

個別技術要件検討 「周波数変動時の 発電出力一定維持・低下限度」

2021年6月30日

電力広域的運営推進機関

1. 個別技術要件の検討

- ① 論点整理
- ② 発電側の対策（低圧、高圧、特別高圧）
- ③ 発電側関連団体の意見
- ④ 系統側の対策
- ⑤ 比較・検討結果
- ⑥ 遡及適用検討結果

2. 他の規程への影響

3. 運用・市場コードの観点からの検討

4. 詳細検討資料

- ① 定量評価、解析結果等
- ② 系統連系技術要件の改定案（新旧対照表）
- ③ その他
- ④ 確認事項

①論点整理

■ 現在の対応状況

- 現行系統連系技術要件では、100MW（沖縄35MW）以上の特別高圧のGT及びGTCCに対し出力低下防止機能として『周波数49Hz（北海道:48.5Hz, 60Hz系統: 58.8Hz）までは発電機出力を低下しない、もしくは、一度出力低下しても回復する機能を具備すること』を規定しており、**49Hz以下等での出力低下限度に関する規定がない**。そのため、**電源脱落事故等をきっかけとして系統周波数が低下した際、連系する発電機の出力が低下すると、カスケード的に周波数低下し、最悪の場合ブラックアウトに至るおそれがある**。

■ 2030年時点に想定される課題、その後の課題と提言

（発電側）

- ガスタービン及びガスタービンコンバインドサイクル発電設備（GT及びGTCC）は系統周波数低下時、コンプレッサー能力の低下に伴い発電機出力が低下する。

（系統側）

- 再エネ電源導入拡大による大型・集中電源の調整能力が減少した状況において、周波数低下に伴う電源大量脱落を回避するため**出力低下防止機能が必要**である。

■ 要件化の必要性およびメリット

- 現行系統連系技術要件では、連続運転可能周波数として48.5Hz超（60Hz系統:58.2Hz）、運転可能周波数として47.5Hz以上（北海道:47Hz, 60Hz系統:57Hz）を規定しており、**これらの範囲においても系統周波数の維持運用に支障が出ないように出力低下限度を定める必要がある**。なお、多くの火力発電設備は同等の要件が既に課され明文化の位置づけが大きいため、費用対効果は非常に大きい。

