

再発防止に向けた論点整理について (第2回検証委員会配布資料3)

2018年10月23日

- 前回委員会で提示した論点について、委員からのご指摘を加え、今後、これらの論点について検討していく。

1. 超稀頻度事故に備えた運用・設備形成の考え方

- 北本連系線のマージンを活用した緊急融通が周波数の回復に効果があったが、確保量は十分であったか。【スライド3、4、19】
- 大規模揚水発電所が作業停止中のなかで、一つの火力発電所に集中した運用が適切であったか。【スライド10、16、17、19】
- 現在の設備形成ルールとの整合性。【スライド5～9、19】

2. 周波数制御体系の在り方

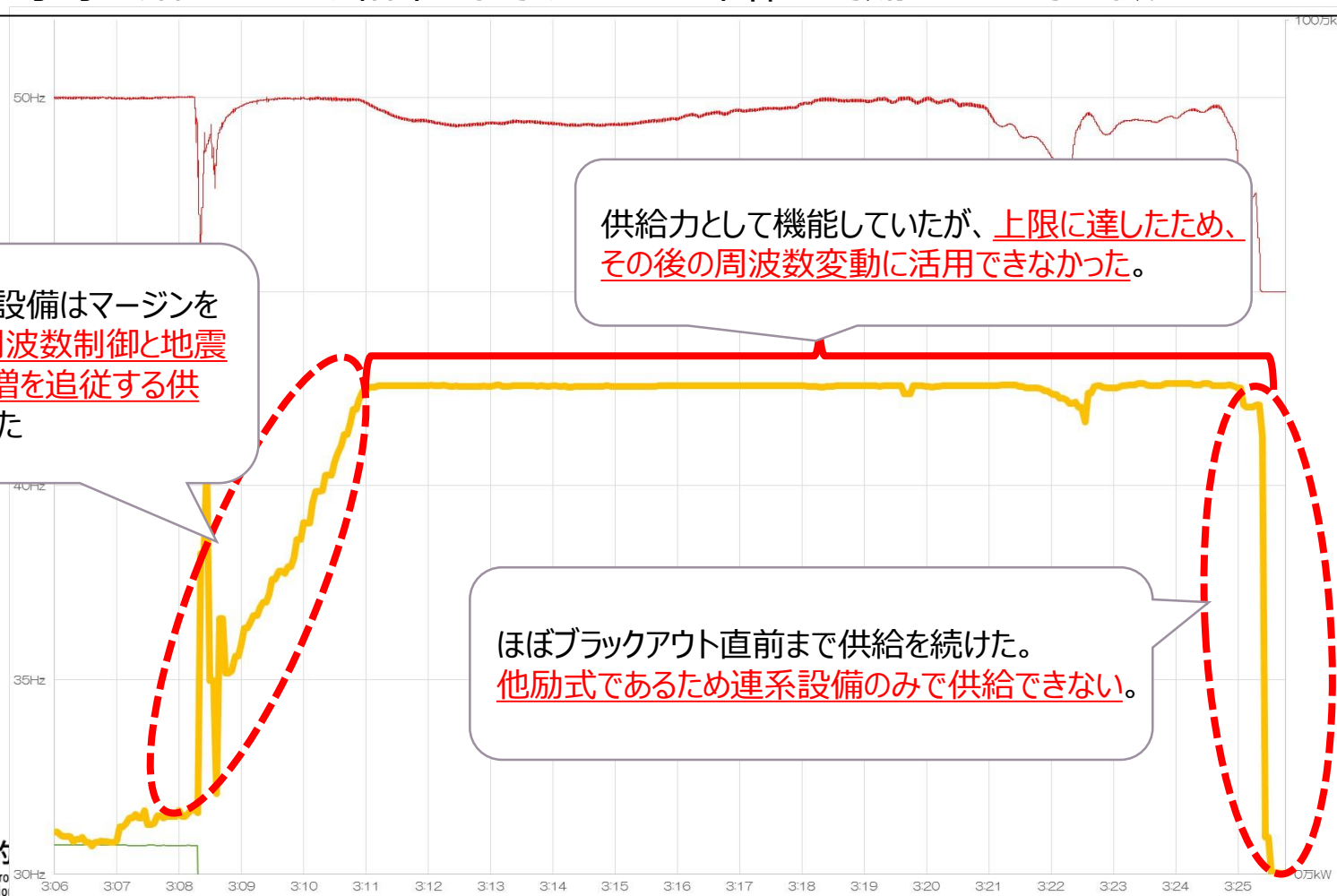
以下の点を踏まえ時間軸も踏まえた周波数制御体系の在り方について検討を行うべきではないか。

- 今回のような急激な供給力の喪失に対しては負荷遮断が必要になるが、整定値等に関して見直しが必要か。【スライド10～15、19】
- 水力・風力などの再エネの発電機の多くが停止したが、整定値や時限を見直すことで、周波数の低下を抑制することはできないか。【スライド19】

