

当社原子力発電所の放射性廃棄物処理系配管の
誤接続に関する調査結果について

平成22年2月

東京電力株式会社

目 次

1. 調査目的	1
2. 調査期間	1
3. 調査範囲	1
4. 調査内容および調査対象	1
5. 調査方法	2
6. 調査体制	3
7. 調査結果	3
7-1. 誤接続が確認された箇所数	3
7-2. 放出された放射能評価	4
8. 原因調査	5
8-1. 原因調査結果	5
8-2. 調査結果の整理	9
9. 推定原因	11
10. 配管の誤接続がこれまで発見できなかった理由	13
11. 対策	14
12. 今回の調査で確認された誤接続箇所以外で改造する箇所	14
13. 添付資料	15

1. 調査目的

当社福島第二原子力発電所において、ストームドレン(非放射性的の液体廃棄物、以下、「SD」という)ファンネルに対し、放射性廃棄物を処理する配管が接続されていたことにより、誤って放射性物質であるトリチウムが放出される不適合が確認されたこと、および柏崎刈羽においても誤接続事象が確認されたことをふまえ、当社原子力発電所において、非放射性的廃棄物を処理するファンネルに対する、放射性廃棄物を処理する配管の誤接続の有無について調査を実施した。

2. 調査期間

- ・福島第一原子力発電所：平成21年11月9日～平成22年1月5日
- ・福島第二原子力発電所：平成21年11月16日～平成22年1月14日
- ・柏崎刈羽原子力発電所：平成21年11月2日～平成21年12月6日

3. 調査範囲

液体廃棄物処理系は、処理する液体に応じて放出管理を実施している。放射性液体廃棄物処理系の処理水は、放射性物質を含む可能性があるため、ガンマ線核種の放射能を測定し、トリチウムの放射能については管理された状態で放出しており、原則として非放射性的の液体廃棄物を扱うSD系などは、ガンマ線核種を測定した上で、放出している。

また、非管理区域に設置されている液体廃棄物処理系は、放射性物質が混入する可能性がないため、放射能の測定を実施せずに放出している。

このように適切に放出管理を実施しているが、非放射性的液体廃棄物を処理するファンネルに対し、放射性液体廃棄物を処理する配管が誤接続されている場合は、適切な管理がなされず、計画外にトリチウムが放出される可能性がある。

したがって、発電所内の全てのファンネルのうち、トリチウムが含まれる液体廃棄物が流入する可能性がある管理区域内のファンネルで、当該ファンネルへ流入した液体廃棄物を収集タンク等から放出するにあたり、放出されるトリチウムについて管理が行われていないファンネルと、そこに流入する配管を調査範囲とした。

(添付資料－1，2)

4. 調査内容および調査対象

(1) SD系の誤接続の調査

【調査内容】福島第二および柏崎刈羽の事例と同様、管理区域内に設置されているSDファンネルに対し、放射性廃棄物を処理する配管との誤接続の有無について調査を行う。

【調査対象】ストームドレン系 (SD：管理区域)

※柏崎刈羽3、4、6、7号機については、管理区域内に設置されているSDファンネルの接続先が放射性液体廃棄物処理施設であるシャワードレン系（HSD）収集タンクであるため、放出に際しトリチウムの放出量を評価していることから、計画外にトリチウムが放出されることはないため、調査の対象外。

（2）類似系統の誤接続の調査

【調査内容】 管理区域内に設置されているSD以外のファンネルに対し、トリチウムの放出量の評価がなされずにトリチウムを含む水が放出されるような誤接続の有無について調査を行う。

【調査対象】 ストームドレン海水系 （SWSD：管理区域）
 オイルドレン系 （OD：管理区域）

※過去に当該系統から水の放出を実施していない場合も、念のため調査。

※放出に際し、トリチウムの放出量を評価している号機は、調査の対象外。

（3）更なる水平展開調査

【調査内容】 非管理区域に設置されており、トリチウム混入の可能性はないが、今回の不適合事象に鑑みて、念のため誤接続の有無について調査を行う。

【調査対象】 ストームドレン海水系 （SWSD：非管理区域）
 ストームドレン系 （SD：非管理区域）
 オイルドレン系 （OD：非管理区域）
 非放射性ストームドレン系 （NSD：非管理区域）

※放出に際し、トリチウムの放出量を評価している号機は、調査の対象外。

（添付資料－1，2）

5. 調査方法

SD系については、以下の通り調査を行った。

- ① ライザー線図をもとに、SD系に導かれるファンネルを確認する。
- ② ①で確認されたSDファンネルに接続する配管を現場で追跡調査し、当該配管に接続される機器等を確認することにより当該ファンネルに導かれる排水が非放射性であることを確認し、その調査結果を点検表に記録する。
- ③ 現場での追跡調査を実施する際に、ファンネル番号ならびに流入配管の配管番号等を点検表に記録する。
- ④ 現場で記録したファンネル番号ならびに流入配管の配管番号等が、配管計装線図上の記載と相違ないことを確認し、その確認結果を点検表に記録する。

②が確認された時点で当該ファンネルへの放射性物質の流入は無いものと判断し、誤接続の有無の判断にあたっては、③、④の調査とあわせて確認した。

なお、類似系統の誤接続の調査にあたっては、上記「SD」の記載を類似系統に読み替えた。

6. 調査体制

本調査は、各発電所の運転管理部および保全部が現場調査、書類調査および調査結果の取り纏めを実施し、品質安全部が調査の品質の管理を行った。

7. 調査結果

7-1. 誤接続が確認された箇所数

「4. 調査内容および調査対象」に示す調査範囲について調査を行った結果、各発電所における誤接続が確認された箇所数は以下のとおりであった。

(添付資料-3, 4)

(1) SD系の誤接続の調査

- ・福島第一原子力発電所 : 全723箇所中、5箇所
- ・福島第二原子力発電所 : 全1364箇所中、21箇所
- ・柏崎刈羽原子力発電所 : 全856箇所中、4箇所

(2) 類似系統の誤接続の調査

- ・福島第一原子力発電所 : 全256箇所中、0箇所
- ・福島第二原子力発電所 : 全31箇所中、0箇所
- ・柏崎刈羽原子力発電所 : 全5箇所中、0箇所

(3) 更なる水平展開調査

- ・福島第一原子力発電所 : 全428箇所中、0箇所
- ・福島第二原子力発電所 : 全1640箇所中、0箇所
- ・柏崎刈羽原子力発電所 : 全3424箇所中、0箇所

<注>福島第二原子力発電所において、SD系の誤接続の調査対象箇所が多い理由は、福島第二原子力発電所1号機的设计以降、海水熱交換器のチューブリークによる放射性物質漏出のリスクを低減する観点から、海水熱交換器建屋ならびに補機冷却系統の中間ループ^{*1}が新たに採用されたため、これらのドレン、ベント等の配管の増加に伴い、SDファンネルが増加しているため。

また、福島第二原子力発電所および柏崎刈羽原子力発電所において、更なる水平展開調査対象箇所が多い理由は、合理的な放射線管理の観点から非管理区域の設定を拡大するような建屋設計が採用されるようになり、福島第一原子力発電所において管理区域内に設置していたSDファンネルや類似系統のファンネルの一部が、非管理区域に

設置されているため。なお、柏崎刈羽原子力発電所は、福島第二原子力発電所に比べ、プラント数が多いため、調査対象箇所が多くなる。

※1：「中間ループ」とは、非常用機器の冷却方式を海水で直接的に冷却する方式から間接的に冷却する等のために採用した補機冷却系統

7-2. 放出された放射能評価

誤接続が確認された全30箇所について、過去に当該ファンネルへ排水した可能性の有無を調査するとともに、その際に海洋へ放出されたトリチウムの放出量を評価した結果、以下に示す2箇所について、計画外に放水口より海洋へトリチウムを含む水が放出されたと判断されたが、いずれも、保安規定に定める年間の放出管理基準値と比較し、十分に低い値であった。

なお、その他の28箇所については、排水実績がない（13箇所）、もしくは放出されたとしてもトリチウム濃度が検出限界値未満（15箇所）であると評価された。

（添付資料-4）

（1）福島第二原子力発電所1号機 タービン建屋 再生水補給水系ドレン配管における接続

第15回および第17回定期検査で実施した給水加熱器の取替工事に伴い、再生水補給水系の配管を切断した際、系統水をドレン配管からSDファンネルに計2回排水していたが、その際のトリチウム放出量は、最大で約 3.6×10^8 ベクレルと計算され、保安規定に定める年間の放出管理基準値（ 1.4×10^{13} ベクレル）の約38,000分の1であり、年間の平均放出量^{※2}（ 7.6×10^{11} ベクレル）に加算した場合でも、年間放出量に影響しない程度のものであった。

（2）福島第二原子力発電所1号機 タービン建屋 復水浄化系復水ろ過設備補給水ドレン配管における接続

第20回定期検査で実施した復水浄化系復水ろ過設備の点検の際、系統水をドレン配管からSDファンネルに排水していたが、その際のトリチウム放出量は、最大で約 1.1×10^7 ベクレルと計算され、保安規定に定める年間の放出管理基準値（ 1.4×10^{13} ベクレル）の約1,300,000分の1であり、年間の平均放出量^{※2}（ 7.6×10^{11} ベクレル）に加算した場合でも、年間放出量に影響しない程度のものであった。

※2：「年間の平均放出量」とは、福島第二原子力発電所の4基が営業運転開始した（昭和62年）翌年度以降の年間のトリチウム放出量の平均値

8. 原因調査

8-1. 原因調査結果

誤接続が発生した原因について、要因分析表に基づき、以下のとおり調査を行った。

(添付資料-5, 6)

(1) トリチウムの放出管理について

昭和51年に「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」が国（原子力委員会）により制定される以前は、平常運転時の原子炉施設周辺の線量評価に関する統一的な手法がなかった。

放射性気体廃棄物の放出に際しては線量評価を行い、年間0.5レム（5ミリシーベルト）を十分下回っていることを確認する一方、放射性液体廃棄物の放出に際しては線量評価を行っておらず、放出前に放射能濃度を測定し、復水器冷却水路中における濃度が、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に定められた水中許容濃度以下になることを確認した上で、復水器冷却水でまぜて放出することのみを定めていた。

これは、放射能レベルが高い液体廃棄物は、再使用され、放射能レベルが極低い液体廃棄物のみが環境に放出されることを前提としていたためである。

なお、昭和50年頃までは、放射性液体廃棄物の放出に際して、ガンマ線の放射能濃度は測定していたが、トリチウムについては測定していなかった。

その後、「発電用軽水型原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針」が国（原子力委員会）により策定される見込みとなったことを受け、昭和50年頃から放射性液体廃棄物の放出に際して、トリチウム濃度を自主的に測定するようになった。また、昭和51年に「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」が国（原子力委員会）により制定された以降の設置（変更）許可申請では、平常運転時の原子炉施設周辺の線量評価に関して、現在と同様の手法で放射性液体廃棄物としてのトリチウムについても評価に含めるようになった。

さらに、昭和62年に資源エネルギー庁より「実用発電用原子炉施設保安規定の策定指針及び解説」が発出されたことに伴い、トリチウムについても年間の放出管理基準値を保安規定に定めて放出量（総量）管理を実施することとなった。

なお、非放射性液体廃棄物であるSD系に関しては、昭和56年の敦賀発電所における一般排水への放射能流出事故に鑑み、確認することが容易で、強いエネルギーを放出し、被ばく評価上寄与の大きなガンマ線核種について、放出の都度、自主的に測定することとしている。

以上から、国（原子力委員会）により放射性物質の測定指針や評価指針が策

定される前は、トリチウムの放出管理に対する認識はなく、さらにそれらの指針が策定されて以降も、プラントの運転管理に大きく関与する指針ではなかったことから、同様に認識はなかったものと推定される。

さらにトリチウムについても放出管理基準値を保安規定に定めて放出量（総量）管理するようになった以降も、それまでトリチウムが管理されない時代が長期にわたったこと、トリチウムは分離等の処理により除去できないため、処理を行わずに毎年ほぼ一定量を排出しているものであること、それ以前の測定実績から放出量が放出管理基準値を超えることはないと考えられていたことからトリチウムの放出管理に対する認識は低かったものと思われる。

したがって、この認識の低さにより、設計時や施工時において接続先のファンネルを誤った可能性がある。

（2）廃液収集区分の考え方について

廃液を放射性と非放射性に区分して収集し、処理するとの基本的な考え方は、福島第一原子力発電所の設計当時から考慮されていたものと推定されるが、福島第二原子力発電所の基本設計が行われていた当時には、各系統からの廃液を、その性状に応じて適切な液体廃棄物処理系に排水する（廃液収集区分）との考え方が整理された。

この考え方は、例えば、福島第二原子力発電所 3,4 号機の建設当時から、「放射性の系統と非放射性の系統の境界近傍より廃液を排出する場合には、境界弁の開閉操作や不具合を考慮し、当該排出位置が非放射性の系統に属する場合であっても放射性液体廃棄物処理系のファンネルに廃液を導く」、柏崎刈羽原子力発電所 2,5 号機の建設当時から、「計測対象が放射性流体の場合には、計器からの排水を放射性液体廃棄物として処理する」というように、適宜見直され、かつ文書化されてきた。

以上のように廃液収集区分が明確化されてきているものの、トリチウムの放出管理に対する認識が低かった当時は、廃液収集区分を見直す必要があるとの考えに至らなかったため、当時の廃液収集区分に基づいた設計時や施工時において接続先のファンネルを誤った可能性がある。

（3）補給水系の設計について

発電所の円滑な運転および保守を行うために、各建屋内および付帯設備等に設置される機器、配管および弁類等に必要な容量および圧力を有する水を供給する系統として補給水系を設置しており、福島第一原子力発電所の設計では、放射性核種を含まない補給水系として純水補給水系（MUWP）と、低いレベルであるが放射性核種が含まれる補給水系として復水補給水系（MUWC）の 2 系統が設けられた。

その後、福島第二原子力発電所の設計からは、MUWP の使用量低減等の観

点から、低いレベルであるが放射性核種が含まれる補給水系として、さらに燃料プール補給水系（FPMUW）、再生水補給水系（MUWT）が採用された。

なお、設計合理化の観点から、柏崎刈羽原子力発電所 3,4 号機以降、MUWTが、柏崎刈羽 6,7 号機以降、FPMUWが廃止されている。

放射性核種が含まれるFPMUWやMUWTには、トリチウムが含まれているが、これらの系統が新たに採用された場合、トリチウムの放出管理に対する認識不足と相まって、設計時において接続先のファンネルを誤った可能性がある。

（４）ドレン、ベント配管等の施工について

配管の施工は、プラントメーカー等が機器・配管の配置等の設計検討を行い、その検討結果を基に施工図書（配管施工図等）を作成し、その図書に基づき工事施工会社が配管を敷設することとなっている。

各系統から液体廃棄物を排水するドレン、ベント配管等についても、基本的には、この手順に従い設計されているが、機器の性能や系統の機能といった運転に直接関係する主要な配管ではないため、機器や主要な配管の配置が、詳細設計で確定した後に行われている。その際に決定されたファンネルの配置情報を建屋設計に反映することとなる。

しかしながら、ドレン、ベント配管等は、主要な配管やファンネルの実際の設置状況を踏まえて施工図書を見直し、施工する場合もある。

福島第二原子力発電所の建設当時は、ドレン、ベント配管等の詳細設計に先立ち、建屋が着工されたことから、建屋設計に接続先のファンネルの配置情報を正確に反映することができず、その結果、現場におけるファンネルの設置状況を確認しながら、ドレン、ベント配管等の接続先のファンネルを決定し、施工されたものが多数あった。

なお、柏崎刈羽原子力発電所 2,5 号機以降は、機器配置の標準化や機器配管のユニット化が進められたため、建屋の着工時には、設計に基づきドレン、ベント配管等の設置位置が決定され、詳細設計が確定しており、これに基づき施工図書が作成され、施工がなされるようになってきたことから、現場におけるファンネルの設置状況を確認しながら、ドレン、ベント配管等の接続先のファンネルを決定し、施工されたものは減少しているものと推定される。

以上から、現場において、多数のドレン、ベント配管等の接続先のファンネルを決定する際に、トリチウムの放出管理に対する認識不足と相まって、接続先のファンネルを誤った可能性がある。

（５）当社における品質管理について

設計に係る当社の品質管理としては、平成 15 年に当社において設計管理基本マニュアルが制定され、設計に係る品質管理が強化される以前の福島第一原子

力発電所、福島第二原子力発電所および柏崎刈羽原子力発電所の建設当時は、プラントメーカーによる基本設計を設備図書として当社が受領し承認するよう進められていた。

なお、設計管理基本マニュアルの制定により、取り扱う流体の種類、放射能濃度等に応じてシステムの構成を検討することが定められ、それまでの建設経験の中で整備された廃液管理に関する当社からの要求事項が明確になり、プラントメーカーにおける設計基準と合わせて、設計管理に係る品質管理が強化された。

また、施工に係る当社の品質管理としては、平成15年に当社において工事監理マニュアルが制定され、施工に係る品質管理が強化される以前の福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所、および柏崎刈羽原子力発電所1号機の建設当時は、溶接検査対象配管、工事計画認可対象配管、消防等諸官庁に届出等が必要となる配管について工事施工会社の品質保証担当により施工状況の確認が行われていたのみであり、ドレン、ベント配管等の施工状況については、その据付状態について当社および工事施工会社により確認が行われていたが、その接続先のファンネルについては、確認（現場確認や記録確認）が行われていなかった。

さらに柏崎刈羽原子力発電所2.5号機の建設当時は、品質向上の観点から、工事施工会社により、工事計画、配管計装線図、施工図書の照合確認が実施されるとともに、ドレン、ベント配管等のファンネルへの接続状況も含めて、基本設計（配管計装線図）と現場の施工状況との整合性が確認されるようになったが、当社による確認（現場確認や記録確認）は行われていなかった。

なお、工事監理マニュアルの制定により、工事が当社からの要求事項通りに的確に実施されていることを確認することが定められ、当社においても施工管理に係る品質管理が強化された。

以上から、当社において設計管理基本マニュアルおよび工事監理マニュアルが制定される以前は、設計段階において、当社は、系統からの排水に関する要求事項を明確にしておらず、ファンネルに接続される配管の排水先が設計上正しく、さらに設計通りに施工されていることを当社が確認していなかったため、設計時や施工時において接続先のファンネルを誤った可能性がある。

(6) トリチウムに関する教育について

当社において、これまで放射線管理に関する教育はなされていたが、その中で、トリチウムの性質や管理の状況に着目した教育がなかった。

したがって、トリチウムの放出管理の重要性についての意識醸成が、当社、プラントメーカーならびに工事施工会社において根付かなかったため、トリチウムの放出管理に対する認識不足となり、設計時や施工時において接続先のファンネルを誤った可能性がある。

8-2 調査結果の整理

確認された誤接続を、その要因によって分類した結果、「設計段階において発生したもの」および「施工段階において発生したもの」に整理することができる。

(添付資料-4, 7)

(1) 設計段階において発生したもの

①計装配管のドレン配管の接続先が不明確

放射性流体を内包する系統の計器のドレン配管における誤接続が6箇所確認された。

これらは、基本設計（廃液収集区分）の考え方に基づき詳細設計をすべきであったが、計測対象の放射性流体と同様に計器の排水を放射性液体廃棄物として処理するとの考え方が明確ではなかったこと、放射性流体の計測用に設置された計装配管は純水で満たされていることから、誤ってSDファンネルに接続してもよいと判断したものと推定される。

■昭和62年以前（プラント建設時）

福島第一1号機低圧タービン入口圧力検出器ドレン配管
福島第一3号機タービングランドシール蒸気系ヘッダー圧力計装ラックドレン配管
福島第一5号機タービングランドシール蒸気系ヘッダー圧力計装ラックドレン配管
福島第二1号機復水浄化系ろ過器圧力指示計ドレン配管
柏崎刈羽1号機原子炉隔離時冷却系蒸気管差圧検出配管ドレン配管
柏崎刈羽1号機燃料プール浄化系スキマーサージタンク水位計装配管ドレン配管

②トリチウムの放出管理に係る認識不足

ファンネルに接続される配管の詳細設計および施工にあたり、ファンネルの実際の設置状況を踏まえて、現地において計画され、実施された際に誤接続となったものが15箇所確認された。

これらは、基本設計（廃液収集区分）の考え方に基づき詳細設計をすべきであったが、排水される系統水は、FPMUW、MUWT、MUWC等であり、基本的にトリチウム以外の放射性核種がほとんど含まれないこと、近傍に放射性液体廃棄物処理系のファンネルが設置されていなかったこと等により、トリチウムの放出管理に対する認識が低かったことと相まって、SDファンネルに接続してもよいと判断したものと推定される。

■昭和62年以前（プラント建設時）

福島第二1号機再生水補給水ドレン配管
福島第二3号機復水ろ過装置流量及び圧力検出器ドレン配管
福島第二4号機非常用ディーゼル発電設備冷却系サージタンク(A)廻りドレン配管
福島第二4号機残留熱除去冷却系調圧タンク(A)非常用補給水配管ベント配管
福島第二4号機残留熱除去冷却系調圧タンク(B)非常用補給水配管ベント配管
福島第二1.2号機廃棄物処理建屋再生水補給水系ドレン配管①
福島第二1.2号機廃棄物処理建屋再生水補給水系ドレン配管②
福島第二1.2号機廃棄物処理建屋再生水補給水系ドレン配管③
福島第二1.2号機廃棄物処理建屋再生水補給水系ドレン配管④
福島第二1号機トレンチ内再生水補給水系ドレン配管

福島第二1号機トレンチ内復水補給水系ドレン配管
柏崎刈羽1号機格納容器酸素分析計ドレン配管

■昭和62年～平成15年（改造工事時）

福島第一5号機復水補給水系-消火系連絡配管におけるドレン・ベント配管
福島第二3号機復水補給水系 RPV/PCV 注水流量検出器ドレン配管
柏崎刈羽5号機再生水補給水系ドレン配管

さらに、建設当時の基本設計（廃液収集区分）の考え方に基づけば、適切に接続されていたが、その後、廃液収集区分が見直され、現在の廃液収集区分に基づくと誤接続と扱われるものが7箇所確認された。

これらは、建設当時の廃液収集区分に基づきSDファンネルに接続されていたものであるものの、福島第二原子力発電所3,4号機の建設以降は、廃液収集区分が見直され、放射性液体廃棄物処理系のファンネルに廃液を導くこととなった、放射性の系統と非放射性の系統の境界近傍より廃液を排出する配管であるが、排水される可能性のある系統水が、FPMUW、MUWC等であること、トリチウムの放出管理に対する認識が低かったことから、廃液収集区分を見直す必要があるとの考えに至らなかったため、SDファンネルに接続したものと推定される。

■昭和62年以前（プラント建設時）

福島第一3号機残留熱除去系-残留熱除去海水系連絡配管ドレン配管
福島第二1号機残留熱除去冷却系調圧タンク(A)廻りドレン配管
福島第二1号機残留熱除去冷却系調圧タンク(B)廻りドレン配管
福島第二1号機復水浄化系復水ろ過設備補給水ドレン配管
福島第二2号機残留熱除去冷却系調圧タンク(A)廻りドレン配管
福島第二2号機残留熱除去冷却系調圧タンク(B)廻りドレン配管
福島第二2号機高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンク廻りドレン配管

(2) 施工段階において発生したもの

③作業員の確認誤り

施工段階において作業員の確認誤りにより誤接続となったものが2箇所確認された。

これらのうち、福島第二原子力発電所1号機における原子炉建屋燃料プール補給水ポンプ出口流量検出器ドレン配管は、詳細設計において放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続されることになっていたが、本来接続すべきファンネルの手前にSDファンネルがあったことから、誤ってこのファンネルに接続されたものと推定される。

また、福島第二原子力発電所4号機における放射性ドレン移送系R/B付属棟低電導度廃液サンプルA出口流量検出器ドレン配管は、本来接続しようとしていた放射性液体廃棄物処理系ファンネル（WL-0253）と、番号が酷似したSDファンネル（WS-0253）とが隣接しており、ファンネル番号の確認誤りによりSDファンネルに接続したものと推定される。

■昭和 62 年以前（プラント建設時）

福島第二 1 号機燃料プール補給水ポンプ出口流量検出器ドレン配管

福島第二 4 号機放射性ドレン移送系 R/B 付属棟低電導度廃液サンプ A 出口流量検出器ドレン配管

以上の調査結果をまとめると、下表の通り。

表 1 誤接続の発生段階と発生時期

分類		昭和 62 年以前	昭和 62 年～ 平成 15 年	平成 15 年以降
設計段階	28 箇所	①計装配管のドレン配管の接続先の考え方が明確に文書化されていなかったため、設計段階で発生したもの <u>6 箇所</u> 福島第一：3 箇所 福島第二：1 箇所 柏崎刈羽：2 箇所	なし	なし
		②新設計（FPMUW、MUWT）の採用や教育不足によるトリチウムに対する認識不足により発生したもの <u>19 箇所</u> 福島第一：1 箇所 福島第二：17 箇所 柏崎刈羽：1 箇所	<u>3 箇所</u> 福島第一：1 箇所 福島第二：1 箇所 柏崎刈羽：1 箇所	なし
施工段階	<u>2 箇所</u>	③作業員の確認誤りにより発生したもの <u>2 箇所</u> 福島第二：2 箇所	なし	なし
計		<u>27 箇所</u>	<u>3 箇所</u>	なし

9. 推定原因

(1) 基本設計の考え方が徹底されなかったことについて

基本設計（廃液収集区分）の考え方が文書等により明確化されていなかったため、詳細設計の際に、計測対象の放射性流体と同様に、計器の排水を放射性液体廃棄物として処理するとの考え方が徹底されず、施工図書に反映されなかったことが原因と推定される。

なお、柏崎刈羽原子力発電所 2,5 号機の設計以降は、放射性流体の計測用に設置された計装配管のドレン、ベント配管の接続先は、「計測対象の流体と同様に放射性廃棄物として処理する」という考え方が、プラントメーカーにおいて明確に文書化されたことにより、現時点においては同様の事象は発生しないものと考えられる。

(2) トリチウムの放出管理に係る認識不足について

昭和 62 年以前に誤接続となった箇所は、昭和 51 年以前のプラントの建設当時は、国（原子力委員会）により放射性物質の測定指針や評価指針が策定

される前であるため、トリチウムの放出管理に対する認識がなく、また、昭和 51 年以降、それらの指針が策定されて以降も、プラントの運転管理に大きく関与する指針ではなかったことから、トリチウムの放出管理に対する認識がなく、現場のファンネル設置状況を踏まえてファンネル接続先を決定する際に、当社ならびに工事施工会社が S D ファンネルへ接続を行うよう誤って判断したことが原因と推定される。

また、昭和 62 年に資源エネルギー庁より「実用発電用原子炉施設保安規定の策定指針及び解説」が発出されて以降、ガンマ線核種に加えてトリチウムについても放出管理基準値を保安規定に定めて放出量（総量）管理して放出するようになり、それまでガンマ線の放出管理を行ってきた放射性液体廃棄物処理系に対して、トリチウムの放出管理に関する運用が開始されることとなったが、それまでトリチウムが管理されない時代が長期にわたったこと、トリチウムの性質や管理の状況に着目した教育がなかったこと、そのためトリチウムの放出管理に対する認識が低かったこと等から、トリチウムの放出管理の重要性についての意識醸成が、当社、プラントメーカーならびに工事施工会社において根付かなかった。そのため、平成 11 年から 13 年に実施された改造工事等においても、同様の誤接続が発生したものと推定される。

