Operation of Battery Energy Storage System in Demand Side using Local Load Forecasting

Yusuke Hida Student Member (Waseda University, yusuke.h@akane.waseda.jp)

Ryuichi Yokoyama Senior Member (Waseda University)

Jun Shimizukawa Student Member (Meisei University)

Kenji Iba Senior Member (Meisei University)

Kouji Tanaka Member (Tokyo Electric Power Company)

Tomomichi Seki Member (Tokyo Electric Power Company)

Keywords: BESS, NAS battery, load leveling, load forecasting, multi-regression model, load following operation

Recently, battery energy storage system (BESS) attracts attention as measures for reducing CO₂-emission and has been widely used all over the world. NAS (sodium and sulfur) battery is a relatively new large-capacity product in BESS and has been used at 215 sites (total 302 MW) in the world in 2009. NAS battery systems have been installed in demand side in Japan. Meisei University has installed and operated NAS battery of 1000 kW at campus since July in 2003. The recorded data shows its stable operation throughout more than six-years.

In this paper, the proposed operation of the load following is demonstrated base on the six-year's records of the load at Meisei University campus. Firstly, the load curves on demand side are forecasted using multi-regression model. The accuracy of this forecasting model is important to design the demand control. Four factors are selected as explanatory variables in the first stage. They are the weekly load, the day of week, the mean temperature and the present load. The load forecast and the control of battery are repeated at regular intervals in the forecasted day. The high accuracy load forecast can be simulated by repeating in the day, because many data can be obtained by passage of time.

Secondly, the load following control is simulated with the forecasted curves. In this simulation, the stability of the forecasting is examined from the error of the forecasted load in the past, and the reserve (margin) of battery energy is considered to prevent the shortage/surplus of battery energy. Figure 1 is shown the procedure of load following operation. P_0 , which is a target of receiving power from utility, is calculated to cut the peak part of the forecasted load curve. If the receiving power exceeds P_0 , NAS battery starts to discharge the amount of excess.

A proper amount of charged energy is classified as margin. The margin is not used until risks are over. The adequate amount of margin is specified from engineering judgment, taking account of statistical data of past performance.

The mean error of forecast is evaluated and some examples at 8:00/12:00 are shown in the histogram in Fig. 2. Although the mean errors at 8:00 often exceed 10%, all mean errors at 12:00 stay within 7%.

The numerical simulation was carried out against 151 school days in 2008. Figure 3 shows example of the load following operation simulation. The load leveling of receiving power is well achieved. NAS battery on Meisei University has been operated by a fixed pattern operation mode up to now. As the results, the maximum receiving power is successfully suppressed by proposed load following operation mode, rather than the fixed pattern operation mode. It is our future work to apply this control method to various types of loads to confirm the robustness of the proposed method.

Fig. 2. Forecast error distribution histogram of 151 days

Fig. 1. Procedure of load following operation control

Fig. 3. Load levelling of the load following operation mode

需要家における需要予測を用いた電力貯蔵用システムの運用制御

学生員 樋田 祐輔* 上級会員 横山 隆一*
 学生員 清水川 純** 上級会員 伊庭 健二**
 正員 田中 晃司*** 正員 関 知道***

Operation of Battery Energy Storage System in Demand Side using Local Load Forecasting

Yusuke Hida*, Student Member, Ryuichi Yokoyama*, Senior Member, Jun Shimizukawa**, Student Member,
 Kenji Iba**, Senior Member, Kouji Tanaka***, Member, Tomomichi Seki***, Member

Recently, the various political movements, which reduce CO₂-emission, have been proposed against global warming. Therefore, battery energy storage systems (BESSs) such as NAS (sodium and sulfur) battery are attracting attention around the world. The first purpose of BESS was the improvement of load factors. The second purpose is the improvement of power quality, especially against voltage-sag. The recent interest is oriented to utilize BESS to mitigate the intermittency of renewable energy.

NAS battery has two operation modes. The first one is a fixed pattern operation, which is time-schedule in advance. The second mode is the load following operation. Although this mode can perform more the flexible operation by adjusting the change of load, it has the risks of shortage/surplus of battery energy. In this paper, an accurate demand forecasting method, which is based on multiple regression models, is proposed. Using this load forecasting, the more advanced control of load following operation for NAS battery is proposed.

