

地震発生からブラックアウトに至るまでの事象 について

2018年9月21日

- 本日の検証では、平成30 年北海道胆振東部地震により発生した北海道電力管内のブラックアウトについて、地震発生からブラックアウトに至るまでの系統の状況と中給（中央給電指令所）指令等による運用、系統の中で自動で動作する装置等の動作状況、これらによって生じる状況変化の因果関係について考察することで、起きた事象を一つずつ明らかにしていく。
- このため、地震発生からブラックアウトに至るまでの事象について、主として系統全体の需給バランスを読み解くことのできる周波数を基に、起きた事象について時系列に整理するとともに、発電機ごとの出力の増減、UFRの動作など起きた事象を説明・補完するデータを確認することで、広域機関において客観的に事象を整理した。
- ただし、これら事象について全てエビデンスが存在するものではないことから、以下の①～③の整理で事実認定をしていく。
 - ①記録や因果関係が明らかでありほぼ間違いのない事実として認められること
 - ②データから考えて推測などを含むが可能性の高い事実として認められること
 - ③データがない、因果関係を十分説明ができない又は聞き取りを根拠しているなど、現時点で明らかではないが可能性のある又は可能性を否定できないこと

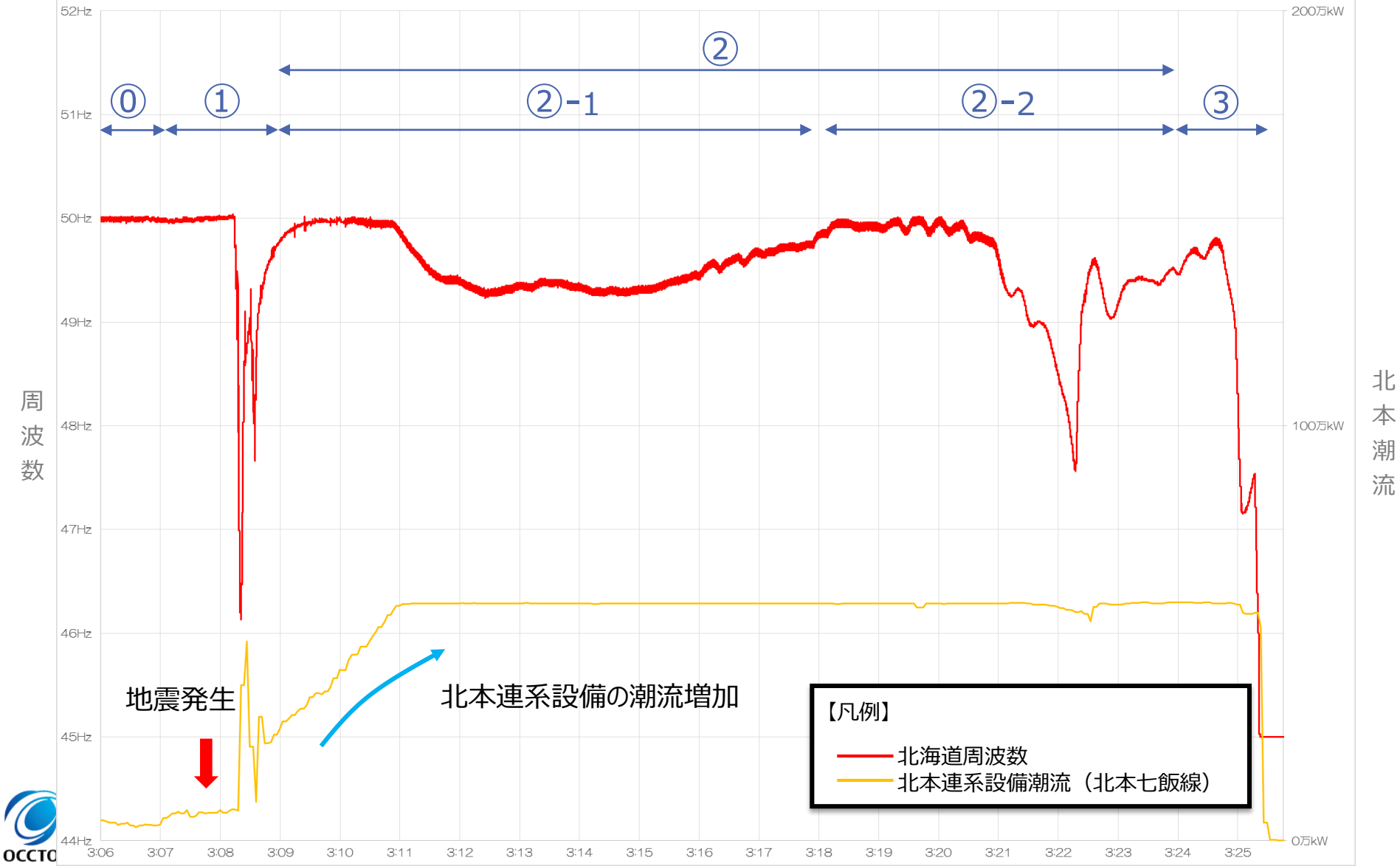
主なデータの入手元

- 地震当日の系統状況について、北海道電力から以下のようなデータ入手したうえで、事実関係について確認を行った。
- ただし、中央給電指令所および系統制御所におけるデータのタイムスタンプにはデータ伝送・処理時間が含まれることから、数秒程度の遅延がある。

項 目	データ間隔	内 容
周波数	20ミリ秒	北海道系統全体の周波数 (Hz)
電 圧※	3秒	275kV系統の発電電所の母線電圧 (k V)
発電機の出力行※	3秒	各発電機への指令値 (MW)、有効電力 (MW)
送電線等に流れる潮流※	3秒	有効電力 (MW)
状態変化ログ※	1 秒	発電電所機器の状態変化を記録したデータ

