

1/2号機屋外SGTS配管内部の Cs-137放射エネルギーの推定

2020年7月20日

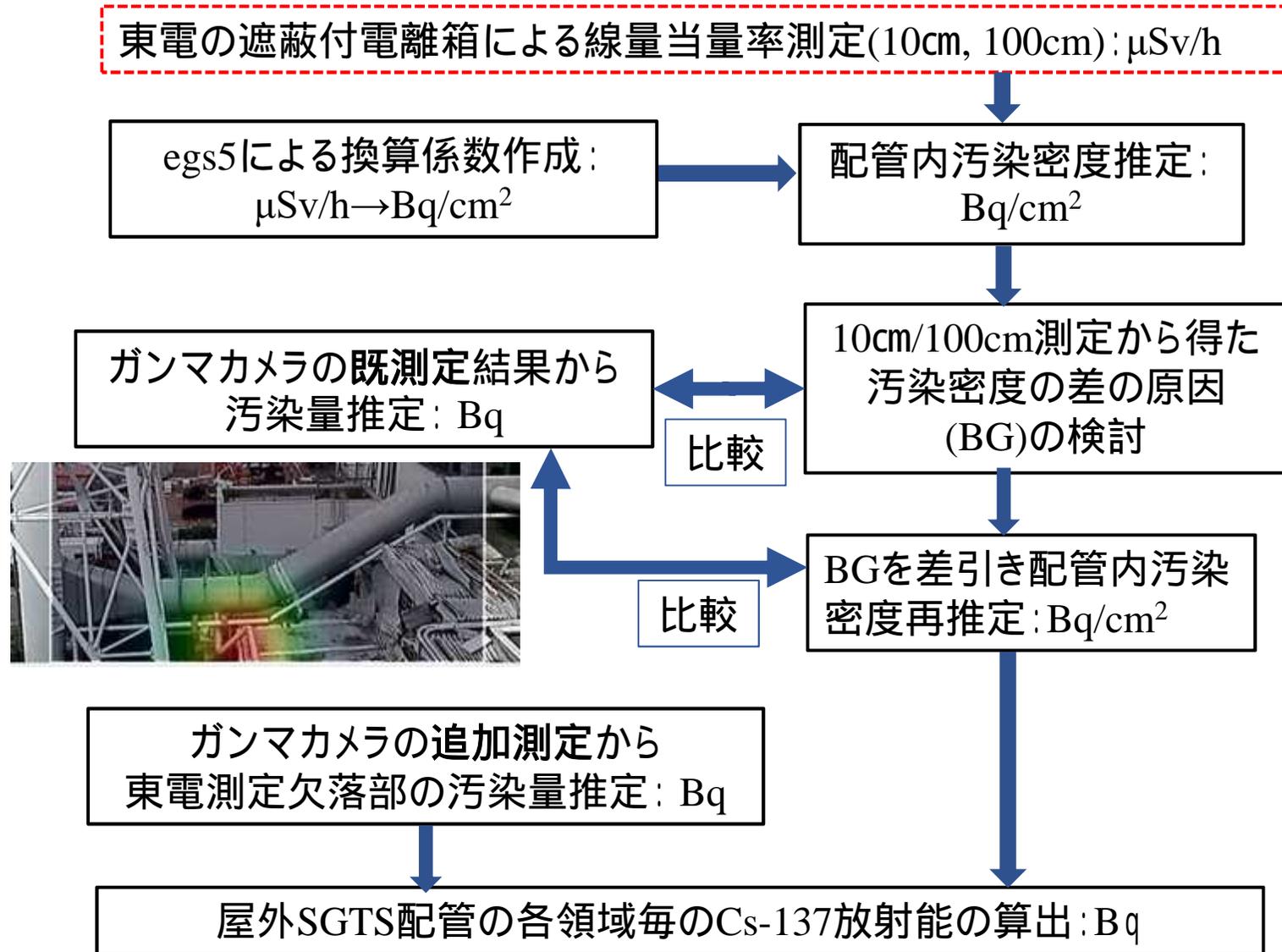
原子力規制庁

平山英夫 近藤健次郎 鈴木征四郎 林克己 岩永宏平

はじめに

- 東京電力では、1/2号機SGTS配管撤去に向けた調査を実施している¹⁾
- 同配管には、高汚染・高線量率の存在が認識されており、工事に際しては放射線・放射能の情報が重要である。
- 東京電力による1/2号機屋外SGTS配管での線量当量率測定は、それぞれの配管について、線源との距離を一定にした測定なので、測定値はSGTS配管内部の汚染量・分布を相対的に反映した有用な情報ではある。
- 高汚染個所の工事の立案や放射線管理計画では、場の線量当量率に加え、「汚染密度」や「汚染量」に着目して考える必要がある。規制庁は「汚染密度」や「汚染量」を特定するべく今回計測を行った。
 - 線量当量率を測定した場合には、得られた情報から「汚染密度」(Bq/cm²)や「汚染量」(Bq)を求める事が必要であり、汚染分布状況に応じた工法選定、ダストや汚染の管理、廃棄物の収納容器等の検討に不可欠
- 配管内の汚染密度を求めるため、モンテカルロ計算コードegs5²⁾を用いて「1cm線量当量率から汚染密度の換算係数」を求め、東京電力による10 cm位置での線量当量率測定値から汚染密度を求めた
- 規制庁で開発してきたピンホール型ガンマカメラによる汚染密度測定法による測定結果を併用してSGTS配管内の汚染量の分布を求めた

SGTS配管内のCs-137放射エネルギーの分布を求める手順



配管上部から10cm位置での配管幅10cm当たりの線量当量率

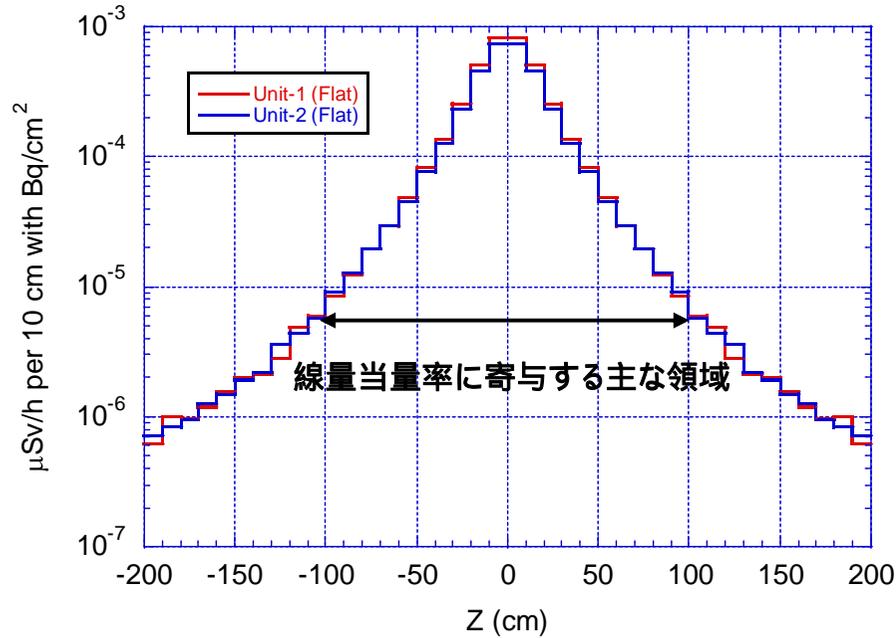


図1 水平なSGTS配管表面から10 cm位置での1cm線当量率

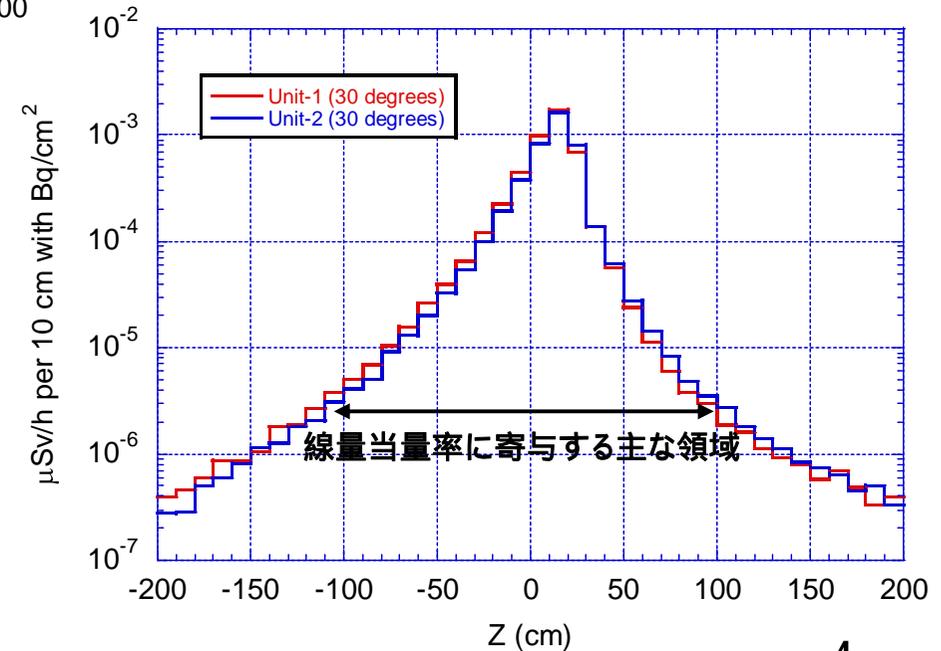
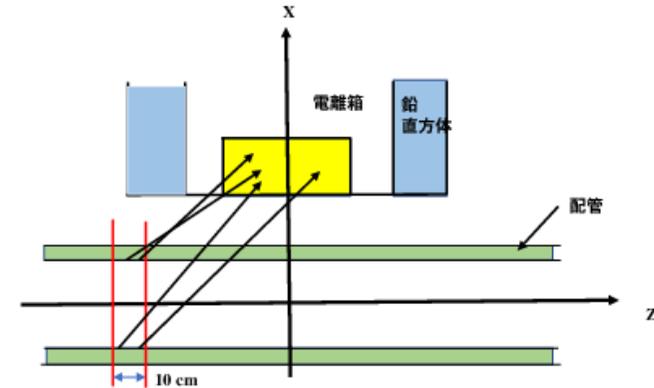
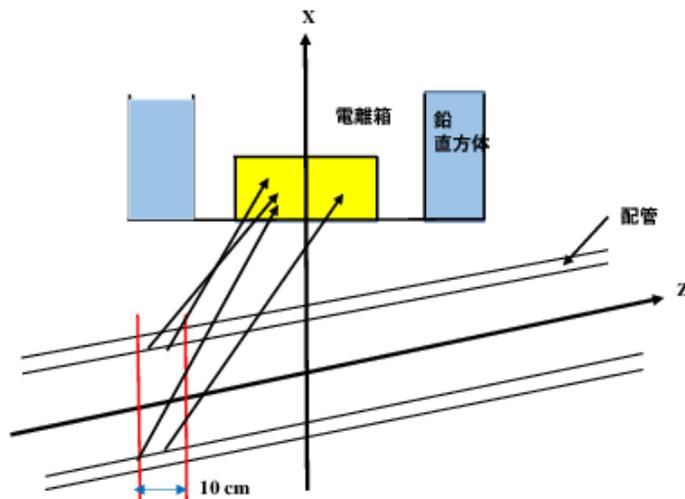


