

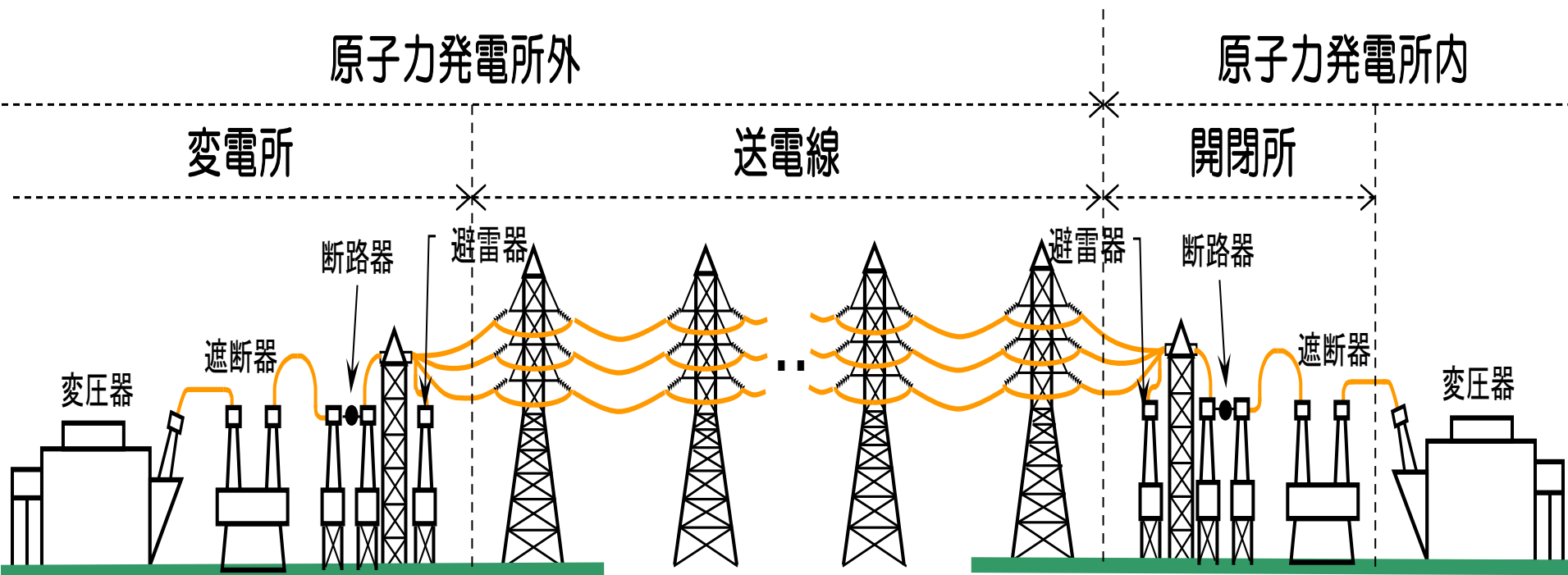
原子力発電所の外部電源に係る 状況について

平成23年 10月24日
原子力安全・保安院

〈目次〉

1. 外部電源の状況について(概要)	3
2. 各原子力発電所における外部電源の状況について	5
①福島第一原子力発電所	
②福島第二原子力発電所	
③女川原子力発電所	
④東通原子力発電所	
⑤東海第二発電所	
3. 外部電源の信頼性確保に係る電気事業者等の対策実施状況	17
4. 参考	
①送変電設備及び開閉所における現行の耐震基準	24
②変電所の多重性について(一般的な構成)	25
③東北地方太平洋沖地震による送変電設備の被害状況	27
i) 送電設備の被害状況	
ii) 変電設備の被害状況	
iii) まとめ	
④外部電源喪失事故の事例	35
⑤東北地方太平洋沖地震に関連する原子力発電所の 外部電源信頼性に係る報告書	36

変電所～発電所の外部電源イメージ図



1. 外部電源の状況について(概要)

外部電源は、原子力発電所外の送変電設備と原子力発電所内の開閉設備から構成されており、地震発生後の状況を整理すると以下のとおり。

1. 原子力発電所外の状況については、上位系統が停電したケース(東通原子力発電所、東海第二発電所)及び鉄塔が倒壊したケース(福島第一原子力発電所5・6号機)では、発電所への送電を停止した。開閉所までの送電が可能であった発電所(福島第一原子力発電所1～4号機・福島第二原子力発電所、女川原子力発電所)においても、設備被害等により送電が困難となった回線があり、発電所に接続されている複数の送電線のうち、震度6程度の地震に対して、1～2回線のみが送電可能(受電側の損傷等により送電をしていないものを含む。)であった。これが現状の信頼性を示すものと考えられる。

【主な設備被害】

- ア) 原子力発電所に直接接続される変電所については、新福島変電所富岡線2号線において、断路器が損傷した。その他の変電所については、多重化構成となっていたため、一部被害があったものの、復旧作業がなく又は簡易な復旧作業により送電できる状況であった。
- イ) 送電鉄塔については、地震動そのもので倒壊した鉄塔はなかったが、盛土の崩落により1基(2回線)、津波により1基(1回線)が倒壊した。
- ウ) がいしについては、一部の送電線路(3回線)において長幹支持がいしが損傷し、送電できない状態であった。

2. 原子力発電所内の開閉設備については、福島第一原子力発電所において、地震動により一部の遮断器等が損傷し、受電能力(1・2号機用2回線)に影響があったが、他の原子力発電所(福島第二原子力発電所、女川原子力発電所、東海第二発電所、東通原子力発電所)においては、受電能力に影響のある被害報告はなかった。

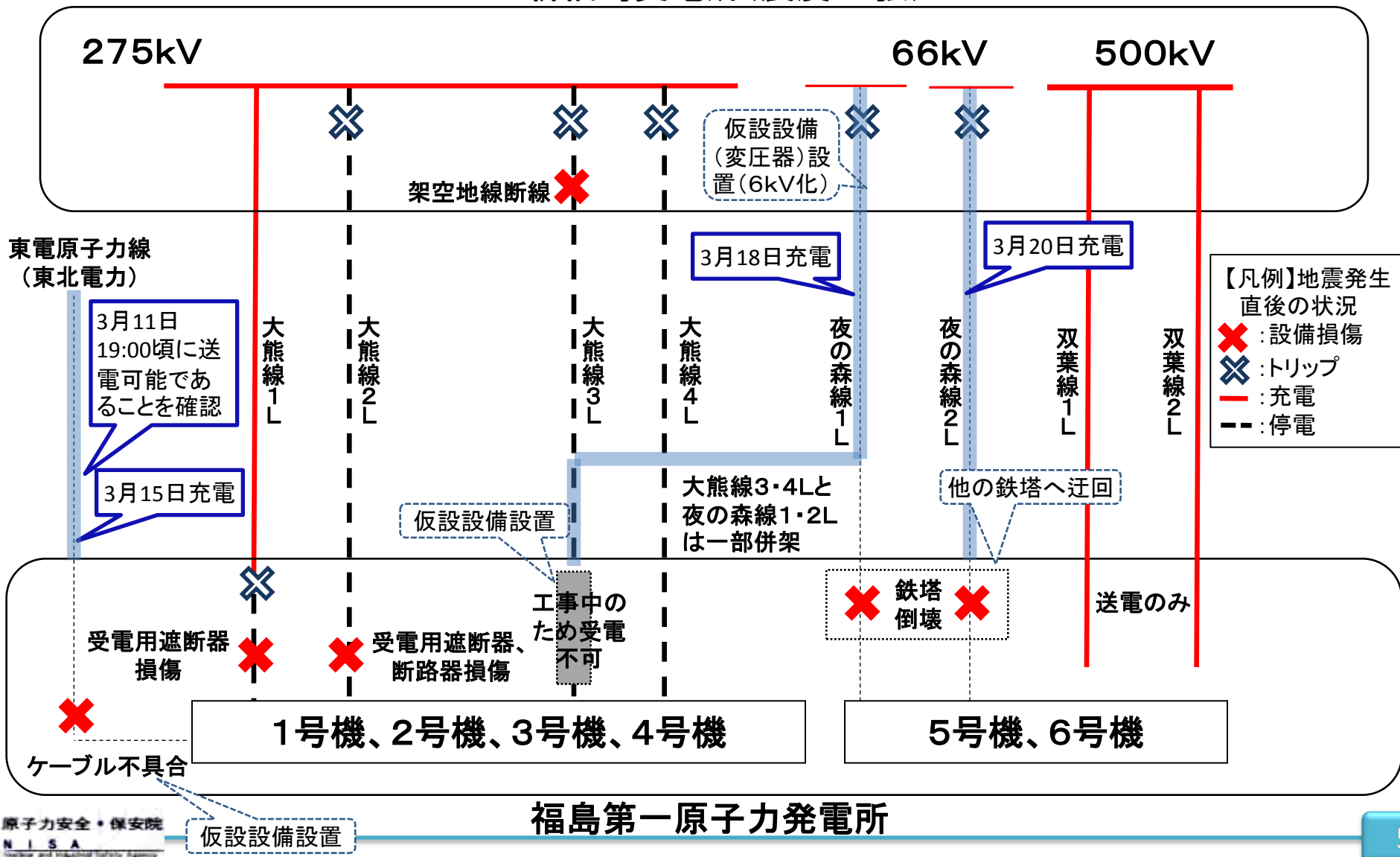
【主な設備被害】

- ア) 福島第一原子力発電所内の開閉所については、大熊線1号線、2号線において受電用遮断器(いずれもABB: 気中遮断器(空気)形式)及び大熊線2号線において断路器が損壊したため受電機能が喪失。
- イ) その他の原子力発電所の開閉所については、受電能力に影響のある被害報告はなかった。ただし、女川原子力発電所の開閉所電気設備のうち、牡鹿幹線1号線及び2号線の避雷器が、地震動による機器内短絡により避雷器の素子の一部が損傷し、内部で部分放電したことにより、送電線がトリップしたと推定されている。

