

「福島第一原子力発電所事故から何を学ぶか」

中間報告

－ チームH2Oプロジェクト －

Revised 2011/10/28

背景

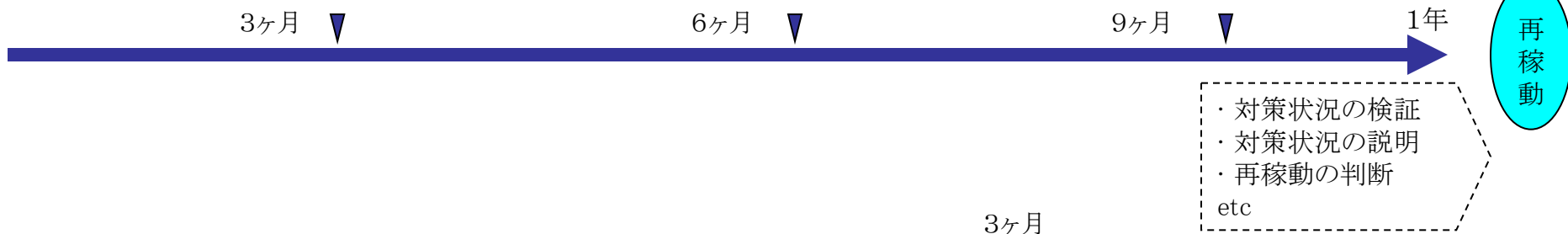
－ 本プロジェクトについて －

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働の可否判断に必要な科学的・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

原発再稼働の判断には、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

検査停止の原子炉再開に必要な合意形成プロセスと期間(案)



・ IAEAなどの国際的な専門家によるテスト項目の洗い出しとテストの実施により信頼を得る

3ヶ月

必要な対策・設備投資の実施
 対策が必要となった項目について、設備投資を行い、対応する

3ヶ月

テストの実施
 ・ IAEAのコンセンサスを得る
 ・ 実際にテストを全54基(福島第1の5基を除く)に施す

3ヶ月

国際的テスト項目の作成
 ・ 福島第一他の事実・教訓・対策の洗い出し
 ・ 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

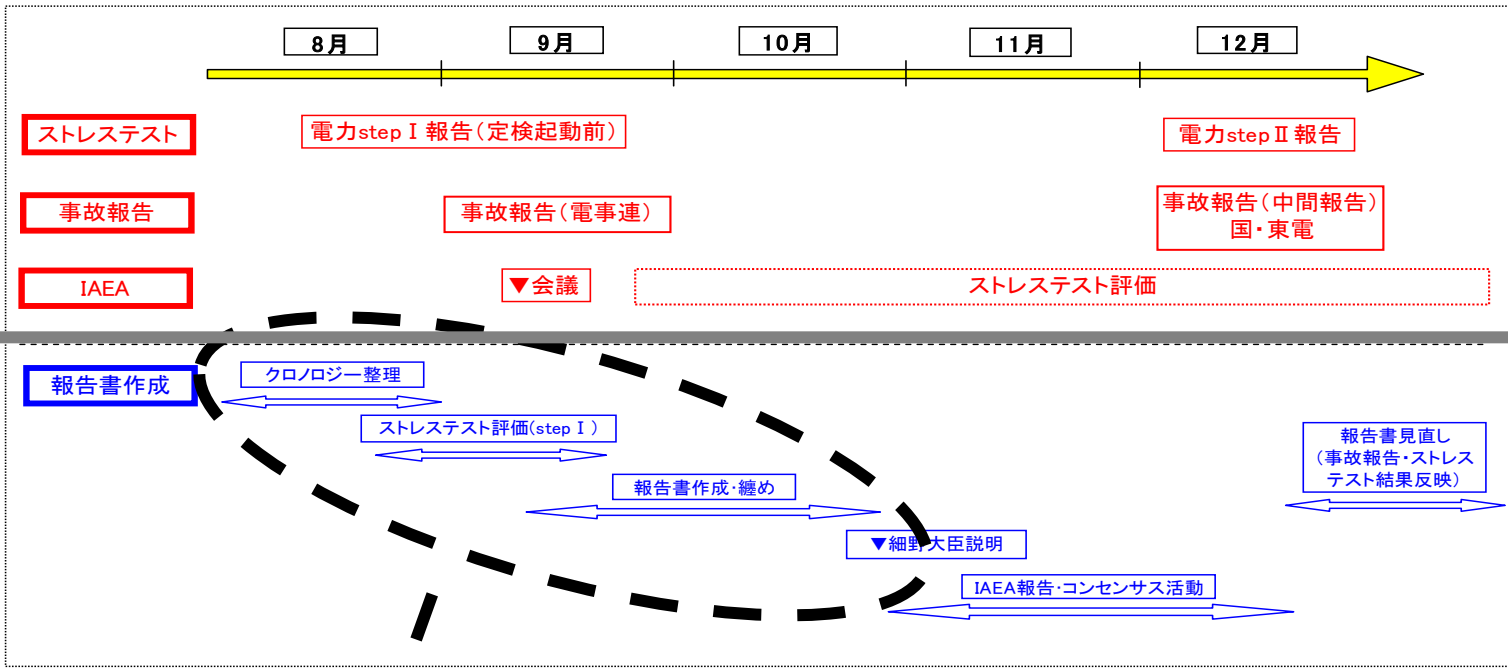
← **本プロジェクトの対象フェーズ**

理想的には今冬、遅くとも来春に再稼働の可否判断が出来る事が重要である

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

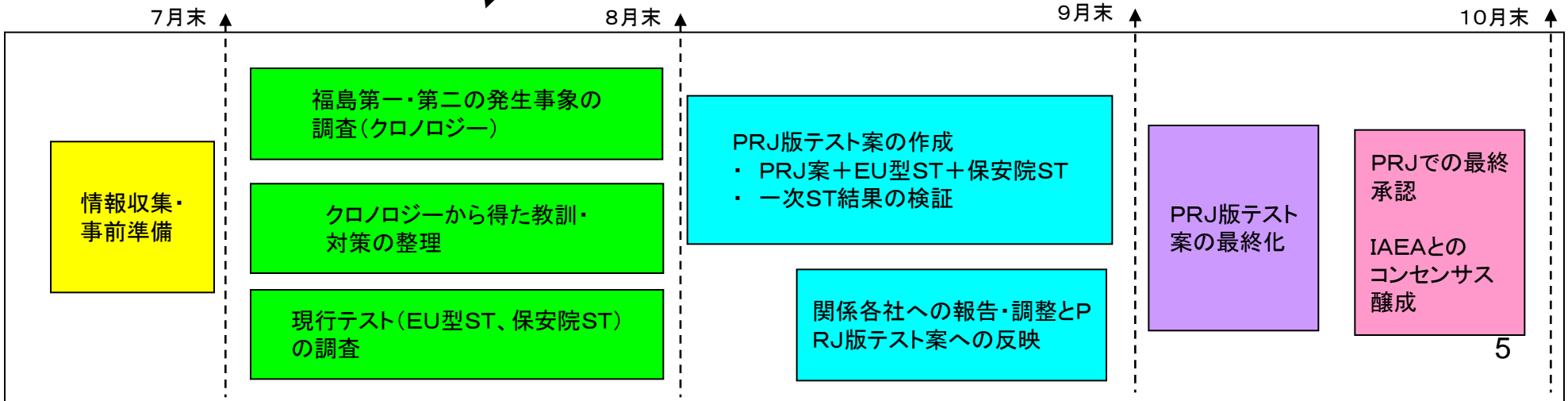
約3ヶ月で福島原発等の教訓・対策を反映した内容を取りまとめる - その後、IAEA等の国際機関を含めたコンセンサスの醸成へ

今後、外部で予想・予定される事象



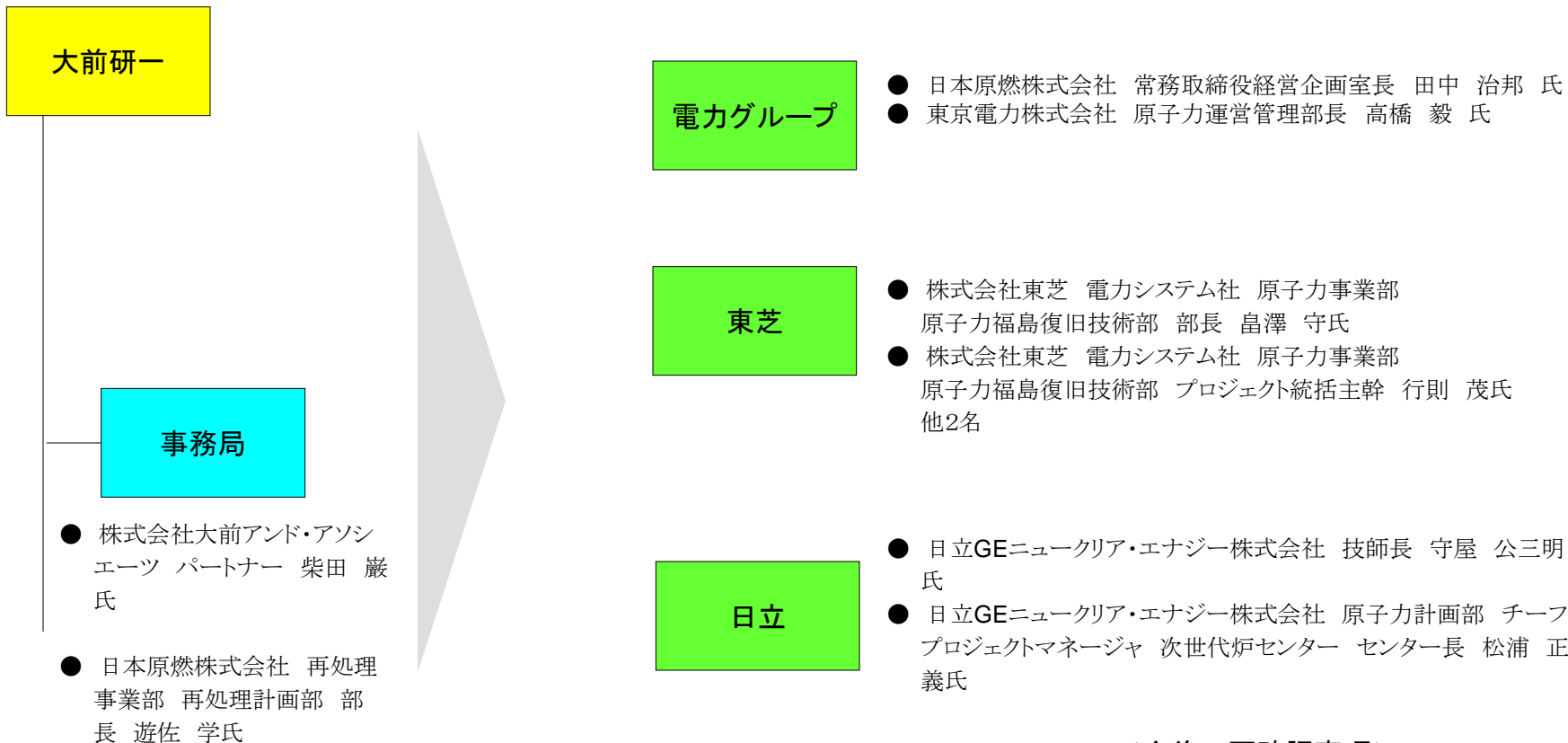
本プロジェクトの方向性

今フェーズの作業ステップ



民間プロジェクトとして、中立的・客観的な立場から事実を洗い出し、教訓を導く — まず、BWR型から検討を開始する

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



<今後の要確認事項>

- PWR型原発検討時の体制など

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く

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

対象外

- 原発以外における重要な関連・発生事象
 - ー 政府、関連省庁の動き
 - ー 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

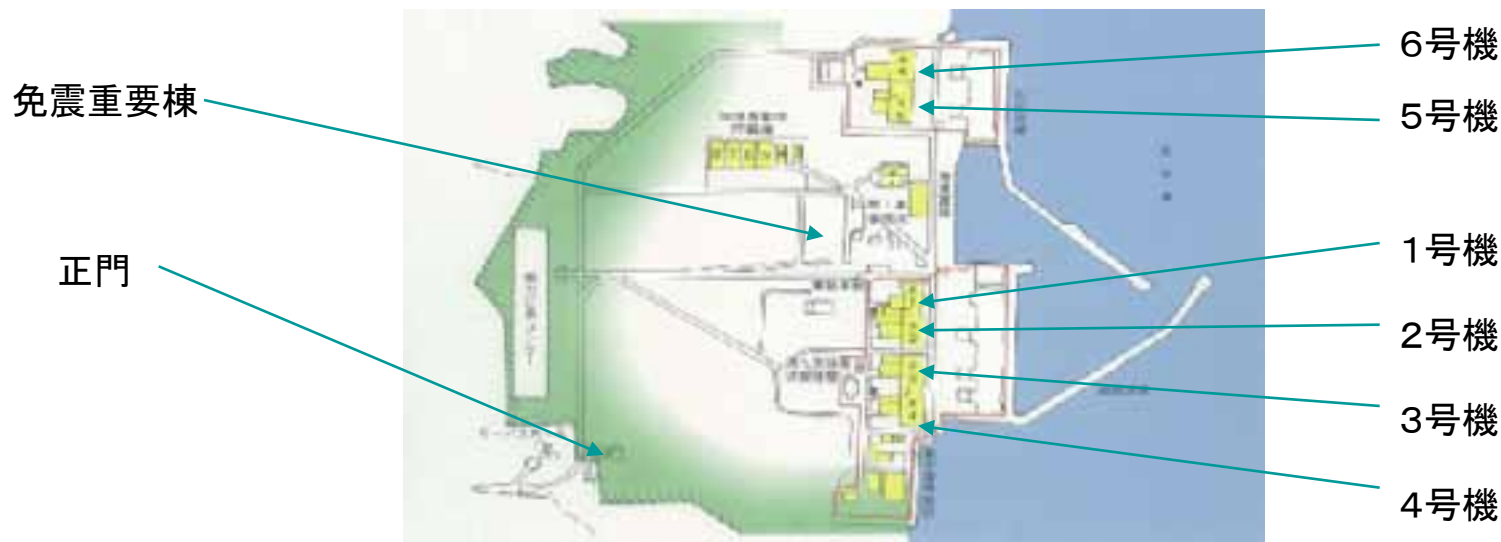
福島第一原発等の検証

- ・ 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、より低い海拔立地にあった



| 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 検査中 | 全燃料取出、プールゲート閉 (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 |

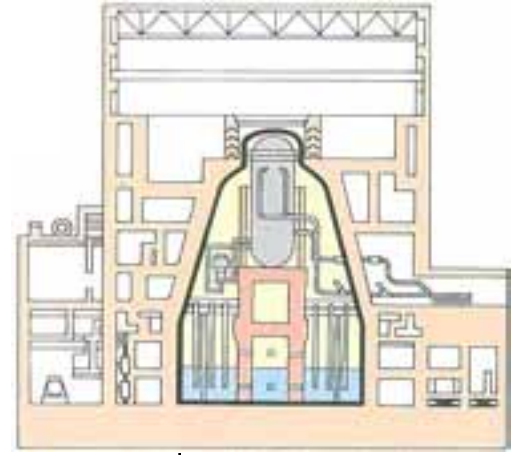
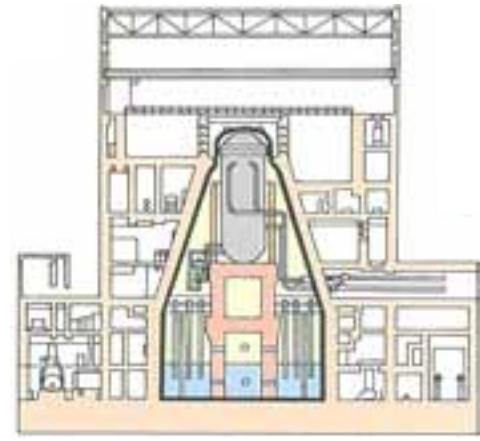
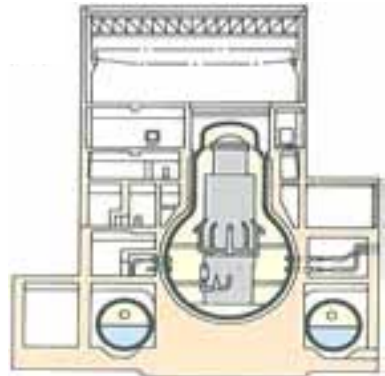
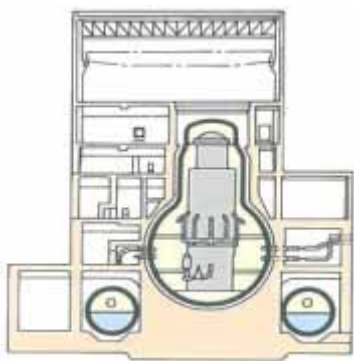
原子炉格納容器の型式 — 福島第一は、マーク I、マーク II 型の原子炉を使っていた

福島第一1号機
(出力46万kW)
[昭和46年]

福島第一2~5号機
(出力78.4万kW)
[昭和49年~53年]

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]

福島第二2~4号機
(出力110万kW)
[昭和59年~平成6年]



**BWR-3
マーク I**
(フラスコ型)

**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)



福島第二1号機

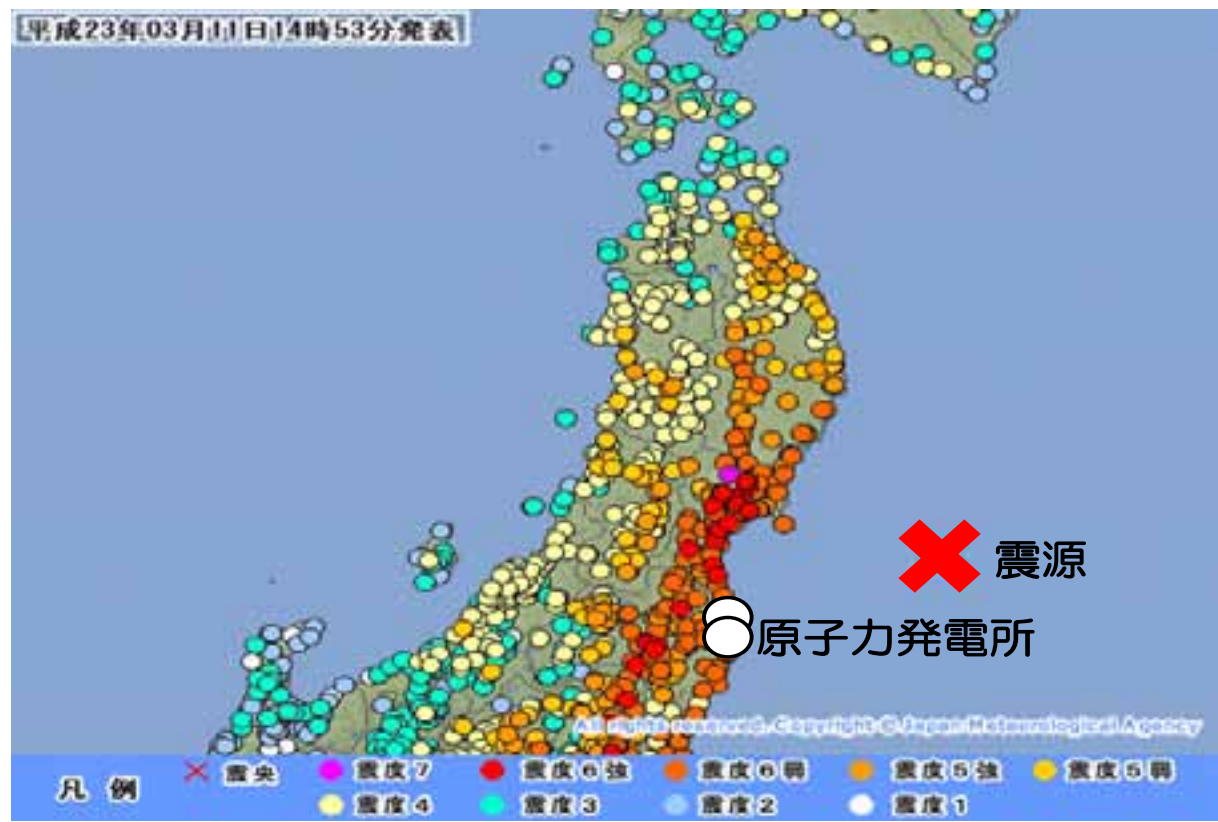
福島第二3号機

出典: NRCホームページ

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

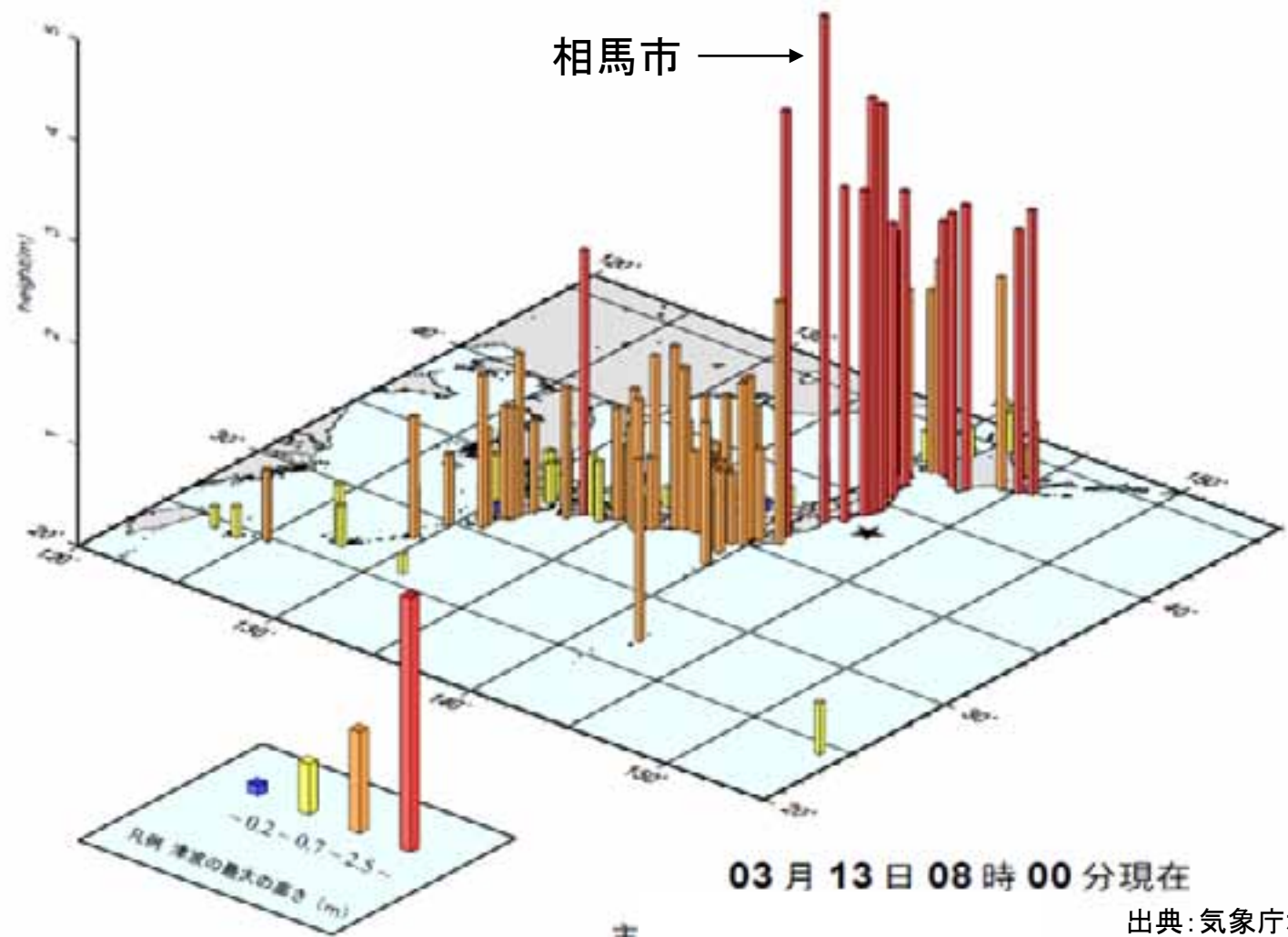
- 発震日時： 2011年3月11日(金)午後2時46分頃
- 発生場所： 三陸沖（北緯38度、東経142.9度）、震源深さ 24km、マグニチュード 9.0
- 各地の震度：

| | |
|-------------|----------------------------|
| 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

各地の津波の高さ



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 | マグニチュード ¹⁾ |
|----------|-------------|-----------------|-----------------------|
| 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 | マグニチュード ¹⁾ |
|----------|-------------|-----------------|-----------------------|
| 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 |

※津波マグニチュード＝ 地震で生じた津波の大きさから求めるマグニチュード

出典：東京大学地震研究所ホームページ

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

※ 福島第一は最大加速度550gal(東西方向)、第二は同305gal(上下方向)。共に、原子炉建屋最地下階の観測値

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
- 路中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



福島第二の被災状況

- 建屋と地面の間に隙間(地盤沈下か?)

平成14年の土木学会の津波評価に基づ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、想定外の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」に基づき、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) |
|------|-----|---------------|----------------------|---|
| 福島第一 | 上昇側 | 海拔(O.P.)+3.1m | 海拔(O.P.)+5.7m | 主要建屋設置エリアの 海側面において 海拔(O.P.) +11.5~+15.5m |
| | 下降側 | 同 -1.9m | 同 -3.6m | |
| 福島第二 | 上昇側 | 同 +3.7m | 同 +5.2m | 海側面エリアにおいて 同 +6.5~+7m |
| | 下降側 | 同 -1.9m | 同 -3.0m | |

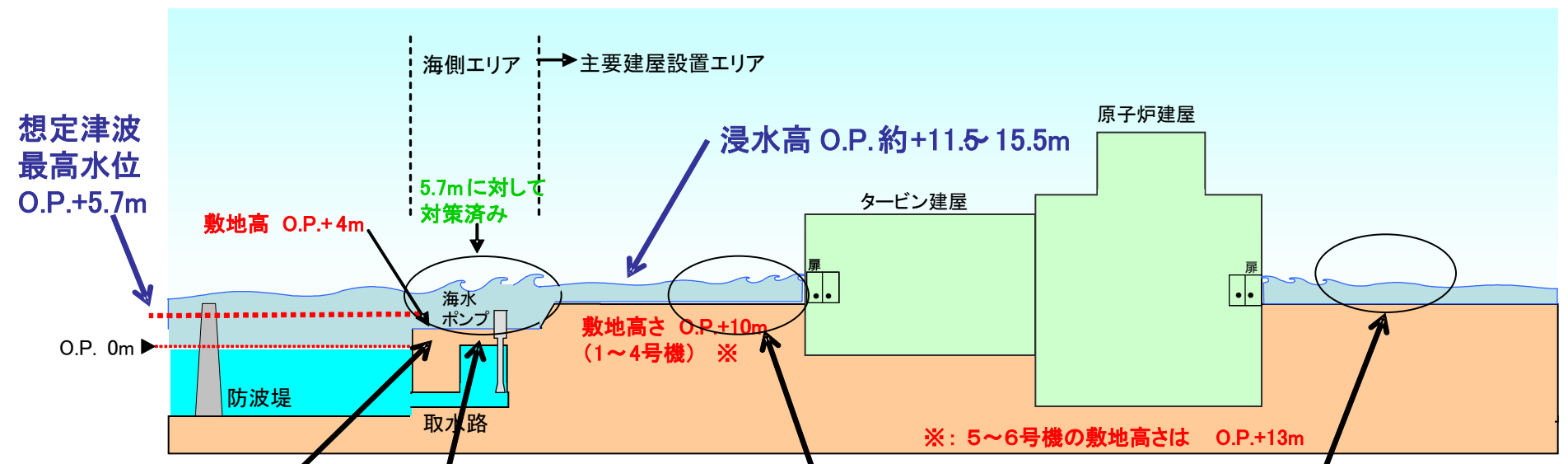
注) O.P.(小名浜港工事基準面) : T.P.(東京湾平均海面)の下方0.727mにある基準面

- 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

津波の最高水位(想定) = +5.7m → 実際の浸水高 = +11.5~15.5m

< 福島第一1~4号機の敷地高と津波イメージ >



● 海拔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

● 海拔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、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



排気筒

原子炉建屋

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）



海岸の植林が、根こそぎはぎ取られている

3月11日後



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 (運転中) 2号機 (運転中) 3号機 (運転中) 4号機 (定期検査中)

5号機 (定期検査中)

6号機 (定期検査中)



敷地高 — 稼働中の1・2・3号機は海拔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)

福島第一原子力発電所 浸水箇所色塗りあり

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

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)

重油タンク(高さ約5.5m)

3台の車



撮影日 :2011/3/11 15:42



同 15:42



同 15:43



同 15:43

重油タンクが飲み込まれている



同 15:43

ヤード全体が満水の水泳プールの様に



同 15:44

写真左側にあった白い車が流されて建物外壁に突っ込んでいる

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

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)



撮影日:2011/3/11 15:44



同 15:44



同 15:46



同 15:49



同 15:57

前ページではこの辺りにあった車数台が
全て流されている

その内1台は漂流して建物の壁に突き刺
さっている

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)



①



②

高さ約10mの堤防を軽々と越えている



③

写真③右側の巨大なサージタンクがここまで浸水



④

どこからか流されて来た自動車

(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)



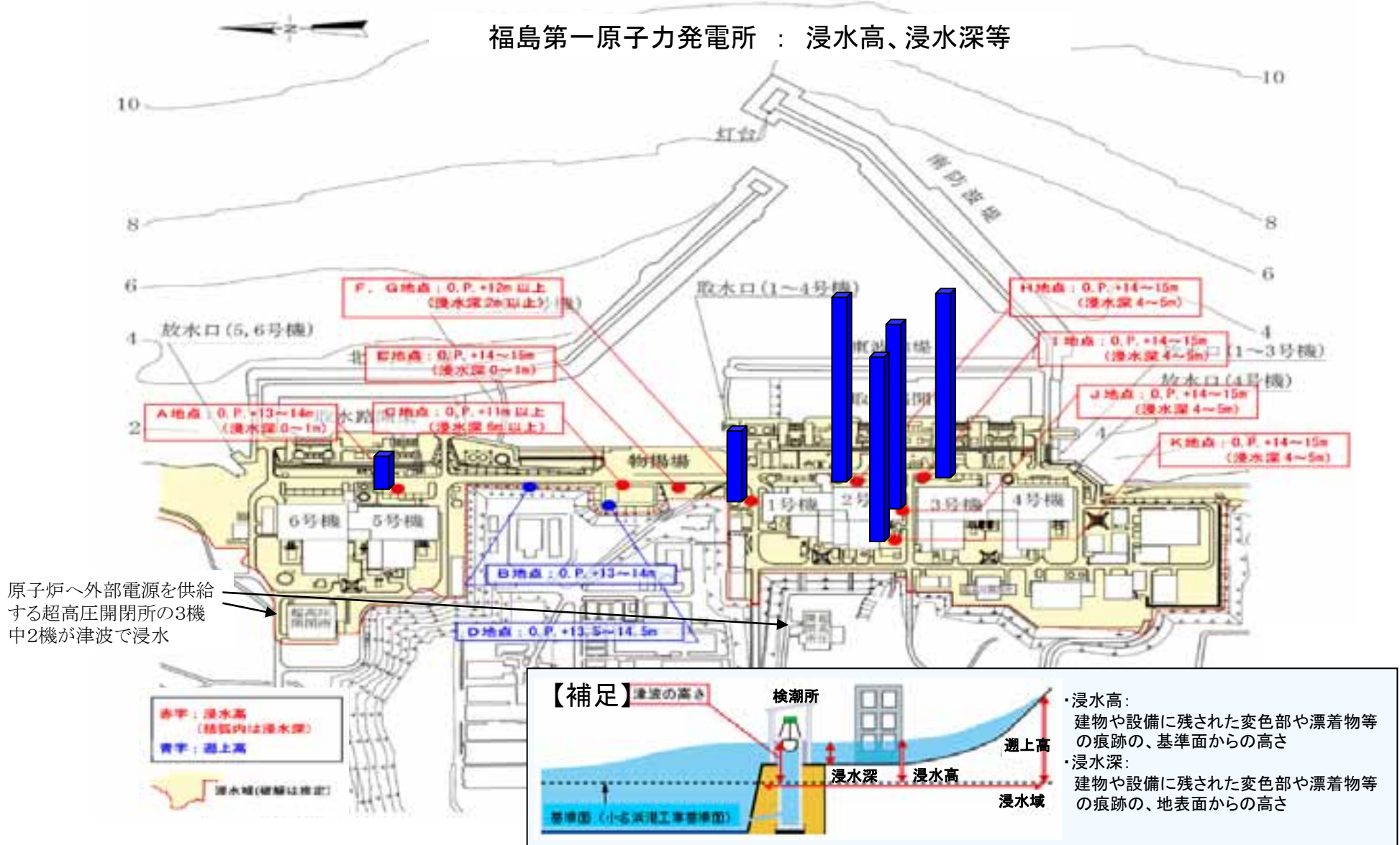
重油タンク2台が流されて、道路側へ乗り上げている



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

福島第一原子力発電所：浸水高、浸水深等



原子炉へ外部電源を供給する超高压開閉所の3機中2機が津波で浸水

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



重油タンクが流されている

大型クレーンが動かされている

注：流された重油タンク、大型クレーン車の拡大写真は次ページに掲載

(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



重油タンクが漂流し、道路を完全に塞いでいる



クレーン車(重量約45t)とガレキが漂流し、建物へのアクセスを妨害



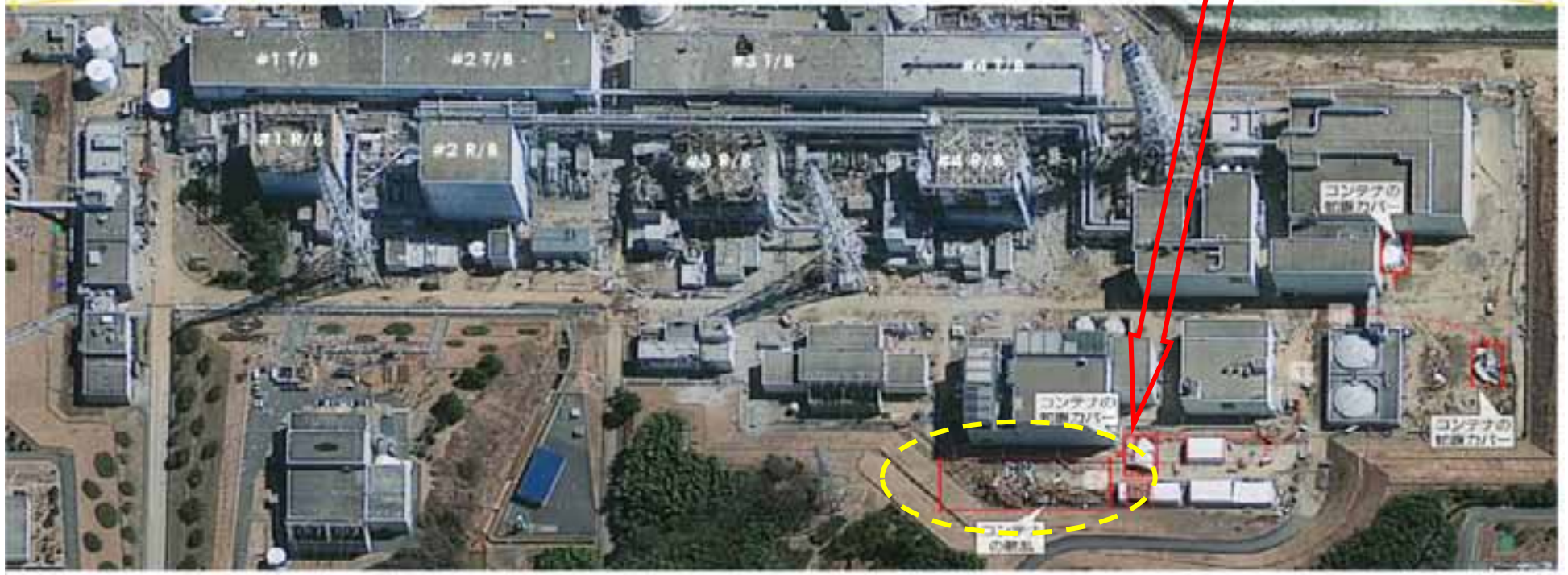
漂流した自動車配管と建物の間に挟まっている

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



海から離れた場所にも浸水

福島第一1～4号機の山側の航空写真



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、無数のテラポットが防波堤に乗り上げて護岸の通行は不能に

