

# NEDO再生可能エネルギー分野成果報告会2025 プログラムNo.2-8

太陽光 発電主力電源化推進技術開発／  
太陽光発電の長期安定電源化技術開発／  
系統影響緩和に資する技術課題の検討および実証

## 太陽光発電による調整力創出技術の実証研究

発表：2025年7月16日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 大関 崇

\*国立研究開発法人産業技術総合研究所、学校法人東京理科大、東芝エネルギーシステムズ株式会社

問い合わせ先 国立研究開発法人産業技術総合研究所

E-mail : takashi.oozeki@aist.go.jp TEL:050-3522-8796

# 本事業の目的

- PVの主力電源化実現のためには、持続的な発電事業の実現が必要となる。そのためには、O&Mの高度化などによる安全性確保しながらランニングコストを低減することに加えて、電源価値向上による便益の向上が重要となる。
- 将来のkWh価値低減も想定した場合、便益の向上のためには、エネルギーネットワークにおける柔軟性向上により、その価値（ $\Delta$ kW）のマネタイズを実現する必要があり、PVの大量導入による系統影響の緩和とPV発電事業便益向上を両立する必要がある。
- そのため本事業では、PVが自ら調整力（ $\Delta$ kW価値）を創出する技術の有効性を示すことを目的とする。
- 事業期間：2021/10～ 2025/3

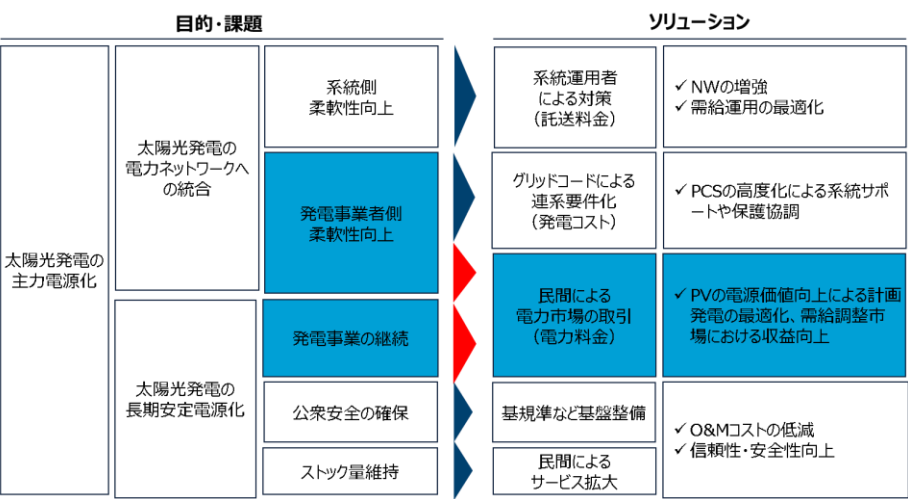


図 PVの主力電源化に必要な要素

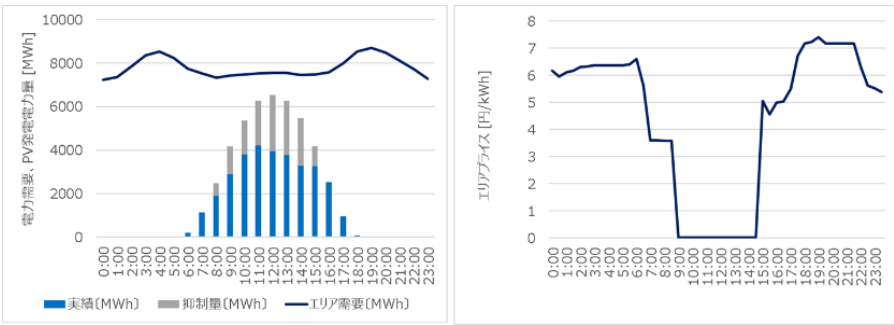
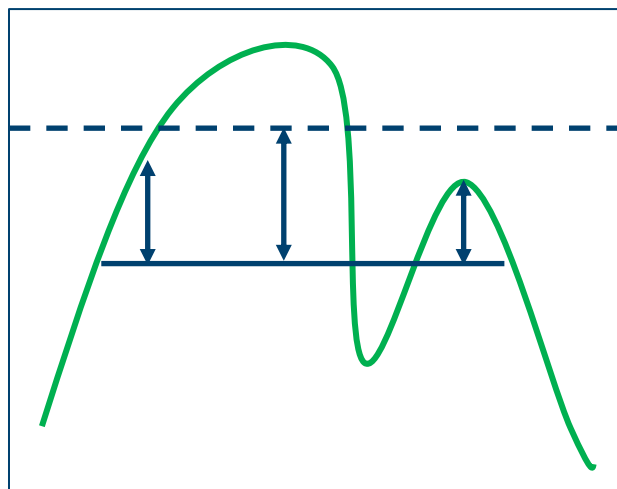