1. 個別技術要件「周波数変動時の発電出力一定維持・低下限度」の検討

4

②発電側の対策

- 発電事業者が取り得る対策で短期的（3年程度）に適用可能な対策として、以下の（1）を検討した。

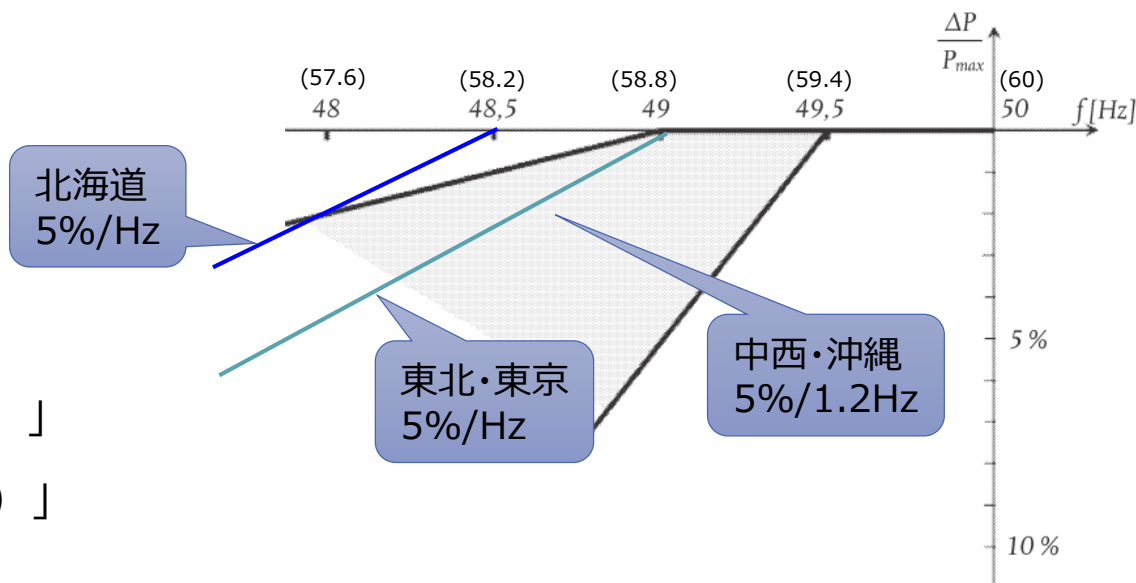
（1）周波数変動時の発電出力一定維持・低下限度

（対象電源種：火力発電設備 対象容量：100MW以上(沖縄は35MW以上)）

（特別高圧）……

出力低下防止機能等、周波数低下時に発電出力の低下幅を限定する、もしくは一度出力低下しても回復するための機能または装置を具備すること。

許容する低下幅は、49Hz（北海道:48.5Hz, 60Hz系統：58.8Hz）までは0%、49Hz（北海道:48.5Hz, 60Hz系統：58.8Hz）以下については、1Hz（60Hz系統：1.2Hz）低下するごとに5%以内とする。



（高圧）…「継続検討（中長期）」

（低圧）…「継続検討（中長期）」

②発電側の対策

- 対象電源種および対象容量の選定理由を下記に記載する。

(選定理由)

- ・特別高圧(対象電源種：**火力発電設備** 対象容量：**100MW以上(沖縄は35MW以上)**)
100MW未満の発電設備（特にコジェネやガスエンジン発電機）については、
 - ・49Hzまで出力低下しないこと
 - ・49Hz以下での出力低下幅を5%/Hz以内にするこ
とを実現するために技術開発が必要であることから中期的な継続検討とする。
- ・高圧、低圧・・・「継続検討（中長期）」
 - ・49Hzまで出力低下しないこと
 - ・49Hz以下での出力低下幅を5%/Hz以内にするこ
とを実現するために技術開発が必要であることから中期的な継続検討とする。

1. 個別技術要件「周波数変動時の発電出力一定維持・低下限度」の検討

6

③発電側関連団体の意見

団体		意見（上段：総括、下段（総括より下）：分類別意見）
火原協	総括	- 個々の設備で特性が異なるため定量的な回答は困難。 - 現状の運用を超える範囲の（49Hz以下）特性については現段階では把握できておらず回答はできない。
	対象	本件も、前提として既設設備に遡及しないとの認識で良いか。
	技術	現状の運用を超える範囲の（49Hz以下）特性については現段階では把握できておらず回答はできない。
	費用	回答なし
	その他	- コジェネもガスタービンを使用しているものについては、周波数低下による出力低下は避けられないのではないか。 - 系統周波数の低下により、モーターや同期して駆動しているコンプレッサの能力低下は物理的に避けられない。 - 蒸気タービンについては定格回転数で振動が最小になるよう設計されている等、周波数変動による機械的強度や安全面への影響が懸念されるため、そのような運転は基本的には行うべきではないと考える。 - また、系統周波数に起因する問題については、予備力の確保等についても考慮されるべきではないか。
自家発	総括	技術面：GT/GTCC以外の発電設備であっても、例えば、周波数低下の継続でボイラ給水ポンプ（BFP、多段式タービンポンプ）の吐出量が減少し一定出力を維持することが困難となった事例等があります。発電設備の規格として（ボイラ含む）低周波数領域の連続運転を明確化する必要があります。
	対象	同期発電機を用いる発電機等
	技術	技術面：(1)GT/GTCCにおける低下率4～5%/Hzが妥当であるかどうか？ についてはGT製作者（国内外メーカー）に詳細を確認する必要があります。(2)GT/GTCC以外の発電設備であっても詳細検討が必要な場合があります。例えば、周波数低下の継続でボイラ給水ポンプ（BFP、多段式タービンポンプ）の吐出量が減少し一定出力を維持することが困難となった事例等があります。発電設備の規格として（ボイラ含む）低周波数領域の連続運転を明確化する必要があります。
	費用	特になし
	その他	蒸気タービン発電機の場合、ガバナー制御であれば、タービンの速度調定率（4～5%）に従って、基準周波数 60 Hz に対して4%～5%（2.4 Hz～3.0 Hz）の周波数変動で発電機の定格出力分の発電機出力が変動します。ロードリミッター制御の場合は、周波数上昇時は、発電機出力が、タービン速度調定率に従って低下します。周波数低下時は、ロードリミッターによりタービンへの流入蒸気が制限され出力一定を基本的には保とうとしますが、大規模電源脱落等の大幅な周波数低下時は、タービンの慣性力の放出により発電機出力は一時的に増加します。

