

1 号機 RCW 配管の高線量汚染の原因の推定について

1. はじめに

1 号機の空間線量率調査において原子炉建屋 (R/B)、及び放射性廃棄物処理建屋 (Rw/B) 内の原子炉補機冷却水 (RCW) 系統の配管 (以下、RCW 配管) 付近で高線量率が観測され^[1]ているが、この問題は本報告書において 1 号機-9 とし て課題設定している。観測された高線量の要因としては、最も高い線量が RCW の熱交換器付近で観測されたことから、熔融燃料が格納容器 (PCV) へ落下し、ペデスタル内にある機器ドレンサンプを冷却する RCW 配管を損傷したため放射性物質が RCW 配管に移行した可能性が考えられている。この推定シナリオについて明らかにすることで炉心・格納容器の状態に関する情報が得られる可能性があることから、本資料では、1 号機建屋内の空間線量が RCW 配管近傍で高線量率となった要因として、RCW 配管が損傷した場合の放射性物質の移行経路を検討し、実際の観測結果との比較を通して RCW 配管損傷の可能性を検討する。

2. RCW 系の概要

RCW 系は格納容器ドライウェル (D/W)、R/B、Rw/B、及びタービン建屋内に設置されている原子炉補機へ冷却水を供給し、各補機がその機能を維持できるようにするものである。図 1 に示すように、RCW 系はサージタンク、ポンプ、熱交換器等と必要な配管、及び計装類で構成されており、RCW 熱交換器で海水と熱交換された冷却水は多くの分岐を経て各補機へ到達し、各補機を冷却して温められた冷却水は再び RCW 熱交換器へ戻って熱交換されて冷やされ、再び各補機へ供給される閉回路となっている。

O.P.表記の取扱いについては、本報告書本文「10. 補足」参照。

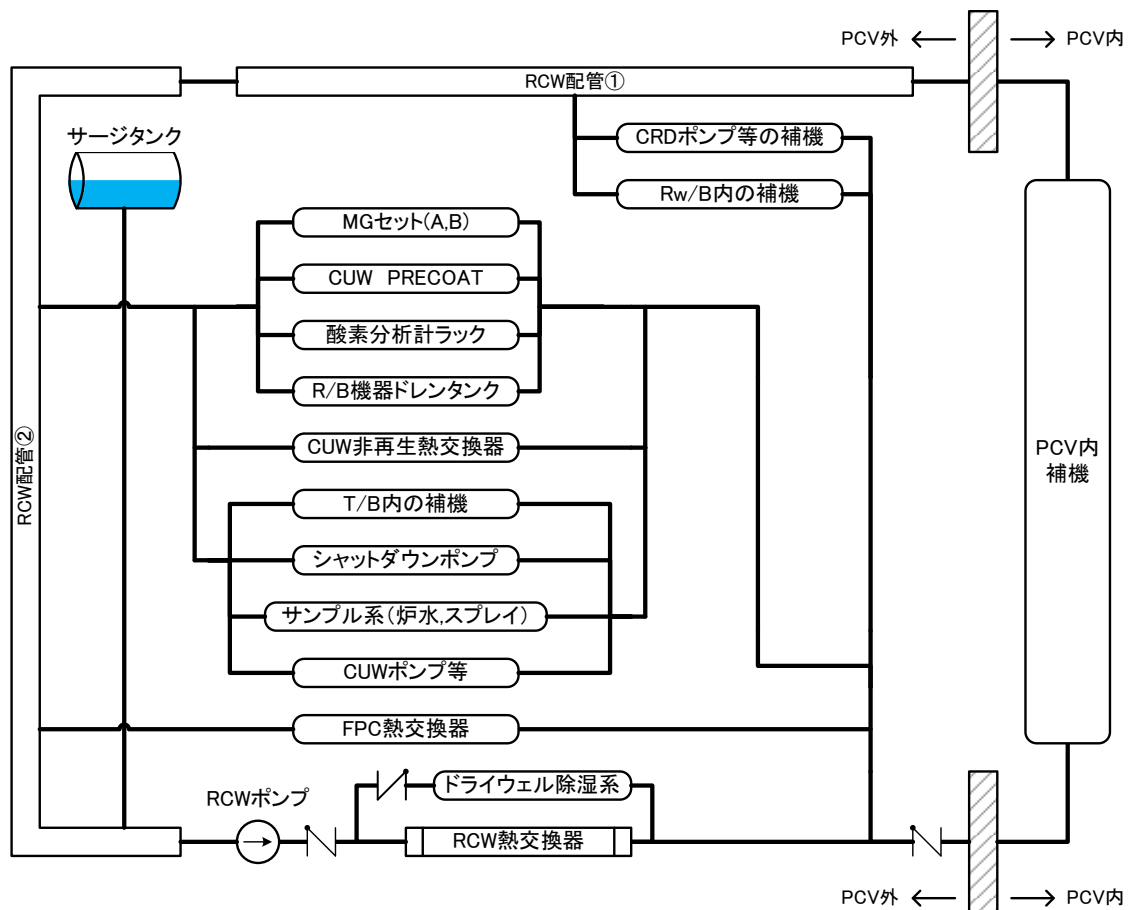


図1 RCW 系統の主な構成 (図中の補機名称は簡略表記)

