

1号機仮設放水口モニターの計数率変動 およびその要因について

2023年5月11日

東北電力株式会社

1. 要旨

- 1号機については、流路縮小工事作業^{※1}のため既設の放水口モニターでの測定ができなくなることから、2022年7月7日から2023年3月29日まで仮設放水口モニターによる測定を行った。

※1: 女川原子力発電所の津波対策の観点から、取放水路へ流入してくる津波の量を抑制し、敷地内開口部からの津波による浸水を防止する工事(第160回女川原子力発電所環境調査測定技術会説明済み)

- 第163回女川原子力発電所環境調査測定技術会において、2022年12月19日からの原子炉補機冷却海水系^{※2}(以下、「RCWS」という。)全停中の1号機仮設放水口モニターの計数率変動についてご説明しているが、今期も同様の計数率変動があったことから確認を行った結果、前回同様に天然放射性核種の影響と推定された。

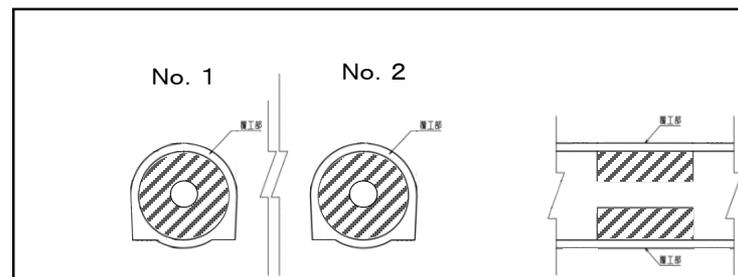
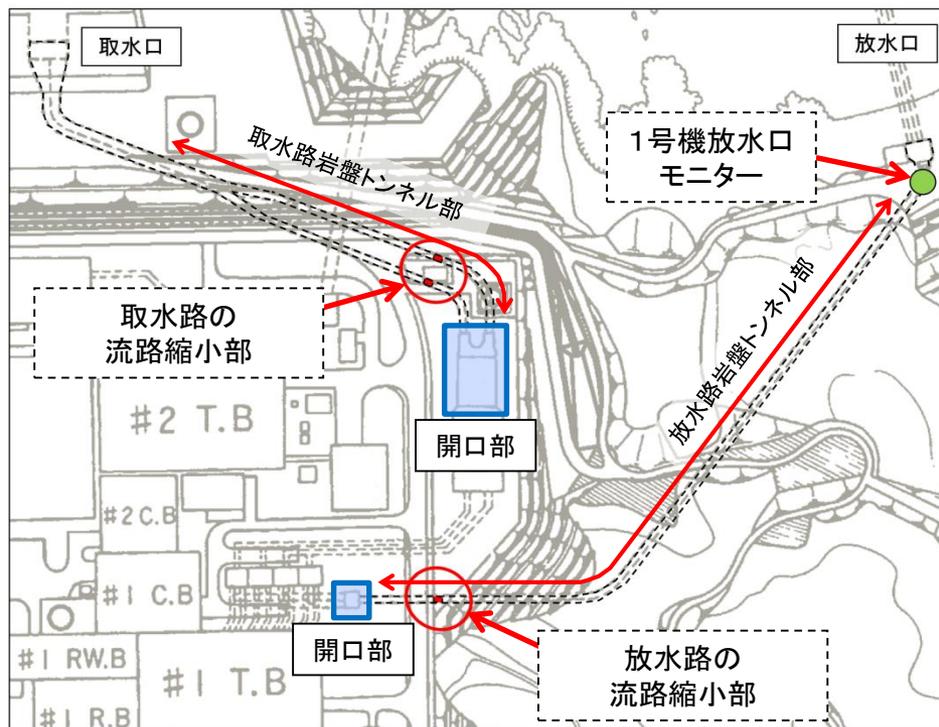
※2: 原子炉建屋内のポンプ・モーター等の冷却や液体放射性廃棄物の濃縮器等の冷却を行う原子炉補機冷却水系の冷却水を海水により冷却している系統

- 流路縮小工事作業中に既設の1号放水口モニター指示変動対策として実施した、コンクリート壁からの天然放射性核種の発生抑制対策を目的とした壁面塗装の結果について報告する。

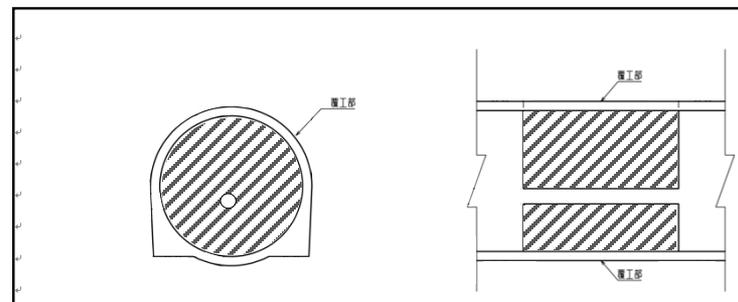
- また、第163回女川原子力発電所環境調査測定技術会でのご説明の際にいただいたコメントを踏まえた補足資料を作成した。

2. 1号機流路縮小工事概要について

- 女川原子力発電所の津波対策の観点から、取放水路へ流入してくる津波の量を抑制し、敷地内開口部からの津波による浸水を防止する流路縮小工事を実施した。
- 工事期間(2022年7月～2023年3月)中は、作業に伴う放水路内の水位低下により既設の1号機放水口モニターでの測定ができなくなることから、仮設の放水口モニターにより測定を行った。



取水路の流路縮小部



放水路の流路縮小部

3. 1号機仮設放水口モニターの状況

- 12月19日にRCWSを全停させ、水位低下作業を実施した。その際、図1のとおり、仮設放水口モニターの計数率が変動した。
- なお、計数率の上昇が確認された期間中は、発電所からの放射性液体廃棄物の放出は実施しておらず、発電所の各パラメーターおよび放水路に排水する水のモニター等にも異常はなかった。

