

重要施設の電源確保に関する検討報告の概要

H24(2012)年 10月 9日
公益社団法人 日本技術士会
電気電子部会 電力エネルギー構想会議

公益社団法人日本技術士会 電気電子部会は、東日本大震災を機に「電力エネルギー構想会議」を設置し、重要施設の電源確保について検討しています。

重要施設の対象を明確にするため、原子力発電所および原子力を利用したその他施設を原子力発電所等、人命救助の要となる病院や ICT 社会を構築するデータセンターなどの公共施設を一般重要施設、にそれぞれ区分し検討しています。

今回報告は、東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所の全電源喪失事故の深刻さに鑑み、電気電子部門の技術士の立場で実務的な技術知見をベースに電源確保対策の検討を行いました。

検討は、原子力安全・保安院が指示した“緊急安全対策”、および“意見聴取会による技術的知見のとりまとめ”に基づく対策のうち、設備的な対策について想定される全ての外部事象においても原子力発電所としての電源喪失に至らない対策となっているかを検討しました。

原子力安全・保安院は、原子力発電所施設外部からの電源供給方式、施設内での電源確保策、電源確保のための管理方法、計装設備の機能強化、非常時対応マニュアルの再整備、緊急連絡体制の確立など、幅広く具体的な指示でありました。

電力エネルギー構想会議は、これらの指示内容から原子力発電所の設備対策を検討対象とし、管理・機能強化や実運用面の諸対策は各原子力発電所の固有条件を考慮する必要があるため検討対象外としました。

原子力安全・保安院が指示した設備の主な対策は、

- 原子力発電施設に電源を供給する設備（外部電源供給設備）は、耐震強度不足が懸念される機器や絶縁がいしなどを強化し電力設備自身の耐震強化をはかること、かつ、供給する送電線は、鉄塔が倒壊しない地盤の選定や異なる変電所から異なる送電経路とすること、また多重の設備を相互に連系できる接続とし、電源供給を継続できる多重設備構成とすること、
 - 原子力発電施設内は、建屋出入口扉を水密化し、多様な非常用発電設備を多重化し位置的に分散すること、かつ、交流と直流の適正な容量の非常用電源を備えること、また計装用や作業用など個別の専用電源とし、電源供給を継続できる多様な所内電気設備とすること、
 - 原子力発電施設において、建屋の外部からも電源供給できる電源車を配置し、高台にて保管すること、かつ緊急時の資機材・予備品は、高台に設置した倉庫に適正量を保管すること、
- であり、多重・多様な外部電源・所内電気設備対策と、外部電源・所内電気設備それぞれの機能分担と相互協調により、電源供給トータルシステムとして妥当かつ合理的と判断されます。

なお、外部電源、緊急用発電設備、非常用直流電源設備、建屋などにおいて、電源供給の一層の信頼度向上を図るため、電力エネルギー構想会議としてより实际的（実務的）な一部の追加対策を原子力発電所個別に検討し、必要に応じて追加実施することを推奨します。

詳細は、別紙「重要施設（原子力発電所等）の電源確保に関する検討報告」を参照願います。

以上

重要施設（原子力発電所等）の電源確保に関する検討報告

H24(2012)年 10 月 9 日

公益社団法人 日本技術士会
電気電子部会 電力エネルギー構想会議

はじめに

電気電子部会「電力エネルギー構想会議」は、重要施設（原子力発電所等）の電源確保に関して、原子力安全・保安院の緊急安全対策と意見聴取会による技術的知見のとりまとめに基づくハードウェア的な対策について、現場実務の電氣的技術知見をベースに検討を行いましたので下記のとおり報告します。

なお、外部電源及び所内電気設備のハードウェア対策に対象を絞った検討であり、管理・計装設備などの機能強化や、非常時対応・マニュアル整備・現場訓練などの対策は別途検討する必要があります。

1. 原子力安全・保安院による緊急安全対策の指示について

緊急安全対策は、平成 23 年 3 月 30 日、4 月 9 日及び 15 日の 3 回にわたり指示され、5 月 6 日、その実施状況の確認結果が公表された。指示内容は、電力設備・緊急用発電設備・建屋関係など広範かつ具体的な要求が指示された。以下にその概要を記す。

(1) 電力設備

- a. 外部電源系統は、2 ルート・2 回線以上で各号機に全て接続する。
- b. 送電鉄塔は耐震評価を、鉄塔基礎部は安定性評価を行い必要に応じて補強する。
- c. 開閉所受電設備は、屋内施設とし地震・浸水対策を行い、各号機間の電力融通が相互に可能な接続とする。
- d. 構内送電・配電回路や建屋貫通部は浸水対策を行い、操作や制御に伴うアクセスルートを多様化する。

(2) 緊急用発電設備

- a. 非常用内部電源は、非常用ディーゼル発電機・電源車・蓄電池により多様化する。
- b. 非常用ディーゼル発電機は、適正容量の発電機を各号機別に 2 台以上設置し、各号機間の電力融通が相互に可能な接続とする。
- c. 電源車は、計測・制御・監視機能や弁駆動も可能な適正な容量と台数を設置する。
- d. ケーブルは、耐久性を有した余裕のある長さで複数経路敷設する。接続点・接続方法・敷設経路及び資機材保管場所は津波の影響を受けないように配置する。
- e. 蓄電池は、適正な接続時間と容量を有し、津波の影響を受けないように設置する。

(3) 建屋

原子炉・タービン建屋は、貫通部・電源受け口・トレンチなどに浸水防止対策を行う。建屋出入口扉は水密化構造にする。

その後、6 月 7 日付で開閉所等の耐震対策が指示され、福島第一原子力発電所の外部電源を供給する新福島変電所および開閉所の損壊原因は、設計基準(JEAG-5003-2010)超過の地震動により損壊し、電力機器相互間の衝突により被害が拡大した技術的知見を得た。

2. 緊急安全対策に対する外的要因例の検討について

外的要因例は、地震・津波・天候（台風・竜巻・大雪・雷雨・豪雨・強風・濃霧）などがあるが、今回は深層崩壊・表層崩壊・ゲリラ的豪雨・ダウンバースト・高潮などの近年の経験した自然災害事例と原子力発電所の設備配置実態を考慮し検討した。

なお、各原子力発電所の個別条件によっては詳細リスク評価することも重要である。

(1) 外部電源（電力設備）

新福島変電所は断路器変形や端子破損、架空地線の断線による混触と引込鉄構の傾斜、福島第一原子力発電所は開閉所 275kV 遮断器の損傷、また連系する 66kV 送電線では鉄塔倒壊など、それぞれ違う箇所でも複数の設備が被災し、さらに連系している東北電力の変電所も被災した結果、外部電源の喪失に至った。

この事故対策として、外部電源（電力設備）側の強化と、所内電気設備（緊急用発電設備、電源車）側の強化（後述）により、所内電源の供給は確保できると考えられる。

- a. 外部電源は、2ルート・2回線以上・全電源線接続により外部電源喪失に至る可能性は少ないが、電力系統強化はもとより必要に応じて異地点2か所の電気所からの供給や、架空と地中など多様な送電方式を推奨する。

なお、外部電源と所内電気設備の協調した対策が重要であり、各原子力発電所の個別条件を考慮し具体対策を行うことも必要である。

- b. 送電線・送電鉄塔は、電線支持がいし取替えや耐震対策、基礎補強、立地点の地滑り・土砂崩壊に対する対策を実施してもなお、竜巻・障害物（飛来物）などの外的要因により損傷・倒壊などのリスクは一部残される。

なお、暴風雪による送電線の短絡などを防止するため、降雪地域では相間スペーサ・ギャロッピング防止装置などを設置するよう推奨する。

- c. 原子力発電所内に施設されている開閉所は、屋内施設化や電力用機器の地震・浸水対策、電力供給系統の各号機間連系により、外部電源喪失に至る可能性は少ないが、遮断器などの電力用機器の耐震設計においては、現状設計値Cクラスから「耐震設計審査指針(新)」の基準地震動 S_s に基づく再評価が必要である。^(参考1)

なお、電力用機器およびキュービクル内部での変形拡大や不正変形を考慮して耐震設計を行うことが重要である。

- d. 構内送電・配電回路は、浸水対策などにより電源喪失に至る可能性は少ないが、津波の大きさによってはリスクとして一部残されるので電源供給対策全体として協調補完することも考慮する必要がある。

(2) 緊急用発電設備

外部電源喪失時のバックアップとして、緊急用発電設備を配備することは合理的である。緊急安全対策指示による外部電源側の強化（前述）に加え、所内電気設備側の対策実施により全電源喪失に至る可能性は少ない。

- a. 適正容量の非常用ディーゼル発電機を複数台設置、物理的な分散配置、各号機間での電力融通が可能な接続により非常時の電源供給は十分期待できるが、設置条件により耐震性を確保できない発電機やキュービクル内機器は免震・制振構造化を検討する。

なお、非常用発電設備は、空冷式で小型かつ高出力が得られ、環境対策を行いやすいガスタービン発電も採用し、非常用発電設備の多様化を推奨する。^(参考2)

- b. 電源車は、緊急なケーブル敷設や接続作業を伴う反面、最も機動的であらゆる現場環境に適應できるが、電源車と各設備間を接続するケーブル・接続箱(電氣的性能、機械的強度、浸水防止、接続方法、固定化など)を標準備品として保管することを推奨する。
- c. 資機材保管場所(高台)は、地滑り・土砂崩壊などのリスクが一部残されるので、高台用地の切り土・盛り土の状況などを整理し設置場所を選定する必要がある。^(参考3)

(3)非常用直流電源設備

緊急用交流発電設備(非常用ディーゼル発電機、電源車など)のバックアップとして、直流電源系統を強化することは電気系統の最終電源確保策として有効である。

「東京電力福島第一原子力発電所事故の技術的知見について(中間とりまとめ)」*は、必要かつ十分な直流電源を確保できると考えられる。

- a. 非常用直流電源は、蓄電池の枯渇前に充電し長期間の機能維持を確保する。その上で負荷を切り離しせずに8時間、さらに不必要な負荷の切り離しを実施して24時間の直流供給を要求しており、直流電源喪失に至る可能性は非常に少ない。

なお、非常用直流電源の設置にあたっては、蓄電池の種類・特性・寿命・容量(単電池容量・合計容量)などを十分検討する必要がある。

- b. 個別専用直流電源は、特に重要な計装に専用の直流電源と充電システムを用意するもので十分期待できる。

なお、非常用直流電源は、通常時使用蓄電池と協調した供給系や、分散配置した蓄電池間を相互供給できる連系の強化、急速充電かつ長時間放電が可能な新型大容量蓄電池、任意に充電できる充電器車、移動用蓄電池車など創意工夫が必要である。

