

当面（今冬）の再発防止策について（案） ～シミュレーションによる確認～

2018年10月23日

- 前回の検証委員会において、当面の再発防止策をご確認いただいた後、実行できる対策については北海道電力及び広域機関において実施済。
- 本日はシミュレーション結果に基づき、当面の再発防止策を整理したので、ご確認いただきたい。

- 京極発電所 1、2号機が運転できる状態であることを前提に苫東厚真発電所 1、2、4号機 3台を運転する。
- 火力機のバランス停止を行う場合には予備力を十分考慮し、当面、需要の動向に応じて、数分から数時間で供給できる予備力を火力発電所で確保する。
- 緊急時措置であるUFRによる負荷遮断量を35万kW程度（需要規模309万kW時）追加する。
- 当面、トラブル等により京極発電所 1、2号機のいずれか 1台でも停止し、運用上の追加対策が必要な場合には北本連系設備や苫東厚真発電所 1、2、4号機の運用が適切に行われているか、広域機関において監視する。



以下の当面の再発防止策を2018年10月10日より実施。

(北海道電力)

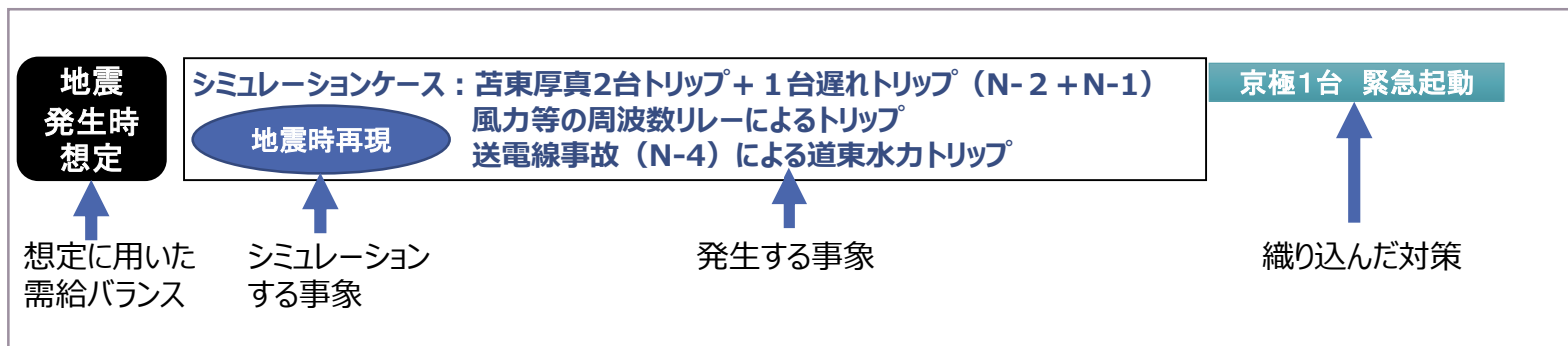
- ・UFRによる負荷遮断量35万kWを追加。

(広域機関)

- ・広域機関において苫東厚真発電所 1、2、4号機の稼働状況を監視。
- ・北海道電力に対し京極発電所 1、2号機のトラブルがあった場合の報告を要請。

シミュレーションによる地震発生時の再現について

本資料におけるシミュレーションの前提条件の表示の見方



2. シミュレーションによる事象の再現

- 実測値から総需要を想定し、先般の地震発生に伴う事象を時系列に設定し、地震発生からブラックアウトに至るまでをシミュレーションにより再現できることを確認した。

地震
発生時
想定

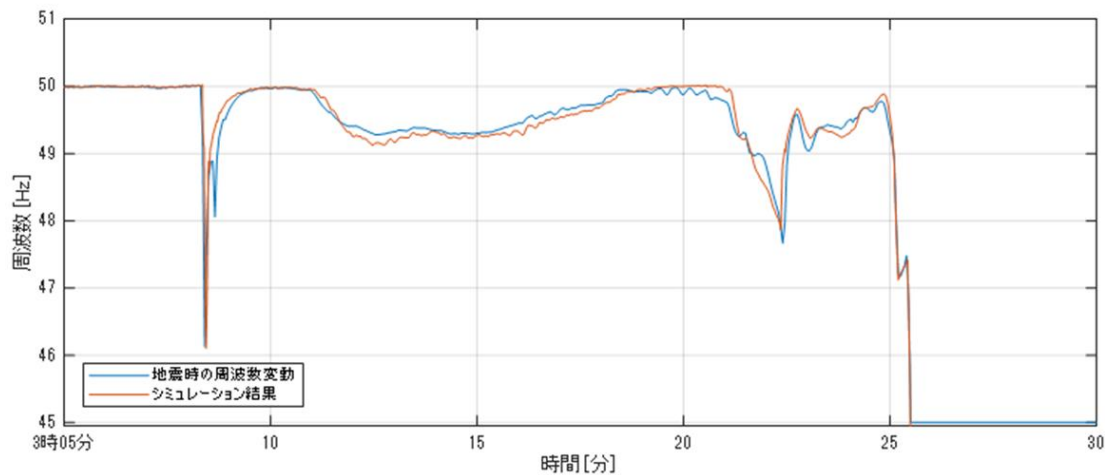
シミュレーションケース：苦東厚真2台トリップ + 1台遅れトリップ (N-2 + N-1)