※ 検証に必要なデータのみを使用

- ブラックアウトに至るまでの周波数と北本連系設備の潮流は下図のとおり。
- 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する。



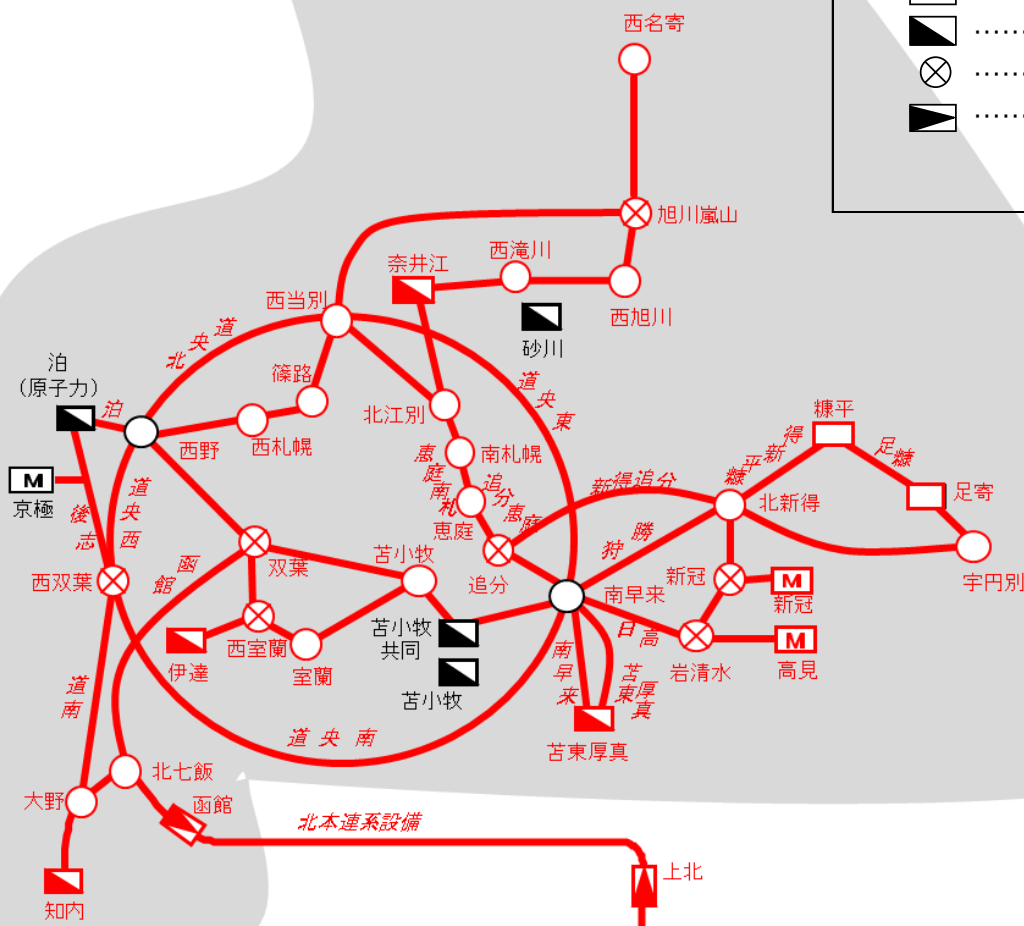
■ 地震発生直前①

北海道エリアの総需要3,087MW(発電端)

凡 例

- 変 電 所
- M 揚 水 式 発 電 所
- 水力発電所（除揚水式）
- 火力・ガス・原子力発電所
- ⊗ 開 閉 所
- ◀ 交 直 変 換 所

※ 斜 体 文 字 は 送 電 線 名



赤：送電している状態
（運転中及び充電中）
黒：停止中

- 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	

■ 地震発生直後①（地震発生～周波数回復）

- 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

北本連系設備 緊急AFC動作(49.62Hz)(約50万kW)

北本連系設備潮流の増加ほか

北本連系設備の転流失敗によるもの

- ・苫東厚真発電所2・4号機タービン振動を検知して停止（約116万kW）
- ・苫東厚真発電所1号機出力低下（約5万kW:推定）
- ・上記以外に水力・風力も停止（水力約43万kW・風力約17万kW:推定）

- ・負荷遮断（48.5Hz以下, 約130万kW(道東エリア含む)）
- ・道東エリア等の停電（約13万kW:推定）

供給力減

約181万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

北本潮流

100万kW

0万kW

【凡例】

— 北海道周波数

— 北本連系設備潮流（北本七飯線）

3:08:00

3:09:00

3:10:00

- ・ 事象1から8は短時間に複数の事象が併行して生じており、主に動作のタイミングを整定値及びテレメータ記録から推定し並べたもの。このため、実際の動作順序や動作により周波数に与えた影響についてはこの順序に拠らない。以下、本資料において個別事象の番号付けは同じ。

個 別 事 象

1. 苫東厚真2,4号機停止(発電：▲116万kW:タービン振動検知)により周波数が急低下した 加えて苫東厚真1号機の出力が低下した(発電：▲5万kW：推定)

<確認事項>

苫東厚真2,4号機の停止及び1号機出力減についてはテレメータ（遠隔測定）の記録から確認。1号機の出力については、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。