なお、トリチウムの放出管理に対する認識不足により発生した誤接続が、福島第二原子力発電所で多い原因は、燃料プール補給水系（F PMUW）、再生水補給水系（MUWT）といった新たな系統が採用され、さらにそれらの系統のドレン、ベント配管の接続先を現場におけるファンネルの設置状況を確認しながら施工図書を作成し、施工されたためと推定される。

（3）施工状況の確認不足について

プラントの建設当時、ドレン、ベント配管の据付状態は配管施工図に基づき適切に確認していたが、接続先のファンネルについては、当社や工事施工会社による確認（現場確認や記録確認）が行われていなかった。

作業員により誤って接続された箇所は、当社や施工会社による施工状況の確認のうち、ドレン配管の据付状態は確認したものと推定されるが、接続先のファンネルの確認が確実に行われていなかったため、トリチウムの放出管理に対する認識不足と相まって、本来接続すべき放射性液体廃棄物処理系ファンネルではなく近傍の S D ファンネルに接続されたことに気付かず、現在に至ったと推定される。

なお、平成 15 年に当社において工事監理マニュアルが制定され、施工に係る品質管理が強化されて以降、工事計画、配管計装線図、施工図書の照査ならびに系統構成確認により基本設計（配管計装線図）と現場の施工状況との整合性を確認していることから、現時点においては同様の事象は発生しないものと考えられる。

(4) 品質管理システムの整備不十分について

プラントの建設当時、プラント運転に係る主要な系統、設備、機器の基本設計と詳細設計や施工図書との照査、基本設計と現場の施工状況との照査については、これまでの建設経験やプラントメーカ等で作成する品質保証計画書等に基づき当社及びプラントメーカ等において確実に実施されていた一方で、設計管理、工事監理に係るルールが明確ではなかった等、当社の品質管理システムの整備が十分ではなかった。

そのため、ドレン、ベント配管等のようなプラントの運転に直接関わらない系統、設備、機器の基本設計と詳細設計や施工図書との照査、基本設計と現場の施工状況との照査を当社が適切に実施するとの観点が不足していたと推定される。

なお、平成15年に工事監理マニュアルの他、設計管理基本マニュアルが制定され、設計に係る品質管理が強化されて以降、取り扱う流体の種類、放射能濃度等に応じてシステムの構成を検討することが定められ、廃液管理に関する当社からの要求事項も明確になったことから、プラントメーカにおける設計基準と合わせて、現時点においては同様の事象は発生しないものと考えられる。

10. 配管の誤接続がこれまで発見できなかった理由

配管の接続については、基本的に建設時や試運転の段階で通水試験や各種パラメータの測定などを通じて問題がないことを確認している。また、万一、この段階での確認が不十分だった場合があったとしても、一般設備であれば供用期間の段階で、設計で想定していないパラメータの変化などの不適合が発生するので、正規の接続に是正される。

しかしながら、今回の誤接続については、ドレン、ベント配管からファンネルまでの確認が、当該設備の設置以降これまでの間、以下の理由により積極的に行われなかったものと考えている。

- ・発電所の運転部門および保全部門は、運転実績を有する現場の状態を基準に劣化の観点で管理を行っており、ドレン、ベントを処理する現場のファンネルの接続が誤っているという視線で業務を行っていない。(通常業務の中では、発見することが困難な不適合である。)
- ・放射性液体廃棄物処理系で処理すべき流体が大量にSDファンネルに流入したり、SD系の放出時に、原因がわからずにガンマ線核種が検出されたりするような事象が発生しなかったことから、SD系の配管の接続が誤っていたことを発見することがなかった。
- ・過去に実施した発電設備の点検調査では、その目的と調査範囲を明確にして実施(例えば、中越沖地震後の点検調査は、地震を受けた設備の健全性を確認するために実施しており配管の誤接続は対象外であった。)しており、今回

のSDファンネルの配管誤接続は、調査の中で誤接続に関する情報は得られなかったため、調査対象外であった。

1.1. 対策

(1) 設備に対する対策

今回、誤接続と判断されたドレン、ベント配管等の接続先については、使用することができないように措置を講ずるとともに、今後、当該配管を改造し、放射性液体廃棄物処理系のファンネルへ接続先を変更する、または、今後使用する可能性がない当該配管については、当該配管を閉止する。

(2) トリチウムに対する意識向上に係る対策

トリチウムの放出管理の重要性に係る注意喚起及び意識醸成に係る管理が十分でなかったこと、また、当社の品質管理システムについても、トリチウムの放出管理の重要性に対する意識の醸成により一層の効果を発揮することから、放射線業務従事者に対する教育項目にトリチウムの性質、管理の状況と経緯、廃液収集区分に基づく「SD系に排水してはいけないシステム水」に係る教育を追加し、継続的かつ反復的に実施する。

なお、設計および施工に係る品質管理については、当社における設計管理基本マニュアルおよび工事監理マニュアルに従った運用を確実に継続することとする。

1.2. 今回の調査で確認された誤接続箇所以外で改造する箇所

誤接続ではないものの、今回の調査の期間において確認された以下の箇所について今後改造を行うこととする。

(添付資料－8, 9)

(1) 福島第二原子力発電所 1～4号機において、HSD（シャワードレン系）収集槽から放水口へ放出するラインのドレン、ベント配管、ならびに当該ラインの流量検出器ドレン配管がSDファンネルに接続されている箇所が確認された。

このように接続されているため、放出されるガンマ線核種とトリチウムの放射エネルギーが確認されているHSD収集槽からの放水が、SD受タンクに回り込んで放出されることになるが、放射性液体廃棄物の放射能を測定せずに放出している状態ではないこと、さらにHSDは極低濃度の放射性液体廃棄物を処理するシステムであり、かつ、ガンマ線核種が検出されないことを確認した上で放出しているため、当該配管を通じてSD受タンクに放射性物質が混入す

る可能性はほとんどないことから、誤接続ではないと判断したものである。

(2) 福島第二原子力発電所3号機において、SD受タンクから放水口へ放出するラインのドレン配管を、放射性液体廃棄物処理系のファンネルへ接続すべきところ、誤ってSDファンネルに接続されている箇所が確認された。
このように接続されているため、放出された非放射性液体廃棄物であるSDが、再度、SD受タンクに回り込むことになることから、誤接続ではないと判断したものである。

(3) 福島第二原子力発電所3号機において、廃棄物処理補機冷却系のサージタンクのオーバーフロー配管を介してトリチウムを含む空気が逆流し、当該タンク内で結露したことで、廃棄物処理補機冷却系の系統水にトリチウムが混入し、その系統水のドレン配管の接続先がSWSD貯水槽であったことから、当該貯水槽においてトリチウムが検出された。トリチウム放出量は、最大で年間あたり約 2.3×10^7 ベクレルと計算され、保安規定に定める年間の放出管理基準値(1.4×10^{13} ベクレル)の約600,000分の1であり、年間の平均放出量(7.6×10^{11} ベクレル)に加算した場合でも、年間放出量に影響しない程度のものであった。

さらに、当社における全ての原子力発電所において類似箇所を調査した結果、福島第二原子力発電所3,4号機の廃棄物処理建屋にある加熱蒸気戻り系のタンクに類似構造が確認された。

これらは、非放射性の系統のオーバーフロー配管が、適切に放射性液体廃棄物処理系のサンプに接続されていたものであることから、誤接続ではないと判断したものである。

13. 添付資料

- (1) 調査対象系統一覧表
- (2) 放射性液体廃棄物処理系 系統概略図
- (3) 調査結果一覧表
- (4) 放射性廃棄物処理配管における接続調査結果
- (5) 要因分析表
- (6) 時代的背景を踏まえた整理
- (7) 調査結果整理一覧表
- (8) 福島第二原子力発電所におけるその他調査結果 (その1)
- (9) 福島第二原子力発電所におけるその他調査結果 (その2)

以 上

調査対象系統一覧表

福島第一原子力発電所

系統名称	設置場所	放出ラインの有無	放出実績の有無	分析の有無	調査対象	設備設置号機						備考			
						1	2	3	4	5	6		集中ラド		
HCW(高電導度廃液系)	管理区域	有 ^{※1}	有 ^{※2}	○	対象外	●	●	●	●	●	●	●	●	●	集中ラドは放出ラインなし。 ※2 集中ラド竣工以降、1/2号は放出実績なし。
LCW(低電導度廃液系)	管理区域	有	無 ^{※3}	○	対象外	●	●	●	●	●	●	●	●	●	※3 1/2号にて、HCW処理後放出実績あり。
HSD(シャワードレン系)	管理区域	有	有	○	対象外	●	—	—	—	—	—	—	—	—	※4 2号機、4号機、集中ラドについてはH19.08.30以前は分析せず。以後はHSDで処理。
NSD(非放射性ストームドレン系)	非管理区域	有	有	○ ^{※4}	対象	—	③	—	③	—	③	—	③	—	
SD(ストームドレン系)	管理区域	有	有	△	対象	①	①	①	①	①	①	①	①	①	
SD(ストームドレン系)	非管理区域	有	有	△	対象	—	—	—	—	③	③	—	③	—	
OD(オイルドレン系)	管理区域	有	有 ^{※5}	△	対象	②	②	②	②	②	②	②	②	②	※5 1~4号機では20年以上前に放出実績があるのみ。
OD(オイルドレン系) ^{※6}	非管理区域	有	有	△	対象	—	—	—	—	③	③	—	③	—	※6 調査計画書では「NOD(非放射性オイルドレン系)」と記載したが、表現を修正した。
LD(洗濯廃液系)	管理区域	有	有 ^{※7}	○	対象外	●	—	●	—	—	—	—	—	●	※7 集中ラド竣工以降は、1/3/5号機の放出実績なし。
DD(除染廃液系)	管理区域	有 ^{※8}	無	—	対象外	—	●	●	●	●	●	●	●	●	※8 集中ラドは放出ライン無し。 現在HCW系で処理中。

①:SD系の誤接続調査

管理区域内に設置されているSDファンネルに対し、放射性廃棄物を処理する配管との誤接続の有無について調査を行う。

②:類似系統の誤接続の調査

管理区域内に設置されているSD以外のファンネルに対し、トリチウムの放出量の評価がなされずトリチウムを含む水が放出されるような誤接続の有無について調査を行う。

③:更なる水平展開調査

非管理区域に設置されており、トリチウム混入の可能性はないが、今回の不適合事象に鑑みて、念のため誤接続の有無について調査を行う。

「分析の有無」の欄 凡例

○:α線、β線(トリチウム含む)、γ線測定

△:γ線測定

x:測定なし

—:下流側系統で分析有り

「設備設置号機」の欄 凡例

●:当該設備あり(調査対象外)

—:当該設備なし

調査対象系統一覧表

福島第二原子力発電所

系統名称	設置場所	放出ラインの有無	放出実績の有無	分析の有無	調査対象	設備設置号機				備考	
						1※1	2	3	4		集中ラト※2
HCW(高電導度廃液系)	管理区域	有	有	○	対象外	●	●	●	●	●	※1 モニタ建屋を含む ※2 調査計画書ではサイトバカと集中ラトをわけて記載したが、まとめた記載とした
LCW(低電導度廃液系)	管理区域	無	無	—	対象外	●	●	●	●	●	
HSD(シャワードレン系)	管理区域	有	有	○	対象外	●	—	●	—	●	
NSD(非放射性ストームドレン系)	非管理区域	有	有	×	対象	③	③	③	③	③	※3 調査計画書では「当該設備なし、—」と記載したが、調査の結果ファンネルがあったことから「③」とした
SD(ストームドレン系)	管理区域	有	有	△※4	対象	①	①	①	①	①	※4 放水前にSDタンクへ貯め、分析後排水を行う
SD(ストームドレン系)	非管理区域	有	有	△※4	対象	③	③	③	③	③	※4 放水前にSDタンクへ貯め、分析後排水を行う
OD(オイルドレン系)	管理区域	有	無	○	対象外	●	●	●	●	●	
OD(オイルドレン系)	非管理区域	有	無	○	対象外	—	●	●	●	●	
LD(洗濯廃液系)	管理区域	有	有	○	対象外	—	—	—	—	●	
SWSD(海水ストームドレン系)	管理区域	有	有	△	対象	—※5	②	②	—※5	—	※5 調査計画書では「調査対象、②」と記載したが、調査の結果ファンネルがなかったことから「—」とした
SWSD(海水ストームドレン系)	非管理区域	有	有	×	対象	③	—※6	③	—※6	—	※6 調査計画書では「調査対象、③」と記載したが、調査の結果ファンネルがなかったことから「—」とした
DD(除染廃液系)	管理区域	有	無	○	対象外	●	●	●	●	●	HCW系へ移送し処理
CHD(化学廃液系)	管理区域	無	無	—	対象外	●	—	—	—	—	HCW系へ移送し処理

「分析の有無」の欄 凡例

○: α線、β線(トリチウム含む)、γ線測定

△: γ線測定

×: 測定なし

—: 下流側系統で分析有り

「設備設置号機」の欄 凡例

●: 当該設備あり(調査対象外)

—: 当該設備なし

①: SD系の誤接続調査

管理区域内に設置されているSDファンネルに対し、放射性廃棄物を処理する配管との誤接続の有無について調査を行う。

②: 類似系統の誤接続の調査

管理区域内に設置されているSD以外のファンネルに対し、トリチウムの放出量の評価がなされずにトリチウムを含む水が放出されるような誤接続の有無について調査を行う。

③: 更なる水平展開調査

非管理区域に設置されており、トリチウム混入の可能性はないが、今回の不適合事象に鑑みて、念のため誤接続の有無について調査を行う。

調査対象系統一覽表

柏崎刈羽原子力発電所

系統名称	設置場所	放出ラインの有無	放出実績の有無	分析の有無	調査対象	設備設置号機							備考
						1	2	3	4	5	6	7	
HCW(高電導度廃液系)	管理区域	有	有	○	対象外	●	●	●	●	●	●	●	
LCW(低電導度廃液系)	管理区域	無	無	—	対象外	●	●	●	●	●	●	●	
HSD(シャワードレン系)	管理区域	有	有	○	対象外	●	—	●	●	●	●	—	
NSD(非放射性ストームドレン系)	非管理区域	有	有	x/△※1	対象	③	③	③	③	③	③※1	③※1	※1 放水前にNSD収集タンクへ貯め、分析後排水を行う
SD(ストームドレン系)	管理区域	有	有	△/○※2	対象	①	①	●※2	●※2	①	●※2	●※2	※2 HSDに移送し処理
SD(ストームドレン系)	非管理区域	有	有	△	対象	③	③	●※2	●※2	③	●※2	●※2	※2 HSDに移送し処理
OD(オイルドレン系)	管理区域	有	無	○	対象外	●	—	—	—	—	—	—	OD系へ移送し処理
NOD(非放射性オイルドレン系)	非管理区域	無	無	—	対象外※3	●※3	—	—	—	—	—	—	※3 調査計画書では「調査対象、③」と記載したが、OD系へ移送し処理・分析しているため訂正
LD(洗濯廃液系)	管理区域	有	有	○	対象外	●	—	—	—	●	—	—	
SWSD(海水ストームドレン系)	管理区域	有	有	△	対象	②	②	②	—※4	—※4	—※4	②	※4 調査計画書では「調査対象、②」と記載したが、調査の結果ファンネルがなかったことから「—」とした
SWSD(海水ストームドレン系)	非管理区域	有	有	x	対象	③	③	③	③	③	③	③	
DD(除染廃液系)	管理区域	無	無	—	対象外	●	—	—	—	—	—	—	HCW系へ移送し処理
CHD(化学廃液系)	管理区域	無	無	—	対象外	●	—	—	—	—	—	—	HCW系へ移送し処理

(1):SD系の誤接続調査

管理区域内に設置されているSDファンネルに対し、放射性廃棄物処理する配管との誤接続の有無について調査を行う。

(2):類似系統の誤接続の調査

管理区域内に設置されているSD以外のファンネルに対し、トリチウムの放出量の評価がなされずにトリチウムを含む水が放出されるような誤接続の有無について調査を行う。

(3):更なる水平展開調査

非管理区域に設置されており、トリチウム混入の可能性はないが、今回の不適合事象に鑑みて、念のため誤接続の有無について調査を行う。

「分析の有無」の欄 凡例

○:α線、β線(トリチウム含む)、γ線測定

△:γ線測定

x:測定なし

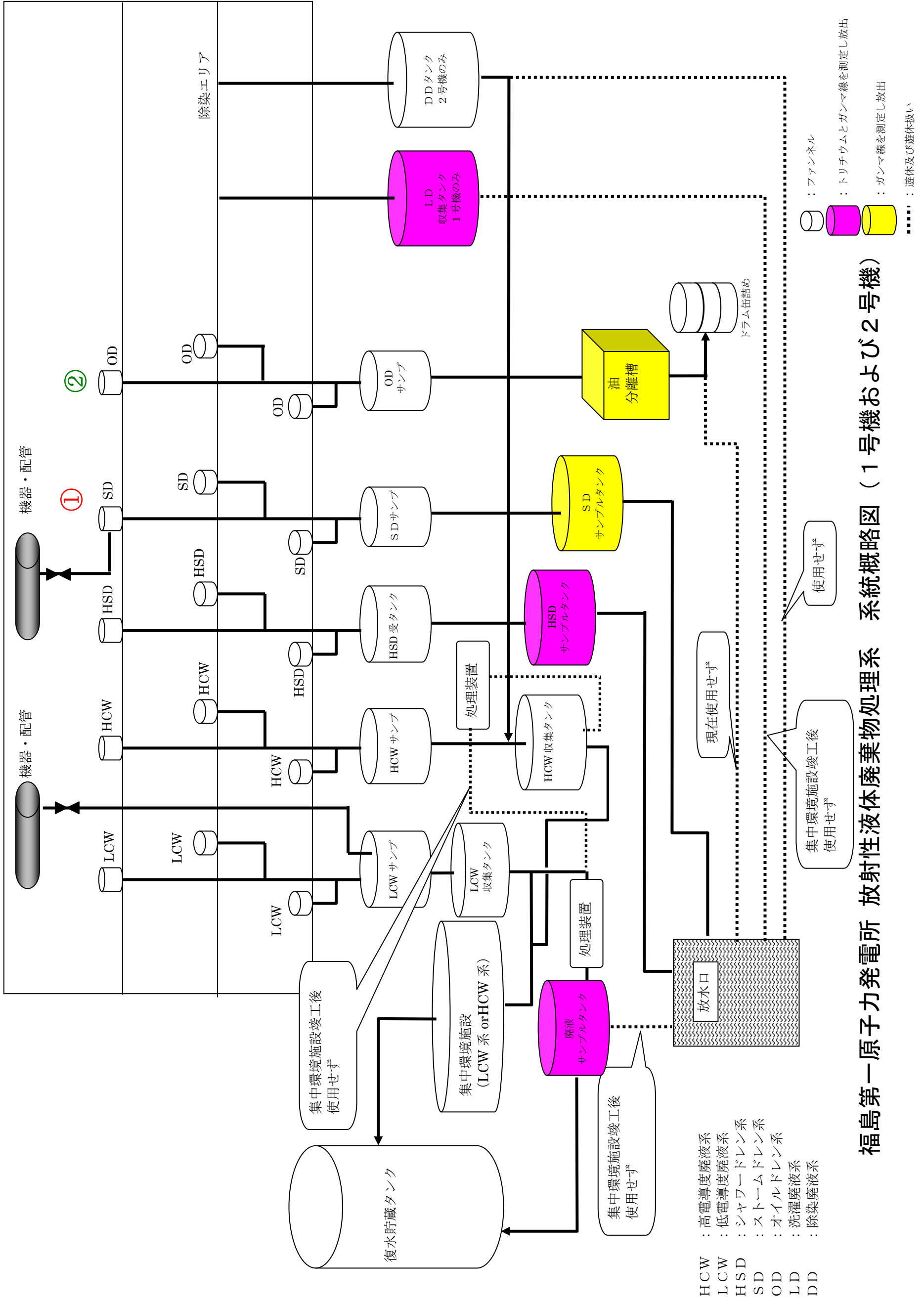
—:下流側系統で分析有り

「設備設置号機」の欄 凡例

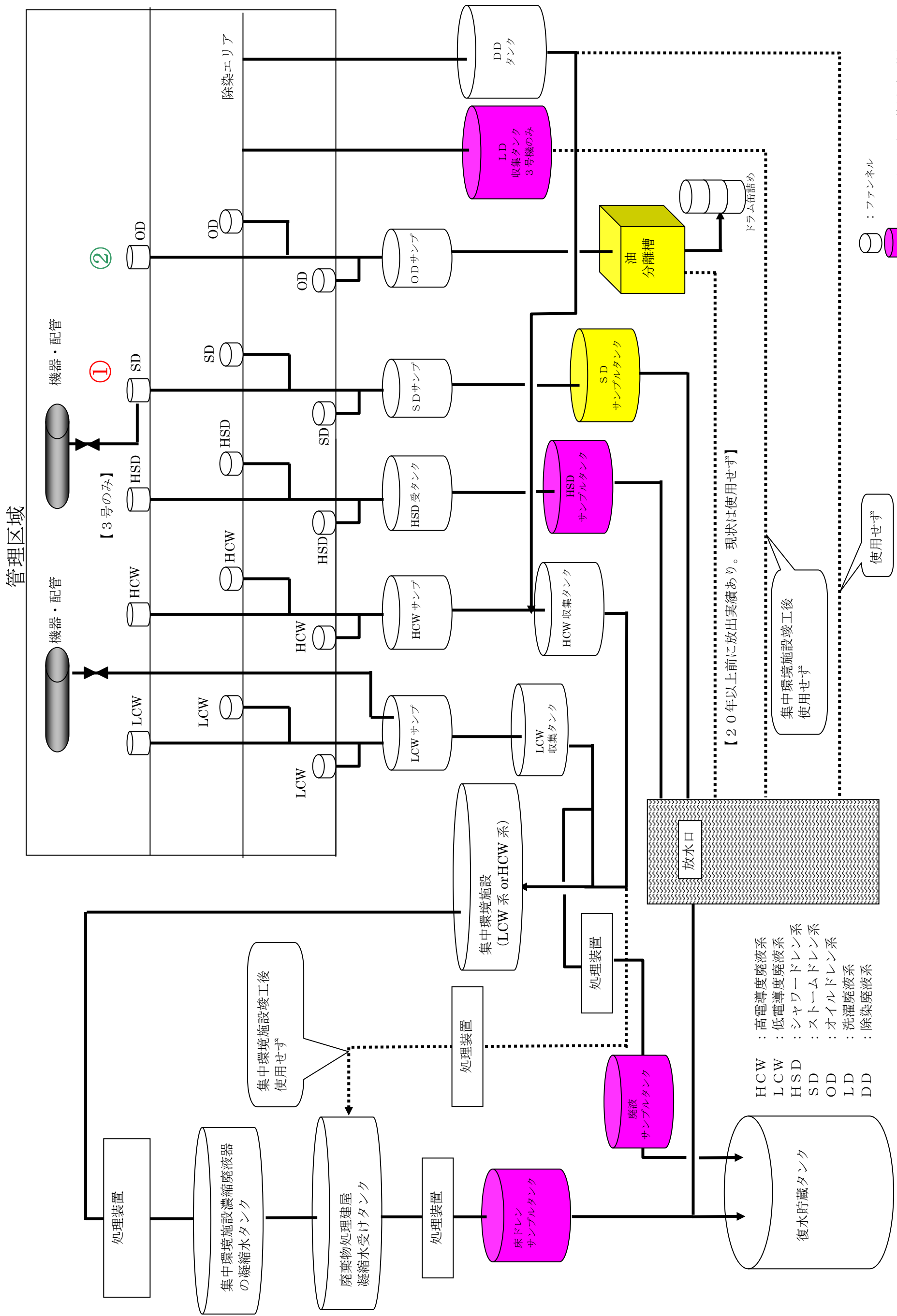
●:当該設備あり(調査対象外)

—:当該設備なし

管理区域



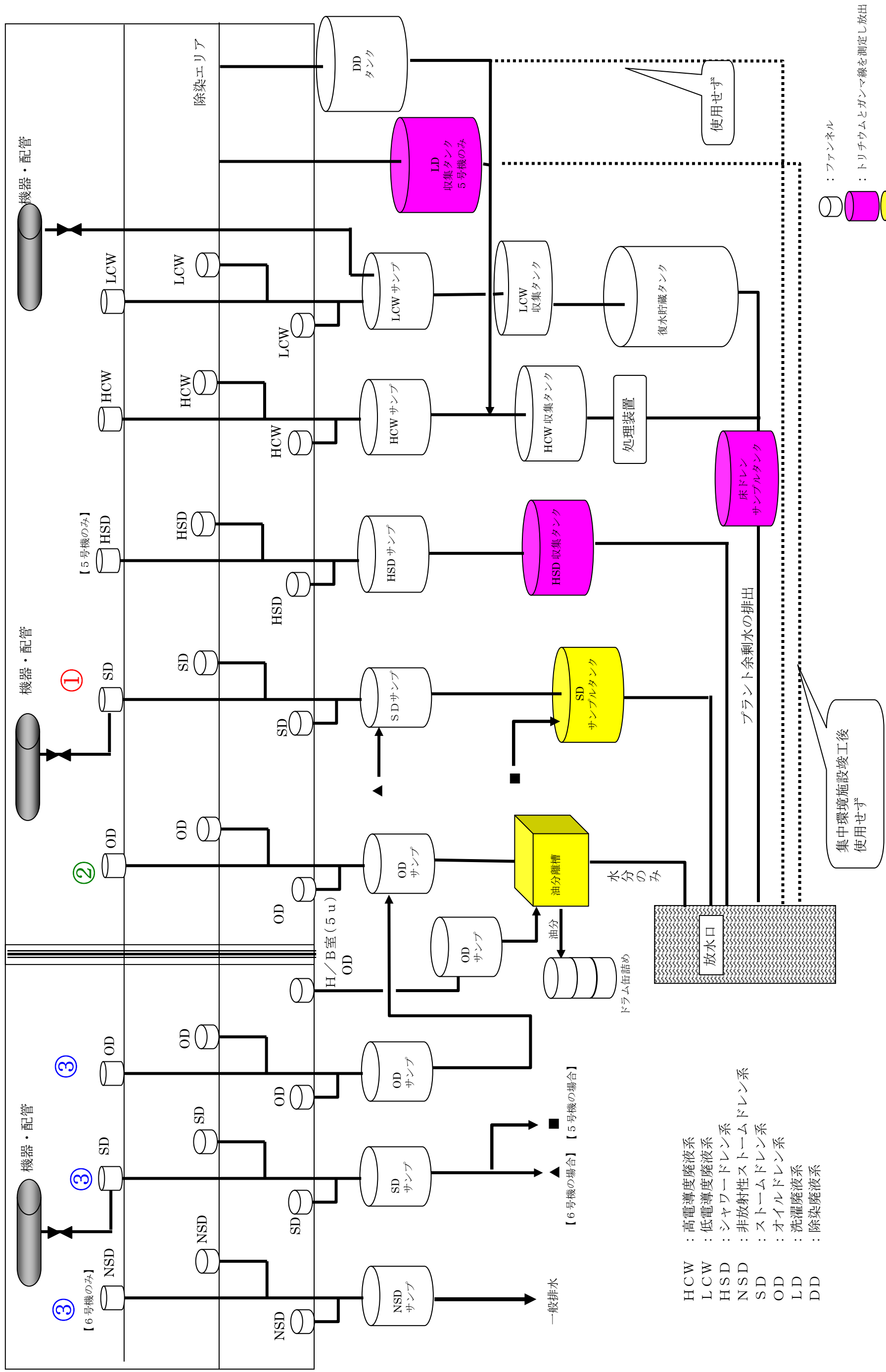
福島第一原子力発電所 放射性液体廃棄物処理系 系統概略図 (1号機および2号機)



