

I 南海トラフ巨大地震および首都直下地震

(1) 火力発電設備

(2) 送電設備、変電設備

II 自然災害発生時の復旧迅速化対策

III 集中豪雨

IV 暴風（竜巻、台風等）

V 大規模火山噴火

(1) 火力発電設備

(2) 送電設備、変電設備

VI 太陽フレアに伴う磁気嵐

1. 目的および検討対象

- 17万V以上の送電鉄塔を対象に、集中豪雨による山岳の地すべり等に対する耐性および保全体制の在り方を確認

2. 検討方法

- 集中豪雨を含む大雨による地すべり、土砂流出など（以下、「斜面崩壊」という。）に対して、以下のハード面とソフト面から検証

ハード面 ※1 斜面崩壊の危険性の回避 および設備対策	● 鉄塔位置の選定 ● 鉄塔基礎設計 ● 斜面崩壊対策
ソフト面 ※1 大雨発生前後の保全体制 の在り方	● 事前の備え ● 大雨後の対応 ● 斜面崩壊発見時の対応



送電鉄塔の経過地

経過地は、山地、豪雪地帯、河川横断、海岸および平地など千差万別であるが、1970年代の需要増大に伴う電源（発電所）の大規模化により、送電線は長距離化している

※1. ハード面、ソフト面の対応は、送電鉄塔の電圧で区別しているものでないことから、検証は全電圧の送電鉄塔を含めて実施

3. 鉄塔位置選定、鉄塔基礎設計、斜面崩壊対策の基本的考え方

(1) 鉄塔位置選定

- 既存の地形図・地質図、地表地質調査結果等にもとづき、地すべり防止区域や斜面崩壊の危険性がある箇所(周囲に崩壊跡あり)を回避

(2) 鉄塔基礎設計

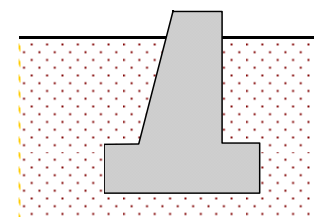
- やむを得ず、地すべりなどが懸念される箇所を選定する場合は、土の重量に依存しない鉄塔基礎※2の採用や斜面安定性評価を実施

※2. 基礎耐力に土の重量を期待する逆T字型基礎に比べ、深礎基礎は基礎自重に依存しているため、土砂流出に伴う影響は小さい

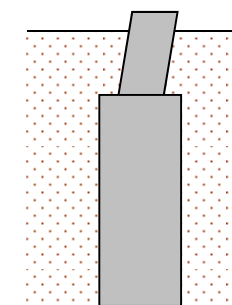
(3) 斜面崩壊対策

- 現地の状況に応じて、斜面安定性評価を実施し、法面保護工や抑止工、擁壁工を実施

ハード面の対策のみに依存せず、万が一の斜面崩壊発生に備え、保全体制(ソフト面)も構築



逆T字型基礎



深礎基礎

山地で採用される主な基礎



法面保護工の実例
(フリーフレーム工法)

4. 集中豪雨を含む大雨発生時の保全体制

- 本ページ以降に示す具体的事例は、東北電力の対応を示すが、一連の対応は各電気事業者が実施しているもの

(1) 保全体制の在り方【東北電力の例】

事前の備え	大雨(台風通過)後の対応	斜面崩壊発見時の対応
気象情報の把握	降水量の把握	ブルーシート敷・土嚢積みによる更なる土砂崩壊進展の防止
稼動可能人員・車両等の確認・集約	地上・ヘリコプターによる 予防巡視の早期実施※ ³ (過去に土砂崩壊が発生した要管理個所や、降水量が多かった地域など)	保安停止※ ⁴ による供給支障等リスク低減(必要により)
応急復旧資材の確認		仮支線設置による鉄塔倒壊の防止(必要により)
連絡体制の確立		恒久対策の早期実施
離島等への人員派遣		要管理個所として管理体制の強化

※3. 大雨・台風通過後は数日間程度で予防巡視(会社によっては保安巡視と呼ぶ場合あり)を実施。機動性の観点から、ヘリコプターの活用が極めて効果的

※4. 鉄塔倒壊などの不測の事態を想定し、予め当該送電線による送電を停止すること

4. 集中豪雨を含む大雨発生時の保全体制

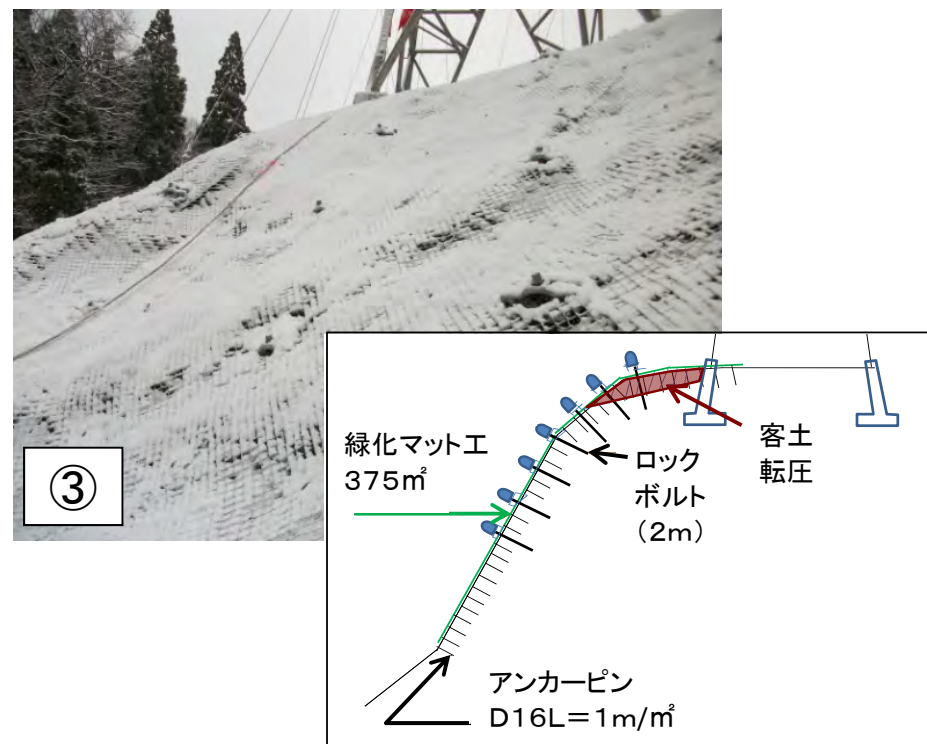
(2) 大雨発生時の一連の対応【東北電力の例】

東北北部豪雨時の実例(平成25年8月9日_土石流発生などにより激甚災害指定)

月日	社内の動き	備考
8/8	・稼動可能人員・車両台数(社員, 工事会社)の把握 ・応急復旧資材・工具点検 ・連絡体制の確立	稼動可能人員(全店合計) 8/9 : 2311人(社員626人, 工事会社1685人) 8/10: 1994人(社員443人, 工事会社1551人) 8/11: 1817人(社員427人, 工事会社1390人)
8/9	東北北部豪雨発生 (車両による予防巡視)	雫石観測所(岩手) 日最大1時間降水量 77.5mm 24時間降雨量 264mm
8/10～ 8/11	ヘリコプターによる予防巡視 (降雨量が多い個所など)	29線路515km 土砂崩壊個所を発見
8/9～ 8/15	応急復旧対策を実施	ブルーシート・土嚢積み・仮支線設置による鉄塔倒壊防止対策の実施
9/17～ 12/20	本復旧対策の実施	土留対策などにより恒久復旧

4. 集中豪雨を含む大雨発生時の保全体制

(3) 斜面崩壊と応急復旧および本復旧対策の実例【東北電力の例】



① ヘリコプター巡視にて確認された斜面崩壊状況(8/10)

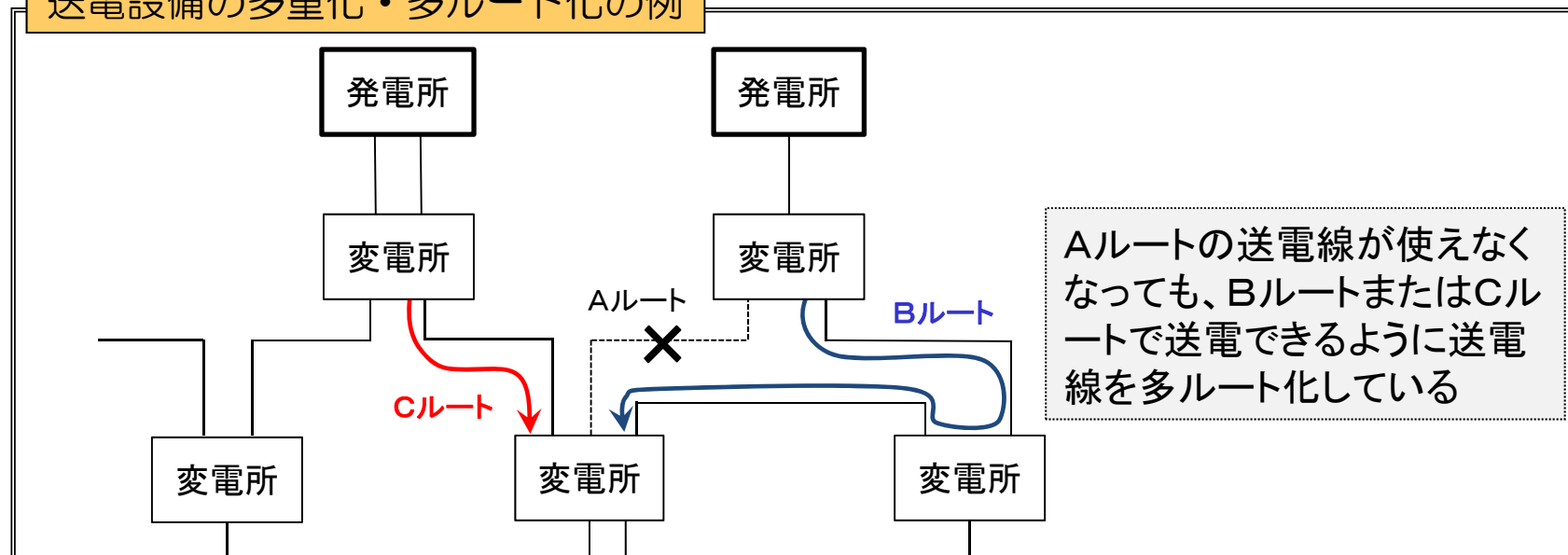
② ブルーシート・仮支線設置による応急復旧（鉄塔倒壊防止）の状況(8/11～8/15)

③ 本復旧として、土留対策（緑化マット＋金網＋ロックボルト）を実施(10/30～12/20)

5. まとめ

- 集中豪雨は局地的に発生する短時間強雨であり、集中豪雨を含む大雨の送電鉄塔への影響については、ハード面・ソフト面の対応により極小化を図っているところ
- なお、電力供給システムは広範囲に広がる多重化されたネットワークであり、局地的な集中豪雨により、直接著しい供給支障発生の可能性は極めて低い

送電設備の多重化・多ルート化の例



平成19年4月にまとめられた「電力システムの構成及び運用に関する研究会（委員長：横山東京大学大学院教授）報告書」では、『電力各社の基幹系統は、構成および運用ともにループ（複数の異なるルートで環状に接続）』『ルート事故でも直ちに停電が起こらない構成』であることが確認されている