3. 1号機 R/B、及び Rw/B 空間線量率の観測結果

当社が公表している1号機 R/B 1～4階、及び Rw/B 1階の空間線量率の測定結果¹を図2～図6に示す[1]。これらの図に見られるように、高線量率を観測した地点が各階に存在していることが分かる。

1階では床貫通部付近の南東エリアで高線量率が観測されているが(図2)、これについては、格納容器ベント(W/W ベント)に伴うベントライン起因との関連性が指摘されている[2]。したがって、RCW 配管損傷による高線量汚染との関係性は低いと考えられる。南東エリアを除外すれば、南西エリアのドライウエル除湿系(DHC)付近で高い線量率(120 mSv/h)が観測されている。DHCはRCWの冷却対象補機である。

2階については南エリア(1000 mSv/h以上)と西エリア(30～700 mSv/h)

¹ データ採取期間は2011年4月から2014年2月である。

で高い線量率が観測されている（図 3）。南エリアは顕著に高い値が観測されており、付近には RCW 熱交換器が設置されている。西エリアには RCW で冷却される MG セットオイルクーラー(A)が設置されている。西エリアの中では下側の線量率が最も高い値を示しており（700 mSv/h）、左側の線量率が最も低い値を示している（30mSv/h）ことから、これについては上述した南エリアの RCW 熱交換器付近の高線量率が影響している可能性も考えられる。

3階では西エリアで高い値（149 mSv/h）が観測されている（図 4）。同エリアには MG セットオイルクーラー(B)があり、これに起因する可能性が考えられるが、付近の空間線量率は低い値を示していることから（3.5～40 mSv/h）、他の要因も考えられる。4階では西エリアと南西エリアで数十 mSv/h の線量率が観測されており、南西エリアで観測された 90 mSv/h が一番高い値となっている（図 5）。このエリアには、RCW 系統内の保有水量を調整するサージタンクが設置されている。

Rw/B の 1 階では南エリアで高い値（350 mSv/h）が観測されている（図 6）。付近には RCW で冷却対象となっている廃棄収集フィルター用再循環クーラーが設置されている。

RCW 系は PRV や PCV に対する開放部がないため通常状態では RCW 配管や補機での高線量汚染は観測されないが、上述した 1 号機 R/B、及び Rw/B 空間線量率の測定結果から、RCW 配管や補機付近で高線量率が観測されたことが分かる。

