

中長期の調整力確保の在り方について ～将来の時間内変動・予測誤差の推計方法～

2024年9月3日

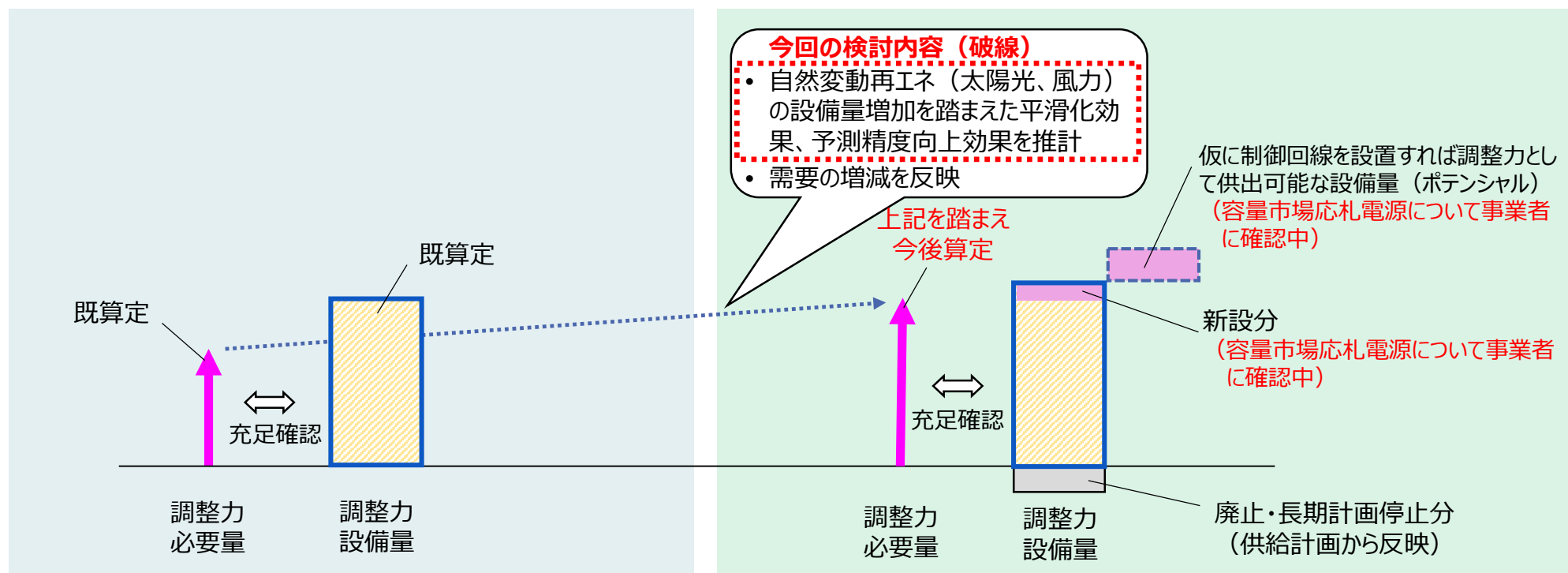
調整力及び需給バランス評価等に関する委員会 事務局

- 中長期的な調整力確保の在り方については、第95回本委員会（2024年2月20日）および第96回本委員会（2024年3月19日）において方向性を取りまとめ、今後は容量市場の枠組みの活用を基本に具体的な方策を検討することとしている。その前提として、足元から10年先までの調整力設備の充足状況を継続的に確認していくこととしており、10年先までの調整力必要量の算定が新たに必要となる。
- 中長期の調整力必要量算定にあたっては、再エネ設備量と時間内変動および予測誤差の相関を分析のうえ、将来の再エネの時間内変動・予測誤差の推計方法を検討することとしており、今般、至近年実績等をもとに考え方を整理したことから、ご議論いただきたい。

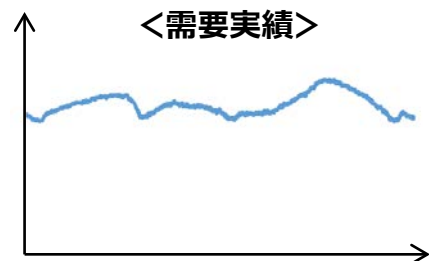
- 中長期の調整力設備の充足状況確認のために、中長期の調整力必要量の算定、中長期の調整力設備量の確認が必要となる。
- 本検討は、中長期の調整力必要量を算定するための事前検討として、自然変動再エネ（太陽光、風力）の設備量増加を踏まえた時間内変動、予測誤差を推計するために、再エネ設備量増加による平滑化効果、予測精度向上効果の織り込み可否について検討したもの。

【足元における調整力設備の充足確認】 (7月本委員会にて確認済み)

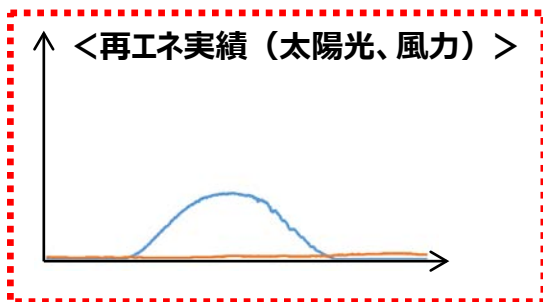
【中長期の調整力設備の充足確認】 (今年度末までに確認予定)



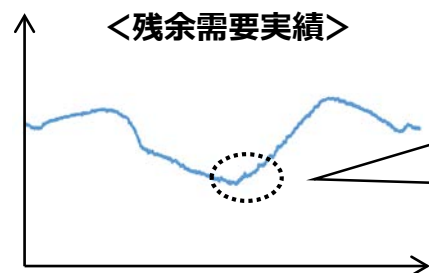
- 調整力必要量（一次～三次①）は残余需要から算定しており、残余需要とは需要から太陽光と風力を除いたもの。つまり、調整力必要量算定のためには、需要、太陽光、風力の実績および予測値が必要となる。



I



II



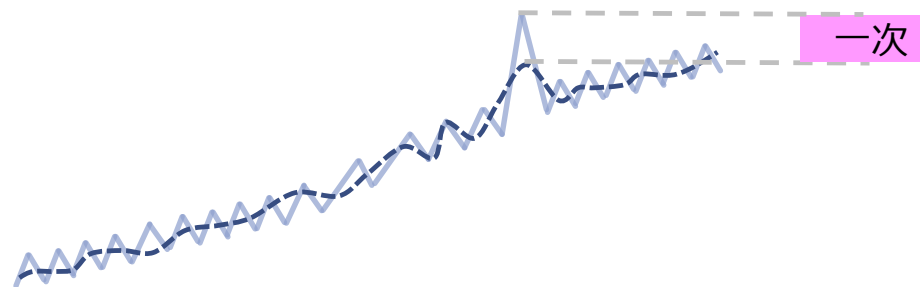
一次必要量（平常時分）

= 残余需要元データ - 元データ10分周期成分の3σ相当値

= (需要実績 - 再エネ実績) 元データ -
(需要実績 - 再エネ実績) 10分周期成分の3σ相当値

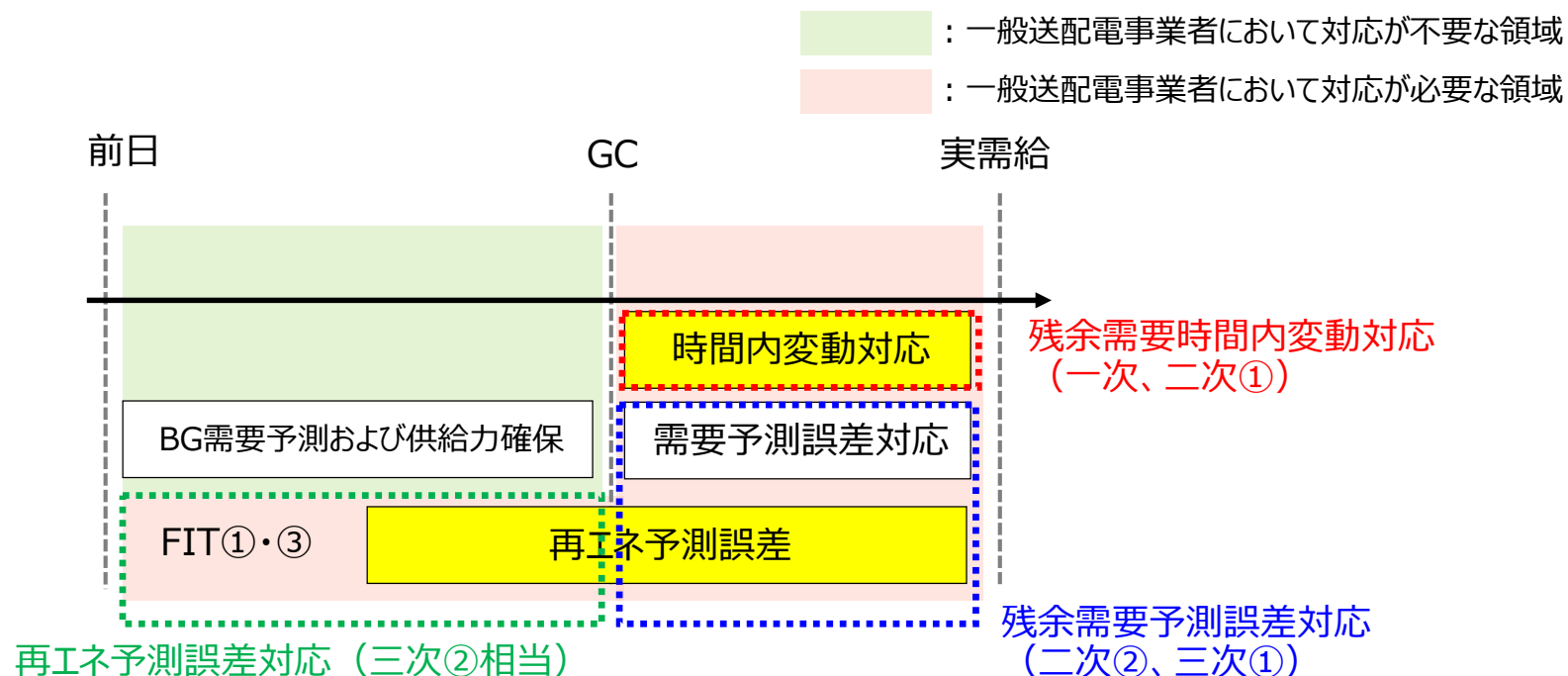
= (需要実績 - 太陽光実績 - 風力実績) 元データ -
(需要実績 - 太陽光実績 - 風力実績) 10分周期成分の3σ相当値

