福島第一の教訓のPWR型プラントへの適用性について

分類	原因	発生事象／問題点	対策／教訓	PWRでも適用可？	コメント
地震・津波①	・ 地震 ・ 外部電源の喪失 ・ 通信機能の障害 ・ 地震、津波による道路、インフラの液状化、ガレキ沼濘	・ 設計通りの炉心の自動停止（スクラム）。外部電源喪失によるDG自動起動のリカバリー操作を実施。運転員は設計どおりの対応操作を実施。	・ 地震に対する原子炉の動作は設計通り	○	
	・ 同上	・ 地震による原子炉自動停止後、外部電源喪失まで至っていないプラントでもDGが誤起動（発電機界磁喪失で起動？）。誤起動ではあったが、DGは、非常用の重要電源であり、起動の必要性いついて検討要。	・ 誤動作の原因究明が必要 ・ 地震スクラム時のDG自動起動インターロックに変更	○ ×	外部電源があれば、DGの起動は不要 回転しながらの地震による故障リスクを懸念
	・ 同上	・ 地震による大きな設備被害は発生していない。詳細な地震被害調査には時間を要するため、柏崎の教訓が生かされていたかについて、チェックが必要。	・ 柏崎刈羽原発の中越沖地震時の教訓の確認	○	
	・ 同上	・ 地震により通信不能・困難な事態が発生。現場の状況把握、判断、指示命令、情報共有等に大きな支障をきたした。従来の非常時の衛星携帯の準備、消防署、地元自治体とのホットライン確保等が、有効機能したのか検証が必要。	・ 地震等災害発生時の通信手段の確保と強化	○	
	・ 同上	・ 地震による液状化と津波によるガレキ散乱により、道路や設備へのアクセスが不良となり、復旧作業が難航し対応遅延に繋がった。	・ 基幹道路の液状化防止の強化、複数アクセスの確保	○	
	・ 同上	・ 福島第一、女川では一部の周期で基準地震動を超えたが、ほぼ同程度の大きさであった。設計地震動は妥当なものであることが確認された。	・ 設計地震動は妥当	○	
	・ 同上	・ 今回の地震は平日・昼間の発生だが、休日夜間の対応であった場合、従業員の非常事態における発電所到着が対策マニュアル通り可能だったのか検証が必要。	・ 休日・夜間の地震等を想定した現場集合、対応フローの実施検証。	○	
地震・津波②	・ 津波の設計値が低い	・ 今回、土木学会による平成14年度評価時の津波高さ（福島第一＝5．7m、第二＝5．2m）よりも高い津波（1F:13m、2F:9m）が襲来し、プラントの安全確保に甚大な被害を及ぼした。また、7年間、津波の設定値の適正度がシビアに見直されたのか不明。	・ 学会評価だけで良いか？ ・ 自主的・定期的に津波評価する仕組みの検討要	○ ○	
	・ 津波による海水系ポンプへの浸水	・ 女川原発、東海第二原発への津波は、土木学会（平成14年度評価）とほぼ同等高であったにも関わらず、シール性が未完全な箇所から海水が浸入し、非常用海水系ポンプが動作不能となり非常用DGが停止。	・ 海水ポンプの津波対策（耐圧水密性の強化）	○	
	・「高さ」を主眼とする津波危険度の評価体系	・ 津波襲来により発電所の構築物・設備が破壊され、あとには瓦礫が散乱し、復旧の妨げとなった。津波対策の検討においては、高さの議論だけではなく、津波の持つエネルギーの大きさも考慮し、評価・検討すべき。	・ 津波のエネルギー等のリスク評価体系の見直し	○	
	・ 津波による重油タンクの漂流	・ 津波により、福島第一、女川原発では重油タンクが流されて道路を遮断し、復旧作業への影響や海洋放出も発生。	・ 重油タンクの固定等	○	
	・ 津波によるガレキの散乱	・ 津波の影響により瓦礫が散乱し、人や物資の移動・運搬に大きな支障をきたした。プラントの迅速な安全確保のためにも対策が必要。	・ ガレキ撤去用重機配備と運転者の確保	○	
	・ 海水冷却系ポンプ等の津波耐性が脆弱	・ 福島第一、第二では、津波想定高さより高い箇所に設備を設置していたが、海水系ポンプなどは津波高さに対する裕度がなく、多くの機能喪失に至った。	・ 可搬式の電源、可搬式海水冷却系ポンプの常備	○	海水ポンプの代替として、大容量ポンプを配備済（12月）、現在訓練中
地震・津波③	・ 津波によるタービン建屋への海水の大量浸水	・ タービン建屋及び原子炉建屋付属棟には、津波により海水が大量浸入し、地階、1階の設備が使用不能となり、非常用ディーゼル発電機、直流電源盤及び交流電源盤の浸水等により、プラント冷却機能に甚大な影響を及ぼした。	・ ディーゼル発電機、直流電源盤、交流電源盤等の設置箇所の見直し、移動式電源車の常時確保	○	水密化対策の代替案
	・ タービン建屋の物資搬入口が開放のまま津波襲来	・ 定期検査中のタービン建屋の大物搬入口は、資材運搬の為に常時開け閉めを実施している。地震発生時も作業の為に同入口は開放しており、タービン建屋へ海水が大量流入する原因になった。その結果、直流電源の喪失等を引き起こした。	・ 大物搬入口等の水密性の弱い部分の開閉運用の見直し。災害発生時の手順の定義。訓練の実施	○	
	・ 津波による免震重要棟の非常用電源の喪失	・ 福島第二の緊急時対策室は、津波により非常用電源設備が機能喪失した。緊急時対策室のインフラ活用に制限がでると共に、プラント復旧の遅延に繋がる可能性があった。	・ 免震重要棟の津波耐性の強化、非常用電源の確保	○	高台の免震重要棟
	・ 海水系ポンプ用モータの津波による機能喪失	・ 福島第一では、津波襲来により、殆ど全ての海水系ポンプが機能喪失した。ポンプ自体の損傷は少なかったが、モータの絶縁不良による損傷が多発した。	・ サイト内でのモータ巻線洗浄機能・設備の設置、予備品の準備	○	
	・ 全プラント同時SBO発生におけるAM不備、訓練不備	・ 津波の襲来は、発電所全体を一瞬にして損傷させた。従来のAM対策は、発電所全体が一瞬にしてダメージを被ることを想定した設計がなされていない。また、発生確度が小さい事象をPSA手法を用いて対策検討していることから、必要な対策についての詰めが甘くなっていたのではないか。今回の教訓から、プラント全体が一瞬にダメージを受けても対応可能な様に、ハード・ソフトの準備に留まらず、全プラント同時訓練の実施も重要である。	・ 全プラント同時SBO発生に対するハード・ソフト強化、訓練強化	○	
電源喪失(福島第一)①	・ 津波の浸水による直流電源の浸水	津波により タービン建屋地階、1階に設置の交流・直流電源が喪失。電源保護の観点により設備の機密性、水密性、耐圧性を高めることが重要。	・ 電源設備の気密性、水密性、耐圧性の強化	○	
	・ 給気口からの浸水	非常用DGは給気口より海水流入し、機能喪失となった。	・ 給気口の浸水防止策の実施	○	