(4)建屋等

建屋の浸水防止対策・水密構造化により完全電源喪失に至る可能性は少ないが、電源盤・配電盤などは適正に分散配置し、相互機能の連係強化を推奨する。

なお、建屋内においても電力機器・設備(配線・配管など含む)や他構造物との接続・支持点などにおける変位拡大や不正変形などを考慮した耐震改良、また建屋そのものを防潮壁として活用した津波対策(建屋入口や開口部は海側から山側へ、屋外の付帯設備は建屋の山側へ)、原子力発電所プラントトータルシステムとしての目的(発電)など、設計面において十分配慮することが望ましい。

*「東京電力福島第一原子力発電所事故の技術的知見について(中間とりまとめ)」(H24.2.28)

原子力安全・保安院が指示した緊急安全対策と、さらに福島第一原子力発電所事故の技術的知見に関する意見聴取会での議論を踏まえてとりまとめた30の安全対策を報告している

3. 原子力発電所等の電源確保の妥当性について

原子力安全・保安院の「緊急安全対策指示」、及び「東京電力福島第一原子力発電所事故の技術的知見について(中間とりまとめ)」は、福島第一原子力発電所の事故を教訓に多段(多層)・多重・多様な電気設備対策、緊急用発電設備の整備、外部電源・所内電気設備それぞれの機能分担と相互協調などを要求しており、対策された電源供給トータルシステムは、原子力発電所の所内電源を確保するシステムとして、

- ①供給信頼度を大幅に向上させた外部電源により電源供給し、

②その上で、外部電源が喪失した場合でも所内電気設備（多重の非常用発電機、電源車）により電源供給する、

③さらに、所内電気設備のバックアップとして非常用直流電源設備により電源供給する、ことが可能であり、所内電源（交流・直流）を確保する電源システムとして妥当かつ合理的であると判断される。

なお、原子力発電所の固有条件に応じて、外部電源と所内電気設備の協調は個別に対応することが効果的かつ重要である。

以 上

<添付資料>

- (1)福島第一原子力発電所の被害状況（設備別）
- (2)原子力安全・保安院指示に基づく原子力発電所の電気設備の強化対策（整理）
- (3)原子力安全・保安院指示に基づく原子力発電所の電気設備に関する安全対策の検討
- (4)原子力発電所に供給する電源の強化・対策（H24/2 原子力安全・保安院）
- (5)福島第一事故の技術的知見から得られる 30 の対策(短期対策及び中長期対策)

（参考 1）変電所等に使用されている電力機器の耐震設計は、JEAG-5003「変電所等における電気設備の耐震設計指針」に基づき、碍子型機器は 0.3G 共振正弦 3 波（架台下端突印）にて行われている。また従来の原子力発電所（中越沖地震前の柏崎刈羽原子力発電所など）は、原子力発電所に使用する電力設備は設計基準 C クラスとし、上記碍子型機器を採用してきた。

（参考 2）ガスタービン発電設備は、燃料（重油・軽油など）を燃やした燃焼ガスでタービンをまわして発電する方式であり、利点は、小型で高出力が得られ、冷却水を必要とせず緊急時対応に適している。また多様な燃料を使用でき、環境対策も行いやすい。一方、整備に専門的知識を伴う特殊技術を必要とし、運転時の消費エネルギーが大きいなどの欠点がある。

（参考 3）原子炉建屋は岩盤固着設計構造で、地震に対して特段に強化されており耐震的には非常に高い信頼性を有している。今後の知見を集約し、経験した水素爆発等による建物損壊防止対策が有効になれば、原子炉建屋は電源供給設備の設置や資機材の保管など各種ケースで有効に活用できる。

福島第一原子力発電所の被害状況(設備別)

			1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機
外部交流電源	275kV 大熊線1L	変電所		-	-	-	-	-
		送電線	地震⇒設備損壊					
	275kV 大熊線2L	開閉所		地震⇒設備損壊				
		変電所	-		-	-	-	-
	275kV 大熊線3L	送電線			地震⇒設備損壊			
		開閉所	-	-	工事中	-	-	-
	275kV 大熊線4L	変電所				地震⇒設備損壊		
		送電線	-	-	-			
66kV 夜ノ森線1L	開閉所					地震⇒陥没	地震⇒陥没	
	変電所	-	-	-	-	地震⇒倒壊	地震⇒倒壊	
	送電線							
66kV 夜ノ森線2L	開閉所					地震⇒陥没	地震⇒陥没	
	変電所	-	-	-	-	地震⇒倒壊	地震⇒倒壊	
	送電線							
66kV 東電原子力線	開閉所	地震⇒設備損壊						
	送電線		-	-	-	-	-	
非常用発電機 (DG)	1A	変電所	津波⇒浸水	-	-	-	-	-
		送電線	津波⇒水没					
	2A	開閉所		津波⇒浸水	-	-	-	-
		変電所	-	津波⇒浸水				
	3A	送電線			津波⇒浸水	-	-	-
		開閉所	-	-	津波⇒水没			
	4A	変電所				工事中	-	-
		送電線	-	-	-	津波⇒浸水		
	5A	開閉所					津波⇒水没	-
		変電所	-	-	-	-	津波⇒浸水	
	6A	送電線						津波⇒水没
開閉所		-	-	-	-	-	津波⇒浸水	
高圧配電盤 (M/C)	1C	変電所	津波⇒浸水	-	-	-	-	-
		送電線	津波⇒浸水					
	1D	開閉所		津波⇒水没	-	-	-	-
		変電所	-	津波⇒浸水				
	1S	送電線		津波⇒浸水	-	-	-	-
		開閉所	-	津波⇒浸水				
	2C	変電所		津波⇒水没	-	-	-	-
		送電線	-	津波⇒浸水				
	2SA, B	開閉所		津波⇒浸水	-	-	-	-
		変電所	-	津波⇒浸水				
	3C	送電線			津波⇒浸水	-	-	-
開閉所		-	-	津波⇒浸水				
3D	変電所			津波⇒水没	-	-	-	
	送電線	-	-	津波⇒浸水				
3SA, B	開閉所			津波⇒水没	-	-	-	
	変電所	-	-		工事中	-	-	
4C	送電線				津波⇒水没	-	-	
	開閉所	-	-	-		津波⇒浸水	-	
5C	変電所					津波⇒浸水	-	
	送電線	-	-	-	-	津波⇒浸水		
5ASa, B	開閉所					津波⇒浸水	津波⇒浸水	
	変電所	-	-	-	-		津波⇒浸水	
6C	送電線						津波⇒浸水	
	開閉所	-	-	-	-	-	津波⇒浸水	
直流電源 (DC125V)	1A	変電所	津波⇒水没	-	-	-	-	-
		送電線	津波⇒水没					
	2A	開閉所		津波⇒水没	-	-	-	-
		変電所	-	津波⇒水没				
	3A	送電線			Batt枯渇	-	-	-
		開閉所	-	-	Batt枯渇			
	4A	変電所				津波⇒水没	-	-
		送電線	-	-	-	津波⇒水没		
	5A	開閉所						
		変電所	-	-	-	-		
	6A	送電線						
開閉所		-	-	-	-	-		
6H	変電所							
	送電線	-	-	-	-	-		

健全
地震による機能喪失
津波による機能喪失
その他による機能喪失

原子力安全・保安院指示に基づく原子力発電所の電気設備の強化対策(整理)

本資料は、福島第一原子力発電所事故を踏まえた安全対策として、既に原子力安全・保安院が指示した内容のうち電気設備に限定したハード的対策について整理したものである。



設備区分		安全対策の指示内容(概要)				
外部電源系統(電源線)	系統構成	2ルート以上	2回線以上	全ての電源線と接続	相互融通	
	送電鉄塔	耐震評価し補強	基礎の安定性を評価し補強	ルート踏破により補強		
開閉所	供給系統接続	全ての電源線と相互接続	負荷側(二次側)の号機間相互接続	相互融通		
	受電設備	屋内施設として設置	浸水対策	地震対策		
			水密化			
	開閉器・変圧器	浸水対策	地震対策			
遠方監視制御保護装置	屋内施設として設置	浸水対策				
構内送電設備	特別高圧回路	浸水対策				
	高圧回路	浸水対策				
	建屋貫通部	浸水対策				
	送電経路	浸水対策	ルートの多様化			
	操作・制御対応	アクセスルートの多様化				
構内配電設備	配電経路	浸水対策	ルートの多様化			
	制御・配電盤	浸水対策				
	分電盤	浸水対策				
非常用発電機(DG)		浸水対策	地震対策	2台以上設置	号機間接続	
緊急用発電設備	電源車	2台以上設置	十分な耐久性	号機間接続	高台の場所に保管	
		必要供給容量の確保	負荷特性の考慮	相互融通		
		燃料確保				
	電力ケーブル	敷設ケーブルの津波対策	十分な耐久性	冗長性を考慮した十分な長さ	ルートの多様化	
		経路の多重化	負荷抵抗を考慮	容易な接続		
	接続ポイント	接続ポイントの津波対策	確実な接続	容易な接続	適切な維持管理	
	建屋側電源受け口	浸水対策	複数設置			
燃料	必要供給量の確保	高台の場所に保管				
直流電源	非常用Batt	津波対策	供給時間の評価			
建屋	原子炉建屋	防潮堤	防潮壁	浸水対策	水密扉	
	タービン建屋	防潮堤	防潮壁	浸水対策	水密扉	