— 残余需要元データ - - - 残余需要10分周期成分



- 調整力に対応する事象(平常時分)と需給調整市場商品区分との対応関係は下図のとおりであり、GC後の残余需要の時間内変動対応分(一次・二次①)、GC後の残余需要予測誤差対応分(二次②、三次①)および前日～GCにおける再エネ(FIT①・③分)予測誤差対応分(三次②)に分けられる。

＜調整力に対応する事象(平常時分)と需給調整市場商品区分との対応＞



■ 本資料の検討対象

1. (参考) これまでの振り返り
2. 再エネ時間内変動の推計 (一次、二次①対応分)
3. 再エネ予測誤差の推計 (二次②、三次①、三次②対応分)
4. まとめ

■ 中長期の調整力必要量算定については、需給調整市場における必要量の算定方法の考え方に準じることを基本に、再エネ設備量と時間内変動および予測誤差にどのような相関があるか分析することとしていた。

論点③－１：中長期の調整力必要量の算定方法について 16

- 第95回本委員会（2024年2月20日開催）において、論点②中長期に確保する調整力の機能については、需給調整市場の要件で確認することを基本スタンスとすると示した。
- 需給調整市場における調整力必要量は、以下の算定式に基づき、至近の過去実績データ等を用いて、エリア単位で算定することとしており、中長期的な調整力必要量の算定方法についてもこの考え方に準じることを基本としてどうか。

商品区分等	必要量の考え方（算定式）	備考
一次	「残余需要元データ－元データ10分周期成分」の3σ相当値 ＋ 単機最大ユニット容量の系統容量按分値	-
二次①	「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 ＋ 単機最大ユニット容量の系統容量按分値	-
二次②	「残余需要予測誤差の30分間の差」の1σ相当値	効率的な調達導入 および不連続領域対応のため 算定式変更
三次①	「残余需要予測誤差30分平均値の2σ間で連続する量」の1σ相当値 ＋ 単機最大ユニット容量の系統容量按分値	効率的な調達導入のため 算定式変更
複合商品（一次～三次①）	「残余需要元データ－（BG計画－GC時点の再エネ予測値）」の1σ相当値 ＋ 単機最大ユニット容量の系統容量按分値	効率的な調達導入のため 算定式変更
追加調達実施時の （週間市場＋前日市場）で 調達する必要量	「残余需要元データ－（BG計画－GC時点の再エネ予測値）」の3σ相当値 ＋ 単機最大ユニット容量の系統容量按分値	前日市場での追加調達量は 【複合3σ相当値－複合1σ相当値】

出所）第44回需給調整市場検討小委員会 第57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 資料2 抜粋
https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2023/files/jukyushijyo_44_02.pdf

三次②必要量 = 「前々日」予測値－実績値」の再エネ予測誤差の3σ相当値
－「GC予測値－実績値」の再エネ予測誤差の3σ相当値

出所）第14回需給調整市場検討小委員会（2019.11.5）資料2 抜粋
https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2019/files/jukyushijyo_14_02r.pdf



中長期の調整力必要量算定のための補正について 18

- 将来の調整力必要量について、再エネ導入量増加に伴い、再エネ時間内変動および予測誤差が増加し、連動して残余需要の時間内変動と予測誤差も増加するため、必要量の増加が見込まれる。将来必要量算定にあたって、再エネ設備量と時間内変動および予測誤差にどのような相関があるか分析が必要となる。
- 第72回本委員会（2022年4月12日）で整理した「将来の再生可能エネルギー導入拡大に伴う調整力の検討」（以下、過去検討という）において、再エネ設備量と時間内変動および予測誤差の相関は「平滑化（ならし）効果」も含めて確認が必要としており、東地域3エリア（北海道、東北、東京）を対象に相関を分析している。
- 当時の分析結果としては、平滑化効果は確認できなかったことから、保守的な仮定を置くとの前提のもと、将来の再エネの時間内変動および予測誤差の推定について、再エネ設備量倍（N倍）の相関を仮定していた。（再エネ予測誤差については、気象予測精度向上の更なる進展についても考慮。）
- 今後の中長期の調整力必要量算定にあたって、改めて相関分析を9エリアに拡大して実施することとしたい。

（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とどうか。

【再エネの予測誤差】

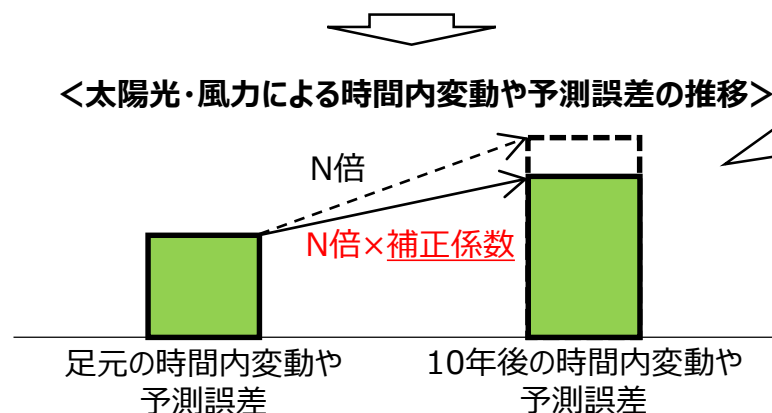
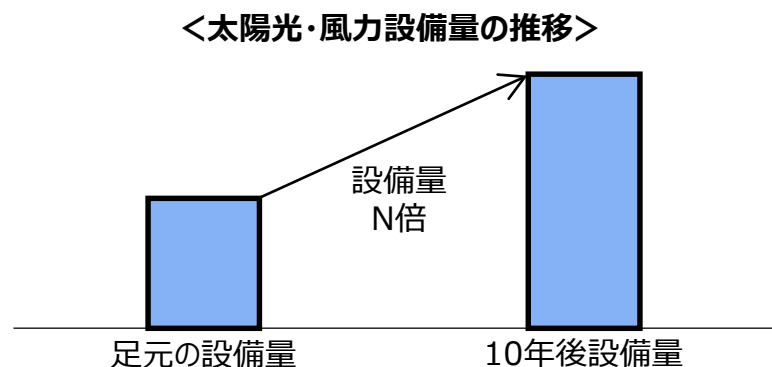
➢ 将来の予測誤差の推計についても、保守的な仮定を置くという前提のもと、N倍の相関を仮定。

➢ 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×N倍と仮定することとどうか。（次々スライド以降参照）

出所）第72回調整力及び需給バランス評価等に関する委員会（2022年4月12日）資料3 抜粋 赤線追記
https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/2022/files/chousei_72_03r.pdf



- 10年後といった将来の調整力必要量を算定するにあたって、足元と将来断面では需要や再エネ導入量が異なることから、算定に用いる実績データに関して、足元と将来想定との差異に応じた補正が必要となる。
- 再エネ導入量を踏まえた補正について、最も簡易な方法は、足元と将来の再エネ設備量実績・設備量想定を基にその倍率を掛ける方法であるが、再エネ起因の時間内変動や予測誤差は、「平滑化効果」、「予測精度向上」、「再エネ出力制御」といった要因により、単純な設備量倍とはならない（小さくなる）と考えられるため、これらの影響を分析のうえ計算式に織り込むことで、より精緻な必要量算定が可能になると考えられる。