福島第一5・6号機の海側の航空写真



防波堤の破損



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—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

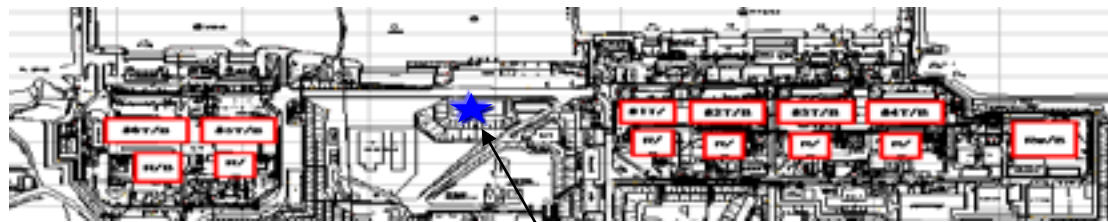
建物にオイルフェンスが突き刺さっている

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



津波被害一 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

漂流して流れ込んだ自動車が縦に突き刺さっている



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

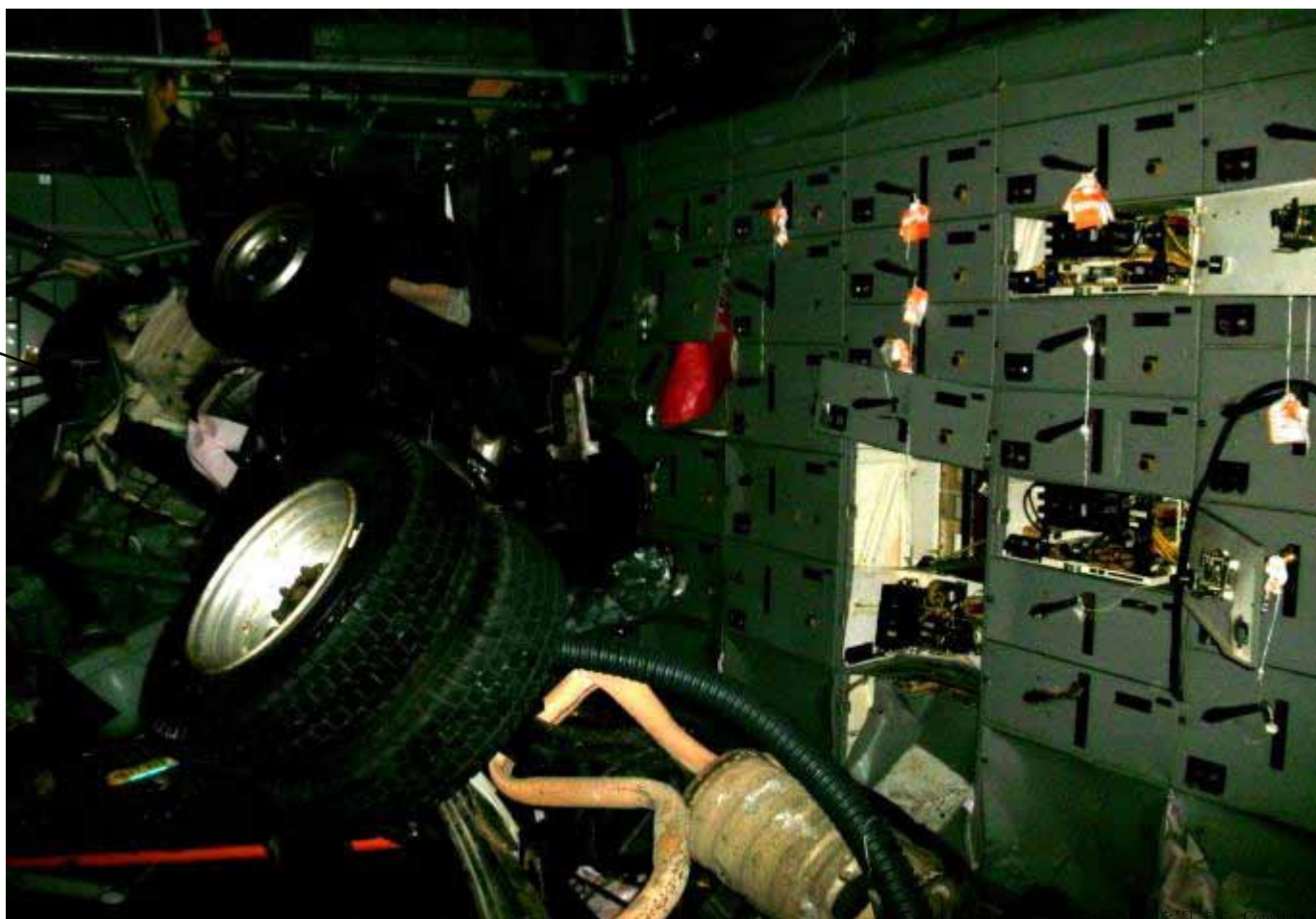


津波被害 — 4号機タービン建屋の電源盤。大量に流れ込んだタイヤ、掃除機、ホース等が覆い尽くし、電源盤へのアクセスが出来ない状態に



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



シャッター破壊の廃材

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

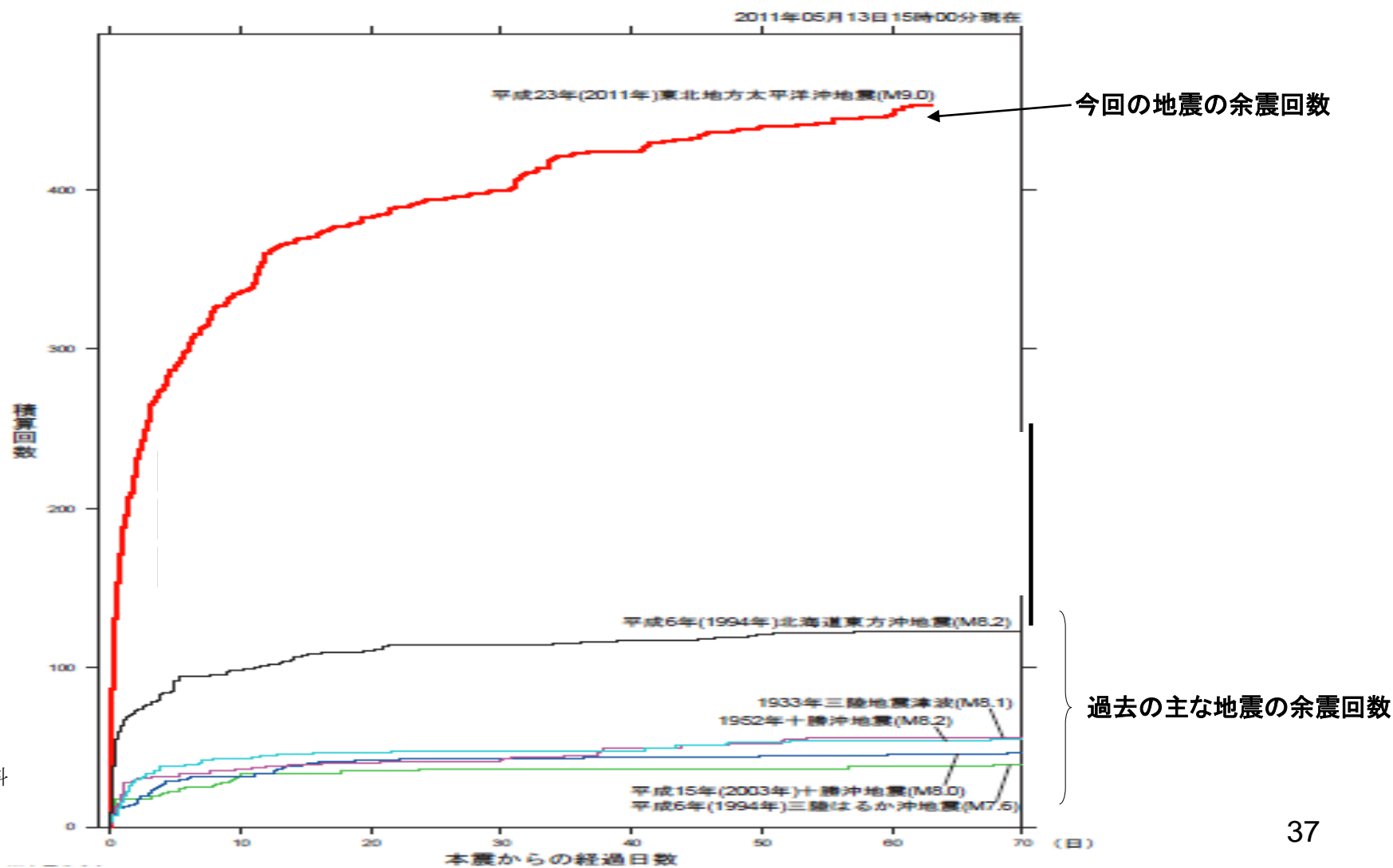
仮設電源敷設

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 — 過去の主な地震と比べても、4倍以上の余震回数

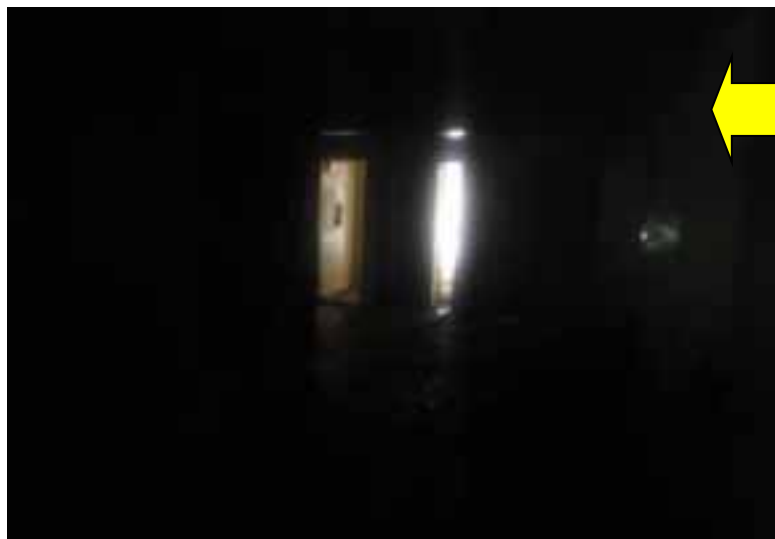
海域で発生した主な地震の余震回数 (マグニチュード5.0以上。本震を含む)



気象庁報道発表資料 (平成23年5月13日)

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

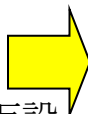


真っ暗な中での作業

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

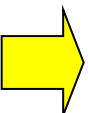


指示値の確認

真っ暗な中、ライトの明かりを頼りに指示値を確認

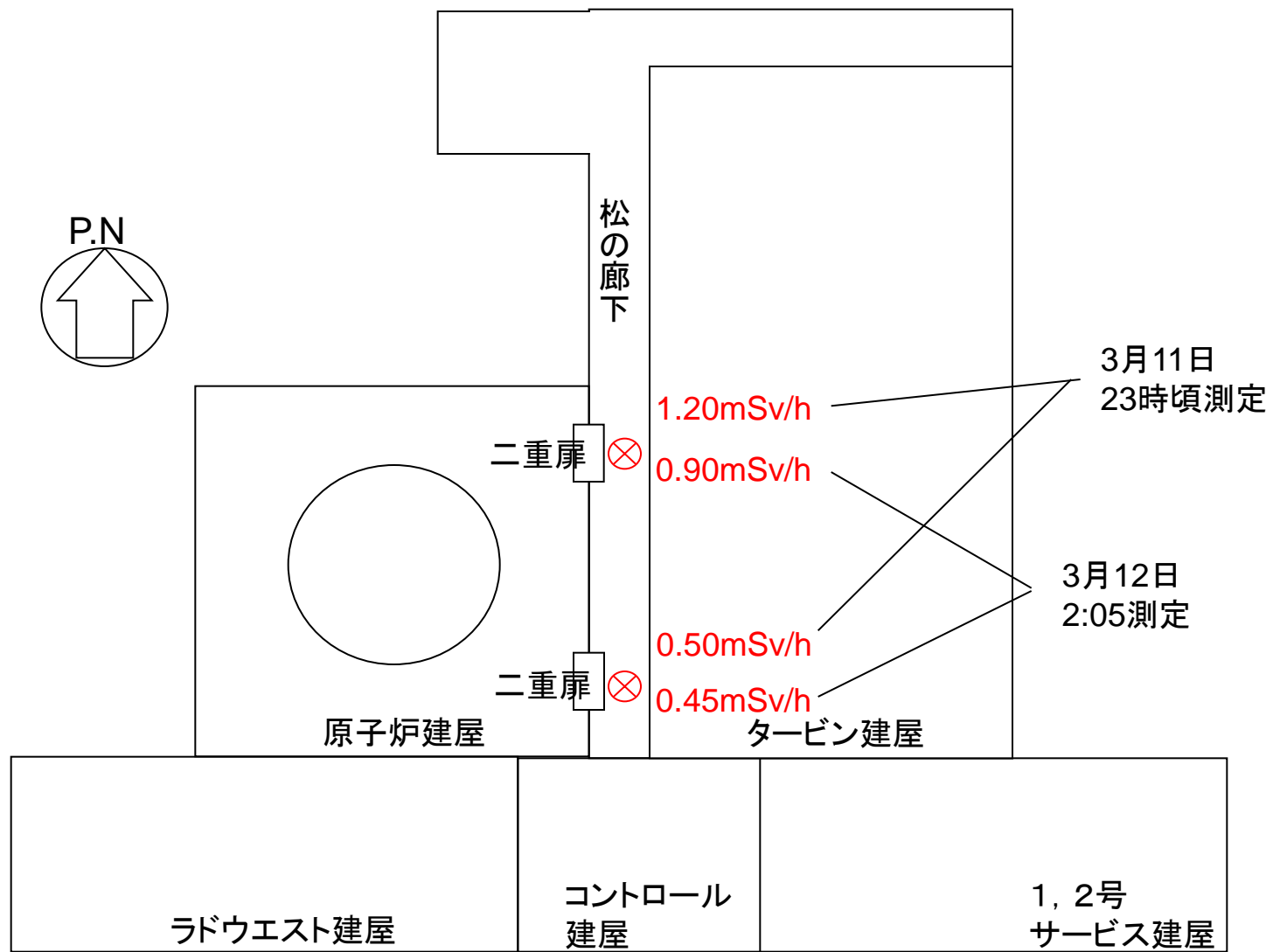
当直副長の監視

当直副長席の状況。真っ暗の状態でも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)－ 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。”
- “…通信もほとんど使えない状態で本部と現場の意思疎通にも時間を要した。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。”
- “…キャットウォークじゃなくて、トラスの上に足をかけた。弁が一番上にあるやつだったので、熱さ確認のためトラスに足をかけたら、(黒い長靴が)ずるっと溶けた。やめた方が良くと判断した。”
- “…原子炉建屋内(RCIC室)への確認作業も容易ではなかった。セルフエ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。”
- “…通信機能は使えず、一度、RCIC室まで行って帰ってくるのに45分～1時間くらいかかった。”
- “…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 — 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

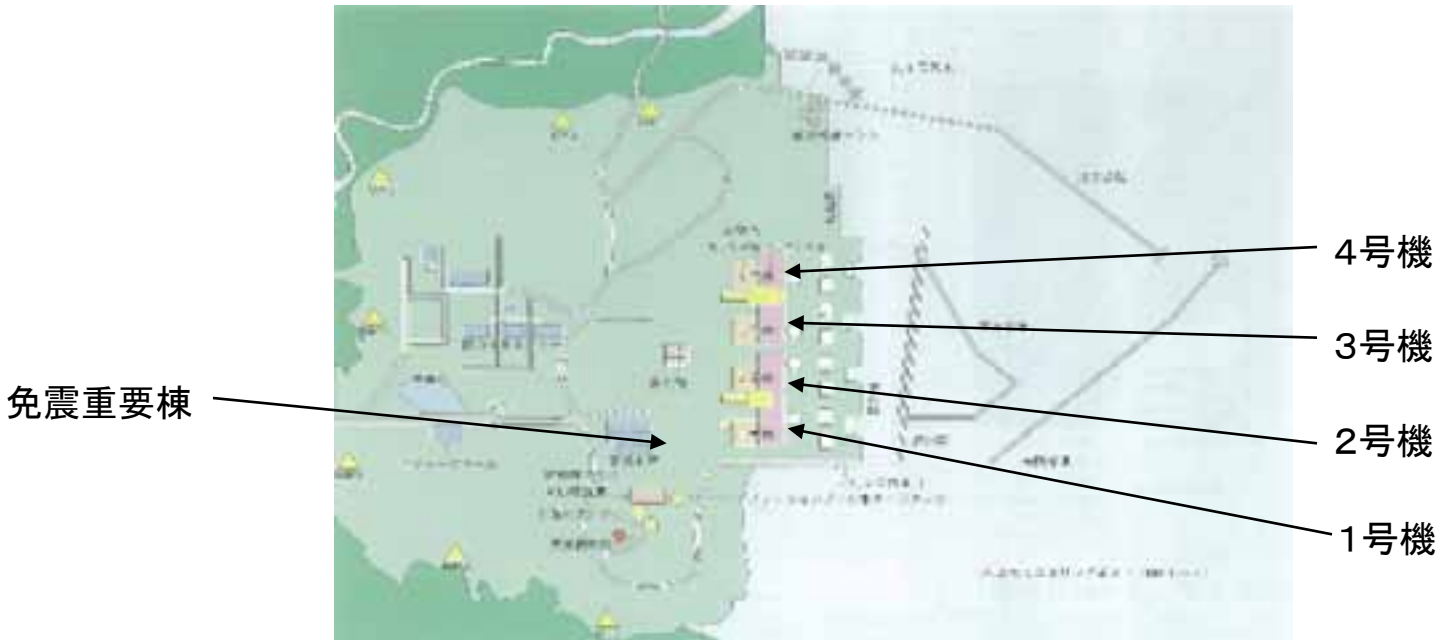
地震・津波が第一1～4号機の作業環境に与えた影響

- **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**： 防護服、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12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 |
|-----|-----|-------|-------|---------|------|----------|
| 楢葉町 | 1号機 | S57.4 | BWR-5 | 110.0 | 東芝 | 定格出力運転中 |
| | 2号機 | S59.2 | BWR-5 | 110.0 | 日立 | 定格出力運転中 |
| 富岡町 | 3号機 | S60.6 | BWR-5 | 110.0 | 東芝 | 定格出力運転中 |
| | 4号機 | S62.8 | BWR-5 | 110.0 | 日立 | 定格出力運転中 |

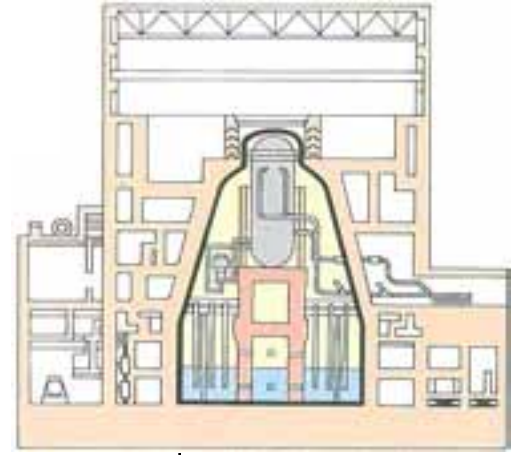
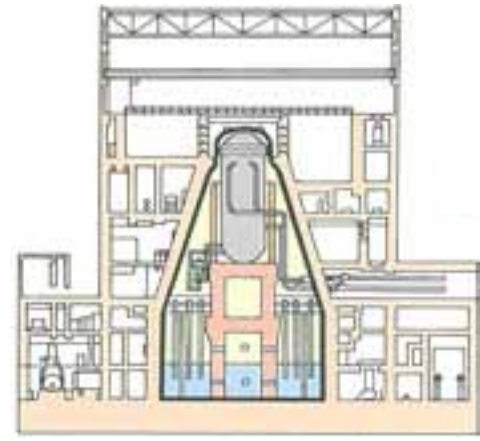
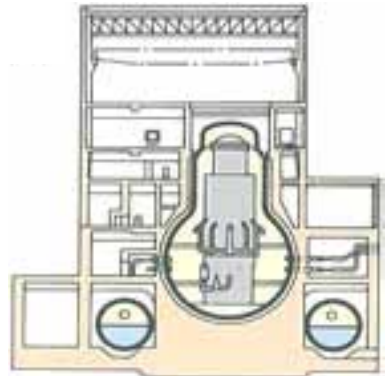
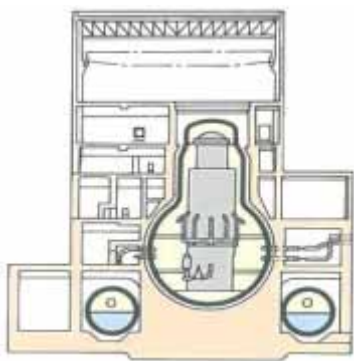
原子炉格納容器の型式 — 福島第二は、福島第一より新しいマークII型の原子炉

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]

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]

福島第二2~4号機
(出力110万kW)
[昭和59年~平成6年]



BWR-3
マークI
(圧縮型)

BWR-4
マークI
(圧縮型)

BWR-5
マークII
(円すい型)

BWR-5
マークII改良
(つりがね型)



出典: NRCホームページ

福島第二1号機

福島第二3号機

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 | 今回の津波(浸水高) |
|------|-----|---------------|----------------|--|
| 福島第一 | 上昇側 | 海拔(O.P.)+3.1m | 海拔(O.P.)+5.7m | 主要建屋設置エリアの 海側面において 海拔(O.P.) +11.5～+15.5m |
| | 下降側 | 同 -1.9m | 同 -3.6m | |
| 福島第二 | 上昇側 | 同 +3.7m | 同 +5.2m | 海側面エリアにおいて 同 +6.5～+7m |
| | 下降側 | 同 -1.9m | 同 -3.0m | |

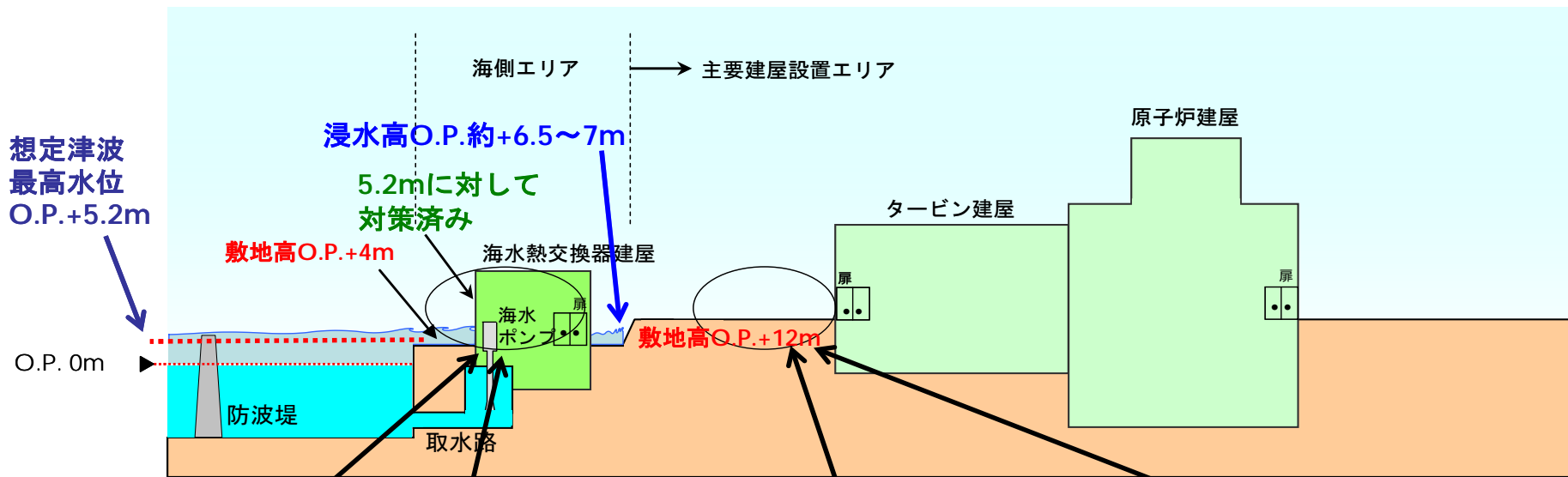
注) O.P.(小名浜港工事基準面) : T.P.(東京湾平均海面)の下方0.727mにある基準面

- 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 — 第二の敷地高は海拔4mと12mに分かれるが、原子炉・タービン建屋は海拔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 >

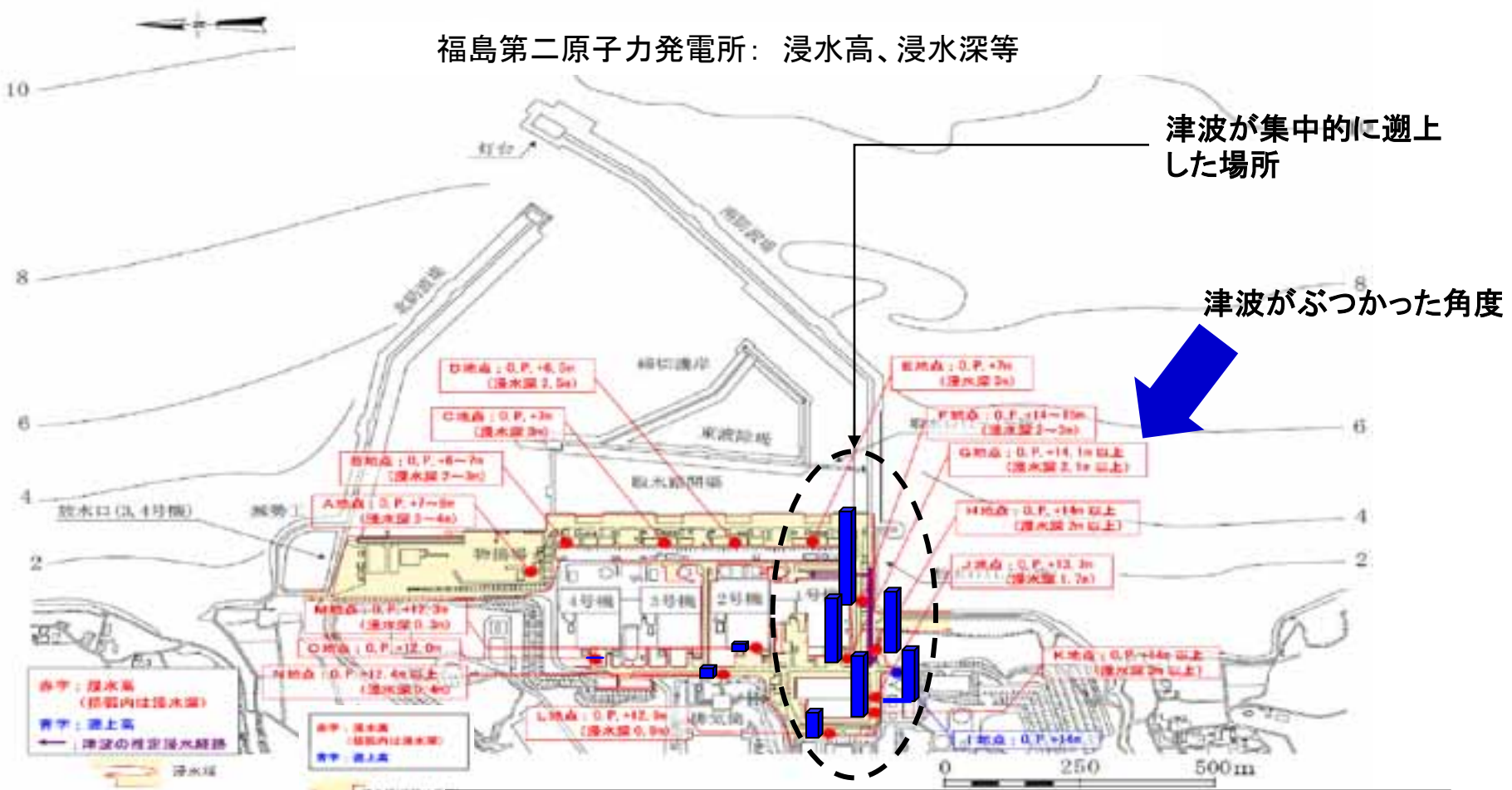


● 海拔4m付近の海側は、福島第一と同様にガレキが散乱し
 車両・人・物資の運搬は非常に困難な状態

● 海拔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

津波高は、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

福島第二原子力発電所： 浸水高、浸水深等



【補足】 津波の高さ

検潮所

遡上高

浸水深

浸水高

基準面 (小浜浜港工事管理図)

- ・浸水高：
建物や設備に残された変色部や漂着物等の痕跡の、基準面からの高さ
- ・浸水深：
建物や設備に残された変色部や漂着物等の痕跡の、地表面からの高さ

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 (運転中) 3号機 (運転中) 2号機 (運転中) 1号機 (運転中)



敷地高 — 第二の原子炉4機は、海拔12mの立地。海水冷却系施設のある海側は、海拔4mの立地だった。他方、津波高は海拔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

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 津波の駆け上り(1号機南側通路)

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こんだ



② 敷地高4m地点の被害(4号機北側物揚場)

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



③ 3・4号機タービン建屋は被害なし

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

① 1号機非常用送風機室外側



原子炉付属棟の吸気ルーバーから浸水

② 非常用送風機室内側



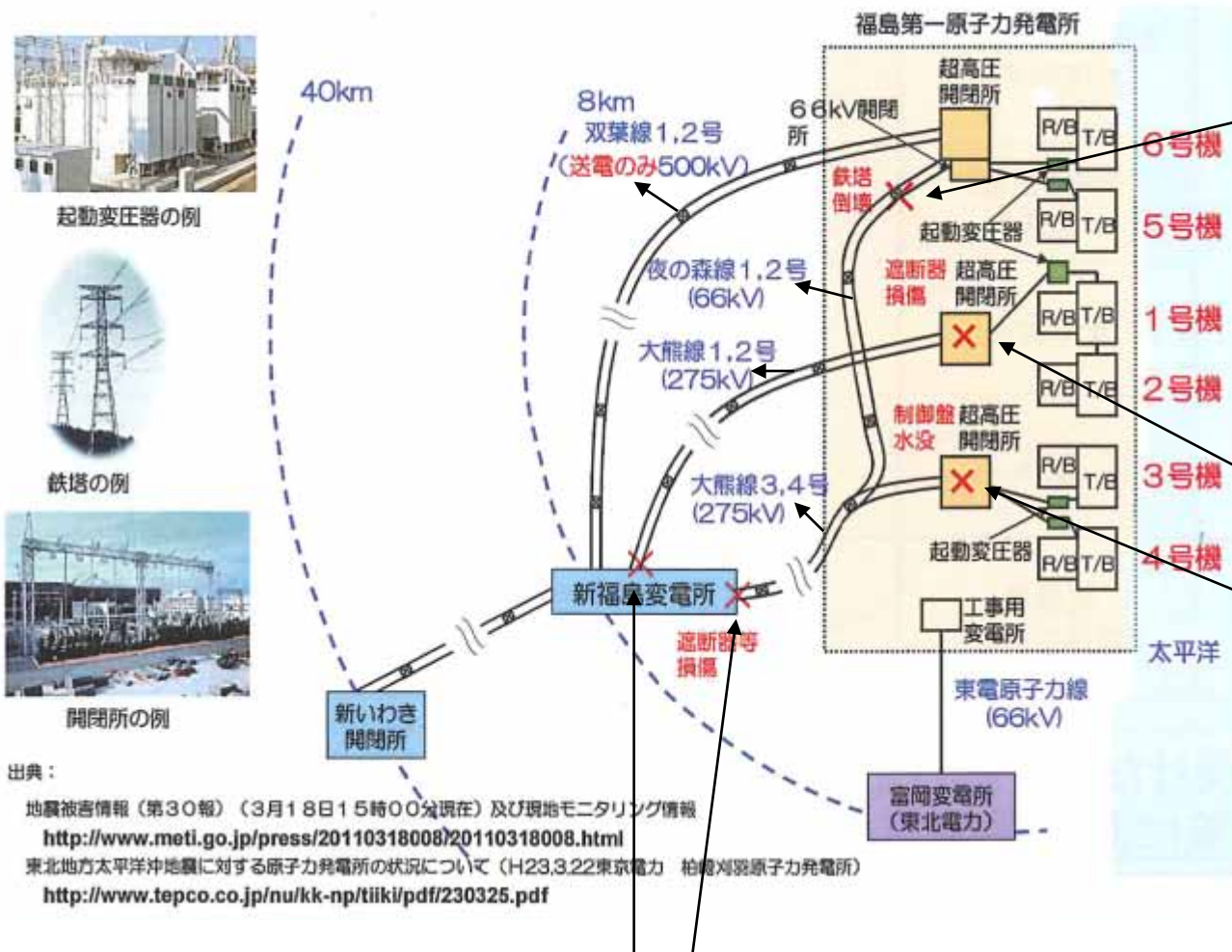
浸水はしたが、第一の様な大量のガレキ、什器設備等の氾濫は発生していない

③ 非常用ディーゼル発電機制御室(A系)



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、津波によって一部の電源盤が水没し、事態は更に悪化



敷地内の受電設備(5・6号機)
=> 地震により停止

- 5・6号機の起動用開閉所に接続する送電鉄塔1本(#27鉄塔): 地震動による倒壊により、受電不可に

敷地内の受電設備(1~4号機)
=> 地震と津波で停止

- 1・2号機の超高压開閉所: 地震動による遮断器損傷により、受電不可に
- 3・4号機の超高压開閉所: 津波による制御盤水没により、受電不可に

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

出典:
地震被害情報(第30報)(3月18日15時00分現在)及び現地モニタリング情報
<http://www.meti.go.jp/press/20110318008/20110318008.html>
東北地方太平洋沖地震に対する原子力発電所の状況について(H23.3.22東京電力 柏崎刈羽原子力発電所)
<http://www.tepco.co.jp/nu/kk-np/tiiki/pdf/230325.pdf>

