

# ブラックアウトとはどういう現象か ～北海道ではどのような事象が発生したのか～

2019年3月13日

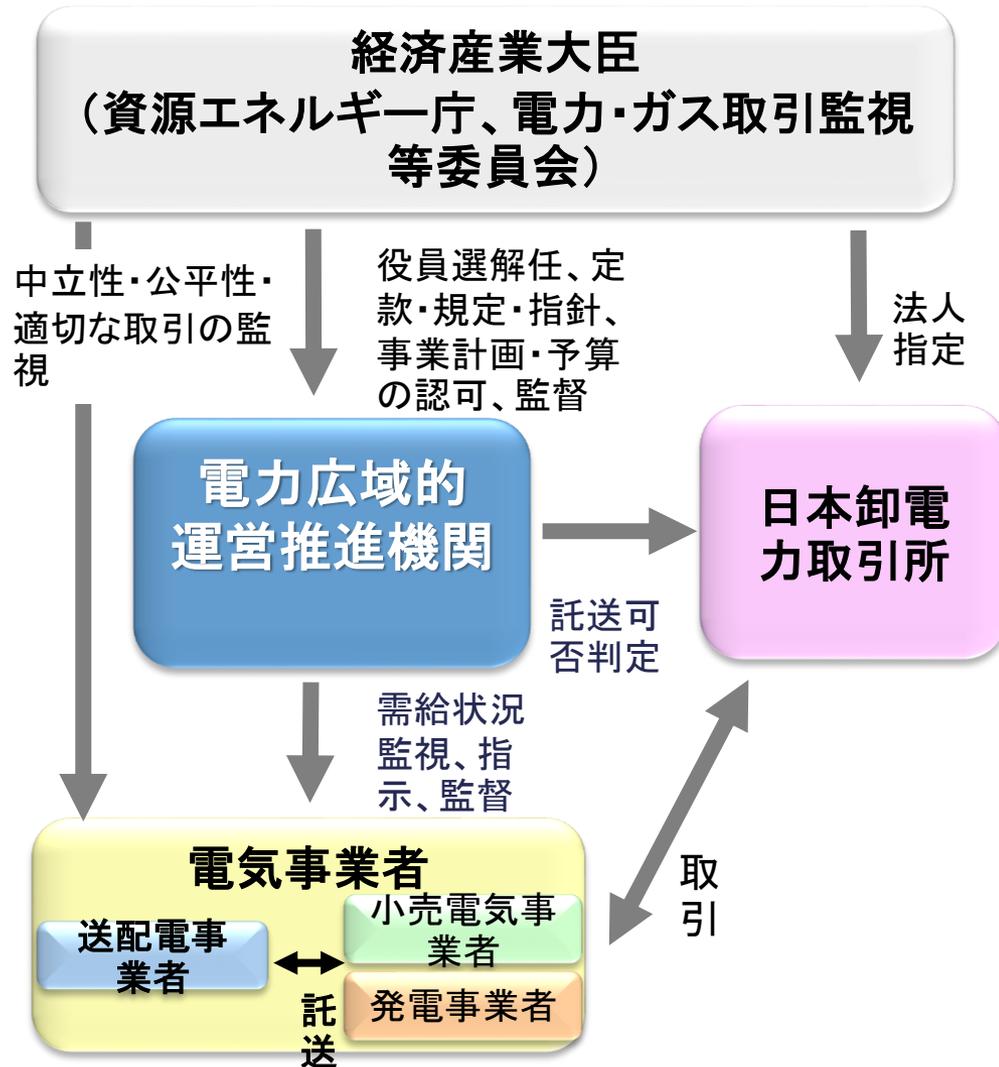
電力広域的運営推進機関

内 藤 淳 一

# 広域機関のご紹介

- 電力広域的運営推進機関は、電力システム改革の第1段階として、供給システムの効率化を進める中で、電力の安定供給維持の司令塔役として、2015年4月に発足。

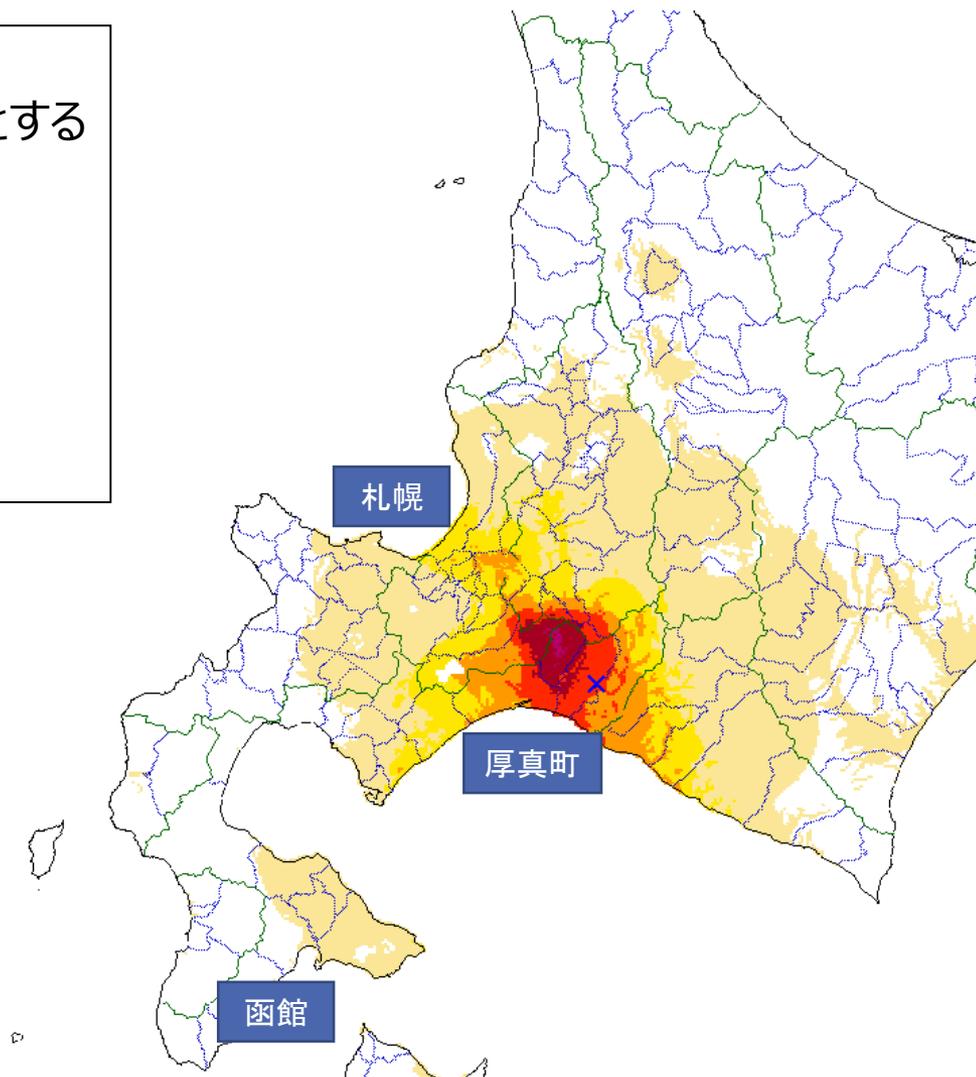
名称	電力広域的運営推進機関 (OCCTO) Organization for Cross-regional Coordination of Transmission Operators, JAPAN
組織	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電気事業法に定める認可法人として2015年4月1日設立</li> <li>・ 全ての電気事業者に広域機関の加入義務 (会員数1276者 2019年1月30日時点)</li> </ul>
所在地	東京都江東区豊洲 6-2-15 (専門委員会、検討会等はここで開催しています) 
主な業務	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ルールの策定</li> <li>・ 需給監視、融通指示、連系線管理</li> <li>・ 供給計画とりまとめ</li> <li>・ 広域系統整備計画の策定</li> <li>・ 容量市場の検討</li> <li>・ 需給調整市場の検討</li> <li>・ アクセス検討</li> <li>・ 紛争処理</li> </ul> (事務局職員は出向者、プロパー合わせ約160名)



