

炉心・格納容器内の状態推定に関連する調査状況

1. はじめに

平成 23 年 11 月 30 日に開催された、福島第一原子力発電所 1 - 3 号機の炉心損傷状況の推定に関する技術ワークショップ（旧原子力安全・保安院）にて、2、3 号機の炉心スプレイ系からの注水による温度変化等、その時点までに得られた情報を総合的に判断することにより、圧力容器の状況と損傷・熔融した燃料の落下状態を推定した。

炉心・格納容器内の状態推定に関して、その後の現場調査等により得られた知見を反映した各号機の状態推定図を図 1-1~1-3 にまとめる。また、平成 23 年 11 月 30 日で示した状態推定図から追加された情報を次節以降にまとめる。

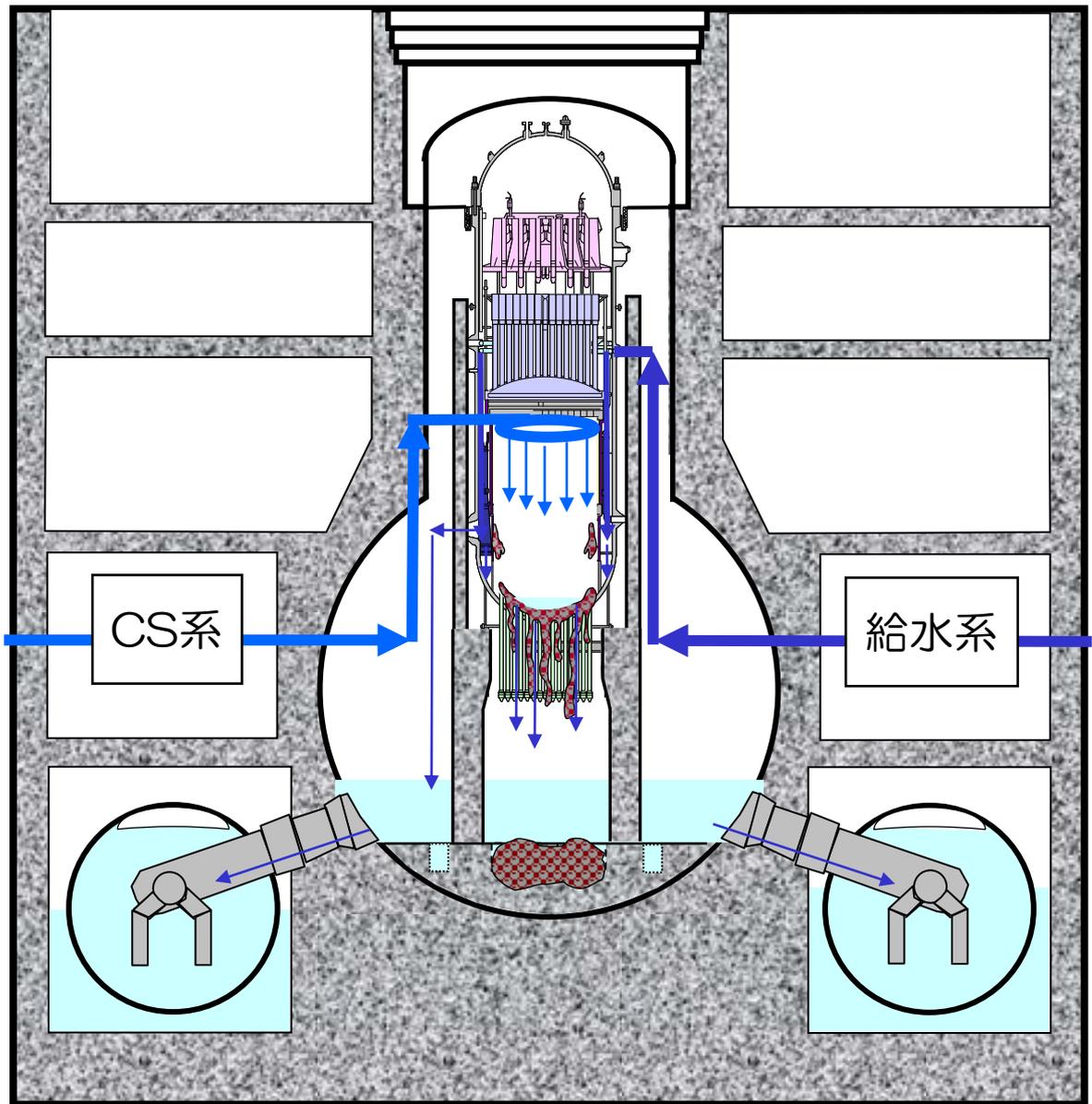


図 1-1 1号機の炉心・格納容器の状況推定図

(注) 燃料の状況推定は第1回進捗報告から変更なし。なお、ここで示した図はイメージであり、燃料デブリの大きさ等について定量的な実態を表すものではない。

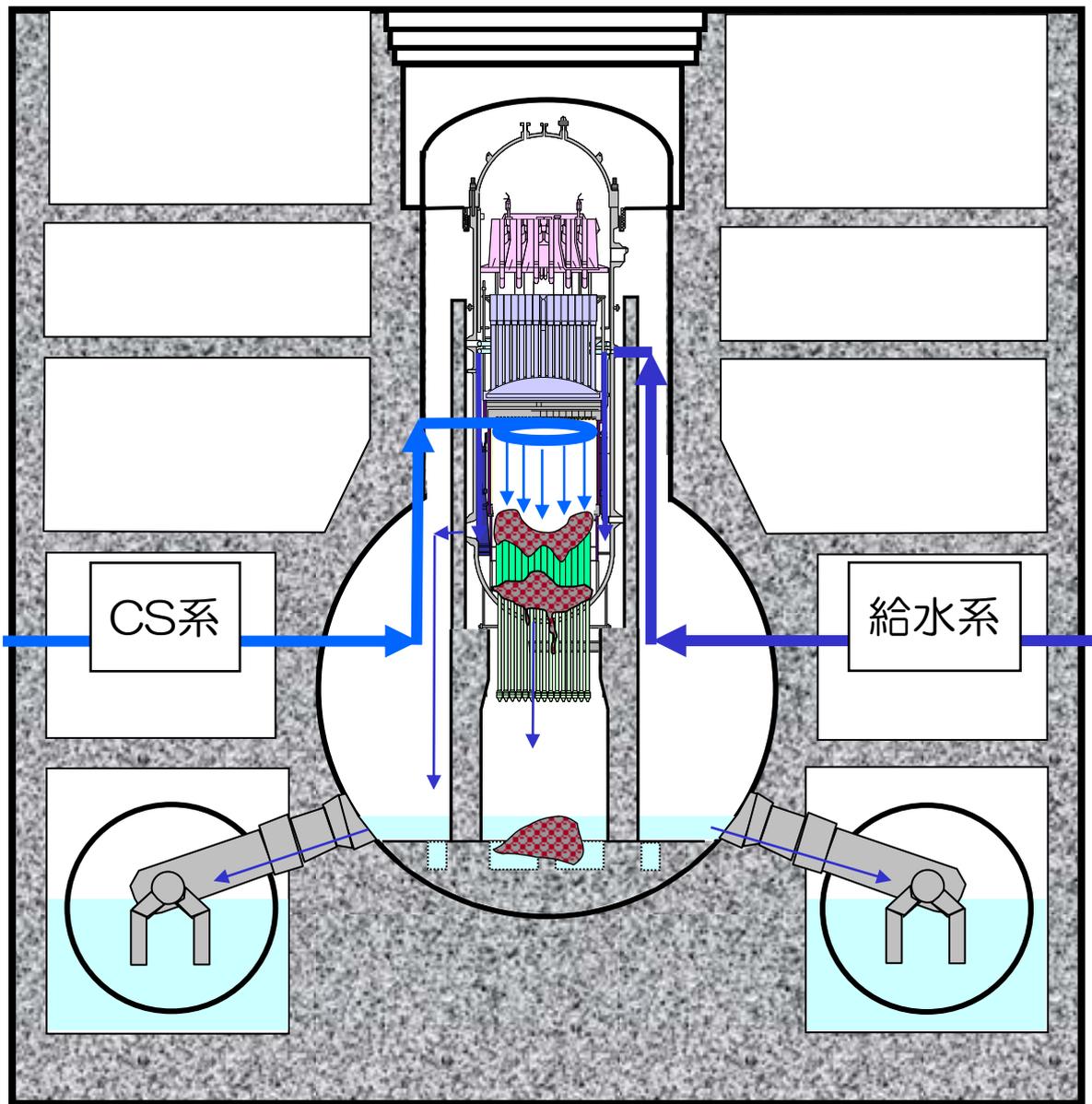


図 1-2 2号機の炉心・格納容器の状況推定図

(注) 燃料の状況推定は第1回進捗報告から変更なし。なお、ここで示した図はイメージであり、燃料デブリの大きさ等について定量的な実態を表すものではない。

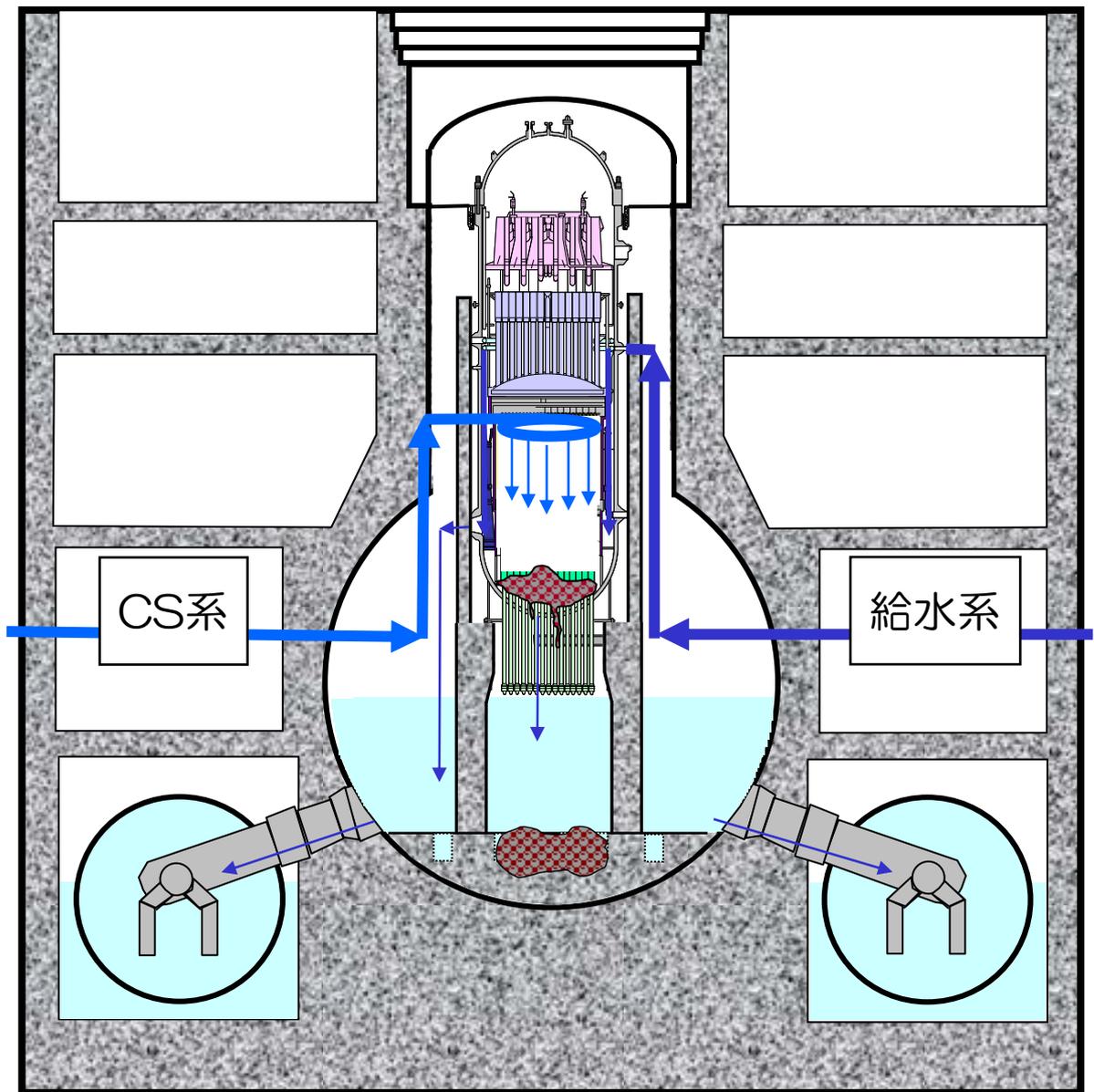


図 1-3 3号機の炉心・格納容器の状況推定図

(注) HPCI の手動停止以前に、原子炉への注水ができていなかった場合の解析結果を反映し、多くの燃料が格納容器内に落下しているとした。なお、ここで示した図はイメージであり、燃料デブリの大きさ等について定量的な実態を表すものではない。

2. 1号機の炉心・格納容器の状態について

(1) 格納容器内水位の測定結果

平成24年10月に実施した1号機格納容器内部調査では、格納容器貫通部(X-100B(原子炉建屋1階))に孔を開け、調査装置を挿入することにより、カメラによる内部撮影や、格納容器内滞留水水位の確認、線量率・温度測定、滞留水の採取・分析等を実施した。^[1]