福島第一原子力発電所 放射性液体廃棄物処理系 系統概略図 (3号機および4号機)

管理区域

非管理区域

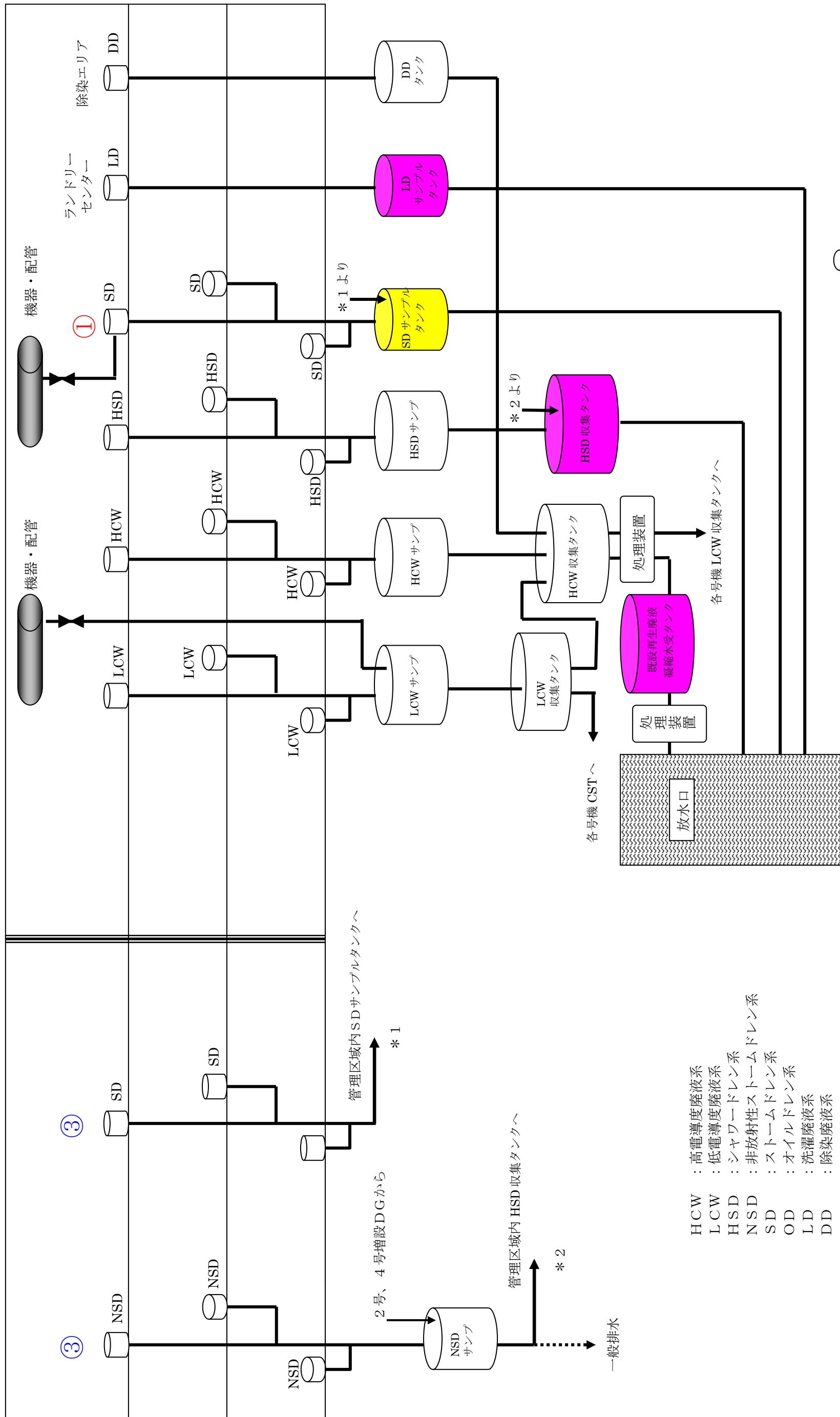


- HCW : 高電導度廃液系
- LCW : 低電導度廃液系
- HSD : シヤワードドレン系
- NSD : 非放射性ストームドレン系
- SD : ストームドレン系
- OD : オイルドドレン系
- LD : 洗濯廃液系
- DD : 除染廃液系

福島第一原子力発電所 放射性液体廃棄物処理系 系統概略図 (5号機および6号機)

非管理区域

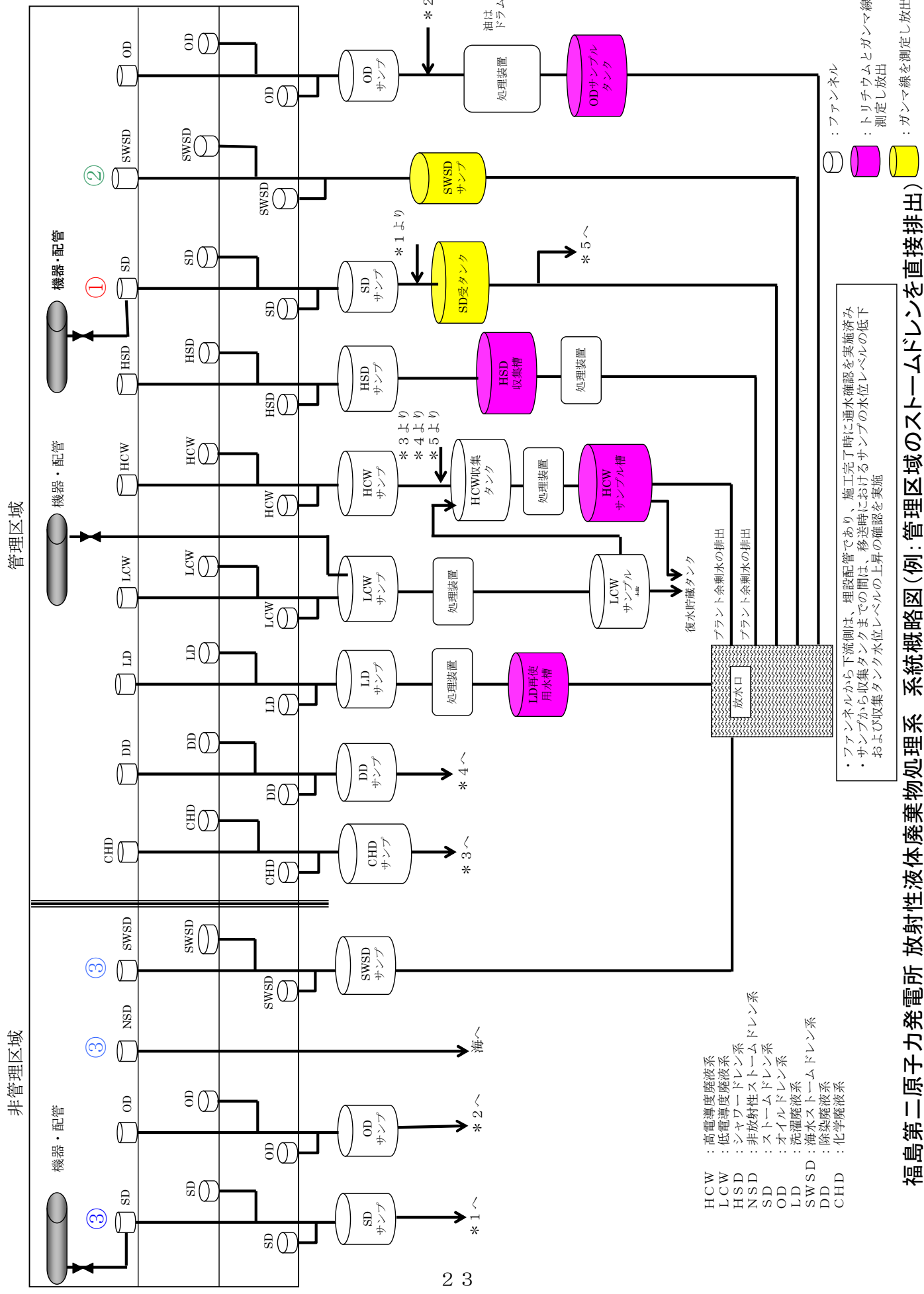
管理区域



- HCW : 高電導度廃液系
- LCW : 低電導度廃液系
- HSD : シヤワードレン系
- NSD : 非放射性ストームドレン系
- SD : ストームドレン系
- OD : オイルドレン系
- LD : 洗濯廃液系
- DD : 除染廃液系

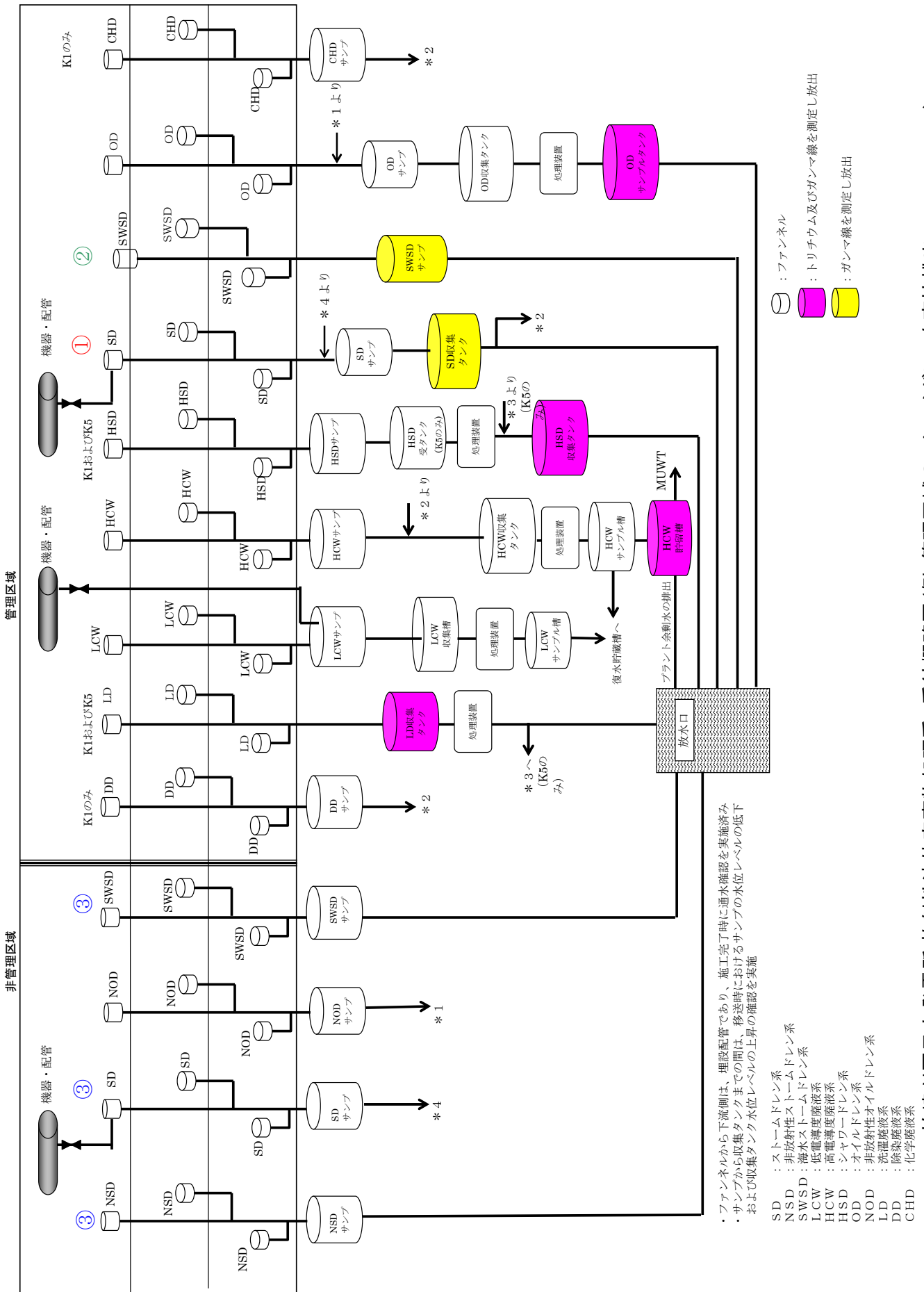
- : ファンネル
- : トリチウムとガンマ線を測定し放出
- : ガンマ線を測定し放出
- : 遊休及び遊休扱い

福島第一原子力発電所 放射性液体廃棄物処理系 系統概略図 (集中環境施設)



- HCW : 高電導度廃液系
- LCW : 低電導度廃液系
- HSD : シヤワードレン系
- NSD : 非放射性ストームドレン系
- SD : ストームドレン系
- OD : オイルドレン系
- LD : 洗滌廃液系
- SWSD : 海水ストームドレン系
- DD : 除染廃液系
- CHD : 化学廃液系

福島第二原子力発電所 放射性液体廃棄物処理系 系統概略図 (例: 管理区域のストームドレンを直接排出)



ファンネルから下流側は、埋設配管であり、施工完了時に通水確認を実施済み
 ・ サンプから収集タンクまでの間は、移送時におけるサンプの水位レベルの低下
 および収集タンク水位レベルの上昇の確認を実施

- SD : ストームドレン系
- NSD : 非放射性ストームドレン系
- SWSD : 海水ストームドレン系
- LCW : 低電濃度廃液系
- HCW : 高電濃度廃液系
- HSD : シャフトドレン系
- OD : オイルドレン系
- NOD : 非放射性オイルドレン系
- LD : 洗濯廃液系
- DD : 除染廃液系
- CHD : 化学廃液系

柏崎刈原子力発電所 放射性液体廃棄物処理系 系統概略図 (例: 管理区域のストームドレンを直接排出 K1、K2、K5)

調査結果一覧表

		1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機	集中RW	計	
(1) SD系の誤接続の調査	福島第一	SD 1/46	0/75	2/91	0/96	2/168	0/157		0/90	5/723	
	福島第二	SD 6/445	3/270	2/293	4/224				6/132	21/1364	
	柏崎刈羽	SD 3/329	0/304	対象外	対象外	1/223	対象外	対象外		4/856	
(2) 類似系統の誤接続の調査	福島第一	OD 0/24	0/37	0/42	0/30	0/58	0/65		-	0/256	
	福島第二	SWSD -	0/10	0/21	-				-	0/31	
	柏崎刈羽	SWSD 0/2	0/1	0/1	-	-	-	0/1		0/5	
(3) 更なる水平展開調査	福島第一	SD	-	-	-	0/12	0/45		0/152	0/428	
		OD	-	-	-	0/4	0/13		-		
		NSD	-	0/32	-	0/39	-	0/45			0/86
	福島第二	SWSD	0/189	-	0/180	-				-	0/1640
		SD	0/17	0/28	0/15	0/10				0/210	
		NSD	0/59	0/273	0/360	0/287				0/12	
	柏崎刈羽	SWSD	0/234	0/135	0/125	0/108	0/113	0/129	0/176		0/3424
		SD	0/72	0/73	対象外	対象外	0/23	対象外	対象外		
		NSD	0/423	0/249	0/384	0/245	0/209	0/436	0/290		

凡例： - : 該当設備なし

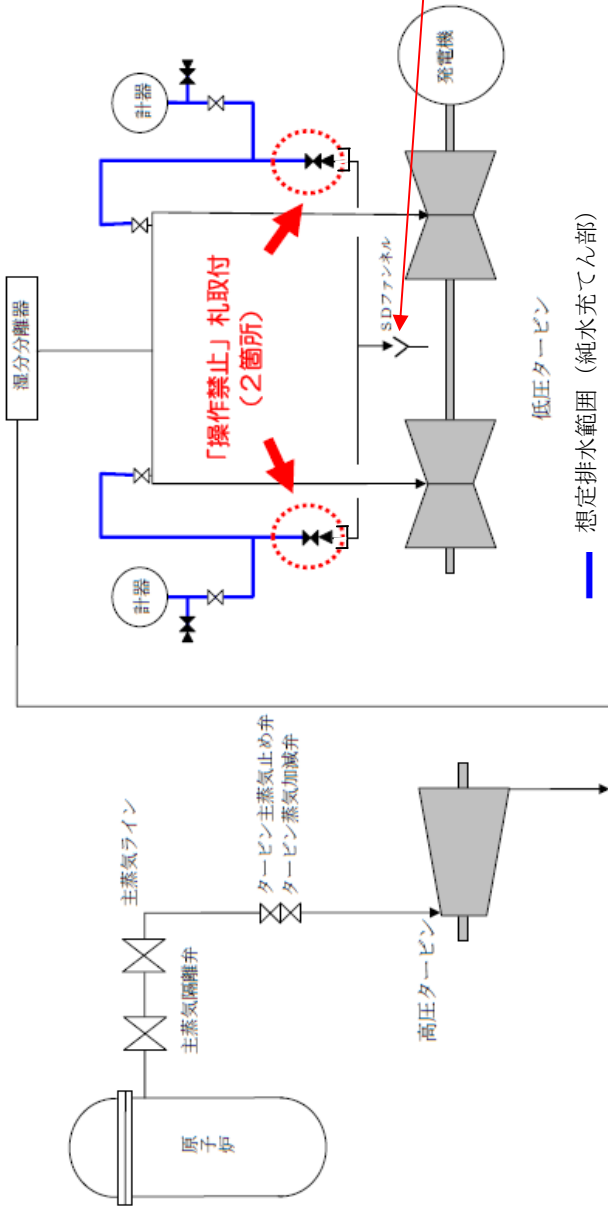
SD : ストームドレン系

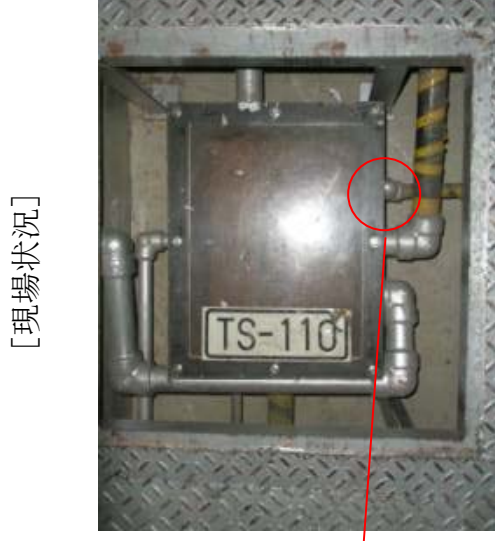
OD : オイルドレン系

SWSD : ストームドレン海水系

NSD : 非放射性ストームドレン系

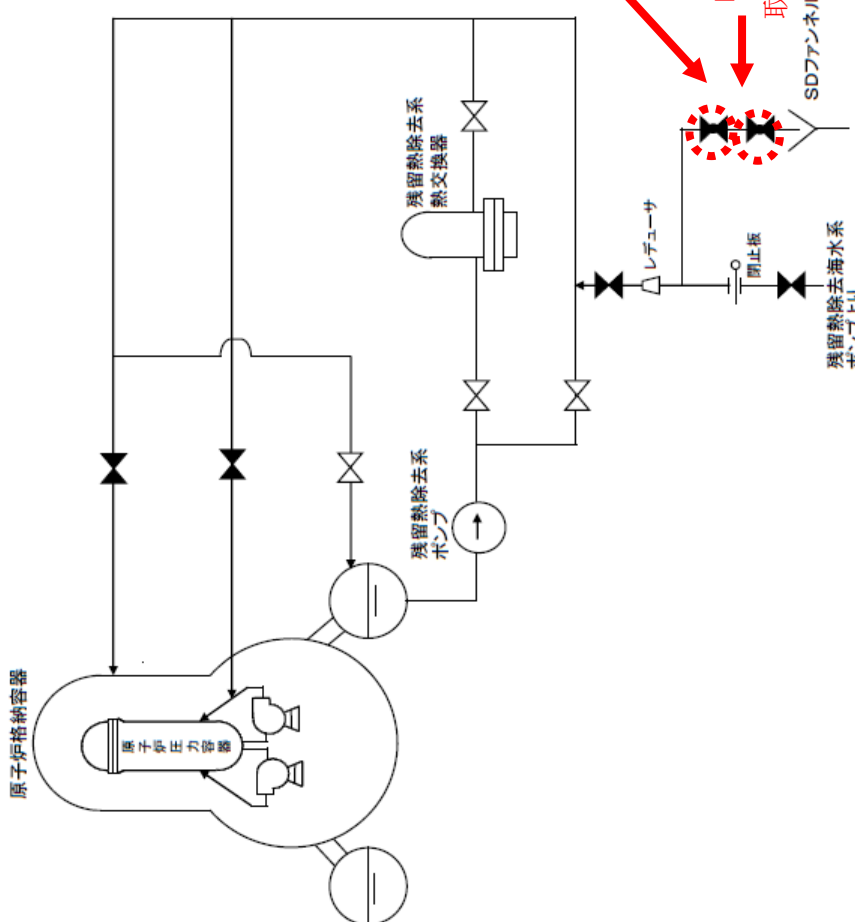
放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

1	福島第一原子力発電所1号機 低圧タービン入口圧力検出器ドレン配管における接続	<p style="text-align: center;">調査結果の概要</p> <p>[確認された事象] ○低圧タービン入口圧力検出器のドレン配管が、放射性物質を含む水を取り扱うファンネルに接続されるべきところ、SDファンネルに接続されていることが確認された。 なお、低圧タービン入口圧力検出器はA～Dの4つあるが、SDファンネルに接続されていたのはCとDの2つであった（AとBについてはファンネルへの接続ラインはなかった）。</p> <p>[推定原因] ○計器ドレンの排出先は、計測対象のプロセス流体を処理する場合と同じ放射性液体廃棄物処理系へ接続すべきであるが、設計当時はその考え方が文書で明確化されなかったため、当該箇所は設計段階からSDファンネルに接続されたものと推定される。</p> <p>[系統概略図]</p>  <p style="text-align: right;">— 想定排水範囲（純水充てん部）</p>	<p style="text-align: center;">放射線影響</p> <p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する、または、当該ドレン配管を閉止する。 ○現在の設計においては、ドレン配管の接続先をプロセス流体のドレン接続先とあわせることを明確にしており、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p> <p style="text-align: center;">放出放射能評価</p> <p>○トリチウムの放出濃度</p> <ul style="list-style-type: none"> 計器点検時に排出されたドレン量を、保守的に4.2リットルと仮定して、SDファンネルから放出されるトリチウム濃度を評価した結果、濃度は約$1.3 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$と評価され、検出限界値 ($5.0 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$) 未満となった。 <p>○法令との比較</p> <ul style="list-style-type: none"> 法令で定める周辺監視区域外の水中の濃度限度 (60Bq/cm³) と比較すると、本事例で放出されるトリチウム濃度 (約$1.3 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$) は約4,000分の1となる。 <p style="text-align: center;">外部への影響</p> <p>○放出されるトリチウムの濃度は検出限界値未満であることから、本事例は周辺環境へ影響を与えない。</p>
---	--	--	--



検出器点検後のインサートビスにあたっては、計器側から純水を充填し、プロセス側の母管まで計器配管を逆流させるように水張り操作を行う。

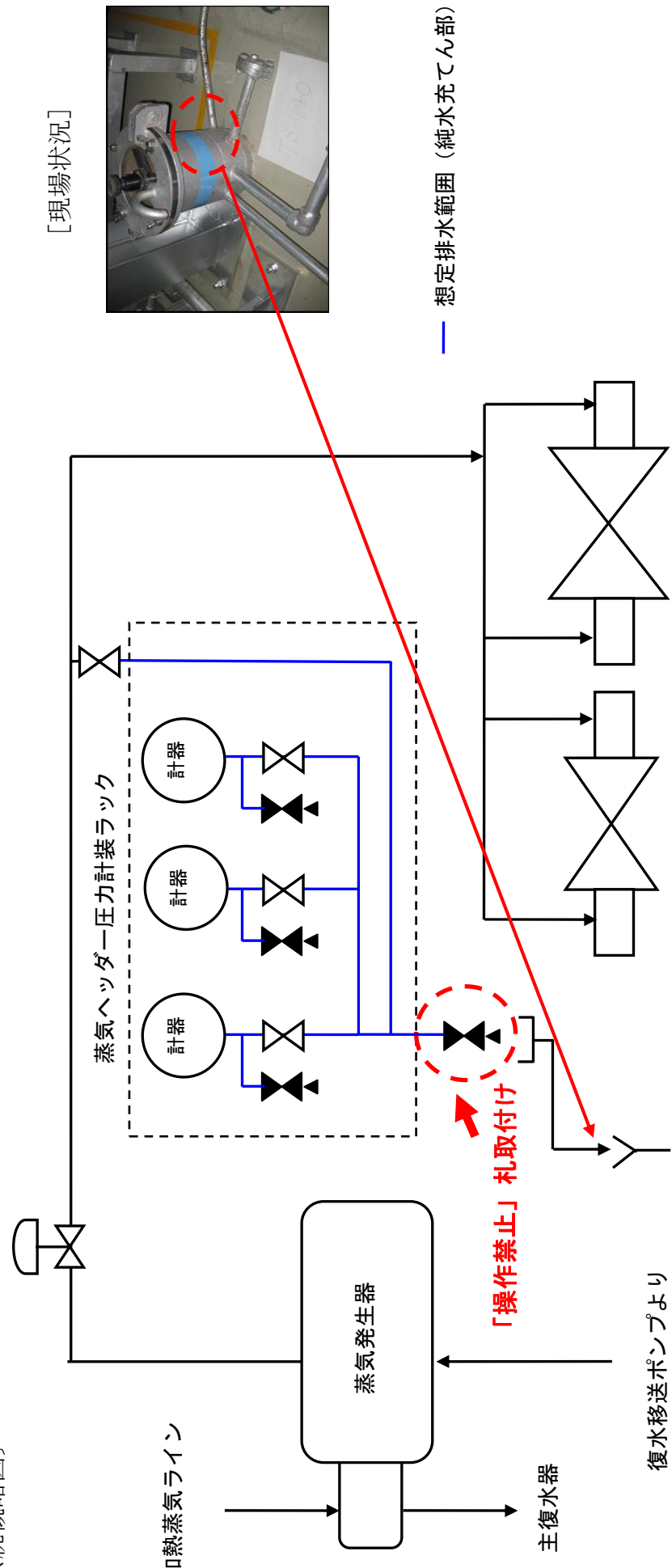
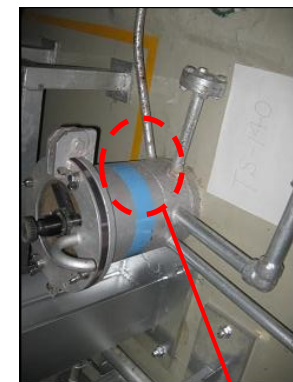
放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

