

福島第一原子力発電所 1号機及び2号機非常用ガス処理系（SGTS）配管 スミアろ紙分析結果について

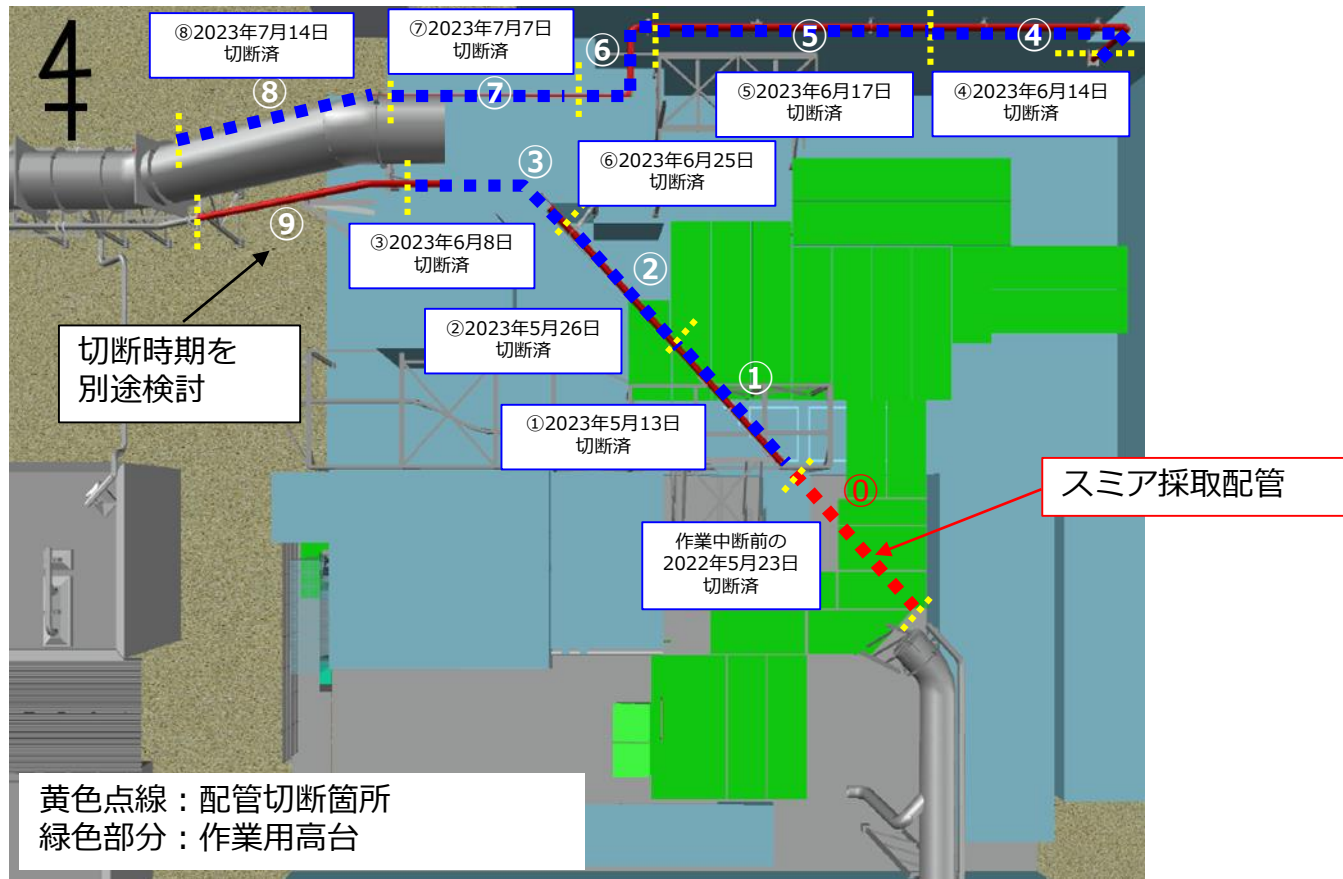
2023年12月25日



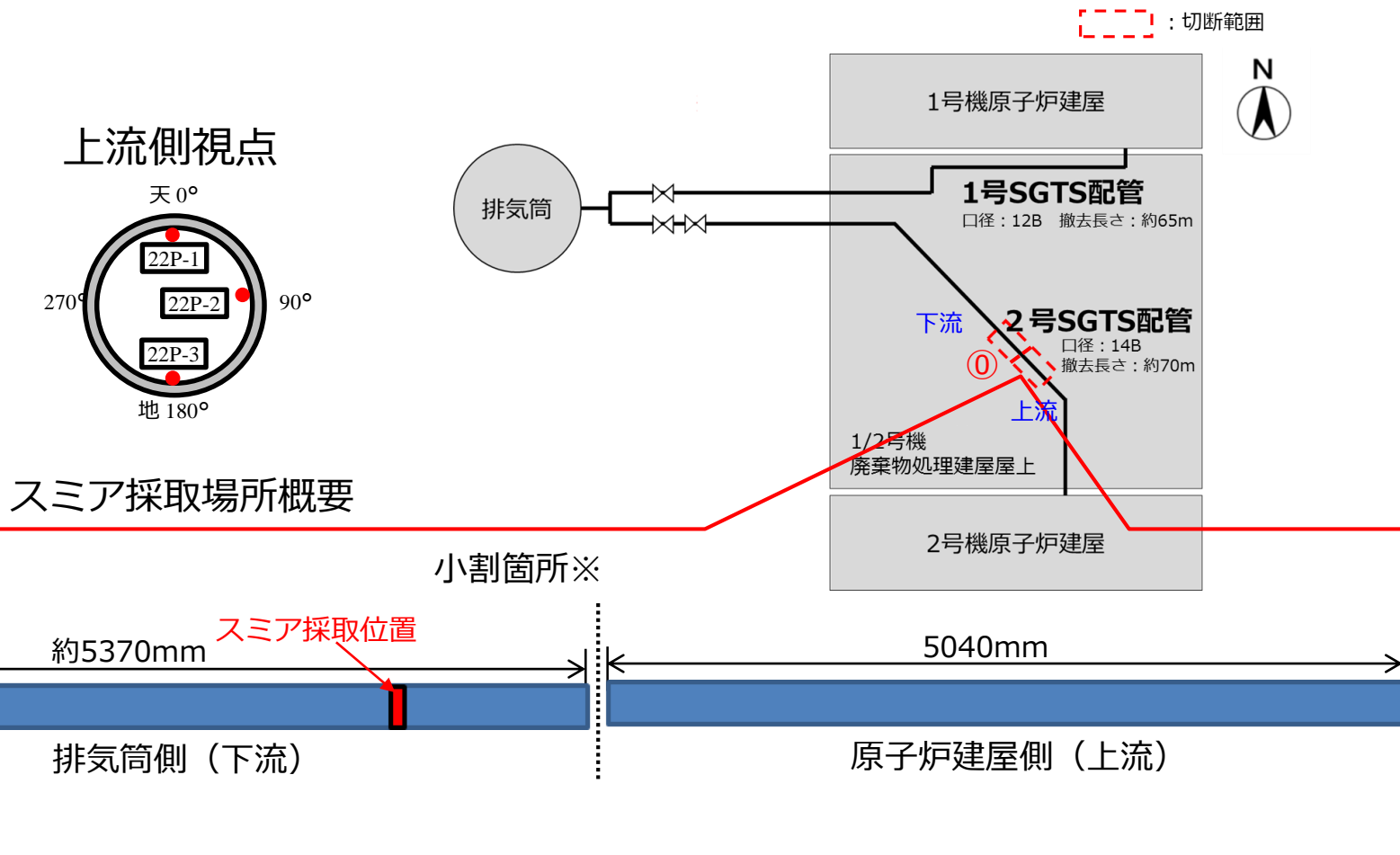
東京電力ホールディングス株式会社

- 1号機のPCVベントガスにより汚染された1, 2号機の非常用ガス処理系（SGTS）配管内面の汚染の状況を把握するため、スミアを採取し分析を実施した。
- スミア試料について、 γ 線スペクトル測定およびSEM-EDS観察を実施した。
- その結果、 γ 線スペクトル測定ではCs-134, Cs-137が検出された。
- SEM-EDS観察では、Feが主成分であり、（U, Zrといった）燃料由来の成分は確認されなかった。
- 今後は、SGTS配管の配管サンプル（以下、母材）について、詳細な分析を実施する。

- 1/2号機非常用ガス処理系(SGTS)配管について、1号機原子炉建屋カバー設置に干渉する①～⑧の配管の切断撤去作業を完了した。
- このうち、①配管についてスミア採取が完了していることから、スミアろ紙の分析を実施する。
- 他の切断配管について、配管線量に応じた調査方法を検討する。



- 2号機SGTS配管（①配管）内面について、スミアろ紙の拭き取りによるサンプリングを実施。（2022年5月採取）



※運搬可能サイズに小割を実施

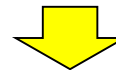
- 日本原子力研究開発機構（JAEA）の協力により，SGTS配管内面のスミアろ紙について，非破壊分析を実施した。
- 今後，SGTS配管の母材について，詳細な分析を実施する。

今回実施

配管内面のスミア

<非破壊分析>

- ・ γ 線スペクトル測定
- ・ SEM-EDS観察



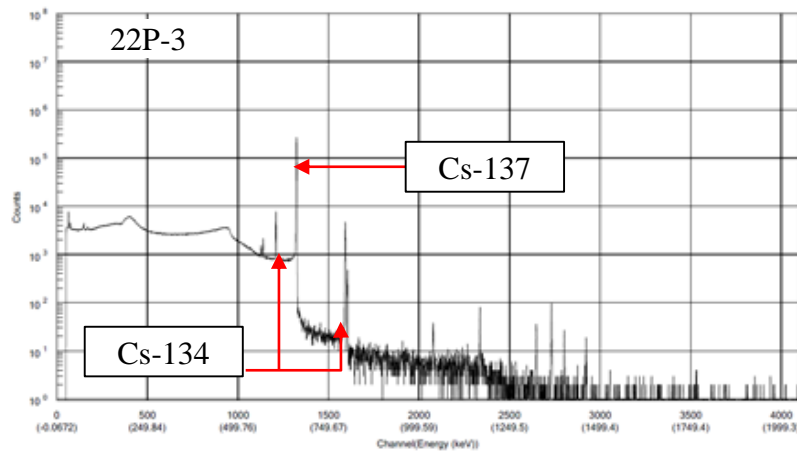
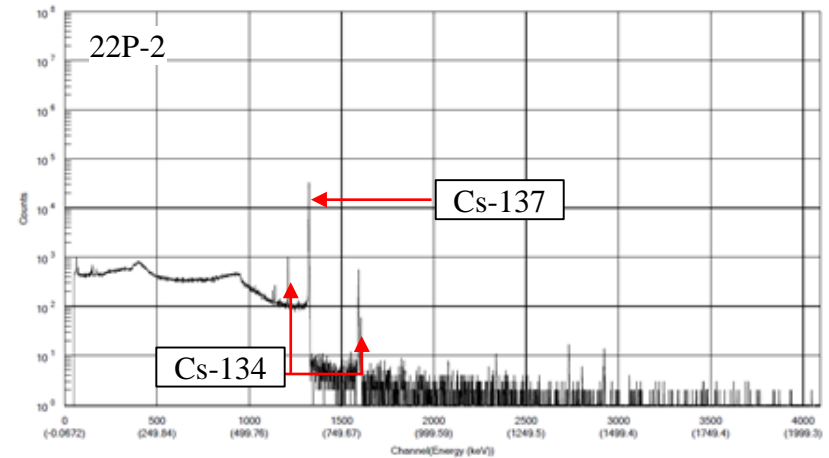
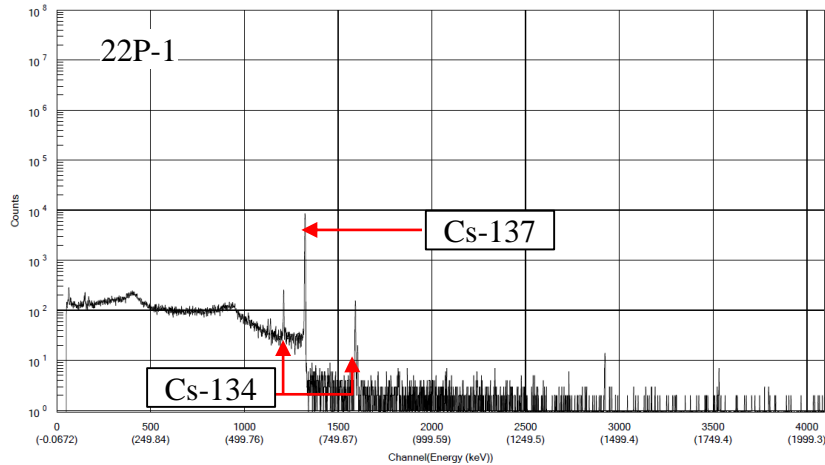
配管サンプル（母材）

- ・ 分析方法を検討中

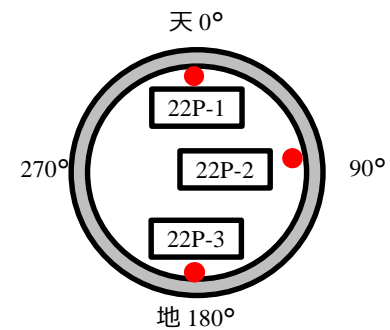
3-1.分析結果①： γ 線スペクトル測定結果

- Cs-137, 134が検出され, その他核種の検出はされなかった。
- なお, アメリシウム241等の存在を低エネルギー領域 (<100keV) で確認したが検出されなかった。

