

# 太陽光発電と発電予測の概要

国立研究開発法人産業技術総合研究所

福島再生可能エネルギー研究所(FREA)

再生可能エネルギー研究センター 太陽光システムチーム

大関 崇

ともに挑む。つぎを創る。

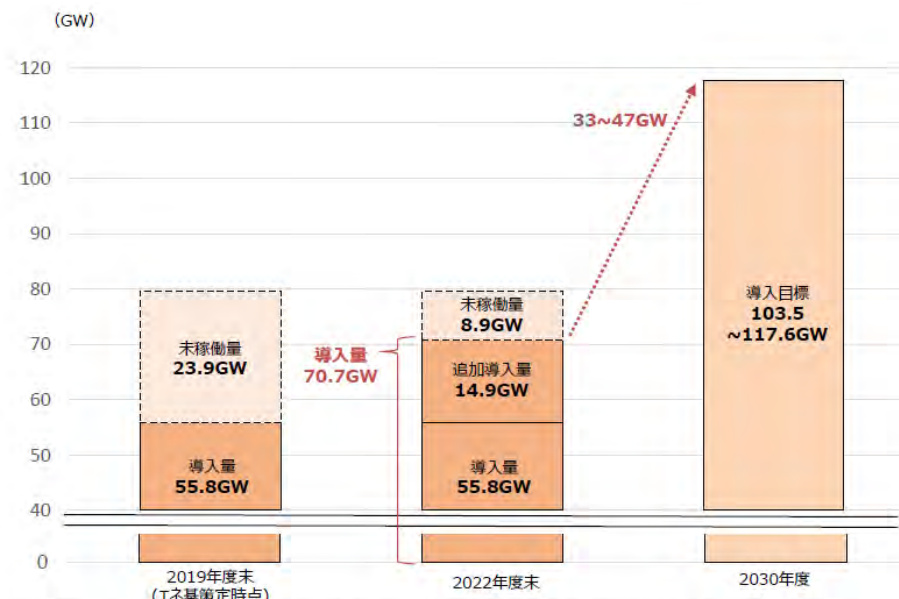
未来をデザインし、社会と共に未来を創る。  
互いを認め、共に挑戦する研究所を築く。

# 導入拡大：2030年に向けて

- 2019年度末：55.8GW(エネ基時点)
- 2022年度末：+14.9GW(5GW/年×3年)
  - +住宅：xGW
  - +非住宅+未稼働：XGW
- 2023年度～2029年度末：49.4GW/7年
- 未稼働：+8.9GW
- 建物(努力継続)：+7GW(1GW/年×7年)
- 建物(政策強化)：+8.3GW
- 建物(野心的)：+13.5GW
- 地上(努力継続)：+3.5GW(0.5GW/年×7年)
- 地上(政策強化)：+4.1GW
- 地上(野心的)：+4.1GW

-----

- **約120GW** (108GW ; 追加 地上除く)



※ 導入量は、FIT前導入量5.6GWを含む。また、2019年度末の未稼働量（23.9GW）のうち、認定失効制度により、2022年度末に4.0GWが失効済。  
 ※ 2022年度末時点におけるFIT/FIP認定量及び導入量は速報値。  
 ※ 入札制度における落札案件は落札年度の認定量として計上。

住宅	: 3.5GW/10年
公共建物	: 6GW/10年
民間建物	: 10GW/10年
空港関係	: 2.3GW/10年

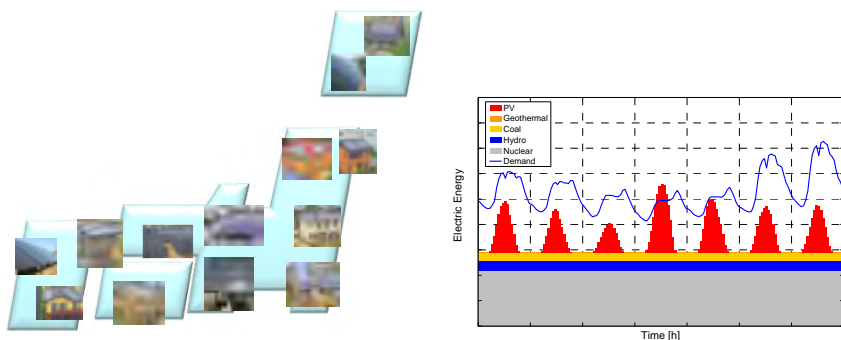
出典：電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会（第52回）

# 太陽光発電の予測手法の分類（空間）

- 広域と地点ごとの予測。
- 基本の予測モデルは同じ。

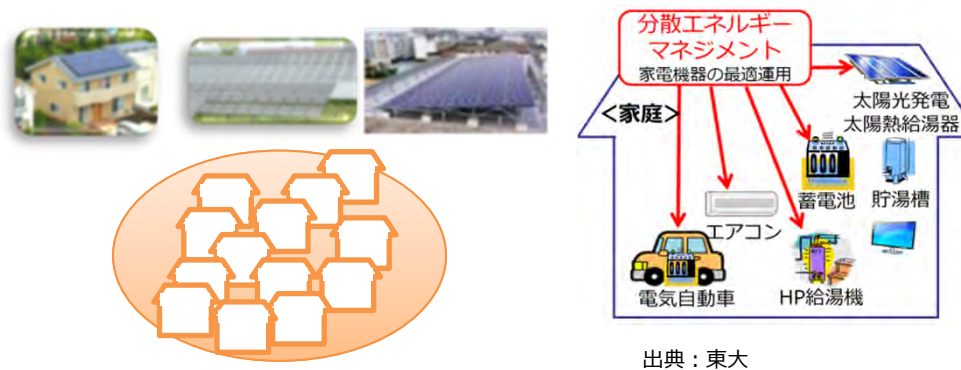
## 広域予測（Regional forecast）

- 系統制御エリア、電力管区内
- 系統計画/運用



## 地点予測（Point forecast）

- 個別住宅、コミュニティ、発電事業者
- EMS、コネクト&マネージ
- インバランス回避

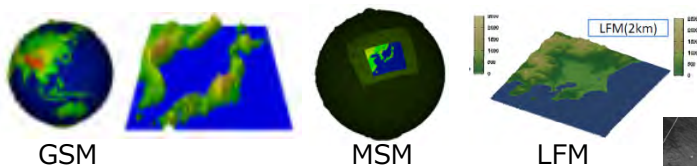


# 発電予測手法の分類 (時間)

- 予測時間(Forecast Horizon)ごとにモデルが異なる。

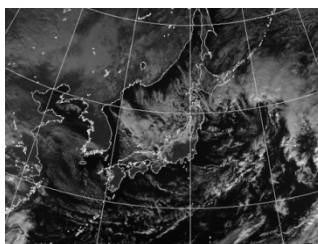


数値予報モデル  
(NWP: Numerical Weather prediction)



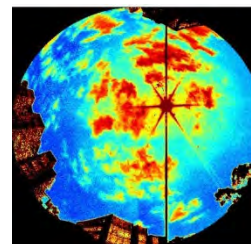
出典: JMA

衛星画像等



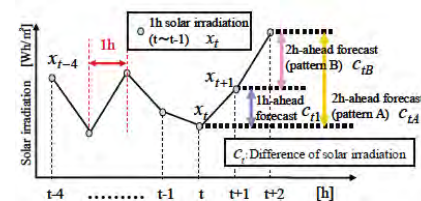
出典: JMA

天空画像



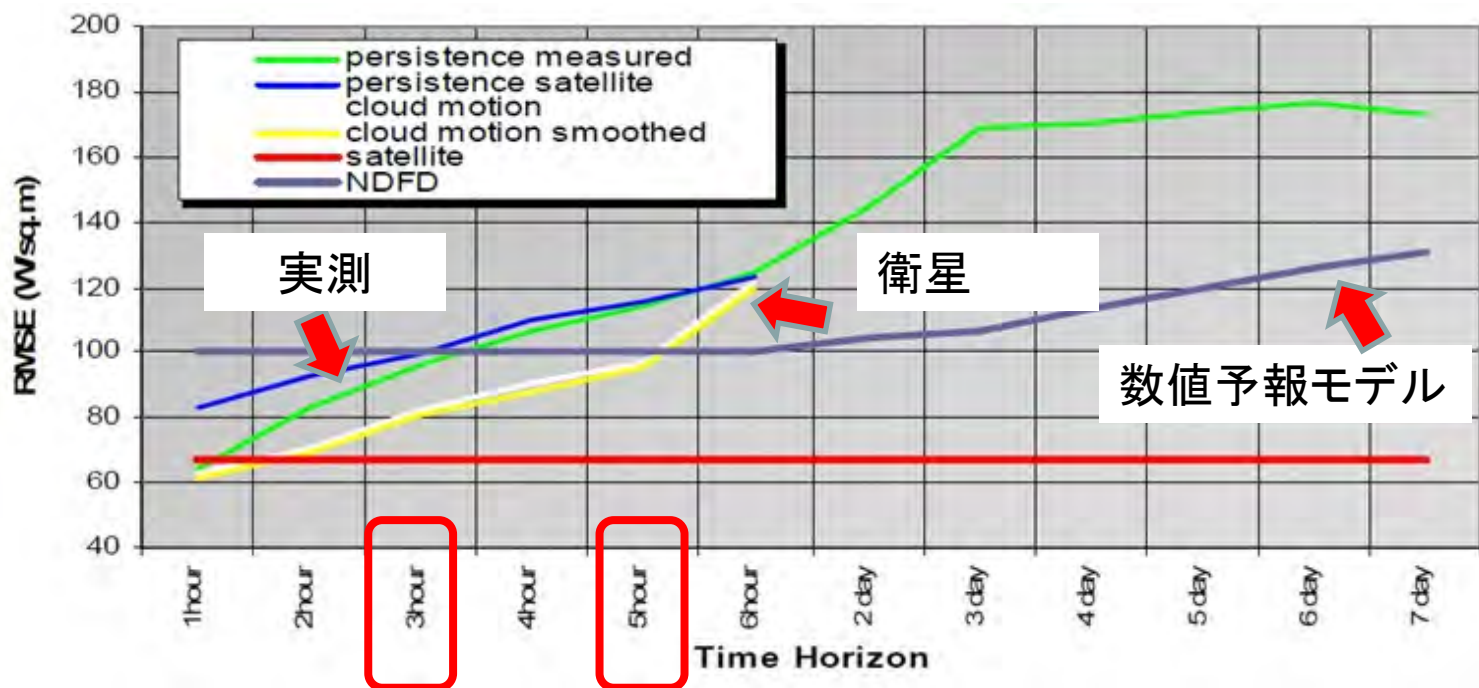
出典: Bryan

実測データ(持続モデル)



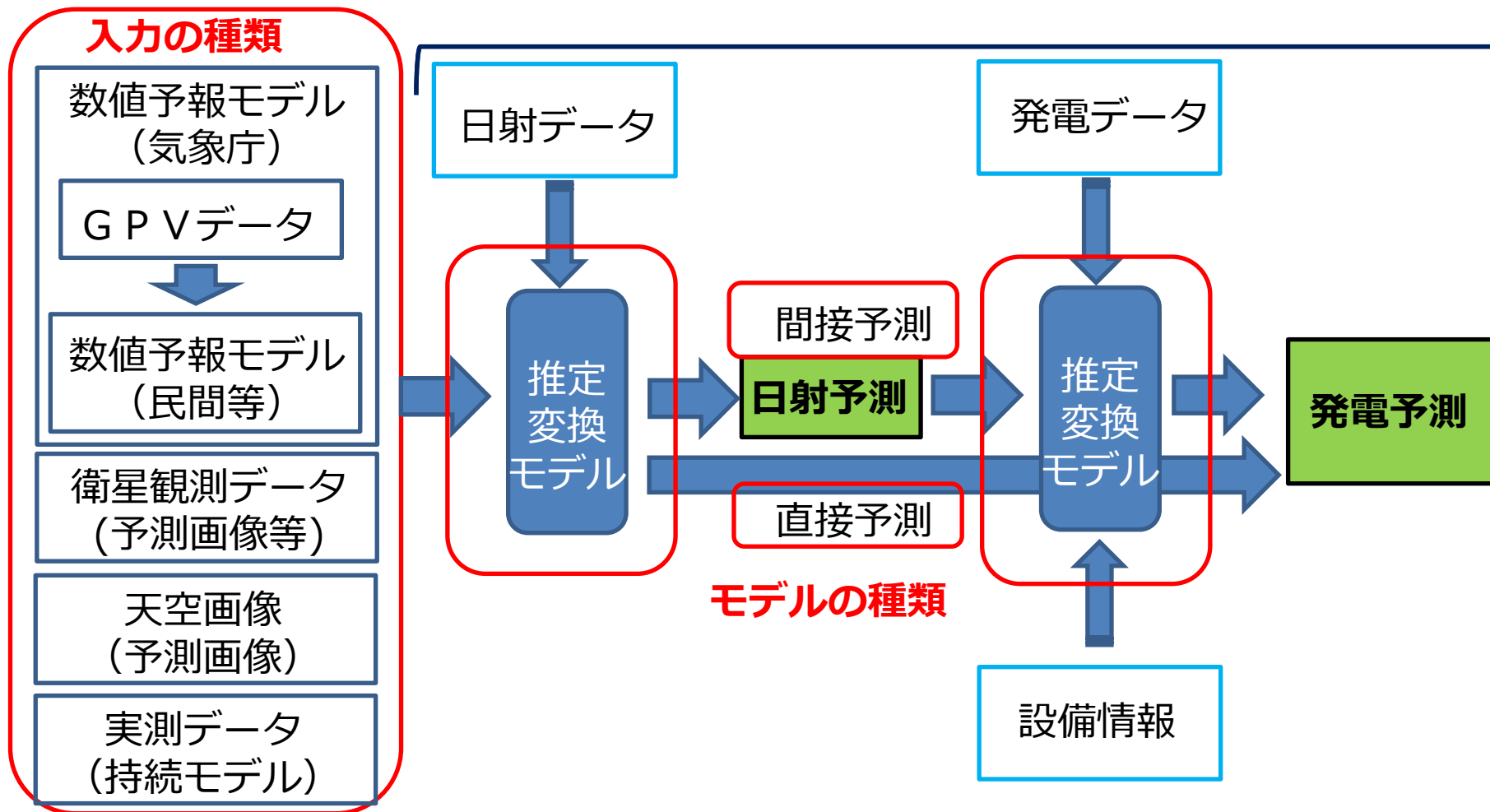
出典: waseda

## 発電予測手法の分類（時間）



出典 : Perez R, S Kivalov, J Schlemmer, K Hemker Jr., D Renne, TE Hoff, "Validation of short and medium term operational solar radiation forecasts in the US", Solar Energy, in press, 2010a.

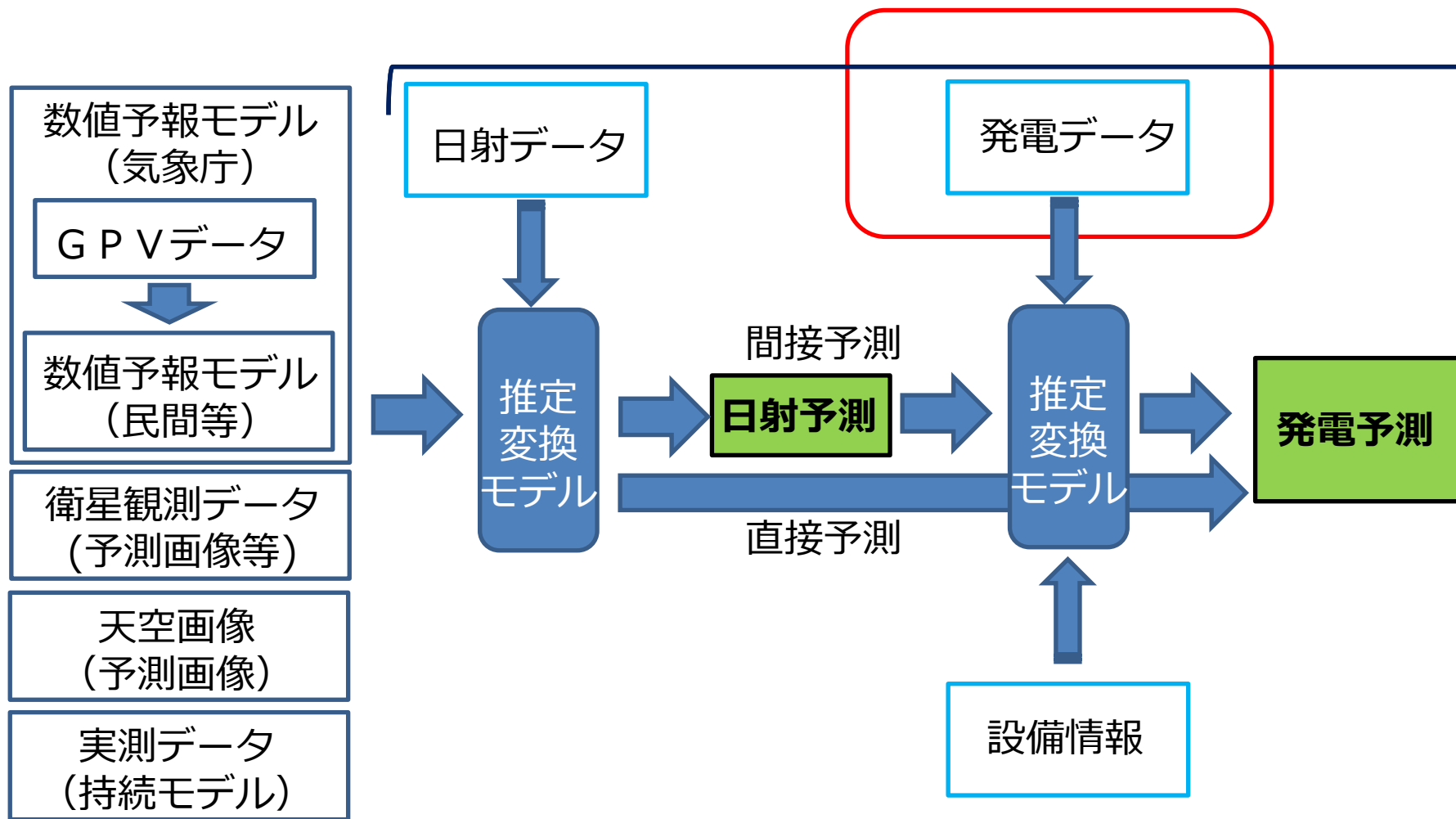
# 発電予測の全体像



# 発電予測誤差の要因

- 前日：
  - 数値予報モデルの誤差
  - 日射 → 発電 推定誤差
    - 損失特性
    - 設備情報の空間的把握
  - 日射・気象データの空間代表性の誤差
- 短時間（衛星利用を例）：
  - 衛星観測データの予測誤差
  - 衛星観測データ→日射 推定誤差
  - 日射→発電 推定誤差
- 出力把握：
  - 日射量の推定誤差
  - 日射・気象の空間代表性の誤差
  - 日射→発電推定誤差
    - 損失特性
    - 設備情報の空間的把握

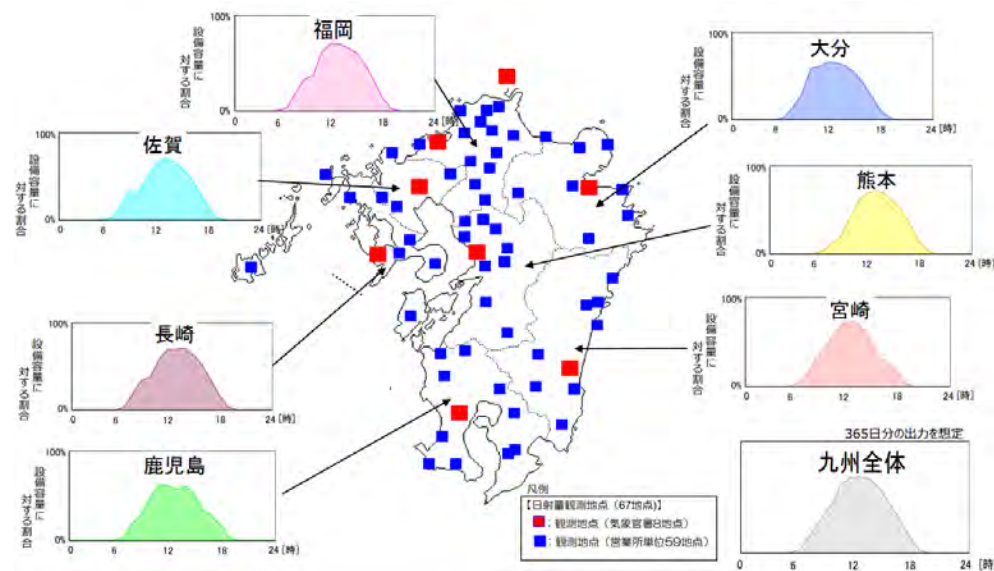
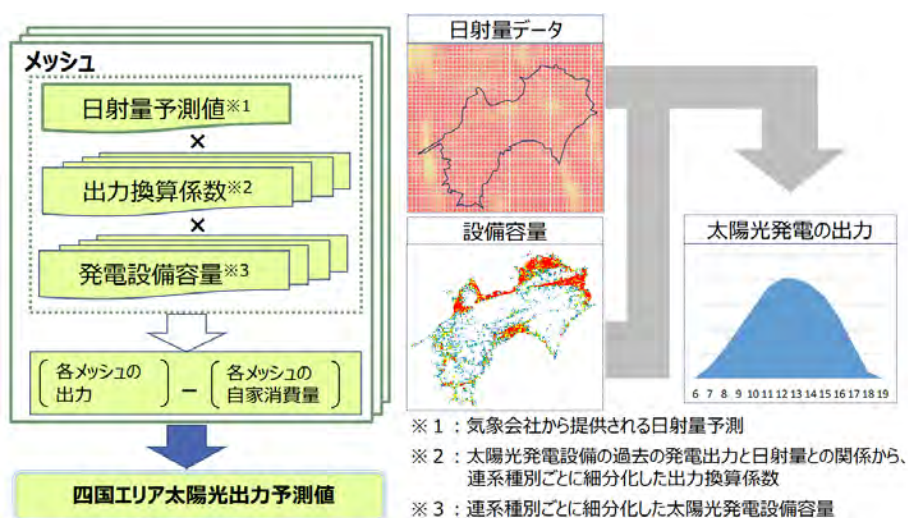
# 発電予測の全体像





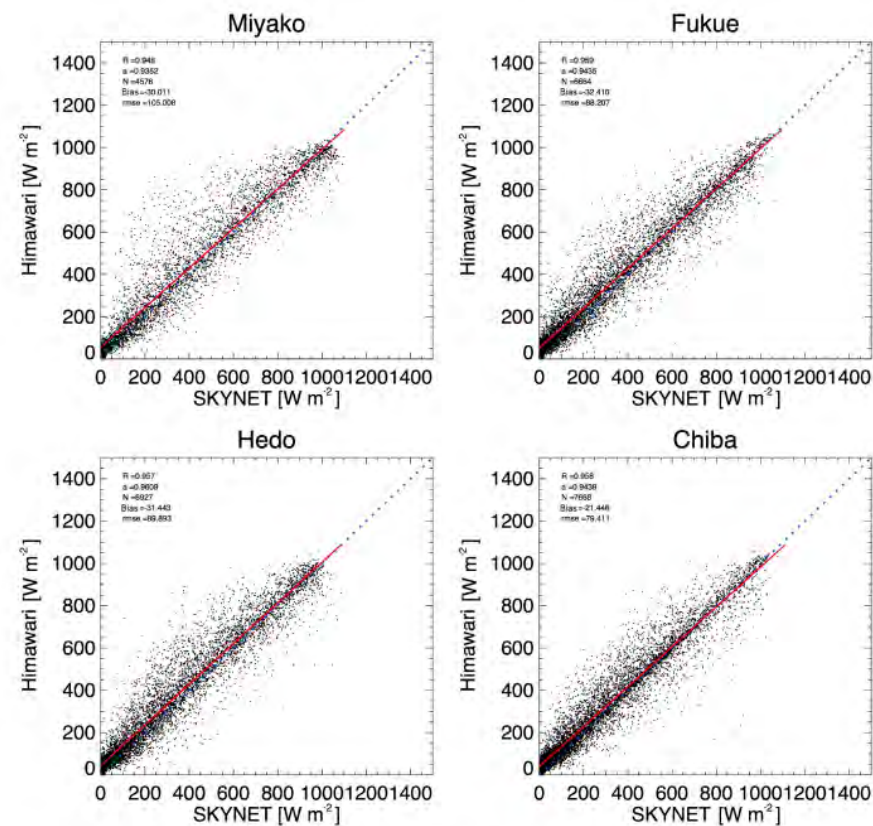
# 出力把握

- ベースとなる日射等の気象データ。
  - 衛星観測データ推定日射→推定誤差あり、分解能：0.5km、時間分解能：2.5分
  - 代表地点日射 →実測、分解能：観測地点依存、時間分解能：観測データ依存



出典：[https://www.occto.or.jp/oshirase/shutsuryokuyokusei/2023/files/240228\\_sankoushiryo\\_okinawa.pdf](https://www.occto.or.jp/oshirase/shutsuryokuyokusei/2023/files/240228_sankoushiryo_okinawa.pdf)  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/shin\\_energy/keito\\_wg/pdf/049\\_s01\\_09.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/shin_energy/keito_wg/pdf/049_s01_09.pdf)

# 出力把握：衛星推定日射



**Figure 2.** Scatter plot of ground-based SKYNET observations and satellite-based estimates of surface global irradiance from Himawari-8 at the Chiba, Fukue, Miyako, and Cape Hedo stations in 2016. Statistics describing the comparison, i.e., correlation coefficient ( $r$ ), slope of the regression line ( $a$ ), number of samples ( $N$ ), mean bias (bias), and root mean square error (RMSE), are shown in the upper left corner; the dashed line is a 1 : 1 line, and the regression line is shown in red. Time step: 30 min.