1. 個別技術要件「周波数変動時の発電出力一定維持・低下限度」の検討

③発電側関連団体の意見

団体		意見（上段：総括、下段（総括より下）：分類別意見）
JEMA	総括	- 技術面：<u>ガスエンジンもガスタービン同様、周波数低下により出力は低下する。</u> - 費用面：現在は周波数による出力調整機能を備えておらず、<u>相応の開発費用と期間が必要</u>である。 - 提案：<u>周波数低下時には10～15%/Hzの出力低下を許容し、中長期要件としての適用開始とする。</u>
	対象	同期発電機を用いる発電機等
	技術	- 発電機本単体はJEC-2130 に準拠して製作されているが、原動機を含むコージェネシステムはJEC-2130の準拠は求められていない <u>ガスエンジンもガスタービン同様、周波数（回転数）が低下すると出力も低下する。</u> - 現状は、周波数一定として出力制御しているため、<u>周波数が低下時に定格出力を維持しようとする</u>と過負荷になる可能性あり - 周波数による調整機能を装備するためには相当の開発期間と費用が必要であり、対応が困難な機種、メーカーもある
	費用	- 開発費はメーカーにより様々であり回答不可 - 製品コストがアップする可能性あり
	その他	- 小規模な機種では対応出来ない機種もあり得る。 - 例えば<u>10MW以上と未満のように、発電出力に応じて要件を変更</u>いただきたい。

④系統側の対策

- 一般送配電事業者が取り得る対策

・対策

系統側蓄電池の設置（周波数低下時の発電出力減少分の補償）

⑤比較・検討結果

<検討モデル>

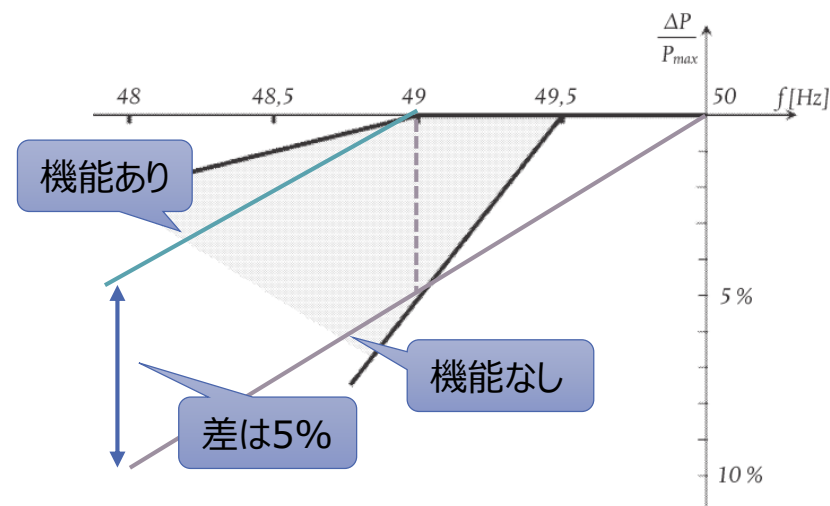
【検討モデル選定理由】

- ・50Hz系統において周波数が低下した場合の発電出力低下分を補償
- ・49Hz以下において周波数低下防止機能が動作しない状況を想定
- ・2030エネルギーミックスのLNG比率27%を出力低下する電源の比率と仮定
- ・同期連系系統の需要は7,000万kW
- ・発電設備の出力低下幅は5%と仮定