# 北海道胆振東部地震に伴う北海道全域停電の発生

2018年9月6日 3時7分59秒  
北海道胆振地方中東部を震源とする  
最大震度7（マグニチュード6.7）  
の地震が発生

同日 3時25分  
北海道全域が停電  
（ブラックアウト発生）



出所：気象庁推計震度分布図  
に一部加筆

震度 4 5弱 5強 6弱 6強 7

# 検証委員会の経緯及び概要

- 9月11日、経済産業大臣より、広域機関に対し、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
- 9月19日、広域機関に「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」を設置（検証データの公開、委員会審議のインターネット中継）
- 10月25日、今冬の需給対策に資するため、中間報告を経済産業大臣に提出
- 12月19日、最終報告を経済産業大臣に提出

## 諮問事項

- 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

## 委員等名簿

### ◎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

### ○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

### ○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

## 開催実績

### 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

### 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

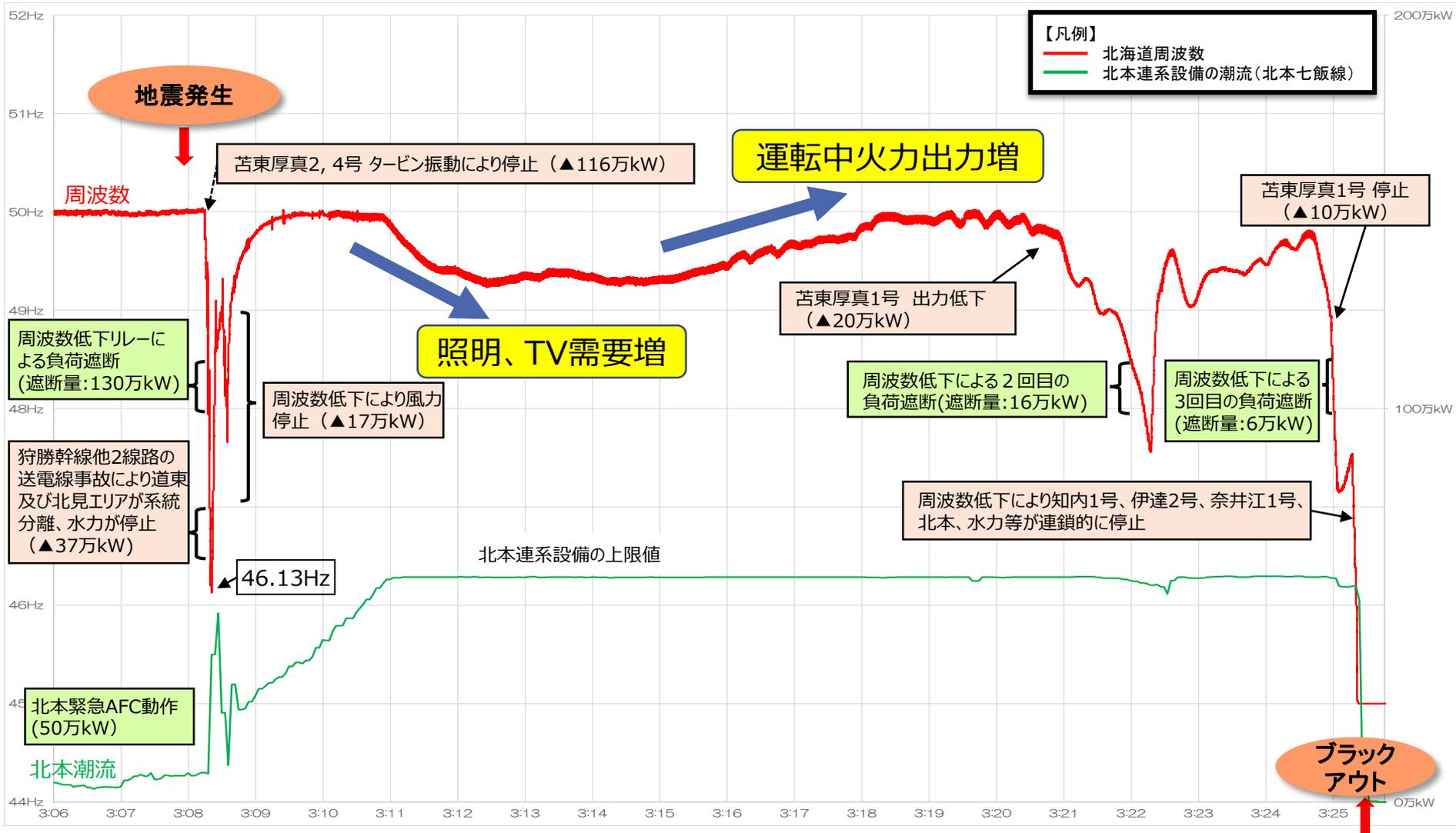
### 第3回 (2018年10月23日)