キーワード：電力貯蔵用蓄電池，NAS 電池，負荷平準化，需要予測，重回帰分析，負荷追従運転

Keywords: BESS, NAS battery, load leveling, load forecasting, multi-regression model, load following operation

1. まえがき

負荷平準化は電源設備の効率的な運用や発電コストの低減に効果があり，国内でも揚水発電所の活用など負荷率の向上が図られてきた。需要家に対しても，夏季の電気料金単価の高いピーク帯に放電することで，電気料金のメリットがある。

一方，低炭素社会に向けた対策として，風力発電・太陽光発電といった再生可能エネルギーの導入が加速している

が，風力・太陽光発電は天候により出力が大きく変動し不確実なので，これを安定化することが重要な課題となる⁽¹⁾。この出力変動の緩和策としても，NAS 電池のような電力貯蔵装置の大量導入が一部の風力発電所で進められている。

NAS 電池はナトリウムと硫黄からなる二次化学電池であり，放電時間が 7.2 時間と大容量であるのが特徴である。実用化されている大容量の蓄電池による電力貯蔵システム (Battery Energy Storage System : BESS) としては最も普及しており，世界中で 270 MW/200 箇所が，東京電力管内でも 180 MW/95 箇所が導入されている。明星大学では 2003 年 7 月から定格出力 1000 kW の NAS 電池を運用し，需要と NAS 電池運用実績データを逐次蓄積している。Fig. 1 には運用実績を，NAS 電池の外観と仕様を Fig. 2 と Table 1 に示す。運用実績から長期停止もなく安定して運用されていることや，年ごとに需要が増加し予測が容易でないことがわかる。

本稿では需要家に設置された NAS 電池の運用制御に関して，はじめに重回帰モデルを用いた需要予測手法を提案する。電力の需要予測はこれまでも広く研究されてきたが，その多くは電力会社管内の需要予測であり，需要家内等での限られた地域での予測の事例は少ない。限られた地域で

* 早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科
 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 55S-705
 Graduate School of Environment and Energy Engineering, Waseda University
 55S-705 3-4-1, Okubo, Sinjuku-ku, Tokyo 169-8555

** 明星大学理工学部電気電子システム工学科
 〒191-8506 日野市程久保 2-1-1 29-704
 Department of Electrical and Electronic Engineering, Meisei University
 29-704 2-1-1, Hodokubo, Hino 191-8506

*** 東京電力 (株)
 〒100-8560 東京都千代田区内幸町 1-1-3
 Tokyo Electric Power Company
 1-1-3, Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8560

Fig. 1. Operation record of NAS battery in Meisei University (from 26 July 2003 to 3 Mar 2009).

Fig. 2. Appearance of NAS battery in campus (Meisei University).

Table 1. Specification of NAS battery in Meisei University.

Rated Output	1000kW
Rated Voltage	6.6kV (Three phase)
Units	4 Units (250kW × 4 units)
Energy Storage	AC7200kWh
Battery Module	5 module per unit 384 battery cells per module

は、需要変動要因が限定されているが、その情報が簡便に入手できないため需要予測が難しい。

次に考案した負荷追従運転の制御ロジックを紹介し、その有力性を明らかにする。ここでいう負荷追従制御は需要変動に応じて目標受電電力（これを超過した分 NAS 電池が放電する閾値）を変化させ、NAS 電池の出力を制御して受電電力を平準化するもので、契約料金に影響を与える最大電力の抑制と電気料金の昼夜間差を最大限に利用することを目的としている。

2. 需要予測

〈2・1〉 従来の研究 これまで電力会社管内の翌日の最大電力（ピーク需要）や需要曲線を予測する研究が広く行われており、AI を使うものや、ARIMA モデルのような時系列解析を使うもの、重回帰分析を使うものなどが提案されてきた⁽²⁾⁽³⁾。これらは電力会社において翌日の発電機の起動停止計画に用いられる重要な業務のひとつである。需要家内の需要予測の必要性は少なかったが、マイクログ