- I 南海トラフ巨大地震および首都直下地震
 - (1) 火力発電設備
 - (2) 送電設備、変電設備
- II 自然災害発生時の復旧迅速化対策
- III 集中豪雨
- IV 暴風（竜巻、台風等）
- V 大規模火山噴火
 - (1) 火力発電設備
 - (2) 送電設備、変電設備
- VI 太陽フレアに伴う磁気嵐

1. 目的

- 過去最も過酷な条件で発生した暴風（竜巻、台風等）が発生したとしても、著しい（長期的かつ広域的）供給支障が生じないかの評価と対策を検討

2. 検討対象

- 対象設備は、17万V以上の架空送電設備※1
- 台風、竜巻による過去の被害実績相当

※1. 地中送電設備については、過去20年間で、暴風による供給支障事故が無いことから、対象外として扱う

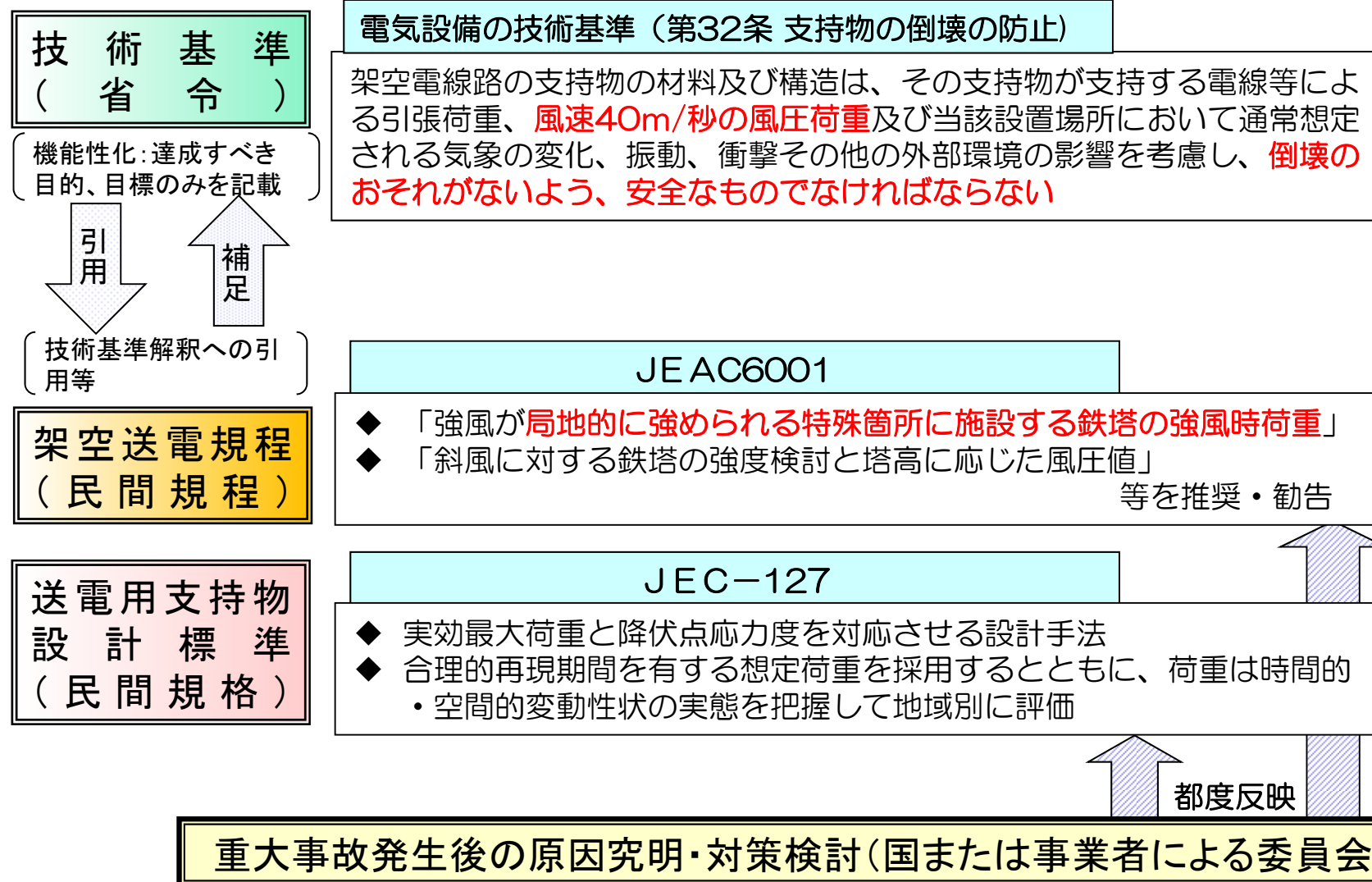
3. 検討方法

- 送電鉄塔は、国の省令において、満足すべき風圧荷重が決められており、さらに過去の大型台風による設備被害経験から、国の省令や民間規程等が見直しされ、立地環境等に応じて耐性強化してきた経緯を踏まえ、「対策実施の妥当性」「電力供給への影響」の観点で評価

台風	対策実施の妥当性の観点	● 送電鉄塔設計の考え方 ● 台風への耐性評価 (送電鉄塔の倒壊実績と対策実施状況等を踏まえた評価)
竜巻	電力供給への影響の観点	● 文献等及び過去の被害実績による耐性評価 ● 電力供給への影響評価

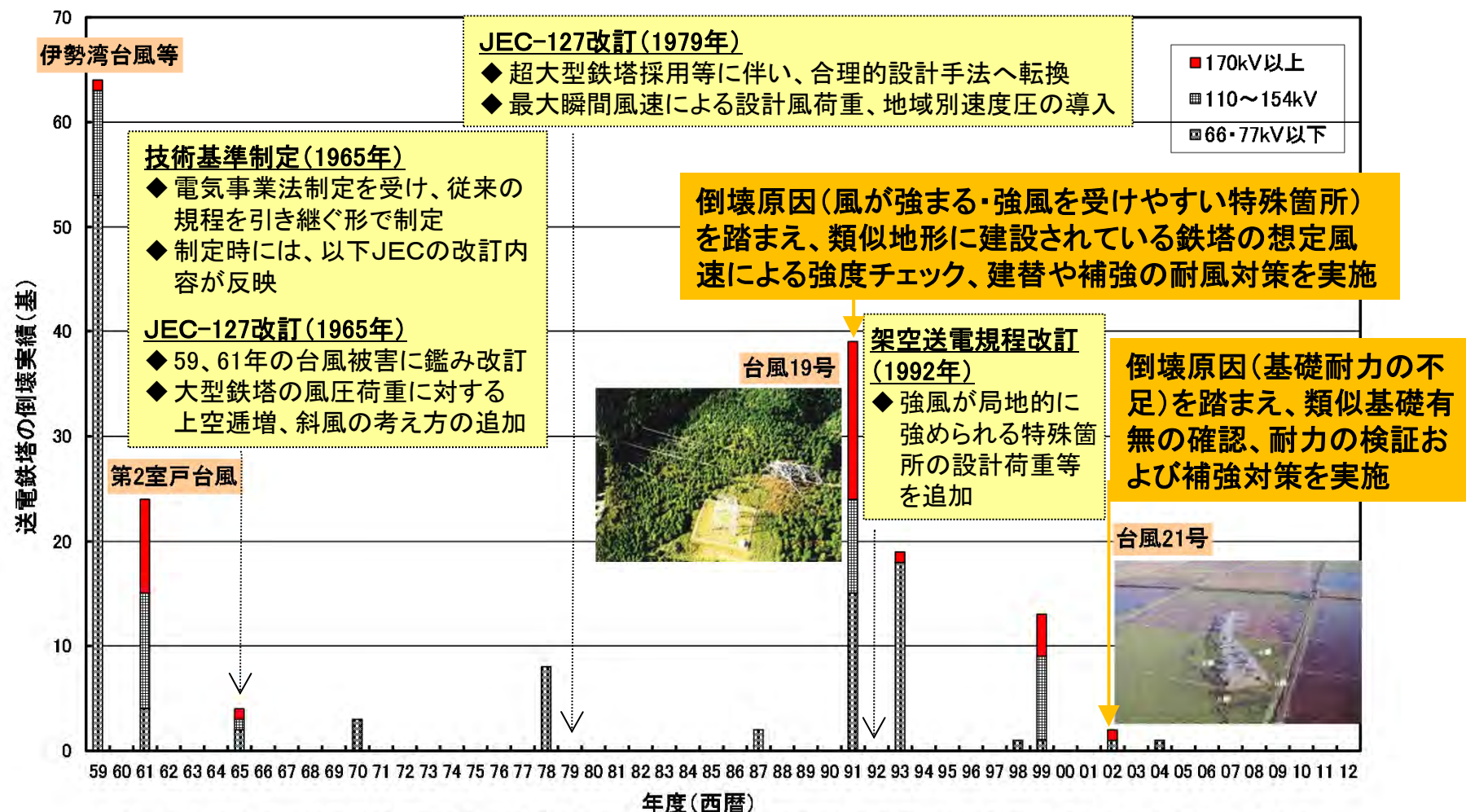
4. 台 風

(1)送電鉄塔の設計の考え方



4. 台 風

(2) 台風への耐性評価(送電鉄塔の倒壊実績と対策実施状況等を踏まえた評価)



1959～2004年度までは電気協同研究第62巻第3号の「送電用鉄塔損壊事例」の内容。2005年度以降は電気事業連合会調べ

台風による鉄塔倒壊被害は減少傾向(2005年度以降は倒壊被害なし)にあり、また第三者による調査結果(平成25年度経済産業省委託事業)においても、台風への耐性は有りと評価

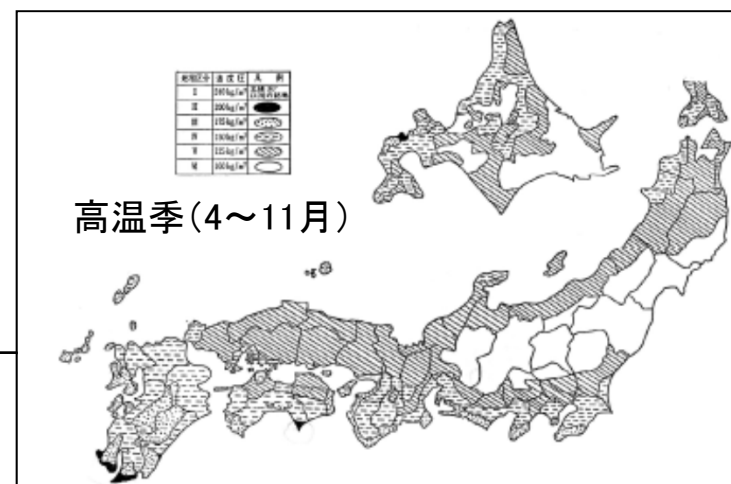
4. 台 風

(3) 平成25年度経済産業省委託事業〔災害に強い電気設備検討調査(送電鉄塔)※2〕の評価

自然現象と送電鉄塔設計の関係性	十分な統計データが存在する自然現象に対する構造設計においては、過去最大級の事象に近いものといった単一の過去の事象を用いるよりは、統計的に十分なデータ数にもとづいた資料から客観的に評価し、要求性能に応じた再現期間にもとづく設計荷重とすることが合理的
「過去最低中心気圧の台風」への耐性評価	<u>以下の理由を踏まえ、台風の規模(強さ)が現状と大差なく、過去の統計的な実績にもとづく蓋然性の高い経路で襲来するとすれば、送電鉄塔の耐力が確保されていると評価できる</u> ◆ 特殊地形や地域別の風速や局地条件により、個別に設計風速(45～60m/s)を割り増す等の対策が取られていること ◆ 大型鉄塔や特殊箇所等に、最大瞬間風速の50年再現期間値にもとづき設定した地域別風圧値が適用されていること(右図) ◆ 上記再現期間から想定される安全性は、実際の風向別風速分布に置き換え、再検討すると、<u>150年に相当するとの研究成果※3</u>があること

