

3. 柏崎刈羽原子力発電所の現地調査結果について

3. 1 原子炉設備関連

3. 1. 1 原子炉安全

地震発生時に原子炉システムの安全を確保するうえで最も重要な機能は、「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」の3つであり、これらの機能が正常に動作して地震発生後も原子炉システムの安全が維持されたことは、原子力安全・保安院をはじめとする多くの機関や学協会、国際原子力機関 (IAEA: International Atomic Energy Agency)による調査で確認されている。また、地震の影響による不適合事象やその復旧状況についても、東京電力のホームページなどで逐次公開されている。特に原子力安全・保安院の運営管理・設備健全性評価ワーキンググループによる報告では、東京電力の現地職員のインタビュー、運転日誌、運転データに基づく詳細な調査がなされており、地震発生からその後においても、「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」の安全機能が維持されたと評価している。

今回の調査においては実務者経験を有する専門家である技術士が中立な立場から、上述の報告内容を精査・確認したうえで、原子炉出力、原子炉水温度、エリアモニタの観測値などの客観的な情報に基づいて安全機能が確実に維持されたことを改めて確認し、その内容を発電所立地地域や広く社会の理解に役立つよう分かりやすく解説する。現地調査にあたっては、実機の運転記録を示すチャート（コピー）により各パラメータの挙動を確認することとした。

(1) 「止める」安全機能

原子炉が停止したことは原子炉の出力を示す中性子束(中間領域モニタ:IRM、平均出力領域モニタ:APRM、中性子源領域モニタ:SRM、起動領域モニタ:SRNM)の時間変化から確認する。

起動中の2号機および定格運転中の3、4、7号機では、地震加速度大（鉛直）によるスクラム信号ですべての制御棒が全ストローク挿入されたことによって原子炉停止に至った。2号機は未臨界状態にあり、低出力領域をモニタするSRMの信号に有意な変化が無いことを確認した(図-3.1.1)。3、4、7号機については、低格出力領域をモニタするAPRMの出力がスクラム発生後ただちにゼロまで低下し、IRMおよびSRNMの指示値が低い値で安定していることによって未臨界状態が維持されていることを確認した(図-3.1.2、図-3.1.3、図-3.1.4)。

1号機は定期検査中で全燃料が燃料プールに取り出されていたため、「止める」安全機能の確認は不要と判断した。同じく定期検査中の5、6号機では、原子炉は冷温停止モードで全燃料が装荷されていた状態であったため、SRMおよびSRNMに有意な変動が無く、未臨界状態が維持されていることを確認した。

(2) 「冷やす」安全機能

スクラム後の原子炉の冷却が正常に行われていることは、原子炉水温度 100℃未満、原子炉圧力が大気圧、原子炉水位が L3 レベル(有効燃料頂部から 3.7m)以上に保たれていることで確認する。

起動中の 2 号機では復水ポンプによって原子炉水位が維持された。主蒸気隔離弁を閉じて主蒸気逃し安全弁による減圧過程では、復水ポンプに加えて制御棒駆動水ポンプ、低圧炉心スプレイも用いて冷却水を供給している。これらの操作により「冷やす」機能が維持されたことを、原子炉水温度、原子炉圧力、原子炉水位のチャートから確認した(図-3.1.5)。

定格運転中の 3、4 号機については、手順書に従ってタービンバイパス弁を用いて復水器によって冷却している。3、4 号機は共用の所内ボイラを使って復水器の真空度を維持するため、3 号機、4 号機の順に操作を行った。これらの運転操作によって「冷やす」機能が維持されたことを、原子炉水温度、原子炉圧力、原子炉水位、サブレーションプール水位/温度等のチャートから確認した(図-3.1.6、図-3.1.7)。同じく定格運転中の 7 号機では、地震によって所内ボイラが停止したため、主蒸気隔離弁を全閉し、主蒸気逃し安全弁を開いて圧力抑制プールに蒸気を導いて冷却を行っている。これらの運転操作によって「冷やす」機能が維持されたことを、原子炉水温度、原子炉圧力、原子炉水位のチャートから確認した(図-3.1.8)。

定期検査中の 1 号機については、燃料が全て使用済み核燃料プールに取り出されているため、燃料プールの水温が保安規定上の上限 65℃以下であることを確認した。同じく定期検査中の 5、6 号機については、原子炉水位と水温に変化がないことを確認した。

(3) 「閉じ込める」安全機能

スクラム後に原子炉から放射性物質が環境に放出されていないことは、原子炉水中のヨウ素 131 濃度、主排気筒放射線モニタ、モニタリングポスト、海水モニタの信号の時間変化から確認する。

原子炉水および燃料プールのヨウ素 131 濃度の変化は地震の前後で変化はなく、燃料が健全であったことを確認した。1 号機については燃料が全て使用済み核燃料プールに取り出されているため、原子炉水の確認は不要と判断した。また、起動中の 2 号機および定格運転中の 3、4、7 号機の主排気筒放射線モニタの信号はいずれも通常の変動範囲内にあることを確認した(図-3.1.9)。さらに、柏崎刈羽原子力発電所の敷地外周に設置されているモニタリングポストおよび海水モニタの信号に有意な変化がないことを確認した。

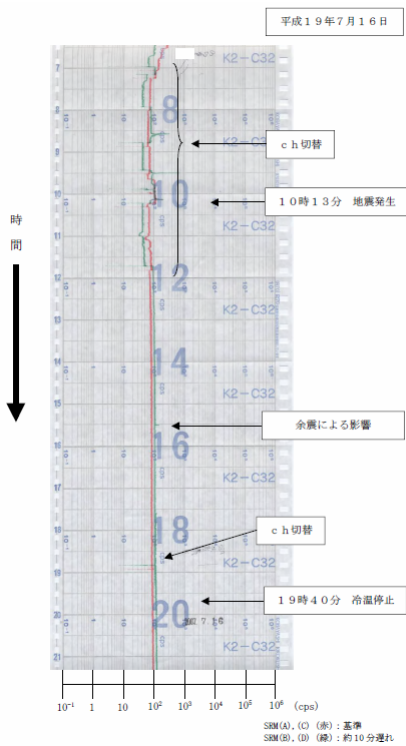


図-3.1.1 2号機のSRM(東京電力㈱提供)

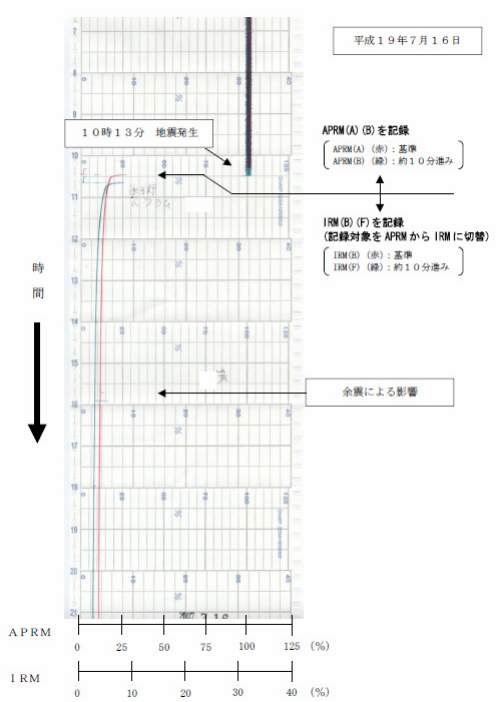


図-3.1.2 3号機のAPRM/IRM(東京電力㈱提供)

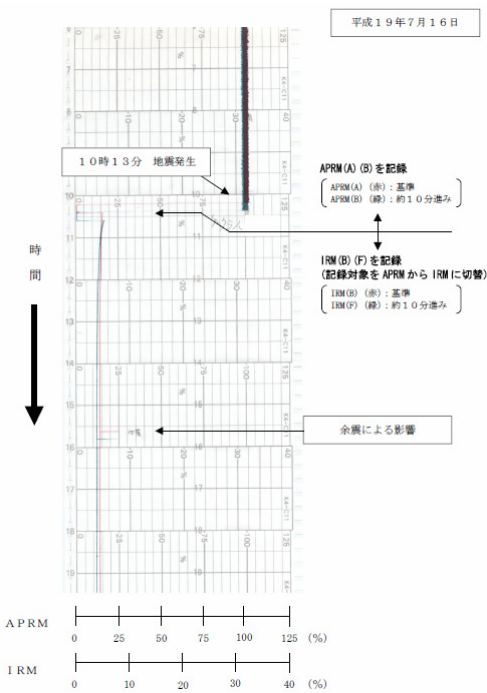


図-3.1.3 4号機のAPRM/IRM(東京電力㈱提供)