◇当面(今冬)の再発防止策について  
◇中間報告案について 等

### 第4回 (2018年12月12日)

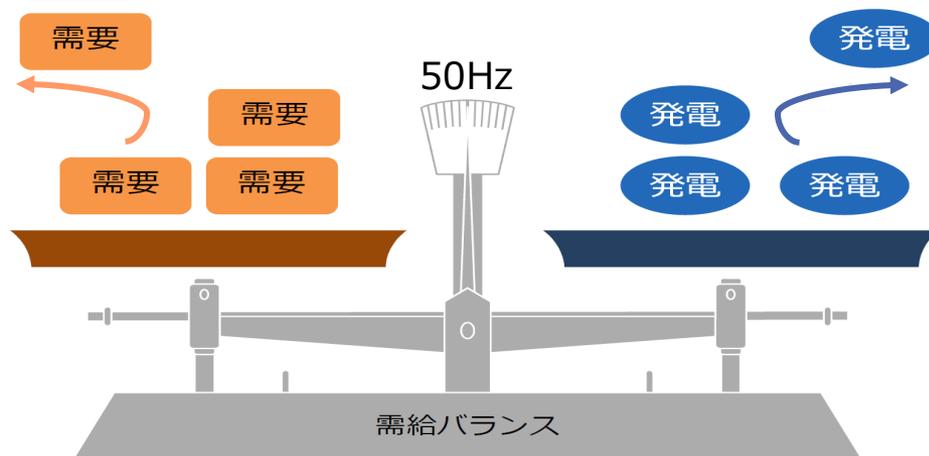
◇運用上の中長期対策について  
◇最終報告案について 等

# なぜブラックアウトは起きたのか ～事実検証と原因究明～



# 緊急時の需給バランスの確保方法

- 需要と発電力を常にバランスさせることで周波数は維持されている。突発的に大電源が停止すると、バランスが崩れ、周波数低下が発生する。(電源脱落量／系統規模にほぼ比例)
- 一定以上の周波数が低下すると、発電機が自らの機器保護等のために自動的に系統から解列していく。これにより連鎖的に周波数が低下していき、最終的に全発電機が停止し、ブラックアウトに至る。
- ブラックアウトを回避するためには、発電機の周波数低下リレーが動作する前に、高速で発電力を増加させるか、負荷を遮断させる必要がある。
- 発電力を増加させる方法としては、並列中電源のガバナーフリー機能による出力増加、隣接エリアからの連系線を介した応援融通がある。(停止中の電源の起動には時間がかかるため緊急制御の対象とはならない)
- 負荷を緊急遮断する仕組みとしては、周波数低下リレー (UFR) が変電所フィーダーごとに設置されている。

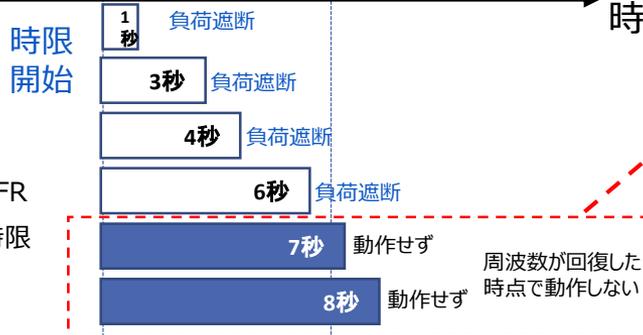
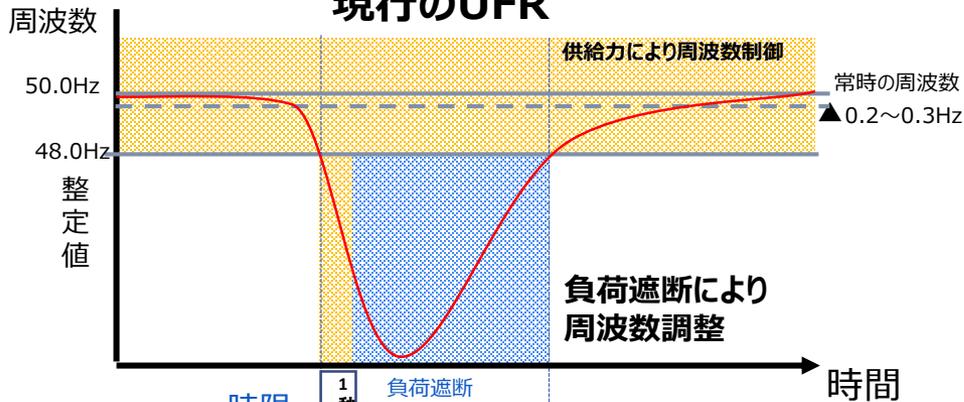


