

# 発電予測を利用した需給制御

西辻 裕紀 (東京大学 生産技術研究所 荻本研究室)

東京大学 生産技術研究所 荻本研究室  
〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 東京大学駒場Ⅱキャンパス As棟2階 210  
<http://www.ogimotolab.iis.u-tokyo.ac.jp/>

Copyright © 2017 Ogimoto Laboratory All Rights Reserved.

## □アジェンダ

- 所属・研究内容
- 需給運用分析の技術： UC(ユニットコミットメント、起動停止計画作成)
- UCによる、PV出力予測の系統運用への影響評価
  - シミュレーションケースとプロセス
  - 定式化
  - 結果
  - 今後の方向性

## □ 所属・研究内容

### ■ 所属

- 東京大学 生産技術研究所 エネルギー工学連携研究センター 荻本研究室  
(<http://www.ogimotolab.iis.u-tokyo.ac.jp/index.html>)

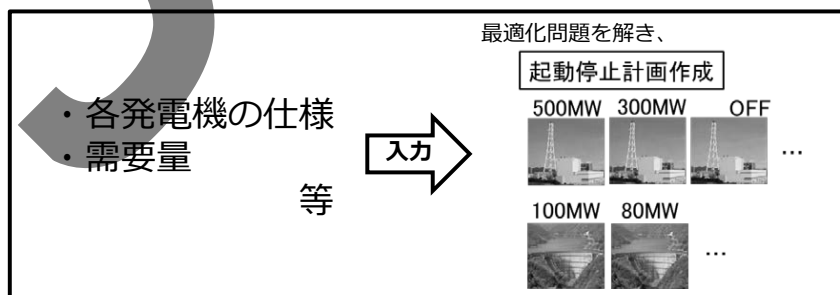
### ■ 研究：エネルギーシステムインテグレーション

- 安定的かつ持続的な社会のためのエネルギー需給を最適なものにするために、技術・制度・人間の対応の最適な組み合わせを考える
- UC(ユニットコミットメント、起動停止計画作成)を用いた系統運用シミュレーションにおける、
  - モデリング精緻化・高度化
  - 計算の高速化
  - UCを用いた各種分析

## □ 需給運用分析の技術：UC(ユニットコミットメント、起動停止計画作成)

### ■ UC(ユニットコミットメント、起動停止計画作成) とは

- エリア内の需要と一致するだけの電力を発電するために、複数ある発電機のどれを使用するか、を決定すること。発電機は起動に数時間～十数時間かかるものもあり、どの発電機を起動し、どの発電機は停止させておくのか、前もって推定された需要に対して計画を立てておく必要がある
- 火力発電機や揚水発電機等のOn/Offを0または1の値を取る変数で表現し、火力発電機や揚水発電機等の出力を連続変数で表現するなどして、混合整数最適化問題として表現できる



- さまざまな状況の設定下でUCを解く事で、「このような状況の場合、発電機はどのように運用されるべきなのか」というシミュレーションを行うことができ、系統の実運用に用いられるほかに、将来の在り方の検討に非常に有益なツールとなる

## □UCによる、PV出力予測の系統運用への影響評価

### ■NEDOプロジェクト

「太陽エネルギー技術研究開発 太陽光発電システム次世代高性能技術の開発  
発電量評価技術等の開発 ②発電量推定と予測技術

(v)分散・広域発電量応用評価技術の研究開発 (2010-2015)」

(気象研、JWA、岐阜大、AIST、東大) (通称：NEDO pv)

にて荻本研究室が実施した、

各太陽光発電出力予測を用いて起動停止計画を作成した際の系統運用に与える影響の検証による、予測と系統運用との関係性の研究

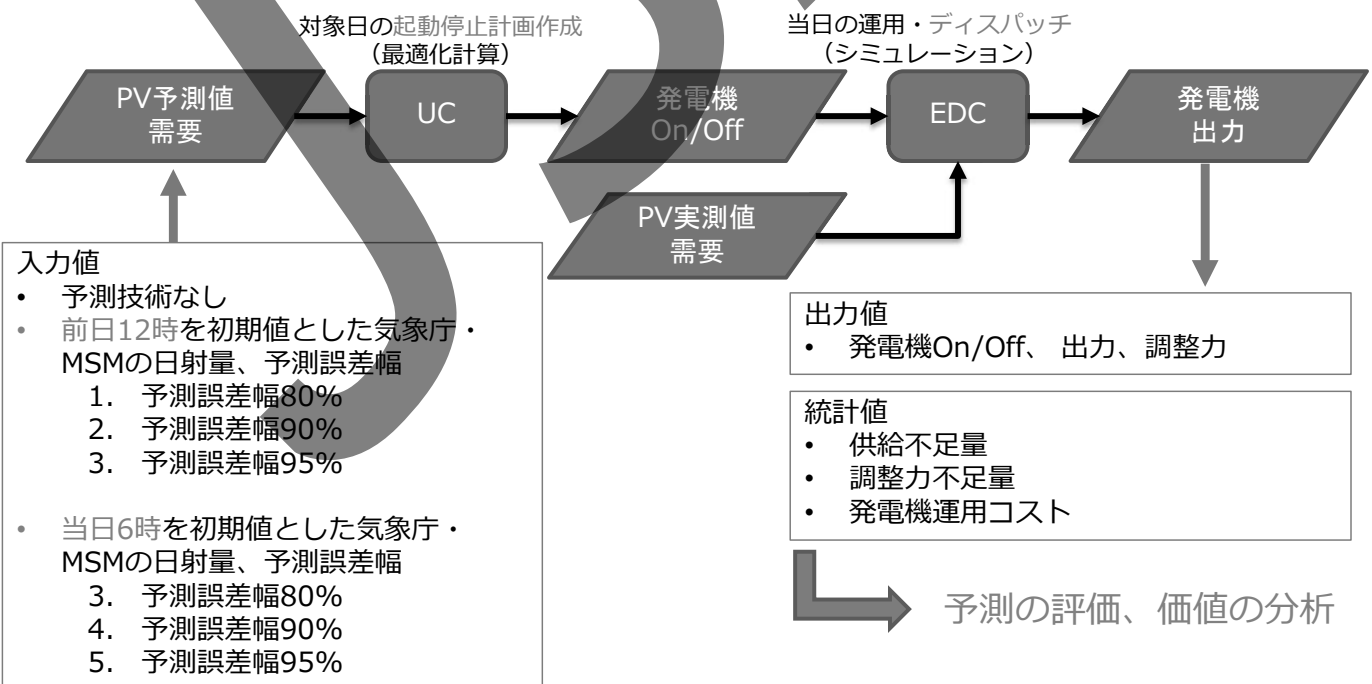
について発表する。

- PV出力予測技術（データ）が系統運用に与える影響、具体的には、
  - ✓ 発電コスト（燃料費、起動費など）といった経済性、
  - ✓ 供給力不足、短時間変動に対する調整力不足などの供給安定性を分析することで、電力システムへ与える影響・価値を分析可能。そこから、必要なPV出力予測技術の仕様を明らかにしたい。