2. 各原子力発電所における外部電源の状況について

①福島第一原子力発電所(地震発生後～3月20日)(1/2)

新福島変電所(震度:6強)



2. 各原子力発電所における外部電源の状況について

①福島第一原子力発電所(地震発生後～3月20日)(2/2)

○大熊線1号線は充電をしていたが、受電用遮断器が損傷し、受電できなかった。

○大熊線4号線は発電所の配電盤が水没しており、外部からの電力を受電できない状態であったため、充電しなかった。巡視の結果、大熊線4号線には特段の設備被害はないことが確認されている。

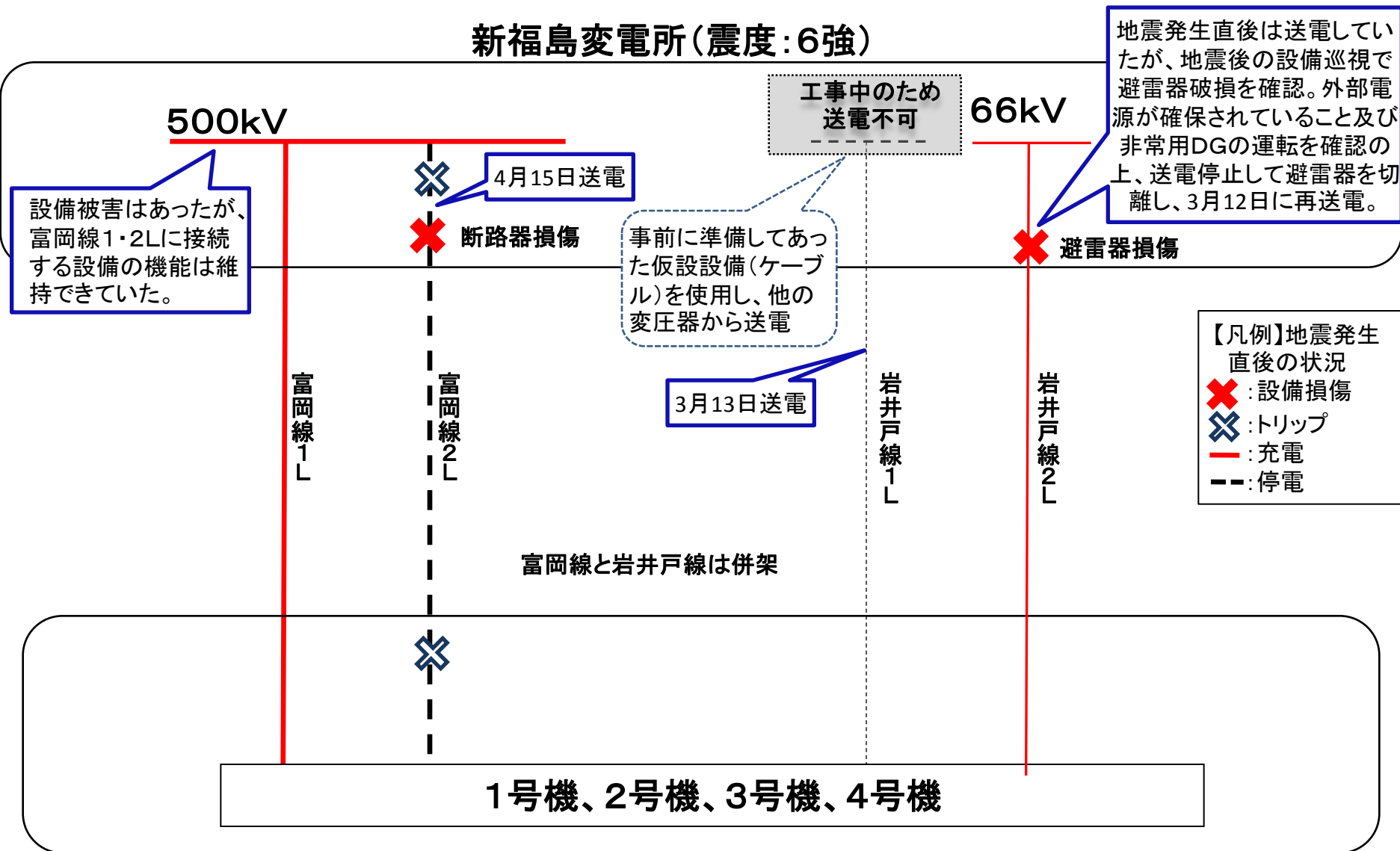
○5・6号機は送電線路が1ルートであったため、鉄塔1基の倒壊により外部電源が喪失した。

号機	送電線回線別	外部電源の状況	設備被害、トリップの状況	復旧状況など
1, 2, 3, 4号機	東電原子力線	喪失 (上位系統停電他)	[発電所外]— [発電所内]ケーブル不具合	・3月11日19時頃に充電可能であることを確認し、3月15日に充電 ・当該回線は常時使用していない設備
	大熊線1号線	喪失 (設備被害)	[発電所外]送電線は充電していた [発電所内]開閉所の受電用遮断器(形式:ABB)損傷のため受電設備への送電不可	—
	大熊線2号線	喪失 (設備被害)	[発電所外]— [発電所内]開閉所の受電用遮断器(形式:ABB)損傷	—
	大熊線3号線	—	[発電所外]— [発電所内]—	・開閉所の開閉設備が工事中であり、受電不可 ・新福島変電所の仮設設備(変圧器)にて6kV化した送電線を夜の森線1号線から大熊線3号線に繋ぎ、3月18日に充電
	大熊線4号線	喪失 (トリップのみ)	[発電所外]【トリップ原因】地震動により電線と送電鉄塔が接触又は接近したことにより、変電所の遮断器がトリップしたと推定 [発電所内]—	・新福島変電所内の送電線引込鉄構の傾斜(送電機能に影響なし)
5, 6号機	夜の森線1号線	喪失 (設備被害)	[発電所外]隣接地で発生した大規模な盛土の崩落により送電鉄塔が倒壊 [発電所内]—	—
	夜の森線2号線	喪失 (設備被害)	[発電所外]隣接地で発生した大規模な盛土の崩落により送電鉄塔が倒壊 [発電所内]—	・他の鉄塔(双葉線)への迂回工事を行い、3月20日に充電

2. 各原子力発電所における外部電源の状況について

②福島第二原子力発電所(1／2)

新福島変電所(震度:6強)



2. 各原子力発電所における外部電源の状況について

②福島第二原子力発電所(2/2)

○富岡線1号線及び岩井戸線2号線が送電を継続しており、外部電源は喪失しなかった。

号機	送電線回線別	外部電源の状況	設備被害、トリップの状況	復旧状況など
1, 2, 3, 4号機	富岡線1号線	送電継続	[発電所外]ー [発電所内]ー	ー
	富岡線2号線	喪失 (設備被害)	[発電所外]変電所の断路器損傷 [発電所内]ー	・富岡線1号線により外部電源が確保され、保安規定に定める運転上の制限を満足していることを確認の上、断路器を改修し、4月15日に送電
	岩井戸線1号線	ー	[発電所外]ー [発電所内]ー	・変電所の変圧器が工事中であり、送電不可 ・富岡線1号線により外部電源が確保され、保安規定に定める運転上の制限を満足していることを確認の上、3月13日に他の変圧器を使用して送電
	岩井戸線2号線	送電継続	[発電所外]ー [発電所内]ー	・地震発生直後は送電していたが、地震後の設備巡視で避雷器破損を確認。外部電源が確保されていること及び非常用DGの運転を確認の上、運用停止して避雷器を切離し、3月12日に再送電。