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

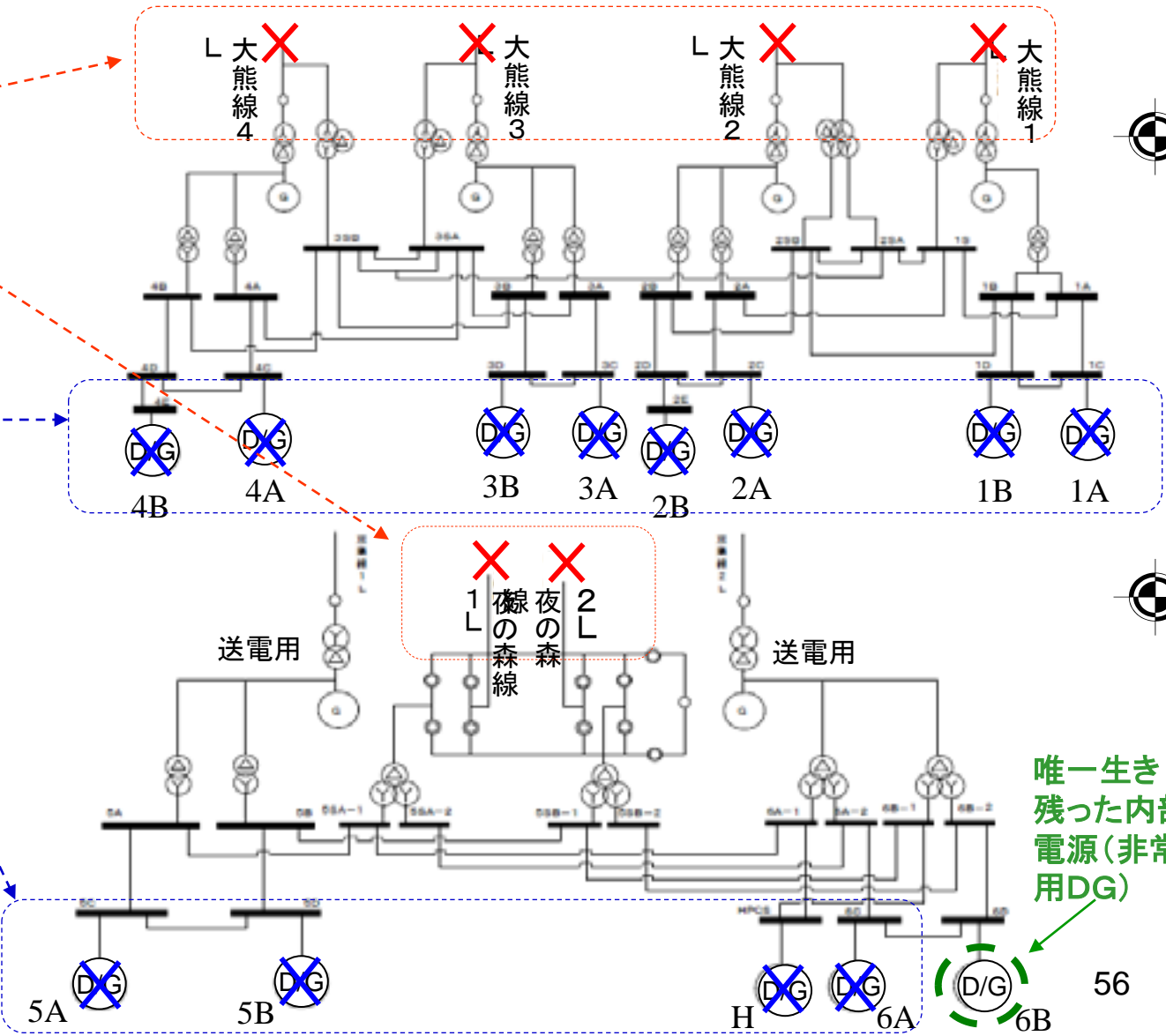
外部電源停止

- 地震と二次被害(土砂の崩落)により停止

内部電源喪失

- 地震後も非常用ディーゼル発電機(D/G)により電源供給していたが、津波により喪失
- D/G(6B)1台のみ運転継続

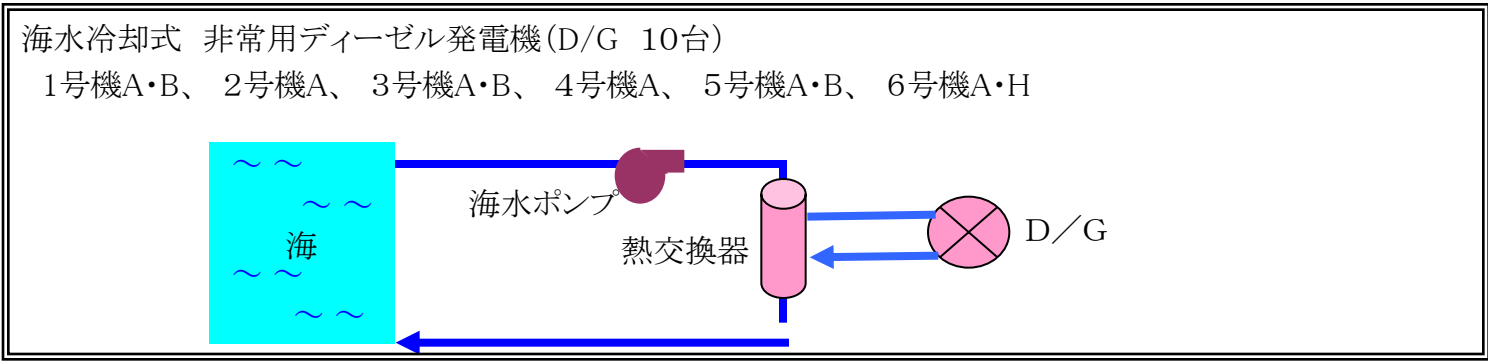
- ✕ : 地震の影響により停止
- ✕ : 津波の影響により停止
- : 津波後も運転可能



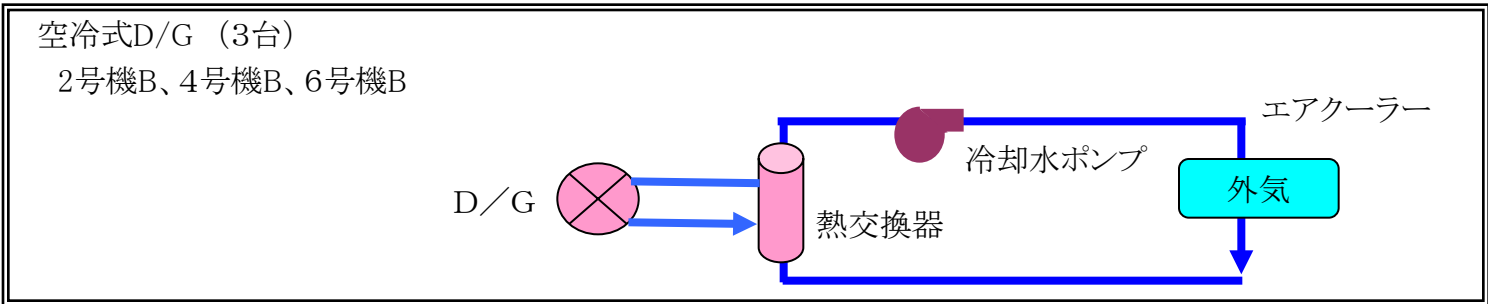
唯一生き残った内部電源(非常用DG)

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



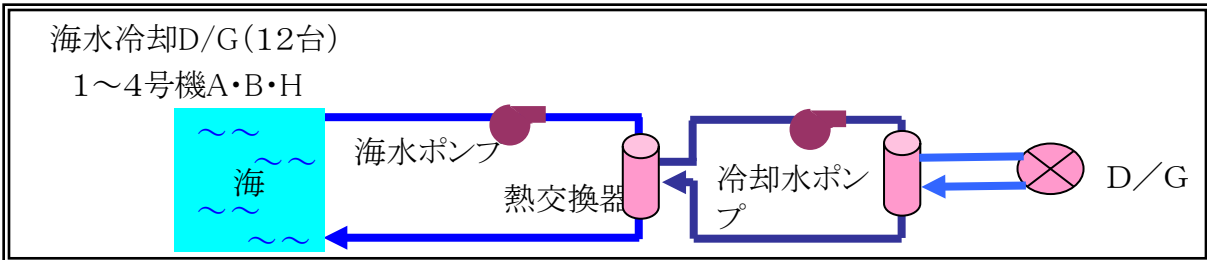
津波後すべて機能喪失



6号機Bのみ電源確保

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

福島第二



3号機B・H、4号機Hの3台で電源確保

外部電源以外の電源システムの被害状況 — 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 | 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 |
| DG | 非常用 | DG1A | × | DG2A | × | DG3A | × | DG4A | × | DG5A※2 | × | DG6A | ×※2 |
| | | DG1B | × | DG2B(空冷) | ×※1 | DG3B | × | DG4B(空冷) | ×※1 | DG5B※2 | × | DG6B(空冷) | ○ |
| | | | | | | | | | | | HPCS DG | ×※2 | |
| M/C | 非常用 | M/C 1C | × | M/C 2C | × | M/C 3C | × | M/C 4C | × | M/C 5C | × | M/C 6C | ○ |
| | | M/C 1D | × | M/C 2D | × | M/C 3D | × | M/C 4D | × | M/C 5D | × | M/C 6D | ○ |
| | | | M/C 2E | × | | | M/C 4E | × | | | HPCS DG M/C | ○ | |
| | 常用 | 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 1B | × | M/C 2B | × | M/C 3B | × | M/C 4B | × | M/C 5B | × | M/C 6B-1 | × |
| | | | | | | | | | | | M/C 6B-2 | × | |
| | | M/C 1S | × | M/C 2SA | × | M/C 3SA | × | | | M/C 5SA-1 | × | | |
| | | | | | M/C 5SA-2 | | × | | | | | | |
| | | | | M/C 2SB | × | M/C 3SB | × | | | M/C 5SB-1 | × | | |
| M/C 5SB-2 | | | | | × | | | | | | | | |
| P/C | 非常用 | P/C 1C | × | P/C 2C | ○ | P/C 3C | × | P/C 4C | ○ | P/C 5C | × | P/C 6C | ○ |
| | | P/C 1D | × | P/C 2D | ○ | P/C 3D | × | P/C 4D | ○ | P/C 5D | × | P/C 6D | ○ |
| | | | | P/C 2E | × | | | P/C 4E | × | | | P/C 6E | ○ |
| | 常用 | P/C 1A | × | P/C 2A | ○ | P/C 3A | × | P/C 4A | ○ | P/C 5A | × | P/C 6A-1 | × |
| | | | P/C 2A-1 | | × | | | | | | P/C 5A-1 | | ○ |
| | | P/C 1B | × | P/C 2B | ○ | P/C 3B | × | P/C 4B | ○ | P/C 5B | × | P/C 6B-1 | × |
| | | | | | | | | | | | P/C 5B-1 | | ○ |
| | | P/C 1S | × | | | P/C 3SA | × | | | P/C 5SA | × | | |
| | | | | | | | P/C 5SA-1 | | | × | | | |
| | | | | | | | P/C 5SB | | | × | | | |
| 直流電源 | 125VDC | DC125V主母線盤1A | × | DC125V主母線盤2A | × | DC125V主母線盤3A | ○ | DC125V主母線盤4A | × | DC125V主母線盤5A | ○ | DC125V DIST CENTER 6A | ○ |
| | | DC125V主母線盤1B | × | DC125V主母線盤2B | × | DC125V主母線盤3B | ○ | DC125V主母線盤4B | × | DC125V主母線盤5B | ○ | DC125V DIST CENTER 6B | ○ |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 海水系 | A | CCS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × |
| | | CCS B | × | RHRS B | × | RHRS B | × | RHRS B | × | RHRS B | × | RHRS B | × |

● 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3系統を残して、全て喪失

● パワーセンター(P/C)は、1・3号機で全て喪失

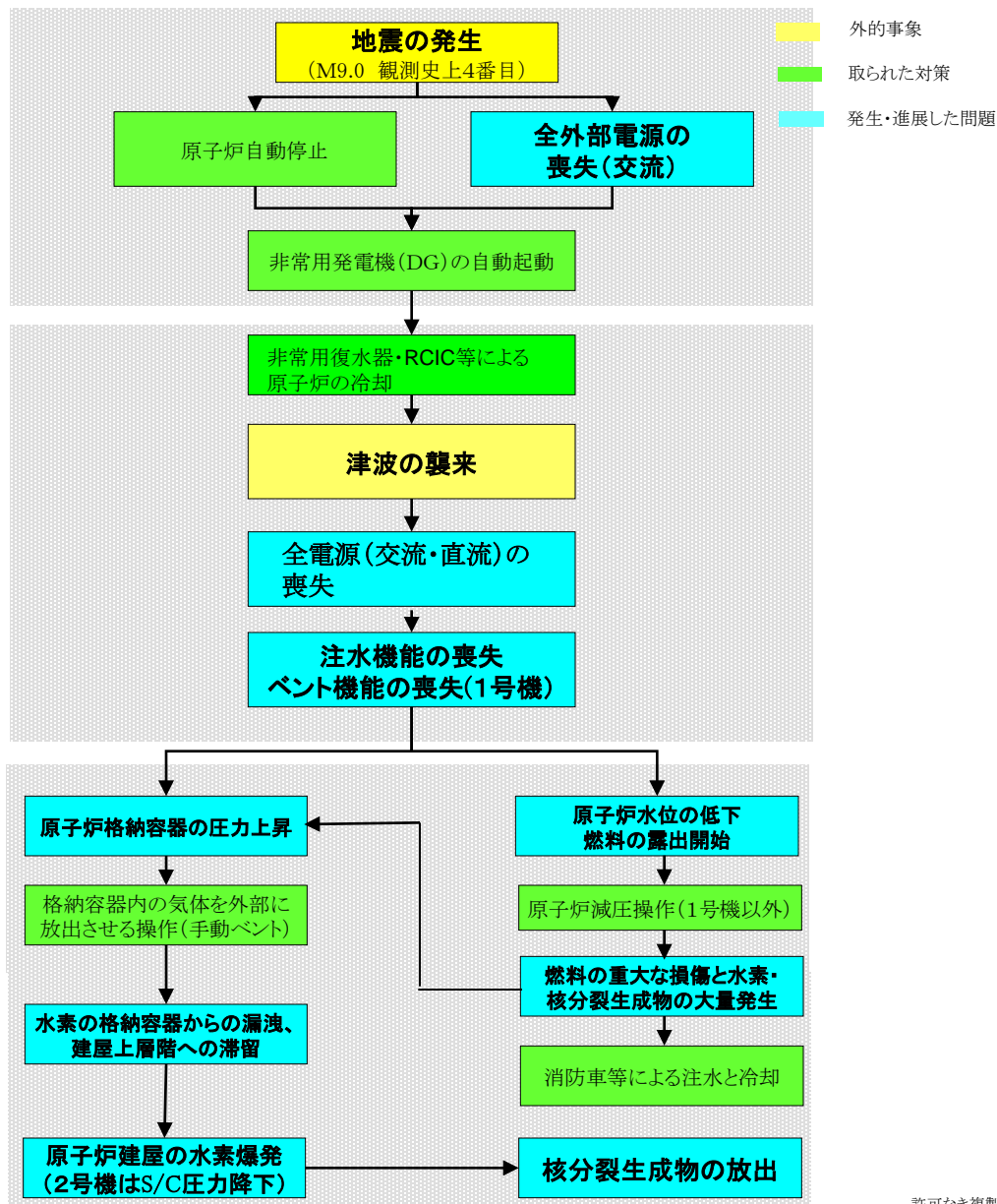
● 直流バッテリーは、1・2・4号機が水没により全て機能喪失 => 中央制御室と高圧冷却機能を機能喪失へ導いた

● 津波によって、海水系機能は全て喪失⁵⁸

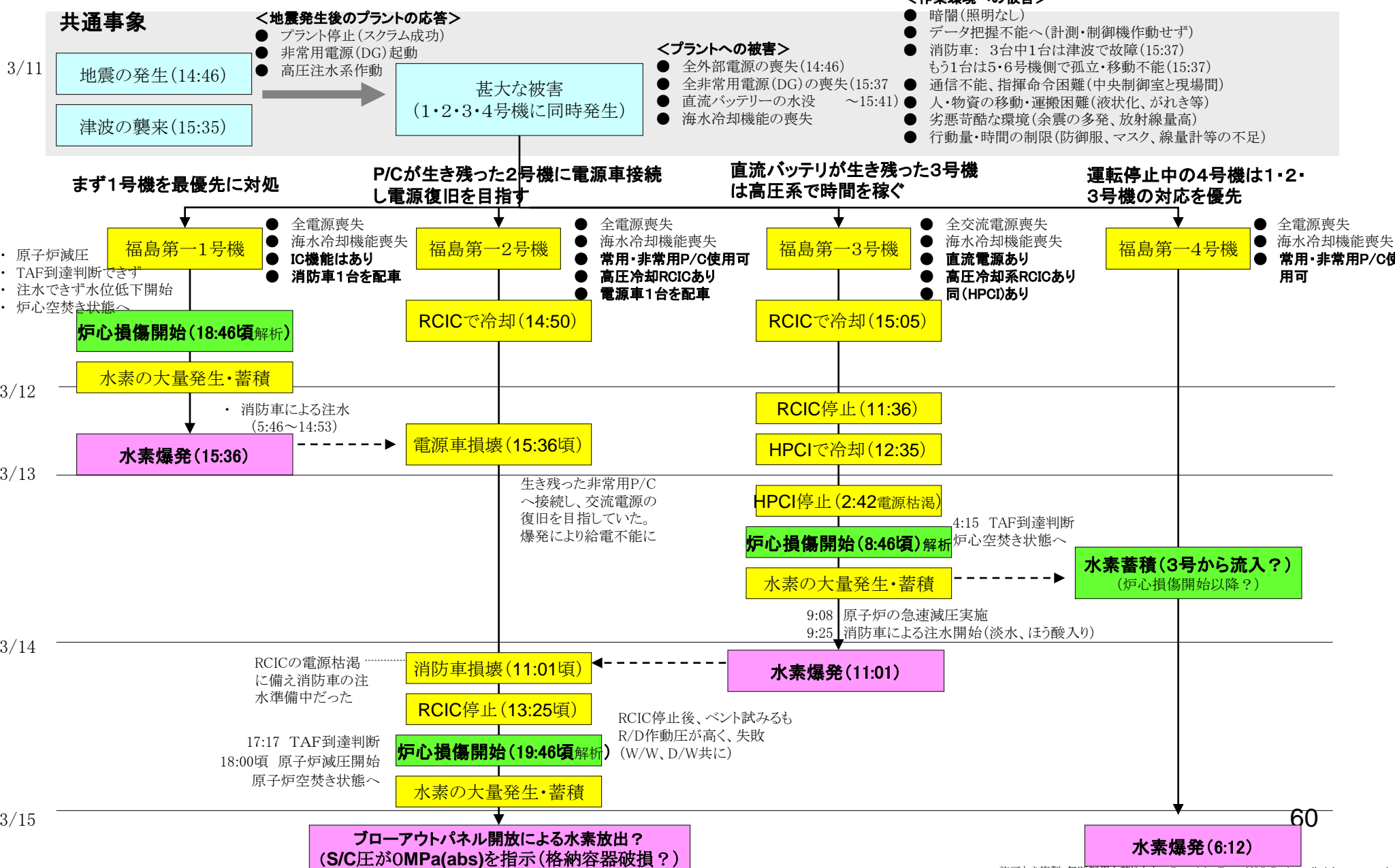
(凡例)○:健全 ×:機能喪失 *1 電源盤水没により機能喪失 *2 冷却系(海水)喪失による機能喪失

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

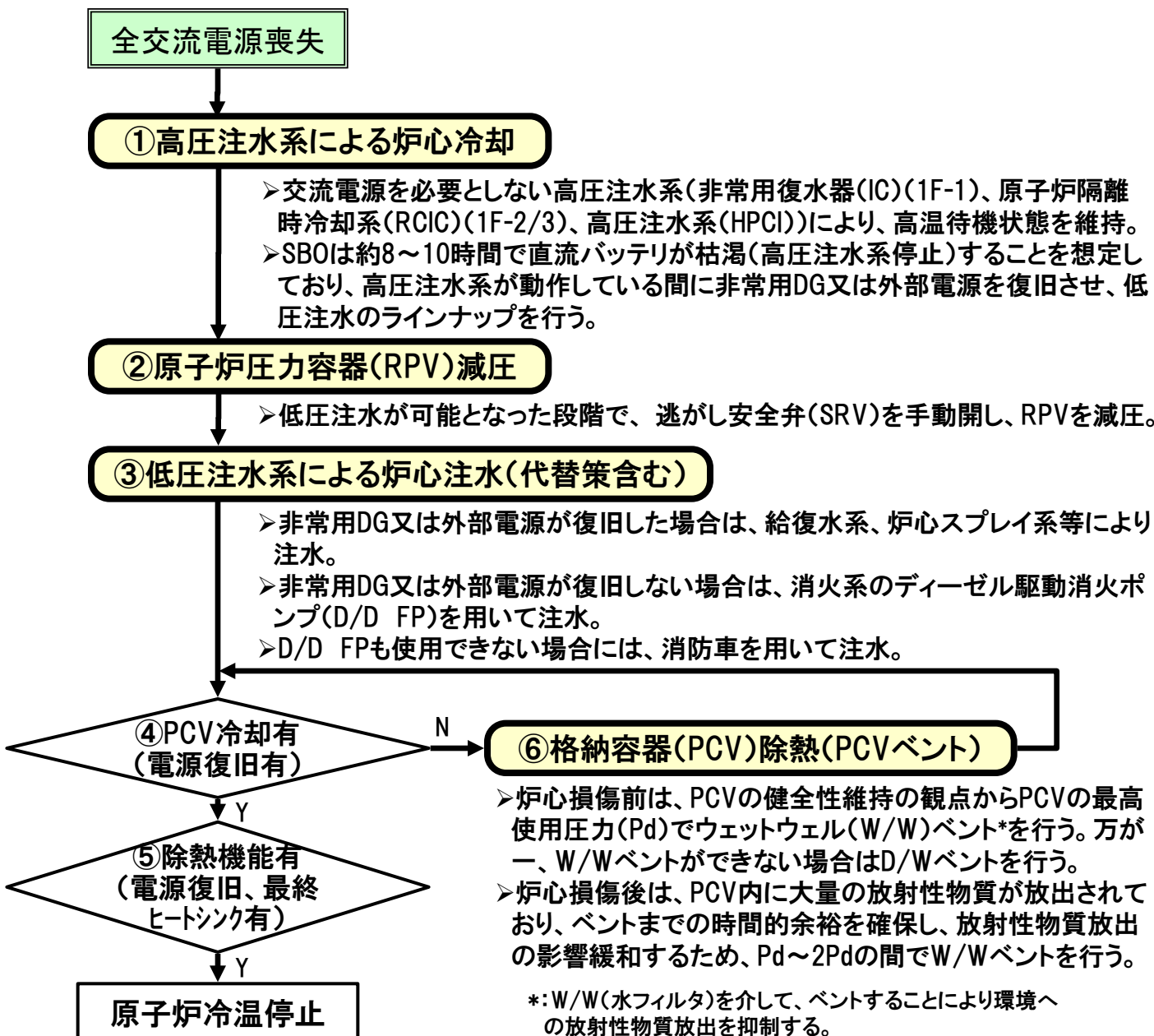
事故の進展(概念図)



地震発生から各プラントの爆発までの事象展開は次の通り



標準的な全交流電源喪失(SBO)時の運転操作の概略



今回のアクシデントマネジメントの成否

| 福島第一 | | | 福島第二 |
|----------------|-----------|-------------------|---------------|
| 1号機 | 2号機 | 3号機 | 1~4号機 |
| × | ○ | ○ | ○ |
| × | △ (遅延) | △ (遅延) | ○ |
| △ (遅延、容量不足) | | | ○ |
| △ (ベント遅延) | × | △ (ベント開状態維持困難) | ○ (PCV冷却有) |

○: 成功 △: 実施できたが問題あり ×: 失敗

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

発生した事象

原子炉の停止

重要機能の全面喪失

非常用電源の確保、冷却用の注水準備、高圧化防止のベント準備等

注水実施、ベント実施、水素滞留

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)
(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※0)

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80,000ℓ)

14:54 所長、海水注入を指示

15:36 **建屋爆発(5階部分)**

19:04 海水注入の開始

20:45 ほう酸を海水に混ぜ炉へ注入開始

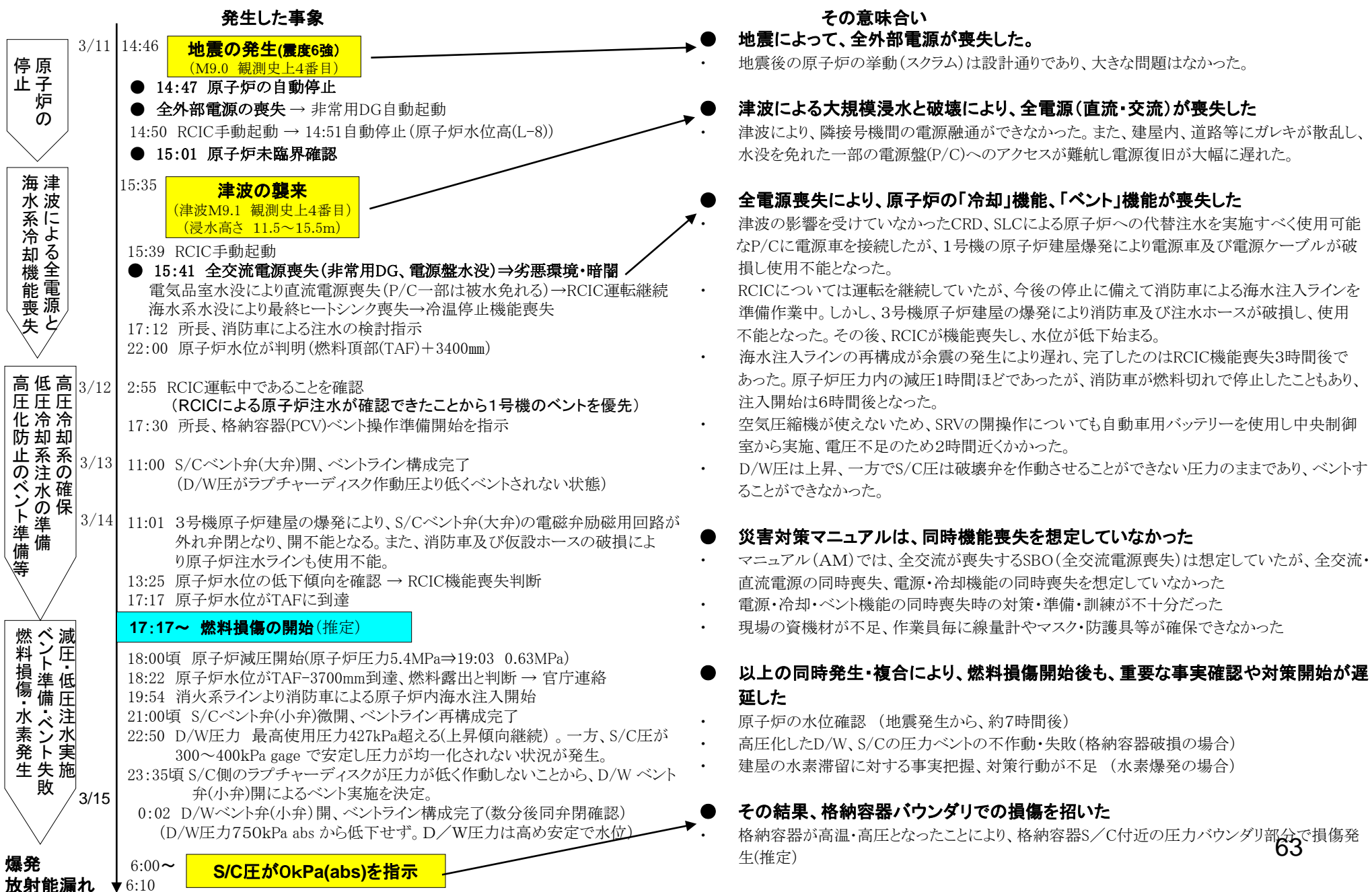
その意味合い

- **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) ※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、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
 - ・ 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

※0: 水位計データの信頼性自体を疑問視する見方もあり

※1: 炉心損傷により炉内ガス温度が上昇し、SRVフラジ部ガスケット等からの水素等の漏れが生じたと同類推される

2号機クロノロジー



発生した事象

その意味合い

原子炉の停止

津波による海水系冷却機能喪失

高圧化防止のベント準備等

燃料損傷・水素発生

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)

- 14:47 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

3/13 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を超える(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。

3/15 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)

6:00~ **S/C圧が0kPa(abs)を指示**
6:10

- **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号機クロナロジ-

発生した事象

その意味合い

原子炉の停止

津波による交流電源と海水系冷却機能の喪失

格納容器圧力の確保・喪失
注水による冷却継続

格納容器注水実施
低圧系の注水実施
水素滞留

| | | |
|------|-------------|---|
| 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=>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 |
| 3/12 | 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 |
| 3/13 | 02:42 | HPCI停止(バッテリー枯渇) |
| | 03:51 | 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ーで) |
| | 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弁が開(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 |

- **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 작동。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)

発生した事象

その意味合い

水素爆発
放射能漏れ

3/15

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**

● **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
- ・ 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

4号機クローロジ

発生した事象

意味合い

原子炉の停止

津波による全電源と海水系冷却機能の喪失

3号機からの使用済み燃料プール水位監視と水位確保準備

水素爆発放射能漏れ
注水開始
火災発生・鎮火

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

3/15 06:12 **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)

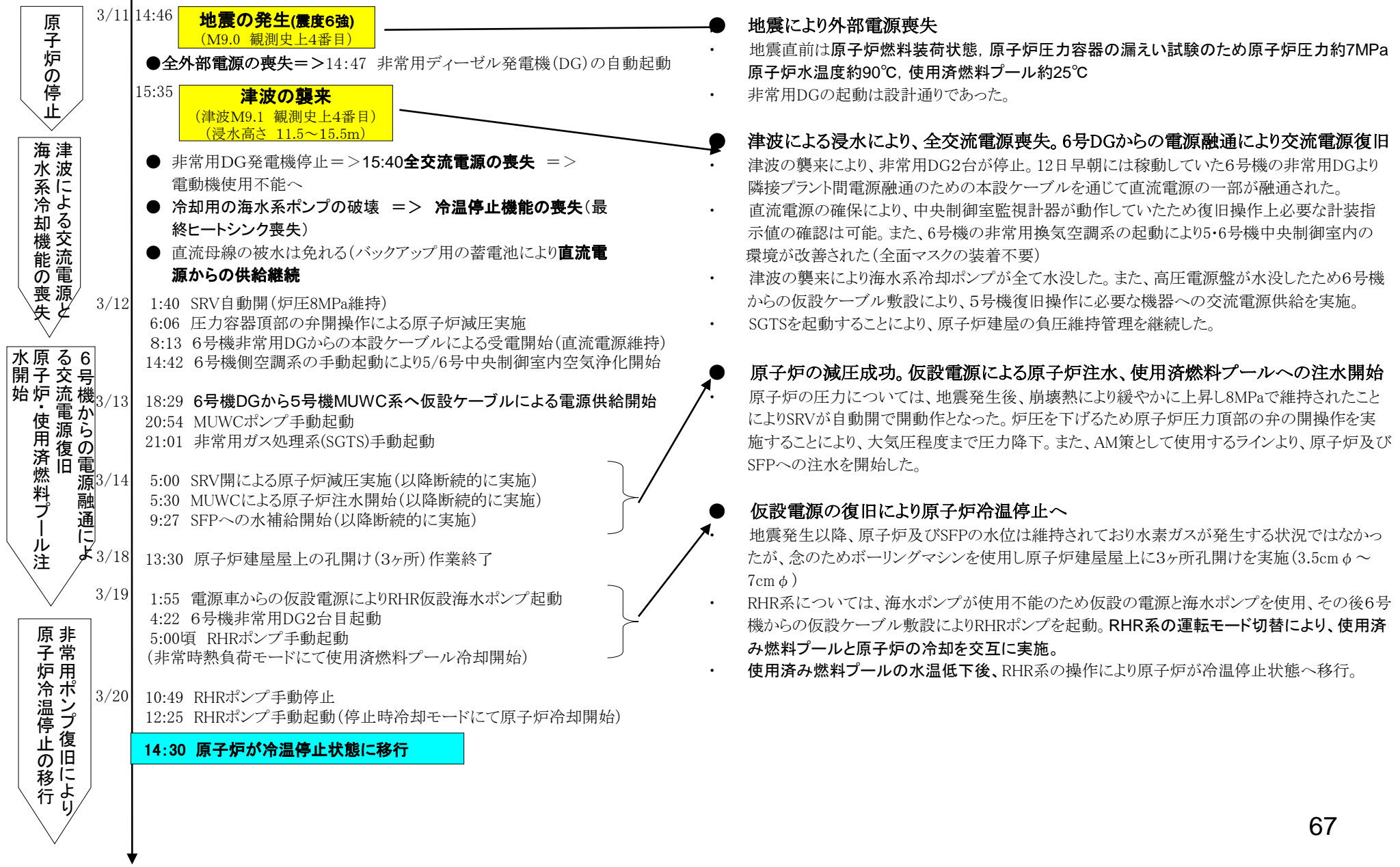
3/20 08:21 使用済燃料プールへの放水開始(以降断続的に放水)

- **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
 - ・ 爆発によりプールゲートが開き、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

福島第一5号機クログロジ (地震発生前:定期検査停止中(圧力約7MPa,水温約90°C)、炉内燃料装荷状態)

発生した事象

その意味合い



福島第一／6号機クロナロジー (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

津波による海水系冷却機能の喪失

原子炉及び使用済燃料プールへの注水による水位確保

非常用ポンプ復旧により原子炉冷温停止の移行

| | | |
|------|-------|---|
| 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) |
| | | ● 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) |
| 3/12 | 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 |
| 3/13 | 13:01 | 復水補給水系ポンプ手動起動 → 原子炉注水開始 |
| 3/14 | 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) |
| 3/16 | 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) |
| 3/18 | 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 |
| 3/19 | 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) |
| 3/20 | 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 φ ~ 7cm 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 — 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

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)
(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

3/12 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80,000ℓ)

14:54 所長、海水注入を指示

15:36 **建屋爆発(5階部分)**

19:04 海水注入の開始

20:45 ほう酸を海水に混ぜ炉へ注入開始

停止 原子炉の

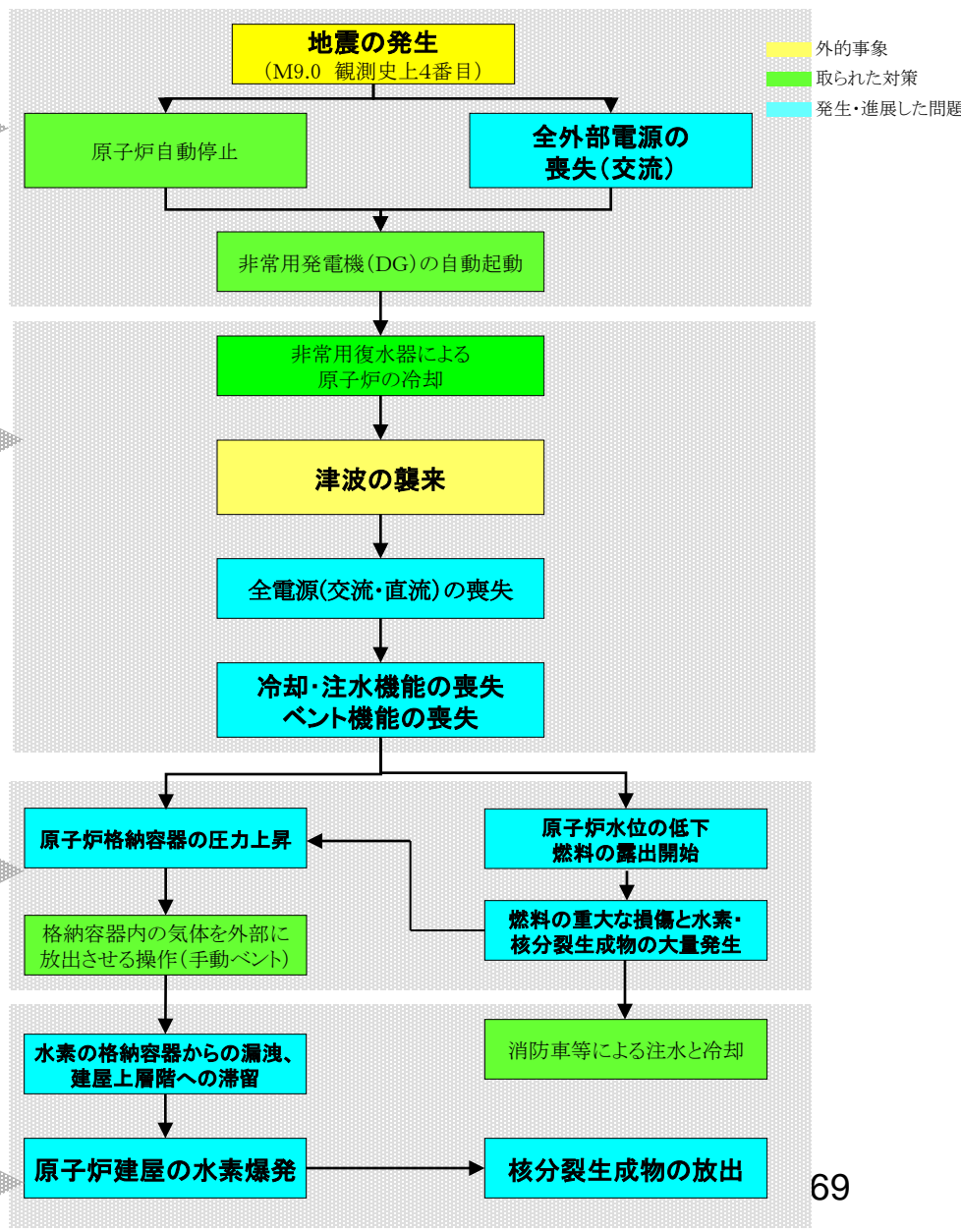
重要機能の全面喪失

**非常用電源の確保
冷却用の注水準備
高圧化防止のベント準備等**

**注水実施
ベント実施
水素滞留**

**水素爆発
放射能漏れ**

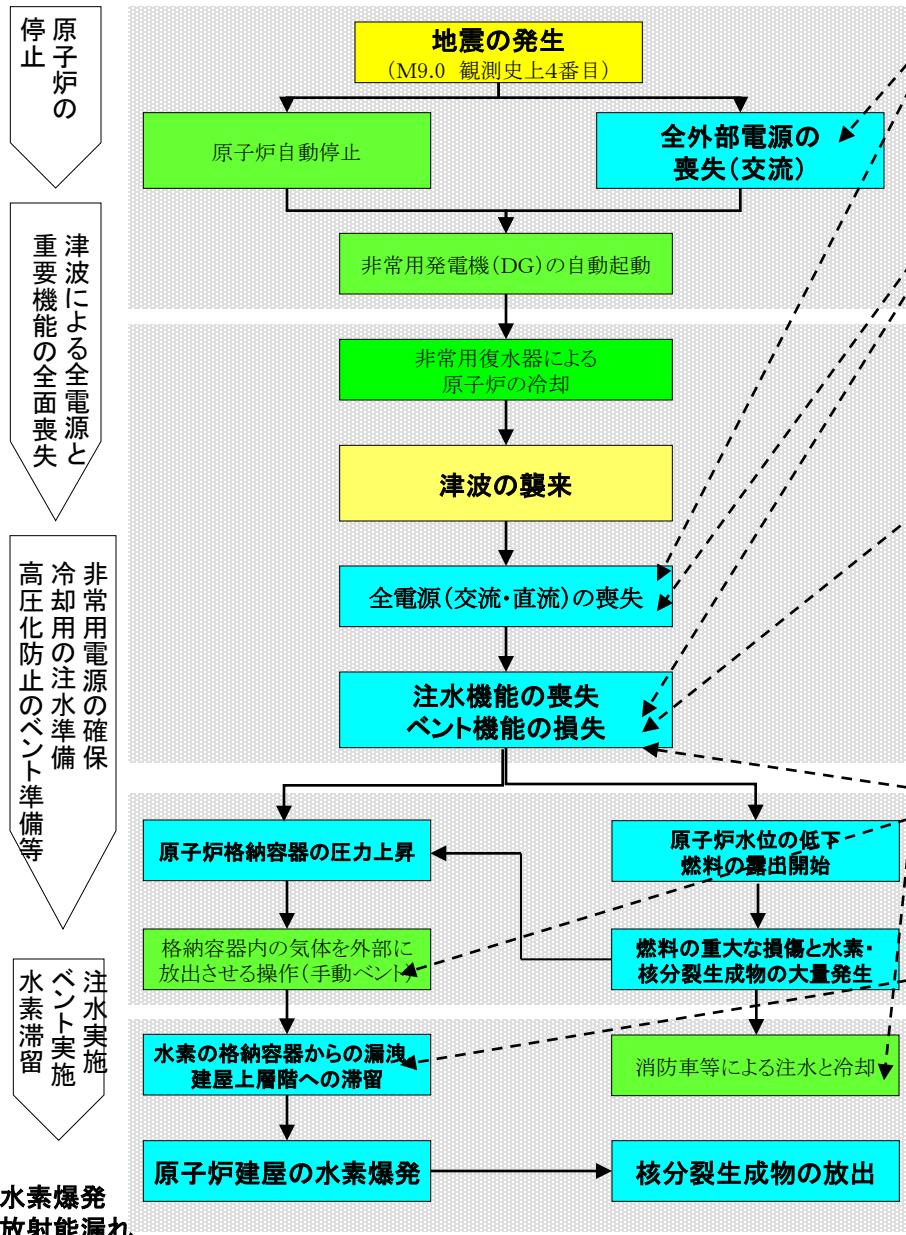
事故の進展(概念図)