原子力安全・保安院指示に基づく原子力発電所の電気設備に関する安全対策の検討

設備区分		安全対策指示内容	想定される外的要因例														総合評価		
			津波	地震	台風	竜巻	ダウンバースト	大雪	雷雨	豪雨	豪雨 ゲリラ的	強風	濃霧	地滑り	土砂崩壊	表層崩壊		深層崩壊	障害物
外部電源系統 (電源線)	系統構成	2ルート以上 2回線以上 全ての電源線と接続 相互融通	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	送電鉄塔	耐震評価し補強 基礎安定性を評価し補強 ルート踏破により補強	○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	△	△	○	△	△	○
開閉所	供給系統 接続	全ての電源と相互接続 負荷側の号機間接続 相互融通																	
	受電設備	屋内施設として設置 浸水対策・水密化 地震対策	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	
	開閉器 変圧器	地震対策 浸水対策																	
	監視制御 保護装置	屋内施設として設置 浸水対策・水密化																	
構内送電設備	特別高圧																		
	高圧回路	浸水対策	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	送電経路																		
	建屋貫通部																		
	操作・制御	アクセスルートの多様化																	
構内配電設備	配電経路	浸水対策 ルートの多様化	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	制御・配電盤																		
	分電盤	浸水対策																	
非常用発電機(DG)		浸水対策 地震対策 2台以上設置・燃料確保 号機間相互・相互融通	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
緊急用 発電設備	電源車	2台以上設置・燃料確保 耐久性・負荷特性を考慮 号機間接続・相互融通 高台に保管	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	
	燃料	供給量の確保 高台に保管																	
	電力ケーブル	敷設ケーブルの津波対策 ルートの多重化・多様化 耐久性・負荷抵抗を考慮																	
	接続ポイント	接続ポイントの津波対策 確実な接続・容易な接続	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	建屋側 電源受け口	浸水対策 複数設置																	
直流電源	非常用Batt.	浸水対策 供給時間の評価	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
建屋	原子炉建屋	浸水対策	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	タービン建屋	水密扉																	
構内(海岸側)		防潮堤 防潮壁	○																

○:安全対策により電源喪失に至る可能性はほとんどない

△:単一事象のリスクとして一部残される

×:安全対策を行ってもリスクがある

原子力発電所に供給する電源の強化・対策(H24/2 原子力安全・保安院)

本資料は、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の技術的知見について(中間とりまとめ案)」(H24年2月 原子力安全・保安院)に基づき整理した。なお、上記「中間とりまとめ案」は、意見聴取会を開催し分析を行い整理したもので、今後さらに分析を加え内容充実を図る必要があると注釈されている。

多 様 化

多 重 化

外部電源の信頼性向上	対策1 外部電源系統の信頼性向上	異なる変電所からの電源供給	異なる送電線による電力供給	送電鉄塔の長幹支持碍子は懸垂がいしへの取替		
				送電鉄塔の長幹支持碍子への免震金具の取付け		
	対策2 変電所設備の耐震性向上	電源変電所引出口の損傷断路器と同型器の構造改良	耐震性を強化した断路器の回線を2回線以上確保			
		電源変電所引出口の断路器は高強度がいしを採用				
		電源変電所引出口断路器はガス絶縁機器を採用				
	対策3 開閉所設備の耐震性向上	開閉所の遮断器、断路器等の耐震性の強化	設備の多重化等の組合わせによる耐震性の向上	がいし型遮断器は機能喪失リスクを評価した上でGIS等に設備更新		
	対策4 外部電源設備の迅速な復旧	外部電源設備予備の確保	復旧作業用資機材の確保	事故対応マニュアルの整備		
				送電線損傷箇所を特定する事故点評定装置を導入する		
	所内電気設備	対策5 所内電気設備の位置的な分散	非常用交流電源設備の多重化	非常用交流配電盤の多重化	配置場所の位置的な分散配置(配置建屋)	
			非常用直流電源設備の多重化	非常用直流配電盤の多重化	配置場所の位置的な分散配置(海側/陸側)	
				配置場所の位置的な分散配置(高所/低所)		
対策6 浸水対策の強化		想定津波高さに備えた防潮壁等の設置	建屋の水密化	地下設置の非常用電気設備の浸水の可能性がある場合は部屋単位での水密化	浸水時に備えた排水機能の用意	
非常用交流電源	対策7 非常用交流電源の多重化と多様性の強化	非常用交流電源の多重化	非常用交流電源の点検保守による待機除外	本設交流電源の冷却方式多様性の強化(空冷)	外部交流電源の復旧期間を見込んだ燃料確保	
非常用直流電源	対策8 非常用直流電源の強化	充電による蓄電池の長期間機能維持を確保する蓄電容量	一系統蓄電池のみで負荷切り離しせず最少8時間を確保する蓄電容量	一系統蓄電池で負荷の選別切り離して最少24時間を確保する蓄電容量	プラント特性に応じた必要稼働時間を可能にする蓄電容量の確保	
		対策9 個別専用電源の設置	計装用の専用電源を設置	専用電源用の充電システムを用意(既設・代替とは別途用意)		
		作動用の専用電源を設置	専用電源用の蓄電池を用意(既設・代替とは別途用意)			
事故時・事故後の対応・復旧の迅速化	対策10 外部からの給電の容易化	電源車(交流)の設置	電源供給口の規格化	地絡事故発生負荷の容易な切り離し措置	建屋外から電源供給できない場合のマニュアル整備	
		電源車(交流+整流装置)の設置	電源供給口の2か所以上の分散設置			
			電源供給口の被水対策(塩水対策含む)の実施			
	対策11 電気設備関係予備品の備蓄	緊急用資機材倉庫の確保	電気設備関係予備品の保管	可搬型照明設備の用意	資機材の情報に関するマニュアル整備	
			電気設備の予備設備の設置		マニュアルを即時利用できる準備と訓練	
				部品交換を自らできる保守点検実務の実施		

福島第一事故の技術的知見から得られる30の対策(短期対策及び中長期対策)

技術的知見(30の対策) ※上欄は主にBWRのみを対象		緊急安全対策 (短期対策;実施済み)	安全性・信頼性向上対策の例 (中長期対策)	
①外部電源対策	対策1 外部電源システムの信頼性向上		異なるルート(送電線及び変電所)からの給電	
	対策2 変電所設備の耐震性向上		断路器の耐震性の向上(高強度のがれしへの取替等)	
	対策3 開閉所設備の耐震性向上		耐震性のあるガス絶縁開閉装置等への更新	
	対策4 外部電源設備の迅速な復旧		外部電源に係る事故対応マニュアルの整備等、事故点検定装置の導入	
	②所内電気設備対策	対策5 所内電気設備の位置的な分散	電源車の配備(高台等)	電源の建屋内の配置(海側/陸側、高所/低所)
		対策6 浸水対策の強化	建屋への浸水対策	部屋単位の水密化、浸水時に備えた排水機能の用意
		対策7 非常用交流電源の多重性と多様性の強化	電源車の配備(多重性と多様性の強化)	空冷非常用発電機の配備等による冷却方式の多様化
		対策8 非常用直流電源の強化	蓄電池への枯渇前の充電	蓄電池容量の強化
		対策9 個別専用電源の設置		計装に必要な電源を別途配備
		対策10 外部からの給電の容易化	電源車等に接続する給電用ケーブルの配備	給電口を規格化・2ヶ所分散、漏水対策の実施
		対策11 電気設備関係予備品の備蓄		電気関係予備品の備蓄、保守・訓練の実施
		対策12 事故時の判断能力の向上	緊急時の対応計画やマニュアルの策定	前兆事象の確認を踏まえた事前の対応手順の整備
		対策13 冷却設備の耐浸水性確保・位置的分散	消防車・ポンプ車・消火ホースの配備(位置的分散)	冷却設備の位置的分散
		対策14 事故後の最終ヒートシンクの強化		可搬型代替残留熱除去設備等の設置
	③冷却・注水設備対策	対策15 隔離弁・SRVの動作確実性の向上		弁駆動のための可搬型コンプレッサ等一の配備
		対策16 代替注水機能の強化	消防車・ポンプ車・消火ホースの配備、水源の確保(代替注水機能の強化)	水源の多様化(タンク、貯水池、ダム等)、吐出圧力の高いポンプや建屋外の注水口を整備
		対策17 使用済燃料プールの冷却・給水機能の信頼性向上	消防車・ポンプ車・消火ホースの配備、水源の確保(使用済燃料プールへの給水)	燃料貯蔵の分散化、空冷設備の設置、乾式貯蔵の採用
④格納容器破損・水素爆発対策		対策18 格納容器の除熱機能の多様化		交流電源に頼らないPCVスプレイの設置
		対策19 格納容器トップフランジの過温破損防止対策		格納容器トップフランジ冷却の検討
	対策20 低圧代替注入への確実な移行	緊急時対応計画の策定(低圧注水への移行手順)	完全電源喪失等を想定したマニュアルの整備	
	対策21 ベントの確実性・操作性の向上	空気駆動ベント弁用の窒素ポンプ等の配備、緊急時対応計画の策定(ベント操作)	ベント操作のためのコンプレッサ等一の配備	
	対策22 ベントによる外部環境への影響の低減		フィルタ効果のあるベント設備の設置	
	対策23 ベント配管の独立性確保		ベント配管の非常用ガス処理系からの独立、号機間共用禁止	
	対策24 水素爆発の防止(濃度管理及び適切な放出)		水素再結合装置、水素温度検出装置の設置	
	⑤管理・計装設備対策	対策25 事故時の指揮所の確保・整備		放射性物質の流入防止、カメラ等による建屋等の監視機能の整備
対策26 事故時の通信機能確保		電源車の配備(通信機器等への給電)	テレビ会議システム等の設置	
対策27 事故時における計装設備の信頼性確保			計装設備専用の蓄電池、予備計測器の配備	
対策28 プラント状態の監視機能の強化		電源車の配備(プラント状態監視設備への給電)	PCV内をカメラで監視、ロボットの活用等	
対策29 事故時モニタリング機能の強化			モニタリング監視設備への非常用電源供給	
対策30 非常事態への対応体制の構築・訓練の実施		緊急時対応計画の策定、緊急時対応機器等の点検及び訓練の実施 (東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の技術的知見に関する意見聴取会)	ガレキ撤去用重機の配備、	

重要施設(原子力発電所等)の 電源確保に関する検討報告

公益社団法人 日本技術士会 電気電子部会
電力エネルギー構想会議

2012年10月9日

はじめに

公益社団法人日本技術士会 電気電子部会は、東日本大震災復興支援の取組みの一つとして、「電力エネルギー構想会議」を設置し、復旧・復興支援につながる提案や提言を行っています。

「電力エネルギー構想会議」は、東京電力福島第一原子力発電所の全電源喪失の深刻さに鑑み、次の2点について、実務上の電氣的技術知見をベースに検討を行いましたので、その具体的な対策内容について解りやすく説明します。