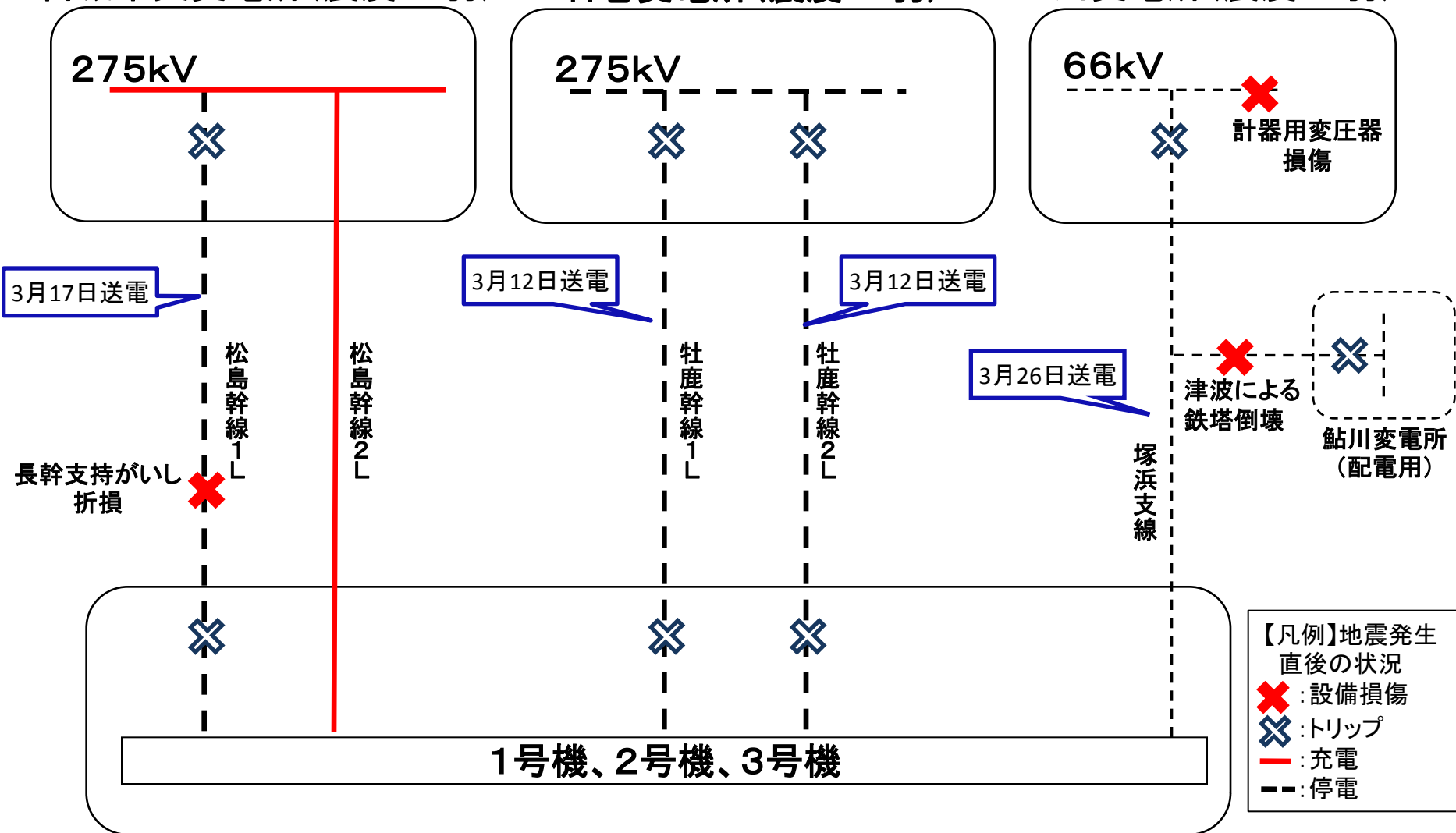
2. 各原子力発電所における外部電源の状況について

③女川原子力発電所(1／2)

宮城中央変電所(震度:6弱)

石巻変電所(震度:6弱)

女川変電所(震度:6弱)



女川原子力発電所

2. 各原子力発電所における外部電源の状況について

③女川原子力発電所(2／2)

○松島幹線2号線が送電を継続しており、外部電源は喪失しなかった。

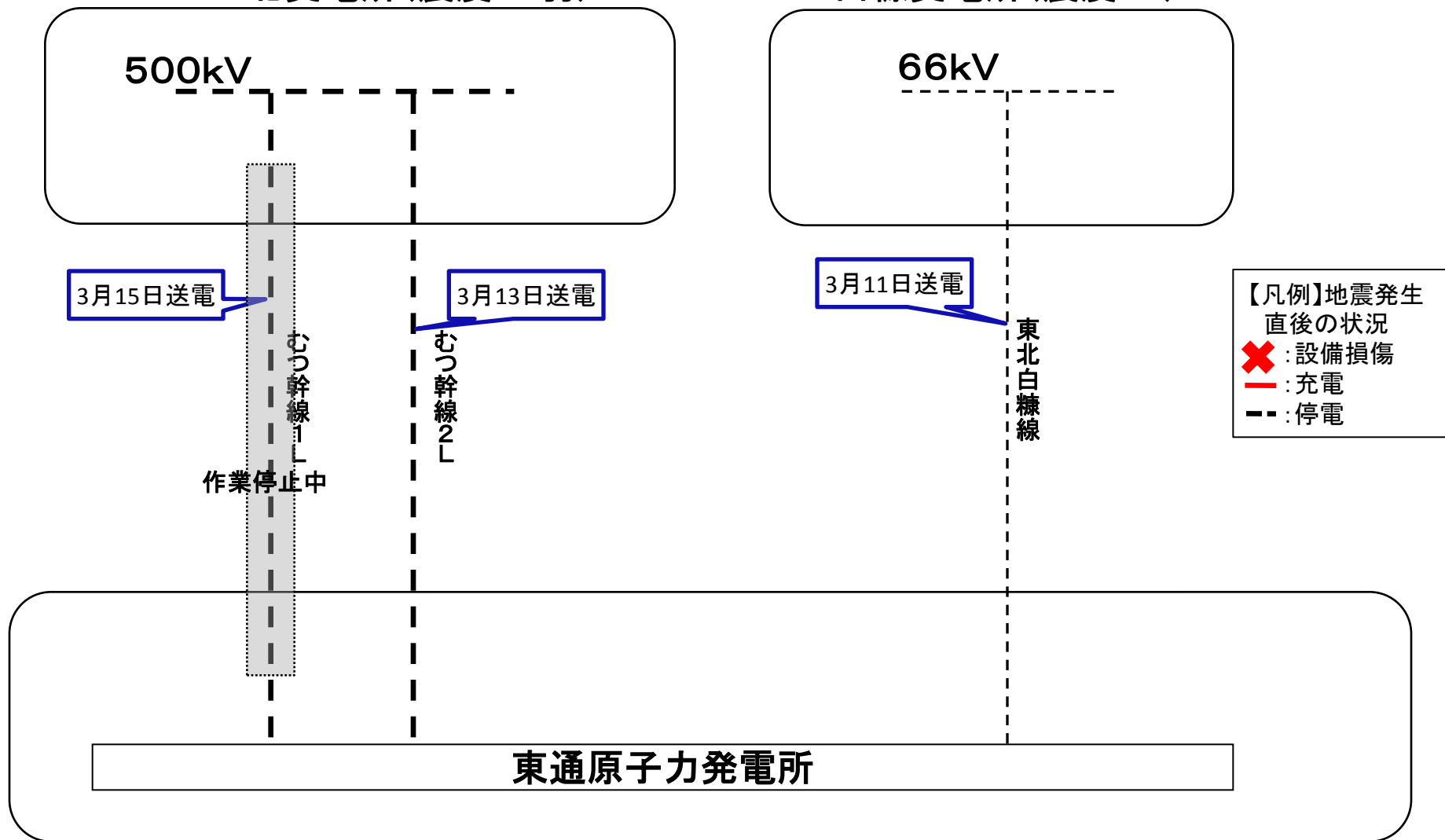
号機	送電線回線別	外部電源の状況	設備被害、トリップの状況	復旧状況など
1, 2, 3号機	松島幹線1号線	喪失 (設備被害)	〔発電所外〕送電鉄塔の長幹支持がいしの一部損傷 〔発電所内〕－	・松島幹線2号線により外部電源が確保され、保安規定に定める運転上の制限を満足していることを確認の上、損傷した長幹支持がいしの取替えを行い、3月17日に送電
	松島幹線2号線	送電継続	〔発電所外〕－ 〔発電所内〕－	－
	牡鹿幹線1号線 〃 2号線	喪失 (トリップ・上位系統停電)	〔発電所外〕－ 〔発電所内〕【トリップ原因】開閉所の避雷器において内部放電が発生したため、変電所の遮断器がトリップしたと推定	・松島幹線2号線により外部電源が確保され、保安規定に定める運転上の制限を満足していることを確認の上、送電線の巡視を行い、上位系統復旧後、3月12日に送電
	塚浜支線	喪失 (設備被害)	〔発電所外〕変電所の計器用変圧器損傷 塚浜支線の分岐元である鮎川線の鉄塔が津波により倒壊 〔発電所内〕－	・松島幹線2号線により外部電源が確保され、保安規定に定める運転上の制限を満足していることを確認の上、計器用変圧器を仮復旧、鉄塔が倒壊した被害区間の切り離し作業を行い、3月26日に送電

2. 各原子力発電所における外部電源の状況について

④東通原子力発電所(1／2)

上北変電所(震度:5弱)

白糠変電所(震度:4)



2. 各原子力発電所における外部電源の状況について

④東通原子力発電所(2／2)