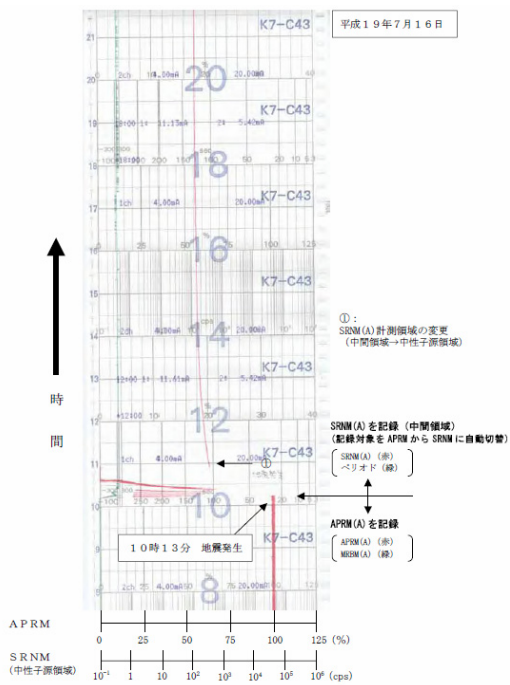
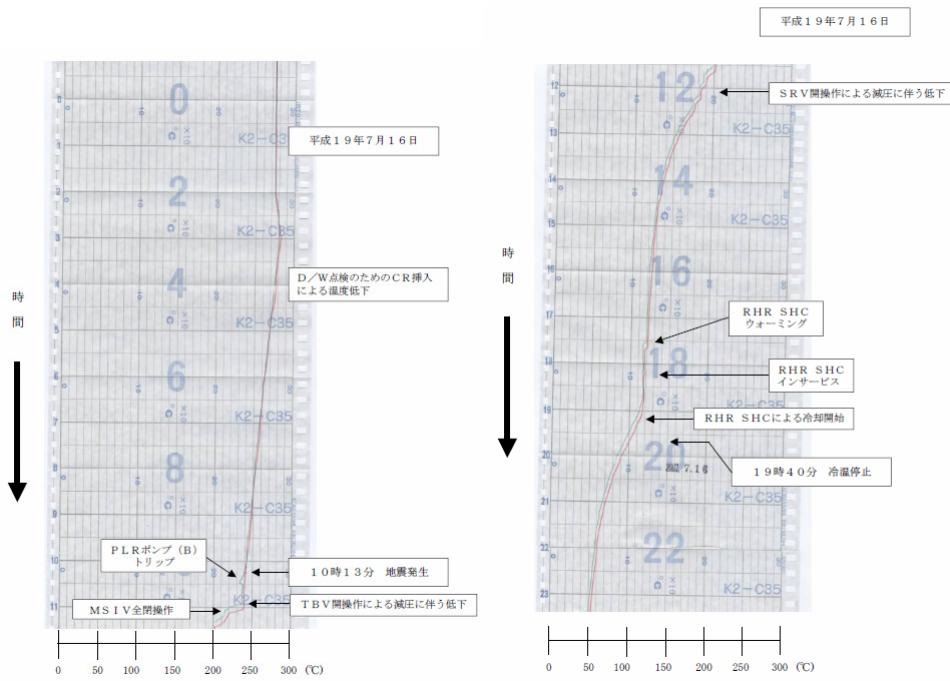
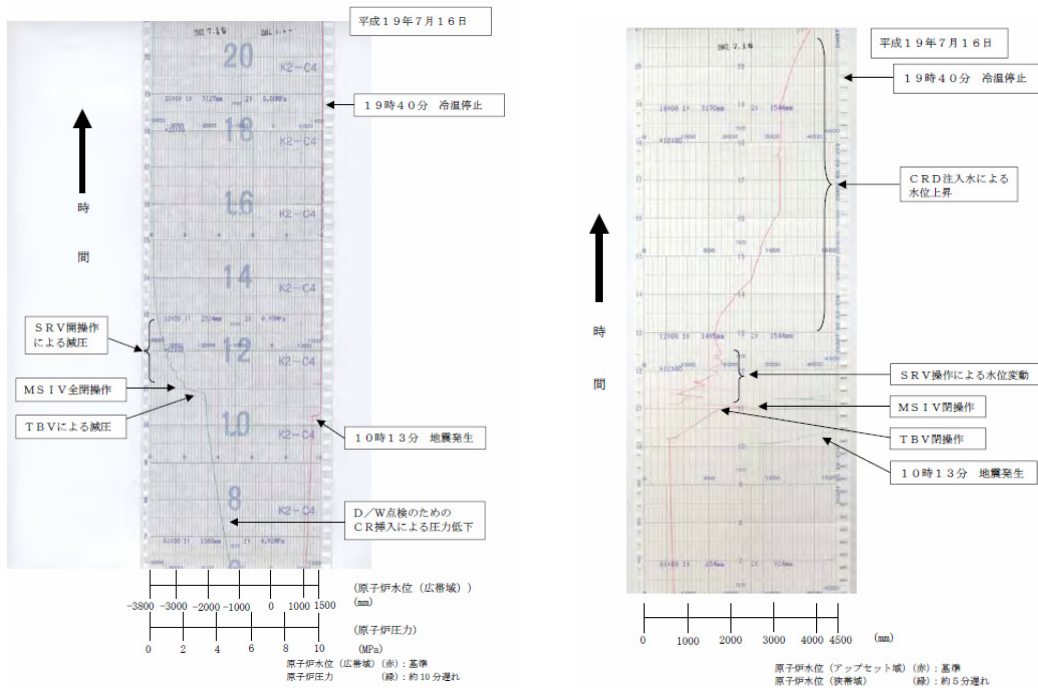


図-3.1.4 7号機のAPRM/SRNM(東京電力㈱提供)



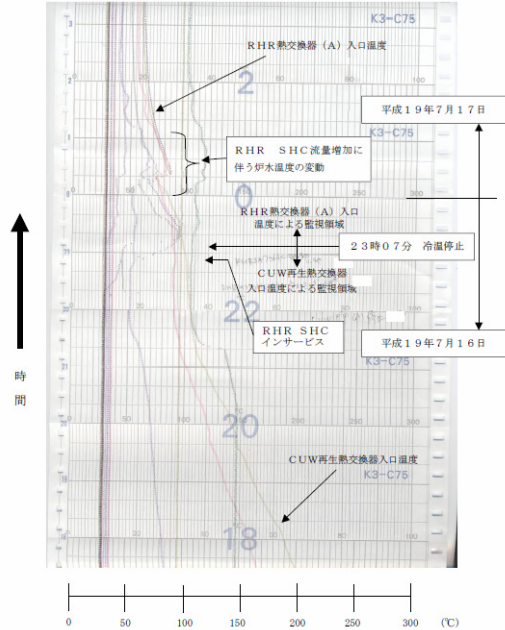
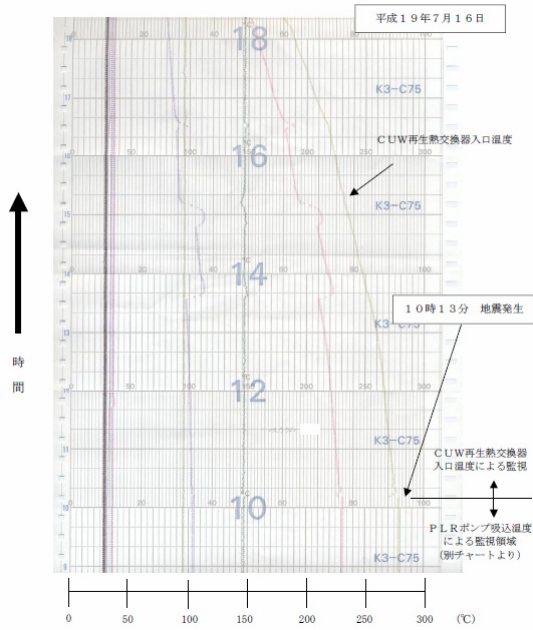
原子炉水温度