リッドの実証試験等⁽⁴⁾では単独運転に不可欠な技術となり精度の高い予測手法が使われた。需要家内の需要は機器単位まで捕捉できる場合もあるが、エネルギー管理者に事前に需要予測に必要な情報が入らない場合も多く、平均化の効果が少ないだけ予測が難しいと言われている。

筆者らはこれまでの研究で、明星大学日野キャンパスの過去 5 年間の実績データを用いて重回帰分析を行い翌日の需要予測曲線を求める研究を続けてきた⁽⁵⁾。この過程で需要家の需要予測に関して以下の知見を得た。

- 実績データに対して重回帰分析を行い、需要と説明変数に因果関係があることがわかった。
- 説明変数の候補から多重共線性 (multi-co-linearity) の疑いがあるものや、F 値の小さい変数を除外して分析を繰り返す変数減少法を用いて、説明変数を確定できる。
- 過去 5 年のデータ蓄積があるが、重回帰分析の対象にするのは過去 1 年のデータが適している。
- 翌日の需要曲線予測を第 1 段階で開発したが、負荷追従制御には、制御当日の逐次予測が必要である。

本稿では、NAS 電池の負荷追従運転に必要な実時間の需要予測を目標として開発した新たな予測手法を提案する。この手法は以下の要求仕様に従って開発された。

- 現制御時点から 22 時までの需要曲線を予測する。
- 特異日や稀頻度事象にも例外処理無く予測ができる。
- 通信やネットワークを使わず、電池設置サイト内で完結したシステム構成にする。
- 年間を通して予測をし続け、データの更新や年度の切り替え作業を必要としないシームレスな構成にする。

〈2・2〉 重回帰分析を用いる需要予測手法 需要に変動を与える相関の強い要素を説明変数として用意する。変数減少法を用いた結果、(1)週、(2)曜日、(3)気温、(4)予測対象日当日の需要実績、の 4 つの要素を説明変数として重回帰モデル式を構築する。(1) 式に重回帰モデル式を示す。

$$P_{i,j} = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_3^2 + a_5x_4 + C_0 \cdots \cdots (1)$$

$$0 \leq x_k \leq 1 \quad \text{for } k = 1, 2$$

$$i = 8, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18$$

$$j = 8, 10, 12, 14, 16, 18, i + 1 \quad \text{for } i < j$$

但し

$P_{i,j}$: 予測修正時間 i における時間 j の需要 [kW]

a : 各説明変数の係数

x_1 : 正規化された年間 (週別) 需要パターン

x_2 : 正規化された週間 (曜日別) 需要パターン

x_3 : 気温 [$^{\circ}\text{C}$]

x_4 : 予測修正時間 i の需要 [kW]

C_0 : モデル式の切片

制御当日の需要予測のために、前日に翌日の需要曲線を予測し、当日にその予測カーブを補正する方法を以前の研究では採用していたが、ここではNAS電池の放電が始まる8時から2時間間隔で逐次予測を繰り返す。需要予測の対象は、現時点から2時間間隔で将来の時点とする。但し、予測修正時間の1時間後は非常に相関が強いため、予測需要点として加える。また、需要の立ち下りの予測精度は、電池の枯渇に対して影響が大きいため、予測修正時間に15,17時を加え、予測修正間隔を1時間にすることで、影響を小さくした。

予測対象日前日から一年前のデータを使用し重回帰モデルを作成する。しかし、休日や講義の行われていない日は、NAS電池の放電が無く、最大需要更新の可能性も低いと考え分析から除外している。需要曲線を求める必要があるため、重回帰モデルは8時、10時、12時…と、予測対象時間毎に作成する。各説明変数の扱いについて以下に記す。

(1) 年間需要パターン 一般的に需要家は、年間の需要変動の傾向を把握できることも多い。実績データからこのような年間需要パターンを数量化しておく、年間の需要スケジュールの変更が予定される場合には、このパターンをエネルギー管理者が修正することで対応できる。重回帰分析では説明変数を数量化する必要があるため、休日を除いた週毎のデータで平均化法を行い、年間の最大需要が1となるよう正規化した数量データを説明変数として用いた。週毎に需要を平均し正規化したものをFig.3に示す(年末年始除く)。週は年間で52週もしくは53週あり、年間の需要傾向を読み取ることができる。