○上位系統の停電により、一時外部電源を喪失(3月11日に復旧)。

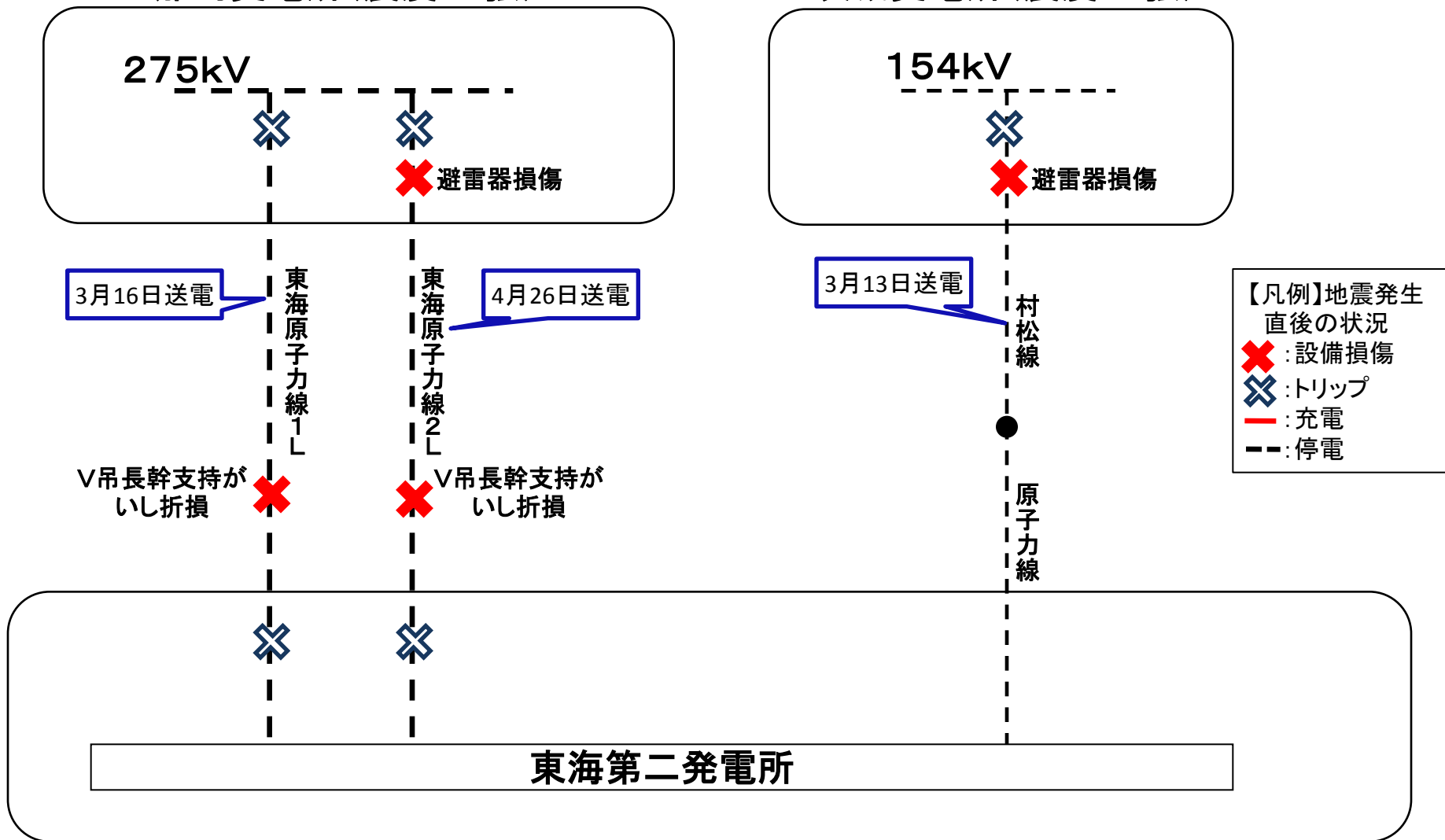
送電線回線別	外部電源の状況	設備被害、トリップの状況	復旧状況など
むつ幹線1号線	—	〔発電所外〕— 〔発電所内〕—	・開閉所作業のため停止中 ・東北白糠線により外部電源が確保され、保安規定に定める運転上の制限を満足したことを確認の上、作業を再開し、作業終了後の3月15日に送電
むつ幹線2号線	喪失(上位系統停電)	〔発電所外〕— 〔発電所内〕—	・東北白糠線により外部電源が確保され、保安規定に定める運転上の制限を満足していることを確認の上、系統復旧を行い、3月13日に送電
東北白糠線	喪失(上位系統停電)	〔発電所外〕— 〔発電所内〕—	・非常用DGが正常に運転していることを確認の上、上位系統の復旧を行い、3月11日に送電

2. 各原子力発電所における外部電源の状況について

⑤ 東海第二発電所(1／2)

那珂変電所(震度:6強)

茨城変電所(震度:6強)



2. 各原子力発電所における外部電源の状況について

⑤東海第二発電所(2/2)

- 上位系統の停電並びに変電所及び送電線路の設備被害により、一時外部電源を喪失(3月13日に復旧)。
- 非常用DGが正常に起動し、燃料も十分に確保できていたことから、供給信頼性を考慮した設備の取替えを実施した上で、外部電源を復旧。

送電線回線別	外部電源の状況	設備被害、トリップの状況	復旧状況など
東海原子力線1号線	喪失 (設備被害)	[発電所外]送電鉄塔の長幹支持 がいしの多数の損傷 [発電所内]ー	・原子力線により外部電源が確保され、保安規定に定める運転上の制限を満足したことを確認の上、損傷した長幹支持がいしと2号線の健全ながいしを取替え、3月16日に送電
東海原子力線2号線	喪失 (設備被害)	[発電所外]変電所の避雷器損傷 送電鉄塔の長幹支持 がいし損傷 [発電所内]ー	・原子力線により外部電源が確保され、保安規定に定める運転上の制限を満足したことを確認の上、変電所の避雷器の切り離し、及び送電鉄塔の損傷した長幹支持がいしの取替えを行い、4月26日に送電
村松線, 原子力線	喪失 (上位系統 停電他)	[発電所外]変電所の避雷器損傷 [発電所内]ー	・非常用DGが正常に運転し、燃料も十分に確保されていたため、変電所の損傷した避雷器を切り離し、一部破損した送電鉄塔のがいし(送電は可能な状態)を信頼性確保のため交換した上、3月13日に送電

2. 各原子力発電所における外部電源の状況について

外部電源に係る電気設備の被害状況一覧

区分		原子力発電所外					原子力発電所内		具体的状況及び対策
		変電所			送電線路		開閉所		
		断路器	避雷器	その他	鉄塔	がいし	遮断器	断路器	
福島第一	東電原子力線	●	●	●	●	●	○	○	上位系統停電、発電所内ケーブル不具合
	大熊線1号線	○	○	○	○	○	×	○	開閉所遮断器損傷(課題⑥の対策)
	大熊線2号線	○	○	○	○	○	×	×	開閉所遮断器・断路器損傷(課題⑥の対策)
	大熊線3号線	○	○	×(※1)	○	○	—	—	開閉所開閉設備工事中
	大熊線4号線	●	●	●	●	●	○	○	トリップのみ(課題⑤の対策)
	夜の森線1号線	○	○	○	×	○	○	○	送電鉄塔倒壊(課題②の対策)
	夜の森線2号線	○	○	○	×	○	○	○	送電鉄塔倒壊(課題②の対策)
福島第二	富岡線1号線	○	○	○	○	○	○	○	送電継続
	富岡線2号線	×	○	○	○	○	○	○	変電所断路器損傷(課題①の対策)
	岩井戸線1号線	○	○	—	○	○	○	○	変電所変圧器工事中
	岩井戸線2号線	○	○	○	○	○	○	○	送電継続(変電所避雷器損傷)
女川	松島幹線1号線	○	○	○	○	×	○	○	送電鉄塔がいし損傷(課題③の対策)
	松島幹線2号線	○	○	○	○	○	○	○	送電継続
	牡鹿幹線1号線	●	●	●	●	●	○	○	トリップのみ(課題⑤の対策)
	牡鹿幹線2号線	●	●	●	●	●	○	○	トリップのみ(課題⑤の対策)
	塚浜支線	○	○	×(※2)	×	○	○	○	変電所計器用変圧器損傷(課題④の対策)、鉄塔倒壊(津波)
東通	むつ幹線1号線	○	○	○	○	○	—	—	開閉所作業停止中
	むつ幹線2号線	●	●	●	●	●	○	○	上位系統停電
	東北白糠線	●	●	●	●	●	○	○	上位系統停電
東海第二	東海原子力線1号線	○	○	○	○	×	○	○	送電鉄塔がいし損傷(課題③の対策)
	東海原子力線2号線	○	×	○	○	×	○	○	変電所避雷器損傷(課題④の対策)、送電鉄塔がいし損傷(課題③の対策)
	村松線・原子力線	○	×	○	○	○	○	○	上位系統停電、変電所避雷器損傷(課題④の対策)
設備区分ごとの被害の割合		1/22 (5%)	2/22 (9%)	2/21 (10%)	3/22 (14%)	3/22 (14%)	2/20 (10%)	1/20 (5%)	

