

福島原子力事故調査報告書（中間報告書）概要

1. 本報告書の目的（報告書本編 P.1 【1】）

福島第一原子力発電所の事故について、これまでに明らかとなった事実や解析結果等に基づき原因を究明し、既存の原子力発電所の安全性向上に寄与するための方策を提案すること。

また、本中間報告書は設備面の事象に焦点をあてて取り纏めており、そこから導き出される技術的課題への対応が主要方策。

なお、現在も調査を継続して進めており、新しい内容については、順次取り纏めの上、公表予定。（今後取り纏める事項：放射性物質の放出、放射線管理、人的リソース、資材調達、情報公開・提供、等）

2. 福島原子力発電所事故の概要（報告書本編 P.1 【2】）

3. 東北地方太平洋沖地震の概況（報告書本編 P.4 【3】）

地震及び津波の規模（報告書本編 P.4 【3.1】）

- 平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分、日本観測史上最大の地震であるマグニチュード 9.0 の東北地方太平洋沖地震発生。
- 地震の震源域は、岩手県沖から茨城県沖、長さは約 500km、幅約 200km の広範囲にわたり、複数の震源が連動。これに伴い日本の過去最大に位置づけられる津波が発生。
- 発電所を襲った地震(震度 6 強)は、設計で想定した基準地震動と概ね同程度。

発電所を襲った津波の大きさ（報告書本編 P.5 【3.3】）

- 福島第一原子力発電所：到達した津波高さは約 13m*。浸水域は主要建屋設置エリア全域。1～4 号機主要建屋設置エリアでの浸水深さは約 1.5～約 5.5m、5, 6 号機主要建屋設置エリアでの浸水深さは約 1.5m 以下。（下記表参照）
- 福島第二原子力発電所：到達した津波高さは約 9m*。1 号機主要建屋エリアの南東側道路を集中的に遡上。海側エリアから斜面を超えた遡上はなし。

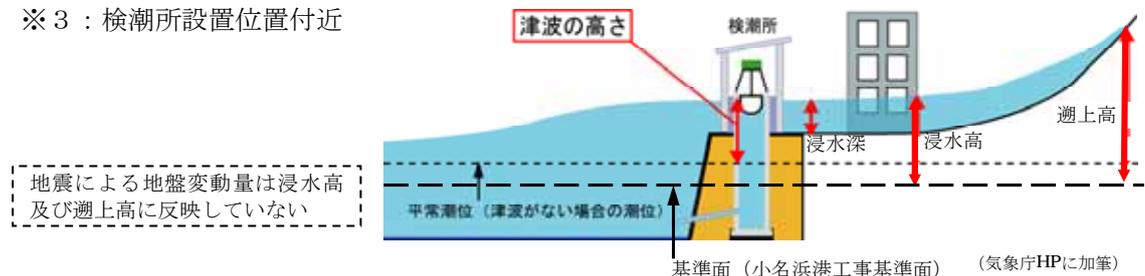
* 潮位、波高が津波の影響で測定できず。数値は浸水高等から求めた解析値。

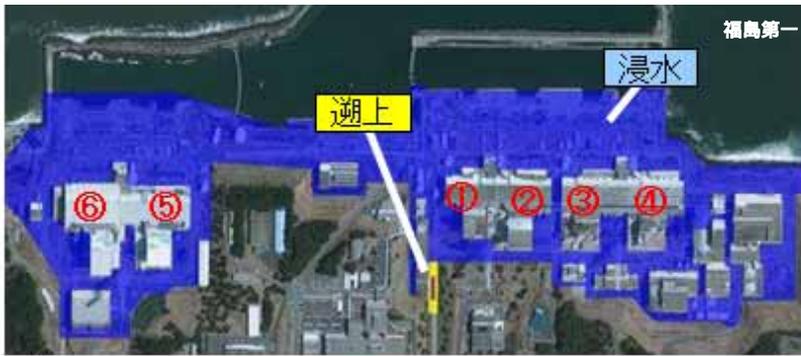
福島第一原子力発電所の津波浸水高、浸水深さ調査結果		
	主要建屋敷地エリア (1～4 号機側)	主要建屋敷地エリア (5 号, 6 号機側)
◇敷地高(a)	0. P. ※ ¹ + 10m	0. P. + 13m
◇浸水高(b)	0. P. 約 + 11.5～約 + 15.5m※ ²	0. P. 約 + 13～約 + 14.5m
◇浸水深(b-a)	約 1.5～約 5.5m	約 1.5m 以下
◇浸水域	海側エリア及び主要建屋敷地エリアほぼ全域	
備考	今回の津波高さ（津波解析による推定）；約 13m※ ³ 土木学会手法による評価値（最新評価値）；0. P. + 5.4～6.1m	

※ 1：0. P. は小名浜港工事基準面（東京湾平均海面の下方 0.727m）を示す

※ 2：当該エリア南西部では局所的に 0. P. 約 + 16～約 + 17m（浸水深 約 6～7m）

※ 3：検潮所設置位置付近





(c) GeoEye

福島第一原子力発電所浸水域



福島第二原子力発電所浸水域

津波評価について（報告書本編 P.8 【3.4】）

○昭和 41 年～47 年〔設置許可当初〕

発電所建設の設置許可は昭和 41 年～昭和 47 年に取得。津波に関する明確な基準はなく、既知の津波痕跡に基づき設計を進め、既往最大の昭和 35 年のチリ地震津波による潮位を設計条件として設定。(0. P. +3. 122m)

○平成 14 年～〔土木学会の津波評価技術〕

平成 14 年に土木学会の「原子力発電所の津波評価技術」が刊行され、以降、国内原子力発電所で標準的な津波評価方法として使用。当社はこれに基づき、福島第一原子力発電所の津波水位を 0. P. +5. 4～6. 1m と評価し対策を実施。

○平成 14 年〔地震調査研究推進本部の見解〕

国の調査研究機関である地震調査研究推進本部（以下、地震本部という）から、「三陸沖から房総沖の海溝沿いのどこでも M8. 2 程度の地震が発生する可能性がある」との見解が公表。

