

太陽電池を備えたスマートハウスにおける蓄電池の最適運用法

2013SE064 岩田拓海

指導教員：大石泰章

1 はじめに

家庭内のエネルギー供給を管理・制御することのできる住宅，スマートハウスが近年注目を集めている．無駄な消費をなくし，環境問題にも貢献できるものとして研究が進められている．

スマートハウスが管理するエネルギーの種類のうち，代表的なものに太陽光エネルギーがある．太陽光発電では余った電力を売ることができ，その世帯の利益とすることができる．しかし，この太陽光発電にはデメリットがある．それは発電量・発電時間帯が天候に左右されるため，電力を安定的に供給することができないことである．

このデメリットを補う役割として期待できるのが，家庭用蓄電池である．蓄電池を導入することによって，太陽光発電では賄うことができない分の電力を，充電しておいた電力で補うことができる．これによって省電力化，さらに電力コストの減少，すなわち利益の増加が期待できる．

本研究では，太陽電池と家庭用蓄電池を持つ家庭一世帯における，電力コストの最小化すなわち利益の最大化を行う方法について考える．まず，この家庭の電力使用をモデル化し，蓄電池の最適運用の問題を線形計画問題に定式化する．電力料金プランは時間帯ごとに料金単価が異なるものを使用する．これにより，電力料金の安い時間帯に蓄電池に充電しておき高い時間帯に放電することで，電力コストを安く抑えることが可能となる．また，天候や電力需要量が異なる複数の日に共通に使えるような，ロバスト性をもつ充電・放電のパターンを求める．

2 問題設定

2.1 HEMS の概要

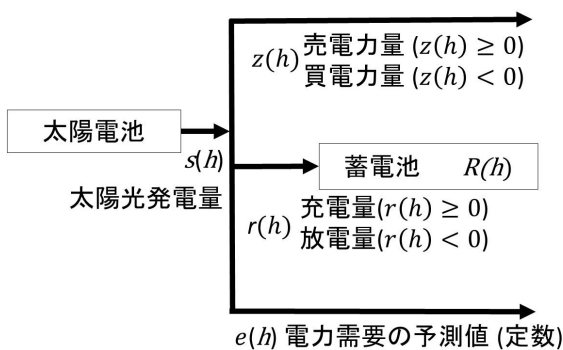


図1 太陽電池・蓄電池を組み込んだ HEMS

スマートハウスの運用に関する尾添らのモデル [1] に基づいて，太陽電池・蓄電池を用いた HEMS (Home Energy Management System) のモデルを図1のように設定した．

$s(h)$, $z(h)$, $r(h)$, $e(h)$ はそれぞれ太陽光発電電量，電力会社への売電電量 (値が負のときは電力会社からの買電力

量)，蓄電池への充電電量 (値が負のときは蓄電池からの放電電量)，電力需要の予測値 (定数) を表す．また h は各時間帯を表す．たとえば， $h = 0$ はある日の0時から1時まで， $h = 1$ は1時から2時を意味する．図1にあるように，以下のエネルギー保存が成り立つ：

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

また，国の買取制度に従い，売電電量が太陽光発電電量を超えることはないものとする．すなわち， $s(h) \geq z(h)$ である．また $R(h)$ は，時刻 h に蓄電池に充電されている電力量を表す．ただし， $R(0)$ は初期値として設定し， $R(h+1) = R(0) + \sum_{k=0}^h r(k)$ が成り立つものとする．

2.2 電力料金プラン

電気料金プランにはさまざまなものがあるが，今回は深夜帯は高く日中は安くなるような時間によって価格が変動する電力プラン，具体的には中部電力のスマートライフプランの平日の場合を使用する [2]．時間区分ごとの料金単価は，表1の通りである．

表1 中部電力の料金プラン (平日)

時間帯の名称	時間区分 (h)	料金単価 (円)
ナイトタイム	0~8, 22~23	16
@ホームタイム	8~10, 17~22	28
デイタイム	10~17	38

3 定式化

太陽電池を備えたスマートハウスにおける蓄電池最適運用問題の定式化を行う．

3.1 目的関数

以下の目的関数を最大化することを考える：

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

$\varphi(h)$ は時刻 h における電力の料金単価を表し，表1に従って定める．式 (2) の目的関数は，24 時間の電力会社からの支払い金額の合計を表している．値が正である場合は利益，負である場合はコストを意味する．式 (2) では売電の場合の料金単価を買電の場合のそれに等しいとしており，現実とは異なるが，目的関数を線形化するためにこのようにしている．

3.2 制約条件

制約条件として，次をおく．ただし， $s(h) = z(h) + r(h) + e(h)$, $R(h+1) = R(0) + \sum_{k=0}^h r(k)$ である：

$$s(h) \geq z(h), \quad (3)$$

$$R_{\min} \leq R(h) \leq R_{\max}, \quad (4)$$

$$\sum_{h=0}^{23} r(h) = 0. \quad (5)$$

式 (3), 式 (4), 式 (5) の制約条件について説明する. 式 (3) は売電力量が太陽光発電量を超えないことを意味する. 式 (4) は, 時刻 h において蓄電池に充電されている電力量の上限と下限についての制約である. 式 (5) は時刻 $h = 0$ と $h = 24$ で, 蓄電池に同じ電力量が充電されていることを表す. これは各日の 0 時における蓄電池の充電量の均一化を図るためのものである. 式 (3), 式 (4), 式 (5) の制約条件のもとで式 (2) の目的関数を最大化するような $r(h)$ ($h = 0, 1, \dots, 23$) を求める問題は線形計画問題であり, これを解くことによって最適な充電・放電パターンを求めることができる.