(2) 週間需要パターン 多くの需要家は、曜日毎に需要パターンが決まっており、同曜日の需要傾向に変わりがない。明星大学の需要も、曜日毎の週間需要パターンを得ることができる。Fig.4に最大需要を1に正規化した週の需要パターンを示す。この図から以下のことが読み取れる。

- 月曜日は他の平日に比べ、わずかに需要が小さい。
- 火曜日から金曜日までの平日は需要変動が小さい。そのため、曜日の変化によってあまり影響を受けない。
- 土曜日の需要は、平日と比較すると需要が小さい。

(3) 気温 平均気温とピーク需要の関係をFig.5に示す。一般的に重回帰分析は、線形関係の変数からモデル式を構築する。しかし、気温と需要の関係は、線形ではな

Fig. 3. Normalized load for 53 weeks in a year (2007).

Fig. 4. Normalized load of each day of a week (2007).

Fig. 5. Characteristic of temperature against peak demand.

く下に凸の曲線であることが知られている。また、猛暑や極寒時の高需要時には夏・冬季休業が重なり、簡便な平均法による数量化では精度が悪くなる。そのため、気温に関しては、気温と気温の二乗値をそのまま説明変数に使うことにした。

〈2・3〉 需要曲線の検索 需要予測では最大電力ではなく、需要曲線として求めることが、NAS電池の適正な運用制御に必要である。需要曲線を作成するためには、前項の重回帰モデルから予測した、予測対象時間の需要を直線で結ぶような簡便な手法もあるが、ジグザグしたり常識を逸脱した曲線が求まる恐れがある。そのため本稿では、各季節の需要パターンが含まれるように過去1年間の実績曲線から予測点の近傍を通る曲線を選び出し、波形を合成する

Table 2. Demand points to search the past demand curves.

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Revised Forecasting Time	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
12	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○
14	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○
15	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○
16	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○
17	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○
18	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○

○:Real demand ○:Forecasted demand
×:Revised forecasting time

手法を採用した。この手法では過去実績データを基にするため、過去実績から大きく逸脱した曲線を予測せず、大きな予測誤差の発生を避けることができる。

需要曲線検索には、実績需要点・予測修正時間の需要を含む7点からの誤差が最も小さい上位5日（以下Top5）の需要曲線を選出する。その5本の需要曲線を単純平均して予測曲線とする。Table 2には各予測修正時間において検索に使用する需要点を示す。また(2)式に過去実績と需要点の誤差式、(3)式に需要曲線の算定式を示す。

$$Err = \sum_{d=1}^l (P_{n,T[d]} - P_{m,T[d]})^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$P_{avg,t} = \frac{(P_{Top1,t} + P_{Top2,t} + P_{Top3,t} + P_{Top4,t} + P_{Top5,t})}{5} \dots\dots\dots (3)$$

Err: 誤差

$T[d]$ ($d = 1, 2, \dots, l$): 予測と実績を含む需要点 $l = 7$ (時点数)

$P_{n,T[d]}$: 予測対象日 n における $T[d]$ 時点の需要

$P_{m,T[d]}$: 過去日 m における $T[d]$ 時点の需要

$P_{ave,t}$: t 時における過去実績 P_{top5} を平均した t 時の予測需要

t : 1日24時間を30分間隔で刻んだもの ($t = 1, 2, \dots, 48$)

3. 適正運用のための制御手法

NAS電池の運転方式にはパタン固定運転と負荷追従運転がある。負荷追従運転は、充電した電力を需要の変動に合わせて放電する運転方式であり、事前想定が難しくなってきた需要の変化に反応して契約電力超過（ピークオーバー）を防止できる。しかし、需要に合わせて放電するために、適正な制御をしないと放電が必要とされる前に電池残量を使い切り（電池枯渇）、ピークオーバーに至る恐れがある。一方、充電した電力を夜間までに使い切らないと（電池余剰）、昼夜間の電気料金価格差による運用メリットを生かすことができず、設備の有効利用が図れない。

Remaining Battery Energy: 緑格子
Discharged Energy: 青格子
Margin: 赤格子

Fig. 6. Modification of the target (P_0) of receiving power.

