

# 電線温度制約を考慮した太陽光蓄電池の充放電制御

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 川久保志朗 (児島研究室)

## 1.はじめに

温室効果ガス排出量削減, エネルギー安定供給を目的として太陽光発電 (PV発電) の大量導入が進められている。

### 太陽光発電の課題

天候に依存するため不安定な出力特性をもち, 天候予測の不確かさと合わせて需給バランスを保てなくなる可能性がある。

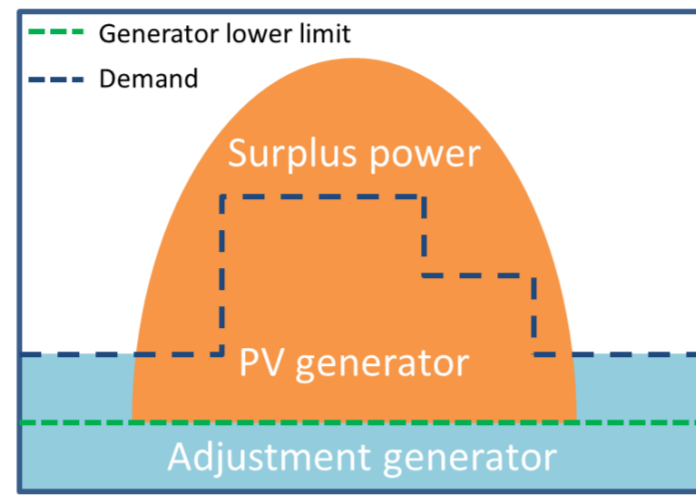


Fig. 1 Surplus power

### 先行研究

- 許容電流の代わりに電線温度制約を用いることで短時間の出力変動対応できる[1].
- PV発電大量導入時の経済負荷配分制御 (EDC) においてPV発電の不確かさを考慮した計画法(EDC回復則)が検討されている[2].

EDC回復則に電線温度制約を用いることにより, 緊急時の運用計画, 回復可能条件を的確に評価する。

### 経済負荷配分制御 (EDC)

常に需要と発電合計を等しく保ちながら最も発電コストが安くなるように各発電機の出力を決定する制御。

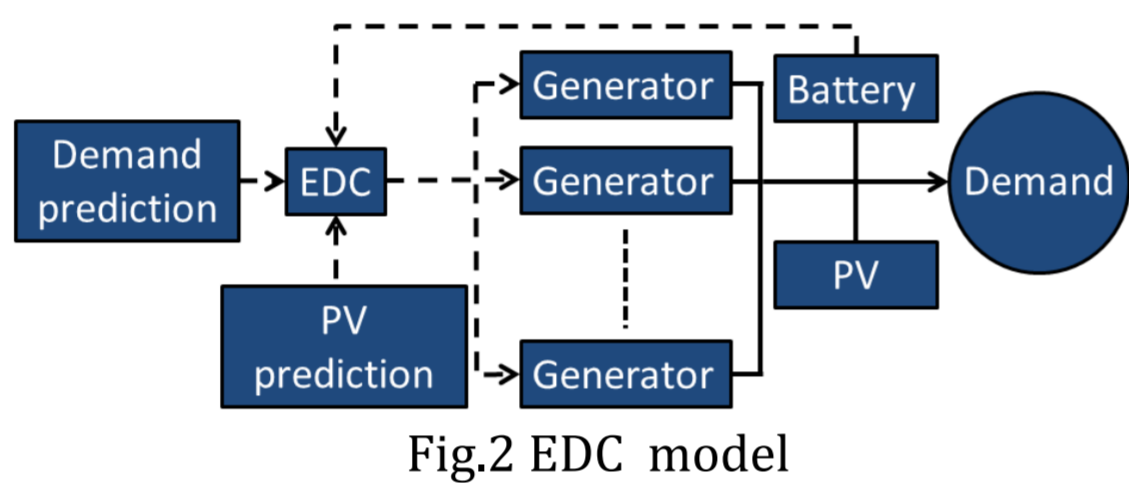


Fig. 2 EDC model

## 2.電線温度モデル

電線温度制約を用いた経済負荷配分制御を構築するために電線温度の厳密式より予測モデルを導出する。

### 厳密モデル[3]

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{I^2 \beta R_{dc} \times 10^{-5} + W_s d\eta_1 - \pi d K_m \theta}{C}$$

Heat absorption by solar radiation ②  
Heat generated by current ①  
Heat dissipated by convection ③  
Heat dissipated by radiation ③