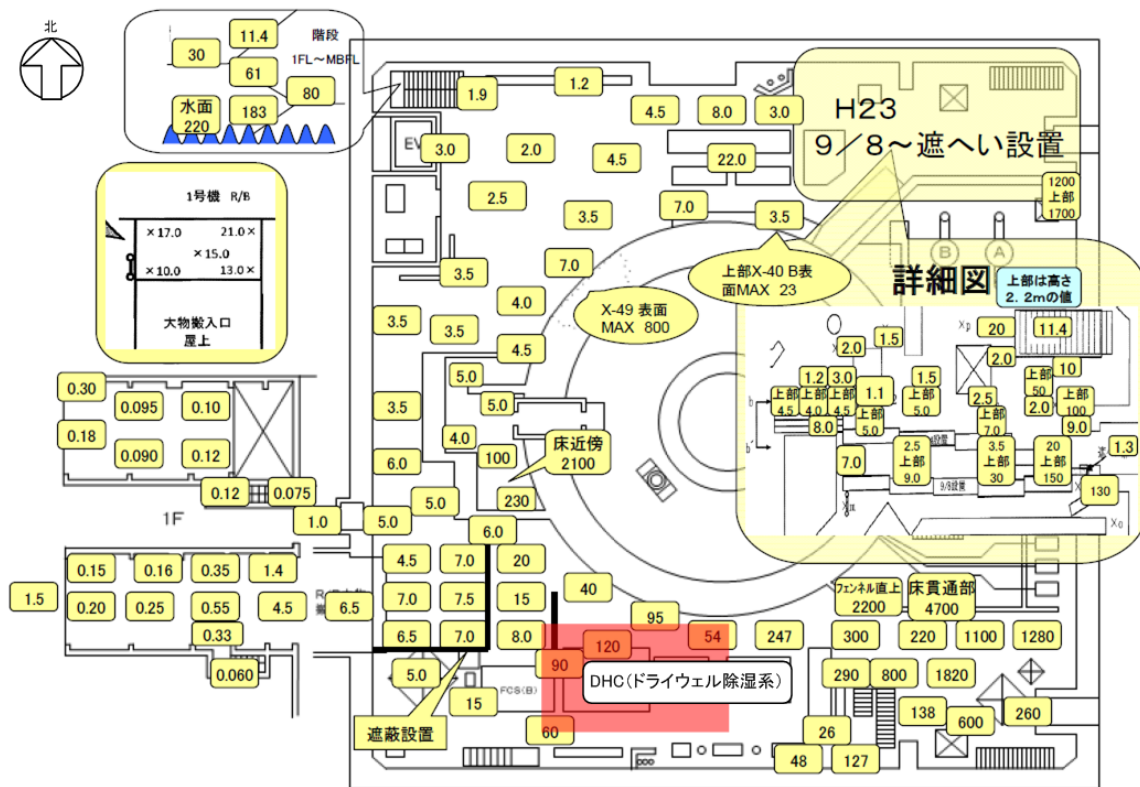


図2 1号機 R/B 1階の空間線量率 (単位 : mSv/h) [1]

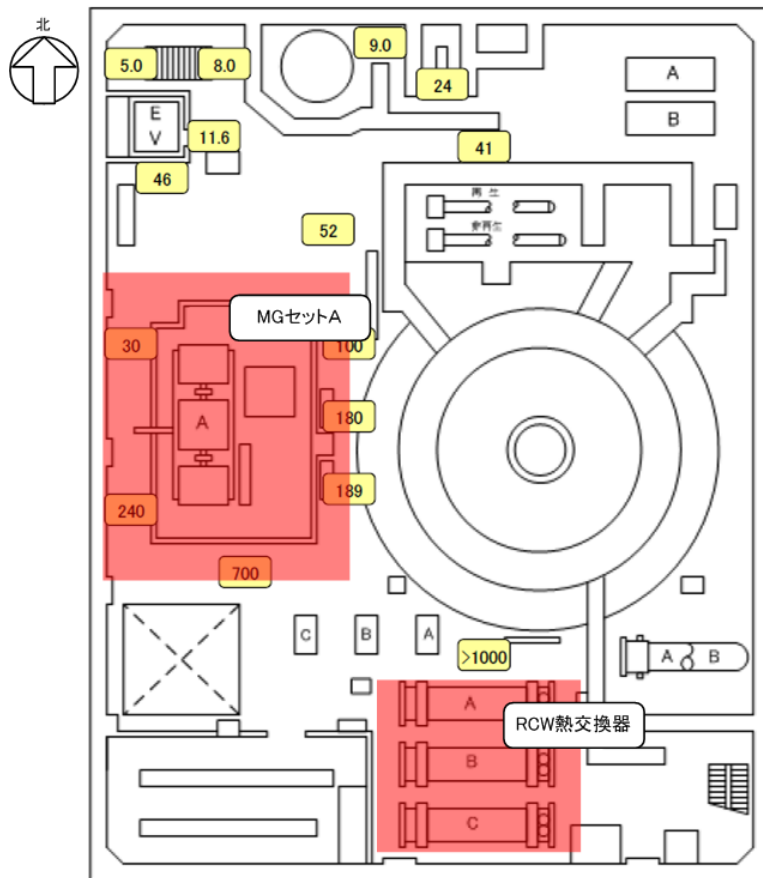


図3 1号機 R/B 2階の空間線量率 (単位 : mSv/h) [1]