○平成 15 年～20 年〔津波評価に関する取り組み〕

土木学会は、平成 15 年から検討していた津波評価を確率論的に実施する先駆的な成果を平成 17 年及び 19 年に論文として発表。

当社は、土木学会での検討状況を注視するとともに、平成 15 年～17 年までの土木学会による検討成果を踏まえ、開発段階にある確率論的津波ハザード解析手法の適用性の確認等を目的として、福島サイトを例とした試行的な解析を実施し、平成 18 年に論文を投稿。

平成 19 年～20 年に福島県が想定した津波高さ及び茨城県の想定波源から算出した津波高さが当社の津波評価結果を上回らないことを確認。

○〔地震本部見解に基づく試算〕

当社は、決定論に基づく耐震バックチェックにおいて、「地震本部の見解」（平成 14 年に長期評価として公表）をどのように扱うか社内検討するための参考として、試算などを実施（平成 20 年 4 月～5 月頃）した。ただし、土木学会の「津波評価技術」が、福島沖の海溝沿いでは津波発生を考慮していないこと、津波の波源として想定すべきモデルが定まっていないことから、試算は、具体的根拠のない仮定に基づくもの。そのため、平成 21 年 6 月に土木学会に具体的な波源モデルの策定について審議を依頼。

○〔貞観津波の波源モデルによる試算と堆積物調査〕

当社は、平成 20 年 12 月に貞観津波についても未確定であるものの波源モデル案が示されたことから試算を実施。地震本部の見解の扱いと合わせ、平成 21 年 6 月に

土木学会に審議を依頼。福島県沿岸の津波堆積物調査が必要とされていたことから調査を実施し、福島県北部では津波堆積物を確認したが、南部（富岡～いわき）では確認できなかった等の結果から、波源モデルの確定には、さらなる検討の必要があると考えた。

○〔中央防災会議の検討範囲〕

中央防災会議の「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」平成18年1月の報告書によると、過去に繰り返し発生している地震を防災対策の検討対象とする考えにたち、日本海溝沿いについては、三陸沖の地震は想定しているものの、福島～房総沖についての平成14年の地震本部の見解は反映されず。

○〔今回の地震規模〕

今回の地震は、地震本部の見解に基づく地震でも、貞観地震でもなく、より広範囲を震源域とする巨大な地震。

4. 事故に対する発電所の備え（報告書本編 P.15 【4】）

設備設計について（報告書本編 P.15 【4.2】）

- 原子力発電設備の設計にあたっては、人は間違えることがあり、機械は故障することがあるということを前提に、機器の単一故障を想定した事故に対して、多重性や多様性及び独立性を持たせた非常系の冷却設備等を設置。
- 原子炉スクラム等の重要な機能は、故障が生じた場合、安全側に動作する設計。これらの状況も踏まえ、原子炉施設の構造、設備等が災害の防止上支障がないものとして、法令に基づく設置の許可を取得。

アクシデントマネジメント（以降、AM）整備（報告書本編 P.17 【4.4】）

○平成4年～平成14年〔AM対策の実施〕

平成4年5月、原子力安全委員会が「発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策としてのアクシデントマネージメントについて」を決定。通産省からのAM整備要請（平成4年7月）に基づき、平成6年から14年にかけて、多重な故障を想定しても「止める」「冷やす」「閉じ込める」機能が喪失しないよう多重性、多様性の厚みを増すAM対策を整備。具体的な整備内容については国に報告し、妥当との確認を得ながら国と一体となって整備を推進。

○〔設備面のAM対策〕

既存設備の潜在能力を最大限に活用するため、必要な設備変更を実施。設備変更は、代替注水、耐圧強化ベント、電源融通等。具体的には以下のとおり。

- ・既設の復水補給水系や消火系から炉心スプレイ系（福島第一1号機）または残留熱除去系（福島第一2～6号機、福島第二1～4号機）を通じて原子炉への注水が中央制御室から操作可能となるよう接続ライン及び電動弁を設置（代替注水）
- ・格納容器の除熱失敗による格納容器の過圧に備え、耐圧性に優れたベントラインを既設ラインに追設。中央制御室からの操作で格納容器の圧力を逃すことができるよう整備（耐圧強化ベント）
- ・非常用D/G及び直流電源全喪失に備え、隣接号機からの電源融通確保

○〔運用面のAM対策〕

多重な故障への対応態勢を整備し、AMを的確に実施するため既存手順書等の改訂ならびに事故時運転操作基準[シビアアクシデント](SOP)等の手順書類を制定。運転員、支援組織の要員を対象にAMに関する教育等を定期的実施。

AM対策と今回の事故（報告書本編 P.18 【4.5】）

- 福島の事故を顧みると、今回の津波の影響により、これまで国と一体となって整備してきたAM対策の機器も含めて、事故対応時に必要な機器・電源がほぼすべての機能を喪失。現場では原子炉への注水に消防車を利用するなど、臨機の対応を余儀なくされ、事故対応は極めて困難化。このように、想定した事故対応の前提を大きく外れる事態となり、結果として、これまでの安全への取り組みだけでは事故の拡大を防止できず。

5. 災害時の対応態勢（報告書本編 P.20 【5】）

6. 地震の発電所への影響（報告書本編 P.22 【6】、P.37 【7】）

地震発生直前の福島第一のプラント状況（報告書本編 P.22 【6】）

- 〔1～3号機が運転中、4～6号機が停止中〕

1～3号機は定格出力による運転中。4～6号機は定期検査のため停止中。4号機はシュラウド取替作業のため、全ての燃料を圧力容器から使用済燃料プールへ移動させ、保管・冷却状態。

地震発生直後の福島第一のプラント状況（報告書本編 P.22 【6】）

- 〔安全停止と非常用電源バックアップの成功〕

地震発生に伴い、原子炉には制御棒が正常に全挿入され問題なく自動停止。外部電源を地震により喪失したが、非常用ディーゼル発電機（以降、非常用D/G）が起動。機器は正常に動作。