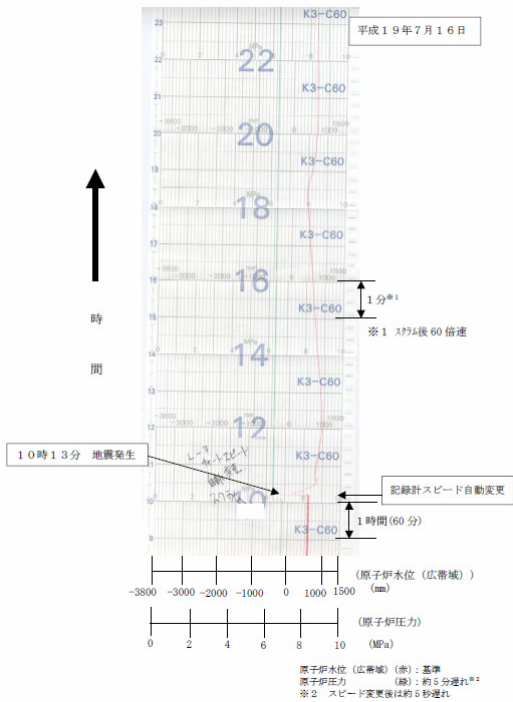
原子炉圧力

原子炉水位

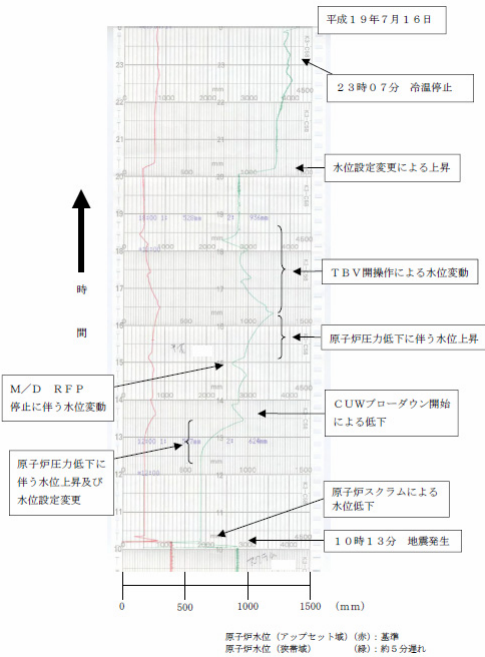
図-3.15 2号機の原子炉水温度、原子炉圧力、原子炉水位(東京電力㈱提供)



原子炉水温度

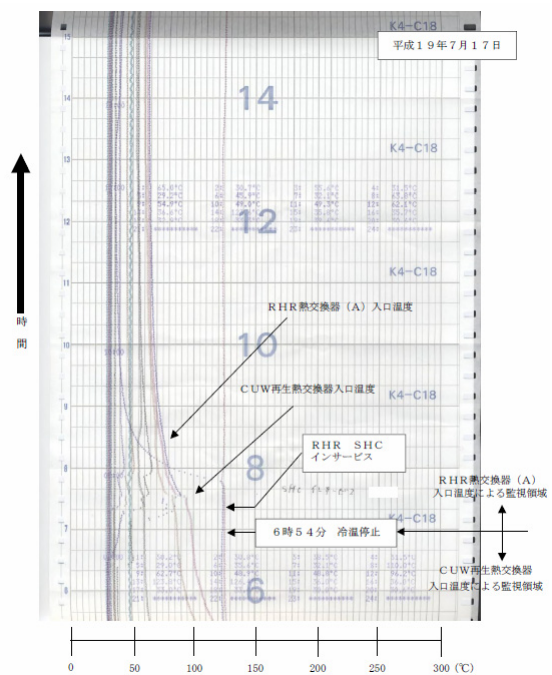
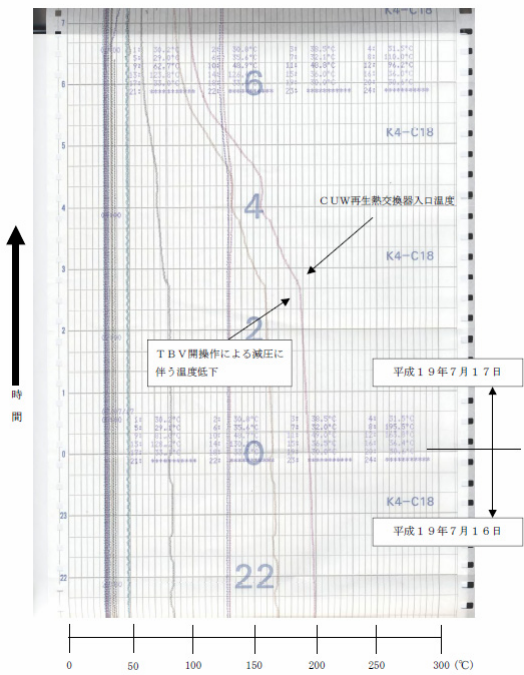
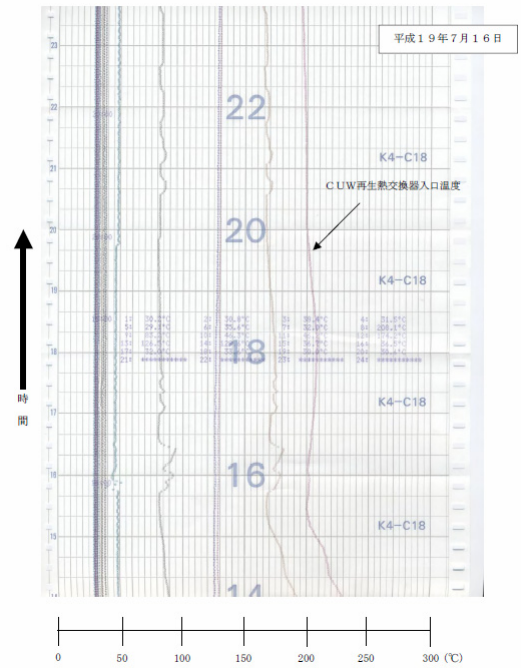
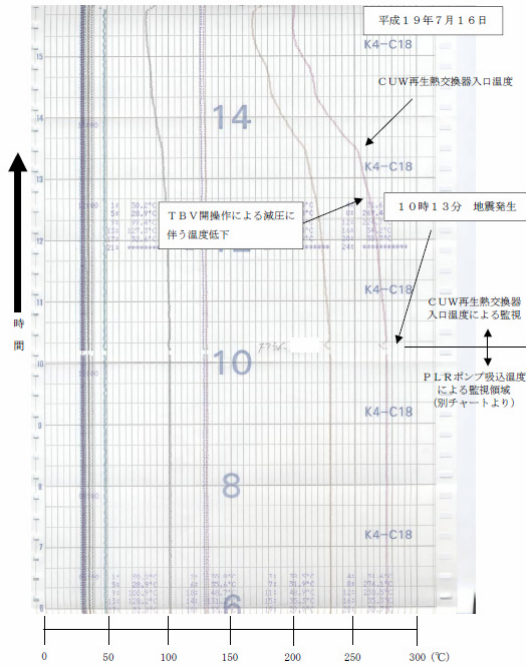


原子炉圧力



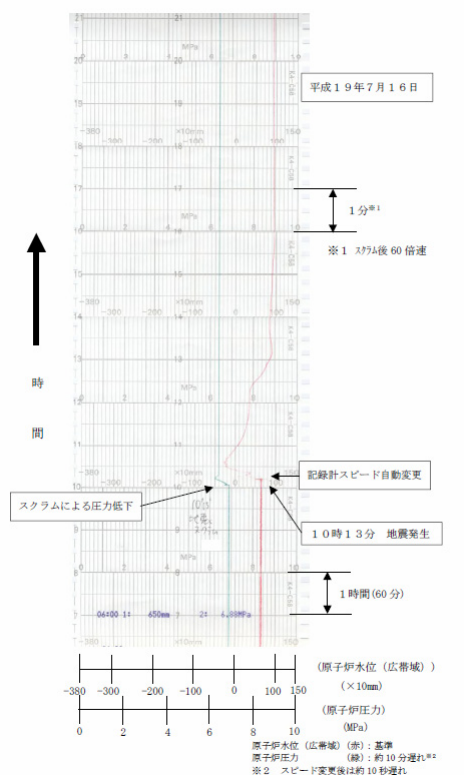
原子炉水位

図-3.1.6 3号機の原子炉水温度、原子炉圧力、原子炉水位(東京電力提供)

