

新規制基準適合性審査申請
設計基準対象施設
＜(6)外部電源＞
(No.68関連)

平成30年6月1日
東北電力株式会社

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません



目次

1. 基準要求事項
2. 設備の概要
3. 電気系統の故障拡大防止
4. 外部送電線の独立性
5. 外部送電線の信頼性
6. 外部電源の容量
7. 受送電設備の信頼性
8. 所内電源系統(非常用電源設備)の信頼性
9. 適合性審査状況(審査会合での主な質問・指摘事項)

1. 基準要求事項(1/2)

○「实用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」(以下、「設置許可基準」という。)第三十三条(保安電源設備)において、原子炉の緊急停止、停止後の除熱、炉心冷却等の動作に必要な電力を供給するため、外部送電系統に接続すること、および非常用電源(ディーゼル発電機、125V蓄電池)の設置が求められている。

○なお、今回のご説明は設計基準対処設備に係る内容であり、重大事故等対処設備として配備するガスタービン発電機等のご説明は別途実施。

設置許可基準第三十三条(保安電源)の要求事項および対応方針

設置許可基準	分類	対応方針
(保安電源設備) 1 重要安全施設がその機能を維持するために必要となる電力を当該重要安全施設に供給するため、 電力系統に連系 したものでなければならない。	外部電源	外部送電線として、275kV送電線(4回線)、66kV塚浜支線(1回線)と接続【P4,5】
2 発電用原子炉施設には、 非常用電源設備 (安全施設に属するものに限る。以下この条において同じ。)を設けなければならない。	非常用電源	ディーゼル発電機3台と、125V蓄電池3系統の設置【P6~8】
3 保安電源設備(安全施設へ電力を供給するための設備をいう。)は、電線路、発電用原子炉施設において常時使用される発電機及び非常用電源設備から安全施設への電力の供給が停止することがないよう、 機器の損壊、故障その他の異常を検知するとともに、その拡大を防止 するものでなければならない。	外部電源 非常用電源	保護継電器による異常(地絡・短絡等)の検知により遮断器を動作し異常の拡大を防止【P9~10】

1. 基準要求事項(2/2)

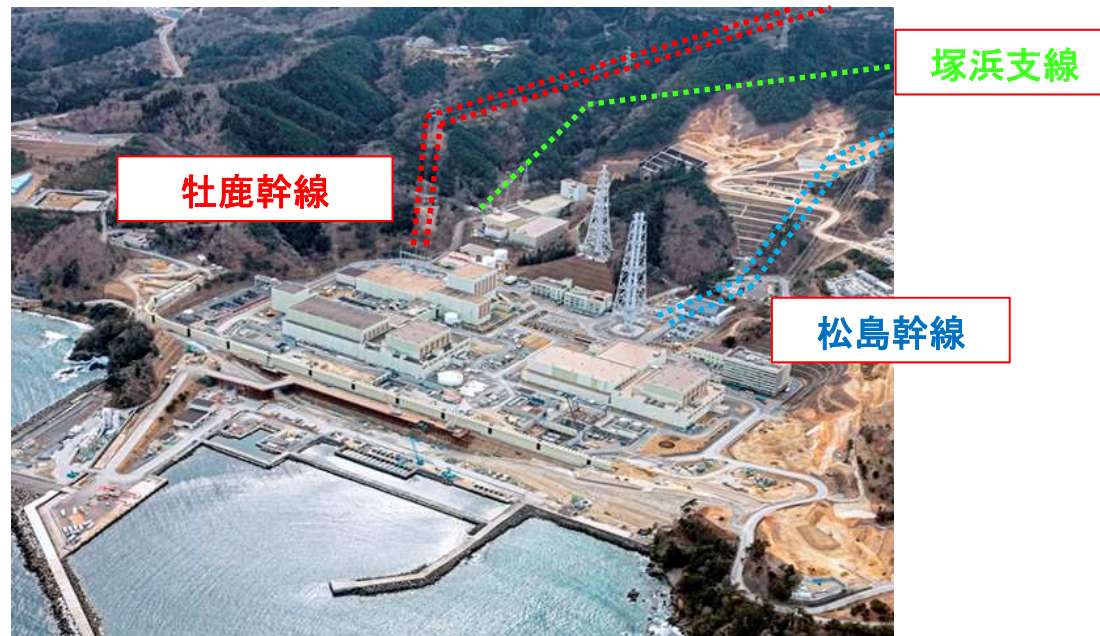
設置許可基準	分類	対応方針
4 設計基準対象施設に接続する電線路のうち 少なくとも二回線は、それぞれ互いに独立 したものであって、当該設計基準対象施設において受電可能なものであり、かつ、それにより当該設計基準対象施設を電力系統に連系するものでなければならない。	外部電源	外部送電線はそれぞれ独立したルートに設置【P11】
5 前項の電線路のうち 少なくとも一回線は、設計基準対象施設において他の回線と物理的に分離して受電 できるものでなければならない。	外部電源	外部送電線は、全ての送電線が同一鉄塔に設置している箇所はない【P12～14】
6 設計基準対象施設に接続する電線路は、同一の工場等の二以上の発電用原子炉施設を電力系統に連系する場合には、 いずれの二回線が喪失した場合においても 電力系統からこれらの発電用原子炉施設への 電力の供給が同時に停止しない ものでなければならない。	外部電源	外部送電線は5回線(牡鹿(2), 松島(2), 塚浜(1))あり、いずれの2回線が喪失しても電力供給可能【P15～21】
7 非常用電源設備及びその附属設備は、多重性又は多様性を確保し、及び独立性を確保し 、その系統を構成する機械又は器具の単一故障が発生した場合であっても、運転時の異常な過渡変化時又は設計基準事故時において工学的安全施設及び設計基準事故に対処するための設備がその機能を確保するために 十分な容量を有する ものでなければならない。	非常用電源	ディーゼル発電機, 125V蓄電池は物理的分離を考慮した配置とし, 原子炉停止等に必要な容量を保有【P22-24】
8 設計基準対象施設は、 他の発電用原子炉施設に属する非常用電源設備及びその附属設備から受電する場合には 当該非常用電源設備から供給される電力に 過度に依存しない ものでなければならない。	非常用電源	ディーゼル発電機, 125V蓄電池は2号炉のものを使用【P22】

2. 設備の概要

(1) 外部電源設備(電力系統)の概要(1/2)

設置許可基準第三十三条
1項関連【外部電源】

- 女川原子力発電所に接続する送電線は、275kV送電線4回線及び66kV送電線1回線の合計5回線を保有。
- 275kV送電線4回線は、牡鹿幹線2回線、松島幹線2回線の2ルートでそれぞれ石巻変電所、宮城中央変電所に、66kV送電線1回線は、塚浜支線1回線(鮎川線1号を一部含む)の1ルートで女川変電所に接続され、それぞれ互いに独立。
- 275kV送電線1回線又は66kV送電線1回線で原子炉の安全停止に必要な電力を受電することができる設計。

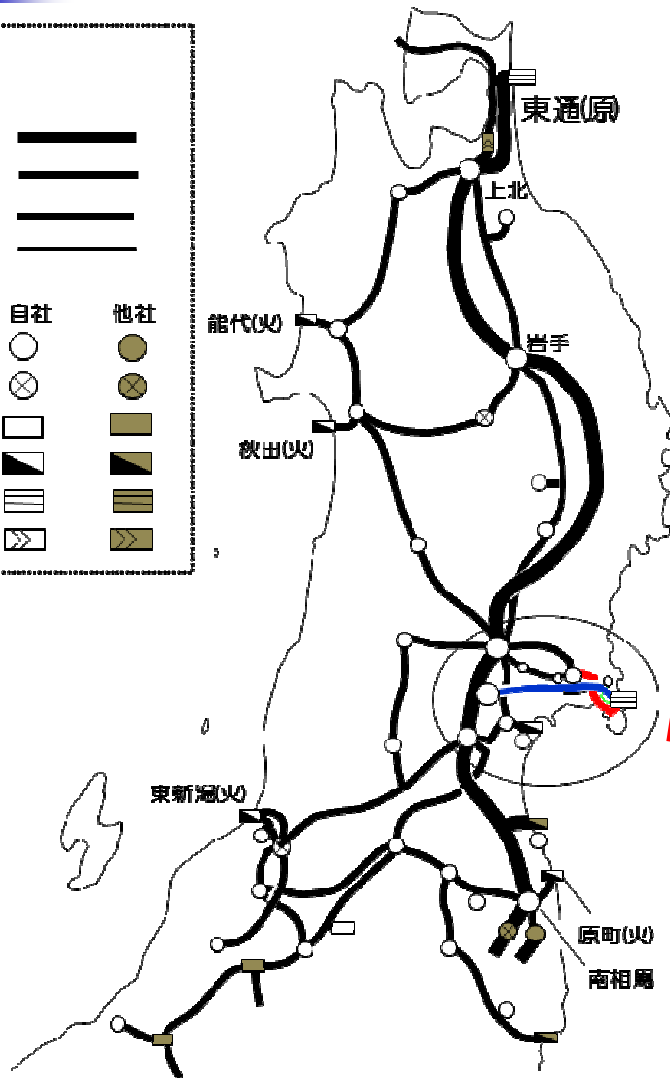
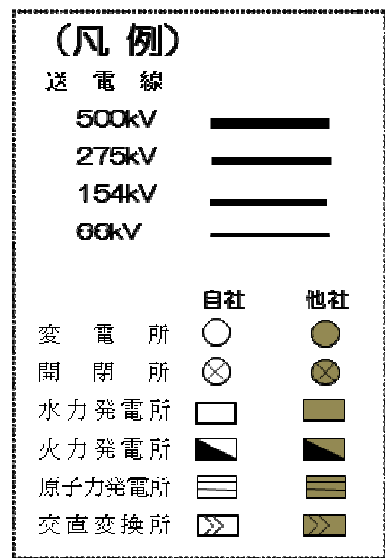