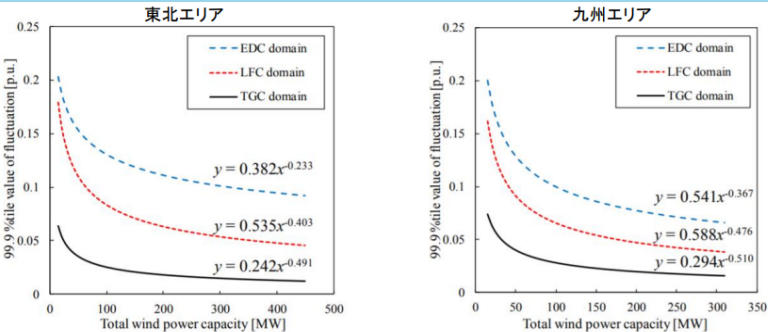
以下のような要因により、時間内変動や予測誤差は設備量倍（N倍）よりも小さくなることが考えられる。

- ・ 平滑化効果
- ・ 再エネ予測精度の向上
- ・ 再エネ出力制御による出力減少

- 太陽光や風力といった自然変動電源については、導入量が拡大することで、設備容量に対する変動割合は小さくなる（平滑化効果がはたらく）と考えられる。
- 本委員会においても、第72回本委員会（2022年4月12日）「将来の再生可能エネルギー導入拡大に伴う調整力の検討」にて、東地域3エリア（北海道、東北、東京）を対象に平滑化効果の有無を分析しており、当時の分析結果としては、明確な平滑化効果は確認されなかった。

【参考】平滑化効果について

- 一般的に、風力発電等の導入が拡大すると、出力変動について「平滑化効果（ならし効果）」が働き、設備容量に対する変動割合は小さくなる。
- 特に、短周期の変動成分（ガバナフリー相当等）であるほど、狭い範囲においても、異なる風力発電の変動は無相関に近く、平滑化効果が大い。一方で、長い変動成分になるほど、平滑化効果は相対的に小さくなり、風力の立地の分布状況が重要となる。



※黒線＝ガバナフリー（一次調整力相当）、赤線＝LFC（二次調整力①相当）、青線＝EDC（三次調整力①・②相当）
※ $y=ax^{-0.5}$ で示される場合、合成された変動要素が無相関であると考えられる。

(出所) Enomoto, et. al., Geographical smoothing effects on wind power output variation in Japan, Int. J. SGCE, 7(3), 188-194, 2018.

(1) 調整力必要量の推計について
【再生設備導入量と時間内変動の相関について】

- 各エリアの再生設備導入量と時間内変動率の相関について、再生設備導入量が一定程度進んだ至近3年間（2018年度～2020年度）の傾向を確認した。
- 設備導入量の増加に対して、時間内変動率が一定、もしくは負の相関傾向とも読み取れるものの、データの散らばり等もあり、明確な相関は確認できなかった。
- 設備導入量との相関については、平滑化効果の有無も含めて継続して分析していく必要があるか。

＜時間内変動の確認結果＞

種別	北海道エリア	東北エリア	東京エリア
太陽光	負の相関？	ほぼ横ばい？	ほぼ横ばい？
風力	負の相関？※	確認できず？	負の相関？

※出力変動緩和対策（蓄電池）による変動緩和後のデータも含む

明確な相関は確認できず

- 予測誤差に対応する調整力については、大外し（誤差実績の3 σ 相当）にも対応できるよう確保することとしており、再エネ予測精度向上により大外しの低減が図られれば、調整力設備量（kW）の低減に繋がるものと考えられる。

まとめ

68

- 発生するかどうか分からない再エネ予測誤差に対応するために、出力を調整できる状態で電源を待機させておくこと（ Δ kW）にコストが生じており、これはTSO・BGのいずれが対応しても同様に生じるコストとなる。このため、社会全体で再エネの調整にかかるコストを大幅に低減するためには、 Δ kWを低減することが決定的に重要となる。
- 再エネ予測誤差（下ぶれ）へ対応するために行う三次調整力②の Δ kW調達については、再エネ予測の大外しに備える必要があり、電源の準備等に要する時間について考慮する必要がある。このため、再エネ予測誤差（大外し）を改善し、 Δ kW量の低減を図るために、遅くとも前日夕方予測精度が向上したとしても、大外しがなくなる限り、必要となる Δ kW量に有意な変化は生じないと考えられるため、大外しを減らすことが重要。
- 前日夕方時点における気象予測精度の向上（大外しの低減）が必要となる。当日朝時点の予測精度向上や平均的な三次調整力②の Δ kWを減らす方法は主に以下の3つが考えられる。
 - ① エリア毎に確保している Δ kW必要量についてエリア間不等時性を踏まえた見直し（広域運用できた以降）
 - ② FIT再通知による予測精度向上（ Δ kW調達まで）
 - ③ 再エネ予測そのものの精度向上（大外しの低減）※①は広域機関、②は国、③は一般送配電事業者が取り組む。（③のうち、気象情報の精度向上は気象の専門家による）
- 広域機関としては、本委員会において上記の一般送配電事業者の取組みについて確認し、好事例の展開・共有化に努める。実質的にこれが広域機関による監視となるのではないかな。
- また、一般送配電事業者が気象会社等から入手している気象情報の精度向上については、エリア毎というより全国共通の課題であり、一般送配電事業者の努力だけでは達成できないことである。
- 気象情報の精度向上に向けては、気象の専門家を含む関係者が協力して取り組むことが重要であり、気象庁・気象会社等が提供する気象情報に関する実証事業・技術開発等に取り組んでいただくことが不可欠である。どのように取り組んでいくかは、資源エネルギー庁と具体的に相談してまいりたい。
- なお、 Δ kW調達以降については平均的にも予測誤差を改善することによりインバランスリスク料の低減ができる可能性がある。こういった時間領域についても同様に取り組んでいくこととしてはどうか。

- (1) 調整力必要量の推計について
【再エネ出力制御に伴う調整力必要量への影響について】

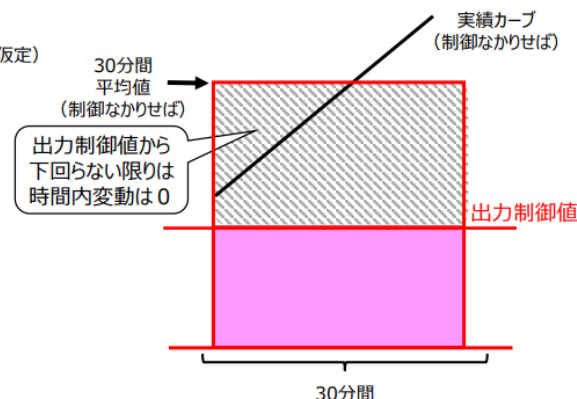
26

- 【予測誤差のイメージ図】



 電力広域の運営推進機関
Organization for Cross-regional Coordination of
Transmission Operators, JAPAN

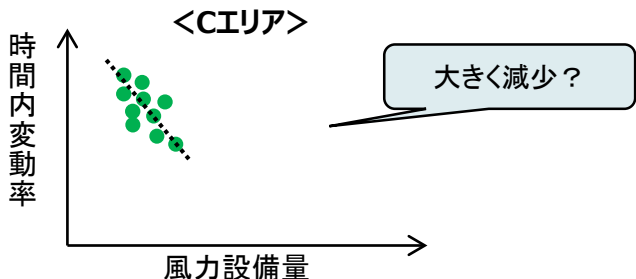
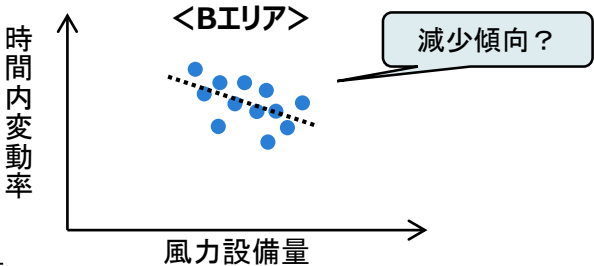
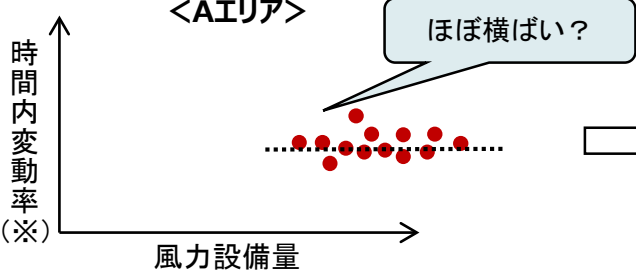
【時間内変動のイメージ図】