ここで、格納容器内の滞留水水位は、CCDカメラがグレーチング上部から滞留水水面に接触するまでのケーブル送り長さにより測定し、ドライウェル(D/W)床上約2.8m(平成24年10月10日時点)であることが確認された(図2-1)。

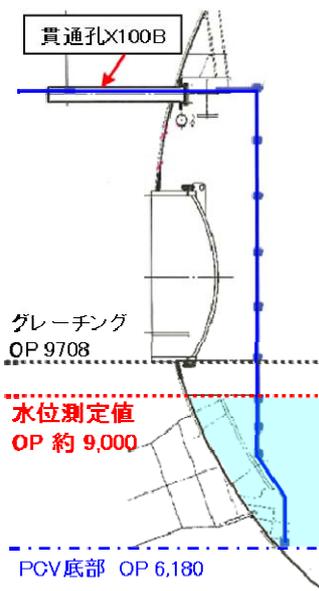


図2-1 1号機格納容器内滞留水水位測定結果

(2) 圧力抑制室への窒素封入試験結果

平成24年9月に実施した圧力抑制室(S/C)への窒素封入試験により、S/C内の上部に事故初期のKr85と水素が残留し、S/C内水位を押し下げると真空破壊装置管を経由してD/Wに放出されたとした推定メカニズムを実証した。これにより、現状のS/C内の水位はほぼ満水(真空破壊装置管下端部付近)であることが確認された。^[2](図2-2)

当試験は、平成24年4月以降、1号機格納容器ガス管理設備で測定する水素濃度及びKr85放射能濃度が間欠的に上昇する事象を受けて、メカニズム検証のため実施したものである。この間欠的上昇は、S/C内水位が低下すると、S/C上部の閉空間内に残留するガスが真空破壊装置管を経てD/Wへ排出され、S/C

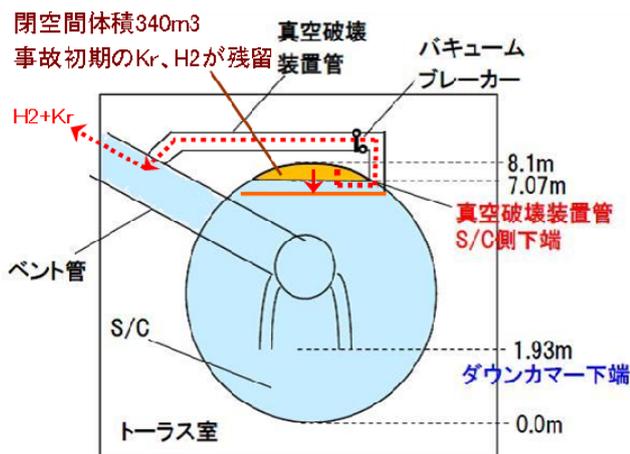


図2-2 1号機S/C内気相部閉空間の状況

[1] 【資料3】個別の計画毎の検討・実施状況、政府・東京電力中長期対策会議運営会議 第11回会合配布資料、平成24年10月22日

[2] 【資料3】個別の計画毎の検討・実施状況、政府・東京電力中長期対策会議運営会議 第9,10回会合配布資料、平成24年8月27日、9月24日

上部のガスが排出されると、再び S/C 内水位が上昇し、再度閉空間となって流出が止まることで発生しているものと推定した。ここで、Kr85 は長半減期の核分裂性生成物であり、自発核分裂等で新たに生成される量としては説明がつかない量であることから、事故初期の残留物由来であると考えられた。