2	福島第一原子力発電所3号機 残留熱除去系－残留熱除去海水系連絡配管ドレン配管における接続
<p>調査結果の概要</p> <p>[確認された事象]</p> <p>○ 残留熱除去系－残留熱除去海水系連絡配管*のドレン配管が、放射性物質を含む水を取り扱うファンネルに接続されるべきところ、SDファンネルに接続されていることが確認された。</p> <p>* 残留熱除去系－残留熱除去海水系連絡配管：残留熱除去海水系ポンプを利用して、原子炉格納容器に注水するための接続配管。</p> <p>[推定原因]</p> <p>○ プラントメカの設計では、残留熱除去海水系と残留熱除去系との系統上の境界は閉止板下流のレデュース部としており、また、海水ドレンは液体廃棄物処理系に混入させないこととしていた。詳細設計では、当該連絡配管のドレン配管は閉止板とレデュースの間に接続しているため、当該ドレン配管を残留熱除去海水系に分類したことから、SDファンネルに接続したものと推定する。</p>	<p>対策</p> <p>○ 当該ドレン配管は閉止板により残留熱除去海水系から隔離されており、海水が排水されることはないことから、当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する。</p> <p>○ 現在の設計においては、放射性の系統と非放射性の系統の境界近傍からのドレン配管の接続先は、放射性液体廃棄物処理系のファンネルとすることを明確にしており、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p>
<p>[系統概略図]</p> 	<p>放出放射能評価</p> <p>○ 連絡配管の点検記録等を調査した結果、当該のSDファンネルに排水した実績はなかった。</p>
外部への影響	

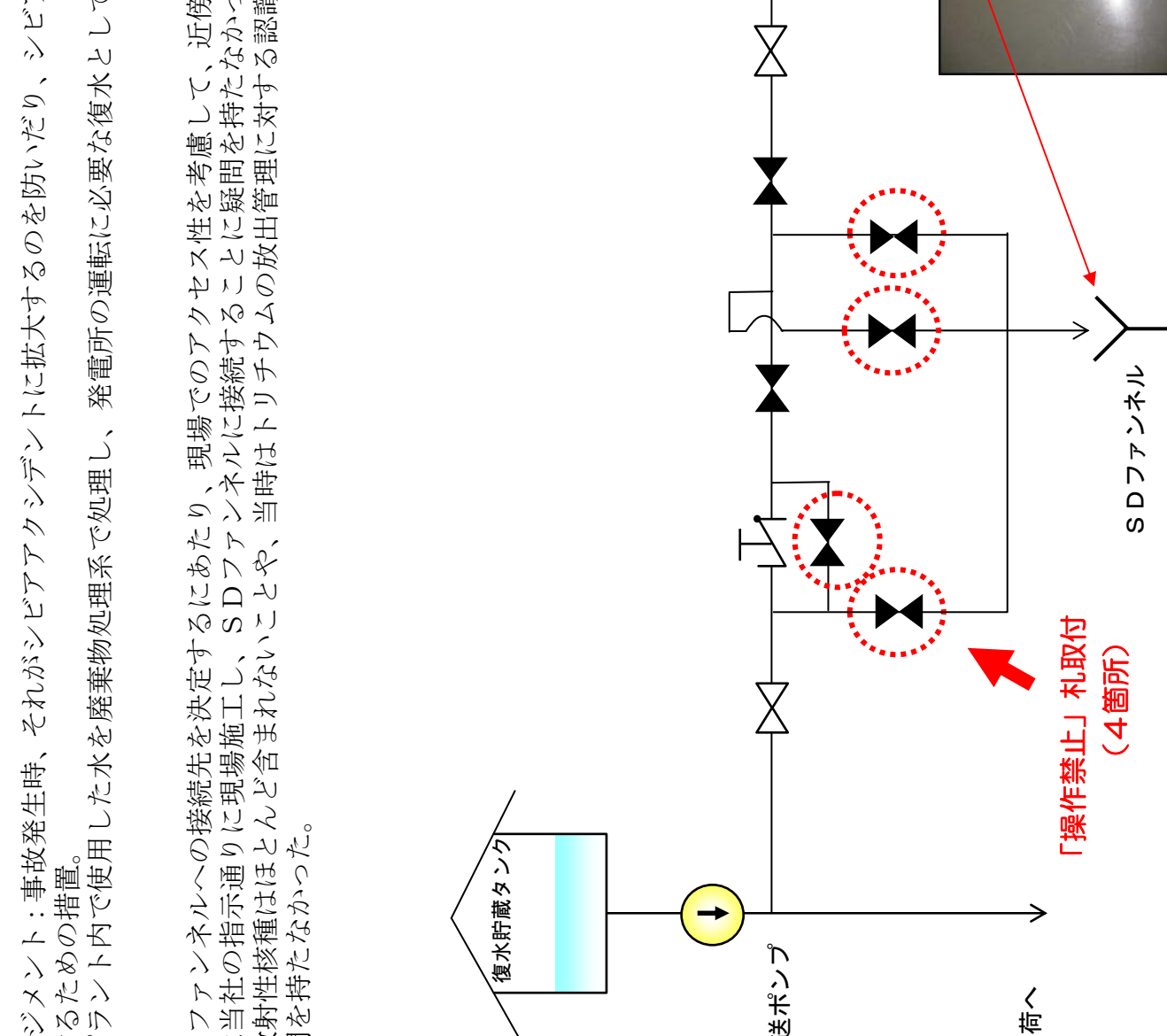
放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

3	福島第一原子力発電所3号機タービングラインドシール蒸気系ヘッダー圧力計装ラックドレン配管における接続
[確認された事象]	<p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する、または、当該ドレン配管を閉止する。</p> <p>○現在の設計においては、ドレン配管の接続先をプロセス流体のドレン接続先とあわせることを明確にしており、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p>
[推定原因]	<p>○計器ドレンの排出先は、計測対象のプロセス流体を処理する場合と同じ放射性液体廃棄物処理系へ接続すべきであるが、設計当時はその考え方が文書で明確化されていなかったため、当該箇所は設計段階からSDファンネルに接続されたものと推定される。</p>
[系統概略図]	<p>加熱蒸気ライン</p> <p>蒸気発生器</p> <p>主復水器</p> <p>復水移送ポンプより</p> <p>蒸気ヘッダー圧力計装ラック</p> <p>計器</p> <p>計器</p> <p>計器</p> <p>「操作禁止」札取付け</p> <p>SDファンネル</p> <p>高圧タービン</p> <p>低圧タービン</p> <p>[現場状況]</p> <p>— 想定排水範囲 (純水充てん部)</p>
調査結果の概要	<p>○タービングラインドシール蒸気系^{*1}ヘッダー圧力計装ラックドレン配管が、放射性物質を含む水を取り扱うファンネルに接続されるべきところ、SDファンネルに接続されていることが確認された。</p> <p>*1：タービングラインドシール蒸気系：主タービン軸封部（タービン車軸とケーシングの隙間）から復水器への空気の侵入を防ぐとともに、主タービン駆動蒸気が外部へ流出しないよう軸封部を気密化するための蒸気を発生させる系統</p>
対策	<p>○トリチウムの放出濃度</p> <ul style="list-style-type: none"> 計器点検時に排出されたドレン量を、保守的に2200 cm³と仮定して、SDファンネルから放出されるトリチウム濃度を評価した結果、濃度は約7.9×10⁻³ Bq/cm³と評価され、検出限界値(5.0×10⁻² Bq/cm³)未満となった。 <p>○法令との比較</p> <ul style="list-style-type: none"> 法令で定める周辺監視区域外の水中の濃度限度(60Bq/cm³)と比較すると、本事例で放出されるトリチウム濃度(約7.9×10⁻³ Bq/cm³)は約7,000分の1となる。
放出放射能評価	<p>外部への影響</p> <p>○放出されるトリチウムの濃度は検出限界値未満であることから、本事例は周辺環境へ影響を与えるものではない。</p>
[確認された事象]	<p>検出器点検後のインサートにあたっては、計器側から純水を充填し、プロセス側の母管まで計装配管を逆流させるように水張り操作を行う。</p>

放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

<p>4 福島第一原子力発電所5号機タービン格ランドシール蒸気系ヘッダー圧力計装ラックドレン配管における接続</p>	<p>調査結果の概要</p>
<p>対策</p>	<p>確認された事象] ○タービン格ランドシール蒸気系*1ヘッダー圧力計装ラックドレン配管が、放射性物質を含む水を取り扱うファンネルに接続されるべきところ、SDファンネルに接続されていることが確認された。 *1：タービン格ランドシール蒸気系：主タービン軸封部（タービン車軸とケーシングの隙間）から復水器への空気の侵入を防ぐとともに、主タービン駆動蒸気が外部へ流出しないよう軸封部を気密化するための蒸気を発生させる系統 [推定原因] ○計器ドレンの排出先は、計測対象のプロセス流体を処理する場合と同じ放射性液体廃棄物処理系へ接続すべきであるが、設計当時はその考え方が文書で明確化されていなかったため、当該箇所は設計段階からSDファンネルに接続されたものと推定される。</p>
<p>放出放射能評価</p>	<p>[系統概略図]  加熱蒸気ライン 蒸気発生器 主復水器 復水移送ポンプより SDファンネル 高圧タービン 低圧タービン 「操作禁止」札取付け 想定排水範囲（純水充てん部） [現場状況]  検出器点検後のインサートには、計器側から純水を充填し、プロセス側の母管まで計装配管を逆流させるように水張り操作を行う。</p>
<p>外部への影響</p>	<p>○トリチウムの放出濃度 ・計器点検時に排出されたドレン量を保守的に2200 cm³と仮定し、SDファンネルから放出されるトリチウム濃度を評価した結果、排水量及びSDタンク水量から濃度は約 2.0×10⁻² Bq/cm³と評価され、検出限界値(5.0×10⁻² Bq/cm³)未満となった。 ○法令との比較 ・法令で定める周辺監視区域外の水中の濃度限度(60Bq/cm³)と比較すると、本事例で放出されるトリチウム濃度(約 2.0×10⁻²Bq/cm³)は約3,000分の1となる。</p>
<p>外部への影響</p>	<p>○放出されるトリチウムの濃度は検出限界値未満であることから、本事例は周辺環境へ影響を与えるものではない。</p>

放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

5	福島第一原子力発電所5号機 復水補給水系－消火系連絡配管におけるドレン・ベント配管の接続
[確認された事象]	<p>○第17回定検（平成11年～12年）にアクシデントマネジメント*1対策として改造工事を行った際に追加で設置した復水補給水系*2－消火系連絡配管のドレン・ベント配管が、放射性物質を含む水を取り扱うファンネルに接続されるべきところ、SDファンネルに接続されていることが確認された。</p> <p>*1：アクシデントマネジメント：事故発生時、それがシビアアクシデントに拡大するのを防いだり、シビアアクシデントに拡大した場合でも、その影響を緩和するための措置。</p> <p>*2：復水補給水系：プラント内で使用した水を廃棄物処理系で処理し、発電所の運転に必要な復水として使用する系統</p>
[推定原因]	<p>○当社は、復水補給水系のファンネルへの接続先を決定するにあたり、現場でのアクセス性を考慮して、近傍にあったSDファンネルに接続することとした。施工企業は当社の指示通りに現場施工し、SDファンネルに接続することに疑問を持たなかった。当社は、復水補給水系は基本的にはトリチウム以外の放射性核種はほとんど含まれないことや、当時はトリチウムの放出管理に対する認識が低かったことから、SDファンネルに接続することに疑問を持たなかった。</p>
[系統概略図]	
調査結果の概要	<p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する、または、当該ドレン配管を閉止する。</p> <p>○現在の設計管理、工事監理の仕組みに加え、継続的な教育によるトリチウムに対する意識向上により、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p>
対策	<p>放出放射能量評価</p> <p>○連絡配管の工事記録、点検記録を調査した結果、当該のSDファンネルに排水した実績はなかった。</p>
外部への影響	<p>外部への影響</p>

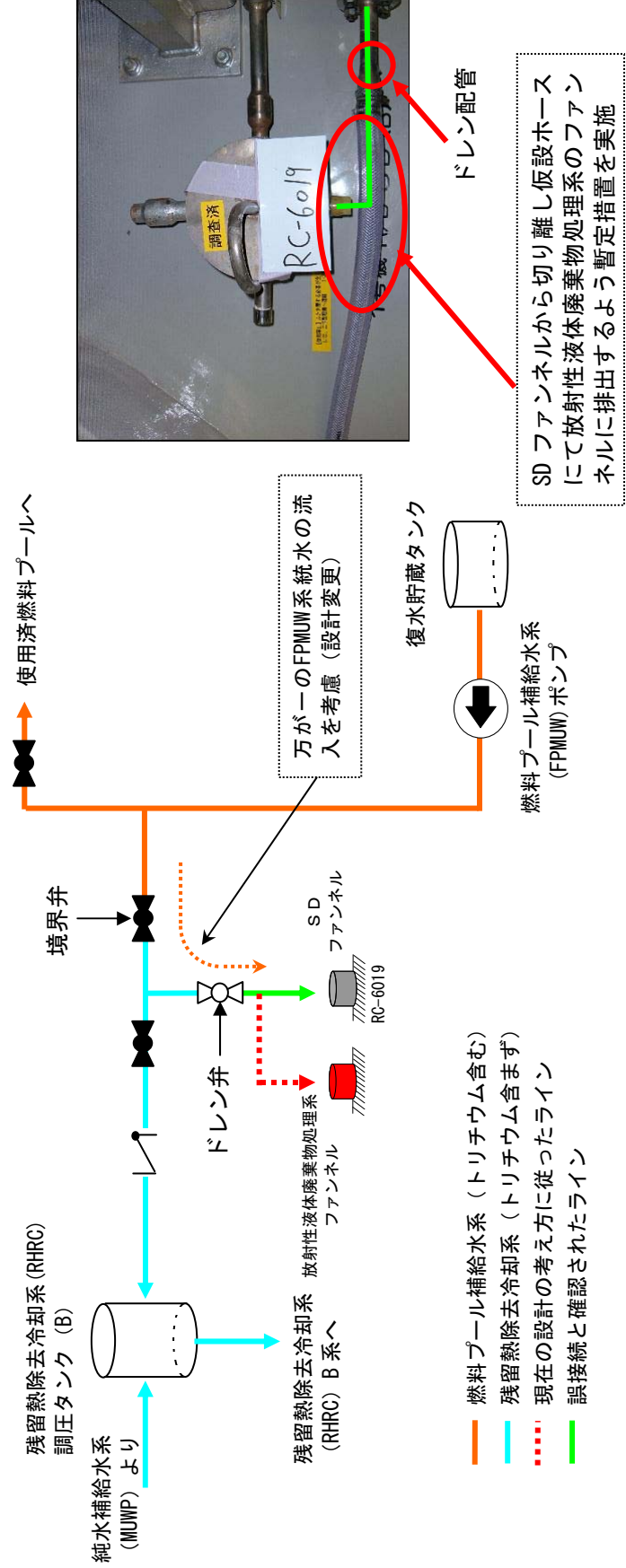
放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

6	福島第二原子力発電所1号機原子炉建屋 残留熱除去冷却系調圧タンク (A) 廻りドレン配管における接続
調査結果の概要	<p>対策</p> <p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する。 ○現在の設計においては、放射性の系統と非放射性の系統の境界近傍からのドレン配管の接続先は、放射性液体廃棄物処理系のファンネルとすることを明確にしており、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p>
[確認された事象]	<p>○残留熱除去冷却系 (RHRC) の調圧タンク (A) に接続される燃料プール補給水系 (FPMUW) 供給ラインのうち、両系の境界弁より RHRC 側に設置されるドレン配管がSDファンネルに接続されていることが確認された。</p>
[推定原因]	<p>○福島第二1・2号機の建設当時の設計の考え方は、境界弁より RHRC 側の供給ラインのドレン配管は、RHRC の設計の考え方に従いSDファンネルに導くこととしており、この考え方に基き設計がなされ、施工されたことを確認した。</p> <p>○その後、昭和55年以降に建設工した福島第二3・4号機の設計から、供給ラインの RHRC 側のドレンであっても放射性液体廃棄物処理系のファンネルに導くよう設計変更を行っており、現在の設計の考え方も放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続することから、現在の設計の考え方に照らして誤接続と判断した。</p>
[系統概略図]	<p>過去の FPMUW 系機器の点検において、RHRC 調圧タンク (B) 廻りのドレン配管が FPMUW 系の水張り時の満水確認に使用されており、RHRC 調圧タンク (A) 廻りのドレン配管から SD ファンネルへの排出はなかった。</p> <p>SD ファンネルから切り離し仮設ホースにて放射性液体廃棄物処理系のファンネルに排出するよう暫定措置を実施</p> <p>万が一の FPMUW 系統水の流入を考慮 (設計変更)</p> <p>燃料プール補給水系 (FPMUW) ポンプ 復水貯蔵タンク</p> <p>使用済燃料プールへ</p> <p>境界弁</p> <p>ドレン弁</p> <p>SD ファンネル RC-6021</p> <p>放射性液体廃棄物処理系 ファンネル</p> <p>残留熱除去冷却系 (RHRC) A 系へ</p> <p>純水補給水系 (MUMP) より</p> <p>残留熱除去冷却系 (RHRC) 調圧タンク (A)</p> <p>燃料プール補給水系 (トリチウム含む)</p> <p>残留熱除去冷却系 (トリチウム含まず)</p> <p>現在の設計の考え方に従ったライン</p> <p>誤接続と確認されたライン</p>
放出放射能評価	<p>トリチウムの放出濃度</p> <ul style="list-style-type: none"> ・これまでの運用を確認した結果、当該 SD ファンネルへの排出実績がないことからトリチウムの放出はなかった。 <p>○法令との比較</p> <p>—</p>
外部への影響	<p>外部への影響</p>

放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

7	福島第二原子力発電所1号機原子炉建屋 残留熱除去冷却系調圧タンク (B) 廻りドレン配管における接続	<p style="text-align: center;">調査結果の概要</p> <p>[確認された事象] ○残留熱除去冷却系 (RHRC) の調圧タンク (B) に接続される燃料プール補給水系 (FPMUW) 供給ラインのうち、両系の境界弁より RHRC 側に設置されるドレン配管がSDファンネルに接続されていることが確認された。</p> <p>[推定原因] ○福島第二1・2号機の建設当時の設計の考え方では、境界弁より RHRC 側の供給ラインのドレン配管は、RHRC の設計の考え方に従いSDファンネルに導くこととしており、この考え方に基き設計がなされ、施工されたことを確認した。 ○その後、昭和55年以降に建設工した福島第二3・4号機の設計から、供給ラインのRHRC側のドレンであつても放射性液体廃棄物処理系のファンネルに導くよう設計変更を行つており、現在の設計の考え方も放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続することから、現在の設計の考え方に照らして誤接続と判断した。</p>	<p style="text-align: center;">対策</p> <p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する。 ○現在の設計においては、放射性の系統と非放射性の系統の境界近傍からのドレン配管の接続先は、放射性液体廃棄物処理系のファンネルとすることを明確にしており、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p> <p style="text-align: center;">放出放射能評価</p> <p>○トリチウムの放出濃度</p> <ul style="list-style-type: none"> 過去の FPMUW の機器点検における水張り操作の際、当該境界弁を開操作して満水確認を行ったことから、FPMUW 系統水がSD ファンネルに計8回排出された。 このときの排出量を配管の容積より保守的に $1.0 \times 10^4 \text{cm}^3$ / 回と仮定して評価した結果、SD 受タンクから放出されるトリチウム濃度は約 0.03Bq/cm^3 と評価され、検出限界値 (0.04Bq/cm^3) 未満となった。 <p>○法令との比較</p> <ul style="list-style-type: none"> 法令で定める周辺監視区域外の水中の濃度限度 (60Bq/cm^3) と比較すると、本事例で放出されるトリチウム濃度 (約 0.03Bq/cm^3) は約2,000分の1となる。 <p style="text-align: center;">外部への影響</p> <p>○放出されるトリチウム濃度は検出限界値未満であることから、本事例は周辺環境へ影響を与えるものではない。</p>
---	--	--	---

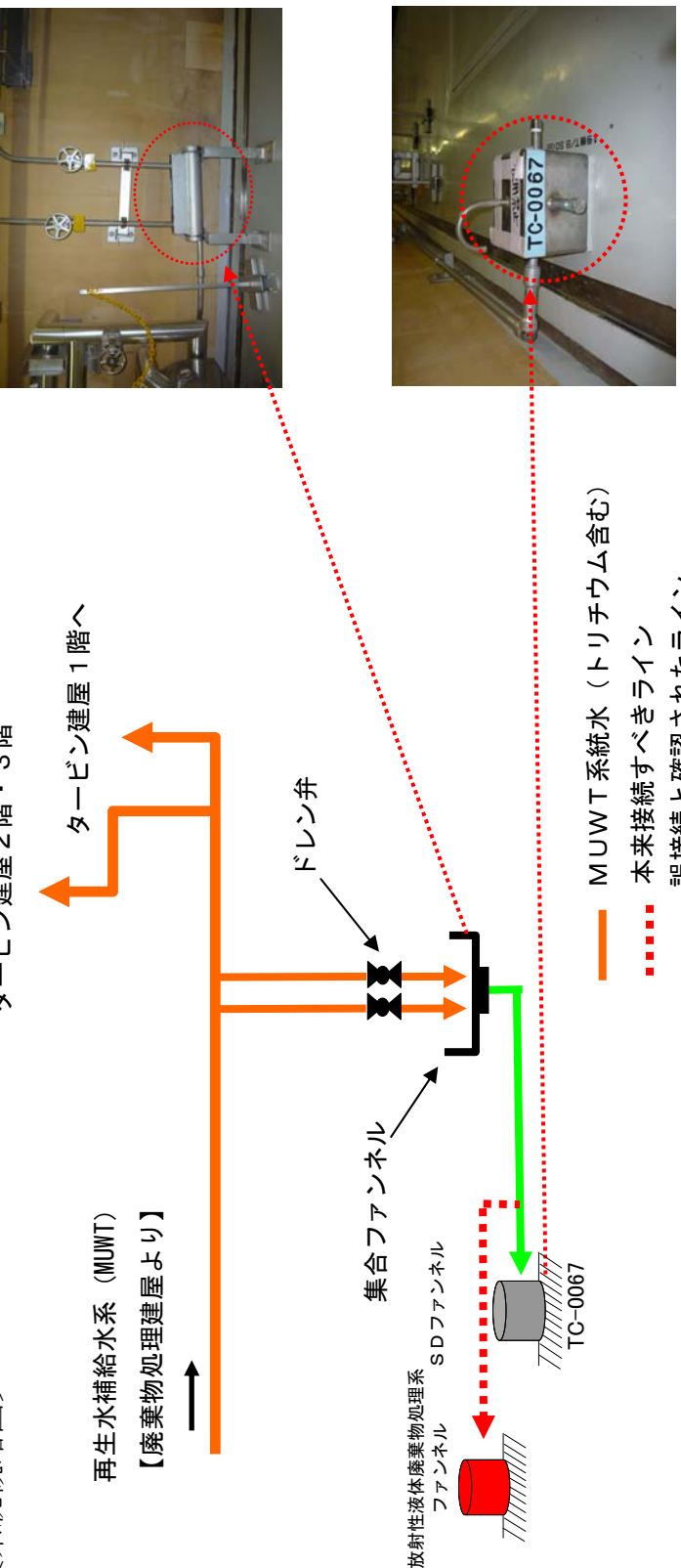
[系統概略図]



放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

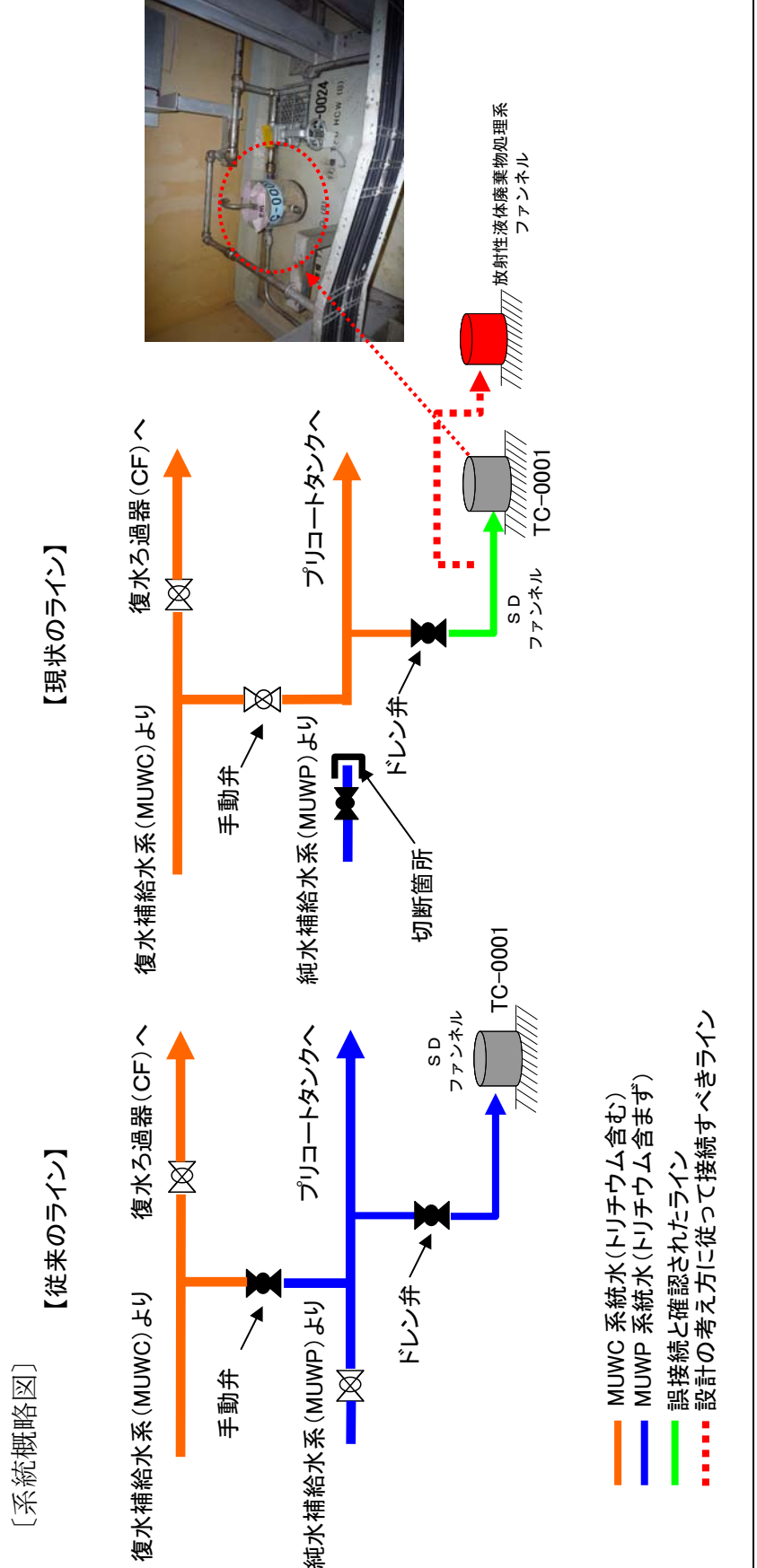
<p>8</p>	<p>福島第二原子力発電所1号機 原子炉建屋 燃料プール補給水ポンプ出口流量検出器ドレン配管における接続</p>
<p>調査結果の概要</p>	<p>対策</p>
<p>[確認された事象] ○燃料プール補給水系 (FPMUW) のポンプ出口流量計検出配管*1のドレン配管が、放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続されるべきところ、SDファンネルに接続されていることを確認した。 *1：FPMUW系のポンプ出口流量を検出する配管で、検出配管には純水 (MUWP) が充填されている。 [推定原因] ○建設時から現在までの設計の考え方では、計器ドレンの排出先は計測対象のプロセス流体 (FPMUW) を処理する場合と同じ、放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続することになっており、建設時にも放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続するよう設計がなされていたが、放射性液体廃棄物処理系のファンネルのすぐ手前にSDファンネルがあり、誤ってこれに接続したものと推定される。 ○なお、建設時はトリチウムの放出管理に対する認識が低かったことから、SDファンネルに接続すること自体に疑問を持たず、誤接続に至ったものと推定される。</p>	<p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する、または、当該ドレン配管を閉止する。 ○現在の設計管理、工事監理の仕組みに加え、継続的な教育によるトリチウムに対する意識向上により、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p> <p>放出放射能評価</p> <p>○トリチウムの放出濃度</p> <ul style="list-style-type: none"> 過去の点検実績は、25回であった。 計器点検での排水は、純水と考えられるが水抜き時に排出される量を保守的に2,000 cm³と仮定して評価した結果、SD受タンクから放出されるトリチウム濃度は約 0.007 Bq/cm³と評価され、検出限界値 (0.04 Bq/cm³) 未満となった。 <p>○法令との比較</p> <ul style="list-style-type: none"> 法令で定める周辺監視区域外の水中の濃度限度 (60Bq/cm³) と比較すると、本事例で放出されるトリチウム濃度 (約 0.007Bq/cm³) は約 8,500 分の1となる。 <p>外部への影響</p> <p>○放出されるトリチウム濃度は検出限界値未満であることから、本事例は周辺環境へ影響を与えるものではない。</p>
<p>[系統概略図]</p> <p>プロセス流体 (FPMUW：橙色部) と検出配管の充填水 (純水：水色部) は接しているため、プロセス流体が検出配管内に拡散することが懸念されるが、通常の計器点検においては、計器ラック入口弁及びドレン弁は「全閉」しておりSDファンネルに排出することはない。 なお、計器点検後は、計器テスト弁から純水を充填し、プロセス側の母管まで計装配管を逆流させるように水張り操作を行う。</p> <p>燃料プール補給水系 (FPMUW) プロセス流体と接している状態</p> <p>燃料プール補給水系 (トリチウム含む) 検出配管 (純水充填部) 本来接続すべきライン 誤接続と確認されたライン</p>	<p>外部への影響</p> <p>○放出されるトリチウム濃度は検出限界値未満であることから、本事例は周辺環境へ影響を与えるものではない。</p>