発電所構内の送電線配置状況

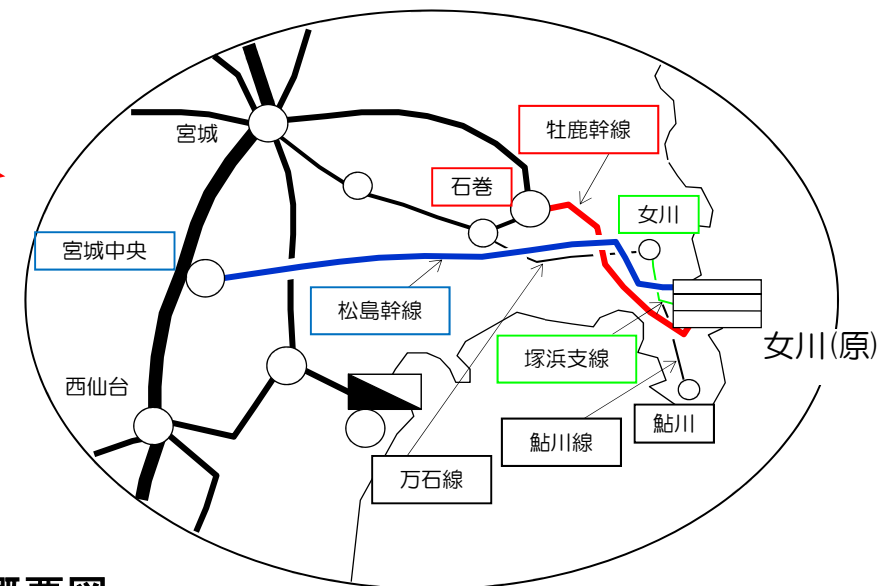
2. 設備の概要

(1) 外部電源設備(電力系統)の概要(2/2)

設置許可基準第三十三条
1項関連【外部電源】



電圧	線路名	回線数	接続する変電所 (発電所からの距離)
275kV	牡鹿幹線	2	石巻変電所 (送電線亘長:約28km 直線距離:約25km)
	松島幹線	2	宮城中央変電所 (送電線亘長:約84km 直線距離:約65km)
66kV	塚浜支線 (鮎川線1号 を一部含む)	1	女川変電所 (送電線亘長:約8km 直線距離:約6km)



送電系統概要図

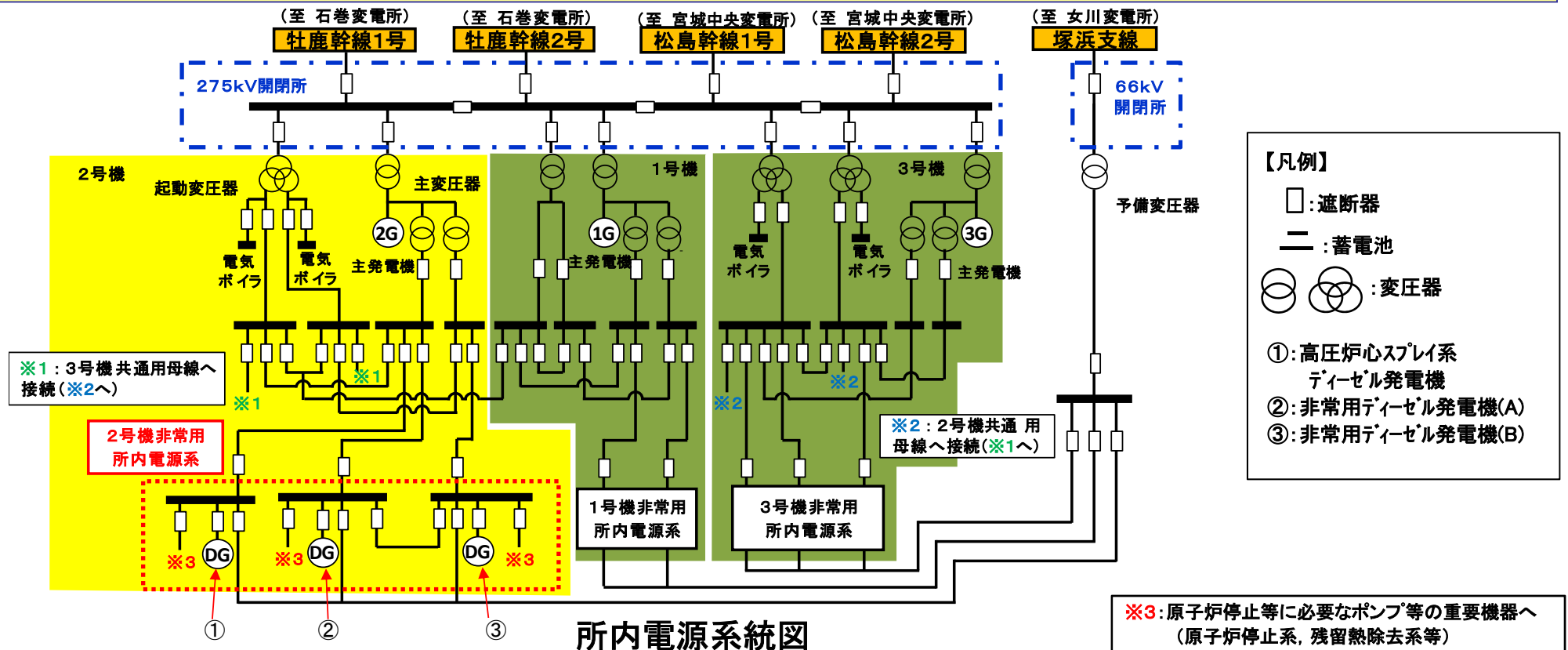
2. 設備の概要

(2) 所内電源系統(非常用電源設備)の概要 (1/3)

設置許可基準第三十三条
2項関連【非常用電源】

○女川2号炉は、非常用電源設備として、ディーゼル発電機(非常用ディーゼル発電機2台、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機1台)及び125V蓄電池(所内用125V蓄電池2系統、高圧炉心スプレイ系用125V蓄電池1系統)を保有。

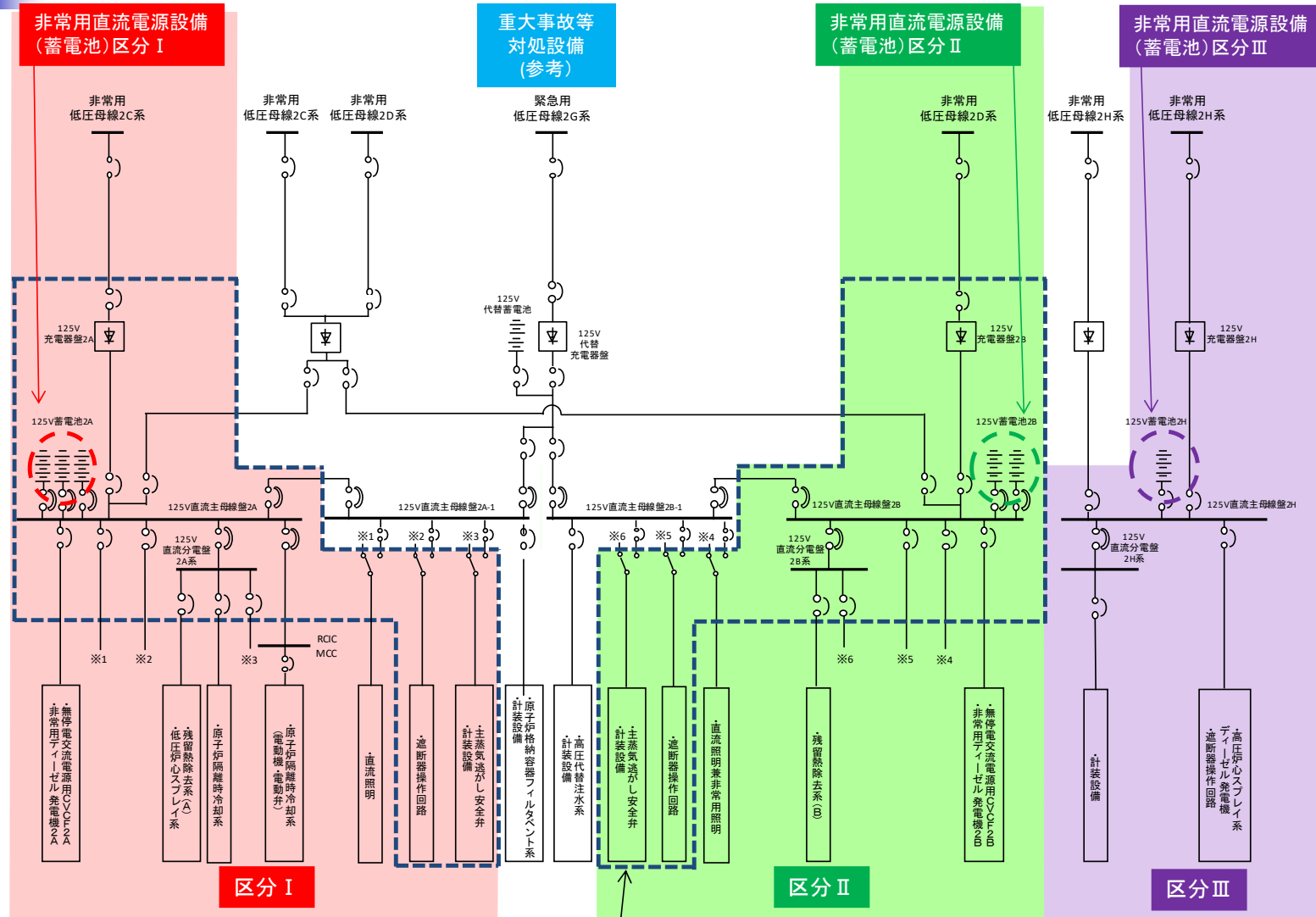
○原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能への電力を供給する非常用所内電源系統は、3系統を確保することで多重性を有し、原子炉停止中は外部送電線(275kV, 66kV)、非常用電源設備(ディーゼル発電機, 125V蓄電池)から受電可能な設計。