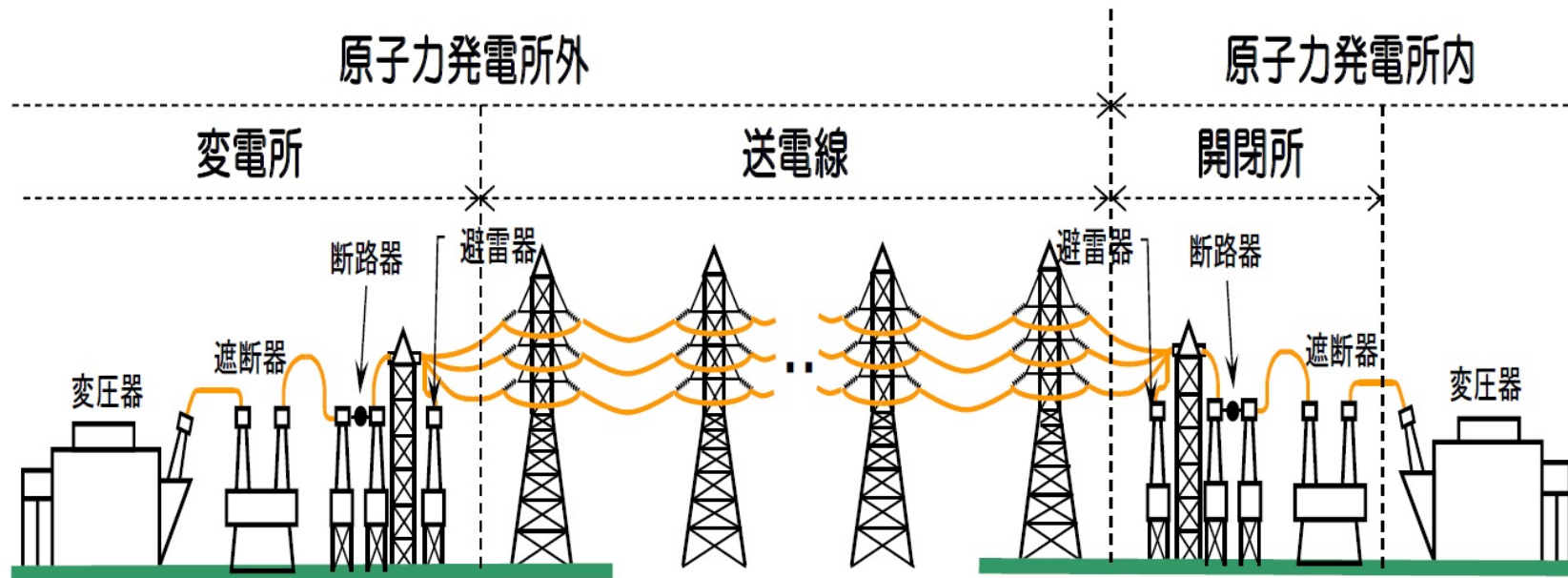
- 原子力安全・保安院が平成23年度に指示した緊急安全対策
- 意見聴取会での議論を踏まえて、原子力安全・保安院がとりまとめた所内電気設備対策

なお、今回の検討範囲は、外部電源、所内電気設備の機能喪失防止のためのハードウェア対策に限定しております。

目次

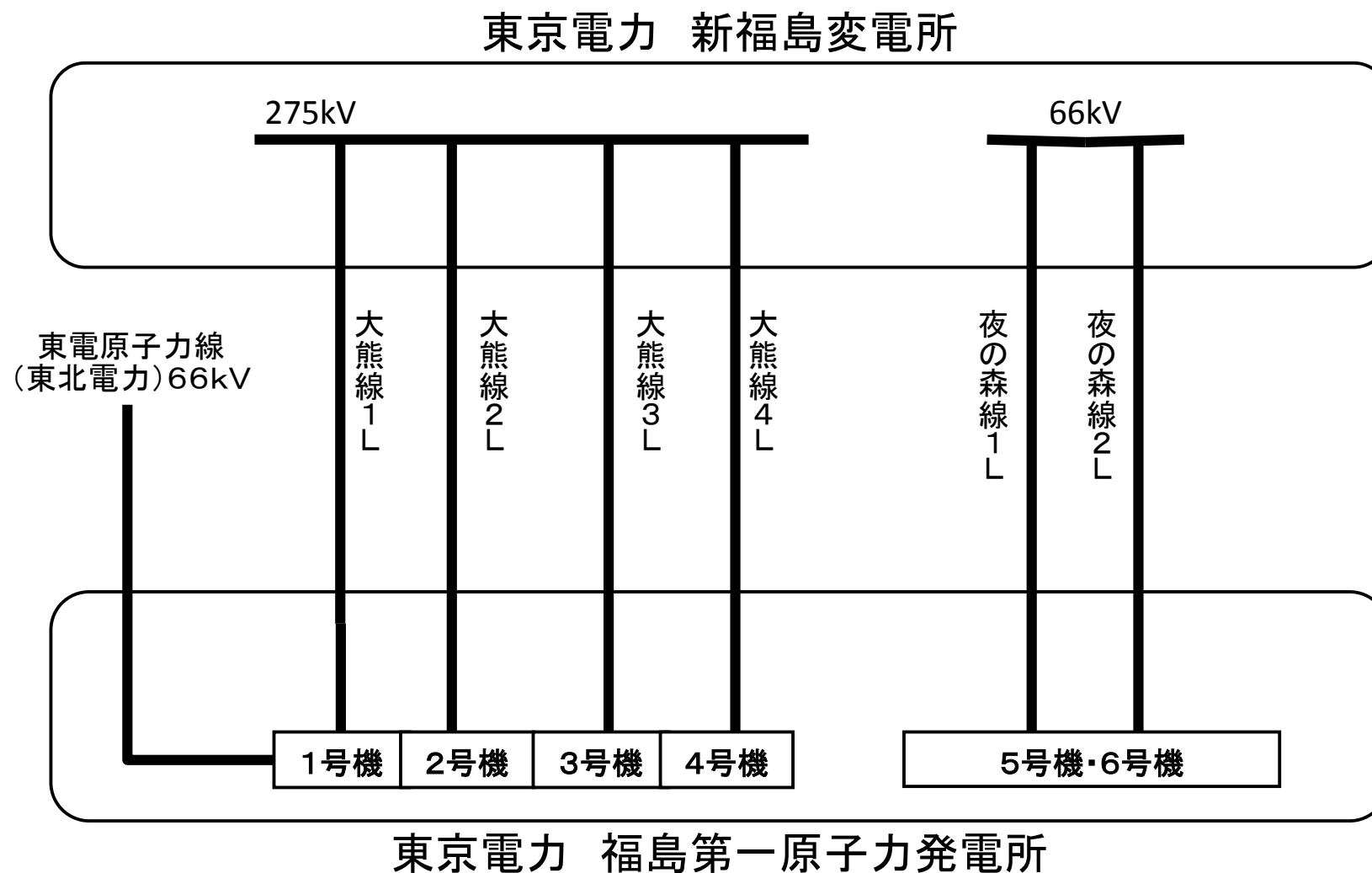
1. 原子力発電所の電源供給方法
2. 福島第一原子力発電所の電源供給と東日本大震災による被災状況
 - (1)外部電源
 - (2)所内電気設備
3. 原子力安全・保安院指示による緊急安全対策
4. 緊急安全対策に対する外的要因例の検討
5. 意見聴取会とりまとめ(30の対策)
6. 電源確保の妥当性
7. 推奨事項

外部電源の供給イメージ図



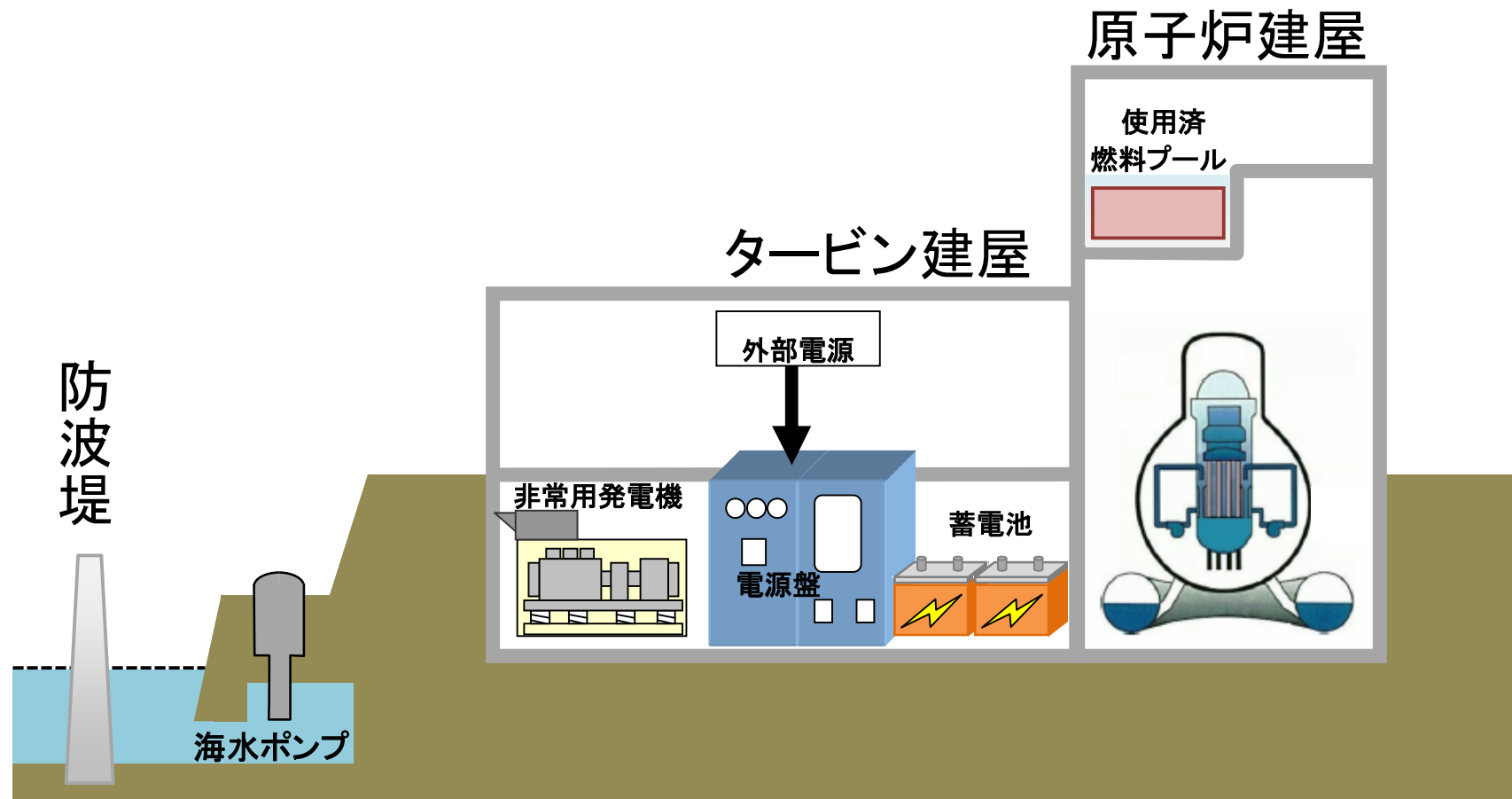
<原子力安全・保安院資料より引用>

外部電源供給方式 (接続概要)