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」機能を著しく低下させた

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

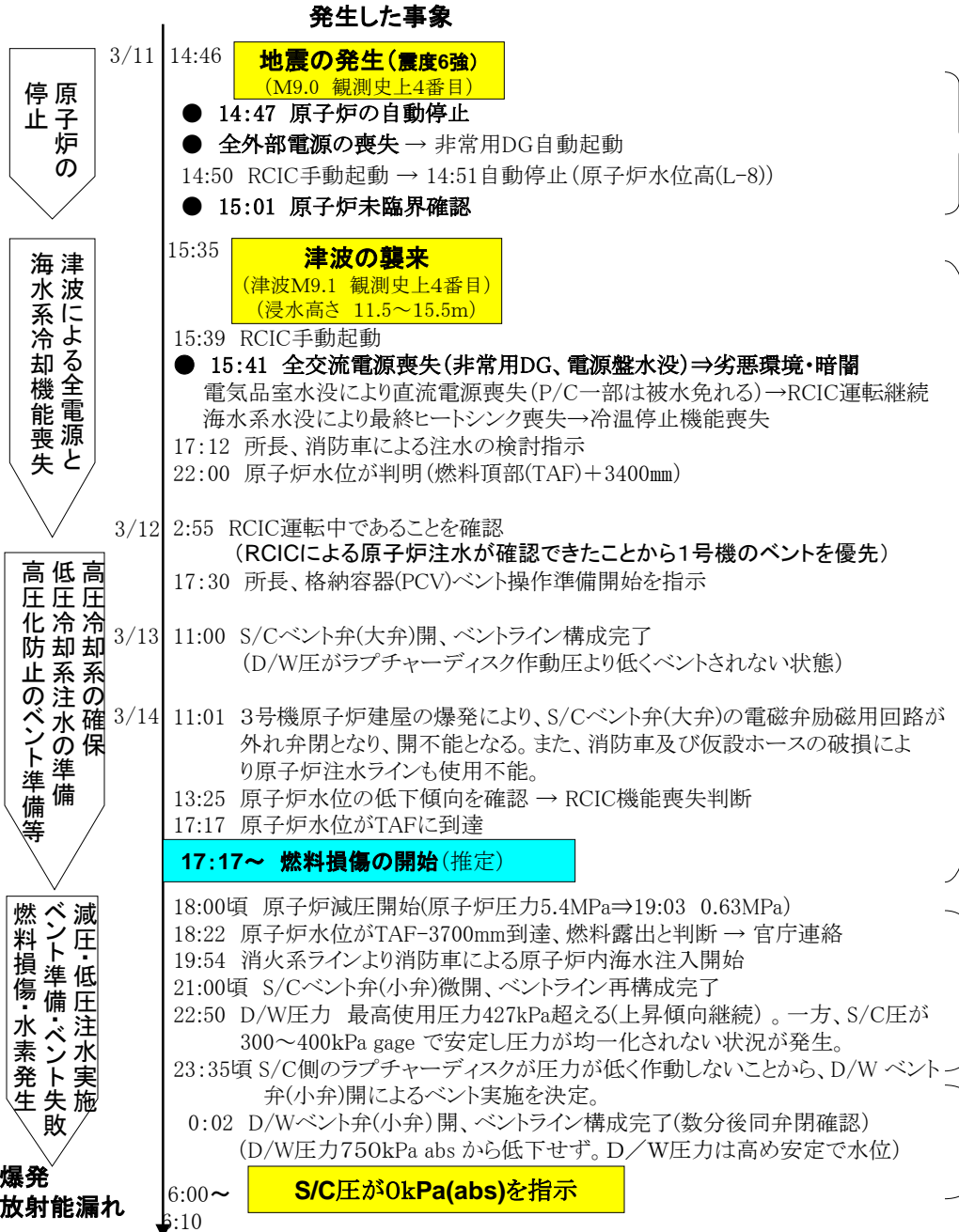
建屋爆発(水素爆発)への警戒、動向把握、対策行動が不十分だった

- 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

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



原子炉の停止

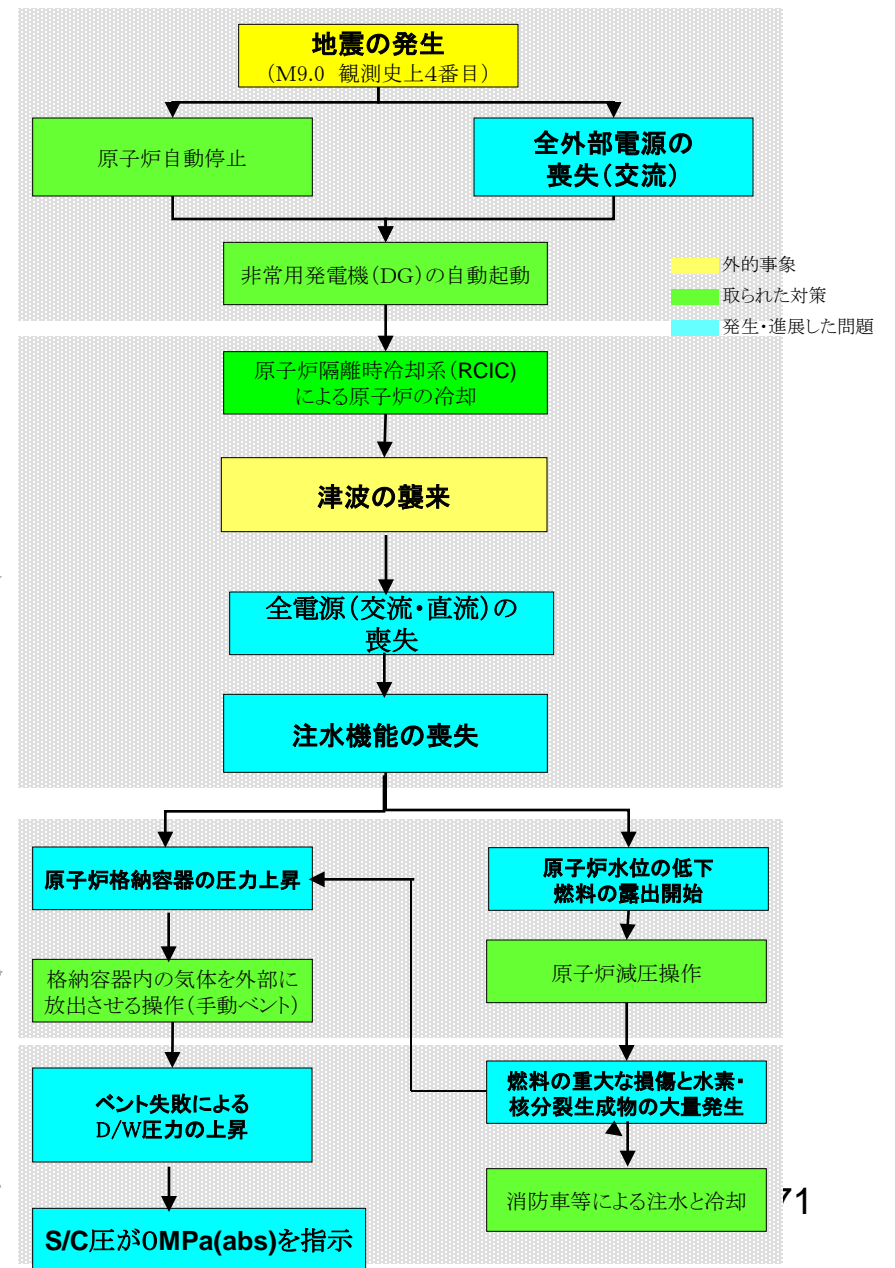
海水系冷却機能喪失と津波による全電源と

高圧冷却系の確保と低圧注水準備等

燃料損傷・水素発生とベント準備・ベント失敗

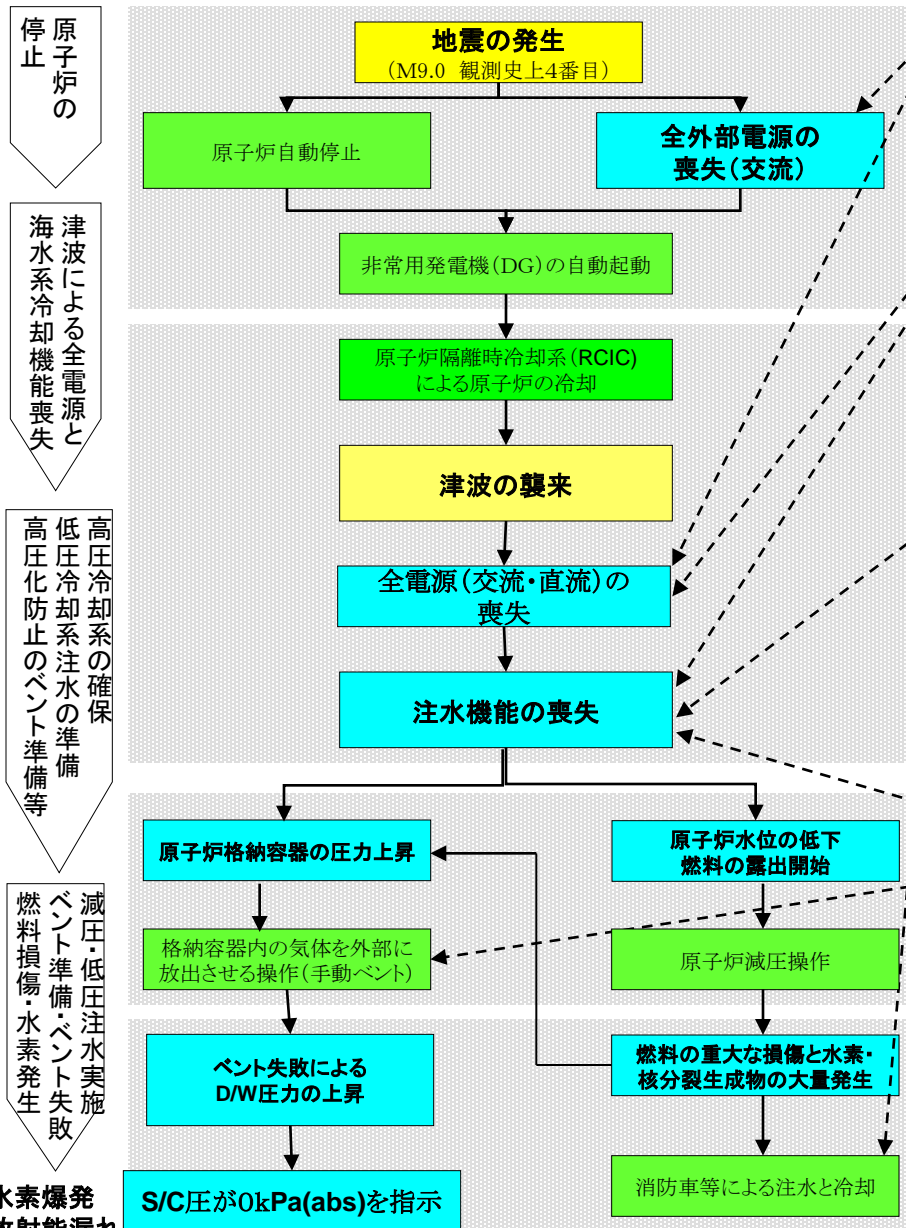
爆発放射能漏れ

事故の進展(概念図)



1F2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)動作圧力を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ブ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

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

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 => 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 非常用ディーゼル発電機(DG)の自動起動

3/11 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)

3/11 16:03 原子炉隔離時冷却系(RCIC)手動起動による冷却

3/12 11:36 RCICトリップ(消防車は1号機に使用中)

3/12 12:35 高圧注水系(HPCI)自動起動(水位低)

3/13 17:30 所長、格納容器ベントの準備を指示

02:42 HPCI停止(バッテリー枯渇)

03:51 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ーで)

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弁が開(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)

3/14 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

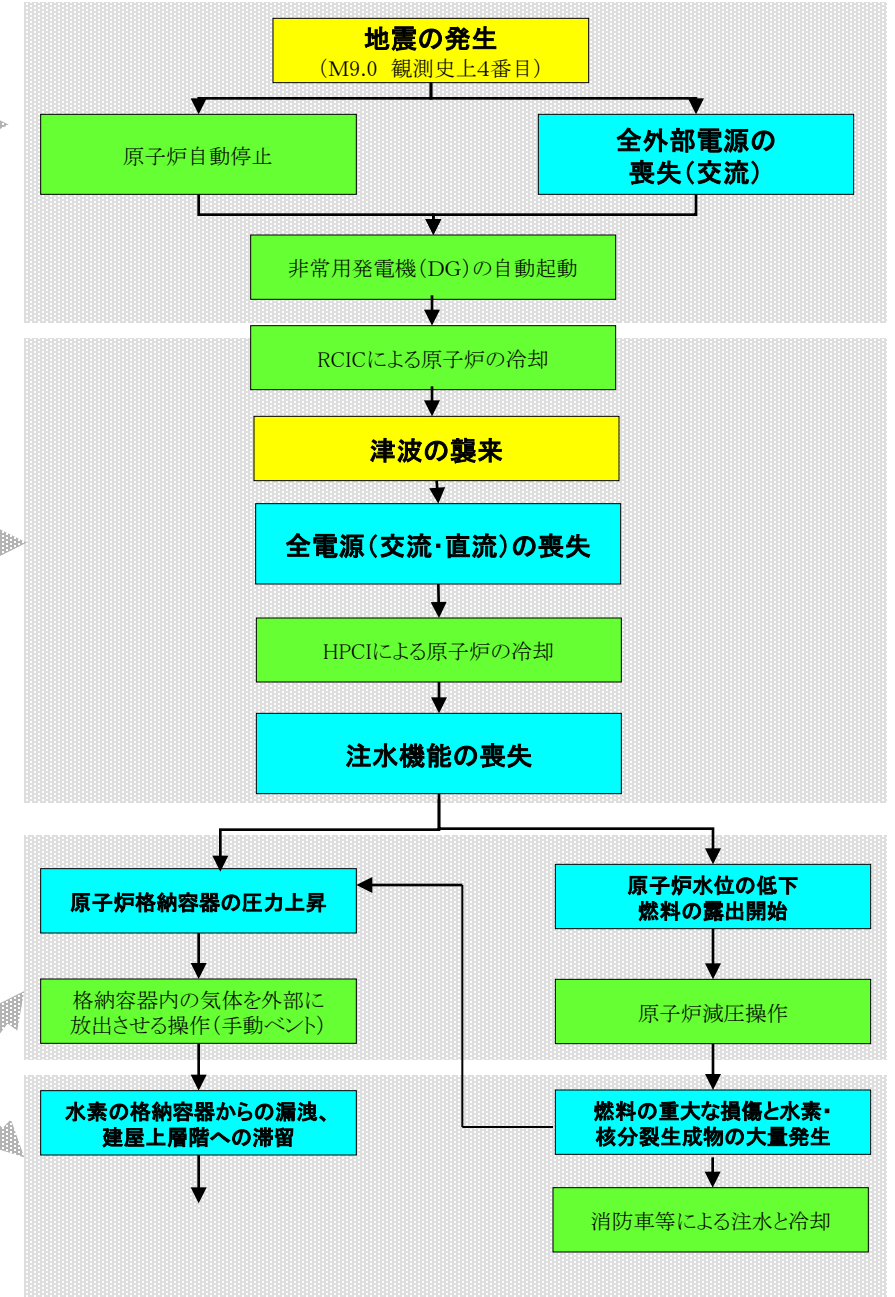
原子炉の停止

津波による海水系冷却電源と交流電源との喪失

直流電源の確保・喪失、注水による冷却継続、格納容器圧力のベント準備等

低圧系の注水実施、格納容器ベント実施、水素滞留

事故の進展(概念図)



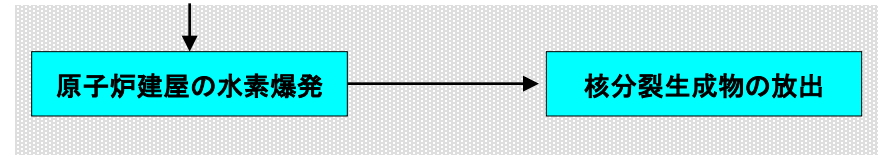
発生した事象

水素爆発
放射能漏れ

3/15

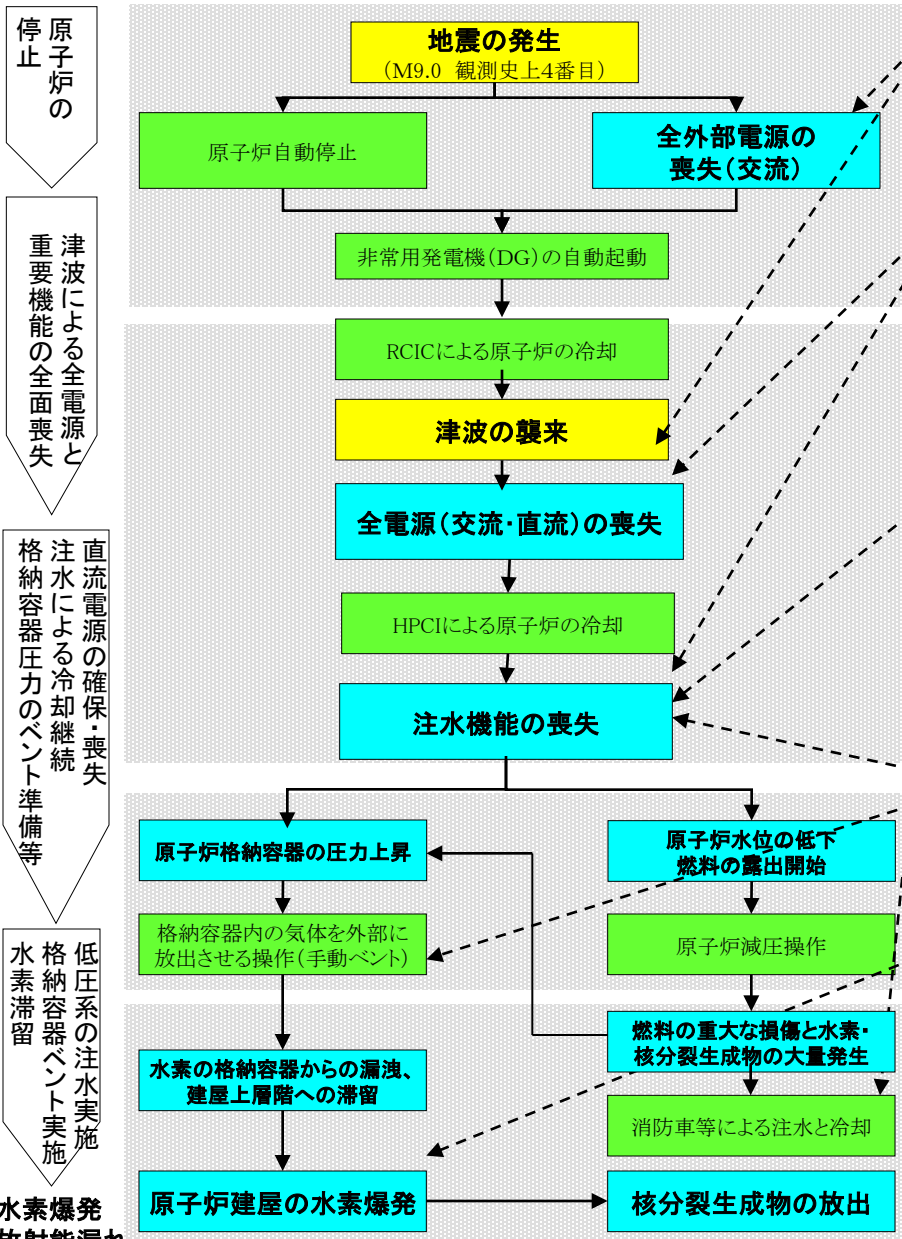
- 11:01 **建屋爆発(4・5階部分)** 消防車やホースが損傷し、海水注入停止
- 16:30頃 物揚場から炉へ注水するライン構築、海水注入再開
- 07:55 建屋上部に蒸気の浮遊を確認

事故の進展(概念図)



1F3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。
- AMI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ブ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

発生した事象

原子炉の停止

津波による全電源と海水系冷却機能の喪失

使用済み燃料プールの状態監視と水位確保準備

水素爆発放射能漏れ

火災発生・鎮火

| | | |
|------|-------|---|
| 3/11 | 14:46 | 地震の発生(震度6強) (M9.0 観測史上4番目) |
| | | <ul style="list-style-type: none"> 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(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) |
| | 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 |
| | | <ul style="list-style-type: none"> 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(FPC, RHR等) 使用済み燃料プール(SFP)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) |
| | | 使用済み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 |
| | | <ul style="list-style-type: none"> 使用済み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 | 使用済み燃料プール温度 84℃を確認 |
| | 11:01 | 3号機爆発 |
| 3/15 | 06:12 | 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 | 使用済み燃料プールへの放水開始(以降断続的に放水) |

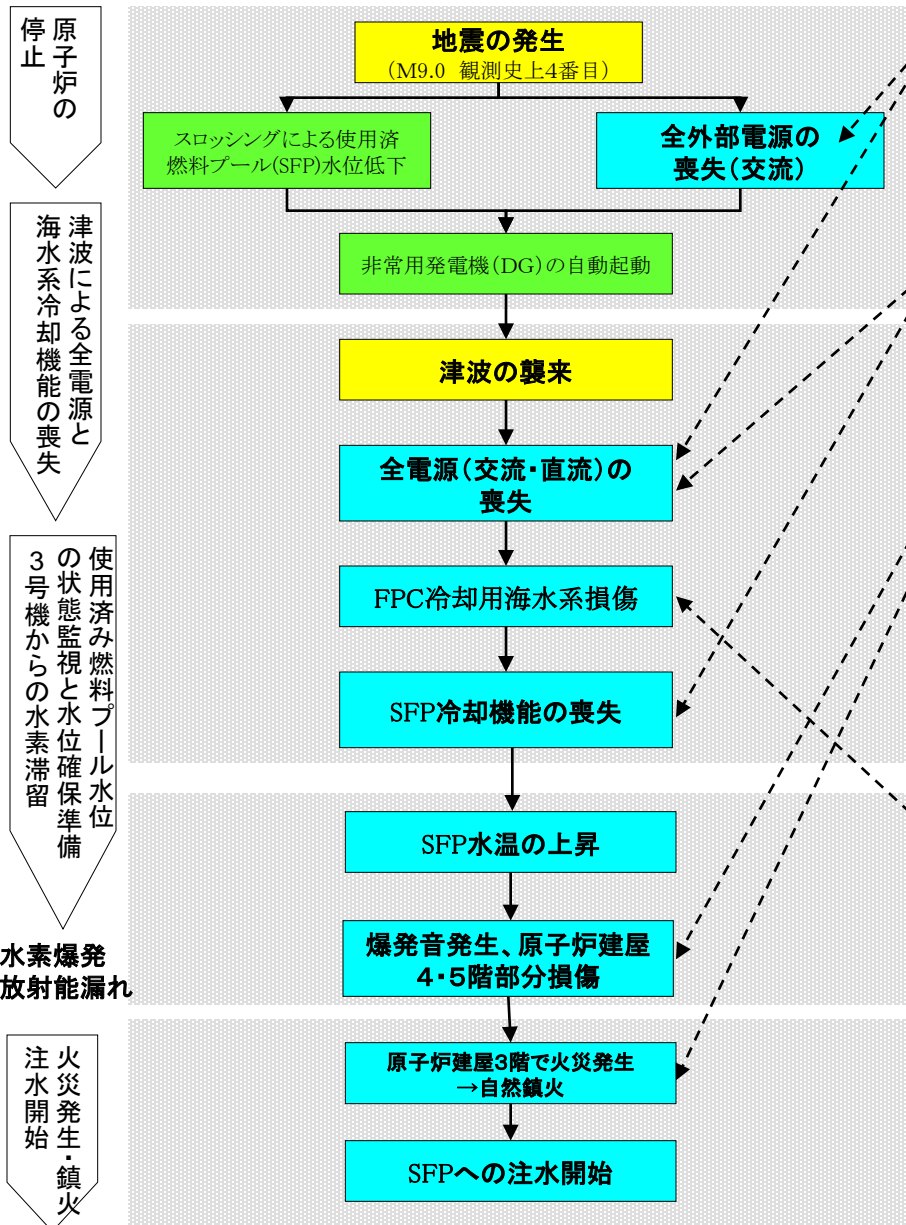
事故の進展(概念図)



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

AMI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

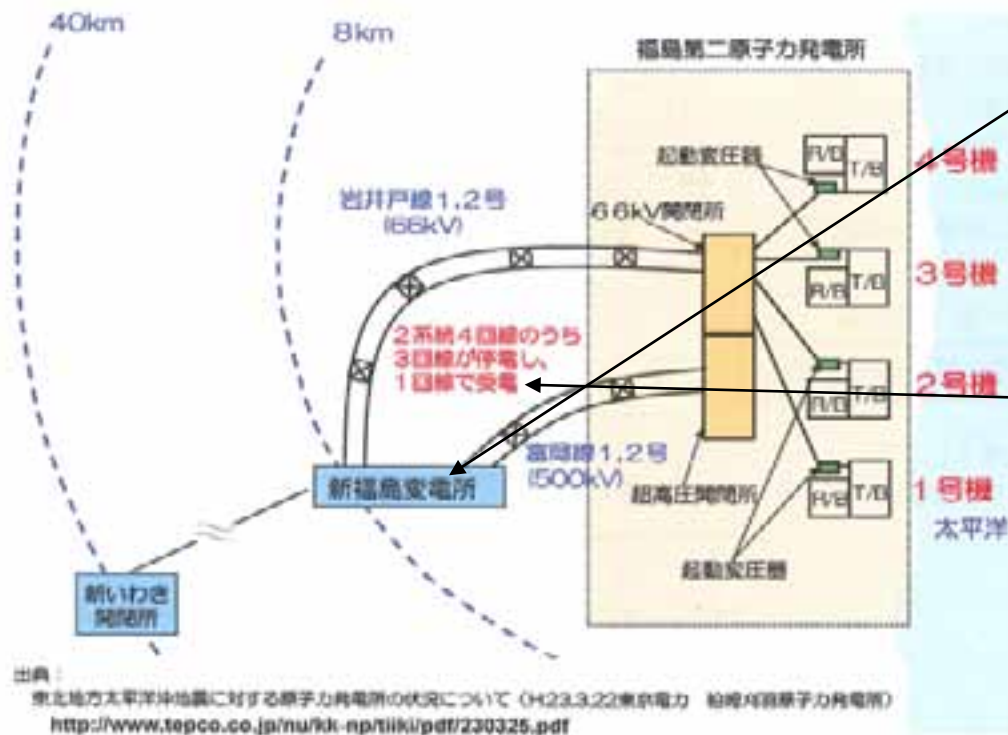
- 予想外の爆発で原因不明であったが、3号機からの滞留水素が非常用ガス処理系(SGTS)配管を通じて4号機側に廻り込み、水素爆発に至ったものと推定(4号機SFP内の燃料に損傷はなし) →SGTS放射能除去フィルタの出口側の線量が入口側の線量より数十倍高い値であった
- 火災発生についても原因不明、水素燃焼による可能性もあり
- 長期的な全交流電源喪失時の建屋換気方法が考慮されていない
- 水素発生を検知する仕組みが確立されていない
- 発生し建屋内に滞留した水素を、外部に逃がす仕組みが確立されていない

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

福島第二の送電システムの被害 — 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



外部電源の供給経路

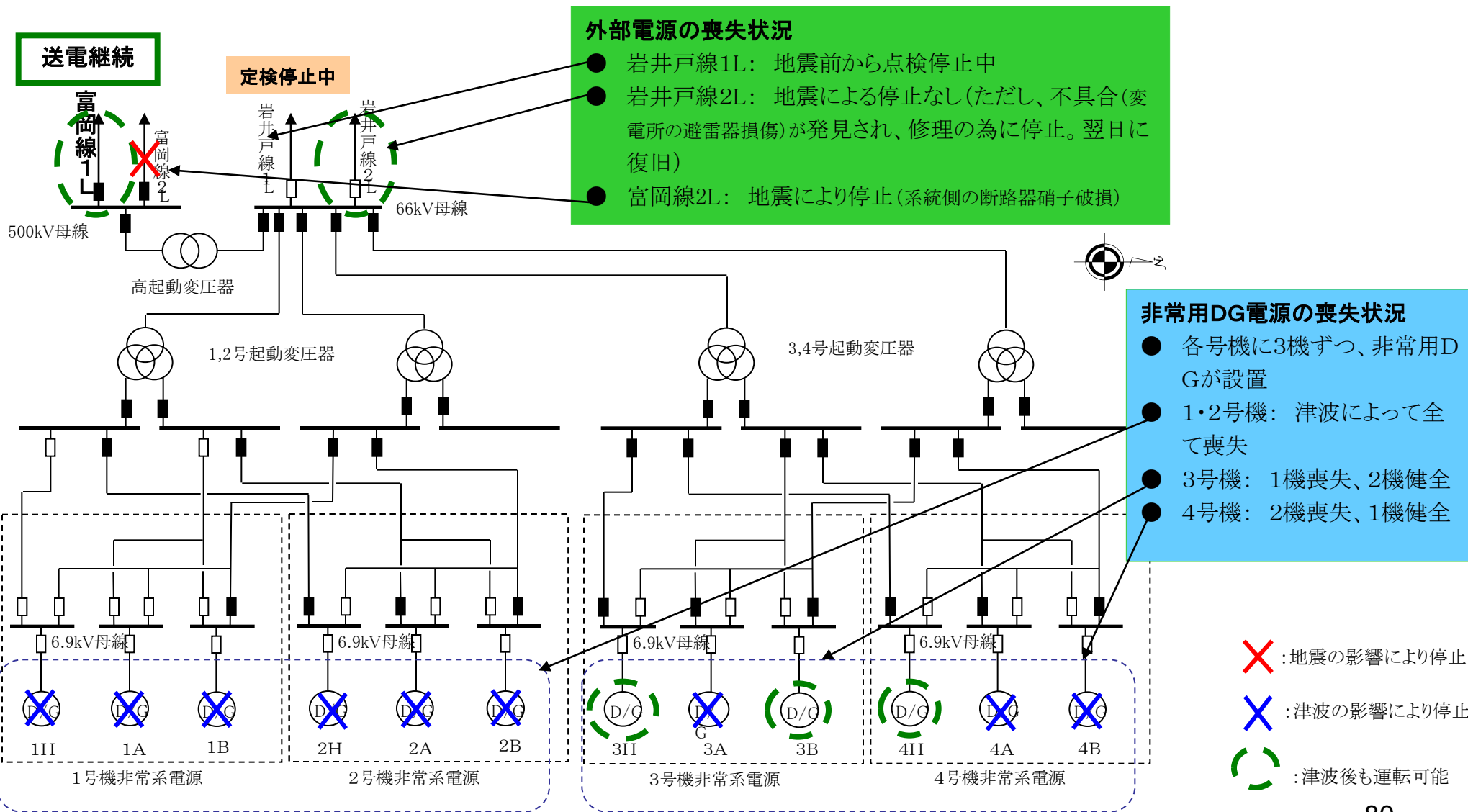
- 福島第二は、敷地から約8km離れた新福島変電所から電力供給を受ける設計であった

変電所からの送電

=> 4回線中3回線が地震で停止

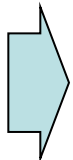
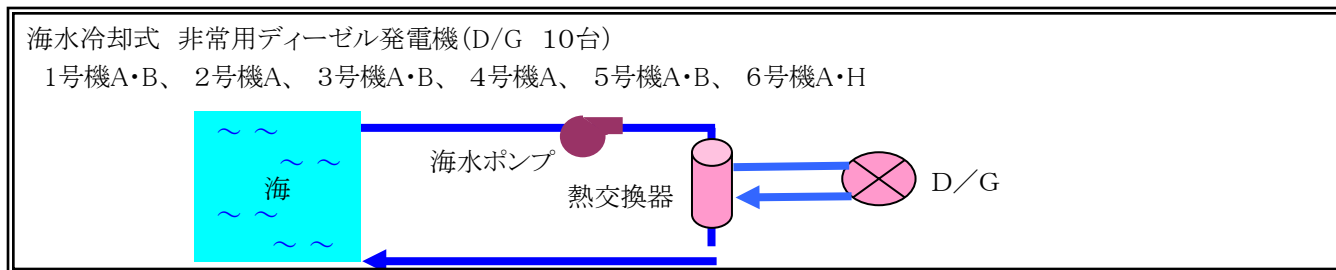
- 強い地震動による新福島変電所の断路器等の変電設備の損傷が発生
- 福島第二1～4号機への500kV1系統(2回線)、66kV1系統(2回線)のうち、2回線の送電が停止(66kV1回線は停止中だった)

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

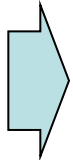
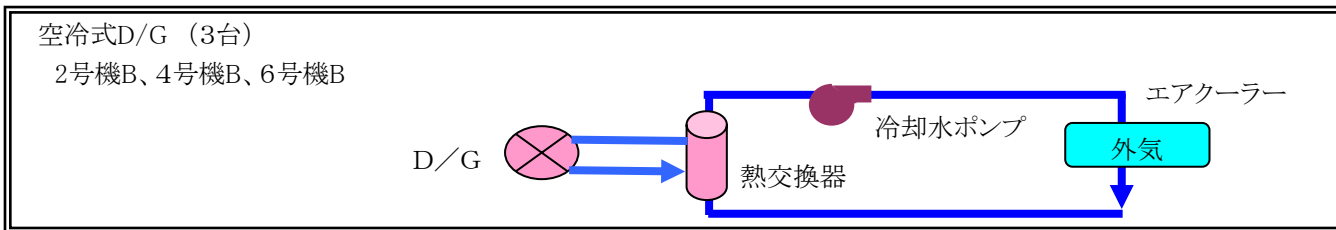