出典： Evaluation of Himawari-8 surface downwelling solar radiation by ground-based measurement, <https://doi.org/10.5194/am-t-11-2501-2018>

# 出力把握：代表地点

(参考) 第43回調整力及び需給バランス評価等に関する委員会

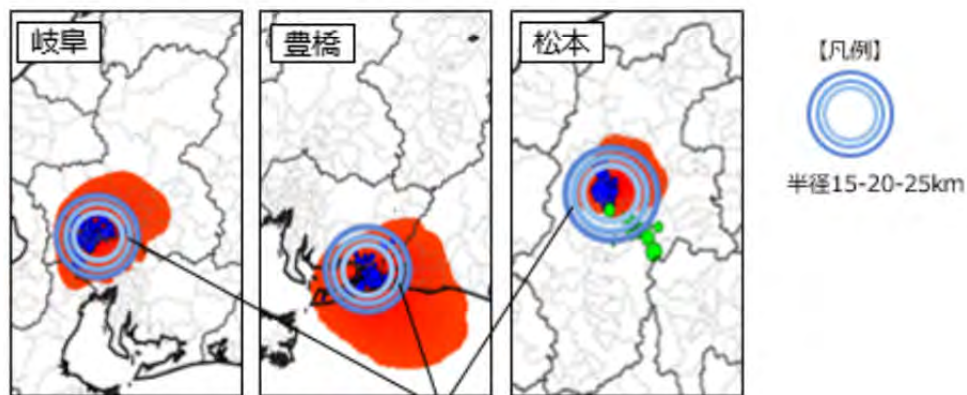
12

取得している気象予測情報がカバーできている範囲 (3/3)

17

- また、中部エリアでは、地点毎に相関の強い範囲を分析する取組みを行っている。予測地点を中心とした半径15km、20km、25kmの円を図示すると下図となる。
- このとき、概ね気象相関のあるエリアは、概ね半径20km円相当の広さである。

赤エリア：気象予測値を取得している地点の気象実績値と、その周辺エリアの気象実績値（1kmメッシュの衛星推定日射量実績）について 相関係数が0.95以上となるエリア



気象相関があるのは代表地点からおよそ20km範囲内くらいとなるか

出所) 第43回調整力及び需給バランス評価等に関する委員会 (2019.9.30) 資料3  
[https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/2019/files/chousei\\_43\\_03.pdf](https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/2019/files/chousei_43_03.pdf)

出典：第56回調整力及び需給バランス評価等に関する委員会，2020年12月

# 出力把握：代表地点

出力予測地点の状況について

14

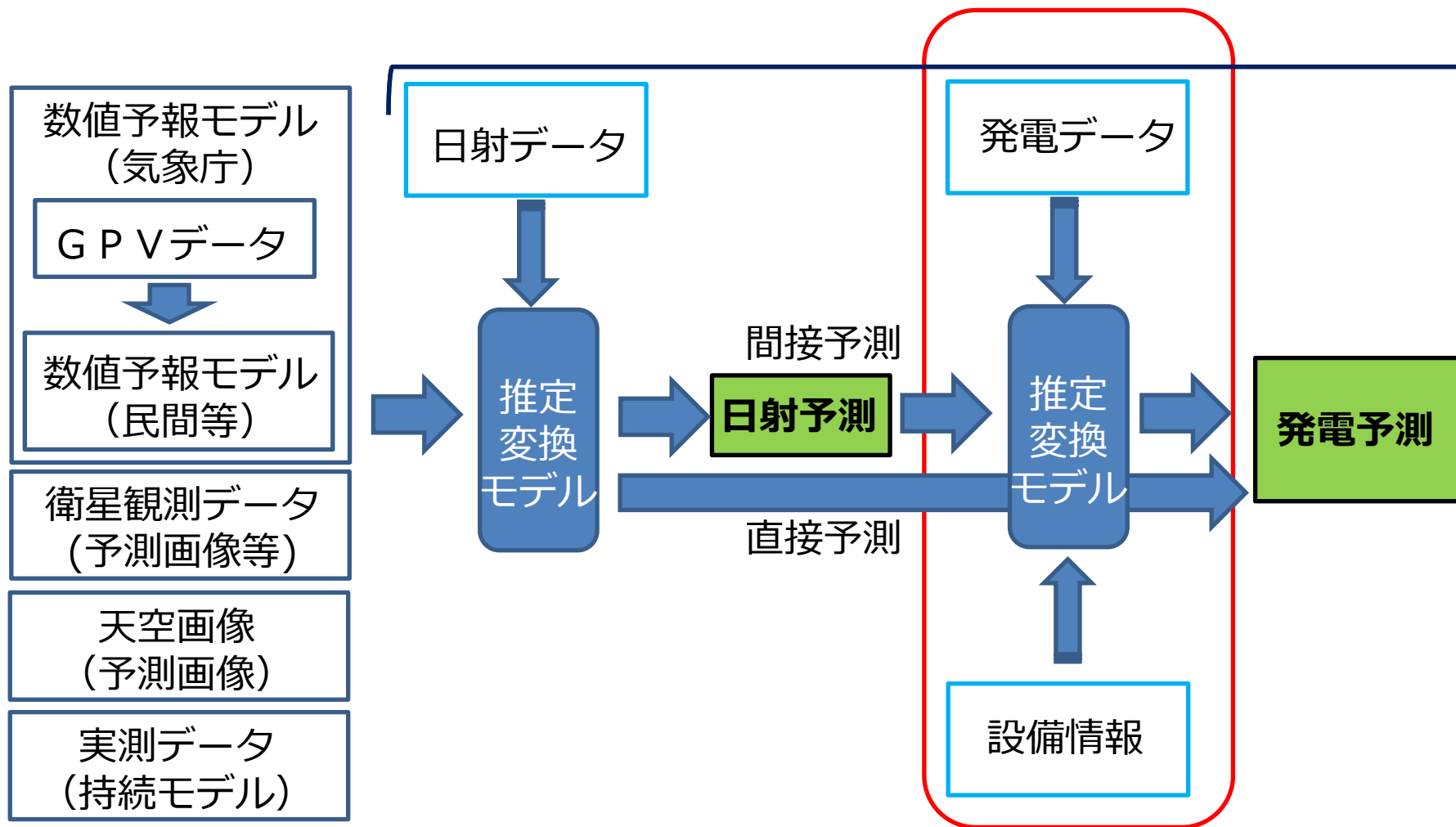
- 今回改めて、各社の予測地点の状況を調査し、予測地点と設備プロット図（次ページ以降）を作成した。
- 予測地点は増加しており、予測地点からの20km円内に入る再エネ設備量の割合（捕捉率）は、全てのエリアで約9割に達している。
- 予測地点については、設備を予測地点から20km以内に収めるよう見直しする考えがある一方、既存の予測地点との気象相関を個別に分析し、見直しではなく既存の予測地点で代替を行う考えもある。

		北海道	東北	東京	中部	北陸	関西	中国	四国	九州	沖縄
気象予測地点の考え方 (A) 代表地点方式 (B) メッシュ方式		(A)代表 PVが多い変電所 + 特高PV	(A)代表 PVが多い エリア	(A)代表 気象相関 のあるエリア	(A)代表 予測地点から 一定範囲	(B)メッシュ 1kmメッシュ 1kmメッシュ 5kmメッシュ			(A)代表 予測地点から 一定範囲	(A)代表 PVが多い エリア	
予測地点数	2019報告	45	137	50	14	18	1.1万	1.3万	596	69	4
	2020報告 (捕捉率)	50 (88%)	160 (92%)	50※1 (99%)	14 (86%※2)	18 (99.6%)	1.1万 (100%)	1.3万 (100%)	598 (100%)	69 (94%)	4 (97%)
(参考)	今後の見直し予定	・[2020年度末] メッシュ方式の導入	・[2021年度中] メッシュ方式の導入	-	-	-	-	-	-	-	-

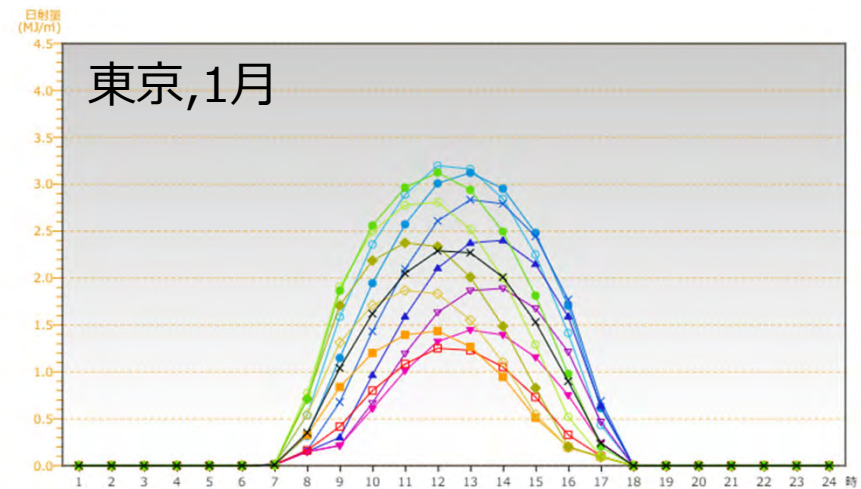
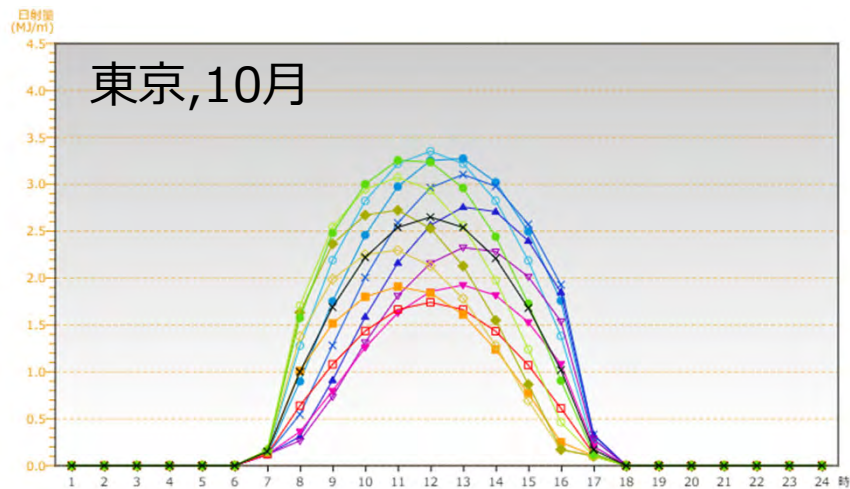
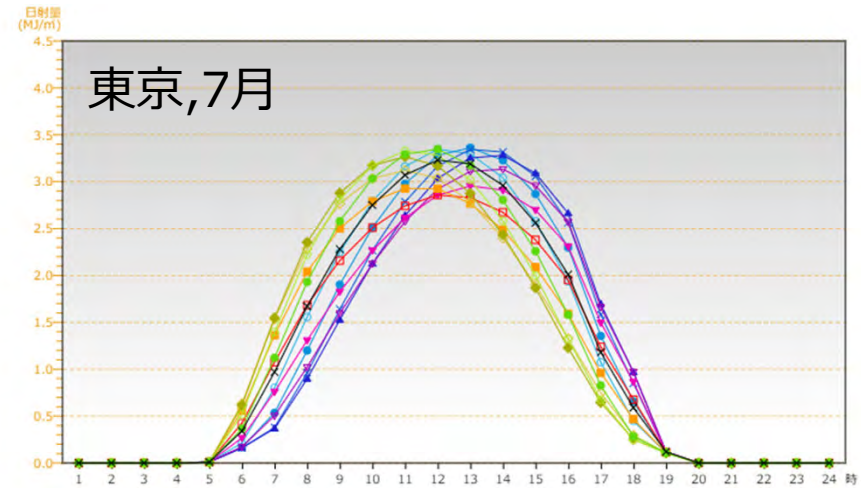
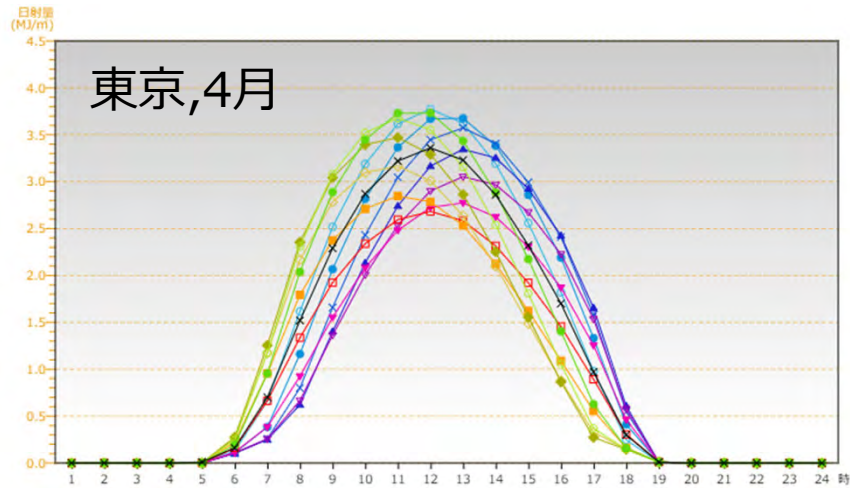
※1 2020年9月末に予測地点箇所を見直し（地点数は同じ、捕捉率97→99%）  
 ※2 中部は予測地点に対する気象の相関係数が0.95以上となる再エネ設備量の割合

出典：第56回調整力及び需給バランス評価等に関する委員会，2020年12月

# 発電予測の全体像



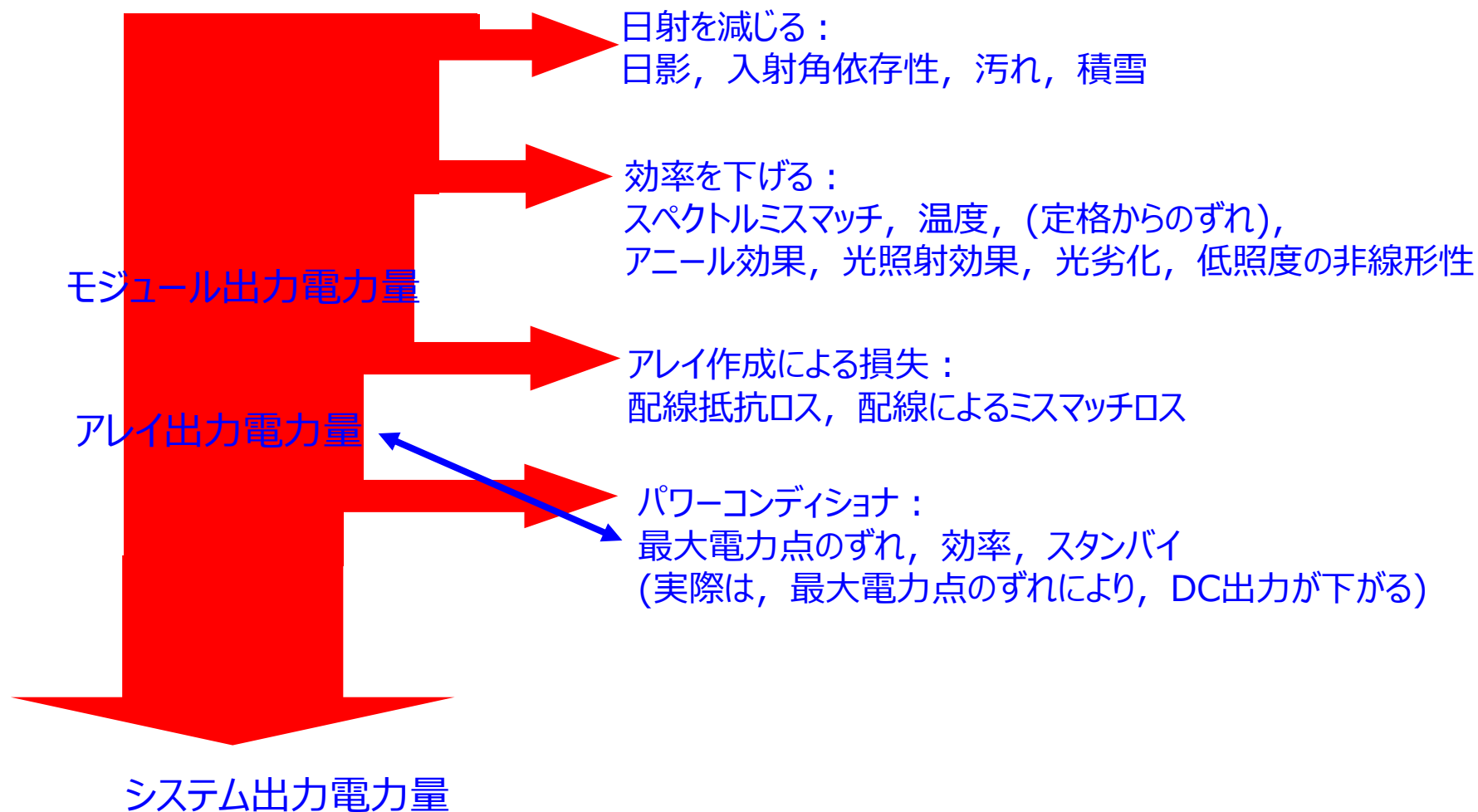
# 発電特性への変換:水平面→傾斜面



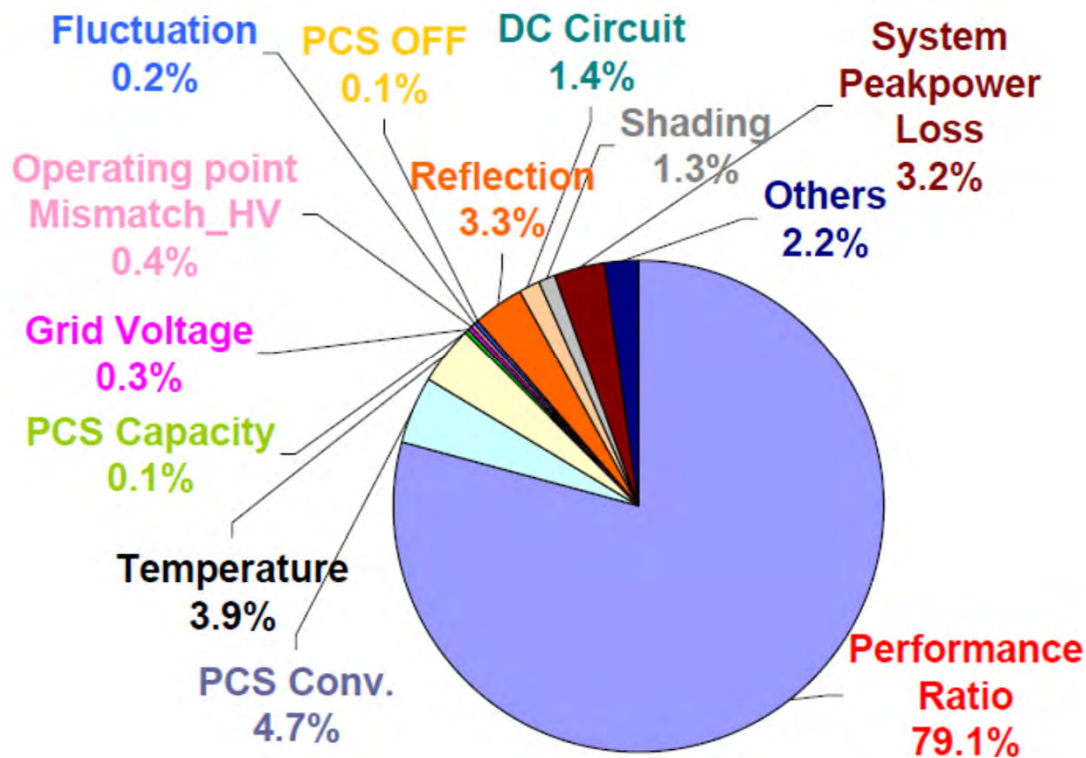
出典 : METPV

# 発電特性への変換:傾斜面→発電特性

標準出力 = 日射量・定格



# (参考) 発電特性への変換:傾斜面→発電特性



太陽光発電システムの損失分析例

SV法による分析 (太田市) 2004/10~2005/9 104システム

出典: 植田譲, 博士論文, 東京農工大学

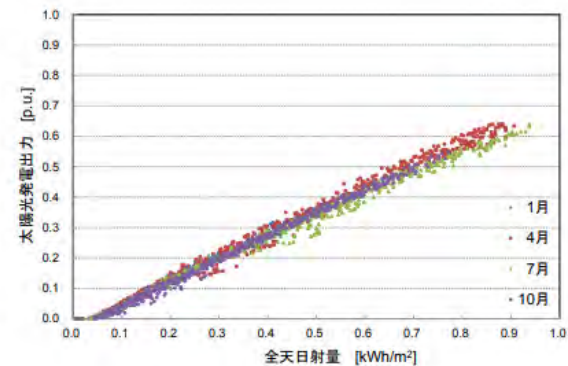


# 発電特性への変換: 水平面 → 発電特性

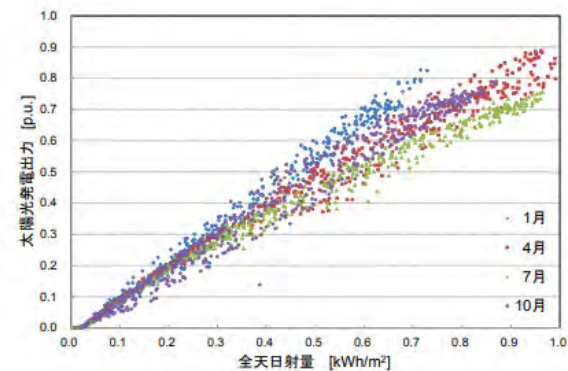
表5.2 太陽光パネルの設置傾斜角と方位角

	設置傾斜角 (度)	設置方位角 (度)
八幡	5	S20E
武雄	10	S35E
長崎	15	S 7E
大分	20	S 8E
人吉	20	S23E
日南	20	S40E, S50W
薩摩川内	5, -5	S11W

(文献[31]をもとに作成)



(a) 八幡



(b) 人吉

図5.2 全天日射量に対する太陽光発電出力の関係

(文献[31]をもとに作成)

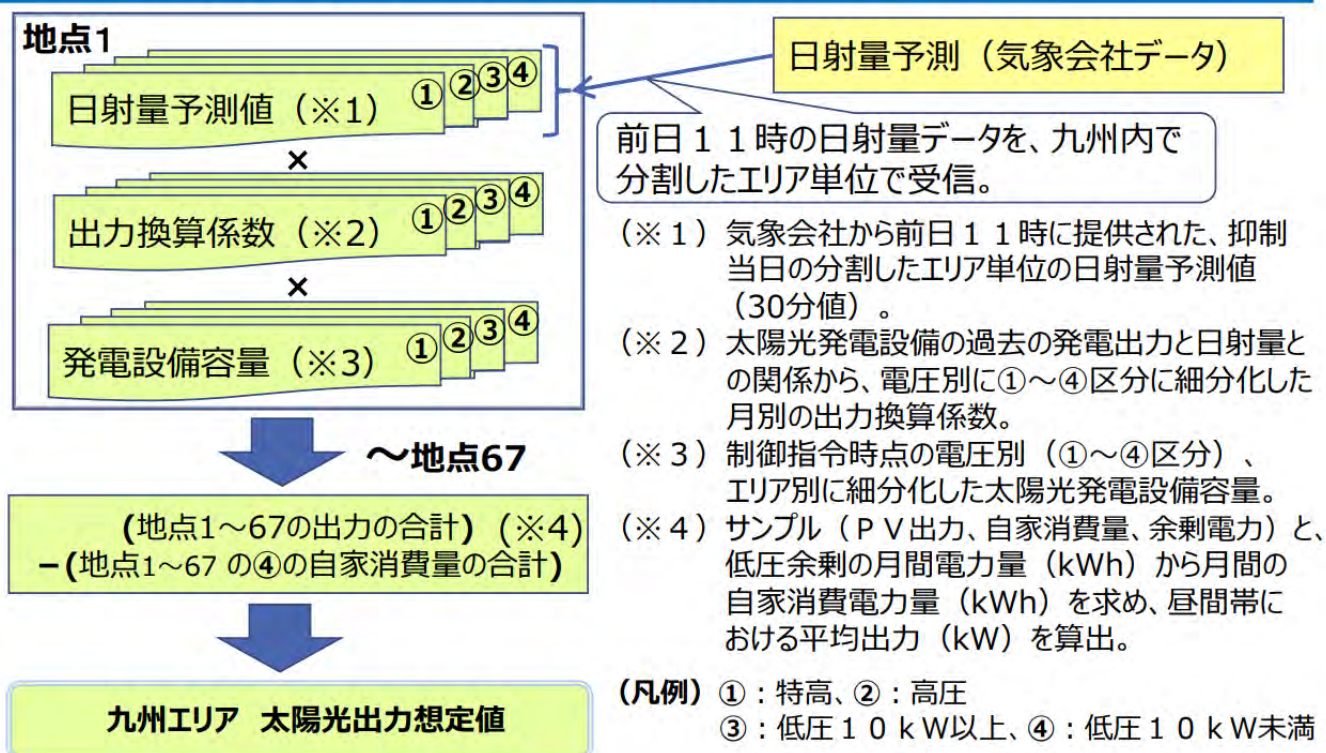
出典 : [https://catalog.lib.kyushu-u.ac.jp/opac\\_download\\_md/1398396/isee0516.pdf](https://catalog.lib.kyushu-u.ac.jp/opac_download_md/1398396/isee0516.pdf)

# 日射→発電変換（九州）

## 3. 需給状況（3）太陽光の出力想定

9

最新の気象予測モデルを使用した日射量想定（前日 1 1 時の日射量想定値）、過去の実績を基にした電圧別の出力換算係数、および最新の発電設備容量を基に、地点毎に算出した合計値を、九州エリアの出力として想定したか確認する。日別の状況は「別紙 1」参照。



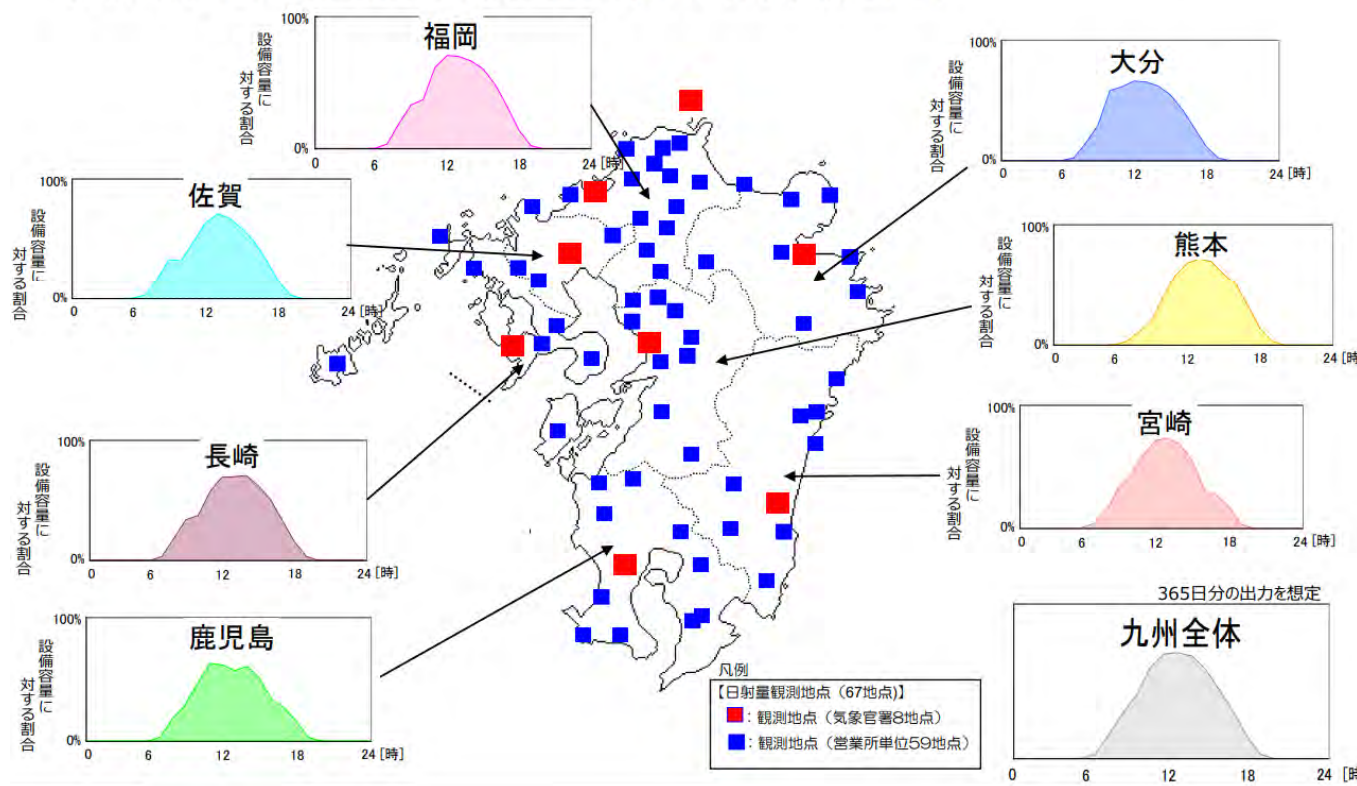
出典 : [https://www.occto.or.jp/oshirase/shutsuryokuyokusei/2023/files/240228\\_sankoushiryo.pdf](https://www.occto.or.jp/oshirase/shutsuryokuyokusei/2023/files/240228_sankoushiryo.pdf)

# 日射→発電変換（九州）

## ステップ4 再エネの接続量に応じた出力の想定（太陽光）

12

- 太陽光については、エリア内67地点の2020～2022年度の日射計データをもとに、各地点単位の太陽光出力を想定し、これらを地点毎の接続済の設備容量比率等により重み付けをして合成することにより、太陽光の総出力を8,760時間分想定する。



出典： [https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/shin\\_energy/keito\\_wg/pdf/049\\_s01\\_09.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/shin_energy/keito_wg/pdf/049_s01_09.pdf)

# 日射→発電変換（九州）

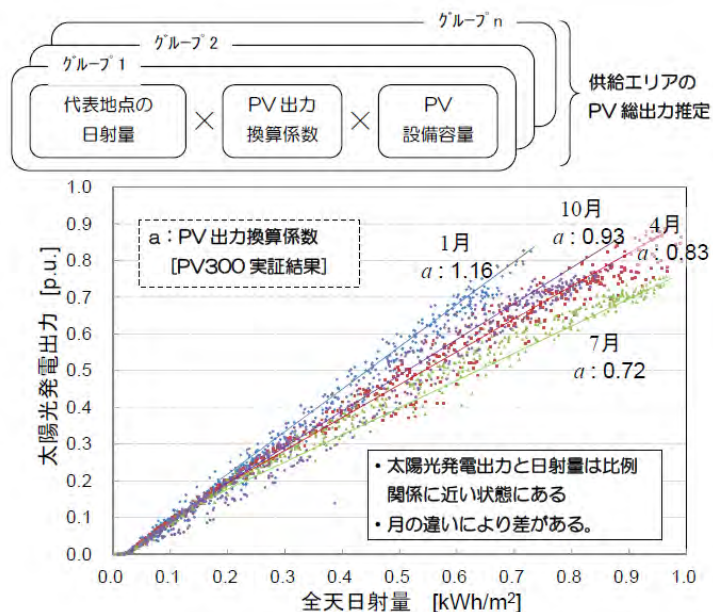


図2 PV出力推定手法の開発<sup>(2)</sup>  
Fig.2. Development of PV Power Output Estimation

<2・1>PV出力換算係数(高圧) [期間:H26/3~H27/2] PV設備容量( $Y_0$ [kW]), 検針値( $y_1$ [kWh]), 検針対象期間中の日射量( $x_1$ [kWh/m<sup>2</sup>])から、次式で月別に係数( $a_1$ )を算出する。

$$a_1 = \frac{y_1}{x_1} / Y_0 \quad (1)$$

<2・2>PV出力換算係数(低圧) [期間:H26/2~H27/1] PV出力と日射量は、図2に示す通り比例関係に近い状態であることから、毎正時の全天日射量( $x_2$ [kWh/m<sup>2</sup>]), PV出力( $y_2$ [kW]), PV設備容量  $Y_0$ [kW]を用いて、次式で月別に係数( $a_2$ )を算出する。

$$y_2 / Y_0 = a_2 \cdot x_2 \Rightarrow a_2 = \frac{y_2}{x_2} / Y_0 \quad (2)$$

<2・3>連系区分毎のPV出力換算係数 図3は、上記手法により得られた連系区分毎の月別の係数を示している。実運用では、これらの係数を用い、図2に示すグループおよび連系区分毎のPV出力推定を行った上で、それらを加算し

てPV総出力推定を行う。ここでは、現行係数を連系区分毎の係数へ見直したことによるPV出力推定結果の変化について考察するため、連系区分毎の係数を表1の設備比率で加重平均し比較を行った。同図から、加重平均した係数への見直しにより、PV出力換算係数は①から②へ高めになると分かった。

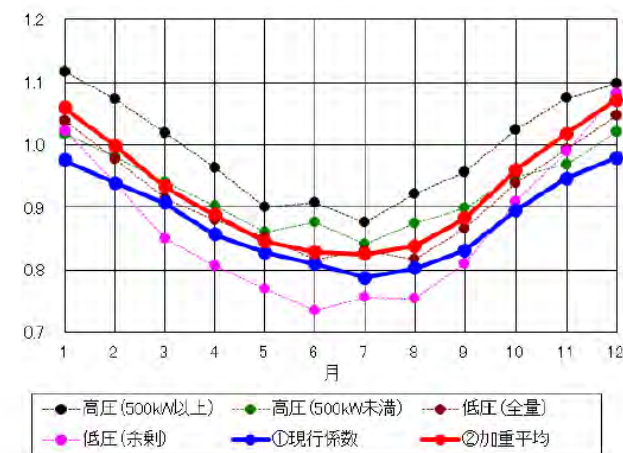


図3 連系区分毎のPV出力換算係数(月別)  
Fig.3. Category of PV output conversion factor (Monthly)

