

1号機SGTS配管に対する測定状況

2023年12月25日

東京電力福島第一原子力発電所事故対策室

目次

1. 測定の目的
2. 測定に用いた機材
3. ガンマカメラの概要
4. 測定対象配管位置
5. 配管⑤に対する測定
 - 5.1 ガンマカメラによる測定
 - 5.2 テレテクターによる測定
6. 配管④の測定結果
 - 6.1 ガンマカメラによる測定
 - 6.2 テレテクターによる測定
7. ^{137}Cs 汚染密度分布（配管④及び⑤）
8. 表面線量率による汚染密度の推定
9. 今後の調査方針

1. 測定の実目的

- ✓ 配管内面の汚染密度分布を把握することにより、事故時に配管内を流れた流体の汚染度合いを推定する。
- ✓ 事故時の配管内における流動様式、流体状態を推定する。
- ✓ 局所的な高汚染箇所の有無を把握する。
- ✓ 配管形状の違いによる流動形式、流体状態の相違を把握する。

2. 測定に用いた機材

ガンマカメラ
(日立製 HGD-E1500)
(汚染密度測定)



放射線遠隔探知器
(テレテクター)
(Automess社製 6112D/H)
(表面線量率測定)



3. ガンマカメラの概要(測定原理)

<測定原理 (概要) >

- ✓ ピンホール (図1中の①) を通って入射したガンマ線及び散乱線をピクセル構造の検出器 (図1中の②) で測定し、各ピクセルとピンホールの位置関係から、線源強度分布を求める。

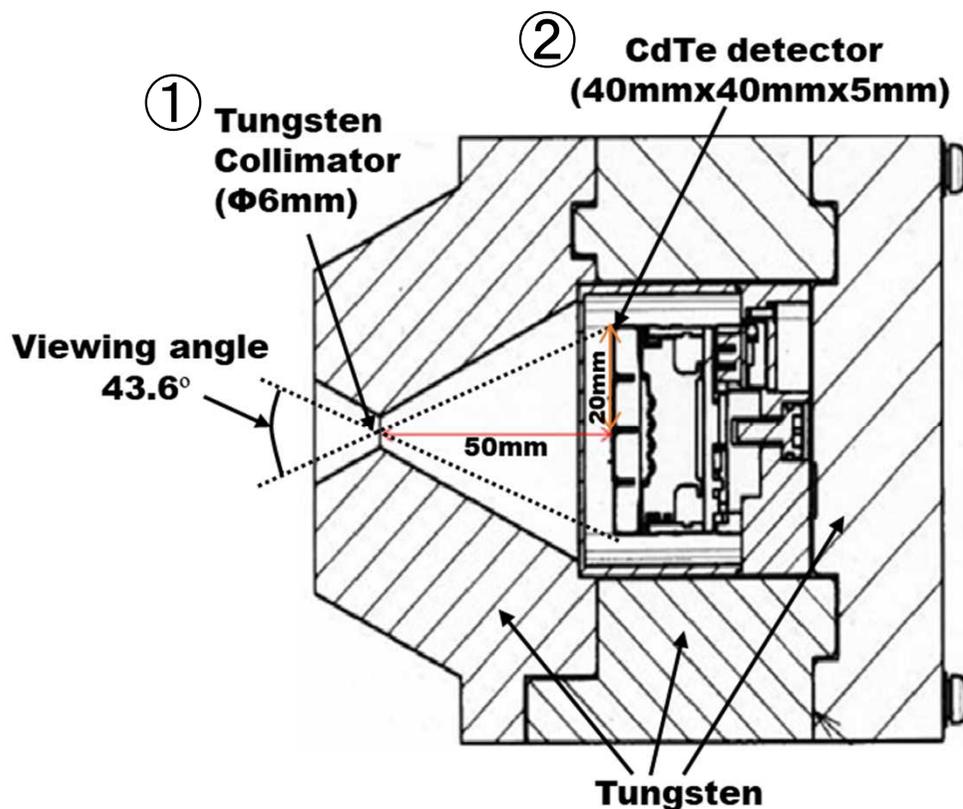


図1 ガンマカメラの構造概要

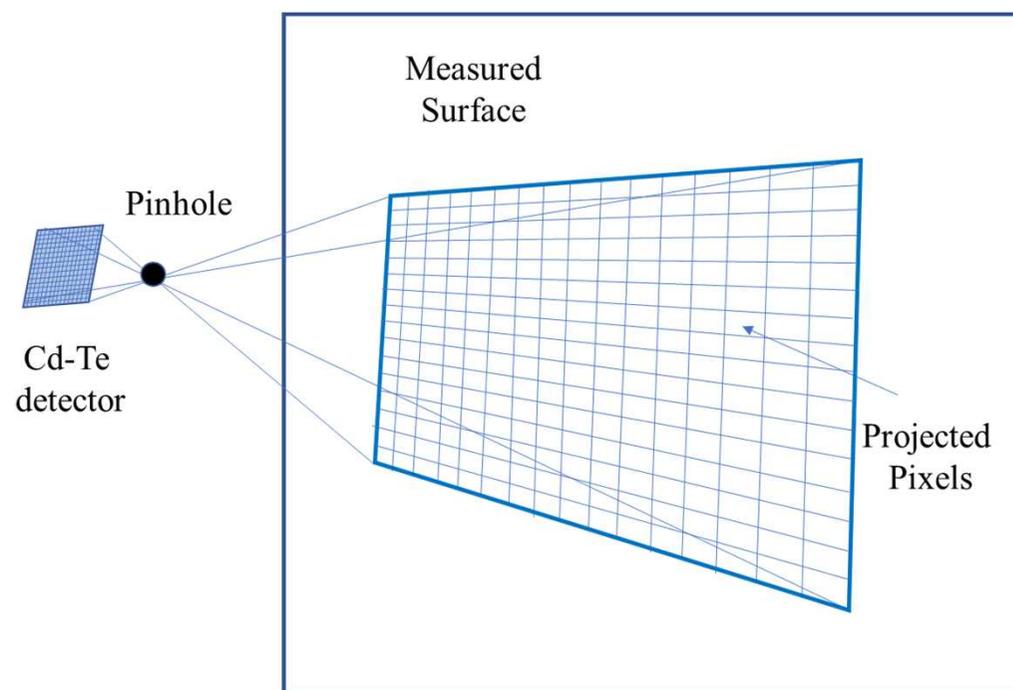
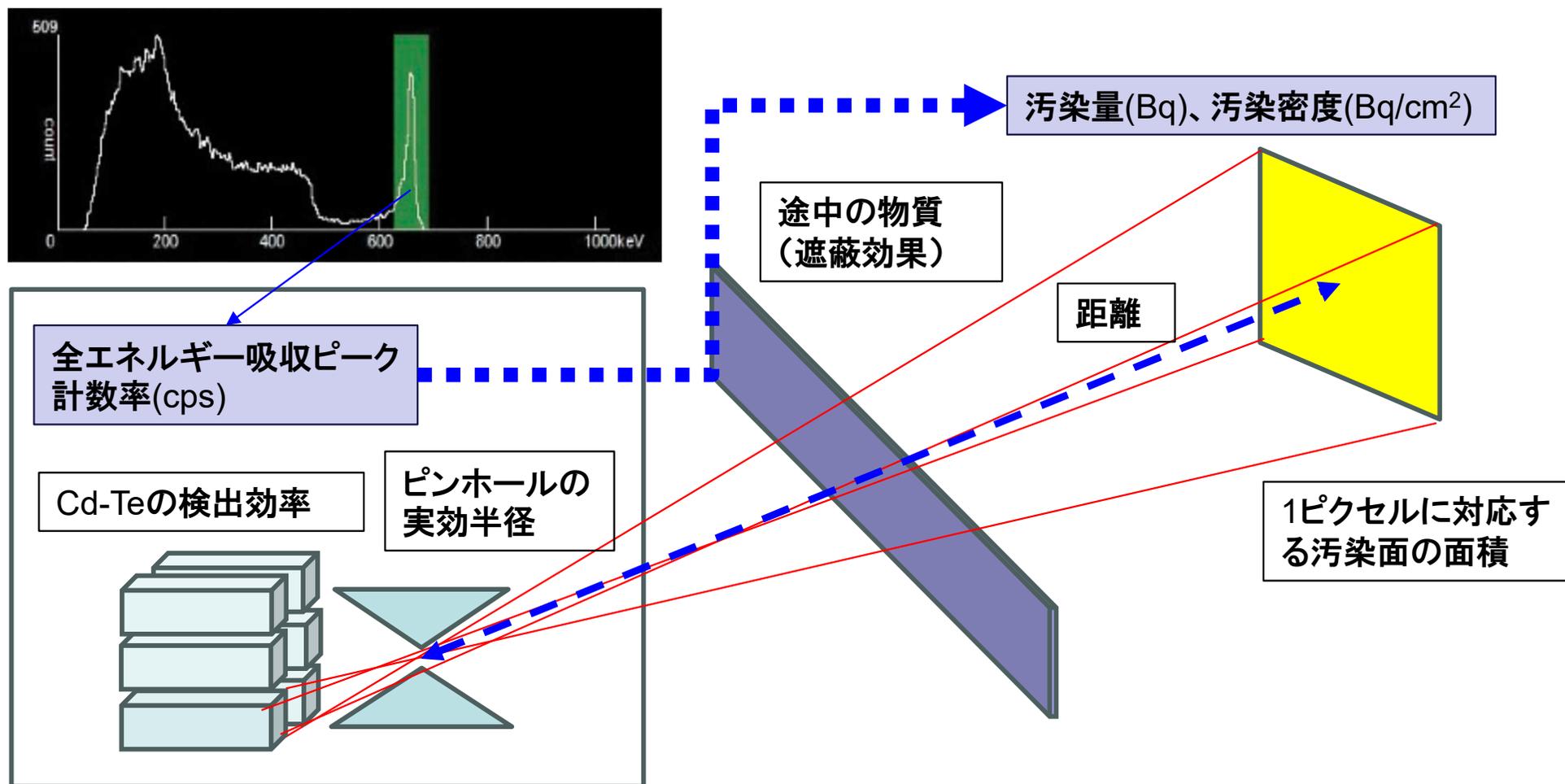


