「福島第一原子力発電所事故から何を学ぶか」

最終報告

ー Team H2Oプロジェクト ー

2011/12/21

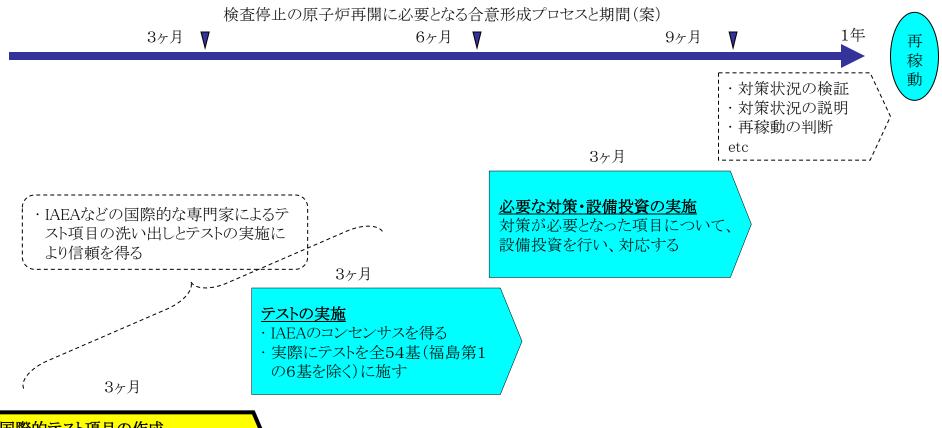
背景

ー 本プロジェクトについて ー

本プロジェクトの目的

- ① 東日本大震災と津波、その後の福島第一・第二・女川・東海第二原子 力発電所等において発生した事実を丹念に洗い出し、今後、我々が共 有すべき事実・課題・教訓を抽出する。
- ② 前項に基き、今後の原子力発電所の再稼動の可否判断に必要となる 科学的・技術的・論理的な枠組みを提供する
- ③ これらは、IAEA等の国際的に中立であり、国際的信用に足る機関からのコンセンサスを得られる内容とする

原発再稼動の判断には、国際的信頼に足る安全性評価テスト等の科学的・論理的な手順が重 要である => その第一歩として、本プロジェクトは以下の第一フェーズをカバーする



国際的テスト項目の作成

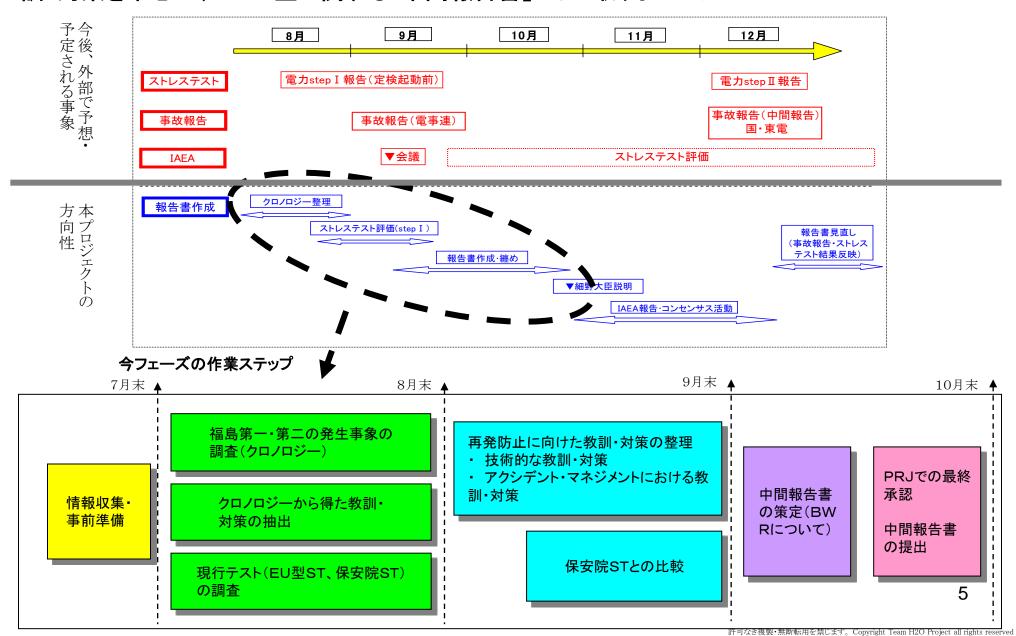
- 福島第一他の事実・教訓・対策の洗 NHIL
- ・保安院ST、EU型STとの比較考量
- 本プロジェクト版テスト項目の策定

資料:大前研一記事「「原発オールアウト」の危機をどう乗り切るか」より

本プロジェクトの対象フェーズ

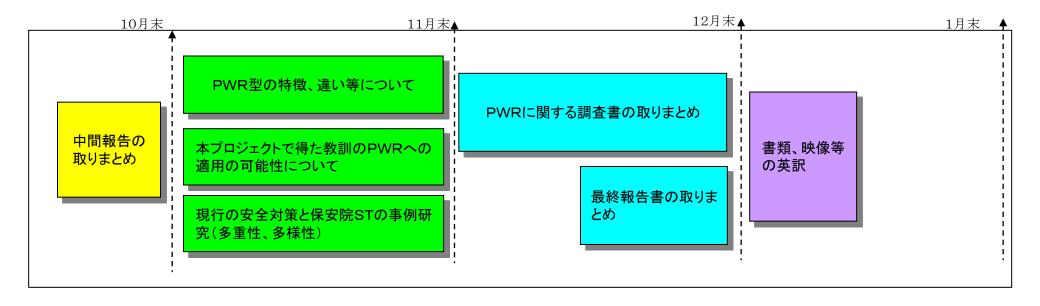
理想的には<u>今冬</u>、遅くとも<u>来春</u>に再稼働の可否判断が出来る 事が重要である

本プロジェクトは2011年7月24日に開始し、同年10月28日に福島第一原発事故から得た教訓・対策を中心に、BWR型に関する「中間報告書」として取りまとめた

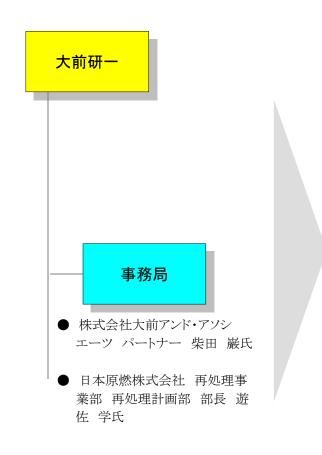


中間報告書の後、2011年11-12月にPWR型に関する調査・検討を行い、最終報告書として取りまとめた

2011年11-12月の本プロジェクトのマスタースケジュール



BWR型に関する章と中間報告書の取りまとめは、以下の体制で行った



インタビュー、ヒアリング等の情報聴取にご対応頂いた主な部門、方々

電カグループ

● 日本原燃株式会社 常務取締役経営企画室長 田中 治邦 氏

● 東京電力株式会社 原子力運営管理部長 高橋 毅 氏

東芝

● 株式会社東芝 電力システム社 原子力事業部 原子力福島復旧技術部 部長 畠澤 守氏

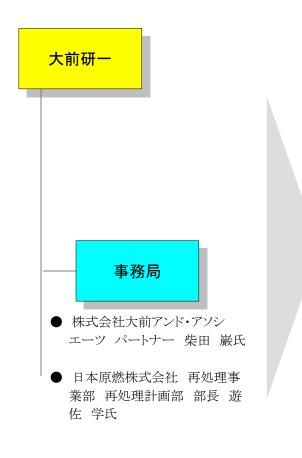
● 株式会社東芝 電力システム社 原子力事業部 原子力福島復旧技術部 プロジェクト統括主幹 行則 茂氏 他2名

日立

- 日立GEニュークリア・エナジー株式会社 技師長 守屋 公三明氏
- 日立GEニュークリア・エナジー株式会社 原子力計画部 チーフプロ ジェクトマネージャ 次世代炉センター センター長 松浦 正義氏

中間報告書以後のPWR型に関する調査・検討は、以下の体制で行った

インタビュー、ヒアリング等の情報聴取にご対応頂いた主な部門、方々



関西電力

- 関西電力株式会社 原子力事業本部 原子力災害防止対策担当部長 吉原 健介 氏
- 関西電力株式会社 原子力事業本部 原子力技術部門 プラント・保全技術グループ 部長 田中 俊彦 氏
- 関西電力株式会社 東京支社 次長 仙藤 敏和 氏 課長 大神 降裕 氏

三菱重工

● 三菱重工株式会社 原子力事業本部 安全高度化対策推進室 主任 奥野 大作 氏

調査は、水素爆発・放射能漏洩等の重大事象を含む「プラントの安全確保」と「地元の安全確保」に関する対策を導く為の、技術的側面に主眼を置いた

本プロジェクトの主たる調査対象

- 今回の地震、津波の実態
- 福島第一原発で発生した事実(クロノロジー)
- 他の原発(福島第二、東通、女川、東海第二)で発生した事実(クロノロジー)
- 福島第一と他原発のクロノロジーの違い、理由
- 電源喪失の実態
- 高圧冷却機能の実態
- ベント機能の実態
- 低圧冷却機能の実態
- 水素爆発の実態(水素発生、漏洩、爆発のメカニズム)
- 災害対策 (AM) の効果、限界、課題
- 判明した事実(クロノロジー)から抽出した問題と原因、対策の切り口
- 再発防止の対策
- 保安院ストレステスト、海外ストレステスト等との比較
- IAEA等との協同について
 - 原発以外における重要な関連・発生事象
 - 政府、関連省庁の動き
 - 自治体の動きなど
 - 避難区域の設定、賠償等の政策的な判断事項

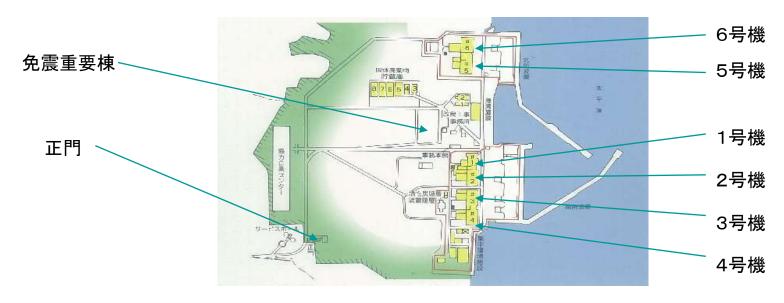
福島第一原発等の検証

- 何が起きたのか?
- ・ その意味合いは何か?

3月11日の地震・津波の実態(福島第一)

- ・ 地震、津波の規模、被害
- ・ 原発に与えた被害の意味合い

福島第一原発の概要 - 合計6機の原子炉を有し、約40年前に稼動した日本初期の原発の1つ。 地震時に稼動中の1・2・3号機は、中でも最初期のものであり、より低い海抜立地にあった



所在	号機	運転開始	型式	出力(万kW)	主契約メーカ	地震発生時の状況
大熊町	1号機	S46.3	BWR-3	46.0	GE	定格出力運転中
	2 号 機	S49.7	BWR-4	78.4	GE/東芝	定格出力運転中
	3号機	S51.3	BWR-4	78.4	東芝	定格出力運転中
	4号機	S53.10	BWR-4	78.4	日立	定期 全燃料取出、プールゲート閉 検査中 (シュラウド交換作業中)
双葉町-	5号機	S53.4	BWR-4	78.4	東芝	定期 検査中 原子炉圧力容器上蓋閉
	6号機	S54.10	BWR-5	110	GE/東芝	定期 検査中 原子炉圧力容器上蓋閉

原子炉格納容器の型式 − 福島第一は、マーク I、マーク I型の原子炉を使っていた

福島第一1号機

(出力46万kW) [昭和46年]

MMMMMMMM

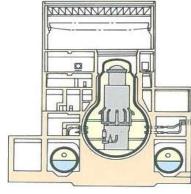
BWR-3

マーク I

(フラスコ型)

福島第一2~5号機

(出力78.4万kW) 「昭和49年~53年]



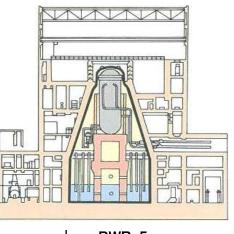
BWR-4 マーク I (フラスコ型)



出典:NRCホームページ

福島第一6号機

福島第二1号機 (出力110万kW) [昭和54年~60年]

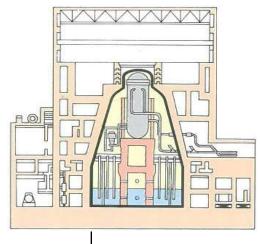


BWR-5 マークⅡ (円すい型)



福島第二1号機

福島第二2~4号機 (出力110万kW) [昭和59年~平成6年]



BWR-5 マークⅡ改良 , (つりがね型)



福島第二3号機

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

東北地方太平洋沖地震 - 3月11日(金)14:46にM9.0の巨大地震が発生。福島第一付近は、 震度6強の揺れ

● **発震日時**: 2011年3月11日(金)午後2時46分頃

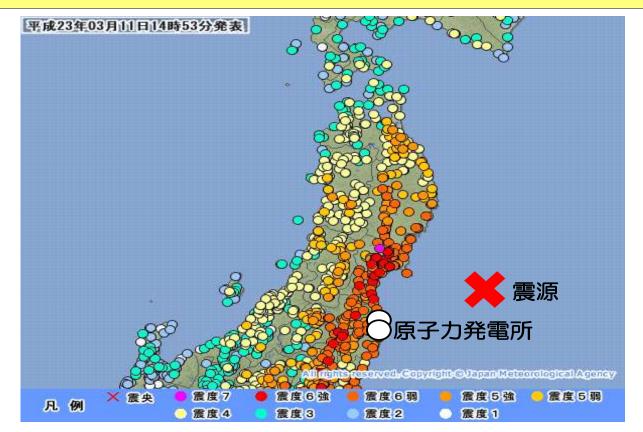
● 発生場所: 三陸沖 (北緯38度、東経142.9度)、 **震源深さ 24km、マグニチュード 9.0**

● 各地の震度: 震度7: 宮城県栗原市

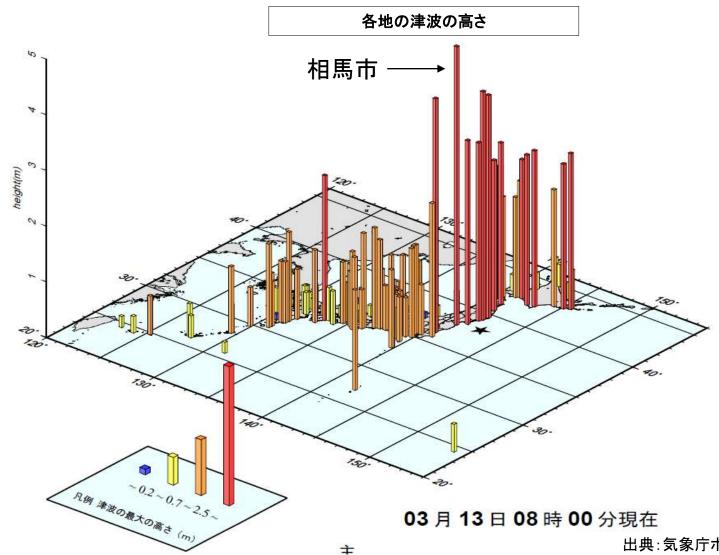
震度6強 福島県楢葉町、富岡町、大熊町、双葉町 震度6弱 宮城県石巻市、女川町、茨城県東海村

震度5弱 新潟県刈羽村

震度4 青森県六ヶ所村、東通村、むつ市、大間町、新潟県柏崎市



地震に伴って宮城・福島沿岸に巨大津波が発生。地震から約40分後の3月11日15:27頃、福 島第一原発に津波(第一波)が襲来した。その8分後(15:35)、更に極めて高い第二波が襲来



地震・津波の規模 - 福島第一を襲った地震と津波は、共に観測史上4番目となる、世界有数の規模であった

地震マグニチュード => 観測史上4番目

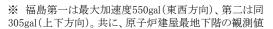
順位	発生年	地震名	マグニチュート゛
1	1960	Chile	9. 5
2	1864	Alaska	9. 2
3	2004	Sumatra	9. 1
4	2011	東北地方太平洋沖	9. 0
4	1952	Kamchatka	9. 0

津波マグニチュード*=> 観測史上4番目

順位	発生年	地震名	マク゛ニチュート゛
1	1960	Chile	9. 4
2	1837	Valdivia, Chile	9. 3
2	1946	Aleutians	9. 3
4	2011	東北地方太平洋沖	9. 1
4	1964	Alaska	9. 1
6	2004	Sumatra 他	9. 0

地震によるインフラの液状化、破断等の被害は、福島第一(震度6強*)の方が第二(震度6弱*)よりも大きい - 後の原子炉事故の対応業務へ、大きな影響差を与える一因となった

福島第一の被災状況





- 路面が左右に渡り完全に亀裂、破断
- ガードレールは大きく傾斜
- 側道に無数のヒビ割れ
- 車両や人の通行が困難



- 路面が数mに渡り陥没している
- 路央にドラム缶が転がっている
- 車は全く通行できない。徒歩での移動も過酷困難



● 比較的高台においても数mの亀裂



● 一部、地盤の陥没が見られる



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

福島第二の被災状況

● 建屋と地面の間に隙間(地盤沈下か?)

17

平成14年の土木学会の津波評価に基き対策を強化していたが、今回の津波はその想定を大幅 (約10m)に上回った - 特に福島第一では、想定の3倍弱の津波が襲来

これまでの対津波の条件設定の経緯

- ・ 建設時: 原発の建設に当り、過去の津波の発生実績を元に、設計に反映すべき津波の条件を設定していた
- ・ 平成14年: その後、同年刊行の土木学会「原子力発電所の津波評価技術」に基き、津波の条件設定を見直した それに伴い、海水ポンプの嵩上げ等の津波対策を強化していた

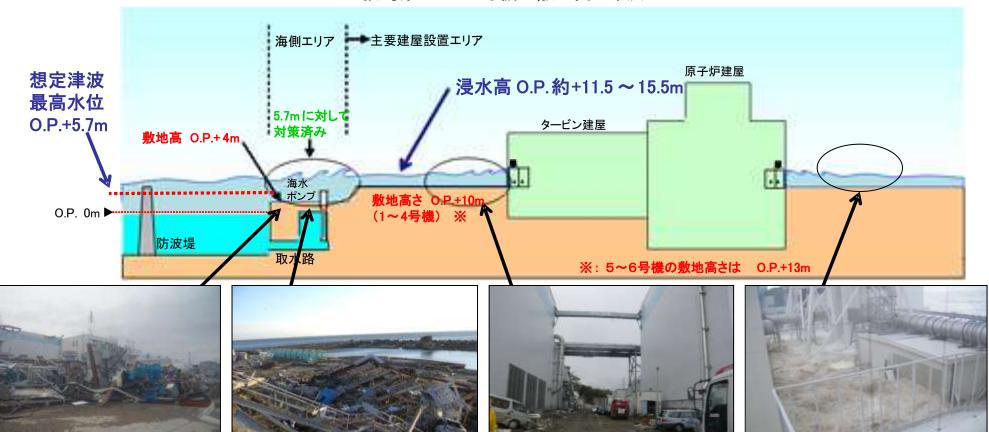
		建設時	平成14年の見直し	今回の津波(浸水高)			
短自然	上昇側	海抜(O.P.)+3.1m	海抜(O.P.)+5.7m	主要建屋設置エリアの海側面において			
福島第一 	下降側	同 -1.9m	同 −3.6m	海抜(O.P.) +11.5~+15.5m			
	上昇側	同 +3.7m	同 +5.2m	海側面エリアにおいて 同 +6.5~+7m			
福島第二	下降側	同 -1.9m	同 −3.0m	主要建屋エリア南の道路では集中的に遡上あり 海抜(O.P.) +12~14.5m			
注) O.P.(小名浜港工事基準面): T.P.(東京湾平均海面)の下方0.727mにある基準面							
● 約5.8~9.8mの想定差(約3倍弱)							

福島第二は、約1.3~1.8mの想定差

その結果、津波は福島第一の海側のみならず山側を含む全域を襲撃し、最も重要な原子炉建屋・タービン建屋が全面的に浸水する結果となった => 津波に対する設計尤度が明らかに低い



< 福島第一1~4号機の敷地高と津波イメージ >



● 海抜4m付近は、ガレキが散乱し車両・人・物資が運搬できる状況には無い

●海抜10m付近でも、乗用車が漂流。建屋山側でも5.5m高のタンクを飲み込み、まるで水泳プール

津波襲来の瞬間 - 発電所に到達した波の立ち上がりが、高さ約45mの原子炉建屋を上回り、 高さ約120mの排気塔の半分近くの高さとなった

福島第一



津波の痕跡 - 原発南側では海岸沿いの植林が、根こそぎ剥ぎ取られている

3月11日以前 (福島第一原発 4号機南側)



福島第一の航空写真 - 原子炉6機中、1・2・3号機が稼動中。4・5・6号機は定期検査の為、 停止中だった

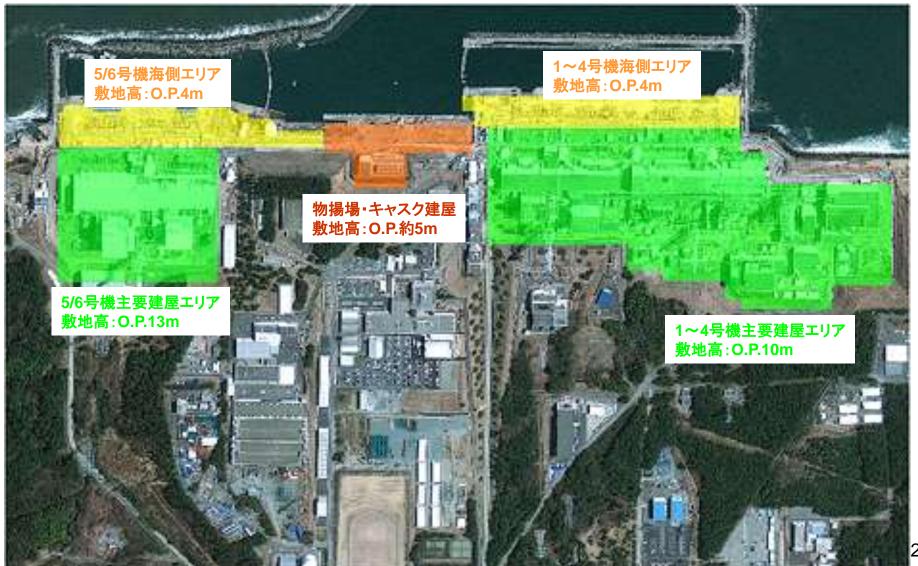
1号機 2号機 3号機 4号機 (運転中)(運転中) (定期検査中)

5号機 (定期検査中)

6号機 (定期検査中)



敷地高 - 稼動中の1・2・3号機は海抜10m。5・6号機(同13m)よりも低い場所にあった



高さ15.5mの津波により、第一1~6号機と主要施設の全域が浸水した

P25、26の写真の箇所 (固体廃棄物貯蔵所)



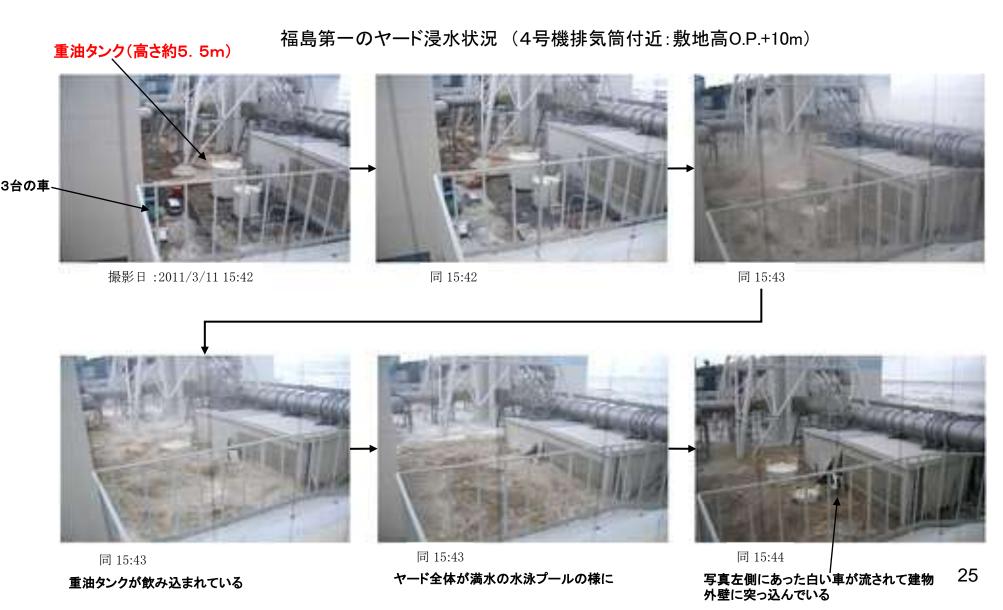
-P23、24の写 真の箇所 (4号機排気筒 付近)

プロジェクト外厳秘/Extremely Confidential

福島第一原子力発電所 浸水箇所色塗りあり

24

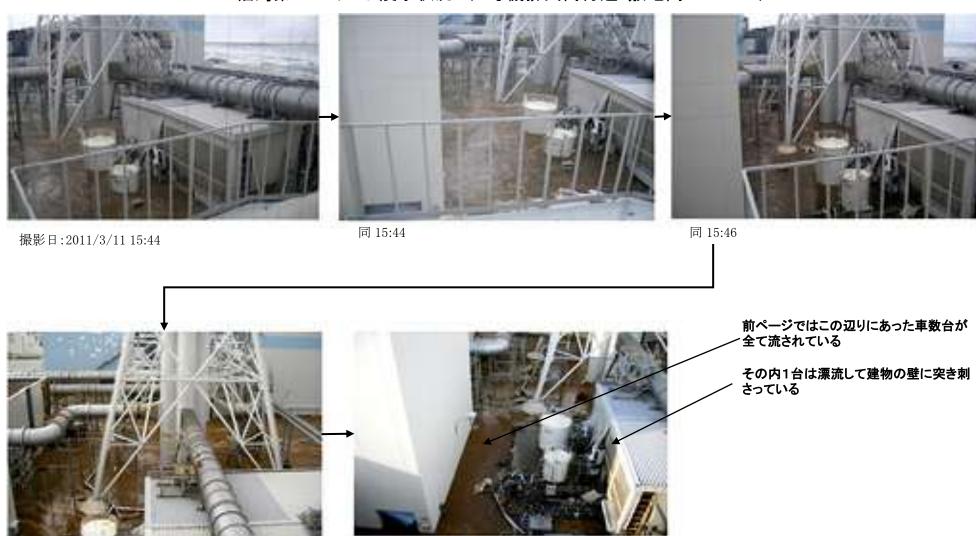
津波は高さ5.5mの重油タンクを軽々と飲み込み、ヤード全体をまるで満水の水泳プールの様な 状態に



浸水状況(前ページ続き) - 3台あった自動車は全て津波で流されている

同 15:57

福島第一のヤード浸水状況 (4号機排気筒付近:敷地高O.P.+10m)



26

津波が襲来した瞬間の海側の状況 - 10mの堤防を軽々と越え、沢山の自動車が漂流し、巨大なタンクがほぼ飲み込まれている

固体廃棄物貯蔵所東側(5号機東南海側)







地震・津波の実態…福島第一 プロジェクト外厳秘/Extremely Confidential

(前ページ続き) 重油タンク2台は流されて道路側へ乗り上げ、サージタンクはペットボトルを 捻ったかの様に側面が変形

固体廃棄物貯蔵所東側(5号機東南海側)

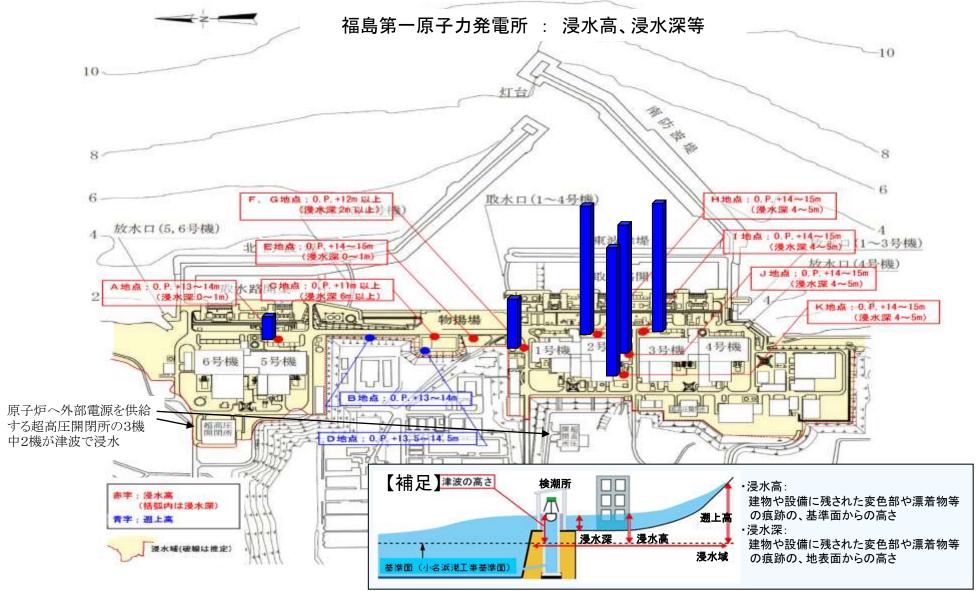


重油タンク2台が流されて、道路側へ乗り上げている



巨大なサージタンクは、ペットボトルを捻ったかの様に 全周辺がよじれている

敷地全体に11.5~15.5mの津波が押し寄せ、4~5mの浸水被害を受けた一稼働中の1·2·3号機の敷地高が、停止中の5·6号機より低い為、より深刻な浸水となった



地震・津波の実態…福島第一

設備・構造物の漂流状況 ①1~4号機の海側 — 重油タンクが流され、大型クレーンが動かされた他、多数の破損、漂流が発生



福島第一1~4号機の海側の航空写真

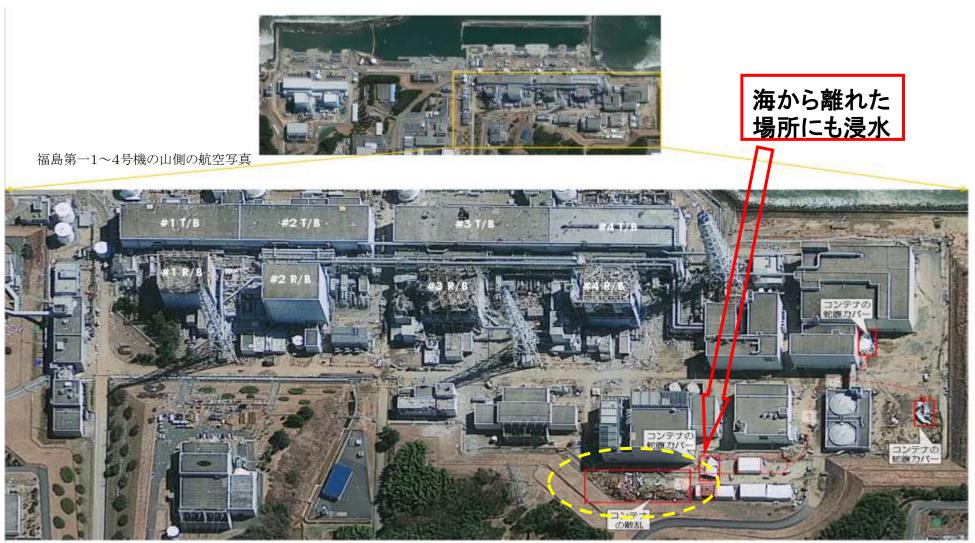


30

(前ページ続き) これらの重層が、津波後の現場の人・物資の輸送・運搬を極めて悪化、難航させる 大きな要因となった



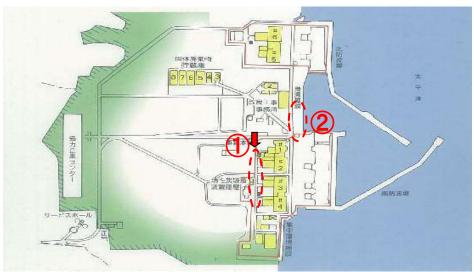
漂流した自動車が配管と建 物の間に挟まっている 設備・構造物の漂流状況 ②1~4号機の山側 - 浸水によってコンテナの蛇腹カバーが百数十mに渡って漂流し、多数のコンテナが周辺に散乱している



設備・構造物の漂流状況 ③5・6号機の海側 - 敷地が高い5・6号機においても、防波堤は破損、無数のテトラポットが防波堤に乗り上げて護岸の通行は不能に



山側からも浸水して1~4号機の電源系統を塩水漬けにし、周辺道路は液状化に加えて土砂・ガレキ等の散乱が人や物資の運搬を著しく悪化、難航させた



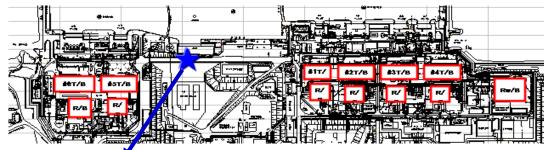
① 排気筒の山側に位置する開閉所にも多量の海水が侵入し、電源系統を機能不全にした



② 津波による土砂、がれき等の散乱が人・物資の運搬を難航させた



津波被害ーオイルフェンスが建物に突き刺さっている。路面は激しく液状化し、ガレキの散乱と合わせて昼間でも通行できる状況にはほど遠い。夜間に照明無しでは歩けない



物揚場・キャスク建屋の周辺

建物にオイルフェンスが突 き刺さっている

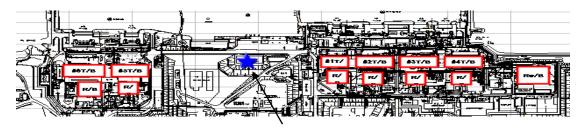
漂流または破断した数m大のアスファルト、コンクリート 片等のガレキが散乱

路面は激しく液状化

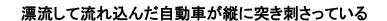


津波被害ー 物揚場・キャスク建屋の中は、流れ込んだ自動車が突き刺さったり、無数のガレキが

散乱し、全く足場の無い状態に



物揚場・キャスク建屋の中



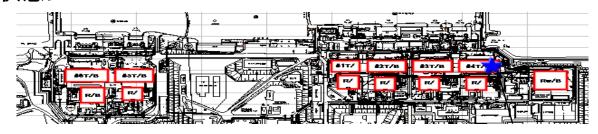


流入したガレキと散乱した什器等が屋内を埋め尽くし、全 く足場が無い状態



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

津波被害 - 4号機タービン建屋の電源盤。大量に流れ込んだタイヤ、掃除機、ホース等が覆い尽くし、電源盤へのアクセスが出来ない状態に



4号機タービン建屋内の電源盤

- 地震・津波による各電源系統の被害を調べ、 復旧策を施さなければならない
- しかし、ガレキが覆い隠し、電源盤へのアクセスすら困難な状態



液状化、大量のガレキ、道路破断等が、人・物資の運行を著しく難航させた。更に、電源喪失による 夜間の暗闇化が拍車をかけ、極めて過酷な作業環境となった

- 頻発する余震、マンホールの外れ、地面の亀裂・陥没・液状化等、非常に悪い足場
- ・ 夜間の真暗闇
- 道路等のアクセスルートも、障害物等により著しい通行支障



道路の陥没等

歩くだけでも危険な箇所。 夜は特に危険

アクセスルートの障害物

アクセスは消防ホース等を 迂回。爆発後は瓦礫、損傷 した消防車が障害物として さらに追加





仮設電源敷設のアクセス

建屋内へアクセスするため に大物搬入口を重機で破 壊

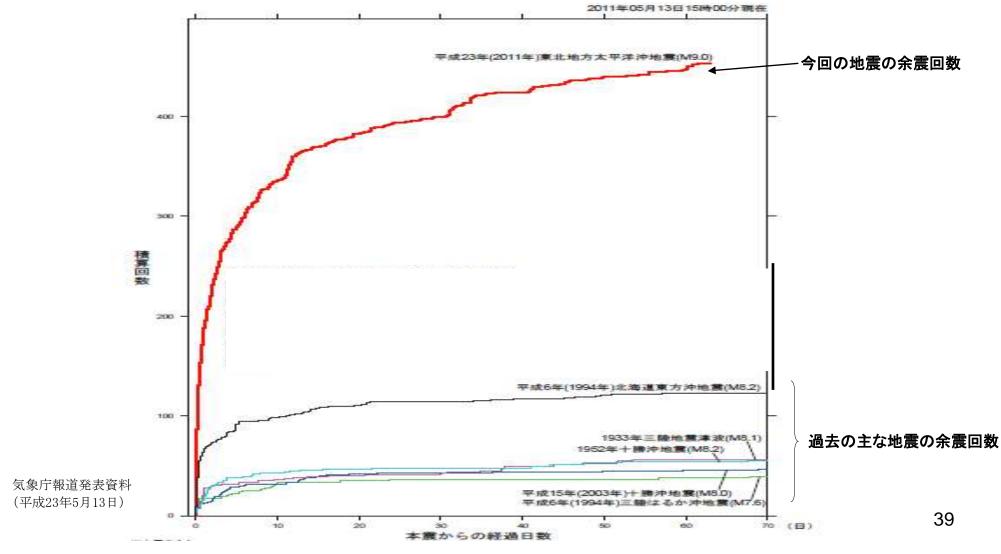
仮設電源敷設

ケーブルの引き回しは、 電気関係以外の社員も動 員して人力で実施



頻発する余震が作業中断を余儀なくし、電源喪失後の原子炉復旧作業を更に難航させた ー 過去の主な地震と比べても、4倍以上の余震回数

海域で発生した主な地震の余震回数 (マグニチュード5.0以上。本震を含む)



電源喪失によって建屋内は暗闇化し、原子炉の状態監視が困難になると同時に、散乱する物が現場作業の著しい障害となった

- 電源がないため、建屋内は真っ暗の状態での作業
- 電源がないため、個別に計器電源を仮設で設置して対応



真っ暗な中での作業

サービス建屋入口を建屋内から撮影。床にも散乱物あり

仮設計器電源

電源がないため、仮設 バッテリーをつないで計 器用電源として使用



指示値の確認

真っ暗な中、ライトの明かり を頼りに指示値を確認

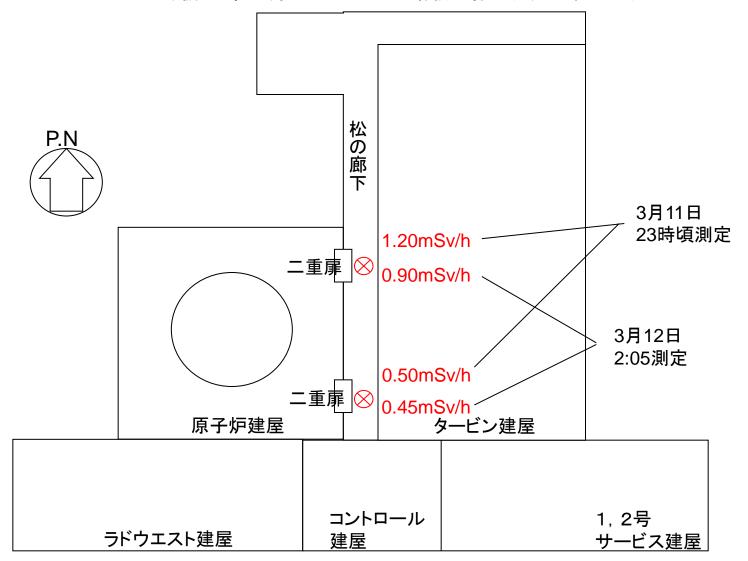
当直副長の監視

当直副長席の状況。 真っ暗の状態で全面マスクをつけて監視



更に、上昇する放射線量が、現場の復旧作業の中断を余儀なくした

1号機T/B松の廊下R/Bへの二重扉前の線量(3月11, 12日)



現場の声(その1) 一 当時の業務の苛酷さ、厳しさが脚色無く伝わって来る

- ▶ "…電源のランプがフリッカし、一斉に消えていくのを目前で見た。その時は津波によるものとは思わず、何が起きたのか分からなかった。"
- ▶ "…2号機側は真っ暗、1号機側は非常用灯(薄暗いわずかな照明) に切り替わった。電源を失って何も出来なくなったと思った。"
- → "…若い運転員は不安そうで、「操作もできず、手も足も出ないのに我々がここ(中操)にいる意味があるのか」と紛糾したが、自分がここに残ってくれと頭を下げておさめた。若い研修生2人は免震重要棟に避難させ、「皆、それで良いな」という話をした。"
- "…ベントに行ける人間を書き出して、当直長をそれぞれ割り振るように編成した。完全装備で線量が 高い中に行かせるので、若い人には行かせなかった。"
- ▶ "…通常であればケーブルの布設作業は1・2ヶ月かかる。数時間でやったのは破格のスピード。暗闇の中、布設のための貫通部を見つけたり、端末処理を行う必要もある。通常なら機械を使うが今回は重量があるケーブルを人力で布設している。"
- ▶ "…<u>通信もほとんど使えない状態</u> で本部と現場の<u>意思疎通にも時間を要した</u>。例えば「メガーで抵抗を測れ」と指示するだけでも時間がかかる。"

現場の声(その2)

- ▶ "…相当大きい余震があり、死に物狂いで走って帰ることもあった。"
- ▶ "…原子炉建屋内(RCIC室)への確認作業も容易ではなかった。セルフェアセットの着るのに10~
 15分、それで活動時間は30分、戻ってからセットを外して中操へ報告に行くという余計な手間がかかる。"
- "…計器を復旧するにはバッテリーしかないと思い、メンバーに集めさせた。最低限のパラメータを 生かそうとした。通常想定されていない様な事だが、出来る事は何かを考えてやった。"
- » "…バッテリーの運搬は重くて大変だった。接続工具が無いし、通信手段も無い。あれ以上の悪条件は無い。"

まとめ 一 福島第一を襲った地震と津波は、現場の作業環境に対して、何重もの甚大な障害をもたらした。 その後の、炉心損傷や水素爆発等への対策行動の遅延・失敗の背景要因である

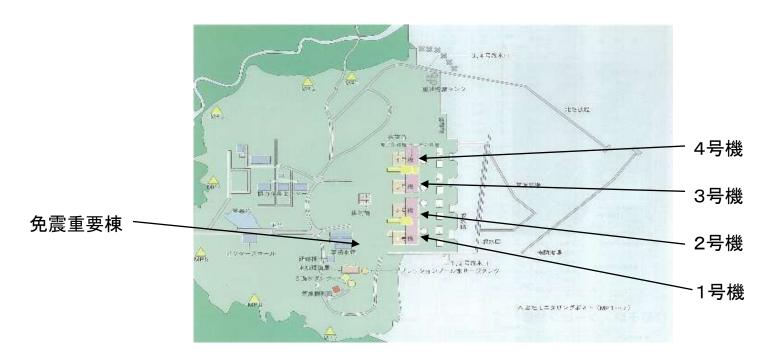
地震・津波が第一1~4号機の作業環境に与えた影響

- 暗闇: 交流・直流電源の喪失によって、屋内・外のほぼ全照明が途絶え、現場が暗闇と化した
- **司令塔機能の喪失**: 電源喪失によって、中央制御室において、原子炉の温度・圧力・水位等の最重要データを含む、ほぼ全データが把握不能となった(計測・制御機作動せず)
- **通信不能、指揮命令困難**: 固定電話、携帯電話の回線混乱に加え、非常用PHSも電源喪失によって交換機が十分に機能せず、中央制御室と現場チームの通信・指示命令や、発電所内の状況報告や支援要請が極めて困難になった
- **人・物資の移動・運搬困難**: 暗闇、道路の陥没・寸断・液状化、屋内外の大量のがれき、ゲートや出入口の停電封鎖の重層によって、人・物資の移動や運搬が極めて困難となった
- **劣悪苛酷な業務環境**: 多発する余震や基準を超える放射線量高によって、不測のタイミングでの作業の中断・撤収等を余儀なくされた
- **行動量・時間の制限**: 防御服、マスク、個人線量計等が不足し、現場作業する人員数が十分に確保できなくなった
- **物資の寸断・孤立**: 当初、3台あった消防車は、1台が津波によって故障。もう1台は、5・6号機側で孤立し、1 ~4号機への移動が不能となり、結局1~4号機側は1台しか使えなかった

3月11日の地震・津波の実態(福島第二)

- ・ 地震、津波の規模、被害
- ・ 原発に与えた被害の意味合い

福島第二原発の概要 - 合計4機の原子炉を有し、第一の約11年後の昭和57年に稼動。地震時は4機全てが運転中だった

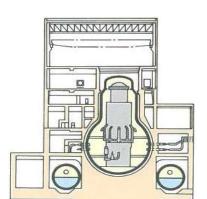


所在地	号機	運転開始	型式	出力(万kW)	主契約者	地震発生時の状況
┸ ┼ ╴ ┆┆ ┎┰	1号機	S57.4	BWR-5	110.0	東芝	定格出力運転中
楢葉町	2号機	S59.2	BWR-5	110.0	日立	定格出力運転中
	3号機	S60.6	BWR-5	110.0	東芝	定格出力運転中
富岡町	4号機	S62.8	BWR-5	110.0	日立	定格出力運転中

原子炉格納容器の型式 - 福島第二は、福島第一より新しいマークⅡ型の原子炉

福島第一1号機 (出力46万kW) 「昭和46年]

福島第一2~5号機 (出力78.4万kW) 「昭和49年~53年〕

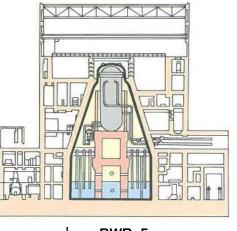


BWR-3 マーク I (フラスコ型) BWR-4 マーク I (フラスコ型)



出典:NRCホームページ

福島第一6号機 福島第二1号機 (出力110万kW) [昭和54年~60年]

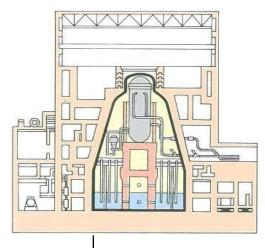


BWR-5 マークII (円すい型)



福島第二1号機

福島第二2~4号機 (出力110万kW) [昭和59年~平成6年]



BWR-5 マークII 改良 (つりがね型)



福島第二3号機

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

福島第二は、5.2mの設計値に対して、6.5~7mの津波が襲来した - 福島第一と比べて想定差が小さい

これまでの対津波の条件設定の経緯

- ・ 建設時: 原発の建設に当り、過去の津波の発生実績を元に、設計に反映すべき津波の条件を設定していた
- ・ 平成14年: その後、同年刊行の土木学会「原子力発電所の津波評価技術」に基き、津波の条件設定を見直した それに伴い、海水ポンプの嵩上げ等の津波対策を強化していた

		建設時	平成14年の見直し			
石白<i>竺</i>	上昇側	海抜(O.P.)+3.1m	海抜(O.P.)+5.7m			
福島第一	下降側	同 -1.9m	同 −3.6m			
	上昇側	同 +3.7m	同 +5.2m			
福島第二	下降側	同 −1.9m	同 −3.0m			

7回00年放(没小同/							
主要建屋設置エリアの海側面において							
海抜(O.P.) +11.5~+15.5m							
海側面エリアにおいて 同 +6.5~+7m							

今回の津波(温水草)

主要建屋エリア南の道路では集中的に遡上あり 海抜(O.P.) +12~14.5m

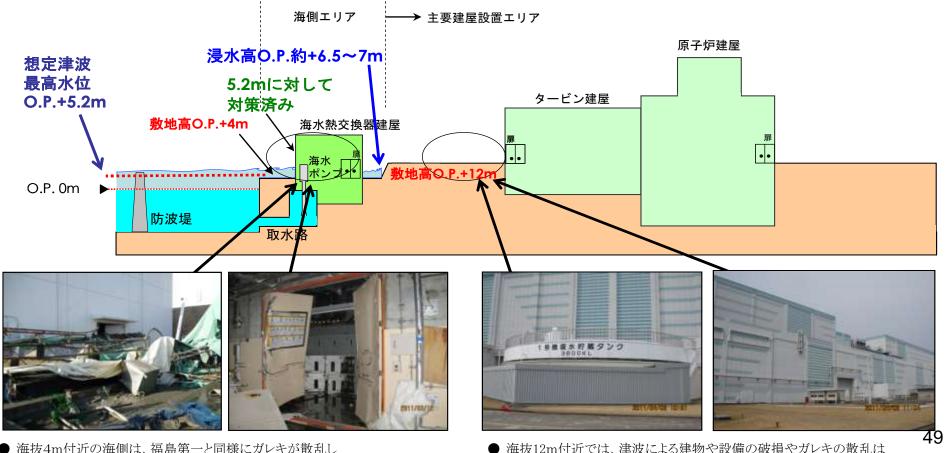
注) O.P.(小名浜港工事基準面): T.P.(東京湾平均海面)の下方0.727mにある基準面

- 第二は、設計値に対し約1.3~1.8mの想定差
- 第一の想定差(約5.8~9.8m)に対し、小さい

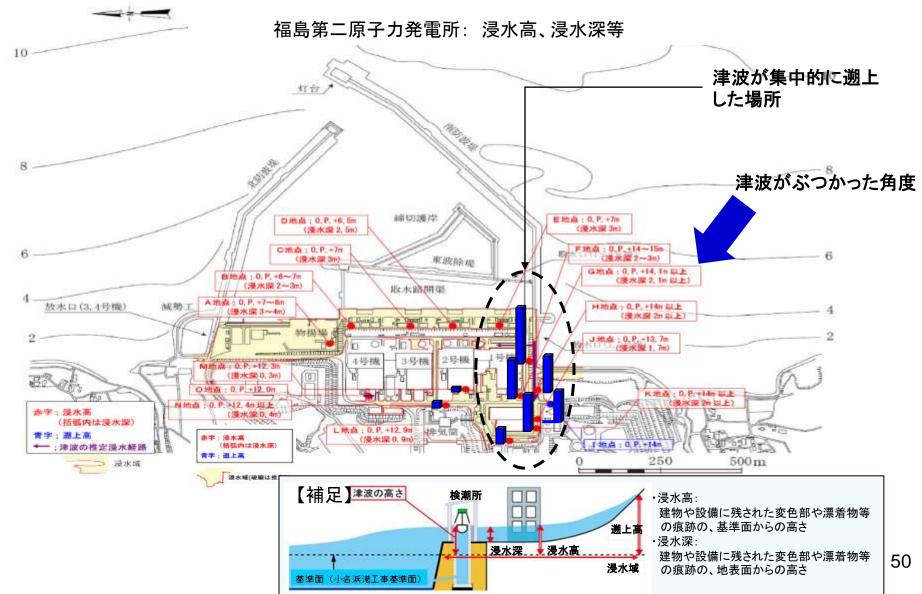
その結果、福島第二の津波被害は、第一と比べると限定的 -第二の敷地高は海抜4mと12mに分かれるが、原子炉・タービン建屋は海抜12mの立地

津波の最高水位(想定) = +5.2m 実際の浸水高 = +7m (1号機南側のみ14m)

< 福島第二1~4号機の敷地高と津波イメージ >



● 海抜4m付近の海側は、福島第一と同様にガレキが散乱し 車両・人・物資の運搬は非常に困難な状態 ● 海抜12m付近では、津波による建物や設備の破損やガレキの散乱は 殆ど見られない 浸水高は、集中遡上した1号機南側で14m前後だが、全体的には7mであり、原子炉建屋周辺の浸水は、福島第一と比較して少ない



津波前の福島第二の航空写真 - 4機の原子炉が全て稼働中だった

4号機

3号機

2号機

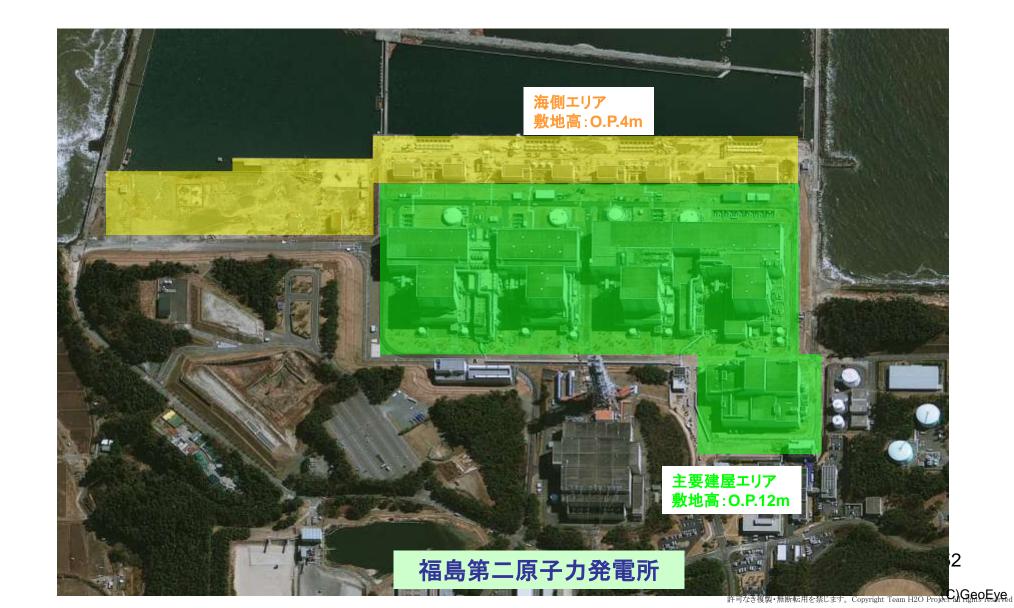
1号機

(運転中) (運転中) (運転中) (運転中)



地震・津波の実態…福島第二

敷地高 一 第二の原子炉4機は、海抜12mの立地。海水冷却系施設のある海側は、海抜4mの立地だった。他方、浸水高は海抜7m



原子炉敷地の方が津波より高い為、直接の浸水は少ない。しかし、1号機南側通路からの集中的遡上で海水が回り込み、原子炉周辺が浸水した

海側からの津波の浸水は限定的



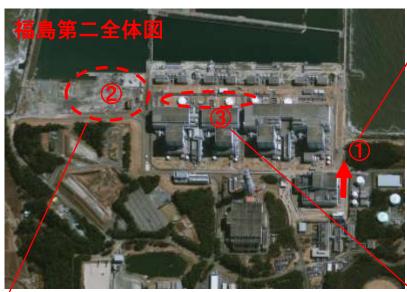
集中的 遡上

免震重要棟

53

(C)GeoEye 許可なき複製・無断転用を禁じます。Copyright Team H2O Project all rights reso

津波被害の状況 - 第二の津波被害は、集中遡上した1号機南側と敷地高が低い海側に集中 している





1号機南方通路を直撃 した津波は最大14m 高まで遡上し、原子炉 の裏側まで海水が回り



敷地高が4mの海側は、津波で被害を受け、ガレキが多数散乱



津波高7mに対し、敷地高12mの原子炉・タービン 建屋への津波被害は殆ど無かった

津波被害の状況(続き) - 南側通路を津波が駆上がった1号機は、原子炉付属棟の送風用吸気口から浸水した



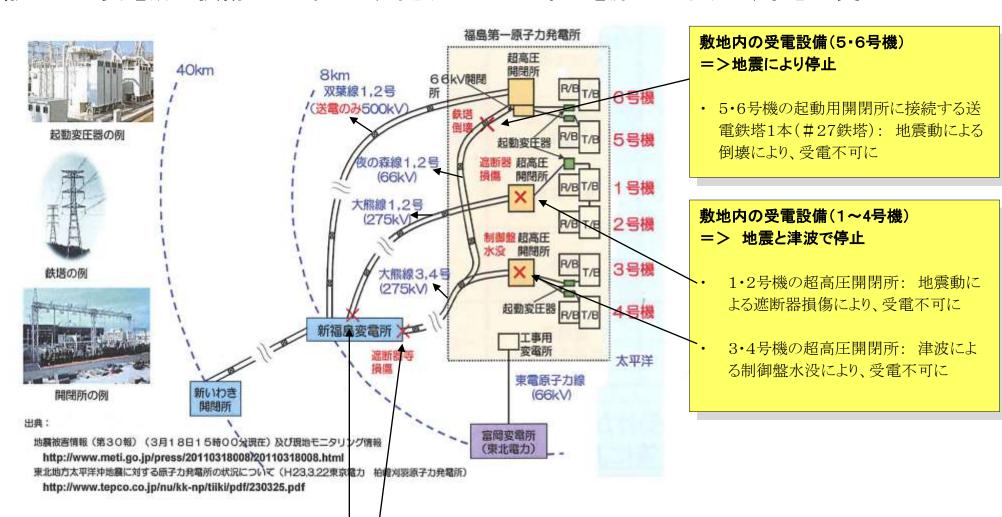
原子炉付属棟の吸気ルー バーから浸水



浸水はしたが、第一の様な大量のガレキ、 什器設備等の氾濫は発生していない

福島第一原発のクロノロジーと課題

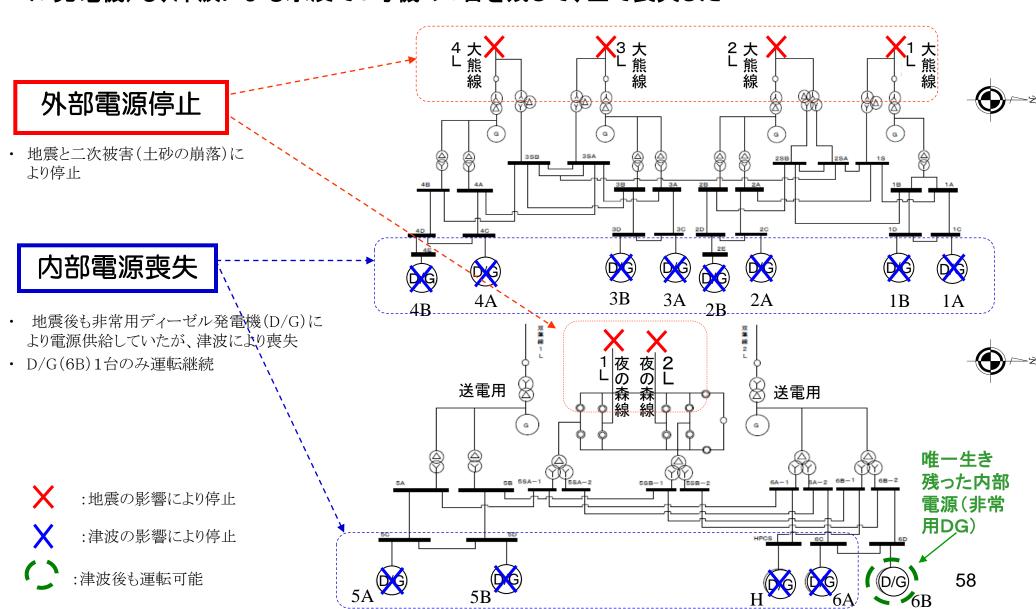
地震によって、福島第一の全外部電源は喪失 - 原因は、敷地内の開閉所・鉄塔の損傷と、 敷地外の変電所の損傷の2重。また、津波によって1部の電源盤が水没し、事態は更に悪化