※2. 自然災害発生時の送電鉄塔の耐性等に関する調査
(委員長:大熊 神奈川大学名誉教授)

※3. 電力中央研究所レビューNo.48「送電設備の風荷重
・風応答評価技術」より



5. 竜巻 (1) 文献等及び過去の被害実績による耐性評価

文献等

- 送電鉄塔の竜巻に対する耐性については、文献「竜巻等の実態および発生予測と対策」(文部科学省調査研究、2008)において、電技の風速(40m/s)を考慮すれば、F1クラス以下で構造上問題となることはほとんどなく、さらに局所的な現象の場合、F2クラス相当にも耐えられるとの記載あり

過去の被害実績

- 国内観測最大クラスはF3(風速70~92m/s)であり、F4(風速93~116m/s)以上は観測されていない
- F3クラス発生による送電設備の被害は、一部設備損壊のみ(66kV規模の電線断線やがいし破損等で、同竜巻が通過した500kV送電設備には被害無し)
⇒ 鉄塔倒壊など大規模な損壊には至らず

藤田スケール(気象庁HPより)

F0	17~32m/s (約15秒間の平均)	煙突やアンテナが壊れる
F1	33~49m/s (約10秒間の平均)	屋根瓦が飛び窓が割れる
F2	50~69m/s (約7秒間の平均)	住家の屋根がはぎとられる
F3	70~92m/s (約5秒間の平均)	住家が倒壊、自動車が飛ぶ
F4	93~116m/s (約4秒間の平均)	住家が飛散、列車が飛ぶ
F5	117~142m/s (約3秒間の平均)	住家は跡形もない

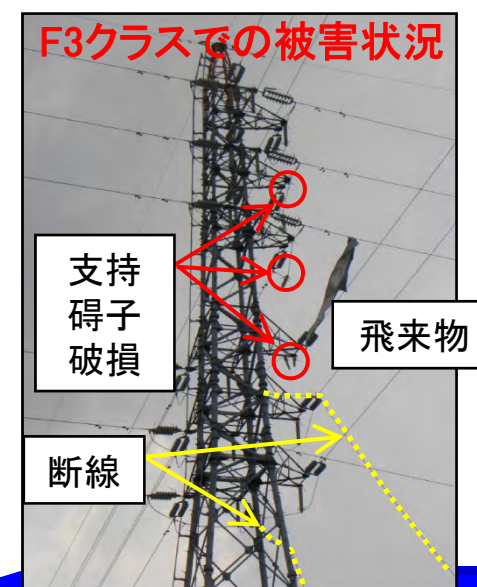
竜巻ルートの作成

気象庁HPより、竜巻発生場所と消滅場所を直線で結ぶ

- ◆ 竜巻発生場所
(常総市大沢新田)
- ◆ 竜巻消滅場所
(つくば市平沢)



F3クラスでの被害状況



5. 竜巻 (2) 電力供給への影響評価

- 海外では、竜巻による鉄塔倒壊の事例(右図参照)がある。F4クラス以上の竜巻などでは、鉄塔倒壊の可能性は否定できない

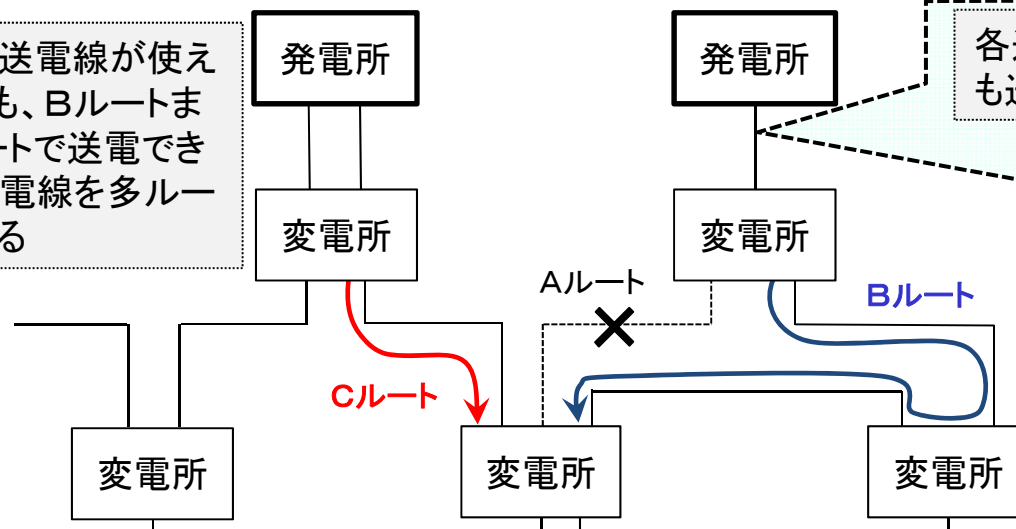


電力供給システムは多重化・多ルート化で構築されており、局地的に発生する竜巻により、著しい供給支障発生の可能性は極めて低い

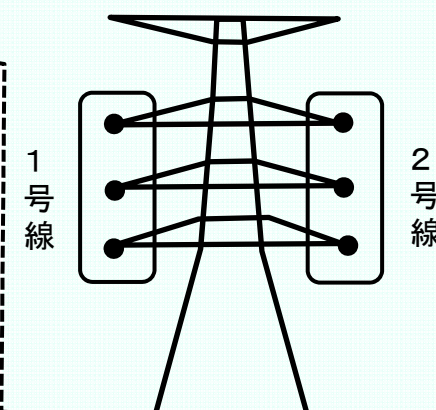
- ✓ テネシー川流域開発公社所有の送電線
 - ✓ 最大規模は改良藤田スケールでF5相当
- 【Wikipedia: April 25-28, 2011, tornado outbreakより】

送電設備の多重化・多ルート化の例

Aルートの送電線が使えなくなっても、BルートまたはCルートで送電できるように送電線を多ルート化している



各送電線は、1号線が使えない場合でも送電できるように2回線にしている



平成19年4月にまとめられた「電力システムの構成及び運用に関する研究会(委員長:横山東京大学大学院教授)報告書」では、『電力各社の基幹系統は、構成および運用ともに**ループ(複数の異なるルートで環状に接続)**』『ルート事故でも直ちに停電が起こらない構成』であることが確認されている

6. まとめ

(1) 台 風

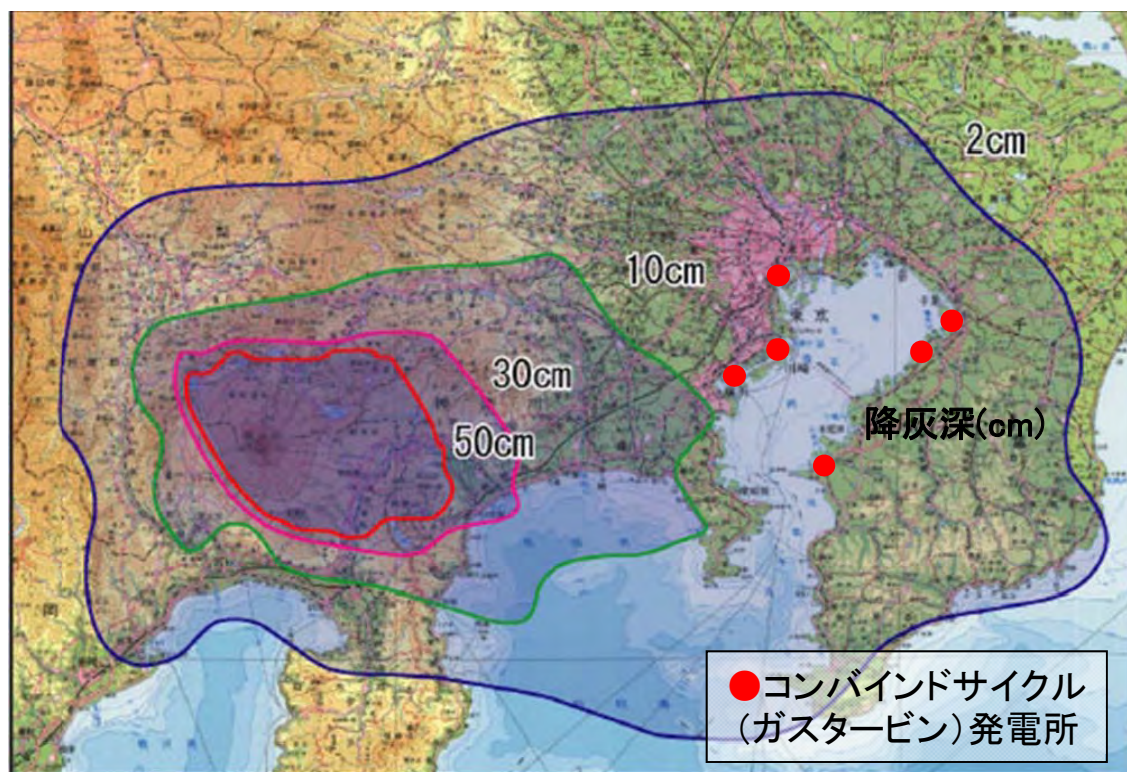
- 過去の倒壊被害を踏まえた再発防止対策（強風が局地的に強められる特殊箇所は、風圧値を割増など）を逐次、国の基準（電技、風速40m/s）に加え、民間規程等へ反映
- 台風による鉄塔倒壊被害は減少傾向（2005年度以降は倒壊被害なし）にあり、また第三者による調査結果（平成25年度経済産業省委託事業）においても、台風への耐性は有りと評価

(2) 竜 巻

- 文献や過去の被害実績から、F3クラス以下の竜巻については、鉄塔倒壊までは至らず
- 万一、F4クラス以上の竜巻発生時は、電力供給システムは、多重化・多ルート化で構築されているため、著しい供給支障発生の可能性は極めて低い

- I 南海トラフ巨大地震および首都直下地震
 - (1) 火力発電設備
 - (2) 送電設備、変電設備
- II 自然災害発生時の復旧迅速化対策
- III 集中豪雨
- IV 暴風（竜巻、台風等）
- V 大規模火山噴火
 - (1) 火力発電設備
 - (2) 送電設備、変電設備
- VI 太陽フレアに伴う磁気嵐

- ▶ 対象とする大規模火山噴火は、「富士山ハザードマップ検討委員会報告書」（平成16年6月）の被害想定に用いられている最大規模の噴火である宝永噴火とした。
- ▶ 上記報告書の「降灰可能性マップ※」にて、コンバインドサイクル（ガスタービン）発電所地点の降灰深を確認し、ガスタービン吸気フィルタへの詰まりの影響を評価。
- ▶ 対象となる発電所は、東京電力6発電所（発電出力計1,534万kW）、降灰深はいずれも2cm。



※降灰可能性マップ:

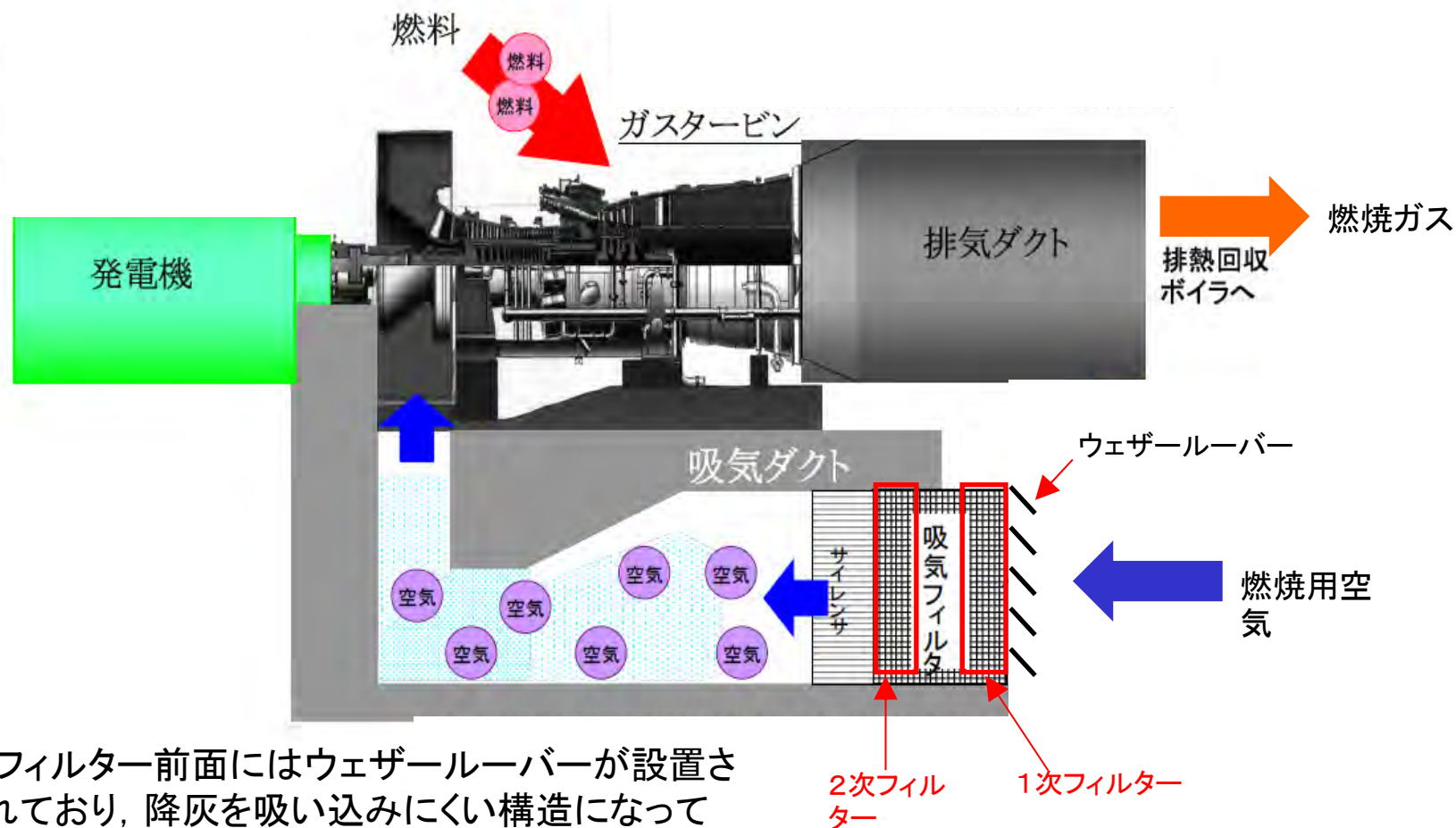
噴火位置の分布（大規模噴火火口分布領域）と発生時期毎の降灰分布（12ヶ月分の月別降灰分布）を包括して作成された降灰分布図。

降灰可能性マップ（出典：富士山ハザードマップ検討委員会報告書）とコンバインドサイクル（ガスタービン）発電所地点

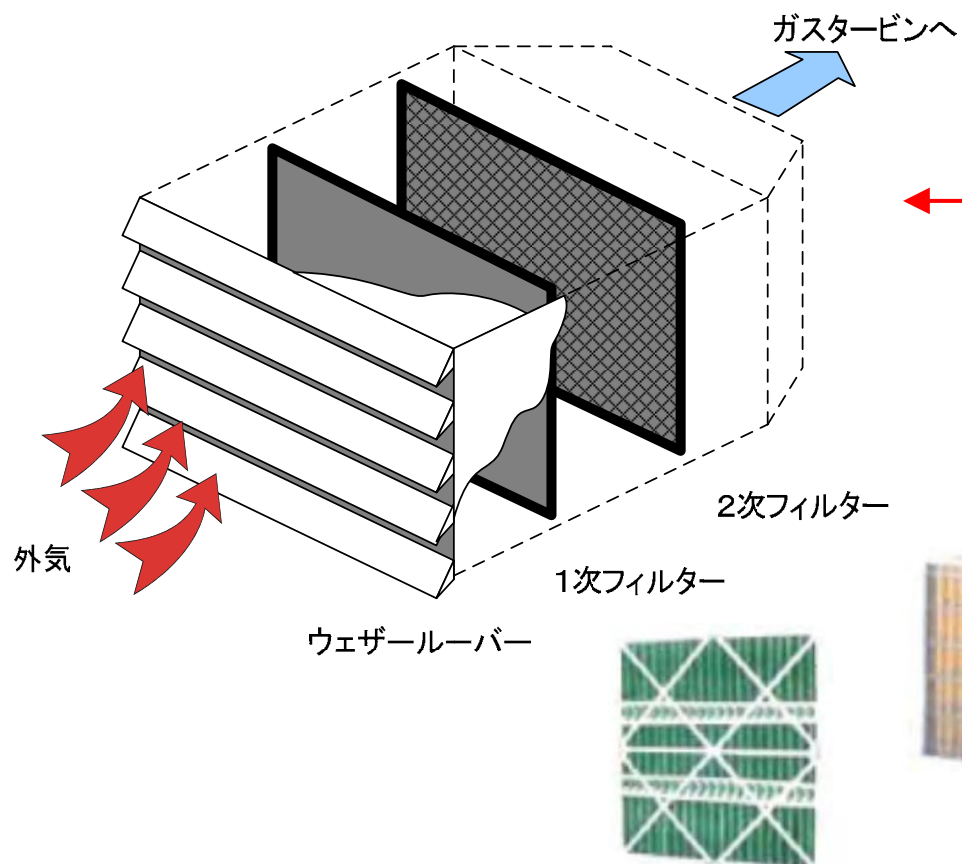
➤ 吸気フィルター

燃焼用空気や部品（燃焼器やタービン翼）の冷却用空気を取り込む際、吸気ダクト入口に塵やゴミを除去するために設けられた、ガスタービン設備に特有なフィルターのこと。

1次フィルターと2次フィルターがあり、1次フィルターは粗塵除去のためのフィルター、2次フィルターは1次フィルターを通過した細かな塵埃を捕集する高性能フィルターである。



※ フィルター前面にはウェザールーバーが設置されており、降灰を吸い込みにくい構造になっている。



➤ 通常時の吸気フィルターの管理方法

- 吸気フィルターの入口部と出口部の圧力差(差圧)で詰まりの状況を管理し、フィルターの取替管理値に従って適切な時期に交換を実施。
- 通常、発電所の停止(約1年毎)に合わせて交換を実施)

➤ 降灰による吸気フィルターへの影響評価

- ・ 吸気フィルターへの火山灰の詰まりにより、急激な差圧の上昇と、通常よりも早期の取替管理値への到達が懸念される。
- ・ フィルタ取替頻度は、降灰量とフィルター粉塵捕集性能から、約10日毎（平均）※と想定。
※1ヶ月間噴火が継続する一定量噴火モデル（富士山ハザードマップ検討委員会報告書）より試算。

➤ 大規模火山噴火に対する対策

噴火が発生した場合には、順次以下のような対策を図り供給力の確保に努める。

- ・ 火山情報を把握しながら、事前に交換用のフィルターの早期調達及び交換作業要員の確保。
（フィルターの取り換えには、数日程度／ユニット。現状の要員で対応可能。）
- ・ 詰まり状況の把握のため、フィルターの差圧の監視強化。
- ・ フィルターの詰まり状況と調達状況を勘案しながら、必要に応じて発電出力の抑制または停止措置等によりフィルターの延命化を図り、計画的な交換を実施。

（フィルターの延命化による供給力への影響（例）：

電力需要の変化に合わせた運転時間の制限（昼間運転、夜間停止等）により、対象6発電所出力合計の2～3割程度の供給力低下を想定。

I 南海トラフ巨大地震および首都直下地震

(1) 火力発電設備

(2) 送電設備、変電設備

II 自然災害発生時の復旧迅速化対策

III 集中豪雨

IV 暴風（竜巻、台風等）

V 大規模火山噴火

(1) 火力発電設備

(2) 送電設備、変電設備

VI 太陽フレアに伴う磁気嵐

1. 目的

- 大規模火山噴火への対応として、富士山噴火を事例に、降灰、溶岩流および火砕流等による被害状況の評価及び対応策を検討

2. 検討対象

- 対象設備は、17万V以上の送電設備と変電設備
- 富士山ハザードマップ検討委員会報告書（H16年7月内閣府等）に基づく被害想定

3. 検討方法

（１）降灰

- 過去の被害発生等状況を踏まえ、「降灰」による被害想定に基づき、電力供給への影響（著しい供給支障発生の有無）を評価

（２）溶岩流、火砕流等

- 「溶岩流」「火砕流」「融雪型火山泥流」「噴石」「土石流」の被害想定に基づき、被害想定範囲の設備が全損壊するものと仮定して、電力供給への影響（著しい供給支障発生の有無）を評価

4. 降灰の影響

（1）過去の火山噴火（降灰）による送変電設備への影響

- 九州地方の火山噴火（降灰）によって、17万V以上の電気設備における供給支障事故および設備被害は無し

【九州地方における主な降灰に伴う17万V以上の送変電設備への影響実績】

火山名	主な降灰時期	主な観測所における降灰堆積量	停 電	設備被害
桜島	昭和50年代～昭和60年代	1日当たり6,697g/m ² （昭和59～60年） 鹿児島地方気象台	なし	なし
阿蘇山	平成元年～平成2年	1日当たり3,728g/m ² （平成2年） 阿蘇山測候所（黒川観測点）	なし※1	
雲仙岳（普賢岳）	平成3年～平成7年	1日当たり576g/m ² （平成5年） 雲仙岳測候所	なし	
霧島山（新燃岳）	平成23年	年間8,848g/m ² （平成23年）※2 都城市観測（山田地区）	なし	

（参考）

※1. 阿蘇山噴火により、霧雨の影響で水分を多量に含んだ降灰が66kV送電線の碍子に付着し、鉄塔1基のみ絶縁性能の低下により供給支障事故が断続的に発生。ただし、2分以内に再送電しており、長期間には至らず

【右写真】66kV送電線事故における事故点周辺の降灰付着状況（通電状態）

※2. 観測所の測定データではないが、公的機関の現地調査にもとづくデータあり（次頁参照）

霧雨状況下で降灰のがいしへの付着



4. 降灰の影響

(2) 灰除去作業を基本とした対応

- 周辺環境により、降灰時に局所的に電気事故が発生する可能性は否定できないことから、巡視・点検等で現場の降灰状況を確認し、必要に応じて※3予防保全的措置としての灰除去を実施