### 温度予測モデル

$$\theta_{t+1} = A_d \theta_t + B_d I_t^2 + a_d$$

係数  $A_d, B_d, a_d$  は過去の最悪気象条件を用いて定義[3]

EDCに温度予測モデルを適応するため, 2次計画問題と親和性の高い線形近似モデルと厳密に評価できるLMI条件を導く。

### (A) 線形近似を用いた予測モデル

$$\theta_{t+1} = A_d \theta_t + B_d I_t^2 + a_d, I_t^2 \leq \alpha I_t + \beta$$

$$\theta_{t+1} = A_d \theta_t + B_d (\alpha I_t + \beta) + a_d$$

予測モデルに温度制約  $\theta_{\max} \geq \theta_t, \forall t$  を設ければ, 電線温度予測制約となる。

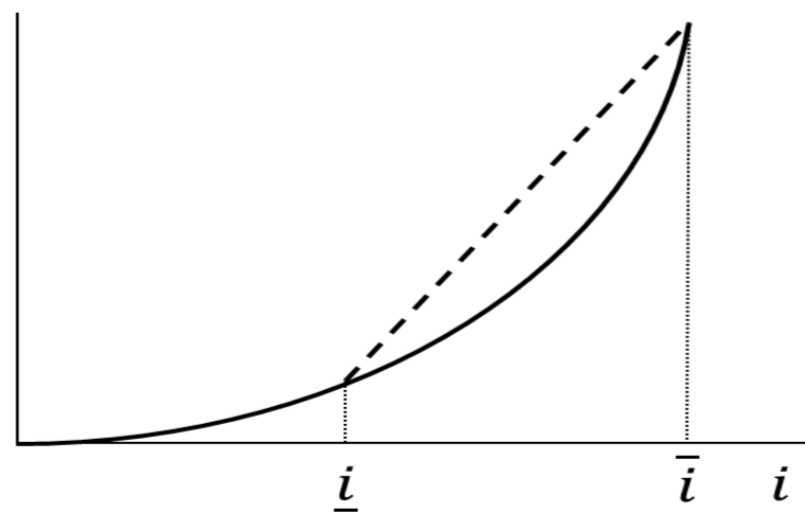


Fig. 4 Liner approximation

### (B) LMI条件を用いた予測制約モデル

Shur の補題より電線温度予測制約をLMI条件によって表す。

時刻t=1のとき

$$\begin{bmatrix} \theta_{\max} - A_d \theta_0 - a_d & I_0 \\ I_0 & B_d^{-1} \end{bmatrix} \geq 0$$

時刻t=2のとき

$$\begin{bmatrix} \theta_{\max} - A_d^2 \theta_0 - A_d \theta_0 - a_d & I_0 & I_1 \\ I_0 & (A_d B_d)^{-1} & 0 \\ I_1 & 0 & B_d^{-1} \end{bmatrix} \geq 0$$

時刻t=nのとき

$$\begin{bmatrix} P_t & S_t \\ S_t & Q_t \end{bmatrix} \geq 0$$

$$S_t := [I_0, I_1, \dots, I_{t-1}],$$

$$P_t := \theta_{\max} - A_d^n \theta_0 - \sum_{k=1}^t A_d^{k-1} a_d,$$

$$Q_t^{-1} := \text{blockdiag}(A_d^{t-1} B_d, A_d^{t-2} B_d, \dots, B_d)$$

## 3.数値例

電線温度モデルを1) 系統の発電計画, 2) EDC 回復則の設計に適用し, EDC シミュレーションを行う。電線温度制約下における回復可能性とその有用性を評価する。

