

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（新たに判明したこと）

2018年10月23日

- 第2回検証委員会において、地震発生からブラックアウトに至るまでの事象は、主として苫東厚真1、2、4号機の停止（N-3）に加え、狩勝幹線他2線路の送電線事故（N-4）に伴う水力発電機の停止により周波数制御機能（主にAFC）が喪失したことが複合要因となり発生したものと考えられることが事実認定された。
- 地震発生からブラックアウトに至るまでの事象に大きく影響を及ぼすものではないと考えられるが、第2回検証委員会後の調査・検討の結果、以下の項目について新たに判明したことに基づき、個別事象の確認事項及び事実認定を訂正する。

【苫東厚真1号機の出力について】

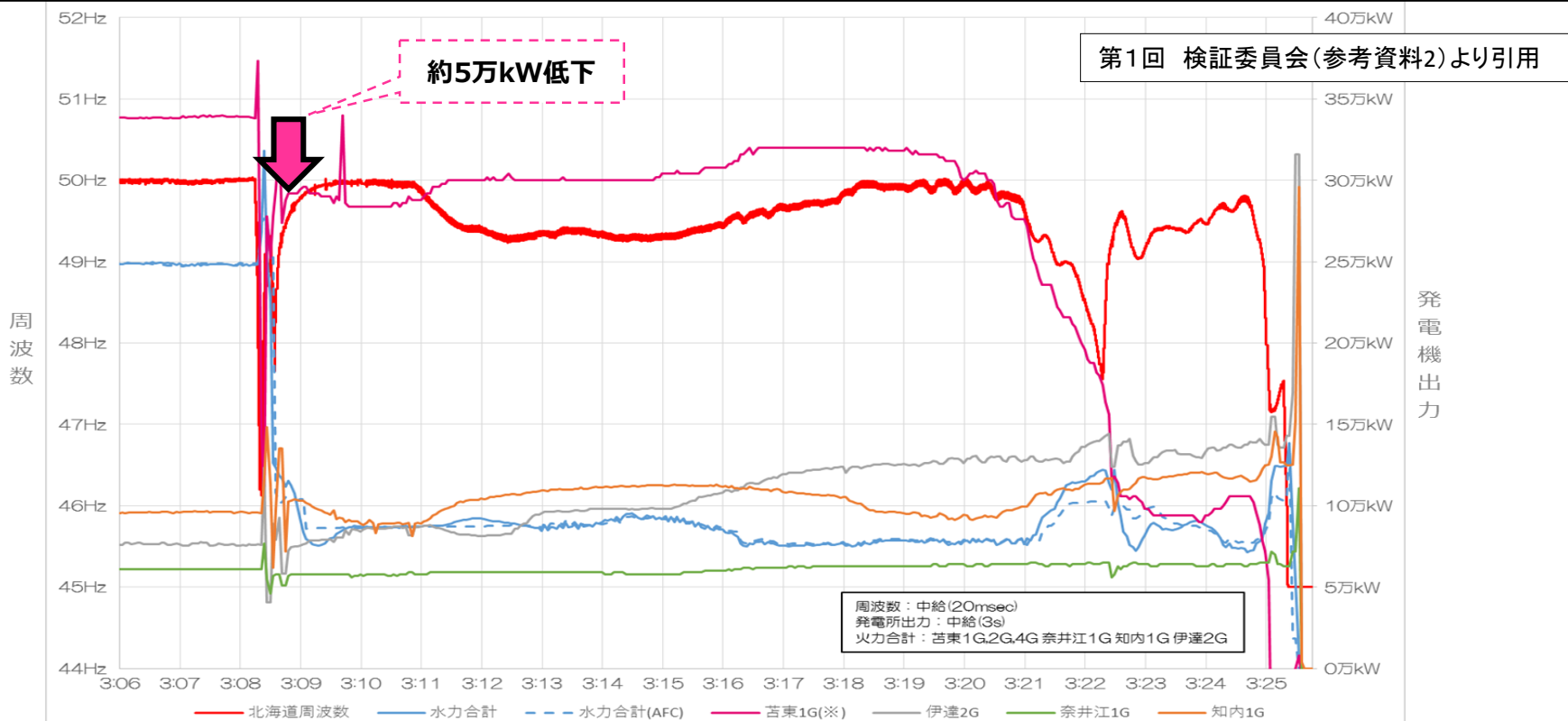
- 地震発生直後の苫東厚真1号機の出力が低下した理由（3～6スライド）
- 3時20分頃から苫東厚真1号機の出力が低下した理由（7～10スライド）