- 〔地震による設備への影響評価〕

地震から津波襲来までの残存しているプラントパラメータによると、安全に係わるような格納容器内の配管破断等の異常はないものと判断。主要な安全上重要な機器・配管系の地震応答解析結果は、すべて評価基準値以下を確認。

1～3号機、及び5号機、6号機を確認可能な範囲で目視確認を実施した結果、安全上重要な機器に地震による損傷はなく、耐震クラスの低い機器でも、地震起因で損傷した設備・機器は一部を除き認められず。

屋外設備については、損傷を受けている機器も多くある。これらは地震による影響を必ずしも否定はできないものの、損傷の原因は主に津波の影響と判断。

- 〔1号機非常用復水器（以降、IC）、3号機高圧注水系（以降、HPCI）の状況〕

ICは、確認できる格納容器外の部分を目視確認したところ、本体、配管等に損傷はなく、配管破断等で高圧蒸気が大量に噴出したような状況は認められず。

HPCIは、現場に立ち入った運転員からの聞き取りにより配管破断等の損傷は発生していないと評価。



1号機 屋外海水設備
（主要海水ポンプ）



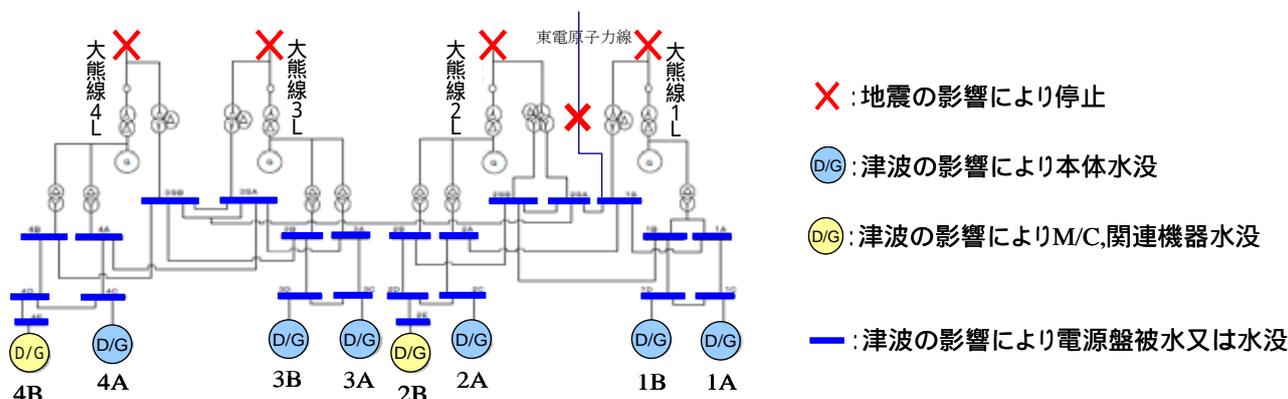
1号機
非常用復水器(B)



3号機
タービン補機冷却系ポンプ

7. 津波による設備の直接被害の状況 (報告書本編 P.37 【7】)

- 1～6 号機の交流電源は、津波により、6 号機の非常用 D/G1 台を除きすべて喪失。
→ 電動駆動のポンプ・弁類がすべて使用不能
- 電源盤も多数被水・浸水し使用不可。 → 外部から電源を供給する準備 (例：電源車) が出来ても、ポンプ等を動かすために接続できる電源盤がほとんどなし
- 1, 2, 4 号機では直流電源を喪失。 → 監視計器が使用不能
- 原子炉の除熱や各設備を冷却するために必要な海水系もすべて被水し使用不可。
→ 大型ポンプ等の電動機の冷却が必要な設備は使用不可



福島第一 1～4 号機の電源構成図

8. 津波到達以降の対応状況 (報告書本編 P.43 【8】)

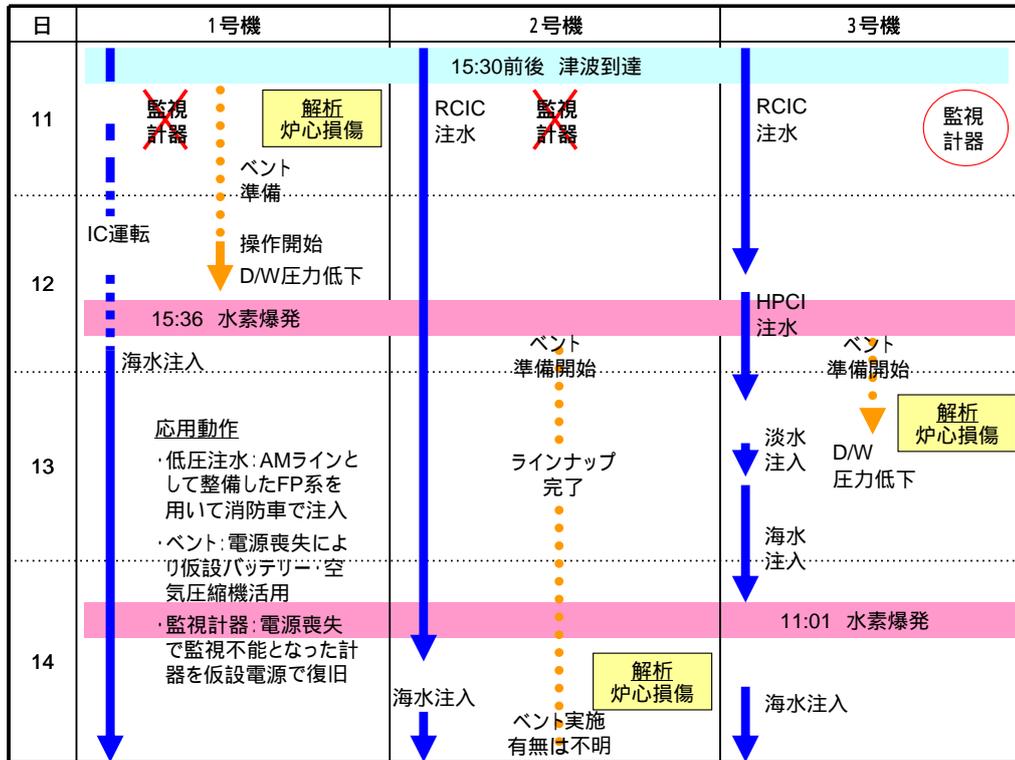
福島第一 1 号機の対応状況 (報告書本編 P.44 【8.1】)

