

発電用原子炉施設故障等報告書

平成26年 6月30日

東京電力株式会社

件名	福島第一原子力発電所 汚染水貯留設備RO濃縮水貯槽からの漏えいについて
事象発生の日時	平成25年8月19日14時28分 (福島第一規則第18条第12号に該当すると判断した日時)
事象発生の場所	福島第一原子力発電所
事象発生の発電用原子炉施設名	汚染水処理設備等 貯留設備 (タンク等) 中低濃度タンク RO濃縮水貯槽
事象の状況	<p>1. 事象発生時の状況</p> <p>平成25年8月19日9時50分頃、汚染水貯留設備の現場パトロールを実施していた当社社員が、H4北エリアRO濃縮水貯槽（鋼製円筒型タンク：フランジボルト締めタイプ）周辺に設置してある堰（以下、「当該堰」という。）の中に水が溜まっていること、及び当該堰の外側2箇所に水溜まりがあることを発見した。</p> <p>また、当該堰に設置してある降雨水排水用ドレン弁（以下、「ドレン弁」という。）2箇所（常時「開」運用^{*1}）から、当該堰内に溜まった水が堰外へ流出していることを確認したため、直ちに流出が確認されたドレン弁2箇所及び近隣にあるドレン弁1箇所を閉止した。</p> <p>水溜まりの状況を確認したところ、当該堰内では深さ約1cm、当該堰外では約3m×約3mの範囲で深さ約1cmと約0.5m×約6mの範囲で深さ約1cmであることを確認した。</p> <p>現場確認中に当社社員が携行していた警報付電子式線量計（以下、「APD」という。）の警報（設定値：β線5mSv、γ線0.8mSv）が鳴動したことから、当該堰外にある水溜まりの雰囲気線量当量率を測定したところ、最大で98.5mSv/h（70μm線量当量率（β線））を超えている線量率^{*2}を確認した。</p> <p>その後、H4北エリアに設置してあるRO濃縮水貯槽26基の外観について目視確認を実施したが、タンク表面に亀裂や漏えい等の異常は確認されなかったことから、水溜まりの発生原因の特定には至らなかった。</p> <p>水溜まりの発生原因は特定出来ないものの、当該堰内に溜まっていた水がドレン弁を通じて堰外へ漏えいしていたこと、当該堰外にある水溜まりで高い放射線量が測定されたことから、H4北エリアRO濃縮水貯槽に貯留しているRO濃縮水が漏えいした可能性があると判断し、8月19日14時28分に福島第一規則第18条第12号「発電用原子炉施設の故障その他の不測の事態が生じたことにより、核燃料物質等（気体状のものを除く）が管理区域内で漏えいしたとき」に該当すると判断した。</p> <p>なお、前日の8月18日17時頃に実施した現場パトロールにおいては、当該堰内に水溜まりはあるが堰外に明確に認識出来るような水溜まりは確認されていないこと、8月18日17時頃から水溜まりを発見するまでの間、発電所敷地内に設置した感雨計で降雨は感知されていないことを確認した。</p> <p>当該堰内に溜まった水については、仮設ポンプ及び仮設タンクを設置し、8月19日19時頃から同日24時頃にかけて約4m³の水を回収したが、8月20日1時頃に当該堰内を確認したところ、H4北エリアI群にあるRO濃縮水貯槽No.5タンク（以下、「当該タンク」という。）付近から水溜まりが広がっているように見えること、及び8月20日7時頃に確認した際には水溜まりの深さが約3cmまで上昇していることを確認した。</p> <p>また、8月20日7時頃に当該タンクの上蓋を開けて水位を目視確認したところ、本来なら天井から約0.5mにあるべき水面が天井から約3mまで低下していることを確認した。</p>

事象の状況

H4北エリアI群のRO濃縮水貯槽5基は連結配管で接続されており、RO濃縮水を受け入れる時には、RO濃縮水貯槽5基の水位が均等になるよう連結配管の弁を開けた状態で受け入れており、受け入れ後に連絡配管の弁を閉止している。

その後、当該タンク及びH4北エリアI群にある他のRO濃縮水貯槽4基（No.7～No.10タンク）について、タンク上蓋を開けて水位（巻尺を用いてタンク天井から水面までの距離）を測定したところ、他のRO濃縮水貯槽4基の水面は、タンク天井から0.5～0.6m程度、当該タンクの水面については、タンク天井から約3.4mの位置であったことから、水溜まりの発生原因については、8月20日9時40分に当該タンクからのRO濃縮水の漏えいであると判断した。なお、同一堰内で水溜まりのあった付近のタンクについて同様にタンク水位を測定し、異常のないことを確認している。

当該タンクの水位低下が約3mであることから、漏えい量は約300m³（タンク内径約12m）であることを確認したが、当該堰内に溜まっていた水の回収量や当該堰外で確認された水溜まりの量から考えると、当該タンクから漏えいしたRO濃縮水の大半は当該堰外に流出して土壌に浸透した可能性が高いと推定した。

なお、8月19日採取の当該堰内に溜まっている水の放射能濃度は、Cs-134が $4.6 \times 10^1 \text{Bq/cm}^3$ 、Cs-137が $1.0 \times 10^2 \text{Bq/cm}^3$ 、Co-60が $1.2 \times 10^0 \text{Bq/cm}^3$ 、Mn-54が $1.9 \times 10^0 \text{Bq/cm}^3$ 、Sb-125が $7.1 \times 10^1 \text{Bq/cm}^3$ 、H-3が $2.1 \times 10^3 \text{Bq/cm}^3$ 、全βが $2.8 \times 10^5 \text{Bq/cm}^3$ であった。また、8月23日採取の当該タンクの水の放射能濃度は、Cs-134が $4.4 \times 10^1 \text{Bq/cm}^3$ 、Cs-137が $9.2 \times 10^1 \text{Bq/cm}^3$ 、Co-60が検出限界値未満（検出限界値： $3.8 \times 10^0 \text{Bq/cm}^3$ ）、Mn-54が検出限界値未満（検出限界値： $5.2 \times 10^0 \text{Bq/cm}^3$ ）、Sb-125が $5.3 \times 10^1 \text{Bq/cm}^3$ 、Sr-90が $1.5 \times 10^5 \text{Bq/cm}^3$ 、H-3が $2.4 \times 10^3 \text{Bq/cm}^3$ 、全βが $4.1 \times 10^5 \text{Bq/cm}^3$ であった。

事象発生当日の現場確認において、H4北エリアから東側にあるB排水路、及びH4北エリアから南東側にある沈砂池までの地表面に水の流れは確認されなかったが、H4北エリア周辺の表面線量当量率等を測定したところ、H4北エリア周辺に設置してある土のう式堰の外側地表面（B排水路近隣）で、最大95.55mSv/h（70μm線量当量率（β線））の地点があることを確認した。

また、8月21日に実施した現場確認において、B排水路のコンクリート壁面に筋状の流れた痕跡を確認したため、コンクリート壁面の表面線量当量率を測定したところ、最大5.80mSv/h（70μm線量当量率（β線））であったことから、汚染した土砂等が排水路に流れ込んだ可能性があることが判明した。

なお、事象発生前後でモニタリングポスト指示値に有意な変動は確認されていない。

※1 旧原子力安全・保安院からの指示文書に対して提出した「福島第一原子力発電所における淡水化装置濃縮水貯槽からの放射性物質を含む水の漏えいを踏まえた対応について（報告）」（平成24年4月5日）において、「雨水が溜まらないよう集水柵には隔離弁を設けておき、万一タンクからの漏えいが確認された場合は速やかに閉じる運用とする」と報告し常時「開」運用としていた。

※2 測定器の計測上限

2. タンクからの漏えい拡大防止策（応急対策）

2-1. 当該タンクからの漏えい拡大防止策

(1) 当該タンクからの漏えい防止策

当該タンク内に貯留されているRO濃縮水の漏えいを防止するため、RO濃縮水については、8月20日21時55分から8月21日21時13分にかけて、仮設ポンプによりH4北エリアB群に設置してあるRO濃縮水貯槽No.10タンクへ移送した。

(2) 当該堰内における漏えい範囲の拡大防止策

当該堰内における漏えい範囲の拡大を防止するため、当該タンクからの漏えいが顕著な箇所について、8月19日に吸水マットを設置するとともに、その周辺に土のうを設置した。さらに、漏えいした汚染水の回収や漏えい箇所の特定に伴い、土のう仕切り範囲を順次縮小することで、漏えい範囲の拡大防止を図った。

また、当該タンク周辺に設置した土のう内に溜まった水については、断続的に仮設タンクへ回収を行っていたが、8月20日21時55分から8月22日15時00分にかけて、仮設タンク内の水を仮設ポンプによりH4北エリアB群に設置してあるRO濃縮水貯槽No.10タンクへ約8m³移送した。

事 象 の 状 況

(3) H4北エリア周辺における漏えい拡大防止策

当該タンクから漏えいした汚染水の大半が当該堰外に流出して土壌へ浸透した可能性が高いこと、H4北エリア周辺に設置してある土のう式堰の外側地表面で高い放射線量が測定された地点があったことから、H4北エリア周辺における漏えい拡大やB排水路への流出を防止するため、8月20日に以下の応急対策を実施した。

- a. 土のう式堰の隙間から漏えいが拡大するのを防止するため、土のう式堰の前面または背面に盛土を設置した。
- b. 土のう式堰を設置していない箇所から漏えいが拡大するのを防止するため、盛土（一部は土のう）と遮水シートによる土堰堤を設置した。
- c. 降雨水等が土壌へ浸透することにより、漏えいした汚染水や土砂等が排水路に流れ込むのを防止するため、土のう式堰の外側で高い放射線量が測定された地点までの道筋に遮水シートやブルーシートを設置した。

(4) 汚染土壌の回収

当該タンク周囲の堰内の表面及び当該堰外の地表面の放射線量測定を実施した結果、漏えいしたタンクから側溝（B排水路）に向かって汚染範囲が認められた。

このため、汚染土壌の回収を8月23日より開始した。なお、当該堰に設置してあるドレン弁の線量が高かった当該堰南側周辺についても、漏えいした汚染水が流れ込んだと想定されるため、土壌を回収した。

- a. 回収にあたり、線量調査結果を踏まえて汚染範囲を特定した後、当該範囲の土壌を回収し、角形タンク等に保管している。また、掘削毎に線量を確認し、原則として70μm線量当量率（β線）が0.01mSv/h未満になるまで掘削を行った。
- b. ただし、タンクエリアの基礎の直近など、一部のエリアでは70μm線量当量率（β線）が0.01mSv/h未満になる前に作業上の安全性を考慮して掘削を中止した。
- c. また、無線中継所付近については、多数の干渉物等が有ることから、可能な範囲で回収を実施したが、一部のエリアでは70μm線量当量率（β線）が0.01mSv/h未満になるまで掘削することが出来なかった。
- d. 回収した汚染土壌の総量は、878m³であった。

(5) 排水路内の汚染土砂回収

漏えいしたタンク付近の側溝（B排水路）コンクリート壁に汚染が認められたため、B/C系排水路合流部に土のうを設置し（8月27日完了）、H4北エリア周辺のB系排水路の清掃を実施した（9月11日完了）。

排水路内の土砂については、排水路内に留まった水を回収・移送後、堆積した土砂を回収するとともに、排水路周辺部の除草を実施した。回収した水及び土砂等については、鋼製角形タンク群へ移送し保管した。

2-2. タンク周辺の監視強化

当該タンクからのRO濃縮水の漏えい事象を踏まえて、漏えい拡大防止や本事象の影響確認のために以下の対策を実施した。

(1) 堰外への漏えい拡大防止策

当該堰内に溜まった水が堰外に漏えいするのを防止するため、事象発生直後に閉止したドレン弁（3箇所）と同様に当該堰に設置されているすべてのドレン弁（21箇所）について、8月19日に閉止した。また、タンクを設置している全エリアのドレン弁についても8月28日に閉止した。

なお、ドレン弁を閉止後に堰内に溜まった降雨水については、以下の通り運用することとした。

- a. 堰内に溜まった降雨水は仮設タンクにくみ上げ、暫定排水基準を満たしていれば排水する。暫定排水基準を満足しない堰内溜まり水はタンク等に回収する。
- b. 平成25年12月末までの暫定運用として、迅速な対応が求められる場合、堰内の溜まり水を堰内4箇所以上から直接採取・分析して、測定結果（前回（直近実績）と今回）が暫定排水基準を満たしていれば、ドレン弁を開、もしくは排水ポンプにより堰内から直接排水する。

また、平成26年5月21日より、雨水処理設備等により放射性核種を処理後、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関する規則」に定める告示濃度比0.22を下回ったものについては、発電所構内での散水処理を開始した。

(2) タンク周辺の監視強化

- a. タンクからの漏えい状況の変化等を速やかに把握するため、これまで一日2回（2名×2回）の頻度で行っていたタンク周辺の現場状況の確認を、9月2日から頻度及び人数を増やし、9月21日からは一日4回（30名×4回、30名の内訳は3名×10エリア）に増強した。
- b. これまでは、主に漏えいに着眼した目視確認のみであったが、それに加え、個々のタンクの状態を確認するため線量・水位の測定を実施することとした。なお、水位の確認については、全フランジ型タンクを対象に個々のタンクに水位計を設置するまでの措置としてサーモカメラを用いた外部からの定期的な水位確認を実施した。また、水位計を設置したタンクについては、遠隔による水位トレンドの監視を実施している。
- c. パトロール方法の改善としては、個々のタンクについて側面ならびに底部を確実に網羅し、漏えいや疑わしい水溜まりの有無等を点検し記録する方法に見直した。また、漏えい等による状況の変化が定量的に評価出来るように、設備の異常有無情報に加え、日常的な水溜まりや平常時の線量等に関するエリア毎、タンク毎の記録を作成するよう、記録様式を変更した。さらに、これらについて、パトロール員に対して必要な教育・訓練を実施するとともに、パトロール方法に関連する手順書類に、改善内容を反映した。

(3) 汚染の状況把握

漏えいした汚染水が地下水、排水路、海洋へどのように影響しているのかを調査するため、既設の地下水バイパス井戸、調査坑のサンプリングに加え、新たにボーリングを行い、継続的に地下水の放射性物質濃度の測定を行うとともに、排水路の水や海水の放射能濃度分析を継続実施している。

事象の状況

2-3. 類似タンクの点検結果及びリスク低減策

当該タンク内の放射線量が高いことを考慮すると、漏えい箇所の特定期間調査に時間を要する可能性もあることから、発電所構内で使用している当該タンクと同じ全ボルト締めタイプの類似タンク（305基^{※3}）とそのタンク周辺に設置してある堰（以下、「外周堰」という。）について、8月22日に外観点検及び雰囲気線量当量率測定を実施した。

外観点検の結果、すべての類似タンクとその外周堰において、漏えいや水溜まり等の異常は確認されなかったが、雰囲気線量当量率を測定した結果、H3エリアA群RO濃縮水貯槽 No.10 タンク底部のフランジ部近傍で約 69.5mSv/h（70μm 線量当量率（β線））、H3エリアB群RO濃縮水貯槽 No.4 タンク底部のフランジ部近傍で約 99.5mSv/h（70μm 線量当量率（β線））の線量率を確認した。

上記のタンク2基について水位を測定したところ、RO濃縮水受け入れ時と比較して水位低下は確認されなかったことから、タンク2基ともに漏えいの可能性はないと判断した。

なお、念のため、タンク内に貯留しているRO濃縮水の漏えいリスクを低減する観点から廃液RO供給タンクへ水移送を行うこととし、H3エリアA群RO濃縮水貯槽 No.10 については平成25年9月11日、H3エリアB群RO濃縮水貯槽 No.4 タンクについては平成26年1月31日に移送完了した。

※3 フランジ型タンクは底板止水構造により TYPE-1～5に大別され、設置数305基の内訳はTYPE-1は120基、TYPE-1'は20基、TYPE-2は37基、TYPE-3とTYPE-4は59基、TYPE-5は69基である。なお、当該タンクはTYPE-1である。

2-4. 使用履歴調査結果及びリスク低減策

当該タンクの使用履歴調査を進めているなかで、当該タンクを含むタンク3基について、元々はH1東エリアに設置した No.3、No.4、No.8 タンクであったが、タンク設置後の水張り試験中にタンク周辺の基礎部分が一部沈下したため、平成23年8月上旬に解体していること、及び解体後のタンク3基はH2エリアに移設する計画であったが、実際には当該タンクを含めH4北エリアに移設（他のタンク2基はH4北エリアI群RO濃縮水

<p>事象の状況</p>	<p>貯槽 No.10 タンク及びH4北エリアII群RO濃縮水貯槽 No.3 タンク) していることが判明した。</p> <p>なお、H4北エリアに移設した後は、平成23年10月に水張り試験を実施してタンク3基ともに漏えい等の異常がないことを確認していた。</p> <p>当該タンクと同様の経緯を辿ったタンク2基については、タンク内に貯留しているRO濃縮水の漏えいリスクを低減する観点から水移送を行うこととした。H4北エリアII群RO濃縮水貯槽 No.3 タンク内のRO濃縮水については、H4北エリアB群に設置してあるRO濃縮水貯槽 (No.10 タンク) へ受け入れ可能な量の移送を実施済みであり、残りの水の移送は今年度実施予定のフランジ型タンクからの水抜きにあわせて計画する。(H4北エリアI群RO濃縮水貯槽 No.10 タンクについては8月27日に移送完了)</p>
<p>事象の原因</p>	<p>1. 原因調査内容及び結果</p> <p>当該タンクからの漏えい箇所及び漏えい原因の特定のために以下の通り調査を実施した。調査は、当該タンクの構造から、漏えい箇所として推定される部位について、タンクの解体前、解体中、解体後に分類して調査を行った。また、調査対象は、側板及び底板における母材(溶接部)とフランジ部、ならびに他タンクとの連結配管と隣接弁とした。</p> <p>1-1. タンク漏えい箇所の調査結果(解体前)</p> <p>(1) 側板</p> <p>a. 母材(溶接部)</p> <p>①外面目視確認</p> <p>側板外面について、タンク内保有水の水抜き前に行った目視確認の結果、有意な漏えいは確認されなかった。</p> <p>②外面線量測定</p> <p>タンク内の高いβ線量を有するRO濃縮水が漏えいした場合、漏えい痕は高いβ線量を示すと考えられるため、側板外表面の線量測定を行った。測定の結果、側板1段目板材の下部と周方向フランジ材との溶接部近傍において、比較的線量の高い部位(約40mSv/h(70μm線量当量率(β線)))が1箇所確認された。(局所的な錆の発生も確認)</p> <p>また、その他の箇所では漏えいを示唆するような高線量箇所は認められなかった。</p> <p>③側板外面局所バキューム試験</p> <p>側板外面において比較的高線量が確認された箇所(発錆部)について、念のためタンク外面からの局所バキューム試験を行った。試験の結果、当該部に塗布した発泡液からの継続的な泡の発生は確認されず、漏えいパスとして想定されるタンク内面の溶接部付近に塗布したムースの吸い込みも確認されなかったため、漏えいパスは確認されなかった。</p> <p>④内面目視確認</p> <p>側板内面について、タンク内部から行った目視確認の結果、側板1段目板材と縦フランジ材との溶接部の近傍において、一部に錆の発生と思われる変色部が確認された。確認された錆と思われる変色部の表面付着物は容易に剥離するものであり、付着物剥離後のタンク内表面には塗装が概ね残存していた。</p> <p>b. フランジ部</p> <p>①外面目視確認</p> <p>「(1)側板 a. 母材(溶接部) ①外面目視確認」と同様に行った目視確認の結果、有意な漏えいは確認されなかった。</p> <p>②外面線量測定</p> <p>「(1)側板 a. 母材(溶接部) ②外面線量測定」と同様に行った線量測定の結果、漏えいを示唆するような高線量箇所は確認されなかった。</p> <p>③内面目視確認</p> <p>「(1)側板 a. 母材(溶接部) ④内面目視確認」と同様に行った目視確認の結果、フランジ部(周方向及び縦方向)内面のシーリング材の変形、剥離及びパッキンの飛び出しを一部確認した。</p> <p>④内面線量測定</p> <p>タンク内部から行った線量測定の結果、フランジ部(周方向及び縦方向)内面の線量は概ね10mSv/h程度(70μm線量当量率(β線))で、最大でも約20mSv/h程度(70μm線量当量率(β線))であり、著しく線量の高い部位は確認されなかった。</p>

事象の原因

(2) 底板

a. 母材 (溶接部)

①底板バブリング試験

タンク内部に低水位で水を張った状態で底板下部 (底板とコンクリート基礎との隙間) を空気により加圧し、タンク内部での気泡発生有無を確認する底板バブリング試験を行った。試験の結果、タンク内部での気泡の発生は確認されず、漏えいパスは確認されなかった。

②底板下部バキューム試験

タンク水抜き後、底板下部 (底板とコンクリート基礎との隙間) をタンク外部から真空ポンプにて吸引し、タンク内部に塗布したムースの吸い込み有無を確認する底板下部バキューム試験を行った。試験の結果、底板フランジ取り付け溶接部において泡は吸込まれず、漏えいパスは確認されなかった。

b. フランジ部

①底板バブリング試験

「(2) 底板 a. 母材 (溶接部) ①底板バブリング試験」と同様に行った試験の結果、気泡の発生は確認されなかった。

②内面目視確認

タンク内部から行った目視確認の結果、フランジ部のシーリング材の膨らみが一部確認された。

③ボルト打診試験

底板フランジ部のボルト打診試験の結果、ボルト (5本) に緩みが確認された。

④内面線量測定

タンク内部から行った線量測定の結果、底板フランジ部の線量は概ね 10mSv/h 程度 (70 μ m 線量当量率 (β 線)) で、最大でも約 22mSv/h (70 μ m 線量当量率 (β 線)) であり、著しく線量の高い部位は確認されなかった。

⑤底板下部バキューム試験

「(2) 底板 a. 母材 (溶接部) ②底板下部バキューム試験」と同様に行った試験の結果、底板フランジ部のうち隣り合う2本のボルト部 (ボルト打診試験で緩みが確認されたボルトではない) から泡の吸い込み (漏えいパスと考えられる貫通部が存在すること) が確認された。

⑥底板局所バキューム試験

底板下部バキューム試験にて泡の吸い込みが確認された箇所について、タンク内部から局所バキューム試験を行った。試験の結果、当該部に塗布した発泡液による当該ボルト部での発泡 (漏えいパスと考えられる貫通部が存在すること) が確認された。

なお、念のため、緩みが確認されたボルト (5本) 及びシーリング材の膨らみが確認された代表部についても試験を実施したが、発泡は確認されなかった。

(3) 連結配管及び隣接弁

a. 外観目視確認

当該タンクと隣接するタンクを接続するための連結配管、及び連結配管に設置されている当該タンク隣接弁に対して、水抜き前に行った外観目視検査の結果、有意な漏えいは確認されなかった。

b. 線量測定

連結配管及び隣接弁の線量測定の結果、漏えいを示唆するような高線量箇所は確認されなかった。

1-2. タンク漏えい箇所の調査結果 (解体中)

(1) 側板

a. フランジ部

①ボルトのトルク測定

側板1段目の縦方向フランジ及び底板と接続する周方向フランジのボルトについてトルク測定を行った。測定の結果、平均して縦方向フランジでは約 390N \cdot m、周方向フランジでは約 450N \cdot m のトルク値であり、締付け時のトルク値 (縦 950N \cdot m、周 600N \cdot m) からの低下が見られた。また、底板フランジ (後述) と比較するとトルク値は高い傾向であった。

なお、側板フランジのボルトはタンク外面に位置しており、タンク設置後に 2 回の増し締めを実施している。

(2) 底板

a. フランジ部

①フランジ面間・段差測定

底板フランジ部のシーリング材を除去した後、フランジ面間距離及びフランジ段差の測定を行った。面間距離測定のため、フランジ（設計幅 25mm×2 枚）を含むフランジ幅を測定した結果、漏えいパス箇所と考えられるボルト部（2 本）のあるラインのフランジの幅は概ね 50mm 程度であり、他のラインの底板フランジの幅と比較するとやや値が小さい傾向が見られた。なお、漏えいパス箇所と考えられるボルト部（2 本）の両脇のフランジ幅は 49.9mm と 50.9mm であり、同一ライン上の他箇所のフランジ幅との顕著な相違は確認されなかった。

フランジ段差測定の結果、測定された段差は最大で 4mm 程度であり、漏えいパス箇所と考えられるボルト部（2 本）において、段差は見られなかった。

②ボルトのトルク測定

底板フランジ部のボルトのトルク測定の結果、確認されたトルク値は平均で 202N・m 程度であり、全体的に締付け時のトルク値（950N・m）から低下が見られた。なお、漏えいパス箇所と考えられるボルト部（2 本）のトルク値は 100N・m と 240N・m であり、他のボルトと比較して顕著な低下は見られなかった。

③底板下部バキューム試験

底板フランジ部のシーリング材を除去した後、再度底板下部のバキューム試験を行った結果、シーリング材除去後のフランジ上面からのムースの吸い込みは確認されなかった。

また、漏えいパス箇所と考えられる部位のボルト 2 本を取り出し、底板下部バキューム試験を同様に行った結果、当該両ボルト穴内のフランジ面下側において、泡の吸い込みが確認された。

④漏えいパス箇所と考えられるボルト部の隙間測定及び目視確認

漏えいパス箇所と考えられるボルト部（2 本）について、ボルトを取り外す前に行った隙間測定の結果、2 本のボルトにおいて、フランジとワッシャー、ワッシャーとボルトの間に隙間が確認され、隙間は最大で 0.23mm 程度であった。

また、当該ボルト 2 本を取り外した後にボルト穴内の目視確認を行った結果、隣り合うボルト穴 2 箇所のうちマンホールに近い側にて幅約 3mm、長さ約 22mm、もう一方の箇所にて幅約 2mm、長さ約 11mm の開口部が確認された。なお、当該開口部は、底板下部バキューム試験にて泡が吸い込まれた箇所であった。

1-3. タンク漏えい箇所の調査結果（解体後）

(1) 側板

a. フランジ部

①浸透探傷液塗布による目視確認

タンク解体中（直前）にタンク側板一段目のフランジ部内面に浸透探傷液を塗布し、タンク解体後にフランジ面の目視確認を行った。フランジ面の目視確認の結果、浸透探傷液の染み出し等の漏えいパスを示唆する部位は確認されなかった。

(2) 底板

a. フランジ部

①浸透探傷液塗布による目視確認

タンク解体直前にタンク内面のフランジ部及びボルト部に浸透探傷液を塗布し、タンク解体後にフランジ面の目視確認を行った。フランジ面の目視確認の結果、既に確認されている漏えいパス部位と考えられるボルト部（2 本）以外には、浸透探傷液の染み出し等の漏えいパスを示唆する部位は確認されなかった。

事象の原因

事象の原因

②漏えいパス箇所と考えられるボルト部の詳細目視確認

漏えいパスと考えられるボルト部（2本）近傍について、タンク解体後のフランジ面の詳細目視確認を行った。確認の結果、当該部のパッキン接触面は大きく蛇行しており、パッキン上端がフランジ面下端よりも下に飛び出していた痕跡（漏えいパスが形成されている状態）が確認された。

また、当該のパッキンが飛び出していた箇所のフランジ面においては、パッキン接触痕とパテの間のフランジ面に発錆が確認された。

③フランジの開き測定

タンク解体後の底板フランジの開き（上端に対する下端の開き）測定の結果、漏えいパスと考えられる箇所（ボルト2本）及び当該ラインのフランジ部において、フランジ下側の開きが確認されているものの、上端・下端の距離（約116mm）に対して軽微（1～2mm程度）なものであった。

④取外しボルトの外観確認

タンク解体後に、取外しボルトの外観確認及び寸法測定の結果、漏えいパスと考えられる箇所のボルト2本において、有意な変形等の異常は確認されなかった。

⑤フランジ面の目視確認結果

タンク解体後、フランジ面の目視確認を行った。確認の結果、フランジ面の状況から、パッキンがフランジ面下部に抜けるような様子（フランジ面のボルト部から下部にわたる発錆）は当該部以外に確認されなかった。

(3) コンクリート基礎

タンク解体後、タンクが設置されていた範囲について、コンクリート基礎の高低差の測量を行った。測量の結果、最も高い位置を基準に、最大で3cm程度の高低差が見られた。漏えいパスと考えられる箇所（ボルト2本）は、基準とした点より2cm程度低いが、周辺と比較して顕著に低いという傾向は見られなかった。

1-4. 調査結果に対する考察

(1) 漏えい箇所の特定

a. 側板母材（溶接部）

側板外面の一部の溶接部近傍に局所的な発錆及び比較的高い線量が確認された部位があったものの、側板外面局所バキューム試験により漏えいパスが確認されなかったこと、また、その他の部位についてはRO濃縮水保有時の外面目視確認にて有意な漏えいが確認されていないこと、外面線量確認にて漏えいを示唆する箇所が見られなかったことから、側板母材（溶接部）については、漏えい部位ではないものとする。

なお、側板内面の一部の溶接部に発錆と思われる変色部が確認されているが、当該部の表面付着物は容易に剥離するものであり、RO濃縮水に含まれる土砂成分等と腐食生成物の混合物が、帯電等により腐食部に選択的に付着したものである。当該部の塗装については、当該溶接部の検査を実施し、後日施工されているが、その際、洗浄等の確認はされていなかったため、当該部は、周囲の側板塗装よりも状態が相対的に劣り、腐食が発生したものである。なお、付着物剥離後のタンク内表面には塗装が概ね残存しており、腐食の程度は軽微でありタンク内面の止水性に影響を及ぼすものではないとする。

b. 側板フランジ部

側板フランジ部の内面目視確認にてシーリング材の変形等が一部見られたものの、RO濃縮水保有時の外面目視確認にて有意な漏えいが確認されていないこと、外面線量確認にて漏えいを示唆する箇所が見られなかったことから、側板フランジ部については漏えい部位ではないものとする。

なお、シーリング材の変形等については、パッキン（水膨張性止水材）の吸水による膨れやフランジボルトの増し締めによるものと考えられ、解体後のフランジ面確認等においても漏えいパスを示唆する状況は確認されなかったことから止水性を低下させる程の影響はないものと考えられるため、今回の漏えい事象の直接的な要因ではないものとする。

c. 底板母材（溶接部）

底板バブリング試験及び底板下部バキューム試験により漏えいパスを示唆する箇所が確認出来なかったため、底板母材（溶接部）については漏えい部位ではないものとする。

事象の原因

d. 底板フランジ部

底板フランジ部については、底板バブリング試験では気泡の発生が確認出来なかったものの、底板下部バキューム試験にて隣り合う2本のボルト部からムースが吸込まれたこと、底板局部バキューム試験においても発泡剤による泡の発生を確認したことから、当該ボルト部に漏えいパスが存在することを確認した。さらに、タンク解体後のフランジ面の詳細確認により、当該部にてパッキン上端がフランジ面下端を突き抜けて飛び出し、漏えいパスが形成されていることを確認した。

漏えいパスについては、当該フランジ部上部のシーリング材除去後の底板局部バキューム試験ではフランジ上部からのムースの吸い込まれは確認されなかったこと、フランジ、ワッシャー、ボルトの間に隙間が確認されたこと、ボルト穴内のフランジ面に開口部が確認されたこと、タンク解体後のフランジ面の確認においてフランジ面からのパッキンの飛び出しが確認されていることから、フランジ、ワッシャー、ボルトの隙間からボルト穴を介して、パッキンが飛び出したフランジ面の開口部からタンク外にRO濃縮水が漏えいしたものと考える。

なお、内部目視確認にてシーリング材の変形等が見られた箇所、ボルト打診試験にてボルトの緩みが確認された箇所については、底板下部バキューム試験にてムースの吸い込みが確認されなかったこと、タンク解体後のフランジ面目視確認により漏えいパスを示唆する状態が確認されなかったことから、漏えい箇所ではないものと考えられる。よって、変形、緩みは、今回の漏えい事象の直接的な要因ではないものとする。

ボルトの隙間測定の結果から、上記の漏えいパス箇所（ボルト2本）にフランジ、ワッシャー、ボルトとの間に隙間があることを確認したが、フランジ面の面間測定、段差測定、開き測定においては、漏えいパス箇所とそれ以外の箇所との顕著な差異は認められなかった。

また、底板バブリング試験において、漏えいパス箇所からの気泡の発生が確認出来なかったことについては、底板バブリング試験のためにコンクリート基礎面とタンク底板の間を加圧した方向がタンク内保有水の水圧による方向と逆方向に作用していたことから、漏えい箇所の開口部を封止する挙動となった可能性が考えられる。

e. 連結配管及び隣接弁

連結配管及び隣接弁については、当該部水抜き前の目視確認にて有意な漏えいが確認されていないこと、線量確認にて漏えいを示唆するような高線量箇所が確認されていないことから、連結配管及び隣接弁については漏えい部位ではないものとする。

以上より、当該タンクにおけるRO濃縮水は、タンク底板のフランジ部のパッキンの飛び出しが確認された箇所（ボルト2本）から漏えいしたものと考える。

(2) 漏えい原因の推定

底板解体後のフランジ面の目視確認も踏まえ、漏えい発生までの経緯は以下と推定した。

- a. パッキン接触痕とパテの間のフランジ面に発錆が見られることから、フランジ面にRO濃縮水が長期にわたって接触していたと考えられること、パッキン接触面の痕跡は残存パテのうねり形状よりも大きく蛇行していることから、タンク設置時のボルト締め付け以降、パッキンが徐々に落下したと推定される。
- b. パッキンがフランジ面下端よりも下に飛び出していたことから、パッキンの落下（ずれ）が継続し、最終的にタンク底部に飛び出し、流路形成に至り漏えいが生じたと推定される。

タンク底板フランジ部のパッキンがフランジ底部に抜けたことについて、タンク解体前、解体後の調査結果を総合して、想定される発生要因毎に漏えいの原因になり得るか、確認した結果、漏えい箇所には、フランジ下端側の開き、締結ボルトのトルク低下が確認され、また、ボルト締め付け時にパッキン（底部側）に軽微なうねりが生じた可能性があることもわかった。これらは、各々単独では漏えいが確認された部位のみに確認された事象ではないため、直接的な原因ではないと考えられるものの、漏えい箇所はこれらの要因が重畳していることから、パッキンがずれた原因を次の通り推定した。

漏えい箇所では、ボルト締め付け時にパッキンに軽微なうねりが生じていたところ、フランジの熱膨張・収縮の影響でパッキンを締め付けるボルト・トルクの低下が生じ、フランジ下端が開いていたことが重畳したために、タンク水圧に抗しきれずパッキンが下にずれタンク底部に飛び出すに至った可能性がある。

(3) 確認されている漏えい量と漏えい箇所の比較検証

- a. 「放射能の影響 1-1. タンクからの漏えい量評価結果 (1)」のとおり、当該タンクからの総漏えい量については、約 3m の水位低下から約 300m³ と評価している。また、8月20日時点の水位低下は約6時間で約 5cm であったことから、漏えい率は約 5m³/6h と考えられる。今回の原因調査において、フランジ面の目視確認により漏えいパス内にも腐食が見られたことから、フランジ面の腐食が徐々に進行するとともにある時点でパッキンのずれが大きくなり、漏えい率が増大した可能性が考えられる。
- b. 約 5m³/6h の漏えいが発生する漏えいパスについて、当該水圧を考慮すると開口部の面積は計算上約 25mm² となるが、一方で漏えいパス箇所におけるフランジ・ボルト・ワッシャー部の隙間測定結果から算出される開口部の面積は約 16mm² 程度であった。漏えいパスは腐食部を経由した複雑な開口形状で形成されていること、漏えい率を算出した際のタンク水位測定は精度の高い測定によるものでなく 1~2cm 程度の誤差があった可能性を考慮すると、漏えい率からの計算値と隙間測定結果からの算出値は概ね一致しており、約 300m³ の漏えいは当該の開口部から生じたものとする。

(4) 漏えい箇所からの漏えい発生時期

当該タンクから漏えいが発生した時期について検討した結果を以下に示す。

- a. 漏えいを確認した 8月19日以前のパトロールにおいて明確な漏えいは確認されていないため、大量の漏えいが数日間続いていた可能性は低い。
- b. 事象発見時の漏えい率は (3) の通り約 5m³/6h と考えられることから、8月19日の15日以前から漏えいしていた可能性がある。
なお、当該タンクエリアから北東側の無線中継所東側にかけて比較的高いβ線による 70μm線量当量率を確認しているが、タンクパトロール及び無線中継所付近における作業員のβ線による外部被ばくの線量をAPDによる測定値で確認したところ、タンクパトロールでは事象発生時以前では、特に変化が見られていないものの、無線中継所付近における作業員において、以前には確認されなかったβ線による外部被ばくの線量が7月下旬に確認されており、7月中から漏えいが発生していた可能性も否定出来ない。

(5) その他

a. タンク移設の影響

当該タンクは「事象の状況 2-4. 使用履歴調査結果及びリスク低減策」のとおり、H1東エリアから移設したタンクであるが、今回の漏えい原因はパッキンに対する経時的な熱収縮影響等によるパッキンのずれと推定しており、タンクの移設が直接的な原因ではないものとする。なお、タンク移設後には水張り試験を行い、漏えいがないことを確認している。

b. コンクリート基礎

タンク解体後のコンクリート基礎確認により微細なクラックを1箇所確認した(幅が0.03mm以下、長さ約80cmの密着した微細クラック)。しかし、当該タンク付近に溜まった雨水の水位低下傾向が見られていないこと、当該タンク直下2カ所のボーリングでは、堰外で確認された水溜まりエリアに近い箇所(D-2)の地表面付近のみ汚染が確認されており、タンク底部から浸透した場合に発生が予想される放射状の広がりが見られないことから、この汚染は、堰外に漏えいした汚染水が回り込んだ影響と考えられる。よって、コンクリート基礎から地中への浸透は無いと推定する。

事象の原因

事 象 の 原 因

2. 運用管理に関する経緯

タンクから堰内外に約 300m³の漏えいが発生したことから、汚染水タンクの運用管理に関する経緯について、関係者に聞き取りし分析したところ、以下の項目が確認された。

(1) 汚染水タンクの漏えい監視について

従来、汚染水タンクについては、毎日 2 回のパトロールにおいて目視点検を実施しており、タンクエリアの堰内については、前日のパトロールにおいても水溜まりが発見されていたが、以前から降雨水の一部が排水されずに水溜まり状になることが確認されていたため、降雨水と漏えい水の判別がつけられない状況であった。このため、タンクからのRO濃縮水の漏えいの可能性があるとして線量等を確認することはなかった。更に、各タンクへの水位計の設置など、パトロールによる目視点検以外、漏えいの早期発見手段を講じていなかった。この背景には、過去に側面フランジからの微少漏えいは発生していたが、定期的にフランジを増し締めすることによりタンクからの漏えいを防止出来ていたことから、汚染水タンクの管理に問題がないと考えていたためである。また、現場のタンクが増設されているにもかかわらず、パトロール要員は10名程度で変わらなかったことや、被ばく低減の観点等からパトロールに十分な時間がかけられなかったこと等が考えられる。

(2) タンク堰ドレン弁の常時開運用について

「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画」においては、汚染水の貯留設備には漏えい水の拡大を抑制するための堰等を設けることと定めていた。しかしながら、タンクから漏えいがあった際に素早く発見出来るようにするため、降雨時に雨水を排出し、タンク設置エリアの床面を乾かすことを目的に堰のドレン弁を開運用としていた。この背景には、タンクから微少の漏えいを確認した場合にはドレン弁を閉止することにより漏えいを防止出来る、また、タンクから大量に汚染水が漏れることは考えにくいとの判断があった。

また、堰内に降った雨水は、発電所敷地内の一般排水路に流れる雨水と同程度の放射能濃度であるが、一旦溜めることにより、貯蔵しなければならなくなった場合には、貯蔵タンクの容量を圧迫するおそれがあることから、降雨水を堰内に溜めたくないという思惑が働いた。

これらのことから、堰のドレン弁については、現場の状況を優先した運用としていた。

(3) 汚染水タンクの漏えいリスクについて

汚染水を貯留するタンクの設置については、増え続ける汚染水を確実に貯留しなければならないことから早期の設置が求められていた。このため、当初は短い工期で設営出来るフランジ型タンクを設置し、その後、信頼性の高い溶接型タンクへのリプレースを計画的に進めることとしていたが、具体化されていなかった。

また、これまで汚染水対策については、複数の社内検討会でリスク管理を実施しており、その中でフランジ型タンクからの微少漏えいの可能性は共有されていた。一方、フランジ型タンクからの大量漏えいの可能性に関するリスクについては、社内では検討されなかった。

このような経緯となったのは、トレンチから港湾内への汚染水流出の対応や毎日 400m³ずつ増加する汚染水を保管するためのタンク増設など、喫緊の現場作業が多かったこと、またフランジ型タンクが5年程度は使用可能と考えており、過去に側面フランジからの微少漏えいは発生していたが、上記のとおり汚染水タンクの管理に問題がないと考えていたことが挙げられる。

以上のことから汚染水タンクの運用管理に関しては、汚染水タンクのリスク管理に問題があると認識出来なかったことが問題であり、徹底した現状分析が出来なかったことが最大の問題であった。

保護装置の種類 及び動作状況	なし
放射能の影響	<p>1. 環境への影響（汚染水の広がり）調査結果 タンクからの漏えい量評価や、漏えいした汚染水が地下水、排水路、海洋への影響について調査した結果を以下に示す。</p> <p>1-1. タンクからの漏えい量の評価結果</p> <p>(1) H4北エリアI群のRO濃縮水貯槽5基は連結配管で接続されており、RO濃縮水を受け入れる時には、RO濃縮水貯槽5基の水位が均等になるよう連結配管の弁を開けた状態で受け入れ、受け入れ完了後に連絡配管の弁を閉止している。事象発生後、当該タンク及びH4北エリアI群にある他のRO濃縮水貯槽4基について、タンク上蓋を開けて水位を測定したところ、他のRO濃縮水貯槽4基の水面は、タンク天井から0.5~0.6m程度、当該タンクの水面については、タンク天井から約3.4mの位置であったことから、タンク水位が約3m低下していると評価された。当該タンクは水位10mで約1,000m³貯留出来るタンクであることから、水位から算出すると約300m³のRO濃縮水がタンク外へ漏えいしたものと考えた。そのうち、堰外への漏えい量は、当該堰の中で回収した汚染水もあるが雨水も混ざっており区別出来ないことから、最大で約300m³と評価した。</p> <p>(2) 当該タンク群の水位については最後に実施したRO濃縮水の払出、受入操作時の水位トレンドから検証した結果、以下のことが確認された。なお、水位計は受払タンク(No.7タンク)のみに設置しており、濃縮水の受払時には、タンク群の連結弁を開けていた。</p> <p>a. 送水途中で、当該タンク連結弁が突然閉となったと仮定すると、水位上昇の変化幅が大きくなるが、そのような傾向はなく水位上昇は一定に推移していた。</p> <p>b. 送水開始から終了まで連結弁の開度が十分でなかった場合(中間開や微開状態)、受け入れがなかった7月20日から22日に受入タンクの水位が若干低下するが、そのような傾向はなく受入タンクの水位は一定に推移していた。</p> <p>(3) 当該タンク内面にある喫水線の跡からタンク水位について調査した結果、以下のことが確認された。</p> <p>a. 当該タンク内面のタンク天井部から約60cm下の位置にタンク側面全周に渡って喫水線らしき跡が確認されたことから、当該タンクは少なくとも1回は満水状態になっていたと考えられた。</p> <p>b. さらに低い位置において、タンク天井部から約120cmの位置、150cmの位置に喫水線らしきものが確認された。ただし、満水時の喫水線が全周に渡り確認されているが、低い位置の喫水線は部分的な跡であった。</p> <p>以上のことから、当該タンクはRO濃縮水受入時には、満水状態であり、そこから徐々に水位が低下し、漏えい発見時の水位になったことから、漏えい量は約300m³と評価した。</p> <p>(4) 「事象の状況 1. 事象発生時の状況」で示したとおり、漏えい発見後に当該堰のドレン弁を閉止しているが、8月19日に当該堰内に溜まった漏えいした汚染水、8月23日に当該タンクに残存していたタンク水の放射性物質濃度を測定した結果、全β放射能は5割程度の差があるものの、その他の核種はほぼ同じ濃度であった。γ核種及びH-3の濃度がほぼ同じであることから、当該堰内に溜まった漏えいした汚染水と当該タンク水は、ほぼ同じものであったと考えられる。</p> <p>また、当該タンク水についてSr-90の分析を実施した結果、1.5×10⁵Bq/cm³と、概ね全β放射能濃度の半分程度であった。</p> <p>これらの放射性物質濃度に、漏えい量300m³をかけて漏えい量を求めた。タンク水の分析結果から、最も濃度が高く、環境への影響が大きいと考えられるSr-90の漏えい量を計算すると、4.5×10¹³Bqであった。</p>

