

平成30年北海道胆振東部地震に伴う 大規模停電に関する検証委員会 中間報告について

2018年10月25日

電力広域的運営推進機関
事務局長・理事 佐藤悦緒

地震発生からブラックアウトに至る経緯について

1. 今回の事象は、主として、苫東厚真発電所 1、2、4号機の停止及び地震による狩勝幹線他 2線路（送電線 4回線）の事故による水力発電の停止の複合要因（「N-3」+「N-4」）により発生した。
2. 北本連系設備のマージンを活用し緊急融通が行われ周波数を回復させたが、最大受電量に達したため、苫東厚真発電所 1号機のトリップ時は周波数調整機能が発揮できず、ブラックアウトに至った。

ブラックアウトから一定の供給力（約300万kW）確保に至る経緯について

1. 1回目のブラックスタートは手順どおりに適切に復旧が進められたが、泊発電所の主要変圧器に送電したところ、異常電流で南早来・北新得変電所で分路リアクトルが停止。
2. 2回目は大きな問題はなく復旧しブラックアウトから概ね全域に供給できるまで45時間程度を要した。
3. 分路リアクトルの停止を予見することは非常に困難であり、仮に1回目のブラックスタートにおいて不具合事象がなく理想的に行えたとしても数時間の短縮が限度であった。

設備形成及び運用上の不適切な点は確認できなかったがブラックアウトの社会的影響を踏まえ当面（今冬）の対策をとりまとめ

当面（今冬）の再発防止策

1. 周波数低下リレー（UFR）による負荷遮断量35万kW（需要309万kW時）の追加
2. 京極発電所 1、2号機の運転を前提とした苫東厚真発電所 1、2、4号機 3台の稼働
3. 京極発電所 1、2号機いずれか 1台停止時は苫東厚真発電所 1号機の20万kW出力抑制又は10分程度で20万kW供給できる火力機等の確保
4. 周波数が46.0～47.0Hzに低下した場合にも運転が継続可能な電源の需要比30～35%以上確保
5. 京極発電所 1、2号機いずれか 1台が停止した場合の追加対策実施と広域機関による監視

2018年度末の石狩湾新港発電所 1号機や新北本連系設備の運転開始も踏まえ、検証委員会のみならず様々な主体が、今後の検討事項として、北海道エリアにおける運用上・設備形成上の中長期対策等を整理

I. 検証委員会の目的及び概要

- 2018年9月11日、世耕弘成経済産業大臣より、北海道電力と電力広域的運営推進機関（以下「広域機関」という。）に対し、今回の大規模停電の原因等についての検証作業に着手するよう指示がなされ、10月中を目途に中間報告が求められた。
- 当該指示を受けた広域機関により、中立・公平な立場で、客観的なデータに基づき、第三者を交えた透明性の高い厳正な検証を行っていくため、「平成30年北海道胆振東部地震に伴う大規模停電に関する検証委員会」が設置された。諮問事項は、以下のとおり。
 - ① 北海道全域に及ぶ大規模停電の発生原因の分析（9月6日午前3時7分の地震発生後、午前3時25分の大規模停電発生まで）
 - ② 大規模停電後、一定の供給力（約300万kW）確保に至るプロセス（9月6日及び7日）における技術的な検証（ブラックスタート電源の立ち上げ等）
 - ③ 北海道エリア等において講じられるべき再発防止策等（停電規模抑制策含む）の検討

<検証委員会 概要>

委員等名簿	開催実績
<p>◎ 委員長 横山 明彦 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授</p> <p>○ 委員 井上 俊雄 一般財団法人 電力中央研究所 システム技術研究所長 岩船 由美子 東京大学生産技術研究所 特任教授 辻 隆男 横浜国立大学 大学院工学研究院 准教授</p> <p>○ オブザーバー 経済産業省電力安全課、資源エネルギー庁電力基盤整備課、電気事業連合会、北海道電力株式会社</p>	<p>第1回（2018年9月21日） ◇平成30年北海道胆振東部地震に伴う大規模停電（ブラックアウト）に至る事象の検証について 等</p> <p>第2回（2018年10月9日） ◇ブラックスタートから一定の供給力確保に至るまでの事象について ◇再発防止に向けた論点整理について 等</p> <p>第3回（2018年10月23日） ◇当面（今冬）の再発防止策について ◇中間報告案について 等</p>

