

高温焼却炉建屋からの放射性物質を含む水の漏えいに係る原因と対策

TEPCO

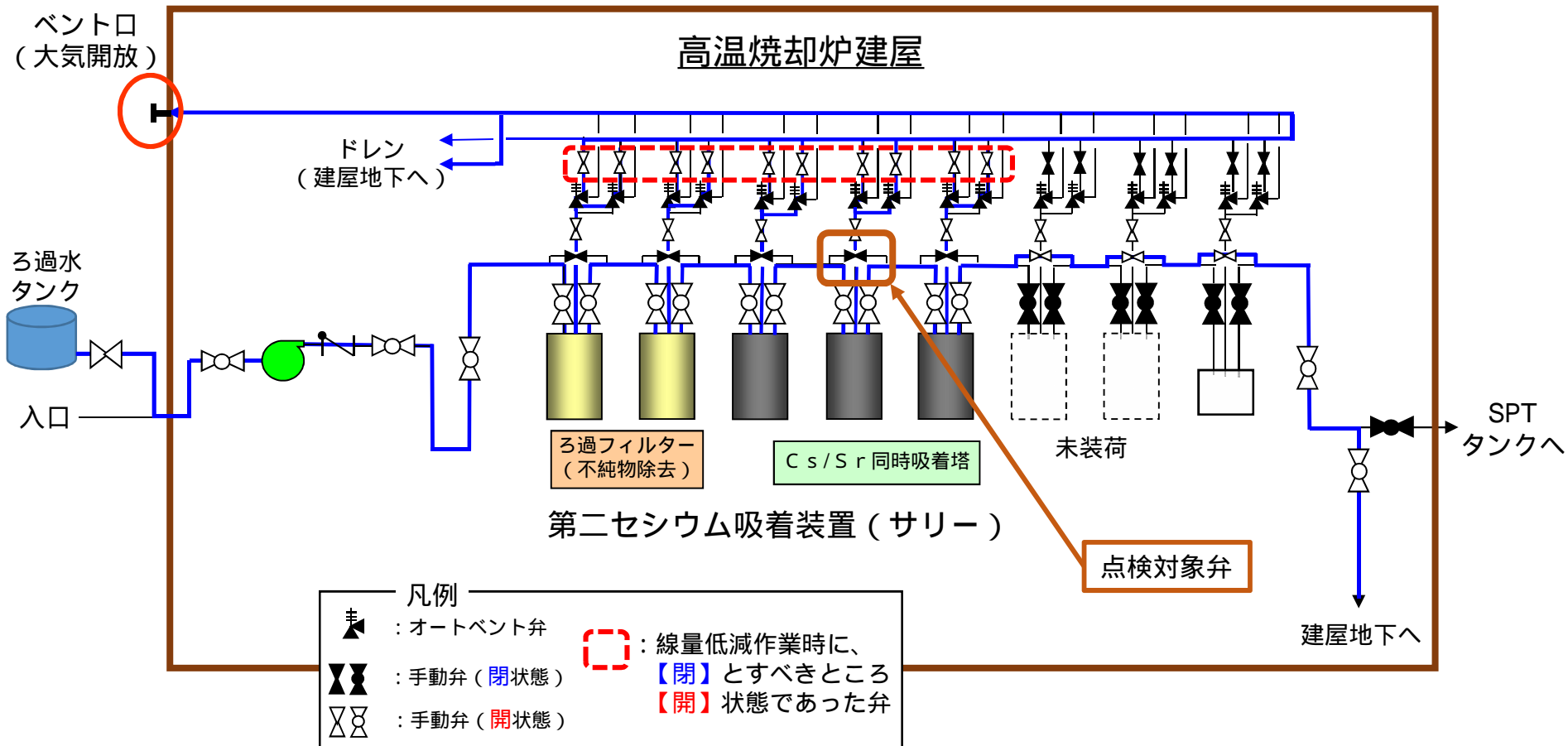
東京電力ホールディングス株式会社

1. 事案概要
 - 【補足】系統図（線量低減作業時）
 2. 時系列
 3. 漏えいした放射エネルギーの評価結果
 4. 原因
 5. 問題点
 6. 対策
 - 【補足】設備の改善イメージ
 7. 汚染拡大防止対策の実施状況
 - 【補足】汚染拡大防止対策の実施状況
-
- 【参考1】作業員の配置図（建屋内）
 - 【参考2】事案発見者の位置図（建屋外）
 - 【参考3】漏えいした放射エネルギーの評価内容

1 . 事案概要

- 2月7日、午前8時53分頃、協力企業作業員が、高温焼却炉建屋東側壁面の地上高さ約5mに設置している第二セシウム吸着装置（サリー）ベント口（吸着装置内で発生する水素の排出用）から、建屋外へ水が漏えいしていることを確認。
- 同時時間帯、停止中のサリーでは、弁点検のため、ろ過水の通水による線量低減作業が行われており、午前9時10分頃、ろ過水の元弁を閉めたことにより、午前9時16分頃、水の漏えい停止を確認。
- 漏えいした水は、ろ過水と混合した系統水であり、漏えい箇所の敷き鉄板上には約4m×4m×深さ1mmの範囲で水溜まりがあることを確認。鉄板の隙間から土壌へ漏えい水が染み込んだ可能性があるため、応急処置として当該エリアを区画することで立ち入り制限を実施。
- 作業員の身体汚染は無く、また、敷地境界モニタリングポストや連続ダストモニタ、排水路モニタに有意な変動がないことを確認しており、この漏えいに伴う外部への影響は確認されていないが、継続して各種モニタの監視を実施中（2月15日現在、外部への影響は確認されていない）。
- 2月7日、放射性物質の漏えい量を概略評価（漏えい量を約5.5m³として算出）した結果、全（Cs-137で評価）で約220億ベクレルと評価したことから、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第18条第11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。
- その後、放射性物質の漏えい量等を精査し、漏えい量を約1.5m³、Cs-137およびCs-134の総和で約66億ベクレルと評価した。
- 漏えいした水の処理については2月7日に漏えいした鉄板上の水溜まりの除去を完了した。2月8日から、地中に染み込んだ可能性がある土壌について掘削除去を開始しており、放射性物質の拡散リスクが高い箇所の対応は2月14日に完了した。なお、除去した土壌は専用の保管コンテナに格納し、瓦礫類と同様の管理を実施している。