風力等の周波数リレーによるトリップ

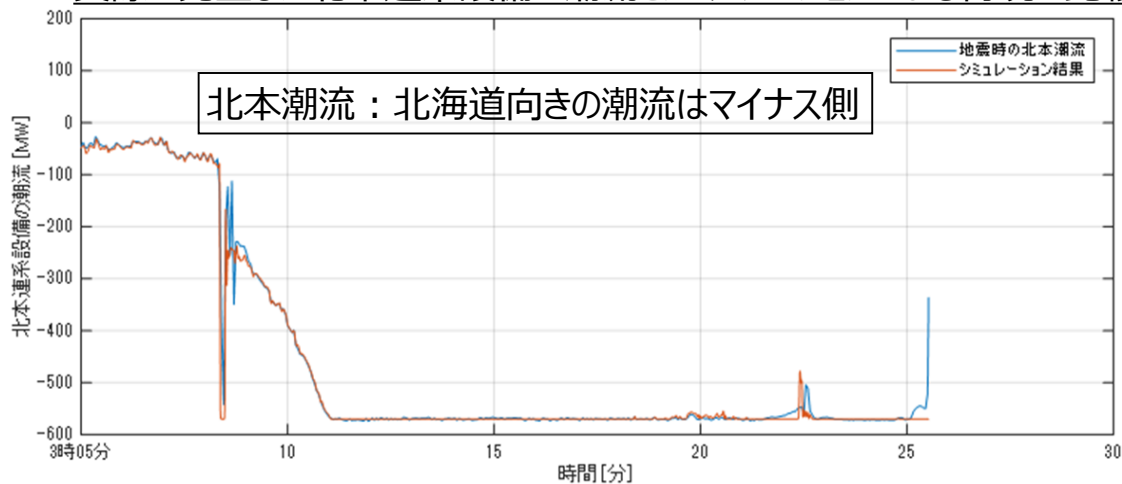
送電線事故 (N-4) による道東水カトリップ

地震時再現

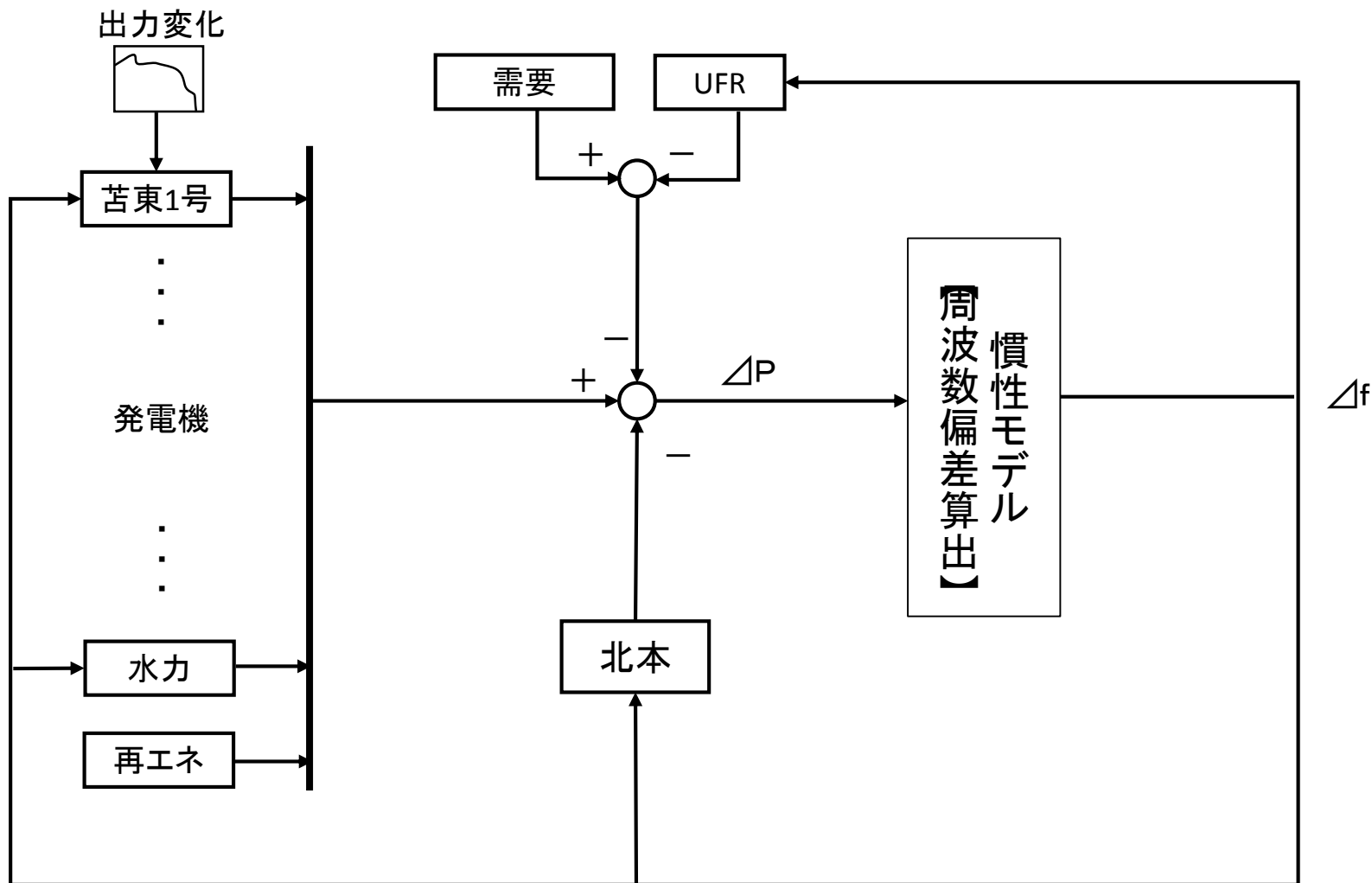
実際に発生した周波数変動とシミュレーションによる再現の比較



実際に発生した北本連系設備の潮流とシミュレーションによる再現の比較



- 本シミュレーションモデルは、今回の事象における周波数応動を再現するために、需要や苫東厚真発電所 1、2、4 号機3台の出力等の推定値、発電機の慣性定数や北本連系連系設備のAFC制御、UFRロジック等を考慮して構築した MATLAB/Simulink上のモデルである。
- 地震発生からブラックアウトに至るまでの間に起きた事象をシミュレーションにより再現し、その再現結果から事象や前提を変えることにより、今後考えられる必要な対策の有効性を検証するものである。
 1. 京極発電所 1、2 号機が運転できる状態であることを前提に苫東厚真発電所 1、2、4 号機 3 台を運転
 2. 緊急時措置であるUFRによる負荷遮断量を35万kW程度（需要規模309万kW時）追加
- シミュレーションの実施範囲
 - 地震発生からブラックアウトに至るまでの事象、事象の変化ケース（京極発電所 1、2 号機が運転できた場合や苫東厚真発電所 1、2、4 号機 3 台脱落）については、1,800秒間（3:00から30分間）
 - 当面の再発防止策を確認するために必要なシミュレーションは、事象発生後120秒間（事象は0秒時点で発生）

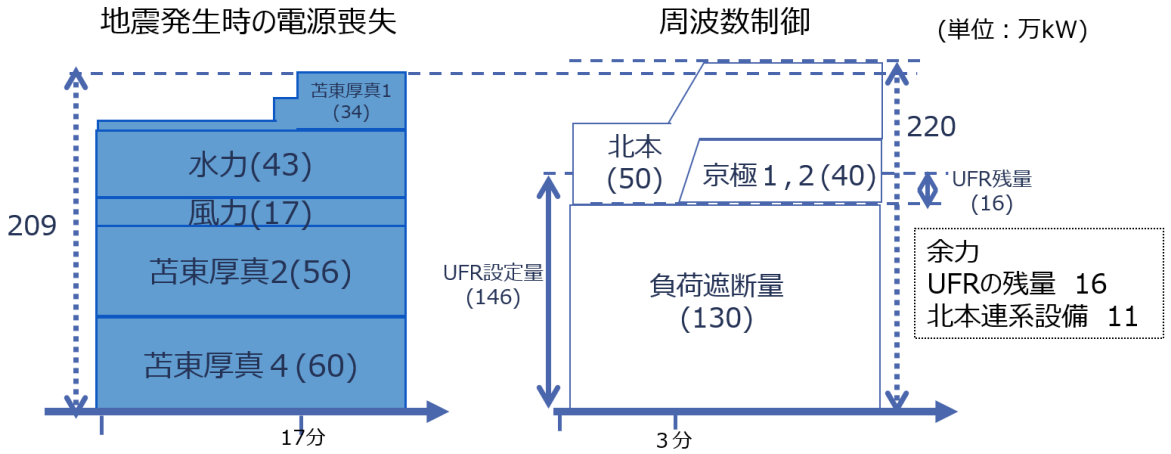


当面の再発防止策の確認について（稀頻度リスクに対する運用面での備え）
～地震発生時の需給バランスにおける京極発電所 1、2号機の稼働及びUFRの追加の効果～

- 前回の検証委員会において、「再発防止に向けた論点整理」として、京極発電所1、2号機が運転できる状態であることを前提に苫東厚真発電所1、2、4号機を運転することを確認した。加えて、更に過酷な事象が発生した場合の備えとしてUFRによる負荷遮断量を35万kW追加することとした。
- 上記対策については、供給力と負荷のバランスの観点からはブラックアウトを回避できると考えられるが、今回その有効性を確認するため、先般の地震発生時と同じ事象及び更に過酷な事象について、シミュレーションにより確認を行った。
- なお、「京極発電所1、2号機が稼働できる状態」とは、運転していない状態において緊急起動により3分で起動し、その後1分程度でフル出力になることをいう。