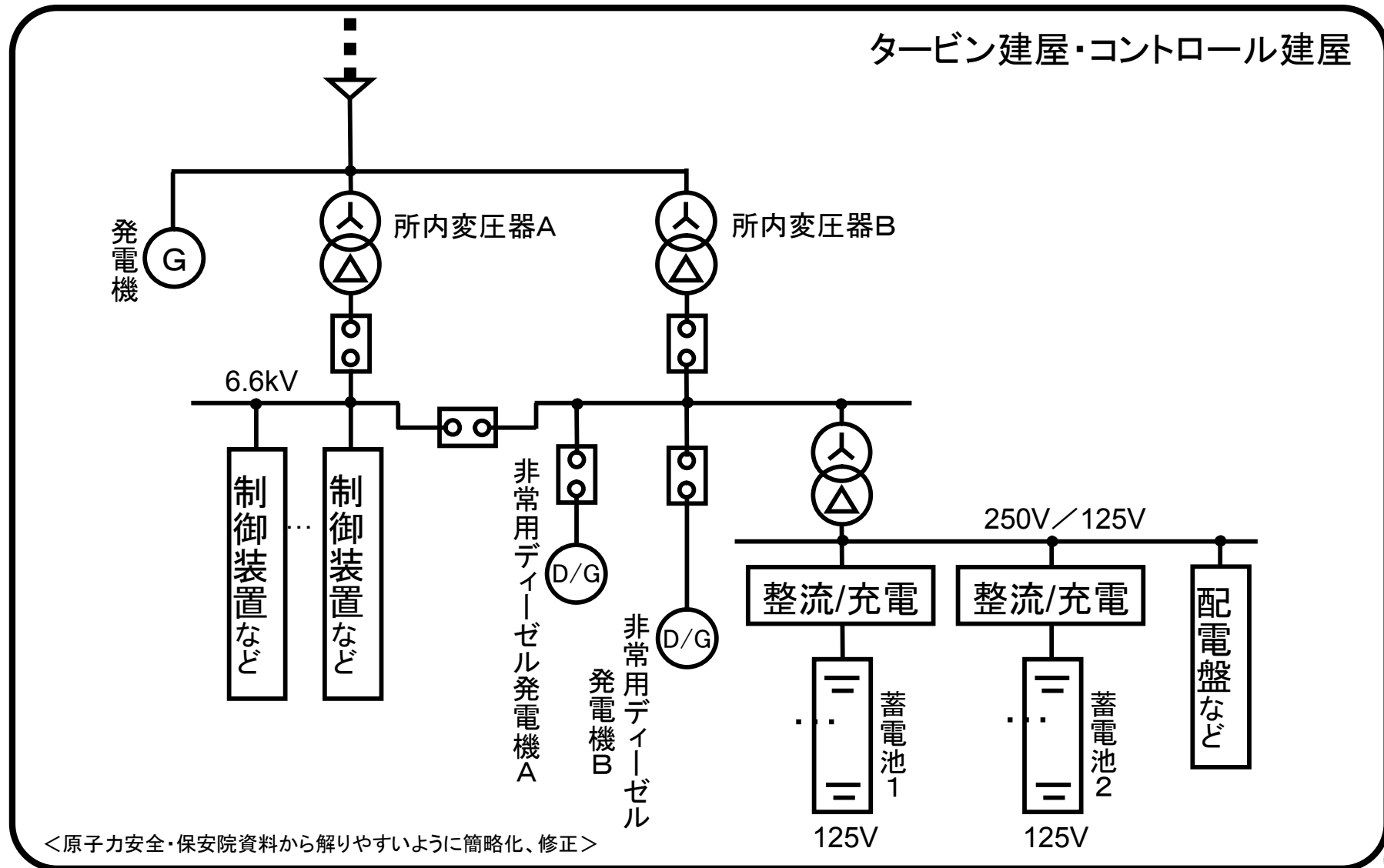
<原子力安全・保安院資料を引用し追加、修正>

所内電気設備の電源供給イメージ図

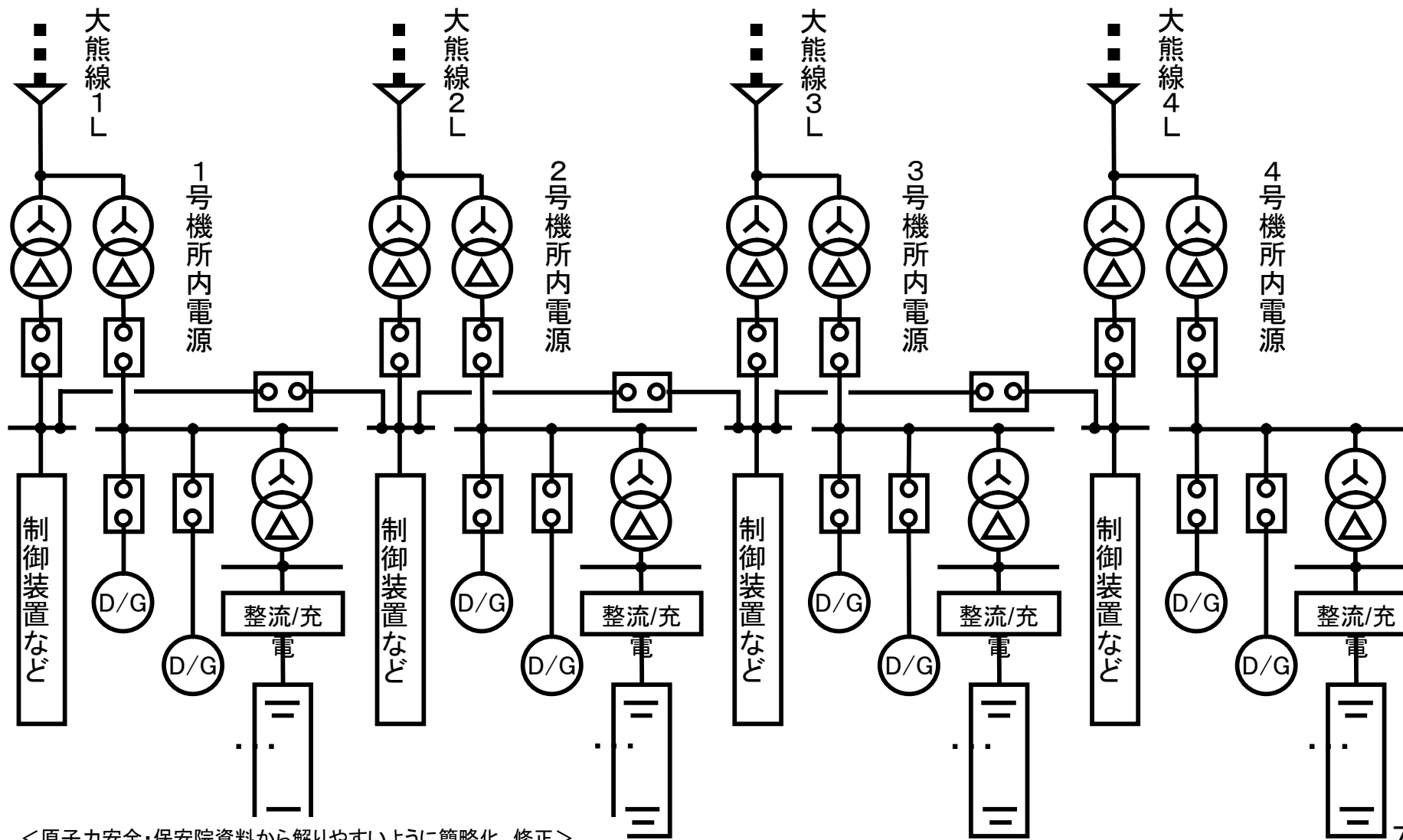


<原子力安全・保安院資料を引用し追加、修正>

所内電気設備の電源供給方式(接続イメージ図)