【補足】系統図（線量低減作業時）



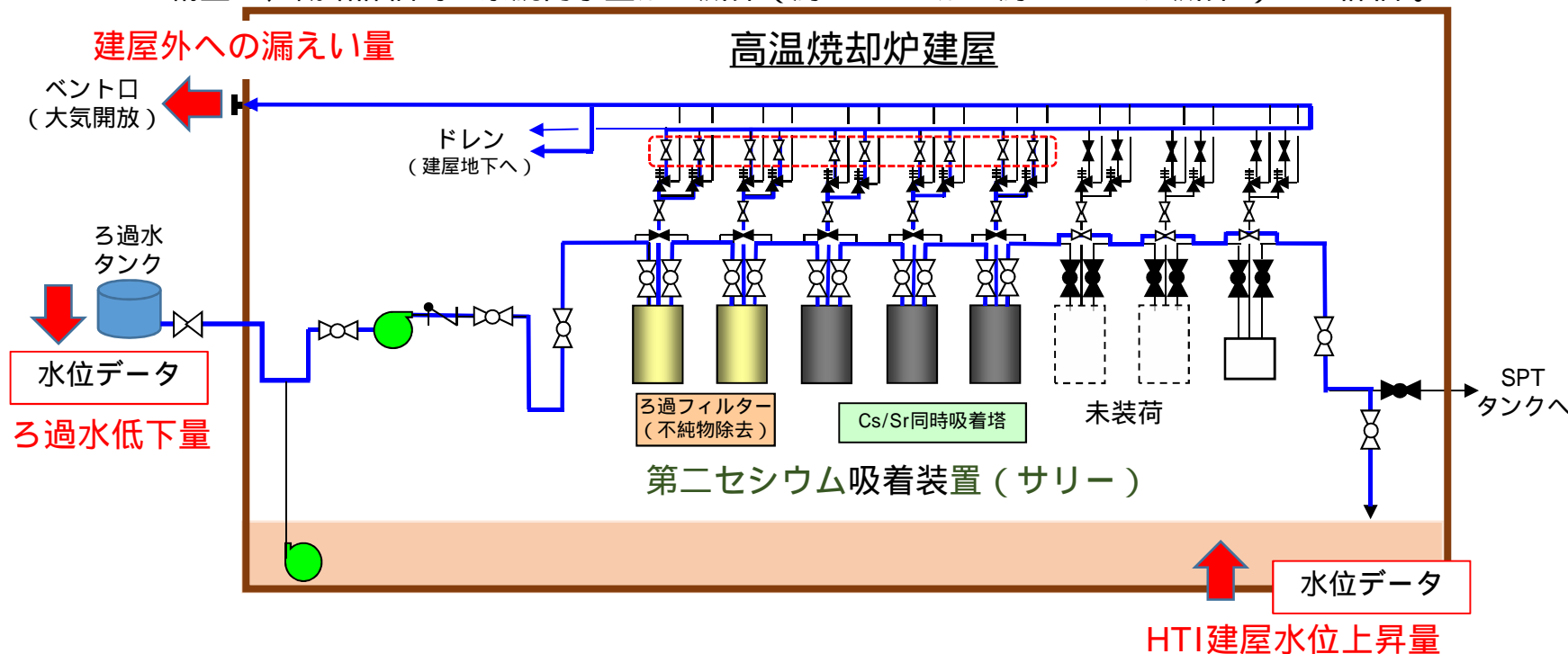
2 . 時系列

2月5日	14:17頃	<ul style="list-style-type: none"> サリー停止（運転計画）
	14:41頃	<ul style="list-style-type: none"> サリーのフィルターおよび吸着塔のドレン弁「開」・注意札取付
2月7日	7:00頃	<ul style="list-style-type: none"> TBM-KY
	8:07頃	<ul style="list-style-type: none"> 作業開始（協力企業から、主管Gおよび当直に作業開始連絡）
	8:15頃	<ul style="list-style-type: none"> 系統構成を実施
	8:33頃	<ul style="list-style-type: none"> ろ過水の元弁を「開」操作 高温焼却炉建屋への流入開始
	8:36頃	<ul style="list-style-type: none"> ろ過水による線量低減作業の為のポンプ起動
	8:53頃	<ul style="list-style-type: none"> 協力企業作業員が高温焼却炉建屋東側壁面のベント口から水が漏えいしていることを確認 協力企業作業員から、緊急時対策本部に漏えいについて報告
	8:54頃	<ul style="list-style-type: none"> ポンプ停止
	9:10頃	<ul style="list-style-type: none"> ろ過水の元弁を「閉」操作
	9:15頃	<ul style="list-style-type: none"> 高温焼却炉建屋への流入停止
	9:16頃	<ul style="list-style-type: none"> 当直員が現場を確認し、配管からの漏えい停止を確認
	9:37頃	<ul style="list-style-type: none"> 漏えい箇所周辺に区画（関係者立ち入り禁止）を実施
	10:50頃	<ul style="list-style-type: none"> 漏えいした水のスミア測定の結果から系統水及びろ過水と判断
	10:59頃	<ul style="list-style-type: none"> 漏えい箇所近傍のK排水路モニタ、MPおよび敷地境界連続ダストモニタの指示値に有意な変動がないことを確認（ただし、近傍の構内連続ダストモニタで僅かな変動が見られた）
	15:50頃	<ul style="list-style-type: none"> 1F規則18条11項に該当すると判断し通報
20:00頃	<ul style="list-style-type: none"> 敷鉄板上の水の回収を完了 	
2月8日	16:50頃	<ul style="list-style-type: none"> 土壌の回収を開始
2月14日	-	<ul style="list-style-type: none"> 放射性物質の拡散リスクが高い箇所の対応を完了