	・ 水没による直流電源の一瞬の喪失	直流電源は、高圧冷却機器の電源であり、かつ、中央制御室の計測器や照明を駆動している最重要電源である。福島第一では、直流バッテリー室がタービン地下にあった為、水没により一瞬にして全直流電源が使用不能となった。その結果、高圧冷却機器が使用不可となり、原子炉の減圧後、低圧での代替冷却を試みたが、炉心溶融・水素爆発が発生した（福島第一1号機）。	・ 代替直流電源の確保、多様性を持った確保が重要	○	直流主母線盤がタービン建屋中地下1階に設置されていた3号機では直流電源が喪失せず、コントロール建屋1階に設置されていた1，2，4号機で直流電源が喪失した
	・ 全外部電源の喪失	地震により、福島第一1～6号機は外部電源が喪失した。非常用電源の一部が残ったり、外部電源の喪失を免れたプラントは、燃料破損を起こすことなく冷温停止が出来ている。外部電源の確保が、燃料破損の防止に直結する。	・ 外部電源の耐震性の強化 ・ 外部電源ルートの多重化 ・ 外部電源の各プラントとの連携による多重化	○	
	・ 非常用電源の設置場所が津波より低い ・ 同電源の冷却機能が海水を必要とする水冷	福島第一では、6号機のみ非常用ディーゼル発電機（DG）が使用できた。その理由は、6号機のDG設置場所が、1－4号機よりも高い6号機北側（標高（OP）13m）であったことから、津波による浸水高さが0～1mであった。また、6号機の非常用DGは空冷式であり、海水系ポンプを冷却源としなかったことも一因である。	・ 非常用DGの設置場所の高台への見直し ・ 多様な種類の駆動・冷却方式の非常用電源の確保	○ ○	現行DGの移設は困難。代替電源（電源車、空冷式非常用発電装置、将来設置の第3電源）は高台に設置、空冷式を採用。
電源喪失(福島第一)②	・ AM想定の不備（SBO時の交流電源の復旧速度）	・ AM対策は、全交流電源喪失の場合、短期復旧を想定していた が、今回、数日間でも復旧できていない。復旧手順書上も数日間の対応を想定した手順にはなっていなかった。	・ 全交流電源の長期喪失を想定した手順への見直し	○	手順見直し済
	・ 交流・直流電源の同時喪失 ・ 全直流電源の水没による一瞬での喪失、交流直流電源からの充電不能	・ AM対策では、全交流電源喪失は復旧可能との想定から、交流電源喪失後と同時かつ一瞬での直流電源の全喪失も想定していない。無給電状態では、直流電源が8時間確保できるよう設計されていた。直流電源が生き残った福島第一3号機は、負荷の切り離しにより1日以上(1.5～3日間)も直流電源が維持されたが、その間に低圧系の操立が間に合わず、バッテリーの枯渇後は高圧系の冷却機能が喪失し、更には中央制御室にある計器監視も不能となった。 また、直流電源の予備としての非常用バッテリー等が建屋内または免震重要棟に備蓄されていた形跡も見受けられない。おそらく、こうした事態に備えた予備の直流バッテリー確保について、従前からAMに定義されていない推測される（＝常設の直流バッテリーが8時間持つ間に、交流電源を復旧し、そこから直流バッテリーへ充電するという対策以外は、対策が定義されていない様様。結果的にRCIC や HPCI 等の高圧系冷却設備が十分に機能しなかった事の一因となっている。	・ 代替交流電源の確保 ・ 代替直流電源の確保 ・ 速やかな設置手順の策定	○	代替交流電源の接続が、バッテリー枯渇前に完了することを訓練で確認。訓練結果を反映し作業時間短縮のための改善を実施。
	・ 第一5・6号機間の電源融通可、1－4号機への融通不可	・ 福島第一6号機の非常用DGが使用できたことから、同5号機への電源融通が可能となり、電源車の活用も含め第一5・6号機は冷温停止することが出来た。しかし、第一5，6号機から1～4号機へは電源融通ラインはなかった。	・ サイト内の電源融通経路の強化（電圧階級ごと）	○	予備変圧器2次側を通じて各プラント間での電源融通を検討。
	・ 電源車の不足、配車の遅延	・ 海水浸水後も、プラントによっては電源車等から接続すれば電源が使用可能な電源もあった。電源車による活用が効果的であった。	・ 電源車の増車、多様化、設置場所の見直し、接続箇所・手順の定義、訓練の強化	○	
	・ 直流電源喪失による中央制御室の暗闇化 ・ 同、パラメータ監視・制御機能の一瞬の喪失	・ 運転員にとって、パラメータの監視不能は一番の恐怖であり、絶望感に苛まれる。過酷状況下において訓練で培った知識・技能を冷静に駆使し、プラント冷温停止までの安定操作を担保するあるいは、計器や操作スイッチの監視機能と、その電源確保が不可欠となる。	・ 監視機能維持のためにも代替直流電源の多重化、多様化	○	
電源喪失の実態(1F、2F、東通、女川、東海第二)①	・ 地震、余震による外部電源の喪失	・ 外部電源：3月11日には、福島第一、東海第二、東通にて外部電源が喪失。また4月7日にも東通で外部電源が喪失している（いずれも非常用DGが自動起動）。深層防護の観点からも非常用DG起動に至らない送電設備とすることが重要。特に東通は、1ヶ月に2度の外部電源喪失が起きている。送電系統の脆弱さが目立った。いずれも地震による電源喪失であり、送電網の多重化、開閉所または変電所設備の耐震性の強化・強化が望まれる。	・ 送電網の多重化 ・ 開閉所、変電設備の耐震性の強化	○ ○	
	・ 非常用DG、海水冷却系ポンプの津波による浸水と冷却機能の機能喪失	・ 非常用DG電源： 津波による非常用DG設備の浸水、もしくは海水冷却系ポンプの浸水によって、起動していた非常用DGが一瞬にして突然停止する事象が福島第一、第二、女川、東海第二において発生している。	・ 非常用DG室への海水侵入ルートの特定・対策の実施 ・ 冷却ポンプの浸水防止、水密性強化 ・ 非常用DGの代替品の確保	○ ○ ○	
	・ 直流電源の一瞬の喪失、代替電源確保の想定・手順なし	・ 直流電源： 福島第一では、直流電源まで浸水により喪失している。直流電源の喪失は、作業環境を悪化させ、計器電源の喪失、高圧冷却系の制御不良等、致命的な事故に繋がった。直流電源は、必ず保護すべき最重要設備であることが再認識された。	・ 直流電源の設置場所の再考 ・ 浸水防護措置 ・ バッテリー大容量化 ・ 代替直流電源、直流電源車の確保、充電手段の確保	○ ○ ○ ○	
	・ 浸水によるM／C、P／C等の電源経路の喪失	・ 福島第一、第二では、直接浸水によるM／C、P／C等の電源経路の機能喪失、その他のプラントでは、部分電源喪失によるM／C，P／Cの停止が発生した。いずれも冷却、ベント機能等の重要な対応を難航させ、また遅延させるリスクを高めた。	・ 電源盤の高台設置検討 ・ 電源車、ケーブル、接続端子処理、接続ルートの事前準備 ・ 具体的手順の整備と訓練強化	○ ○ ○	
電源喪失の実態(1F、2F、東通、女川、東海第二)②	・ 電源車の台数不足 ・ 増車、到着の遅延 ・ 予備バッテリー、仮設用命、小型発電機等の不足	・ 電源車： 特に福島第一では、電源車の必要負荷の事前選定、十分な台数確保、迅速な到着等がなされていれば、事態はより好転した結果を導き出せた可能性があった。また、バッテリー、仮設照明、小型発電機等は現場対応を安定化させる上で重要。	・ 電源車（直流、交流、混載）等の多重化、増車、常設 ・ 電源喪失時の代替品一式の確保（バッテリー、照明、小型発電機、燃料、ケーブル等） ・ 前項の利用手順の策定と訓練	○ ○ ○	