図 昼間のスポット価格例

# PVによる調整力の確保方法：HEADROOMの確保

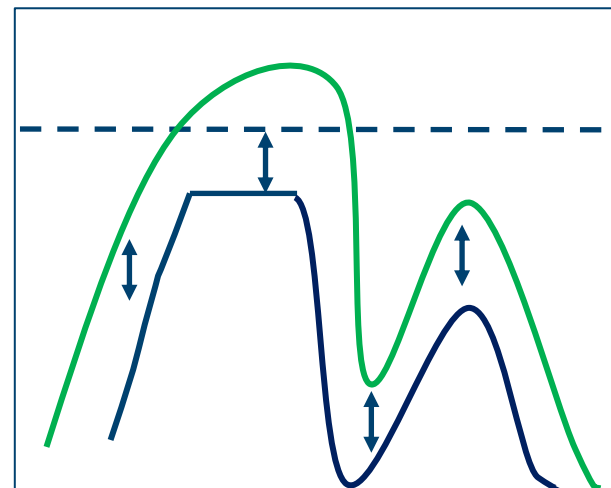
## Clipping制御



☺ 制御が容易；クリッピングによる出力制御

☹ kWh損失が多い  
 $\Delta kW$ の不足が発生する

## $\Delta$ 制御



☺ kWh損失が少ない  
 $\Delta kW$ を確実に確保する

☹ 期待値の推定精度が必要

# HEADROOMの概要とユースケース

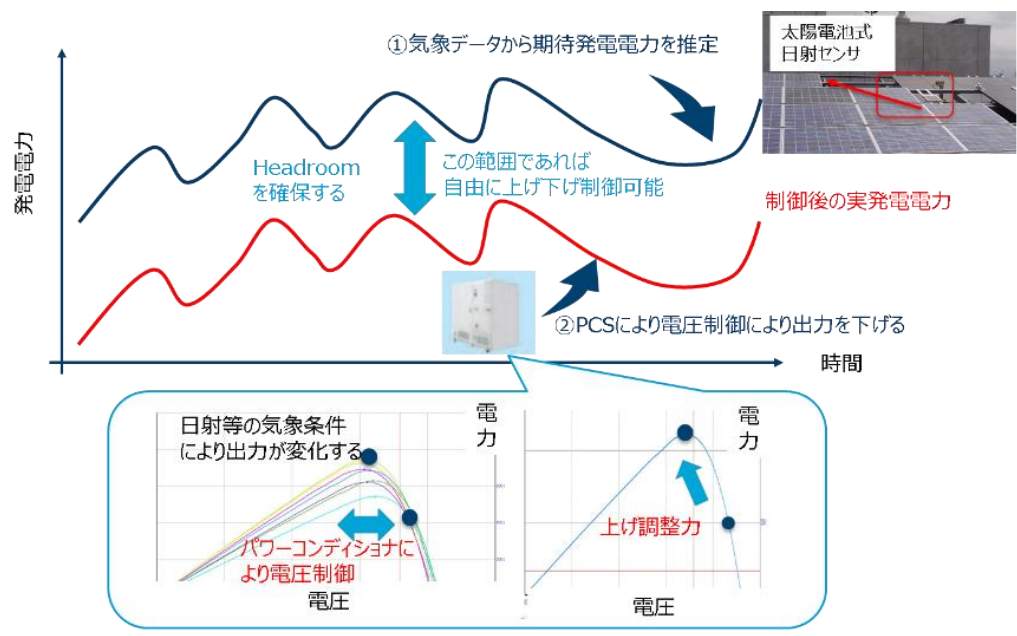
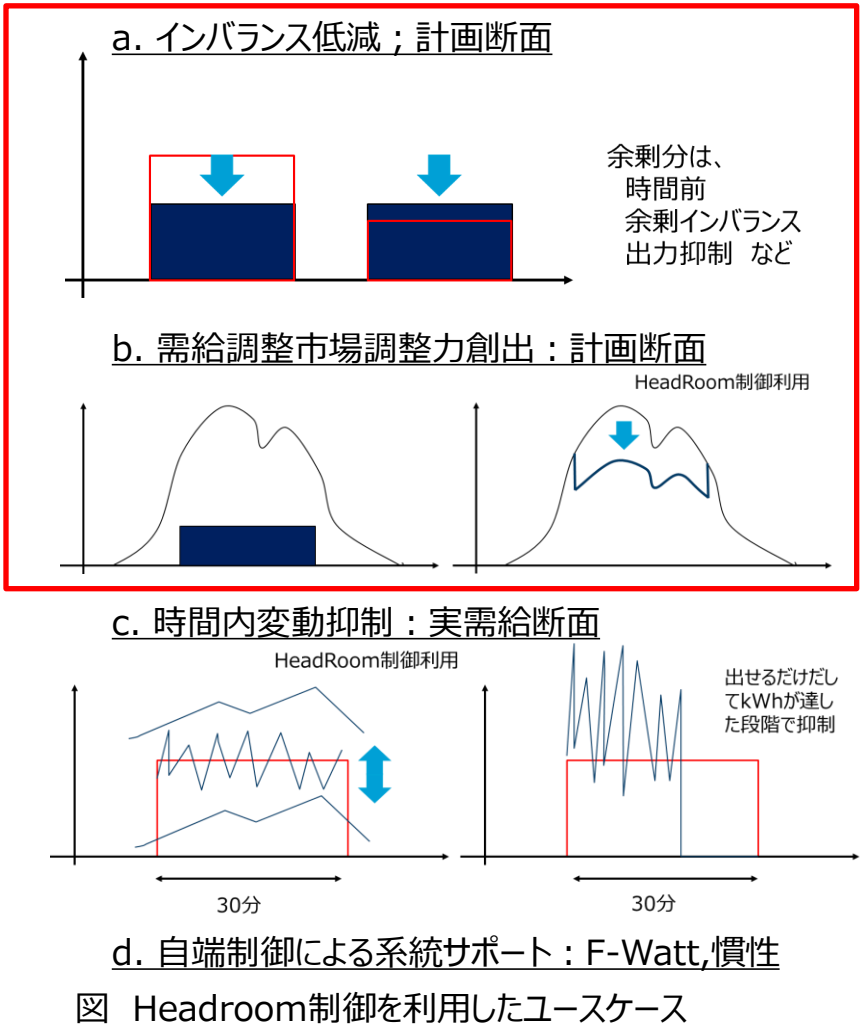