苫東厚真2,4号機の停止要件については北海道電力からの聞き取りにより確認。なお、苫東厚真1号機は、自動停止機能を具備していないことをヒアリングにて確認。

<事実認定>

記録から周波数低下は苫東厚真2,4号機停止及び苫東厚真1号機によるものとして十分に説明可能であり、ほぼ間違いない事実と認められるのではないかと推定される。

2. 北本連系設備から緊急的に電力を受電した

<確認事項>

動作周波数及び動作時間・受電電力については、テレメータ（遠隔測定）の記録を北本連系設備を管理する電源開発(株)から提供のあったデータでバックチェック。北本連系設備の自動周波数制御装置（AFC）が49.62Hzで動作したことを確認。

<事実認定>

記録から北本連系設備が動作したことはほぼ間違いない事実と認められるのではないかと推定される。

2018/9/6 AM3:08～3:09

個 別 事 象

3.周波数の低下により負荷遮断を行った(需要：▲130万kW)

<確認事項>

需要規模に対して非常に大きな供給力が失われたことにより、稀頻度事故時のみ作動する周波数低下リレー（UFR）が作動している。北海道電力から48.5Hzで0.1秒から21秒、48.0Hzで0.1秒から6秒の時限で周波数低下リレー整定値が設定されていることを確認。UFRの負荷遮断量は変電所の負荷量にて確認。なお一部負荷（6万kW）は誤って再度送電（自動）されたこと、ヒアリングにて設定のミスがあったことを確認。

<事実認定>

周波数の低下に伴い、北本AFC動作後にUFRの時限がスタートし、時限で順次負荷遮断動作しており、計130万kWの負荷遮断が行われていることはほぼ間違いない事実と認められるのではないかと。

4.狩勝幹線、新得追分線、日高幹線の送電線故障により、道東エリア及び北見エリアが停電(需要：▲約13万kW)、水力が停止した(発電：水力▲43万kW)

<確認事項>

送電線事故は狩勝幹線、新得追分線、日高幹線の送電線事故による停止を確認。地震動による揺れで地絡が生じた可能性があるが事故箇所は確認できていない。送電線の事故により道東エリア及び北見エリアは周波数が上昇。これに伴い発電機、負荷ともに停止。UFR動作後に残っていた13万kW（送電線潮流からの推定値）の需要が停電したことについてテレメータ（遠隔測定）で確認。加えて水力43万kWが停止していることをテレメータで確認。

<事実認定>

地絡事故の有無については、リレーの誤動作の可能性も含め現時点で明らかではない。ただし送電線が停止し、停電に至ったことは、記録から明らかである。発電機停止の状況が全ては確認できないが送電線事故が起因していることは可能性の高い事実として認められるのではないかと。

5.周波数の低下により風力が停止した(発電：風力▲17万kW)

<確認事項>

風力の停止についてはテレメータ（遠隔測定）の記録から確認。ただし、風力▲17万kWの確認できた北海道から受領した特高連系のみの積み上げ。高圧以下は確認できない。

<事実認定>

記録から地震直前に17万kWの出力で発電していた風力が停止したことについてはほぼ間違いない事実として認められるのではないかと。

個 別 事 象

6.周波数の低下が46.13Hzで止まり、回復方向に切り替わった

<確認事項>

水力発電所の多くは46.0Hzでリレーが動作することを確認しており、周波数がいくつまで下がったかを正確に確認する必要がある。このため、20ミリ秒（0.02秒）単位で記録した中給データにより確認を行い、46.13Hzが下限であることを確認。

<事実認定>

周波数が46.13Hzが下限であったことは、記録からほぼ間違いない事実として認められるのではないかな。

7.中央給電指令所よりバランス停止中の水力・火力発電機に起動指令を行った

<確認事項>

5時半並列の予定であった奈井江2号機の起動を早めること、停止中の水力発電機、伊達1号機、砂川3、4号機についても中給から起動の指令が出ていることが中給指令の記録で確認した。なお、限られた時間の中で立ち上げを試みたが一部を除き立ち上がる前にブラックアウトになっている。

<事実認定>

記録から中給からの指令により、バランス停止の水力・火力について起動指令を出されていることは、ほぼ間違いない事実と認められるのではないかな。なお、水力の出力が増加しなかったことについては次回検証が必要ではないかな。

