

ヨウ素 131 とセシウム 137 の大気放出量に関する試算

福島第一原子力発電所の事故により放出された放射性物質の量を正確に推定することが困難な状況ではあったが、原子力安全委員会は、4月12日、事故の全容を把握する一環として、独立行政法人日本原子力研究開発機構の協力を得て、福島第一原子力発電所から大気中に放出されたヨウ素 131 とセシウム 137 の大気放出量の推定的試算値を公表した。3月11日から4月5日までの大気中への一部の核種の放出放射能総量として、ヨウ素 131 が 1.5×10^{17} Bq、セシウム 137 が 1.2×10^{16} Bq（5月12日に 1.3×10^{16} Bq と修正）という推定的試算値が得られた。

本推定は、環境モニタリングデータと毎時 1Bq の単位放出率を仮定した大気拡散計算との比較から放出率を推定する逆推定法により行った。使用したデータは、文部科学省、財団法人日本分析センター及び独立行政法人日本原子力研究開発機構が測定したものである。推定のほとんどは、ダストサンプリングによるヨウ素 131 とセシウム 137 の大気中濃度と、計算値の比較により行った。ただし、プラント北西部で降雨による大量の地表沈着をもたらしたと考えられる3月15日日中の放出については、ダストサンプリングデータが無かったため、この時間帯のヨウ素 131 とセシウム 137 の放出率は、放射性プルームが去った後の地表沈着核種からの空間線量率分布の計算と実測値の比較により求めた。その結果、ヨウ素 131 の放出率は毎時 10^{16} Bq 程度であり、放出期間は福島県内の環境モニタリング値等から12時から15時あたりと推定したが、当日朝9時ごろからプラント正門で線量上昇が認められるため、放出総量の推定では、保守的に9時から15時まで6時間の放出を推定とした。ヨウ素 131 の放出は、3月15日の大量放出以降3月24日まで毎時 10^{14} Bq オーダーで推移し、それ以降、4月初旬にかけて毎時 10^{12} から 10^{11} Bq のオーダーまで減少。セシウム 137 の放出量は、ダストサンプリングデータのヨウ素 131 / セシウム 137 の比から推定しており、その比の幅は1から100程度ある中で、ヨウ素 131 の放出率変動と同様の傾向を示している。

本推定に用いた最初の測定データは、3月15日朝のデータであり、3月14日以前の放出推移は、まだ明確でない。そのため、本試算値は、シビアアクシデント評価や環境影響評価の研究者により、さらに精度を向上させていく必要がある。

なお、今回の事故により環境中に放出された放射性物質としては、他に、大気中に放出された希ガス、海洋に放出された放射性物質、敷地内の表層や土壌中に沈着したのものがある。

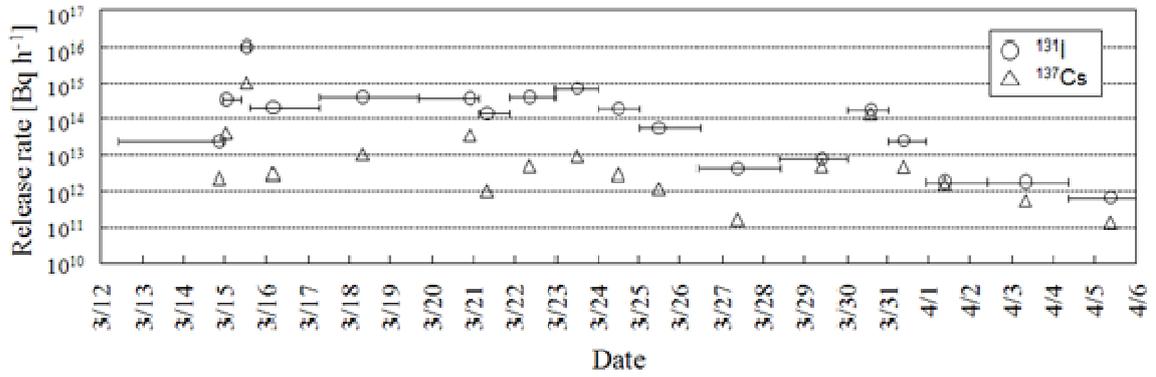


図 ヨウ素 131 及びセシウム 137 の放出率の暫定推定値。

横棒は、推定放出継続時間を示す。

(出典：2011年5月12日第31回原子力安全委員会資料 4-2号)

福島第一原子力発電所2号機の取水口スクリーン付近 のコンクリート亀裂部からの流出量について

1. 流出量の評価

平成23年4月2日午前9時30分頃に流出を発見、その後止水工事を
行い、4月6日午前5時38分頃流出は停止した。

流出が発見された前日の4月1日の昼頃の時点では、スクリーン近傍
の空間線量率は1.5mSv/hであることが確認されており、線量率の上昇
は見られないこと及び漏洩箇所に近いピット付近で海面への流出に伴
う音が聞こえていなかったことから、その時点では4月2日～6日のよ
うな形での流出が始まっていたとは想定しがたい。しかし、流出開始時
期を特定できないことから、念のため、4月1日より流出が始まったと
仮定して流出量の評価を行った。

また、流出後の状況は、遠隔カメラで監視されており、その状況は以
下の通りであった。

止水工事は4月5日午後3時頃から、トレンチ下部への薬剤注入（水
ガラス）が開始され、流出の減少が確認されているが、ここでは、止水
工事前の状況が継続したとして評価した。

以上から流出量は、流況写真より以下の通り評価した。

- ・ 流出水の落下距離 75 cm
- ・ 着水面・到達距離 65 cm
- ・ 流出口径 30mm（*）

として、約 4.3m³/時の流出が4月1日から6日まで、5日間（120 時
間）継続したとし、約 520m³の流出量とした。

（*）流況写真による判読、止水作業関係者からの聞き取り等から流出
口径を 30 mm程度とした。

2. 流出水の放射性物質濃度

流出水の放射性物質濃度は、4月2日午後4時30分に試料採取された
2号機スクリーン流入水の分析結果から、以下の通りとした。

- ・ 流出水濃度：ヨウ素 131 — 5.4×10^6 ベクレル/cm³
セシウム 134 — 1.8×10^6 ベクレル/cm³
セシウム 137 — 1.8×10^6 ベクレル/cm³

3. 放出された放射性物質総量の推定

・ 放出量内容：ヨウ素 131	—	2.8×10^{15}	ベクレル
セシウム 134	—	9.4×10^{14}	ベクレル
セシウム 137	—	9.4×10^{14}	ベクレル
(上記の合計)		4.7×10^{15}	ベクレル

4. 流出元の推定

流出水の核種分析結果とピット内滞留水の核種分析結果から、放射性物質濃度は同レベルであることが判明しており、流出水はピット内滞留水と同一と推定される。また、ピット及び2号機トレンチについては構造的につながっていることが確認されており、流出水は2号機タービン建屋から2号機トレンチを介して海へ流出したと考える。

5. 放射性物質を含む水の拡散抑制及び流出防止に対する対応策について

(1) 流出した放射性物質を含む水の拡散抑制策

放射性物質を含む水が流出した2号機取水口については、2号機スクリーンに鉄板を設置するとともに、港湾にはシルトフェンスを設置し、4号機スクリーン南側防波堤には大型土のう袋62袋を設置し、拡散を抑制するとともに、放射性物質吸着剤（ゼオライト）を入れた土壌10袋を1～4号機のスクリーン室前面に投入するなどによって放射性物質の吸着を図り、沖合への流出を最小限に抑制している。更に、4号機スクリーン南側の防波堤付近へ鋼矢板や、放射性物質吸着装置の設置などの対策も検討していく。

(2) 放射性物質を含む水の流出防止策

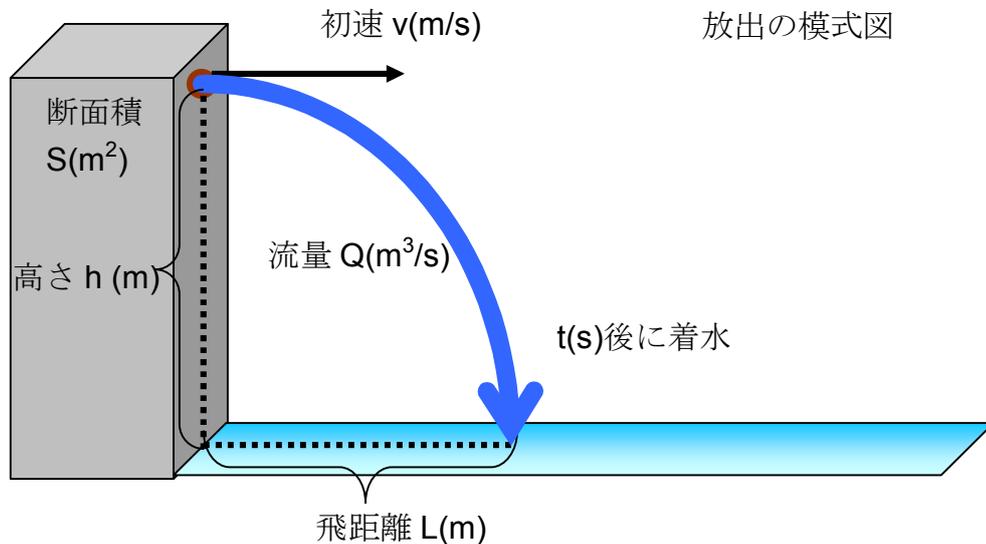
タービン建屋等に滞留している放射性物質に汚染された水の外部への流出を確実に防止するため、濃度の高い汚染水については集中廃棄物貯蔵建屋へ移送し、厳格な管理・貯蔵を実施している。また、トレンチと建屋の遮断を進める。さらに、滞留水の保管・処理を着実に進めるために、放射能レベルに応じた保管タンク等の設置や汚染水の除染・塩分処理を行うための水処理施設の整備を進めていく。

