

周波数変化の抑制対策による 周波数振動原因の解明について

2024年3月22日

電力広域的運営推進機関

■ 検討目的

- 「周波数変化の抑制対策（上昇側）（低下側）」については、周波数振動の懸念があることから、フェーズ1での要件化を取り下げて、フェーズ2で再検討することとした。第13回検討会において、対象容量を限定することで振動を抑制して要件化を行った。その際、シミュレーション結果において周波数振動が確認されているため、周波数振動の事象解明を行うことをお約束した。
- 周波数振動の発生要因について推察したので、ご確認いただきたい。

第13回検討会でいただいたご意見

- どうしてこのような現象が起こっているのかをしっかりと理解した上で、どれくらい入れるのかを、今、シミュレーションベースで大体の容量を決められているような感じもあるが、今後このような現象が起こった時に、それを抑え込むような制御等を入れて対象を広げるというお話もあった。その辺のところをしっかりと理解して、どれくらいインパクトがあるのかを整理していただくと、よりよいと思った。（馬場委員）
- 中西エリアのケースを見るとInter-area Oscillationsで、系統間でやり取りしている一方、北海道エリアは、Inter-area Oscillations ではないと思う。全く違う色々なファクターで共振が起きて動いてしまう中で、制御の遅れ等を調整できるようにしておくことはできないのかと感じた。（七原委員）
- やはりこの現象というのは正確に把握するのが非常に難しいと思う。おそらく、どういうモデルを使うのかでも非常に影響されると考えるため、現象の把握ができないものを急いで要件化することが可能なのか。現象の説明がつかないなら、もう少し待ってもいいのではないかという気がするが、いかがか。（加藤座長）

4. 詳細検討資料

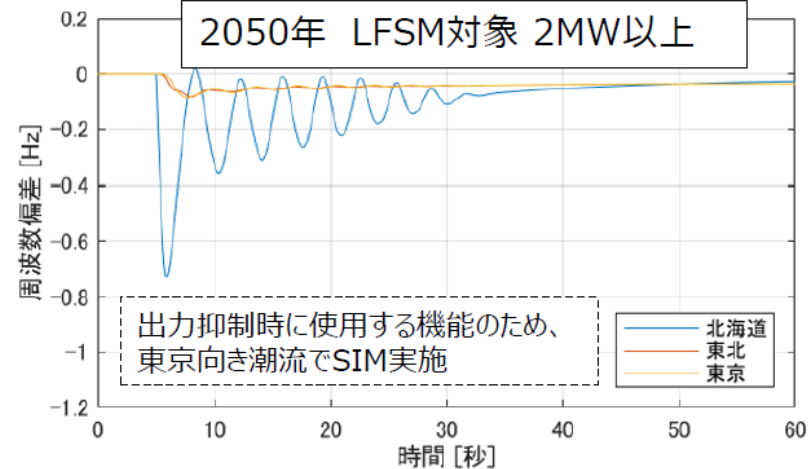
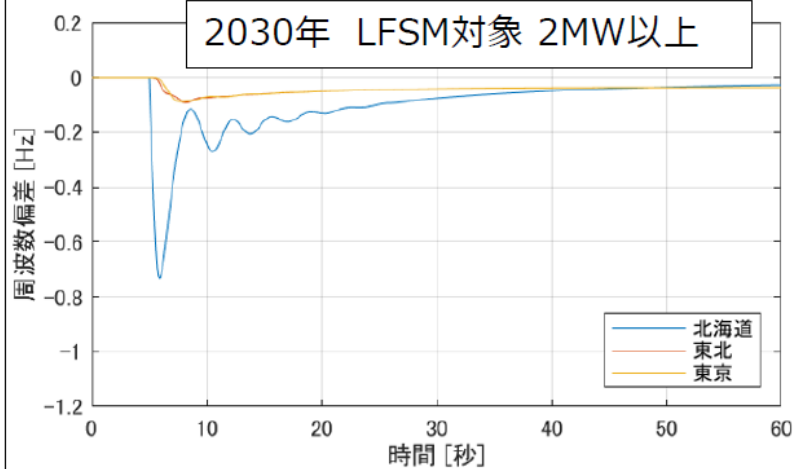
① 定量評価、解析等