メカニズム検証のため実施した試験では、S/C への窒素封入開始後、S/C 圧力（既設計器の測定値）が上昇したのち、時間遅れを伴って格納容器ガス管理設備で測定する水素濃度及び Kr85 放射能濃度が上昇を開始し、窒素封入を停止すると各濃度は低下を始めた。これは、S/C への窒素封入により、S/C 上部の閉空間内が加圧され S/C 内水位を押し下げ、真空破壊装置管から D/W へのガスの流れが形成されると、閉空間内の残留ガスが封入された窒素により D/W へ押し出されるという挙動を反映したものと考えられる。

なお、平成 24 年 10 月から実施した S/C 内への連続窒素封入により、S/C 内の事故初期の残留水素の大部分はページされた。現在は、S/C 内での水の放射線分解による水素発生への寄与について検証を行っている。

（3）トールス室調査結果

平成 25 年 2 月に実施した 1 号機トールス室調査では、原子炉建屋 1 階北西床面にあけたφ200 の孔より、温度計・線量計・カメラを挿入し、トールス室内の撮影や、線量率・温度測定、滞留水の採取・分析等を実施した。^[3]

S/C の液相漏えい箇所については特定されていないが、カメラ映像によると、S/C の真空破壊弁（8 個あるうちの 1 個）のフランジからの漏水はないことが確認された（図 2-3）。



図 2-3 1 号機トールス室内 S/C 真空破壊弁のカメラ映像（抜粋）

[3]福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃炉措置等に向けた取り組みの進捗状況、廃炉対策推進会議事務局打合せ配布資料、平成 25 年 3 月 7 日

(4) トーラス室ベント管下部調査結果【UPDATE】

平成 25 年 11 月に実施した 1 号機トーラス室調査では、原子炉建屋 1 階北西床面にあけた直径 510mm の孔より、カメラ・線量計を搭載した小型ボートをトーラス室内に投下し、ドライウェルと圧力抑制室を接続する箇所にあるベント管スリーブ端部からの水の流れの有無およびサンドクッションドレン管の外観確認、線量測定を実施した。[4]

カメラ映像による確認の結果、以下の箇所からの流水を確認した（図 2-4）。

- ・ X-5B ベント管（図中①）：外れたサンドクッションドレン管*から水が流出
 - ・ X-5E ベント管（図中④）：ベント管の両脇から S/C 表面をつたって水が流下
- ※ 図中①のサンドクッションドレン管は塩化ビニル製の配管（ドレン管とドレンファンネルをつなぐ配管で、差込構造の継手にて接続されたもの）が外れていたため流水が確認できたが、②～⑧のドレン管では外れていなかったため流水の有無は判別できなかった。また、サンドクッションドレン配管下のコンクリート継目が全周に渡り濡れている様子が確認された。

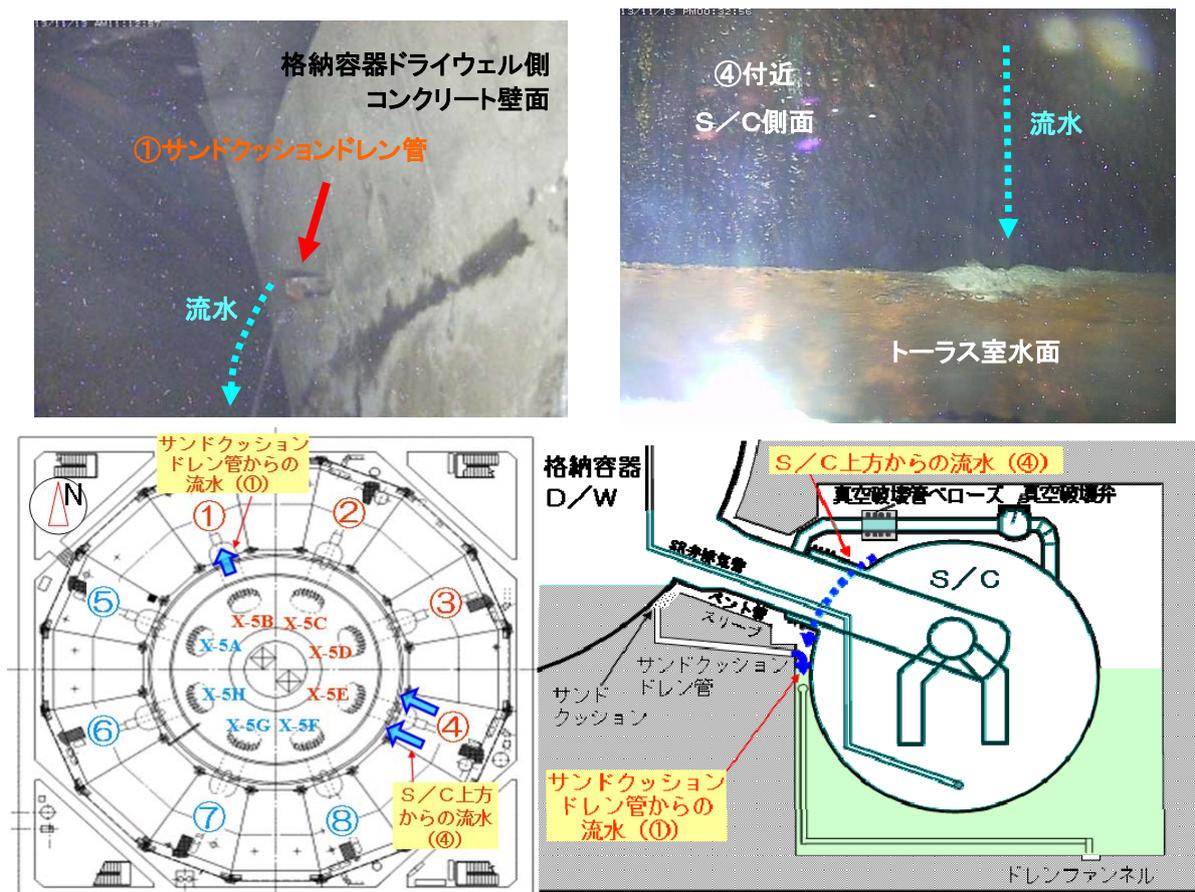


図 2-4 1 号機トーラス室ベント下部調査でのカメラ映像（抜粋）

[4]【資料 3】 個別の計画毎の進捗状況、廃炉対策推進会議第 10 回事務局会議配布資料、平成 25 年 11 月 28 日

サンドクッション部へ水が浸入するのはドライウェル部から直接の漏えいがある場合であり、その漏えい箇所はドライウェルの水面以下の低い位置（例えば格納容器シェル部や配管貫通部など）にあると考えられる。ドライウェルの低い位置に漏えい箇所があるということは、格納容器に落下した燃料の影響を受けた可能性を示していると考えられることから、炉心・格納容器の状態を推定する上で非常に重要な情報である。

また、X-5E ベント管の両脇から S/C 表面をつたって流水していることから、ベント管の真上にある真空破壊管（例えば真空破壊管ベローズなど）から漏えいしていることが推測される。なお、2011年5月に原子炉への注水量を増加させ格納容器内を冠水させようとした際に、窒素封入圧力から換算した格納容器水位の上昇が止まり横ばい傾向となった高さ（OP.約7500mm）、すなわち漏えい口が存在すると考えられていた高さともほぼ一致している（図2-5）。^[5]