新福島変電所からの送電 => 地震により停止

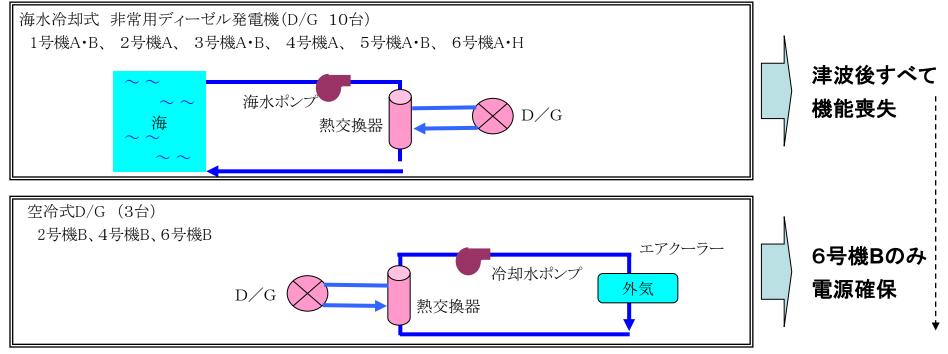
- ・ 強い地震動による遮断器等の変電設備の損傷が発生
- ・ 外部電源のうち福島第一原発1~4号機への275kV2系統4回線の送電と、 5・6号機への66kV1系統2回線の送電が停止に

津波後の外部・内部電源の喪失状況 - 全外部電源喪失に加え、内部電源(非常用ディーゼル発電機)も、津波による水没で6号機の1台を残して、全て喪失した

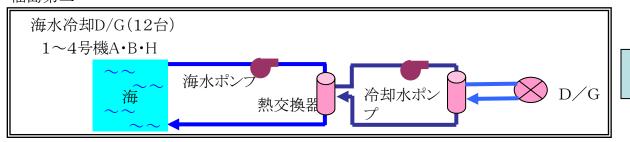


非常用DG発電機の状況 - 合計13台あったが、空冷式の1台を残し、全て機能喪失。海側にあり、津波の浸水をより強く被った海水冷却式DGが弱い(特に、その冷却系統)

福島第一: D/G系統概要



福島第二



D/G本体が健全でも、本体を冷却する為の系統を失えば、機能喪失する

3号機B・H、 4号機Hの3台で 電源確保

59

外部電源以外の電源系統の被害状況 - 爆発を起こした1~4号機では、非常用DGとM/C電源 盤、海水冷却系は全喪失。2・4号機のP/C電源盤と3号機の直流DC電源が生き残ったのみ

津波後の電源設備及び海水系の健全性

		福島第一											
		1号機		2号機		3号機		4号機		5号機		6号機	
		電源盤	使用 可否	電源盤	使用 可否								
D非		DG1A	×	DG2A	×	DG3A	×	DG4A	×	DG5A(%2)	×	DG6A	×
	常	DG1B	×	DG2B(空冷)	×	DG3B	×	DG4B(空冷)	×	DG5B(%2)	×	DG6B(空冷)	0
5 用												HPCS DG	×
М	非	M/C 1C	×	M/C 2C	×	M/C 3C	×	M/C 4C	×	M/C 5C	×	M/C 6C	0
	常用	M/C 1D	×	M/C 2D	×	M/C 3D	×	M/C 4D	×	M/C 5D	×	M/C 6D	0
				M/C 2E	×			M/C 4E	×			HPCS DG M/C	0
		M/C 1A	×	M/C 2A	×	M/C 3A	×	M/C 4A	×	M/C 5A	×	M/C 6A-1 M/C 6A-2	×
/												M/C 6A 2 M/C 6B-1	×
C	常	M/C 1B	×	M/C 2B	×	M/C 3B	×	M/C 4B	×	M/C 5B	×	M/C 6B-2	×
	用			M/C 2SA	×	M/C 3SA	×			M/C 5SA-1	×		
		M/C 1S	×							M/C 5SA-2	×		
				M/C 2SB	×	M/C 3SB	×			M/C 5SB-1	×		
								•	•	M/C 5SB-2	×		
	非	P/C 1C	×	P/C 2C	0	P/C 3C	×	P/C 4C	-	P/C 5C	×	P/C 6C	0
	常	P/C 1D	×	P/C 2D	0	P/C 3D	×	P/C 4D	0	P/C 5D	×	P/C 6D	0
	用			P/C 2E	×			P/C 4E	×			P/C 6E	0
		D/C 14	~	P/C 2A	0	P/C 3A	×	P/C 4A	-	P/C 5A	×	P/C 6A-1	×
Р		P/C 1A	×	P/C 2A-1	×		•			P/C 5A-1	0	P/C 6A-2	×
/		P/C 1B	×	P/C 2B	0	P/C 3B	×	P/C 4B	0	P/C 5B	×	P/C 6B-1	×
C	常				-		•			P/C 5B-1	0	P/C 6B-2	×
	用用	P/C 1S	×			P/C 3SA	×			P/C 5SA	×		
	713									P/C 5SA-1	×		
				P/C 2SB	×	P/C 3SB	×			P/C 5SB	×		
	$\frac{1}{2}$	DC125V主 母線盤1A	×	DC125V主 母線盤2A	×	DC125V主 母線盤3A	0	DC125V主 母線盤4A	×	DC125V主 母線盤5A	0	DC125V DIST CENTER 6A	0
直	5 V	DC125V主 母線盤1B	×	DC125V主 母線盤2B	×	DC125V主 母線盤3B	0	DC125V主 母線盤4B	×	DC125V主 母線盤5B	0	DC125V DIST CENTER 6B	0
流	Ď												-
電	С												
源	А												
	/			1								1	
	В												
海	Α	CCS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×
1144	В	CCS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×
小系													
∕ I\													

- 非常用DGは6号機の1台のみが生き残り、そ れ以外は全て喪失
- → メタクラ(M/C)電源盤は、6号機非常用1系 統を残して、全て喪失

• 喪失

- 直流バッテリーは、1・2・4号機が水没により 全て機能喪失 => 中央制御室と高圧冷 却機能を機能喪失へ導いた
- 津波によって、海水系機能は全て喪失60

(凡例)

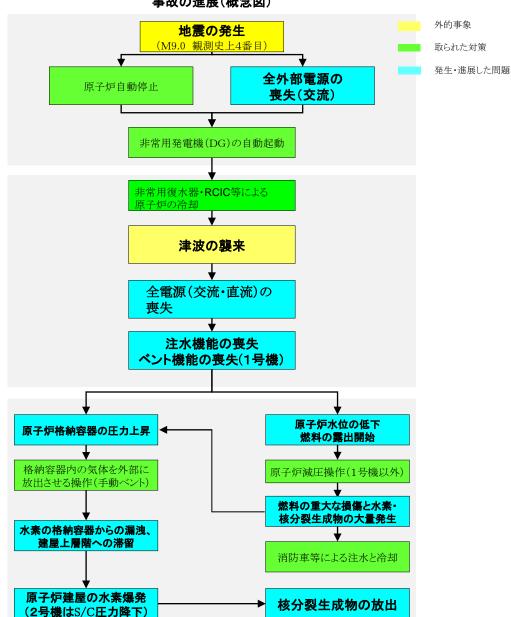
:機能喪失

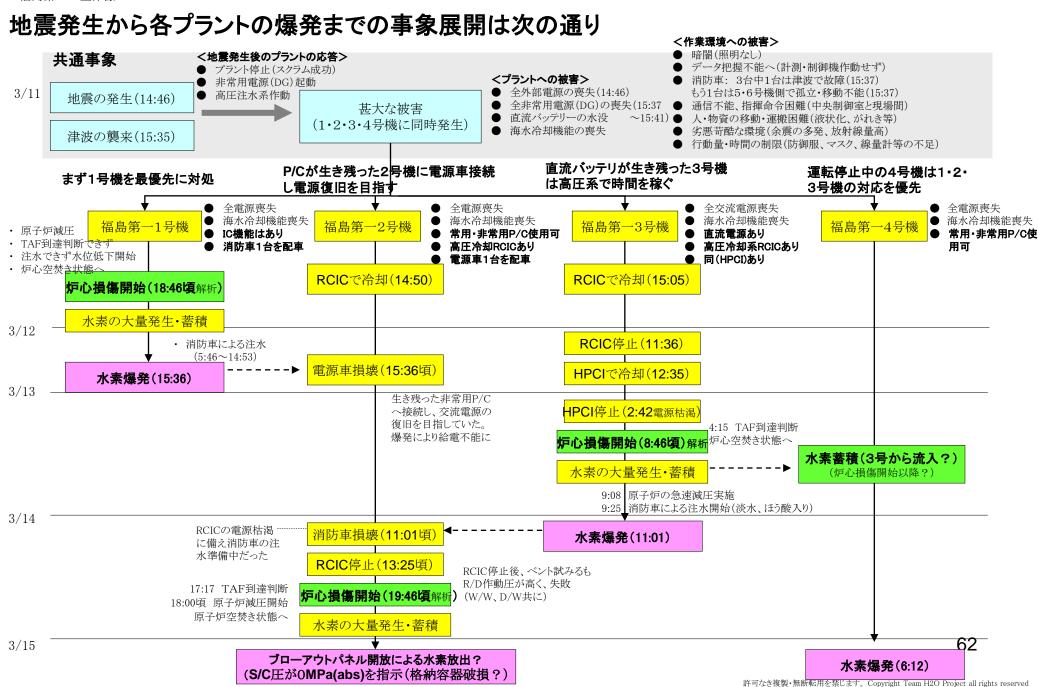
: 給電元が喪失のため受電不可

:電源盤・冷却系の喪失のために起動不可

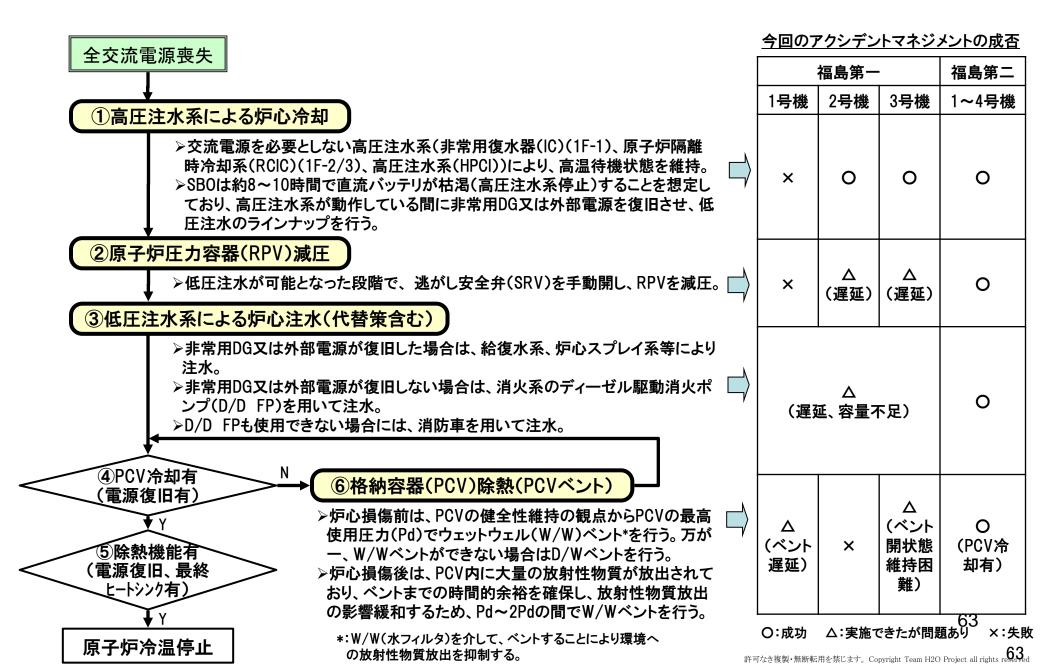
電源と海水系冷却機能の喪失等は、第一1~3号機において、次の順で原子炉の事態悪化を進行させた

事故の進展(概念図)





標準的な全交流電源喪失(SBO)時の運転操作の概略



地震よりも津波によって全電源・冷却・ベント機能が喪失ー 地震から注水開始が15時間後、ベント開始が24時間後

※0: 水位計データの信

※1: 炉心損傷により炉内

類推される

ガス温度が上昇し、

SRVフランジ部ガス

ケット等からの水素

等の漏れが生じたと

頼性自体を疑問視

する見方もあり

発生した事象

停原 止 子 炉 **ഗ**

> 重津 要波 女機能の全面は 放による全電流 喪源 失と

高 冷 非 圧 却 常 化用の注明電源 の水の ベント 準備保 備保3/12 ·準備等

水素滞留が大素滞留

水素爆発 放射能漏れ

地震の発生(震度6強) 3/11 114:46 (M9.0 観測史上4番目)

- 14:46 原子炉の自動停止 =>14:52 IC自動起動、手動間欠運転
- **全外部電源の喪失**=>14:47 非常用ディーゼル発電機(DG)の自動起動

15:35

津波の襲来

(津波M9.1 観測史上4番目) (浸水高さ 11.5~15.5m)

全電源、「冷やす」機能、「圧力を制御する」機能の同時喪失+暗闇・劣悪環境

- 非常用DG発電機、電源盤の水没=>**全交流電源の喪失** => 電動機使用不能へ
- 電気品室等の水没=>**直流電源の喪失**=> 電源盤、計測・制 御設備が使用不能へ => **冷却機能の喪失**(IC、HPCI等)、 圧力制御機能の喪失(遠隔からのSRV操作等)
- 冷却用の海水系ポンプの破壊 => **冷温停止機能の喪失**(最 終ヒートシンク喪失)

津波直後: 非常用復水器(IC)による原子炉の冷却機能喪失 => やがて原子炉水位の低下へ

17:12 所長、消火系ライン・消防車による注水の検討指示

18:46頃 燃料損傷の開始(推定)

- | **21:19 原子炉水位が判明**(燃料頂部+200mm%o)|
- 23:00 タービン建屋内での放射線量の上昇を確認

この頃、最初の電源車が到着

00:06 所長、ベント準備を指示 (格納容器D/W)圧力が600kPa超の可能性)

- 01:30 ベントの実施を申入れ、国の了承
- 02:30 圧力容器の低圧/格納容器の高圧を確認 ※1
- |05:46 消防車により淡水注入開始
- 07:20 圧力容器の破損(解析)
- 09:04 作業員がベントの為、現場へ出発
- 10:17 格納容器ベント開始
- 14:30 格納容器ベント成功(D/W圧力低下)
- 14:53 淡水注入完了(累計80,0000)
- 14:54 所長、海水注入を指示

建屋爆発(5階部分)

▼19:04 海水注入の開始

15:36

20:45 ほう酸を海水に混ぜ炉へ注入開始

その意味合い

地震によって、全外部電源が喪失した。

地震後の原子炉の挙動(スクラム)は設計通りであり、大きな問題はなかった

津波による大規模浸水と破壊により、全電源(直流・交流)が喪失した

- 津波は、建物、タンク、海側施設等を浸水・破壊した。建屋内、道路等にガレキが散乱し、物資 運搬や車両通行等の復旧作業を大幅に悪化させた(=>作業環境が悪化)
- 津波で建屋内の配電盤等が浸水し、建物照明、炉の水位や圧力を測る機器、通信手段等、司 令塔としての主要機能が喪失した(=> 水位、炉圧、温度等が測れない)
 - 津波で非常用電源(DG※2)や電源盤等が冠水し、全交流電源が喪失した(=>電気が使えな
- 津波によって、海側にあった冷却用海水ポンプが冠水・破壊。全交流電源の喪失と相まって、 炉内の残留熱を海水へ逃す機能(送注水ポンプ、ポンプの冷却等)が喪失した(=>炉が冷や せない) ※2:敷地高13mの5・6号機は、非常用電源(DG)が1台生き残り、安定冷却に展開した。しかし、敷地高10 mの1~4号機は非常用電源が全て喪失した。

全電源喪失により、原子炉の「冷却」機能、「ベント」機能が喪失した

原子炉や使用済み燃料プールへの注水機能が喪失した(=>炉が冷やせない)

空気作動弁用の電磁弁や電動弁の駆動が困難になった(=>圧力容器、格納容器の圧力・熱 を制御できない)

災害対策マニュアルは、同時機能喪失を想定していなかった

- マニュアル(AM)では、全交流が喪失するSBO(全交流電源喪失)は想定していたが、全交流・ 直流電源の同時喪失、電源・冷却機能の同時喪失を想定していなかった
- 電源・冷却・ベント機能の同時喪失時の対策・準備・訓練が不十分だった
- 現場の資機材が不足、作業員毎に線量計やマスク・防護具等が確保できなかった

以上の同時発生・複合により、燃料損傷開始後も、重要な事実確認や対策開始が遅 延した

- 原子炉の水位確認 (地震発生から、約6・5時間後)
- 予備電源の確保 (同、約8時間後)
- 原子炉への注水開始 (同、約15時間後)
- 高圧化した格納容器の熱・圧力逃がしの作業(ベント)(同、約24時間後)
- 建屋の水素滞留に対する事実把握、対策行動が不足(水素爆発へ)

その結果、格納容器から漏れた水素が建屋5階に滞留、水素爆発を起こした

- 露出した燃料被覆官の金属(ジルコニウム)と水が反応し、水素が大量発生した 64
- 格納容器の冷却、減圧の遅延等が作用し、水素が格納容器から建屋内に漏洩
- 復旧作業中、水素の検知や事実把握が十分なされない間に、水素が5階に大量蓄積、爆発

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

2号機クロノロジー

停 原 子 炉 の

| 海水系冷却機能喪失 | 津波による全電源と

高圧化防止のベント準備等低圧冷却系注水の準備

燃料損傷・水素発生減圧・低圧注水実施3/15

爆発 放射能漏れ

6:00~

発生した事象

3/11 14:46 **地震の発生(震度6強)**

(M9.0 観測史上4番目) ● 14:47 原子炉の自動停止

● **全外部電源の喪失** → 非常用DG自動起動

14:50 RCIC手動起動 → 14:51自動停止(原子炉水位高(L-8))

● 15:01 原子炉未臨界確認

15:35

津波の襲来

(津波M9.1 観測史上4番目) (浸水高さ 11.5~15.5m)

15:39 RCIC手動起動

● 15:41 全交流電源喪失(非常用DG、電源盤水没)⇒劣悪環境・暗闇 / 電気品室水没により直流電源喪失(P/C一部は被水免れる)→RCIC運転継続海水系水没により最終ヒートシンク喪失→冷温停止機能喪失

17:12 所長、消防車による注水の検討指示

22:00 原子炉水位が判明(燃料頂部(TAF)+3400mm)

2:55 RCIC運転中であることを確認

(RCICによる原子炉注水が確認できたことから1号機のベントを優先)

17:30 所長、格納容器(PCV)ベント操作準備開始を指示

11:00 S/Cベント弁(大弁)開、ベントライン構成完了 (D/W圧がラプチャーディスク作動圧より低くベントされない状態)

3/14 11:01 3号機原子炉建屋の爆発により、S/Cベント弁(大弁)の電磁弁励磁用回路が 外れ弁閉となり、開不能となる。また、消防車及び仮設ホースの破損によ り原子炉注水ラインも使用不能。

13:25 原子炉水位の低下傾向を確認 → RCIC機能喪失判断

17:17 原子炉水位がTAFに到達

17:17~ 燃料損傷の開始(推定)

18:00頃 原子炉減圧開始(原子炉圧力5.4MPa⇒19:03 0.63MPa)

18:22 原子炉水位がTAF-3700mm到達、燃料露出と判断 → 官庁連絡

┃ 19:54 消火系ラインより消防車による原子炉内海水注入開始

■ 21:00頃 S/Cベント弁(小弁)微開、ベントライン再構成完了

22:50 D/W圧力 最高使用圧力427kPa超える(上昇傾向継続)。一方、S/C圧が 300~400kPa gage で安定し圧力が均一化されない状況が発生。

23:35頃 S/C側のラプチャーディスクが圧力が低く作動しないことから、D/W ベント 弁(小弁)開によるベント実施を決定。

0:02 D/Wベント弁(小弁) 開、ベントライン構成完了(数分後同弁閉確認) (D/W圧力750kPa abs から低下せず。D/W圧力は高め安定で水位)

S/C圧がOkPa(abs)を指示

その意味合い

地震によって、全外部電源が喪失した。

地震後の原子炉の挙動(スクラム)は設計通りであり、大きな問題はなかった。

津波による大規模浸水と破壊により、全電源(直流・交流)が喪失した

津波により、隣接号機間の電源融通ができなかった。また、建屋内、道路等にガレキが散乱し、 水没を免れた一部の電源盤(P/C)へのアクセスが難航し電源復旧が大幅に遅れた。

▶ 全電源喪失により、原子炉の「冷却」機能、「ベント」機能が喪失した

津波の影響を受けていなかったCRD、SLCによる原子炉への代替注水を実施すべく使用可能なP/Cに電源車を接続したが、1号機の原子炉建屋爆発により電源車及び電源ケーブルが破損し使用不能となった。

・ RCICについては運転を継続していたが、今後の停止に備えて消防車による海水注入ラインを 準備作業中。しかし、3号機原子炉建屋の爆発により消防車及び注水ホースが破損し、使用 不能となった。その後、RCICが機能喪失し、水位が低下始まる。

・ 海水注入ラインの再構成が余震の発生により遅れ、完了したのはRCIC機能喪失3時間後であった。原子炉圧力内の減圧1時間ほどであったが、消防車が燃料切れで停止したこともあり、 注入開始は6時間後となった。

空気圧縮機が使えないため、SRVの開操作についても自動車用バッテリーを使用し中央制御 室から実施、電圧不足のため2時間近くかかった。

・ D/W圧は上昇、一方でS/C圧は破壊弁を作動させることができない圧力のままであり、ベントすることができなかった。

● 災害対策マニュアルは、同時機能喪失を想定していなかった

・ マニュアル(AM)では、全交流が喪失するSBO(全交流電源喪失)は想定していたが、全交流・ 直流電源の同時喪失、電源・冷却機能の同時喪失を想定していなかった

・ 電源・冷却・ベント機能の同時喪失時の対策・準備・訓練が不十分だった

・ 現場の資機材が不足、作業員毎に線量計やマスク・防護具等が確保できなかった

● 以上の同時発生・複合により、燃料損傷開始後も、重要な事実確認や対策開始が遅延した

原子炉の水位確認(地震発生から、約7時間後)

高圧化したD/W、S/Cの圧力ベントの不作動・失敗(格納容器破損の場合)

建屋の水素滞留に対する事実把握、対策行動が不足 (水素爆発の場合)

その結果、格納容器バウンダリでの損傷を招いた

格納容器が高温・高圧となったことにより、格納容器S/C付近の圧力バウンダリ部分で損傷発生(推定)

3号機クロノロジ-

発生した事象

止子 炉 の

海水系冷却機能の喪失津波による交流電源と

のベントに規・喪失 ト 準 備 脱

水素滞留 低圧系の ト実施

3/11 114:46

地震の発生(震度6強)

(M9.0 観測史上4番目)

- 14:47 原子炉の自動停止 = >15:05 RCIC手動起動=>15:25 RCICトリップ(水位高)
- 全外部電源の喪失=>14:48頃 非常用ディーゼル発電機(DG)の自動起動 ●

15:35

津波の襲来

(津波M9.1 観測史上4番目) (浸水高さ 11.5~15.5m)

全交流電源機能の喪失+暗闇・劣悪環境

- 非常用DG発電機、電源盤の水没=>15:38**全交流電源の喪失** => 電動機使用不能へ
- 冷却用の海水系ポンプの破壊 => 冷温停止機能の喪失(最 終ヒートシンク喪失)
- 直流母線の被水は免れる(バックアップ用の蓄電池により直流電 源からの供給継続=(RCIC、HPCI、記録計等への供給継続)

16:03 原子炉隔離時冷却系(RCIC)手動起動による冷却

- 11:36 RCICトリップ(消防車は1号機に使用中)
- 12:35 高圧注水系(HPCI)自動起動(水位低)
- 17:30 所長、格納容器ベントの準備を指示
- 02:42 HPCI停止(バッテリ枯渇)
- **0**3:51 水位計指示で燃料域-1600mm (TAF-1600mm)が判明
- 04:15 水位が燃料頂部に達したと判断
- 05:10 RCICによる注水失敗と判断
- 05:15 所長、ベントラインの準備完成を指示
- 08:41 RDを除くベントライン構成完了

08:00~09:00 燃料損傷の開始(推定)

09:08頃 逃がし安全弁による減圧実施(社員乗用車バッテリで)

09:25 消防車による淡水注入開始(ほう酸入り)

09:36 ベント操作によりD/W圧の低下を確認

- 10:30 所長、海水注入の準備を指示
- 11:17 S/CベントAO弁が閉(空気ボンベ圧低下)
- 12:20 淡水注入完了(近場の防火水槽の淡水枯渇)
- 12:30 SCベントAO弁を開(空気ボンベ交換)
- 13:12 消防車による海水注入開始(頻発する余震で準備難航)
- 3/14 01:10 海水不足による補給の為、消防車注水を停止
 - 03:20 消防車による海水注入再開
 - 05:20 S/CベントAO弁の開操作、06:10 同弁の開確認
 - 09:20 物揚場から逆洗弁ピットへの海水補給を開始(高線量、アクセス難で難航)
 - 10:53 自衛隊給水車(5t7台)到着、逆洗弁ピットに配置し、淡水補給開始

その意味合い

地震によって、全外部電源が喪失した。

地震後の原子炉の挙動(スクラム)は設計通りであり、大きな問題はなかった

- - 津波による大規模浸水と破壊により、全交流電源が喪失したが、直流電源は確保
 - 津波は、建物、タンク、海側施設等を浸水・破壊した。建屋内、道路等にガレキが散乱し、物資 運搬や車両通行等の復旧作業を大幅に悪化させた(=>作業環境が悪化)
 - 津波で非常用電源(DG※2)や電源盤等が冠水し、全交流電源が喪失した(=>電気が使え ない)
 - 津波によって、海側にあった冷却用海水ポンプが冠水・破壊。全交流電源の喪失と相まって、 炉内の残留熱を海水へ逃す機能(送注水ポンプ、ポンプの冷却等)が喪失した(=>炉が冷や せない)
 - 津波で建屋内の配電盤等が浸水したものの、直流125V電源は浸水を免れたため、RCIC、 HPCI用の電源及び中央制御室の建物照明、炉の水位や圧力を測る計器電源への供給継続
 - ※2:敷地高13mの5・6号機は、非常用電源(DG)が1台生き残り、安定冷却に展開した。しかし、敷地高10mの1~4号機は非 常用電源が全て喪失した。

全電源喪失により、「冷却」機能が喪失

- 原子炉や使用済み燃料プールへの注水機能が喪失した(=>炉が冷やせない)
- RCICやHPCI機能喪失と同時に原子炉圧力が上昇。このため逃がし安全弁による減圧を実施。 (注水冷却を実施しても崩壊熱の除去が出来なかった)
- バッテリー枯渇によりHPCI、RCIC不作動。このため水位回復不能。

災害対策マニュアルは、同時機能喪失を想定していなかった

- マニュアル(AM)では、全交流が喪失するSBO(全交流電源喪失)は想定していたが、全交流・ 直流電源の同時喪失、電源・冷却機能の同時喪失を想定していなかった
- 電源・冷却・ベント機能の同時喪失時の対策・準備・訓練が不十分だった
- 複数プラントの同時喪失想定外であったため、現場の資機材が不足、作業員毎に線量計やマ スク・防護具等が確保できなかった
- 以上の同時発生・複合により、燃料損傷開始後も、重要な事実確認や対策開始が遅 延した
- 余震の頻発による復旧作業の遅延
- 消防車台数不足による原子炉への注水遅延
- 高圧化した格納容器の熱・圧力逃がしの作業(ベント)は遅延なし(?)(ベント準備指示から、 約4時間後)
- 建屋の水素滞留に対する事実把握、対策行動が不足(水素爆発へ)

66

発生した事象

その意味合い

水素爆発 放射能漏れ

11:01 建屋爆発(4・5階部分) 消防車やホースが損傷し、海水注入停止 →▶ ●

16:30頃 物揚場から炉へ注水するライン構築、海水注入再開

07:55 建屋上部に蒸気の浮遊を確認

- 露出した燃料被覆官の金属(ジルコニウム)と水が反応し、水素が大量発生した
- 冷却、減圧、換気の不能・遅延等が作用し、水素が格納容器から建屋内に漏洩
- 復旧作業中、水素の検知や事実把握が十分なされない間に、水素が5階に大量蓄積、爆発

その結果、格納容器から漏れた水素が建屋5階に滞留、水素爆発を起こした

4号機クロノロジー

発生した事象

停 原 止 子 炉

ö

海水系冷却機能の喪失

3号機からの水素滞留の状態監視と水位確保準備使用済み燃料プール水位/

水素爆発 放射能漏れ 3/15 06:12

> 注水開始 火災発生·鎮·

3/11 14:46

地震の発生(震度6強)

(M9.0 観測史上4番目)

- 平成22年11月30日~定期検査中(原子炉停止中)=使用済み燃料プール 燃料1535体貯蔵(97%)
- **全外部電源の喪失**=>14:47頃 非常用ディーゼル発電機1台(DG)の自動起動
- スロッシングにより使用済み燃料プール水が漏れ水位低下(約0.5m低下と推定)

15:35

津波の襲来

(津波M9.1 観測史上4番目) (浸水高さ 11.5~15.5m)

全交流電源機能の喪失+暗闇・劣悪環境

- 非常用DG発電機、電源盤の水没=>**全交流電源の喪失** => 電動機使用不能へ
- 電気品室等の水没=>**直流電源の喪失**=> 電源盤、計測・制御 設備が使用不能へ => **冷却機能の喪失**(RHR等)
- 使用済燃料プール(FPC)冷却用の海水系ポンプの損傷=> **冷却** 機能の喪失(最終ヒートシンク喪失)

使用済燃料の崩壊熱によりプール温度は徐々に上昇し、プール水 蒸発による使用済み燃料プール水位の低下へ

- 使用済燃料プール水位の低下の評価では3月20日頃燃料頂部到 達予測
- 事象発生前はプールゲート閉の状態であり、DSピット・Well側とは同水位であった。このため、使用済み燃料プール水位の低下継続によりプールゲートがあるタイミングで開き、Well側より水が流れ込むことも期待できる状態

3/14 04:08 使用済燃料プール温度 84℃を確認

11:01 3号機爆発

大きな音が発生 原子炉建屋損傷(4・5階部分)

● 爆発によりプールゲートが開き、Well水位まで回復(推定)

3/16 09:38 原子炉建屋3階より火災発生 11:00頃 現場確認にて自然鎮火 ヘリコプターによりプール水位を確認(燃料頂部より4~5m上部)

3/20 08:21 使用済燃料プールへの放水開始(以降断続的に放水)

意味合い

● 地震によって、全外部電源が喪失した。

地震後の外部電源喪失により運転可能であったDG1台が起動し、問題なかったが予備電源はない状態。スロッシングによる水位低下は予測された事象である。

▶ 津波による大規模浸水と破壊により、全交流電源が喪失した

- 津波は、建物、タンク、海側施設等を浸水・破壊した。建屋内、道路等にガレキが散乱し、物資運搬や車両通行等の復旧作業を大幅に悪化させた(=>作業環境が悪化)
- ・ 津波で非常用電源(DG※2)や電源盤等が冠水し、全交流電源が喪失した(=>電気が使えない)
- ・ 津波によって、海側にあった冷却用海水ポンプが冠水・損傷。全交流電源の喪失と 相まって、使用済燃料プールの冷却機能の喪失(=>蒸発によるプール水位低下)
- ・ プール水位低下が継続すると使用済燃料が損傷する可能性はあったが、事前評価 の結果、使用済み燃料の頂部到達は3月20日と予測(運転中であった他号機の対応 を優先して実施することが可能であった)
- プール温度実測の結果、沸騰まで至っていないことを確認(84℃)

[・]●災害対策マニュアルは、同時機能喪失を想定していなかった

- ・ マニュアル(AM)では、全交流が喪失するSBO(全交流電源喪失)は想定していたが、 全交流・直流電源の同時喪失、電源・冷却機能の同時喪失を想定していなかった
- 電源・冷却・ベント機能の同時喪失時の対策・準備・訓練が不十分だった

● 原子炉建屋の爆発·損傷

- ・ 予想外の爆発であり、その原因は不明であり、東電は3号機からの滞留水素の4号機 側への廻り込みにより水素爆発したものと推定
- ・ 爆発によりプルーゲートが開き、Well側から使用済燃料プールへの流れ込みにより水 位回復(推定)
- ・ その後も火災が発生・自然鎮火。原因が不明であり、水素燃焼の影響も考えられる
- 建屋の水素滞留に対する事実把握、対策行動が不足 (水素爆発へ)

● 使用済燃料プールへの注水

使用済燃料プール水位は想定水位より余裕があった。実際の使用済燃料プールへの放水は3月20日より開始された

68

原子炉の停

海津

水系冷却機能の喪波による交流電源

水原る6 開子交号 始炉流機3/

済燃料プ

注

原非子常

炉用

が冷温停止の移行 円ポンプ復旧により

電源復の

電

源 3/14 融 通

£ 3/18

3/19

3/20

福島第一/5号機クロノロジー (地震発生前:定期検査停止中(圧力約7MPa,水温約90℃)、炉内燃料装荷状態) 発生した事象 その意味合い

3/11 14:46

地震の発生(震度6強)

(M9.0 観測史上4番目)

●全外部電源の喪失=>14:47 非常用ディーゼル発電機(DG)の自動起動

15:35 津波の襲来

> (津波M9.1 観測史上4番目) (浸水高さ 11.5~15.5m)

- 非常用DG発電機停止=>15:40**全交流電源の喪失** => 雷動機使用不能へ
- 冷却用の海水系ポンプの破壊 => 冷温停止機能の喪失(最 終ヒートシンク喪失)
- 直流母線の被水は免れる(バックアップ用の蓄電池により直流電 源からの供給継続
- 1:40 SRV自動開(炉圧8MPa維持)
- 6:06 圧力容器頂部の弁開操作による原子炉減圧実施
- 8:13 6号機非常用DGからの本設ケーブルによる受電開始(直流電源維持)
- 14:42 6号機側空調系の手動起動により5/6号中央制御室内空気浄化開始
- 18:29 6号機DGから5号機MUWC系へ仮設ケーブルによる電源供給開始
- 20:54 MUWCポンプ手動起動
- 21:01 非常用ガス処理系(SGTS)手動起動
- 5:00 SRV開による原子炉減圧実施(以降断続的に実施)
- 5:30 MUWCによる原子炉注水開始(以降断続的に実施)
- 9:27 SFPへの水補給開始(以降断続的に実施)
- 13:30 原子炉建屋屋上の孔開け(3ヶ所)作業終了
- 1:55 電源車からの仮設電源によりRHR仮設海水ポンプ起動
- 4:22 6号機非常用DG2台目起動
- 5:00頃 RHRポンプ手動起動
- (非常時熱負荷モードにて使用済燃料プール冷却開始)
- 10:49 RHRポンプ手動停止
- 12:25 RHRポンプ手動起動(停止時冷却モードにて原子炉冷却開始)

14:30 原子炉が冷温停止状態に移行

地震により外部電源喪失

地震直前は原子炉燃料装荷状態。原子炉圧力容器の漏えい試験のため原子炉圧力約7MPa 原子炉水温度約90℃. 使用済燃料プール約25℃

非常用DGの起動は設計通りであった。

津波による浸水により、全交流電源喪失。6号DGからの電源融通により交流電源復旧

津波の襲来により、非常用DG2台が停止。12日早朝には稼動していた6号機の非常用DGより 隣接プラント間電源融通のための本設ケーブルを通じて直流電源の一部が融通された。

- 直流電源の確保により、中央制御室監視計器が動作していたため復旧操作上必要な計装指 示値の確認は可能。また、6号機の非常用換気空調系の起動により5・6号機中央制御室内の 環境が改善された(全面マスクの装着不要)
- 津波の襲来により海水系冷却ポンプが全て水没した。また、高圧電源盤が水没したため6号機 からの仮設ケーブル敷設により、5号機復旧操作に必要な機器への交流電源供給を実施。
 - SGTSを起動することにより、原子炉建屋の負圧維持管理を継続した。

原子炉の減圧成功。仮設電源による原子炉注水、使用済燃料プールへの注水開始

原子炉の圧力については、地震発生後、崩壊熱により緩やかに上昇し8MPaで維持されたこと によりSRVが自動開で開動作となった。炉圧を下げるため原子炉圧力頂部の弁の開操作を実 施することにより、大気圧程度まで圧力降下。また、AM策として使用するラインより、原子炉及び SFPへの注水を開始した。

仮設電源の復旧により原子炉冷温停止へ

地震発生以降、原子炉及びSFPの水位は維持されており水素ガスが発生する状況ではなかっ たが、念のためボーリングマシンを使用し原子炉建屋屋上に3ヶ所孔開けを実施(3.5cm o~ $7 \text{cm } \phi$)

RHR系については、海水ポンプが使用不能のため仮設の電源と海水ポンプを使用、その後6号 機からの仮設ケーブル敷設によりRHRポンプを起動。RHR系の運転モード切替により、使用済 み燃料プールと原子炉の冷却を交互に実施。

使用済み燃料プールの水温低下後、RHR系の操作により原子炉が冷温停止状態へ移行。

15:35

福島第一/6号機クロノロジー (地震発生前:定期検査停止中、炉内燃料装荷状態)

発生した事象

その意味合い

原子炉の停止

冷却機能の喪失津波による海水系

3/12

3/14

3/16

3/18

3/19

の水位確保 原子炉及び使用

原子炉冷温停止の移行非常用ポンプ復旧により

3/11 14:46 **地震の発生(震度6強)** (M9.0 観測史上4番目)

●全外部電源の喪失=>14:47 非常用ディーゼル発電機(DG)の自動起動

津波の襲来

(津波M9.1 観測史上4番目) (浸水高さ 11.5~15.5m)

- 15:36 非常用ディーゼル発電機2台停止=>非常用DG1台運 転継続により所内電源確保
- 冷却用の海水系ポンプの損傷 => **冷温停止機能の喪失**(最終ヒートシンク喪失)
- 直流母線の被水は免れる(バックアップ用の蓄電池により**直流電 源からの供給継続**

6:03 非常用DGより所内電源供給ラインの構成開始

8:13 6号機非常用DGからの本設ケーブルによる5号機への電源融通

14:42 6号機側空調系の手動起動により5/6号中央制御室内空気浄化開始

13:01 復水補給水系ポンプ手動起動 → 原子炉注水開始

14:13 使用済燃料プールへの水補給開始 (以降断続的に実施)

13:10 燃料プール浄化系手動起動(除熱機能なし、循環運転のみ)

17:00 原子炉建屋屋上の孔開け(3ヶ所)作業終了

19:07 非常用DG冷却系海水ポンプ起動

4:22 非常用DG2台目起動

21:26 RHR仮設海水ポンプ起動(電源車からの仮設電源による)

22:14 RHR手動起動(非常時熱負荷モードにてSFP冷却開始)

16:26 RHR手動停止(非常時熱負荷モード)

18:48 RHR手動起動(停止時冷却モードにて原子炉冷却開始)

19:27 原子炉が冷温停止状態に移行

地震により外部電源喪失

- 地震直前は原子炉に燃料が装荷され、冷温停止状態であった。
- 非常用DGの起動は設計通りであった。

津波による浸水も、非常用DGによる非常用電源の確保。しかし、海水系冷却機能は 喪失

- 津波の襲来により非常用DG2台が停止したが、空冷式の1台が運転継続可能であったこと、非常用電源盤が使用可能であったことから、非常用電源は確保。
- ・ 非常用電源の確保により、中央制御室監視計器が動作していたため原子炉及び使用済燃料 プールのパラメータ確認は可能。また、非常用換気空調系の起動により中央制御室内の環境 が改善された(全面マスクの装着不要)
- ・ 津波の襲来により冷却系海水ポンプが全て水没した。
- SGTSの運転は地震後から運転継続されており、原子炉建屋の負圧維持管理は継続していた。

原子炉及び使用済燃料プールへの注水による水位確保

非常用電源により復水補給水系ポンプ電源が確保されていたことから原子炉及び使用済燃料 プールへの注水を実施。その後、燃料プール浄化系ポンプの循環運転及びプール水の攪拌を 実施し温度上昇抑制を実施

仮設電源の復旧により原子炉冷温停止へ

地震発生以降、原子炉及びSFPの水位は維持されており水素ガスが発生する状況ではなかったが、念のためボーリングマシンを使用し原子炉建屋屋上に3ヶ所孔開けを実施(3.5cm $\phi \sim 7$ cm ϕ)

- ・ RHR系については、海水ポンプが使用不能のため仮設の電源と海水ポンプにて代替復旧したことにより、RHRポンプを起動。RHR系の運転モード切替により、使用済み燃料プールと原子炉の冷却を交互に実施。
- ・ 使用済み燃料プールの水温低下後、RHR系の操作により原子炉が冷温停止状態へ移行。

発生事象から抽出された事故展開は次の通り ー 水が燃料棒金属に反応して水素が大量発生、5階に滞留し爆発、放射能漏 洩に至る 発生した事象 事故の進展(概念図) 地震の発生(震度6強) 地震の発生 停原 3/11 114:46 止子 (M9.0 観測史上4番目) (M9.0 観測史上4番目) 炉 ■ 14:46 原子炉の自動停止 =>14:52 IC自動起動、手動間欠運転

の

重要機能の全面喪津波による全電源 失と

高圧化防止の流が開電源の対象を ベ準確 ペント準備等 呼保

3/12

水素滞留が大素滞留

水素爆発 放射能漏れ ● 全外部電源の喪失=>14:47 非常用ディーゼル発電機(DG)の自動起動

津波の襲来 15:35

(津波M9.1 観測史上4番目) (浸水高さ 11.5~15.5m)

|全電源、「冷やす」機能、「圧力を制御する」機能の同時喪失+暗闇・劣悪環境

- 非常用DG発電機、電源盤の水没=>**全交流電源の喪失** => 電動機使用不能へ
- 電気品室等の水没=>**直流電源の喪失**=> 電源盤、計測・制 御設備が使用不能へ => **冷却機能の喪失**(IC、HPCI等)、 圧力制御機能の喪失(遠隔からのSRV操作等)
- 冷却用の海水系ポンプの破壊 => **冷温停止機能の喪失**(最 終ヒートシンク喪失)

津波直後: 非常用復水器(IC)による原子炉の冷却 => やがて原子炉水位の低下へ

17:12 所長、消防車による注水の検討指示

18:46頃 燃料損傷の開始(推定)

- |**21:19 原子炉水位が判明**(燃料頂部+200mm)
- 23:00 タービン建屋内での放射線量の上昇を確認

この頃、最初の電源車が到着

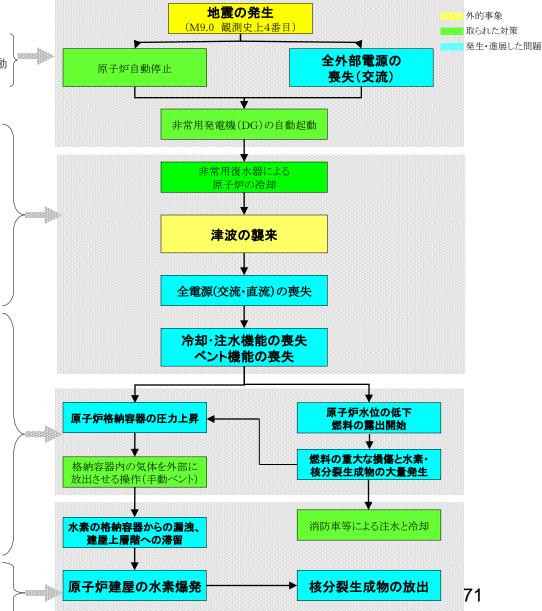
- 00:06 所長、ベント準備を指示
 - (格納容器(D/W)圧力が600kPa超の可能性)
- 01:30 ベントの実施を申入れ、国の了承
- |02:30 圧力容器の低圧/格納容器の高圧を確認
- |05:46 消防車により淡水注入開始
- 07:20 圧力容器の破損(解析)
- 09:04 作業員がベントの為、現場へ出発
- 10:17 格納容器ベント開始
- 14:30 格納容器ベント成功(D/W圧力低下)
- 14:53 淡水注入完了(累計80,0000)
- 14:54 所長、海水注入を指示

建屋爆発(5階部分)

19:04 海水注入の開始

15:36

20:45 ほう酸を海水に混ぜ炉へ注入開始



放射能漏れ

発生事象から問題点抽出ー 全電源・冷却機能・ベント機能の同時喪失が、作業を極めて難航・長期化させ、炉を「冷やす」「閉込める」機能を要しく低下させた

問題点

- 電気融通機能を持つ隣接2号機も電源喪失した為、電源が融通できなかった
- 電源盤の水没によって電源車からの給電もできず電源喪失が長期化した
- 劣悪環境により、電源車到着後も、電源接続口への移動が困難、かつ接続が困難だった

、AMにおいて交流・直流の同時電源喪失を想定していなかった(=直流は長期喪失しない)

- 炉水を維持・冷却する機能を有するICは直流電源である為、直流喪失と共に格納容器の隔離弁が閉鎖し、その後の操作が不能になった(内側隔離弁にアクセスできずベント遅延へ)
- 全電源喪失により、遠隔からの減圧・換気等のための弁操作やベント操作が困難になった
- SBOと同時に直流電源が喪失した場合の運転手順が不明確だった(SBO手順書は、直流電源が正常である事を想定)

炉の冷却の為の代替注水源の確保が不十分かつ遅延した

- 電源喪失により、注水前に行う炉減圧操作の遅延(バッテリー枯渇、駆動用空気圧の低下)
- │● 直流喪失時の減圧操作の容易性、線量対策の不備(SRV以外での減圧法が必要?)
- 消火系ディーゼル駆動消化ポンプに不具合があった
- 津波による道路液状化、ガレキ等で、外部注水ラインへの移動、設置・接続が困難を極めた
- 外部注水ポンプの注入能力の低さ
- 外部注水源の確保・補給が長期化した

格納容器(PCV)ベント機能が喪失し、手動開放が長期化し遅延した

- ・ 電源喪失時のベント操作の容易性の確保、線量対策が不十分
- W/Wベント時の水フィルター効果により核分裂生成物の外部放出の低減効果はあるが、ベント操作の遅延や格納容器過温破損による直接放出に対する線量対策が不十分

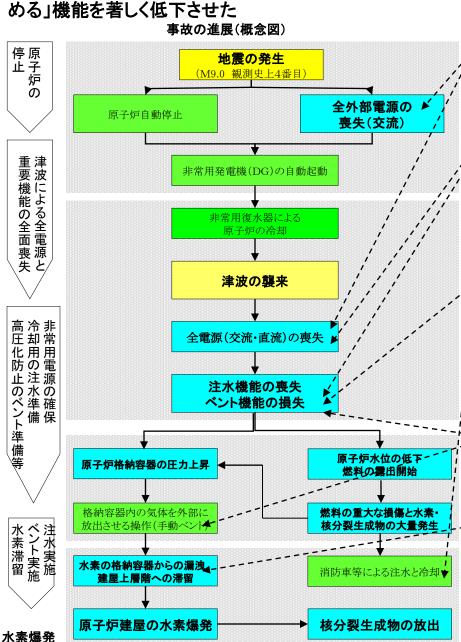
建屋爆発(水素爆発)への警戒、動向把握、対策行動が不十分だった

- 長期的な全交流電源喪失時の建屋換気方法が考慮されていない
- 水素発生を検知する仕組みが確立されていない。
- 発生し建屋内に滞留した水素を、外部に逃がす仕組みが確立されていない

海側の津波耐性が弱く、津波による最終ヒートシンク喪失後、有効策が打てなかった

■ 理論上の「高圧冷却=>SRVによる圧力容器減圧=>低圧冷却による代替注水=>格納容器減圧」の除熱手段はあるが、全電源・ベント機能喪失時の管理・運用手順が不明確

*** 元 なき複制・無解転用な林***ます。 Commission Team 1190 Decision all violeta recommo



発生事象から抽出された事故展開は次の通り - 隣接号機の爆発により必要機器等の破損、作業着手の遅れ等のマイナ ス要因が重複してPCV爆発に至る

発生した事象

停 原 止 子 ത

> 海津 水系冷却機能喪失放による全電源と

高低高 圧圧圧

燃料損傷・水素発生がベント準備・ベント集協・域圧・低圧注水実施 敗.

