

家庭用蓄電池の最適運用

—太陽光発電量と電力需要量が及ぼす影響の検証—

2014SC086 渡邊 貴哉

指導教員：大石 泰章

1 はじめに

近年、太陽光発電パネルを備えている住宅が増えている。太陽光発電では発電した電力を使うことはもちろんのこと、余剰電力を売却することができる。さらに蓄電池を導入することで、太陽光発電で発電した電力を充電することができ、発電することができない時間帯に蓄電池から電力を放電することで電力コストを抑えることが可能になる。

本研究では、岩田・大石の研究 [1] をもとに太陽光発電パネルと家庭用蓄電池を備える家庭における家庭用蓄電池の最適運用法を構築することで、家庭の利益を最大化させる。具体的には、時間帯によって料金変動する電気料金プランを使用することで、蓄電池の最適運用問題を線形計画問題として定式化する。次に、太陽光発電量と電力需要量によって平日をパターン分けする。そして、あるパターンに対する蓄電池の最適運用法を求め、それを違うパターンに適用することで家庭の利益にどの程度の影響があるかを検証する。

2 問題設定

2.1 電力モデル

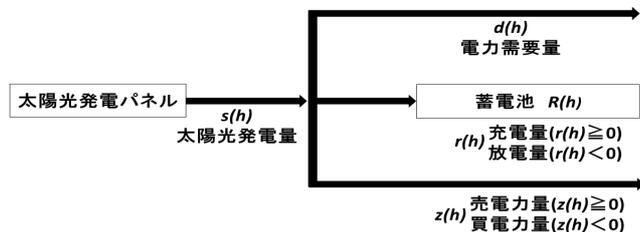


図1 電力モデル [1]

岩田・大石のモデル [1] (文献 [2] も参照のこと) をもとに図1のような電力モデルを設定する。ここで、 $s(h)$ は太陽光発電量、 $d(h)$ は電力需要量、 $r(h)$ は蓄電池への充電量 (値が正のときは充電量、負のときは放電量)、 $z(h)$ は電力会社への電力売買量 (値が正のときは電力会社への販売量、負のときは電力会社からの購入量)、 $R(h)$ は蓄電池の充電量を表す。また、 h は時間帯を表す。たとえば $h = 1$ は1時から2時を指すとす。

図1より、以下のエネルギー保存則が成り立つ：

$$s(h) = d(h) + r(h) + z(h). \quad (1)$$

2.2 電気料金プラン

本研究では、電気料金が日中一番高く、深夜帯から早朝にかけて一番安い電気料金プラン、具体的には太陽光発電機の平日の場合の生活フィットプラン [3] を使用する。表1に電気料金プランの詳細を示す。

また、売電価格は経済産業省資源エネルギー庁が定める固定価格買取制度 (平成 29 年度)[4] に従い、25 円/kWh とする。

表1 生活フィットプラン (平日)

時間帯	時間 (h)	電気料金 (円/kWh)
ナイトタイム	0~7, 22~23	19.03
ライフタイム	8, 18~21	23.83
デイトタイム	9~17	30.77

3 蓄電池の最適運用法の計算

3.1 目的関数

蓄電池の最適運用のために、以下の目的関数を最大化することを考える：

$$\sum_{h=0}^{23} p(h). \quad (2)$$

ただし、 $p(h)$ は時刻 h における家庭の利益を示す。 $p(h)$ が正ならば利益、負ならば電力会社への電気料金の支払いを意味する。したがって、目的関数 (2) は家庭の 24 時間 (1 日) の利益を示す。

3.2 制約条件

以下の制約条件をおく：

$$s(h) \geq z(h) \quad (0 \leq h \leq 23), \quad (3)$$

$$R(0) = 0.3, R(h+1) = R(0) + \sum_{k=0}^h r(k) \quad (0 \leq h \leq 23), \quad (4)$$

$$0.3 \leq R(h) \leq 3.0 \quad (0 \leq h \leq 23), \quad (5)$$

$$\sum_{h=0}^{23} r(h) = 0, \quad (6)$$

$$p(h) \leq 19.03z(h) \quad (0 \leq h \leq 7, 22 \leq h \leq 23), \quad (7)$$

$$p(h) \leq 23.83z(h) \quad (h = 8, 18 \leq h \leq 21), \quad (8)$$

$$p(h) \leq 30.77z(h) \quad (9 \leq h \leq 17), \quad (9)$$

$$p(h) \leq 25z(h) \quad (9 \leq h \leq 17). \quad (10)$$

制約条件 (3) は、国の電力買取制度に従い電力売買量 $z(h)$ が太陽光発電量 $s(h)$ を越えないことを意味する。制約条件 (4) は、蓄電池の充電量 $R(h)$ の定義を与える。制約条件 (5) は、蓄電池の充電量の上限と下限を表す。制約条件 (6) は、時刻 $h=0$ と時刻 $h=24$ (翌日 0 時) で蓄電池の充電量が同じであることを示す。これは各日の 0 時における蓄電池への充電量 $r(h)$ を均一にするためである。制約条件 (7), (8), (9) は、先述した電気料金プランをもとに定めた制約である。制約条件 (10) は売電価格による制約である。

3.3 最適化問題への帰着

$0 \leq h \leq 23$ における太陽光発電量 $s(h)$ と電力需要量 $d(h)$ が与えられたとき、蓄電池への充電量 $r(h)$ が定めれば、式 (1) より、電力売買量 $z(h)$ が定まる。したがって、先述した制約条件のもとで目的関数を最大化する問題は $r(h)$ と $p(h)$ を変数とする最適化問題であり、これは線形計画問題として解ける。これを解くことにより、1日の蓄電池の最適運用法が得られる。