- ✓ 予測評価技術は = 予測仕様決定技術

## □シミュレーションケースとプロセス

・対象エリア：東京電力管内



\* 発電データは電力系統での合計データ。

MSM (5km格子) での東電エリア内モデル格子点数は約1500グリッドで、その単純平均を行いPV設備容量17.5GWと変換係数0.8を乗じて作成

## □ 定式化

PVの出力が予測に対して、正負どちらに外れても、考慮した信頼区間幅内では、当日の需給均衡（エネルギー、調整力）を保証可能

目的関数：火力発電機の発電コスト = 起動費 + 燃料費； 最小

制約：

需給均衡

$$\bullet \text{ 火力発電} + \text{PV予測} + \text{揚水発電} = \text{需要}$$

稼働中の火力は数分で負荷追従可能

上げ代の確保（火力によるPV過剰予測対応）

$$\bullet \text{ 稼働火力の最大出力} + \text{PV予測（下側信頼区間）} + \text{揚水発電} \geq \text{需要}$$

当日のPV出力が下側区間まで減少しても需給を保証

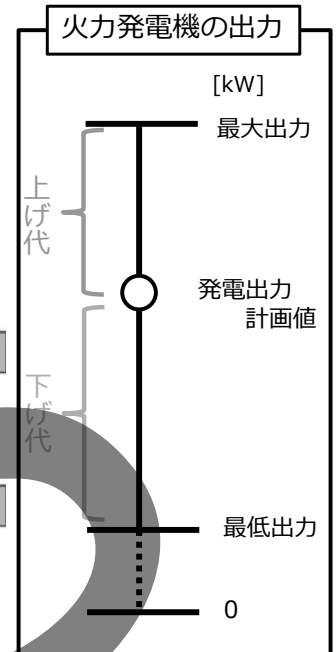
下げ代の確保（火力によるPV過小予測対応）

$$\bullet \text{ 稼働火力の最低出力} + \text{PV予測（上側信頼区間）} + \text{揚水発電} \leq \text{需要}$$

当日のPV出力が上側区間まで増加しても需給を保証

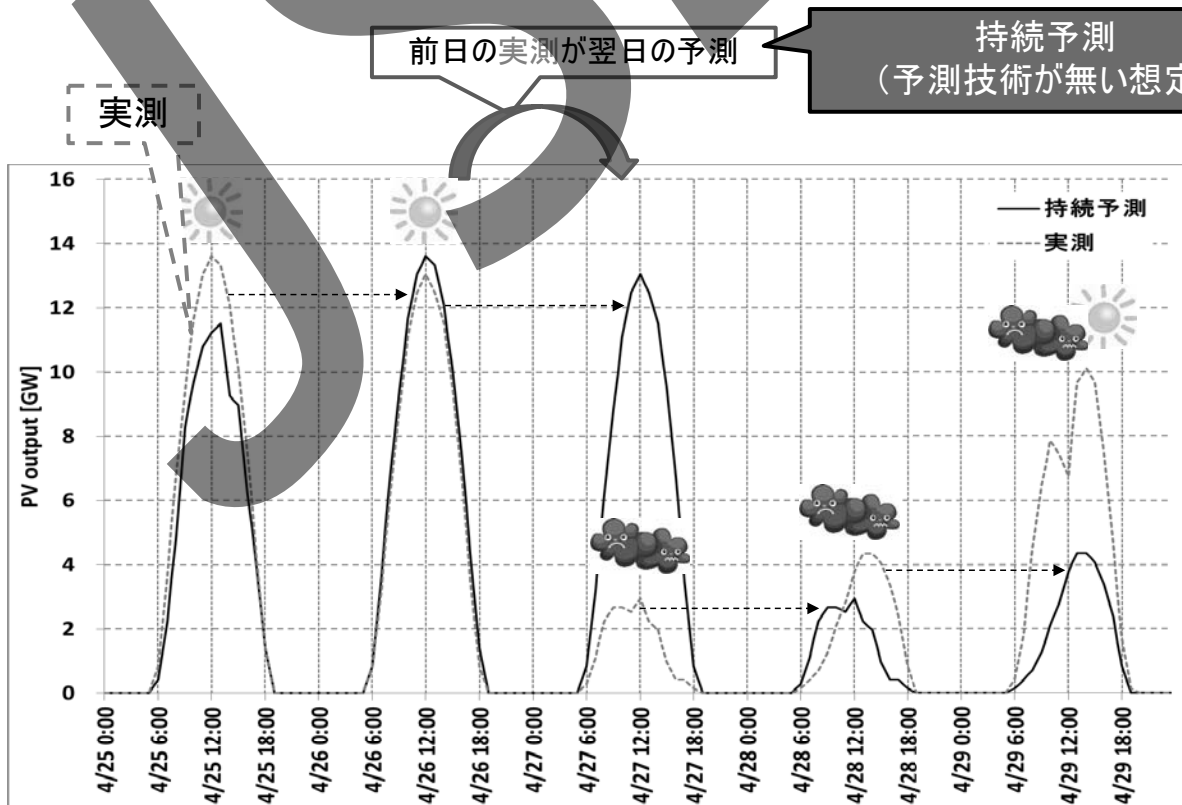
LFC調整力制約（火力と揚水による短時間変動対応）

$$\bullet \text{ 稼働火力の最大出力} \times \pm 5\% + \text{稼働揚水の最大出力} \times \pm 16.5\% \geq \text{需要量} \times 3\% + \text{再エネ出力} \times 20\%$$