【検討方法】

定量評価（解析なし）

- ・検討結果
- ・必要蓄電池容量
 $7,000\text{万kW} \times 27\% \times 5\% = 95\text{万kW}$
- ・コスト
 $95\text{万kW} \times 15\text{万円/kW} = 1,425\text{億円}$



1. 個別技術要件「周波数変動時の発電出力一定維持・低下限度」の検討

10

⑤比較・検討結果

評価項目*1	発電側対策：機能または装置を具備	系統側対策：蓄電池設置
費用	既に要件化済みの機能と同等で過度な負担ではない	1,425億円 (95万kW×15万円/kW)
出力制御低減効果	評価対象外	評価対象外
変動対応能力	評価対象外	評価対象外
公平性	発電側対策に追加費用負担なく公平である。	費用面で過度な負担となる可能性がある。
実現性	新規研究・開発・実証試験不要で対応	新規研究・開発・実証試験不要で対応

「評価項目*1」：第3回 資料3 「個別技術要件の具体的検討の方向性」の評価項目を参照

■ 検討結果

- 費用 **費用メリットは「発電側対策」の方が大きい**
- 出力制御低減 評価対象外
- 変動対応 評価対象外
- 公平性 **「系統側対策」は費用面で過度な負担となる可能性がある。**
- 実現性 出力低下防止機能は**既存の技術であり実現可能である。**
- その他 **適用時期は2023年4月を予定**
遡及適用せず（系統運用に支障を来すおそれなし）

■ 総合評価での検討事項

- 採用する対策が相互に影響する他の技術要件：特になし
- その他：特になし

⑥遡及適用検討結果

- 遡及適用検討結果について示す。

遡及適用なし

系統運用に支障を来すおそれ「なし」

<判断理由>

発電設備の大部分を占める100MW以上（沖縄は35MW以上）の火力発電設備（GT・GTCC）は同等の要件が既に課されている。

2. 他の規程への影響

技術要件「周波数変動時の発電出力一定維持・低下限度」

12

■ 電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン

現行記載	影響
6. 発電機運転制御装置の付加 特別高圧電線路と連系する際、系統安定化、潮流制御、周波数調整等の理由により運転制御が必要な場合には、発電設備等に必要な運転制御装置を設置する。 4. 電圧変動・出力変動 (3) 出力変動対策 再生可能エネルギー発電設備等を連系する場合であって、出力変動により他者に影響を及ぼすおそれがあるときは、一般送配電事業者からの求めに応じ、発電設備等設置者において出力変化率制限機能の具備等の対策を行うものとする。	追記・変更なし

2. 他の規程への影響

技術要件「周波数変動時の発電出力一定維持・低下限度」

13

■ 送配電等業務指針

現行記載	影響
第 1 3 5 条（系統連系技術要件）に記載なし	系統連系技術要件と同様の記載を追加

2. 他の規程への影響

技術要件「周波数変動時の発電出力一定維持・低下限度」

14

■ 系統アクセスルール

現行記載	影響
系統連系技術要件と同様	系統連系技術要件と同様の追記

■ 系統連系規程

現行記載	影響
10. 発電機運転制御装置の付加 (1) 運転制御装置の設置 特別高圧電線路については、電力の安定供給確保の観点から厳しい検討管理が求められる。したがって、特別高圧電線路に連系する発電設備等であって、系統安定化、潮流制御、周波数調整等の対策が必要な場合には、発電設備等に必要な運転制御装置を設置する。	追記・変更なし