【需要の増加について】

- 3時11分頃からの需要増加理由（11～14スライド）

2. 地震発生直後の苫東厚真 1 号機の出力が低下した理由

- 苫東厚真 1 号機については、3 相ある計器用変圧器のうち 1 相が地震の影響で外れたことにより発電端値が不明となったため、第 1 回検証委員会での検証においては、送電線潮流値を採用した。
- ただし、この場合、出力が 5 万 kW 程度（推定）低下したことになるため、第 1 回検証委員会後、その理由について調査した。
- その結果、地震直後の苫東厚真 1 号機の出力を残りの 2 相分の数値から推定したところ、地震発生前からほぼ変わっていないことが判明した。
- このため、上述の 5 万 kW 程度については、発電所内で消費される所内電力であったと推定される。
- なお、苫東厚真 1 号機の出力が不明であることは変わらないため、引き続き送電線潮流値を採用する。



- 発電機出力計測用の計器用変圧器 (PT) は、正規の位置に挿入され施錠されていたが、地震の揺れにより、施錠状態のまま内部の留め金のみが外れ、PT本体が引き出されたと推定される。
- これにより、発電所制御室や中給に表示される発電機出力が異常な値※となった。
※3時8分より苫東厚真1号機の発電機出力と送電線潮流の値が2倍程度乖離した。

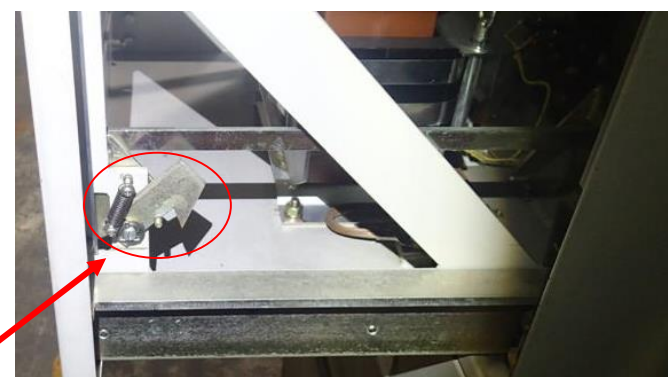
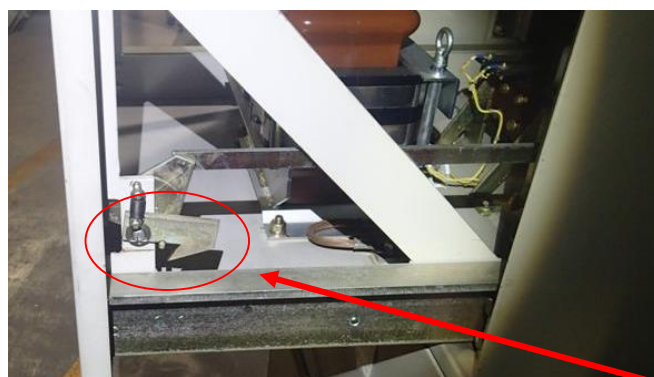
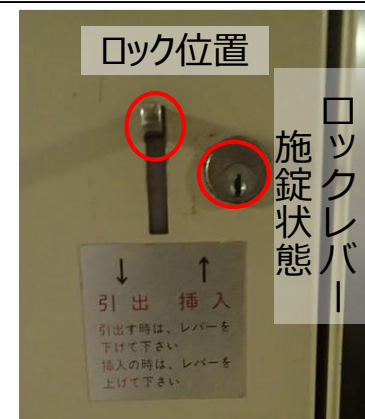


PT外観

⇒
ロック部拡大



⇒
拡大



地震発生直後① 個別事象の確認 (地震発生～周波数回復)

10

2018/9/6 AM3:08～3:09

- 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。

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。苫東厚真1号機の出力については、3時8分より苫東1号機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号機については、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。