- 3月 11 日 14 時 46 分に地震発生。原子炉は自動停止，制御棒は全挿入。運転員は手順書(原子炉圧力容器への影響緩和の観点から原子炉冷却材温度降下率 55℃/h 以下になるように調整)に則り，I C で圧力制御を行い，原子炉の停止操作を実施していたところ，同日 15 時 30 分に前後して津波が来襲。
- 津波の影響により交流電源，直流電源を喪失。そのため，原子炉の蒸気で作動する高圧注水系や電動機駆動の冷却設備等を含め，原子炉への注水・冷却設備の全ての機能が喪失。
- AM 策として整備した消火系のラインを用い，臨機の応用動作として消防車による原子炉への代替注水を準備。
- 津波による瓦礫や頻発する地震などにより作業は難航。水源やホースのつなぎ先を確保し，12 日明け方から注水(5 時 46 分)を実施。以降，発電所構内の線量の上昇や 1 号機原子炉建屋での水素爆発(15 時 36 分)など，環境が一層悪化していく中，12 日夜に海水注入(19 時 04 分)を開始。
- 早い段階から格納容器のベント(減圧)の必要性を認識し，手順等を準備していたところ，格納容器(ドライウエル：D/W)の圧力の上昇を確認したため，建屋内外の線量の評価を含め，具体的な準備を実施。
- 電源喪失により遠隔操作ができない状況にあったことから，現場の線量が徐々に上昇していく中，現場での手動操作や仮設機器を用いた格納容器のベント操作を実施。なお，ベント実施にあたっては，住民避難を考慮する必要があり，避難状況の確認を実施。
- ドライウエル圧力低下を確認，ベントによる「放射性物質の放出」と判断(12 日 14 時 30 分)。

福島第一 2, 3号機の対応状況 (報告書本編 P.50 【8.2】, P.56 【8.3】)

- 津波襲来後も原子炉隔離時冷却系等により注水・冷却していたが、最終的にはそれらの機能も喪失。原子炉冷却には注水が必要不可欠であり、そのためには原子炉の減圧が必要であった。しかしながら、弁を駆動する電源がないため乗用車から集めた仮設バッテリー等を用いて弁を操作する等、困難な作業を実施。
- 2, 3号機の格納容器ベントの準備は、1号機の水素爆発等の厳しい環境下で、仮設設備等を利用して実施。

主な対応の経緯



4号機 使用済み燃料プールの状況 (報告書本編 P.62 【8.4】, P.75 【8.9】)

- 燃料はすべて使用済燃料プールに移動済。津波の影響により電源がなくなり、使用済燃料プールの冷却機能を喪失。14日4時8分には使用済燃料の崩壊熱により同プールの水温が84℃まで上昇。
- 15日朝、大きな音が発生し、4号機の原子炉建屋上部の損傷を確認。当初、使用済燃料プールの損傷が懸念されたが、ヘリコプターで上空から確認したところ、当該プールに水があること、燃料は露出していないことを確認。プール水の核種分析結果からは、燃料損傷を示すデータは確認できていない。現在はプールに水を張ることができ冷却中。

4号機使用済燃料プールの核種分析結果



4号機使用済燃料プールの状況

検出核種	半減期	濃度 (Bq/cm ³)				(参考) 3/4採取	(参考) 4号機 T/B地下階 ためり水 (3/2.4)
		4/12採取	4/28採取	5/7採取	8/20採取		
Cs-134	約2年	88	19	56	44	検出限界未滿	31
Cs-137	約30年	93	55	67	61	0.13	32
I-131	約8日	220	27	16	検出限界未滿	検出限界未滿	360

9. プラント水素爆発評価 (報告書本編 P.77 【9】)

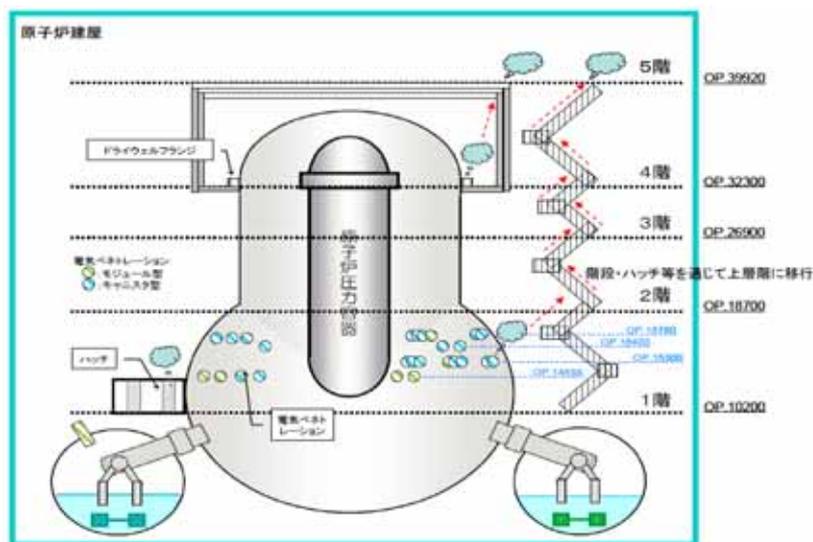
1号機と3号機の水素爆発の原因 (報告書本編 P.80 【9.2】)