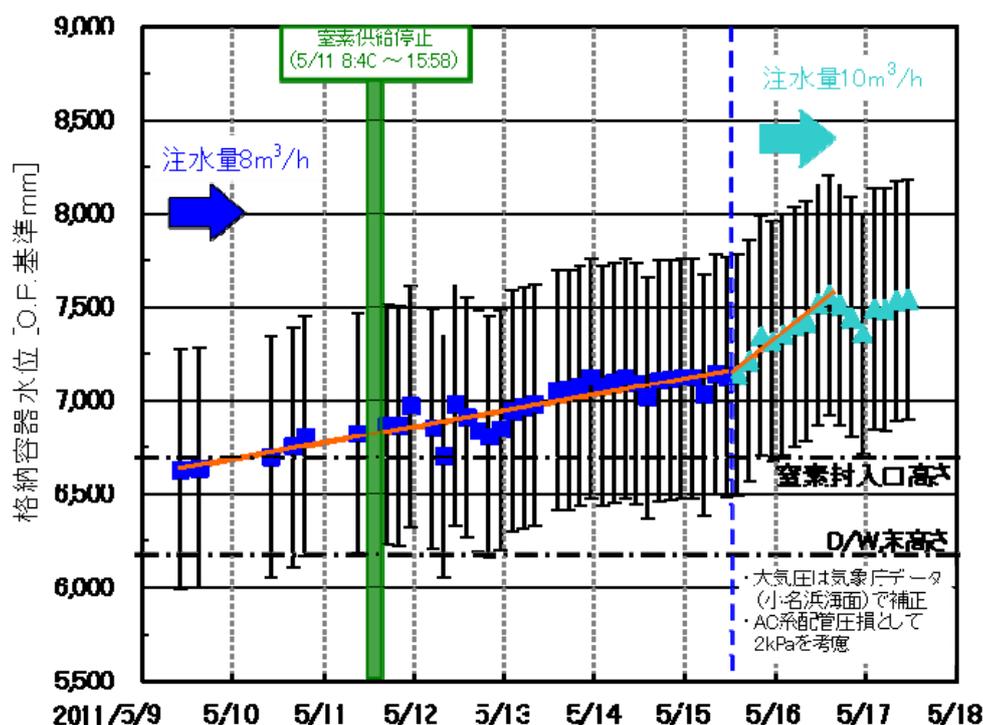


図 2-5 1号機格納容器冠水操作時の格納容器水位（推定）の推移

なお、平成 25 年 11 月の調査で、ボートを投下した際に測定した高さ方向の線量分布は、概ね平成 25 年 2 月に測定した高さ方向の分布（トラス外側位置）と同じ傾向であり、また、航行ルート上の測定線量は概ね 1~2Sv/h で、南東部が最も高い傾向であった（図 2-6）。

[5]特別プロジェクト長期冷却構築チーム配布資料、平成 23 年 5 月 19 日

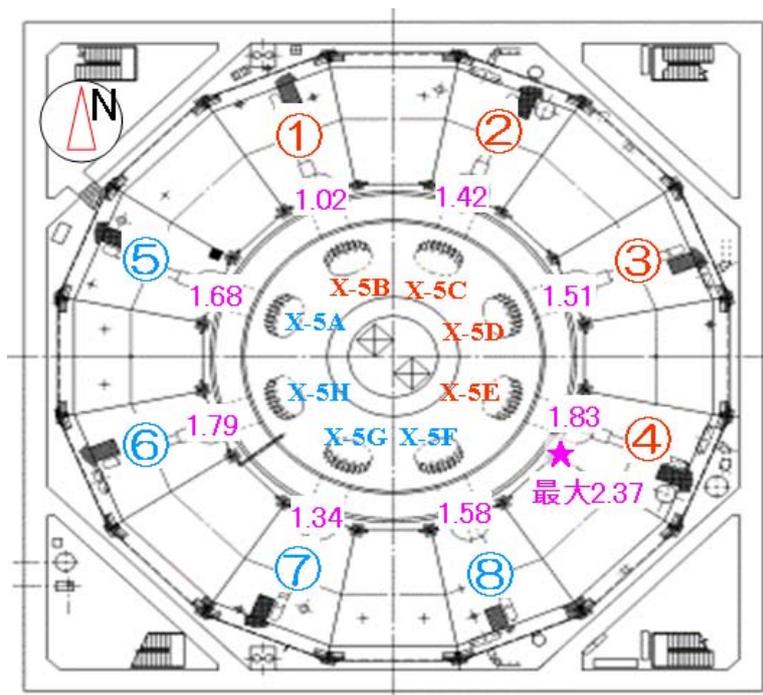


図 2-6 1号機トーラス室ベント下部調査で測定された線量分布

平成 23 年 6 月に原子炉建屋 1 階南東床の配管貫通部から蒸気の噴出を確認していることから推測されるとおり、事故後放射性物質を含む蒸気がトーラス室内に充満したことで、壁や構造物表面に放射性物質が付着していると考えられ、トーラス室内の線量はこれらの汚染線源の重ね合わせと考えられる。なお、トーラス室内滞留水（平成 25 年 2 月 22 日サンプリング測定結果：Cs134=7.3 × 10⁴Bq/cm³、Cs137=1.5 × 10⁵Bq/cm³）から推定される水面上の線量は 100mSv/h 程度であり、滞留水からの放射線は測定値 1～2Sv/h の支配因子にはなっていない。^[6]

つづいて、平成 26 年 5 月には、流水が確認されたベント管 X-5E 近傍の漏えい箇所の特定制を行うため、S/C 上部調査装置を 1 号機原子炉建屋 1 階北西床面の穿孔箇所から投入し、外側キャットウォークを走行させベント管 X-5E 近傍の映像調査を実施したところ、真空破壊ラインの伸縮継手保護カバーのからの漏えいを確認した。また、当該ライン上の真空破壊弁、トーラスハッチ、SHC 系配管、AC 系配管に漏えいは確認されなかった（図 2-7）。^[7]

[6] 1号機トーラス室内線量測定結果に対する考察について、特定原子力施設監視・評価検討会（第7回）配布資料、平成 25 年 3 月 29 日

[7] 【資料 3】個別の計画毎の進捗状況、廃炉・汚染水対策チーム会合第 6 回事務局会議配布資料、平成 26 年 5 月 29 日

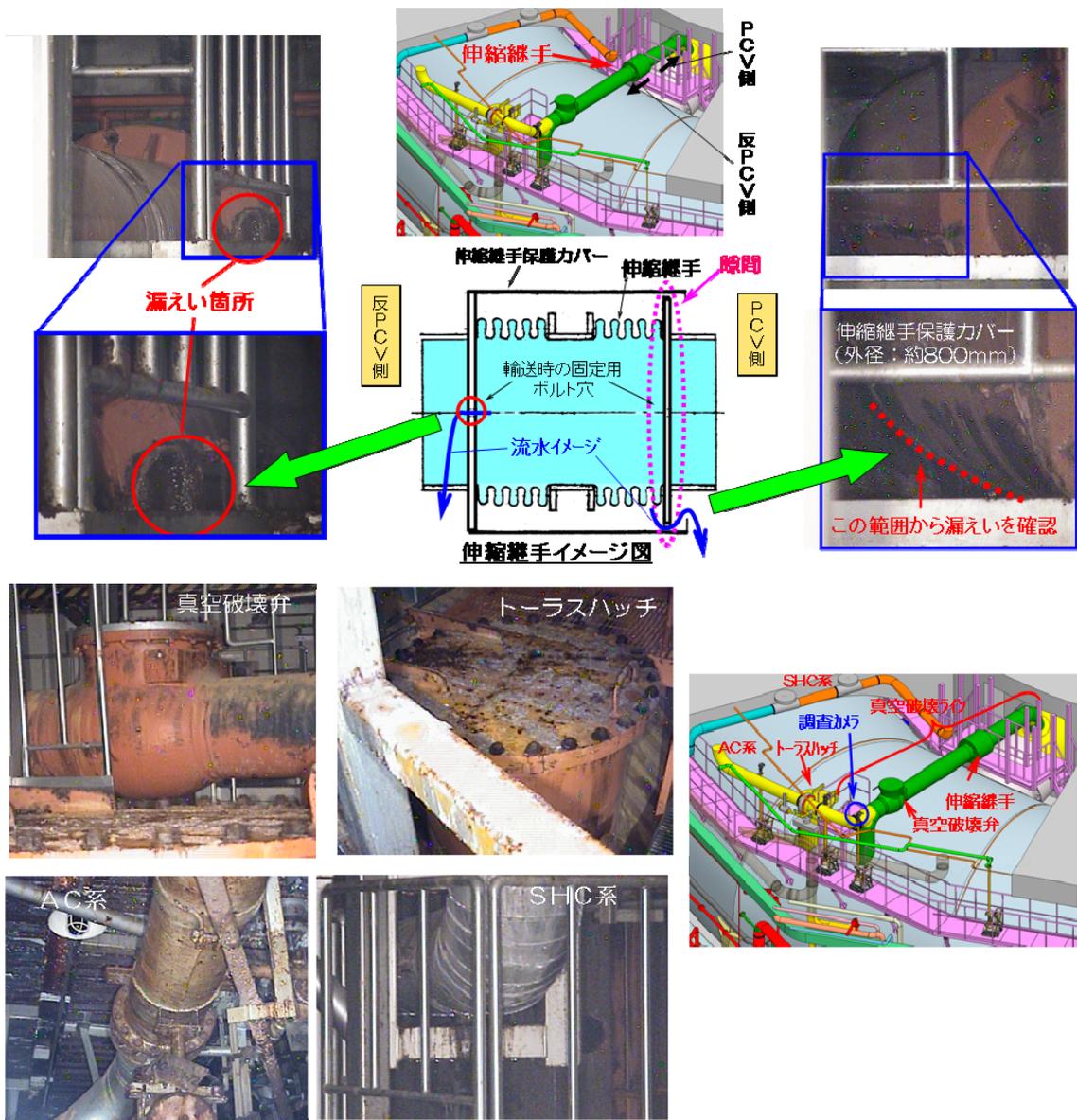
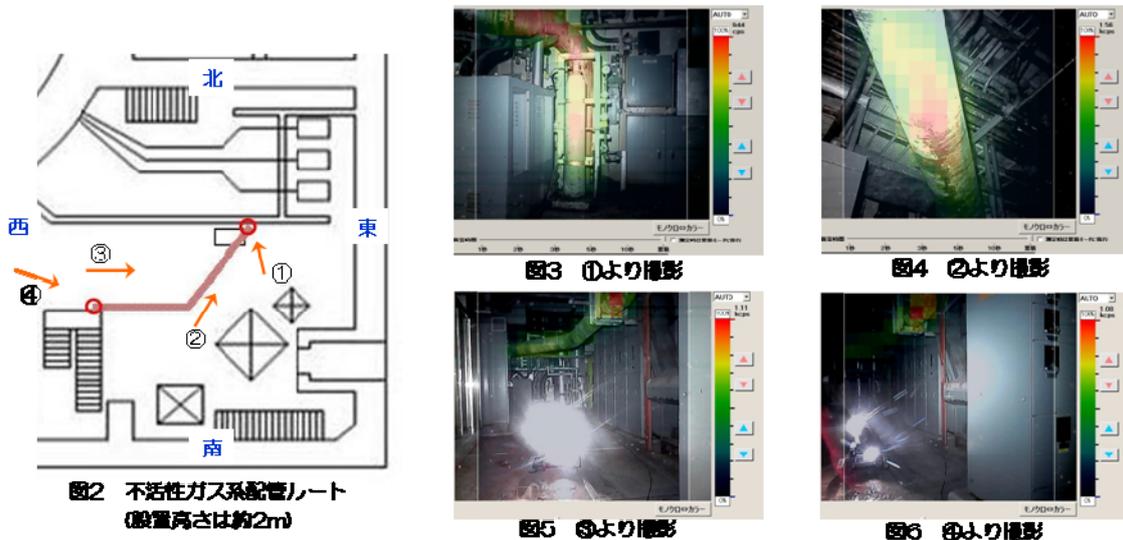