※3. 風による飛散や雨洗効果の可能性

- 電気事故が発生しても、汚損碍子の清掃により機能回復が可能

⇒ 著しい供給支障には至らない

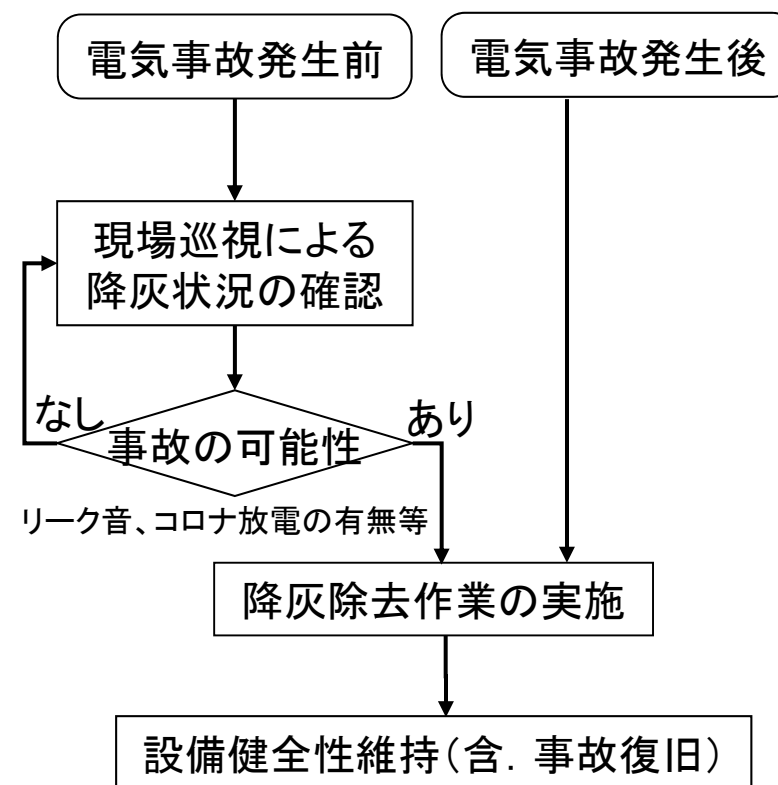


ウエスによる拭上げ清掃

＜降灰除去作業の例＞



＜ITVカメラで確認された雨洗効果の状況＞

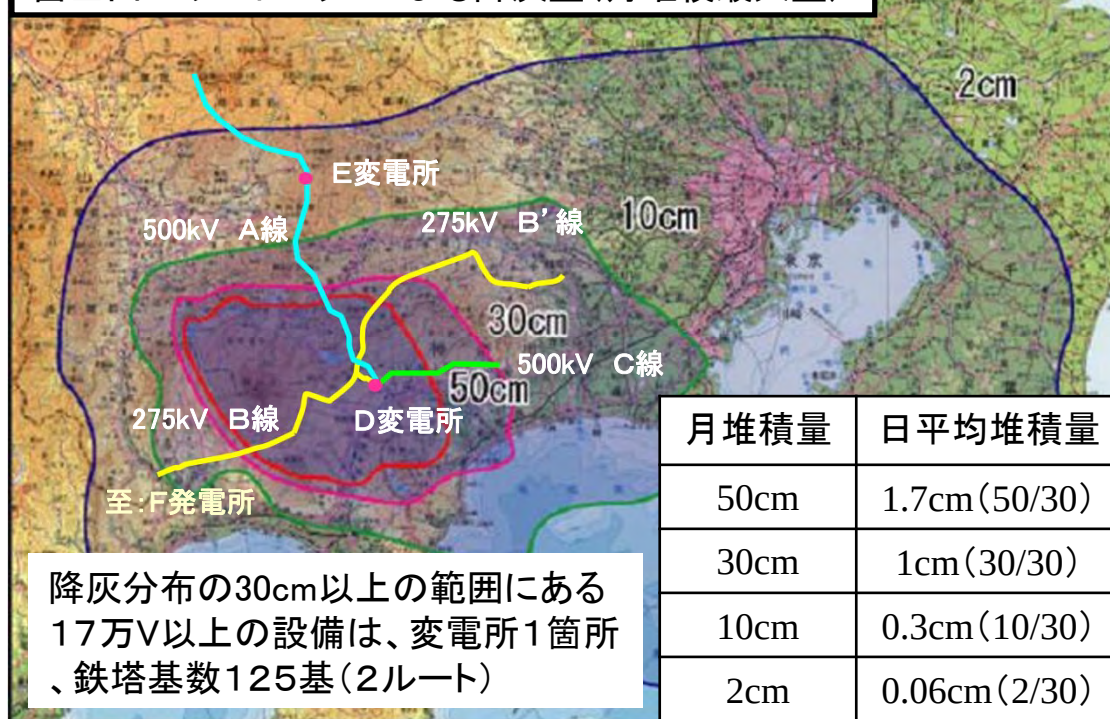


＜降灰対策の基本フロー＞

4. 降灰の影響

(3) 富士山噴火による降灰影響評価

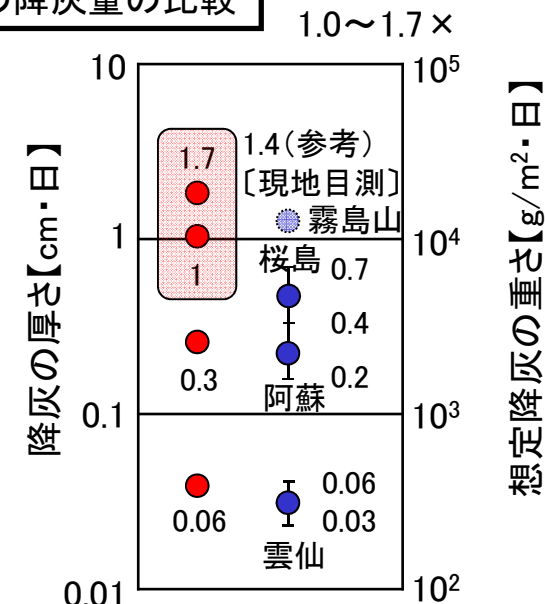
富士山ハザードマップによる降灰量(月堆積最大量)



【影響を踏まえた対策の検証】

降灰分布の30cm以上で、確認できた九州地方の最大降灰量(観測所の実績値)を超過するものの、当該範囲にある17万V以上の全設備で電気事故が発生した場合でも、電力供給に必要な最小限の設備(1ルート確保)に対して、灰を除去できる体制(要員数)を有していることを確認(次頁参照)

1日当たりの降灰量の比較



凡例

- : 富士山降灰可能性マップの1日当たりの降灰厚さ(下から2、10、30、50cmの値)
- : 九州地方の降灰厚さ(実績)
(1mmの厚さを1000~1700g/m²と想定)

【換算方法の出典】

気象庁「降灰予報の高度化に向けた検討会(第1回)」の参考資料2より

降灰による著しい供給支障は発生しない

(参考) 灰除去の作業体制の検証結果

- 東北地方太平洋沖地震における東京電力の復旧要員(社員・協力会社)は、3/11～13の平均で、送電設備約550名、変電設備1,360名
- 電力供給に必要な最小限の設備（1ルート確保）に対して、灰を除去できる体制が構築できることを確認しており、早期復旧は可能

送電鉄塔： 作業体制(以下、「班体制」という。)は作業員12名、1日3基と想定
 変電所： 作業体制は作業員約100名、1日1変電所と想定

会社	所在設備数※1		復旧体制		
			必要とする班体制	要員数	具体的な対応
東京	送電鉄塔※2 (基)	49基	17班	204名	拭き上げ清掃
電源開発		76基	26班	312名	拭き上げ清掃
東京	変電所 (箇所)	1箇所	—	約100名	拭き上げ清掃

※1. 月堆積量30cm以上の範囲のうち、A線(41基)、B線(90基)は、その一部が溶岩流の影響により使用できないことから除外

※2. 灰除去を必要とする送電鉄塔は、東京電力(49基)あるいは電源開発(76基)のいずれかであるため、周辺状況等に応じて、2社が協調して対応する

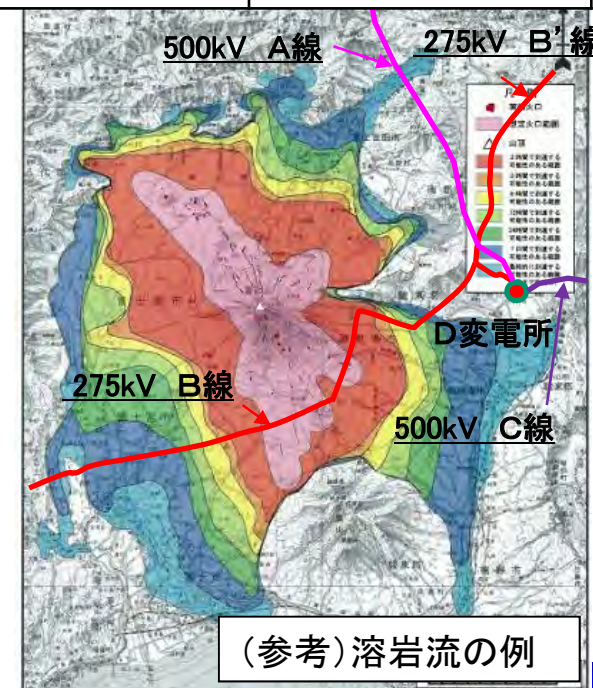
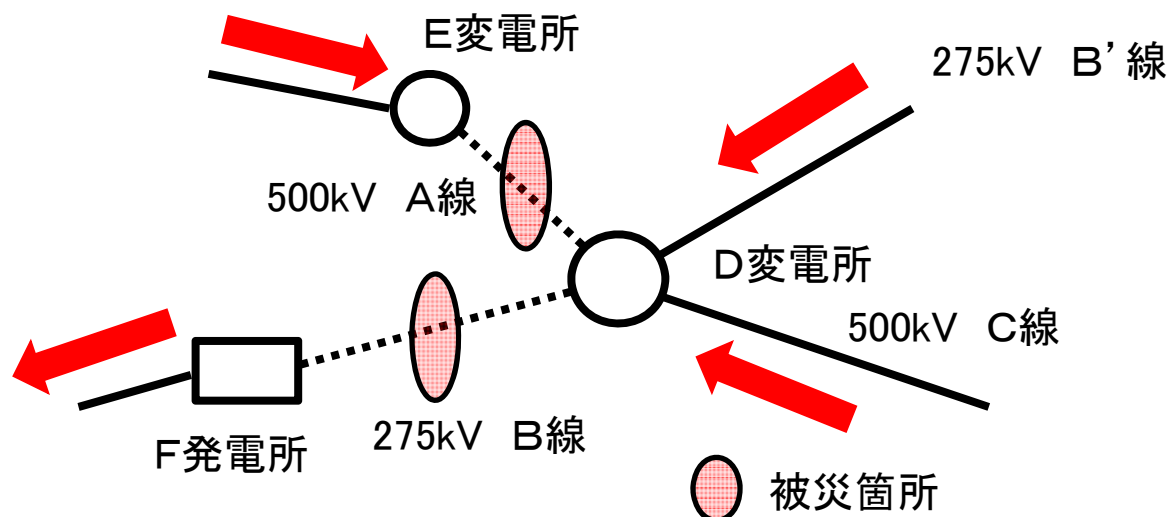
5. 溶岩流、火砕流、融雪型火山泥流、噴石の影響

(1) 設備被害と電力供給への影響

- 被害想定範囲が最大となる溶岩流について、同範囲にある設備が損壊すると仮定した場合、送電線2線路(A線およびB線)について、被災の可能性有り。ただし、系統操作(D変電所へはB'線あるいはC線より供給)により供給支障の解消(または回避)が可能

会社名	被災可能性のある変電所(箇所)	被災可能性のある送電線	供給支障量
東京	なし	500kV A線 鉄塔2基	なし
電源開発	なし	275kV B線 鉄塔101基 (F発電所～D変電所間)	なし