図 Headroom制御概要

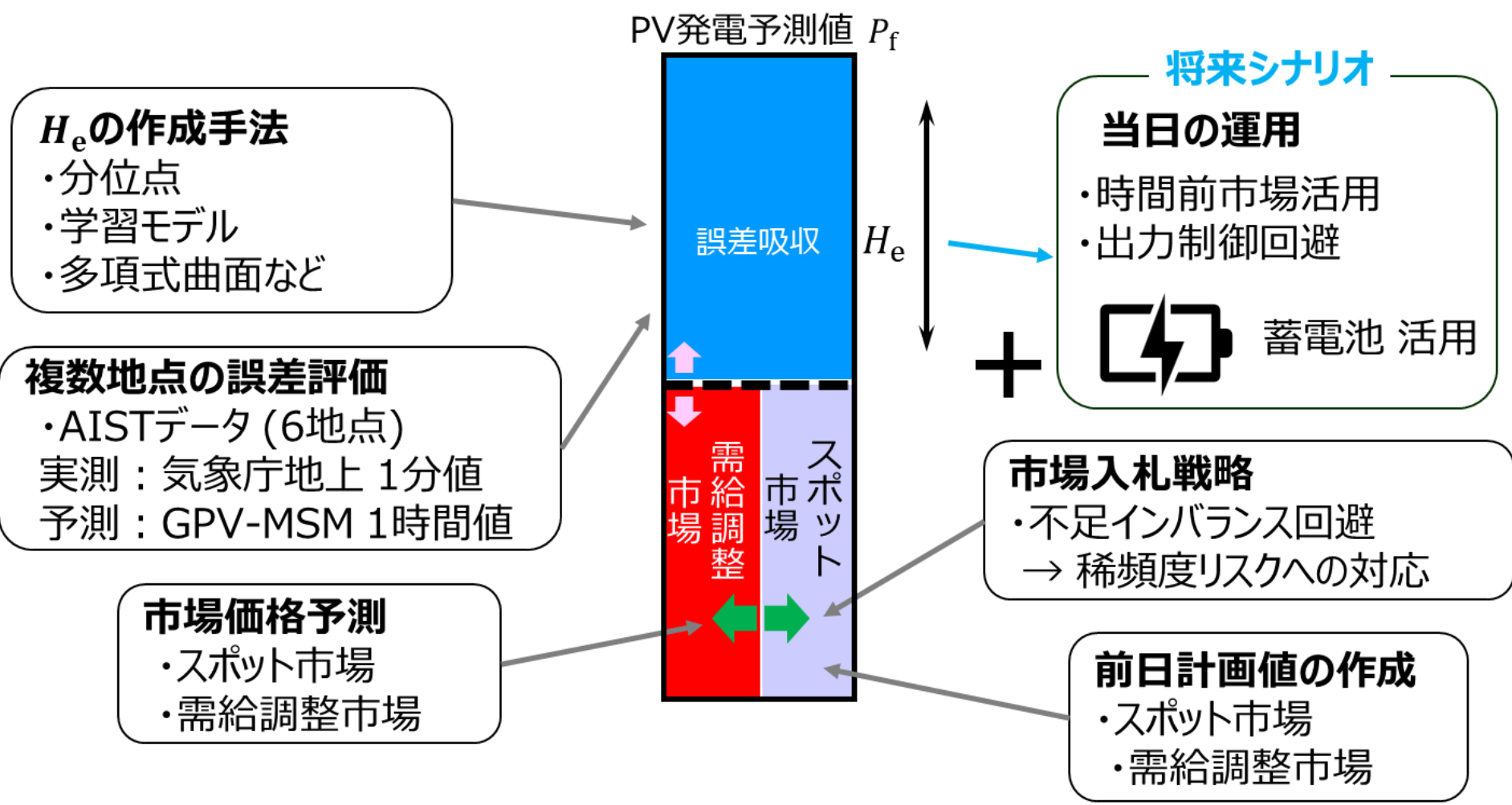


# 本事業の概要



図 実施体制・役割分担

# 最適計画アルゴリズムの開発の概要



# 最適計画アルゴリズムの開発：条件

## 【前日計画】

- 第1段階：発電予測値と誤差の分析より、誤差吸収分Headroom設定して不足発生リスクを避ける。
- 第2段階：日射量誤差範囲の分類により、市場入札可否戦略を作成しさらなる稀頻度リスクを避ける。(バイナリ係数 $k=1$ 需給調整市場へ参入； $k=0$ スポット市場へ参入)
- 第3段階：前日2つ市場の合計収益が最大になる入札計画を立てる。

## 【当日運用】

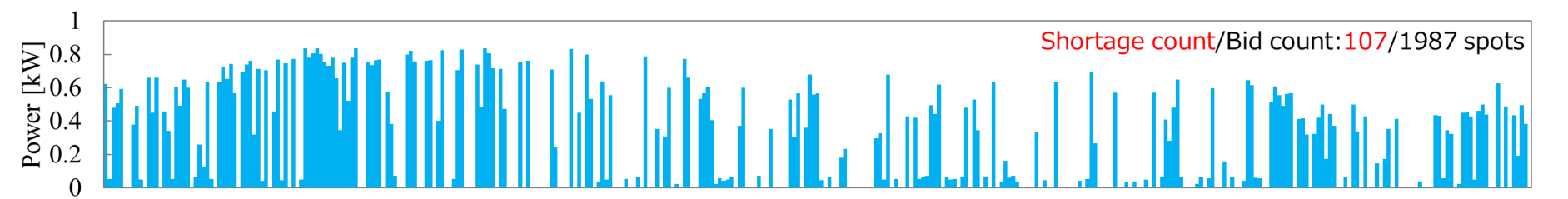
- 発電実測値と計画値を用いて、不足発生や余剰発生を評価する

## 【シナリオ】

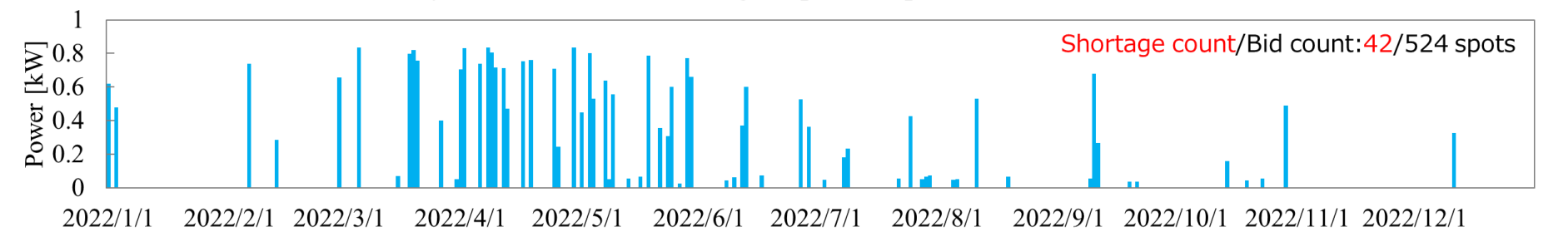
- Scenario 1:「過大予測」と「極端な過大予測」に分類の場合は、需給調整市場へ入札せず、スポット市場へ入札する。(保守的)
- Scenario 2:「極端な過大予測」に分類の場合、需給調整市場へ入札せず、スポット市場へ入札する。
- Scenario 3:「極端な過小予測」に分類の場合、Headroomを設定せず予測値をそのまま計画値として需給調整市場へ入札する。