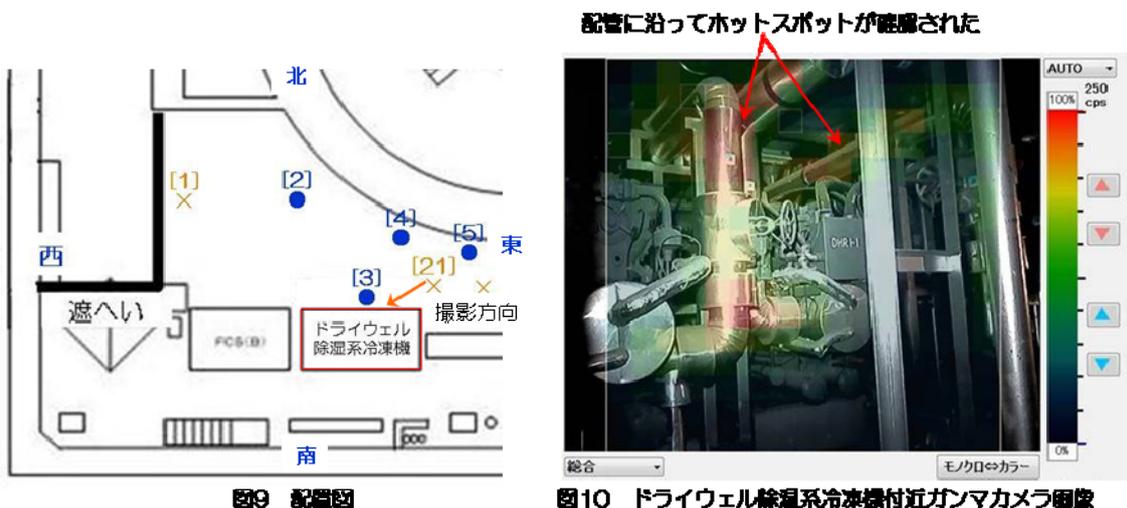
図 2-7 1号機 S/C 上部調査 (ベント管 X5E 周辺) でのカメラ映像 (抜粋)

(5) 原子炉建屋1階汚染状況調査【UPDATE】

平成25年12月に1号機原子炉建屋1階南側の汚染状況調査として、ロボットにて線量測定及びガンマカメラ撮影を実施した結果、不活性ガス系（AC）配管やドライウェル除湿系（DHC）配管の汚染レベルが比較的高いことが確認された（図2-8）。^[8]



(原子炉建屋1階不活性ガス系配管のガンマカメラ測定結果)



(原子炉建屋1階ドライウェル除湿系配管のガンマカメラ測定結果)

図2-8 1号機原子炉建屋1階南側ガンマカメラ撮影結果（抜粋）

[8]【資料3】個別の計画毎の進捗状況、廃炉・汚染水対策チーム会合第2回事務局会議配布資料、平成26年1月30日

AC 系配管は事故時のウェットウェル (W/W) ベントの実施によって蒸気が通過した配管であり、既に高線量であることが確認されている非常用ガス処理系 (SGTS) トレイン室入り口付近や、主排気筒につながる SGTS 配管近傍などと同様に、ベント流の影響による汚染と考えられる。

DHC 系配管は原子炉補機冷却水系 (RCW) と配管が繋がっており、既に高線量であることが確認されている RCW 系配管と同様なメカニズムにより汚染している可能性が考えられる。

3. 2号機の炉心・格納容器の状態について

(1) 格納容器内水位の測定結果

平成24年3月に実施した2号機格納容器内部調査では、格納容器貫通部(X-53(原子炉建屋1階))に孔を開け、調査装置を挿入することにより、カメラによる内部撮影や、格納容器内滞留水水位の確認、線量率・温度測定等を実施した。

[9]

ここで、滞留水水位は、ビデオイメージスコープにより、D/W床上約60cm(平成24年3月26日時点)であることが確認された(図3-1)。

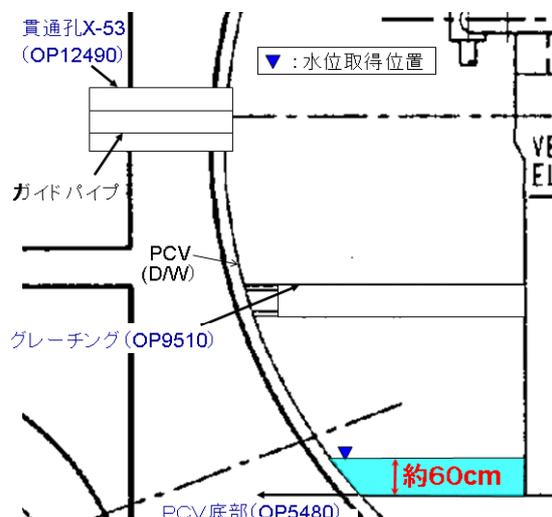


図3-1 2号機格納容器内滞留水水位測定結果

(2) 格納容器内ペDESTAL開口部付近の調査結果【UPDATE】

平成25年7、8月に実施した2号機格納容器内部調査では格納容器貫通部(X-53(原子炉建屋1階))から調査装置を挿入し、制御棒駆動機構(CRD)交換レール及びペDESTAL開口部近傍について、カメラによる内部撮影、線量率・温度測定を実施した(図3-2)。^[10]

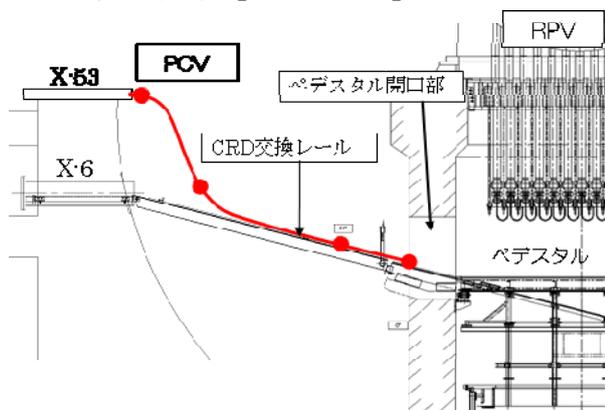


図3-2 2号機格納容器内部調査範囲

ペDESTAL開口部からペDESTAL内部を撮影した画像について、ノイズ除去ならびにコントラスト強調のための画像処理をした結果、ペDESTAL開口部から奥の上部に制御棒位置指示系(PIP)用ケーブルが確認されたが、開口部下部の状況は不鮮明であった(図3-3)。