3. 運用面での評価について（稀頻度リスクに対する運用面での備え） 16

- 地震発生時、大規模揚水が停止している中で苫東厚真1サイトに供給力が集中していたことについては論点の一つである。
- 以下の仮説はいずれも相当程度余力があり、最初の周波数低下は地震時にも46Hz以上に留まったことから問題ないと考えられるが、既にシミュレーションを開始しており次回検証委員会までに確認する。
- 現時点では地震発生時の状況で**苫東厚真1サイトが全機脱落した場合でも、京極1、2号機（20万kW×2）が稼働できれば、ブラックアウトには至らなかった可能性が高い**と考えられる。
- また、大規模揚水（京極1、2号機）が2台停止していても、**水力のトリップ（N-4）が発生しなかった場合は同様にブラックアウトには至らなかった可能性が高い**と考えられる。



京極発電所（純揚水20万kW×2機）は3分程度で供給力として稼働でき、可変速であり、周波数調整も期待できる。
また伊達2号機や知内1号機は出力が戻り始めていたことから、その後の火力による上げ調整も期待できる（資料2-1 P 8 参照）。

3-1. 当面の再発防止策の確認について（稀頻度リスクに対する運用面での備え）

- シミュレーション結果によれば、前回の検証委員会で想定したとおり、京極発電所1、2号機が周波数低下時に直ちに起動することで、北本連系設備のAFC余力が回復し、苫東厚真1号機出力低下～トリップ時の周波数低下においてもUFRによる負荷遮断なしに周波数を安定化できている。
- これにより、**先般の地震発生と同様の事象（苫東厚真発電所1サイト及び水力等）においても、京極発電所1、2号機（20万kW×2）が稼働できれば、ブラックアウトには至らなかった**ことが確認された。

地震発生時想定

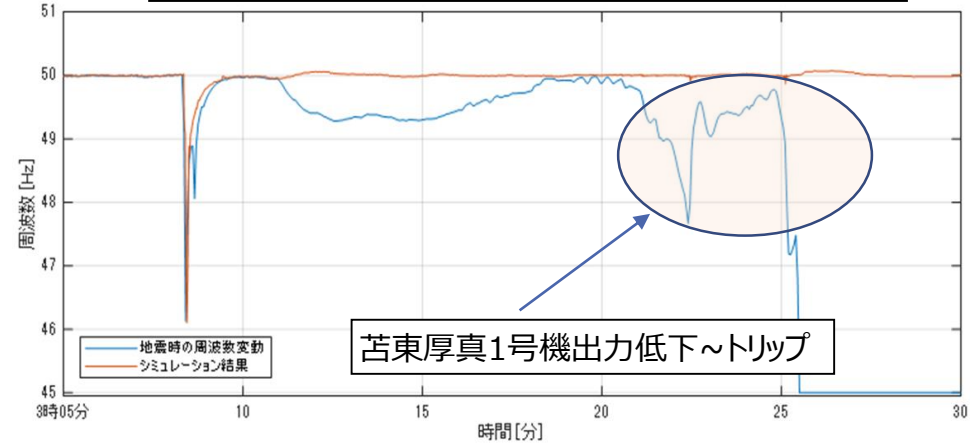
シミュレーションケース：苫東厚真2台トリップ+1台遅れトリップ（N-2+N-1）
 風力等の周波数リレーによるトリップ
 送電線事故（N-4）による道東水カトリップ

地震時再現

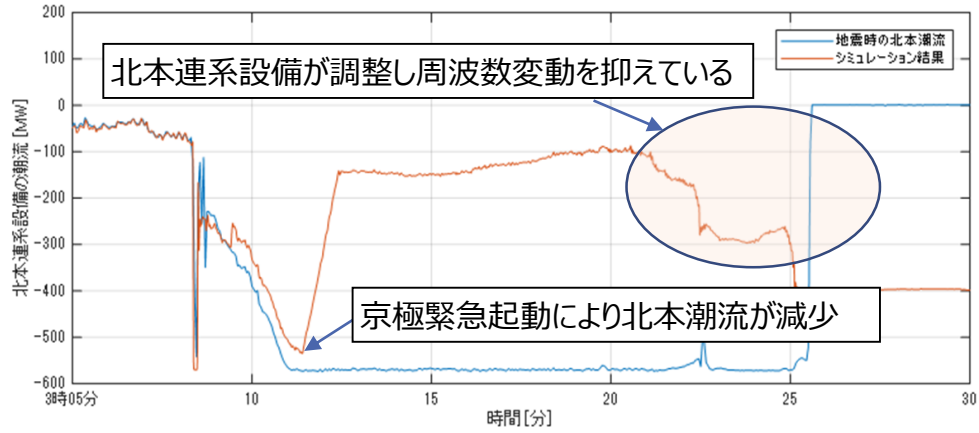
京極2台 緊急起動

| 脱落量(MW) | | |
|---------|----|--------|
| 苫東厚真 | 1G | 338 |
| | 2G | 556 |
| | 4G | 598 |
| | 計 | 1492 |
| 水力 | | 430 |
| 風力 | | 166 |
| PV | | 0 |
| その他 | | 234.5 |
| 計 | | 2322.5 |

電力システムの周波数の変動（シミュレーション結果）



北本連系設備の潮流（シミュレーション結果）



シミュレーション結果

| | |
|-----------------|--------|
| ブラックアウト回避可否 | ○ |
| 地震直後周波数最下点 (Hz) | 46.10 |
| UFR動作量(MW) | 1288.0 |
| UFR残量(MW) | 158.3 |
| 北本潮流最終値(MW) | -398.2 |
| 49Hz以下滞在時間(s) | 8.3 |

需要比 42%



- 前回の検証委員会において、「仮に京極発電所1、2号機のいずれか1台でもトラブル等で停止した場合には、その時点の需給状況等を勘案した上で、必要に応じて北本連系設備のマーヅン拡大（順方向・本州向きに流すことでマーヅンは最大約120万kW）や、AFC機能を持たない苫東厚真発電所1、2号機の出力の一部抑制など、必要な追加対策を当面行うこととしてはどうか」という対応案を示した。
- 上記の具体的な対応策を検討するため、京極発電所1、2号機のいずれか1台がトラブルにより稼働できないケースをシミュレーションによる確認を行った。