# 周波数低下リレー（UFR）の仕組み

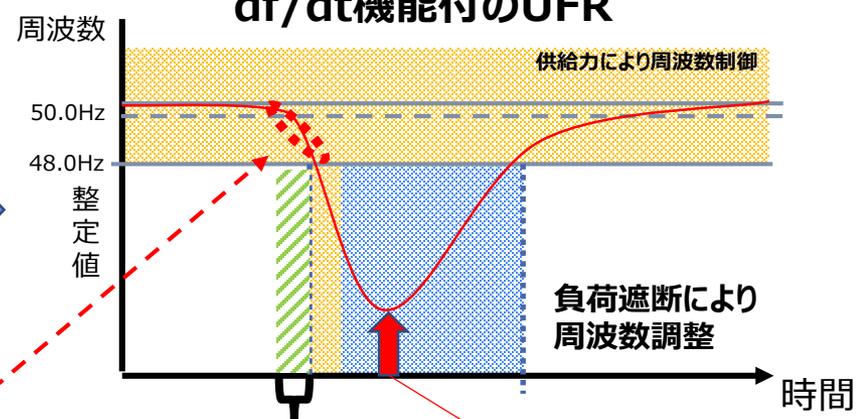
- 周波数低下リレー（UFR）は、大規模な電源脱落等により大幅に周波数が低下する稀頻度リスクに対応して、供給力（発電側）で周波数を制御できる範囲にまで負荷遮断することで周波数を回復させる緊急的な措置を実施する。
- 周波数低下による連鎖的な電源トリップや停電を防ぐため、何段階かの時限を設定し、それぞれの時限で周波数の整定値まで回復しなければ順次負荷遮断、周波数の整定値まで回復した時点で負荷遮断は止まる仕組み。
- 上記仕組みに加えて周波数の急激な低下を周波数変化率で検出し、早期の負荷遮断が実施できるdf/dt機能付UFRが、今般のような急激な周波数低下対策としては有効であることをシミュレーションでも確認した。

## 周波数低下リレー（UFR）の仕組み＜イメージ例＞

### 現行のUFR



### df/dt機能付のUFR



時限が長い場合動作しないUFRをdf/dt機能として早期に動作させる

df/dt機能による周波数回復効果

※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。

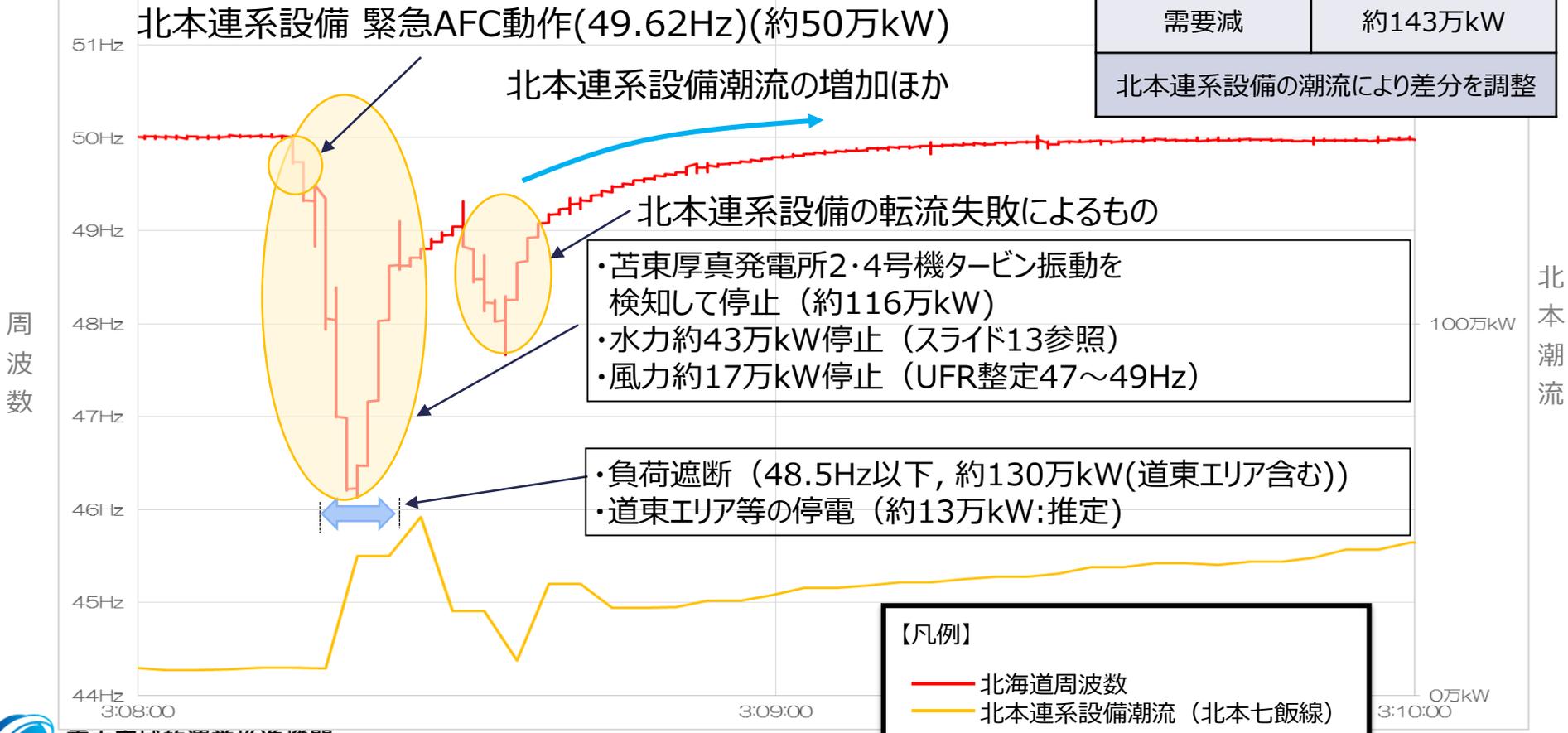


■ 苫東厚真2・4号機がタービン振動を検知し停止し周波数が急激に低下したが、北本連系設備からの緊急融通および周波数低下を検知した負荷遮断装置（UFR）により、周波数は一旦回復。