	・ 過酷・劣悪環境下での電源・高圧冷却・減圧機能復旧の準備不足、または、AM対策の想定不足	・ 福島第一では、非常用DG、全交流電源、直流電源および非常用海水系ポンプ機能が浸水により一瞬にして喪失した。劣悪環境下での復旧作業が重なり、高圧系冷却機能の維持、低圧系冷却系への移行準備の確保が難航し、系統構成の失敗に至ったことが、プラントの大著爆発に繋がった主因の1つである。	・ 最悪の事態を想定した訓練強化（目標復旧時間の設定と訓練時間内達成と継続的な評価による反復訓練の継続）	○	
炉心冷却機能の喪失（福島第一）	・ 非常用DGの確保 ・ 電源融通機能 ・ 時宜を逸しない海水冷却機能の再構成	・ 福島第一6号機では、空冷式の非常用DGが浸水を免れた為、5・6号機間の電源融通を行い、RHR系ポンプに給電した。同時に、仮設の海水ポンプ、電源車を準備することによりRHR系ポンプの海水冷却系を再構成し、5・6号機の冷温停止を実現した。今回の実績から、接続ルートについても常にマニュアル等に制定し、更に訓練を定期的に実施することで迅速な対応が可能となる。	・ 非常用DG、電源融通機能の重要性の再認識 ・ 同様の事態を想定した訓練の定期的実施	○ ○	
	・ 非常用DG（水冷式）の冷却機能（海水ポンプ、モータ等）の脆弱性	・ 福島第一では、津波により1～6号機の全海水ポンプが浸水のため停止し、海水冷却系（最終ヒートシンク）を喪失した。今回は非常用DGも浸水によって機能喪失したが、仮にそれが生き残っていても、冷却機能（海水ポンプ、モータ等）が喪失すると、非常用DGは機能しなくなる。そして非常用DGの停止は、ECCS系ポンプの起動不能へ連鎖する。	・ 海水冷却系の予備水中ポンプ、駆動電源、燃料等の確保 ・ 海水に頼らない空冷冷却ラインの準備 ・ 耐水性の強いモータの検討等	○ ○ ○	
	・ 海水系冷却機能の喪失	・ 福島第一1～3号機では、海水冷却系が機能喪失して除熱が出来なかったことから、冷温停止への移行ができなかった。	・ 同上	○	
他の発電所と比較して	・ 外部電源の確保 ・ 中央操作室の機能確保 ・ 高圧冷却系による復旧時間の確保 ・ 海水冷却機能の津源なき復旧、作動	・ 外部電源が確保できた発電所では、冷温停止に成功している － 福島第二は、外部電源1系統を確保した － 津波によってDG及び海水冷却系機能を喪失したが、外部電源確保により中央操作室の環境を維持、直流電源の確保によりRCICとSR弁を使用した高温冷却状態を維持した。	・ 外部電源の重要性の再認識 ・ 外部電源、直流電源維持状態でのAMの有効性の再確認	○ ○	
	・ 同上	・ 女川原発でも、2/3号機は1系統の外部電源を確保、海水冷却系確保が可能であったことから、通常の冷温停止を実施・成功した － 1号機は外部電源喪失し、DG起動。 － 海水冷却系の機能を維持していた事から冷温停止に成功 海水冷却系ポンプの機能維持と電源維持が出来れば、冷温停止の対応は可能である。	・ 同上 ・ 海水冷却系機能の重要性 ・ 同、損傷時の代替設備の確保 ・ 同、復旧作業の訓練の重要性	○ ○ ○ ○	
	・ 同上	・ 女川2号機、東海第二においては、一部海水冷却系ポンプが浸水し、非常用DGが停止状態となった。（女川2号機でDG2台、東海第二で1台が使用不能） － もし、同時に外部電源が喪失し、全DG機能が喪失したならば、福島第一1～3号機と同様の事態となった可能性は否定できない	・ 冷温停止に成功したプラントでも、手放しでは喜べない潜在リスクがあった事の再確認と対策・訓練が重要	○	
高圧冷却機能①	・ 直流電源の全喪失 ・ パラメータ把握不能 ・ 中央制御室の可令塔機能の不全	・ 1F1号機： パラメータの把握： 地震・津波直後に直流電源が喪失した為、計測機器が使えず炉心水位等の重要パラメータがほぼ全く把握できなかった。その結果、事態の進展に対する適切な状況把握、対処の判断が出来なかった。結果的に、高圧冷却系の対処を開始する入口段階でつまずいた。	・ 中央制御室の電源喪失対策 ・ 直流電源の浸水防止 （設置場所、水密性、バッテリーの耐水性強化） ・ 予備バッテリーの確保（バッテリー、直流盤原車）	○ ○ ○	
	・ 全交流・直流電源喪失 ・ IC弁開閉操作の不全	・ 1F1号機： 高圧系ICによる注水・減圧： 同じく全交流・直流電源が喪失した為、高圧系（IC）の弁開閉が殆ど操作できなかった。結果的に、高圧系冷却操作がほぼ全く実行出来ず、注水も減圧もできなかったと推察される。炉はいわゆる「水位減少、高温化、高圧化のままで空焚き」状態となり、津波から約3時間後に損傷が開始されたと推定される	・ 2時間以内 2 の交流・直流電源の復旧 ・ 弁開放を直・交流の両対応可に？ ・ 電源に頼らない弁開放の仕組み検討（手動／自動化）	○ － ○	TDAFWP運転に必要な弁は全て格納容器外であり手動操作可能
	・ 全交流・直流電源喪失 ・ HPCI弁開閉操作の不全	・ 1F1号機： 高圧系HPCIによる注水・減圧： 同じく全交流・直流電源の喪失により、HPCI系の弁開閉、注水もできなかった。	・ 同上	○	
	・ AMにおける多重防護の不完全性 ・ 減圧・低圧冷却準備の遅延	・ 1F1号機： パラメータ把握不能、高圧系不能による AMの機能不全： 全交流・直流電源喪失事象が同時発生した為、交流電源の確保（電源車）、直流電源の確保（乗用車バッテリー）、ベントラインのセットアップ（人間系）、低圧注水系のラインアップ（消防車、ホース、消化用水源）等の対応で、AM（＋アルファの現場の知恵）が規定する高圧系冷却から低圧系冷却への対応準備する時間を、殆ど全く確保できなかった。	・ 全交流・直流電源の同時・瞬時喪失を想定したAMの設計（含む、水没によるバッテリーの充電不能状態）	○	
	・ RCIC機能の作動	・ 1F2号機： RCICの効能： 1号機ではICの機能がほぼ喪失したため高圧での冷却維持ができなかったが、2号機ではRCICが起動し運転継続した為、11日の津波発生から15日の格納容器の損傷に繋がったと推定されるS／C圧力の指示値0KPa(abs)になるまでに3－4日間の時間的猶予が発生した。	・ 高圧冷却系機能維持の有効性・重要性の再認識 ・ 高圧系冷却機能維持できてる期間に低圧系冷却機能の準備する手順・訓練整備が重要	○ ○	
