

2. 各設備の調査結果

2. 1 原子炉設備関係の修復状況

地震発生後に東京電力が発表した不適合報告機器のうち、比較的重要度の高い機器の被害状況については、前回の第一次調査で報告しているが、ここではそれらについて、その後の対策復旧状況を現地調査した。

2. 1. 1 使用済燃料プールからの水の漏洩について

(1) 発生事象と原因（第一次調査時）

- 1) 1～7号機全ての号機で、地震による液面振動（スロッシング）によってプール水が上部床に溢水した(図-2.1.1)。
- 2) 6号機では溢水したプール水が燃料交換機の給電ボックス（ピット）に流入した。その際、電線管貫通部のシール材に隙間があったため、流入したプール水が電線管を通じ非管理区域床に漏洩し、非管理区域の排水設備から放水口を通じ、微量の放射性物質を含んだ状態で海に放出された（第一次調査時点では電線管貫通部の仮水密処理が実施されていた）。

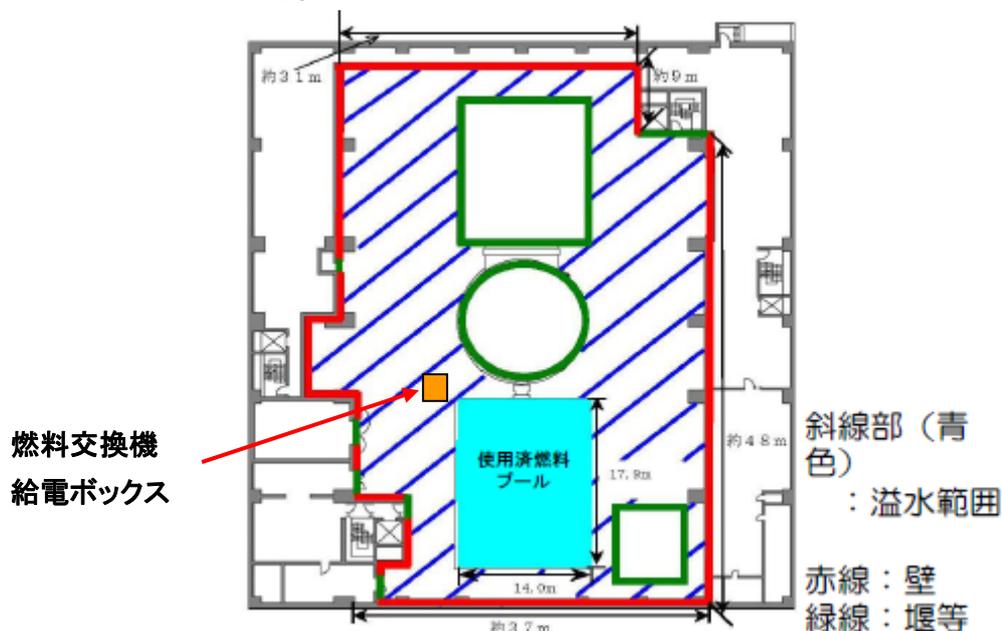


図-2.1.1 使用済燃料プールから溢水範囲(6号機の例)（東電提供）

(2) その後の対策状況（東電回答及び現場確認）

- 1) プール水の溢水を完全に防止することは機能的に困難であることから、従来の手すり設置部分に溢水低減用プレート(溢水量を3割程度低減)を設置してあった(写真-2.1.1)。
- 2) 海水への漏洩が6号機のみが発生したもう一つの大きな要因は、プール水が浸入し