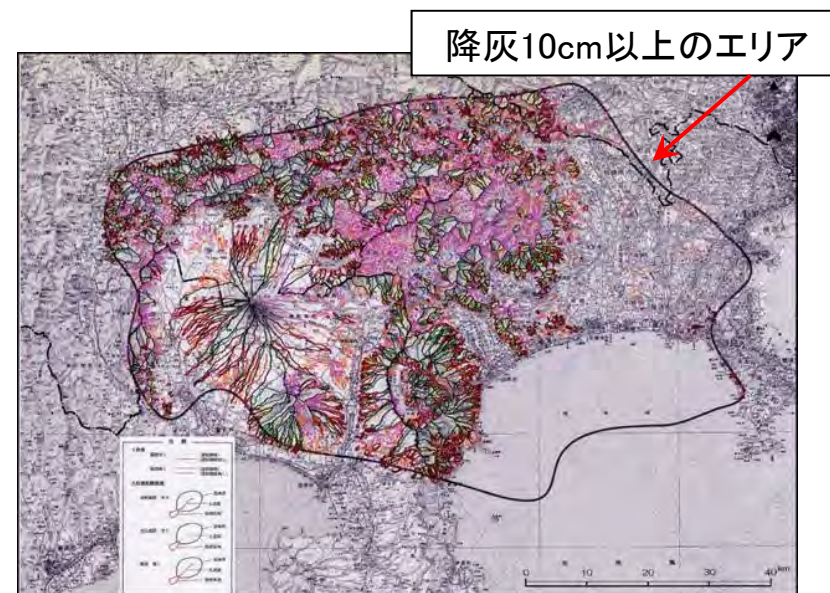
(2) 系統切替による救済方法【溶岩流のケース】



6. 土石流の影響

(1) 土石流マップの考え方

- 富士山ハザードマップ検討委員会報告書の被害マップは、降灰10cm以上エリアのうち、「各都道府県が調査した土石流危険渓流」と「国交省の調査要領にもとづく谷地形(1/25,000の地形図より抽出)」を基に作成
(富士山ハザードマップ検討委員会報告書より)



(2) 土石流の影響評価

- ① 降灰10cm以上のエリアに存在する対象設備について、『被害エリアに該当する変電所はないこと』と『送電線は被害エリアを経過するものの、渓流や谷地形の箇所には鉄塔を建設していないこと』を管理図面にて確認 (対象設備数 変電所:7箇所、送電線:10線路762基)
- ② 降灰後の降雨時の影響については、電気設備周辺の土石流の発生状況を確認するため、予防(保安)巡視を実施する保全体制を構築(集中豪雨等の発生時には既に実施済)
- ③ 万一、降雨量の影響(富士山ハザードマップ検討委員会報告書では、言及なし)等により、電気設備に影響を与える土石流に発展したとしても、電力供給システムの多重化・多ルート化により被害は限定的

土石流による著しい供給支障発生の可能性は極めて低い

7. まとめ

(1) 降灰

- 「降灰」の被害想定に基づき、過去の被害発生等状況から降灰による設備への影響を評価した結果、著しい供給支障は発生しない

(2) 溶岩流、火砕流、融雪型火山泥流、噴石

- 「溶岩流」「火砕流」「融雪型火山泥流」「噴石」の被害想定に基づき、被害想定範囲の設備が全損壊するものと仮定して評価した結果、系統切替等により、著しい供給支障は発生しない

(3) 土石流

- 「土石流」の被害想定に基づき、被害想定範囲の影響を評価した結果、設備の設置状況、電力供給システムの代替性の確保等により、著しい供給支障発生の可能性は極めて低い

I 南海トラフ巨大地震および首都直下地震

(1) 火力発電設備

(2) 送電設備、変電設備

II 自然災害発生時の復旧迅速化対策

(1) 火力発電設備

(2) 送電設備、変電設備

III 集中豪雨

IV 暴風（竜巻、台風等）

V 大規模火山噴火

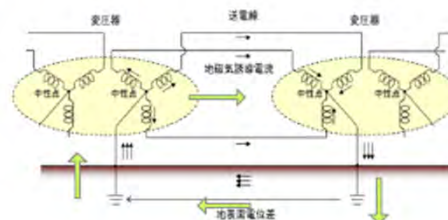
(1) 火力発電設備

(2) 送電設備、変電設備

VI 太陽フレアに伴う磁気嵐

1. 太陽フレアに伴う磁気嵐が電気設備に与える影響

○ 磁気嵐の発生に伴い、長距離送電線に大きな誘導電流が流れ、変圧器等電気設備へ影響が生じる可能性等が懸念される。



送電線に流れる誘導電流の様子

(磁気嵐に伴い大地と送電線の間で電気回路が構成され、長距離送電線では大きな誘導電流(直流の地磁気誘導電流)が流れる。)

出典：第1回電気設備自然災害等対策WG
資料2より抜粋

太陽フレアに伴う磁気嵐によって地磁気誘導電流(直流分)が系統に流れ、それが電気設備に与える影響として、以下のようなものが考えられる。

(1) 変圧器への影響

直流分が流れ込むことで、変圧器磁気回路に飽和が生じ、鉄心付近が加熱する。

※「直接接地かつ長距離送電線の末端に設置される変圧器」において影響が出やすい

(2) 電圧低下

変圧器鉄心の飽和により無効電力消費が増大し、電圧低下を生じる。

(3) 高調波の発生

変圧器鉄心の飽和により高調波成分が系統に発生し、各機器の動作特性に悪影響を与えることがある。

(4) 保護リレーの不要動作

地磁気誘導電流が大きい場合に保護リレーが不要動作する。

2. 過去事例(1989年3月 カナダ ハイドロケベック社)

○停電発生メカニズム (March 13, 1989 Geomagnetic Disturbance(NERC)より抜粋)

太陽フレアに伴う**磁気嵐が発生**



磁気嵐による地磁気の変動により**地磁気誘導電流が発生**



地磁気誘導電流により変圧器鉄心が飽和し**高調波が発生**



高調波により調相設備の保護装置が動作し**調相設備が停止**

※調相設備：変電所や長距離送電線中間に設置した無効電力設備により、無効電力を吸収・発生して電圧を一定に保つ制御を行うもの



長距離送電系統における安定的な送電ができなくなり**送電線が停止**



大容量水力発電が送電不可 (**全系の約1/2の発電電力を喪失**)



全系崩壊

○停電影響

- ・ 停電時間：9時間
- ・ 影響規模：600万人に影響
- ・ 復興期間：数ヶ月

3. 過去事例と同様の太陽フレアが発生した際の日本の電気設備への影響と評価

○日本の特徴（カナダとの比較）

＜電気設備の特徴＞

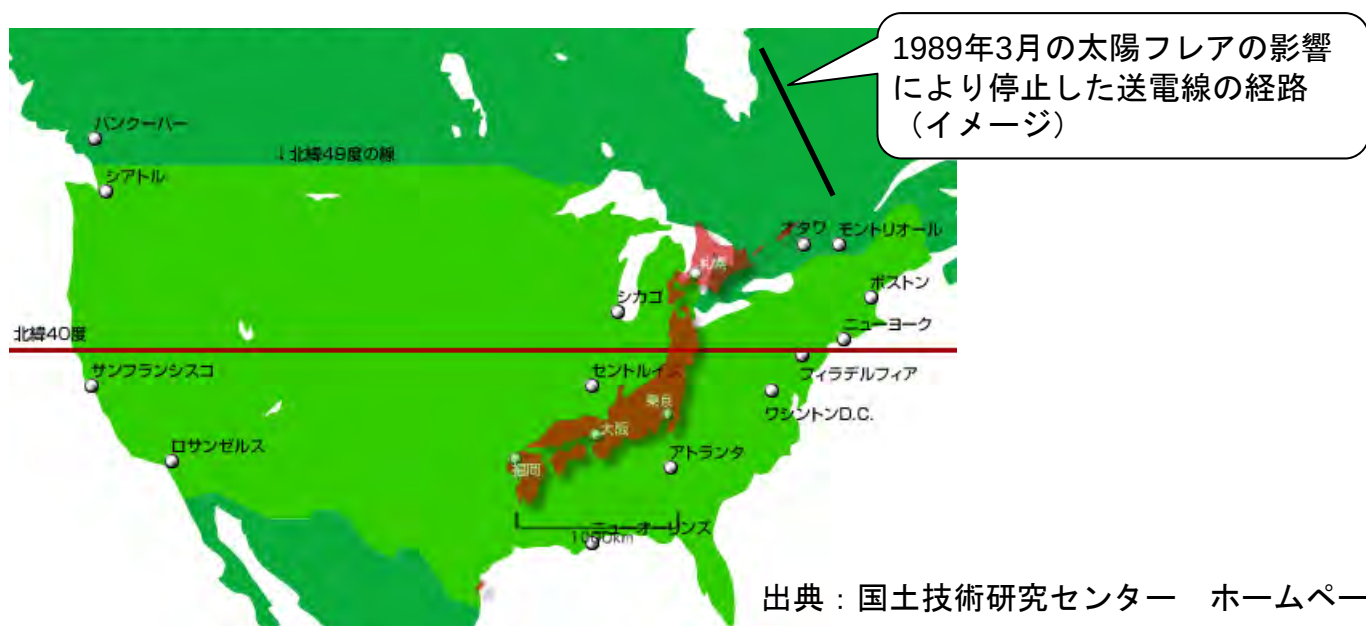
- ・ カナダのような1000kmもの長距離送電線に比べ日本の送電線は短い（最長でも100～200km程度）
- ・ 調相設備の保護装置には高調波対策を施してある

＜地理的特徴＞

- ・ 磁気緯度が低い

※カナダ65° 程度、日本20～35° 程度。

（磁気緯度が減少すると磁気嵐の影響も減少。（電学誌, 108巻 第3号））



3. 過去事例と同様の太陽フレアが発生した際の日本の電気設備への影響と評価

○ハイドロケベック社が大停電に至ったのは、以下に示すような同社の電気設備的および地理的要因によるものと言える。

- ・ 超高压送電線が非常に長距離かつ高緯度に位置する
 - 安定度の調相設備への依存度が高い
 - 太陽フレアにより発生する地磁気誘導電流が大きい
- ・ 調相設備の保護装置に高調波対策が施されていない
 - 高調波の発生により調相設備が停止

※ハイドロケベックと日本の比較

＜ハイドロケベック＞

太陽フレアに伴う磁気嵐発生



地磁気誘導電流が発生 → 変圧器に高調波発生



高調波により調相設備保護装置動作

→ 調相設備停止



長距離送電線の安定送電ができず送電線停止

→ 全系の約 1 / 2 の発電電力喪失



全系崩壊

＜日本＞

- 低緯度 → 磁気嵐の影響小
- 低緯度・送電線短い
→ 地磁気誘導電流小・高調波小
- 調相設備保護装置に高調波対策実施
→ 高調波で調相設備停止しない
- 調相設備への依存度低い
→ (仮に)調相設備停止しても安定送電可
- 全系崩壊に至らない

4. 太陽フレアに伴う磁気嵐が発生した際の日本の電気設備への影響の評価（まとめ）

○日本においては、その電気設備的・地理的特徴から、そもそも太陽フレアに伴う磁気嵐による影響が限定的。

○仮に、巨大な太陽フレアに伴う磁気嵐の影響を受けるとした場合の、電気設備への影響評価と対応は以下の通り。

(1) 変圧器への影響（変圧器磁気飽和による鉄心加熱）

⇒一部変圧器（直接接地・主に長距離送電線末端）で影響が出る可能性は否定できないが、その場合も **周辺系統の調整により影響を回避**。（平素より設備停止時の対応訓練実施）