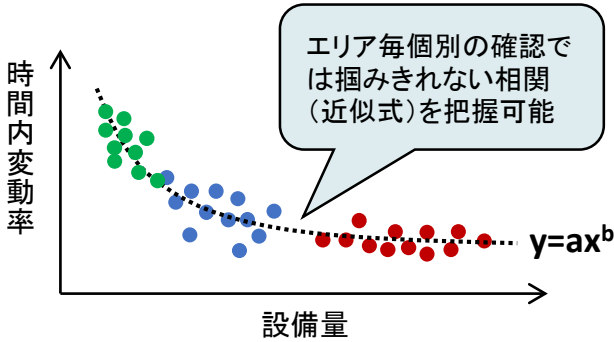
1. (参考) これまでの振り返り
2. 再エネ時間内変動の推計（一次、二次①対応分）
3. 再エネ予測誤差の推計（二次②、三次①、三次②対応分）
4. まとめ

- 将来の再エネの時間内変動を推計するために、至近 5 年間程度（2019年4月～2023年10月）における太陽光・風力設備量増加に伴う時間内変動率の傾向を確認した。なお、時間内変動は一次・二次①の必要量算定に影響する部分となる。
- なお、再エネ設備量が多くなるほど平滑化がはたらき、再エネ設備量に対する時間内変動率は小さくなると考えられるが、エリア毎の確認では設備量の増加幅が小さいことから、傾向を掴むために、9 エリア分の確認結果を一つの座標軸上にプロットすることにより相関を確認した。

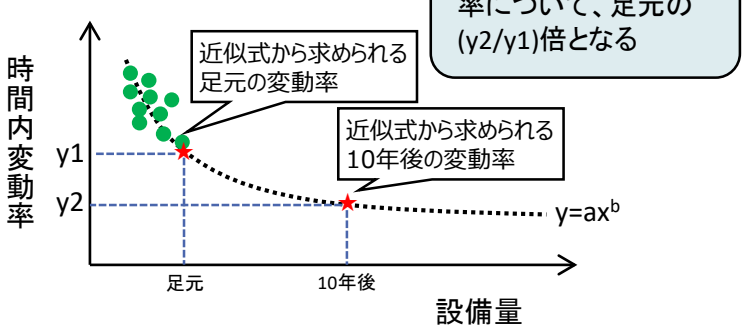
時間内変動の相関分析イメージ



<全エリア分プロット>



<Cエリアの将来想定>

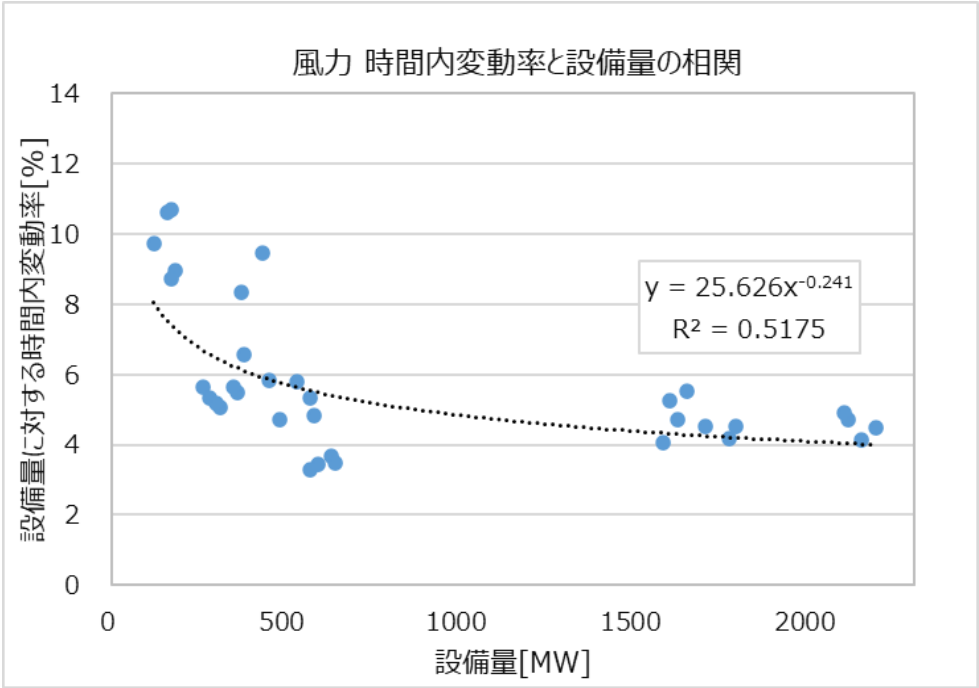
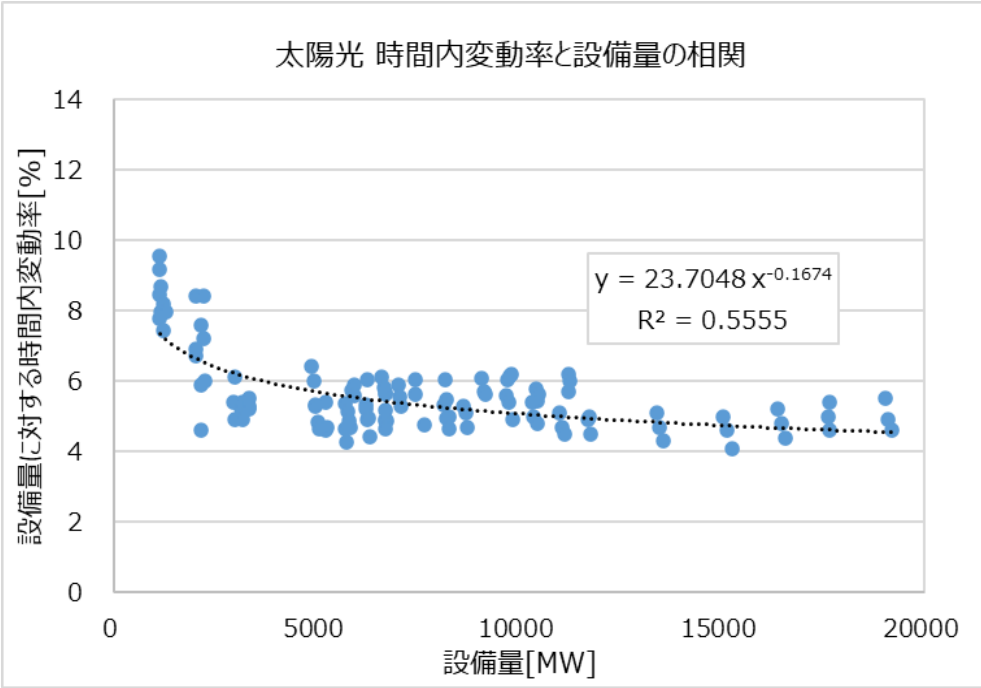


※_時間内変動率

$$= \frac{30\text{分コマにおける太陽光または風力の平均値} - \text{最小値(各月毎}3\sigma\text{相当値)}}{\text{太陽光または風力設備量(各月毎)}}$$

■ 太陽光および風力設備量と時間内変動率の相関の確認結果は下図のとおりであり、太陽光・風力ともに、設備量の増加に伴い時間内変動率が減少していく（平滑化がはたらく）傾向が確認された。

＜再エネ時間内変動の確認結果※＞



種別	相関の有無
太陽光	負の相関あり

種別	相関の有無
風力	負の相関あり

※_2019-2023年度データを基にした算定結果であり、今後相関が変わり得ることに留意

- 前スライドの確認結果を踏まえ、中長期の再エネ時間内変動の推計にあたっては、太陽光、風力の平滑化効果分を織り込むこととしてはどうか。具体的には、設備量の伸び率（下表A）に、前スライドの近似式から導出される2033年度と2023年度の時間内変動率の比（下表B）を乗じることにより、平滑化効果を織り込むこととしたい。

＜太陽光、風力の平滑化効果について※1＞

エリア	2023→2033 の太陽光設備量 の伸び率※2 (A)	平滑化効果 (2033の変動率／ 2023の変動率) (B)	2023→2033の 太陽光の時間内 変動の想定比率 = A×B※3	エリア	2023→2033の 風力設備量の伸 び率※2 (A)	平滑化効果 (2033の変動率／ 2023の変動率) (B)	2023→2033の 風力の時間内変 動の想定比率 = A×B※3
北海道	1.18	0.97	1.15	北海道	1.72	0.88	1.51
東北	1.81	0.91	1.64	東北	2.89	0.77	2.24
東京	1.23	0.97	1.19	東京	3.23	0.75	2.44
中部	1.20	0.97	1.16	中部	1.10	0.98	1.08
北陸	1.17	0.97	1.14	北陸	10.92	0.56	6.14
関西	1.52	0.93	1.42	関西	0.95	1.01※4	0.97
中国	1.26	0.96	1.21	中国	4.46	0.70	3.11
四国	1.28	0.96	1.23	四国	2.60	0.79	2.07
九州	1.35	0.95	1.28	九州	6.32	0.64	4.05