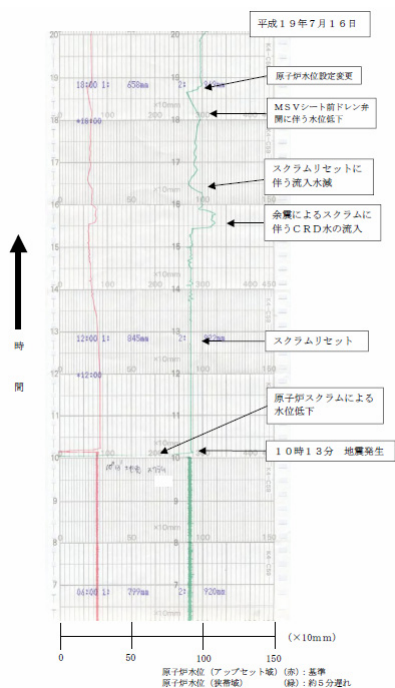


原子炉水温度

図-3.1.7 4号機の原子炉水温度、原子炉圧力、原子炉水位(1/2) (東京電力㈱提供)



原子炉圧力



原子炉水位

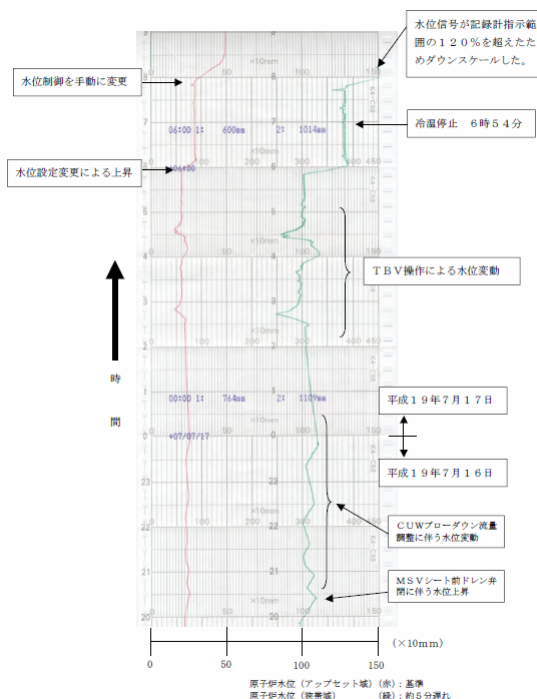
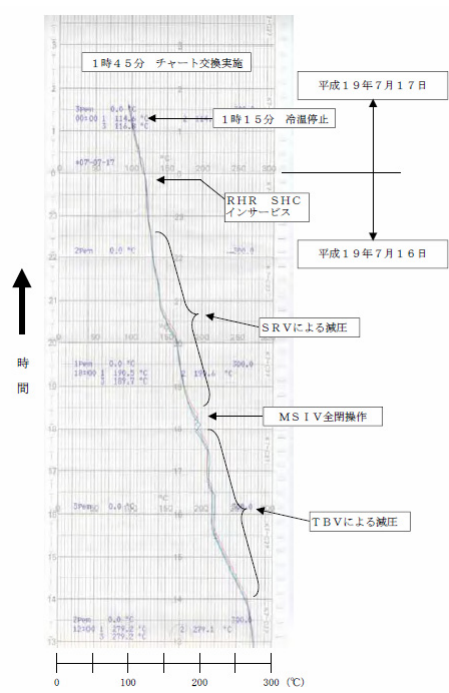
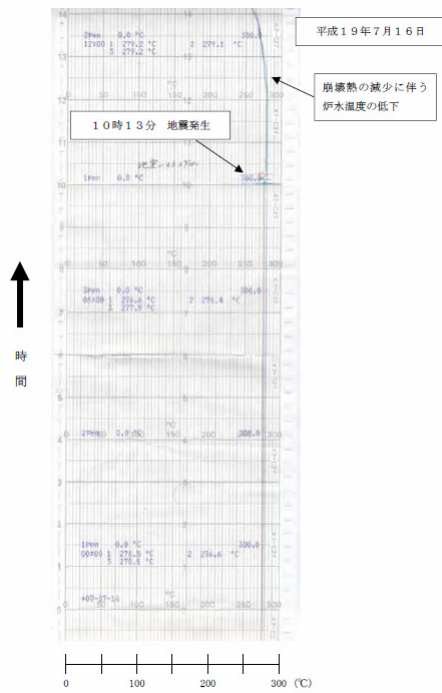
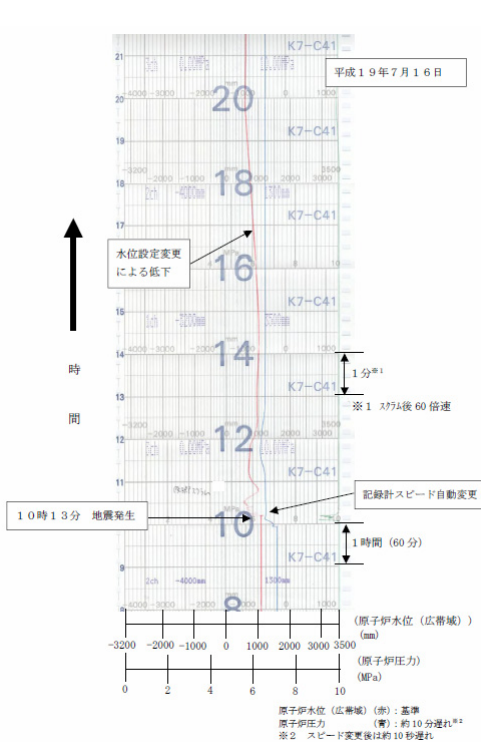


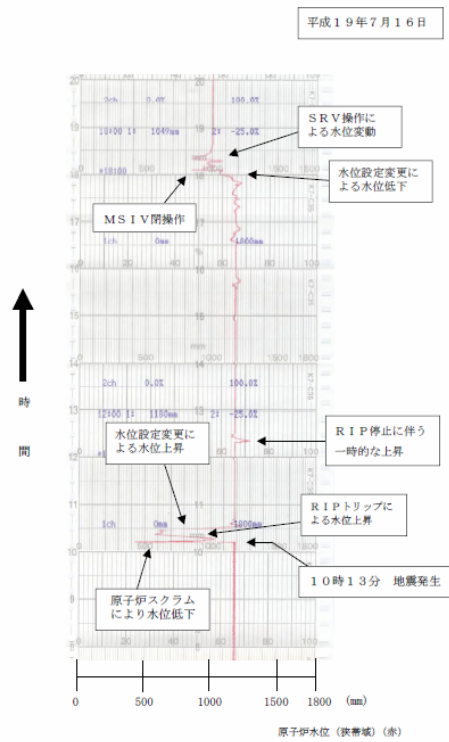
図-3.1.7 4号機の原子炉水温度、原子炉圧力、原子炉水位(2/2) (東京電力提供)



原子炉水温度



原子炉圧力



原子炉水位

図-3.1.8 7号機の原子炉水温度、原子炉圧力、原子炉水位(東京電力㈱提供)