3 . 漏えいした放射エネルギーの評価結果

- 漏えい量 : 約 1.5m^3 (2024/2/7概略評価値 : 約 5.5m^3)
 - 分析実績を有する主要核種で評価
Cs-134 : 約 $1.1\text{E}+08$ ベクレル , Cs-137 : 約 $6.5\text{E}+09$ ベクレル , Sb-125 : 約 $8.5\text{E}+05$ ベクレル
Sr-90 : 約 $4.2\text{E}+09$ ベクレル , H-3 : 約 $2.2\text{E}+08$ ベクレル , 全 : 約 $2.2\text{E}+04$ ベクレル
(2024/2/7概略評価値 : 約 $2.2\text{E}+10$ ベクレル値 : 全 (Cs-137で評価))
放射エネルギーは、系統内水は全てろ過水に置換されたものとして算出
法令報告対象 全 : $1.0\text{E}+8$ ベクレル

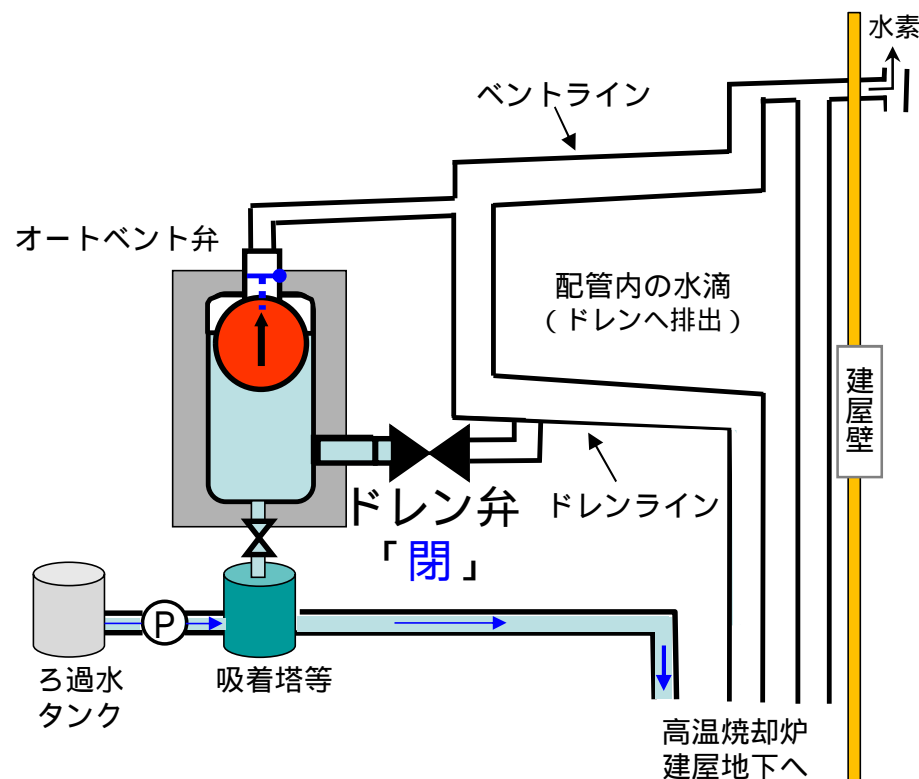
- 評価概要
 - 漏えい量は、ろ過水タンク水位低下量と高温焼却炉建屋水位上昇量から評価。ろ過水使用量を精査し、当該作業以外における使用量 (約 4m^3) を、概略評価時の漏えい時間における低下量から減算 (約 17.6m^3 から約 13.6m^3 に減算) して評価。
 - 放射エネルギーは、系統内水の放射能濃度と漏えい量から算出。設計図書より吸着塔等の容器内保有水量を精査し、概略評価時の系統内水量から減算 (約 9.12m^3 から約 8.15m^3 に減算) して評価。