○:使用可能(設備被害があったものの機能を維持したもの及び地震の揺れにより短絡・地絡が発生したものの、揺れが落ち着いた後、機能が回復したものを含む。)

●:上位系統停電又は遮断器トリップ、×:使用不可、—:工事中又は作業中、※1:架空地線断線、※2:計器用変圧器損傷、■:地震発生後に充電していたもの

2. 各原子力発電所における外部電源の状況について

課題と対策

1. 原子力発電所外の送変電系統

(1) 送電停止(設備被害)

ア) 復旧に時間を要するもの

課題①: 変電所の断路器損傷については、損傷原因評価を踏まえ、必要に応じて今後の設計への反映要否などについて検討する。

課題②: 福島第一原子力発電所5・6号機の外部電源の送電線路が1ルートであり、鉄塔1基の倒壊により外部電源が喪失したことや地震後に送電可能な回線が少なかったことを踏まえると、外部電源の信頼性を向上させるために、送電線路の多ルート化や基礎の安定性向上対策が必要である。

課題③: がいし損傷については、耐震性向上対策が必要である。

イ) 簡易な作業により復旧が可能なもの

課題④: 避雷器等の損傷については、簡易な作業により復旧が可能なものの、外部電源に要求されるレベルによっては、耐震性向上対策を進める。

(2) 送電停止(トリップのみ)

課題⑤: 牡鹿幹線1・2号線においては、送電機能に影響する設備被害はなかったが、変電所の遮断器がトリップし、再送電を試みたもののトリップした。今回は外部電源が喪失しなかったことから通常の運用に基づき設備の健全性確認を行ったが、これらの作業には時間を要することから、迅速な健全性確認方法の検討や外部電源の喪失を想定した復旧手順を策定することが必要ではないか。

2. 原子力発電所内の開閉設備

課題⑥: 福島第一原子力発電所のみ2回線の遮断器等が損壊したことを受けて、設備要因(形式、年式)の検討やモデル解析による損傷原因評価結果を踏まえ、耐震性向上対策等を実施する。

3. 外部電源の信頼性確保に係る電気事業者等の対策実施状況

➤ 原子力発電所外の設備

(出典:「第1回電気設備地震対策WG資料」及び平成23年5月16日に一般電気事業者等から受領した「『原子力発電所の外部電源の信頼性の確保について(指示)』に対する報告について」)

〔課題①の対策〕

- 原子力電源線に接続する変電所において、断路器、避雷器の損傷が発生した。新福島変電所の遮断器等の損傷について、詳細評価を実施中であり、必要に応じてその評価結果に基づく新たな知見の反映を行う。

〔進捗状況〕

- 変電所の遮断器等の損傷原因の評価を行うため、電気設備の構造等を模擬した解析モデルを東京電力において構築中。実際の地震動の推定結果を踏まえて、年内に損傷原因の評価を実施予定。

〔課題②の対策〕

- 送電線の1ルート断事故に対し、外部電源が喪失しない、送電系統の切替えによる早期復旧が可能である又はそれらのいずれかとなるよう対策(発電所における送電回線の各号機接続、送電線の新設)を実施する。

〔進捗状況〕

- 1つの変電所からのみ受電している又は大元が1つの変電所であり、外部電源が喪失した際の復旧に時間を要する発電所については、送電ルート新設等の対策を実施予定であり、進捗状況について引き続き確認していく。

3. 外部電源の信頼性確保に係る電気事業者等の対策実施状況

〔課題②の対策〕

- 地震動で倒壊した鉄塔はないものの、鉄塔近傍の盛土の崩落により鉄塔が倒壊したことから、各電気事業者は、崩落により鉄塔に影響を与える可能性のある盛土等鉄塔基礎の安定性について、図面の確認や現地踏査等の調査を実施している。

〔進捗状況〕

- 各電気事業者は、現地踏査等による盛土・急傾斜地・地滑りの評価を10月までに実施するとしており、評価結果に応じ対策を検討する予定。なお、対策等の進捗状況については引き続き確認していく。

〔課題③の対策〕

- 送電鉄塔については、地震動そのもので倒壊したものはないことから、一定の耐震性を有していると評価している(4. ①(1)参照)。一方、電線の支持がいしについては損壊が発生していることから、事業者は懸垂がいしへの取り替えや長幹がいしに免震金具を取り付けるなどの信頼性向上対策を講じるとしている。

〔進捗状況〕

- 各電気事業者は、対策を遅くとも平成23年度内までに講じる予定。

3. 外部電源の信頼性確保に係る電気事業者等の対策実施状況

➤ 原子力発電所内の設備

(出典:平成23年5月16日及び平成23年7月7日に一般電気事業者等からそれぞれ受領した「『原子力発電所の外部電源の信頼性確保について(指示)』に対する報告について」及び「『原子力発電所等の外部電源の信頼性確保に係る開閉所等の地震対策について(指示)』に対する報告について」)

〔課題⑥の対策〕

- 原子力発電所内の開閉設備等については、原子力安全・保安院の指示により、各事業者において所内設備の津波対策として、開閉所等の電気設備の高台への移設／新設等の計画を策定。
- さらに、地震動により所内開閉所の電気設備が機能不全となる倒壊、損傷等が発生する可能性の影響評価を実施。事業者から提出された中間報告において耐震にかかる民間規格JEAG5003-2010(4. ①(2)、(3)参照)における耐震設計上の裕度を確認し、その結果、日本原子力発電東海第二発電所^{注)}以外の事業者においては裕度が1.3以上となっていることを原子力安全・保安院において確認。
- なお、福島第一原子力発電所における遮断器等の損傷について、詳細評価を実施中であり、必要に応じてその評価結果に基づく新たな知見の反映を行う。

注)日本原子力発電東海第二発電所は、平成23年度の定期検査期間中に対策を実施することとしている。

〔進捗状況〕

- 開閉所の遮断器等の損傷原因の評価を行うため、電気設備の構造等を模擬した解析モデルを東京電力において構築中。実際の地震動の推定結果を踏まえて、年内に損傷原因の評価を実施予定。

3. 外部電源の信頼性確保に係る電気事業者等の対策実施状況

(参考)原子力発電所 開閉所遮断器の型式及び設置年

○今般の震災において、原子力発電所施設内の開閉所において設備の損壊等が発生した福島第一原子力発電所の大熊線1号線及び2号線はいずれも1978年に設置されたABB形式(気中遮断器(空気))であった(※1)。

※これらの開閉所は、JEAG5003-1980制定(1980年)より前に製造しているものの、福島第一1号機及び2号機の耐震性能については、開発段階から先行して動的評価を取り入れており、JEAGの要求性能を有している。

○(社)電気協同研究会による遮断器の耐震性能調査によると、タンク型遮断器(ガス絶縁開閉装置(GIS)等)は、がいし型遮断器(気中遮断器(ABB等)等)に比べて耐震性能が高いとの結果が得られている。

<分析内容>

- ①機器が共振する、大きさ0.3Gの波を3回入力した際に当該機器に加わる発生応力を計算
- ②上記発生応力と機器が耐えられる力(許容応力)との比べて比較し、安全率(=許容応力/発生応力)

	500kV級(4000A)	200kV級(8000A)	200kV級(4000A)
がいし型遮断器(ABB:気中遮断器等)	約1.3～約2.5	約2.2	約1.5
タンク型遮断器(GIS:ガス絶縁開閉装置等)	約2.6	約4.5	約2.5

出典(社)電気協同研究会調査

○そのため、福島第一原子力発電所の遮断器が損傷した原因は、相対的に耐震性能が低いと考えられるABB形式の遮断器にあった可能性があり、今後、遮断器をABB形式からGIS形式に交換していくことが望ましい。一方、同発電所の大熊線4号は1973年設置のABB形式であっても損壊していないこと等(スライド22、23)から、今回損壊した遮断器等の解析による詳細評価の結果を踏まえ、更に検討していくことが必要。

※1 空気遮断器(ABB)及びガス絶縁開閉装置(GIS)



550kVガス絶縁開閉装置(GIS)

(出典)㈱日本パワーシステムズ HP



275kV空気遮断器(ABB)