(2) 電圧低下（変圧器磁気飽和による無効電力消費増）

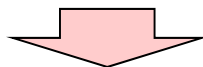
⇒一部変圧器（直接接地・主に長距離送電線末端）で影響が出る可能性は否定できないが、その場合も **周辺系統の調整により影響を回避**。（平素より設備停止時の対応訓練実施）

(3) 高調波の発生（変圧器磁気飽和による高調波発生）

⇒ **高調波対策実施済み**。

(4) 保護リレーの不要動作（地磁気誘導電流による保護リレー不要動作）

⇒一部保護リレー（直接接地・主に長距離送電線末端）で不要動作が発生する可能性は否定できないが、その場合も **周辺系統の調整により影響を回避**。（平素より設備停止時の対応訓練実施）



日本においては、そもそも太陽フレアに伴う磁気嵐による影響が限定的。
仮に影響を受けるとしても、設備の部分的かつ一時的な影響の可能性に止まり
著しい（広範囲かつ長期間）供給支障発生の可能性が極めて低い。

個社説明資料

添付資料 1 関西電力株式会社の例

添付資料 2 四国電力株式会社の例

【被災想定】 浸水マップ上における変電所および送電鉄塔

添付1-1



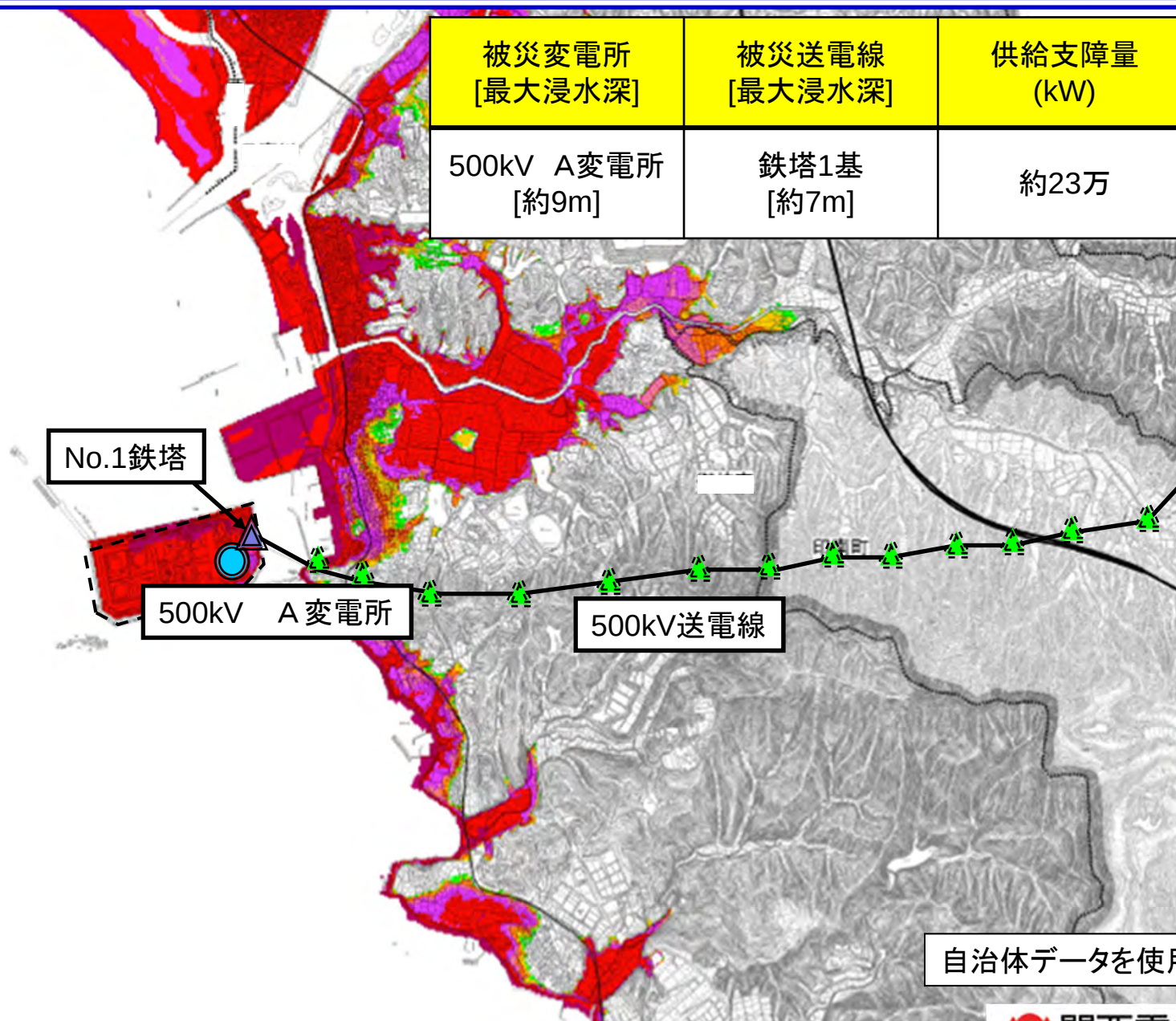
被災変電所 [最大浸水深]	被災送電線 [最大浸水深]	供給支障量 (kW)
500kV A変電所 [約9m]	鉄塔1基 [約7m]	約23万

凡例：

- 0.01m以上 0.3m未満
- 0.3m以上 1.0m未満
- 1.0m以上 2.0m未満
- 2.0m以上 3.0m未満
- 3.0m以上 5.0m未満
- 5.0m以上 10.0m未満
- 10.0m以上 20.0m未満
- 20.0m以上