送配電網協議会（送配電網技術・運用委員会）・一般送配電事業者の
詳細検討の協力を得て実施した結果

24

<参考> 解析結果（代表例：北海道エリア）

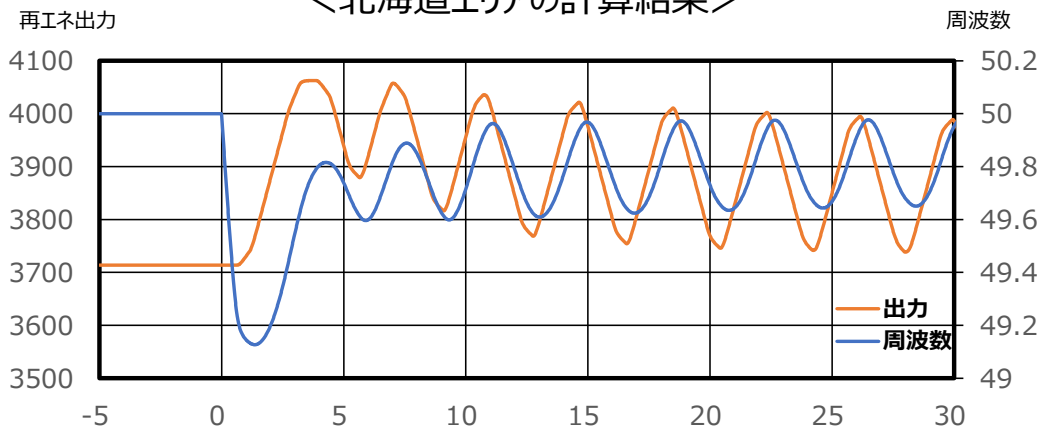
北海道エリア 2MW以上に適用



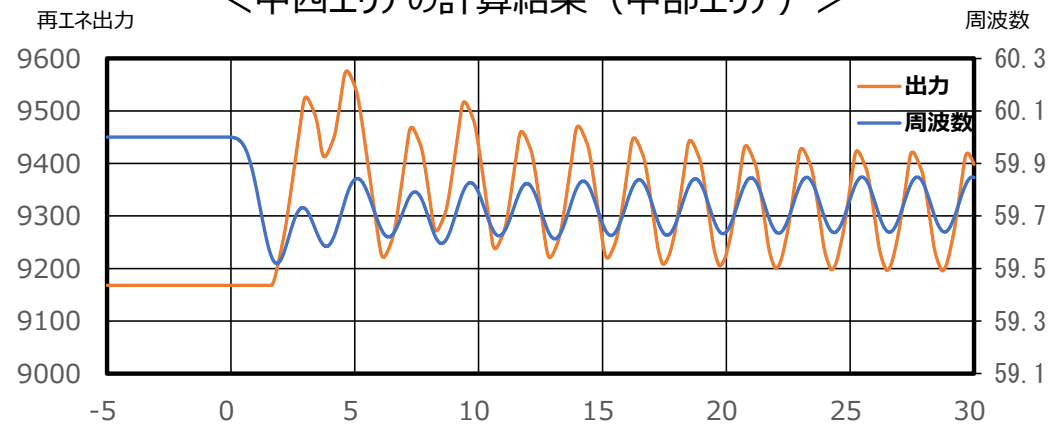
■ 検討概要

- ▶ 第13回グリッドコード検討会でお示した将来(2050年頃)を見据えた条件における周波数振動要因を分析
- ▶ 周波数振動の要因分析を目的としているため、周波数変化抑制 (LFSM) 適用対象設備を容量で限定しないことにより周波数振動が大きくなったケースを選定
- ▶ 小規模系統である北海道エリアと、エリア間の電力動揺が確認された中西エリア (中部・北陸・関西・中国・四国・九州) の2エリアを選定