# 日射→発電変換（九州）

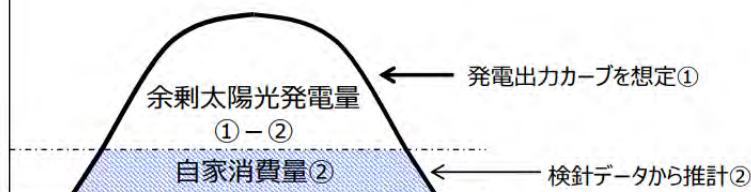
## 〔参考1〕太陽光自家消費電力の想定

8

- 太陽光発電の自家消費量は、余剰買取契約設備量に自家消費率を乗じて算定。  
(自家消費率の算定)
- 各月毎の過去の太陽光発電出力カーブを過去の気象（日射量）データから推定。  
太陽光発電出力カーブから実際に受電した「余剰太陽光発電量」の差分を自家消費量とし、太陽光が発電する時間帯で平均的に消費していると仮定して自家消費率を算定。

### 〔太陽光発電自家消費率、自家消費量(2018～2022年度平均)〕

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
自家消費率 [%]	11.3	12.1	11.3	11.4	14.8	6.1	8.1	7.0	5.4	10.6	8.5	7.8
自家消費量 [万kW]	22.6	24.1	22.6	22.9	29.9	12.5	16.7	14.4	11.2	22.3	18.0	16.5



出典 : [https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/shin\\_energy/keito\\_wg/pdf/049\\_s01\\_09.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/shin_energy/keito_wg/pdf/049_s01_09.pdf)

# (参考) 日射→発電変換 (九州)

日別の需要想定・需給状況・再エネ出力抑制の必要性①

[万kW]		九州本土		九州本土		九州本土		九州本土		九州本土			
場所		九州本土		九州本土		九州本土		九州本土		九州本土			
出力抑制指令計画時の下げ調整力最小時刻 (※)		8月13日(日) 12時~12時30分		9月3日(日) 10時30分~11時		9月9日(土) 12時~12時30分		9月23日(土) 11時30分~12時		9月24日(日) 11時30分~12時			
		【需要想定】	【基準】	【需要想定】	【基準】	【需要想定】	【基準】	【需要想定】	【基準】	【需要想定】	【基準】		
需要想定	年月日 (曜日)	2023.8.13(日)	2022.8.14(日)	2023.9.3(日)	2022.8.7(日)	2023.9.9(土)	2023.9.2(土)	2023.9.23(土)	2023.9.9(土)	2023.9.24(日)	2022.10.2(日)		
	天気	晴	晴	晴	晴	晴	曇	晴	晴	晴	晴		
	気温 (°C)	31.8	32.2	30.9	31.8	29.4	29.7	27.3	29.8	28.4	27.7		
	気温感応度	需要に影響しない気温帯 (19°C~24°C) はゼロ		33.0万kW/°C		36.0万kW/°C		37.0万kW/°C		37.0万kW/°C		17.0万kW/°C	
	需要 (万kW)	過去の需要実績① 気温補正量② (補正量の計算根拠を右に記載)	▲ 13.2 (32.2°C-31.8°C)× ▲33万kW/°C=▲	1168.2	▲ 32.4 (31.8°C-30.9°C)× ▲36万kW/°C=▲	1127.4	▲ 11.1 (29.7°C-29.4°C)× ▲37万kW/°C=▲	1123.2	▲ 92.5 (29.8°C-27.3°C)× ▲37万kW/°C=▲	1099.8	▲ 11.9 (27.7°C-28.4°C)× ▲17万kW/°C=▲	923.1	
	需要想定値 (※の時刻の集計) ③=①+②	1155.0		1095.0		1112.1		1007.3		935.0			
太陽光出力想定	日射量予測値 (MJ/m)	【出力想定】		【出力想定】		【出力想定】		【出力想定】		【出力想定】			
	出力	2.53~3.6		2.27~3.16		2.27~3.32		1.46~2.44		1.67~3.07			
	換算係数 (kWh/MJ)	特高	0.271	高圧	0.287	特高	0.287	高圧	0.287	特高	0.287		
	/m/kW	低圧10kW以上	0.251	低圧10kW未満	0.270	低圧10kW以上	0.270	低圧10kW未満	0.270	低圧10kW以上	0.270		
	出力想定値(※1) (万kW)	特高④	222.7	高圧⑤	209.9	特高④	204.4	高圧⑤	134.0	特高④	182.5		
		低圧10kW以上⑥	312.1	低圧10kW未満⑦	300.6	低圧10kW以上⑥	294.6	低圧10kW未満⑦	207.9	低圧10kW以上⑥	284.6		
	想定自家消費量(※2) (万kW) ⑧ (低圧10kW未満のみ考慮)	▲ 21.7	▲ 18.7	▲ 18.6	▲ 17.4	▲ 18.1	▲ 17.4	▲ 18.1	▲ 18.1	▲ 18.1			
	合計⑨ ④+⑤+⑥+⑦+⑧	891.5	851.1	838.2	574.8	791.4							
	設備容量 (万kW)	高圧以下⑩	5.7	高圧以下⑩	5.7	高圧以下⑩	5.5	高圧以下⑩	5.5	高圧以下⑩	5.5		
	合計⑭ ⑩+⑪	64.7	64.7	64.5	62.5	64.5							
需給状況 (万kW)	出力想定値 (万kW)	特高⑫	6.6	高圧以下⑬	10.9	特高⑫	5.6	高圧以下⑬	10.0	特高⑫	18.0		
	合計⑮ ⑫+⑬	7.2	11.9	6.1	10.9	19.6							
	エリア供給力	(F) 電源Ⅰ・Ⅱ (火力)	104.5	123.9	123.9	121.8	120.4						
		(G) 電源Ⅲ (火力)	146.7	153.1	143.7	136.3	134.0						
		(L) 原子力	409.7	408.3	410.1	408.2	408.8						
		(J) 一般水力	99.3	88.2	45.0	27.3	29.2						
		(K) 地熱	15.4	15.6	15.6	15.6	15.6						
		(H) バイオマス専焼電源	33.2	31.6	31.6	27.8	27.8						
		(I) 地域資源バイオマス	23.8	21.8	19.7	22.9	22.5						
		(E-1) 太陽光⑨	891.5	851.1	838.2	574.8	791.4						
イメーシヨは「別紙3」	(E-2) 風力⑭	7.2	11.9	6.1	10.9	19.6							
	想定誤差量	117.5	87.0	115.0	167.0	125.9							
	エリア供給力計⑮	1,848.8	1,792.2	1,748.9	1,512.6	1,695.2							
	(A) エリア需要 (本土) ③	1,155.0	1,095.0	1,112.1	1,007.3	935.0							
エリア需要等	揚水 (C-1) 揚水式発電機の揚水運転⑯	▲ 219.2	▲ 219.2	▲ 219.2	▲ 185.2	▲ 185.2							
	運転等 (C-2) 電力貯蔵装置の充電⑰	▲ 5.0	▲ 5.0	▲ 5.0	▲ 4.8	▲ 4.8							
	域外 (B-1) 約定済みの域外送電電力⑱	▲ 245.0	▲ 228.0	▲ 233.0	▲ 203.1	▲ 211.0							
	送電 (B-2) 長周期広域潮流調整・三次調整力⑲⑳	0.0	0.0	0.0	▲ 8.0	0.0							
	エリア需要等計㉑=③+⑯+⑰+⑱+⑲	1,624.2	1,547.2	1,569.3	1,408.4	1,336.0							

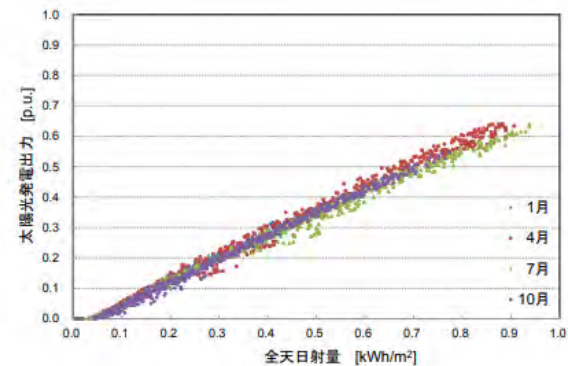
出典 : [https://www.occto.or.jp/oshirase/shutsuryokuyokusei/2023/files/231129\\_hibetsu.pdf](https://www.occto.or.jp/oshirase/shutsuryokuyokusei/2023/files/231129_hibetsu.pdf)

# (参考) 日射→発電変換 (九州)

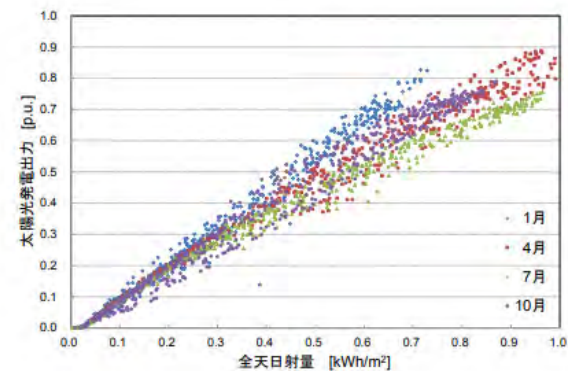
表5.2 太陽光パネルの設置傾斜角と方位角

	設置傾斜角 (度)	設置方位角 (度)
八幡	5	S20E
武雄	10	S35E
長崎	15	S 7E
大分	20	S 8E
人吉	20	S23E
日南	20	S40E, S50W
薩摩川内	5, -5	S11W

(文献[31]をもとに作成)



(a) 八幡



(b) 人吉

図 5.2 全天日射量に対する太陽光発電出力の関係

(文献[31]をもとに作成)

出典 : [https://catalog.lib.kyushu-u.ac.jp/opac\\_download\\_md/1398396/isee0516.pdf](https://catalog.lib.kyushu-u.ac.jp/opac_download_md/1398396/isee0516.pdf)

# 一般送配電事業者の予測

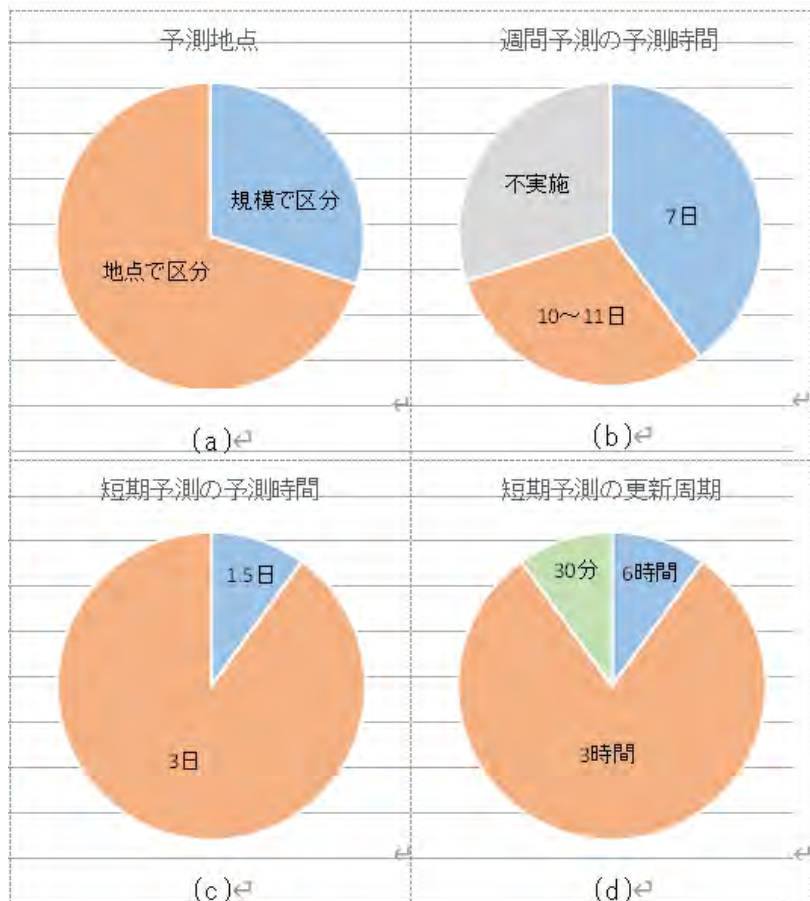
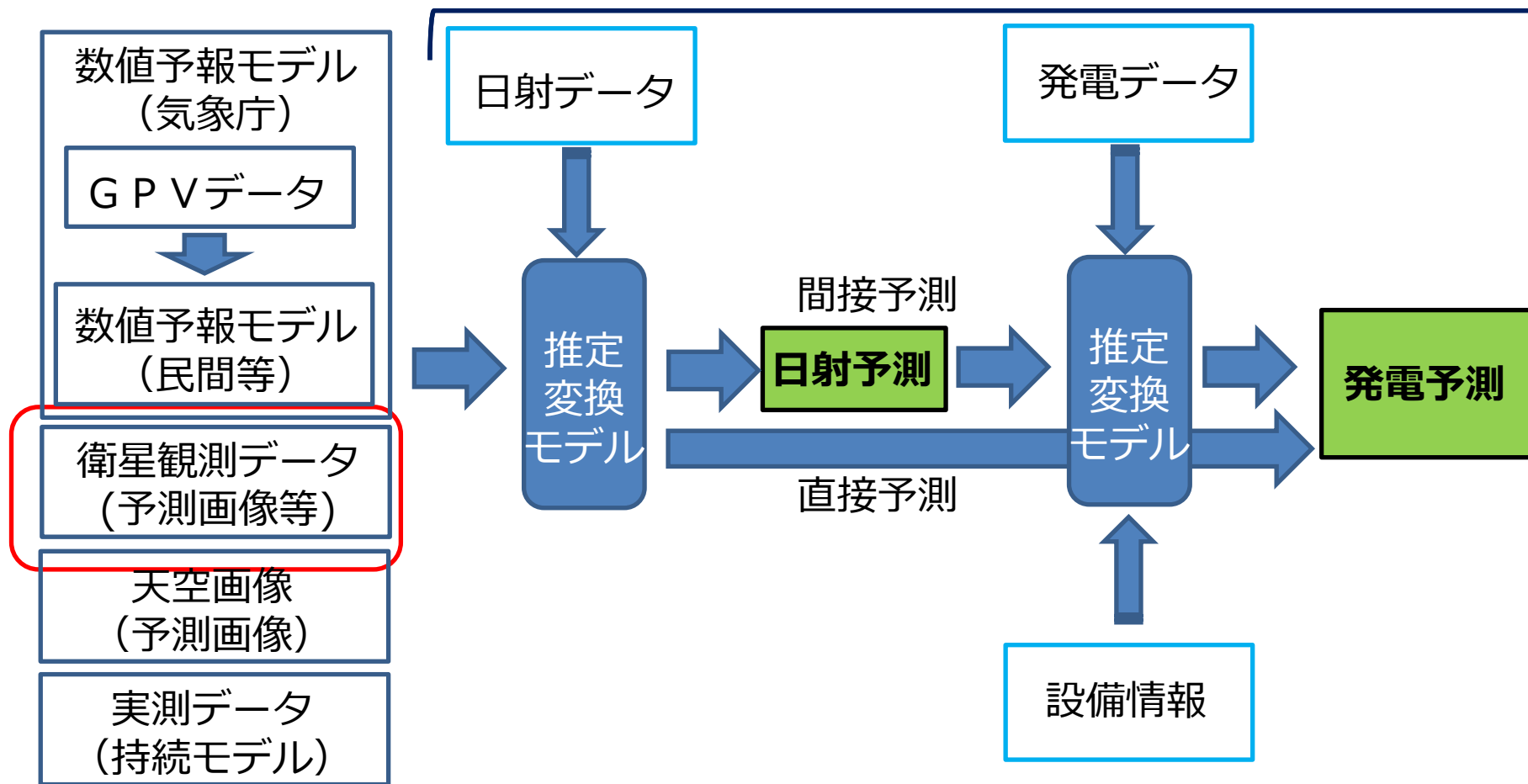


図 5.2.1.1 □太陽光発電の予測手法のアンケート結果

出典：電気学会技術報告 書気象情報の利活用に基づく新しい電力給電運用



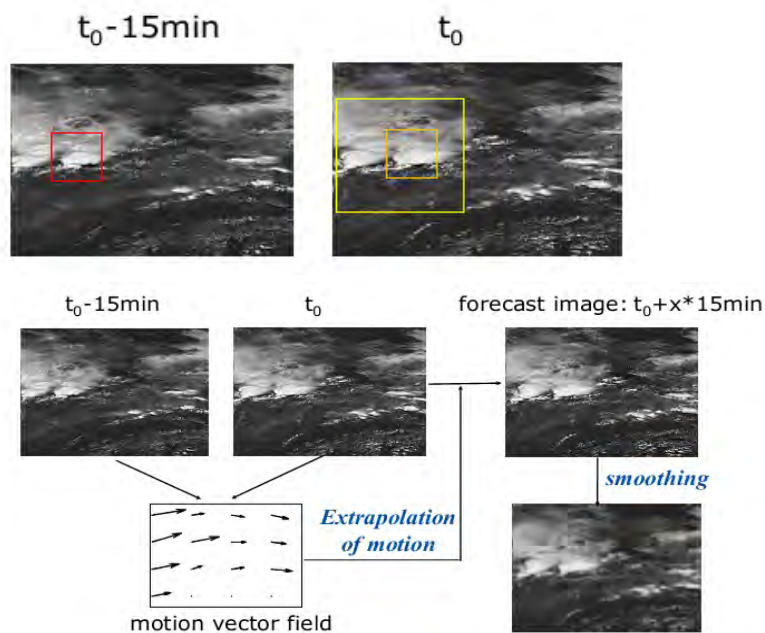
# 発電予測の全体像



# (参考) 衛星画像、天空画像による予測モデル

## 衛星観測データ

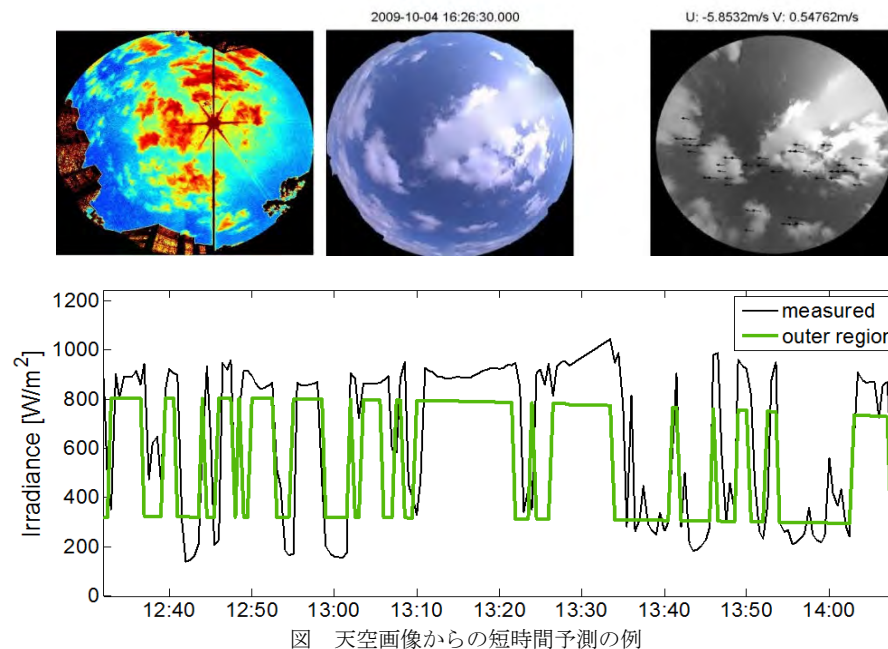
- 推定日射：画像と日射との相関
- 画像を予測：外挿（クラウドモーション）等



出典：Enlike Lorenz (2012)

## 天空画像

- 推定日射：画像と日射との相関
- 画像を予測：外挿（運動学的）等

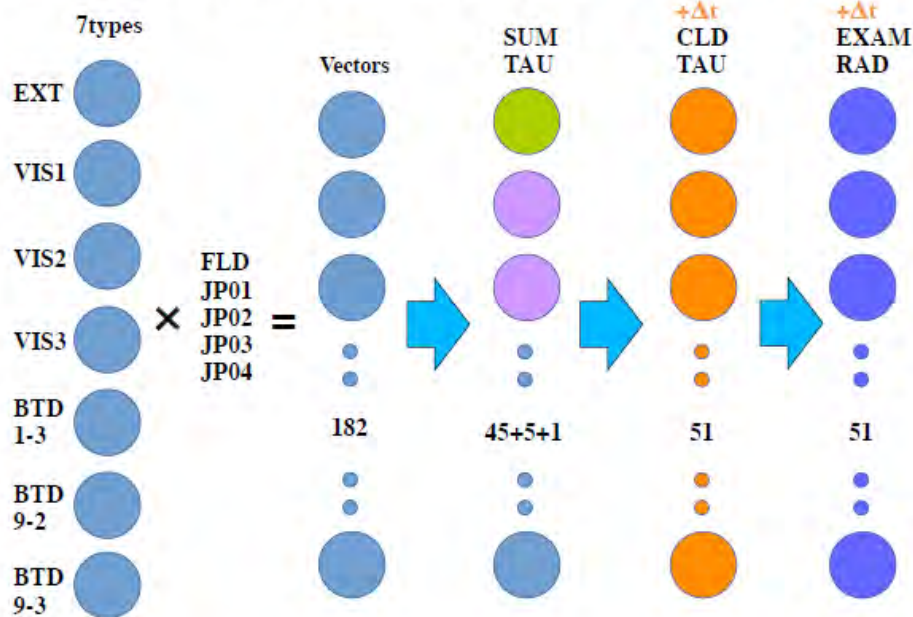


出典：UC san Diego, Intra-hour Solar Forecasting

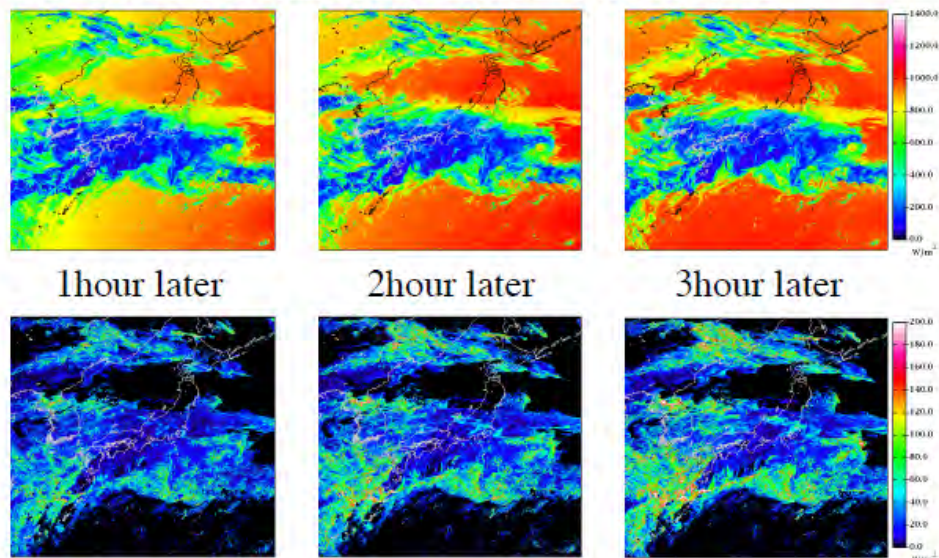
## (参考) 衛星観測データを利用した予測

- 衛星観測データから物理モデルを考慮した衛星推定日射モデル。
- 予測は、各パラメータの予測値の組合せによりアンサンブル予測。

Forecast for Cloud and Aerosol optical properties using Atmospheric motion Vectors based on Ensemble, and Estimation of Solar radiation

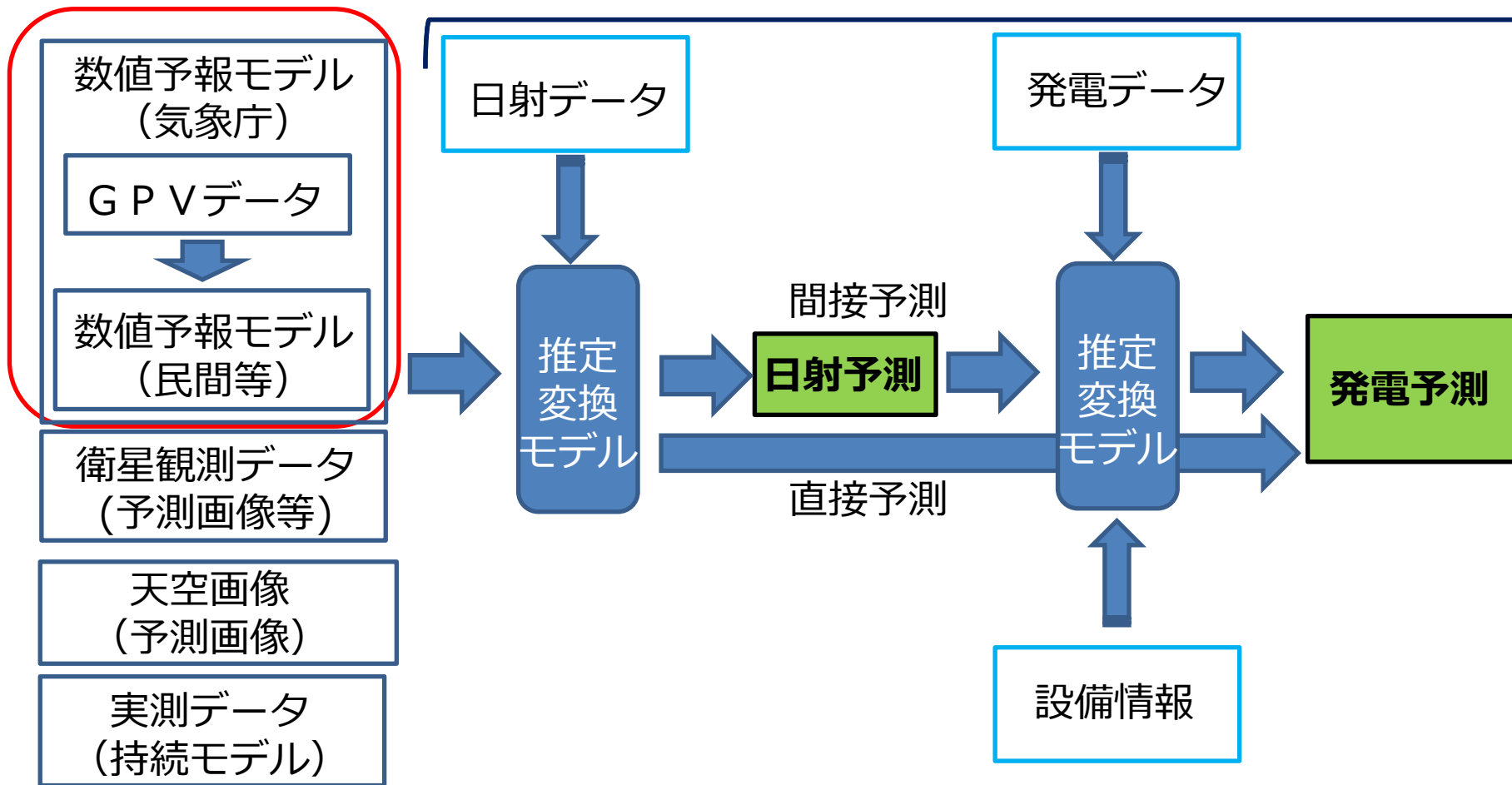


Downward SW flux at the surface 51 mean value



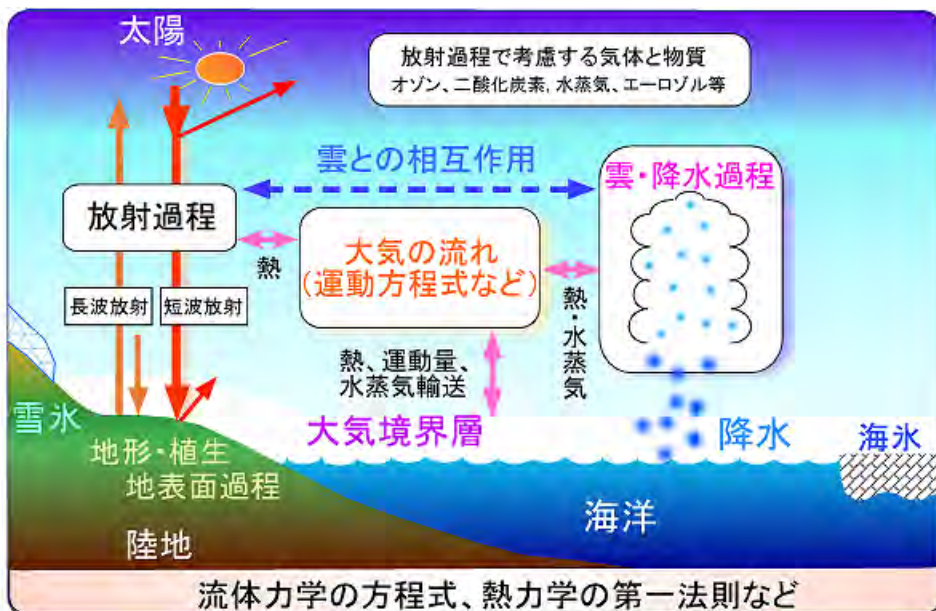
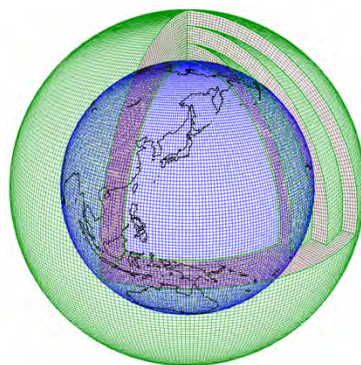
Standard deviation of Downward SW flux at the surface