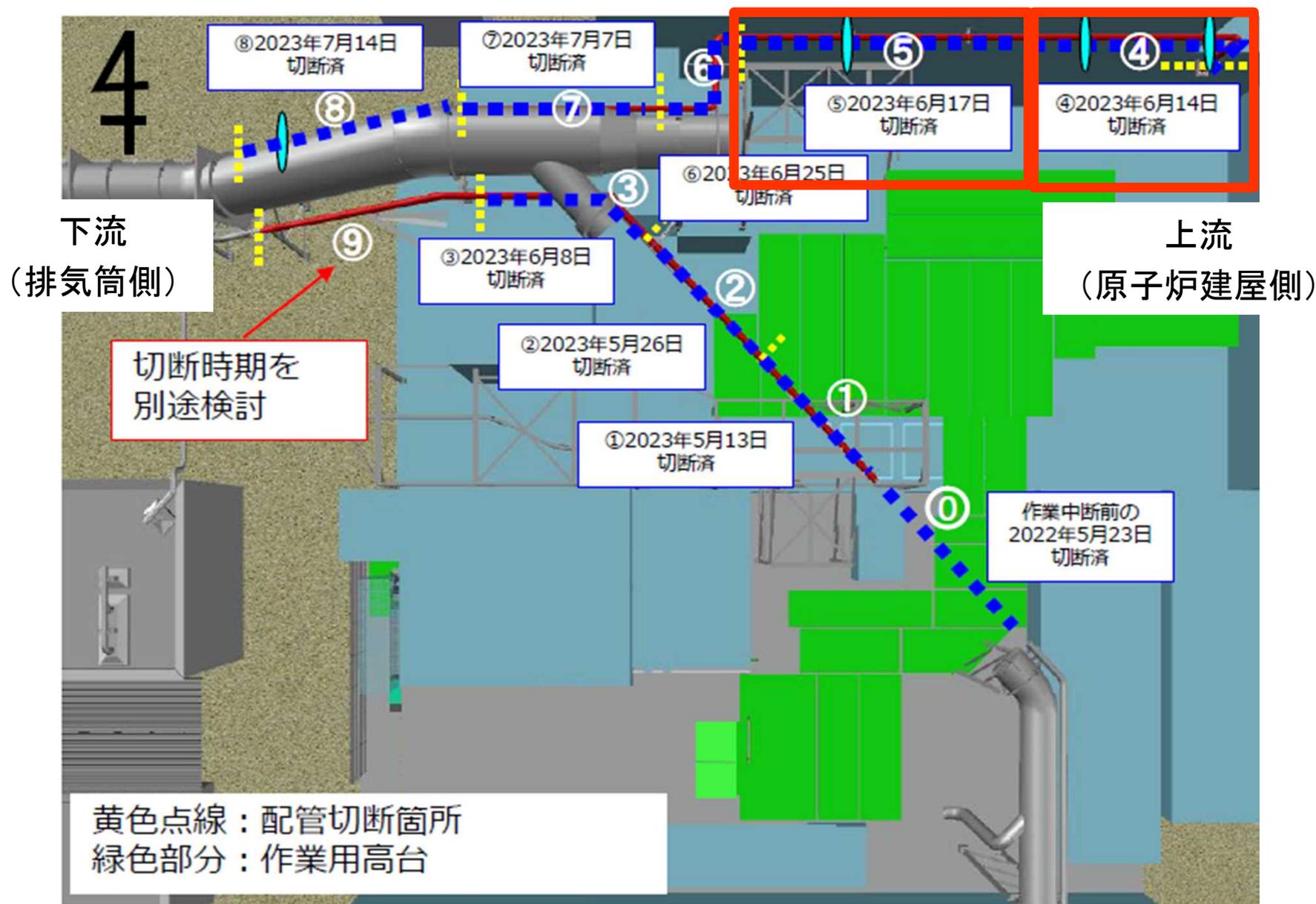
図2 撮像部とピクセル分割のイメージ

3. ガンマカメラの概要 (^{137}Cs 放射能量の算出方法)

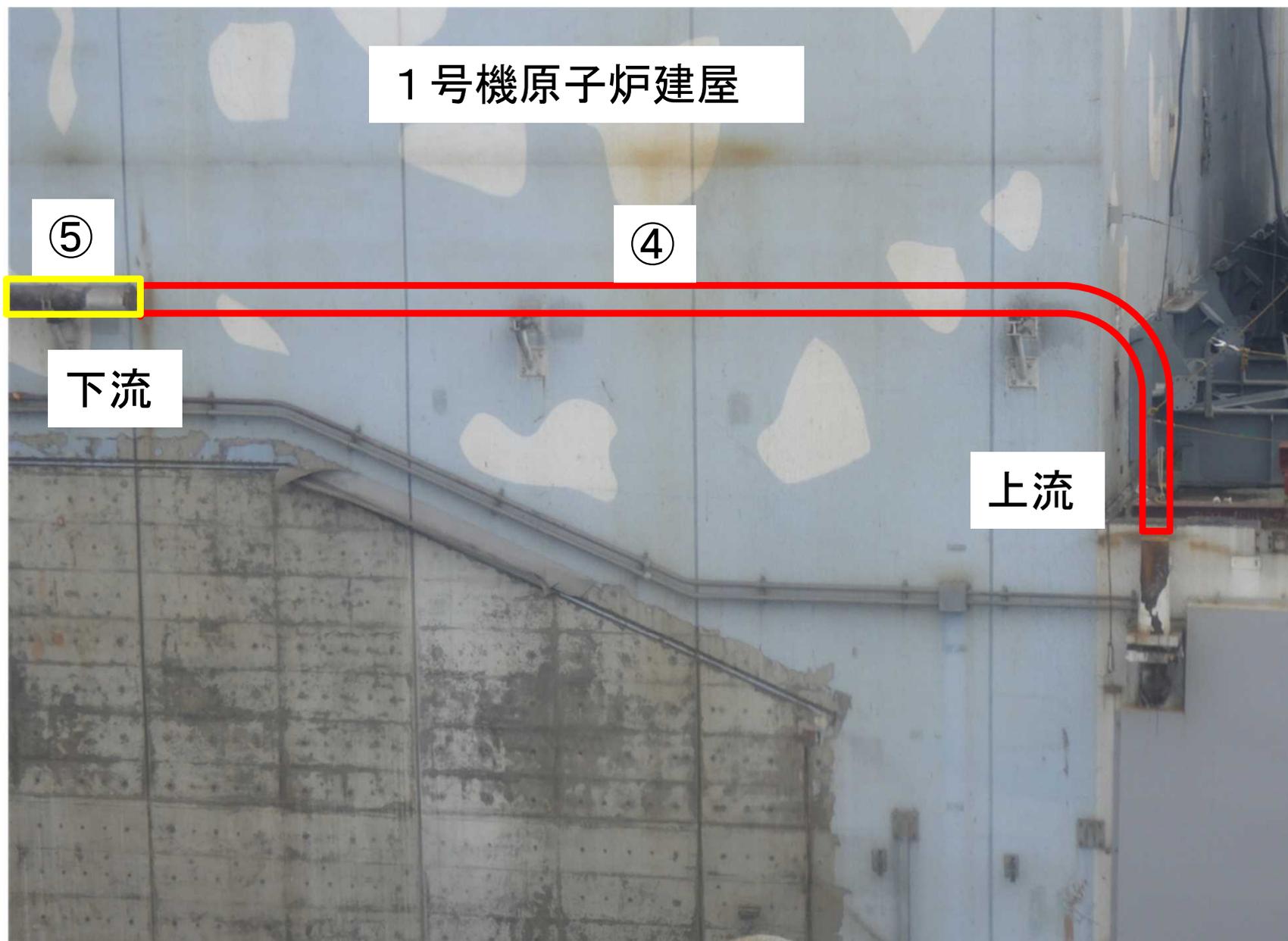
- ✓ 線源とガンマカメラの距離、ピンホール半径、検出効率、全エネルギー吸収ピーク計数率等を基に、 ^{137}Cs 放射能量を算出する。



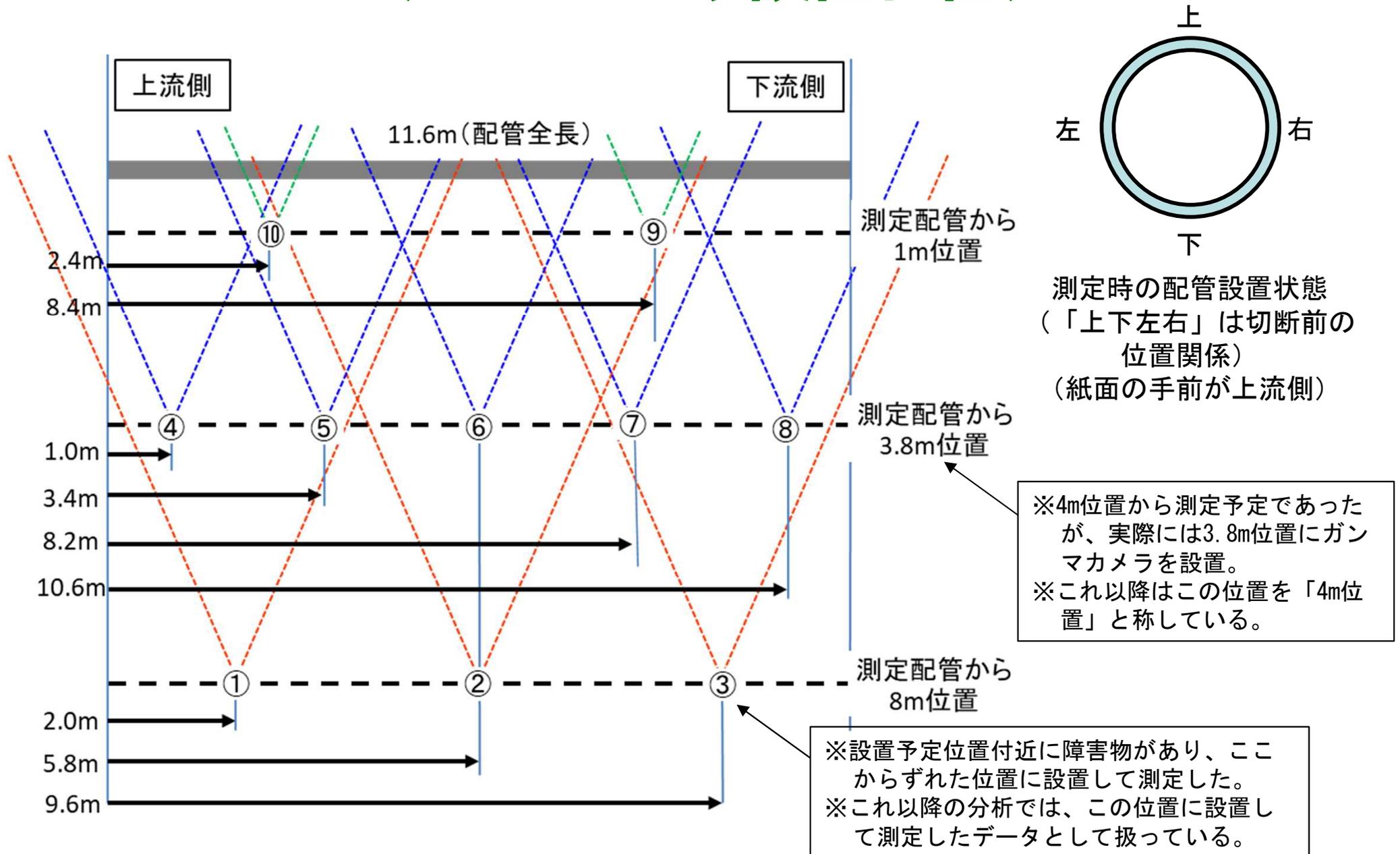
4. 測定対象配管位置



4. 測定対象配管位置



5.1 配管⑤に対する測定(ガンマカメラ) (ガンマカメラ設置位置)



5.1 配管⑤に対する測定(ガンマカメラ) (ガンマカメラ撮影画面)