2. 設備の概要

(2) 所内電源系統(非常用電源設備)の概要 (2/3)

設置許可基準第三十三条
2項関連【非常用電源】



設計基準事故対処設備

設計基準事故対処設備と
重大事故等対処設備を兼用している設備

設計基準事故対処設備

【凡例】
 : 低圧遮断器
 : 配線用遮断器

直流電源設備系統図

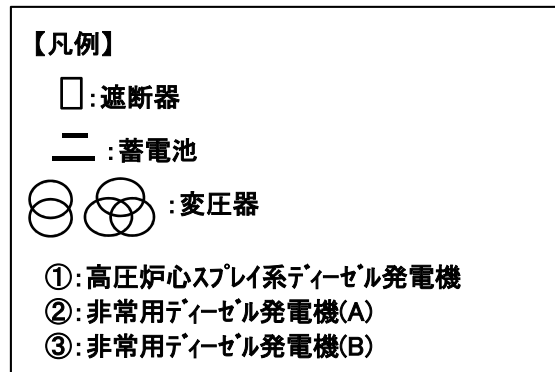
2. 設備の概要

(2) 所内電源系統(非常用電源設備)の概要 (3/3)

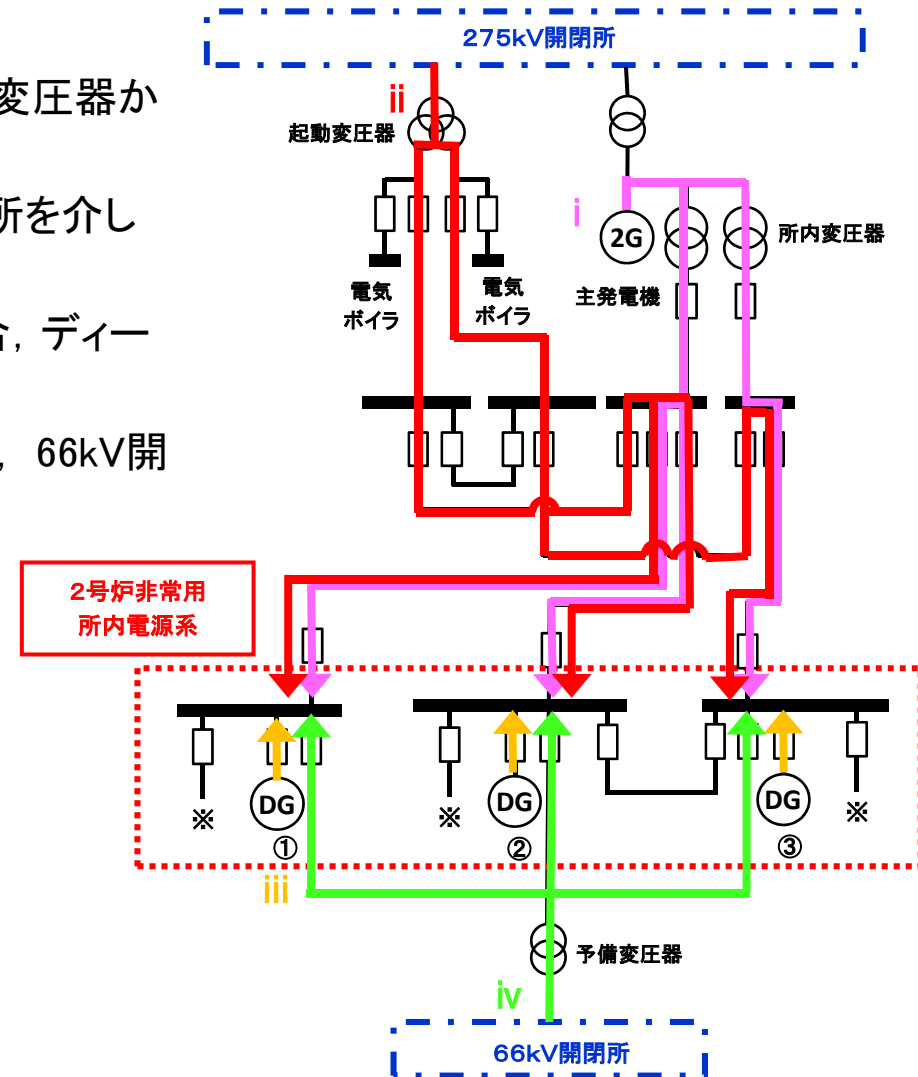
設置許可基準第三十三条
2項関連【非常用電源】

➤ 非常用所内電源系の母線切替え

- i. 通常運転時は、主発電機より発生した電力を所内変圧器から受電
- ii. 所内変圧器から受電できない場合は、275kV開閉所を介し起動変圧器からの受電に切替え
- iii. 所内変圧器及び起動変圧器から受電できない場合、ディーゼル発電機からの受電に切替え
- iv. 非常用ディーゼル発電機等から受電できない場合、66kV開閉所を介し予備変圧器からの受電に切替え



※: 原子炉停止等に必要ポンプ等の重要機器へ
(原子炉停止系, 残留熱除去系等)



非常用所内電源系の母線切替え順序

3. 電気系統の故障拡大防止（1／2）

設置許可基準第三十三条
3項関連【外部電源・非常用電源】

○開閉所（母線等）、変圧器、その他の関連する電気系統の機器の故障により発生する短絡、地絡等に対し、原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能への電力の供給が停止することのないように、保護継電装置を設置。

○異常を検知した場合には、異常の拡大防止のため、保護継電器からの信号により、遮断器等により故障箇所を隔離するとともに、故障による影響を局所化し、他の電気系統の安全性への影響を限定。

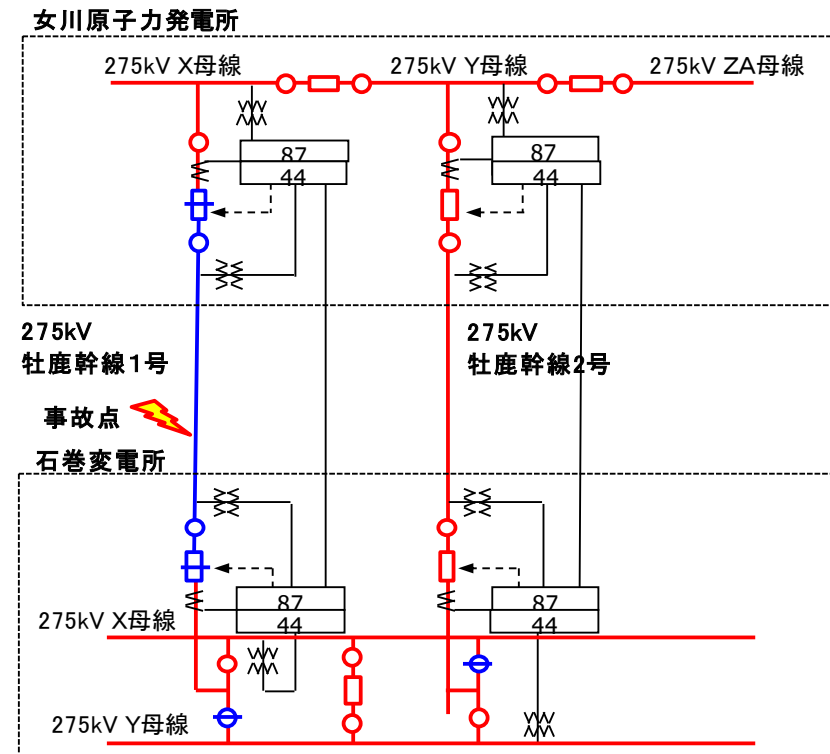
➤ 牡鹿幹線の保護継電器例

- ・ 女川原子力発電所と石巻変電所を連系する275kV牡鹿幹線には下表に示す保護継電器を設置。
- ・ 送電線の短絡若しくは地絡を保護継電器が検出した場合、当該送電線が連系される遮断器を開放し、故障区間を速やかに分離し、残りの健全回線の電力供給を維持することが可能。