※1_2019-2023年度データを基にした算定結果であり、今後相関が変わり得ることに留意

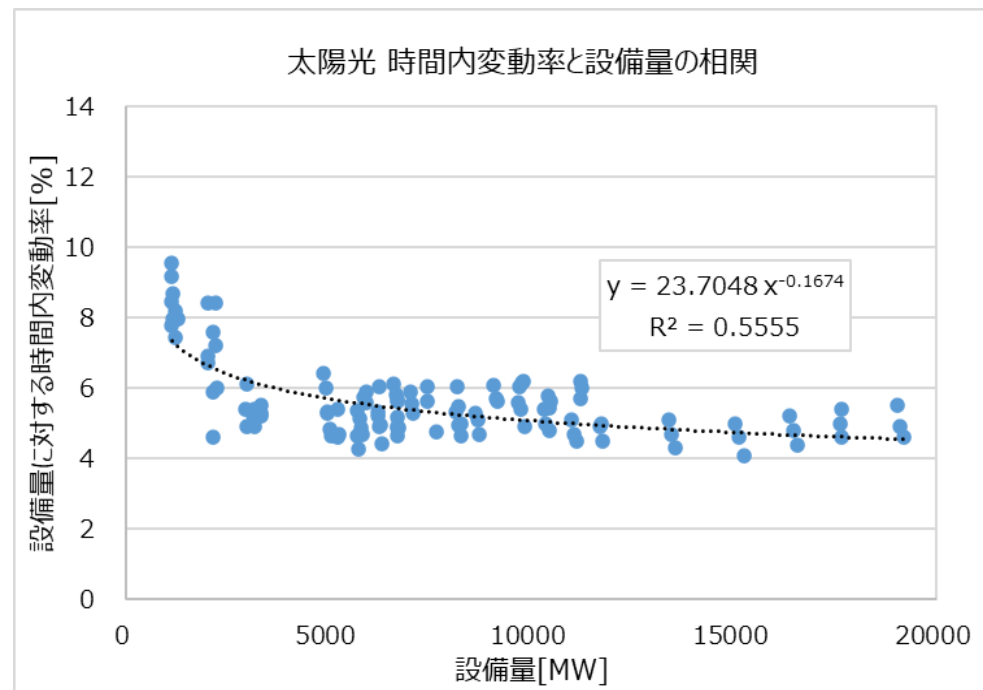
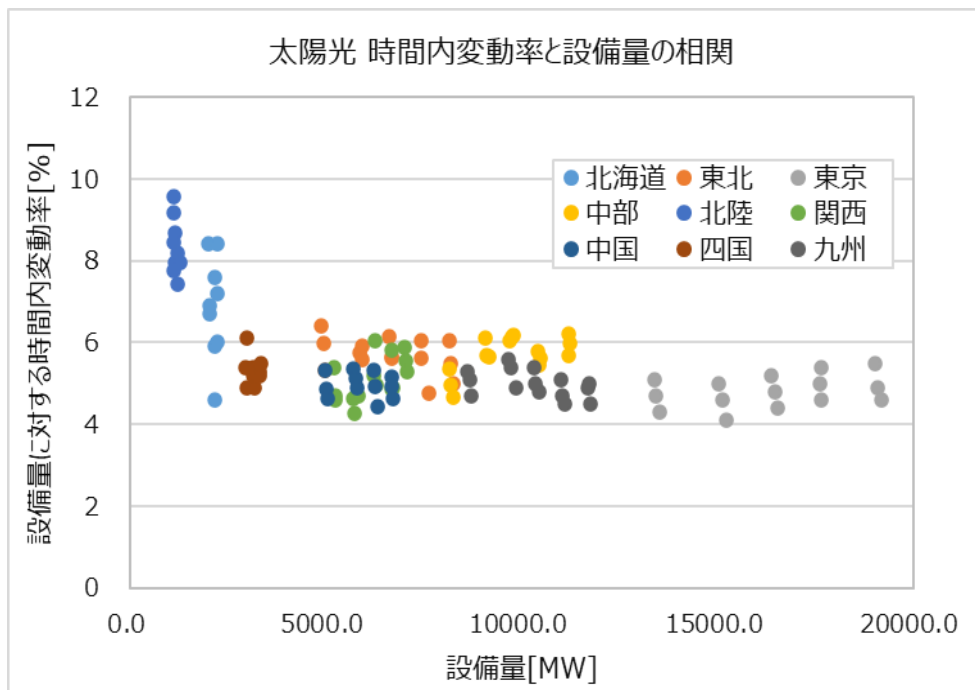
※2_設備量は2024年度供給計画をもとに算定

※3_端数処理を四捨五入により行っていることから、A×Bと一致しない場合がある

※4_2023→2033で設備量が減少することにより1を超えているもの

- 太陽光の設備量と時間内変動率の相関について、設備量が相対的に少ないエリアでは変動率が大きく、設備量の多いエリアでは小さくなる傾向が見られた。

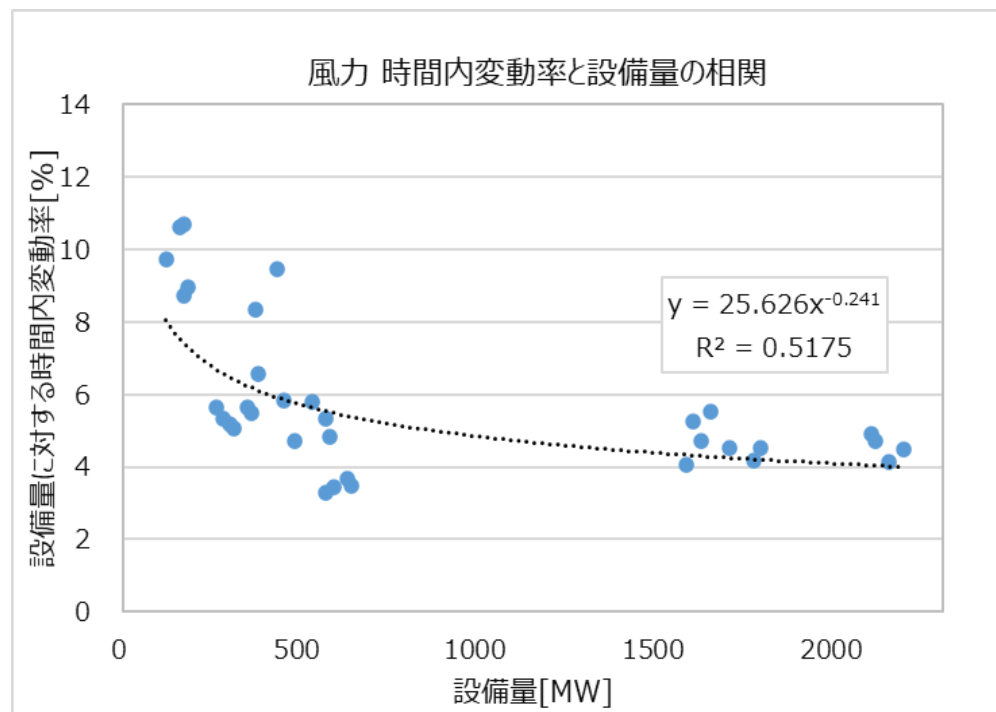
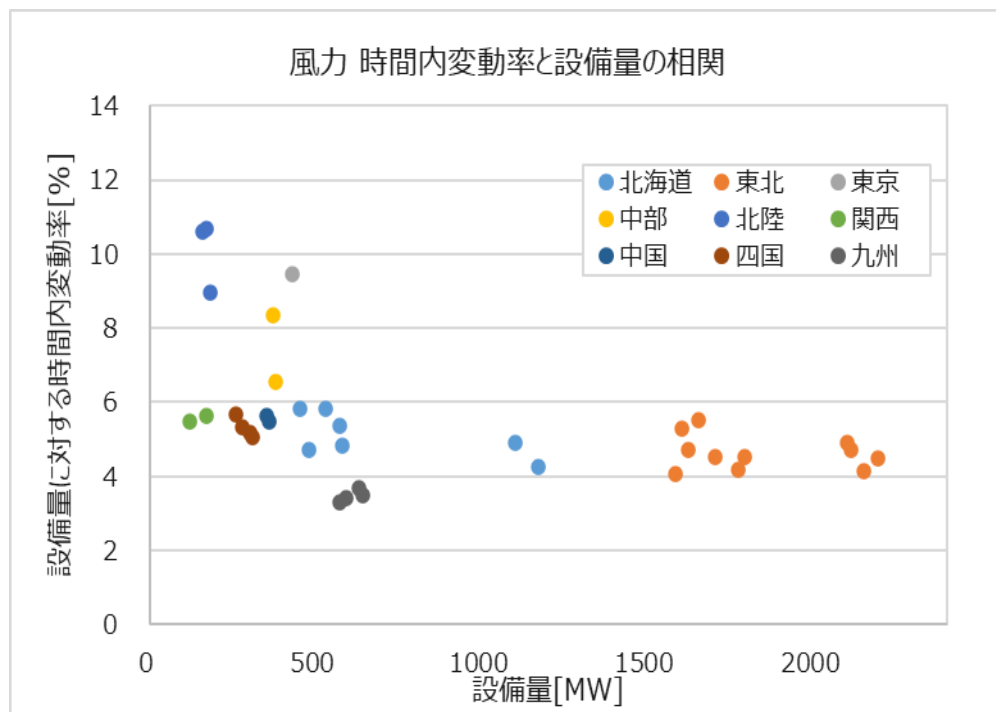
＜太陽光時間内変動の確認結果※＞