# 最適計画アルゴリズムの開発：結果

By Linear-SVC for k in Scenario 1



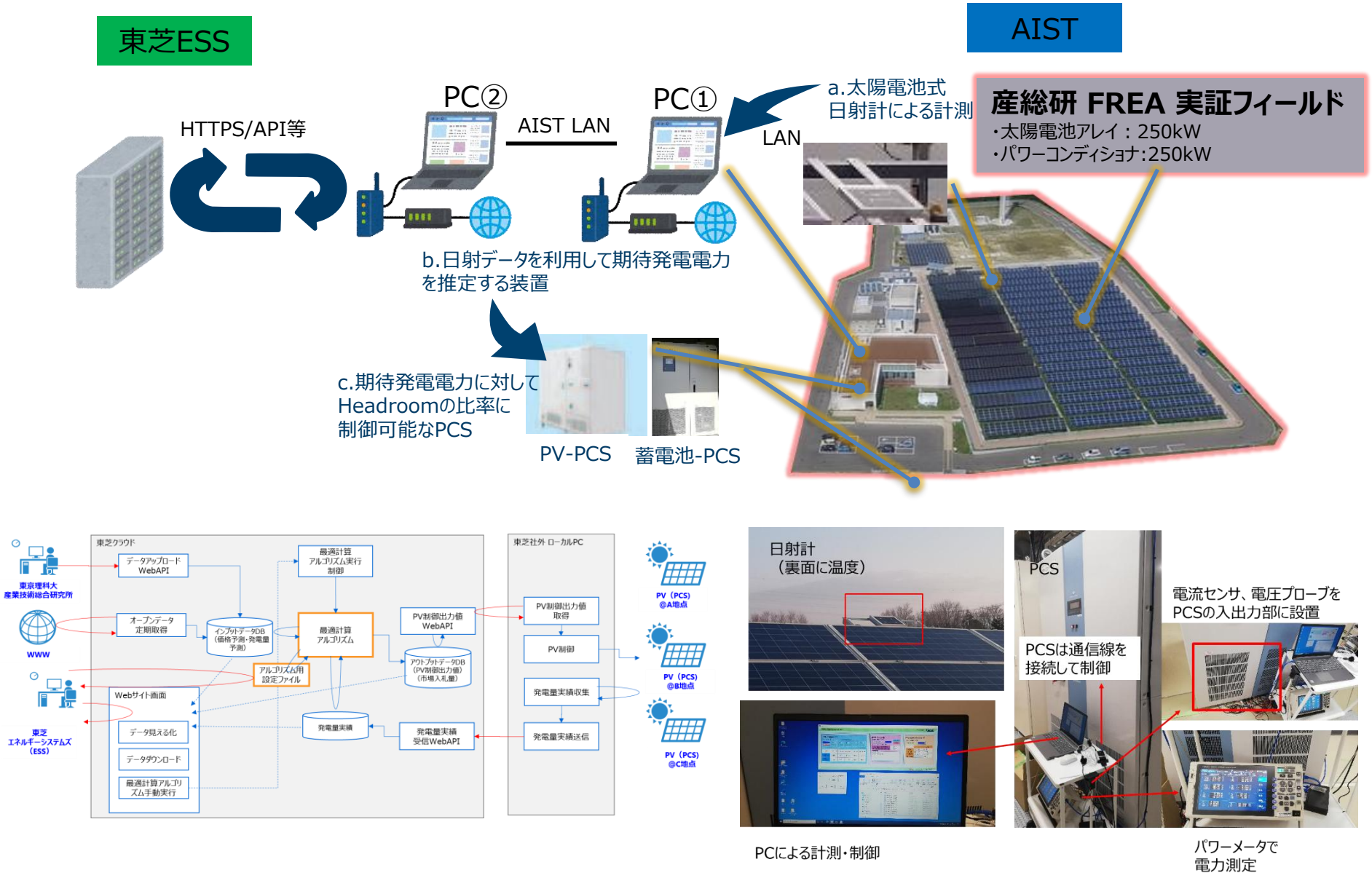
By Linear-SVC for k & higher-priced option in Scenario 1



|                   | Reference      | Heのみ考慮             |            | シナリオ1      |            |            |            | シナリオ2      |            |            |            | シナリオ3      |            |            |            |
|-------------------|----------------|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                   | P <sub>f</sub> | P <sub>f</sub> -He | Price      | SVC        | Price      | LSTM       | Price      | SVC        | Price      | LSTM       | Price      | SVC        | Price      | LSTM       | Price      |
| BMへの入札回数          | 4376           | 4376               | 1385       | 1987       | 524        | 2339       | 745        | 4010       | 1226       | 4011       | 1241       | 4376       | 1385       | 4376       | 1385       |
| BMの不足回数           | 2657           | 194                | 83         | 107        | 42         | 109        | 49         | 161        | 68         | 176        | 70         | 283        | 129        | 334        | 144        |
| 計画収益<br>[円/kW・年]] | 12,946         | 10,188             | 18,637     | 7,750      | 9,780      | 8,384      | 10,032     | 9,614      | 12,365     | 9,619      | 12,516     | 10,918     | 19,344     | 11,121     | 19,545     |
| 備考                | SMへ入札          | BMへ入札              | BM & SMへ入札 | BM & SMへ入札 | BM & SMへ入札 | BM & SMへ入札 | BM & SMへ入札 | BM & SMへ入札 | BM & SMへ入札 | BM & SMへ入札 | BM & SMへ入札 | BM & SMへ入札 | BM & SMへ入札 | BM & SMへ入札 | BM & SMへ入札 |

注：SVCは、各シナリオにおいて、稀頻度リスク分類に用いる手法を表す。 BM：需給調整市場；SM：スポット市場  
Priceは、両市場価格の大小関係を見たうえ、価格が高い市場へ入札した場合の結果を示す。(BMは30分商品として計算)