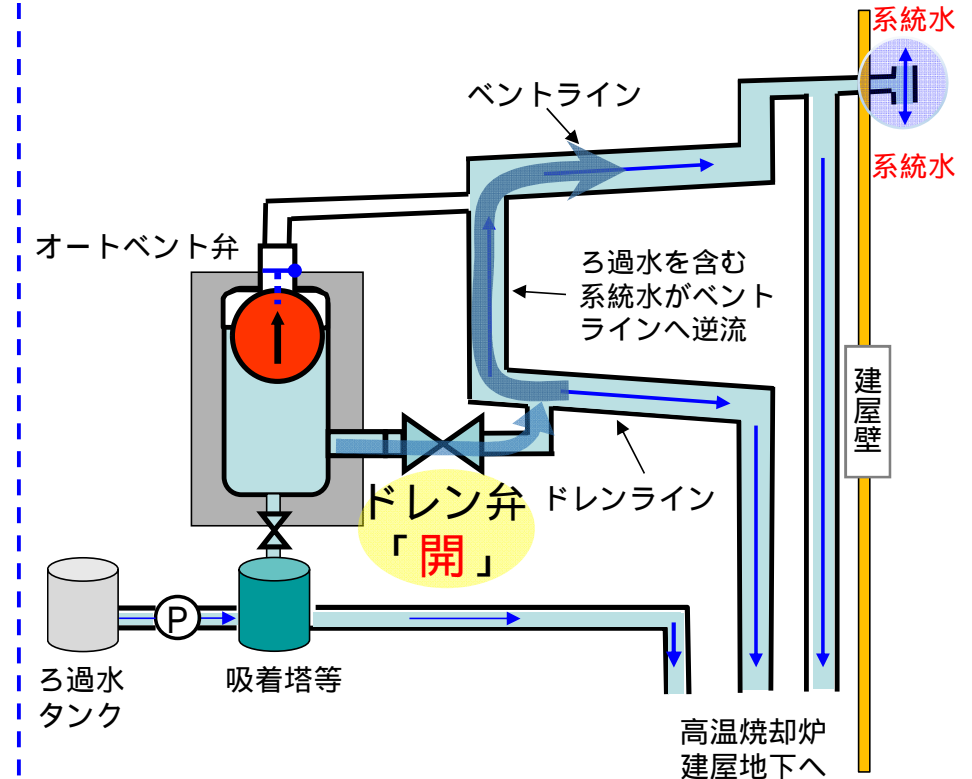
4 . 原因

- 弁開放点検前の線量低減を目的とした”線量低減作業”を、フィルターおよび吸着塔のドレン弁（計10箇所）が「開」状態のまま実施。
- ドレン弁が「開」であったため、系統水がドレンラインへ流入。
- ドレンラインを経由して、高温焼却炉建屋地下へ排出しきれなかった系統水が、ベントラインへ逆流し、ベント口からの建屋外へ漏えいに至った。

線量低減作業時(正常時)



線量低減作業時(本事案発生時)



5 . 問題点 (1 / 2)

(1) 手順書作成段階の問題点

- 今回の作業前の系統構成 (1) の作業責任は、当社保全部門となっていた。当社保全部門は、設計図書に基づき手順書を作成しており、操作や確認の手順自体に誤りはないが現場状態と一致した適切な手順書となっていなかった。

具体的には、現場の弁状態を反映し、当該弁を『「開」から「閉」に操作する』とするべきだったところ、今回の手順書では、当該弁は『「閉」を確認する』となっていた。

(1) 系統構成：作業に当たり作業対象範囲を系統から切り離すために境界弁を閉める等の安全処置のこと

(背後要因)

- 当社では、設備の保全作業前の系統構成は原則、設備の運用・状態を把握している運転部門が実施している。
- 福島第一原子力発電所では、事故発生後に現場が高線量となり、作業量も増大したことから、運転員の被ばく線量を抑制する必要があり、上記の原則に加え、保全部門 (協力企業を含む) も系統構成を担う運用を独自に行っている。
- こうした経緯から、今回の系統構成の作業責任は当社保全部門となっていた。
- 当社運転部門は、当該弁について、サリー系統の運転中は「閉」、停止後直ちに保全作業 (線量低減作業等) を実施しない場合は、吸着塔等に水素が滞留することを防止するために「開」として運用しており、注意札 (2) を弁に取り付けている。

(2) 注意札 (コーショントグ) : 機器の隔離や通常状態と異なる操作を実施する場合に用いる札

- 当社保全部門は、当社運転部門に対して、最新の現場状態に関する問い合わせが不十分だったため、適切な手順書の作成に至らなかった (3) 。

(3)

当社運転部門は、手順書を確認し、操作や確認の手順自体に誤りが無いことを確認したが、当該弁の現場状態が手順書と異なっていることまで思いが至らず、当該弁が「開」であることを伝えられなかった。

5 . 問題点 (2 / 2)

(2) 現場作業段階の問題点

- 作業員（弁確認者）は、手順書に従い、ヒューマンエラーを防止するための手法（ 1 ）を活用しながら弁の確認行為は行っていたが、弁番号と手順書が一致していることの確認に留まり、弁が「閉」状態でないことを見落とした。

(背後要因)

- 手順書では線量低減作業開始前に当該弁の『「閉」を確認する』とされていた。
- 本作業は当該元請企業により定期的に行われていたが、至近数年の実績では「閉」状態で作業が開始されていた。
- 作業員（手順確認者）は、これまでの経験から、当該弁が常に「閉」状態であると認識していた。作業前日の手順書読み合わせの際、作業員（弁確認者）に対して当該弁は、これまで「閉」状態であったと伝えていた。
- 作業員（手順確認者・弁確認者）2名は、このような認識により、弁が「閉」状態でないことを見落とし、注意札も見落とした。また、高線量下の作業であることから早く作業を終えたいとの意識もあった。



- (1)
ヒューマンパフォーマンスツール (HPT)
: 指差呼称、操作前の立ち止まりなど、
ヒューマンエラーを起こさないような
基本動作のふるまい、手法

6 . 対策 (1 / 3)