放射能漏れ

爆発

3/11 14:46 地震の発生(震度6強) (M9.0 観測史上4番目)

- 14:47 原子炉の自動停止
- **全外部電源の喪失** → 非常用DG自動起動

14:50 RCIC手動起動 → 14:51自動停止(原子炉水位高(L-8))

● 15:01 原子炉未臨界確認

15:35津波の襲来

> (津波M9.1 観測史上4番目) (浸水高さ 11.5~15.5m)

15:39 RCIC手動起動

● 15:41 全交流電源喪失(非常用DG、電源盤水没)⇒劣悪環境·暗闇

電気品室水没により直流電源喪失(P/C一部は被水免れる)→RCIC運転継続 海水系水没により最終ヒートシンク喪失→冷温停止機能喪失

17:12 所長、消防車による注水の検討指示

- 22:00 原子炉水位が判明(燃料頂部(TAF)+3400mm)
- 3/12 2:55 RCIC運転中であることを確認

(RCICによる原子炉注水が確認できたことから1号機のベントを優先)

- 17:30 所長、格納容器(PCV)ベント操作準備開始を指示

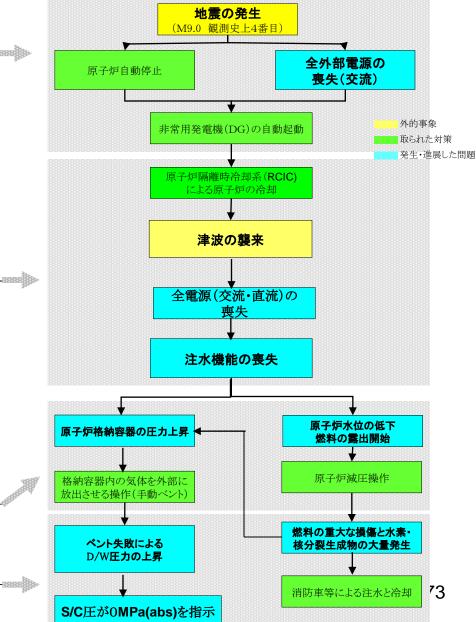
17:17~ 燃料損傷の開始(推定)

18:00頃 原子炉減圧開始(原子炉圧力5.4MPa⇒19:03 0.63MPa)

- 18:22 原子炉水位がTAF-3700mm到達、燃料露出と判断 → 官庁連絡
- 19:54 消火系ラインより消防車による原子炉内海水注入開始
- 21:00頃 S/Cベント弁(小弁)微開、ベントライン再構成完了
- 22:50 D/W圧力 最高使用圧力427kPa超える(上昇傾向継続)。一方、S/C圧が 300~400kPa gage で安定し圧力が均一化されない状況が発生。
- 23:35頃 S/C側のラプチャーディスクが圧力が低く作動しないことから、D/W ベント 弁(小弁)開によるベント実施を決定。
- 0:02 D/Wベント弁(小弁) 開、ベントライン構成完了(数分後同弁閉確認) (D/W圧力750kPa abs から低下せず。D/W圧力は高め安定で水位)

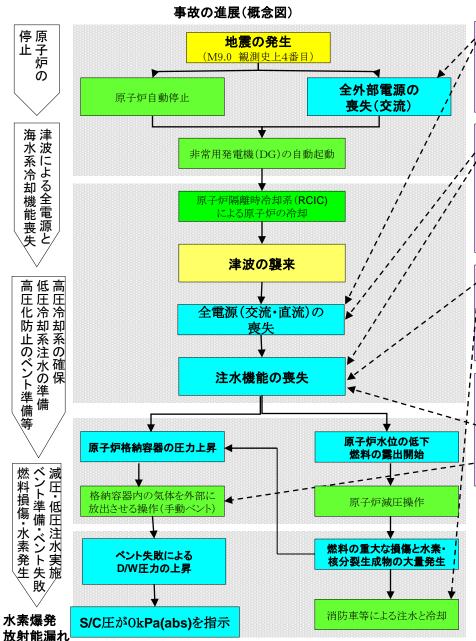
S/C圧がOkPa(abs)を指示

事故の進展(概念図)



6:00~ 6:10

1F2号機の問題点の整理



問題点

地震と津波によって、全交流電源が長期的に喪失した

- 電気融通機能を持つ隣接号機も電源喪失した為、電源が融通できなかった。
- 電源盤の一部は水没を免れたが、ガレキ等の障害物により建屋へのアクセスが困難であり復旧に時間がかかり、電源喪失が長期化した。
- 水没を免れた電源盤への電源供給のための電源車が、1号機の爆発により破損した。

AMにおいて交流・直流の同時電源喪失を想定していなかった(=直流は長期喪失しない)

- ◆ 交流電源のバックアップである直流電源が浸水により機能しない状況を想定していなかった。(水位不明、計器操作不能(RCIC作動状況確認不能)等監視機能の喪失)
- 全電源喪失により、遠隔からの減圧・換気等のベント(SRV)操作が困難になった
- SBOと同時に直流電源が喪失した場合の運転手順が不明確だった(SBO手順書は、直流電源が正常である事を想定)

炉の冷却の為の代替注水源の確保が不十分かつ遅延した

- 電源喪失により、注水前に行う炉減圧操作の遅延(バッテリー枯渇による代替電源準備遅延)
- 3号機の爆発により消防車及び注入ホースが破損した
- 津波による道路液状化、ガレキ等、または余震の発生の影響で海水注水ラインの構成が困難を極めた。

格納容器(PCV)ベント機能が喪失し、手動開放が長期化し遅延した

- 3号機の爆発によりPCVベントラインの大弁が閉となり開不能。小弁開操作のため遅延
- ドライウェル(D/W)圧力はラプチャーディスク(破壊弁)動作圧力超えるもウェットウェル(W/W)圧力が動作圧力以下のためラプチャーディスクが動作せず。その状態が継続しサプレッションチェンバー(S/C)の圧力が低下したことから、格納容器の損傷の可能性あり。
- ラプチャーディスク動作圧力値の設定の再検討が必要

海側の津波耐性が弱く、津波による最終ヒートシンク喪失後、有効策が打てなかった

● 理論上の「高圧冷却=>ベントによる圧力容器減圧=>低圧冷却による代替注水=>格納容器減圧」の除熱手段はあるが、全電源・ベント機能喪失時の管理・運用手順が不明確

74

発生事象から抽出された事故展開は次の通り - 必要機器等の破損、作業着手の遅れ等のマイナス要因が重複してPCV 爆発に至る 事故の進展(概念図)

停原 止分 の

海水系冷却機能の喪失津波による交流電源と

格納容器圧力のベント準備等 注水による冷却継続・失敗 ・実失

水素滞留水素滞留水素が実施の注水実施

3/11 14:46

地震の発生(震度6強)

(M9.0 観測史上4番目)

● **14:47 原子炉の自動停止** =>15:05 RCIC手動起動

発生した事象

- =>15:25 RCICトリップ(水位高)
- 全外部電源の喪失=>14:48 非常用ディーゼル発電機(DG)の自動起動

15:35

津波の襲来 (津波M9.1 観測史上4番目) (浸水高さ 11.5~15.5m)

全交流電源機能の喪失十暗闇・劣悪環境

- 非常用DG発電機、電源盤の水没=>15:38**全交流電源の喪失** => 電動機使用不能へ
- 冷却用の海水系ポンプの破壊 => 冷温停止機能の喪失(最終ヒートシンク喪失)
- 直流母線の被水は免れる(バックアップ用の蓄電池により**直流電源からの供給継続**=(RCIC、HPCI、記録計等への供給継続)

16:03 原子炉隔離時冷却系(RCIC)手動起動による冷却

- 11:36 RCICトリップ(消防車は1号機に使用中)
- 12:35 高圧注水系(HPCI)自動起動(水位低)
- 17:30 所長、格納容器ベントの準備を指示

02:42 HPCI停止(バッテリ枯渇)

- **0**3:51 水位計指示で燃料域-1600mm (TAF-1600mm)が判明
- 04:15 水位が燃料頂部に達したと判断
- 05:10 RCICによる注水失敗と判断
- 05:15 所長、ベントラインの準備完成を指示
- 08:41 RDを除くベントライン構成完了

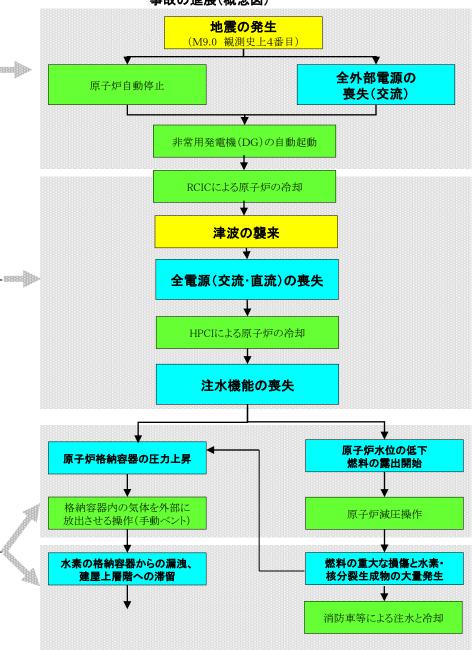
08:00~09:00 燃料損傷の開始(推定)

09:08頃 逃がし安全弁による減圧実施(社員乗用車バッテリで)

09:25 消防車による淡水注入開始(ほう酸入り)

09:36 ベント操作によりD/W圧の低下を確認

- 10:30 所長、海水注入の準備を指示
- 11:17 S/CベントAO弁が閉(空気ボンベ圧低下)
- 12:20 淡水注入完了(近場の防火水槽の淡水枯渇)
- 12:30 SCベントAO弁を開(空気ボンベ交換)
- 13:12 消防車による海水注入開始(頻発する余震で準備難航)
- 01:10 海水不足による補給の為、消防車注水を停止
- 03:20 消防車による海水注入再開
- 05:20 S/CベントAO弁の開操作、06:10 同弁の開確認
- ▼09:20 物揚場から逆洗弁ピットへの海水補給を開始(高線量、アクセス難で難航)
- 10:53 自衛隊給水車(5t7台)到着、逆洗弁ピットに配置し、淡水補給開始



水素爆発 放射能漏れ 3/15

16:30頃 物揚場から炉へ注水するライン構築、海水注入再開

07:55 建屋上部に蒸気の浮遊を確認

1F3号機の問題点の整理

事故の進展(概念図) 停原 地震の発生 止子 (M9.0 観測史上4番目) 炉 全外部電源の 原子炉自動停止 喪失(交流) 重津 非常用発電機(DG)の自動起動 RCICによる原子炉の冷却 喪源 津波の襲来 失と 全電源(交流・直流)の喪失 格注直 納水流 将容器圧力が電源の確認 HPCIによる原子炉の冷却 のベントに却継続に 注水機能の喪失 -集 集 集 原子炉水位の低下 原子炉格納容器の圧力上昇 燃料の露出開始 格納容器内の気体を外部に 水素滞留の大素の 原子炉減圧操作 放出させる操作(手動ベント) 燃料の重大な損傷と水素・ 注水実施 核分裂生成物の大量発生 水素の格納容器からの漏洩、 建屋上層階への滞留 消防車等による注水と冷却 原子炉建屋の水素爆発 核分裂生成物の放出 水素爆発 放射能漏れ

問題点

,地震と津波によって、全交流電源が長期的に喪失した

- 電気融通機能を持つ隣接号機も電源喪失した為、電源が融通できなかった。
- 電源盤の水没によって電源喪失が長期化した。
- 劣悪環境により、電源車到着後も、電源接続口への移動が困難、かつ接続が困難だった。

AMにおいて交流・直流の同時電源喪失を想定していなかった(=直流は長期喪失しない)

- 直流電源が水没しなかったため、高圧冷却系での冷却が維持された。しかし、直流電源枯渇後は注水機能が喪失した。
- 全電源喪失により、遠隔からの減圧・換気等のベント(SRV)操作が困難になった。
- SBOと同時に直流電源が喪失した場合の運転手順が不明確だった。(SBO手順書は、直流電源が正常である事を想定)

· 炉の冷却の為の代替注水源の確保が不十分かつ遅延した

- 所内バッテリーが不足しており、自家用車バッテリー回収によりSRV開操作を実施したため減圧開始に時間を要した。
- 所内の消防車が1号機海水注入に使用されており、代替消防車の手配に時間がかかった。
- 海水の確保、消防車不足により注水作業が遅延
- 津波による道路液状化、ガレキ等で、消防車の取水箇所への移動、注水ホースの設置・接続等が困難を極めた。

格納容器(PCV)ベント機能が喪失し、手動開放が長期化し遅延した

- 電源喪失時のベント操作の容易性の確保、現場の線量対策が不十分
- ベント時の核分裂生成物の外部放出に対する低減対策がサプレッションプールスクラビング以外ない

建屋爆発(水素爆発)への警戒、動向把握、対策行動が不十分だった

- 長期的な全交流電源喪失時の建屋換気方法が考慮されていない
- 水素漏えいを検知する仕組みが確立されていない
- 発生し建屋内に滞留した水素を、外部に逃がす仕組みが確立されていない

海側の津波耐性が弱く、津波による最終ヒートシンク喪失後、有効策が打てなかった

● 理論上の「高圧冷却=>ベントによる圧力容器減圧=>低圧冷却による代替注水=>格納容器減圧」の除熱手段はあるが、全電源・ベント機能喪失時の管理・運用手順が不明確

発生事象から抽出された事故展開は次の通り - SFP冷却機能の喪失により水温が上昇したが、隣接3号機の爆発により 水素が廻り込み建屋爆発に至る 事故の進展(概念図) 発生した事象 地震の発生 地震の発生(震度6強) (M9.0 観測史上4番目) 3/11 14:46 (M9.0 観測史上4番目) 停原 ● 平成22年11月30日~定期檢查中(原子炉停止中) 止子 全外部電源の スロッシングによる使用済 =使用済み燃料プール 燃料1535体貯蔵(97%) 炉 燃料プール(SFP)水位低下 喪失(交流) の ● 全外部電源の喪失=>14:47頃 非常用ディーゼル発電機1台(DG) の自動起動(推定) ● スロッシングにより使用済み燃料プール水が漏れ水位低下(約0.5m低下と推定) 海水系冷却機能の喪津波による全電源と 非常用発電機(DG)の自動起動 15:35 津波の襲来 (津波M9.1 観測史上4番目) (浸水高さ 11.5~15.5m) 津波の襲来 全交流電源機能の喪失+暗闇・劣悪環境 ● 非常用DG発電機、電源盤の水没=>**全交流電源の喪失** => 電動機使用不能へ 全電源(交流・直流)の 失 ● 電気品室等の水没=>**直流電源の喪失**=> 電源盤、計測・制御 喪失 設備が使用不能へ => 冷却機能の喪失(FPC, RHR等) ● 使用済燃料プール(SFP)冷却用の海水系ポンプの損傷=> 冷却 3号機からの水豊使用済み燃料プー 機能の喪失(最終ヒートシンク喪失) SFP冷却用海水系損傷 使用済燃料の崩壊熱によりプール温度は徐々に上昇し、プール水蒸発による使用済み燃料プール水位の低下へ ● 使用済燃料プール水位の低下の評価では3月20日頃燃料頂部到 SFP冷却機能の喪失 達予測 素位 ● 事象発生前はプールゲート閉の状態であり、DSピット・Well側とは同 滞確ル 水位であった。このため、使用済み燃料プール水位の低下継続によ 留保水 準位 りプールゲートがあるタイミングで開き、Well側より水が流れ込むこと SFP水温の上昇 も期待できる状態 3/14 04:08 使用済燃料プール温度 84℃を確認 水素爆発 爆発音発生、原子炉建屋 放射能漏れ 11:01 3号機爆発 4.5階部分損傷 大きな音が発生 原子炉建屋損傷(4・5階部分) 注火 3/15 06:12 水開発 ● 爆発によりプールゲートが開き、Well水位まで回復(推定) 原子炉建屋3階で火災発生 始生 →自然鎮火 3/16 09:38 原子炉建屋3階より火災発生 11:00頃 現場確認にて自然鎮火 ヘリコプターによりプール水位を確認(燃料頂部より4~5m上部) 3/20 08:21 使用済燃料プールへの放水開始(以降断続的に放水) SFPへの注水開始

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

福島第一4号機の問題点の整理

事故の進展(概念図)

問題点

'地震と津波によって、全交流電源が長期的に喪失した

- 電気融通機能を持つ隣接3号機も電源喪失した為、電源が融通できなかった
- 運転可能な非常用DG1台が起動したが、予備電源はない状態
- スロッシングによる水位低下は予測された事象

AMにおいて交流・直流の同時電源喪失を想定していなかった(=直流は長期喪失しない)

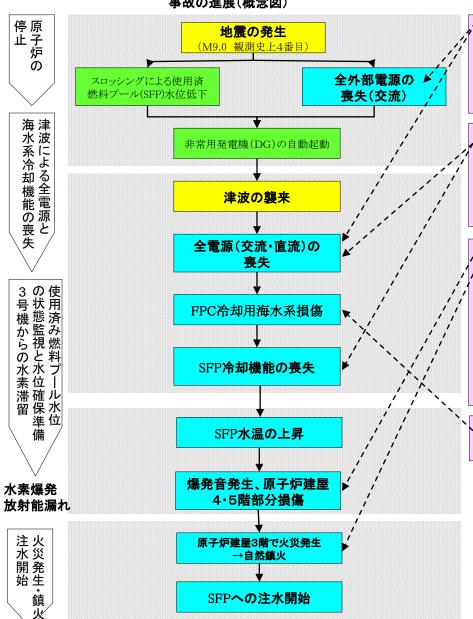
- SBOと同時に直流電源が喪失した場合の運転手順が不明確だった(SBO手順書は、直流電源が正 常である事を想定)
- 電源・冷却・ベント機能の同時喪失時の対策、準備、訓練等が不十分であった

原子炉建屋の爆発、損傷

- 予想外の爆発で原因不明であったが、3号機からの滞留水素が非常用ガス処理系(SGTS)配管を通じ て4号機側に廻り込み、水素爆発に至ったものと推定(4号機SFP内の燃料に損傷はなし)
 - →SGTS放射能除去フィルタの出口側の線量が入口側の線量より数十倍高い値であった
- 火災発生についても原因不明、水素燃焼による可能性もあり
- 長期的な全交流電源喪失時の建屋換気方法が考慮されていない
- 水素発生を検知する仕組みが確立されていない
- 発生し建屋内に滞留した水素を、外部に逃がす仕組みが確立されていない

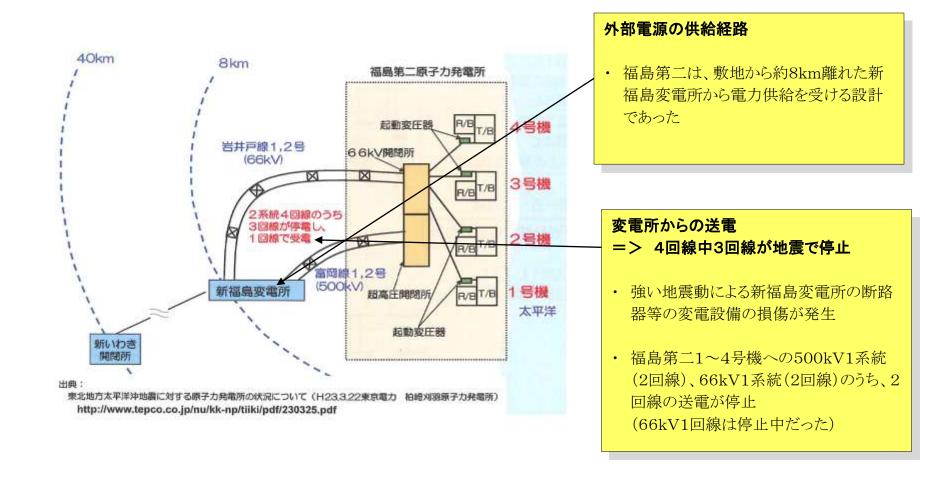
海側の津波耐性が弱く、津波による最終ヒートシンク喪失後、有効策が打てなかった

冷却用海水ポンプの水没により、全交流電源喪失と相まってSFPの冷却機能が喪失

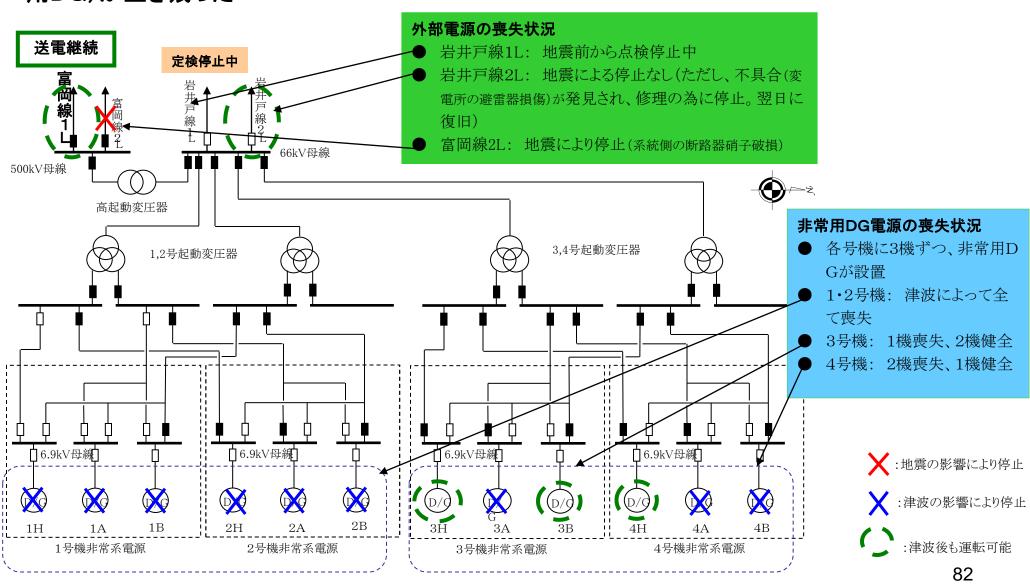


福島第二原発のクロノロジーと課題

福島第二の送電系統の被害 ー 福島第二では、変電所の変電設備の損傷により、外部電源4回線のうち3回線が停止した

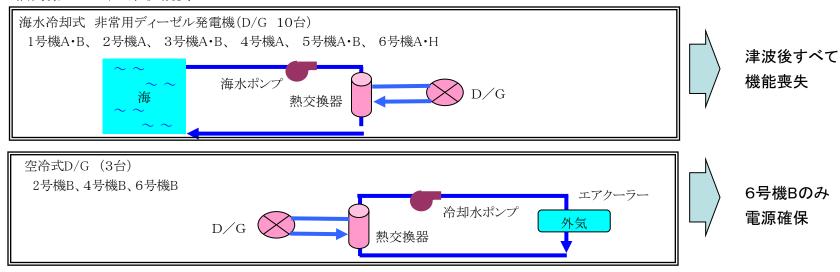


津波後の外部・内部電源の喪失状況 - 福島第二は、外部電源1回線と内部電源3回線(非常用DG)が生き残った

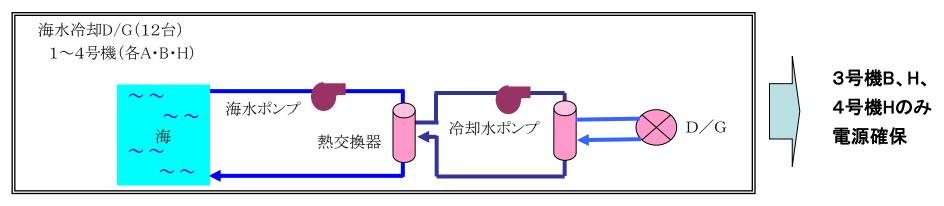


非常用DG発電機の状況 - 福島第二の非常用DG発電機は、12台中3台が生き残った。福島第一は、6号機の1台を除いて全て喪失

福島第一: D/G系統概要



福島第二:D/G系統概要



D/G本体が健全でも、本体を冷却する為の系統を失えば、機能喪失する

外部電源以外の電源系統の被害状況 - 原子炉・タービン建屋内への浸水被害が小さい福島第二では、電源盤(MC、PC)、直流電源、海水系等の電源被害が、第一と比べて軽微である

津波後の電源設備及び海水系の健全性

									及り	电源以识	別人し	/海水糸(ク姓エ	<u> </u>							
							福島	島第一									福島	身第二 •			
		1•号模	送	2号模	送	3号榜	幾	4号模	送	5号榜	髮	6号标	幾	1号核	髮	2号榜	送	• 3号榜	髮	4号标	幾
		電源盤 •	使用 可否	電源盤	使用 可否		使用 可否	電源盤	使用 可否	電源盤	使用 可否	電源盤	使用 可否	電源盤	使用 可否	電源盤	使用 可否	電源盤	使用 可否	電源盤	使用 可否
Ъ	非	DG1A	×	DG2A	×	DG3A	×	DG4A	×	DG5A(%2)	×	DG6A	× (※2)	DG1A	×	DG2A	×	DG3A	×	DG4A	×
		DG1B	×	DG2B(空冷)	× (*1	DG3B	×	DG4B(空冷)	× (※1)	DG5B(%2)	×	DG6B(空冷)	0	DG1B	×	DG2B	×	DG3B	0	DG4B	×
J	用						•					HPCS DG	× (%2)	DG1H	×	DG2H	×	DG3H	0	DG4H	0
	非	M/C 1C	×	M/C 2C	×	M/C 3C	×	M/C 4C	×	M/C 5C	×	M/C 6C	0	M/C 1C	×	M/C 2C	0	M/C 3C	0	M/C 4C	
	117	M/C 1D	×	M/C 2D	×	M/C 3D	×	M/C 4D	×	M/C 5D	×	M/C 6D	0	M/C 1D	0	M/C 2D	0	M/C 3D	0	M/C 4D	0
	用			M/C 2E	×			M/C 4E	×			HPCS DG M/C	0	M/C 1H	×	M/C 2H	0	M/C 3H	0	M/C 4H	0
		M/C 1A	C 1A ×	M/C 2A	×	м/с за	×	M/C 4A	×	M/C 5A	×	M/C 6A-1	×	M/C 1A-1	0	M/C 2A-1	0	M/C 3A-1	0	M/C 4A-1	0
\mathbf{M}								,				M/C 6A-2	×	M/C 1A-2	0	M/C 2A-2	0	M/C 3A-2	0	M/C 4A-2	0
	علج	M/C 1B	×	M/C 2B	×	M/C 3B	×	M/C 4B	×	M/C 5B	×	M/C 6B-1	×	M/C 1B-1	0	M/C 2B-1	0	M/C 3B-1	0	M/C 4B-1	0
С	常田							·				M/C 6B-2	×	M/C 1B-2	0	M/C 2B-2	0	M/C 3B-2	0	M/C 4B-2	0
	用	M/C 1S ×	M/C 2SA	M/C 2SA	C 2SA × N	M∕C 3SA ×	×			M/C 5SA-1	×			M/C 1SA-1	0			M/C 3SA-1	0	-	
			×							M/C 5SA-2	×			M/C 1SA-2	0			M/C 3SA-2	0	1	
				M/C 2SB	×	M/C 3SB	×			M/C 5SB-1	×			M/C 1SB-1	0			M/C 3SB-1 M/C 3SB-2	0	-	
\vdash		D/0.10		D/C 00	_	D/G 0G		D/C 46		M/C 5SB-2	×	D/C 0C		VC 1SB=2		D/C 0C 1				D/G 4G 1	
	非	P/C 1C	×	P/C 2C	0	P/C 3C	×	P/C 4C	-	P/C 5C		P/C 6C	0	P/C 1C-1	×	P/C 2C-1	0	P/C 3C-1	0	P/C 4C-1	
	常田	P/C 1D	×	P/C 2D	0	P/C 3D	×	P/C 4D	0	P/C 5D	×	P/C 6D	0	P/C 1C-2	×	P/C 2C-2	×	P/C 3C-2	×	P/C 4C-2	×
	用		•	P/C 2E	×			P/C 4E	×		•	P/C 6E	0	P/C 1D-1	0	P/C 2D-1	0	P/C 3D-1	0	P/C 4D-1	0
		P/C 1A	×	P/C 2A	0	P/C 3A	×	P/C 4A	-	P/C 5A	×	P/C 6A-1	×	P/C 1D-2	×	P/C 2D-2	×	P/C 3D-2	0	P/C 4D-2	×
Р				P/C 2A-1	×					P/C 5A-1	0	P/C 6A-2	×	P/C 1A-1	0	P/C 2A-1	0	P/C 3A-1	0	P/C 4A-1	0
/		P/C 1B	×	P/C 2B	0	P/C 3B	×	P/C 4B	0	P/C 5B	×	P/C 6B-1	×	P/C 1A-2	0	P/C 2A-2	0	P/C 3A-2	0	P/C 4A-2	0
С	常	- 4								P/C 5B-1	0	P/C 6B-2	×	P/C 1B-1	0	P/C 2B-1	0	P/C 3B-1	0	P/C 4B-1	0
	用	P/C 1S	×	4		P/C 3SA	×	4		P/C 5SA	×			P/C 1B-2	0	P/C 2B-2	0	P/C 3B-2	0	P/C 4B-2	0
				D/C COD		D/G 00P				P/C 5SA-1	×			P/C 1SA	0			P/C 3SA	0	-	
				P/C 2SB	×	P/C 3SB	×			P/C 5SB	×			P/C 1SB	0			P/C 3SB	0	-	
								_				-		V						-	
	_	DC125V主 母線盤1A	×	DC125V主 母線盤2A	×	DC125V主 母線盤3A	0	DC125V主 母線盤4A	×	DC125V主 母線盤5A	0	DC125V DIST	0	DC125V主 母線盤A	0	DC125V主 母線盤A	0	DC125V主 母線盤A	0	DC125V主 母線盤A	0
-1-	2 5	DC125V主		DC125V主	×	DC125V主	0	DC125V主	×	DC125V主	0	DC125V DIST	0	DC125V主	0	DC125V主	0	DC125V主	0	DC125V主	0
直流	V	母線盤1B	^	母線盤2B	^	母線盤3B		母線盤4B	^	母線盤5B		CENTER 6B		母線盤B	0	母線盤B	0	母線盤B	0	母線盤B	
電	D C																				
源																					
1001	A																				
	B																				
海	Α	CCS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×
水	В	CCS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	0	RHRS B	×
系																					

福島第二1号機…クロノロジー

福島第二/1号機クロノロジー (地震発生前:定格熱出カー定運転)

発生した事象

3/11 14:46

地震の発生(震度6強) (M9.0 観測史上4番目)

● 14:48 地震加速度大により原子炉自動停止

全制御棒全挿入、主タービン自動停止、原子炉水位低(L-3) 500kV送電1系統停止、残り1系統より外部電源確保

● 15:00 原子炉未臨界確認

津波の襲来

(津波M9.1 観測史上4番目) (浸水高さ 12~14.5m)

15:33 循環水ポンプ(C)手動停止

15:34 非常用DG(A),(B),(H)自動起動 → 津波の影響により直後に停止

15:36 MSIV手動全閉

RCIC手動起動(原子炉への注水)

15:40 RCICポンプ自動停止(原子炉水位高(L-8))以降、RCICによる水位調整継続

15:55 SRV操作による原子炉減圧開始 以降、圧力調整継続

17:35「ドライウェル(D/W)圧力高」警報発生→ECCSポンプの自動起動 信号発信

17:53 D/W冷却系手動起動

3/12 0:00 MUWCによる原子炉への注水操作開始

3:50 原子炉急速減圧開始

4:56 原子炉急速減圧完了

4:58 RCIC手動停止

6:20 可燃性ガス濃度制御系(FCS)ラインを利用したMUWCによる 圧力抑制プール(S/C)冷却

7:10 MUWCによるD/Wスプレイ実施(以降、適宜実施)

7:37 MUWCによるS/Cスプレイ実施(以降、適宜実施)

7:45 FCS冷却水(MUWC)によるS/C冷却停止

10:21 PCV耐圧ベントライン構成開始

18:30 PCV耐圧ベントライン構成完了

3/13 20:17 RHRS(B)ポンプ手動起動(仮設ケーブル敷設による受電)

21:03 RHRC(D)ポンプ手動起動(仮設ケーブル敷設による受電)

3/14 1:24 RHR(B)手動起動(S/C冷却モード開始)

1:44 非常用DG設備冷却系(EECW)手動起動(高圧電源車による受電)

3:39 RHR(B)S/Cスプレイモード開始

10:05 RHR(B)LPCIモードにて原子炉への注水実施

10:15 S/C水温100℃未満であることを確認

16:30 FPMUWによる使用済燃料プールへの注水開始

17:00 原子炉が冷温停止状態に移行

その意味合い

地震により原子炉自動停止

地震後の原子炉の挙動(スクラム)は設計通りであり、大きな問題はなかった。

外部電源の確保により常用電源、非常用電源への給電確保。

津波による浸水により、非常用DG、非常用電源並びに海水系ポンプ機能喪失

津波の襲来により、原子炉建屋付属棟及び海水熱交換器建屋が浸水し非常用電源(メタクラ、 パワーセンター)が使用不能となった。

非常用DGについては、原子炉スクラム直後は使用可能な状態であったが、津波の襲来により非 常用機器冷却系ポンプが全て起動できない状態になるとともに、DG本体及びその付属設備(ポ ンプ、制御盤等)が被水したため全台使用不可となった。

主蒸気逃し弁・RCICによる原子炉圧力・水位調整

原子炉の圧力制御については、循環水ポンプ停止により復水器が使用不可(主蒸気の凝縮が できない)となったため、マニュアル通りMSIVを全閉としSRVによる減圧操作を実施。

MSIV全閉により、RCICを手動起動し原子炉への給水を実施。

原子炉圧力と圧力抑制プールの関係から熱容量制限における運転禁止範囲に入ったことからS RVによる原子炉急速減圧を実施。原子炉圧力の減圧により低圧系であるMUWCの注水を可能 にした上でRCICを停止。

D/W圧力高の警報発報

格納容器圧力上昇はSRV開に伴うS/Cへの蒸気排出とRHR使用不能による除熱機能喪失により 発報。

D/W圧力高によりECCSポンプの自動起動信号が発信されたが、RHR(B,C)ポンプにつ いては冷却用ポンプ使用不能のため自動起動後に手動停止とした。また他のECCSポンプに ついては起動できず。

格納容器の圧力抑制室(S/C)及びドライウェル(D/W)の冷却と格納容器ベント準備

圧力抑制室(S/C)冷却のため、可燃性ガス濃度制御系(FCS)の冷却器よりS/Cへの冷却水排水 ラインを使用して冷却水をS/Cへ注水するとともに、MUWCによるD/Wスプレイ、S/Cスプレイを 適宜実施することにより格納容器の冷却を実施。

格納容器の圧力上昇時に備え耐圧ベントライン構成を実施したが、格納容器最高使用設計圧 力310kPaには達しなかった。

非常用冷却系ポンプの復旧により原子冷温停止へ

並行して、電源車や仮設ケーブルを使用し、外部電源系から受電されている放射性廃棄物処理 建屋の電源からの仮設ケーブル敷設・受電により残留熱除去機器冷却系、非常用DG冷却系の 一部系統を起動可能な状態に復旧。RHR(B)手動起動によりS/C冷却を開始 85

RHR(B)系のLPCIライン、SRVを活用し、S/CからRHR熱交換器を経由して原子炉も冷却 する応急処置により冷温停止状態に移行両なき複製・無断転用を禁じます。Copyright Team H2O Project all rights reserved

却作原子に 開格圧 始納力

り非 原常

子系

炉機

2の冷温停 器・電源の

停止への復旧

原子炉の停止

のり津

喪非波

失常襲

系来 機器によ 原子炉の停

のり津

喪非波

失常襲

却作原原子原

開格圧

始納力

容器圧力上昇と冷・水位調整、減圧操

り非

原常系

炉機の器

冷温停

の復

旧に

3/14

系来

機器によ

福島第二/2号機クロノロジー (地震発生前:定格熱出カー定運転)

発生した事象

3/11 14:46 地震の発生(震度6強)

(M9.0 観測史上4番目)

● 14:48 地震加速度大により原子炉自動停止

全制御棒全挿入、主タービン自動停止、原子炉水位低(L-3) 500kV送電1系統停止、残り1系統より外部電源確保

● 15:01 原子炉未臨界確認

15:22 津波の襲来

> (津波M9.1 観測史上4番目) (浸水高さ 12~14.5m)

15:34 非常用DG(H)自動起動 → 津波の影響により直後に停止

15:34 MSIV手動全閉

15:35 RHR(B)手動起動 → 15:38停止 循環水ポンプ(C)手動停止、循環水ポンプ(A,B)自動停止

15:41 非常用DG(A),(B)自動起動 → 津波の影響により直後に停止 -

15:41 SRV操作による原子炉減圧開始 以降、圧力調整継続

15:43 RCIC手動起動(原子炉への注水)以降、RCICによる水位調整継続

■ 18:50「ドライウェル(D/W)圧力高」警報発生→ECCSポンプの自動起動 信号発信

20:02 D/W冷却系手動起動

4:50 MUWCによる原子炉への注水操作開始

4:53 RCIC自動停止(原子炉圧力低下による)

6:30 可燃性ガス濃度制御系(FCS)ラインを利用したMUWCによる 圧力抑制プール(S/C)冷却

7:11 MUWCによるD/Wスプレイ実施(以降、適宜実施)

7:35 MUWCによるS/Cスプレイ実施(以降、適宜実施) RHR(B)手動起動 → 圧力抑制プール冷却運転

7:52 FCS冷却水(MUWC)によるS/C冷却停止

10:33 PCV耐圧ベントライン構成開始

10:58 PCV耐圧ベントライン構成完了

3:20 EECW(B)手動起動(仮設ケーブル敷設による受電)

3:51 RHRS(B)ポンプ手動起動(仮設ケーブル敷設による受電)

5:52 RHRC(B)ポンプ手動起動(仮設ケーブル敷設による受電)

7:13 RHR(B)手動起動(S/C冷却モード開始)

7:50 RHR(B)S/Cスプレイモード開始

10:48 RHR(B)LPCIモードにて原子炉への注水実施

15:52 S/C水温100℃未満であることを確認

18:00 原子炉が冷温停止状態に移行

その意味合い

地震により原子炉自動停止

地震後の原子炉の挙動(スクラム)は設計通りであり、大きな問題はなかった。

外部電源の確保により常用電源、非常用電源への給電確保。

津波による浸水により、非常用電源並びに海水系ポンプ機能喪失

津波の襲来により、熱交建屋の非常用電源(パワーセンター)が使用不能となった。

非常用DGについては、使用可能な状態であったが、津波の襲来により、海水熱交換器建屋が 浸水したことから、非常用機器冷却系ポンプが全て起動できない状態になったため、非常用炉 心冷却ポンプ、非常用DGの起動不可能となった。

主蒸気逃し弁・RCICによる原子炉圧力・水位調整

原子炉の圧力制御については、循環水ポンプ停止により復水器が使用不可(主蒸気の凝縮が できない)となったため、マニュアル通りMSIVを全閉としSRVによる減圧操作を実施。

MSIV全閉により、RCICを手動起動し原子炉への注水を実施。

SRVによる減圧に伴いRCICが自動停止。その際、マニュアルに従ってMUWCによる原子炉 注水に切り替えた。

D/W圧力高の警報発報

格納容器圧力上昇はSRV開に伴うS/Cへの蒸気排出とRHR使用不能による除熱機能喪失によ り発報。

D/W圧力高によりECCSポンプの自動起動信号が発信され起動したが、非常用機器冷却 ポンプが使用不可能であったため、手動停止とした。

格納容器の圧力抑制室(S/C)及びドライウェル(D/W)の冷却と格納容器ベント準備

圧力抑制室(S/C)冷却のため、可燃性ガス濃度制御系(FCS)の冷却器よりS/Cへの冷却水排水 ラインを使用して冷却水をS/Cへ注水するとともに、MUWCによるD/Wスプレイ、S/Cスプレイを 適宜実施することにより格納容器の冷却を実施。

格納容器の圧力上昇時に備え耐圧ベントライン構成を実施したが、格納容器最高使用設計圧 力310kPaには達しなかった。

非常用冷却系ポンプの復旧により原子冷温停止へ

並行して、外部電源系から受電されている放射性廃棄物処理建屋の電源や3号機熱交建屋の 非常用電源からの仮設ケーブル敷設・受電によりB系の残留熱除去機器冷却ポンプ及び非常 用DG冷却系ポンプを起動可能な状態に復旧。RHR(B)手動起動によりS/C冷却を開始

RHR(B)系のLPCIライン、SRVを活用し、S/CからRHR熱交換器を経由して原子炉も冷却 する応急処置により冷温停止状態に移行。

86

福島第二/3号機クロノロジー (地震発生前:定格熱出カー定運転)

発生した事象

原子炉の停

止

機器の喪失りA系非常用津波襲来によ

却操作開始作よる格納容器圧力上昇と冷原子炉圧力・水位調整、減圧操

「炉の冷温停止へ B系非常用機器により原子 3/12

3/11 14:46 **地震の発生(震度6強)** (M9.0 観測史上4番目)

● 14:48 地震加速度大により原子炉自動停止

全制御棒全挿入、主タービン自動停止、原子炉水位低(L-3) 500kV送電1系統停止、残り1系統より外部電源確保

● 15:05 原子炉未臨界確認

15:22 津波の襲来

(津波M9.1 観測史上4番目) (浸水高さ 12~14.5m)

- 15:34 循環水ポンプ(C)手動停止
- 15:35 非常用DG(A),(B),(H)自動起動 → 津波の影響により直後にDG(A)停止
- 15:36 RHR(B)手動起動(S/C冷却開始)
- 15:37 MSIV手動全閉
- 15:38 循環水ポンプ(B)手動停止
- 15:46 SRV操作による原子炉減圧開始 以降、圧力調整継続
- 16:06 RCIC手動起動(原子炉への注水)以降、RCICによる水位調整継続
- 16:48 循環水ポンプ(A)手動停止
- 19:46「ドライウェル(D/W)圧力高」警報発生→ECCSポンプの自動起動信号発信
 - →全てのECCSポンプの自動起動信号発生 RHRC(A,C)、RHRS(A,C)、EECW(A)の各ポンプが使用不能もであったため RHR(A,C)ポンプ、LPCSポンプ等の自動起動防止措置を事前に実施。 RHR(B)S/C冷却モードからLPCIモードに自動切替
- 20:07 RHR(B)LPCIモードからS/C冷却モードに切替
- 20:12 D/W冷却系手動起動
- 22:53 MUWCによる原子炉への注水操作開始
- 23:11 RCIC手動停止(原子炉圧力低下による)
- 0:06 RHR(B)原子炉停止時冷却系(SHC)モード構成準備開始
- 1:23 RHR(B)手動停止(SHCモード準備のため)
- 2:39 RHR(B)手動起動(SHC冷却モード開始)
- 2:41 RHR(B)S/Cスプレイモード開始
- 7:59 RHR(B)手動停止(S/C冷却モード及びスプレイモード停止)
- 9:37 RHR(B) 手動起動(SHCモード運転開始)
- 12:08 PCV耐圧ベントライン構成開始
- 12:13 PCV耐圧ベントライン構成完了

12:15 原子炉が冷温停止状態に移行

その意味合い

地震により原子炉自動停止

- 地震後の原子炉の挙動(スクラム)は設計通りであり、大きな問題はなかった。
- 外部電源の確保により常用電源、非常用電源への供給確保。

津波による浸水により、A系の非常用電源並びに海水系ポンプ機能喪失

津波の襲来により、熱交建屋の非常用電源(一部パワーセンター)が使用不能となった。

非常用DGについては、使用可能な状態であったが、津波の襲来により、海水熱交換器建屋が一部浸水したことから、非常用機器冷却系ポンプA系が起動できない状態になったため、A系非常用炉心冷却ポンプ、非常用DGの起動不可能となった。

主蒸気逃し弁・RCICによる原子炉圧力・水位調整

原子炉の圧力制御については、循環水ポンプ停止により復水器が使用不可(主蒸気の凝縮ができない)となったため、マニュアル通りMSIVを全閉としSRVによる減圧操作を実施。

- MSIV全閉により、RCICを手動起動し原子炉への注水を実施。
- SRVによる減圧に伴い低圧系であるMUWCの注水を可能にした上でRCICを手動停止。

D/W圧力高の警報発報

格納容器圧力上昇はSRV開に伴うS/Cへの蒸気排出により発報。

D/W圧力高によりECCSポンプの自動起動信号が発信されたが、A系の非常用機器冷却ポンプが使用不可能であったため、予め起動防止措置を実施していた。なお、B系のECCSポンプについてはS/C冷却運転中であった。

原子炉の冷温停止状態への移行

残留熱除去系(RHR)ポンプ(B)が動作できていたことから、SHCモード構成準備後、RHR (B)ポンプによる炉注水・冷却を実施し冷温停止状態へ移行。

3/11 14:46

福島第二/4号機クロノロジー (地震発生前:定格熱出カー定運転)

発生した事象

その意味合い

原子炉の停

のり津 喪非波 失常襲系来 機器によ

却操作開作の場合を 開始に対し、派圧操作が、水位調整、減圧操作が、水位調整、減圧操作が、減圧操作が、減圧操作が、対している。

> り非 原子系 炉機

%の冷温停止へ協器・電源の復見

旧によ

地震の発生(震度6強) (M9.0 観測史上4番目)

● 14:48 地震加速度大により原子炉自動停止

全制御棒全挿入、主タービン自動停止、原子炉水位低(L-3) 500kV送電1系統停止、残り1系統より外部電源確保

● 15:05 原子炉未臨界確認

津波の襲来

(津波M9.1 観測史上4番目) (浸水高さ 12~14.5m)

- 15:33 循環水ポンプ(C)手動停止
- 15:34 非常用DG(A),(B),(H)自動起動 → 津波の影響によりDG(A),(B)停止
- 15:35 循環水ポンプ(A),(B)自動停止
- 15:36 MSIV手動全閉、RHR(B)手動起動→15:41自動停止
- 15:37 RHR(A)手動起動→15:38手動停止
- 15:46 SRV操作による原子炉減圧開始 以降、圧力調整継続・
- 15:54 RCIC手動起動(原子炉への注水)以降、RCICによる水位調整継続
- 19:02 「ドライウェル圧力高」警報発生
 - →全てのECCSポンプの自動起動信号発生

RHRC(A,B,C,D)、RHRS(A,B,C,D)、EECW(A,B)の各ポンプが使用不能で あったことからECCSポンプの自動起動防止措置を事前に実施。

- 19:14 D/W冷却系手動起動
- 0:16 RCIC自動停止(原子炉圧力低下による) MUWCによる原子炉への注水操作開始
- 7:23 FCS冷却系(MUWP)によるS/C冷却実施
- 7:35 MUWCによるS/Cスプレイ実施
- 11:17 原子炉注水をMUWCからHPCSに切替
- 11:44 PCV耐圧ベントライン構成開始
- 11:52 PCV耐圧ベントライン構成完了
- 13:48 HPCSによる原子炉注水停止(以降、適宜実施)
- 3/14 11:00 EECW(B)手動起動(電源車による受電)
 - 13:07 RHRS(D)ポンプ手動起動(仮設ケーブル敷設による受電)
 - 14:56 RHRC(B)ポンプ手動起動(仮設ケーブル敷設による受電)
 - 15:42 RHR(B)手動起動(S/C冷却モード開始)
 - 16:02 RHR(B)S/Cスプレイモード開始
 - 18:58 RHR(B)LPCIモードにて原子炉への注水実施

7:15 原子炉が冷温停止状態に移行

地震により原子炉自動停止

地震後の原子炉の挙動(スクラム)は設計通りであり、大きな問題はなかった。

外部電源の確保により常用電源、非常用電源への給電確保。

津波による浸水により、非常用電源並びに海水系ポンプ機能喪失

津波の襲来により、海水熱交換器建屋が浸水したことにより非常用電源(パワーセンター)が使 用不能となった。

非常用DGについては、原子炉スクラム直後は使用可能な状態であったが、津波の襲来により非 常用機器冷却系ポンプが起動できない状態になったため、非常用DG(A),(B)が使用不能となっ た。なお、非常用DG(H)については使用可能であったことから、原子炉の冷却に必要な非常用 電源は確保されていた。

主蒸気逃し弁・RCICによる原子炉圧力・水位調整

原子炉の圧力制御については、循環水ポンプ停止により復水器が使用不可(主蒸気の凝縮が できない)となったため、マニュアル通りMSIVを全閉としSRVによる減圧操作を実施。

- MSIV全閉により、RCICを手動起動し原子炉への注水を実施。
- SRVによる減圧に伴いRCICが自動停止。その際、マニュアルに従ってMUWCによる原子炉 注水に切り替えた。

D/W圧力高の警報発報

格納容器圧力上昇はSRV開に伴うS/Cへの蒸気排出とRHR使用不能による除熱機能喪失によ り発報。

D/W圧力高によりECCSポンプの自動起動信号が発信され起動したが、非常用機器冷却系 ポンプが使用不可能であったため、事前に自動起動防止措置を実施していた。

格納容器の圧力抑制室(S/C)及びドライウェル(D/W)の冷却と格納容器ベント準備

圧力抑制室(S/C)冷却のため、可燃性ガス濃度制御系(FCS)の冷却器よりS/Cへの冷却水排水 ラインを使用して冷却水をS/Cへ注水するとともに、MUWCによるS/Cスプレイを適宜実施するこ とで格納容器の冷却を実施。

格納容器の圧力上昇時に備え耐圧ベントライン構成を実施したが、格納容器最高使用設計圧 力310kPaには達しなかった。

非常用冷却系ポンプの復旧により原子冷温停止へ

並行して、3号機海水熱交換器建屋の非常用電源系からの仮設ケーブル敷設・受電により残留 熱除去機器冷却系、高圧電源車からの受電により非常用DG冷却系の一部系統を起動可能な 状態に復旧。RHR(B)手動起動によるS/C冷却を開始

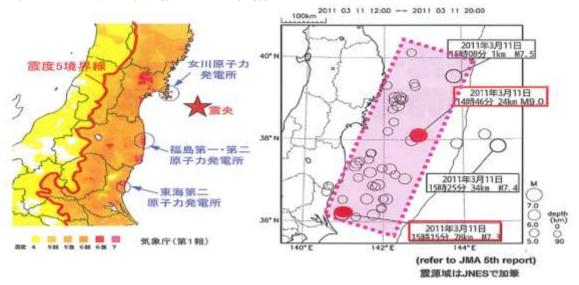
RHR(B)系のLPCIライン、SRVを活用し、S/CからRHR熱交換器を経由して原子炉も冷却 する応急処置により冷温停止状態に移行。

88

福島第一、第二以外の原発のクロノロジーと課題

今回の地震と原発の位置は次の通り - いずれも震度6前後を観測。第一と女川で一部基準値を上回る地震動を観測している

東北地方太平洋沖地震の緒元および地震規模



	福島第一	福島第二	女川	東海第二
震度 (観測市町村)	6強 (大熊町、双葉町)	6強 (楢葉町、富岡町)	6弱 (女川町)	6弱 (東海村)
観測記録 最大加速度 (基礎版上)	550ガル (2号機東西方向)	305ガル (1号機上下方向)	607ガル (2号機南北方向)	225ガル (東西方向)
基準地震動Ss との対比	一部の周期帯で Ssを上回る	Ss以下	一部の周期帯で Ssを上回る (3/11本震、4/7余震)	Ss以下

- 震央からの物理的距離は、女川原発が一番 近い。次いで、福島第一、第二、東海第二の 順
- 震度に関しては、いずれの原発も震度6前後を記録し、大きな差は見当たらない
- 原子炉における最大加速度は、女川が607 ガルで最大。次いで福島第一(550ガル)。 東海第二が最も小さい(225ガル)
- 基準地震動(Ss)については、女川と第一の 一部において上回っている。
 - 女川は、4月7日の余震でも一部 上回っている

地震等による設備損傷 - 今回の地震では、原子炉の安全上重要な機器損傷は確認されていないが、他の設備において死亡事故、損傷を確認。女川では1号機で火災、外部アクセス路の不通が発生

< 報告されている主な設備の損傷等 >

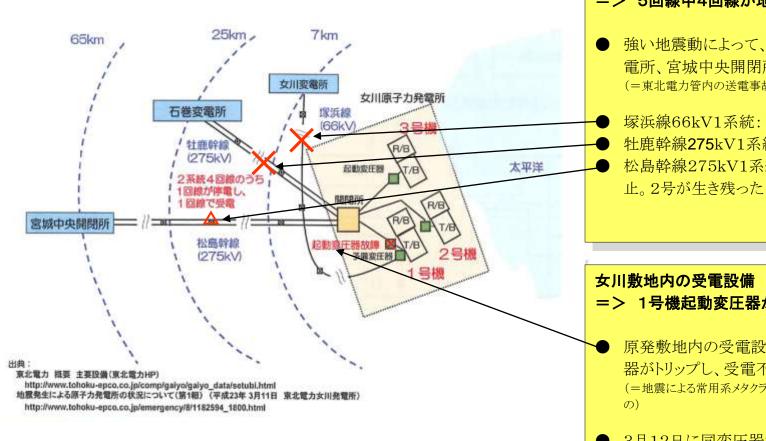
	主な設備の損傷	その他
福島第一	 ・1号機: 空調ダクト損傷 ・2号機: 電気ボイラー非放射性蒸気漏れ ・5号機: 湿分分離器サポート外れ、湿分分離器廻り小口径配管破損 ・6号機: 低圧タービンローターに摺動痕 ・変圧器防災配管損傷部、純水タンク接続配管等からの水漏れ ・津波により屋外設備ではポンプ・電源盤等の損傷あり 	・補強工事を実施済みのアクセス道路は異常なし・津波により重油タンクやクレーン等が流され、通行を阻害。
福島第二	 スロッシング等による水漏れ4件(1号機2件、2号機2件) 3号機: サージタンクのオーバーフロー漏洩(原子炉建屋内)1件 4号機: タービン建屋内での漏洩 変圧器からの油漏洩1件 地震による主排気塔耐震工事でのタワークレーン運転者の死亡事故 サイトバンカー・スロッシングによる水漏れ1件 4号機: 換気空調系主排気ダクトの支持脚溶接部ダクト母線のヒビ割れ 	・ アクセス道路は異常なし
女川	 ・1号機: 重油タンク倒壊(津波)、常用メタクラの火災等(法令事故報告4件) ・その他、主要設備への軽微な被害: 61件 ・原子炉の安全性に影響を及ぼさない、主要設備以外での軽微な被害565件: 使用済燃料プールへの異物落下や放射性雑固体廃棄物のドラム缶転倒等 	 大域的にはアクセス道路が3本あるが、ボトルネックとなる1箇所があり、そこでガケ崩れが発生 発電所内の重機にて4日間かけて復旧 4日間は食料不足の為、ヘリで空輸(事業者調べ)
東海第二	 DGSW(2C)の自動停止、125V蓄電池室における溢水(法令事故報告2件) 139件の軽微な被害(使用済燃料プールのスロッシング等) 	・ アクセス道路は異常なし 91

電源喪失の比較 - 外部電源が地震に弱い。福島第二、女川の各1回線を残し、全て喪失。外部または非常用電源の1つでも残ったか否かが、その後の事故展開において福島第一とそれ以外の際立った違いを生んだ

		福島第一	福島第二	女川	東海第二	(福島第二、女 川、東海第2 の状況)
外部電源が弱い・ 第一のみならず、他の原発も殆ど 喪失している	送電線(外部)から受 電状況	無 (全6回線)	1回線有 (全4回線)	1回線有 (全5回線)	無 (全3回線)	交流電源(非常用 電源)の供給が可
 非常用発電機の有無が、大きな違いを生んだ 第一は、外部電源と非常用電源の6号機の1台を除いて全て同時喪 	非常用発電機	1~5号:×: 6号:O(1台:空冷式) ×(2台:水冷式)	1号:× 2号:× 3号:O(2/3) 4号:O(1/3)	1号: 〇 2号: 〇(1/3) 3号: 〇	O (2/3)	能であった。→ 炉心冷却が可能であった。
失し、炉心の冷却機能を喪失 ・他の原発は、外部/非常用電源の いずれか1つが残った為、冷温停	(設置位置)	ターピン建屋 (海側)	原子炉建屋 (陸側)	原子炉建屋 (陸側)	原子炉建屋 (陸側)	非常用発電機が原 子炉建屋に設置
止に移行できた	海水系ポンプモータ	全て被水	一部被水	一部被水	一部被水	ポンプ等が一部残 存し、機能した。
特に第一の非常用DGが弱い第一の1~4号機の非常用DGは 海側(TB建屋)にあり、かつ、その	→ (設置位置)	屋外	屋内	屋内 (一部屋外)	屋外	差は特段無し(福島 第一の津波高さが 非常に大きかった)
冷却系が屋外の海沿いに設置されていた ・ その為、津波によって全て機能喪失した	電源供給のために配備した敷材	電源車 (津波・爆発等の影 響で接続できず)	一部電源車を使用	送電線による外部電源車等は必要となら	が生き残ったため、電	

電源喪失の状況等を鑑みると、他の原発も決して万全だった訳ではなく、むしろ、福島第一と同様の過酷事故の 92 リスクを抱えていたと言える

女川の送電系統の被害 ー 強い地震動による開閉所および変電所の系統事故により、外部電 源5回線のうち4回線が停止した。敷地内においても、起動変圧器が故障



変電所からの送電

- => 5回線中4回線が地震で停止
- 強い地震動によって、石巻変電所、女川変 電所、宮城中央開閉所にて系統事故が発生 (=東北電力管内の送電事故に伴う系統保護回路の事故)
- 塚浜線66kV1系統: 停止
- 牡鹿幹線275kV1系統(2回線): 全停止
- 松島幹線275kV1系統(2回線): 1号が停

女川敷地内の受電設備

- => 1号機起動変圧器が故障
- 原発敷地内の受電設備: 1号機起動変圧 器がトリップし、受電不可に (=地震による常用系メタクラでの短絡地絡の影響によるも
- 3月12日に同変圧器が復旧。外部常用電源 (275kV1)への切替え実施し、通常の電源 系統に復帰

東北/女川1号機クロノロジー (地震発生前:定格熱出カー定運転)

発生した事象

原子炉の停

非常用DG起動 災発生・外部電源喪失 地震により電源盤火

子炉冷温状態への移行非常用低圧系ポンプによる原原子炉減圧・水位確保操作後

3/11 14:46

地震の発生(震度6弱)

(M9.0 観測史上4番目)

● 14:46 鉛直方向地震加速度大により原子炉自動停止

14:47 全制御棒全挿入確認、主タービン自動停止、原子炉水位低(L-3) 非常用DG(A),(B)自動起動(無負荷運転状態)

FPCポンプ(A)自動停止

循環水ポンプ(B)、復水ポンプ(B)、原子炉給水ポンプ(A)自動停止

14:55 起動用変圧器故障停止(過電流継電器動作による)

非常用DG(A),(B)負荷運転開始

循環水ポンプ(A)、復水ポンプ(C)、原子炉給水ポンプ(B)、タービン補機 冷却海水ポンプ(A,C)自動停止(電源喪失)

● 14:57 火報発報

14:59 RCIC手動起動

15:00~01 RHRポンプ(A),(C)手動起動 → 圧力抑制プール冷却運転開始 15:02 MSIV手動全閉(復水器使用不可のため)

● 15:05 原子炉未臨界確認

15:05~12 RHRポンプ(B),(D)手動起動 → 圧力抑制プール冷却運転開始

15:29

津波の襲来

(津波M9.1 観測史上4番目) (津波高さ 13m)

・冷却用海水系ポンプには異常なし

17:10頃 SRVによる原子炉減圧操作開始

18:29 RCICポンプ自動停止(原子炉水位高(L-8))

19:30頃 FPCポンプA手動起動(燃料プール冷却)

20:20 CRDポンプA手動起動(原子炉への給水)

21:56 RHRポンプA手動停止(原子炉停止時冷却系(SHC)準備のため)

23:46 RHRポンプA手動起動(SHCモード)

0:58 原子炉が冷温停止状態に移行

その意味合い

地震によって外部電源が喪失し、DGによる負荷運転開始

- ・ 地震後の原子炉の挙動(スクラム)は設計通りであり、大きな問題はなかった
- ・ 常用系電源の喪失により給復水系ポンプが全台停止となったが、マニュアル通りRCICを手動 起動することにより原子炉への給水は確保された。
- 非常用DGの自動起動は、地震により所内電源切替が発生しその際低電圧を検知したことにより起動。
- 火報発報は、地震により常用系電源盤内の構造物が損傷して短絡・地絡が発生し、これによる アーク放電による発煙と推定。
- ・ 常用系電源盤の火災の影響により、外部電源を受電していた起動用変圧器の過電流継電器が動作して当該変圧器がトリップ。これにより非常用DGが正常に動作し、非常用電源は確保された。
- 原子炉の圧力制御については復水ポンプ停止により復水器が使用不可となったため、設計通りMSIVを全閉としSRVによる減圧操作を実施。
- ・ FPCポンプ(A)自動停止の原因については、地震の揺れに伴う「スキマサージタンクレベル低低」用レベルスイッチの動作、若しくは揺れによる使用済燃料プール水位の一時的な低下によりポンプの吸い込み圧力の低下により発生したものと推定。

● 主蒸気逃し弁による原子炉減圧操作

- 原子炉内の減圧のためSRVを開とし、炉内の蒸気を圧力抑制プールに排出。
- ・ RCICポンプ停止後、CRDポンプによる原子炉への給水を実施。
- ・ 原子炉の冷却操作については、RHR系によりマニュアル通りに実施され、問題はなかった。
- FPCポンプ(A)については、地震による停止後設備の点検を行い異常のないことが確認されたことから再起動し、使用済燃料プールの冷却を実施。停止期間中、プールの水温については有意な上昇は見られなかった。

原子炉の冷温停止状態への移行

RHR系の操作により、原子炉が冷温停止状態へ移行。

東北/女川2号機クロノロジー (地震発生前:第11回定期検査中で地震発生直前に起動)

発生した事象

その意味合い

3/11

| 14:00 制御棒引き抜き開始

14:46

地震の発生(震度6弱)

(M9.0 観測史上4番目)

● 14:46 水平方向地震加速度大により原子炉自動停止

14:47 全制御棒全挿入確認 非常用DG(A),(B),(H)自動起動 FPCポンプ(B)自動停止

14:49 原子炉モードスイッチ「起動」→「停止」(原子炉冷温停止状態)

15:29

津波の襲来

(津波M9.1 観測史上4番目) (津波高さ 13m)

15:34 RCWポンプ(B),(D)自動停止(ポンプ浸水による)

15:35 非常用DG(B)自動停止(RCWポンプ停止による)

15:41 HPCWポンプ自動停止(ポンプ浸水による)

15:35 非常用DG(H)自動停止(HPCWポンプ停止による)

20:29 FPCポンプ(A)手動起動(燃料プール冷却)

4:49 原子炉スクラムリセット

12:12 RHRポンプ(A)手動起動(SHCモード)⇒冷温停止維持

地震発生時は原子炉起動途中であり、原子炉は冷温状態

- 地震後の原子炉の挙動(スクラム)は設計通りであり、大きな問題はなかった
- ・ 地震発生時の原子炉の状態は未臨界かつ水温100℃未満であったことより、モードスイッチの 操作にて冷温停止状態となった。
- ・ 地震の揺れの影響で発電機界磁喪失信号が発信したことにより、非常用DG(A),(B),(H)が自動 起動し、無負荷運転にて待機状態となった。
- ・ FPCポンプ自動停止の原因については、地震の揺れに伴う「スキマサージタンクレベル低低」用 レベルスイッチの動作、若しくは揺れによる使用済燃料プール水位の一時的な低下によりポン プの吸い込み圧力の低下によるものと考えられる。

津波による浸水により、B系のRCWポンプが停止

- ・ 津波により海水が海水ポンプ室の循環水ポンプ自動停止用水位計貫通部から流入し、地下トレンチを通じて原子炉建屋内に浸水したことによりRCW(B,D)ポンプ及びHPCWポンプが機能喪失となった。これらのポンプ停止により冷却水が喪失したことから非常用DG(B)及び(H)についても自動停止した。
- ・ RCW(A)系については健全であったため非常用DG(A)についても継続して運転しており、原子 炉の冷却機能については影響はなかった。また、FPCポンプ(A)の起動による使用済燃料プールの冷却機能についても問題はなかった。

停止、DG2台停止 水系ポンプが2系 級の影響で冷却用

原子炉の停止

統海津

停水波

3/12

1

の冷温停止を維持プ・DGにより原子炉イ系統の海水系ポン

東北/女川3号機クロノロジー (地震発生前:定格熱出カー定運転)

発生した事象

その意味合い

原子炉の停止

る冷却開始 る冷却不能、RCICポンプによる での

15:29

停止状態への移行原子炉減圧操作による冷温

3/11 14:46 **地震の発生(震度6弱)** (M9.0 観測史上4番目)

● 14:46 鉛直方向地震加速度大により原子炉自動停止

14:47 全制御棒全挿入、主タービン自動停止、FPCポンプ(B)自動停止

● 14:57 原子炉未臨界確認

15:22 タービン補機冷却海水系(TSW)ポンプ(A,C)自動停止(ポンプ浸水)

15:23 循環水ポンプ(A,B)自動停止 FPCポンプ(A)手動起動

15:25 MD-RFP(A,B)、HPCP(A,B)手動停止(TSW全停による)

15:26 MSIV手動閉操作(復水器使用不可による) RCIC手動起動(原子炉への給水)

15:28 RSWポンプ(D)手動起動 → 圧力抑制プール冷却運転

津波の襲来

(津波M9.1 観測史上4番目) (津波高さ 13m)

15:30 RCWポンプ(B)手動起動 → 圧力抑制プール冷却運転 RHR(B)手動起動 → 圧力抑制プール冷却運転

15:36 復水器真空破壊(復水器使用不可のため)

15:43 RSWポンプ(C)手動起動 → 圧力抑制プール冷却運転

15:44 RHR(A)手動起動 → 圧力抑制プール冷却運転

15:45 RCWポンプ(A)手動起動 → 圧力抑制プール冷却運転

16:40頃 SRVによる原子炉減圧操作開始

16:40 RCICポンプ停止(原子炉水位高(L-8))