# 発電予測の全体像



# 数値気象予測誤差の特徴

- 物理モデルによる計算



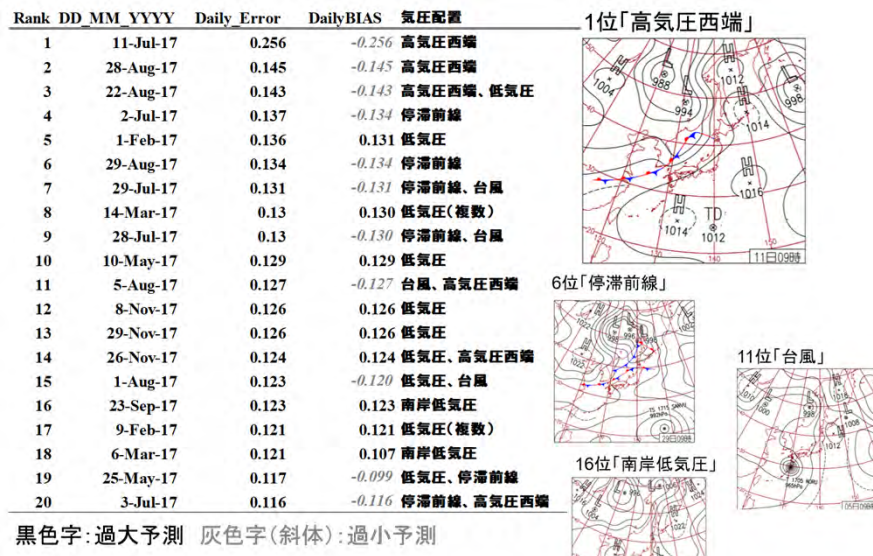
気象に関する数値予報モデルの概要

数値予報システム (略称)	モデルを用いて発表する予報	予報領域と格子間隔	予報期間 (h:min)	実行回数 (初期値の時刻)
局地モデル (LFM)	航空気象情報 防災気象情報 降水短時間予報	日本周辺 2km	10時間	毎時
メソモデル (MSM)	防災気象情報 降水短時間予報 航空気象情報 分布予報 時系列予報 府県天気予報	日本周辺 5km	39時間	1日6回 (03,06,09,15,18,21UTC)
			78時間	1日2回 (00,12UTC)
全球モデル (GSM)	台風予報 分布予報 時系列予報 府県天気予報 週間天気予報 航空気象情報	地球全体 約13km	5.5日間	1日2回 (06,18UTC)
			11日間	1日2回 (00,12UTC)
メソアンサンブル予報システム (MEPS)	防災気象情報 航空気象情報 分布予報 時系列予報 府県天気予報	日本周辺 5km	39時間 (21メンバー)	1日4回 (00,06,12,18UTC)
全球アンサンブル予報システム (GEPS)	台風予報 週間天気予報 早期天候情報 2週間気温予報 1か月予報	地球全体 18日先まで 約27km 18~34日先まで 約40km	5.5日間 (注1) (51メンバー)	1日2回 (06,18UTC)
			11日間 (51メンバー)	1日2回 (00,12UTC)
			18日間 (51メンバー)	1日1回 (12UTC)
季節アンサンブル予報システム (季節EPS)	3か月予報 暖候期予報 寒候期予報 エルニーニョ監視速報	地球全体 大気 約55km 海洋 約25km	34日間 (25メンバー)	週2回 (12UTC 火・水曜日)
			7か月 (5メンバー)	1日1回 (00UTC)

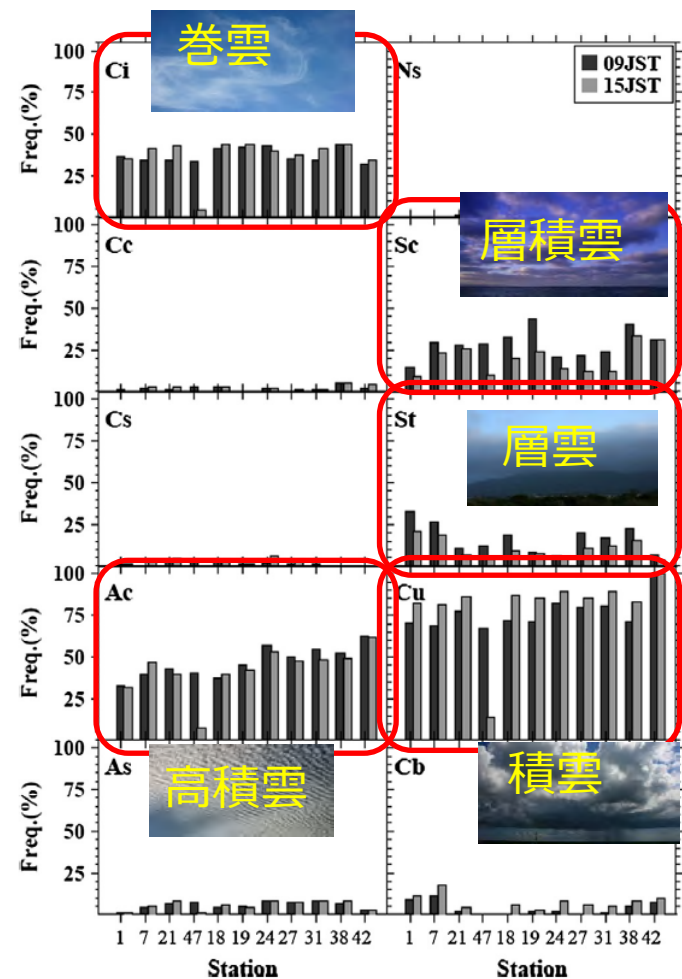
出典：気象庁HP

# 数値気象予測誤差の特徴

- 巻雲、高積雲、層積雲、層雲、積乱雲といった雲が観測多い。
- 降水を伴うような低気圧などに伴う空間スケールの比較的
- 快晴時も予測精度は高い。
- 雨が降りそうで降らないような雲の予測が難しい。



広域で予測の大外れが発生する気象状態の分析結果

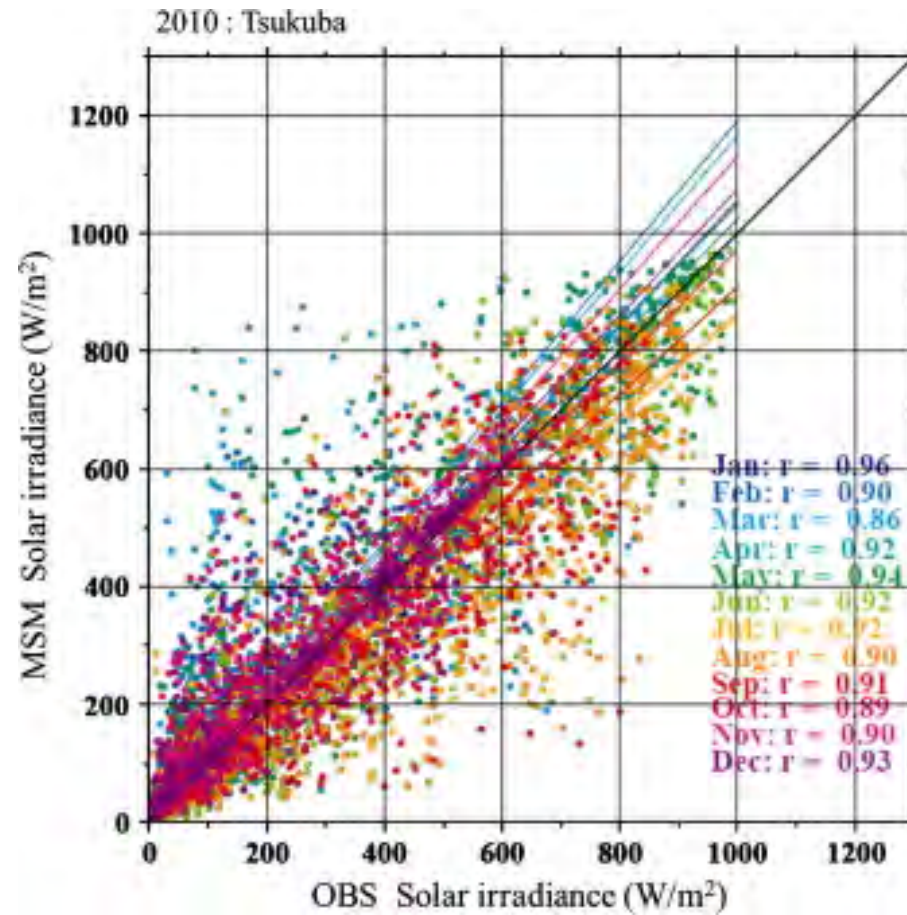


予測が外れる場合の雲の出現頻度分布

出典: H. Ohtake et al., Solar Energy, **98** Part B (2013), 138-152.; H. Ohtake et al., Solar Energy, **116** (2015), 83-99.

H. Ohtake et al., Renew. Energy Environ. Sustain. **1** (2016), 37-1-4.

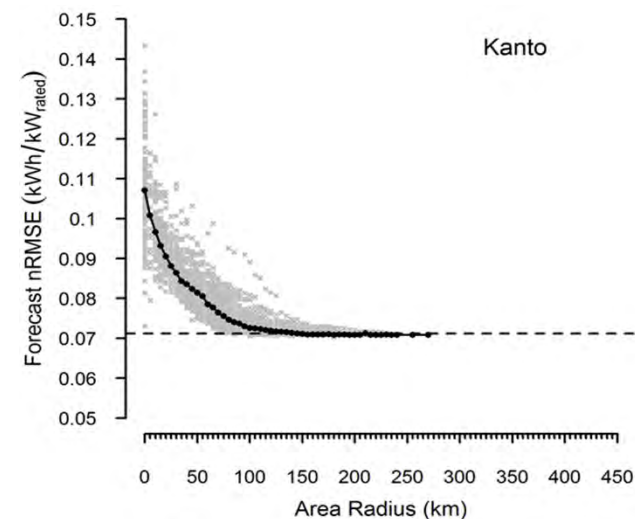
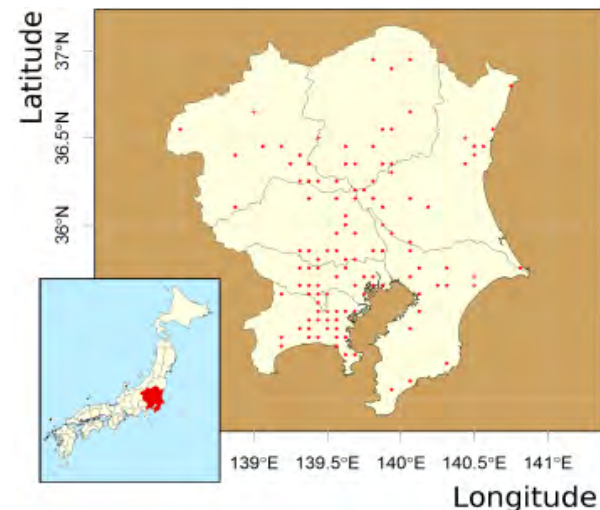
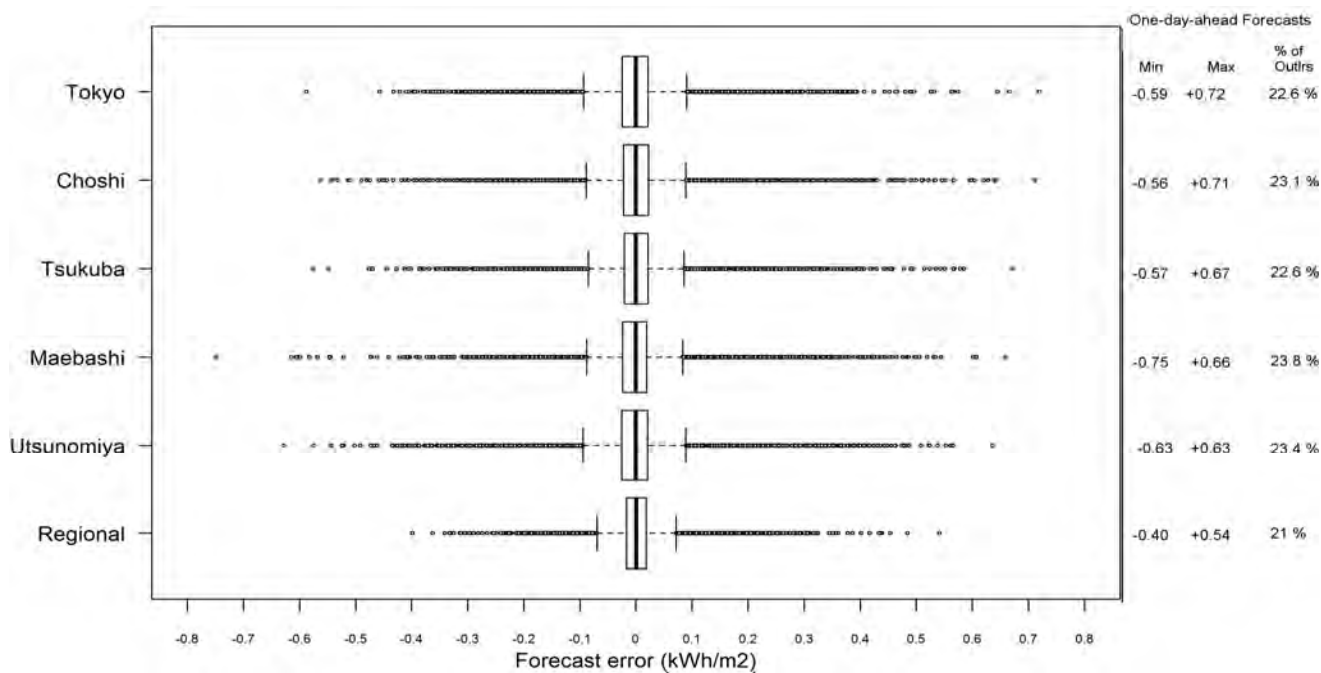
# 数値気象予測誤差の特徴



出典 : H. Ohtake et al., Solar Energy Volume 98, Part B, December 2013, Pages 138-152

# 数値気象予測誤差の特徴

- 広域による予測誤差のならし効果。
- 予測の分布はロングテール。
- 大外れが一定程度で発生。



出典 ; Fonseca, Renewable Energy 68,2014



## 発電予測の具体的な利用例

- 広域予測
  - 出力抑制の想定
  - 調整力調達量の想定
- ポイント、複数地点予測
  - 発電事業者、BGの発電計画
  - インバランス回避の運用の予測

# 出力抑制の想定（九州）

## 4. 再エネ出力予測精度向上のための取組み

15

- 再エネ出力の予測精度の向上は、正確な需給計画の作成及び運用に必要であり、その精度は**再エネ出力制御の要否の判断や必要制御量の算出にも大きく影響**することから、当社では前日計画段階から当日運用それぞれについて、精度向上を図っている。

検討断面	適用予測	使用用途	精度が低い場合の影響
前日計画策定	短期間予測	<ul style="list-style-type: none"> <li>翌日の太陽光出力予測、翌日需給バランスに反映し、               <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 他エリアへの送電量の算定</li> <li>➢ 再エネ出力制御量の算定</li> <li>➢ オフライン事業者への出力制御の指示 など</li> </ul> </li> <li>に使用</li> </ul>	<p>〔実需給断面での上振れ時〕</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>供給力が過剰となり周波数が上昇するため緊急的な再エネ出力制御等が必要</li> </ul> <p>〔下振れ発生時〕</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>前日指示のオフライン制御の不要制御</li> </ul>
当日の需給運用	短時間予測	<ul style="list-style-type: none"> <li>数時間先の太陽光出力を予測、都度、需給バランスに反映し、               <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 火力等による需給調整</li> <li>➢ オンライン事業者への出力制御の実行 など</li> </ul> </li> <li>に使用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>供給力が過剰となる場合は再エネ出力制御が必要となるが、一定の制御遅れがあるため数時間先の予測精度の向上が重要</li> </ul>

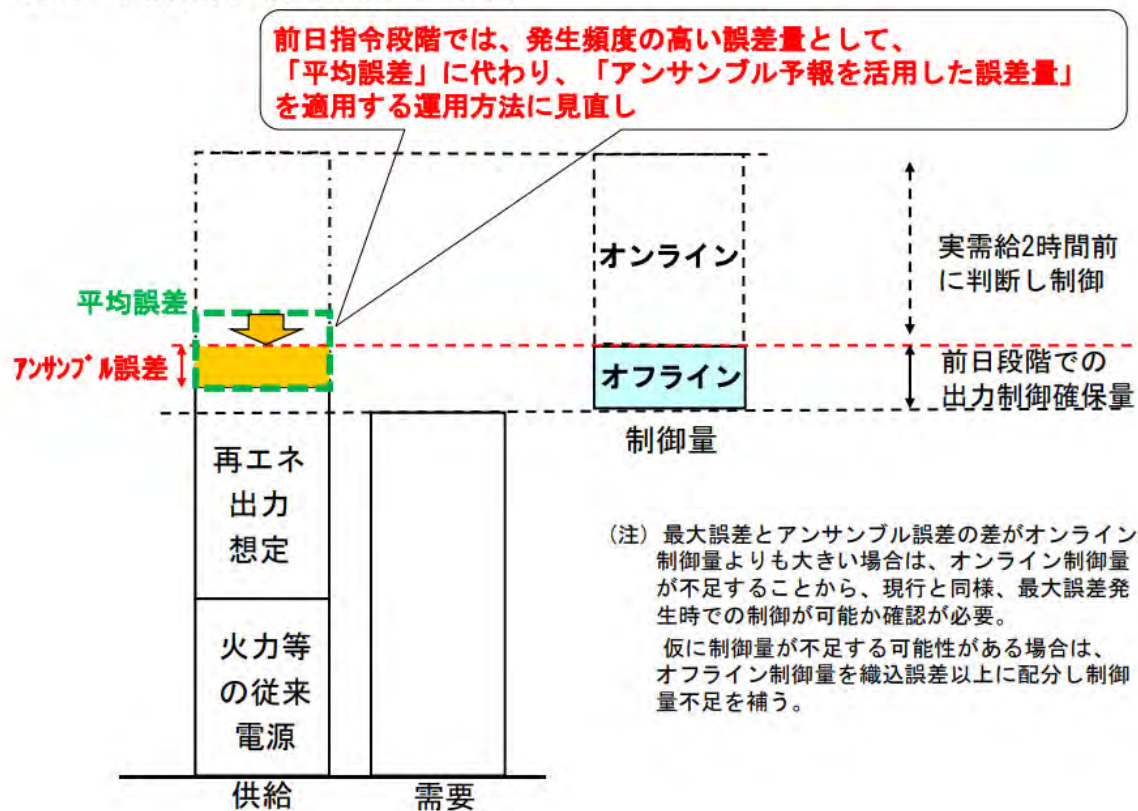
出典： [https://www.jpea.gr.jp/wp-content/uploads/sympo39\\_s4\\_doc2.pdf](https://www.jpea.gr.jp/wp-content/uploads/sympo39_s4_doc2.pdf)

# 出力抑制の想定（九州）

3 再エネ出力制御量低減に向けた取組み（つづき）  
～「確率論的手法（アンサンブル予測手法）」を活用した運用の検討～

10

[2020年秋以降の運用(イメージ)]



出典 : [https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/shin\\_energy/keito\\_wg/pdf/026\\_02\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/shin_energy/keito_wg/pdf/026_02_00.pdf)

# (参考) 出力抑制の想定 (九州)

## 5. 想定誤差量

19

太陽光の出力抑制指令は、原則、前日に行うことから、当日需給断面において、太陽光出力が増加した場合や、エリア需要が減少した場合は、下げ調整力が不足する。このため、前日計画時点において、適切な想定誤差量（※1）を織り込んでいたか確認する。日別の状況は「別紙2」参照。

（※1）想定誤差量は、各出力帯における最大誤差量（表1）を、当日想定最大の出力を超過しない範囲で織り込む。適用する出力帯は、当日の想定出力率を算出して決定（表2）する。

- ① 最大誤差量は、5段階の出力帯毎に、統計データ（前日11時の予測と当日実績との差）を基に決定する。
- ② 前日計画時点における当日の出力率を算出し、①の出力帯に当てはめて当日の想定誤差量を決定する。

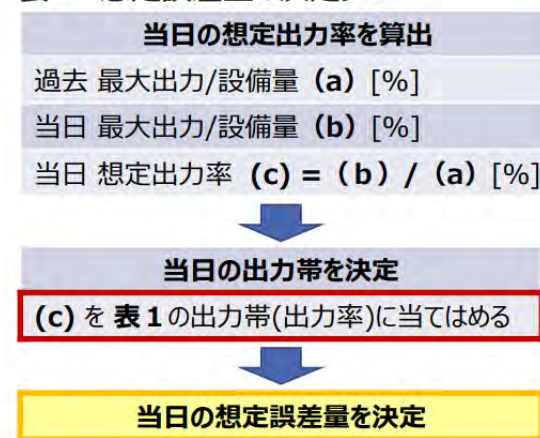
一方、実際の再エネ発電所への出力抑制量は、上記の想定誤差量の範囲内で、気象条件等を考慮した発生確率が比較的高い誤差相当量（アンサンブル誤差量）をオフライン発電所に優先して割り当てるとともに、最大誤差量とアンサンブル誤差量の差分相当をオンライン発電所に割り当てることとなる。

表1 各出力帯における最大誤差量

[万kW]

表2 想定誤差量の決定フロー

出力帯 (最大出力に対する出力率)	10月の最大誤差量		
	太陽光	エリア需要	合計
高出力帯 (90%~)	36	73	109
中出力帯1 (67.5%~90%)	158	59	217
中出力帯2 (45%~67.5%)	299	24	323
低出力帯1 (22.5%~45%)	217	73	290
低出力帯2 (~22.5%)	101	47	148



- ・ データ収集期間：2017/4 ~ 2023/3
- ・ 太陽光・需要の想定誤差で太陽光誤差は至近の設備量に応じて換算

出典：https://www.occto.or.jp/oshirase/shutsuryokuyokusei/2023/files/240228\_sankoushiryo.pdf

# (参考) 出力抑制の想定 (九州)

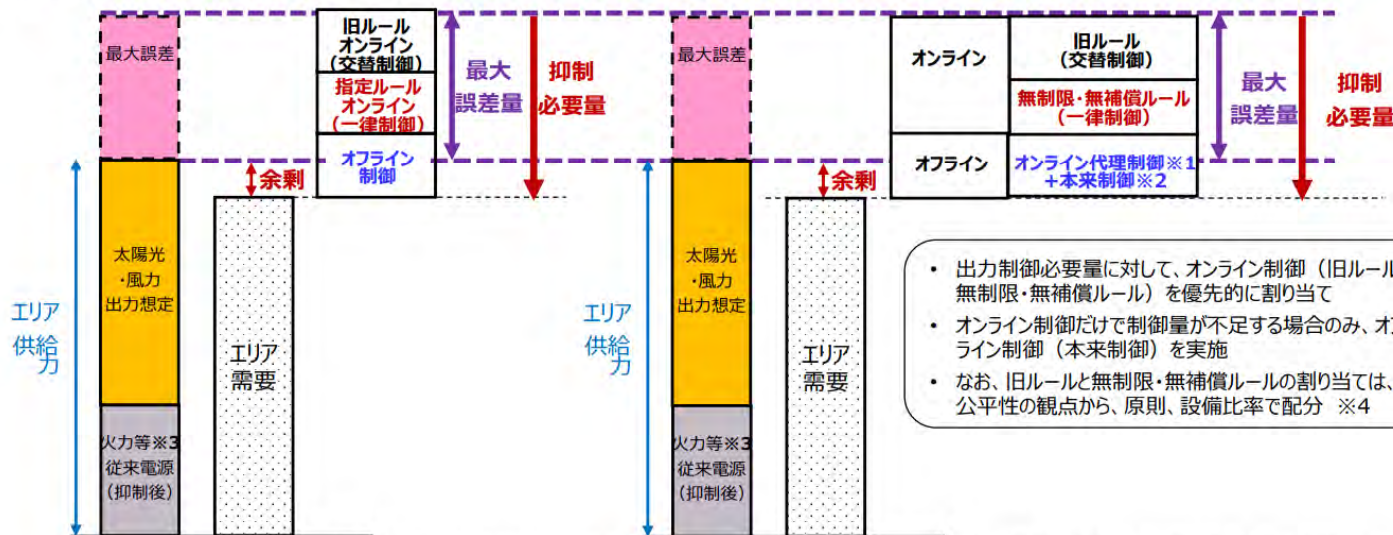
## (参考) 再エネ出力制御の運用方法

23

前頁のとおり、前日指令時点の想定誤差量は「最大誤差量」で評価する。  
九州電力送配電は、2021年4月から、オンライン制御の無制限・無補償（指定ルール）事業者を、旧来の輪番制御から一律制御とする方法を採用している。  
また、2022年12月からは10kW以上の旧ルールのオフライン事業者をオンライン代理制御対象とし、GW、年末等のオンライン事業者だけで制御量が不足する場合のみ、オフライン制御（本来制御）を実施することとしている。

**[2021年4月以降の運用]**  
(指定ルールオンライン一律制御での運用)

**[2022年12月以降の運用]**  
(オンライン代理制御での運用)



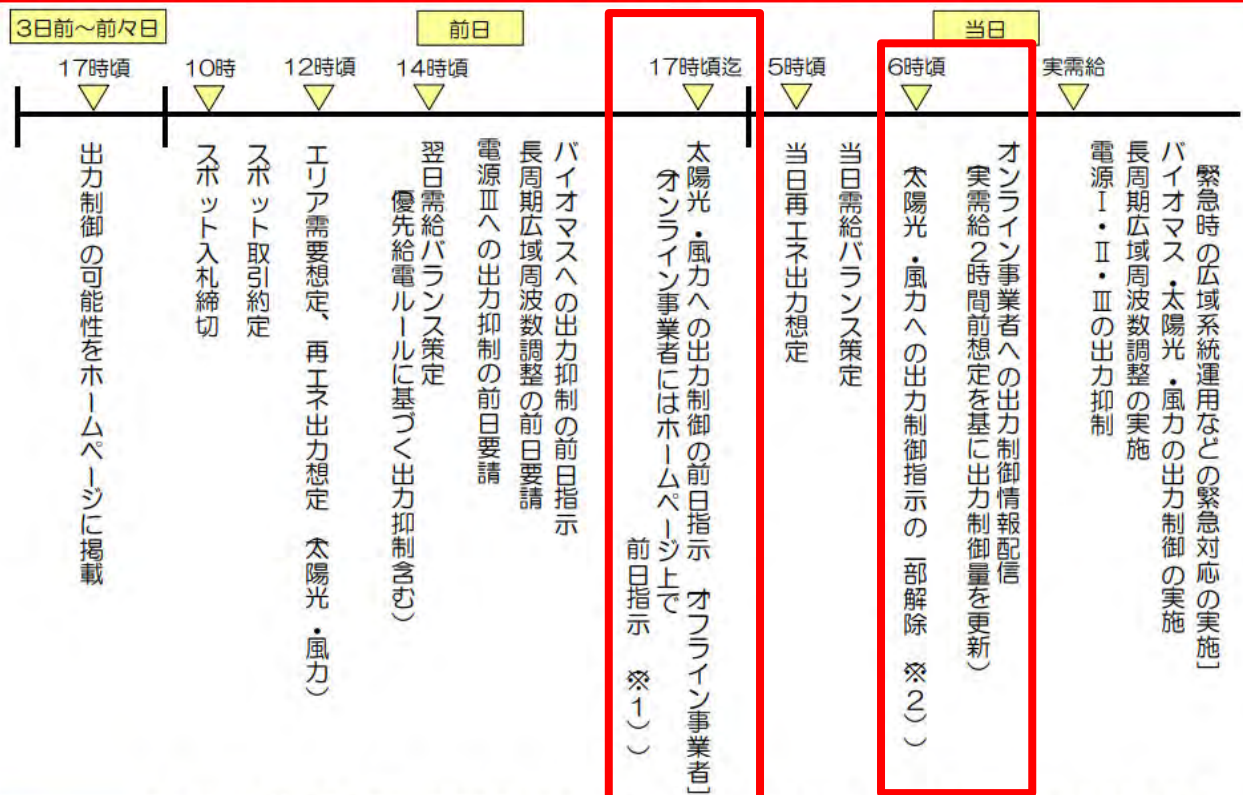
- 出力制御必要量に対して、オンライン制御（旧ルール、無制限・無補償ルール）を優先的に割り当て
- オンライン制御だけで制御量が不足する場合のみ、オフライン制御（本来制御）を実施
- なお、旧ルールと無制限・無補償ルールの割り当ては、公平性の観点から、原則、設備比率で配分 ※4

※1：オンライン制御事業者に代理で出力制御を実施してもらう、本来出力制御すべきオフライン制御事業者（旧ルール10kW以上の太陽光ほか）  
 ※2：旧ルール500kW以上の太陽光ほか、オンライン事業者だけで制御量が不足する場合のみ本来制御  
 ※3：前日指令によるバイオマス専焼電源の抑制を含む。  
 ※4：2023年度は当初計画に比べ制御機会が増加していることから、オンライン代理制御のメリットを最大限活用しつつ、旧ルール事業者さまの制御回数を30日以内（無制限・無補償ルール事業者さまは30日を超過する場合あり）とする運用を9月以降実施。