(1) 当社の管理面の対策

今回の事案を踏まえ、高い濃度の液体放射性物質を取り扱う作業（汚染水処理設備、ALPS等）においては、当社運転部門が作業前の系統構成（ 1 ）を一元的に実施する。

当社保全部門は、設備図書を確認するだけでなく、現場状況をタイムリーに把握し、手順書を作成し、当社運転部門へ作業前の系統構成（ 1 ）を依頼する。

当社運転部門は、作業前の系統構成（ 1 ）を一元的に実施し、当社保全部門へ引き継ぐ。

当社保全部門は、当社運転部門が行った系統構成（ 1 ）を、作業前に確認する。

（ 1 ）系統構成：作業に当たり作業対象範囲を系統から切り離すために境界弁を閉める等の安全処置のこと

(2) 当社の組織面の対策

- 水処理に関する設計と保全を担うグループを整理・統合し、一元管理する体制として「水処理センター」を設置することを計画中（実施計画変更認可申請を予定）。
- 「水処理センター」内に、これまでの通常の原子力発電所の設備・運用には存在しない水処理設備に特化した「水処理安全品質担当」を配置する（外部から招聘することも検討）ことで、水処理全体の安全と品質を高めていく。

(3) 協力企業への対応

今回の事案を踏まえ、設備操作・状態確認の重要性と、操作・確認を行う際の基本動作の徹底を現場作業員まで浸透させる。

- 当該企業は以下の改善処置を行う。当社は改善処置の履行状況を確認する。
 - 当該事例を元に事例検討を継続的に実施し、基本動作の徹底の重要性を習得させる。
 - 設備操作を実施する作業員全てに対してHPTの教育を直ちに実施する。
 - 当該企業の事業所長自らのパトロール等にて、基本動作の実施状況や作業責任者・作業班長の指揮・指導状況について、監督・指導する。
- 当社は、当該企業に対して、設備操作を行うに当たっての目的・操作の心得（設備操作・状態確認の重要性）を継続的に教育し浸透を図る。
- 当社は、水平展開として、高い濃度の液体放射性物質を取り扱う設備の操作（汚染水処理設備、ALPS等）を行う企業に対しても同様の教育を行う。
- 当社は、今回のような思い込みの排除をするため、当社が講師となって、所員・協力企業向けに実施中の「安全文化（さらなる安全向上を目指して）」研修を加速して展開する。

2月15日、福島第一原子力発電所にて、当社社長が協力企業に対して「基本動作の徹底、現場・現物を徹底し、疑問に思ったら声をあげ、確認し、一旦立ち止まる」ことを、直接お願いした。

6 . 対策 (3 / 3)

(4) 設備面の対策

建屋外に直接開放している現状のベント口については、今回のような事案が起きても、建屋内の管理された区域に排出する構造に変更し、水素滞留防止のための建屋換気口を追設する。

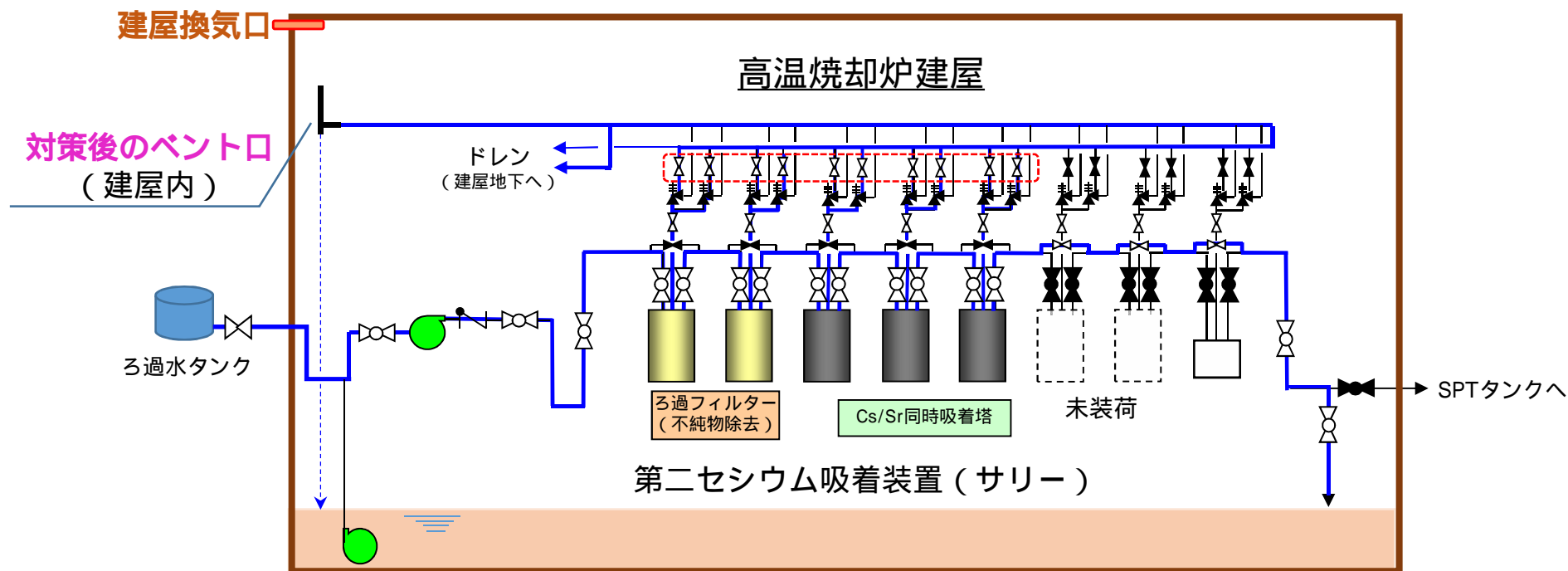
これらの再発防止対策については、社長直轄の原子力安全監視室（外部有識者も招聘）において、実効性を精査する。

