

太陽エネルギー学会太陽光発電部会 第5回セミナー

電力系統運用における発電予測の影響評価

益田泰輔
(産業技術総合研究所)

2013. 8. 5



Socio-economics and Policy Study Group, Energy Technology Research Institute, AIST

■ 発表の構成

2

- I. 背景
- II. 発電予測と電力系統需給制御
- III. 研究内容紹介
 - i. 太陽光発電の出力予測
 - ii. 経済負荷配分制御(EDC)
 - iii. シミュレーション
- IV. まとめと今後の課題

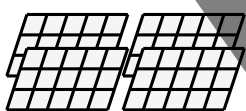


Socio-economics and Policy Study Group, Energy Technology Research Institute, AIST

- I. 背景
- II. 発電予測と電力系統需給制御
- III. 研究内容紹介
 - i. 太陽光発電の出力予測
 - ii. 経済負荷配分制御(EDC)
 - iii. シミュレーション
- IV. まとめと今後の課題

■背景

太陽光発電の大量導入



- 東日本大震災
- 固定価格買取制度



電圧変動, 需給不均衡

経済負荷配分制御(EDC)

- ・ 火力・水力発電の出力調整で需給バランスを維持
- ・ 燃料費などの運用コストを最小化

これからの電力系統

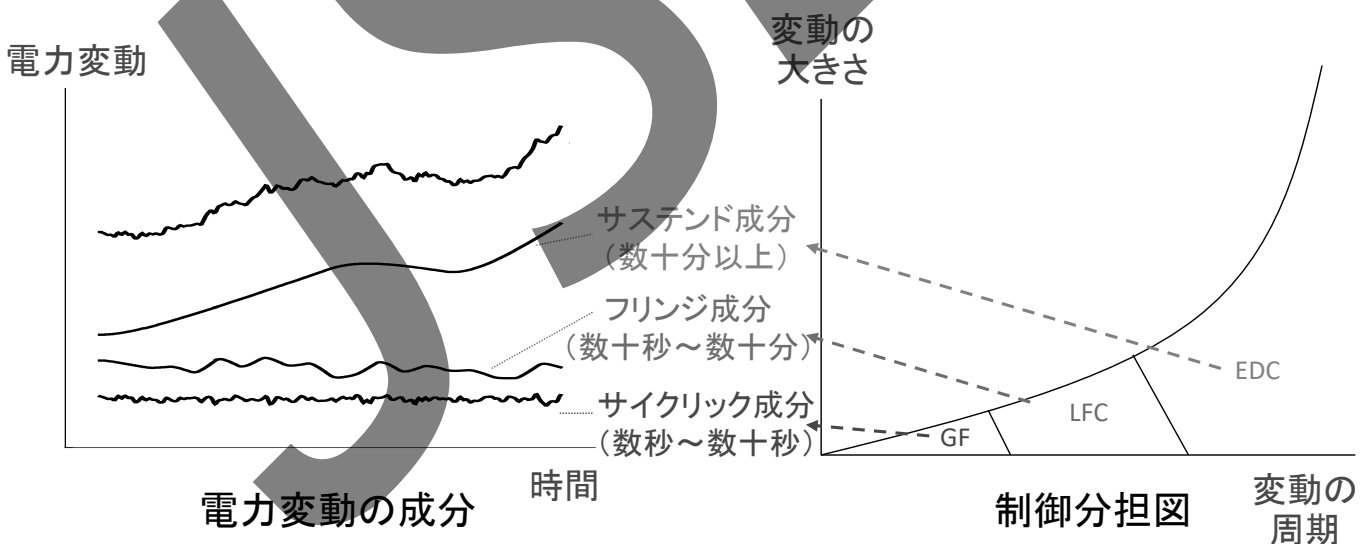
- ・ 全電源に占める太陽光発電の割合が増大
- ・ 供給支障・余剰電力が発生する可能性

太陽光発電の出力予測

予測を用いたEDC

- I. 背景と目的
- II. 発電予測と電力系統需給制御
- III. 研究内容紹介
 - i. 太陽光発電の出力予測
 - ii. 経済負荷配分制御(EDC)
 - iii. シミュレーション
- IV. まとめと今後の課題