凡例（電力設備）

- 変電所
- 被災する鉄塔
- 被災しない鉄塔
- 架空送電線



自治体データを使用

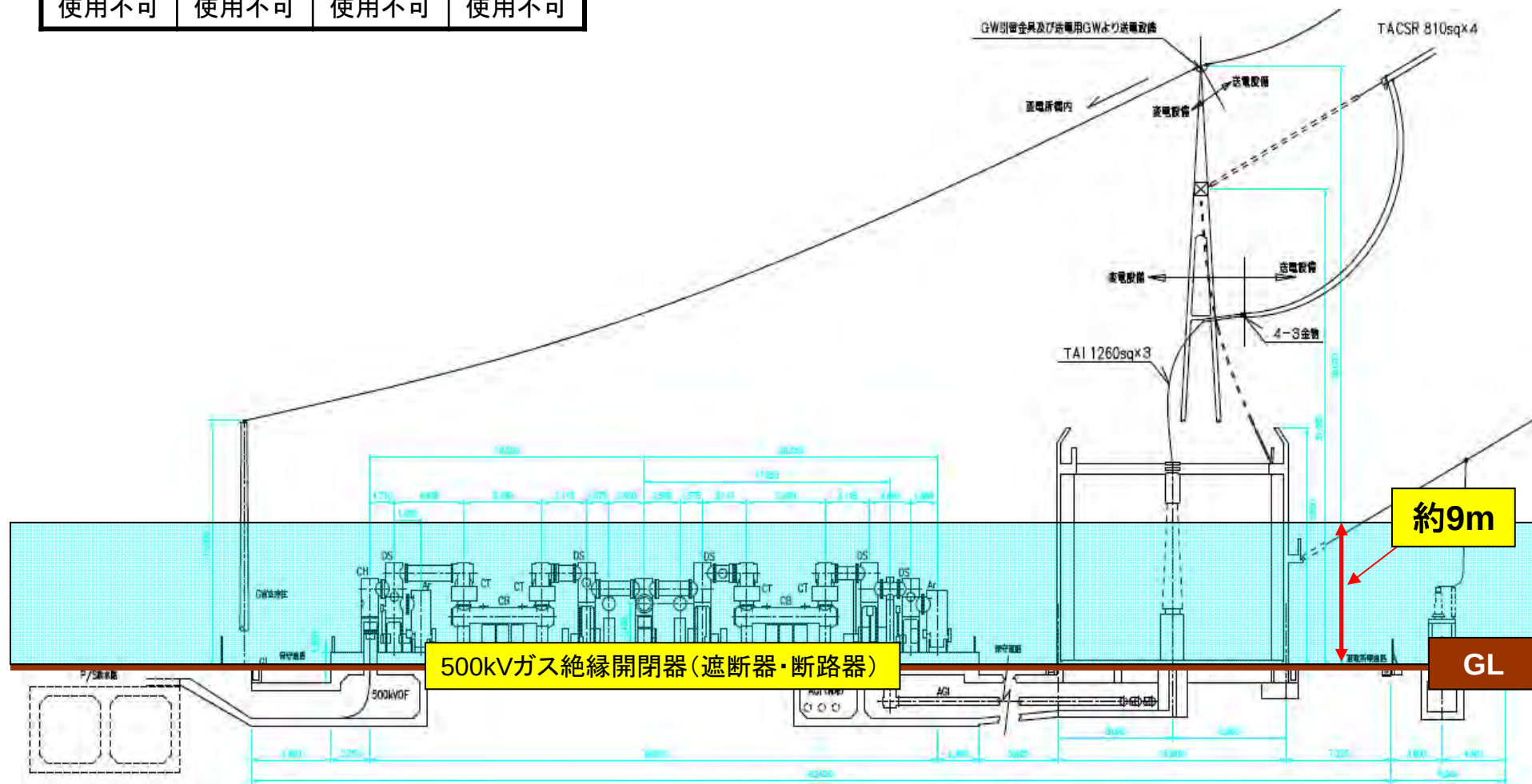
【被災想定】 A変電所 浸水断面図

添付1-2

500kV設備

母線	変圧器	遮断器	断路器
使用不可	使用不可	使用不可	使用不可

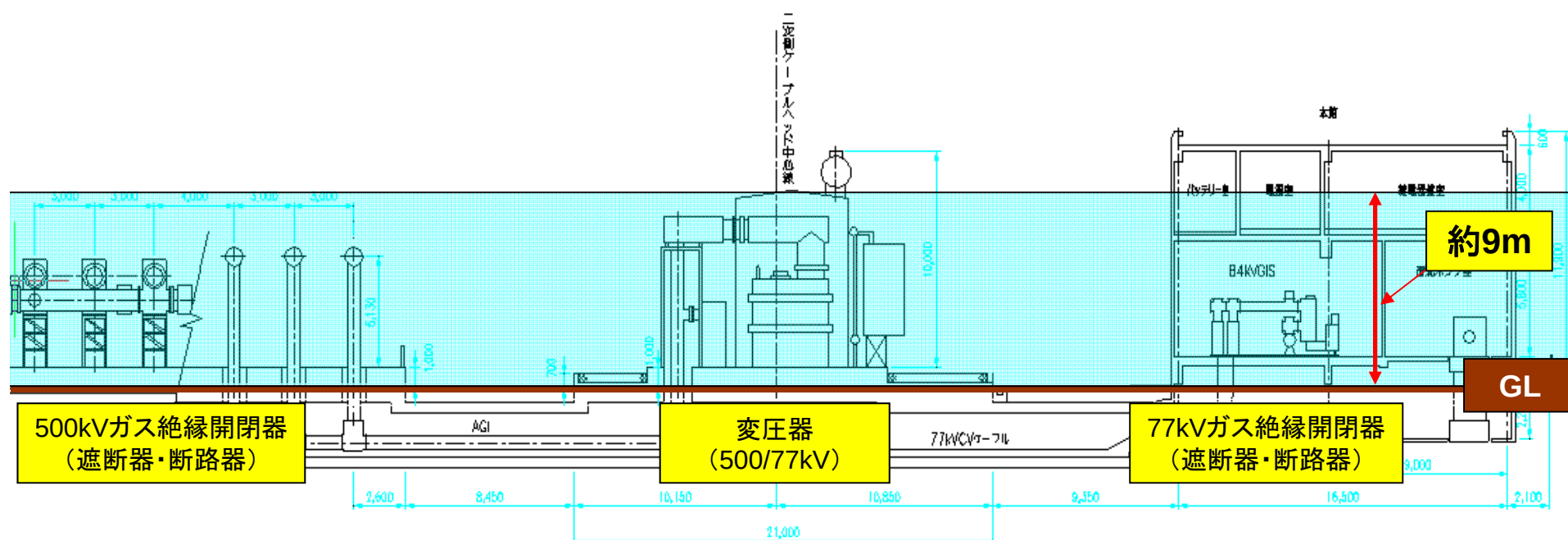
GL+約 9mであり、設備被害甚大



添付1-3

GL+ 約9mであり、設備被害甚大

母線	變壓器	遮斷器	斷路器
使用不可	使用不可	使用不可	使用不可



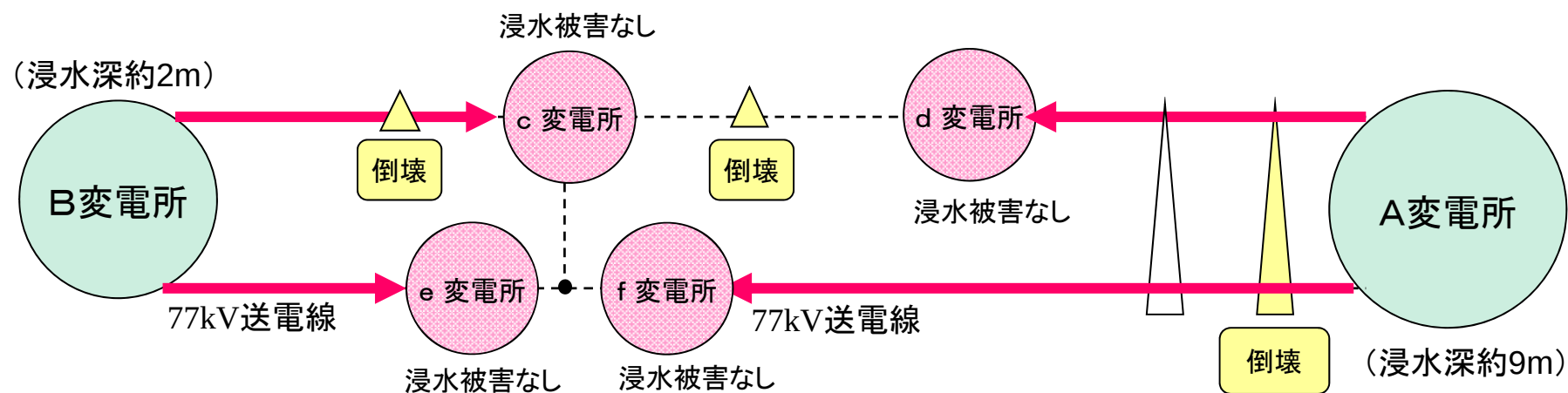
【被災想定】 正常時の送電状態と津波による被災概要（単線結線図）

添付1-4

上位系被災により配電用変電所が停電する

凡例

- : 浸水する変電所
- : 上位系被災により停電する変電所
- - - : 送電線
- △ : 鉄塔
- ➡ : 通常の送電ルート



(注) 変電所、送電線は代表的なもののみ記載

【復旧概要】 供給支障解消方策（単線結線図）

添付1-5

1週間程度で仮復旧

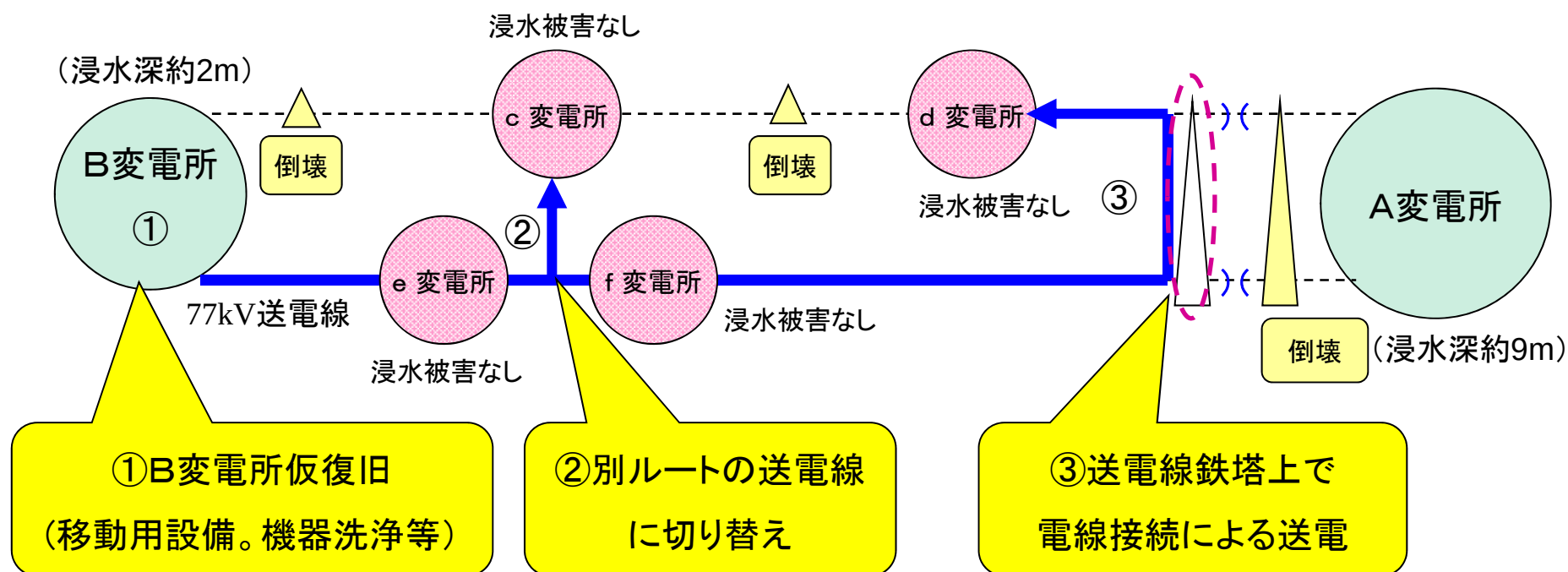
凡例

) (: 電線を切離し

- - - : 送電線

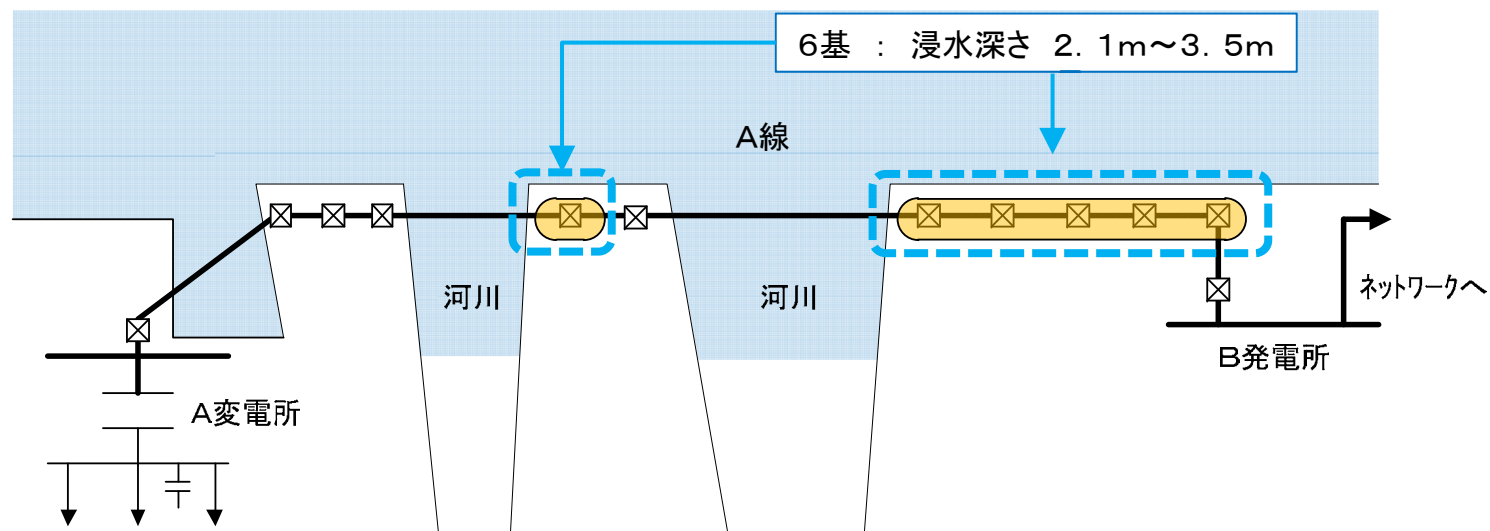
▲ : 鉄塔

➡ : 応急送電ルート



(注) 変電所、送電線は代表的なもののみ記載

[津波によるA線の被害状況]



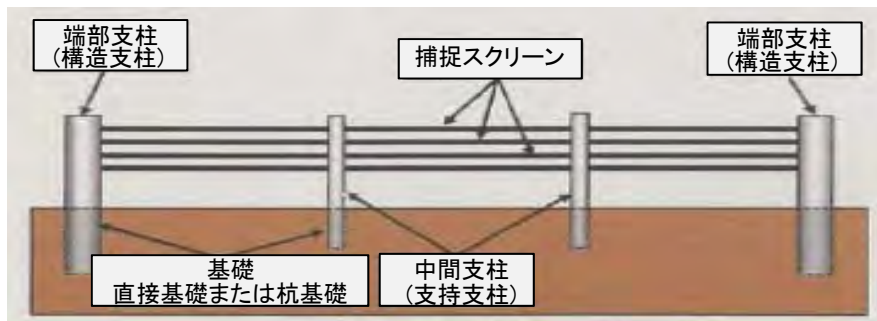
- ・187kV A線については、離岸距離0.5km以内で浸水深2m以上の鉄塔が6基となる。
- ・同線については、長径間の河川横断の高鉄塔を含むため、復旧には数ヶ月必要となることから、津波漂流物の防護対策を実施する。

(凡例)

- : 離岸距離0.5km以内で浸水深2m以上の鉄塔
- : 187kV系統
- : 66kV系統

- ・東北地方太平洋沖地震において、港湾に設置した津波漂流物の防護施設が漁船や車両の漂流阻止に効果があったとの報告がある。
- ・このような事例を参考に、A線の送電鉄塔の津波漂流物からの防護対策について、具体的な大きさや構造などの設計を行う。

[防護対策の一例]

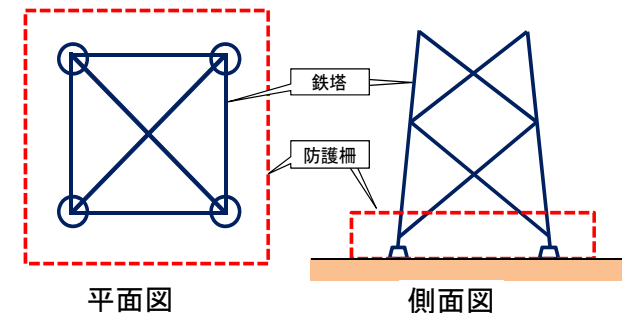


津波漂流物対策施設の基本構造図

出典 由井孝昌・山本修司:津波漂流物対策施設設計ガイドライン(案)について, 沿岸技術研究センター論文集No.9(2009)

[送電鉄塔の防護対策のイメージ例]

鉄塔の周囲を防護柵等で囲む



鉄塔の4脚を防護物で固める