○〔水素発生原因〕

- ・炉心損傷に伴い、水-ジルコニウム反応等による水素が発生、原子炉建屋内へ水素が漏えい、滞留したことで水素爆発に至ったものと推定。

○〔水素流出経路〕

- ・原子炉建屋への水素の流出経路は不明。しかし、格納容器上蓋の結合部分、機器や人が出入りするハッチの結合部分等のシール部（シリコンゴム等を使用）が高温に晒され、機能低下した可能性。



1, 3号機の水素ガス推定漏えい経路概要

4号機の水素爆発の原因 (報告書本編 P.77 【9.1】, P.80 【9.2】)

○〔4号機の水素発生源〕

- ・4号機の非常用ガス処理系フィルタトレイン出口側の放射線量が高く、入口側が低いことを確認。汚染された気体が4号機の非常用ガス処理系配管を下流（出口）側から上流（入口）側に流れたことを意味。
- ・現場の状況確認から、4号機の主たる爆発は、原子炉建屋4階の非常用ガス処理系のダクト付近で発生したこと等が判明。
- ・爆発が発生した現場は、3号機のベント流が回り込み、4号機の原子炉建屋2階から非常用ガス処理系配管・ダクトを経由して建屋の各所に流れ込んだとの推定と一致。



○〔15日6時過ぎの爆発音〕

- ・4号機の水素爆発とほぼ同時刻の15日6時過ぎに、2号機でも大きな音を確認したが、構内の地震観測の分析結果から、爆発音は4号機で発生したことを確認。従って、2号機の爆発はないと推定。なお、圧力抑制室の圧力計が0 MPa [abs] に低下した原因は、計器故障の可能性大。

爆発防止対応 (報告書本編 P.56 【8.3】, P.79 【9.1】)

- 3号機の水素爆発回避に向けて、対応策の検討を行うも、火花が散り爆発を誘発する可能性が高いこと等により実現に至らず。(爆発を誘発する危険性が低い「ウォー

ターゲットによる原子炉建屋壁への穴開け」については、機器の手配はしたが、3号機の爆発までに発電所へ到達せず)

- 2号機については、原子炉建屋最上階のブローアウトパネルが1号機の爆発の際に開放され水素が滞留せず、爆発に至らなかったと推定。

10. 事故時の分析と課題の抽出 (報告書本編 P.85 【10】)

事故時のプラント挙動 (報告書本編 P.85 【10.1】)

現時点で収集できた情報及びそれらの情報を基にした事後的な解析結果も含めてプラント挙動を整理。

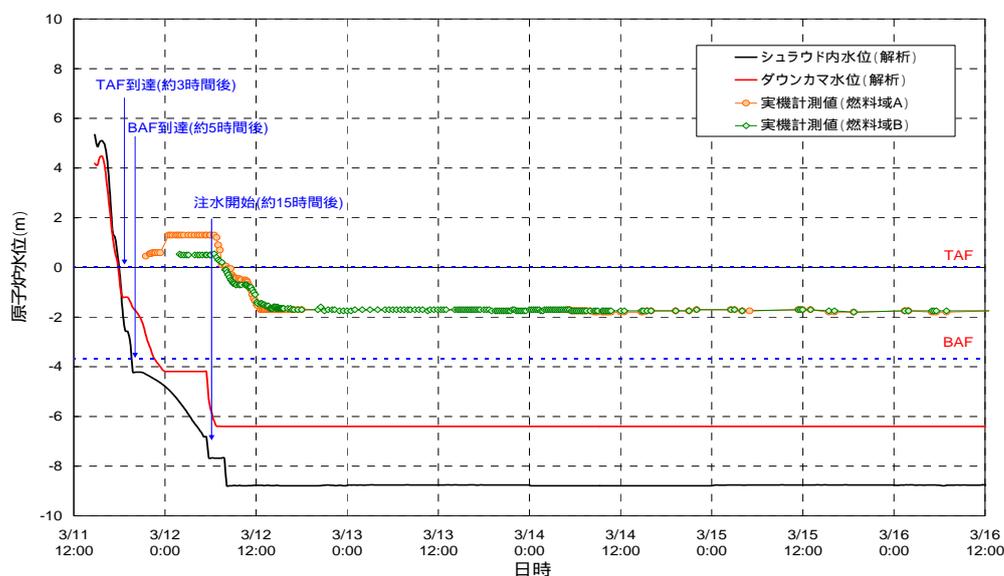
福島第一1~3号機については、地震発生初期の設備状態や運転操作等に関する情報を踏まえて、事故解析コード (Modular Accident Analysis Program, 以下「MAAP」という。) を用いて炉心状態を評価。(下図は、MAAP解析の例)

○〔福島第一1号機〕

- ・ICは、電源喪失により自動隔離が作動し、機能を喪失。その後、短時間で原子炉水位が低下、炉心が露出して炉心損傷に至ったと推定。
- ・12日3時頃には、原子炉の減圧操作を実施していないにもかかわらず原子炉圧力が低下。格納容器圧力は反対に上昇しており、炉心の損傷を起因として原子炉圧力容器が圧力を保てなかった可能性を示しており、短時間で炉心の損傷が相当程度進展していたことを示唆。

○〔福島第一2号機〕

- ・14日の原子炉隔離時冷却系停止とともに原子炉水位が低下。主蒸気逃がし安全弁による原子炉の減圧開始前に消防車のポンプを起動し、低压注水の用意は完了するが、原子炉の減圧操作において主蒸気逃がし安全弁が直ちに動作せず、また、低压注水が直ちに機能しなかったために、減圧に伴う保有水量急減により冷却が一段と悪化して炉心の損傷に至ったと推定。(3号機も基本的に同様の結果)



福島第一1号機 原子炉水位変化の解析例

福島第二1号機については、これまで整備してきたAM策を有効に機能させる事ができ冷温停止に成功したプラント挙動として評価。

○〔福島第二1号機〕

- ・電源と復水補給水ポンプが健全であったため、高压注水 (原子炉隔離時冷却系)