【補足】設備の改善イメージ

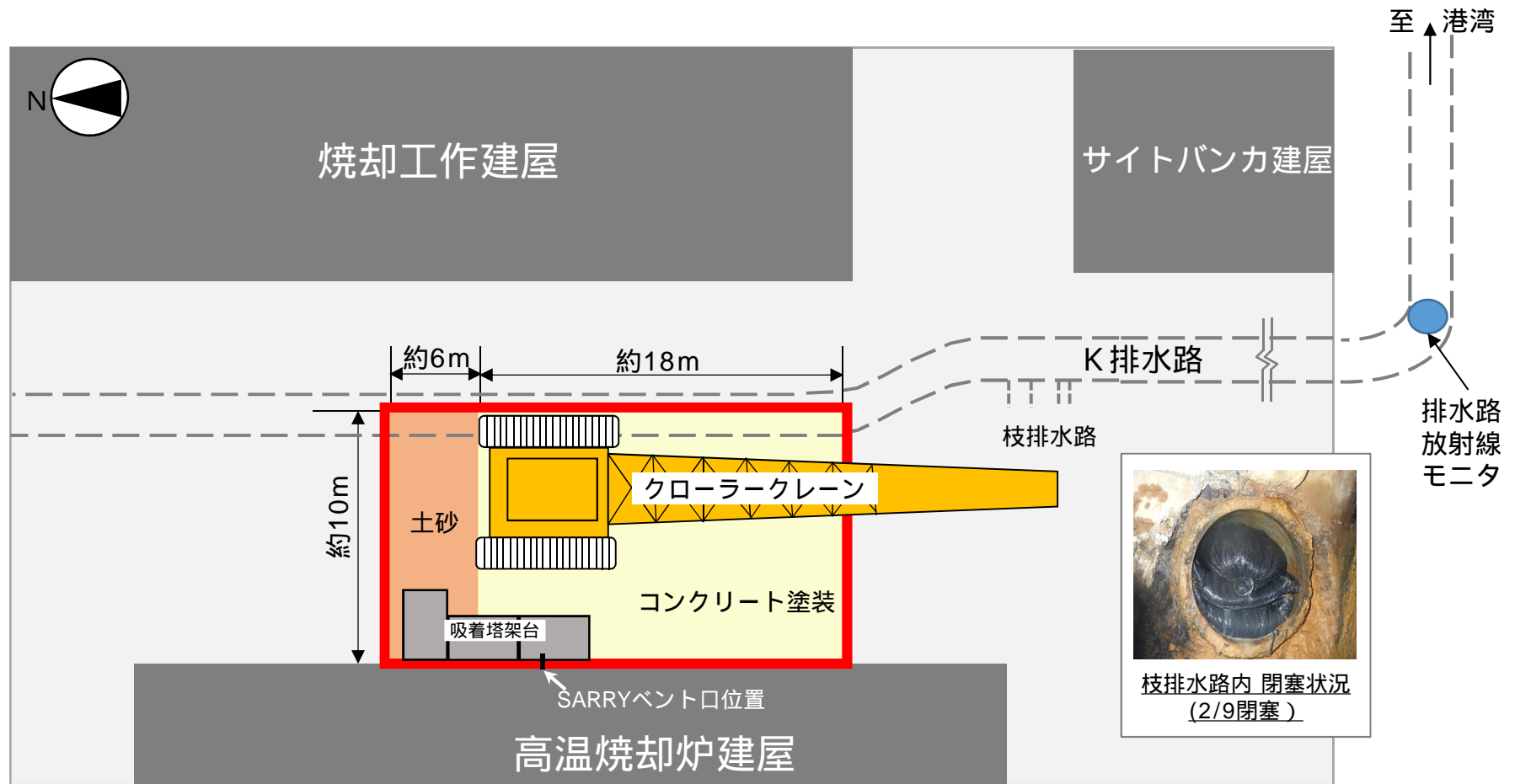
- 本事案を踏まえて、設備面に関する改善検討を実施。なお、検討にあたり以下を考慮。
 - 高い濃度の液体放射性物質を屋外に漏えいさせないこと
 - 既存設備にて求められる仕様要求を満足すること（停止中に発生する吸着塔内の水素を滞留させないこと）

設備改善イメージ

- ✓ ベントラインの一部を切断して、ベント口を建屋内とする
- ✓ ベント口が建屋内となり、建屋内で水素滞留をさせないため、壁面に水素を大気開放させるための建屋換気口を設ける