2. 北本連系設備から緊急的に電力を受電した

<確認事項>

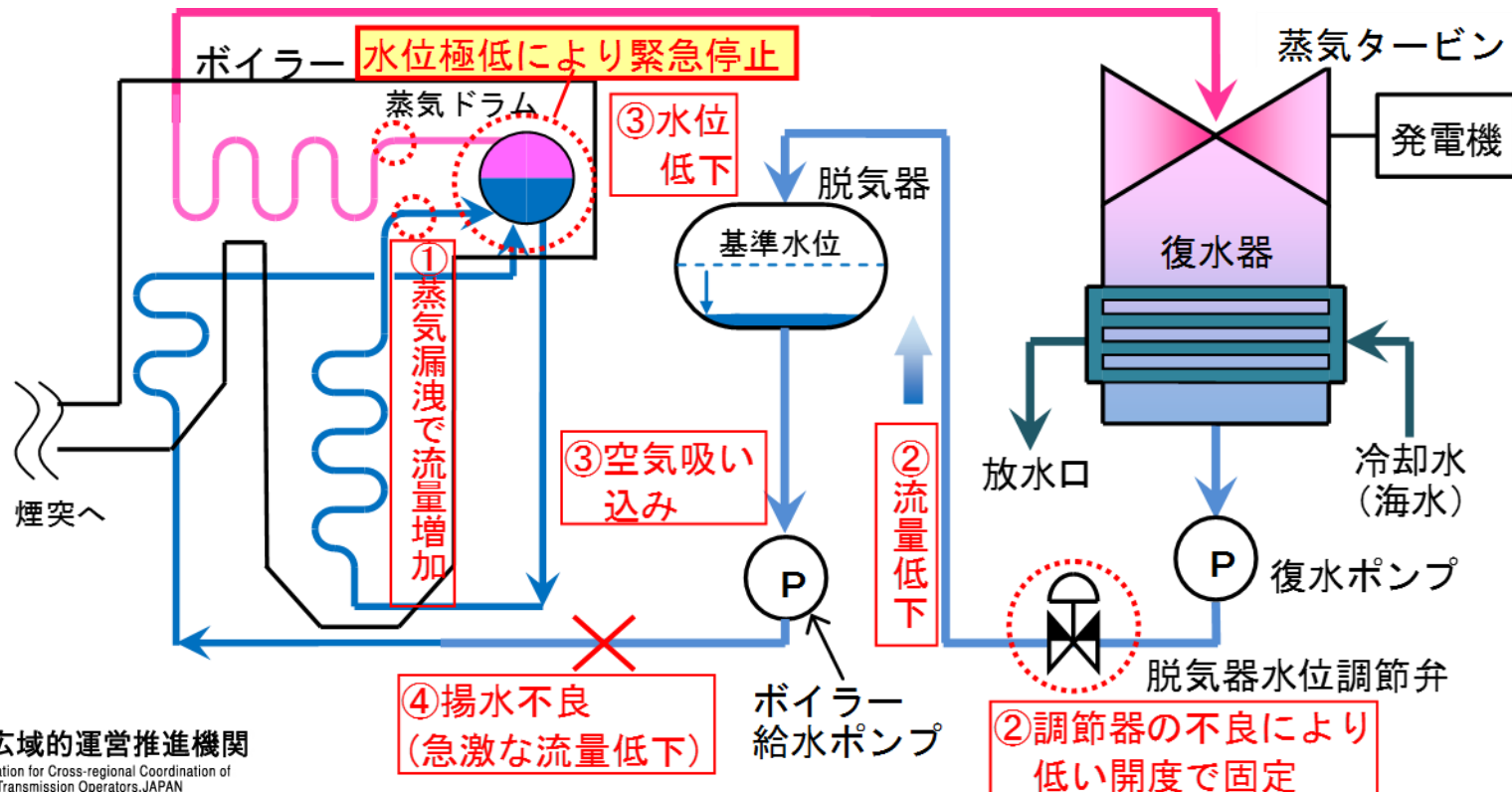
動作周波数及び動作時間・受電電力については、テレメータ(遠隔測定)の記録を北本連系設備を管理する電源開発から提供のあったデータでバックチェック。北本連系設備の自動周波数制御装置(AFC)が49.62Hzで動作したことを確認。