また、線量計によりCRD交換レール上部までの線量率データが得られ、測定できた範囲では約45~80Sv/hであった。参考としてカメラの画像ノイズからの

[9]格納容器内部調査結果及び漏洩経路の特定に向けた調査計画、東京電力(株)福島第一原子力発電所事故に関する技術ワークショップ、平成24年7月24日

[10]【資料3】個別の計画毎の進捗状況、廃炉対策推進会議第7回事務局会議配布資料、平成25年8月29日

線量推定を実施したところ、CRD 交換レール着座位置で約 30Sv/h、ペDESTAL 開口部近傍で約 36Sv/h であり、CRD 交換レール上ペDESTAL 開口部に近づいても、燃料デブリへの接近を示唆するような急激な線量上昇はみられなかった。



(参考) 5号機ペDESTAL 開口部

図 3-3 ペDESTAL 開口部からのペDESTAL 内部の画像 (画像処理後)

(3) 圧力抑制室への窒素封入試験結果 【UPDATE】

平成 25 年 5 月に実施した S/C への窒素封入試験により、S/C 圧力が 3kPag (平成 25 年 5 月 14 日時点) であることが確認された。S/C 内水位が満水に近い状況であれば相応の水頭圧がかかることから、S/C 内水位の正確な絶対値は不明であるが、窒素封入口 (OP.3780) 程度であることが示された。D/W 内水位が低いことと合わせて、原子炉への注水は D/W からベント管を経由して S/C へ流入、S/C 下部から原子炉建屋へ漏えいしていると推定され、この場合、現状の S/C 内水位はトラス室内の滞留

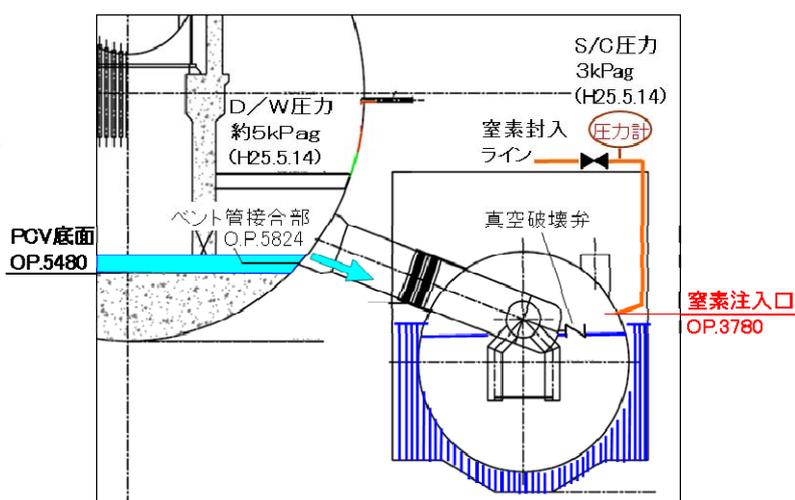


図 3-4 2号機 S/C 内気相部閉空間の推定状況

水水位と同程度と推定される（図 3-4）。^[11]

当試験は、平成 23 年 12 月以降、D/W 圧力減少操作に伴い、2 号機格納容器ガス管理設備で測定する水素濃度及び Kr85 放射能濃度が上昇する事象を受けて、1 号機と同様に、S/C 内に事故初期の水素と Kr85 が残留するかどうかを確認するために実施した。

なお、試験の結果、窒素封入前後の S/C 圧力は、封入開始前の 3 kPag から封入終了後に 7kPag となり、封入する毎に徐々に加圧され、S/C へ窒素が封入されていることが確認されたものの、格納容器ガス管理設備で測定する水素濃度、Kr85 放射能濃度に応答は見られなかった。S/C から D/W へ流れが形成されていない可能性と、流れが形成されたものの既に S/C 内の残留水素の濃度が低く、応答が出なかった可能性とが考えられ、検証のための追加試験を実施した。

平成 25 年 7 月には D/W へ窒素を封入し、D/W 圧力の上昇とそれに追従して S/C 圧力が僅かに上昇することを確認した。また、平成 25 年 10 月には再度 S/C へ窒素を封入し、S/C 圧力が上昇し D/W 圧力と一致した後は、両圧力は連動して上昇する傾向を示した。また、S/C への窒素封入停止後に、S/C 圧力が D/W 圧力に追従して低下した。^[12]

以上から、S/C へ封入した窒素は D/W へ流れていること、一方格納容器ガス管理設備で測定する水素濃度には応答が見られなかったことから、既に S/C 内に水素は残留していないことを確認した。なお、試験期間中の原子炉建屋地下階水位は OP.3400 程度以下であり、S/C 内水位はトーラス室水位と連動（トーラス室水位－内圧押し込み分）すると考えられることから、この際、S/C 内の真空破壊弁（OP.3305）は水没しておらず、当該弁を経由して窒素が流れているものと推定される。

（4）トーラス室調査結果

平成 24 年 4 月に実施した 2 号機トーラス室調査では、ロボットによりトーラス室内の回廊にアクセスし、可能な範囲内で、動画撮影や、線量率測定、音響確認等を実施した。^[13]

S/C の液相漏えい箇所については特定されていないが、カメラ映像によると、S/C のマンホールのフランジ等からの漏水はないことが確認された（図 3-5）。

[11] 【資料 3】 個別の計画毎の検討・実施状況、廃炉対策推進会議第 3 回事務局会議配布資料、平成 25 年 5 月 30 日

[12] 【資料 3】 個別の計画毎の進捗状況、廃炉・汚染水対策チーム会合第 1 回事務局会議配布資料、平成 25 年 12 月 26 日

[13] 【資料 3】 個別の計画毎の検討・実施状況、政府・東京電力中長期対策会議第 5 回運営会議配布資料、平成 24 年 4 月 23 日

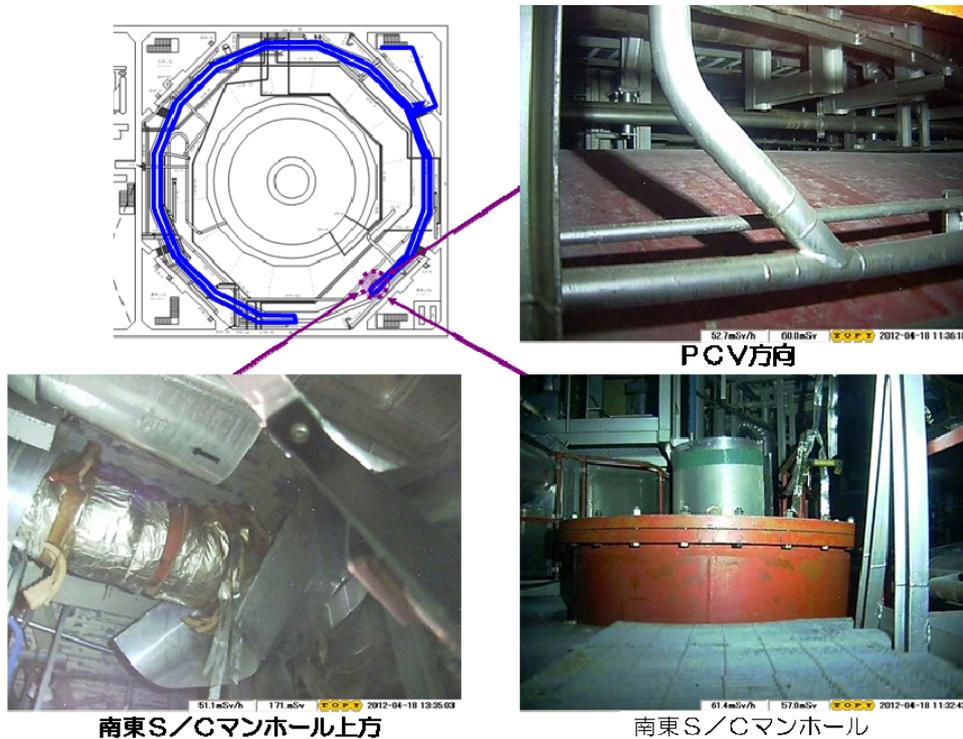


図 3-5 2号機トーラス室内カメラ映像（抜粋）

（5）トーラス室ベント管下部調査結果

平成 24 年 12 月、平成 25 年 3 月に実施した 2 号機トーラス室調査では、ロボットによりベント管下部周辺の調査を行った。ここでは、4 足歩行ロボットのアーム先端に取り付けた小型走行車を S/C 上に着座させて、ベント管付近まで移動し、画像を取得している。[14]