3. 運用面での評価について（稀頻度リスクに対する運用面での備え）

17

- 引き続き、中間報告に向けて、スライド16のシミュレーションによる確度の向上、苫東厚真1サイト（3機同時フル出力を含む）脱落や再エネ高出力時など、他のケースも含めシミュレーションで確認を行う。
- UFRを35万kW拡大することで、苫東厚真1サイト脱落のような場合でも、周波数制御可能な量は確保した。しかし**本来、負荷遮断は最終手段であり、停電規模自体を最小限にする運用が重要**である。
- このため、まずは、**技術的には、当面、京極1、2号機が運転できる状態であることを前提とすれば、苫東厚真3機の運転は妥当**と言えるのではないか。
- なお、京極1、2号機でトラブルがあった場合には、運用を注視する必要があるが、北海道は冬季が高需要期であることから、リスク対応と供給力確保の両立を果たす方策が不可欠である。
- このため、仮に京極1、2号機のいずれか1台でもトラブル等で停止した場合には、その時点の需給状況等を勘案した上で、必要に応じて北本連系設備のマーヅン拡大（順方向・本州向きに流すことでマーヅンは最大約120万kW）や、AFC機能を持たない苫東厚真1、2号機の出力の一部抑制など、必要な追加対策を当面行うこととしてはどうか。
- 以上を踏まえ、**当面、トラブル等により京極1、2号機のいずれか1台でも停止し、運用上の追加対策が必要な場合には北本連系設備や苫東厚真1、2、4号機の運用が適切に行われているか、広域機関において監視することとしてはどうか。**
- また、今後は、高需要期である冬季に入ることから、今回のような事象が発生した場合には十分な予備力を確保できないおそれもある。このためバランス停止を行う場合には予備力を十分考慮し、**当面、需要の動向に応じて、数分から数時間で供給できる予備力を火力発電所で確保できる状態にすべきではないか。**

3-1. 当面の再発防止策の確認について（稀頻度リスクに対する運用面での備え）

- UFRを35万kW程度追加したシミュレーション結果によれば、京極 1 台が停止した場合、緊急起動による北本連系設備のA F C余力が減少するため、苫東厚真1号機トリップ時には2回目の負荷遮断が実施され、ブラックアウトを回避できることがわかる。しかし、UFRによる負荷遮断は2回動作し、かつ北本潮流（受電量）の最終値は47万kWで上限に近く、A F C余力が少ないため一定の対策は講ずるべきと考える。
- このため、京極 1 台が停止した場合には苫東厚真 1 号機の出力を20万kW程度（京極 1 台分）抑制するなどの対策を講じることとしてはどうか。ただし、高需要期は安定供給の観点から出力抑制ではなく、10分程度で20万kWの出力増加できるように火力機等を運用することで追加対策とする必要があると考える。

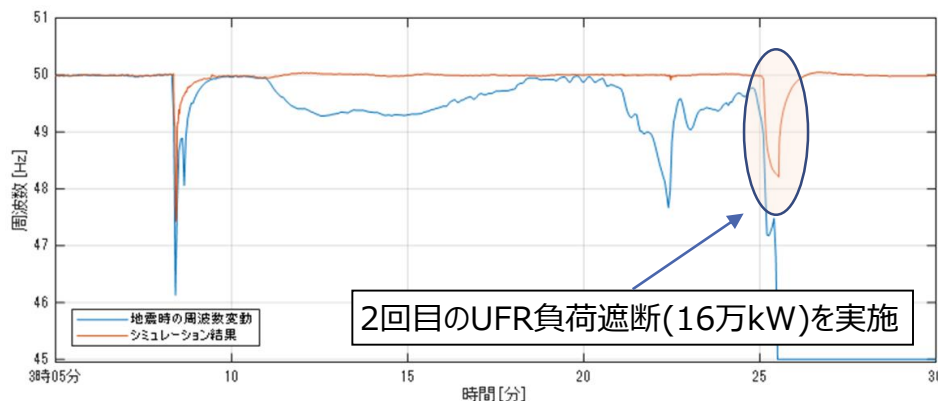
地震発生時想定

シミュレーションケース：苫東厚真2台トリップ+ 1台遅れトリップ（N-2+N-1）

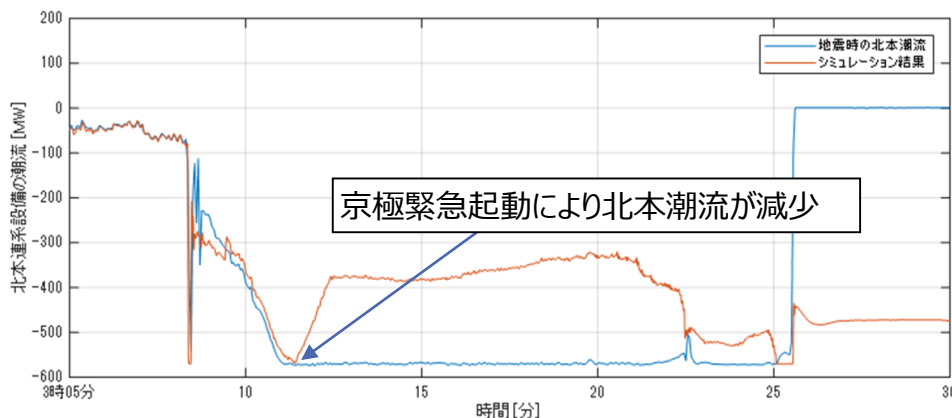
地震時再現

風力等の周波数リレーによるトリップ
送電線事故（N-4）による道東水カトリップ

電力システムの周波数の変動（シミュレーション結果）



北本連系設備の潮流（シミュレーション結果）



UFR拡大

京極1台 緊急起動

脱落量(MW)

| | | |
|------|----|--------|
| 苫東厚真 | 1G | 338 |
| | 2G | 556 |
| | 4G | 598 |
| | 計 | 1492 |
| 水力 | | 430 |
| 風力 | | 166 |
| PV | | 0 |
| その他 | | 234.5 |
| 計 | | 2322.5 |

シミュレーション結果

| | |
|-----------------|--------|
| ブラックアウト回避可否 | ○ |
| 地震直後周波数最下点 (Hz) | 47.43 |
| UFR動作量(MW) | 1413.0 |
| UFR残量(MW) | 397.0 |
| 北本潮流最終値(MW) | -472.0 |
| 49Hz以下滞在時間(s) | 3.4 |

需要比
46%

- 前述のケースでは、地震発生時における事象をもとに、シミュレーションによる確認を行ったが、前回の検証委員会においても、更なる緊急事態に備えて、UFRによる負荷遮断量を35万kW追加する対策案を示した。
- 更に過酷な条件として、前回の検証委員会で示した「苫東厚真1サイト、風力、水力同時トリップ、加えて現時点でトリップ原因や時間が確認できない約23万kW※の電源も同時トリップ」を想定し、シミュレーションにて検証を行った。
 ※ 前回は26万kWであったが、最後までトリップしなかった電源が11万kW(前回8万kW)と判明したため。

3. 運用面での評価について (UFRによる負荷遮断量拡大について)