図2 30度上向きのSGTS配管表面から10 cm位置での1cm線当量率

配管上部から100cm位置での配管幅20cm当たりの線量当量率

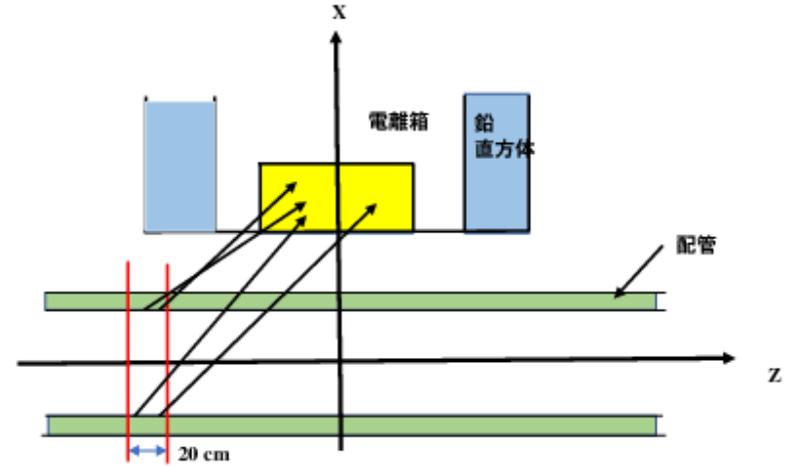
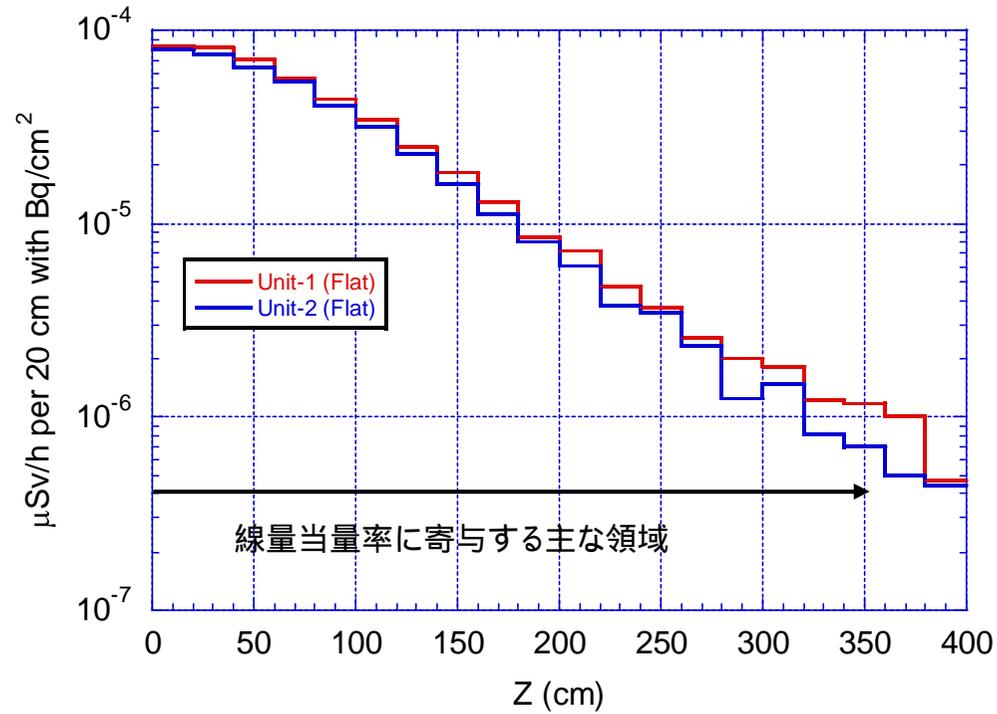


図3 水平なSGTS配管表面から100 cm位置での1cm線当量率

SGTS配管表面から10 cm位置でのBq/cm²当たりの1 cm線量当量率 (換算係数)

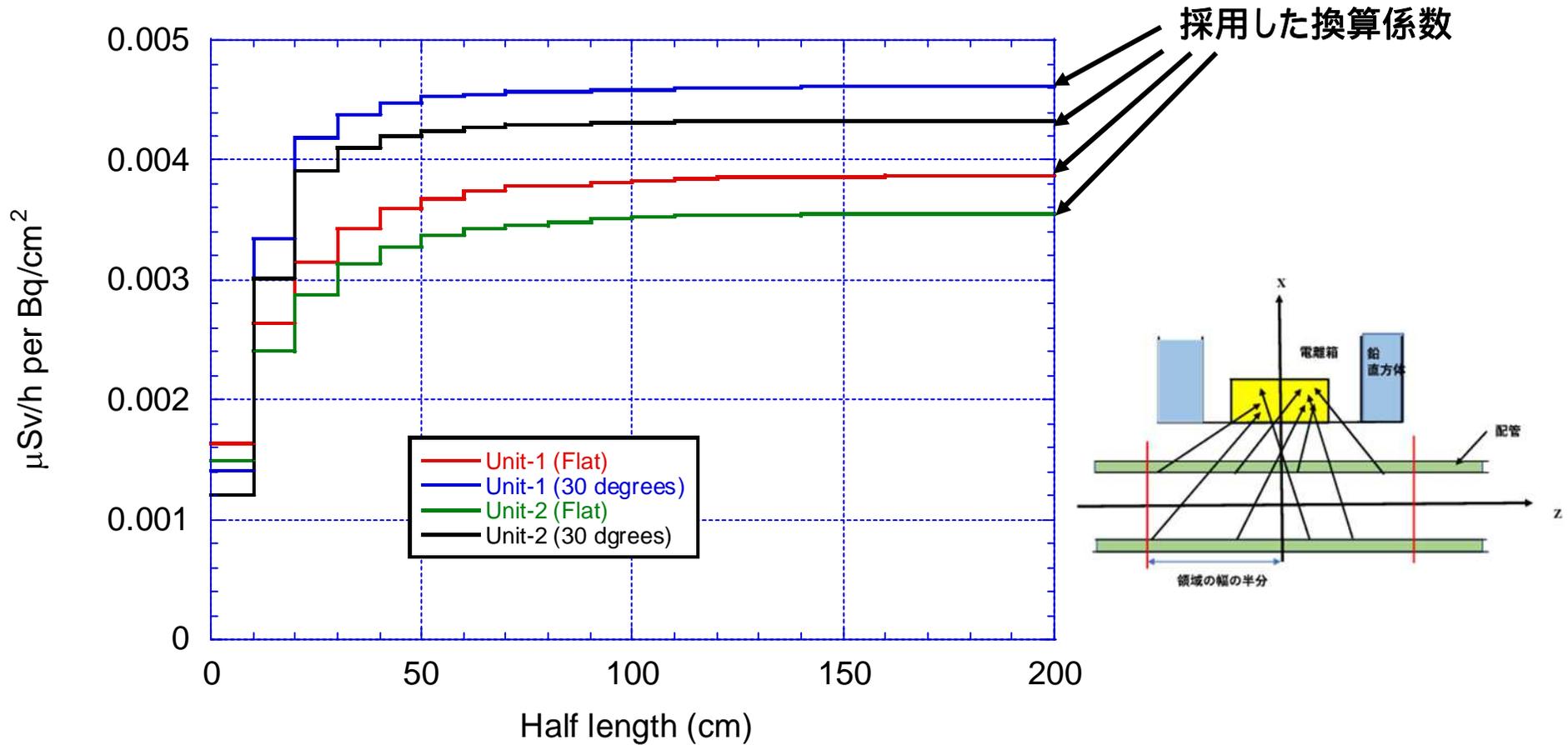


図4 SGTS配管表面から10cm位置での線源領域の長さによる換算係数の変化

求めた換算係数は、配管内部での汚染分布の不確かさによる幅をもつ

SGTS配管表面から100 cm位置でのBq/cm²当たりの1 cm線量当量率 (換算係数)