<事実認定>

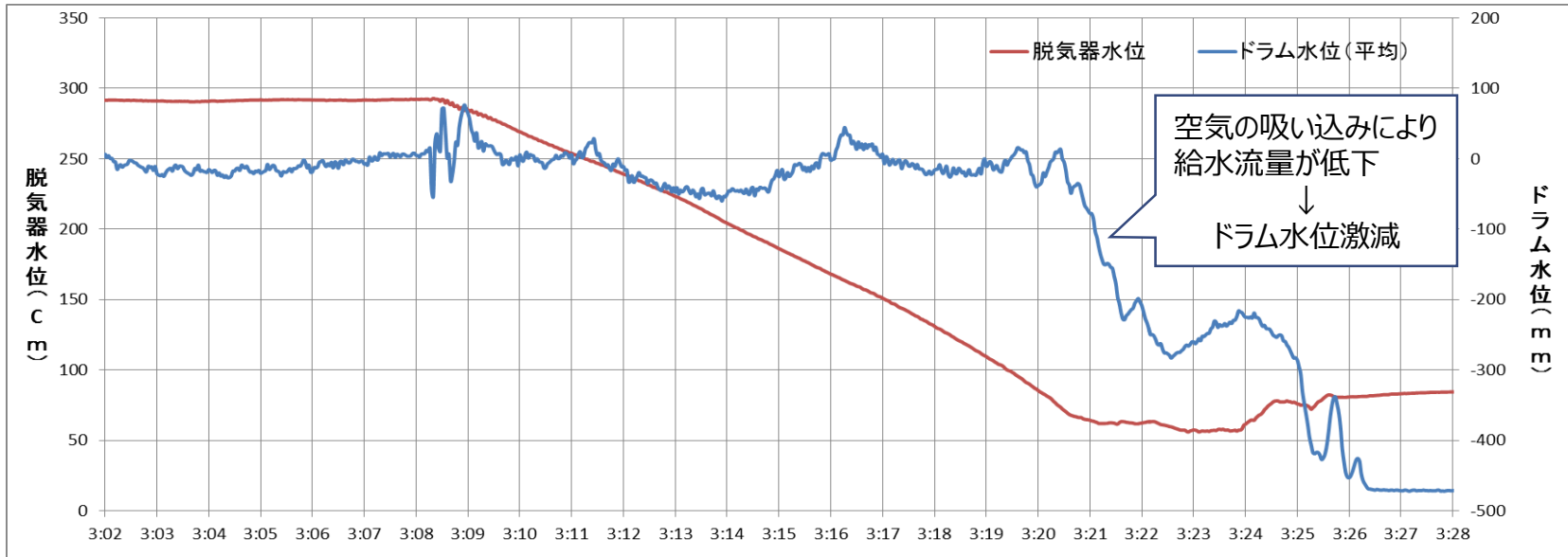
記録から、北本連系設備が動作したことはほぼ間違いない事実と認められるのではないかと。