4 複数日で共通して使える蓄電池の最適運用法

太陽光発電量 $s(h)$ と電力需要量 $d(h)$ は気象条件と生活パターンに左右されるため、その量をあらかじめ予想することは難しい。そこで、過去の太陽光発電量 $s(h)$ と電力需要量 $d(h)$ をもとに数日間でも共通して使える蓄電池の最適運用法を求め、それを異なる太陽光発電量 $s(h)$ と電力需要量 $d(h)$ をもつ複数の日に適用したときの効果を確認する。岩田・大石の研究 [1] では、蓄電池の最適運用法は太陽光発電量 $s(h)$ よりも電力需要量 $d(h)$ の影響を受けると結論付けられている。つまり、電力需要量 $d(h)$ が大きく異なる複数の日に共通した蓄電池の運用法を適用することは適切ではないと考えられる。

本研究では、まずはじめに、太陽光発電量 $s(h)$ と電力需要量 $d(h)$ をもとに、4つのパターンに属す日（平日）をそれぞれ5日ずつ用意する。表2に詳細を示す。

表2 4つのパターン

パターン	内容
A	晴天で住人が在宅の平日5日間
B	晴天で住人が不在の平日5日間
C	雨天・曇天で住人が在宅の平日5日間
D	雨天・曇天で住人が不在の平日5日間

次に、パターンAでの蓄電池の最適運用法を求める。先述した目的関数を5日間の利益の合計に入れかえ、制約条件を5日間すべての日に対して成立するようにする。そこから得られた蓄電池の最適運用法を適用した結果を図2に示す。これはパターンAのある1日を表している。

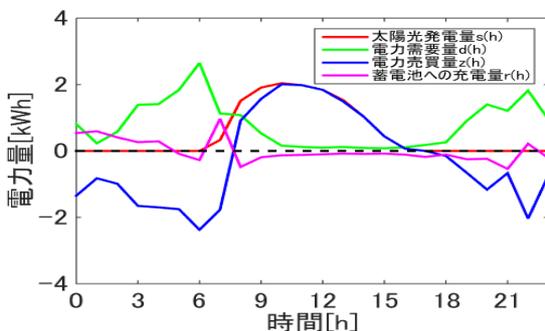


図2 パターンAのある1日

続いて、パターンAで導き出された蓄電池の最適運用法（図2の $r(h)$ ）をパターンB, C, Dに適用したときの効果を確認する。パターンAでの蓄電池の最適運用法をパターンB, C, Dに適用した場合の利益と、各パターンそれぞれで蓄電池を最適運用した場合の利益を表3にまとめ

た。単位は円である。

表3 利益の比較

パターン	Aの運用法を適用	最適運用	損得
B	1036.5	1167.5	-131.0
C	-1954.5	-1913.6	-40.9
D	-469.5	-336.3	-133.2

表3より、パターンB, C, DにパターンAの運用法を適用すると、それぞれで最適運用をした場合より損をすることがわかるが、特にパターンCでの損失に比べてパターンB, Dでの損失が大きいことがわかる。パターンB, Dに共通していることは住人が不在であり、電力需要量 $d(h)$ が極めて少ないことである。住人が在宅して、電力需要量 $d(h)$ が大きいパターンAでの蓄電池の最適運用法を適用したことで大きな損失が出たと考えられる。これは岩田・大石の研究 [1] における蓄電池の最適運用法は電力需要量 $d(h)$ に大きく影響されるという結論に合致する。

次に、パターンCでの損失に着目する。パターンAとパターンCの違いは、天候が晴天か雨天・曇天か、つまり太陽光発電量 $s(h)$ の大小である。パターンB, Dでの損失に比べ、パターンCでの損失が小さいことから、太陽光発電量 $s(h)$ による影響は少ないことがわかる。

以上の結果より、蓄電池の最適運用法の構築は太陽光発電量 $s(h)$ の大小（気象条件）よりも電力需要量 $d(h)$ の大小（生活パターン）に注意する必要があることがわかる。

また、パターンBの運用法をパターンA, C, Dに適用するなど全ての場合を試したが、同様の結果が得られた。

5 おわりに

本研究では、太陽光発電パネルと家庭用蓄電池を備える家庭において家庭用蓄電池の最適運用法の構築と検証を行った。結果として、蓄電池の最適運用法は太陽光発電量（気象条件）よりも電力需要量（生活パターン）に依存することがわかり、岩田・大石の予想 [1] を実証することができた。したがって、すべての日に共通して使えるような蓄電池の最適運用法の構築は難しい。しかし、天候ではなく住人の在宅・不在に合わせて蓄電池の最適運用法を構築することである程度の対応が可能と考える。

参考文献

- [1] 岩田拓海, 大石泰章: 家庭用蓄電池の最適運用とそのロバスト性, 第61回システム制御情報学会研究発表講演会予稿集, 京都, 2017.
- [2] 尾添俊介, 田中洋一, 福島雅夫: リソース付きの確率混合整数計画法によるスマートハウスの運用最適化, 電気学会論文誌B, Vol. 131, No. 11, pp. 885-895, 2011.
- [3] 株式会社 洗陽電機: 生活フィットプラン, <https://www.k-epco.net/plan>
- [4] 経済産業省資源エネルギー庁: 固定価格買取制度, http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/kakaku.html