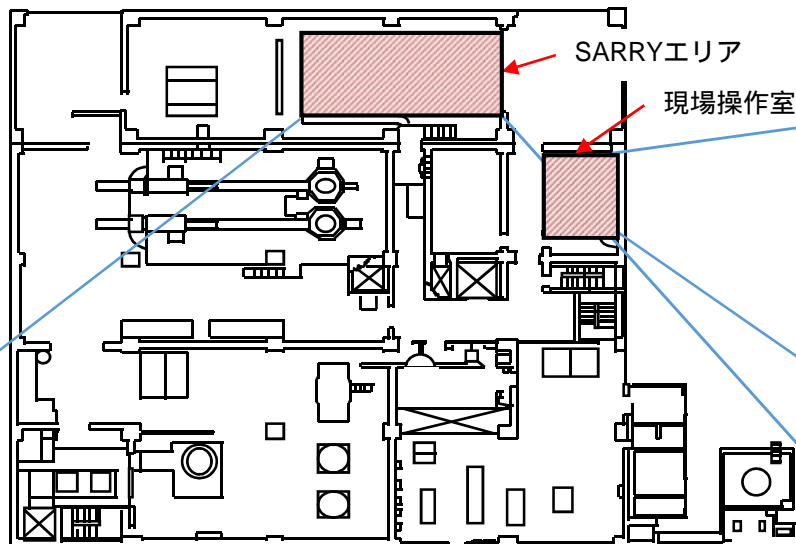
【補足】汚染拡大防止対策の実施状況



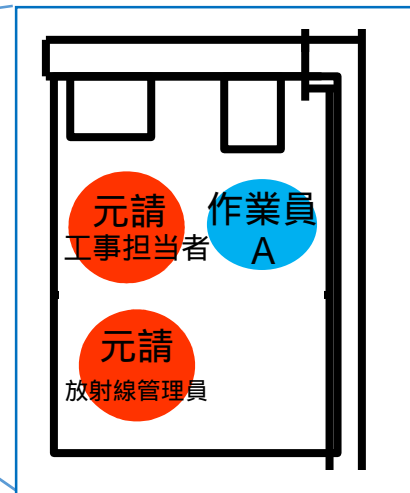
【参考1】作業員の配置図（建屋内）



高温焼却炉建屋概要図

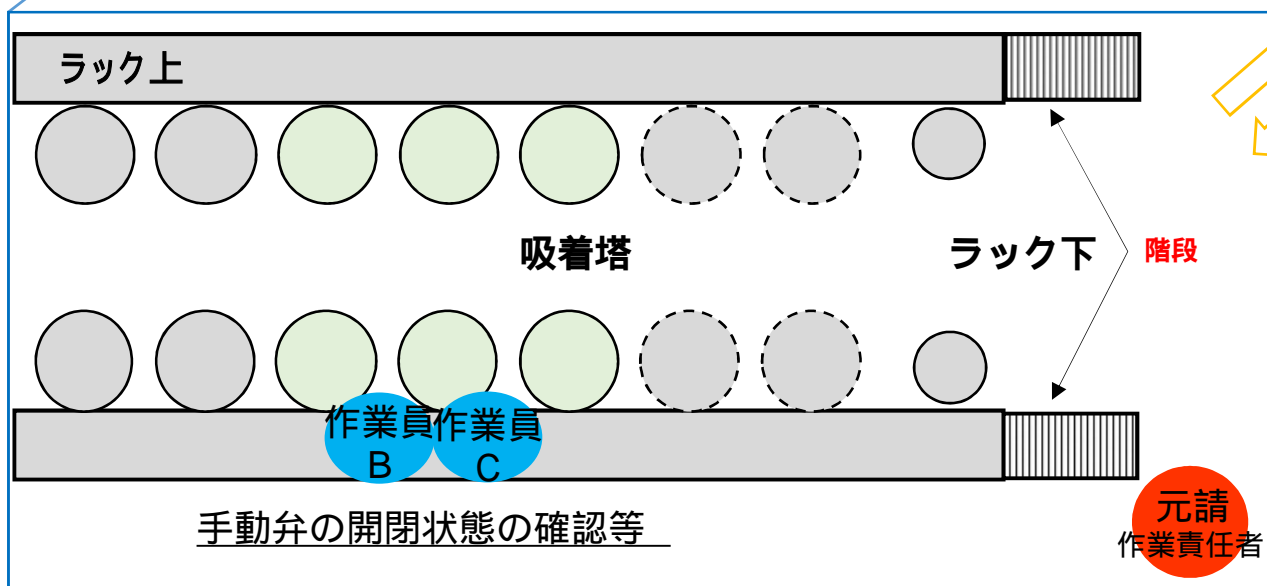


現場操作室
(手順の総括確認等)