16:57 RCIC手動起動(原子炉への給水)

21:44 RHRポンプA手動停止(SHC準備(フラッシング)のため)

21:45 RCIC手動停止

21:54 MUWCによる原子炉注水

23:51 RHRポンプA手動起動(SHCモード)

3/12 1:17 原子炉が冷温停止状態に移行

地震により原子炉自動停止

- 地震後の原子炉の挙動(スクラム)は設計通りであり、大きな問題はなかった。
- 常用電源については常時確保されており、また非常用DGについても全て健全であった。
- FPCポンプ自動停止の原因については、地震の揺れに伴う「スキマサージタンクレベル低低」用レベルスイッチの動作、若しくは揺れによる使用済燃料プール水位の一時的な低下によりポンプの吸い込み圧力の低下によるものと考えられる。

) 津波襲来によりタービン冷却用海水系ポンプ浸水のため、RCICによる原子炉給水

津波の影響により海水ポンプ室水位極低信号が発信され循環水ポンプが停止、さらに熱交換器建屋の海水ポンプ室への海水流入によりTSWポンプが停止した。

このため、冷却水の供給がなくなったことからRCICを手動起動して原子炉への給水を継続した。

主蒸気逃し弁による原子炉減圧操作

循環水ポンプ停止により復水器が使用不可となったため、マニュアル通りMSIVを全閉としSRVによる減圧操作を実施した。

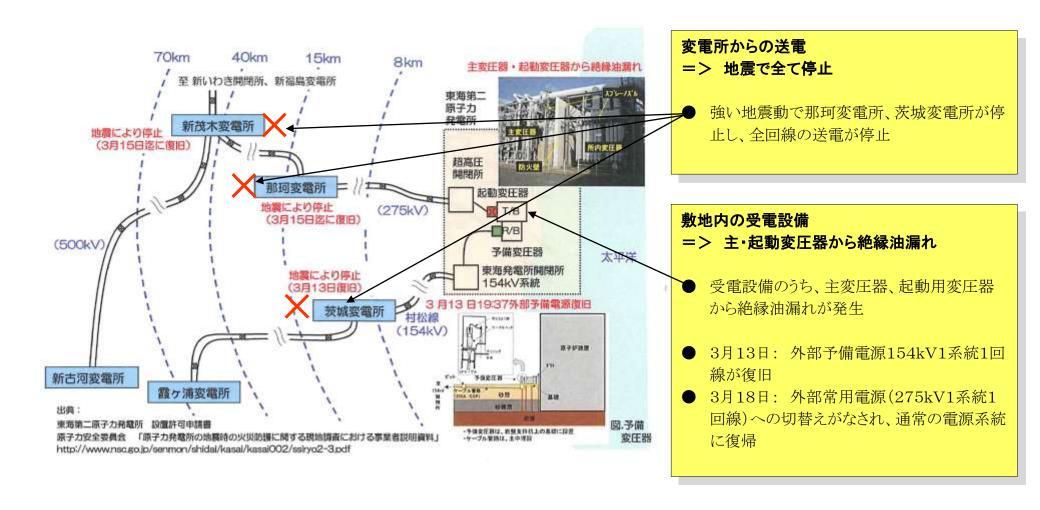
RCICポンプ停止後、復水補給水系(MUWC)を用いて原子炉への給水を実施。

残留熱除去系(RHR)を手動にて起動し、SHCモードにより原子炉の冷却操作を開始。

原子炉の冷温停止状態への移行

RHR系の操作により、原子炉が冷温停止状態へ移行。

東海第二の送電系統の被害 一 強い地震動による那珂変電所、茨城変電所の停止により、全回線の送電が停止した。敷地内においても、変圧器から絶縁油漏れが発生



原電/東海第二クロノロジー (地震発生前:定格熱出カー定運転) 発生した事象

停原止 炉の

1系統喪失 津波による非常用電源

`|停止状態への移行 |原子炉減圧操作による冷温

電源の復旧

3/17

3/11 14:46

地震の発生

(M9.0 観測史上4番目。震度6弱)

- 14:48 タービントリップ(振動大)により原子炉自動停止
- **全外部電源の喪失** → 非常用ディーゼル発電機(DG)の自動起動 → 非常用電源確保

RCIC、HPCS自動起動 → RCIC、HPCSトリップ(水位高) 15:01 RHRポンプA起動 → 圧力抑制プール冷却運転開始

● 15:10 原子炉未臨界確認

15:32頃

津波の襲来

(津波M9.1 観測史上4番目) (津波高さ 3m)

15:36 RCICによる水位調整を開始

16:40 RHRポンプB起動 → 圧力抑制プール冷却運転開始

● 19:01 非常用DG用海水ポンプ2C自動停止

19:21 RHRポンプA、RHRSポンプA,C停止

19:25 非常用DG2C停止 → 非常用電源母線2C停電

21:52 SRVによる原子炉減圧操作開始

3/12 13:11 RCICポンプ手動停止 → HPCSによる原子炉水位調整に移行

3/13 **● 19:37 予備の外部電源復旧** → 非常用母線2C受電復旧

3/14 3:50 RHRポンプA起動 → 圧力抑制プール冷却運転開始 23:43 RHRポンプA起動 → 停止時冷却モードで原子炉冷却運転開始

』→ 停止時代却モードで原子炉冷却連転開始 【炉水温度:117℃】

3/15 0:40 原子炉が冷温停止状態に移行

【炉水温度:99.8℃ 原子炉圧力:大気圧】

- 2:26 RHRポンプB停止→ 圧力抑制プール冷却運転停止
- 2:49 非常用DG2D停止
- 4:09 HPCSポンプ停止
- 4:19 HPCS系DG停止

● 15:47 常用の外部電源復旧 → 予備から常用への電源切替

その意味合い

地震によって、全外部電源が喪失した。

- ・ 地震後の原子炉の挙動(スクラム)は設計通りであり、大きな問題はなかった
- 原子炉スクラムによる非常用DGの自動起動は設計通りであり、これにより非常用電源は確保された。

▶● 津波による浸水により、非常用DGが1系統停止

- 2007年3月のスマトラ沖地震による津波評価を受けて、想定津波高さを約1m引き上げたことにより、非常用DG冷却用海水ポンプ防護用の新設堰の高さを4.91mから6.11mに引き上げた。
- ・ 津波は、新設の堰の高さには至らなかったが、補強工事のため掘削中であった地中ケーブルトレイより堰内側に浸水し、海水ポンプピットへと流入した。ピット内は水深約2m程度まで浸水したが、高さの低い非常用DG冷却用海水ポンプ2Cが全水没し、停止した。
- ・ このため、非常用DG2Cを手動にて停止した。一方、非常用DG2D及びHPCS系DGについては 継続して運転していたが、この時非常用DG冷却用海水ポンプ3台が全て水没して停止した場合は、全電源喪失に至った恐れがあった。
- ・ 浸水した地下ケーブルピットは、新設の堰下を貫通しているが、通常は密閉されており今回の 津波の高さであれば、通常は堰内側に浸水することはなかった。

主蒸気逃し弁による原子炉減圧操作

- 原子炉内の減圧のため主蒸気逃し弁を開とし、炉内の蒸気を圧力抑制プールに排出。
- RCICポンプを手動にて停止し、HPCSによる原子炉水位調整に移行した。
- ・ その後、予備の外部電源が復旧したため、DG停止により喪失していた非常用母線2Cが受電を 開始した。
- ・ 非常用母線2Cの受電により、残留熱除去系(RHR)を手動にて起動し、原子炉水の冷却操作を 開始した。

● 原子炉の冷温停止状態への移行

RHR系の復旧により、短時間で原子炉の冷温停止状態への移行が可能。

外部電源以外の電源系統の被害状況 - 福島第二同様、浸水被害の小さい女川・東通・東海第二では、非常用DG・電源盤・直流電源等の喪失は、第一と比べて軽微。これが命綱に

津波後の電源設備及び海水系の健全性

				東北電ス				東海	第二
			号機 ニーニー	2号		3号			
L.		電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否
非常		DG1A	0	DG2A	〇(無負荷待機)	DG3A	〇(待機)	DG2C	× 海水ポンプ停止(DGS)
用		DG1B	0	DG2B	🗙 海水系ポンプ停止	DG3B	〇(待機)	DG2D	0
D G				DG2H	× 海水系ポンプ停止	DG3H	〇(待機)	DG2H	0
	非	M/C6-1C	0	M∕C6-2C	0	M∕C6-3C	0	M/C-2C	×
		M/C6-1D	0	M∕C6-2D	0	M∕C6-3D	0	M∕C-2D	0
	用			M∕C6-2H	0	M∕C6-3H	0	M/C-HPCS	0
		M/C6-1A	× 地震による焼損発生	M∕C6-2A	0	M∕C6-3A	0	M/C-2A-1	×
М		M/C6-1B	×	M∕C6-2B	0	M∕C6-3B	0	M/C-2A-2	×
/		M/C6-1S	×	M/C6-2SA-1	0	M/C6-3SA-1	0		
C	常用	M∕C6-1E	×	M/C6-2SB-1	0	M/C6-3SB-1	0	M/C-2B-1	×
						M/C6-3SA-2	0	M/C-2B-2	×
						M∕C6-3SB-2	0		
								M∕C−2E	×
直		DC125V主 母線盤1A	0	DC125V主母 線盤2A	0	DC125V主母 線盤3A	0	DC125V主母 線盤2A	0
流電源	1 2 5	DC125V主 母線盤1B	0	DC125V主母 線盤2B	0	DC125V主母 線盤3B	0	DC125V主母 線盤2B	0
A /	> D C								
В									
海	Α	RHRS A	0	RSW A	0	RSW A	0	RHRS A	×
水系	В	RHRS B	0	RSW B	X RCW/RSW浸水	RSW B	0	RHRS B	0 00
糸				HPSW	× HPCW浸水	HPSW	0	HPCSDGS	0 99

冷却機能の喪失 — 福島第一と比べて、交流電源、直流電源、海水冷却系が部分的にでも機能した他の原発においては、炉心注水、冷却機能が正常作動した

●直流電源の喪失が致命傷

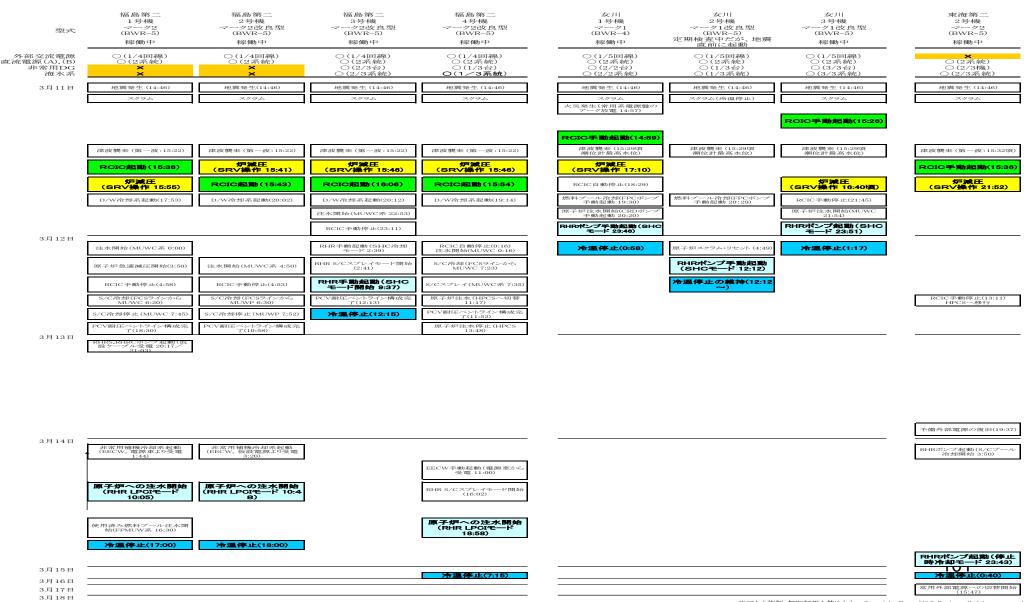
- ・ 福島第一では、直流電源が水没または枯渇 したため、炉心への注水が機能不全に
- ・ その結果、それ以降のAM(高圧冷却、減圧、 低圧冷却等)の工程への移行が不能に
- ・ 直流バッテリーが水没せず交流が生きている 場合は、交流からバッテリーへの充電が可能

●津波による海側(海水冷却系)の損壊 -----

- ・ 結果的には使えなかったが、福島第一では、 海側の津波被害が甚大であり、海水ポンプ の送水機能、非常用ポンプの冷却機能も喪 失していた
- ・ 他の原発では、これらの被害が軽微であった

	福島第一	福島第二	女川	東海第二	(福島第二、女川 東海第二の状況)
炉心への注水	りRCIC等による高圧冷 却継続。しかしバッテ	原子炉隔離時冷 等が作動し、この 了できたことにし た。	D間に低圧系の	ライン構成が完	炉心等への注水系 が機能した。
崩壊熱の除去 ►	全ての交流電源停止及 び津波により補機冷却 系が停止したため、原子 炉で発生した熱を海に放 出できなかった。	残留熱除去系() を海に放出し、炊	RHR)(一部)が 戸心等を冷却でき		海水系の貯留水で の冷却が機能し た。
冷却水源	淡水タンク(所内) +海水	汝	所内の貯留水での 冷却が可能であっ た。		
水補給のため 配備した資機材	ポンプ車、仮設ホース (接続までに時間を要した)	交流電源及び炉 プ等が必要にな	心等冷却機能だ らなかった。	が生き残ったため	、水補給用のポン

冷温停止の経過 - 他の原発では、交流電源(外部or非常用DG)、直流電源、海水系冷却機能が生きていた為、炉心スクラム後、冷温停止が可能に。福島第一は、これら全てをほぼ同時喪失した



機能別の実態と課題

- 電源喪失
- 高圧冷却機能
 - ベント機能
- 低圧冷却機能
 - 水素爆発

全ての直流、交流電源の長時間喪失 - 設計思想は、ステーション・ブラックアウトが発生しても、直流電源は最低8時間は枯渇せず、短い期間での交流電源復旧を想定していた

	福島第一 1号機	福島第一 2号機	福島第一 3号機	福島第一 4号機	福島第一 5·6号機	福島第二 1~4号機	女川 1~3号機	東海第二	
外部交流電源		全	× 全6回線が地震で	喪失		△ 1/4回線のみ 健全	△ 1/5回線のみ 健全	× 全2回線が 地震で喪失	
非常用発電機	※ 津波によって全て喪失				△ 1/5台のみ 健全(融通)	△ ·1、2号機は全滅 ·3号機は2/3台、 4号機が1/3台 健全	○ ・1、3号機は全て 健全 ・2号機は1/3台 が健全	○ ・2/3台が健全	
直流電源	·	て全て喪失	○ 2/2機が 健全	※ 津波によっ て全喪失	○ 4/4機が 健全	○ 8/8機が 健全	○ 6/6機が 健全	○ 2/2機が 健全	
電源車	壊し、接続て ・ 1,3,4号機	ーあった電源車の ごきず	く 接続を試みたが、1 盤調査、使用可能 対応が遅延		○ 海水系ポンプ の復旧に使用	一部電源車を使用	ー 外部電源または非常用発電機が健全 だった為、必要としなかった		
外部電源 の復旧	水素爆発までに復旧せず				× 冷温停止まで に復旧せず	当初から最低1系統の いた	○ 3月13日19:37 に154kV系予備 が復旧		

設計の想定以上の長期電源喪失が発生

全冷却システム喪失で極めて短時間で炉心溶融 - 全電源喪失により全冷却機能を喪失した福島第一1号機では、津波発生から2~3時間で炉心損傷開始と推定される

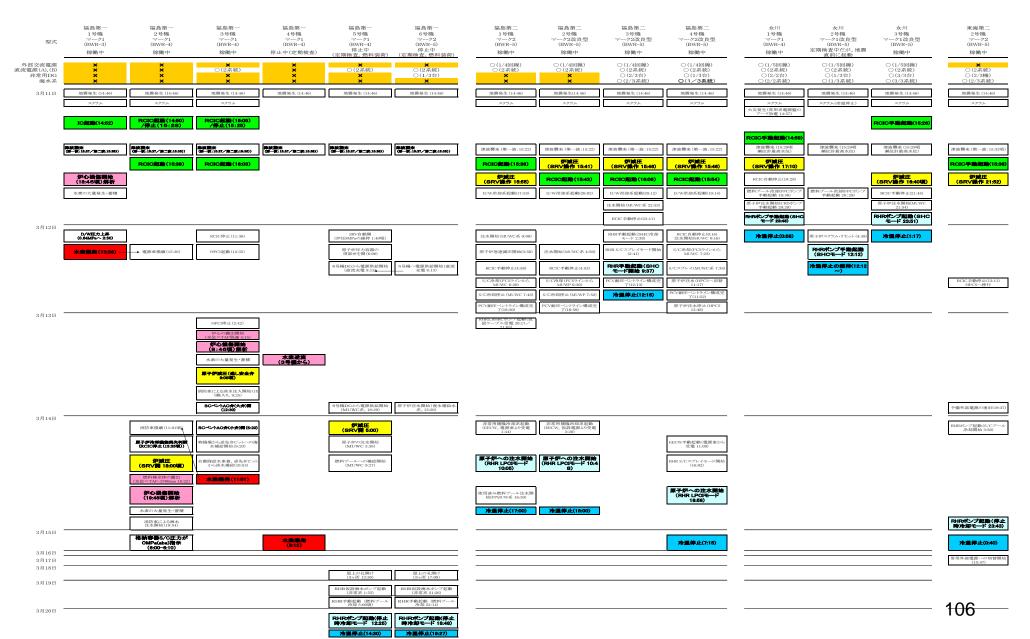
冷却機能の喪失と炉心溶融の有無 福島第一1号機 冷却系喪失の全体像 福島 女川 東海 復水移送ポンプ DD消火ポンプ 1号機 2号機 4号機 5.6号機 第二 第二 3号機 消防車上り \bigcirc HPCI/ X X 1⋅2号機 X × 2号機 電源被水等 **HPCS** 関連機器 機能喪失 直流電源 冷温停止中 で機能喪失 被水で機 枯渇後 能喪失 ○3・4号機 ○1.3号機 代替注水 格納容器 IC/ 高圧冷却系 \bigcirc X X 主蒸気逃し安全弁(SRV) **RCIC** 直流電源 冷温停止中 動作後、機能喪失 D/Wベント 枯渇後 (2号機は3日後) SLC系 \bigcirc \bigcirc X × 5号機 ○6号機 電源喪失による 駆動エアー CRD系 \bigcirc MO 圧力抑制室 X × 女川1号機 × 5号機 ○女川2・3・東海第二 電源喪失による ○6号機 FΡ \bigcirc 低圧代替冷却系 X X × 5号機 (未確認) FPポンプ不作動 雷源喪失 ○6号機 \bigcirc MUWC/ \bigcirc \bigcirc X MUWP 電源融通 電源・モータ浸水 海水ポンプ低圧冷却系 \bigcirc CCSW/RS Δ Λ X W/RHRS RHR系一部 一部浸水 3号機以外全 津波による海水系電源・モータの 寻水 機能維持、 滅(電源・ SHCポンプ 補助海水 炉心スプレイ IC **HPCI** その後復旧 モータ喪失) ポンプ(CS) 炉心損傷の開 停止中 稼働中 => 冷温停止へ 3/11 3/14 3/13 第一1号機では、全ての冷却機能が同時喪失した。 始(解析) 18:46 19:46 8:46 4号機は水素爆発 炉心への注水は、1台の消防車で行わざるを得な (3号機からの逆流) 水素爆発(または損傷) かった 104

地震と津波で被害を受けても、非常用電源系統が1つでも確保出来ていれば、冷温停止に至った - 福島第一5・6号機、東海第二、福島第二など

いずれも、外部電源が(ほぼ)全喪失したが、非常用発電機が1台(または2台)生き残った事により、冷温停止に成功した。電源確保は、注水系・冷却系につなぐまでの時間確保となった (注: フロントライン(RHRポンプ)が健全である事が条件)

			-		- CO COSHIJ		y (Itility)	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,
	福島第一 1号機	福島第一 2号機	福島第一 3号機	福島第一	福島第一 5·6号機	福島第二 1~4号機	女川 1~3号機	東海第二
外部交流電源	※ 全6回線が地震で喪失					△ 1/4回線のみ 健全	△ 1/5回線のみ 健全	× 全2回線が 地震で喪失
非常用 発電機	※ 津波によって全て喪失				△ 1/5台のみ 健全(融通)	▲ 1、2号機は全滅 ・3号機は2/3台が健 全 ・4号機は1/3台が 健全	○ ・1、3号機は全て 健全 ・2号機は1/3台 が健全	○ 2/3台が健全
直流電源 (A系、B系)	津波によって		○ 2/2機が 健全	× 津波によっ て全喪失	○ 4/4機が 健全	○ 8/8機が 健全	○ 6∕6機が 健全	○ 2/2機が 健全
高圧冷却系 (IC/ RCIC等)	とばらく動作後		× 直流電源枯 渇後停止	冷温	一 停止中	○ 1•2号機HPCS以 外健全	☆川2号機HP(CS以外健全
低圧代替冷 却系 (MUWC/MU WP等)	※ 電源喪失による				電源融通	_		
低圧冷却系 海水ポンプ (CCSW/RSW /RHRS等)	※ 津波による海水系電源・モータの浸水					会における 3号機以外全滅 (電源・モータ水没)	一部浸水	一部浸水

(前ページの続き) 冷温停止に至った経緯、水素爆発に至った経緯

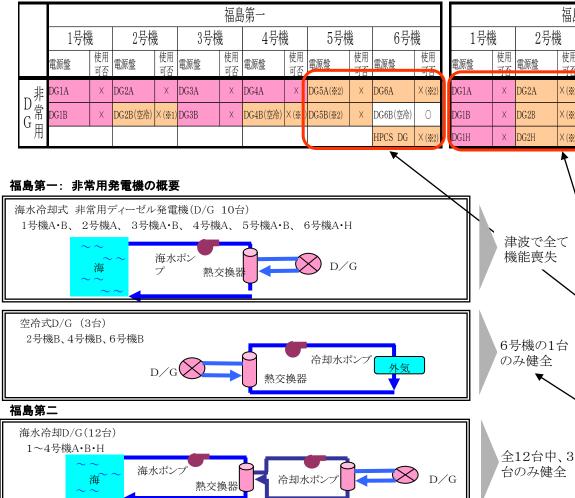


水没した地下に重要機器があった — 非常用電源装置(交流)、バッテリー(直流) ■ 津波高さと敷地高さの差が大きい程被害が広がった ⇒ 1F1~4:5.5m, 1F5/6:1.5m, 女川:0m, 東海2:-2.6m

	第一1号機	第一2号機	第一3号機	第一4号機	第一5・6号機	福島第二	女川	東海第二	
浸水の高さ (主要建屋設置エ リア)		•	为 15.5m D.P.+0.727m)		O.P.約 14.5m (T.P.= O.P.+0.727 m)	O.P.約 14.5m (T.P.=O.P.+0.727m)	O.P.約 13m (T.P.=O.P.+0.74m)	H.P. 6.3m (T.P.= H.P 0.89m)	
敷地の海抜 (主要建屋)	O.P. 10m		.10m		O.P. 13m	O.P. 12m	O.P. 13.8m	H.P. 8.9m	
非常用発電機 の設置高さ	O.P. 4.9m (A) O.P 2m (B)	O.P. 1.9m (A) O.P. 10.2m (B) (空冷)	O.P. 1.9m (A/B)	O.P. 1.9m (A) O.P. 10.2m (B) (空冷)	5号機 O.P. 4.9m (A)/(B) 6号機 O.P. 5.8m (A)/(H) O.P. 13.2m (B) (空冷、生き残る)	O.P. 0 m (1~4号A/B/H)	O.P. 0.5m (1号A/B) O.P. 14m (2/3号A/B/H)	H.P. 1.6m (A/B/H)	
直流主母線盤 の設置高さ (A),(B)系	コントロール 建屋B1F O.P. 4.9m	コントロール 建屋B1F O.P. 1.9m	タービン建屋 MB1F O.P.6.5m	コントロール建 屋B1F O.P.1.9m	タービン建屋 MB1F O.P.9.5m	コントロール建屋2 F(1,2号) コントロール建屋1 F(3,4号) O.P.1.8m(1/2号A/B) O.P.1.22m(3/4号 A/B)	制御建屋B1F(1号) 制御建屋B1F(2号) アウターB1F(3号) O.P. 9.5m (1号A/B) O.P. 7m (2号A/B) O.P. 5m (3号A/B)	複合建屋 1F H.P. 9.1m (バッテリー設置 所)	
非常用発電機 の喪失?	メ 浸水により喪失	★ A系:浸水により B系:電源盤浸水により喪失	浸水により喪失	★ A系:浸水により B系:電源盤浸水により喪失	〇 6号機:1台使用可	○ 3号機で2台、4号機で1 台使用可	○ 1,3号機で全台、2号機で1台使 用可	〇 2台使用可	
直流電源の喪 失?		× り機能喪失	0	メ 浸水により喪失		使	用可能		
特記事項	•O.P:小名浜港工專 •T. P:東京湾平均						・O.P:女川の基準面 ・地震による地殻変動-1m考慮	107	

海辺の主冷却用モーターとポンプが津波で機能喪失した - 福島第一は合計13台の非常用発電機があったが、空冷式の1台を残し全て機能喪失。冷却設備が海側にある海水冷却式が特に弱い

各プラントの非常用発電機の機能喪失



福島第二 2号機 3号機 4号機 使用 電源盤 使用 電源盤 X DG2A X (32) DG3A X (%2) DG4A X (<u>*</u>2 DG2B X (32) DG3B () DG4B X (<u>*</u>2 O DG4H 0 X DG2H X (382) DG3H

東北電力 女川									
1号榜	发	2号機	Ý.	3号機					
電源盤	使用 可否	電源盤	使用 可否	電源盤	使用 可否				
DG1A	0	DG2A	〇(無負荷待 機)	DG3A	○(待機)				
DG1B	0	DG2B (%2)	X海水系ポン ブ停止	DG3B	○(待機)				
		DG2H (%2)	X海水系ポンプ停止	DG3H	○(待機)				

(凡例)○:健全 ×:機能喪失

*1 電源盤水没により機能喪失

*2 冷却系(海水)喪失による機能喪失

- 合計24台の非常用発電機が機能喪失したが、その原因は 冷却機能喪失の方が5割以上多い(オレンジがピンクより多い)
 - 発電機(または電源盤)の水没: 9件(ピンク)
 - 一 冷却機能(モータ・ポンプ等)の機能喪失: 15件 (オレンジ)
- 前項の傾向は、原子炉建屋への津波浸水が比較的軽微だった第一5・6号機、福島第二を見ると顕著である
 - 第一5・6号機: 4/4が海側の冷却機能喪失
 - 福島第二: 同、6/9
- ●非常用発電機自体は健全であっても、その冷却機能を海側に設置している場合、津波に対してかなり脆弱である
 - 福島第一で唯一生き残った6号機の1台は、空冷式で海側に冷却装置がなかった

108

水冷非常用発電装置の水が確保できなかった

			''' '''		第一5•6号機	福島第二	女川	東海第二		
非常用発電機の冷却水の有無	喪失 (海水冷却)				空冷式の1台のみが 使用可能(6号機)。 残りの4台は全喪失 (海水冷却式)	全12台の内、3・4号機 の3台が使用可能 残り9台は喪失 (8台が海水冷却・中間 ループ喪失、1台が中 間ループ喪失)	1,3号機は全て使用可 2号機は2台喪失(1 台が中間ループ・海 水冷却喪失、1台は 中間ループ喪失)	② 2台が使用可 1台は喪失 (海水冷却)		
その後の復旧の有無	後旧できず				被水した6号機A系の 海水ポンプの復旧後、 A系非常用発電機が 運転再開	保守点検・モータ取替え、仮設電源の繋ぎ込み等を実施し、全号機ともB系の海水冷却系を復旧	被水したポンプ、弁を 工場にて点検補修後 復旧 DGは待機状態	被水したポンプを 点検復旧 DGは待機状態		

注: 関連する電源盤、電源母線等の供給経路が健全である事が条件

ベントの為の操作が外部から出来なかった — ベント準備に多大な時間を要し、適切なタイミングで実行できなかった

ベント開放の成否

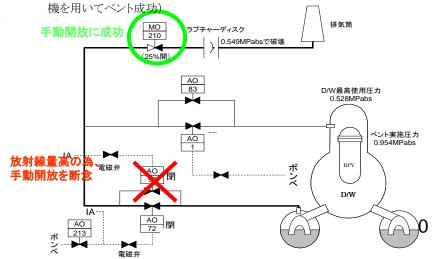
	第一1号 機	第一 2号機	第一3号機	第一4 号機	第一 5•6号 機	福島第二	女川 東海 第二
W/W ベント の成否	ベント弁の 開放は成功 したが、その 直後に水素 爆発	× ベントライン構 成するもラプ チャーディスク 動作圧力に達 せず	▲ 一旦弁の開 放に成功し たが、開放状態を維持す る事に難航し た	_	_	ー ベントライ ン構成ま で	_
D/W ベント の成否	-	★ ベントライン構成したがその状態を維持できず		○:ベント成功	ー:ベント	— 未実施 ×:∽	・ ント失敗

- ●暗闇、通信障害、中央操作室のパラメータ喪失、頻発する余震、上昇する放射線量、散乱するガレキ等が作業障害となり、電源喪失と重層し、通常のベント操作は不能であった。また、人力等によるベント操作も極めて難航した
- その結果、有効なタイミングでのベントが実行できなかった

津波直後、第一1号機は、全ての注水機能と格納容器ベント機能を喪失…

_		4.6			備考
	設備名	状心	被害状況	応用動作	偏考 (2F1)
注水 設備	高圧注水系(HPCI) 給復水系(FDW) 炉心スプレイ系(CS) 停止時冷却系(SHC) 復水補給水系(MUWC) 消火系(FP)	× × × × ×	電源喪失(油ポンプ) 電源・海水喪失 電源・海水系喪失 電源・海水系喪失 電源喪失、モータ被水 D/D FP起動不可	- - - - - 消防車使 用	O RCIC、 MUWC により注 水(非電 用 乗 所 新 所 い い い い に が り れ り れ の れ り れ り れ り れ り れ り れ り れ り れ
PC V ベト 設備	S/Cベント弁 弁番号:AO-1601-72 S/Cベントパイパス弁 弁番号:AO-1601-90 D/Wベント弁 弁番号:AO-1601-1 D/Wベントパイパス弁 弁番号:AO-1601-83 PCVベント弁 弁番号:MO-1601-210	× × × ×	電源喪失/空気圧低 電源喪失/空気圧低 電源喪失/空気圧低 電源喪失/空気圧低 電源喪失/空気圧低	仮設電源 仮設空気 圧縮機 手動操作	△ ボンべを 仮設で 設置し対 応

…その後、手動でベントを試みたが、放射線量の上昇等により、 地下のベント弁の開放を断念し、ベント失敗(その後仮設空気圧縮



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

外部電源を取り込む電源盤が殆ど水没した第一1~4号機では、冷温停止への収束に失敗した

帰発した1~4号機では、主要な電源盤(M/C、P/C)の殆どが機能喪失。 特に1・3号機は全滅。

											11-	און כי ט־ו	16 ± 1	** 0		•														
			福島第一									福島第二										東海第二								
	ľ	1号模	1号機 2号機 3号機 4号機			5号	6号	1号标	幾	2号校	幾	3号榜	幾	4号标	髮	1号機		2号機		3号機										
	ľ	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源艦	使用可否		使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	
	非	DG1A	-70	DG2A	刊名	DG3A	刊名 X	DG4A	刊省 X	DG5A(%2)		DG6A	刊省 ×(※2)	DG1A		DG2A	可否 X	DG3A		DG4A	刊省 ×	DG A	り台	DG A	〇(無負荷符	DG A	〇(待機)	DG2C (%2)	刊省 ×海水ポンプ	
D,	当	DG1B	×	DGZB(空浴	会) × (※	1) DG3B	\×	DG4B(空流	i) × (%1	DG5B(%2)	×	DG6B(空冷)	0	DG1B	×	DG2B	×	DG3B	0	DG4B	×	DG B	0	DG B (%2)	×海水系ポン	DG B	○(待機)	DG2D	(A) E(DGS)	
G	用						7					HPCS DG	× (¾2)	DG1H	×	DG2H	×	DG3H	0	DG4H	0			HPCS D/G (%	メ海水系ポン	HPCS D/G	(待機)	DG2H	0	
	非	M/C 1C	×	M/C 2C	×	M/C 3C	×	M/C 4C	×	M/C 5C	×	M/C 6C	0	M/C 1C	_	M/C 2C	0	M/C 3C	_	M/C 4C	0	M/C6-1C	0	M/C6-2C	ブ停止	M/C6-3C	0	M/C-2C	×	
	常	M/C 1D	_	M/C 2D				M/C 4D	×	M/C 5D	×	M/C 6D	0	M/C 1D	0	M/C 2D	0	M/C 3D	0	M/C 4D	0	M/C6-1D	0	M/C6-2D		M/C6-3D	0	M/C-2D	0	
	月			M/C 2E	×		1	M/C 4E	×			HPCS DG M/	0	M/C 1H	×	M/C 2H	0	M/C 3H	0	M/C 4H	0			M/C6-2H	0	M/C6-3H	0	M/C-HPCS	0	
	П	14 /0 14	V	N /C 04		14 (0.04	.,	N / C 11		1 (C 5A		M/C 6A-1	×	M/C 1A-1	0	M/C 2A-1	0	M/C 3A-1	0	M/C 4A-1	0	M/C6-1A	×地震による	M/C6-2A	0	M/C6-3A	0	M/C-2A-1	×	
M		M/C 1A	×	M/C 2A		M/C 3A		M/C 4A	×	M/C 5A	^	M/C 6A-2	×	M/C 1A-2	0	M/C 2A-2	0	M/C 3A-2	0	M/C 4A-2	0	M/C6-1B	X	M/C6-2B	0	M/C6-3B	0	M/C-2A-2	×	
/	Ш	M/C 1B		M/C 2B	×	M/C 3B		M/C 4B	×	M∕C 5B		M/C 6B-1	×	M/C 1B-1	0	M/C 2B-1	0	M/C 3B-1	0	M/C 4B-1	0	M/C6-1S	×	M/C6-2SA-	1 0	M/C6-3SA-1	. 0			
C	當	WI/ C IB	^	MI/ C 2B	^	MI/ C 3B	^	WI/ C 4B	^	VI / C 3B	^	M/C 6B-2	×	M/C 1B-2	0	M/C 2B-2	0	M/C 3B-2	0	M/C 4B-2	0	M/C6-1E	×	M/C6-2SB-	1 0	M/C6-3SB-1	. 0	M/C-2B-1	×	
	用			M/C 2SA	X ×	M/C 3SA	×			//C 5SA−1	×			M/C 1SA-1	0			M/C 3SA-1	0					M/C6-2SA-	2 ()	M/C6-3SA-2	0	M/C-2B-2	×	
		M/C 1S	×	1417 0 201		1417 0 00/1	, î			//C 5SA−2	×			M/C 1SA-2	0			M/C 3SA-2	0					M/C6-2SB-	2 (M/C6-3SB-2	0			
	V			M/C 2SB	3 ×	M/C 3SB	×			M/C 5SB-1	×			M/C 1SB-1	0			M/C 3SB-1	0									M/C-2E	×	
\vdash	_						_			M/C 5SB-2	X			M/C 1SB-2	0			M/C 3SB-2	0											
	非	C 1C	×	P/C 2C	0	P/C 3C		P/C 4C	-	P/C 5C	×	P/C 6C	0	P/C 1C-1	×	P/C 2C-1	0	P/C 3C-1	0	P/C 4C-1	0	P/C 4-1C	0	P/C 4-2C		P/C 4-3C-1	0	P/C2C	×	
	常	P/C 1D	×	P/C 2D	0	P/C 3D	×	P/C 4D	0	/C 5D	×	P/C 6D	0	P/C 1C-2	×	P/C 2C-2	×	P/C 3C-2	×	P/C 4C-2	×	P/C 4-1D	0	P/C 4-2D	0	P/C4- 3C-2	0	P/C2D	0	
	井			P/C 2E	×			P/C 4E	×			P/C 6E	0	P/C 1D-1	0	P/C 2D-1	0	P/C 3D-1	0	P/C 4D-1	0					P/C 4-3D-1	0	P/C 2A	×	
		P/C 1A	×	P/C 2A	0	P/C 3A	×	P/C 4A	-	/C 5A	×	P/C 6A-1	×	P/C 1D-2	×	P/C 2D-2	×	P/C 3D-2	0	P/C 4D-2	×	P/C 4-1A	×	P/C 4-2A	0	P/C 4-3D-2	0	P/C 2B	×	
Р		./C IA		P/C 2A-1	×					/C 5A-1	0	P/C 6A-2	×	P/C 1A-1	0	P/C 2A-1	0	P/C 3A-1	0	P/C 4A-1	0	P/C 4-1B	×	P/C 4-2B	0	P/C 4-3A-1	0	P/C 2S	×	
/		P/C 1B	×	P/C 2B	0	P/C 3B	×	P/C 4B	0	/C 5B	×	P/C 6B-1	×	P/C 1A-2	0	P/C 2A-2	0	P/C 3A-2	0	P/C 4A-2	0	P/C 4-1S	×	P/C 4-2SA	0	P/C 4-3A-2	0			
C	岸							_		/C 5B-1	0	P/C 6B-2	×	P/C 1B-1	0	P/C 2B-1	0	P/C 3B-1	0	P/C 4B-1	0			P/C 4-2SB	0	P/C 4-3B-1	0			
	屏	P/C 1S	×			P/C 3SA	×	4		/C 5SA	×			P/C 1B-2	0	P/C 2B-2	0	P/C 3B-2	0	P/C 4B-2	0					P/C 4-3B-2	0			
		'	_					_		/C 5SA-1	×			P/C 1SA	0			P/C 3SA	0							P/C 4-3SA-1	0			
	V			P/C 2SB	×	P/C 3SB	×	4		/C 5SB	×			P/C 1SB	0	_		P/C 3SB	0							P/C 4-3SB-1	0			
	_ }							1																		P/C 4-3SA-2	0			
\vdash	1	DC125V主		DC125V±	:	DC125V主		DC125V主		DC125V主		DC125V DIS		DC125V主		DC125V主		DC125V主		DC125V主		125V直流主		125V直流主母		P/C 4-3SB-2 125V直流主母	0	DC125V主母	-	
	2	母線盤1A	×	母線盤2A	×	母線盤3A	0	母線盤4A	×	母線盤5A	0	CENTER 6A		母線盤A	0	母線盤A	0	母線盤A	0	母線盤A	0	母線盤1A	0	線盤2A	U	線盤3A	0	線盤2A	0	
直	5	DC125V主 母線盤1B	×	DC125V主 母線盤2B	×	DC125V主 母線盤3B	0	DC125V主 母線盤4B	×	DC125V主 母線盤5B	0	DC125V DIST		DC125V主 母線盤B	0	DC125V主 母線盤B	0	DC125V主 母線盤B	0	DC125V主 母線盤B	0	125V直流主 母線盤1B	0	125V直流主母 線盤2B	0	125V直流主母 線盤3B	0	DC125V主母 線盤2B	0	
流	v D	中水金口		1分/水型20		1分/0/201313	-	中水流社口		1分が発送315	1	CLITIATOD	1	14/水血口	1	1子亦水並10		14/8/2010		1分40次3000		1978年11		WW.WEZD	-	WW.ME3D		NVME2D		
電	С																													
源	Α																													
	/																													
	В																													
海	А	CCS A	×	RHRS A	×	RHRS A	×	RHRS A	X	RHRS A	×	RHRS A	X	RHRS A	X	RHRS A	×	RHRS A	X	RHRS A	×	RHRS A	0	RSW A	0	RSW A	0	RHRS A	×	
水		CCS B	_	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	×	RHRS B	+	RHRS B	×	RHRS B	0	RHRS B	×	RHRS B	0	RSW B		RSW B	0	RHRS B	0	
系系	_											HPCSDGSW	×	HPCSS	×	HPCSS	×	HPCSS	0	HPCSS	0		<u> </u>	HPSW	W没水	HPSW	0	HPCSDGS	0	
718										<u> </u>		TIFCSDG3W	^	HCSS	^	111 C33	^	in Coo		111 (33)	U			III SW	*	111 OW	U	in Cadas	$\overline{}$	
外部	部							X										0						0				X		
電源 全6回線が地震で喪失										3/4回線が地震で喪失(富岡線1L 500kVのみ受電継続) 4/5回線が地震で喪失(松島幹線1L 275kVのみ健全) 🗸 全回線が地震で									で喪失											
許可力												-																		
	"		24					0			許可なき複製・無断転用を禁じます。Copyright Team H2O Project all rights reserved											直流電源のH系については、記載を割愛した								

:機能喪失 (凡例)

: 給電元が喪失のため受電不可

:電源盤・冷却系の喪失のために起動不可

直流電源のH系については、記載を割愛した 以下の機能喪失有無は、事務局推定による

・ 女川のM/C、P/C電源盤、 東海第二のP/C電源場

電源車に接続可能な健全な電源盤がほとんどない状況で、接続が困難であった

電源車の手配

● 津波直後の電源車の到着(高圧電源車)

- 11日22時頃: 第一陣1台が到着

- 12日1:20頃: 4台が到着(累計5台)

- 12日3:00頃: 7台が到着(累計12台)

● 同(低圧電源車)

- 11日23:30頃: 自衛隊によって2台到着

- 12日 7:00頃: 更に3台到着

接続の難航

- 3月12日の早朝までに、ある程度の電源車が集まっていた
- しかし、接続先の電源盤(M/C、P/C)が水没した為、活用できるもの自体が少なかった事、その特定に時間がかかった事等が重層し、接続に難航した
- また、ガレキ、余震、通信、重機不足等も重なり、電源車を接続する為のラインの構成・準備に時間を要し、接続が難航した
- 福島第一2号機は、1号機の水素爆発によって、準備していた接続作業が振り出しに戻った

電源喪失に伴う冷却機能の停止によって炉心溶融が始まり、燃料棒外側の被覆管(ジルコ ニウム)が酸化し、炉内で大量の水素が発生した

ジルカロイ合金 水素が発 燃料溶融 ルカロイ会会は 900

図出典: 徹底解剖 東日本大震災(双葉社)

水素発生のメカニズム

- 電源喪失によって冷却機能が停止し、高温・高圧になった炉内では、 水位が下がり、やがて燃料棒が露出
- 同時に、炉温上昇に伴い、燃料棒の外側の被覆管(ジルコニウム合 金)が約900度で酸化を始め、更に温度上昇し溶融する
- 溶融した被覆管(ジルコニウ)は圧力容器内の水(水蒸気)の酸素と 化学反応し、水素が大量発生した(ジルコニウム水反応)
- 東電の試算では、1・2・3号機共に、炉の水位が低下し、燃料棒が 水面に露出してから約2時間で、炉心損傷(燃料溶融)が始まる可 能性を指摘

<解析結果> (地震発生からの時刻) 約3時間 炉心の露出開始

炉心損傷までの所要時間(シミュレーション

炉心の損傷開始

圧力容器の破損

福島第 (水位は燃料域未満)

•3月11日17:46

約4時間

•3月11日18:46

約15時間 •3月12日05:46 2号機

(水位計が正の場合)

約75時間

•3月14日17:46

約77時間

•3月14日19:46

発生に至らず

2号機 (水位は燃料域以下)

約75時間

• 3月14日17:46

約77時間

•3月14日19:46

約109時間

-3月16日03:46

3号機 (水位計が正の場合)

約40時間

• 3月13日06:46

約42時間

•3月13日08:46

発生に至らず

3号機 (水位は燃料域以下)

約40時間

•3月13日06:46

約42時間

•3月13日08:46

約66時間

•3月14日08:46

注) 出典 平成23年5月23日 東京電力(株)「東北地方太平洋沖地震発生時の福島第一原子力発電所運転記録及び事故記録の分析と影響評価について」

- 解析の実施日: 2011年5月16日
- 手法: 当時収集された地震。発生初期の設備状態や運転操作等に関する情報を元に、それを再現するインプット情報を作成し、解析
- ソフトウェア: 事故解析コード(MAAP=Modular Accident Analysis Program)

原子炉建屋には、大量発生した水素を「検知する仕組み」や「逃がすシステム」が無く、大爆発に至った

福島第一 1号機(東側)

福島第一 3号機(東側)

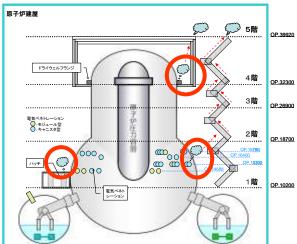
福島第一 4号機(東側)

5階に水素が大量蓄積して爆発

5階と4階一部(北西)に水素が大量蓄積して爆発

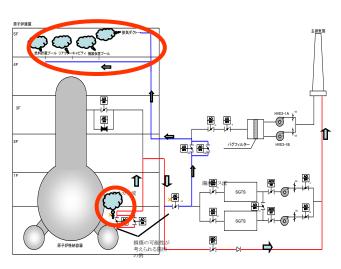


● 漏洩経路①(1・3号機): 水素は、格納容器の接合部、配管部分(ハッチ、ドライウェル・フランジ、電気ペネトレーション)等の機密性の小さい部分から、原子炉建屋内に漏洩したと推定される





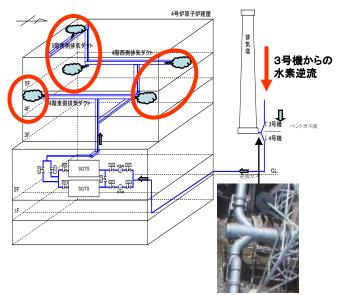
● 漏洩経路②(1・3号機): または、格納容器のベント時に、高温高圧のガスが排気管内を流れて配管や弁に損傷が生じ、水素漏洩した可能性がある



5階と4階一部(東西)に水素が大量蓄積して爆発



● 漏洩経路(4号機): 3号機で発生した水素が、3・4 号機で共有している非常用ガス処理系配管を通じて、4号機に逆流したと推定される



<水素の格納様気からの漏洩経路(推定) >

第一1・3号機は、炉心損傷によって燃料棒のジルコニウムが酸化して水素が発生し、格納容器から原子炉建屋に蓄積して爆発に至る - 4号機は、3号機で発生した水素が、共有するベントラインから流入して蓄積、爆発

福島第一1号機 2号機 3号機 4号機 水素はなぜ発 ● 炉心損傷によって溶けた燃料棒のジルコニウムが水と反応(水-ジルカロイ反応)し 4号機での水素発生はなし 生したのか? た結果、格納容器内で大量の水素が発生 いつ発生した ● 地震後4時間で発生 ● 地震後77時間 ● 地震後42時間 ● 地震後42時間 のか? (3月11日18時46分頃※1) (3月14日 19時46分頃※1) (3月13日 8時46分頃※1) (3月13日 8時46分頃※1) どこから漏れ 複数の可能性あり 複数の可能性あり 複数の可能性あり ● 3号機で発生した水素がべ たのか? ントラインから4号機SGTS配 圧力容器→格納容器 管に廻り込んで4号機原子炉 SRVの減圧操作によるS/C側への水素ガスの移動、SRVのシート部等からD/W 建屋に漏えい へ漏えい · 格納容器→原子炉建屋 • D/W圧力が最高使用圧力を 1号機と同じ D/Wフランジ部、電気ペ 超え0.75MPaまで上昇した ネトレーション、ハッチ、換 事から、格納容器の弱い耐 気空調系から原子炉建屋 圧部が損傷し漏えい(S/C ベント管部のベロー部等) 上層階への漏えい どこに蓄積した ● 5階部分(※2) 地階部分と推定 ● 5・4階もしくは3階部分(※2) ● 5階、4階部分(※2) のか? (写真記録なし) ● 1号機と同じ ● 1号機と同じ ● 水素は軽いため高所に ●水素爆発、または格納容器 何に引火した 移動しつつ拡散し、オペ の圧力上昇による損傷の2 のか? フロ全体の水素濃度が つの可能性あり。 上昇し、可燃濃度4%~ 前者の場合には、損傷範囲 75%となった時点で、爆 が1.3号機程ではないことか 発(着火エネルギーが らS/Cの狭隘な閉塞部と推 0.02mJと極めて小さいた 定。水素爆発の可能性は低 115 め着火源は特定できず) いと推定。

※1:解析による燃料損傷開始時間 ※2:傷写真より推定

東電のシミュレーションでは、もし水位計データが正確ではなく、水位が燃料域以下で推移していた 場合、1-3号機の圧力容器が破損し、格納容器にも水素漏洩の破損が発生する可能性がある

福島第一 1号機 2号機 3号機 2号機 3号機 く解析結果> (水位は燃料域未満) (水位計が正の場合) (水位は燃料域以下) (水位計が正の場合) (水位は燃料域以下) (地震発生からの時刻) 約3時間 約75時間 約75時間 約40時間 約40時間 炉心の露出開始 •3月11日17:46 • 3月14日17:46 •3月14日17:46 •3月13日06:46 •3月13日06:46 約4時間 約77時間 約77時間 約42時間 約42時間 炉心の損傷開始 •3月11日18:46 •3月14日19:46 •3月14日19:46 •3月13日08:46 •3月13日08:46 約66時間 約15時間 発生に至らず 約109時間 発生に至らず 圧力容器の破損 •3月14日08:46 •3月12日05:46 •3月16日03:46 <解析の前提条件>

(地震発生からの時刻) 格納容器の 気相部からの漏洩

同上(更なる拡大)

約18時間

- •3月12日08:46
- •D/Wに直径約3cm

約50時間

- •3月13日16:46
- •D/Wに直径約7cm
- •全交流電源喪失後 はIC不動作と仮定
- ・記録に基づき解析
 - 事象を推定

約21時間

- •3月12日11:46
- •D/Wに直径約10cm

約87時間28分

- •3月15日06:14
- S/C付近での異音時
- ·S/Cに直径約10cm
- 3月14日23:00
- SR弁1弁閉を仮定
- ・記録に基づき解析 事実を推定

同左

同左

同左

資料に記載なし

資料に記載なし

・記録に基づき解析 事象を推定

同左

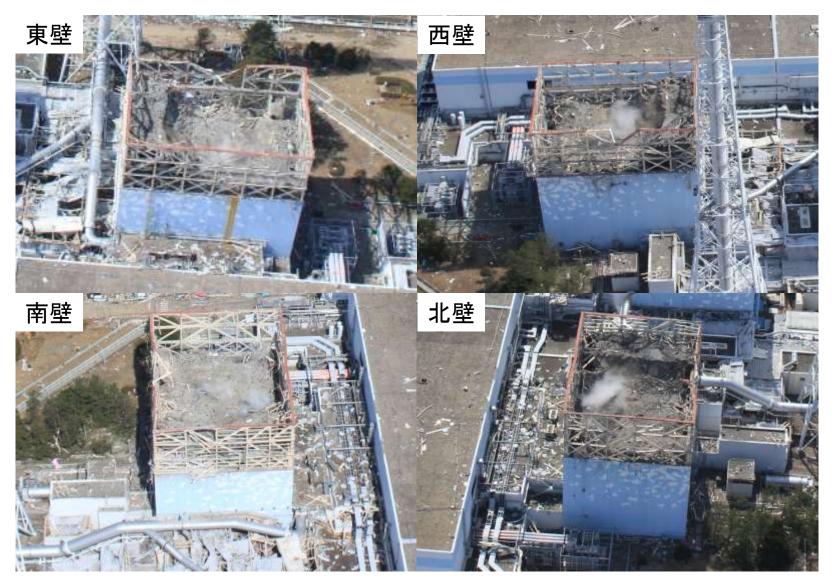
同左

同左

- 注) 出典 平成23年5月23日 東京電力(株)「東北地方太平洋沖地震発生時の福島 第一原子力発電所運転記録及び事故記録の分析と影響評価について」
- 解析の実施日: 2011年5月16日
- 手法: 当時収集された地震i発生初期の設備状態や運転操作等に関する情 報を元に、それを再現するインプット情報を作成し、解析
- ソフトウェア: 事故解析コード (MAAP=Modular Accident Analysis Program)
- ▶ 1-3号機共に、炉心の露出開始から約2時間で炉心損傷
- ●1号機では、注水開始時(12日5:46)には圧力容器が破損していた事になる

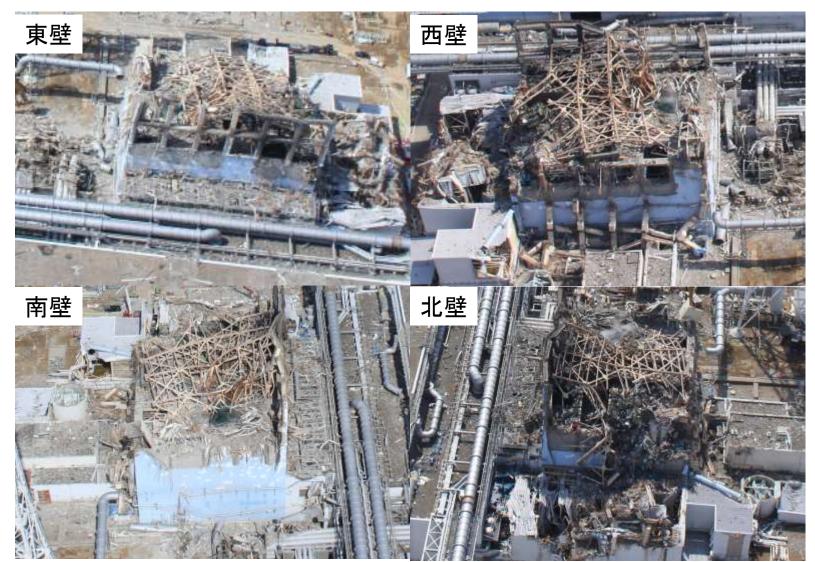
1号機では、5階部分のみ大きな損傷が発生 - 水素は、主として5階に蓄積したと考えられる

第一1号機の爆発後



3号機では、5階部分と4階北西側で大きな損傷が発生 - 水素は、主として5階部分に滞留、また、4階西側にも滞留していた可能性がある

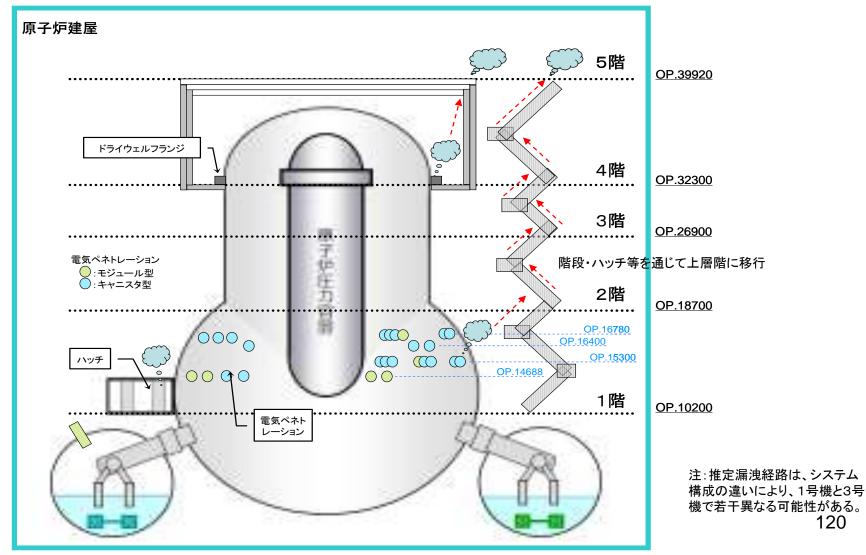
第一3号機の爆発後



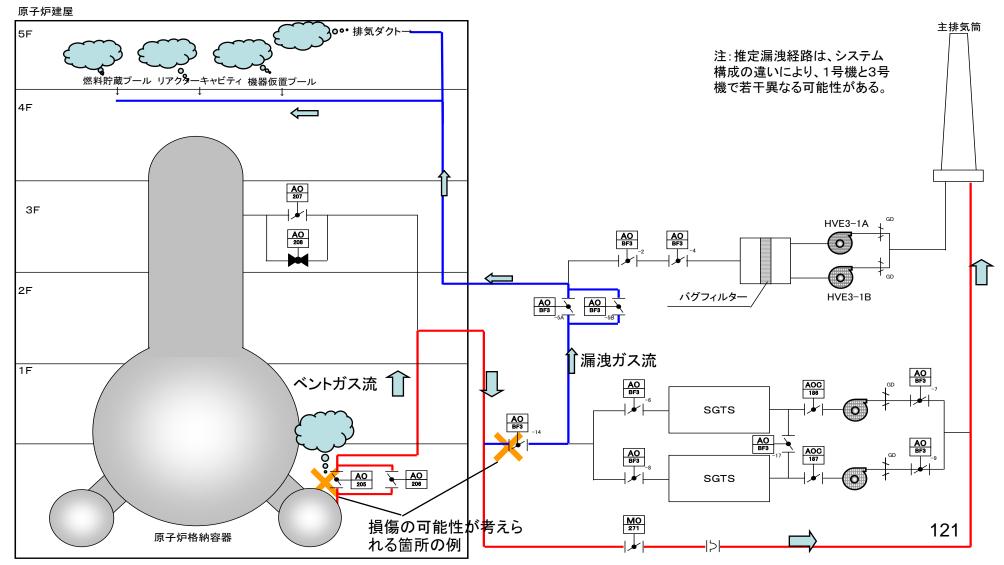
4号機では、5階部分と4階西側・東側で大きな損傷が発生 - 水素は、主として5階部分と4階部分に滞留していたと推定される



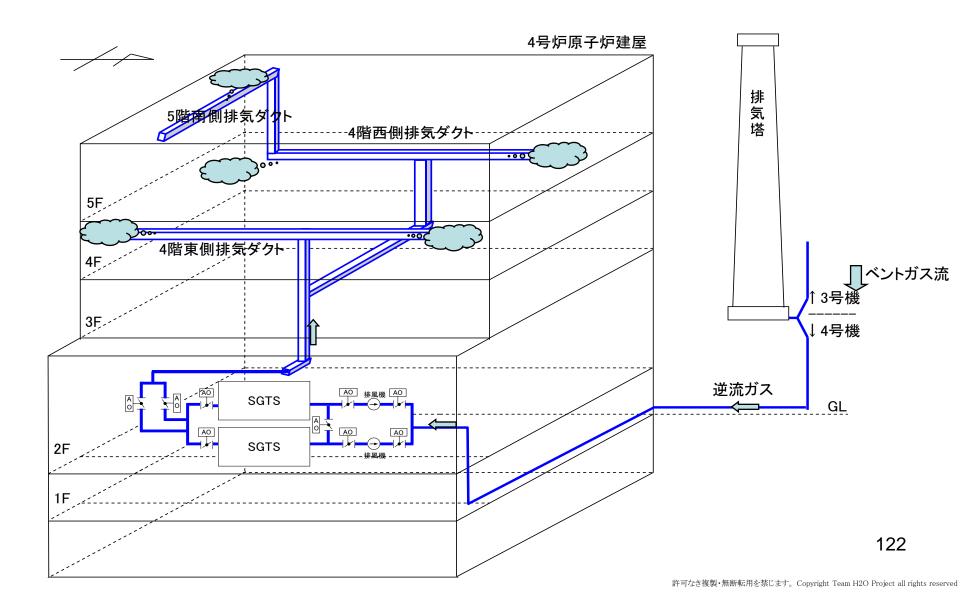
1・3号機の水素漏洩のシナリオ① 格納容器貫通部等から - 格納容器の電気ペネトレーション やハッチ等のシール部にはエポキシやゴムが使用されおり、高温・高圧によってシール性が低下し、水素が漏洩



1・3号機の水素漏洩のシナリオ② 換気空調系から - 圧力抑制室ベント時、高温高圧のガスが排気管内を流れ、そのガス流により配管や弁に損傷が生じ、水素が漏洩した可能性



4号機の水素漏洩のシナリオ 3号機からの流入 - 4号機の非常用ガス処理系排気管は、排気 筒手前で3号機の排気管と合流している。3号機で発生した水素を含むベントガス流が、4号機に逆流した可能性



(参考)3,4号SGTS排気管



↑4号機 SGTS排気管合流部 排気筒→ ↓3号機

教訓と対策

- ・ 事実から導かれる教訓は何か?
 - ・ 再発防止の対策は何か?