■電力系統需給制御



火力発電の出力制御による需給調整

がC(trauthre運転Control)

- 調速機電働令所が需給電機の内省自動判書減可制纏を計算荷配各発電機計算制御構御信号信号と送信送信

第1段階
【前日】

1日前予測で24時間の起動停止計画を作成

何時から何時まで動かすかを発電機ごとに決定

1日

第1.5段階

数時間前予測で発電機の起動台数を修正

数時間

第2段階
【当日】

予測値と実測値の誤差の分だけ出力調整

3分~5分

動いている発電機の出力を需要に合わせて決定

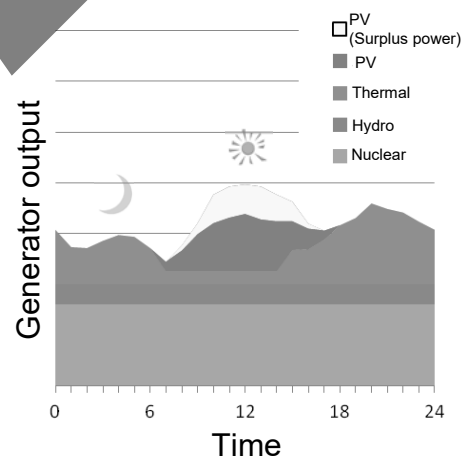
どの段階にPV予測を利用するか？

太陽光発電予測と火力発電の出力調整

火力発電機

停止から起動・並列まで数時間
最小出力が20~30%程度

起動・停止パターンを計画し、
運転台数を事前に決めておく



予測を用いて計画した場合

- 実際>>予測...最小出力で運転しても電気が余剰(下げ代不足)
 - ベース電源の出力を下げるよう計画→高コスト
- 実際<<予測...最大出力で運転しても電気が不足(上げ代不足)
 - 多めに発電機を運転するよう計画→高コスト

高精度な予測技術⇔発電機が効率よく運転できる計画・運用手法

- I. 背景
- II. 発電予測と電力需給制御
- III. 研究内容紹介
 - i. 太陽光発電の出力予測
 - ii. 経済負荷配分制御(EDC)
 - iii. シミュレーション
- IV. まとめと今後の課題

■研究内容紹介 (電気学会研究会, 2013年3月, PE-13-023, PSE-13-039, SPC-13-059)