(3) 環境への影響の調査について

沿岸・沖合における海水モニタリングについて、採取地点を増やすとともに、魚介類の放射性物質の測定により経過観察を続けていく。

以 上

放出流量の評価方法



飛距離と高さから、放出された液体が自由落下運動をしたとして、流量を以下の式を用いて算出する。

垂直方向は自由落下運動 $h = \frac{1}{2}gt^2 \Leftrightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$

水平方向は等速運動 $v = \frac{L}{t} = \frac{L}{\sqrt{\frac{2h}{g}}}$ 流量 $Q = Sv = \frac{SL}{\sqrt{\frac{2h}{g}}} \dots \textcircled{1}$

<前提>

断面積 : $S = \text{直径 } 3\text{cm} = 7.07 \times 10^{-4}(\text{m}^2)$

飛距離 : $L = 0.65(\text{m})$

高さ : $h = 0.75(\text{m})$

重力加速度 : $g = 9.8(\text{m/s}^2)$

①式に前提条件を代入して、流量を以下の通りに評価する。

$$Q = \frac{SL}{\sqrt{\frac{2h}{g}}} = \frac{7.07 \times 10^{-4} \times 0.65}{\sqrt{\frac{2 \times 0.75}{9.8}}} = 1.17 \times 10^{-3}(\text{m}^3/\text{s}) \neq 4300(\ell/\text{h})$$