3. 3時20分頃から苫東厚真 1号機の出力が低下した理由

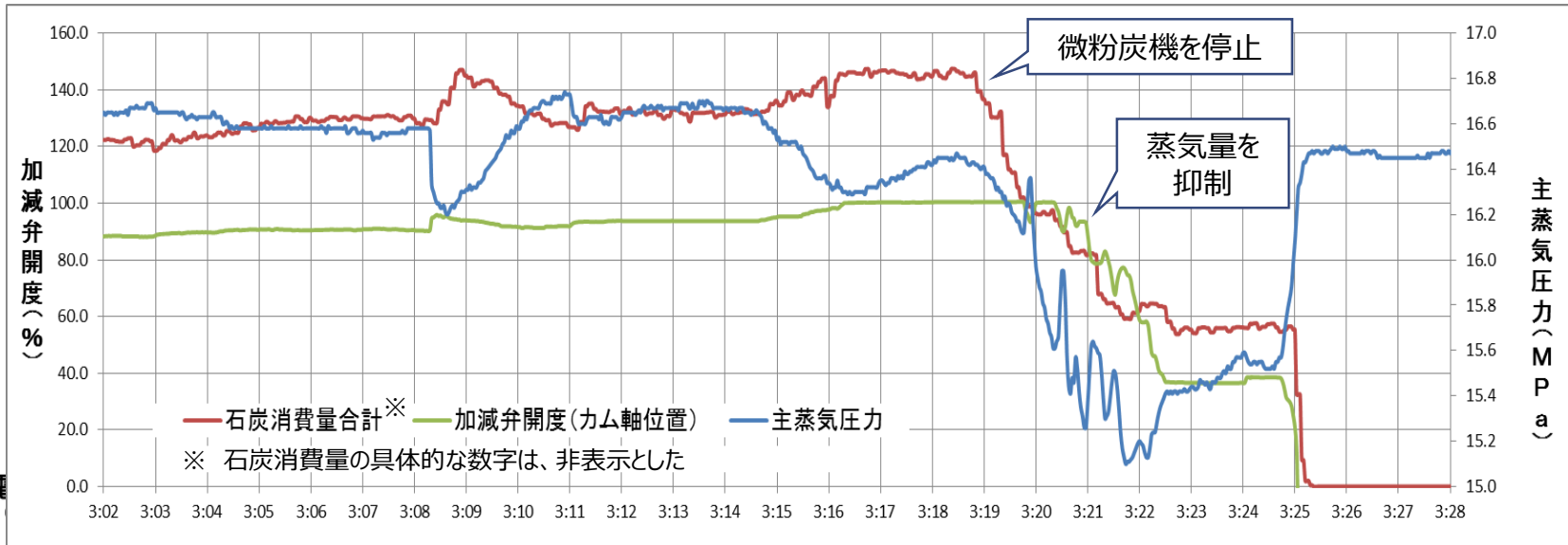
- 苫東厚真1号機は3時20分頃から出力低下について調査した結果、以下の事象が判明した。
 - 地震の影響により、ボイラー管が損傷（下図①）するとともに、ドラムへの給水系統の一部である脱気器水位調節器の動作不良が発生（下図②）した。これにより、ドラムへの給水量が低下し、ドラム水位が激減（下図③④）し、出力低下後に「ドラム水位極低」となり停止に至った。
- なお、このとき、運転員は保安措置として、
- 表示出力に対し供給燃料が多すぎるため（スライド4参照）ボイラー損傷が懸念されたことから、3時19分頃より、表示出力に合うよう微粉炭機を停止させ燃料供給量を減少させた。また、減少したドラム水位の低下を抑制するために3時21分頃から、蒸気タービンへ送る蒸気の量を抑制した。
- これらの操作は、発電機の停止防止対策としての操作であり妥当なものであったと考えられる。



<脱気器、ドラム水位>



<石炭消費量、蒸気量加減弁開度、主蒸気圧力>



地震発生直後②-2 個別事象の確認 (苫東厚真1号機出力低下～負荷遮断2回目) 18

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と推定される。

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と推定される。

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。地震の影響により、ボイラー管が損傷するとともに、ドラムへの給水系統の一部である脱気器水位調節器の動作不良が発生したため、ドラムへの給水量が低下し、ドラム水位が激減した。なお、このとき運転員は発電機の停止防止対策として、微粉炭機の停止および蒸気タービンへ送る蒸気の量の抑制を実施した。これらにより出力が低下した。