高エネルギー領域のスペクトル



上流側視点



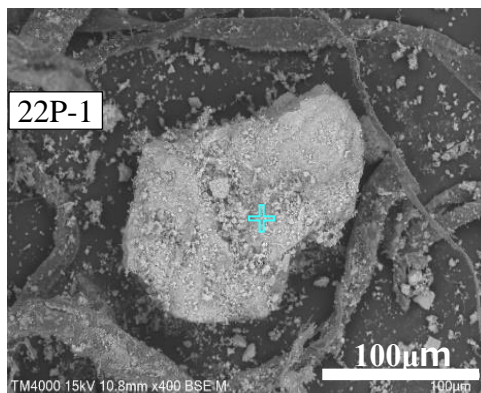
3-2.分析結果②：SEM-EDS観察

- ・スミアろ紙の一部を切り出してカーボンテープに貼り付けてSEM-EDS観察を実施した。
- ・SEM-EDS観察でどのような成分があるか網羅的に測定を実施した。
- ・測定の結果，Feが主成分で，セシウム以外のF Pや燃料由来の特徴的な成分は確認されなかった。

ピーク検出	Fe	O	C	Mn	Al	Si	Ca	Cl	Na	K
22P-1スポット	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-
22P-3エリア	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○
22P-3スポット	○	○	○	-	○	○	-	○	-	-

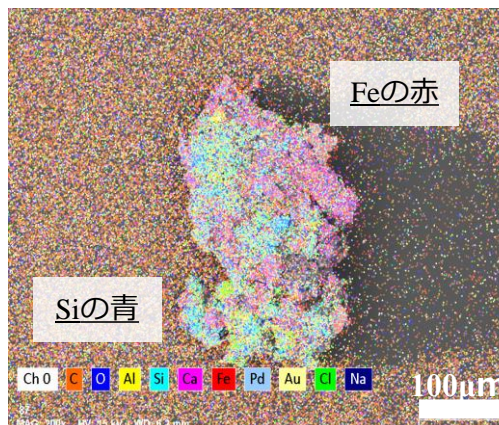
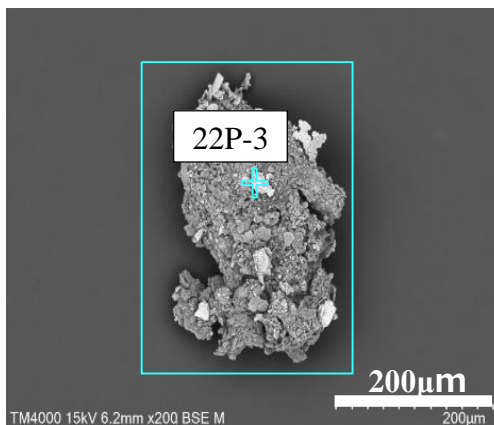
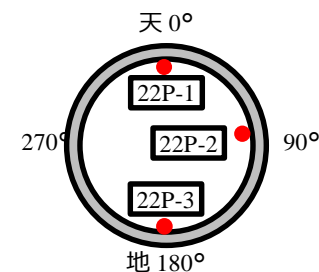
※水色で示すのが走査位置

- : 未検出



22P-1試料の画像と元素マッピング

上流側視点



22P-3試料の画像と元素マッピング

4-1.事故分析に資する調査（ γ カメラ測定 配管④）

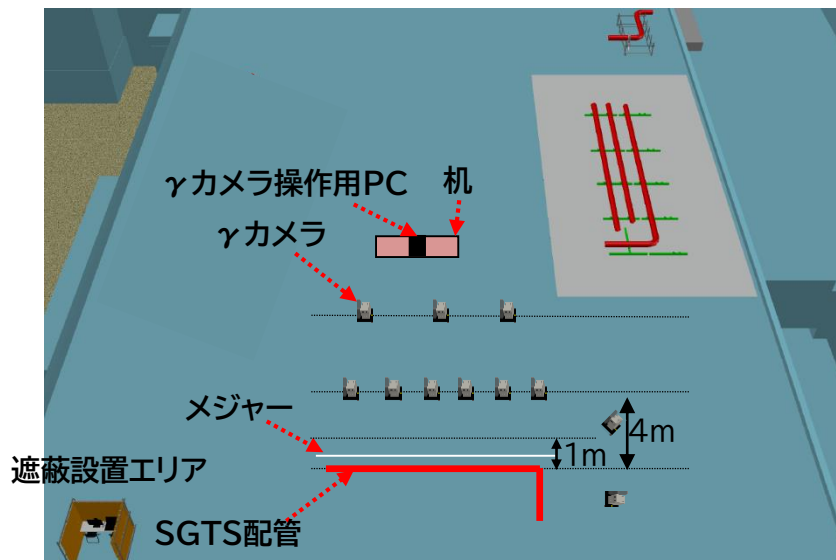
- 1号機T/B屋上に仮置き中の1号機SGTS配管について、規制庁殿による γ カメラ測定を実施。
- 当社所有の γ カメラ（コーデットマスク）及びJAEA殿の γ カメラ（コンプトン）も知見を得るため、一緒に γ カメラ測定を実施。
- 配管から4 m, 1mの位置で台車に乗せた γ カメラを移動させ測定する。
- 当社の γ カメラについて、前回、測定時間1分で実施したが、S/N比が悪く、明瞭な像が得られていないことから、測定時間を5分に延長し実施した。

【実績】

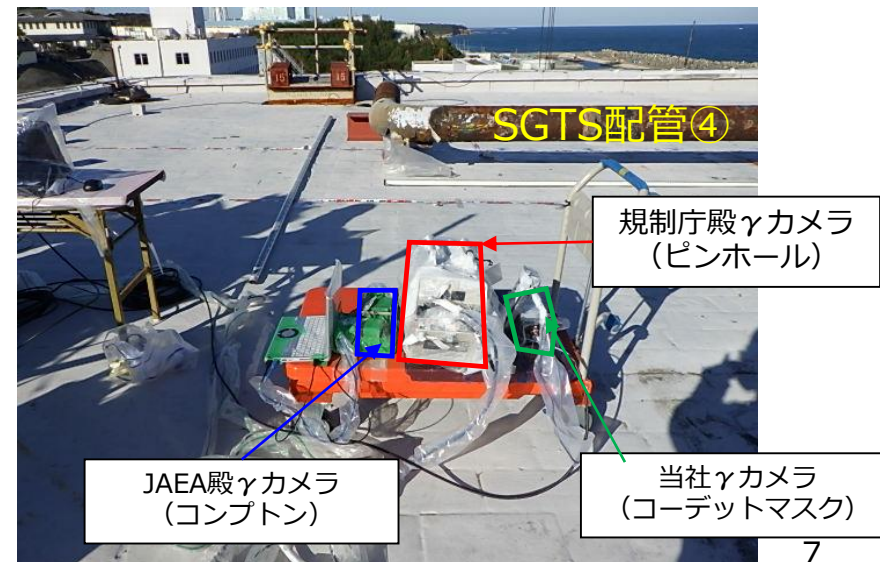
□ 1号機SGTS配管（配管④）について、下記の通り実施した。

11月16日（日中）

- ・ テレテクターおよび電離箱によるSGTS配管線量測定（規制庁殿）
- ・ γ カメラ測定：配管からの距離：4m, 1m（当社及びJAEA殿 γ カメラは4 mのみ）



※ γ カメラ測定時間：各箇所5分



測定に使用する γ カメラ

<参考> γカメラの性能比較

- ◆ 規制庁殿，JAEA殿，東京電力（放射線防護G，PG3）が所有する，測定方式が異なるγカメラを使用し，γカメラ測定モックアップを行った。

比較表

 今回使用

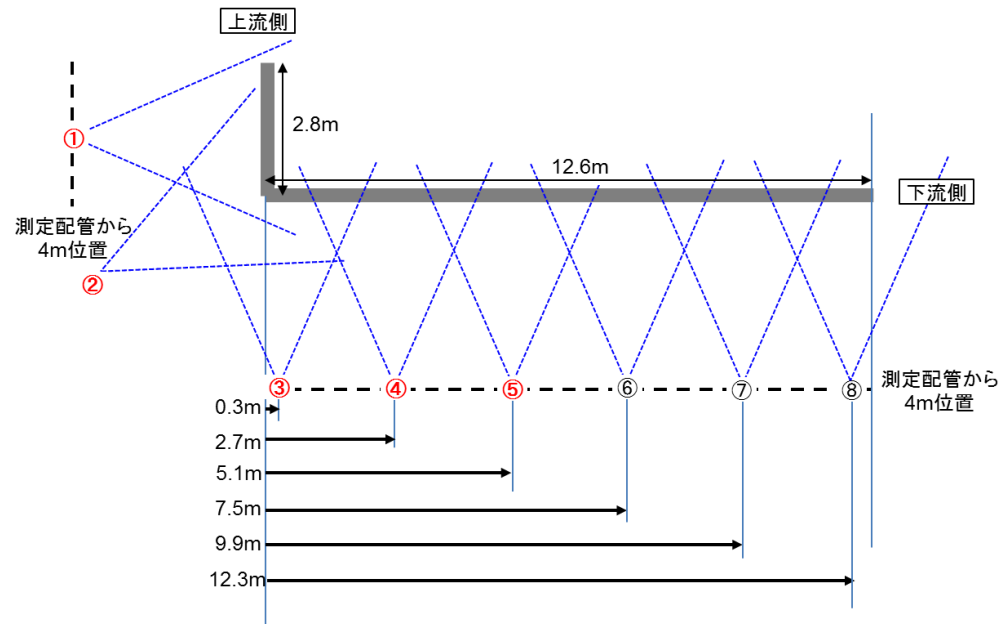
種類	測定方式	視野角	長所	短所
東電iPIX (PG3)	コードットマスク	45° 2mm : 48.8° 4mm : 46.4° 8mm : 41.4°	高線量率に強い 高位置分解能 高BG除去能力 軽量	環境レベルの放射線には不適 高エネルギーγ線に時間がかかる
東電γキャッチャー (放射線防護G)	コンプトン	140°	広視野角 軽量 高エネルギーγ線に強い	高線量率に弱い 位置分解能が悪い
<画像解析中> JAEA殿 コンプトン	コンプトン	140°	基本東電コンプトンと同様 鉛シールドにより，低線量 から高線量環境に対応可能	位置分解能が悪い
規制庁殿γカメラ	ピンホール	約60°	高線量率に強い 高位置分解能	重量 高エネルギーγ線に時間がかかる

4-2.事故分析に資する調査（当社コーデットマスク：配管④）

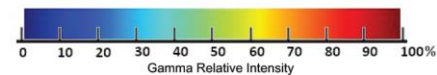
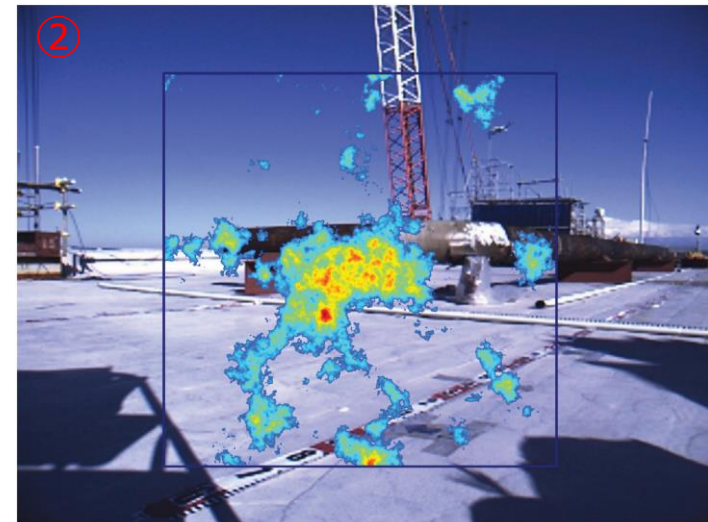
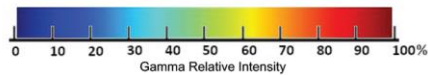
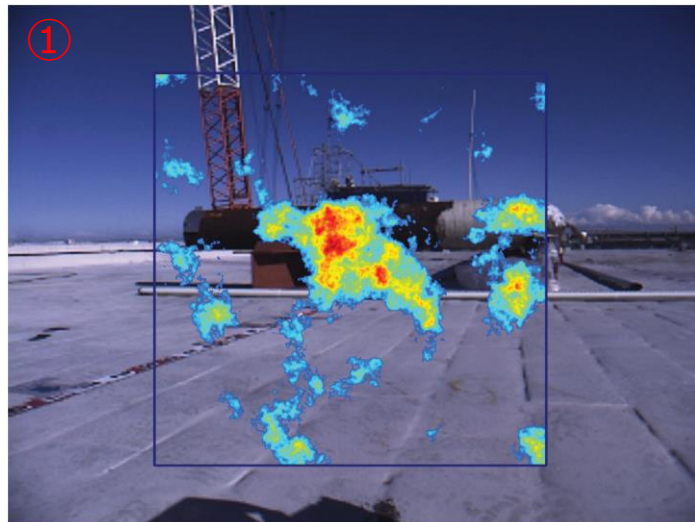
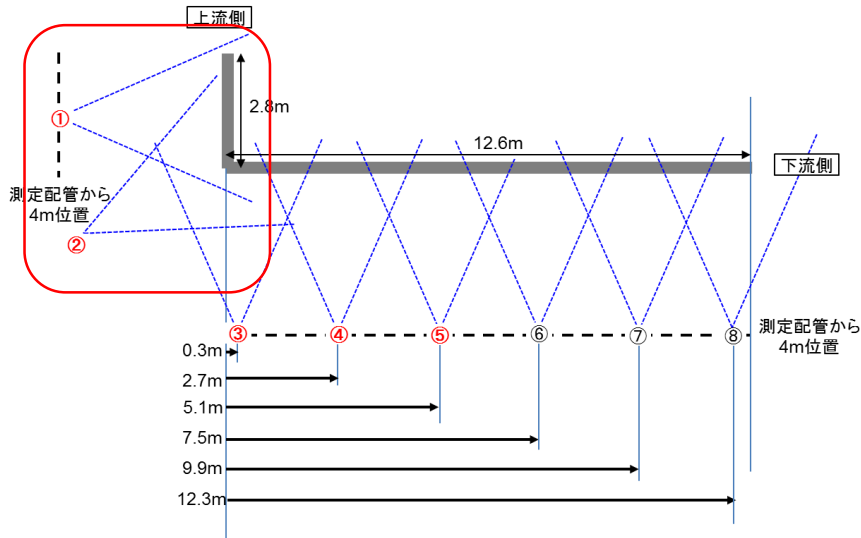
下記①～⑤（⑥⑦⑧は未実施）の測定点において、当社γカメラ（コーデットマスク）を用いてSGTS配管の汚染分布の測定を実施した。