が機能している間に低圧注水（復水補給水系）の運転を開始。高圧系の注水によって水位を維持しつつ、主蒸気逃がし安全弁で減圧操作を行い、低圧注水系で注水できる圧力まで原子炉圧力を減圧し、低圧注水系からの注水を開始。原子炉水位を維持しつつ、残留熱除去海水系の電源復旧等の作業を進め、最終的には、海水を利用した残留熱除去系による除熱を確保し、原子炉を冷温停止。

・課題の抽出（報告書本編 P.85 【10】）

今回の事故について、プラント挙動，設備機能ならびに事故対応を困難にした障害要素について，以下の観点から課題を抽出。

○〔プラント挙動〕

- ・現時点で収集できた情報およびそれらの情報を基にした事後的な解析結果も含めて整理・抽出した課題。

（例）速やかに高圧注水設備による注水手段を確保すること

○〔設備機能〕

- ・事故進展の過程から「地震後の冷却の維持」「高圧注水の維持」など進展ステップ毎に抽出した課題。

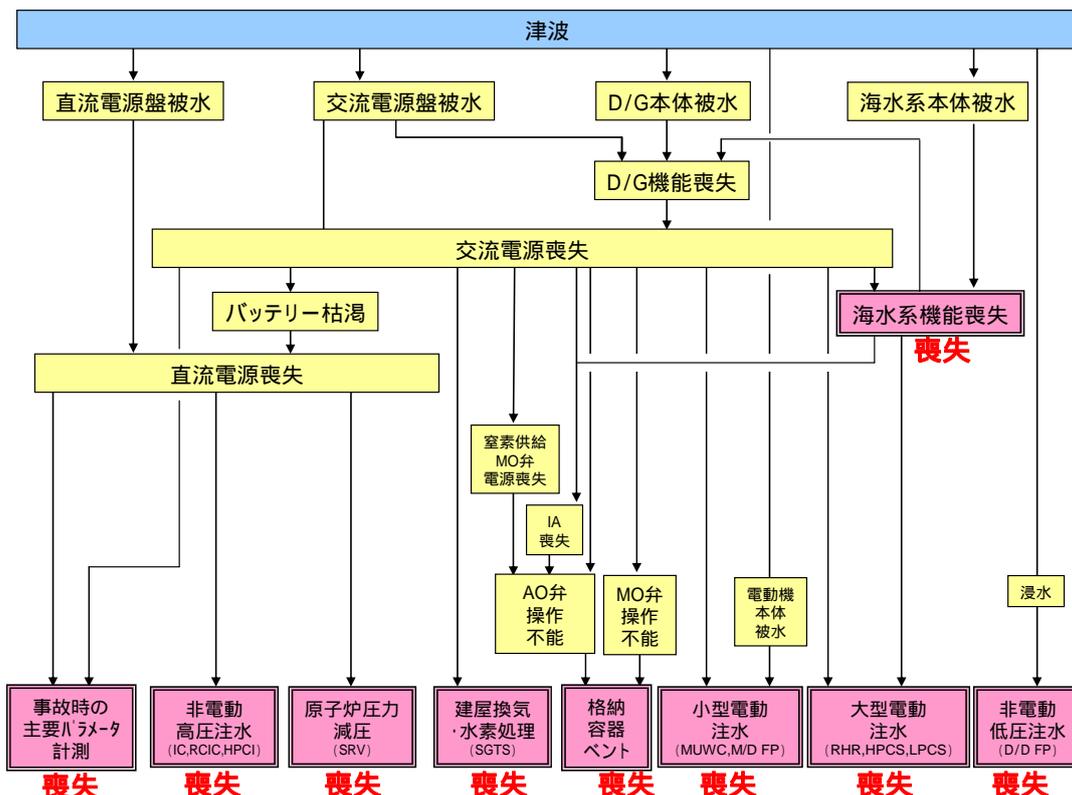
（例）設備機能維持のための直流電源の確保が重要

○〔障害要素〕

- ・事故対応上の重要操作である原子炉への注水，格納容器ベントに関連して，発電所が直面した作業障害を整理・抽出した課題。

（例）瓦礫，照明喪失，放射性物質等の作業環境悪化を考慮すること

今般の事故進展をふまえた，重要な機能の喪失に至る要因の相関を下図に示す。今回の事故は津波による浸水を起因として，多重の安全機能を同時に喪失したことによって発生しており，「長時間におよぶ全交流電源と直流電源の同時喪失」と「長時間におよぶ非常用海水系の除熱機能の喪失」がその要因。



炉心損傷防止・影響緩和に重要な機能の喪失に至った要因

1 1 . 事故原因を踏まえた今後の対応 (報告書本編 P.117 【11】)