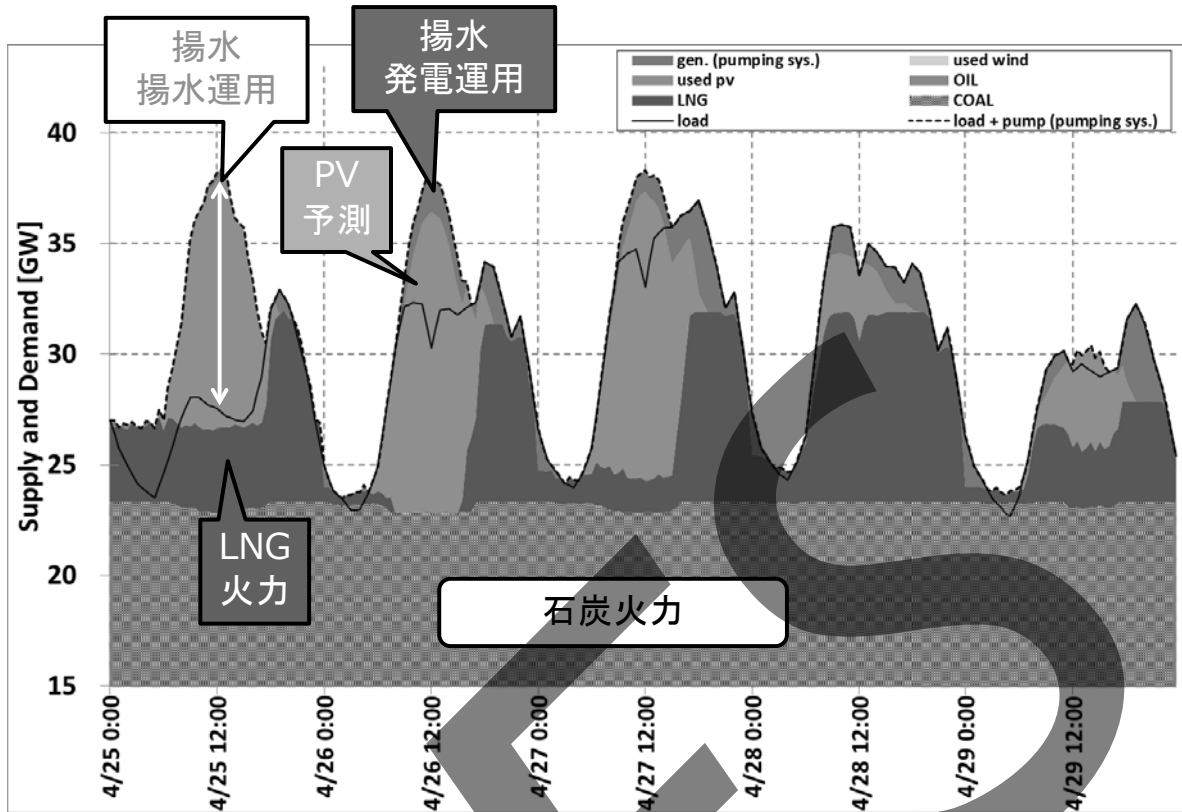


宇田川佑介, 荻本和彦, 池上貴志, 大関崇, 福留潔:「太陽光発電の予測誤差が需給運用と発電コストに与える影響」, 電気学会新エネルギー・環境メタボリズム社会・環境システム合同研究会, FTE-13-60, MES-13-16, pp.85-95 (2013)

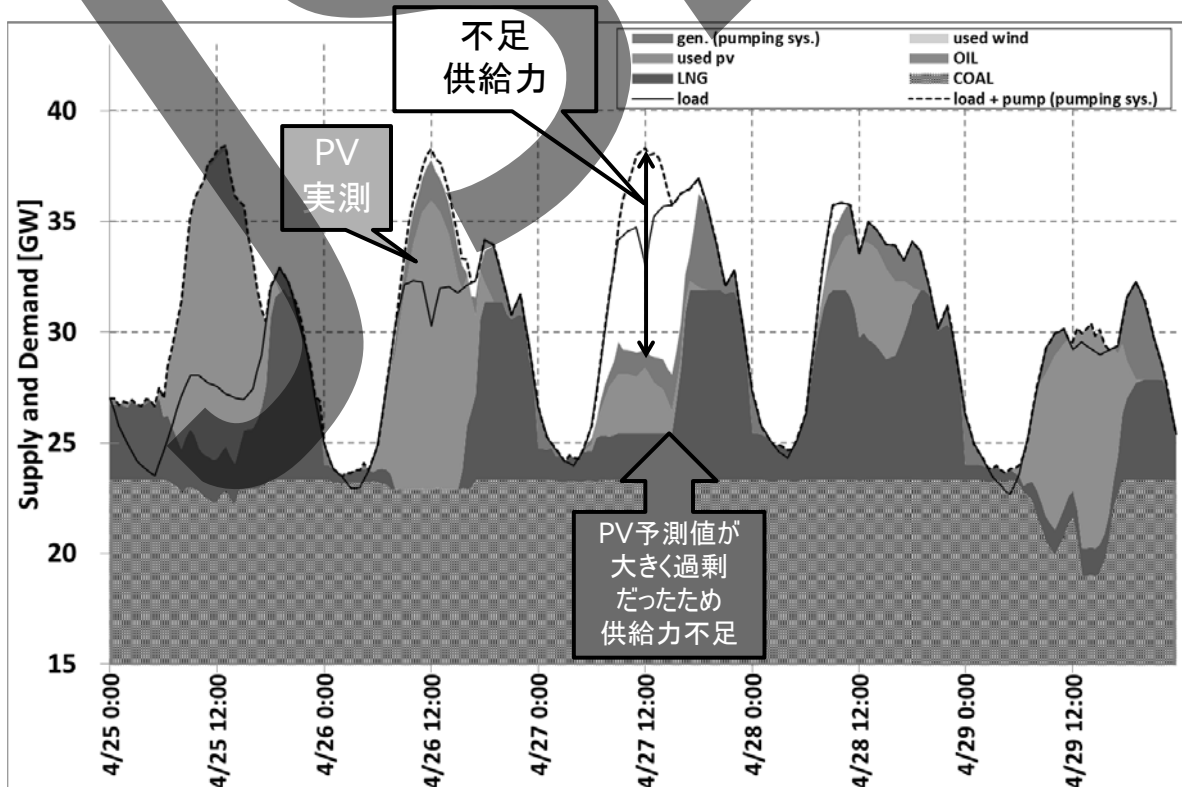
## □ 結果: PV予測技術を用いない発電機運用計画 (PVは持続予測) 4/25-4/29



