

電気自動車に搭載された蓄電池の最適運用計画 —電力ピークシフトを目指して—

2009SE105 加藤真

指導教員：大石泰章

1 はじめに

1.1 背景

昨年3月に起きた福島第一原子力発電所の事故の影響により、現在の日本では全国の原子力発電所の存続が先不明な状態が続いている。もしこの先原子力発電所が運転再開しない場合、今まで原子力発電でまかなっていた電力を、別の手段で供給しなくてはならない。この場合、夏の電力需要が多いときには電力会社の持つ最大電力供給量を、需要が上回ってしまう可能性が高い。

電力使用量がピークとなる日中の使用量を抑えるために、蓄電池を使って夜間に貯めておいた電気を使用するという方法がある。これをピークシフトという。ピーク時には、石油を使って発電がされるため、CO₂の排出が多くなってしまふ。また家庭レベルでは、電力会社の料金プランによっては電気代が高くなってしまふので、ピークシフトすることが経済性の点でも大切である。

1.2 研究の概要

本研究では、夏の電力需要が供給を上回り、供給不足に陥らないための家庭でできる手段のひとつとして、蓄電池の運用によるピークシフトを考え、経済性の点で最適な運用計画を立てることを考える。

特に、現在の蓄電池の相場はまだまだ高価で、家庭などで導入するには抵抗感があるため、普段の生活の一部として使用している車に注目して、電気自動車の日産リーフを蓄電池として使用することを考える。

この場合、自動車として使用することが運用計画にどのように影響し、電気代をどのくらい上昇させるかも興味の対象となる。

2 データについて

リーフの主な性能と、中部電力の料金プランは下記の通りである [1][2]。

2.1 リーフの性能

蓄電池の容量は24kWhであり、充電時間は8時間である。これから1時間当たり最大3kWh充電出来ることが分かる。

表1 リーフの性能

蓄電池の容量	24kWh
充電時間	8時間
車両価格	3,764,250円

2.2 中部電力の料金プラン

表2 中部電力の料金プラン

名称	時間区分 (h)	料金単価 (円)
ナイトタイム	23~7	9.33
@ホームタイム	7~9, 17~23	21.23
デイトタイム	9~17	31.43

表2で示す料金プランは、蓄電池を運用する場合に適した料金プランで、Eライフプランという。ただし表に示したのは平日の場合で、土日祝日はデイトタイムの時間帯も@ホームタイムの料金となる。以上の料金プランから、夜間の電気料金の安いナイトタイムに電気を蓄電池に充電し、昼間の電気料金の高い時間帯に放電することで、電気料金を安く出来ることが分かる。

3 運用計画

電気料金を最小化することを目的とし、線形計画法を用いて蓄電池の運用計画を作ることを考える。

3.1 記号の定義

サンプル周期を1時間として時刻 $i = 1$ から $i = n$ までの運用計画を立てる。時刻 $i = 1, 2, \dots, n$ のそれぞれについて次の変数および定数を定義する。

$$\begin{aligned} p_i &: \text{時刻 } i \text{ での電力 } 1\text{kWh} \text{ 当たりの価格 (円);} \\ a_i &: \text{時刻 } i \text{ での電力の使用量 (kWh);} \\ c_i &: \text{時刻 } i \text{ での蓄電池の充電量 (kWh);} \\ x_i &: \text{時刻 } i \text{ での蓄電池の放電量 (kWh).} \end{aligned}$$

ただし p_i と a_i は与えられる定数であり、 c_i と x_i は次節の最適化問題を解いて定まる変数である。

3.2 定式化

次の問題を解くことで運用計画を得る。

$$\begin{aligned} & \text{最小化} && \sum_{i=1}^n p_i(a_i - x_i) \\ & \text{制約条件} && x_i \leq c_i \quad (i = 1, 2, \dots, n), & (1) \\ & && x_i \leq a_i \quad (i = 1, 2, \dots, n), & (2) \\ & && -x_i \leq 3 \quad (i = 1, 2, \dots, n), & (3) \\ & && 2.4 \leq c_i \leq 21.6 \quad (i = 1, 2, \dots, n), & (4) \\ & && c_i = c_{i-1} - x_i \quad (i = 2, 3, \dots, n). & (5) \end{aligned}$$