<北海道エリアの計算結果>

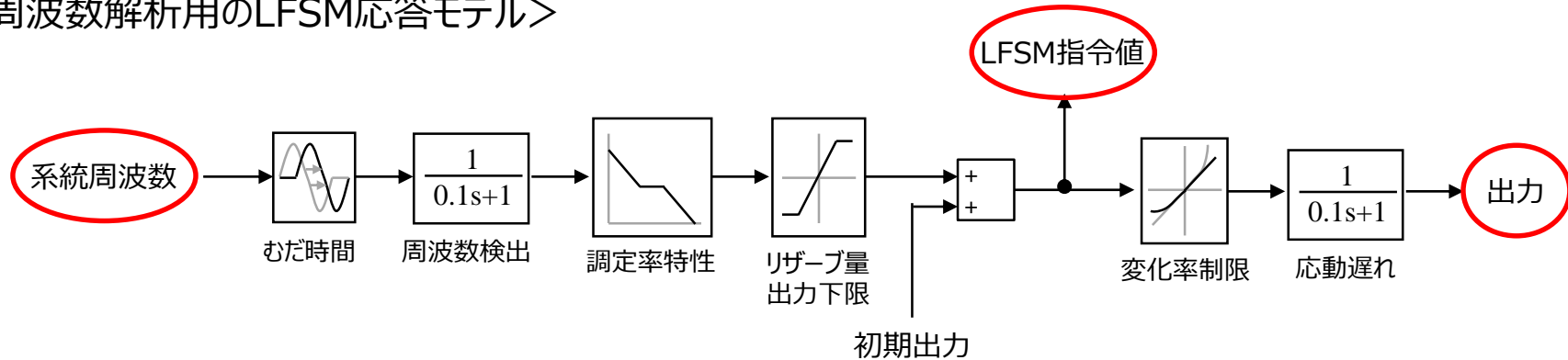


<中西エリアの計算結果 (中部エリア) >



■ モデルの概要

＜周波数解析用のLFSM応答モデル＞



LFSM応答モデルの赤マークの3要素の計算結果を確認することで周波数振動要因を分析

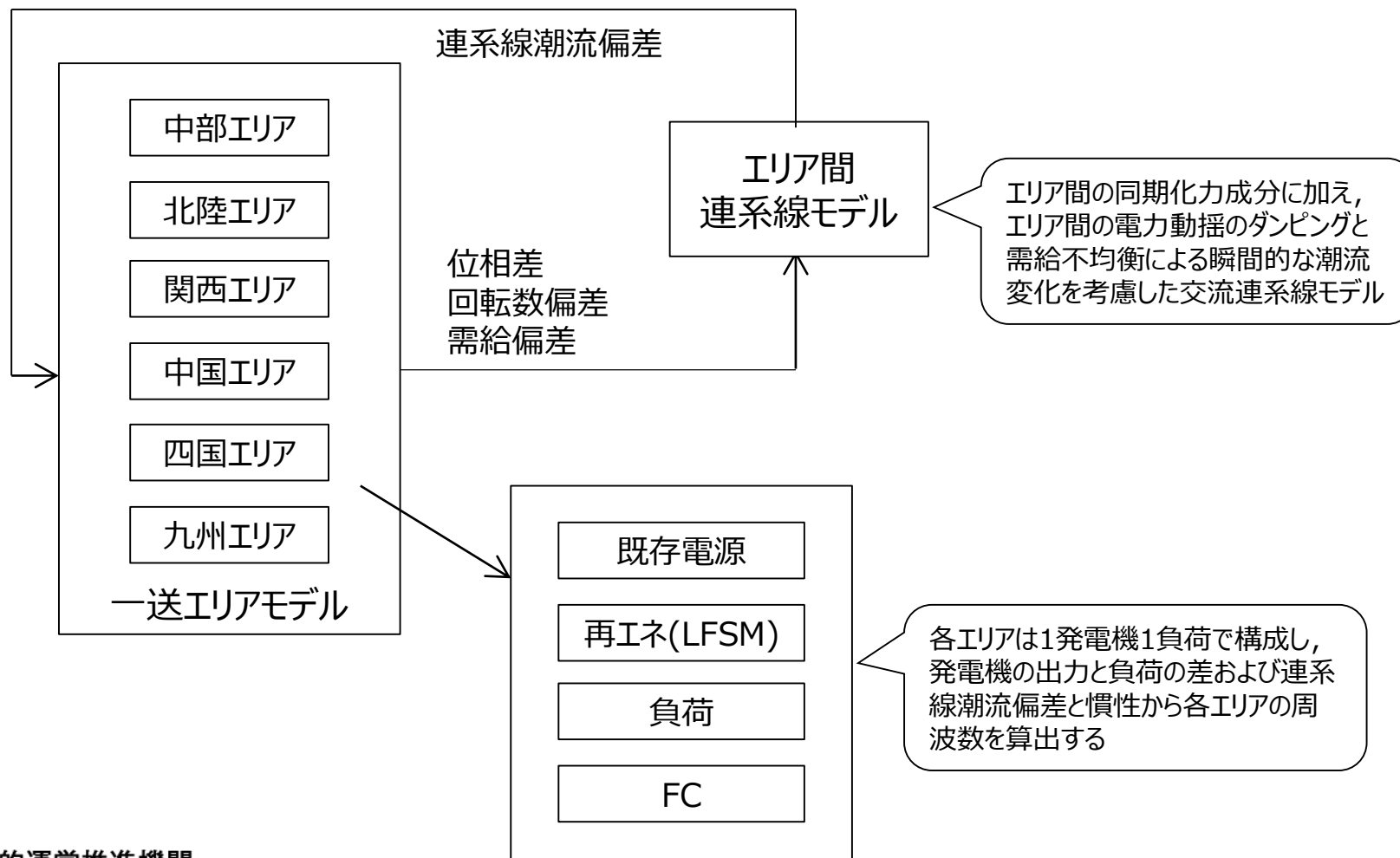
＜計算条件＞

		北海道エリア	中西エリア
再エネ 設備量	全設備出力	371万kW	2,657万kW
	LFSM実装設備出力	270万kW	1,417万kW
LFSM パラメータ	調定率	5%	
	リザーブ量	10%	
	不感帯	0.1Hz	0.2Hz
	遅れ時間	太陽光：0.5s 風力：1.0s	
系統	想定需要	359万kW	5,572万kW
	SNSP	約100%	約46%

■ 解析モデルのイメージ

交流連系線モデルを使用した緊急時周波数応動シミュレーションにより解析を実施。

<連系システムモデル(中西エリアの場合)>



■ LFSM機能の要求仕様(案)

1. 個別技術要件「周波数変化の抑制対策」「発電設備の制御応答性」の検討 9 ②発電側の対策

<周波数変化の抑制対策（低下側）の要求仕様（案）>

特性	整定項目	整定範囲例（刻み幅）	備考
発電可能出力値※1以下の領域で、定められた調定率に従って出力を増加させて運転を行う機能。出力変化率制限機能等、他の制御機能に優先して動作し、可能な限り高速に制御する。 <周波数調定率（例）> $(59.8-56.8) / 60 \div ((100-0) / 100) \times 100 = 5.0\%$	周波数調定率	2~5%（1%）	不感帯超過後は定格出力基準で出力変化
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> 周波数調定率制御機能の特性例 （60Hz系、定格出力の50%出力抑制時） </div> 周波数調定率 5% 不感帯 ±0.2Hz 最低出力 10% 出力増加幅 10%	最小周波数	47.5Hz/57.0Hz （北海道は47.0Hz）	「FRT要件」に準じる
	適用可能な出力	風力:10%（最低出力）~100% 太陽光:0%~100%	
	開始周波数（不感帯）	49.7~49.9Hz（0.1Hz） 59.7~59.9Hz（0.1Hz）	
	応答速度	2秒以内に出力変化を開始し、10秒以内に出力変化を完了（出力変化量の50%到達にて出力変化の完了とする）	
	整定変更	一送の求めに応じて整定変更可能なこと	
	リザーブ量（出力増加幅）※2	0※3~10%（1%）	当面は「10%」設定