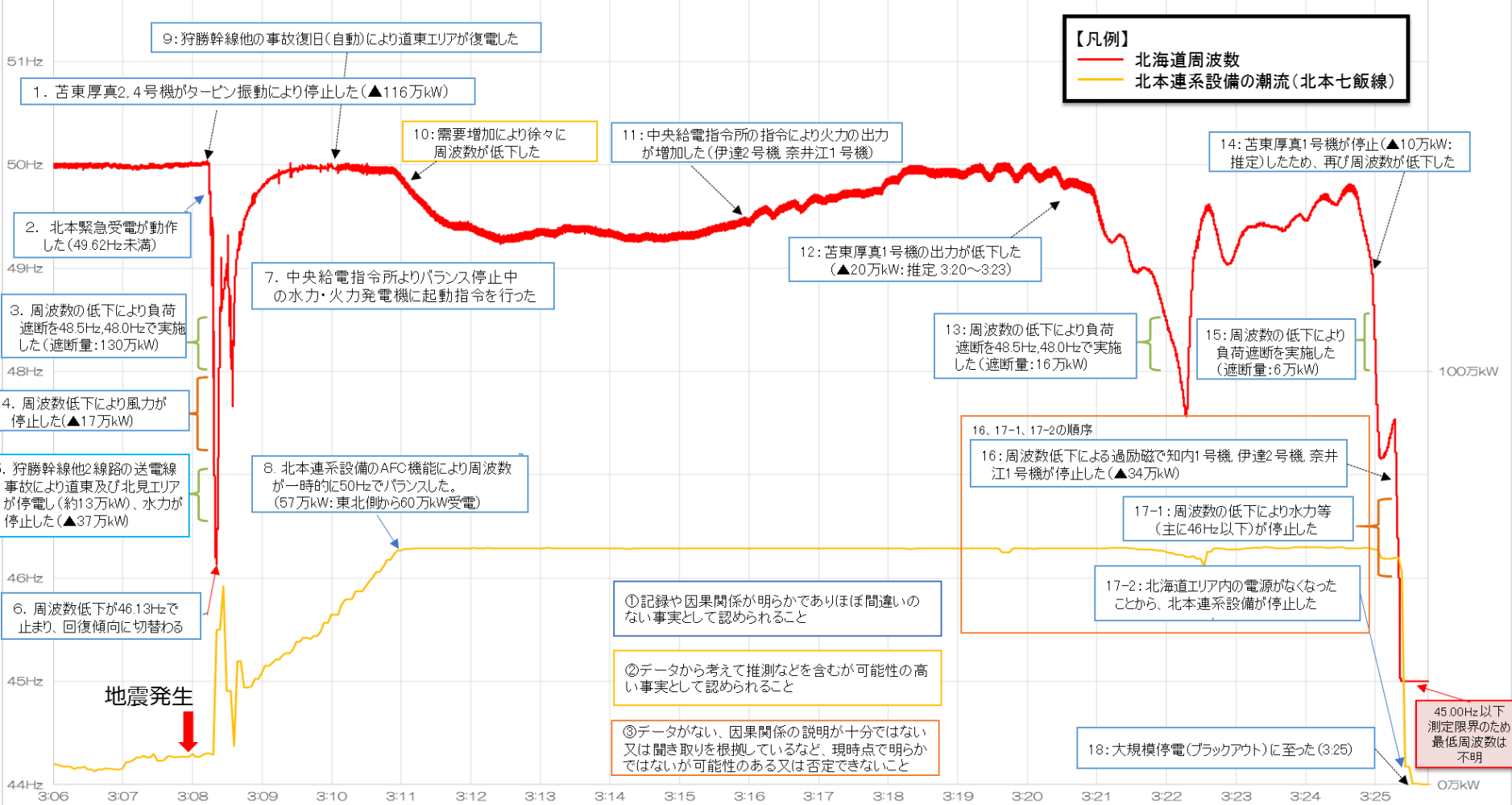
Ⅱ．地震発生からブラックアウトに至る経緯について

Ⅱ. 地震発生からブラックアウトに至る経緯について

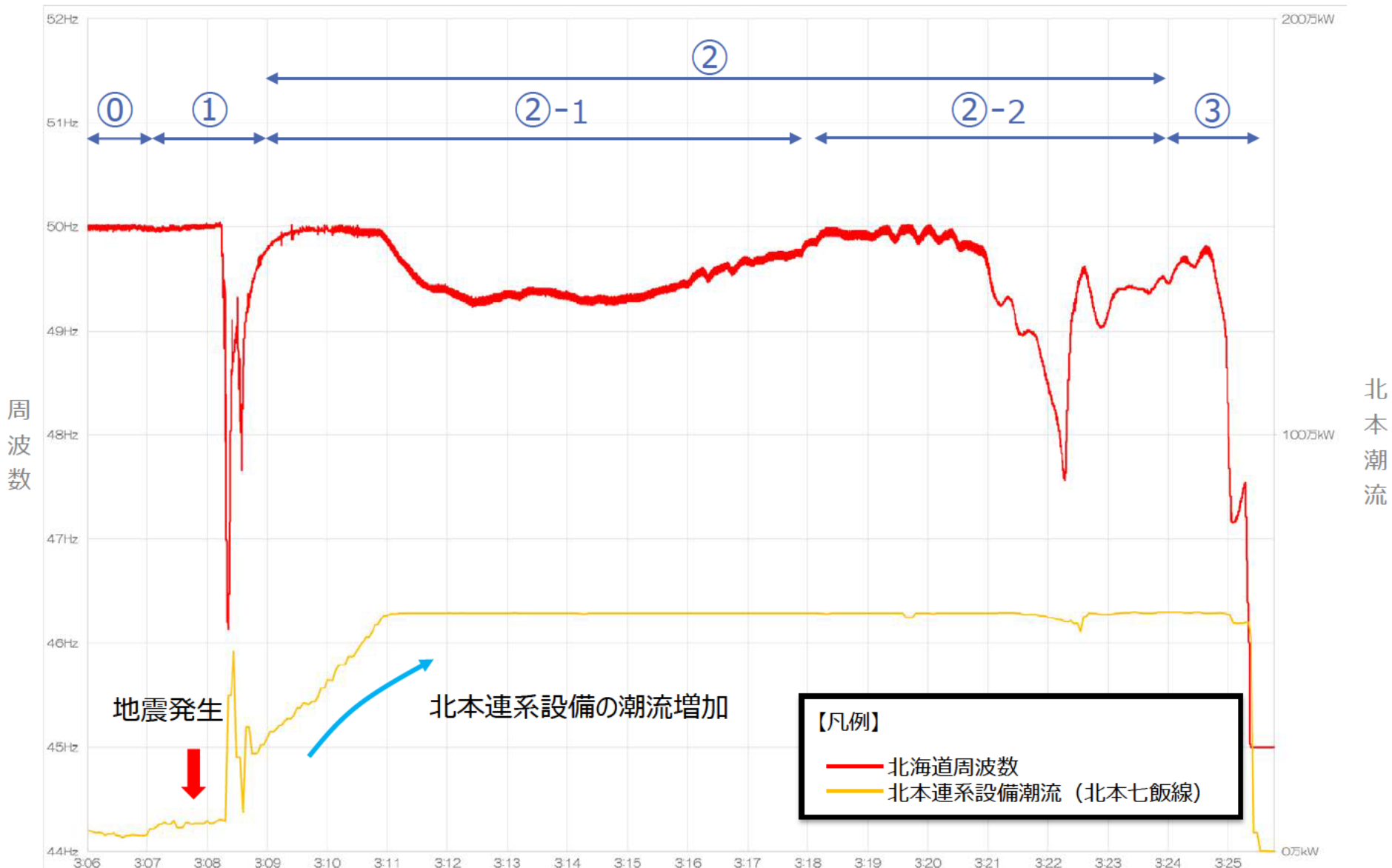
- 地震発生からブラックアウトに至るまでの間に発生した事象を明らかにし、周波数変動を説明。
- 一部に推測を含むが概ね全ての事象はほぼ間違いのない事実として確認。一連の事象は需要と供給のバランスで生じる周波数変動で説明できる。



本検証委員会により事実認定が行われた事象

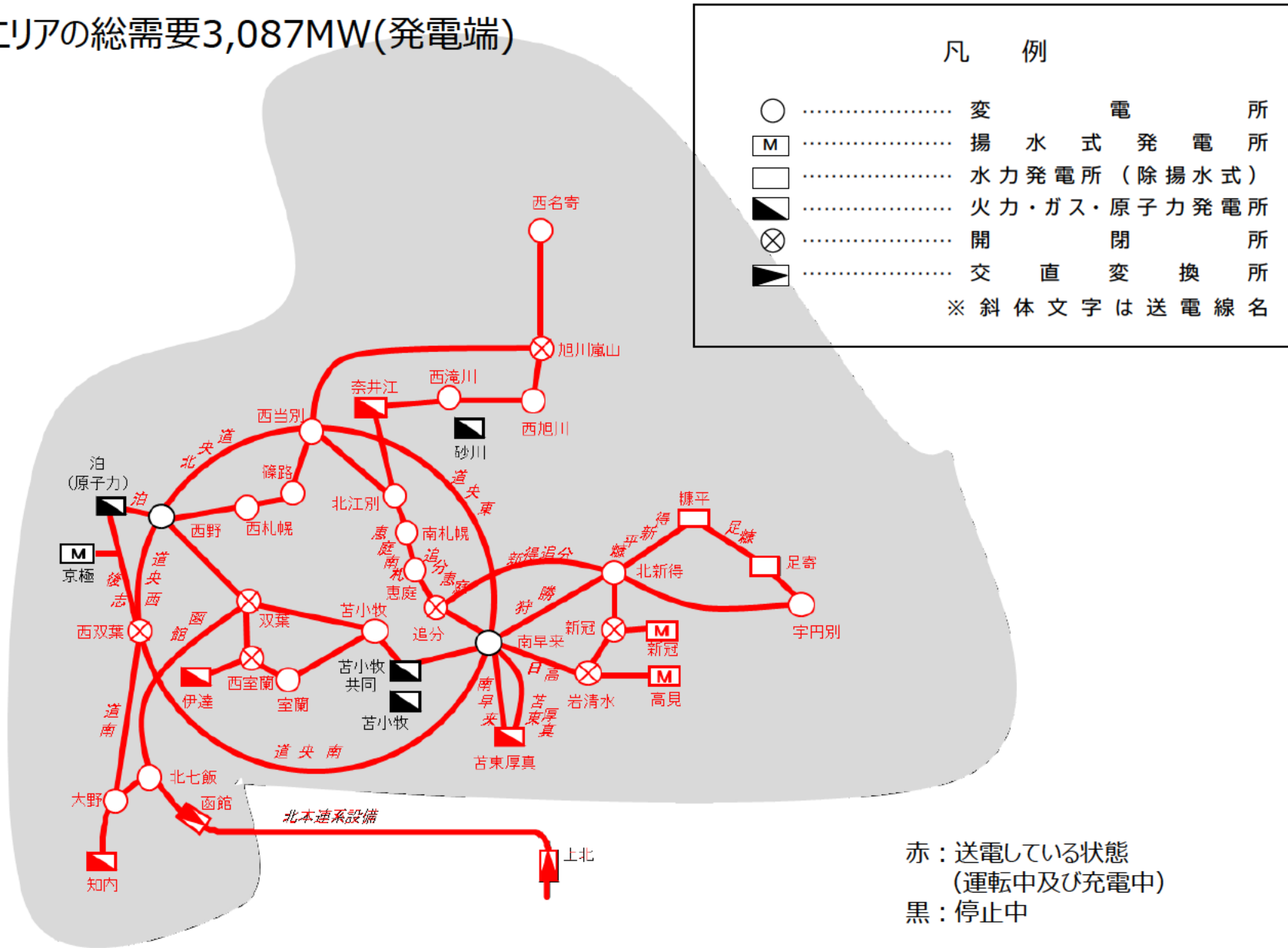


■ 周波数が大きく変動した①～③内の事象について個別に確認。



II. 地震発生からブラックアウトに至る経緯について 地震発生直前の系統状態①

北海道エリアの総需要3,087MW(発電端)



Ⅱ. 地震発生からブラックアウトに至る経緯について 地震発生直前の系統状態①

■ 発電機の運転状況は右表のとおり。

■ 火力発電所の一部は、深夜需要に合わせて停止しており、短時間での起動が出来ないことから翌日の需要カーブに合わせて

- ・ 砂川3・4号機、奈井江2号機を順次起動
- ・ 伊達1号機や音別1・2号機は停止を継続

する計画であった。

■ 火力発電所の出力は、メリットオーダー順に発電しており、苫東厚真を高出力、その他の火力は最低出力としていた。

(表の補足)