高圧冷却機能②	・ 福島第一1号機の水素爆発	・ 1F2号機： 水素爆発による度重なる注水ラインの中断・破壊による高圧系冷却の不備（12日）： RCICの電源枯渇（停止）に備え、炉への代替注水を行うべく、使用可能なP／Cに電源車を接続完了したが、3月12日の1号機の水素爆発によってケーブルと電源車が破損し、それまでの準備作業が一掃されてしまった。	・ 複数プラントが稼動している事のリスクの再確認 ・ 水素爆発の絶対的防止	○ ○	停止プラントでも問題が発生したので、複数立地のリスクでは？
	・ 同上（3号機）	・ 1F2号機： 同上（14日）： RCICの電源枯渇に伴う停止に備えて炉を冷却する為に、消防車とホースを使って海水注入ラインをセットアップしていたが、3月14日の3号機の水素爆発によって消防車とホースが破壊され、準備作業が一掃され、使用不能となった。	・ 同上	○	
	・ 余震の頻発	・ 1F2号機： 余震の影響： 前2項と並行した、度重なる余震が、注水ラインのセットアップ等の作業を中断し、適切な時間に完了できなかった。	・ 劣悪環境の重畳を想定したAM設計と訓練の必要性	○	
	・ AMの機能・想定不備	・ 1F2号機： AMの機能不備：以上の様な事象が作用した結果、2号機の高圧系冷却に関しては、津波後に生き残ったRCICの操作以外の有効打（代替注水）を講じることが	・ 同上（電源・冷却機能・海水系の瞬時喪失、余震の頻発等を含む）	○	
	・ 直流電源の維持・その間の代替電源の手配失敗	・ 1F3号機： 直流電源の重要性とRCICの効果： 地震・津波後も直流電源（Dc125V主母線盤 3A、3B）が生き残っており、その電源を利用して高圧系（RCICもしくはHPCI）が起動している。しかし、その後の追加電源の確保ができず、RCIC 起動から約35時間後に生き残った直流電源の容量が枯渇した時点で、HPCI も停止している。結果的に、減圧・水位回復は成功していない（その後バッテリー枯渇が確認されているため、停止原因も枯渇と推定）。	・ 直流電源、RCIC機能の重要性の再認識 ・ 追加電源確保の多重化、強化と訓練実施	○ ○	PWRでは、TDAFWPは直流電源なしでも動作可能
	・ 乗用車等からのバッテリーの活用・HPCIの作動	・ 1F3号機： HPCIの効果： バッテリー容量の枯渇によって12日11:36にRCICが停止後、同日12:35に高圧系HPCIが起動した。その後、一時は炉圧が7．53MPaから0．58MPaまで降下したものの、蓄源枯渇によって13日2:42にHPCIが停止し、炉圧が約7．4MPaまで再上昇している。（その後バッテリー枯渇が確認されているため、停止原因も枯	・ 同上	○	
高圧冷却機能③	・ AMの不備（直流電源の予備確保、予備電源の確保） ・ 同上（水没による直流電源の瞬時全喪失、充電不能状態への対策想定なし）	・ 1F3号機： AMの不備（直流電源の予備確保。また1F予備電源の確保： 1F3号機は、同1－4号機の中で唯一、直流電源が生き残ったプラントであるが、クロフロジーを見る限りでは直流電源の容量が枯渇するまでの間に、追加の予備電源の確保が出来ている形跡は見受けられない（その後のHPCIの停止後に社員乗用車のバッテリー等を使用）。また、直流電源の予備としての非常用バッテリー等が建屋内または免震重要棟に備蓄されていた形跡も見受けられない。おそらく、こうした事態に備えた予備の直流バッテリー確保について、従前からAMに定義されていない推測される（＝常設の直流バッテリーが8時間持つ間に、交流電源を復旧し、そこから直流バッテリーへ充電するという対策以外は、対策が定義されていない様様。結果的にRCIC や HPCI 等の高圧系冷却設備が十分に機能しなかった事の一因となっている。	・ 直流電源の予備確保、多重化（全バッテリが水没すると交流電源を予配しても充電できない）	○	PWRでは、TDAFWPは直流電源なしでも動作可能
	・ AMの不備（直流電源が多重防護になっていない？）	・ 1F3号機： AMの不備（多重防護）： 前項と関連し、AMの多重防護の観点からも、3号機の高圧系（RCIC/HPCI）の電源回復については、「直流バッテリーが機能している8時間の間に、交流電源を復旧させ、復旧させた交流電源からバッテリーへ充電する」という1種類の解決方法しか定義されていない様に見受けられる。多重防護の観点から、弱	・ 同上 ・ 直流電源の瞬時全喪失、水没による充電不能状態を同時想定したAM設計と訓練	○ ○	
	・ AMが想定しない環境下での復旧業務	・ 1F3号機： AMが機能せず（炉心スクラム＆交流電源の喪失）： 1Fの中で、3号機だけは「地震発生、交流電源の喪失、炉心スクラム、直流バッテリー確保（8時間）」という「AM想定内」の事象であると思われるが、その後、冷温停止には全く至っていない。炉心のスクラムからHPCI停止（13日2:42）までの約36時間弱の間は、直流電源と高圧系（RCIC、HPCI）で炉心の重大な損傷を阻止しているが、AMが想定する「その間に交流電源を復旧、炉心減圧と低圧系冷却への移行」に至っていない。	・ 同上	○	
ベント機能の実態(SR弁による減圧)①	・ 全交流・直流電源の喪失 ・ SR弁の機能喪失	・ 1F1号機： 直流電源喪失によるSRVの機能喪失： 地震・津波によって全交流・直流電源が喪失した為、高圧冷却系で活用するSRV（逃がし安全弁）が機能喪失した。1号機に関しては、SRVは何も実施できていない。このため、ICによる減圧を実施したが、劣悪環境も相まって、ICを設計どおりに機能できていない。SRVを操作して の原子炉の減圧を試みたが、バッテリー枯渇によりSRVが操作出来なかった。その後、社員の乗用車からバッテリーを取り外して集め、13日9:08にSRV開操作を行い、炉圧を急速減圧したものの、実施タイミングが遅延した（HPCI停止＝13日2:42、その約6時間半後）。その後、9:25に消防車（1F5・6号機用の1台、2Fから持ってきた1台）による代替注水を開	・ 直流電源の多重化（予備バッテリー、バッテリー車、交流電源車からの充電機能等） ・ 直流電源（バッテリー）の耐水性強化（保管場所、保管庫・バッテリー自体の耐水性） ・ 予備バッテリーの常設、設置時間の最速化 ・ その為の対応部員の増員と訓練・直流電源に頼らないSR弁の仕組み？	○ ○ ○ ○	PWRの主蒸気逃がし弁は手動開操作は可能であるが容量化のための改造計画中
	・ 同上	・ 1F2号機： 直流電源喪失によるSRVの機能喪失： 同上。（＝＞ P/C(2A、2B、2C、2D)は生きていたが、1号機同様に直流バッテリーがバッテリー室もろとも水没によって喪失した。従って、SRVが機能喪失した。）RCIC停止したことから、原子炉圧力を減圧して低圧系での注水を実施することし、予備バッテリーを活用してSRVの減圧操作を実施	・ 同上	○	