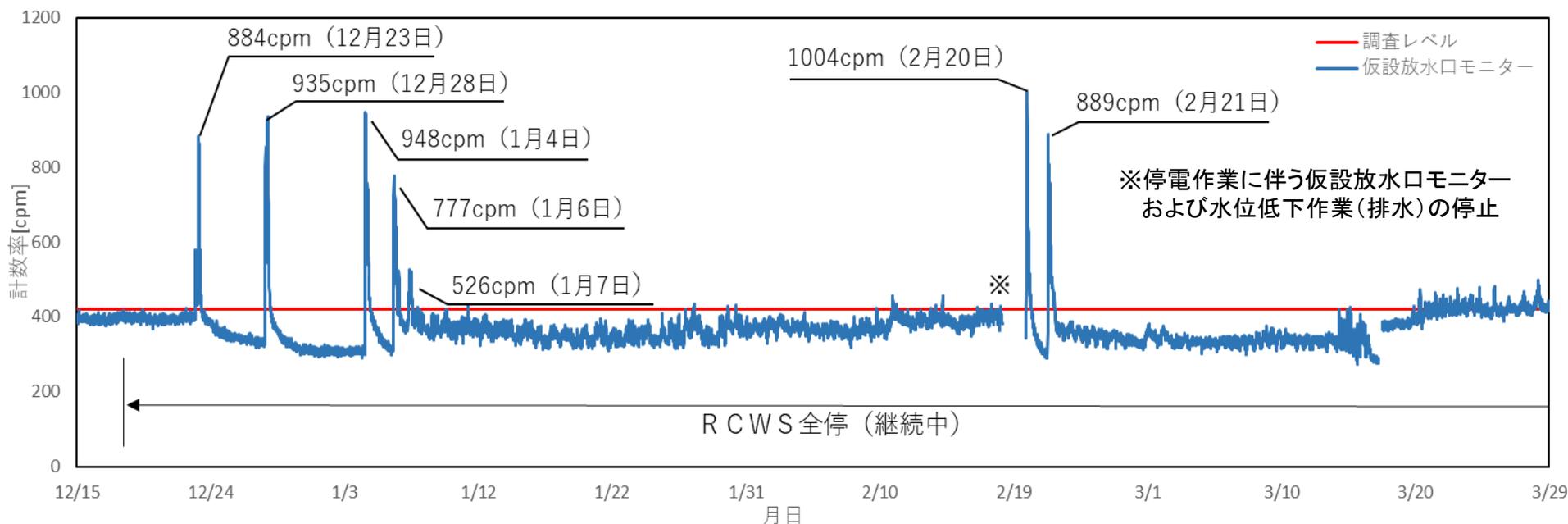


図1 仮設放水口モニターの計数率推移

4. ガンマ線スペクトル確認結果

- 計数率が調査レベル※を超過した際のガンマ線スペクトルを確認したところ、図2のとおり、天然放射性核種のピークのみが確認された。

※: 令和4年度第2四半期の平均値に標準偏差の3倍を加えて算出した値であり、計数率がこの値を超過した場合に人工放射性核種の有無等の調査を行う。

- また、調査レベル超過した際の核種分析結果は、表1のとおりであり、人工放射性核種は検出されていない。

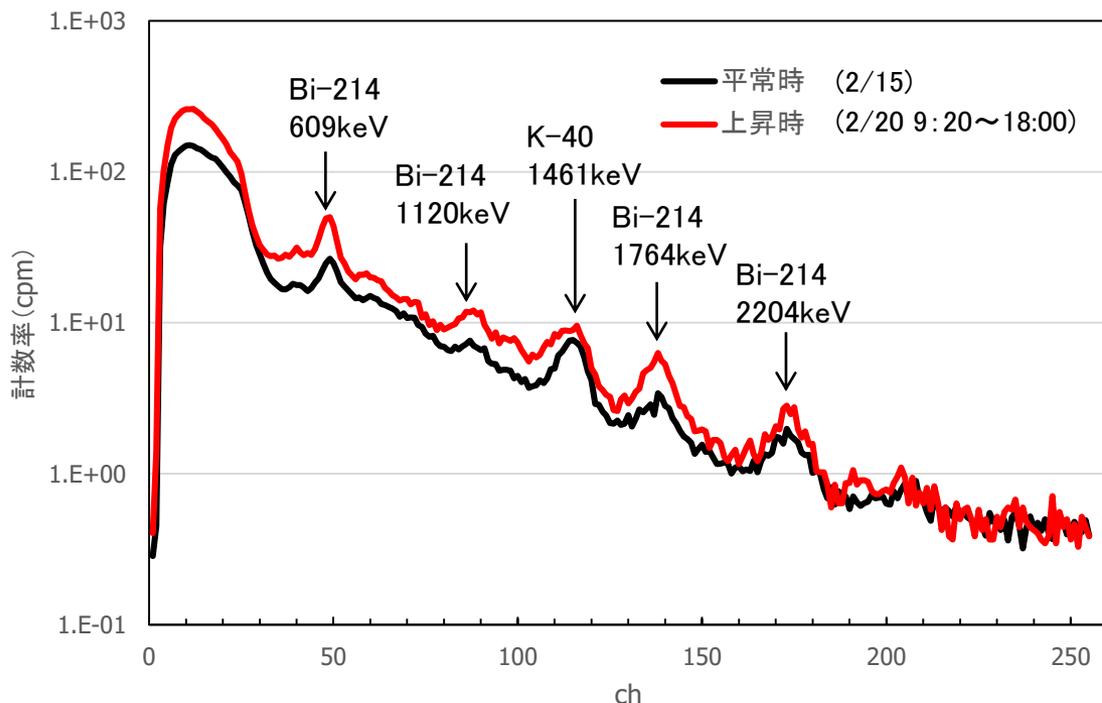


図2 計数率上昇時(2月20日)のガンマ線スペクトル(代表例)

表1 ゲルマニウム半導体検出器による核種分析結果

採取日	Cs-137	Co-60	その他の人工放射性核種
12月23日	ND	ND	ND
12月28日	ND	ND	ND
1月4日	ND	ND	ND
1月6日	ND	ND	ND
1月7日	ND	ND	ND
2月20日	ND	ND	ND
2月21日	ND	ND	ND
2月22日	ND	ND	ND

ND: 検出下限値未満であることを示す
(参考)

Co-60のND値(1月4日): $1.18 \times 10^{-3} \text{ Bq/cm}^3$

5. 仮設放水口モニターの計数率推移と水位低下作業の関係

- 1号機流路縮小工事のための水位低下作業を実施した際に、図4のとおり、計数率が変動した。
- ①～④の期間中における作業内容は次ページ以降のとおり。

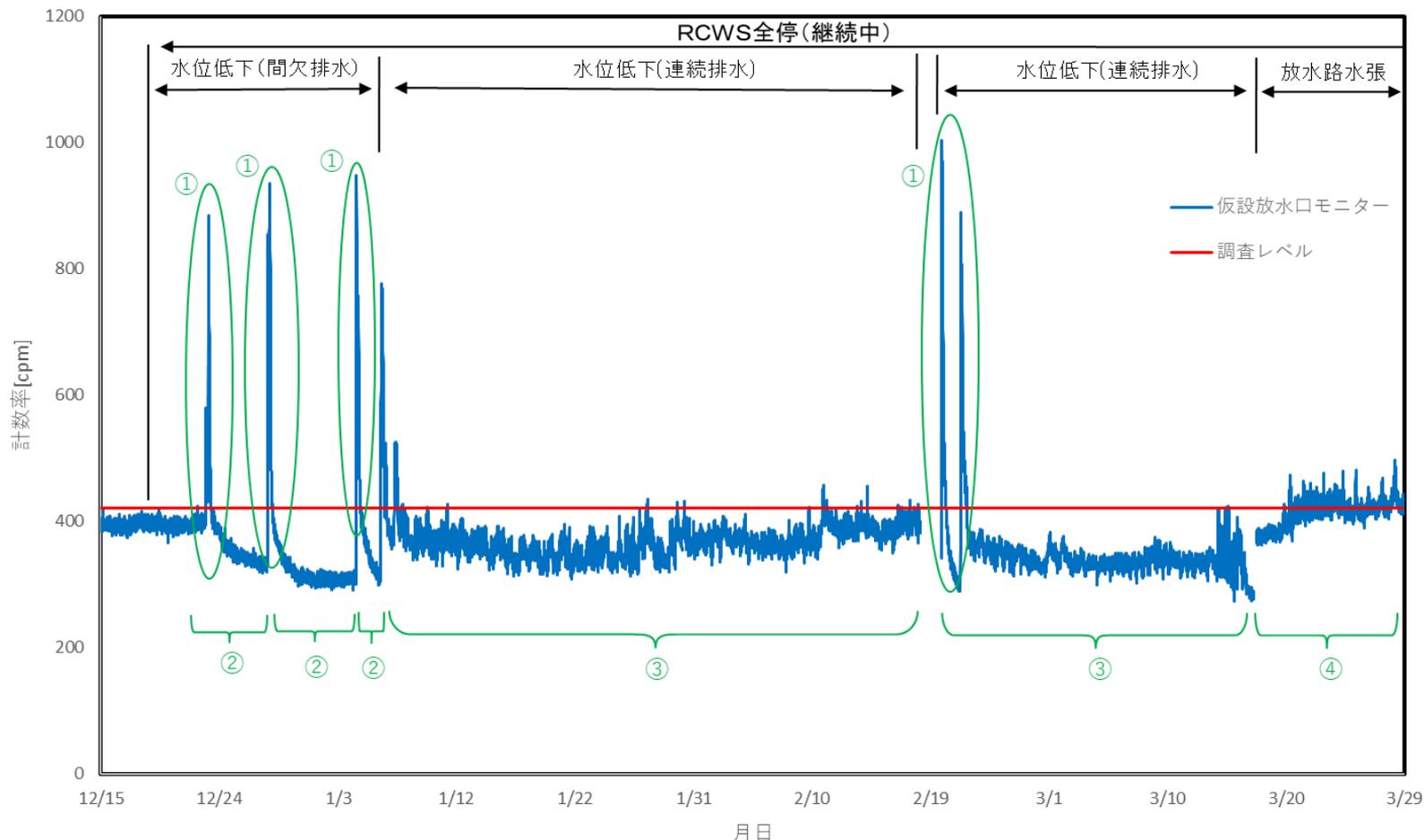


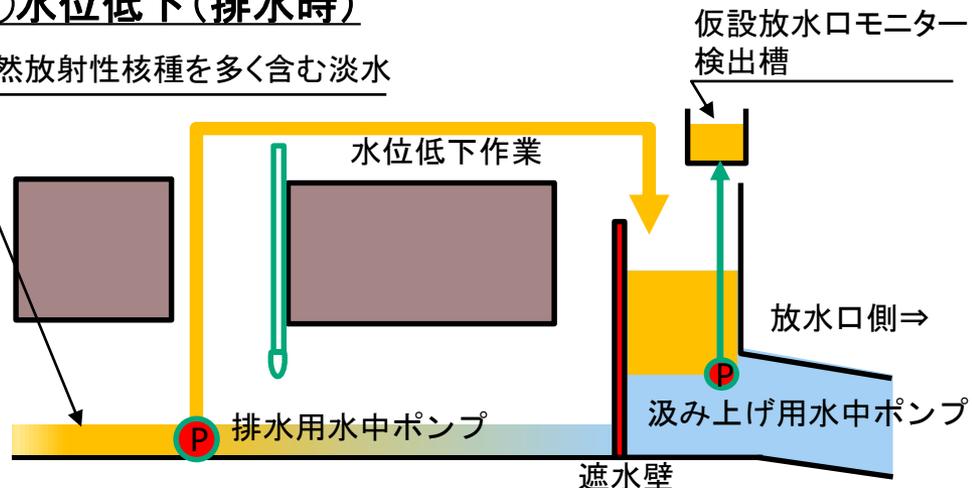
図4 仮設放水口モニターの計数率推移と水位低下作業の関係

6. 計数率変動のメカニズム

(1) 水位低下(間欠排水)[①⇔②]

①水位低下(排水時)