保護継電器（保護方式）	
差動継電器 （87）	2箇所地点における電流差により短絡・地絡故障を監視する継電器。短絡・地絡事故時は電流差が大きくなるため、電流差が大きくなった場合に動作する。
距離継電器 （44）	継電器設置点の電圧・電流により短絡・地絡故障を監視する継電器。短絡・地絡故障時は、電圧と電流の比率が変化するため、それを距離に置き換え、当該継電器が保護する送電区間内にある場合に動作する。

（凡例）

□ 遮断器（閉） ○ 断路器（閉） — 充電部 ⊕ 遮断器（開） ⊖ 断路器（開） — 停電部



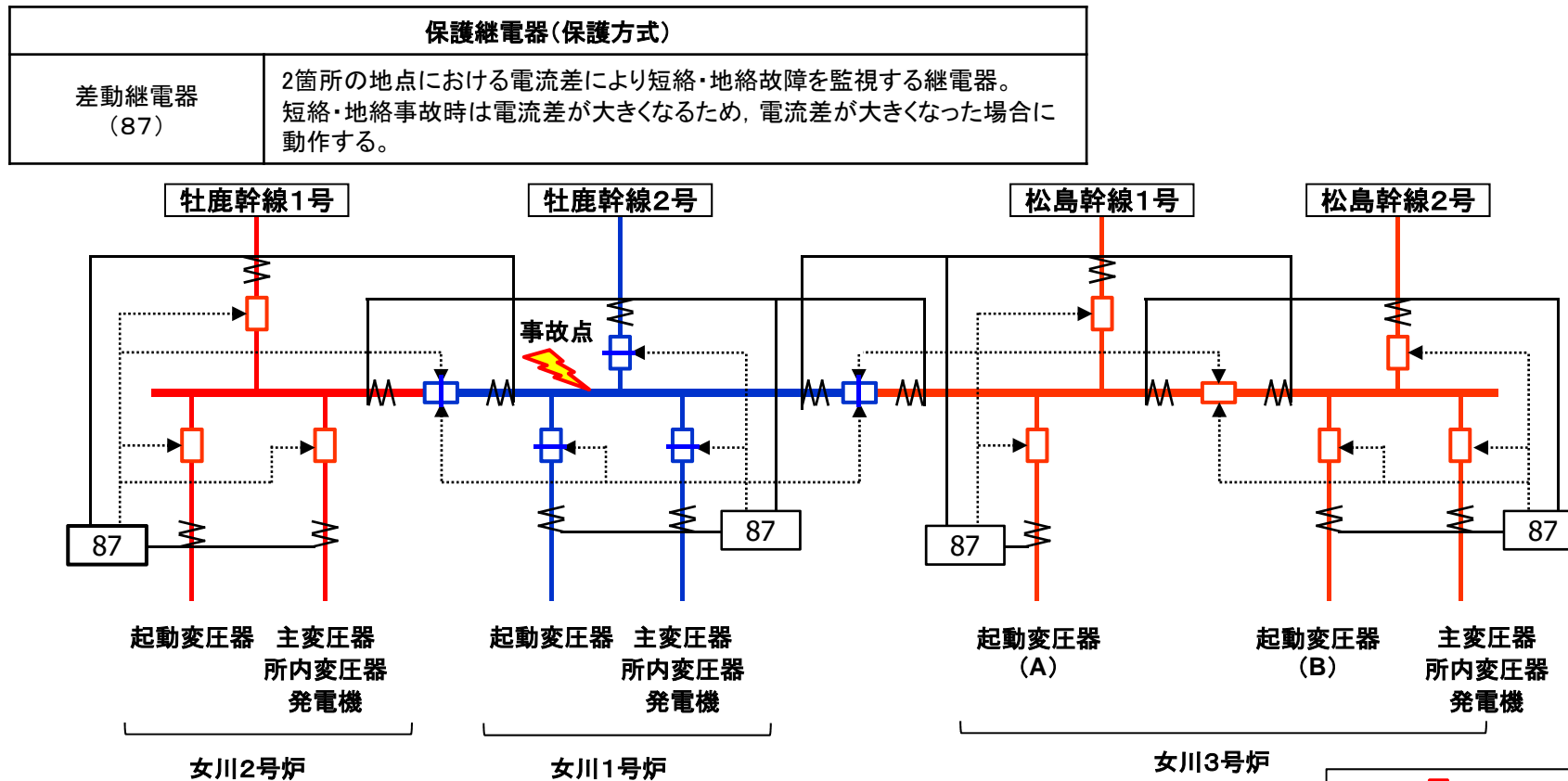
送電線保護継電器例（275kV牡鹿幹線1号線故障時の動作）

3. 電気系統の故障拡大防止 (2/2)





設置許可基準第三十三条
3項関連【外部電源・非常用電源】

➤ 275kV開閉所の保護継電器例

- ・女川原子力発電所275kV開閉所は、4母線で構成されており、下表に示す保護継電器を設置。
- ・母線の短絡若しくは地絡を検出した場合、当該母線が連系される遮断器を開放し、故障区間を速やかに分離し、残りの健全側母線での電力供給を維持。



送電線保護継電器例(275kV開閉所 1号炉が接続する母線故障時の動作)

(凡例)  遮断器(閉)  充電部
 遮断器(開)  停電部

4. 外部送電線の独立性

(1) 外部送電線の構成

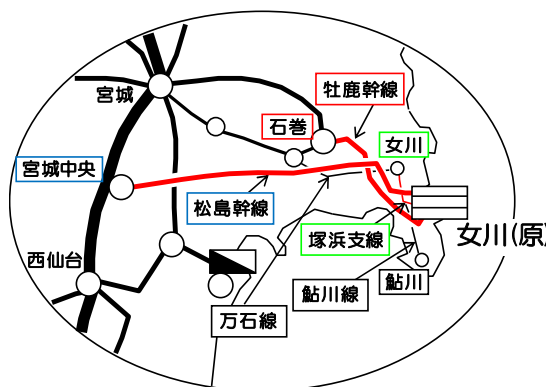
設置許可基準第三十三条
4項関連【外部電源】

○275kV牡鹿幹線2回線1ルートは石巻変電所に、275kV松島幹線2回線1ルートは宮城中央変電所に、66kV塚浜支線1回線1ルートは女川変電所に連系し、1つの変電所が停止することで女川原子力発電所に接続された送電線がすべて停止する事態に至らない設計。

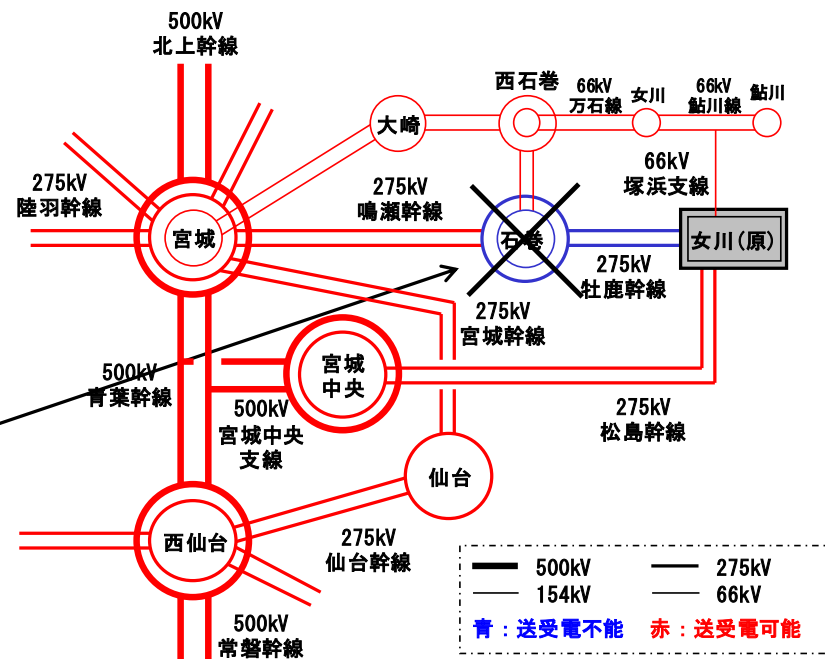
➢ 275kV牡鹿幹線及び275kV松島幹線を含む275kV系統は、ループ状に形成しており供給信頼性の向上を図っている。

➢ 事故等による送電線や変電所構内の電流・電圧の異常を検出した際は、保護継電器の動作により故障回線を瞬時に特定し、遮断器にて故障区間を速やかに分離することで、女川原子力発電所に接続する送電線がすべて停止しない設計。