# 出力抑制のスケジュール

## 1. 優先給電ルールに基づく出力制御スケジュール

P3

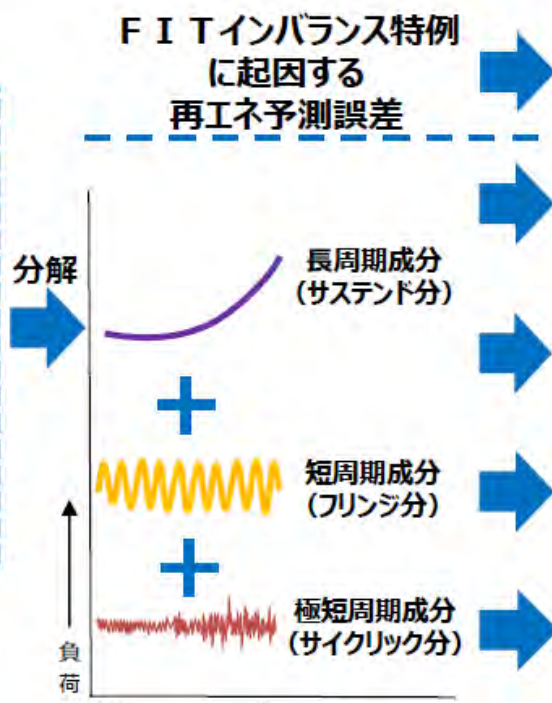
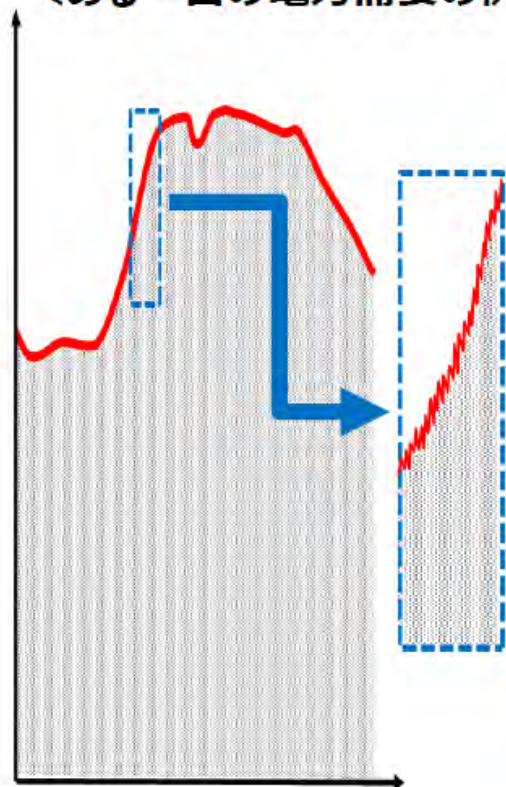


※1 オンライン事業者には、前日にホームページで出力制御の実施可能性を公表することにより前日指示を行う  
 ※2 出力制御解除可能と判断した場合は、当日に対応可能なオフライン特高事業者のみ出力制御指示を解除

出典：[https://nw.tohoku-epco.co.jp/consignment/system/control/pdf/in\\_001.pdf](https://nw.tohoku-epco.co.jp/consignment/system/control/pdf/in_001.pdf) に枠を加筆

# 調整力の想定方法

＜ある一日の電力需要の例＞



＜商品区分と導入スケジュール＞

年度	2021	2022	2023	2024	2025
三次② 応動時間45分以内 継続時間：3時間	▼調達開始				
三次① 応動時間15分以内 継続時間：3時間	▼調達開始				
二次調整力② 応動時間5分以内 継続時間：30分以上	▼調達開始				
二次調整力① 応動時間5分以内 継続時間：30分以上	▼調達開始				
一次調整力 応動時間10秒以内 継続時間：5分以上	▼調達開始				

出典：METI

# 調整力の想定方法

(参考) 需給調整市場における商品の要件

	一次調整力	二次調整力①	二次調整力②	三次調整力①	三次調整力②
英呼称	Frequency Containment Reserve (FCR)	Synchronized Frequency Restoration Reserve (S-FRR)	Frequency Restoration Reserve (FRR)	Replacement Reserve (RR)	Replacement Reserve-for FIT (RR-FIT)
指令・制御	オフライン (自端制御)	オンライン (LFC信号)	オンライン (EDC信号)	オンライン (EDC信号)	オンライン
監視	オンライン (一部オフラインも可※2)	オンライン	オンライン	オンライン	オンライン
回線	専用線※1 (監視がオフラインの場合は不要)	専用線※1	専用線※1	専用線 または 簡易指令システム	専用線 または 簡易指令システム
応動時間	10秒以内	5分以内	5分以内	15分以内	45分以内
継続時間	5分以上	30分以上	30分以上	商品ブロック時間(3時間)	商品ブロック時間(3時間)
並列要否	必須	必須	任意	任意	任意
指令間隔	- (自端制御)	0.5~数十秒※3	数秒~数分※3	専用線: 数秒~数分 簡易指令システム: 5分※5	30分
監視間隔	1~数秒※2	1~5秒程度※3	1~5秒程度※3	専用線: 1~5秒程度 簡易指令システム: 1分	1~30分※4
供出可能量 (入札量上限)	10秒以内に出力変化可能な量 (機器性能上のGF幅を上限)	5分以内に出力変化可能な量 (機器性能上のLFC幅を上限)	5分以内に出力変化可能な量 (オンラインで調整可能な幅を上限)	15分以内に出力変化可能な量 (オンラインで調整可能な幅を上限)	45分以内に出力変化可能な量 (オンライン(簡易指令システムも含む)で調整可能な幅を上限)
最低入札量	5MW (監視がオフラインの場合は1MW)	5MW※1,3	5MW※1,3	専用線: 5MW 簡易指令システム: 1MW	専用線: 5MW 簡易指令システム: 1MW
刻み幅 (入札単位)	1kW	1kW	1kW	1kW	1kW
上げ下げ区分	上げ/下げ	上げ/下げ	上げ/下げ	上げ/下げ	上げ/下げ

60分以内  
※2025年度以降

30分  
※2025年度以降

60分以内に出力変化可能な量 (オンライン(簡易指令システムも含む)で調整可能な幅を上限)  
※2025年度以降

※1 簡易指令システムと中給システムの接続可否について、サイバーセキュリティの観点から国で検討中のため、これを踏まえて改めて検討。  
 ※2 事後に数値データを提供する必要あり (データの取得方法、提供方法等については今後検討)。  
 ※3 中給システムと簡易指令システムの接続が可能となった場合においても、監視の通信プロトコルや監視間隔等については、別途検討が必要。  
 ※4 30分を最大として、事業者が収集している周期と合わせることも許容。  
 ※5 簡易指令システムの指令間隔は法定需給調整システムの計算周期となるため当然。

注) 入札単位は、一次から三次①においては3時間、三次②においては30分。  
 ※2025年度以降

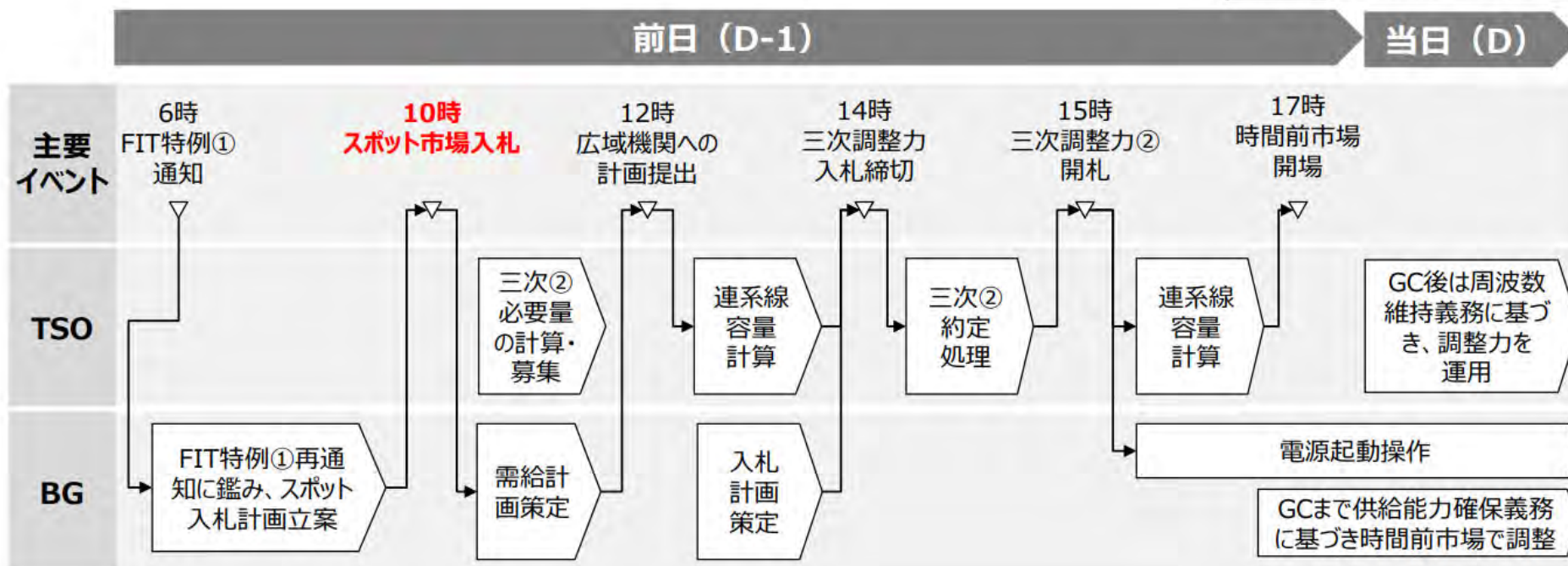
出所) 第24回 需給調整市場検討小委員会 (2021.6.23) 資料2をもとに作成  
[http://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/iukyuchousei/2021/2021\\_iukyuchousei\\_24\\_haifu.html](http://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/iukyuchousei/2021/2021_iukyuchousei_24_haifu.html)

出典 : [https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2021/files/jukyushijyo\\_28\\_03\\_03.pdf](https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2021/files/jukyushijyo_28_03_03.pdf)



# 調整力の想定方法

第65回制度設計専門会合（令和3年10月1日）資料9より抜粋



出典 : [https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/oroshi\\_jukyu/pdf/001\\_05\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/oroshi_jukyu/pdf/001_05_00.pdf)

# 調整力の想定方法

(参考) 三次②必要量テーブル作成方法について

13

母集団データ

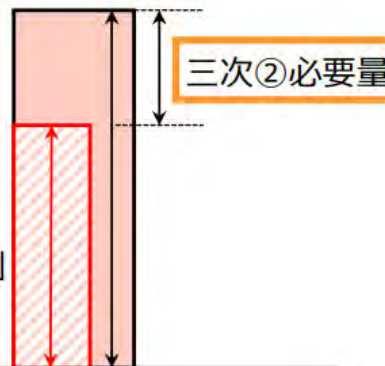
三次②必要量テーブル  
→ 過去2年分の実績を採用

時刻	予想	実績
0:00~0:30	10	3
...	...	...
23:30~24:00	14	5

算定式

「前日予測値 - 実績値」  
の再エネ予測誤差の3σ

「GC予測値 - 実績値」  
の再エネ予測誤差の3σ



三次②必要量テーブル作成

三次②必要量算出  
→ 系統規模1%以上の格差がある場合は特異値として補正

6月	70%1 (0%~10%)	70%2 (10%~20%)	70%3 (20%~30%)	70%4 (30%~40%)	70%5 (40%~50%)	70%6 (50%~60%)	70%7 (60%~70%)	70%8 (70%~80%)
0~10%	0	0	0	0	0	0	0	0
10~20%	0	0	0	188	0	98	0	0
20~30%	0	0	0	0	0	80	0	0
30~40%	0	0	0	1784	2374	320	0	0
40~50%	0	0	1033	1473	1830	683	32	0
50~60%	0	0	45	2316	2220	1081	18	0
60~70%	0	48	301	2133	2476	1803	0	0
70~80%	0	37	1029	3614	332	3371	29	0
80~90%	0	52	1949	4261	5491	1437	33	0
90~100%	0	55	1201	2376	1822	1273	114	0

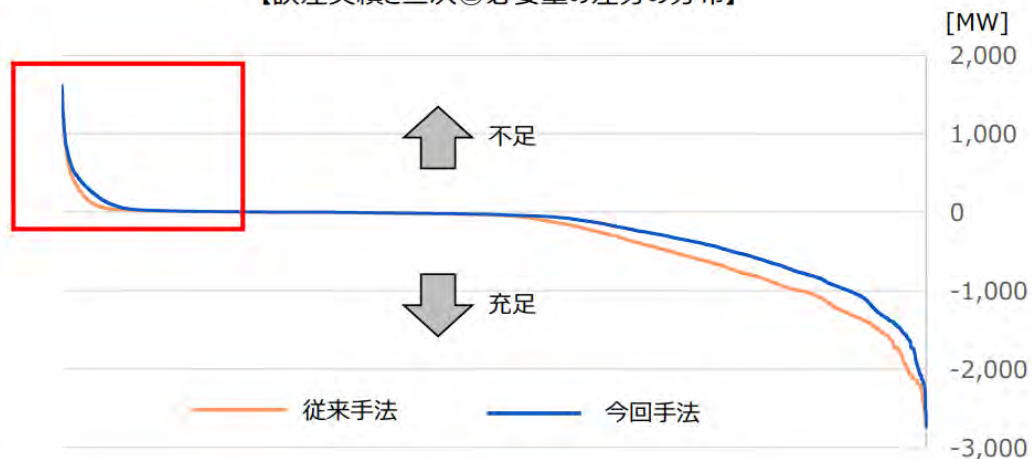
## (参考) 調整力の想定方法

今回手法における信頼性評価について

15

- 今回手法における信頼性評価として、従来手法と今回手法において、2022年度の三次②必要量推定値が、2021年度の再エネ予測誤差実績に対し、それぞれどの程度の不足を生じることになるのかを確認した。
- 不足となるコマの割合は、従来手法が22%に対して、今回手法が24%で、おおよそ同等の水準となった。また予測の大外しとなる不足の最大値は、従来手法と今回手法において違いは見られなかったことから、今回手法を適用したエリアが他エリアに比べ安定供給上の信頼性を損なうものではないと考えて良いのではないかと考えられる。
- なお、これらの結果は、既存のアンサンブル予報では、下振れ方向への予測外しが2割程度生じる（既存予測精度の限界）ということとも考えられ、この予測精度自体の向上については、前述の気象の専門家を含む関係者を集めた研究会等の取り組みが待たれるところ。

【誤差実績と三次②必要量の差分の分布】



電力広域的運営推進機関

出典：第30回需給調整市場検討小委員会、2022年7月

# BGの予測

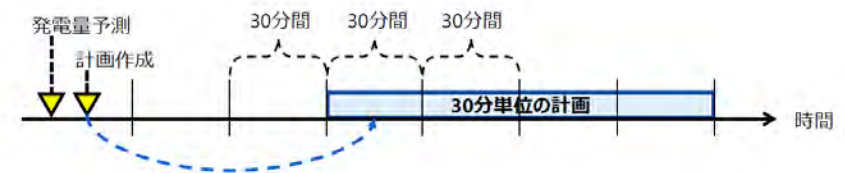
前日～数日前      当日



2022年度  
実証にて  
新規追加

当日の発電量予測に基づき、インバランスを減らす蓄電池の充放電計画（または時間前市場の取引計画）を作成

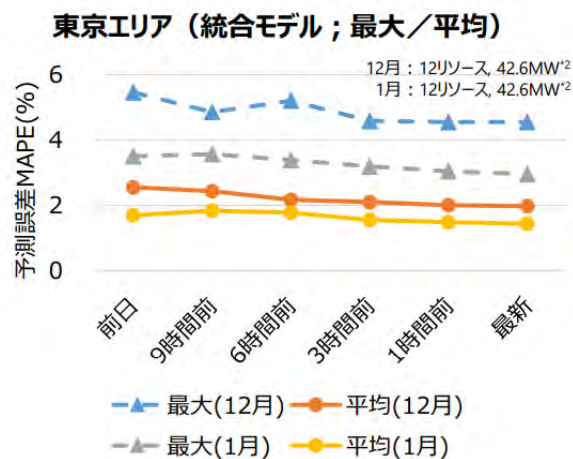
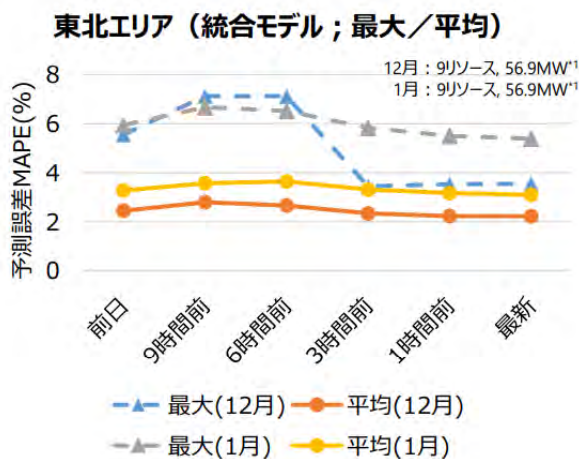
- 計画の立て方について
  - GC前に作成する。(After①/After②)
  - 蓄電池の充放電計画（時間前市場の売買計画）は30分単位で作成する。
  - 当日にて発電量予測を複数回実施し、都度、計画を更新してもよい。



# BGの予測

②各実証項目ごとの実証結果とそこから得られた成果

## PV発電量予測：12月～1月：東北エリア、東京エリア



- 昨年度の12～1月の予測誤差(統合モデル)は、3.26～3.43%。それと比べて小さい平均誤差を達成している(1時間前で**2.23～3.17%**)。
- 平均／最大どちらも、当日の9時間前や6時間前で少し大きくなるが、3時間前や1時間前で小さくなっている。

\*1) 10リソース中の1リソースは、CSVアップロードでデータ連携していたため、評価対象から除外

\*2) 17リソース中の5リソースは、CSVアップロードでデータ連携していたため、評価対象から除外

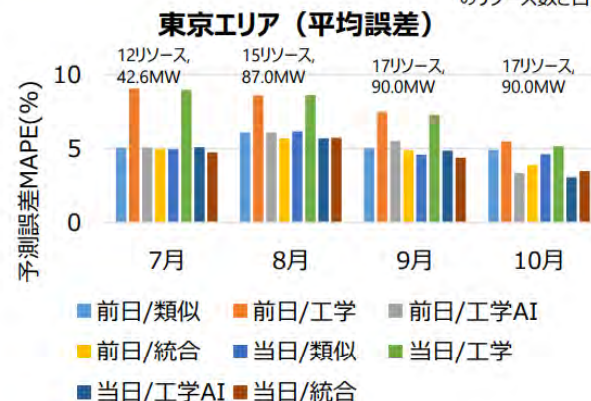
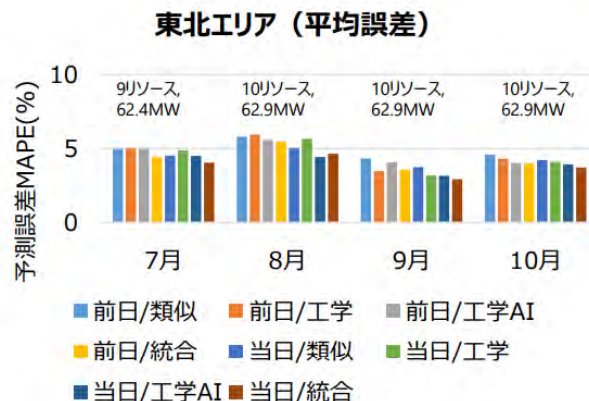
- 昨年度の12月～1月の予測誤差(統合モデル)は2.86～3.24%。それと比べて小さい平均誤差を達成している(1時間前で**1.49～2.01%**)。
- 実需給断面に近づくにつれて予測誤差が小さくなっている。ただし、12月の平均誤差において、前日からの改善度は約0.5%であり、劇的に小さくなっているわけではない。

# (参考) BGの予測

②各実証項目ごとの実証結果とそこから得られた成果

## PV発電量予測：7月～10月：東北エリア、東京エリア

※図中の数字は、各月のリソース数と合計出力



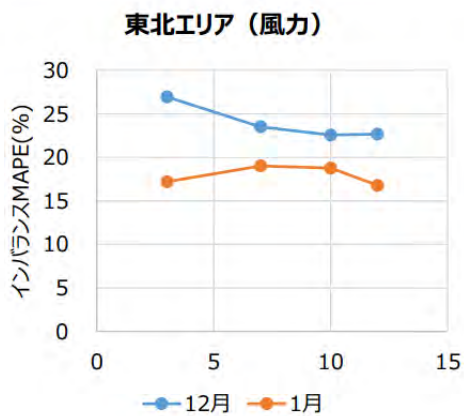
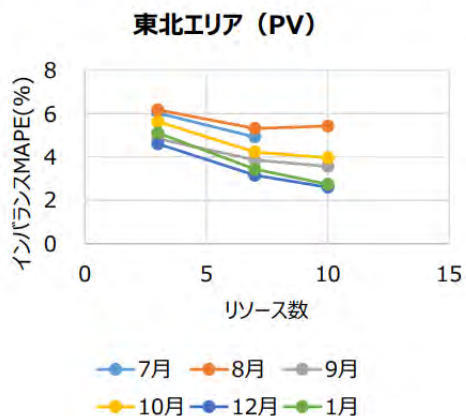
- ・昨年度の12～1月の予測誤差(統合モデル)は、3.26～3.43%。これに対して、9月は同等だが、7～8月、10月の誤差(統合モデル)は3.70～5.44%であり、昨年度よりも大きい値となった。
- ・前日より当日のほうが誤差が小さい。予測モデルでは統合モデルの誤差が小さい。

- ・昨年度の12月～1月の予測誤差(統合モデル)は2.86～3.24%。それよりも大きい誤差となっている。
- ・一部のPVの発電量実績が、定格出力に対してかなり小さい値となっていた。そのため、設備スペックから物理モデルに基づいて発電量を予測する工学モデルの誤差が大きい。
- ・前日より当日のほうが誤差が小さい。予測モデルでは統合モデルの誤差が小さい。

# (参考) BGの予測

②各実証項目ごとの実証結果とそこから得られた成果

## 発電BGのリソース数とインバランスMAPEの関係：東北エリア、中国エリア、九州エリア

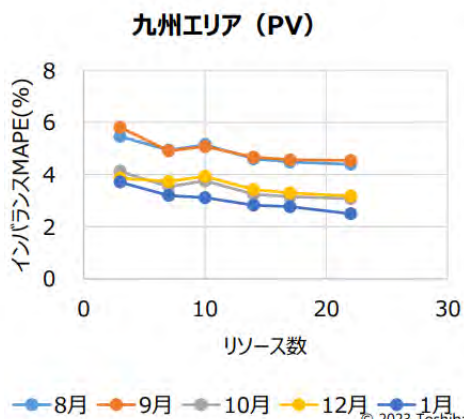
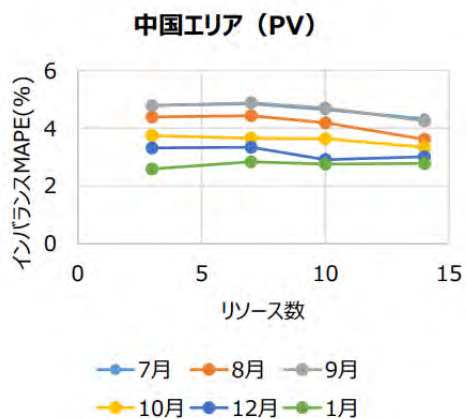


- これらのエリアでは、全体的に、リソース数の増加にともない**インバランスMAPEが減少する傾向**が見られた。

- リソース間で、予測誤差の正負がそれぞれ発生した場合に、誤差同士で打ち消しあうことで、インバランスも小さくなる効果が得られる。

- 当然、**予測誤差の正負に偏り**があれば、本効果は小さくなる。また、各リソースの**出力に偏り**がある場合も、本効果は小さくなる。

- 予測誤差とインバランスがイコールではないことにも留意する必要あり。



© 2023 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 57

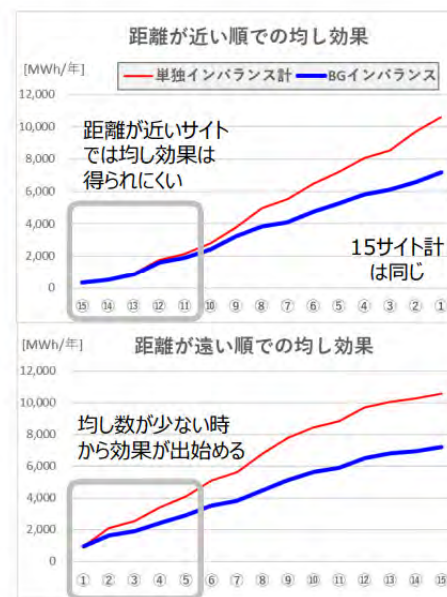
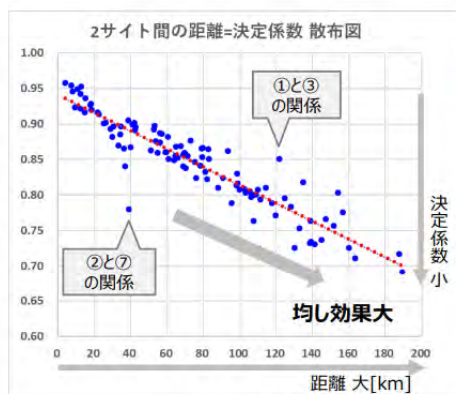
# (参考) BGの予測

## 2. 共通実証①

SB Energy

### 均し効果の事前分析結果

均し順の選択に先立ち、実績相関度 = 位置関係の観点で事前分析を実施  
距離が遠い順で発電BGを組成すると効果が得られやすいため、以降「遠い順」で検証



均し効果の原理上、「違う発電推移」を混ぜるほど効果は大きくなる。そのため、2サイト間の距離と発電実績の**決定係数 $R^2$** を算出。距離と決定係数の関係を散布図としてプロットした所、概ね**負比例の関係**があることがわかった。ただし、地形によって（②と⑦、①と③のように）距離が近い方が決定係数が小さい（違う発電推移）ケースもある。

ここで「新設サイトがどのBGに入ると良いか」という場合、発電実績がないため決定係数が算出できない。そのため、決定係数と負比例の関係にある距離のみで判断し、距離が「近い順」「遠い順」でそれぞれ均し効果を比較した所、**遠い順で効果が出やすい**ことを確認できた。

※1 分析期間はいずれも 48コマ×365日（2021/7～2022/6）

※2 決定係数 $R^2$ ：数式は付録参照。実績相関を見る指標として $R^2$ を使用。 $R^2=1.0$ の時は均し効果ゼロ、小さくなるほど効果は出やすい。



# (参考) BGの予測

## 2. 共通実証①

### 均し効果 (太陽光, 関東)

SB Energy

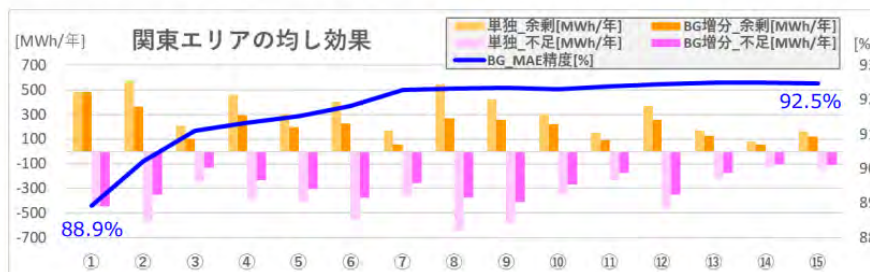
3~7サイトまで精度改善が顕著、15サイトで32.1%のインバランス改善



[地図引用] Googleマップ

R3実証は西日本広域で検証したが、同じ管区内でも同様の効果が得られることを確認できた。①→②の効果が大きいのは距離が離れており、異なる気象を組み合わせているため。

※1 分析期間は48コマ×365日 (2021/7~2022/6)  
 ※2 BG増分は「BGのインバランス増加分」、MAE精度 = (1 - 絶対誤差平均/設備容量)×100、計画値は前日6:30作成、PVは6:00~18:00を評価、比率[%]はインバランス発生時の計画値を分母とした場合のインバランス量比率



均し順	種別	余剰[MWh/年]		不足[MWh/年]		余剰量比率[%]		不足量比率[%]	
		単独	BG増分	単独	BG増分	単独	BG増分	単独	BG増分
①	太陽光	485	485	446	446	34.0	34.0	36.5	36.5
②	太陽光	584	363	571	350	36.1	22.5	42.8	26.2
③	太陽光	213	103	245	135	26.3	12.7	36.8	20.2
④	太陽光	457	293	394	230	35.3	22.6	34.9	20.4
⑤	太陽光	308	201	413	306	24.6	16.1	35.9	26.6
⑥	太陽光	407	228	555	377	27.3	15.3	36.6	24.9
⑦	太陽光	171	59	365	254	29.2	10.1	34.6	24.0
⑧	太陽光	545	269	649	372	29.9	14.7	39.5	22.6
⑨	太陽光	422	256	579	413	25.0	15.2	33.0	23.5
⑩	太陽光	308	223	351	266	25.9	18.8	35.5	26.9
⑪	太陽光	153	91	236	173	26.0	15.3	36.3	26.6
⑫	太陽光	370	260	462	352	25.7	18.1	34.2	26.1
⑬	太陽光	170	125	220	175	25.0	18.4	33.4	26.5
⑭	太陽光	81	55	127	102	23.8	16.4	34.2	27.4
⑮	太陽光	164	125	149	110	32.8	25.0	34.2	25.2
		4,838	3,135	5,762	4,059				