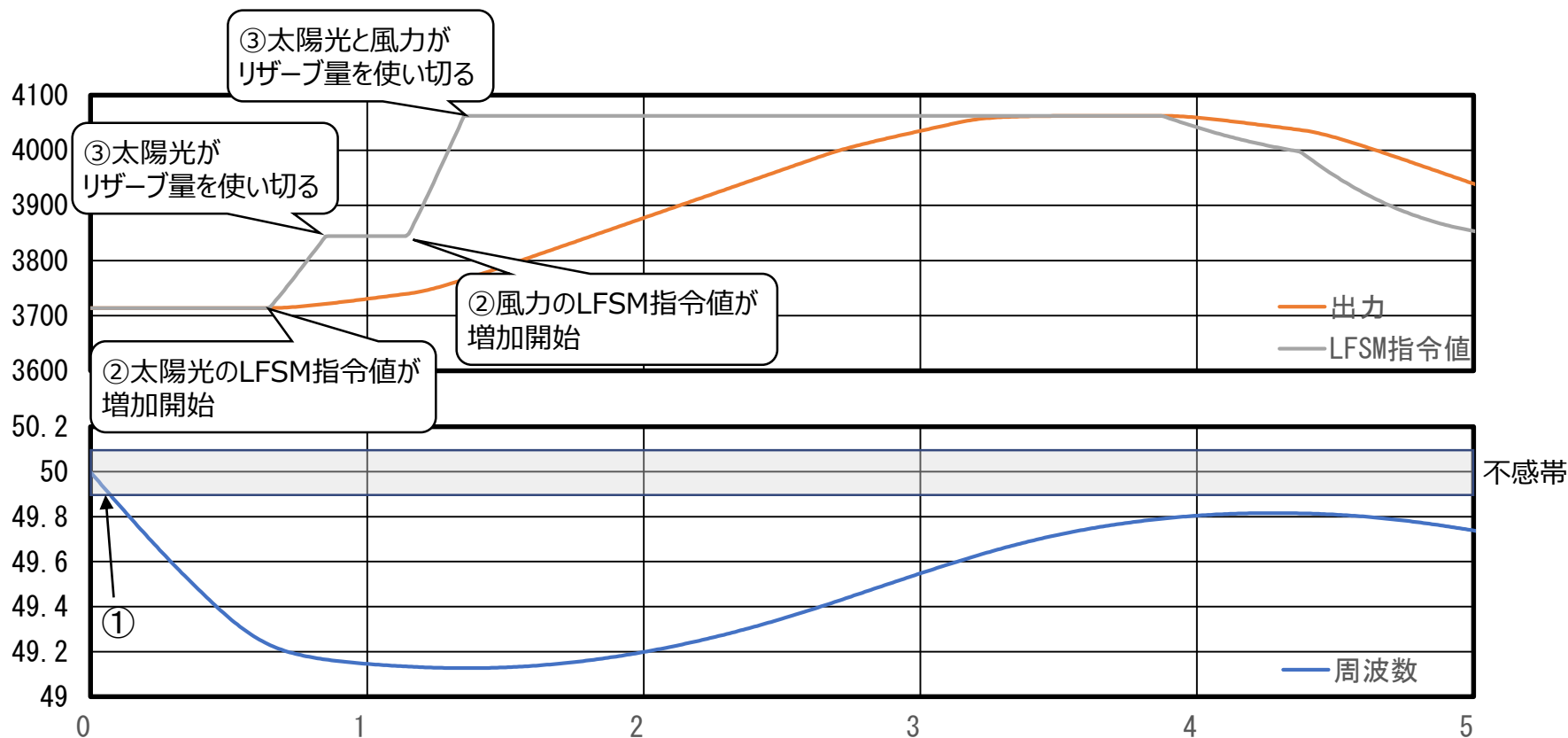
※1:発電に必要な自然エネルギーが得られる状況（日射や風速から得られる出力を制限して運転することが可能な状況）