【前回の測定時における課題】

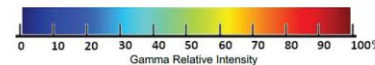
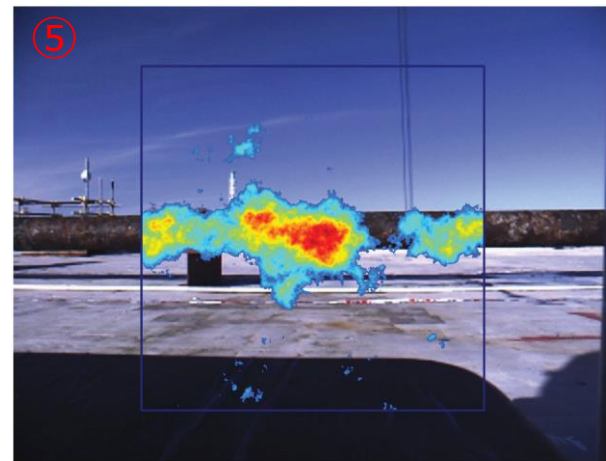
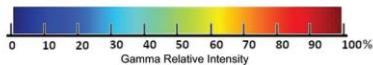
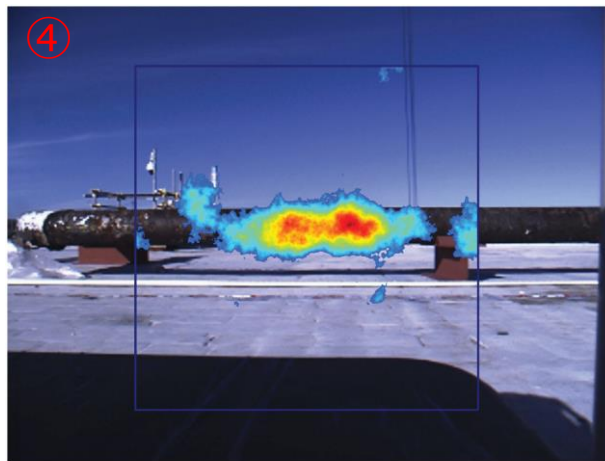
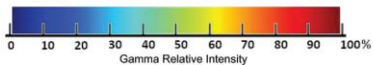
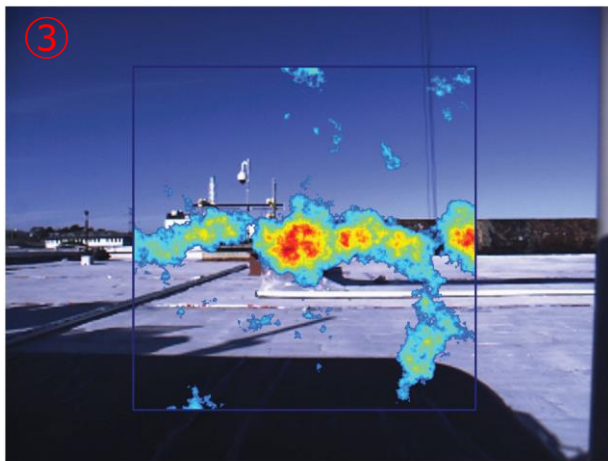
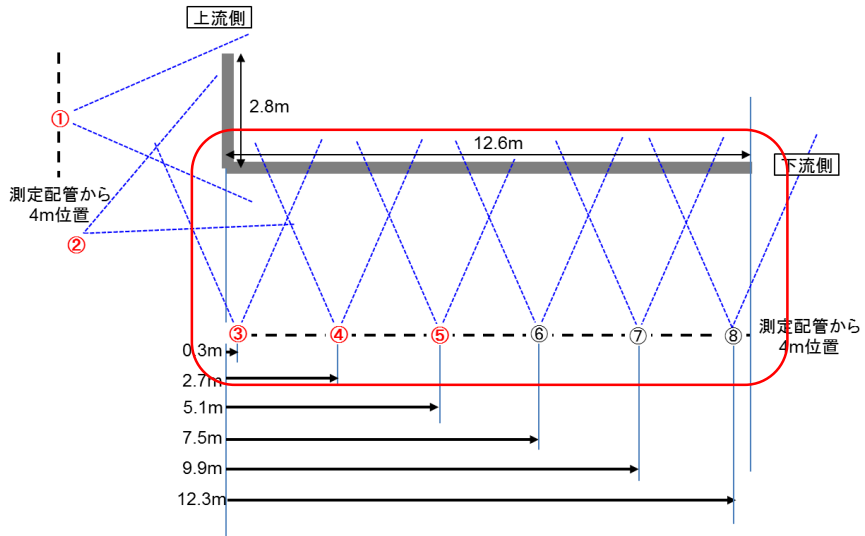
1. 現状当社γカメラ（コーデットマスク）にて出来ていない周辺感度補正を施し、均一な濃度分布を取得できるようにする必要がある。
⇒未対応
2. 低線量エリアでの測定、測定時間の延長が必要である。
測定場所：1号機T/B屋上（前回の測定場所と同様）
測定時間：1分⇒5分（モックアップ時と同様の測定時間に変更）



4-3.事故分析に資する調査（γカメラ測定結果①）



4-4.事故分析に資する調査（γカメラ測定結果②）



【結果と考察】

1. 撮影箇所の空間線量率が高く、前回の測定時間より5倍に伸ばしたもののまだS/N比が悪い（撮影時間に対し、 γ の露光時間が極端に短い）画像が得られた。
①～③に対してより偽像（ゴースト）が生じているため、撮影箇所の空間線量当量率が偽像の発生に寄与していると推測する。
2. 画像の中心近くに線源がある結果となっている。

【今後の課題】

1. 低線量エリアでの測定および線量当量率（対象・エリア）に対する必要十分な測定時間を決定する必要がある。
2. 現状当社 γ カメラ（コーデットマスク）にて出来ていない周辺感度補正を施し、均一な濃度分布を取得できるようにする必要がある。

<参考> 前回：当社γカメラ（コーデットマスク：配管⑤）

【結果】

1. 画像の中心近くに線源がある結果となっている。
2. 測定環境の空間線量率が高く，測定時間が短いため偽像（ゴースト）が生じている。

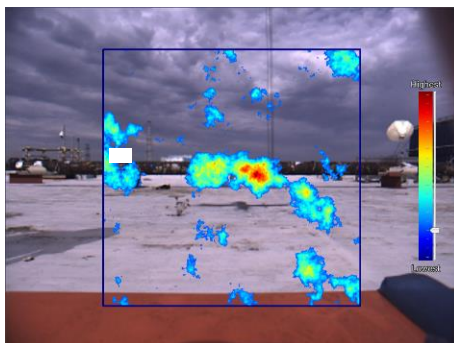
【考察】

1. 当社γカメラ（コーデットマスク）では画面の周辺部に行くにつれ感度が減少するため，面（線）状に汚染している場合線源の特定が難しいと推測する
2. 測定時間1分ではS/N比が悪く，明瞭な像が得られていないと推測する。

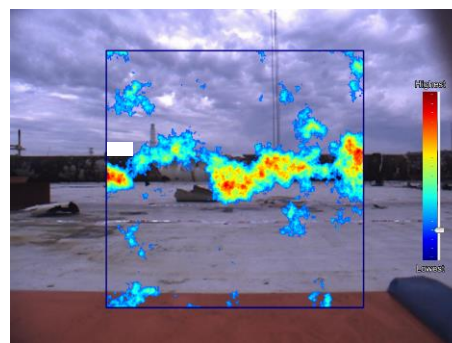
【今後の課題】

1. 現状当社γカメラ（コーデットマスク）にて今回の測定結果を基に，今後周辺感度補正を施し，均一な濃度分布を取得できるようにする必要がある。
2. 低線量エリアでの測定，測定時間の延長が必要である。

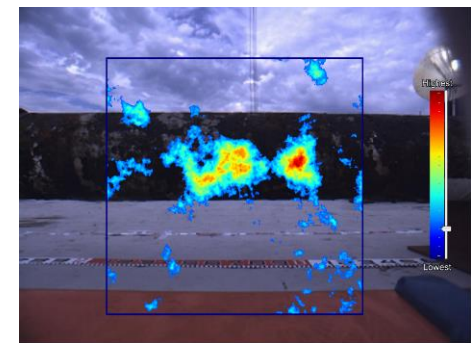
配管から 8 m位置



配管から 4 m位置



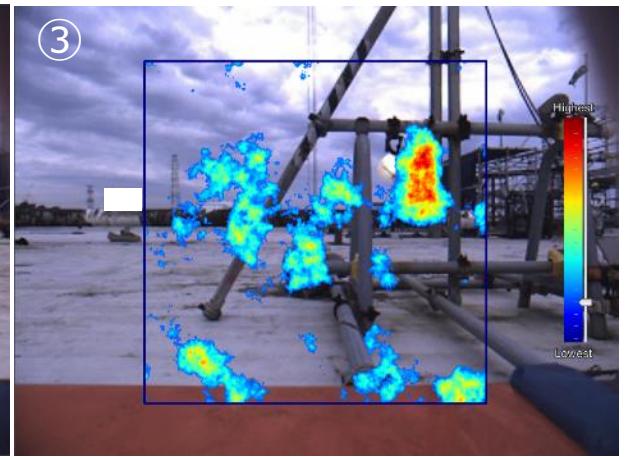
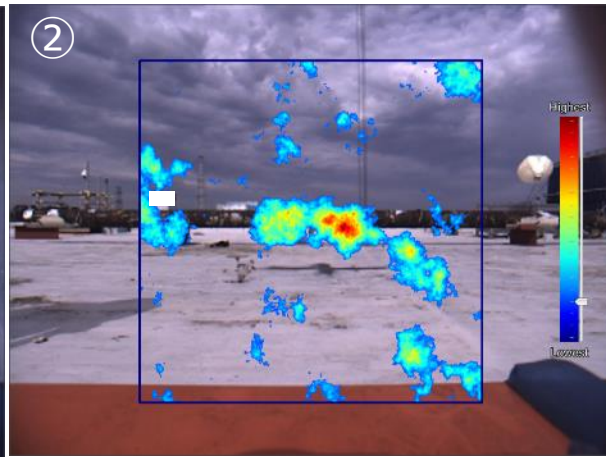
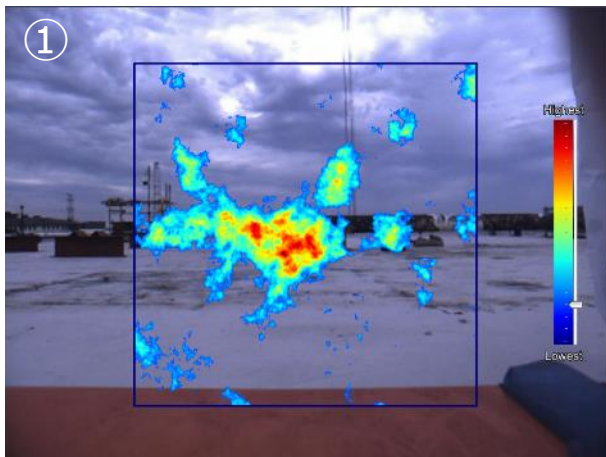
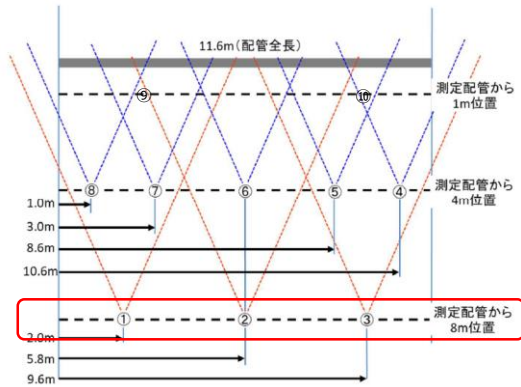
配管から 1 m位置