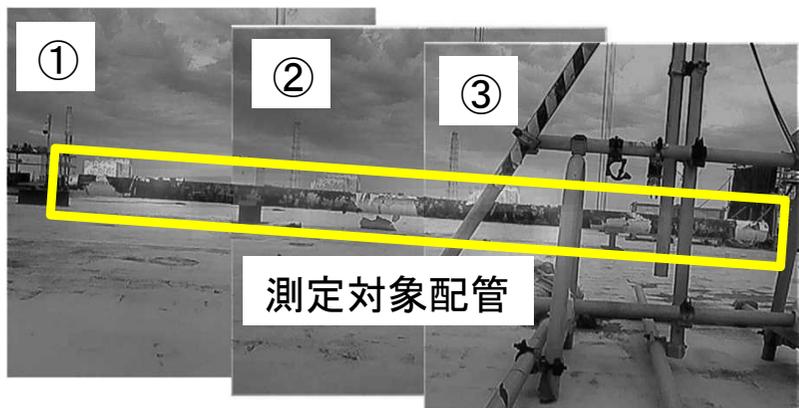


図1 測定配管から8 m位置



図2 測定配管から1 m位置

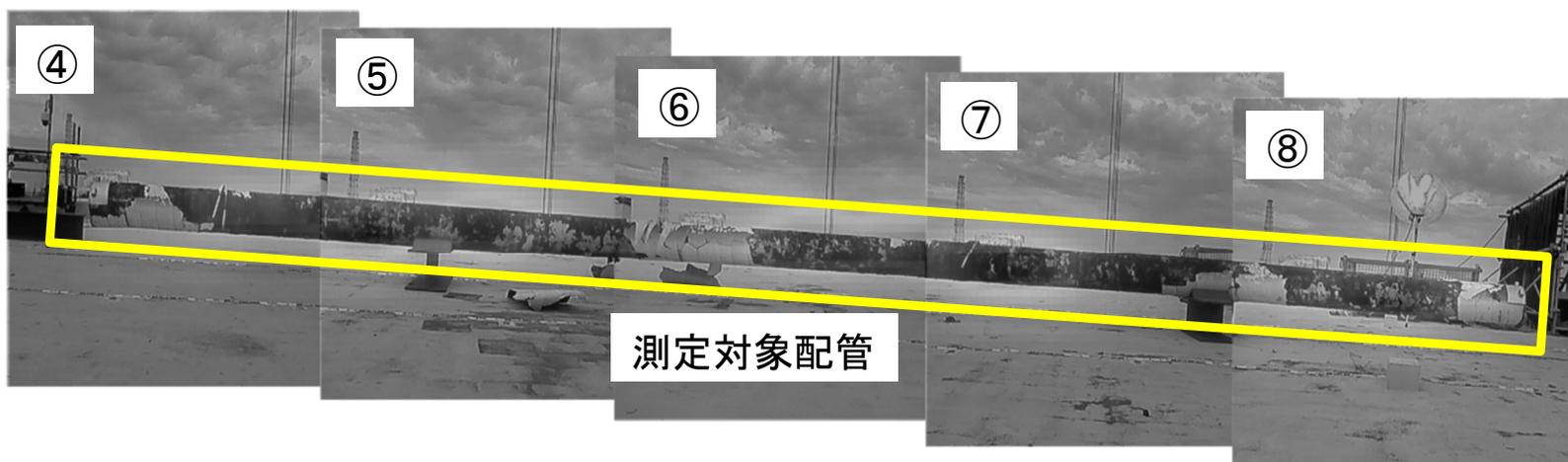


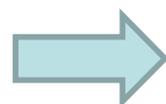
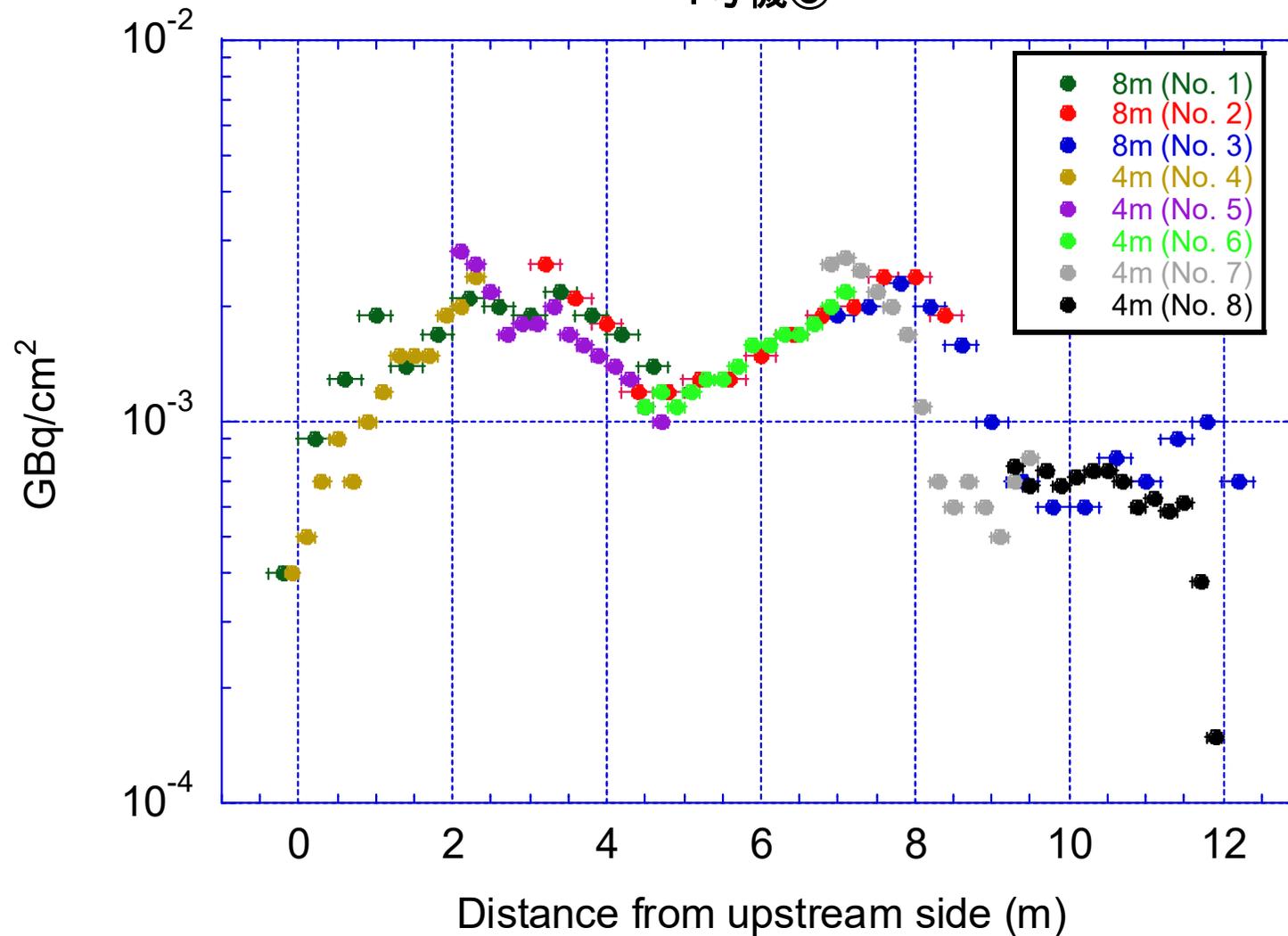
図3 測定配管から4 m位置

※1 : 写真は、2023年10月20日原子力規制庁撮影 (一部加筆)

※2 : 図中の丸番号は、前ページの図中の丸番号に対応

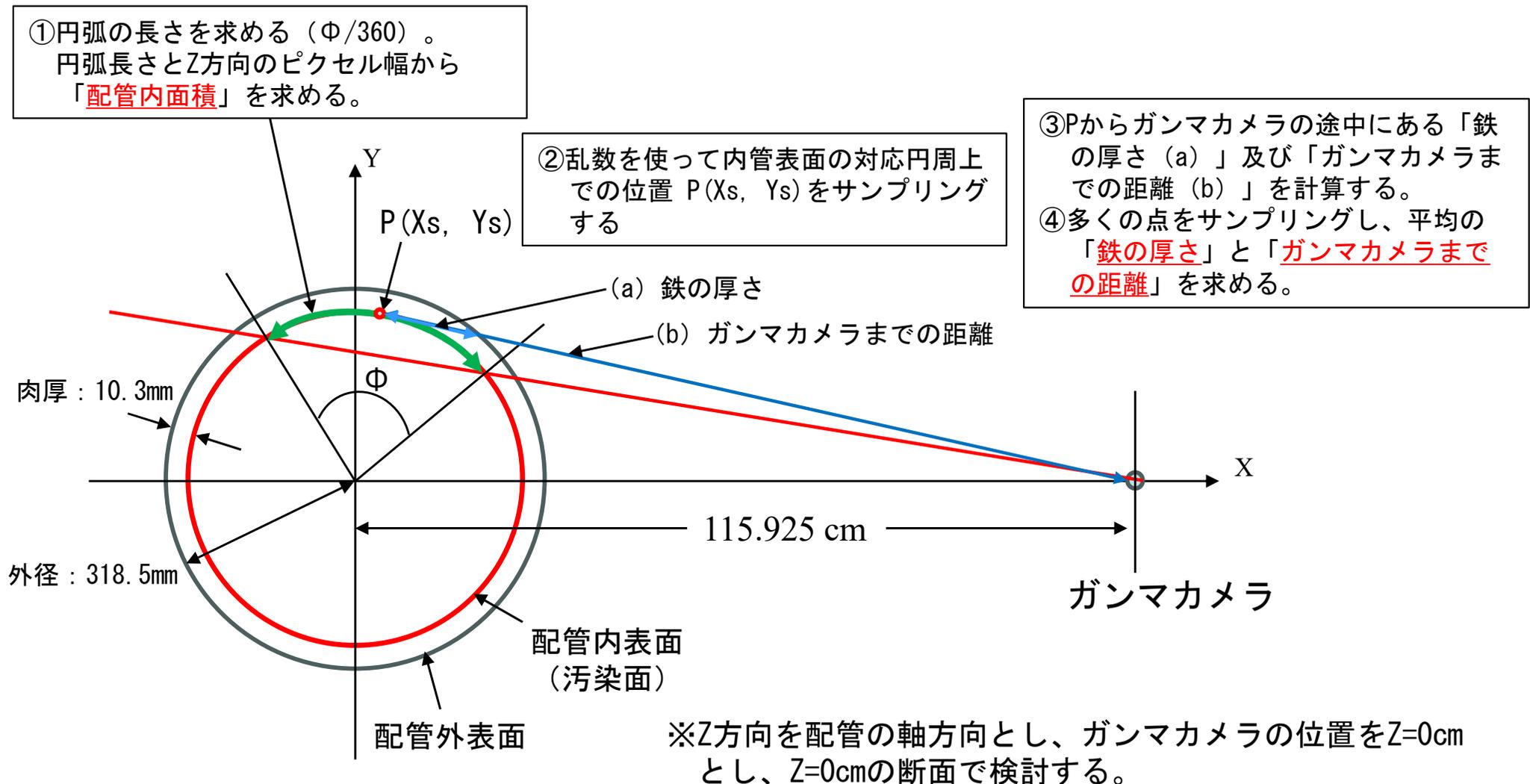
5.1 配管⑤に対する測定(ガンマカメラ) (^{137}Cs 汚染密度分布(軸方向))