3. 緊急時のオペレーションの更なる検証

- 今回のような超稀頻度事故に対するオペレーションについて、マニュアルの整備状況や訓練の実施状況について確認が必要か。【スライド18】

- 前回委員会において事実認定いただいたとおり、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。

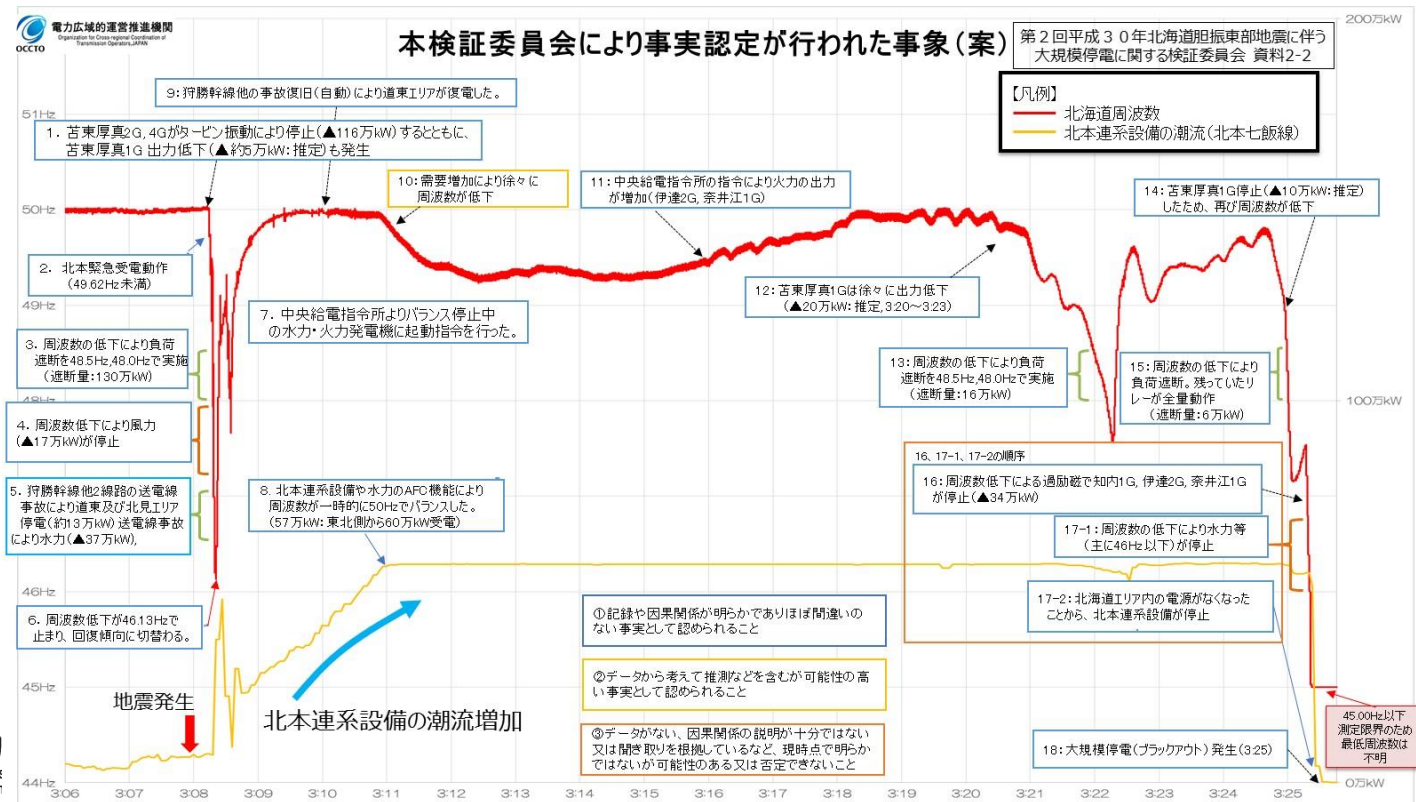


- 現在、新たなルートとして北斗今別直流幹線を通す新北本連系設備を建設中であり、2019年3月に運転開始予定となっている。
- 他エリアと直流のみで連系している北海道の地理的特性を考えれば、技術的にブラックアウトを起こさないためには、さらに連系設備を増強すること等の対策がありうるが、他の手段と比較してどのように考えるか。
- なお、既設の北本連系設備（1972年建設開始）は当時海底ケーブルに交流を用いることは費用面でも現実的ではなかったことに加え、交流に比べ、送電ロスや電圧制御の面で有利であったことから技術的にも直流方式を採用していることは妥当と評価できるのではないかと。



- 前回委員会において事実認定いただいた事象において失われた供給力を整理すると、苫東厚真1、2、4号機のトリップ、送電線3ルート（4線路）故障が発生しており、「N-3」+「N-4」※となる。
- 現在の設備形成上のルールでは、N-2以上の稀頻度リスクに対して一定の停電を許容しており、国際的にみてもN-1は、単一故障の考え方に多少の差異はあるものの、N-2以上の事象については**運用において連鎖的な停電を防ぐことが原則**となっている（すなわち、停電は許容するが運用により**ブラックアウトは極力回避すべき**）。
- このため、諸外国における考え方も踏まえ、**現在の設備形成上のルールに照らし、北海道電力の設備形成に不適切な点は確認されなかったが、運用上の対策により、停電発生リスクや発生時間を低減できていたか、**評価を行う必要がある。

※N-1（単一故障）のルールはスライド6参照

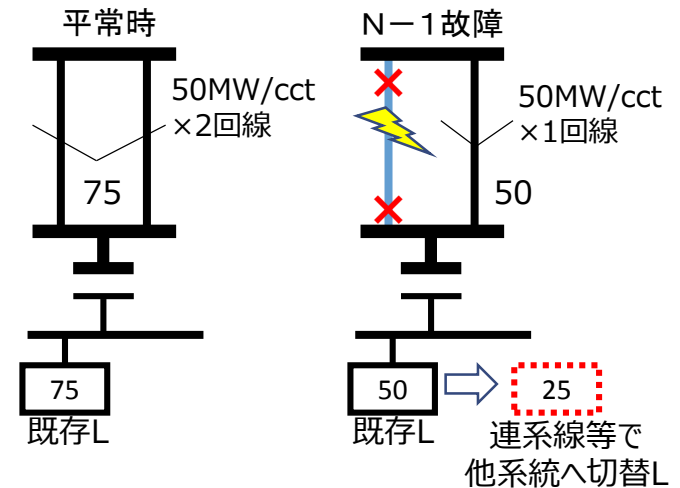


(参考1) N-1基準

〔概要〕

N-1故障が発生しても、短時間熱容量を超過させないようにして、停電させない設備形成とする。ただし、停電が発生する場合であっても供給支障の社会的影響が限定的である場合は、当該性能を充足しているものとする。

〔イメージ〕



送配電等業務指針

(電力設備の単一故障発生時の基準)