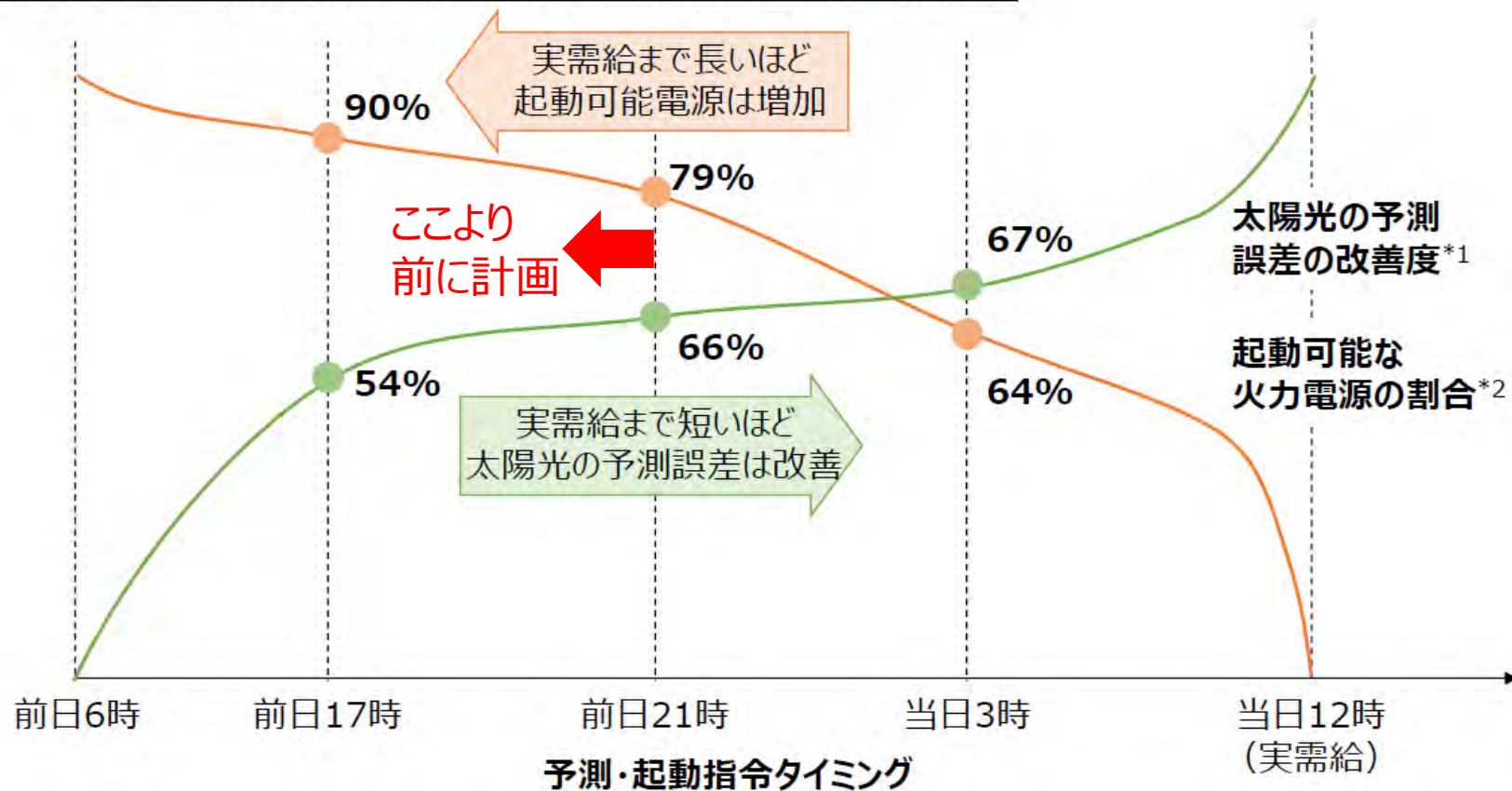
35.2%改善

29.6%改善

➔ 余剰/不足計で**32.1%改善**

# 発電予測技術の今後の方向性

## 起動可能電源・太陽光の予測誤差改善度の推移（イメージ図）

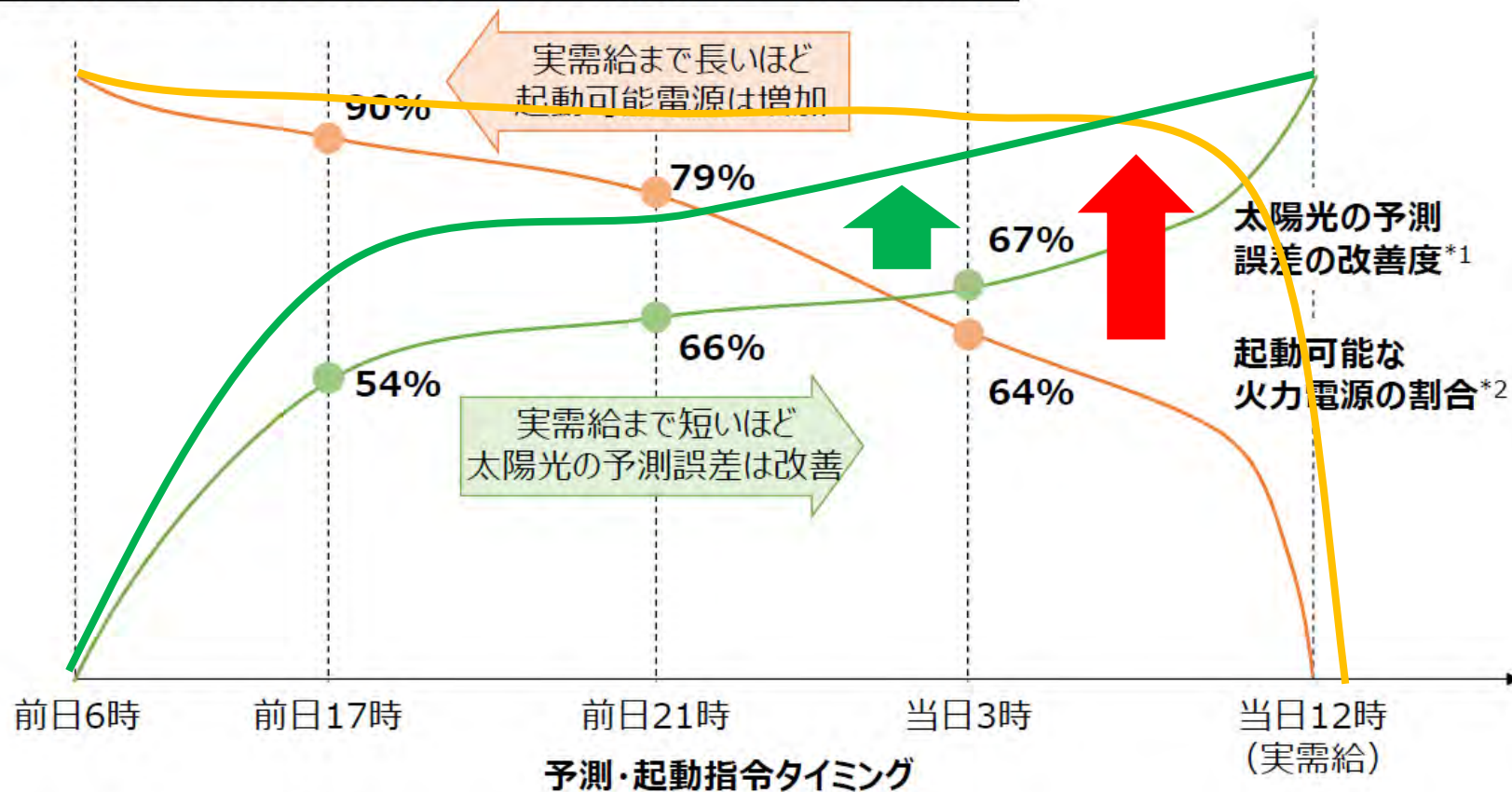


\*1：予測誤差の改善度合いは全国での最大予測誤差平均値を記載。

\*2：ガス・石油火力の総容量に対する起動割合。平均起動可能容量として、各停止モードの起動可能容量の平均値を計算。

# 発電予測技術の今後の方向性

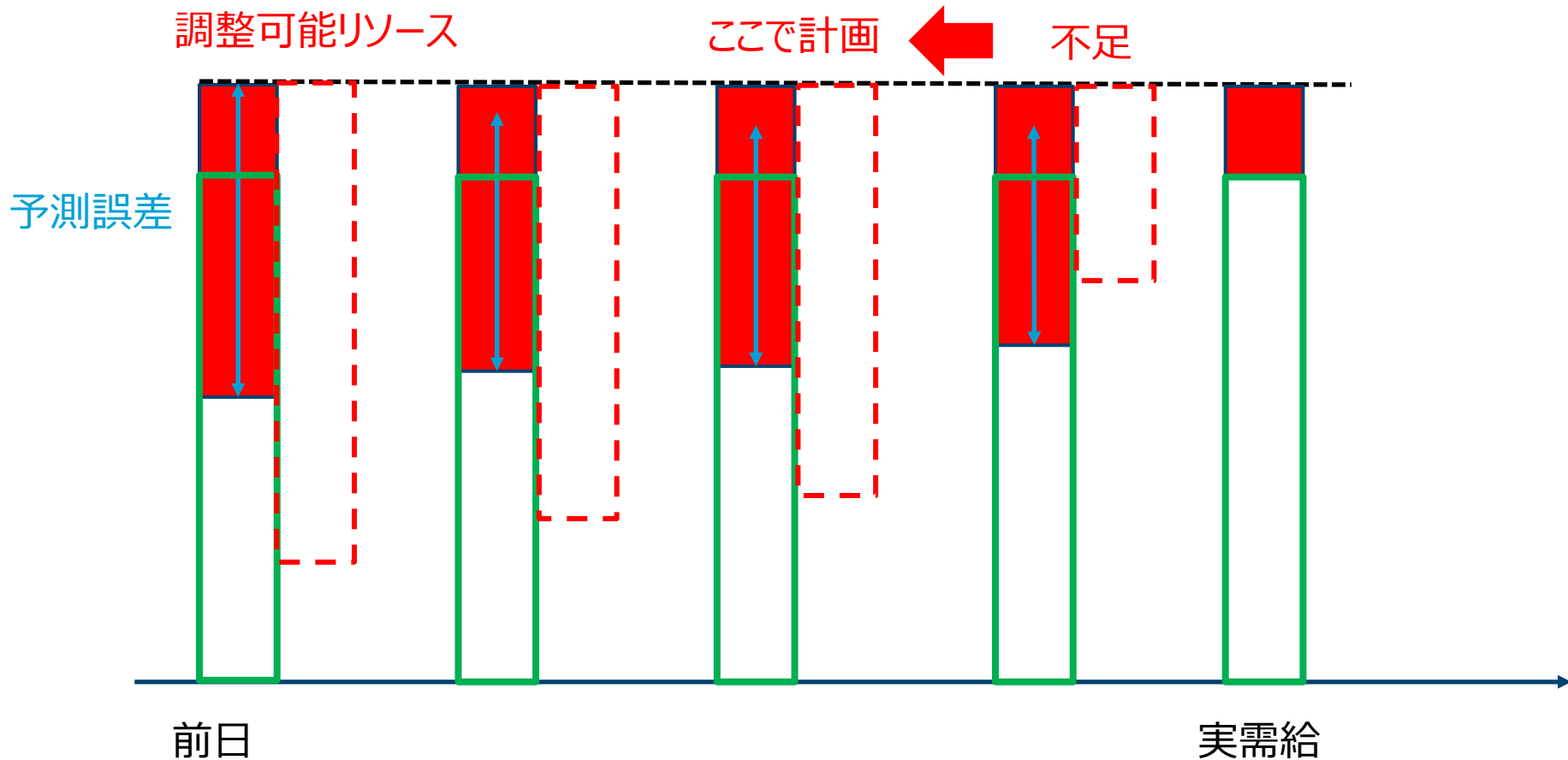
## 起動可能電源・太陽光の予測誤差改善度の推移（イメージ図）



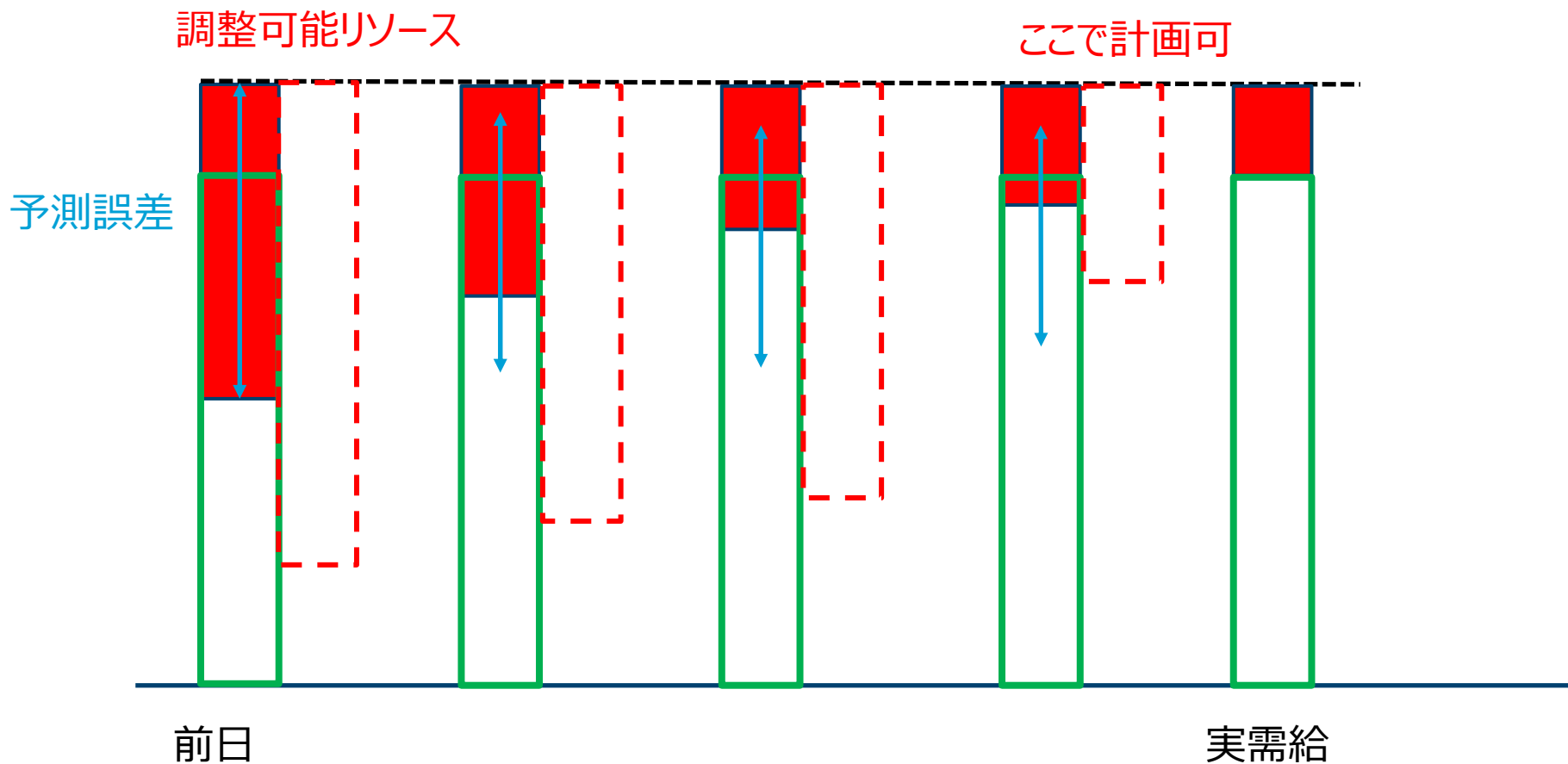
\*1：予測誤差の改善度合いは全国での最大予測誤差平均値を記載。

\*2：ガス・石油火力の総容量に対する起動割合。平均起動可能容量として、各停止モードの起動可能容量の平均値を計算。

# 発電予測技術の今後の方向性



# 発電予測技術の今後の方向性



## (参考) 太陽光発電における出力予測精度の向上に向けた勉強会

- 電力広域的運営推進機関の検討会において、三次調整力②の $\Delta kW$ 必要量を減らすためには、**前々日・前日時点での気象予測の大外しの低減が重要**であると整理された。
- これを踏まえ、2020年2月～3月に、**気象予測の専門家や事業者が参加する勉強会**を開催。
- 同勉強会では、予測誤差の原因と精度向上に向けた技術手法を議論するとともに、**実際の大外し事例に基づくサンプル分析を実施し、今後必要と考えられる技術開発の方向性を取りまとめた。**

### <委員・オブザーバー構成> (五十音順)

#### (委員)

- ・ 大関 崇 産業技術総合研究所 太陽光発電研究センターシステムチーム 研究チーム長
- ・ 鈴木 靖 政策研究大学院大学 防災・危機管理コース講師 防災政策研究会 気象防災委員長
- ・ 新野 宏 東京大学 名誉教授 東京大学 大気海洋研究所 特任研究員【座長】

#### (オブザーバー)

- ・ 気象庁
- ・ 資源エネルギー庁
- ・ 電気事業連合会
- ・ 電力・ガス取引監視等委員会
- ・ 電力広域的運営推進機関
- ・ 東京電力パワーグリッド株式会社

### <気象予測誤差の原因>

- ① 初期値に含まれる誤差の増大  
初期値の僅かな差異が時間発展とともに増大し、数日先の予測結果が大きく異なる場合がある。
- ② 気象モデルの不完全性  
気象モデルでは、計算機の性能の限界により、ある大きさのモデル格子で予測計算を行わざるを得ないため、大気の振る舞いを完全には表現できない。

### <今後の技術開発の方向性>

- ① 誤差の拡大を事前に把握する手法として、アンサンブル予報※の活用
- ② 気象モデルの不完全性を補う手法として、複数の気象モデルの活用
- ③ これらと併せて、気象モデル自体の精度向上

※アンサンブル予報：少しずつ異なる初期値を多数用意する等して多数の予報を行い、予報のばらつき具合等の情報を用いて気象現象の発生を確率的に捉え、予測の信頼度を分析する手法。

23

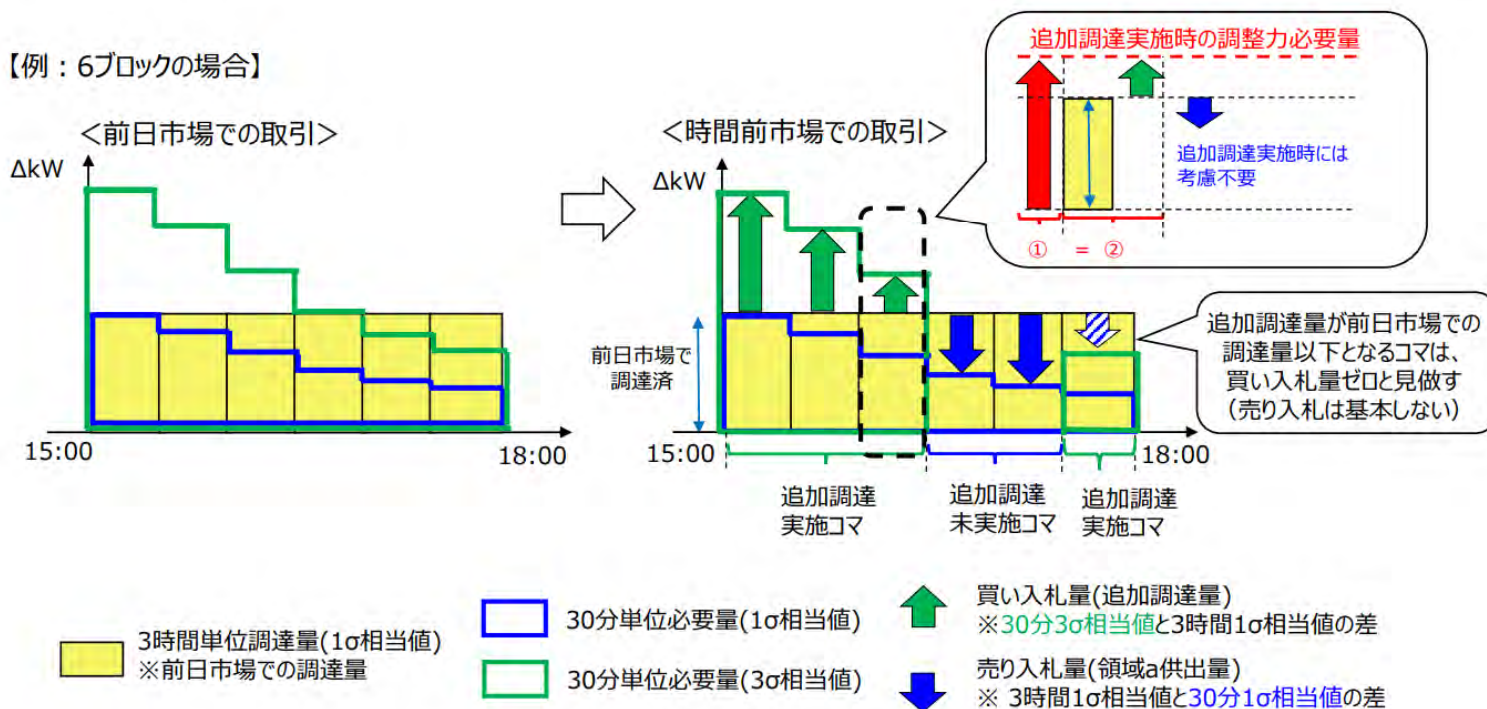
# 需給調整市場の調達量：1σ→3σ

(参考) 売り入札と買い入札における同時対応の具体的なイメージ(2/2)

17

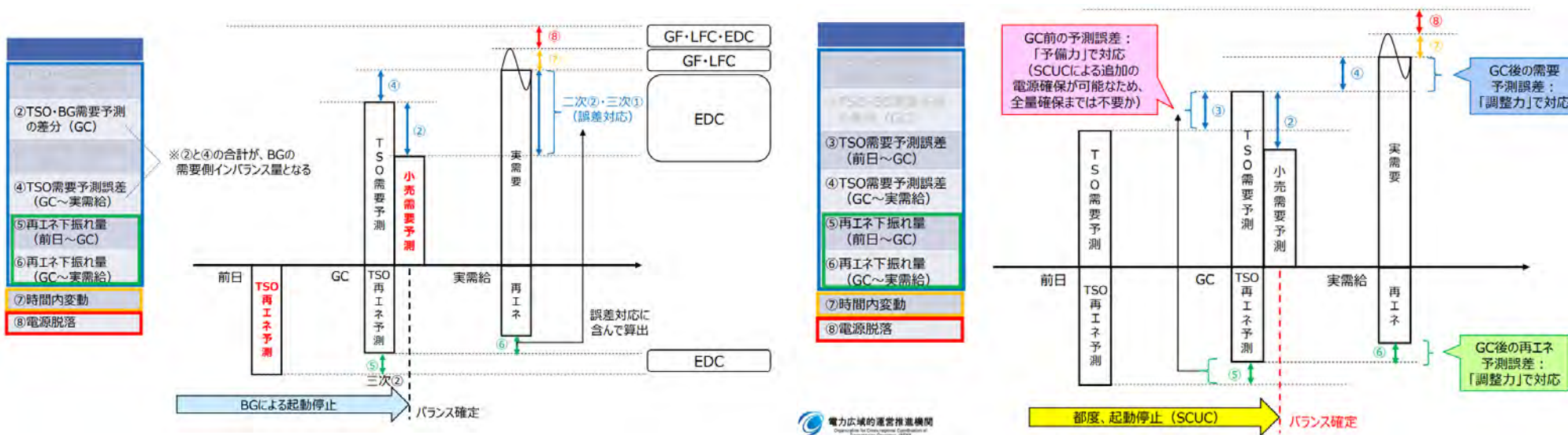
- 実際の追加調達実施時には、30分単位必要量（3σ相当値）まで確保する必要があるところ、同一のタイミングで入札する場合には、前日市場で調達する3時間単位調達量（1σ相当値）と30分単位必要量（3σ相当値）の差を算定するだけでよい（買い入札量と売り入札量をそれぞれ算定し、両者の量を比較する必要はない）。

【例：6ブロックの場合】



出典： [https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2023/files/jukyu\\_shijyo\\_43\\_02.pdf](https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2023/files/jukyu_shijyo_43_02.pdf)

# 同時市場における同時約定



出典：OCCTO



# 発電予測技術の今後の方向性：予測誤差低減

- 共通
  - 物理 & AIのハイブリッド
- 前日予測
  - 大外れの低減 → 全球モデル改良、複数予測利用、統合モデル
- 短時間予測
  - 衛星観測データ利用（次世代は？）
  - 地上データの活用
- 出力把握
  - スマメ実測の利用
  - 制御された場合の把握
  - 気象ベースとAIベースのすみわけ

# 発電予測技術の今後の方向性：不確実性の把握

- 不確実性の予測
  - 統計的アプローチ(導入量の変化、過去データ不足) →気象学アプローチ。
  - 天候・気象場ごと：前日、短時間。
- 時間内変動
  - 時間内変動量の予測 →天候別。
- 柔軟性提供量の予測
  - 出力抑制、Headroom制御量
  - 慣性エネルギー

## 発電予測技術の今後の方向性：その他

- 週間：統計→気象モデル？
- 月間：季節予報
- 年間：気候変動、統計モデル
- 長期予測：気候変動
- 導入量：数か月～数年の導入量予測・計画把握

## まとめ

- 太陽光発電の発電予測の概要をまとめた。
- 将来に向けて、どのForecast Horizonを優先して予測誤差低減（平均値＋不確実性の把握）していくことが有効かについては、運用面の調整可能リソースとの関係が重要。
- 前日予測は数値予報モデルベースとなり、長期的に継続した技術開発（計算機、モデル、観測）が必要。
- 短時間の予測誤差低減は、衛星観測データ利用が現状有望。午前中などの予測誤差低減などは開発の余地あり。地上データは、衛星観測データよりも時空間分解能の向上が期待できる。しかし、数時間先となるため、数時間で調整可能なりソースの増加が必要（PVの出力抑制は短時間の下げ調整力のひとつ）。

# ともに挑む。つぎを創る。

未来をデザインし、社会と共に未来を創る。  
互いを認め、共に挑戦する研究所を築く。

## 私たちの使命

世界水準の研究のみならず、  
社会課題の掘り起こし・施策提言・社会実装・  
知的基盤整備などあらゆる活動を  
これまでの産総研の枠を超えて推し進めます。

## 私たちの価値観

強い個の発揮と協働を通じた総合力で、  
多様な価値を創り出すことを  
大切にします。

## 私たちの文化

志ある多様な人材が集い、  
互いを尊重しながら、  
共に挑戦し成長する文化を育みます。



国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
福島再生可能エネルギー研究所  
Fukushima Renewable Energy institute, AIST  
(FREIA)

Thank you for your attention.  
[takashi.oozeki@aist.go.jp](mailto:takashi.oozeki@aist.go.jp)

- 以下は参考。

## (参考) 予測の大外れ誤差の低減

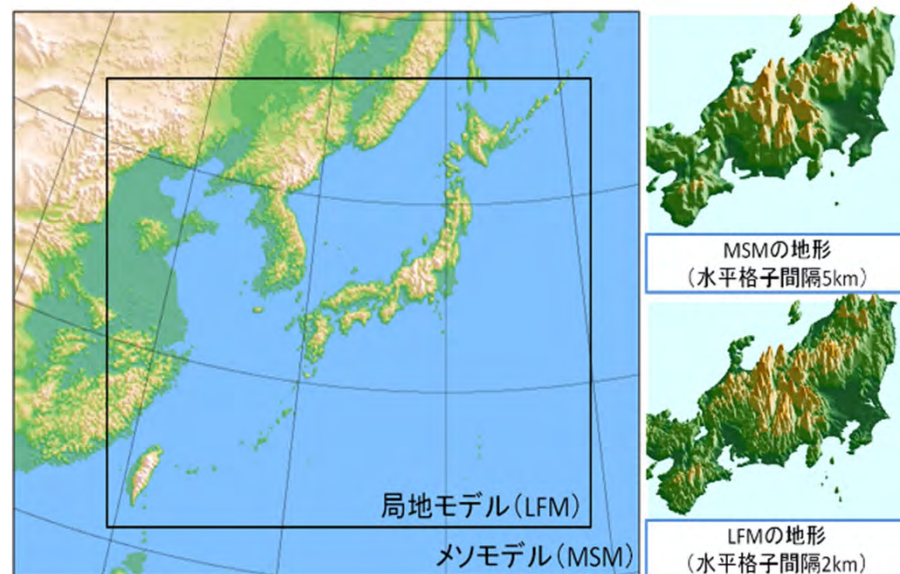
- 全球モデルで外れるケースと、メソモデルで外れるケースの両方が存在。
- 全球モデルのはずれ→ 海外も含めた複数モデル、全球モデルの改良
- メソモデルのはずれ→ 気象モデルの改良、メソの複数モデルの利用