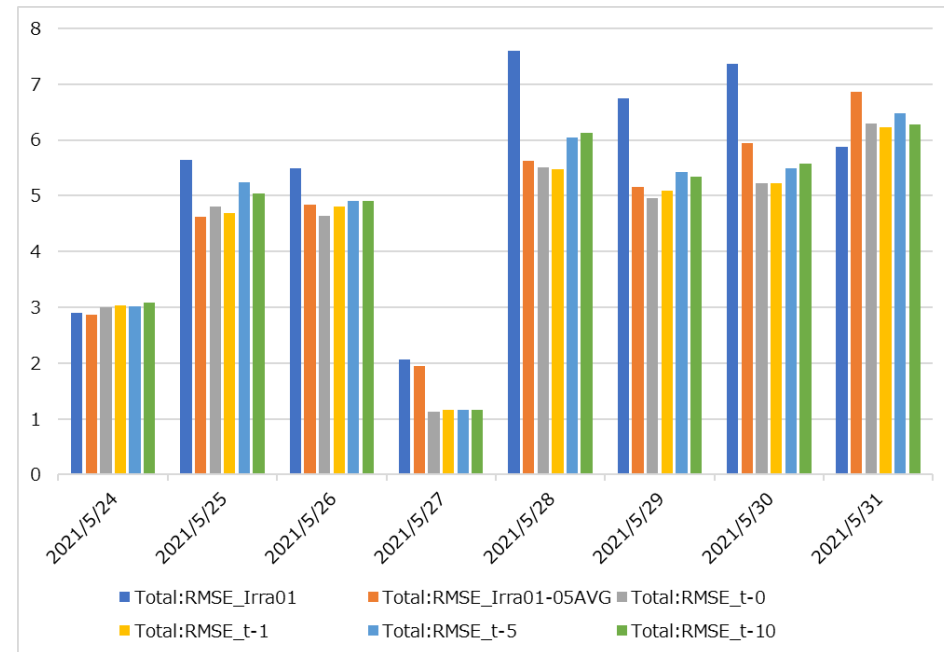
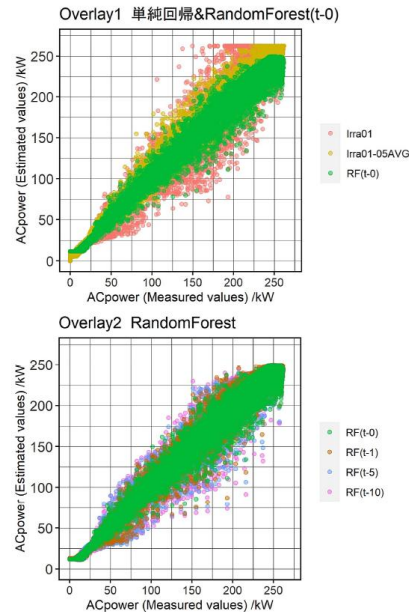
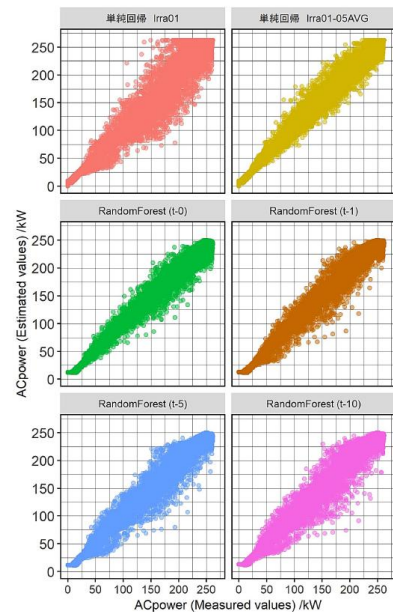
# 実証システム構成：概要



# 期待発電電力の推定方法：回帰式の検討

- 単純回帰： $E_p = a \cdot H_{Ag}^2 + b \cdot H_{ag}$
- 機械学習(Random Forest(RF))モデル比較したが、回帰モデルを大差無し。
- 過去データは1日～1か月データの学習を比較し、過去7日データを利用で誤差が飽和することを確認。

2021-05-28 (Estimated from the last 7 days data)



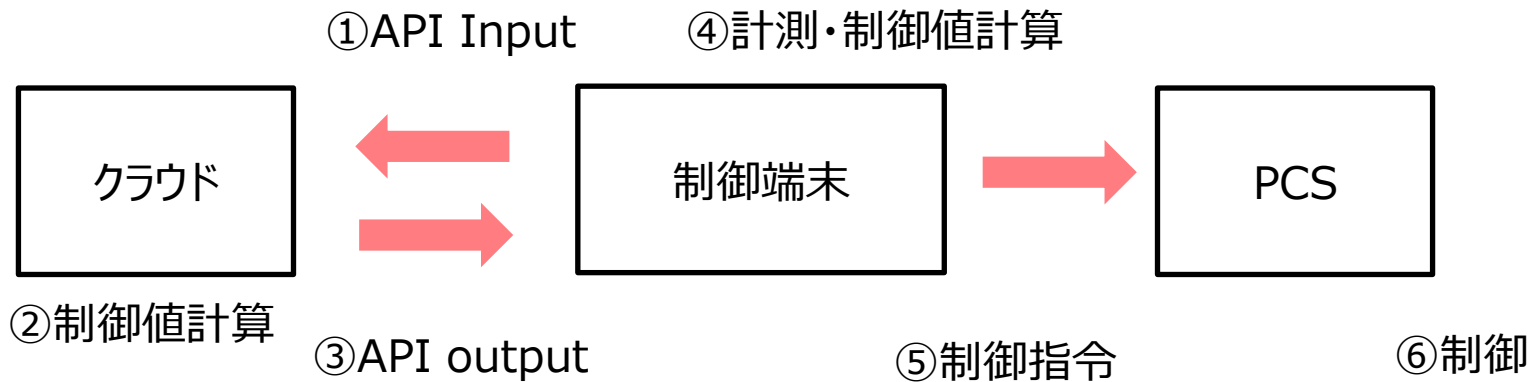
データのスクリーニング： $H_{Ag} \geq 50 \text{ W/m}^2$ ,  
 $2.5 \text{ kW} \leq E_p \leq 262.5 \text{ ※} 250 \times 1.05 = 262.5$