太陽光発電の出力予測

- 先行研究で予測手法を提案・検証
- 予測手法のEDCの観点からの評価はこれまでにない

予測を利用したEDC

- 予測を利用したEDC手法の研究は少ない



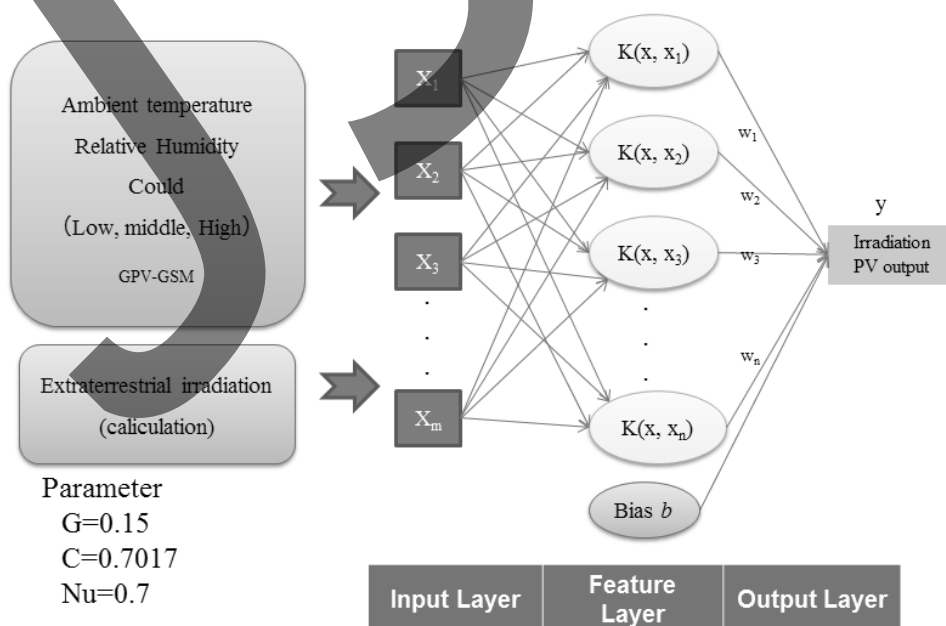
太陽光発電出力予測を用いたEDCについて検討

- 1日前出力予測に基づいて発電機起動停止計画
- 日射・負荷の実データを使用してシミュレーション
- 運用コスト, 供給支障電力, 余剰電力を評価

- I. 背景
- II. 発電予測と電力需給制御
- III. 研究内容紹介
 - i. 太陽光発電の出力予測
 - ii. 経済負荷配分制御(EDC)
 - iii. シミュレーション
- IV. まとめと今後の課題

■太陽光予測モデル

サポートベクターマシンを利用した予測モデルを使用



- これまでの検討で得られた設定パラメータを使用
- 過去のデータを用いて学習

- I. 背景
- II. 発電予測と電力需給制御
- III. 研究内容紹介
 - i. 太陽光発電の出力予測
 - ii. 経済負荷配分制御(EDC)
 - iii. シミュレーション
- IV. まとめと今後の課題

■発電機起動停止計画の作成(計画・前日)

計画段階(1日前)で1時間ごとの起動台数を決定(動的計画法)

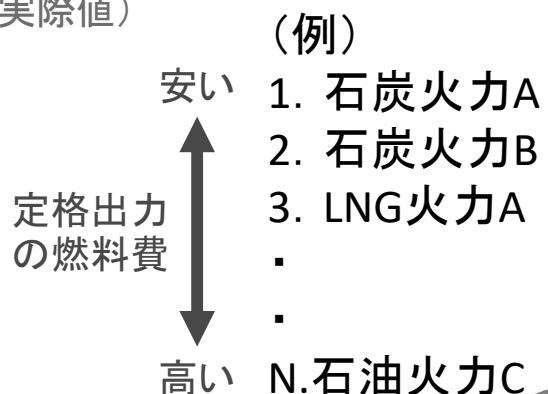
目的関数

$$\text{Min. } f = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T \left\{ \overbrace{u_{i,j} \cdot FC_i(P_{i,j}) \cdot \Delta T}^{\text{燃料費}} + \overbrace{u_{i,j} \cdot (1 - u_{i,j-1}) \cdot SC_i}^{\text{起動費}} \right\}$$

制約条件: 電力需給の一致, 出力上下限, LFC容量の確保

負荷需要および太陽光発電出力は1日前予測値を使用
(簡単のため負荷需要は予測値=実際値)

発電機の起動順: 優先順位法
あらかじめ起動順を決めておく



■最適負荷配分(運用・当日)

15

運用段階(リアルタイム)で各発電機の出力を決定

目的関数(各時間断面)

$$\text{Min. } f' = \sum_{i=1}^N u_{i,j} \cdot \overbrace{FC_i(P_{i,j})}^{\text{燃料費}}$$

制約条件(各時間断面): 電力需給の一致, 出力上下限

負荷需要および太陽光発電出力は実際の値を使用

発電機の起動台数は計画段階で決定した通り



■太陽光発電の出力抑制(計画・前日)

16

太陽光発電の導入量が大きく、系統の並列発電機数が最少かつ最小出力で運転しても供給が需要を上回る場合

計画段階(1日前)で1時間ごとの出力抑制電力を決定

抑制電力

$$P_{PV_dec,j} = P'_{PV,j} - \left\{ \overbrace{P'_{D,j}}^{\text{負荷需要}} - \sum_i^N u_{i,j} \cdot \overbrace{(P_{MIN,i} + C_{LFC,i})}^{\text{起動発電機の最小出力}} - \overbrace{P_{NU} - P_H}^{\text{水力および原子力発電は一定出力運転}} \right\}$$