天然放射性核種を多く含む淡水



【作業内容】

計数率の上昇の程度を考慮しながら放水路内からの排水を複数回に分けて実施。

作業期間: 12月23日, 12月28日, 1月4日,
2月20日, 2月21~22日

【状況】

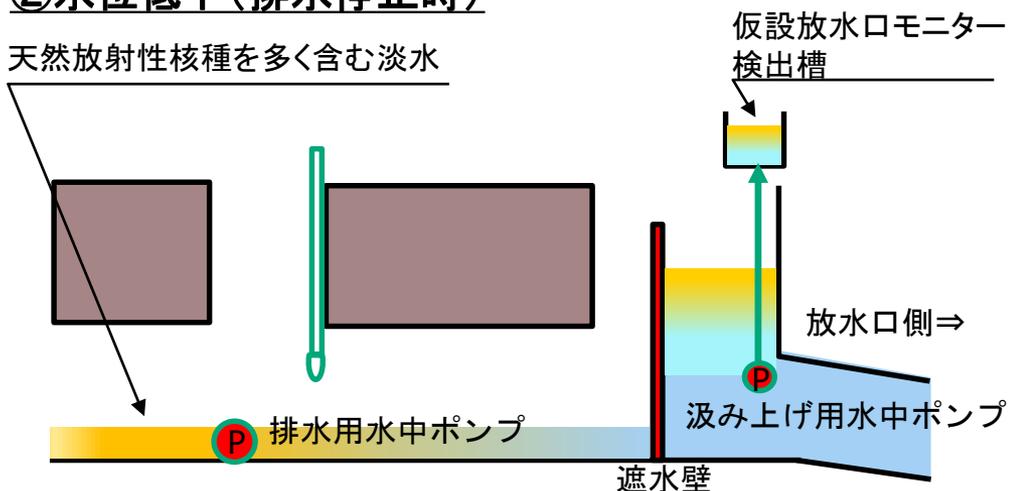
- 天然放射性核種※を含む淡水が放水口側に排水され, その淡水を採水し, 計測したことにより計数率が一時的に上昇。

※ コンクリート由来に加えて地下水に含まれる天然放射性核種 (Rn-222, Bi-214等)

↑ ↓ くりかえし実施

②水位低下(排水停止時)

天然放射性核種を多く含む淡水



【作業内容】

放水路内からの排水を停止。

排水停止期間: 12月23日~12月28日,
12月28日~ 1月4日,
1月4日~ 1月6日

【状況】

- 放水路内からの排水停止に伴い, 放水口側で計数率を上昇させた天然放射性核種※の減少による低下, およびK-40の少ない淡水の割合が増加したことにより, ベースラインが低下。

※ コンクリート由来に加えて地下水に含まれる天然放射性核種 (Rn-222, Bi-214等)

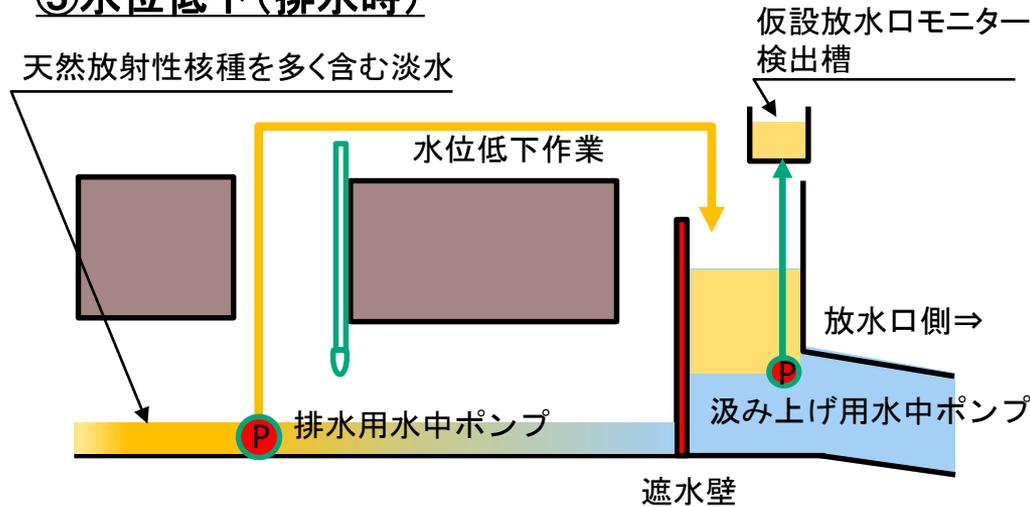
6. 計数率変動のメカニズム

(2) 水位低下(連続排水) [③]

↓ 前頁より

③水位低下(排水時)

天然放射性核種を多く含む淡水



【作業内容】

工事の進捗に伴い、放水路内の水位を低く維持することが必要になったため、排水ポンプを連続運転実施。(天然放射性核種を含む淡水を常に少量排水)

作業期間: 1月6日～2月18日, 2月22日～3月17日

【状況】

- 天然放射性核種※を多く含む淡水が放水口側に少量ずつ排水され、その水を採水し、計測したことにより計数率が一時的に上昇。
- また、少量の排水のため調査レベル超過に至らない場合もあるものと推定。

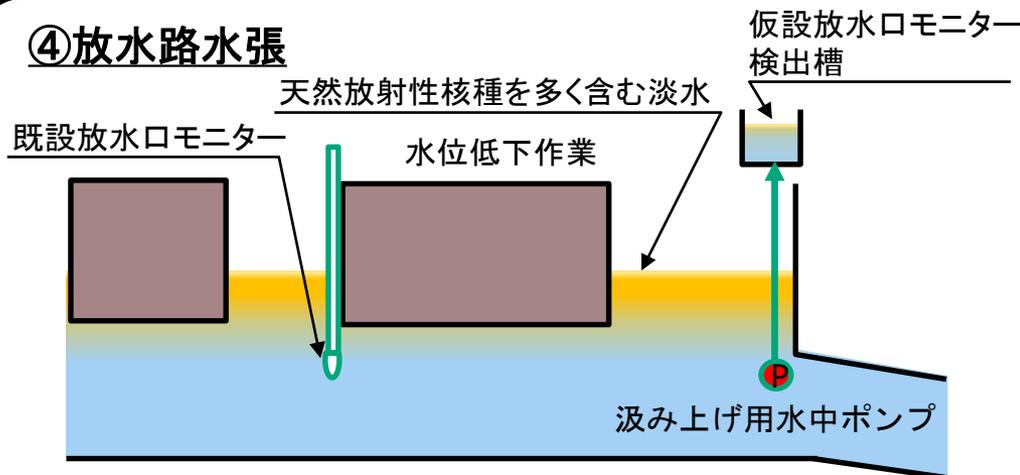
※ コンクリート由来に加えて地下水に含まれる天然放射性核種(Rn-222, Bi-214等)

6. 計数率変動のメカニズム

(3) 放水路水張〔④〕

↓ 前頁より

④放水路水張



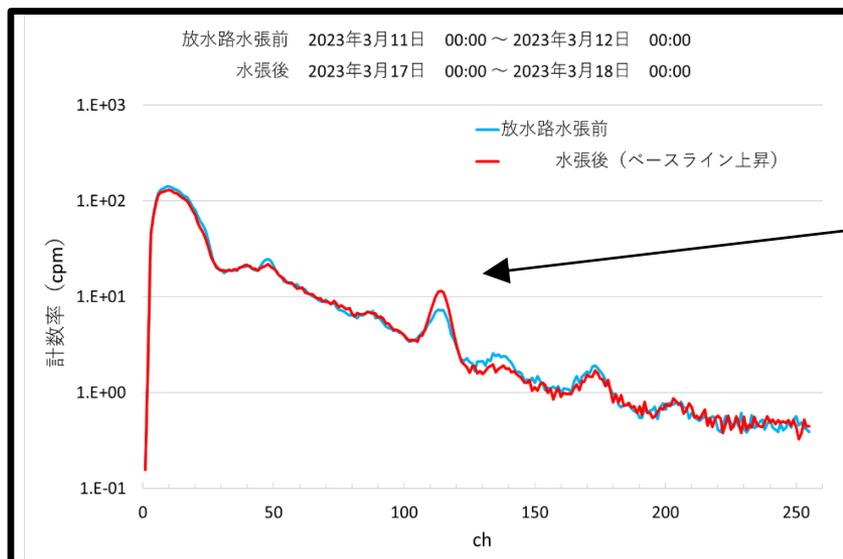
【作業内容】

放水路復旧に伴い、遮水壁を取り除いたことで、放水路内が海水で満水となった。
作業期間：3月17日以降

【状況】

- 海水に含まれる天然放射性核種※の影響により計数率のベースが上昇したものと推定。
- また、RCWSが停止していることから、淡水が海水と混ざり汲み上げ用水中ポンプ付近に近づくことで、計数率が緩やかに上昇したものと推定。
(第148回女川原子力発電所環境調査測定技術会説明済み)
- なお、放水路の水張り後は、既設放水口モニターによる測定を再開しているが、RCWSが停止していることから天然放射性核種の影響で計数率が高い状況であった。

※ 海水に含まれる天然放射性核種(K-40)



【放水路水張り前後のスペクトル比較】

遮水壁を撤去し、放水路に水張りをした後は水張り前と比べてK-40のピークが増加していることを確認した。
⇒計数率ベースライン上昇は海水に含まれるK-40によるものと推定。