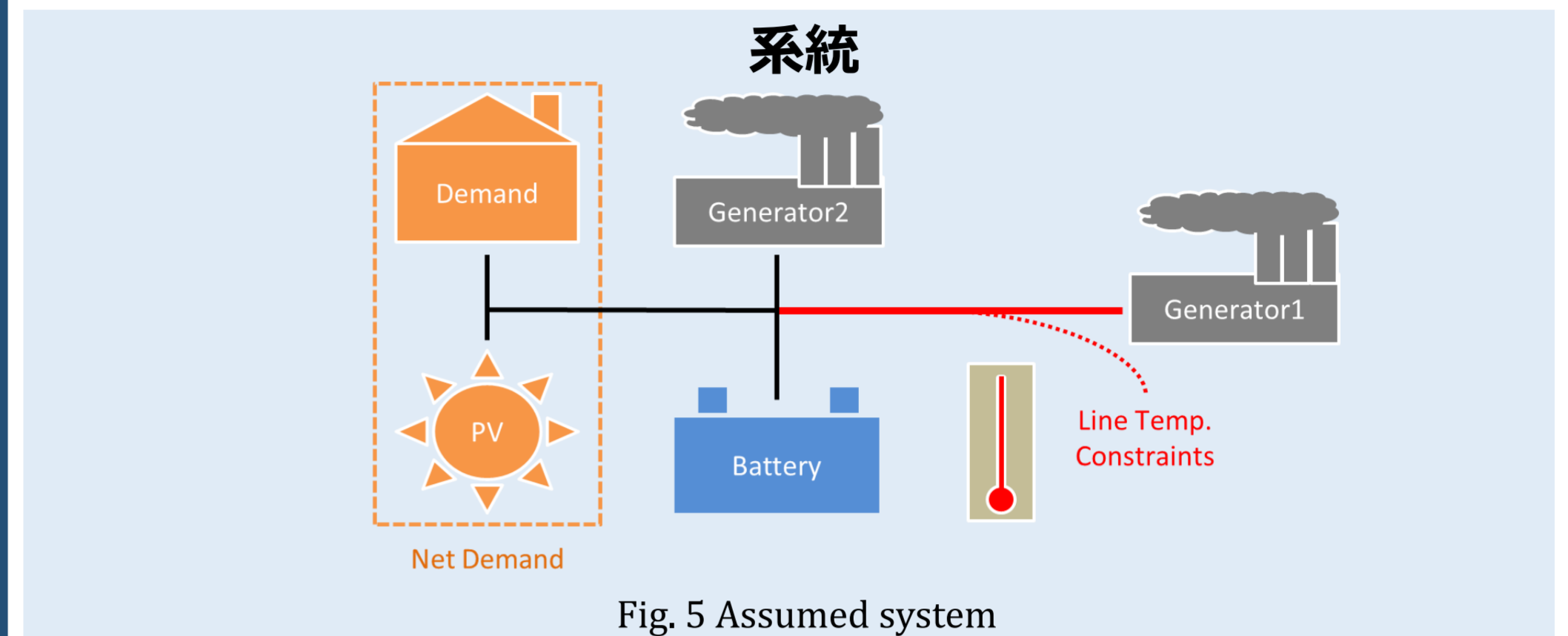


Fig. 5 Assumed system

### 制約条件

$$\text{蓄電量 } x_{\min} \leq x \leq x_{\max} \text{ [GWh]}$$

$$\text{変化量 } \Delta x_{B_{\min}} \leq \Delta x_B \leq \Delta x_{B_{\max}} \text{ [GW]}$$