電圧	線路名	回線数	接続する変電所
275kV	牡鹿幹線	2	石巻変電所
	松島幹線	2	宮城中央変電所
66kV	塚浜支線(鮎川線1号を一部含む)	1	女川変電所



万が一、石巻変電所が事故等により全停電した場合でも、宮城中央変電所から275kV松島幹線にて女川発電所に電力供給が可能



石巻変電所停止時の供給系統(例)

4. 外部送電線の独立性

(2) 電線路の物理的分離(送電鉄塔への架線状況)(1/3)

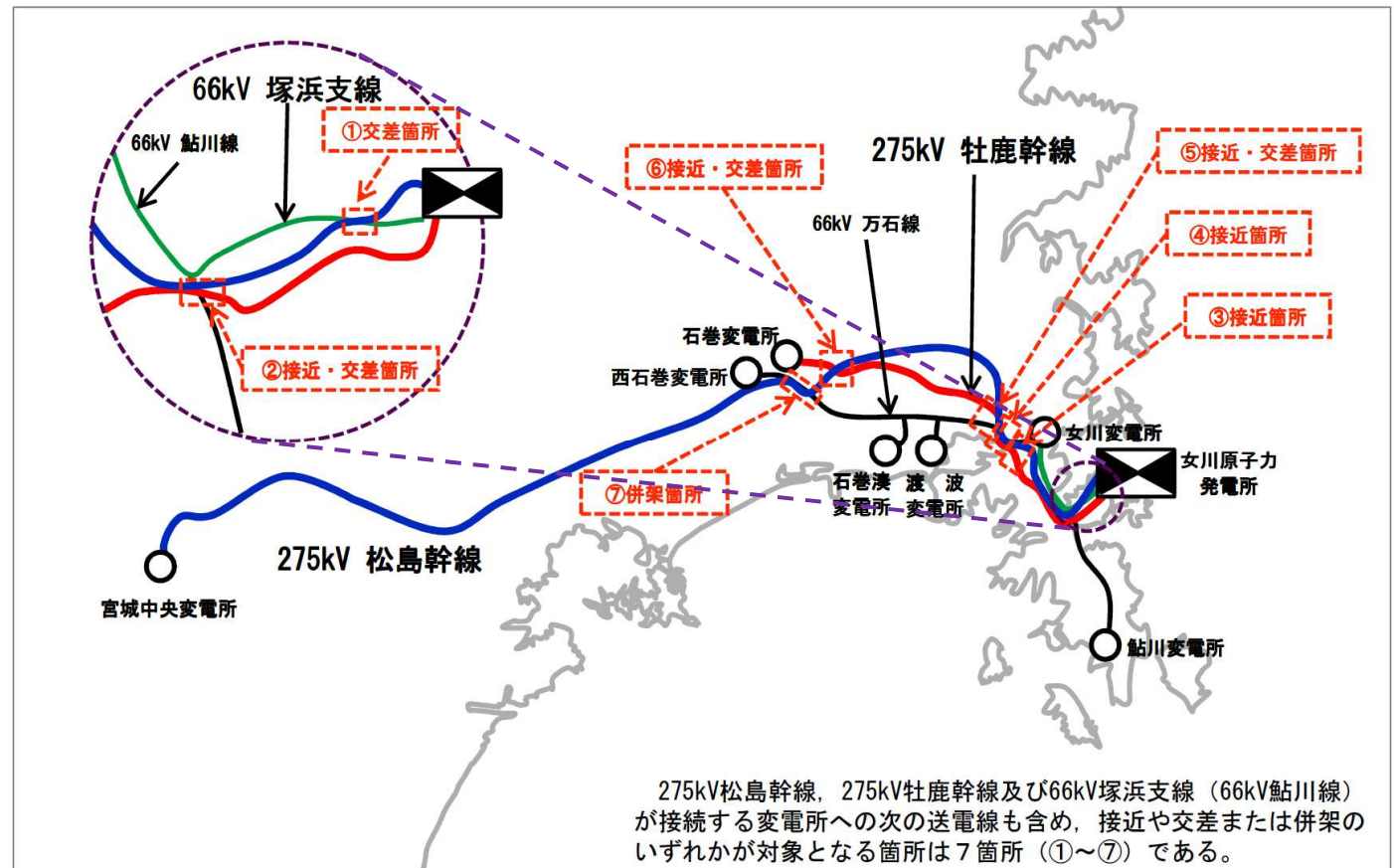
設置許可基準第三十三条
5項関連【外部電源】

○女川原子力発電所に接続する全ての送電線(5回線)が同一鉄塔に架線されている箇所はなく、物理的に分離した設計

・女川原子力発電所に接続する送電線等※1には接近・交差・併架※2する箇所が7箇所(①～⑦)あるが、万一送電線事故が発生した場合における評価を行い、いずれの場合も発電所への電力供給が継続して可能であることを確認。

※1「女川原子力発電所に接続する送電線等」とは、275kV松島幹線、275kV牡鹿幹線、66kV塚浜支線、66kV鮎川線及び66kV万石線をいう。

※2「送電線の併架」とは、ひとつの送電鉄塔に複数の系統の送電線を支持させる状態をいう。



送電線の接近・交差・併架箇所

4. 外部送電線の独立性

(2) 電線路の物理的分離(送電鉄塔への架線状況)(2/3)

設置許可基準第三十三条
5項関連【外部電源】

【評価例(①交差箇所)】

- 1.松島幹線No.3又はNo.4の鉄塔が倒壊, 松島幹線No.3~No.4の電線が落下し, 松島幹線が停電。
- 2.松島幹線No.3~No.4の電線が, 塚浜支線No.6~No.7の電線と接触し, 塚浜支線が停電。
- 3.牡鹿幹線の2回線が残り, 発電所に電力供給可能。



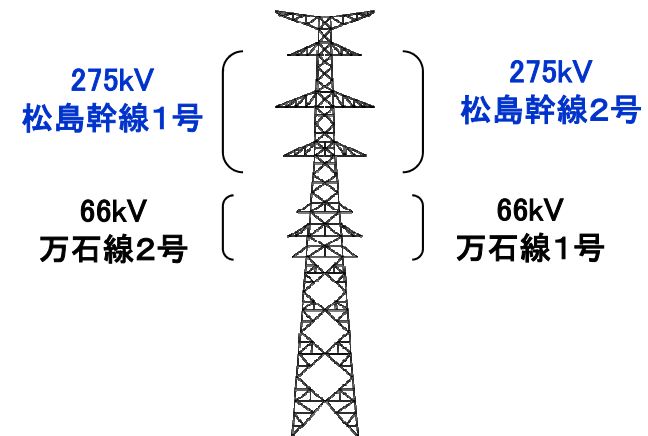
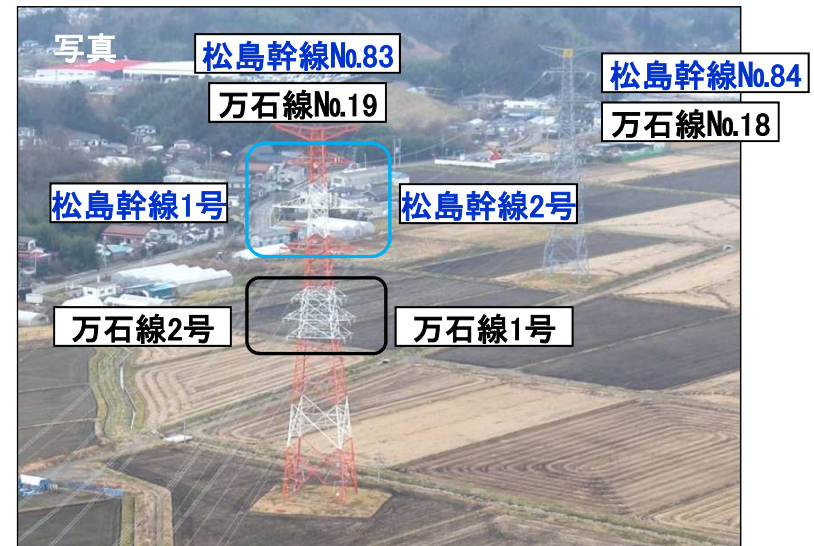
4. 外部送電線の独立性

(2) 電線路の物理的分離(送電鉄塔への架線状況)(3/3)

設置許可基準第三十三条
5項関連【外部電源】

【評価例(⑦併架箇所)】

1. 併架区間の鉄塔が倒壊し, 松島幹線, 万石線, 鮎川線及びび塚浜支線が停電。
2. 牡鹿幹線の2回線が残り, 発電所に電力供給が可能。



枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません

5. 外部送電線の信頼性(1/2)

- 送電線は、大規模な盛土の崩壊、大規模な地すべり、急傾斜地の崩壊による被害の最小化を図るため、鉄塔基礎の安定性を確保することで、鉄塔の倒壊を防止する設計。
- 過去に発生した設備の被害状況を踏まえ、電気設備の技術基準等への適合に加え、冬期の着氷雪による事故防止対策を実施。