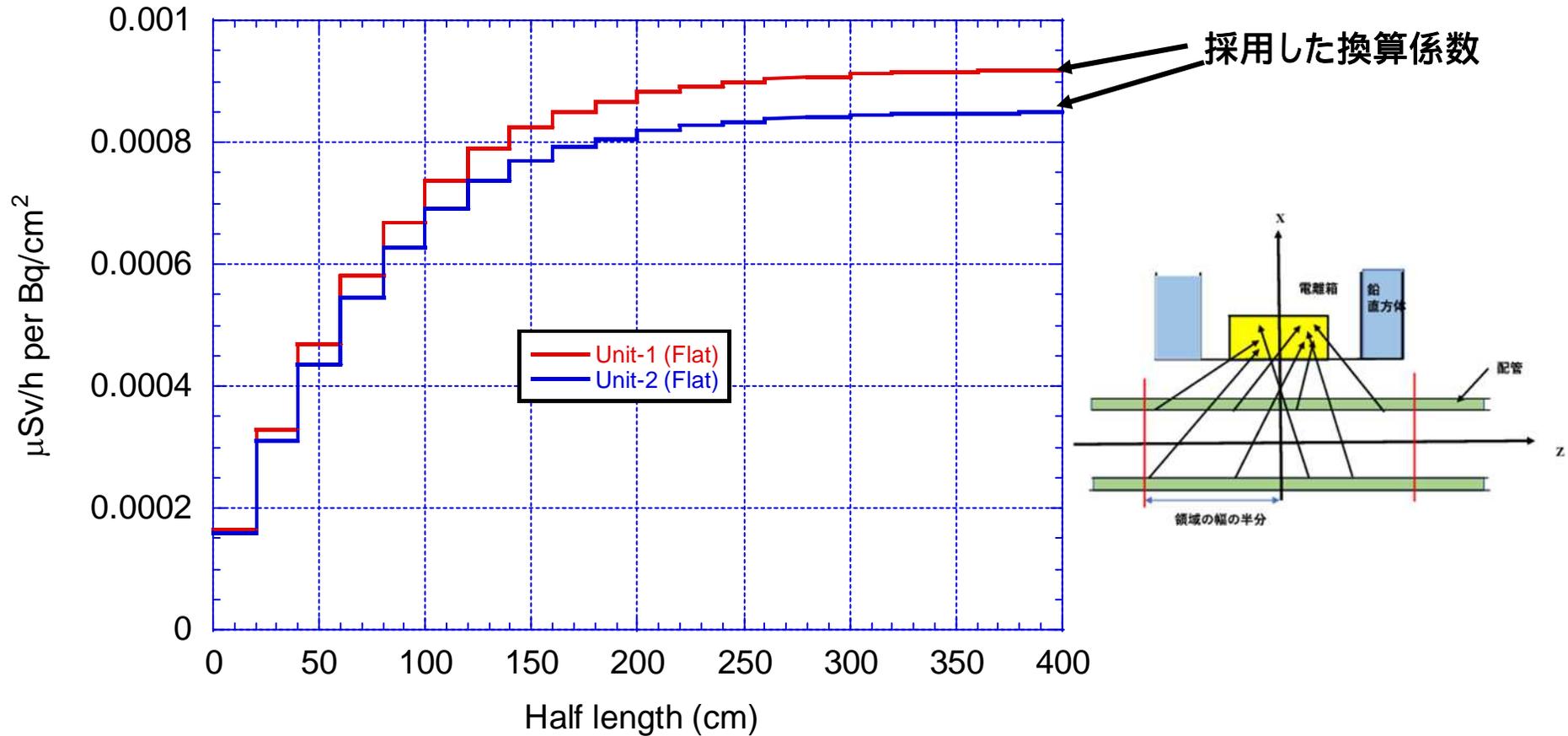


図5 SGTS配管表面から100cm位置での線源領域の長さによる換算係数の変化

求めた換算係数は、配管内部での汚染分布の不確かさによる幅をもつ

換算係数の計算結果

	測定位置	換算係数 μSv/h perBq/cm ²	10 cmと100 cmの 換算係数比
1号機SGTS	配管から10 cm (水平)	0.00387	4.21
	配管から100 cm (水平)	0.000919	
	配管から10 cm (30度)	0.004611623	
2号機SGTS	配管から10 cm (水平)	0.00356	4.19
	配管から100 cm (水平)	0.000849	
	配管から10 cm (30度)	0.00433	

測定された1cm線量当量率、D (mSv/h)、換算係数をC、
汚染密度をq (Bq/cm²) とすると、汚染密度は、

$$q = \frac{D}{C \times 10^{-3}} = \frac{1000 \times D}{C} \text{ (Bq/cm}^2\text{)}$$

で求めることができる。

周辺からの影響の検討

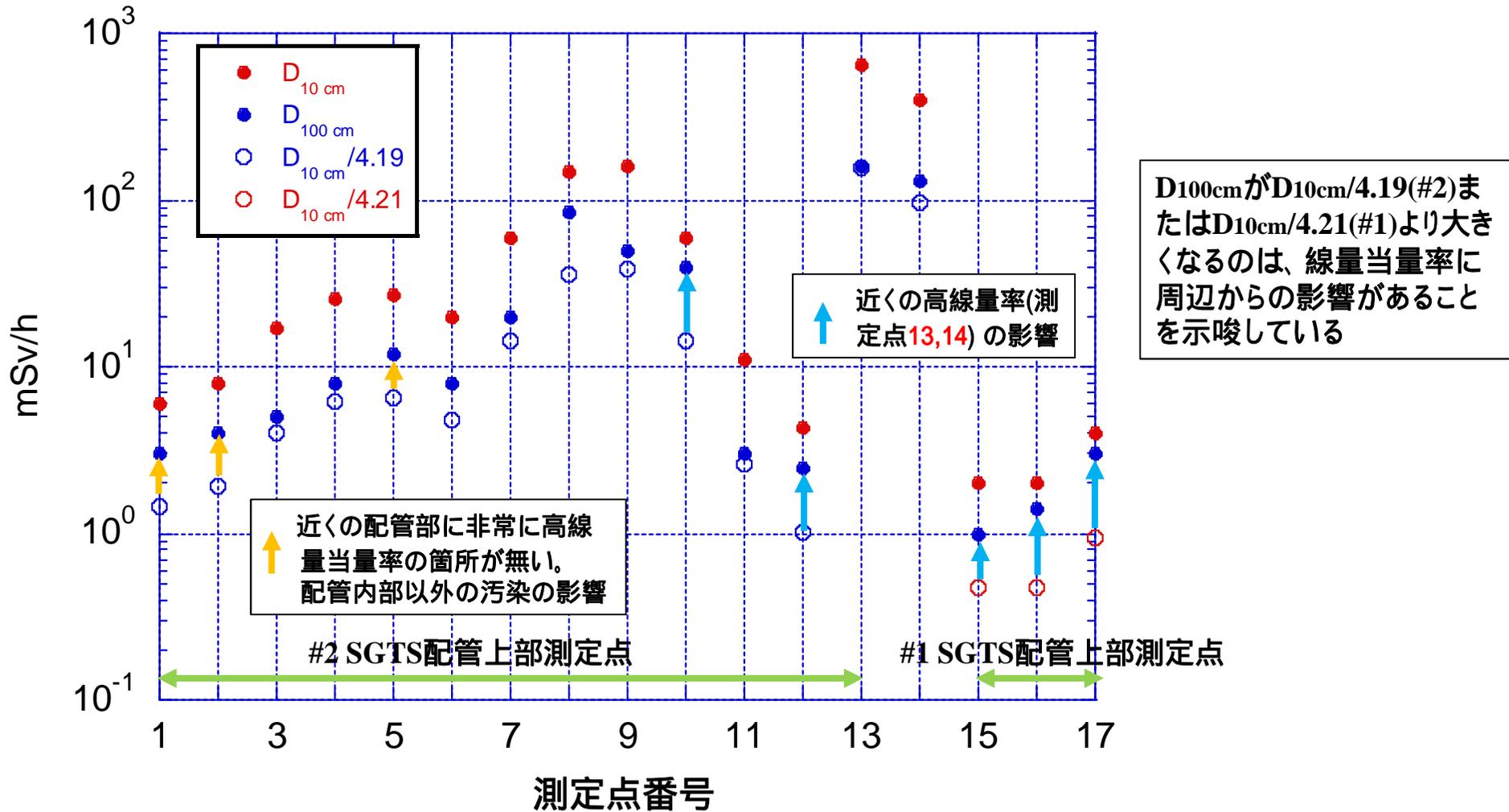
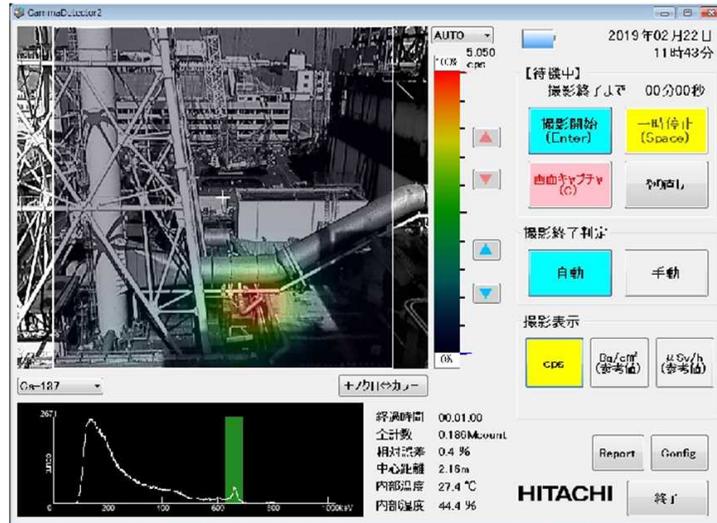