非常用DG発電機 の状況 — 福島第二の非常用DG発電機は、12台中3台が生き残った。福島第一は、6号機の1台を除いて全て喪失

福島第一：D/G系統概要

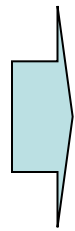
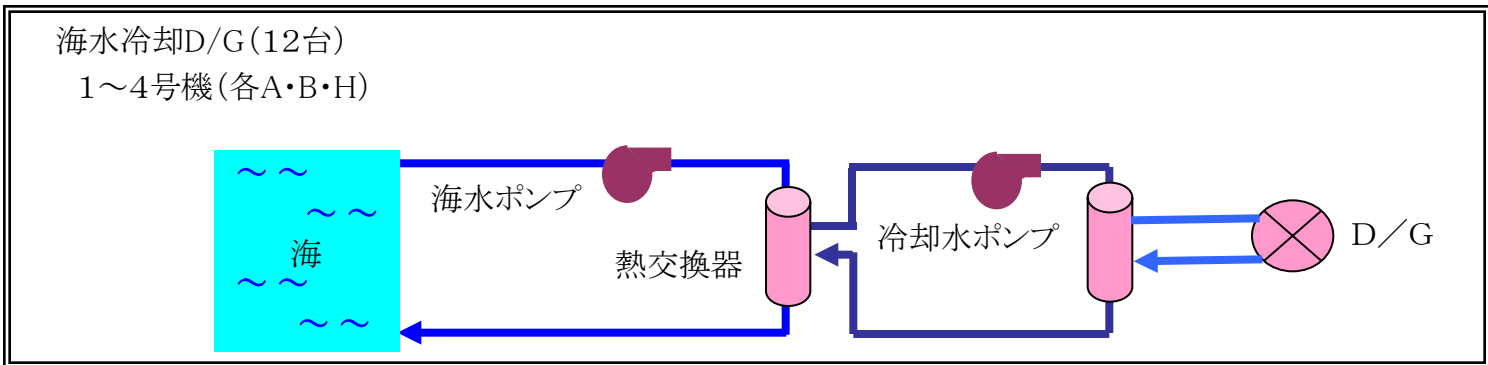


津波後すべて
機能喪失



6号機Bのみ
電源確保

福島第二：D/G系統概要



3号機B、H、
4号機Hのみ
電源確保

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

| | | 福島第一 | | | | | | | | | | | | 福島第二 | | | | | | | |
|------------------|-----|--------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|-----------------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|
| | | 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 | |
| | | 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 |
| D G | 非常用 | DG1A | × | DG2A | × | DG3A | × | DG4A | × | DG5A(※2) | × | DG6A | × | DG1A | × | DG2A | × | DG3A | × | DG4A | × |
| | | DG1B | × | DG2B(空冷) | × | DG3B | × | DG4B(空冷) | × | DG5B(※2) | × | DG6B(空冷) | ○ | DG1B | × | DG2B | × | DG3B | ○ | DG4B | × |
| M /C | 非常用 | M/C 1C | × | M/C 2C | × | M/C 3C | × | M/C 4C | × | M/C 5C | × | M/C 6C | ○ | M/C 1C | × | M/C 2C | ○ | M/C 3C | ○ | M/C 4C | ○ |
| | | M/C 1D | × | M/C 2D | × | M/C 3D | × | M/C 4D | × | M/C 5D | × | M/C 6D | ○ | M/C 1D | ○ | M/C 2D | ○ | M/C 3D | ○ | M/C 4D | ○ |
| | 常用 | M/C 1A | × | M/C 2A | × | M/C 3A | × | M/C 4A | × | M/C 5A | × | M/C 6A-1 | × | M/C 1H | × | M/C 2H | ○ | M/C 3H | ○ | M/C 4H | ○ |
| | | M/C 1B | × | M/C 2B | × | M/C 3B | × | M/C 4B | × | M/C 5B | × | M/C 6A-2 | × | M/C 1A-1 | ○ | M/C 2A-1 | ○ | M/C 3A-1 | ○ | M/C 4A-1 | ○ |
| | | M/C 1S | × | M/C 2SA | × | M/C 3SA | × | | | M/C 5A-1 | × | M/C 6B-1 | × | M/C 1A-2 | ○ | M/C 2A-2 | ○ | M/C 3A-2 | ○ | M/C 4A-2 | ○ |
| | | | | M/C 2SB | × | M/C 3SB | × | | | M/C 5A-2 | × | M/C 6B-2 | × | M/C 1B-1 | ○ | M/C 2B-1 | ○ | M/C 3B-1 | ○ | M/C 4B-1 | ○ |
| | | M/C 1SA-1 | ○ | | | | | M/C 5SA-1 | × | M/C 6B-2 | × | M/C 1B-2 | ○ | M/C 2B-2 | ○ | M/C 3B-2 | ○ | M/C 4B-2 | ○ | | |
| | | M/C 1SA-2 | ○ | | | | | M/C 5SA-2 | × | M/C 1SA-1 | ○ | M/C 3SA-1 | ○ | M/C 1SA-2 | ○ | M/C 3SA-2 | ○ | | | | |
| | | M/C 1SB-1 | ○ | | | | | M/C 5SB-1 | × | M/C 3SA-1 | ○ | M/C 1SB-1 | ○ | M/C 3SB-1 | ○ | | | | | | |
| | | M/C 1SB-2 | ○ | | | | | M/C 5SB-2 | × | M/C 3SA-2 | ○ | M/C 1SB-2 | ○ | M/C 3SB-2 | ○ | | | | | | |
| P /C | 非常用 | P/C 1C | × | P/C 2C | ○ | P/C 3C | × | P/C 4C | ○ | P/C 5C | × | P/C 6C | ○ | P/C 1C-1 | × | P/C 2C-1 | ○ | P/C 3C-1 | ○ | P/C 4C-1 | ○ |
| | | P/C 1D | × | P/C 2D | ○ | P/C 3D | × | P/C 4D | ○ | P/C 5D | × | P/C 6D | ○ | P/C 1C-2 | × | P/C 2C-2 | × | P/C 3C-2 | × | P/C 4C-2 | × |
| | 常用 | P/C 1A | × | P/C 2A | ○ | P/C 3A | × | P/C 4A | ○ | P/C 5A | × | P/C 6A-1 | × | P/C 1D-1 | ○ | P/C 2D-1 | ○ | P/C 3D-1 | ○ | P/C 4D-1 | ○ |
| | | | | P/C 2A-1 | × | | | P/C 5A-1 | ○ | P/C 6A-2 | × | P/C 1D-2 | × | P/C 2D-2 | × | P/C 3D-2 | ○ | P/C 4D-2 | × | | |
| | | P/C 1B | × | P/C 2B | ○ | | | P/C 3B | × | P/C 4B | ○ | P/C 5B | × | P/C 6B-1 | × | P/C 1A-1 | ○ | P/C 2A-1 | ○ | P/C 3A-1 | ○ |
| | | P/C 1S | × | | | P/C 3SA | × | | | P/C 5B-1 | ○ | P/C 6B-2 | × | P/C 1A-2 | ○ | P/C 2A-2 | ○ | P/C 3A-2 | ○ | P/C 4A-2 | ○ |
| | | | | | | P/C 5SA | × | | | P/C 1B-1 | ○ | P/C 2B-1 | ○ | P/C 3B-1 | ○ | P/C 4B-1 | ○ | | | | |
| | | P/C 5SA-1 | × | P/C 1B-2 | ○ | P/C 2B-2 | ○ | P/C 3B-2 | ○ | P/C 4B-2 | ○ | | | | | | | | | | |
| | | P/C 5SB | × | P/C 1SA | ○ | | | P/C 3SA | ○ | P/C 1SA | ○ | P/C 3SA | ○ | | | | | | | | |
| | | P/C 5SB | × | P/C 1SB | ○ | | | P/C 3SB | ○ | P/C 1SB | ○ | P/C 3SB | ○ | | | | | | | | |
| 直 流 電 源 | 1 | DC125V主母線盤1A | × | DC125V主母線盤2A | × | DC125V主母線盤3A | ○ | DC125V主母線盤4A | × | DC125V主母線盤5A | ○ | DC125V DIST CENTER 6A | ○ | DC125V主母線盤A | ○ | DC125V主母線盤A | ○ | DC125V主母線盤A | ○ | DC125V主母線盤A | ○ |
| | 2 | DC125V主母線盤1B | × | DC125V主母線盤2B | × | DC125V主母線盤3B | ○ | DC125V主母線盤4B | × | DC125V主母線盤5B | ○ | DC125V DIST CENTER 6B | ○ | DC125V主母線盤B | ○ | DC125V主母線盤B | ○ | DC125V主母線盤B | ○ | DC125V主母線盤B | ○ |
| 海 水 系 | A | CCS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × |
| | B | CCS B | × | RHRS B | × | RHRS B | × | RHRS B | × | RHRS B | × | RHRS B | × | RHRS B | × | RHRS B | × | RHRS B | ○ | RHRS B | × |

(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

福島第二／1号機クローノロジー (地震発生前:定格熱出力一定運転)

発生した事象

その意味合い

原子炉の停止

津波襲来により非常系機器の喪失

原子炉圧力・水位調整、減圧操作による格納容器圧力上昇と冷却操作開始

非常系機器・電源の復旧により原子炉の冷温停止へ

| | | |
|------|---------|---|
| 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 |
| | 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) |
| | 15:33 | 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 | RHR(B)ポンプ手動起動(仮設ケーブル敷設による受電) |
| | 21:03 | RHR(C)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(高压電源車による受電) |
| | 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 |

- **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SRV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炉冷温停止へ**
 - 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
 - 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

福島第二／2号機クログロジー (地震発生前:定格熱出力一定運転)

発生した事象

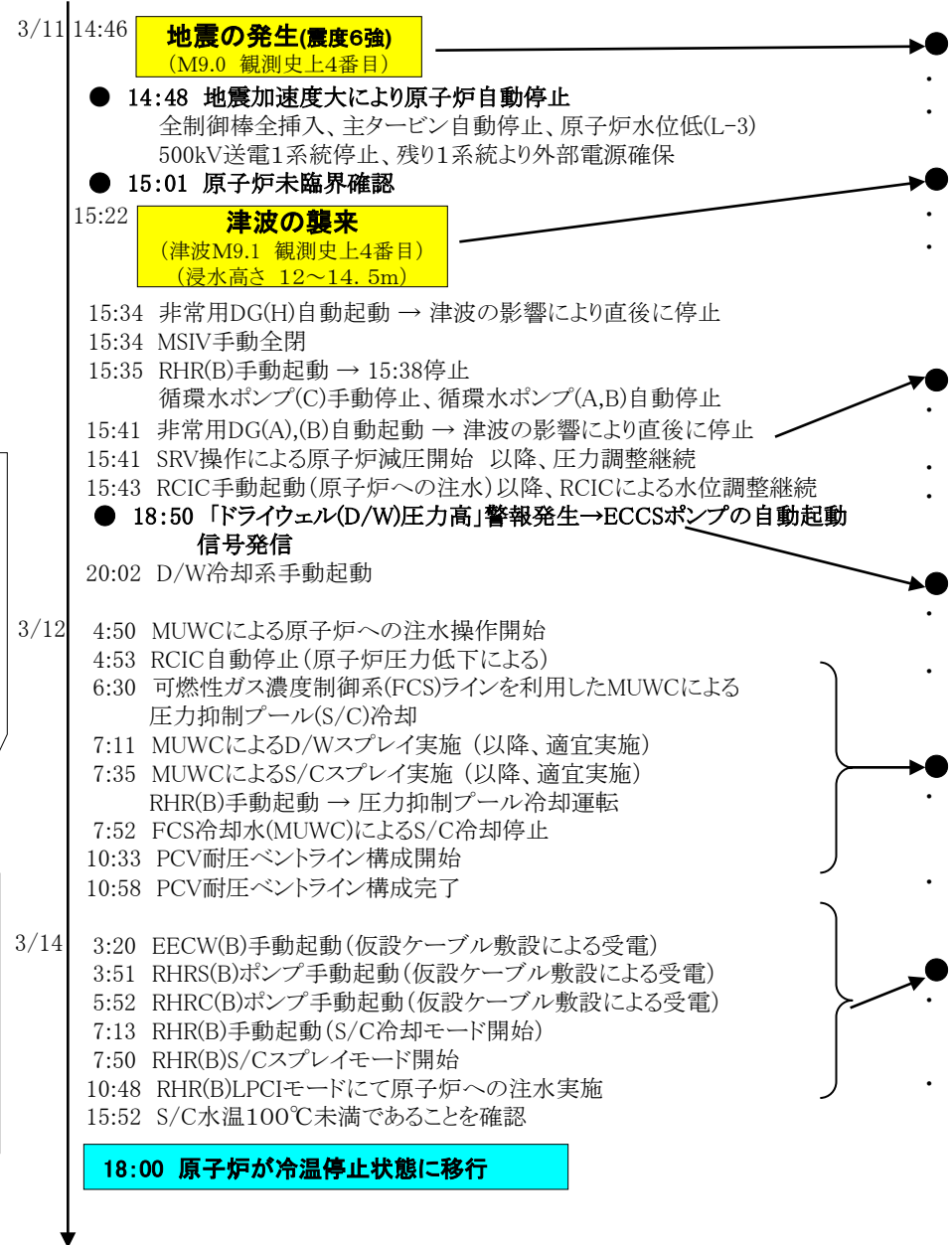
その意味合い

原子炉の停止

津波襲来による非常系機器の喪失

原子炉圧力・水位調整、減圧操作による格納容器圧力上昇と冷却操作開始

非常系機器・電源の復旧による原子炉の冷温停止へ

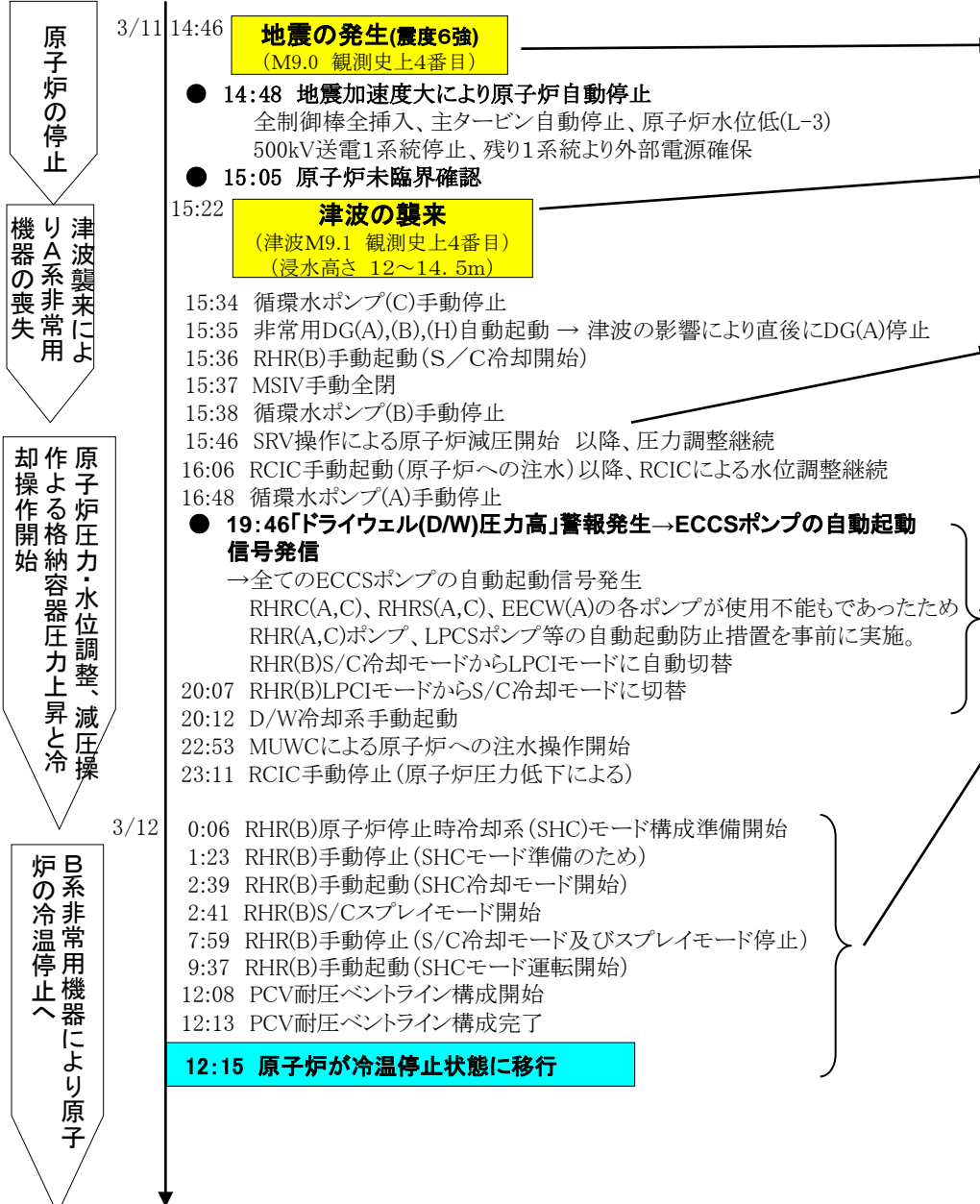


- **地震により原子炉自動停止**
 - 地震後の原子炉の挙動(スクラム)は設計通りであり、大きな問題はなかった。
 - 外部電源の確保により常用電源、非常用電源への給電確保。
- **津波による浸水により、非常用電源並びに海水系ポンプ機能喪失**
 - 津波の襲来により、熱交建屋の非常用電源(パワーセンター)が使用不能となった。
 - 非常用DGについては、使用可能な状態であったが、津波の襲来により、海水熱交換器建屋が浸水したことから、非常用機器冷却系ポンプが全て起動できない状態になったため、非常用炉心冷却ポンプ、非常用DGの起動不可能となった。
- **主蒸気逃し弁・RCICによる原子炉圧力・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)及びドライウエル(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炉冷温停止へ**
 - 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。

福島第二／3号機クログロジー (地震発生前:定格熱出力一定運転)

発生した事象

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。

福島第二／4号機クログロジー (地震発生前:定格熱出力一定運転)

発生した事象

その意味合い

原子炉の停止

津波襲来により非常系機器の喪失

原子炉圧力・水位調整、減圧操作による格納容器圧力上昇と冷却操作開始

非常系機器・電源の復旧により原子炉の冷温停止へ

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)

15:33 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

3/12 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スプレー実施
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スプレーモード開始
18:58 RHR(B)LPCIモードにて原子炉への注水実施

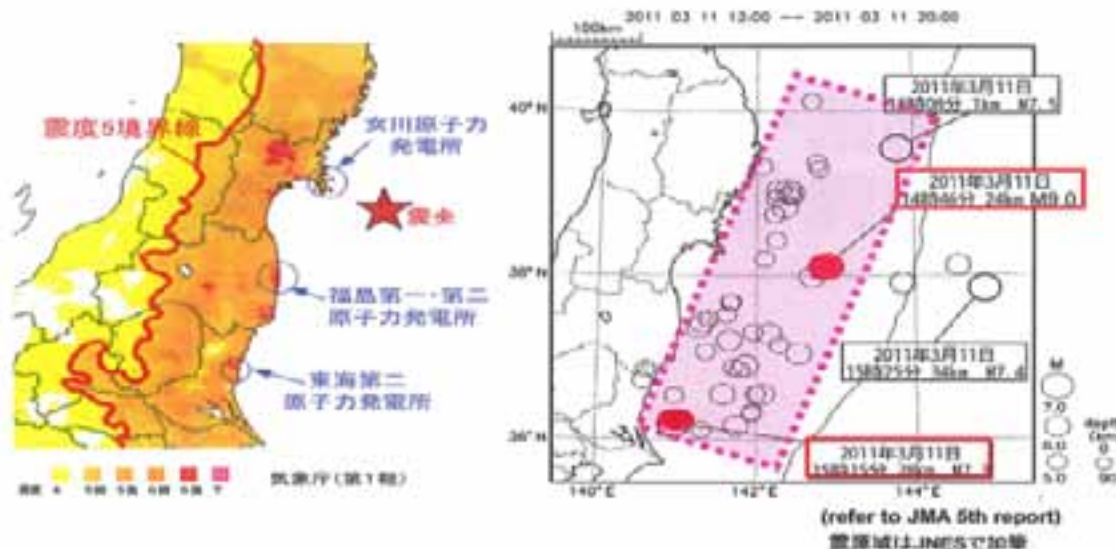
3/15 **7:15 原子炉が冷温停止状態に移行**

- **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スプレー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冷却系の一部システム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。

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



- 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(S_s)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

| | 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 S_a との対比 | 一部の周期帯で S_s を上回る | S_s 以下 | 一部の周期帯で S_s を上回る (3/11本震、4/7余震) | S_s 以下 |

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 | <ul style="list-style-type: none"> 1号機： 純水タンクのフランジ部からの純水漏洩 2号機： 電気ボイラー非放射能性蒸気漏れ 5号機： 至近のパトロール範囲において、目視点検ベースで損傷無し 6号機： 同上 | <ul style="list-style-type: none"> アクセス道路は異常なし |
| 福島第二 | <ul style="list-style-type: none"> 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 | <ul style="list-style-type: none"> アクセス道路は異常なし |
| 女川 | <ul style="list-style-type: none"> 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： 55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 | <ul style="list-style-type: none"> 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 | <ul style="list-style-type: none"> 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) | <ul style="list-style-type: none"> アクセス道路は異常なし |

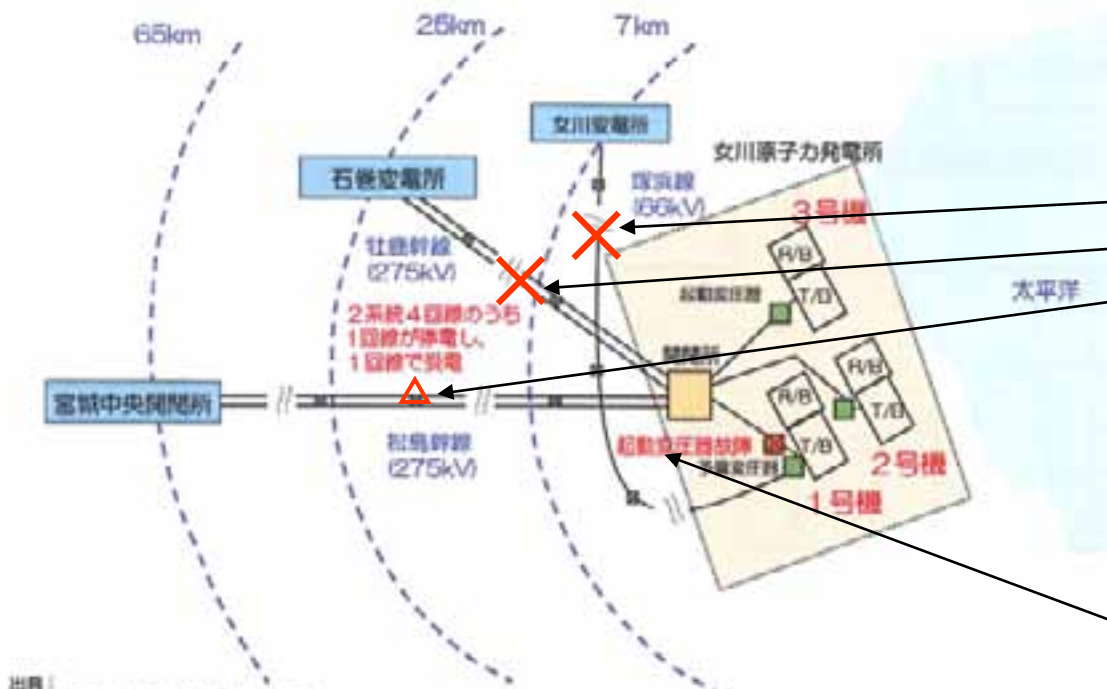
電源喪失の比較 — 外部電源が地震に弱い。福島第二、女川の各1回線を残し、全て喪失。外部または非常用電源の1つでも残ったか否かが、その後の事故展開において福島第一とそれ以外の際立った違いを生んだ

- **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
- **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、冷温停止に移行できた
- **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

| | 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) |
|---------------------|--|--|--|-------------|-------------------------------------|
| 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)の供給が可能であった。→炉心冷却が可能であった。 |
| 非常用発電機 (設置位置) | 1～5号:×(水冷式) 6号:○(1台:空冷式) ×(2台:水冷式) | 1号:× 2号:× 3号:○(2/3) 4号:○(1/3) | 1号:○ 2号:○(1/3) 3号:○ | ○(2/3) | |
| 海水系ポンプモータ (設置位置) | 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。 |
| 電源供給のために配備した敷材 | 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) |
| 電源供給のために配備した敷材 | 電源車 (爆発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または非常用DGが生き残ったため、電源車等は必要とならなかった。 | | |

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リスクを抱えていたと言える

女川の送電系統の被害 — 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



出典：
 東北電力 経営 主要設備(東北電力HP)
http://www.tohoku-epco.co.jp/corp/gaiyo/gaiyo_data/setsu.html
 地震発生による原子力発電所の状況について(第1報) (平成23年 3月11日 東北電力女川発電所)
http://www.tohoku-epco.co.jp/emergency/01182594_1000.html

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号が停止。2号が生き残った

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の)
- 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号機クローノロジー（地震発生前:定格熱出力一定運転）

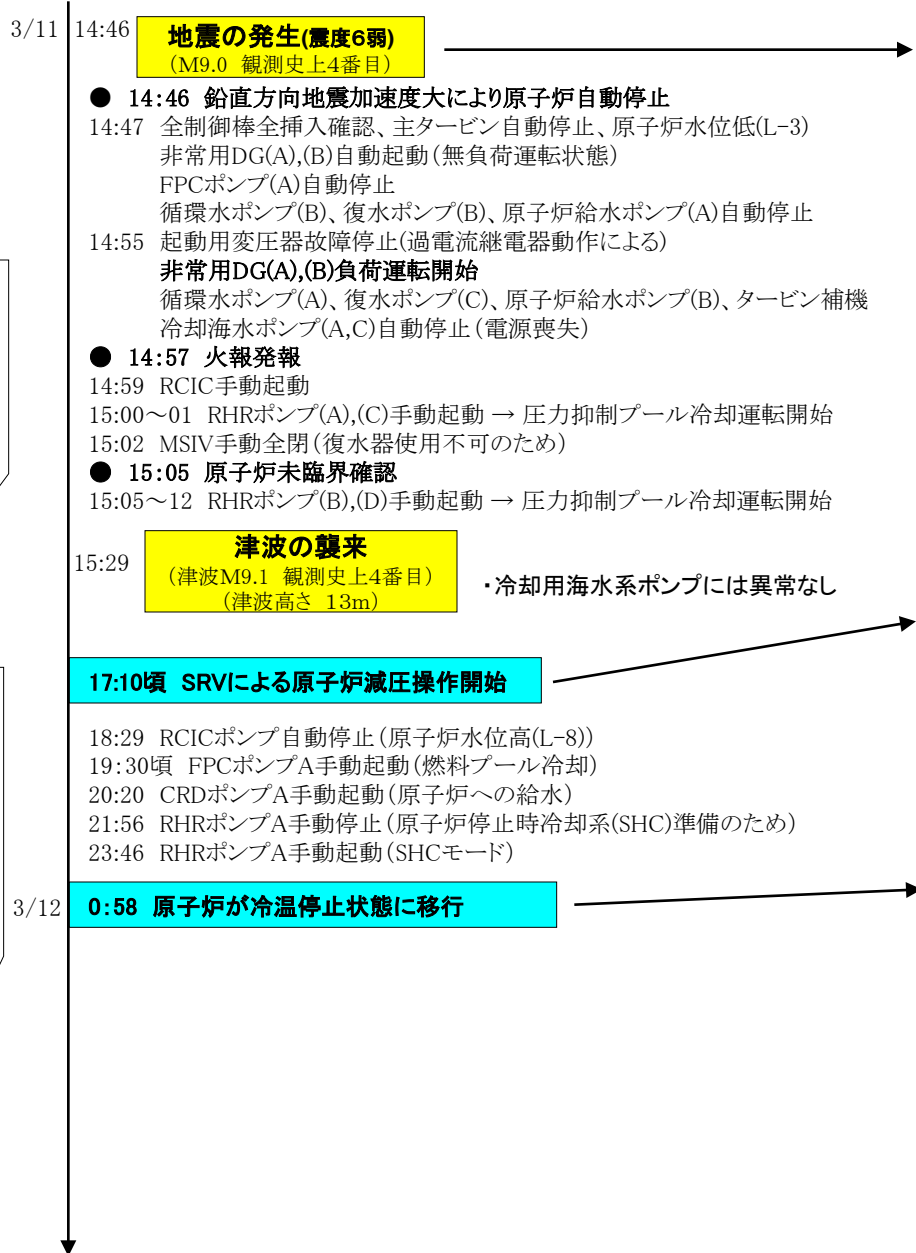
発生した事象

その意味合い

原子炉の停止

地震により電源盤火災発生・外部電源喪失
非常用DG起動

原子炉減圧
非常用低圧系ポンプによる原子炉冷温停止状態への移行



- 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)

3/12 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。

原子炉の停止

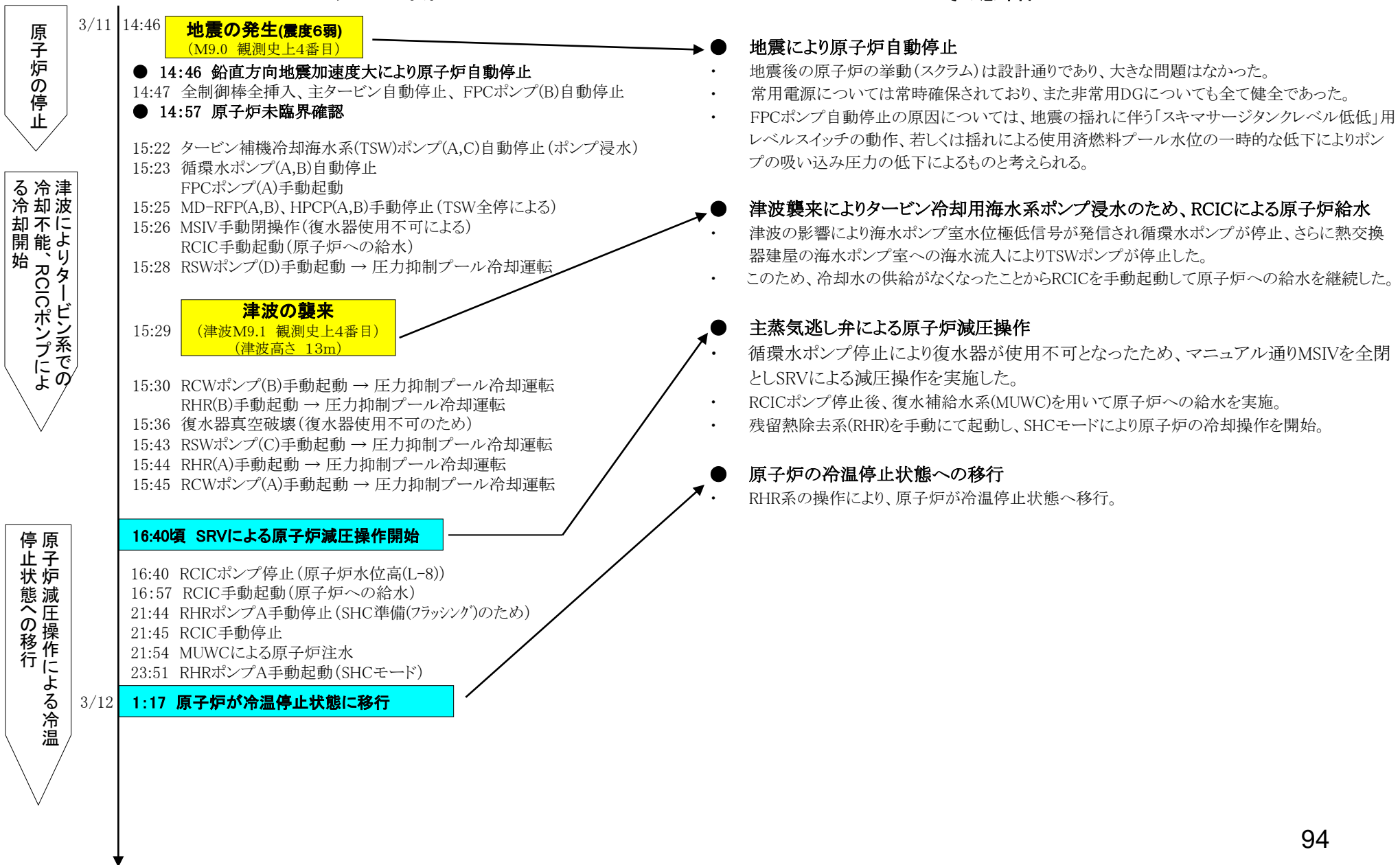
津波の影響で冷却用海水系ポンプが2系統停止、DG2台停止

1系統の海水系ポンプ・DGにより原子炉の冷温停止を維持

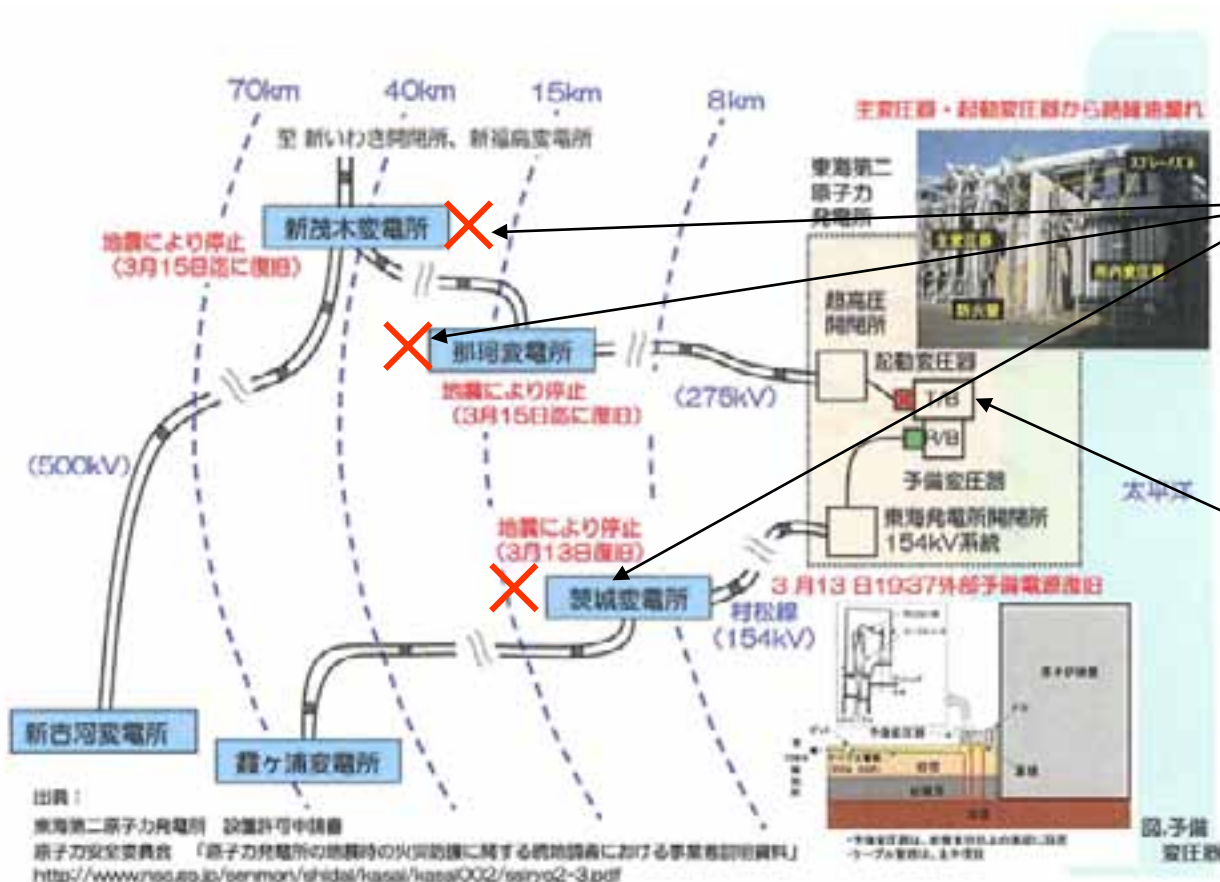
東北／女川3号機クログロジー (地震発生前:定格熱出力一定運転)