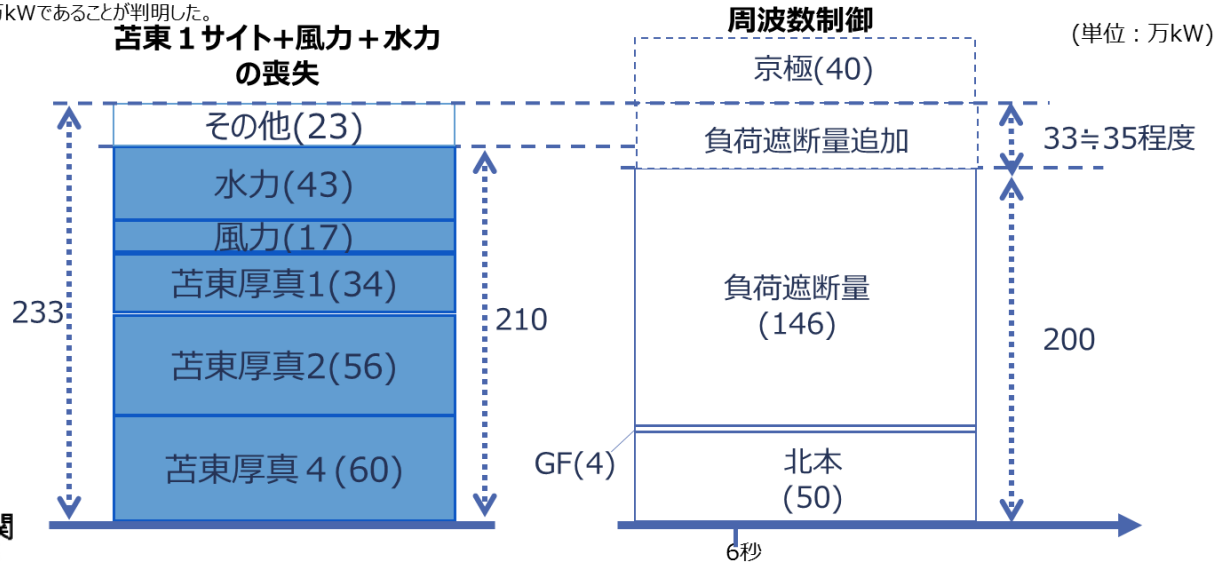
第2回資料3p12一部修正

12

- **緊急的にUFRによる負荷遮断量を拡大しておくべきではないかとの指摘**がある。少なくとも2019年3月までに石狩湾新港火力発電所や新北本連系設備が連開することを踏まえ、今後シミュレーションを行いUFRの整定値の見直しを行う必要があるが、当面ブラックアウトを極力回避するための対策として苫東厚真1サイト、風力、水力同時トリップ、加えて現時点でトリップの原因や時間が確認できない約26万kWの電源※も同時トリップという、**今回の事象よりもさらに厳しい条件を設定し周波数制御に必要な負荷遮断量を検討**した。
- この場合、235万kWの同時トリップに対し北本連系設備や負荷遮断等は200万kWとなり、不足は35万kW程度となる。
- 揚水発電所である京極だけで常時35万kW程度確保することは運用上は難しいことから、これをUFR追加量とした場合**北本連系設備を安定的に活用できる範囲でUFRの追加量を検討する必要**がある。

※ 前回「その他」と整理した電源34万kWのうち、最後までトリップしなかった11万kW*を差し引いたもの

* 第2回検証委員会では、「「その他」と整理した電源34万kWのうち、最後までトリップしなかった8万kW*を差し引いたもの」としたが、その後の調査において11万kWであることが判明した。

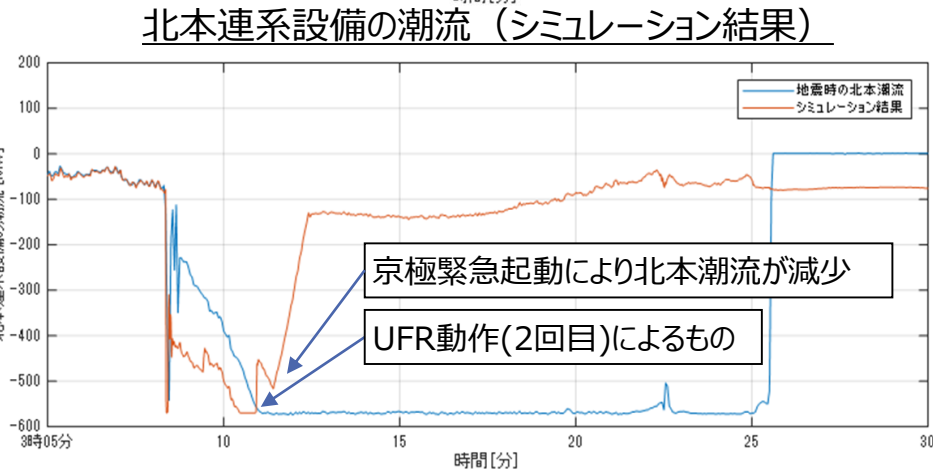
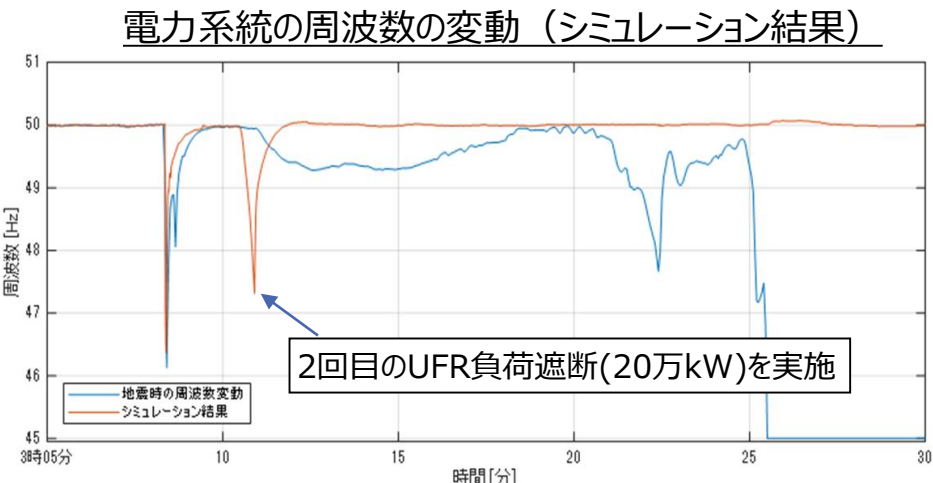


- シミュレーション上、UFRが2回動作するが追加分も動作したことで、ブラックアウトが回避できたことから、前回の検証委員会において確認したUFRによる負荷遮断量拡大を35万kWとしたことが妥当であることが確認された。
- UFRによる負荷遮断量として十分であることが確認できたことから、現時点で更なるUFR追加を求める必要はないと考える。
- ただし、UFRの時限については、北海道電力において引き続き検討を行い、必要により見直しを行うべきである。

地震発生時想定

シミュレーションケース：苫東厚真3台同時トリップ（N-3）
 風力等の周波数リレーによるトリップ
 送電線事故（N-4）による道東水力トリップ

UFR拡大
 京極2台 緊急起動



| 脱落量(MW) | | |
|---------|----|--------|
| 苫東厚真 | 1G | 338 |
| | 2G | 556 |
| | 4G | 598 |
| | 計 | 1492 |
| 水力 | | 430 |
| 風力 | | 166 |
| PV | | 0 |
| その他 | | 234.5 |
| 計 | | 2322.5 |

| シミュレーション結果 | |
|-----------------------------|-------|
| ブラックアウト回避可否 | ○ |
| 地震直後周波数最下点 (Hz) | 46.37 |
| UFR動作量(MW) | 1611 |
| UFR残量(MW) | 199 |
| 北本潮流最終値(MW) | -74.6 |
| 49Hz以下滞在時間(s) ^{※1} | 6.7 |