<事実認定>

苫東厚真1号機の出力低下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と推定される。

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>

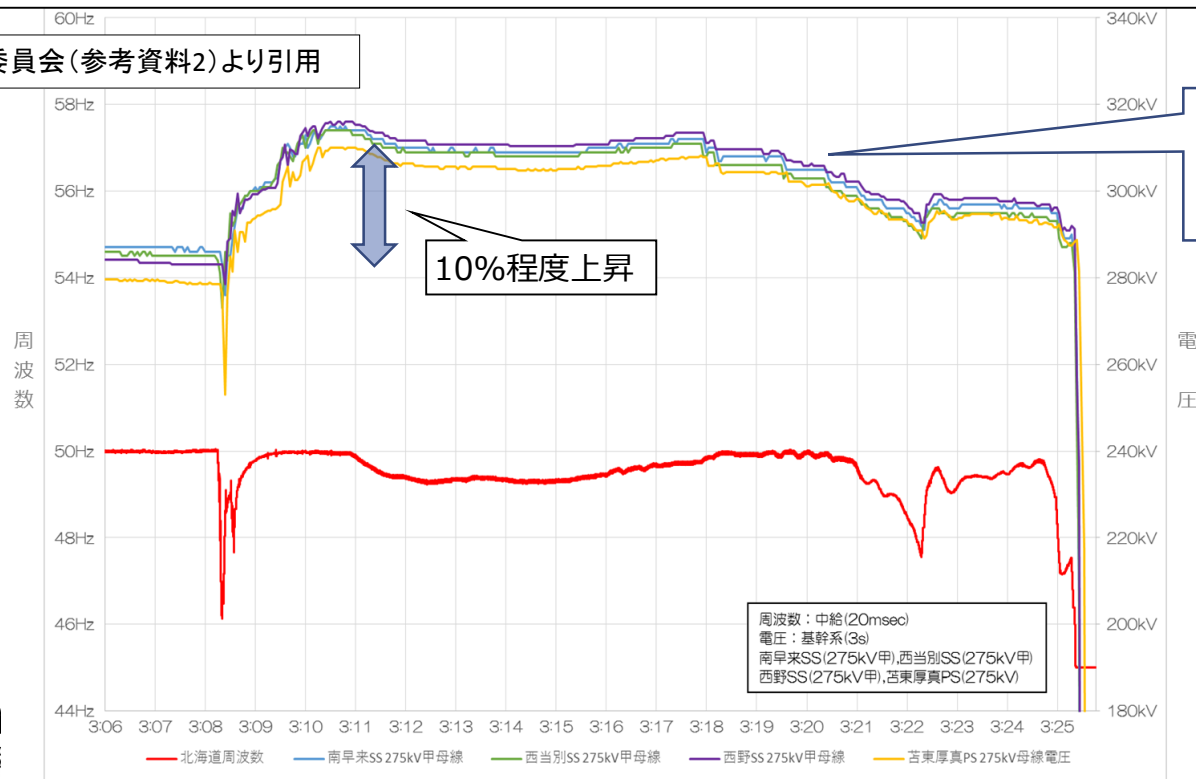
2回目の周波数低下リレーによる負荷遮断についても、リレーの整定値に従い動作していることを確認した。遮断量は16万kWとなり、49.5Hz程度まで上昇したことを確認。

<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と推定される。

- 3時11分頃からの需要増加について、第1回検証委員会での検証においては、情報収集のための照明・テレビ等によるものと推定していたが、第1回検証委員会後の検証作業の結果、新たに電圧の上昇によって需要が増加（負荷の特性）した可能性もあることが判明した。
- 地震発生後、基幹系統の電圧は10%程度上昇している。需要端では変圧器の電圧調整機能により、緩和されるものの、数%電圧が上昇した可能性がある。
- 一般に負荷の特性は、定電力特性、定電流特性、定抵抗特性に区分される。このうち、定抵抗特性を持つ機器の消費電力は、電力 $P = \text{電圧 } V^2 / \text{抵抗 } R$ により、電圧の二乗に比例して増えるため、電圧が上昇すれば需要が増加することになる。
- なお、分路リアクトル投入等によって系統電圧を抑制したことは、設備の過電圧抑制とともに、周波数維持の観点からも適切な処置であったと評価できる。

第1回 検証委員会(参考資料2)より引用



分路リアクトルを順次投入したことにより、電圧が徐々に低下したと推定される

10%程度上昇

余白

地震発生直後②-1 個別事象の確認 (送配電線再送電～負荷遮断2回目) 16

2018/9/6 AM3:09～3:19

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。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。

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。

<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かと認められるのではないかと。

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。

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。これは深夜の地震発生直後における部屋の明かりの点灯、テレビによる情報収集のための電力需要の増加に加え、電圧の上昇によって需要が増加した可能性もあると考えられる。

<事実認定>

一般論として、深夜の地震発生後は需要が増加すると推定される。併せて、電圧上昇による需要増加の影響もあると推定される。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。