発生した事象

その意味合い



東海第二の送電系統の被害 — 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



変電所からの送電
=> 地震で全て停止

- 強い地震動で那珂変電所、茨城変電所が停止し、全回線の送電が停止

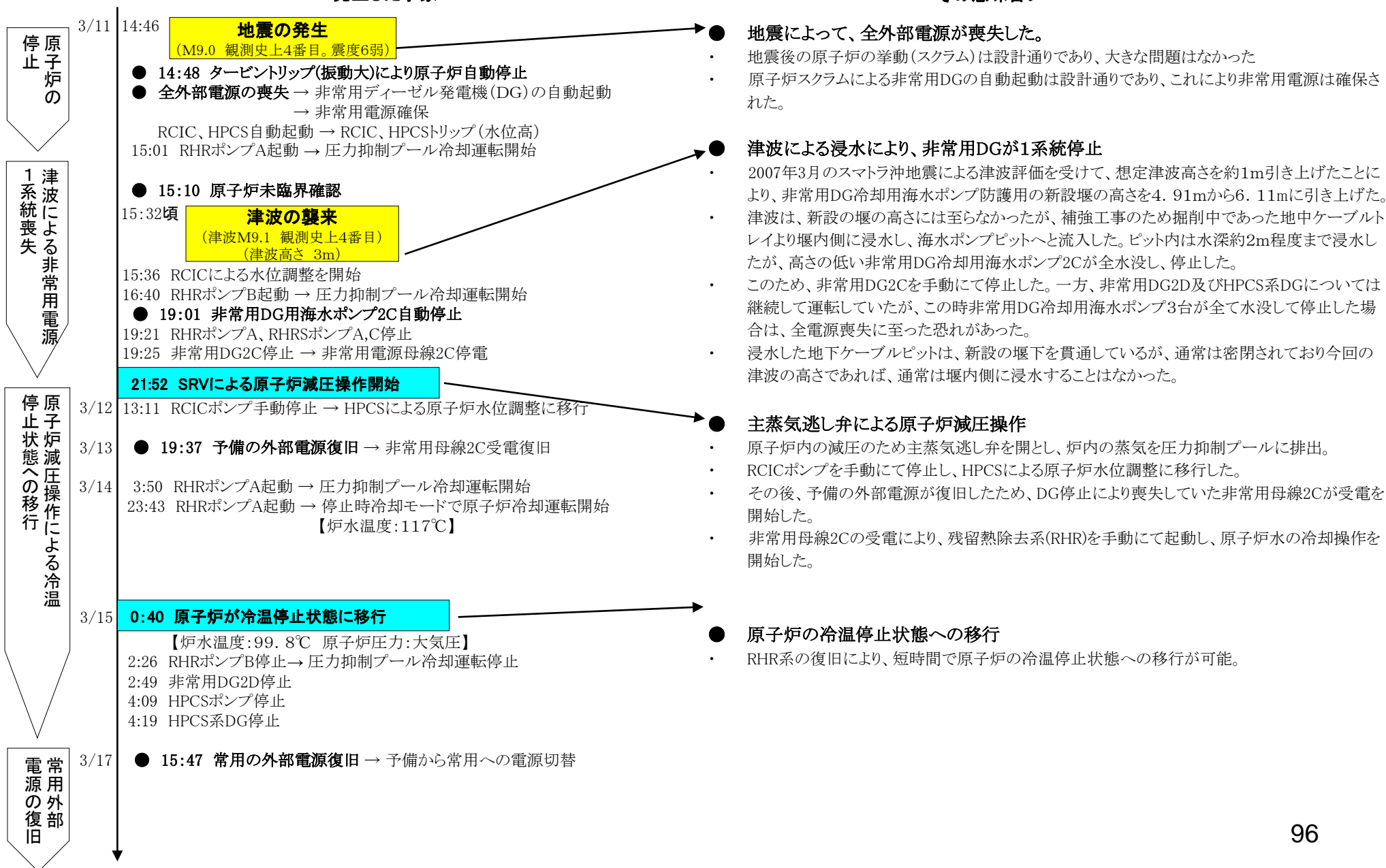
敷地内の受電設備
=> 主・起動変圧器から絶縁油漏れ

- 受電設備のうち、主変圧器、起動用変圧器から絶縁油漏れが発生
- 3月13日： 外部予備電源154kV1系統1回線が復旧
- 3月18日： 外部常用電源(275kV1系統1回線)への切替えがなされ、通常の電源系統に復帰

原電／東海第二クローノロジー（地震発生前:定格熱出力一定運転）

発生した事象

その意味合い



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

| | | 東北電力 女川 | | | | | | 東海第二 | |
|---------|--------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------|--------------|----------------|
| | | 1号機 | | 2号機 | | 3号機 | | 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 | | |
| 非常用DG | | DG1A | ○ | DG2A | ○(無負荷待機) | DG3A | ○(待機) | DG2C | × 海水ポンプ停止(DGS) |
| | | DG1B | ○ | DG2B | × 海水系ポンプ停止 | DG3B | ○(待機) | DG2D | ○ |
| | | | | DG2H | × 海水系ポンプ停止 | DG3H | ○(待機) | DG2H | ○ |
| M/C | 非常用 | M/C6-1C | ○ | M/C6-2C | ○ | M/C6-3C | ○ | M/C-2C | × |
| | | M/C6-1D | ○ | M/C6-2D | ○ | M/C6-3D | ○ | M/C-2D | ○ |
| | | | | M/C6-2H | ○ | M/C6-3H | ○ | M/C-HPCS | ○ |
| | 常用 | M/C6-1A | × 地震による焼損発生 | M/C6-2A | ○ | M/C6-3A | ○ | M/C-2A-1 | × |
| | | M/C6-1B | × | M/C6-2B | ○ | M/C6-3B | ○ | M/C-2A-2 | × |
| | | M/C6-1S | × | M/C6-2SA-1 | ○ | M/C6-3SA-1 | ○ | | |
| | | M/C6-1E | × | M/C6-2SB-1 | ○ | M/C6-3SB-1 | ○ | M/C-2B-1 | × |
| | | | | | | M/C6-3SA-2 | ○ | M/C-2B-2 | × |
| | | | | | | M/C6-3SB-2 | ○ | | |
| | | | | | | | | M/C-2E | × |
| 直流電源A/B | 125VDC | DC125V主母線盤1A | ○ | DC125V主母線盤2A | ○ | DC125V主母線盤3A | ○ | DC125V主母線盤2A | ○ |
| | | DC125V主母線盤1B | ○ | DC125V主母線盤2B | ○ | DC125V主母線盤3B | ○ | DC125V主母線盤2B | ○ |
| | | | | | | | | | |
| 海水系 | A | RHRS A | ○ | RSW A | ○ | RSW A | ○ | RHRS A | × |
| | B | RHRS B | ○ | RSW B | × RCW/RSW浸水 | RSW B | ○ | RHRS B | ○ |
| | | | | HPSW | × HPCW浸水 | HPSW | ○ | HPCSDGS | ○ |

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 | 全ての交流電源喪失となったが、2, 3号機は直流電源の一部確保によりRCIC等による高圧冷却継続。しかしバッテリーの枯渇により停止。この間低圧系のライン構成も間に合わず。 | 原子炉隔離時冷却系(RCIC)や高圧スプレイ系等が作動し、この間に低圧系のライン構成が完了できたことにより原子炉の水位等を確保できた。 | | | 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(RHR)(一部)が動作し、崩壊熱を海に放出し、炉心等を冷却できた。 | | | 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 | 淡水タンク(所内)等 | | | 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) | 交流電源及び炉心等冷却機能が生き残ったため、水補給用のポンプ等が必要にならなかった。 | | | |

第一以外の原発…冷温停止…

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

| 型式 | 福島第二 1号機 マーク2 (BWR-5) 稼働中 | 福島第二 2号機 マーク2改良型 (BWR-5) 稼働中 | 福島第二 3号機 マーク2改良型 (BWR-5) 稼働中 | 福島第二 4号機 マーク2改良型 (BWR-5) 稼働中 | 女川 1号機 (BWR-4) 稼働中 | 女川 2号機 マーク1改良型 (BWR-5) 定期検査中だが、地震 直前に起動 | 女川 3号機 マーク1改良型 (BWR-5) 稼働中 | 東海第二 2号機 マーク2 (BWR-5) 稼働中 |
|---------------------------------------|--|---|--|---|--|---|---|---|
| 外部交流電源 直流電源(A),(B) 非常用DG 海水系 | ○(1/4回線) ○(2系統) ✖ | ○(1/4回線) ○(2系統) ✖ | ○(1/4回線) ○(2系統) ○(2/3系統) | ○(1/4回線) ○(2系統) ○(1/3台) ○(2/3系統) | ○(1/5回線) ○(2系統) ○(2/2台) ○(2/2系統) | ○(1/5回線) ○(2系統) ○(1/3台) | ○(1/5回線) ○(2系統) ○(3/3台) | ✖ ○(2系統) ○(2/3機) ○(2/3系統) |
| 3月11日 | 地震発生(14:46) スクラム | 地震発生(14:46) スクラム | 地震発生(14:46) スクラム | 地震発生(14:46) スクラム | 地震発生(14:46) スクラム 大災発生(常用系電源側の アーク放電 14:57) | 地震発生(14:46) スクラム(冷温停止) | 地震発生(14:46) スクラム RCIC手動起動(15:28) | 地震発生(14:46) スクラム |
| | 津波襲来(第一波:15:22) | 津波襲来(第一波:15:22) | 津波襲来(第一波:15:22) | 津波襲来(第一波:15:22) | RCIC手動起動(14:59) 津波襲来(15:29頃 潮位計最高水位) | 津波襲来(15:29頃 潮位計最高水位) | 津波襲来(15:29頃 潮位計最高水位) | 津波襲来(第一波:15:32頃) |
| | RCIC起動(15:36) | 炉減圧 (SRV操作 15:41) | 炉減圧 (SRV操作 15:46) | 炉減圧 (SRV操作 15:46) | 炉減圧 (SRV操作 17:10) | | 炉減圧 (SRV操作 16:40頃) | RCIC手動起動(15:36) |
| | 炉減圧 (SRV操作 15:55) | RCIC起動(15:43) | RCIC起動(16:06) | RCIC起動(15:54) | RCIC自動停止(18:29) | | RCIC手動停止(21:45) | 炉減圧 (SRV操作 21:52) |
| | D/W冷却系起動(17:53) | D/W冷却系起動(20:02) | D/W冷却系起動(20:12) 注水開始(MUWC系 22:53) RCIC手動停止(23:11) | D/W冷却系起動(19:14) | 燃料プール冷却(EPCポンプ 手動起動 19:30) 原子炉注水開始(CRDポンプ 手動起動 20:20) RHRポンプ手動起動(SHC モード 23:46) | 燃料プール冷却(EPCポンプ 手動起動 20:29) | RCIC手動停止(21:45) 原子炉注水開始(MUWC 21:54) RHRポンプ起動(SHC モード 23:51) | |
| 3月12日 | 注水開始(MUWC系 0:00) | 注水開始(MUWC系 4:50) | RHR手動起動(SHC冷却 モード 2:39) RHR S/Cスプレイモード開始 (2:41) | RCIC自動停止(0:16) 注水開始(MUWC 0:16) S/C冷却(FCSラインから MUWC 7:55) | 冷温停止(0:58) | 原子炉スクラム・リセット(4:49) | 冷温停止(1:17) | |
| | 原子炉急速減圧開始(3:50) | | | | | RHRポンプ手動起動 (SHCモード 12:12) 冷温停止の維持(12:12 ～) | | |
| | RCIC手動停止(4:58) | RCIC手動停止(4:53) | RHR手動起動(SHC モード開始 9:37) | S/Cスプレイ(MUWC系 7:55) | | | | |
| | S/C冷却(FCSラインから MUWC 6:20) | S/C冷却(FCSラインから MUWP 6:30) | PCV耐圧ベントライン構成完 了(12:13) | 原子炉注水(HPCSへ切替 11:17) | | | | RCIC手動停止(13:11) HPCSへ移行 |
| | S/C冷却停止(MUWC 7:45) | S/C冷却停止(MUWP 7:52) | 冷温停止(12:15) | PCV耐圧ベントライン構成完 了(11:52) | | | | |
| 3月13日 | PCV耐圧ベントライン構成完 了(18:30) | PCV耐圧ベントライン構成完 了(10:58) | | 原子炉注水停止(HPCS 13:45) | | | | |
| | RHR/S/Cスプレイ手動起動(切 替ケーブル受電 20:17 / 21:04) | | | | | | | |
| 3月14日 | 非常用補機冷却系起動 (EECW。電源車より受電 1:44) | 非常用補機冷却系起動 (EECW。低圧電源より受電 3:20) | | EECW手動起動(電源車から 受電 11:00) | | | | 予備外部電源の復旧(19:37) |
| | 原子炉への注水開始 (RHR LPOIモード 10:05) | 原子炉への注水開始 (RHR LPOIモード 10:4 8) | | RHR S/Cスプレイモード開始 (16:02) | | | | RHRポンプ起動(S/Cプール 冷却開始 3:50) |
| | 使用済み燃料プール注水開 始(FPMUW系 16:30) | | | 原子炉への注水開始 (RHR LPOIモード 18:58) | | | | |
| | 冷温停止(17:00) | 冷温停止(18:00) | | | | | | |
| 3月15日 | | | | 冷温停止(7:15) | | | | RHRポンプ起動(停止 時冷却モード 23:43) |
| 3月16日 | | | | | | | | 冷温停止(0:40) |
| 3月17日 | | | | | | | | 常用外部電源への切替開始 (15:47) |
| 3月18日 | | | | | | | | |

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 | △ ・1、2号機は全滅 ・3号機は2/3台、 4号機が1/3台健全 | ○ ・2/3台が健全 |
| 直流電源 | ✕ 津波によって全て喪失 | | ○ 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 | ✕ ・2号機：唯一あった電源車の接続を試みたが、1号機爆発で損壊し、接続できず ・1, 3, 4号機：使用可能電源盤調査、使用可能電源盤とのケーブル敷設に時間を要したため対応が遅延 | | | | | ○ 海水系ポンプの復旧に使用 | ○ 一部電源車を使用 | — 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系統の外部電源が生きていた | ○ 3月13日19:37に154kV系予備が復旧 |

↓

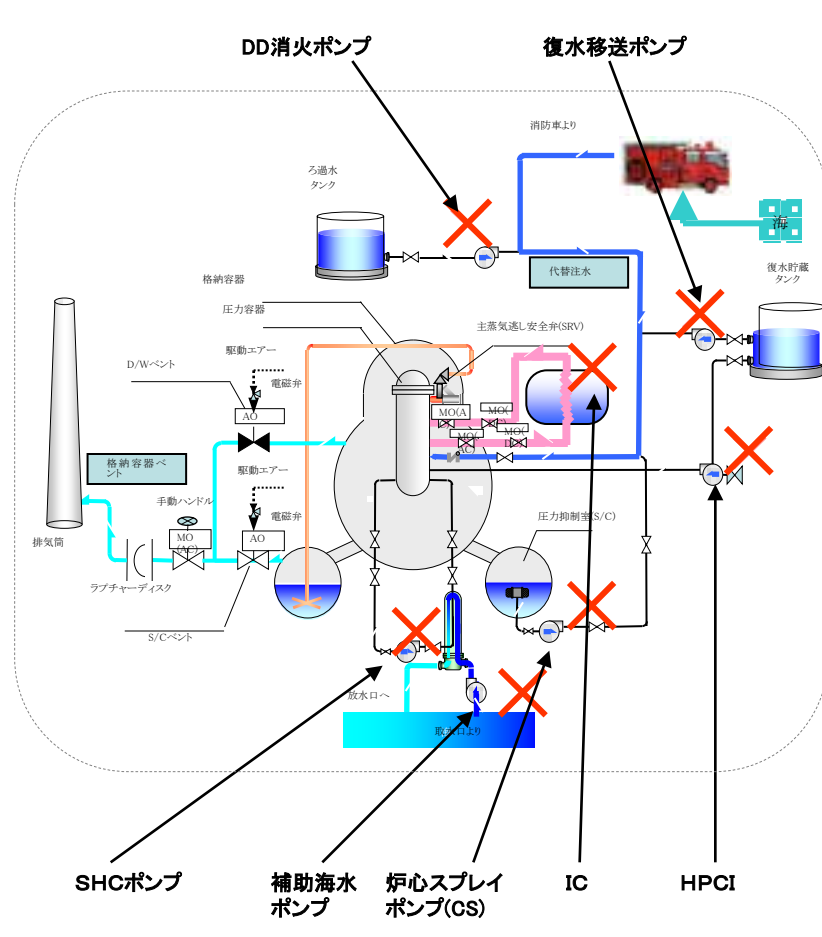
設計の想定以上の長期電源喪失が発生

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

| | | 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 |
|-------------|-----------------|----------------------------|--------------|-----------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|---------|
| 高圧冷却系 | HPCI/HPCS | × 機能喪失 | × 直流電源枯渇後 | — | — | — | × 1・2号機 電源被水等で機能喪失 ○ 3・4号機 | × 2号機 ○ 1.3号機 | ○ |
| | IC/RCIC | × 動作後、機能喪失 (2号機は3日後) | × 直流電源枯渇後 | — | — | — | ○ | ○ (確認要) | ○ |
| | SLC系 | × 電源喪失による | | | — | — | × 5号機 ○ 6号機 | ○ | ○ (確認要) |
| | CRD系 | × 電源喪失による | | | — | — | × 5号機 ○ 6号機 | ○ | ○ (確認要) |
| 低圧冷却系 | FP | × FPポンプ不動作 | | × 電源喪失 | — | × 5号機 ○ 6号機 | ○ | △ (確認要) | |
| | MUWC/MUWP | × 電源・モータ浸水 | | — | — | ○ 電源融通 | ○ | ○ (確認要) | |
| 海水ポンプ系 | CCSW/RS W/RHRS等 | × 津波による海水系電源・モータの浸水 | | — | — | △ RHR系一部機能維持、その後復旧 | △ 3号機以外全滅(電源・モータ喪失) | ○ 一部浸水 | |
| 炉心損傷の開始(解析) | | 3/11 18:46 | 3/14 19:46 | 3/13 8:46 | 停止中 4号機は水素爆発 (3号機からの逆流) | | 稼働中 => 冷温停止へ | | |
| | | 水素爆発(または損傷) | | | | | | | |

福島第一1号機 冷却系喪失の全体像



- 第一1号機では、全ての冷却機能が同時喪失した。
- 炉心への注水は、1台の消防車で行わざるを得なかった

冷却機能が停止し、燃料棒の露出から数時間で炉心損傷へ

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・冷却系につながる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)

| | 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 |
| 高圧冷却系(IC/RCIC等) | ✕ しばらく動作後、機能喪失 | ✕ 直流電源枯渇後停止 | — 冷温停止中 | | | ○ | △ 女川2号機以外 | |
| 低圧冷却系(MUWC/MUWP等) | ✕ 電源喪失による | | | | ○ 電源融通 | ○ | ○ (確認要) | |
| 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 | | | | | △ 3号機以外全滅(電源・モータ水没) | ○ 一部浸水 | ○ 一部浸水 |

炉心損傷 / 水素爆発(または損傷)

冷温停止へ移行

(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

| 型式 | 福島第一 1号機 マーク1 (BWR-3) | 福島第一 2号機 マーク2 (BWR-4) | 福島第一 3号機 マーク1 (BWR-4) | 福島第一 4号機 マーク1 (BWR-4) | 福島第一 5号機 マーク2 (BWR-4) | 福島第一 6号機 マーク2 (BWR-5) |
|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 外部交流電源 直流電源(A),(B) 非常用DG 海水系 | 稼働中 | 稼働中 | 稼働中 | 停止中(定期検査) | 停止中(定期検査・燃料装荷) | 停止中(定期検査) |
| 3月11日 | 地震発生(14:46) スクラム | 地震発生(14:46) スクラム | 地震発生(14:46) スクラム | 地震発生(14:46) スクラム | 地震発生(14:46) スクラム | 地震発生(14:46) スクラム |
| | IC起動(14:52) | RCIC起動(14:50) 停止(16:28) | RCIC起動(16:06) 停止(16:28) | | | |
| | 格納容器(第一・第二)16:00 | 格納容器(第一・第二)16:00 | 格納容器(第一・第二)16:00 | 格納容器(第一・第二)16:00 | 格納容器(第一・第二)16:00 | 格納容器(第一・第二)16:00 |
| | 炉心損傷開始(18:46)解析 | RCIC起動(16:36) | RCIC起動(16:03) | | | |
| | 水素の大量発生・蓄積 | | | | | |
| 3月12日 | D/W圧力上昇(0.64MPa→2.30) | RCIC停止(11:36) | | SRV自動開 (炉内圧が0.59MPa) | 炉心注水装置の 部品弁を閉(6:06) | 5号機→電源供給開始(直流 発電機11) |
| | 水素爆発(18:36) | 電源車接続(15:36) | HPCI起動(12:35) | | | |
| | | | | 5号機DGからの電源供給開始 (交流発電機1) | | |
| 3月13日 | | | HPCI停止(2:42) | | | |
| | | | 炉心の露出開始 (炉内圧0.49MPa) | | | |
| | | | 炉心損傷開始 (8:49)解析 | | | |
| | | | 水素の大量発生・蓄積 | 水素爆発 (3号機から) | | |
| | | | 原子炉減圧(差し安全弁 6:06噴) | | | |
| | | | 消防車による放水注入開始(12 分入り、9:25) | | | |
| | | | 3CベントAO弁の閉鎖 (13:50) | 6号機DGからの電源供給開始 (MUWC系、18:29) | 原子炉注水開始(浸水補給水 系、17:20) | |
| 3月14日 | 消防車接続(11:01現) | 3CベントAO弁の閉鎖(8:50) | | | 炉減圧 (SRV開 6:00) | |
| | 原子炉注水開始(炉内圧 0.21MPa) | 物陰場での遮断弁ピストンの掛 水漏れ開始(6:20) | | | 原子炉への注水開始 (MUWC系 6:30) | |
| | 炉減圧 (SRV開 18:00噴) | 自衛隊放水車着、遮断弁ピスト ンからの放水開始(19:53) | | | 燃料プールへの補給開始 (MUWC系 9:27) | |
| | 燃料棒全体の露出 (炉内圧0.37MPa→0.20MPa) | 水素爆発(11:0) | | | | |
| | 炉心損傷開始 (16:46)解析 | | | | | |
| | 水素の大量発生・蓄積 | | | | | |
| | 消防車による放水 注水開始(19:54) | | | | | |
| 3月15日 | 格納容器S/O圧力が 0MPa以下(8:00-8:10) | | | | | 冷温停止(7:15) |
| 3月16日 | | | | | | |
| 3月17日 | | | | | | |
| 3月18日 | | | | | | |
| 3月19日 | | | | 屋上の孔開け (3号機 12:30) | 屋上の孔開け (3号機 12:00) | |
| | | | | RHR設置海水ポンプ起動 (炉内圧1.05) | RHR設置海水ポンプ起動 (炉内圧2.12) | |
| | | | | RHR系手動起動(燃料プール 系部 6:00噴) | RHR系手動起動(燃料プール 系部 2:14) | |
| 3月20日 | | | | RHRベント閉鎖(停止 時冷却モード)16:00 | RHRベント閉鎖(停止 時冷却モード)16:27 | |

| 型式 | 福島第二 1号機 マーク2 (BWR-5) | 福島第二 2号機 マーク2改良型 (BWR-5) | 福島第二 3号機 マーク2改良型 (BWR-5) | 福島第二 4号機 マーク2改良型 (BWR-5) |
|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 外部交流電源 直流電源(A),(B) 非常用DG 海水系 | 稼働中 | 稼働中 | 稼働中 | 稼働中 |
| 3月11日 | 地震発生(14:46) スクラム | 地震発生(14:46) スクラム | 地震発生(14:46) スクラム | 地震発生(14:46) スクラム |
| | IC起動(14:52) | RCIC起動(16:36) | RCIC起動(16:03) | RCIC起動(16:36) |
| | 格納容器(第一・第二)16:00 | 格納容器(第一・第二)16:00 | 格納容器(第一・第二)16:00 | 格納容器(第一・第二)16:00 |
| | 炉心損傷開始(18:46)解析 | RCIC起動(16:36) | RCIC起動(16:03) | RCIC起動(16:36) |
| | 水素の大量発生・蓄積 | | | |
| 3月12日 | D/W圧力上昇(0.64MPa→2.30) | RCIC停止(11:36) | | SRV自動開 (炉内圧が0.59MPa) |
| | 水素爆発(18:36) | 電源車接続(15:36) | HPCI起動(12:35) | 炉心注水装置の 部品弁を閉(6:06) |
| | | | | 5号機DGからの電源供給開始 (交流発電機1) |
| 3月13日 | | | HPCI停止(2:42) | |
| | | | 炉心の露出開始 (炉内圧0.49MPa) | |
| | | | 炉心損傷開始 (8:49)解析 | |
| | | | 水素の大量発生・蓄積 | 水素爆発 (3号機から) |
| | | | 原子炉減圧(差し安全弁 6:06噴) | |
| | | | 消防車による放水注入開始(12 分入り、9:25) | |
| | | | 3CベントAO弁の閉鎖 (13:50) | 6号機DGからの電源供給開始 (MUWC系、18:29) |
| 3月14日 | 消防車接続(11:01現) | 3CベントAO弁の閉鎖(8:50) | | 炉減圧 (SRV開 6:00) |
| | 原子炉注水開始(炉内圧 0.21MPa) | 物陰場での遮断弁ピストンの掛 水漏れ開始(6:20) | | 原子炉への注水開始 (MUWC系 6:30) |
| | 炉減圧 (SRV開 18:00噴) | 自衛隊放水車着、遮断弁ピスト ンからの放水開始(19:53) | | 燃料プールへの補給開始 (MUWC系 9:27) |
| | 燃料棒全体の露出 (炉内圧0.37MPa→0.20MPa) | 水素爆発(11:0) | | |
| | 炉心損傷開始 (16:46)解析 | | | |
| | 水素の大量発生・蓄積 | | | |
| | 消防車による放水 注水開始(19:54) | | | |
| 3月15日 | 格納容器S/O圧力が 0MPa以下(8:00-8:10) | | | 冷温停止(7:15) |
| 3月16日 | | | | |
| 3月17日 | | | | |
| 3月18日 | | | | |
| 3月19日 | | | | |
| 3月20日 | | | | |

| 型式 | 女川 1号機 マーク1 (BWR-4) | 女川 2号機 マーク1改良型 (BWR-5) | 女川 3号機 マーク1改良型 (BWR-5) | 東海第二 2号機 マーク2 (BWR-5) |
|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 外部交流電源 直流電源(A),(B) 非常用DG 海水系 | 稼働中 | 定期検査中(炉心注水装置 取付に稼働) | 稼働中 | 稼働中 |
| 3月11日 | 地震発生(14:46) スクラム | 地震発生(14:46) スクラム | 地震発生(14:46) スクラム | 地震発生(14:46) スクラム |
| | IC起動(14:52) | RCIC起動(16:36) | RCIC起動(16:03) | RCIC起動(16:36) |
| | 格納容器(第一・第二)16:00 | 格納容器(第一・第二)16:00 | 格納容器(第一・第二)16:00 | 格納容器(第一・第二)16:00 |
| | 炉心損傷開始(18:46)解析 | RCIC起動(16:36) | RCIC起動(16:03) | RCIC起動(16:36) |
| | 水素の大量発生・蓄積 | | | |
| 3月12日 | D/W圧力上昇(0.64MPa→2.30) | RCIC停止(11:36) | | SRV自動開 (炉内圧が0.59MPa) |
| | 水素爆発(18:36) | 電源車接続(15:36) | HPCI起動(12:35) | 炉心注水装置の 部品弁を閉(6:06) |
| | | | | 5号機DGからの電源供給開始 (交流発電機1) |
| 3月13日 | | | HPCI停止(2:42) | |
| | | | 炉心の露出開始 (炉内圧0.49MPa) | |
| | | | 炉心損傷開始 (8:49)解析 | |
| | | | 水素の大量発生・蓄積 | 水素爆発 (3号機から) |
| | | | 原子炉減圧(差し安全弁 6:06噴) | |
| | | | 消防車による放水注入開始(12 分入り、9:25) | |
| | | | 3CベントAO弁の閉鎖 (13:50) | 6号機DGからの電源供給開始 (MUWC系、18:29) |
| 3月14日 | 消防車接続(11:01現) | 3CベントAO弁の閉鎖(8:50) | | 炉減圧 (SRV開 6:00) |
| | 原子炉注水開始(炉内圧 0.21MPa) | 物陰場での遮断弁ピストンの掛 水漏れ開始(6:20) | | 原子炉への注水開始 (MUWC系 6:30) |
| | 炉減圧 (SRV開 18:00噴) | 自衛隊放水車着、遮断弁ピスト ンからの放水開始(19:53) | | 燃料プールへの補給開始 (MUWC系 9:27) |
| | 燃料棒全体の露出 (炉内圧0.37MPa→0.20MPa) | 水素爆発(11:0) | | |
| | 炉心損傷開始 (16:46)解析 | | | |
| | 水素の大量発生・蓄積 | | | |
| | 消防車による放水 注水開始(19:54) | | | |
| 3月15日 | 格納容器S/O圧力が 0MPa以下(8:00-8:10) | | | 冷温停止(7:15) |
| 3月16日 | | | | |
| 3月17日 | | | | |
| 3月18日 | | | | |
| 3月19日 | | | | |
| 3月20日 | | | | |

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

● 津波遡上高より遥かに低い場所に設置した電源の喪失が致命傷となった

| | 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) | O.P. 約 15.5m (T.P. = O.P.+0.727m) | | | | O.P.約 14.5m (T.P.= O.P.+0.727m) | 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) |
| 敷地の海拔 (主要建屋) | O.P. 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. 0m (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 | タービン建屋B1F O.P. 4.9m | 同左 O.P. 1.9m | 同左 O.P. 6.5m | 同左 O.P. 1.9m | 同左(5, 6号) O.P. 9.5m | 制御建屋2F(1, 2号) 制御建屋1F(3, 4号) O.P. 18m (1/2号A/B) O.P. 12.2m (3/4号A/B) | 制御建屋1F(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) | アウターB1F H.P. 9.1m (バッテリー設置箇所) |
| 非常用発電機の喪失? | × 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 | × 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 | ○ 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 | ○ 2台使用可 |
| 直流電源の喪失? | × 浸水により機能喪失 | | ○ | × 浸水により喪失 | ○ 使用可能 | | | |
| 特記事項 | <ul style="list-style-type: none"> ・O.P.:小名浜港工事基準面 ・T. P.:東京湾平均海面 | | | | | <ul style="list-style-type: none"> ・O.P.:女川の基準面 ・地震による地殻変動-1m考慮 ・H.P.:日立港工事基準面 | | 105 |

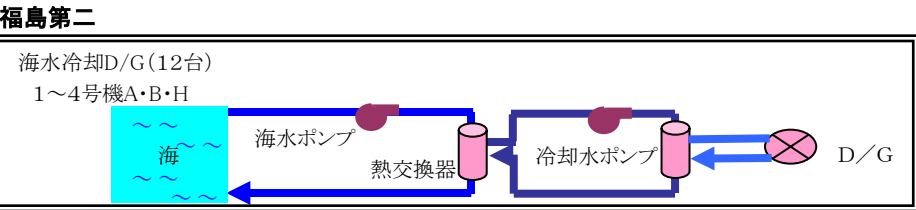
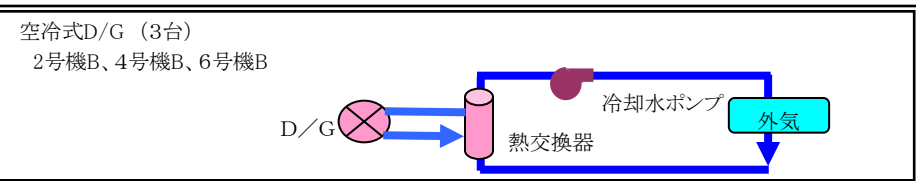
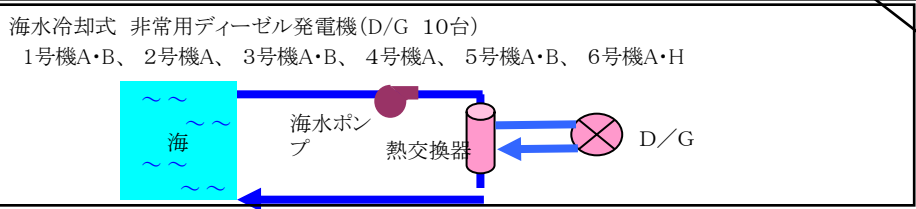
海辺の主冷却用モーターとポンプが津波で機能喪失した - 福島第一は合計13台の非常用発電機があったが、空冷式の1台を残し全て機能喪失。冷却設備が海側にある海水冷却式が特に弱い

各プラントの非常用発電機の機能喪失

| D/G | 福島第一 | | | | | | | | | | | | 福島第二 | | | | | | | | 東北電力 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 | | 東海第二 | |
| | 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 | 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 |
| 非常用 | DG1A | × | DG2A | × | DG3A | × | DG4A | × | DG5A(※2) | × | DG6A | × | DG1A | × | DG2A | × | DG3A | × | DG4A | × | DG1A | ○ | DG2A | ○ | DG3A | ○ | DG2C(※2) | × |
| | DG1B | × | DG2B(空冷) | × | DG3B | × | DG4B(空冷) | × | DG5B(※2) | × | DG6B(空冷) | ○ | DG1B | × | DG2B | × | DG3B | ○ | DG4B | × | DG1B | ○ | DG2B(※2) | × | DG3B | ○ | DG2D | ○ |
| | | | | | | | | | | HPCS DG | × | DG1H | × | DG2H | × | DG3H | ○ | DG4H | ○ | | | DG2H(※2) | × | DG3H | ○ | DG2H | ○ | |

(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

福島第一：非常用発電機の概要



- 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)
 - 冷却機能(モーター・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

水冷非常用発電装置の水が確保できなかった

| | 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 |
|---------------|----------------|-----------|-----------|-----------|--|--|---|--------------------------------------|
| 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台が使用可 1台は喪失 (海水冷却) |
| その後の復旧の有無 | × 復旧できず | | | | ○ 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

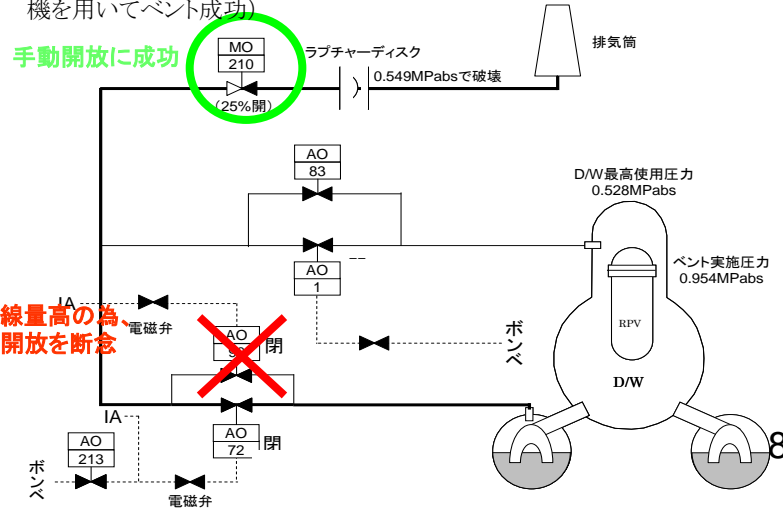
| | 第一1号機 | 第一2号機 | 第一3号機 | 第一4号機 | 第一5・6号機 | 福島第二 | 女川 東海第二 |
|-----------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------|---------|------|------------|
| W/Wベントの成否 | △ ベント弁の開放は成功したが、その直後に水素爆発 | × ベントライン構成するもラプチャーディスク動作圧力に達せず | △ 一旦弁の開放に成功したが、開放状態を維持する事に難航した | - | - | - | - |
| 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 - :ベント未実施 ×:ベント失敗