目的関数は、電気料金の合計を表しており、これを最小化することを考える。

次に、制約条件について説明する。式 (1) は時刻 i での蓄電池の放電量が蓄電池の充電量以下であることを表している。式 (2) は時刻 i での蓄電池の放電量が電力の使用量以下であることを表している。式 (3) は時刻 i での蓄電池の充電量が 3kWh 以下であることを表している。式 (4) は蓄電池の充電量が 2.4kWh 以上 21.6kWh 以下であることを表している。これは蓄電池の劣化を防ぐため、充電率を 10～90% の間で使用することを意味する。式 (5) は時刻 i での蓄電池の充電量が、時刻 $i-1$ の充電量から時刻 i の蓄電池の放電量を引いた値であることを表している。

また、車として使用する場合の問題設定として、偶数日の昼に 2 時間車として使用し、使用開始時刻において蓄電池の充電量が 20kWh 以上という制約を設ける。また、車として使用する間は 1 時間につき蓄電池から 2.4kWh 電力を使用する。

4 シミュレーション

シミュレーション結果を図 1～図 4 に示す。図 1 は、期間 2 日で運用計画した結果である。図 2 は、期間 4 日で運用計画した結果である。図 3 は、期間 2 日で車として 2 時間使用した場合の結果である。図 4 は、期間 4 日で車として 2 時間ずつ 2 回、合計 4 時間使用した場合の結果である。 x 軸は時間で、 y 軸は充電量になっていて、いずれの場合も夜間の電気料金の安い時間帯に充電していることが分かる。車として使用する場合は、直前の電気料金の高い時間帯も充電して不足の充電量をまかなっていることがわかる。これら 4 つの結果を比較する。

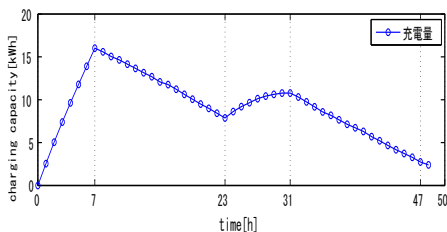


図 1 運用計画 (2 日間)

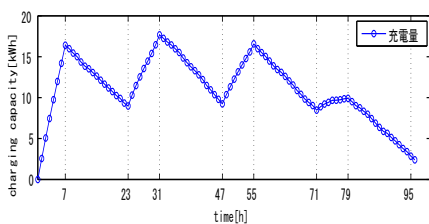


図 2 運用計画 (4 日間)

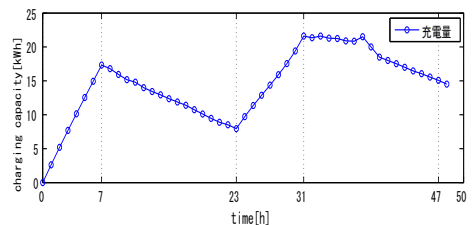


図 3 車として 2 時間使用した場合 (2 日間)

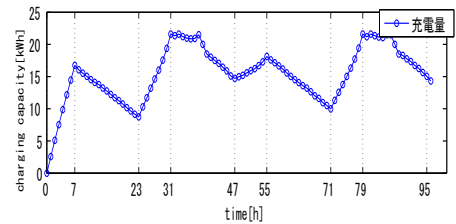


図 4 車として 2 時間使用した場合 (4 日間)

車として使わない場合の 2 日間と 4 日間の 1 日当たりの電気料金は、125 円と 116 円であり、予測期間が長い方が料金が安くなっている。車として使用した場合の 2 日間と 4 日間の 1 日当たりの電気料金は 233 円と 206 円であり、この場合でも予測期間が長い方が料金が安くなっている。車として使用する時に、充電量が 20kWh 以上という制約を設けており、使用する直前の電気料金が高価な時間帯に充電しているため、電気料金は車として使用しない場合より少し高くなった。

5 おわりに

蓄電池の運用計画を線形計画問題を解くことで生成することを考えた。得られた運用計画は妥当なものである。また、リーフを車として使用する場合も同様である。結果として、電力の使用パターンによる充電量の変動や、予測期間の違いで結果に差が出たため、今後の課題として、より経済性を向上させるための予測期間の長さによる影響や、使用パターンの変動について研究していきたい。

参考文献

- [1] 日産—リーフ [LEAF]Web カタログ：
<http://ev.nissan.co.jp/LEAF/>
- [2] 中部電力株式会社ホームページ：
<http://www.chuden.co.jp/>
- [3] 電気事業連合会、電力事情について：
<http://www.fepc.or.jp/enterprise/jigyuu/japan/>
- [4] 岩根 秀直, 穴井 宏和, 篠原 昌子, 村上 雅彦 ((株) 富士通研究所): 「ピーク電力削減のためのノート PC のバッテリー制御」. 第 12 回制御部門大会, (2012)