図6 各測定点での $D_{10\text{cm}}$ と $D_{100\text{cm}}$ の比較

ガンマカメラによる測定結果との比較



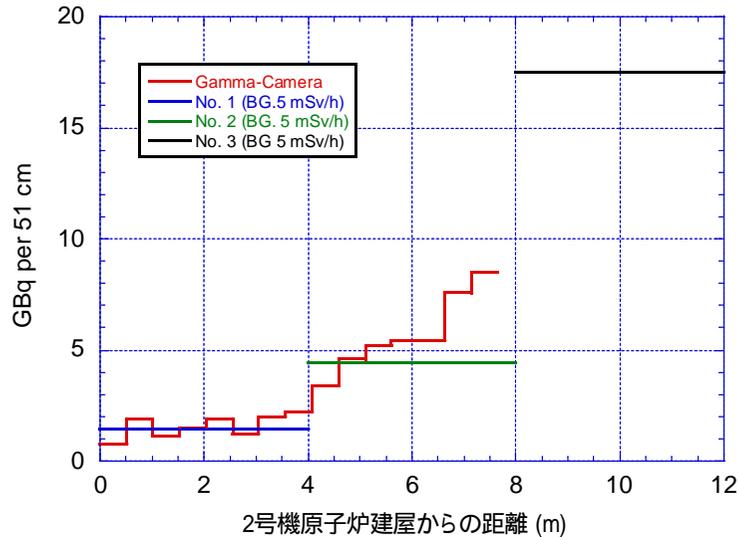
測定点13と14との比較

測定点の両側1.5mの合計: 0.916×10^{13} Bq

ガンマカメラ: 1.17×10^{13} Bq



51 cm 当たりのCs-137放射能の比較



51 cmは、ガンマカメラの1ピクセルに対応した長さ

測定点1と2と対応

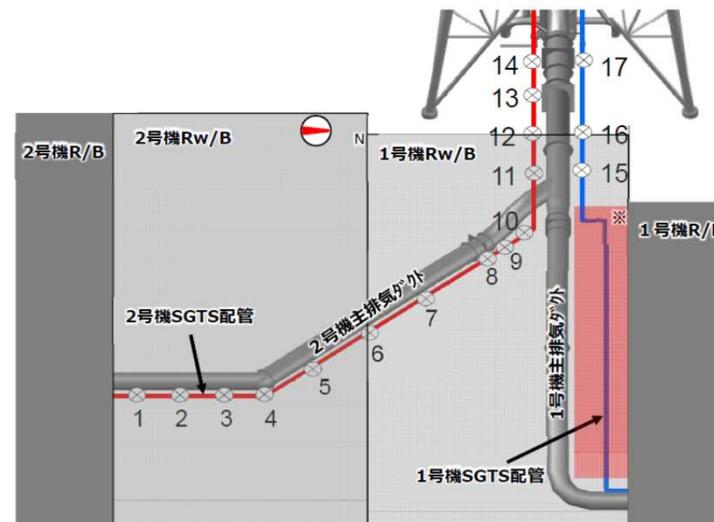
ガンマカメラ: 測定点1対応領域 13 GBq

測定点2対応領域 51 GBq

配管中のCs-134による測定点1と測定点2の線量率がカメラから求めた放射能比と同じになるように下部からのBGを 5mSv/h と推定

東電測定点の汚染密度 (Bq/cm²) のまとめ

測定点		10 cmでの線量当量率 mSv/h	汚染密度 Bq/cm ²
1	2号機	6	2.81E+05
2		8	8.43E+05
3		17	3.37E+06
4		26	5.90E+06
5		27	6.18E+06
6		20	5.62E+06
7		60	1.69E+07
8		150	4.21E+07
9		160	4.49E+07
10		60	1.69E+07
11		11	3.09E+06
12		4.3	9.93E+05
13		650	1.83E+08
14		400	1.12E+08
15	1号機	2	5.17E+05
16		2	4.34E+05
17		4	1.03E+06



第81回特定原子力施設監視・評価検討会 資料4-2 より

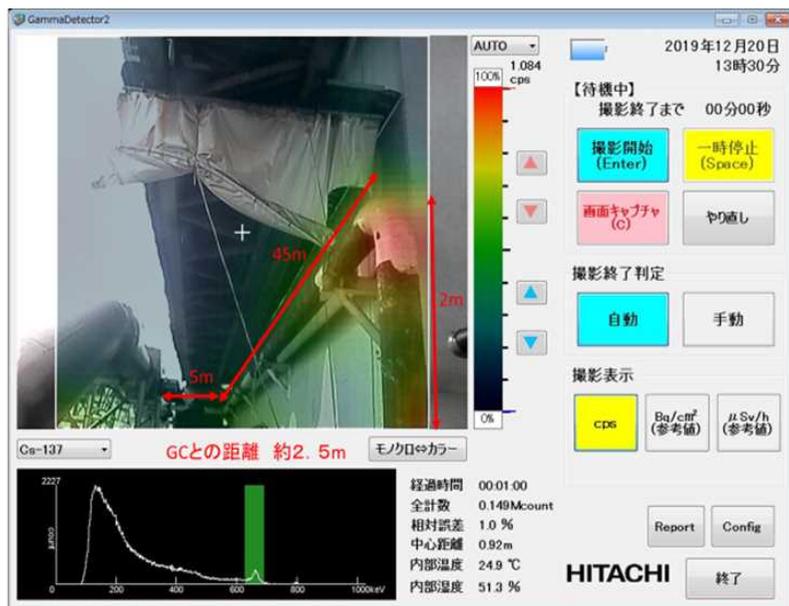
Bq/cm²当たりの周辺線量当量率 (μSv/h per Bq/cm²)

測定点1 ~ 11, 13, 14	0.00356
測定点12	0.00433
測定点15, 17	0.00387
測定値 16	0.00461

(各測定点の測定対象領域では配管内面に一様な密度で付着していると仮定)

測定点1 ~ 5は、BGが5 mSv/hと推定

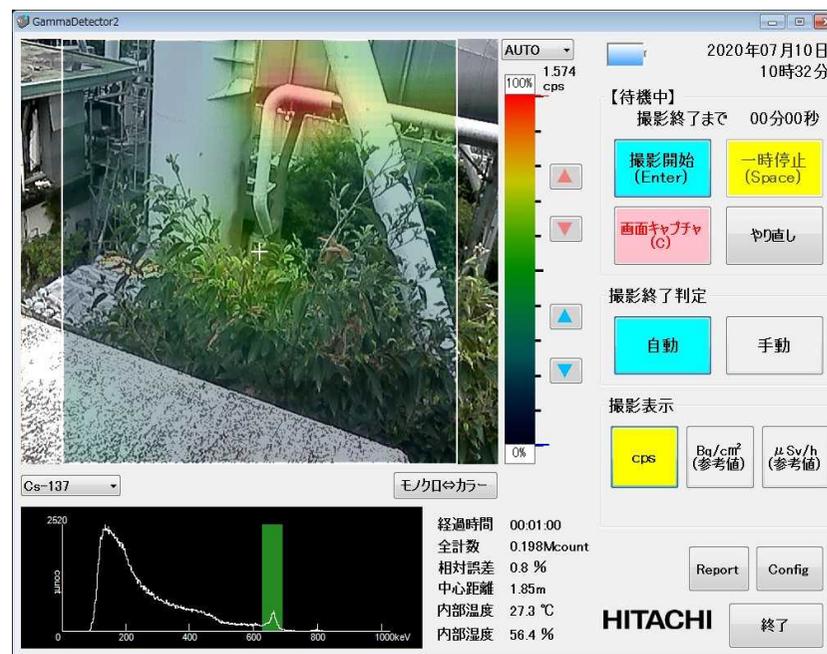
東電の測定に含まれていない領域



1号機原子炉建屋近辺

垂直部 (2m) : 2.21×10^9 Bq

奥の水平部 (5m) : 2.90×10^{10} Bq

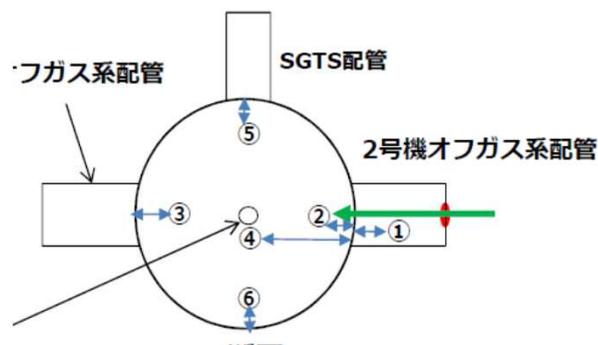
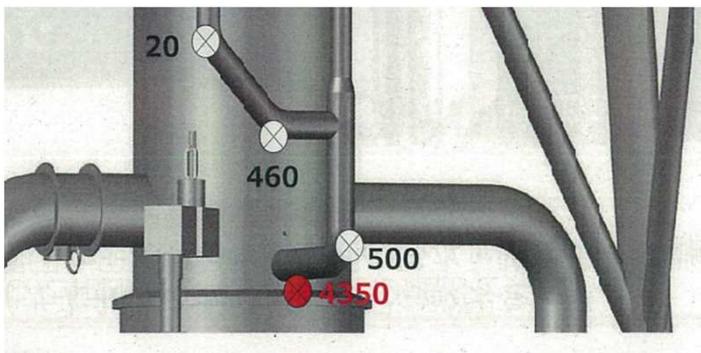


排気筒直前の2号SGTS配管

垂直部 (2m) : 3.07×10^{11} Bq

1 / 2号機排気筒下部の高線量率領域の汚染源推定

- 「1/2号機排気筒下部」でSv/hオーダーの高線量率が測定されていた
- 配管による減衰が無い場合、500 mSv/hは 884 mSv/hとなり、排気塔内部のSGTS配管から5cmの820 mSv/hとほぼ等しいことから、実効線源位置は、両者の中間と推定される
 - 測定点 から68.8 cm、排気筒表面から約60 cm位置
 - 配管内壁の下半分の領域に一様に蓄積しているとして、散乱線を用いた線量当量率を用いた推定では、3.23 TBq
- 排気筒接続部の水平領域をテレテクターで測定し、ほぼ該当する箇所4.35 Sv/hを確認