写真（平成23年4月5日14時20分頃撮影）

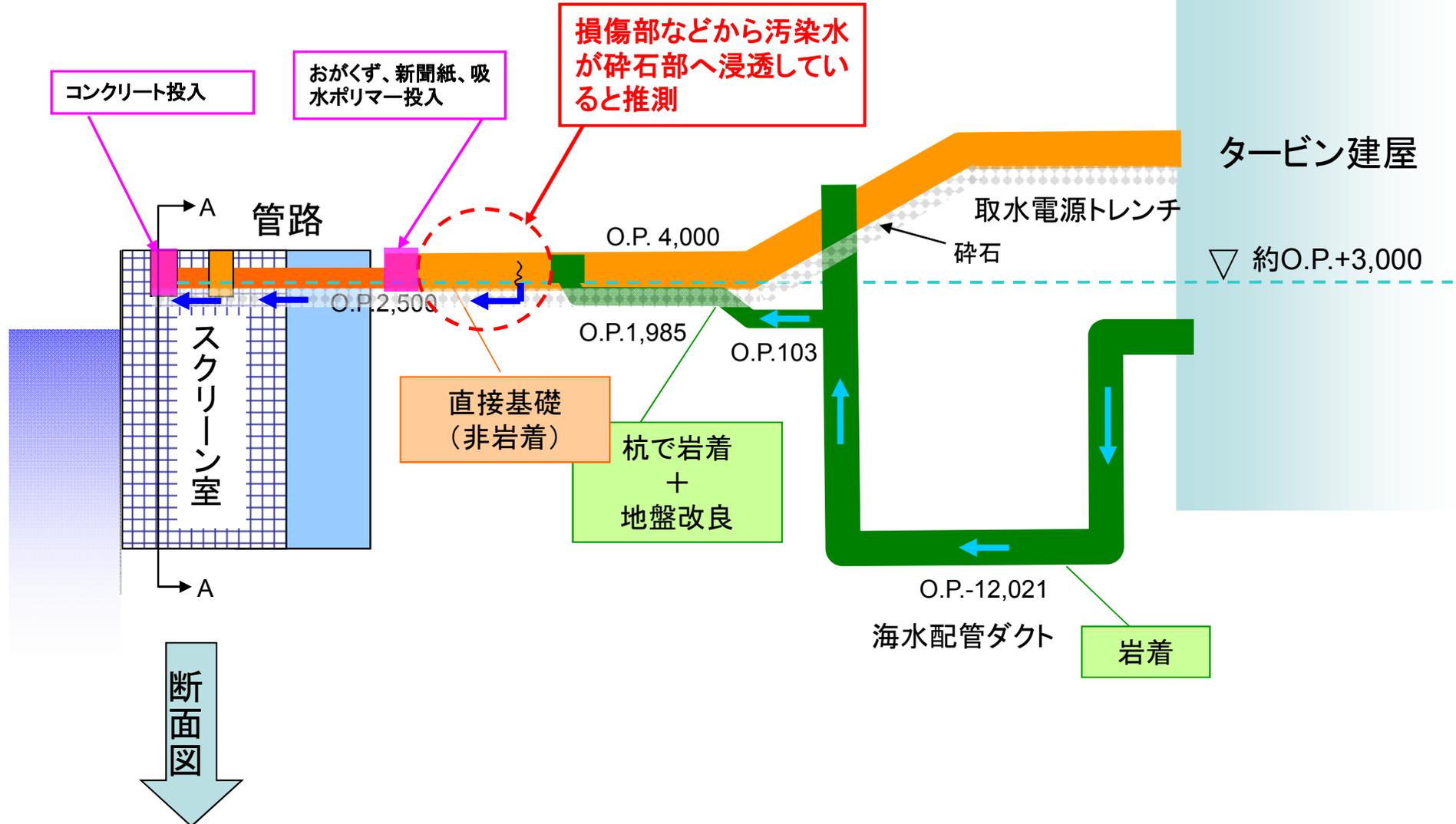


想定される要因

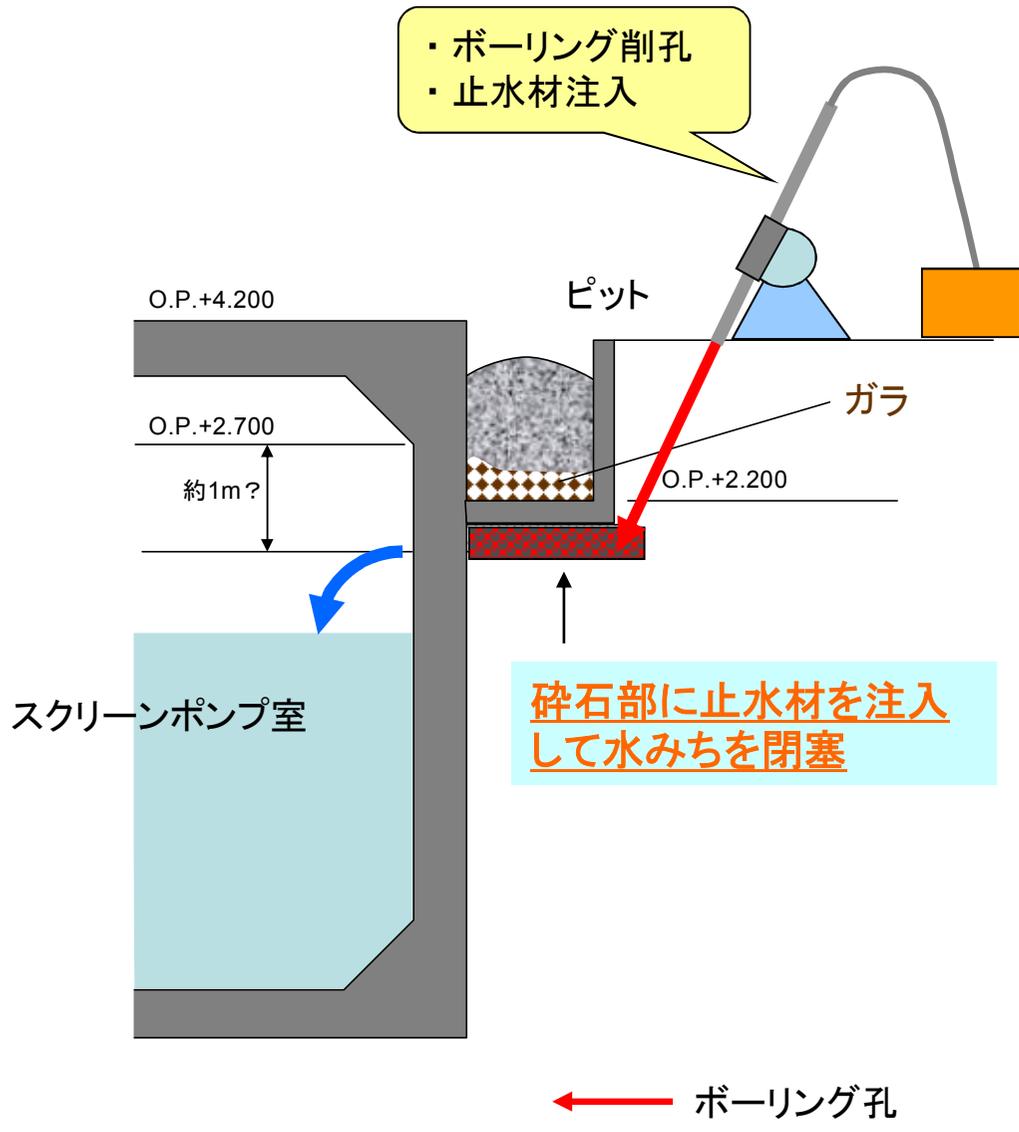
参考3

<想定される原因>

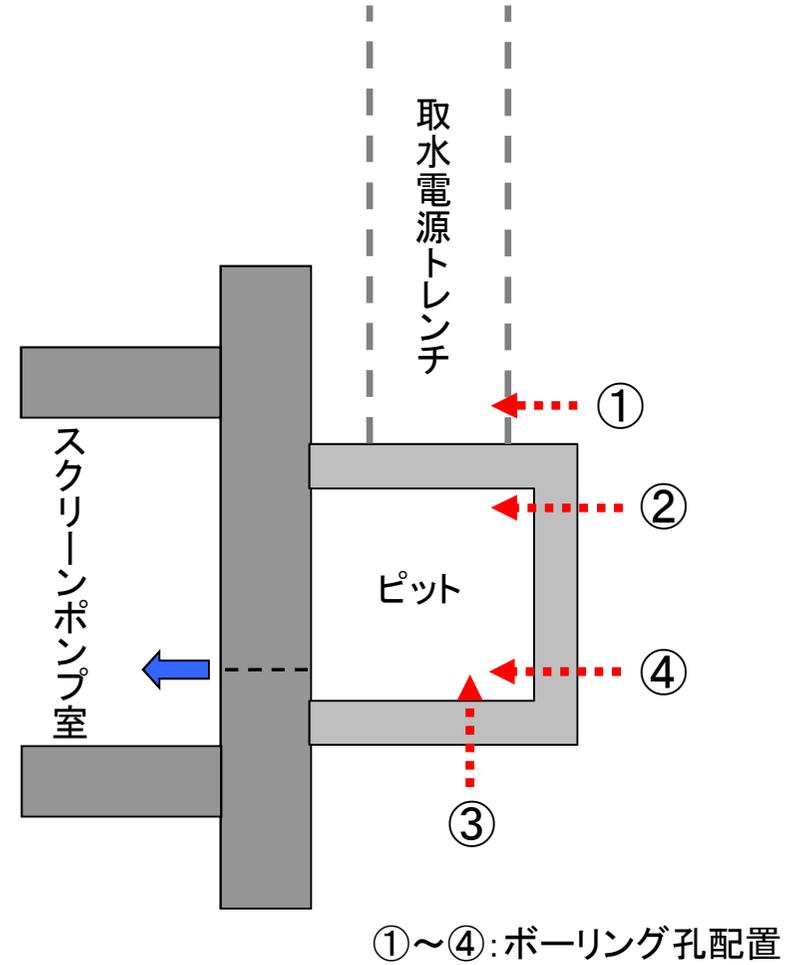
- ・ トレンチ下部に敷設されている砕石部が水みちとなり、流出している可能性が高い。



現状考えている対策工事



A-A断面図



平面図

福島第一原子力発電所第3号機取水口付近からの放射性物質 を含む水の外部への流出への対応について

1. 事象の概要

本事象は、5月11日午後0時30分頃、取水口付近において立坑の閉塞作業に従事していた作業員が、ピットへの流水の音を聞き、ピットの蓋を開放しその状況を把握したが、その時点ではまだ、スクリーンエリアへの流出は認識していなかった。

その後、現場の再確認の際、スクリーン室のカバーハッチを開放し内部を CCD カメラで確認した結果、同日午後4時5分頃、ピットからスクリーンエリアに水が流出していることを確認した。

流出水は高濃度の放射性物質を含んでいることから3号機タービン建屋側から海水配管トレンチを経由し電源ケーブルトレンチ取合部から電線管を通じてタービン建屋海側にある電源ケーブルピットに流出した排水が、当該ピットの北側にある電源ケーブルピットとスクリーンポンプ室間のコンクリート壁に生じた貫通部から3号機取水口のスクリーンエリアに流出したものと考えられる

当該ピットからスクリーンエリアへの流出を確認後、直ちにピット内の電線管のケーブルを切断しウェスを詰め、ピット内をコンクリートで閉塞した結果、5月11日午後6時45分に流水が停止したことを CCD カメラで確認した。

2. 流出量の評価

(1) 流出量の評価

流出量は電線管路から電源ケーブルピットへの流況およびピット壁を貫通してスクリーンエリアへの流況の目視確認結果から評価した。

a 電源ケーブルピットへの流況

ケーブルが敷設された電線管の空隙部からピットへの流入が確認されたが、電線管の直径10cm、本数4本、空隙の状況写真(5月11日午前10時30分頃)から、水面幅6cm、落下距離1.27m、飛距離0.5mとして評価した結果、流出量は約 $6\text{m}^3/\text{時}$ (約100リットル/分)となった。

b 電源ケーブルピットからスクリーンエリアへの流況

ピットからスクリーンエリアには、円筒状の流出が確認され、電線管路をウェスで止水した後の写真(5月11日午後6時30分頃)から、直径5cm、落下距離1.4m、飛距離0.3mとして、評価した結果は、約 $4.3\text{m}^3/\text{時}$ (約72リットル/分)となった。

しかしながら、ピットからスクリーンエリアへの流出状況について作業員に聞き取りをしたところ、ウェスによる止水前は流出量が多かったとの観察結果があったことから、今回の流量は電線管路からの流出状況から約 6 m³/時とした。

(2) 流出時間の評価

流出が確認された電源ケーブルピットの上流側に当たる 3 号機立坑内の水位の記録を確認した結果は以下の通りであり、

5 月 4 日午前 7 時 (O.P. +3, 140mm) から 5 月 10 日午前 7 時 (O.P. +3, 240mm) の期間は一日当たり 10mm~30mm の上昇が認められ、5 月 10 日午前 7 時から 5 月 11 日午後 5 時までは 20mm の減少が認められた。

この上昇と減少の期間を最小二乗法で、それぞれ相関を求めた結果、上昇と減少の分岐点は 5 月 10 日午前 2 時頃となった。

このことから、水位が下降に転じた 5 月 10 日午前 2 時より流出が開始されたと推定して評価することとした。

また、3 号機取水口付近の海水に含まれる放射性物質の定期的なモニタリングとして福島第一原子力発電所 1~4 号機取水口内南側海水放射能濃度と 2 号機バースクリーン付近の海水放射能濃度測定などが実施されている。その測定記録を確認した結果、5 月 10 日の午前 7 時頃までの測定結果は全体として減少傾向にあったものが、5 月 11 日の午前 7 時以降上昇に反転していた。また、3 号機スクリーンエリアから少し北方へ離れた 1~4 号機取水口北側放射能濃度記録も同様の傾向であった。このことから、5 月 10 日の午前 7 時頃に流出が開始されたと推定され、立坑の水位変化からの発生時刻の評価は保守的なものとする。

更に、5 月 11 日 午後 6 時 45 分に止水が確認されていることから、流出時間は、5 月 10 日午前 2 時から 5 月 11 日午後 7 時までの約 41 時間と評価した。

結論として、上記 (1)、(2) から、流出水の量は、6 m³/時で、41 時間継続したとして、約 250m³と評価された。

(3) 放射性物質の流出量

a 流入水の放射性物質濃度

平成 23 年 5 月 11 日午後 1 時 30 分に採水した電源ケーブルピット内に流入した放射性物質の濃度は、

以下の通りである。

セシウム 137 ; 3.9 × 10⁴Bq/ cm³

セシウム 134 ; 3.7 × 10⁴Bq/ cm³

ヨウ素 131 ; $3.4 \times 10^3 \text{Bq/cm}^3$

(2) の流出水の流出量と上記の放射性物質の濃度から、スクリーンエリアの海水に流出した放射性物質量は以下の通り算出した。

セシウム 137	;	$3.9 \times 10^4 \text{Bq/cm}^3 \times 250 \text{m}^3 = 9.8 \times 10^{12} \text{Bq}$
セシウム 134	;	$3.7 \times 10^4 \text{Bq/cm}^3 \times 250 \text{m}^3 = 9.3 \times 10^{12} \text{Bq}$
ヨウ素 131	;	$3.4 \times 10^3 \text{Bq/cm}^3 \times 250 \text{m}^3 = 8.5 \times 10^{11} \text{Bq}$
合計	;	$2.0 \times 10^{13} \text{Bq}$

3. 再発防止と港湾外への拡散に向けた対策

(1) 流出リスクのあるピットの閉塞

放射性物質を含む水がスクリーンエリアに流出される可能性のあるピットは全て5月19日までに閉塞工事を終了した。今後、さらなる対策として、海水配管トレンチと接続しているピット27箇所を、6月末までにコンクリート等で閉塞する。

(2) 1～4号機スクリーンポンプ室の隔離

1～4号機の各スクリーンポンプ室前面に角落とし等を設置し、6月末までに閉塞する。

(3) ゼオライト入り土嚢の設置

早期の対策として、取水口内部にゼオライト入り土嚢を設置する。(5月末まで)

(4) 循環型浄化装置の設置

循環型の浄化装置をスクリーンエリアに設置し、取水口の海水を循環させることにより放射性セシウムを除去する。(5月末までに設置、6月上旬、運転開始)