放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

<p>9</p>	<p>福島第二原子力発電所1号機 タービン建屋 再生水補給水系ドレン配管における接続</p>
<p>調査結果の概要</p>	<p>対策</p>
<p>[確認された事象] ○再生水補給水系 (MUWT) ドレン配管が、放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続されるべきところ、SDファンネルに接続されていることが確認された。 [推定原因] ○建設時から現在までの設計の考え方では、MUWT ドレンの排出先は放射性液体廃棄物処理系のファンネルへ導くこととしていたが、当該ドレン箇所近傍に放射性液体廃棄物処理系のファンネルがなかったことから、ドレン配管の接続箇所をプラントメーカーが再検討した結果、MUWT は基本的に放射性核種をほとんど含まないことから、SDファンネルへ接続する設計としたと推定される。なお、建設当時はトリチウムの放出管理に対する認識が低かったことを確認した。</p>	<p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する。 ○現在の設計管理、工事監理の仕組みに加え、継続的な教育によるトリチウムに対する意識向上により、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p>
<p>[系統概略図] タービン建屋2階・3階 再生水補給水系 (MUWT) 【廃棄物処理建屋より】 放射性液体廃棄物処理系ファンネル SDファンネル 集合ファンネル ドレン弁 タービン建屋1階へ TC-0067 MUWT系統水 (トリチウム含む) 本来接続すべきライン 誤接続と確認されたライン</p> 	<p>放出放射能量評価</p> <p>○トリチウムの放出濃度</p> <ul style="list-style-type: none"> 過去の給水加熱器の取替工事の実施した際、当該再生水補給水系配管が干渉したことから、系統を隔離し系統水をドレン配管からSDファンネルへ2回排出された。 このときの排水量を配管の容積より保守的に $1.7 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{回}$ と仮定して評価した結果、SD受タンクから放出されるトリチウム量は約 $3.6 \times 10^8 \text{ Bq}$、周辺監視区域外の水中の濃度は約 $1.2 \times 10^{-4} \text{ Bq/cm}^3$ と評価した。 <p>○法令との比較</p> <ul style="list-style-type: none"> 周辺監視区域外の水中の濃度は約 $1.2 \times 10^{-4} \text{ Bq/cm}^3$ であり、法令で定める濃度限度 (3ヶ月平均 60 Bq/cm^3) 未満である。 <p>外部への影響</p> <p>○放出されるトリチウム量及び周辺監視区域外の水中の濃度は、法令で定める値未満であることから、外部への影響はない。</p>

放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

10	福島第二原子力発電所1号機 タービン建屋 復水浄化系復水ろ過設備	補給水ドレン配管における接続
<p style="text-align: center;">調査結果の概要</p>		
<p>[確認された事象]</p>	<p>○復水浄化系復水ろ過設備への補給水である復水補給水系 (MUWC) ドレン配管が、放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続されるべきところ、SDファンネルに接続されていることを確認した。</p>	
<p>[推定原因]</p>	<p>○本系統は、復水浄化系復水ろ過設備への補給水源として、MUWCを復水ろ過器の補給水に使用し、純水補給水系 (MUWP) をプリコトタンク*1の補給水に使用する設計であった。当該ドレン配管は、MUWPとMUWCが手動弁でつながっている配管に接続されていた。</p> <p>○建設当時から現在までの設計の考え方では、MUWPはSDファンネル、MUWCは放射性液体廃棄物処理系のファンネルに導くこととしており、プリコトタンクには主にMUWPを使用するため、当該ドレン配管をSDファンネルへ接続する設計としたと推定される。</p> <p>○しかしながら、プリコトタンクにはMUWCも使用することを考慮し、当該ドレン配管を放射性液体廃棄物処理系ファンネルへ接続する設計とすべきであったが、設計の配慮が不足していた。</p> <p>○その後、平成19年11月に実施した改造工事に伴う運用変更を行い、MUWP側配管を切断しプリコトタンクの補給水源としてMUWCを使用するラインに変更したが、この時点で当該ドレン配管が、建設当時から接続が不適切と思わなかったため、排出先の変更については検討が十分にされず、SDファンネルに接続したままとなった。</p> <p>*1：復水ろ過器のフィルターの樹脂をコーティングする際に使用するタンク。</p>	
<p style="text-align: center;">放射線量評価</p>		
<p>○トリチウムの放出濃度</p> <ul style="list-style-type: none"> 過去の復水浄化系の機器点検のため、系統水をドレン配管からSDファンネルへ1回排出された。 このときの排水量を配管の容積より保守的に$4.0 \times 10^4 \text{cm}^3$と仮定して評価した結果、SD受タンクから放出されるトリチウム量は約$1.1 \times 10^7 \text{Bq}$、周辺監視区域外の水中の濃度は約$1.8 \times 10^{-8} \text{Bq/cm}^3$と評価した。 <p>○法令との比較</p> <ul style="list-style-type: none"> 周辺監視区域外の水中の濃度は約$1.8 \times 10^{-8} \text{Bq/cm}^3$であり、法令で定める濃度限度 (3ヶ月平均$60 \text{Bq/cm}^3$) 未満である。 		
<p style="text-align: center;">外部への影響</p>		
<p>○放出されるトリチウム量及び周辺監視区域外の水中の濃度は、法令で定める値未満であることから、外部への影響はない。</p>		



放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

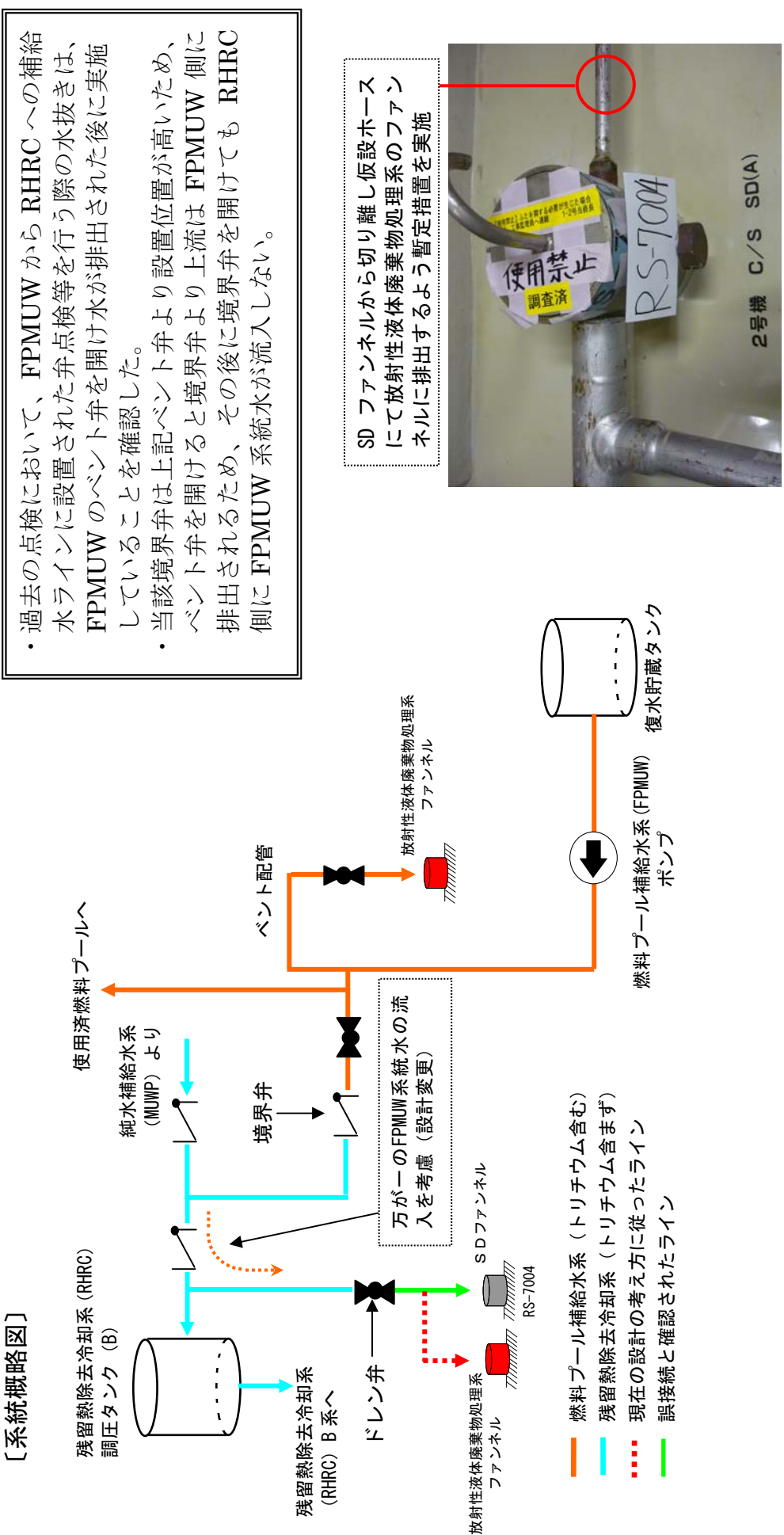
1 1	福島第二原子力発電所1号機 タービン建屋 復水浄化系ろ過器圧力指示計ドレン配管の接続
	調査結果の概要
<p>[確認された事象]</p> <p>○復水浄化系ろ過器 (CF) の補給水である復水補給水系 (MUWC) の逆洗用水入口圧力計検出配管*¹及び溶液A移送ポンプ吐出圧力計検出配管*¹のドレン配管が、放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続すべきところ、SDファンネルに接続されていることを確認した。</p> <p>* 1 : 逆洗用水入口圧力及び溶液A移送ポンプ吐出圧力を検出する配管で、検出配管には計器側から純水 (MUWP) が充填されている。</p> <p>[推定原因]</p> <p>(1) 逆洗用水入口圧力計</p> <p>○建設時から現在までの設計の考え方では、計器ドレンの排出先は計測対象のプロセス流体 (MUWC) を処理する場合と同じ放射性液体廃棄物処理系のファンネルへ接続すべき配管であったが、建設当時は、その考え方が文書で明確にならなかった。</p> <p>○このため、接続箇所が明確に指示されず、さらに施工図にはファンネル番号が記載されていなかったことから、隣接するSDファンネルに誤って接続したものと推定される。</p> <p>(2) 溶液A移送ポンプ吐出圧力計</p> <p>○建設時から現在までの設計の考え方では MUWP はSDファンネルに導くこととしており、当該圧力計は主にMUWP が通水されるため計器ドレンの排出先はSDファンネルに接続されていたが、MUWC も使用することを考慮し放射性液体廃棄物処理系ファンネルへ接続されるべきであり、設計の配慮が不足していた。</p> <p>○その後、平成19年11月の改造工事に伴う運用変更により MUWP 配管を切断しプリコートタンク補給水としてMUWC を使用するラインに変更したが、この時点で当該ドレン配管が、建設当初から接続が不適切と思わなかったため、排水先の変更については検討が十分にならず、SDファンネルに接続したままとなった。</p>	
<p>[系統概略図]</p> <p>○プロセス流体 (MUWC) と検出配管の充填水 (純水) は接続しているため、プロセス流体が検出配管内に拡散することが懸念されるが、計器点検及び交換時に計器入口弁及びドレン弁は「全閉」しておりSDファンネルに流入することはない。</p> <p>なお、検出器点検後は、計器テスト弁から純水を充填し、プロセス側の母管まで計装配管を逆流させるように水張り操作を行う。</p>	
<p>対 策</p> <p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する、または、当該ドレン配管を閉止する。</p> <p>○現在の設計においては、ドレン配管の接続先をプロセス流体のドレン接続先とあわせることを明確にし、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p> <p>放出放射能評価</p> <p>○トリチウムの放出濃度</p> <ul style="list-style-type: none"> 過去の点検実績は、逆洗用水入口圧力計が2回、溶液A移送ポンプ吐出圧力計が1回であった。 計器点検での排水は、純水と考えられるが水抜き時に排出される量を保守的に1,600 cm³と仮定して評価した結果、SD受タンクから放出されるトリチウム濃度は約0.004 Bq/cm³と評価され、検出限界値 (0.04 Bq/cm³) 未満となった。 <p>○法令との比較</p> <ul style="list-style-type: none"> 法令で定める周辺監視区域外の水中の濃度限度 (60Bq/cm³) と比較すると、本事例で放出されるトリチウム濃度 (約0.004Bq/cm³) は約15,000分の1となる。 <p>外部への影響</p> <p>○放出されるトリチウム濃度は検出限界値未満であることから、本事例は周辺環境へ影響を与えていない。</p>	

放射線廃棄物処理配管における接続調査結果

1 2	福島第二原子力発電所2号機原子炉建屋 残留熱除去冷却系調圧タンク (A) 廻りドレン配管における接続
[確認された事象]	<p>○残留熱除去冷却系 (RHRC) の調圧タンク (A) に接続される燃料プール補給水系 (FPMUW) 供給ラインのうち、両系の境界弁よりRHRC側に設置されるドレン配管がSDファンネルに接続されていることが確認された。</p>
[推定原因]	<p>○福島第二1・2号機の建設当時の設計の考え方では、境界弁よりRHRC側の供給ラインのドレン配管は、RHRCの設計の考え方に従いSDファンネルに導くこととしており、この考え方に基き設計がなされ、施工されたことを確認した。</p> <p>○その後、昭和55年以降に建設着工した福島第二3・4号機の設計から、供給ラインのRHRC側のドレンであっても放射性液体廃棄物処理系のファンネルに導くよう設計変更を行っており、現在の設計の考え方も放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続することとしていることから、現在の設計の考え方に照らして誤接続と判断した。</p>
[系統概略図]	<p>使用済燃料プールへ</p> <p>純水補給水系 (MUWP) より</p> <p>境界弁</p> <p>万が一のFPMUW系統水の流入を考慮 (設計変更)</p> <p>ドレン弁</p> <p>放射性液体廃棄物処理系ファンネル RS-7002</p> <p>燃料プール補給水系 (トリチウム含む)</p> <p>残留熱除去冷却系 (トリチウム含まず)</p> <p>現在の設計の考え方に従ったライン</p> <p>誤接続と確認されたライン</p>
[系統概略図]	<p>過去の点検において、FPMUW からRHRC への補給水ラインに設置された弁点検等を行う際の水抜きは、FPMUW のベント弁を開け水を排出された後に実施していることを確認した。</p> <p>当該境界弁は上記ベント弁より設置位置が高いため、ベント弁を開けると境界弁より上流はFPMUW 側に排出されるため、その後に境界弁を開けてもRHRC 側にFPMUW 系統水が流入しない。</p>
[確認された事象]	<p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する。</p> <p>○現在の設計においては、放射性の系統と非放射性の系統の境界近傍からのドレン配管の接続先は、放射性液体廃棄物処理系のファンネルとすることを明確にしており、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p>
[確認された事象]	<p>○トリチウムの放出濃度</p> <ul style="list-style-type: none"> ・これまでの運用を確認した結果、当該SDファンネルへの排出実績がないことからトリチウムの放出はなかった。 ○法令との比較
[確認された事象]	<p>放出放射能量評価</p>
[確認された事象]	<p>外部への影響</p>
[確認された事象]	<p>SD ファンネルから切り離し仮設ホースにて放射性液体廃棄物処理系のファンネルに排出するよう暫定措置を実施</p>

放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

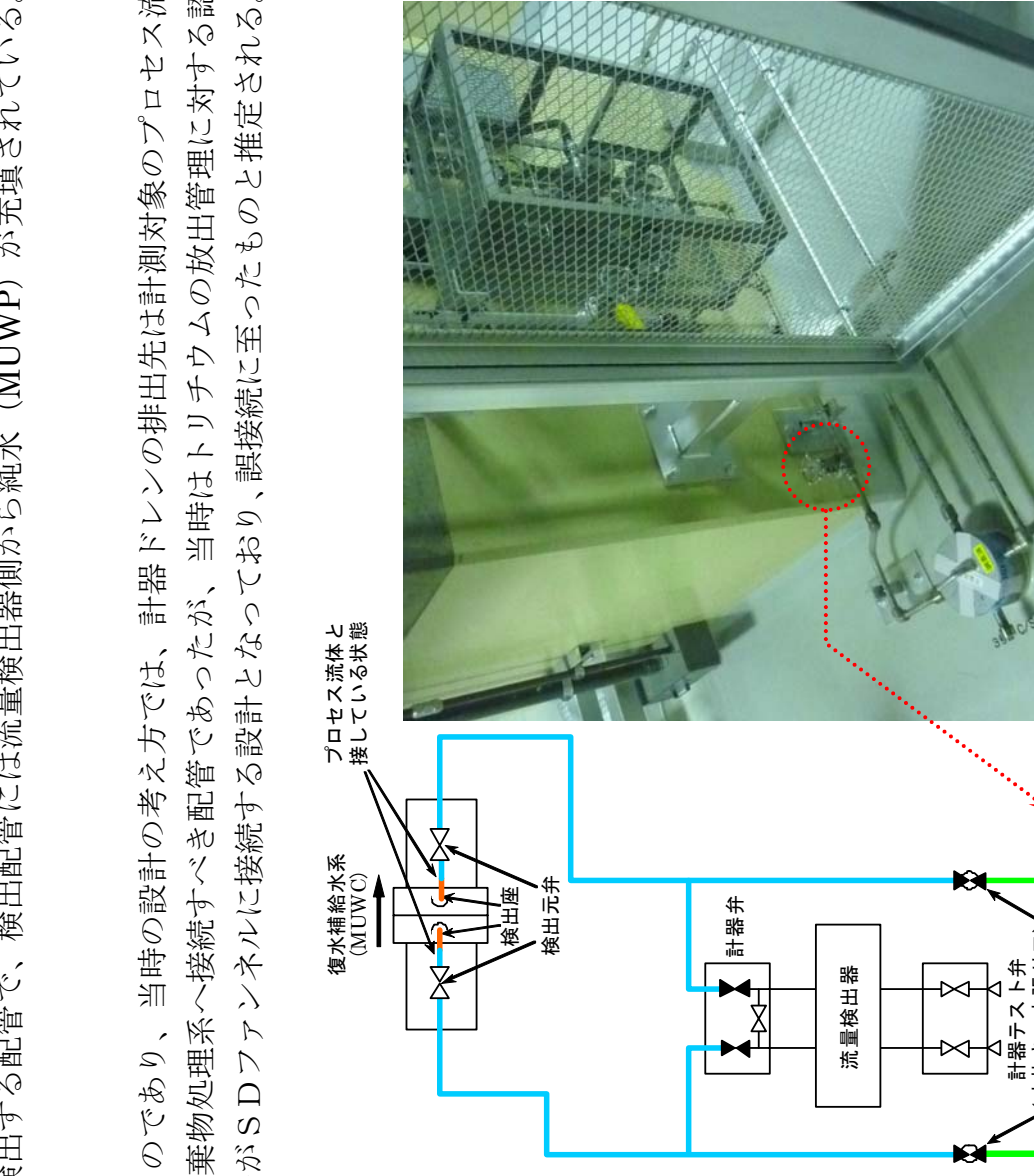
<p>1 3</p>	<p>福島第二原子力発電所2号機原子炉建屋 残留熱除去冷却系調圧タンク (B) 廻りドレン配管における接続</p>
<p>調査結果の概要</p>	<p>対策</p>
<p>[確認された事象] ○残留熱除去冷却系 (RHRC) の調圧タンク (B) に接続される燃料プール補給水系 (FPMUW) 供給ラインのうち、両系の境界弁よりRHRC側に設置されるドレン配管がSDファンネルに接続されていることが確認された。 [推定原因] ○福島第二1・2号機の建設当時の設計の考え方は、境界弁よりRHRC側の供給ラインのドレン配管は、RHRCの設計の考え方に従いSDファンネルに導くこととしており、この考え方に基づき設計がなされ、施工されたことを確認した。 ○その後、昭和55年以降に建設着工した福島第二3・4号機の設計から、供給ラインのRHRC側のドレンであっても放射性液体廃棄物処理系のファンネルに導くよう設計変更を行っており、現在の設計の考え方も放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続することから、現在の設計の考え方に照らして誤接続と判断した。</p>	<p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する。 ○現在の設計においては、放射性の系統と非放射性の系統の境界近傍からのドレン配管の接続先は、放射性液体廃棄物処理系のファンネルとすることを明確にしておき、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p>
<p>放出放射能評価</p>	<p>放出放射能評価</p>
<p>トリチウムの放出濃度</p>	<p>○トリチウムの放出濃度 ・これまでの運用を確認した結果、当該SDファンネルへの排出実績がないことからトリチウムの放出はなかった。 ○法令との比較 —</p>
<p>外部への影響</p>	<p>外部への影響</p>



放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

<p>1 4 福島第二原子力発電所2号機原子炉建屋 高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンク廻りドレン配管における接続</p>	<p>対 策</p> <p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する。 ○現在の設計においては、放射性の系統と非放射性の系統の境界近傍からのドレン配管の接続先は、放射性液体廃棄物処理系のファンネルとすることを明確にしており、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p>
<p>調査結果の概要</p> <p>〔確認された事象〕 ○高圧炉心スプレイ補機冷却系（HPCSC）のサージタンクに接続される燃料プール補給水系（FPMUW）供給ラインのうち、両系の境界弁より HPCSC 側に設置されるドレン配管がSDファンネルに接続されていることが確認された。 〔推定原因〕 ○福島第二1・2号機の建設当時の設計の考え方では、境界弁より HPCSC 側の供給ラインのドレン配管は、HPCSC の設計の考え方に従いSDファンネルに導くこととしており、この考え方に基き設計がなされ、施工されたことを確認した。 ○その後、昭和55年以降に建設工した福島第二3・4号機の設計から、供給ラインの HPCSC 側のドレンであってても放射性液体廃棄物処理系のファンネルに導くよう設計変更を行っており、現在の設計の考え方も放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続することから、現在の設計の考え方に照らして誤接続と判断した。</p>	<p>放出放射能評価</p> <p>○トリチウムの放出濃度 ・これまでの運用を確認した結果、当該 SD ファンネルへの排出実績がないことからトリチウムの放出はなかった。 ○法令との比較 —</p>
<p>〔系統概略図〕</p> <p>過去の点検において、FPMUW から HPCSC への補給水ラインに設置された弁点検等を行う際の水抜きは、FPMUW のベント弁を開け水を排出された後に実施していることを確認した。 ・当該境界弁は上記ベント弁より設置位置が高いため、ベント弁を開けると境界弁より上流は FPMUW 側に排出されるため、その後に境界弁を開けても HPCSC 側に FPMUW 系統水が流入しない。</p> <p>燃料プール補給水系 (FPMUW) ポンプ 燃料プール補給水系 (トリチウム含む) 高圧炉心スプレイ補機冷却系 (トリチウム含まず) 現在の設計の考え方に従ったライン 誤接続と確認されたライン</p> <p>SD ファンネルから切り離し仮設ホースにて放射性液体廃棄物処理系のファンネルに排出するよう暫定措置を実施</p>	<p>外部への影響</p>

放射線廃棄物処理配管における接続調査結果

15	福島第二原子力発電所3号機 原子炉建屋 復水補給水系 R P V / P C V注水流量検出器ドレン配管における接続
調査結果の概要	
[確認された事象]	<p>○復水補給水系 (MUWC) の R P V / P C V注水流量計*1のドレン配管が、放射性液体廃棄物処理系ファンネルに接続されるべきところ、SDファンネルに接続されていることを確認した。</p> <p>*1：R P V / P C Vへの MUWC の注水流量を検出する配管で、検出配管には流量検出器側から純水 (MUWP) が充填されている。</p>
[推定原因]	<p>○当該ドレン配管は、平成13年6月に新設されたものであり、当時の設計の考え方では、計器ドレンの排出先は計測対象のプロセス流体 (MUWC) を処理する場合と同じ放射性液体廃棄物処理系へ接続すべき配管であったが、当時はトリチウムの放出管理に対する認識が低く、配管施工図では当該ドレン配管の接続先がSDファンネルに接続する設計となっており、誤接続に至ったものと推定される。</p>
[系統概略図]	 <p>プロセス流体 (MUWC：橙色部) と検出配管の充填水 (純水：水色部) は接しているため、プロセス流体が検出配管内に拡散することが懸念されるが、通常の計器点検においては、計器弁、及びドレン弁は「全開」しておりSDファンネルに排出することはない。</p> <p>なお、検出器点検後は、計器テスト弁から純水を充填し、プロセス側の母管まで計装配管を逆流させるように水張り操作を行う。</p> <p> — 復水補給水系 (トリチウム含む) — 検出配管 (純水充填部) - - - 本来接続すべきライン — 誤接続と確認されたライン </p>
放出放射能評価	
<p>○トリチウムの放出濃度</p> <ul style="list-style-type: none"> ・過去の点検実績は、4回であった。 ・計器点検での排水は、純水と考えられるが水抜き時に排出される量を保守的に2,000 cm³と仮定して評価した結果、SD受タンクから放出されるトリチウム濃度は約0.006 Bq/cm³と評価され、検出限界値(0.04 Bq/cm³)未満となった。 <p>○法令との比較</p> <ul style="list-style-type: none"> ・法令で定める周辺監視区域外の水中の濃度限度(60 Bq/cm³)と比較すると、本事例で放出されるトリチウム濃度(約0.006 Bq/cm³)は約10,000分の1となる。 	
外部への影響	
<p>○放出されるトリチウム濃度は検出限界値未満であることから、本事例は周辺環境へ影響を与えない。</p>	