7. まとめ

- 計数率の上昇が確認された期間中は、発電所からの放射性液体廃棄物の放出は実施していない。また、1号機仮設放水口モニターのガンマ線スペクトルおよび海水の核種分析結果から人工放射性物質は確認されていない。
- 当該期間中の計数率の変動は、1号機流路縮小工事の水位低下作業に伴う天然放射性核種の影響と推定された。

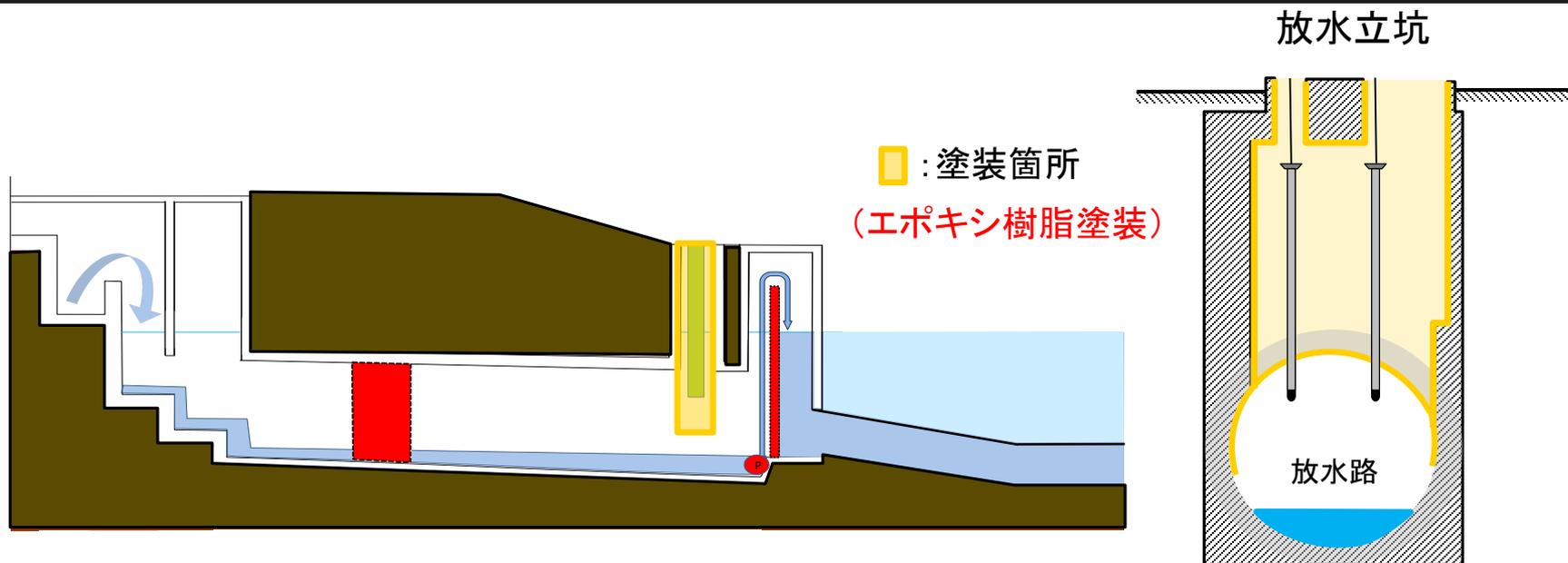
以上のことから、本事象は発電所に起因する異常な計数率の上昇ではない。

8. 既設の1号機放水口モニターにおける指示値変動対策について

- 既設の放水口モニターについては、潮位変動や冷却水の循環停止等の影響による指示値の上昇が確認されており、その要因は、放水立坑上部に溜まる天然放射性核種*である。

※鉛214やビスマス214などのウラン系列核種。主に放水立坑のコンクリートに加え地下水由来と推測

- この天然放射性核種の低減を目的として、1号機流路縮小工事期間中に、放水立坑内の壁面塗装（放水立坑のコンクリートからの天然放射性核種の発生抑制対策）を実施した。

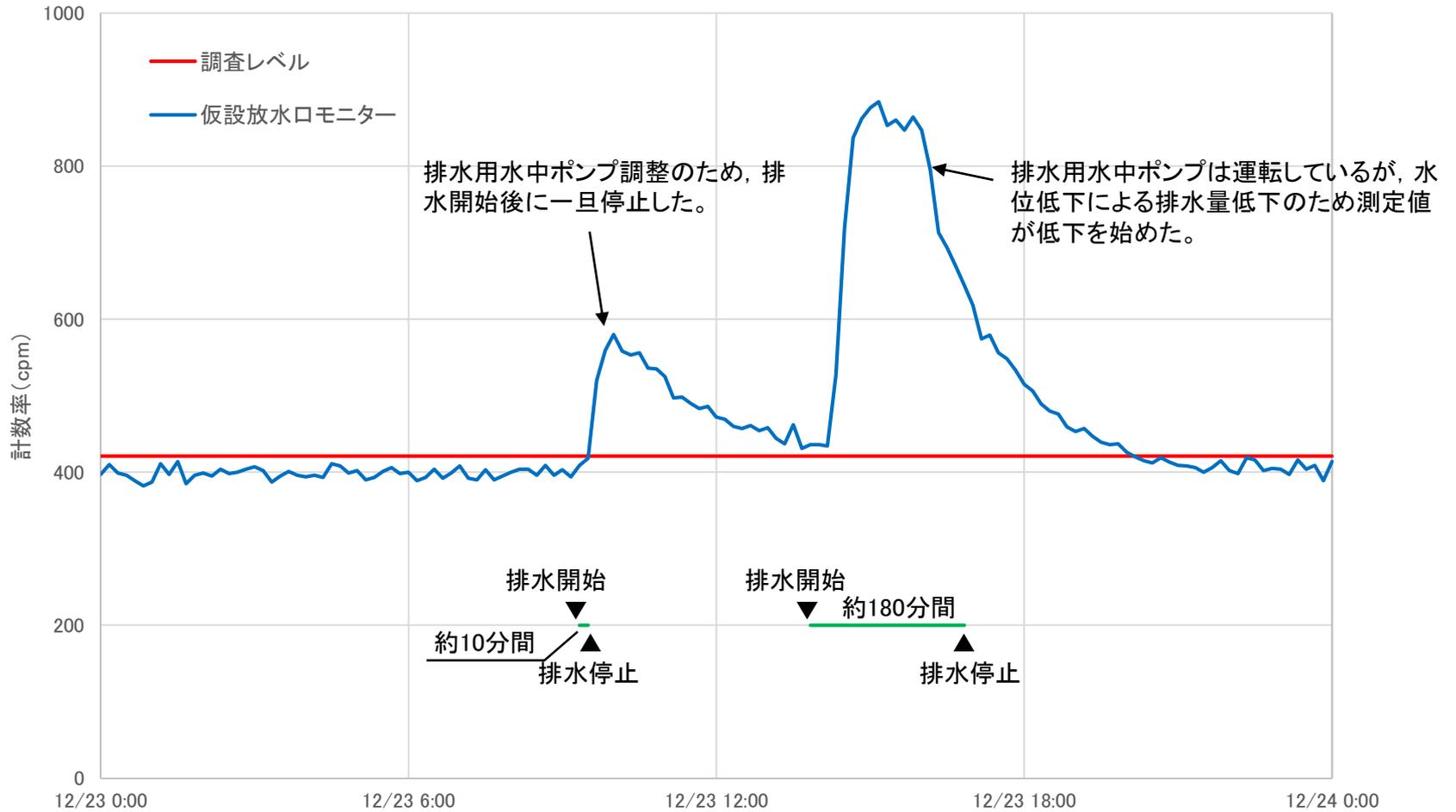


測定技術会でのコメントを踏まえた補足参考資料

- ◎計数率の時系列変動と水位低下作業時間との関係を分かりやすく示すこと。
⇒P12～P16
- ◎計数率上昇後の計数率低下と天然放射性核種の減少との関係について整理すること。
⇒P17～P18
- ◎地下水に人工放射性核種が含まれていないことをGeスペクトルでも示すこと。
⇒P19
- ◎連続排水中の淡水影響による計数率ベースライン低下時の監視方法を検討すること。
⇒P20

計数率推移と水位低下作業の関係(日別)