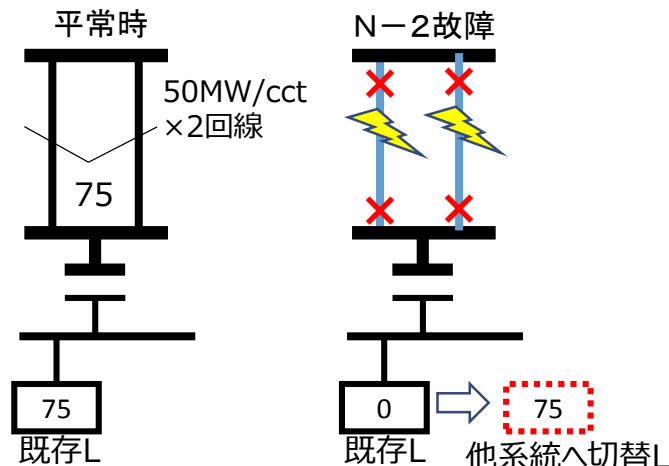
第64条 **送配電線1回線、変圧器1台、発電機1台その他の電力設備の単一故障**(以下「N-1故障」という。)の発生時において、電力系統が充足すべき性能の基準は次の各号に掲げるとおりとする。

- 一 熱容量 電力系統からN-1故障の発生箇所が切り離された後の各流通設備の潮流が、短時間熱容量(流通設備に電流が流れた際の当該設備の温度が、当該設備を短時間に限り使用することができる上限の温度となる潮流の値をいう。以下同じ。)を超過しないこと
 - 二 電圧安定性 電力系統からN-1故障の発生箇所が切り離された後においても、電圧安定性が維持されること
 - 三 同期安定性 電力系統からN-1故障の発生箇所が切り離された後においても、発電機の同期運転の安定性が維持されること
- 2 前項に掲げる性能を充足しない場合であっても、次の各号に掲げる条件のいずれにも適合する場合には、当該性能を充足しているものとして取り扱う。
- 一 供給支障が発生しない場合、又は、供給支障が発生する場合であっても、供給支障の社会的影響が限定的である場合(1回線の配電線路から電気の供給を受ける需要場所において、当該配電線路のN-1故障により供給支障が発生する場合を含む。)
 - 二 発電支障が発生しない場合、又は、発電支障が発生する場合であり、次に掲げる事項を満たすとき
 - ア 当該発電支障による電力系統の電圧安定性、同期安定性及び周波数に対する影響が限定的であること
 - イ 発電抑制(給電指令(第189条に定める。以下同じ。))により発電設備等の出力の抑制又は電力系統からの電氣的な切り離しが行われることをいう。以下同じ。)の対象となる発電設備等を維持・運用する電気供給事業者がN-1故障時における発電抑制の実施に合意していること及び当該電気供給事業者が、当該同意に基づく給電指令に応じ、発電抑制を実施することができる体制及び能力を有すること(保護継電器等により確実に発電抑制を実施できる場合を含む。)
 - ウ その他発電抑制を許容することによる電気の供給、公衆の保安等に対するリスクが大きいこと

〔概要〕

N-2故障が発生しても、社会的影響が大きくなることが懸念される場合は、これを軽減させるための対策を検討する。また、それを超える事故等については、可能な限り限定的な停電は許容する。ただし故障の影響を他の系統へ波及させないようにする。

〔イメージ〕



送配電等業務指針

(電力設備の2箇所同時喪失を伴う故障発生時の対策)

第66条 本機関又は一般送配電事業者は、送配電線、変圧器、発電機その他の電力設備の2箇所同時喪失を伴う故障が発生した場合において、当該故障に伴う供給支障及び発電支障の規模や電力システムの安定性に対する影響を考慮し、社会的影響が大きいと懸念される場合には、これを軽減するための対策の実施について検討する。

(参考3) 海外のN-1基準の考え方

ENTSO-E, Operating Handbook P3-Policy : Operational Security

通常の不測の事態(N-1基準)

以下の単一要素が失われたことを「通常の不測の事態」とする。

- ①単一送電線、
- ②単一発電ユニット
- ③同じ区間に接続する1又は2つの変圧器、位相変圧器
- ④大型の電圧補償装置
- ⑤(発電ユニット又は大規模需要家としてみなす)直流送電線

A1-D2.1. Normal type of contingency. The normal type of contingency is defined as the loss of a single element. Single elements are as follows:

A1-D1.1.1. a single line,

A1-D1.1.2. a single generating unit,

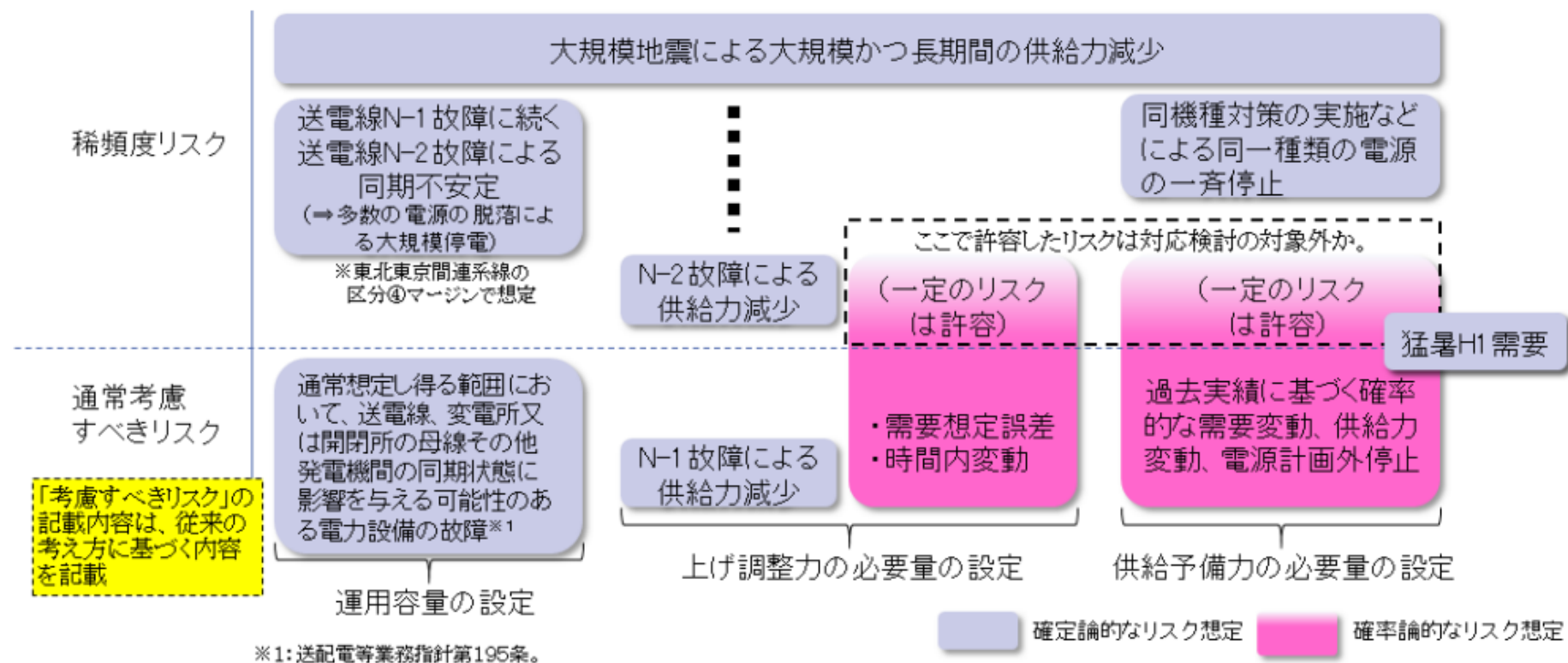
A1-D1.1.3. a single transformer or two transformers connected to the same bay respectively, a Phase Shifter Transformer,