(5) 海水モニタリングの継続と強化

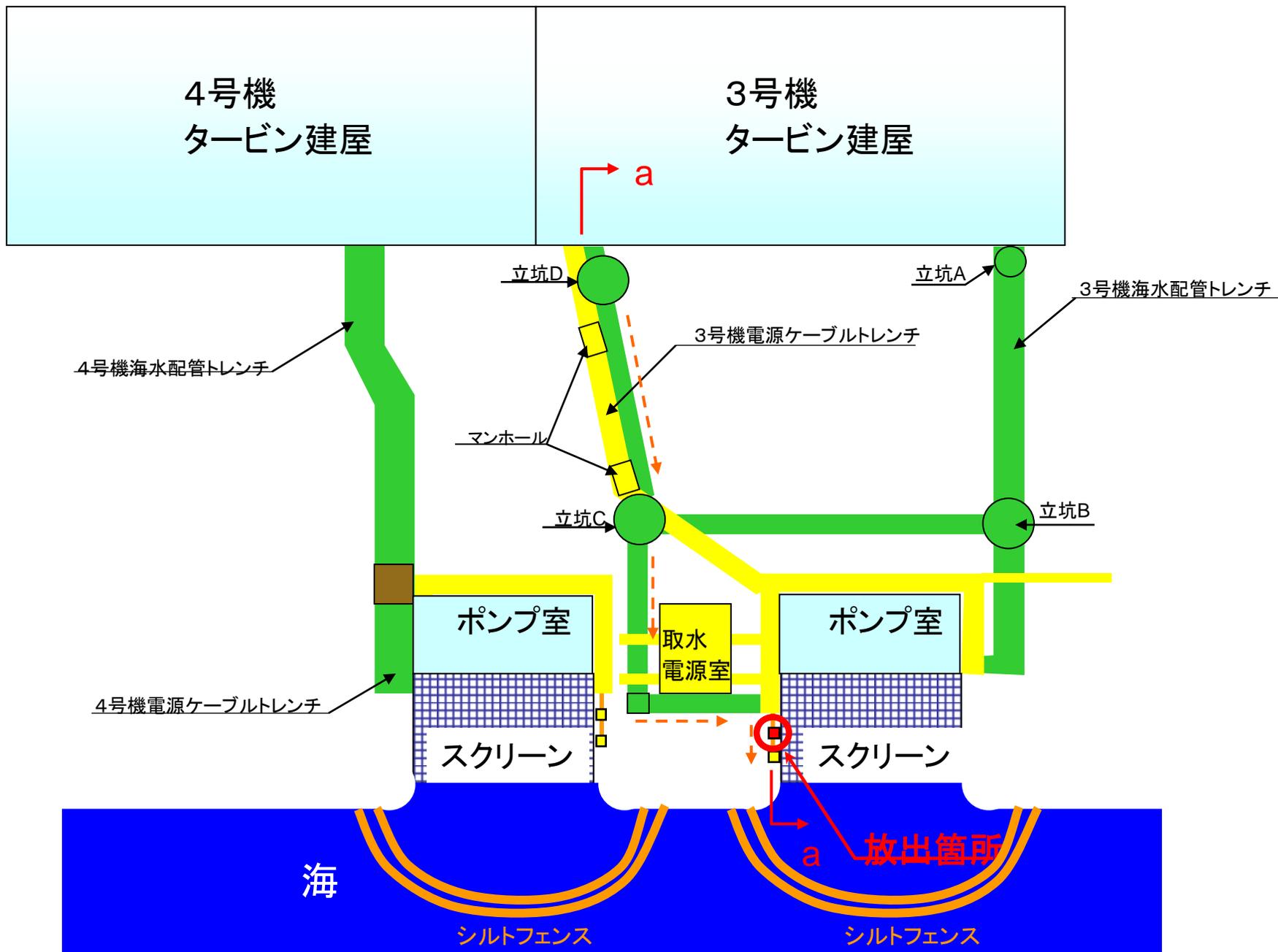
港湾内外の海水モニタリングを継続し、放射性物質の濃度に有意な変動がないか確認していく。

1, 3, 4号機においては、2号機と同様にシルトフェンス内側の海水の分析を実施し、モニタリング体制を強化する事としたい。

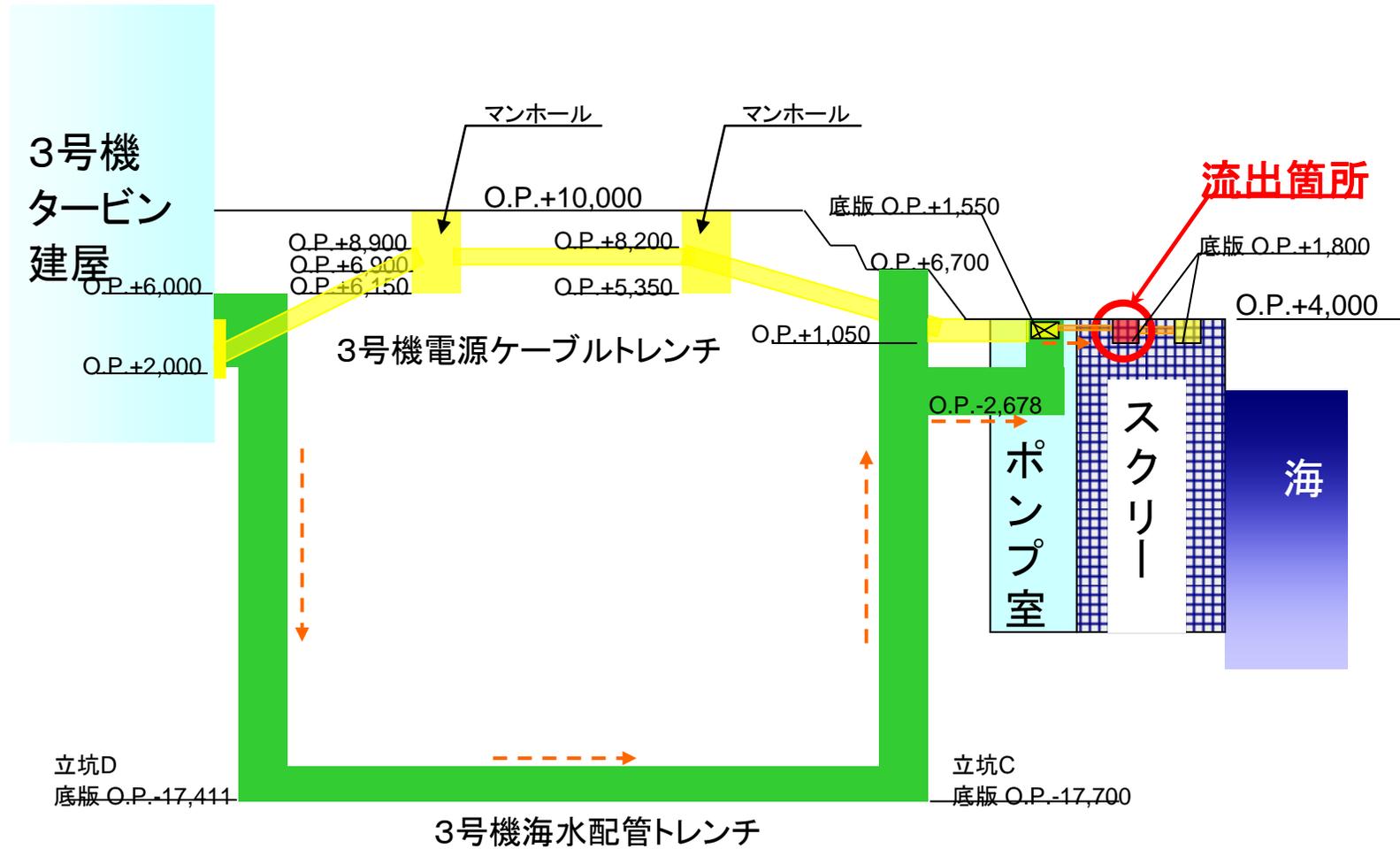
以上

3号機海水配管トレンチ 平面図

参考1



3号機海水配管トレンチ 縦断図(a-a断面)



3号機取水口付近への流出状況について

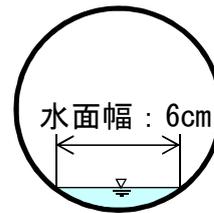
参考2

【電源ケーブルピットへの流況】

撮影日時：平成23年5月11日



(左図拡大)



電線管の断面図

1.27m落下する時間：

$$\sqrt{(2 \times 1.27) / 9.8} = 0.51 \text{ (s)}$$

水平方向の速度：

$$0.5 \text{ (m)} \div 0.51 \text{ (s)} = \text{約} 1.0 \text{ (m/s)}$$

電線管の直径：10 (cm)