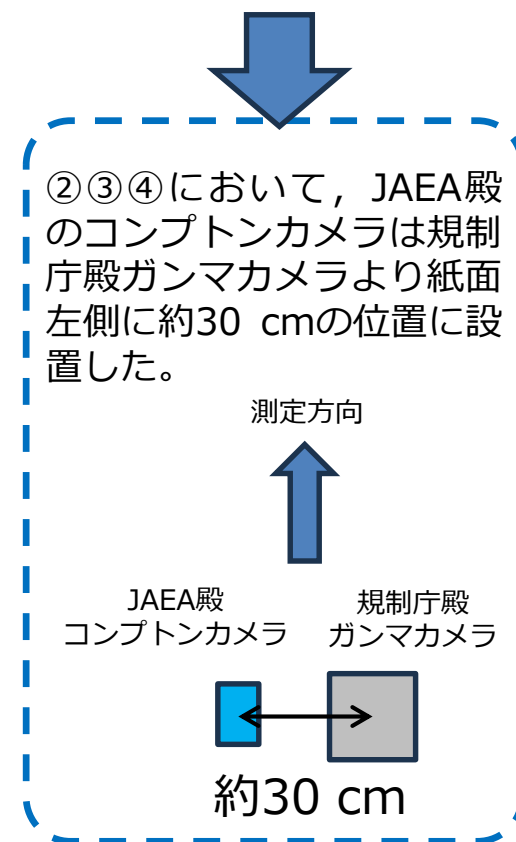
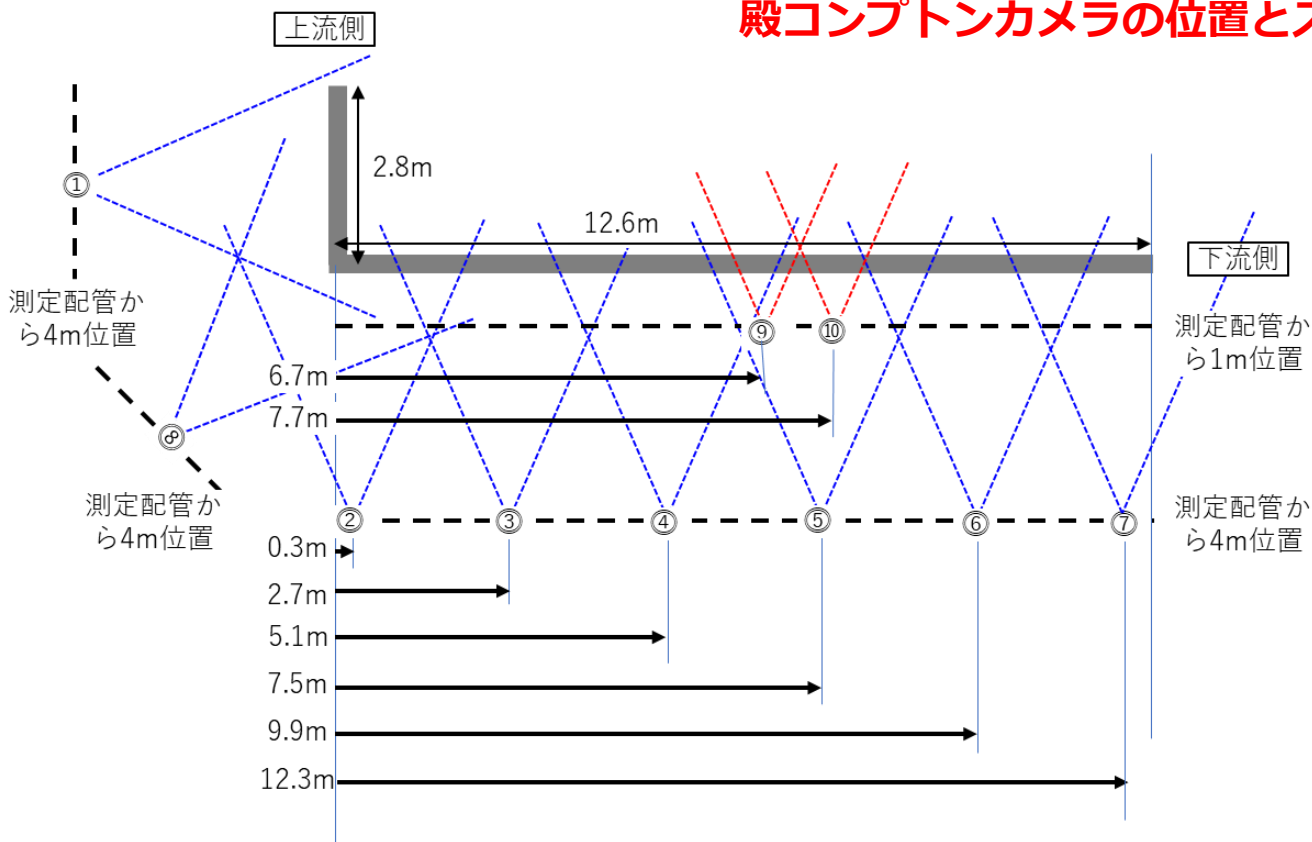
＜参考＞ 前回：当社γカメラ（コーデットマスク：配管⑤）



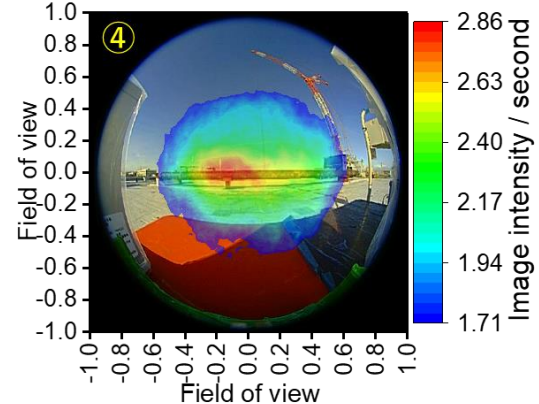
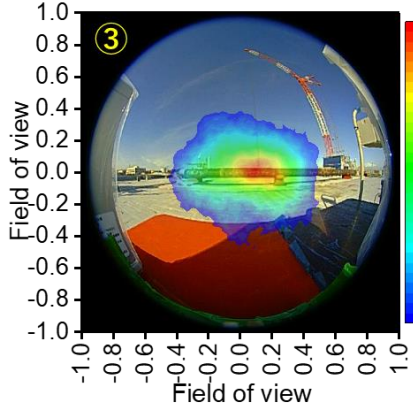
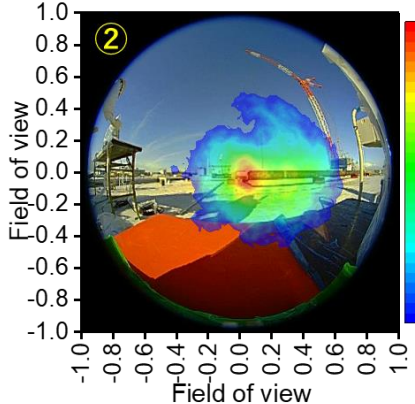
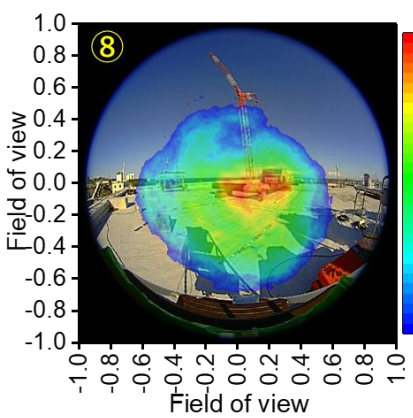
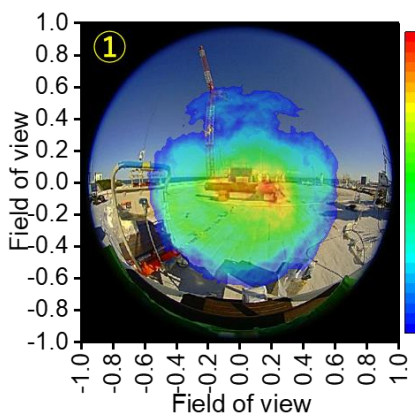
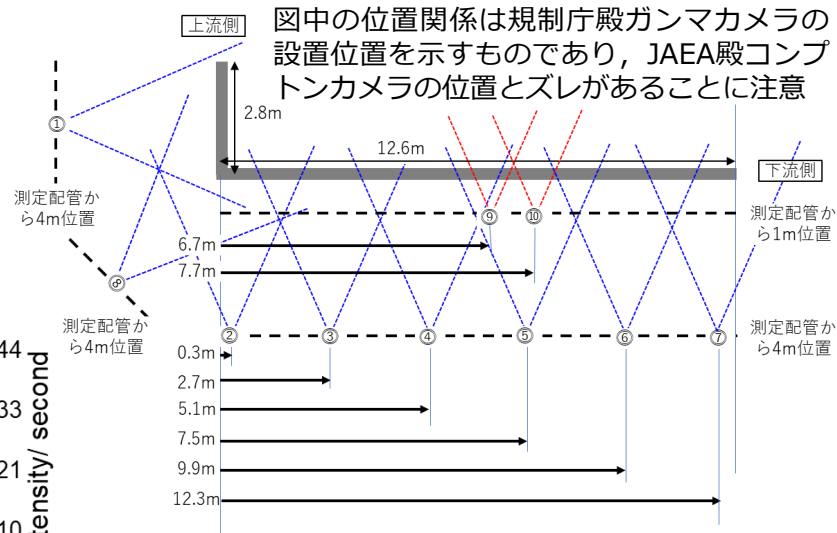
➤ 測定結果（8m位置）



JAEA殿コンプトンカメラについては、図の①～④および⑧で測定を実施した。なお、図中の位置関係は規制庁殿ガンマカメラの設置位置を示すものであり、JAEA殿コンプトンカメラの位置とズレがあることに注意

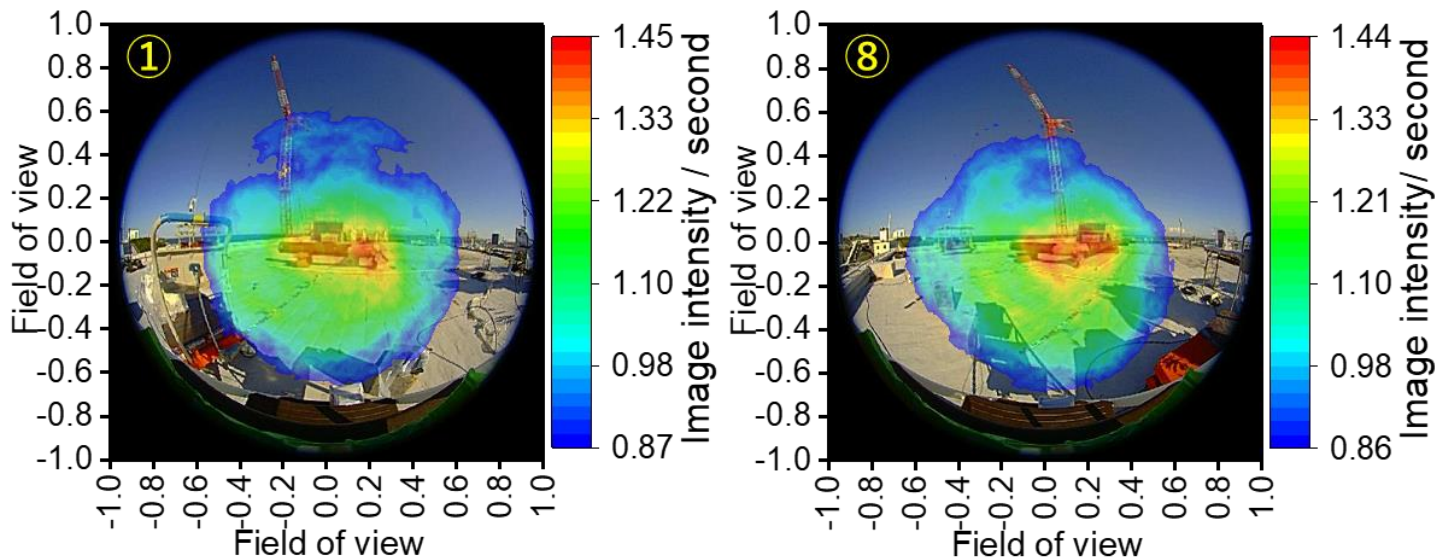
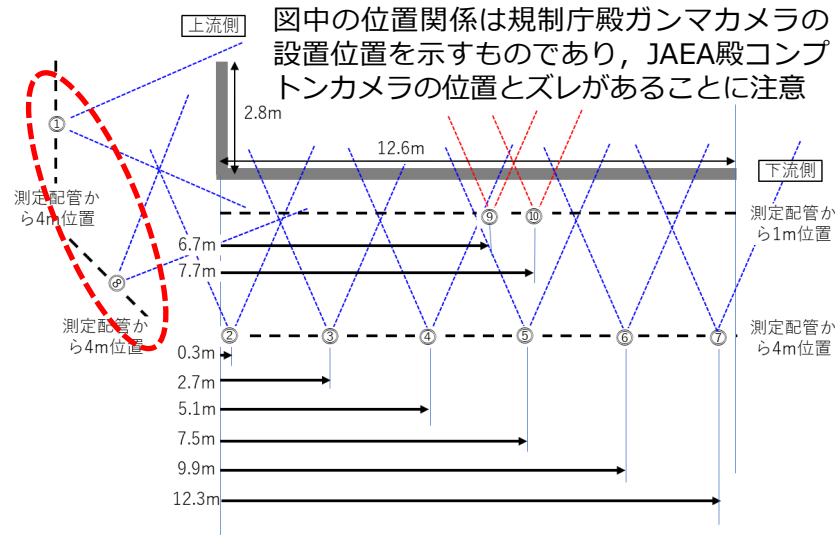


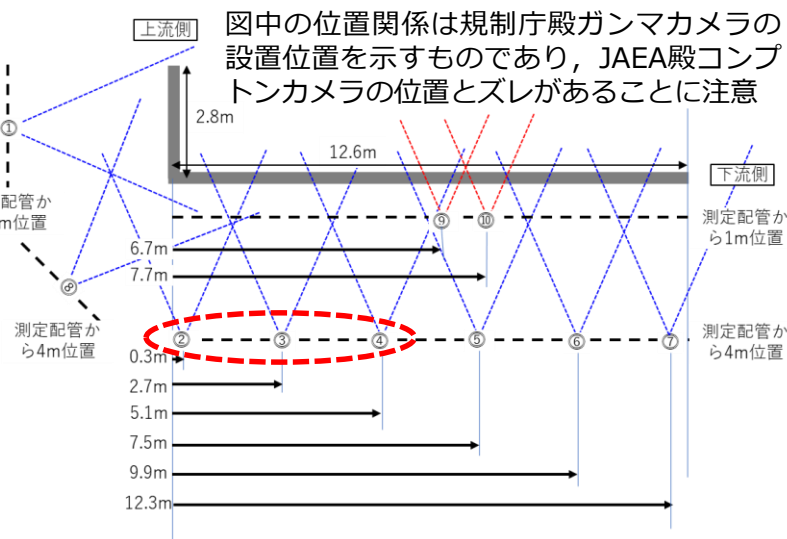
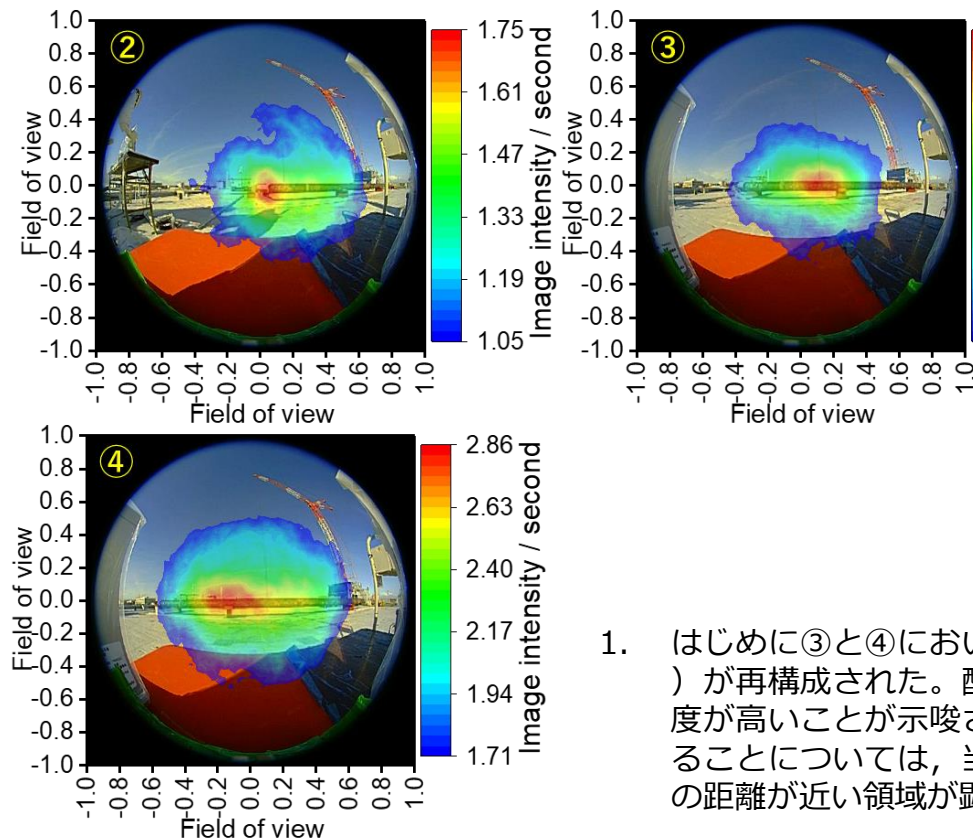
✓ 全ての図は測定時間300秒における取得データで再構成した結果である。各々の図はイメージ強度の最大値で規格化している。