	・ 同上 ・ 予備バッテリーの手配遅延 ・ 消防車注水ライン構築の遅延？	・ 1F3号機： 予備バッテリー不足によるSRV実施の遅延： 直流電源が(3A、3B)が使用できたことから、マニュアルに従い、RCIC・HPCI のバッテリーを出来るだけ長く維持できるよう必要と負荷を切り離し活用していた。バッテリーは約35時間HPCIトリップするまで継続使用できた。HPCI停止後は消防車による注水をするため、SRVを操作しての原子炉の減圧を試みたが、バッテリー枯渇によりSRVが操作出来なかった。その後、社員の乗用車からバッテリーを取り外して集め、13日9:08にSRV開操作を行い、炉圧を急速減圧したものの、実施タイミングが遅延した（HPCI停止＝13日2:42、その約6時間半後）。その後、9:25に消防車（1F5・6号機用の1台、2Fから持ってきた1台）による代替注水を開	・ 同上 ・ 常設直流電源の強化（持続時間の延長） ・ 消防車等による代替注水ラインの構築時間の短縮	○ ○ ○	
ベント機能の実態(SR弁による減圧)②	・ 外部電源の確保 ・ 直流電源の確保 ・ RCICの機能健全 ・ 低圧冷却系のライン構築	・ 2F2号機： SR弁による圧力容器の減圧の成功事例： 2F2号機は津波によって非常用DGが水没し、最終ヒートシンクを喪失した。しかし、外部電源からの供給が可能であり、ほとんどの電源盤と直流電源も機能していた。その後、RCICによって原子炉水位を維持し、復水補給水系（MUWC）のラインナップの為の時間を稼いだ。MUWCの準備完了後、SRVの開閉を行い、想定通りに炉の減圧を行い、MUWCによる低圧系注水を実行し、冷温停止を達成している ＝＞ 外部電源、直流電源の重要性。	・ 以下の重要性、有効性の再確認 － 外部電源、直流電源 － 前項を前提としてのRCIC機能 － 同、低圧冷却機能	○	
	・ 電源確保の失敗 ・ それに伴う高圧冷却機能の不全 ・ SV弁による減圧の不全	・ 1F1～3号機： AMの限界（特に高圧系でのつまづきのリスク）： 1号機～3号機は高圧冷却系の機能が停止してから原子炉の減圧操作を実施しており、高圧冷却系の機能が維持されている状態での低圧系への切り替え準備が実施できなかった。過去に経験したことのない劣悪な環境下での作業もあいまって作業が遅れたものと考える。	・ 同上 ・ AMの見直し（今回分かった想定外事象の組込み） ・ 同（今回の様な事象が発生した場合、通常の冷温停止シークエンスを不能と判断する基準と低圧系準備開始の目標対応期間の設定等） ・ 同（前項の際に、その後の2次的な行動指針の設定（100点満点を目指さず、最悪事態を防ぐ。例、水素爆発防止、建屋ベント、海水系注入、ICによる最速・急速減圧など） ・ 定期的な訓練による対応能力の維持	○ ○ ○	
全体からの教訓①	・ 想定外事象、過酷事象の重層による対策行動の難航・遅延等	・ AM全体： 対策行動の難航、遅延、その重層： アクシデントマネージメントとして、低圧系の注水改造、マニュアル整備等を実施してきた。しかし、実際の現場対応では、劣悪な環境もあいまって電源復旧、低圧系注水に時間を要し、事象の収束できなかった。	・ より具体的な想定下でのAM訓練の継続・強化（今回の地震・津波現象、対策行動の目標時間設定、所要時間の確認、定期的訓練によるノウハウ蓄積等）	○	
	・ 前項を想定した日頃のAM対策行動の訓練不足	・ AM： 夜間・休日を想定した準備： 今回の対応では、地震や津波による瓦礫が散乱し、また夜間作業も多く、現場対応の難航・遅延が発生している。	・ 夜間・休日での電源喪失等を想定した現場訓練 ・ 夜間の視界下具を想定した弁や計器等の「見える化（蛍光塗料塗布等）」、標準化	○ ○	
	・ 水源や注水経路を複数の目的で共有する事のリスク	・ 水源、水経路： 複数目的で共有するリスク： 中越沖地震により柏崎刈羽原発3号機にて変圧器火災が発生し、消火設備の重要性が認識された。今回の女川原発1号機でも、M／C電源盤の火災が発生している。福島第一原発では、火の発生はなかったことから、低圧系の注水に消火ライン と水源を活用できた。しかし、もしも火災が発生していたならば、プラントへの注水と消火対応が重複していた可能性も否定できない。	・ 水源の棲み分けの検討 ・ 最重要水源の多重化(火災対応も考慮した水源確保)	○ ○	
	・ 同一立地に複数のプラントを保有・稼動する事のリスク ・ 複数プラントで過酷事象が同時発生した際の現場対応の難しさと対応力の不備	・ AM全体： 一箇所で複数プラントを稼動するリスク： 福島第一1～4号機の原子力災害対策本部では、ICによる高圧での冷却状態を確保出来なかった事から、1号機を優先して対応した。2・3号機については、RCICによる高圧冷却が出来たことから、優先順位を下げて対応している。当初判断としては正しかったが、その後の2・3号機における燃料損傷等のクロノロジーを見る限りでは、RCICの直流制御電源が枯渇する前に低圧冷却系の準備が出来ていれば、最悪の事態には至らなかったかもしれない。	・ 当時の現場体制の課題の整理 ・ 複数プラントで過酷事象が同時発生した事による問題点の整理 ・ 前2項のAMマニュアルへの反映と訓練	○ ○ ○	
全体からの教訓②	・ 第一2号機のラプチャ・ディスクの動作圧の設定が高い	・ 第一2号機： R/D作動圧高によるベント難航？： 格納容器サプレッション・チェンバー（S/C）からのベントは、第一1号機、3号機では成功した。しかし2号機ではベントできた。ドライウェルは最高使用圧力を超えていたにも関わらず、サプレッションチェンバー圧力がラプチャーディスク（R/D）作動圧に到達せず ベント出来なかった。その後、ドライウェルから圧力開放することとし、系統構成を完了したが、S/Cの損傷が発生し、やはりベント失敗している。	・ ラプチャ・ディスクの設定圧の再検討 ・ ラプチャ・ディスクの定期的な点検と交換	○ ×	
	・ 格納容器ベントと水素爆発の関係性 ・ 水素漏洩のメカニズムが不明	・ 第一1・3号機： 格納容器ベントと水素爆発の関係： 福島第一1号機及び3号機では、格納容器ベント成功後の1～2時間後に水素爆発が発生している。燃料溶融により炉内で発生した水素が、SR弁動作時のサプレッションプールへの蒸気放出時に格納容器へ充満し、その後、格納容器のベネトレーションやベント配管からの水素漏洩、または排気筒へのSGTS配管や換気系配管からの水素逆流等によって、原子炉建屋に水素が回り込み、可燃限界以上に蓄積した事で、水素爆発に至った可能性がある。本プロジェクトでは、格納容器ベントの実施が、こうした建屋内への水素蓄積を加速させ、爆発を促進した可能性について検討された。実際の因果関係や詳細は不明であるので、解明されるべき事項とする。	・ 建屋への水素漏洩経路の特定 ・ 水素漏洩の対策 ・ 炉心溶融後のベントのあり方の再検討（窒素封入、動作圧等） ・ 原子炉建屋への水素蓄積の防止策、換気策	○ ○ × ○	空冷式発電装置からの給電によるアニュラス空気浄化ファンに排気手順を確立 アニュラスへの水素蓄積防止策を上記のとおり実施。但し格納容器内の	