2018/9/6 AM3:08~3:09

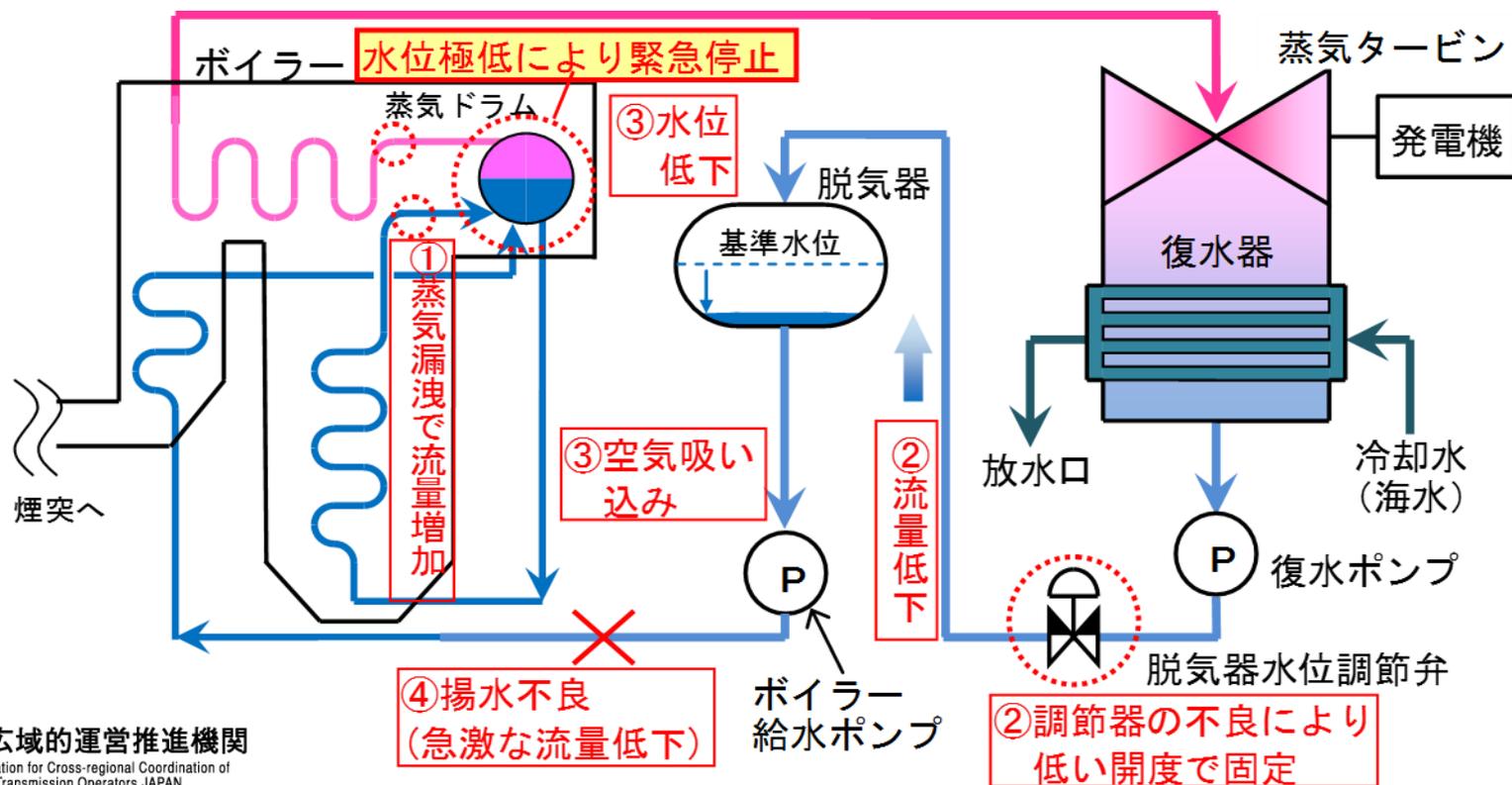
## 周波数変化と対応状況

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	



# 苫東厚真火力発電所が同時停止しなかったのは

- 3時8分 苫東厚真2号機（定格60万kW）4号機（定格70万kW）タービン振動大により自動停止
  - 3時20分 苫東厚真1号機（定格35万kW）ボイラー管損傷およびドラム給水系統の脱気器水位調節器の動作不良により出力低下（下図参照）
  - 3時25分 苫東厚真1号機 ドラム水位極低により自動停止
- \* 発電用火力設備に関する技術基準では、40万kW以上の蒸気タービンに対し、タービン振動を検知し警報する装置を義務づけているが、自動停止装置は必須とされていない。

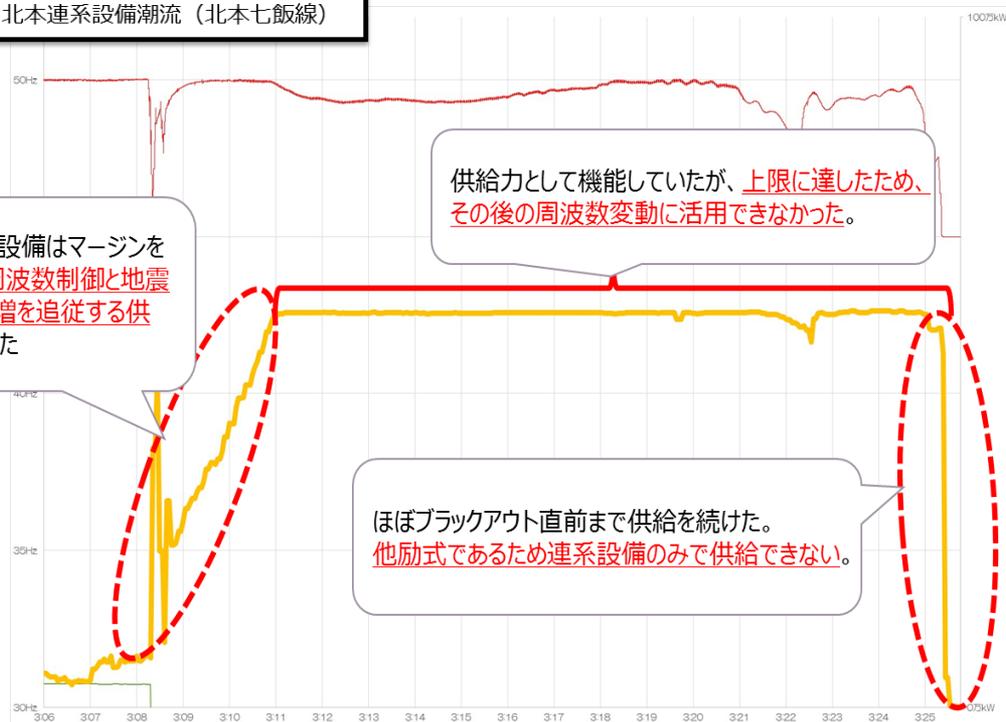


# 北本連系設備容量の限界

- 北本連系設備については、マージンとして確保していた容量の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、急速な変動を調整する機能をこれ以上には発揮できなかった。
- 北斗今別直流幹線（新北本連系設備）は2019年3月の運転開始に向け建設中の段階であった。