の線量率
820 mSv/h

SGTS配管の各領域中のCs-137放射能

	測定点	汚染密度	前後2m領域の放射能	ガンマカメラによる放射能
		Bq/cm ²	Bq	Bq
2号機	1	2.81E+05	1.16E+10	1.30E+10
	2	8.43E+05	3.49E+10	5.10E+10
	3	3.37E+06	1.40E+11	
	4	5.90E+06	2.44E+11	
	5	6.18E+06	2.56E+11	
	6	5.62E+06	2.33E+11	
	7	1.69E+07	6.98E+11	
	8	4.21E+07	1.75E+12	
	9	4.49E+07	1.86E+12	
	10	1.69E+07	6.98E+11	
	11	3.09E+06	1.28E+11	
	12	9.93E+05	4.11E+10	
	13	1.83E+08	7.56E+12	1.17E+13
	14	1.12E+08	4.65E+12	
1号機	水平部最後の領域 排気筒接続部近く			3.07E+11
	1号機R/B近く垂直部 (2m)			2.21E+09
	南北水平部 (5m)			2.90E+10
	15	5.17E+05	1.93E+10	
	16	4.34E+05	1.62E+10	
	17	1.03E+06	3.86E+10	

各測定点位置が正確には分らないので、「測定間隔は3～5m」から3m(前後1.5m)領域の放射能を推定

まとめ

- 異なった手法による評価結果が一致したことから、得られた Cs -137 の汚染密度及び放射エネルギーの妥当性が裏付けられ、SGTS 配管の撤去作業工程を検討する上で必要な内部の Cs -137 放射能とその分布を得ることができた
- 1号機 SGTS 配管の汚染密度は変動が少なく、全体の汚染量も2号機SGTS配管の場合より遙かに低い可能性がある
- 2号機SGTS配管内部の汚染密度は、場所により大きく変動しており、撤去作業に当たっては注意が必要である
- 汚染量の推定においては、測定場所の位置を把握しておくことが重要であり、今後の測定で留意する必要がある

参考文献

1. 東京電力ホールディングス、“1/2号機SGTS配管撤去に向けた現場調査の実施状況について”、特定原子力施設監視・評価検討会（第81回）資料4-2, 2020年6月15日.
2. 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).
3. 平山 英夫, 林 克己, 岩永 宏平, 近藤 健次郎, 鈴木 征四郎、“ピンホール型ガンマカメラによる ^{137}Cs 放射能の測定”、日本原子力学会和文論文誌掲載予定。

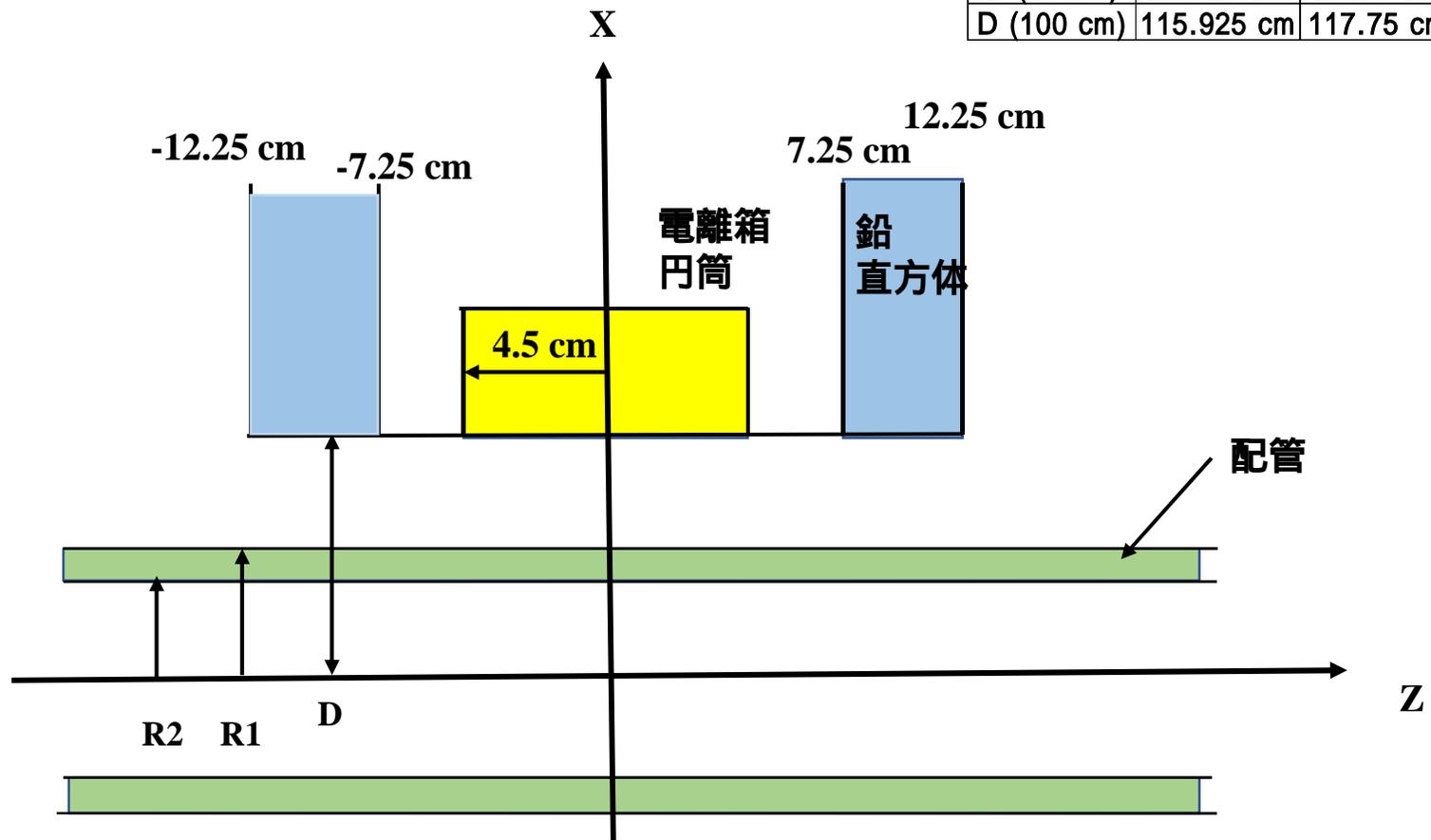
參考資料

換算係数の計算方法

- 東電の測定は、簡易遮蔽コリメーター内に電離箱を収納して実施されている
- 電離箱で測定した「1cm 線量当量率($\mu\text{Sv/h}$)」から「汚染密度(Bq/cm^2)」への「換算係数($\mu\text{Sv/h per Bq/cm}^2$)」を電磁カスケードモンテカルロ計算コードegs5²⁾で計算
- 測定点が対象とする領域でCs-137は配管内部に一様な密度で分布していると仮定する
- 電離箱の領域の光子の飛程長(光子の電離箱内でのエネルギー毎の移動距離)から電離箱内での平均1cm線量当量率を計算
- 測定点からの水平距離を変えて配管上部から2つの高さ(10 cmと100 cm)での測定点での1cm線量当量率に寄与する領域を調べた
- 得られた結果の積分値から換算係数を求めた
- 水平な配管部と約30度の傾斜部(2号機R/WB屋上部の曲部)との違い、及び1号機と2号機で配管サイズの違いによる影響を調べた(1号機と2号機は配管仕様が異なる)

1 cm線量当量率から汚染密度への換算係数の計算形状

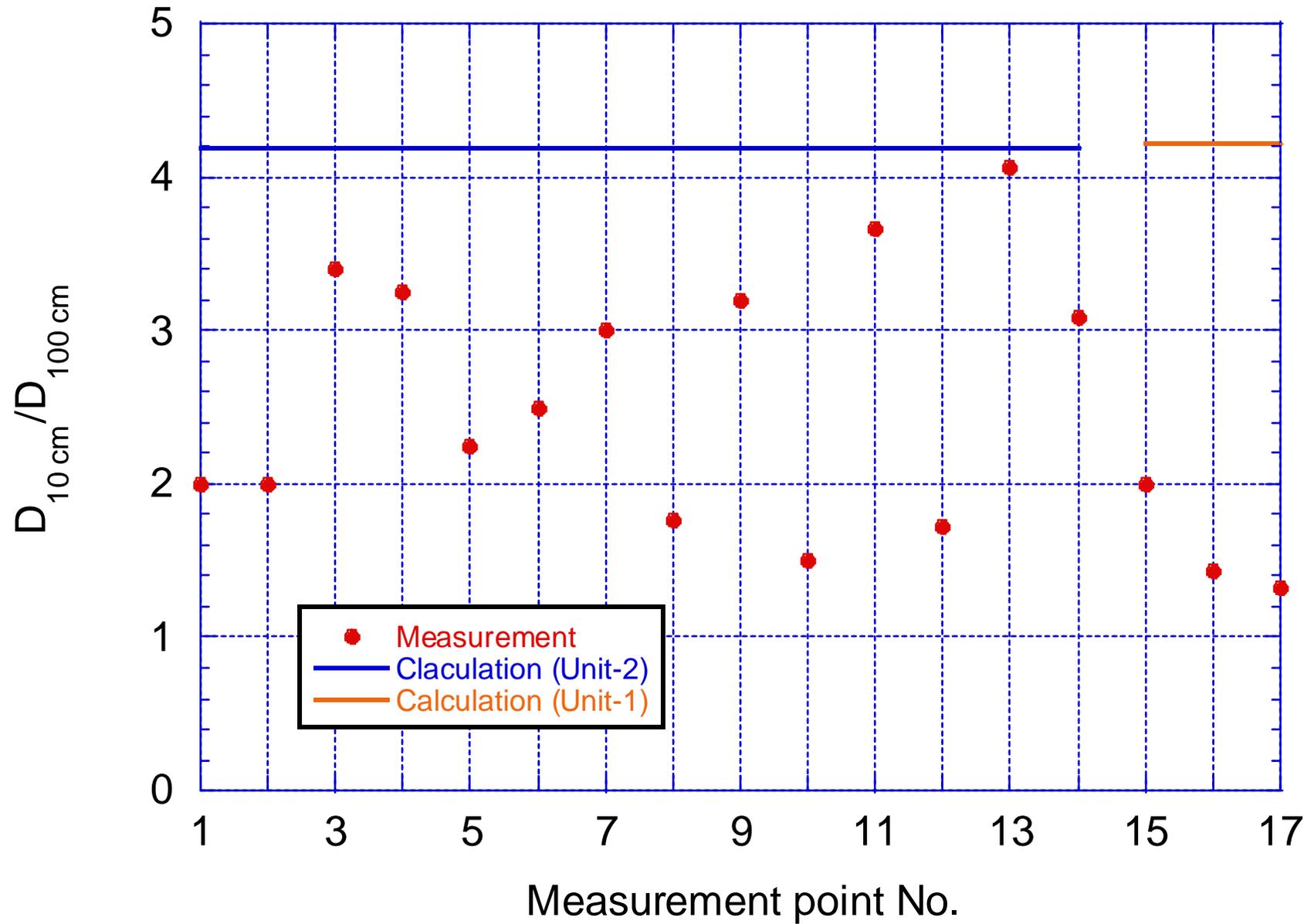
	1号機	2号機
R1	15.925 cm	17.75 cm
R2	14.875 cm	16.48 cm
D (10 cm)	25.925 cm	27.75 cm
D (100 cm)	115.925 cm	117.75 cm