NAS電池の負荷制御の目的関数（評価関数）を一意的に決めることは難しい。需要家からの要求には以下のようなものがある。

- (1) 年々の需要増による契約電力増加は避け難いが、不用意なピークオーバーは発生させたくない。
- (2) 導入した電池設備の容量を十分に活用して電気料金の低減に寄与させたい。
- (3) 様々な料金割引の契約メニューを活用したい。
- (4) 需要調整に関してNAS電池も協調させ、受電電力はできれば平坦に維持したい。

本章ではこのような要求を列挙順に従って満たすような制御を目的として、前章の需要予測曲線を用いて、電力貯蔵装置の負荷追従運転を適正に制御する手法を論ずる。

〈3・1〉負荷追従運転制御の基本ロジック 予測修正時間における負荷追従運転の基本的な制御手順を以下に示す。この手順は予測誤差を逐次補正しながら、充電されている電力を需要曲線の頭頂部に割り当て、受電電力を平坦に保つような制御を目指している。

- (1) 前章の予測手法を用いて、需要曲線を予測する (Fig. 6(a) 中曲線)。
- (2) 過去波形の和として求めた予測曲線を、予測修正時間において、直近の需要実績値と一致させるよう上下に平行移動させ、予測修正時間以降の予測曲線とする。
- (3) 過去の予測対象日（需要予測・運用制御を行った日）の予測と実績結果から、確率的に電池枯渇を起こさないようにマージン（予備量）を計算する (Fig. 6(a) 中斜線部)。
- (4) 修正時間における電池残量からマージンを差し引く。（運用に用いる電力量 = 放電可能電力量 - マージン）
- (5) 修正時間以降の需要予測曲線の上部に運用に用いる電力量が当てはまるように目標受電電力 P_0 （閾値）を計算する (Fig. 6(a))。
- (6) 需要家の負荷が P_0 を超えた時、超えた需要電力分を電力貯蔵装置の放電電力で賄う (Fig. 6(b) 点部)。
- (7) P_0 が過去に記録した最大受電電力を超えた場合、

最大受電電力を超えた電力を電力貯蔵装置の放電電力で賄う。

(8) 以上の(1)～(7)を予測修正時間毎に繰り返す (Fig. 6(b))。

需要家における電気料金低減策は、最大受電電力を抑えることで契約電力を下げ基本料金削減を図るものと、夜間充電・昼間放電により従量料金単価の差異を利用した従量料金削減を図るものがある⁹⁾。一般的には、契約電力抑制の方が経済的影響は大きいので、こちらを優先 (手順(7)参照) しながら、過不足無く放電が完了するよう制御する。

〈3・2〉 リスク回避のためのマージン算出方法 負荷追従制御において、最も回避しなければならない失敗事例は、「目標受電電力 P_0 を低く設定して放電を進め、ピークを迎える時点または需要の立ち下がりが遅れた時点で電池が枯渇して受電電力が突出し、契約電力 (これまでの最大受電電力) を更新すること」である。しかし、これを恐れて放電を抑制し過ぎると電池残量が翌日に持ち込まれ、従量料金削減が図れず、設備の利用も非効率になる。そこで、電池枯渇と電池余剰のリスクを過去実績の統計から確率的に分析し、リスク回避のために必要なマージンを残すことにした。以下にこのマージンの適正容量の算定法を説明する。

まず、過去の予測と実績結果を統計処理し、各修正時間以降の予測誤差の平均値 μ 、標準偏差 σ を求める。予測曲線に μ と $k\sigma$ (k : 安全係数) を加算した曲線を想定し、予測曲線との差を積算したものを Fig. 7 の概念図を示す。ここで、例えば $k = 2$ とすると 2σ すなわち 95.5% の確率で予測誤差を吸収するためには斜線部の面積 (電力量) をマージンとして確保して、電池枯渇を防ぐ必要がある。逆に予測に μ を加え、 $k\sigma$ を減じた曲線は、電池残量が夜間帯まで使われずに余剰してしまう余剰確率曲線を表している。

安全係数 k の選択は需要家の判断に委ねられる。安全係数を大きくすると、枯渇による最大受電電力更新の危険は下がるが、負荷平準化に使える電力量は減少するので、受電電力の抑制効果が減じ、余剰リスクが増加する。この安全係数の決定はピーク近傍の変動の急峻さや、NAS 電池の設備容量、契約電力の裕度などを勘案して決める必要がある。

実務上は電池残量の計測精度に関しても、十分な配慮が

Fig. 7. Calculation of the margin at revised forecasting time i .