3. 運用・市場コードの観点からの検討

技術要件「周波数変動時の発電出力一定維持・低下限度」

15

技術要件改定案

14. 発電機運転制御装置の付加（特別高圧）

(2) 周波数調整のための機能

⑤.出力低下防止機能

ガスタービン及びガスタービンコンバインドサイクル発電設備（GT及びGTCC）については系統周波数の低下に伴い発電機出力が低下することから、**100MW以上（沖縄は35MW以上）の火力発電設備は、周波数49.0Hz（北海道:48.5Hz, 60Hz系統：58.8Hz）までは発電機出力を低下しない、周波数49.0Hz（北海道:48.5Hz, 60Hz系統：58.8Hz）以下については、1Hz（60Hz系統：1.2Hz）低下するごとに5%以内の出力低下に抑える、もしくは、一度出力低下しても回復する機能または装置を具備すること。**

運用・市場コードの観点での検討

特になし

- 以下検討結果について示す。

解析不要で、計算レベルのもの⇒結果を添付

②系統連系技術要件の改定案（新旧対照表）

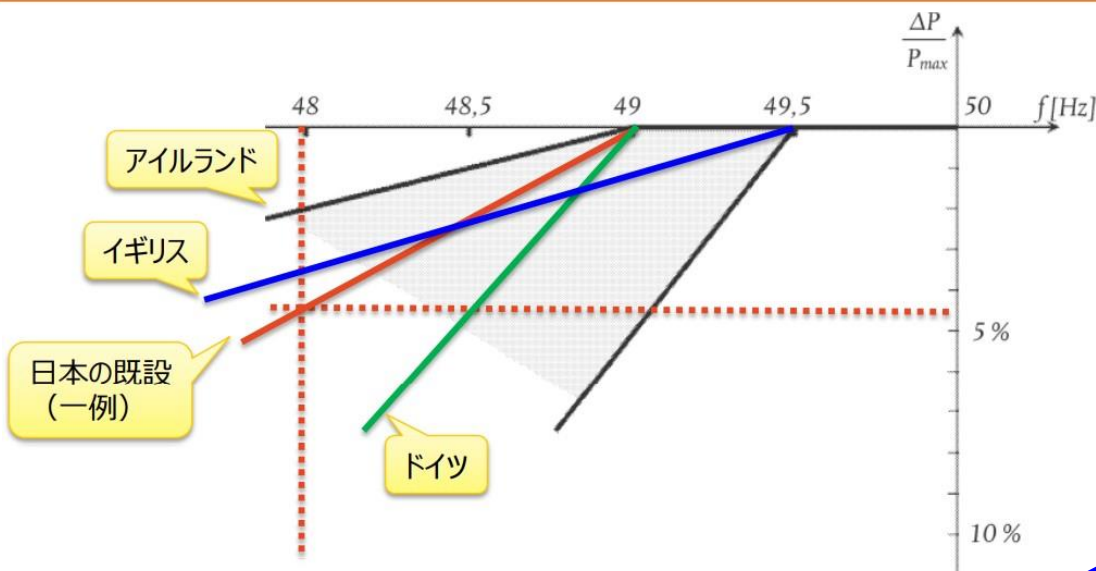
現行	改定案
14. 発電機運転制御装置の付加（特別高圧） (2) 周波数調整のための機能 ⑤.出力低下防止機能 ガスタービン及びガスタービンコンバインドサイクル発電設備（GT及びGTCC）については系統周波数の低下に伴い発電機出力が低下することから、周波数49.0Hzまでは発電機出力を低下しない、もしくは、一度出力低下しても回復する機能を具備すること。	14. 発電機運転制御装置の付加（特別高圧） (2) 周波数調整のための機能 ⑤.出力低下防止機能 ガスタービン及びガスタービンコンバインドサイクル発電設備（GT及びGTCC）については系統周波数の低下に伴い発電機出力が低下することから、100MW以上(沖縄は35MW以上)の火力発電設備は、周波数49.0Hz（北海道:48.5Hz, 60Hz系統：58.8Hz）までは発電機出力を低下しない、周波数49.0Hz（北海道:48.5Hz, 60Hz系統：58.8Hz）以下については、1Hz（60Hz系統：1.2Hz）低下するごとに5%以内の出力低下に抑える、もしくは、一度出力低下しても回復する機能または装置を具備すること。