10 cm での測定結果と100 cmでの測定結果の比較から判ること

- 線量率に寄与する領域が配管表面から距離により異なる(10 cmの場合、測定点から100 cm、100 cmの場合、測定点から350 cm)ことから、測定点に近接する領域の状況を推定することができる。
 - 配管内に一様な密度で分布している場合の10 cm位置と100 cm位置での1cm線量当量率の比($D_{10\text{cm}}/D_{100\text{cm}}$)は、計算結果からは1号機のSGTSでは4.21で2号機のSGTSでは4.19
- $D_{10\text{cm}}$ を4.21または4.19で割った値が $D_{100\text{cm}}$ に近い場所は、配管内に一様な密度で Cs-137 が分布していて、配管外部の汚染源からの寄与はないという計算で使ったモデルに近い状況
- $D_{10\text{cm}}/D_{100\text{cm}}$ が計算値より小さくなるのは、周辺からの影響が10 cm位置では寄与しないが、100 cm位置への寄与が大きいことを示唆
 - 配管の着目部位前後に非常に多くのCs-137の存在箇所がある場合(測定点10, 12, 15, 16, 17)
 - 配管内部以外の測定点近くにCs-137の汚染が存在する場合(測定点1-2)

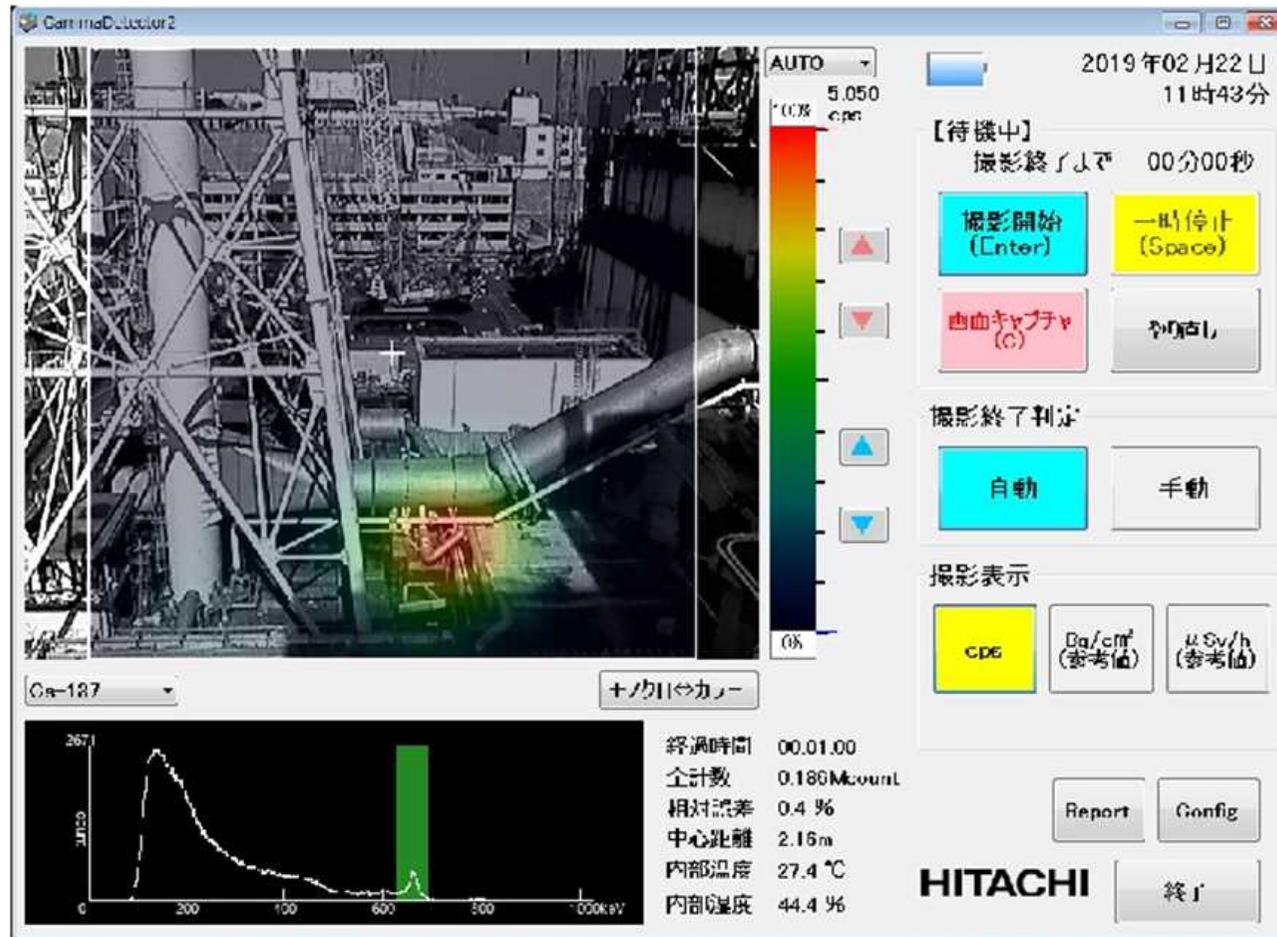
SGTS配管から10cmと100cmでの1cm線量当量率測定値の比



ガンマカメラによる測定

- ピンホール型ガンマカメラの全エネルギーピーク計数率を用いたCs-137放射エネルギー評価手法を開発³⁾
- 以下の2箇所について、今回の評価結果と比較
 - Cs-137の汚染密度が最も高い2号機SGTS配管の測定点13, 14に
 - 参考文献3では、1 cm線量当量率の測定結果と点減衰核計算から求めた結果と比較している
 - 2号機SGTS配管の2号機原子炉建屋付け根部(測定点1と2)
- クレーンの関係で測定できなかった箇所の推定
 - 1号機原子炉建屋側からの測定
 - 排気筒直前の2号SGTS配管