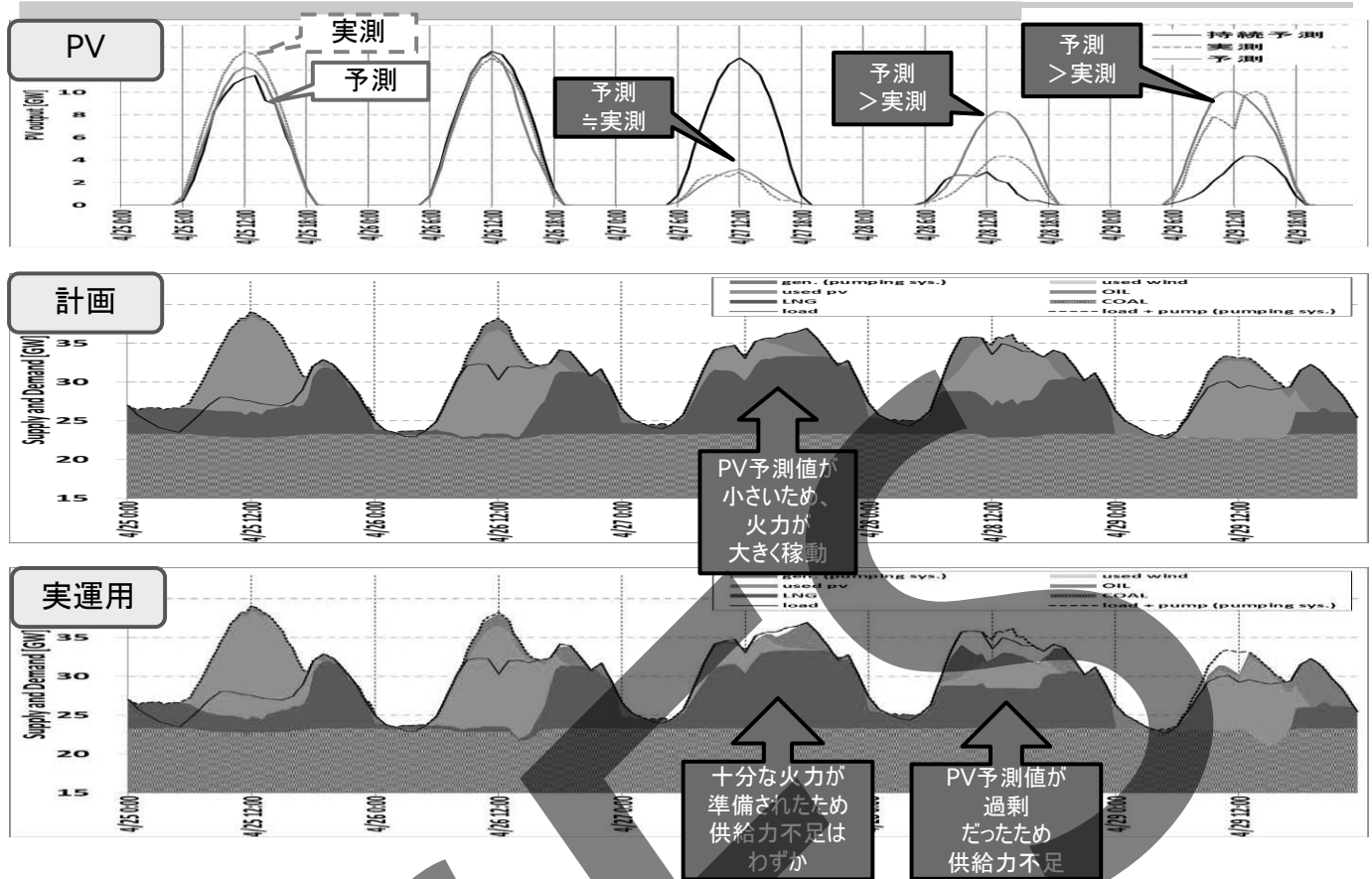
□結果:PV予測技術を用いない発電機運用計画(PVは持続予測)4/25-4/29



□結果:PV予測技術を用いない発電機運用実績(PVは実績)4/25-4/29



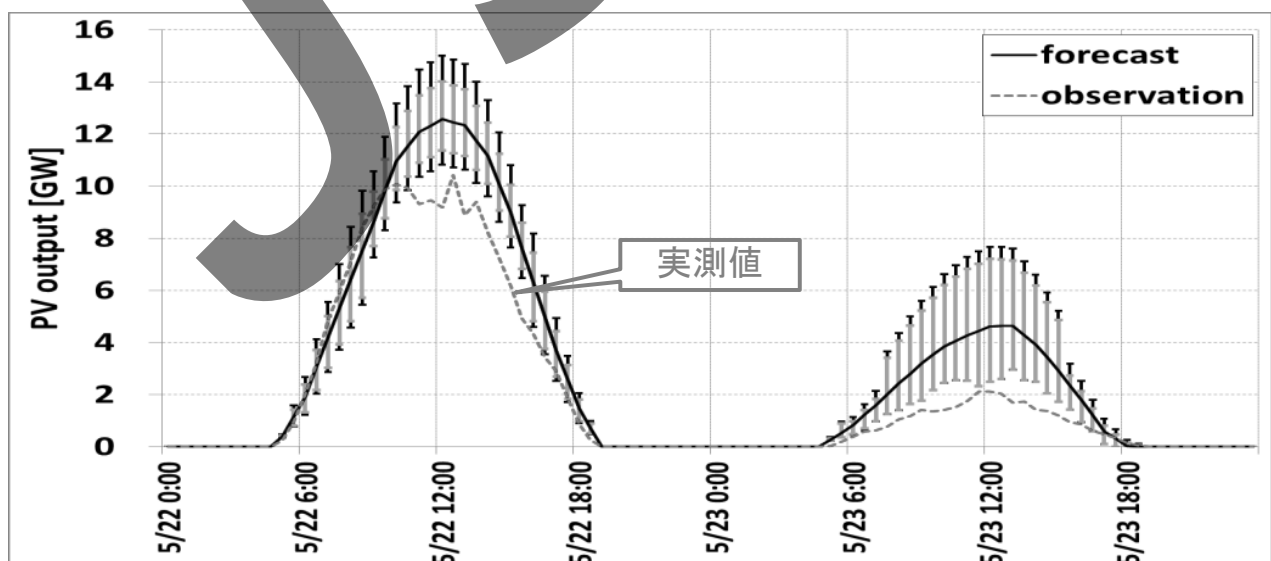
□結果：PV予測値を考慮した発電機運用計画(上)と実績値での運用シミュレーション(下)