需要比 52%

3-3. 当面の再発防止策の確認について（苫東厚真 3 台同時トリップ（N-3）） 14

- なお、3-2のケース(P12,13)では、UFR拡大量を確認するため、苫東厚真発電所 1、2、4 号機 3 台同時トリップ（N-3）と送電線 4 回線事故（N-4）という想定により確認を行ったが、実際に発生する可能性のあるケースとして、ここでは苫東厚真発電所 1、2、4 号機 3 台同時トリップ（N-3）を想定し、シミュレーションを行い、ブラックアウトが回避できることを確認している。
- なお、次スライドから、このN-3を想定した対策の考え方を整理する。

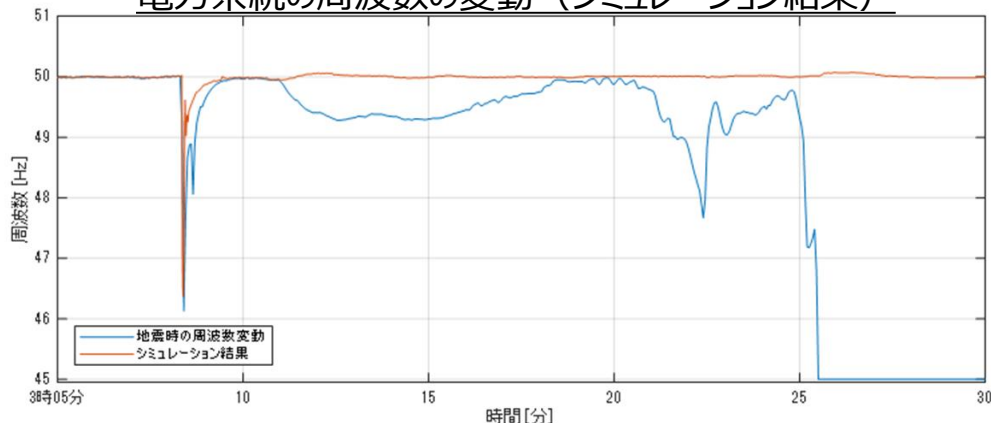
地震発生時想定

シミュレーションケース：苫東厚真 3 台同時トリップ（N-3）
風力等の周波数リレーによるトリップ
苫東厚真 ルート断

UFR拡大

京極2台 緊急起動

電力システムの周波数の変動（シミュレーション結果）



北本連系設備の潮流（シミュレーション結果）



| 脱落量(MW) | | |
|---------|----|--------|
| 苫東厚真 | 1G | 338 |
| | 2G | 556 |
| | 4G | 598 |
| | 計 | 1492 |
| 水力 | | 0 |
| 風力 | | 166 |
| PV | | 0 |
| その他 | | 234.5 |
| 計 | | 1892.5 |

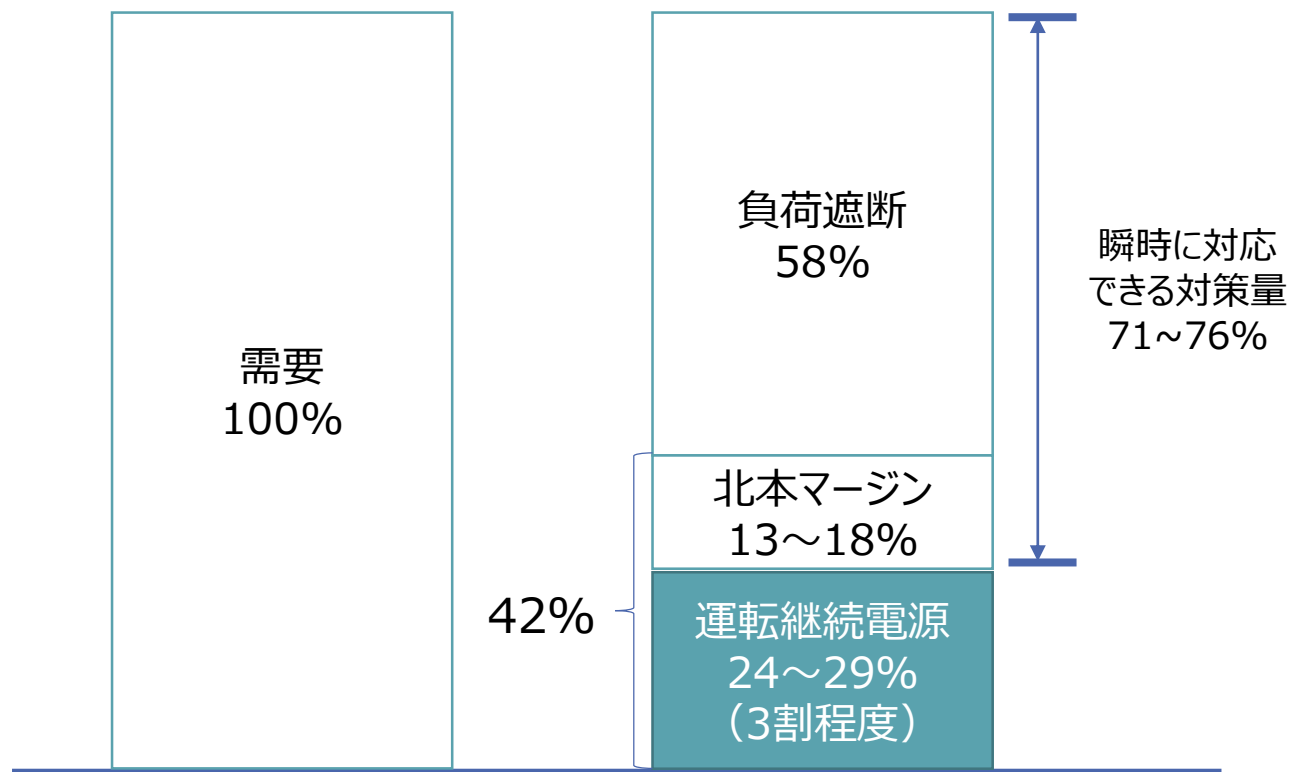
| シミュレーション結果 | |
|-----------------------------|--------|
| ブラックアウト回避可否 | ○ |
| 地震直後周波数最下点 (Hz) | 46.37 |
| UFR動作量(MW) | 1413.0 |
| UFR残量(MW) | 397.0 |
| 北本潮流最終値(MW) | 149.2 |
| 49Hz以下滞在時間(s) ^{※1} | 4.2 |