A1-D1.1.4. a large voltage compensation installation,

A1-D1.1.5. a DC link considered as a generating unit or a large consumer.

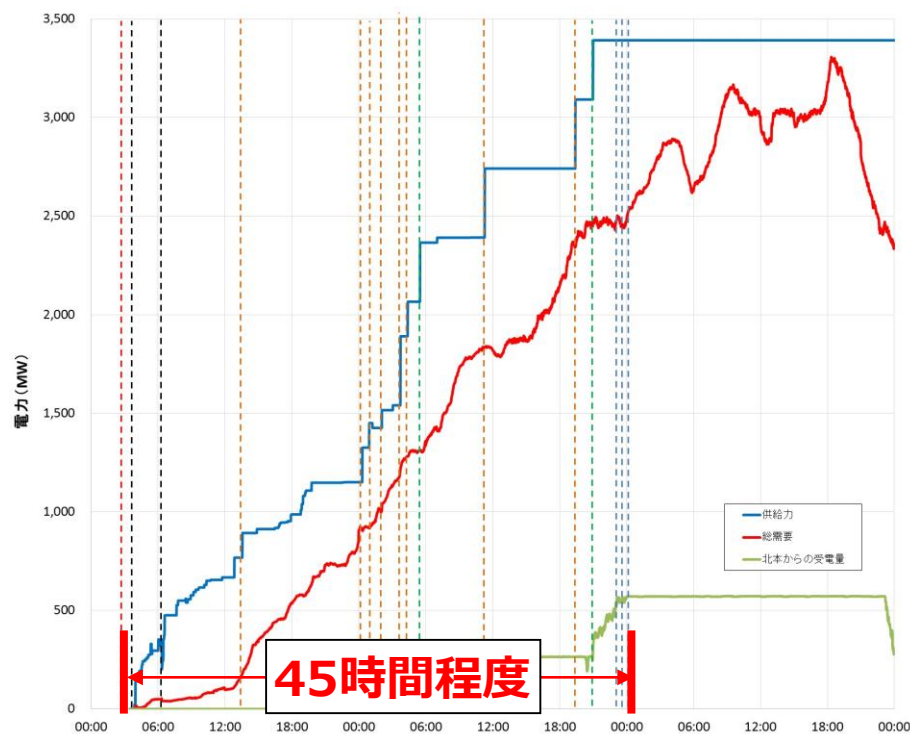
(参考4) 稀頻度リスクの考え方

- N-1は通常考慮すべきリスクとしており、これにより供給支障を起さないように設備形成している。
- なお、N-2は稀頻度リスクではあるが事故の社会的影響を軽減する対策を講じることとしている。
- また、N-2以上の事象については、設備形成ではなく、運用によって連鎖的な事故にならないように対策を講じている。