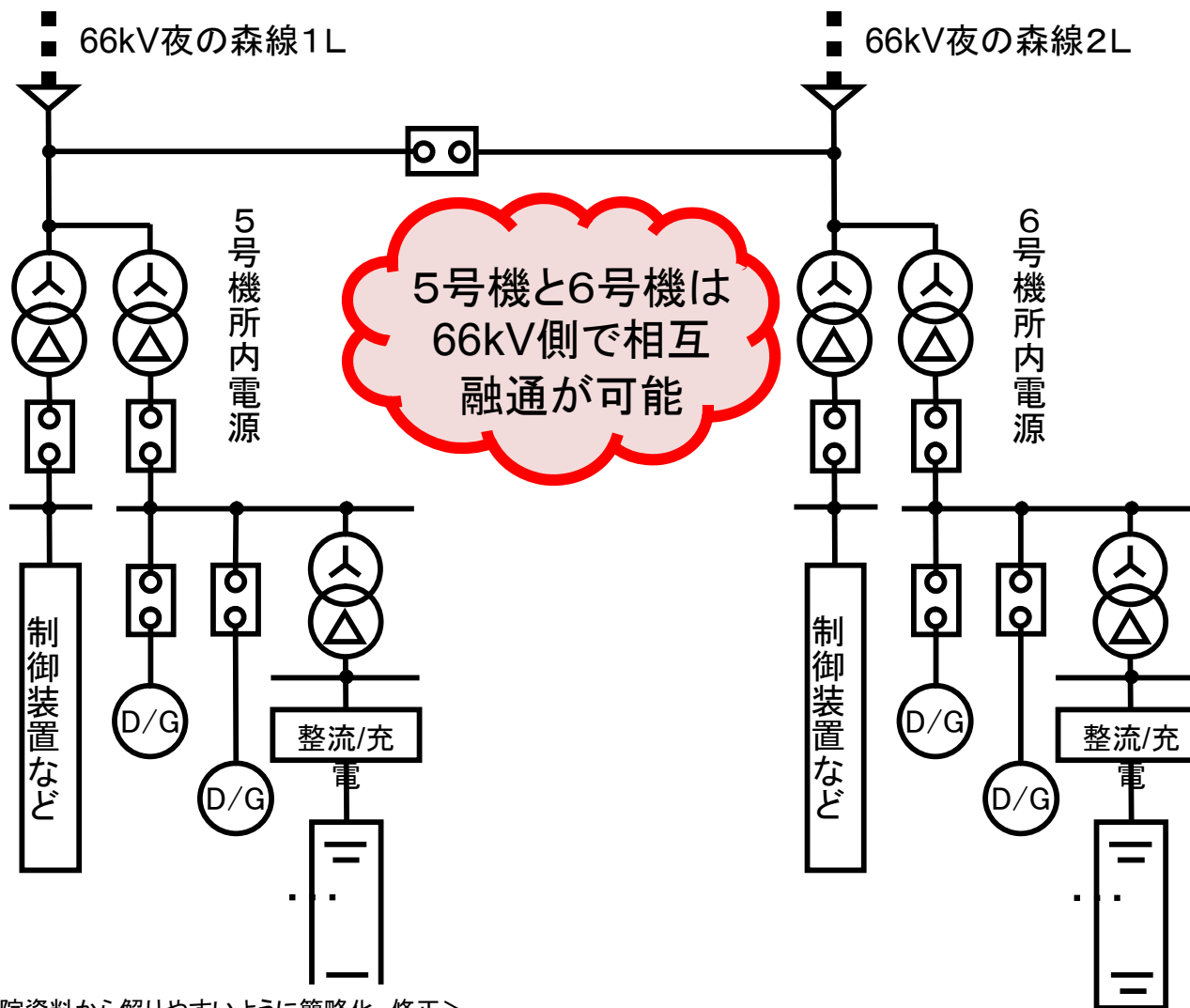


1～4号機 所内電気設備(接続イメージ図)



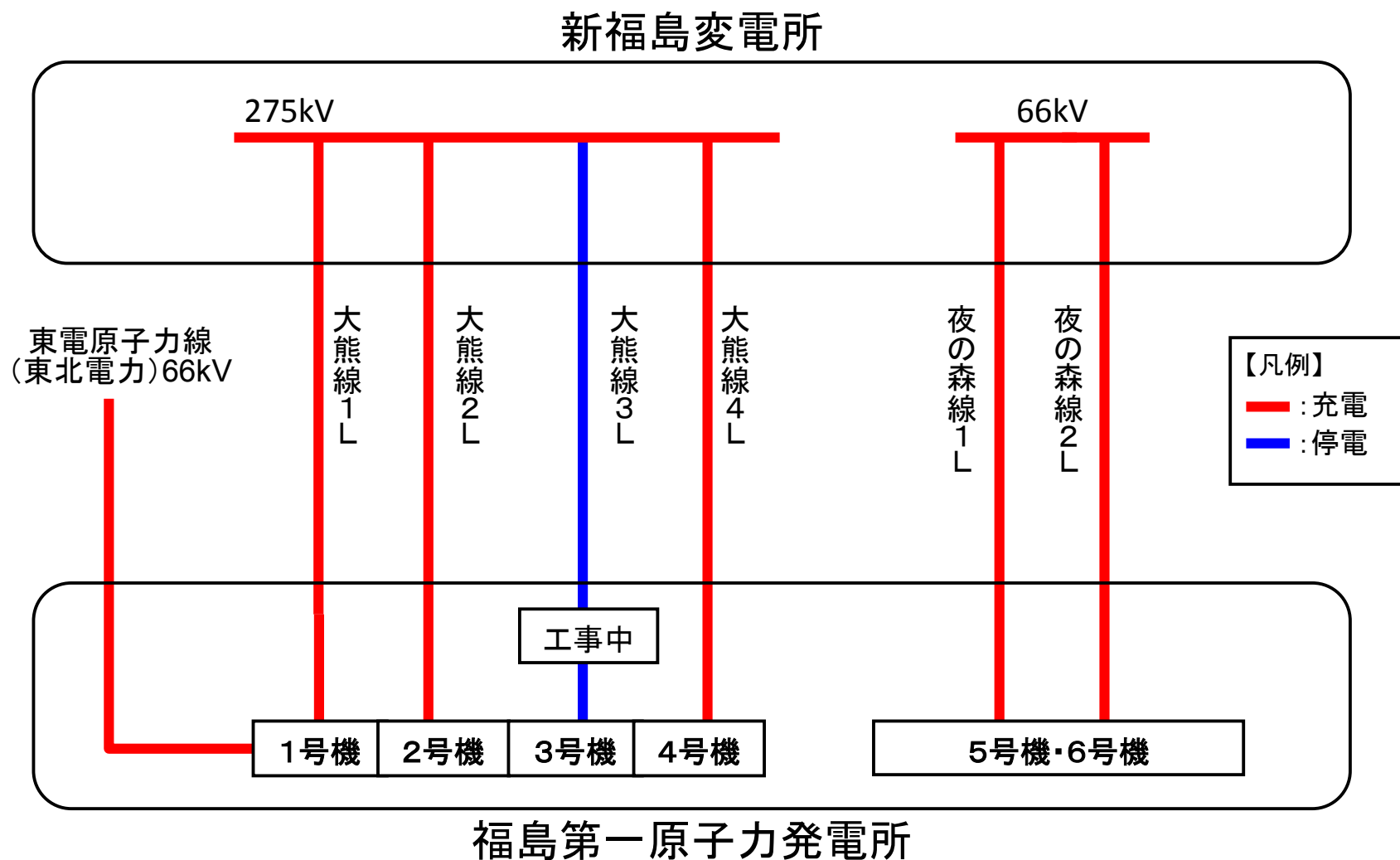
<原子力安全・保安院資料から解りやすいように簡略化、修正>

5～6号機 所内電気設備(接続イメージ図)



<原子力安全・保安院資料から解りやすいように簡略化、修正>

外部電源供給方式 (被災前)

