

太陽光蓄電池の電力損失を考慮した充放電計画

首都大学東京 ヒューマンメカトロニクスシステムコース
B4 太田 直樹 (児島研究室)

1. はじめに

地球温暖化や火力発電の資源枯渇問題に対し、2030年までに約6400万 [kW] (全電源の7%)^[1]を目標として太陽光(Photovoltaic: PV)発電の導入が進んでいる。

蓄電池システム (Fig.1)

- PV発電の不安定な出力を調整し、系統への供給を安定させる。
- 電力需要とPV発電の予測に基づく充放電計画に沿って運用がなされる。

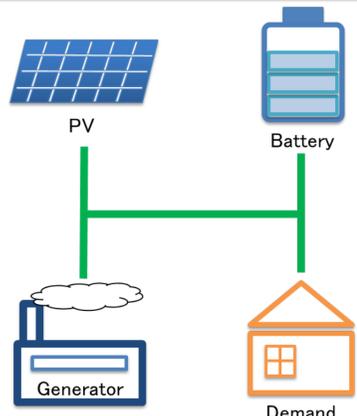


Fig. 1: Photovoltaic battery system.

経済負荷配分制御 EDC (Economic Load Dispatching Control)

電力需要予測に基づき、経済性を考慮して翌日の各火力発電の発電量を決めておく制御^[2]。

研究課題

- 蓄電池の充放電効率は**90%**であり、水力発電や火力発電のエネルギー効率よりも高く、今後積極的に利用される可能性が高い。

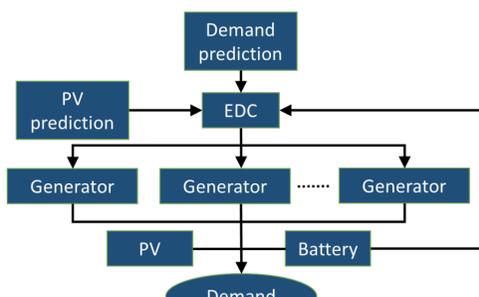


Fig. 2: EDC model.

研究目的

本研究では、蓄電池の充放電効率に対応した系統の運用計画を作成し、運用計画と発電コストとの関係性を考察する。

2. 制御対象と計画法

充放電効率を反映させたモデルをまとめ、火力発電機の発電コスト(燃料費関数)に着目した蓄電池の計画方法について示す。

蓄電池モデル

$$x_{(n+1)} = x_{(n)} - \delta_{(n)}^{\text{out}} + \delta_{(n)}^{\text{in}}$$

$x_{(n)}$	蓄電量 [GWh]
$\delta_{(n)}^{\text{in}}, \delta_{(n)}^{\text{out}}$	充放電量 [GWh]

- 1ステップ後の蓄電量を、現在の蓄電量と充放電量によって表現する。

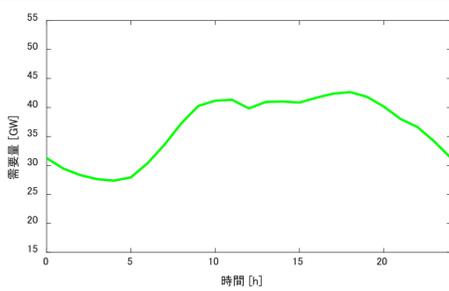


Fig. 3: Power demand.

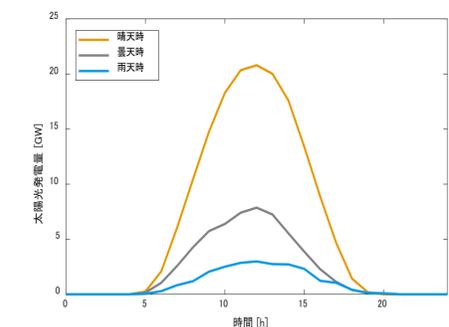


Fig. 4: PV power generation.

需給バランス

$$w_{(n)} = u_{(n)} + \eta^{\text{out}} \cdot \delta_{(n)}^{\text{out}} - \frac{1}{\eta^{\text{in}}} \cdot \delta_{(n)}^{\text{in}}$$

$w_{(n)}$	電力需要量とPV発電量の差 [GW] (ネット需要)		
$u_{(n)}$	火力発電量 [GW]	$\eta^{\text{in}}, \eta^{\text{out}}$	充放電効率

- 発電量と充放電効率を掛けた充放電量の和をネット需要と一致させる。

計画法

燃料費関数^[3,4]

$$\sum_{n=0}^{l-1} a_2 u_{(n)}^2 + a_1 u_{(n)} + a_0$$

- a_2, a_1, a_0 は火力発電機の資源や出力特性によって異なる。

- 燃料費関数を最小にする $u_{(n)}$ を二次計画問題により求め、蓄電計画を作成する。

二次計画問題

$$\begin{aligned} &\text{minimize} && \frac{1}{2} \mathbf{x}^T \mathbf{Q} \mathbf{x} + \mathbf{c}^T \mathbf{x} \\ &\text{subject to} && \mathbf{A}_1 \mathbf{x} \leq \mathbf{b}_1, \mathbf{A}_2 \mathbf{x} = \mathbf{b}_2 \end{aligned}$$