$$\text{発電量 } u_{\min} \leq u \leq u_{\max} \text{ [GW]}$$

$$\text{電線温度 } \theta \leq \theta_{\max} \text{ [}^\circ\text{C]}$$

### 燃料費関数

$$J = \sum (a u^2(t) + b u(t) + c)$$

a, b, c: 燃料費係数

### 1) 系統の発電計画

モデル(A) は線形近似により上昇温度を保守的に評価したため, 蓄電池により多くの放電が求められている。モデル(B) はより適切に発電コストを抑制できている。

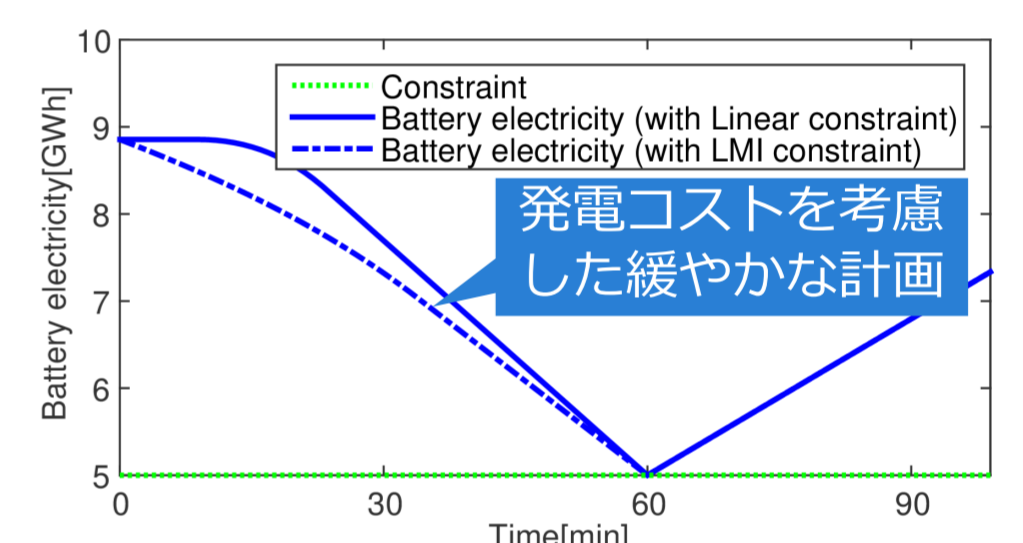


Fig. 6 Linear constraint vs. LMI constraint

### 2) EDC 回復則の設計

電線温度制約を用いて回復可能領域を評価した場合, 許容電流を用いて評価した場合と比較してより広い回復可能領域が得られることが確認できる。よって電線温度制約に着目することで, より柔軟な運用が可能になることが確認される。

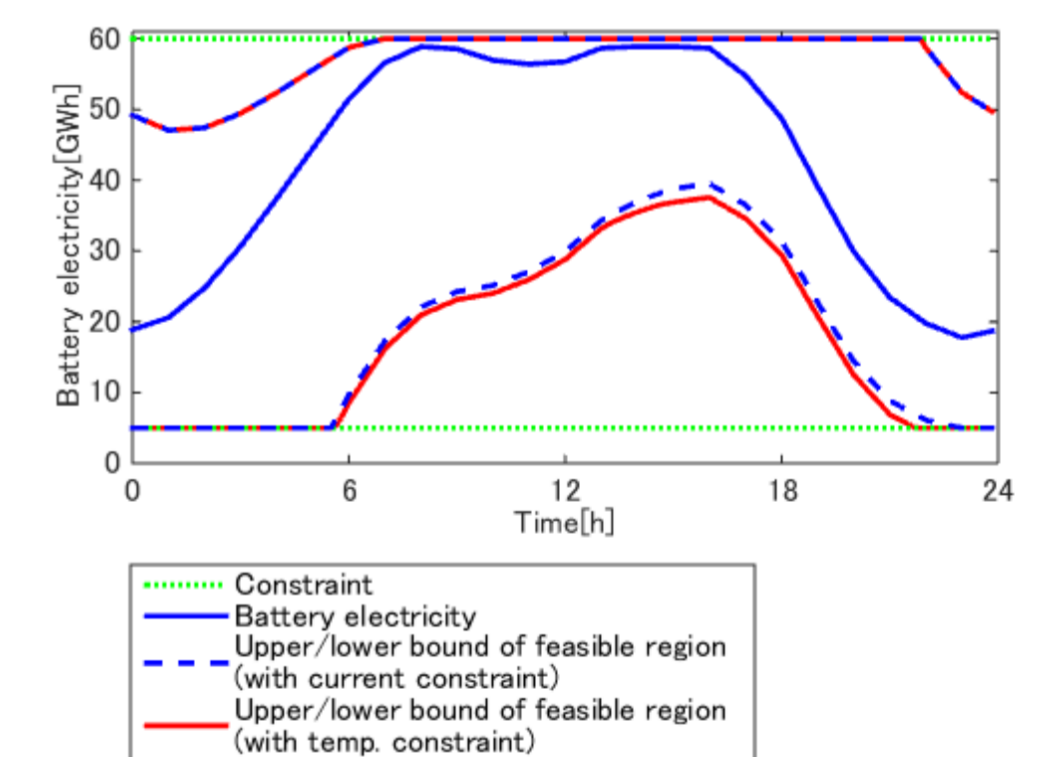


Fig. 7 Simulation results of EDC recovering

## 4.まとめと展望

- 温度モデル (線形近似, LMI条件) の検討とその評価を行った。
- 電線温度制約をEDC回復則の設計に適用し, その有用性を評価した。
- 今後は需給の不確かさを考慮したEDC回復則の設計に電線温度制約を利用し, その有用性を評価する。

## 参考文献

- 杉原 英治, 山口 順之, 船木 剛, 出力変動型電源大量導入時における電線温度型送電容量制約の適用に関する基礎的検討, 電気学会全国大会, 199/200(2015)
- 端倉弘太郎, 小浦弘之, 梅田勝矢, 児島晃, 太陽光発電大量導入時の蓄電レベル制御: 周期的ロバストモデル予測制御の提案, 計測自動制御学会論文集, Vol.51, No.9, 614/626(2015)
- 確率論的電気容量決定手法調査専門委員会, 架空送電線の電流容量, 電気学会技術報告660号(1997)