1号機⑤



測定配管から 4 m 位置と 8 m 位置から測定した汚染密度分布はほぼ同様

5.1 配管⑤に対する測定(ガンマカメラ) (配管から1m位置における測定) ～配管内面積と平均鉄透過距離の算定方法～



5.1 配管⑤に対する測定(ガンマカメラ) (配管から1m位置における測定) ～¹³⁷Cs汚染密度分布～

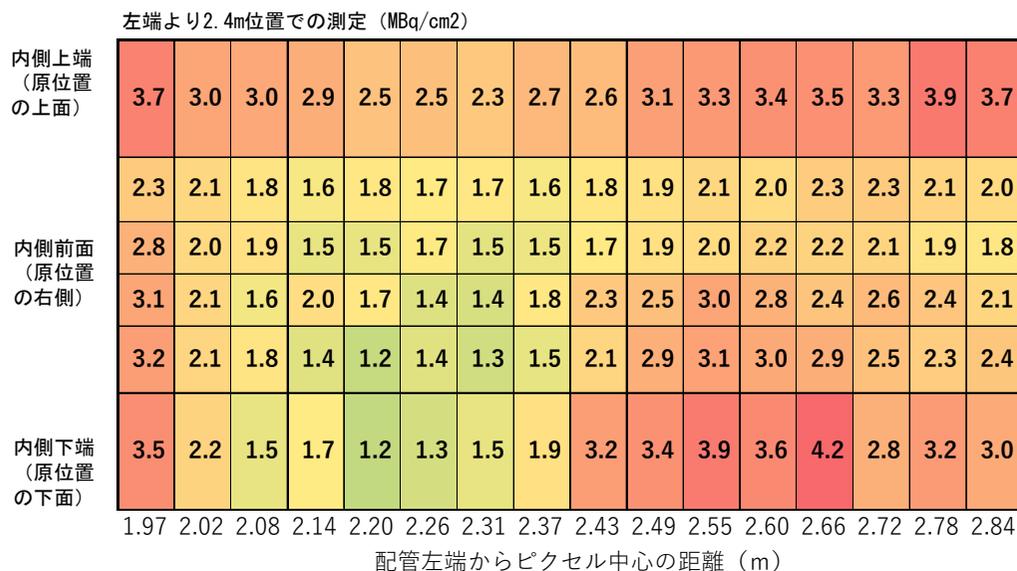


図1 配管左端より2.4m位置
における汚染密度分布

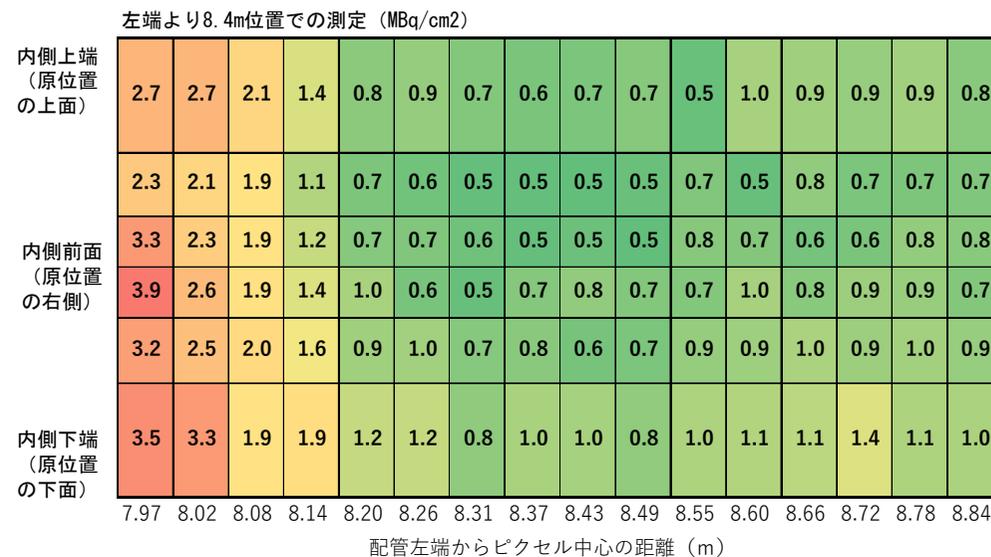
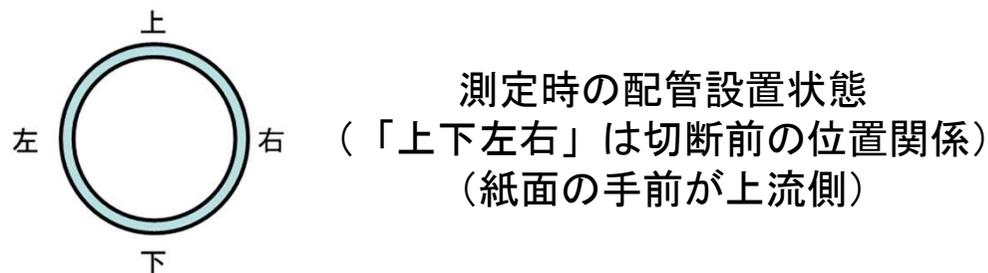


図2 配管左端より8.4m位置
における汚染密度分布

※配管前面 (ガンマカメラ設置側の面) の内側を平面に拡げて表示。



5.2 配管⑤に対する測定(テレテクター) (測定方法等)

- ✓ 配管の左端から軸方向に概ね1mごとに「前面」「下面」「上面」「後面(配管④のみ)」の表面線量率をテレテクターを用いて測定。
- ✓ テレテクターの検出器(GM管)実効中心の位置の関係で、検出器実効中心～測定位置間の距離は、前面及び後面測定時(図1、約8cm)に比べて上面及び下面測定時(図2、約1cm)の方が短くなる。

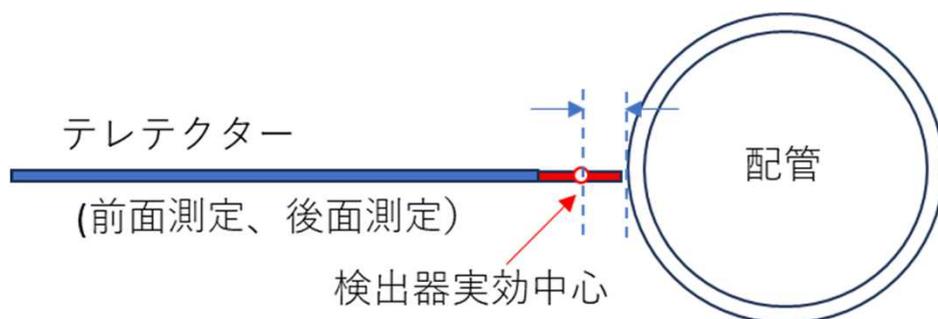


図1 テレテクターと配管との位置関係(前面、後面測定時)

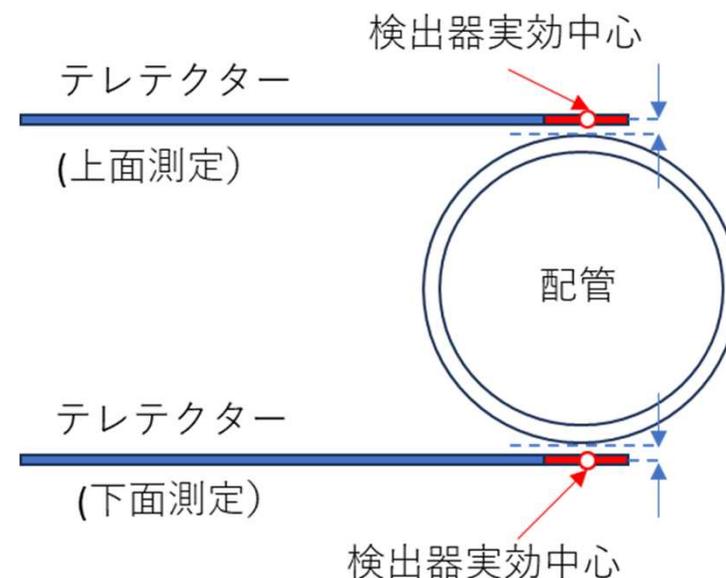


図2 テレテクターと配管との位置関係(上面、下面測定時)

5.2 配管⑤に対する測定(テレテクター) (測定方法等)

- ✓ 配管内面に一様に¹³⁷Csが付着している前提で、表面から1cm及び8cmの線量率の比をQAD-CGGP2コードで求めた結果、表面から1cmの線量率は表面から8cmの線量率より1.7倍高い結果となった。
- ✓ また、東京電力ホールディングス株式会社における配管表面の線量率測定結果（遠隔ロボットに線量計（GF10）を装着し、上面・下面・前面・後面を同じ当て方で測定）と比較したところ、上面及び下面はテレテクターとGF10の値がほぼ同等であったが、前面はGF10の値の方がテレテクターの値よりも1.73倍程度高い値となっている（表1）。

➡ テレテクターによる前面の表面線量率（測定値）には、補正係数として「1.73」を乗じる。

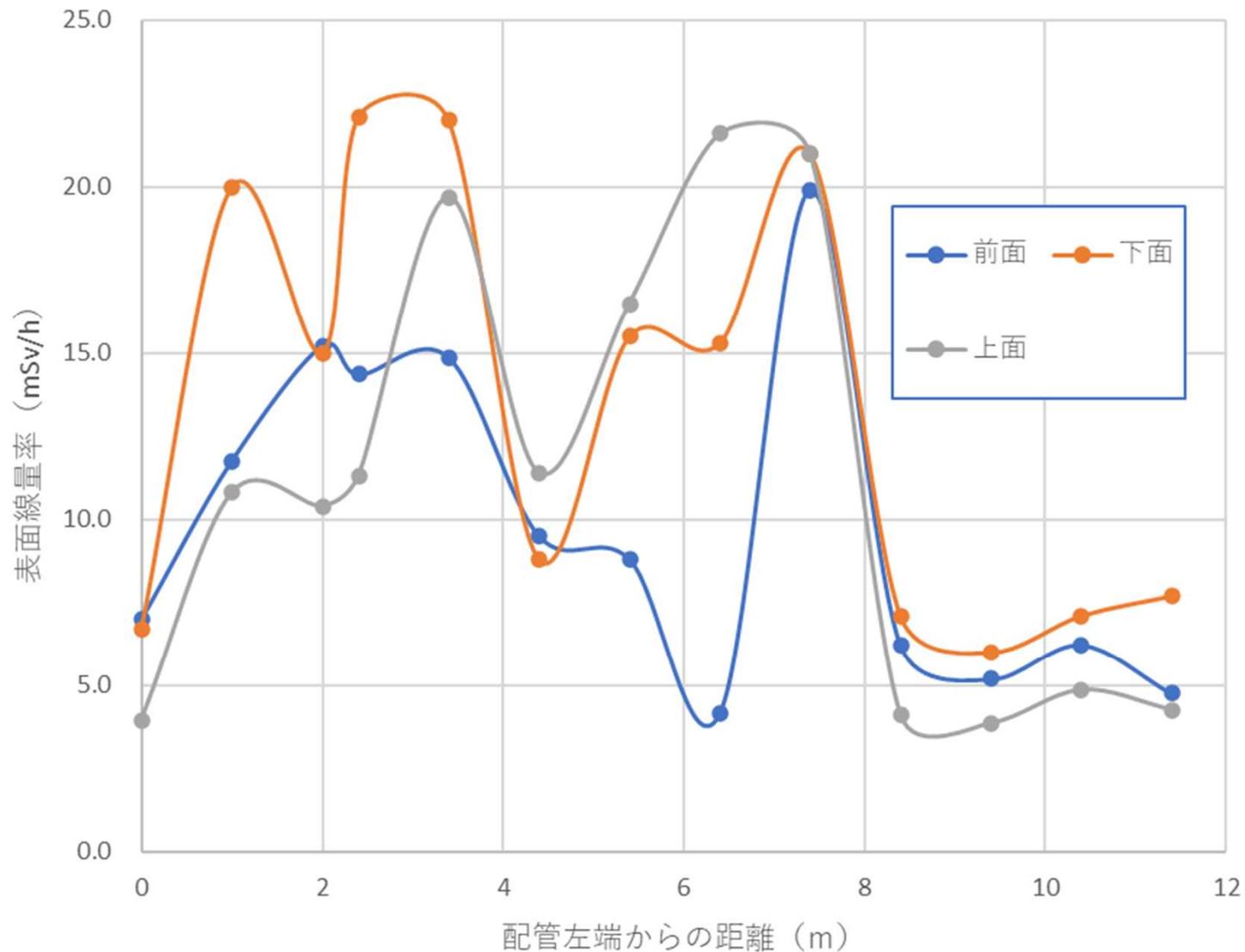
表1 テレテクターとGF10線量計の測定値比較

| | 測定値 (mSv/h) | |
|-----------|-------------|--------------|
| | GF10 (東電) | テレテクター (NRA) |
| 上面 (0°) | 12.5 | 11.3 |
| 下面 (180°) | 22 | 22.1 |
| 前面(90°) | 14.3 | 8.3 |