①鉄塔基礎の安定性

- ・一般に、送電線ルートは、ルート選定の段階から地すべり地域等を極力回避し、地震による鉄塔敷地周辺の影響による被害の最小化を実施。
- ・さらに、女川原子力発電所に接続する275kV・66kV送電線は、鉄塔敷地周辺で基礎の安定性に影響を与える盛土の崩壊、地すべり、急傾斜地の土砂崩壊について、図面等を用いた机上調査・地質専門家による現地踏査を実施し、鉄塔基礎の安定性を確認し、問題ないことを確認。

対象線路	対象基数	現地踏査基数			崩壊防止対策等の追加対策が必要な基数
		盛土の崩壊	地すべり	急傾斜地の崩壊	
275kV 松島幹線	233基	0基	14基	41基	0基
275kV 牡鹿幹線	86基	4基	3基	21基	0基
66kV 塚浜支線	10基	0基	0基	4基	0基
66kV 鮎川線	70基	0基	5基	35基	0基
66kV 万石線	77基	1基	2基	17基	0基
5線路	476基	5基	24基	118基	0基

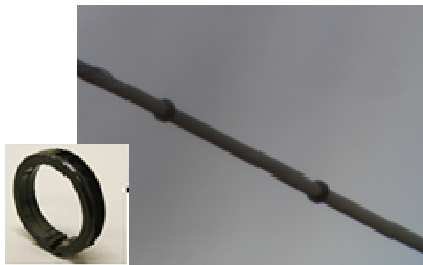
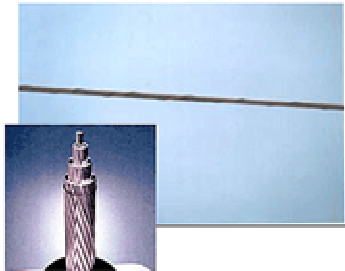
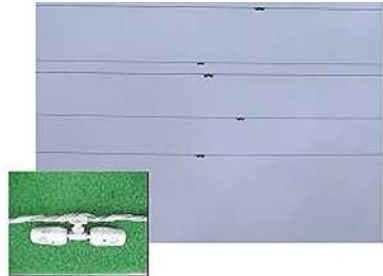
※基礎の安定性評価以降も巡視及び点検を実施しており、基礎の安定を脅かす兆候(亀裂等)がないことを確認



鉄塔基礎の安定性評価結果

5. 外部送電線の信頼性(2/2)

②風雪対策

電気設備の技術基準や送電用支持物設計標準(JEC-127-1979)に適合した設備設計に加えて、一部区間において耐雪強化対策として、以下の湿型着雪荷重の考慮や雪害防止対策品を採用。

難着雪リング	ヒレ付電線・地線	ねじれ防止ダンパ
		
電線・地線にリングを一定間隔で取り付け、電線・地線のよりに沿って滑る着雪をさえぎり、雪の回り込みによる着雪の発達を防止	アルミ線を圧縮してよりあわせた電線・地線の最外層の1本にヒレを取り付け、雪の回り込みによる着雪の発達を防止	電線・地線におもりを取り付けてねじれ剛性を高め、電線・地線の回転による着雪の発達を防止

相間スペーサ	ルーズスペーサ
	
電線間に絶縁性のスペーサを取り付け、電線の動揺を抑制するとともに、電線間の接触を防止 (主に154kV以下の単導体線路)	素導体把持部の半分が自由回転することで、揚力特性が変化し、ギャロッピング※を抑制 (主に275kV以上の多導体線路)

※ギャロッピング

電線への着氷雪が翼状に形成され強風条件が重なり電線が動揺する現象。動揺が激しくなると電線が互いに接近・接触し電気事故が発生する。

6. 外部電源の容量

○発電所に接続する275kV送電線及び66kV送電線は、1回線で2号炉の停止に必要な電力を供給できる容量を有する設計。

➤ 原子炉を安全に停止するために必要となる電力

非常用ディーゼル 発電機容量	号炉	1号	2号	3号
	1台分容量		5.625MVA	7.625MVA
必要容量		20.875MVA		

➤ 送電線及び変圧器の設備容量

	牡鹿幹線(2回線)	松島幹線(2回線)	塚浜支線(1回線)
送電線 容量	約1,548MW/回線(>20.875MVA) (約1,629MVA/回線※) (1号炉, 2号炉及び3号炉共用)	約1,078MW/回線(>20.875MVA) (約1,134MVA/回線※) (1号炉, 2号炉及び3号炉共用)	約49MW(>20.875MVA) (約51MVA/回線※) (1号炉, 2号炉及び3号炉共用)
変圧器 容量	2号起動変圧器		予備変圧器 (1号炉, 2号炉及び3号炉共用)
	40MVA(>7.625MVA)		25MVA(>20.875MVA)

※ 力率0.95でMVAに換算。

7. 受送電設備の信頼性(1/4)

設置許可基準第三十三条
6項関連【外部電源】

- 275kV・66kV開閉所及びケーブル洞道等は十分な支持性能を持つ地盤に設置した上で、遮断器等の機器は耐震性の高い機器を使用し、耐震Cクラス※を満足する設計。
- 275kV・66kV開閉所は、津波の影響を受けない敷地高さに設置するとともに、塩害を考慮する設計。

※耐震クラスは、施設の耐震設計上の重要度に応じてSクラス、Bクラス、Cクラスに分類される。Cクラスは、一般産業施設と同等の安全性を保持すればよいもの。



2号炉電源ケーブルライン全体平面図

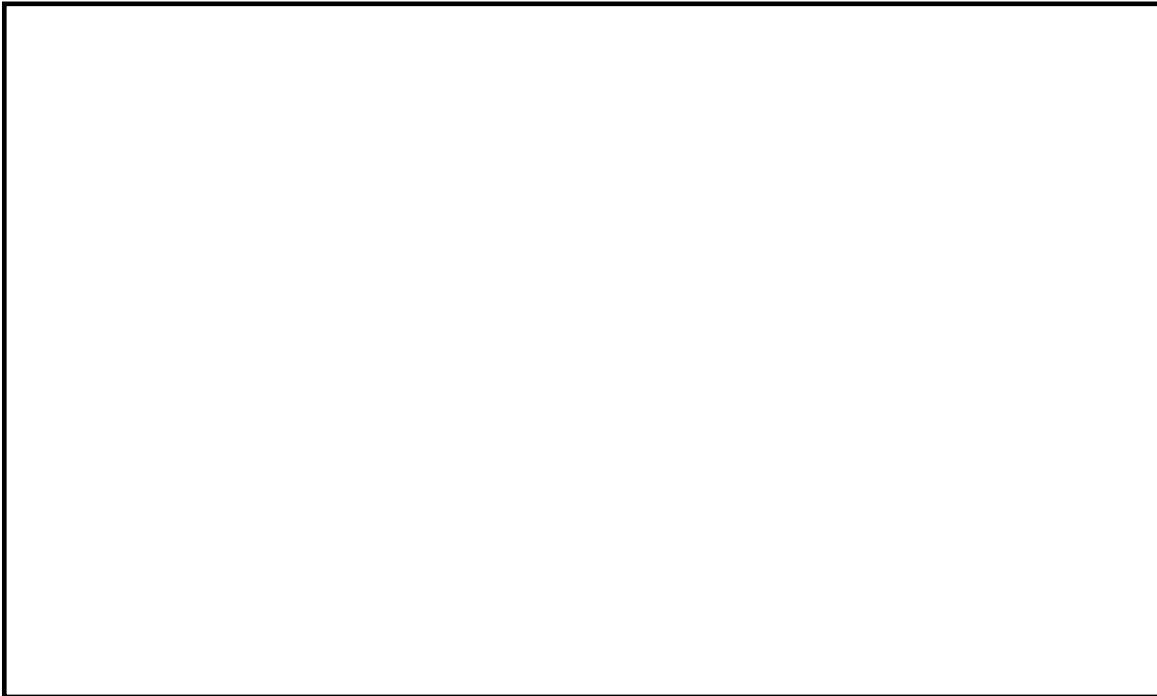
枠囲みの内容は防護上の
観点から公開できません

7. 受送電設備の信頼性(2/4)

設置許可基準第三十三条
6項関連【外部電源】

①開閉所設備等の耐震性

- ・275kV・66kV開閉所及びケーブル洞道等の基礎構造は、直接基礎構造又は杭基礎構造とし、不等沈下、傾斜又はすべりがおきかないような地盤に設置。
- ・発電所内の開閉所の遮断器は、耐震Cクラスを満足するガス絶縁開閉装置(GIS)及びガス遮断器を使用。



基礎構造図(275kV開閉所(松島幹線))