# 実証実験概要

- PVの調整力評価のポイント
  - 応動時間、指令間隔、監視間隔、評価間隔

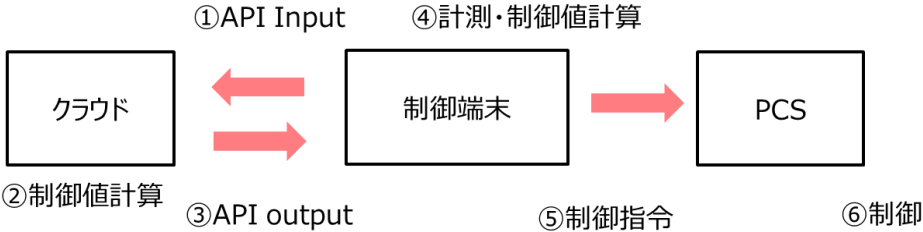
|     | 指令間隔             | 応動時間  | 監視間隔       | 評価間隔   | 許容範囲                             |
|-----|------------------|-------|------------|--------|----------------------------------|
| 三次② | 30分              | 45分以内 | 1～30分      | 5分間平均値 | $\Delta kW \pm 10\%$<br>全点確認     |
| 三次① | 5分（簡易指令）         | 15分以内 | 1分（簡易システム） | 1分間平均値 | $\Delta kW \pm 10\%$<br>滞在率90%以上 |
| 二次② | 5分（簡易指令）         | 5分以内  | 1分（簡易システム） | 1分間平均値 | $\Delta kW \pm 10\%$<br>滞在率90%以上 |
| 二次① | 0.5～数十秒<br>（専用線） | 5分以内  | 1～5秒       | 1～5秒   | $\Delta kW \pm 10\%$<br>滞在率90%以上 |
| 一次  | 自端               | 10秒以内 | 1～数秒       | 1秒     | 供出可能量 $\pm 10\%$<br>滞在率90%以上     |

取引ガイド（全商品） 2025年 3月14日 第6版  
[https://www.eprx.or.jp/j\\_information/docs/guide\\_250314\\_r2.pdf](https://www.eprx.or.jp/j_information/docs/guide_250314_r2.pdf)



# 指令間隔・応動時間の実証

- ①、③はWEBによる処理：約5秒
  - ②はクラウド上の計算：約5秒
  - ④は計測・制御値計算：約2秒
  - ⑤はPCSへの制御指令：約1秒
  - ⑥はPCSの制御指令値までの応答時間：約10秒（下げは1秒程度）
- 合計：応動時間：約30秒以下 →（基本的にどの商品も対応可）



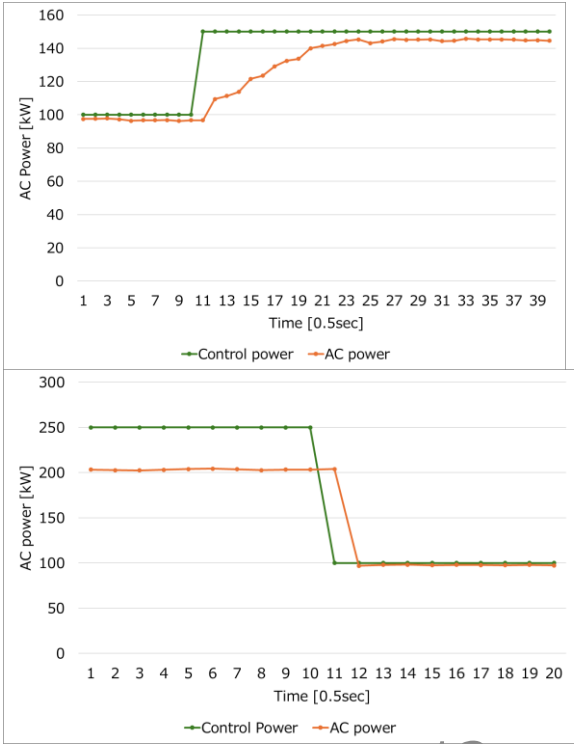
②東芝システムでの性能計測結果（秒）  
条件：リソース30個で計測

| 処理                | 3回実施<br>最大 | 3回実施<br>平均 | 最大／<br>1リソース | 平均／<br>1リソース |
|-------------------|------------|------------|--------------|--------------|
| インプットCSV<br>作成処理  | 23         | 20         | 0.8          | 0.7          |
| アルゴリズム<br>実行時間    | 174        | 117        | 5.8          | 3.9          |
| アウトプットCSV<br>登録処理 | 9          | 8          | 0.3          | 0.3          |
| 計                 | 206        | 145        | 6.9          | 4.9          |