全球モデル



メソモデル：

全球モデルを境界値として細かい計算



出典：気象庁WEB

## (参考) 予測の大外れ誤差の低減

- 翌日および翌々日程度先の日射量予測が大きく外れる課題を改善するための技術開発を行う。

①日射量予測に特化した  
気象モデルに係る技術開発

②複数機関の気象モデル予  
測値の統合に係る技術開発

③アンサンブル予報に基づく  
信頼度予測に係る技術開発

実施者：JWA

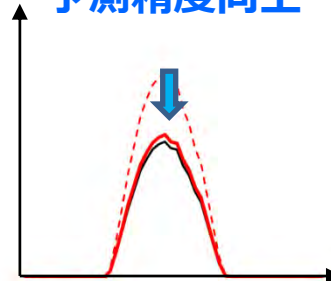
⑤大外れ低減予測技術の開発と評価

④大外れ事象の誤差低減のための領域  
モデルを補間する各種気象庁GPVを  
利用した日射量予測の特性分析

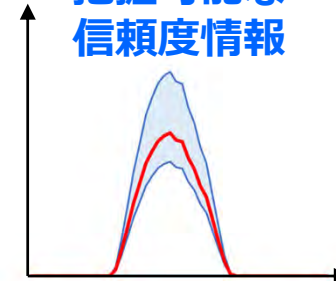
実施者：AIST

日射量予測の最大誤差を  
最大限低減する技術の確立

大外れ低減・  
予測精度向上



大外れリスクを  
把握可能な  
信頼度情報



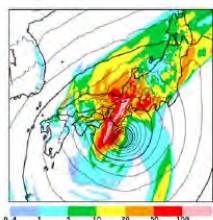


## (参考) 予測の大外れの低減：機械学習の利用

- メソアンサンプル予報を入力とした機械学習モデルを開発
- 機械学習により入力情報を有効に利用して、予測の大外れを低減できることを確認。

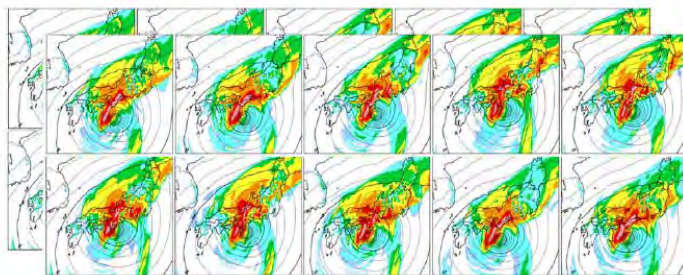
### 21メンバー

MSMによる予測

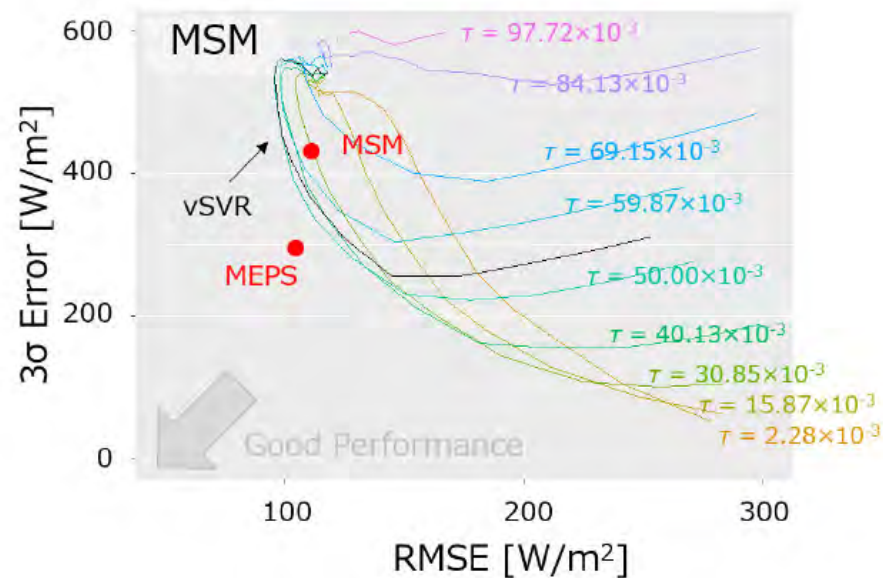


出典：JMA

初期値等にわずかなばらつきを与えた予測結果



SVRの学習モデル



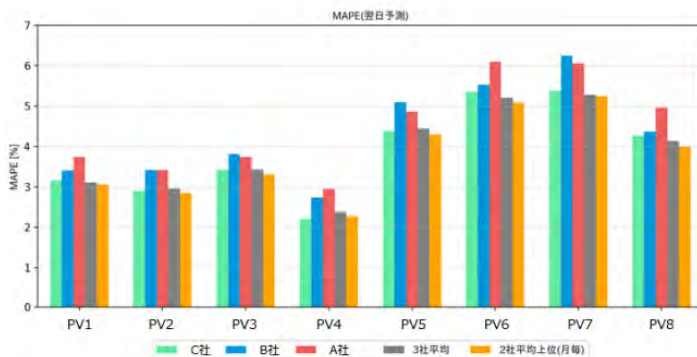
機械学習の学習方法の調整による  
平均誤差と最大誤差の最適化

出典：Takamatsu et al., Energies 2021, 14(11), 3245

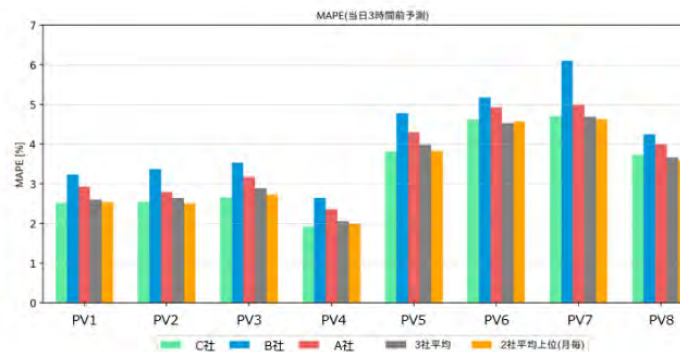
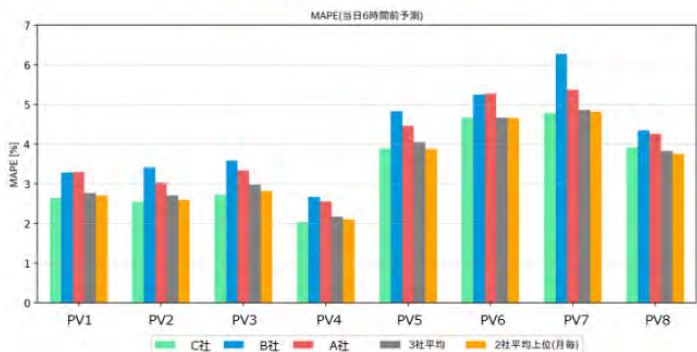
# (参考) 将来の予測技術

## 予測WG：複数社予測の統合結果

### 地点毎の対象期間（2022年9月～12月）全体の予測誤差



- 3社平均をグレー、2社平均上位をオレンジで示す。
- 僅かではあるが、翌日予測/当日予測ともに3社平均よりも2社平均上位の方が精度が優れている。
- 翌日予測では、2社平均上位の予測はいずれの個社予測よりも優れている。
- また、予測参照時刻が実需給に近づくにつれて各社ともMAPEは減少していた。



© 2023 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 80

出典：https://sii.or.jp/saieneaggregation04/uploads/toshiba-energy-systems.pdf

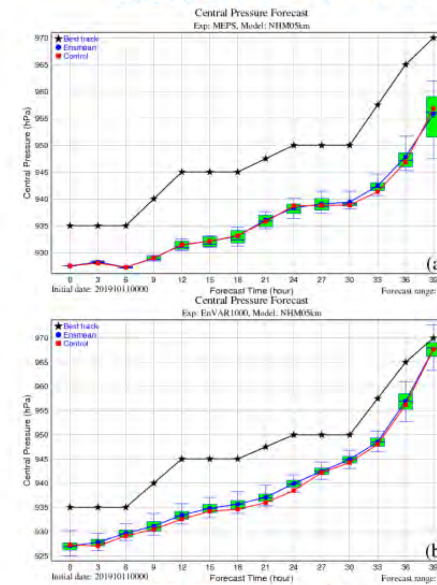
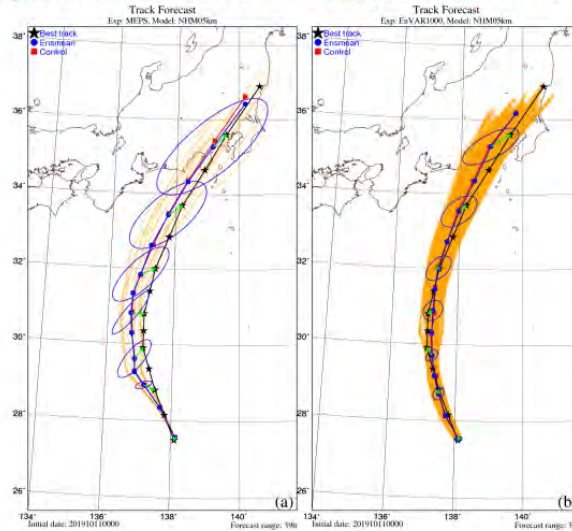
## (参考) 将来の予測技術

- 不確実性は現状統計モデルベース。
- 予測モデル、導入量が変わる中では、不確実性の信頼度に課題。
- **統計モデル→物理モデルへの転換に向けた研究が必要** (大アンサンブル)

### 令和元年東日本台風

1000アンサンブルによる進路・強度 Duc et al. 2021  
気象庁メソアンサンブル

気象庁メソアンサンブル 1000-アンサンブル

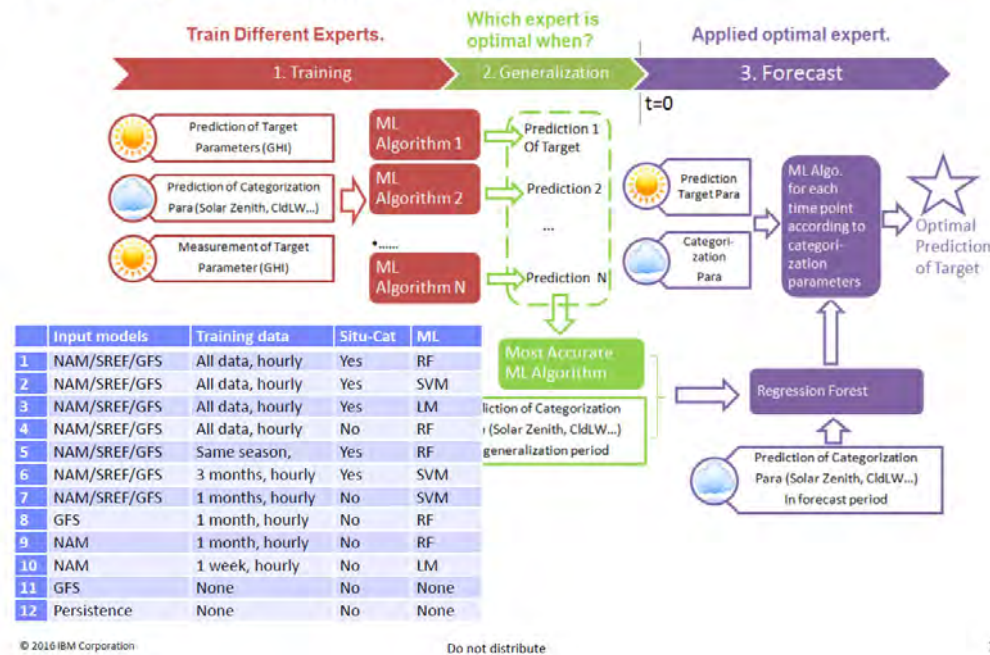


出典：2022年度「富岳」成果創出加速プログラム「防災・減災に資する新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測」成果発表会

# (参考) 将来の予測技術：統合モデルの例



## Multi-Expert Machine Learning

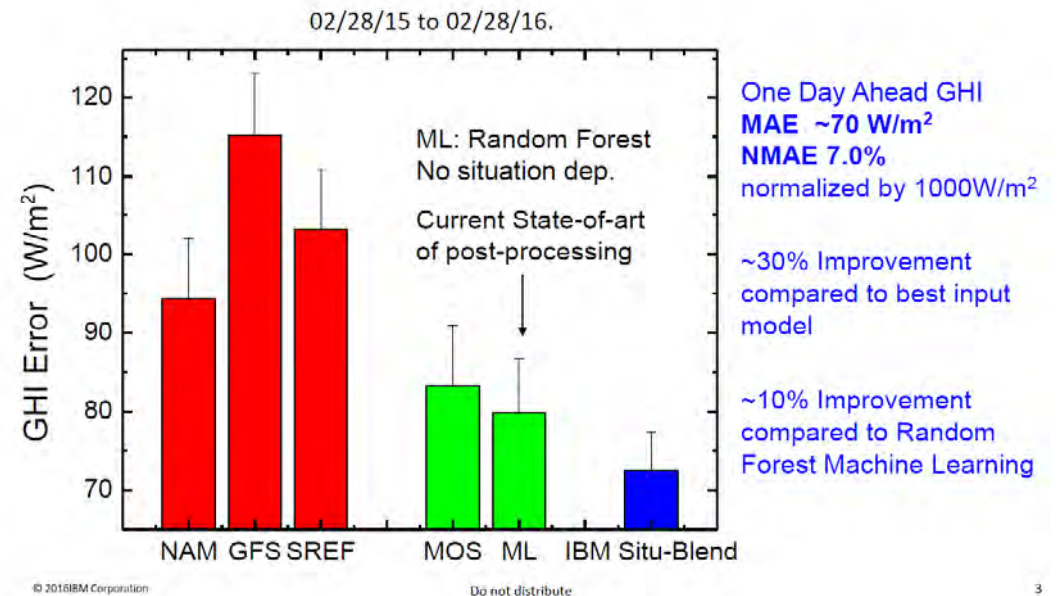


出典 ; IBM, UVIG 2016 Forecasting workshop

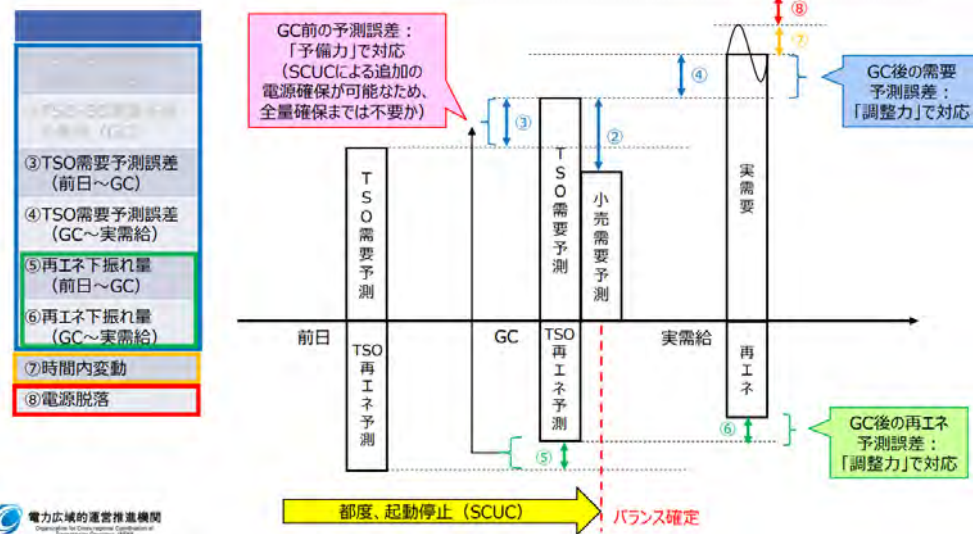
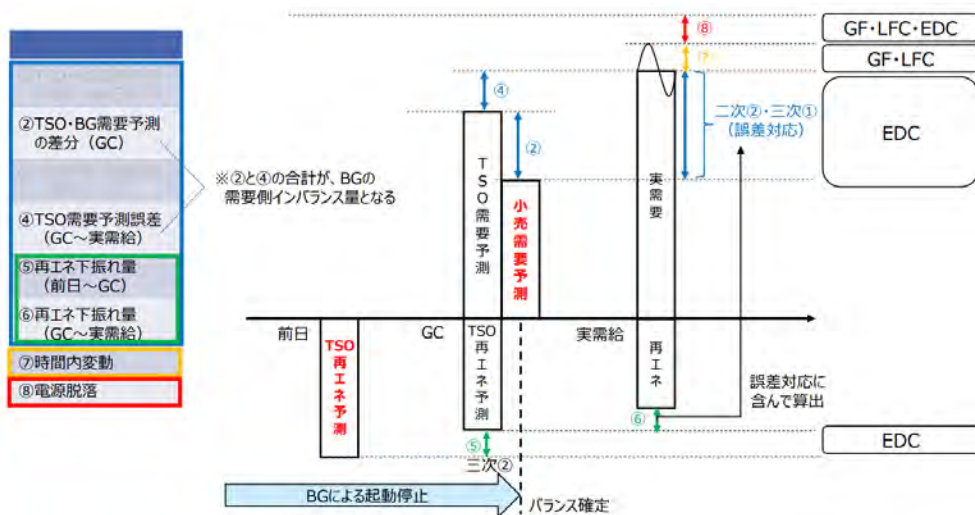


## GHI Forecast MAE Reduction

Irradiance forecasted one-day-ahead (12 to 36 hr) for seven Surfrad stations.



# (参考) 同時市場における同時約定



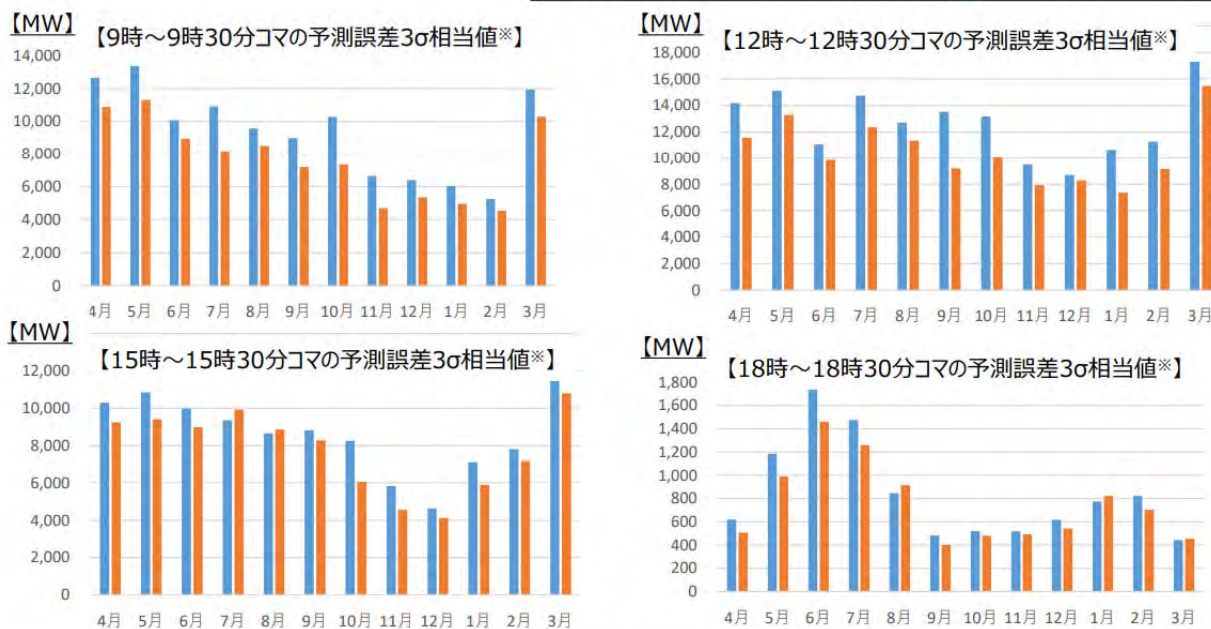
# (参考) 需給調整市場の調達量：1σ→3σ

(参考) 再エネ予測誤差の精度向上について

32

- 再エネの予測精度向上確認するため、前日朝の再エネ予測誤差（前日予測誤差）と、前日夕方の再エネ予測誤差の比較を行った。
- その結果、大宗の断面において、実需給に近い前日夕方の予測誤差の方が、前日朝の予測誤差に比べて、再エネ予測精度が向上していることが確認できる。

■ : 前日朝予測誤差の3σ相当値    ■ : 前日夕方の予測誤差の3σ相当値



※予測誤差3σ相当値は、各月誤差実績から算出した3σ相当値の各エリア合算値

出典 : [https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2023/files/jukyu\\_shijyo\\_42\\_02.pdf](https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2023/files/jukyu_shijyo_42_02.pdf)

# (参考) 需給調整市場の調達量：1σ→3σ

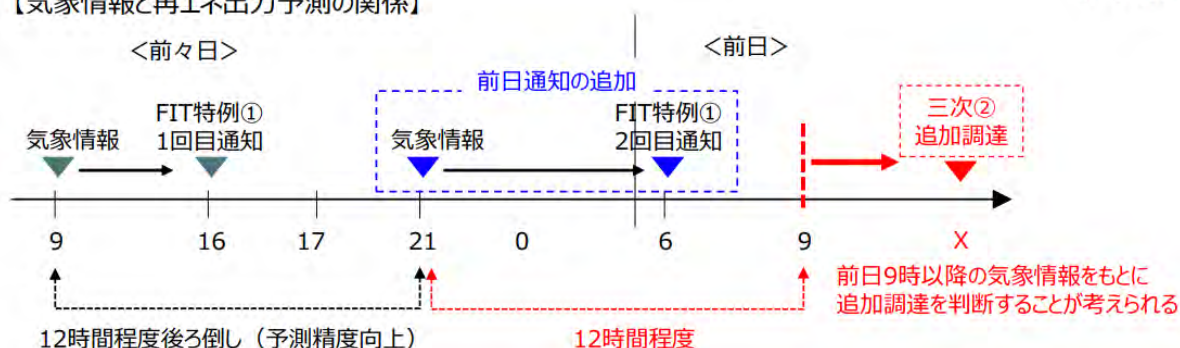
## 追加調達の実施タイミングについて

14

- 再エネの予測は定性的には、実需給に近づけば近づくほど、精度が高くなると考えられる一方で、実需給に近ければ、時間前市場で取引できる玉は少なくなるものと考えられることから、追加調達の実施タイミングについては、再エネの予測精度向上と時間前市場取引機会の両方を踏まえて決める必要がある。
- 予測精度については、現行の前日通知において、前々日21時\*の気象情報をもとに約7時間かけて再エネ出力予測を行った結果を前日6時に通知している。この点、効率的な追加調達において、前日17時（時間前市場開場）以降の再エネ出力予測を前日9時\*以降の気象情報をもとに行うこととなるため、12時間ほどの程度予測精度が向上しているかが重要となる。
- また、時間前市場（あるいはその時間帯）では、三次②余剰分の時間前市場への売り入札（領域a）やBG下げ代不足対応（ユニット解列であり実質、三次②売り行動と同義）も実施予定であり、買い行動（追加調達）の後に売り行動（あるいはその逆）を行うことは合理的ではないと考えられることから、具体的な実施タイミングやその頻度については、それらとの整合も踏まえ、更なる検討を行ったうえで別途お示しすることとしたい。

【気象情報と再エネ出力予測の関係】

\* 気象庁の情報取得時刻



出典： [https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2023/files/jukyu\\_shijyo\\_42\\_02.pdf](https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2023/files/jukyu_shijyo_42_02.pdf)

# (参考) 需給調整市場の調達量：1σ→3σ

まとめ

60

- 今回、三次調整力②の効率的な調達について、以下の項目の整理を行った。

## <追加調達の判断・実施タイミング>

- ✓ 前日15時に追加調達判断をして、前日17時頃に札入れし、前日19時頃に一齐に札下げをする（追加調達の対象は平日対応可能な日の3～6Bとする）
- ✓ 追加調達が必要と判断した日については時間前市場での買い入札のみを行うこととし、追加調達が不要と判断できる日においては売り入札（領域a）を実施する
- ✓ 系統余剰時（市場価格0.01円/kWh）においては、前日15時の下振れを実質的に0と見做し、追加調達を行わないこととする

## <必要量>

- ✓ 前日市場での調達量算定において、共同調達を考慮し、アンサンプル予報については信頼度Aの日はAテーブル、Bの日は従来（A+B）テーブルを用いる
- ✓ 追加調達量算定においては、共同調達およびアンサンプル予報は適用しないこととする

## <追加調達判断基準（閾値）>

- ✓ 「前日予測値-前日15時予測値」の分布のうち、再エネ予測値（絶対値）が下振れした中で上位16%となる場合に追加調達を実施する（再エネ予測量が、各エリア再エネ設備量の2.5%～5.9%（エリア毎の閾値）以上、下振れした場合を追加調達閾値とする）
  - ✓ 効率的な調達の導入後、実績について都度確認し、仮に問題が生じた場合には速やかに閾値の見直しを行う
- 三次②の効率的な調達における実務的・技術的な論点について方向性の整理を行った。引き続き、買い入札時の価格規律や追加調達費用の扱いについては、国と連携のうえ検討を進めることとし、方針や実現時期については、別途お示しすることとしたい。

出典： [https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2023/files/jukyu\\_shijyo\\_43\\_02.pdf](https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2023/files/jukyu_shijyo_43_02.pdf)



# (参考) 調整力の想定方法：一次～三次①

論点整理・検討状況 <各商品必要量の算定式> (2 / 6)

42

- 同時市場（イメージ②）における必要量について、一定の前提条件の下、試算結果をまとめると下表のとおり。
- 現時点で同時市場（イメージ②）に移行した場合の必要量（規模感）としては、現行必要量の50～80%程度と考えられ、先述の予備力必要量（SCUC追加分）の考え方によって大きく左右すると考えられるところ。

【各商品必要量（規模感）の試算結果（東京・中部・関西3エリアの合計値）】

赤字…現行の需給調整市場からの変更点

対応する事象	需給調整市場		同時市場			
	必要量算定式	必要量[MW]	必要量算定式	必要量[MW]		
時間内変動 (極短周期成分)	「残余需要元データ - 元データ10分周期成分」 の3σ相当値 (一次)	600 (一次)	現行と同様	600 (同左)		
時間内変動 (短周期成分)	「元データ10分周期成分 - 元データ30分周期成分」 の3σ相当値 (二次①)	400 (二次①)	現行と同様	400 (同左)		
需要予測誤差	「残余需要予測誤差30分平均値のコマ間の差」 の3σ相当値 (二次②) +	合計：9,000 (内訳) 2,300 (二次②) +	「GC以降の残余需要 予測誤差30分平均値」 の3σ相当値 +	合計：3,400~7,900 (内訳) 3,400 +		
再エネ予測誤差	「残余需要予測誤差30分平均値のコマ間で連続する 量の差」の3σ相当値 (三次①) +	4,800 (三次①) +			「前日～GCの 残余需要誤差30分 平均値」 の3σ相当値	0~4,500 (SCUC追加分見合い)
	「前日予測値-実績値」の3σ相当値-「GC後 予測値-実績値」の3σ相当値 (三次②)	1,900 (三次②)				
電源脱落 (瞬時)	単機最大ユニット容量の系統容量按分値 (一次) +	2800 (内訳) 1,400 (一次) +	現行と同様	2,800 (同左)		
	単機最大ユニット容量の系統容量按分値 (二次①)	1,400 (二次①)				
電源脱落 (継続)	単機最大ユニット容量の系統容量按分値 (三次①)	1,400	- (不要)	0		
<b>必要量合計</b>	<b>-</b>	<b>14,200</b>	<b>-</b>	<b>7,200~11,700</b>		

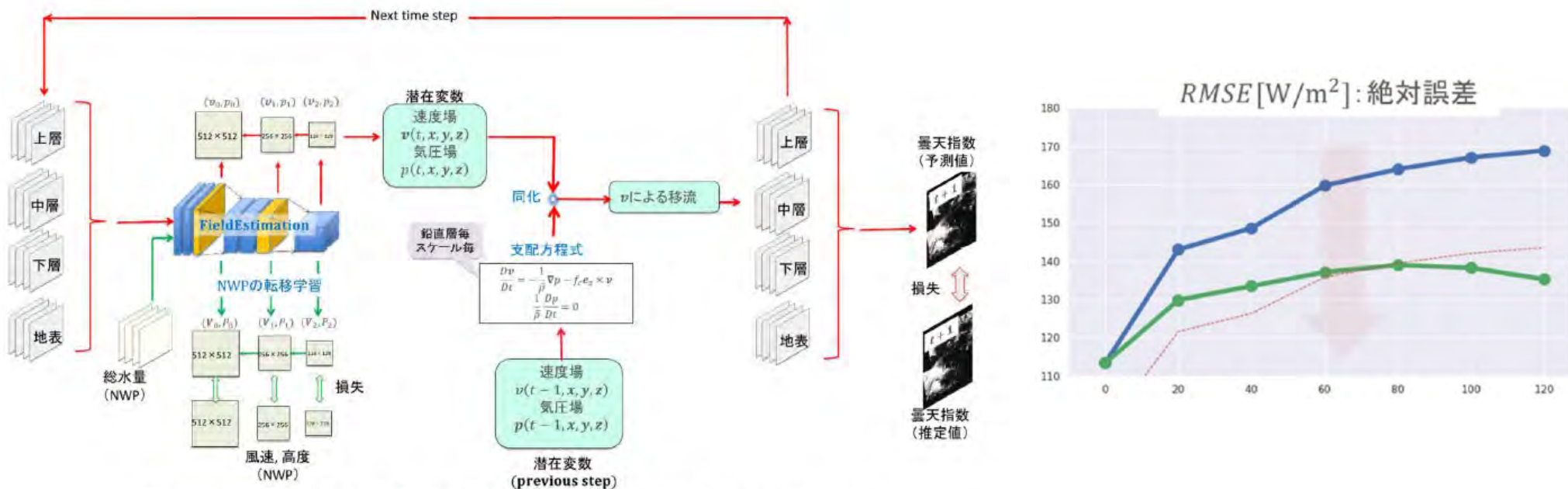
※ 今後、効率的な調達（「3σ」→「1σ+追加調達」）が開始予定であり、本試算結果はあくまで市場構造上の必要量（規模感）の差異であることに留意が必要。

出所：第56回調整力の細分化及び広域調達の技術的検討に関する作業会（2023年12月7日）資料2より抜粋

出典：第56回調整力の細分化及び広域調達の技術的検討に関する作業会（2023年12月7日）、2022年12月

## (参考) 将来の予測技術：出力把握・短時間予測

- 予測技術の開発：AIと物理モデルを組合せ、地上データとのデータ同化（次世代スマメータ）など、短時間では予測そのものの低減可能性があるため、更なる研究開発。
- 出力制御、蓄電池、DR利用を考えると、出力把握技術の見直しも必要（スマメータで十分の可能性もあり）



図Ⅲ-2-(ハ)-(ii)-A-4 日射量予測モデルのアーキテクチャ（予測計算）

出典：NEDO事業原簿

## (参考) LESモデルの気象分野への応用例

近年の研究開発の進歩により、LES (Large Eddy Simulation) モデルの気象分野への応用例が増えてきている。雲の生成や発達などは、大気中の大小の渦によって引き起こされる。数値気象モデルは大気中の渦を直接計算せずモデル化をして取り扱っている。一方、LES モデルはある程度の大きさまでの渦を直接計算し、それより細かい渦のみモデル化をして取り扱う。LES モデルの計算は、数値気象モデルと比べて細かい水平分解能を求められるため、高い計算機資源と膨大な計算時間を要するが、数値気象モデルよりも現実の大気をより忠実に計算することが期待される。図 1.2.1-15 は、CPU (Central Processing Unit) よりも並列処理に特化しているプロセッサ GPU (Graphical Processing Unit) を使った LES モデルから計算されたオランダ上空の雲の様子である<sup>(77)</sup>。夏季に見られる小さな積雲をよく再現できており、同図内の右下の衛星画像と比較しても大きな違和感はない。



出所：Schalkwijk et al. (2015)<sup>(77)</sup> © American Meteorological Society. Used with permission.