<参考> 考察：配管側面から測定した結果①⑧について（JAEA殿コンプトンカメラ：配管④） **TEPCO**

1. はじめに、①と⑧において共通して、視野内の配管が存在する領域に高強度に結像した。
2. ①については、側面2.8 m領域において、エルボ一部（配管右端）の方がやや強く結像している。ただし、これは奥行方向12.6 m分の寄与が積算された結果と考えられ、以下3.の考察と併せるとエルボ一部に集中して汚染が蓄積しているとは考えにくい。
3. さらに⑧の結果において、エルボ一部が最もコンプトンカメラと距離が近いにも関わらず、当該部分に局所的に結像していないことから、やはりエルボ一部に汚染が集中しているとは考えにくい。





1. はじめに③と④において、ほぼ同じ位置に高強度イメージ（以下、ホットスポット）が再構成された。配管左端から2つ目の支持台付近であり、周囲に比べて汚染強度が高いことが示唆された。なお③の結像位置が④に比べてやや左側（上流）であることについては、当該ホットスポット内部において、よりコンプトンカメラまでの距離が近い領域が顕著に再構成された結果と推察している。

- ②ではエルボー部に結像するとともに、右側（下流）のホットスポットの方向にイメージが伸びている。ただしホットスポットまでの距離が遠いために、2つ目の支持台付近には結像しなかったと考えられる。一方で③の結果を見ると、視野中央からやや右側にホットスポットが再構成されたが、視野中央から左側の配管上には高強度のイメージが出現していない。③の視野では、エルボー部とホットスポット部（④で結像した2つ目の支持台付近）を見込む角度が大きく変わらず、それぞれまでの距離も大きく変わらないことを踏まえると、エルボー部よりもホットスポット部の方が汚染強度が高いと考えられる。
- また、エルボー部は測定の奥行方向に2.8 m分配管が存在するため、エルボー部だけでなく奥行方向部分からの寄与が上乘せされて高強度に結像した可能性が否定できない。前頁⑧の結果においてエルボー部に局所的にイメージが結像していないことから、②の結像についてはエルボー部ではなく、やはり奥行方向の寄与が積算されてあたかもエルボー部が強く映ったものと考えている。

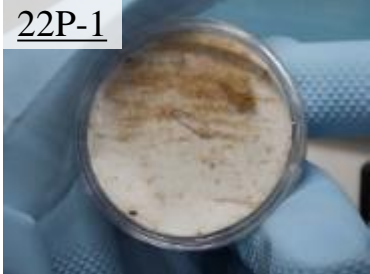

- ✓ 配管を正面から見て、エルボ一部よりもやや**右側（上流から2つ目の支持台付近）に高強度汚染の存在**が示唆された。
- ✓ 配管の**おおよそ右半分以降は、⑤以降の測定データがないために、イメージング結果に信頼性がなく、議論ができない。**
- ✓ 当該結果は速報であり、今後、規制庁殿のガンマカメラの測定結果との比較・検討を予定している。

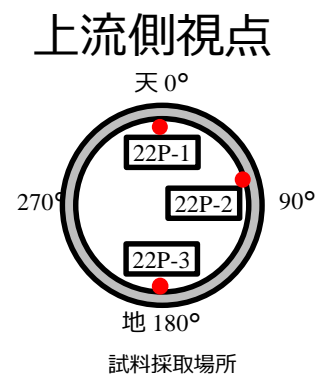
参考資料 1

スミア採取他，補足事項

<参考> 【2号機SGTS配管内部のスミアろ紙試料分析】TEPCO

2号機SGTS配管から拭き取り採取されたスミアろ紙3試料について、Ge半導体検出器による γ 線測定と、SEM-EDSによるスミアろ紙に付着した固形分の表面観察を行った。

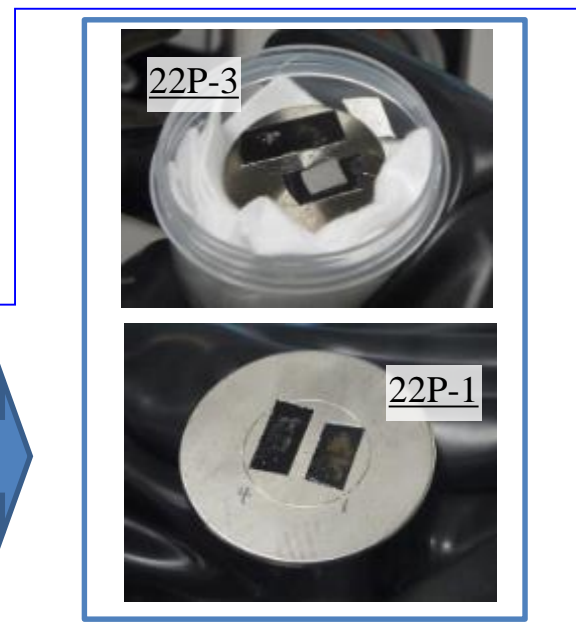
	
22P-1	22P-3
受入時の 表面線量濃度 ※BGは70[cpm]	
α [cpm] : 0 $\beta\gamma$ [cpm]※:510	α [cpm] : 0 $\beta\gamma$ [cpm]※:14000



γ 線スペクトル測定



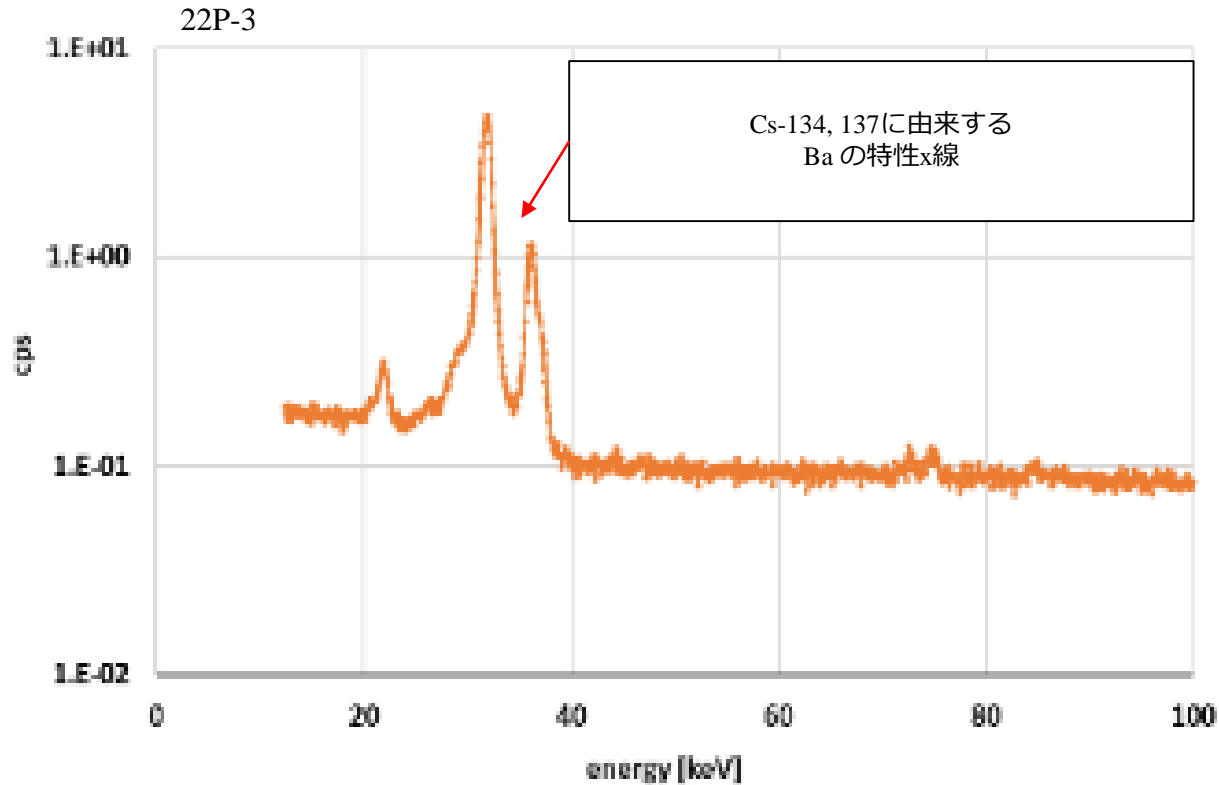
試料調整過程の写真



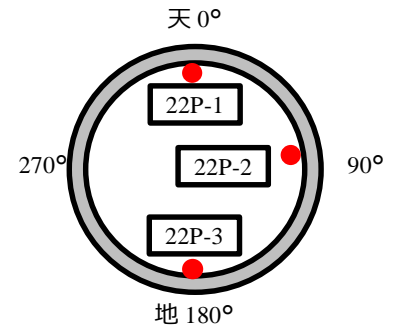
SEM-EDS観察

- アメリシウム241等の存在を低エネルギー領域（<100keV）で確認したが検出されなかった。

低エネルギー領域のスペクトル



上流側視点

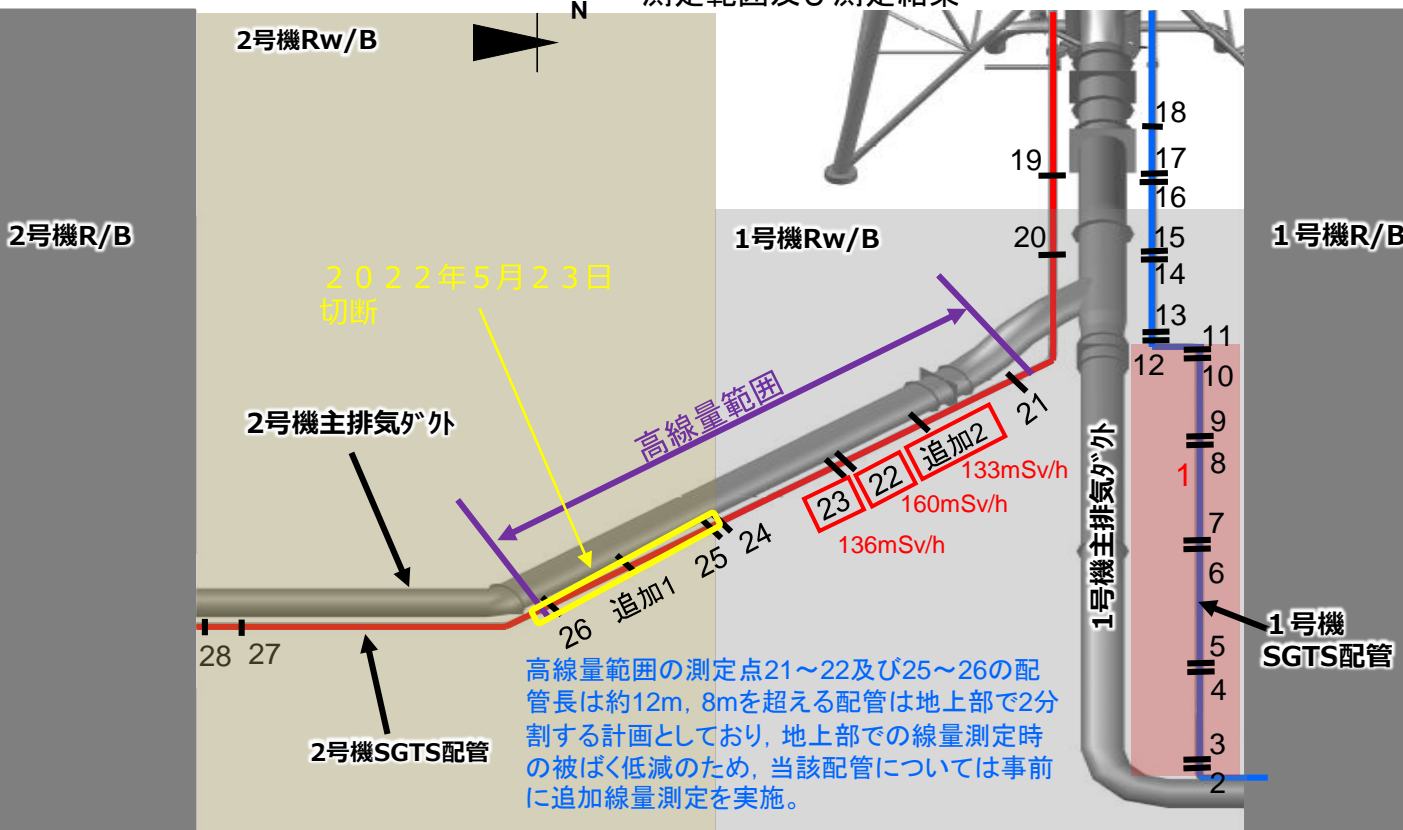


<参考> 配管切断箇所での放射線量率測定 (測定結果) **TEPCO**

(1) SGTS配管線量測定結果

- ・ 下記に示す通り、配管線量率は2号機側が高く1号機側は低い結果となった。(昨年と同傾向)
- ・ これらは、ベント流速が速かった1号機配管より2号機は原子炉建屋内のSGTS系機器（フィルタ、ラプチャーディスク等）が抵抗となり流速が抑えられ滞留したものと推測している。
- ・ なお、2号機配管で高線量が確認された範囲（測定点21～26）の配管位置関係は、屋外配管のハイポイント（測定点20）より約1.2m低く、2号機R/Bからは水平位置となっている。