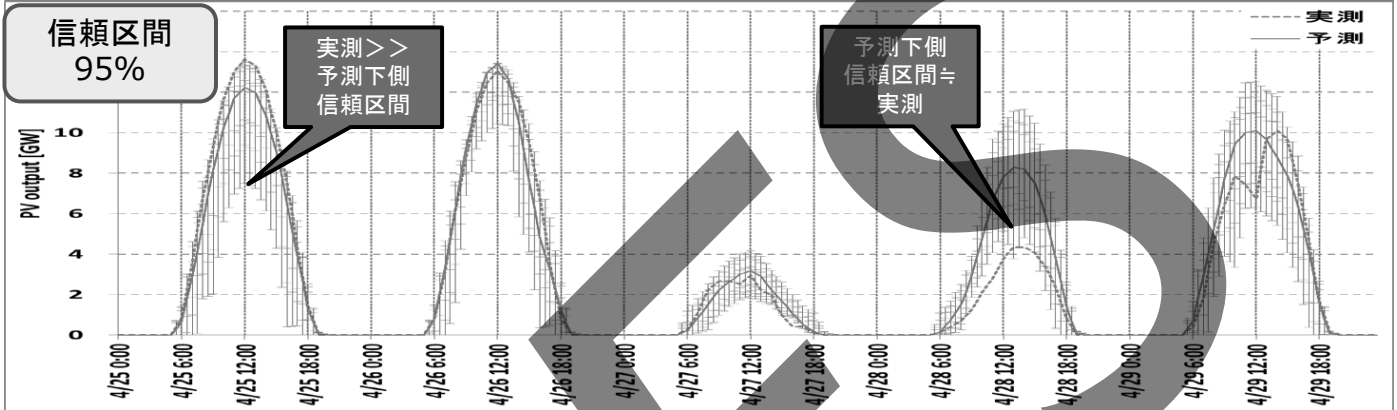
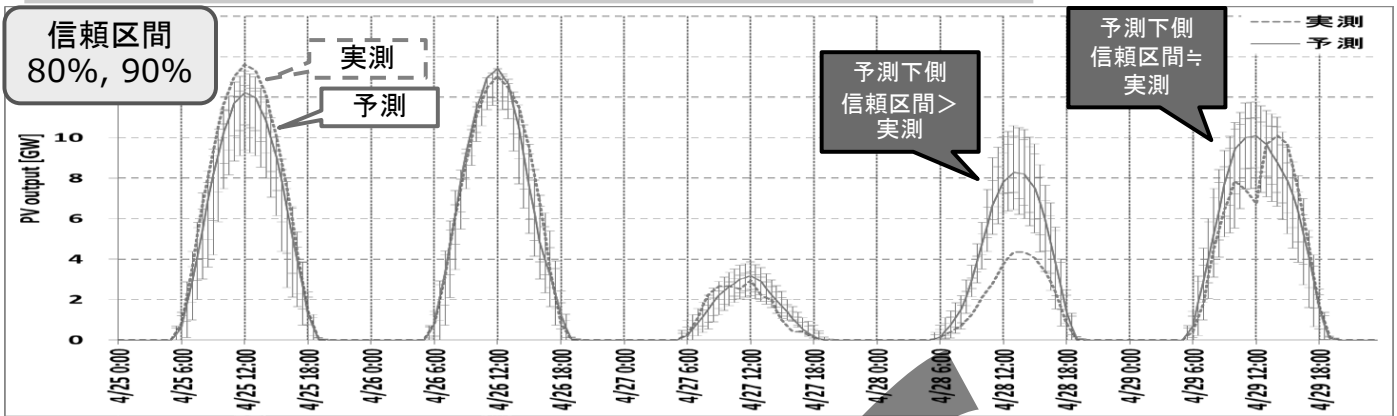
□結果：前日予測値、信頼区間(80%, 90%, 95%)、PVの実測値

■予測値の信頼区間

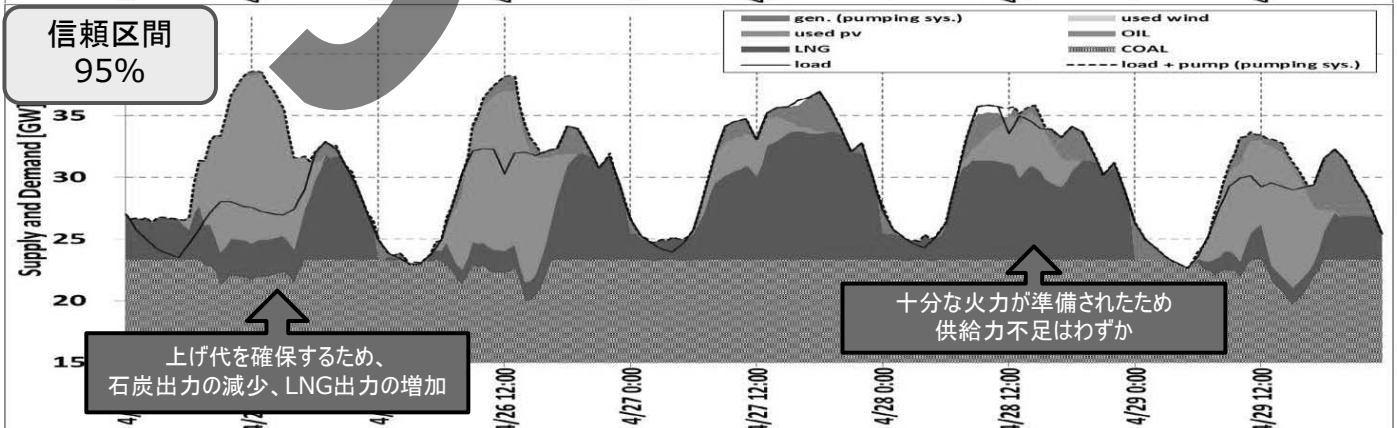
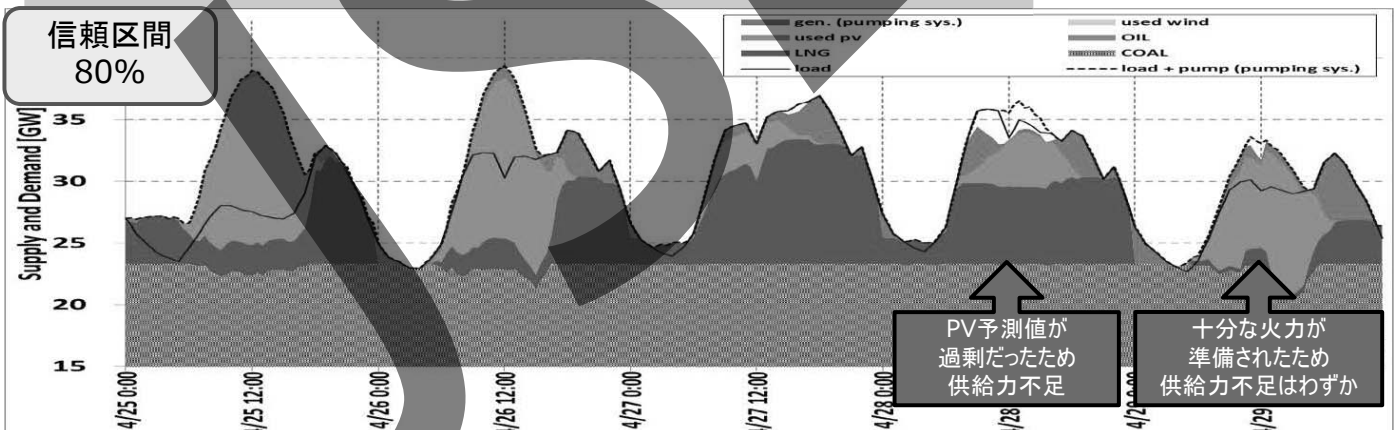
- 予測は万全を期したものでも期待値から大きな誤差が生じる可能性がある。
- 過去1年分の日射量予測値について、天候(晴天指数)毎に実測値からの予測誤差幅を求め、その予測実績から予測値の特別値毎の信頼区間の推定を行った。