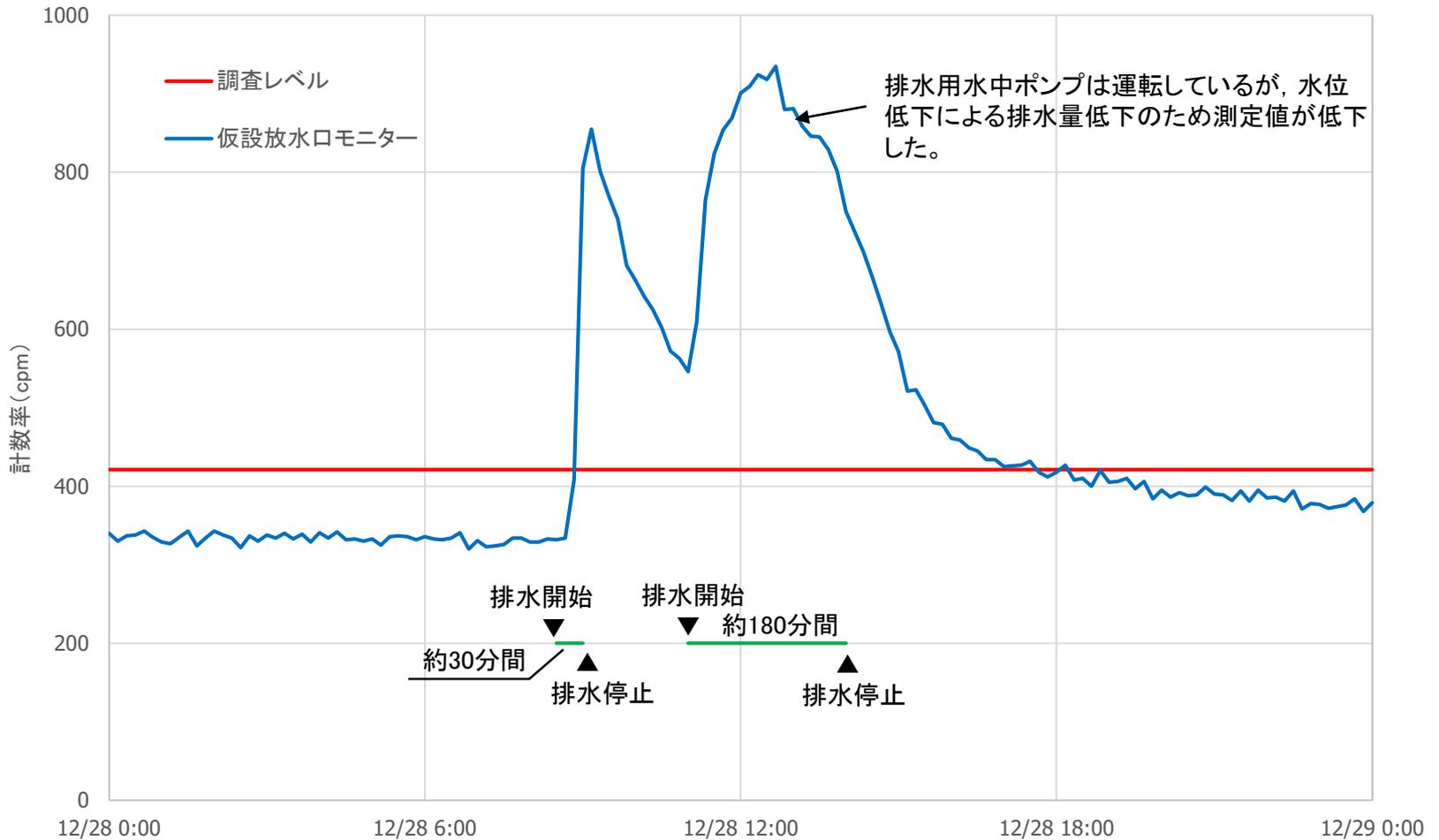
女川原子力発電所1号機 仮設放水口モニタートレンドグラフ
(2022年12月23日)



※ 計数率の上昇や作業状況を考慮しながら排水実施

計数率推移と水位低下作業の関係(日別)

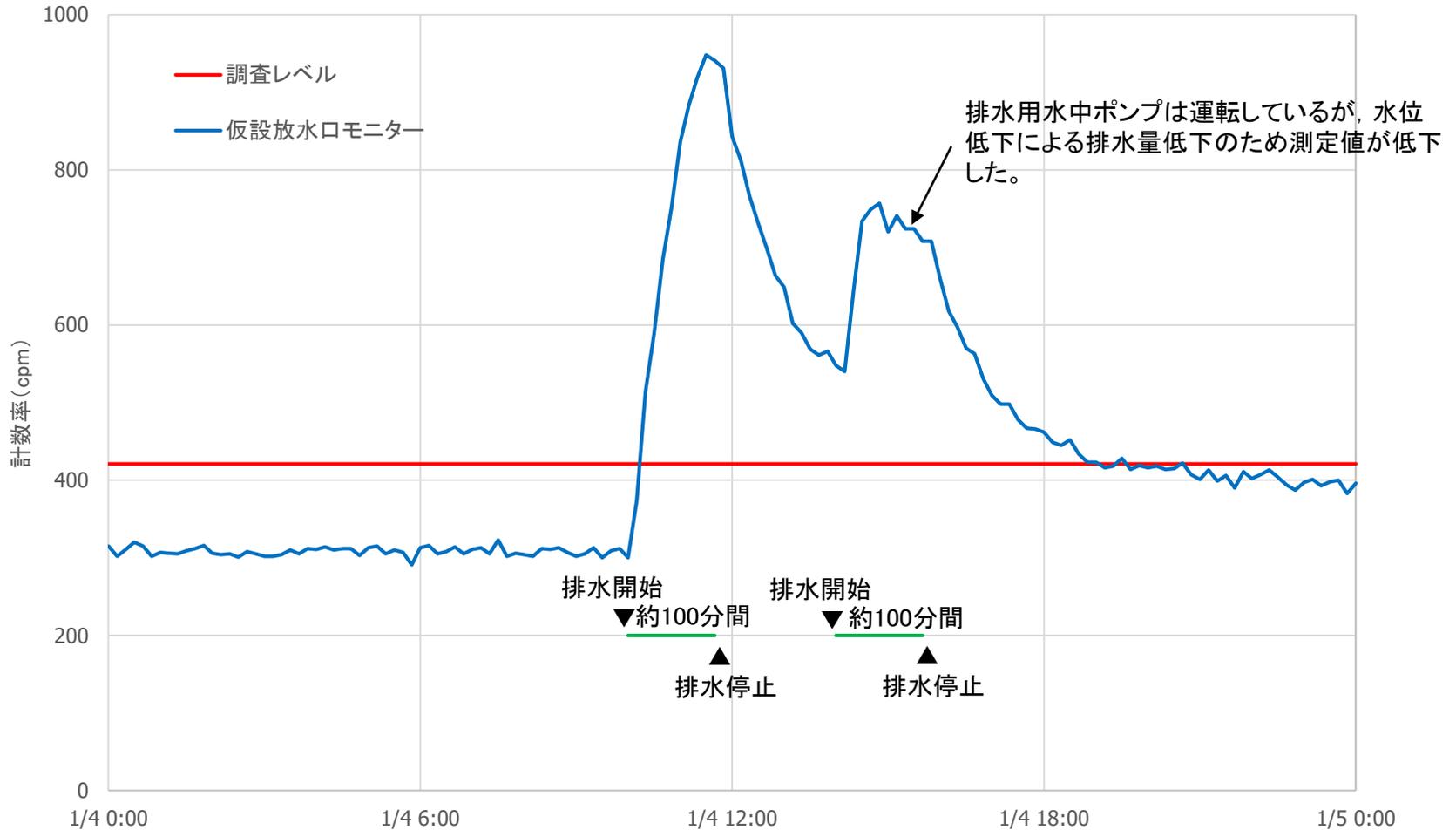
女川原子力発電所1号機 仮設放水口モニタートレンドグラフ
(2022年12月28日)



※ 計数率の上昇や作業状況を考慮しながら排水実施

計数率推移と水位低下作業の関係(日別)