需要比
46%

当面の再発防止策の確認について（稀頻度リスクに対する運用面での備え）
～苫東厚真発電所 1、2、4号機 3台同時脱落（N-3）への運用面での備え～

3-3.当面の再発防止策の確認について（稀頻度リスク(N-3)に対する運用面での備え） 16

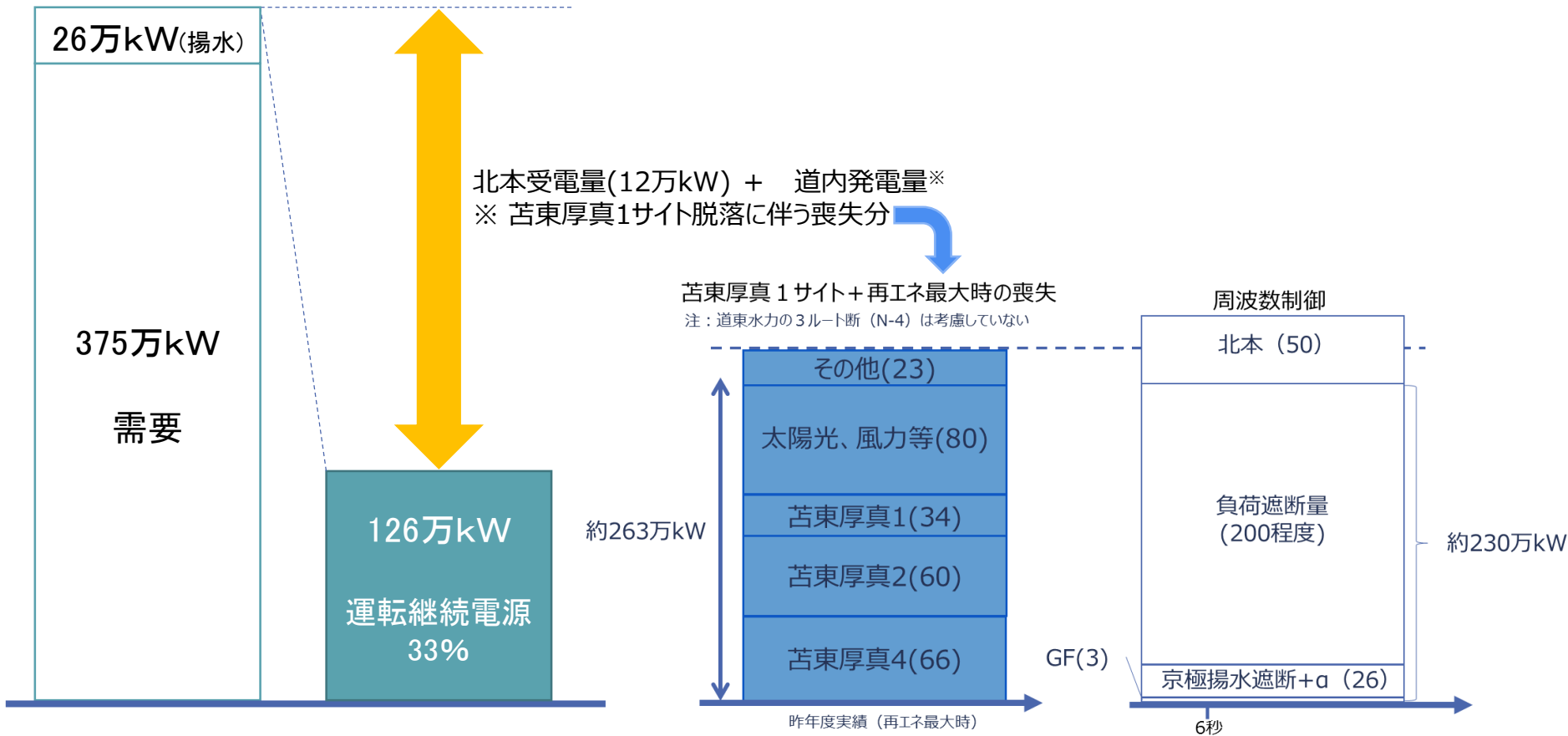
- UFR設定等による周波数制御で需給バランスのみに着目した場合、需要に対して、負荷遮断や北本連系設備のマーヅンなど瞬時に対応できる対策量の比で運用上考慮すべき電源量について考え方が整理できる。
- UFR設定量の基本的な考え方（35万kW追加後）としては、需要の約58%となっていることから、今冬、苫東厚真発電所1、2、4号機3台の比率が高くなる約280～400万kW程度の需要に対し、北本のマーヅン約50万kWは需要の13～18%程度であることから、瞬間的に周波数を制御できる対策量は需要の71～76%ということになる。
- したがって、少なくとも、実需要に応じて24～29%は苫東厚真発電所1、2、4号機以外の火力など、周波数46～47Hz程度に周波数が低下しても運転継続可能な電源（以下「運転継続電源」という。）を稼働させておく必要がある。



運転継続電源比率 (%) = 42% - 北本マーヅンの需要比率 (13～18%)

3-3.当面の再発防止策の確認について（稀頻度リスク(N-3)に対する運用面での備え) 17

- ここでは、苫東厚真発電所 1 サイト同時脱落を想定した場合に最も厳しい条件である再エネ高出力時をシミュレーションにおいても、運転継続電源の比率で考え方が適当であるかの確認をする。
- シミュレーションにあたっては、今冬に至るまでの間の需給バランスにおいて、苫東厚真発電所 1 サイトフル出力、再エネ高出力となる電源脱落比率（需要375万kW）の高い断面を想定して北海道電力に報告を求めシミュレーションを行った。
- ただし、運転継続電源の比率を変動させ、ブラックアウトに至らないバランスを確認している。



シミュレーションにおける発電機脱落量と負荷遮断量等の関係

3-3. 当面の再発防止策の確認について（稀頻度リスク(N-3)に対する運用面での備え） 18

- シミュレーションの結果、この需給バランスでフル出力の苫東厚真3台が同時にトリップし、周波数低下により風力・太陽光が脱落しても、UFRによる負荷遮断だけでなく、揚水が自動遮断されるためブラックアウトを回避できることを確認した。
- この場合、シミュレーション上、UFRは需要規模比で52%までしか動作していないが周波数の最下点は46.08Hzになっていることが分かる。これは負荷遮断の応動時間を踏まえれば、急激な周波数低下に対して負荷遮断による対策は52%程度しか活用できていないからである。この点についてはUFRの48.0Hzの時限において、今回動作していない時限分(6%)の見直しを行わないのであれば、運転継続電源比率24~29%を30~35%程度(+6%)とすべきと考える。