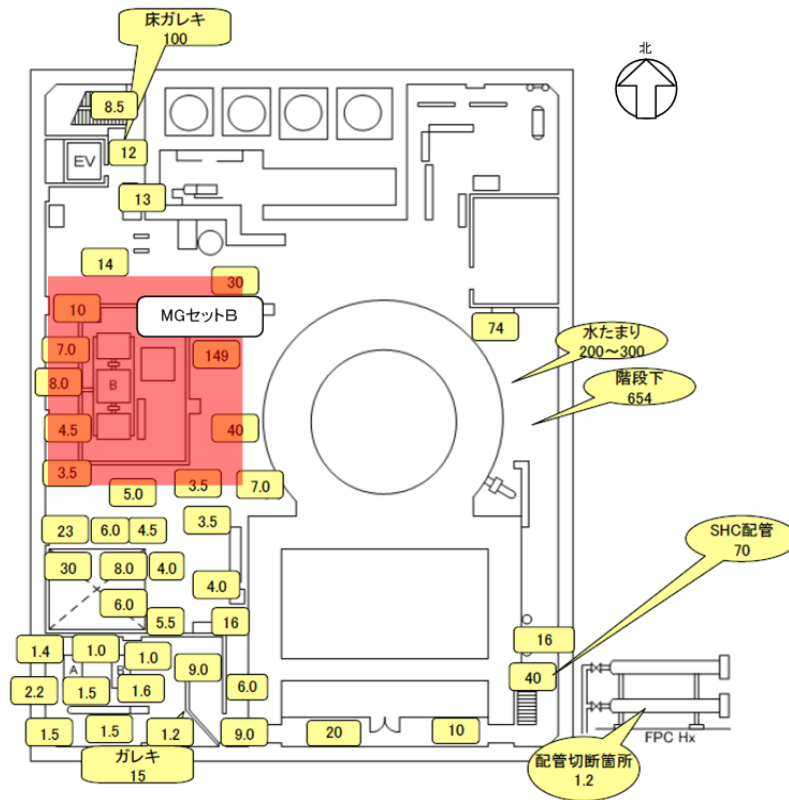


図4 1号機 R/B 3階の空間線量率 (単位：mSv/h) [1]

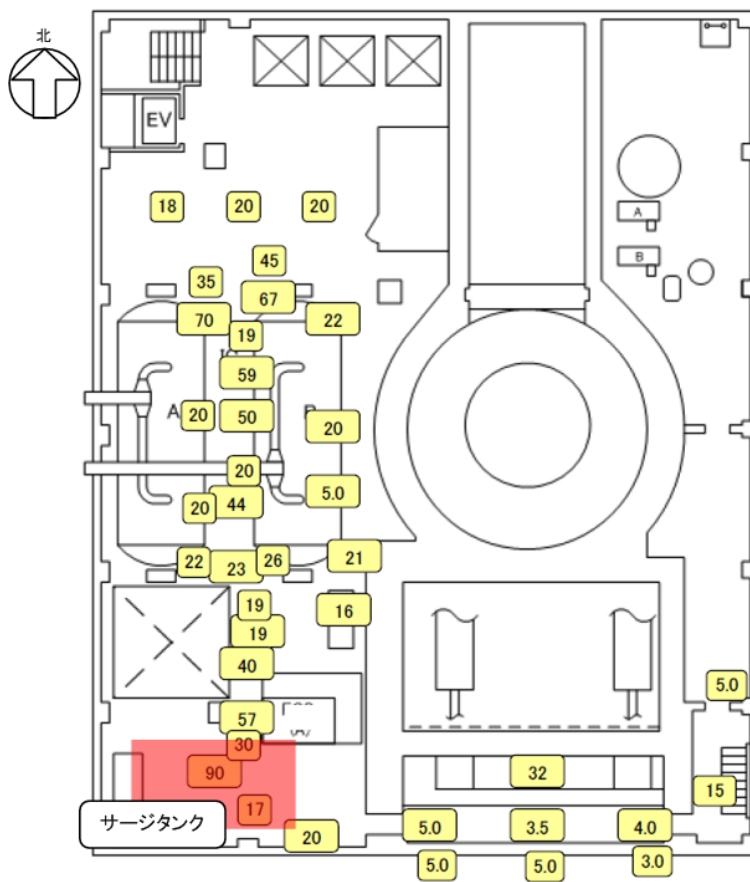


図5 1号機 R/B 4階の空間線量率 (単位：mSv/h) [1]

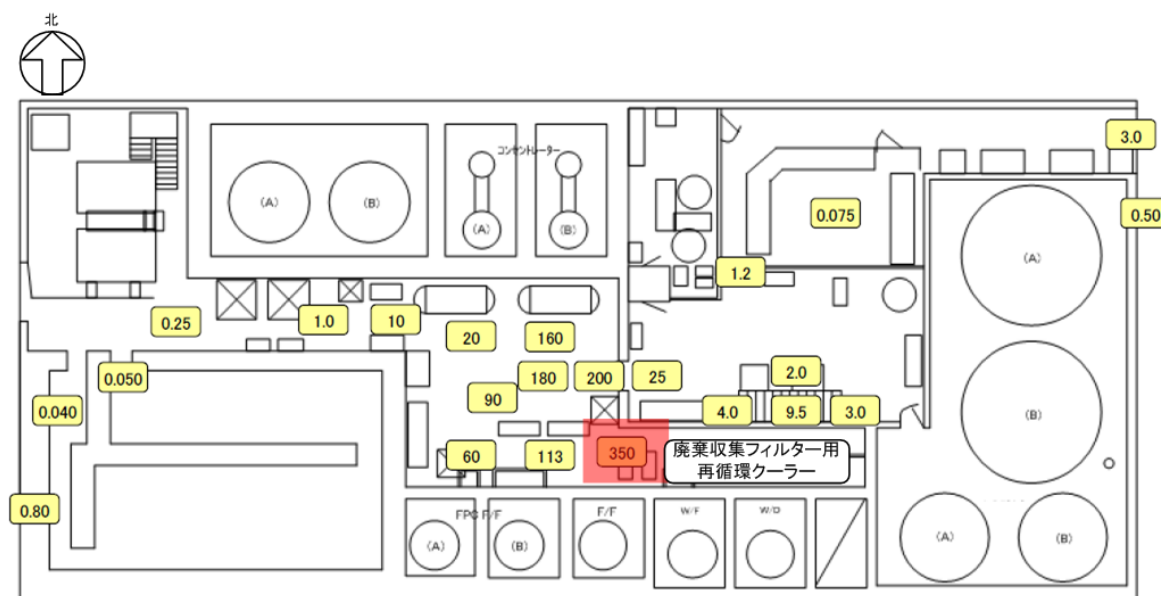


図6 1号機 R/B 1階の空間線量率 (単位: mSv/h) [1]