1-2. 地下水への影響調査結果

1-2-1. 地表面の線量調査

(1) 当該タンクエリア周辺の地表面の線量率測定を行った。91ポイントにおいて測定を行った結果、当該漏えいタンクの北側から東側にかけて、 $70\mu\text{m}$ 線量当量率 (β 線) で 1mSv/h を超えるポイントが 12ポイント確認された。これらの高線量率箇所は、当該堰周辺の水溜まりのあった箇所、当該タンク北東側の無線中継所東側地点の他、隣接するB排水路の壁面でも確認された。

(2) 当該タンクから漏えいした汚染水は、当該堰に設置してあるドレン弁から流出し、当該堰周辺の土壌に浸透しながら、B排水路の方向に流れたと考えられる。さらに、漏えいした汚染水が浸透した場所への降雨により、表面に残存した汚染が洗い流されるように、B排水路の方向に流れたと考えられる。

なお、B排水路手前で線量が高くなったのは、水が溜まりやすい地形になっていたため、漏えいした汚染水がB排水路手前で滞留して土壌に染みこんだ影響と考えられる。

1-2-2. ボーリングによる土壌汚染状況調査

漏えいした汚染水による土壌の汚染状況を把握するため、以下に示す通り観測孔のボーリングコア等の調査を実施した。

(1) 浅深度ボーリング

a. 地表面の線量率が高かったエリアにて、2m程度の深さのボーリングを6カ所について実施し、土壌の分析を実施した結果、当該タンク北東側の C-1~4 では、高濃度の全 β 放射能が検出された。特に、当該堰周辺の水溜まり付近の C-1、C-2、C-4 では、深さ2mまで高濃度の全 β 放射能が検出された。

b. 一方、当該堰の南東側の C-5、C-6 でも放射性物質は検出されたものの、全 β 放射能濃度と Cs-134、137 の濃度に大きな違いはなく、検出された全 β 放射能は、事故後に地表面付近に付着した Cs-134、137 によるものと考えられる。

(2) 漏えいタンク直下のボーリング

a. 漏えいタンク直下の汚染確認のため、2m程度の深さのボーリングを2カ所実施した(9月12日、13日試料採取)。ボーリングコアについて深さ毎に線量率を測定した結果、北東側の D-2 では、深さ1m程度まで $70\mu\text{m}$ 線量当量率 (β 線) で 0.02mSv/h 以上の線量が検出された。ボーリングコアの一部を核種分析した結果、深さ0.2mで最大 $2.0 \times 10^7 \text{Bq/kg}$ の全 β 放射能が検出された。また、Cs-134、137についても数万 Bq/kg の濃度で検出されたが、深さ方向にほぼ均一の濃度であったことから、事故後に地表面付近に付着した Cs-134、137 がタンクエリア設置時の地盤改良により攪拌されたものと考えられる。

b. 一方、南西側の D-1 からはバックグラウンドレベルを超える放射線は検出されておらず、全 β 放射能濃度も Cs-134、137 の濃度と大きな違いはないことから、漏えいした汚染水による影響はほとんど無かったものと考えられる。

c. また、漏えいした汚染水がタンクエリアのコンクリートを貫通して地下に浸透した形跡は確認されておらず、ドレン弁から北東側の堰外に流出した漏えいした汚染水が、地下に浸透する際、コンクリート基礎の下の碎石層から回り込み、当該タンク北東側の D-2 付近まで到達したのと考えられる。

(3) 深部ボーリング

a. 地下水の放射性物質濃度の測定を目的に行った、7~25m程度の深さのボーリング8カ所 (E-1~8) のうち、当該タンクに近い5カ所のボーリングコアにおいて、深さ毎に線量率を測定した。その結果、北東側 E-1 のボーリングコアにおいて、深さ2.5m~4m程度まで $70\mu\text{m}$ 線量当量率 (β 線) で 0.01mSv/h 以上であった(深さ2mまでは土壌を入れ替え済み、2~2.5mまでは水を通しにくい地質)。

放射能の影響

- b. 南西側の E-2 及び東側の E-3、E-5 からは、バックグラウンドレベルを超える放射線は検出されておらず、E-4 において検出された γ 線、 β 線も地表面付近に限られており、 β 線より γ 線が高いことから、事故後に地表面付近に付着した Cs-134、137 による影響と考えられる。
以上の通り、当該タンク南側の E-2 及びB排水路東側の E-3～5 の部分には、漏えいした汚染水による影響はなかったものと考えられる。
- c. また、E-1、E-2 について、ボーリングコアの一部を採取して核種分析を行ったが、E-1 では深さ 3m 付近で最大 $5.7 \times 10^6 \text{Bq/kg}$ の全 β 放射能が検出された。Cs-134、137 はほとんど検出されておらず、漏えいした汚染水による影響と考えられる。E-2 については、線量率測定と同様、Cs-134、137、全 β 放射能ともに低濃度であった。
- d. さらに、地下水経路での漏えいした汚染水の広がりを監視するため、漏えいした汚染水がB排水路に流れ込んだと考えられる無線中継所付近東側の E-9、及び当該タンクの東側の E-10 で、2カ所のボーリングを追加実施した。ボーリングコアの線量率測定及び核種分析を実施したところ、E-9 では地表から 2m 付近で高濃度の全 β 放射能が検出された。また、E-10 でも地表付近を中心に β 線及び全 β 放射能による汚染が確認されたが、Cs-134、137 の濃度とほぼ同等であった。

1-2-3. 地下水の水質分析調査

当該タンクからの漏えいが確認されて以降、地下水の放射能濃度の測定を目的に、合計 10カ所 (E-1～10) でボーリングを行い、水質を監視している。これまでの調査結果は以下の通りである。

- (1) 漏えいした汚染水中の Sr-90 の影響は、全 β 放射能濃度により監視している。当該タンク北東側の当該堰に近い E-1 観測孔においては、周囲の汚染土壌回収後も高濃度の全 β 放射能が検出されている。E-1 観測孔の周囲には、汚染した地下水の汲み上げ用井戸 (ウェルポイント) を設置して汲み上げを行っており、E-1 観測孔の地下水全 β 放射能濃度は低下傾向にあるが、降雨があると再度濃度が上昇する現象が確認されている。ボーリングコアの調査結果から、当該タンクエリアのコンクリート基礎下部の土壌にも漏えいした汚染水の影響が及んでいることがわかっており、これらの回収出来ていない土壌中の Sr-90 が、雨水及び地下水位の上昇に伴い、E-1 観測孔付近に流れ込んでいることが考えられる。
- (2) また、無線中継所付近東側の E-9 で、2月以降、全 β 放射能濃度が急上昇した。E-9 周辺には、地中の干渉物等により回収出来なかった汚染土壌が一部残っており、2月の降雪等の影響で雨水とともに土壌中の Sr-90 が流れ込んだものと考えられる。その他の観測孔では、掘削直後の採水で全 β 放射能濃度が数百から数千 Bq/L 程度検出された場合があるものの、その後放射能濃度は低下しており、現時点で排水路より東側には Sr-90 の影響は、ほとんどないものと考えられる。
- (3) H-3 については、全 β 同様 E-1、E-9 が高いが、その他に E-10 も高濃度となっている。さらに、B排水路東側の E-3 でも上昇傾向にあり、E-4、E-5 においても $1000 \text{Bq/L} \sim 3000 \text{Bq/L}$ 程度検出されている。H-3 は水そのものであり、土壌に吸着されることが無いため、地下水とともにB排水路の東側まで拡散しているものと考えられる。その他、当該タンクから比較的遠い観測孔 E-6 では、現時点で濃度の上昇は見られていない。E-7、E-8 では、当初 1000Bq/L 程度の H-3 が検出されたが、その後は横ばいから低下傾向となっており、過去の汚染による影響も考えられる。
- (4) なお、当該タンクエリア近傍の過去の漏えいによる影響を把握するため、タンクエリアの西側でボーリングを行い (F-1)、地下水の放射能分析を行っているが、全 β 放射能濃度が 20Bq/L 前後、H-3 濃度が数百 Bq/L 程度と、漏えい以前から観測している地下水揚水井等の分析結果と変わらない。
さらに、当該タンクエリアの東側にある既設のボーリング孔 (地下水バイパス揚水井 No.5～No.12、調査孔 b. c) において、放射性物質の濃度の監視を開始したが、全 β は検出されていない。

H-3 濃度については、最も南側の揚水井 No.12 において、2,000Bq/L 程度まで上昇しているが、H 4 北エリアの汚染水が漏えいした北東側からは離れており、過去の汚染による影響も考えられる。

1-2-4. 放射性物質の回収量の評価

漏えいした汚染水は主に土壤に浸透したことから、Sr-90 の多くは当該堰周辺土壤に吸着し、一部が地下水に混入したものと考えられる。また、H-3 は水分として土壤に含まれるほか、大部分は地下水に混入したものと考えられる。環境への影響を評価するため、以下の通り全β放射能濃度を指標として、土壤回収による Sr-90 の回収量の試算を行った。

(1) 土壤の表面線量率と核種濃度の関係

「1-2-2. (3)」で調査した、ボーリングコアの 70μm 線量当量率 (β線) と全β放射能濃度の関係を整理した結果、概ね 3.0×10^7 (Bq/kg) / (mSv/h) となったことから、この関係を用いて、土壤の 70μm 線量当量率 (β線) から、回収土壤の全β放射能濃度を推定することとした。

(2) 回収量の試算

土壤回収は、原則として土壤表面線量率が 0.01mSv/h を下回るまで掘削したことから、その際の測定データを利用し、ブロック毎、深さ毎に回収土壤の全β放射能濃度を推定し、土壤回収量と掛け合わせてβ核種の回収量の試算を行ったところ、 7.4×10^{13} Bq であった。また、この半分が Sr-90 と仮定して、「1-1. (4)」で求めた漏えい放射性物質質量 (Sr-90 : 4.5×10^{13} Bq) から回収率を求めると、約 80% であった。

H 4 北エリア外の観測孔の地下水では、全β放射能濃度の上昇はほとんど見られていないことから、回収出来なかった Sr-90 は、その大部分が回収困難なタンクエリア基礎の下や無線局周辺の設備の下など、H 4 北エリア内の土壤に留まっているものと考えられる。

なお、B排水路及びウエルポイントでのくみ上げにおいても、漏えいした汚染水の一部を回収したが、濃度が低いため、土壤による回収量の評価結果に影響を与えるものではなかった。

放射能の影響

1-3. 排水路への影響調査結果

(1) 当該タンクから漏えいした汚染水は、「1-2-1. (2)」に示す通りB排水路の方向に流れたと考えられるが、当該タンクエリア近傍のB排水路の壁面で高線量率のβ線が確認されており、漏えいした汚染水の一部がこの高線量箇所からB排水路に流れ込んだと推定される。ただし、漏えい発見時には漏えいした汚染水は地表面を流れておらず、B排水路への流れ込みも確認されていない。

(2) 漏えい発見後、当該タンクエリア近傍のB排水路、その下流のC排水路、B及びC排水路の合流地点にて採水を行い、放射能分析を実施した。当初、B排水路の全β放射能濃度は数百 Bq/L 程度であったことから、B排水路は土のうでせき止めし、その後清掃及びC排水路を含めた暗渠化を実施した。その結果、下流のC排水路 30m 盤出口 (C-2) で、漏えい直後は 100Bq/L 以上の全β放射能が検出されていたものが、B排水路の清掃及び暗渠化完了後 (平成26年3月より通水を再開) は、20Bq/L 程度まで低下した。

なお、現在も降雨時にはC排水路 30m 盤出口 (C-2) で 100Bq/L 程度まで上昇する場合もあるが、RO濃縮水を貯蔵しているタンク群の上流 (B-0-1、C-0) においても降雨時には全β放射能等が検出されている状況である。

(3) 引き続き、敷地全体の除染やフェーシング等を実施し環境改善に努める。

1-4. 海洋への影響調査結果

地表面の線量率調査結果や、排水路の調査結果等から、漏えいした汚染水の一部が排水路に流れ込んだものと考えられたことから、B排水路を土のうによりせき止め、排水路内に留まった水及び土砂を回収した。

さらに、B排水路の清掃及びC排水路を含めた暗渠化を実施し、平成26年3月より通水を再開した。

放射能の影響	漏えい発見前より継続している南北放水口の海水モニタリング、及び8月14日より開始した港湾周辺の海水モニタリングにおいては、全β放射能の測定結果に有意な上昇は見られていない。
被害者	なし
他に及ぼした障害	なし
復旧の日時	未定
再発防止対策	<p>1. 対策</p> <p>今回実施した原因分析に基づき、汚染水タンクに関するリスク管理を徹底して行えるよう設備面や運用面についての対策を立案した。</p> <p>漏えい発生メカニズムを踏まえて、設備面として以下の対策を実施し、再発防止や、万一漏えいした場合の影響拡大防止を図る。また、経緯の確認結果を踏まえて、運用面での対策を実施する。なお、福島第一原子力発電所の緊急安全対策として取りまとめ（11月8日公表）、対策の一部については実施中である。</p> <p>(1) タンク漏えいに関わる対策</p> <p>a. タンク漏えいが生じた場合の移送先の確保</p> <p>現状、汚染水を貯留するタンクは逼迫していることから直ぐに必要な量の移送先を全て確保することは困難であるが、溶接型タンクへのリプレース計画等も勘案し余裕が出来次第、RO再循環への水移送、多核種除去設備による水処理を行い、Hエリアタンクに空き容量を順次確保する。</p> <p>b. 溶接型タンクへのリプレースの促進</p> <p>フランジ型タンクについて、溶接型タンクへリプレースする。今回漏えいが確認されたTYPE-1のフランジ型タンクから進める。</p> <p>しかし、現状において、汚染水を貯留するタンクは逼迫していることから直ぐにリプレースを実施出来る状況ではないため、溶接型タンクの増設、汚染水の流入抑制対策などを実施し、タンク容量に余裕が出来た後、漏えいリスク等を勘案し優先順位を決めリプレースを開始する予定である。</p> <p>なお、タンクリプレースは優先度の高いDエリアタンク（ノッチタンク）から、H1/H2エリア円筒横置タンク、フランジ型タンクの順に実施する（平成26年6月より工事開始）。</p> <p>c. 溶接型タンクへのリプレースまでの暫定対策</p> <p>今回の汚染水漏えいの主たる要因は、気温変化等によるフランジの熱膨張、収縮及びタンク水圧によるパッキンのフランジ面からの飛び出しであり、ボルト等の間隙から当該隙間を通じて漏えいが発生したものと推定した。</p> <p>強化パトロール（線量測定）の結果から、現時点では他タンクにおける大きな漏えいは確認されていないが、今回の事象はすべてのフランジ型タンクで発生する可能性が否定出来ないため、今後の対応として、強化パトロールの継続実施に加え、溶接型タンクへのリプレースまでの間、タンク底部の止水対策を実施する。早急に変更出来る対策として、「タンク底部のコーキング等による止水」を実施する。（着手済み。平成26年6月完了予定）</p> <p>また、更なる信頼性向上のため、「底板下部へのシーリング材の充填」、「底板部（内部）へのシーリング材の充填」について実証試験を実施しており、その結果を踏まえ、暫定対策を実施していく。これらについては、これまで、部分モックアップ等を実施しているが、今後、実機適用に向けて引き続き、実証試験及び装置の設計・製作等を検討・実施する（平成26年9月以降タンクリプレース工程も踏まえて施工開始予定）。</p> <p>また、他フランジ型タンク「TYPE-2～5」についても以下の調査・検討を行う。</p> <p>①底板フランジの止水構造毎に代表1基の状況を確認する（タンク底部フランジ面の外観目視など）。</p> <p>②底板フランジの止水状況確認結果を踏まえ、今後の対応の優先順位を検討する（同様な事象が発生した場合、漏えいするリスクが高いTYPE-1は最優先とする）。</p>

再発防止対策

(2) 漏えい拡大防止策

a. ドレン弁の閉運用

堰外への漏えい拡大防止策として堰のドレン弁を閉止する（実施済み）。

b. タンク堰の嵩上げ

タンク堰内溜まり水の溢水を防止するために、応急堰として、既存堰への鉄板設置により嵩上げする（実施済み）。

信頼性向上対策として、堰の更なる嵩上げ工事を実施中。嵩上げ高さは 0.75m～1.2m で、H4北エリアは 1.0m に嵩上げた。（実施済み）

c. 堰の二重化、外周堰及び堰と外周堰間の地表面における地中浸透防止

堰の二重化を実施する。また、外周堰及び堰と外周堰間の地表面は、雨水の地中浸透防止のため、コンクリート、樹脂吹き付けなどによりフェーシングを実施する。（平成26年6月完了目途）

d. 排水路流入防止

更なる汚染拡大防止のため、B排水路表面のライニングを実施する（実施済み）。

また、タンク等の汚染水貯留設備からの流入が考えられるB排水路約 800m、及びC排水路のB排水路との合流点から 35m 盤出口までの区間約 440m を暗渠化する（実施済み）。

e. 回収困難な汚染土壌への対策

回収困難な当該タンクエリア基礎や無線中継所周辺の設備の下部等を除き、汚染土壌の回収は完了した。なお、タンクエリア基礎下部に残留している汚染土壌については、タンクリプレースの際に調査し、回収に努める。

また、引き続き、地下水の監視を継続するとともに、地下水（ウエルポイント）の汲み上げ、及びフェーシングによる雨水浸水の抑制等を実施し、地下水経路での汚染拡散の防止に努める。

(3) 早期検知のための対策

a. パトロール強化

「事象の状況 2-2. (2) タンク周辺の監視強化」のとおり、タンク周辺の監視を強化している。

b. 雨水流入抑制

堰内への雨水流入抑制を目的に、堰内汚染の比較的高いエリアを優先的に、タンク上部に雨樋等を設置し、堰外に排水出来るようにする（高線量汚染箇所は実施済み、その他既存エリアは平成26年7月完了目途）。これにより約60%の雨水流入を抑制出来る見込みである。

c. 個々のタンクへの水位計の設置

現状、貯水タンクの水位計は、移送時のタンク群全体の水位管理を行うことが出来るようタンク群毎に1台設置していたが、個々のタンクに水位計を設置し（フランジ型タンク、既設の溶接型タンクは実施済み）、最終的には警報機能を設け、遠隔による常時監視を可能とする。

d. 側溝放射線モニタ

タンクから漏えいが発生した場合、海への流出経路となる可能性のあるC排水路内において、排水中の放射性物質濃度の上昇を検知するため、 γ 線、 β 線の連続監視用モニタを設置し、試運用中である（手順書制定等の準備が整い次第、運用を開始する）。また、C排水路から港湾内へ排水するルート of 工事を実施中である。（平成26年7月設置完了目途）

再発防止対策	<p>(4) 運用面での対策（リスク管理の強化）</p> <p>ROタンクから大量の汚染水を漏れいさしてしまったこと等を踏まえ、汚染水問題への対応が経営の緊急課題であることを改めて認識したことから、この課題に対応するためには、意志決定の迅速化とリソースを集中投入することが必要と考え、廃炉体制・汚染水対応組織を抜本的に見直すこととし、平成25年8月26日に社長直轄の「汚染水・タンク対策本部」を設置した。</p> <p>今後の汚染水対策については、本対策本部を中心に、運用管理に関する経緯について確認した内容も含め、徹底した現状分析とリスク管理を行うこととする。その中で、リスク管理に伴う方針の検討・対策に係る社内手続き及び責任の明確化を行い、トラブル時の機動力の強化を図り、汚染水問題に取り組んでいく。なお、平成26年4月以降は、福島第一廃炉推進カンパニーにて取り組んでいく。</p>
--------	---

福島第一原子力発電所
汚染水貯留設備RO濃縮水貯槽からの漏えいについて
(最終報告)

平成26年 6月

東京電力株式会社

はじめに

平成25年8月19日、福島第一原子力発電所汚染水貯留設備RO濃縮水貯槽（H4北エリアタンク）の堰の内外において、前日のパトロールでは確認されなかった水溜まりを発見した。そのため、状況確認を行った結果、RO濃縮水貯槽（タンク）の水が、RO濃縮水貯槽の堰内及び堰外に漏えいした可能性があることから、本事象については、福島第一規則第18条の規定に基づき、事故報告に該当すると判断するとともに、漏えい拡大防止のために応急対策を実施した。これらの内容等を原管発官25第309号（8月28日付け）にて原子力規制委員会に報告を行っている。

また、タンク漏えい箇所の特定及びその直接原因が推定出来たこと、汚染水タンクの運用管理に関する経緯について確認したこと、さらにはそれらに対する対策について立案出来たことから、これらの内容等を原管発官25第584号（12月6日付け）にて原子力規制委員会に報告を行っている。

今回の報告書は、平成25年12月6日の報告後に実施した、原子力規制庁への報告内容の説明を踏まえて、事象発生時の時系列の添付、漏えい推定メカニズムの詳細について追記、また漏えいした汚染水による構内及び海洋への影響調査、それを踏まえた流出経路・時期の検討結果について取り纏めたことから、最終報告として提出するものである。

目次

1. 件名	1
2. 事象発生の日時	1
3. 事象発生の発電用原子炉施設	1
4. 事象発生時の状況	1
5. タンクからの漏えい拡大防止策（応急対策）	2
5-1. 当該タンクからの漏えい拡大防止策	2
5-2. タンク周辺の監視強化	4
5-3. 類似タンクの点検結果及びリスク低減策	5
5-4. 使用履歴調査結果及びリスク低減策	5
6. 環境への影響（汚染水の広がり）調査結果	6
6-1. タンクからの漏えい量の評価結果	6
6-2. 地下水への影響調査結果	7
6-2-1. 地表面の線量調査	7
6-2-2. ボーリングによる土壤汚染状況調査	7
6-2-3. 地下水の水質分析調査	9
6-2-4. 放射性物質の回収量の評価	9
6-3. 排水路への影響調査結果	10
6-4. 海洋への影響調査結果	11
7. 原因調査内容及び結果	11
7-1. タンク漏えい箇所の調査結果（解体前）	11
7-2. タンク漏えい箇所の調査結果（解体中）	13
7-3. タンク漏えい箇所の調査結果（解体後）	14
7-4. 調査結果に対する考察	15
8. 運用管理に関する経緯	18
9. 対策	19
10. 添付資料	23

1. 件名

福島第一原子力発電所

汚染水貯留設備RO濃縮水貯槽からの漏えいについて

2. 事象発生の日時

平成25年8月19日14時28分

(福島第一規則第18条第12号に該当すると判断した日時)

3. 事象発生の発電用原子炉施設

汚染水処理設備等 貯留設備(タンク等) 中低濃度タンク RO濃縮水貯槽

4. 事象発生時の状況

平成25年8月19日9時50分頃、汚染水貯留設備の現場パトロールを実施していた当社社員が、H4北エリアRO濃縮水貯槽(鋼製円筒型タンク:フランジボルト締めタイプ)周辺に設置してある堰(以下、「当該堰」という。)の中に水が溜まっていること、及び当該堰の外側2箇所に水溜まりがあることを発見した。

また、当該堰に設置してある降雨水排水用ドレン弁(以下、「ドレン弁」という。)2箇所(常時「開」運用^{※1})から、当該堰内に溜まった水が堰外へ流出していることを確認したため、直ちに流出が確認されたドレン弁2箇所及び近隣にあるドレン弁1箇所を閉止した。

水溜まりの状況を確認したところ、当該堰内では深さ約1cm、当該堰外では約3m×約3mの範囲で深さ約1cmと約0.5m×約6mの範囲で深さ約1cmであることを確認した。

現場確認中に当社社員が携行していた警報付電子式線量計(以下、「APD」という。)の警報(設定値:β線5mSv、γ線0.8mSv)が鳴動したことから、当該堰外にある水溜まりの雰囲気線量当量率を測定したところ、最大で98.5mSv/h(70μm線量当量率(β線))を超えている線量率^{※2}を確認した。

その後、H4北エリアに設置してあるRO濃縮水貯槽26基の外観について目視確認を実施したが、タンク表面に亀裂や漏えい等の異常は確認されなかったことから、水溜まりの発生原因の特定には至らなかった。

水溜まりの発生原因は特定出来ていないものの、当該堰内に溜まっていた水がドレン弁を通じて堰外へ漏えいしていたこと、当該堰外にある水溜まりで高い放射線量が測定されたことから、H4北エリアRO濃縮水貯槽に貯留しているRO濃縮水が漏えいした可能性がある^{と判断し、8月19日14時28分に福島第一規則第18条第12号「発電用原子炉施設の故障その他の不測の事態が生じたことにより、核燃料物質等(気体状のものを除く)が管理区域内で漏えいしたとき」に該当すると判断した。}

なお、前日の8月18日17時頃に実施した現場パトロールにおいては、当該堰内に水溜まりはあるが堰外に明確に認識出来るような水溜まりは確認されていないこと、8月18日17時頃から水溜まりを発見するまでの間、発電所敷地内に設置した感雨計で降雨は感知されていないことを確認した。

※1 旧原子力安全・保安院からの指示文書に対して提出した「福島第一原子力発電所における淡水化装置濃縮水貯槽からの放射性物質を含む水の漏えいを踏まえた対応について(報告)」(平成24年4月5日)において、「雨水が溜まらないよう集水柵には隔離弁を設けておき、万一タンクからの漏えいが確認された場合は速やかに閉じる運用とする」と報告し常時「開」運用としていた。

※2 測定器の計測上限

当該堰内に溜まった水については、仮設ポンプ及び仮設タンクを設置し、8月19日19時頃から同日24時頃にかけて約4m³の水を回収したが、8月20日1時頃に当該堰内を確認したところ、H4北エリアI群にあるRO濃縮水貯槽No.5タンク（以下、「当該タンク」という。）付近から水溜まりが広がっているように見えること、及び8月20日7時頃に確認した際には水溜まりの深さが約3cmまで上昇していることを確認した。

また、8月20日7時頃に当該タンクの上蓋を開けて水位を目視確認したところ、本来なら天井から約0.5mにあるべき水面が天井から約3mまで低下していることを確認した。

H4北エリアI群のRO濃縮水貯槽5基は連結配管で接続されており、RO濃縮水を受け入れる時には、RO濃縮水貯槽5基の水位が均等になるよう連結配管の弁を開けた状態で受け入れており、受け入れ後に連絡配管の弁を閉止している。

その後、当該タンク及びH4北エリアI群にある他のRO濃縮水貯槽4基（No.7～No.10タンク）について、タンク上蓋を開けて水位（巻尺を用いてタンク天井から水面までの距離）を測定したところ、他のRO濃縮水貯槽4基の水面は、タンク天井から0.5～0.6m程度、当該タンクの水面については、タンク天井から約3.4mの位置であったことから、水溜まりの発生原因については、8月20日9時40分に当該タンクからのRO濃縮水の漏えいであると判断した。なお、同一堰内で水溜まりのあった付近のタンクについて同様にタンク水位を測定し、異常のないことを確認している。

当該タンクの水位低下が約3mであることから、漏えい量は約300m³（タンク内径約12m）であることを確認したが、当該堰内に溜まっていた水の回収量や当該堰外で確認された水溜まりの量から考えると、当該タンクから漏えいしたRO濃縮水の大半は当該堰外に流出して土壤に浸透した可能性が高いと推定した。

なお、8月19日採取の当該堰内に溜まっている水の放射能濃度は、Cs-134が $4.6 \times 10^1 \text{Bq/cm}^3$ 、Cs-137が $1.0 \times 10^2 \text{Bq/cm}^3$ 、Co-60が $1.2 \times 10^0 \text{Bq/cm}^3$ 、Mn-54が $1.9 \times 10^0 \text{Bq/cm}^3$ 、Sb-125が $7.1 \times 10^1 \text{Bq/cm}^3$ 、H-3が $2.1 \times 10^3 \text{Bq/cm}^3$ 、全βが $2.8 \times 10^5 \text{Bq/cm}^3$ であった。また、8月23日採取の当該タンクの水の放射能濃度は、Cs-134が $4.4 \times 10^1 \text{Bq/cm}^3$ 、Cs-137が $9.2 \times 10^1 \text{Bq/cm}^3$ 、Co-60が検出限界値未満（検出限界値： $3.8 \times 10^0 \text{Bq/cm}^3$ ）、Mn-54が検出限界値未満（検出限界値： $5.2 \times 10^0 \text{Bq/cm}^3$ ）、Sb-125が $5.3 \times 10^1 \text{Bq/cm}^3$ 、Sr-90が $1.5 \times 10^5 \text{Bq/cm}^3$ 、H-3が $2.4 \times 10^3 \text{Bq/cm}^3$ 、全βが $4.1 \times 10^5 \text{Bq/cm}^3$ であった。

事象発生当日の現場確認において、H4北エリアから東側にあるB排水路、及びH4北エリアから南東側にある沈砂池までの地表面に水の流れは確認されなかったが、H4北エリア周辺の表面線量当量率等を測定したところ、H4北エリア周辺に設置してある土のう式堰の外側地表面（B排水路近隣）で、最大95.55mSv/h（70μm線量当量率（β線））の地点があることを確認した。

また、8月21日に実施した現場確認において、B排水路のコンクリート壁面に筋状の流れた痕跡を確認したため、コンクリート壁面の表面線量当量率を測定したところ、最大5.80mSv/h（70μm線量当量率（β線））であったことから、汚染した土砂等が排水路に流れ込んだ可能性があることが判明した。

なお、事象発生前後でモニタリングポスト指示値に有意な変動は確認されていない。

（添付資料－1，3）

5. タンクからの漏えい拡大防止策（応急対策）

5-1. 当該タンクからの漏えい拡大防止策

(1) 当該タンクからの漏えい防止策

当該タンク内に貯留されているRO濃縮水の漏えいを防止するため、RO濃縮水については、8月20日21時55分から8月21日21時13分にかけて、仮設ポンプによりH4北エリアB群に設置してあるRO濃縮水貯槽No.10タンクへ移送した。

(添付資料-2)

(2) 当該堰内における漏えい範囲の拡大防止策

当該堰内における漏えい範囲の拡大を防止するため、当該タンクからの漏えいが顕著な箇所について、8月19日に吸水マットを設置するとともに、その周辺に土のうを設置した。さらに、漏えいした汚染水の回収や漏えい箇所の特定に伴い、土のう仕切り範囲を順次縮小することで、漏えい範囲の拡大防止を図った。

また、当該タンク周辺に設置した土のう内に溜まった水については、断続的に仮設タンクへ回収を行っていたが、8月20日21時55分から8月22日15時00分にかけて、仮設タンク内の水を仮設ポンプによりH4北エリアB群に設置してあるRO濃縮水貯槽No.10タンクへ約8m³移送した。

(添付資料-1)

(3) H4北エリア周辺における漏えい拡大防止策

当該タンクから漏えいした汚染水のお大半が当該堰外に流出して土壌へ浸透した可能性が高いこと、H4北エリア周辺に設置してある土のう式堰の外側地表面で高い放射線量が測定された地点があったことから、H4北エリア周辺における漏えい拡大やB排水路への流出を防止するため、8月20日に以下の応急対策を実施した。

- a. 土のう式堰の隙間から漏えいが拡大するのを防止するため、土のう式堰の前面または背面に盛土を設置した。
- b. 土のう式堰を設置していない箇所から漏えいが拡大するのを防止するため、盛土（一部は土のう）と遮水シートによる土堰堤を設置した。
- c. 降雨水等が土壌へ浸透することにより、漏えいした汚染水や土砂等が排水路に流れ込むのを防止するため、土のう式堰の外側で高い放射線量が測定された地点までの道筋に遮水シートやブルーシートを設置した。

(添付資料-2)

(4) 汚染土壌の回収

当該タンク周囲の堰内の表面及び当該堰外の地表面の放射線量測定を実施した結果、漏えいしたタンクから側溝（B排水路）に向かって汚染範囲が認められた。

このため、汚染土壌の回収を8月23日より開始した。なお、当該堰に設置してあるドレン弁の線量が高かった当該堰南側周辺についても、漏えいした汚染水が流れ込んだと想定されるため、土壌を回収した。

- a. 回収にあたり、線量調査結果を踏まえて汚染範囲を特定した後、当該範囲の土壌を回収し、角形タンク等に保管している。また、掘削毎に線量を確認し、原則として70μm線量当量率（β線）が0.01mSv/h未滿になるまで掘削を行った。
- b. ただし、タンクエリアの基礎の直近など、一部のエリアでは70μm線量当量率（β線）が0.01mSv/h未滿になる前に作業上の安全性を考慮して掘削を中止した。
- c. また、無線中継所付近については、多数の干渉物等があることから、可能な範囲で回収を実施したが、一部のエリアでは70μm線量当量率（β線）が0.01mSv/h未滿になるまで掘削することが出来なかった。
- d. 回収した汚染土壌の総量は、878m³であった。

(添付資料－3, 4)

(5) 排水路内の汚染土砂回収

漏えいしたタンク付近の側溝（B 排水路）コンクリート壁に汚染が認められたため、B / C系排水路合流部に土のうを設置し（8月27日完了）、H4北エリア周辺のB系排水路の清掃を実施した（9月11日完了）。

排水路内の土砂については、排水路内に留まった水を回収・移送後、堆積した土砂を回収するとともに、排水路周辺部の除草を実施した。回収した水及び土砂等については、鋼製角形タンク群へ移送し保管した。

(添付資料－3, 5)

5-2. タンク周辺の監視強化

当該タンクからのRO濃縮水の漏えい事象を踏まえて、漏えい拡大防止や本事象の影響確認のために以下の対策を実施した。

(1) 堰外への漏えい拡大防止策

当該堰内に溜まった水が堰外に漏えいするのを防止するため、事象発生直後に閉止したドレン弁（3箇所）と同様に当該堰に設置されているすべてのドレン弁（21箇所）について、8月19日に閉止した。また、タンクを設置している全エリアのドレン弁についても8月28日に閉止した。

なお、ドレン弁を閉止後に堰内に溜まった降雨水については、以下の通り運用することとした。

- a. 堰内に溜まった降雨水は仮設タンクにくみ上げ、暫定排水基準を満たしていれば排水する。暫定排水基準を満足しない堰内溜まり水はタンク等に回収する。
- b. 平成25年12月末までの暫定運用として、迅速な対応が求められる場合、堰内の溜まり水を堰内4箇所以上から直接採取・分析して、測定結果（前回（直近実績）と今回）が暫定排水基準を満足していれば、ドレン弁を開、もしくは排水ポンプにより堰内から直接排水する。

また、平成26年5月21日より、雨水処理設備等により放射性核種を処理後、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関する規則」に定める告示濃度比0.22を下回ったものについては、発電所構内での散水処理を開始した。

(添付資料－6)

(2) タンク周辺の監視強化

- a. タンクからの漏えい状況の変化等を速やかに把握するため、これまで一日2回（2名×2回）の頻度で行っていたタンク周辺の現場状況の確認を、9月2日から頻度及び人数を増やし、9月21日からは一日4回（30名×4回、30名の内訳は3名×10エリア）に増強した。
- b. これまでは、主に漏えいに着眼した目視確認のみであったが、それに加え、個々のタンクの状態を確認するため線量・水位の測定を実施することとした。なお、水位の確認については、全フランジ型タンクを対象に個々のタンクに水位計を設置するまでの措置としてサーモカメラを用いた外部からの定期的な水位確認を実施した。また、水位計を設置したタンクについては、遠隔による水位トレンドの監視を実施している。
- c. パトロール方法の改善としては、個々のタンクについて側面ならびに底部を確実に網羅

し、漏えいや疑わしい水溜まりの有無等を点検し記録する方法に見直した。また、漏えい等による状況の変化が定量的に評価出来るように、設備の異常有無情報に加え、日常的な水溜まりや平常時の線量等に関するエリア毎、タンク毎の記録を作成するよう、記録様式を変更した。さらに、これらについて、パトロール員に対して必要な教育・訓練を実施するとともに、パトロール方法に関連する手順書類に、改善内容を反映した。

(添付資料ー7)

(3) 汚染の状況把握

漏えいした汚染水が地下水、排水路、海洋へどのように影響しているのかを調査するため、既設の地下水バイパス井戸、調査坑のサンプリングに加え、新たにボーリングを行い、継続的に地下水の放射性物質濃度の測定を行うとともに、排水路の水や海水の放射能濃度分析を継続実施している。

(添付資料ー8)

5-3. 類似タンクの点検結果及びリスク低減策

当該タンク内の放射線量が高いことを考慮すると、漏えい箇所の特定や原因調査に時間を要する可能性もあることから、発電所構内で使用している当該タンクと同じ全ボルト締めタイプの類似タンク(305基^{※3})とそのタンク周辺に設置してある堰(以下、「外周堰」という。)について、8月22日に外観点検及び雰囲気線量当量率測定を実施した。

外観点検の結果、すべての類似タンクとその外周堰において、漏えいや水溜まり等の異常は確認されなかったが、雰囲気線量当量率を測定した結果、H3エリアA群RO濃縮水貯槽 No.10 タンク底部のフランジ部近傍で約69.5mSv/h(70 μ m線量当量率(β 線))、H3エリアB群RO濃縮水貯槽 No.4 タンク底部のフランジ部近傍で約99.5mSv/h(70 μ m線量当量率(β 線))の線量率を確認した。

上記のタンク2基について水位を測定したところ、RO濃縮水受け入れ時と比較して水位低下は確認されなかったことから、タンク2基ともに漏えいの可能性はないと判断した。

なお、念のため、タンク内に貯留しているRO濃縮水の漏えいリスクを低減する観点から廃液RO供給タンクへ水移送を行うこととし、H3エリアA群RO濃縮水貯槽 No.10については平成25年9月11日、H3エリアB群RO濃縮水貯槽 No.4 タンクについては平成26年1月31日に移送完了した。

(添付資料ー9, 10)

5-4. 使用履歴調査結果及びリスク低減策

当該タンクの使用履歴調査を進めているなかで、当該タンクを含むタンク3基について、元々はH1東エリアに設置したNo.3、No.4、No.8タンクであったが、タンク設置後の水張り試験中にタンク周辺の基礎部分が一部沈下したため、平成23年8月上旬に解体していること、及び解体後のタンク3基はH2エリアに移設する計画であったが、実際には当該タンクを含めH4北エリアに移設(他のタンク2基はH4北エリアI群RO濃縮水貯槽 No.10タンク及びH4北エリアII群RO濃縮水貯槽 No.3タンク)していることが判明した。

なお、H4北エリアに移設した後には、平成23年10月に水張り試験を実施してタン

※3 フランジ型タンクは底板止水構造によりTYPE-1~5に大別され、設置数305基の内訳はTYPE-1は120基、TYPE-1'は20基、TYPE-2は37基、TYPE-3とTYPE-4は59基、TYPE-5は69基である。なお、当該タンクはTYPE-1である。

ク3基ともに漏えい等の異常がないことを確認していた。

当該タンクと同様の経緯を辿ったタンク2基については、タンク内に貯留しているRO濃縮水の漏えいリスクを低減する観点から水移送を行うこととした。H4北エリアⅡ群RO濃縮水貯槽 No.3 タンク内のRO濃縮水については、H4北エリアB群に設置してあるRO濃縮水貯槽 (No.10 タンク) へ受け入れ可能な量の移送を実施済みであり、残りの水の移送は今年度実施予定のフランジ型タンクからの水抜きにあわせて計画する。(H4北エリアⅠ群RO濃縮水貯槽 No.10 タンクについては8月27日に移送完了)

(添付資料-11)

6. 環境への影響(汚染水の広がり)調査結果

タンクからの漏えい量評価や、漏えいした汚染水が地下水、排水路、海洋への影響について調査した結果を以下に示す。

6-1. タンクからの漏えい量の評価結果

- (1) H4北エリアⅠ群のRO濃縮水貯槽5基は連結配管で接続されており、RO濃縮水を受け入れる時には、RO濃縮水貯槽5基の水位が均等になるよう連結配管の弁を開けた状態で受け入れ、受け入れ完了後に連絡配管の弁を閉止している。事象発生後、当該タンク及びH4北エリアⅠ群にある他のRO濃縮水貯槽4基について、タンク上蓋を開けて水位を測定したところ、他のRO濃縮水貯槽4基の水面は、タンク天井から0.5~0.6m程度、当該タンクの水面については、タンク天井から約3.4mの位置であったことから、タンク水位が約3m低下していると評価された。当該タンクは水位10mで約1,000m³貯留出来るタンクであることから、水位から算出すると約300m³のRO濃縮水がタンク外へ漏えいしたものと考えた。そのうち、堰外への漏えい量は、当該堰の中で回収した汚染水もあるが雨水も混ざっており区別出来ないことから、最大で約300m³と評価した。
- (2) 当該タンク群の水位については最後に実施したRO濃縮水の払出、受入操作時の水位トレンドから検証した結果、以下のことが確認された。なお、水位計は受払タンク (No.7タンク) のみに設置しており、濃縮水の受払時には、タンク群の連結弁を開としていた。
 - a. 送水途中で、当該タンク連結弁が突然閉となったと仮定すると、水位上昇の変化幅が大きくなるが、そのような傾向はなく水位上昇は一定に推移していた。
 - b. 送水開始から終了まで連結弁の開度が十分でなかった場合(中間開や微開状態)、受け入れがなかった7月20日から22日に受入タンクの水位が若干低下するが、そのような傾向はなく受入タンクの水位は一定に推移していた。
- (3) 当該タンク内面にある喫水線の跡からタンク水位について調査した結果、以下のことが確認された。
 - a. 当該タンク内面のタンク天井部から約60cm下の位置にタンク側面全周に渡って喫水線らしき跡が確認されたことから、当該タンクは少なくとも1回は満水状態になっていると考えられた。
 - b. さらに低い位置において、タンク天井部から約120cmの位置、150cmの位置に喫水線らしきものが確認された。ただし、満水時の喫水線が全周に渡り確認されているが、

低い位置の噴水線は部分的な跡であった。

以上のことから、当該タンクはRO濃縮水受入時には、満水状態であり、そこから徐々に水位が低下し、漏えい発見時の水位になったことから、漏えい量は約 300m³と評価した。

(添付資料-12)

- (4) 「4.」で示したとおり、漏えい発見後に当該堰のドレン弁を閉止しているが、8月19日に当該堰内に溜まった漏えいした汚染水、8月23日に当該タンクに残存していたタンク水の放射性物質濃度を測定した結果、全β放射能は5割程度の差があるものの、その他の核種はほぼ同じ濃度であった。γ核種及びH-3の濃度がほぼ同じであることから、当該堰内に溜まった漏えいした汚染水と当該タンク水は、ほぼ同じものであったと考えられる。