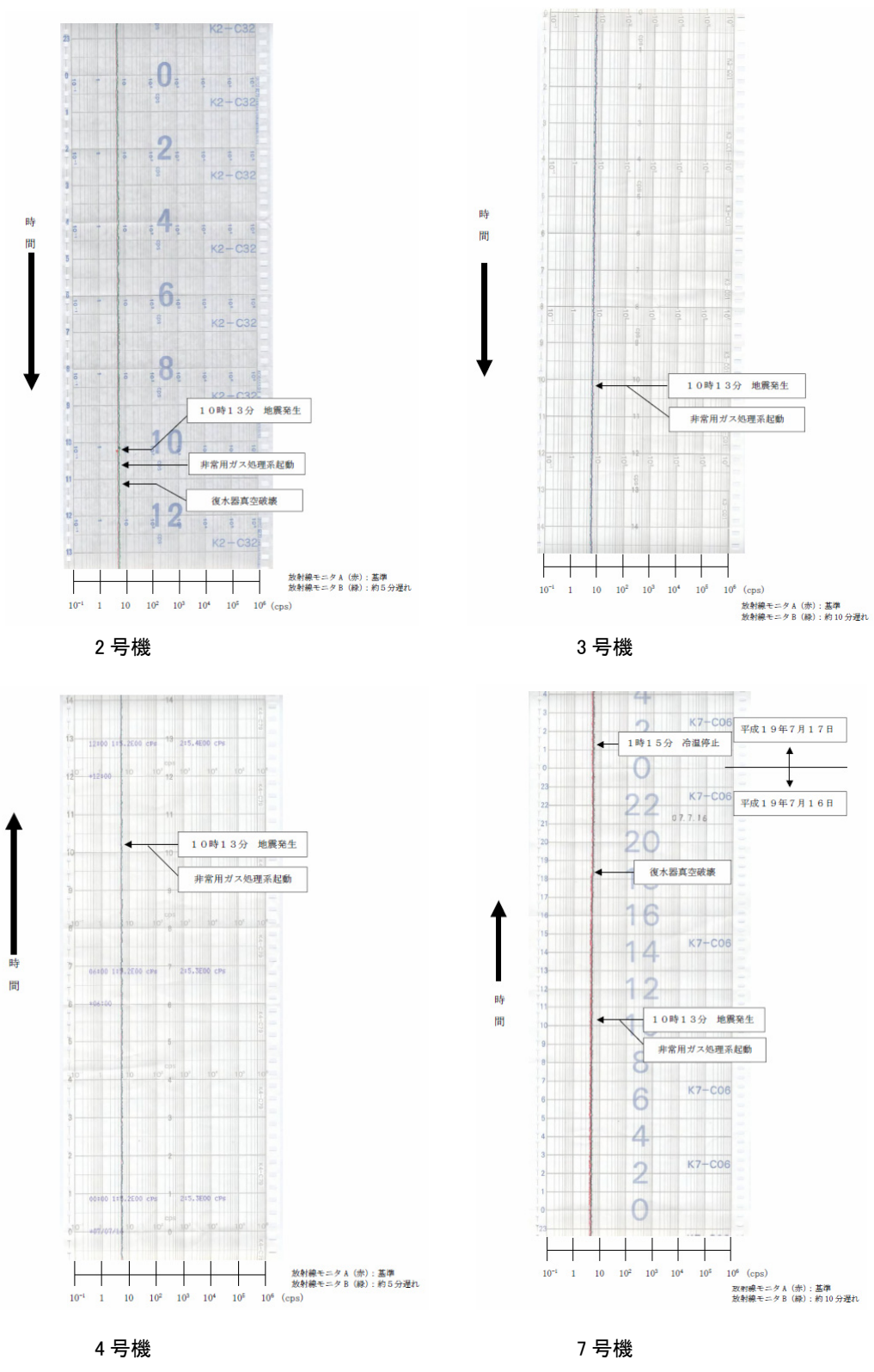


図-3.1.9 2, 3, 4, 7号機の排気筒放射線モニタ(東京電力㈱提供)

3. 1. 2 地震発生時の運転管理

地震発生からその後において、原子炉の基本的な安全機能である「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」がどのように維持されたかについては、3. 1. 1でのべた様に我々技術士の日でも問題ないことを確認した。また原子力安全・保安院の運営管理・設備健全性評価ワーキンググループにより詳細に評価・検証され、報告がなされている。その中では、東京電力の現地職員のインタビュー、運転日誌、運転データに基づく詳細な調査がなされており、今後の更なる安全確保に向けた教訓等も纏められている。

今回、日本技術士会の調査チームでは、地震発生時に6,7号機の運転に当たっていた当直長に当時の話をインタビューする機会を得た。インタビューに当たっては予め10数項目の質問事項をリストアップし、それらについて話を伺った。また、発電所全体の状況把握と東京電力本店や地元など、発電所外部との連絡通信の役割を担う緊急対策室の対応についても、運転管理部長から話を伺うことができた。以下に要点を纏めて報告する。

中央制御室の対応状況

(1) 中央制御室の運転体制

6,7号機の中央制御室は共用で、各々の号機に対応する2台の制御盤が部屋の両側に対向して設置されている。通常の2機運転の場合には、当直長、副長の他、各号機の主任と主機担当員、両機共通の補機担当員あわせて10名で1つの運転班が構成されている。しかし、地震発生当日は6号機が定期検査中で7号機のみ運転されていたため、制御室には7号機の運転に当る7名の他、6号機の定期検査を担当する数名を加えて合計10数名がいた。また、この日は2交代の日であり、8:30~21:00を担当する昼勤のチームが引き継いでから2時間足らずの10:13に地震が発生した。このため、地震発生後10時間以上にわたって当該運転班が対応することとなった。各員の分担は、副長が7号の指揮、主任・主機が中操のパラメータ確認に当り、当直長は6,7号機両方の指示監督と緊急対策室との連絡に当った。

(2) 地震発生直後の状況

強烈な揺れに見舞われ、中央制御室の天井の飾り照明が落下したり、ラックの上にあった書類が散乱したりしたが、運転に支障をきたすような被害は無かった。異常事態発生時の運転員の第一使命は、プラントの状態がどの様になったかを正確に把握し、次の操作に備えることである。運転中の7号機の制御盤には多くの警報ランプがついたが、激しい揺れに耐えながら、地震加速度大による原子炉スクラム、制御棒全挿入、タービントリップ、原子炉水位等の重要表示をまず確認し、原子炉が自動で安全に停止したことを把握することができた。「安全審査評価指針」には、安全機能を有する系統・機器は、異常状態発生直後は運転員の心的負担を考慮し、運転員の操作を期待せずに、必要な機能が発揮できるように設計されなければならないとされている。これは所謂10分ルール

(異常発生直後 10 分間は運転員の操作を期待しない) といわれるものであるが、今回の対応で要した自動停止の確認作業は 5 分程度とのことであった。

皆、家族の被災状況を心配しながらも口には出さず、落ち着いて各人のやるべき役割を果たした。当直長としては、火災警報、人身災害を始めあらゆることを考える必要があったが、「止める」「冷やす」と人身安全を最優先に考えた。このため、運転員には計器の確認を十分にしようとの指示を出すとともに、現場の作業員には一斉退避を命じた。

(3) 自動停止後の対応状況

その後は、各システムのパラメータをマニュアルに決められた手順に従って確認していき、冷却に必要な操作を行った。具体的には、事故時対応マニュアル、ユニット操作マニュアル、徴候ベースの手順書 (EOP) に従って確認、操作を行った。警報のリストを元に全ての警報をチェックし、設備機器の異常や、配管等の漏れはないことを確認した。各システムのパラメータは手順に従い、1 時間程度かけて全てを確認した。マニュアル類は扉付きのラックに保管していたため、地震によって飛散することもなく使用することができた。さらに、残留熱除去系などの冷却系等を作動させるために、現場の点検パトロールを行ってシステム機器に異常がないことを確認した。

所内ボイラが地震で停止したため、原子炉圧力が低くなった段階で復水器による圧力、温度の低下ができなくなり、主蒸気隔離弁を閉にし、主蒸気逃し安全弁を開け、サプレッションプールに蒸気を導き冷却した。残留熱除去系による冷却は正常に行った。起動用変圧器が地震で停止したため、各種のポンプの電源をもう 1 台の変圧器に切り替えるという応用動作もあった。

(4) 通信インフラの状況

通信は所内用の PHS が 7 号機側で一時的に使用不能となった。ページングも 7 号機が使用不能 (他号機と合併) となったが、7 号機側の PHS が後で復旧されたため主に PHS を使用して現場とやり取りした。中央制御室から外部への通信は支障なかった。途中から中央制御室の TV が見えなくなり、外部の報道が分からなくなった。応援に来てくれた人から他号機の状況や火災などを聞いた。暫く経って落ち着いてきてからは、他号機とも電話で連絡を取った。当初、緊急対策室が使えなかったが、11 時過ぎからは緊急対策室が機能し、情報の共有ができるようになった。プラントの運転については、当直長が責任を持って判断しており、緊急対策室に報告連絡し、情報の集約、共有を図った。外部への情報発信、問い合わせ対応等は全て緊急対策室で行っていた。

(5) 人身安全のための措置

地震発生直後に、定期検査中の 6 号機内で作業していた人達にページングで退避を連絡し、入退域チェックポイントと連絡を取り、確認した。1 名が確認できず現場確認に行かせたが、約 1 時間後には全員退避を確認できた。余震を考慮して 2 時間ほど状況を見た後、現場機器の点検作業を開始した。

火災の警報が多数発生したが、すべて誤報であった。3 年前の中越地震のときにも多くの火災警報が出たが、これらは地震によって巻き上げられたダストが煙と誤検知されたことによる警報であった。その経験から、一旦警報をリセットし、それでもクリアできないものは現場に行き確認させた結果、全て警報リセットでき誤報であることがわかった。今回は 6 号機が定期検査中のため、人が多くいたのがよかった。