## 【凡例】

- 北海道周波数
- 北本連系設備潮流（北本七飯線）



# 道東系送電線の多重地絡事故

- 地震による送電線揺動により、道東・北見エリアにつながる3線路（4回線）で地絡事故が発生。（約1分後に再閉路成功）

回線※1 (事故順)	事故		
	時間※3	様相	鉄塔No.
①狩勝幹線 1 L	3:08:17	1相地絡	No.26
②狩勝幹線 2 L ※2	3:08:17	1相地絡	No.29
③新得追分線 2 L	3:08:19	2相地絡	No.409
④日高幹線	3:08:21	1相地絡	No.135
⑤狩勝幹線 2 L	3:08:25	1相地絡	No.20

※1 新得追分線 1 Lは作業停止中

※2 高速再閉路「良」(0.6秒で再閉路)

※3 オシログラフ(GPS時刻同期付)にて確認

(ただし、日高幹線はGPS機能付ではないため中給の記録)



地震の揺れにより①ジャンパー線が②支持金物に接近



# 周波数制御量（ガバナフリー・AFC）が大幅低下

- 北海道電力は、地震前には所定の周波数制御量を確保
  - ・ GF量はエリア需要（送電端）の2%（主に火力で確保）
  - ・ AFC量はエリア需要（送電端）の2%（水力で確保）
- 地震による火力機、水力機の停止により、GF量は低下、AFC量は実質的に0となった。

## <主なGF量※1：火力>

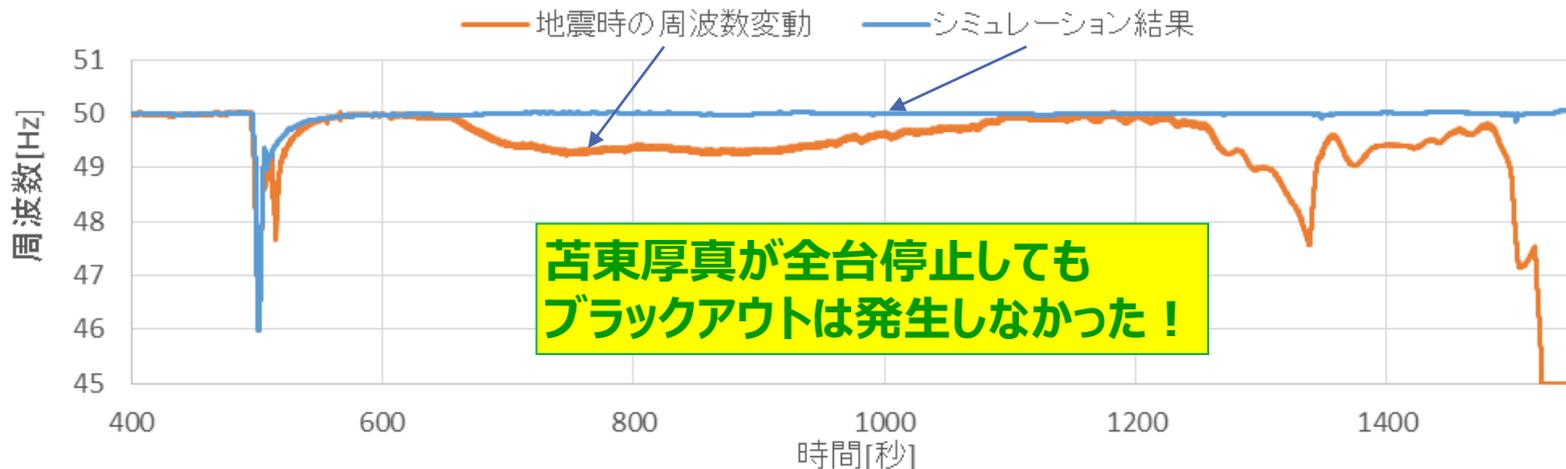
## <AFC量：水力>

	上限 (MW)	出力 (MW)	GF量 (MW)	備考
奈井江1号	175	61	-	指令値運転
<b>知内1号</b>	<b>350</b>	<b>96</b>	<b>35</b>	<b>GF+</b> 指令値運転
伊達2号	350	76	-	指令値運転
<b>苫東厚真1号</b>	<b>350</b>	<b>338</b>	<b>10.5</b>	<b>GF+</b> 指令値運転
<b>" 2号</b>	<b>600</b>	<b>556</b>	<b>44→0</b>	<b>GF+</b> 指令値運転
" 4号	700	598	-	指令値運転
<b>合計</b>	<b>2700</b>	<b>1725</b>	<b>89.5→ 45.5</b>	
<b>エリア需要 比率</b>	-	-	<b>約2.9 →2.5%</b>	<b>エリア需要 3087MW→ 1800MW</b>