S/C の液相漏えい箇所については特定されていないが、確認できる範囲内ではベント管下部からの漏水はないことが確認された（図 3-6）。

[14] 【資料 3】 個別の計画毎の検討・実施状況、廃炉対策推進会議第 1 回事務局会議配布資料、平成 25 年 3 月 28 日

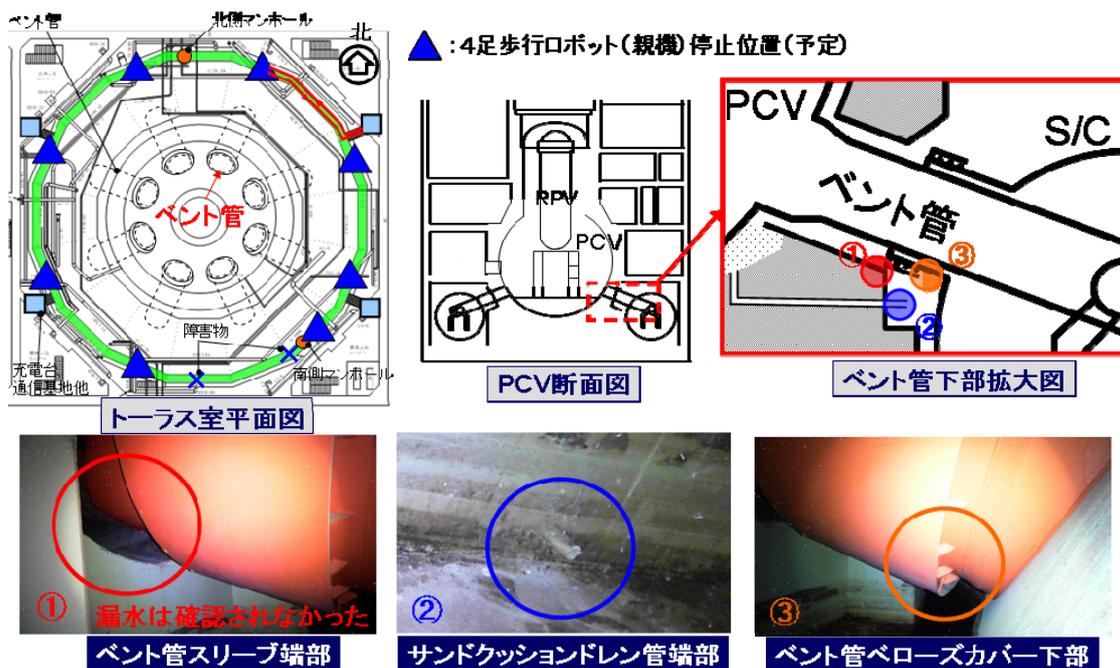


図 3-6 2号機トラス室内ベント管下部カメラ映像（抜粋）

(6) S/C内水位測定結果【UPDATE】

平成26年1月に、遠隔操作でS/C内水位をS/C外面より超音波で測定する技術を用いて、S/C内部構造物（反対側壁面を含む）の反射波を連続的に測定し、その消失位置から水位を特定する方法によりS/C内水位を測定した（図3-7）。

[15]

S/C内水位は、S/Cへの窒素封入試験により推測されたとおり、トラス室内滞留水とほぼ同レベルで連動しており、S/C内の下部（配管含む）から液相漏えいが発生していることが確認された。

測定日	1月14日	1月15日	1月16日
S/C内水位	約OP3, 210	約OP3, 160	約OP3, 150
トラス室滞留水水位（参考）	約OP3, 230	約OP3, 190	約OP3, 160
水位差	約20mm	約30mm	約10mm
測定方法	水中構造物の直接距離計測		

【補足】S/C内の水位は、トラス室滞留水水位の変化の影響を受けると考えられる。



測定時の状況

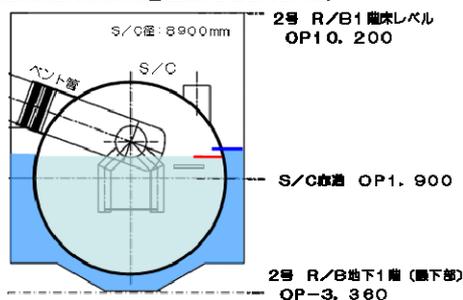


図 3-7 2号機 S/C 内水位測定結果

[15]【資料3】個別の計画毎の進捗状況、廃炉・汚染水対策チーム会合第2回事務局会議配布資料、平成26年1月30日

4. 3号機の炉心・格納容器の状態について

(1) トーラス室調査結果

平成24年7月に実施した3号機トーラス室調査では、ロボットによりトーラス室内の回廊にアクセスし、可能な範囲内で、動画撮影や、線量率測定、音響確認等を実施した。[16]

S/Cの液相漏えい箇所については特定されていないが、カメラ映像によると、S/Cのマンホールのフランジ等からの漏水はないことが確認された(図4-1)。

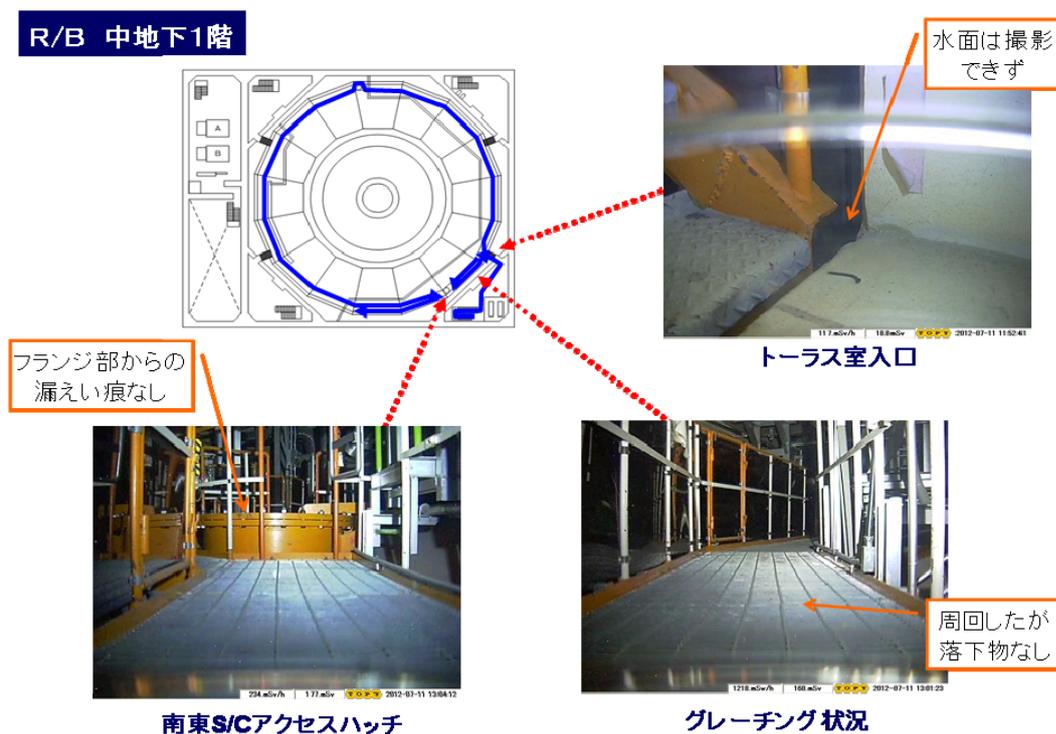


図4-1 3号機トーラス室内カメラ映像(抜粋)

(2) 格納容器内酸素濃度の状況

現在、格納容器へは不活性雰囲気維持のため窒素を封入するとともに、格納容器ガス管理設備により窒素封入量と同程度のガスを排気している。排気ガスの測定により格納容器内の酸素濃度を分析したところ、1、2号機の酸素濃度はほぼ0%である一方、3号機の酸素濃度は8%程度であることが確認された(平成24年7月[17]、平成25年3、4月に再分析)。1、2号機の格納容器圧力が数

[16]【資料3】個別の計画毎の検討・実施状況、政府・東京電力中長期対策会議運営会議第8回会合配布資料、平成24年7月30日

[17]雰囲気ガス測定結果に基づく原子炉格納容器内の状況について、東京電力(株)福島第一原子力発電所事故に関する技術ワークショップ、平成24年7月23日

kPag で正圧を維持している一方、3号機の格納容器圧力はほぼ大気圧で変動がないことと合わせて、現状の格納容器気相部の漏えいの程度は3号機が最も大きいことが確認された。