	・ 外部電源喪失の長期化 ・ 直流電源喪失の長期化	・ 全体： 外部電源、直流電源の喪失の長期化のリスク： 外部電源喪失、非常用DG喪失、海水冷却系設備喪失は福島第一、福島第二、女川、東海第二でも発生している。また、

対策のPWR型プラントへの適用性と対応度について

分類	対策（大項目）	対策（中項目）	PWRでも有効か？	実施済みまたは計画済み	コメント
電源の確保	外部交流電源の確保	● 開閉所の水密性、耐圧性の向上。	○	○	
		● 開閉所設置位置を高い位置とする。もしくは、津波が襲来しても設備保護できる防潮壁を設置する。	○	○	
		● 送電鉄塔、発電所開閉所の耐震性向上、を評価するとともに耐震性向上を設計指針にて要求する。	○	○	
		● 対変電所からの送電線の多重引き込み（最低2回線）を実施することにより外電喪失頻度を極端に低減。 また外部電源は各プラントと連携させる。	○	○	
	同（中長期）	● 変電所からの送電を架空線から地下ケーブル送電方式を採用する。	○	×	
		● 遠隔操作： 電源車から遠隔で原子炉へ電源供給する為の送電経路・ケーブル等の確保（または、無線供給できないか？）	○	×	
		● 変電所側の耐震性を向上させるとともに設計指針にて要求する。	○	×	
	非常用ディーゼル発電機の確保	● DG室給気口からの浸水防止策を実施する。	○	○	
		● DG室の水密性・耐圧性の向上。	○	○	
		● DG室間での電源間融通が可能となるよう制御・電源ケーブルを配備しておく。	○	△	追加した空冷式非常用発電機、今後設置の恒設GTは、A/B系統のどちらでも接続可能
	同（中長期）	● DG関連一式の設置場所の高所設置（DG、電源盤等の一式）	○	○	第3電源に合わせて実施予定
		● DG電気融通機能の強化： 全てのDGを、全ての原子炉に共有できる多重化を計る （5・6号機は融通できたが、1－4号機には融通できなかった）	○	○	大飯発電所以外は予備変圧器2次側を通じて全プラント間で電源融通可能（手順整備要）。大飯発電所については今後接続工事実施予定。
		● 多少の水没では機能喪失しない設計とする	○	×	
		● 定期検査中はDGが点検している可能性が高いため、停止中の脆弱性を払拭する必要あり。DG1台を追加する。 増設にあたっては、空冷式DG・ガスタービン等を高台に増設する。空冷式の場合、海水ポンプ、海水循環系が不要。 なお、冷却水に上る冷却系は津波被害を避けるため高台設置とする。	○	○	
		● 津波による影響がでないよう重油・軽油タンクを高所に配置する	○	△	大型タンクのすべり、流出防止策は検討済み
	同（中長期。緩和策）	● 地震スクラム時のDG自動起動インターロックへの変更	×	×	運転中DGは停止中より弱い（軸受けへの影響）ので 外電喪失しない状態での自動起動は推奨しない。
	直流電源の確保	● 津波による浸水が発生しないように部屋の中に移設するとともにその部屋の耐圧・水密性を確保する	○	○	
		● 直流電源が被災し使用できなくなった場合のための移動式バッテリー車（直流125V、24V、250V） およびケーブルの配備を実施する。	○	△	計器盤への電源供給は直流電源盤を介するラインと、交流電源から直接給電するラインあり。TDAFWPは仮に直流電源が使用不能でも、手動現場操作で運転可能。（直流は125
	同（中長期）	● 直流電源の設置位置を高い位置に移設する	○	△	バッテリを免震重要棟に別置きするか、高台の第3GTの起動用バッテリを充実することで計画。移設は検討していない。
		● 直流電源の容量アップ（8時間から24時間以上の長時間対応）	○	△ ×	必要な負荷に限定して、バッテリを長期化することや、常用バッテリを繋ぎ込むことで長期化を図るが、24hは難しい。 空冷式非常用発電機からの充電による回復。
	交流電源の確保	● 交流電源設備の水密性・耐圧性の向上する	○	○	
		● 電源車の強化 ・ 常設、増台（必要負荷容量から必要電源車台数を確保）、設置場所（例、高台）の見直し ・ 電源車の種類を増やす： 直流、交流、直・交流混載、発電機付き、DG搭載など	○	△	空冷式非常用発電装置（各プラント2台）の他に、バックアップとして電源車を発電所に2台配備。供給先はメタクラ(6.6kV)であり、多様な電圧の電源車やP/C接続は未検討（電圧を下げるとケーブルを太くする必要あり。）
		● 電源車から電源盤の接続箇所の複数設置と耐水性の確保	○	○	
		● 電源車以外の予備電源の増設	○	○	
		● 交流電源の早期復旧のため、電源ケーブルの配備、端末処理が迅速に出来るための治工具最適配備	○	○	空冷式非常用発電機からの接続盤、ケーブル敷設済み
	同（中長期）	● 交流電源の融通（全号機ともM／C間、P／C間での融通可能となるよう接続）	○	△	予備変圧器の2次側を各サイト全プラントに接続済み（O-3,4計画済み） M/C間接続であり P/C間の接続はない。
		● 電源車・予備電源等の津波・地震が去ったあとの空輸移動の積極活用（原子炉建屋屋上・周辺にヘリパッドを設置）	○	○	ヘリポートを構内外に設置
		● 交流電源の設置位置を高い位置に移動する	○	○	空冷式非常用発電機の高台設置済み
制御室機能の確保	制御室機能の確保	● 運転員の居住性・監視性確保 ・ 緊急時における放射線の影響を受けないようにするために、中央制御室の遮蔽効果を向上させる。	△	×	福島では、中央制御室扉から換気ダクトホース等を引き込んだため室内に放射性物質が流入し運転員が被ばくしたものと推定。 遮へい効果の向上については、扉の閉止による気密維持と考えるならばPWRでも適用可。但し、一般的には「遮へい効果の向上」という用語は天井、壁等のコンクリート厚さの増加による中央制御室外部の放射性物質からの線
	同（中長期）	・ 中央制御室の換気空調系の維持を確実にするために中央制御室用のガスタービン等の非常用電源設備を配備する。	○	○	空冷式非常用発電装置から中央制御室空調ファンに給電し、放射性物質をフィルタで除去する手順を整備済み。
	同（緩和策）	・ 計器類が監視不能となった場合でも対応可能となるようバッテリーを予備として準備する。	○	△	常用バッテリの接続工事を検討。可搬式バッテリは今後検討
		・ 防護服、防護マスク、線量計等については、対応操作が何日間も継続したことから適正な日数分は保管しておくこと。	○	○	
	同（緩和策。中長期）	・ 電源喪失により原子炉水位や原子炉圧力等のパラメータ監視が不明となった。原子炉水位、圧力、温度等について、監視不能となった場合には、携帯用計器や代替計測が可能となるよう開発が必要。	○	○	国のプロジェクト「過酷事故用計装システムに関する研究（フェーズⅠ）」を実施予定