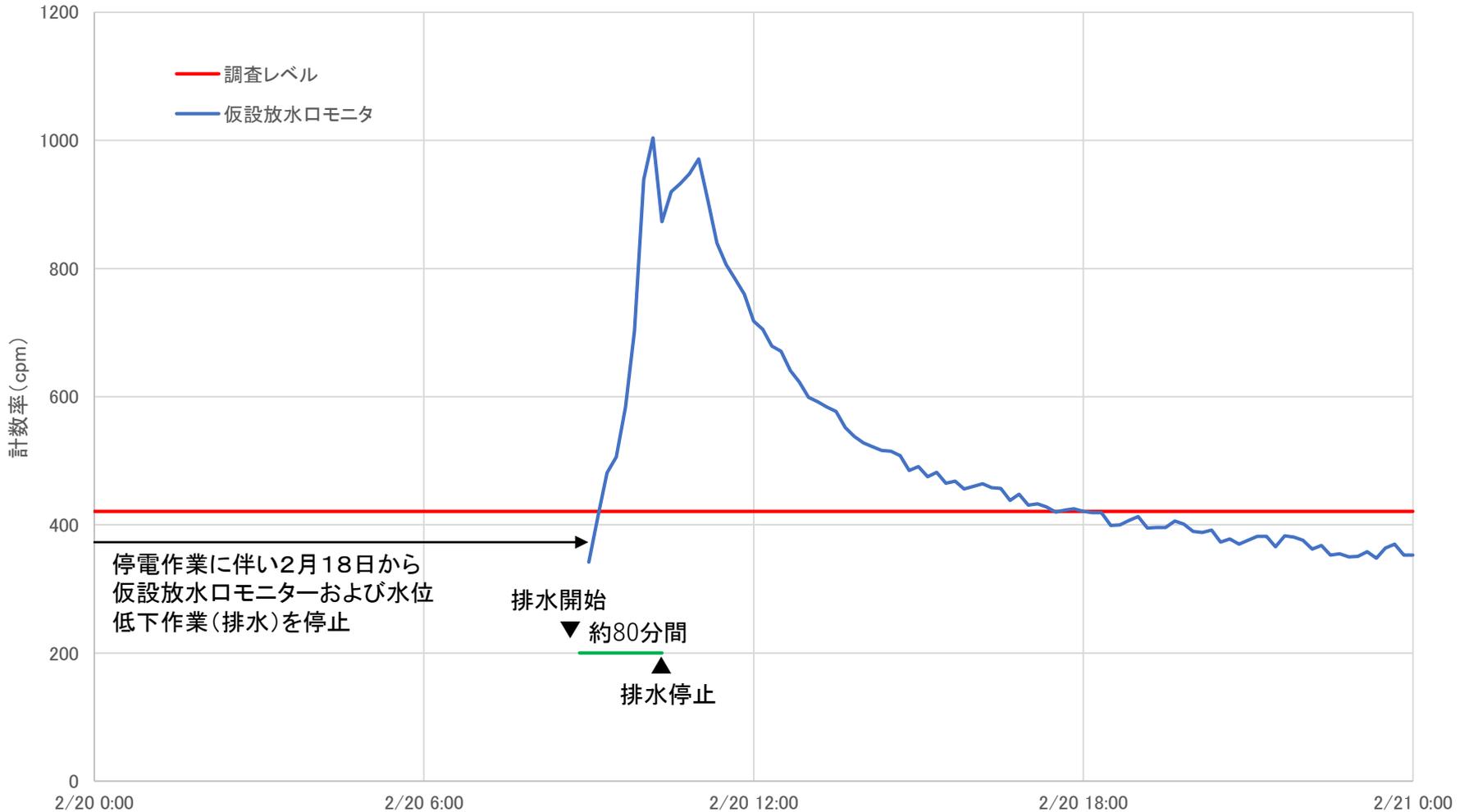
女川原子力発電所1号機 仮設放水口モニタートレンドグラフ
(2023年1月4日)



※ 計数率の上昇や作業状況を考慮しながら排水実施

計数率推移と水位低下作業の関係(日別)

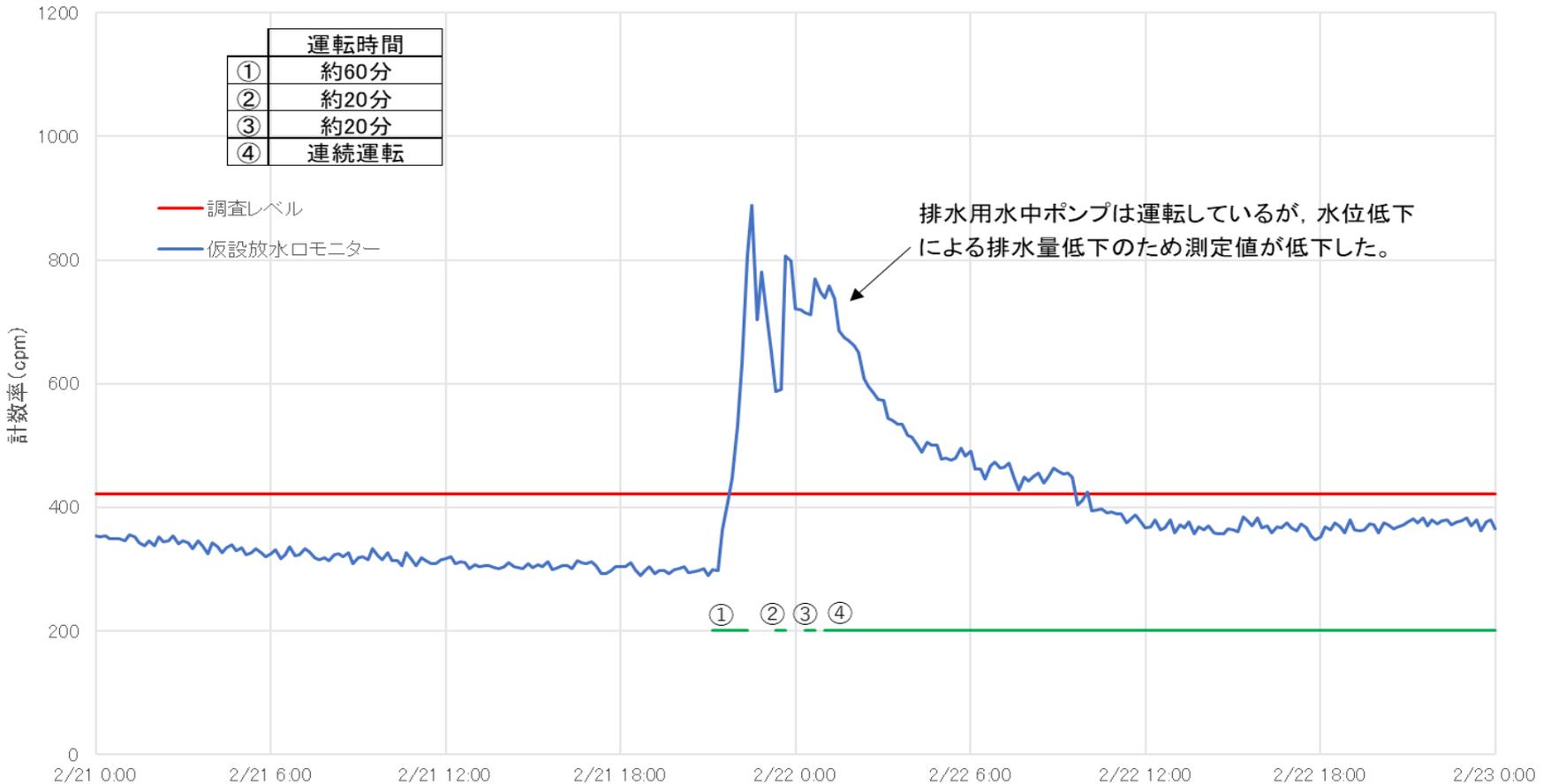
女川原子力発電所1号機 仮設放水口モニタートレンドグラフ
(2023年2月20日)



※ 計数率の上昇や作業状況を考慮しながら排水実施

計数率推移と水位低下作業の関係(日別)

女川原子力発電所1号機 仮設放水口モニタートレンドグラフ
(2023年2月21日~22日)



※ 計数率の上昇や作業状況を考慮しながら排水実施

仮設放水口モニター測定値上昇後の低下と天然放射性核種の関係について(推定)

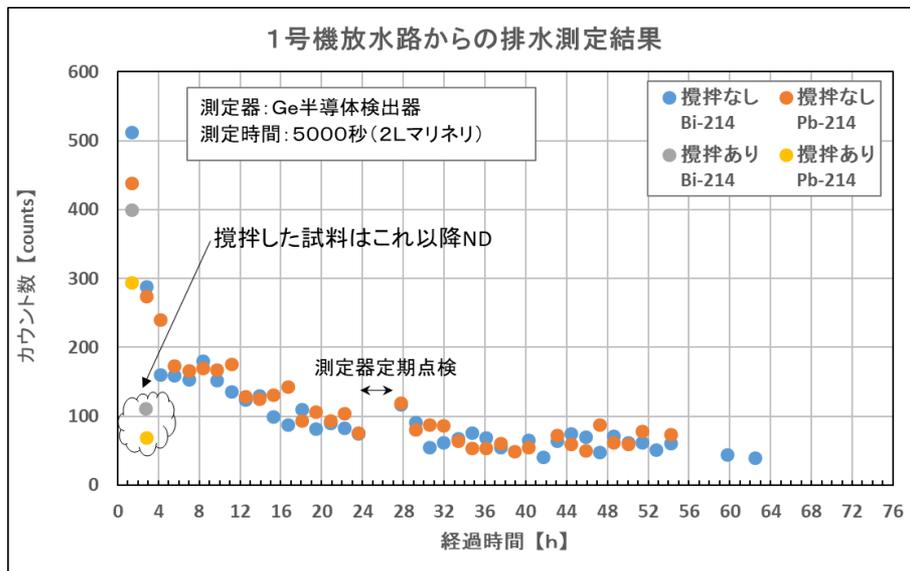
- 1号機仮設放水口モニターは、排水中のコンクリート由来および地下水に含まれる天然放射性核種(Rn-222, Bi-214等)による上昇後、下表のとおり減少したことにより測定値が低下したと推定された。

天然放射性核種	半減期*	減少した原因
Bi(ビスマス)-214	約20分	半減期*が短いため、排水停止後は仮設放水口モニターは短時間で大きく低下した。その後、Rn-222から新たに生成されるため、仮設放水口モニターの低下は緩やかになった。
Pb(鉛)-214	約27分	
Rn(ラドン)-222	約3.8日	半減期*による減少に加え、排水ポンプ等により遮水壁の放水口側で攪拌されて一部が空气中に散逸し減少した可能性がある(Rn-222は気体)。
K(カリウム)-40	1.3×10^9 年	排水に伴い淡水(K-40が少ない)が多くなりベースラインが低下。