- ※1: 「作業停止」とは、定期検査などにより停止した状態
- ※2: 「バランス停止」とは、需給バランスで運用上停止した状態
- ※3: 中央給電指令所がテレメータ（遠隔測定）情報を受信している水力・風力
- ※4: 「その他」は、需要から火力・水力・主な風力・北本連系設備の合計を差し引いた不明分

供給力				定格 (MW)	出力 (MW)	火力運転 計画
火 力	砂川	3号機	石炭	125	0	11:00並列予定
		4号機		125	0	14:00並列予定
	奈井江	1号機	石炭	175	61	運転中
		2号機		175	0	5:30並列予定
	苫小牧	1号機	重原油・ 天然ガス	250	0	作業停止※1
	苫小牧 共同	3号機	重油	250	0	作業停止
	伊達	1号機	重油	350	0	バランス停止※2
		2号機		350	76	運転中
	苫東 厚真	1号機	石炭	350	338	運転中
		2号機		600	556	運転中
		4号機		700	598	運転中
	知内	1号機	重油	350	96	運転中
		2号機		350	0	作業停止
音別	1・2号 機	軽油	148	0	バランス停止	
水 力 ※ 3	新冠1・2号機、高見1号機 糠平1号機、足寄1・2号機			361	69	運転中
	京極1・2号機、高見2号機 糠平2号機			521	0	作業停止
	その他			-	711	運転中
主な風力※3				319	166	運転中
その他※4				-	344	運転中
北本連系設備 (北海道側受電最大)				600 (約570)	72	運転中
需 要				-	3087	

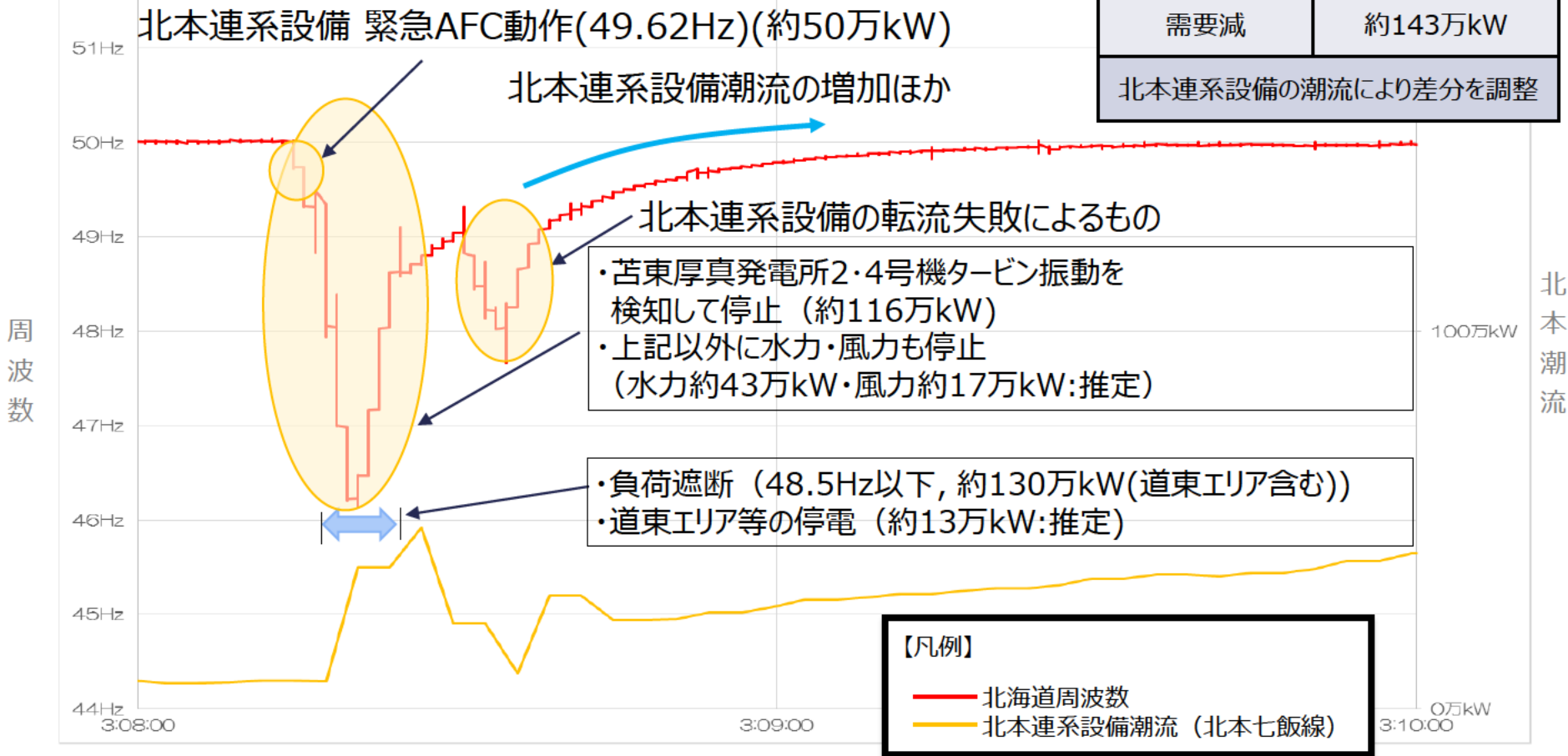
Ⅱ. 地震発生からブラックアウトに至る経緯について 地震発生直後① 概観 (地震発生～周波数回復)

2018/9/6 AM3:08～3:09

- 苫東厚真2・4号機がタービン振動を検知し停止し周波数が低下したが、北本連系設備からの緊急融通や稀頻度事故時のみ動作する負荷遮断により、周波数は回復した。
- 狩勝幹線他2線路が地絡事故で停止し、道東エリア等が停電した。

周波数変化と対応状況

供給力減	約176万kW
需要減	約143万kW
北本連系設備の潮流により差分を調整	



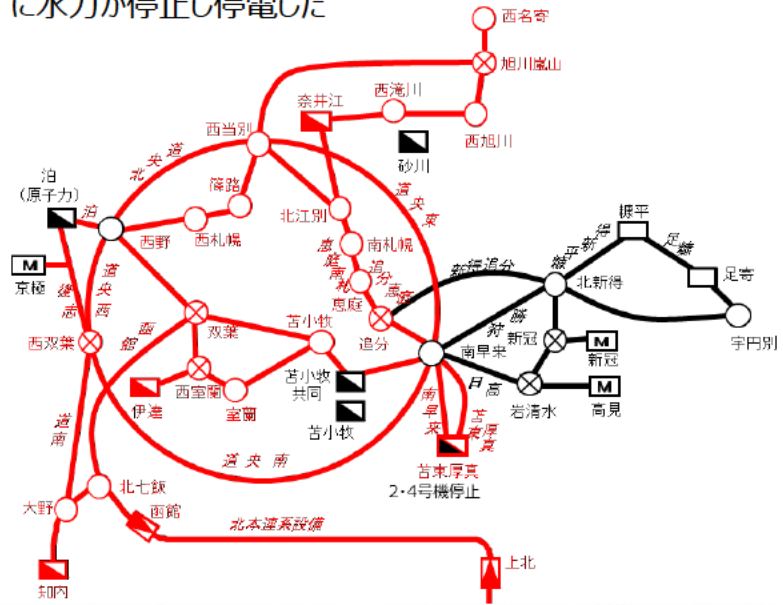
II. 地震発生からブラックアウトに至る経緯について

地震発生直後① (地震発生～周波数回復)

- ブラックアウトに至る事象については、送電線の事故箇所を確認できたことから、主として、苫東厚真発電所 1、2、4号機の停止 (N-3事故) に加え、地震の揺れによる送電線4回線事故 (N-4事故) (これに伴う道東水力の停止) が複合要因となり発生したことを確認。シミュレーションによる確認が必要ではあるが、水力の停止 (N-4) が発生しなかった場合は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。