4. RCW 配管の汚染経路に関する検討

1号機の事故進展において溶融した燃料が格納容器ペDESTALへ落下した際、この溶融燃料が格納容器ペDESTAL内側にある機器ドレンサンプを冷却するためのRCW配管を損傷したとして放射性物質の移行を検討する。

RCW系統については、サージタンクのベントがR/B内に直接排気されていることから(図7)、R/B4階に設置されているサージタンクを大気圧(約0.1MPa[abs])とする圧力分布になっていると考えることができる。一方、1号機の事故進展におけるPCVの圧力変化は、3月11日23時50分頃にD/W圧力0.6MPa[abs]が測定されて以降、格納容器ベント(W/Wベント)に成功するまで圧力指示値は高い状態で継続しており、W/Wベントが実施された3月12日14時30分から14時50分にかけて低下していることが確認されている。RCW配管内の放射性物質の移行はPCV圧力の状態に応じて異なると考えられることから、以下ではPCV圧力が高い状態とPCV圧力が低下した後の放射性物質の移行先を検討することとした。

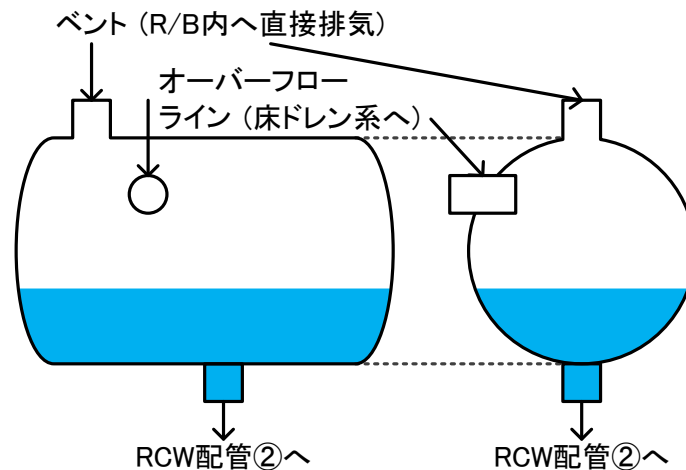


図7 サージタンクの構造 (イメージ)

4. 1 PCV 圧力が高い状態で継続している時の放射性物質の移行の検討

この状態では、損傷箇所である PCV 圧力はサージタンクの高低差等を考慮した圧力よりも高いため、PCV から RCW 配管内へ放射性物質は移行することとなる。2章に示した1号機 RCW の配管ルートを基に、PCV 圧力が高い状況における RCW 配管内の放射性物質の移行について検討した結果を図8に示す。RCW 配管が損傷すると図中に示した RCW 配管①へ放射性物質は移行する。反対側のルートには PCV 入口部に逆止弁があり、放射性物質の移行は有意でないと考えられることから検討から除外することとした。RCW 配管①では3つの分岐がある。この分岐では、Rw/B への分岐は PCV に近い地点にあり、CRD ポンプ等の補機は地下1階にあり、主流側の RCW 配管②には下流側にサージタンクがあることから定量的に示すことは難しいものの、有意に放射性物質が移行しにくい分岐はないと考えられる。なお、Rw/B 1階で高線量率が観測されたのは、RCW 配管①から Rw/B へ放射性物質が移行したことが一因となった可能性がある。CRD ポンプ等の補機がある R/B 地下1階については現時点で未調査である。

RCW 配管②では4つの分岐がある。サージタンク側への分岐についてはほぼ大気圧とみなすことができるため、サージタンクへの分岐方向に放射性物質はより移行しやすい状況にあったと考えることができる。この事は、R/B 4階の空間線量率 (図5) においてサージタンク付近が高い線量率を示した測定結果と整合する。他の分岐については、各補機へ到達するまでの配管距離や経路、放射性物

質が移行しやすいサージタンクとの位置関係の影響を受けると考えられるが、各補機の下流側は RCW 熱交換器の出口側の配管に接続する閉回路となっているため RCW 系統内の圧力に近いと考えられるため放射性物質は移行しにくい状況にあった可能性がある。なお、比較的高い線量率が観測された MG セット(A)付近については、2章で述べたように、南エリアにある RCW 熱交換器付近の高線量率が影響していることも考えられ、RCW 配管の高線量汚染だけによるものではない可能性もある。