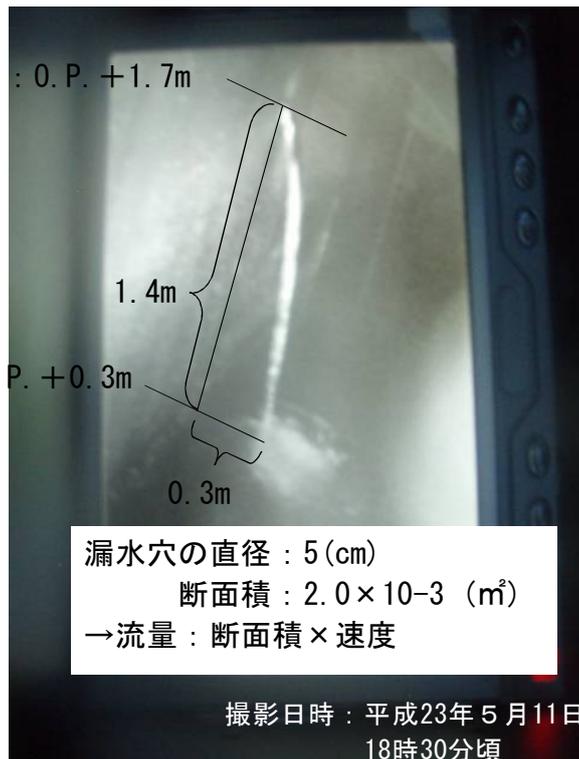
流水の水面幅：6 (cm)

断面積： $4.1 \times 10^{-4} \text{ (m}^2\text{)}$

→流量：断面積 × 4本 × 速度

【電源ケーブルピットからスクリーンエリアへの流況】 (ウェス止水後)

漏水穴の高さ：O.P. +1.7m



5月11日 18時30分の潮位：O.P. +0.3m

海面までの落下時間：

$$\sqrt{(2 \times 1.4) / 9.8} = 0.55 \text{ (s)}$$

水平方向の速度：

$$0.3 \text{ (m)} \div 0.55 \text{ (s)} = 0.6 \text{ (m/s)}$$

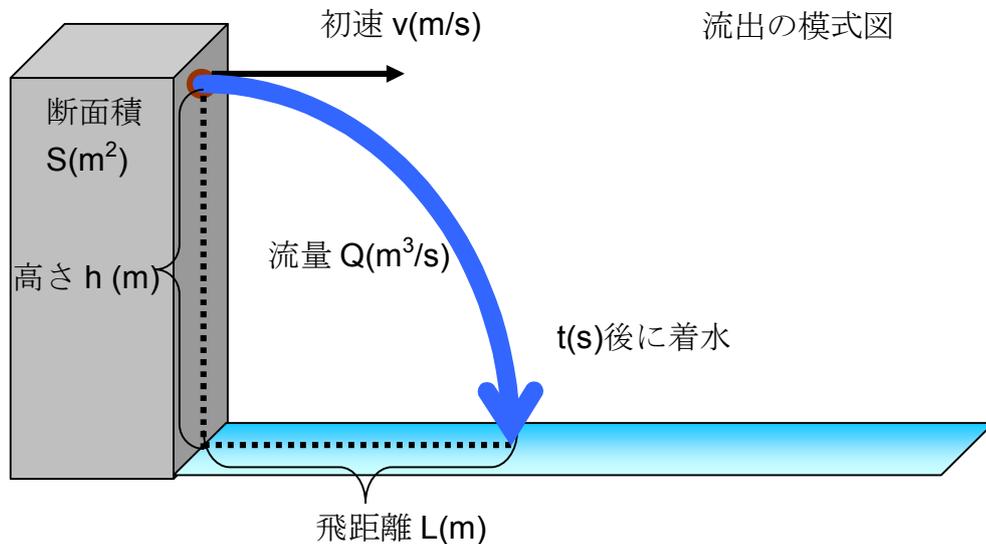
漏水穴の直径：5 (cm)

断面積： $2.0 \times 10^{-3} \text{ (m}^2\text{)}$

→流量：断面積 × 速度

撮影日時：平成23年5月11日
18時30分頃

流出流量の評価方法



飛距離と高さから、流出した液体が自由落下運動をしたとして、流量を以下の式を用いて算出する。

垂直方向は自由落下運動 $h = \frac{1}{2}gt^2 \Leftrightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$

水平方向は等速運動 $v = \frac{L}{t} = \frac{L}{\sqrt{\frac{2h}{g}}}$ 流量 $Q = Sv = \frac{SL}{\sqrt{\frac{2h}{g}}} \dots \textcircled{1}$

<前提>

- 電線管の直径：10 (cm)、流水の水面幅：6 (cm)
- 電線管 1 本における流水の断面積： $S = 4.1 \times 10^{-4} (\text{m}^2)$
- 飛距離： $L = 0.50 (\text{m})$
- 高さ： $h = 1.27 (\text{m})$
- 重力加速度： $g = 9.8 (\text{m/s}^2)$

①式に前提条件を代入して、流量を以下の通りに評価する。

$$Q = \frac{SL}{\sqrt{\frac{2h}{g}}} \times 4 \text{本} = \frac{4.1 \times 10^{-4} \times 0.5}{\sqrt{\frac{2 \times 1.27}{9.8}}} \times 4 \text{本} = 1.6 \times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{s}) \neq 6 (\text{m}^3/\text{h})$$

福島第一原子力発電所からの低レベルの滞留水などの海洋放出の結果について

現在、福島第一原子力発電所タービン建屋内には、多量の放射性廃液が存在しており、特に2号機の廃液は、極めて高いレベルの放射性廃液である。

これを安定した状態で保管するには、集中廃棄物処理施設に移送することが必要と考えている。しかし、同施設内には、現状、1万トンの低レベルの滞留水などが既に保管されており、新たな液体を受け入れるには、現在保管されている滞留水などを排出する必要がある。

また、5号機ならびに6号機では、サブドレンピットに低レベルの地下水が溜まってきており、建屋の内部に地下水の一部が浸入してきており、このままでは原子炉の安全確保上重要な設備を水没させる恐れが出てきている。

そのため、極めて高い放射性廃液をしっかりと管理貯蔵するために、集中廃棄物処理施設内に溜まっている低レベルの滞留水（約1万トン）と、5号機および6号機のサブドレンピットに保管されている低レベルの地下水（延べ1,500トン）を、原子炉等規制法第64条1項に基づく措置として、準備が整い次第、海洋に放出することとした。

その後、低レベル滞留水等の海洋放出の準備を行っていたが、準備が整ったことから、4月15日午後7時に集中廃棄物処理施設内に留まっていた低レベル滞留水などを海洋に放出することとし、また、同日午後9時に、5号機および6号機のサブドレンピットに留まっていた低レベルの地下水を海洋に放出することとした。

集中廃棄物処理施設内に溜まっていた低レベルの滞留水などについては、4月4日午後7時3分より放水口の南側の海洋への放出を開始し、4月10日午後5時40分までに放出を完了した。その後、4月11日午前9時55分、建屋内の滞留水が十分排水され、高レベルの廃水を受け入れるに当たっての建屋内における対策（止水対策など）を実施することに支障がないことを確認した。

5号機および6号機のサブドレンピットに留まっていた低レベルの地下水については、4月4日午後9時より5、6号機放水口より海洋への放出を開始し、4月9日午後6時52分までに放出を完了した。

このたびの低レベルの滞留水などの海洋放出に際しては、経済産業省原子力安全・保安院からの指示を受けて、海洋モニタリングを着実に実施するとともに、さらに、測定ポイントおよび実施頻度を増加し、放射性物質の拡散による影響を調査・確認したうえで、その結果を公表してきた。

発電所近傍を含めた測定ポイントにおける放射能濃度については、放出前1週間の推移と比較しても、大きな変動は見られなかった。

今回、海洋へ放出された低レベル滞留水等の量は、集中廃棄物処理施設より約 9,070 トン、5号機および6号機のサブドレンピットより約 1,323 トン（5号機：約 950 トン、6号機：約 373 トン）であり、放出された全放射エネルギーは約 1.5×10^{11} ベクレルであった。

今回の放出の完了に伴い、当社は、2号機タービン建屋内の極めて高いレベルの放射性廃液等については、集中廃棄物処理施設の建屋内における止水対策などが整い次第、同施設の建屋に移送し、安定した状態で保管することとした。