8.北本連系設備や水力のAFC機能により周波数が一時的に50Hzでバランスした

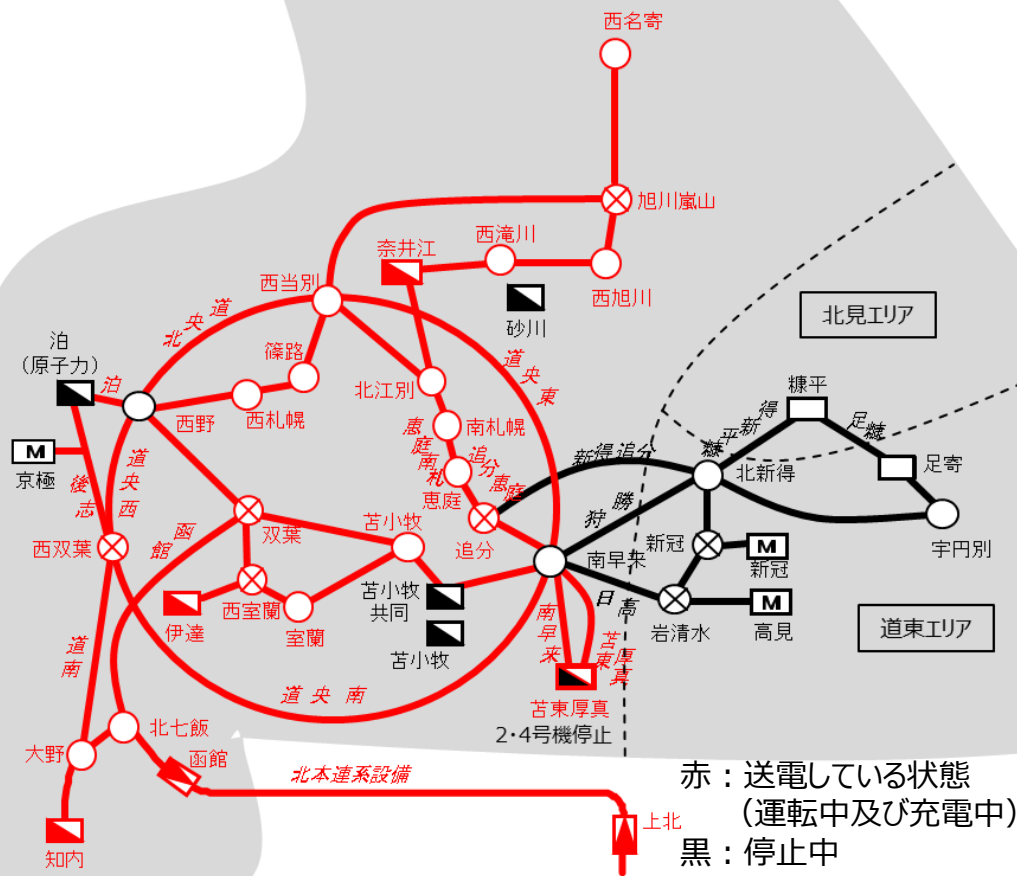
<確認事項>

北本連系設備からの受電量は道内の系統が不安定であったため、直流から交流への変換（転流）が数秒間できなかったが、すぐに正常動作に戻り、需要規模を支えるためには十分であったため7万kWから道内受電量最大の57万kW（+約50万kW）まで徐々に増加している。北本連系線の受電電力の頭打ちと周波数安定の時間の相関が確認できる。

<事実認定>

少なくとも北本連系設備が需給をバランスさせた状態であったことは、ほぼ間違いない事実と認められるのではないかな。

03:09時点



※1：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

※2：この時点における正確な需要がわからないため算出できない

供給力				定格 (MW)	出力 (MW)
火力	砂川	3号機	石炭	125	0
		4号機		125	0
	奈井江	1号機	石炭	175	58
		2号機		175	0
	苫小牧	1号機	重原油・天然ガス	250	0
	苫小牧 共同	3号機	重油	250	0
	伊達	1号機	重油	350	0
		2号機		350	76
	苫東 厚真	1号機	石炭	350	294(推定)
		2号機		600	0
		4号機		700	0
	知内	1号機	重油	350	103
		2号機		350	0
	音別	1 - 2 号機	軽油	148	0
水力※1	新冠1・2号機、高見1号機 糠平1号機、足寄1・2号機			361	0
	京極1・2号機、高見2号機 糠平2号機			521	0
	その他			－	343
主な風力※1				319	1
その他				－	不明※2
融通（北本連系設備）				600	270 (上昇中)