教訓と対策

一 教訓 一

地震•津波

原因

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、ガレキ氾濫
- 災害の発生時間、曜日

発生事象/問題点

- ・ 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。
- ・ 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。
- ・ 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。
- ・ 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。
- ・ 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。

- ・ 地震に対する原子炉の動 作は設計通り
- 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
- 柏崎刈羽原発の中越沖地 震時の教訓の確認
- 地震等災害発生時の通信 手段の確保と強化
- 基幹道路の液状化防止の 強化、複数アクセスの確保
- 設計地震動は妥当
- 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
- ・ 津波による海水系ポンプへの浸水
- 「高さ」を主眼とする 津波危険度の評価 体系
- 津波による重油タン クの漂流
- 津波によるガレキの 散乱。
- 海水冷却系ポンプ等の津波耐性が脆弱

発生事象/問題点

- ・ 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。
- ・ 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。
- ・ 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・検討するべき。
- ・ 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。
- ・ 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。
- ー 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。

- ・ 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
- 海水ポンプの津波対策 (耐圧水密性の強化)
- 津波のエネルギー等のリスク評価体系の見直し
- ・ 重油タンクの固定等
- ・ ガレキ撤去用重機配備と 運転者の確保
- ・ 可搬式の電源、可搬式海 水冷却系ポンプの常備

地震•津波③

原因

津波によるタービン 建屋への海水の大 量浸水

- ・ タービン建屋の物資 搬入口が開放のまま 津波襲来
- 津波による免震重要 棟の非常用電源の 喪失
- 海水系ポンプ用モータの津波による機能 喪失
- 全プラント同時SBO 発生におけるAM不 備、訓練不備

発生事象/問題点

- 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。
- ・ 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。
- ・ 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。
- 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。
- ・ 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充実も重要である。

- 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
- 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
- 免震重要棟の津波耐性の 強化。非常用電源の確保
- ・ 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 対するハード・ソフト強化、 訓練強化

電源喪失(福島第一) ①

原因

発生事象/問題点

- 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。

- ・ 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。
- 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)。
- 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。
- ・ 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。

- 電源設備の気密性、水密性、 耐圧性の強化
- 給気口の浸水防止策の実施
- 代替直流電源の確保、多様性を持った確保が重要

- 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129

電源喪失(福島第一) ②

原因

発生事象/問題点

- 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

- 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、その間に低圧系の擁立が間に 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。
- ・ 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

- 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号機へも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)

- 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為には、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II)①

原因

発生事象/問題点

- 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確認・強化が望まれる。
- 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。

- 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。

- 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。

- ・ 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
- ・ 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Ⅱ)②

原因

発生事象/問題点

- ・ 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。

- 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、 プラントの水素爆発に繋がった主因の1つである。

- 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
- ・ 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)

海水冷却機能の喪失(福島第一)

原因

発生事象/問題点

- · 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(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。

対策/教訓

- ・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

- 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

同上

他の発電所と比較して

原因

発生事象/問題点

対策/教訓

- 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
- 海水冷却機能の遅滞なき復旧、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。
 - この間、損傷した非常系海水ポンプの復旧を実施するとともに、必要なポンプ電源を確保している

- 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

- ケ川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

原因

発生事象/問題点

- 直流電源の全喪失
- ・ パラメータ把握不能
- 中央制御室の司令塔機 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。

- 全交流•直流電源喪失
- · IC弁開閉操作の不全

1F1号機: <u>高圧系ICによる注水・減圧</u>: 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

- 全交流•直流電源喪失
- · HPCI弁開閉操作の不全

1F1号機: <u>高圧系HPCIによる注水・減圧</u>: 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。

- 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
- · RCIC機能の作動

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。

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。

- 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、 直流電源車)
- 2時間以内?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)
- 同上
- ・ 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)
- 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 125

高圧冷却機能②

原因発生事象/問題点

- 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。

• 同上(3号機)

・ 1F2号機: <u>同上(14日)</u>: 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。

・ 余震の頻発

- ・ 1F2号機: <u>余震の影響</u>: 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。
- · 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)を講じることが出来なかった。

- 直流電源の維持
- その間の代替電源の 手配失敗
- 乗用車等からのバッ テリーの活用
- HPCIの作動

- 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)
- 1F3号機: <u>HPCIの効果</u>: 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、電源枯渇によって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、停止原因も枯渇と推定)

- 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
- 同上
- 劣悪環境の重層を想定した AM設計と訓練の必要性
- 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、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
- 同上

高圧冷却機能③

原因

発生事象/問題点

- 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。または予備電源の確保): 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、クロノ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と推測される(=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模様。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。
- 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、弱点があると推測される。
- ・ 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し、炉心減圧と低圧系冷却への移行」に至っていない。

対策/教訓

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 源を手配しても充電できない)

- 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
- 同上

ベント機能の実態(SR弁操作による減圧)①

原因

発生事象/問題点

- ・ 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。その結果、炉の減圧が実行できず、炉圧が上昇し続けた。(原子炉圧力降下に関しては、SR弁開固着、圧力容器の温度上昇によるSRVフランジ部ガスケットからの蒸気漏えい等が発生し、減圧した可能性があり、現在までのところ推定である)

同上

1F2号機: <u>直流電源喪失によるSRVの機能喪失</u>: 同上。 (=> P/C(2A、2B、2C、2 D)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とし、予備バッテリーを活用してSRVの減圧操作を実施した。

- · 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: <u>予備バッテリー不足によるSRV実施の遅延</u>: 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不必要な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始できた。

- ・ 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?

- 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

6.ベント機能の実態(SR弁操作による減圧)②

原因

発生事象/問題点

- 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

- ・ 電源確保の失敗
- ・ それに伴う高圧冷却系機能 の不全
- SV弁による減圧の不全

- 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。
- 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。

対策/教訓

- 以下の重要性、有効性の再確認
 - 一 外部電源、直流電源
 - 前項を前提とするRCIC機能
 - 一 同、低圧冷却機能

- 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

139

ベント機能の実態 (PCVベント) ① 原因 発生事象/問題点

- ・ 交流・直流電源の喪失
- 照明の喪失(建屋内の暗闇 化)
- 炉心損傷に伴う建屋内の線 量上昇
- ・ 余震の頻発(避難要)
- ・ コンプレッサ空気圧の不足
- 代替コンプレッサ、アダプタ 等の調達、運搬遅延
- ・ 格納容器ベントの実施遅延

- 1F1号機: PCVベント実施の遅延: 12日00:06にD/W圧が600kPa abs超の可能性を把握した時点でベント準備指示がなされているが、最終的にベントが実施されたのは12日14:30だった。実際に着手した09:04から約5時間半を要している。その理由として、
 - 交流・直流電源の喪失による弁開放の駆動電源喪失
 - 同、中央制御室他の照明の機能喪失(建屋内が暗闇化)
 - 炉心損傷の進行に伴う建屋内の線量上昇(特に、地下1階)
 - 余震頻発による現場操作の禁止指示
 - 近隣住民の避難完了までの待機、その状況把握の通信手段の不足
 - ベント現場確認時の現場従業員と中央制御室間の通信手段の欠如
 - コンプレッサ空気圧の不足による弁開放の失敗
 - 代替の仮設コンプレッサ、アダプターの調達、運搬に時間を要した

その結果、ベント開放がなされ、格納容器の減圧は確認されているものの約1時間 後には原子炉建屋で爆発が発生している。

· RDの作動圧高

1F2号機: ラプチャー・ディスク(RD)作動圧によるS/Cベント失敗: 最初に試みた S/Cベントにおいては、14日11:01の3号機爆発によって電磁弁励磁用回路が外 れるというベントラインの障害等を克服した上で同日21:00頃にRDを除くベントライン構成完了していたが、D/W圧が最高使用圧427kPa gage (530kPa abs)を超えて いたにも関わらず、同日23:35頃S/C側の圧力がRD作動圧よりも低い為にベント失 敗と判断、D/Wベントへの切り替えをせざるを得なかった。

同上

1F2号機: <u>D/Wベントの失敗</u>: 前項のベント失敗後、15日00:02頃、D/Wベント 弁の開放を試みた。ベントラインは15日0:02に準備完了し、その後D/W圧は750 k Pa abs前後を推移するものの、数分後にはベント弁が閉であることを確認。その後、 同日6:00~6:10頃、S/C圧力が0kPa(abs)を指示したおとから、格納容器損傷が はっせいしたものと推定され、ベント失敗している。

対策/教訓

- 電源確保(直流、交流、予備電源)
- ・ 照明の確保(建屋常設、現場作業携帯用等)、
- 緊急通信手段の確保、
- 予備コンプレッサ、アダプタの確保
- 全電源喪失時においても確実に 実行できるベント仕組みへの変 更(現地に行く事なく、予備駆動 力で開放(最終的には手動))

- ・RDの作動圧の見直し。
- ・ 高いベント実施圧に設定した理由の確認

(出来るだけ放射性物質の放出を抑えるために設計圧力の2倍弱に動作圧を設定していた。動作圧力を高めに設定したことが、燃料破損による大量の水素発生となり、格納容器からの漏えいした水素が4%以上の濃度に導き易くしたのではないか?)

・ RD撤去し、ベント用弁の開放によるコントロール作動への切替検討

140

ベント機能の実態(PCVベント)②

原因発生事象/問題点

- ・ 空気圧縮機の圧不足
- ・ 電磁弁の不具合
- ベントラインの構築遅延
- 1F2号機: 空気圧縮機の圧不足、電磁弁の不具合によるベントラインの設定遅延: 14日11:01の3号機爆発後、ベントラインの準備段階において、S/Cベント弁(AO弁)大弁の開操作を行ったが、空気圧縮機の空気圧不足により開操作ができていない。同様に、同じラインナップの工程において、同AO弁が電磁弁の不具合により開不能と推定されている。

- 暗闇
- 作業環境の高温・多湿化
- ・ ベントライン構築の難航
- 1F3号機: 暗闇、高温多湿環境によるW/Wベント準備の難航: 12日4:50頃(= RCIC起動中)、中央制御室照明用の小型発電機にてS/Cベント電磁弁を励磁させた後、当直員がトーラス室にて弁開放を確認に赴いたが、照明喪失とSR弁からS/Cへの高温蒸気の噴出し等により、室内は高温・多湿・暗闇の劣悪環境となり作業が難航している。13日11-12時頃にもトーラス室においてS/Cベント弁(AO弁)の開ロックを行っているが、室温上昇、SR弁作動による振動によって開ロックに失敗している

- 空気圧を使わないベント構造の 検討(仮設コンプレッサ車等の 準備、作業環境整備、繋ぎ込み 作業のできるライン構成への変 更、手動操作可能な弁への変 更等)
- ・ ベント位置の見直し、再考

7.ベント機能の実態(PCVベント)③

原因

発生事象/問題点

- ・ ボンベ交換作業の遅延
- 1F3号機: ボンベ交換による作業遅延: 12日5:23頃S/Cベント(AO弁)の開放を試みるが失敗、ボンベ交換によって成功している
- ・ 駆動用ボンベ圧力の リーク
- 1F3号機: <u>駆動用ボンベの不具合等によるベント開放状態維持の困難</u>: ベント成功後の13日11:17頃に駆動用ボンベ圧カリークによりS/Cベント弁AO大弁が閉状態に戻っている。

- 大弁駆動用空気圧の 不足
- ・ 電磁弁の励磁維持の 不全
- 1F3号機: 大弁駆動用空気圧や空気供給ラインの電磁弁の励磁維持の困難に よるベント開放状態維持の困難: 3号機はベント成功したものの、それ以降の開 放状態の維持に難航(または失敗)している。理由は、大弁駆動用空気圧や、空 気供給ラインの電磁弁の問題(励磁状態が維持できず)と推定される。爆発後も 同様の状態が5回程度発生している模様

- ・ ベント弁駆動用ボンベ等の予備確保。
- 同、交換業務の訓練実施
- ・ 駆動用ボンベの接続部・接合部の 強化(安全系への格上げによる空 気供給ラインの信頼性の確保、多 重化検討)
- ・ベントそのものの仕組み見直し及び開放状態維持の構造強化(安全系への格上げによる空気供給ラインの信頼性確保、多重化検討)

低圧冷却機能①

原因

発生事象/問題点

- 消防車による注水の難航、 遅延
- ディーゼル駆動消火ポンプの故障
- ・ 地震・津波による消火栓の 破損&ろ過水の噴出し停 止
- 代替水源探しに手間取る
- ・ 消防車の不足
- ・ 劣悪環境による消防車の 移動難航
- 消防車からの注水ライン のセットアップの遅延
- 消防車の注入能力の不足

1F1号機: 消防車による注水の難航・注水開始の遅延: 11日17:12の早い段階から 消火系ラインと消防車による注水検討を指示している。しかし、ディーゼル駆動消火ポン プの故障が発生し、消防車から消火系ライン送水口へ直接注水する方針へ変更した(1 2日1:48)。前述の消防車からの注水ラインのセットアップ(消防車の融通、建屋への移動、消火系ラインへのつなぎ込み)に時間を要した為、注水開始が12日5:46と難航した。主な理由は次の通り、

- ディーゼル駆動消火ポンプの故障
- 地震・津波による消火栓の破損&ろ過水の噴出し停止(ろ過水の弁を手動閉鎖)
- 代替水源探しに手間取る(現場確認の結果、防火水槽が使用可)
- 消防車の不足(3台中1台は津波で故障、1台は5・6号機側にあり移動不可)
- 劣悪環境による消防車の移動難航(道路を漂流した重油タンクが封鎖、本部 ゲートは停電で遮断、2-3号機間ゲート鍵を破壊してルート確保)
- 消防車からの注水ラインのセットアップの遅延(消防車手配、建屋移動、消火系ラインのつなぎ込み)
- 消防車の注入能力の不足(1回1000リットル)

12日5:46の注水開始から14:53の注入完了(累計80トン)までの間、1回1000リットルずつに注水していたが、途中からは連続注水が可能となった。しかし、それまでには何度も消防車が往復しており、事象の進展が早い状況下ではより効率的な対応が必要である。

- 予備水源の強化・増加(大型防火 水槽の設置)
- ・ 消防車・ホースの増強
- ・ 消防車設置場所の見直し
- ・ 消防車移動ルートの事前確保(電源喪失時のスムーズな移動)
- ・ 予備電源・ポンプの確保、消防車 の能力強化など
- ・ ディーゼル駆動消火ポンプ故障原 因の究明とその対策

低圧冷却機能②

原因

発生事象/問題点

- ・ 防火水槽の形状不足
- ・ 注水の非効率性
- ・ 1F1号機: <u>防火水槽の形状による注水の非効率化</u>: 水源確保の為に、3号機防火水槽から1号機防火水槽へ淡水輸送を繰り返したが、防火水槽はホースが1つしか入らない形状の為、淡水補給の度に1号機への注水ホースを取り出し、注水中断を余儀なくされた
- ・ ほう酸水注入(SLC)の 準備遅延
- 1F1号機: ほう酸水注入系(SLC)の準備遅延: 消防車による注水と並行して、電源車による電源復旧を行い、ほう酸水注入系(SLC)ポンプの復旧を進めている。12日の15:36にほう酸水注入準備が完了したが、その直後(15:36)に1号機で水素爆発が発生し、SLCポンプ用ケーブル・高圧電源車が破壊され、使用不能となった。

同上(爆発による)

1F1号機: <u>ほう酸水注入遅延</u>: 爆発後の12日19:04に消火系ラインから消防車による海水注入が開始される。その後20:45にほう酸を海水へ混ぜて注入開始した。

- 防火水槽ホース接続形状の見 直し
- 予備電源(高圧電源車)の確保
- ・ ケーブル、消防車等の増強

全体からの教訓①

原因

発生事象/問題点

- 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。

- 前項を想定した日頃の AM対策行動の訓練不足
- AM: <u>夜間・休日を想定した準備</u>: 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。
- ・ 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、火災の発生はなかったことから、低圧系の 注水に消火系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。
- 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。

対策/教訓

- 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)
- 夜間・休日での電源喪失等を 想定した現場訓練
- 夜間の視界不良を想定した弁 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)
- 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

145

全体からの教訓②

原因

の関係性

発生事象/問題点

ている。

が急務となる。

- 第一2号機のラプチャ・ディスクの動作圧の設定が高い
- 格納容器ベントと水素爆発
- 水素漏洩のメカニズムが 不明

- 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、直流電源喪失まで至ったのは福島第一だけである。外部電源の確保は、高圧冷却系での冷却継続が可能となり、低圧冷却系の海水系ポンプ・モータの復旧、電源車配備を可能にした。全交流電源喪失の長期化は、直流電源をも枯渇させ、プラント復旧の絶望を意味した。海水ポンプの喪失はDG喪失に至り、外部電源の復旧もしくは海水ポンプの復旧

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号機の同ベントでは、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

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、格納容器のペ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、解明される事を期待

対策/教訓

- 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
- 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
- 直流・交流電源の代替の多重 化
- 代替電源の接続機器一式の 準備
- ・ その訓練の強化

全体からの教訓③

原因

発生事象/問題点

- ・ ベント作動圧と水素爆発の 関係性の検討不足?
- ・ 水素爆発のリスク把握、対 策等のAM自体への反映不 足?
- 福島第一全体: 水素爆発のメカニズムとベント作動圧等との関係性: 東京電力では、格納容器のベントについては、放射性物質の放出による住民への影響を出来るだけ避けることとし、ベント実施圧力の設定値を他電力と比べて高めに設定していた。しかし、この判断が今回の水素爆発の要因ともなり、格納容器に大量の水素蓄積になったものと推定する。また、この水素爆発の発生については1号機の対応においてクロノロジーの中でも予防策を講じた実績もないことから、東京電力内では想定外事象であったと推定する。

・ 全電源喪失による中央制御室の司令塔機能の不全

福島第一全体: <u>中央制御室の機能不全のもたらした影響</u>: 全交流電源喪失は、計器電源を喪失させたことから運転員から監視業務を取り上げた。監視不能状態では、次に打つべき方策をも出来なくなる。また、原子炉が高温状態では、仮設電源による計器を復旧しても正確な指示を示しているかは疑問となる。監視不能状態は、運転員の恐怖心を募ることとなり適切な判断にも影響してくる。運転員が適切な判断を実施できるように整備することが重要。

- 水素爆発
- ・ それに伴う放射性物質の漏洩

福島第一全体: 1~4号機の爆発は、外部環境への放射能漏洩を引き起こし、地元に対し甚大な被害を与えた。現在も、土壌汚染や被曝の影響等に苦しむ、あるいは悩む被災者が多数存在する。特に、爆発によるセシウム137の拡散は長期に渡って影響し、問題が大きい。水素爆発を絶対に起こさない事、放射性物質の拡散をさせない事、もしくはその影響を最小に抑える事が最重要である。

対策/教訓

- 水素爆発のメカニズムの解明(漏 洩経路、蓄積経路、着火要因等)
- ・ 水素蓄積の防止(検知機、建屋ベント機能等)
- ・ ベントと水素爆発の関係の検証
- それらのマニュアルへの反映

- 中央制御室の照明、作業環境、 計測機器の作動等の確実な担保 (電源、照明、作業服・線量計・什 器等)
- ・ AMへの反映と日常での訓練の継 続強化
- ・ 遠隔式の計測器の採用
- ・ 水素爆発の防止
- ・ 放射性物質の漏洩・放出防止策 (フィルター・ベント設置等の検討)

教訓と対策

一 対策 一

対策: 電源の確保

対策項目

電源の確保

制御室機能 の確保

高圧冷却系 の確保

ベント機能 の確保

低圧冷却系 の確保

最終ヒートシンク の確保

水素爆発/ 放射能漏洩 防止

災害対策マニュアル /インフラ等

対策(発生防止)

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。

(中長期対策として)

- 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(DG)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。

(中長期対策として)

- DG関連一式の設置場所の高所設置(DG、電源盤等の一式)
- 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)
- 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、淡水 による冷却系は津波被害を避けるため高台設置とする。

対策(影響緩和)

外部交流電源の確保

●なし

非常用DGの確保

(中長期対策として)

● 地震スクラム時のDG自動起動インターロックへの変更

対策: 電源の確保(その2)

対策項目

対策(発生防止)

対策(影響緩和)

電源の確保

制御室機能 の確保

高圧冷却系 の確保

ベント機能 の確保

低圧冷却系 の確保

最終ヒートシンク の確保

水素爆発/ 放射能漏洩 防止

災害対策マニュアル / インフラ等

非常用ディーゼル発電機(DG)の確保

(中長期対策として)

● 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。

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。

(中長期対策として)

- 直流電源の設置位置を高い位置に移設する
- 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)

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
- 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

(中長期対策として)

- 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)
- 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)
- 交流電源の設置位置を高い位置に移動する

非常用DGの確保

● なし

直流電源の確保

なし

交流電源の確保

● なし

対策: 制御室機能の確保

対策項目

対策(発生防止)

対策(影響緩和)

電源の確保

制御室機能 の確保

高圧冷却系 の確保

ベント機能 の確保

低圧冷却系 の確保

最終ヒートシンク の確保

水素爆発/ 放射能漏洩 防止

災害対策マニュアル / インフラ等

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 御室の遮蔽効果を向上させる。

(中長期対策として)

・ 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。

制御室機能の確保

- 運転員の居住性・監視性確保
- 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。
- ・ 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。

(中長期対策として)

・ 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。

対策: 高圧冷却系の確保

対策項目

対策(発生防止)

電源の確保

制御室機能 の確保

高圧冷却系 の確保

ベント機能 の確保

低圧冷却系 の確保

最終ヒートシンク の確保

水素爆発/ 放射能漏洩 防止

災害対策マニュアル /インフラ等

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。
- 高圧での原子炉への注水手段としては、SLC系、CRD系、CU W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。

対策(影響緩和)

高圧冷却系の確保

● 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。

(中長期対策として)

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。現場状態の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。

対策: ベント機能の確保

対策項目

対策(発生防止)

7.774 (70-14)-

電源の確保

制御室機能 の確保

高圧冷却系 の確保

ベント機能 の確保

低圧冷却系 の確保

最終ヒートシンク の確保

水素爆発/ 放射能漏洩 防止

災害対策マニュアル / インフラ等

格納容器ベント機能の確保

● なし

SR弁操作による減圧

● なし

対策(影響緩和)

格納容器ベント機能の確保

- 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。
- 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。

(中長期対策として)

- 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。
- 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。
- 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。
- 2号機でラプチャーディスクが動作しなかったことに鑑み、弁開閉 方式によるベントの採用検討する。

SR弁操作による減圧

● 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。

(中長期対策として)

- 直流電源だけに頼らないSR弁の仕組み検討
- 原子炉の減圧機能が複数手段することの検討

対策: 低圧冷却系の確保

対策項目

対策(発生防止)

対策(影響緩和)

電源の確保

制御室機能 の確保

高圧冷却系 の確保

ベント機能 の確保

低圧冷却系 の確保

最終ヒートシンク の確保

水素爆発/ 放射能漏洩 防止

災害対策マニュアル / インフラ等

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。

(中長期対策として)

● 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。

低圧冷却系機能の確保

- 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)
- 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。
- 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

(長期対策として)

● 火災時の対応も考慮し、低圧注水専用の水源確保も必要。

対策: 最終ヒートシンクの確保

対策項目

対策(発生防止)

対策(影響緩和)

電源の確保

制御室機能 の確保

高圧冷却系 の確保

ベント機能 の確保

低圧冷却系 の確保

最終ヒートシンク クの確保

水素爆発/ 放射能漏洩 防止

災害対策マニュアル /インフラ等

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。
- 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。

(中長期対策として)

- 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。
- 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)
- 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

海水冷却機能等の確保

● サイト内にモータ巻線洗浄設備の設置、予備品準備

(中長期対策として)

● 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。

対策: 水素爆発/放射能漏えい防止電源の確保

対策項目

対策(発生防止)

電源の確保

制御室機能 の確保

高圧冷却系 の確保

ベント機能 の確保

低圧冷却系 の確保

最終ヒートシンク の確保

水素爆発/ 放射能漏えい防止

災害対策マニュアル /インフラ等

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)
- 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。
- 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。

(中長期対策として)

- 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)
- 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。

放射能漏えい防止

(中長期対策として)

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。

対策(影響緩和)

水素爆発の防止

- 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。
- 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。

対策: 災害対策マニュアル/インフラ等

対策項目

マネジメント対応

災害対策マニュアル(AM)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

(中長期対策として)

- 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

マネジメント対応

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。
- 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

(中長期対策として)

- ・基幹道路の補強(液状化対策含む)
- ・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。
- 発電所までのアクセス道路・橋梁補強の実施
- 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)

電源の確保

制御室機能 の確保

高圧冷却系 の確保

ベント機能 の確保

低圧冷却系 の確保

最終ヒートシンク の確保

水素爆発/ 放射能漏洩 防止

災害対策マニュアル /インフラ等

保安院指示書(現ストレス・テスト)との比較

- ・ 視点、考え方
- ・ 技術的な対策内容

対策: 電源の確保(外部交流電源、非常用ディーゼル発電機の確保)

対策項目	対策	内容	保安院ST指示 文書との整合	IAEA報告書 との整合	備考
		開閉所の水密性、耐圧性を向上。	0	0	
		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。	0	0	
		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	0 0		
	外部交流電源の確保	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。	0	0	
		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)	×	×	
		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。	0	0	
電源の確保		DG室給気口からの浸水防止策を実施する。	0 0		
		DG室の水密性・耐圧性の向上。	0	0	送電線の強化(指示文書) 他方式の検討は必要(IAEA、産業界)
		DG室間での電源融通が可能となるように制御・電源ケーブルを配備	0	0	
		DG関連一式の設置場所を、極端に高くする(DG、電源盤等の一式)	0	0	
	非常用ディーゼル発電機(D	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)	0	0	
	G)の確保	多少の水没では機能喪失しない設計とする。	0	0	
		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を高台に増設する。 空冷式 のため海水ポンプ、海水循環系が不要。なお、淡水による冷却系は津波被害を避けるため高台設置とする。	0	0	
		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。	0	0	
		地震スクラム時のDG自動起動インターロックへの変更	×	×	

対策: 電源の確保(直流電源、交流電源の確保)

対策項目	対策	対策 内容 内容		IAEA報告書 との整合	備考
		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。直流電源の設置位置を高い位置に移設する。	0	0	
	直流電源の 確保	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。	0	0	
		直流電源の設置位置を高い位置に移設する。	0	0	
		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)	0	0	
		交流電源設備の水密性・耐圧性を向上する。	0	0	
電源の確保		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	0	0	
	-	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	0	0	(順考
	交流電源の 確保	電源車以外の予備電源の増設	0	0	
		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	0 0		
		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)	0	0	
		電源車・予備電源を津波・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)	×	×	
		交流電源の設置位置を高い位置に移動する	0	0	

対策: 制御室機能、高圧冷却系の確保

対策項目	対策	内容		IAEA報告書 との整合	備考
		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、中央御室の遮 蔽効果を向上させる。	0	0	
		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。	0	0	
制御室機能 の確保	運転員の居 住性・	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。	0	0	
の確体	監視性確保	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。	0	0	
		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。	0	0	
		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。	0	0	
		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。	0	0	
高圧冷却系 の確保		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。	×	×	運転状態の確認方策までは 言及せず
		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。現場状態の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。	×	×	夜間における確認対応方策 までは言及せず

対策: 低圧冷却系の確保

対策項目	対策	内容	保安院ST指示 文書との整合	IAEA報告書 との整合	備考
		低圧状態で使用する非常用炉心冷却系ポンプは津波により浸水とならないよう、水密性・耐圧性を確保することもしくは高所設置が必要。	0	0	
		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。	0	0	
		消防車からの注水接続箇所の複数設置	0	0	
		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	×	×	汚染水の再利用までは言及 せず 空冷方式等の検討について は言及
	 低圧冷却系	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)	0	0	
低圧冷却系 の確保	の で 容	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。また、その冷却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。			せず
		・ほう酸の注入ができること	0	0	
		・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	×	×	
		火災時の対応も考慮し、低圧注水専用の水源確保も必要。	×	×	冷却系の水源確保について は言及(ST指示文書、IAEA)
	使用済み燃料プール機能の確保	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準備しておくことが必要。	×	0	使用済み燃料プールの冷却機能については言及(ST指示文書)冷却機能確保について言及
		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	×	×	冷却機能確保について言及

対策: ベント機能の確保

対策項目	対策	内容	保安院ST指示 文書との整合	IAEA報告書 との整合	備考
		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。	0	0	
		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。	×	×	ベントシステムの操作性向上 については言及(IAEA)
	格納容器べ	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ーを格納容器内に配備する。	×	0	炉内状態監視のための計測 手法検討については言及(産 業界)
	ント機能の確 保	駆動用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。	0	0	O 手法検討については言及(産業界) O O
ベント機能の		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。	0	0	
確保		2号機ラプチャーディスクが動作しなかった事に鑑み、弁開閉方式によるベントの採用検討する。	×	×	
		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。	0	0	
	SR弁操作に よる減圧	直流電源だけに頼らないSR弁の仕組み検討	×	×	
		原子炉の減圧機能が複数手段とすることの検討	×	×	

対策: 低圧冷却系、最終ヒートシンクの確保

対策項目	対策	内容	保安院ST指示 文書との整合	IAEA報告書 との整合	備考
		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。	0	0	
		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。	0	0	
		サイト内にモータ巻線洗浄設備の設置、予備品準備	0	0	
最終ヒートシンクの確保	海水冷却系 機能の確保	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。	0	0	
		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の確保)	×	×	
		防波堤、防潮壁の設置	0	×	
		代替炉心冷却系(水源、電源、注水系統等)を有すること	×	×	
		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(耐圧・水密性の強化)モータの採用についても検討が必要。	0	0	

対策: 水素爆発/放射能漏えい防止電源の確保

対策項目	対策	内容	保安院ST指示 文書との整合	IAEA報告書 との整合	備考
		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動作する(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)。	0	0	
		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	×	×	格納容器本体の機能強化ま では言及せず
		ラプチャーディスク不動作防止のため、定期的な交換を検討する。	×	×	
水素爆発/ 放射能漏え	水素爆発の 防止	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。	0	0	
い防止	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。 ・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)	× × ×	0 × 0	水素の滞留防止策の検討に ついては言及(ST指示文書)	
		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。	×	×	
	放射能漏え い防止	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。	×	0	ベントシステムの機能強化に ついては言及(IAEA)

対策: 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

対策項目	対策	内容	保安院ST指示 文書との整合	IAEA報告書 との整合	備考
災害対策マ ニュアル /インフラ等	災害対策マ ニュアル (AM)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。	0 0	0 0 0	
		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	0	0	
		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 の実施が必要。	0	0	

対策: 災害対策マニュアル/インフラ等 ~ インフラの強化

対策項目	対策	内容	保安院ST指示 文書との整合	IAEA報告書 との整合	備考
		夜間・休日を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)	×	0	当面必要となる対策の策定 として言及(ST指示文書)
		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。	0	0	
		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。	×	×	
	インフラの強	免震重要棟の津波耐性の向上(非常用電源の確保)	×	×	
災害対策マ ニュアル /インフラ等		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 ・基幹道路の補強(液状化対策含む) ・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。	0	0	
		発電所までのアクセス道路・橋梁補強の実施	×	×	
		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)	×	×	レスキュ一部隊、緊急対応用 資機材の整備については言 及
		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	×	0	複数炉立地における課題とし て言及(IAEA)
	組織の見直 し、地震・津 波評価手法	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	×	×	

アクシデント・マネジメント(AM)体制

- ・ 事故の分析から導かれる教訓は何か?
- 今後の意思決定メカニズムは、どうあるべきか?

課題の整理 - 事故対応(AM)の体制・意思決定に関する教訓・課題が多い

疑われる原因

- 普段からの事故対応手順の周知徹底、訓練実施
- 情報共有、通信手段の 手順・機能不足
- 統合本部の設置
- 複数プラント同時対応の 想定不足。対応遅延

- 資機材手配の事前準備、 訓練の不足
- 自衛隊による機動的な 資材供給
- オフサイトセンターの停電、通信障害等

発生事象/問題点

- 当直長・所長以下の現場部隊は、一貫して安全重視の観点から、ほぼ事故対応手順(A M)通りの対応を実施した。更に、運転員は手順書のみならず応用操作の訓練も実施している。水素爆発に至るまでの現場の対応過程においては、こうした訓練の効果があったと思われる
- 報道では、当初東電本店と発電所、国と東電の間のコミュニケーション不足が取り上げられている(例、政府が直接福島第一に連絡)。この点の解明はできなかった。
- 3月15日の国・東電の統合本部設置以降は、こうした点は解消した模様
- 本店側では、第一と第二の合計10プラントの対応が必要であった。しかし、そうした人材配置は想定できていなかった。要員を確保(本店約200名、第一約400名、第二約200~300名)できたものの、実態としては複数同時多発事故に対する体制・要員数が不足し、訓練も不足していたと考えられる
- 本店・各プラント間において、資・機材の送付がスムーズに実行できなかった(例:JVや小 浜CCからの送付)。また、過酷事故時に要求されるタイミングでの供給は困難だった
- 国と東電との統合本部の設置(3月15日)以降、自衛隊による資機材の運搬はスムーズに 実施された
- 震災当日、停電によってオフサイトセンターが機能しなかった。その後も、TV会議システム は使えなかった模様(東電ブースのものは機能)。その為、最も重要な時期に、十分な情報 共有が困難となった

対策/教訓

- 普段からの訓練の重要性の再認 識、更なる強化
- 特に、対策行動のスピードアップ
- ●情報共有の質・量・速度の強化
- その為の仕組み作り
- リアルタイムで情報共有する仕組 みの重要性の再確認
- 複数プラント過酷事故時のプラント 別対応者、要員の決定、訓練

- 資機材手配時の体制、通信手段、 仕様一覧、入・出荷チェックの設計、 訓練
- 過酷事故時の、自衛隊等との連携 の手順・体制の確立
- オフサイトセンターの非常用電源、 通信手段の確保

169

課題の整理(続き)

疑われる原因

- オフサイトセンターの機能定義、関係各者間での認識の共通化、訓練等の不足
- 東電・国・県等のハイレベルでの事故対応の訓練不足
- 避難指示・誘導における 現地対策本部(国・県・ 市町村等)の行動設計 の不足、事前訓練の不 足等

発生事象/問題点

- 復旧後のオフサイトセンターでは、情報共有の場として機能したが、事故対応に関する検討・意思決定の場としては十分に機能しなかった模様。また、地元の避難対応等が膨大となった為、政府・電力会社・自治体の全関係者が集合・討議する事が困難であった
- 東電・国・県等が、対応方法・手段を定め、訓練も実施していた。しかし実際には、要求時間内に実施できず水素爆発に至った

● 避難指示・避難誘導において、原子力災害現地対策本部が必ずしも一体となって対応出来なかった。また、国・県・市町村の役割分担は設計されていたが、具体性に欠けていたために十分に機能しなかった

- 原子力立地県・市町村の災害対策本部は、原子力災害のみならず、同時に発生しうるその他の災害対応(例、火災・震災・水害等)も必要となる。このため、原子力災害に特化した対応策を再検討する必要がある。
- 原子力災害時には、情報は入手しても、その内容を理解し、対応方針の迅速な判断が必須となる。適切に実施する為には、県・地元自治体において、原子力の専門職者の配置が必要

対策/教訓

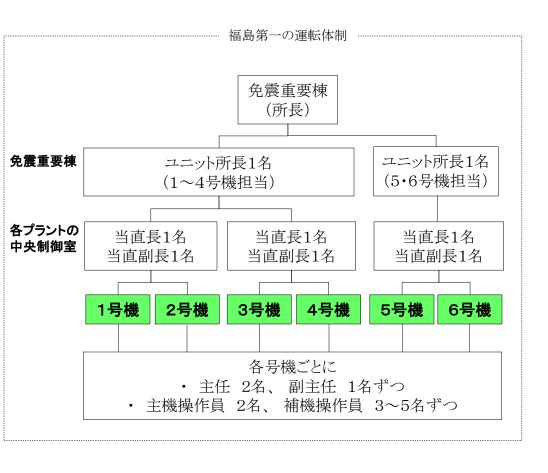
- AM体制と役割全体の再定義、 認識の共有
- 関係者全体での実践的訓練の 実行。場所の確保
- ▶ 実践的な訓練の強化(特にスピードアップ等)

- 現地災害対策の体制・役割分担の再検証
- 習熟するまで訓練の実施、強化

- 地元の複数・重層的な災害発生 時の対応計画・体制の再構築
- 実践的な教育、研修、訓練
- 原子力の専門知識を要する人材の配置、活用

170

AM体制の現状(福島第一の例) - 今回の様に、複数プラントにおいて過酷事故が同時発生した場合に、適切な対応能力・キャパシティを有していたのか、検証が必要



現状の運転体制

- 所長判断: 電源車、消防車の各プラントへの配車。 ベント、海水注入の実施。AM手順書に定義されてい ない内容の決定
- 当直長判断: AM手順書に定まっている点
- 当直長の資格、訓練等 =BTCによる「運転責任者」 試験の合格者

課題

- 単独プラントに比べて、複数プラントで過酷事故が同時発生した場合は、リスク度合いが飛躍的に倍加すると推定される
- 同時に、現場マネジメントにかかる負荷、要求される 対応能力・速度・精度も飛躍的に高まる
- クロノロジーを見る限り、今回の様な事象が発生した場合の、複数プラントへの準備が必ずしも十分ではなかったと推定される

新潟県知事は、「原発再稼動において、意思決定メカニズムも含めた福島第一の検証が必須であり、 それを加味しないコンピュータ・シミュレーションを行っても本質的ではない」とコメント

新潟県 泉田知事のコメント(9月14日 定例会見より抜粋)

- 質問「ストレステストだが、政府が評価結果についてIAEAにも参加してもらうということのようだが、それについては?」
- 知事:「本質的ではない。つまり、福島原発で何が起きたのか、これはメカニズム、機械だけではない。どのタイミングで海水注入を決断すべきだったのか、それは誰がすべきなのか、その意志決定がなければ、数千億円するプラントを廃棄するという前提で、本当に決断できるんでしょうかというところも、意志決定メカニズムも含めて検証しなければいけないと思っている。

大量の放射性物質を放出せざるを得なかったのか、これはI AEAの報告書でも総理自らが現場に介入しすぎという指摘が出ている。そういった点も含めて、意志決定メカニズム、誰がどう責任を取って、どうするんだという検証なしにストレステストをやりましたと言ってもしようがない。

IAEAに見てもらっても配管が破断しているのか、していないのか、そこの経験を踏まえず、コンピューター上で今までの知見でプログラム回すのにどういう意味があるのかということ、まあやらないよりやった方がいいでしょうという以上のものではない。」

その意味合い

- 技術と組織の両面での再発防止策の検討が必須
- 技術的な観点: 設計思想にまで遡った福島第一の検証、教訓、対策の洗い出しが必要
- 組織的な観点:前項で得た対策を確実に実行していく為に 必要となる組織・意思決定メカニズムの条件を洗い出す
- 再発防止を最優先に置いた意思決定メカニズムの再設計 (本店、技術支援センター、オフサイト・センター、中央制御室)
- 対策実行の体制と役割分担の設計(事業者、政府、自治体等)
- 研修、訓練の強化: 教訓から得た対策・体制が、実際に機能する為の実地訓練が必須
- ・ 福島第一と同一事象を明確に想定した研修、訓練プログラム
- ・ プログラムの導入・実施・検証・改善スケジュール
- ・ 海外事例の研究など

今後の対策においては、技術的な側面だけはなく、地元参加型の意思決定、体制、訓練等の他組み

その為には今後のアクシデント・マネジメント(AM)の設計において、次の様なミッションに取組む事が極めて重要

安全の最優先

- 人命尊重の為に、「原子炉の安全確保」と「地元の安全確保」が、全てに対して優先される仕組み(安全文化の醸成)
- 水素爆発と放射性物質漏洩の絶対的な阻止(福島の再発防止)

リアルタイム型 情報共有NW

- 重大事故(またはそのリスクの)発生時には、全関係者がリアルタイムかつ透明に情報共有できるネットワーク
- AM領域に入った事が分かり、その後の進展が双方向で共有・協議できる仕組み

地元の参画

- 地元の安全について、地元自治体が情報を共有し、判断出来る仕組み
- その為に、地方自治における原子力の専門家やアドバイザー等の人材強化
- 教育・研修やトレーニングの推進・強化

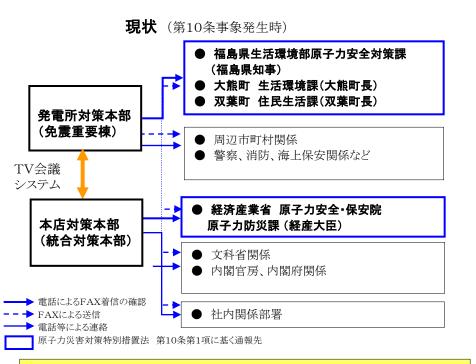
透明・迅速な 意思決定

- ガバナンスが明確に機能する組織と権限の設計
 - プラントの安全: 現場(所長と当直長)が最高意思決定者である
 - 地元の安全: プラントからの情報がリアルタイムで地元に共有され、最終判断できる
 - これら意思決定のプロセスが透明であり、外的要因によって遅延・屈曲しない

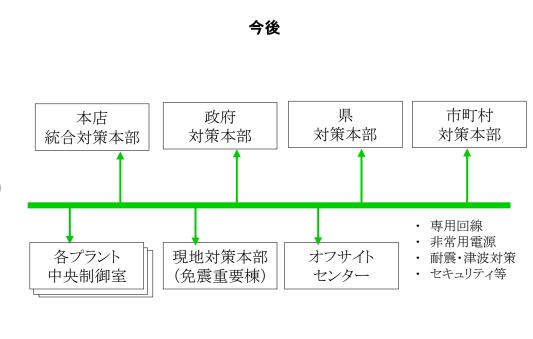
安全を担保する研修・訓練

- 上述の事項を担保する為のAM手順書・対策等が適切に定義されている
- その手順書を実行する為に適切な人材が確保されている
- 適切な人材に対して、必要な教育・訓練が実行される
- 中立的な観点(または機関)から、これら(手順・人材・訓練)が適切である事が定期的に173
 チェック・評価される

一刻を争う過酷事故においては、全関係者がリアルタイムで情報共有し、双方向で協議できるネットワークが必須である

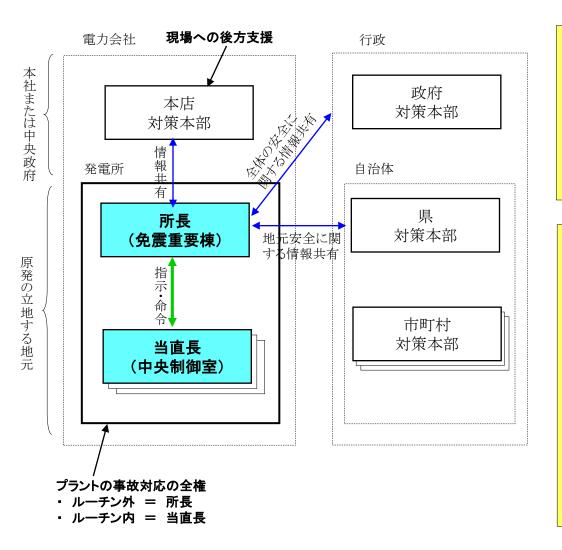


- **限定的なリアルタイム性**: 発電所と本店間はリアルタイムのTV会 議機能あり
- **部分的な双方向性**: 政府機関・県・市町村等の対外通信は、電話・ FAX・メール等による一方向が主流
- 限定的な情報共有機能:
- ・ 電源喪失、通信障害等の発生時は、十分なコミュニケーションが困難
- ・ 自治体他からは、原発事故に関する情報提供不足を指摘された(公衆回線であった事も関連)



- AMモードに入った時点でネットワークがオンになり、必要に応じて対象プラントと関係者が同時接続し、リアルタイムで情報共有・会議・意志決定できる仕組み
- ・ 対象: プラント、電力本社、政府、原発の立地県・市町村等
- 機能: プラントの状況・対策、地元の安全・避難等に関する情報 共有、協議、判断
- AMモードになった事が分かり、その進展が見える
- 情報共有と意思決定を透明化・迅速化する
- ・外部への情報漏洩を防ぐ

プラントの安全確保 - 最前線(所長・当直長)が全権を有し、事故防止・拡大抑制を何よりも最優先するガバナンスが重要 - 航空業界の「管制官」と「パイロット」、製造業の「経営」と「技師長」に相当



電力会社 本店と発電所: 安全と経営の独立

- 発電所: **事故防止・安全を最優先に判断・行動**。この点において、**経営陣に対して独立**
- 本店:「プラントの安全」を現場に委ねる。現場が必要とする後方支援を行う

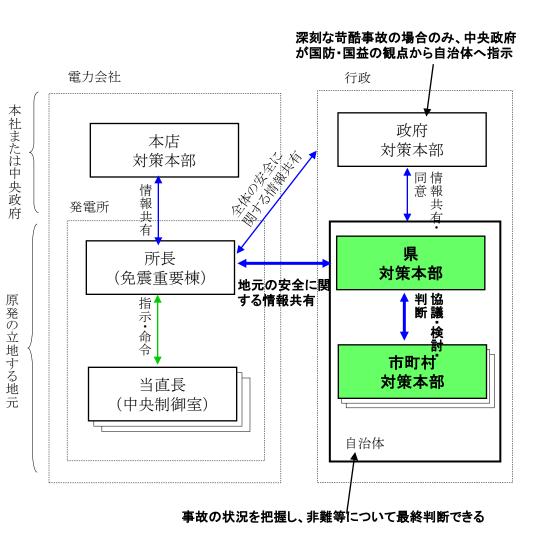
発電所 所長と当直長: 管制官とパイロットの関係

- 所長 (=管制官):
- 事故手順書(AMマニュアル)のルーチン外の事象が発生した際にプラント(当直長)へ指示を与える。
- ・ 原子力発電所の全原子炉の安全・重大事故防止に対して全権、全責任を持つ
- 当直長 (=パイロット):
- 事故手順書のルーチン内においては、プラントの安全に対して全権を持つ。
- ・ AMに入った時点で、情報は関係者と共有する

175

同時に、プラント安全の全権・全責任を担う所長・当直長の資格・訓練の厳格化と適正な処遇が必要

地元の自治権として、地元が「住民の安全確保」に関して自ら判断できる仕組みを目指す必要がある



状況地元から見た今回の

- **不十分、不正確な情報**の氾濫
- 事故の状況、避難等の情報共有の**タイミングの遅延**
- 前各項の内容の混乱
- 事故対応、避難指示等について意思決定者が分かりづらい
- ★ 地元は意思決定においては部外者に等しかった為に、 位置づけは"被害者"

の役割

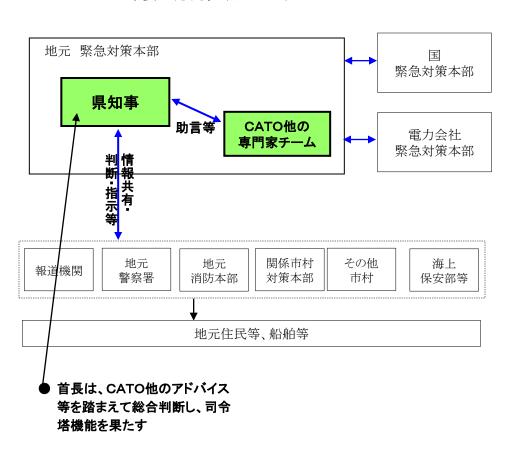
- 意思決定: 安全・避難等について、地元首長は全ての 情報を把握し所長と相談の上最終判断する
- **研修**: 地元首長は、その判断力を養う為の訓練を常時 受ける
- 情報共有: 判断に必要な情報は、中央政府や本店経由ではなく、発電所から直接共有される
- NW: その為のネットワークがある
- 判断基準: 国と地元自治体との役割・判断等に関する 基準が明確に定義される
- 米国スリーマイル島原発事故においても、事故後は地元を 巻き込んで運営した事が、原子力事業者と自治体の良好 な関係を築けた一因となっている

176

「地元と一体で安全運転をする」という理念が重要である

その為に自治体は、原子力に関する知識や経験を有する専門アドバイザー(仮称 CATO*)等の人材強化を検討してはどうか?(**Chief Atomic Technology Officer)

今後の方向性(イメージ)



CATOのミッション

- 資格: 首長は、**自らだけでは原発事故に関する** 技術的・専門的な業務・判断を行う事が困難であ ると判断する場合、「原発技術・安全担当の CATO (Chief Atomic Technology Officer)」を任命 する。
- ・ CATOは、電力会社、政府等から独立した経歴・ 出身者を採用し、中立性を保つ
- あくまでも、原発が立地する地方自治体を対象と する
- 業務: CATOは、必要に応じて電力事業者、政府、行政機関、災害対策本部等との会議・情報交換等に参加し、また、知事に対して助言を行う

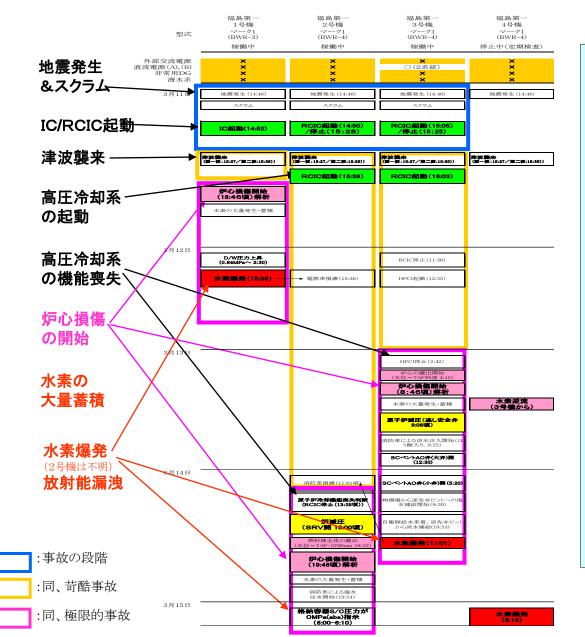
…例えば新潟県では、原子力等のリスク管理責任者として「危機管理監」という職制を導入する 等、先進的な取組みを行っている — この費用、訓練などを国の負担とする 177

今後、事故のレベルを3段階で管理し、各レベルに応じたAM体制を構築する事が必要

	事故のレベル	事故の例	情報 NW	「プラントの安全」の主体	「地元の安全」の主体	政府側 の主体
	事故 (Accident)	炉心スクラム+外部電源喪失+ 非常用発電機(DG)起動福島第一6号機、東海第二等	オン	・ AMルーチン内=当直長・ AMルーチン外=所長	・ プラントから自治体へ直接情報 共有・ 避難等について自治体が最終 判断・ 国は後方支援、同意	環境省
	苛酷事故 (Severe Accident)	炉心スクラム+全交流電源喪失 (DG起動せず)福島第一5号機等	オン	・同上	・同上	環境省
A	極限的事故 (Grave Accident)	 全電源・冷却機能の喪失 炉心溶融、放射能漏洩リスクの急上昇 福島第一1-4号機 テロによる災害等 	オン	・ 同上・ 国は必要な支援(例、自衛隊の出動)	・国が意思決定権を持つ・国は、自治体と協議の上、国防・国益の観点から総合判断する	首相官邸

事象が極限的段階に進展した場合、国防・国益の観点から、国が事故対応を統括する

GAMレベルへの進展例 - 福島第一1~3号機の場合、事象進展を的確に把握し、事故対応のレベルを判断する必要があったのではないか?



苛酷事故(SAM)、極限的事故(GAM)への移行判断(例示的)

- 各電源(外部交流、非常用交流発電機、直流バッテリー 等)の健全性の有無
 - これらの健全性について、速やかに一覧できる 計測機能は極めて重要
- 高圧系冷却機能の健全性、及び、機能喪失の可能性・ 猶予時間の予測、判断
- 電源、冷却機能の総合的な健全性を加味した炉心状況と炉心溶融(メルトダウン)リスクの判断

1

- ★ 福島第一1~3号機のクロノロジーを見る限り、電源喪失 +高圧系冷却機能が喪失した場合は、全てメルトダウン と放射能漏洩へ至った(1・3号機は水素爆発を伴う)
- ★ 前述の機能喪失が予期された時点で、GAMレベルに入 る可能性が極めて高い

AM体制・・・INES評価尺度・・・ プロジェクト外厳秘/Extremely Confidential

政府は3月12日にレベル4、18日にレベル5、そして4月12日にレベル7と公表したが、それは正しかったのか(レベル判断、発表時期・頻度、キーメッセージ)?

事実または参考情報

- 1989年のINES評価尺度の制定以来、今回が世界初のレベル5以上の重大原発事故だった。従って、事象進展中の公表としては、前例が無かった
- チェルノブイリ('86年4月26日。レベル7)、スリーマイル島('79年3月28日。レベル5)は、事故から 数年後の事後評価
- 3月12日15:36に第一1号機で水素爆発が発生しており、その時点でレベル5の基準 を満たしていたと推定される
- レベル5=原子炉炉心や放射線防護壁の重大な損傷。計画された緊急時対策が要求される
- INESが制定された**目的は、公衆に対して、原子力事故がもたらす「安全への影響」の 説明と理解を促がす事**にある。**INES尺度は**、「安全への影響度合い」を遅滞なく、一貫した言葉・用語で**伝える為の「ツール」と位置づけ**られている(以下、公式サイト原文抜粋)
- The primary purpose of the INES Scale is to <u>facilitate communication and understanding</u> …on <u>the</u> safety significance of events.
- INES is a <u>tool for promptly communicating to the public</u> in consistent terms <u>the safety significance</u> of reported nuclear incidents….
- レベル6と7の「所外への影響(peaple and environment)」基準は、解釈論の余地が大きい
- ・ レベル**7**: **数万テラベクレル**以上 => **広域(例、一国以上)への甚大な健康被害、長期環境汚染**の可能性、屋内待機・非難等をもたらす為
- ・ レベル**6**: **数千~数万テラベクレル** => **待機**(sheltering)・**避難**(evacuation) **の必要性**を もたらす為
- ・ レベル5: 数百~数千テラベクレル => 限定的(localized)な待機・避難の可能性がある為
- 福島第一は、チェルノブイリの放出量と比べると、1割程度である
- チェルノブイリ=520万TB、福島第一=37万TB(保安院)、63万TB(安全委)

課題·教訓

- そもそも事象進展中に、3度も公表する必要はあったのか疑問が残る(国際対応の不備?)
- 今後、福島の教訓を踏まえ、事象進展中の公表のガイドラインが必要
- 結果論で言うと、3月12日23時のレベル4の判断は、テクニカルミスに近いとの疑問が残る
- レベル7の発表が、第一1~4号機の爆発後ではなく、なぜ1ヶ月後の4月12日だったのか?
- 事象進展中であり、レベルだけでなく、「安全への影響」に関する分かり易い・正確な説明に重きを置くべきだったのではないか?

- 今回は、**線量はレベル7に該当しても、本来の目的である「人と環境への影響」は、チェルノブイリよりも小規模であり、むしろレベル6**(or 6と7の中間)が妥当との疑問が残る
- 今後、INES基準自体について、福島第一の教訓を 反映し、より良いものへ修正していく議論も必要。特 に、レベル6、7の判断基準(または細分化分)

AM体制…国民へのメッセージ…

国民へのメッセージは適切であったか?ー 時間の経過と共に、コメント内容と実際に起きる事のGAPが拡大していったのではないか?それが地元や海外政府の不安を増す要因となっていないか?