測定範囲及び測定結果

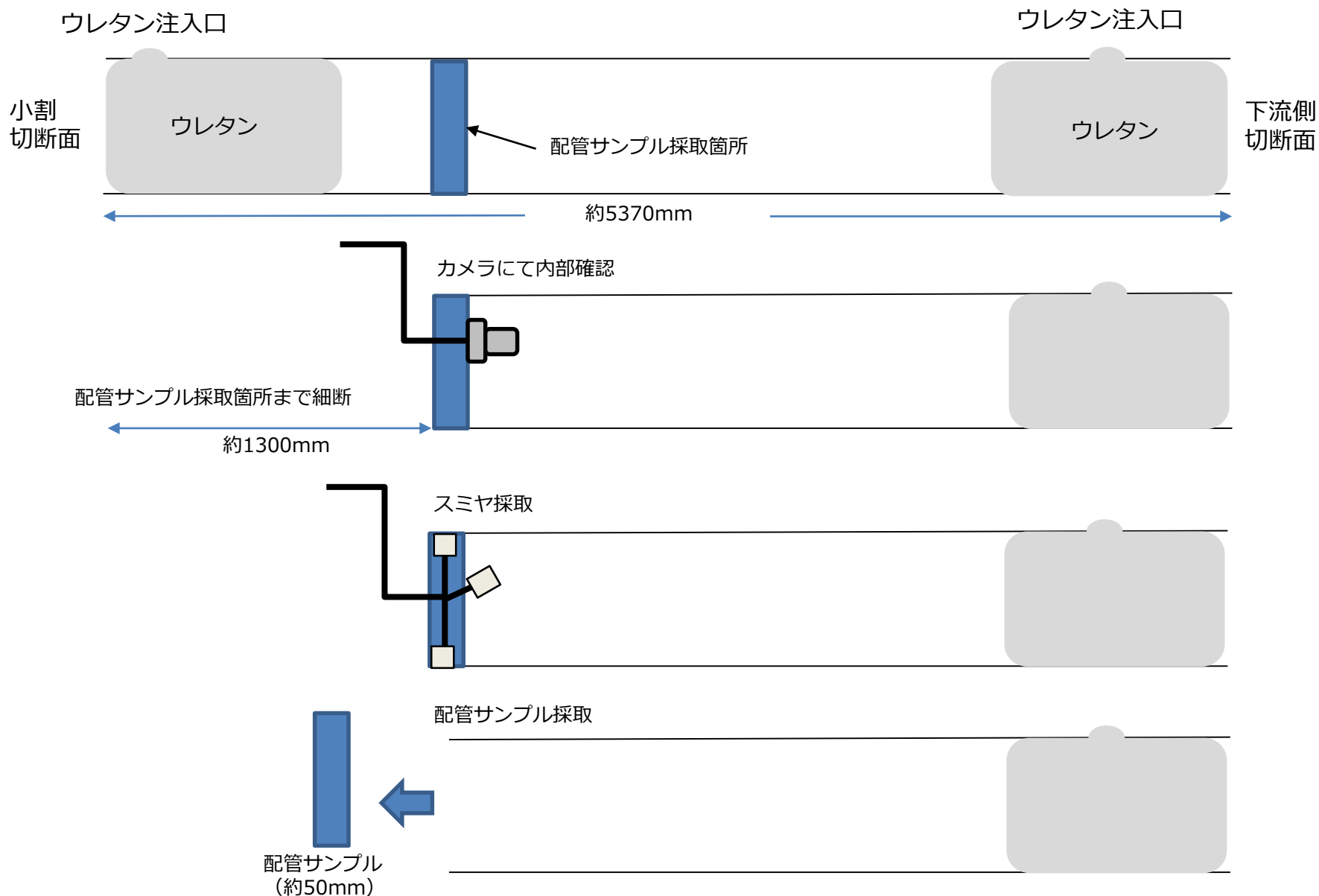


測定点	SGTS配管上端からの距離	
	0.1m	1.0m
1*	4.15	4.46
2	2.56	1.52
3	3.12	1.74
4	3.76	2.64
5	7.56	3.85
6	3.97	2.95
7	6.74	3.90
8	5.05	5.58
9	5.73	4.41
10	4.35	2.65
11	10.4	3.74
12	5.84	3.42
13	4.43	1.91
14	2.25	0.90
15	3.60	1.13
16	3.70	2.37
17	8.50	4.50
18	5.62	3.00
19	4.31	7.60
20	6.06	2.85
21	65.1	27.0
22	160.0	60.3
23	136.0	55.8
24	52.3	16.7
25	27.0	9.80
26	18.9	7.47
追1	16.5	6.53
追2	133.0	45.0

*左記赤枠内上部3.0mにおいて最も高線量箇所を測定

<参考> 配管内部確認及びスミヤ採取

- 小割2本目（下流側）の配管サンプル採取前に，内部確認及びスミヤ採取を実施。

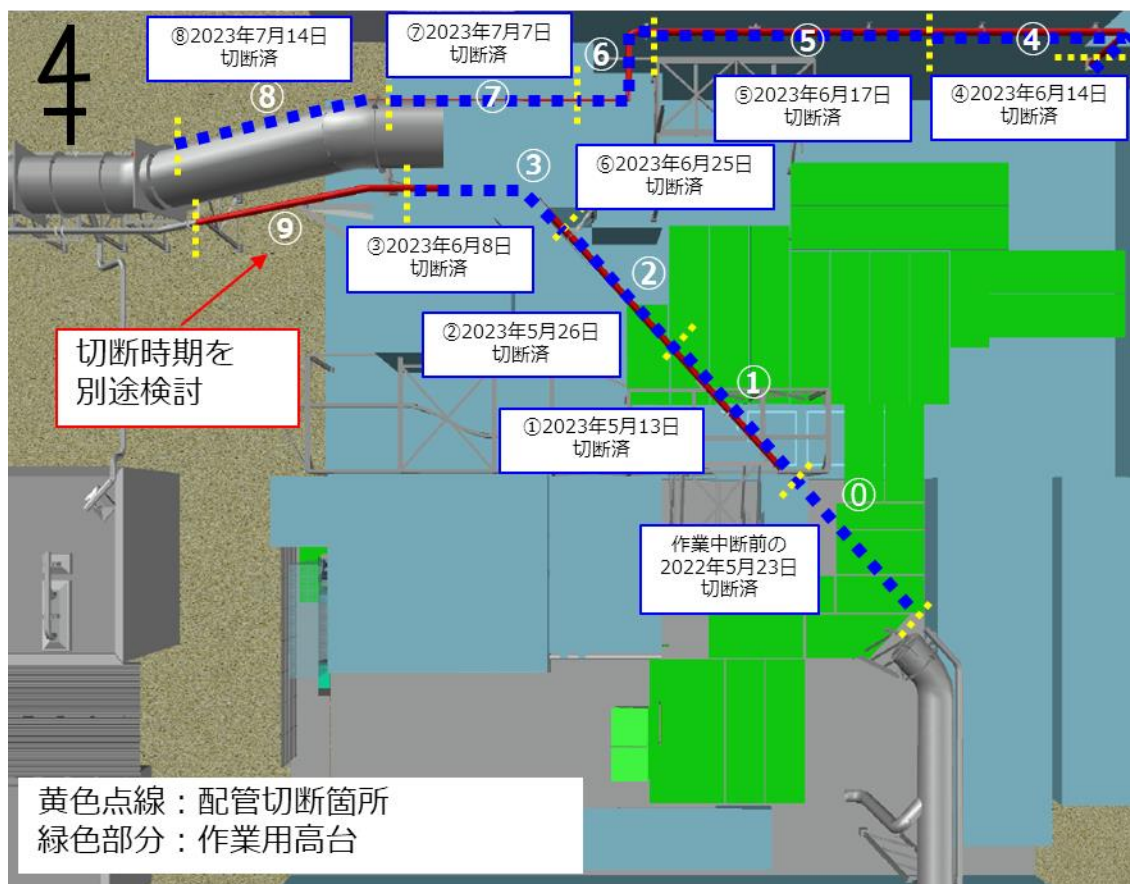


参考資料 2

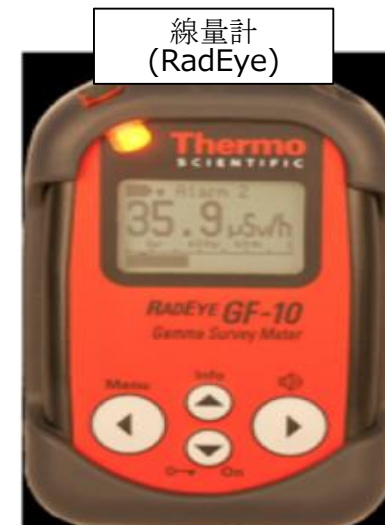
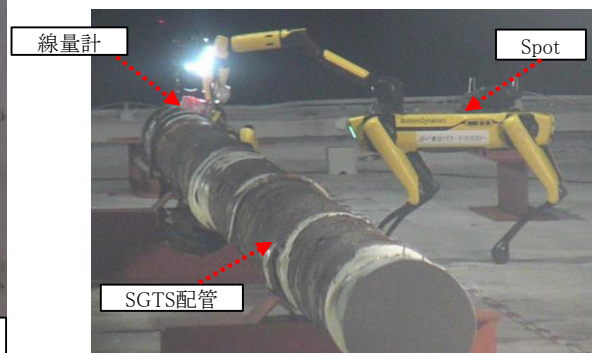
配管線量測定結果

【SGTS配管線量測定の実施】

γカメラ測定時の周辺への影響の確認，及び今後実施する配管小割・細断作業について放射線防護対策を検討し，被ばく線量低減を図るため，配管線量を把握する目的で線量測定を行うこととした。



- 1号機T/B屋上および1号機C/B屋上に仮置き中の1/2号機SGTS配管について、遠隔ロボット（Spot）を使用し、SGTS配管の線量調査を実施した。
- Spot 2台を用いて作業を実施。
（線量測定／線量測定Spotの監視・誘導）
- 配管より1000mm離れた位置から測定を実施し、最大の線量部分について表面線量率を測定した。



・仕様
型式：GF10
メーカー：Thermo Scientific
測定レンジ：5 μ Sv/h-3Sv/h



配管線量情報

➤ 測定結果から、2号機配管に高線量のガスが流れたと想定。詳細は今後調査・分析を実施予定。

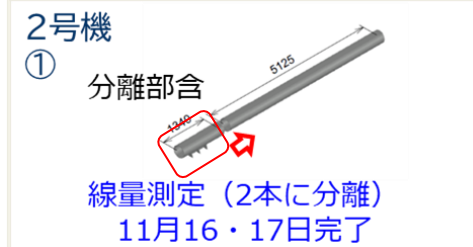
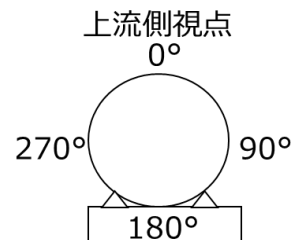
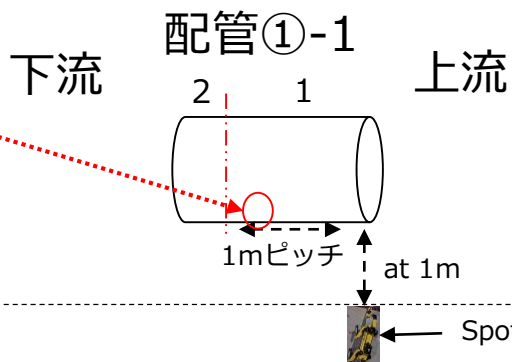
号機	仮置き場所	測定場所	No.	線量測定日	線量測定結果		
					at1000 最大	表面線量率 最大	配管端部 表面線量率 最大
					mSv/h	mSv/h	mSv/h
1号	1号T/B屋上	1号T/B屋上	④	2023.10.30	3.74	32.30	—
			⑤	2023.10.20	3.75	22.00	—
			⑥	2023.10.27	11.70	27.10	—
			⑦	2023.10.25	3.39	17.90	—
			⑧	2023.10.26	11.40	131.00	—
2号	1号C/B屋上	1号R/B北西	①	2023.11.16・17	77.00	800.00	924
			②	2023.11.9	68.10	477.00	1060
			③	2023.11.15	50.50	208.00	250