送電線事故による道東のルート断

多くの水力発電所が接続する道東・北見エリアにつながる3線路が地震により停止、道東エリアが単独系統となった後に水力が停止し停電した

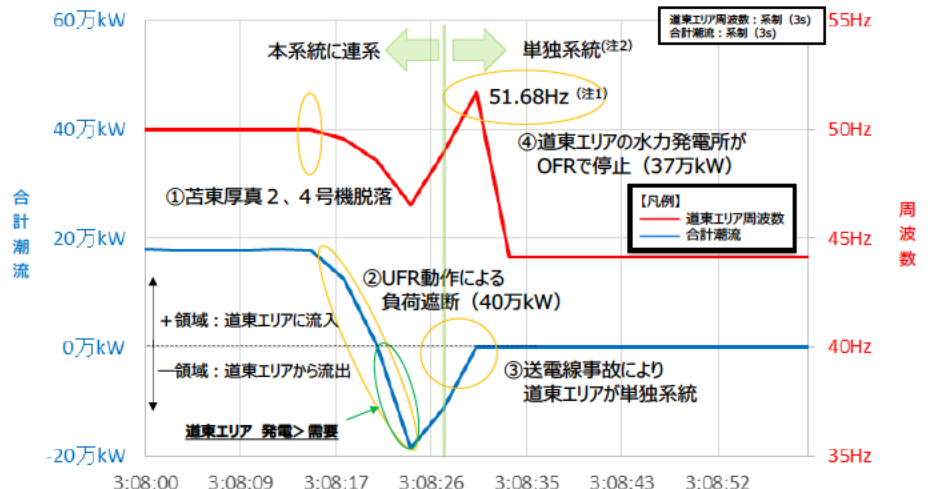


地震の揺れにより①ジャンパー線が②鉄塔に接触

送電線事故による道東水力のトリップ

1回目のUFR動作による負荷遮断により道東エリアが発電>需要となった道東エリアが単独系統となり、道東エリアの周波数が上昇しOFRにより水力が停止した

苫東脱落～道東エリア単独 (3:08～3:09)

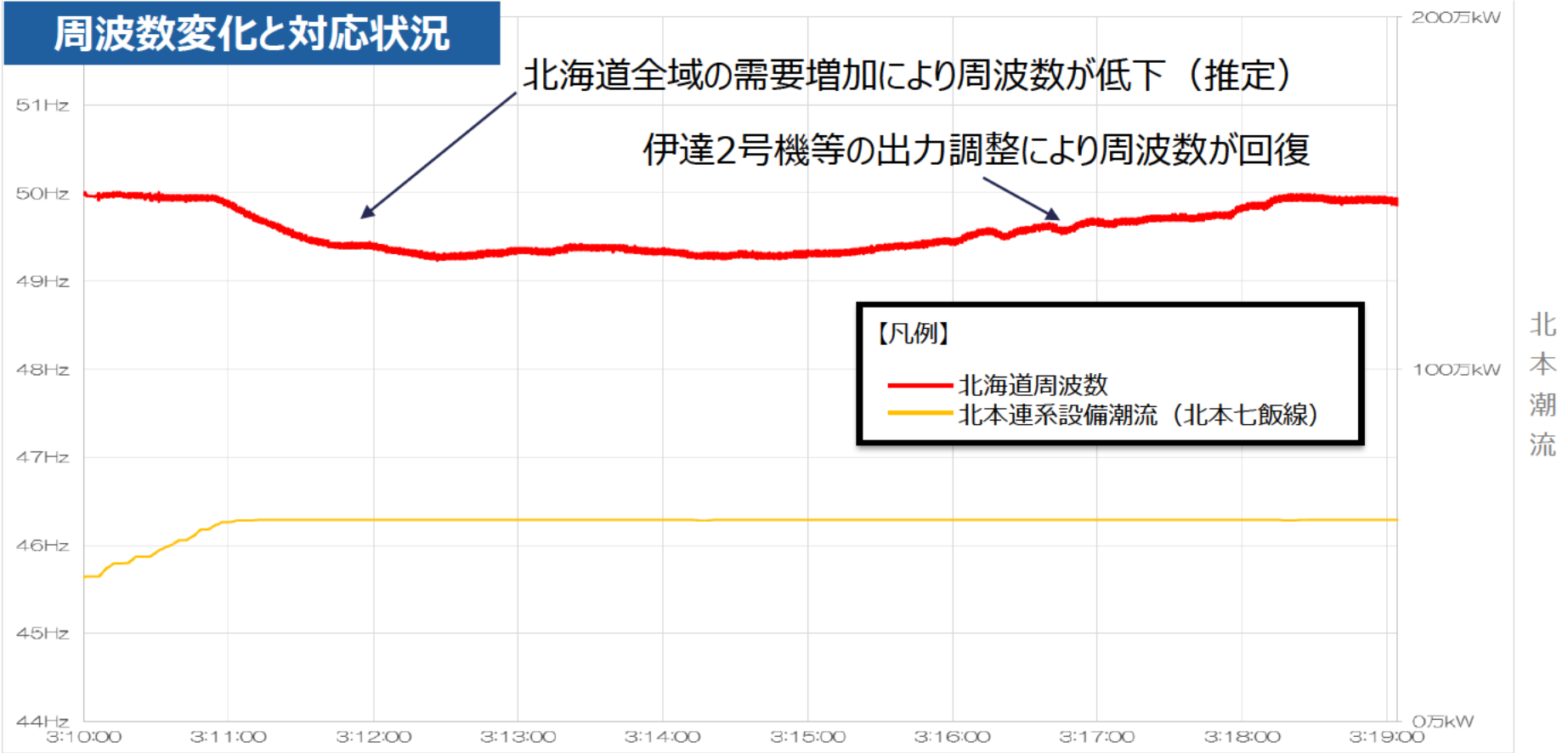


- (注1) 測定値は51.68Hzであるが、測定が3秒間隔であること、及び水力発電所のOFR (動作値: 52.0Hz 0.5秒) が動作していることから、少なくとも0.5秒以上は52.0Hz以上であったと推定。ただし、OFRの動作値が52.0Hz 2.0秒の水力発電所は停止していない。次シート参照)
- (注2) 測定が3秒間隔であること、及び伝送遅延等のため、道東エリア周波数と合計潮流の時間的な同期は取れていない。

2018/9/6 AM3:09～3:19

- 周波数の回復後、需要増加（情報収集のための照明・テレビ等によるものだけでなく、負荷遮断後の系統電圧上昇による負荷増加も一因と推定される）により周波数が徐々に低下した。
※
- 中央給電指令所から火力機等へ出力増加を指令・制御（自動的に動作）し、周波数が回復傾向となった。

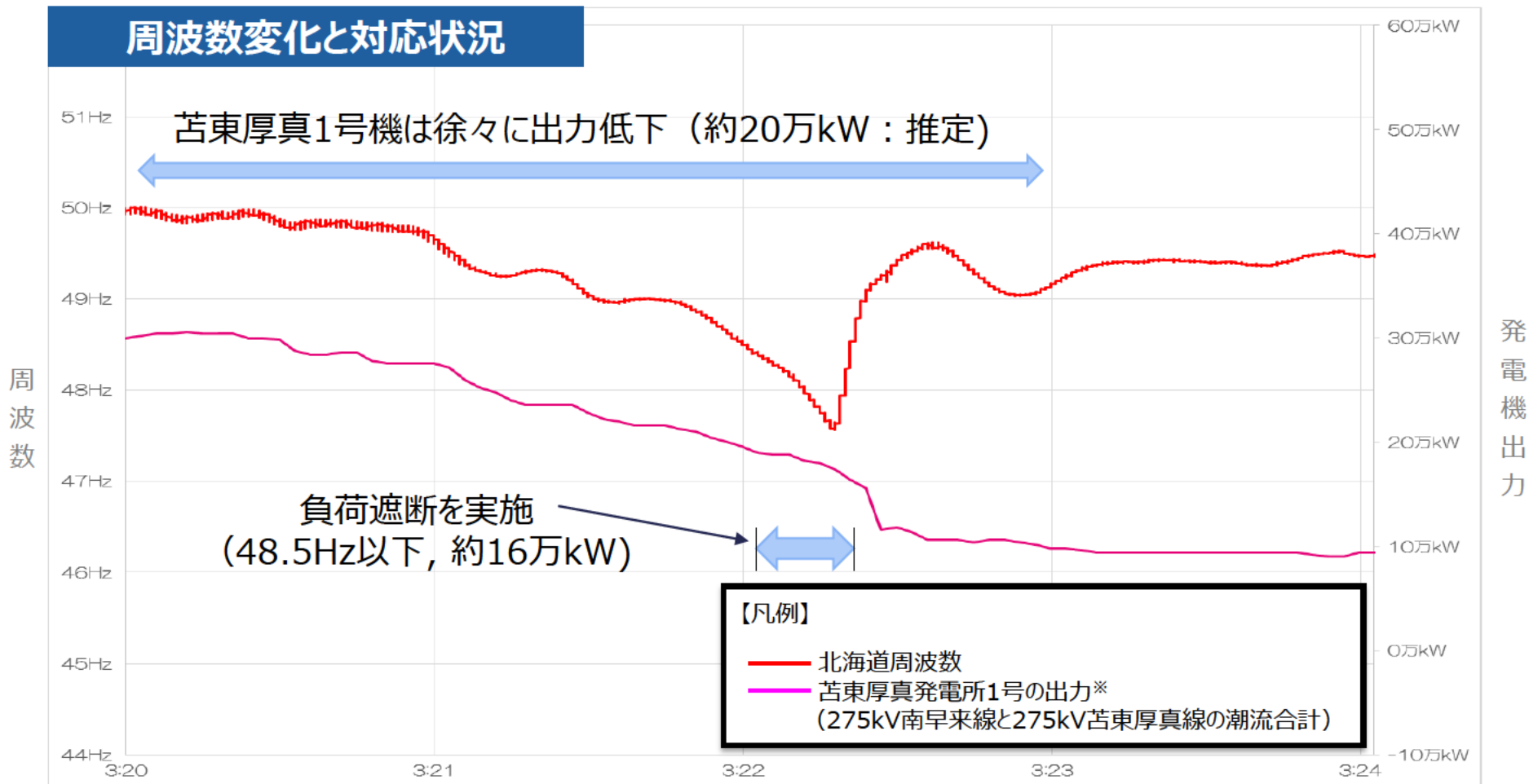
※地震の影響により系統規模が縮小しているため、需要の変動が周波数に与える影響が大きくなる。