また、当該タンク水についてSr-90の分析を実施した結果、 $1.5 \times 10^5 \text{Bq/cm}^3$ と、概ね全β放射能濃度の半分程度であった。

これらの放射性物質濃度に、漏えい量 300m³をかけて漏えい量を求めた。タンク水の分析結果から、最も濃度が高く、環境への影響が大きいと考えられるSr-90の漏えい量を計算すると、 $4.5 \times 10^{13} \text{Bq}$ であった。

(添付資料-13)

6-2. 地下水への影響調査結果

6-2-1. 地表面の線量調査

- (1) 当該タンクエリア周辺の地表面の線量率測定を行った。91ポイントにおいて測定を行った結果、当該漏えいタンクの北側から東側にかけて、70μm線量当量率(β線)で1mSv/hを超えるポイントが12ポイント確認された。これらの高線量率箇所は、当該堰周辺の水溜まりのあった箇所、当該タンク北東側の無線中継所東側地点の他、隣接するB排水路の壁面でも確認された。

- (2) 当該タンクから漏えいした汚染水は、当該堰に設置してあるドレン弁から流出し、当該堰周辺の土壤に浸透しながら、B排水路の方向に流れたと考えられる。さらに、漏えいした汚染水が浸透した場所への降雨により、表面に残存した汚染が洗い流されるように、B排水路の方向に流れたと考えられる。

なお、B排水路手前で線量が高くなったのは、水が溜まりやすい地形になっていたため、漏えいした汚染水がB排水路手前で滞留して土壤に染みこんだ影響と考えられる。

(添付資料-3)

6-2-2. ボーリングによる土壤汚染状況調査

漏えいした汚染水による土壤の汚染状況を把握するため、以下に示す通り観測孔のボーリングコア等の調査を実施した。

(1) 浅深度ボーリング

- a. 地表面の線量率が高かったエリアにて、2m程度の深さのボーリングを6カ所について実施し、土壤の分析を実施した結果、当該タンク北東側のC-1~4では、高濃度の全β放射能が検出された。特に、当該堰周辺の水溜まり付近のC-1、C-2、C-4では、深さ2mまで高濃度の全β放射能が検出された。
- b. 一方、当該堰の南東側のC-5、C-6でも放射性物質は検出されたものの、全β放射能濃度とCs-134、137の濃度に大きな違いはなく、検出された全β放射能は、事

故後に地表面付近に付着した Cs-134、137 によるものと考えられる。

(添付資料-14)

(2) 漏えいタンク直下のボーリング

- a. 漏えいタンク直下の汚染確認のため、2m程度の深さのボーリングを2カ所実施した(9月12日、13日試料採取)。ボーリングコアについて深さ毎に線量率を測定した結果、北東側のD-2では、深さ1m程度まで70 μ m線量当量率(β 線)で0.02mSv/h以上の線量が検出された。ボーリングコアの一部を核種分析した結果、深さ0.2mで最大 2.0×10^7 Bq/kgの全 β 放射能が検出された。また、Cs-134、137についても数万Bq/kgの濃度で検出されたが、深さ方向にほぼ均一の濃度であったことから、事故後に地表面付近に付着したCs-134、137がタンクエリア設置時の地盤改良により攪拌されたものと考えられる。
- b. 一方、南西側のD-1からはバックグラウンドレベルを超える放射線は検出されておらず、全 β 放射能濃度もCs-134、137の濃度と大きな違いはないことから、漏えいした汚染水による影響はほとんど無かったものと考えられる。
- c. また、漏えいした汚染水がタンクエリアのコンクリートを貫通して地下に浸透した形跡は確認されておらず、ドレン弁から北東側の堰外に流出した漏えいした汚染水が、地下に浸透する際、コンクリート基礎の下の碎石層から回り込み、当該タンク北東側のD-2付近まで到達したのと考えられる。

(添付資料-14)

(3) 深部ボーリング

- a. 地下水の放射性物質濃度の測定を目的に行った、7~25m程度の深さのボーリング8カ所(E-1~8)のうち、当該タンクに近い5カ所のボーリングコアにおいて、深さ毎に線量率を測定した。その結果、北東側E-1のボーリングコアにおいて、深さ2.5m~4m程度まで70 μ m線量当量率(β 線)で0.01mSv/h以上であった(深さ2mまでは土壌を入れ替え済み、2~2.5mまでは水を通しにくい地質)。
- b. 南西側のE-2及び東側のE-3、E-5からは、バックグラウンドレベルを超える放射線は検出されておらず、E-4において検出された γ 線、 β 線も地表面付近に限られており、 β 線より γ 線が高いことから、事故後に地表面付近に付着したCs-134、137による影響と考えられる。

以上の通り、当該タンク南側のE-2及びB排水路東側のE-3~5の部分には、漏えいした汚染水による影響はなかったものと考えられる。

- c. また、E-1、E-2について、ボーリングコアの一部を採取して核種分析を行ったが、E-1では深さ3m付近で最大 5.7×10^6 Bq/kgの全 β 放射能が検出された。Cs-134、137はほとんど検出されておらず、漏えいした汚染水による影響と考えられる。E-2については、線量率測定と同様、Cs-134、137、全 β 放射能ともに低濃度であった。
- d. さらに、地下水経由での漏えいした汚染水の広がりを監視するため、漏えいした汚染水がB排水路に流れ込んだと考えられる無線中継所付近東側のE-9、及び当該タンクの東側のE-10で、2カ所のボーリングを追加実施した。ボーリングコアの線量率測定及び核種分析を実施したところ、E-9では地表から2m付近で高濃度の全 β 放射能が検出された。また、E-10でも地表付近を中心に β 線及び全 β 放射能による汚染が確認されたが、Cs-134、137の濃度とほぼ同等であった。

(添付資料-14)

6-2-3. 地下水の水質分析調査

当該タンクからの漏えいが確認されて以降、地下水の放射能濃度の測定を目的に、合計 10カ所 (E-1~10) でボーリングを行い、水質を監視している。これまでの調査結果は以下の通りである。

- (1) 漏えいした汚染水中の Sr-90 の影響は、全β放射能濃度により監視している。当該タンク北東側の当該堰に近い E-1 観測孔においては、周囲の汚染土壌回収後も高濃度の全β放射能が検出されている。E-1 観測孔の周囲には、汚染した地下水の汲み上げ用井戸 (ウェルポイント) を設置して汲み上げを行っており、E-1 観測孔の地下水中全β放射能濃度は低下傾向にあるが、降雨があると再度濃度が上昇する現象が確認されている。ボーリングコアの調査結果から、当該タンクエリアのコンクリート基礎下部の土壌にも漏えいした汚染水の影響が及んでいることがわかっており、これらの回収出来ていない土壌中の Sr-90 が、雨水及び地下水水位の上昇に伴い、E-1 観測孔付近に流れ込んでいることが考えられる。
- (2) また、無線中継所付近東側の E-9 で、2月以降、全β放射能濃度が急上昇した。E-9 周辺には、地中の干渉物等により回収出来なかった汚染土壌が一部残っており、2月の降雪等の影響で雨水とともに土壌中の Sr-90 が流れ込んだものと考えられる。その他の観測孔では、掘削直後の採水で全β放射能濃度が数百から数千 Bq/L 程度検出された場合があるものの、その後放射能濃度は低下しており、現時点で排水路より東側には Sr-90 の影響は、ほとんどないものと考えられる。
- (3) H-3 については、全β同様 E-1、E-9 が高いが、その他に E-10 も高濃度となっている。さらに、B排水路東側の E-3 でも上昇傾向にあり、E-4、E-5 においても 1000Bq/L ~3000Bq/L 程度検出されている。H-3 は水そのものであり、土壌に吸着されることが無いため、地下水とともに B排水路の東側まで拡散しているものと考えられる。その他、当該タンクから比較的遠い観測孔 E-6 では、現時点で濃度の上昇は見られていない。E-7、E-8 では、当初 1000Bq/L 程度の H-3 が検出されたが、その後は横ばいから低下傾向となっており、過去の汚染による影響も考えられる。
- (4) なお、当該タンクエリア近傍の過去の漏えいによる影響を把握するため、タンクエリアの西側でボーリングを行い (F-1)、地下水の放射能分析を行っているが、全β放射能濃度が 20Bq/L 前後、H-3 濃度が数百 Bq/L 程度と、漏えい以前から観測している地下水揚水井等の分析結果と変わらない。
さらに、当該タンクエリアの東側にある既設のボーリング孔 (地下水バイパス揚水井 No.5~No.12、調査孔 b、c) において、放射性物質の濃度の監視を開始したが、全βは検出されていない。H-3 濃度については、最も南側の揚水井 No.12 において、2,000Bq/L 程度まで上昇しているが、H4北エリアの汚染水が漏えいした北東側からは離れており、過去の汚染による影響も考えられる。

(添付資料-15, 16)

6-2-4. 放射性物質の回収量の評価

漏えいした汚染水は主に土壌に浸透したことから、Sr-90 の多くは当該堰周辺土壌に吸着し、一部が地下水に混入したのと考えられる。また、H-3 は水分として土壌に含まれるほ

か、大部分は地下水に混入したものと考えられる。環境への影響を評価するため、以下の通り全β放射能濃度を指標として、土壌回収によるSr-90の回収量の試算を行った。

(1) 土壌の表面線量率と核種濃度の関係

「6-2-2. (3)」で調査した、ボーリングコアの70μm線量当量率(β線)と全β放射能濃度の関係を整理した結果、概ね 3.0×10^7 (Bq/kg) / (mSv/h) となったことから、この関係を用いて、土壌の70μm線量当量率(β線)から、回収土壌の全β放射能濃度を推定することとした。

(2) 回収量の試算

土壌回収は、原則として土壌表面線量率が0.01mSv/hを下回るまで掘削したことから、その際の測定データを利用し、ブロック毎、深さ毎に回収土壌の全β放射能濃度を推定し、土壌回収量と掛け合わせてβ核種の回収量の試算を行ったところ、 7.4×10^{13} Bqであった。また、この半分がSr-90と仮定して、「6-1. (4)」で求めた漏えい放射性物質質量(Sr-90: 4.5×10^{13} Bq)から回収率を求めると、約80%であった。H4北エリア外の観測孔の地下水では、全β放射能濃度の上昇はほとんど見られていないことから、回収出来なかったSr-90は、その大部分が回収困難なタンクエリア基礎の下や無線局周辺設備の下など、H4北エリア内の土壌に留まっているものと考えられる。

なお、B排水路及びウェルポイントでのくみ上げにおいても、漏えいした汚染水の一部を回収したが、濃度が低いため、土壌による回収量の評価結果に影響を与えるものではなかった。

(添付資料-17)

6-3. 排水路への影響調査結果

(1) 当該タンクから漏えいした汚染水は、「6-2-1. (2)」に示す通りB排水路の方向に流れたと考えられるが、当該タンクエリア近傍のB排水路の壁面で高線量率のβ線が確認されており、漏えいした汚染水の一部がこの高線量箇所からB排水路に流れ込んだと推定される。ただし、漏えい発見時には漏えいした汚染水は地表面を流れておらず、B排水路への流れ込みも確認されていない。

(2) 漏えい発見後、当該タンクエリア近傍のB排水路、その下流のC排水路、B及びC排水路の合流地点にて採水を行い、放射能分析を実施した。当初、B排水路の全β放射能濃度は数百Bq/L程度であったことから、B排水路は土のうでせき止めし、その後清掃及びC排水路を含めた暗渠化を実施した。その結果、下流のC排水路30m盤出口(C-2)で、漏えい直後は100Bq/L以上の全β放射能が検出されていたものが、B排水路の清掃及び暗渠化完了後(平成26年3月より通水を再開)は、20Bq/L程度まで低下した。なお、現在も降雨時にはC排水路30m盤出口(C-2)で100Bq/L程度まで上昇する場合もあるが、RO濃縮水を貯蔵しているタンク群の上流(B-0-1、C-0)においても降雨時には全β放射能等が検出されている状況である。

(3) 引き続き、敷地全体の除染やフェーシング等を実施し環境改善に努める。

(添付資料-18)

6-4. 海洋への影響調査結果

地表面の線量率調査結果や、排水路の調査結果等から、漏えいした汚染水の一部が排水路に流れ込んだものと考えられたことから、B排水路を土のうによりせき止め、排水路内に留まった水及び土砂を回収した。

さらに、B排水路の清掃及びC排水路を含めた暗渠化を実施し、平成26年3月より通水を再開した。

漏えい発見前より継続している南北放水口の海水モニタリング、及び8月14日より開始した港湾周辺の海水モニタリングにおいては、全 β 放射能の測定結果に有意な上昇は見られていない。

(添付資料-19)

7. 原因調査内容及び結果

当該タンクからの漏えい箇所及び漏えい原因の特定のために以下の通り調査を実施した。調査は、当該タンクの構造から、漏えい箇所として推定される部位について、タンクの解体前、解体中、解体後に分類して調査を行った。また、調査対象は、側板及び底板における母材（溶接部）とフランジ部、ならびに他タンクとの連結配管と隣接弁とした。

7-1. タンク漏えい箇所の調査結果（解体前）

(1) 側板

a. 母材（溶接部）

①外表面視確認

側板外面について、タンク内保有水の水抜き前に行った目視確認の結果、有意な漏えいは確認されなかった。

②外面線量測定

タンク内の高い β 線量を有するRO濃縮水が漏えいした場合、漏えい痕は高い β 線量を示すと考えられるため、側板外面の線量測定を行った。測定の結果、側板1段目板材の下部と周方向フランジ材との溶接部近傍において、比較的線量の高い部位（約40mSv/h（70 μ m線量当量率（ β 線）））が1箇所確認された。（局所的な錆の発生も確認）

また、その他の箇所では漏えいを示唆するような高線量箇所は認められなかった。

③側板外面局所バキューム試験

側板外面において比較的高線量が確認された箇所（発錆部）について、念のためタンク外面からの局所バキューム試験を行った。試験の結果、当該部に塗布した発泡液からの継続的な泡の発生は確認されず、漏えいパスとして想定されるタンク内面の溶接部付近に塗布したムースの吸い込みも確認されなかったため、漏えいパスは確認されなかった。

④内表面視確認

側板内面について、タンク内部から行った目視確認の結果、側板1段目板材と縦フランジ材との溶接部の近傍において、一部に錆の発生と思われる変色部が確認された。確認された錆と思われる変色部の表面付着物は容易に剥離するものであり、付着物剥離後のタンク内表面には塗装が概ね残存していた。

b. フランジ部

①外面目視確認

「(1) 側板 a. 母材 (溶接部) ①外面目視確認」と同様に行った目視確認の結果、有意な漏えいは確認されなかった。

②外面線量測定

「(1) 側板 a. 母材 (溶接部) ②外面線量測定」と同様に行った線量測定の結果、漏えいを示唆するような高線量箇所は確認されなかった。

③内面目視確認

「(1) 側板 a. 母材 (溶接部) ④内面目視確認」と同様に行った目視確認の結果、フランジ部 (周方向及び縦方向) 内面のシーリング材の変形、剥離及びパッキンの飛び出しを一部確認した。

④内面線量測定

タンク内部から行った線量測定の結果、フランジ部 (周方向及び縦方向) 内面の線量は概ね 10mSv/h 程度 (70 μ m 線量当量率 (β 線)) で、最大でも約 20mSv/h 程度 (70 μ m 線量当量率 (β 線)) であり、著しく線量の高い部位は確認されなかった。

(2) 底板

a. 母材 (溶接部)

①底板バブリング試験

タンク内部に低水位で水を張った状態で底板下部 (底板とコンクリート基礎との隙間) を空気により加圧し、タンク内部での気泡発生有無を確認する底板バブリング試験を行った。試験の結果、タンク内部での気泡の発生は確認されず、漏えいパスは確認されなかった。

②底板下部バキューム試験

タンク水抜き後、底板下部 (底板とコンクリート基礎との隙間) をタンク外部から真空ポンプにて吸引し、タンク内部に塗布したムースの吸い込み有無を確認する底板下部バキューム試験を行った。試験の結果、底板フランジ取り付け溶接部において泡は吸込まれず、漏えいパスは確認されなかった。

b. フランジ部

①底板バブリング試験

「(2) 底板 a. 母材 (溶接部) ①底板バブリング試験」と同様に行った試験の結果、気泡の発生は確認されなかった。

②内面目視確認

タンク内部から行った目視確認の結果、フランジ部のシーリング材の膨らみが一部確認された。

③ボルト打診試験

底板フランジ部のボルト打診試験の結果、ボルト (5本) に緩みが確認された。

④内面線量測定

タンク内部から行った線量測定の結果、底板フランジ部の線量は概ね 10mSv/h 程度 (70 μ m 線量当量率 (β 線)) で、最大でも約 22mSv/h (70 μ m 線量当量率 (β 線)) であり、著しく線量の高い部位は確認されなかった。

⑤底板下部バキューム試験

「(2) 底板 a. 母材 (溶接部) ②底板下部バキューム試験」と同様に行った試験の

結果、底板フランジ部のうち隣り合う2本のボルト部（ボルト打診試験で緩みが確認されたボルトではない）から泡の吸い込み（漏えいパスと考えられる貫通部が存在すること）が確認された。

⑥底板局所バキューム試験

底板下部バキューム試験にて泡の吸い込みが確認された箇所について、タンク内部から局所バキューム試験を行った。試験の結果、当該部に塗布した発泡液による当該ボルト部での発泡（漏えいパスと考えられる貫通部が存在すること）が確認された。

なお、念のため、緩みが確認されたボルト（5本）及びシーリング材の膨らみが確認された代表部についても試験を実施したが、発泡は確認されなかった。

(3) 連結配管及び隣接弁

a. 外観目視確認

当該タンクと隣接するタンクを接続するための連結配管、及び連結配管に設置されている当該タンク隣接弁に対して、水抜き前に行った外観目視検査の結果、有意な漏えいは確認されなかった。

b. 線量測定

連結配管及び隣接弁の線量測定の結果、漏えいを示唆するような高線量箇所は確認されなかった。

(添付資料-20)

7-2. タンク漏えい箇所の調査結果（解体中）

(1) 側板

a. フランジ部

①ボルトのトルク測定

側板1段目の縦方向フランジ及び底板と接続する周方向フランジのボルトについてトルク測定を行った。測定の結果、平均して縦方向フランジでは約390N・m、周方向フランジでは約450N・mのトルク値であり、締付け時のトルク値（縦950N・m、周600N・m）からの低下が見られた。また、底板フランジ（後述）と比較するとトルク値は高い傾向であった。なお、側板フランジのボルトはタンク外面に位置しており、タンク設置後に2回の増し締めを実施している。

(2) 底板

a. フランジ部

①フランジ面間・段差測定

底板フランジ部のシーリング材を除去した後、フランジ面間距離及びフランジ段差の測定を行った。面間距離測定のため、フランジ（設計幅25mm×2枚）を含むフランジ幅を測定した結果、漏えいパス箇所と考えられるボルト部（2本）のあるラインのフランジの幅は概ね50mm程度であり、他のラインの底板フランジの幅と比較するとやや値が小さい傾向が見られた。なお、漏えいパス箇所と考えられるボルト部（2本）の両脇のフランジ幅は49.9mmと50.9mmであり、同一ライン上の他箇所のフランジ幅との顕著な相違は確認されなかった。

フランジ段差測定の結果、測定された段差は最大で4mm程度であり、漏えいパス箇所と考えられるボルト部（2本）において、段差は見られなかった。

②ボルトのトルク測定

底板フランジ部のボルトのトルク測定の結果、確認されたトルク値は平均で 202N・m 程度であり、全体的に締付け時のトルク値 (950N・m) から低下が見られた。なお、漏えいパス箇所と考えられるボルト部 (2本) のトルク値は 100N・m と 240N・m であり、他のボルトと比較して顕著な低下は見られなかった。

③底板下部バキューム試験

底板フランジ部のシーリング材を除去した後、再度底板下部のバキューム試験を行った結果、シーリング材除去後のフランジ上面からのムースの吸い込みは確認されなかった。

また、漏えいパス箇所と考えられる部位のボルト2本を取り出し、底板下部バキューム試験を同様に行った結果、当該両ボルト穴内のフランジ面下側において、泡の吸い込みが確認された。

④漏えいパス箇所と考えられるボルト部の隙間測定及び目視確認

漏えいパス箇所と考えられるボルト部 (2本) について、ボルトを取り外す前に行った隙間測定の結果、2本のボルトにおいて、フランジとワッシャー、ワッシャーとボルトの間に隙間が確認され、隙間は最大で 0.23mm 程度であった。

また、当該ボルト2本を取り外した後にボルト穴内の目視確認を行った結果、隣り合うボルト穴2箇所のうちマンホールに近い側にて幅約 3mm、長さ約 22mm、もう一方の箇所にて幅約 2mm、長さ約 11mm の開口部が確認された。なお、当該開口部は、底板下部バキューム試験にて泡が吸い込まれた箇所であった。

(添付資料-21)

7-3. タンク漏えい箇所の調査結果 (解体後)

(1) 側板

a. フランジ部

①浸透探傷液塗布による目視確認

タンク解体中 (直前) にタンク側板一段目のフランジ部内面に浸透探傷液を塗布し、タンク解体後にフランジ面の目視確認を行った。フランジ面の目視確認の結果、浸透探傷液の染み出し等の漏えいパスを示唆する部位は確認されなかった。

(2) 底板

a. フランジ部

①浸透探傷液塗布による目視確認

タンク解体直前にタンク内面のフランジ部及びボルト部に浸透探傷液を塗布し、タンク解体後にフランジ面の目視確認を行った。フランジ面の目視確認の結果、既に確認されている漏えいパス部位と考えられるボルト部 (2本) 以外には、浸透探傷液の染み出し等の漏えいパスを示唆する部位は確認されなかった。

②漏えいパス箇所と考えられるボルト部の詳細目視確認

漏えいパスと考えられるボルト部 (2本) 近傍について、タンク解体後のフランジ面の詳細目視確認を行った。確認の結果、当該部のパッキン接触面は大きく蛇行しており、パッキン上端がフランジ面下端よりも下に飛び出していた痕跡 (漏えいパスが形成されている状態) が確認された。

また、当該のパッキンが飛び出していた箇所のフランジ面においては、パッキン接触

痕とパテの間のフランジ面に発錆が確認された。

③フランジの開き測定

タンク解体後の底板フランジの開き（上端に対する下端の開き）測定の結果、漏えいパスと考えられる箇所（ボルト2本）及び当該ラインのフランジ部において、フランジ下側の開きが確認されているものの、上端・下端の距離（約116mm）に対して軽微（1～2mm程度）なものであった。

④取外しボルトの外観確認

タンク解体後に、取外しボルトの外観確認及び寸法測定の結果、漏えいパスと考えられる箇所のボルト2本において、有意な変形等の異常は確認されなかった。

⑤フランジ面の目視確認結果

タンク解体後、フランジ面の目視確認を行った。確認の結果、フランジ面の状況から、パッキンがフランジ面下部に抜けるような様子（フランジ面のボルト部から下部にわたる発錆）は当該部以外に確認されなかった。

(3) コンクリート基礎

タンク解体後、タンクが設置されていた範囲について、コンクリート基礎の高低差の測量を行った。測量の結果、最も高い位置を基準に、最大で3cm程度の高低差が見られた。漏えいパスと考えられる箇所（ボルト2本）は、基準とした点より2cm程度低いが、周辺と比較して顕著に低いという傾向は見られなかった。

（添付資料－21）

7-4. 調査結果に対する考察

(1) 漏えい箇所の特定

a. 側板母材（溶接部）

側板外面の一部の溶接部近傍に局所的な発錆及び比較的高い線量が確認された部位があったものの、側板外面局所バキューム試験により漏えいパスが確認されなかったこと、また、その他の部位についてはRO濃縮水保有時の外面目視確認にて有意な漏えいが確認されていないこと、外面線量確認にて漏えいを示唆する箇所が見られなかったことから、側板母材（溶接部）については、漏えい部位ではないものとする。

なお、側板内面の一部の溶接部に発錆と思われる変色部が確認されているが、当該部の表面付着物は容易に剥離するものであり、RO濃縮水に含まれる土砂成分等と腐食生成物の混合物が、帯電等により腐食部に選択的に付着したものとする。当該部の塗装については、当該溶接部の検査を実施し、後日施工されているが、その際、洗浄等の確認はされていなかったため、当該部は、周囲の側板塗装よりも状態が相対的に劣り、腐食が発生したものとする。なお、付着物剥離後のタンク内表面には塗装が概ね残存しており、腐食の程度は軽微でありタンク内面の止水性に影響を及ぼすものではないとする。

b. 側板フランジ部

側板フランジ部の内面目視確認にてシーリング材の変形等が一部見られたものの、RO濃縮水保有時の外面目視確認にて有意な漏えいが確認されていないこと、外面線量確認にて漏えいを示唆する箇所が見られなかったことから、側板フランジ部については漏えい部位ではないものとする。

なお、シーリング材の変形等については、パッキン（水膨張性止水材）の吸水による膨れやフランジボルトの増し締めによるものと考えられ、解体後のフランジ面確認等においても漏えいパスを示唆する状況は確認されなかったことから止水性を低下させる程の影響はないものと考えられるため、今回の漏えい事象の直接的な要因ではないものとする。

c. 底板母材（溶接部）

底板バブリング試験及び底板下部バキューム試験により漏えいパスを示唆する箇所が確認出来なかったため、底板母材（溶接部）については漏えい部位ではないものとする。

d. 底板フランジ部

底板フランジ部については、底板バブリング試験では気泡の発生が確認出来なかったものの、底板下部バキューム試験にて隣り合う2本のボルト部からムースが吸込まれたこと、底板局部バキューム試験においても発泡剤による泡の発生を確認したことから、当該ボルト部に漏えいパスが存在することを確認した。さらに、タンク解体後のフランジ面の詳細確認により、当該部にてパッキン上端がフランジ面下端を突き抜けて飛び出し、漏えいパスが形成されていることを確認した。

漏えいパスについては、当該フランジ部上部のシーリング材除去後の底板局部バキューム試験ではフランジ上部からのムースの吸い込まれは確認されなかったこと、フランジ、ワッシャー、ボルトの間に隙間が確認されたこと、ボルト穴内のフランジ面に開口部が確認されたこと、タンク解体後のフランジ面の確認においてフランジ面からのパッキンの飛び出しが確認されていることから、フランジ、ワッシャー、ボルトの隙間からボルト穴を介して、パッキンが飛び出したフランジ面の開口部からタンク外にRO濃縮水が漏えいしたものとする。

なお、内部目視確認にてシーリング材の変形等が見られた箇所、ボルト打診試験にてボルトの緩みが確認された箇所については、底板下部バキューム試験にてムースの吸い込みが確認されなかったこと、タンク解体後のフランジ面目視確認により漏えいパスを示唆する状態が確認されなかったことから、漏えい箇所ではないものと考えられる。よって、変形、緩みは、今回の漏えい事象の直接的な要因ではないものとする。

ボルトの隙間測定の結果から、上記の漏えいパス箇所（ボルト2本）にフランジ、ワッシャー、ボルトとの間に隙間があることを確認したが、フランジ面の面間測定、段差測定、開き測定においては、漏えいパス箇所とそれ以外の箇所との顕著な差異は認められなかった。

また、底板バブリング試験において、漏えいパス箇所からの気泡の発生が確認出来なかったことについては、底板バブリング試験のためにコンクリート基礎面とタンク底板の間を加圧した方向がタンク内保有水の水压による方向と逆方向に作用していたことから、漏えい箇所の開口部を封止する挙動となった可能性が考えられる。

e. 連結配管及び隣接弁

連結配管及び隣接弁については、当該部水抜き前の目視確認にて有意な漏えいが確認されていないこと、線量確認にて漏えいを示唆するような高線量箇所が確認されていないことから、連結配管及び隣接弁については漏えい部位ではないものとする。

以上より、当該タンクにおけるRO濃縮水は、タンク底板のフランジ部のパッキンの飛び出しが確認された箇所（ボルト2本）から漏えいしたものとする。

(2) 漏えい原因の推定

底板解体後のフランジ面の目視確認も踏まえ、漏えい発生までの経緯は以下と推定した。

- a. パッキン接触痕とパテの間のフランジ面に発錆が見られることから、フランジ面にRO濃縮水が長期にわたって接触していたと考えられること、パッキン接触面の痕跡は残存パテのうねり形状よりも大きく蛇行していることから、タンク設置時のボルト締め付け以降、パッキンが徐々に落下したと推定される。
- b. パッキンがフランジ面下端よりも下に飛び出していたことから、パッキンの落下（ずれ）が継続し、最終的にタンク底部に飛び出し、流路形成に至り漏えいが生じたと推定される。

タンク底板フランジ部のパッキンがフランジ底部に抜けたことについて、タンク解体前、解体後の調査結果を総合して、想定される発生要因毎に漏えいの原因になり得るか、確認した結果、漏えい箇所には、フランジ下端側の開き、締結ボルトのトルク低下が確認され、また、ボルト締め付け時にパッキン（底部側）に軽微なうねりが生じた可能性があることもわかった。これらは、各々単独では漏えいが確認された部位のみに確認された事象ではないため、直接的な原因ではないと考えられるものの、漏えい箇所はこれらの要因が重畳していることから、パッキンがずれた原因を次の通り推定した。

漏えい箇所では、ボルト締め付け時にパッキンに軽微なうねりが生じていたところ、フランジの熱膨張・収縮の影響でパッキンを締め付けるボルト・トルクの低下が生じ、フランジ下端が開いていたことが重畳したために、タンク水圧に抗しきれずパッキンが下にずれタンク底部に飛び出すに至った可能性がある。

(添付資料-22)

(3) 確認されている漏えい量と漏えい箇所の比較検証

- a. 「6-1. (1)」のとおり、当該タンクからの総漏えい量については、約3mの水位低下から約300m³と評価している。また、8月20日時点の水位低下は約6時間で約5cmであったことから、漏えい率は約5m³/6hと考えられる。今回の原因調査において、フランジ面の目視確認により漏えいパス内にも腐食が見られたことから、フランジ面の腐食が徐々に進行するとともにある時点でパッキンのずれが大きくなり、漏えい率が增大した可能性が考えられる。
- b. 約5m³/6hの漏えいが発生する漏えいパスについて、当該水圧を考慮すると開口部の面積は計算上約25mm²となるが、一方で漏えいパス箇所におけるフランジ・ボルト・ワッシャー部の隙間測定結果から算出される開口部の面積は約16mm²程度であった。漏えいパスは腐食部を経由した複雑な開口形状で形成されていること、漏えい率を算出した際のタンク水位測定は精度の高い測定によるものでなく1~2cm程度の誤差があった可能性を考慮すると、漏えい率からの計算値と隙間測定結果からの算出値は概ね一致しており、約300m³の漏えいは当該の開口部から生じたものとする。

(添付資料-23)

(4) 漏えい箇所からの漏えい発生時期

当該タンクから漏えいが発生した時期について検討した結果を以下に示す。

- a. 漏えいを確認した 8 月 19 日以前のパトロールにおいて明確な漏えいは確認されていないため、大量の漏えいが数日間続いていた可能性は低い。
- b. 事象発見時の漏えい率は (3) の通り約 $5\text{m}^3/6\text{h}$ と考えられることから、8 月 19 日の 15 日以前から漏えいしていた可能性がある。

なお、当該タンクエリアから北東側の無線中継所東側にかけて比較的高い β 線による $70\mu\text{m}$ 線量当量率を確認しているが、タンクパトロール及び無線中継所付近における作業者の β 線による外部被ばくの線量を APD による測定値で確認したところ、タンクパトロールでは事象発生時以前では、特に変化が見られていないものの、無線中継所付近における作業において、以前には確認されなかった β 線による外部被ばくの線量が 7 月下旬に確認されており、7 月中から漏えいが発生していた可能性も否定出来ない。

(添付資料-24)

(5) その他

a. タンク移設の影響

当該タンクは「5-4.」のとおり、H1 東エリアから移設したタンクであるが、今回の漏えい原因はパッキンに対する経時的な熱収縮影響等によるパッキンのずれと推定しており、タンクの移設が直接的な原因ではないものとする。なお、タンク移設後には水張り試験を行い、漏えいがないことを確認している。

b. コンクリート基礎

タンク解体後のコンクリート基礎確認により微細なクラックを 1 箇所確認した (幅が 0.03mm 以下、長さ約 80cm の密着した微細クラック)。しかし、当該タンク付近に溜まった雨水の水位低下傾向が見られていないこと、当該タンク直下 2カ所のポーリングでは、堰外で確認された水溜まりエリアに近い箇所 (D-2) の地表面付近のみ汚染が確認されており、タンク底部から浸透した場合に発生が予想される放射状の広がりが見られないことから、この汚染は、堰外に漏えいした汚染水が回り込んだ影響と考えられる。よって、コンクリート基礎から地中への浸透は無いと推定する。

(添付資料-14, 25)

8. 運用管理に関する経緯

タンクから堰内外に約 300m^3 の漏えいが発生したことから、汚染水タンクの運用管理に関する経緯について、関係者に聞き取りし分析したところ、以下の項目が確認された。

(1) 汚染水タンクの漏えい監視について

従来、汚染水タンクについては、毎日 2 回のパトロールにおいて目視点検を実施しており、タンクエリアの堰内については、前日のパトロールにおいても水溜まりが発見されていたが、以前から降雨水の一部が排水されずに水溜まり状になることが確認されていたため、降雨水と漏えい水の判別がつけられない状況であった。このため、タンクからの RO 濃縮水の漏えいの可能性があるとして線量等を確認することはなかった。更に、各タンクへの水位計の設置など、パトロールによる目視点検以外、漏えいの早期発見手段を講じていなかった。この背景には、過去に側面フランジからの微少漏えいは発生していたが、定期的にフランジを増し締めすることによりタンクからの漏えいを防止出来ていたことから、汚染水タンクの管理に問題がないと考えていたためである。また、現場のタンクが増設さ

れているにもかかわらず、パトロール要員は10名程度で変わらなかったことや、被ばく低減の観点等からパトロールに十分な時間がかけられなかったこと等が考えられる。

(2) タンク堰ドレン弁の常時開運用について

「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画」においては、汚染水の貯留設備には漏えい水の拡大を抑制するための堰等を設けることと定めていた。しかしながら、タンクから漏えいがあった際に素早く発見出来るようにするため、降雨時に雨水を排出し、タンク設置エリアの床面を乾かすことを目的に堰のドレン弁を開運用としていた。この背景には、タンクから微少の漏えいを確認した場合にはドレン弁を閉止することにより漏えいを防止出来る、また、タンクから大量に汚染水が漏れることは考えにくいとの判断があった。

また、堰内に降った雨水は、発電所敷地内の一般排水路に流れる雨水と同程度の放射能濃度であるが、一旦溜めることにより、貯蔵しなければならなくなった場合には、貯蔵タンクの容量を圧迫するおそれがあることから、降雨水を堰内に溜めたくないという思惑が働いた。

これらのことから、堰のドレン弁については、現場の状況を優先した運用としていた。

(3) 汚染水タンクの漏えいリスクについて

汚染水を貯留するタンクの設置については、増え続ける汚染水を確実に貯留しなければならないことから早期の設置が求められていた。このため、当初は短い工期で設営出来るフランジ型タンクを設置し、その後、信頼性の高い溶接型タンクへのリプレースを計画的に進めることとしていたが、具体化されていなかった。

また、これまで汚染水対策については、複数の社内検討会でリスク管理を実施しており、その中でフランジ型タンクからの微少漏えいの可能性は共有されていた。一方、フランジ型タンクからの大量漏えいの可能性に関するリスクについては、社内では検討されなかった。

このような経緯となったのは、トレンチから港湾内への汚染水流出の対応や毎日400m³ ずつ増加する汚染水を保管するためのタンク増設など、喫緊の現場作業が多かったこと、またフランジ型タンクが5年程度は使用可能と考えており、過去に側面フランジからの微少漏えいは発生していたが、上記のとおり汚染水タンクの管理に問題がないと考えていたことが挙げられる。

以上のことから汚染水タンクの運用管理に関しては、汚染水タンクのリスク管理に問題があると認識出来なかったことが問題であり、徹底した現状分析が出来なかったことが最大の問題であった。

9. 対策

今回実施した原因分析に基づき、汚染水タンクに関するリスク管理を徹底して行えるよう設備面や運用面についての対策を立案した。

漏えい発生メカニズムを踏まえて、設備面として以下の対策を実施し、再発防止や、万一漏えいした場合の影響拡大防止を図る。また、経緯の確認結果を踏まえて、運用面での対策を実施する。なお、福島第一原子力発電所の緊急安全対策として取りまとめ（11月8日公表）、対策の一部については実施中である。

(1) タンク漏えいに関わる対策

a. タンク漏えいが生じた場合の移送先の確保

現状、汚染水を貯留するタンクは逼迫していることから直ぐに必要な量の移送先を全て確保することは困難であるが、溶接型タンクへのリプレース計画等も勘案し余裕が出来次第、RO再循環への水移送、多核種除去設備による水処理を行い、Hエリアタンクに空き容量を順次確保する。

b. 溶接型タンクへのリプレースの促進

フランジ型タンクについて、溶接型タンクへリプレースする。今回漏えいが確認されたTYPE-1のフランジ型タンクから進める。

しかし、現状において、汚染水を貯留するタンクは逼迫していることから直ぐにリプレースを実施出来る状況ではないため、溶接型タンクの増設、汚染水の流入抑制対策などを実施し、タンク容量に余裕が出来た後、漏えいリスク等を勘案し優先順位を決めリプレースを開始する予定である。

なお、タンクリプレースは優先度の高いDエリアタンク（ノッチタンク）から、H1/H2エリア円筒横置タンク、フランジ型タンクの順に実施する（平成26年6月より工事開始）。

c. 溶接型タンクへのリプレースまでの暫定対策

今回の汚染水漏えいの主たる要因は、気温変化等によるフランジの熱膨張、収縮及びタンク水圧によるパッキンのフランジ面からの飛び出しであり、ボルト等の間隙から当該隙間を通じて漏えいが発生したものと推定した。

強化パトロール（線量測定）の結果から、現時点では他タンクにおける大きな漏えいは確認されていないが、今回の事象はすべてのフランジ型タンクで発生する可能性が否定出来ないため、今後の対応として、強化パトロールの継続実施に加え、溶接型タンクへのリプレースまでの間、タンク底部の止水対策を実施する。早急に実施出来る対策として、「タンク底部のコーキング等による止水」を実施する。（着手済み。平成26年6月完了目途）

また、更なる信頼性向上のため、「底板下部へのシーリング材の充填」、「底板部（内部）へのシーリング材の充填」について実証試験を実施しており、その結果を踏まえ、暫定対策を実施していく。これらについては、これまで、部分モックアップ等を実施しているが、今後、実機適用に向けて引き続き、実証試験及び装置の設計・製作等を検討・実施する（平成26年9月以降タンクリプレース工程も踏まえて施工開始予定）。

また、他フランジ型タンク「TYPE-2～5」についても以下の調査・検討を行う。

①底板フランジの止水構造毎に代表1基の状況を確認する（タンク底部フランジ面の外観目視など）。

②底板フランジの止水状況確認結果を踏まえ、今後の対応の優先順位を検討する（同様な事象が発生した場合、漏えいするリスクが高いTYPE-1は最優先とする）。

（添付資料-26）

(2) 漏えい拡大防止策

a. ドレン弁の閉運用

堰外への漏えい拡大防止策として堰のドレン弁を閉止する（実施済み）。

b. タンク堰の嵩上げ

タンク堰内溜まり水の溢水を防止するために、応急堰として、既存堰への鉄板設置により嵩上げする（実施済み）。

信頼性向上対策として、堰の更なる嵩上げ工事を実施中。嵩上げ高さは 0.75m~1.2m で、H4北エリアは 1.0m に嵩上げした。（実施済み）

c. 堰の二重化、外周堰及び堰と外周堰間の地表面における地中浸透防止

堰の二重化を実施する。また、外周堰及び堰と外周堰の間の地表面は、雨水の地中浸透防止のため、コンクリート、樹脂吹き付けなどによりフェーシングを実施する。（平成26年6月完了目途）

d. 排水路流入防止

更なる汚染拡大防止のため、B排水路表面のライニングを実施する（実施済み）。

また、タンク等の汚染水貯留設備からの流入が考えられるB排水路約 800m、及びC排水路のB排水路との合流点から 35m 盤出口までの区間約 440mを暗渠化する（実施済み）。

e. 回収困難な汚染土壌への対策

回収困難な当該タンクエリア基礎や無線中継所周辺の設備の下部等を除き、汚染土壌の回収は完了した。なお、タンクエリア基礎下部に残留している汚染土壌については、タンクリプレースの際に調査し、回収に努める。

また、引き続き、地下水の監視を継続するとともに、地下水（ウェルポイント）の汲み上げ、及びフェーシングによる雨水浸水の抑制等を実施し、地下水経由での汚染拡散の防止に努める。

(3) 早期検知のための対策

a. パトロール強化

「5-2. (2)」のとおり、タンク周辺の監視を強化している。

b. 雨水流入抑制

堰内への雨水流入抑制を目的に、堰内汚染の比較的高いエリアを優先的に、タンク上部に雨樋等を設置し、堰外に排水出来るようにする（高線量汚染箇所は実施済み、その他既存エリアは平成26年7月完了目途）。これにより約 60%の雨水流入を抑制出来る見込みである。

c. 個々のタンクへの水位計の設置

現状、貯水タンクの水位計は、移送時のタンク群全体の水位管理を行うことが出来るようタンク群毎に1台設置していたが、個々のタンクに水位計を設置し（フランジ型タンク、既設の溶接型タンクは実施済み）、最終的には警報機能を設け、遠隔による常時監視を可能とする。

d. 側溝放射線モニタ

タンクから漏えいが発生した場合、海への流出経路となる可能性のあるC排水路内にお

いて、排水中の放射性物質濃度の上昇を検知するため、 γ 線、 β 線の連続監視用モニタを設置し、試運用中である（手順書制定等の準備が整い次第、運用を開始する）。また、C排水路から港湾内へ排水するルートの実施中である。（平成26年7月設置完了目途）

（添付資料-26）

（4）運用面での対策（リスク管理の強化）

ROタンクから大量の汚染水を漏えいさせてしまったこと等を踏まえ、汚染水問題への対応が経営の緊急課題であることを改めて認識したことから、この課題に対応するためには、意志決定の迅速化とリソースを集中投入することが必要と考え、廃炉体制・汚染水対応組織を抜本的に見直すこととし、平成25年8月26日に社長直轄の「汚染水・タンク対策本部」を設置した。

今後の汚染水対策については、本対策本部を中心に、運用管理に関する経緯について確認した内容も含め、徹底した現状分析とリスク管理を行うこととする。その中で、リスク管理に伴う方針の検討・対策に係る社内手続き及び責任の明確化を行い、トラブル時の機動力の強化を図り、汚染水問題に取り組んでいく。なお、平成26年4月以降は、福島第一廃炉推進カンパニーにて取り組んでいく。