3.3 複数の日における最適化の場合

天候や生活のパターンが全く同じ日は存在せず, 過去のデータをそのまま適用して最適化を行っても, その充電・放電パターンは実際に使うことができない. そこで, 太陽光発電量 $s(h)$, 電力需要量 $e(h)$ が異なる複数の日に対して最適化を行い, 共通の充電・放電パターンを考える.

目的関数は該当するすべての日における電力会社からの支払い金額の合計を最大化することで行う. また, 制約条件は式 (3) を日数分追加し, すべての日で制約条件が成り立つようにする.

4 シミュレーション

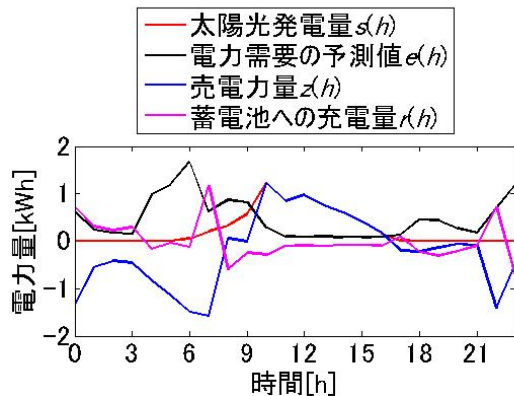


図2 太陽光発電量 $s(h)$, 電力需要の予測値 $e(h)$, 売電力量 $z(h)$, 充電量 $r(h)$ の推移

ある家庭の時間ごとの太陽光発電量・電力需要量のデータを $s(h)$, $e(h)$ とし, 最適化問題を解くことで図2の結果を得た. ある1日間の利益は蓄電池を使わないとしたときは -20.74 円であったが, 充電・放電パターンを最適化したときは 16.26 円となり, 蓄電池が有効であることがわかる. 充電量の推移に注目すると7時に充電され, 8時に放電されている. これは料金プランにおいて7時と8時を境に料金が高くなるためである.

また, 共通の充電・放電パターンについては太陽光発電

量 $s(h)$, 電力需要量 $e(h)$ の異なる2日分のデータを使った最適化を2パターン行う. どちらにも共通して扱うデータをデータ α とする. これは晴天の平日のデータである. 組み合わせるもう片方のデータはそれぞれ, 曇天であってデータ α よりも太陽光発電量 $s(h)$ が大幅に少ないデータ β と, 住人が不在のためデータ α よりも電力需要量 $e(h)$ が大幅に少ないデータ γ とした. 1日ずつ最適化を行った場合の電力会社の支払い金額と, 複数の日をまとめて最適化を行った場合の1日当たりの支払い金額とで, どれだけの差が出るのかを検証した. 検証結果は表2のようになった. 表2から1日ずつで最適化した金額と複数の日にわたって最適化した金額の差は, α , γ での最適化の場合の α のときに大きい. その理由は, 使われる電力に応じて放電できる量が決まるため, 各時間の充電量・放電量が電力需要量に大きく左右されるためと考えられる. つまり電力需要量に差があると, 共通の充電・放電パターンが使えないことがわかる.

このことから, この充電・放電パターンの場合分けを電力需要量 (生活パターン) によって行い, それに応じた充電・放電パターンを適用することで, 支払い金額を安く抑えることが可能である. また, 充電・放電パターンは逆に天候にはあまり左右されないことがわかった.

表2 1日のみと複数の日で最適化した支払い金額の比較

データ	1日 (円)	複数日 (円)	差額 (円)
α	16.26	14.26	2.00
β	74.40	70.30	4.10
α	16.26	5.48	10.78
γ	166.82	163.30	3.52

5 おわりに

本研究では, 一世帯における太陽光発電量および電力需要量に基づいた蓄電池の運用を最適化問題に定式化し, 利益の最大化とそれを実現する充電・放電パターンを求めた. また, 複数の日における最適化を行い, 共通して使える充電・放電パターンを求めた. その結果, 支払い金額の合計は太陽光発電量 (天候) にはあまり左右されず, 電力需要量 (生活パターン) に大きく影響されることが確認できた.

現実の買取制度では蓄電池を持つ住宅では電力の料金単価が売電のときと買電のときとで異なるので, それを考慮した問題設定およびシミュレーションを行うことが今後の課題である.

参考文献

- [1] 尾添俊介, 田中洋一, 福島雅夫 (2011) : リコ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.
- [2] 中部電力株式会社-スマートライフプラン: https://www.chuden.co.jp/home/home_menu/home_basic/smart/index.html