出典：調整力及び需給バランス評価等に関する委員会平成28年度（2016年度）とりまとめ（平成29年3月）

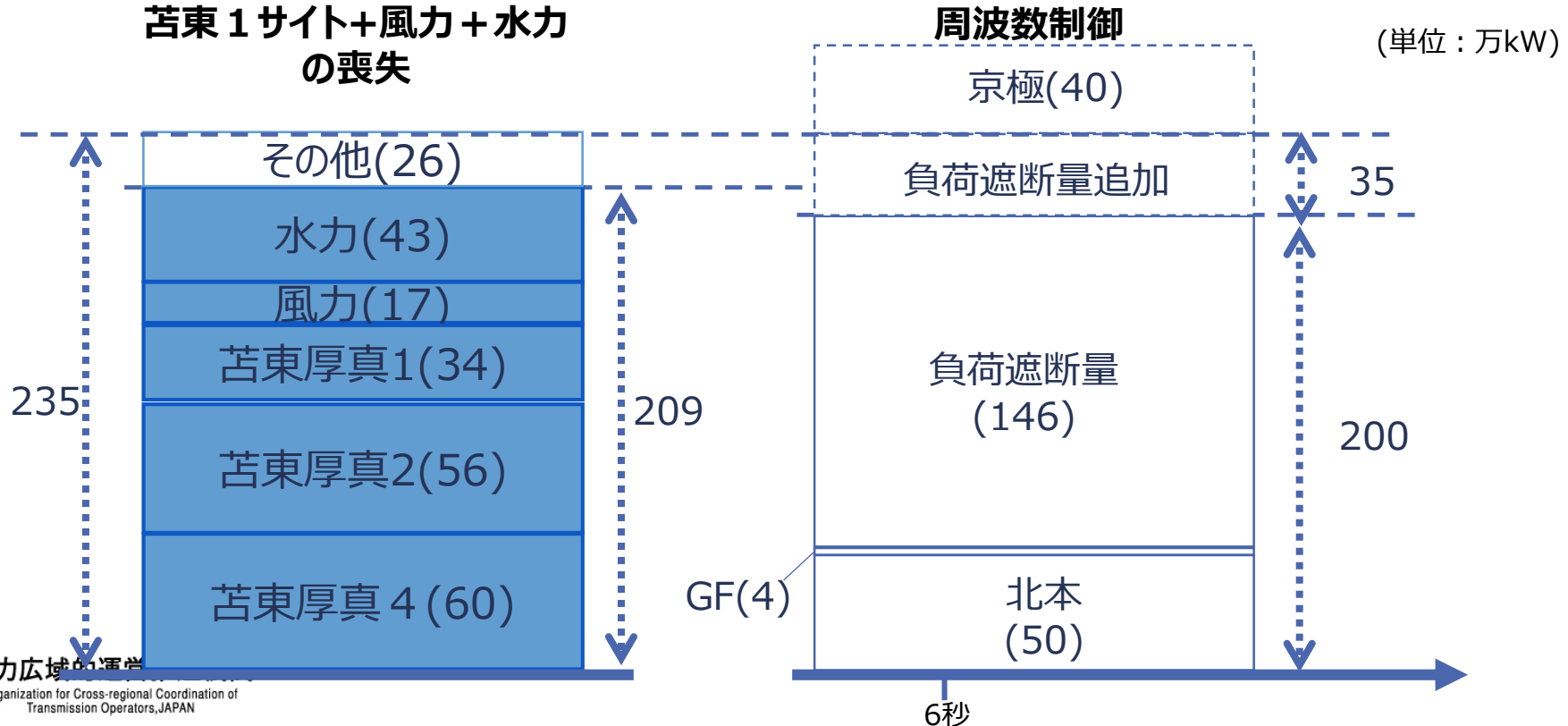
- 本日のブラックスタートの検証により、ブラックアウトから概ね全域に供給ができるまでに45時間程度を要したことが確認された。
- 一般的にブラックスタートに伴う時間経過が一般市民の生活や経済活動に与える影響は決して小さい。このため、ブラックアウトを極力回避するための**早期の対策を講じる**必要がある。
- また、2019年2月には石狩湾新港火力発電所（LNG：57万kW）、同年3月には新北本連系設備（自励式：30万kW）が運転開始となる予定であり、周波数制御体系やブラックスタートの方法についても新たな対策が可能となる。
- このため、まずは今回**負荷遮断の考え方、苫東厚真火力1, 2, 4号機の運用について当面必要な対策を提示**すべきと考える。



- 周波数低下リレー（UFR）による負荷遮断量については、2007年まで泊原子力発電所からの送電が1ルートであったことから、当時運転開始していた泊1、2号機からのルート断による供給力低下（最大：▲116万kW）を想定し、負荷遮断量を算定していることが確認された。
- 2007年に泊原子力発電所からの供給が2ルート化されているが、その後見直し等を行われていない（苫東厚真火力発電所は既に2ルート化されていたため、算定には考慮されていない）。
- 本来、**適切な時期に見直しを行うべきではあった**が、2ルート化を踏まえて見直しを行えば単機最大ユニットを想定し、負荷遮断量を減らすことになるため、結果的にブラックアウトをより防ぐ設定になっていた。
- 今回の事象を踏まえ、検証では負荷遮断量の増加について検討すべきと考える。
- ただし、現在の北本連系設備は他励式であることから安定的な利用には、北海道電力管内の短絡容量が受電量の3倍程度必要である。これについても、様々な需給断面における詳細なシミュレーションが必要であるが、**負荷遮断を過度に増やすことのないように確認することも必要**である。
- 際限なく負荷遮断を設定することは、かえってシステムを不安定にするだけでなく、ブラックスタートを遅らせるおそれもある。本来は適切なシミュレーションを行い、安定化対策全体を評価した上で、負荷遮断量を設定する必要があるが、**早期にブラックアウトの可能性を極力低減するためには少なくとも苫東厚真1サイト脱落を想定し、必要な負荷遮断量を追加で早期に対策すべき**ではないか。
- なお、負荷遮断量の考え方について、**ルート断を基本とした考え方が適切だったのかについては、北海道電力の考え方に必ずしも不適切な点があったとは言えないが、今回のブラックアウトを踏まえれば、再考が必要**である。

- **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運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苦東厚真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。

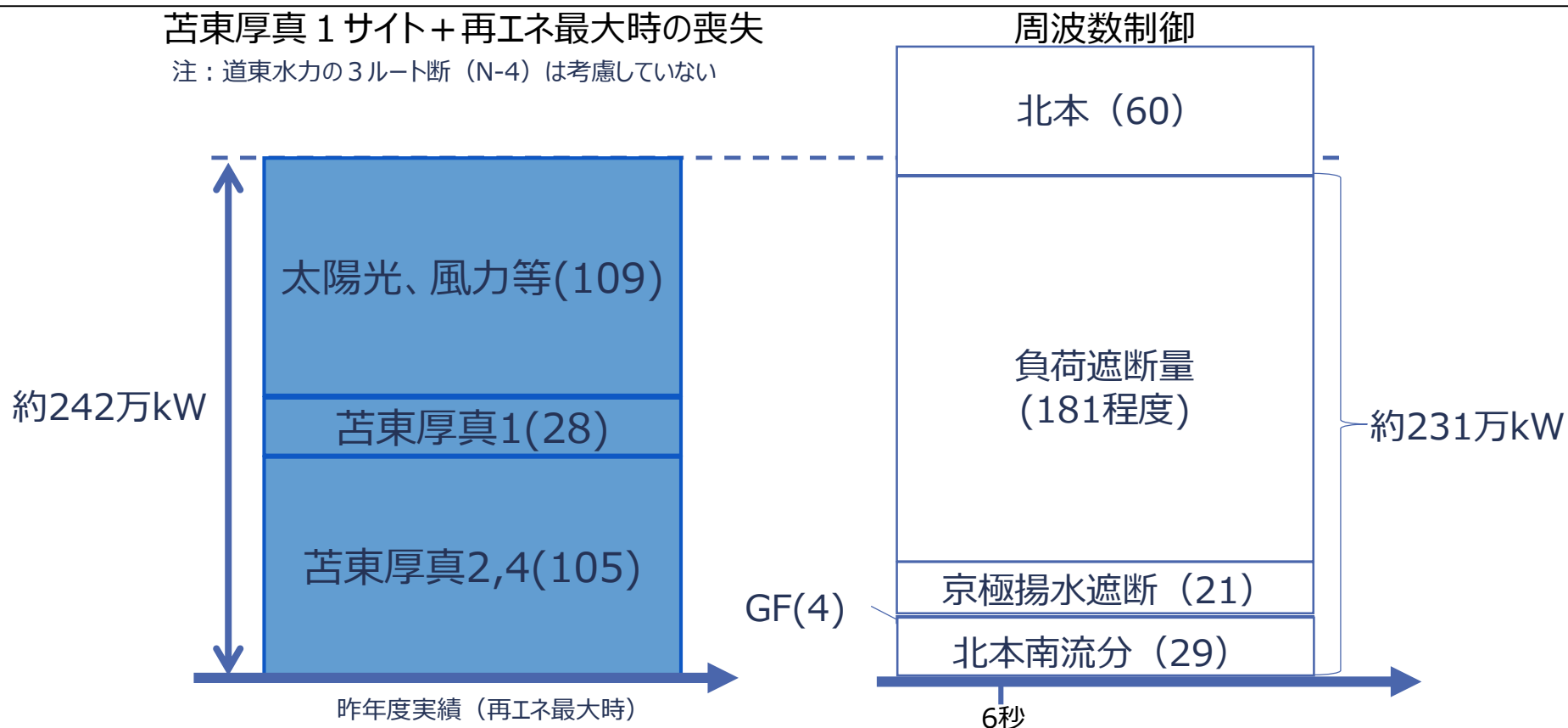
※ 前回「その他」と整理した電源34万kWのうち、最後までトリップしなかった8万kWを差し引いたもの