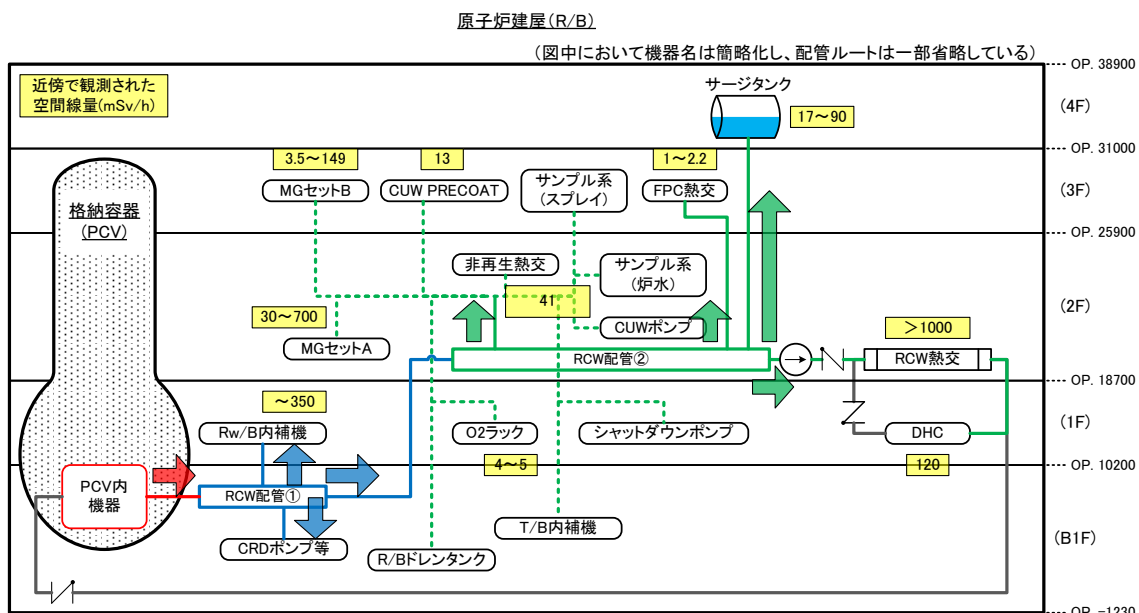


図8 PCV 圧力が高い状況における放射性物質の移行

4. 2 PCV 圧力が低下した後の放射性物質の移行の検討

1号機では、W/W ベントが実施された3月12日14時30分から14時50分にかけて PCV 圧力の低下が確認されている。上述したように、PCV 圧力が高い状況にあった時にサージタンク側へ移行した放射性物質は、圧力が低下すると PCV 圧力とバランスする高さまで下方へ移行することとなる。この状況で想定されるサージタンクに滞留した放射性物質の移行を図9示す。

サージタンクに滞留していた放射性物質が RCW 配管②へ移行すると RCW 配管①側と RCW 熱交換器側へ移行することとなる。RCW 熱交換器は構造物表面積が大きいので放射性物質が多く沈着することが考えられ、R/B 2階の RCW 熱