放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

<p>16 福島第二原子力発電所3号機 タービン建屋 復水ろ過装置流量及び圧力検出器ドレン配管における接続</p>	<p>調査結果の概要</p>
<p>対策</p> <ul style="list-style-type: none"> ○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する、または、当該ドレン配管を閉止する。 ○現在の設計管理、工事監理の仕組みに加え、継続的な教育によるトリチウムに対する意識向上により、同様な不具合は発生しないものと考えられる。 	<p>[確認された事象]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○復水浄化ろ過器 (CF) のプリート流量検出器*1及び復水補給水系 (MUWC) 二次側圧力検出器*1のドレン配管が、放射性液体廃棄物処理系ファンネルに接続されていることを確認した。 *1：プリート流量及び復水補給水二次側圧力を検出する配管で、検出配管には、計器側から純水(MUWP)が充填されている。 <p>[推定原因]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○建設時から現在までの設計の考え方では、計器ドレンの排出先は計測対象のプロセス流体 (CF) の処理する場合と同じ、放射性液体廃棄物処理系ファンネルに接続することになっていたが、当該ドレン配管のある計器ラック近傍には放射性液体廃棄物処理系ファンネルがないため検討の結果、MUWC は基本的に放射性核種をほとんど含まないことから、近傍のSDファンネルに接続する設計としたものと推定される。なお、建設当時はトリチウムの放出管理に対する認識が低かったことを確認した。
<p>放出放射能評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ○トリチウムの放出濃度 <ul style="list-style-type: none"> ・過去の点検実績は、10回であった。 ・計器点検後のエアイベント及び計器交換での排水は純水と考えられるが、水抜き時に排出される排出量を保守的に1,500 cm³と仮定して評価した結果、SD系タンクから放出されるトリチウム濃度は約0.006 Bq/cm³と評価され、検出限界値 (0.04 Bq/cm³) 未満となった。 ○法令との比較 <ul style="list-style-type: none"> ・法令で定める周辺監視区域外の水中の濃度限度 (60Bq/cm³) と比較すると、本事例で放出されるトリチウム濃度 (約0.006Bq/cm³) は約10,000分の1となる。 	<p>外部への影響</p> <ul style="list-style-type: none"> ○放出されるトリチウム濃度は検出限界値未満であることから、本事例は周辺環境へ影響を与えない。
<p>放出放射能評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ○トリチウムの放出濃度 <ul style="list-style-type: none"> ・過去の点検実績は、10回であった。 ・計器点検後のエアイベント及び計器交換での排水は純水と考えられるが、水抜き時に排出される排出量を保守的に1,500 cm³と仮定して評価した結果、SD系タンクから放出されるトリチウム濃度は約0.006 Bq/cm³と評価され、検出限界値 (0.04 Bq/cm³) 未満となった。 ○法令との比較 <ul style="list-style-type: none"> ・法令で定める周辺監視区域外の水中の濃度限度 (60Bq/cm³) と比較すると、本事例で放出されるトリチウム濃度 (約0.006Bq/cm³) は約10,000分の1となる。 	<p>外部への影響</p> <ul style="list-style-type: none"> ○放出されるトリチウム濃度は検出限界値未満であることから、本事例は周辺環境へ影響を与えない。

調査結果の概要

[確認された事象]

○復水浄化ろ過器 (CF) のプリート流量検出器*1及び復水補給水系 (MUWC) 二次側圧力検出器*1のドレン配管が、放射性液体廃棄物処理系ファンネルに接続されていることを確認した。

*1：プリート流量及び復水補給水二次側圧力を検出する配管で、検出配管には、計器側から純水(MUWP)が充填されている。

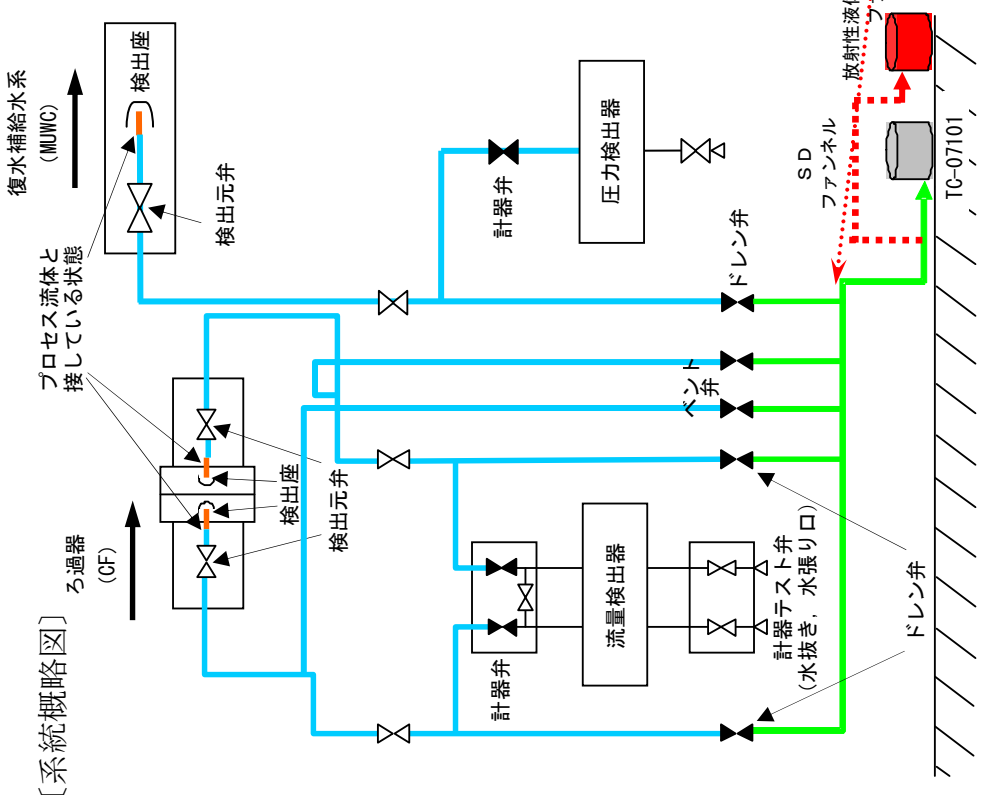
[推定原因]

○建設時から現在までの設計の考え方では、計器ドレンの排出先は計測対象のプロセス流体 (CF) の処理する場合と同じ、放射性液体廃棄物処理系ファンネルに接続することになっていたが、当該ドレン配管のある計器ラック近傍には放射性液体廃棄物処理系ファンネルがないため検討の結果、MUWC は基本的に放射性核種をほとんど含まないことから、近傍のSDファンネルに接続する設計としたものと推定される。なお、建設当時はトリチウムの放出管理に対する認識が低かったことを確認した。

[系統概略図]

プロセス流体 (CF：橙色部) と検出配管の充填水 (純水：水色部) は接しているため、プロセス流体が検出配管内に拡散することが懸念されるが、検出配管内の水は静止流体であり接触面積が極わずかであること、且つ検出配管長が長いことから、計器点検後のエアイベント時及び計器交換での水抜き時にドレンとして排出される可能性のある充填水にプロセス流体は含まれておらず、排出したドレンは純水と考えられる。

なお、検出器点検後は、計器テスト弁から純水を充填し、プロセス側の母管まで計装配管を逆流させるように水張り操作を行う。



復水ろ過系 (トリチウム含む)
 検出配管 (純水充填部)
 本来接続すべきライン
 誤接続と確認されたライン

放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

<p>17 福島第二原子力発電所4号機原子炉建屋非常用ディーゼル発電設備冷却系サージタンク (A) 廻りドレン配管における接続</p>	<p>調査結果の概要</p>
<p>対策</p>	<p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する。 ○現在の設計においては、放射性の系統と非放射性の系統の境界近傍からのドレン配管の接続先は、放射性液体廃棄物処理系のファンネルとすることを明確にしており、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p>
<p>放出放射能評価</p>	<p>○トリチウムの放出濃度 ・これまでの運用を確認した結果、当該SDファンネルへの排出実績がないことからトリチウムの放出はなかった。 ○法令との比較 —</p>
<p>外部への影響</p>	<p></p>

調査結果の概要

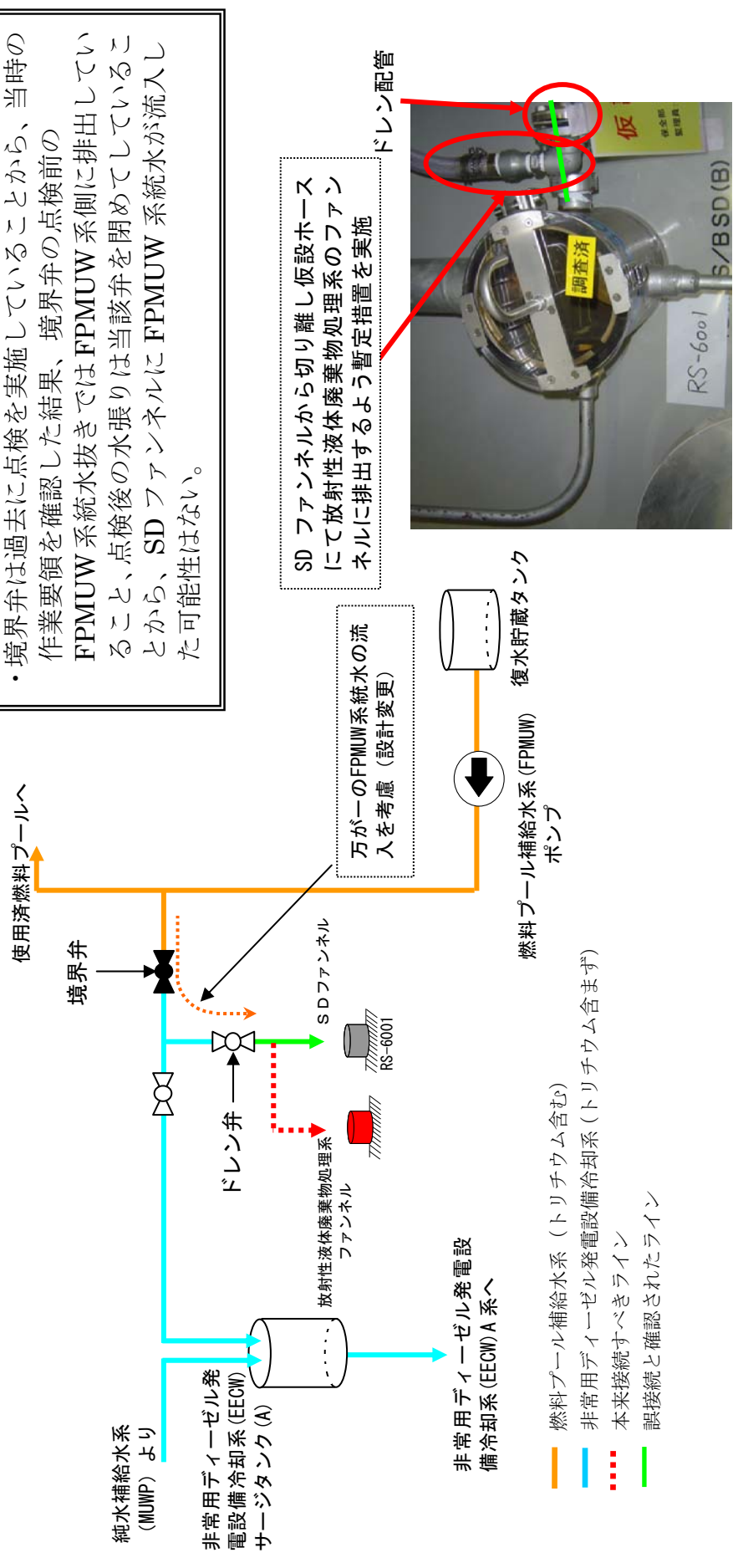
[確認された事象]

○非常用ディーゼル発電設備冷却系 (EECW) サージタンク (A) に接続される燃料プール補給水系 (FPMUW) 供給ラインの EECW ドレン配管が、放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続されるところSDファンネルに接続されていることが確認された。

[推定原因]

○建設当時から現在までの設計の考え方では、FPMUW 系統水が流入する当該ドレンの排出先は、放射性液体廃棄物処理系のファンネルにすべき配管であったが、配管施工図では当該ドレン配管の接続先がSDファンネルに接続する設計となっており、誤接続に至ったものと推定される。なお、建設当時はトリチウムの放出管理に対する認識が低かったことを確認した。

[系統概略図]



・FPMUW 系の補給水ラインに設置された境界弁は運転中・定検中ともに開閉操作をしないため、SDファンネルへの FPMUW 系統水の流入はない。
・境界弁は過去に点検を実施していることから、当時の作業要領を確認した結果、境界弁の点検前の FPMUW 系統水抜きでは FPMUW 系側に排出していること、点検後の水張りは当該弁を閉めてしていることから、SDファンネルに FPMUW 系統水が流入した可能性はない。



放射線廃棄物処理配管における接続調査結果

<p>1 8 福島第二原子力発電所4号機原子炉建屋燃料プール補給水系へ残留熱除去冷却系調圧タンク (A) 非常用補給水配管ベント配管における接続</p>	<p>調査結果の概要</p>
<p>対策</p> <p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する。 ○現在の設計管理、工事監理の仕組みに加え、継続的な教育によるトリチウムに対する意識向上により、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p>	<p>[確認された事象] ○燃料プール補給水系 (FPMUW) から残留熱除去冷却系 (RHRC) の調圧タンク (A) への供給ライン上に設置されているベント配管が、放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続されていることが確認された。 [推定原因] ○建設当時から現在までの設計の考え方は、FPMUW の排水先は放射性液体廃棄物処理系のファンネルへ導くこととしているが、当該ベント配管の近傍に放射性液体廃棄物処理系のファンネルがなかったことから、ベント配管の接続箇所をプラントメーカーで再検討した結果、FPMUW は基本的に放射性核種をほとんど含まないことから、SDファンネルへ接続する設計としたものと推定される。なお、建設当時はトリチウムの放出管理に対する認識が低かったことを確認した。</p>
<p>放出放射能評価</p> <p>○トリチウムの放出濃度 ・過去の FPMUW の機器点検における水張り操作の際、ベント弁を開操作して満水確認を行ったことから、FPMUW 系統水が SD ファンネルに計 13 回排出された。 ・このときの排水量を配管の容積より保守的に 1,220cm³/回と仮定して評価した結果、SD 受タンクから放出されるトリチウム濃度は約 0.0085Bq/cm³ と評価され、検出限界値 (0.04 Bq/cm³) 未満となった。 ○法令との比較 ・法令で定める周辺監視区域外の水中の濃度限度 (60Bq/cm³) と比較すると、本事例で放出されるトリチウム濃度 (約 0.0085Bq/cm³) は約 7,000 分の 1 となる。</p>	<p>[系統概略図]</p> <p>燃料プール補給水系 (トリチウム含む) 残留熱除去冷却系 (トリチウム含まず) 本来接続すべきであったライン 誤接続と確認されたライン</p>
<p>外部への影響</p> <p>○放出されるトリチウム濃度は検出限界値未満であることから、本事例は周辺環境へ影響を与えるものではない。</p>	<p>ベント配管</p>

放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

<p>1 9</p>	<p>福島第二原子力発電所4号機原子炉建屋 燃料プール補給水系へ残留熱除去冷却系調圧タンク (B) 非常用補給水配管ベント配管における接続</p>
<p>調査結果の概要</p>	<p>対 策</p>
<p>[確認された事象]</p> <p>○燃料プール補給水系 (FPMUW) から残留熱除去冷却系 (RHRC) の調圧タンク (B) への供給ライン上に設置されているベント配管が、放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続されていることが確認された。</p> <p>[推定原因]</p> <p>○建設当時から現在までの設計の考え方では、FPMUW の排水先は放射性液体廃棄物処理系のファンネルへ導くこととしているが、当該ベント配管の近傍に放射性液体廃棄物処理系のファンネルがなかったことから、ベント配管の接続箇所をプラントメーカーで再検討した結果、FPMUW は基本的に放射性核種をほとんど含まないことから、SDファンネルへ接続する設計としたものと推定される。なお、建設当時はトリチウムの放出管理に対する認識が低かったことを確認した。</p>	<p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する。</p> <p>○現在の設計管理、工事監理の仕組みに加え、継続的な教育によるトリチウムに対する意識向上により、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p>
<p>[系統概略図]</p>	<p>放出放射能評価</p>
<p>純水補給水系 (MUJWP) より</p> <p>残留熱除去冷却系 (RHRC) 調圧タンク (B)</p> <p>残留熱除去冷却系 (RHRC) B系へ</p> <p>放射性液体廃棄物処理系ファンネル</p> <p>境界弁</p> <p>使用済燃料プールへ</p> <p>燃料プール補給水系 (FPMUW) ポンプ</p> <p>復水貯蔵タンク</p> <p>ベント配管</p> <p>SD ファンネル</p> <p>放射性液体廃棄物処理系ファンネル</p> <p>RS-7003</p> <p>4号機CS/B SD(B)</p>	<p>○トリチウムの放出濃度</p> <ul style="list-style-type: none"> 過去の FPMUW の機器点検における水張り操作の際、ベント弁を開操作して満水確認を行ったことから、FPMUW 系統水が SD ファンネルに計 13 回排出された。 このときの排水量を配管の容積より保守的に 410cm³/回と仮定して評価した結果、SD 受タンクから放出されるトリチウム濃度は約 0.0029Bq/cm³ と評価され、検出限界値 (0.04 Bq/cm³) 未満となった。 <p>○法令との比較</p> <ul style="list-style-type: none"> 法令で定める周辺監視区域外の水中の濃度限度 (60Bq/cm³) と比較すると、本事例で放出されるトリチウム濃度 (約 0.0029Bq/cm³) は約 20,000 分の 1 となる。
<p>外部への影響</p> <p>○放出されるトリチウム濃度は検出限界値未満であることから、本事例は周辺環境へ影響を与えない。</p>	<p>○法令との比較</p> <ul style="list-style-type: none"> 法令で定める周辺監視区域外の水中の濃度限度 (60Bq/cm³) と比較すると、本事例で放出されるトリチウム濃度 (約 0.0029Bq/cm³) は約 20,000 分の 1 となる。

放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

<p>20</p>	<p>福島第二原子力発電所4号機 原子炉建屋放射性ドレン移送系 R/B付属棟低電導度廃液サンプA出口流量検出器ドレン配管における接続</p>
<p>調査結果の概要</p>	<p>対策</p>
<p>[確認された事象]</p> <p>○放射性ドレン移送系 (RD) のR/B付属棟低電導度廃液サンプA出口流量計*1のドレン配管が、放射性液体廃棄物処理系ファンネルに接続されるべきところ、SDファンネルに接続されていることを確認した。</p> <p>*1：R/B内機器からのドレン水などを処理するサンプピットの出口流量を検出する配管で、検出配管には流量検出器側から純水 (MUWP) が充填されている。</p> <p>[推定原因]</p> <p>○建設時から現在までの設計の考え方では、計器ドレンの排出先は計測対象のプロセス流体 (RD) を処理する場合と同じ放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続することになっており、建設時には、その考え方にしたがって放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続するよう設計されていた。</p> <p>○施工の際に放射性液体廃棄物処理系ファンネルの手にSDファンネルがあり、ファンネル番号も酷似していたことから、誤ってこれに接続したものと推定される。</p>	<p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する、または、当該ドレン配管を閉止する。</p> <p>○現在の設計管理、工事監理の仕組みに加え、継続的な教育によるトリチウムに対する意識向上により、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p>
<p>[系統概略図]</p>	<p>放出放射能評価</p>
<p>プロセス流体 (RD：橙色部) と検出配管の充填水 (純水：水色部) は接しているため、プロセス流体が検出配管内に拡散することが懸念されるが、検出配管内の充填水は静止流体であり接触面積が極わずかであること、且つ検出配管長が長いことから、計器点検及び交換時にドレンとして排出される可能性のある充填水にプロセス流体は含まれておらず、排出したドレンは純水と考えられる。</p> <p>なお、検出器点検後は、計器テスト弁から純水を充填し、プロセス側の母管まで計器配管を逆流させるように水張り操作を行う。</p>	<p>○トリチウムの放出濃度</p> <ul style="list-style-type: none"> 過去の点検実績は、10回であった。 計器交換での排水は、純水と考えられるが水抜き時に排出される量を保守的に200cm³と仮定して評価した結果、SD受タンクから放出されるトリチウム濃度は約0.001Bq/cm³と評価され、検出限界値 (0.04 Bq/cm³) 未満となった。 <p>○法令との比較</p> <ul style="list-style-type: none"> 法令で定める周辺監視区域外の水中の濃度限度 (60Bq/cm³) と比較すると、本事例で放出されるトリチウム濃度 (約0.001Bq/cm³) は約60,000分の1となる。
<p>外部への影響</p> <p>○放出されるトリチウム濃度は検出限界値未満であることから、本事例は周辺環境へ影響を与えていない。</p>	<p>放射能ドレン移送系 (トリチウム含む)</p> <p>検出配管 (純水充填部)</p> <p>本来接続すべきライン</p> <p>誤接続と確認されたライン</p>

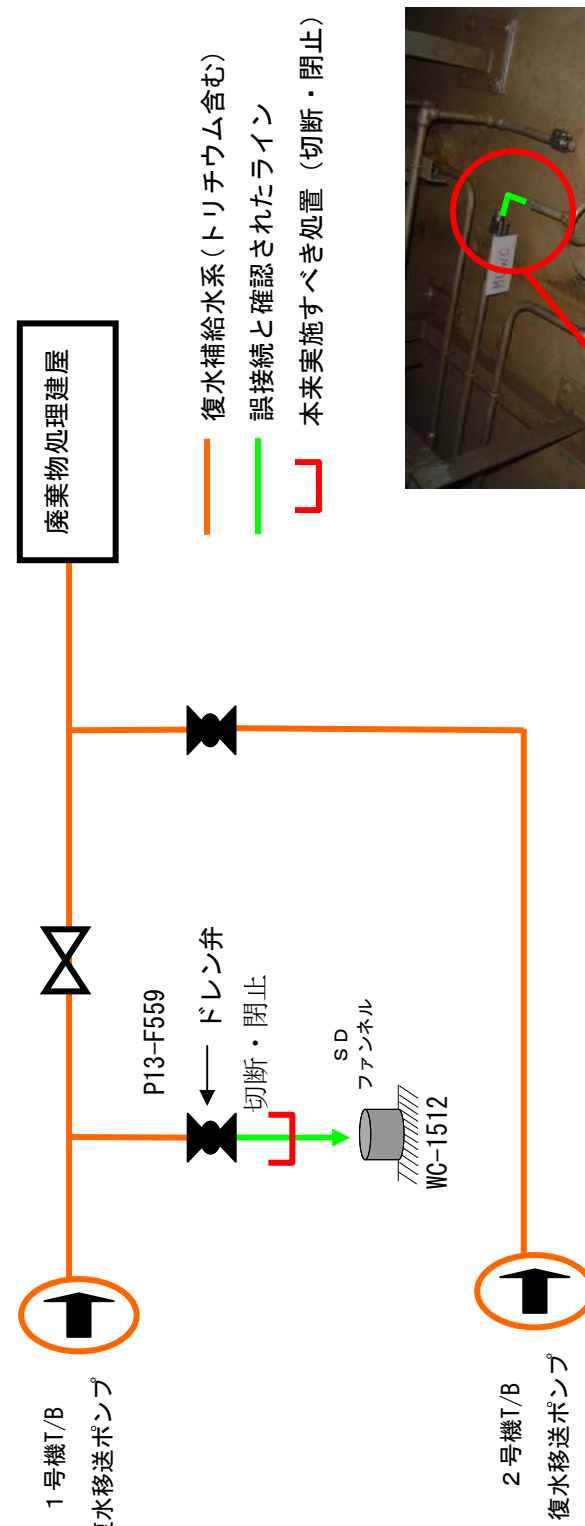

放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

21～24	福島第二原子力発電所1, 2号機廃棄物処理建屋 再生水補給水系ドレン配管における接続 (①, ②, ③, ④)
調査結果の概要	<p>対策</p> <p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する。 ○現在の設計管理、工事監理の仕組みに加え、継続的な教育によるトリチウムに対する意識向上により、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p>
[確認された事象]	<p>○再生水補給水系 (MUWT) ドレン配管が、放射性液体廃棄物処理系ファンネルに接続されるべきところSDファンネルに接続されていることが確認された。</p>
[推定原因]	<p>○建設当時から現在の設計の考え方では、MUWT ドレンの排出先は、放射性液体廃棄物処理系のファンネルへ導くこととされているが、当該ドレン箇所近傍に放射性液体廃棄物処理系のファンネルがなかったことから、ドレン配管の接続箇所をプラントメカで再検討した結果、MUWT は基本的に放射性核種をほとんど含まないことから、SDファンネルへ接続する設計としたと推定される。なお、建設当時は、トリチウムの放出管理に対する認識が低かったことを確認した。</p>
[系統概略図]	<p>放出放射能評価</p> <p>○トリチウムの放出濃度</p> <ul style="list-style-type: none"> ・これまでの運用を確認した結果、当該SDファンネルへの排出実績がないことからトリチウムの放出はなかった。 <p>○法令との比較</p> <p>—</p>
外部への影響	<p>これまでの運用を確認した結果、当該ドレン弁の操作実績がないことからSDファンネルへの排出はなかった。</p> <p>既定措置としてSDファンネルから切り離し閉止キャップを取付</p> <p>① WC-5003 ② WC-5007 ③ WC-5008 ④ WC-5009</p> <p>高電導度 (HCW) 濃縮器</p> <p>— 再生水補給水系 (トリチウム含む) - - - 本来接続すべきライン — 誤接続と確認されたライン</p>

放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

25	福島第二原子力発電所1号機トレンチ内 再生水補給水系ドレン配管における接続
調査結果の概要	<p>〔確認された事象〕</p> <p>○再生水補給水系 (MUWT) のドレン配管が、放射性液体廃棄物処理系ファンネルに接続されるべきところ、SDファンネルに接続されていることが確認された。</p> <p>〔推定原因〕</p> <p>○建設当時から現在までの設計の考え方では、MUWT ドレンの排出先は、放射性液体廃棄物処理系のファンネルへ導くこととしていたが、当該ドレン箇所近傍に放射性液体廃棄物処理系のファンネルがなかったことから、ドレン配管の接続箇所をプラントメーカーが再検討した結果、MUWT は基本的に放射性核種をほとんど含まないことから、SDファンネルへ接続する設計としたと推定される。なお、建設当時は、トリチウムの放出管理に対する認識が低かったことを確認した。</p> <p>〔系統概略図〕</p>
対策	<p>○当該ドレン配管を切断・閉止しSDファンネルと隔離した。今後、当該ドレン配管を使用しないこととした。</p> <p>○現在の設計管理、工事監理の仕組みに加え、継続的な教育によるトリチウムに対する意識向上により、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p>
放出放射能評価	<p>○トリチウムの放出濃度</p> <ul style="list-style-type: none"> ・これまでの運用を確認した結果、当該SDファンネルへの排出実績がないことからトリチウムの放出はなかった。 <p>○法令との比較</p> <p>—</p>
外部への影響	<p>外部への影響</p>