目的関数が二次関数で、制約式が線形の等式と不等式で表せるとき目的関数を最小化する問題。

3. シミュレーション

電力需要 (Fig. 3) と3通りのPV発電量 (Fig. 4) からネット需要を作成し、EDCに基づいたシミュレーションを行う。また、2通りの燃料費関数の係数から発電コストを算出する。

シミュレーション結果

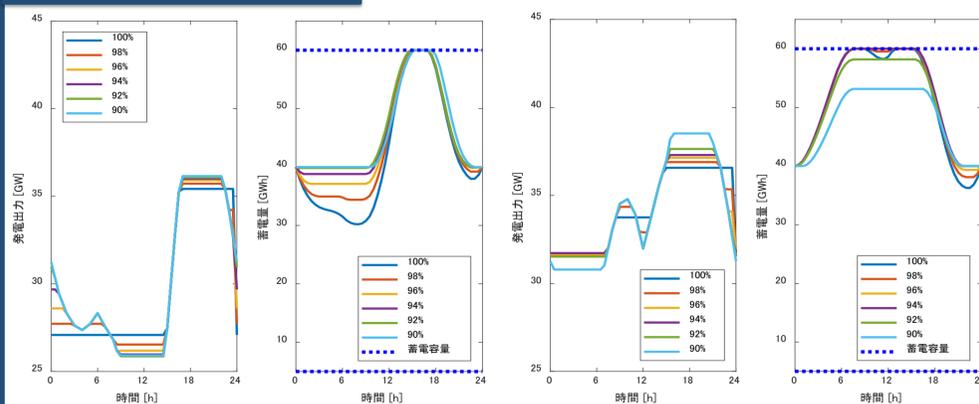


Fig. 5: Schedule (sunny).

Fig. 6: Schedule (cloudy).

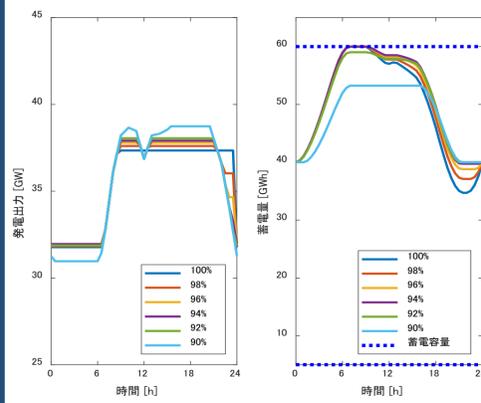


Fig. 7: Schedule (rainy).

- PV発電量が少ない場合は日中でも蓄電量が高く保たれている。
- 充放電効率が改善されるにしたがって蓄電池の充放電量が大きくなっており、大容量の蓄電池の有用性が確認できた。

発電コスト

Table1: Power cost (1).

単位: 万円

効率	晴天時	曇天時	雨天時
96%	2,632,304	3,346,897	3,605,968
98%	2,625,384	3,340,111	3,598,922
100%	2,617,399	3,332,698	3,591,324

火力発電機の特性

資源: 石油
定格出力: 250 [MW]
下限出力: 50 [MW]

Table2: Power cost (2).

単位: 万円

効率	晴天時	曇天時	雨天時
96%	1,049,335	1,328,226	1,429,037
98%	1,046,647	1,325,590	1,426,301
100%	1,043,536	1,322,708	1,423,347

火力発電機の特性

資源: LNG
定格出力: 700 [MW]
下限出力: 140 [MW]

充放電効率の改善により充放電量が大きくなることで火力の発電量が減るため、効率を2%改善するとコスト(1)では約**0.21%**(6600万円)、コスト(2)では約**0.21%**(2500万円)削減されることを確認した。

4. おわりに

- 蓄電池の充放電効率を反映したモデルを用いて、EDCに基づく充放電計画を作成した。加えて、燃料費関数から発電コストを算出し充放電効率を改善することで経済的にどの程度効果が得られるかを評価した。

今後の展開

- 蓄電池の劣化状態を数式的に表し、充放電効率に加え蓄電池の劣化を抑えることを考慮した蓄電計画を作成する。

本研究は、JST CREST JPMJCR15K1の援助のもと行われた。

参考文献

- [1] 経済産業省エネルギー庁, 長期エネルギー需給見通し, 2015.
- [2] 長谷川 他, 電力系統工学, 電気学会, 2002.
- [3] 小池 他, 調整用火力コスト最小化に向けた不確かな太陽光発電予測に基づく蓄電池の充放電計画, 電気学会論文誌 B, Vol. 134, No. 6, pp. 545-557, 2014.
- [4] 益田 他, 太陽光発電予測誤差が原因となる供給支障電力と余剰電力の評価, 電気学会誌 B, (電力・エネルギー部門誌), Vol. 134, No. 4, pp. 286-295, 2014.