- 資料1-1でも述べたとおり、北本連系設備を安定的に利用するには3倍程度の短絡容量が必要である。
- 短絡容量が確保されるかを確認するため、トリップする出力が最も大きい（残る火力が少ない）再エネ最大出力実績の断面で確認した。
- この断面で181万kW程度（総需要309万kW）まで負荷遮断を行っても、必要な火力が運転し、短絡容量は確保※されることを確認した。
- これらを総合的に考えれば、**早期対策としてUFRを35万kW程度追加する**ことが妥当ではないか。

苫東厚真 1 サイト + 再エネ最大時の喪失

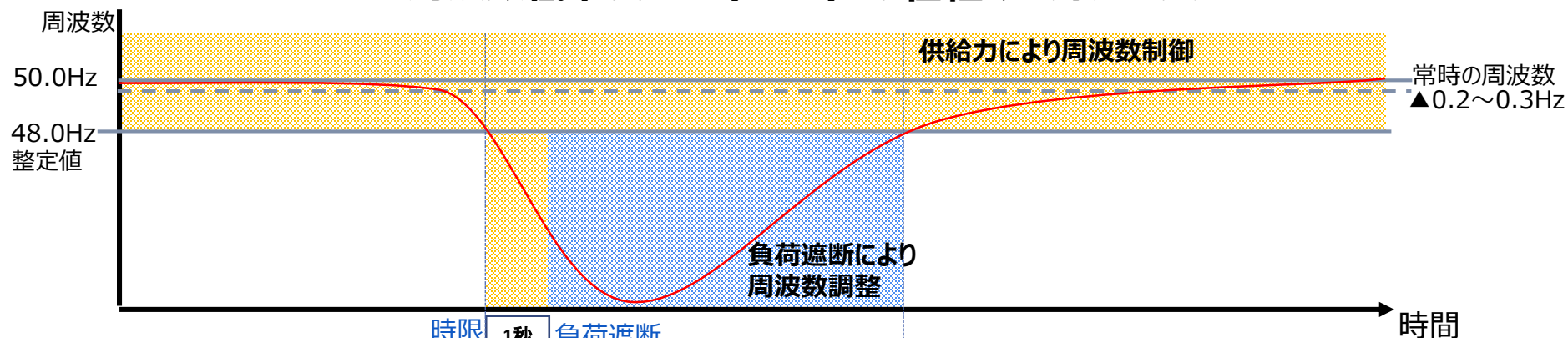
注：道東水力の3ルート断（N-4）は考慮していない



※負荷遮断した場合でも、知内2号機（11万kW）、共発（12万kW）、奈井江（6万kW）の稼働により192万kVAの短絡容量を確認（その他、この断面では自家発の火力が稼働しており、実際の短絡容量は209万kVA以上）。北本連系設備60万kWの3倍を確保している。京極が発電に切り替われば更に短絡容量は大きい。