2号機SGTS配管（配管①～③）
線量測定結果

配管線量測定結果（配管①-1）

- 2号機SGTS配管表面の線量測定を実施したところ、最大値は約114mSv/hという結果であった。

最大ポイント
上流側より600mm
120°位置
114.00mSv/h

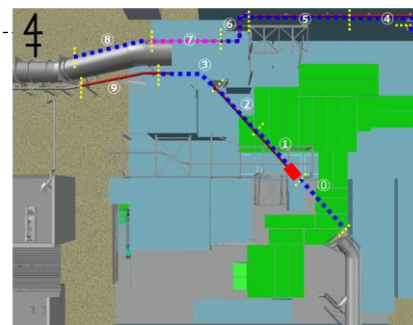


配管表面よりat 1m

測定ポイント	2	1
測定位置		
270° (配管横)	10.80	12.50

単位：mSv/h

※1mピッチで測定を行い、1mピッチ内の最大線量率を記載



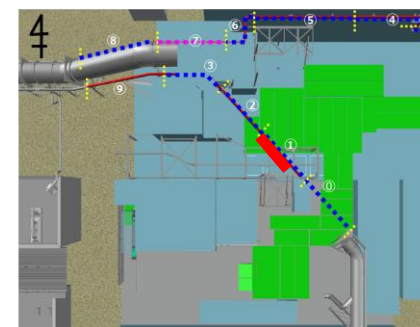
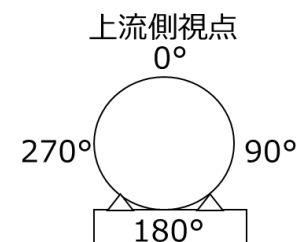
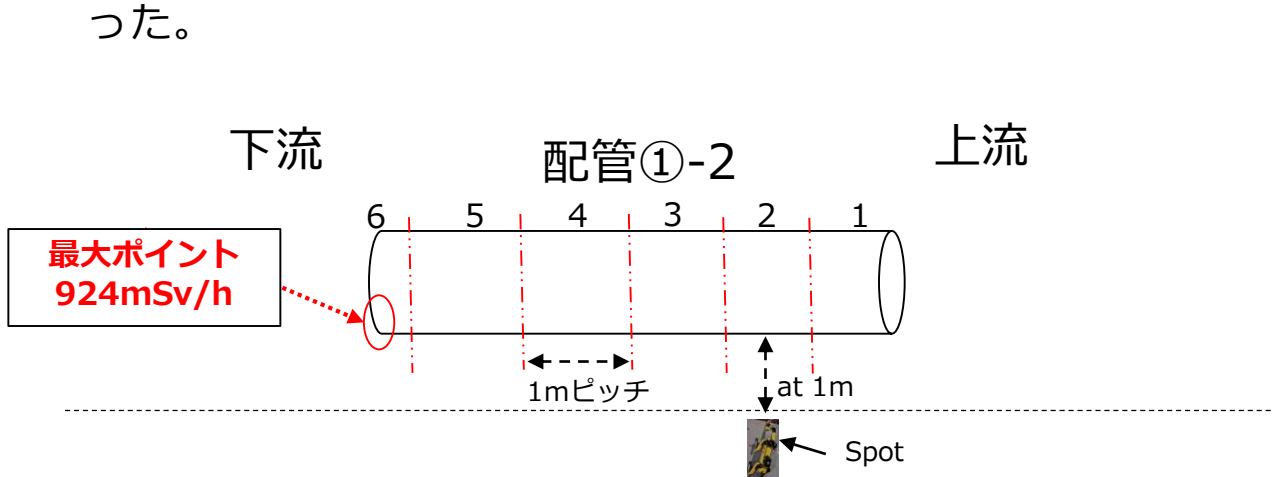
配管表面線量率

測定位置	0°	90°	180°	270°
側面最大ポイント				
上流側より500mm	45.70	70.10	56.70	41.90

単位：mSv/h

配管線量測定結果（配管①-2）

- 2号機SGTS配管表面の線量測定を実施したところ、最大値は約924mSv/hという結果であった。



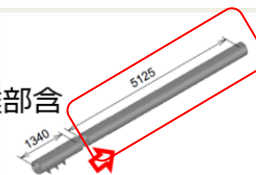
配管表面よりat 1m

測定ポイント	6	5	4	3	2	1
測定位置						
270° (配管横)	65.00	72.30	77.00	58.50	32.20	27.60

※1mピッチで測定を行い、1mピッチ内の最大線量率を記載 単位：mSv/h

2号機

① 分離部含



線量測定（2本に分離）
11月16・17日完了

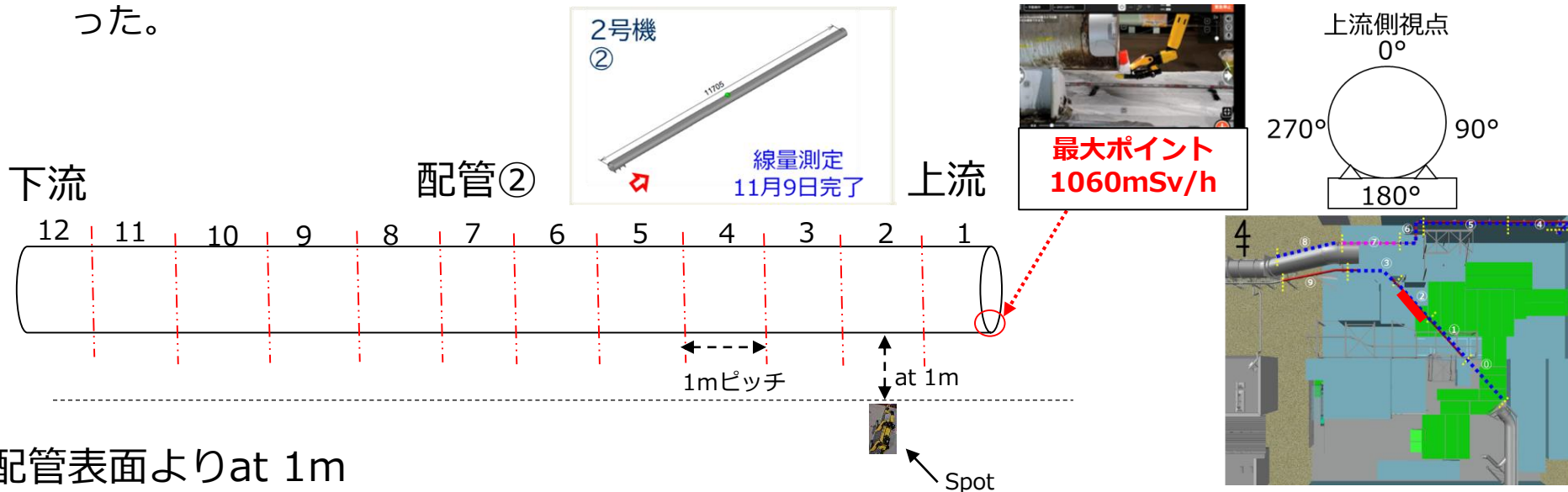
配管表面線量率

測定位置	0°	90°	180°	270°
側面最大ポイント				
上流側より3950mm	296.00	236.00	800.00	325.00

単位：mSv/h

配管線量測定結果（配管②）

- 2号機SGTS配管表面の線量測定を実施したところ、最大値は約1060mSv/hという結果であった。



配管表面よりat 1m

測定ポイント	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
測定位置												
270° (配管横)	19.20	29.60	35.40	38.40	44.50	52.10	60.60	68.10	65.50	65.20	64.20	60.00

※1mピッチで測定を行い、1mピッチ内の最大線量率を記載

単位：mSv/h

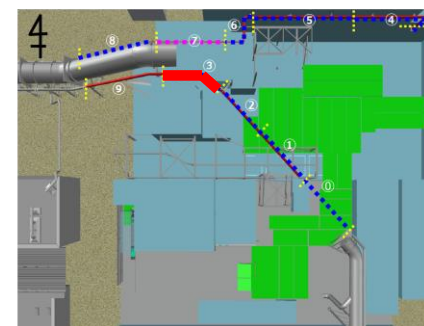
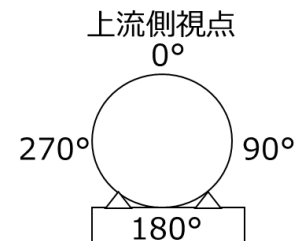
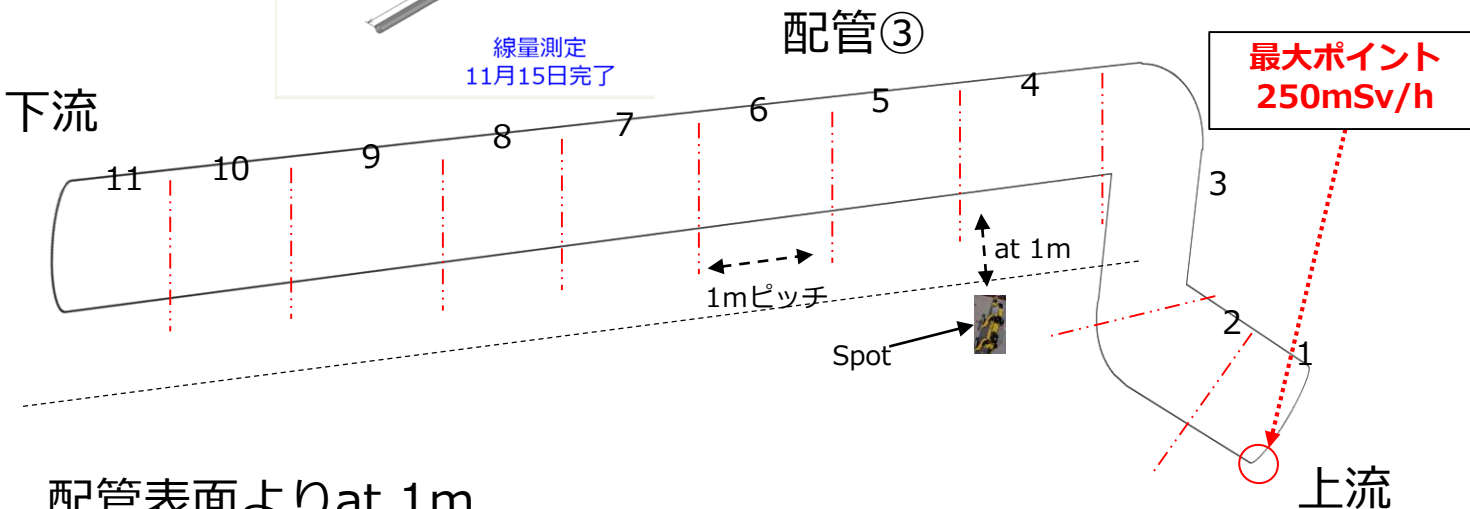
配管表面線量率

測定位置	0°	90°	180°	270°
側面最大ポイント				
上流側より5100mm	285.00	477.00	344.00	358.00

単位：mSv/h

配管線量測定結果（配管③）

- 2号機SGTS配管表面の線量測定を実施したところ、最大値は約250mSv/hという結果であった。



配管表面よりat 1m

測定ポイント 測定位置	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
90° (配管横)	—	—	—	—	—	—	2.93	4.26	18.50	26.40	50.50
270° (配管横)	9.60	5.64	—	—	—	—	3.70	6.29	29.30	36.40	19.60

単位：mSv/h

※「—」部分は、Spotがアクセスできないため、未測定
 ※1mピッチで測定を行い、1mピッチ内の最大線量率を記載

配管表面線量率

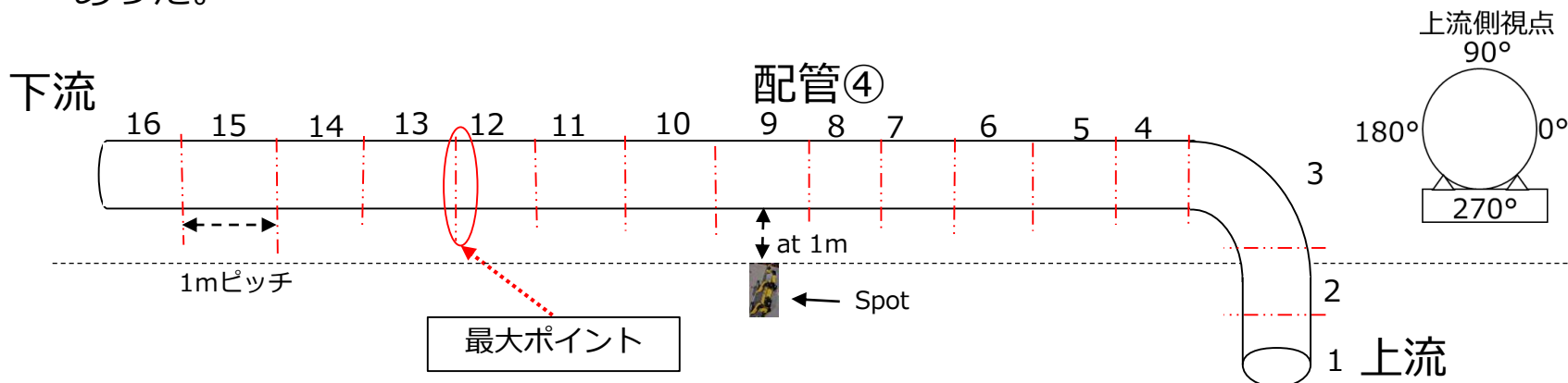
測定位置	0°	90°	180°	270°
側面最大ポイント				
上流側より800mm	138.00	149.00	208.00	178.00

単位：mSv/h

1号機SGTS配管（配管④～⑧）
線量測定結果

配管線量測定結果（配管④）

- 1号機SGTS配管表面の線量測定を実施したところ、最大値は約32.30mSv/hという結果であった。



配管表面よりat 1m

※1mピッチで測定を行い、1mピッチ内の最大線量率を記載

単位：mSv/h

測定ポイント \ 測定位置	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
0°（配管上部）	2.90	2.26	2.09	2.30	2.24	1.96	1.53	1.28	1.40	1.33
180°（配管下）	2.65	2.25	2.28	2.43	2.42	2.16	3.05	3.41	2.56	1.78

測定位置 \ 測定ポイント	16	15	14	13	12	11
0°（配管上部）	1.16	1.70	1.93	3.48	3.74	3.55
180°（配管下）	1.30	1.65	1.71	2.08	2.66	2.87