水力および原子力発電は一定出力運転

運用段階では計画段階での抑制電力の分だけ出力を抑制
(出力可能な電力より抑制電力が大きい場合は出力0)



十分大きい容量のバッテリーを仮定

太陽光出力が予測値より小さく、系統に並列している全ての発電機を最大出力で運転しても供給が需要を下回る場合

バッテリーを放電 $P_{BESS,j} = P_{D,j} - \left\{ P_{NU} + P_H + \sum_i^N u_{i,j} \cdot (P_{MAX,i} - C_{LFC,i}) + P_{PV,j} \right\}$
 （供給支障に相当）

起動発電機の最大出力 PV出力
 負荷需要

太陽光出力が予測値より大きく、系統に並列している全ての発電機を最小出力で運転しても供給が需要を上回る場合

バッテリーを充電 $P_{BESS,j} = P_{D,j} - \left\{ P_{NU} + P_H + \sum_i^N u_{i,j} \cdot (P_{MIN,i} + C_{LFC,i}) + P_{PV,j} \right\}$
 （余剰電力に相当）

起動発電機の最小出力 PV出力
 負荷需要

■ 発表の構成

- I. 背景
- II. 発電予測と電力需給制御
- III. 研究内容紹介
 - i. 太陽光発電の出力予測
 - ii. 経済負荷配分制御(EDC)
 - iii. シミュレーション
- IV. まとめと今後の課題

■シミュレーション条件

モデル系統: 関東地方を想定

電源構成

一定出力で運転 { 原子力 18,000 MW(夏季)/12,000 MW(他)
水力 6,000 MW

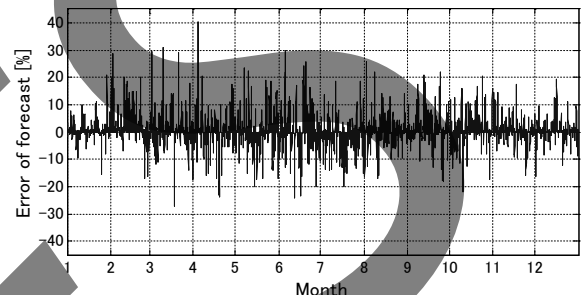
EDCの対象 { 火力 39,150 MW(94機)