2018/9/6 AM3:20～3:24

- 苫東厚真発電所1号機の出力が安定せず、徐々に出力低下したため、周波数が低下した。
- 追加の負荷遮断(自動的に動作)により、周波数は回復傾向となるが、安定を維持できていない。

周波数変化と対応状況



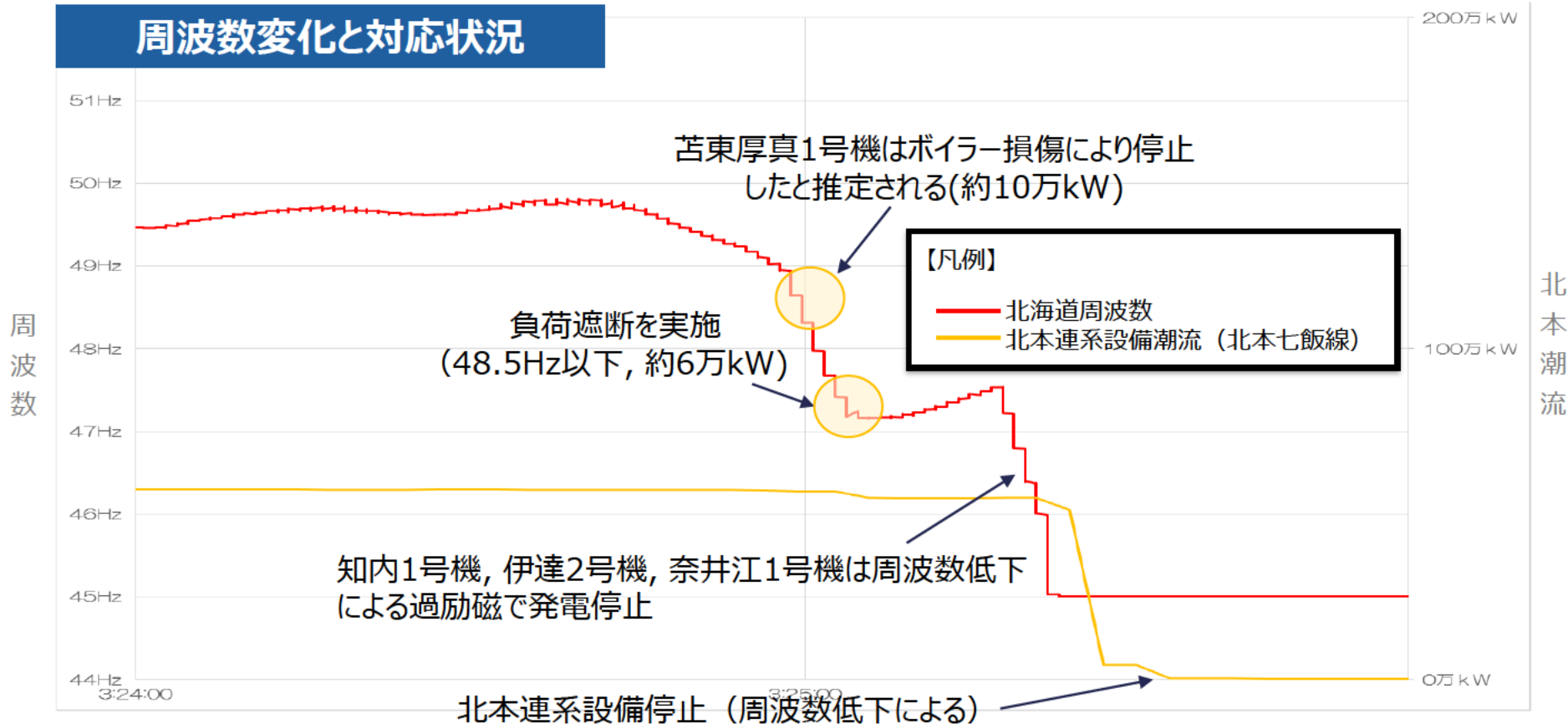
※ 3時8分より苫東1Gの発電端出力と送電線潮流(南早来線＋苫東厚真線)の値が2倍程度乖離しており、当該発電機の計測異常が疑われるため、送電線潮流値を採用

Ⅱ. 地震発生からブラックアウトに至る経緯について ブラックアウトまで③ 概観

2018/9/6 AM3:24~3:25

- 苫東厚真発電所1号機が停止したため、再び周波数が低下した。
- 再度追加の負荷遮断（自動的に動作）により全設定量を遮断したが、残量は6万kWであり周波数の回復を見込める量は残っていなかった。
- 周波数低下により、他の火力及び水力等が設備保護のため停止するとともに、北本連系設備が運転不能となった。
- 上記事象により供給力が喪失し最終的にブラックアウトに至った。

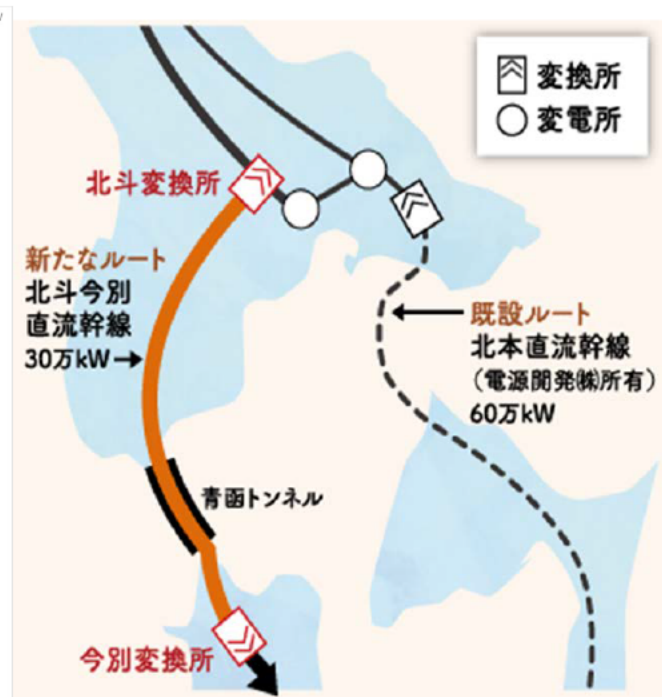
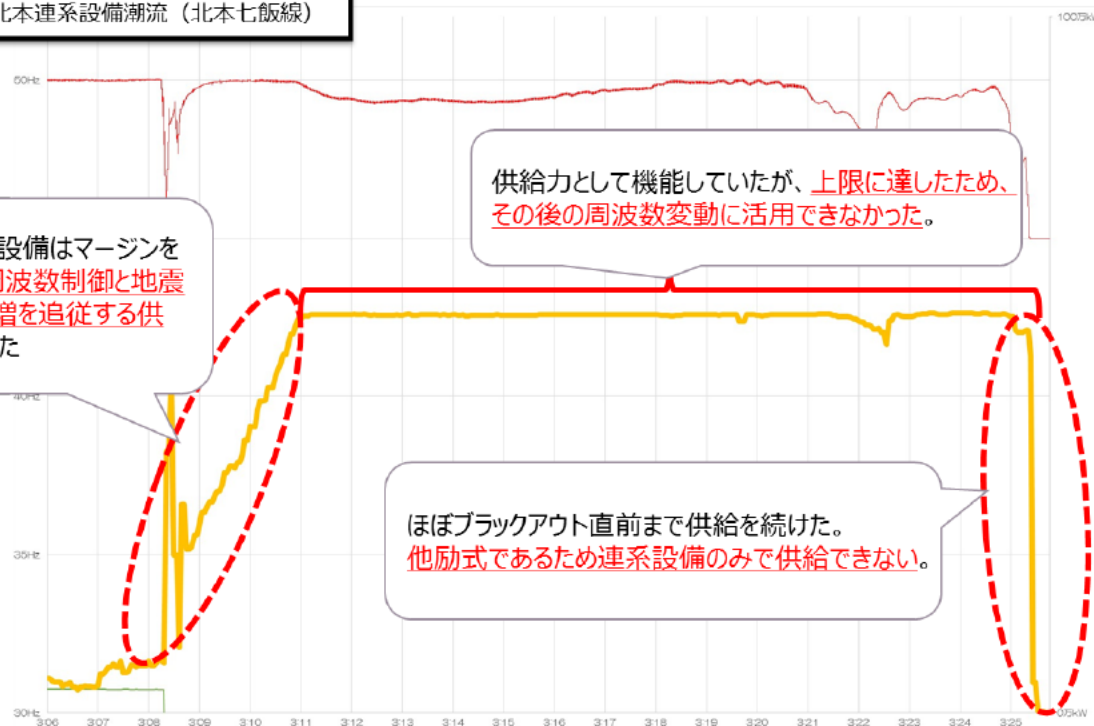
周波数変化と対応状況