- 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>



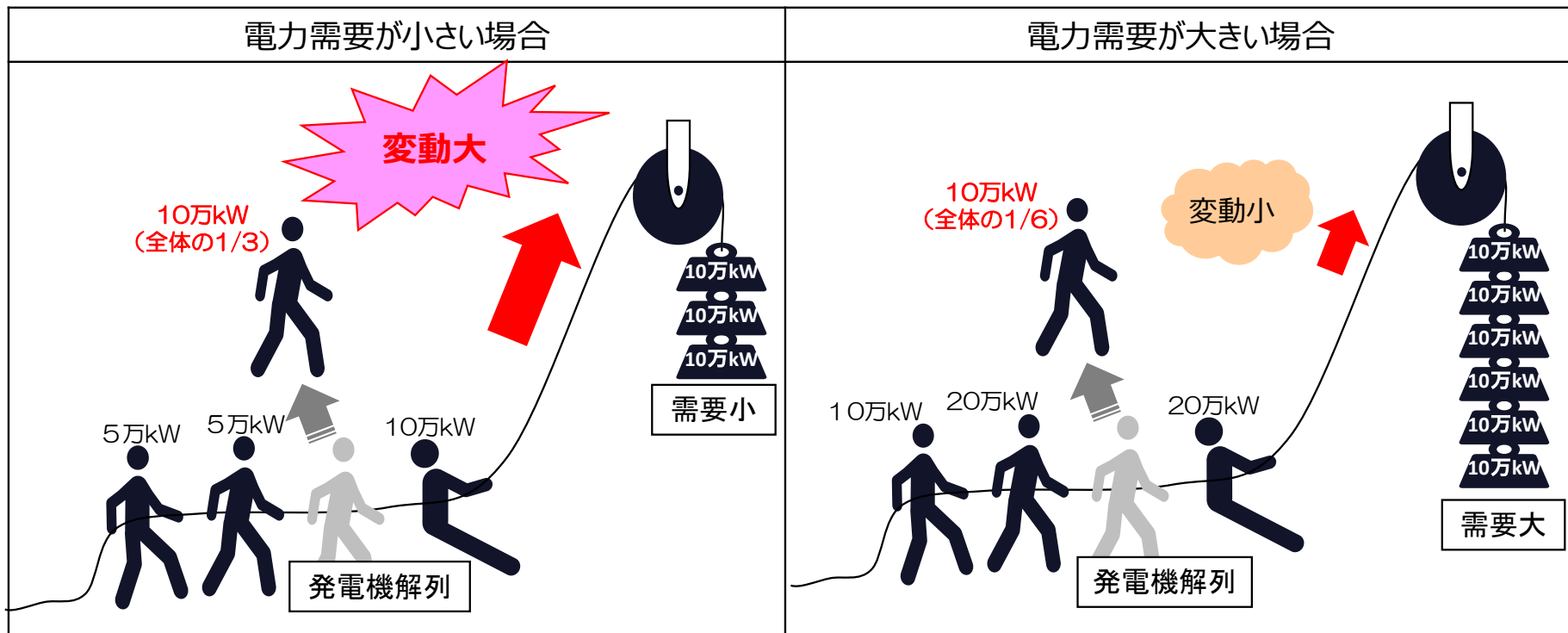
※あくまで分かりやすくするためのイメージであり、実際の時限設定は0.1秒程度の短時間の設定もしている。

UFR
時限

1秒	負荷遮断
2秒	負荷遮断
3秒	負荷遮断
4秒	負荷遮断
5秒	負荷遮断
6秒	負荷遮断
7秒	作動せず
8秒	作動せず

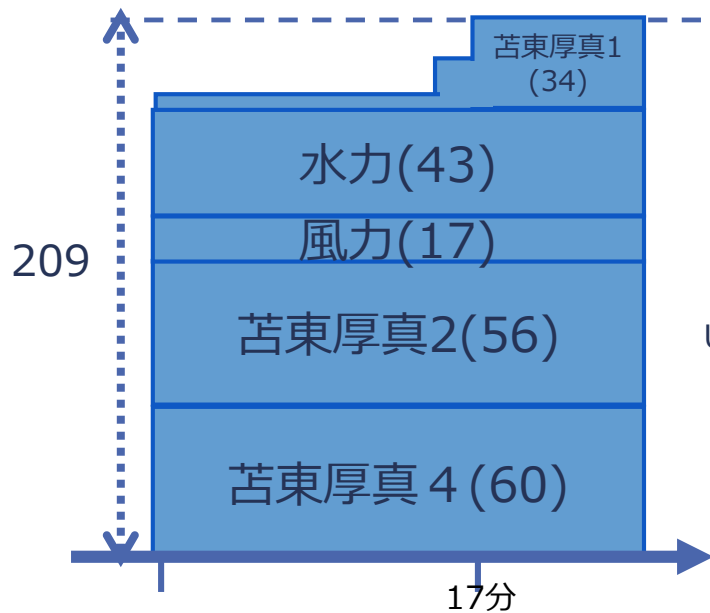
2回目以降に動作

- 周波数低下リレー（UFR）の負荷遮断量については留意すべき事項がある。
- 周波数制御は需要規模が小さくなればなるほど、小さな変化でも周波数の振れ幅は大きくなる。
- このため、負荷遮断量が多くなれば周波数制御がシビアになりブラックアウトに至るおそれもある。
- 仮に一部でごく小さな系統が生き残った場合はブラックスタートの妨げになるときもあり、一度、停電させてからブラックスタートという手順になることからかえってブラックスタートが遅くなるおそれもある。むやみに負荷遮断量を増やすことのないようシミュレーションに基づく評価が必要である。



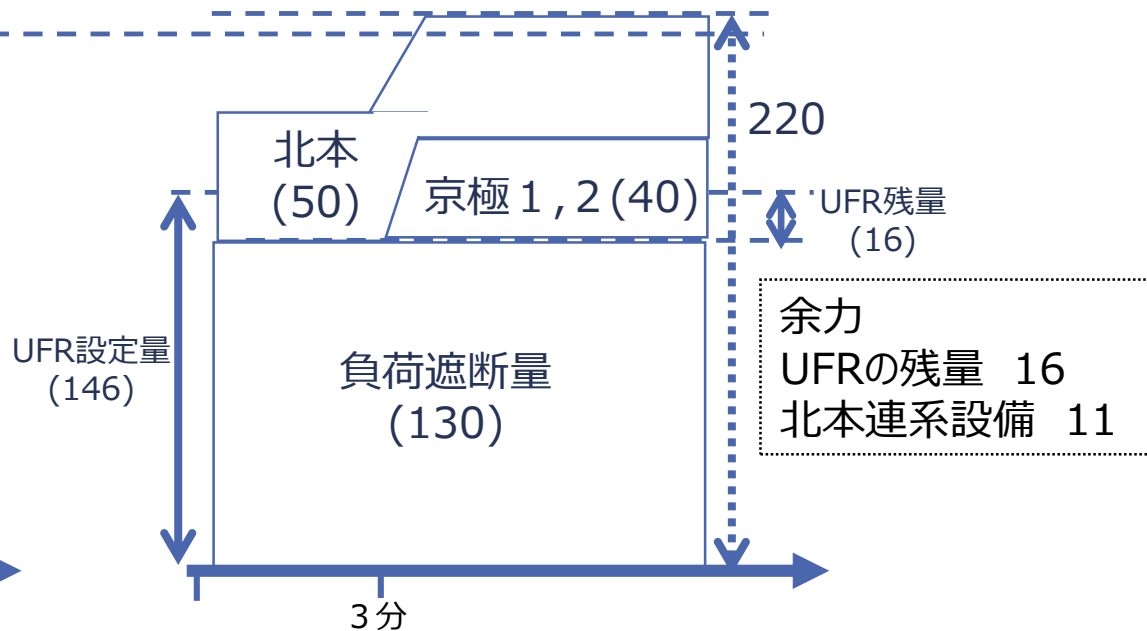
- 地震発生時、大規模揚水が停止している中で苦東厚真 1 サイトに供給力が集中していたことについては論点の一つである。
- 以下の仮説はいずれも相当程度余力があり、最初の周波数低下は地震時にも46Hz以上に留まったことから問題ないと考えられるが、既にシミュレーションを開始しており次回検証委員会までに確認する。
- 現時点では地震発生時の状況で**苦東厚真 1 サイトが全機脱落した場合でも、京極 1、2 号機（20万kW×2）が稼働できれば、ブラックアウトには至らなかった可能性が高い**と考えられる。
- また、大規模揚水（京極 1、2 号機）が 2 台停止していても、**水力のトリップ（N-4）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