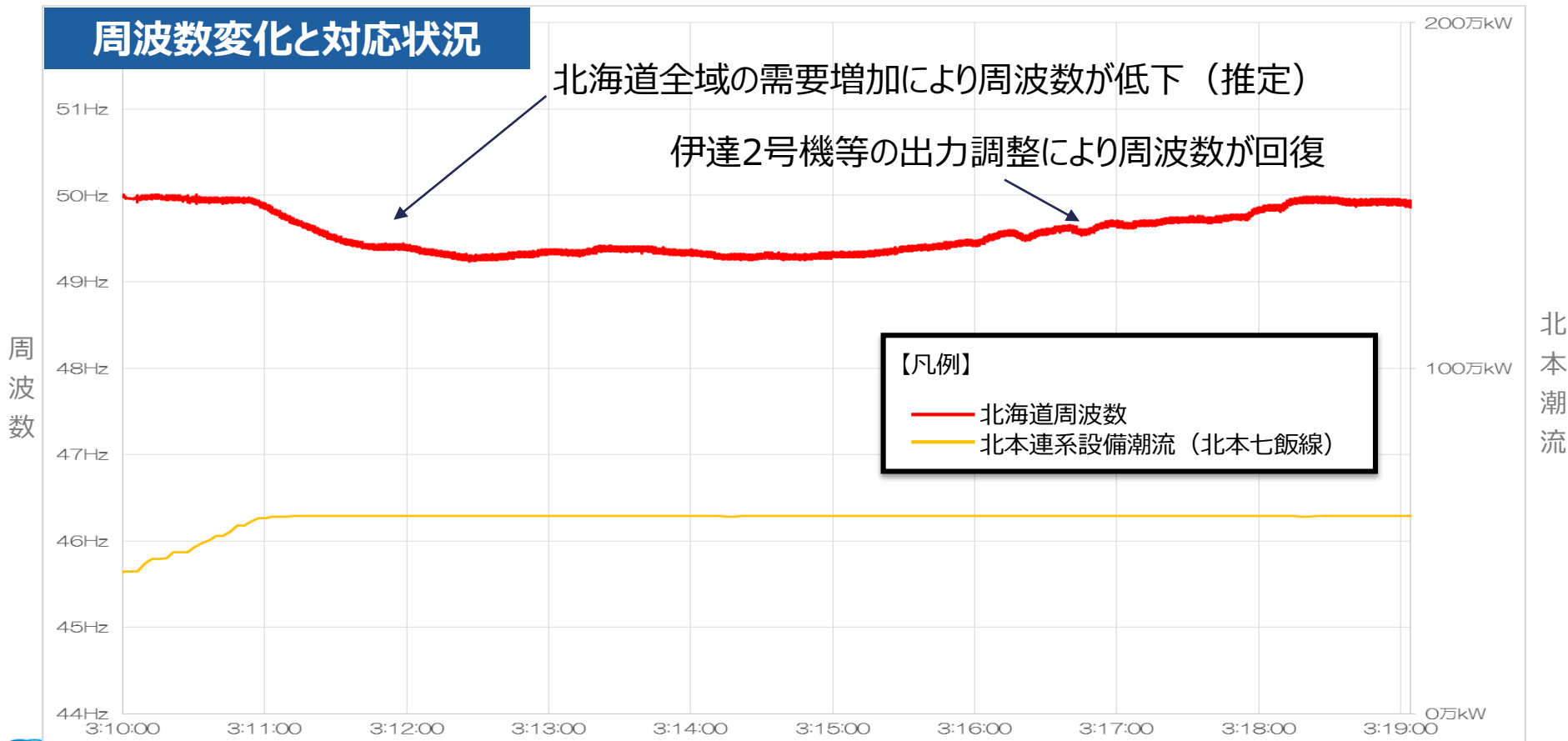
■ 地震発生直後② （送配電線再送電～負荷遮断2回目）

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。

周波数変化と対応状況



個 別 事 象

9.狩勝幹線、新得追分線、日高幹線ほかの事故復旧（自動）により道東エリアが復電した

<確認事項>

事故後に再閉路（再度送電線をつなぐ）に成功しており、これは自動で行われていることを中給の状変記録から確認。これにより、送電線の潮流から約13万kWの需要（道東と北見エリアの水力が停止していることから純粋な需要と推定）が系統に戻っている。なお、需要についてはどの程度回復したのか推計の域を出ないものである。

<事実認定>

記録から再閉路が行われたことについては、ほぼ間違いのない事実と認められるのではないかと推定される。また需要が戻ったことについては、実潮流があることから需要が増加したことまでがほぼ間違いのない事実と認められるのではないかと推定される。

10.需要増加により徐々に周波数が低下した

<確認事項>

電力の需要は計測していないため、周波数が安定していれば発電所の出力を需要とみなしている。このため周波数低下が生じた場合は、需要が増加したと考えるのは妥当である。需要について推定した結果、需要が北本の出力増以降もさらに増加しているように見える。特に地震直後は部屋の明かりの点灯、テレビによる情報収集のため電力需要が増加したと考えられるのではないかと推定される。

<事実認定>

一般論として深夜地震後は需要が増加すると推察される。これにより周波数低下の要因が説明できるが実際に測定したデータがないことから、需要増加により周波数が低下した可能性があるとは認められるのではないかと推定される。

11.中央給電指令所の指令により火力の出力が増加した ※スライド22参照

<確認事項>

中給指令の記録を確認したところ、伊達2号機については中給から出力増加を指令。奈井江1号機については中給から現地に指令。知内1号機についても中給の制御から外れていたため確認したところボイラー不安定のため、出力が増加できないことを確認していた。上げ調整ができる電源に対して、全て出力増加の指令を出している。