※2:当面は、最大出力制御時に限定して使用する。

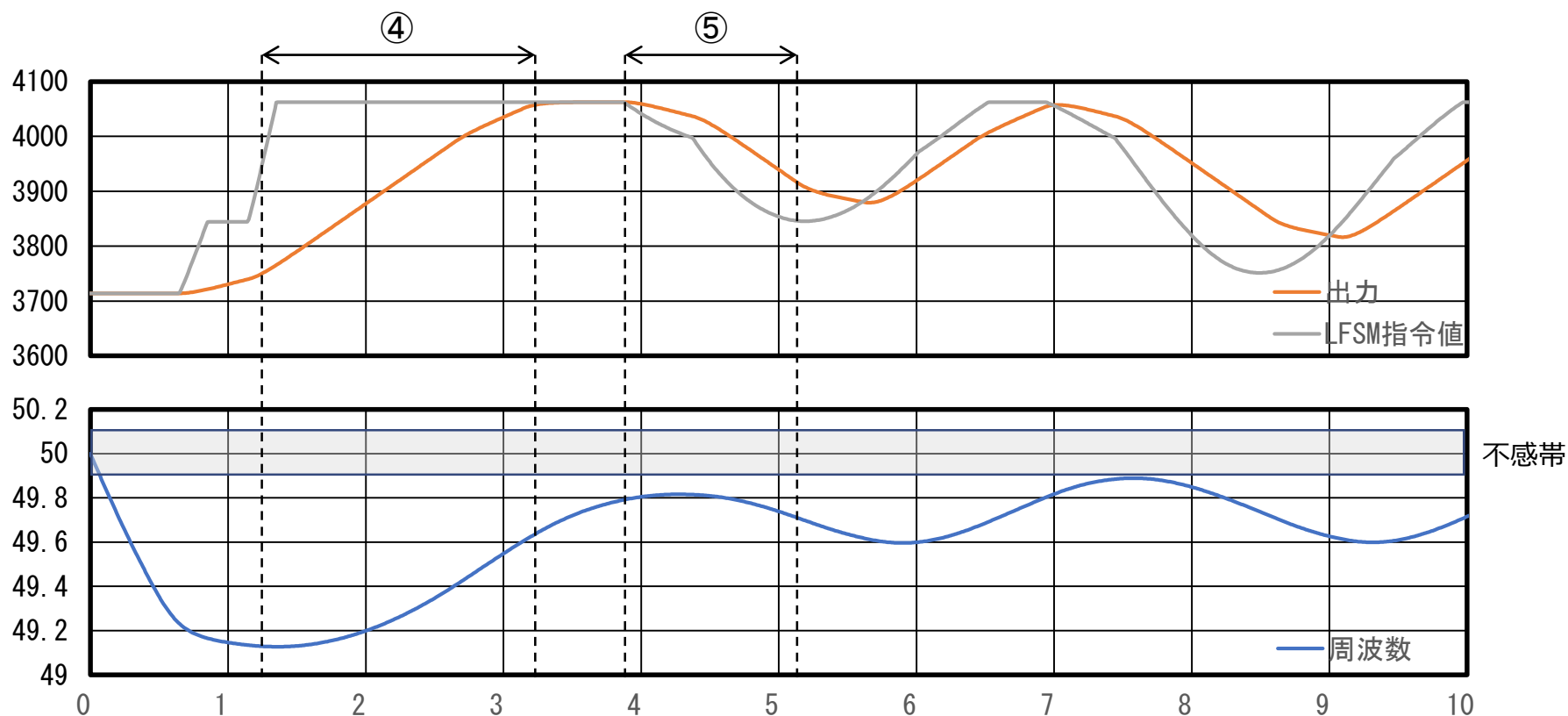
将来的には、発電機会損失等も考慮したうえで、最大出力制御時以外でも使用可能とする。

※3:0%設定とすることで周波数振動に対する対応や系統制約時などLFSM-Uを使用しない状態とする

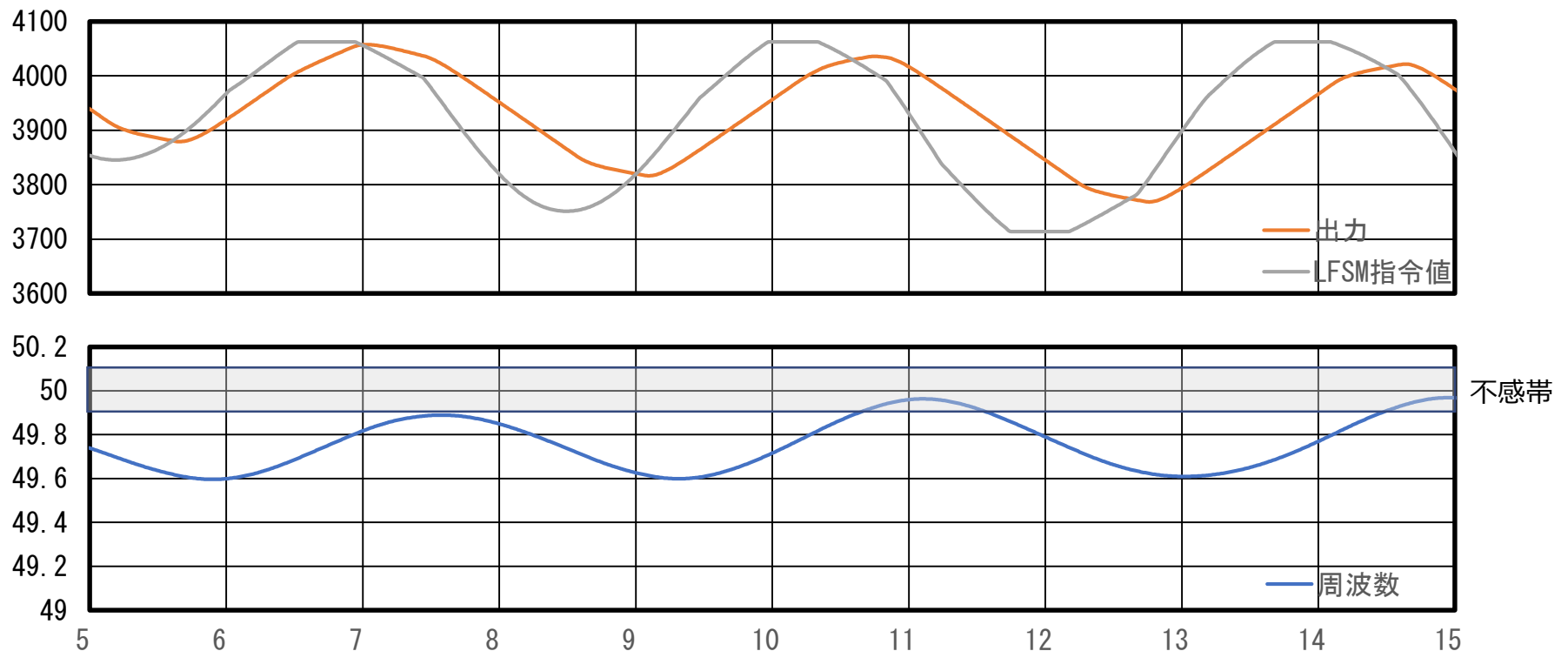
- ① 周波数が不感帯を逸脱し、太陽光・風力は出力抑制モードから調定率制御モードに切り替わる。
- ② 太陽光・風力の調定率制御が動作し、LFSM指令値は調定率に応じて増加する。しかし、**LFSMの制御遅れにより、周波数が低下してからLFSM指令値が上昇するまで遅れ時間が生じる**。太陽光と風力の遅れ時間の設定値を変えているため、LFSM指令値が上昇するタイミングは異なる。
- ③ このケースでは、周波数低下量が大きいいため、LFSM指令値が上限に達する。まず、太陽光のリザーブ量を使い切りLFSM指令値は一定値となる。その後、風力のLFSM指令値が増加するが、風力もリザーブ量を使い切るため、再エネ全体のLFSM指令値は一定値になる。