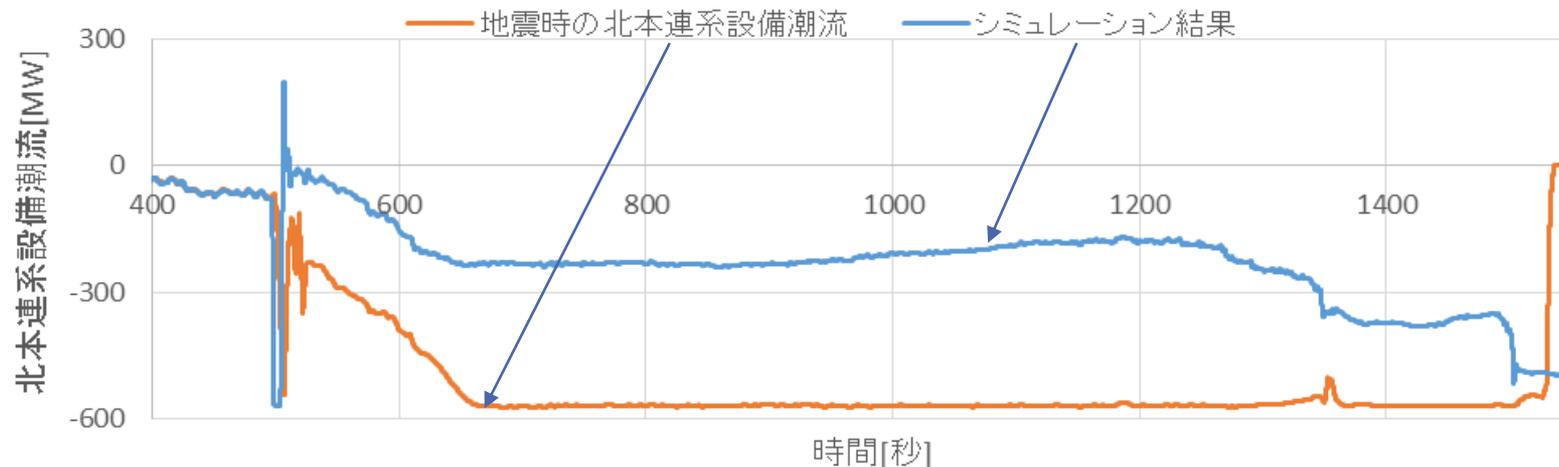
	上限 (MW)	出力 (MW)	上げ余力 (MW)	備考
<b>下新冠</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>3→0</b>	・左記以外の 運転中水力 は、電圧調 整や台風一 過後の溢水 防止などのた め、出力一 定で発電し ていた。
<b>静内1号</b>	<b>23</b>	<b>20</b>	<b>3→0</b>	
<b>" 2号</b>	<b>23.7</b>	<b>20</b>	<b>4→0</b>	
<b>高見</b>	<b>98</b>	<b>25</b>	<b>73→0</b>	
<b>大雪</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	
<b>合計</b>	<b>172.7</b>	<b>90</b>	<b>83→0</b>	
<b>エリア需要 比率</b>	-	-	<b>約2.7 →0%</b>	