(6) 全体を振り返って

最後に、当直長は次のように纏めてくれた。

- ・取り乱すことなく、全員がプラントに集中し、運転員としての使命を全うした。
- ・休み中の人や、当日朝、夜勤明けで自宅に帰った運転員も応援に来てくれた。記録やメモを残すといったこともやってくれた。
- ・日ごろから大きな声で「報・連・相」を励行している成果で、全員が状況把握し、共有できた。
- ・6 号機が定期検査中で人が多かったことが幸いしたが、負傷者の救助や手当が必要になっていた場合には、通常の数で対応するのは難しかったと思う。

このインタビューを通して、緊急時においても落ち着いて冷静に対応された運転員の方々の努力をお聞きすることができた。自らの家族の安否も分からぬ中、原子炉の安全な停止と人身安全のために、職務を全うされたのは、強いプロ意識とマイプラント意識、日ごろからのチームワークや運転訓練、マニュアルの整備等、様々な努力の賜物であったものと考えられる。未曾有の天災に際しても冷静に使命を全うされた運転員をはじめとする発電所の皆様のご努力を高く評価するものである。

3. 1. 3 不適合報告機器

地震発生時の不適合事象については、マスコミ報道や東京電力(株)、国、学協会等のホームページで公表されており、その後、原因究明やその対策工事が慎重に進められている状況である。

この項では、地震発生当初に東京電力(株)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について、あらためて日本技術士会として独自に現地調査を行い、その機器の役割、発生事象、問題点を明確にし、原因およびその後の対策状況を確認した。

(1) 使用済み燃料プールからの水の漏洩について

① 役割

- ・使用済み燃料プールは取替え後の使用済燃料をプール水で冷却し、一時的に保管しておくプールである。原子炉建屋の原子炉上部脇に位置し、耐震クラスAsで設計されている。

② 発生事象

- ・地震動により1～7号機全てで、使用済み燃料プールの水(放射能0.2Bq(ベクレル)/cc程度)がプール上部床にあふれ出た。
- ・その後、6号機ではこの溢水したプール水の一部が床に設置してある燃料交換機の給電ボックスに流入し、ケーブル電線管貫通部から非管理区域床に漏洩し、放水口を経由して海に放出されたことが判明した。
- ・結果的に海へ放出された水の量は約1.2m³、この水に含まれていた放射エネルギーは約9×10⁴ベクレルで、この放射能による線量は2×10⁻⁹ミリシーベルトであり、一般人が一年間に自然界で受ける線量(2.4ミリシーベルト)の約10億分の1であった。
- ・1、2、3号機で使用済み燃料プールの水位低警報(運転上制限条件)が発生した。

③問題点

- ・放射能を帯びたプール水の床への溢水。
- ・溢水したプール水の一部が放射線の非管理区域および海へ漏洩(量的には人体にとって無視できる程度の量であった)。
- ・漏洩を特定するための放射能分析が遅れ、正確な放射能測定に時間がかかった。
- ・プール水位低警報(運転上制限条件、通常水位から約16cm低下)の発生。

④原因

- ・溢水の原因は、中越沖地震が想定を超える地震で、やや長い周期の揺れのエネルギーが強かったため、この周期に共振してプール水が激しく揺れる液面振動(スロッシング)により、プール壁面(水位差約40cm)を超え上部床にあふれ出たためである。
- ・海への直接の漏洩原因は、床に設置されている給電ボックス内に溢水が入り込み、ケーブル電線管貫通部にシール施工不良(隙間)があったことである。更に電線管が非管理区域に直接貫通していたため、この隙間から電線管を伝わって非管理区域床に

漏洩し、非放射性の排水タンクにたまり、最終的にタンクのポンプ運転で放水口から海に放出されたものである。

- ・放射能測定に時間を要したのは、非管理区域での放射能汚染はないとの思い込みがあったほか、当日は休日で放射能測定要員がすぐに出勤できなかったことから、正確な測定のため、試料採集と放射能測定を繰り返したためであった。
- ・一時的にプール水位低警報(運転上制限状況)が発生したが、これは水面の揺れと床への溢水および使用済み燃料プール冷却(FPC)ポンプが、地震によりトリップ(停止)したためである。

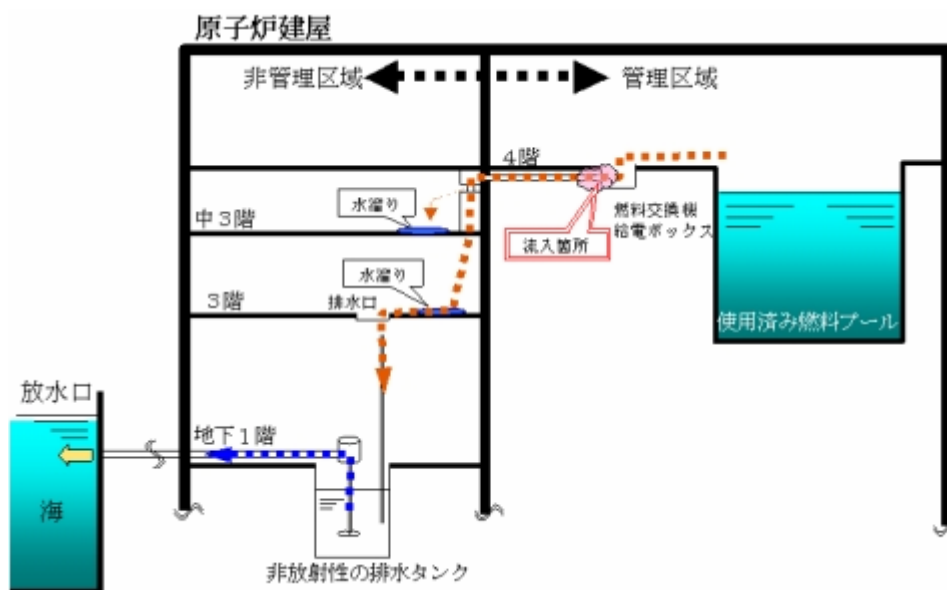


図-3.1.10 プール水の海への漏洩ルート(東京電力提供)

⑤ その後の対策状況

- ・プール水の溢水防止策として、完全にこれを防止することは困難であるが、プール周りに溢水低減用プレートを設置予定とのことである。
- ・1~7号機の床への漏洩水のふき取りおよび除染は完了しており、通常作業が可能となっていた。
- ・施工不良があった給電ボックスは、電線管貫通部にシール材を補充し止水処理が施されていた。また、コンセント配管など管理区域から非管理区域に直接つながる箇所を設備図書や現場調査にて確認し、止水処理を施し水平展開がなされていた。
- ・漏洩が発生した場合の迅速な放射能測定のため、夜間、休日は放射線測定員が宿直体制を取るよう体制の改善がなされていた。
- ・プール水水位低警報後、多くの運転操作が複合する中、水位回復のため補助給水系からの水張り操作やFPCポンプの復旧操作等、比較的短期間に運転制限条件逸脱の復帰操作が行なわれ、安全に影響を及ぼすものではなかった。



地震直後(シール部に隙間があった)



現在(止水処理後の貫通部)

写真-3.1.1 漏洩水が流れ込んだケーブル電線管貫通部(東京電力(株)提供)

⑥所感

- ・想定を越える地震動においても、プールのラック内に保管されている使用済み燃料やプール壁の変形等による損傷や放射能漏れはなかった。
- ・溢水や一時的な水位低警報の発生はあったが、使用済み燃料の冷却機能に問題となるものではなかった。
- ・バウンダリー部(管理区域と非管理区域の境界)のちょっとした施工ミスにより、プール水の一部が海に放出されてしまった。しかし、通常のプール水質は適切に管理されており、結果的に放出放射能は無視できる程度の量であった。法律上の問題は無い。

但し、数多くある電線管貫通部の施工不良や経年劣化による機能低下については、今後とも適切な予防保全や品質管理の中で十分に管理されねばならない点である。

- ・放射能測定の迅速対応ができず、海への漏洩発見が遅れた他、公表数値に誤りがあり数値の修正公表を行なわざるを得なかったことは遺憾であったが、既に上述した測定体制の改善が図られていることを確認した。今後は測定訓練や計測技術の向上に努力し緊急時に備えることが重要である。
- ・プール水位の回復操作が、他の多くの原子炉冷却操作とあいまって、短時間に行なわれたことは、運転員の高い資質が感じられる。
- ・以上、今回の問題は当初、環境への放射能放出として大きく報道されたが、その量は微量で実害はまったくなく、その後の対策も順次適切に取られていることを確認した。