4. 詳細検討資料

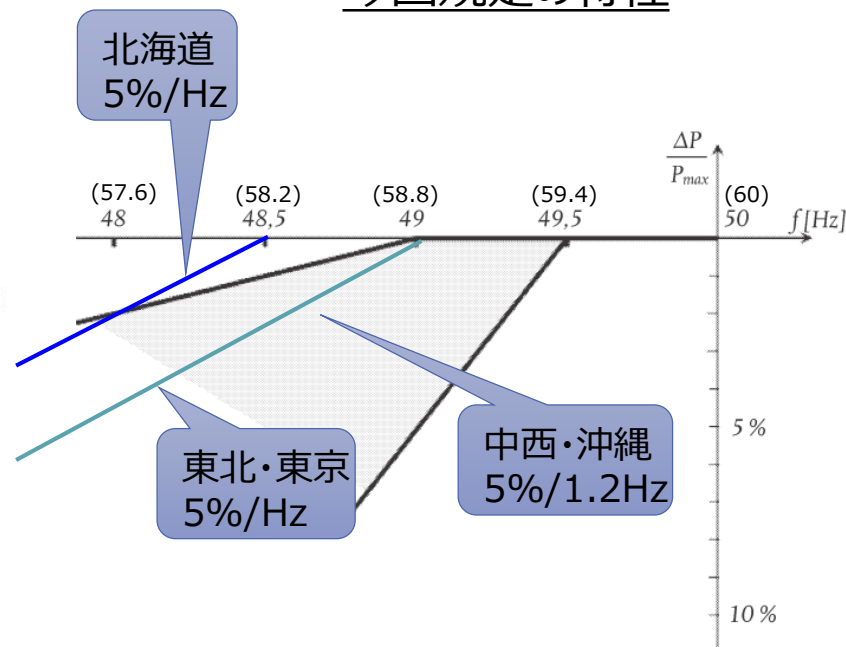
③その他（他会議体の検討資料）

18

- 出力低下防止機能がなかった場合
 - 系統周波数1Hz低下により約4～5%出力が低下
- 出力低下防止機能使用時の出力低下量
 - 49Hz以下において約4～5%/Hz（下図の赤線）



今回規定の特性



<一般送配電事業者が取り得る対策>

・対策

系統側蓄電池の設置（周波数低下時の発電出力減少分の補償）

・検討条件

- ・50Hz系統において周波数が低下した場合の発電出力低下分を補償
- ・49Hz以下において周波数低下防止機能が動作しない状況を想定
- ・2030エネルギーミックスのLNG比率27%を出力低下する電源の比率と仮定
- ・同期連系系統の需要は7,000万kW
- ・発電設備の出力低下幅は5%と仮定