導入量はパラメータ { 太陽光 0~30,000 MW

負荷データ: 東京電力, 2010年

日射データ: 地上気象官署, 2010年

予測データ: 上記データを基に作成

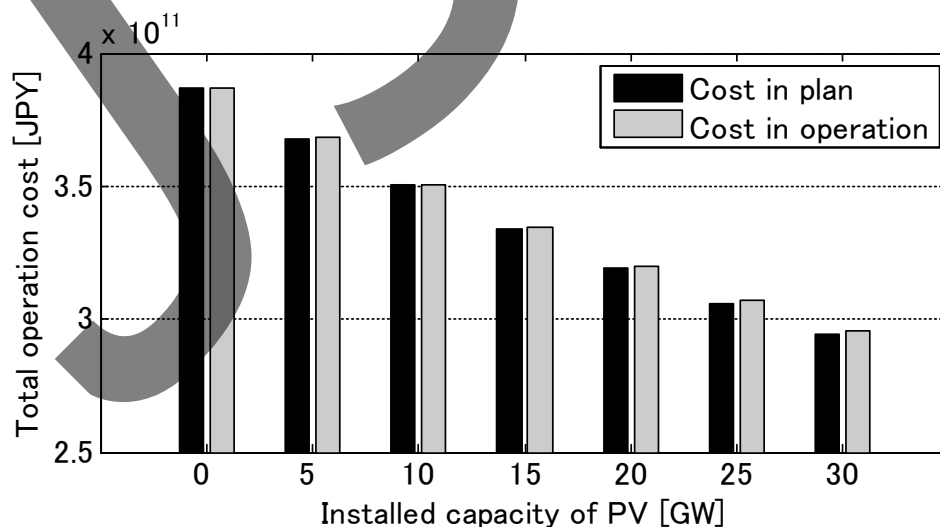


太陽光発電の出力予測誤差

■シミュレーション結果 ①火力発電の合計運用コスト

■ 計画段階のコスト: 予測値=実際値の場合

■ 運用段階のコスト: 予測値と実際値が異なる場合

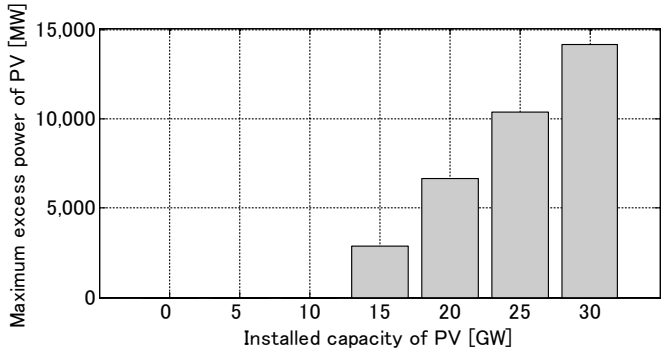


火力発電の合計運用コスト

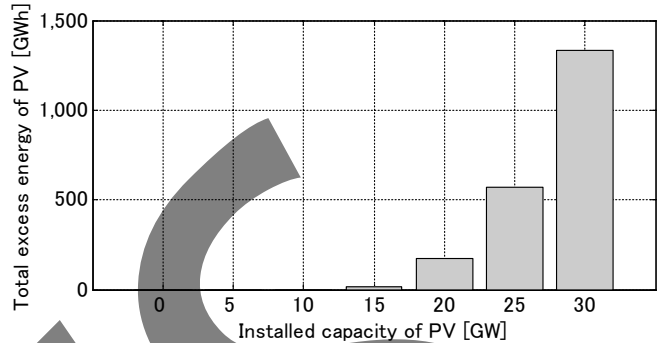
- 計画段階と運用段階でコストに差異はほとんどない
- バッテリー運用を想定しており, コスト比較だけでは不十分

■シミュレーション結果 ②太陽光発電の出力抑制

出力抑制は計画段階において決定
(原子力発電と水力発電の出力に大きく依存)