(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 役割

- ・運転を停止して定期検査をするときなどに、格納容器や原子炉圧力容器のふたを吊上たり、新燃料棒を搬入、使用済み燃料キャスクの搬出入時に使う装置で比較的重要

な機器である。耐震クラスはB (S₁) で設計され、クレーン重量は310トンである。

② 発生事象

- 地震動により、車輪を駆動させる両車軸側の継手(ユニバーサルジョイント)クロスピンが2箇所、モーター側継手クロスピンが1箇所破断した。但し、クレーン本体の落下防止機能は維持されていた。

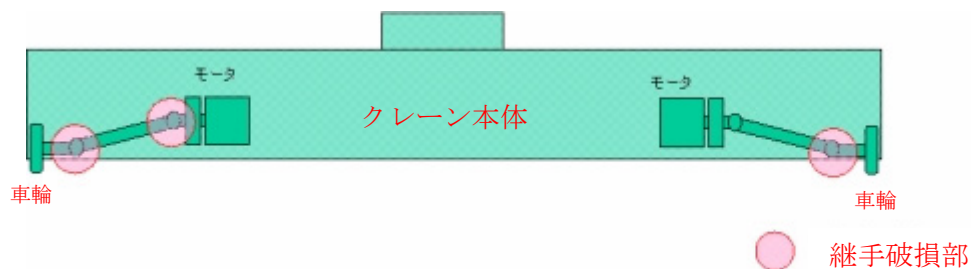


図-3.1.11 天井クレーンの車軸継手の破損箇所(東京電力(株)提供)

③ 問題点

- 継手部品の破断および部品落下の可能性。

④ 原因

- 破断面の解析結果、疲労によるものではないことが判明した。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のブレーキがかかって固定されていたため、途中にある継手部に過大な力がかかりねじ切れたものである。

⑤ その後の対策状況

- 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おり、単なる部品強度不足の問題ではないことが確認された。原設計上はこの部品の耐震安全上の要求はなく、今回の場合のように地震で車軸が強制的に回転する事象は考えていなかった。
- 破断部品は既に新品と交換されていた。恒久対策は現在検討中とのことである。



写真-3.1.2 天井クレーン本体(異常なし)(東京電力(株)提供)



地震直後(継手クロスピンの破断)



現在(部品の新品取替後)

写真-3.1.3 車輪側車軸継手部の状況(東京電力㈱提供)

⑥ 所感

- ・当時の設計知見では想定し得ないそれ以上の力が加わったため、部品が破断したものである。一方、継手部は構造上カバーで覆われており、もし部品が破断してもそれが落下することはない、人や原子炉への影響がないように配慮されていた。
- ・また、部品破損は車軸継手のみで、クレーン本体に影響を与えるものではなかった。(クレーン本体はレールで支えられ、レールには頑丈な歯止めを設ける等、設計当初からクレーン落下防止策がとられており、原子炉に影響を与える恐れはなかった。)
- ・但し、クレーンが動いていた場合や、使用済み燃料キャスクのような重量物を吊っていた場合の地震時に対する挙動解析を行い、恒久対策に反映することが必要である。

(3) 主排気筒ダクト(1～5号機)のずれについて

① 役割

- ・建屋内の換気を主排気筒に導くダクトである。耐震設計上は放射性物質の内臓量等から耐震クラス C (S_1) に分類されている。(非常時に建屋内の放射性気体廃棄物を自然界とほぼ同じ放射能まで減衰させた後に、外に放出する非常用ガス処理系の配管は、別ルートで主排気筒の内壁に沿って排気管を立ち上げており、耐震クラス A で設計されている)

② 発生事象

- ・地震動により主排気筒(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。点検の結果、ベローズ18箇所中16箇所に変形があった。1号機においては2箇所に亀裂があった。

③ 問題点

- ・ダクトベローズ部のずれや亀裂および放射能漏れの可能性。

④ 原因

- ・ずれは地震動による排気筒とダクトの移動量(相対変位)の違いによるものである

⑤ その後の対策状況

- ・ 既に仮補修は実施済みであった。今後ベローズカバーの交換予定であり、恒久対策を検討中とのことである。



地震直後(接続ダクトのずれ)

現在(仮補修済み)

写真-3.1.4 主排気筒への接続ダクト(1号機)(東京電力㈱提供)

⑥ 所感

- ・ 耐震クラス C (S_1) のダクトの継手部に用いられるベローズにずれや一部亀裂があったが、建屋換気機能やフィルター機能は維持されており、放射能漏れの影響はなかった。しかし、継手部のずれ等、機器との取り付け部(インターフェース)の相対変位による問題が発生しており、今後は付随設備を含めたシステムとしての設計評価が必要で有ることが示唆された。
- ・ 主排気筒および主排気筒につながる非常用ガス処理系配管(耐震クラス A)に対する影響は見られず、設計の妥当性が確認された(但し、排気筒の抗基礎ならびに排気筒内部の配管については6月末までに点検の予定であるとのこと)。

(4) 原子炉ウェルライナ部(7号機)からの微量な漏洩

① 役割

- ・ 原子炉ウェルは、原子炉圧力容器の上方に位置し、原子炉を開放する際に、燃料を移動するために水を張るスペースである。水漏れを防止するため、ステンレス鋼の内張り(ライナー)がなされている。また、万一のライナー溶接部等の亀裂による漏れを早期検出するための漏洩検知配管(漏洩検知窓つき)が予め設置されている。耐震クラスは As で設計されている。

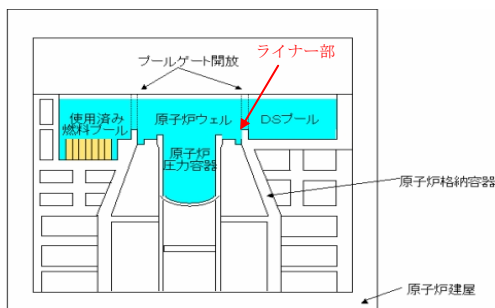


図-3.1.12 原子炉建屋断面図

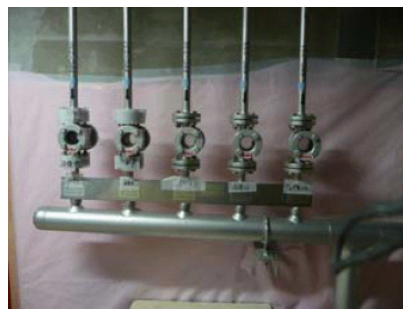


写真-3.1.5 漏洩検知窓(東電提供)

② 発生事象

- ・その後の点検で、7号機原子炉ウェルライナからの微量な漏洩が漏洩検知窓の確認で見つかった(外部に漏洩するものではない)。詳細点検の結果、漏洩につながる微小な傷は2箇所(長さ3mmと2mm)であることを確認。

③ 問題点

- ・原子炉ウェルライナからの亀裂による漏れ。

④ 原因

- ・調査の結果、亀裂が発生した部位はライナーの溶接部であり、建設時の溶接において、構造上溶接作業に困難を伴う箇所(三角コーナー部)であったために溶接溶け込み不足(未溶接部)が存在していたことおよび、溶接仕上げ加工として表面のグラインダー処理により残存板厚が薄くなり、薄膜部が形成されていた。本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)がひな段上部コーナーに接触し、薄膜部に過大な過重がかかったため貫通傷が発生したものであると推定されている。

⑤ その後の対策状況

- ・原子炉ウェルライナ部の亀裂箇所は、真空引きによる漏洩箇所の特定がなされ、ステンレスカバーによる応急の漏洩防止対策が取られた。現在は完全な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。



地震直後(漏洩検査中)



仮補修後の漏洩部(現在は補修溶接済)

写真-3.1.6 漏洩が見つかった原子炉ウェルライナ部(東京電力(株)提供)

⑥ 所感

- ・燃料プールや原子炉ウェルは溶接部の亀裂等による漏洩を検出できる漏洩検知配管が設計当初から設置されており、原子炉ウェルライナ部からの漏洩はこれにより検知されたものであり、当初から早期発見が可能で安全が考慮された設計となっていた。