※_2019-2023年度データを基にした算定結果であり、今後相関が変わり得ることに留意

- 風力の設備量と時間内変動率の相関について、設備量が相対的に少ないエリアでは変動率が大きく、設備量の多いエリアでは小さくなる傾向が見られた。

＜風力時間内変動の確認結果※＞

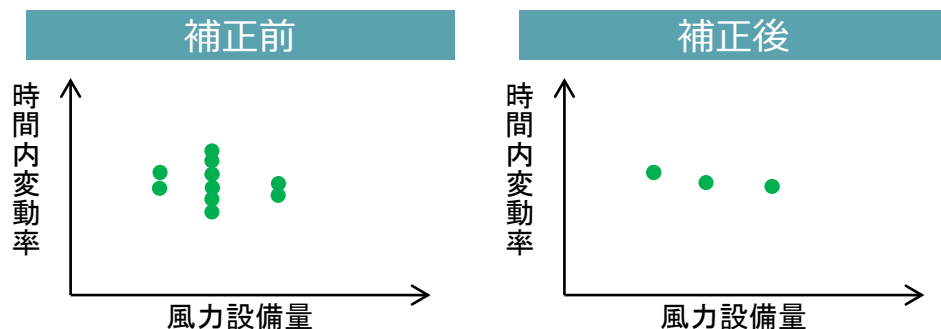


※_2019-2023年度データを基にした算定結果であり、今後相関が変わり得ることに留意

- 本確認にあたり、データについては以下の処理を実施している。

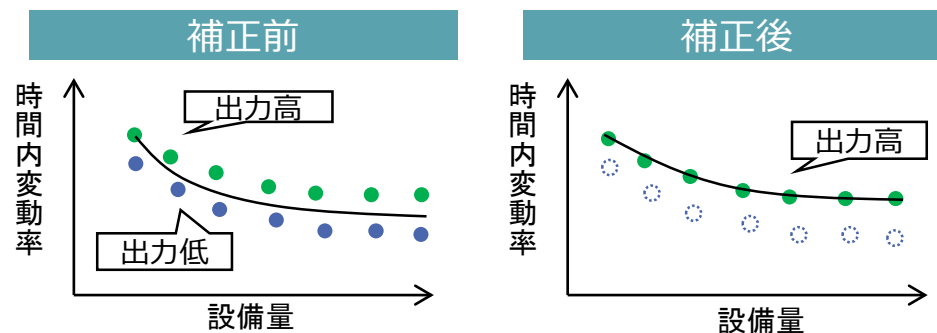
(設備量の補正)

- 風力はエリアによって設備導入の進展に大きく差異があり、数ヶ月～1年以上設備の増減がないケースがあることから、1ヶ月毎に1点をプロットするのではなく、導入量が同じ月全体を母集団とした3 σ 相当値をプロットした。



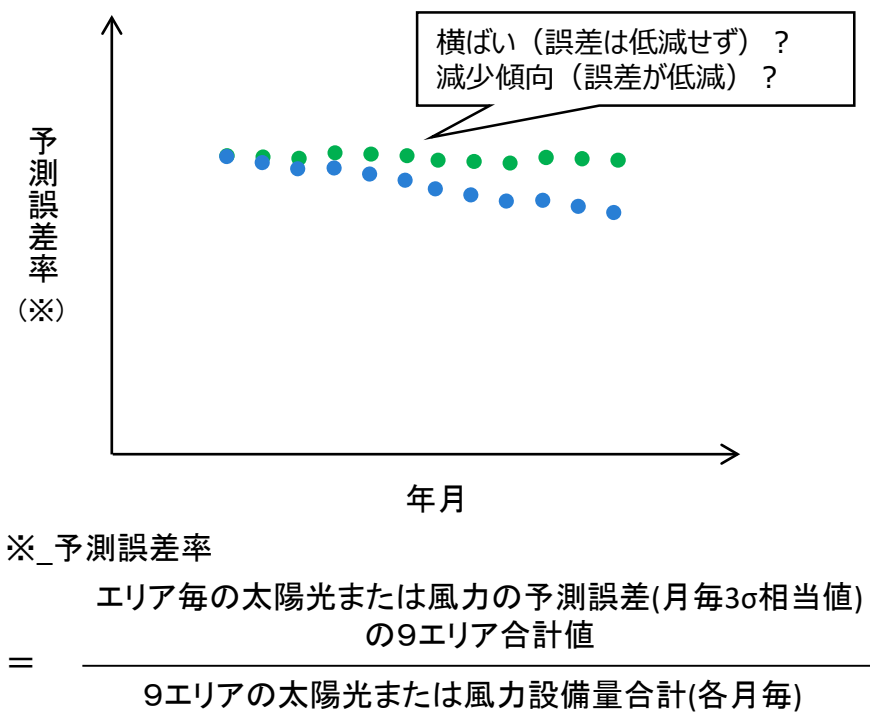
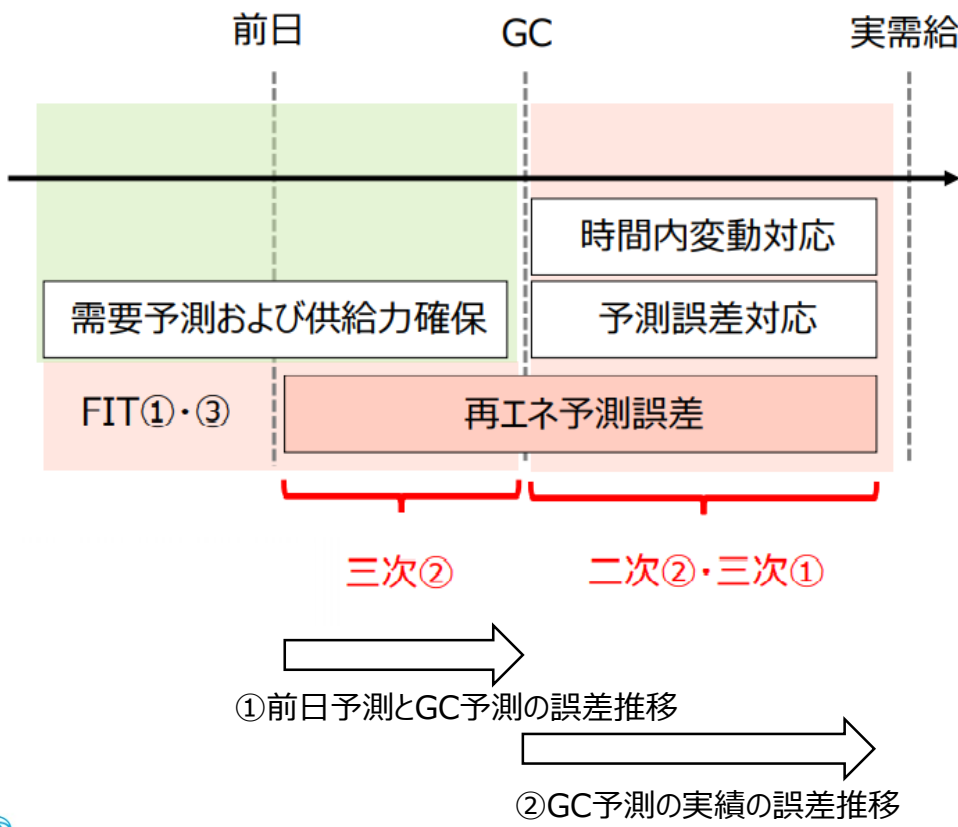
(季節性による特性補正)

- 時間内変動の大小には、太陽光・風力出力の大小による季節性があると考えられるため、その傾向が近いデータで相関をみるために、太陽光・風力それぞれについて出力上位3か月のデータのみを抽出し使用した。
(太陽光は4,5,6月、風力は11,12,1月)



