

独立型スマートハウスにおける最適設備容量

宮里 泰明* 千住 智信*

(*琉球大学工学部)

1 まえがき

近年，地球環境の問題解決のために，太陽光発電 (PV) のような再生可能エネルギーの導入が進められてきた。しかし，電力系統における接続可能量の制限や固定価格買取制度 (FIT) の価格低落などにより，新規導入が停滞している。また，離島を有する地域では，燃料の輸送コストなどにより電力価格が高価となる。一方で，PV や定置用蓄電池の価格は減少する傾向にあり，それら設備の導入が容易になっている。

そこで，本研究では，PV，定置用蓄電池，太陽熱利用給湯システム (SC) およびヒートポンプ (HP) を導入し，電力系統から切り離された独立型スマートハウスを提案する。このスマートハウスでは，電力会社から電気を購入せず保有設備のみで運用を行う。また，HEMS (Home Energy Management System) を利用し，住宅で使用する機器を制御可能負荷として協調して運用する。それらの負荷の協調運用による設備容量の削減を本研究で検討した。

2 独立型スマートハウスモデル

図 1 に本研究で想定する独立型スマートハウスを示す [1]。図中の P_{PVt} ， P_{BAAt} ， P_{Lt} ， P_{HPt} はそれぞれ，時刻 t (1 時間単位) における PV 出力 [kW]，定置用蓄電池入出力電力 [kW]，負荷消費電力 [kW] および HP の消費電力 [kW] を示している。また，表 1 にスマートハウスで使用する電化製品の分類を示す。

表 1 電化製品の構成と消費電力量

電化製品	消費電力量 [kWh/h]	分類
その他	0.10 ~ 0.16	固定負荷
冷蔵庫	0.12	
パソコン	0.17	
照明器具	0.1 ~ 0.2	遮断可能負荷
テレビ	0.11 ~ 0.21	
エアコン 1	0.5	
エアコン 2	0.3	
エアコン 3	0.3	
IH	0.5 ~ 1.5	利用時間変更負荷
食洗機	0.74	
電気ポット	0.32	
洗濯機	0.42	
炊飯器	0.23	
掃除機	1.0	
アイロン	0.60	

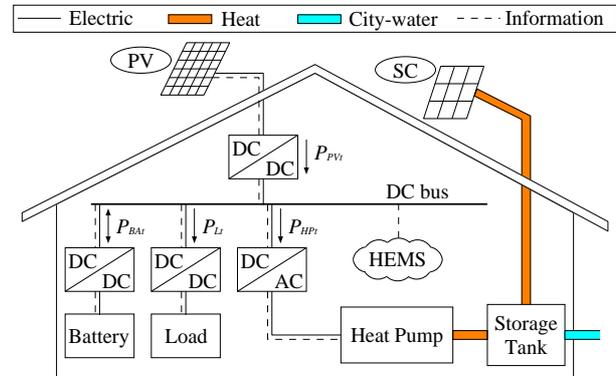


図 1: 独立型スマートハウスモデル

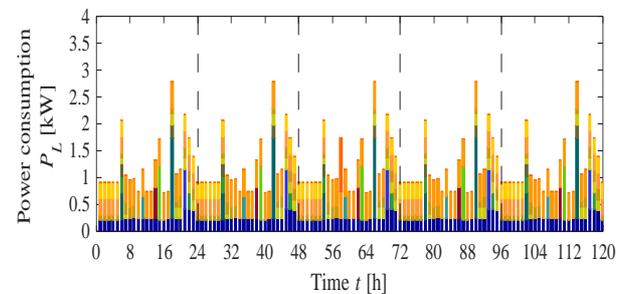


図 2: 初期電化製品使用計画

3 問題の定式化

3.1 目的関数

今回のシミュレーションでは 5 日間の運用を考える。

スマートハウスの電力需給バランスの状態から，以下式が成立する。

$$P_{PVt} + P_{BAAt} - P_{Lt} - P_{HPt} = P_{STt} \quad (1)$$

ここで， P_{STt} は不足電力 [kW] である。

本研究では，図 1 のスマートハウスに導入する PV と定置用蓄電池の設備コストと不足電力率を最小化する，以下の目的関数を設定する。

目的関数：

$$\min C = n_{PV}C_{PV} + n_{BA}C_{BA} \quad (2)$$

$$\min R = \sum_{t=1}^{120} \frac{P_{STt}}{P_{Lt} + P_{HPt}} \times 100 \quad (3)$$

ここで， C は総設備コスト [円]， n_{PV} は太陽光パネル枚数 [枚]， C_{PV} は 5 日間換算した太陽光パネル一枚あたりの価格 [円]， n_{BA} は定置用蓄電池台数 [台]， C_{BA} は 5 日間換算した定置用蓄電池一台あたりの価格 [円]， R は不足率 [%] である。

3.2 制約条件

次に、制約条件として以下を設定する。

制約条件：

$$P_{PVt} \leq P_{PV}^{\text{rated}} \quad (4)$$

$$|P_{BA t}| \leq P_{BA}^{\text{rated}} \quad (5)$$

$$0.2E_{BA}^{\text{rated}} \leq E_{BA t} \leq 1.0E_{BA}^{\text{rated}} \quad (6)$$