(5) まとめ

- ・今回の調査で明らかになったことは、既に学会等で発表されているように、想定を超える地震動の発生にも係わらず、その直接的な影響による耐震クラス As、A 機器の損傷はなく、耐震クラス C の機器についても軽微な損傷はあったものの、機器に対しての原子炉設計上、或いは原子炉安全面からの従来設計に対する工学的な問題は見あたらず、原子炉の安全に支障を与えるものではなかったことが再確認できたことである。
- ・また対策工事についても必要なものは既に応急措置や補修措置が取られ、健全性調査に当たっては、評価基準、手順を明確にして原因究明を行ない、慎重に対策が進められていることが確認できた。
- ・しかし、原子炉ウェルライナ部の損傷等に見られる溶接における溶接溶け込み不足等の施工不良や海へのプール水の漏洩原因になった電線管貫通部の施工不良による機能低下については、今後とも適切な予防保全や品質管理の中で十分に管理されねばならない教訓の多い点である。
- ・海に漏洩したプール水は、結果的に放出放射能は無視できる程度の量であったが、このような事象は早期に発見し、拡大を防止することが重要であり、このためには通信面を含めた緊急時の放射能測定体制の立て直しや訓練、測定機器能力の向上が必要である。
- ・地震による建屋の床応答スペクトルの違いによると思われるが、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。また、柏崎刈羽原子力発電所は従来設計による 1～5 号機と改良型 BWR(6, 7 号機)が設置されたプラントであり、このような視点から、各号機のベンチマークを行ってより詳細な原因究明を行い、この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肝要である。

3. 1. 4 機器構造健全性

これまで、原子炉建屋内の設備や中央制御室の設備には、3. 1. 3項で述べた機器を除き、大きな損傷はないことが報告されているが、実際に4号機および6,7号機を見学し、その状況を確認した。確認した主な設備は次のものである。

- ・ 4号機原子炉建屋内；水圧制御ユニット、高圧炉心スプレイポンプ、地震計
- ・ 4号機格納容器内； 原子炉圧力容器アンカーボルト、原子炉再循環ポンプ
- ・ 6,7号機中央制御室
- ・ 6号機原子炉建屋オペレーティングフロア（見学者用ガラス窓越し）
- ・ 7号機格納容器内；主蒸気逃し安全弁、主蒸気隔離弁、原子炉圧力容器スタビライザ
- ・ 7号機原子炉建屋内； 残留熱除去系ポンプ、熱交換器

確認した状況を以下に述べる。

(1) 原子炉建屋内（4,7号機）

定格運転中の3、4、7号機および起動中の2号機では、地震加速度大によるスクラム信号ですべての制御棒が全挿入され、原子炉は直ちに自動停止した。地震計は、原子炉建屋の最地下階の床4ヶ所に水平方向、鉛直方向の検出器4つが設置され、このうち2つが予め定められた値を超える地震加速度を検出するとスクラム信号を発する。（BWR5は4つの検出器を2つの系列に分け、その両方の系列が動作するとスクラム信号を発する。）

制御棒の緊急挿入は、水圧制御ユニット（HCU）の高圧の窒素ガスで駆動される。水圧制御ユニットは、制御棒の数（1～5号機では185本、6,7号機では205本）の窒素容器（1～5号機は185体、6,7号機は103体）、配管、弁類等が整然と固定・配列され、地震による影響は全く見られなかった。制御棒の緊急挿入の時間は安全上重要な数値であり、定期検査時にも試験確認が行われているが、今回の地震では、4プラントで合計760本の制御棒が全て遅滞無く挿入され、極めて高い信頼性が示された。

原子炉の運転停止後に除熱・冷却を行う各系統は正常に機能し、冷温停止が達成された。除熱・冷却のための残留熱除去系ポンプは縦型ポンプで、建屋基礎台に基礎ボルトでしっかりと固定設置されており、熱交換器・配管・計装系等を含め、地震による影響は見られなかった。



写真-3.1.7 4号機水圧制御ユニット(東京電力(株)提供)



写真-3.1.8 4号機残留熱除去系ポンプ基礎(東京電力(株)提供)

(2) 原子炉格納容器内 (4,7号機)

燃料や原子炉水を内包し最重要機器である原子炉圧力容器を支持している基礎ボルトは、緩み、ずれ等の痕跡は全くなく、また上部で原子炉圧力容器の横揺れを防止しているスタビライザにも全く異常は見られなかった。



写真-3.1.9 4号機原子炉圧力容器基礎ボルト(東京電力(株)提供)



写真-3.1.10 7号機原子炉圧力容器スタビライザ(東京電力(株)提供)

原子炉圧力容器内の炉水を循環する縦型の再循環ポンプおよび電動機は、熱移動を吸収できるように上部から4本のハンガーで吊り下げられ、水平・垂直方向に耐震サポートが設置されている。地震時には大きな横揺れがあったことが振動測定記録に残されており、警報が発生したが、振動は本震と余震による一時的なものであり、ポンプは正常に機能した。見学した4号機においても損傷やずれ、変形等は見られなかった。

この他、原子炉格納容器の中には、主蒸気隔離弁、主蒸気逃し安全弁等の重要機器や多数の配管、サポート、ケーブル等が配置されているが、健全性確認のため取外し分解点検されている機器を除き、整然としており、地震による影響は見られなかった。

なお、これら目視による点検の後に、作動試験等の基本点検と、中越沖地震時の観測波

に基づく地震応答解析による評価を行い、その結果さらに詳細な点検が必要な場合には分解点検や非破壊試験等の追加点検を行うという設備健全性の総合評価作業が進められている。



写真-3.1.11 4号機原子炉再循環ポンプ(東京電力(株)提供)

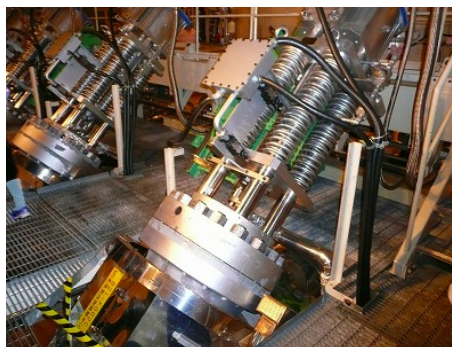


写真-3.1.12 7号機主蒸気隔離弁(東京電力(株)提供)

(3) 原子炉建屋オペレーティングフロア (6号機)

見学者用ガラス窓越しに、6号機のオペレーティングフロアを見学した。原子炉上部のオペレーティングフロアには、原子炉ウェル、使用済み燃料プール、ドライヤ・セパレータピットが配置され、さらに定期検査や燃料交換に使用する燃料交換機、天井クレーン、各種の検査設備等が配置されている。見学時には、点検のため原子炉圧力容器の上蓋が取り外され仮置きされていた。

原子炉内で燃料を支持している炉内構造物やその他の炉内機器については、遠隔水中 TV カメラによる点検が 2 月に全号機で終了し、その結果が公表されているが、損傷、変形、脱落等の異常は見られず健全であった。

(4) 中央制御室 (6,7号機)

6,7号機の中央制御室は一体となっており、6号機、7号機の制御盤が部屋の両側に対向して配置されている。中央制御室内には、運転状態を表示し、各機器の運転制御のための制御盤が配置され、操作スイッチ、制御装置、状態表示、記録装置および警報が整然と配置されている。地震の際にもこれらの装置は異常なく機能し、地震後においてもずれ、変形等の不具合は生じていなかった。天井の飾り照明が落下するという被害があったが、その位置は計器や運転員のいる場所ではなく、直接の被害は無かった。



写真-3.1.13 中央制御室（東京電力(株)提供）

（５）排気筒・ダクト

主排気筒は、気体廃棄物処理系のフィルタを通った後、大気中に放出される空気を上空に拡散させる高さ約 150m（6/7 号機は約 47m）の構築物で耐震 C（S₁）クラスで設計されている。発電所内には 7 基の主排気筒が設置されているが、いずれも外観目視点検ではダクトベローズのずれ以外の異常は報告されていない。なお、排気筒の杭基礎ならびに排気筒内部の配管については、6 月末までに点検をおこなう予定で、そのための地面の掘削が進められていた。

（６）まとめ

これまで、原子炉建屋内の設備や中央制御室の設備には、3. 1. 3 項で述べた機器を除き、大きな損傷や不適合はないことが報告されているが、実際に 4 号機および 6、7 号機の原子炉建屋、格納容器、中央制御室等を見学し、各機器・設備には地震による損傷やずれ、変形等は見られなかった。

なお、これら目視による点検の後に、作動試験等の基本点検と、中越沖地震時の観測波に基づく地震応答解析による評価を行い、その結果さらに詳細な点検が必要な場合には分解点検や非破壊試験等の追加点検を行うという設備健全性の総合評価作業が進められている。

参考； 原子力発電所（BWR）の内部、東京電力パンフレット【みつめてほしい げんしりょくはつでん】より引用

(<http://www.tepcoco.jp/nu/pamphlet/pdfdata/pamp03.pdf>)