# 道東系水力停止がなかった場合のシミュレーション結果

送電線4回線事故(N-4事故)がない場合の周波数応動



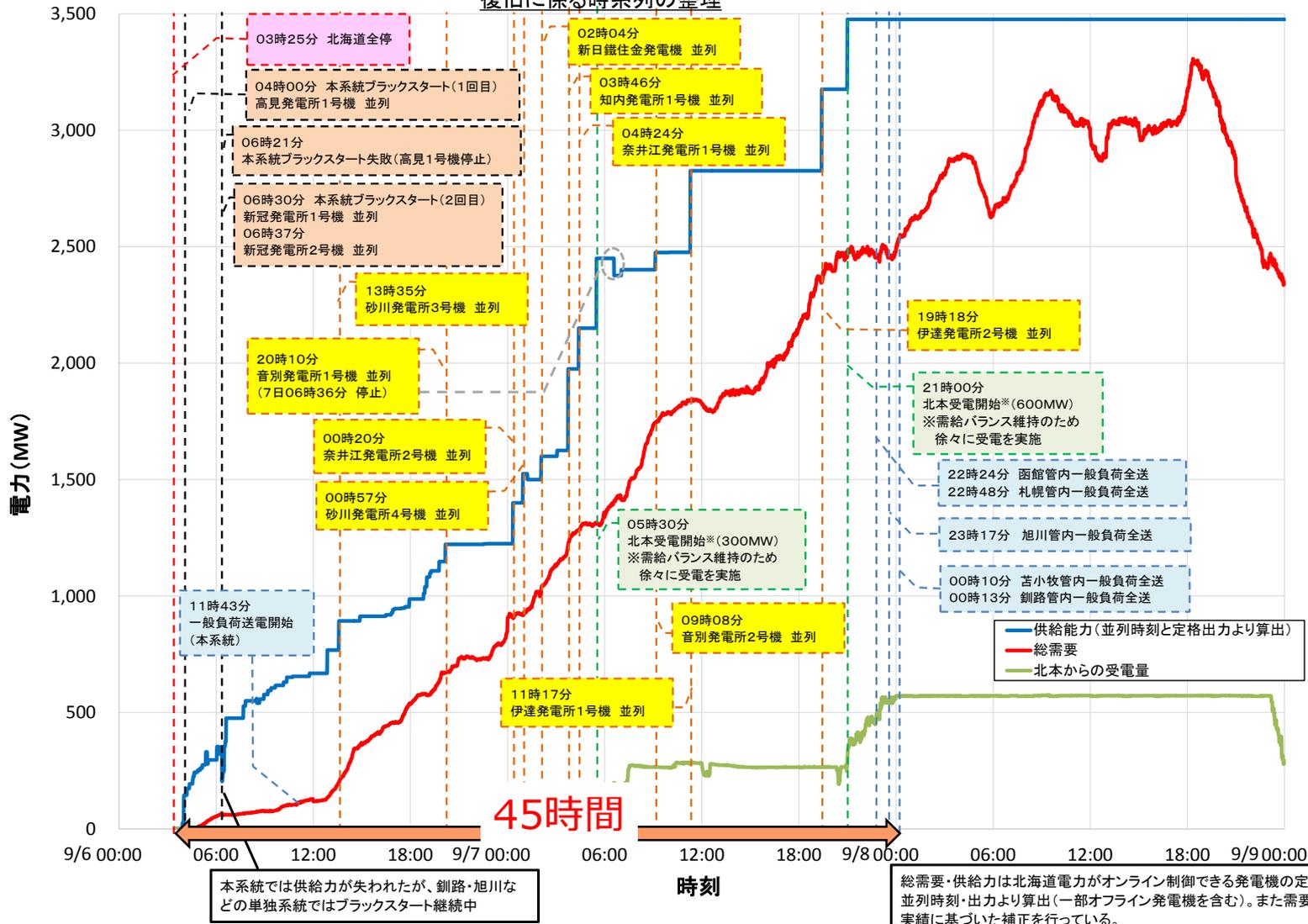
送電線4回線事故(N-4事故)がない場合の北本連系設備の潮流



北本潮流：北海道向きの潮流はマイナス側

# ブラックスタートからの系統復旧

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



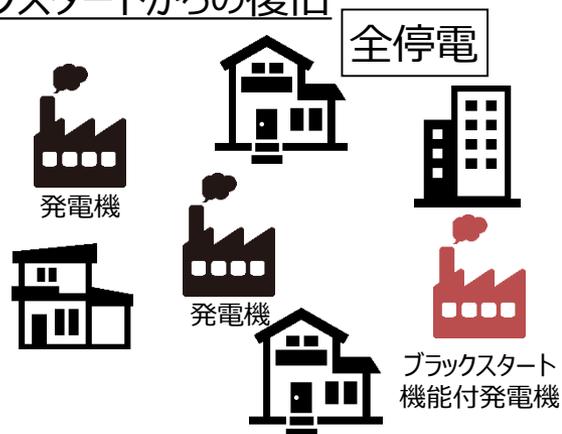
- 震災前にブラックスタートからの復旧手順は作成済。定期的に訓練も実施済。
- ブラックアウト後、1回目のブラックスタート機（高見1号）起動から、火力所内負荷を供給しながら275kV系道央ループまで復旧後、泊原子力3号機主変への切り替え時に、変圧器突入電流（過電流）により道央ループ分路リアクトル停止および送電線地絡事故が発生し、事故波及によりブラックスタート機停止。（6日6:21）
- 2回目のブラックスタート（新冠1, 2号機）からは、1回目の失敗を生かし、一部復旧経路を変更しながら、砂川火力3号機まで復旧し、順次負荷送電を再開していった。（6日13:35）
- その後、順次知内火力等を並列していき、他励式北本変換設備の運転条件を満たしたところで、北本連系設備30万kW運転再開。（7日5:30）
- さらに伊達火力等を並列し、北本連系設備を60万kWまで増加し、一般供給負荷は復旧完了。（8日0:13）



# ブラックスタートからの復旧はなぜ時間がかかるのか

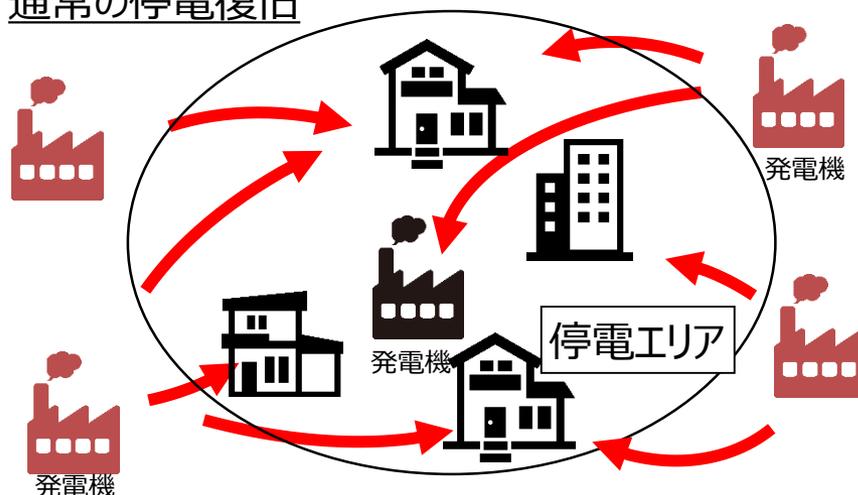
- 大型火力発電所を起動するには、給水ポンプやファンなど所内電力がまず必要。
- このため、単独で自力起動がかけられるブラックスタート電源（水力等）を予め用意しておき、それを火種として復旧を開始する。
- 送電線を課電するにはまず充電電流（無効電力）が必要。課電後の無負荷送電線は電圧上昇の懸念があるので、慎重な電圧制御が必要。
- ブラックスタート直後の系統の小さい状態では、周波数変動も大きくなるので、発電所の供給力と送電する負荷を少しずつ慎重に併入する操作を行わないと、再びブラックアウトに陥ってしまう。

## 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。

## 通常の停電復旧



- ・外部からの電気で発電機が起動できる。
- ・外部から系統を支えてもらい安定的に復旧。

## 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

## 運用上の中長期対策（留意事項を含む）

今後、北海道エリアにおける電源構成や需給バランスが大きく変化することなどにより、以下の運用上の中長期対策は適時適切に見直されるべき。特に、泊発電所が再稼働後に脱落した場合については、再稼働時期の目途が立った時点で改めてシミュレーションを行うとともに、必要な対策の検討を行い所要の措置を講じることが必要不可欠。

### ○石狩湾新港発電所や新北本連系設備の運転開始後

#### <北海道エリアにおけるUFR整定の考え方>

- 周波数の最下点を47.0Hz以上に引き上げることが可能となるよう、早期にUFRの整定を見直す（df/dt機能の整定済みの割合を1割から2割に増加させる）。

#### <最大規模発電所発電機の運用>

- 北本・新北本連系設備でAFC余力を確保できる状態であることを前提に、今冬の対策における苫東厚真発電所1、2、4号機3台稼働のための「京極発電所1、2号機が運転できる状態」という条件を解除する。
- 今回想定した最過酷断面よりも周波数低下が予想される場合などは、最大サイト脱落のシミュレーションを事前に行い、ブラックアウトに至らないことを確認し、必要に応じ、所要の措置を講じる。

#### <ガバナフリー、AFC、連系設備のマージンの再評価>

- 現時点で見直す必要はない。

### ○泊発電所再稼働後

#### <北海道エリアにおけるUFR整定の考え方>

- UFR整定の見直し(周波数変化率要素(df/dt)の活用)や高速負荷遮断を行う安定化装置による対策が必要。

#### <ガバナフリー、AFC、連系設備のマージンの再評価>

- 現時点で見直す必要はない。

## 設備形成上の中長期対策（北本連系設備の更なる増強等）

- 国において、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検討を行う必要がある。また、広域機関において、更なる増強及び現在の北本連系設備の自励式への転換の是非の具体的検討を行う必要がある。
- ブラックアウトを起こさないためには、技術的には更なる増強等が有益であることは言うまでもないため、国の方針のとおり、国や広域機関において、更なる増強、及び現在の北本連系設備の自励式への転換の是非について、シミュレーション等により効果を確認した上で、ルートや増強の規模含め、来春までを目途に具体化を図ることが求められる。

ご清聴ありがとうございました。

「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」の報告書本文ならびに委員会資料、検証に用いたデータ類については、下記の広域機関ホームページでご覧いただけます。

[http://www.occto.or.jp/iinkai/hokkaido\\_kensho/index.html](http://www.occto.or.jp/iinkai/hokkaido_kensho/index.html)