+5.4%)	16.74 (+5.7%)	17.81 (+11.3%)
8/9	13.76	13.76 (+0.0%)	14.02 (+1.9%)	14.44 (+4.7%)	14.44 (+4.7%)
12/26	17.51	17.51 (+0.0%)	17.88 (+2.1%)	17.85 (+2.1%)	18.33 (+4.5%)
12/27	14.55	14.55 (+0.0%)	16.16 (+10.0%)	15.64 (+7.0%)	16.24 (+10.4%)

表3 無駄電力量の総和 [kWh]

Table 3 Sum of Wasted Electricity [kWh]

	w/o Peak Cut	w/ Peak Cut			
		需要：実測 発電：実測 (増加率)	需要：実測 発電：予測 (増加率)	需要：予測 発電：実測 (増加率)	需要：予測 発電：予測 (増加率)
4/12	0.00	0.00 (+0.0%)	0.49 (+5.2%)	1.62 (+17.3%)	1.65 (+17.6%)
4/13	0.00	0.00 (+0.0%)	0.30 (+3.2%)	1.22 (+13.1%)	1.24 (+13.4%)
8/8	0.00	0.00 (+0.0%)	0.89 (+5.6%)	0.94 (+6.0%)	2.04 (+12.9%)
8/9	0.00	0.00 (+0.0%)	0.26 (+1.9%)	0.68 (+4.9%)	0.68 (+4.9%)
12/26	0.00	0.00 (+0.0%)	0.35 (+2.0%)	0.33 (+1.9%)	0.81 (+4.6%)
12/27	0.00	0.00 (+0.0%)	1.61 (+11.1%)	1.09 (+0.75%)	1.69 (+11.6%)

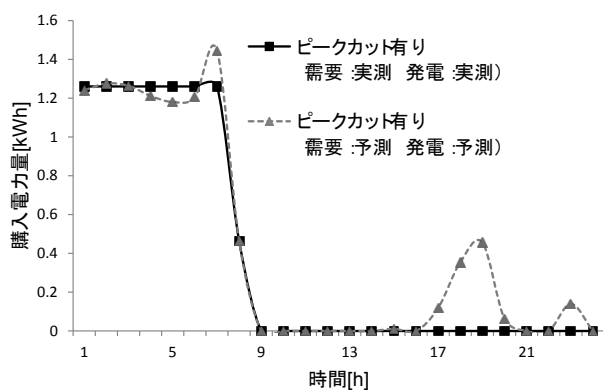


図 7 購入電力量の推移 (4/13)

Figure 7 Comparison of Purchased Electricity. (13 Apr.)

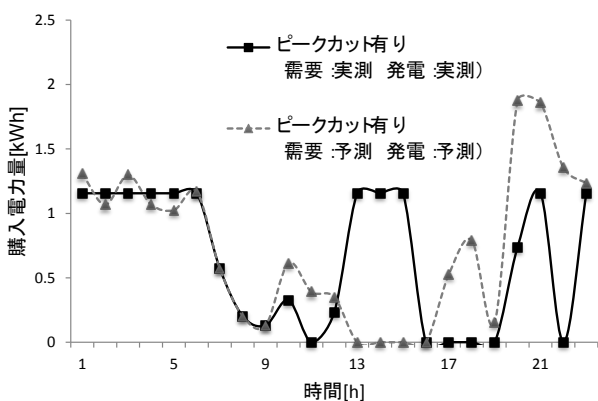


図 8 購入電力量の推移 (8/8)

Figure 8 Comparison of Purchased Electricity. (8 Aug.)

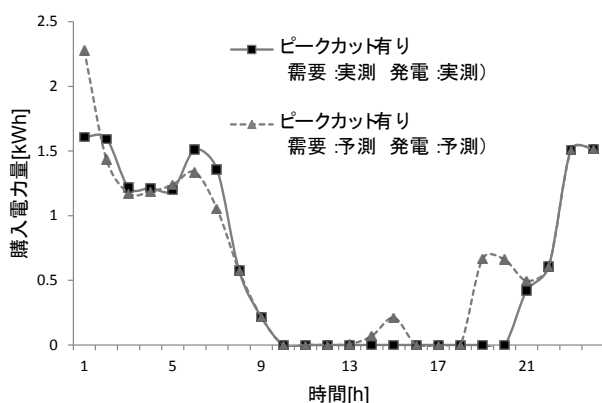


図 9 購入電力量の推移 (12/27)

Figure 9 Comparison of Purchased Electricity. (27 Dec.)

図 7, 図 8, 図 9 に各季節におけるピーク最小化を行った場合の電力需要の推移を示す. 図 7, 図 8, 図 9 では, 需要量と発電量に両方とも実測値を用いた場合と予測値を用い

た場合と比較した. 図 7, 図 8, 図 9 より, ピークカットが大幅に外れているのは朝方と夕方以降であることが分かる. これは, 住人の生活パターンがその時間帯に大きく変化し, 日によって微妙な時間のずれが発生することが原因であると考えられる. すなわち, 需要量は予測が難しく, かつ, 外れたときの需要量の差が激しいことがこのような結果につながったと考えられる.

5. まとめと今後の課題

本研究では, 太陽光パネルと蓄電池を持つ家庭において, 電力需要のピークカット, ピークシフトに貢献する蓄電池マネジメント手法を提案した. 提案した蓄電池マネジメント手法は, 電力需要予測と発電予測ならびに線形計画法によるピーク最小蓄電池手法を組み合わせることで電力需要のピークカットを実現する. 提案手法により, 電力需要のピークが大きくなる夏や冬の日において, 最大 51%もの大幅なピークの削減を行うことができた.

今後の課題としては, より高精度な需要量と発電量の予測を行うことが挙げられる. 本研究では大幅なピーク削減に成功したが, その反面 10%~20%程度, 購入電力量が増加する. 現段階では, 過去の特定の日の電力需要/発電パターンのみを用いてそれを予測結果としているが, 類似の複数の日のパターンを用いることでより高精度な予測が可能となると考えられる. それにより, 購入電力量の増加を抑えられるのでは無いかと考えられる. また, 提案手法における電力需要予測では過去の曜日を考慮して需要予測を行っている. しかし曜日だけでなく祝日などの例外を考慮することで更なる予測精度の向上が期待される.

参考文献

- 1) 合田忠弘, 諸住哲: スマートグリッド教科書, 株式会社インプレスジャパン (2011)
- 2) 秋山守: 電力負荷平準化, エネルギー総合工学研究所 (1998)
- 3) 篠原昌子, 村上雅彦, 岩根 秀直, 高橋悟, 山根昇平, 穴井宏和, 園田俊浩, 湯上伸弘: ノート PC を活用したピーク電力削減のためのバッテリー充放電統制制御システムの開発, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム, Vol.2012, No.1, pp.1744-1753 (2012)
- 4) 角田忠信, 大島弘敬, 山本 寛, 原 政博, 藤野信次: 複数台ノート PC のバッテリー充放電制御による供給電力最適平準化, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.3, pp.940-952 (2011) .
- 5) 加藤直樹: 数理計画法, コロナ社 (2008) .
- 6) IBM ILOG CPLEX Optimizer, <http://www-01.ibm.com/software/integration/optimization/cplex-optimizer>
- 7) goo 天気「過去の天気」, <http://weather.goo.ne.jp/past>