10. 添付資料

添付資料-1	事象発生時の時系列	24
添付資料-2	応急対策実施結果	27
添付資料-3	地表面の線量調査結果	29
添付資料-4	汚染土壌の調査・回収実施状況	31
添付資料-5	排水路内の土壌回収状況	32
添付資料-6	堰内溜まり水の回収・排水運用	36
添付資料-7	パトロール時の記録について	37
添付資料-8	タンク周辺の調査概要	38
添付資料-9	フランジ型タンクの種類	40
添付資料-10	類似箇所（同型タンク）の調査結果	43
添付資料-11	タンクエリアと排水路の位置	44
添付資料-12	タンクからの漏えい量評価	45
添付資料-13	タンクからの放射性物質漏えい量について	46
添付資料-14	ボーリング調査結果	47
添付資料-15	深部地下水汚染状況調査結果	51
添付資料-16	地下水バイパスへの影響調査評価結果	54
添付資料-17	放射性物質回収量の評価結果	56
添付資料-18	B、C排水路の調査結果	60
添付資料-19	海洋への影響調査結果	62
添付資料-20	タンク漏えい箇所の調査状況まとめ（解体前）	65
添付資料-21	タンク漏えい箇所の調査状況まとめ（解体中・解体後）	70
添付資料-22	タンク漏えい原因調査結果の考察	77
添付資料-23	漏えい率からの漏えい面積の想定	79
添付資料-24	H4北エリア周辺の作業者のβ線による外部被ばくの線量確認 結果	80
添付資料-25	コンクリート基礎の調査結果	81
添付資料-26	対策	82

以上

事象発生時の時系列

平成25年8月18日

17:00頃 定例の現場パトロールにおいて、H4北エリアRO濃縮水貯槽周辺に設置してある堰（以下、「当該堰」という。）内に水溜まりはあるが堰外に明確に認識できるような水溜まりは確認されず

平成25年8月19日

09:50頃 当社社員が、当該堰の中に水が溜まっていること、および当該堰の外側2箇所に水溜まりを発見（図1参照）

09:51頃 流出が確認されたドレン弁2箇所および近隣にあるドレン弁1箇所を閉止

09:55頃 水溜まりを確認した当社社員から復旧班長（緊急時対策本部）へ連絡

14:28頃 福島第一規則第18条第12号に該当すると判断

16:00～
17:00 H4北エリア周辺に設置してある土のう式堰の外側地表面で表面線量当量率等を測定し、最大 95.55mSv/h（70 μ m 線量当量率（ β 線））の地点を確認

19:00頃～
24:00頃 当該堰内に溜まった水の回収作業を開始（仮設ポンプにて仮設タンクに汲み上げるとともに、堰内に吸水マット、土のうを設置（図2参照）、約4 m³の水を回収）

平成25年8月20日

01:00頃 H4北エリアI群にあるRO濃縮水貯槽 No.5 タンク（以下、「当該タンク」という。）付近から水溜まりが広がっているように見えることを確認

06:30頃～
14:30頃 H4北エリア周辺における漏えい拡大やH4北エリアから東側にある排水路（以下、「当該排水路」という。）への流出を防止するため、応急対策を実施（盛土、遮水シート等）

07:00頃 当該堰内の水溜まりの深さが約3cmまで上昇を確認

07:00頃 当該タンクの上蓋を開けて水位を目視確認し、本来なら天井から約0.5mにあるべき水面が天井から約3mまで低下を確認

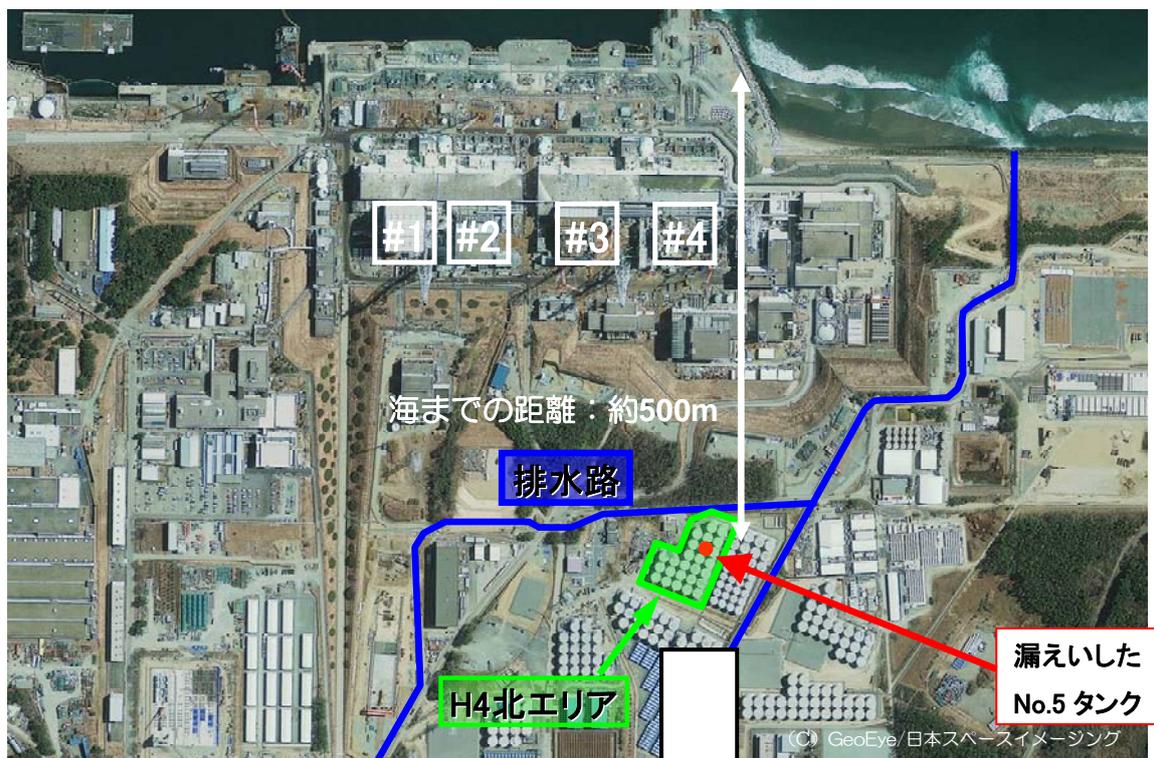
09:40頃 当該タンクからのRO濃縮水の漏えいであると判断

21:55頃～
翌日 21:13頃 当該タンク内のRO濃縮水については、仮設ポンプにより、H4北エリアB群に設置してあるRO濃縮水貯槽 No.10 タンクへ移送

21:55頃～
8/22 15:00頃 仮設タンク内の水を仮設ポンプによりH4北エリアB群に設置してあるRO濃縮水貯槽 No.10 タンクへ移送（約8m³）

平成25年8月21日

14:30～
15:10 当該排水路のコンクリート壁面の表面線量当量率を測定したところ、最大 5.80mSv/h（70 μ m 線量当量率（ β 線））を確認



拡大

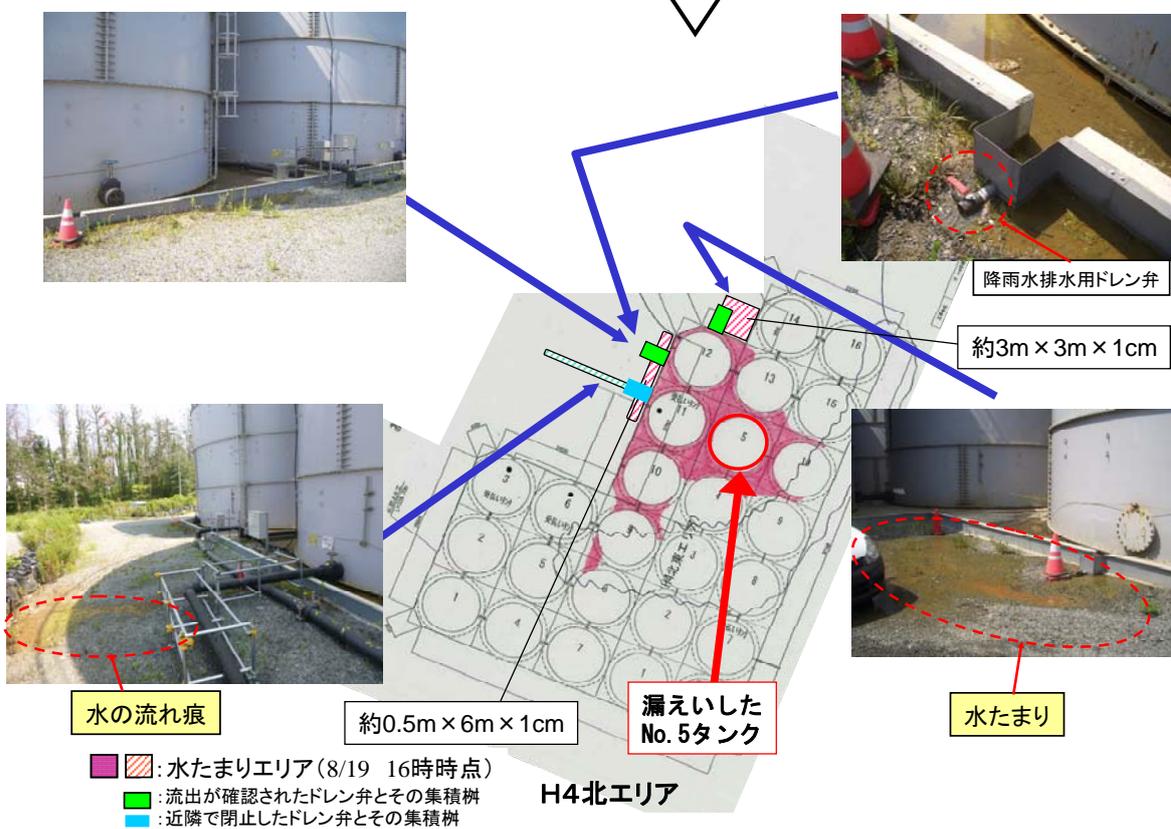
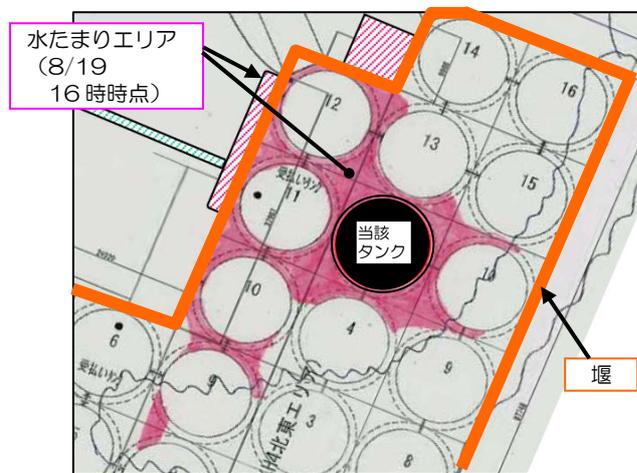
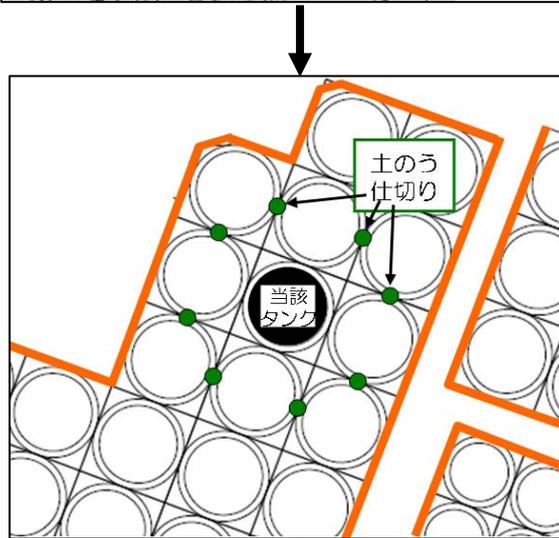


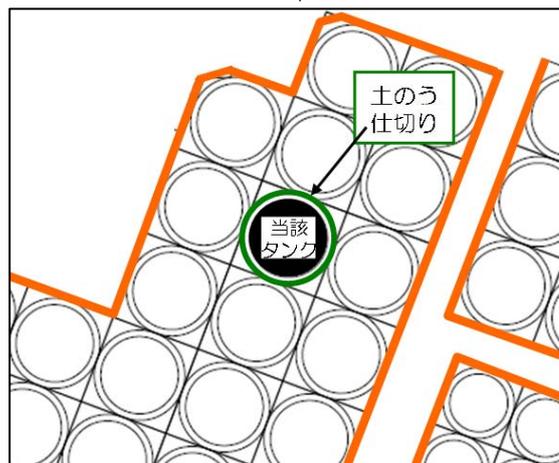
図1 漏えい発生箇所



8月19日19時頃~24時頃、当該堰内における漏えい範囲の拡大を防止するため、当該タンクからの漏えいが顕著な箇所について、吸水マットを設置するとともに、その周辺に土のうを設置



漏えい水の回収や漏えい箇所の特定に伴い土のうを設置



最終的には当該タンクに沿って土のうを設置。8月21日21時13分、当該タンク内のRO濃縮水を他タンクへ移送完了

図2 土のう設置状況

応急対策実施結果

1. 当該タンク(H4 北エリア)からの漏えい防止対策

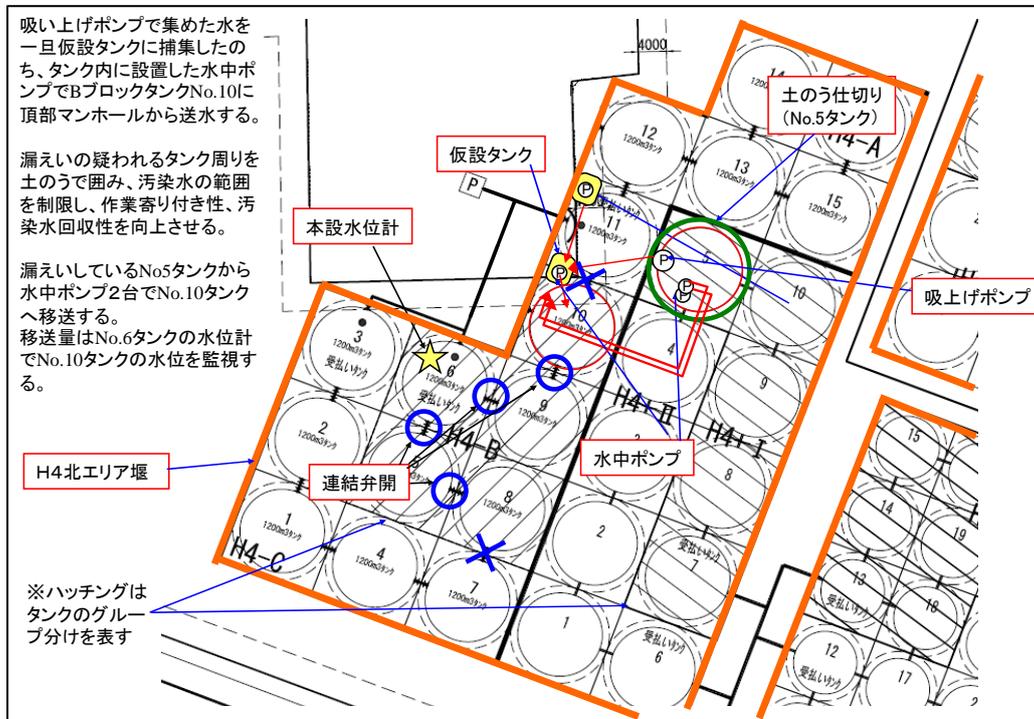


図1 漏えい水及びタンク水の移送方法



図2 水中ポンプ(仮設)及びホース敷設状況

2. H4北エリア周辺における漏えい拡大防止策

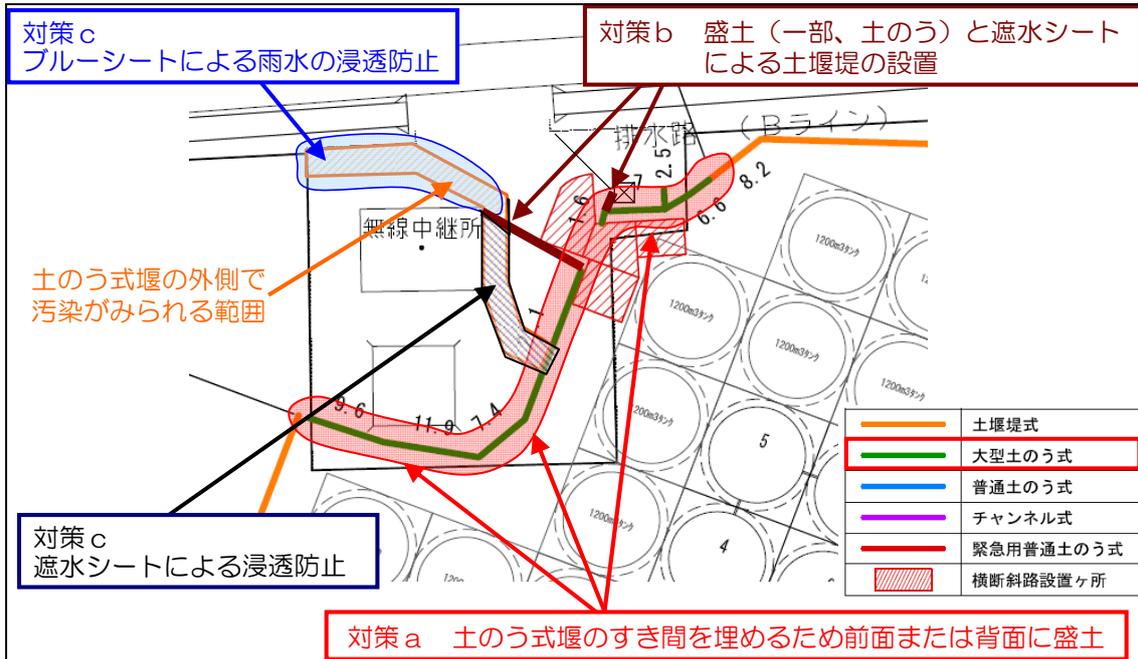


図3 土のう式堰の外側の対策

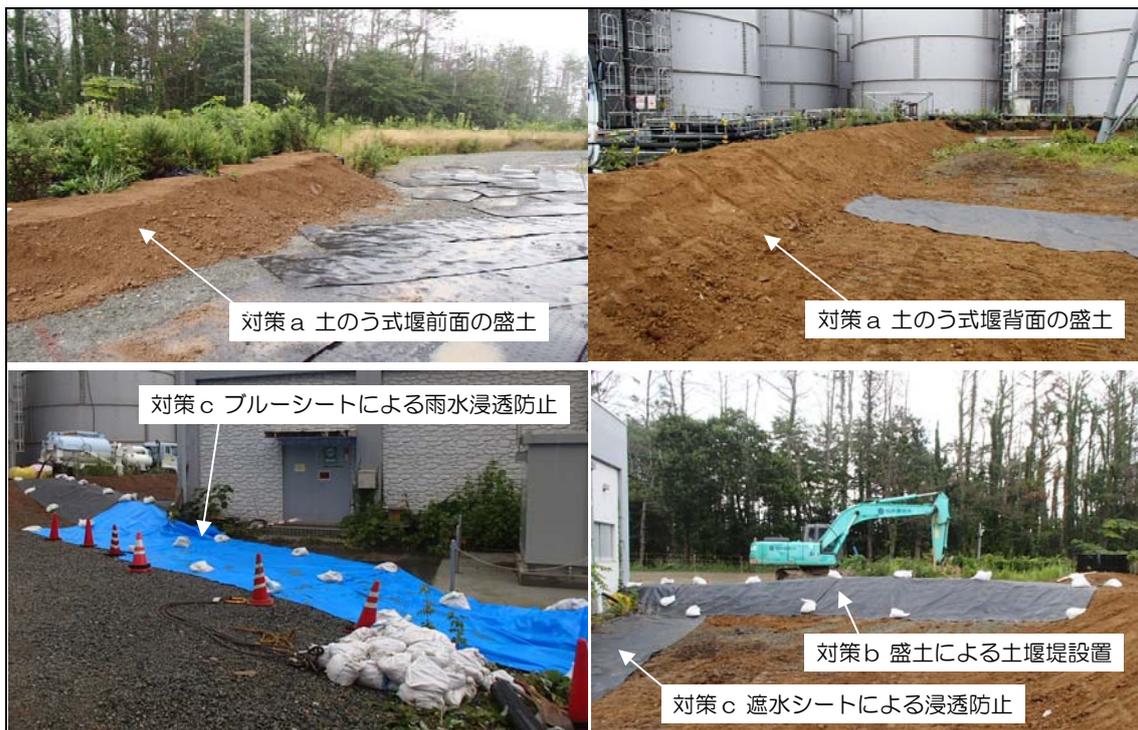


図4 土のう等施工状況

地表面の線量調査結果

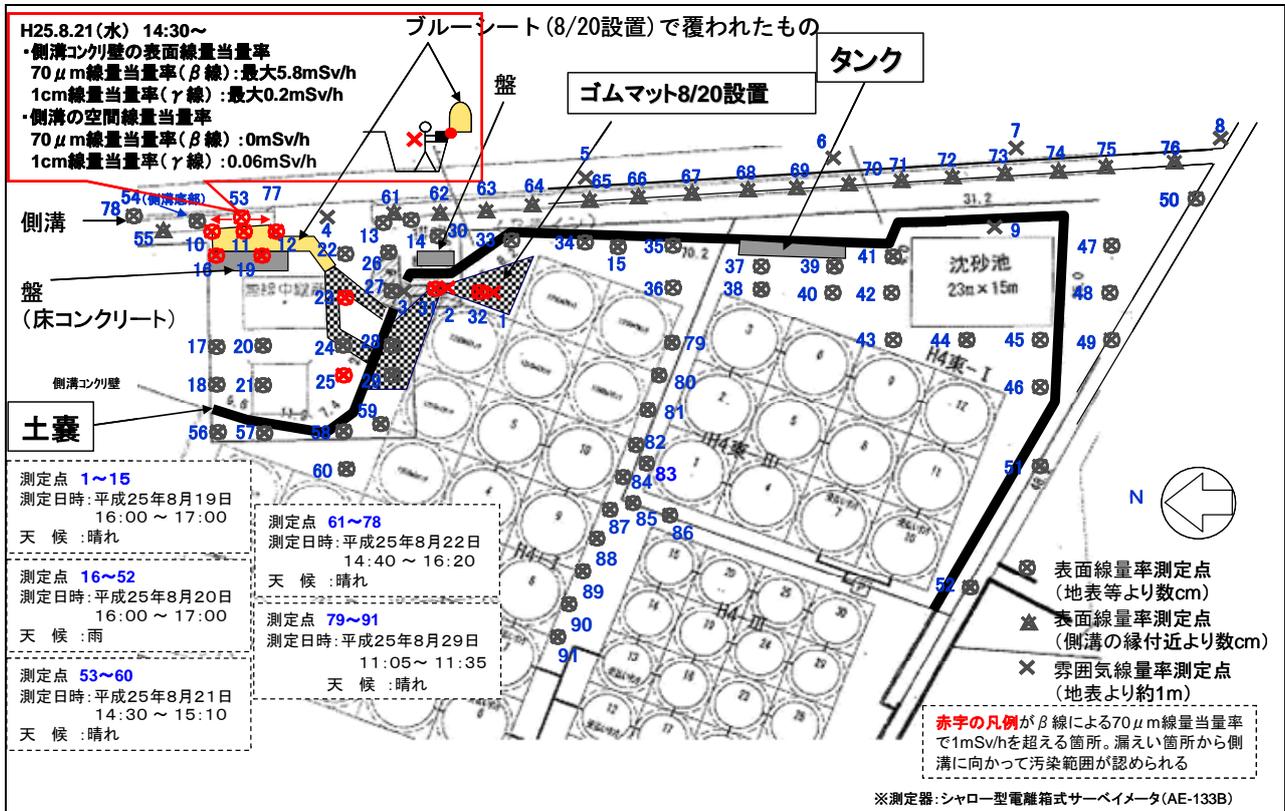


図1 地表面の放射線量調査(測定点)

測定点 1~15
 測定日時:平成25年8月19日
 16:00~17:00

測定点 16~30
 測定日時:平成25年8月20日
 16:00~17:00

単位:[mSv/h]

単位:[mSv/h]

測定点	測定日	線量率		天候	備考
		70μm線量当量率(β線)	1cm線量当量率(γ線)		
1	8/19	>98.5	1.5	晴れ	丁計付無し 約50cm高さ
2	8/19	5.4	0.1	晴れ	丁計付無し
3	8/19	0.03	0.05	晴れ	丁計付無し
4	8/19	0	0.04	晴れ	
5	8/19	0	0.06	晴れ	
6	8/19	0	0.06	晴れ	
7	8/19	0	0.045	晴れ	
8	8/19	0	0.06	晴れ	
9	8/19	0.135	0.015	晴れ	
10	8/19	89.64	0.36	晴れ	丁計無し
11	8/19	95.55	0.45	晴れ	丁計無し
12	8/19	89.65	0.35	晴れ	丁計無し
13	8/19	0.28	0.07	晴れ	
14	8/19	0.01	0.11	晴れ	
15	8/19	0.009	0.015	晴れ	

測定点	測定日	線量率		天候	備考
		70μm線量当量率(β線)	1cm線量当量率(γ線)		
16	8/20	8.96	0.04	雨	コア計上
17	8/20	0.03	0.10	雨	
18	8/20	0.02	0.08	雨	
19	8/20	1.96	0.04	雨	コア計上
20	8/20	0.02	0.08	雨	
21	8/20	0.09	0.08	雨	
22	8/20	0.12	0.03	雨	
23	8/20	2.90	0.10	雨	
24	8/20	0.04	0.16	雨	丁計付上
25	8/20	1.24	0.06	雨	
26	8/20	0	0.11	雨	
27	8/20	0.04	0.03	雨	No3と同じ
28	8/20	0.08	0.03	雨	丁計付上
29	8/20	0.8	1.2	雨	丁計付上
30	8/20	0.02	0.12	雨	

※測定器:シャロー型電離箱式サーベイメータ(AE-133B)

図2 線量率測定結果(測定点1~30)

測定点 31~52 測定日時:平成25年8月20日 16:00 ~ 17:00		測定点 53~60 測定日時:平成25年8月21日 14:30 ~ 15:10		単位 : [mSv/h]	
測定点	測定日	線量率		天候	備考
		70μm線量当量率 (β線)	1cm線量当量率 (γ線)		
31	8/20	4.89	0.11	雨	了り上 No2と同じ
32	8/20	15	1	雨	了り上 No1と同じ
33	8/20	0	0.06	雨	
34	8/20	0.06	0.02	雨	
35	8/20	0.01	0.02	雨	
36	8/20	0	0.02	雨	
37	8/20	0.03	0.04	雨	
38	8/20	0.01	0.04	雨	
39	8/20	0	0.04	雨	
40	8/20	0.03	0.03	雨	
41	8/20	0	0.03	雨	
42	8/20	0	0.03	雨	
43	8/20	0.06	0.03	雨	
44	8/20	0	0.03	雨	
45	8/20	0	0.03	雨	
46	8/20	0.01	0.02	雨	
47	8/20	0	0.04	雨	
48	8/20	0	0.04	雨	
49	8/20	0.03	0.03	雨	
50	8/20	0.04	0.03	雨	
51	8/20	0.02	0.03	雨	
52	8/20	0.02	0.03	雨	
53	8/21	5.80	0.20	晴れ	
54	8/21	0	0.06	晴れ	
55	8/21	0.02	0.08	晴れ	
56	8/21	0	0.05	晴れ	
57	8/21	0.01	0.04	晴れ	
58	8/21	0.01	0.04	晴れ	
59	8/21	0.01	0.04	晴れ	
60	8/21	0	0.05	晴れ	

※測定器:シャロー型電離箱式サーベイメータ(AE-133B)

図3 線量率測定結果(測定点 31~60)

測定点 61~78 測定日時:平成25年8月22日 14:40 ~ 16:20		測定点 79~91 測定日時:平成25年8月29日 11:05 ~ 11:35		単位 : [mSv/h]	
測定点	測定日	線量率		天候	備考
		70μm線量当量率 (β線)	1cm線量当量率 (γ線)		
61	8/22	0.005	0.010	晴れ	
62	8/22	0.004	0.010	晴れ	
63	8/22	0.005	0.011	晴れ	
64	8/22	0.004	0.011	晴れ	
65	8/22	0.001	0.011	晴れ	
66	8/22	0.002	0.011	晴れ	
67	8/22	0	0.012	晴れ	
68	8/22	0.002	0.013	晴れ	
69	8/22	0.003	0.011	晴れ	
70	8/22	0.001	0.011	晴れ	
71	8/22	0.001	0.011	晴れ	
72	8/22	0.002	0.011	晴れ	
73	8/22	0	0.010	晴れ	
74	8/22	0.001	0.010	晴れ	
75	8/22	0.001	0.009	晴れ	
76	8/22	0	0.010	晴れ	
77	8/22	0.143	0.007	晴れ	ブルーシート上 No53と同じ
78	8/22	0.002	0.008	晴れ	
79	8/29	0.43	0.02	晴れ	
80	8/29	0.285	0.015	晴れ	
81	8/29	0.825	0.025	晴れ	
82	8/29	0.04	0.02	晴れ	
83	8/29	0.035	0.025	晴れ	
84	8/29	0.17	0.03	晴れ	
85	8/29	0.005	0.03	晴れ	
86	8/29	0	0.04	晴れ	
87	8/29	0.07	0.03	晴れ	
88	8/29	0.17	0.03	晴れ	
89	8/29	0.20	0.10	晴れ	
90	8/29	0.21	0.04	晴れ	
91	8/29	0.12	0.03	晴れ	

※測定器:シャロー型電離箱式サーベイメータ(AE-133B)

図4 線量率測定結果(測定点 61~91)

汚染土壌の調査・回収実施状況

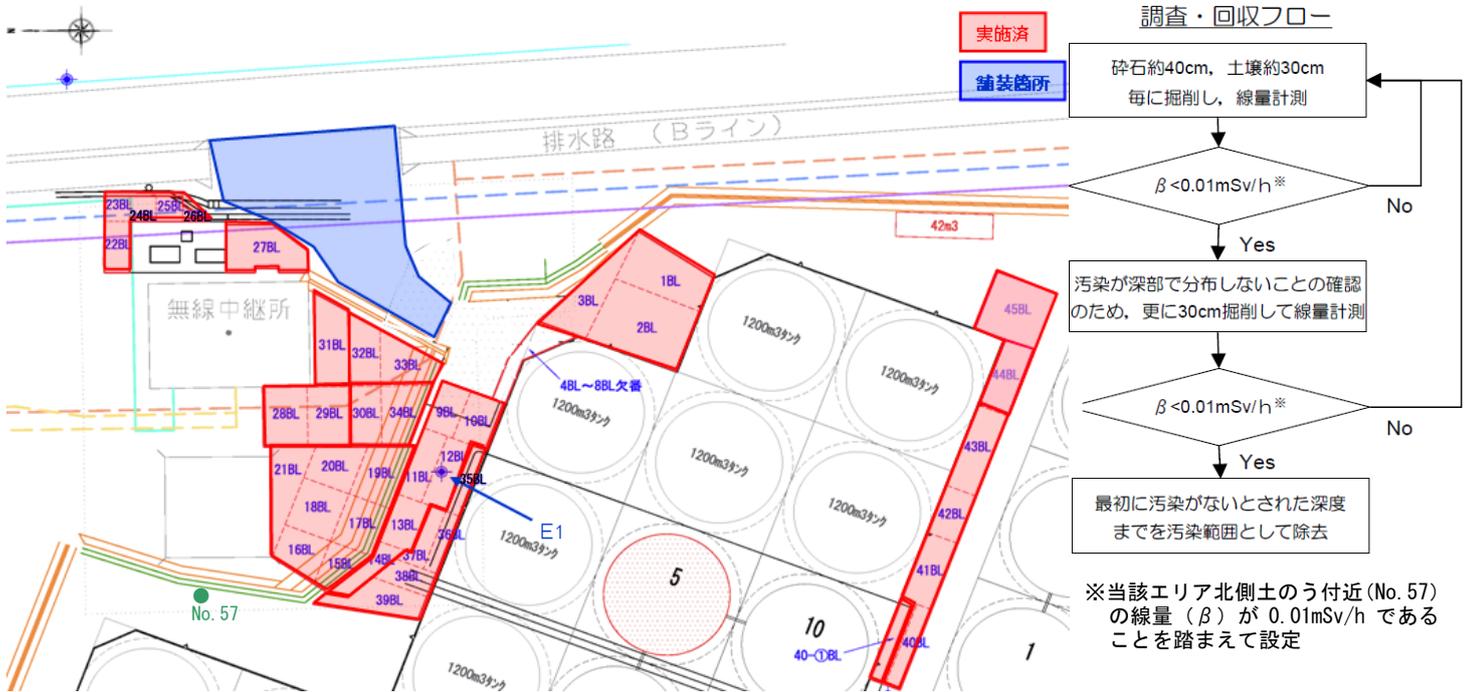


図1 汚染土壌の調査・回収 全体平面図とフロー

ブロック	線量計測深度	線量(mSv/h)	掘削土量(m ³)	備考	ブロック	線量計測深度	線量(mSv/h)	掘削土量(m ³)	備考
1	GL-3000	0.009	60		27	GL-1000	0.008	29	
2	GL-3000	0.009	96		28	GL-2500	0.040	28	安全性を考慮
3	GL-3000	0.009	64		29	GL-2500	0.10	17	安全性を考慮
9	GL-1080	0.005	16		30	GL-1000	0.008	18	
10	GL-1480	0.008	24		31	GL-2500	0.110	23	安全性を考慮
11	GL-840	0.008	15		32	GL-3000	0.007	30	
12	GL-860	0.008	16		33	GL-3000	0.130	10	安全性を考慮
13	GL-550	0.009	10		34	GL-1500	0.006	6	
14	GL-400	0.006	3		35-1	GL-2000	13.00	10	安全性を考慮
15	GL=1050	0.009	17		35-2	GL-2000	1.70	9	安全性を考慮
16	GL-900	0.004	21		36	GL-2000	0.80	19	安全性を考慮
17	GL-600	0.006	10		37	GL-2000	2.20	15	安全性を考慮
18	GL-600	0.007	15		38	GL-800	0.007	25	
19	GL-700	0.004	18		39	GL-1000	0.008	27	
20	GL-600	0.006	21		40	GL-1600	0.008	16	
21	GL-600	0.008	3		40-1	GL-1800	0.007	16	
22	GL-900	0.005	7		41	GL-1500	0.008	24	
23	GL-900	0.008	3		42	GL-1300	0.009	31	
24	GL-1650	0.35	3	支障物(埋設物)	43	GL-1500	0.008	19	
25	GL-1000	0.34	9	支障物(埋設物)	44	GL-1500	0.007	32	
26	GL-1000	0.35	6	支障物(埋設物)	45	GL-1500	0.005	39	
累計除去数量								878 m ³	

0.01mSv/h以上の箇所
深部について0.01mSv/h以上の箇所

図2 汚染土壌の線量・掘削土量

排水路内の土壌回収状況

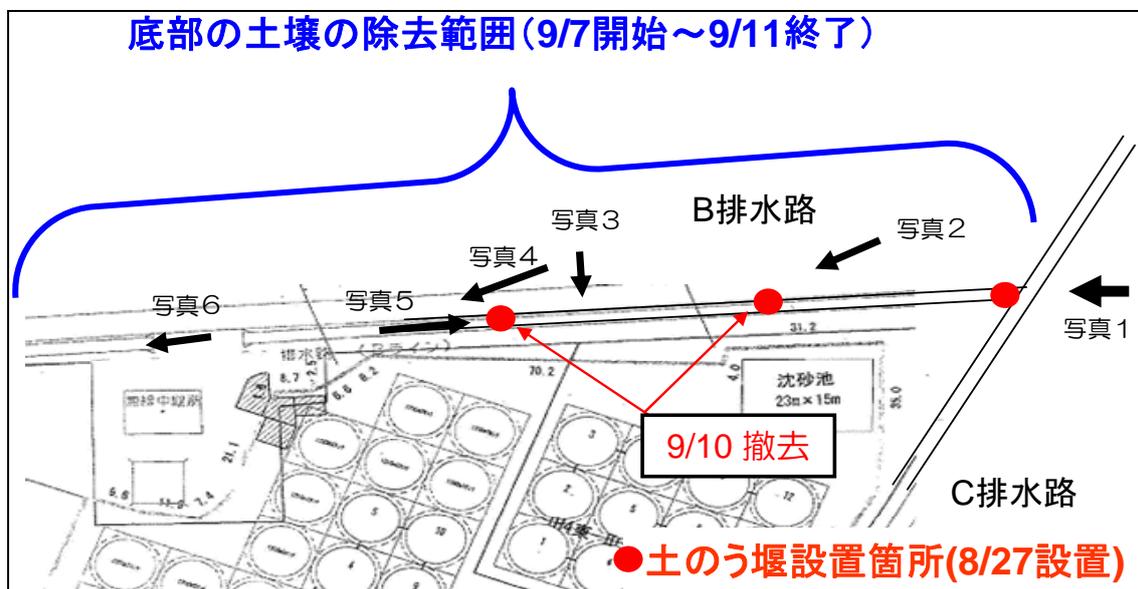


図1 排水路内の土壌回収の実施状況



排水路内土のう式堰設置(8/27)

写真2



写真3



排水路内土壌回収(9/7 撮影)

写真4



排水路内洗浄(9/9撮影)

写真5



排水路内土のう式堰撤去(9/10撮影)

写真6



ライニング実施状況(10/10撮影)

堰内溜まり水の回収・排水運用

■ 堰内溜まり水の回収
暫定排水基準※¹を満足しない堰内溜まり水はタンクに回収

■ 本来あるべき堰内溜まり水の排水運用方法

- ①【一時貯留】サンプリングタンクに堰内溜まり水を一時貯留
- ②【採取・測定】一時貯留した堰内溜まり水を攪拌・採取し、放射能濃度を測定
- ③【評価】採取した堰内溜まり水の測定結果が暫定排水基準※¹を満足することを確認
- ④【排水】サンプリングタンク内の堰内溜まり水を排水（バッチ処理）

■ 堰内溜まり水の排水運用方法（暫定運用）【年内まで】

- 基本ケース
堰内溜まり水はサンプリングタンクより採取・分析・排水（バッチ処理）
- 迅速な対応が求められる場合
 - (i)【採取】堰内4箇所以上（ほぼ矩形であれば四隅相当の箇所）より堰内溜まり水を採取
 - (ii)【測定】採取した堰内溜まり水の放射能濃度を測定
 - (iii)【評価】採取した堰内溜まり水の測定結果（前回（直近実績）と今回）が暫定排水基準※¹を満足することを確認
 - (iv)【排水】降雨水排水用ドレン弁開もしくは排水ポンプによる堰内からの直接排水

(本来あるべき運用方法のイメージ)

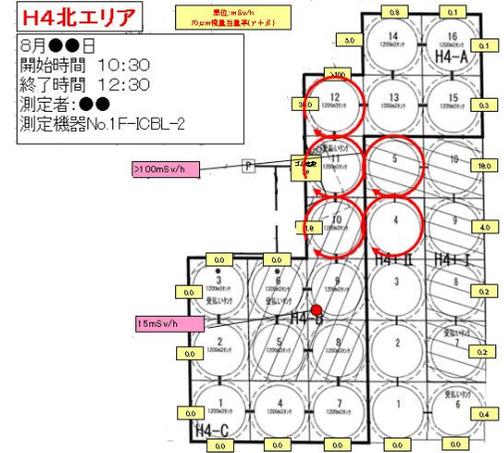
※1 暫定排水基準 以下の(1)～(5)の基準を満たすこと。

- (1)Cs-134・・・15Bq/L未満
- (2)Cs-137・・・25Bq/L未満
- (3)その他の γ 核種が検出されていないこと(天然核種を除く)
(Ge半導体検出器にて、(1)(2)が確認できる計測を行った結果、検出されないこと)
- (4)Sr-90・・・10Bq/L未満(簡易測定法により計測)
- (5)タンク内の水質等を参考に、他の核種も含めて告示濃度基準を満たすこと

パトロール時の記録について

【現 行】

場 所	機器名称	月 日	8/18	8/19	8/20	8/21	8/22	8/23	8/24
		日	月	火	水	木	金	土	
ヤード	濃縮廃液貯槽(A010) [H2エリア]		レ	レ	レ				
	RO濃縮水貯槽3(A016)・移送ポンプ		レ	レ	レ				
	RO濃縮水貯槽4(A017)・移送ポンプ		レ	レ	レ				
	RO濃縮水貯槽5(A021)・移送ポンプ		レ	レ	レ				
	RO濃縮水貯槽8(A024)・移送ポンプ		レ	×	×				
	RO濃縮水貯槽6移送ポンプ(A022)		レ	レ	レ				
	RO濃縮水貯槽9(A025) [H5北エリア]		レ	レ	レ				
記事		8/18, 19, 20, 21, 22, 23 ヤードタンク類の巡視 AM・PM実施							



【変更後の様式例】

場 所	機器名称	点検項目	8/18 日				記事	
			7時	12時	16時	24時		
			濃縮廃液貯槽(A010)No.1タンク [H2エリア]	濃縮廃液貯槽(A010)No.2タンク [H2エリア]	濃縮廃液貯槽(A010)No.1タンク [H2エリア]	濃縮廃液貯槽(A010)No.2タンク [H2エリア]		濃縮廃液貯槽(A010)No.1タンク [H2エリア]
		タンクの変形は無いか	レ<例>	レ<例>	レ<例>	レ<例>		
		フランジ部の錆有無	レ<例>	レ<例>	レ<例>	レ<例>		
		水漏れは無いか	レ<例>	レ<例>	レ<例>	レ<例>		
		タンク周辺の水溜まり有無	レ<例>	レ<例>	レ<例>	レ<例>		
		タンク側面最大放射線量	○○<例>	-	○○<例>	-	単位: μSv/h	
		タンク底部フランジ最大放射線量	○○<例>	-	○○<例>	-	単位: μSv/h	
		連絡弁「開」「閉」	開 or 閉<例>	開 or 閉<例>	開 or 閉<例>	開 or 閉<例>		
		タンク水位	-	○○<例>	-	-	単位: m	
		タンクの変形は無いか	レ<例>	レ<例>	レ<例>	レ<例>		
		フランジ部の錆有無	レ<例>	レ<例>	レ<例>	レ<例>		
		水漏れは無いか	レ<例>	レ<例>	レ<例>	レ<例>		
		タンク周辺の水溜まり有無	レ<例>	レ<例>	レ<例>	レ<例>		
		タンク側面最大放射線量	○○<例>	-	○○<例>	-	単位: μSv/h	
		タンク底部フランジ最大放射線量	○○<例>	-	○○<例>	-	単位: μSv/h	
		連絡弁「開」「閉」	開 or 閉<例>	開 or 閉<例>	開 or 閉<例>	開 or 閉<例>		
		タンク水位	-	○○<例>	-	-	単位: m	

水溜まりの確認

点検頻度の増加

(測定結果は、詳細マップにて
エリア毎、タンク毎に管理)

タンク水位の確認

放射線量の測定

タンク周辺の調査概要

想定される流出経路

- 経路①：バルブから堰外に流出
- 経路②：基礎盤から直下に流出
- 経路③：基礎コンクリート～地盤改良の間から堰外に流出

- 地表面の線量調査 調査<A>
- 重汚染土壌の調査回収 調査
- 浅深度ボーリング 調査<C>
- 漏えいタンク直下の汚染確認 調査<D>
- 深部地下水汚染状況調査 調査<E>