表2 表面線量率測定結果

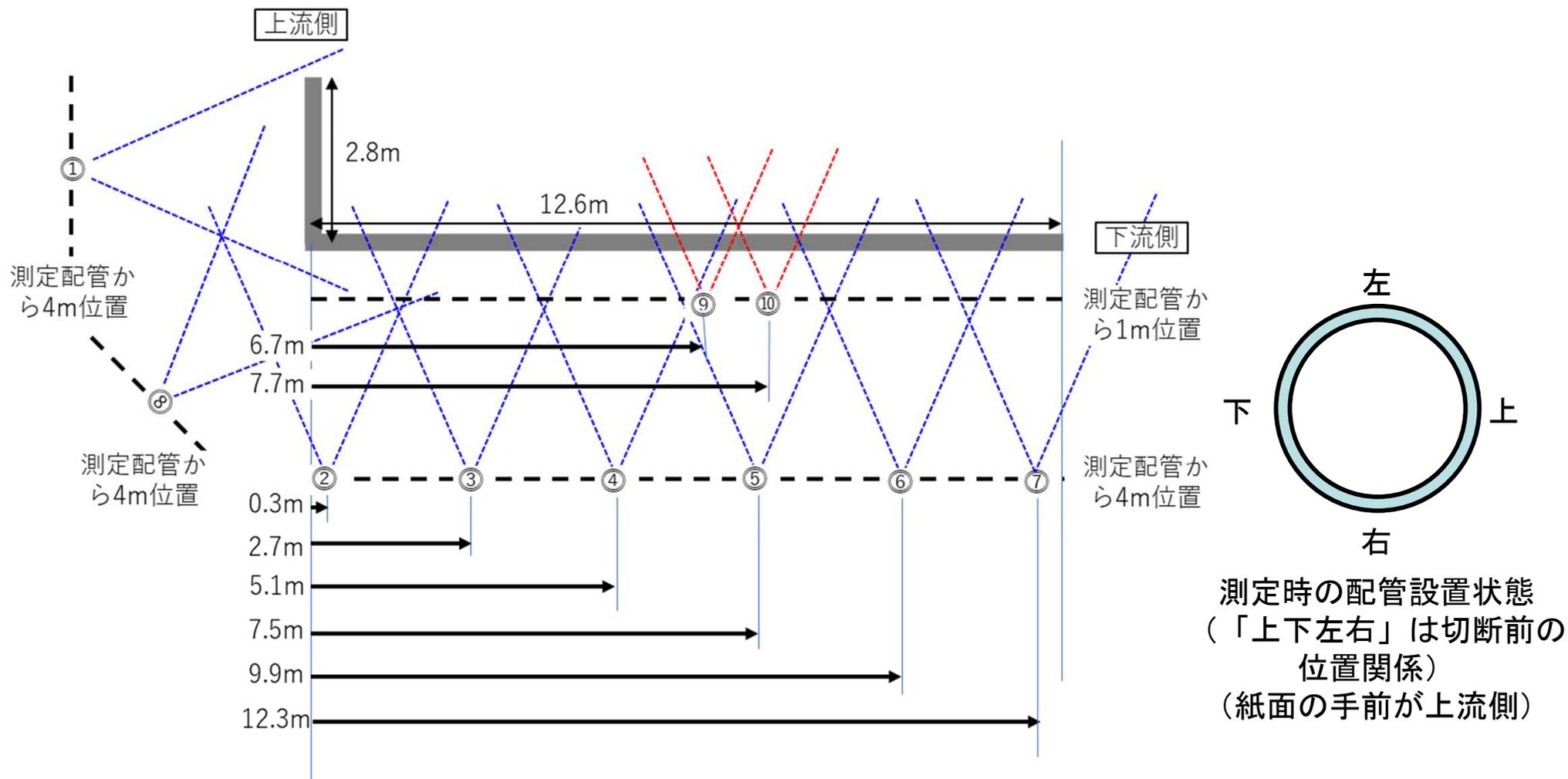
| 位置 番号 | 配管左端からの 距離 (m) | 表面線量率 (mSv/h) | | | |
|----------|-------------------|---------------|-------------|------|------|
| | | 前面 | 前面 (補正後) | 下面 | 上面 |
| 1 | 0 | 4.05 | 7.0 | 6.7 | 3.95 |
| 2 | 1 | 6.8 | 11.8 | 20 | 10.8 |
| 3 | 2 | 8.8 | 15.2 | 15 | 10.4 |
| 4 | 2.4 | 8.3 | 14.4 | 22.1 | 11.3 |
| 5 | 3.4 | 8.6 | 14.9 | 22 | 19.7 |
| 6 | 4.4 | 5.5 | 9.5 | 8.8 | 11.4 |
| 7 | 5.4 | 5.1 | 8.8 | 15.5 | 16.5 |
| 8 | 6.4 | 2.4 | 4.2 | 15.3 | 21.6 |
| 9 | 7.4 | 11.5 | 19.9 | 21 | 21 |
| 10 | 8.4 | 3.6 | 6.2 | 7.1 | 4.1 |
| 11 | 9.4 | 3 | 5.2 | 6 | 3.85 |
| 12 | 10.4 | 3.6 | 6.2 | 7.1 | 4.85 |
| 13 | 11.4 | 2.75 | 4.8 | 7.7 | 4.25 |

5.2 配管⑤に対する測定(テレテクター) (表面線量率測定結果)

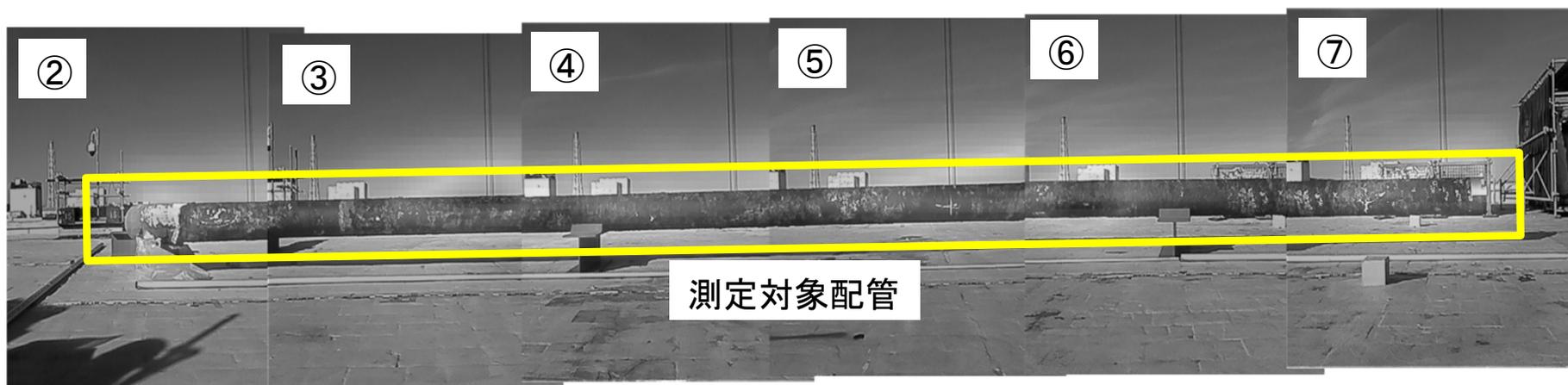


※前面の表面線量率は、補正係数 (1.73) を乗じたもの

6.1 配管④に対する測定(ガンマカメラ) (ガンマカメラ設置位置)



6.1 配管④に対する測定(ガンマカメラ) (ガンマカメラ撮影画面)

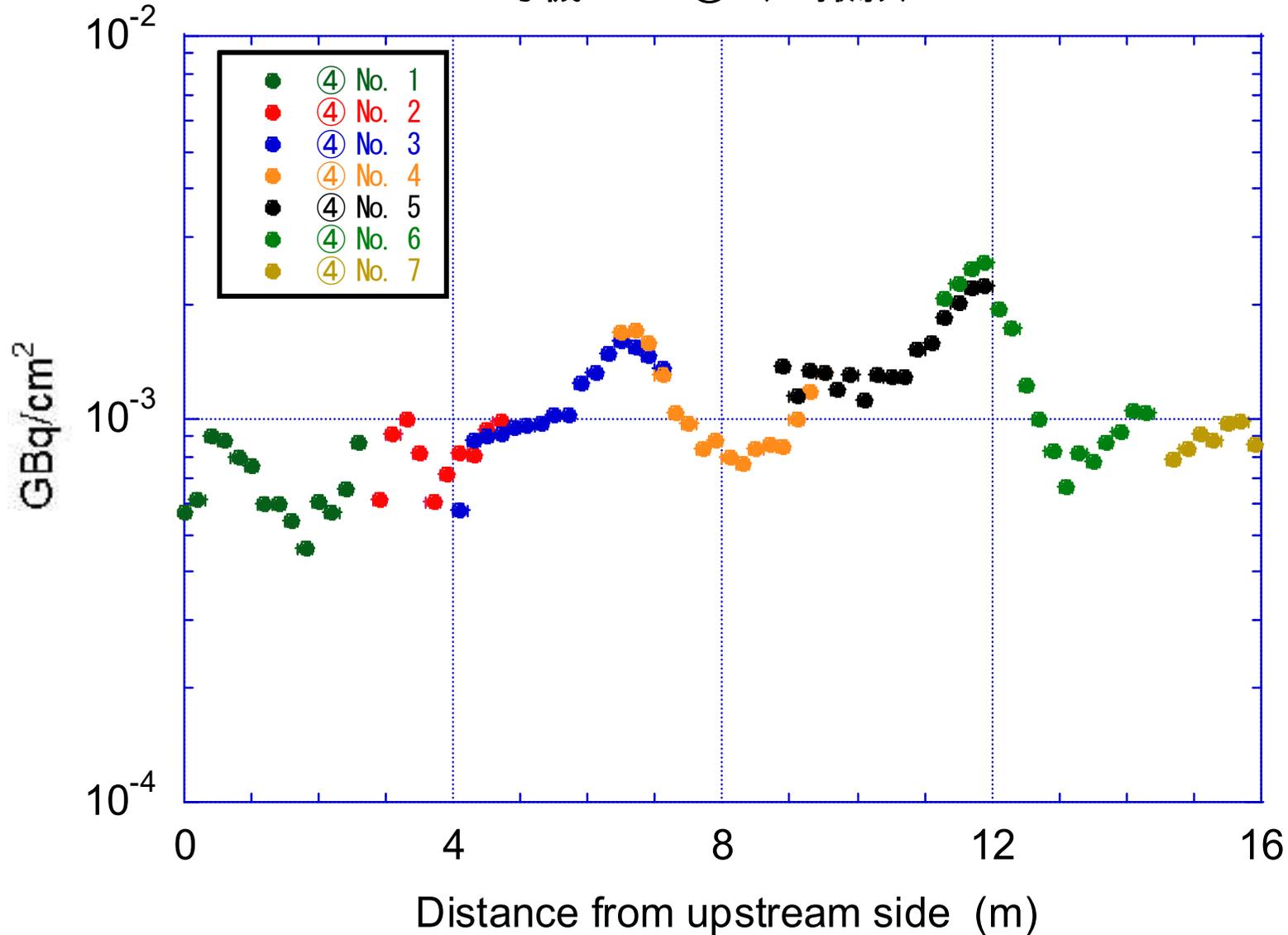


※1 : 写真は、2023年11月16日原子力規制庁撮影（一部加筆）

※2 : 図中の丸番号は、前ページの図中の丸番号に対応

6.1 配管④に対する測定(ガンマカメラ) (¹³⁷Cs汚染密度分布(軸方向))