放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

<p>26</p>	<p>福島第二原子力発電所1号機トレンチ内 復水補給水系ドレン配管における接続</p>	<p style="text-align: center;">調査結果の概要</p> <p>[確認された事象] ○復水補給水系(MUWC)のドレン配管が、本来は閉止等処置されるべきところSDファンネルに接続されていることが確認された。</p> <p>[推定原因] ○当該配管は MUWC 系統の建設時の耐圧試験、配管洗浄作業に使用した清浄な水の排出用にSDファンネルに接続されたもので、運転開始以降は使用しないためSDファンネルから切り離すべきであったが、建設時の作業が完了した後に切断・閉止の処置が行われないうまま現状に至ったものと推定される。なお、建設当時は、トリチウムの放出管理に対する認識が低かったことを確認した。</p> <p>[系統概略図]</p>  <p style="text-align: right;"> ○ 復水補給水系 (トリチウム含む) ○ 誤接続と確認されたライン ○ 本来実施すべき処置 (切断・閉止) </p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> これまでの運用を確認した結果、当該ドレン弁の操作実績がないことからSDファンネルへの排出はなかった。 </div> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> SD ファンネルから切り離し閉止キヤップ取付を実施 </div> 	<p style="text-align: center;">対策</p> <p>○当該ドレン配管を切断・閉止しSDファンネルと隔離した。今後、当該ドレン配管を使用しないこととした。</p> <p>○現在の設計管理、工事監理の仕組みに加え、継続的な教育によるトリチウムに対する意識向上により、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p> <p style="text-align: center;">放出放射能評価</p> <p style="text-align: center;">外部への影響</p>
-----------	---	--	---

放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

<p>27 柏崎刈羽原子力発電所1号機 格納容器酸素分析計ドレン配管における接続</p>	<p>調査結果の概要</p>
<p>対策</p>	<p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する。 ○現在は、サンプリングメカによる施工図書の作成後に、プラントメカ設計者が確認を行うよう改善されており、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p>
<p>放出放射能評価</p>	<p>○トリチウムの放出濃度 ・D/W内雰囲気にはサプレッションプール水が蒸発したトリチウムを含む湿分が微量に存在するが、今回接続が確認された配管からはD/Wからサンプリングしたガス中の湿分の凝縮水（ドレン）がファンネルへ排出される。ドレンの発生量を210cm³/月と仮定して、SD収集タンクから放出されるトリチウム濃度を保守的に評価した結果、濃度は約2.4×10⁻³Bq/cm³と評価され、検出限界値(1.4×10⁻¹Bq/cm³)未満となった。 ○法令との比較 ・法令で定める周辺監視区域外の水中の濃度限度(60Bq/cm³)と比較すると、本事例で放出されるトリチウム濃度(約2.4×10⁻³Bq/cm³)は約20,000分の1となる。</p>
<p>外部への影響</p>	<p>○放出されるトリチウムの濃度は検出限界値未満であることから、本事例は周辺環境へ影響を与えない。</p>

[確認された事象]
○D/W酸素分析計ドレン配管が、放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続されるべきところ、SDファンネルに接続されている箇所が1箇所確認された。

[推定原因]
○プラントメカの設計では、放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続することとしていたが、当該分析計が設置されたラックの詳細設計が遅くなってしまい、ラック近傍に放射性液体廃棄物処理系のファンネルが設置されなかった。建設時に、当該分析計の設置工事を実施するサンプリングメカが施工図書を作成したが、サンプリングメカとプラントメカとの間で十分な調整及び整合性確認がないまま、施工図書に接続先を近傍のSDファンネルと記載し、そのまま施工されてしまった。

[系統概略図]

原子炉格納容器
空間部のN₂を吸引
空間部のN₂を吸引
脱湿されたN₂が戻る

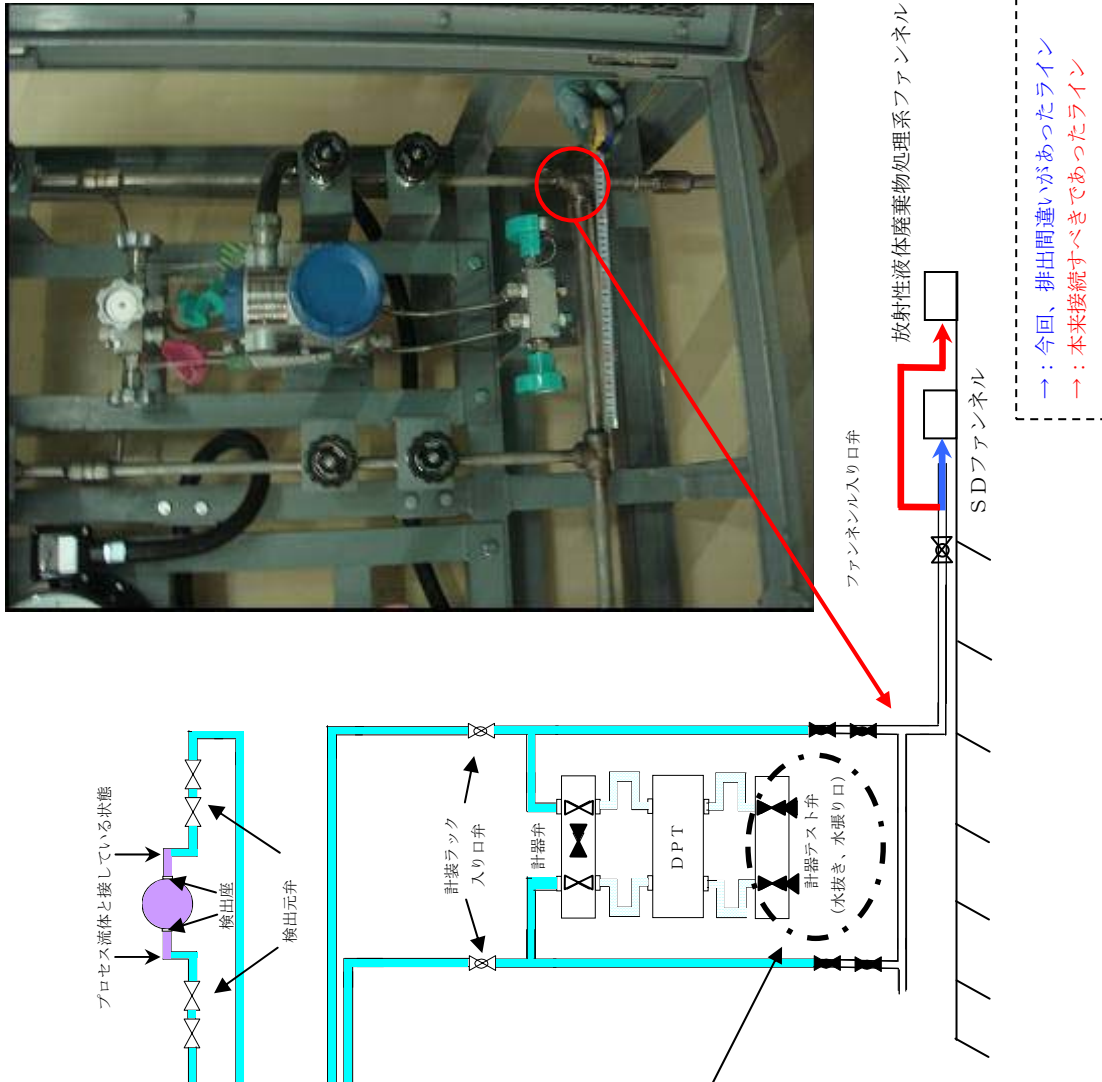
冷却器
ポンプ
O₂ 酸素分析計
凝縮水 約210cm³/月 発生

液体放射性廃棄物処理系
ファンネル
スチームドレンファンネル
スチームドレン収集タンク
高電濃度廃液収集タンク
ポンプ
放水口
高電濃度廃液収集タンク
高電濃度廃液サンプリング

今回、排出間違いが確認されたライン
本来、接続すべきであったライン

放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

28	柏崎刈羽原子力発電所1号機 原子炉隔離時冷却系蒸気管差圧検出配管ドレン配管における接続
調査結果の概要	対策
<p>[確認された事象]</p> <p>○原子炉隔離時冷却系蒸気管差圧検出配管*1のドレン配管が、放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続されている箇所が1箇所確認された。</p> <p>*1：RCICタービンの駆動蒸気の差圧を検出する配管で、検出配管には水位検出器側から純水(MUWP)が充填されている。</p> <p>[推定原因]</p> <p>○計器ドレンの排出先は、計測対象のプロセス流体を処理する場合と同じ放射性液体廃棄物処理系へ接続すべきであるが、設計当時の考えの方が文書で明確化されていなかったため、当該箇所は設計段階からSDFファンネルに接続されたものと推定される。</p>	<p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する。</p> <p>○現在の設計においては、ドレン接続先をプロセス流体のドレン接続先とあわせることを明確にしており、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p>
[系統概略図]	放出放射能評価
<p>プロセス流体（RCIC駆動蒸気）と検出配管の充填水（純水）は接しているため、プロセス流体が検出配管内に拡散することが懸念されるが、検出配管内の水は静止流体であり接触面積が極わずかであること且つ検出配管長が長いことから、計器点検時にドレンとして排出される可能性のある計器廻りの水中にプロセス流体は含まれておらず、排出したドレンは純水と考えられる。</p>	<p>放出放射能評価</p> <p>○トリチウムの放出濃度</p> <ul style="list-style-type: none"> 通常の点検手順においてプロセス流体をSDFファンネルに流すことはないが、SDFファンネルに排出することが可能な配管構造となっていることから、計器からのドレンの全量がプロセス流体且つ計器点検時に排出されるドレン量を210cm³と保守的に仮定して、SDF収集タンクから放出されるトリチウム濃度を評価した結果、濃度は約2.4×10⁻³Bq/cm³と評価され、検出限界値（1.4×10⁻¹Bq/cm³）未満となった。 <p>○法令との比較</p> <ul style="list-style-type: none"> 法令で定める周辺監視区域外の水中の濃度限度（60Bq/cm³）と比較すると、本事例で放出されるトリチウム濃度（約2.4×10⁻³Bq/cm³）は約20,000分の1となる。
<p>計器点検後のインサービスにあたっては、計器テスト弁から純水を充填し、プロセス側の母管まで計器配管を逆流させるように水張り操作を行う。</p>	<p>外部への影響</p> <p>○トリチウムが仮に放出されたとしても、その濃度は検出限界値未満であることから、本事例は周辺環境へ影響を与えないものではない。</p>



放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

29	柏崎刈羽原子力発電所1号機 燃料プール浄化系スキマサージタンク水位計配管ドレン配管における接続
<p>[確認された事象]</p> <p>○燃料プール冷却浄化系(FPC)スキマサージタンク水位計配管のドレン配管が、放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続されるべきところ、SDファンネルに接続されている箇所が1箇所確認された。</p> <p>[推定原因]</p> <p>○計器ドレンの排出先は、計測対象のプロセス流体を処理する場合と同じ放射性液体廃棄物処理系へ接続すべきであるが、設計当時はその考え方が文書で明確化されていなかったため、当該箇所は設計段階からSDファンネルに接続されたものと推定される。</p>	<p>調査結果の概要</p>
<p>[系統概略図]</p>  <p>計器点検後のインササービスにあたっては、計器テスト弁から純水を充填し、プロセス側の母管まで計装配管を逆流させるように水張り操作を行う。</p> <p>プロセス流体 (FPC系統水) と検出配管の充填水 (純水) は接しているため、プロセス流体が検出配管内に拡散することが懸念されるが、検出配管内の水は静止流体であり接触面積が長いことから、計器点検時にドレンとして排出される可能性のある計器廻りの水中にプロセス流体は含まれておらず、排出したドレンは純水と考えられる。</p>	<p>放出放射能評価</p> <p>○トリチウムの放出濃度</p> <ul style="list-style-type: none"> 通常の点検手順においてプロセス流体をSDファンネルに流すことはないが、SDファンネルに排出することが可能な配管構造となっていることから、計器からのドレンの全量がプロセス流体且つ計器点検時に排出されるドレン量を、370cm³と保守的に仮定して、SD収集タンクから放出されるトリチウム濃度を評価した結果、濃度は約4.2×10⁻³Bq/cm³と評価され、検出限界値(1.4×10⁻¹Bq/cm³)未満となった。 <p>○法令との比較</p> <ul style="list-style-type: none"> 法令で定める周辺監視区域外の水中の濃度限度(60Bq/cm³)と比較すると、本事例で放出されるトリチウム濃度(約4.2×10⁻³Bq/cm³)は約10,000分の1となる。
<p>外部への影響</p> <p>○トリチウムが仮に放出されたとしても、その濃度は検出限界値未満であることから、本事例は周辺環境へ影響を与えない。</p>	<p>対策</p> <p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する。</p> <p>○現在の設計においては、ドレン接続先をプロセス流体のドレン接続先とあわせることを明確にしており、同様な不具合は発生しないものと考えられる。</p>

放射性廃棄物処理配管における接続調査結果

<p>30</p>	<p>柏崎刈羽原子力発電所5号機 再生水補給水系ドレン配管における接続</p>	<p>調査結果の概要</p>	<p>対策</p>
<p>[確認された事象]</p> <p>○平成12年のアクシデントマネジメント対策*1工事に伴って追設した再生水補給水系*2のドレン配管がSDファンネルに接続されている箇所が1箇所確認された。</p> <p>*1：アクシデントマネジメント対策とは、事故発生時、それがシビアアクシデントに拡大するのを防いだり、シビアアクシデントに拡大した場合でも、その影響を緩和するための措置。</p> <p>*2：原子炉一次系の水を再生したものでガンマ核種は検出限界以下であるがトリチウムは含まれている。</p>		<p>○当該ドレン配管を改造し放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続する。</p> <p>○現在の当社の設計レビューにて確認している運用に係る系外放出の有無を設計レビューにて確認する運用になっているため、現在の設計では同様の事象は発生しないものと考えられる。</p>	
<p>[推定原因]</p> <p>○誤接続が確認された箇所の基本として、配管計装線図(P&ID)を起こしたプラントメーカーは、一般的な認識としてMUWT系のドレン配管を放射性液体廃棄物処理系のファンネルに接続するものと認識していたが、詳細設計を行った企業が現場調査した際に、当該箇所近傍に予定していた放射性液体廃棄物処理系のファンネルがなかったため、近傍にあったSDファンネルに接続することとした。現場施工をした企業は詳細設計の通りに施工し、SDファンネルに接続することに疑問を持たなかった。</p> <p>当社は、MUWT系は基本的にはトリチウム以外の放射性核種は含まれないことや、当時はトリチウムの放出管理に対する認識が低かったことから、SDファンネルに接続することに疑問を持たなかった。</p>		<p>放出放射能量評価</p> <p>○トリチウムの放出濃度</p> <ul style="list-style-type: none"> 平成12年11月1日に施工後の通水確認として当該ドレン配管にMUWT系の水を流している。ドレンの全量がMUWT系の水であり且つSDサンプルへの流入量を7300cm³(元弁069弁からホースコネクタシヨンまでとドレン配管の体積の2倍)と保守的に仮定して、SD収集タンクから放出されるトリチウム濃度を評価した結果、濃度は約3.9×10⁻³Bq/cm³と評価され、検出限界値(1.4×10⁻¹Bq/cm³)未満となった。 <p>○法令との比較</p> <ul style="list-style-type: none"> 法令で定める周辺監視区域外の水中の濃度限度(60Bq/cm³)と比較すると、本事例で放出されるトリチウム濃度(約3.9×10⁻²Bq/cm³)は約1,000分の1となる。 	
<p>[系統概略図]</p> <p>RPV：原子炉圧力容器 CRD：制御棒駆動系</p> <p>—：新設箇所</p>		<p>外部への影響</p> <p>○放出されるトリチウムの濃度は検出限界値未満であることから、本事例は周辺環境へ影響を与えないものではない。</p>	

要因分析表

事象	要因	時期	調査結果	評価	評価
トリチウム管理上の問題		昭和51年以前	昭和51年に「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量率自主的評価指針」が(原子力委員会)により制定される以前は、平常運転時の原子炉施設周辺の線量率自主的評価指針が第一的な手法となっていた。放射性気体廃棄物の放出に際しては線量評価を行ない、年間のSv(mSv)レベルを十分下回っていることを確認する一方、放射性液体廃棄物の放出に際しては線量評価を行っておらず、放出前に放射能濃度を測定し、復水器冷却水路における測定値が「核燃料物質・核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に定められた水中許容濃度以下になることを確認した上で、復水器冷却水で希釈して放出することのみを定めていた。	○	重(原子力委員会)により放射性物質の測定指針や評価指針が制定される以前は、トリチウムの放出管理に対する認識はなかったと推定される。したがって、この当時の設計時や施工時においては、トリチウムの放出管理の認識の低さにより、接続先のファンネルを誤った可能性がある。
		昭和51年頃～昭和62年頃	「発電用軽水型原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針」が(原子力委員会)により制定されることとなったことにより、昭和51年頃より自主的評価指針が第一的な手法となっていた。また、昭和51年に「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量率自主的評価指針」が(原子力委員会)により制定されることとなったことにより、昭和51年頃より自主的評価指針が第一的な手法となっていた。	○	指針が制定されて以降も、プラントの運転管理に大きく関与する指針ではなかったことから、トリチウムの放出管理に対する認識はなかったと推定される。したがって、この当時の設計時や施工時においては、トリチウムの放出管理の認識の低さにより、接続先のファンネルを誤った可能性がある。
設計上の問題	液体収集区分に関する設計	～現在	昭和62年に資源エネルギー庁より「発電用原子炉施設保安規定(放射性物質の放出)に関する指針」が(原子力委員会)により制定されたことにより、トリチウムについても7年間間の放出管理基準値を保安規定に定めて放出重量(総量)管理を実施することとなった。	△	トリチウムについては、放出管理基準値を保安規定に定めて放出重量(総量)管理することとなったことにより、トリチウムの放出管理に対する認識はなかったと推定される。したがって、この当時の設計時や施工時においては、トリチウムの放出管理の認識の低さにより、接続先のファンネルを誤った可能性がある。
		2F3.4Dの建設以前	昭和62年に資源エネルギー庁より「発電用原子炉施設保安規定(放射性物質の放出)に関する指針」が(原子力委員会)により制定されたことにより、トリチウムについても7年間間の放出管理基準値を保安規定に定めて放出重量(総量)管理を実施することとなった。	×	放射線の系統と非放射性の系統の境界近傍より廃液を排出する場合は、当該排出位置が非放射性の系統に属する場合であっても、その廃液を放射性液体廃棄物処理系のファンネルに導くことが明確ではなかった。
ファンネル接続の発生	基本構成	2F3.4Dの建設以前	放射線の系統と非放射性の系統の境界近傍より廃液を排出する場合には、境界系の閉閉条件や不具合を考慮し、当該排出位置が非放射性の系統に属する場合であっても、その廃液を放射性液体廃棄物処理系のファンネルに導くことが明確ではなかった。	×	放射線の系統と非放射性の系統の境界近傍より廃液を排出する場合は、接続先のファンネルを誤った可能性がある。
		KK2.5Dの建設以前	計測対象が放射性流体の場合には、計器からの排水を放射性液体廃棄物として処理することの考え方が明確ではなかった。	○	計測対象が放射性流体の場合、計器からの排水は、計測対象と同様に放射性液体廃棄物として処理することの考え方が明確ではなかったこと、放射性流体の排出位置も計測位置と異なり、計器管理は排水で測定されていることから、接続先のファンネルを誤った可能性がある。
施工上の問題	排水配管の施工	KK2.5Dの建設以前	計測対象が放射性流体の場合には、計器からの排水を放射性液体廃棄物として処理することの考え方が明確ではなかった。	×	現場において、多数のドレン、ベント配管等の接続先のファンネルを決定する際、トリチウムの放出管理に対する認識不足と相まって、設計時に誤って接続先のファンネルを誤った可能性がある。
		KK2.5Dの建設以前	計測対象が放射性流体の場合には、計器からの排水を放射性液体廃棄物として処理することの考え方が明確ではなかった。	×	現場において、多数のドレン、ベント配管等の接続先のファンネルを決定する際、トリチウムの放出管理に対する認識不足と相まって、設計時に誤って接続先のファンネルを誤った可能性がある。
当社における品質管理の問題	設計管理 工事監理	平成15年以前	2Fの建設当時は、ドレン、ベント配管等の詳細設計に参立し、線量の着工前には、設計に基づきドレン、ベント配管等の設置位置が決定され、詳細設計が確定しており、これに基づき施工監理が作成され、施工がなされるようになってきたことから、現場におけるファンネルの設置状況を確認しながら、ドレン、ベント配管等の接続先のファンネルを決定し、施工されたものが多数あった。	○	当社において設計管理マニュアルおよび工事監理マニュアルが制定される以前は、設計段階において、当社は、系統からの排水にあたっての要求事項を明確しておらず、ファンネルに接続される配管の排水先が設計上正しく、さらに設計通りに施工されていることを当社が確認していなかったため、設計時や施工時に誤って接続先のファンネルを誤った可能性がある。
		平成15年以降	設計に係る当社の品質管理としては、平成15年に当社において設計管理基本マニュアルが制定され、設計に係る品質管理が強化されるようになった。また、KK1の建設当時は、品質管理として、品質管理計画を策定し、品質管理が強化された。また、KK1の建設当時は、品質管理として、品質管理計画を策定し、品質管理が強化された。また、KK1の建設当時は、品質管理として、品質管理計画を策定し、品質管理が強化された。また、KK1の建設当時は、品質管理として、品質管理計画を策定し、品質管理が強化された。	×	当社において設計管理マニュアルおよび工事監理マニュアルが制定される以前は、設計段階において、当社は、系統からの排水にあたっての要求事項を明確しておらず、ファンネルに接続される配管の排水先が設計上正しく、さらに設計通りに施工されていることを当社が確認していなかったため、設計時や施工時に誤って接続先のファンネルを誤った可能性がある。
教育の問題		～現在	設計管理基本マニュアルの制定により、取り扱う流体の種類、放射能濃度等に際してシステムの種類を設計することが定められ、それまでの建設段階の中で整備された廃液管理に関する当社からの要求事項が明確になり、プラントメーカーにおける設計基本と合わせて、設計管理に係る品質管理が強化された。	○	トリチウム管理の重要性についての意識醸成が、当社、プラントメーカーならびに施工会社において浸透しなかったため、トリチウムの放出管理に対する認識不足となり、設計時や施工時に誤って接続先のファンネルを誤った可能性がある。

※1F:福島第一原子力発電所、2F:福島第二原子力発電所、KK:柏崎刈羽原子力発電所

時代的背景を踏まえた整理

		S41	S42	S43	S44	S45	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53	S54	S55	S56	S57	S58	S59	S60	S61	S62	S63	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16
福島第一	1号機	[Green Bar]																																						
	2号機	[Green Bar]																																						
	3号機	[Green Bar]																																						
	4号機	[Green Bar]																																						
	5号機	[Green Bar]																																						
	6号機	[Green Bar]																																						
福島第二	1号機	[Yellow Bar]																																						
	2号機	[Yellow Bar]																																						
	3号機	[Yellow Bar]																																						
	4号機	[Yellow Bar]																																						
柏崎刈羽	1号機	[Purple Bar]																																						
	2号機	[Purple Bar]																																						
	3号機	[Purple Bar]																																						
	4号機	[Purple Bar]																																						
	5号機	[Purple Bar]																																						
	6号機	[Purple Bar]																																						
	7号機	[Purple Bar]																																						
トリチウムの管理	測定管理	トリチウム濃度を自主的に測定 ただし放出管理基準値はなし																																						
	線量評価	トリチウムを管理する考えがない 設置許可上での線量評価なし(トリチウム含む) 設置許可上で線量評価あり																																						
廃液収集区分	基本	廃液を放射性と非放射性に区分して収集し、処理するとの基本的な考え方あり																																						
	境界弁の配慮	境界弁の開閉操作や不具合に対する設計上の配慮が明確ではない (1F、2F-1/2まで明確ではなかった)																																						
	計装配管排水先の配慮	計測対象の性質で判断することが設計上明確ではない (1F、2F、KK-1まで明確ではなかった) 計測対象の性質で判断することが設計上明確																																						
補給水系の設計	基本	設計上、MUWP(純水補給水系・非放射性)系を採用 設計上、MUWC(復水補給水系・トリチウム含む)系を採用																																						
	新設計	設計上、FPMUW(燃料プール補給水系・トリチウム含む)系を採用 (2F-1~4、KK-1~5まで採用) 設計上、MUWT(再生水補給水系・トリチウム含む)系を採用 (2F-1~4、KK-1,2,5で採用)																																						
ペント・ドレン配管の施工方法	基本	現場のファンネル設置状況を確認しながらペント・ドレン配管の接続先を決定 (2F-1~4、KK-1まで採用) 建屋着工前にドレン・ペント配管の接続先を決定																																						
	新設計	ペント・ドレン配管の設計・施工に関する品質管理システムの整備が不十分 設計・施工に関する品質管理システムを強化 (設計管理・工事監理に関するマニュアル制定) (H15~)																																						
事故の発生時期	福島第一	[Timeline: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30]																																						
	福島第二	[Timeline: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30]																																						
	柏崎刈羽	[Timeline: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30]																																						