開閉所設備外観

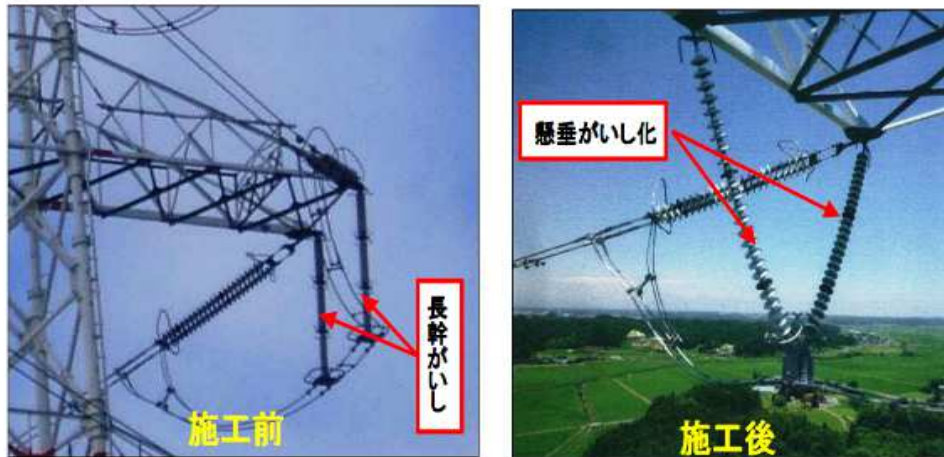
7. 受送電設備の信頼性(3/4)

設置許可基準第三十三条
6項関連【外部電源】

②送変電設備のがいしの耐震対策

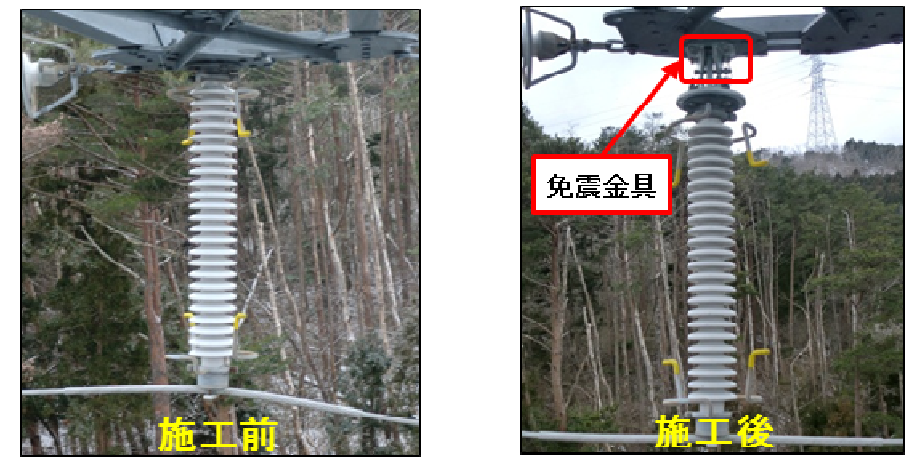
- ・275kV送電線で支持がいしに長幹がいしを使用していた鉄塔に, 可とう性のある懸垂がいしに取替。
- ・66kV送電線で支持がいしがある鉄塔に, ロックピン式免震金具の取付けを実施。

<懸垂がいし化>



懸垂がいし

<免震金具取付>



免震金具

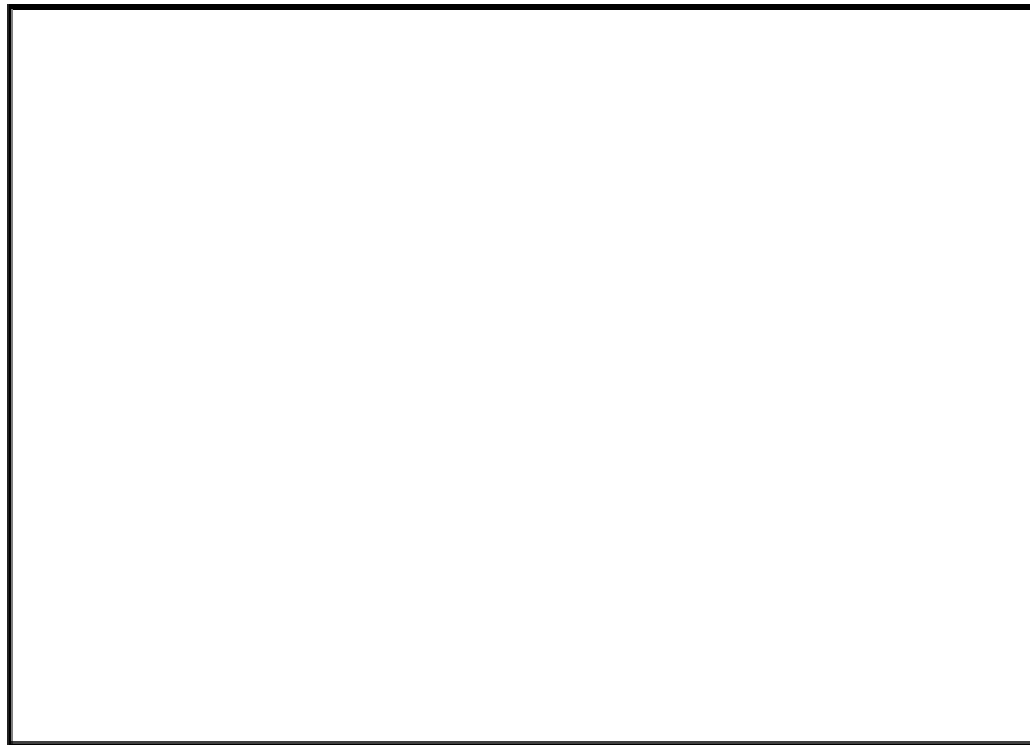
7. 受送電設備の信頼性(4/4)

設置許可基準第三十三条
6項関連【外部電源】

③津波の影響, 塩害対策

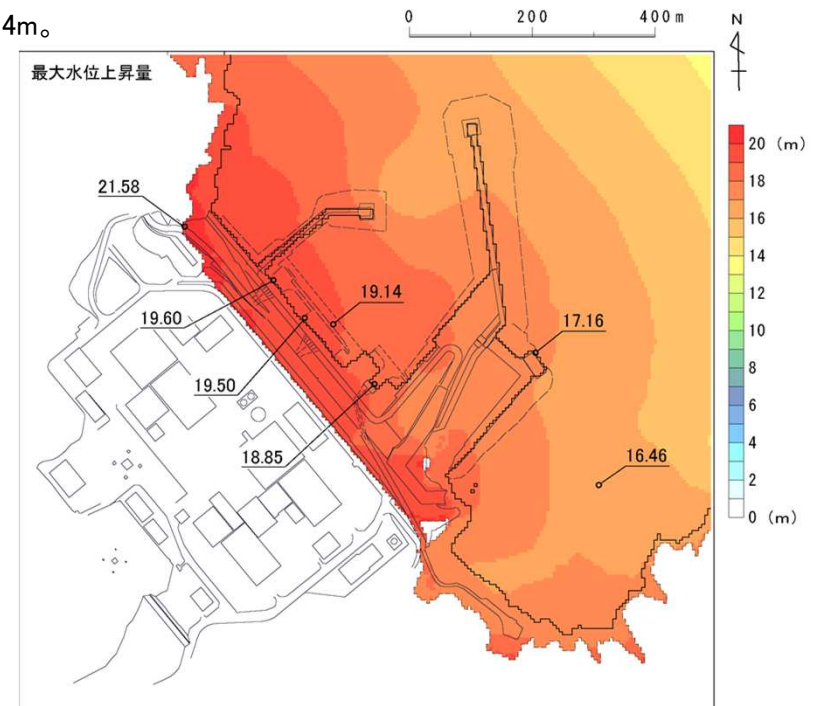
- ・開閉所設備等の電気設備は, O.P.※+14.8m以上の高さに設置。基準津波による敷地前面の最高水位はO.P.+23.1mであるが, 防潮堤及び防潮壁の設置により, 当該電気設備が津波の影響を受けない設計。
- ・275kV開閉所にはがいし洗浄装置を設置。また, 遮断器は絶縁性の高いガス絶縁装置を採用し, 塩害の影響を受けない設計。