地震発生時の電源喪失



周波数制御

(単位：万kW)



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）。

その他電源の不明分については引き続き確認を行うとともにデータが確認できない場合にはシミュレーションにおいて再現可能かも検討する。

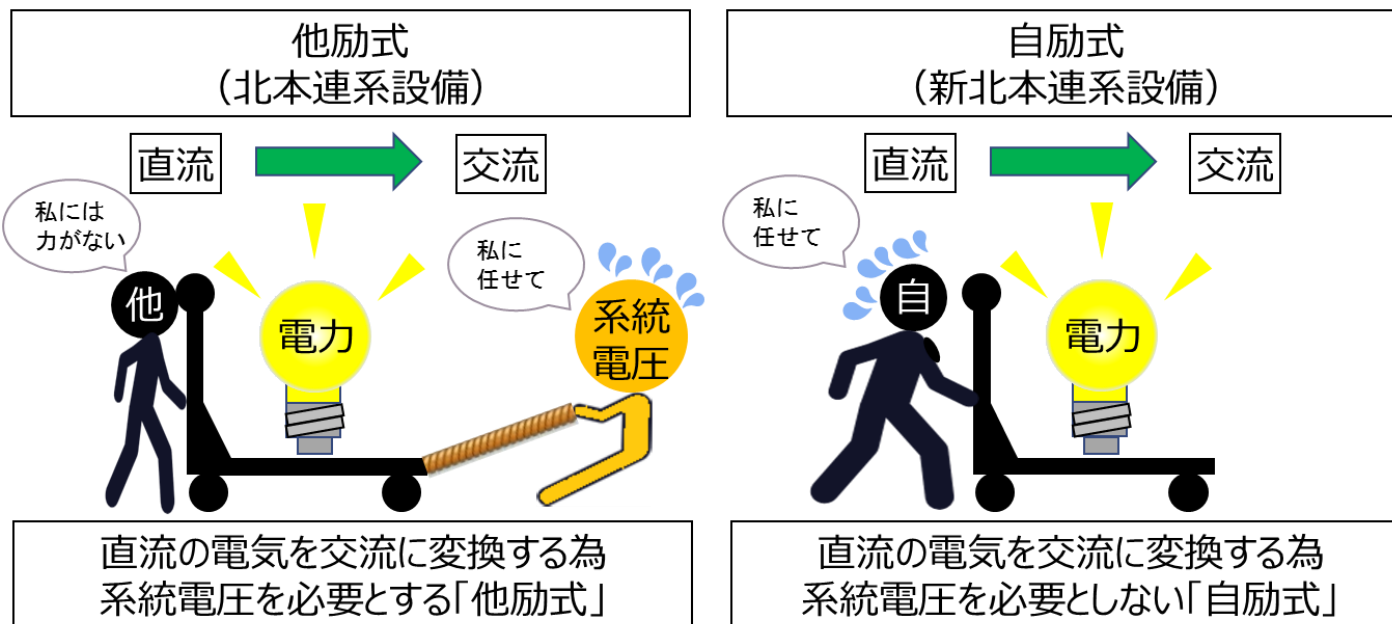
- 引き続き、中間報告に向けて、スライド16のシミュレーションによる確度の向上、苫東厚真1サイト（3機同時フル出力を含む）脱落や再エネ高出力時など、他のケースも含めシミュレーションで確認を行う。
- UFRを35万kW拡大することで、苫東厚真1サイト脱落のような場合でも、周波数制御可能な量は確保した。しかし**本来、負荷遮断は最終手段であり、停電規模自体を最小限にする運用が重要**である。
- このため、まずは、**技術的には、当面、京極1、2号機が運転できる状態であることを前提とすれば、苫東厚真3機の運転は妥当**と言えるのではないか。
- なお、京極1、2号機でトラブルがあった場合には、運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ジン拡大（順方向・本州向きに流すことでマージンは最大約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。

- ブラックスタートについて今般の検証を踏まえて、以下の対策について検討が必要ではないか。

<ブラックブラックアウトから早期に回復するための備え>

- ・**今回の明らかになった課題を教訓とした手順等の見直し**
- ・**ブラックスタートの訓練や研修の充実**
- ・**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**
- ・**ブラックスタート機能の強化に必要な設備対策**

※新北本連系設備については、自励式交直変換器を採用していることから、北海道電力管内の発電に関係なく、電気を送ることができる。このため、実務上の時間は必要ではあるが、即座にブラックスタートに使うことができる



- 中間報告に向けて、当面、早期に実施する対策を提示したが、最終報告に向けては、シミュレーションを行った上で適切かつ効果的な対策を検討する必要がある。
- 今回積み残しになった論点も含め、石狩湾新港発電所及び新北本連系設備の運転開始を含めた需給バランスを勘案し、中間報告、最終報告に向けて、今後、以下の点については継続的に技術的検討を行っていく。
- なお、これら検証の上、他のエリアあるいは全国に展開が必要なものは、展開していく。

<北海道電力管内におけるブラックアウトの再発防止策>

- ・適切なUFR整定値及び負荷遮断量の検討
- ・適切な発電機（風力、水力等）のリレー整定値の検討
- ・上記を踏まえたガバナフリー、自動周波数制御機能（AFC）、連系設備のマージン等、周波数制御機能の再評価
- ・運用では解消できない設備対策