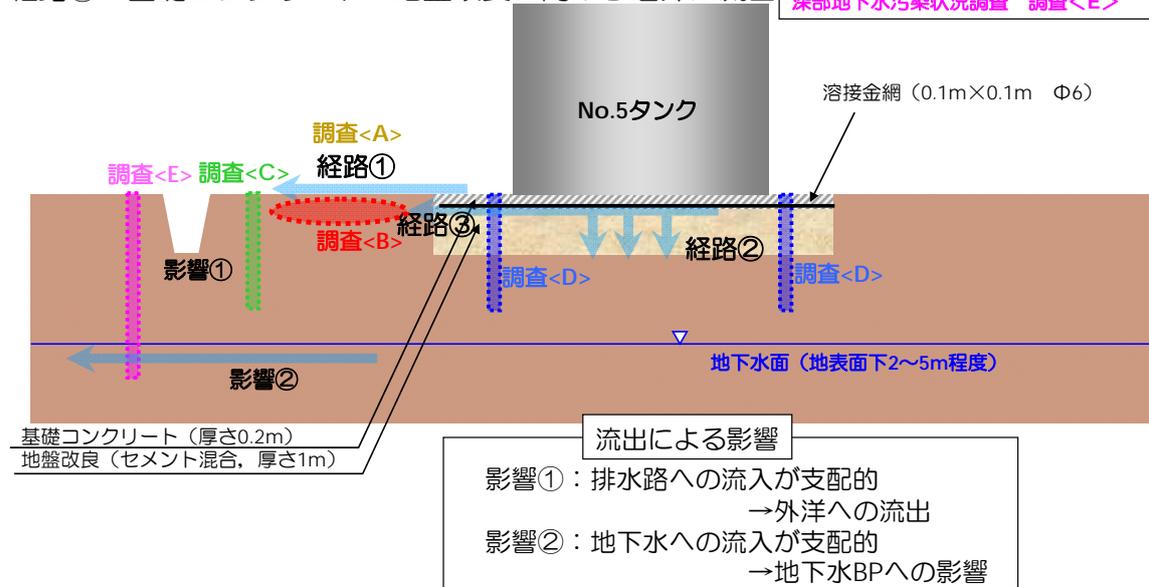


図1 タンク周辺調査概要

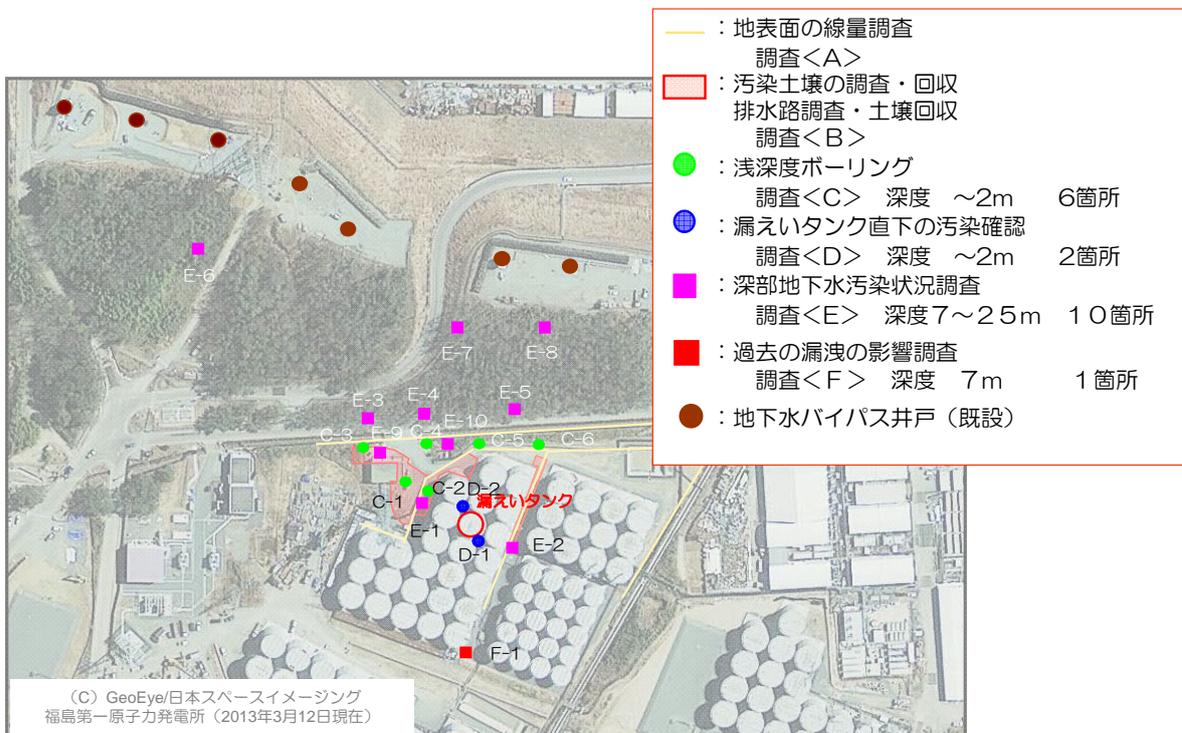


図2 タンク周辺調査位置図(平成26年3月31日現在)

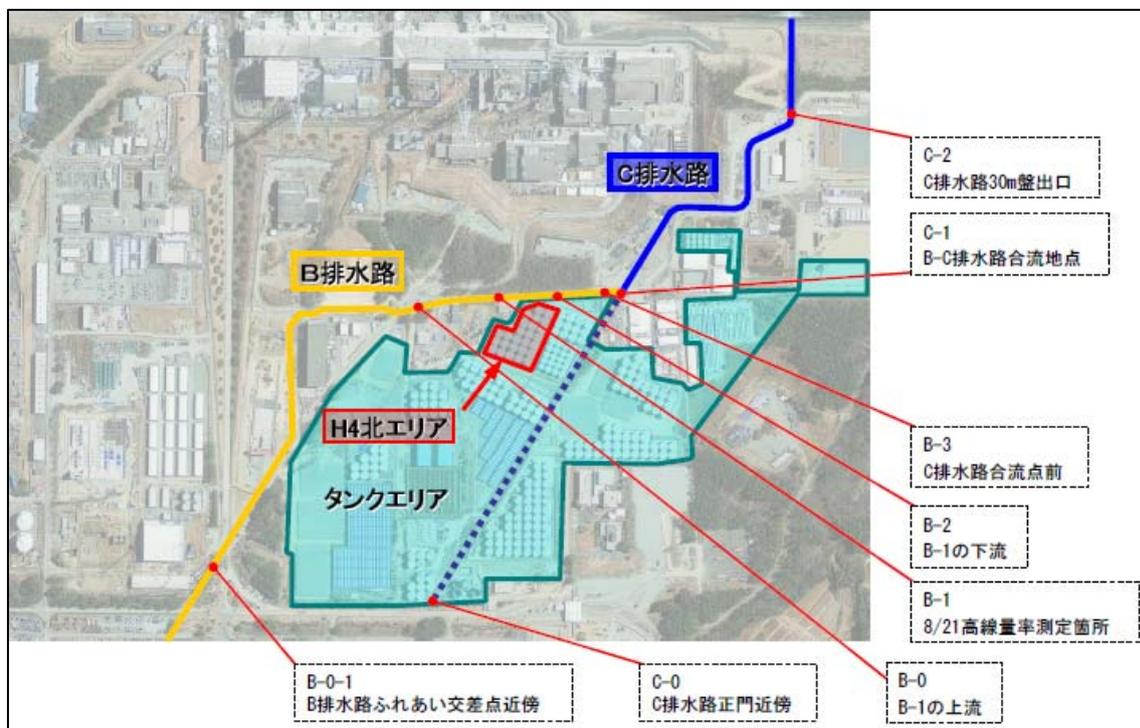


図3 B,C 排水路等の試料採取地点

フランジ型タンクの種類

タイプ	底板止水構造断面図	施工例	基数
TYPE-1 ※			120
TYPE-1'			20
TYPE-2			37
TYPE-3 TYPE-4			59
TYPE-5			69

※ 漏えいが確認されたタンク

図1 タイプ別底板構造

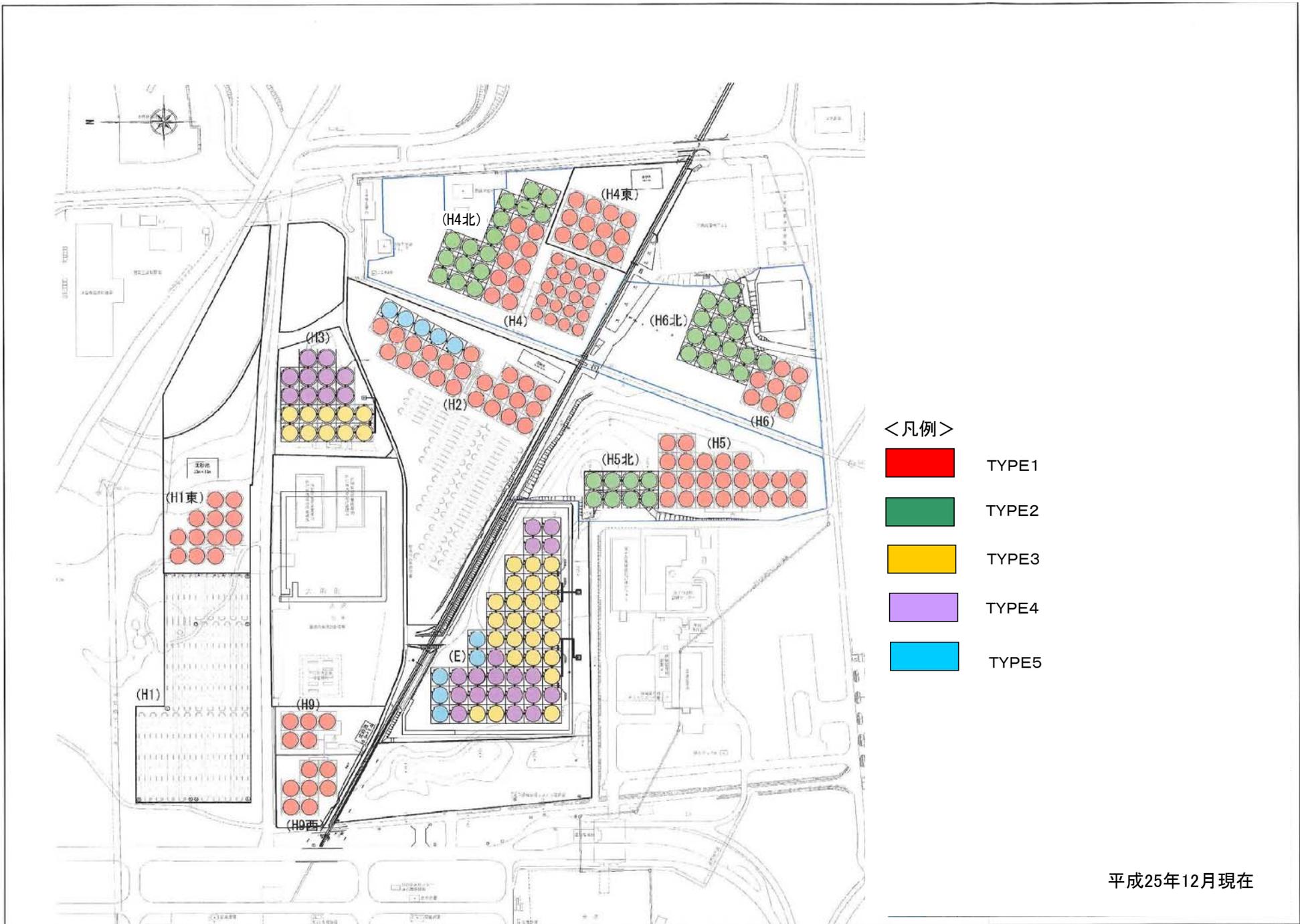


図2 フランジ型タンクの種類別配置図(1/2)

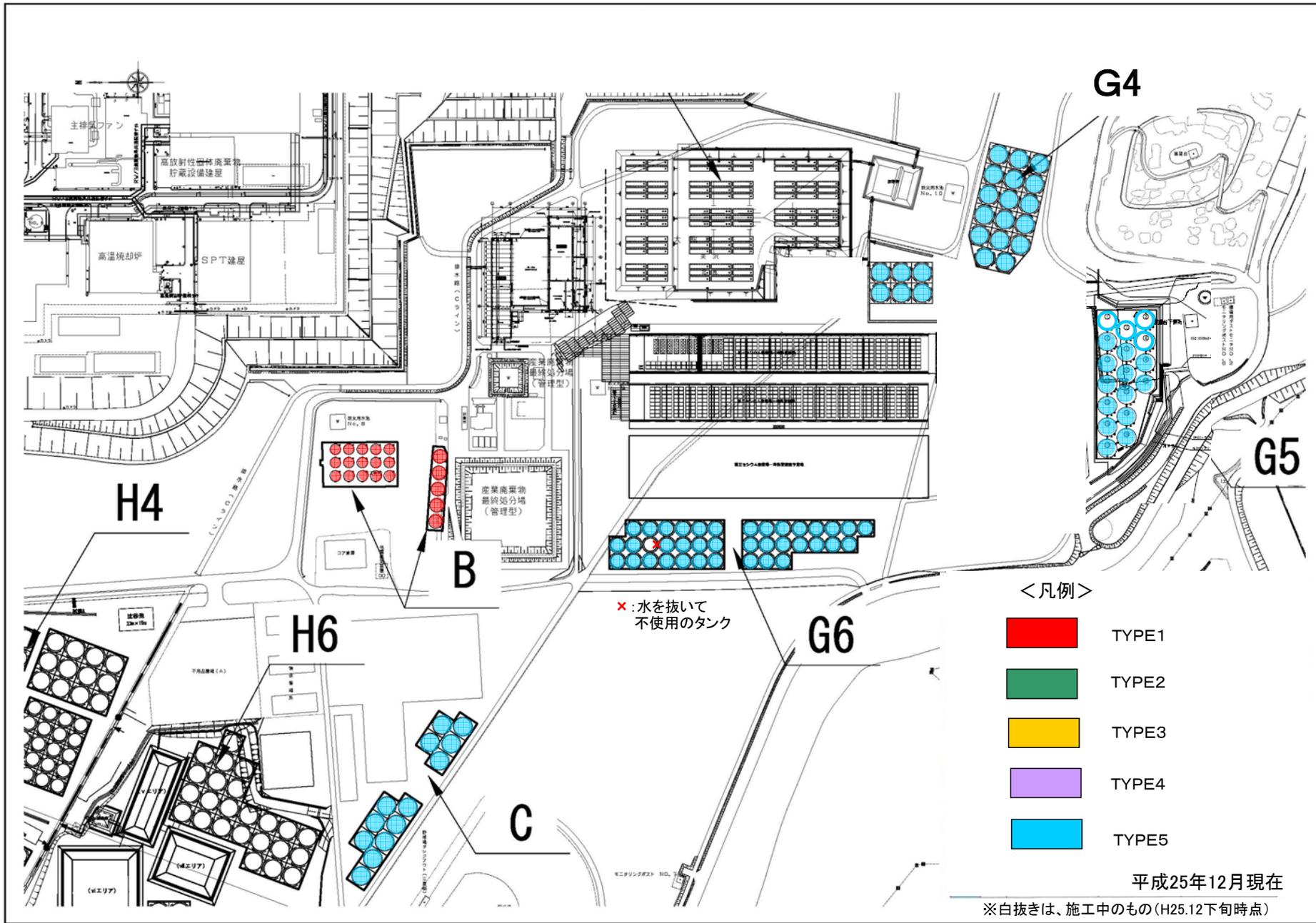


図3 フランジ型タンクの種類別配置図(2/2)

類似箇所(同型タンク)の調査結果

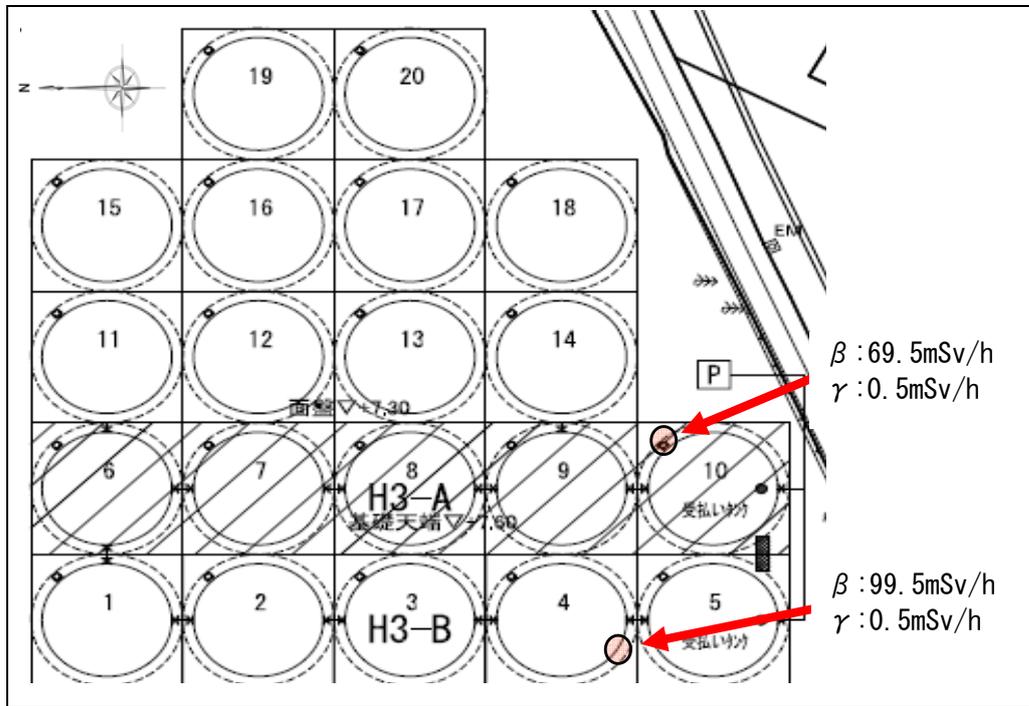


図1 H3タンクエリア拡大図



図2 No. 4タンク高線量箇所



図3 No. 10タンク高線量箇所

タンクエリアと排水路の位置

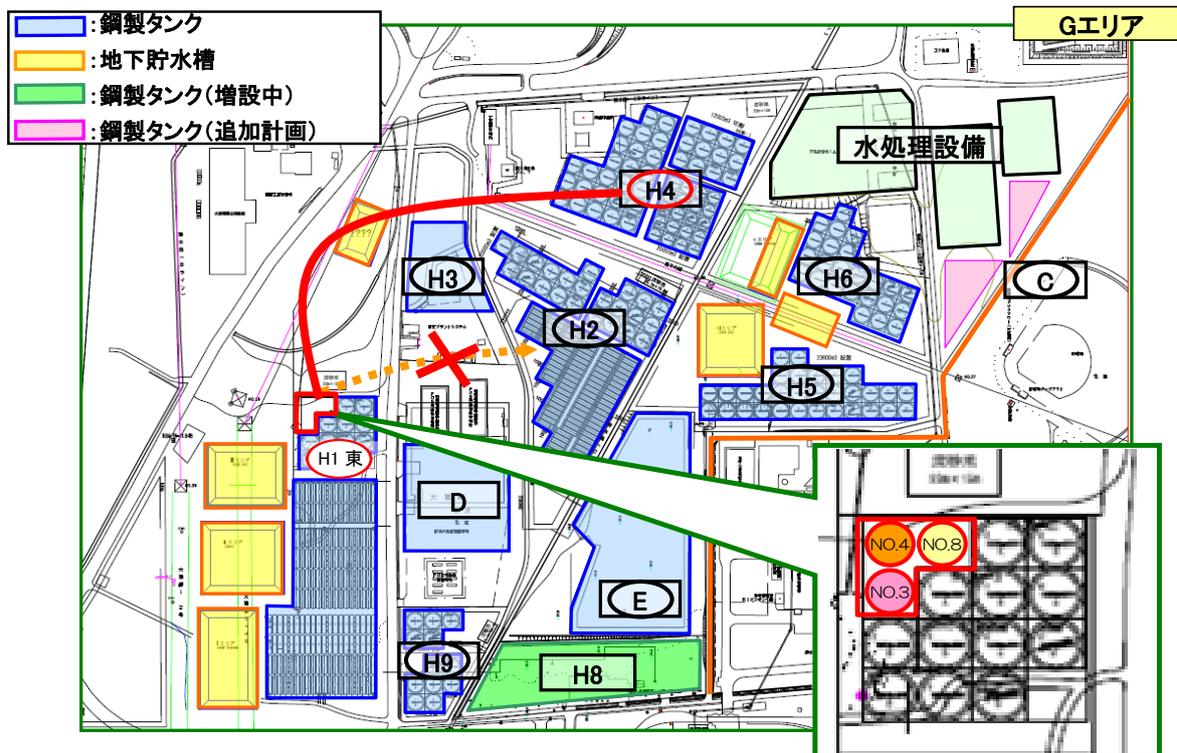


図1 タンクエリアと排水路の位置

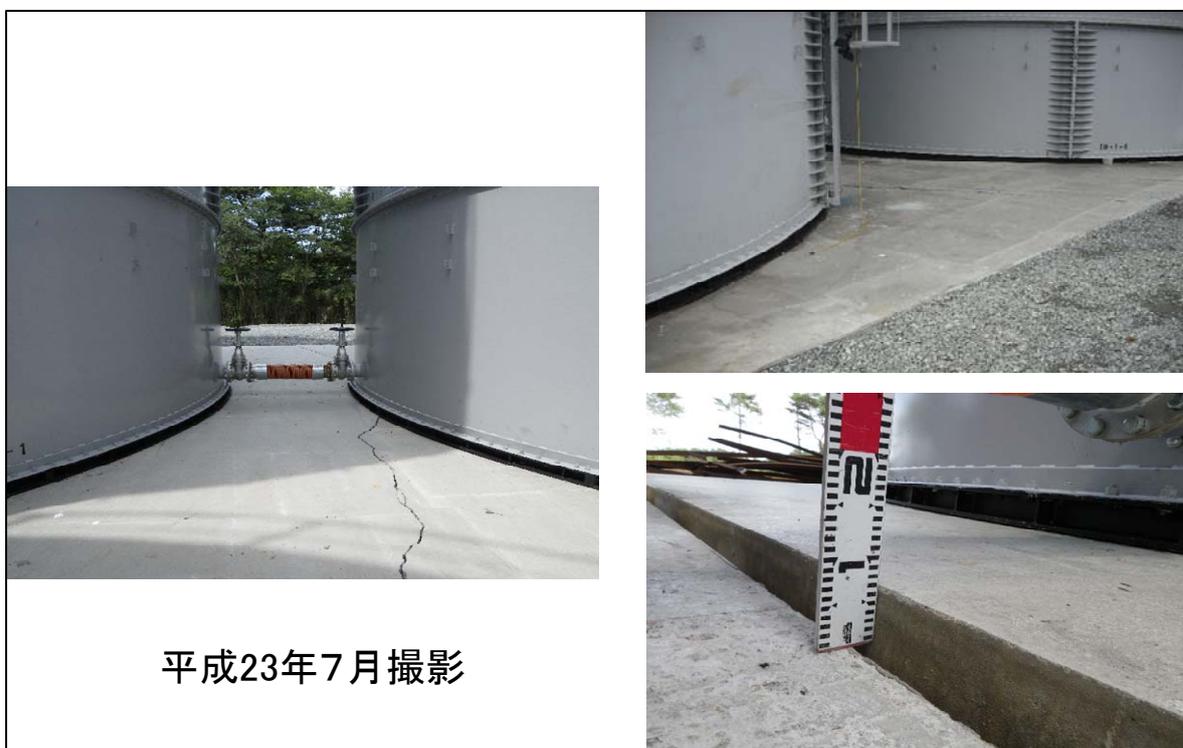


図2 H1東エリアの基礎の状態

タンクからの漏えい量評価

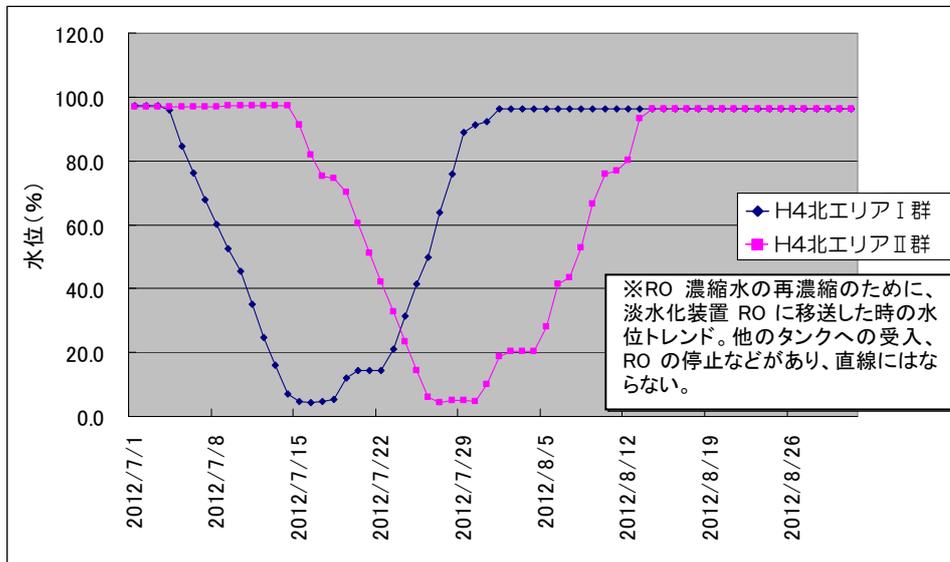


図1 H4北タンクエリア群の水位トレンド

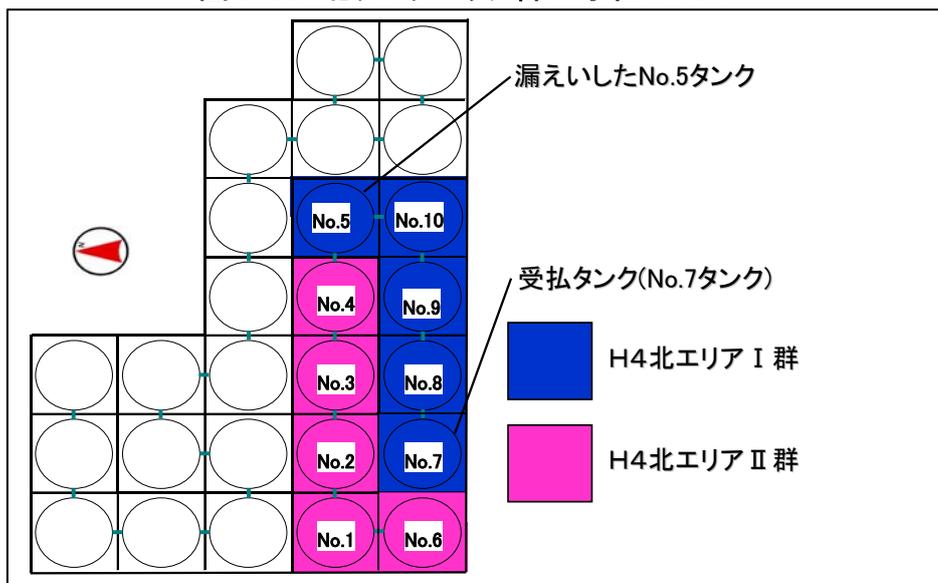


図2 H4北タンクエリア配置図

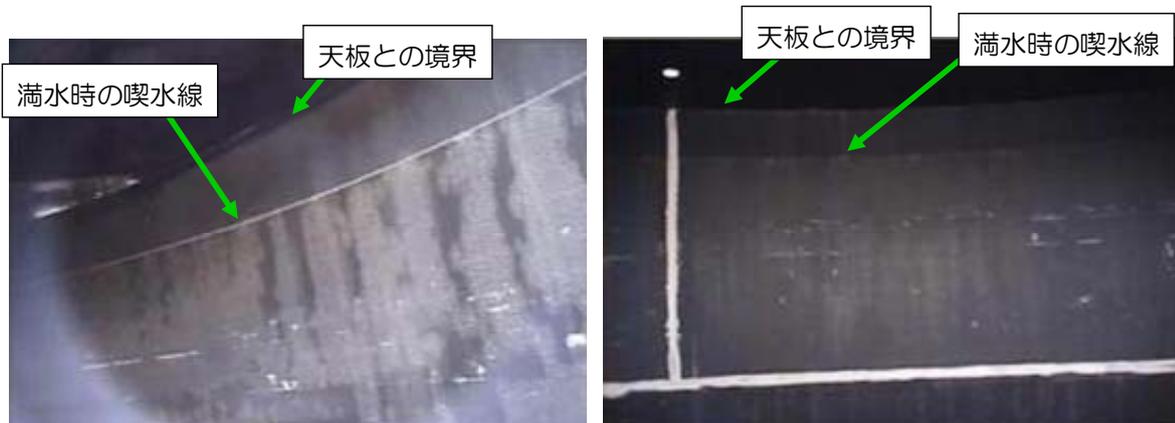


図3 No. 5タンク内面の喫水線

タンクからの放射性物質漏えい量について

- No.5 タンク水の核種分析結果及び漏えい量の評価結果は下表のとおり。核種毎の濃度に、漏えい量 300m³をかけて漏えい量を求めた。
- 最も濃度が高く、環境への影響が大きいと考えられるストロンチウム 90 の漏えい量を計算すると、4.5E+13Bqとなった。
- その他の核種では、トリチウムの濃度が高いが、ストロンチウム 90 の濃度の1/50以下であり、セシウム等その他の核種はさらにその1/10以下である。
- なお、漏えい水の分析結果も、大きな違いは無かった。

表1 H4 エリア No.5 タンク漏えい水の放射性物質濃度及び漏えい量

核種	No.5 タンク水		【参考】漏えい水(堰内より回収)	
	濃度(Bq/cm ³)	漏えい量(Bq)	濃度(Bq/cm ³)	漏えい量(Bq)
Cs-134	4.4E+01	1.3E+10	4.6E+01	1.4E+10
Cs-137	9.2E+01	2.8E+10	1.0E+02	3.0E+10
Co-60	ND(3.8E+00)	1.1E+09	1.2E+00	3.6E+08
Mn-54	ND(5.2E+00)	1.6E+09	1.9.E+00	5.7E+08
Sb-125	5.3E+01	1.6E+10	7.1E+01	2.1E+10
Sr-90	1.5E+05	4.5E+13	—	—
H-3	2.4E+03	7.2E+11	2.1E+03	6.3E+11
全β	4.1E+05	1.2E+14	2.8E+05	8.4E+13

浅深度ボーリング調査結果(調査<C>)

- 汚染水が漏えいした H4 タンクエリア北東側の C-1, C-2, C-3, C-4 では、土壌が高濃度に汚染。セシウムだけでなく全β放射能濃度が高く、汚染水による影響と考えられる。
- 堰に近い C-1, C-2 に比べ、堰から遠い C-3 では全β放射能濃度が低く、汚染水の到達は比較的少なかったものと考えられる。
- 一方、堰の南東側の C-5, C-6 では、地表のみ高濃度であるが、セシウム濃度と全βが同程度であり、事故後に地表付近に付着したセシウムのβ線による影響と考えられる。

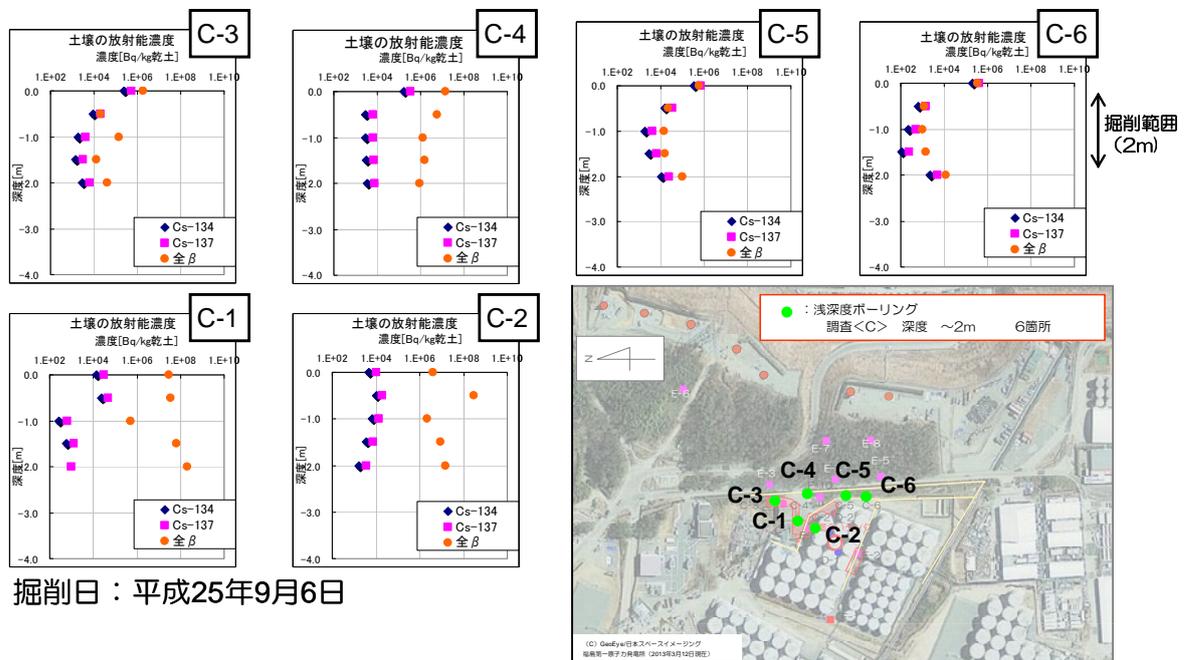


図1 浅深度ボーリング調査の結果

漏えいタンク直下のボーリング調査結果

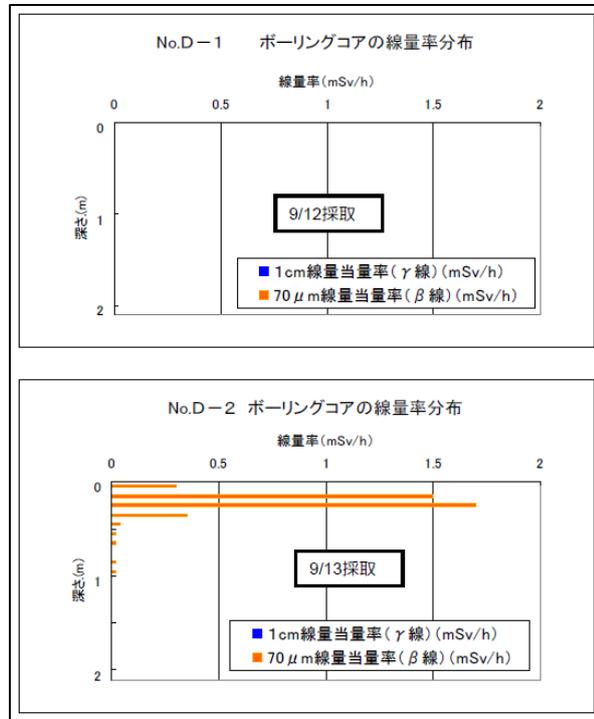


図1 漏えいタンク直下のボーリング調査の結果(線量率測定結果)

- 漏えいタンク直下のボーリングで採取した土壌の核種分析結果では、北東側のD-2からは堰のすぐ横のC-2地点と同等の高濃度の全β放射能が検出された。
- 一方、南西側のD-1の全β放射は濃度が低く、かつセシウムと同程度であることから、事故後に地表付近に付着したセシウムの影響が大きいものと考えられる。
- 上記より、汚染水の大部分は堰から北東側に流出し、地中に浸透した汚染水の一部がコンクリート基礎の下に流入し、D-2付近まで到達したものと考えられる。
- なお、コンクリート基礎下部の土壌は、タンクエリア造成時に1m深さまで地盤改良を行っており、セシウム濃度が上下均質なのはその影響と考えられる。

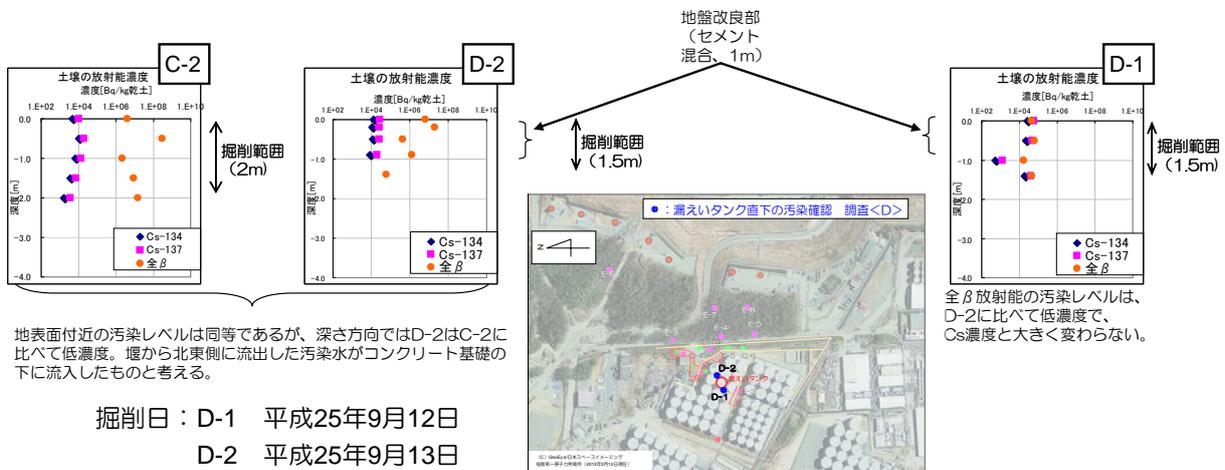


図2 漏えいタンク直下のボーリング調査の結果(核種分析結果)

深部地下水汚染状況調査のボーリングコア調査結果

- H4 タンクエリア北東側の E-1、E-9 で高濃度の全β放射能を検出。特にタンクエリアに近い E-1 では、3m深さでも高濃度。
- 南側の E-2 では、全β放射能が検出されているが、低濃度。
- 東側の E-10 では、地表付近で汚染が見られるが、セシウムと大きく変わらない濃度。
- B 排水路東側の E-3～E-5では、表面線量率測定を実施したところ、事故後に地表付近に付着したセシウムの影響と思われる地表面を除き、線量は測定されなかった。

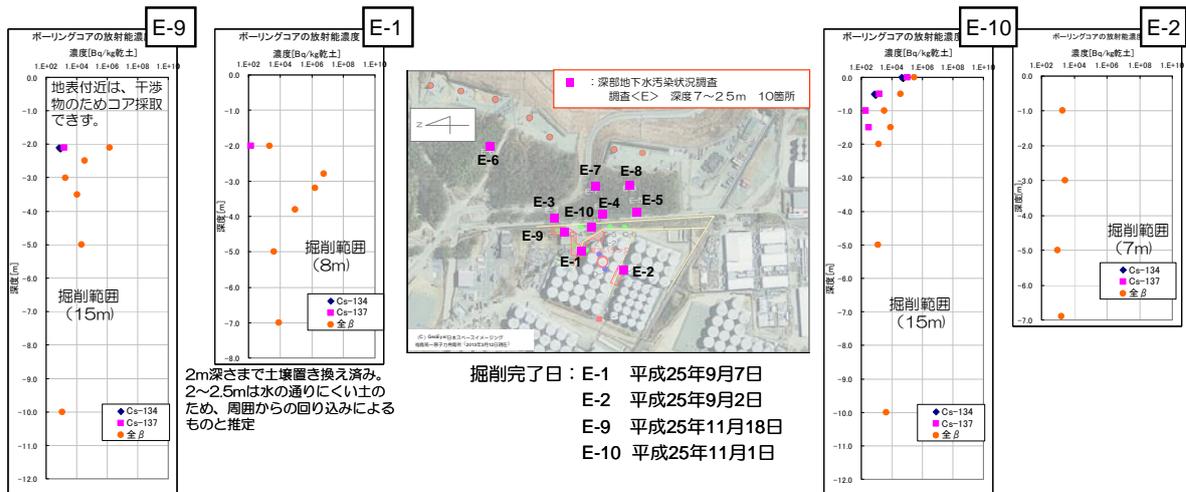


図1 深部地下水汚染状況調査のボーリングコア汚染調査結果(E-1, 2, 9, 10)

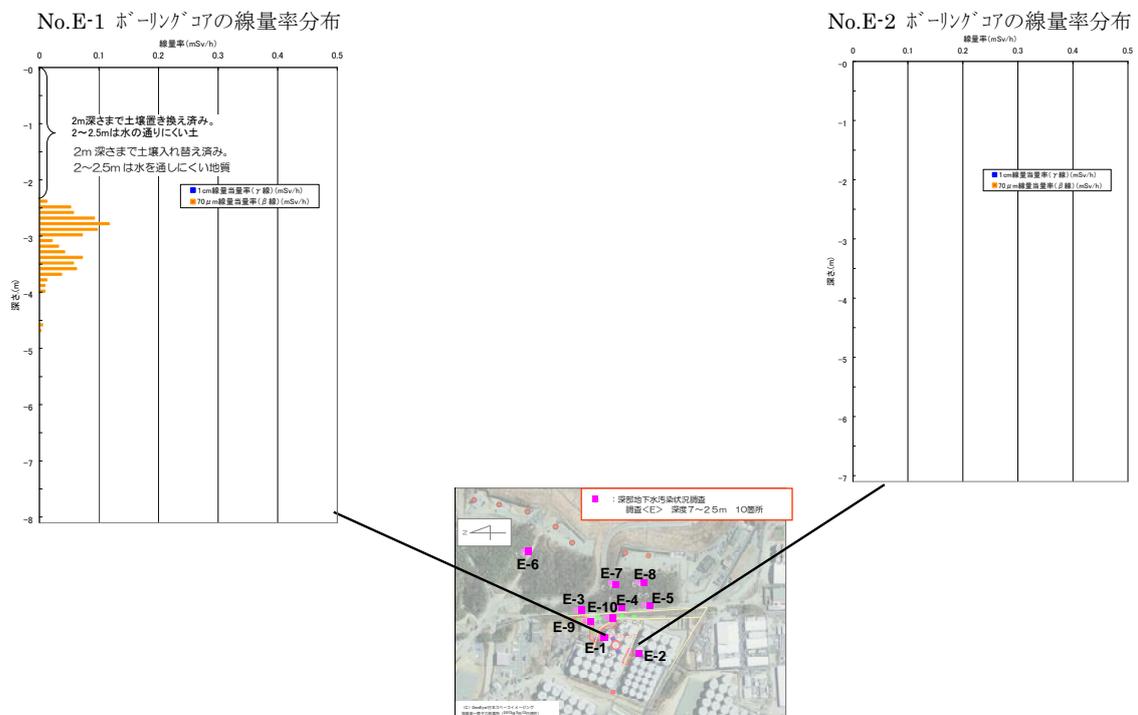


図2 深部地下水汚染状況調査のボーリングコア線量率調査結果(E-1, 2)