官房長官の記者会見(3月12日以降の抜粋)

3月12日18:00(1号機爆発後)

- ・ 「原子炉について、破損は無いという事か?それ自体が確認されていないのか?」 => **今回の原因などについて の最終的な事実確認と分析を含めて・・・まとまった段階でしっかりとお示ししたい**
- ・ 「政府としては(水素爆発と放射能漏れは)想定の範囲内か?」 => 常に最悪の事を想定しながら対応をしてきている。この事象は、起こる段階で想定していた範囲の中に含まれている。・・・・必要以上に不安をあおったり、必要外に安心感を持って頂く事があってはいけない

3月13日(1号機と3号機について)

- ・ 8:00 1号機の件ですが、海水の供給がポンプの能力通りに実施されている事が確認されている。・・・圧力容器の内側、 炉の部分については海水で満たされて、少なくとも燃料の部分のところは水で覆われている状態に なっている事が合理的に判断される状況になっている
- ・ 8:00 (3号機について)…この空気を抜くという作業と、ポンプによって給水をするという事が行われれば、安定した状態、管理された状態で、気体の中には身体に影響を及ぼさない程度の放射性物質が含まれるが、原子炉の安全性というのを確保した状態で管理できる
- ・ 8:00 「1号機の海水注入は何時終わるのか?」 => **圧力容器、炉の部分の注入が終わりましても、その外側の格納容器の中まで海水を満たすという事にしたい**・・・これは圧力容器の中に水を供給し続ければ、もしそこが溢れているようなら、そこから外に出るという事になりますので、継続的に給水し続ける事になります
- ・ 11:00 (3号機について)・・・注水機能が停止し・・・燃料棒の水位が低下をし、燃料棒上部が水面上に露出をしたものと想定されます。このため、圧力容器の安全弁を開き、原子炉内の圧力は低下を致しました。9時8分には注水を開始しました。9時25分にはほう酸を混入する事により、一層の安全性を高める手段をとりました
- ・ 11:00 「1号機の燃料棒の露出はどうなっているか?」=>**注水を行って、露出は見ずに埋まっている**という風に 思われている。
- ・ 11:00 「1号機の炉心の溶融は起きたという認識か?」 => これは十分可能性があるという事で、 当然、炉の中だから確認が出来ないが、可能性があるという事で対応している。
- ・ 11:00 「1号機はベントの作業後に爆発しているが、3号機は?」 => 今回はそういう可能性の起こる前に注水がしっかりと出来た。ベントの段取りもうまく取れたと思っている。
- ・ 11:00「1号機について、海水注入できなくなった場合も想定しているのか?」 => **1号機の爆発の対応についても、ギリギリのところだったかもしれないが、きちっと大きな被害の拡大する以前の段階で海水の注入が出来たと思っているし、今後も1号炉に限らず、そういった準備を常に前倒しで進めて行きたい**。

課題•教訓

- いつ発表されるのか?
- 水素爆発は想定されていたのか?

- ベントと注水、冷却手段について、具体的な計画と実行確度について裏づけがあったのか?
- 圧力容器が損傷しており、格 納容器の中まで水が漏れることを予見していたのではない か?
- この時点で、3号機のバッテリーが枯渇した後の電源確保、 冷却機能供給について対策がなされていたのか?
- 3号機の水素爆発の防止について、本当に検証されていたのか?

許可たき複数 無断転用を禁じます。Convright Team H2O Project all rights reserved

国民へのメッセージは適切であったか?(続き)

官房長官の記者会見(3月12日以降の抜粋)

3月13日(1号機と3号機について)

- ・ 15:30 3号機は、今朝水位が低下した為、炉内の圧力を下げ、真水の注入を開始しました。これにより、炉内の水位が上昇し、炉心を冷却できる状況となりました。・・・その後、真水給水ポンプにトラブルが生じ、原子炉の水位が大きく低下をしました・・・海水注入に切替え、再びしっかりと水位が上昇を始めました。・・・3号機においても、1号機で生じた様な水素爆発の可能性が生じた為、速やかにご報告申し上げる次第です。・・・万が一これが、昨日のような爆発を生じた場合であっても、原子炉本体、圧力容器と格納容器については問題が生じないという状態、その外側でしか爆発は生じませんし、耐えられる構造になっています。
- ・ 15:30「溜まっている水素を除去する方法はないのか?」 => 昨日と違うのは、ベントが もう機能していて基本的には外に気体を排出するプロセスの中で起こっている。可能性とし ては、既に排出されている可能性も十分にある状況・・・。
- 15:30 「3号機はメルトダウンが起こっているのか?」=> 言葉の使い方を丁寧にやらないと、炉心の一部が、若干、炉の中で変形をする可能性は否定できない。水没していない時間があった事は間違いない。しかしながら全体が一般的にメルトダウンの状況に至る様な長時間に渡って水没していない状況が続いていたという状況ではない。水位は既に上昇を始めている
- ・ 15:30「水位はどの程度まで下がったのか?」 => かなりの程度は一旦露出した。ただし、すでに水位が上昇を始めている。その時間は一定の限られた時間だ。
- ・ 15:30 「建屋から水素を抜く作業は進んでいるのか?」 => 基本的には外に抜く為のプロセスは元々進行している状況。
- ・ 20:00 (3号機について) 海水注入を始めて一定の上昇をしたが、その後圧力容器内の水位計が上昇の数値を示していない。しかし、水は供給し続けている状況です。・・・今回は3号機の弁に不具合が生じている可能性が高い。不具合を解消して内部の空気圧をしっかり下げる為の努力をしている。
- ・ 20:00 「1号機と同様に(3号機の)爆発の可能性はあるのか?」 => その点については 昨日の状況よりは良い状態ではないか。というのは、ある時まで外に抜けている状況があるので。。。
- ・ 20:00 「3号機の水位が上がらないというが、燃料棒の露出については大丈夫か?」 => 当然露出している可能性も想定しながら分析し、できるだけ早くその弁の不具合の対応をとる べく全力を挙げている。
- ・ 20:00 「圧力が高まっている事で、他の事態に発展する可能性は?」 => 現時点では大きな切迫という状況ではない。ただ、この状態を長い時間放置する事は出来ないと思っている。

課題•教訓

- この時点では、3号機のRCICもH PCIも停止していた事は分かってい たのではないか?
- 格納容器から水素が建屋に漏れている為、逃がし安全弁が水素爆発防止には効果が薄いことが分かっていたのではないか?
- 大変繊細なテーマではあるが、結果的に過度に安心感を抱かせる結果となり、逆効果となったのではないか?(特に、地元と海外メディアや海外政府の非難判断に対して)

182

AM体制…国民へのメッセージ…

国民へのメッセージは適切であったか?(続き)

官房長官の記者会見(3月12日以降の抜粋)

3月14日 (3号機と2号機について)

- ・ 10:55 「3号機について、弁の調子が悪いという事だったが、今後の修理の状況は変わっていないのか?」=> 現時点では圧力が下がっているという状況の為に、新たに無理をして弁を開ける作業等にチャレンジするよりも、圧力が下がっている下で注水を続けて、冷却を進める事の方が望ましい。。。 (★★ここで3号機が水素爆発★★)・・・・今、メモが入ったが、11時5分、3号機から煙が出ているという可能性があって、爆発が起こった、あるいは恐れがあるという事で確認中。
- ・ 10:55 「1号機については、炉心溶融が続いているのか?状況が悪化しているのか、良くなっているのか?」 => 現時点では、圧力が大きくなっていないという事は、水にしっかりと浸されていて、炉心溶融が進んでいないという状況。これで圧力が高まる様だと、その可能性が出てくる。。。
- ・ 11:40 **3号機で先程、11時01分、爆発が発生した。**爆発の状況から見て、1号機で発生した水 素爆発と同種のものと推定されている。現地の所長と直接連絡を取り確認したが、**現地の所長の認識と** しては格納容器は健全であるという認識を・・・・報告している。
- ・ 11:40 「格納容器に影響が無いというのは、どういう理由で?」=>その根拠は、東京に届いているデータからは、注水が継続されている、あるいは、その圧力の数値が若干低下はしているが、一定の数値の範囲になると。・・・現地の所長と直接確認をした報告に基くもの。
- ・ 12:40 格納容器の圧力は11時13分に380キロパスカル、11時55分に360キロパスカルで、内部圧力が安定している。・・・健全性がある程度裏付けられたものと思う。
- ・ 12:40 「建屋の上層部に水素が溜まっている原発は他にあるのか?」=> 他のところ には、こうしたリスクは現時点では生じていない。そういった事象が生じないようコントロールに努力 している。
- ・ 12:40 「爆発の時に圧力が低下したとおっしゃったが、爆発とは関係が無いのか?」 => 圧力が一定程度維持されているという事で、所長から報告があった健全性を裏付けるデータが出ている、そういう現時点での状況だ
- ・ 12:40「屋内にたまった水素を逃がす有効な手段はできていないのか?」 => 色々な 検討はしているという報告は伺ったが、逆にそこに手を加えると、その事が爆発の誘引になる 可能性もあるという事

課題•教訓

● 格納容器の健全性に固執しす ぎていないか?

- 対策本部において、翌日に起きる2 号機のSC損傷と4号機の水素爆発 のリスクは、どの程度検証されてい たのか?
- また、結果論としては、対外的に不 安を増幅する事になっていない183 か?

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

国民へのメッセージは適切であったか?(続き)

官房長官の記者会見(3月12日以降の抜粋)

3月24日(1号機について)

・ 11:00 「1号機について、炉心の損傷と、圧力容器そのものの損傷、あるいはこれから損傷する危険性についての認識は?」 => 現時点で圧力容器に損傷が出ているという事ではない、というふうに報告を受けている。

3月28日(格納容器と圧力容器の損傷について)

- ・ 16:00 「安全委員会が福島第一の水漏れの原因について、格納容器損傷の可能性に言及。一方で東京電力は圧力容器の損傷を指摘。事実関係は?」 => 格納容器から水が漏れるような状況になっているという報告だ。・・・圧力容器そのものがどうなっているかについて、具体的な報告は現時点で頂いていない。
- ・ 16:00 「溶けた燃料に触れた水が格納容器の外に出るなら、圧力容器から漏れていると考えるのが自然ではないか?」 => 原子炉の構造の専門的な知識をもとにご説明頂いた方が正確ではないか。当然燃料棒は圧力容器の中にあるから、そこに触れた水が外に出ているという事で、何からの形でみずの移動があるとうい事は分かる話だが。

4月19日 (2号機と4号機のメルトダウンについて)

・ 「昨日、保安院が燃料棒の溶融を否定していたのを認めた。ただメルトダウンは否定しているが、それを否定する根拠はあるのか?」 => まさに技術的なプロセスで、そこは保安院にお尋ね頂きたい。ただ、従来から燃料の一部が損傷している可能性があるというか、高いというか、そういう事は申し上げてきたところだ。ただそれが全体が溶けて、例えば炉に大きな穴があくというような状態ではないだろうという事については、周辺のモニタリングの調査その他で言えるだろう。どの程度で燃料棒が損傷して、ある部分が溶けているのかについては、まさに保安院や安全委員会で専門的に分析をして頂いているところで、その延長線上での報告だと受け止めている

課題•教訓

- ●「メルトダウン」を認める事による 一般社会・国際社会への影響 (または批判)を過度に心配しす ぎた為、圧力容器、格納容器の 損傷、あるいは、燃料棒の溶融 等の重要事象を認めた上で初め て出来る説明が、出来なくなって しまったのではないか?
- その結果、分かり易く合理的な 国民へのメッセージやリスクの開 示の枠組みを失い、ちぐはぐな 説明をせざるを得ない展開となっ てしまったのではないか?

これまでの政府安全指針は誤っていた - 「長期交流電源の喪失は考慮する必要はない」との定義であった

原子力安全委員会 指針集 (監修 内閣府原子力安全委員会事務局)

第一部 安全審査指針27「電源喪失に対する設計上の考慮」

● 原子炉施設は、**短時間の全交流電源喪失に対して**、原子炉を安全に停止し、かつ、停止後の冷却を確保できる設計であること。

同解説

- 長期間にわたる全交流動力電源喪失は、送電線の復旧又は 非常用交流電源設備の修復が期待できるので考慮する必 要は無い
- 非常用交流電源設備の信頼度が、系統構成又は運用(常に 稼動状態にしておくことなど)により、十分に高い場合におい ては、設計上全交流動力電源喪失を想定しなくてもよい

福島第一での事実

- 送電線: 水素爆発までに復旧しなかった
- ・事常用電源設備: 津波で機能喪失し、水素爆発までに復旧しなかった
- 交流のみならず直流を含む全電源の 長期喪失が発生した
- それに伴い、中央制御室の機能、冷却・注水機能がほぼ全面的に不全となった

こうした"安全指針"は、なぜ、誰の責任で出されたのかを検証し、業界寄りの癒着構造と言われる原子力185 行政の体質を抜本的に直す必要がある

長期電源喪失に関しては、例えば「24時間以上」の喪失は「オフサイト」からの支援で解決し、「24時間以内」の場合は「オンサイトで必ず対応」する等の、明確な安全指針の設定が必要

長期交流電源の喪失 24時間

考え方

● いかなる電源喪失の場合も、最低24時間 はオンサイトの対策にて対処できる準備を 行う

対策の実行主体

電源の耐久時間

- 電力事業者
- 最低でも24時間以上は、オンサイトにて電源を確保す

- 24時間以上の電源喪失は、オフサイトから の対策にて対処する
- 電力会社+行政等
- 必ず24時間以内に、オフサイトからの支援 を現場へ供給する

- 米国ではオンサイト・オフサイトの境界線は、NRCで72時間、INPOで24時間と設定している
- 例えば米国では、国が放射線漏洩下での業務の特殊訓練を積んだ専門部隊を保有している(Fort Leonald Wood Chemical Biological Radioactive Unit)
- 日本においても、こうした専門部隊を、国として持つべきと考える

教育・研修・訓練 - 今後の教育・研修・訓練においては、"福島第一の反省・教訓項目"を盛り込む

今後の教育・訓練プログラムの重要事項 (例示)

● 福島第一1号機の様に、最も過酷な環境を想定した実践演習

- 全電源の喪失、全冷却機能の喪失、暗闇・余震・高線量、資機材の不足、通信機能不足
- ・ 冷却機能停止後、数時間で炉心損傷や水素発生の開始リスク
- ・ (更なる想定)祝祭日の夜間、悪天候、火災、道路遮断等の同時発生下での対応
- ・ 特に、どの様な環境下・事象においても、水素爆発を絶対に阻止する事

● 全電源喪失時において、代替電源・冷却機能を(例)2時間以内にプラントへ供給する実践演習

- 必要条件の事前準備と保管(許容冷却時間、必要電源・水量、資材の具体的仕様・数量等)
- 現場での電源系統一式の運搬、接続、冷却・注水機能の駆動等の実務的行動
- ・ 資機材の手配における、サプライ・チェーンの体制・準備・訓練(現地、本店等)
- 対策行動の訓練は、必ず数値指標を具体的に設定し、習熟度をチェック
- ・ X時間以内に、Y量の電源・水源を供給開始する。A時間内に、担当部門Bがベント完了。など
- 電力事業者単体ではなく、国・地元・関係機関等との共同における実践的な演習
- 日本(および世界)の全電力事業者・全プラントに対して、福島第一原発の現場対応で得た生きた教訓について、将来に渡って伝承する仕組みを構築

追加調査

・ 自治体ヒアリング等より

本章は、2011年10月28日の中間報告後に実施した自治体他へのヒアリング等から得た論点の中で、主要なものについて追加調査を行った結果について、参考情報として整理したものである

論点整理 - ヒアリング等から得たご質問やご指摘は、つきつめると次の点に集約される

- 福島第一1号機の事象進展が、同2・3・4号機と比べて著しく早い理由は、
 - 論点① 地震によって何らかの配管破断が起きていたからではないか?
 - 論点② あるいは、1号機がマーク1型の古い形式だったからではないか?
 - 論点③ そうでなければ、非常用復水器(IC)が機能するはずであり、事象進展がもっと遅いはずではないか?
- 論点④ 当事、福島第一1号機は、どの様に対処していれば、水素爆発や放射 性物質の漏洩を回避できたのか?

次ページ以降、追加調査で得た知見について、上記の論点を中心に整理した

追加調查…論点①…

『ロジェクト外厳秘/Extremely Confidential

「論点① 1号機の事象進展が早いのは、何らかの配管破断が起きていたからではないか?」 - この点について、以下の観点から調査・検証した

どの様な配管が破断した場合に、炉心溶融を著しく早める結果を招くのか?その理由は何か?

- 主に、大口径配管である主蒸気配管、給水配管、再循環系配管
- それ以外に、計測用配管などの接続配管ノズルが考えられる

そうした配管が破断した場合、原子炉のパラメータは、どの様な動きを示すと推定されるか?

- ・ 配管破断によって格納容器内に炉水が漏えいした場合、圧力容器と格納容器の圧力・水位・温度等に関して、次の様な変化が現れると推定される
 - 圧力容器内の圧力と水位が急低下する
 - 格納容器内の凝縮水を溜める槽の液位が上昇する
 - 格納容器内の圧力・温度が上昇する。
 - いずれの場合も、検知器によって警報が発生する

それに対して、実際のパラメータの動きはどうだったか?

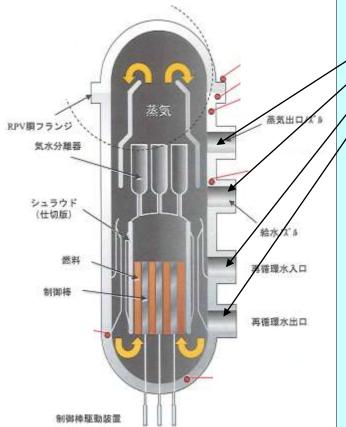
- ・ 地震発生から津波襲来までの間、原子炉の水位・圧力は回復している
- また格納容器の温度及び圧力は、空調機の停止による影響はあったものの、急激な上昇は見られない

もしも配管が破断して、作業員が水(蒸気)を浴びた場合、どのような被害を受けるのか?

- ・ 原子炉建屋で配管破断が発生した場合、配管から70気圧、約280℃の蒸気が噴出すことになり、直接被水した場合には、死亡もしくは重傷になると思われる
- ・ また、物凄い蒸気量になることから一瞬にして建屋が蒸気で覆われ、周囲は真っ白で見えなくなると思われる。このため、外部への連絡が必ず発生することになる

論点① どの様な配管が破断した場合、炉心損傷を著しく速める可能性があるのか?なぜか?

どの様な配管が破断した場合に、炉心損傷を著しく早めるのか?



- 破断により炉心損傷を著しく加速する大口径配管は、次の4つ
 - 主蒸気出口ノズル
 - 主蒸気給水ノズル
 - 再循環水入口
 - 再循環水出口

(上記以外に、計測用配管などの接続配管ノ ズルが考えられる)

- もしこれらが破断した場合は、次 の様な現象が誘発される
- ・ 炉心の水蒸気が急激に圧力容 器外に放出される
- 冷却用の水が急速に圧力容器 外に流出する
- その結果、炉心の冷却機能や 冷却水の循環機能が著しく低下 し、炉心損傷を加速する

そうした配管が破断した場合、原子 炉のパラメータはどの様な動きを示 すのか?

● 水位について

- <u>圧力容器内</u>の水位が<u>急激に減</u>少
- 格納容器内の凝縮水を溜める サンプ(枡)の液位が<u>急激に上</u> 昇し、警報発生する

● 圧力・温度について

- 圧力容器内の<u>圧力が急激に減</u> 少する
- ・ 格納容器内の圧力・温度が急上 昇するとともに警報発生する(約 280度の蒸気の噴出)

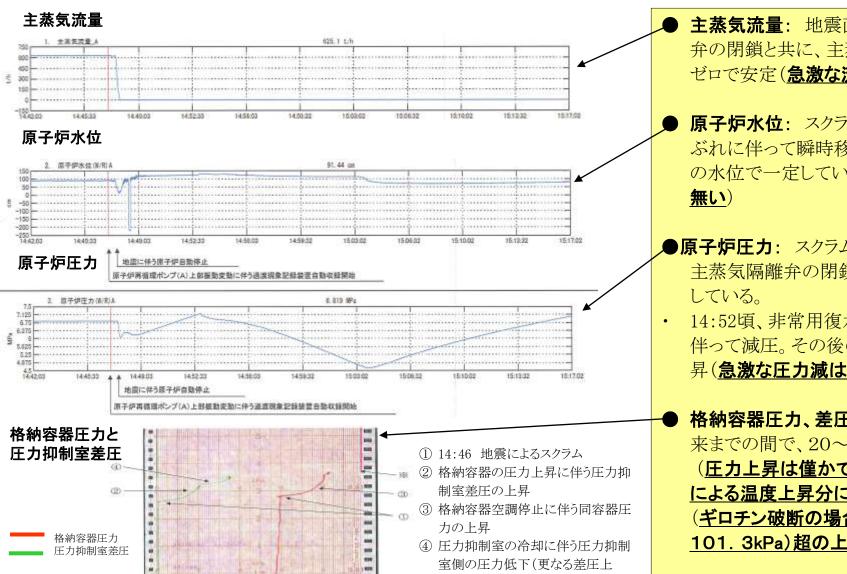
● 線量について

 格納容器に設置された<u>放射線</u> 量が急激に上昇し、警報発生する(CAMS等)

では、これらのパラメータは、実際にはどう推移したのか?

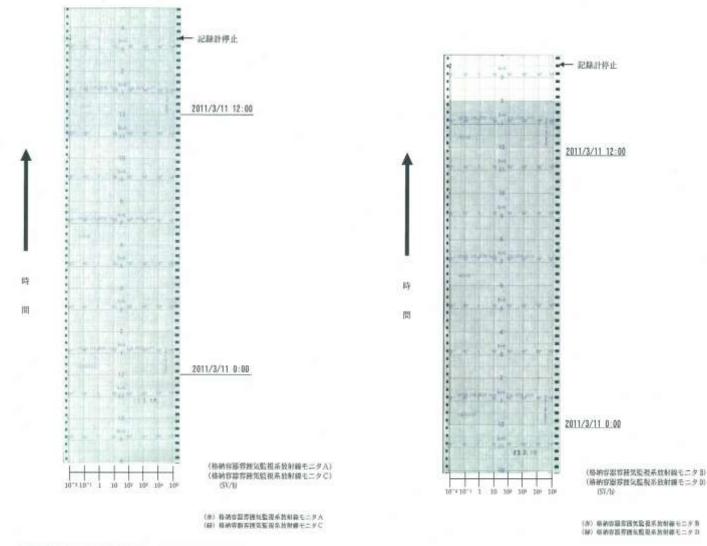
論点① 地震発生から津波襲来までのパラメータを見る限り、水位・温度・圧力共に急激な変 動は見られず、炉心損傷を著しく加速する配管破断の兆候は見られない

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



- 主蒸気流量: 地震直後の主蒸気隔離 弁の閉鎖と共に、主蒸気流量は減少し、 ゼロで安定(急激な流量増は無い)
- 原子炉水位: スクラム直後に気泡のつ ぶれに伴って瞬時移動し、その後は通常 の水位で一定している(急激な水位減は
- **●原子炉圧力**: スクラム直後に低下した後、 主蒸気隔離弁の閉鎖、崩壊熱により上昇
- 14:52頃、非常用復水器(IC)の起動に 伴って減圧。その後のIC停止に伴い上 昇(急激な圧力減は見られない)
- 格納容器圧力、差圧: 地震から津波襲 来までの間で、20~30kPa前後の上昇。 (圧力上昇は僅かであり、空調機停止 による温度上昇分に相当) (ギロチン破断の場合、急激に1気圧(= **101. 3kPa) 超の上昇**となる)

論点① また、地震から津波までの間、格納容器内の放射線量を測る雰囲気監視系放射線 モニタにおいても、線量の変化は全く見られない



1 号機 格納容器雰囲気監視系放射線モニタ(CH-C/A) (1/1)

1 号機 格納容器雰囲気監視系放射線モニタ(CH-D/B) (1/1)

論点① もしも配管が破断して、現場の作業員が水を浴びた場合、どの様な事態となるか?

- 原子炉建屋で配管破断が発生した場合、配管から70気圧、約 280℃の高線量の蒸気が噴出することになる
- もし現場の作業員が、破断した配管からの**蒸気を直接被水した場合**、高圧・高温・高線量である為、**死亡もしくは重傷となる**可能性が高い
- また、**物凄い蒸気量となる事から、**極めて短時間(または一瞬) で**建屋の破断箇所付近は蒸気に覆われて真白になる**と推定 される
- いずれの場合も、危険が高い為、**外部への連絡が必ず発生**することになる

- 今回の福島第一1号機に おいては、高温・高圧・高 線量の水(蒸気)を浴びて 死亡または重症となった方 の報告は発生していない
- また、ものすごい量の水蒸 気が発生し、真っ白になっ たという報告や警報も発生 していない

「論点② 1号機の事象進展が早いのは、マーク1という古い形式だったからではないか?」

− この点について、以下の観点から調査・検証した

そもそもマーク1とは、何を指すのか?原子炉全体の形式なのか?格納容器の形状なのか?

格納容器の形状

マーク1が、マーク2より事象進展に脆弱であると仮定するならば、どの様な理由が考えられるか?

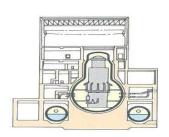
- ・ 格納容器の空間体積はマークⅡに比べて小さいが、出力比からみると、ほぼ同じか大きい位であり、 マークⅠが脆弱であるとは考えづらい
- ・ 福島第一1号機の事象を速めた主因は、全電源と全冷却機能の同時喪失にあり、格納容器の形式や 大小が主因とすべき合理的データは得られなかった

BWR3が、他の形式より事象進展に脆弱であると仮定するならば、どの様な理由が考えられるか?

- ・ BWR3とBWR5を比較すると、BWR5からはECCS系の高圧系ポンプがモータ駆動に変更となり、高圧で注水するためのポンプモータ電源として非常用DGも追加されている。また、非常用DGの設置位置が、タービン建屋から原子炉付属棟へ移っている
- ・ 今回の事故では、交流電源やDG自身も被水により機能喪失しており、BWR3とBWR5での差は認められていない

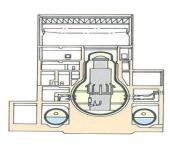
論点② マーク I は格納容器の形式。マーク I 使用のプラントは第一1号機以外にも存在する

福島第一1号機 (出力46万kW) [昭和46年]

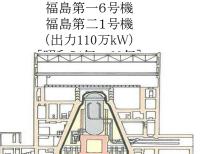


BWR-3 マーク I (フラスコ型)

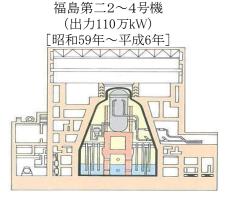
福島第一2~5号機 (出力78.4万kW) 「昭和49年~53年〕



BWR-4 マーク I (フラスコ型)



BWR-5 マーク**Ⅱ** (円すい型)



BWR-5 マークⅡ改良 (つりがね型)

BWR型プラントのバージョンアップの変遷

格納容器	乾式型	圧力抑制型 (Mark−I)			圧力抑制型 (Mark−II)	圧力抑制型 (Mark−III)			
ECCS	炉心スプ	ルイ冷却	低圧注7	k系採用	高圧系	の強化			
気水分離方式	蒸気ドラム/ 内部気水分離								
燃料			8×8燃料						
炉心冷却	自然循環/ 外部強制循環	外部強制循環	5ノズル・ジェット ポンプ採用						
サイクル方式	二重サイクル/ 直接サイクル								
出力密度(kW/l)		40.6	41.1	49.7	51.0	54.1			
電気出力(MWe)	160~250	350~640	460~810	540~1100	660~1100	990~1300			
	BWR-1	BWR-2	BWR-3	BWR-4	BWR-5	BWR-6			

福島第一	福島第一	福島第一	福島第一	福島第一	福島第一	福島第二	福島第二	福島第二	福島第二	女川	女川	女川	東海第二
1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	1号機	2号機	3号機	4号機	1号機	2号機	3号機	2号機
マーク1 (BWR-3)	マーク1 (BWR-4)	マーク1 (BWR-4)	マーク1 (BWR-4)	マーク1 (BWR-4)	マーク2 (BWR-5)	マーク2 (BWR-5)	マーク2改良型 (BWR-5)	マーク2改良型 (BWR-5)	マーク2改良型 (BWR-5)	マーク1 (BWR-4)	マーク1改良型 (BWR-5)	マーク1改良型 (BWR-5)	マーク2 (BWR-5)

論点② マーク1(またはBWR3)が、マーク2(その他の形式)よりも、事象進展に脆弱であると仮定するならば、どの様な理由が技術的に考えうるのか?

考えうる仮説

● マーク1は他と比べて小さい為、事象進展が著しく 早まったのではないか?

● 1号機のマーク1は他と比べて古い為、老朽化が進んでおり、事象進展が著しく早まったのではないか?

■ マーク1は他と比べて初期の製品である為、技術的・性能的に劣後しており、事象進展が著しく早まったのではないか?

それに対する考察

- 福島第一1号機と2-5号機は、いずれもマーク1であるが、単位出力当りの容量で比較すると、型式間で顕著な差はない。
- BWR3とそれ以降では、ECCS構成が異なるが、今回はいずれもECCSは有効機能しなかった
- 詳細は次ページ以降を参照
- 1号機より新しい3号機も水素爆発している。より古い2号機は異なる事象 進展
 - 1号機 S46年3月稼動、2号機 S49年7月稼動、 3号機 S51年3月 稼動
- 詳細は次ページ以降を参照
- 福島第一2~5号機、女川1号機もマーク1型の格納容器を搭載しているが、事象の進展には差が出ている
- 他のプラントと比べて、マーク1だけが同様の進展を示したとは言い切れない

1号機の事象進展が<u>著しく早い主因は、あくまでも全電源・全冷却機能の同時喪失にあり</u>、「マーク1か否か(またはプラント型式)」と結論づける合理的理由は得られなかった

198

論点② マーク I は、他と比べて小さい為、事象進展が著しく早まったのではないか? - 単位当りの容量で比較すると、型式間で顕著な差は見られない

● 単位出力あたりの格納容器の容量を見ると、マーク I とマーク II 改の値が一番大きいが、その範囲は3~4.4㎡であり、マーク I が特に大きいともいえない

```
マーク I (BWR3) :4.37(m³/MWt) (6,030 m³/1,380 MWt)
```

マーク I (BWR4) :3.11 (m³/MWt) (7,400 m³ /2,381 MWt)

マーク II (BWR5) :2.97 (m^3/MWt) (9,775 $m^3/3$,293 MWt) **

マークII 改(BWR5):4.37 (m³/MWt) (14,406 m³ /3,293 MWt) **

RCCV (ABWR) :3.40 (m³/MWt) (13,355 m³/3,926 MWt) **

(※: 福島第一原子力発電所事故調査検討会付録-4参照)

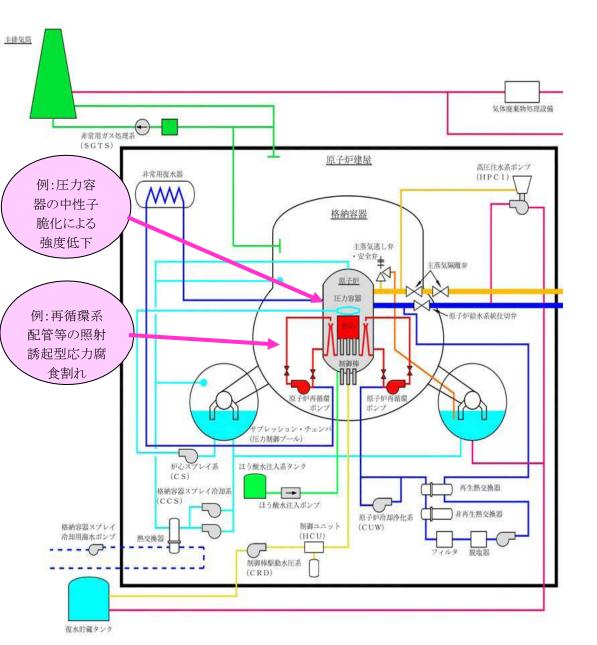
● 福島第一で発生した事故に一番近いモードでの想定事故毎の解析結果を比較したところ、格納容器 破損までの経過時間(炉心損傷から格納容器破損までの経過時間)はマーク I の型式が特段に短い との結果は見られない

論点② マーク I は、他と比べて古い為、事象進展が著しく早まったのではないか? - 調査した範囲では、老朽化が主因で1号機の事象進展が早まったとのデータは得られなかった

- 運転から30年を経過するプラントは、運転・補修実績等を踏まえた劣化評価を実施している - また、30年目以降も定期的(10年を超えない期間毎)に再評価が義務付け
- 福島第一1号機は、昨年(運転期間:39年目)に2回目の評価を実施
- 60年の運転期間を仮定した場合、大部分の機器・構造物は、現在の保全活動を継続することにより、 今後も健全に維持できると評価されている
- また、一部の機器(25機器・構造物に対して16の保守管理項目を策定)は、現在の保全活動に加えて、新たな保守管理項目を追加した上で維持・管理を実施することで、健全性は維持できると評価されている

● 福島第一1号機の事象を踏まえると、確認すべき経年劣化の対象は、圧力容器、シュラウド等の炉内構造物、再循環配管などの格納容器内機器・配管となるが、他号機と比べて際立った差は見られていないと推定される

論点② (続き) 高経年化評価の流れ



<評価の流れ>

● 評価対象となる安全上重要な機器・構造物を16分類

・ 容器(原子炉圧力容器、原子炉格納容器等)、ポンプ、熱交換器、 ポンプモータ、配管、弁、炉内構造物、ケーブル、コンクリート及 び鉄骨構造物、計測制御設備、電源設備他

● 経年劣化事象を抽出

機器材料、使用環境、過去の不具合事例等

● 抽出された主な経年劣化事象例

- 中性子照射環境下にある原子炉圧力胴部の強度の低下(中性子 照射脆化)
- 高温純水環境下にある、炉心シュラウド、再循環系配管等のステンレス製機器の応力腐食割れ(SCC)
- 配管内面の腐食減肉
- ・ 熱、放射線照射等によるケーブル等の絶縁特性の低下
- 熱、放射線照射等によるコンクリート構造物の強度低下

● 経年劣化に対する評価の視点

- ・ 経年劣化事象が機器に与える影響
- 耐震性への影響
- 経年劣化事象の発生及び進展傾向に対する現状の 保全活動の妥当性
- ・現状の保全活動に追加すべき保全策の抽出

● 長期保守管理方針の策定

今後10年間の実施計画(長期保守管理方針)を策定

論点② (続き) 格納容器別 炉心損傷から格納容器破損までの時間比較 (解析より)

	BWR-3 Mark I	BWR-4 Mark I	BWR-5 Mark II	BWR-5 Mark II 改	RCCV ABWR	
長期電源喪失 (TB)	4.5	10	4.5	4.5	11	
小破断LOCA時の電 源喪失(S2B)	17	16	12	12	9	
高圧・低圧注水失敗 (TQUV)	18	13.5	7.5	9.5	33	
高圧注水・減圧失敗 (TQUX)	16	10	7	7	24.5	
LOCA時注水失敗 (AE)	10.5	9	3.5	4	16	

:最短時間

平成21年度 地震時レベル2PSAの解析(BWR) 平成22年10月 独立行政法人 原子力安全基盤機構データより

「論点③ そうでなければ、非常用復水器(IC)が機能するはずであり、事象進展がもっと遅いはずではないか?」— この点について、以下の観点から調査・検証した

設計上、ICは何時間の冷却機能を持っているのか?

・ 復水器が無給水の場合でも約8時間の冷却機能を保有

地震後、津波後に、ICは機能していたのか?その理由は?

- ICは、地震発生後のスクラムによって自動起動し、津波襲来までの間、正常機能していた
- ・ 運転員は、冷却速度55℃/時の運転手順に従い、IC外側弁(直流駆動)の開閉操作を3度実施している
- ・ その後、津波による直流・交流電源が同時喪失。フェイル・クローズの設計であるIC内側弁がほぼ閉鎖。加えて、 外側弁(直流駆動)の開閉操作が、電源喪失により不能となった
- ・ 結果的に、津波後は、ICの冷却機能は喪失していたと推定される

パラメータが示すICによる冷却時間は、何時間と推定されるか?

- ・ 非常用復水器の水位計を確認した結果、A系は15%程度の水が減少し、B系は殆ど減少していなかった。
- ・ 水位の減少から逆算すると、ICは、地震発生から45分程度しか冷却していない事になる

それは、操作手順の不備等によって発生したものか?不可避のものか?

- ・ 運転員は、3月11日18時18分に直流電源復帰の可能性を認識し、外側弁の「開」操作を実施、18時25分に 「閉」操作を実施した。その後、21時30分に再度、「開」操作を実施し、それ以降は「開」のままとした
- ・ しかし前述の通り、ICの内側弁は、津波後「ほぼ閉」状態にあり、実際には機能していなかったと推定される
- ・ このことから、もし仮に18時25分~21時30分の間、所長や現場がICの外側弁の開閉状態を正しく認識していた としても、内側弁が「ほぼ閉」状態であったため、事象進展に大きな差は起きなかったと推定される

ZU3

論点③ 設計上、ICは何時間の冷却機能を持っているのか?

GE資料 Design and analysis reportより抜粋

5.3 Bases and Design Evaluation

Interruption of the power which drives the reactor feed pumps causes reactor scram due to low water level in the reactor vessel. The water level in the vessel would continue to decrease after scram by boiloff, caused by decay heating, through either relief valves or bypass valves. Since water level decreases could ultimately cause uncovering of the core, a means is provided to cool the core without loss of water. The isolation condenser (or equivalent system) is connected to the reactor system and operates by natural circulation without the need for driving power other than the d-c power used to open the valves, placing the system in operation.

Following reactor scram, the energy added to the coolant will cause reactor pressure to rise. A persistent pressure of 1050 psig for 15 seconds initiates the isolation condenser. The capacity of this system, equivalent to 6% of reactor power (the decay heat rate after a few seconds), will absorb decay heat as it is produced. An eight hour supply of water is stored above the isolation condenser tubes. The decay heat evaluation was based on the work of Shure (references 1, 2), corrected for U-239 and Np-239.

福島第一1号機 設置許可申請書 (次ページ参照)

● 設計上は、復水器が無給水の場合でも、 約8時間の冷却機能を保有している

(An eight hour supply of water is stored above the isolation condenser tubes - 8時間分の水がICチューブ上に確保されている)

● 実際の運用では、復水器を満水状態ではなく、約8割の水位で維持している。これが、約8時間の冷却機能に相当する

(続き) 福島第一1号機の設置許可申請書(抜粋)

弁は閉鎖され、ほかの1個の弁及び蒸気管の2個の弁は開いており、原子 炉からコイルまでは蒸気で満され、コイルからドレン管の閉鎖されている 弁までは復水で満たされて平衡状態を保っている。なお、これら各2個の 弁は、ドライウェルの内外に設けられていて、ドライウェルの隔離弁とも なっている。

非常用復水器の作動条件は、原子炉圧力高であって、ある時間原子炉圧 力高が続くとドレン管の閉鎖している弁が自動的に弱く。この作動上の遅 延は、瞬間的に原子炉圧力高となる過渡現象によって、非常用復水器が作 動するのを防ぐためのものである。

ドレン管の弁が開かれると、蒸気管内の蒸気とドレン管内の復水の重さ の差による自然循環によって、炉心が冷却される。すなわち、原子炉内の 蒸気は蒸気管を通って、復水器タンク内のコイルにいたり、冷却され機縮 して復水となり、ドレン管を通って原子炉へもどる。タンク内の冷却水は

排職し、発生蒸気はベント管を通って、大気中へ放出される。 第1422年ングの冷却水はもちろん、補給しなくても 2基のタングで 8時

開原子炉を冷却することができる。また、原子炉を冷却減圧した後、原子

非常用復水器の主要な設計仕様は次のとおりである。

非常用復水器の設計仕様

	NS.			九		2 3	タン	ク型		
	热			数			2			
000	蒸	気	流	掛			100.	6 t/	h	
	26;	奴	温.	度			286	$^{\circ}$		
्	彼	水出	口压	カ			70. 3	kg/cal	g	
	彼	水出	口温	座	16		286	°C		
	19	水器肌	同最高	圧力		** at	1, 1	kg/cnt	g	



6.5 炉心スプレイ系

炉心スプレイ系は、再循環回路破断のような冷却材喪失事故によって炉心が露出した場合に、燃料の過熱による燃料及び被覆の破損を防ぎ、さらに、これにともなうジルコニウムと水との反応を防止するためのものであり、サブレッション・チェンバ内のプール水を炉心上にとりつけられたスパージャ・ヘッダのノズルから、燃料集合体上にスプレイすることによって、炉心を冷却する。スプレイされた水は炉心の約2/3 を再び浸す。ジェットポンプ混合室上端から強れ出た水は、破断口より溢流しドライウェル底部にたまり、水位がベント管口に達すると、サブレッション・チェンバにもどり、再びスプレイ水として循環する。サブレッション・チェンバのプール水は、格納容器冷却系の熱交換器によって冷却される。

炉心スプレイ系の系統構成は、第 6.5-1 図に示すように完全に独立な 2系統からなり、さらに各系統に2台のポンプが並列に設けられていて、 十分な多重性を備えている。炉心スプレイ系は、2系統で燃料被覆の破損 及びジルコニウム-水反応を防止できる容量をもっている。

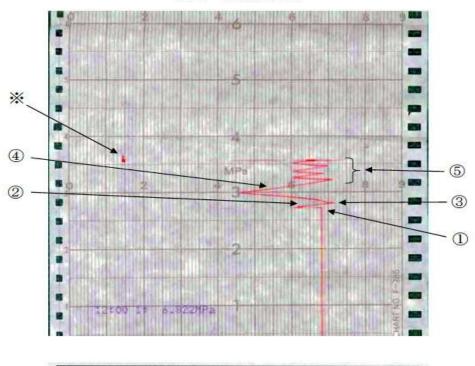
炉心スプレイ系の作動は自動であり、原子炉水位異常低下僧号またはド ライウェル圧力高僧号によって2系統が起動する。

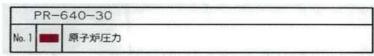
炉心スプレイ・ポンプ 4 台は、外部電源喪失時でも、非常用ディーゼル 発電機によって起動することができるので、外部電源がない場合でも、機 能になんら支障をきたさない。

論点③ 地震から津波までの間、ICは正常に機能していたのか?

=> この間、ICは正常に機能していた







2011年4月1日調査で判明したIC弁の開度

A系

1A: 中間開

2A: 閉⇒開(18時18分開操作)

3A: 閉⇔開(18時18分開/18時25分閉/21時30分開操作)

4A: 中間開

B系

1B: 中間開

2B: 閉

3B: 閉

4B: 中間開

地震から津波までのICの操作状況

- ICは、地震発生後のスクラムによって自動起動し、 津波襲来までの間、正常機能していた
- 運転員は、冷却速度55℃/時の運転手順に従い、 IC外側弁(3A。直流駆動)のON-OFF操作を3度 実施している
- 14:46 地震によるスクラム
- 主蒸気隔離弁の閉止に伴う圧力上昇
- 14:52 非常用復水器(IC)の自動起動、それに伴 う減圧
- ④ 15:03頃 3A、3B弁の閉操作
- 15:10~15:30頃 3A弁の開閉による炉圧の調整
- 15:37 津波による全交流電源の喪失 (その後、電源喪失により、記録が途絶える)

津波後のICの操作状況

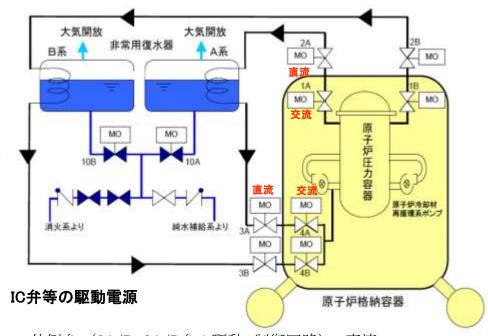
18:18 起動(2A、3A弁の開)

18:25 停止(3A弁の閉)

21:30 起動(3A弁の開)

3月12日1:48 冷却水供給の消化系ポンプの不2月6合確認

論点③ 津波襲来後、全交流・直流電源喪失により、ICはどの様な状態になったのか? => ICの内側弁(交流駆動)は、電源喪失等の非常時には閉鎖する設計だった(フェイル・クロー ズ)。その為、津波後の全電源喪失によって内側弁が閉鎖し、冷却機能が停止したと推定される



外側弁 (2A/B、3A/B弁の駆動、制御回路): 直流

内側弁 (1A/B、4A/B弁の駆動、制御回路): 交流

論理回路: 直流 ICの配管破断、電源喪失等の検出時に弁閉信号を発信

• ICの補給水ライン(制御・駆動・論理電源): 交流

津波後のIC機能の推移(推定)

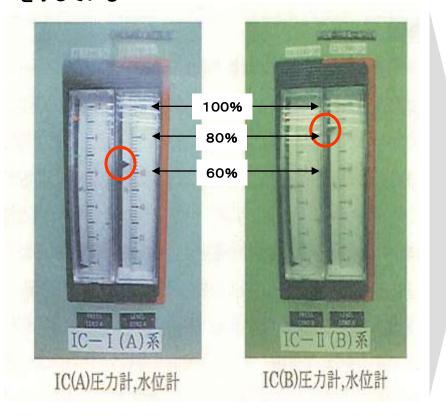
- 津波により直流電源が地絡し喪失
 - => 論理回路(直流電源)の電源喪失により、 全弁の閉鎖信号を発信
- 直流駆動の弁(2・3弁)は、電源喪失前に駆動し、「閉」と なった(3弁は閉のまま。 2弁は開⇒閉)
- 交流駆動の弁(1・4弁)も、電源喪失前に駆動し、「閉」と なった
- その後、直流電源のみ、地絡から復帰の可能性を認識
 - 2A、3A弁の「開」操作実施。その後、3A弁の「閉」操作
 - 再度、21時30分頃「開」操作し、それ以降は「開」状態を 維持した。現場は、動作しているものと判断
- 後日の確認では、内側弁(1弁・4弁)は、「中間開」を示して いる(実質上は、ほぼ「閉」状態)
- 補給水ラインも、交流電源喪失により機能喪失していた

207

この事が、2・3・4号機と比べて、1号機の事象進展を著しく早めた主因と推定される

- 論点③ 実際のパラメータが示すIC冷却機能の実動時間は、何時間と推定されるか?
- 一 水位の減少から逆算すると、延べ約45分程度の実質的な冷却と推定

1号機ICの水位計は、A系が約65%、B系が約83% を示している



※ 実際に冷却水が蒸発した時間帯は、熱交換によって水が沸騰して蒸発する 迄に要する時間等の前提によって異なる為、更なる検証が必要 実際には、ICはスクラム後の自動起動から、水位換算で延べ 45分程度しか冷却していないと推定される

- 設計上、ICは合計8時間の機能を持っている
 - A系、B系各4時間ずつ(計8時間)
- 運用上は、冷却水は約80%の水位を保っていた
 - つまり、何も冷却しなければ、水位は約80%を示す
- 左図では、A系で15%の冷却水が減り、B系は殆ど減っていない。逆算すると、約45分の冷却時間となる
 - -4時間(240分)×15%÷80% = 45分
- 水位減少と熱交換を鑑みると、ICは、地震から津波まで、及び それ以降、A系のみが延べ約45分程度、冷却していたと推定される※
 - B系: スクラム後のIC起動後に、手順書に沿って3B弁を閉鎖。その後、「閉」状態のまま津波が襲来し、1・4弁も閉鎖した為、実質的に極めて短時間しか冷却に使用されていない
 - A系: 地震から津波襲来までの間、3A弁の開閉操作によって冷却が機能。しかし、津波によって1,4弁がほぼ閉鎖した後は、殆ど機能せず
 - 津波後、18時18分よりA系が7分間作動。21時30分以降は3A弁を開としている。しかし、1・4弁がほぼ閉止状態であったと推定される。208

「論点④ 当事、福島第一1号機は、どの様に対処していれば、水素爆発や放射性物質の漏洩を回避できたのか?」 この点について、以下の観点から調査・検証した

福島第一1号機の事象進展を著しく早めた主因は何か?

- 地震・津波による全電源喪失によって、中央制御室のパラメータが把握できなくなった事
- 同時に、非常用復水器(IC)及び高圧注水系(HPCI)の全冷却系統が機能喪失し、炉心を高圧系で長時間維持できなかった事
- もし高圧系で維持できていれば、その間に電源や資機材の手配が可能となり、原子炉の機能維持に繋がった可能性があった
- 1~4号機の複数プラントの同時対応を余儀なくされた事も、事故の進展に影響したと推察される

それを防ぐ為に、何が有効だったと推察されるか?

- いかなる状況下でも、電源と冷却機能を確保できるよう、多様な原理に基づく多重性を確保する事。
- その確保を確実なものとする為に、規定した時間内での達成訓練を実施する事

具体的に、どのように対処していれば、水素爆発・放射性物質の漏洩を回避できたのか?

● 次ページ以降をご参照

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

論点④ 第一1号機のクロノロジーから抽出される事象進展の重要点は次の通り

発生した事象

事故の進展(概念図)

停 原 上 炉 の

重要機能の全面喪失津波による全電源と

高圧化防止のベント準備等冷却用の注水準備非常用電源の確保

3/12

水素滞留が大素滞留

水素爆発 放射能漏れ

3/11 | 14:46 **地震の発生(震度6強)** (M9.0 観測史上4番目)

● **14:46 原子炉の自動停止** =>14:52 IC自動起動、手動間欠運転

● **全外部電源の喪失**=>14:47 非常用ディーゼル発電機(DG)の自動起動

15:35 津波の襲来

(津波M9.1 観測史上4番目) (津波高さ 11.5~15.5m)

全電源、「冷やす」機能、「圧力を制御する」機能の同時喪失+暗闇・劣悪環境

- 非常用DG発電機、電源盤の水没=>**全交流電源の喪失** => 電動機使用不能へ
- 電気品室等の水没=>**直流電源の喪失**=> 電源盤、計測・制 御設備が使用不能へ => **冷却機能の喪失**(IC、HPCI等)、 **圧力制御機能の喪失**(遠隔からのSRV操作等)
- 冷却用の海水系ポンプの破壊 => **冷温停止機能の喪失**(最終ヒートシンク喪失)

原子炉水位の低下へ

17:12 所長、消防車による注水の検討指示

18:46頃 燃料損傷の開始(推定)

- | **21:19 原子炉水位が判明**(燃料頂部+200mm)
- 23:00 タービン建屋内での放射線量の上昇を確認

この頃、最初の電源車が到着

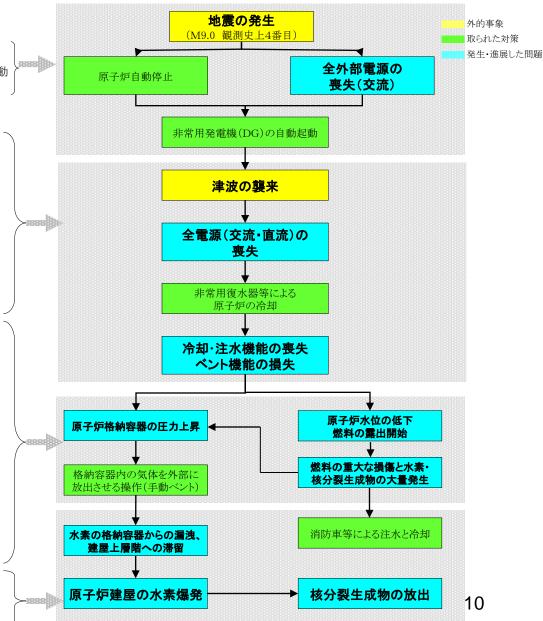
- 00:06 所長、ベント準備を指示 (格納機(D/W)圧力が600kPa超の可能性)
- 01:30 ベントの実施を申入れ、国の了承
- |02:30 圧力容器の低圧/格納容器の高圧を確認
- 05:46 消防車により淡水注入開始
- |07:20 圧力容器の破損(解析)
- 09:04 作業員がベントの為、現場へ出発
- 10:17 格納容器ベント開始
- |14:30 格納容器ベント成功(D/W圧力低下)
- 14:53 淡水注入完了(累計80,0000)
- 14:54 所長、海水注入を指示

建屋爆発(5階部分)

▼19:04 海水注入の開始

15:36

20:45 ほう酸を海水に混ぜ炉へ注入開始



論点④ 問題点の抽出ー 全電源・冷却機能の同時喪失が、事象進展を著しく加速させた

事故の進展(概念図) 地震の発生 (M9.0 観測史上4番目) 全外部電源の 原子炉自動停止 喪失(交流) 非常用発電機(DG)の自動起動 津波の襲来 全電源(交流・直流)の 喪失 非常用復水器等による 原子炉の冷却 注水機能の喪失 ベント機能の損失 原子炉水位の低下つ 原子炉格納容器の圧力上昇 ◄ 燃料の露出開始 格納容器内の気体を外部に 燃料の重大な損傷と水素・ 放出させる操作(手動べ≱下) 核分裂生成物の大量発生 水素の格納容器からの漏洩 消防車等による注水と冷却す 建屋上層階への滞留

問題点

地震と津波によって、全電源が長期喪失した

- 電気融通機能を持つ隣接2号機も電源喪失した為、電源が融通できなかった
 - 電源盤の水没によって電源車からの給電もできず電源喪失が長期化した
- 劣悪環境により、電源車到着後も、電源接続口への移動・接続が困難だった

対策の切り口

- 電源車の確保
- 電源盤の確保
- 計測機能の確保

AMにおいて交流・直流電源の同時喪失を想定していなかった

- 電源喪失と共に、炉水を維持・冷却するICの格納容器隔離弁が閉鎖し、その後の操作が不能になった
- 全電源喪失により、遠隔からの減圧・換気等の為の弁操作やベント操作が困難になった
- SBOと同時に直流電源が喪失した場合の運転手順が不明確だった(SBO手順書は、 直流電源が正常である事を想定)
- 予備バッテリの 確保
- 直流電源の多 様性確保
- ベント操作性の 向上

炉の冷却の為の代替注水源の確保が不十分かつ遅延した

- 電源喪失により注水前の炉減圧操作の遅延(バッテリー枯渇、駆動用空気圧の低下)
- 直流喪失時の減圧の操作性、線量対策の不備
- 消火系ディーゼル駆動消化ポンプに不具合があった。
- ▶ 津波による道路液状化、ガレキ等で、外部注水ラインへの移動、接続が困難を極めた
- 外部注水ポンプの注入能力の低さ
- 外部注水源の確保・補給が長期化した

● 消防車、可搬 ポンプ、重機配 備

- 水源、水路の多重性・多様性
- 高圧系の注水 強化

格納容器(PCV)ベント機能が喪失し、手動開放が長期化し遅延した

- 電源喪失時のベントの操作性の確保、線量対策が不十分
- W/Wベント時の水フィルター効果により核分裂生成物の外部放出の低減効果はあるが、ベント操作の遅延や格納容器過温破損による直接放出に対する線量対策が不十分

● ベント位置、 操作性改善

駆動用ボンべ

建屋爆発(水素爆発)への警戒、動向把握、対策行動が不十分だった

- 水素発生を検知する仕組みが確立されていない
 - 発生し建屋内に滞留した水素を、外部に逃がす仕組みが確立されていない

■● 建屋ベント

● 水素探知機

海側の津波耐性が弱く、津波による最終ヒートシンク喪失後、有効策が打てなかった

● 理論上の「高圧冷却⇒SRVによる圧力容器減圧⇒低圧冷却による代替注水⇒格納容器減圧」の除熱手段はあるが、全電源・冷却機能喪失時の管理・運用手順が不明確

● 実践演習

● AM手順書 の整備

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

核分裂生成物の放出

原子炉建屋の水素爆発

追加調查…論点④…

プロジェクト外厳秘/Extremely Confidential

論点④ 第一1号機について、以下の様な対策が可能であれば、事象進展を回避できた可

例示

初動 (2時間以内)

|高圧冷却系の復旧 | (8時間を目標に)

高圧系で時 間稼ぎ (24時間以

低压系 温停止

、準備、冷 (24時

能性があるのではないか?