- 北本連系設備については、マージンを活用して期待していた緊急融通が動作していた。
- ただし、北本連系設備は最大受電量の状態が続き、本来備えていた急速な変動を調整する機能を発揮できなかった。
- 今回の事象を踏まえれば、結果としてマージンの確保量で賄うことはできなかった。
- 現在、新たなルートとして北斗今別直流幹線を通す新北本連系設備を建設中であり、2019年3月に運転開始予定となっている。

【凡例】

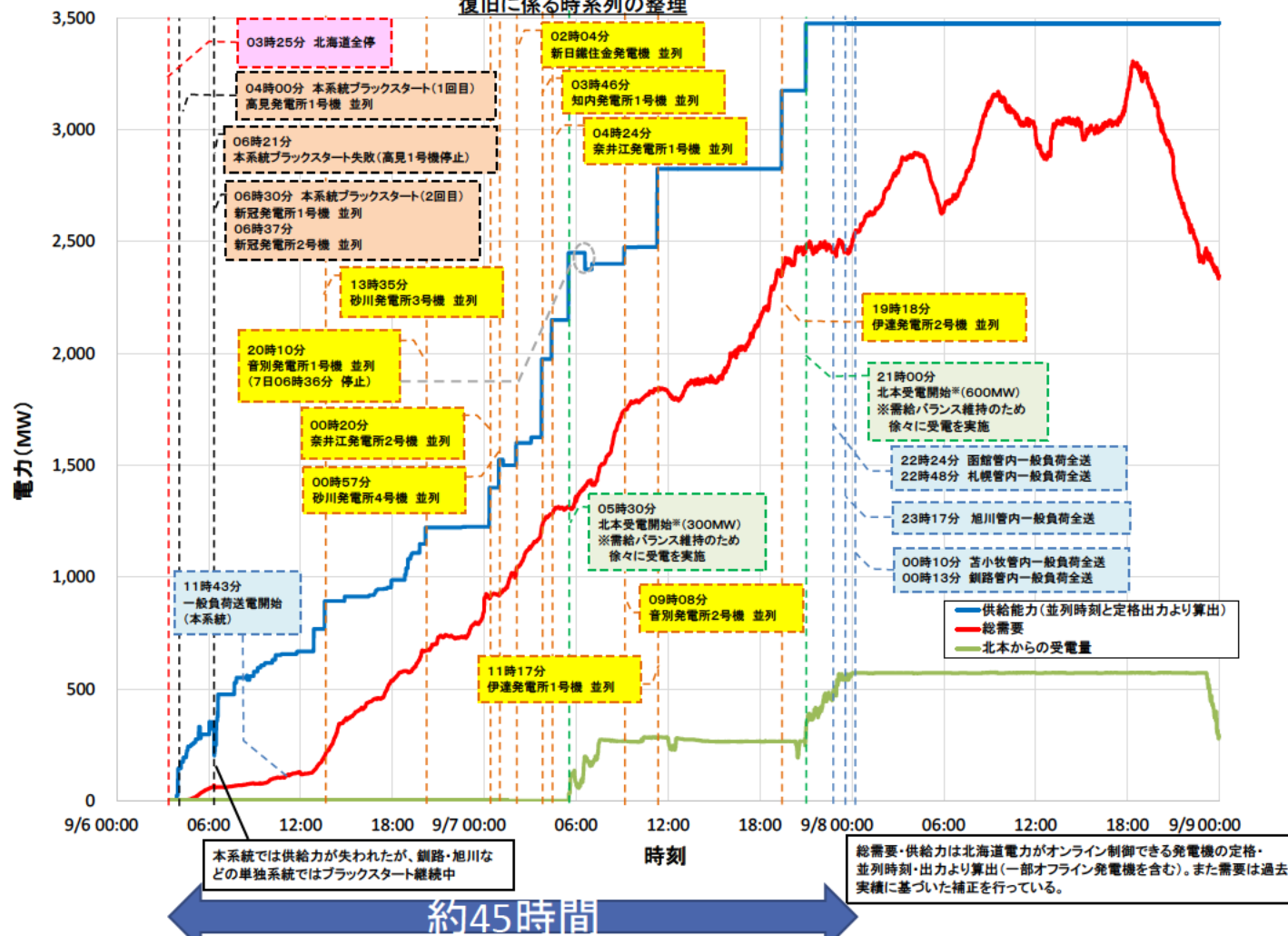
- 北海道周波数
- 北本連系設備潮流（北本七飯線）



Ⅲ. ブラックアウトから一定の供給力確保に至る経緯について

- ブラックアウト後から一般負荷送電（一定の供給力（約300万kW）確保に相当）至るまでの復旧状況について「停電の早期解消」の観点から検証を行った。
- 手順書に定められた手順どおりに適切に復旧が進められたが、ブラックアウトから概ね全域に供給できるまで45時間程度を要している。

本検証委員会により事実確認が行われたブラックアウトから一定の供給力確保に至るまでの復旧に係る時系列の整理



- ブラックスタートについてはマニュアルに従い実施しており、明らかな人為的ミスなどはなく、問題となるような点は確認できなかった。小さい系統から少しずつ発電機を起動させていくため、復旧時間の短縮には限度があることを確認。

手順の概要

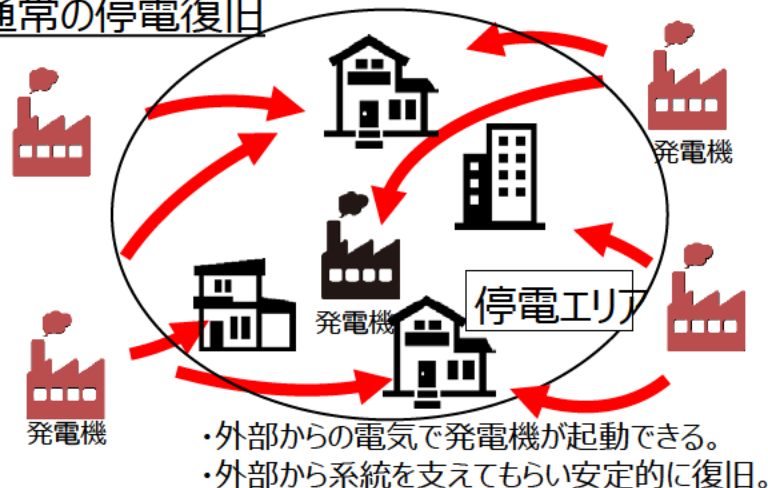
- ブラックスタート対象発電機の状態を踏まえ、発電機の起動順位をパターン化（全7パターンを準備）
系統安定化のため、揚発機2台による復旧を基本
- ブラックスタート後の系統復旧優先順位の明確化
火力・原子力発電所の保安用所内電源確保と早期の系統への再並列を目的に、
操作ステップの少ない275kV系統から実施