図 1.2.1-15 2004年7月6日オランダ上空の雲。GPUを使ったLESから計算された雲と同時刻の衛星画像(右下)

# (参考) 時空間情報を用いた予測例

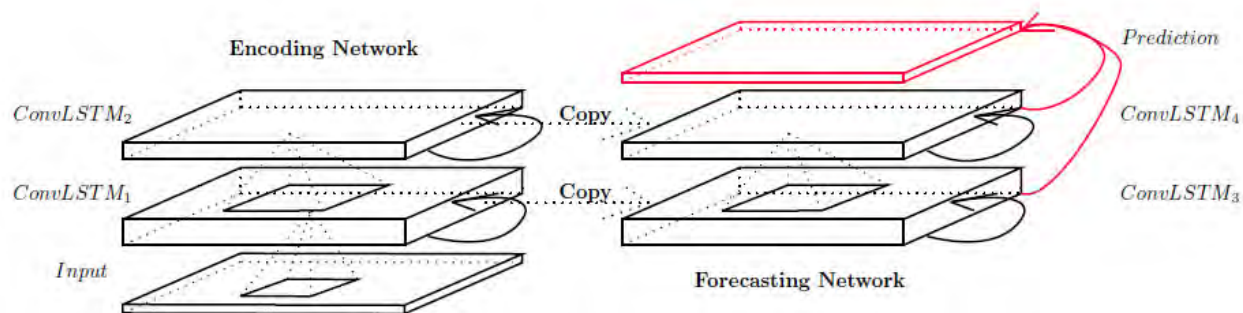


Figure 3: Encoding-forecasting ConvLSTM network for precipitation nowcasting

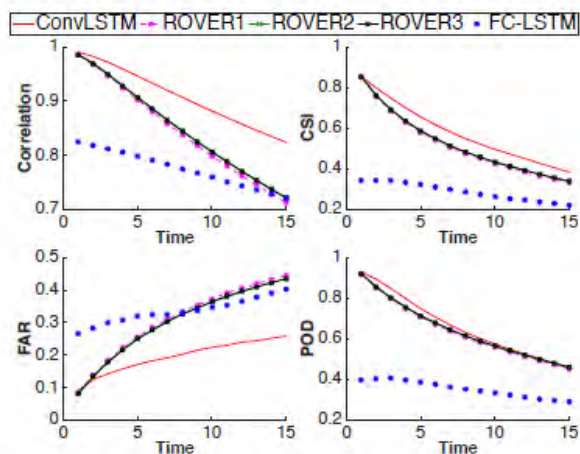


Figure 5: Comparison of different models based on four precipitation nowcasting metrics over time.

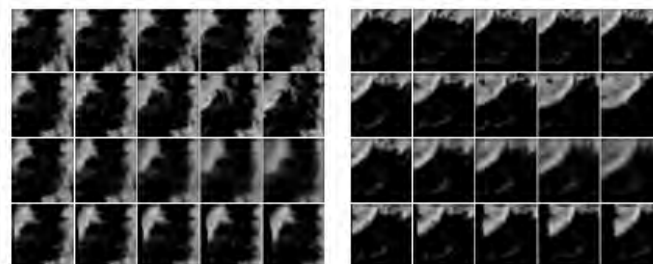
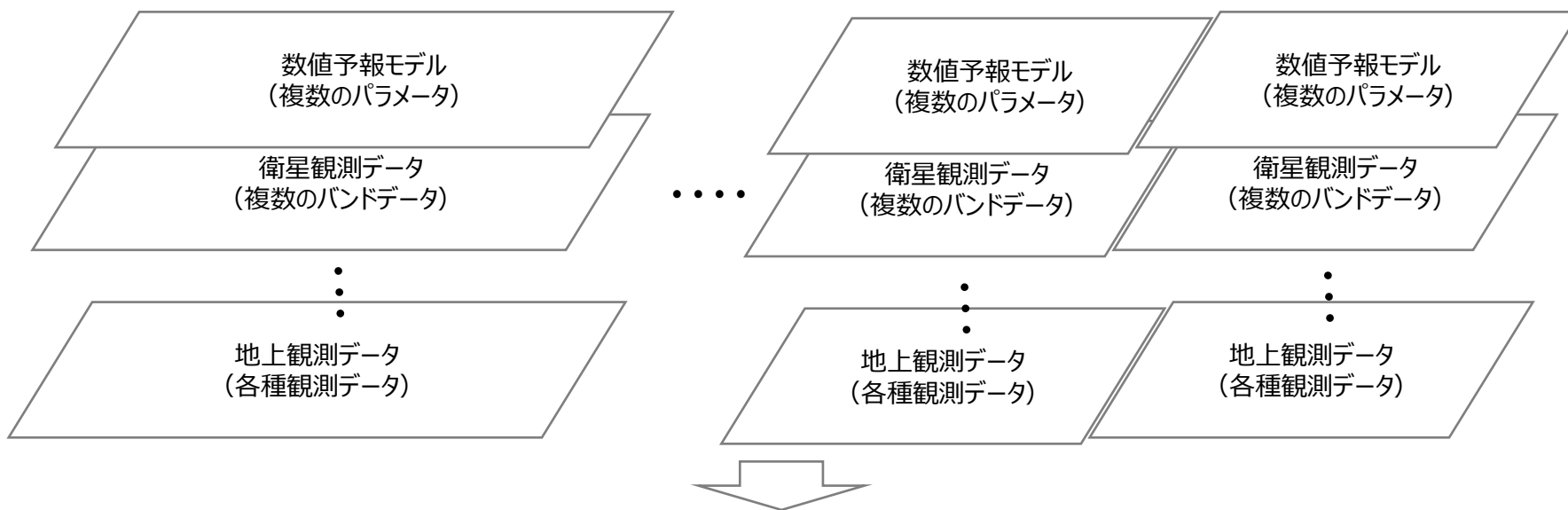


Figure 6: Two prediction examples for the precipitation nowcasting problem. All the predictions and ground truths are sampled with an interval of 3. From top to bottom: input frames; ground truth frames; prediction by ConvLSTM network; prediction by ROVER2.

## (参考) 地上実測データ拡充による予測精度向上の可能性

- 予測精度向上には、複数予測の統合が重要（異なるリソースやモデルを利用しものの組合せ）。
- ピンポイント予測においても、時空間情報量を持つ異なるリソースの増加により、予測精度向上の可能性がある。
- 時空間情報を有効に取込み、時間の解像度が異なるデータ、面的に不均一なデータなどを処理可能な学習モデルの構築が必要。（間接、直接予測の両方利用可能）



一括で特徴抽出可能なモデルが必要

# (参考) 次世代スマートメータ

## 3. 次世代スマートメータの標準機能まとめ

< 現行の低圧スマートメータの主な仕様との比較 >

[   : 仕様変更なし   : 仕様変更 ]

	計量器			通信・システム				
	計測粒度	計測項目	記録期間	Aルート (取得頻度・通知時間)	Bルート	保存期間	データ提供	付随機能
現行の仕様	30分値	有効電力量	45日間	(全データ) 30分毎・60分以内	Wi-SUN, PLC	2年間	・小売事業者等	・遠隔開閉機能 ・遠隔アンペア制御機能(単相60A以下)
	瞬時値	有効電力 電流	-	ポーリング		-		
※1 有効電力量の取得・表示桁数は、託送システム等まで8桁でシステム構築								
次世代の仕様	30分値 (15分値は計量器に記録のみ)	有効電力量 ※1	取引又は証明に必要な期間	(全データ) 30分毎・60分以内	(主) Wi-SUN  (従) Wi-Fi2.4GHz  ※取得項目は、30分値、1分値、瞬時値	3年間を軸に検討	小売・発電事業者、アグリゲーター、配電事業者、エネマネ事業者等	・停電早期解消機能(ポーリング・30分値利活用) ・遠隔開閉機能 ・遠隔アンペア制御機能(単相120A以下) ・IoTルートを利用した共同検針、特定計量データ結合
	5分値	有効電力量 ※1 無効電力量 電圧	データのサーバー送信等に必要期間	需要家の10%程度以上の5分値を数日以上 需要家の3%程度以上の5分値を10分以内				
	1分値	有効電力量 ※1	60分間					
	瞬時値	有効電力 電流	-	ポーリング				

出典 : [https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/jisedai\\_smart\\_meter/pdf/20220531\\_1.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/jisedai_smart_meter/pdf/20220531_1.pdf)

# (参考) 次世代スマートメータ

< 現行の高圧・特高スマートメータの主な仕様との比較 >

[  :仕様変更なし  :仕様変更 ]

	計量器			通信・システム		
	計測粒度	計測項目	記録期間	Aルート (取得頻度・通知時間)	Bルート	保存期間
現行の仕様	30分値	有効電力量 無効電力量	45日間	(全データ) 30分毎・30分以内	Ethernet(有線)	2年間

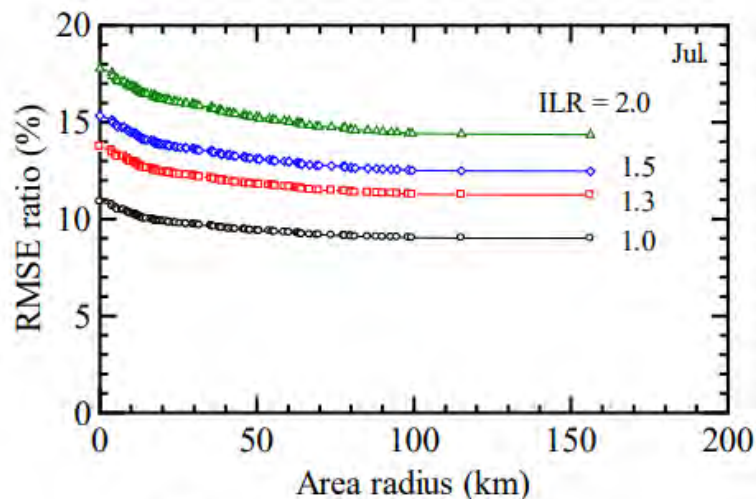
※1 有効電力量の取得・表示桁数は、託送システム等まで8桁でシステム構築

	計測粒度	計測項目	記録期間	Aルート (取得頻度・通知時間)	Bルート	保存期間
	次世代の仕様	30分値 (15分値は計量器に記録のみ)	有効電力量 ※1 無効電力量	取引又は証明に必要な期間	(全データ) 30分毎・30分以内	(主) Ethernet(有線)  (従) Wi-SUN(無線)  ※取得項目は、 30分値、1分値、瞬時値
5分値		有効電力量 ※1 無効電力量	データのサーバー送信等に必要期間	需要家の10%程度以上の5分値を数日以内		
1分値		有効電力量 ※1	60分間			
瞬時値		有効電力 電流	-	ポーリング		

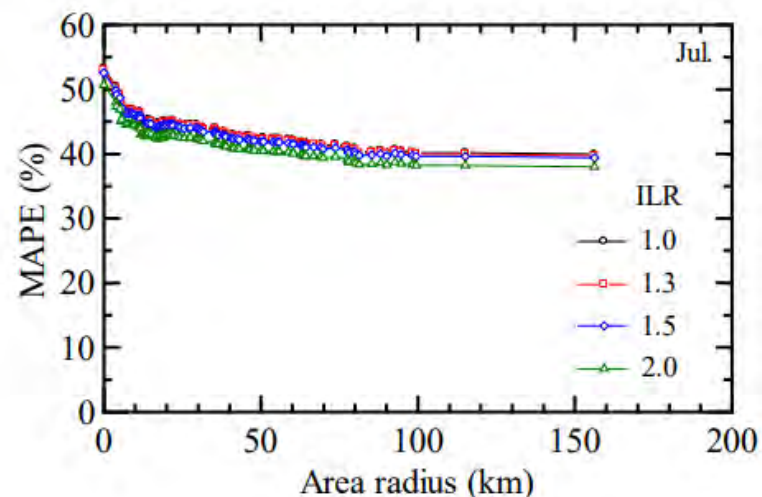
出典 : [https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/jisedai\\_smart\\_meter/pdf/20220531\\_1.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/jisedai_smart_meter/pdf/20220531_1.pdf)

## (参考) DC/AC比との関係

- 対象期間は 2016 年度, 対象地点は関東地方に静岡県を加えた 9 都県にある全市区町村のうち, その面積がおおよそ 35 km<sup>2</sup>以下の 108 地点



(a) Annual RMSE to PCS capacity ratio



(b) Annual MAPE

Fig.5 Relationships between forecast error and area radius.



## (参考) 将来の予測誤差想定：マスタープラン

- (1) 調整力必要量の推計について  
【将来の時間内変動および予測誤差の推計方法について】

27

- 将来（2040～2050年）の調整力必要量を推計については、以下の前提を置き推計することとしたい。

### 【再エネの時間内変動】

- 将来の時間内変動の推計では、保守的な仮定を置くという前提のもと、**N倍の相関**を仮定し推計することでどうか。

### 【再エネの予測誤差】

- 将来の予測誤差の推計についても、保守的な仮定を置くという前提のもと、N倍の相関を仮定。
- さらに、2040～2050年までの予測精度向上の更なる進展を想定した上で、再エネの設備導入量の増加と予測誤差の相関は、 **$0.66 \times N$ 倍と仮定する**ことでどうか。（次々スライド以降参照）

### 【再エネの出力制御】

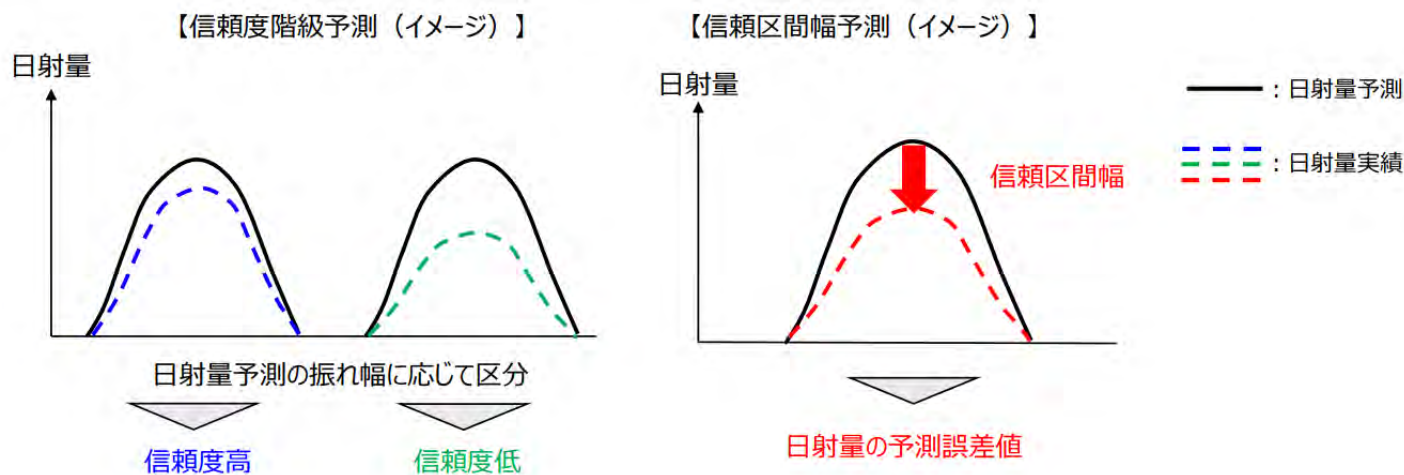
- **再エネの出力制御による影響も考慮した上で、調整力必要量を推計する**ことでどうか。
- 具体的には、予測誤差、時間内変動ともに、出力制御値を超える下振れが発生した場合のみを変動として扱い、それ以外は変動0と扱う。

# (参考) 不確実性の把握：信頼区間

## 信頼区間幅予測の概要

20

- 既に導入済み信頼度階級予測では、アンサンブル予報に基づく日射量予測の信頼度を、高い (A)、低い (B) に区分して、その予測の信頼度を表している。
- 他方、今回紹介のあった信頼区間幅予測は、アンサンブル予報に基づき発生し得る日射量誤差の大きさを予測する新たな手法である。
- 今回の気象勉強会において、信頼度階級予測と信頼区間幅予測を比較したところ、日射量予測において信頼区間幅予測の方が誤差の可能性量が低減されるといった検証結果が示された。
- 他方で、本検証は日射量予測精度に関するものであることから、今回、三次②への活用可能性について検討した。



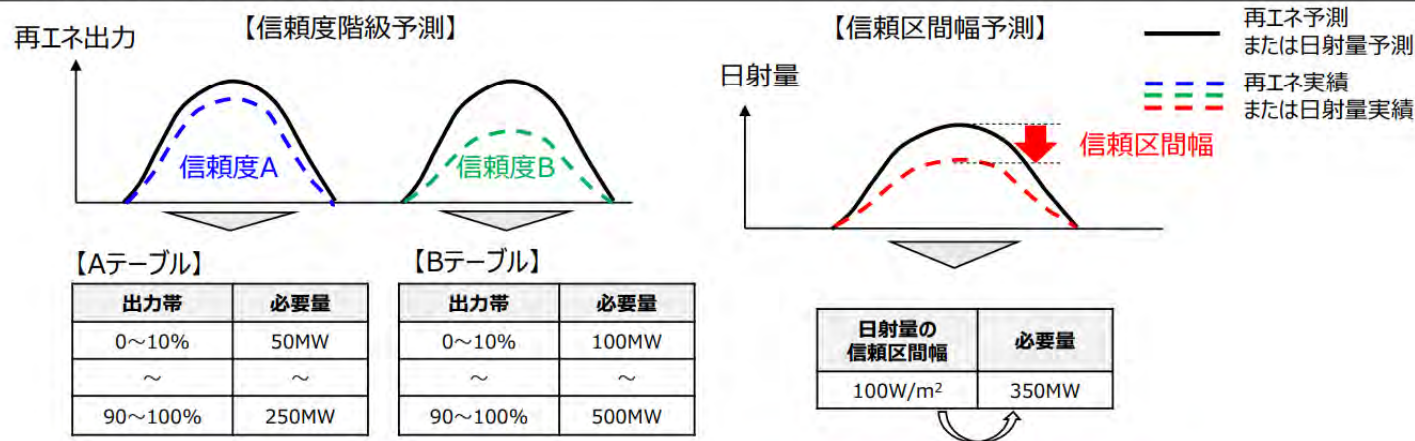
出典： [https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/2023/files/chousei\\_92\\_01.pdf](https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/2023/files/chousei_92_01.pdf)

# (参考) 不確実性の把握：信頼区間

信頼区間幅予測の三次②必要量への活用について

23

- 三次②必要量は、過去の出力帯別再エネ出力誤差実績の3σ相当値とし、翌日の日射量予測に応じて必要量を決定している。
- 信頼度階級予測を用いた必要量は、上記の再エネ出力誤差実績を信頼度階級ごとに分けたうえで、信頼度階級予測毎の必要量テーブルを作成し、翌日の信頼度階級予測および日射量予測に応じて、必要量を決定している。
- 他方、信頼区間幅予測は、日射量そのものとして外れる可能性がある量であり、これを用いた必要量は信頼区間幅から直接算出することが考えられ、現在の算出手法である過去の再エネ出力誤差実績をもとに算出する手法とは、大きく異なるものと考えられる。

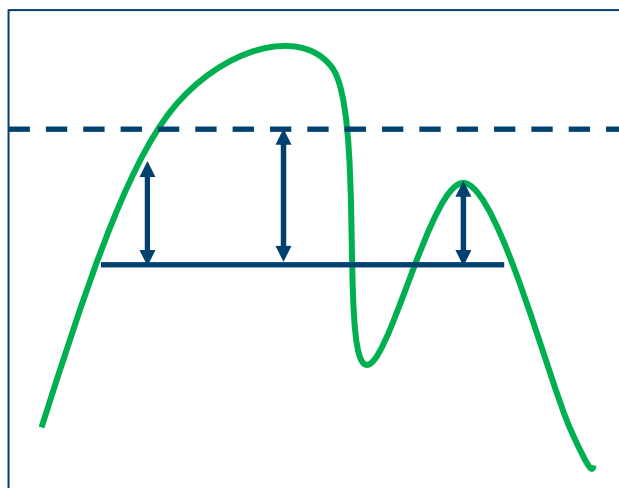


信頼度A、Bごとの過去の再エネ出力誤差実績をもとに必要量テーブルを作成しておき、翌日の日射量および信頼度をもとに使用するテーブルおよび必要量を決定

信頼区間幅予測による日射量誤差値にもとづき、直接、三次②必要量を算定

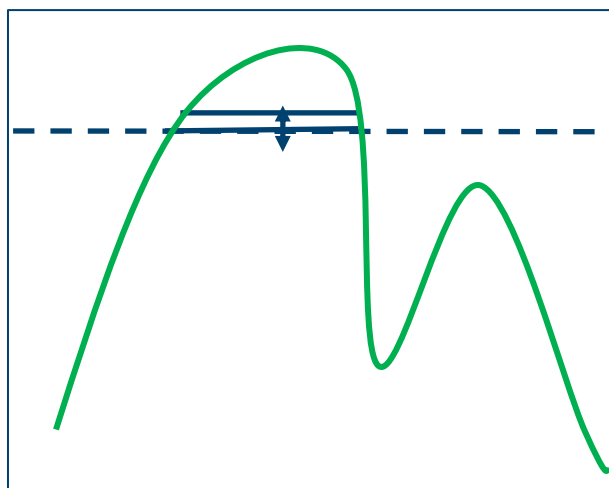
# (参考) 将来の予測技術 : $\Delta kW$ 価値; Flexibility

Case 1



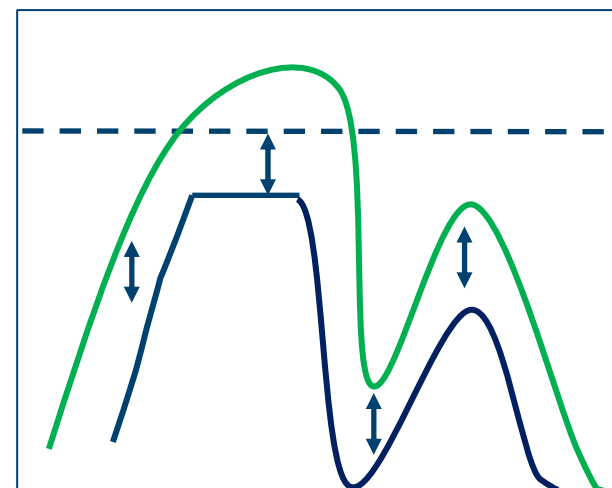
- ☺ 制御が容易 ; クリップングによる出力制御
- ☹ kWh損失が多い  
不足が発生する

Case 2



- ☺ 制御が容易 ; PCSの過電流耐量の範囲を利用
- ☹ 短時間しか吐出できない  
ある程度過積載が必要

Case 3



- ☺ kWh損失が少ない
- ☹ 期待値の推定精度が必要

# (参考) 将来の予測技術 柔軟性の提供



Figure 6. Aerial photo of First Solar's 300-MW PV power plant. Photo from First Solar

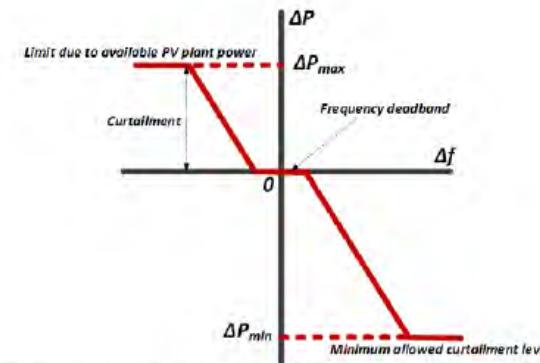


Figure 22. Frequency droop characteristic. Illustration from NREL

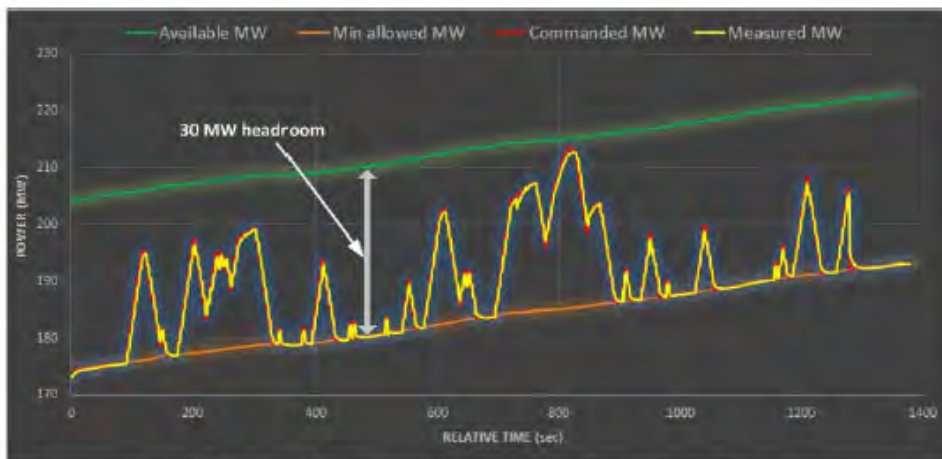


Figure 14. Morning AGC test (9:47 a.m.–10:10 a.m.). Illustration from NREL

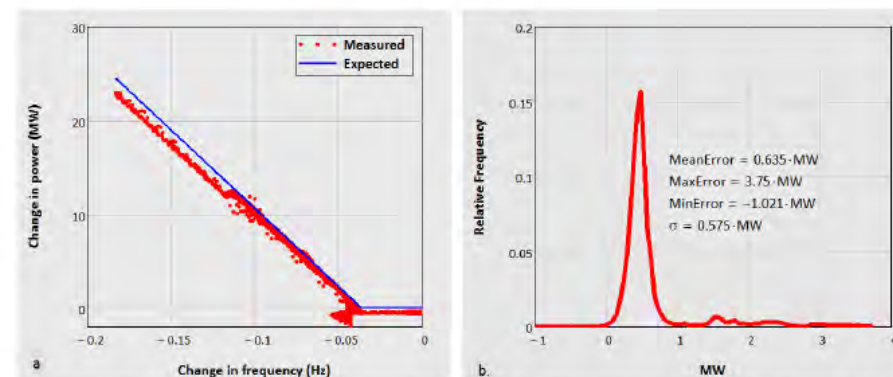
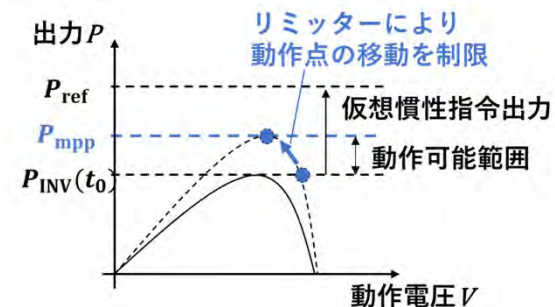
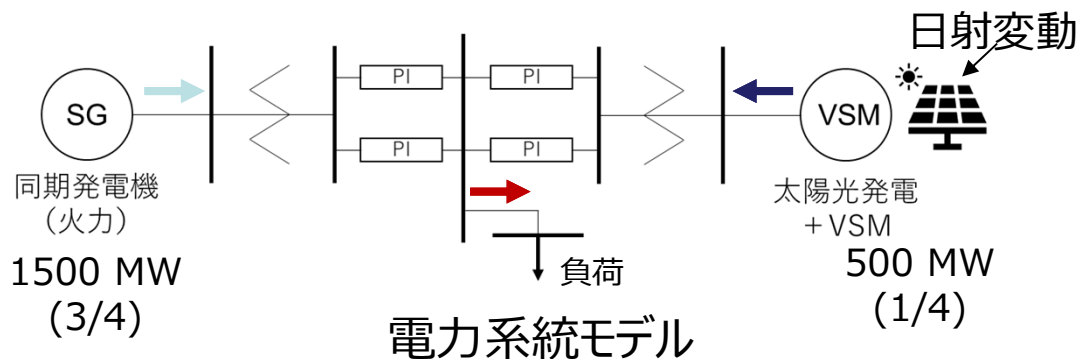


Figure 29. (a) Results and (b) control error during the sunrise 3% droop test for an underfrequency event. Illustration from NREL

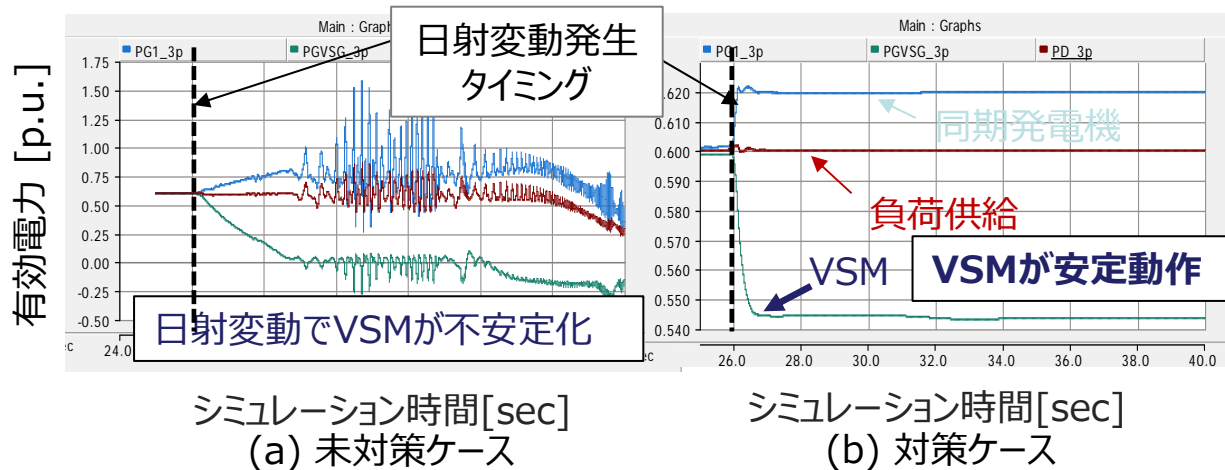
出典 : NREL Demonstration of Essential Reliability Services by a 300-MW Solar Photovoltaic Power Plant

# (参考) 将来の予測技術 柔軟性の提供 (慣性)

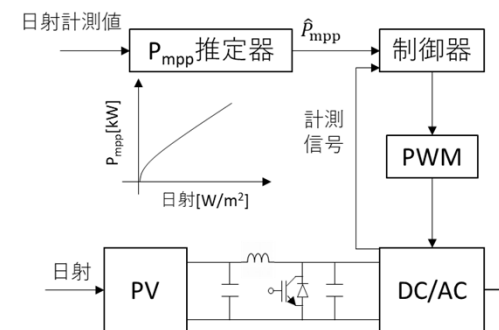
- Headroomが必要



出力上限リミッター



シミュレーション結果



最大電力推定システム

出典 : Takamatsu, Simulation Analysis of Issues with Grid Disturbance for a Photovoltaic Powered Virtual Synchronous Machine, Energies