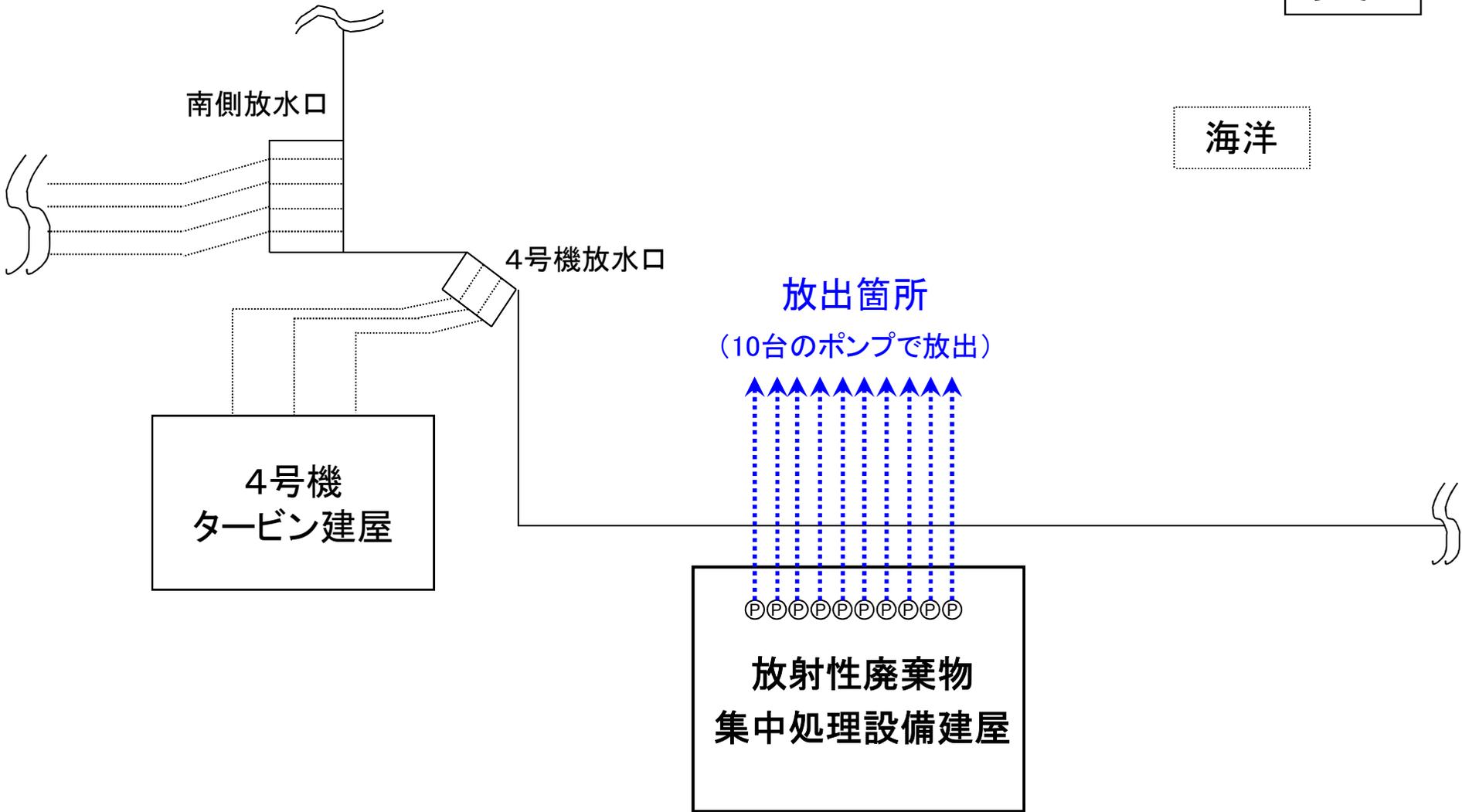
また、今後、5号機および6号機のサブドレンピットに溜まった地下水については、屋外に設けた仮設タンク等に受け入れることとし、適切な放射能低減策を検討していく。