※:O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり, 東京湾平均海面(T.P.)-0.74m。



開閉所設備等と防潮堤の配置

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません



最大水位上昇量 21.58m
+ 朔望平均満潮位 O.P.+1.43m
= 最高水位 O.P.+23.1m

基準津波(水位上昇側)による最大水位上昇量分布

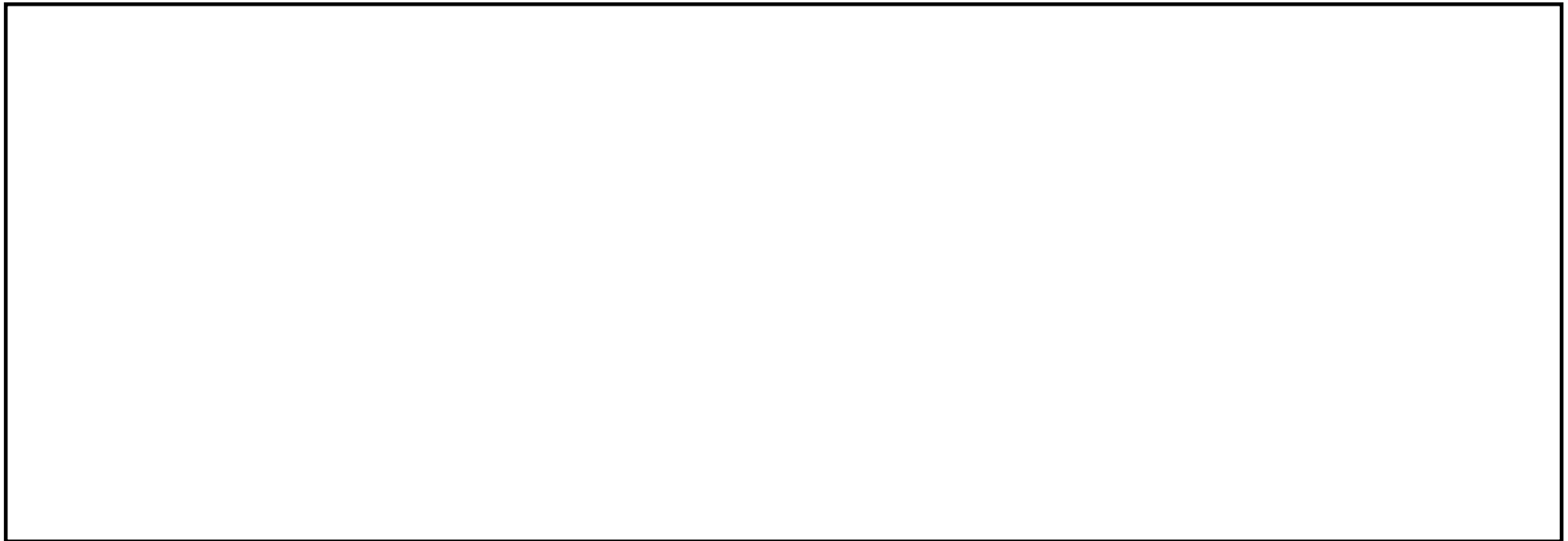
8. 所内電源系統(非常用電源設備)の信頼性(1/3)

設置許可基準第三十三条
7, 8項関連【非常用電源】

○非常用及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機は、必要な容量を有する合計3台を設置。また、125V蓄電池及びその附属設備も3系統を設置し、それぞれ多重性及び独立性を確保。

①配置

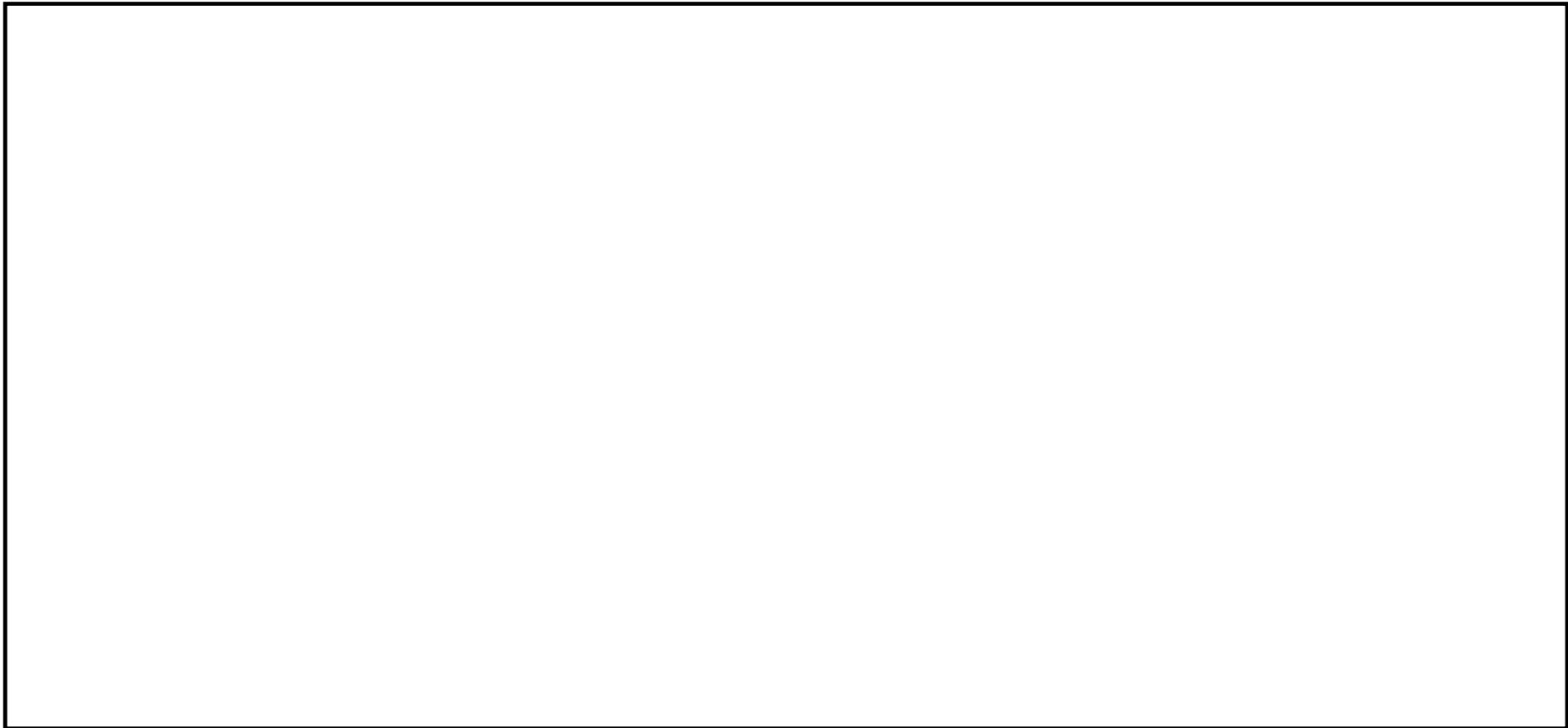
- ・非常用電源設備は、系統毎に区画された電気室等に設置。
- ・これらは、基準地震動に対して支持機能が維持可能な建物及び構築物の区画された部屋に設置。



ディーゼル発電機およびその附属設備の配置

8. 所内電源系統(非常用電源設備)の信頼性(2/3)

設置許可基準第三十三条
7項関連【非常用電源】



125V蓄電池及びその附属設備の配置

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません

8. 所内電源系統(非常用電源設備)の信頼性(3/3)

設置許可基準第三十三条
7項関連【非常用電源】

②ディーゼル発電機の容量

非常用及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機は、外部電源の喪失(LOP)及び冷却材喪失事故(LOCA)が発生した際に自動起動し、原子力発電所の保安上必要とされる各負荷に電力を供給するために、十分な発電機容量を有する設計。

➤ 非常用ディーゼル発電機

＜発電機容量＞ 7,625kVA(1台あたり)

＜必要容量＞ (A系)5,916.3kW, (B系)5,854.8kW

＜主な負荷＞

- ・外部電源が完全に喪失した場合に、A系又はB系1台で原子炉を安全に停止するために必要な負荷
- ・残留熱除去系等の非常用炉心冷却系(高圧炉心スプレイ系除く)作動のための負荷

➤ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機

＜発電機容量＞ 3,750kVA

＜必要容量＞ 2,137.4kW

＜主な負荷＞

- ・外部電源が完全に喪失した場合に、高圧炉心スプレイ系の運転に必要な負荷

9. 適合性審査状況(審査会合での主な質問・指摘事項)

○第560回審査会合(平成30年3月29日)における主な指摘事項は以下のとおり。

審査会合での主な質問・指摘事項

No	分類	項目	内容	回答方針
1	質問・指摘事項	送電線の風雪に対する配慮	送電線の風に対する配慮としては、「送電用支持物設計標準(JEC-127-1979)」に定める基準速度圧(100 kgf/m ²)を考慮しているが、それに相当する風速(約40m/s)以上を女川地点で記録した実績の有無を確認すること。	当該地点における風速実績を確認する。

(参考) 震災時の外部電源の被災状況

○:送電中 ×:停電発生 ー:送電停止中

		松島幹線		牡鹿幹線		塚浜支線
		1号	2号	1号	2号	
2011年 3月11日	地震発生前	○	○	○	○	○
	地震発生後	×	○	×	×	×
	損傷内容 ／復旧時期	支持がいし折損による停電※1 ⇒3月17日復旧		開閉所の牡鹿幹線1号, 2号の避雷器内部損傷による停電※2 ⇒3月12日復旧		鮎川線鉄塔(塚浜支線分岐から鮎川変電所の間)の倒壊による停電※3 ⇒3月26日倒壊鉄塔を系統から切り離して復旧
2011年 4月7日	地震発生前	○	○	ー 事象発生時は点検のため送電停止中	○	○
	地震発生後	○	×	ー	×	×
	損傷内容 ／復旧時期	支持がいし折損による停電※1 ⇒4月10日復旧		開閉所の牡鹿幹線2号の避雷器内部損傷による停電※2 ⇒4月8日復旧		広範囲での停電による影響であり, 送電機能に影響を及ぼす損傷なし ⇒4月8日復旧

両地震において、万一外部電源が喪失した場合でも、ディーゼル発電機により原子炉および使用済燃料プールの冷却に必要な非常用電源は確保された状態であった。

※1 支持がいしについては、懸垂がいし化により耐震対策を実施済

※2 避雷器については、地震の揺れに強い構造のものに変更済(変更までの間は避雷器状態を監視しながら受電)

※3 倒壊した鉄塔は建替済、震災と同規模の設備被害および復旧(系統切り離し)を想定した非常災害訓練の実施