地震の発生 (M9.0 観測史上4番目) 全外部電源の 原子炉自動停止 喪失(交流) 非常用発電機(DG)の自動起動 津波の襲来 全電源(交流・直流)の 喪失 非常用復水器等による 原子炉の冷却 注水機能の喪失 ベント機能の損失 原子炉水位の低下 原子炉格納容器の圧力上昇 燃料の露出開始 格納容器内の気体を外部に 燃料の重大な損傷と水素 放出させる操作(手動ベント) 核分裂生成物の大量発生 水素の格納容器からの漏洩、 消防車等による注水と冷却 建屋上層階への滞留 原子炉建屋の水素爆発 核分裂生成物の放出

電源確保(第一弾)、中操機能・IC機能の確保、水素爆発への備え

- 予備電源への切替え(小型、3時間程度で素早く運搬、接続)
- 中央制御室のパラメータ監視確保(予備電源から)
- 電源系統の健全性を一覧できる仕組みの確立
- 遅くとも水位がTAF到達迄に、建屋ベント開放(水素爆発防止)
- ICの内側弁(交流)をフェイル・オープンへ仕組み変更
- 高圧冷却系の故障設備の資機材準備、復旧作業

高圧冷却系の復旧、運転による時間稼ぎ、電源確保(第二弾)

- バッテリーの運搬、接続(直流電源の仮復旧)
- 高圧系(ICまたはHPCI)の起動
- オフサイトからの支援が届くまでの間、高圧系で炉心損傷防止
- 電源車(DC/AC)の運搬、接続による更なる電源確保
- 補給用水源・燃料の確保(最低でも24時間分)
- 水素探知機の継続的確認

高圧冷却系での時間稼ぎ、低圧系機材の運搬、十分な電源の 確保、搬入アクセスの復旧

- 高圧系(HPCI/IC)による時間稼ぎ
- 重機等によるアクセスの確保
- 数日~1週間分の電源・DG等の搬入、確保
- SR弁による圧力調整、S/C水冷却開始による時間稼ぎ
- 低圧冷却系の機材搬入、準備

炉心減圧、低圧系への移行準備

- 低圧冷却系の系統構成、代替注水の準備(代替海水ポンプ、CS ポンプ等)
- SR弁による原子炉減圧の系統構成の準備

炉心減圧、低圧冷却系の起動、冷温停止へ

- 炉心の減圧、低圧冷却系の起動
- 冷温停止へ

事前の備え

- 非常用DG/DCの多様化 日々の実践演習 (数値化した習熟チェック)
- 通信機能の確保
- 外部電源の耐震性強化 と多様化・融通
 - 水源/水路の多様化

(原理、場所、高さ等)

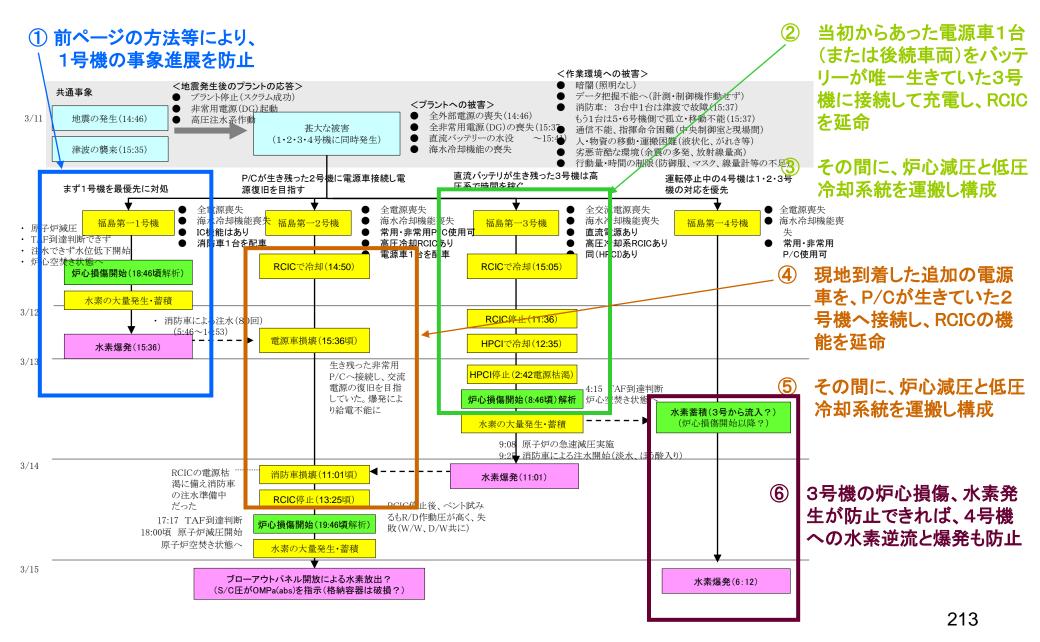
- 水素探知機、建屋ベント
- オンサイト高台にSAM用倉庫 (電源、電源盤、ポンプ、燃料 他一式) 水溶性の強化 防護服・マスク・計器等の確保 ● 水密性の強化
 - (防潮堤、建屋止水、防水扉等)

ICがいいます。

吋間以内)
『本・電源盤・ポンプ・

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

更に、2・3・4号機に対して、次の様な手段を講じられた可能性があるのではないか?



もしも、直下型地震によって原子炉建屋とタービン建屋間の配管破断が発生した場合、どの様な対策が有効となるか?

想定される事象進展

大地震発生

- 原子炉スクラム
- 主蒸気配管破断の発生

破断検出により 主蒸気隔離弁の閉鎖

- ・原子炉建屋とタービン建屋間の配管破断
- 主蒸気の流量増大、放射線量高、圧力低下等 により主蒸気隔離弁が閉鎖
- ・ 隔離弁が閉鎖するまでは、原子炉水位は減圧 によるボイド増により上昇し、破断部から二層 流となって流出する
- 原子炉の水位低下
- 自動停止信号発信
- ・ 原子炉水位は炉心露出には至らない
- 原子炉圧力は高圧状態を維持
- 主蒸気隔離弁閉(10%以上)により原子炉自 動停止信号発信
- PCIS作動 (水位低下により)
- PCIS(原子炉格納容器隔離系)の弁(約60台)の閉動作
- 非常用復水器 による冷却
- ・ IC自動起動に至らない場合には手動起動
- 停止時冷却系 による冷却
- ・ 降圧により低圧冷却系にて引き続き冷却

冷温停止

- 主蒸気隔離弁が閉出来なかった場合 は?
- ⇒ 主蒸気隔離弁を閉止するための資機材 (弁治具・電源・窒素ボンベ等)を運搬し、 弁を閉止
- 主蒸気隔離弁が不動作となり、かつ、津波等により全交流電源喪失した場合は?
- ⇒ ・ 主蒸気隔離弁の外側弁を閉止し、 漏えいを停止
 - ・ 炉心水位低下による燃料露出を防止 する為、電源・最終ヒートシンクの確保
 - ・ ガスタービン発電機、電源車、代替冷却 設備等の準備
 - ・ 原子炉注水・監視の継続
 - ・ ホイルローダーによる瓦礫撤去等
- また、アクセスの為の基幹道路の耐震補強 は重要

214

・ 個別の質問について

質問①: 3月20日頃に放射線量が上昇した理由は?第一2号機のベントの可能性は?

質問②: 第一1号機への海水注入は、もっと早く行えたのではないか?判断の遅延があったのでは?

質問③: 第一4号機の水素爆発は、3号機からの水素逆流が原因なのか?

質問①: 3月20日頃に放射線量が上昇した理由は何か?第一2号機でベントしたのではないか? => プラント個別のベント実績無し。放出放射線量・風向き・風速が影響したものと推定される

- 線量: $3月15日\sim16$ 日は、一時的に約 12000μ Sv/hの高線量を正門付近で測定。 その後のピークは、事務所本館 北で3月18日(約 5000μ Sv/h)、19日(約 4000μ Sv/h)、20日(約 3400μ Sv/h)。 それ以降、減少傾向となった
- 風向き:新潟方面は、北東・東北東・東・東南東・南東の風が影響する。福島第一での3月20日前後の北東~南東の風向きの実績は以下の通り
 - 3月18日12時20分~16時40分(4時間20分) MAX線量率 約4400 μ Sv/h、 風速 2.0m/s
 - 3月19日3時30分~10時30分(7時間) MAX線量率 約 700 μ Sv/h、 風速 1.5m/s
 - 3月20日 5時40分~14時30分(10時間10分) MAX線量率 約3000 μ Sv/h、 風速 1.9m/s
 - ー 3月21日 5時10分~ 6時50分(1時間40分) MAX線量率 約2300 μ Sv/h、 風速 0.7m/s 11時40分~18時30分(6時間40分) MAX線量率 約2100 μ Sv/h 、風速 1.5m/s
- 従って、3月20日には線量が高い状態で、東方面の風が一番長く吹いたが、3月21日にも高い線量の状態で東方面の強い風(最大6.8m)が吹いている。3月20日、21日の東方面の風の影響の可能性が考えられる
 - 8月11日の朝日新聞では、3月20日午前(南向き)、3月20日午後(南東向き)、21日~22日(北東向き)
- 第一2号機でベントしたからではないのか?
 - 3月15日以降、ベント操作は実施されていない
- 第一2号機のパラメータの調査結果
 - 3月15日AM6時頃以降、S/C圧力は測定不能、D/W圧力は大気圧程度まで低下しており、格納容器の破損が発生したと推定。従って、もしベントを実施していても、ベント機能は実現されなかった可能性が大 216

2011/3/20

0:00

2011/3/20

3:00

2011/3/20

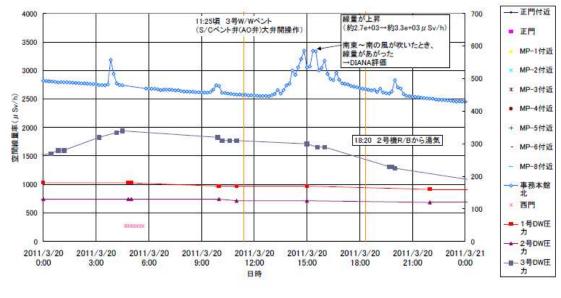
6:00

2011/3/20

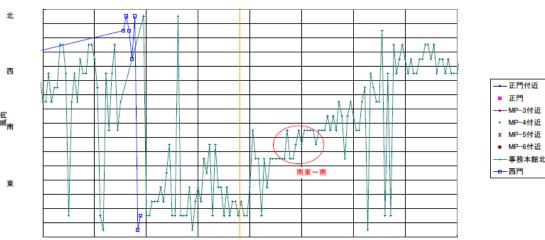
9:00

(続き)3月20日第一1・2・3号機にて格納容器ベントは実施されていない

福島第一原発構内の空間線量率の推移と風向・風速等 (2011年3月20日)







2011/3/20

12:00

日時

2011/3/20

15:00

2011/3/20

18:00

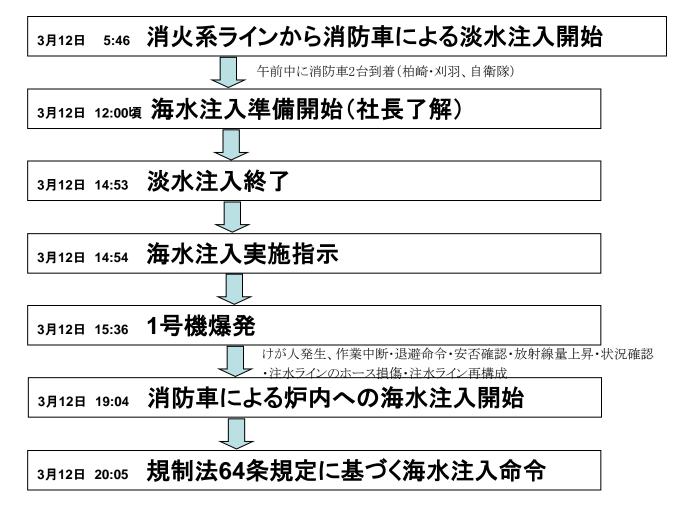
2011/3/20

21:00

2011/3/21

- 3月20日午後2時半頃から、事務本館北の線量が 上昇している
- これは、南東~南向きの風が吹いた為に上昇した ものと推定(東電ヒアリングより)
- 3月20日に第一1・2・3号機において格納容器ベントを実施した事実はない(東電ヒアリングより)

質問②: 第一1号機への海水注入は、もっと早くできたのではないか?判断遅延があったのではないか? => 海水注入は、爆発時刻頃に可能であった。しかし、爆発による影響が大きく、結果的に指示から約4時間後の注入となった



- 12時頃より海水注入準備を開始
- 15時30分頃までには、3号機逆洗弁ピットを水源(津波による溜まった海水)として、揚程を確保するために消防車を3台繋ぐ注水ラインを準備。完成直前の状況であった
- 15時36分の1号機爆発により、けが人発生。その後、原子炉注水のための消防ポンプの状況確認を決定も、敷地線量の状況確認・安否確認後の17時20分頃に消防車、建屋などの状況調査に出発
- 18時30分頃より、現場の状況報告が始まる。高線量の瓦礫の散乱、準備していた注水ラインのホース損傷があり、使用不可を確認。
- このため、周辺の消火栓内にあるホース収集、 ラインの再構成を実施し、19時04分、海水注入 を開始した

追加調査からの考察

東電の発表内容

質問③: 第一4号機の水素爆発は、本当に3号機で発生した水素の逆流が原因なのか?

3号機の爆発によって、3号機の排気筒配管が破断しているのに、水素が逆流するのか?

3・4号機の写真を確認した結果、3・4号機ともSGTS配管は破断していない模様(別紙参照)

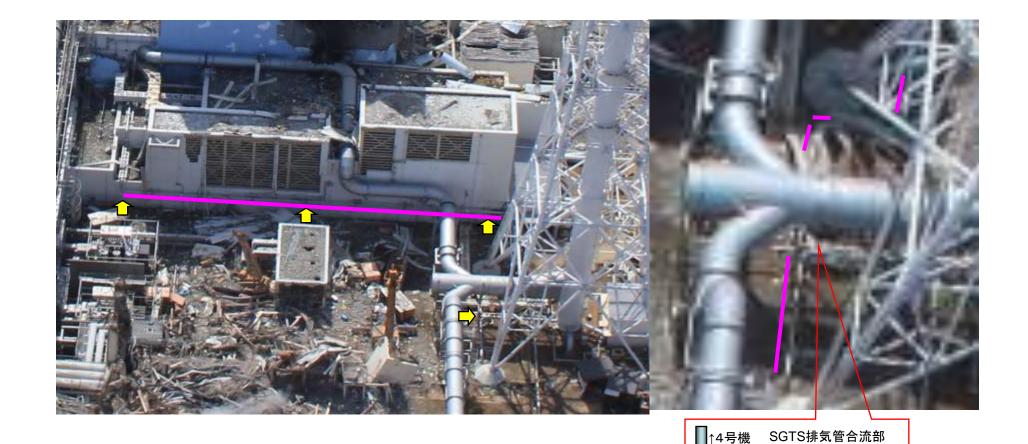
3号機爆発前までの水素発生量と、4号機への水素廻り込み量から、4号機の爆発は起り得るのか?

- 東京電力は、3号機の炉心溶融から爆発までの間、水素発生量は600Kg~700Kgと試算
- 発生した水素の総量から、3号機の4・5階と、4号機の4・5階に対して、建物を破壊しうる濃度を実現する事 が必要 \rightarrow 水素濃度12%で、4階部分の400mmコンクリートを破壊。 水素濃度4%で、5階部分の250 mmコンクリートを破壊
- 600kg~700kgの水素の発生量であれば、上述の濃度(4階12%、5階4%以上)の蓄積は理論上の可能 性はある。しかし、爆轟には約13%以上の水素濃度が必要とされる為、更なる検証が必要

水素が3号機から4号機に廻り込んだエビデンス

- 4号機SGTSフィルター・トレインの出口側の放射線量の方が、入口側よりも高いことから、水素が廻り込んだ と推定
- また、4号機の使用済み燃料プールからの大量の水素発生の有無については、同プール水位の撮影写真、 及び放射性物質の核種分析結果から、その可能性が低いと推定

(参考)3,4号SGTS排気管ルート

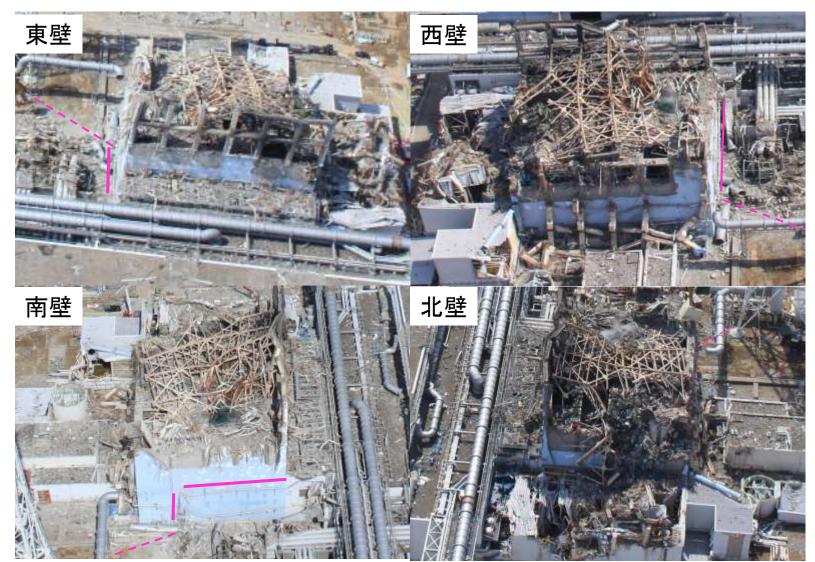


220

_____ 排気筒→

(参考)3,4号SGTS排気管ルート

第一3号機の爆発後



PWRについて

本章における調査は、以下の体制で行った

大前研一 事務局 ● 株式会社大前アンド・アソシ エーツ パートナー 柴田 巌氏 ● 日本原燃株式会社 再処理事 業部 再処理計画部 部長 遊 佐 学氏

インタビュー、ヒアリング等の情報聴取にご対応頂いた主な部門、方々

関西電力

- 関西電力株式会社 原子力事業本部 原子力災害防止対策担当部長 吉原 健介 氏
- 関西電力株式会社 原子力事業本部 原子力技術部門 プラント・保全技術グループ 部長 田中 俊彦 氏
- 関西電力株式会社 東京支社 次長 仙藤 敏和 氏 課長 大神 降裕 氏

三菱重工

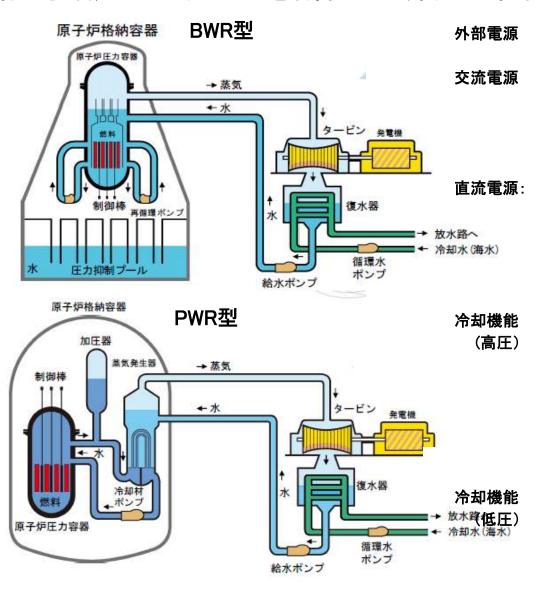
● 三菱重工株式会社 原子力事業本部 安全高度化対策推進室 主任 奥野 大作 氏

PWR型原子力発電所について、以下の観点から調査・検討を行った

- BWR型とPWR型の一般的な特徴、違いは何か?
- 福島第一、第二他の事象分析から得た教訓は、PWR型へも適用可能か?
- 事故再発防止の観点から、PWR型に固有の考慮点はあるか?
- 現在、保安院が進めている安全対策について、本プロジェクトで得た教訓に照らした場合、 その多重性・多様性はどうか?

- BWRとPWRの特徴
- ・ BWRから得た教訓は、PWRへも適用可能か?

BWR型とPWR型原子炉の一般的な特徴・違いは何か? — 個別機能に違いはあるが、原子炉の停止後、炉心の水位・圧力を制御しつつ、高圧で冷却した後に減圧し、低圧冷却に移行する点は同じ



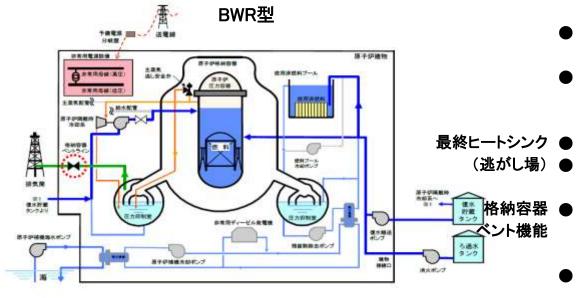
- 開閉所経由で受電する方式であり、相違点はなし
- 事常用ディーゼル発電機や交流電源構成は相違点なし
- 非常用DG・交流電源盤の設置位置はプラントによって異なるが、BWR型は、グランドレベルより低い場合が多い。PWRは、グランドレベルの場合が多い
- 共に、交流電源から整流し、常に充電されている状態は同じ
- 過酷事故の場合、BWRは、高圧注水系設備・制御装置や監視計器の電源として、約8時間分の容量を保持する設計である
- PWRでは、設備電源・監視計器電源として約5時間保持できる設計である
- BWRは、圧力容器が高圧の場合、IC・RCIC・HPCI・HPCS等で原子炉の水位を確保しつつ、SR弁にて炉心の圧力を調整
- PWRは、電動/タービン駆動の補助給水ポンプにて蒸気発生器 (SG)の水位を確保し、主蒸気逃がし弁から放射性物質を含まない蒸気を大気へ放出して、原子炉の除熱・減圧を実施する
- 大気中に蒸気を放出できること、タービン駆動の補助給水ポンプは、直流電源枯渇後も継続運転できることが、BWRとの違い
- ECCS系統のポンプ(残留熱除去系ポンプ・余熱除去ポンプ等)による注水と冷却を実施する
- BWRは、SR弁を使って圧力容器を高圧から低圧へ減圧後、原子 炉への注水を行い、冷温停止を行う
- PWRは、高濃度ほう酸注入後に蒸気発生器(SG)への給排水 (フィードアンドブリード)、または、余熱除去ポンプによるで低温 停止を行う

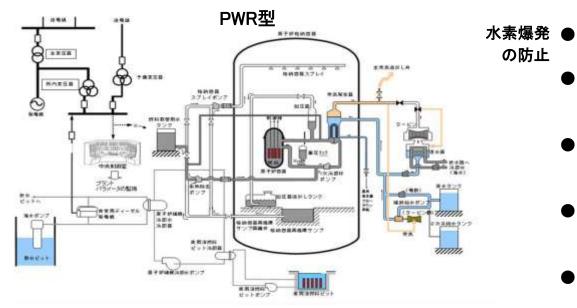
許可なき複製・無断転用を禁じます。 Copyright Team H2O Project all rights reserved

$PWR\cdots$

(続き) - PWRは放射性物質を含む冷却材の循環が格納容器内で閉じており、放射性物質を含ま

ない冷却水(蒸気)を大気または海へ放熱するは組み





- BWRは、圧力容器内の蒸気を、SR弁を開放して格納容器内の圧力抑制室(S/C、S/P等)に送り込んで減圧する
- PWRは、蒸気発生器(SG)で熱交換した蒸気(放射能を含まない)
 を、主蒸気逃がし弁を開放して大気へ逃がす事で減圧する
- PWRの主蒸気逃がし弁は格納容器外にあり、空気作動(手動開放も可)
- 最終ヒートシンク 共に、海水を最終ヒートシンクとし、海側にポンプを設置
 - さらにPWRは、最終ヒートシンクとして大気へ放熱する手段も持つ
 - BWRは、格納容器のベント機能として、S/CとD/Wからのベントラインを設けている。ラインにはラプチャーディスクを設置し、設定圧力に達すると自動的に破断する仕組み
 - PWRの格納容器は、BWRと比べて約5倍®の容積であり、圧力上 昇が小さい為、ベントラインは設置されていない®:同田力での比較)。
 - BWRは、格納容器に窒素を封入する事で、格納容器内の水素爆 轟を防止する仕組み
 - 福島第一では、水素が格納容器の貫通部等を介して原子炉建屋に漏えいし、水素爆発が起きた(推定)。BWRは、原子炉建屋への水素漏えいは想定していなかった
 - PWRは、格納容器の容積が大きい事で、水素爆轟を防止する仕組み。容積が小さいプラントでは、水素濃度を下げる為に、水素燃焼装置(イグナイター)を設置している
 - PWRは、アニュラスへの水素漏えいは想定していないが、格納容器の貫通部からの漏えいに対しては、アニュラス排気系によりフィルタを通して排気する設計
 - 水素の発生源となるジルコニウムについて、PWRの炉をで使用されている量は、BWRの半分以下との研究資料がある

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

BWRの燃料棒にあるチャネルボックスがPWRには無い為、PWRの炉内で使用されているジルコニウム量は、BWRの半分以下との米国研究資料がある

TABLE 1-1. Comparison of potential H2 generation in PWR and BWR systems

_	Parameter	TMI-2	Brown's Ferry-2
原子炉のタイプ	Reactor Type	PWR	BWR.
格納容器のタイプ	Containment Type	Large Dry	Mark-I
出力	Thermal Power, MWt	2770	3300
ジルコニウムの使用量	Zircaloy Inventory, kg Cladding	24,000	37,000
同、クラッディング部 同、チャネルボックス部	Channel Box		25,000
向、テマイルバック人部 合計	Total	24,000	62,000
可能性のある水素の発生量	Potential H ₂ Generation, kg	1055	2725
同、出力単位当りの発生量	Power Specific H2, kg-H2/MWt	0.38	0.82

出典: In-Vessel Zircaloy Oxidation/Hydrogen Generation Behavior During Severe Accidents Prepared by A.W. Cronenberg September 1990. NUREG/CR-5597

同一条件下で比較すると、発生する水素の絶対量が少ない事、PWRの格納容器がBWRより約5倍大きい事により、格納容器内の水素濃度が低くなる可能性が指摘されている

福島第一、第二他の事象分析から得た教訓は、PWR型へも適用可能か? => 適用可能であり、「いかなる環境下でも、原子炉へ電源・冷却源を提供する事」の重要性は変わらない

く BWRの調査から得た教訓とPWRへの適用の有効性に関する確認 (サマリー)※ >

分類	教訓	PWRでも 適用可能か?	コメント
地震、津波の影響	約20項目の教訓	0	・全て適用可能
電源喪失	約31項目の教訓	0	全て適用可能
海水冷却機能の喪失	約6項目の教訓	0	・全て適用可能
他の発電所と比較して	約7項目の教訓	0	・全て適用可能
高圧冷却機能	約22項目の教訓	0	・全て適用可能 ・PWRは電源を必要としない機能も有する(例、 タービン動補助給水ポンプによる冷却)
ベント機能	約29項目の教訓	0	・ 主蒸気逃し弁については、全て適用可能・ PWRは、ラプチャーディスク、格納容器ベントに相当する機能がない為、適用外
低圧冷却機能	約10項目の教訓	0	・全て適用可能
全体からの教訓	約25項目の教訓	0	PWRは、ラプチャーディスク、格納容器ベントに相当する機能がない為、適用外それ以外は、適用可能

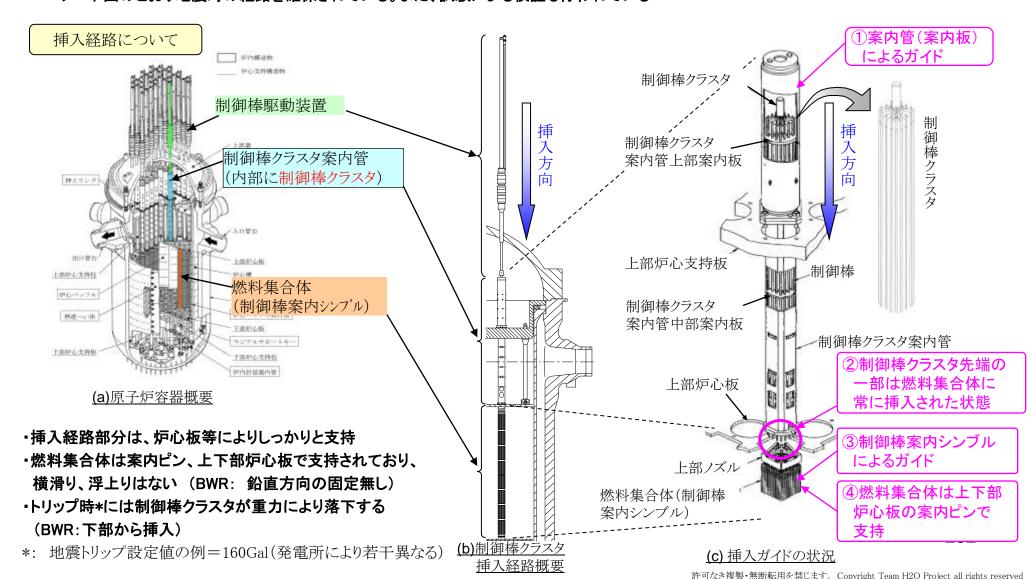
· PWRに固有の考慮点、検討

福島第一原発事故の再発防止の観点から、PWR型に固有の考慮点はあるか?

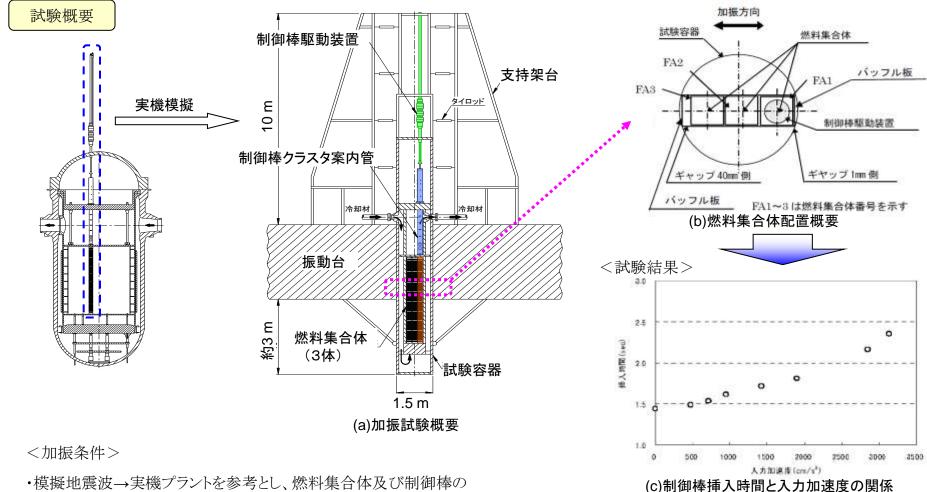
- 3月11日の東北地方太平洋沖地震も含め、これまでの日本の大地震において、国内のBWR型は全て地震による原子炉のスクラムに成功している。同規模の地震の際に、PWRは正常にスクラムするのか?(次ページ参照)
- 全交流電源喪失時には、一次冷却材ポンプのシール部からの漏洩が発生し、**一次冷却材の大幅な減少が生じ、炉心の高圧系冷却が機能しないのではないか?**(次ページ以降参照)
- PWR型は、格納容器のサイズ(容積)を大きくする事、及び、炉心の熱の大半を主蒸気逃し弁を通じて大気へ放出する仕組みである事により、格納容器の高圧化や水素爆発等を防止する設計思想である(BWR型の約5倍の容積(同出力での比較))。従って、格納容器の減圧を目的とするベント機能を保有していない。また、低温停止への運転過程においても、格納容器の減圧を必要としない設計である
- PWRは、使用済み燃料ピットが格納容器外のグランドレベル付近にある。従って、BWRと比べて、建屋外部から同ピットへのアクセスが容易である(アクセス通路、高さ共)
- PWRでは、最終ヒートシンクが2種類ある(海へ、大気へ)

制御棒挿入性について - 常に制御棒の先端約20cmが燃料棒に挿入された状態にあり、設計値の約1/5(約160ガル)の地震動で作動し、自然落下により2秒弱で挿入される仕組みである

- 制御棒の挿入については、「挿入経路の確保」が重要
- => 下図のとおり地震時の経路を確保されている。また、試験による検証も行われている



地震発生時の挿入性については、実規模での大規模な加振試験を実施*し、設計値の3. 3倍の地震動でも挿入される事が確認されている(実際には、設計値の約1/5で挿入される)

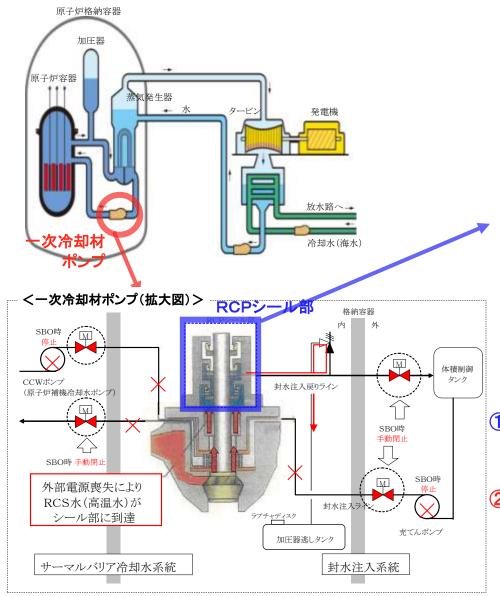


- 模擬地震波→実機プラントを参考とし、燃料集合体及び制御棒の 振動が最も厳しくなるものとして作成(S2包絡波)
- ・模擬地震波の最大加速度は950Gal
- ・試験は模擬地震波の約3.3倍のレベルまで実施し、挿入性を確認

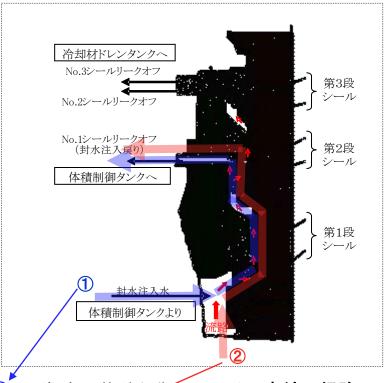
地震時(S2の3.3倍)においても、各構造は損傷 することなく、また、制御棒クラスタはガイドに沿って 挿入されている。

Z33

一次冷却材の減少 - SBO時、炉心の一次冷却材ポンプのシール部への注入・冷却が出来ず、シール部から一次冷却材の漏洩が生じ、炉心が安定冷却できない可能性が指摘されている



<RCPシール部 (拡大図)>



- ① 通常時: 体積制御タンクから、**青線の経路にて高圧冷却水が** 循環し、炉心からの一次冷却材の漏洩を防止している
- ② 全交流電源喪失時: この青線の冷却水循環が停止する為、炉 内の一次冷却水が、上図の赤線の経路を通じて漏洩する可能 性が指摘されている

234

全交流電源喪失時、 次冷却材は減少する(図A) ル部からの漏洩により、

一次冷却材の減少 - 解析の結果、TDAFWP※1等を使用して高温安定状態※2まで冷却した場合、このRCPシール部からの一次冷却材の漏洩を考慮しても、蓄圧タンクから同等量の注水がなされる為、炉心は適切に維持される (※1 タービン動補助給水ポンプ、※2 約170℃、0.7MPa)

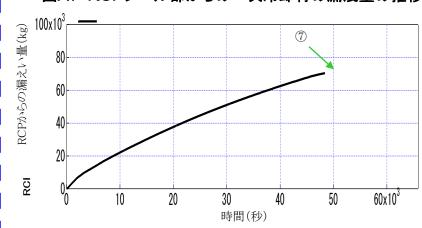
解析条件

項目	解析条件
対象プラント	・ 4ループプラント
初期条件	 原子炉出力、原子炉圧力、1次冷却材平均温度等の初期条件は設計 最確値
外乱	 時刻0秒で外部電源喪失の発生を想定し、タービントリップ、主給水喪失、RCPコーストダウンを仮定 RCP回転数低信号による原子炉トリップを仮定
補助給水流量	・ 1分後に補助給水を開始(4SGへ) ・ 補助給水流量はSG水位が狭城水位内に維持できるよう調整
運転員操作	・ 30分後に主蒸気逃がし弁を全開にして強制冷却を開始
蓄圧タンク	 原子炉圧力の低下に伴いほう酸水がRCSに注入 RCS圧力が1.7MPa[gage]まで低下した時点で蓄圧タンク出口弁を閉止
崩壊熱	FP:日本原子力学会推奨値アクチニド:ORIGEN2
漏えい量	・ RCPからの漏えいを仮定

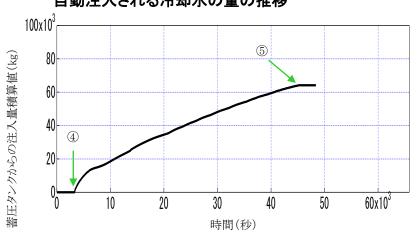
解析における事象進展仮定

	主要な事象進展・操作	時刻	備考
_	SBO発生RCPからの漏えい開始	0秒	RCPからの初期漏えい率は 21gpm/RCP
1	原子炉トリップ	1.5秒	_
2	タービン動補助給水ポンプ起 動	1分	-
3	主蒸気逃がし弁手動操作開始	30分	RCS温度208℃を目標に冷却
4	蓄圧タンク作動	約1時間	RCS圧力4.2MPa[gage]
(5)	蓄圧タンク出口弁を手動閉止	約12時間	RCS圧力1.7MPa[gage]
6	主蒸気逃がし弁手動操作	約12時間	RCS温度170℃を目標に冷却
7	RCPからの漏えい停止	約14時間	RCS圧力0.83MPa[gage]
8	安定冷却状態到達	約19時間	RCS圧力0.7MPa[gage] (RCS温度170℃)

図A: RCPシール部からの一次冷却材の漏洩量の推移



図B: 一次冷却材の減少に伴い、蓄圧タンクから 自動注入される冷却水の量の推移



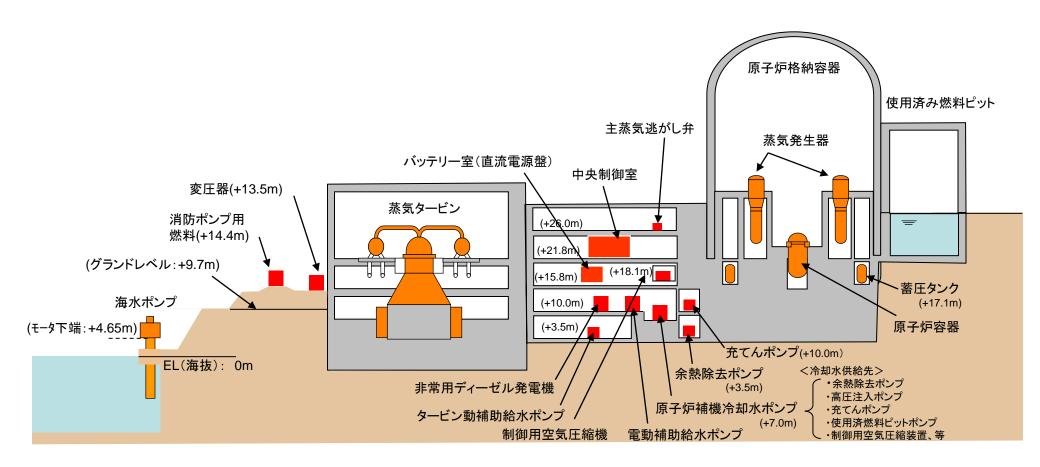
その結果、 冷却は適切に維持されると推定される 次冷却材の量は殆ど減少せず、 炉心

却水が、 かし、 蓄圧タンクから、 自動的に注入される(図B) 減少した量と同等の冷

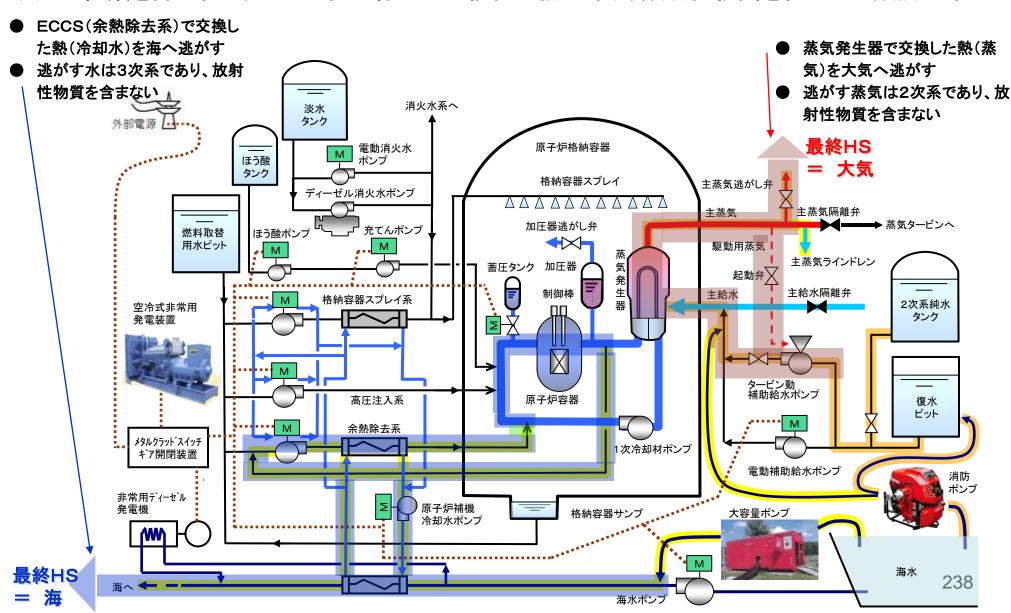
235

PWR型の現状(大飯3・4号機を事例として)

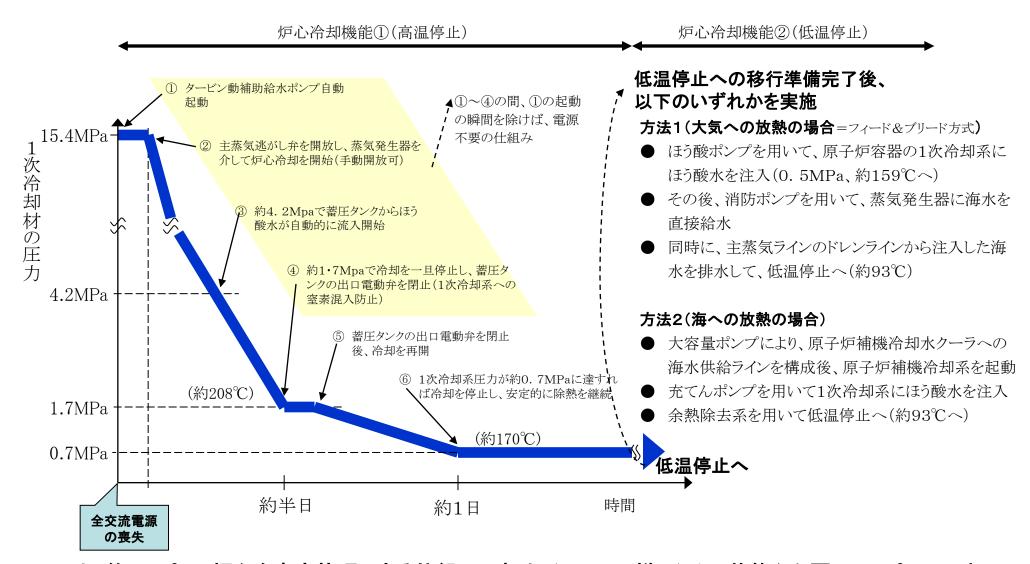
大飯3,4号機の現状(主要設備の立地と海抜) - 主要な建屋は海抜9.7mに立地。バッテリーと主要電源盤(M/C、P/C)は15.8m、非常用発電機は10mの高さにある。海水ポンプは4.65m



炉心冷却機能の全体像ー PWRは、最終ヒートシンク(HS)として、大気または海に熱を逃がす方法の2種類を持つ。いずれでも低温停止まで移行可能であり、放射性物質を含まない放熱である

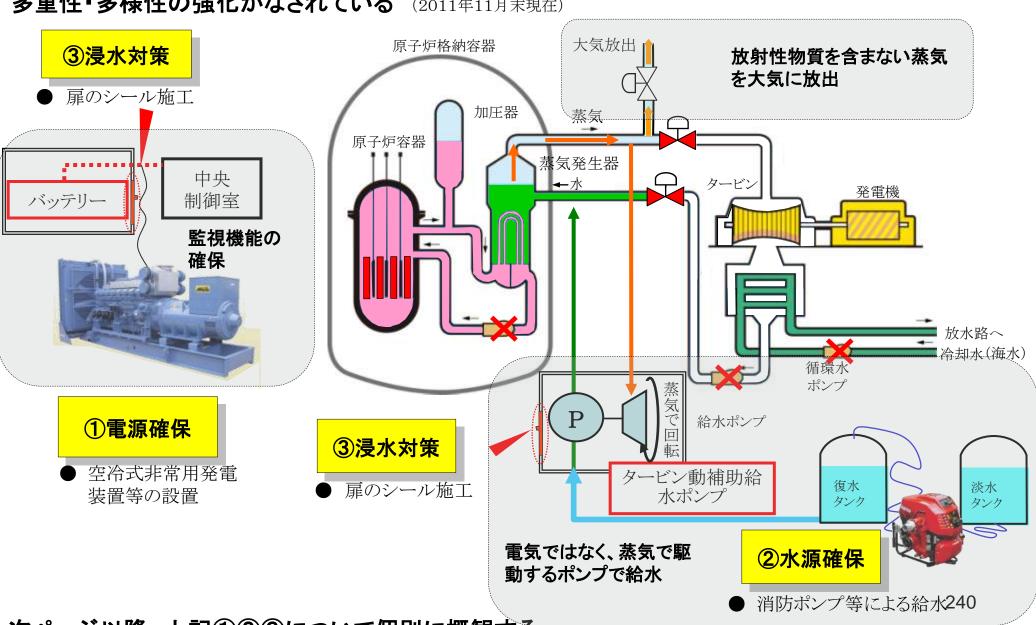


SBO時の冷却シナリオ - 高温停止まで(0.7MPa、170℃)と、低温停止まで(93℃)の2段階で構成される。後者は、最終ヒートシンクとして、海・大気のいずれでも実行可能



PWRは、約170℃で炉心を安定管理できる仕組みであり、(BWRの様に)その状態から更に100℃以入まで冷却する事の技術的な意味は小さい

安全対策の全体像 - 3月11日以降、電源・水源の確保、浸水対策の3分野を中心に、継続的に 多重性・多様性の強化がなされている (2011年11月末現在)



①電源確保 ー 海抜33.3mに設置した大規模な空冷式非常用発電機を中心に、多様性・多重 性を強化。訓練ではSBOから約78分で全号機への給電開始が可能なレベルに

ハード面: 電源の多様化・多重化

1-4号機全体で必要な電源を確保する為に(冷却方法の多様化へ対応)

合計:2310kVA

監視機器等 への供給

14600kVA

炉心冷却手段 の拡大

更なる多様化 (中長期)

•中央制御室



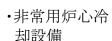
電源車の配備

ほう酸ポンプ

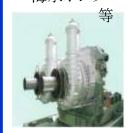




空冷式非常用 発電機: 8台



海水ポンプ



恒設非常用 発電機: 4台

注) 上記は発電所全体の合計数

迅速・確実な接続の対策

- DGすぐ横に接続口とケーブル系統 を常設済み。接続するだけの状態へ
- 海抜30m以上に設置
- バッテリー
- オンサイトに備蓄



ソフト面: 訓練の強化

配備した電源車や非常用DGを速やかに接続する為に

- 体制の確立
- マニュアル整備、訓 練の実施
 - ・電源車の配置
 - ・電源ケーブル接続
 - ・電源車の運転
 - ・電源車への給油

休日・夜間 常に6名確保

これまでの実施回数(2011年10月28日現在)

平日訓練	14回
夜間訓練	3回
休日訓練	2回





訓練の反映

- ・夜間のヘッドランプの配備
- ・作業性向上のため接続端子形状の改善 他
- 訓練の習熟による接続時間の短縮

電源車:135分 ⇒ 空冷式非常用発電装置:78分 241

(全号機への給電完了迄の所要時間)

刦

②冷却源確保 - 初動から16日分の冷却水を常設タンクに確保。可搬性の高い消防ポンプと、高出力な大容量ポンプ(2011年12月導入予定)の組合せにより、多重性・多様性を強化

ハード面: 冷却源の多様化・多重化

高温・低温冷却、2種類の最終ヒートシンクへの冷却源を確実にする為に

海水ポンプ の代替

炉心のさらなる冷却 冷却手段の確保 ・炉心冷却 (低温) ・燃料ピット

消防ポンプ 25台 消防ポンプ の追加:+28台

消防ポンプの総配備数 総 _{注)上記は発電所全体の合計数} 88台(予備含む) (

ディーセ^{*}ル 発電機の 冷却

電源供給源の多様化



可般式エンジン駆動海水ポンプ: 30台

総配備数32台 (予備含む) 原子炉補機 冷却系統への 給水



大容量ポンプ: 1台 (DG駆動、軽油燃料、 自走式)(2011年12 月導入予定) ソフト面: 訓練の強化

配備した消防ポンプ等を速やかに敷設する為に

● 体制の確立: 緊急時の召集体制の強化

● マニュアル整備、

訓練の実施

これまでの実施回数(2011年10月28日現在)

- ポンプの配置
- ・ホースの敷設
- •ポンプの運転
- ポンプへの給油

SG給水訓練	20回
SFP給水訓練	12回
Cold Shut Down訓練	4回





● 訓練の反映

- ポンプ設置箇所へのマーキング
- ・ 連絡を密とするため無線機を配備 他

● 資機材の予備

- ・ 消防ポンプ 必要台数53台/総数88台
- ・ ホース 必要本数631本/総数670本

242

②冷却源確保 - 2011年12月に敷設され、現在、導入進行中の大容量ポンプの訓練状況









PWR…大飯3・4号機の現状 プロジェクト外厳秘/Extremely Confidential

(続き)

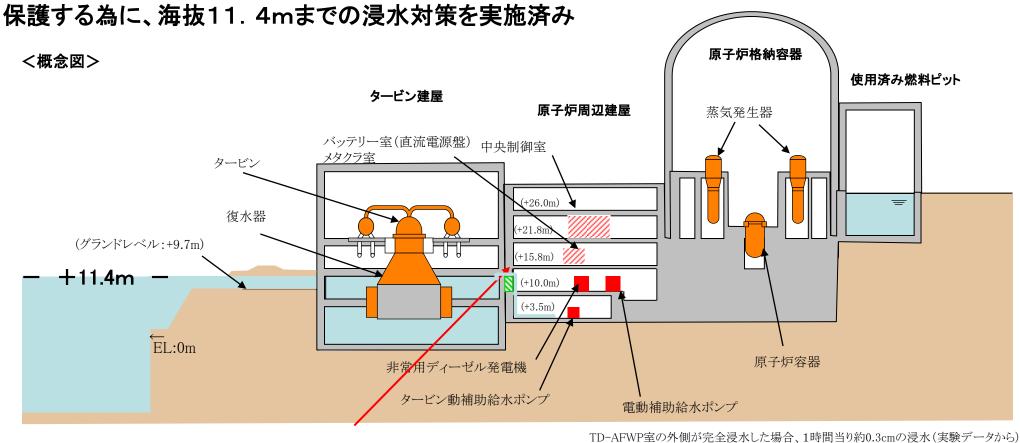








③浸水対策 - 低い位置にある非常用ディーゼル発電機、タービン動/電動補助給水ポンプ等を





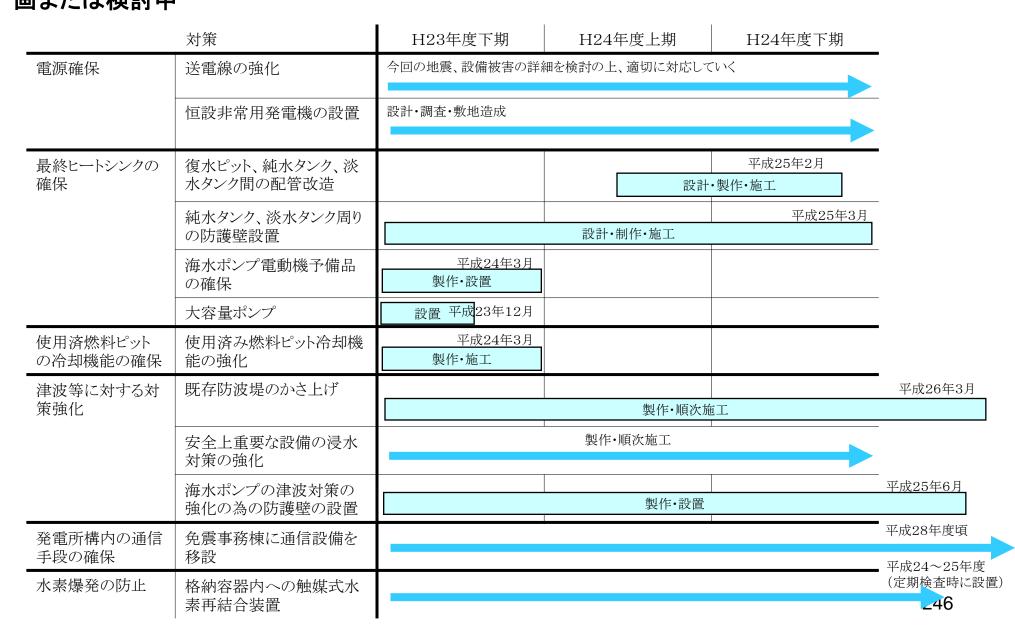




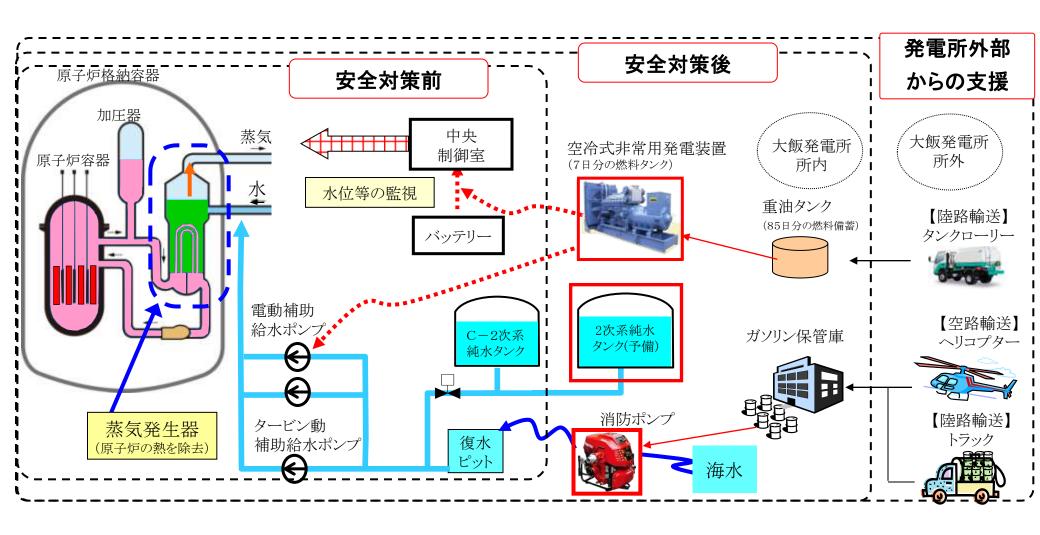


許可なき複製・無断転用を禁じます。Copyright Team H2O Project all rights reserved

今後の追加対策 一 高台の恒設非常用発電機、免震重要棟、電源の相互融通機能等を計画または検討中



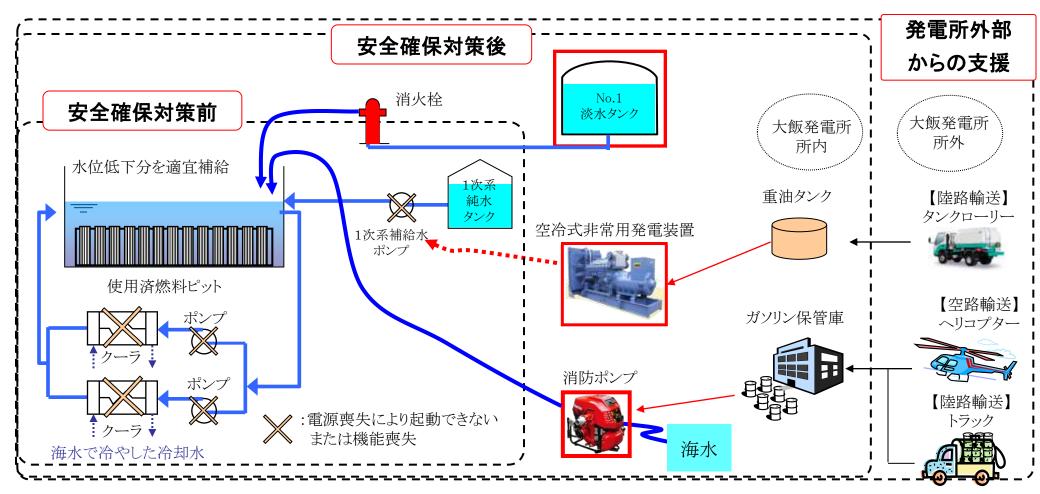
炉心損傷の防止(SBO、最終HSの喪失) - 空冷式非常用発電装置と給水手段の強化により、 外部支援なしで原子炉に約16日間冷却できる



消防ポンプ等に必要なガソリン等を外部から輸送する事により、更に長期間、給水を継続できる

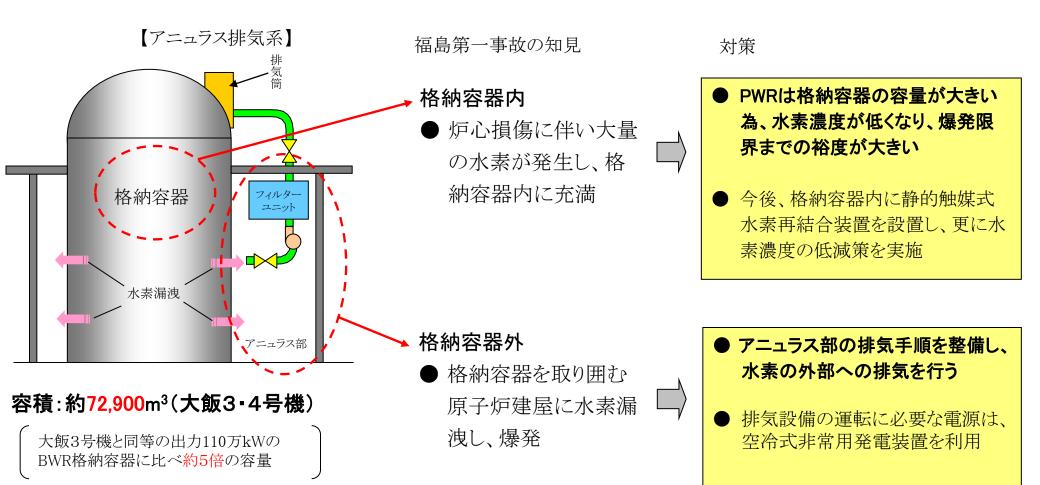
(続き) - 使用済燃料ピットも、空冷式非常用発電装置、各種タンクからの給水、消防ポンプによる 給水手段の強化により、外部支援なしで約10日間の給水が可能になった

< 使用済み燃料ピットの冷却 >



消防ポンプ等に必要なガソリン等を外部から輸送する事により、更に長期間、給水を継続できる8

水素爆発の防止 - 関西電力の試算では、格納容器が大きい為、燃料棒の75%のジルコニウムが反応しても爆轟濃度に至らない



今後、格納容器には静的触媒装置を設置し、更に強化予定である

・ 保安院の安全対策の多様性・多重性 (大飯3・4号機を事例として)