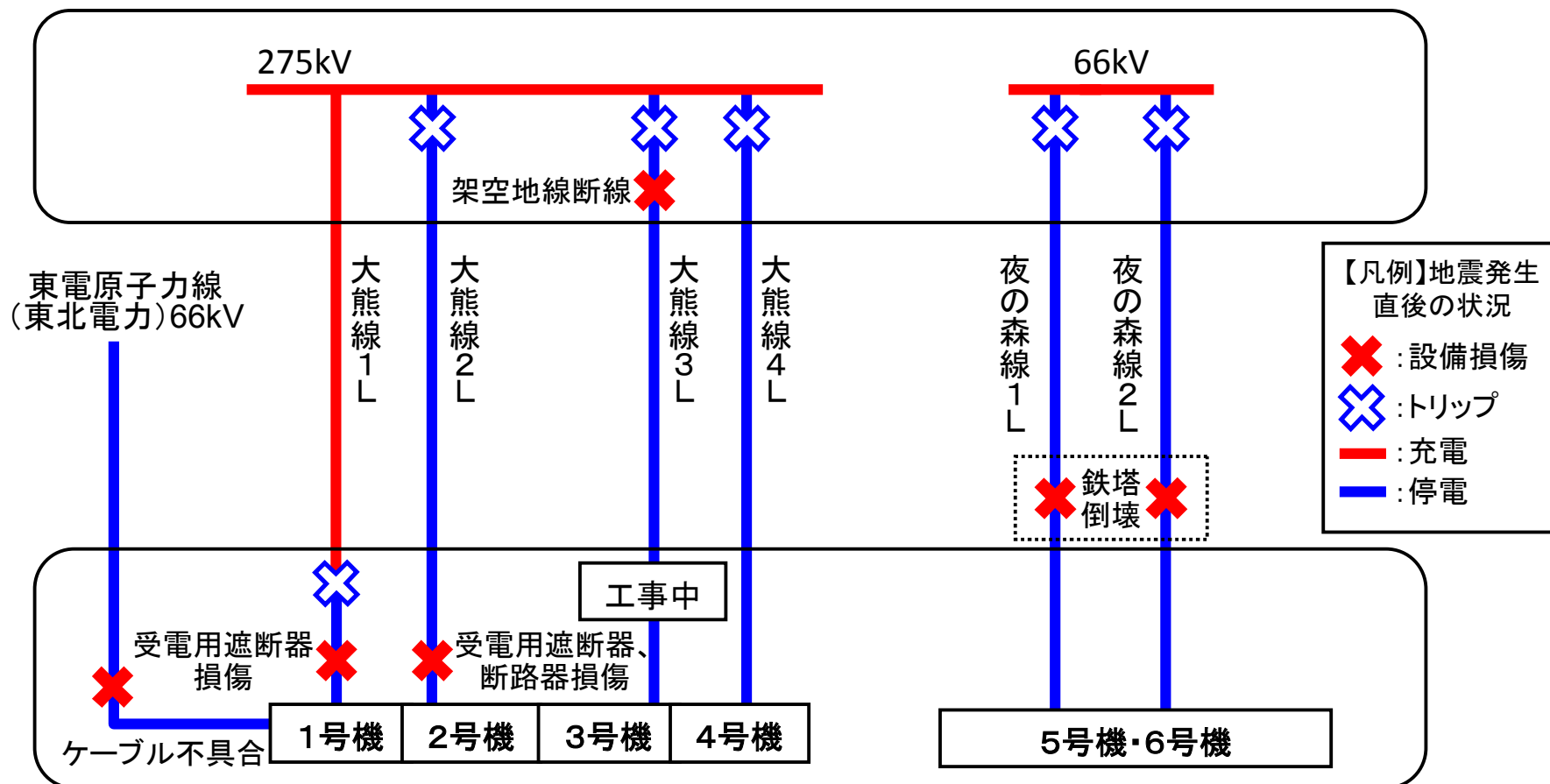


<原子力安全・保安院資料を引用し追加、修正>

9

外部電源供給方式（被災後）

新福島変電所（震度：6強）

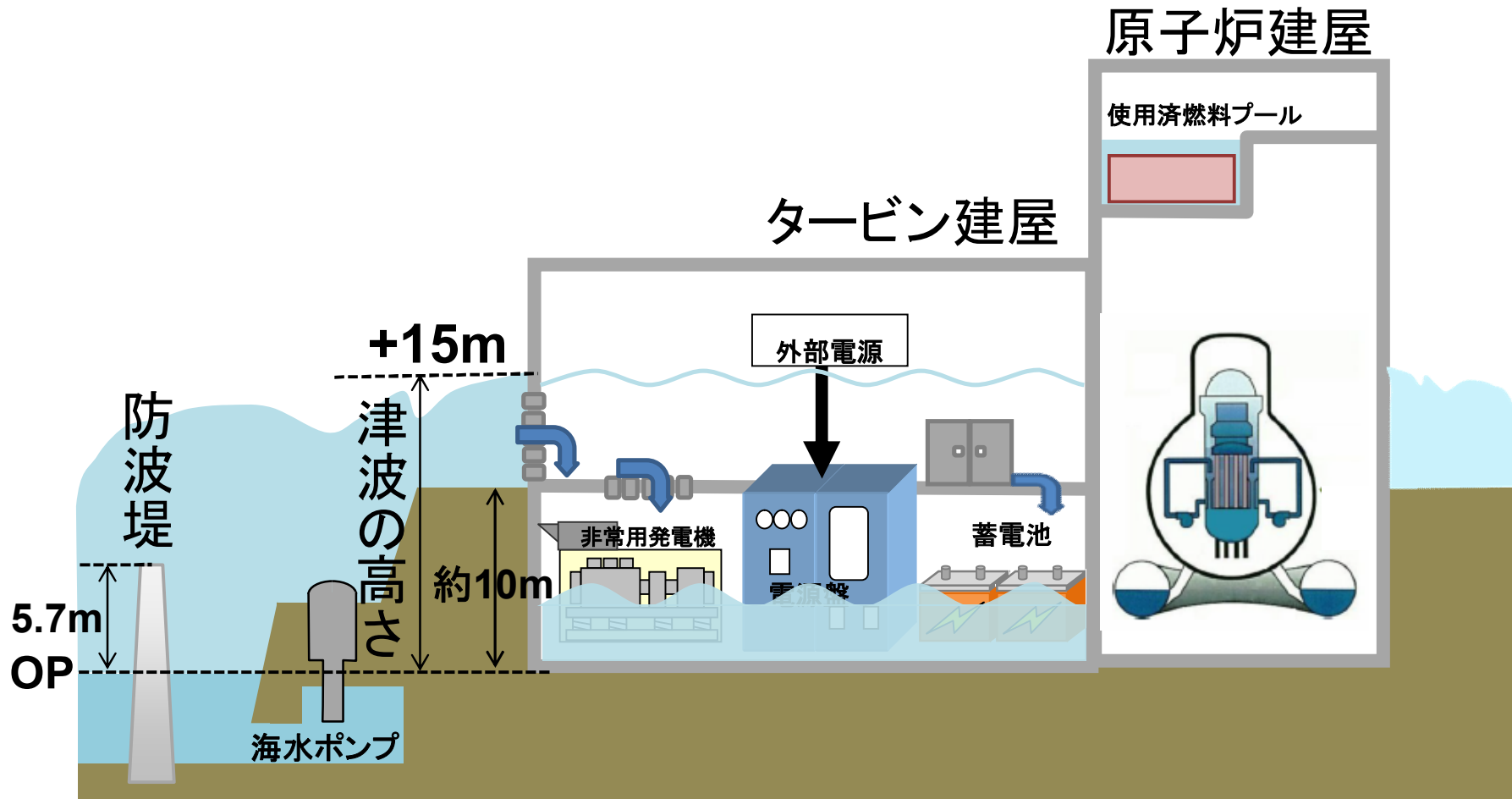


福島第一原子力発電所

それぞれ違う箇所で、複数の設備が損壊し、外部電源を喪失した

＜原子力安全・保安院資料を引用し追加、修正＞

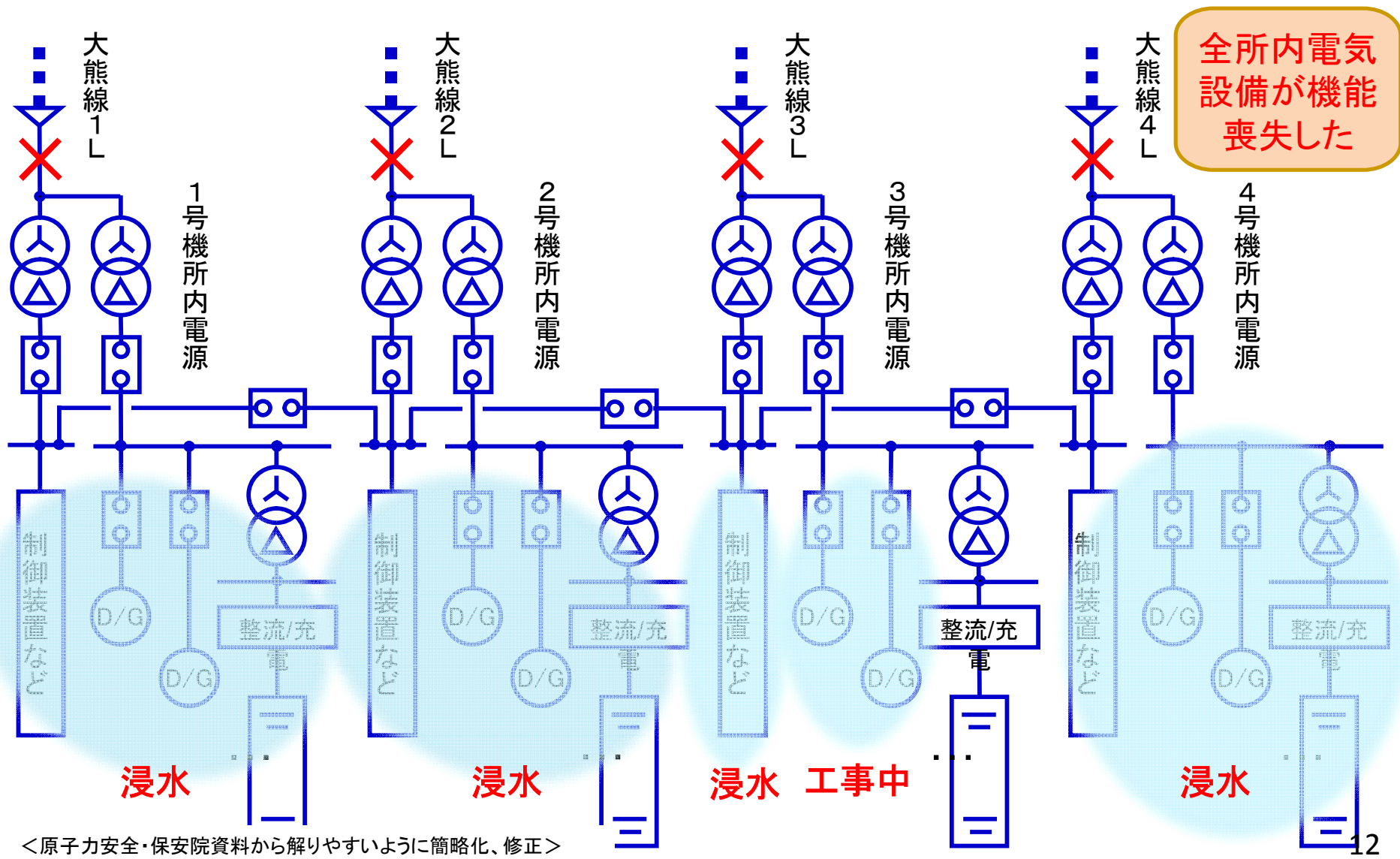
所内電気設備の被災イメージ図



津波による浸水

<原子力安全・保安院資料を引用し追加、修正> 11

1～4号 機所内電気設備 (被災後)



<原子力安全・保安院資料から解りやすいように簡略化、修正>

外部電源の緊急安全対策 (意見聴取会とりまとめ含む)

2. [耐震性向上]

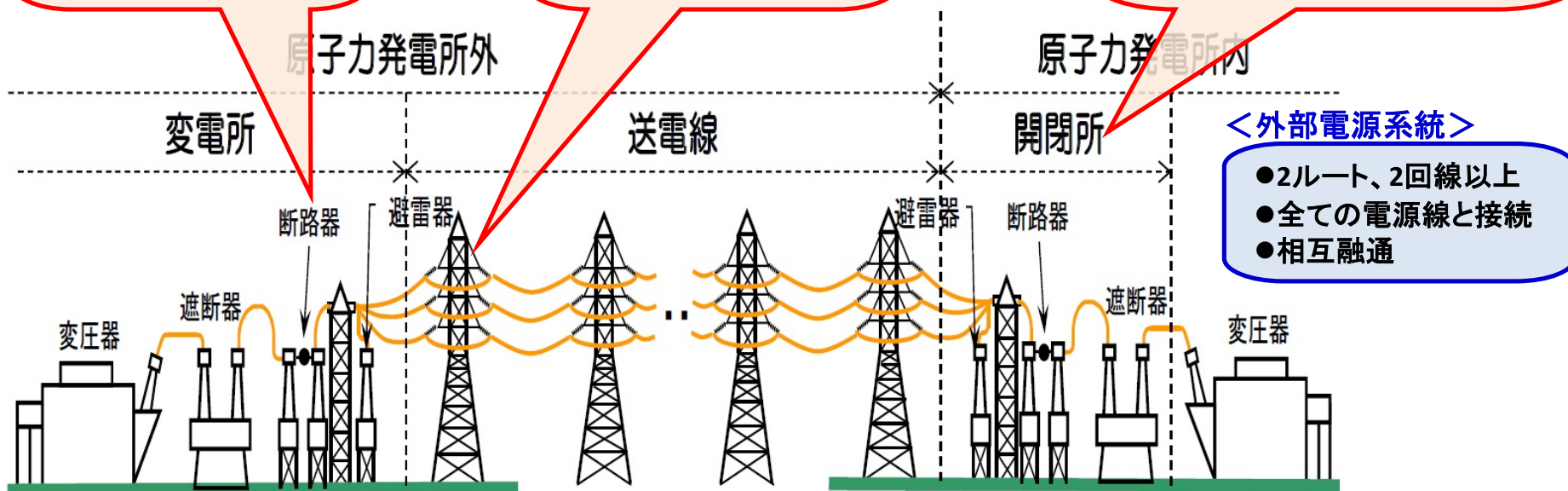
- 構造改良
- 2回線以上確保
- 高強度碍子を採用
- ガス絶縁機器を採用

1. [外部電源システムの信頼性向上]

- 長幹支持碍子は
- 懸垂碍子に取替え
 - 免震金具の取付け

3. [耐震性向上]

- 遮断器、断路器の耐震性強化
- 設備の多重化
- ガス絶縁開閉装置等に設備更新



4. [外部電源設備の迅速な復旧]