1号機SGTS ④ (4m撮影)



6.1 配管④に対する測定(ガンマカメラ) (配管から1m位置における測定) ～¹³⁷Cs汚染密度分布～

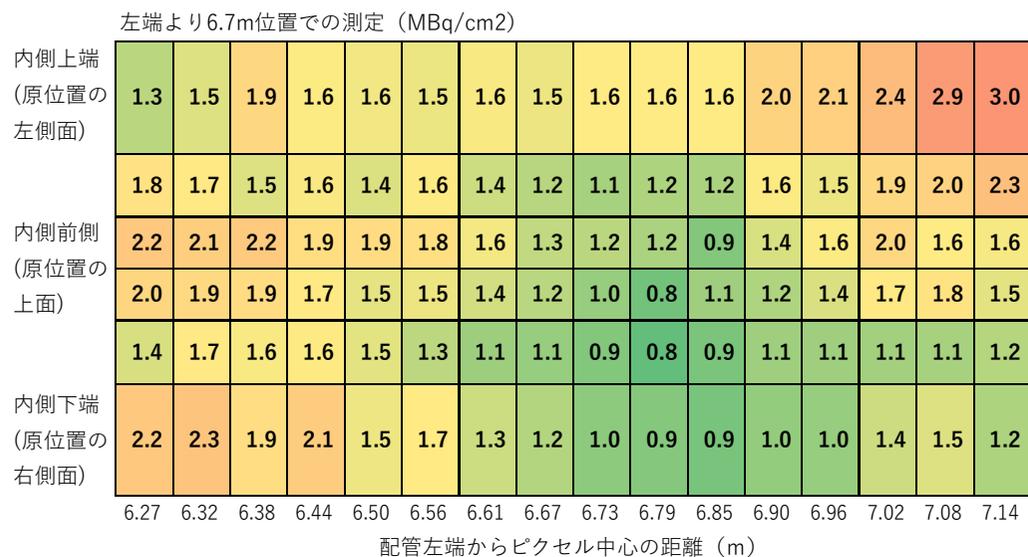


図1 配管左端より6.7m位置
における汚染密度分布

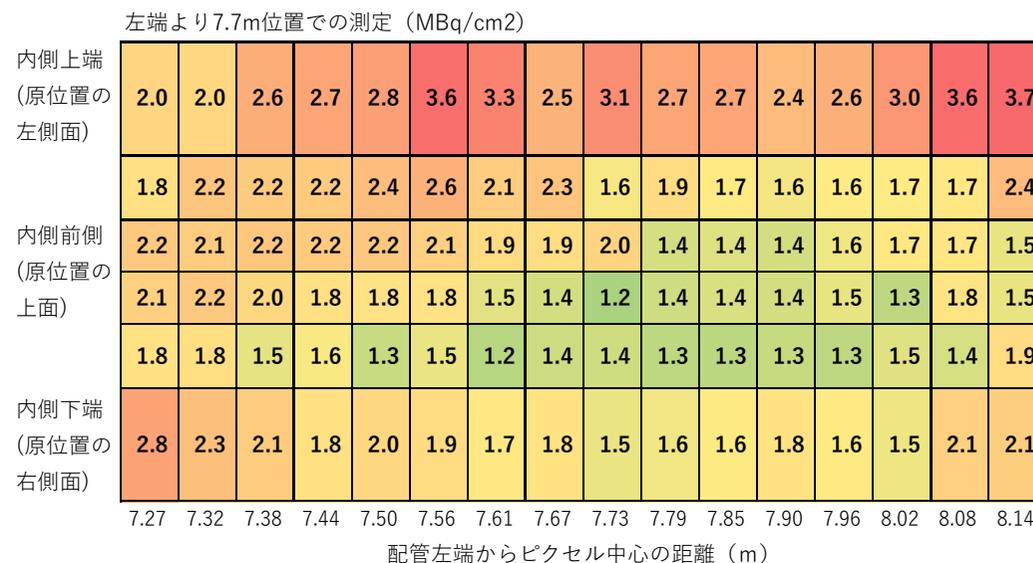
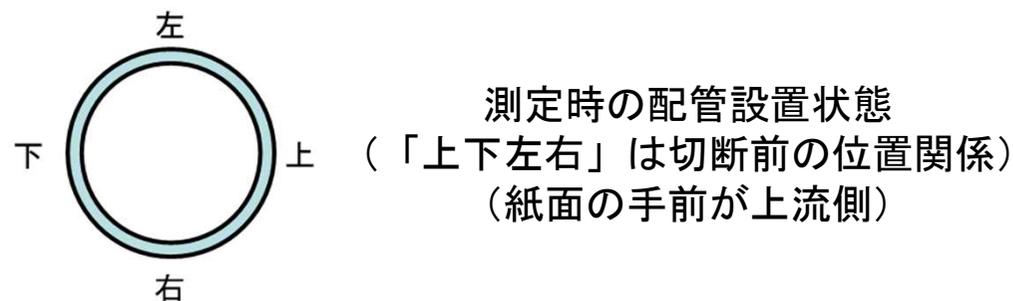


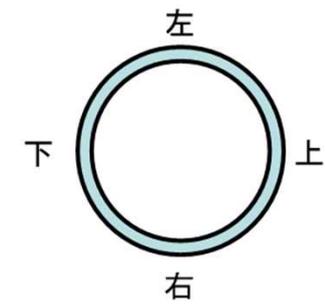
図2 配管左端より7.7m位置
における汚染密度分布

※配管前面 (ガンマカメラ設置側の面) の内側を平面に拡げて表示。



6.2 配管④に対する測定(テレテクター) (表面線量率測定結果)

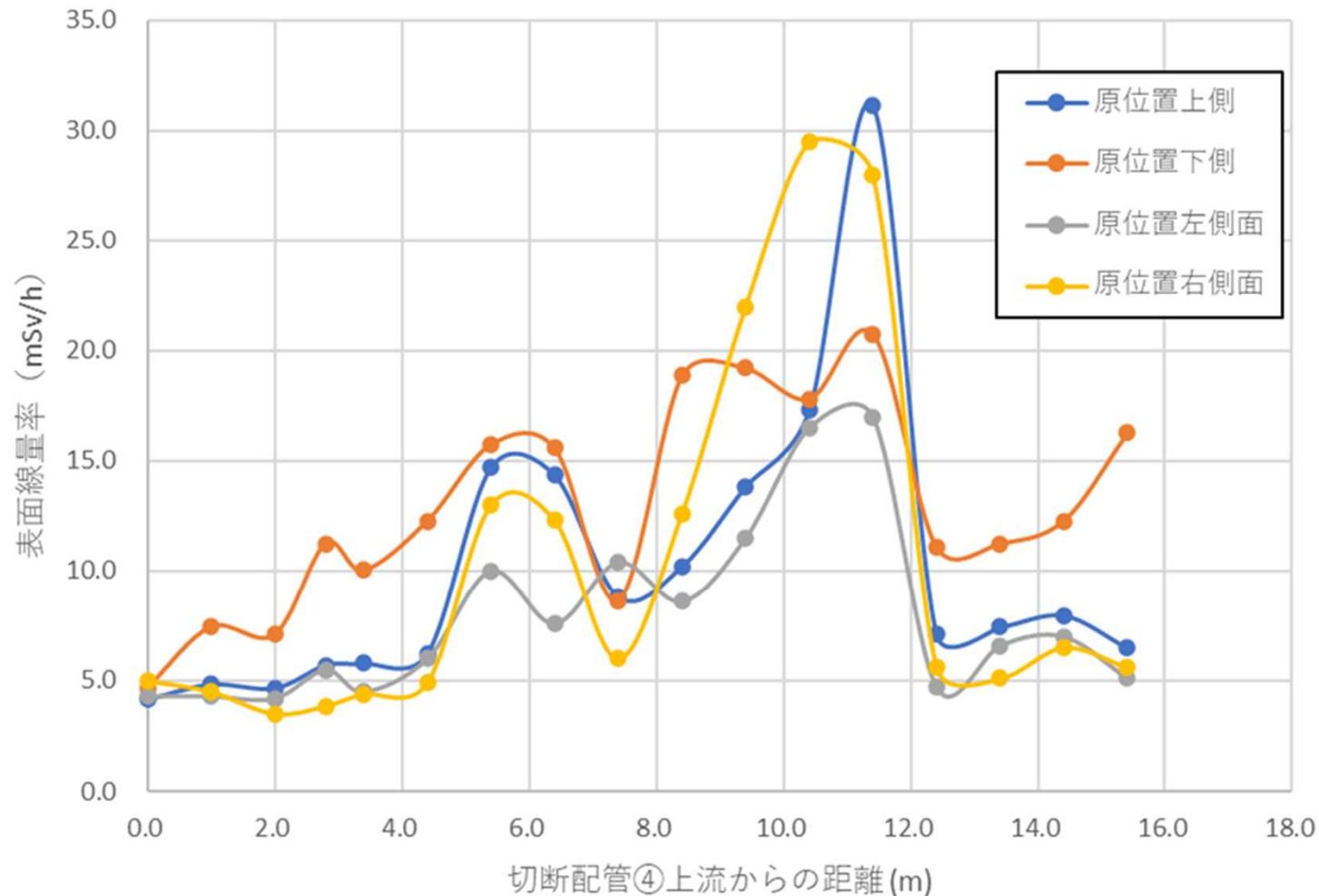
| 位置 番号 | 位置 | 各部左端からの 距離 (m) | 配管上流 からの距離 (m) | 表面線量率 (mSv/h) | | | | | |
|----------|----|-------------------|----------------------|---------------|-------------|---------|-------------|---------|------|
| | | | | 前面 | 前面 (補正後) | 後面 | 後面 (補正後) | 下面 | 上面 |
| | | | | 原位置での上側 | | 原位置での下側 | | 原位置での側面 | |
| 1 | 短部 | 0.0 | 0.0 | 2.4 | 4.2 | 2.7 | 4.7 | 4.3 | 5 |
| 2 | | 1.0 | 1.0 | 2.8 | 4.8 | 4.3 | 7.4 | 4.3 | 4.5 |
| 3 | | 2.0 | 2.0 | 2.7 | 4.7 | 4.1 | 7.1 | 4.2 | 3.5 |
| 4 | 曲部 | 中央 | 2.8 | 3.3 | 5.7 | 6.5 | 11.2 | 5.5 | 3.85 |
| 5 | 長部 | 0.6 | 3.4 | 3.35 | 5.8 | 5.8 | 10.0 | 4.5 | 4.4 |
| 6 | | 1.6 | 4.4 | 3.6 | 6.2 | 7.1 | 12.3 | 6 | 4.9 |
| 7 | | 2.6 | 5.4 | 8.5 | 14.7 | 9.1 | 15.7 | 10 | 13 |
| 8 | | 3.6 | 6.4 | 8.3 | 14.4 | 9.0 | 15.6 | 7.6 | 12.3 |
| 9 | | 4.6 | 7.4 | 5.1 | 8.8 | 5.0 | 8.7 | 10.4 | 6 |
| 10 | | 5.6 | 8.4 | 5.9 | 10.2 | 10.9 | 18.9 | 8.6 | 12.6 |
| 11 | | 6.6 | 9.4 | 8 | 13.8 | 11.1 | 19.2 | 11.5 | 22 |
| 12 | | 7.6 | 10.4 | 10 | 17.3 | 10.3 | 17.8 | 16.5 | 29.5 |
| 13 | | 8.6 | 11.4 | 18 | 31.1 | 12.0 | 20.8 | 17 | 28 |
| 14 | | 9.6 | 12.4 | 4.1 | 7.1 | 6.4 | 11.1 | 4.7 | 5.6 |
| 15 | | 10.6 | 13.4 | 4.3 | 7.4 | 6.5 | 11.2 | 6.6 | 5.1 |
| 16 | | 11.6 | 14.4 | 4.6 | 8.0 | 7.1 | 12.3 | 7 | 6.5 |
| 17 | | 12.6 | 15.4 | 3.75 | 6.5 | 9.4 | 16.3 | 5.1 | 5.6 |