さらに、海洋モニタリングのために現在実施している海水の調査の評価結果を引き続きしっかりと注視し、影響評価を行っていく。

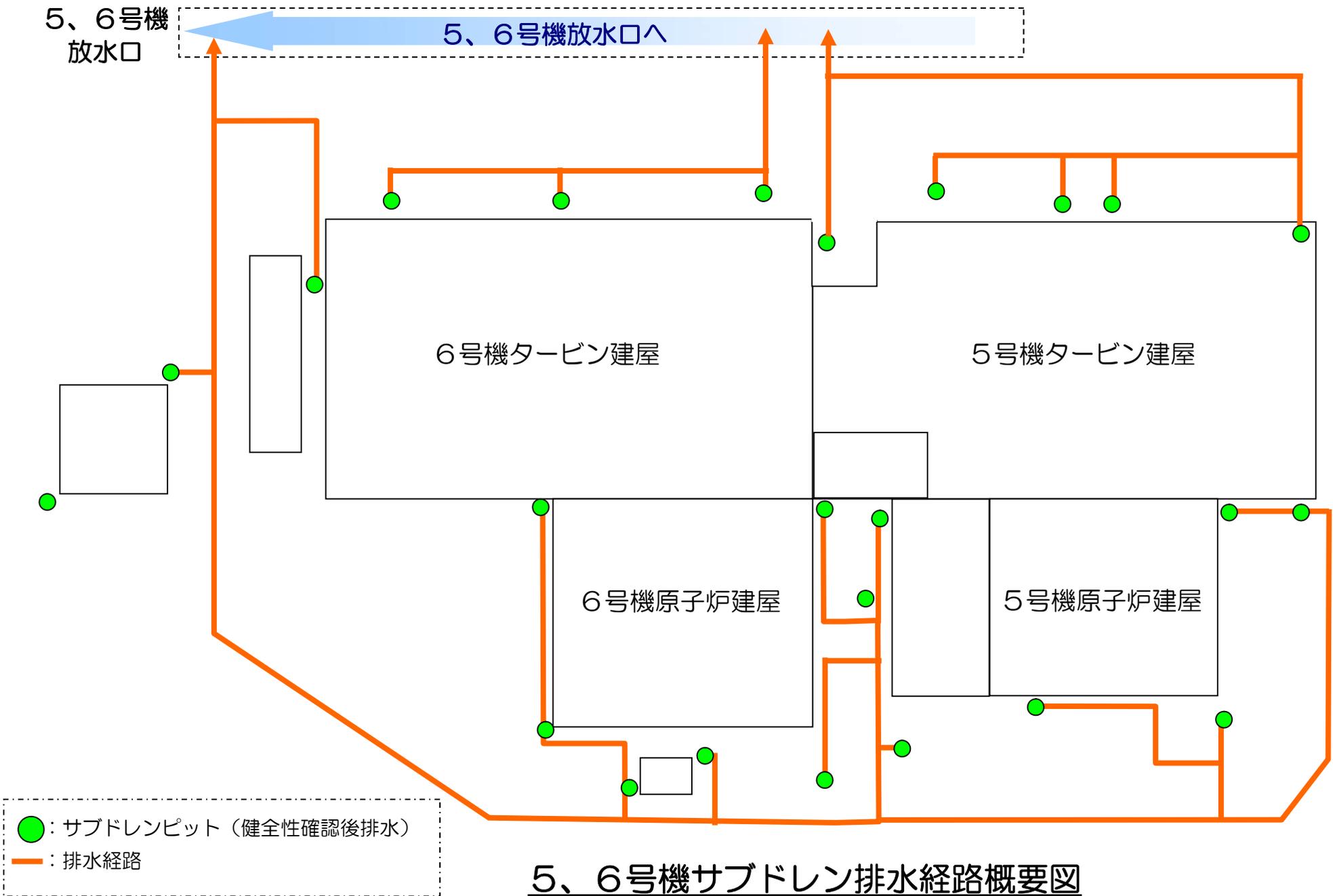
以 上

参考1

海洋



福島第一原子力発電所 低レベル滞留水の海洋放出イメージ



福島第一原子力発電所 滞留水及びサブドレン水核種分析結果

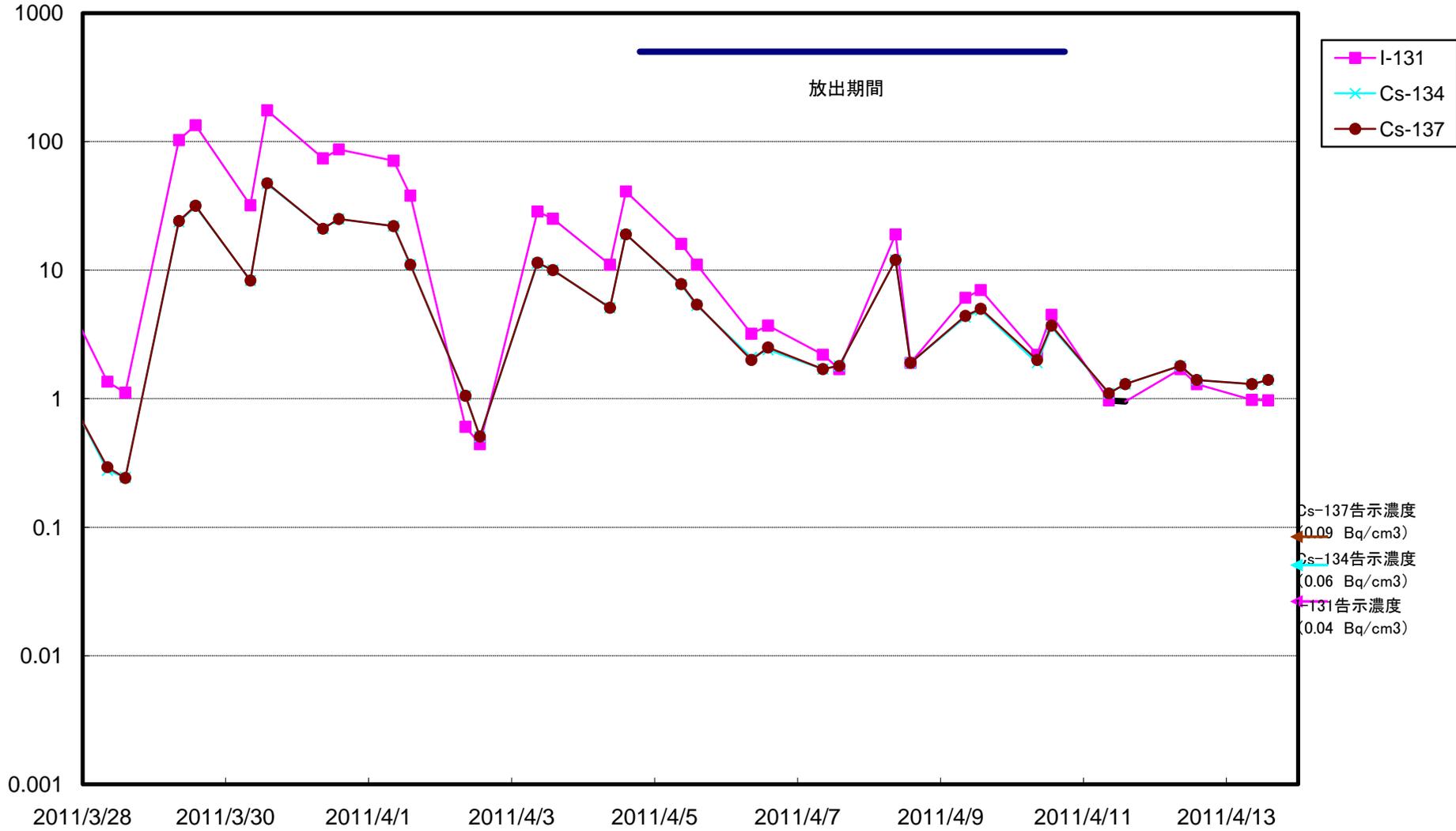
参考3

試料採取日時刻	平成23年3月28日 15時30分	平成23年3月28日 16時00分	平成23年3月30日 10時30分	平成23年3月30日 10時40分
採取場所	集中廃棄物処理施設 滞留水(非管理区域側)	集中廃棄物処理施設 滞留水(管理区域側)	5号機 サブドレンピット水	6号機 サブドレンピット水
検出核種 (半減期)	試料濃度 (Bq/cm ³)			
I-131 (約8日)	6.3E+00	8.7E-01	1.6E+00	2.0E+01
Cs-134 (約2年)	2.7E+00	4.4E+00	2.5E-01	4.7E+00
Cs-137 (約30年)	2.8E+00	4.4E+00	2.7E-01	4.9E+00

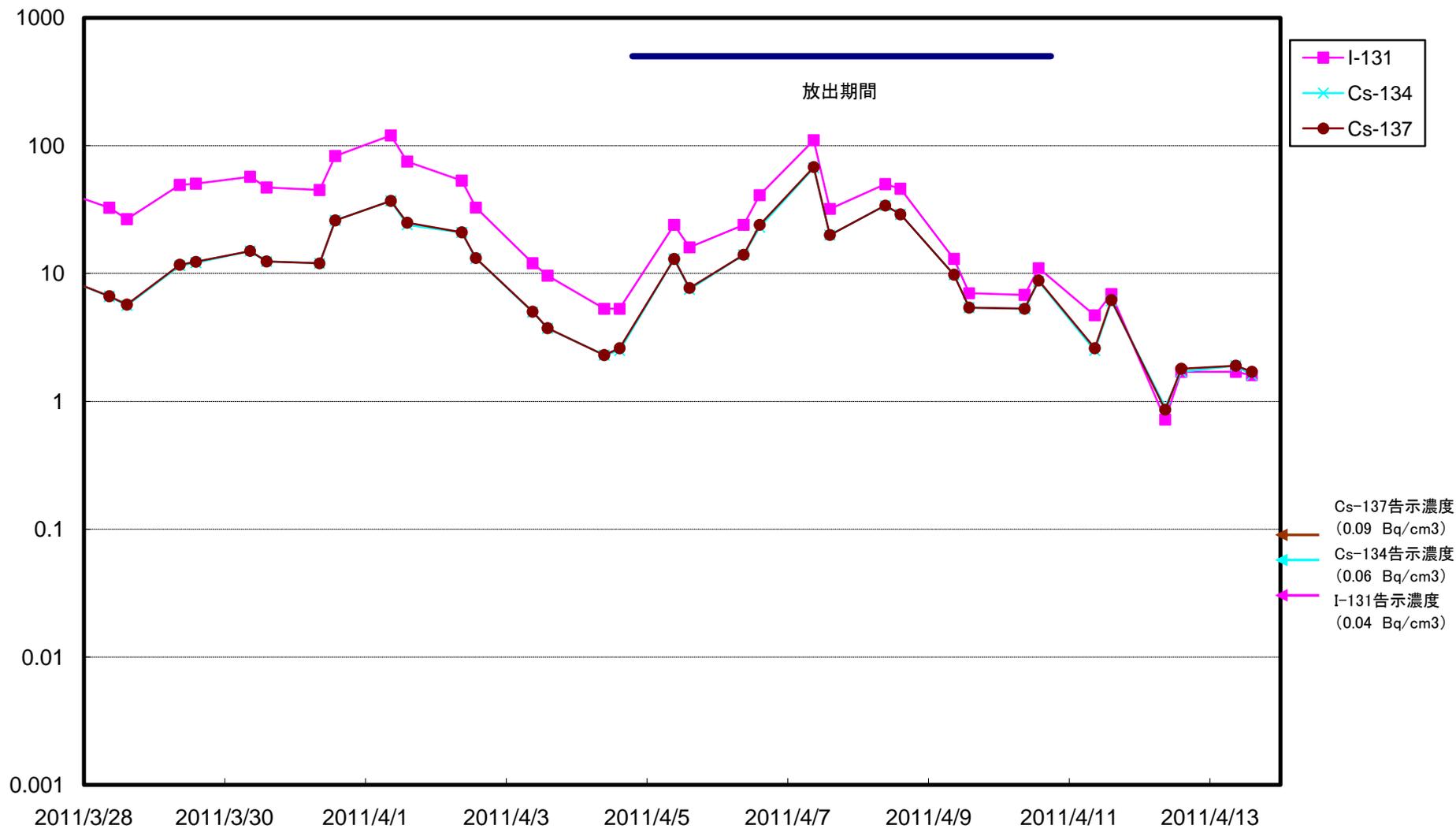
※ 〇.〇E-〇とは、〇.〇×10^{-〇}を表す。

※ I-131, Cs-134, Cs-137の3核種については確定値。その他の核種については評価中。

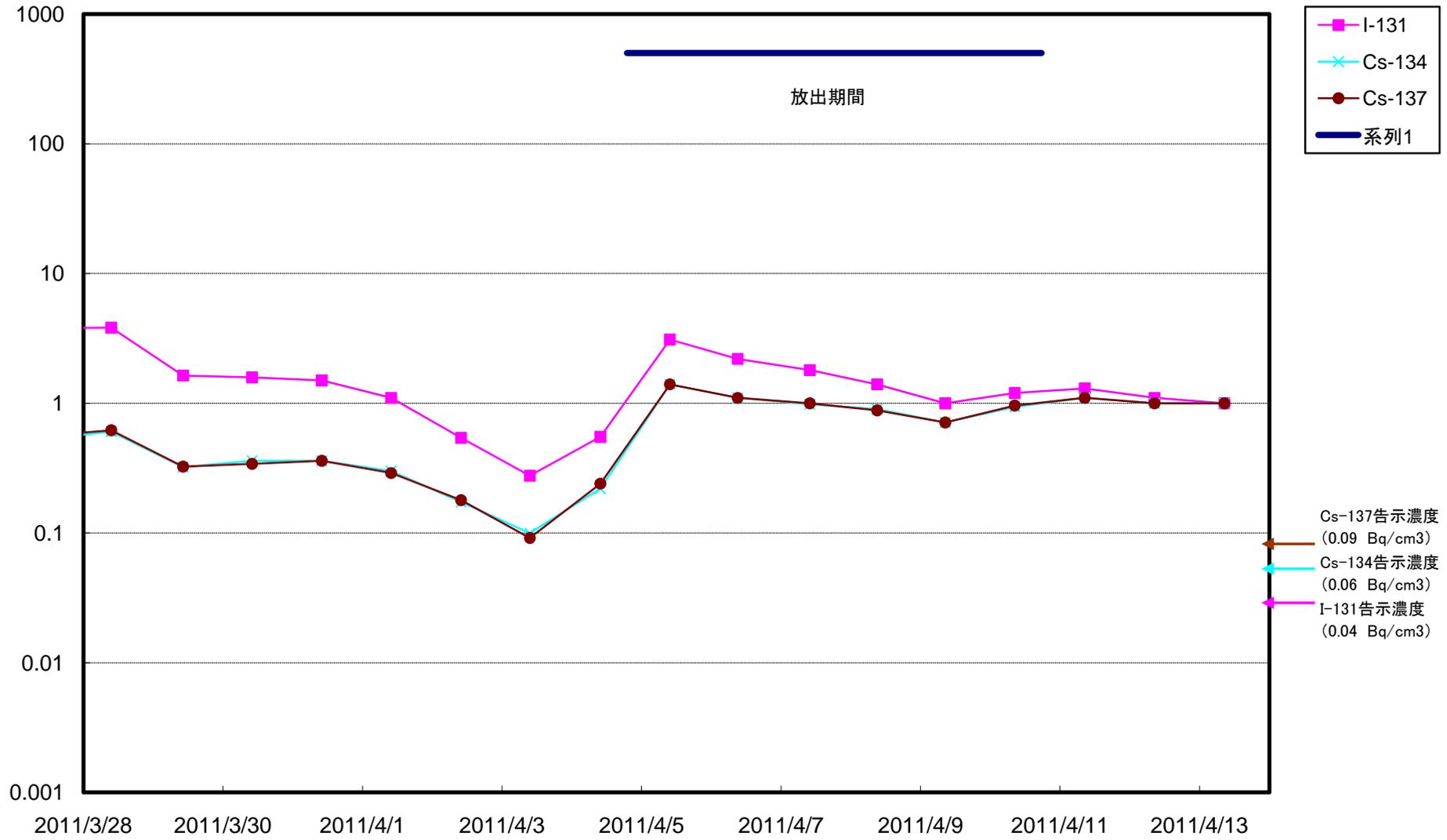
海水中放射性物質の核種分析結果
1F南放水口付近 海水放射能濃度(Bq/cm³)