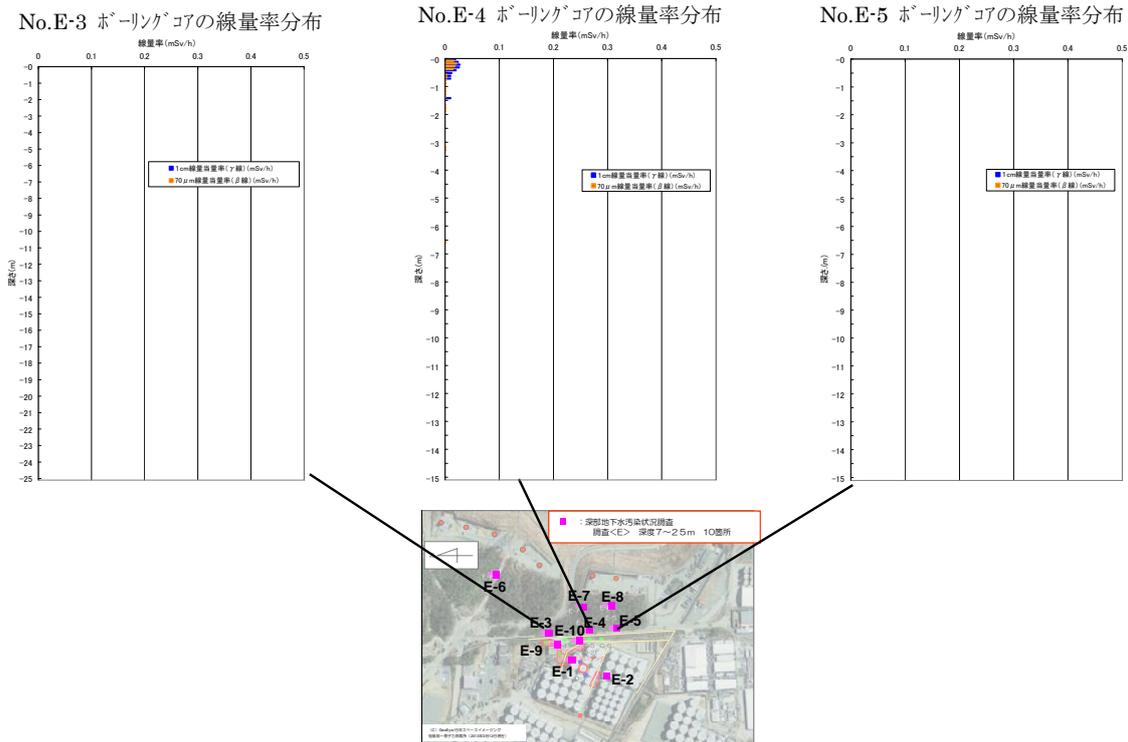


図3 深部地下水汚染状況調査のボーリングコア線量率調査結果(E-3, 4, 5)

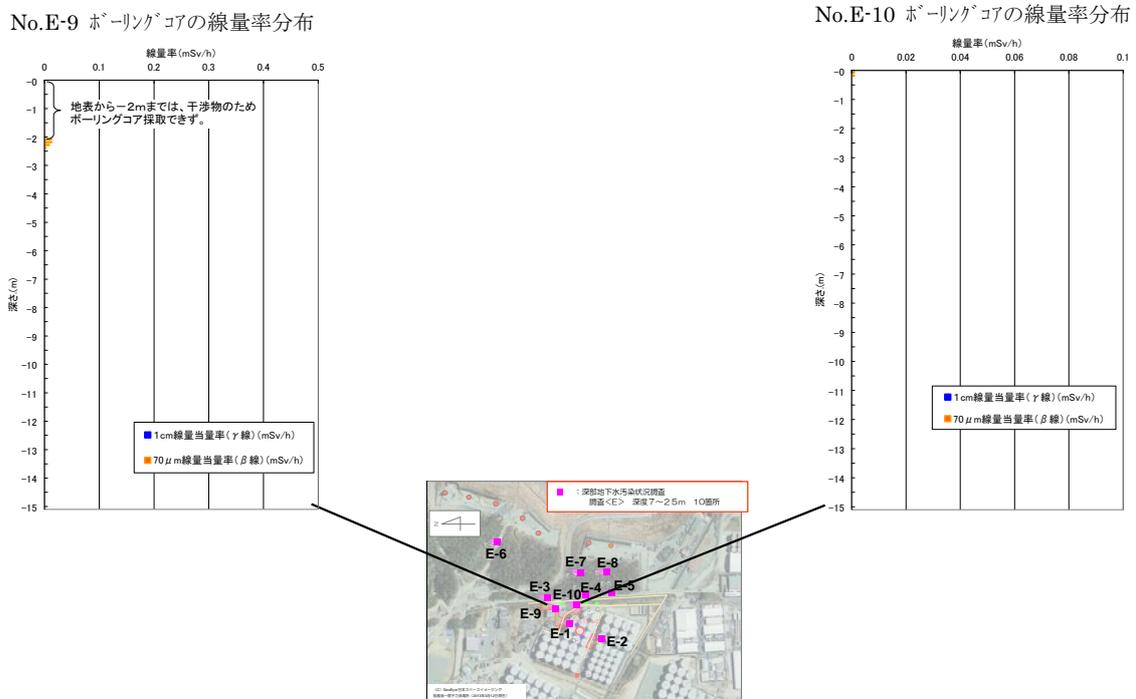


図4 深部地下水汚染状況調査のボーリングコア線量率調査結果(E-9, 10)

深部地下水汚染状況調査結果

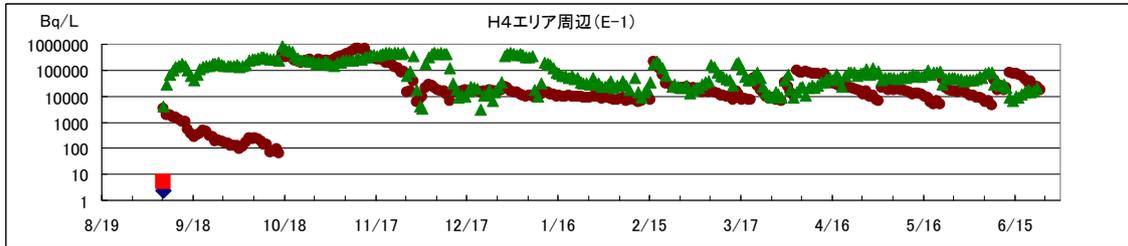


図1 ボーリング(E-1)放射能分析結果

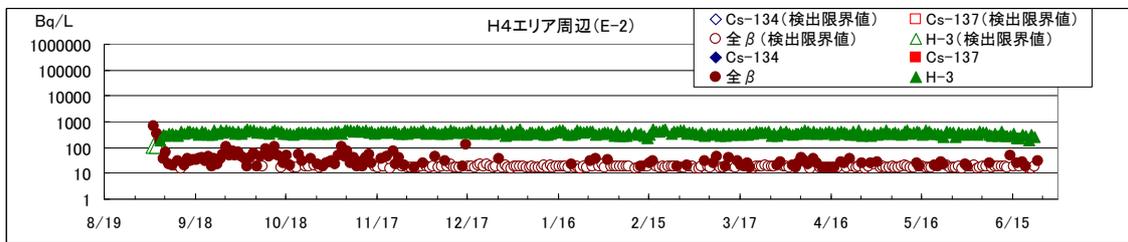


図2 ボーリング(E-2)放射能分析結果

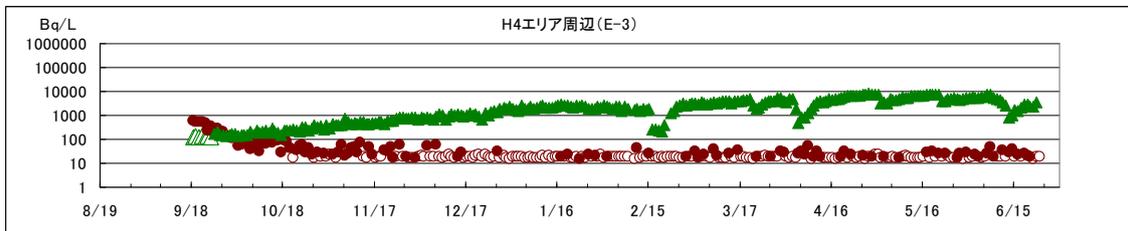


図3 ボーリング(E-3)放射能分析結果

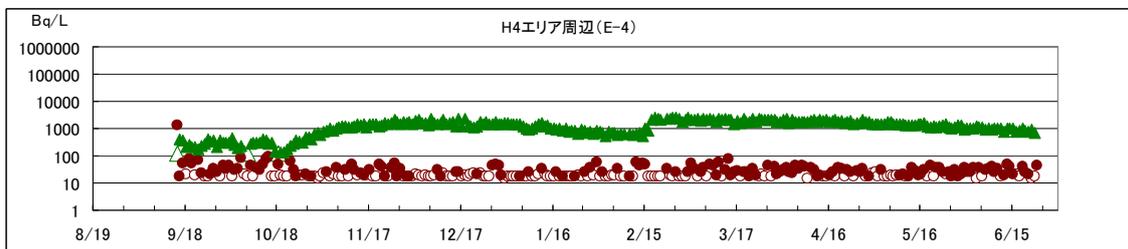


図4 ボーリング(E-4)放射能分析結果

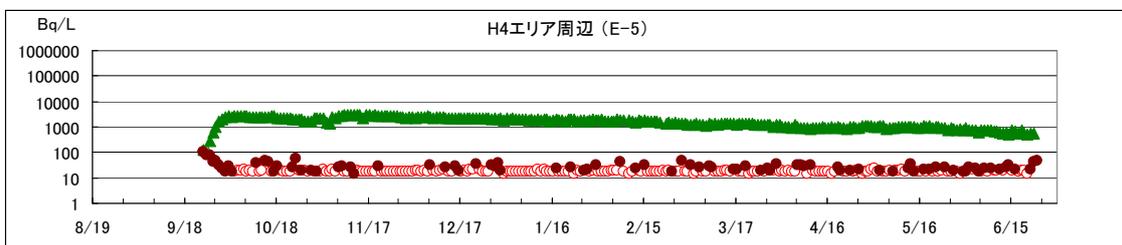


図5 ボーリング(E-5)放射能分析結果

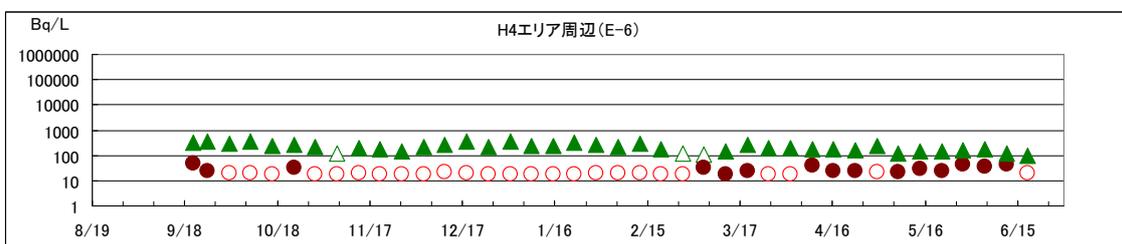


図6 ボーリング(E-6)放射能分析結果

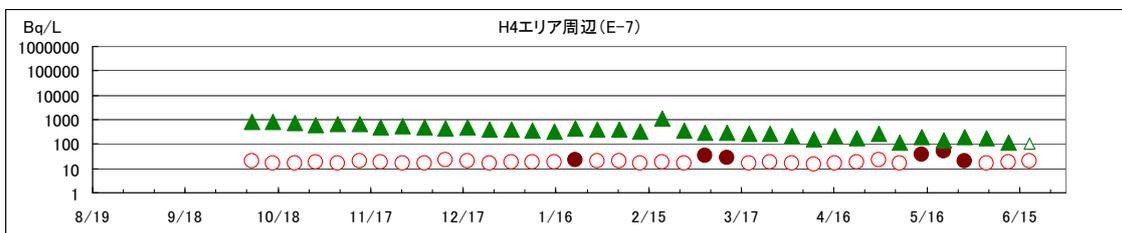


図7 ボーリング(E-7)放射能分析結果

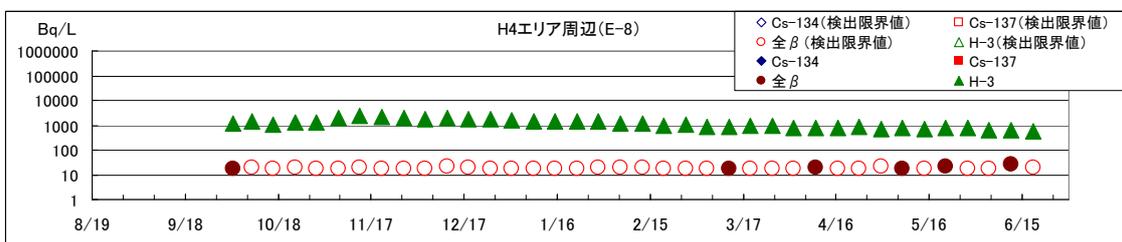


図8 ボーリング(E-8)放射能分析結果

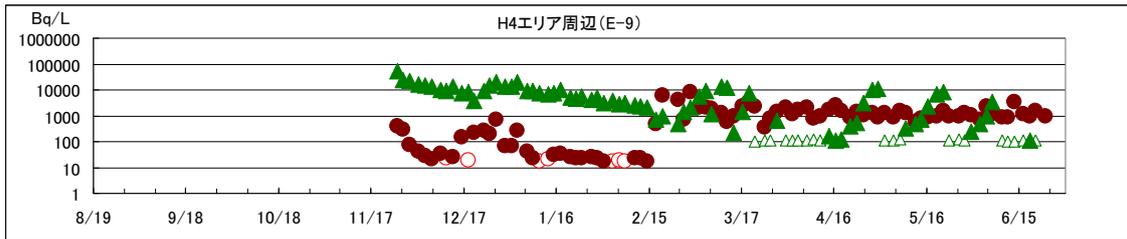


図9 ボーリング(E-9)放射能分析結果

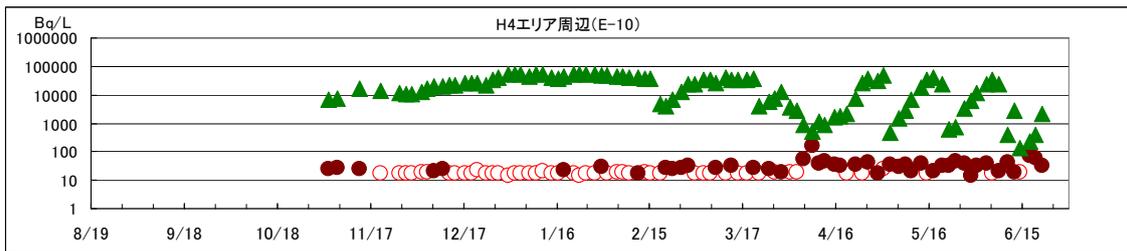


図10 ボーリング(E-10)放射能分析結果

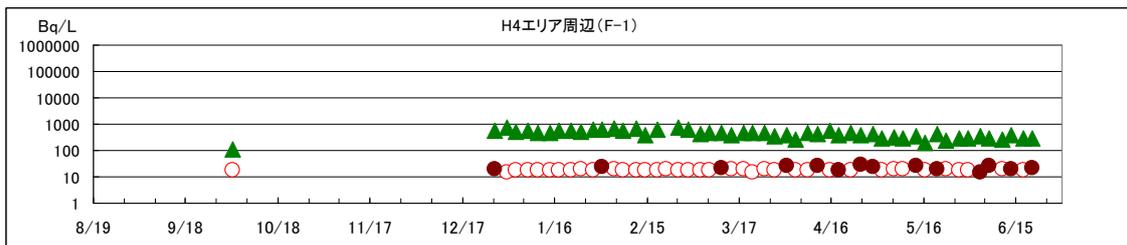


図11 ボーリング(F-1)放射能分析結果

(E-1の濃度と降雨との関係)

- E-1の地下水は、降雨により地下水位が上昇すると、特に全β濃度が上昇する傾向が見られる。
- コンクリート基礎の下部等に残っている放射性物質（主にストロンチウム90と考えられる）が、雨水及び地下水により運ばれ、一時的に観測孔付近に流れ込んでいるものと考えられる。

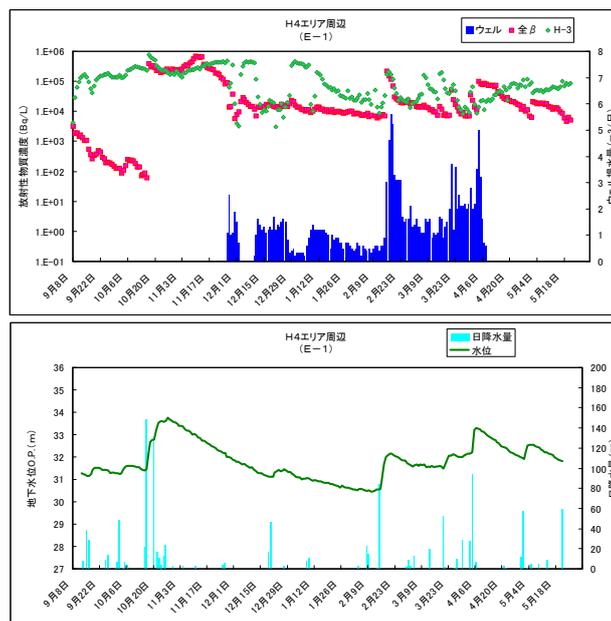


図12 E-1 の濃度と降雨との関係

地下水バイパスへの影響調査評価結果

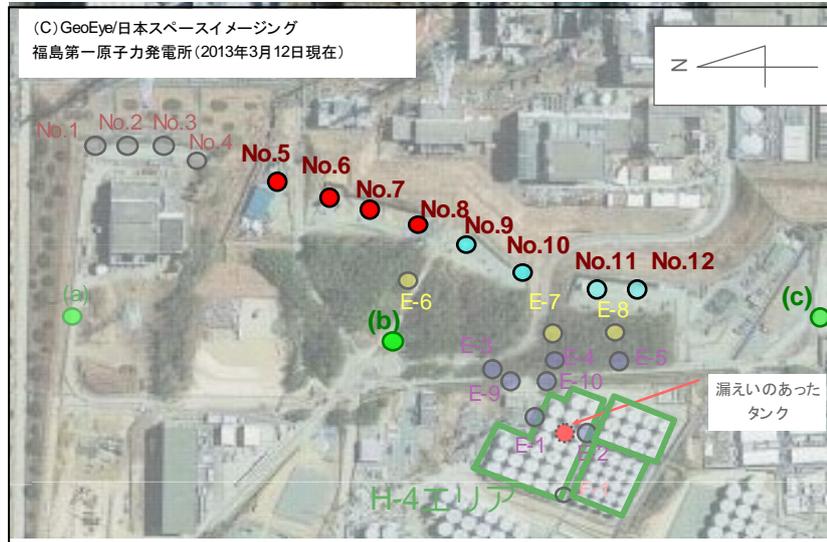


図1 地下水バイパス調査孔、揚水井サンプリング実施箇所

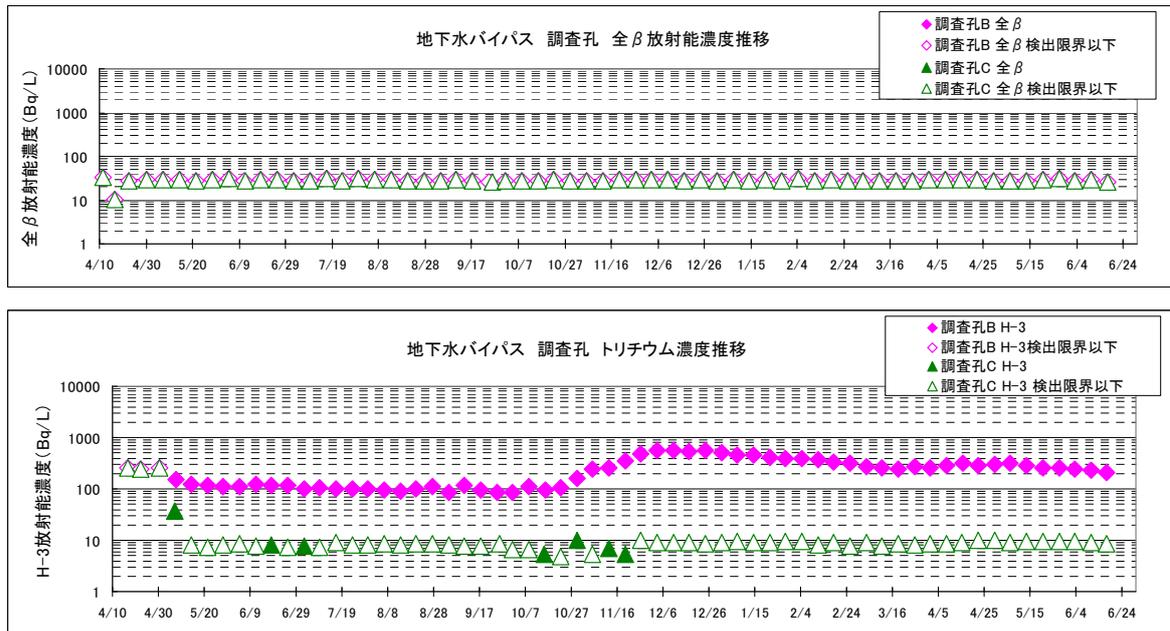


図2 地下水バイパス調査孔(b), (c) 分析結果

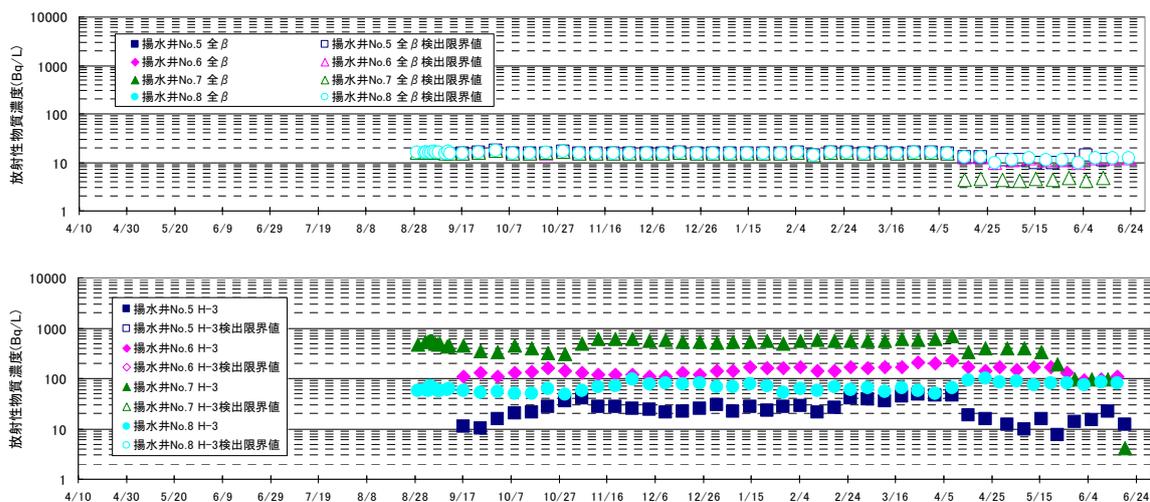


図3 地下水バイパス揚水井分析結果(No.5~8)

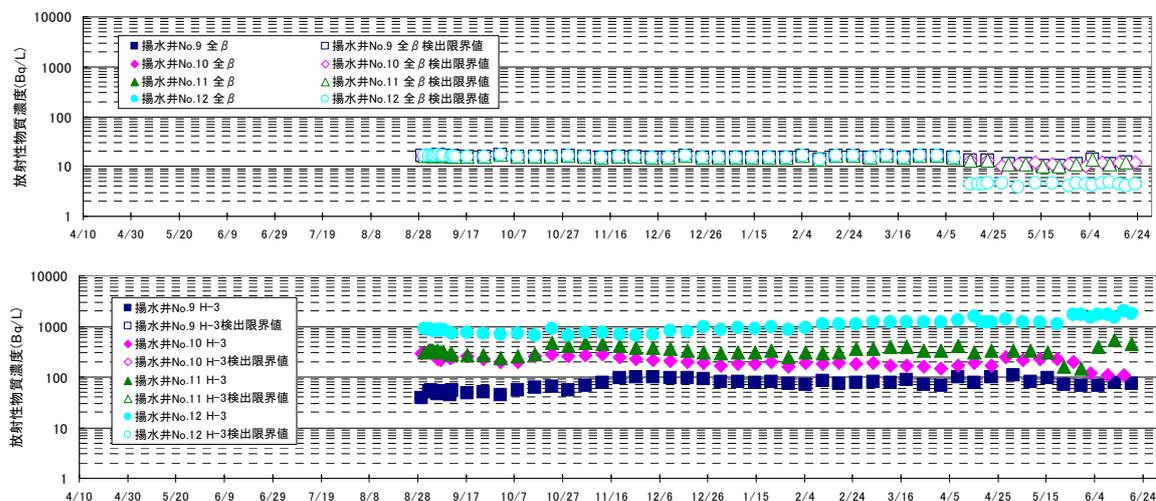


図4 地下水バイパス揚水井分析結果(No.9~12)

放射性物質回収量の評価結果

1. 評価方法の概要

漏えい水には、 β 核種であり環境への影響の大きいストロンチウム90が多く含まれていることから、ストロンチウム90の回収量を評価することとした。ただし、土壌のストロンチウム分析が現状では困難であることから、全 β 放射能濃度を指標として、以下の手順で漏えいしたストロンチウム90の回収量を推定した。

- 回収の際に現場で測定した土壌表面線量率を基に、ブロック毎、深さ毎に測定地点の土壌中の全 β 放射能濃度を推定した。
- 回収土をはさむ上下の全 β 放射能濃度1と2の平均を、回収土の平均濃度とした。
- ブロック毎、回収した深さ毎の回収土量と平均濃度の積を計算し、その合計を全体の全 β 放射性物質回収量 (Bq数)とし、その半分をストロンチウム90の回収量とした。

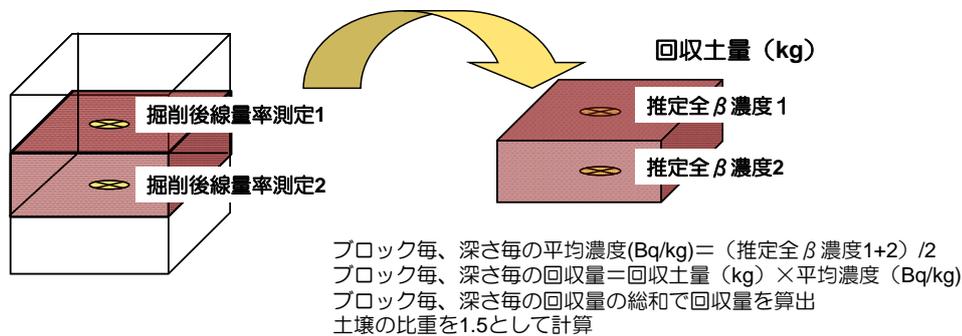


図1 土壌回収による、漏えいした放射性物質の回収量の試算方法

2. 土壌の表面線量率測定結果と全 β 放射能濃度の関係

- H4エリア周辺で採取したボーリングコアの全 β 放射能濃度を測定し、線量率測定結果との関係から、回収土壌の全 β 放射能濃度を推定するための換算係数を 3.0×10^7 ((Bq/kg) / (mSv/h))とした。
- 土壌の全 β 放射能測定では、希釈が困難で数え落としの影響を排除できないことから、測定結果に対して理論式による補正を行った。

ボーリングコアの線量率と全 β 放射能濃度の関係

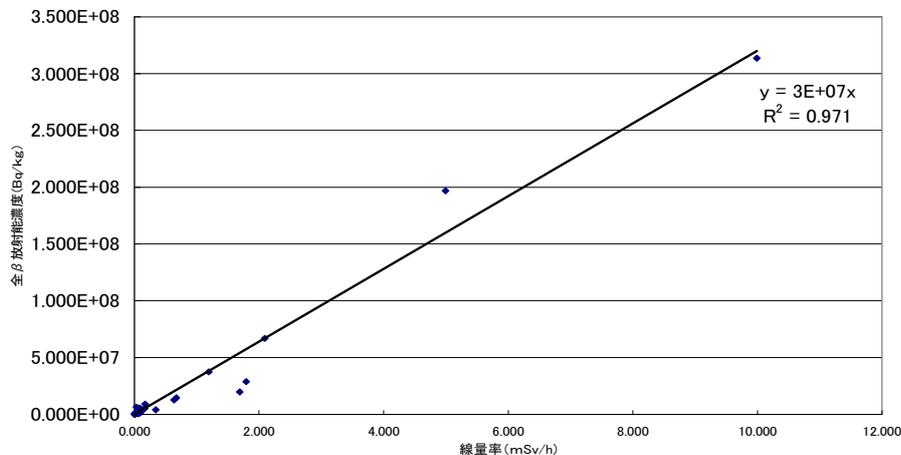


図2 土壌の表面線量率による全 β 放射能濃度の推定

3. ブロック毎の回収量試算結果

- ブロック毎の回収量の試算結果は以下の通り。回収量の合計は、全β放射能で7.4E+13Bqであった。

表1 ブロック毎の放射性物質（全β放射能）回収量の試算結果

ブロック	掘削深さ	掘削後地表面 70 μm線量率(β) (mSv/h)	回収土量 (m3)	全βで試算した 回収量(Bq)	ブロック	掘削深さ	掘削後地表面 70 μm線量率(β) (mSv/h)	回収土量 (m3)	全βで試算した 回収量(Bq)
1	G.L.-3,000	0.009	60	5.0E+12	26	G.L.-1,000	0.35	6	1.5E+12
2	G.L.-3,000	0.009	96	9.6E+12	27	G.L.-1,000	0.007	29	6.6E+11
3	G.L.-3,000	0.009	64	1.4E+12	28	G.L.-2,500	0.04	26	2.5E+11
9	G.L.-1,080	0.005	16	5.2E+11	29	G.L.-2,500	0.1	17	4.5E+11
10	G.L.-1,480	0.008	24	3.4E+12	30	G.L.-1,000	0.008	18	1.2E+12
11	G.L.-840	0.008	15	6.4E+12	31	G.L.-2,500	0.11	23	7.2E+11
12	G.L.-860	0.008	16	6.6E+12	32	G.L.-3,000	0.007	30	2.0E+12
13	G.L.-550	0.009	10	5.6E+12	33	G.L.-3,000	0.13	10	7.0E+11
14	G.L.-400	0.006	3	1.0E+12	34	G.L.-1,500	0.006	6	4.1E+11
15	G.L.-1,050	0.009	17	1.0E+11	35-1	G.L.-2,000	1.3	10	3.9E+12
16	G.L.-900	0.004	21	1.9E+11	35-2	G.L.-2,000	1.7	9	2.2E+12
17	G.L.-600	0.006	10	1.8E+11	36	G.L.-2,000	0.8	19	3.0E+12
18	G.L.-600	0.007	15	2.2E+11	37	G.L.-2,000	2.2	15	2.6E+12
19	G.L.-700	0.004	18	3.9E+11	38	G.L.-800	0.006	25	7.2E+11
20	G.L.-600	0.006	21	3.7E+11	39	G.L.-1,000	0.008	27	6.2E+11
21	G.L.-600	0.008	3	3.7E+10	40	G.L.-1,600	0.008	16	7.6E+10
22	G.L.-900	0.005	7	3.5E+12	40-1	G.L.-1,800	0.007	16	7.6E+10
23	G.L.-900	0.008	3	1.7E+12	41	G.L.-1,500	0.008	24	4.4E+11
24	G.L.-1,650	0.35	3	2.3E+12	42	G.L.-1,300	0.009	31	5.7E+11
25	G.L.-1,000	0.34	9	2.4E+12	43	G.L.-1,500	0.008	19	1.3E+11
					44	G.L.-1,500	0.007	32	5.8E+11
					45	G.L.-1,500	0.005	39	2.7E+11
					合計			878	7.4E+13

注：4～8ブロックについては、周辺ブロックの回収土壌に含めて回収したため、欠番となっている。

4. タンクからの放射性物質漏えい量について

- No.5タンク水の核種分析結果及び漏えい量の評価結果は下表のとおり。核種毎の濃度に、漏えい量300m³をかけて漏えい量を求めた。
- 最も濃度が高く、環境への影響が大きいと考えられるストロンチウム90の漏えい量を計算すると、4.5E+13Bqとなった。
- その他の核種では、トリチウムの濃度が高いが、ストロンチウム90の濃度の1/50以下であり、セシウム等その他の核種はさらにその1/10以下である。
- なお、堰内より回収した漏えい水の分析結果も、大きな違いは無かった。

表2 H4エリア No.5 タンク漏えい水の放射性物質濃度及び漏えい量

核種	No.5タンク水		【参考】漏えい水(堰内より回収)	
	濃度(Bq/cm ³)	漏えい量(Bq)	濃度(Bq/cm ³)	漏えい量(Bq)
Cs-134	4.4E+01	1.3E+10	4.6E+01	1.4E+10
Cs-137	9.2E+01	2.8E+10	1.0E+02	3.0E+10
Co-60	ND(3.8E+00)	1.1E+09	1.2E+00	3.6E+08
Mn-54	ND(5.2E+00)	1.6E+09	1.9E+00	5.7E+08
Sb-125	5.3E+01	1.6E+10	7.1E+01	2.1E+10
Sr-90	1.5E+05	4.5E+13	—	—
H-3	2.4E+03	7.2E+11	2.1E+03	6.3E+11
全β	4.1E+05	1.2E+14	2.8E+05	8.4E+13

注 No. 5タンク水の漏えい量のうち、Co-60及びMn-54の漏えい量は、検出下限値を用いて求めたもの。

5. 回収率の試算結果について

- 回収した土壌中の全β放射能の分析は、回収後数ヶ月経っており、Sr-90と娘核種であるY-90が平衡状態となっていると考えられる。漏えい水のCs-134、Cs-137濃度はSr-90濃度より3桁以上低いことから、土壌による回収量7.4E+13Bqの半分がストロンチウム90と仮定して回収率を求めると、約80%となった。
- 一方、タンク水及び堰内の漏えい水の全β放射能濃度から回収率を試算したところ、約60%と90%となった。なお、漏えい水の全β以外の核種の濃度はタンク水とほぼ同じであり、雨水等による希釈は無かったものと考えられる。

表3 ブロック毎の放射性物質（全β放射能）回収量の試算結果

試料名	No.5タンク水		【参考】 H4エリア漏えい水	備考
	Sr-90	【参考】 全β放射能	全β放射能	
濃度[Bq/cm ³]・・・①	1.5E+05	4.1E+05	2.8E+05	
漏えい量(300m ³)・・・②	300	300	300	
漏えい量(Bq)・・・③=①×②	4.5E+13	1.2E+14	8.4E+13	
土壌による回収量(Bq)・・・④	3.7E+13	7.4E+13	7.4E+13	Sr-90の回収量は、全βで評価した回収量の半分とした。
回収率・・・⑤=④/③	80%	60%	90%	

6. 土壌以外の回収量について

- 汚染水漏えい後、土壌の回収以外に、排水口清掃時の土砂等の回収、及びウェルポイントからの汚染した地下水の汲み上げを実施している。
- それぞれの回収量を評価すると下表のとおりとなり、土壌による回収量に比べると量的に少なく、回収量の評価に影響を与えるものではない。

表 4 土壌回収以外の漏えい放射性物質の回収実績

項目	回収量 (m ³)	全β放射能濃度		回収放射能 (全β)(Bq)	備考
B排水路回収土砂	27	7.8E+05	Bq/kg	3.2E+10	排水路土砂の線量率測定結果の最大値(0.026mSv/h)に土壌と線量率の換算係数をかけて濃度を算出(比重1.5とした)
ウェルポイントくみ上げ	178	5.8E+03~2.2E+5	Bq/L	5.7E+09	くみ上げた地下水の全β放射能濃度は、同じ日に採水した観測孔E-1の濃度とした。日々のくみ上げ量にE-1の濃度を掛け合わせて回収量を算出した。
回収量合計				3.7E+10	

B、C 排水路の調査結果

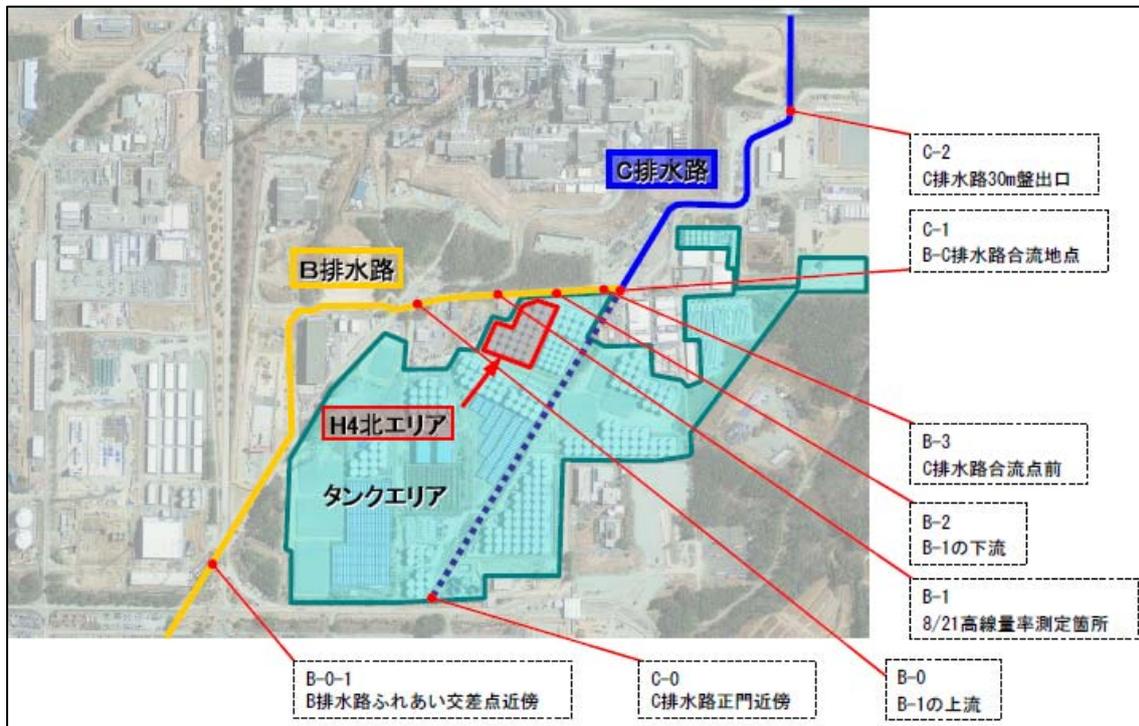


図1 B、C 排水路等の試料採取地点

- B排水路の壁面には、汚染水の流れ込みによるものと考えられる高線量率測定箇所が確認されたこと、及びB排水路の泥の線量率測定及び水の核種分析を実施したところ、 β 線及び全 β 放射能濃度が高かったことから、土のうにより排水路を締め切り、泥及び水の回収、清掃、暗渠化を実施。
- また、暗渠化と併せて、タンクエリアの堰を高くし、外周にさらに堰を設けるなど、排水路への流入防止策を実施。
- 上記の対策実施により、排水路の放射性物質濃度は低減。ただし、現在でもタンクエリアより上流側も含め、降雨時等に若干の汚染が確認される状況。
- 引き続き敷地全体の、除染やフェーシング等、環境改善に努める。

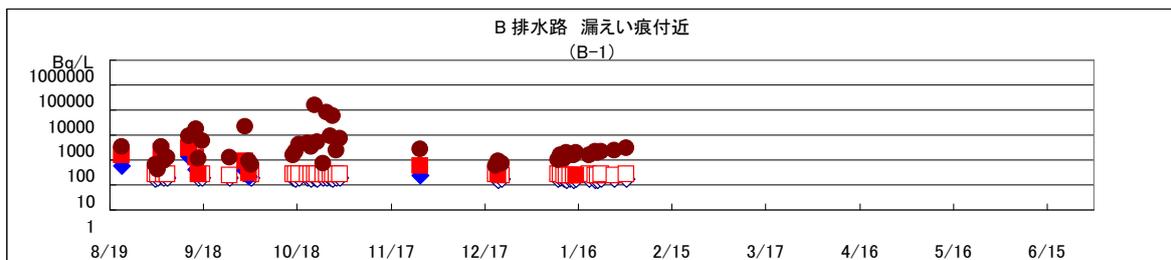
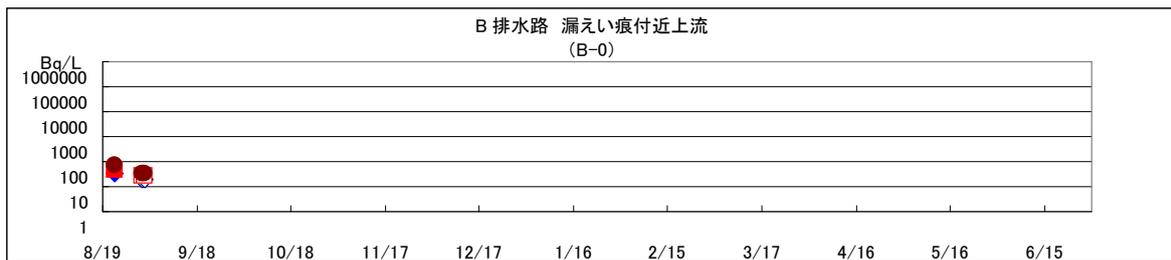
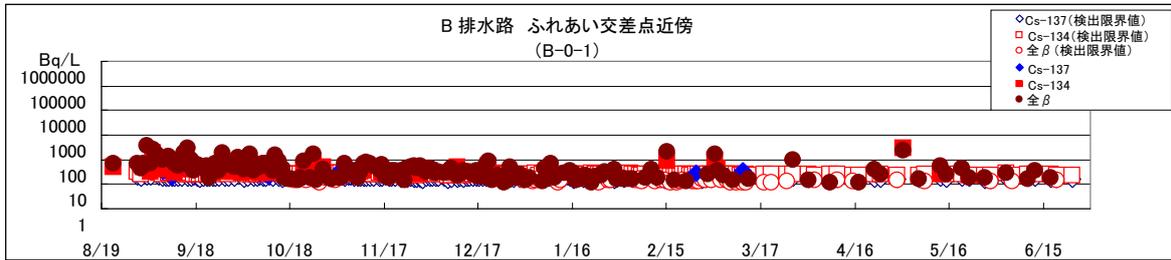


図2 排水路の調査結果(1/2)

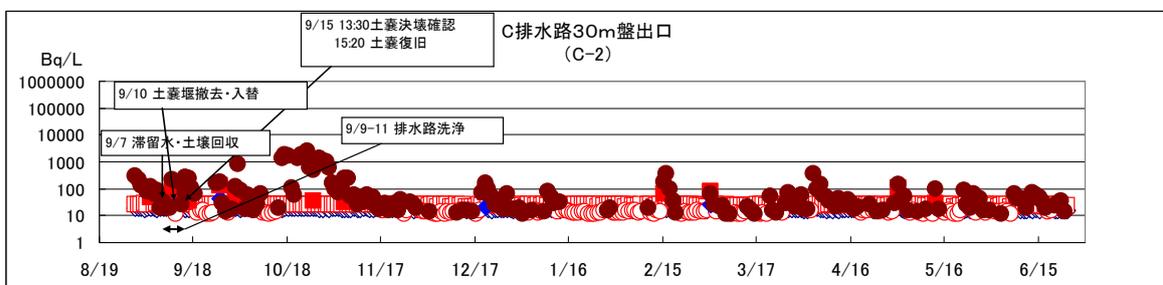
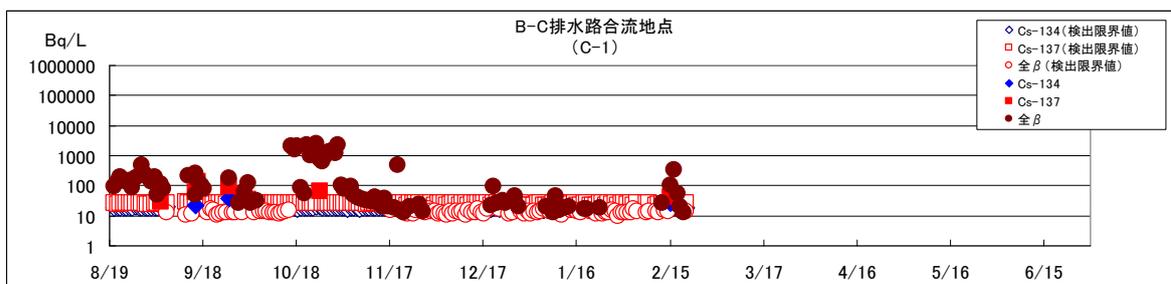