測定点 13, 14

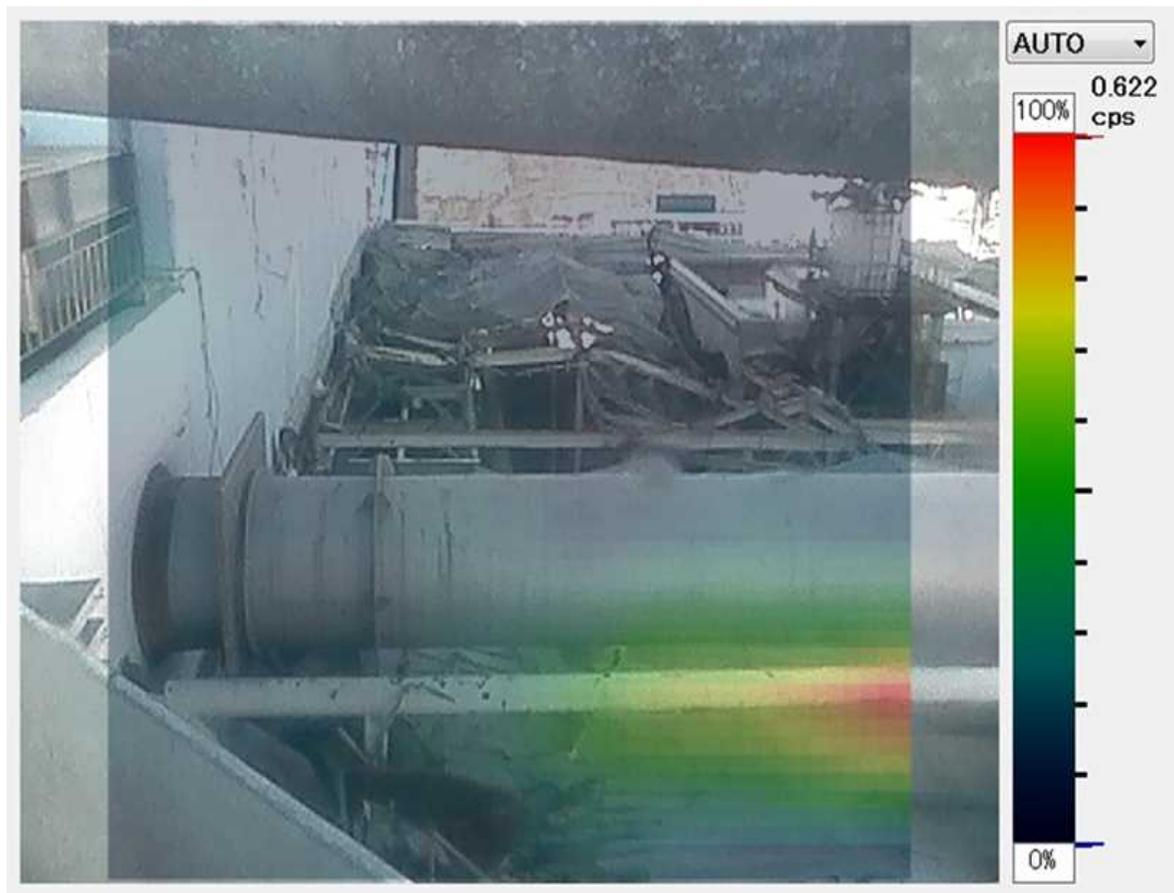


i	j															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.02	0.03	0.05	0.05	0.07	0.05	0.05	0.02	0.03	0.00	0.02	0.02	0.07	0.08	0.03	0.07
2	0.03	0.07	0.03	0.00	0.02	0.07	0.03	0.03	0.00	0.07	0.05	0.02	0.02	0.07	0.07	0.03
3	0.07	0.05	0.02	0.07	0.07	0.07	0.03	0.02	0.02	0.03	0.05	0.03	0.02	0.08	0.08	0.05
4	0.05	0.00	0.02	0.02	0.03	0.08	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.07	0.05	0.08
5	0.02	0.07	0.07	0.02	0.07	0.05	0.03	0.03	0.07	0.07	0.10	0.10	0.02	0.03	0.07	0.02
6	0.02	0.03	0.02	0.08	0.10	0.05	0.10	0.02	0.05	0.02	0.07	0.13	0.05	0.07	0.03	0.07
7	0.03	0.08	0.08	0.05	0.10	0.13	0.07	0.08	0.03	0.08	0.18	0.08	0.05	0.07	0.10	0.02
8	0.02	0.03	0.08	0.07	0.17	0.10	0.07	0.05	0.13	0.08	0.07	0.05	0.12	0.22	0.08	0.02
9	0.02	0.05	0.05	0.05	0.20	0.13	0.10	0.17	0.22	0.17	0.15	0.10	0.13	0.10	0.10	0.10
10	0.07	0.08	0.05	0.07	0.20	0.20	0.13	0.20	0.32	0.37	0.25	0.22	0.08	0.28	0.23	0.22
11	0.03	0.05	0.17	0.23	0.30	0.22	0.43	0.40	0.42	0.83	0.77	0.57	0.23	0.30	0.30	0.18
12	0.12	0.15	0.22	0.27	0.28	0.48	0.57	1.22	3.07	3.05	2.75	1.18	0.65	0.28	0.18	0.17
13	0.08	0.17	0.32	0.68	0.70	0.60	1.18	3.38	4.93	6.12	5.37	3.13	1.08	0.32	0.17	0.15
14	0.15	0.48	0.70	0.68	0.60	0.80	1.48	3.08	5.13	6.95	5.78	2.87	0.58	0.20	0.13	0.10
15	0.17	0.62	1.07	1.25	0.75	0.53	0.75	1.32	2.78	2.60	2.25	0.98	0.23	0.10	0.02	0.08
16	0.10	0.42	0.80	1.02	0.58	0.20	0.47	0.83	0.93	0.77	0.28	0.22	0.10	0.08	0.10	0.03

Unit : cps

ガンマカメラの測定から求めたCs-137放射能： 1.17×10^{13} Bq
測定点13と14の前後2.0m領域のCs-137放射能： 1.22×10^{13} Bq

測定点1, 2

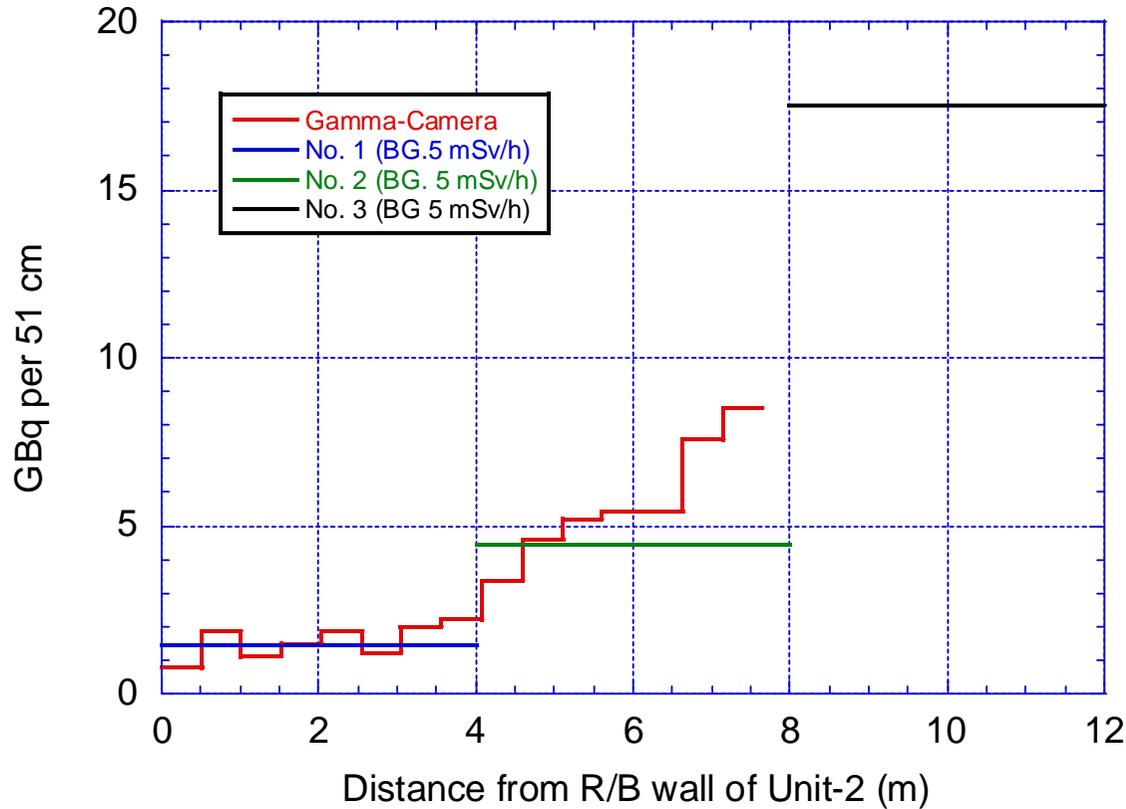


		GBq															
i	j																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
9																	
10																	
11		1.8E-01	1.6E-01	1.5E-01	2.5E-02	2.6E-01	1.1E-01	3.0E-01	1.3E-01	6.4E-02	2.0E-01	2.1E-01	2.2E-01	1.6E-01	2.2E-01	1.6E-01	
12		3.9E-02	3.1E-01	1.7E-01	8.8E-02	2.7E-01	1.3E-01	2.4E-01	2.4E-01	4.4E-01	4.3E-01	7.7E-01	6.8E-01	6.0E-01	8.5E-01	1.1E+00	
13		1.2E-01	1.0E-01	2.2E-01	2.7E-01	9.0E-02	1.6E-01	2.9E-01	3.5E-01	5.7E-01	8.4E-01	9.3E-01	9.6E-01	7.9E-01	1.1E+00	1.2E+00	
14		8.0E-02	2.9E-01	1.4E-01	2.3E-01	2.7E-01	8.3E-02	3.5E-01	2.3E-01	4.7E-01	8.1E-01	6.2E-01	8.6E-01	1.1E+00	1.6E+00	1.6E+00	
15		1.6E-01	3.0E-01	7.3E-02	2.0E-01	3.6E-01	2.5E-01	1.6E-01	3.4E-01	2.8E-01	3.3E-01	4.1E-01	3.1E-01	3.6E-01	4.0E-01	4.8E-01	
16		9.7E-02	2.3E-01	2.1E-01	2.0E-01	2.1E-01	9.8E-02	6.3E-02	1.9E-01	2.6E-01	2.3E-01	1.5E-01	3.9E-02	1.7E-01	9.4E-02	5.3E-02	

バックグラウンド計数率の推定

- ガンマカメラの測定による分布は、Cs-137からの0.662 MeV 線の全エネルギー吸収ピークを使用しているため、下部の瓦礫の影響を受けない
- ガンマカメラによる測定点1と測定点2の領域のCs-137放射能比は実際の分布を反映していると考えられる
- ガンマカメラの測定では、測定点2に対応する領域は4 mより1ピクセル分少ないので、欠けているピクセルでの放射能が最後のピクセルの放射能と同じだとすると、それぞれの測定点に対応した放射能は、13 GBqと51 GBqとなる
- 測定点1と2のBGが同じであると仮定し、BGを引いた1 cm線量当量率の比がガンマカメラで求めた放射能の比と同じになるとすると、**BGは5 mSv/h**となる