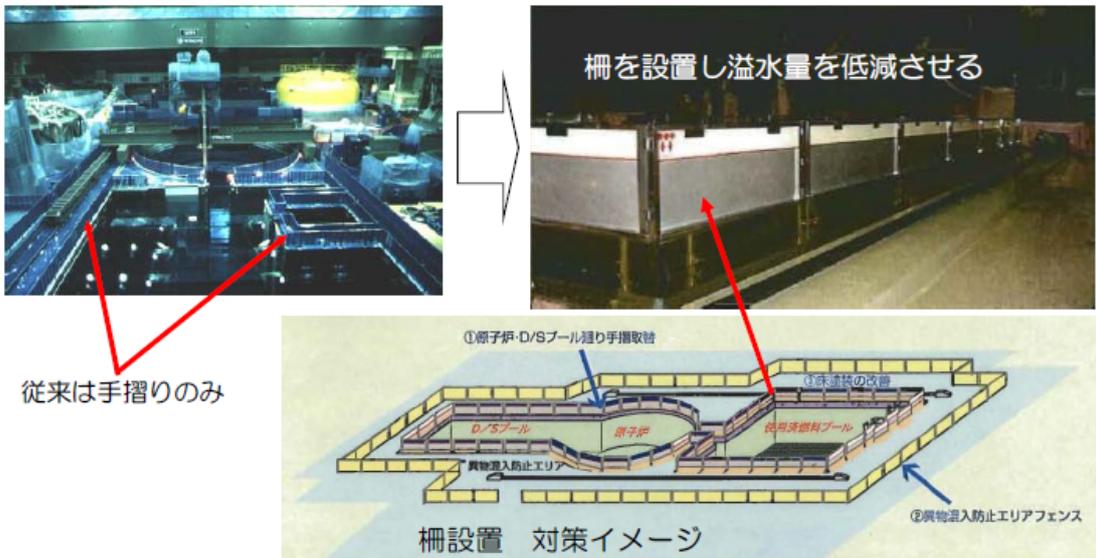


写真-2.1.1 使用済燃料プール水の溢水低減策の設置（東電提供）

た電線管が直接非管理区域を通過するルートにあったためであり、他号機の当該電線管はオペレーティングフロア（管理区域）から一旦管理区域にある電気盤を経由した後、非管理区域に貫通する設計となっていたため、同様の事象は発生していない。

6号機における対策としては、

①オペレーティングフロアにあった給電ボックス（ピット）を穴埋めし、ケーブルルートを変更している。今後は、壁を貫通する電線管を立ち上げることによって、万一の場合でも、電線管を伝って非管理区域に漏れない恒久対策が取られることになる(図-2.1.2)。

②従来、非管理区域の非放射性排水は、一般排水タンクから海に放出されていたが、今回の事象を踏まえ、空調の凝縮水等で放射性物質の混入が否定できるものを除き、非管理区域からの排水についても念のために一旦タンクで受け、放射能測定を行った後、放出する運用に変更予定である(図-2.1.3)。1～7号機について展開