必要であるが、自己放電しない NAS 電池では、充放電電力の積算値から算定した残量の把握でも大きな問題はない。

4. シミュレーションによる検証

〈4・1〉 需要予測精度 各修正時刻における予測曲線の例を Fig. 8 に示す。Fig. 8(a) から受電電力更新の可能性がある需要の高い日でも、精度の良い予測ができることがわかる。一方、Fig. 8(b) では修正時刻 8:00 において、実績から大きく外れた予測をしている。しかし、12:00 の修正時刻では実績と良く合った予測に修正していることがわかる。

Fig. 9 に各修正時刻から 20:00 までの絶対値平均誤差分布を示す。修正時刻 8:00 では、10% を超える誤差が度々見られるが、修正時刻 12:00 の段階ではすべてが 7% 以下に収まっている。12:00 以降の修正時間においても 12:00 と同様な分布を確認しており、概ね良好な予測が行えたと言える。

〈4・2〉 負荷追従制御の適応 Fig. 10 に 2008 年の授業日 (151 日) に対して負荷追従制御のシミュレーションを行った例を示す。Fig. 10(a) では、予測精度が良く受電電力の平準化に成功している。Fig. 10(b) の例では修正時間 8:00、10:00 のように予測誤差が大きく目標受電電力 P_0 を頻繁に修正したが、安定な運転ができています。

負荷追従制御のシミュレーション結果を Table 3 に示す。これより、パタン固定運転より負荷追従運転の方が、最大受電電力を抑えられ、負荷平準化効果により日負荷率も改善できることがわかる。しかし、安全係数 k を大きくし過ぎるとマージンが大きすぎて、22:00 までに電池残量を使い切ることができず、余剰する頻度が増えている。そのた

Fig. 8. Forecasted curves at each revised forecasting time.

Fig. 9. Error distribution histogram of 151 days (at 8:00, 12:00).

Fig. 10. Load levelling of the load following operation mode.

Table 3. Comparison with fixed pattern operation mode.

	number of surplus	max receiving power [kW]	mean daily load factor [%]
Fixed pattern	0	3807	70.3
$k=0$	0	3577	74.0
$k=1$	0	3564	73.9
$k=2$	6	3574	73.5
$k=3$	42	3710	72.8

め、安全係数の設定の際には電池の余剰についても考慮する必要がある。

なお、最大受電電力更新の可能性は、昼間のみならず夜間の充電時間帯にもあるが、本シミュレーションでは夜間には負荷追従制御をしなくても最大受電電力を超えずに、満充電できた。しかし、需要家によっては夜間の運用に関しても制御が必要になることもあり、今後の課題としたい。

本手法の妥当性を検証するためには、より多くの需要家データを用いて検証する必要がある。現在商用ビル、ショッピングセンター、工場のデータ等を用いて検証中だが、需要パターンが年々変化する場合や、夕刻以後にピークを迎え、方形波のようなパターンのショッピングセンターの需要予測では精度維持が難しい傾向が見られた。

5. あとがき

需要家における電力貯蔵装置の制御として、明星大学キャンパスに設置されているNAS電池を題材とした負荷追従制御手法を提案した。ここでは需要家の需要予測を制御中に逐次行う手法を用いており、重回帰分析を用いるこの手法の予測誤差は、ほぼ7%以内で安定している。需要家の

ニーズに合わせた実用的な負荷追従運転手法は、最大受電電力の更新を抑制しながら定格容量全量の充放電を目標としており、自らの手法の予測誤差を統計分析して求めた標準偏差を活用してマージンを準備することで電池枯渇リスクを回避している。実績データを用いたシミュレーションではパターン固定運転に比べて良好な結果が得られた。

提案手法は需要家の過去実績負荷と気温のデータのみ使用しており、他需要家に広く適応できる汎用性がある。今後は多くの需要家データでも検証し、あわせて夜間の負荷追従制御（充電制御）の付加を検討していきたい。