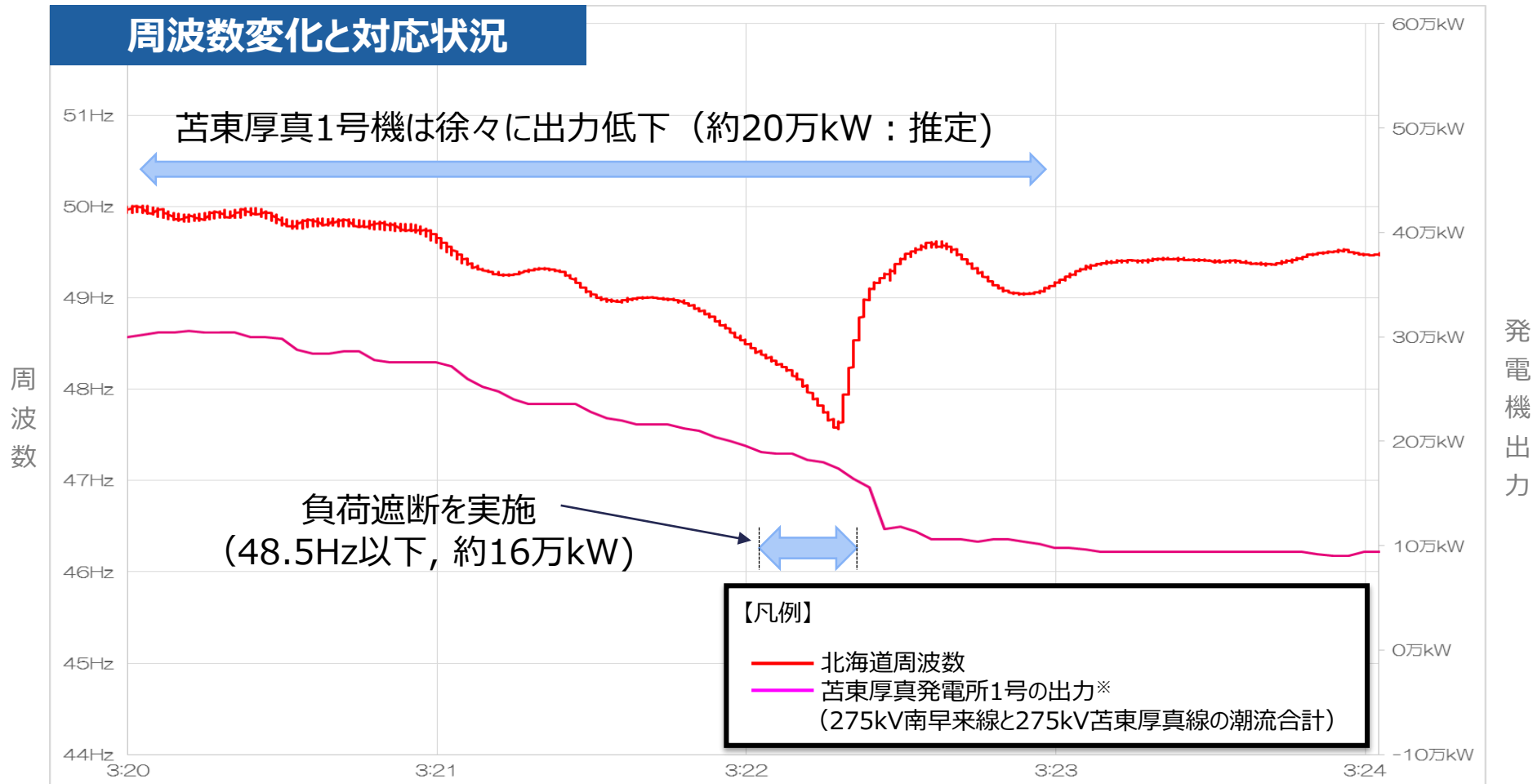
<事実認定>

中給指令の記録、テレメータの記録から中給指令による火力の出力増加はほぼ間違いのない事実と認められるのではないかと推定される。

2018/9/6 AM3:20～3:24

- 苫東厚真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

2018/9/6 AM3:20～3:24

主 な 事 象

12. 苫東厚真1号機の出力が低下した(発電：▲20万kW推定 3:20～3:23)

<確認事項>

苫東厚真1号機の出力低下については中給のテレメータで確認。北海道電力の発表にあった1号機のボイラー管損傷については、出力低下にどのような影響を与えたか、その他出力低下の原因となる故障がなかったかなどについては、引き続き確認が必要。

<事実認定>

苫東厚真1号機の出力低下については記録からほぼ間違いのない事実と認められるのではないかな。

13. 周波数の低下により負荷遮断を行った(需要：▲16万kW)

<確認事項>

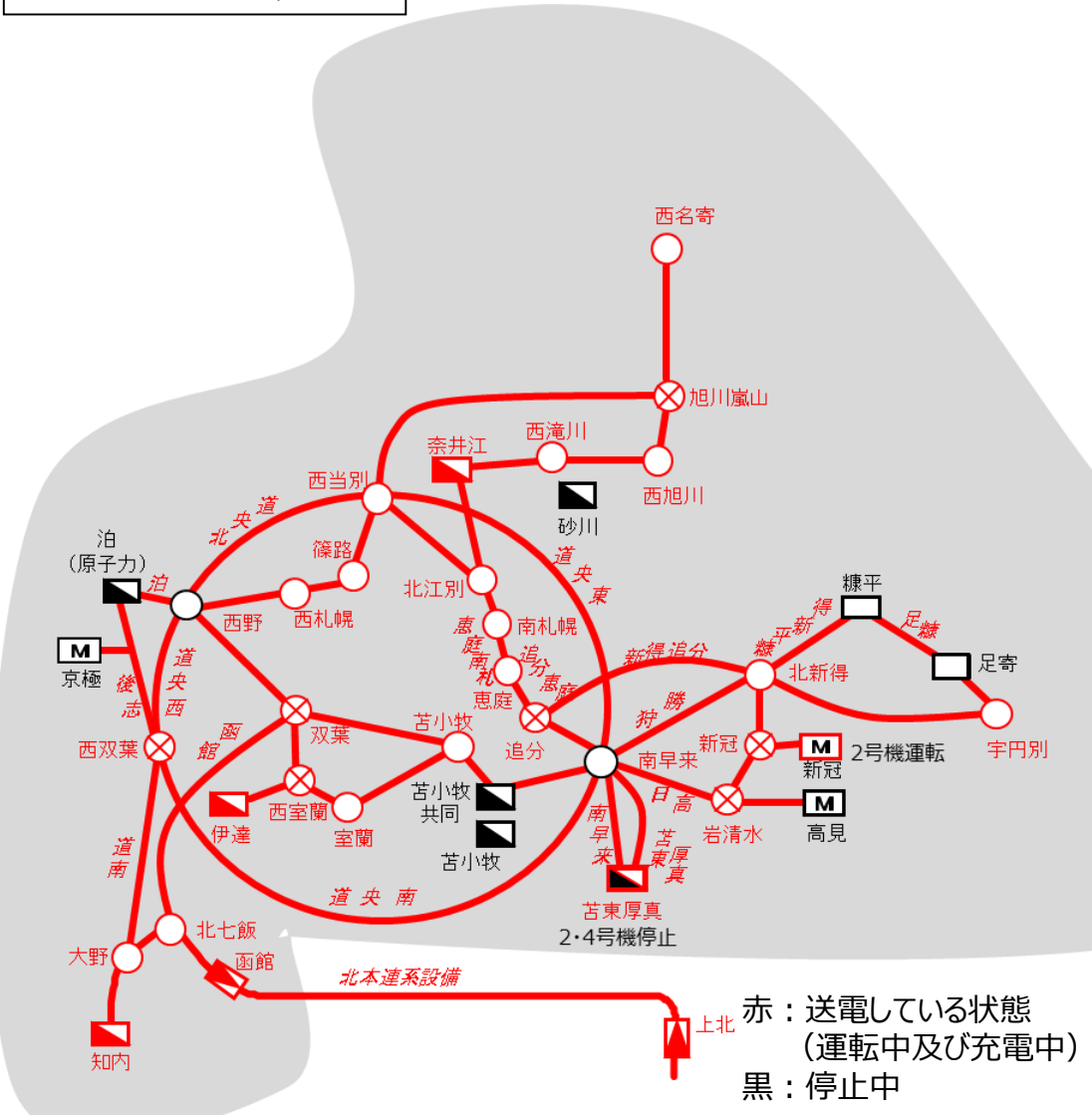
2回目の周波数低下リレーによる負荷遮断についてもリレーの整定値に従い動作していることを確認した。遮断量は16万kWとなり、49.5Hz程度まで上昇したことを確認。