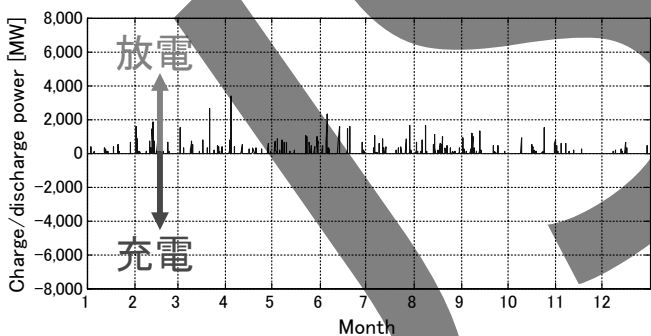
最大抑制電力



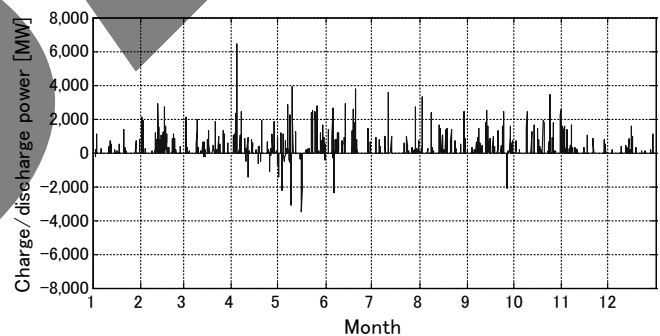
合計抑制電力量

- 太陽光発電が15GW以上で余剰電力が発生
- 設備容量の増加とともに最大電力・合計電力量が増大

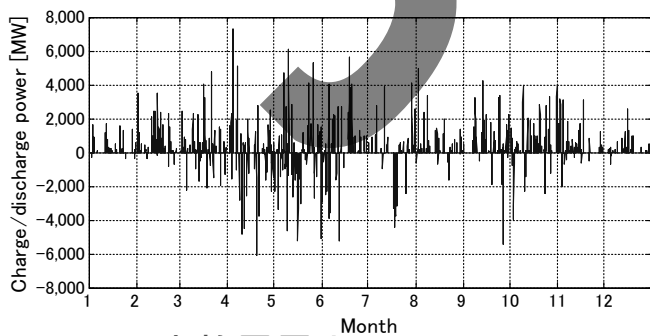
■シミュレーション結果 ③バッテリーの充放電



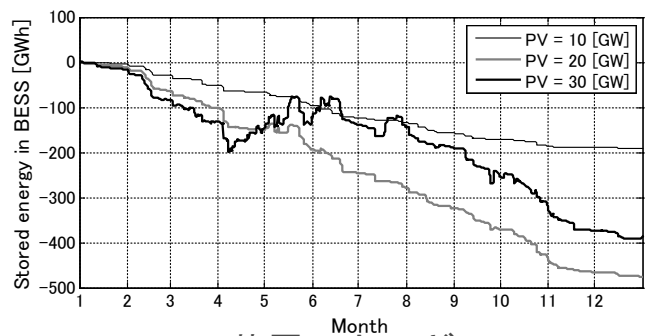
充放電電力 (PV=10GW)



充放電電力 (PV=20GW)



充放電電力 (PV=30GW)

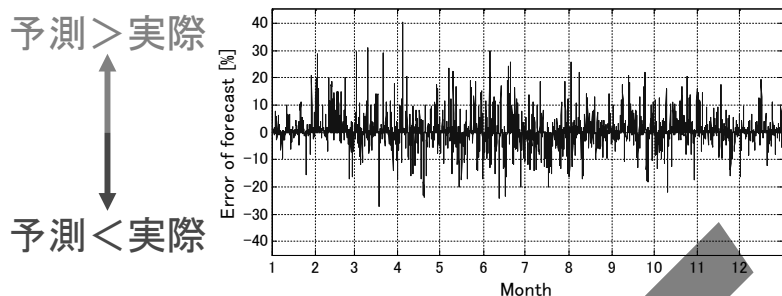


蓄電エネルギー

- 充電より放電が多い
- 蓄電エネルギーも減少傾向を示す

放電が多くなる要因は？

- 予測値が実際の値よりも小さい場合が多い
- 火力機運転点が最大出力に近く、上げ代が小さい



太陽光発電の出力予測誤差

太陽光発電の出力誤差に大きな偏りは見られない

- 上げ代が原因で起こる需給不均衡が多い
- 5月～6月の低負荷期は下げ代が小さく充電も多くなる

■まとめ

研究成果

- 1年分の負荷需要&日射量データを用いて、太陽光1日前予測を用いたEDCを提案・検証
- 需給不均衡が発生する場合の要因を分析

今後の予定

- ◆ 太陽光出力増加対策としての予備力の考慮
- ◆ 太陽光出力変動対策としての調整力の考慮

- I. 背景と目的
- II. 発電予測と電力需給制御
- III. 研究内容紹介
 - i. 太陽光発電の出力予測
 - ii. 経済負荷配分制御(EDC)
 - iii. シミュレーション
- IV. まとめと今後の課題

■まとめと今後の課題①

発電予測に求められること

- 予測精度の向上

予測精度を100%にするのは困難

- 特定の季節・時間帯の予測精度を向上
- 予測精度を評価, 把握
- 精度情報を付加して情報を系統側に伝達

電力系統に求められること

- 上げ代(供給予備力)の確保 → 通年
- 下げ代(余剰対策)の確保 → 低負荷期

上げ代と下げ代を同時に確保するのは困難

- 予測精度を考慮した確率的・統計的需給制御手法の確立
- 数時間前予測に基づくEDC補正

予備力を十分確保, 下げ代不足なら出力抑制？

- 供給支障と余剰電力に同時に対応するのは困難
- リスクや確率の考え方が導入できるか？

出力予測は全体把握⇔出力抑制は個別指示

- 全体予測≠個別予測の合計？
- 個別予測に基づいて出力抑制値を決めても, 全体予測と矛盾しないか？
- リアルタイム制御は可能か？