配管表面線量率

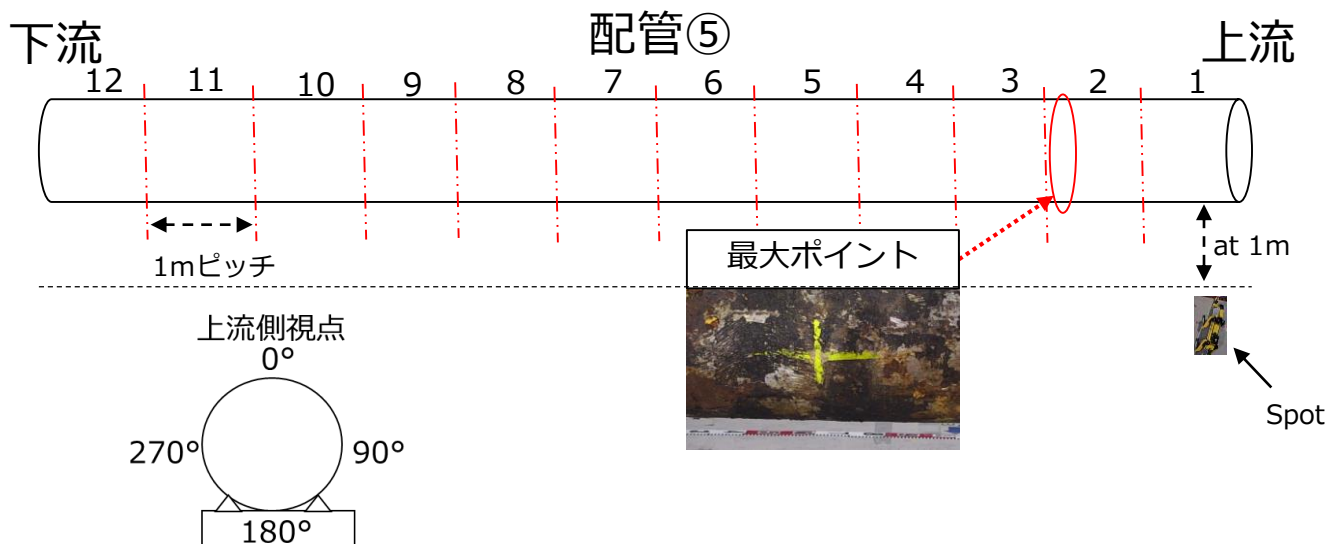
測定位置 \ 測定位置	0°	90°	180°	270°
最大ポイント				
上流側より12000mm	11.10	32.30	18.60	12.80

単位：mSv/h



配管線量測定結果 (配管⑤)

- 1号機SGTS配管表面の線量測定を実施したところ、最大値は約22.00mSv/hという結果であった。



配管表面よりat 1m

測定ポイント 測定位置	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
270° (配管横)	1.14	1.50	1.68	2.94	3.30	3.29	2.82	3.00	3.00	3.71	3.75	3.30

※1mピッチで測定を行い、1mピッチ内の最大線量率を記載

単位：mSv/h

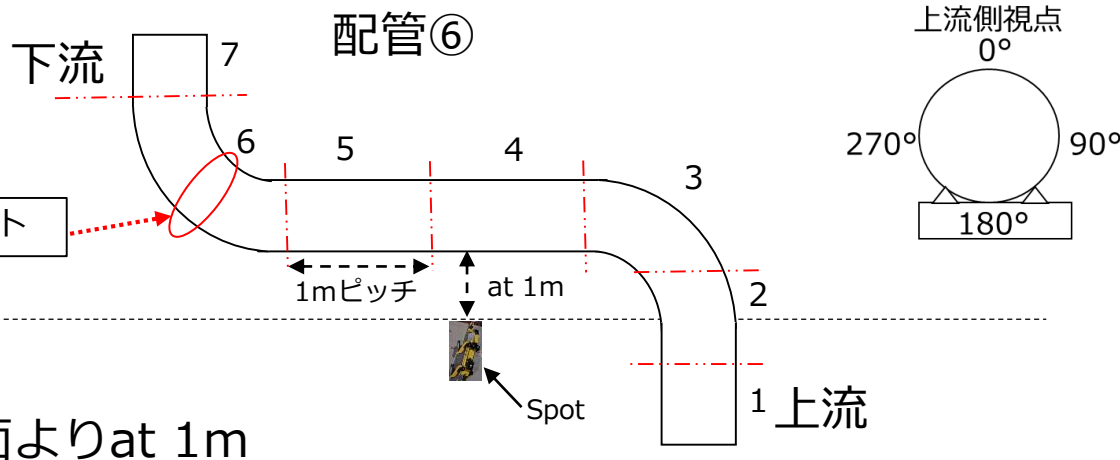
配管表面線量率

測定位置	0°	90°	180°	270°
最大ポイント				
上流側より2000mm	12.50	14.30	22.00	18.70

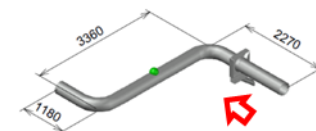
単位：mSv/h

配管線量測定結果（配管⑥）

- 1号機SGTS配管表面の線量測定を実施したところ、最大値は約27.10mSv/hという結果であった。



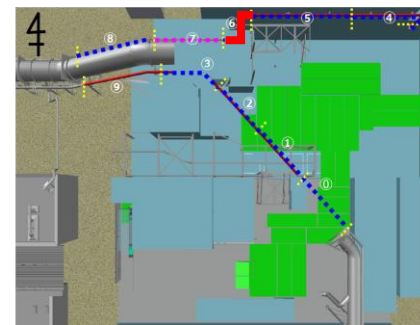
1号機
⑥



線量測定
10月27日完了

配管表面よりat 1m

測定ポイント	7	6	5	4	3	2	1
測定位置							
270° (配管横)	7.44	11.70	3.82	2.49	4.17	6.46	2.97



※1mピッチで測定を行い、1mピッチ内の最大線量率を記載

単位：mSv/h

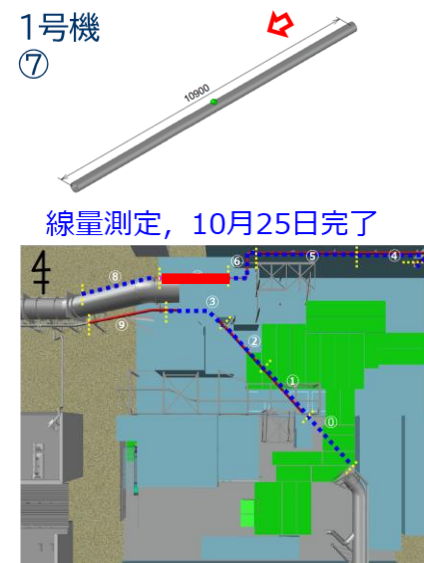
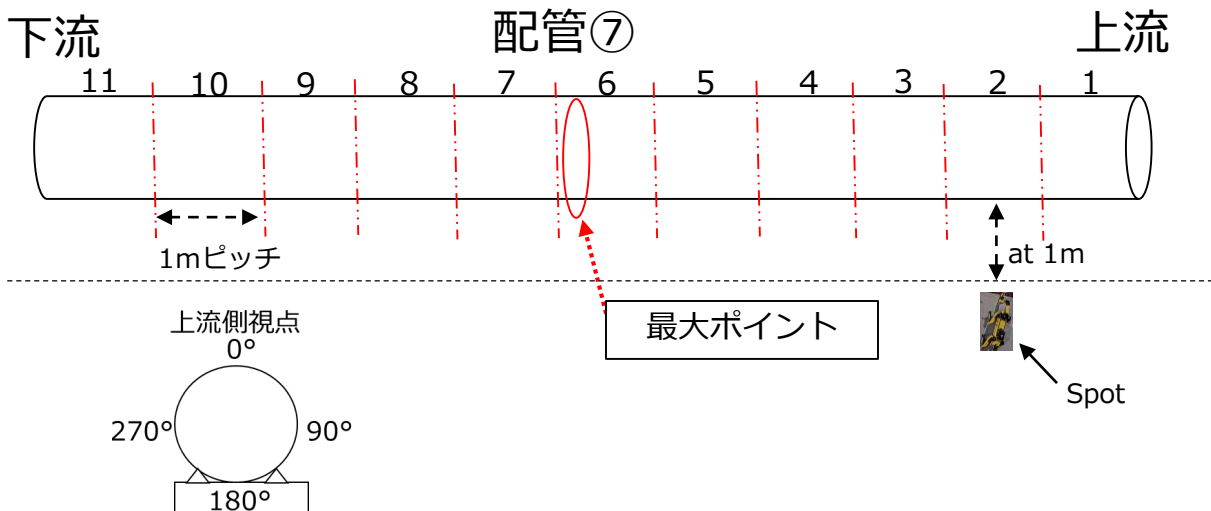
配管表面線量率

測定位置	0°	90°	180°	270°
最大ポイント				
上流側より6900mm	6.36	27.10	21.50	14.90

単位：mSv/h

配管線量測定結果（配管⑦）

- 1号機SGTS配管表面の線量測定を実施したところ、最大値は約17.90mSv/hという結果であった。



配管表面よりat 1m

測定ポイント	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
測定位置											
270° (配管横)	1.26	1.44	2.06	2.94	3.03	3.39	2.05	1.39	1.53	2.30	2.47

※1mピッチで測定を行い、1mピッチ内の最大線量率を記載

単位：mSv/h

配管表面線量率

測定位置	0°	90°	180°	270°
最大ポイント				
上流側より5900mm	17.90	11.90	17.90	14.20

単位：mSv/h

配管線量測定結果（配管⑧）

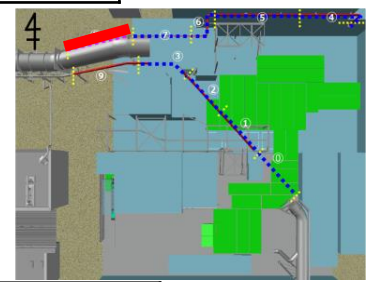
- 1号機SGTS配管表面の線量測定を実施したところ、最大値は約131mSv/hという結果であった。



配管表面よりat 1m ※1mピッチで測定を行い、1mピッチ内の最大線量率を記載 単位：mSv/h

測定ポイント	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
測定位置 180° (配管下)	2.45	1.78	2.89	4.56	3.26	2.61	1.65	1.78	1.46	1.56

	19	18	17	16	15	14	13	12	11
180° (配管下)	10.70	11.40	6.92	4.28	3.38	3.31	5.62	5.45	4.05



配管表面線量率

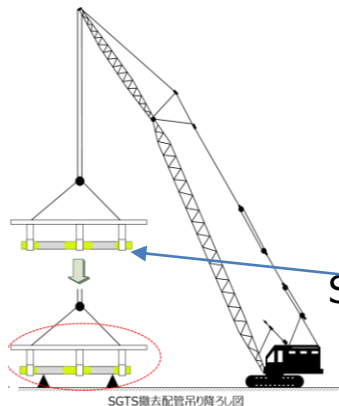
測定位置	0°	90°	180°	270°
最大ポイント				
上流側より17300mm	56.00	68.80	131.00	87.70

単位：mSv/h

参考資料3 その他

(参考) 作業ステップ全体像

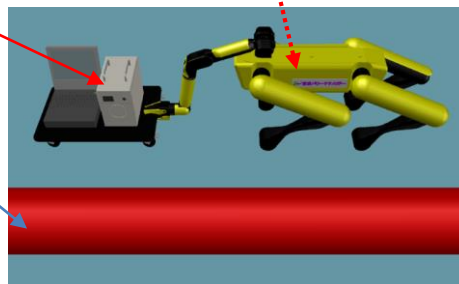
①SGTS配管切断



γカメラ

SGTS配管

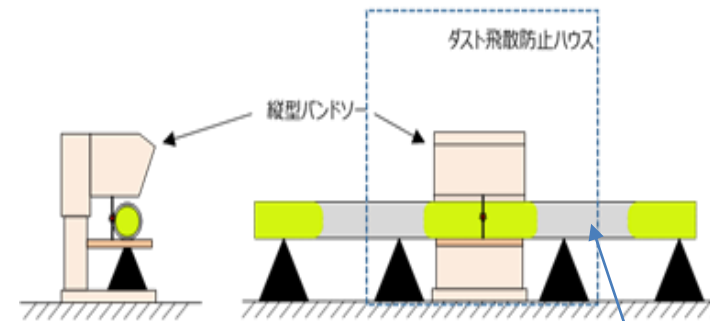
1号機SGTS配管は人が対応



②事故分析に資する調査関連 配管線量測定 γカメラ測定



③配管小割



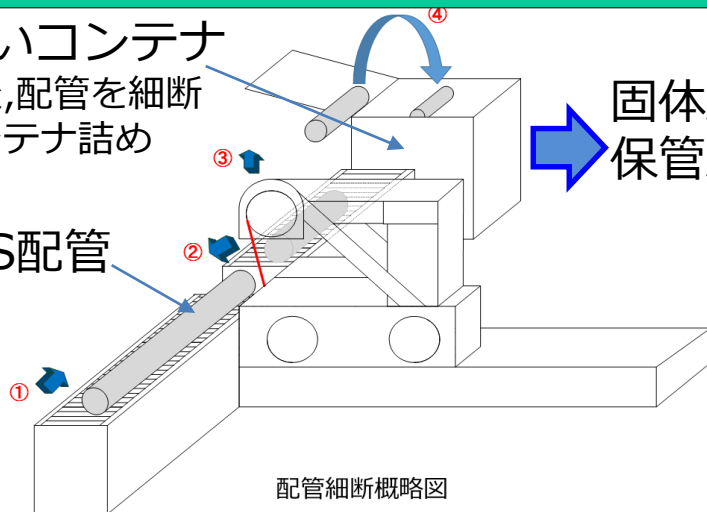
SGTS配管

⑤配管細断, 固体廃棄物保管庫へ 運搬し保管

遮へいコンテナ
調査後,配管を細断
しコンテナ詰め

固体廃棄物
保管庫へ

SGTS配管



④事故分析に資する調査 ・内面撮影 ・スミヤ, 配管サンプル採取

・現場状況の変化に伴い, ③項以降については現在, 実施場所等を調整中。

(参考) 切断配管仮置き状況