<事実認定>

記録から周波数低下リレーによる負荷遮断はほぼ間違いのない事実と認められるのではないかな。

地震発生直後②-2（苫東厚真1号機出力低下～負荷遮断2回目）19

03:23時点



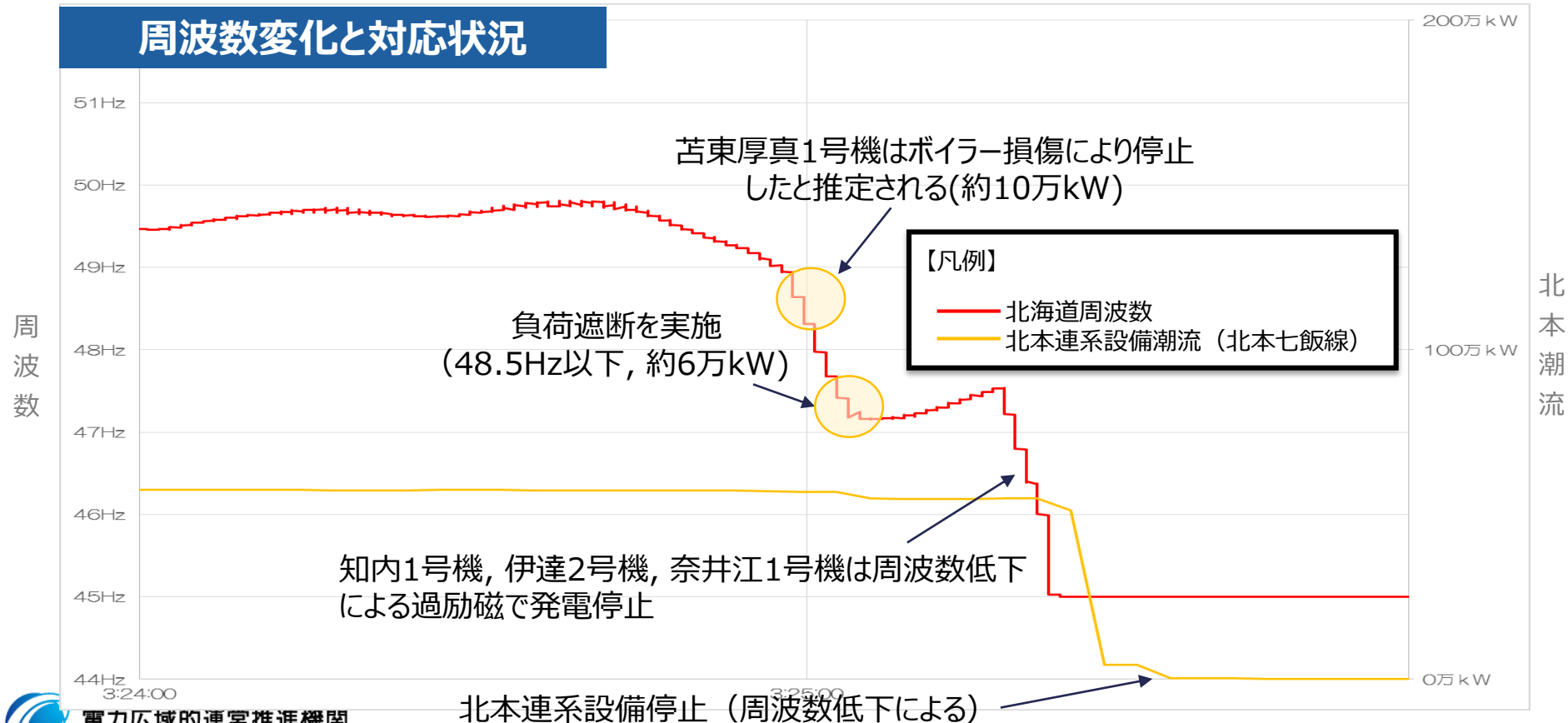
供給力				定格 (MW)	出力 (MW)
火力	砂川	3号機	石炭	125	0
		4号機		125	0
	奈井江	1号機	石炭	175	64
		2号機		175	0
	苫小牧	1号機	重原油・ 天然ガス	250	0
	苫小牧 共同	3号機	重油	250	0
	伊達	1号機	重油	350	0
		2号機		350	135
	苫東 厚真	1号機	石炭	350	94(推定)
		2号機		600	0
		4号機		700	0
	知内	1号機	重油	350	119
		2号機		350	0
	音別	1 - 2号機	軽油	148	0
水力※1	新冠1号機,高見1号機 糠平1号機 足寄1・2号機		新冠 2号機	361	1
	京極1・2号機、高見2号機 糠平2号機			521	0
	その他			－	339
主な風力※1				319	2
その他				－	不明※2
融通（北本連系設備）				600	574

※1：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
※2：この時点における正確な需要がわからないため算出できない

■ ブラックアウトまで③

- 苫東厚真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、他の火力およ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