など

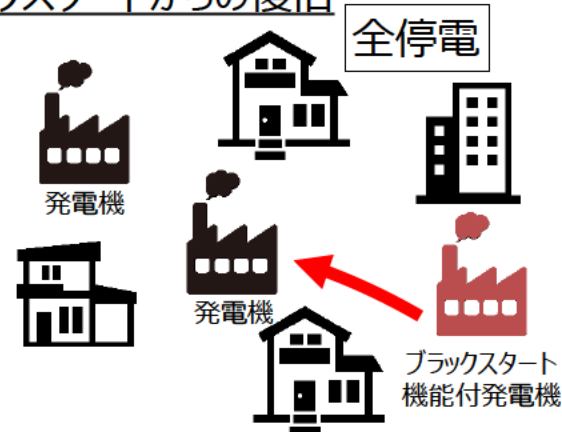
負荷供給について

- 中給は、発電機並列等の状況から供給力を算出し、供給支障の解消を系統制御所（系制）に指令
- 系制は、ブラックスタート系統の負荷供給による周波数・電圧変動を考慮しおよそ3,000kW単位で送電

通常の停電復旧



ブラックスタートからの復旧

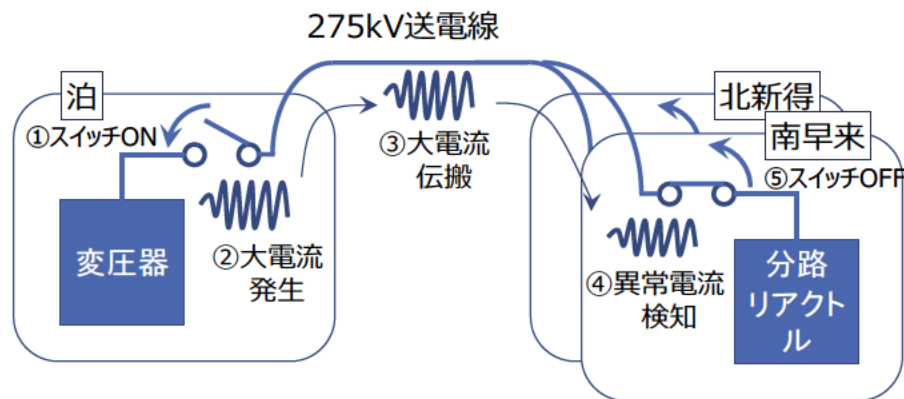
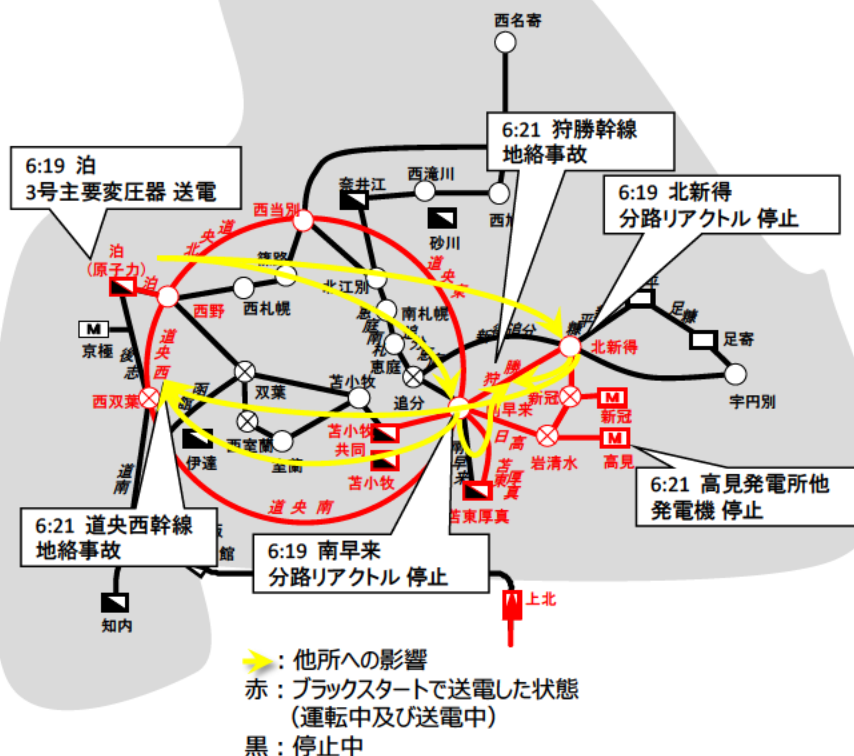


- ブラックスタート機能が付いた一部の発電機から、少しずつ周囲の発電機を起動させる。
- 系統が極めて小さく、少しの動揺で系統が大きく変動し不安定。

- 1回目のブラックスタートでは、手順書どおり、火力、原子力発電所の保安用所内電源や発電機を起動するための所内機器への電源確保に向けて復旧を進め、泊発電所の3号主要変圧器に送電したところ、大電流が流れ、その影響と想定できる異常電流で、南早来・北新得変電所で分路リアクトルが停止した。
- 分路リアクトル停止後の電圧上昇に伴って、道央西幹線、狩勝幹線で地絡事故が発生した。同時刻、高見発電所他で事故電流を検知して発電機が停止した。
- 2回目のブラックスタートでは、大電流が発生した主変圧器を使わず予備変圧器のみで所内電源を供給し、その後も適切に系統を拡大し、供給力を確保した。

06:19~06:21

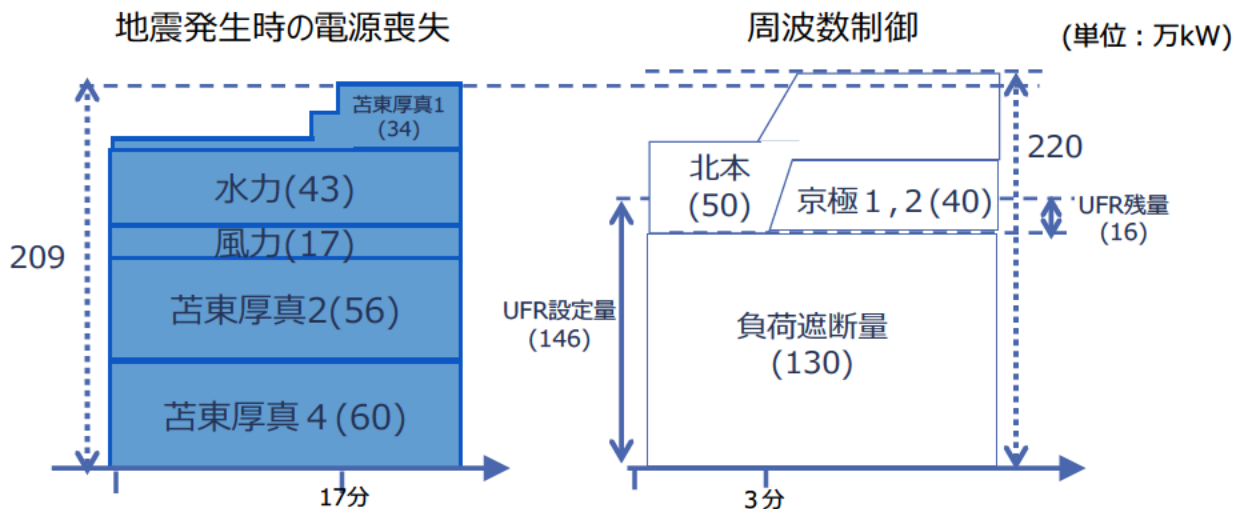
※苫東厚真、苫小牧、共同火力の電源を確保済み



IV. 再発防止策について

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）

- 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**ことをシミュレーションにて確認。
- 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。