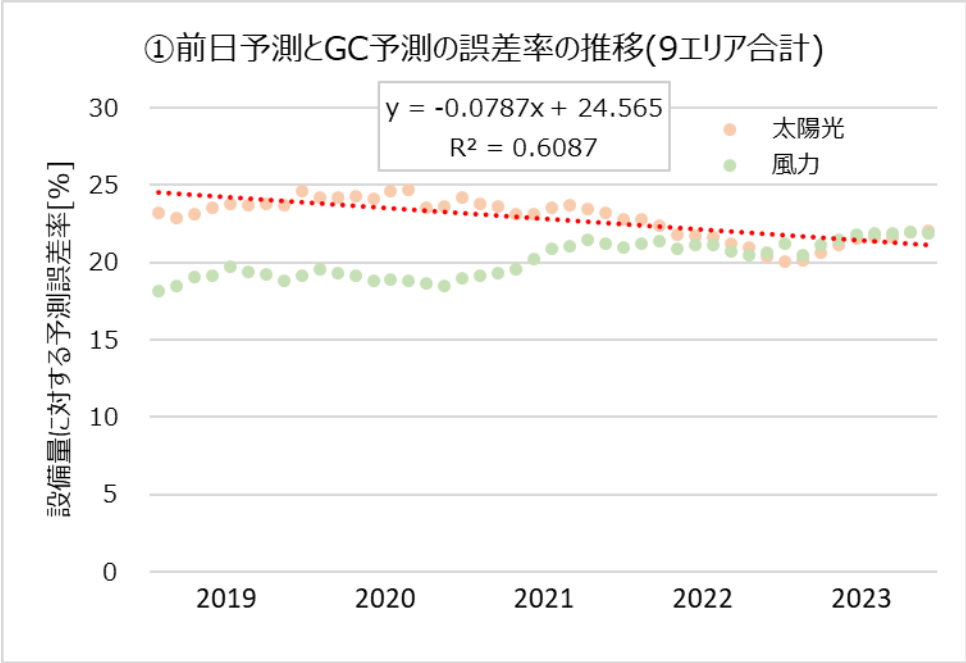
1. (参考) これまでの振り返り
2. 再エネ時間内変動の推計 (一次、二次①対応分)
3. 再エネ予測誤差の推計 (二次②、三次①、三次②対応分)
4. まとめ

- 予測誤差対応の調整力については、前日時点からGC時点までのFIT予測値の差分に対応する調整力（三次②）と、GC以降の残余需要の予測誤差に対応する調整力（二次②、三次①）が存在する。
- 将来の再エネ予測誤差を推計するために、至近年の予測誤差率が年度を追うごとにどのような傾向となっているか確認することとした。具体的には、至近5年間程度（2019年4月～2023年10月）における9エリア合計の「前日～GCの予測誤差率」および「GC～実需給の予測誤差率」の状況を確認した。

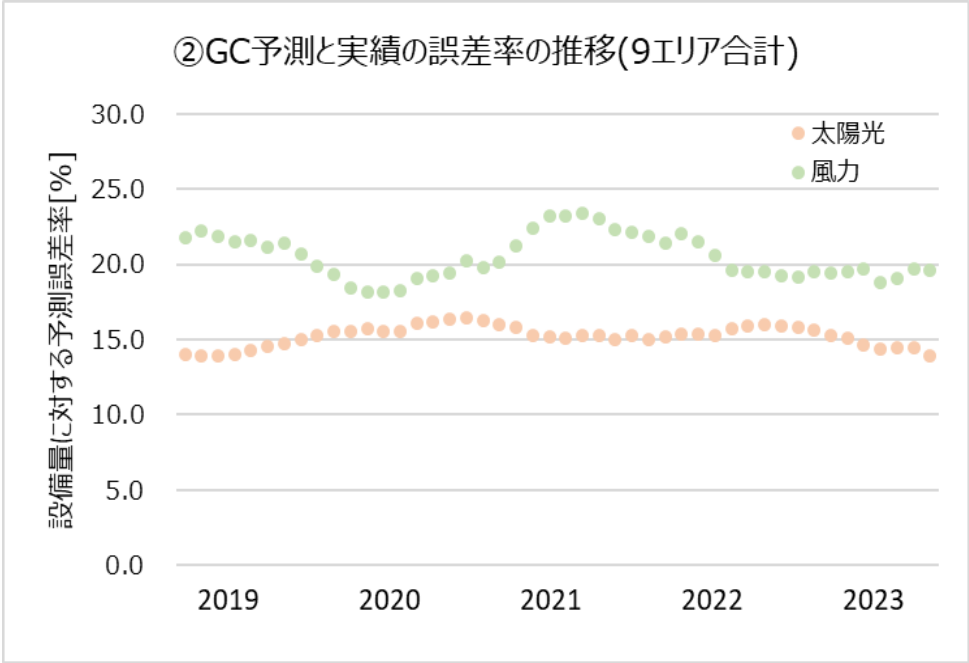


- 予測誤差の確認結果については以下のとおり。前日～GC予測誤差に関して、太陽光の予測誤差については2019年度～2023年度の約5年間に0.9倍程度に低減していること（2019年度から5年間で $24\% \times 0.9 = 21\%$ 程度に低減）が確認された。GC以降の予測誤差については年度による変動はあるが、年々誤差率が低減する傾向は確認されなかった。

＜再エネ予測誤差の確認結果※＞



種別	相関の有無
太陽光	負の相関あり
風力	正の相関あり

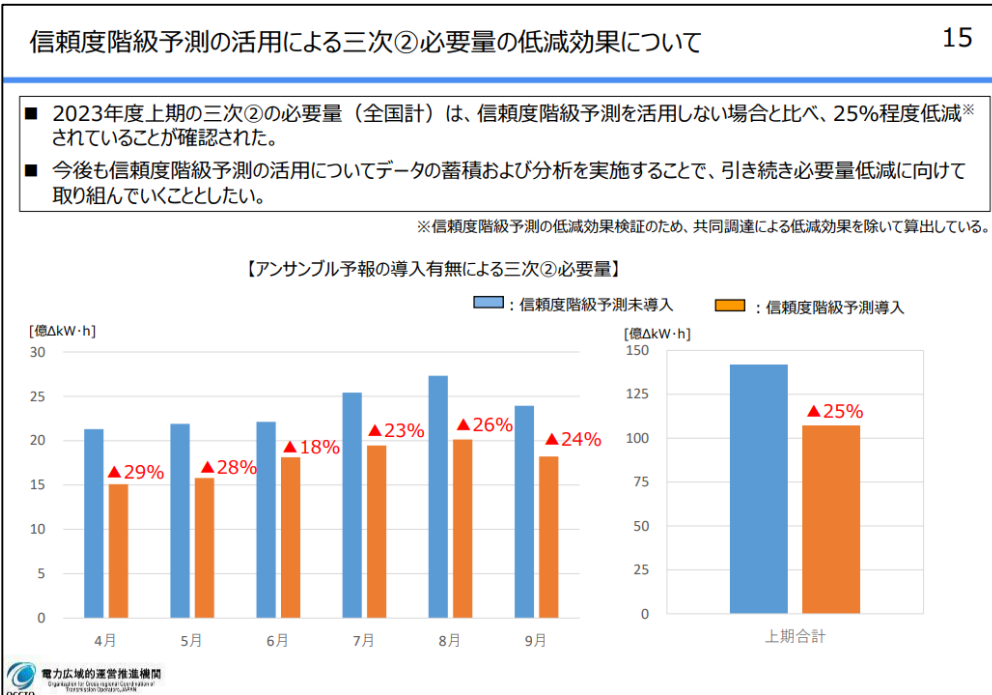
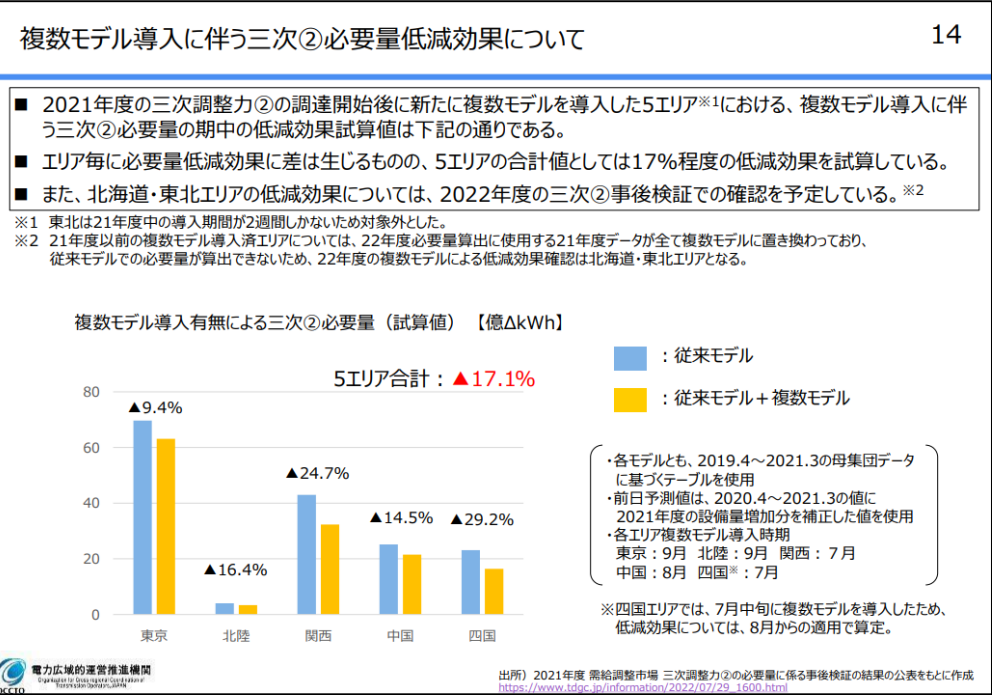