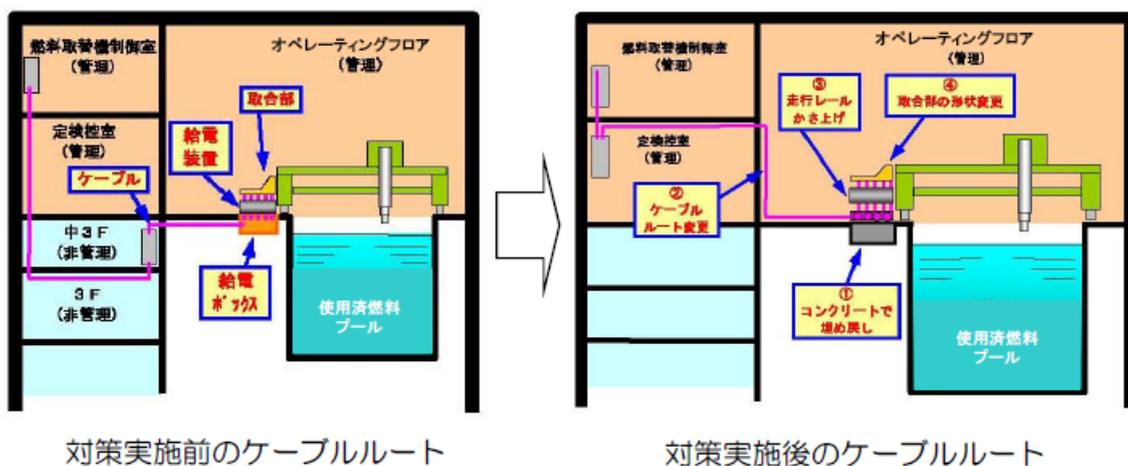


図-2.1.2 燃料交換機のケーブル電線管ルートの変更（東電提供）

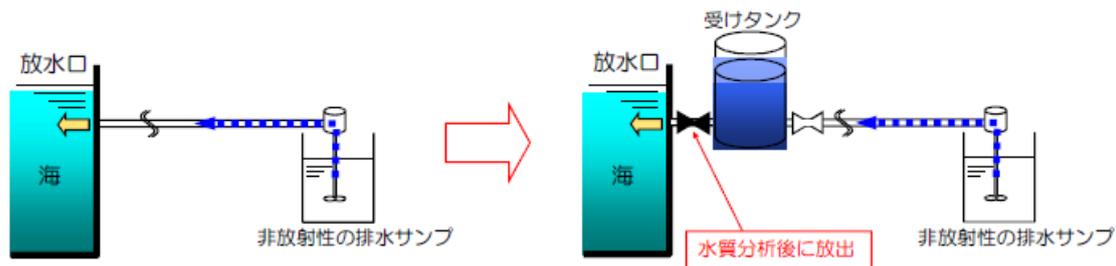


図-2.1.3 非管理区域の排水の放射能分析（東電提供）

2. 1. 2 原子炉建屋天井クレーン駆動軸の継手破損(6号機)について

(1) 発生事象と原因（第一次調査時）

落下防止機能は維持され、天井クレーン本体の問題はなかったが、一部でクレーンを駆動させる車軸継手の部品が破損した。破断面解析の結果、破損原因は疲労によるものではないことが判明した。通常の駆動トルク、ブレーキ時の発生トルクに対しては十分な強度を持つように設計されていたが、地震動で車輪が揺すられた時、車輪を駆動する反対側軸はモーターブレーキで固定されていたため、途中にある継手部に想定以上の過大な力がかかりねじ切れたものであった。

(2) その後の対策状況

① 継手部破損に関してどのような解析を行い、どのような恒久対策が取られたかを確認した。

<東電回答>

損傷のあった6号機については観測された地震動を用いて損傷箇所の発生応力を算出した。その結果からも、継手部がウィークポイントであることがわかったことから、早期復旧のため当該部の取替えを行った。部品が破損しても原子炉安全上の問題はないことから、予備品を確保し、対応できるようにした。

また、7号機については継手部の構造が異なるため、今回損傷はなかったが、念のため地震による継手部に発生する応力を算出し許容応力内であることを確認した。

② クレーン運転中、あるいはキャスクや燃料等重量物の吊り下げ中に地震が起こった場合の挙動解析は行われたか、またその結果、対策の必要性はなかったか確認した。

<東電回答>

解析は最大荷重を吊った状態を想定して行った。なお、転倒・落下の観点では脱線防止ラグ等が破損することによって起こるため、運転中と停止中で挙動に差はないと考えている。

③ 燃料交換機が燃料操作中に地震が起こった場合の解析は行われたか、またその結果、燃料落下対策や、地震インターロック等の対策の必要性はなかったか確認した。

<東電回答>

解析は燃料を吊った状態を想定して行った。その結果落下対策として燃料交換機本体の脱線防止のために走行用脱線防止ラグおよび横行用脱線防止ラグの強化を実

施した。また、燃料は2重のワイヤで吊り下げられているほか、装荷時等に地震が起こった際、燃料が炉内構造物や燃料ラック等と干渉した場合は「荷重異常」等のインターロックにより緊急停止することから、新たなインターロックを設ける必要はないと考えている。

2. 1. 3 主排気筒ダクト（1～5号機）のずれ

(1) 発生事象と原因（第一次調査時）

地震動により主排気筒とダクトの移動量(相対変位)の違いから、主排気筒（1～5号機）に接続されているダクトベローズ部のズレが発生したほか一部で亀裂が見られ、仮補修がなされていた。なお、亀裂からの放射能漏れはなかったことが確認されている。

(2) その後の対策状況

3号機の主排気筒ダクトの復旧状態を確認したが、現在はまだ仮補修中であり、ねじれが発生した部分の取替作業はこれから行われる。これに先立ち、主排気筒基礎くい確認のため、基礎部の掘り起こし、埋め戻し作業が終了した段階であった。