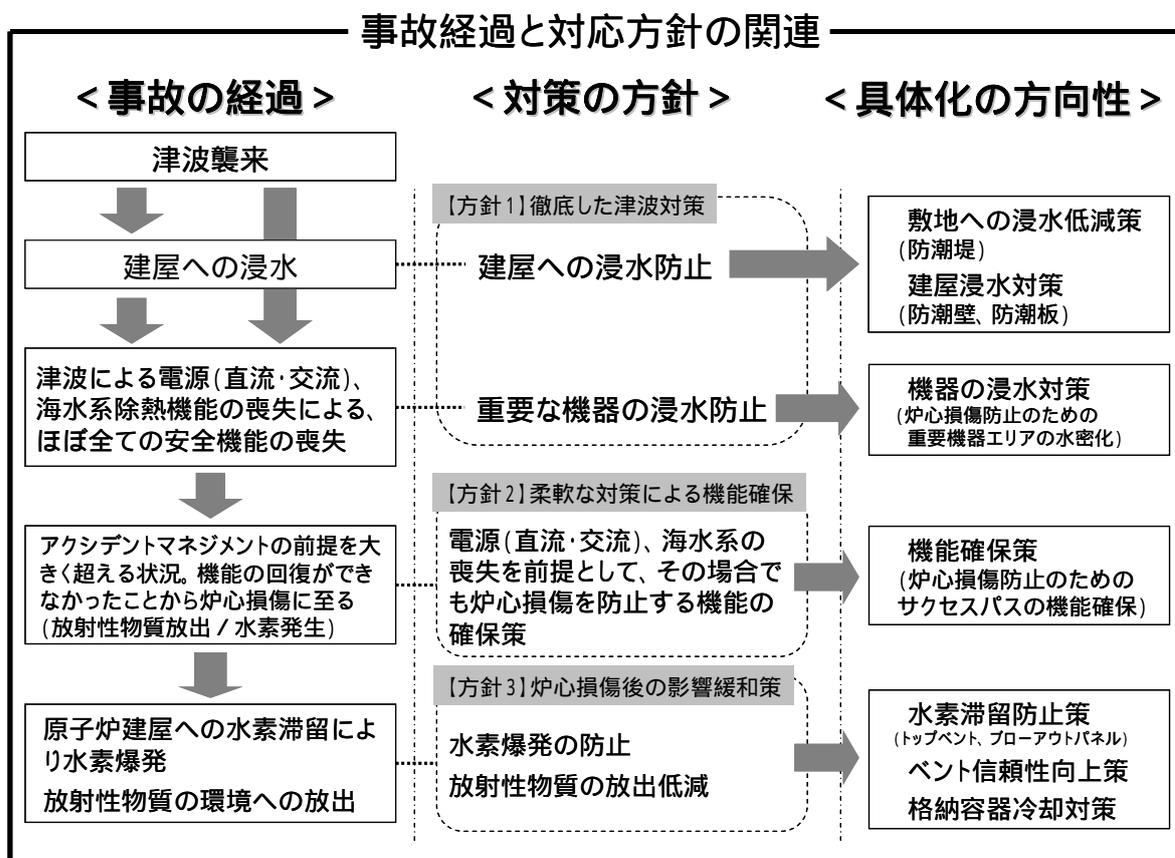
炉心損傷防止のための対応方針 (報告書本編 P.117 【11.1】)

整理・抽出された課題を踏まえ、今回と同様の事故を起こさないために、以下の対応方針を策定。

<p>対応方針 1 [徹底した津波対策] : 事故の直接原因である津波に対して、津波そのものに対する対策のほか、今回の事故への対応操作やプラント挙動からの課題を踏まえた、原子炉注水や冷却のための重要機器に対する徹底した津波対策を施すこと。</p> <p>対応方針 2 [柔軟な対策による機能確保] : 今回の事故のような(「長時間におよぶ全交流電源と直流電源の同時喪失」や「長時間におよぶ非常用海水系の除熱機能の喪失」による) 多重の機器故障や機能喪失を前提に、炉心損傷に至ることを未然に防止する応用性・機動性を高めた柔軟な機能確保の対策を講じること。</p> <p>対応方針 3 [炉心損傷後の影響緩和策] : 更なる対策として、炉心損傷防止を第一とするものの、なおその上で炉心が損傷した場合に生じる影響を緩和する措置を講じること。</p>

福島第一原子力発電所事故の具体的対策 (報告書本編 P.120 【11.2】)

今回の経験を今後の原子力発電所の運転に生かしていくため、対応方針に則り、具体的対策を提案。実際に有効活用するためには、手順、訓練などソフト面の充実を確実に図っていくことが必要。今後も更なる検討、改善を継続。事故の経過、対策の方針と具体化の方向性の関係は下図を参照。なお、具体的な対策は添付 1 参照。



1 2 . 結び (報告書本編 P.130 【12】)

以上

炉心損傷を未然に防止するための対策

(1)敷地及び建屋への浸水対策

防潮堤、防潮板、防潮壁の設置、及び扉や建屋壁貫通部における浸水防止のための止水

(2)高圧注水設備(1時間以内に必要)

対策の考え方

- プラント運転状態から事故停止した場合、当初は原子炉圧力が高いため高圧で注水できる設備が求められる。
- 今回の事故では、電動駆動設備が全交流電源喪失(SBO)に伴い使用不可となったことから、蒸気駆動の高圧注水設備が重要となる。

なお、電動駆動の高圧注水設備を確保する場合は、起動条件の少ない設備を選択することが有効である。

		SBO	
RCIC	蒸気駆動		
SLCまたはCRD	電動駆動		×
HPCS			

(3)減圧装置(4~8時間以内に必要)

対策の考え方

- プラントの除熱、冷却まで最終的に移行するためには、压力容器の減圧が必要不可欠。
- 今回の事故では電源喪失により減圧装置である主蒸気逃がし安全弁の操作に必要な直流電源が不足。当該弁を駆動するN2に加え、電源確保が必要。

(4)低圧注水設備(4~8時間以内に必要)

対策の考え方

- 低圧注水設備は、非常系のほか、復水補給水系、消火系が挙げられる。全交流電源喪失(SBO)の場合、本設備では、消火系のディーゼル駆動消火ポンプ(DDFP)のみ起動可能である。
- 今回活用した消防車を含め、安定して確実に注水できる低圧注水設備を用意することが重要。

		SBO	
D/DDFP	ディーゼル駆動		
MUWC	電動駆動		×

(5)除熱・冷却設備

格納容器ベント(1~2日以内に必要)

対策の考え方

- 海水を冷却源とできない場合は、大気を冷却源とした圧力抑制室ベントの実施が必要。
- 圧力抑制室ベントの実施には、電動(MO)弁、空気作動(AO)弁を開閉することが必要。

停止時冷却モードによる除熱

(3~7日以内に必要)

対策の考え方

- 海水を冷却源とした残留熱除去系(RHR)の停止時冷却モードが必要。
- このため、電源を確保するとともに、代替ポンプやモータ修理等による最終冷却源である海水系の復旧が必要。

原子炉隔離時冷却系(RCIC)