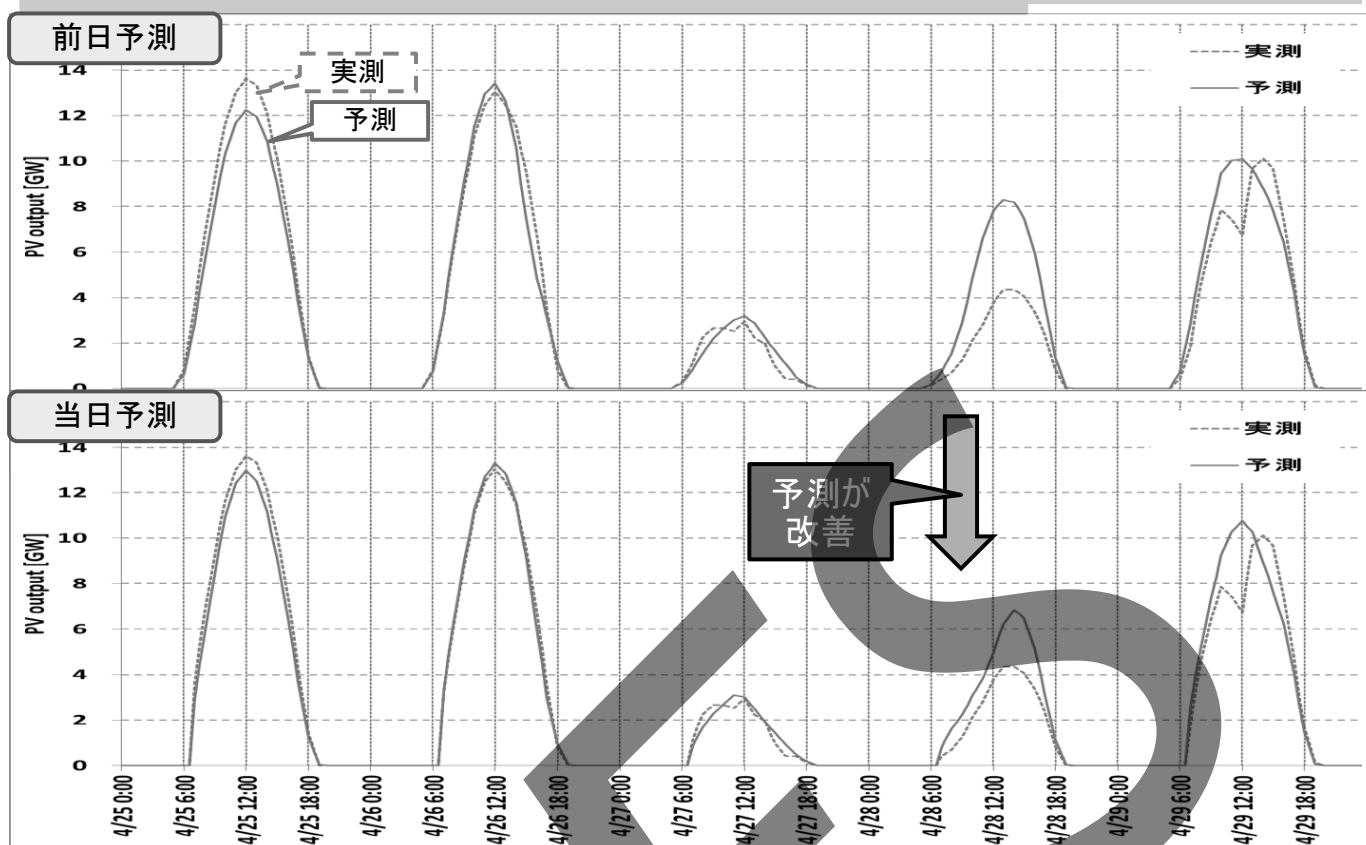
結果: PVの実測値、前日予測値、信頼区間(80%, 90%, 95%)