交換器付近で高線量率が観測されたこと（図 3）と整合する。また、R/B 1 階の DHC 付近で高線量率が観測されたこと（図 2）とも整合する。

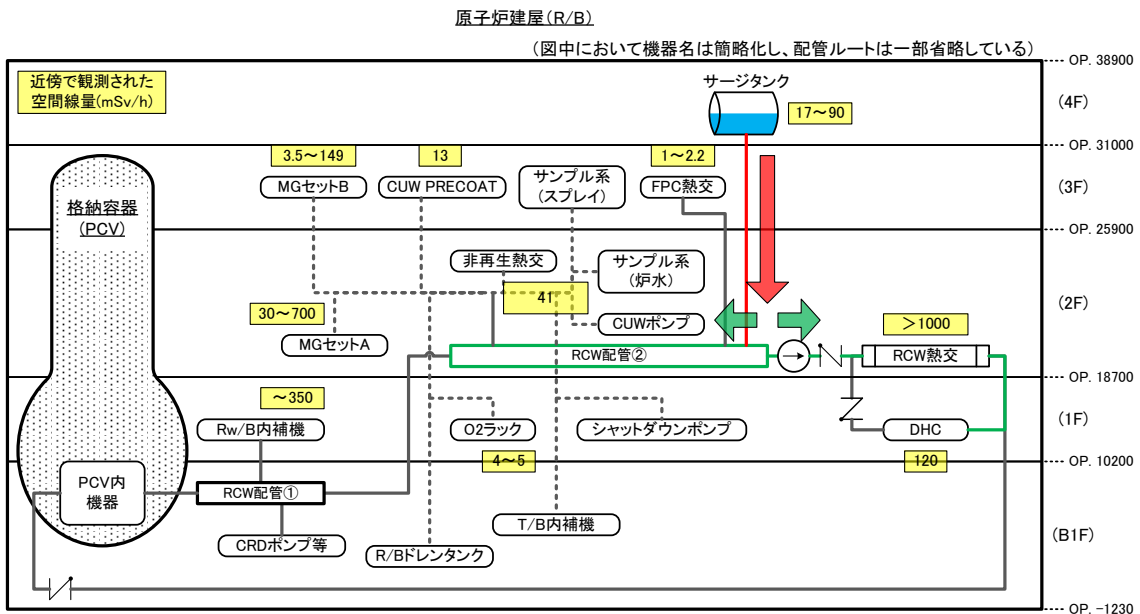


図 9 PCV 圧力が低下した後の放射性物質の移行

4. 3 検討のまとめ

格納容器ペデスタル内側にある機器ドレンサンプを冷却する RCW 配管が損傷した後の放射性物質の移行経路について、RCW 系の配管径路の調査、及び 1 号機の事故進展における格納容器圧力の状況に応じて検討した結果、空間線量率調査において特徴的だった以下の点と整合することが確認された。

- ・ R/B 1 階では南西エリアのドライウェル除湿系 (DHC) 付近で高線量率が観測されたこと (南東エリアの高線量率は別の要因によるものとして除外)
- ・ R/B 2 階では南エリアの RCW 熱交換器付近で高線量率が観測されたこと
- ・ R/B 4 階では南西エリアのサージタンク付近で高線量率が観測されたこと

以上の検討結果から、1 号機 R/B の空間線量率調査にて RCW 配管近傍が高線量率であった要因は、“格納容器ペデスタルへ落下した溶融燃料が RCW 配管を損傷し、放射性物質が RCW 配管内を移行した可能性が高い” という当初の推定が確からしいことを確認した。したがって、これまで言及されているように、1 号機では溶融燃料が原子炉圧力容器から格納容器へ落下した可能性が高いことが本

検討でも示唆された。ただし、平成 23 年 5 月頃の調査ではサージタンク内に水位があったという情報があり、現時点で合理的な説明ができない点も存在する。現場調査等で新しい情報を取得すれば更なる検証が可能になると考える。

5. 対策との関係について

柏崎刈羽原子力発電所では、PCV を貫通する RCW 系の配管には PCV 貫通部に近接した位置で PCV 内及び PCV 外の両方に PCV 隔離弁（又は逆止弁）を設置している（図 10）。これらの弁は炉水位の低下又は D/W 圧力の上昇を検知して自動で隔離される設計であり、RPV が破損し溶融燃料が下部 D/W に移行する前に閉止（逆止弁は PCV 内から外への逆流を防止）することで PCV 外の配管への汚染の拡大は防止される。また、上記の PCV 隔離弁の駆動電源は、ガスタービン発電機、号機間電源融通及び電源車により強化しており、隔離動作の信頼性を向上している。D/W サンプにはサンプ水を PCV 外に移送するラインがあるが、本ラインには RCW 系と同様に自動隔離機能を有した隔離弁を PCV 貫通部の内外に設置している。さらに、下部 D/W にはコリウムシールドを設置して溶融燃料のサンプへの流入を防止している（図 11）。

上記の設備対策に加え、福島第一原子力発電所事故以前から RPV 破損前に下部 D/W に水張りし、その水位を維持することにより下部 D/W に落下した溶融燃料を冷却する運用手順を採用している。柏崎刈羽原子力発電所 6 号機及び 7 号機では下部 D/W への注水手段として従来から整備していた MUWC 系に加え、消防車による注水手段を整備し、下部 D/W 注水の信頼性を向上しており、汚染拡大の経路となり得る配管が損傷するリスクを低減している