* 放射性核種が半分になるまでにかかる時間であり、放射性核種固有のもの

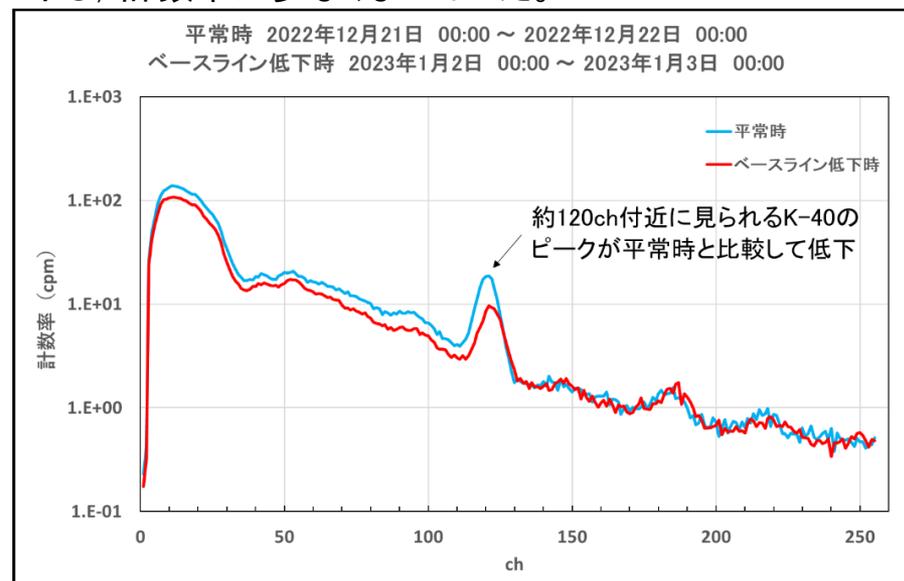
【Rn-222の空気中への散逸による減少】

放水路の排水を攪拌してから測定したところ、Rn-222から生成される核種が減少したことから、攪拌によりRn-222が空气中に散逸し減少した可能性がある。

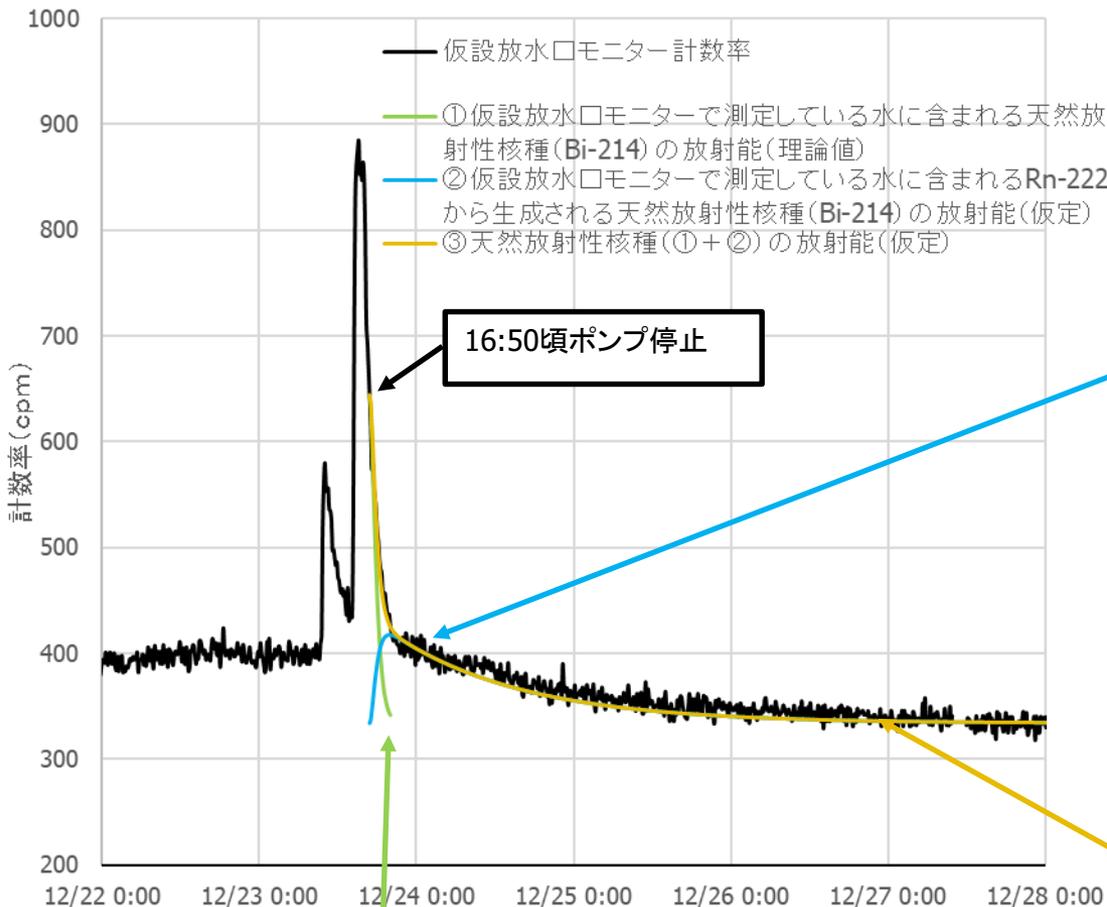


【K-40の減少】

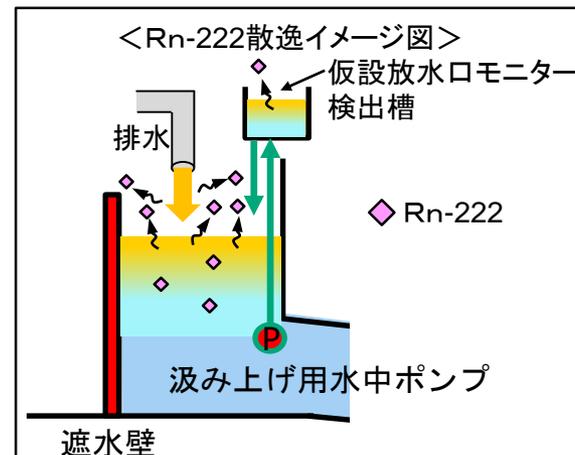
仮設放水口モニターのガンマ線スペクトルから、ベースライン低下時は、K-40のピークが平常時と比較して低下し、計数率が少なくなっていた。



仮設放水口モニター測定値上昇後の低下と天然放射性核種の関係について(試算)



② 水中のRn-222は、排水用水中ポンプで遮水壁の放水口側に排水した際に空気中に散逸したため、約70%程度減少したと仮定。Bi-214およびPb-214は、Rn-222の崩壊で生成するため、同じ程度減少。その後、水中に残ったRn-222は、仮設放水口モニターの汲み上げ用水中ポンプの循環により空気中へ散逸するとともに崩壊 (Bi-214およびPb-214を生成) しながら緩やかに減少したと推測。