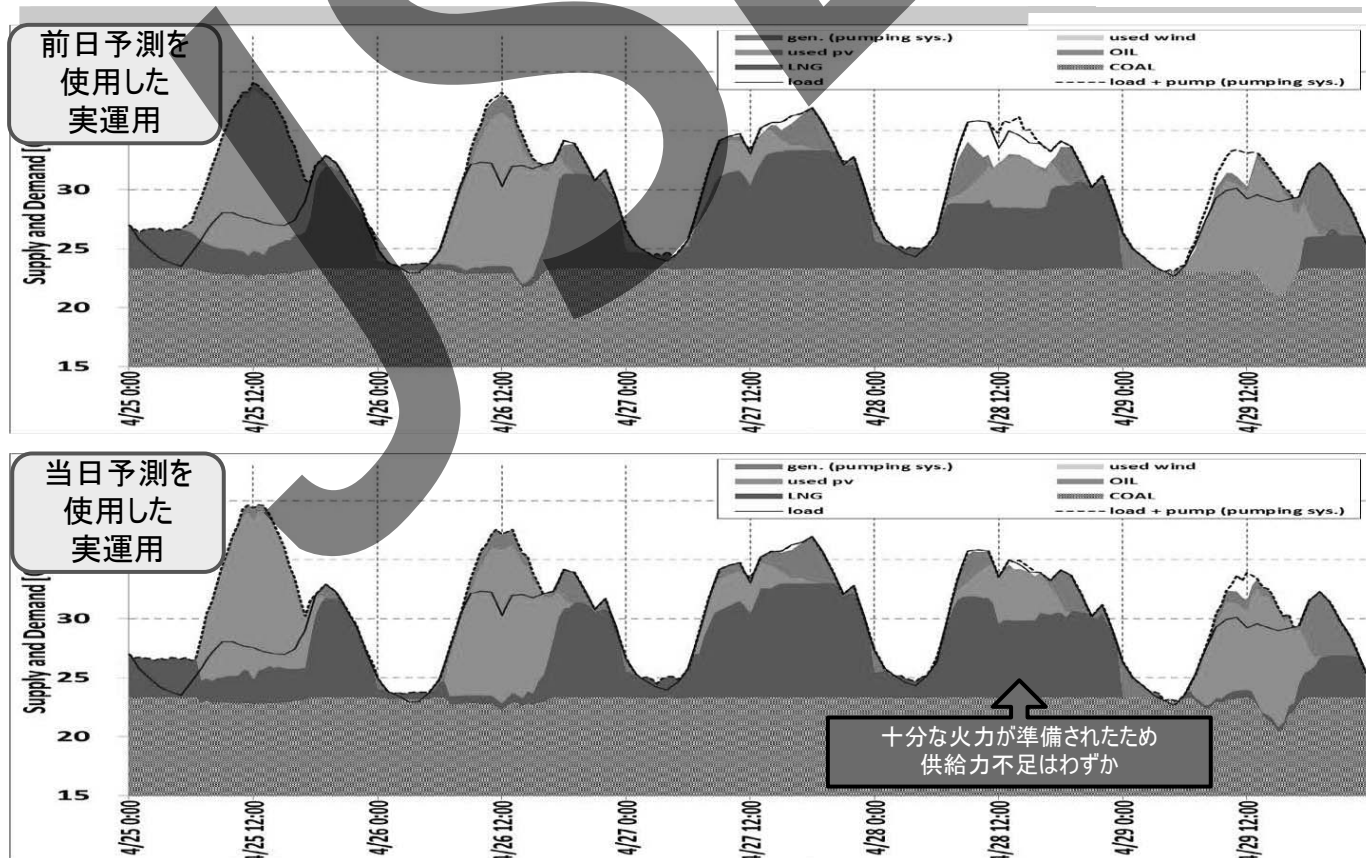
結果: PV予測値の信頼区間を考慮した実際の運用



□ 結果: PVの実測値、前日予測値(上)、当日予測(下)(予報精度の比較)

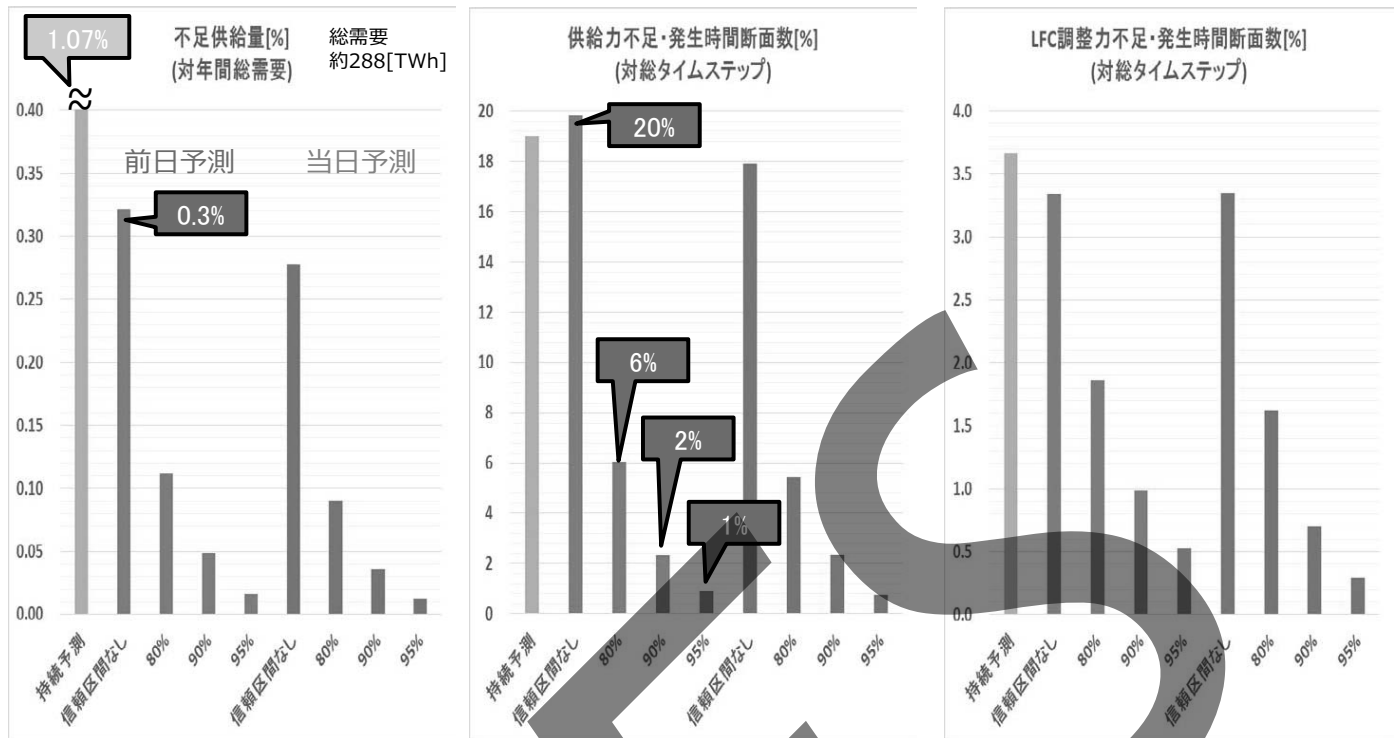


□ 結果: PV予測値(当日)+信頼区間(80%)を考慮した実際の運用





□結果:不足供給量、供給力不足発生時間数、LFC調整力不足発生時間数(年間)



信頼区間を大きくすると、供給力不足、調整力不足発生量、時間断面数を減少可能

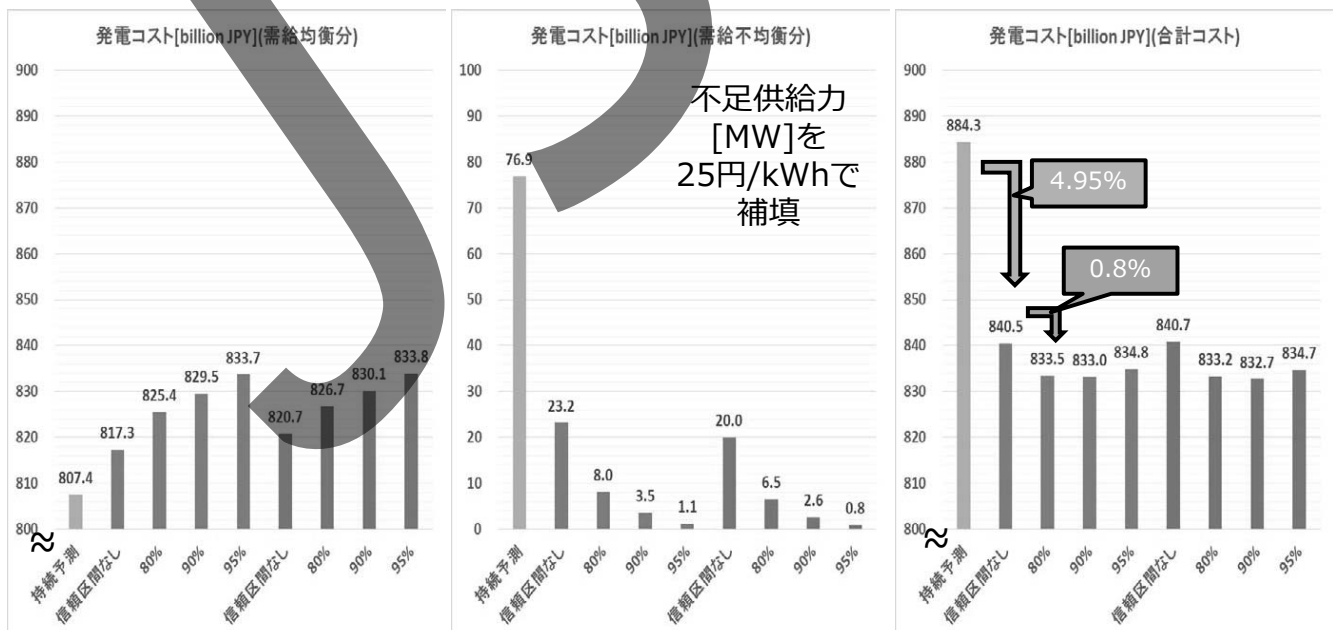
(参考) Y. Udagawa, K. Ogimoto, J. G. da Silva, F. Junior, H. Ohtake and S. Fukutome, "Economic impact of photovoltaic power forecast error on power system operation in Japan," 2017 IEEE Manchester PowerTech, Manchester, 2017, pp. 1-6. doi: 10.1109/PTC.2017.7981080