したがって、福島第一の 1 号機で起こったと考えられるサンプを冷却するための設備が損傷することで当該系統内への汚染の広がることを防止できると考えられる。

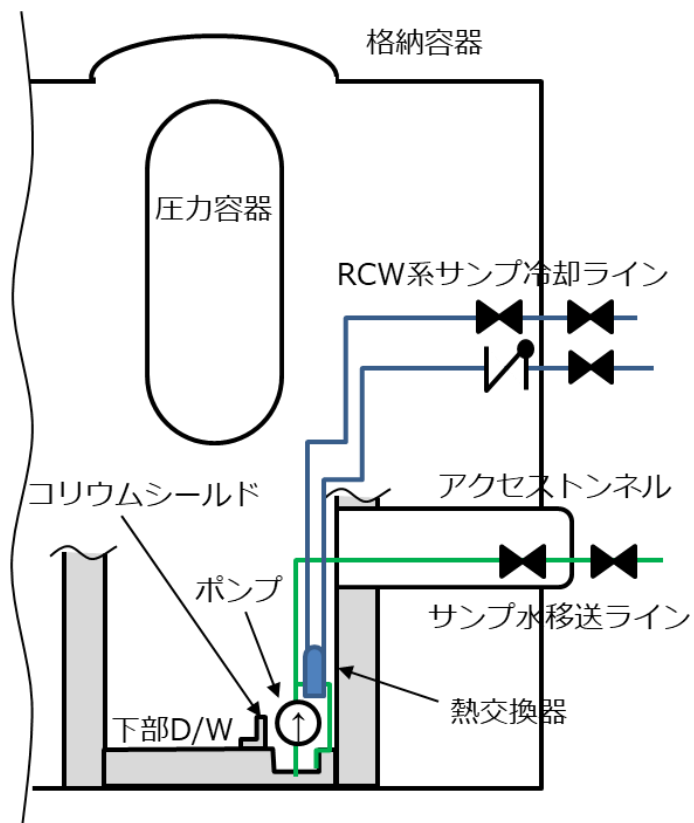


図 10 RCW 系及びサンプル水移送ラインの隔離弁

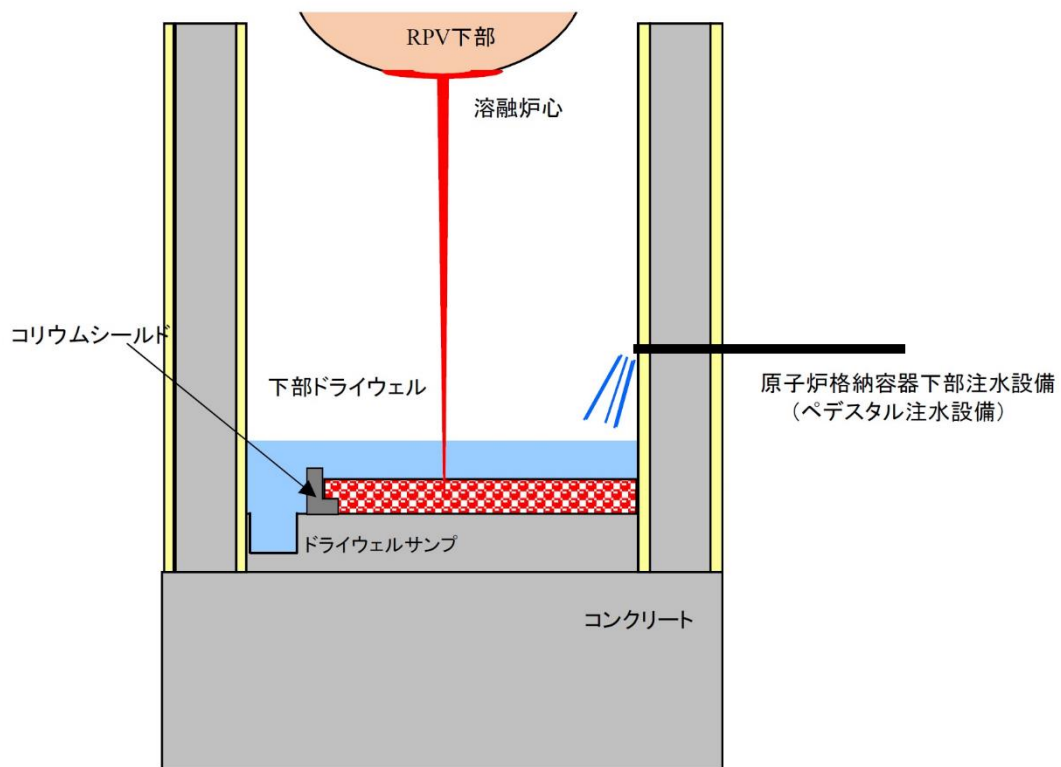


図 11 ドライウェルサンプルへの溶融燃料流入防止のイメージ

6. まとめ

格納容器内の RCW 配管が損傷した場合における放射性物質の移行について検討した。その結果、空間線量率調査で RCW 配管近傍が高線量率であった要因は、格納容器ペDESTALへ落下した溶融燃料が RCW 配管を損傷し、放射性物質が RCW 配管内を移行した可能性が高いという推定が確からしいことを確認した。また、1号機では溶融燃料が RPV から PCV へ落下した可能性が高いことが本検討でも示唆された。

参考資料

- [1] 東京電力、建屋内の空間線量率について、<http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/f1/surveymap/index-j.html>、平成 26 年 3 月 27 日
- [2] 東京電力、国プロ「原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発」1号機原子炉建屋1階南側の汚染状況調査結果について、http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2014/images/handouts_140124_08-j.pdf、平成 26 年 1 月 17 日