ここで、 P_{PV}^{rated} 、 P_{BA}^{rated} は PV の定格出力 [kW]、蓄電池の定格充放電電力 [kW] である。また、 E_{BA}^{rated} 、 $E_{BA t}$ は蓄電池の定格容量 [kWh]、時刻 t における蓄電池エネルギー残像量 [kWh] である。(4) 式は PV 出力が定格値を超えないようにする制約、(5) 式は蓄電池の充放電電力が定格値を超えないようにする制約、(6) 式は蓄電池のエネルギー残存率 (SOC) が 20% ~ 100% 内で運用する制約である。

4 シミュレーション結果

4.1 シミュレーション条件

シミュレーションでは、沖縄県那覇市の気象データを用いて、晴天、曇天、雨天、晴天、晴天の 5 日間を想定した。スマートハウスの熱供給に関して、6 時および 18 時の時点で 50°C、60°C を下回る場合は HP により加熱する。また、シミュレーションを行う各ケースを表 2 に示す。

表 2 各シミュレーション条件

Case	シミュレーション条件
1	電化製品の最適運用なし
2	移動可能負荷の最適運用
3	Case 2 に加えてテレビを遮断可能とする
4	Case 3 に加えてエアコン 3 を遮断可能とする
5	Case 4 に加えて照明器具を遮断可能とする
6	Case 5 に加えてエアコン 2 を遮断可能とする
7	Case 6 に加えてエアコン 1 を遮断可能とする

4.2 シミュレーション結果

図 3 に本シミュレーションで得られたパレート解を示す。この図より、遮断可能負荷の割合を増やすことで設備容量の削減が可能である。また、図 4 ~ 6 に Case 7 で不足電力が 0% になる時のシミュレーション結果を示す。図 4 の電化製品使用計画を見ると、PV 出力がない夜間では不足電力を減少するために機器が遮断されていることが確認できる。図 5 の蓄電池エネルギー残存率は制約条件を満たしていることが確認でき、不足電力が発生しないように運用されている。図 6 より、負荷の大きさに応じて放電していることが確認できる。

5 むすび

本研究では、独立型スマートハウスの設備容量について検討した。想定する遮断可能負荷を増加することによって、設備容量を削減できることを示した。しかし、電化製品を遮断することは居住者に不便を強いることになる。また、不足電力の発生についても不便さであるといえ、設備容量と不便さにもトレードオフの関係があると言える。

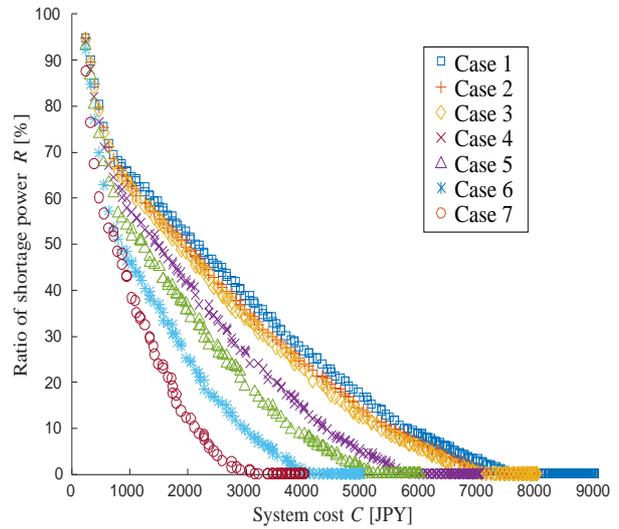


図 3: パレート解

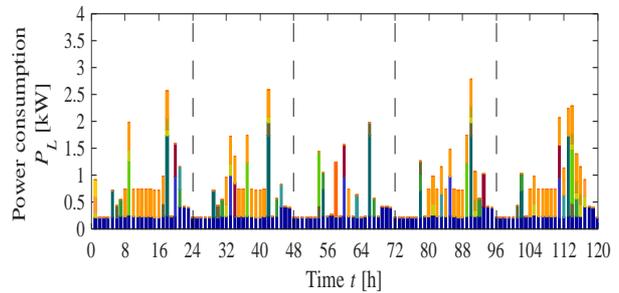


図 4: 電化製品使用計画

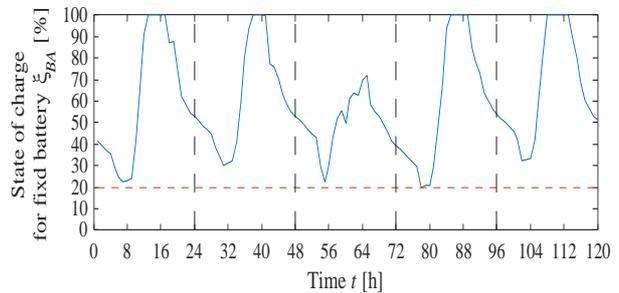


図 5: 蓄電池の SOC

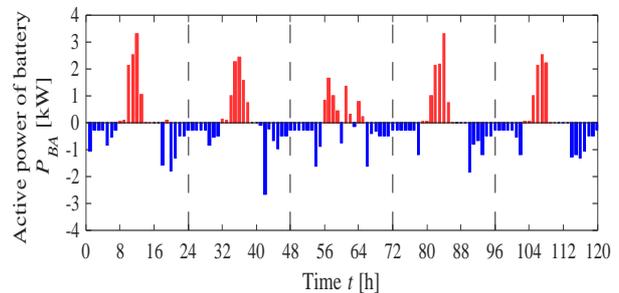


図 6: 蓄電池の充放電電力

参考文献

- [1] 下地翔, 田原隼, 與那篤史, 千住智信, ”独立型スマートハウスにおける設備容量の多目的最適化”, 電気学会九州支部沖縄支所講演会論文集, OKI-2015-44, p.102-109, 2015 年 12 月