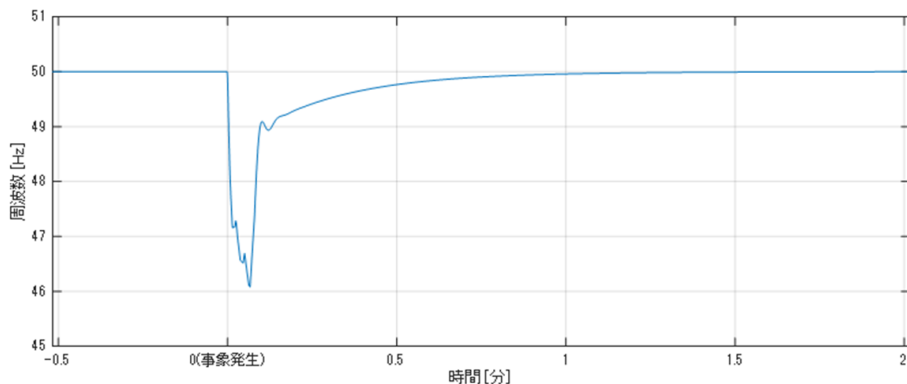
再エネ
最大時
想定

シミュレーションケース：苫東厚真3台同時トリップ^o(N-3)
風力等の周波数リレーによるトリップ
苫東厚真
ルート断

UFR拡大

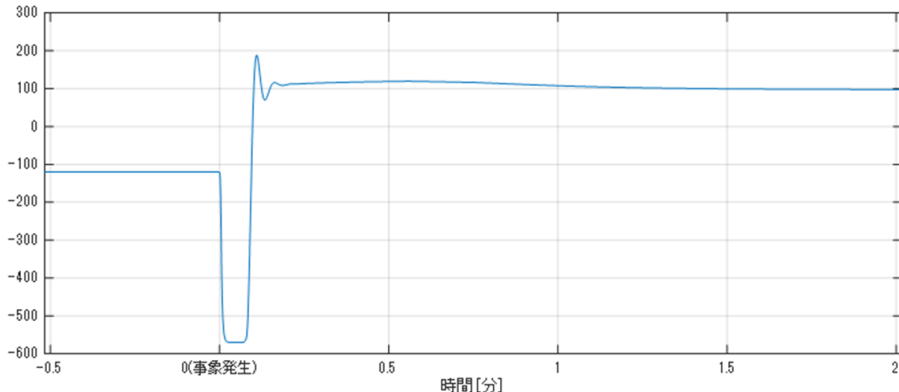
京極 揚水遮断

電力系統の周波数の変動（シミュレーション結果）



北本連系設備の潮流（シミュレーション結果）

北本連系設備の潮流[MW]



| 脱落量(MW) | | |
|---------|----|------|
| 苫東厚真 | 1G | 340 |
| | 2G | 600 |
| | 4G | 660 |
| | 計 | 1600 |

| シミュレーション結果 | |
|----------------|--------|
| ブラックアウト回避可否 | ○ |
| 地震直後周波数最下点(Hz) | 46.08 |
| UFR動作量(MW) | 1957.0 |
| UFR残量(MW) | 241.7 |
| 北本潮流最終値(MW) | 97.8 |
| 49Hz以下滞在時間(s) | 7.6 |
| 水力脱落量(MW) | 0 |
| 風力・PV脱落量(MW) | 802 |
| その他脱落量(MW) | 226 |

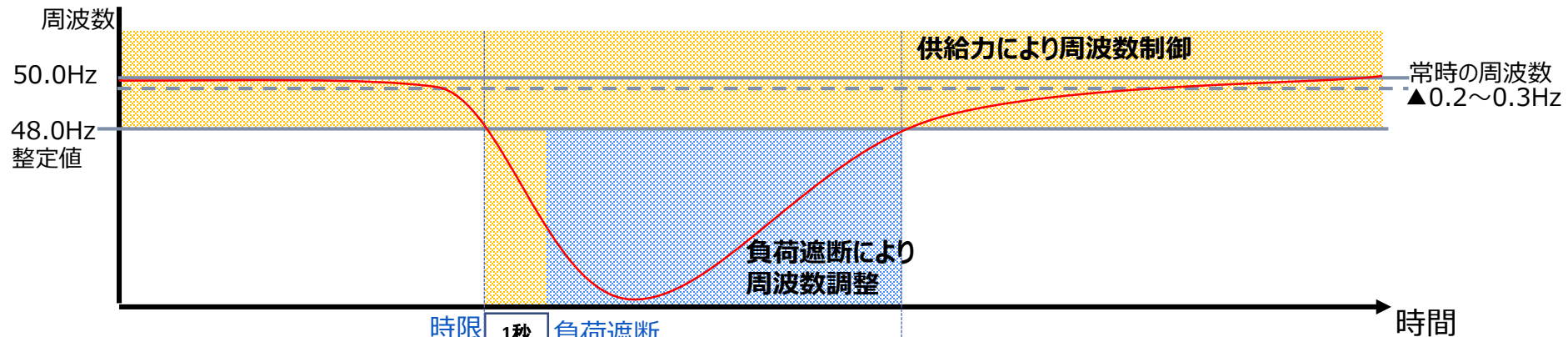
需要比
52%

■ 北海道エリアにおいてブラックアウトを防止するための当面（今冬）の再発防止策は以下のとおりとしてどうか。なお、これらの実施状況は広域機関が確認を行うこととしてはどうか。

1. 緊急時措置であるUFRを35万kW程度（需要規模309万kW時）追加する。
2. 京極発電所1、2号機が運転できる状態であることを前提に苫東厚真発電所1、2、4号機3台を運転することを可能とする。
3. ただし、京極発電所1、2号機のいずれか1台がトラブル等で停止した場合、一定の裕度を持たせる観点からは苫東厚真発電所1号機の出力を20万kW程度（京極発電所発電機1台分）抑制する。なお、高需要期については、安定供給の観点から出力抑制ではなく、10分程度で20万kWの出力増加できるように火力機等を運用することで追加対策とできる。
4. 需要の30～35%程度を火力など周波数低下が起きた場合においても、運転継続可能な電源により電力供給を行うこととする。
5. 北本連系設備の運転に必要な短絡容量の算定に苫東厚真の発電量は考慮しないこと。
6. バランス停止を行う場合には予備力を十分考慮し、当面、需要の動向に応じて、数分から数時間で供給できる予備力を火力発電所で確保できる状態にする。
7. 当面、トラブル等により京極発電所1、2号機のいずれか1台が停止し、追加対策を講じる場合には適切に対策が行われているか、広域機関において監視する。

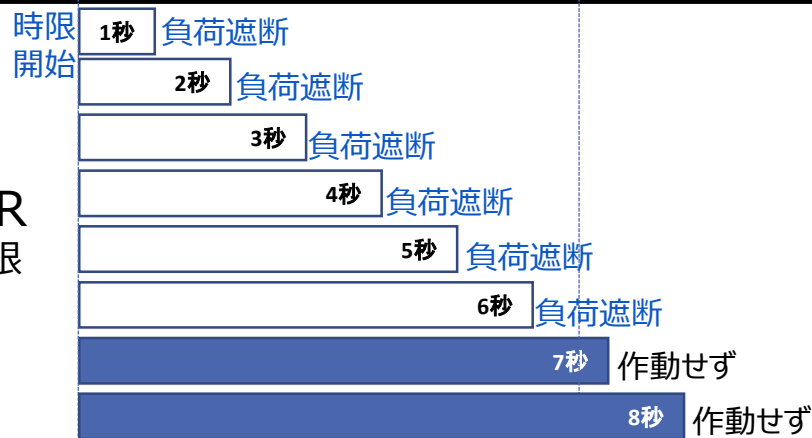
- 周波数低下リレー (UFR) は大規模な電源のトリップなどにより急激かつ大幅に周波数が低下する稀頻度リスクに対応して、供給力 (発電側) で周波数を制御できる範囲にまで負荷遮断することで周波数を回復させる緊急的な措置。
- 周波数の動揺による連鎖的な電源のトリップや停電を防ぐため、何段階かの時限を設定し、それぞれの時限で周波数の整定値まで回復しなければ順次負荷遮断、周波数の整定値まで回復した時点で負荷遮断は止まる仕組み。
- 今回の事象のように複数回、動作することは想定しておらず、2回目以降は残った時限の遅いUFRが動作するため負荷遮断の速度は遅い。

周波数低下リレー (UFR) の仕組み <イメージ>



※あくまで分かりやすくするためのイメージであり、実際の時限設定は0.1秒程度の短時間の設定もしている。

UFR
時限



2回目以降に動作