調査結果整理一覧表

下表における「要因」は以下のとおり

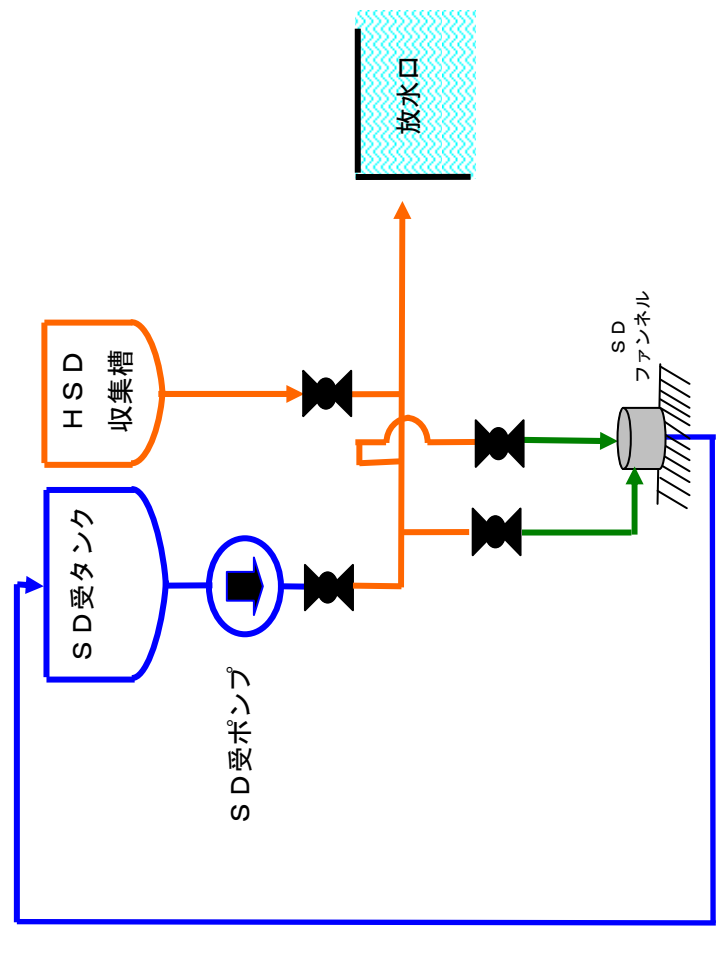
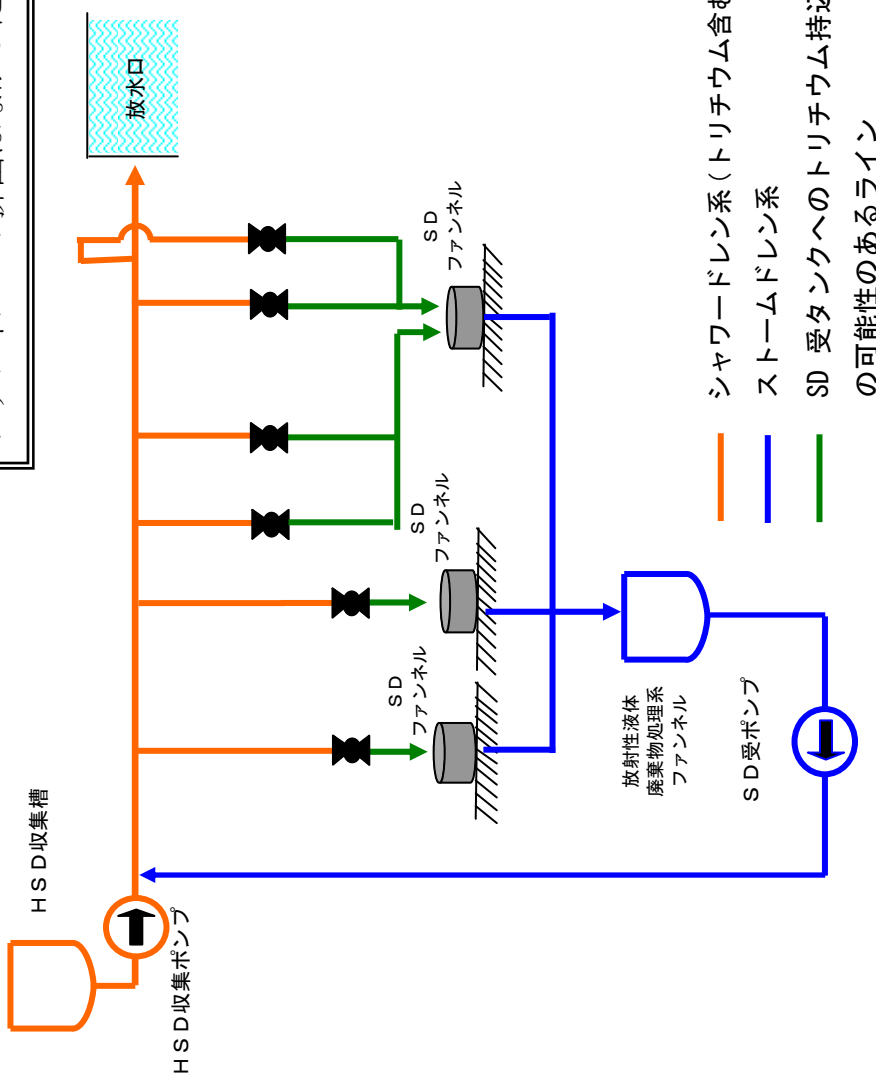
- ① 計装配管のベント配管の接続先の考え方が明確に文書化されていなかったため、設計段階で発生したものの
- ② 新設計(FPMUW、MUWT)の採用や教育不足によるトリウムに対する認識不足により発生したものの
- ③ 作業員の確認誤りにより発生したものの

	号機	建屋	No.	誤接続箇所	放射線実績 (放射性物質の有無を問わず)	放水量	放射性物質放出量	要因			参照資料			
								設計上の問題		施工上の問題				
								①	②	③		④		
福島第一	1号機	タービン建屋	1	低圧タービン入口圧力検出器ドレン配管	有	約4.2L/回	検出限界値未満と評価	○			添付資料-4-1			
				原子炉建屋	2	残留熱除去系-残留熱除去海水系連絡配管ドレン配管	無	-	-	○		添付資料-4-2		
						タービン建屋	3	タービングラウンドシール蒸気系ヘッダー圧力計装ラックドレン配管	有	約2.2L/回	検出限界値未満と評価	○		添付資料-4-3
								タービン建屋	4	タービングラウンドシール蒸気系ヘッダー圧力計装ラックドレン配管	有	約2.2L/回	検出限界値未満と評価	○
						タービン建屋	5			復水補給水系-消火系連絡配管におけるドレン・ベント配管	無	-	-	○
福島第二	1号機	タービン建屋	6	残留熱除去冷却系調圧タンク(A)廻りドレン配管	無			-	-	○(FPMUW)		添付資料-4-6		
			原子炉建屋	7	残留熱除去冷却系調圧タンク(B)廻りドレン配管	有	約10L/回	検出限界値未満と評価	○(FPMUW)		添付資料-4-7			
					タービン建屋	8	燃料プール補給水ポンプ出口流量検出器ドレン配管	有	各 約2.0L	検出限界値未満と評価		○	添付資料-4-8	
			タービン建屋	9			再生水補給水ドレン配管	有	約1700L/回	約 3.6×10^8 Bq 約 3.0×10^8 Bq	○(MUWT)		添付資料-4-9	
					タービン建屋	10	復水浄化系復水器過設備 補給水ドレン配管	有	約40L	約 1.1×10^7 Bq	○		添付資料-4-10	
			タービン建屋	11			復水浄化系過器圧力指示計ドレン配管	有	約3L/回	検出限界値未満と評価	○		添付資料-4-11	
					原子炉建屋	12	残留熱除去冷却系調圧タンク(A)廻りドレン配管	無	-	-	○(FPMUW)		添付資料-4-12	
			原子炉建屋	13			残留熱除去冷却系調圧タンク(B)廻りドレン配管	無	-	-	○(FPMUW)		添付資料-4-13	
					原子炉建屋	14	高圧炉心スプレッド補機冷却系サージタンク廻りドレン配管	無	-	-	○(FPMUW)		添付資料-4-14	
			原子炉建屋	15			復水補給水系 RPV/PCV注水流量検出器ドレン配管	有	各 約2.0L	検出限界値未満と評価		○	添付資料-4-15	
					原子炉建屋	16	復水器過器置流量及び圧力検出器ドレン配管	有	各 約1.5L	検出限界値未満と評価		○	添付資料-4-16	
原子炉建屋	17	非常用ディーゼル発電設備冷却系サージタンク(A)廻りドレン配管	無	-			-	○(FPMUW)		添付資料-4-17				
		原子炉建屋	18	燃料プール補給水系～残留熱除去冷却系調圧タンク(A)非常用補給水配管ベント配管	有	約1.22L/回	検出限界値未満と評価	○(FPMUW)		添付資料-4-18				
原子炉建屋	19			燃料プール補給水系～残留熱除去冷却系調圧タンク(B)非常用補給水配管ベント配管	有	約0.41L/回	検出限界値未満と評価	○(FPMUW)		添付資料-4-19				
		廃棄物処理建屋	5号機	原子炉建屋	20	放射性ドレン移送系 R/B付属低電導度廃液サンプA出口流量検出器ドレン配管	有	各 約0.2L	検出限界値未満と評価		○	添付資料-4-20		
原子炉建屋	21				1, 2号機 廃棄物処理建屋 再生水補給水系ドレン配管①	無	-	-	○(MUWT)		添付資料-4-21			
					原子炉建屋	22	1, 2号機 廃棄物処理建屋 再生水補給水系ドレン配管②	無	-	-	○(MUWT)		添付資料-4-21	
原子炉建屋	23						1, 2号機 廃棄物処理建屋 再生水補給水系ドレン配管③	無	-	-	○(MUWT)		添付資料-4-21	
					原子炉建屋	24	1, 2号機 廃棄物処理建屋 再生水補給水系ドレン配管④	無	-	-	○(MUWT)		添付資料-4-21	
原子炉建屋	25						1号機トレンチ内 再生水補給水系ドレン配管	無	-	-	○(MUWT)		添付資料-4-22	
					原子炉建屋	26	1号機トレンチ内 復水補給水系ドレン配管	無	-	-	○		添付資料-4-23	
原子炉建屋	27						格納容器酸素分析計ドレン配管	有	約0.21L	検出限界値未満と評価	○		添付資料-4-24	
					原子炉建屋	28	原子炉隔離時冷却系蒸気管差圧検出配管ドレン配管	有	約0.21L/回	検出限界値未満と評価	○		添付資料-4-25	
原子炉建屋	29						燃料プール浄化系スキマサージタンク水位計配管ドレン配管	有	約0.37L/回	検出限界値未満と評価	○		添付資料-4-26	
		原子炉建屋	30	再生水補給水系ドレン配管	有	約7.3L	検出限界値未満と評価		○(MUWT)	添付資料-4-27				
柏崎刈羽	1号機			原子炉建屋	28	原子炉隔離時冷却系蒸気管差圧検出配管ドレン配管	有	約0.21L/回	検出限界値未満と評価	○		添付資料-4-25		
5号機		原子炉建屋	29			燃料プール浄化系スキマサージタンク水位計配管ドレン配管	有	約0.37L/回	検出限界値未満と評価	○		添付資料-4-26		

福島第二原子力発電所におけるその他調査結果(その1)

号機	建屋	No.	確認箇所	放水実績 (放射性物質の有無を問わず)	事例
1号機	原子炉建屋	1	スチームドレン系放水口放出ラインドレン配管	無	①
		2	シャワードレン系放水口放出ラインドレン・ベント配管①	無	②
	3	シャワードレン系放水口放出ラインドレン・ベント配管②	無	②	
	4	シャワードレン系放水口放出ラインドレン・ベント配管③	無	②	
	5	シャワードレン系放水口放出ラインドレン・ベント配管④	無	②	
2号機	タービン建屋	6	シャワードレン系放水口放出ライン出口流量検出器ドレン配管	無	③
		7	シャワードレン系放水口放出ラインプロセス放射線モニタドレン配管①	無	④
		8	シャワードレン系放水口放出ラインプロセス放射線モニタドレン配管②	無	④
		9	シャワードレン系放水口放出ラインドレン・ベント配管①	無	②
		10	シャワードレン系放水口放出ラインドレン・ベント配管②	無	②
3号機	原子炉建屋	11	シャワードレン系放水口放出ラインドレン・ベント配管③	無	②
		12	シャワードレン系放水口放出ラインドレン・ベント配管④	無	②
		13	シャワードレン系放水口放出ラインドレン・ベント配管⑤	無	②
		14	シャワードレン系放水口放出ライン出口流量検出器ドレン配管	無	③
		15	スチームドレン系放水口放出ラインドレン配管	無	①
4号機	原子炉建屋	16	スチームドレン系受ポンプA吸い込みラインドレン配管	無	⑤
		17	スチームドレン系受ポンプB吸い込みラインドレン配管	無	⑤
廃棄物処理建屋	原子炉建屋	18	シャワードレン系放水口放出ラインベント配管	無	①
		19	シャワードレン系放水口放出ライン出口流量検出器ドレン配管	無	③
		20	1号トレンチ内 シャワードレン系放水口放出ラインドレン配管	無	①

福島第二原子力発電所におけるその他調査結果

事例 ①	シャワードレン系放水口放出ラインベント配管における接続	事例 ②	シャワードレン系放水口放出ラインドレン・ベント配管における接続
調査結果の概要		調査結果の概要	
<p>〔確認された事象〕</p> <p>○HSD放水口放出ベント・ドレン配管が、SDファンネルに接続されていることが、1号機、3号機、4号機、廃棄物処理建屋（1号トレンチ）で各々1箇所確認された。</p> <p>〔推定原因〕</p> <p>○設計の考え方は、当該配管はSDファンネルへ導くこととしており、この考え方通り詳細設計、施工されたことを確認した。</p> <p>○HSDより放水口へ放出する場合は、放出トリチウム放射能について測定管理を実施しているため、測定管理された水がSDファンネルよりSD受タンクを経由し放水口へ放出され、測定管理されたトリチウムのため管理されないトリチウムの放出の可能性はない。</p>	<p>〔確認された事象〕</p> <p>○HSD放水口放出ラインドレン・ベント配管が、SDファンネルに接続されていることが、1号機で4箇所、2号機で5箇所確認された。</p> <p>〔推定原因〕</p> <p>○設計の考え方は、当該配管はHSDファンネルまたはSDファンネルへ導くこととしており、この考え方通りに詳細設計、施工されたことを確認した。</p> <p>○HSD収集槽からHSD収集ポンプを経由し、放水口へ放出する場合は、放出トリチウム放射能について測定管理を実施しているため、測定管理された水がSDファンネルよりSD受タンクを経由し放水口へ放出されても、すでに測定管理されたトリチウムのため管理されないトリチウムの放出の可能性はない。</p>		
<p>〔系統概略図〕</p>  <p>これまでの運用を確認した結果、当該ドレン・ベント弁の操作実績がないことからSDファンネルへの排出はなかった。</p>	<p>〔系統概略図〕</p>  <p>これまでの運用を確認した結果、当該ドレン・ベント弁の操作実績がないことからSDファンネルへの排出はなかった。</p>		

福島第二原子力発電所におけるその他調査結果

<p>事例③</p> <p>シャワードレン系放水ライン出口流量検出器ドレン配管</p>	<p>調査結果の概要</p> <p>〔確認された事象〕</p> <p>○HSD放水ライン出口流量計*1のドレン配管が、SDファンネルに接続されている箇所が1号機、2号機、4号機で各々1箇所確認された。</p> <p>*1：放水ライン出口流量を検出する配管で、検出配管には流量検出器側からMUWWPが充填されている。</p> <p>〔推定原因〕</p> <p>○設計の考え方では、当該配管はHSDファンネルまたはSDファンネルへ導くことにより、この考え方に詳細設計、施工されたことを確認した。</p> <p>○HSDより放水ラインへ放出する場合は、放出トリチウム放射線量について測定管理を実施しているため、測定管理された水がSDファンネルよりSD受タンクを経由し放水ラインへ放出されるため、すでに測定管理されたトリチウムのため、管理されないトリチウムの放出の可能性はない。</p> <p>〔系統概略図〕</p> <p>プロセス流体（オレンジ色部）と検出配管の充填水（純水：ブルー色部）は接しているため、プロセス流体が検出配管内に拡散するこ とが懸念されるが、検出配管内の 充填水は静止流体であり接触面積 が極わずかであること且つ検出配 管長が長いことから、計器点検時 にドレンとして排出される可能性 のある充填水中にプロセス流体は 含まれておらず、排出したドレン は純水と考えられる。 なお、検出器点検後のインサート スにあたっては、計器テスト弁か ら純水を充填し、プロセス側の母 管まで計装配管を逆流させるよう に水張り操作を行う。</p> <p>〔確認された事象〕</p> <p>○液体廃棄物処理系排水放射線モニタサンプリングラックドレン配管ライン上に設置されて いるドレン配管がSDファンネルに接続されていることが1号機で2箇所（下図①、②） 確認された。</p> <p>〔推定原因〕</p> <p>○設計の考え方では、当該配管はHSDファンネルまたはSDファンネルへ導くことにより おり、この考え方に詳細設計、施工されたことを確認した。</p> <p>○HSDより放水ラインへ放出する場合は、放出トリチウム放射線量について測定管理を実施し ているため、測定管理された水がSDファンネルよりSD受タンクを経由し放水ラインへ放出 されるため、すでに測定管理されたトリチウムのため、管理されないトリチウムの放出の可 能性はない。</p> <p>〔系統概略図〕</p> <p>本来接続すべきライン SD受タンクへのトリチウム持込の 可能性のあるライン</p>
<p>事例④</p> <p>シャワードレン系放水ラインプロセス放射線モニタドレン配管</p>	<p>調査結果の概要</p> <p>〔確認された事象〕</p> <p>○HSD放水ライン出口流量計*1のドレン配管が、SDファンネルに接続されている箇所が1号機、2号機、4号機で各々1箇所確認された。</p> <p>*1：放水ライン出口流量を検出する配管で、検出配管には流量検出器側からMUWWPが充填されている。</p> <p>〔推定原因〕</p> <p>○設計の考え方では、当該配管はHSDファンネルまたはSDファンネルへ導くことにより、この考え方に詳細設計、施工されたことを確認した。</p> <p>○HSDより放水ラインへ放出する場合は、放出トリチウム放射線量について測定管理を実施しているため、測定管理された水がSDファンネルよりSD受タンクを経由し放水ラインへ放出されるため、すでに測定管理されたトリチウムのため、管理されないトリチウムの放出の可能性はない。</p> <p>〔系統概略図〕</p> <p>プロセス流体と シャワードレン系（HSD） 接続している状態</p> <p>〔確認された事象〕</p> <p>○液体廃棄物処理系排水放射線モニタサンプリングラックドレン配管ライン上に設置されて いるドレン配管がSDファンネルに接続されていることが1号機で2箇所（下図①、②） 確認された。</p> <p>〔推定原因〕</p> <p>○設計の考え方では、当該配管はHSDファンネルまたはSDファンネルへ導くことにより おり、この考え方に詳細設計、施工されたことを確認した。</p> <p>○HSDより放水ラインへ放出する場合は、放出トリチウム放射線量について測定管理を実施し ているため、測定管理された水がSDファンネルよりSD受タンクを経由し放水ラインへ放出 されるため、すでに測定管理されたトリチウムのため、管理されないトリチウムの放出の可 能性はない。</p> <p>〔系統概略図〕</p> <p>本来接続すべきライン SD受タンクへのトリチウム持込の 可能性のあるライン</p>

福島第二原子力発電所におけるその他調査結果

事例 ⑤	ストームドレン系受ポンプ吸い込みドレン配管における接続	ストームドレン系受ポンプ吸い込みドレン配管における接続
調査結果の概要		
<p>[確認された事象]</p> <p>○SD受ポンプ（A）（B）吸い込みドレン配管が、放射性液体廃棄物処理系ファンネルに接続されるべきところSDファンネルに接続されていることが3号機で計2箇所確認された。</p> <p>[推定原因]</p> <p>○設計の考え方では、SD受タンクに放射性物質が混入した場合に放射性液体廃棄物処理系にも排出出来るように、当該配管を放射性液体廃棄物処理系ファンネルに接続することになってきているが、詳細設計を確認したところ、当該ドレン配管の接続先がSDファンネルとなっていることから、詳細設計時の配慮が不足しており、そのまま施工されたものと推定した。</p> <p>○SD系統水は基本的に海水や純水といった非放射性流体を取り扱う管理区域内の機器からの排水であるため、SD受タンクへの放射性物質の混入の可能性はない。</p> <p>○万一SD受タンクに放射性物質が混入した後に当該ドレン配管から排出されたとしても、排水はSD受タンクに戻り放出前に放射能濃度を測定することから、トリチウムを含め放射性物質の放出の可能性はない。</p>		<p>[系統概略図]</p> <p>当該配管からの排出はSD系統水であり、SDファンネルへ排出されたとしてもSD受タンクへ戻り、SD系で放出されるため、トリチウムの放出のリスクはない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ストームドレン系 本来接続すべきライン SD受タンクへのトリチウム持込の可能性のあるライン

福島第二原子力発電所におけるその他調査結果（その2）

3号機 廃棄物処理補機冷却系サージタンクオーバーフロー配管における接続

調査結果の概要

〔確認された事象〕

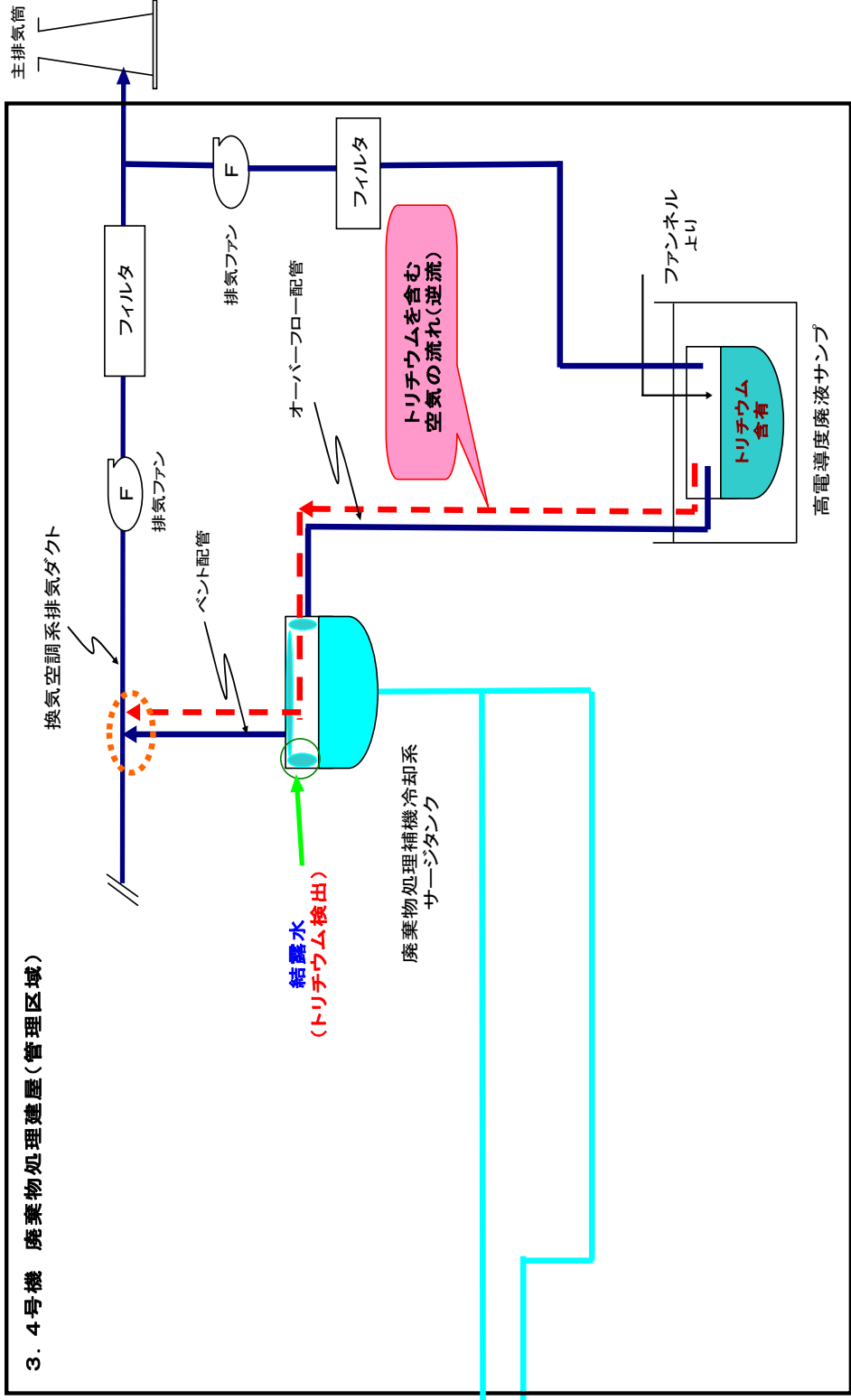
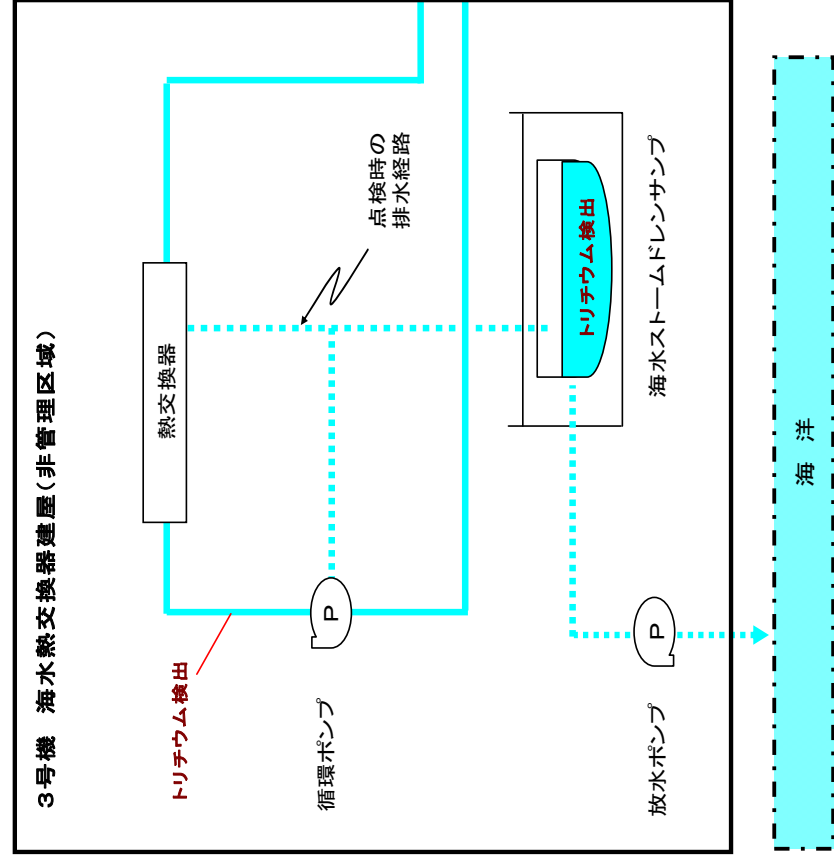
○平成21年11月18日、3・4号機の廃棄物処理補機冷却系（RWCW）の熱交換器（A）点検にあたり、系統内の水（非放射性）の水質分析を行ったところ、微量のトリチウム（濃度：0.96ベクレル/cm³）が検出されたことから、同系統のポンプ（A）点検にあたり系統内の水を移送した3号機海水熱交換器建屋内の海水ストームドレンサンプ水の水質分析を行ったところ、微量のトリチウム（濃度：0.31ベクレル/cm³）が検出された。

〔推定原因〕

○廃棄物処理補機冷却系サージタンクのオーバーフロー配管が、放射性液体廃棄物処理系のサンプ（高電導度廃液サンプ）に接続されていたこと。また、当該タンクのベント配管が廃棄物処理建屋の換気空調系排気ダクトに接続されていたことにより、同サンプ内のトリチウムを含む空気がオーバーフロー配管を逆流し、ベント配管の接続先である換気空調系排気ダクトに吸引され、当該タンク内で結露し凝縮水となり、RWCWの系統水に混入した。

○設計段階では当該タンクのベント配管は、大気開放もしくは換気空調系排気ダクトのどちらに接続しても問題ないと考えたが、当該タンクはRWCW系統水の温度変動による当該タンク水位の変動により、管理区域内の空気が当該タンク内へ流入することを防ぐことが必要と考え、当該タンクのベント配管を換気空調系排気ダクトへ接続することで、当該タンク内の水と管理区域内の空気との接触を避けるという安全側の設計を選択していた。また、当該タンクのオーバーフロー先としては非放射性・放射性どちらに接続しても問題ないこと、および3・4号機廃棄物処理建屋には、SD系が存在しないことから、当該タンクのオーバーフロー配管は、高電導度廃液サンプに接続する設計としており、この設計に基づき施工されていた。

〔系統概略図〕



廃棄物処理補機冷却系、高電導度廃液サンプ、換気空調系の概略系統構成およびトリチウム混入経路