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…

| 設備名 | 状態 | 被害状況 | 応用動作 | 備考 (2E1) |
|-------------------------------|----|------------|-------------------------|---------------------------------|
| 注水設備 | × | 電源喪失(油ポンプ) | - | ○ RCIC、MUWCにより注水(非常用電源系使用可能) |
| 高圧注水系(HPCI) | × | 電源・海水喪失 | - | |
| 給復水系(FDW) | × | 電源・海水系喪失 | - | |
| 炉心スプレイ系(CS) | × | 電源・海水系喪失 | - | |
| 停止時冷却系(SHC) | × | 電源・海水系喪失 | - | |
| 復水補給水系(MUWC) | × | 電源喪失、モータ被水 | - | |
| 消火系(FP) | × | D/D FP起動不可 | 消防車使用 | |
| PCVベント設備 | × | 電源喪失/空気圧低 | 仮設電源 仮設空気圧縮機 手動操作 | △ ポンペを仮設で設置し対応 |
| S/Cベント弁 弁番号:AO-1601-72 | × | 電源喪失/空気圧低 | | |
| S/Cベントバイパス弁 弁番号:AO-1601-90 | × | 電源喪失/空気圧低 | | |
| D/Wベント弁 弁番号:AO-1601-1 | × | 電源喪失/空気圧低 | | |
| D/Wベントバイパス弁 弁番号:AO-1601-83 | × | 電源喪失/空気圧低 | | |
| PCVベント弁 弁番号:MO-1601-210 | × | 電源喪失 | | |

…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機を用いてベント成功)



● 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

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

- 爆発した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。

| 福島第一 | | | | | | | | | | | 福島第二 | | | | | | | | 東北電力 女川 | | | | | 東海第二 | | | | | | |
|--------|-----------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------------------------------|--------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------------------------------|----------|--------------|----------|--------------|-----------------|--------------|------------|--------------|-------|--------------|-------|
| D/G | 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 | | 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 | 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 |
| 非常用 | DG1A | × | DG2A | × | DG3A | × | DG4A | × | DG5A※2 | × | DG6A | × | DG1A | × | DG2A | × | DG3A | × | DG4A | × | DG A | ○ | DG A | ○ | DG A | ○ | DG2C※2 | × | DG2D | ○ |
| | DG1B | × | DG2B(空冷) | × | DG3B | × | DG4B(空冷) | × | DG5B※2 | × | DG6B(空冷) | ○ | DG1B | × | DG2B | × | DG3B | ○ | DG4B | × | DG B | ○ | DG B | ○ | DG B | ○ | DG B | ○ | DG2H | ○ |
| M/C | M/C 1C | × | M/C 2C | × | M/C 3C | × | M/C 4C | × | M/C 5C | × | M/C 6C | ○ | M/C 1C | × | M/C 2C | ○ | M/C 3C | ○ | M/C 4C | ○ | M/C6-1C | ○ | M/C6-2C | ○ | M/C6-3C | ○ | M/C-2C | × | M/C-2D | ○ |
| | M/C 1D | × | M/C 2D | × | M/C 3D | × | M/C 4D | × | M/C 5D | × | M/C 6D | ○ | M/C 1D | ○ | M/C 2D | ○ | M/C 3D | ○ | M/C 4D | ○ | M/C6-1D | ○ | M/C6-2D | ○ | M/C6-3D | ○ | M/C-2D | ○ | M/C-HPCS | ○ |
| | M/C 1A | × | M/C 2A | × | M/C 3A | × | M/C 4A | × | M/C 5A | × | M/C 6A-1 | × | M/C 1A-1 | ○ | M/C 2A-1 | ○ | M/C 3A-1 | ○ | M/C 4A-1 | ○ | M/C6-1A | × | M/C6-2A | ○ | M/C6-3A | ○ | M/C-2A-1 | × | M/C-2A-2 | × |
| | M/C 1B | × | M/C 2B | × | M/C 3B | × | M/C 4B | × | M/C 5B | × | M/C 6B-1 | × | M/C 1B-1 | ○ | M/C 2B-1 | ○ | M/C 3B-1 | ○ | M/C 4B-1 | ○ | M/C6-1B | × | M/C6-2B | ○ | M/C6-3B | ○ | M/C-2B-1 | × | M/C-2B-2 | × |
| | M/C 1S | × | M/C 2SA | × | M/C 3SA | × | M/C 4SA | × | M/C 5SA-1 | × | M/C 6B-2 | × | M/C 1B-2 | ○ | M/C 2B-2 | ○ | M/C 3B-2 | ○ | M/C 4B-2 | ○ | M/C6-1S | × | M/C6-2SA-1 | ○ | M/C6-3SA-1 | ○ | M/C-2B-1 | × | M/C-2B-2 | × |
| | M/C 1S | × | M/C 2SB | × | M/C 3SB | × | M/C 4SB | × | M/C 5SA-2 | × | M/C 6B-2 | × | M/C 1SA-1 | ○ | M/C 2SA-1 | ○ | M/C 3SA-1 | ○ | M/C 4SA-1 | ○ | M/C6-1E | × | M/C6-2SB-1 | ○ | M/C6-3SB-1 | ○ | M/C-2B-1 | × | M/C-2B-2 | × |
| | M/C 1S | × | M/C 2SB | × | M/C 3SB | × | M/C 4SB | × | M/C 5SA-2 | × | M/C 6B-2 | × | M/C 1SA-2 | ○ | M/C 2SA-2 | ○ | M/C 3SA-2 | ○ | M/C 4SA-2 | ○ | M/C6-1E | × | M/C6-2SB-2 | ○ | M/C6-3SB-2 | ○ | M/C-2B-1 | × | M/C-2B-2 | × |
| | M/C 1S | × | M/C 2SB | × | M/C 3SB | × | M/C 4SB | × | M/C 5SB-1 | × | M/C 6B-2 | × | M/C 1SB-1 | ○ | M/C 2SB-1 | ○ | M/C 3SB-1 | ○ | M/C 4SB-1 | ○ | M/C6-1E | × | M/C6-2SB-2 | ○ | M/C6-3SB-2 | ○ | M/C-2B-1 | × | M/C-2B-2 | × |
| | M/C 1S | × | M/C 2SB | × | M/C 3SB | × | M/C 4SB | × | M/C 5SB-2 | × | M/C 6B-2 | × | M/C 1SB-2 | ○ | M/C 2SB-2 | ○ | M/C 3SB-2 | ○ | M/C 4SB-2 | ○ | M/C6-1E | × | M/C6-2SB-2 | ○ | M/C6-3SB-2 | ○ | M/C-2B-1 | × | M/C-2B-2 | × |
| | 非常用 | P/C 1C | × | P/C 2C | ○ | P/C 3C | × | P/C 4C | ○ | P/C 5C | × | P/C 6C | ○ | P/C 1C-1 | × | P/C 2C-1 | ○ | P/C 3C-1 | ○ | P/C 4C-1 | ○ | P/C 4-1C | ○ | P/C 4-2C | ○ | P/C 4-3C-1 | ○ | P/C2C | × | P/C2D |
| P/C 1D | | × | P/C 2D | ○ | P/C 3D | × | P/C 4D | ○ | P/C 5D | × | P/C 6D | ○ | P/C 1C-2 | × | P/C 2C-2 | × | P/C 3C-2 | × | P/C 4C-2 | × | P/C 4-1D | ○ | P/C 4-2D | ○ | P/C4-3C-2 | ○ | P/C2D | ○ | P/C2A | × |
| P/C 1A | | × | P/C 2A | × | P/C 3A | × | P/C 4A | × | P/C 5A | × | P/C 6A-1 | × | P/C 1D-1 | ○ | P/C 2D-1 | ○ | P/C 3D-1 | ○ | P/C 4D-1 | ○ | P/C 4-1A | × | P/C 4-2A | ○ | P/C 4-3D-1 | ○ | P/C2A | × | P/C2B | × |
| P/C 1A | | × | P/C 2A-1 | × | P/C 3A | × | P/C 4A | × | P/C 5A-1 | ○ | P/C 6A-2 | × | P/C 1A-1 | ○ | P/C 2A-1 | ○ | P/C 3A-1 | ○ | P/C 4A-1 | ○ | P/C 4-1B | × | P/C 4-2B | ○ | P/C 4-3A-1 | ○ | P/C2B | × | P/C2S | × |
| P/C 1B | | × | P/C 2B | ○ | P/C 3B | × | P/C 4B | ○ | P/C 5B | × | P/C 6B-1 | × | P/C 1A-2 | ○ | P/C 2A-2 | ○ | P/C 3A-2 | ○ | P/C 4A-2 | ○ | P/C 4-1S | × | P/C 4-2SA | ○ | P/C 4-3A-2 | ○ | P/C2S | × | P/C2S | × |
| 直流電源 | DC125V主母線盤1A | × | DC125V主母線盤2A | × | DC125V主母線盤3A | ○ | DC125V主母線盤4A | × | DC125V主母線盤5A | ○ | DC125V DIST CENTER 6A | ○ | DC125V主母線盤A | ○ | DC125V主母線盤A | ○ | DC125V主母線盤A | ○ | DC125V主母線盤A | ○ | 125V直流主母線盤1A | ○ | 125V直流主母線盤2A | ○ | 125V直流主母線盤3A | ○ | DC125V主母線盤2A | ○ | DC125V主母線盤2B | ○ |
| | DC125V主母線盤1B | × | DC125V主母線盤2B | × | DC125V主母線盤3B | ○ | DC125V主母線盤4B | × | DC125V主母線盤5B | ○ | DC125V DIST CENTER 6B | ○ | DC125V主母線盤B | ○ | DC125V主母線盤B | ○ | DC125V主母線盤B | ○ | DC125V主母線盤B | ○ | 125V直流主母線盤1B | ○ | 125V直流主母線盤2B | ○ | 125V直流主母線盤3B | ○ | DC125V主母線盤2B | ○ | DC125V主母線盤2B | ○ |
| 海水系 | CCS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × | RHRS A | × | RHRS A | ○ | RSW A | ○ | RSW A | ○ | RHRS A | × | RHRS B | ○ |
| | CCS B | × | RHRS B | × | RHRS B | × | RHRS B | × | RHRS B | × | RHRS B | × | RHRS B | × | RHRS B | × | RHRS B | × | RHRS B | × | RHRS B | ○ | RSW B | × | RSW B | ○ | RHRS B | ○ | RHRS B | ○ |
| 外部電源 | × 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2回線が地震で喪失 | | | | | | |

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

(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

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)

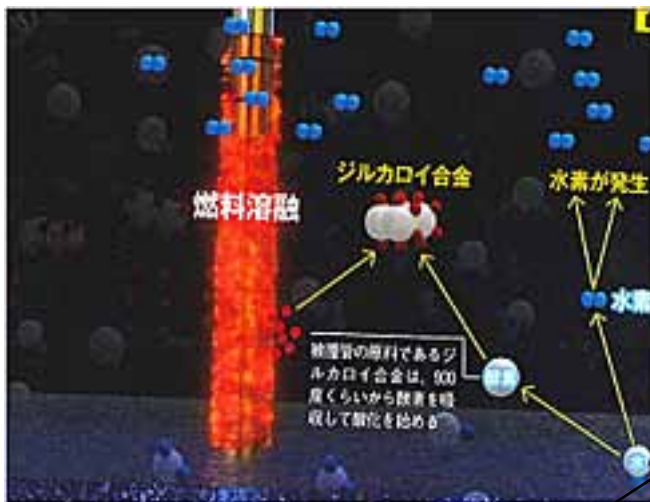
- 同(低圧電源車)
 - － 11日23:30頃: 自衛隊によって2台到着
 - － 12日 7:00頃: 更に3台到着

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

水素発生メカニズム



図出典: 徹底解剖 東日本大震災(双葉社)

- 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(ジルコニウム)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

炉心損傷までの所要時間(シミュレーション)

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

5階に水素が大量蓄積して爆発



福島第一 3号機(東側)

5階と4階一部(北西)に水素が大量蓄積して爆発

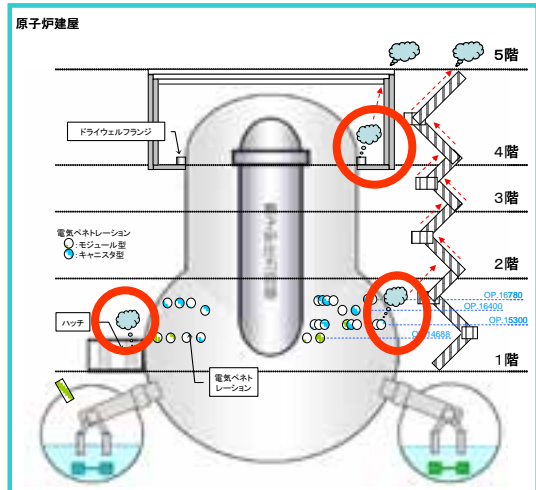


福島第一 4号機(東側)

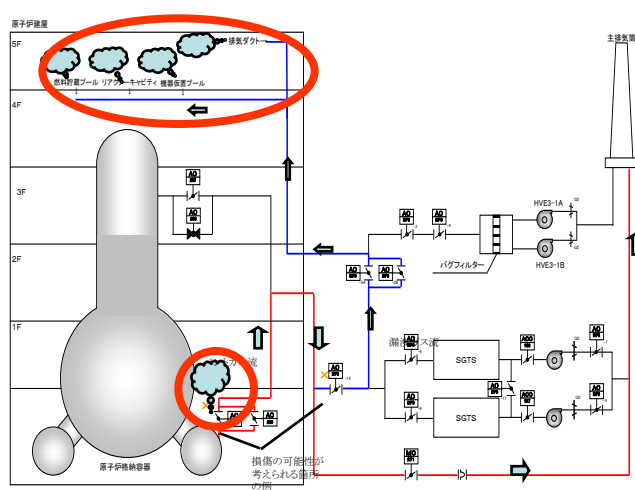
5階と4階一部(東西)に水素が大量蓄積して爆発



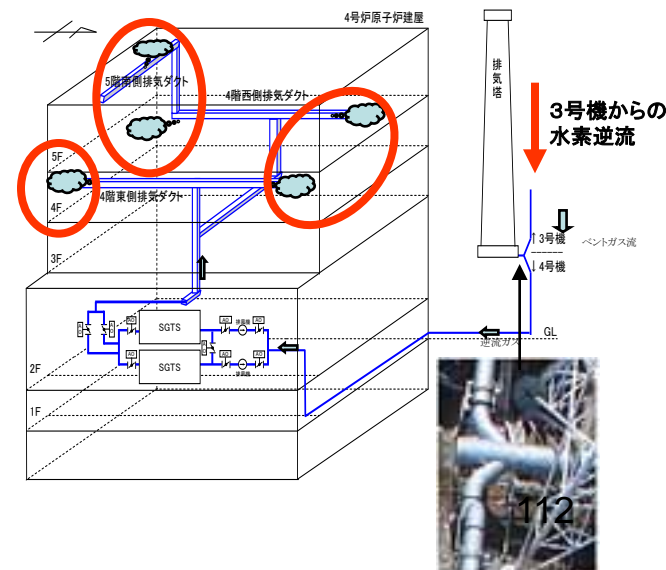
- 漏洩経路①(1・3号機)：水素は、格納容器の接合部、配管部分(ハッチ、ドライウェル・フランジ、電気ペネトレーション)等の機密性の小さい部分から、原子炉建屋内に漏洩したと推定される



- 漏洩経路②(1・3号機)：または、格納容器のベント時に、高温高压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



- 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 |
|---------------------|--|---|--|--|
| 水素はなぜ発生したのか？ | ● 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)した結果、格納容器内で大量の水素が発生 | | | ● 4号機での水素発生はなし |
| いつ発生したのか？ | ● 地震後4時間で発生 (3月11日 18時46分頃※1) | ● 地震後77時間 (3月14日 19時46分頃※1) | ● 地震後42時間 (3月13日 8時46分頃※1) | ● 地震後42時間 (3月13日 8時46分頃※1) |
| どこから漏れたのか？ | <ul style="list-style-type: none"> ● 複数の可能性あり ・ 圧力容器⇒格納容器 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へ漏えい ・ 格納容器⇒原子炉建屋 D/Wフランジ部、電気ペネトレーション、ハッチ、換気空調系から原子炉建屋上層階への漏えい | <ul style="list-style-type: none"> ● 複数の可能性あり ・ D/W圧力が最高使用圧力を超え0.75MPaまで上昇した事から、格納容器の弱い耐圧部が損傷し漏えい(S/Cベント管部のベロー部等) | <ul style="list-style-type: none"> ● 複数の可能性あり ・ 1号機と同じ | <ul style="list-style-type: none"> ● 3号機で発生した水素がベントラインから4号機SGTS配管に廻り込んで4号機原子炉建屋に漏えい |
| どこに蓄積したのか？ | ● 5階部分(※2) | ● 地階部分と推定 (写真記録なし) | ● 5・4階もしくは3階部分(※2) | ● 5階、4階部分(※2) |
| 何に引火したのか？ | ● 水素は軽いため高所に移動しつつ拡散し、オペフロ全体の水素濃度が上昇し、可燃濃度4%~75%となった時点で、爆発(着火エネルギーが0.02mJと極めて小さいため着火源は特定できず) | ● 水素爆発、または格納容器の圧力上昇による損傷の2つの可能性あり。前者の場合には、損傷範囲が1,3号機程ではないことからS/Cの狭隘な閉塞部と推定。水素爆発の可能性は低いと推定。 | ● 1号機と同じ | ● 1号機と同じ |

※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 (水位は燃料域未満) | 2号機 (水位計が正の場合) | 2号機 (水位は燃料域以下) | 3号機 (水位計が正の場合) | 3号機 (水位は燃料域以下) |
|---------------------------------------|---|--|-----------------------|-------------------------------|----------------------|
| <解析結果> (地震発生からの時刻) | | | | | |
| 炉心の露出開始 | 約3時間 ・3月11日17:46 | 約75時間 ・3月14日17:46 | 約75時間 ・3月14日17:46 | 約40時間 ・3月13日06:46 | 約40時間 ・3月13日06:46 |
| 炉心の損傷開始 | 約4時間 ・3月11日18:46 | 約77時間 ・3月14日19:46 | 約77時間 ・3月14日19:46 | 約42時間 ・3月13日08:46 | 約42時間 ・3月13日08:46 |
| 圧力容器の破損 | 約15時間 ・3月12日05:46 | 発生に至らず | 約109時間 ・3月16日03:46 | 発生に至らず | 約66時間 ・3月14日08:46 |
| <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 | 約18時間 ・3月12日08:46 ・D/Wに直径約3cm | 約21時間 ・3月12日11:46 ・D/Wに直径約10cm | 同左 | 資料に記載なし | 同左 |
| 同上(更なる拡大) | 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87時間28分 ・3月15日06:14 爆発時 ・S/Cに直径約10cm ・3月14日23:00 SR弁1弁閉を仮定 | 同左 | 資料に記載なし ・記録に基づき解析事象を推定 | 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、それを再現する入力情報を作成し、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

東壁



西壁



南壁



北壁



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

第一3号機の爆発後

東壁



西壁



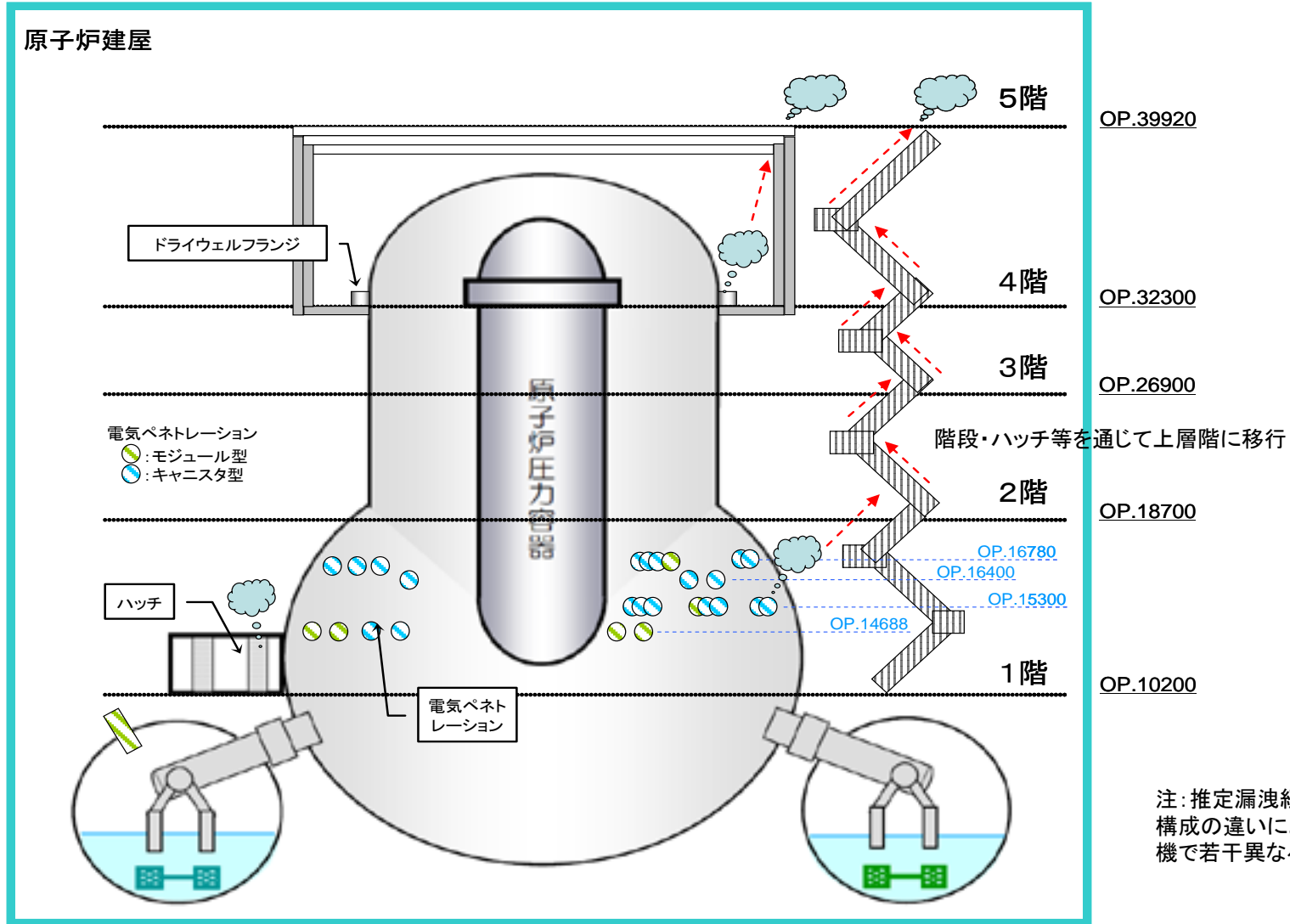
南壁



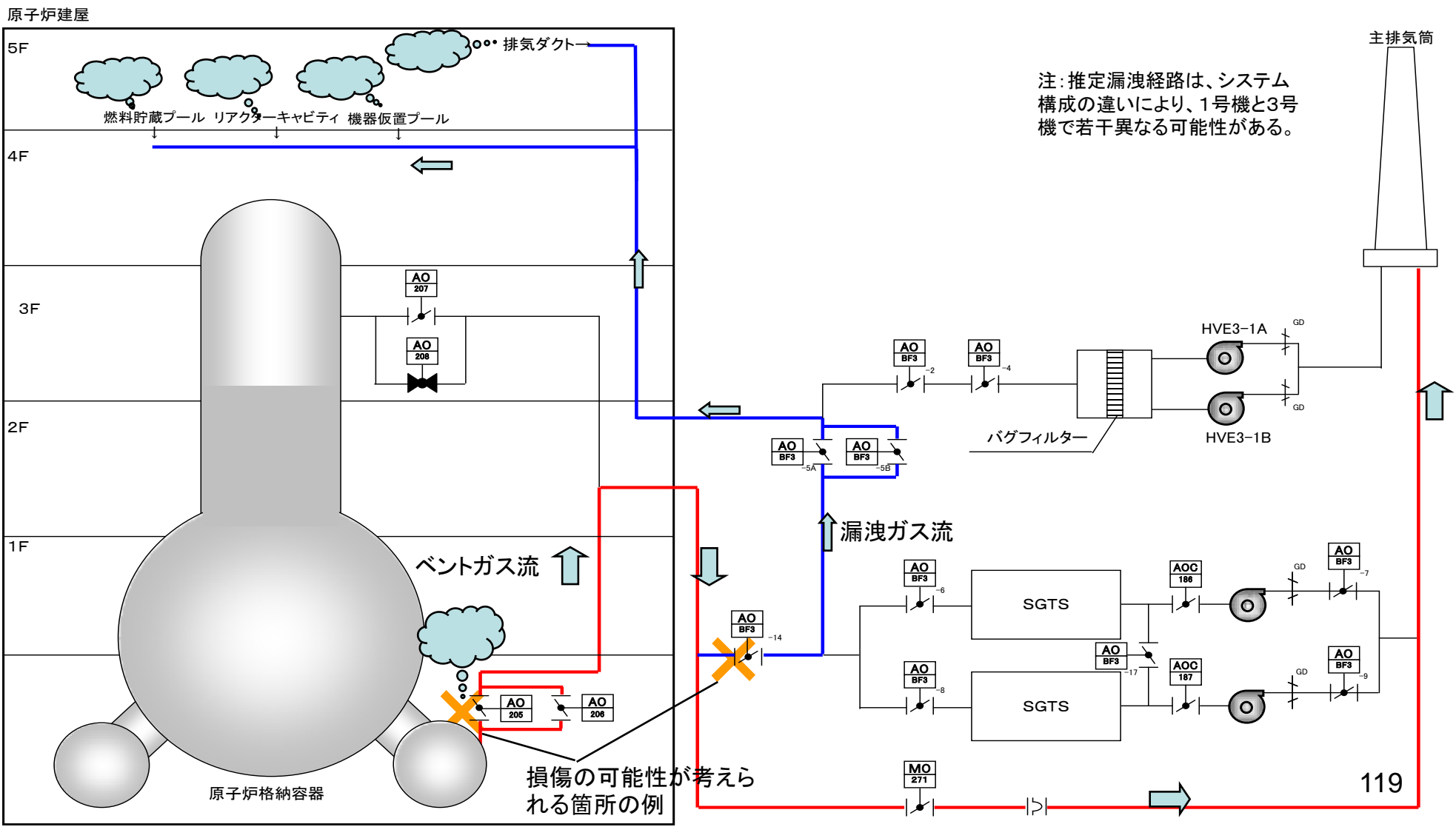
北壁



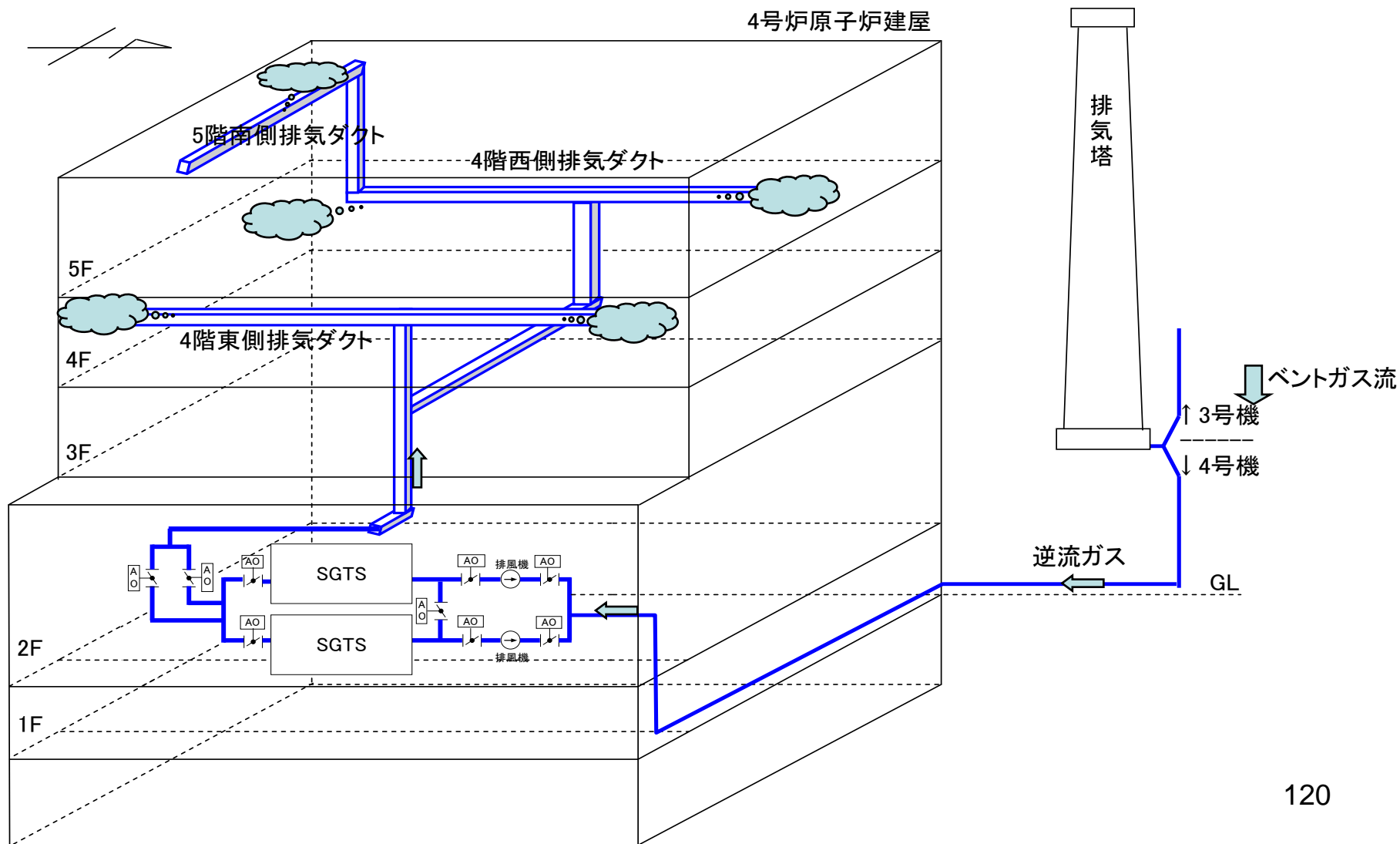
1・3号機の水素漏洩のシナリオ① 格納容器貫通部等から - 格納容器の電気ペネトレーションやハッチ等のシール部にはエポキシやゴムが使用されおり、高温・高圧によってシール性が低下し、水素が漏洩



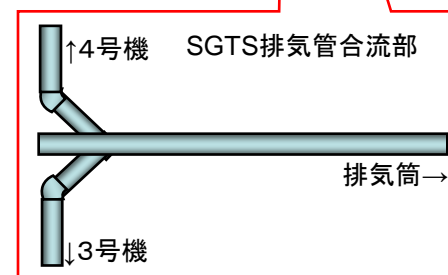
1・3号機の水素漏洩のシナリオ② 換気空調系から - 圧力抑制室ベント時、高温高压のガスが排気管内を流れ、そのガス流により配管や弁に損傷が生じ、水素が漏洩した可能性



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



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

— 教訓 —

地震・津波

原因

発生事象／問題点

対策／教訓

- ・ 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

- ・ 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、起動の必要性について検討要。
- ・ 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

| 原因 | 発生事象／問題点 | 対策／教訓 |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 津波の設計値が低い | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> 津波による海水系ポンプへの浸水 | <ul style="list-style-type: none"> 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かかわらず、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。 | <ul style="list-style-type: none"> 海水ポンプの津波対策(耐圧水密性の強化) |
| <ul style="list-style-type: none"> 「高さ」を主眼とする津波危険度の評価体系 | <ul style="list-style-type: none"> 津波襲来により発電所の構築物・設備が破壊され、あとには瓦礫が散乱し、復旧の妨げとなった。津波対策の検討においては、高さの議論だけではなく、津波の持つエネルギーの大きさも考慮し、評価・検討すべき。 | <ul style="list-style-type: none"> 津波のエネルギー等のリスク評価体系の見直し |
| <ul style="list-style-type: none"> 津波による重油タンクの漂流 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 重油タンクの固定等 |
| <ul style="list-style-type: none"> 津波によるガレキの散乱 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> ガレキ撤去用重機配備と運転者の確保 |
| <ul style="list-style-type: none"> 海水冷却系ポンプ等の津波耐性が脆弱 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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と。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。

対策／教訓

- ・ 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 | 対策／教訓 |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 津波の浸水による直流電源の浸水 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 電源設備の気密性、水密性、耐圧性の強化 |
| <ul style="list-style-type: none"> 給気口からの浸水 | <ul style="list-style-type: none"> 非常用DGは給気口より海水流入し、機能喪失となった。 | <ul style="list-style-type: none"> 給気口の浸水防止策の実施 |
| <ul style="list-style-type: none"> 水没による直流電源の一瞬の喪失 | <ul style="list-style-type: none"> 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)。 | <ul style="list-style-type: none"> 代替直流電源の確保、多様性を持った確保が重要 |
| <ul style="list-style-type: none"> 全外部電源の喪失 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> 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 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 |

電源喪失(福島第一) ②

| 原因 | 発生事象／問題点 | 対策／教訓 |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> AM想定の不備(SBO時の交流電源の復旧速度) | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 全交流電源の長期喪失を想定した手順への見直し |
| <ul style="list-style-type: none"> 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、交流電源からの充電不能 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> 第一5・6号機間の電源融通可、1～4号機への融通不可 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> サイト内の電源融通経路の強化(電圧階級ごと) |
| <ul style="list-style-type: none"> 電源車の不足、配車の遅延 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> 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 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 | 対策／教訓 |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 地震、余震による外部電源の喪失 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 送電網の多重化 開閉所、変電設備の耐震性の強化 |
| <ul style="list-style-type: none"> 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 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 非常用DG室への海水侵入ルートの特定制・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 |
| <ul style="list-style-type: none"> 直流電源の一瞬の喪失、代替電源確保の想定・手順なし | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> 浸水によるM/C、P/C等の電源経路の喪失 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 | 対策／教訓 |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 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 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> 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 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 | 対策／教訓 |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 非常用DGの確保 電源融通機能 時宜を逸さない海水冷却機能の再構成 | <ul style="list-style-type: none"> 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、更に訓練を定期的実施することで迅速な対応が可能となる。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> 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 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> 海水系冷却機能の喪失 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 <ul style="list-style-type: none"> － 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 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 同上 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 <ul style="list-style-type: none"> － 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。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 同上 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 女川2号機、東海第二においては、一部海水冷却系ポンプが浸水し、非常用DGが停止状態となった。(女川2号機でDG2台、東海第二で1台が使用不能) <ul style="list-style-type: none"> － 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 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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

対策／教訓

- ・ 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、高圧冷却系の実施を開始する入口段階でつまづいた。

- ・ 中央制御室の電源喪失対策
- ・ 直流電源の浸水防止(設置場所、水密性、バッテリーの耐水性強化)
- ・ 予備バッテリーの確保(バッテリー、直流電源車)

- ・ 全交流・直流電源喪失
- ・ IC弁開閉操作の不全

1F1号機: 高圧系ICによる注水・減圧: 同じく全交流・直流電源が喪失した為、高圧系(IC)の弁開閉が殆ど操作できなかった。結果的に、高圧系冷却操作がほぼ全く実行出来ず、注水も減圧もできなかったと推察される。炉はいわゆる「水位減少、高温化、高圧化のまままで空焚き」状態となり、津波から約3時間後に損傷が開始されたと推定される

- ・ 2時間以内?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)

- ・ 全交流・直流電源喪失
- ・ HPCI弁開閉操作の不全

1F1号機: 高圧系HPCIによる注水・減圧: 同じく全交流・直流電源の喪失により、HPCI系の弁開閉、注水もできなかった。

- ・ 同上

- ・ AMにおける多重防護の不完全性
- ・ 減圧・低圧冷却準備の遅延

1F1号機: パラメータ把握不能、高圧系不能によるAMの機能不全: 全交流・直流電源喪失事象が同時発生した為、交流電源の確保(電源車)、直流電源の確保(乗用車バッテリー)、ベントラインのセットアップ(人間系)、低圧注水系のラインアップ(消防車、ホース、消化用水源)等の対応で、AM(+アルファの現場の知恵)が規定する高圧系冷却から低圧系冷却への対応準備する時間を、殆ど全く確保できなかった。

- ・ 全交流・直流電源の同時・瞬時喪失を想定したAMの設計(含む、水没によるバッテリーの充電不能状態)

- ・ RCIC機能の作動

1F2号機: RCICの効能: 1号機ではICの機能がほぼ喪失したため高圧での冷却維持ができなかったが、2号機ではRCICが起動し運転継続した為、11日の津波発生から15日の格納容器の損傷に繋がったと推定されるS/C圧力の指示値0KPa(abs)になるまでに3-4日間の時間的猶予が発生した。

- ・ 高圧冷却系機能維持の有効性・重要性の再認識
- ・ 高圧系冷却機能維持できてる期間に低圧系冷却機能の準備する手順・訓練整備が重要

高圧冷却機能②

原因

発生事象／問題点

対策／教訓

- | | | |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 福島第一1号機の水素爆発 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 1F2号機: <u>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)</u>: 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。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 同上(3号機) | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 同上 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 余震の頻発 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 劣悪環境の重層を想定したAM設計と訓練の必要性 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ AMの機能・想定不備 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 1F2号機: <u>AMの機能不備</u>: 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。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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) |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 直流電源の維持 ・ その間の代替電源の手配失敗 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 1F3号機: <u>直流電源の重要性和RCICの効果</u>: 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) | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 乗用車等からのバッテリーの活用 ・ HPCIの作動 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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) | <ul style="list-style-type: none"> ・ 同上 |

高圧冷却機能③

| 原因 | 発生事象／問題点 | 対策／教訓 |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 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) | <ul style="list-style-type: none"> 1F3号機: <u>AMの不備(直流電源の予備確保。または予備電源の確保)</u>: 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 直流電源の予備確保、多重化(全バッテリーが水没すると交流電源を手配しても充電できない) |
| <ul style="list-style-type: none"> AMの不備(直流電源が多重防護になっていない?) | <ul style="list-style-type: none"> 1F3号機: <u>AMの不備(多重防護)</u>: 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> AMが想定しない環境下での復旧業務 | <ul style="list-style-type: none"> 1F3号機: <u>AMが機能せず(炉心スクラム&交流電源の喪失)</u>: 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 | 対策／教訓 |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 全交流・直流電源の喪失 ・ SR弁の機能喪失 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 1F1号機: <u>直流電源喪失によるSRVの機能喪失</u>: 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) | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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? |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 同上 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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、2D)は生きていたが、1号機同様に直流バッテリーがバッテリー室もろとも水没によって喪失した。従って、SRVが機能喪失した。)RCIC停止したことから、原子炉圧力を減圧して低圧系での注水を実施することとし、予備バッテリーを活用してSRVの減圧操作を実施した。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 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? | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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に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。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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

対策／教訓

- 外部電源の確保
- 直流電源の確保
- RCICの機能健全
- 低圧冷却系のライン構築

- 2F2号機: SR弁による圧力容器の減圧の成功事例: 2F2号機は津波によって非常用DGが水没し、最終ヒートシンクを喪失した。しかし、外部電源からの供給が可能であり、ほとんどの電源盤と直流電源も機能していた。その後、RCICによって原子炉水位を維持し、復水補給水系(MUWC)のラインナップの為の時間を稼いだ。MUWCの準備完了後、SRVの開閉を行い、想定通りに炉の減圧を行い、MUWCによる低圧系注水を実行し、冷温停止を達成している
=> 外部電源、直流電源の重要性。

- 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

- 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。

- 以下の重要性、有効性の再確認
 - 外部電源、直流電源
 - 前項を前提とするRCIC機能
 - 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ケ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

ベント機能の実態(PCVベント)①

原因 発生事象／問題点

対策／教訓

- ・ 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: D/Wベントの失敗: 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750kPa 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。

- ・ 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と?)