図3 排水路の調査結果(2/2)

海洋への影響調査結果

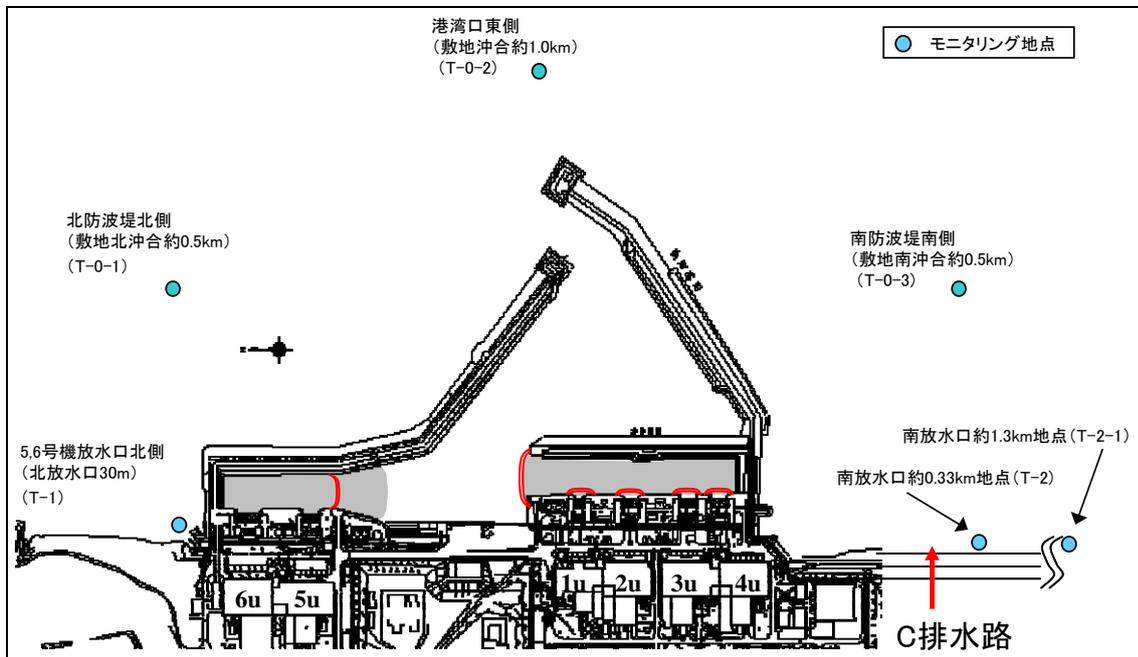


図1 海洋モニタリング地点

- 漏えい発見後の地表面のサーベイにおいて、B排水路の壁面に漏えい水が流れたと思われる高線量箇所を確認。
- そのため、B排水路を土のうによりせき止め、排水路内の滞留水及び土壌を回収。
- 更に、B排水路のフェーシング及びC排水路を含めた暗渠化を実施し、平成26年3月に通水を再開。
- 漏えい発見前より実施している南北放水口付近、港湾付近の海洋モニタリング結果において、全ベータ放射能濃度の上昇は見られていない。

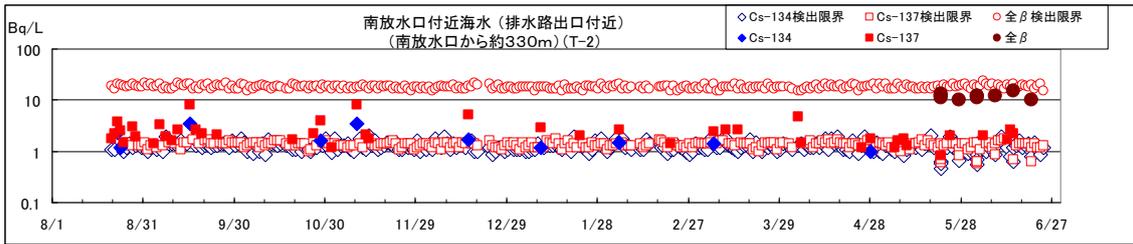


図2 南放水口付近(南放水口から約 0.33km 地点) (T-2)

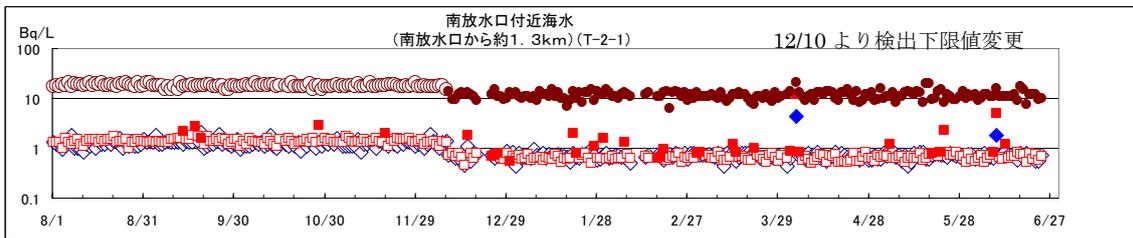


図3 南放水口付近(南放水口から約 1.3km 地点) (T-2-1)

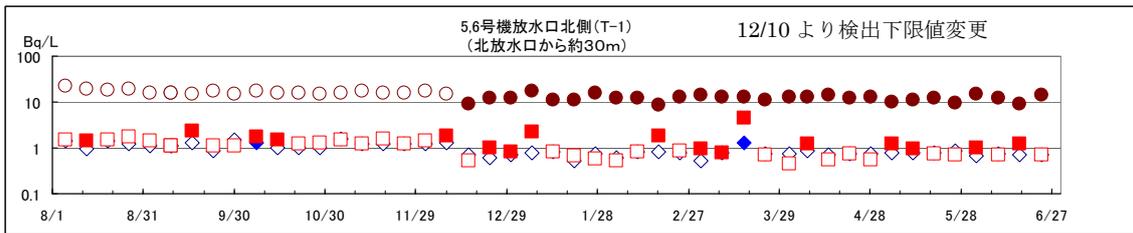


図4 5, 6号機放水口北側(T-1)

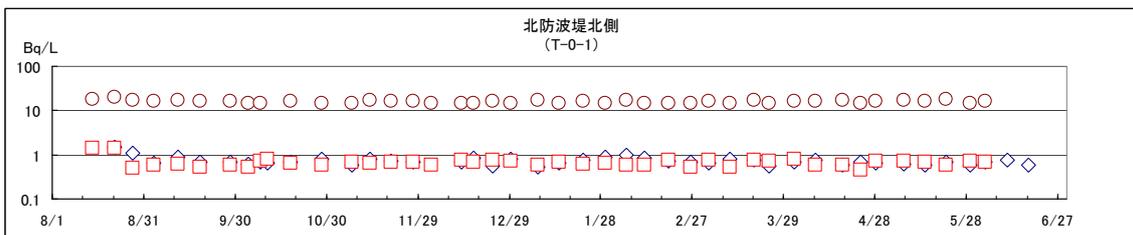


図5 北側防波堤北側(T-0-1)

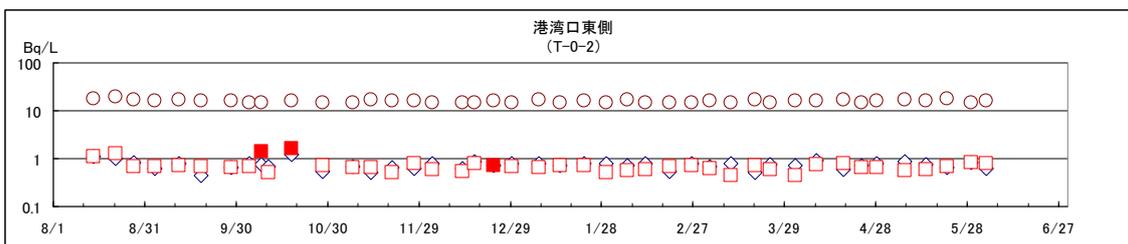


図6 港湾口東側(T-0-2)

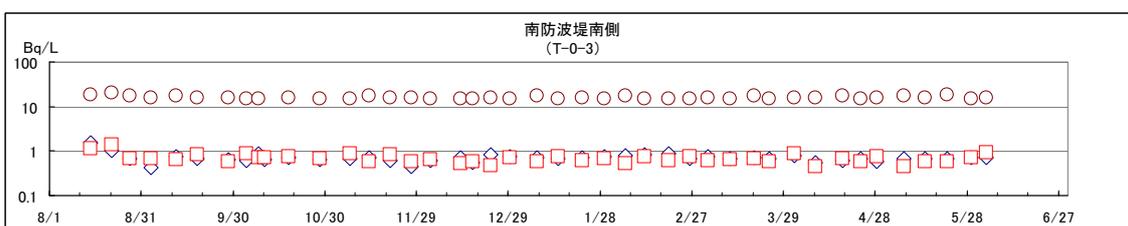


図7 南防波堤南側(T-0-3)

タンク漏えい箇所の調査状況まとめ(解体前)

事象		想定原因	解体前調査		備考
			実施内容	結果※1	
側板からの漏えい	母材(溶接部)からの漏えい	・製造不良(溶接欠陥等) ・腐食	・外観目視(外) ・線量測定(外) ・内面目視 ・バキューム	・有意な漏えい状況は確認されず ・比較的線量の高い部位あり(約40mSv/h 1箇所) ・一部に発錆を確認 ・漏えいパスは確認されず	△ 調査結果⑤⑥参照
	フランジ部からの漏えい	・ボルトの緩み ・シーリングの損傷/劣化	・外観目視(外) ・線量測定(外) ・外観目視(内) ・線量測定(内)	・有意な漏えいは確認されず ・有意な部位は確認されず ・パッキンの飛び出しを確認 ・概ね10mSv/h程度、最大約20mSv/h※2	△ 調査結果④⑤参照
底板からの漏えい	母材(溶接部)からの漏えい	・製造不良(溶接欠陥等) ・腐食	・バブリング ・バキューム	・泡は確認されず。 ・漏えいパスは確認されず	×
	フランジ部からの漏えい	・ボルトの緩み ・シーリングの損傷/劣化	・バブリング ・外観目視(内) ・ボルト打診 ・線量測定 ・バキューム ・局所バキューム	・泡は確認されず ・シーリング材の膨らみ有り ・ボルトの緩みあり ・概ね10mSv/h程度、最大約22mSv/h※2 ・ボルト2カ所から泡の吸い込みを確認 ・上記と同じ場所から発泡を確認	○ 調査結果①～⑤参照
連結管からの漏えい		・ボルトの緩み ・連結管の損傷/劣化	・外観目視 ・線量測定	・有意な漏えいは確認されず ・有意な部位は確認されず	×

※1: ○ 漏えい箇所の可能性を確認 △ 漏えい箇所の可能性を否定できない × 漏えい箇所ではない
 ※2: β線 70μm線量当量率

図1 タンク漏えい箇所の調査状況まとめ(解体前)

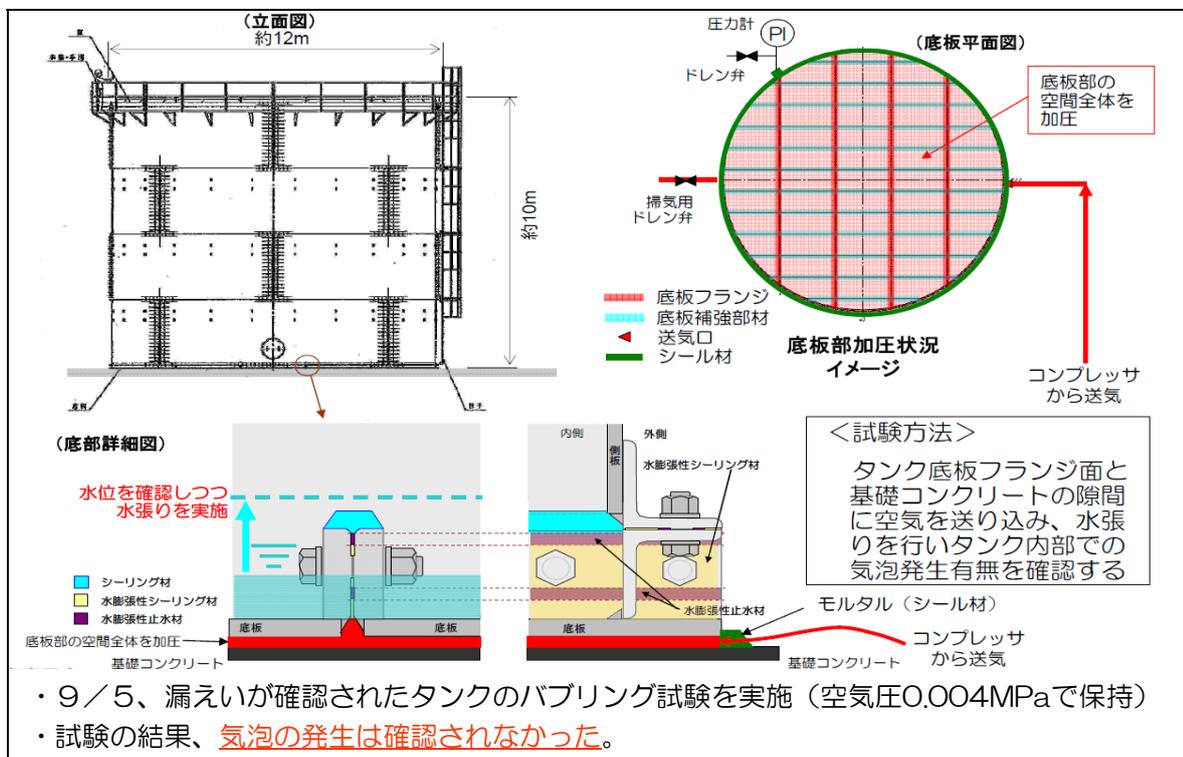


図2 調査結果①(底板バブリング試験結果)

- 底板フランジ部等に泡を塗布し、底板下部を吸引したところ、隣り合うボルト2箇所から泡の吸い込みを確認した。

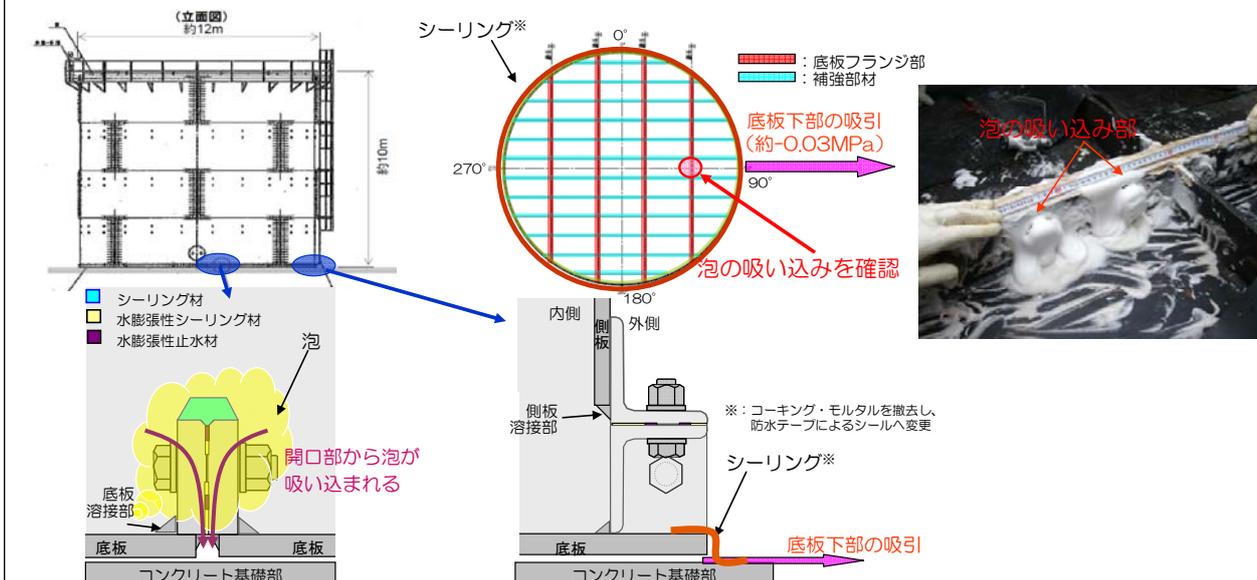


図3 調査結果②(底板下部バキューム試験結果)

- 底板バキューム試験にて泡が吸い込まれた箇所、ボルトの緩みが確認された箇所、シーリングの膨らみが確認された箇所(代表部)に対し、局所バキューム試験を実施したところ、泡が吸い込まれた箇所から発泡を確認した。また、ボルトの緩み部、シーリングの膨らみ部については、発泡は確認されなかった。

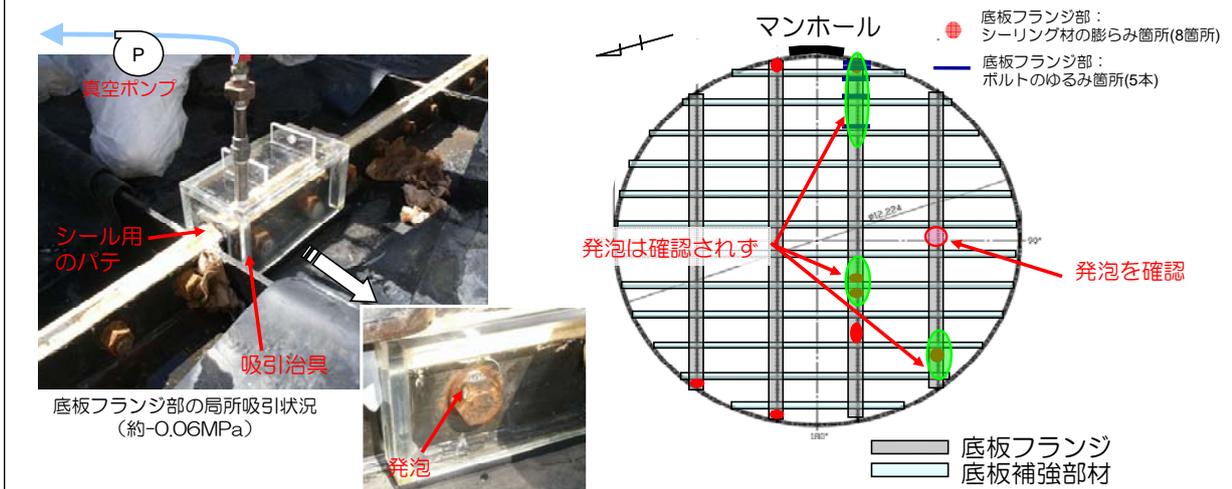


図4 調査結果③(底板局所バキューム試験結果)

- タンク内部の目視確認を行い、側板最下部と底板とのフランジ部および底板フランジ部にシーリング材の変形・破損を確認した（漏えいの無いNo.10タンクにおいても確認）。
- ボルトの打診等による締結状態の確認を行い、5本のボルトに緩みを確認した。
- 側板1段目内表面の1枚に縦方向の錆を確認した。

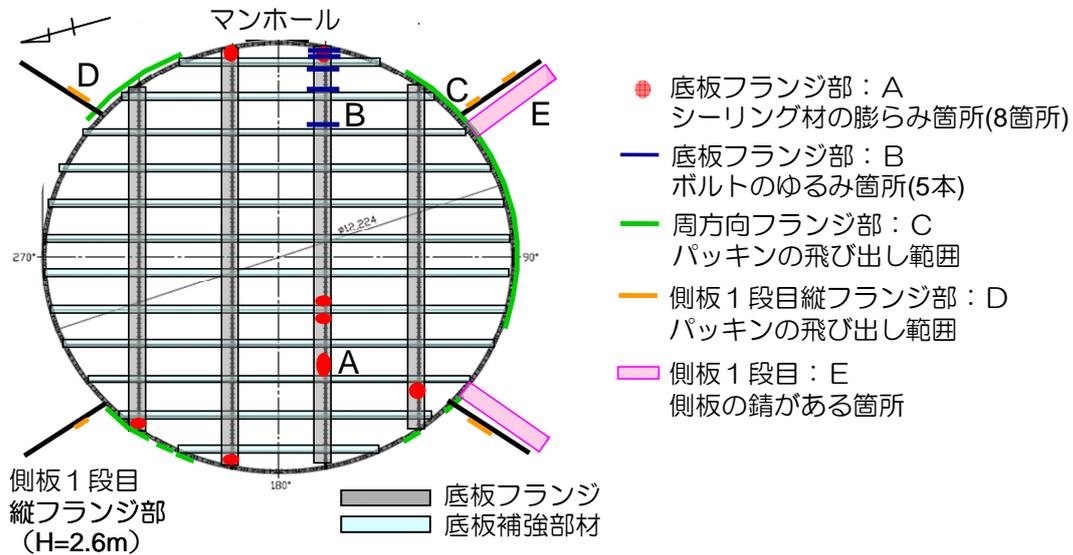


図5 調査結果④(ボルト打診、目視確認結果)

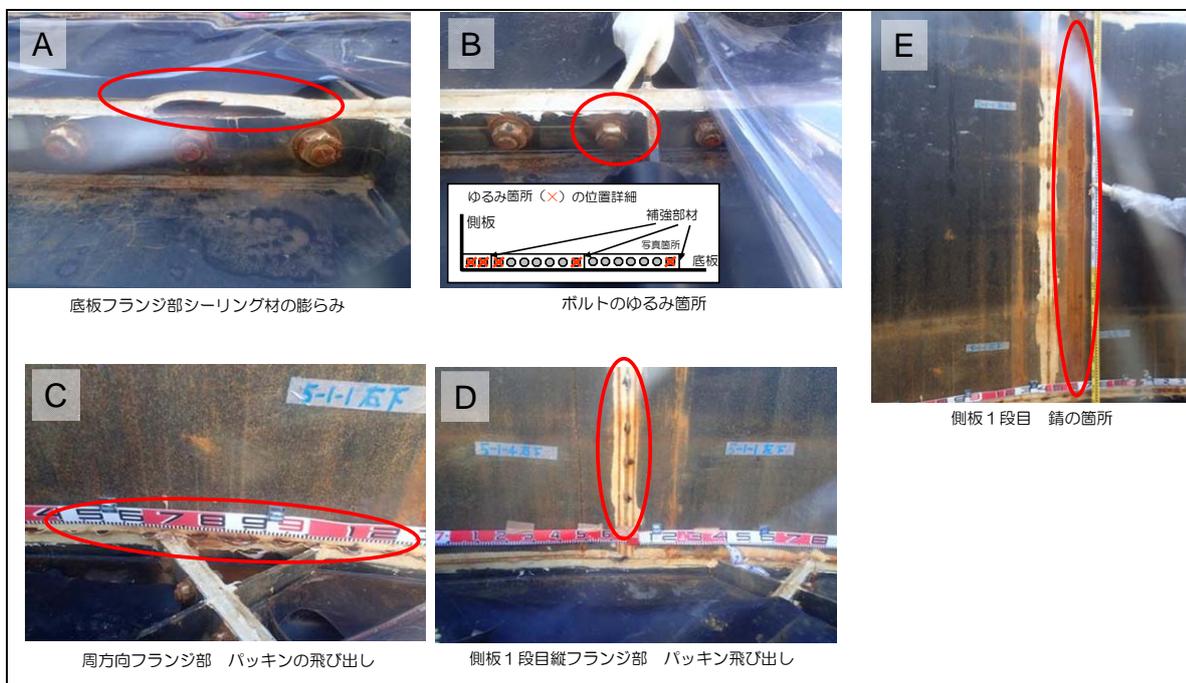


図6 調査結果④(タンク内面写真)

- 側板内面の変色部（発錆と思しきもの）は、容易に剥がすことができる物質（RO濃縮水に含まれる土砂成分と腐食生成物の混合物の可能性）が塗装の上に付着（上述の物質が帯電しており、腐食部に優先的に付着した可能性）したものであった。
- 当該部の塗装は、当該溶接部の検査を実施し、後日施工されているが、その際、洗浄等の確認はされていなかった。そのため、当該部は、周囲の側板塗装よりも状態が相対的に劣り、腐食が発生したと考える。
- 変色の下は塗装も概ね残存しており、塗装の下での腐食は軽微なものであり、健全性に影響を及ぼすものではないと考える。

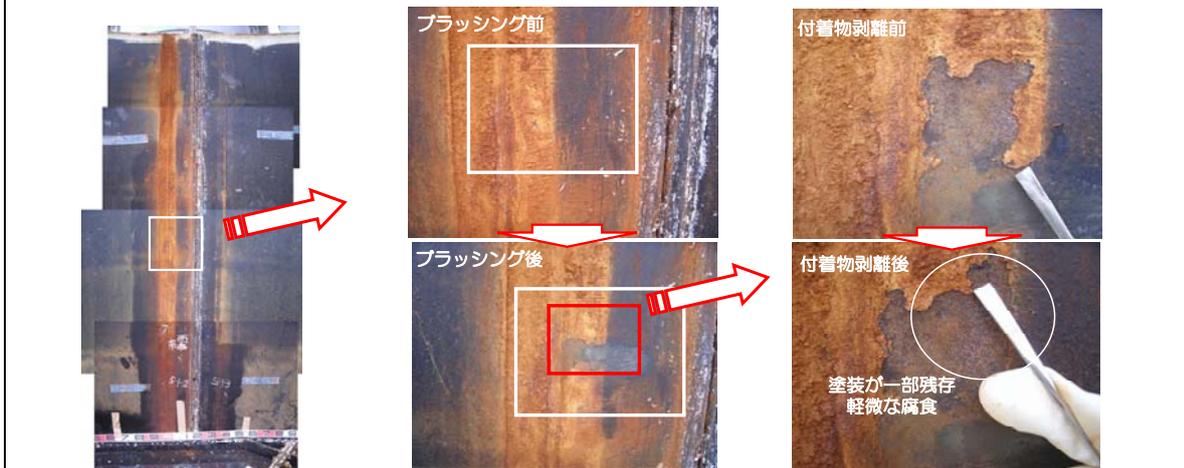


図7 調査結果④(内部側面に確認された発錆)

- タンク内面のフランジ部の線量測定の結果、概ね10mSv/h以下（ β ：70 μ m線量当量率）であり、最大約22mSv/h（ β ：70 μ m線量当量率）であった。
- タンク外面（側板1段目及び底板外周部）の線量測定の結果、概ね10mSv/h以下であったが、側板と側板フランジとの溶接部近傍の1箇所（さび部）に比較的線量の高い箇所（約40mSv/h）が確認された。

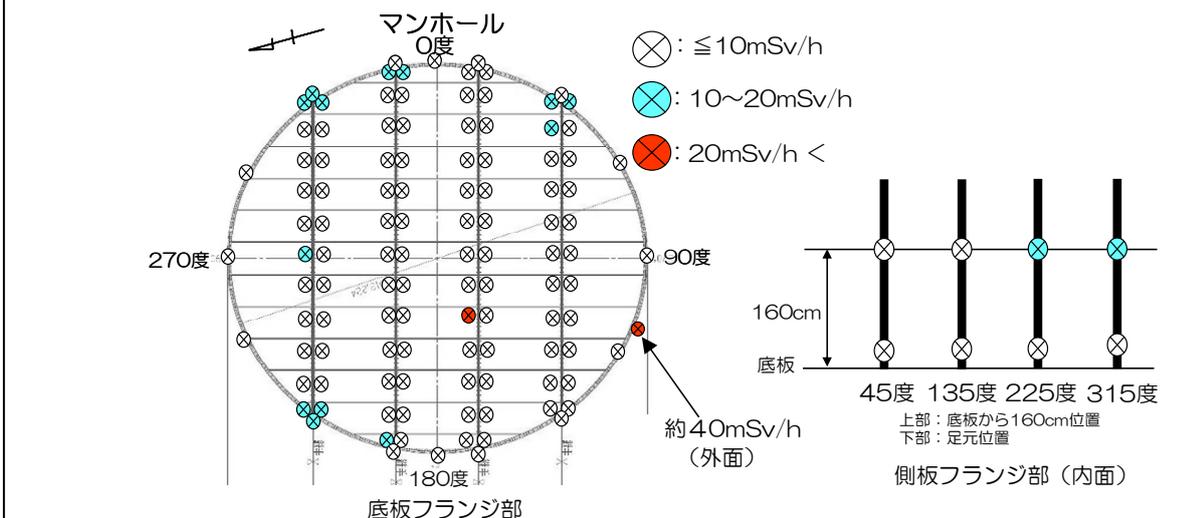
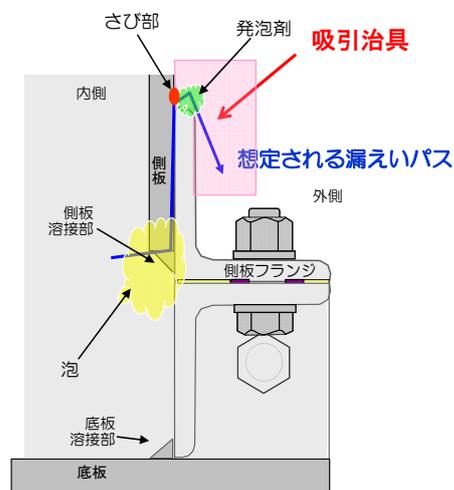


図8 調査結果⑤(放射線量測定結果)

- 側板と側板フランジとの溶接部近傍で比較的高線量が確認された箇所（さび部）について、局所的に吸引（ -0.06MPa ）を実施した（9/19）。
- 当該部に塗布した発泡剤からの継続的な泡の発生は確認されなかった。また、タンク内部に塗布した泡も吸い込まれなかった。



側板-フランジ部断面図

図9 調査結果⑥(側板バキューム試験結果)

タンク漏えい箇所の調査状況まとめ(解体中・解体後)

事象	解体前 調査結果※1	解体中調査※2		解体後調査		漏えいパ スの有無※3	備考	
		調査内容	調査結果	調査内容	調査結果			
側板からの漏えい	母材(溶接部)からの漏えい	△	比較的高線量が確認された箇所(発錆部)について、内面のシーリングを除去しバキューム試験を再実施	漏えいパ ス 無 し	—	—	×	
	フランジ部からの漏えい	△	内面にPT剤を塗布し、外側への染み出し有無を確認 ボルトのトルク測定(打診含む)	漏えいパ ス 無 し トルクの低 下有り	・PT剤を塗布し、解体後にフランジ面を確認 ・フランジ面の外観目視、線量測定 ・ボルトの腐食、変形等の確認 ・フランジ接合面のパッキンの外観目視	漏えいパ ス 無 し	×	調査結果 ①② 参照
底板からの漏えい	フランジ部からの漏えい	○	フランジ面間・段差を測定	段差有り	・フランジ面及び底面の外観目視(発錆の有無、パッキンの状況、漏えいパスの痕跡(PT))、線量測定等 ・ボルトの腐食、変形等の確認 ・フランジ接合面のパッキンの目視等	漏えいパ ス に PT 剤 の 残 存 有 り	○ 泡の吸い込みを確認したボルト2箇所	調査結果 ③～⑤ 参照
			底板バキュームを行い、フランジ面間・段差の変化、シーリングを除去したフランジ面の漏えいパスを確認	フランジ面の漏えいパ ス 無 し				
			ボルトのトルク測定	トルクの低 下有り				
			漏えいパスの可能性のあるボルト2本を抜取った状態にて再度バキューム試験を行い、ボルト穴内の漏えいパスを確認	漏えいパ ス 有 り				
			シーリング等を除去後、PT剤を塗布(解体後にフランジ面を確認)	確認済の漏 えいパ ス の み				

※1：○ 漏えいパスの可能性を確認 △ 漏えいパスの可能性を否定できない

※2：シーリング材を除去した状態

※3：○ 漏えいパあり × 漏えいパではない

PT 剤：浸透探傷液

図1 タンク漏えい箇所の調査状況まとめ(解体中・解体後)

- 側板1段目の解体作業に伴い、フランジ部にPT剤(赤色の浸透液)を塗布して漏えいパスの可能性有無を確認した。
- 解体前のタンク外側の目視確認及び解体時の目視確認の結果、漏えいパとなるような部位(PT剤の染み出し部位)は確認されなかった。

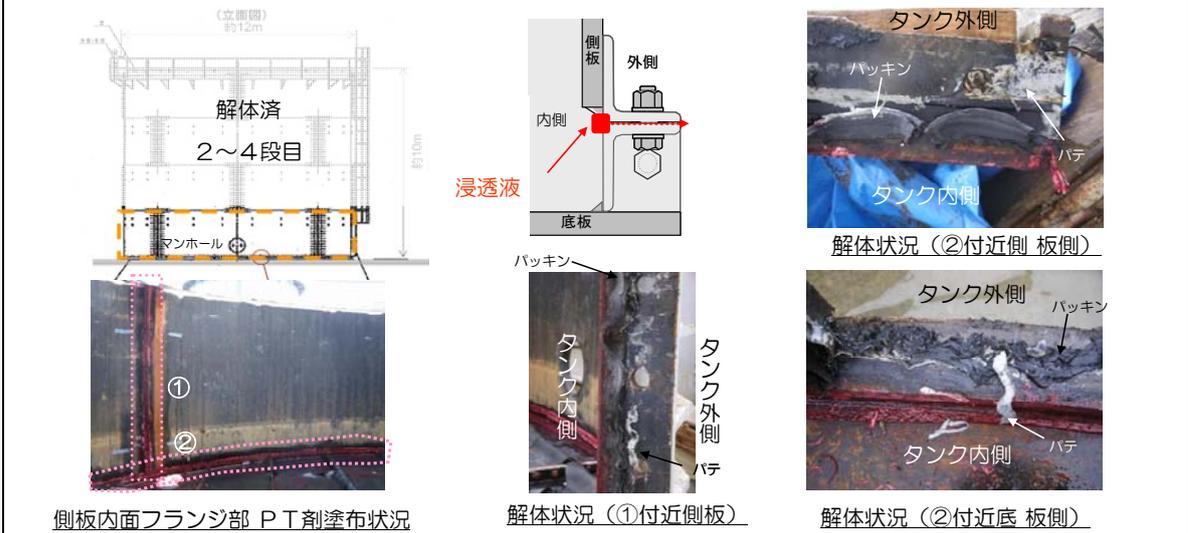


図2 調査結果①(側板フランジ面視確認結果)

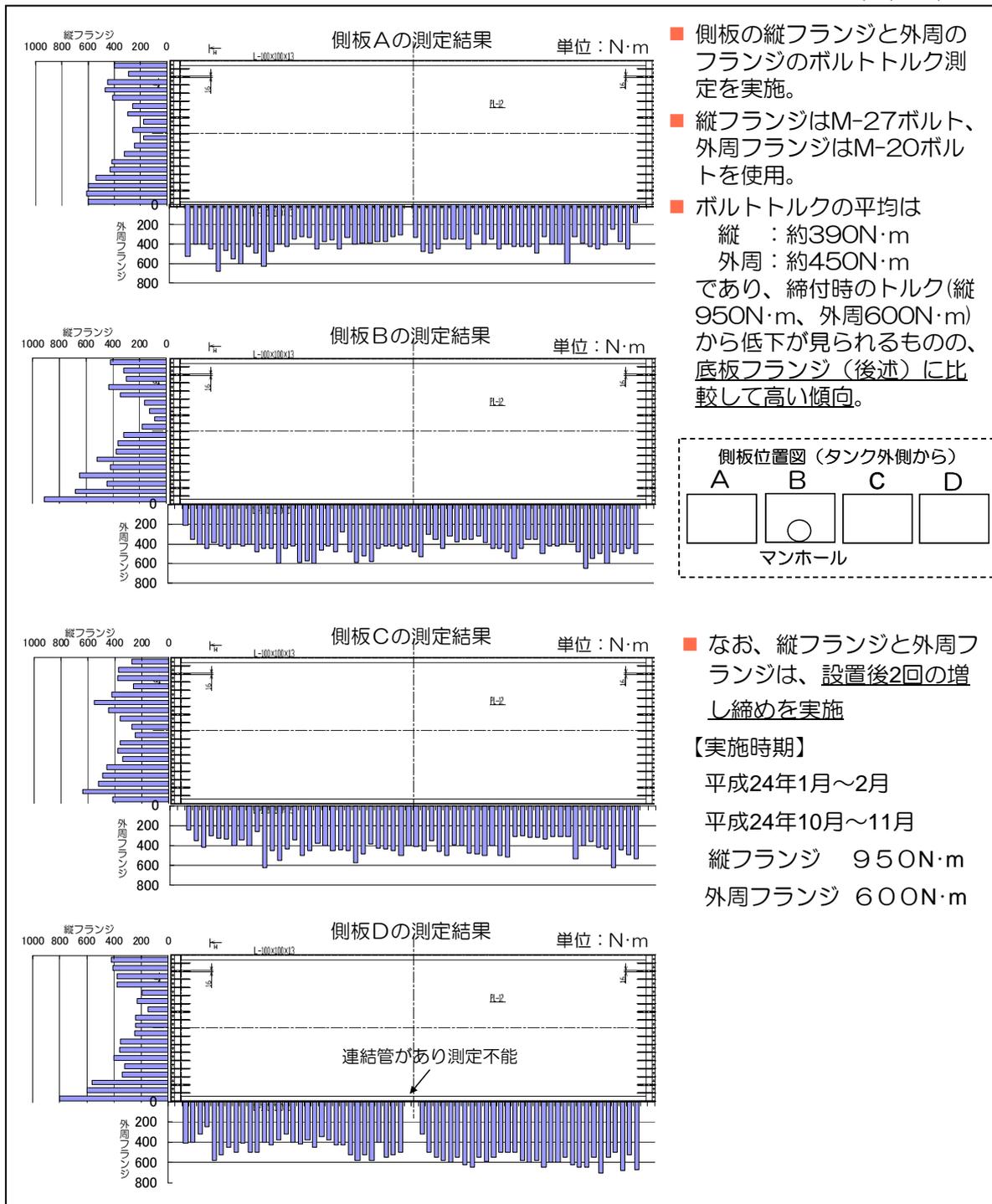


図3 調査結果② (側板1段目ボルトトルク測定結果)

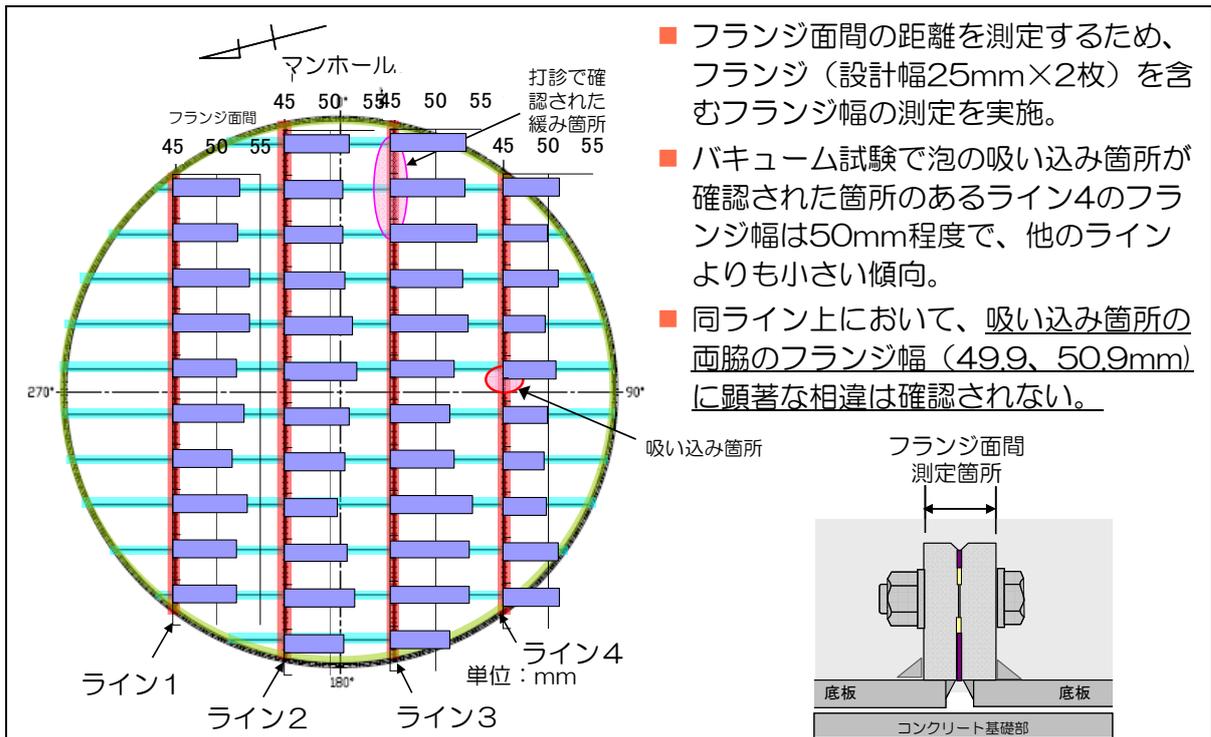


図4 調査結果③（底板フランジ面間測定結果）

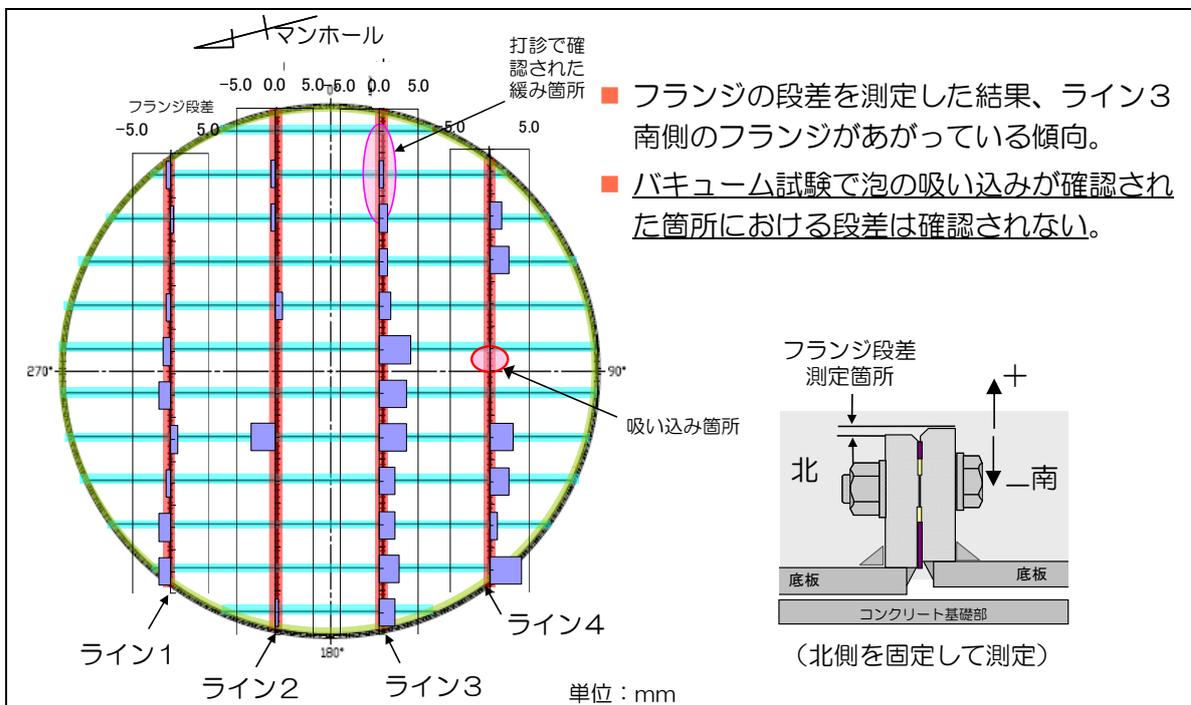
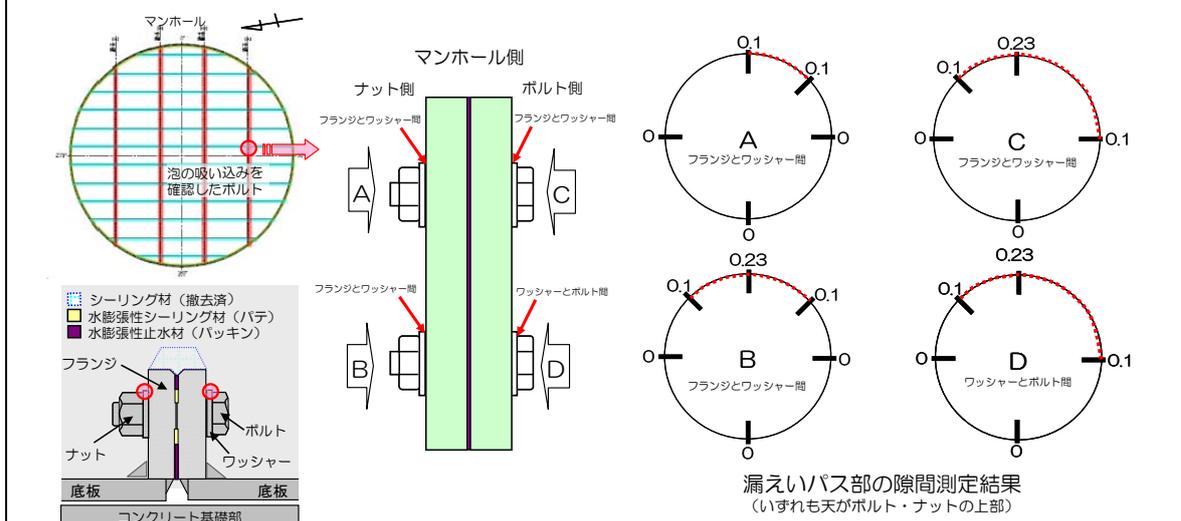
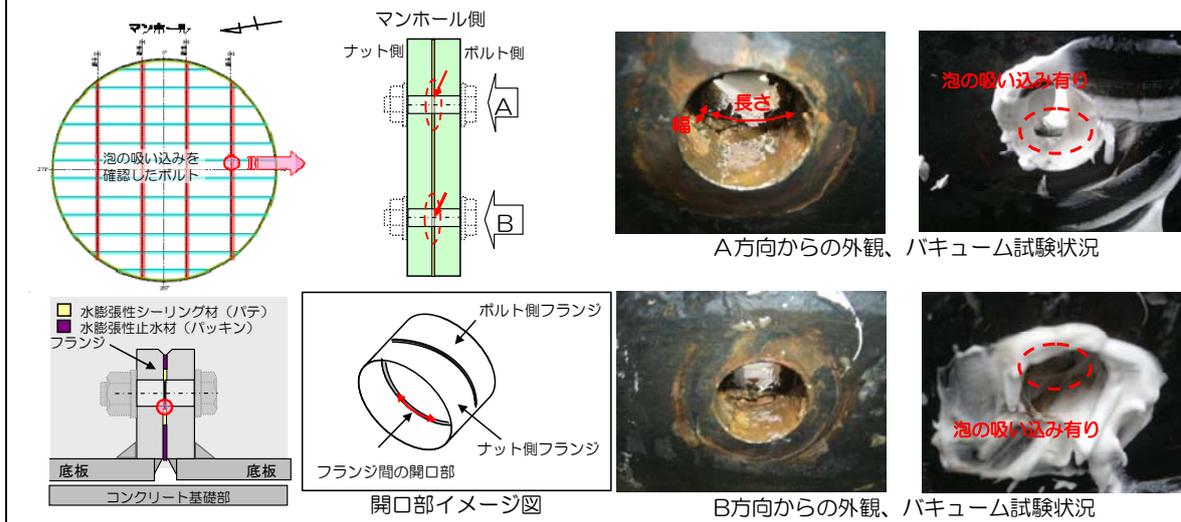