測定時の配管設置状態
(「上下左右」は切断前
の位置関係)
(紙面の手前が上流側)

6.2 配管④に対する測定(テレテクター) (表面線量率測定結果)

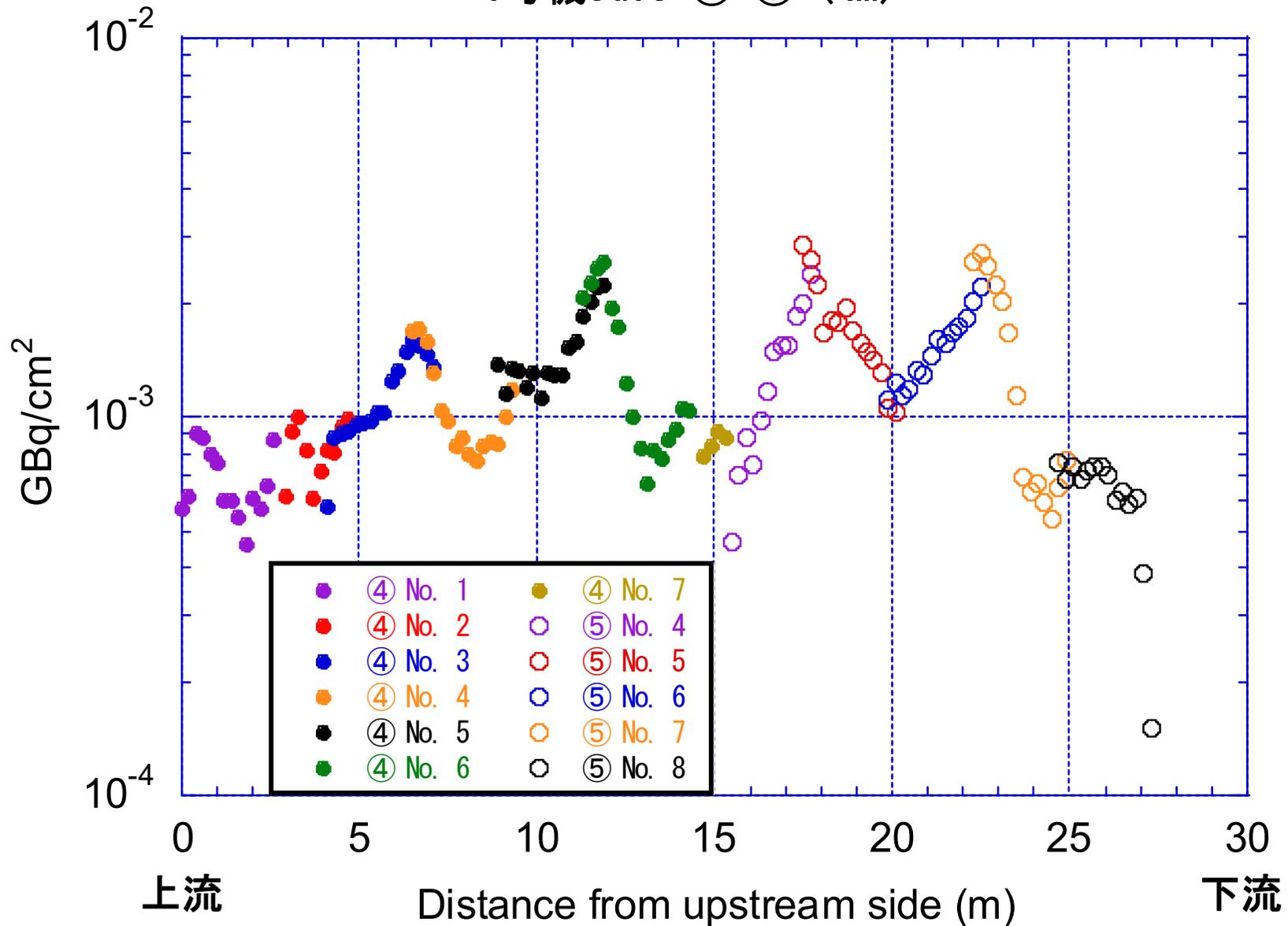
1号機SGTS④表面線量率分布



※原位置左側面及び原位置右側面の表面線量率は、補正係数 (1.73) を乗じたもの

7. ^{137}Cs 汚染密度分布(軸方向) (ガンマカメラ、配管④及び⑤)

1号機SGTS ④+⑤ (4m)



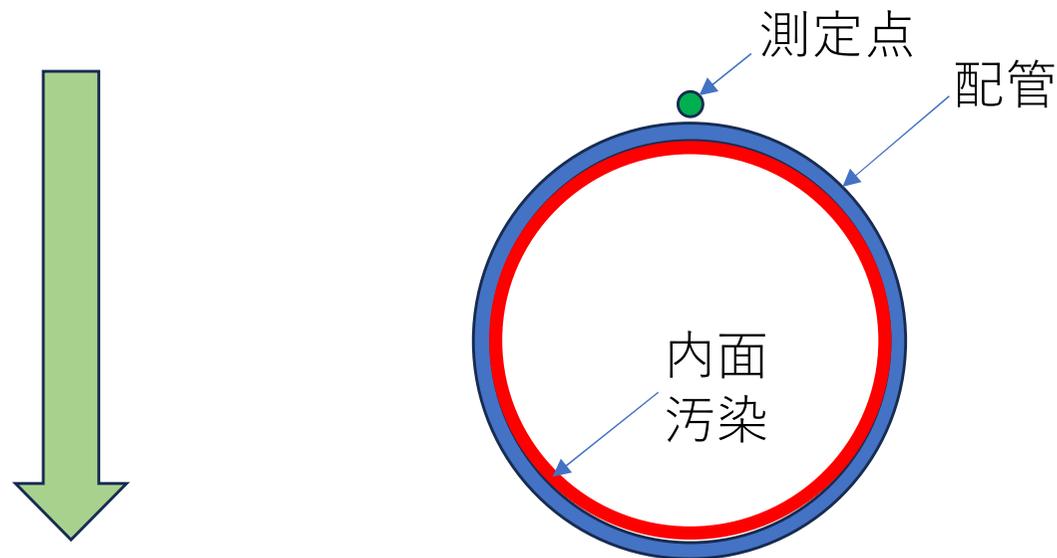
7. ^{137}Cs 汚染密度分布(軸方向)の傾向

- ✓ 約 5 m ごとに汚染密度のピークが見られる。
(要因として考えられる事項)
 - 配管内側の構造 (溶接部、特異な構造等)
 - 事故時に配管内に流れた流体の流動形式

- ✓ 上流から下流に向かって、緩やかに汚染密度が上昇している。
(要因として考えられる事項)
 - 事故時に配管内に流れた流体の温度変化

8. 表面線量率による汚染密度の推定

配管内面に $1\text{Bq}/\text{cm}^2$ の「 ^{137}Cs 」及び「 ^{137}Cs の4%分の ^{134}Cs 」が
一様に付着している場合の測定点(配管外表面から 1cm)における
線量率(mSv/h)をEGS5で計算



テレテクターで測定された線量率(mSv/h)から汚染密度(Bq/cm^2)を推定

8. 表面線量率による汚染密度の推定

検出点から半径7.5cm範囲の内面汚染からの線量率寄与は全体の40%
(表面線量率は測定点近くの汚染密度に大きく依存する)



ガンマカメラでは対応するピクセル内の平均汚染密度が得られる

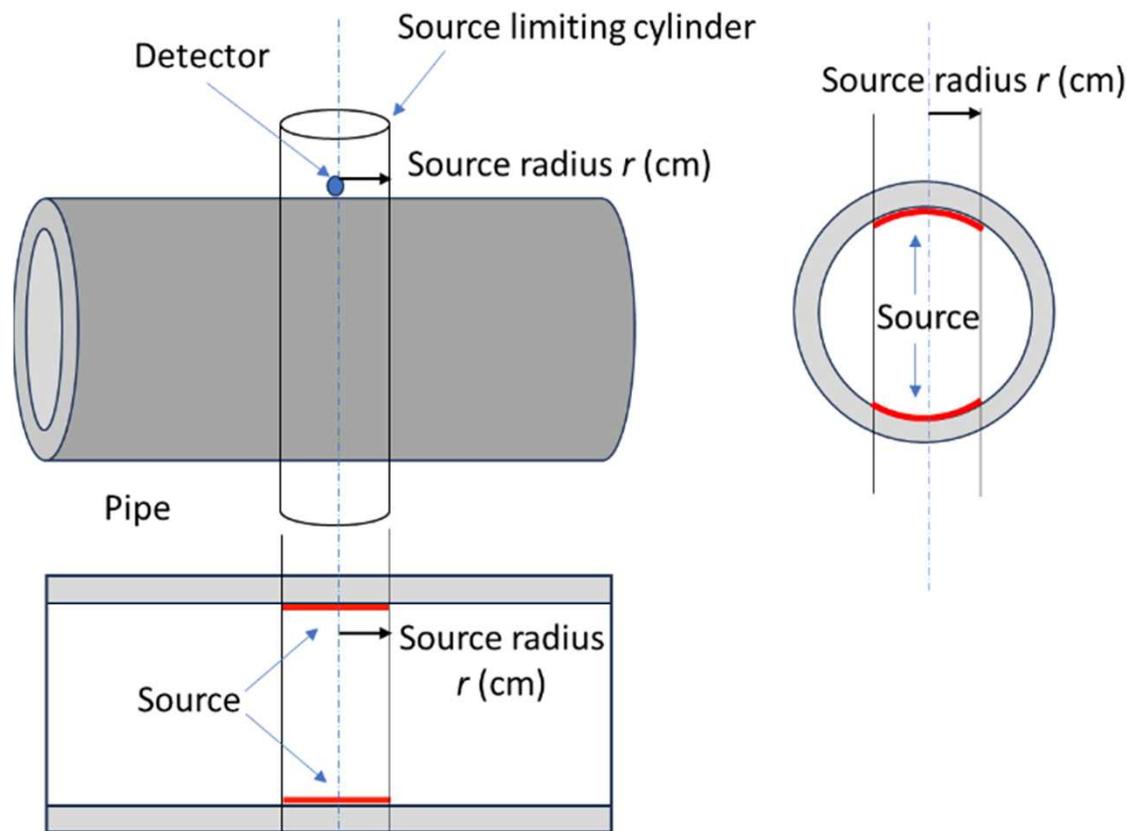


図1 内面汚染範囲(半径 r (cm))