- ・ 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

ベント機能の実態(PCVベント)②

| 原因 | 発生事象／問題点 | 対策／教訓 |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 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 | <ul style="list-style-type: none"> 1F2号機: <u>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</u>: 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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） |
| <ul style="list-style-type: none"> 暗闇 作業環境の高温・多湿化 ベントライン構築の難航 | <ul style="list-style-type: none"> 1F3号機: <u>暗闇、高温多湿環境によるW/Wベント準備の難航</u>: 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 | <ul style="list-style-type: none"> 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 | 対策／教訓 |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ポンベ交換作業の遅延 | <ul style="list-style-type: none"> 1F3号機: <u>ポンベ交換による作業遅延</u>: 12日5:23頃S/Cベント(AO弁)の開放を試みるが失敗、ポンベ交換によって成功している | <ul style="list-style-type: none"> ベント弁駆動用ポンベ等の予備確保。 同、交換業務の訓練実施 |
| <ul style="list-style-type: none"> 駆動用ポンベ圧力のリーク | <ul style="list-style-type: none"> 1F3号機: <u>駆動用ポ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頃に駆動用ポンベ圧力リークによりS/Cベント弁AO大弁が閉状態に戻っている。 | <ul style="list-style-type: none"> 駆動用ポンベの接続部・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) |
| <ul style="list-style-type: none"> 大弁駆動用空気圧の不足 電磁弁の励磁維持の不全 | <ul style="list-style-type: none"> 1F3号機: <u>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</u>: 3号機はベント成功したもの、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 | <ul style="list-style-type: none"> 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 | 対策／教訓 |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 | <p>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(12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、</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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) <p>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。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 | 対策／教訓 |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 防火水槽の形状不足 注水の非効率性 | <ul style="list-style-type: none"> 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 | <ul style="list-style-type: none"> 防火水槽ホース接続形状の見直し |
| <ul style="list-style-type: none"> ほう酸水注入 (SLC) の準備遅延 | <ul style="list-style-type: none"> 1F1号機： <u>ほう酸水注入系 (SLC) の準備遅延</u>： 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 予備電源 (高圧電源車) の確保 ケーブル、消防車等の増強 |
| <ul style="list-style-type: none"> 同上 (爆発による) | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | |

全体からの教訓①

| 原因 | 発生事象／問題点 | 対策／教訓 |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 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 | <ul style="list-style-type: none"> AM全体: <u>対策行動の難航、遅延、その重層</u>: アクシデントマネジメントとして、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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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) |
| <ul style="list-style-type: none"> 前項を想定した日頃のAM対策行動の訓練不足 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> 水源や注水経路を複数の目的で共有する事リスク | <ul style="list-style-type: none"> 水源、水経路: <u>複数目的で共有するリスク</u>: 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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) |
| <ul style="list-style-type: none"> 同一立地に複数のプラントを保有・稼動する事リスク 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 | <ul style="list-style-type: none"> AM全体: <u>一箇所で複数プラントを稼動するリスク</u>: 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 当時の現場体制の課題の整理 複数プラントで過酷事象が同時発生した事による問題点の整理 前2項のAMマニュアルへの反映と訓練 |

全体からの教訓②

| 原因 | 発生事象／問題点 | 対策／教訓 |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 第一2号機のラプチャ・ディスクの動作圧の設定が高い | <ul style="list-style-type: none"> 第一2号機: <u>R/D作動圧高によるベント難航?</u>: 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ている。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> 格納容器ベントと水素爆発の関係性 水素漏洩のメカニズムが不明 | <ul style="list-style-type: none"> 第一1・3号機: <u>格納容器ベントと水素爆発の関係</u>: 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填し、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する。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> 外部電源喪失の長期化 直流電源喪失の長期化 | <ul style="list-style-type: none"> 全体: <u>外部電源、直流電源の喪失の長期化のリスク</u>: 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が急務となる。 | <ul style="list-style-type: none"> 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 | 対策／教訓 |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 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？ | <ul style="list-style-type: none"> ・ 福島第一全体： <u>水素爆発のメカニズムとベント作動圧等との関係性</u>： 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。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 全電源喪失による中央制御室の司令塔機能の不全 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 福島第一全体： <u>中央制御室の機能不全をもたらした影響</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。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 水素爆発 ・ それに伴う放射性物質の漏洩 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 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

— 対策 —

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

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)

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

対策(影響緩和)

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

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)

制御室機能の確保

- 運転員の居住性・監視性確保
- ・ 緊急時における放射線の影響を受けないようにするために、中央制御室の遮蔽効果を向上させる。
(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。

対策(影響緩和)

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

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)

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、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。

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I TV(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

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)

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、駆動用ポンプ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つたことに鑑み、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

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)

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。

対策(影響緩和)

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

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)

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。
- ウェ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

対策(影響緩和)

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)

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DESTALにおけるデブリ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、ウェ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。

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

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

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。
 - 緊急時対策室の環境改善として、仮眠スペース、寝具の準備を実施する。
 - 免震重要棟の津波耐性の向上(非常用電源の確保)
 - 地震後・津波発生後のプラント間のアクセス性向上のため
 - ・ 瓦礫除去用重機の適切台数配備と運転者の確保
 - ・ 重油タンクの固定
- (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)

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 |
|--------------------------------|--------------------|---|---------------|-------------|---------------------------------|
| 電源の確保 | 外部交流電源の確保 | 開閉所の水密性、耐圧性を向上。 | ○ | ○ | |
| | | 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。 | ○ | ○ | |
| | | 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。 | × | × | 送電線の強化(指示文書)他方式の検討は必要(IAEA、産業界) |
| | | 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。 | ○ | ○ | |
| | 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室間での電源融通が可能となるように制御・電源ケーブルを配備 | ○ | ○ | |
| | | 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) | ○ | ○ | |
| | | 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。 | ○ | ○ | |
| 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。 | ○ | ○ | | | |
| 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 | 内容 | 保安院ST指示 文書との整合 | IAEA報告書 との整合 | 備考 |
|-------|-------------|---|-------------------|-----------------|----|
| 電源の確保 | 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。直流電源の設置位置を高い位置に移設する。 | ○ | ○ | |
| | | 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。 | ○ | ○ | |
| | | 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・耐圧性を向上する。 | ○ | ○ | |
| | | 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 | ○ | ○ | |
| | | 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設する | ○ | ○ | |

対策： 制御室機能、高圧冷却系の確保

| 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 |
|--------------|-----------------------|---|-------------------|-----------------|---------------------|
| 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。 | ○ | ○ | |
| | | 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。 | ○ | ○ | |
| | | 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。 | ○ | ○ | |
| 高圧冷却系 の確保 | 高圧冷却系 の確保 | HPCI、RCICは原子炉建屋最地下階に設置されている。今回の津波では電源系の影響により使用不能となったが、ポンプやモータの健全性確保のためにも部屋の機密性、耐圧性を維持できることが必要。 | ○ | ○ | |
| | | 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。 | ○ | ○ | |
| | | 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 |
|----------|--|--|-------------------|-----------------------------------|---|
| 低圧冷却系の確保 | 低圧冷却系の確保 | 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。 | ○ | ○ | |
| | | 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 | × | × | |
| | | 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) | ○ | ○ | |
| | 水源の強化： 冗長性をもたせ、貯水槽、ダム、貯水池・湖・河川、海などからの複数箇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。 ・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 | ○ × × | ○ × × | 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 | |
| | 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。 | × | ○ | 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 |
|--------------|----------------------|--|-------------------|-----------------|--------------------------------------|
| ベント機能の 確保 | 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、駆動用ポン プ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。 | × | × | ベントシステムの操作性向上 については言及(IAEA) |
| | | 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。 | × | ○ | 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) |
| | | 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。 | ○ | ○ | |
| | | 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。 | × | × | |
| | 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。 | ○ | ○ | |
| | | 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 |
|-------------|------------|--|-------------------|-----------------|----|
| 最終ヒートシンクの確保 | 海水冷却系機能の確保 | 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。 | ○ | ○ | |
| | | サイト内にモータ巻線洗浄設備の設置、予備品準備 | ○ | ○ | |
| | | 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。 | ○ | ○ | |
| | | ウエットウェルイ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 | ○ | × | |
| | | 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。 | ○ | ○ | |

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 | |
|-----------------------|-------------|---|-------------------|-----------------|---------------------------|----------------------------|
| 水素爆発／ 放射能漏え い防止 | 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)。 | ○ | ○ | | |
| | | 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。 | × | × | | |
| | | 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。 | ○ | ○ | | |
| | | 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) | × | × | ○ | 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、ベ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ー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。 | × | ○ | 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 | <p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「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。 | ○ | ○ | |
| | | <p>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</p> | ○ | ○ | |
| | | <p>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。</p> | ○ | ○ | |

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 |
|-------------------------|--------------------------|---|-------------------|-----------------|----------------------------|
| 災害対策マ ニュアル ／インフラ等 | インフラの強 化 | 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時間以内に來れる手配) | × | ○ | 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。 | ○ | ○ | |
| | | 緊急時対策室の環境改善として、仮眠スペース、寝具の準備を実施する。 | × | × | |
| | | 免震重要棟の津波耐性の向上(非常用電源の確保) | × | × | |
| | | 地震後・津波発生後のプラント間のアクセス性向上のため ・瓦礫除去用重機の適切台数配備と運転者の確保 ・重油タンクの固定 ・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) | × | × | レスキュー部隊、緊急対応用資機材の整備については言及 |
| | 組織の見直 し、地震・津 波評価手法 | 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 | × | ○ | 複数炉立地における課題として言及(IAEA) |
| | | 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 | 発生事象／問題点 | 対策／教訓 |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ● 普段からの事故対応手順の周知徹底、訓練実施 | <ul style="list-style-type: none"> ● 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(AM)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 | <ul style="list-style-type: none"> ● 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 情報共有、通信手段の手順・機能不足 ● 統合本部の設置 | <ul style="list-style-type: none"> ● 報道では、当初東電本店と発電所、国と東電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 | <ul style="list-style-type: none"> ● 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 複数プラント同時対応の想定不足。対応遅延 | <ul style="list-style-type: none"> ● 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 | <ul style="list-style-type: none"> ● 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 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 | <ul style="list-style-type: none"> ● 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 | <ul style="list-style-type: none"> ● 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> ● オフサイトセンターの停電、通信障害等 | <ul style="list-style-type: none"> ● 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 | <ul style="list-style-type: none"> ● オフサイトセンターの非常用電源、通信手段の確保 |

課題の整理(続き)

疑われる原因

発生事象／問題点

対策／教訓

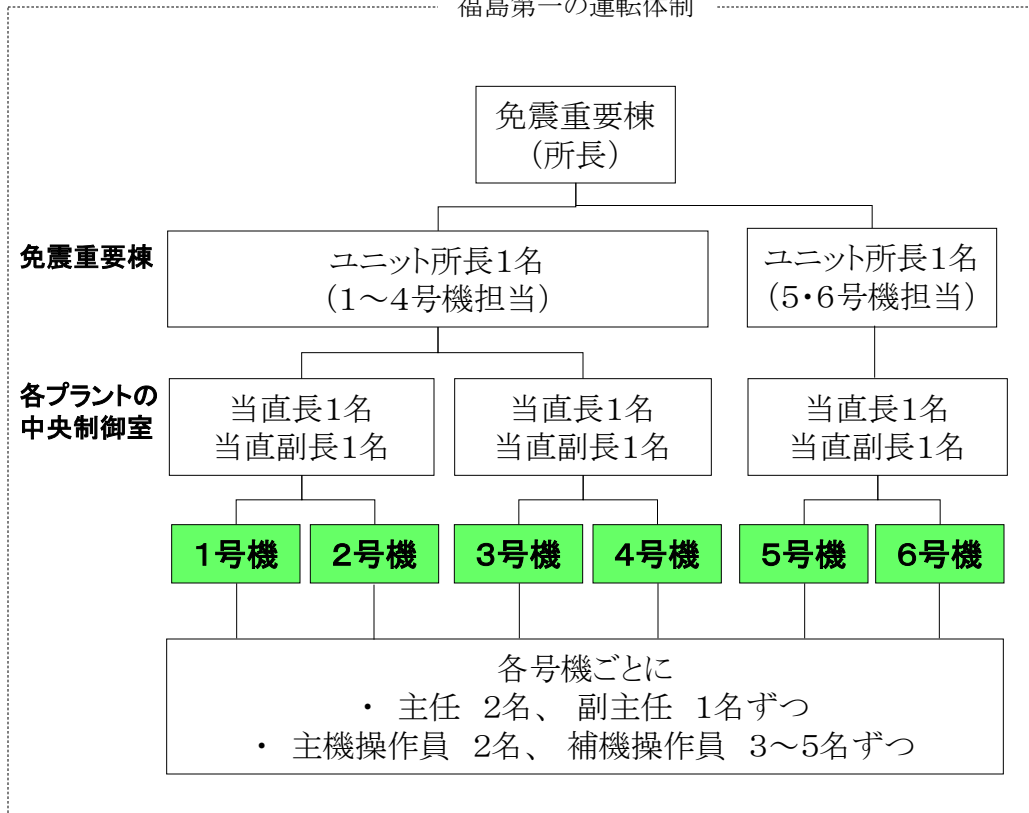
- オフサイトセンターの機能定義、関係各者間での認識の共通化、訓練等の不足
- 東電・国・県等のハイレベルでの事故対応の訓練不足
- 避難指示・誘導における現地対策本部(国・県・市町村等)の行動設計の不足、事前訓練の不足等

- 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

- 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

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

福島第一の運転体制



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にも参加してもらお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IAEA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**と言ってもしょうがない。

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、**コンピュータ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現地訓練が必須**
 - ・ 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、技術的な側面だけではなく、地元参加型の意思決定、体制、訓練等の位組みが必須

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り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(福島の新発防止)

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

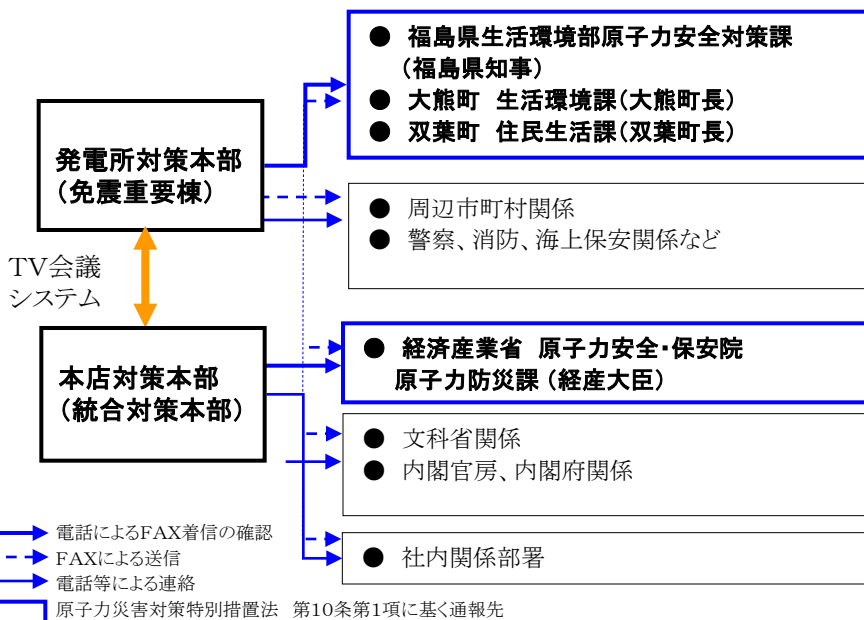
- ガバナンスが明確に機能する組織と権限の設計
 - ー プラントの安全: 現場(所長と当直長)が最高意思決定者である
 - ー 地元の安全: プラントからの情報がリアルタイムで地元で共有され、最終判断できる
 - ー これら意思決定のプロセスが透明であり、外的要因によって遅延・屈曲しない

安全を担保する 研修・訓練

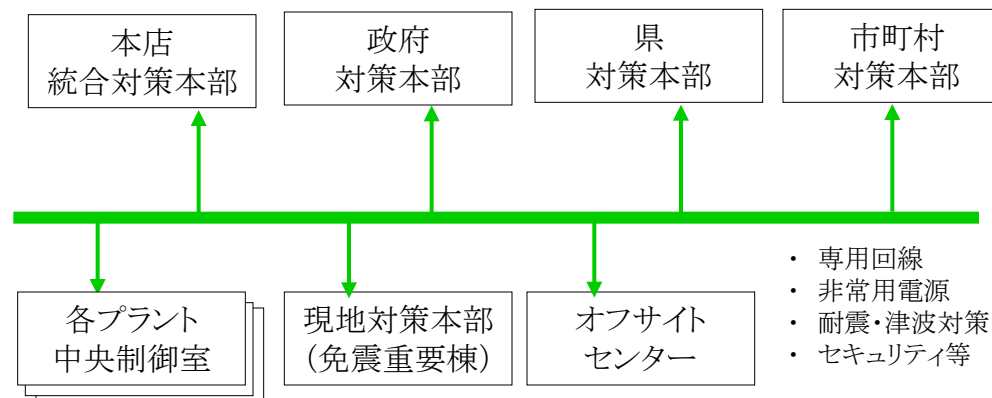
- 上述の事項を担保する為のAM手順書・対策等が適切に定義されている
- その手順書を実行する為に適切な人材が確保されている
- 適切な人材に対して、必要な教育・訓練が実行される
- 中立的な観点(または機関)から、これら(手順・人材・訓練)が適切である事が定期的に¹⁷¹チェック・評価される

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

現状 (第10条事象発生時)



今後

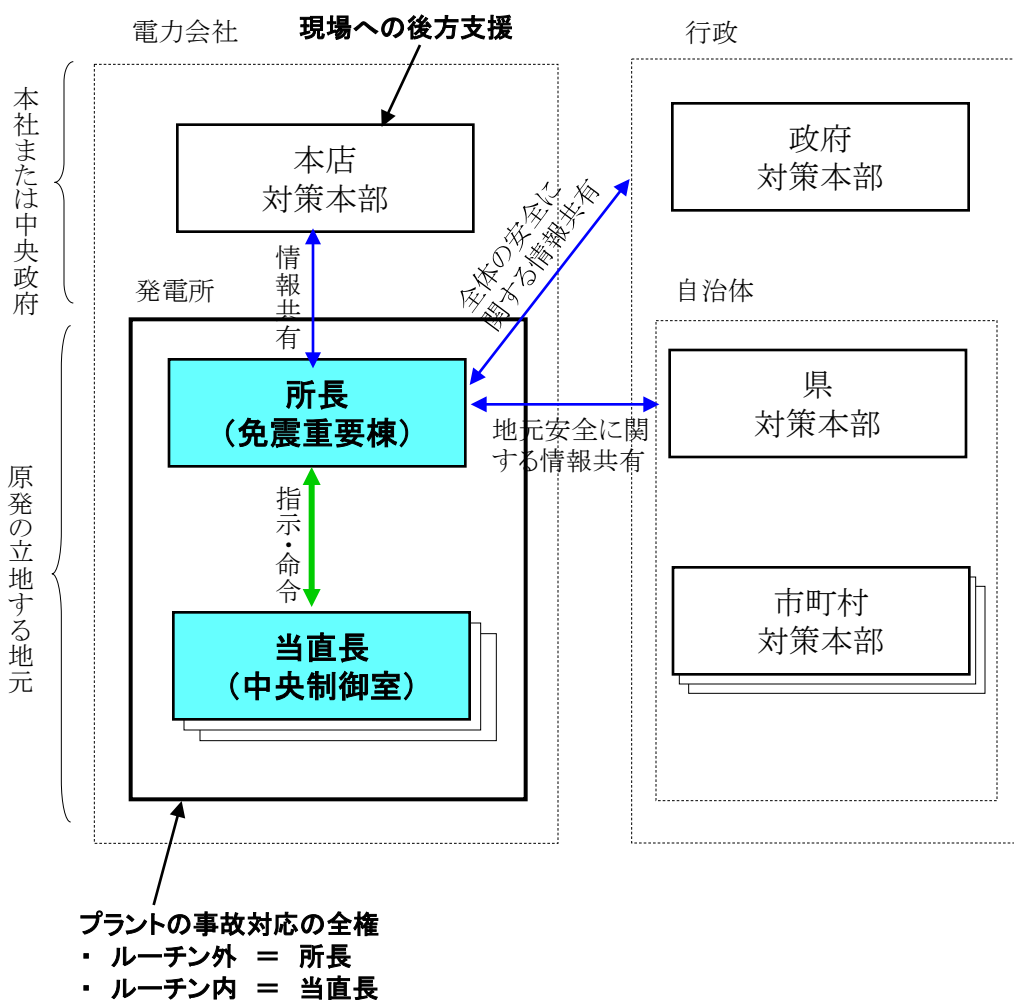


- **限定的なリアルタイム性:** 発電所と本店間はリアルタイムのTV会議機能あり
- **部分的な双方向性:** 政府機関・県・市町村等の対外通信は、電話・FAX・メール等による一方向が主流
- **限定的な情報共有機能:**
 - ・ 電源喪失、通信障害等の発生時は、十分なコミュニケーションが困難
 - ・ 自治体他からは、原発事故に関する情報提供不足を指摘された(公衆回線であった事も関連)

- **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

事故が一定の規模を超えてから本店を通じて対応協議しては遅い

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



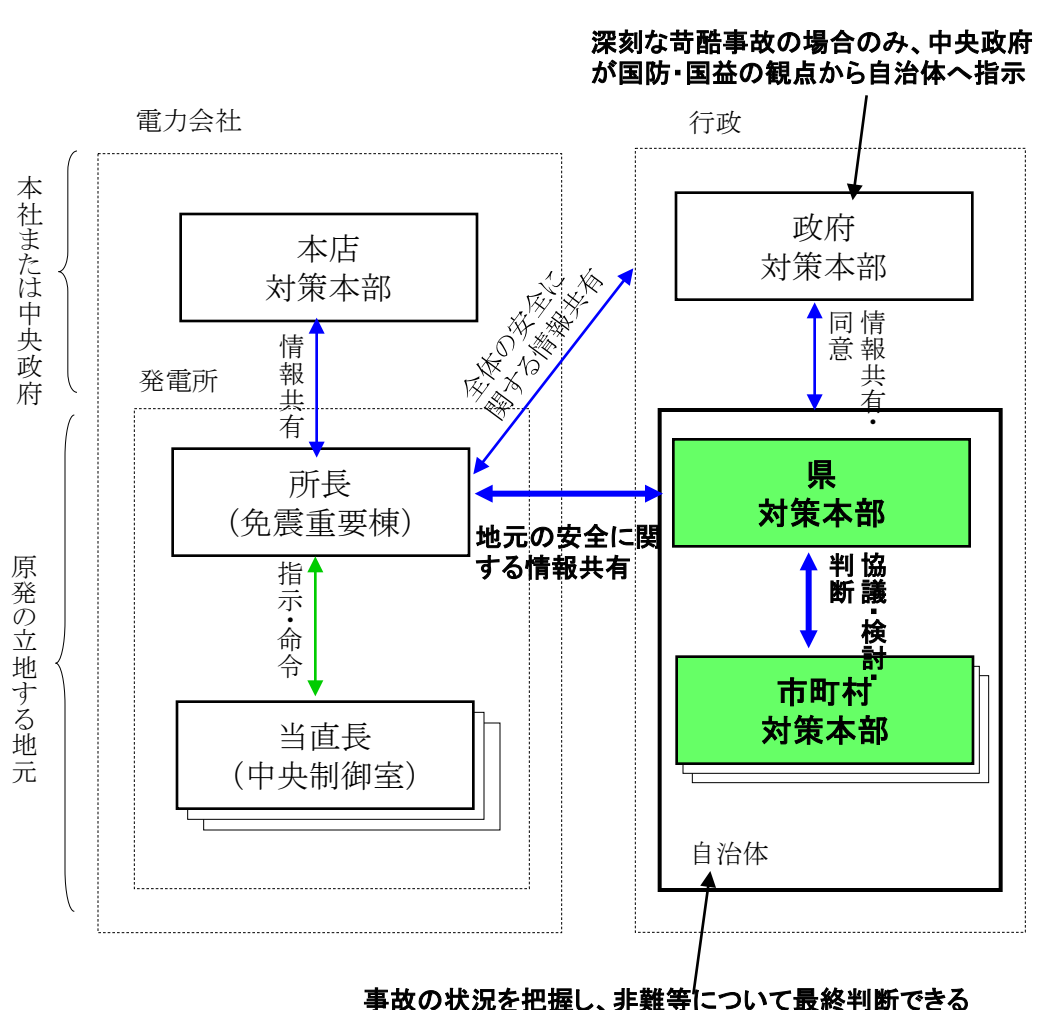
電力会社 本店と発電所：安全と経営の独立

- 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

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”

今後目指すべき地元の役割

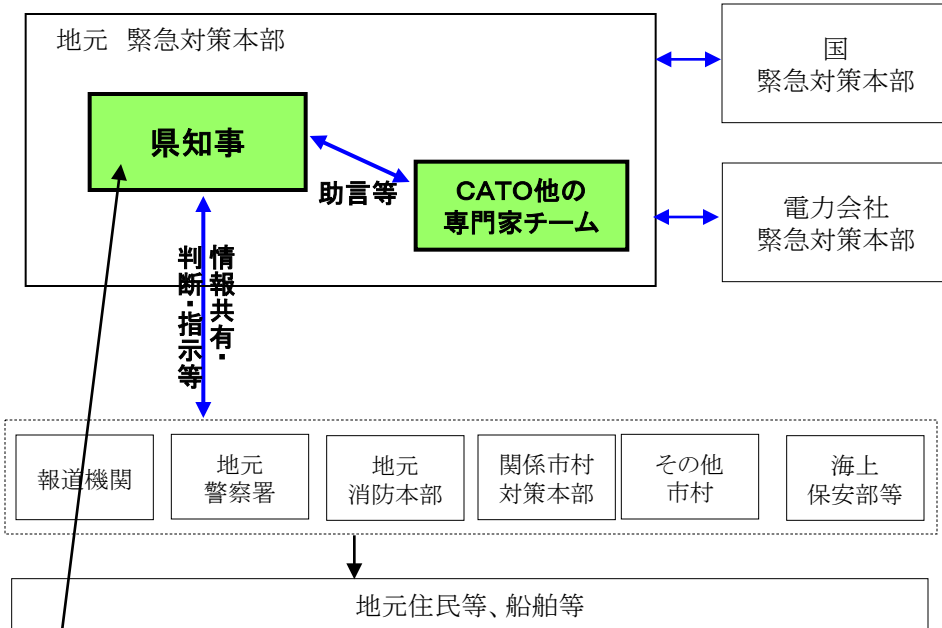
- 意思決定：安全・避難等について、地元首長は全ての情報を把握し所長と相談の上最終判断する
- 研修：地元首長は、その判断力を養う為の訓練を常時受ける
- 情報共有：判断に必要な情報は、中央政府や本店経由ではなく、発電所から直接共有される
- NW：その為のネットワークがある
- 判断基準：国と地元自治体との役割・判断等に関する基準が明確に定義される

- 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

「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)



- 首長は、CATO他のアドバイス等を踏まえて総合判断し、司令塔機能を果たす

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

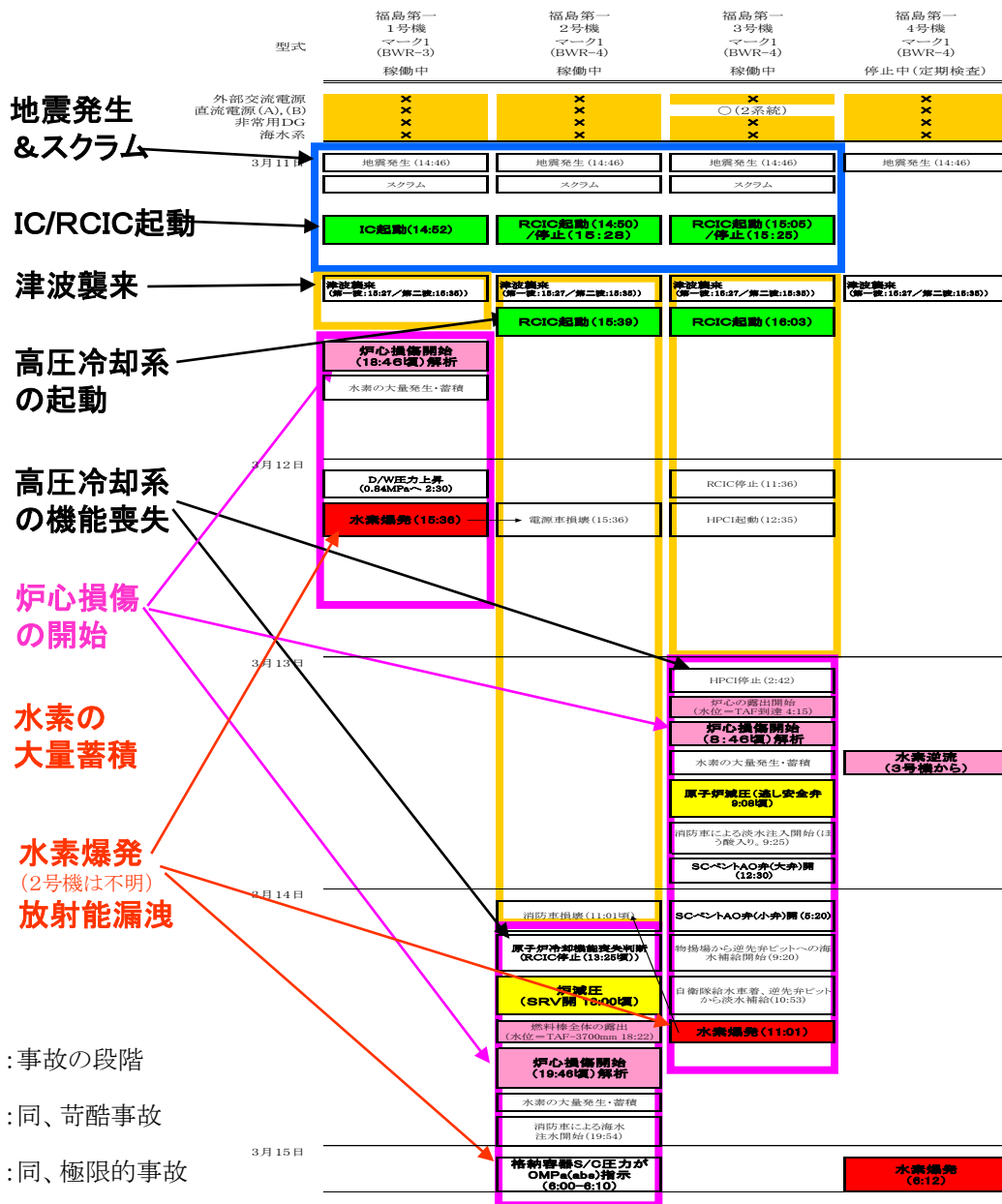
…例えば新潟県では、原子力等のリスク管理責任者として「危機管理監」という職制を導入する等、先進的な取組みを行っている — この費用、訓練などを国の負担とする

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 | | | 政府側の主体 |
|--|---|----|---|--|--------|
| | | NW | 「プラントの安全」の主体 | 「地元の安全」の主体 | |
| <div style="background-color: #00FFFF; padding: 10px; text-align: center;"> 事故 (Accident) </div> | <ul style="list-style-type: none"> 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 | <ul style="list-style-type: none"> AMルーチン内＝当直長 AMルーチン外＝所長 | <ul style="list-style-type: none"> 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 |
| <div style="background-color: #FFFF00; padding: 10px; text-align: center;"> 苛酷事故 (Severe Accident) </div> | <ul style="list-style-type: none"> 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 | <ul style="list-style-type: none"> 同上 | <ul style="list-style-type: none"> 同上 | 環境省 |
| <div style="background-color: #FFB6C1; padding: 10px; text-align: center;"> 極限的事故 (Grave Accident) </div> | <ul style="list-style-type: none"> 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 | <ul style="list-style-type: none"> 同上 国は必要な支援(例、自衛隊の出動) | <ul style="list-style-type: none"> 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な？



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



- ★ 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

 : 事故の段階
 : 同、苛酷事故
 : 同、極限的事故

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 facilitate communication and understanding …on the safety significance of events.
 - ・ INES is a tool for promptly communicating to the public in consistent terms the safety significance of reported nuclear incidents….
- **レベル6と7の「所外への影響 (people 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)**

国民へのメッセージは適切であったか？ — 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)

課題・教訓

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)想定範囲内か？」 => **常に最悪の事を想定しながら対応をしている。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。**

- **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のか？**
- **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？**

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)

課題・教訓

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つた事は間違いない。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。

- この時点では、3号機のRCICもHPCI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)

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)

課題・教訓

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で推定されている。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

● 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181か？

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)

課題・教訓

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いう事は分かる話だが。

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

- 「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
- 非常用電源設備：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

- 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

対策の実行主体

- 電力事業者

- 電力会社+行政等

電源の耐久時間

- 最低でも24時間以上は、オンサイトにて電源を確保す

- 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 Leonard 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号機のように、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を開始リスク
 - ・ (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**

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)

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－東京電力福島原子力発電所の事故について－(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)

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)