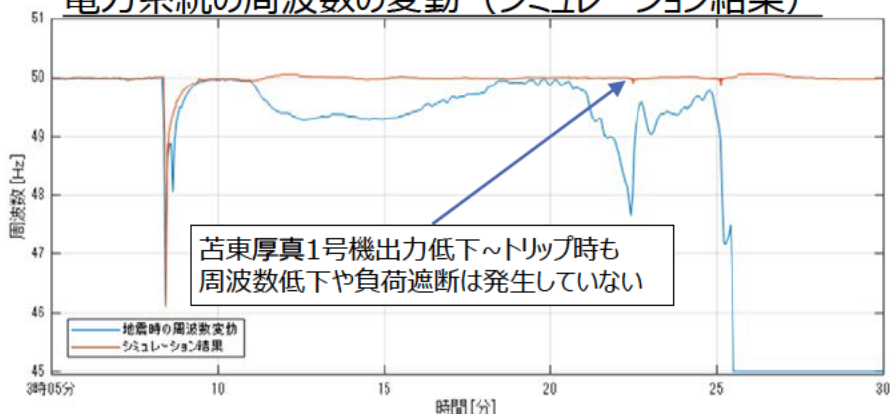


地震発生時想定

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

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）



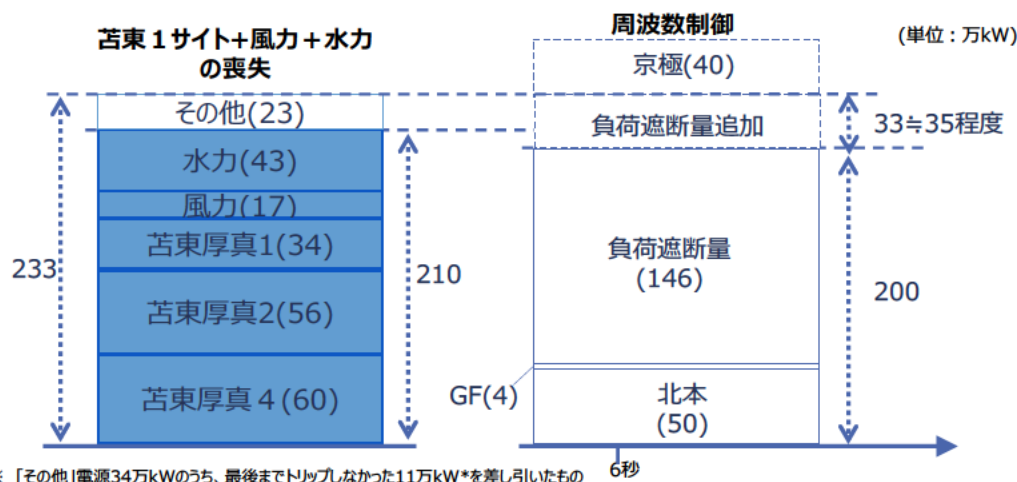
シミュレーション結果

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

IV. 再発防止策について

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)

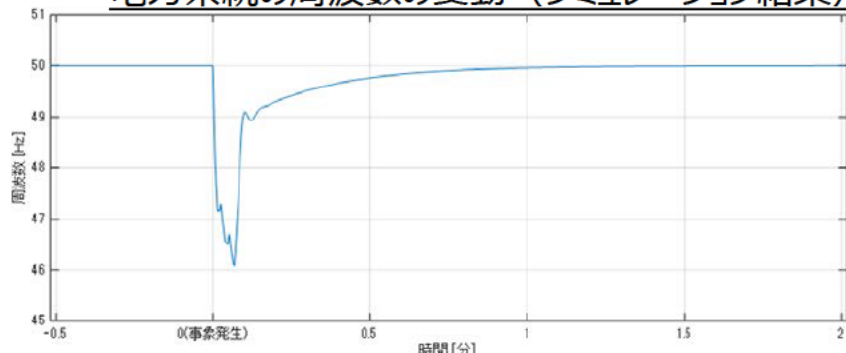
- 当面ブラックアウトを極力回避するための対策として苫東厚真1サイト、風力、水力同時トリップ、加えて現時点でトリップの原因や時間が確認できない約23万kWの電源※も同時トリップという、**今回の事象よりもさらに厳しい条件を設定し周波数制御に必要な負荷遮断量を検討した。**
- この場合、233万kWの同時トリップに対し北本連系設備や負荷遮断等は200万kWとなり、不足は35万kW程度となる。シミュレーションにより拡大量が十分であることを確認
- 揚水発電所である京極だけで常時35万kW確保することは運用上は難しいことから、これをUFR追加量とした場合**北本連系設備を安定的に活用できる範囲でUFRの追加量を検討する必要**がある。

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 (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)



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

北海道エリアにおける当面（今冬）の運用上の早期対策

北海道における当面（今冬）の対策は、以下の通りとする。以下の対策の実施状況については、引き続き広域機関において確認を行うこととする。

1. 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。
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の出力増加が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ことができる。
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発電所 1、2、4号機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。

北海道エリアにおける発電設備や送電設備の総点検

ブラックアウトの再発防止のため、今冬に向けた早期対策として、国においては、ネットワークのレジリエンス強化の観点から、北海道電力管内の発電設備や送電設備の関連する規制への適合性等の総点検を行う必要があると考えられる。

ブラックスタートの評価と今後講じるべき対策

評価

- ✓ ブラックアウトを想定した手順書の準備、訓練等は、従来より確実に実施されており、今回の事故復旧においても、ほぼ手順どおりに行われていたことを確認した。また、一部手順書と異なる手順にて復旧を行っている点もあるが、復旧に使用する機器の状況や1回目のブラックスタート失敗時の事故機器を回避するためであることなどを勘案すれば、その手順は概ね妥当と言える。
- ✓ これまで経験したことのないような実系統でのブラックアウトからの復旧においては、今回の復旧時間は妥当とも考えられるが、復旧時間の短縮に向け、今回の事象を踏まえた手順書の充実及び訓練の実施が望まれる。なお、新北本連系設備の運転開始（2019年3月予定）により、復旧手順も見直しとなり、復旧時間の短縮に寄与できるものと期待する。

今後の検討と対策

- ① 今回の検証で明らかになった課題を教訓とした復旧手順等の見直し
- ② ブラックスタートの訓練や研修の充実
- ③ 新北本連系設備を活用したブラックスタート機能の付与とその手順のマニュアル化
- ④ ブラックスタート機能の強化に必要な設備対策

北海道エリアにおける運用上の中長期対策**<北海道エリアにおける周波数低下リレー（UFR）整定の考え方>**

- ✓ 今後検証されるシミュレーション結果を踏まえ、UFRの整定値の見直しを抜本的に行う必要があると考えられる。

<最大規模発電所発電機の運用>

- ✓ 検証委員会で今後検証されるシミュレーション結果を踏まえ、最大規模発電所発電機である苫東厚真1、2、4号機は京極発電所等の他の発電所の発電機とも組み合わせて適切に運用する必要があると考えられる。

【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運開することを踏まえ、検証委員会が必要な対策を検討】

<発電機（風力、太陽光）のリレーの整定値等>

- ✓ 周波数低下時に一斉解列等が発生し系統全体の周波数維持に大きな影響を及ぼすことを避けるため、UFRの整定値、事故時に運転を継続するための要件への適否及び対応。風力発電機のUFRの整定値及びFRT要件について、まずもって北海道から系統連系技術要件の見直しの是非を検討する必要があると考えられる。太陽光も風力発電機と同様。

【関係機関・関係者（事業者、事業者団体、広域機関）において対応を検討】

<北海道エリアにおける周波数制御機能の再評価>

- ✓ 北海道エリアにおけるガバナフリー、自動周波数調整機能（AFC）、連系設備のマージン等の周波数制御機能の再評価を行った上で、適切な対策を検討する必要があると考えられる。

【検証委員会が必要な対策を検討】

北海道エリアにおける設備形成上の中長期対策

<北本連系設備の更なる増強等>

- ✓ 北海道エリアの今後の再生可能エネルギー導入拡大と中長期的な供給力・調整力を安定的な確保を両立させるため、ひいてはブラックアウトの再発防止のためには、新北本連系設備の整備の着実な実施に加え、既存の北本連系設備の自励式への変更、あるいは、新北本連系設備整備後の北本連系設備の更なる増強の是非を早期に検討する必要があると考えられる。

【国において新北本連系設備整備後の北本連系設備の更なる増強が必要となった場合の費用負担の在り方について早期に検討、広域機関において新北本連系設備整備後の北本連系設備の更なる増強の是非の早期に具体的検討】

<発電設備や送電設備の対策>

- ✓ 発電設備や送電設備の設備保安については、検証委員会の検証対象ではないが、ブラックアウトの再発防止のため、北海道電力においては、関連する規制への適合性等の総点検を踏まえて、中長期的な対策の検討を行っていく必要がある。

【北海道電力において中長期的な対策の検討】