上げ：  
100→150kW  
5～7秒

下げ：  
200kW(MPPT)  
→100kW  
1秒

⑥PCSの制御値までの応動時間



# 評価間隔/許容範囲の評価

## PVの調整力評価のポイント

－ 応動時間、指令間隔、監視間隔、評価間隔

1分 or 0.5秒による評価

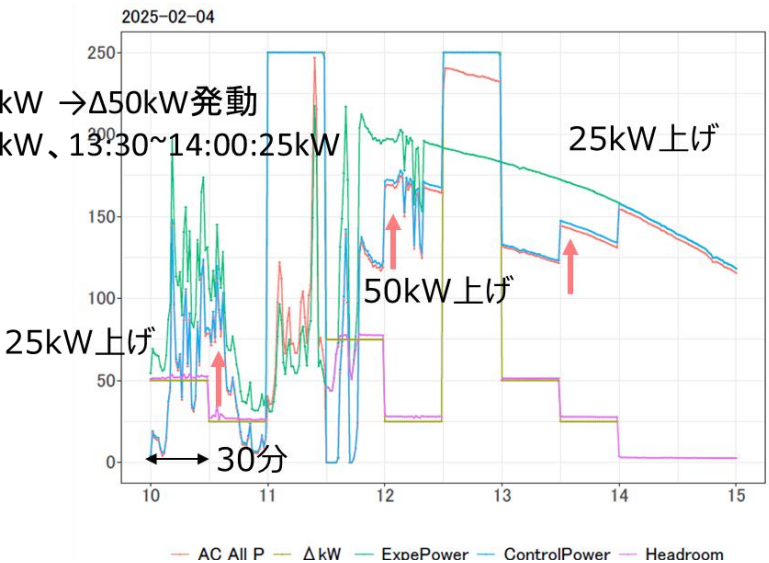
|     | 指令間隔             | 応動時間  | 監視間隔       | 評価間隔   | 許容範囲                             |
|-----|------------------|-------|------------|--------|----------------------------------|
| 三次② | 30分              | 45分以内 | 1～30分      | 5分間平均値 | $\Delta kW \pm 10\%$<br>全点確認     |
| 三次① | 5分（簡易指令）         | 15分以内 | 1分（簡易システム） | 1分間平均値 | $\Delta kW \pm 10\%$<br>滞在率90%以上 |
| 二次② | 5分（簡易指令）         | 5分以内  | 1分（簡易システム） | 1分間平均値 | $\Delta kW \pm 10\%$<br>滞在率90%以上 |
| 二次① | 0.5～数十秒<br>（専用線） | 5分以内  | 1～5秒       | 1～5秒   | $\Delta kW \pm 10\%$<br>滞在率90%以上 |
| 一次  | 自端               | 10秒以内 | 1～数秒       | 1秒     | 供出可能量 $\pm 10\%$<br>滞在率90%以上     |

取引ガイド（全商品） 2025年 3月14日 第6版  
[https://www.eprx.or.jp/j\\_information/docs/guide\\_250314\\_r2.pdf](https://www.eprx.or.jp/j_information/docs/guide_250314_r2.pdf)

実証実験条件：  
 $\Delta 50kW \rightarrow \Delta 25kW$ ： $\Delta 25kW$ 発動  
 $\Delta 75kW \rightarrow \Delta 25kW$ ： $\Delta 50kW$ 発動  
 $\Delta 50kW \rightarrow \Delta 25kW$ ； $\Delta 25kW$ 発動

12:00～12:30:25kW →  $\Delta 50kW$ 発動  
13:00～13:30:50kW、13:30～14:00:25kW  
→  $\Delta 25kW$ 発動

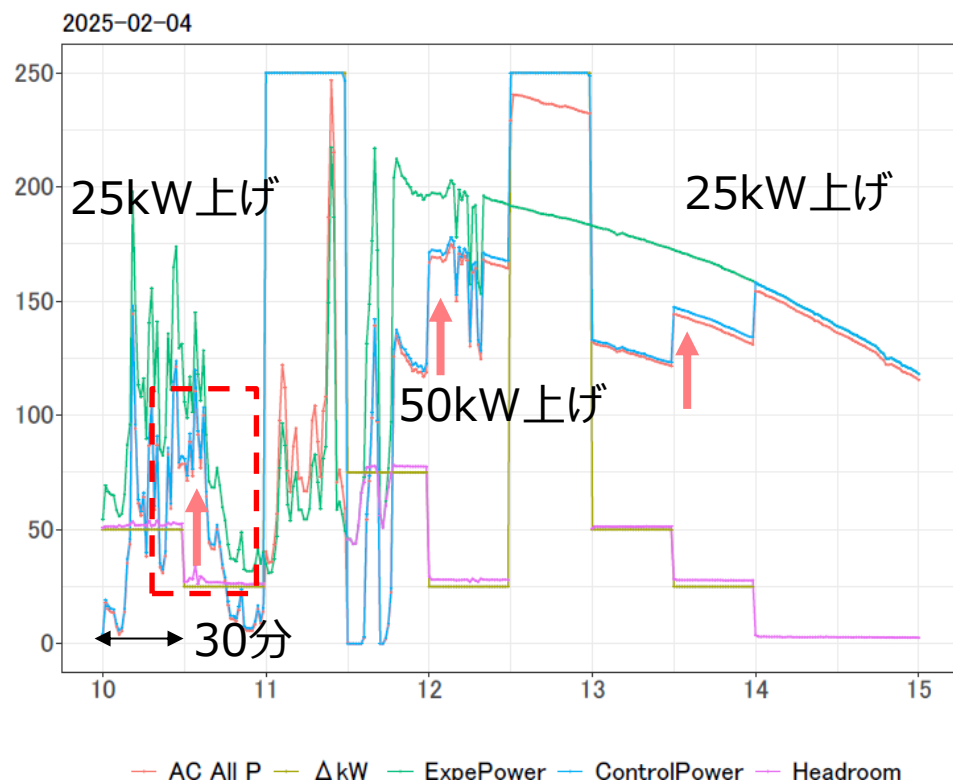
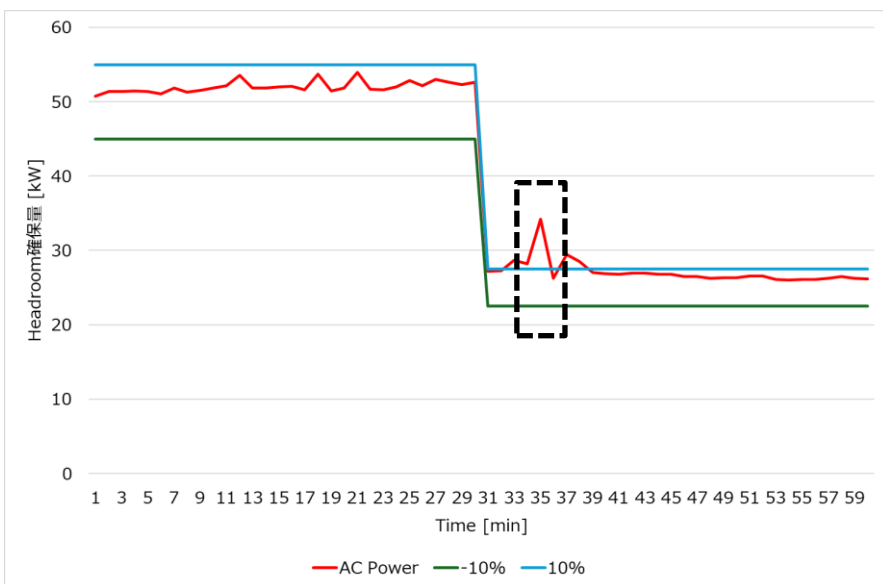
期待発電電力  
実測 AC power  
Headroom確保量  
Headroom制御値  
制御指令値