高圧冷却系の確保	高圧冷却系の確保	● HPCI、RCICは原子炉建屋最地下階に設置されている。今回の津波では電源系の影響により使用不能となったが、 ポンプやモータの健全性確保のためにも部屋の機密性、耐圧性を維持できることが必要。	○	○	T／D－AFWPやM／D－AFWPに相当する。 浸水対策を実施しており、将来は水密扉に取替
		● 高圧での原子炉への注水手段としては、SLC系、CRD系、CUW系でも可能であることから、この系統の電源確保も 重要である。これらの電源確保のための仮設電源容量も考慮する必要がある。	○	○	SG給水手段としてTD-AFWPのバックアップとして、MD-AFWP（2台）への空冷式非常用発電機からの電源供給が可能。また、検討中の中高圧ポンプの電源供給も可能である。
	同（緩和策）	● 夜間においては、高圧系冷却系の復旧遅れにつながりプラントの状態を悪化させ、低圧系冷却実施の準備の遅れにも 繋がることになった。少しでも、対応操作に遅れが生じないよう、操作すべき弁、機器には蛍光塗料の塗布により現場での 操作や発見がし易いようにしておくことも効果的である。また、仮設ケーブルにも蛍光塗料を塗布しておくことにより、 設置場所を明確にできる。	○	△	中央制御室ではないが、直流電源盤内のNFBに蛍光塗料を塗布して、バッテリの負荷切り離しがSBO時に容易に実施できるようにしている。
	同（緩和策。中長期）	● 高圧冷却系の運転状態の確認の際、現場に近づけなかった場合には時間を要し、判断遅れにも繋がる。現場状態を 監視する手段を冗長化しておくことが有効と考えるため、電源の確保を前提に、遠隔でのポンプ・計器・弁開度等の 状態確認が取れるようITV（可視）、音響モニター、振動検出器等の設置を実施する。	○	△	火災早期通報への対応で高性能カメラを設置（50台程度）して、中央制御室、事故対策室から遠隔操作できるように配備した。 計器確認についても一部は可能。 なお運転員のアクセスが容易でない格納容器内には当初よりITVを設置済み。
ベント機能の確保	格納容器ベント機能の確保（緩和策）	● 電源喪失時でもベントライン構成が迅速に出来るよう仮設電源、駆動用ボンベ等の準備が直ぐに出来るよう 事前に準備しておくことが有効。	○	○	（ベント機能を格納容器外への熱除去機能と考え、PWRでは主蒸気逃がし弁による蒸気放出と読み替えて記載する。） PWRでは、主蒸気逃し弁は空気喪失状態で動作可能であるが、操作性向上のために 今後駆動用ｺﾝﾌﾟﾚｯｻｰ等の対応を実施する。
		● 2号機の格納容器ベント失敗事象に鑑み、ベント開始圧力値の再検討（ラプチャーディスク作動圧力値の再検討）が必要			主蒸気逃がし弁は弁開閉方式であり、手動での開放も可能。
	同（緩和策。中長期）	● メルトダウン時の炉内挙動の状況把握のため中性子モニタを格納容器内に配備する。	○	×	国のプロジェクト「過酷事故用計装システムに関する研究（フェーズⅠ）」を実施予定
		● 駆動用供給空気圧力やベントラインの信頼性確保のため、多重化や、安全系への格上げによる信頼性の確保について再検討する	○	○	主蒸気逃し弁の空気系は安全系として多重化しているが、さらに代替手段を実施中
		● ベントのライン構成に時間を要していることから、手動での開操作を簡単に実施できる場所への弁設置場所の変更を検討する。	○	○	主蒸気逃し弁はアクセスが容易
		● 2号機でラプチャーディスクが動作しなかたことに鑑み、弁開閉方式によるベントの採用検討する。			主蒸気逃がし弁は弁開閉方式であり、手動での開放も可能。
	SR弁操作による減圧（緩和策）	● 直流電源の喪失によりSR弁による減圧操作が不能となった。中央操作室にバッテリーを持ち込んでの操作となったことからバッテリーを準備しておくことが有効。	○	△	PWRでは、主蒸気逃し弁はバッテリ電源喪失状態で動作可能 可搬式バッテリは未準備
	同（緩和策。中長期）	● 直流電源だけに頼らないSR弁の仕組み検討	○	○	PWRでは、主蒸気逃し弁はバッテリ電源喪失状態で動作可能
		● 原子炉の減圧機能が複数手段すうことの検討	○	○	主蒸気逃し弁は各蒸気発生器毎に設置され、大飯3号機の場合は4台設置されている。 SG冷却用のポンプはTD（1）MD(2) 中高圧ポンプ（1：計画中） 消防ポンプ
低圧冷却系の確	低圧冷却系機能の確保	● 低圧状態で使用する非常用炉心冷却系ポンプは津波で浸水しないよう、水密性・耐圧性を確保することもしくは高所設置が必要。	○	○	
		● 消防車の選定にあたっては、給水源、注水範囲及び注水能力を考慮した適切な消防車台数や必要ホース本数を確保し、 高台への配備とすることが必要。	○	○	
		● 消防車からの注水接続箇所の複数設置	○	○	
		● ディーゼル駆動消火ポンプの故障原因の究明とその対策の反映。	○		
	同（中長期）	● 水源の強化：冗長性をもたせ、貯水槽、ダム、貯水池・湖・河川、海などからの複数個所からの給水を可能とすることが必要。 また、その給水手段と確保できる容量が十分であるかの検討も必 要。冷却水として使用する場合には以下のことも考慮すること。 ・ ほう酸の注入ができること。 ・ 建屋内汚染水なども循環冷却用に使える構造にすること。 ・ 冷却ルートも複数用意されていること。	○	△	高台の耐震タンクを検討中 SGへの注入口 （主給水 4箇所、補助給水4箇所）
	同（緩和策）	● 給水経路の強化： 消防車以外での給水手段の確保（例：空輸、海洋輸送）	○	○	中高圧ポンプ 高台耐震タンク（復水タンクへの重力注入）
		● 使用済み燃料プールの状態が監視できなかったことから、電源確保を前提に、温度・水位監視計器を設置するとともに、 測定不能となった場合を想定し、携帯式の非接触温度計や水位計を順位しておくことが必要。	○	○	監視カメラ、水位計スケール
		● 使用済み燃料プールの冷却システムの多重化による信頼性確保	○	○	大容量ポンプによるCCW冷却の回復とSFPポンプ、クーラの回復によるSFP冷却
	同（緩和策。中長期）	● 火災時の対応も考慮し、低圧注水専用の水源確保も必要。	○	○	
最終HSの確保	海水冷却系機能等の確保	● 津波により海水冷却系ポンプが使用不可能となった場合のために可搬式の水中ポンプ及び仮設電源を準備しておくことが必要。	○	○	大容量ポンプ（12月配備）
		● 海水建屋にあった海水冷却ポンプが浸水により、機能喪失となった。建屋の水密性、耐圧性を向上させるとともに、 大津波注意報発生後の扉の開操作運用の徹底等を実施することも重要。	○	○	
	同（中長期）	● 非常用電源増設やリプレイス時には海水冷却に頼らない空冷式の冷却ラインを予備系統として確保する。	○	○	PWRは蒸気発生器を介した海水冷却に頼らない最終ヒートシンクを有している。今後、さらにエアフィンクーラの適用性を検討