（平成22年2月1日受付，平成22年4月17日再受付）

文 献

- (1) T. Tsuji, R. Hara, and T. Oyama: "Distributed Generations and Demand and Supply Control Technologies", *IEEE Trans. PE*, Vol.129, No.9, pp.1066–1069 (2009-9) (in Japanese)
辻 隆男・原 亮一・大山 力:「分散型電源と需給運用制御技術」, 電学論 B, **129**, 9, pp.1066–1069 (2009-9)
- (2) N. Amjadi: "Short-Term Hourly Load Forecasting Using Time-Series Modeling with Peak Load Estimation Capability", *IEEE Trans. Power Syst.*, Issue 3, Vol.16, pp.498–505 (2001-8)
- (3) J.W. Taylor and P.E. McSharry: "Short-Term Load Forecasting Method: An Evaluation Based on European Data", *IEEE Trans. Power Syst.*, Issue 4, Vol.22, pp.2213–2219 (2007-11)
- (4) NEDO 技術開発機構:「新エネルギー等地域集中実証研究/八戸市水の流れを電気で返すプロジェクト」,「系統連係技術開発及び開発事業」成果報告会資料
- (5) J. Shimizukawa, C.-Y. Chen, K. Iba, Y. Hida, R. Yokoyama, K. Tanaka, and K. Yabe: "Multi-Regression Model for Peak Load Forecast in Demand Side like University Campus", *ICEE* (2009)
- (6) J. Koda, K. Yabe, T. Amemiya, K. Tanaka, and K. Iba: "Discharge Operation of On-site NAS Batteries under Load Forecast Uncertainties", *Proc. of the 19th Annual Conference of Power & Energy Society, IEE of Japan*, 195, pp.17-7–17-8 (2008) (in Japanese)
香田 潤・矢部邦明・雨宮琢磨・田中晃司・伊庭健二:「予測需要の不確実性を考慮した需要家設置 NAS 電池の最適放電運用」, 平成 20 年電気学会電力・エネルギー部門大会, 195, pp.17-7–17-8 (2008)

樋田 祐 輔 (学生員) 1986 年 2 月 9 日生。2008 年 3 月明星大学理工学部電気工学科卒業。2010 年 3 月早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科修士課程修了, 同年 4 月同大学院博士課程入学, 現在に至る。主として電力貯蔵用蓄電池の運用制御に関する研究に従事。IEEE 学生会員。

横山 隆 一 (上級会員) 1944 年 8 月 25 日生。1968 年 3 月早稲田大学理工学部電気工学科卒業。同大学院において 1970 年修士, 1974 年博士課程修了, 工学博士。三菱総合研究所, 東京都立大学を経て 2007 年より早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科教授。電力システムの計画・運用・制御に関する教育研究に従事。電気設備学会, CIGRE 会員, 経済産業省の各種委員会委員長を歴任, コンソーシアム電力技術懇談会副会長, IEEE Fellow。

清水川 純（学生員） 1987 年 1 月 12 日生。2009 年 3 月明星大学理工学部電気電子システム工学科卒業。同年 4 月より、同大学大学院博士前期課程に進学、現在に至る。主として NAS 電池の運用制御に関する研究に従事。

田中晃司（正員） 1957 年 4 月 23 日生。1981 年 3 月早稲田大学理工学部電気工学科卒業。同年 4 月より、東京電力（株）入社。現在、同社法人営業部兼技術部にて電力設備ソリューション技術を担当。NAS 電池等の蓄電池活用・エンジニアリング業務に従事。

伊庭健二（上級会員） 1955 年 7 月 22 日生。1978 年 3 月早稲田大学理工学部電気工学科卒業。1980 年同大学院修士課程修了。同年、三菱電機（株）入社後電力系統技術の研究開発に従事。特に系統計画、電圧安定性、大電力貯蔵技術に従事。2003 年より明星大学理工学部電気電子システム工学科教授。IEEE Fellow。

関知 道（正員） 1964 年生。1986 年 3 月横浜国立大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月より、東京電力（株）入社。現在、同社技術開発研究所エネルギー経済グループマネージャーとして、リスク評価等の研究開発に従事。