- 外部電源設備予備の確保
- 復旧作業用資機材の確保
- 事故点評定装置を導入
- 事故対応マニュアルの整備

<開閉所>

- 電源の相互系統と融通
- 耐震対策
- 浸水対策

<原子力安全・保安院資料を引用し追加、修正> 13

所内電気設備の緊急安全対策 (意見聴取会とりまとめ含む)

5. [所内電気設備の位置的な分散]

- 非常用発電設備の多重化
- 非常用交流配電盤の多重化
- 配置場所の位置的分散

6. [浸水対策の強化]

- 建屋の水密化
- 部屋単位の水密化
- 排水機能の用意
- 電源供給口の浸水対策

10. [外部からの給電の容易化]

- 電源車の設置
- 地絡事故発生負荷の切離し
- 燃料の確保

<建屋>

- 水密扉
- 浸水対策

タービン建屋

原子炉建屋

使用済燃料プール

高台

- 緊急用資機材倉庫の確保
- 予備品の保管
- 可搬型照明設備の用意

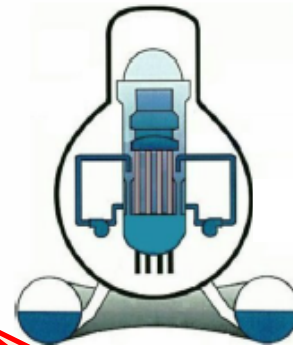
11. [予備品の備蓄]

非常用発電機

外部電源

電源盤

蓄電池



- 非常用交流電源の多重化
- 冷却方式多様性の強化
- 点検保守による待機除外

7. [多重化と多様性の強化]

- 計装用専用電源と充電システム
- 作動用専用電源と充電システム

9. [個別専用電源の設置]

- 充電により長時間機能維持する蓄電池容量
- 全負荷で8時間確保する容量
- 一部負荷切離して24時間確保する容量

8. [非常用直流電源の強化]

<原子力安全・保安院資料を引用し追加、修正>

緊急安全対策に対する外的要因例の検討

設備区分	想定される外的要因例																総合評価
	津波	地震	台風	竜巻	バダウスト	大雪	雷雨	豪雨	豪雨 ゲリラ的	強風	濃霧	地滑り	土砂崩壊	表層崩壊	深層崩壊	障害物	
外部電源系統(電源線)	○	○	○	▲	▲	○	○	○	○	○	○	▲	▲	○	▲	▲	○
開閉所設備	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	▲	○
構内送配電設備	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
非常用発電機(DG)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
電源車	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	▲	▲	○	○	○
電源ケーブル	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
接続ポイント	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
直流電源(Batt)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
構内・建屋	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

- :緊急安全対策により電源喪失に至る可能性はほとんどない
- ▲:単一事象のリスクとして一部残される
- ×:安全対策を行ってもリスクがある

所内電源(交流・直流)を確保する緊急安全対策は妥当かつ合理的と判断される

技術的知見から得られる30の対策(短期対策及び中長期対策)

技術的知見(30の対策) <small>※下線部は主にBWRのみを対象</small>		緊急安全対策 (短期対策:実施済み)	安全性・信頼性向上対策の例 (中長期対策)
①外部電源対策	対策1 外部電源系統の信頼性向上		異なるルート(送電線及び変電所)からの給電
	対策2 変電所設備の耐震性向上		断路等の耐震性の向上(高強度のがいしへの取替等)
	対策3 開閉所設備の耐震性向上		耐震性のあるガス絶縁開閉装置等への更新
	対策4 外部電源設備の迅速な復旧		外部電源に係る事故対応マニュアルの整備等、事故点検定装置の導入
②所内電気設備対策	対策5 所内電気設備の位置的な分散	電源車の配備(高台等)	電源の建屋内の配置(海側/陸側、高所/低所)
	対策6 浸水対策の強化	建屋への浸水対策	部屋単位の水密化、浸水時に備えた排水機能の用意
	対策7 非常用交流電源の多重性と多様性の強化	電源車の配備(多重性と多様性の強化)	空冷非常用発電機の配備等による冷却方式の多様化
	対策8 非常用直流電源の強化	蓄電池への枯渇前の充電	蓄電池容量の強化
	対策9 個別専用電源の設置		計装に必要な電源を別途配備
	対策10 外部からの給電の容易化	電源車等に接続する給電用ケーブルの配備	給電口を規格化・2ヶ所分散、被水対策の実施
	対策11 電気設備関係予備品の備蓄		電気関係予備品の備蓄、保守・訓練の実施
③冷却・注水設備対策	対策12 事故時の判断能力の向上	緊急時の対応計画やマニュアルの策定	前兆事象の確認を踏まえた事前の対応手順の整備
	対策13 冷却設備の耐浸水性確保・位置的分散	消防車・ポンプ車・消火ホースの配備(位置的分散)	冷却設備の位置的分散
	対策14 事故後の最終ヒートシンクの強化		可搬型代替残留熱除去設備等の設置
	対策15 隔離弁・SRVの動作確実性の向上		弁駆動のための可搬型コンプレッサー等の配備
	対策16 代替注水機能の強化	消防車・ポンプ車・消火ホースの配備、水源の確保(代替注水機能の強化)	水源の多様化(タンク、貯水池、ダム等)、吐出圧力の高いポンプや建屋外の注水口を整備
	対策17 使用済燃料プールの冷却・給水機能の信頼性向上	消防車・ポンプ車・消火ホースの配備、水源の確保(使用済燃料プールへの給水)	燃料貯蔵の分散化、空冷設備の設置、乾式貯蔵の採用
④格納容器破損・水素爆発対策	対策18 格納容器の除熱機能の多様化		交流電源に頼らないPCVスプレイの設置
	対策19 格納容器トップヘッドフランジの過温破損防止対策		格納容器トップフランジ冷却の検討
	対策20 低圧代替注入への確実な移行	緊急時対応計画の策定(低圧注水への移行手順)	完全電源喪失等を想定したマニュアルの整備
	対策21 ベントの確実性・操作性の向上	空気駆動ベント弁用の窒素ボンベ等の配備、緊急時対応計画の策定(ベント操作)	ベント弁操作のためのコンプレッサー等の配備
	対策22 ベントによる外部環境への影響の低減		フィルタ効果のあるベント設備の設置
	対策23 ベント配管の独立性確保		ベント配管の非常用ガス処理系からの独立、号機間共用禁止
	対策24 水素爆発の防止(濃度管理及び適切な放出)		水素再結合装置、水素濃度検出装置の設置
	対策25 事故時の指揮所の確保・整備		放射性物質の流入防止、カメラ等による建屋等の監視機能の整備
⑤管理・計装設備対策	対策26 事故時の通信機能確保	電源車の配備(通信機器等への給電)	テレビ会議システム等の設置
	対策27 事故時における計装設備の信頼性確保		計装設備専用の蓄電池、予備計測器の配備
	対策28 プラント状態の監視機能の強化	電源車の配備(プラント状態監視設備への給電)	PCV内をカメラで監視、ロボットの活用等
	対策29 事故時モニタリング機能の強化		モニタリング監視設備への非常用電源供給
	対策30 非常事態への対応体制の構築・訓練の実施	緊急時対応計画の策定、緊急時対応機器等の点検及び訓練の実施	ガレキ搬去用重機の配備、

(東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の技術的知見に関する意見聴取会)⁴

技術的知見から得られる30の対策（短期対策及び中長期対策）

技術的知見(30の対策)		緊急安全対策 (短期対策;実施済み)	安全性・信頼性向上対策の例 (中長期対策)
①外部電源対策	対策1 外部電源系統の信頼性向上		異なるルート(送電線及び変電所)からの給電
	対策2 変電所設備の耐震性向上		断路器の耐震性の向上(高強度のがいしへの取替等)
	対策3 開閉所設備の耐震性向上		耐震性のあるガス絶縁開閉装置等への更新
	対策4 外部電源設備の迅速な復旧		外部電源に係る事故対応マニュアルの整備等、事故点標定装置の導入
②所内電気設備対策	対策5 所内電気設備の位置的な分散	電源車の配備(高台等)	電源の建屋内の配置(海側/陸側、高所/低所)
	対策6 浸水対策の強化	建屋への浸水対策	部屋単位の水密化、浸水時に備えた排水機能の用意
	対策7 非常用交流電源の多重性と多様性の強化	電源車の配備(多重性と多様性の強化)	空冷非常用発電機の配備等による冷却方式の多様化
	対策8 非常用直流電源の強化	蓄電池への枯渇前の充電	蓄電池容量の強化
	対策9 個別専用電源の設置		計装に必要な電源を別途配備
	対策10 外部からの給電の容易化	電源車等に接続する給電用ケーブルの配備	給電口を規格化・2ヶ所分散、被水対策の実施
	対策11 電気設備関係予備品の備蓄		電気関係予備品の備蓄、保守・訓練の実施

<意見聴取会まとめ資料から外部電源・所内電気設備の対策(抜粋)>

電源確保の妥当性

福島第一原子力発電所事故を教訓に、多段(多層)・多重・多様な電氣的設備対策、緊急用発電設備の整備、外部電源・所内電気設備それぞれの機能分担と相互協調などを要求しており、電源供給トータルシステムとして、

- ① 電源の設備強化と相互融通により信頼度を大幅に向上させた外部電源により供給
- ② その上で、外部電源が喪失した場合でも、多重化・多様化した所内電気設備による供給の継続
- ③ さらに、所内電気設備のバックアップとして非常用電源車などによる供給の切替え

が可能であり、妥当かつ合理的な安全対策である。

推奨事項

1. 外部電源

- ① 架空線と地中線の混在供給方式の個別採用
- ② 降雪地域では相間スペーサ・ギャロッピング防止装置の設置
- ③ 電力用機器の基準地震動 S_s に基づく評価

2. 緊急用発電設備

- ① ガスタービン発電設備の採用
- ② ケーブル等接続設備(標準備品)の保管
- ③ 非常用発電設備・キュービクル内機器の免震・制振構造化の検討

3. 非常用直流電源設備

- ① 蓄電池の種類・特性・寿命・容量などの検討
- ② 直流電源の連係強化、充電器車・蓄電池車の創意工夫

4. 建屋

- ① 電源盤・配電盤などの適正な分散配置と機能連携の強化
- ② 建屋入口・開口部は山側設置などの設計配慮

外部電源と所内電気設備の協調による電源供給の一層の信頼度向上

19