種別	相関の有無
太陽光	相関なし
風力	相関なし

(誤差実績の12ヶ月分の移動平均にて傾向を確認)

※_2019-2023年度データを基にした算定結果であり、今後相関が変わり得ることに留意

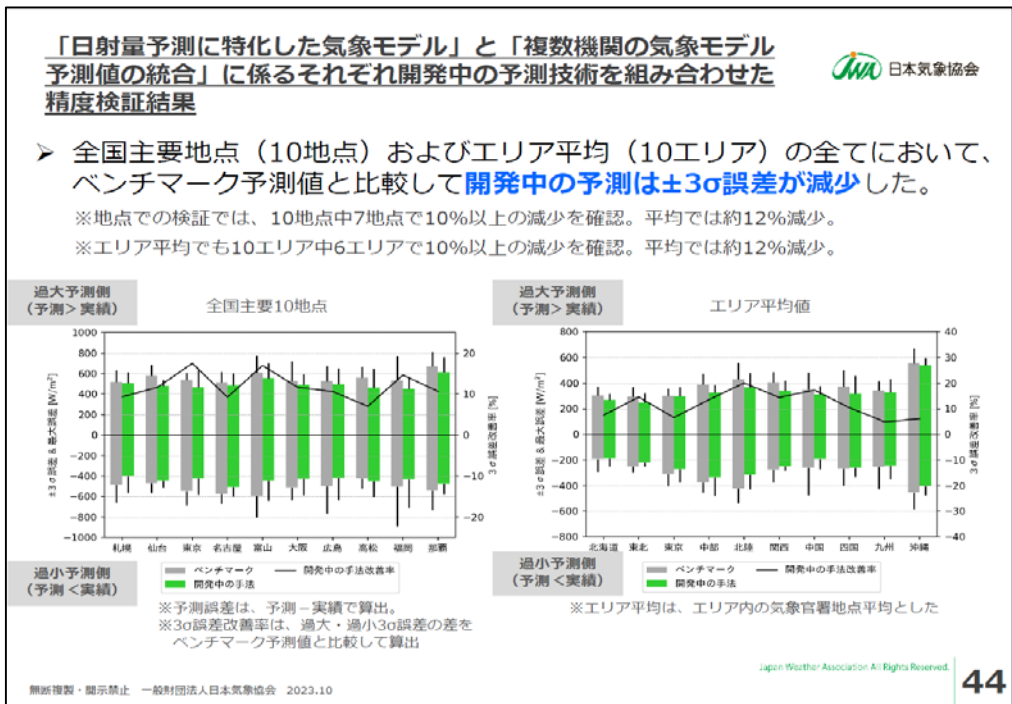
- 本委員会においても定期的に報告しているとおり、一般送配電事業者においては、気象会社と連携のうえ継続的に再エネ予測精度向上に向けた取り組みを実施している。
- これまでに、「複数の気象モデルの活用」「アンサンブル予報にもとづく信頼度階級予測の活用」といった取り組みについて、全エリアで導入されており、調整力（三次②）必要量の低減に繋がっている。



出所) 第80回調整力及び需給バランス 評価等に関する委員会（2022年12月26日）
資料 3 抜粋
https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/2022/files/chousei_80_03.pdf

出所) 第92回調整力及び需給バランス 評価等に関する委員会（2023年11月17日）
資料 1 抜粋
https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/2023/files/chousei_92_01.pdf

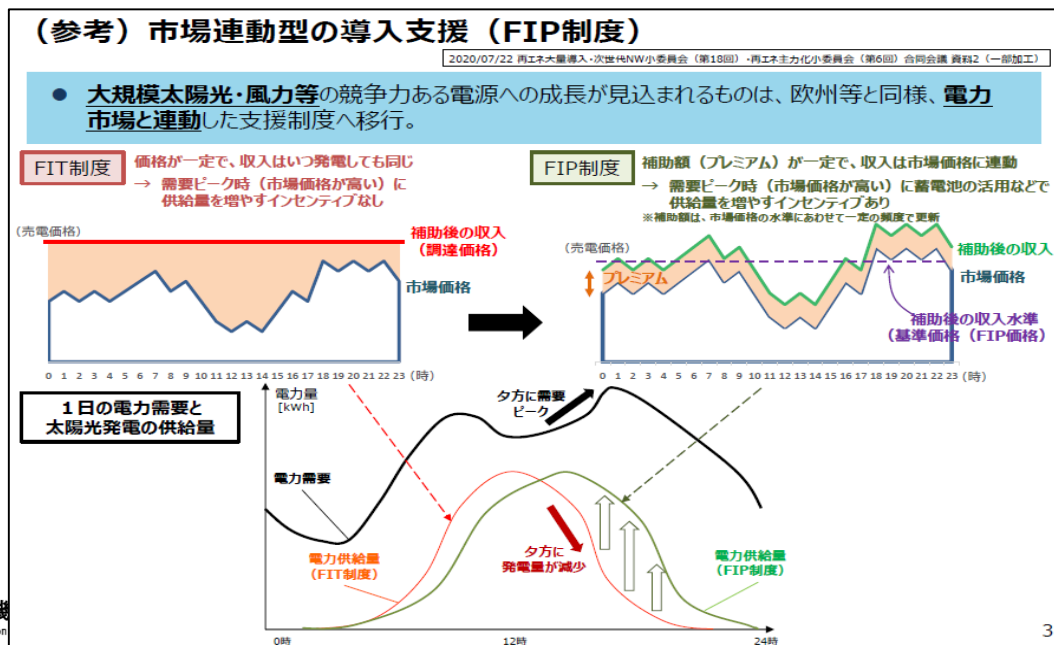
- 21スライドの結果を踏まえると、前日～GCの太陽光予測精度は至近年で10%(0.9倍)／5年程度向上傾向にあるものとみられる。将来に目を向けると、NEDO事業において、翌日および翌々日の太陽光の予測精度向上を目標とした技術開発が行われており、中間報告では10%以上の低減が達成されたとの報告がなされている。本技術は現時点では未実装であり、今後仮に実装されれば予測精度向上が期待されることから、10%(0.9倍)／5年程度の予測精度向上を織り込むことは妥当性があると考えられる。
- 以上より、再エネ予測誤差については、GC以降の予測誤差については精度向上による低減は見込まず、前日～GCの予測誤差については、予測精度向上による低減効果を10%／5年（10年だと0.9の2乗＝0.81倍）として太陽光分のみ織り込むこととしてはどうか。



1. (参考) これまでの振り返り
2. 再エネ時間内変動の推計 (一次、二次①対応分)
3. 再エネ予測誤差の推計 (二次②、三次①、三次②対応分)
4. まとめ

- 中長期の調整力必要量を算定するための事前検討として、自然変動再エネ（太陽光、風力）の設備量増加を踏まえた時間内変動、予測誤差の推計方法について検討した。その結果、以下については必要量算定にあたって織り込むこととしたい。
 - 再エネ時間内変動について、太陽光、風力両方に平滑化効果分を織り込むこととしてはどうか
 - 再エネ予測誤差について、GC以降の予測誤差については精度向上による低減は見込まず、太陽光の前日～GC分では予測精度向上効果（10年で0.81倍）を織り込むこととしてはどうか
- 再エネ設備導入量と時間内変動、予測誤差の相関については、将来の情勢変化(太陽光におけるFIP設備量割合の増加、気象予測技術の開発動向など)により、傾向が変わる可能性があるため、今後も中長期の調整力必要量算定時に分析を行い、適切に調整力必要量算定に反映していくこととする。
- 今後は、この推計方法を踏まえて中長期の調整力必要量算定を行ったうえで、中長期の調整力設備の充足状況確認を行う。

- 変動性再エネには、FIT電源・FIP電源・非FIT電源等が併存しており、これらは大きく、市場関係なく出力される（インバンスリスクがない）FIT特例①・FIT特例③（以下「FIT電源①③」という。）と市場統合されている（インバンスリスクがある）FIT特例②・FIP・非FIT（以下「FIP電源等」という。）に分類される。
- 現状の変動性再エネはFIT電源①③が大宗であり、仮に今後もFIT電源①③が増加し続けると、再エネ出力の予測誤差および時間内変動が増加し、将来的な調整力必要量は増加していくと考えられる。
- 一方、2022年4月より制度が開始されたFIP制度については、再エネ事業者自身に同時同量達成義務ならびにインバンスリスクが存在することから、事業者自らにおいて、インバンスを最小に抑えようとする事で、予測誤差および時間内変動も抑制されることが期待できる。このため、FIP電源等の場合は、導入量拡大によって必ずしも調整力必要量の増加には直結しないことも考えられ、今後FIP電源導入状況を踏まえて、時間内変動・予測誤差への影響について分析が必要と考えられる。



出所) 第22回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（2020年12月7日）資料2より抜粋
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/022_02_00.pdf