# 評価間隔/許容範囲の評価：HEADROOM制御

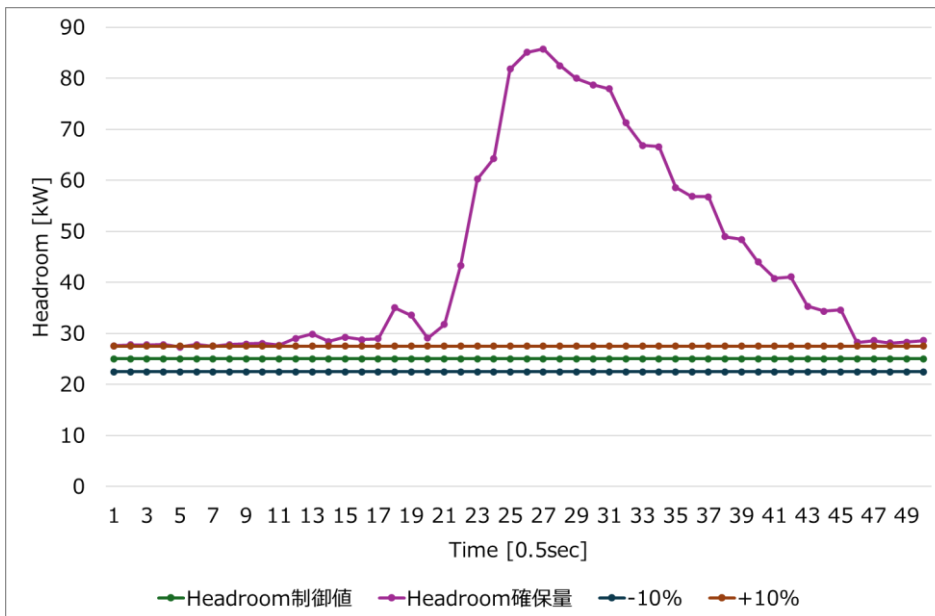
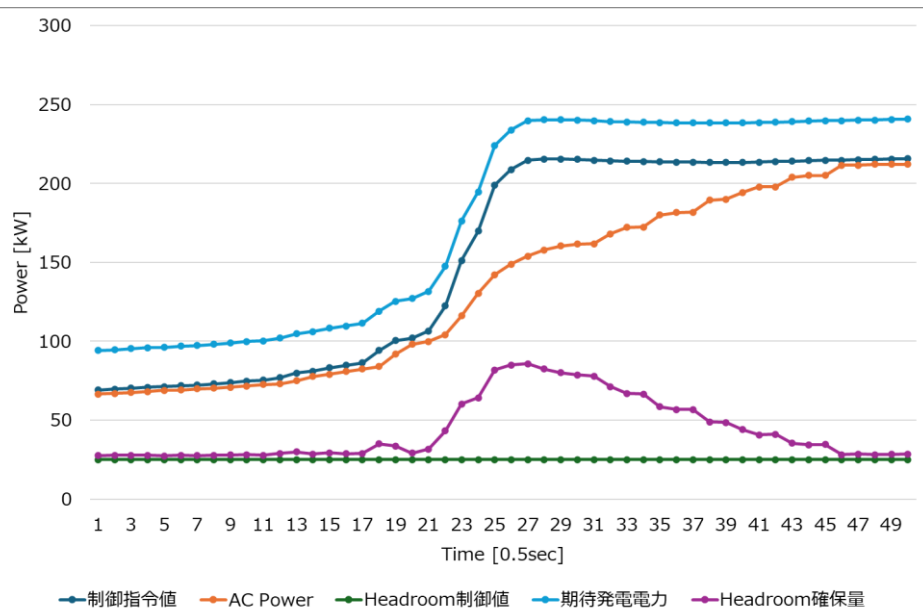
- 2025/2/4 10:00~10:30:Δ50kW、10:30~11:00:Δ25kW →Δ25kW発動
- 1分値による評価：一部+10%を超過

期待発電電力    Headroom確保量    制御指令値  
実測 AC power    Headroom制御値



# 評価間隔/許容範囲の評価：HEADROOM制御

- 2025/2/4 10:30~11:00:Δ25kW
- 0.5秒値による評価：+10%を超過
- 制御値からの時間遅れにより、目標値を大幅に超過（約10秒程度）



# PVの需給調整市場参加に関する課題整理

## ○制度的観点：

- **供出可能量の考え方**
  - － 日射量で変わる最大出力の設定：PVの設備容量ではなく、毎回入札時に設定。
  - － 事前審査との整理：確保方法と推定方法を提示。
- **ベースラインの設定の考え方**
  - － スポットと同時に拋出時のベースライン：30分コマでは同時は無いかもしれないが、需給調整分を確保しつつスポットのインバランス側で調整、需給調整市場のペナルティの考え方整理。
- **アセスメントの考え方**
  - － 確保量の証明方法：Headroomの推定結果とあわせて提示
  - － ペナルティの考え方：インバランス出さない計画には保守的な計画。予測と入札タイミング。
- **入札のタイミング**
  - － 週間・前日予測をベースの画：実需給に近いタイミング。時間前市場との関係整理。

## ○技術的観点：

- **PCS制御方式の検討**
  - － リアルタイム日射推定以外の方式（台数制御棟）
- **PCSの制御遅れの改良**
  - － 計測・制御プログラムの変更
- **複数地点の最適制御**
- **需給調整市場の参入要件、具体的な方法に適合するシステム化**

# まとめ

- 実証実験の結果、PVからの調整力の拋出可能性を示し、具体的な需給調整市場へのPV参入に向けた課題を整理
- 需給調整市場のルール整備の参考データとなることが期待される。
- 将来のPVの導入量拡大に必要な持続的な発電事業の継続および電力系統への影響緩和に貢献。