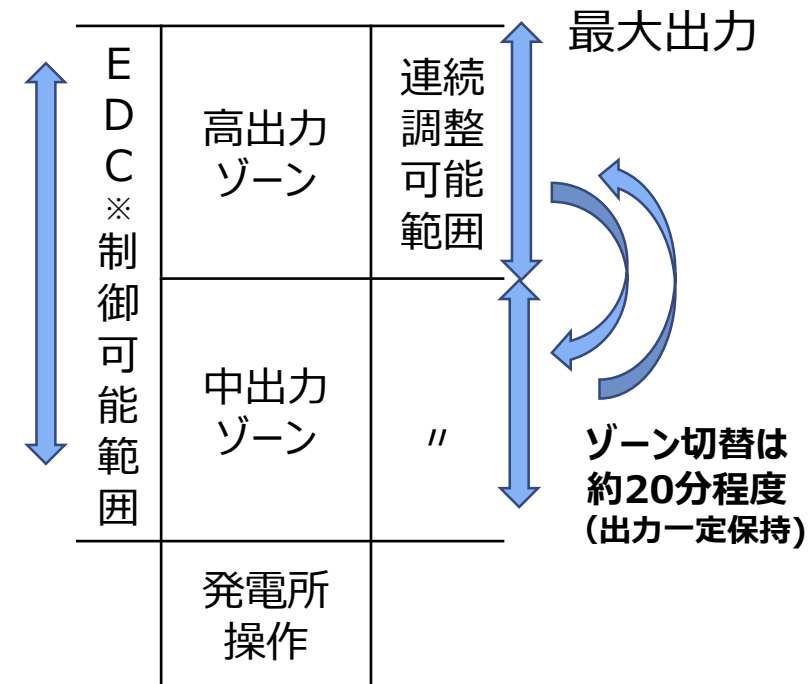
(参考)火力に出力調整について

- 火力発電所の出力を増加させるためには、バーナーやポンプの台数を追加し、蒸気量を増やす必要があるため、急激な供給力の減少には追従できないことに加え、バーナーやポンプの追加処理（ゾーン切替）が必要な場合は、約20分程度出力を一定に保持する必要がある。

＜地震発生時における 火力発電所の出力と上げ側調整速度＞

	苫東厚真 1号機	知内 1号機	伊達 2号機	奈井江 1号機
地震前 出力 (万kw)	33.8	9.5	7.6	6.1
ゾーン 上限出力 (万kw)	35.0	35.0	17.5	9.0
出力変化 速度 (万kw/分)	0.35	1.05	0.7	0.3

＜火力発電所の出力調整可能範囲＞



※Economic load Dispatch Control : 経済負荷配分制御

14. 苫東厚真1号機停止(発電：▲10万kW推定 3:24～3:25) したため再び周波数が低下した

<確認事項>

苫東厚真 1 号機は状変記録で3:25にトリップしたことを確認。停止の理由についてはドラム(ボイラー内にある水と蒸気を分離する装置)の水位との見解を北海道電力からヒアリングで確認した。

<事実認定>

記録から苫東厚真 1 号機の出力停止についてはほぼ間違いのない事実と認められるのではないかな。

15. 周波数の低下により負荷遮断を行った(需要：▲6万kW)

<確認事項>

3 回目の周波数低下リレーによる負荷遮断。残っていたリレーが全量動作したことを確認。周波数の回復を見込める量は残っておらず、負荷遮断の限界となった。なお、一度作動した負荷遮断が再送電し、再度負荷遮断していたことを確認。

<事実認定>

動作の記録からもほぼ間違いのない事実と認められるのではないかな。

16. 知内1号機、伊達2号機、奈井江1号機が停止した(発電：▲34万kW)

<確認事項>

状変の記録では過励磁となっている、ただし、過励磁は周波数の低下により発生しており、火力発電所3基が停止。

<事実認定>

動作記録から、周波数低下により火力 3 基がトリップしたことはほぼ間違いのない事実と認められるのではないかな。

17. 周波数の低下により水力(主に46Hz以下)等が停止するとともに北本連系設備が運転不能となった

<確認事項>

周波数低下リレーで水力について停止となり、エリア内の電源がなくなったことから北本連系設備についても停止したものと考えが、16、17の事象については前後関係の順番がタイムスタンプ通りとは必ずしも言えない。

<事実認定>

動作記録から、火力 3 基がトリップしたほぼ間違いのない事実と認められるのではないかな。ただし火力 3 基、水力、北本という順番であったかについては十分な根拠がないことからこの順番だった可能性があるということに留まるのではないかな。

18. 北海道エリアがブラックアウトに至った

赤：送電している状態
(運転中及び充電中)
黒：停止中

※：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

供給力				定格 (MW)	出力 (MW)
火力	砂川	3号機	石炭	125	0
		4号機		125	0
	奈井江	1号機	石炭	175	0
		2号機		175	0
	苫小牧	1号機	重原油・天然ガス	250	0
	苫小牧 共同	3号機	重油	250	0
	伊達	1号機	重油	350	0
		2号機		350	0
	苫東 厚真	1号機	石炭	350	0
		2号機		600	0
		4号機		700	0
	知内	1号機	重油	350	0
		2号機		350	0
	音別	1 - 2 号機	軽油	148	0
水力※	新冠1・2号機、高見1号機 糠平1号機、足寄1・2号機			361	0
	京極1・2号機、高見2号機 糠平2号機			521	0
	その他			—	0
主な風力※				319	0
その他				—	0
融通（北本連系設備）				600	0

- 確認が漏れている事象、又は今回示した個別事象についてまだ深堀が必要と考える点についてご審議いただきたい。
- なお、一部の推定した事象等については、今後シミュレーション等を用いて詳細の確認を行うこととしてよいか。