		● ウエットウエルベントによるフィード・アンド・ブリードの実施（冷温停止移行までのヒートシンク確保）	－	－	PWRは蒸気発生器を介した冷却で低温停止まで移行する手段を整備済み
		● 全交流電源喪失時の格納容器外への熱放出手段の多様化	○	○	蒸気発生器を介した熱放出手段に加え、空冷式非常用発電機を用いて余熱除去系、原子炉補機冷却水系を起動し、大容量ポンプを用いて海水に熱を放出する手段を計画済。
		● 防波堤、防潮壁の設置	○	○	
		● 代替炉心冷却系（水源、電源、注水系統等）を有すること	○	○	電源は空冷式非常用発電機からメタクラ接続する。水源は大容量ポンプを既設海水配管
	同（緩和策）	● サイト内にモータ巻線洗浄設備の設置、予備品準備	○	○	海水ポンプの予備ﾓｰﾀを予備品化
	同（緩和策。中長期）	● 津波により海水系の冷却ポンプモータが使用不可能となったことから、密閉型モータの採用（耐圧・水密性の強化）に ついても検討が必要。	○	○	海水ポンプの予備ﾓｰﾀを予備品化
水素爆発・	水素爆発の防止	● 水素充満状態となる前に、原子炉建屋の水素ベント装置を設置する（リモート駆動＋手動駆動＋放射性物質の吸着フィルター機能 をもたせたベント方式の設置）	↓	↓	PWRでは格納容器貫通部からの水素漏えいに備え、代替電源からアニュラスファンに給電し排気する手順を整備
		● 万一水素が大量発生し、格納容器外へ漏えいした場合にも水素充満状態となる前に、アニュラスからの水素排出手段を 整備する。（PWR）（放射性物質の吸着フィルター機能をもたせた排出手段の整備）	○	○	
放射能漏洩防止		● 格納容器の気密性の機能強化： DWフランジ、電気ペネトレーション、ハッチ等のシール部の部材見直し、 高温・ 高圧への耐性強化。	△	—	格納容器ペネ部のシール損傷は、溶融炉心による輻射熱と推定。PWRでは格納容器が大きいことから影響は小さいと推定。また、対策は現実的には困難。
		● 万一水素が大量発生した場合の、建屋閉鎖空間での滞留防止 ・ 水素検出器の閉鎖空間への設置（独自電源またはRFで信号発信） ・ ベントを実施した場合には、格納容器内に窒素封入する等発生防止の確実な実施をする。	○	○	
	同（中長期）	● 原子炉、格納容器、建物の上部／天井の形状を蓄積しにくい形状へ（例、天井を斜めにして、気体が抜けられる様にする）	×	×	PWRでは格納容器貫通部からの水素漏えいに備え、代替電源からアニュラスファンに給電し排気する手順を整備
		● PWRでは格納容器の容積が大きく、万一水素が大量に発生したとしても格納容器内での水素濃度がBWRに比べ低く、 水素爆発の危険性は小さいが、長期的に水素濃度を低減させる観点から格納容器内に静的触媒式水素再結合装置などの水素低減設備を設置する	○	○	
		● 圧力容器をデブリが貫通した場合には、ペデスタルにおけるデブリーコンクリート反応に至ることも想定し、コンクリート補強やデブリキャッチャー等の設置を検討する。	○	△	コアキャッチャは実施していないが、原子炉容器キャビテイ部に注水穴（AM対策）を設置済み。
	同（緩和策）	● ラプチャーディスク誤不動作防止のため、定期的な点検・交換を検討する。	－	－	PWRには格納容器ベント、ラプチャーデイスクはない
		● 福島第一での事故対応に際し、1号機では放射性物質の放出についての懸念は検討していたが、水素爆発についての 想定はされていなかった。水素発生時の対応についてマニュアルに反映するとともに確実な対応が可能 となるよう訓練の実施が必要。	○	○	PWRでは格納容器貫通部からの水素漏えいに備え、代替電源からアニュラスファンに給電し排気する手順を整備、訓練を実施
	放射能漏えい防止（中長期）	● 水素爆発により放射性物質の拡散をまねいたことから、ウエットウエルベントの有効性を評価するとともに ベントフィルターの設置検討を実施する。	－	－	PWRでは、全交流電源喪失時にも蒸気発生器を介して崩壊熱を大気中に放出できるため格納容器の内圧上昇はほとんどない。
災害対策マニュアル・ インフラ等	災害対策マニュアルの整備	● AMの再設計： 常設する水源・電源で何時間もたせるか？それまでに、いかに外部からの応援体制を完了する か？等の 確実な実施のために	○	○	
		・「現場にある水源・電源で、最悪でも何時間もたせるか？」について明確に数値設定し、その運用のマニュアルを設計	○	○	
		・ 同時に、前項の時間内で、追加の電源・水源・資材等の供給、現場での設置完了等を、必ず実施する為の 体制整備と運用マニュアルの設計。	○	○	
		・ 定期的な訓練の実施：準備段階までを訓練と称して実施し終了させないよう、ケーブル端末処理などの必要な 作業も実施することが必要であり、その仕組みも反映させる。	○	○	
		● 電源復旧手順の見直し：短期間での電源復旧を想定したものから、数日間の対応を想定した手順書に整備する	○	○	
		● 地震、津波は発電所全号機に襲い掛かることから、訓練も全号機同時訓練や夜間・休日訓練の実施が必要。	○	○	
	組織の見直し、地震・津波評価手法（中長期）	● 複数プラント同時事故を想定した原子力災害体制の見直し	○	○	
		● 津波エネルギーの大きさによるリスク評価の導入	○	○	
		● 定期的に津波・地震評価を実施する仕組み検討	○	○	
	インフラの強化	● 夜間・休日も含め地震後の発電所への運転員の集合、緊急時対 策室要員確保など（必ずX時間以内に来れる手配）	○	○	
		● 運転員や事故復旧班の作業者との緊急時対策室や中央制御室との通信手段が切断され、タイムリーな報告が不可能で あった。対応遅れにも繋がることから、情報手段の確保、適切な必要数配備が重要である。	○	○	
		● 緊急時対策室の環境改善として、仮眠スペース、寝具の準備を実施する。	○	○	
		● 免震重要棟の津波耐性の向上（非常用電源の確保）	○	○	
		● 地震後・津波発生後のプラント間のアクセス性向上のため	○	○	
		・ 瓦礫除去用重機の適切台数配備と運転者の確保	○	○	
		・ 重油タンクの固定	○	○	
	同（中長期）	● 基幹道路の補強（液状化対策含む）	○	○	構内道路の路盤強化対策を実施済み
		● 地震・津波に強い移動経路の確保（地割れ・流動化しない、マンホールの無い等の移動通路・経路の建設。	○	×	海、空の輸送手段を充実
		● 発電所までのアクセス道路・橋梁補強の実施	○	○	橋の強度補強
		● 作業者の安全確保：「遠隔」で、「少人数」で対応可能操作とすることの検討。（例、ホースの長距離事前配備化、 クレーン車の様にホース運転席からリモート操作化等）	○	○	体制の充実、省力化、容易な接続方法の工夫を実施

許可なき複製・無断転用を禁じます。Copyrights Team H2O Project all rights reserved