- ④ LFSM指令値の増加に遅れて、太陽光・風力の出力が増加する。太陽光・風力の出力が増加することにより、周波数が回復する。
- ⑤ 周波数が回復したことによりLFSM指令値は減少するが、周波数の回復に対して制御遅れが生じる。制御遅れ時間だけ前の周波数に対して制御するため、周波数が減少し始めてもLFSM指令値は減少し続ける。

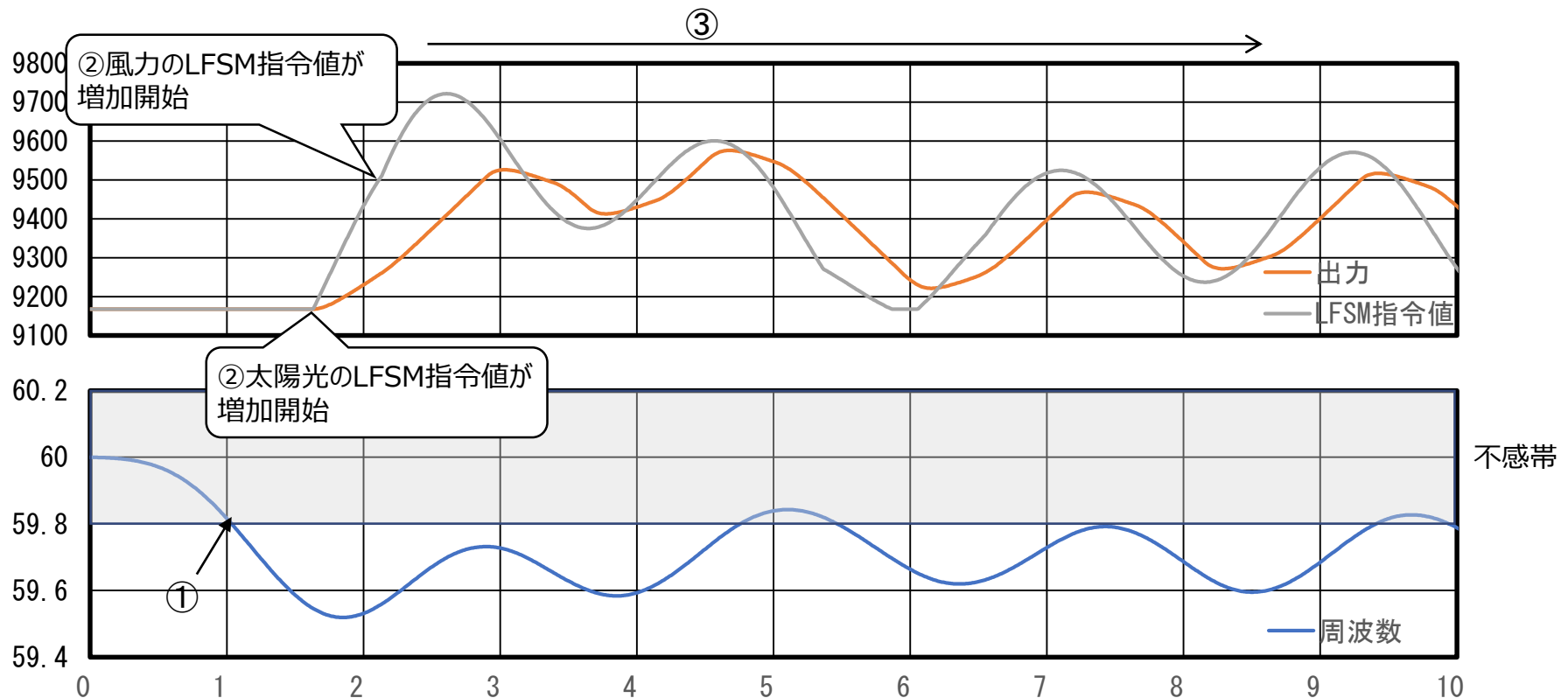


- ▶ 以降、周波数の低下に応じて、やや遅れてLFSM指令値が増加するが、**周波数が回復に転じてもLFSM指令値は制御遅れのため増加し続ける**。同様に周波数の回復に応じてLFSM指令値が減少するが、**周波数が減少に転じても制御遅れのためLFSM指令値が減少し続ける**。この事象を繰り返す場合は、**周波数振動が継続する**。
- ▶ LFSMを実装する再エネ発電設備量が多いと、最初の周波数低下を抑制する効果は大きくなるものの、その後の周波数の変動量も大きくなる。
- ▶ 制御遅れ時間が大きいと、周波数に対するLFSM制御が遅れるため、周波数変動量が大きくなる。