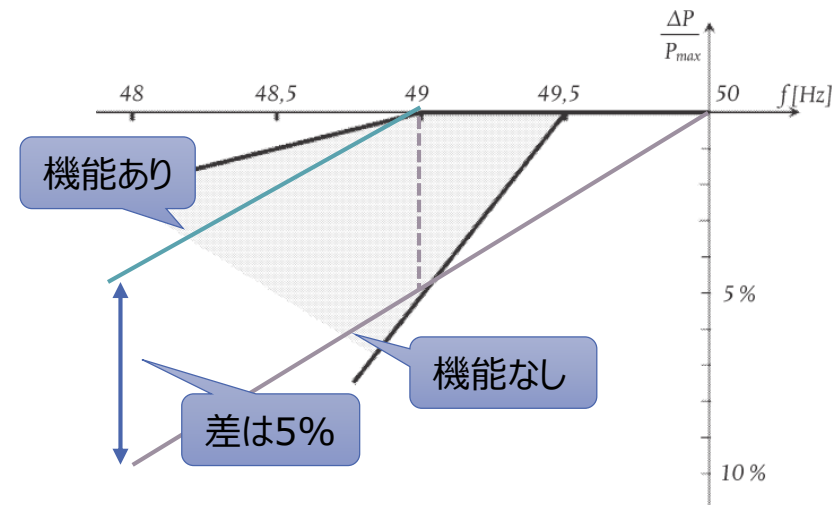
・検討結果

・必要蓄電池容量

$$7,000\text{万kW} \times 27\% \times 5\% = 95\text{万kW}$$

・コスト

$$95\text{万kW} \times 15\text{万円/kW} = 1,425\text{億円}$$



4. 詳細検討資料

③その他（他会議体の検討資料）

20

● RfGから各国への展開状況

RfG 要件名	Constant output at its target active power value regardless of changes in frequency 13.3
英国	一定出力を維持すること
アイルランド	(要求なし)
ドイツ	(要求なし)
スペイン	(要求なし)
イタリア	一定出力を維持すること
デンマーク (DK2)	一定出力を維持すること
日本との相違	100MW以上のGT・GTCCにつ いて、出力低下防止機能の具備 を要求している。

RfG 要件名	Maximum active power reduction at underfrequency 13.4
英国	2 %P/Hz starting at 49.5 Hz
アイルランド	2 %P/Hz starting at 49.5 Hz
ドイツ	10 %P/Hz starting at 49.5 Hz
スペイン	10 %P/Hz starting at 49.5 Hz
イタリア	2 %P/Hz starting at 49.5 Hz (ガスタービン) starting at 49 Hz (その他)
デンマーク	6 %P/Hz starting at 49 Hz
日本との相違	100MW以上のGT・GTCCに ついて49.0Hzまでは出力を 低下しないよう要求がある。

④確認事項

	事務局案	主な発電側対応意見	確認事項
論点 1 対象（電源種・電圧階級・容量）	100MW以上（沖縄は35MW以上）の火力発電設備	- 小規模な機種では対応出来ない機種もあり得る。(JEMA) - 例えば10MW以上と未満のように、発電出力に応じて要件を変更いただきたい。(JEMA)	<u>100MW以上（沖縄は35MW以上）の火力発電設備とする。</u>
論点 2 技術的実現性	出力低下防止機能等、周波数低下時に発電出力の低下幅を限定する、もしくは一度出力低下しても回復するための機能または装置を具備すること。許容する低下幅は、49Hz（北海道:48.5Hz, 60Hz系統: 58.8Hz）までは0%、49Hz（北海道:48.5Hz, 60Hz系統: 58.8Hz）以下については、1Hz（60Hz系統: 1.2Hz）低下するごとに5%以内とする。	- 現状の運用を超える範囲の（49Hz以下）特性については現段階では把握できておらず回答はできない。(火原協) - 蒸気タービンについては定格回転数で振動が最小になるよう設計されている等、周波数変動による機械的強度や安全面への影響が懸念されるため、そのような運転は基本的には行わべきではないと考える。(火原協) - ガスエンジンもガスタービン同様、周波数（回転数）が低下すると出力も低下する。(JEMA) - 周波数による調整機能を装備するためには相当の開発期間と費用が必要であり、対応が困難な機種、メーカーもある。(JEMA)	<u>周波数49.0Hz（北海道:48.5Hz, 60Hz系統: 58.8Hz）までは発電機出力を低下しない、周波数49.0Hz（北海道:48.5Hz, 60Hz系統: 58.8Hz）以下については、1Hz（60Hz系統: 1.2Hz）低下するごとに5%以内の出力低下に抑える、もしくは、一度出力低下しても回復する機能または装置を具備することとする。</u>

	事務局案	主な発電側対応意見	確認事項
論点3 費用		- 回答なし（火原協） - 製品コストがアップする可能性あり。（JEMA）	