図5 調査結果④（底板フランジ段差測定結果）

- 底板バキューム試験において漏えいパスの可能性が確認されたボルト部について、漏えいパス部の隙間（フランジとワッシャー間、ワッシャーとボルト間）を隙間ゲージにて測定した結果、最大で約0.23mmの隙間を確認した。



- 漏えいパスが確認された底板ボルト2本を取り外し、外観目視及び底板バキューム試験を実施した。
- 外観目視の結果、ボルト穴のフランジ間下部に、幅：約3mmで長さ：約22mm（東側）と、幅：約2mmで長さ：約11mm（西側）の開口部が確認された。
- 底板バキューム試験の結果、確認された開口部から泡の吸い込みがあることを確認した。



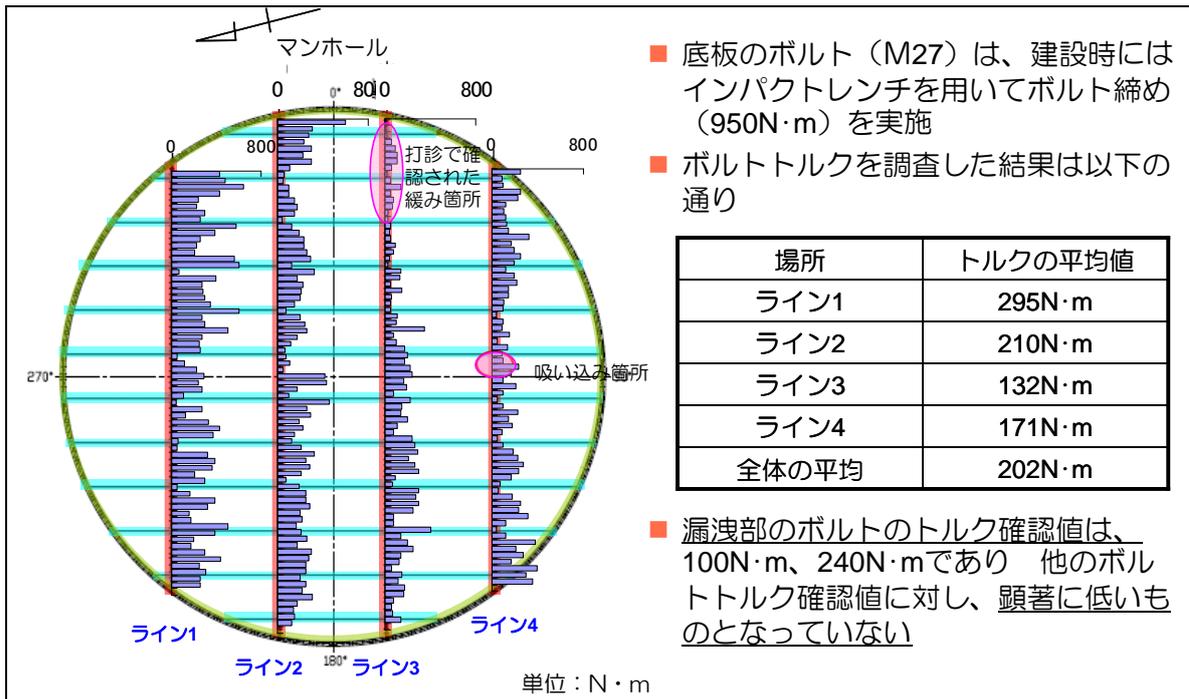


図8 調査結果⑦（底板フランジボルトトルク測定結果）

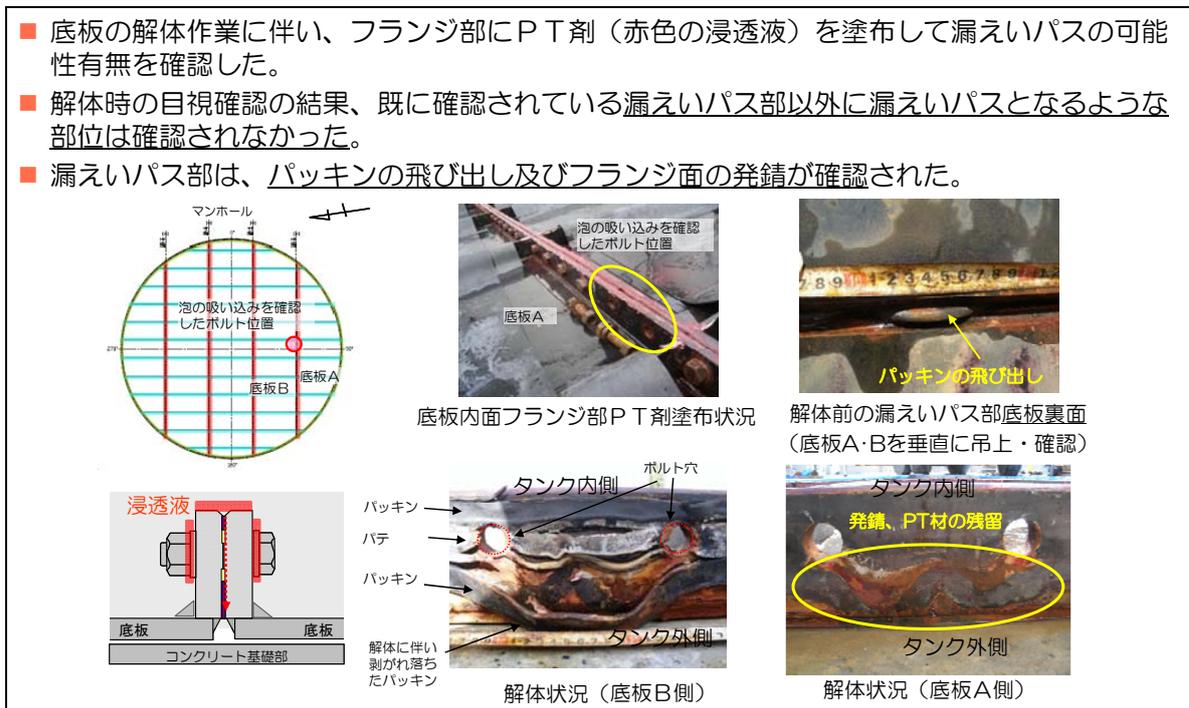


図9 調査結果⑧（底板フランジ面目視確認結果）

- フランジ面を確認した結果、漏えいパス部のパッキン接触面は大きく蛇行し、パッキン痕上端がフランジ面下端を突き抜けていることを確認。
- フランジ面のパテとパッキン痕上端間及びタンク底板外面側に発錆を確認。
- フランジ面及び底板外面の発錆は、パテとパッキン上端に発生した隙間に水が入り込み、底部に抜けたことで腐食が発生したものと考える。

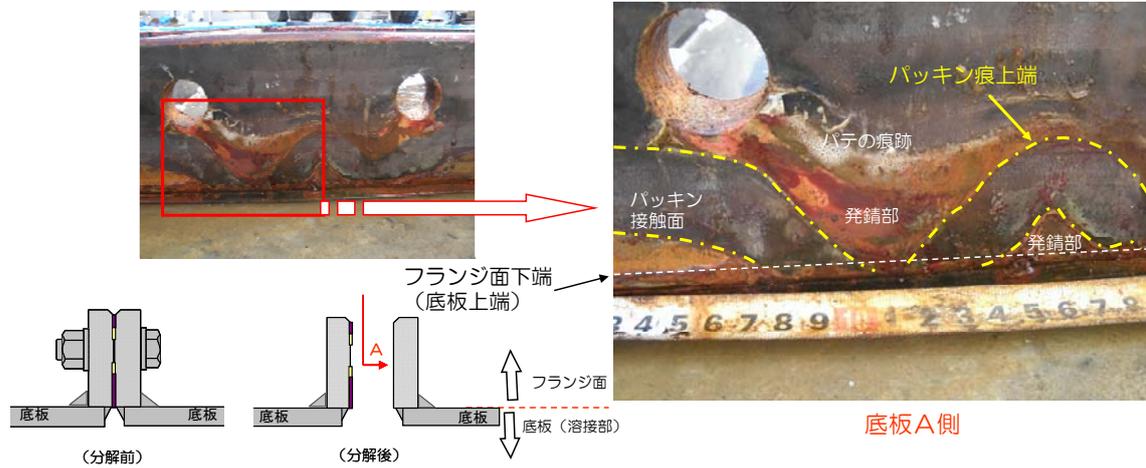


図10 調査結果⑧（漏えいパス観察結果）

- 漏洩箇所を含むフランジにおいて、フランジの開き（上端に対する下端の開き）を測定。
- 吸い込み箇所及びライン4において、フランジ下側の開きが確認されているものの、上端・下端の距離（約116mm）に対して軽微（1～2mm程度）。

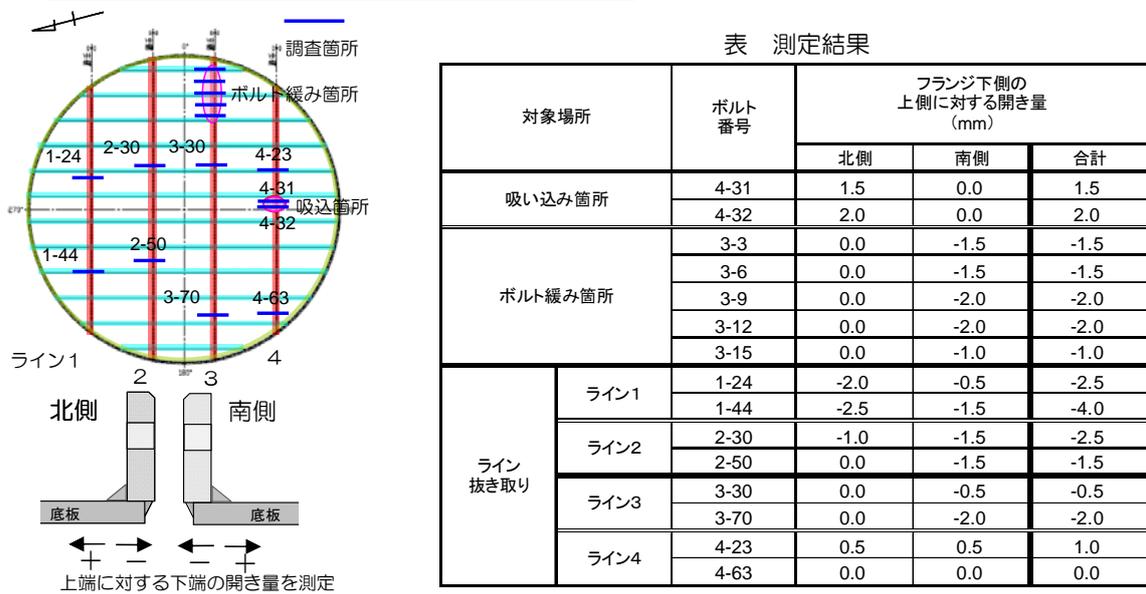


図11 調査結果⑨（底板フランジの開き測定結果）

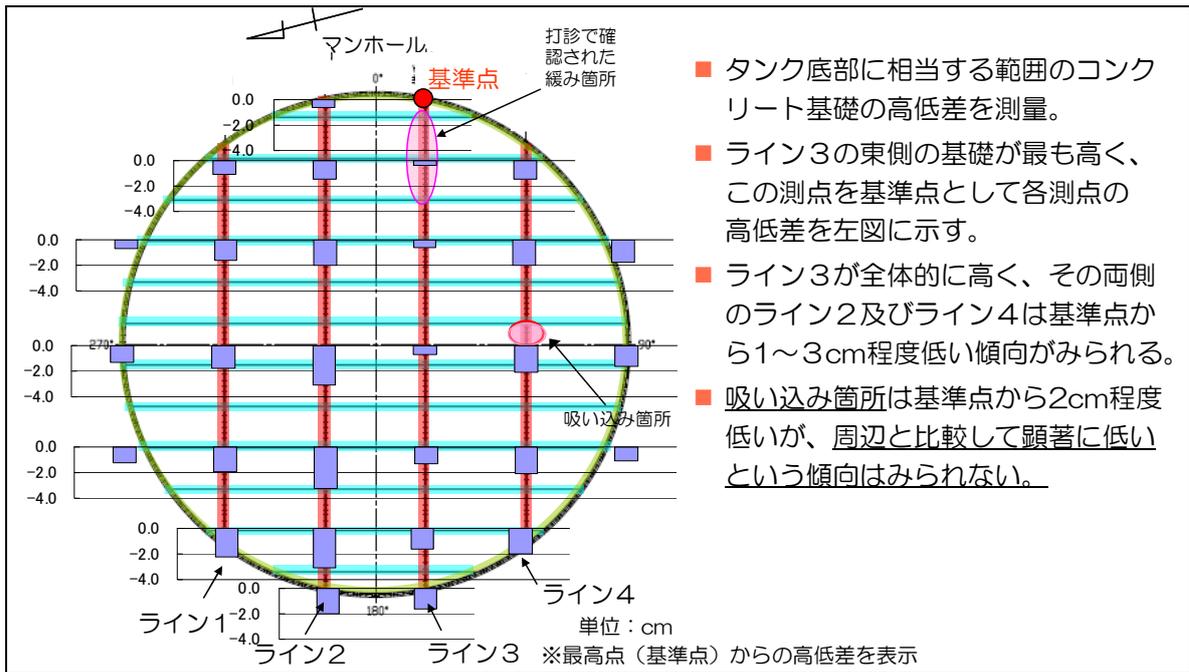


図12 調査結果⑩（コンクリート基礎高低差測定結果）

作業項目	確認項目	時期	判定基準	合否判定 (○・×)		備考		
				計測値	基準			
水槽水張試験	水槽外部4点のレベル	水張り完了後	水槽に沈下がない事 レベルにて計測 沈下量±45mm以内	1	1145	1148		
				2	1152	1155		
				3	1143	1147		
				4	1155	1155		
						◎ 否		
	水槽内水位測定	水張り完了後	水槽内水位に変化がない事 スケールにて計測 ±0mm	1	-78	-78	水槽傾斜の場合は 2か所で測定する	
				2	-85	-85		
						◎ 否		
	水槽外部の目視確認 (水の染み出しがない)	水張り中	水張り完了後 水張り完了 24時間後	水槽外部に 水の染み出しがない			◎ 否	
		水張り完了後						
水張り完了 24時間後								
水槽継手部の目視確認 (水の染み出しがない)	水張り中	水張り完了後 水張り完了 24時間後	水槽外部に 水の染み出しがない			◎ 否		
	水張り完了後							
	水張り完了 24時間後							

図13 調査結果⑪（水槽水張試験結果 H4北エリアI群 No.5 タンクの抜粋
平成23年10月7日実施）

タンク漏えい原因調査結果の考察

表1 推定原因の整理

	発生要因（推定）	確認方法	確認結果	判定
材料品質不良	鋼板・ボルト等の部材選定ミス	材料記録（ミルシート）	鋼板はSS材、ボルトはSCM材等を使用しており、内部流体の性質等を考慮した材料選定をしていることを確認	×
	鋼板・ボルト等の部材間違い	材料記録（ミルシート）	部材納入時に、施工業者にて材料記録等で部材間違いがないことを確認	×
	工場溶接部の溶接不良	聞き取り 水張り試験結果 （添付 21 図 13）	工場にてメーカーが、溶接後確認で溶接不良がないことを確認	×
	フランジの歪み	フランジの開きの測定 （添付 21 図 11）	漏洩箇所等において、フランジ下端側の開きが確認されたものの、軽微な状況	△
施工不良	シーリング材及びフランジ間の止水材の施工不良	聞き取り 水張り試験結果 （添付 21 図 13）	・施工業者にて、施工後確認で施工不良がないことを外観確認 ・施工業者及び当社にて、水張り試験で異常がないことを確認	×
		フランジの接合面の目視 （添付 21 図 9、10）	パテの状態から、ボルト締付時にパッキン（底部側）に軽微なうねりが生じた可能性はあるが、概ね水平に設置していたと推定	△
	締結ボルトのトルク不足	聞き取り 水張り試験結果 （添付 21 図 13）	・施工業者にて、設定したトルク値でボルト締結していることを確認 ・施工業者及び当社にて、水張り試験で異常がないことを確認	×
	地盤沈下に伴う鋼板等の部材変形	聞き取り 水張り試験結果 （添付 21 図 13）	・地盤沈下後に当該タンクを解体し、施工業者にて部材の外観確認で異常がないことを確認 ・再組立時に、施工業者及び当社にて、据付確認及び水張り試験で異常がないことを確認	×
	コンクリート基礎の高低差の影響	コンクリート基礎の測量 （添付 21 図 12）	1～3cm 程度の高低差はあるものの漏えい箇所は周囲と比較して顕著に高低差がある状況ではないことを確認	×
	底板フランジの結合不良	測定結果 （添付 21 図 4、5）	漏えい部付近の底板フランジ面間は他と顕著な相違がないことを確認、漏えい部の底板フランジ段差がないことを確認	×
運用中の材料劣化	鋼板・ボルト等の部材の腐食	外観目視 （添付 20 図 7）	錆の顕著な進展、変形等の異常がみられないことを確認	×
	シーリング材及びフランジ間の止水材の損傷及び劣化	フランジの接合面の目視 （添付 21 図 10）	フランジ接合面のパッキン痕、発錆の状況から、パッキンがフランジ底部に抜けていることを確認	○
	締結ボルトのトルクの低下	ボルトトルクの確認 （添付 21 図 3、8）	トルクは全体的に低下しているが、漏洩部のボルトトルクのみが顕著に低下している状況ではないことを確認	△

○：直接の原因となりうる △：間接的な原因となりうる ×：原因ではない

- 漏えい部のフランジ接合面におけるパテの残存状況から、ボルト締め付け時にパッキン（底板側）に若干うねりが生じた可能性はあるが、概ね水平に設置されていたと推定。
- なお、タンク設置時の水張試験において、水位に変化がないこと（漏えいがないこと）を確認。
- 最終的なパッキン（底板側）上端の痕から、ボルト締め付け時以降、気温変化等によるフランジの熱膨張、収縮とタンク水圧等により徐々に落下し、最終的に底部に抜けて開口に至ったものと推定。

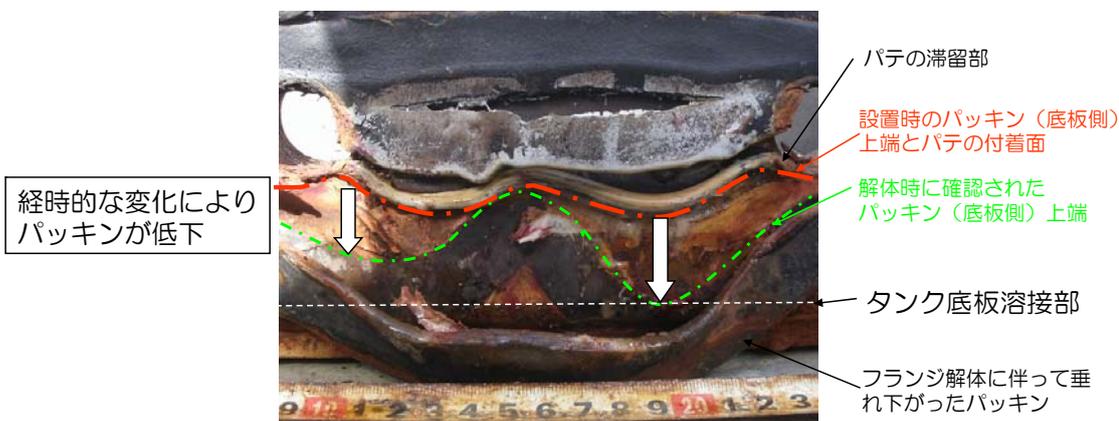
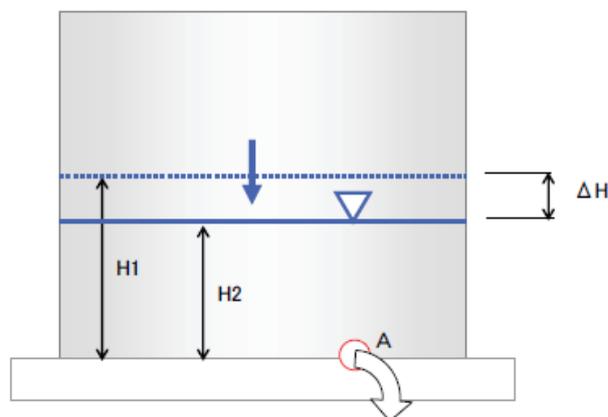


図1 漏えいパス形成過程の推察

漏えい率からの漏えい面積の想定

■計算条件

タンク半径R：6m
 水位（初期）H1：6m
 水位（6時間後）H2：5.95m
 水位低下量 ΔH ：0.05m
 漏えい時間T：6時間



■漏えい面積Aの算出

漏えい量 $Q = At \times \Delta H$
 タンク底面積 $At = \pi R^2$
 流速 $V = Q / AT = \sqrt{2gH1}$
 漏えい面積 $A = Q / T \sqrt{2gH1}$

≒長さ25mm程度・開口（隙間）1mm程度と仮定

隙間測定値からの開口部面積の算出

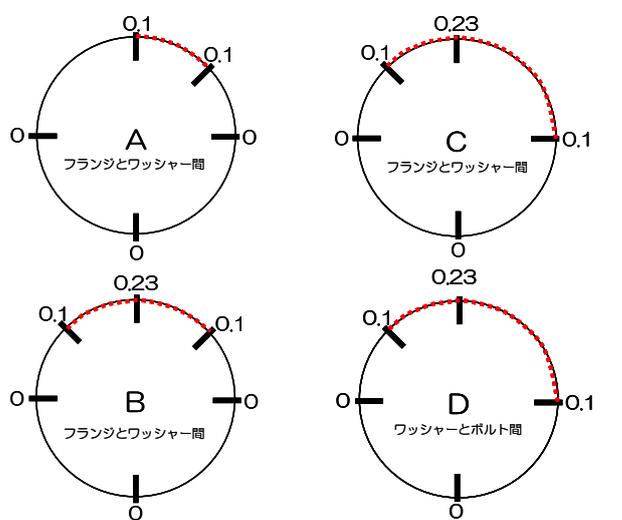
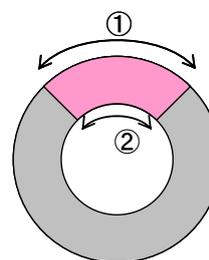


図1 漏えいパス部の隙間測定結果
 (いずれも天がボルト・ナットの上) 単位:mm



- ① 開口範囲
- ② ワッシャーが密着している範囲
- ①: 目視で確認した開口部長さ
→外径で計算
- ②: リーク量に寄与するリークパス長さ
→内径で計算

図2 リークパス範囲の想定

■ 計算方法

図2の状態と仮定し、ワッシャー内側（内径 28mm）の開口部面積を算出

開口部面積 = 漏えいパス部の円周上長さ×端部間隙
 + 漏えいパス部の円周上長さ×1/2×(最大間隙－端部間隙)

■ 計算結果（開口部面積）

A 面積(1.1) + B 面積(3.6) + C 面積(5.4) + D 面積(5.4) = 約 16mm²

H4 北エリア周辺の作業者のβ線による外部被ばくの線量確認結果

タンクパトロールにおける被ばくに変化は見られなかったが、無線中継所作業では、以前には確認されなかったβ線による外部被ばくの線量が7月に確認された。

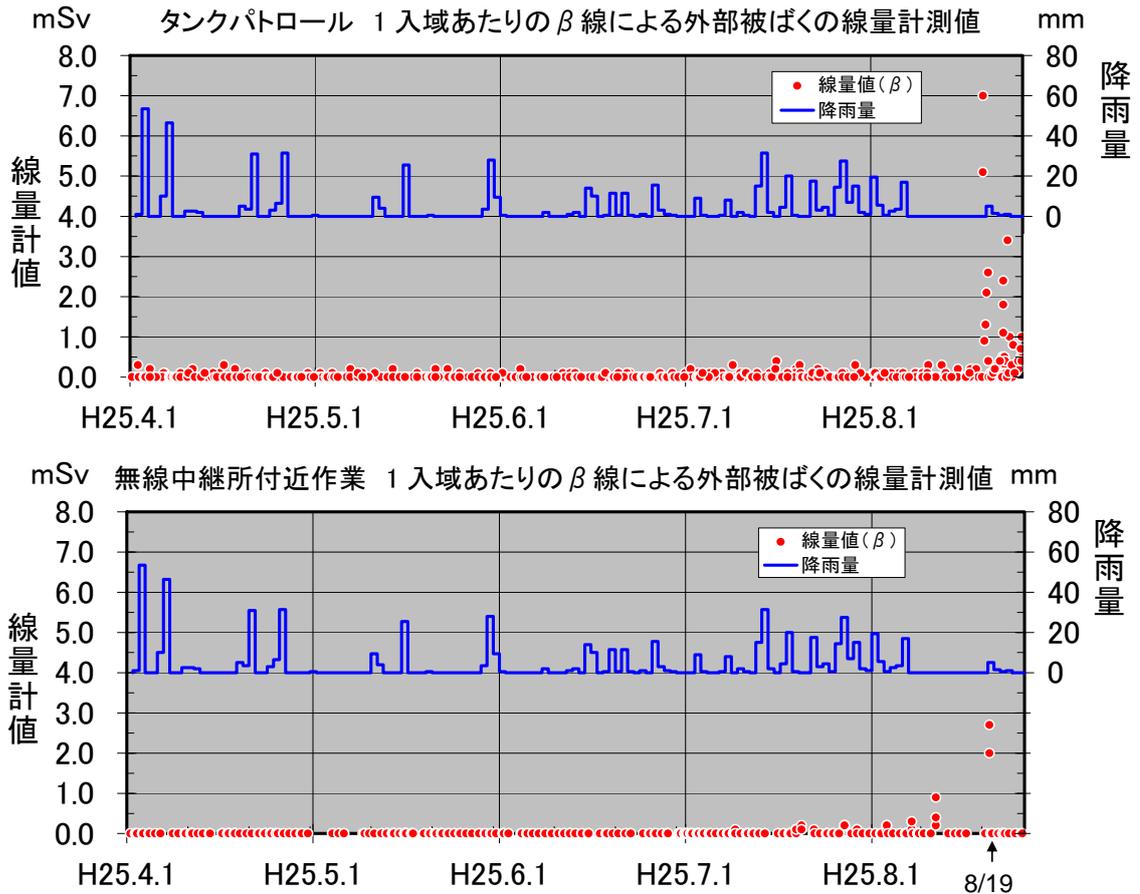


図1 H4 北エリア周辺の作業者のβ線による外部被ばくの線量と降雨量
(警報付電子式線量計による測定結果)

コンクリート基礎の調査結果

- タンク底部解体後に若干の残水（水深数mm）がある状況の中、コンクリート基礎の調査を実施した結果、非常に微細で、かつ密着したクラック（幅0.03mm以下、長さ約80cm）を1箇所確認
- なお、当該タンク付近の溜まった雨水の水位が低下する傾向はみられていない

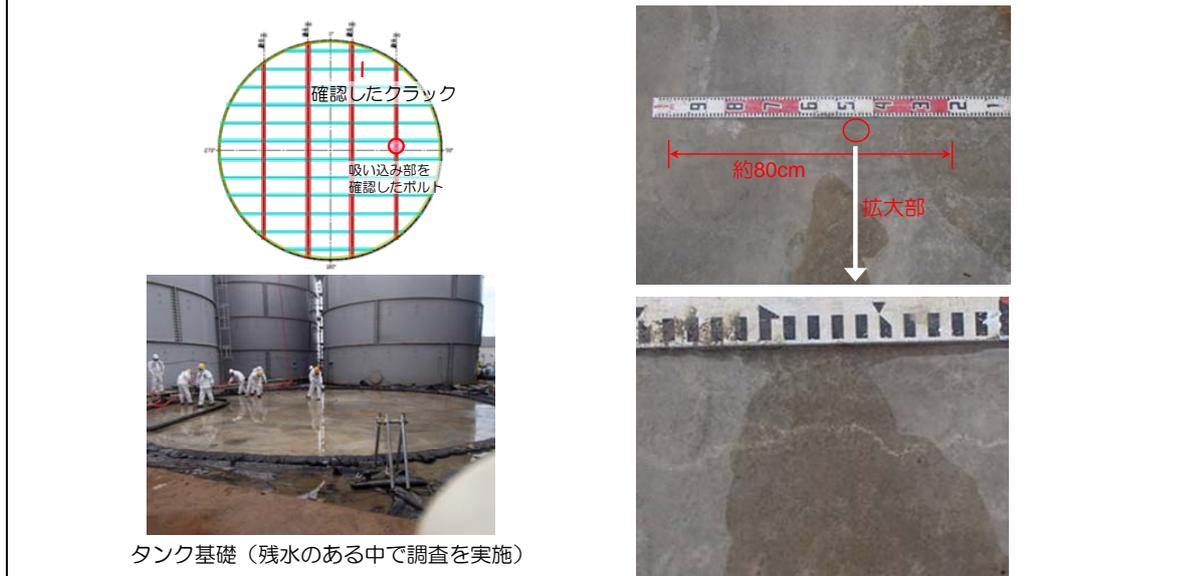


図1 コンクリート基礎の目視確認

対策

■タンク漏えいに関わる対策

○溶接型タンクへのリプレースまでの暫定対策

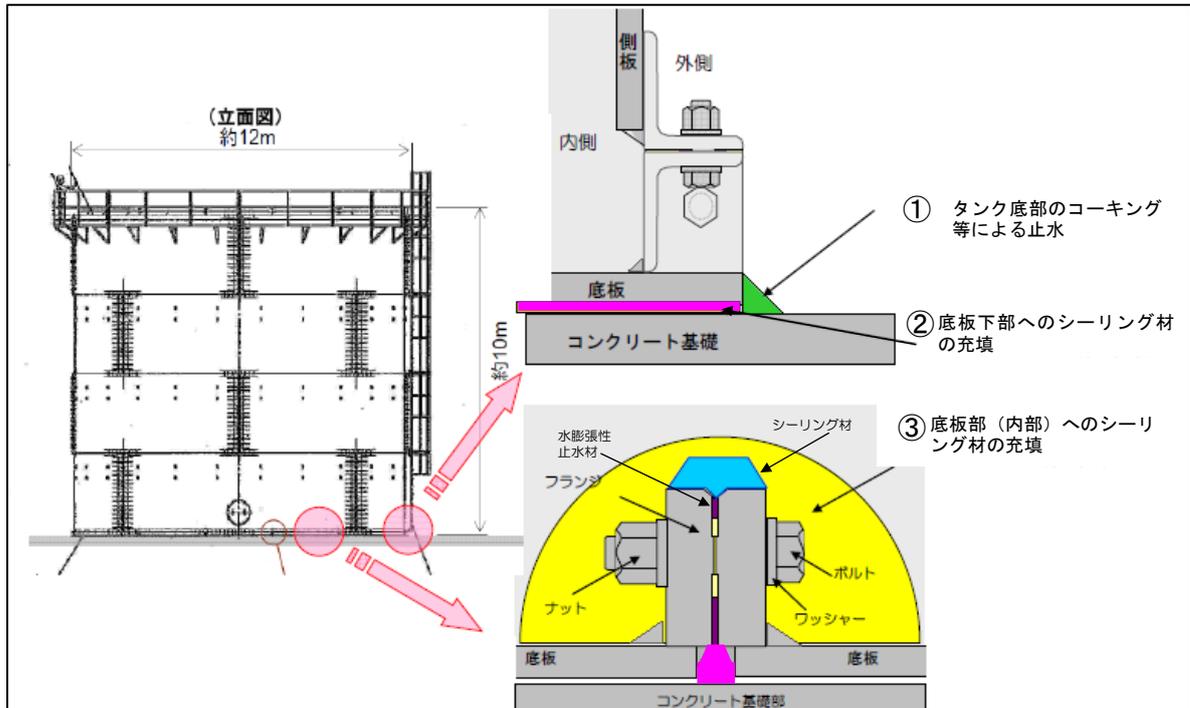


図1 溶接型タンクへのリプレースまでの暫定対策イメージ

①タンク底部のコーキング等による止水(早急に実施できる対策)

- ・タンクエリア堰内コンクリート塗装に合わせてタンク底部外周に同材でのコーキングを実施

②底板下部へのシーリング材の充填(更なる信頼性向上)

■部分モックアップの実施

- ・タンク底板を模擬した試験体による部分モックアップを実施。施工後、タンク水頭圧模擬に対する穴の止水性を確認

■実機モックアップの実施

- ・実機モックアップを実施し、底板フランジ下部への施工可否を確認。平成26年1月より実施し、施工方法確立に向けて検証中

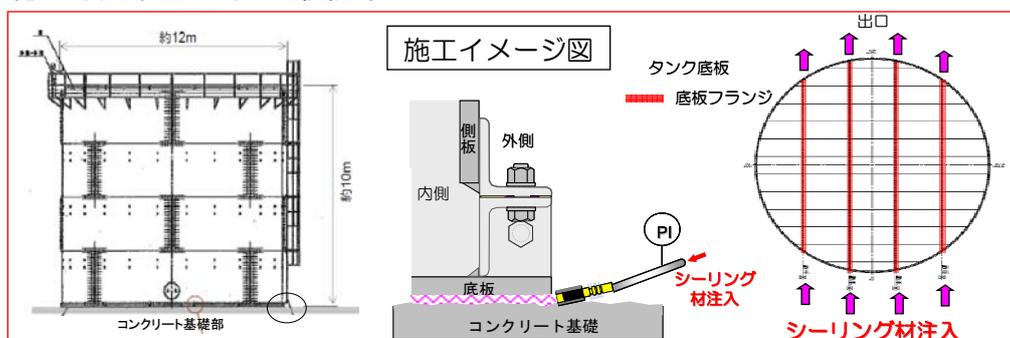


図2 施工イメージ図

③底板部(内部)へのシーリング材の充填(更なる信頼性向上)

■適用樹脂に関する検討

・樹脂コーティング技術は国内外で実績有ることからフランジタンクへ適用可能と判断

■部分モックアップ試験の実施

・フランジ部へ設置可能であること、タンク内面塗装等にも接着性があることを確認

■実機適用に向けての検討

・施工性、装置全体の設計・製作および動作確認等について、検討・検証を引き続き進める

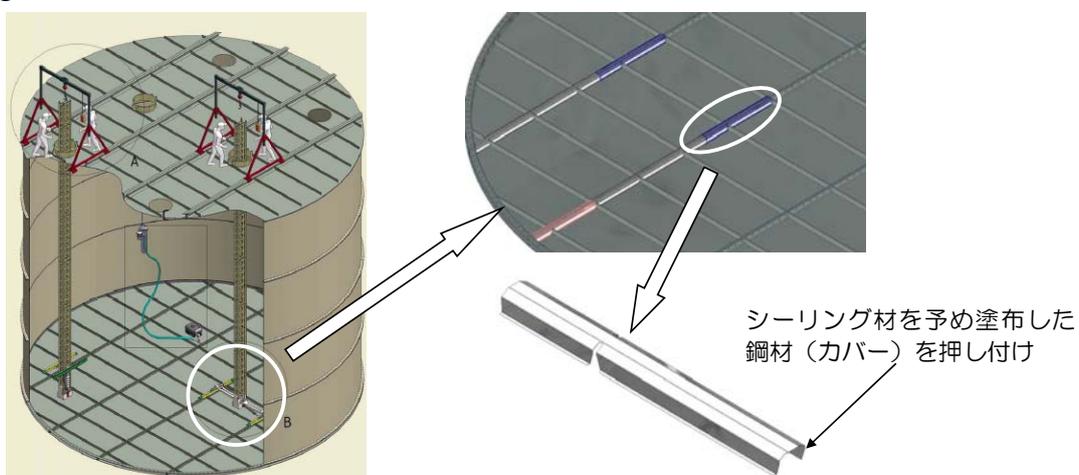


図3 施工イメージ図

■漏えい拡大防止策

○タンク堰の嵩上げ

■鋼製板による堰の嵩上げ(応急堰)

- ・汚染レベルの最も高いH4北エリア、基礎に傾斜のあるBエリア及びH1東エリアの堰天端レベルが低い箇所の嵩上げを実施済(高汚染)
- ・その他すべてのエリアについても実施済(約30cm嵩上げ)

■コンクリート等による堰の更なる嵩上げ(信頼性向上)

- ・工事を実施中。



写真1 鋼製板による堰の設置状況(H4北エリア)

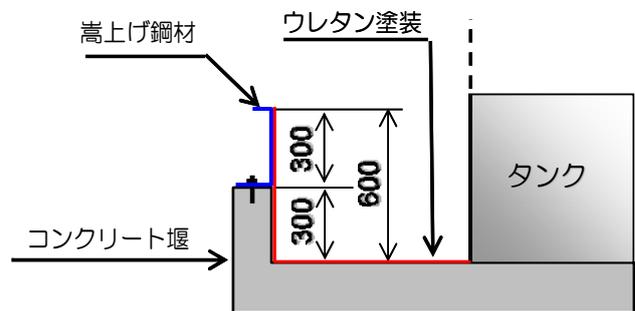


図4 鋼製板による嵩上げ状況図

○堰の二重化、外周堰および堰と外周堰の地表面における地中浸透防止

■堰内コンクリート面の被覆、外周堰内地表面の浸透防止



写真2 被覆状況写真

- ・堰内のコンクリート面を被覆し、防水性を向上
- ・外周堰～コンクリート堰間は雨水の地中浸透防止のためコンクリート等により浸透防止工を施す

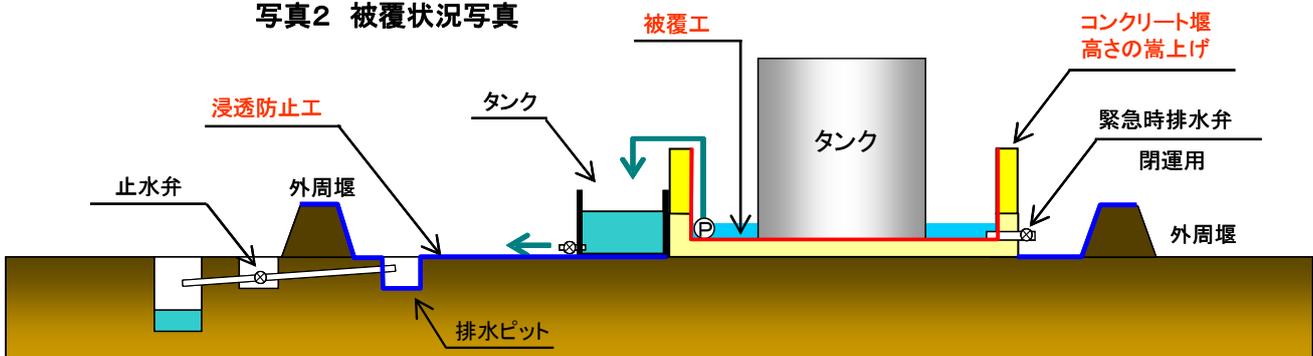


図5 タンクヤード断面図