(出典)第1回電気設備地震対策WG資料

原子力発電所 開閉所遮断器の型式及び設置年

発電所、号機		送電線回線別	遮断器種類	設置年	損壊等
福島第一	1, 2号機	大熊線1号線(275kV)	ABB	1978	×
		大熊線2号線(275kV)	ABB	1978	×
	3, 4号機	大熊線3号線(275kV)	GIS	建設中	○
		大熊線4号線(275kV)	ABB	1973	○
	5, 6号機	夜の森線1号線(66kV)	GIS	1993	○
		夜の森線2号線(66kV)	GIS	1993	○
福島第二	1, 2, 3, 4号機	富岡線1号線(500kV)	ABB	1980	○
		富岡線2号線(500kV)	ABB	1980	○
		高起動変圧器用(500kV)	GIS	1994	○
		66kV開閉設備	GCB	1979	○
		66kV開閉設備	GIS	2003	○
女川	1～3号機	牡鹿幹線1号(275kV)	GIS	1982	○
		牡鹿幹線2号(275kV)	GIS	1982	○
		松島幹線1号(275kV)	GIS	1999	○
		松島幹線2号(275kV)	GIS	1999	○
		1号起動変圧器用(275kV)	GIS	1982	○
		2号起動変圧器用(275kV)	GIS	1993	○
		3号起動変圧器用(275kV)	GIS	1999	○
		塚浜支線(66kV)	GIS	1993	○
東通	1号	むつ幹線1号(500kV)	GIS	2003	○
		むつ幹線2号(500kV)	GIS	2003	○
		高起動変圧器用(500kV)	GIS	2003	○
		東北白糠線(66kV)	GIS	1998	○
		高起動変圧器用(66kV)	GIS	2003	○
		低起動変圧器用(66kV)	GIS	2003	○
東海第二	-	東海原子力線1号線(275kV)	ABB	1976	○
		東海原子力線2号線(275kV)	ABB	1976	○
		起動変圧器用(275kV)	ABB	1976	○
		原子力線1号線 予備変圧器用(154kV)	GCB	2003	○

JEAG5003に基づく開閉所の耐震評価

発電所	号機	電圧階級	評価設備	評価部位	評価結果(裕度) ^注
福島第二	1～4号	500kV	ガス絶縁開閉装置	ブッシング	2.04
		500kV	気中遮断器(空気)	中間碍子	2.10
		66kV	ガス絶縁開閉装置	タンク	3.00
		66kV	気中遮断器(ガス)	架台	2.70
女川	1～3号	275kV	ガス絶縁開閉装置	ブッシングタンク	2.72
		66kV	ガス絶縁開閉装置	ブッシング架台	1.33
東通	1号	500kV	ガス絶縁開閉装置	ブッシング	2.72
		66kV	ガス絶縁開閉装置	ブッシング架台	1.34
東海第二	—	154kV	気中(ガス遮断器)	ケーブルヘッド	0.6
		275kV	気中(空気遮断器)	避雷器がいし	1.32

注: 耐震評価はJEAG5003-2010「変電所等における電気設備の耐震設計指針」の基準に基づく耐震強度基準値に対し、当該設備が有する耐震強度との比較により評価。

4. 参考

①送変電設備及び開閉所における現行の耐震基準

(1)送電設備

○鉄塔の耐震設計値については、法令上具体的な規定はないが、鉄塔の強度については、電気設備に関する技術基準を定める省令において、風速40m/sの風圧荷重に耐えるよう求めており、平成7年の電気設備防災検討会(資源エネルギー庁長官の私的検討会)において、この基準で設計された鉄塔は兵庫県南部地震の地震動(最大加速度818gal)に耐えうることが確認されている。

(2)変電設備

○変電所における電気設備の耐震設計値については、法令上具体的な規定はないが、日本電気技術規格委員会 電気技術指針 JEAG 5003「変電所等における電気設備の耐震設計指針」において、下表のとおり機器耐震設計地震力を規定。

がいし形機器・アルミパイプ母線・変圧器ブッシングの設計地震力

項目	がいし形機器及び アルミパイプ母線	変圧器ブッシング
機器設計地震力	機器の架台下端に対し、共振正弦3波3m/s ²	ブッシングポケット下端に対し、共振正弦3波5m/s ²

※. がいし形機器及び変圧器ブッシングについては1980年、アルミパイプ母線については1999年に上表の基準を規定。

(3)開閉所設備

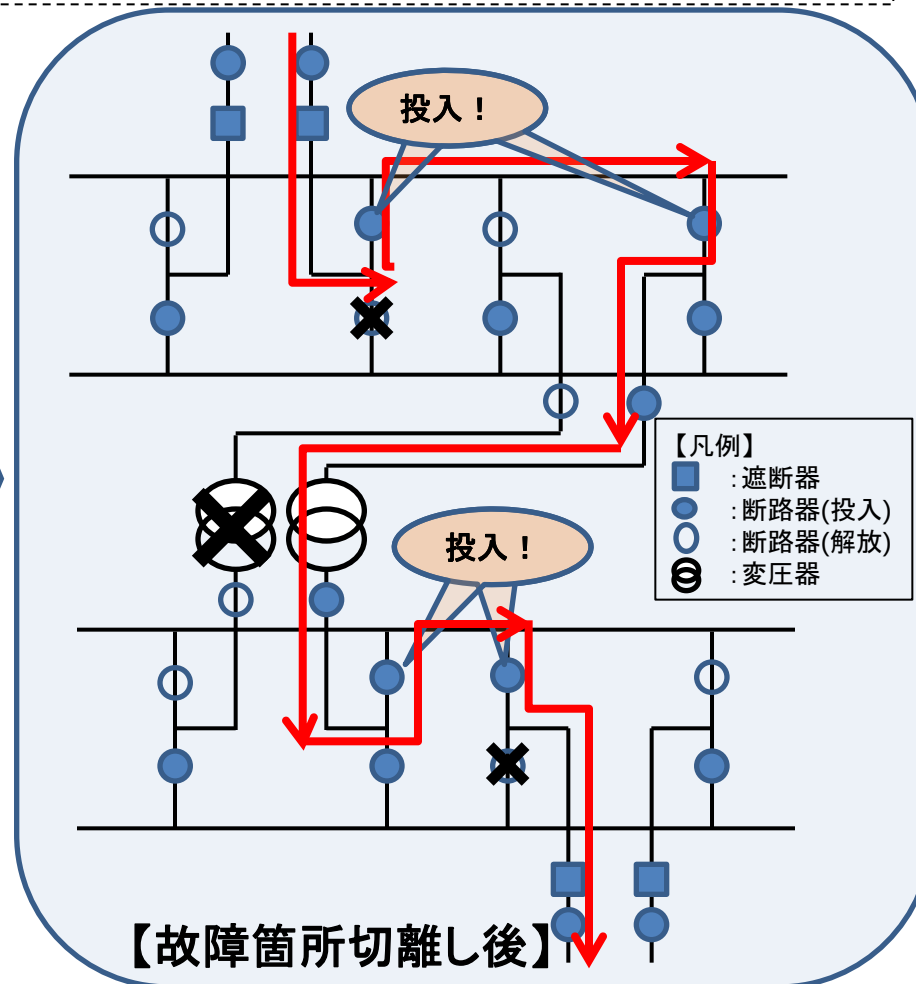
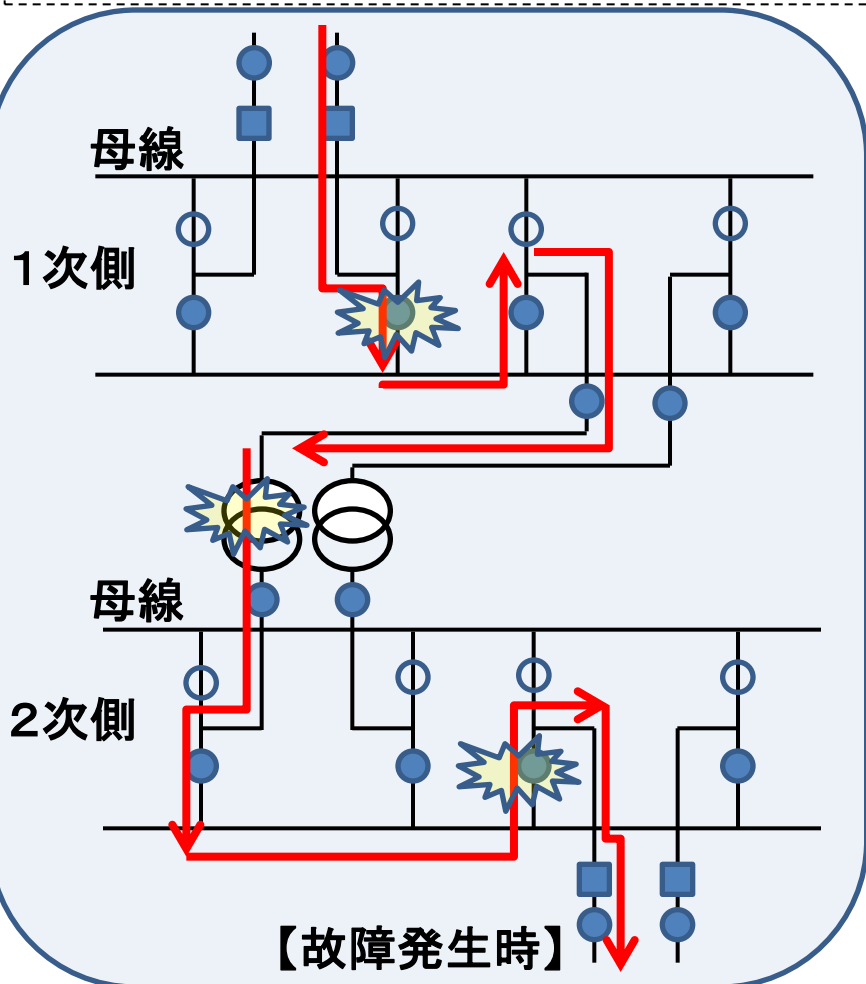
○耐震設計については、発電所構内の開閉所は、耐震設計審査指針の耐震重要度分類の考え方に基づいて、一般産業施設と同等の安全性を保持すればよい耐震Cクラスに分類。各事業者は日本電気技術規格委員会電気技術指針JEAG5003を活用。