3月末・4月初に保安院が指示した現行の安全対策について、福島第一の事象進展に大きな影響を与えた10項目に分類し、その多重性・多様性の確認を行った

インフラ系機能

電源の供給

- 外部電源
- 交流電源
- 直流電源

冷却源の供給

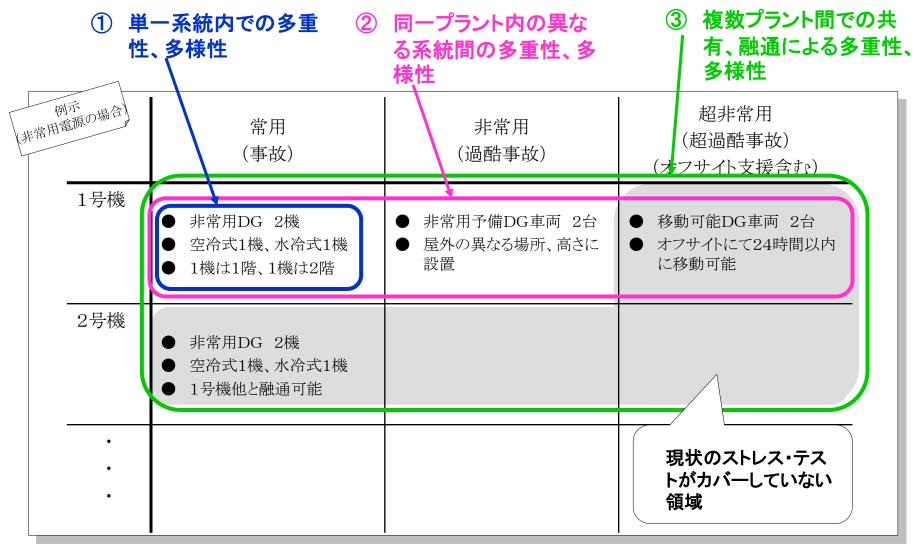
- 冷却水源系統
- 燃料(重油、軽油、ガソリン)
- 海水系機能(最終ヒートシンク)

原子炉の主要機能

- パラメータ監視機能 (中央制御室)
- 炉心冷却機能
- 蒸気発生器(SG)減圧機能
- 水素爆発の防止機能



多重性・多様性の確認においては、3つの異なるレベルでの検証が重要である



シビアアクシデント対策を確実に実行する為に、今後の教育・訓練強化が重要となる度合い

不

多重性・多様性のサマリー - 常用・非常用については、対策系統が確立されている。超非常用は、更なる対策の具体化と実践演習の強化が重要

常用(設計ベース)

● 電源

- •外部電源 (2系統4回線)
- ·非常用DG発電機 (2台)
- ・直流電源(バッテリー)(2系統)

● 冷却機能: 高温停止

- •TD-AFWP(1台)
- •MD-AFWP (2台)
- ・主蒸気逃がし弁 (4台)

● 冷却機能: 低温停止

- ・余熱除去ポンプ (2台)
- ・原子炉補機冷却水ポンプ(4台)
- 海水ポンプ (3台)

● 水源

- •復水ピット (1台)
- ・2次系純水タンク (5台*) * 発電所で5台

非常用(アクシデントマネシ・メント)

● 電源

- ・高台の電源車(1台) 空冷式非常用発電機(2台)
- •恒設非常用発電機(1台)

● 冷却機能: 高温停止

- ・MD-AFWP(2台) (空冷式非常用発電機から給電)
- ・(仮設中圧ポンプ(計画中))

●冷却機能: 低温停止

- ・大容量ポンプ(1台*)(海水ポンプ代替)
- 可搬式消防ポンプ (SGへの直接給水)
 - *発電所で1台

● 水源

- 淡水タンク(5台*)
- 海水
- ・可搬式消防ポンプ (復水ピットへの海水補給)※発電所で5台

超非常用(サ仆外支援)

● 電源

・オフサイトからヘリコプター等で バッテリー、燃料等を搬入

● 冷却機能

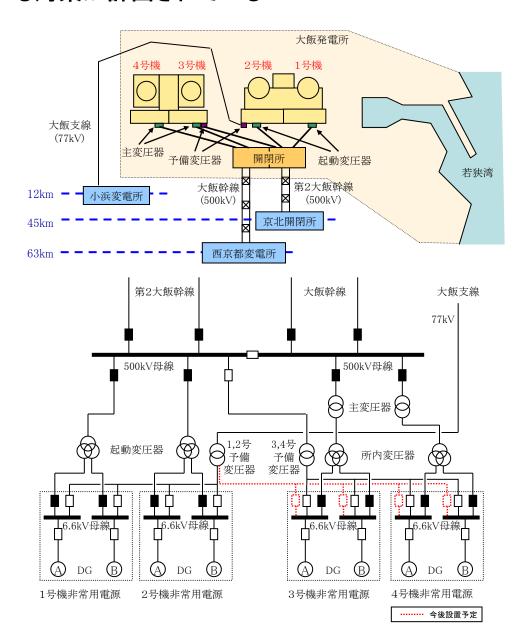
・オフサイトから燃料等を搬入

● 水源

(オフサイトからの水源補給 (周辺の河川、湖、池等からの 補給))

次ページ以降、福島第一での事象を目安として、主要機能別に多重性・多様性を詳述する253

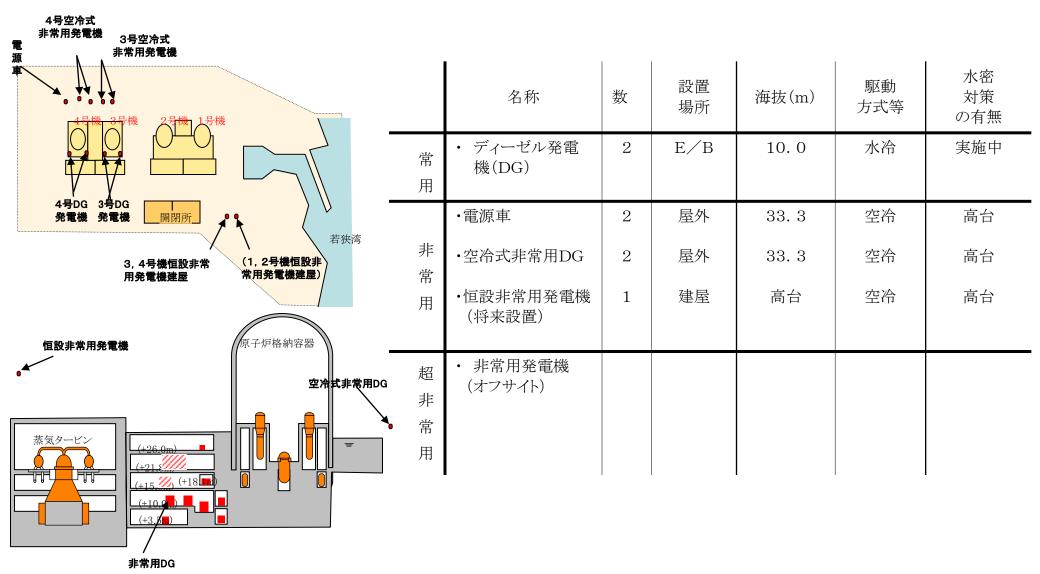
外部電源の多重性・多様性 — 福島第一事故を踏まえて、全プラント間で外部電源を融通する対策が計画されている



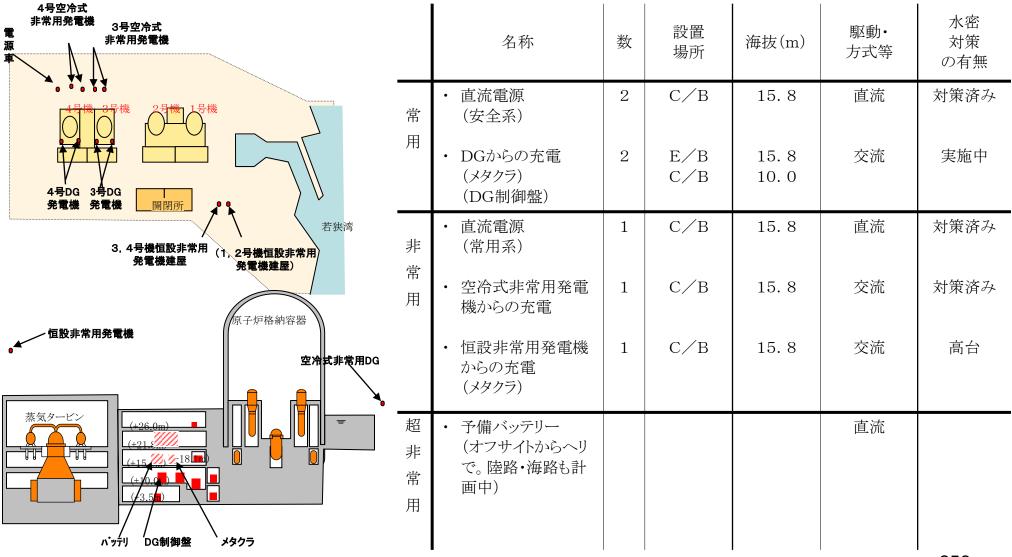
- ◆ 大飯原発では、それぞれ異なる変電所から、独立した3系統の受電網がある
 - 福島第一の場合は、同一変電所から2系統であった
- 現在、1つの開閉所が使用不能な場合でも、1・ 2号機間、3・4号機間においては、6.6kV電源 の融通が可能である
- 更に今後、1-4号機間の全てにおいて6.6kV 電源の融通を可能にする対策が計画されている

(将来の中長期的観点からは、ケーブルの地下化も有効ではないか?)

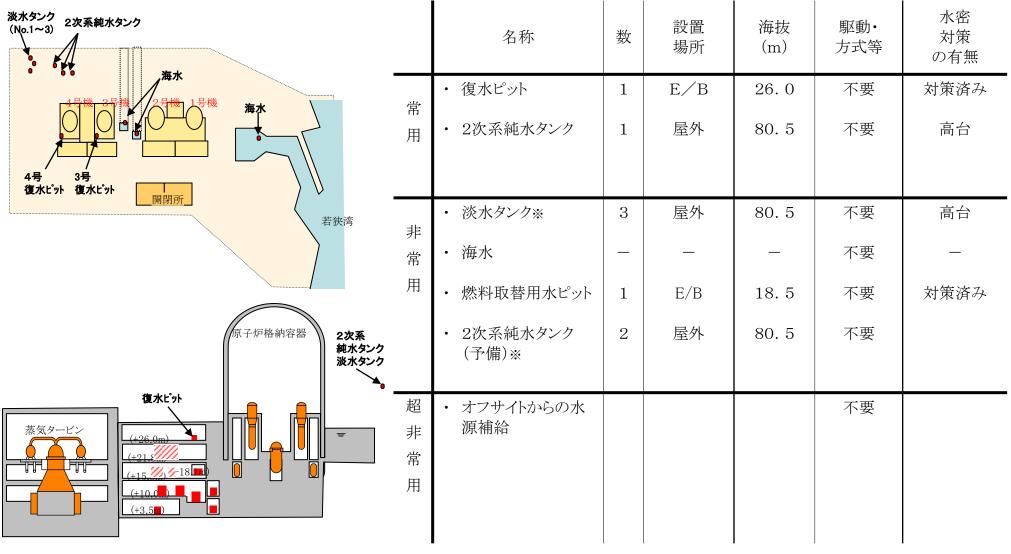
交流電源の多重性・多様性 - 電源車・空冷式非常用ディーゼル発電機の設置により、尤度が強化された。将来、恒設非常用発電機が高台に設置され、更に強化される見込み



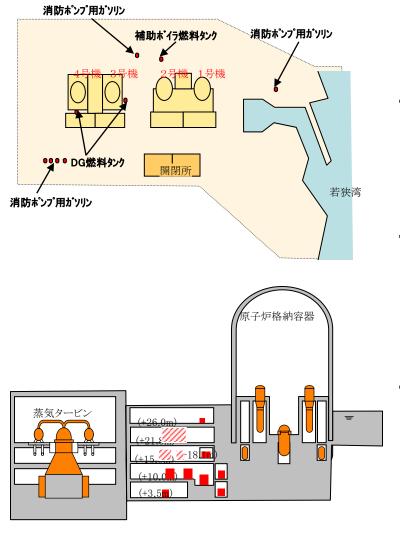
直流電源の多重性・多様性 - 対策思想が、交流電源からの充電に集約されている。可搬性の高いバッテリーの多重化・多様化が有効※。但し、海抜15.8mに立地し、浸水尤度は高い



冷却水源の多重性・多様性 — 全て18.5m以上の高さにあり、16日分の備蓄量を持っており、 尤度は高い



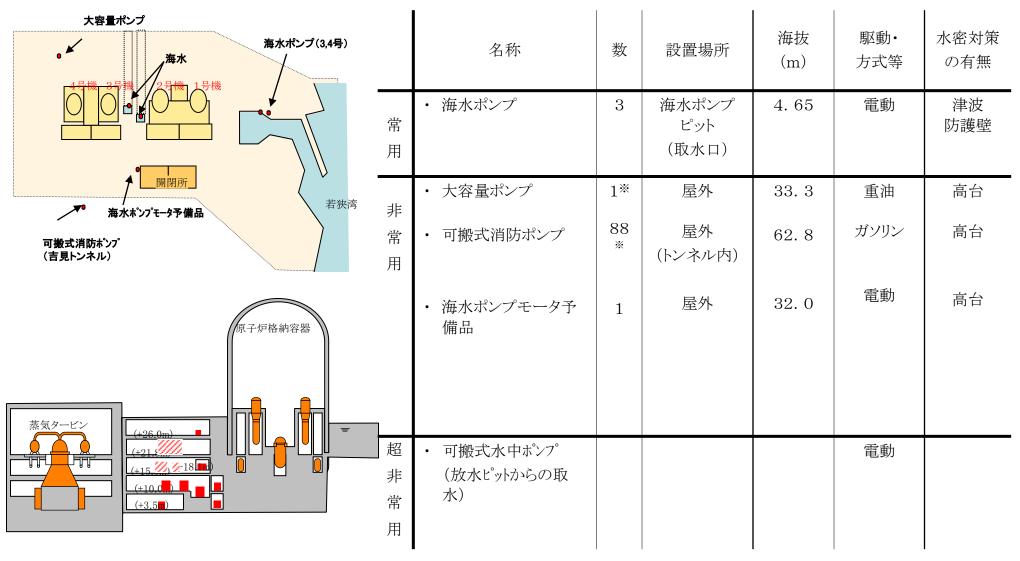
燃料(重油、軽油、ガソリン等)の多重性・多様性 一 備蓄量の尤度はある。 苛酷事故時のオン・オフサイトにおける搬入手順、訓練等の実運用面の強化が重要



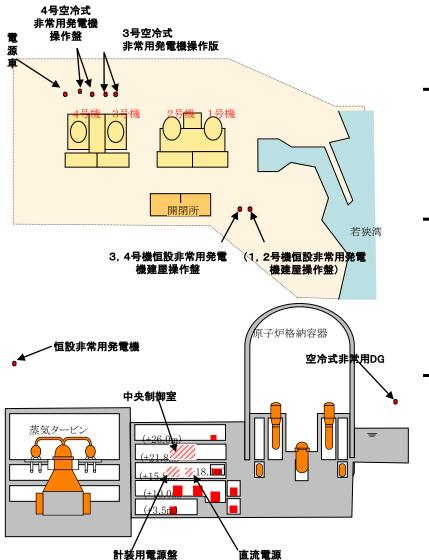
	名称	数	設置 場所	 海抜(m)	駆動 方式等	水密 対策 の有無
常用	・ DG燃料油貯蔵タンク (重油)	2	屋外 (地下)	2. 6	不要	実施済み
	補助ボイラ燃料タンク(重油)	2*	屋外	33. 3	不要	高台
非常用	・油倉庫(消防ポンプ用 ガソリンの保管場所とし て、ドラム缶を6箇所に分 散配置)	1 1 4	屋外 屋外 屋外	14. 4 33. 3 45. 0	不要 不要 不要	高台高台
超非常用	非常用燃料 (ガソリン、軽油等をヘリ で空輸+水路、陸路で 運搬)	_	_	_	_	_

※ 発電所全体の数値

海水系機能(最終ヒートシンク)の多重性・多様性 - 常用(海水ポンプ)は海側に立地し、尤度は低い。しかし、非常用(大容量ポンプ等)の尤度は高い。大気を最終ヒートシンクに活用可能であり有効



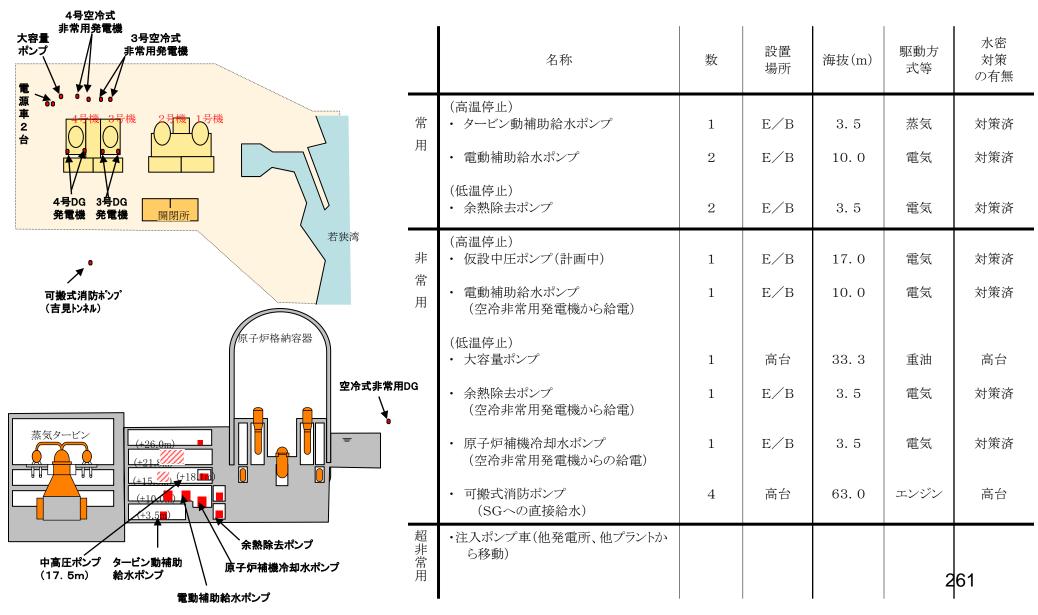
パラメータ機能(中央制御室)の多重性・多様性 - 重要パラメータの計測機能は喪失してはならず、中央制御室への直流電源供給の多様化・多重化が重要である



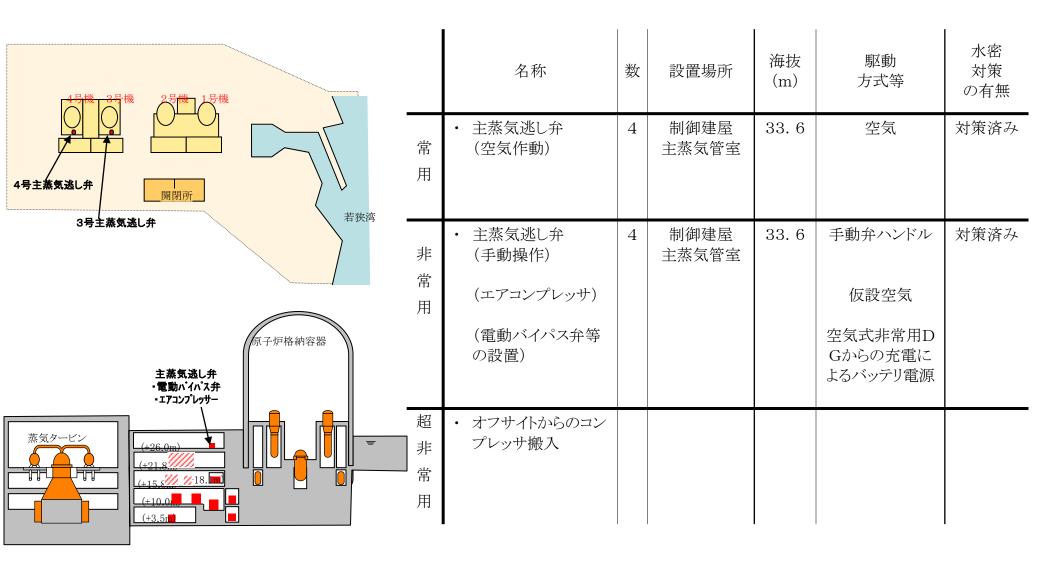
	名称	数	設置 場所	海抜 (m)	駆動 方式等	水密対策 の有無
常用	・ 中央制御室・ 計装用電源盤・ デイーゼル発電機 (DG)・ 直流電源(蓄電池)	1 4 2 2	C/B C/B E/B	21. 8 15. 8 10. 0	直流、交流 直流、交流 交流 交流 直流	対策済み 対策済み 実施中 対策済み
非常用	・空冷式非常用発装置・電源車*・恒設非常用発電機 (将来設置)	2 2 1	屋外屋屋	33. 3 33. 3 高台	交流 交流 交流	高台高台
超非常用	可搬式バッテリ (計器への直接繋ぎ 込み)		C/B	21. 8	直流	対策済み

*発電所全体での台数

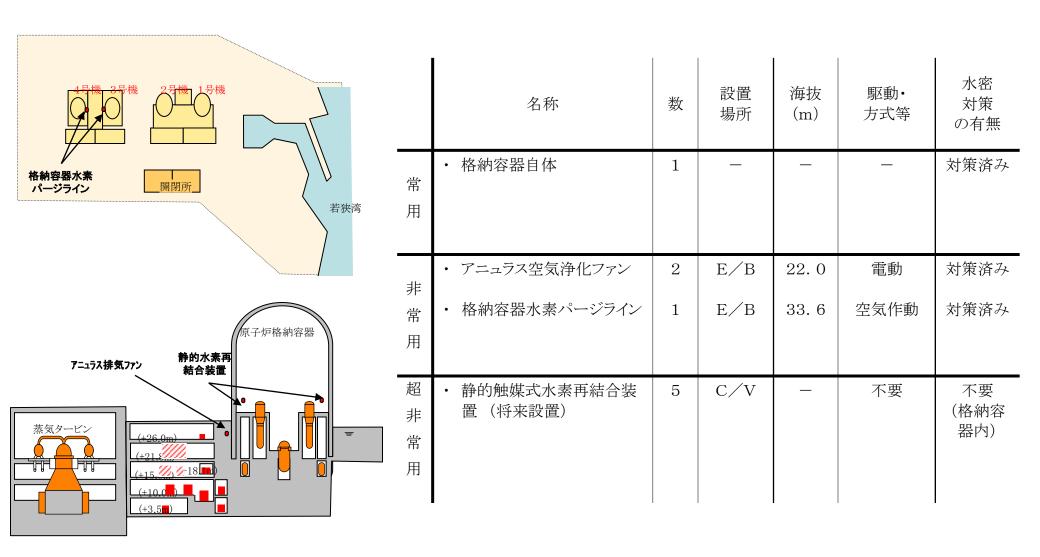
炉心冷却機能の多重性・多様性 - 大気と海の両方が最終HSとして活用可能であり、常用・非常用ともに尤度は高い。高圧系で電源不用のタービン動補助給水ポンプが特に重要



SG減圧機能の多重性・多様性 - 主蒸気逃し弁(空圧式)は、手動操作が可能であり尤度がある。予備コンプレッサと使用訓練が強化されれば、更に尤度が高まる



水素爆発防止機能の多重性・多様性 — 本項目は各個別機能の全体評価であり、「いかなる環境下でも電源と冷却源を提供する」事の総合尤度が最も重要である



海水系の経路 - いずれの発電所も取水・放水経路が全プラントで同じ位置にある為、今後、可搬式ポンプ等を活用した取水・放水系統の多様化策が有効と考えられる

大飯発電所



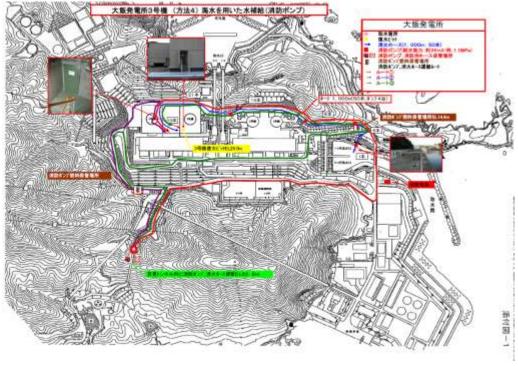
美浜発電所

高浜発電所



非常時のヘリポート、消防ポンプ運搬・敷設等の概況 - 場所、経路等は具体的に決定されている。今後の訓練・実践演習での定量化された習熟度の強化が重要





 $PWR\cdots$

プロジェクト外厳秘/Extremely Confidential

福島第一1号機と同様の事象を仮定した場合、大飯3・4号機の現安全対策のかなりの部分

例示

Ш

初動 |標3時間)

5圧冷却]、5時間]

高圧冷却の継続 (同、24時間以内)

が活用でき、回避可能と思われる

想定される事象の進展(概念図) 地震の発生 全外部電源の 原子炉自動停止 喪失(交流) 非常用発電機(DG)の自動起動 津波の襲来 高所(15.8m) に設置 全電源(非常用DG· 直流)の喪失 浸水防止対策 電動補助給水ポンプによる 原子炉の冷却(機能しないと仮定) 原子炉冷却機能の喪失 格納容器内への冷却材流出 原子炉水位の低下 格納容器の温度・圧力上昇 燃料の露出開始 消防ポンプ等による 燃料の重大な損傷と水素・ 核分裂生成物の大量発生 格納容器への注水と冷却 事前の備え 水素の格納容器から 消防ポンプ等による アニュラスへの漏洩 格納容器への注水と冷却 水素排気 手順の確立 アニュラス部の 核分裂生成物の放出

水素爆発

対策行動(オンサイト)

電源確保(第一弾)、中操機能・タービン動補助給水ポンプ(TD-AFWP)の確保

- 正常にスクラムする事が前提
- 津波襲来まで(=直流が健全)に、主蒸気逃し弁を開放、TD-AFWPを直流電源で起動(高圧冷却系の開始)
- 可搬式バッテリーを中央制御室にスタンバイ、または接続
- 電源系統の健全性を一覧できる仕組みの確立

電源確保(第二弾)、高圧冷却系による冷却継続

- 空冷式非常用DGを起動、電源盤へ接続(通信確保要)
- バッテリーの追加運搬、接続(直流電源の備蓄強化)
- 高圧系(TD-AFWP)の継続運転(電源不要)

高圧冷却系による冷却継続のための資機材の準備、十分な電源 の確保、搬入アクセスの復旧

- 高圧系(TD-AFWP)の継続運転(電源不要)
- 高圧系バックアップ (MD-AFWP) の確保(空冷式DG)
- 炉圧4.2MPaで蓄圧タンクからほう酸水を自動注入(電源不要)
- 炉圧に応じ主蒸気逃し弁を開閉(通信手段確保)
- 炉圧1.7MPaで、冷却を一時停止(通信手段確保要)し、蓄圧 タンク出口電動弁(=空冷式DG)を閉鎖
- その後、主蒸気逃し弁を開放し、冷却再開(通信手段要)
- 重機等によるアクセスの確保、道路の仮復旧
- 復水ピットへの海水補給準備
- 数日~1週間分の直流電源・燃料等の搬入、確保

炉心減圧、低圧系への移行準備

- 低圧冷却系の系統構成、代替注水の準備(消防ポンプ等)
- 主蒸気逃し弁の開閉により炉圧0.7MPaを維持(通信手段確保)。代替 海水系統の構成(大容量ポンプ)

炉心減圧、低圧冷却系の起動、冷温停止へ

● 水素探知機

▶ SGへのフィード&ブリード、または、RHRSにて低温停止へ

● 非常用DG/DCの多様化

(原理、場所、高さ等)

赤字=現行対策が有効な箇所

日々の実践演習

低圧系準備、 冷温停止へ (24時間~1)

1週

- (数値化した習熟チェック) 通信機能の確保
- 外部電源の耐震性強化 ●
- 防護服・マスク・計器等の確保 水密性の強化
- 水源/水路の多様化
- オンサイト高台にSAM用倉庫 (電源、電源盤、ポンプ、燃料 他一式) 水溶性の強化 266
 - (防潮堤、建屋止水、防水扉等)

『源盤等の

| 間以内) 車・電源盤・ポンプ

と多様化・融通 許可なき複製・無断転用を禁じます。Copyright Team H2O Project all rights reserved

前ページのシミュレーションから得られる知見

- 福島第一1号機と同様の事象を想定した場合、非常用電源、高圧系冷却、弁の開放、ほう酸注入、最終HS機能は有効に活用できる
- ・ 海側の機能を必要としない最終HS(大気)による冷却手段がある。また、放射性物質を含まない放熱である
- ・ 直流・交流電源を必要としない高圧系冷却機能が使える(タービン動補助給水ポンプ)。その冷却水を16日分確保済
- ・ 高圧系冷却に必要な弁の開閉が手動で行える。弁は、格納容器の外にあり、アクセスが容易(主蒸気逃し弁)
- ・ 冷却に伴い、炉心が設定圧まで減少した時点で、電源がなくても、ほう酸が自動注入される(蓄圧タンク)
- ・ 海側に設置する必要のない空冷式非常用DGを2台ずつ常備(海抜33.3m)。すぐ横に系統構成済みの接続口がある
- 空冷式非常用DG、タービン動補助給水ポンプの起動操作は、災害発生の初動期に、速やかに行う事が必須。失敗できない
- ・ 原子炉のスクラム直後(=直流が健全。津波襲来前)に、タービン動補助給水ポンプの起動(直流が必要)と、主蒸気逃し弁の開放(空圧式。手動も可)を完了する事(= 高圧冷却系、最終HSの構成完了)。但し、これらはスクラム時に自動的に起動する設計である
- 空冷式非常用DGを起動し、接続完了する事(=非常用交流電源の供給系統の完了。人力)
- ・ 直流電源喪失に備えた、中央制御室への可搬式(すぐに人力で軽々と運べる)バッテリーの接続準備(=パラメータ計測機能の担保)
- 直流電源室、タービン動補助給水ポンプ機能は、代替策を有しない為、機能喪失できない
- ・ 直流電源室は一箇所(2系統)であり、機能喪失した場合、パラメータが計測不能となる。海抜15・8mにあるが、十分な 多重化・多様化策が必要
- ・ 電源喪失下で使える高圧冷却手段は、タービン動補助給水ポンプのみである(立地は最地下階)。確実に機能させる為の対策が重要(但し、空冷式非常用DGが機能する場合は、電動補助給水ポンプ2台が活用可能)
- 狭隘な地形の為、資機材保管箇所からの運搬が可能か、移動ルートの堅ろう性・アクセス性の検証も重要(オフサイト 支援の確度の強化)

今回調査した範囲では、電源・冷却源の多重化・多様化が相当程度なされている — 更に強化する為に、次の様な検討が有効ではないか?

- 複数プラントを持つ事による設備・機能の融通もなされている
 - 電源(外部、非常用DG, バッテリー、電源盤系統など)の融通 (計画中)
 - 一 水源(復水、純水タンク、消火系など)の融通
 - 非常用設備(電源車など)の融通
 - 外部電源の地下ケーブル化の中長期的な検討(地震対策)
- 入り江に立地している事から、海水からの取水、放水系統の多様性・多重性の強化
 - 一 例、取水側・放水側のいずれからも水中ポンプ経由で取水できる様にする
 - 可搬式のブースターポンプ等の仮設資機材の確保、常設接続箇所の複数設置
 - 仮設電源盤、電源車、ケーブル、水中ポンプ、ブースターポンプ、蛇腹仮設配管などの確保
- プラントの生命線となる補助給水ポンプ、直流電源の、より一層の多重化、多様化
 - タービン動補助給水ポンプ (予防としての止水処理。予後としての予備機能・機器の常備)
 - 直流バッテリー(同上。電源盤が浸水した場合を考慮し、直流電源の予備確保は重要)
 - 直流電源盤系統(同上)

(続き)

● 水素爆発に関しては、以下の点に対する検証、強化が重要ではないか?

- 試算では爆轟濃度に至らないが、万が一の場合、格納容器内の水素濃度の低減策と運用手順の具体化、訓練強化
- 一 万が一、アニュラス部への水素漏洩が起きた場合の爆発防止策 (例、モーターが作動できない場合はどうするのか等)
- オフサイトからの支援策の多様化・多重化(必ず運用手順、訓練とセットで)
 - ヘリポート場所(=1号機よりも海側)が津波で機能喪失した場合の、第二・第三の場所や 手順・訓練等の強化
 - ー ヘリポートからの搬送ルートの速やかな確保(瓦礫除去用の重機の活用、道路の補強等)
- 飲料水等の生活環境の確保
 - 一発電所によっては、飲料水も含めて海水淡水化装置で補っている。
 - 電源や海水系の機能喪失によって生活環境が劣化し、事故対応に支障を来たさ無い為の 代替手段
- 今回の調査は、福島第一の発生事実に基き、同様の事象を想定した場合の検証を行った。テロ、ジャンボ飛行機の墜落等、苛酷事故に至る原因は他にも考えられる。多様な事象想定下での検証が重要である

主な出典・参考資料一覧(PWR)

原子力安全・保安院関係(ホームページ参照)

- ・ 東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故を踏まえた他の発電所の緊急安全対策の実施状況の確認結果 について(平成23年5月6日)
- ・ 福島第一原子力発電所事故を踏まえた他の発電所におけるシビアアクシデントへの対応に関する措置の実施状況の確認結果について(平成23年6月18日)
- ・ 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(平成23年4月15日)
- 原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書ー東京電力福島原子力発電所の事故についてー(平成23年6月7日)
- 国際原子力機関に対する日本国政府の追加報告書ー東京電力福島原子力発電所の事故についてー(第2報) (平成23年9月11日)
- ・ 東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた既設の発電用原子炉施設の安全性に関する 総合評価の実施について(平成23年7月21日)
- ・ 発電用原子炉施設の安全性に関する総合的評価に係る意見聴取会 (http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/800/29/800 29 index.html)

関西電力報告書関係(ホームページ参照)

- ・ 福島第一・第二原子力発電所事故を踏まえた緊急安全対策に係る実施状況報告書(改訂版)の提出について(平成23年4月27日)
- ・ 原子力発電所の外部電源の信頼性確保に係る報告書の提出について(平成23年5月16日)
- ・ 福島第一原子力発電所事故を踏まえたシビアアクシデントへの対応に関する措置に係る実施状況報告書の提出 について(平成23年6月14日)
- 大飯発電所3号機の安全性に関する総合評価に係る報告書の提出について(平成23年10月28日)
- 大飯発電所4号機の安全性に関する総合評価に係る報告書の提出について(平成23年11月17日)
- ・ 福島第一原子力発電所事故を踏まえたソフト面等の安全対策実行計画の策定について(平成23年11月28日)

保安院ストレステスト(一次)について

本章では、原子力安全・保安院のストレス・テスト(一次)について、以下の視点から概観した

- 日本のストレステスト(ST)の状況
- EU(欧州)のストレステストの状況
- ●課題の整理
- 今後、考慮・改善すべき点

日本のSTの現状 - 再稼動の条件となっているが、具体的な判断基準は示されていない

- 福島の事故を受けて原子力安全・保安院より様々な対策を実施してきたが、政府は国民から十分な理解が得られていないと判断し、新たに安全性に関する総合耐性評価(ストレステスト)の実施を指示
- ストレステストは一次テストと二次テストに分かれている
- ・ 一次テスト: 定期検査中の原子炉を対象に、運転再開の可否判断の条件である
- ・ 二次テスト: 既設の全原子炉施設を対象に、運転継続または中止を判断する事とされている
- 12月20日現在、大飯3・4号機、伊方3号機等、4社7プラントから一次テスト報告書が提出され、 保安院により審議が行われている。
- 原子力安全委員会は、設計上の想定を超える外部事象に対する頑健性に関して総合評価を行うことを要請しており、原子力委員会及び原子力安全委員会設置法25条の規定に基づき、評価手法・実施計画について報告を要請
- ストレステストは、地震・津波・全交流電源喪失・最終ヒートシンク喪失の各事象もしくは、それらの 複合事象について設計値に対する安全尤度を中心に試算している
- 再稼動の条件となっているが、具体的な判断基準は示されていない

安全性に関する総合評価(ストレステスト)一次評価結果の概要

項目	評価の指標	クリフエッジ(緊急安全対策実施後)							
-		泊1号機	大飯3号機	大飯4号機	伊方3号機	玄海2号機	川内1号機	川内2号機	
	基準時振動Ssとの 比較	1.86倍	1.80倍	1.80倍	1.86倍	1.75倍	1.86倍	1.89倍	
地震(原子炉)		(分電盤) Ss:550gal	(高電圧用開閉装置) Ss:700gal	(高電圧用開閉装置) Ss:700gal	(直流電源装置) Ss:570gal	(復水タンク) Ss:540gal	(低圧しや断器) Ss:540gal	(低圧しや断器) Ss:540gal	
津波(原子炉)	想定津波高さとの比較	1.53倍 (分電盤他) 想定津波高さ9.8m	4.0倍 (タービン駆動補助給水 ポンプ) 想定津波高さ2.85m	4.0倍 (タービン駆動補助給水 ポンプ) 想定津波高さ2.85m	4.06倍 (タービン動補助給水ポンプ) 想定津波高さ3.49m	6.19倍 (タービン動補助給水ポンプ) 想定津波高さ2.1m	4.05倍 (タービン動補助給水ポンブ) 想定津波高さ3.7m	4.05倍 (タービン動補助給水ポンプ) 想定津波高さ3.7m	
地震·津波重畳	上記2事象の重畳	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	
全交流電源喪失 (炉心)	外部からの支援が ない条件で、燃料 を冷却できる時間	約20日後 (代替給電·代替給水用 燃料(軽油))	約16日後 (水源補給用消防ポンプ 燃料(ガソリン))	約16日後 (水源補給用消防ポンプ 燃料(ガソリン))	約10.7日後 (電源車の燃料(重油))	約65日後 (高圧発電機車の燃料 (重油))	約104日後 (高圧発電機車の燃料 (重油))	約104日後 (高圧発電機車の燃料 (重油))	
全交流電源喪失 (使用済燃料)			約10日後 (ピット水補給用消防ポンプ燃料(ガソリン))	約10日後 (ピット水補給用消防ポンプ燃料(ガソリン))	約8.2日後 (消防自動車の燃料(軽油))	約65日後 (仮設ポンプ用発電機の 燃料(ガソリン及び重 油))	約104日後 (仮設ポンプ用発電機の 燃料(重油))	約104日後 (仮設ポンプ用発電機の 燃料(重油))	
最終ヒートシンク喪失 (炉心)		約142日後 (代替給水用燃料(軽 油))	約16日後 (水源補給用消防ポンプ 燃料(ガソリン))	約16日後 (水源補給用消防ポンプ 燃料(ガソリン))	燃料損傷に至らない	約378日後 (仮設ポンプ用発電機の 燃料(ガソリン及び重 油))	約939日後 (仮設ポンプ用発電機の 燃料(重油))	約939日後 (仮設ポンプ用発電機の 燃料(重油))	
最終ヒートシンク喪失 (使用済燃料)			約10日後 (ピット水補給用消防ポンプ燃料(ガソリン))	約10日後 (ピット水補給用消防ポンプ燃料(ガソリン))	約28日後 (淡水タンクの海水補給用ボンプの燃料(ガソリン))				

EU(欧州)のSTの現状 - EU共通STと、国別STの2段階構成であり、いずれもプラント再稼動の条件ではない。安全性を高める為に長所・短所を把握し、対策を検討することが目的

- 福島第一原発事故の発生を踏まえ、2011年3月25日欧州理事会の要請により、欧州委員会(EC)・欧州原子力安全規制機関グループ(ENSREG)が、発電所の安全尤度を再評価するためのストレステスト仕様を作成
- EUの電力事業者は、その仕様に基づき、各国の規制当局へ評価結果を報告。それを国毎にまとめ欧州委員会へ報告。更にそれらを欧州理事会へ報告する段階的な流れで実施される。欧州理事会への最終報告は2012年6月の予定。
- 各国規制当局が、欧州委員会への報告書を準備中(報告期限12月31日)。年内までに設計尤度がどれだけあるかを確認する予定
- 起因事象は、地震・洪水とし、外部電源喪失・最終ヒートシンク喪失・その複合事象についての影響評価(クリフェッジ効果等)を実施する。また、その結果により今後の対策の検討・実施を進めることとしている
- 日本版との相違点は、① 津波ではなく洪水による影響評価、② 目的が更なる安全対策の検討・実施の為であり、プラントの起動の可否判断ではない
- EUのストレステストは、EU共通版と各国版の2段階構成である。EU共通版は全加盟国に共通であり、全て公開される。他方、各国版は、安全対策だけではなく、セキュリティー面での検討も実施しているが、欧州理事会への報告対象ではなく、開示義務もない

課題の整理 - 現状のストレステストは、ヒューマンエラーや訓練による習熟度等の不確実要素は考慮しないプログラミングで試算されている

- ストレス・テストは、プラント別の決定論的アプローチによってコンピュータ・シミュレーションしている。従って、 以下の様な人間系等の不確実要素は考慮されていない
 - ヒューマンエラー(人力でのケーブル接続、人力での弁開放等の工程を要する対策の有効性)
 - 訓練による技術・アクシデントマネジメントの習熟度(機器を使いこなせるか?)
 - 複数プラントにおいて同時事故が発生した場合のリスク要因
 - オフサイトからの支援対策の有効性、など
- 言い換えれば、現ストレステストは、以下の様な前提に立ってコンピュータ試算しているのではないか?
 - 例: 人力で接続できるケーブルが設置されれば、その対策は100%機能する
 - 例:複雑な操作を要する設備が設置されれば、訓練の習熟度によらず、機能する
 - 例:複数プラント同時に事故が発生しても、単体プラントであっても、対策は同様に機能する
 - 例: オフサイトからの支援効果は、クリフエッジの特定には考慮されない

(逆に、止水扉が10mの高さまで設置されている場合、10mを少しでも超えた瞬間に「浸水し、機能喪失する」と試算)

● ストレステストは、プラントの設計尤度、強化すべき項目、更なる改善策等の技術的な検討には有効である。しかし、再発防止において考慮すべき全ての要素を網羅している訳ではないと思われる

「いかなる状況下でも、プラントに対する電源と冷却源を確保する」為に、事業者・政府・自治体等において、例えば次の様な点も継続検証が必要ではないか

- 休日・夜間においても事故対応に必要な職員(発電所・本社)を規程時間内に集合可能か
- 複数プラント同時事故となっても、発電所内の役割分担とその対応が可能か
- 電源確保策として、如何なる事態に遭遇しても燃料を守るための準備が整っているか
- 最終ヒートシンクの確保策として、如何なる事態に遭遇しても燃料を守るための準備が整っているか
- 電源確保・最終ヒートシンク確保を、規程時間内に準備できるか
- 上記達成の訓練を定期的に実施し、PDCAの考え方で改善活動を実施しているか
- 政府や自治体において、事故発生時に外部との連携が確保できるよう、規定時間内に支援 組織が確立でき、手続き・支援物資の運搬等が可能か

結言

結言

- 最大の教訓は、津波等に対する「想定が甘かった」事ではなく、どんな事が起きても過酷事故は 起こさないという「設計思想が無かった」事である。いくら想定を高くしても、それ以上の事象は 発生しうる
- 起きてしまった場合、社会や国民生活に取り返しのつかない被害を及ぼす事象については、「確率論」や「想定の大小」を中心に安全性の議論をすべきではない
- 福島第一事故の再発防止の為に、設計思想・指針にまで遡り、「いかなる環境下でも原子炉への電源と冷却源を提供する(=何があっても苛酷事故は起こさない)」という設計思想に転換すべきである。それをクリアできないプラントは再稼動すべきではない
- 全てのプラントに対して、「原理の異なる多重性(多様化と多重化)」の検証が必須である。その上で、「常用」「非常用」「超非常用」の3つのアクシデント・マネジメント体系を確立すべきである
- ・ 超非常用においては、電力事業者のみならず、オフサイトからの支援を含めて政府・行政・自治 体が一体となった災害対策として設計すべき
- ・ AM(アクシデント・マネジメント)モードに入った時点から、プラント、政府、地元自治体等の関係 者がリアルタイム・ネットワークで情報共有し、意思決定を行う仕組みの構築

結言(その2)

- 原子力安全委員会の「長期間に渡る全交流電源の喪失は考慮する必要は無い」に代表される設計思想が、今回の事故につながった直接原因である。いつ、どの様な経緯で決定され、何十年も適用され続けたのか?この点について、その責任所在、意思決定とガバナンスのメカニズム、原因・対策を明確にすべきである
- 3月11日以前に、現場(発電所・電力事業者・メーカ)で、もっと創意工夫が出来たはずである。地震や津波を「想定」してしまった為に、「真の非常時」に対する対策や意識が足りなかった。本報告書でも取り上げたが、いくつかの事例をみるとこの点が悔やまれる
- ・ 外部電源取込み用の電源盤が全て水没してしまった => 電源盤の設置場所を高くする、 幾つかのものは水密化する等の対策を実施しておくべきであった
- ・ 福島第一1号機と2~6号機でIC/RCICの弁仕様(フェイル・オープン/クローズ)が異なっていたが、現場は1号機のICが機能している(内側弁が開いている)と考え、最初は2号機救済を優先したのではないか => 全てフェイル・オープンに統一しておくべきであった
- ・ 水冷式非常用ディーゼル発電機が同一仕様・場所にある等、多重化中心の対策であった

結言(その3)

- 本家であるEUを含め、コンピュータ・シミュレーション型のストレステストを原発再稼動の条件としている国は存在しない。日本政府も、同テストの位置づけを「技術的な検証の1つ」に改めるべきである
- ストレス・テストはプラントの技術的な改善点を特定する上では有効である
- ・ しかし、ヒューマンエラー、訓練による習熟度、複数プラント同時事故の対応、オフサイトからの支援等の不確実要素は、殆ど考慮外である(単一プラントのオンサイト対策に限定した決定論的アプローチ)
- 現在評価中の一次ストレス・テストは、3月11日以降に政府が指示した緊急安全対策を、ほぼ全て盛り込んでシミュレーションしている。従って、今後二次テストを実施しても、一次テストと同様の結果が報告されるだけに終わる可能性が高い。二次テストを実行する本質的な意味は薄いのではないか?一次テストに集約する方向へ改めるべきである
- 本調査から得た教訓は、BWR型プラントだけではなく、PWR型にも普遍的に適用可能である
- 世界には同様の設計思想・技術仕様、アクシデント・マネジメント対策のプラントが多数存在する。 福島第一事故を二度と起こさない為にも、政府は、この教訓を全世界に対して、速やかに正確に 共有すべきである

結言(その4)

- 自治体等の関係者の間には、政府や国会の事故調査委員会等の(いわゆる)「公式報告」が出るまで、「地元に対して、福島第一の教訓を踏まえた説明ができない」あるいは、「原発再稼動の議論や判断を待ちたい」というスタンスが高まっている。政府は、事故の再発防止策をどうするか、今後のエネルギー供給をどうするかを含めて、Yes/Noによらず、原発再稼動の判断自体を2012年春までになすべきである
- ・ このままでは、事故調査委員会や2次ストレステストの結果が出る2012年春(または夏)以降まで、 議論の開始すら、先送りされる可能性が高い
- ・ 万が一、これら公式の調査結果が「不十分である」との世論になった場合、更に判断が先送りとなる恐れがある
- もしそうなると、国民生活と国内経済に対するリスクは、更に高まる
- 他にも充実したレポートが出ており、事象・原因・対策等の技術的な分析は、ほぼ出尽くしている。今必要な事は、これらの知見を「説明・周知し、実行に移す」事である

補足資料

原子力略語集

AM: アクシデント・マネジメント(Accident Management)

AO弁: 空気作動弁(Air Operated valve)

BWR: 沸騰水型軽水炉(Boiling Water Reactor)

CRD: 制御棒駆動機構(Control Rod Drive)

CUW: 原子炉冷却材浄化系(Reactor Water Cleanup System)

CCSW: 格納容器冷却海水系(Containment Cooling Service Water System)

CS: 炉心スプレイ系(Core Spray System)

D/G, DG: ディーゼル発電機(Diesel generator)

DGSW: ディーゼル発電機海水冷却系(Diesel generator sea water System)

D/W: ドライウェル (Dry-Well)

DSピット: ドライヤー・セパレーター ピット(Dryer separator Pit)

D/D FP: ディーゼル駆動消火ポンプ (Diesel/driven fire Protection Pump)

ECCS: 非常用炉心冷却系(Emergency Core Cooling System)

EECW: 非常用ディーゼル発電設備冷却系(Emergency Equipment Cooling Water System)

FCS: 可燃性ガス濃度制御系(Flammability Control System)

FDW: 給水系(Reactor Feed Water System)

FPC: 燃料プール冷却材浄化系(Fuel Pool Cooling and Filtering System)

FPMUW: 燃料プール補給水系(Fuel Pool Make-up Water System)

Gal: ガル(加速度のcgs単位)

HPCI: 高圧注水系(High Pressure Coolant Injection System)

HPCP: 高圧復水ポンプ (High Pressure Condensate Pump)

HPCS: 高圧炉心スプレイ系(High Pressure Core Spray System)

HPCSS: 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備冷却系海水系(HPCS D/G Sea Water System)

HPCW: 高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却水系(HPCS D/G Cooling Water System)

HPSW: 高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却海水系(HPCS D/G Sea Water System)

HVE: 換気空調設備(排気) (Heating Ventilating Exhaust System)

IAEA: 国際原子力機関(International Atomic Energy Agency)

IC: 非常用復水器(Isolation Condenser)

INES: 国際原子力事象評価尺度(International Nuclear Event Scale)

kPa abs: *゚ロパスカル(絶対圧) (kilo Pascal absolute Pressure)

LPCS: 低圧炉心スプレイ系(Low Pressure Coolant Injection System)

M/D RFP: 電動駆動原子炉給水ポンプ (Motor Driven Reactor Feed Water Pump)

M/C: 高圧電源盤(メタクラ) (Metal-Clad Switch Gear)

MO弁: 電動駆動弁(Motor Operated Valve)

MUWP: 純水補給水系(Make-Up Water System(Purified))

MUWC: 復水補給水系(Make-Up Water System(condensate)

MSIV: 主蒸気隔離弁(Main Steam Isolation Valve)

P/C: 低圧動力用電源盤(パワーセンター) (Power Center)

PCV: 原子炉格納容器(Primary Containment Vessel)

PWR: 加圧水型原子炉(Pressurized Water Reactor)

R/B: 原子炉建屋(Reactor Building)

RCIC: 原子炉隔離時冷却系(Reactor Core Isolation Cooling System

RCW: 原子炉補機冷却系(Reactor Building Closed Water System)

RD, R/D: ラプチャーディスク(破裂板)(Rupture Disk)

RHR: 残留熱除去系(Residual Heat Removal System)

RHRC: 残留熱除去冷却系(RHR Cooling Water System)

RHR LPCIモード: LPCIモード(RHR Low Pressure Cooling Injection Mode)

RHRS: 残留熱除去海水系(RHR Sea Water System)

RPV: 原子炉圧力容器(Reactor Pressure Vessel)

RSW: 原子炉補機冷却海水系(Reactor Building Closed Water Sea Water System)

RW/B: 放射性廃棄物処理建屋(Rad-Waste Building)

SBO: 全交流電源喪失(Station Black out)

S/C: 圧力抑制プール(Suppression Chamber)

SFP: 使用済み燃料貯蔵プール(Spent Fuel Pool)

SGTS: 非常用ガス処理系(Stand-by Gas Treatment System)

SHCモード: 原子炉停止時冷却系(Shut Down Cooling Mode)

SLC: ほう酸水注入系(Stand-By Liquid Control System)

SRV: 逃がし安全弁(Safety Relief Valve)

Ss: 基準地震動

TAF: 有効燃料頂部(Top of Active Fuel)

T/B: タービン建屋(Turbine Building)

TCW: タービン建屋補機冷却系(Turbine Building Closed Cooling Water System)

W/W: ウエットウェル (Wet Well)

アウター: 原子炉建屋を囲んでいる原子炉付属棟。補機、DG、電源盤を設置(outer)

最終ヒートシンク: 崩壊熱を冷却するためには最終的に海水や大気に放熱されるが、最終的に放熱される物質を表す (Ultimate Heat Sink)

セルフエアセット: 放射線の高線量下での作業時などに内部被ばく防止のための呼吸保護具。酸素ボンベなどがセットになったもの(Self Air Set)

電気ペネトレーション: 原子炉格納容器に電気ケーブルを通すための貫通部(Electric Penetration)

スロッシング: プールの水が地震などにより長周期に揺らされるとプール水が揺動される事象。(Sloshing)

バグフィルター: 粒子状の放射性物質を除去するフィルター(Bag Filter)

主な出典・参考資料一覧

東京電力報告書関係(ホームページ参照)

- ・ 福島第一1号機~6号機のプラント関連パラメータ(水位・圧力・温度・構内での観測データ)
- 東日本大震災における原子力発電所の影響と現在の状況
- 電気事業法第106条第3項の規程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)
- ・ 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 23日)
- ・ 東北地方太平洋沖地震発生当時の福島第一原子力発電所運転記録及び事故記録の分析と影響評価について(平成 23年 5月 23日)
- ・ 福島第一・第二原子力発電所への地震・津波の影響について(平成23年5月24日)
- 福島第一原子力発電所1号機への海水注入に関する時系列について(平成23年5月26日)
- ・ 福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所における平成23年東北地方太平洋沖地震により発生した津波の調査結果に係る報告 (その2)(平成23年7月8日)
- 福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所における対応状況について(平成23年8月10日)
- ・ 福島第二原子力発電所東北地方太平洋沖地震に伴う原子炉施設への影響について(平成23年8月12日)
- ・ 福島第一原子力発電所東北地方太平洋沖地震に伴う原子炉施設への影響について(平成23年9月9日)
- ・ 福島第一原子力発電所における原子炉建屋の爆発に関する分析結果について(平成23年10月21日)
- · 福島原子力事故調査報告書(中間報告)(平成23年12月2日)
- · 福島第一原子力発電所1号機設置許可申請書(完本版)
- ・ 福島第一原子力発電所1号炉 福島第一原子力発電所事故における経年劣化による影響について(平成23年12月15日)
- ・ 福島第一原子力発電所1号機高経年化技術評価および長期保守管理方針の概要(平成23年2月7日)

原子力安全・保安院関係(ホームページ参照)

- ・ 緊急安全他思索の実施状況の確認に係る審査基準(平成23年5月6日)
- ・ シビアアクシデントへの対応に関する措置の確認に係る審査基準(平成23年6月18日)
- ・ 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(平成23年4月15日)
- ・ 原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書-東京電力福島原子力発電所の事故について- (平成23年6月7日)
- 国際原子力機関に対する日本国政府の追加報告書ー東京電力福島原子力発電所の事故についてー(第2報)(平成23年9月11日)
- ・ 福島第一原子力発電所と他の発電所との比較検討(平成23年6月24日)
- ・ 東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故と意見聴取会の検討テーマ(平成23年10月24日)
- ・ 所内電気関係設備の被害状況と安全設備への影響について(平成23年11月8日)
- ・ 冷却設備の被害状況について(平成23年11月25日)

主な出典・参考資料一覧

独立行政法人 原子力安全基盤機構(ホームページ参照)

平成21年度 地震時レベル2PSAの解析(BWR)(平成22年10月)

日本原子力技術協会 福島第一原子力発電所事故調査検討会(ホームページ参照)

• 東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故の検討と対策の提言(平成23年10月28日)

東北電力報告書関係(ホームページ参照)

- ・ 東北地方太平洋沖地震およびその後に発生した津波に関する女川原子力発電所の状況について(平成23年5月30日)
- 女川原子力発電所の状況について(平成23年11月分)(平成23年12月12日)

日本原電報告書関係(ホームページ参照)

東海第二発電所東北地方太平洋沖地震による原子炉施設への影響について(平成23年9月2日)

GE資料

• Design and analysis report

主な出典・参考資料一覧(PWR)

原子力安全・保安院関係(ホームページ参照)

- ・ 東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故を踏まえた他の発電所の緊急安全対策の実施状況の確認結果 について(平成23年5月6日)
- ・ 福島第一原子力発電所事故を踏まえた他の発電所におけるシビアアクシデントへの対応に関する措置の実施状況の確認結果について(平成23年6月18日)
- ・ 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(平成23年4月15日)
- 原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書ー東京電力福島原子力発電所の事故についてー(平成23年6月7日)
- 国際原子力機関に対する日本国政府の追加報告書ー東京電力福島原子力発電所の事故についてー(第2報) (平成23年9月11日)
- ・ 東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた既設の発電用原子炉施設の安全性に関する 総合評価の実施について(平成23年7月21日)
- ・ 発電用原子炉施設の安全性に関する総合的評価に係る意見聴取会 (http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/800/29/800 29 index.html)

関西電力報告書関係(ホームページ参照)

- ・ 福島第一・第二原子力発電所事故を踏まえた緊急安全対策に係る実施状況報告書(改訂版)の提出について(平成23年4月27日)
- ・ 原子力発電所の外部電源の信頼性確保に係る報告書の提出について(平成23年5月16日)
- ・ 福島第一原子力発電所事故を踏まえたシビアアクシデントへの対応に関する措置に係る実施状況報告書の提出 について(平成23年6月14日)
- 大飯発電所3号機の安全性に関する総合評価に係る報告書の提出について(平成23年10月28日)
- 大飯発電所4号機の安全性に関する総合評価に係る報告書の提出について(平成23年11月17日)
- ・ 福島第一原子力発電所事故を踏まえたソフト面等の安全対策実行計画の策定について(平成23年11月28日)