実施内容報告

次ステップへの指示



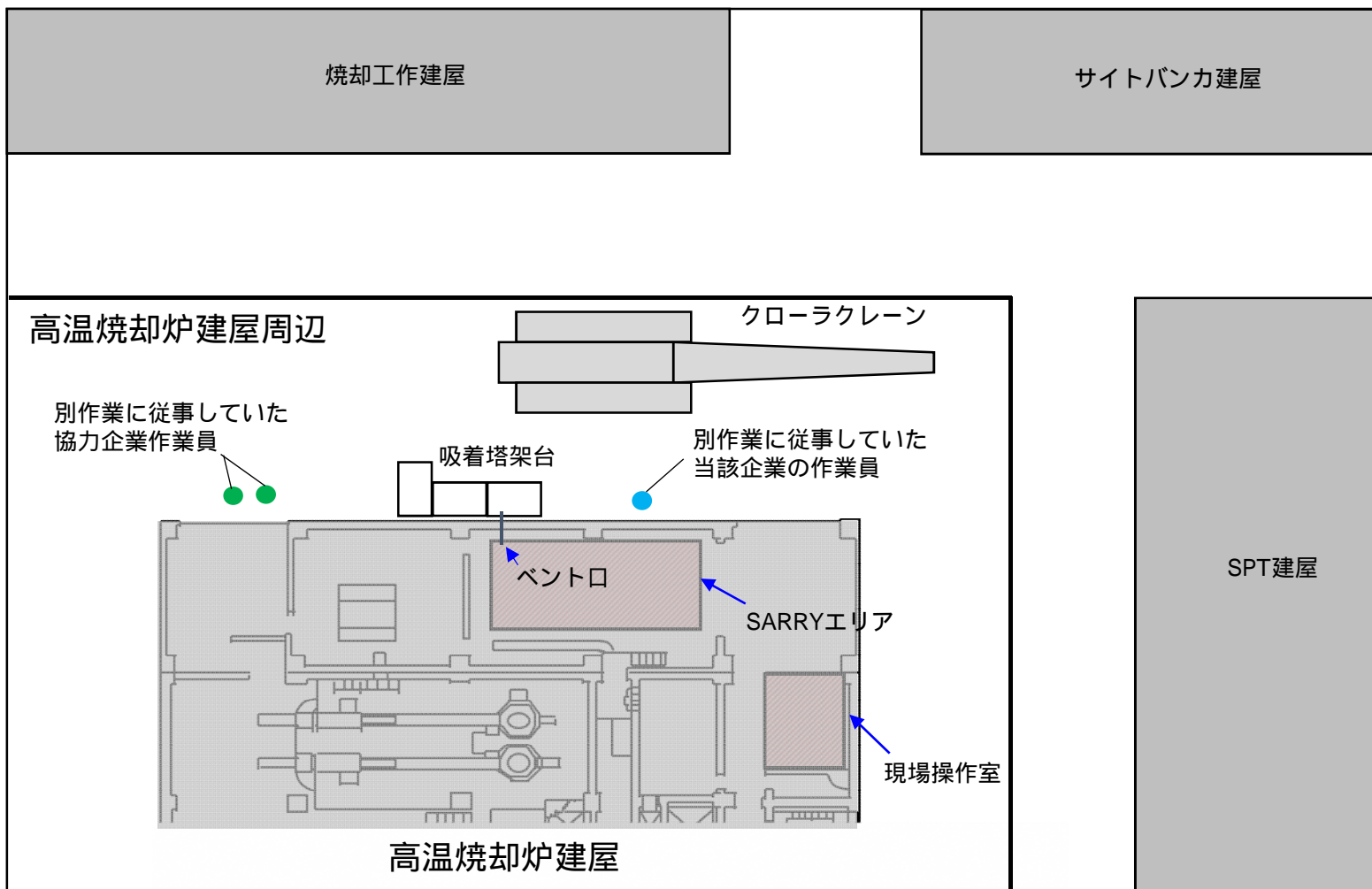
手動弁の開閉状態の確認等

弁は1か所にまとめて配置されていないため、元請け・作業員の配置は変動

【参考2】 事案発見者の位置図（建屋外）



高温焼却炉建屋屋外 概要図



【参考3】漏えいした放射エネルギーの評価内容

■ 算出内容

(1) 本事案において建屋外へ漏えいした量

高温焼却炉建屋への流入開始時刻（8:33¹）から停止時刻（9:15¹）までのろ過水タンク低下量と建屋水位上昇量の差分 約1.5m³ で評価。

- ・ろ過水タンク低下量 : 約13.6m³²
- ・高温焼却炉建屋水位上昇 : 約12.1m³³

1：時刻は流量計「滞留水移送流量」（吸着塔出口）の指示値より判断

2：事案発生中におけるろ過水タンクレベル低下量は約17.6m³となるが、そこから、当該作業以外のろ過水通常使用分である約4m³を除いたもの

3：高温焼却炉建屋水位で約9mm上昇

(2) 至近における系統内の放射エネルギーの量

系統内の吸着塔や配管等の容積に至近の放射エネルギー濃度分析結果を乗じて評価。

- ・系統内容積 : 約8.15m³⁴（第二セシウム吸着装置の系統容積）
- ・放射エネルギー濃度 : 第二セシウム吸着装置の至近の主要核種の分析結果を採用。
- ・放射エネルギーの量 : Cs-134 約9.576E+08Bq, Cs-137 約5.916E+10Bq, Sb-125 約7.710E+06Bq
Sr-90 約3.790E+10Bq, H-3 約1.980E+09Bq, 全 約2.036E+05Bq

4：概略評価時（2024/2/7時点）の吸着塔等の容器内保有水量 約9.12m³から精査

建屋外へ漏えいした放射エネルギーの量（放射エネルギーは”系統内水が全てもろ過水に置換されたもの”として算出）

建屋外へ漏えいした放射エネルギーの量は、「(1) 建屋外への漏えい割合」に「(2) 系統内の放射エネルギー」を乗じて評価。

- | | | | |
|---------|------------------|--|--------------------|
| ・Cs-134 | : 約1.056E+08Bq = | (1) 約1.5m ³ /約13.6m ³ ⁵ | × (2) 約9.576E+08Bq |
| ・Cs-137 | : 約6.525E+09Bq = | | × (2) 約5.916E+10Bq |
| ・Sb-125 | : 約8.504E+05Bq = | | × (2) 約7.710E+06Bq |
| ・Sr-90 | : 約4.180E+09Bq = | | × (2) 約3.790E+10Bq |
| ・H-3 | : 約2.184E+08Bq = | | × (2) 約1.980E+09Bq |
| ・全 | : 約2.246E+04Bq = | | × (2) 約2.036E+05Bq |

5：ろ過水タンク低下量のうち建屋外へ漏えいした量の割合