(参考)非常用所内電源系は耐震Sクラス

4. 参考

②変電所の多重性について(一般的な構成)

- 変電所の母線、変圧器などは一般的に多重化されており、部分的な故障が発生した場合でも、当該故障箇所を切り離すことにより、送電能力に支障が生じない。
- 設備が損傷した場合であっても、一定の絶縁能力等を有している場合には、応急的に使用することは可能。



4. 参考

- ③東北地方太平洋沖地震による送変電設備の被害状況
(出典: 第1回電気設備地震対策WG資料より抜粋)

4. 参考(③東北地方太平洋沖地震による送変電設備の被害状況)

i) 送電設備の被害状況

- 主な設備被害を、項目別・震度別に整理した。震度5以上で被害が発生し、震度が高いほど被害率が高くなる傾向にあるが、震度7でも地震動による長期間に亘る著しい設備被害は生じていない。

今回の地震の被害数と被害率＜主な被害＞

東北電力

		設備数	被害数	被害率
鉄塔 (基)	合計	28, 205	6	0. 02%
	震度7	63	1	1. 59%
	震度6	9, 814	3	0. 03%
	震度5	18, 328	2	0. 01%
がいし (基)	合計	28, 205	17	0. 06%
	震度7	63	0	0. 00%
	震度6	9, 814	13	0. 13%
	震度5	18, 328	4	0. 02%
電線 (径間)	合計	28, 205	4	0. 01%
	震度7	63	0	0. 00%
	震度6	9, 814	4	0. 04%
	震度5	18, 328	0	0. 00%

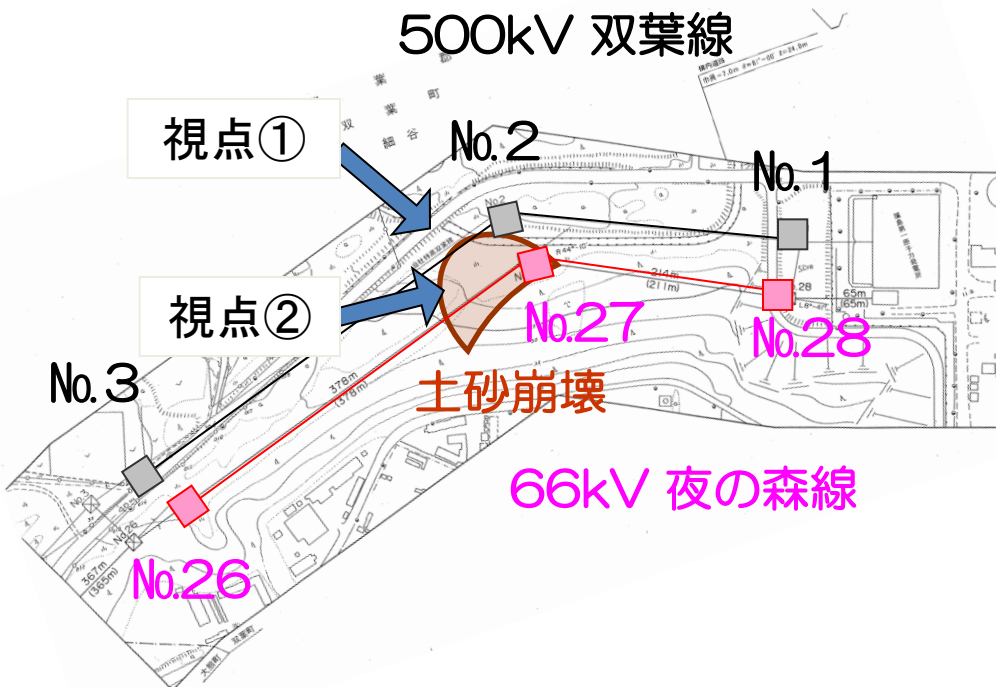
東京電力

		設備数	被害数	被害率
鉄塔 (基)	合計	30, 555	15	0. 05%
	震度7	21	0	0. 00%
	震度6	6, 271	8	0. 13%
	震度5	24, 263	7	0. 03%
がいし (基)	合計	30, 555	41	0. 13%
	震度7	21	0	0. 00%
	震度6	6, 271	33	0. 53%
	震度5	24, 263	8	0. 03%
電線 (径間)	合計	30, 555	3	0. 01%
	震度7	21	0	0. 00%
	震度6	6, 271	0	0. 00%
	震度5	24, 263	3	0. 01%

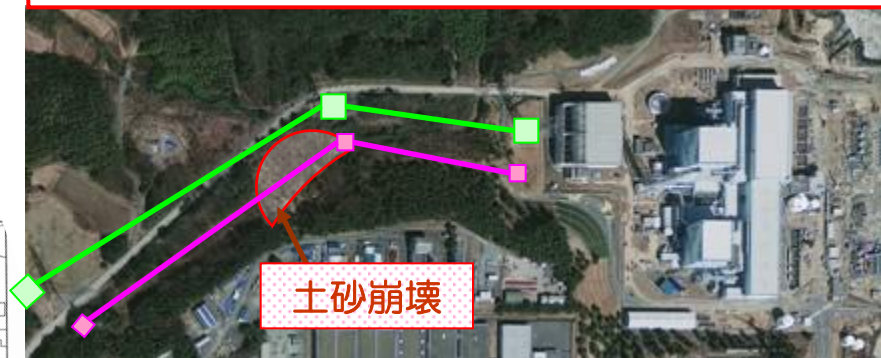
※鉄塔倒壊は、盛土の崩壊による土砂により倒壊した66kV夜の森線1基のみ。その他の鉄塔の被害は鉄塔敷地の地盤亀裂による二次的要因による傾斜、部材変形であり、地震動により倒壊・折損等の送電機能を喪失する被害はなかった。

架空送電設備の主な被害状況 1/2

盛土崩落による鉄塔倒壊(夜の森線No.27)



法面の土砂崩落



(C) GeoEve

法面の土砂崩落(視点①)



←夜の森線No.28 夜の森線No.26
(発電所側) →

鉄塔の倒壊(視点②)



○復旧関係

- ・3/18 迂回ルートにより仮復旧
(双葉線No.2への迂回)
- ・双葉線66kV化工事(7月完了)

架空送電設備の主な被害状況 2／2

V吊長幹支持がいしの折損



4. 参考(③東北地方太平洋沖地震による送変電設備の被害状況)

ii) 変電設備の被害状況

東北電力の電圧・震度別被害状況について

- 震度5以上で被害が発生し、震度が高いほど被害率が高くなる傾向であった。なお、震度7の地域に配電用変電所が1箇所所在するが、被害は発生していない。
- 275kVおよび154kV変圧器の被害率が他機器に比べ相対的に高く、その他は1%程度の被害率であった。

※被害数 運転継続不可の被害数

		全数			500kV			275kV			154kV			66kV		
		設備数	被害数	被害率	設備数	被害数	被害率	設備数	被害数	被害率	設備数	被害数	被害率	設備数	被害数	被害率
変圧器	合計	1,712	30	1.8%	14	0	0.0%	92	8	8.7%	264	14	5.3%	1,342	8	0.6%
	震度7	2	0	0.0%	0	0	—	0	0	—	0	0	—	2	0	0.0%
	震度6	609	19	3.1%	5	0	0.0%	29	4	13.8%	95	8	8.4%	480	7	1.5%
	震度5	1,101	11	1.0%	9	0	0.0%	63	4	6.3%	169	6	3.6%	860	1	0.1%
遮断器	合計	4,104	4	0.1%	0	0	—	240	1	0.4%	593	0	0.0%	3,271	3	0.1%
	震度7	6	0	0.0%	0	0	—	0	0	—	0	0	—	6	0	0.0%
	震度6	1,274	3	0.2%	0	0	—	46	1	2.2%	171	0	0.0%	1,057	2	0.2%
	震度5	2,824	1	0.0%	0	0	—	194	0	0.0%	422	0	0.0%	2,208	1	0.0%
断路器	合計	6,975	32	0.5%	0	0	—	586	7	1.2%	1,555	10	0.6%	4,834	15	0.3%
	震度7	5	0	0.0%	0	0	—	0	0	—	0	0	—	5	0	0.0%
	震度6	2,027	26	1.3%	0	0	—	114	5	4.4%	443	7	1.6%	1,470	14	1.0%
	震度5	4,943	6	0.1%	0	0	—	472	2	0.4%	1,112	3	0.3%	3,359	1	0.0%