必要な設備	機器の浸水対策	柔軟な対策
ポンプ/タービン	RCIC室の止水	手動起動手順の確立
直流電源(バッテリー、電源盤等)	バッテリー室、主母線盤等設置場所の止水(又は配置見直し)	電源車等の配備

ほう酸水注入系(SLC)または制御棒駆動水圧系(CRD)

必要な設備	機器の浸水対策	柔軟な対策
SLCポンプ又はCRDポンプ	-	ポンプ設置エリアの止水
水源	-	純水タンクからの補給手順の確立
交流電源	-	非常用D/Gを含む電源設備の止水、電源車等の配備、建屋外でのD/G相当の電源確保

必要な設備	機器の浸水対策	柔軟な対策
N2ポンプ	-	予備ポンペを配備
直流電源(バッテリー、電源盤等)	バッテリー室、主母線盤設置場所の止水(又は配置見直し)	可搬式バッテリー配備

消火系(FP)

必要な設備	機器の浸水対策	柔軟な対策
ディーゼル駆動消火ポンプ	ポンプ室止水	消防車配備及び連結通水ライン設置、海水使用の手順化
バッテリー	バッテリー室止水	可搬式バッテリー配備
ディーゼル用燃料	燃料配備(燃料配送含む)	-

復水補給水系(MUWC)

必要な設備	機器の浸水対策	柔軟な対策
MUWCポンプ	ポンプ室止水	タンク間の水の融通の手順化
交流電源	非常用D/Gを含む電源設備の止水、又は配置見直し	電源車等の配備、建屋外でのD/G相当の電源確保

必要な設備	機器の浸水対策	柔軟な対策
交流電源(MO弁、AO弁用電磁弁)	非常用D/Gを含む電源設備の止水(又は配置見直し)	電源車等の配備、可搬式交流発電機又は可搬式バッテリー配備
圧縮空気(AO弁動作)	可搬式空気圧縮機(又はポンプの配備)	AO弁を手動で開操作ができる構造に変更

必要な設備	機器の浸水対策	柔軟な対策
交流電源(RHRポンプ)	非常用D/Gを含む電源設備の止水(又は配置見直し)	代替ポンプの配備 可動式熱交換器設備の配備
RCW/RSWポンプ	予備モータの配備	
交流電源(RCW/RSW)	電源室の止水	電源車の配備、建屋外でのD/G相当の電源確保

使用済燃料プールの除熱(7~10数日以内に必要:使用済燃料の崩壊熱による)

対策の考え方

- 使用済燃料プールを冷却する燃料プール冷却浄化系(FPC)は原子炉建屋内にあることもあり、津波への耐性が基本的に強い。このため、電源設備の確保が重要。
- また、時間的な余裕を考えたとき、計測設備による監視が重要。

(6)監視計器の電源確保(1時間以内に必要)

対策の考え方

- 今回の事故では、監視計器が機能喪失し、計器の電源復旧に時間を要した。
- このため、速やかな計器用電源の確保が重要。

(7)炉心損傷後の影響緩和策

対策の考え方

- 今回の事故では、格納容器から建屋へ漏れいしたと考えられる水素の爆発によって、閉じ込め機能喪失のみならず、復旧活動自体が著しく困難となった。
- 深層防護の観点から、今回の事故を踏まえた炉心損傷が生じた場合における対策を講じる。

(8)共通事項

- 上記対策を有効なものとするためには、当該の対応のほか、安全に効率的に動けるように作業を支援する装備や補助設備を充実することが必要。

その他の中長期的技術検討課題

- 今回の検討において、炉心損傷を防止するための対策を上記の通り立案したが、そのほかに右記の中長期的技術検討課題が挙げられる。
- これら技術検討課題については、別途検討を進める。

必要な設備	機器の浸水対策	柔軟な対策
FPCポンプ	ポンプ室の止水 プール内の水位・温度計設置	消防車の配備 消火配管の活用
交流電源	電源設備の止水(または配置見直し)	電源車等の配備

必要な設備	機器の浸水対策	柔軟な対策
直流電源	バッテリー室・主母線盤設置場所の止水(または配置見直し)	可搬式バッテリー配備 電源車及び可搬式充電器の配備

項目	対策
水素滞留の防止	原子炉建屋の換気促進のため、建屋屋上へ穴を開ける措置(トップベント)やブローアウトパネルを開放する措置の設備・手順の確立
放射性物質の放出抑制	圧力抑制室ベントと同じ(水を通したベントの確実な実施)消防車等による格納容器への注水手順の準備

項目	対策
外部電源	変電設備の耐震性向上策の検討、送電鉄塔二次被害を及ぼす盛り土の崩壊等の評価、送電系の供給信頼性向上に関する設備形成を図る
瓦礫撤去設備	対応活動の阻害要因となる瓦礫を撤去するための設備の配置
通信手段の確保	移動無線や衛星電話の配備、電源の確保など、状況に応じた通信手段を確立
照明用設備の確保	安全、迅速、確実な対応を行うために、両手を使えるようなヘッドライトタイプの照明のほか、広範囲を照らせるような照明設備を配備
防護設備	防護服、マスク、APD、可搬式空気清浄機等の様々な装備品等を余裕を持って配備するとともに、非常用中操換気設備の電源等の早期復旧のため電源車等を配備

項目	内容
隔離信号のあり方の整理・検討	今回の事故において、非常用復水器が直流電源喪失により隔離され冷却機能を喪失したことから、隔離信号のあり方について整理・検討を行う。
ベントラインの信頼性向上	放射性物質を大幅に除去する形のベントの信頼性を向上するために、ラプチャーディスクを積極的に作動させる方策など、不意な放出につながらないことに留意した上で検討を進める。
ベント時の放射性物質低減に関する検討	放射性物質の放出を低減するために、フィルタを介して放出するフィルタベントの設計検討を行う。
計測計器の信頼性向上	今回の事故時に水位計が大きく実際と異なって指示していた事例を踏まえ、事故時に必要な計測装置を研究・開発する。