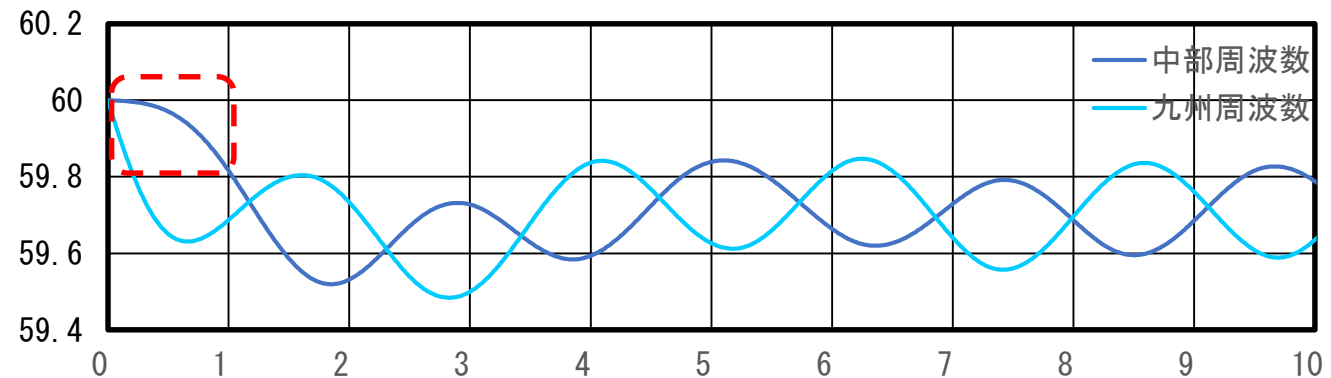
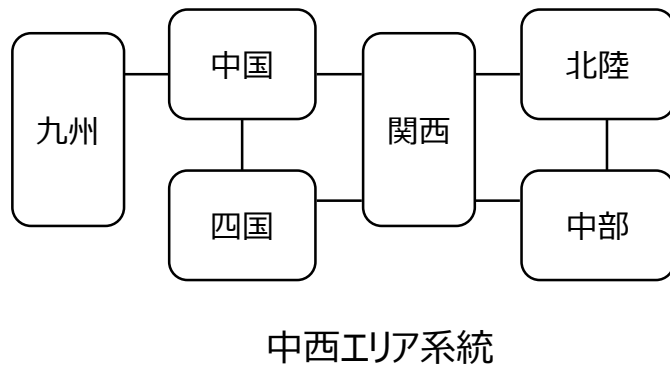


- ① 周波数は不感帯を逸脱し、太陽光・風力は出力抑制モードから調定率制御モードに切り替わる。
- ② 周波数低下に遅れて、LFSM指令値は増加する。それに伴い、太陽光・風力の出力が増加し、周波数は回復する。
- ③ 以降、周波数が回復したことによりLFSM指令値は減少するが、周波数の回復に対して制御遅れが生じる。そのため、周波数が減少し始めてもLFSM指令値は減少し続ける。以降、周波数変動に対してLFSM指令値が反転するタイミングに制御遅れが生じるため、周波数は振動する。

LFSM機能の動作としては北海道エリアと同じと考えられる。

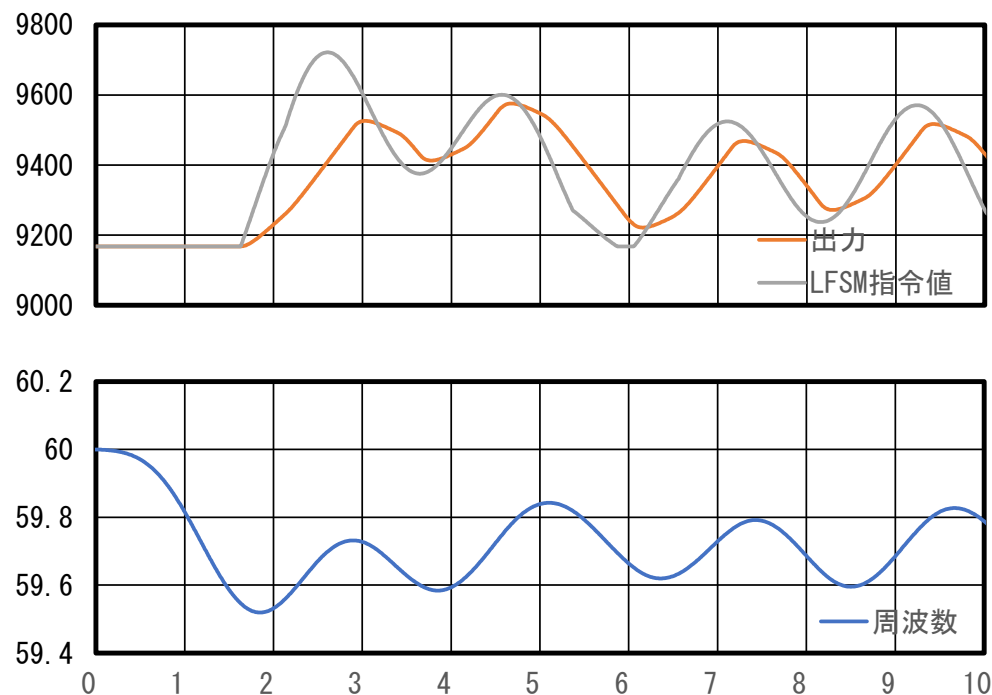


- 第13回グリッドコード検討会では、中西エリアの計算結果においてエリア間電力動揺(Inter-area Oscillations)が発生しているとのこと指摘をいただいたため、事象についての解明を行った。
- 計算結果を確認したところ、電源脱落エリアである九州エリアは即時に周波数低下が発生するのに対し、電源脱落エリアから離れた中部エリアが周波数低下するまでには時間を要する。その周波数低下の時間差がエリア間の電力動揺として発生・継続することになる。
- 本事象は、実際の周波数擾乱事故時にも確認されており、中西エリアの系統特性と言える。つまり、**このエリア間電力動揺はLFSM制御により発生する事象では無い**と考えられる。