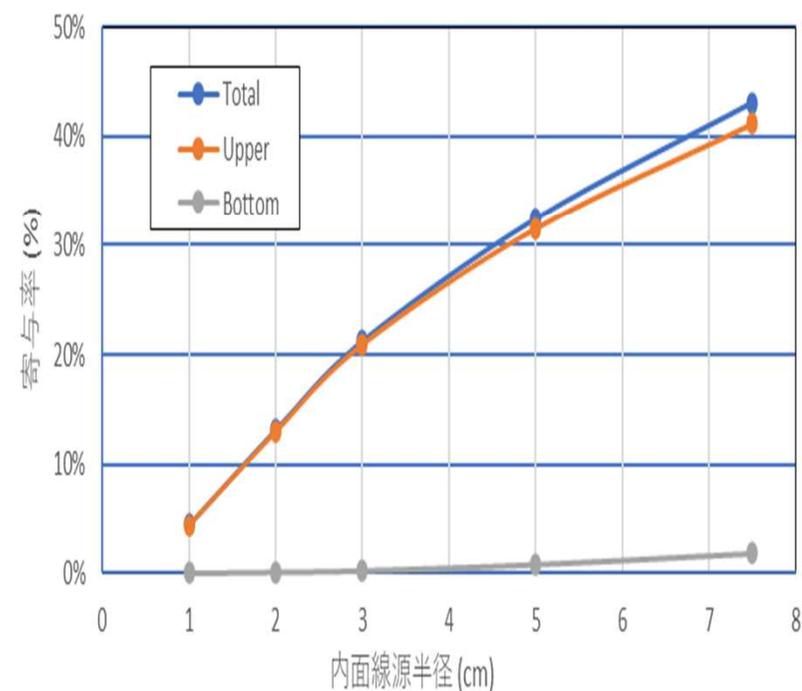


図2 内面汚染半径と寄与率の関係

8. 表面線量率による汚染密度の推定

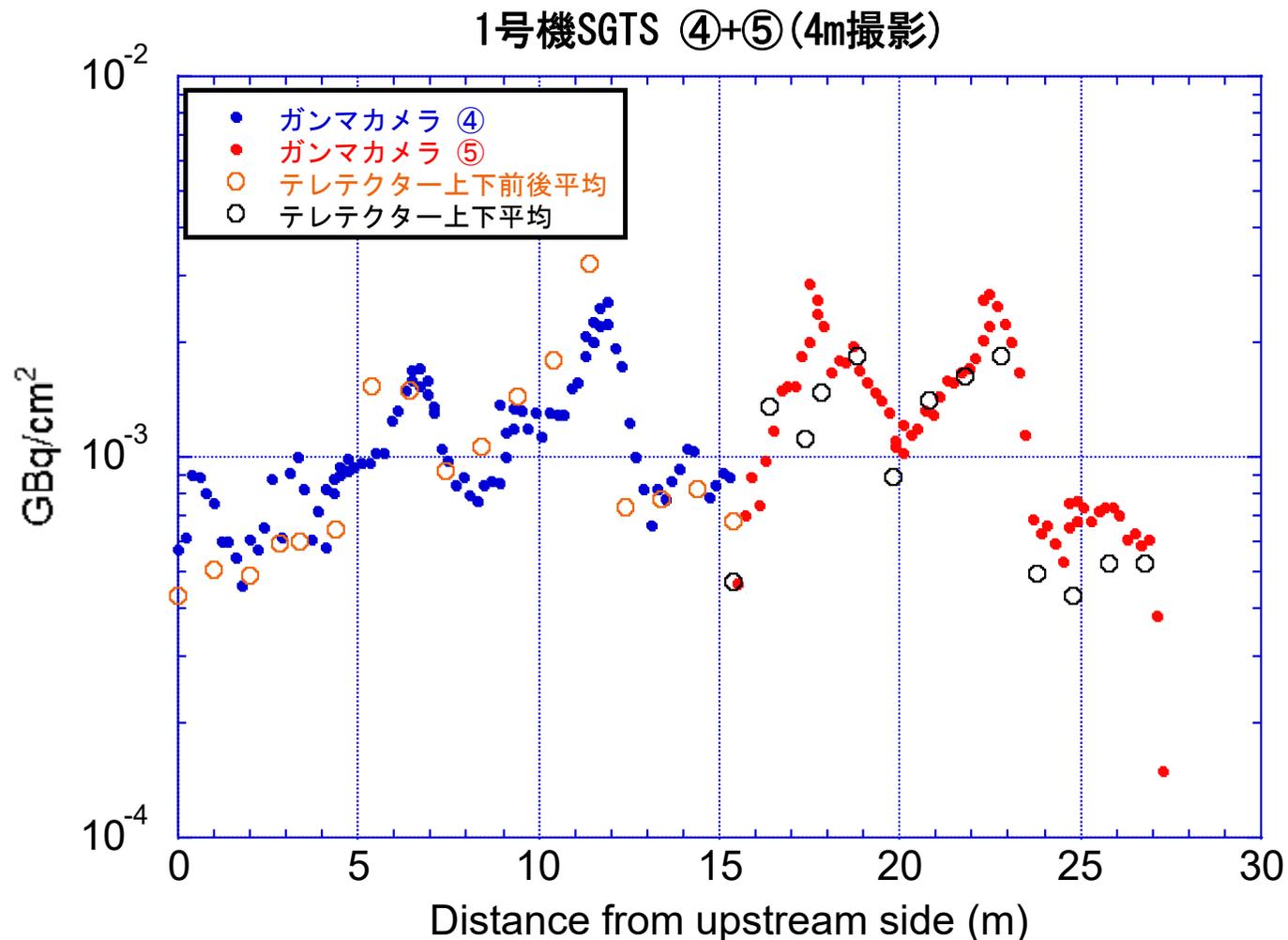
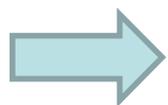
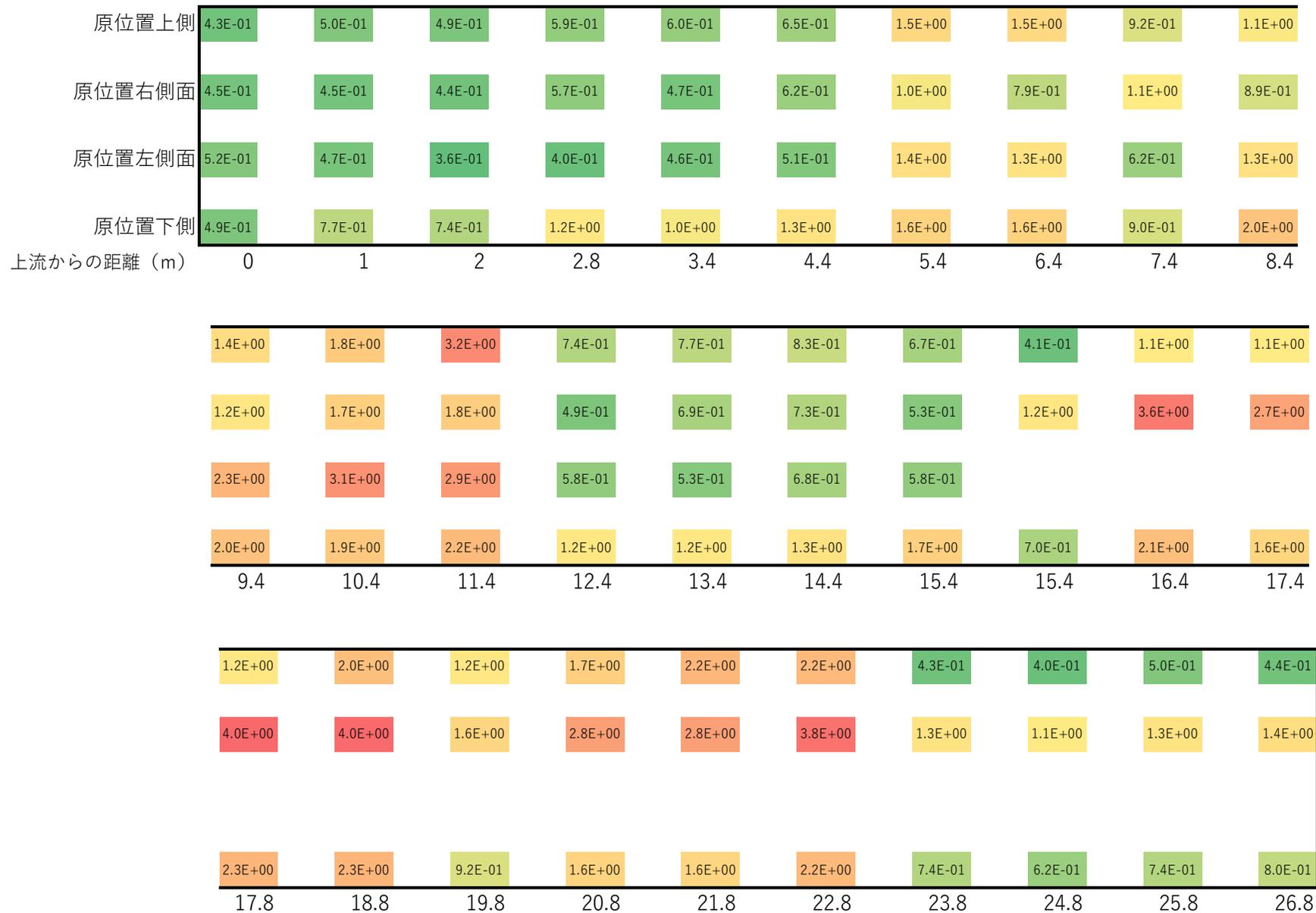


図 ガンマカメラ及びテレテクターによる軸方向の¹³⁷Cs汚染密度分布の比較



- ガンマカメラとテレテクターの汚染密度の傾向は同様。
- テレテクターは、測定点近くの汚染密度に大きく依存するため、ガンマカメラの汚染密度に比べて大小の差が大きい。

8. 表面線量率による汚染密度の推定 (テレテクターによる汚染密度の推定値)



9. 今後の調査方針

< 1号機SGTS配管 >

- ✓ 測定データの信頼性確保の観点から、複数の方法による測定（ガンマカメラによる汚染密度測定、テレテクターによる表面線量率測定）を行い、軸方向の汚染密度分布を把握する。
- ✓ 配管内面の観察、スミア試料の採取等、東京電力ホールディングス株式会社にて今後実施される調査の結果とガンマカメラ等による測定結果との比較検討を行う。

< 2号機SGTS配管 >

- ✓ 1号機SGTS配管と比べて、配管の表面線量率が一桁程度高いため、ガンマカメラやテレテクターによる測定は困難である。
- ✓ 配管内面の汚染密度分布は、表面線量率からある程度推定可能であることが1号機SGTS配管に対する測定により確認されたため、遠隔操作ロボットに線量計を取り付けて、配管の表面線量率を測定する等、配管の表面線量率に関するデータを取得し、それを基に配管内面の汚染分布を推定する。

参考文献

- 1 ピンホール型ガンマカメラによる ^{137}Cs 放射能の測定、平山英夫、林 克己、岩永宏平、近藤 健次郎、鈴木 征四郎 日本原子力学会和文論文誌 Vol. 19 No. 3 pp152-162 (2020)
- 2 QAD-CGGP2 AND G33-GP2 : REVISED VERSION OF QAD-CGGP AND G33-GP2, JAERI-M 90-110, Japan Atomic Energy Research Institute (1990).
- 3 H. Hirayama, Y. Namito A. F. Bielajew, S. J. Wikderman and W. R. Nelson, The EGS5 Code System, SLAC-R-730 and KEK Report 2005-8, (2005).
- 4 Katsumi Hayashi, Hideo Hirayama, Kohei Iwanaga, Kenjiro Kondo & Seishiro Suzuki “ Estimation of ^{137}Cs Contamination Density of Wall, Ceiling, and Floor at Unit 2 Operation Floor in Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Using Pinhole Gamma Camera” Nuclear Science and Engineering (2023) DOI: 10.1080/00295639.2023.2204974