□結果:発電コストの比較(年間)

①需給均衡達成時のみのコスト

②需給均衡“非”達成時の補填コスト

合計コスト (①+②)

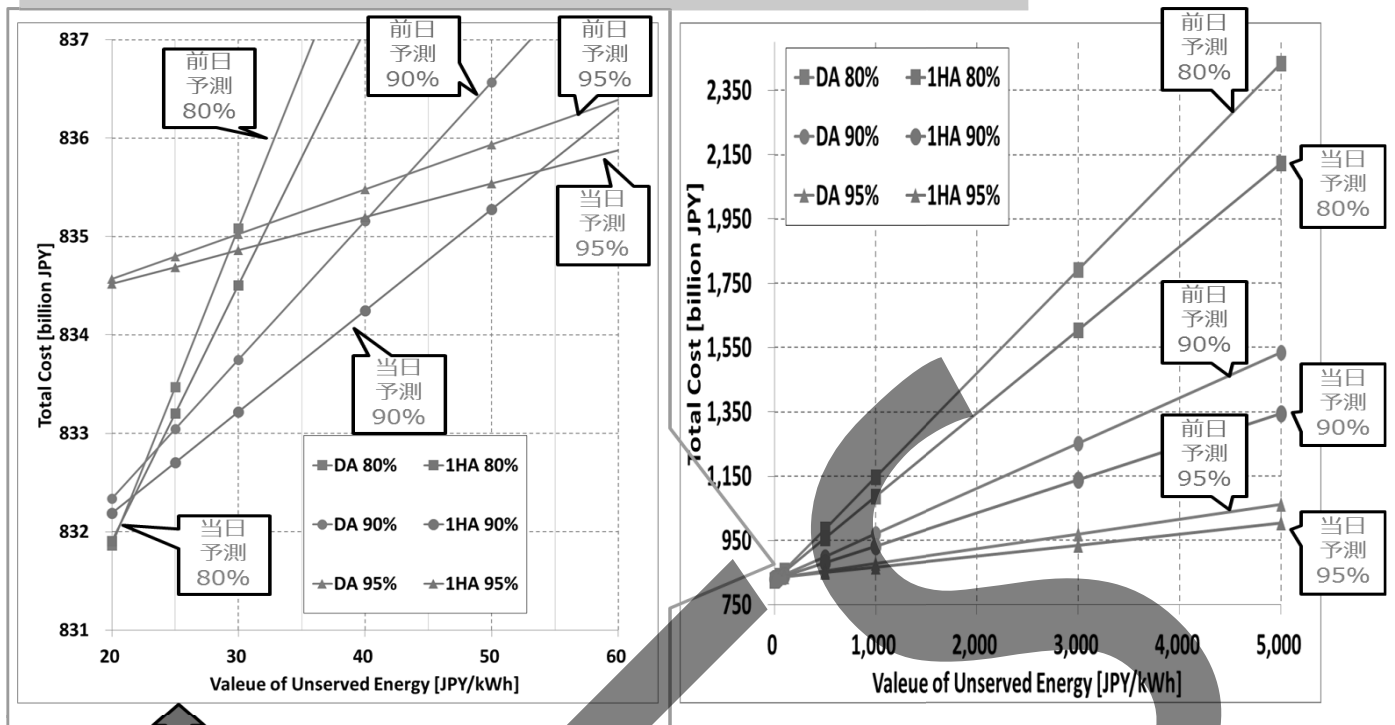


\* ベースロードのコストは含まず

信頼区間を大きくすると、1機あたりの発電出力が減少し、稼働台数が増加することで、燃費効率が悪化し発電コストは高くなる

(参考) Y. Udagawa, K. Ogimoto, J. G. da Silva, F. Junior, H. Ohtake and S. Fukutome, "Economic impact of photovoltaic power forecast error on power system operation in Japan," 2017 IEEE Manchester PowerTech, Manchester, 2017, pp. 1-6. doi: 10.1109/PTC.2017.7981080

## 結果: 不足電力量の補償費をパラメータとした場合の発電コスト



一般家庭電気代単価

不足供給力の補填費用が

- 約44円以上 → 95%信頼区間を用いた運用がコストが最も安い。
- 約23円以上、約44円未満 → 90%信頼区間を用いた運用がコストが最も安い。
- 約23円未満 → 80%信頼区間を用いた運用がコストが最も安い。

## PV出力予測の系統運用への影響評価: 今後の方向性

### 予測評価の指標と系統運用への影響の関係性分析

- RMSEやMAE等の各予測評価指標の値と、系統運用のコストや系統の安全性の関係性について調べる
- 系統運用への影響と運用者の判断の根拠をよりよく表現する、予測の評価指標を検討する

### PV出力制御制約

- PV出力を予測値以下に出力制御可能とする起動停止計画作成プログラムを実装済み
- 出力制御しない場合より、PVに起因する必要LFC調整力や上げ代・下げ代が少なくなり得る。供給力としてPVを使いたいが、必要なLFC調整力や上げ代・下げ代は増やしたくない、というトレードオフがある中での最適解を導出できる

### 前日、当日、1時間前といった連続的な電力システム運用の中でPVの出力制御の最適化を含めたUCプログラムを用いた、

PV予測の性能を表す指標の値とPV予測の系統運用への影響の関係の分析を、  
現在進行中のNEDOプロジェクト

「電力系統出力変動対応技術研究開発事業

／再生可能エネルギー連系拡大対策高度化」(通称: NEDO pv抑制)

で実施中

---

ご清聴ありがとうございました