- ①主排気筒ダクト接続部のずれ、一部亀裂については、どのような解析が行われ、どのような対策（構造変更）が行われたかについて確認した。

<東電回答>

ずれ（変形）及び一部亀裂が発生した箇所は、ダクトの熱変位等を吸収する目的で設置しているベローズで発生している。ずれの原因は地震によるダクトの基礎地盤の沈下及び水平方向への変位に伴い、基礎自体も沈下及び変位したことによって原子炉建屋または主排気筒との取り付け部等で相対変位が発生し、結果的にフレキシビリティのあるベローズにずれ（変形）または一部に亀裂が発生したものである。

ダクトは耐震Cクラスであり特に解析等を行っていないが、対策として、損傷したベローズは現状設計と同等仕様の物に取替えるとともに、基礎部の地盤改良を行って相対変位の低減を図る予定である（現在は仮補修の状態、写真-2.1.2）。



写真-2.1.2 3号機主排気筒のダクト接続部の仮補修状況（東電提供）

2. 1. 4 原子炉ウエルライナ部(7号機)からの微量な漏洩

(1) 発生事象と原因(第一次調査時)

地震発生後、しばらくして7号機原子炉ウエルライナからの微量の漏洩が漏洩検知窓の確認によって見つかった。原因は、地震動によりスロットプラグ(コンクリート製の遮蔽ブロック)がライナー部の溶接薄膜部に接触し、過大な荷重がかかったため貫通傷が発生したものであった。第一次調査では補修溶接が実施され、健全性の確認が終了していることを確認した。しかし、その後の真空引き等による漏洩有無の確認に時間がかかっていた。

(2) その後の対策状況(東電確認及び現地確認)

貫通傷については既に恒久対策が完了しており、現場調査では改善された漏洩検知窓の確認等を行った。

①原子炉ウエルライナ部からの漏れについては、仮補修後のリーク確認に時間を要したが、その原因と漏洩検知にかかわる改善等が行われたか確認した。

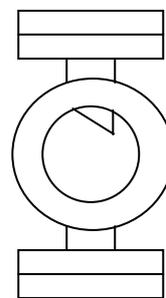
<東電回答>

漏れた水や地震時のスロッシング水、また結露水がライナ内に残っていたため、これらの水を吸い出すのに時間を要した。ほぼゼロになるまで吸出し、現在は通常監視に戻っている。

また、7号機は6号機に比べて漏洩検知管の形状が異なり微量水の検知性に改善の余地があったため、6号機と同様の形状に変更されていた(写真-2.1.3)。



写真-2.1.3 改善された漏洩検知窓
(東電提供)



のぞき窓まで配管を突き出し、漏洩水の滴下が明確に確認できる構造とした。

2. 1. 5 まとめ

第1次調査時点で報告された不適合機器については、今回適切な対策が取られていることを確認した。一方、機器の健全性確認の中で、残留熱除去系(RHR)の熱交換器の基礎ボルトの固定力の弱いものや、原子炉圧力容器の基礎ボルトの緩み等安全系機器の基礎ボルトに一部問題が見られた。確認の結果、これらはいずれも地震の影響で発生したのではなく、後者については運転中の温度ストレス等によるなじみと判定され、増し締め

がなされている。これらについては電線管貫通部のシール等を含め、今後は、保全プログラムに反映し、定期的に経年化事象をモニターし、保全していくことが肝要である。

また、燃料交換機のケーブル電線管貫通部やライナ部の漏洩検知器に見られるように、同じ炉型の原子力発電所であっても、年代やプラントメーカーの違いによって細部の機器や配置設計が異なっており、思わぬところにウイークポイントがある場合がある。機器の機能保全性とメンテナンス性を考慮したプラント設計が重要であると感じた。

また、第一次調査時にも述べたが、同一機器でありながら被害の状況は1～7号機について異なるものがある（各建屋の地震動の違いにもよる）。特に、柏崎刈羽原子力発電所は従来 BWR 設計の1～5号機と最新鋭の改良型 BWR である6, 7号機が同一敷地内に設置されたプラントであり、このような新旧の観点から、被害状況について各号機のベンチマークを行う等して、今回得られた貴重な経験を今後の運転保守面、機器設計やマンマシンインターフェースに反映することが重要である。