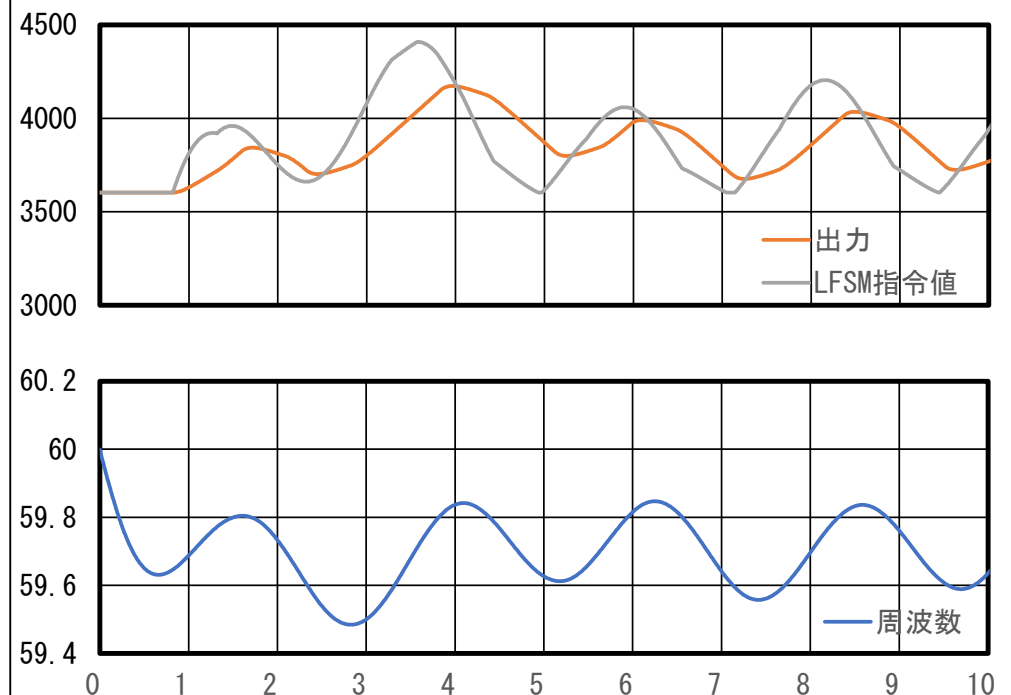


- ▶ 一方、LFSM機能は自端の周波数を検出して調定率制御を行う。従って、エリア間電力動揺が発生している場合は、動揺している周波数に応じてLFSM機能は動作する。
- ▶ LFSM機能による周波数の変動周期とエリア間電力動揺の周期が一致すると、**電力動揺の減衰が悪化することになる**。具体的には、LFSM機能が電力動揺により周波数が加速・減速するタイミングと再エネ出力を増加・減少するタイミングが一致すると**電力動揺を増長させる**ことになる。
- ▶ 要件化検討は、電力動揺を増長させるLFSM制御遅れ時間を設定して行った。従って、実運用においては、制御遅れ等の特性により、第13回検討会での検討結果より周波数の振動が生じ難くなると考えられる。

中部エリア



九州エリア



■ 周波数振動原因の解明

- LFSM制御の制御遅れによるものと推察される。

■ 要件化案の評価

- 制御応答性を高速に規定すると、周波数振動を抑制できると考えられる。しかし、太陽光・風力発電設備に制御応答性の高速化には限界がある。
- そのため、LFSM適用対象設備を限定して周波数振動対策とした要件化案は妥当と考えられる。第13回検討会での審議通り、要件化対象は10MW以上(北海道、沖縄は2MW以上)とする。

技術要件改定案

【東エリア・中西エリアの場合】

【北海道エリア・沖縄エリアの場合】

	定格出力合計	10MW以上		定格出力合計	2MW以上
		太陽光発電設備 および風力発電設備			太陽光発電設備 および風力発電設備
機能・仕様等	調定率	2～5%	機能・仕様等	調定率	2～5%
	制御応答性	2秒以内に出力変化を開始、 10秒以内に変化量を完了 (出力変化量の50%到達にて 出力変化の完了とする)		制御応答性	2秒以内に出力変化を開始、 10秒以内に変化量を完了 (出力変化量の50%到達にて 出力変化の完了とする)
	不感帯	±0.2Hz以下		不感帯	±0.1Hz以下
	リザーブ量 (出力増加幅) ※	0～10% (定格出力基準)		リザーブ量 (出力増加幅) ※	0～10% (定格出力基準)

※リザーブ量は系統周波数低下時の出力増加対応として、発電出力の抑制時に使用可能なこと。

※リザーブ量は系統周波数低下時の出力増加対応として、発電出力の抑制時に使用可能なこと。