(3) MSIV 室の漏えい水調査結果【UPDATE】

平成26年1月に、3号機原子炉建屋瓦礫撤去用ロボットのカメラ画像を確認していたところ、原子炉建屋1階北東エリアの主蒸気隔離弁（MSIV）室の扉付近から、その近傍に設置されている床ドレンファンネルに向かって水が流れていることを確認した（図4-2）。^[18]

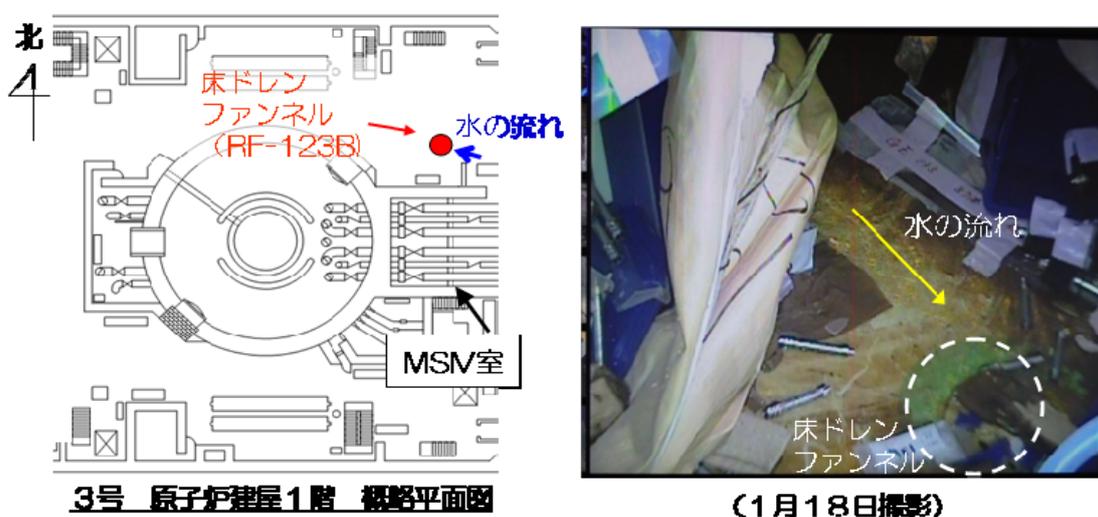


図4-2 3号機 MSIV 室扉付近からの漏水の確認

既設の S/C 圧力計の測定値を水頭圧に換算することで求めた格納容器内水位はおよそ OP.12m（原子炉建屋1階から2m程度上）で、主蒸気配管の格納容器貫通部と同程度の高さであり、流水の発生源として MSIV 室内の格納容器貫通部からの液相漏えいの可能性が推定される。そこで、平成26年4、5月に、MSIV 室内の流水箇所の特定のため、上階に位置する原子炉建屋2階空調機室から装置を挿入し、室内のカメラ撮影及び線量測定を実施したところ、主蒸気配管 D の伸縮継手周辺からの漏えいを確認した。また、主蒸気配管 A、B、C、主蒸気系ドレン配管からの漏えいは確認されず、床面の水の流れの状況から判断しても、漏えい箇所は主蒸気配管 D のみと推定した（図4-3）。^[19]

[18]【資料3】個別の計画毎の進捗状況、廃炉・汚染水対策チーム会合第2回事務局会議配布資料、平成26年1月30日

[19]【資料3】個別の計画毎の進捗状況、廃炉・汚染水対策チーム会合第6回事務局会議配布資料、平成26年5月29日

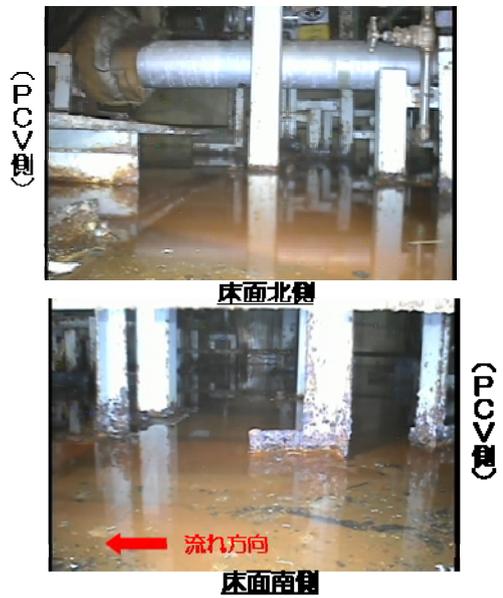
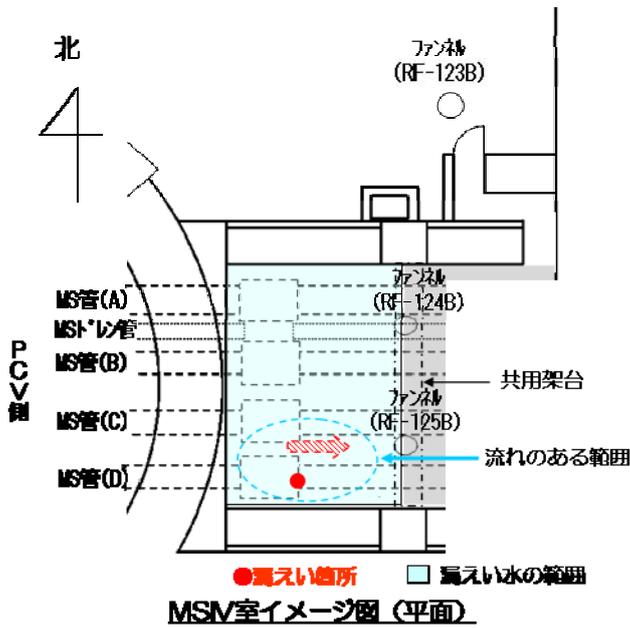
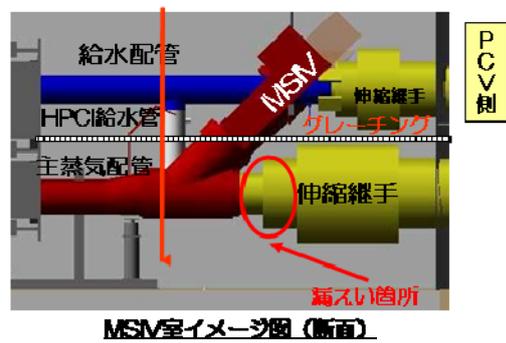
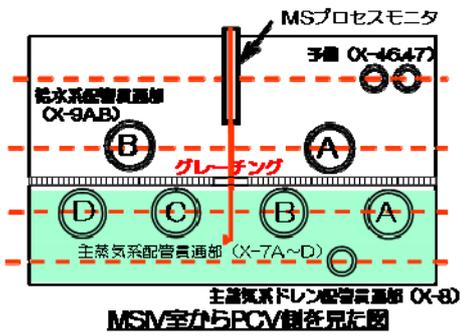
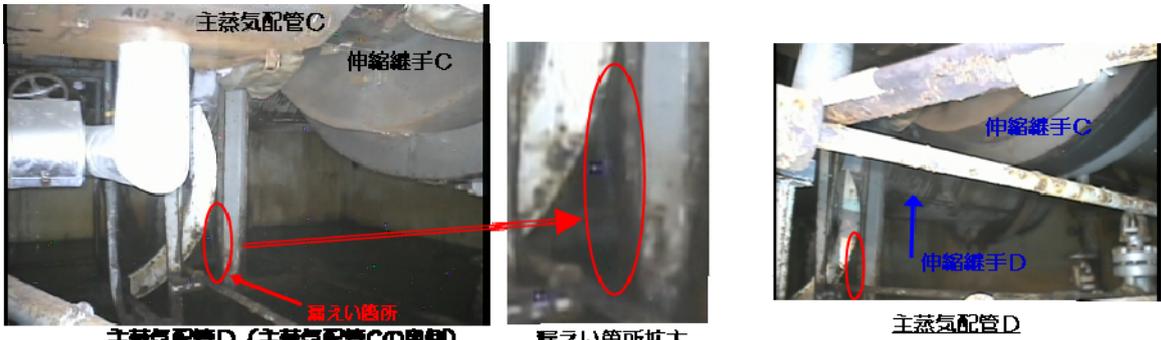


図 4-3 3号機 MSIV 室内主蒸気配管 D からの漏水の確認