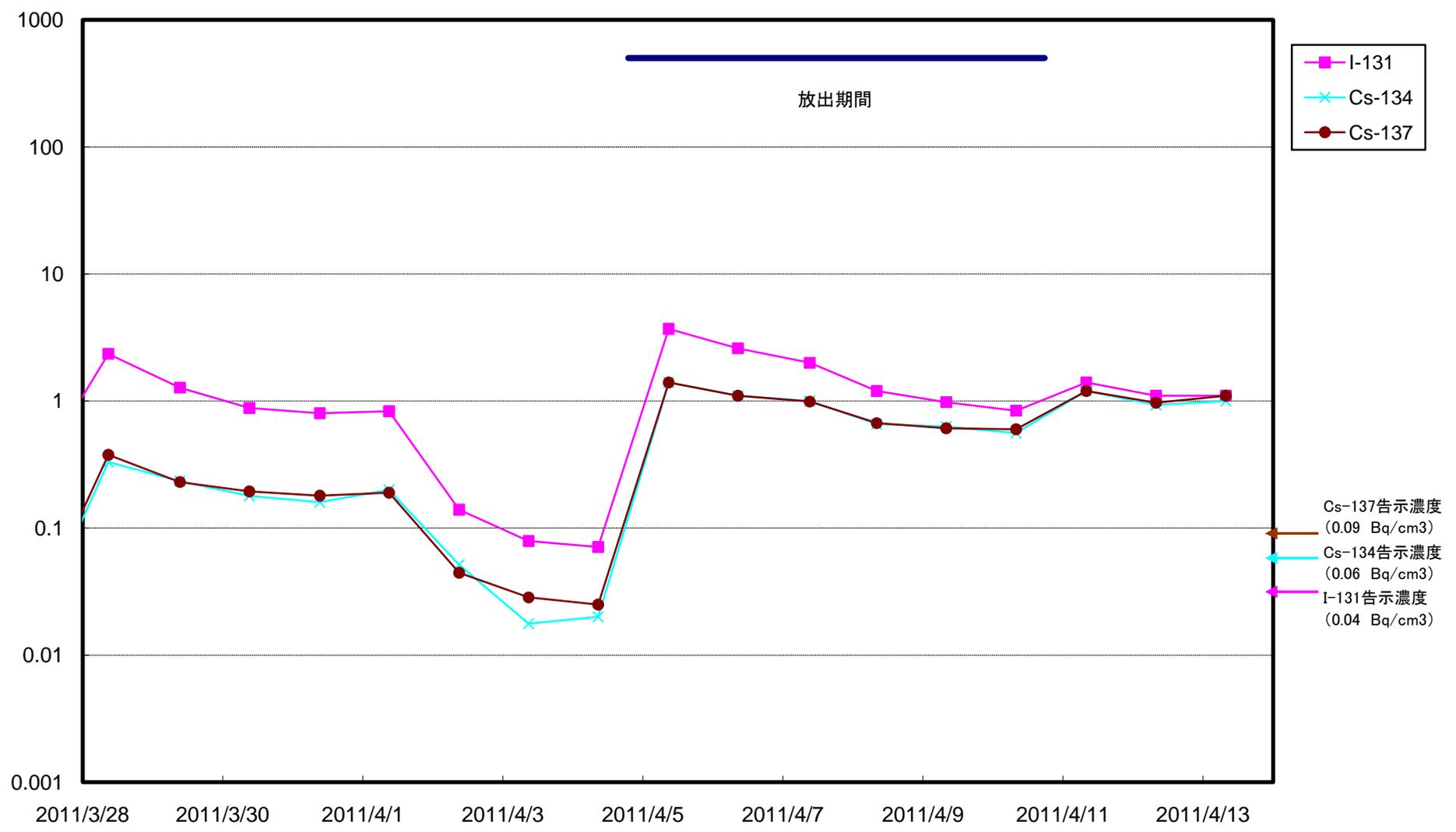
海水中放射性物質の核種分析結果
 1F 5~6放水口北側(5~6u放水口から北側に約30m地点)放射能濃度(Bq/cm³)



海水中放射性物質の核種分析結果
 2F北側放水口付近 海水放射能濃度 (Bq/cm³)



海水中放射性物質の核種分析結果
 2F岩沢海岸付近 海水放射能濃度(Bq/cm³)

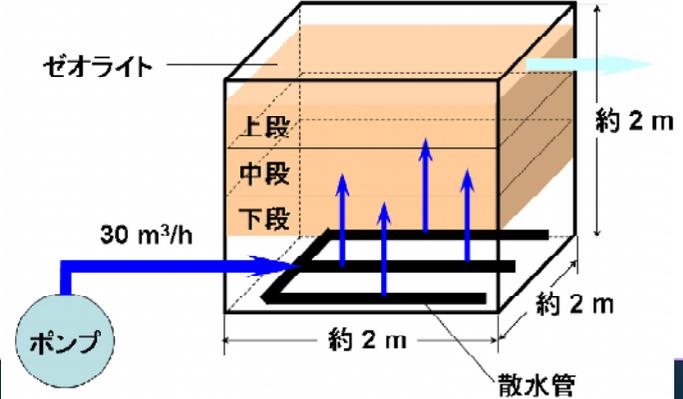


放射性物質を含む液体の拡散防止強化対策

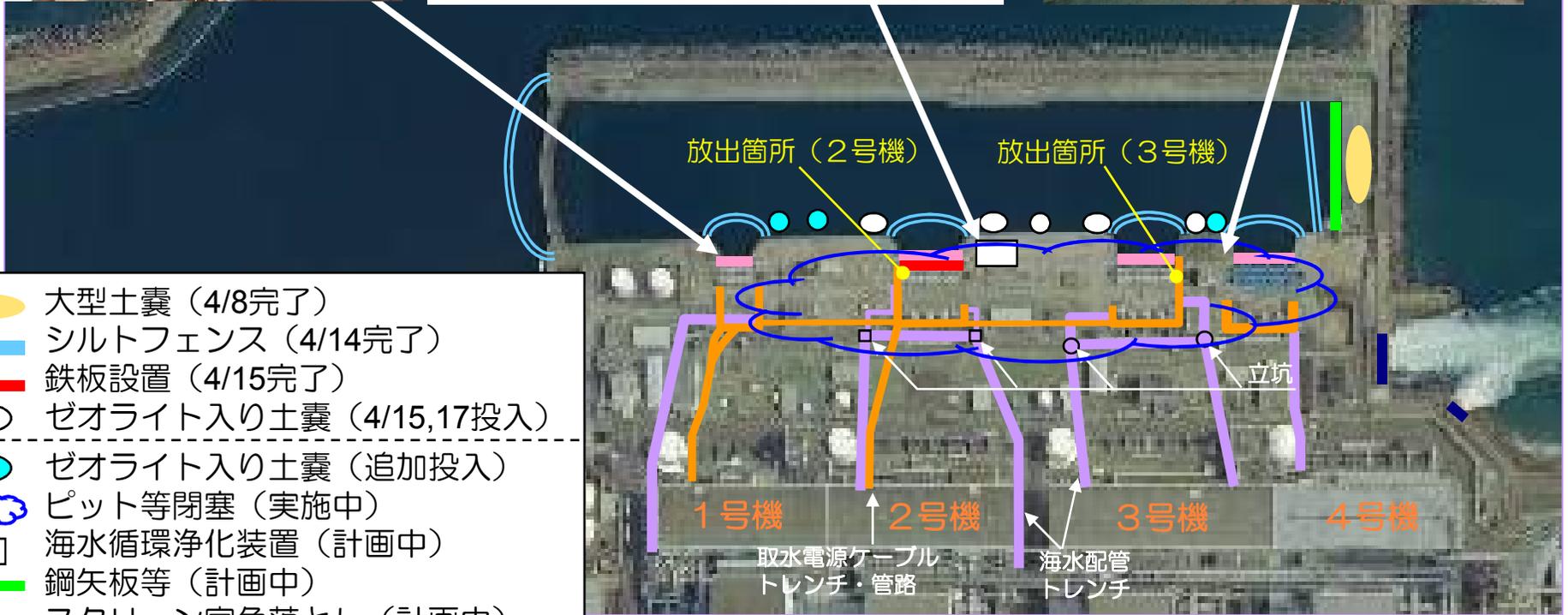
角落としの設置



海水循環浄化装置の設置



ピット等の閉塞



-  大型土嚢 (4/8完了)
-  シルトフェンス (4/14完了)
-  鉄板設置 (4/15完了)
-  ゼオライト入り土嚢 (4/15,17投入)
-  ゼオライト入り土嚢 (追加投入)
-  ピット等閉塞 (実施中)
-  海水循環浄化装置 (計画中)
-  鋼矢板等 (計画中)
-  スクリーン室角落とし (計画中)
-  放水口角落とし (計画中)