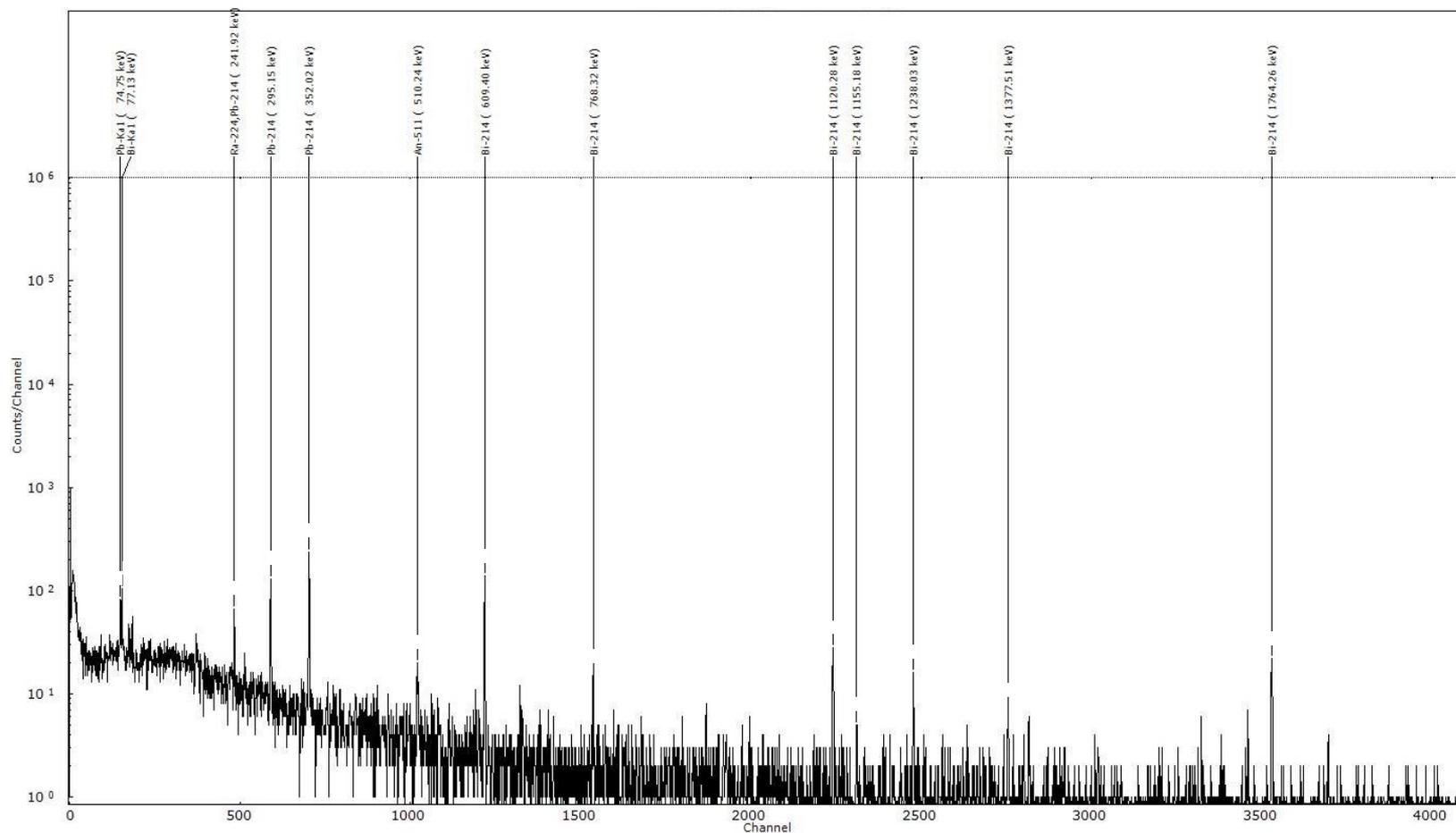


① ポンプ停止後約1時間の仮設放水口モニター測定値は、Bi-214およびPb-214の半減期と同程度に減少

③ ポンプ停止直後に存在したBi-214およびPb-214は半減期と同程度に減少。水中に残ったRn-222から生成したBi-214およびPb-214はRn-222の減少 (散逸 + 崩壊: 半減期約3.8日) に従って減少することから、緩やかに減少したと推測

地下水のGe測定結果(スペクトル)

地下水中からは天然放射性核種のみ検出された。



【測定情報】 採取時間:2023年1月16日 15:50
測定時間:5,000秒
試料量:1L

淡水影響によるベースライン低下期間の監視について

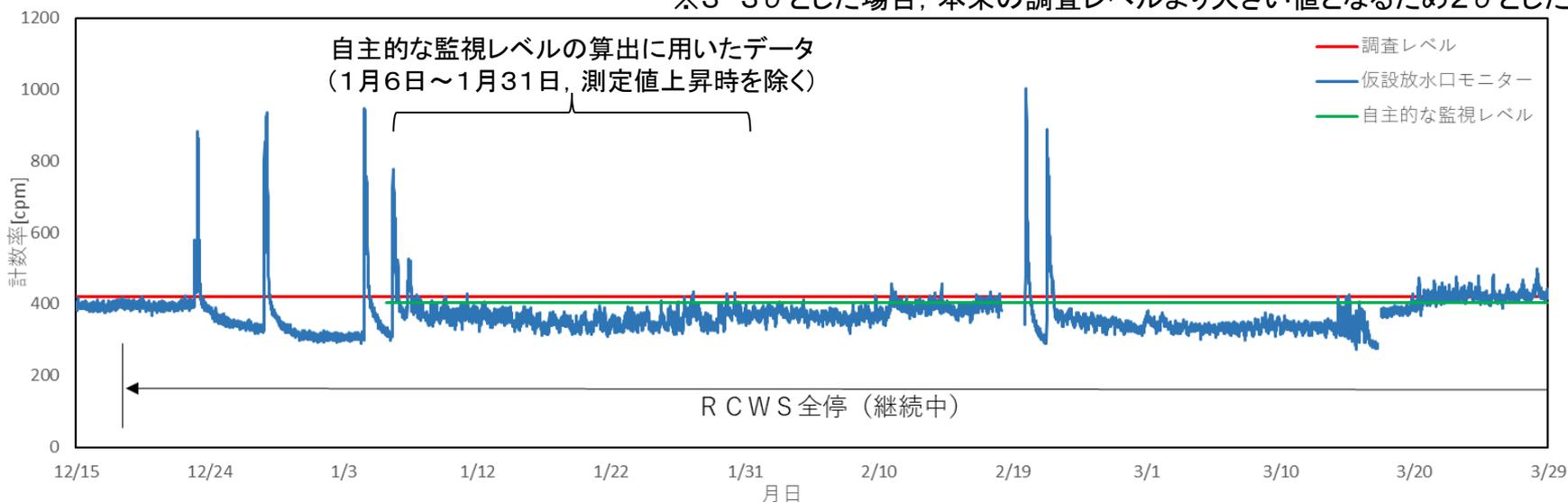
- 1月6日からの連続排水期間中は、淡水(K-40が少ない)の割合が多い状態が継続したことから、ベースラインが低下した。
- そのため、本来の調査レベル(421cpm)^{※1}とは別に、自主的な監視レベルを設定し、超過時にはスペクトルの確認を行い、人工放射性核種が無いことを確認していた。

※1 令和4年度第2四半期の平均値(388cpm) + 令和4年度第2四半期の標準偏差(11cpm)の3倍

平均値 ^{※2}	標準偏差 σ ^{※2}	自主的な監視レベル (平均値 + 2σ ^{※3})
359cpm	22cpm	<u>403cpm</u>

※2 1月6日～1月31日の統計値(ただし、測定値上昇時を除く)

※3 3σ とした場合、本来の調査レベルより大きい値となるため 2σ とした。



1号機仮設放水口モニター計数率の上昇要因

- 工事に伴い、放水路内の水位を低く維持していたところ、水位の上昇傾向が想定よりも大きく、調査の結果、放水路内への海水や地下水の染み出し等※¹によるものと推定した。

※1:放水路の構造上問題となるひび等の損傷は確認されていない。また、コンクリート水路においてつなぎ目等からの水の染み出しは一般的に確認される事象である。

- 機器を冷却するための純水以外に放水路内に流入する水は図3で示す①～③であり、流入量は合計で1.5m³/h程度※^{2,3}であった。

※2: 2023年1月10日に放水路内に立ち入り、海水・地下水の染み出しが確認され、容器で採取可能な箇所の実測値。

※3: 実測した当日降雨・降雪なしのため①と③の合計値。なお、時期等により流入量は変動するものと考えられる。

- 放水路内から採取した地下水からは天然放射性核種 (Bi-214等) が検出されたことから、これまで1号機仮設放水口モニター上昇に寄与する天然放射性核種については、コンクリートや降雨・降雪由来と考えていたが、それに加えて地下水に含まれている天然放射性核種も寄与していると推定された。

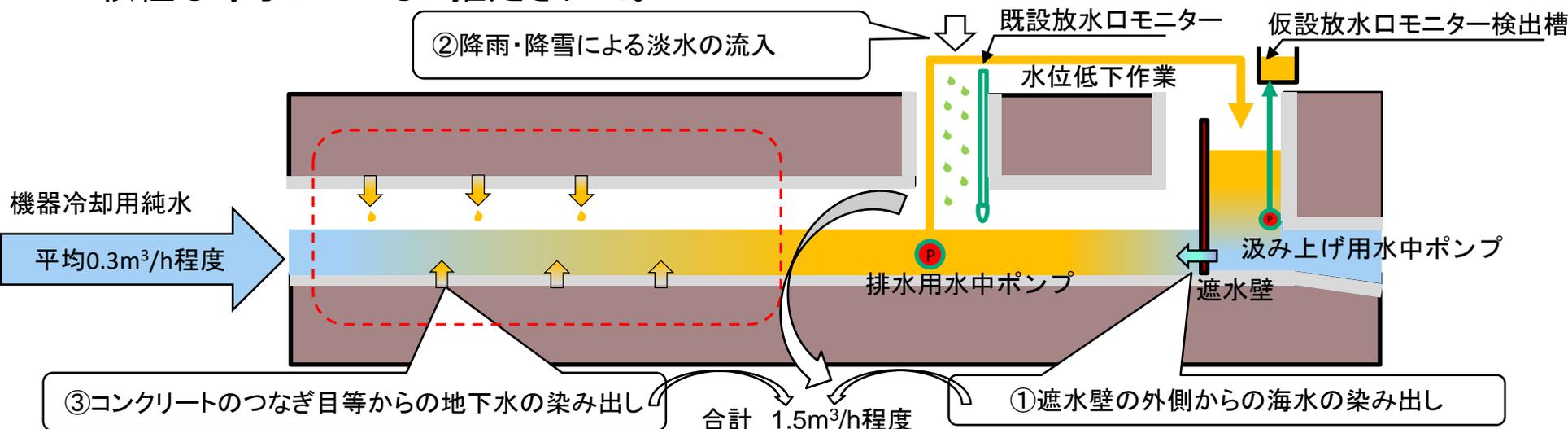


図3 放水路内への流入等について