※本震(3/11)、余震(4/7,11,12)の延べ台数を計上

東京電力の電圧・震度別被害状況について

- 震度5以上で被害が発生し、震度が高いほど被害率が高くなる傾向。
- 断路器については各電圧階級で被害が発生しており、被害率が他機器に比べ、相対的に高い。

※被害数 運転継続不可の被害数

		全数			500kV			275kV			154kV			66kV以下		
		設備数	被害数	被害率	設備数	被害数	被害率	設備数	被害数	被害率	設備数	被害数	被害率	設備数	被害数	被害率
変圧器	合計	2,997	17	0.6%	61	0	0.0%	173	5	2.9%	374	9	2.4%	2,389	3	0.1%
	震度7	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—
	震度6	339	13	3.8%	7	0	0.0%	19	3	15.8%	41	7	17.1%	272	3	1.1%
	震度5	2,658	4	0.2%	54	0	0.0%	154	2	1.3%	333	2	0.6%	2,117	0	0.0%
遮断器	合計	3,180	11	0.3%	146	0	0.0%	277	5	1.8%	541	5	0.9%	2,216	1	0.0%
	震度7	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—
	震度6	566	7	1.2%	42	0	0.0%	55	4	7.3%	97	3	3.1%	372	0	0.0%
	震度5	2,614	4	0.2%	104	0	0.0%	222	1	0.5%	444	2	0.5%	1,844	1	0.1%
断路器	合計	8,388	104	1.2%	368	27	7.3%	662	16	2.4%	1,472	33	2.2%	5,886	28	0.5%
	震度7	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—
	震度6	1,490	74	5.0%	114	14	12.3%	138	11	8.0%	254	24	9.4%	984	25	2.5%
	震度5	6,898	30	0.4%	254	13	5.1%	524	5	1.0%	1,218	9	0.7%	4,902	3	0.1%

変電設備の主な被害状況 1／2

【275kV空気遮断器 全損】

健全品

遮断部 碍子全損



変電設備の主な被害状況 2/2

【500kV断路器 全損】



4. 参考(③東北地方太平洋沖地震による送変電設備の被害状況)

iii) まとめ

【送電設備】

※(カッコ)内は震度6以上の被害率

- 鉄塔の被害率は東北電力で0.02%(0.04%)、東京電力で0.05%(0.13%)であり、鉄塔は一定の耐震性能を有していると考えられる。
- 送電線路のがいしの被害率については、東北電力で0.06%(0.13%)、東京電力で0.13%(0.52%)であり、がいしは一定の耐震性能を有していると考えられる。

【変電設備】

- 変圧器の被害率は東北電力で1.8%(3.1%)、東京電力で0.6%(3.8%)であり、電圧階級によっては他の機器に比べ被害率が高かった。
 - 遮断器の被害率は東北電力で0.1%(0.2%)、東京電力で0.3%(1.2%)であり、遮断器は一定の耐震性能を有していると考えられる。
 - 断路器の被害率は東北電力で0.5%(1.3%)、東京電力で1.2%(5.0%)であり、他の機器に比べ被害率が高かった。
- 被害率の高かった変圧器、遮断器、断路器については、電気設備地震対策WGにおいて、被害原因の究明を行い、今後の設計への反映要否などについて検討を行う予定。

4. 参考(④外部電源喪失事故の事例)

番号	事業者名	プラント名	発生年月日	概要	原因
1	東京	福島第一2号機	S54年10月19日	台風による送電線事故により、福島幹線2号がトリップし、2号機がトリップ。1、2号機共用の起動用変圧器1Sが起動中の1号機に電源を供給していたため、2号機は起動用変圧器1Sの容量不足から起動用変圧器1Sを通じ電源を受電することができず外部電源を喪失。なお、非常用ディーゼル発電機が自動起動し、必要な電源が供給されたため、原子炉施設への影響はなかった。	送電線事故 (台風)
2	四国	伊方1号機	S55年8月27日	落雷により予備送電線手動停止中に伊方北幹線1、2号線トリップし、外部電源喪失に至った。なお、非常用ディーゼル発電機が自動起動し、必要な電源が供給されたため、原子炉施設への影響はなかった。	送電線事故 (落雷)
3	中国	島根1号機	S60年9月12日	落雷により山陰幹線1、2号線がトリップし、外部電源喪失に至った。なお、非常用ディーゼル発電機が自動起動し、必要な電源が供給されたため、原子炉施設への影響はなかった。	同上
4	中国	島根1号機	S62年8月12日	同上	同上
5	北海道	泊2号機	H12年5月19日	午前3時50分頃、茅沼線(66kV)の送電線がいしへの鳥糞の付着による地絡事故発生により、1、2号機中央制御室にて「66kV系電圧低」警報が発信し、2号機の所内電源が一時停電。(2号機は定検で起動変圧器が隔離・点検中であり、泊幹線(275kV)からではなく、茅沼線(66kV)から予備変圧器にて受電中。)停電により非常用予備発電機が即座に自動起動し、所内電源が供給された。その後、茅沼線(66kV)の復旧により、午前4時15分に所内電源は通常状態(茅沼線受電)に復帰。	送電線事故 (がいしへの鳥糞付着による地絡)
6	日本原電	敦賀1号機	H17年12月15日	定期検査中、所内電源は275kV系敦賀線1号から受電していたが、7時43分、風雪による送電線事故が発生し、受電ができなくなった。(他の受電系統(敦賀線2号及び予備電源77kV系)は計画作業に伴い停電中。)9時34分に停電中の敦賀線2号を復旧させ、9時47分に送電線から受電し、10時43分に通常状態に復帰した。なお、停電にともない非常用ディーゼル発電機が自動起動し、必要な電源が供給されたため、原子炉施設への影響はなかった。	送電線事故 (風雪)
7	日本原電	敦賀1号機	H17年12月22日	定期検査中、所内電源は275kV系敦賀線2号から受電していたが、9時27分に、送電線事故により受電不能となった。敦賀線1号は計画作業に伴い停電中で、予備電源の77kV系送電線は充電状態にあったが、275kV系喪失後に予備電源の受電遮断器が自動投入されなかった。そのため、受電遮断器の点検を実施し、10時42分に予備電源から手動受電。なお、非常用ディーゼル発電機が自動起動し、必要な電源が供給されたため、原子炉施設への影響はなかった。	送電線事故 (着雪・着氷による送電線の強震)
8	北陸	志賀1号機	H19年3月25日	停止中のところ、9時42分頃、能登半島地震(震度: 志賀 6弱)が発生した。この地震発生直後に、変電所の変圧器保護リレーが振動により動作したことから、変圧器がトリップし、志賀原子力線(27万5千ボルト)、赤住線(6万6千ボルト)が6分間停電。(原子炉施設保安規定で定められた運転上の制限を一時的に外れた(6分間の外部電源喪失))なお、非常用ディーゼル発電機は3台自動起動していた。	地震 (変電所設置変圧器のリートリップ)
9	関西	大飯3号機	H20年3月18日	定期検査中、16時08分に発電所内の電源(所内電源)が停電した。この際、「非常用母線電圧低」信号が発信したことにより、待機中のB非常用ディーゼル発電機(以下、「D/G」という。A-D/Gは点検中。)が自動起動し、B非常用母線が充電され電源は確保。直ちに状況を確認したところ、当時、主変圧器(以下「主変」という)を介して、送電線から所内電源を確保していたが、主変と送電線の間にある主変しや断器が開放されたことにより、所内電源への供給系統がなくなり、停電したものと確認。このため、非常用DGが自動起動し、同日16時40分に開放した主変しや断器を投入し、順次、所内電源を停電前の状態に復旧する作業を実施し、同日17時14分に完了した。	しや断器の誤開放 (手順書の不備)
10	東京	福島第一2号機	H22年6月17日	午後2時52分頃、運転中の2号機において、「発電機界磁しや断器トリップ警報」が発生し、発電機の保護装置が作動して発電機が停止したため、タービンならびに原子炉が自動停止した。また、この事象にあわせて当該プラントの電源が停止し、非常用ディーゼル発電設備が自動起動するとともに、原子炉へ給水するポンプが停止したことから、原子炉の水位が一時的に低下したが、代替のポンプである原子炉隔離時冷却系を起動して給水を行い、原子炉の水位は通常の範囲内で安定した。	作業員の機器への接触 による振動と推定

4. 参考

⑤東北地方太平洋沖地震に関連する原子力発電所の外部電源信頼性に係る報告書等

①電気事業法第106条第3項の規定に基づく報告の徴収に対する報告について(平成23年5月16日、東京電力(株))

<http://www.nisa.meti.go.jp/earthquake/files/houkoku230516-1.pdf>

②福島第一原子力発電所内外の電気設備の被害状況等に係る記録に関する報告を踏まえた対応について(指示)に対する報告について(平成23年5月16日、東京電力(株))

<http://www.nisa.meti.go.jp/earthquake/files/houkoku230523-2.pdf>

③原子力発電所及び再処理施設の外部電源の信頼性確保について(指示)に対する報告(平成23年5月16日、一般電気事業者等)

<http://www.meti.go.jp/press/2011/05/20110516006/20110516006.html>

④福島第二原子力発電所の外部電源の信頼性確保について(平成23年7月7日、東京電力(株))

<http://www.meti.go.jp/press/2011/07/20110707002/20110707002.html>