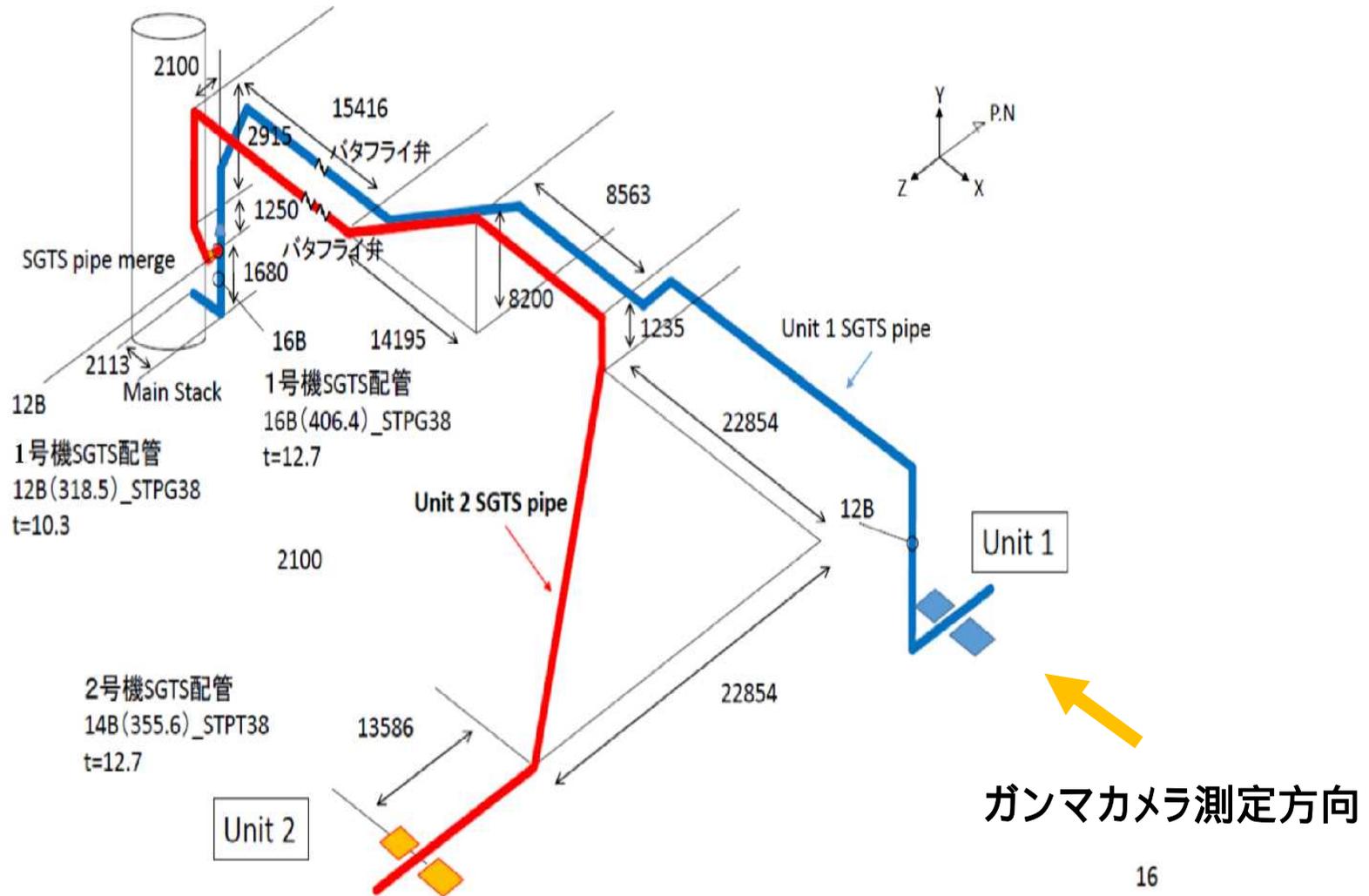
Comparison of Cs-137 activities per 51 cm



当該測定でのガンマカメラの
ピクセル幅 (51 cm) 当たりの
Cs-137放射能の比較

- ・黄色の領域全体のCs-137放射能は、 5.30×10^{10} Bq
- ・測定点2の場合は、ガンマカメラでの測定に対応する領域が3.65 mであることを考慮して求めた測定点1と2の合計Cs-137放射能は、 5.55×10^{10} Bq
- ・2号機R/Bの付け根側からCs-137の量が距離とともに増加する傾向はガンマカメラの結果と対応している

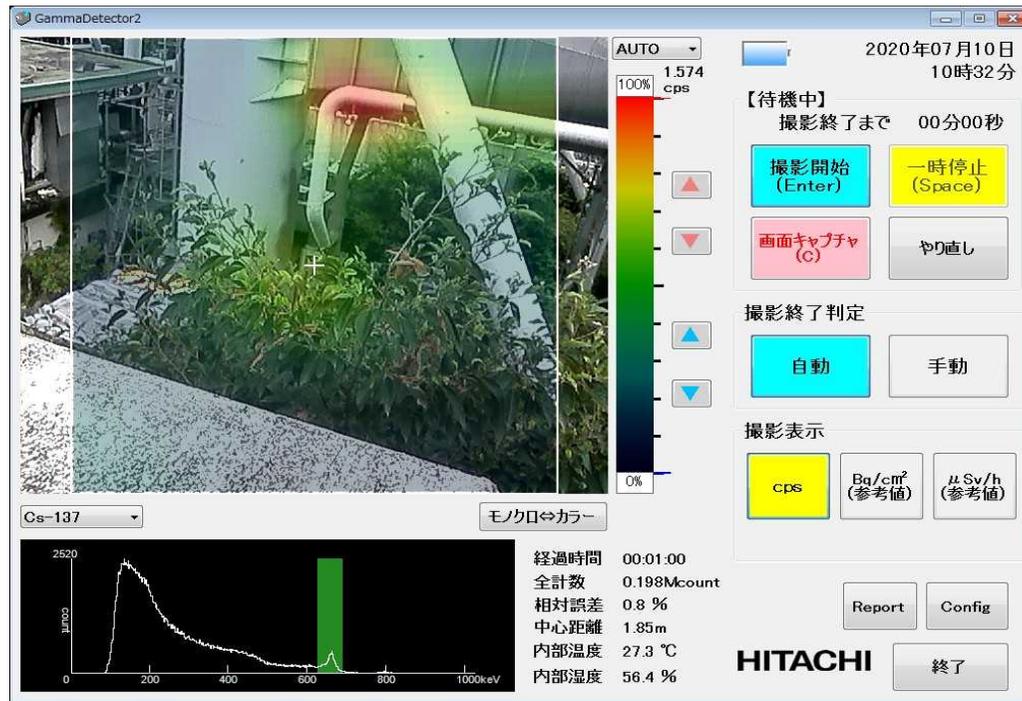
1号機と2号機SGTS配管



1号機SGTS配管中のCs-137放射能の比較

- 手前の垂直2 mのCs-137放射能は、 2.21×10^9 Bq
なので、汚染密度は 8.80×10^4 Bq/cm²
- 奥の5 mの水平部Cs-137放射能は、 2.90×10^{10} Bq
なので、汚染密度は 6.19×10^5 Bq/cm²
- 水平部の先に、東電が測定した測定点15～17が位置している。測定点での汚染密度が、 $3 \sim 6 \times 10^5$ Bq/cm²と手前の垂直部よりはやや高いが水平部に近い汚染密度
- 1号機のSGTS内部は2号機のSGTSと異なり汚染密度の変動が少ない可能性がある

排気筒直前の2号SGTS配管



垂直に曲がる前の水平部分のCs-137量は、0.31 TBqであった。途中に排気筒の支持と思われるパイプがあるので、その陰の部分は若干過小評価になっていると思われる。

Measured Cs-137 peak cps										2020年7月2日測定						
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.133	0.300	0.400	0.367	0.167	0.200	0.383	0.683	1.100	0.883	0.500	0.550	0.317	0.183	0.250	0.200
2	0.217	0.200	0.183	0.183	0.317	0.317	0.533	1.317	1.767	1.650	1.500	1.300	0.783	0.933	0.767	0.750
3	0.350	0.283	0.233	0.233	0.300	0.350	0.517	1.150	1.633	1.867	1.767	1.167	1.283	1.100	0.950	1.200
4	0.300	0.217	0.267	0.233	0.267	0.350	0.367	0.800	0.967	1.250	1.067	1.117	0.833	0.800	0.950	0.700
5	0.367	0.250	0.233	0.433	0.300	0.417	0.433	0.683	0.667	0.633	0.517	0.467	0.417	0.483	0.350	0.433
6	0.183	0.367	0.383	0.417	0.583	0.550	0.500	0.550	0.867	0.567	0.533	0.400	0.417	0.417	0.533	0.383
7	0.250	0.350	0.417	0.367	0.467	0.933	0.600	0.883	0.917	0.550	0.550	0.600	0.417	0.400	0.317	0.350
8	0.167	0.200	0.367	0.467	0.550	0.850	0.983	0.800	0.717	0.483	0.550	0.417	0.350	0.217	0.283	0.383
9	0.200	0.100	0.233	0.450	0.733	0.850	0.950	1.183	1.333	0.733	0.383	0.533	0.433	0.317	0.400	0.400
10	0.317	0.200	0.300	0.233	0.517	0.750	0.767	1.017	1.183	0.817	0.467	0.417	0.383	0.117	0.350	0.350
11	0.083	0.317	0.250	0.333	0.417	0.500	0.450	0.533	0.650	0.683	0.317	0.267	0.350	0.317	0.400	0.200
12	0.233	0.283	0.333	0.183	0.400	0.317	0.367	0.333	0.350	0.317	0.267	0.450	0.267	0.167	0.317	0.200
13	0.250	0.300	0.283	0.200	0.267	0.217	0.333	0.250	0.333	0.183	0.417	0.283	0.133	0.150	0.167	0.267
14	0.333	0.267	0.183	0.300	0.283	0.317	0.300	0.267	0.267	0.267	0.200	0.217	0.100	0.233	0.167	0.117
15	0.350	0.433	0.367	0.250	0.267	0.150	0.133	0.067	0.217	0.167	0.250	0.250	0.250	0.183	0.183	0.067
16	0.250	0.417	0.217	0.367	0.200	0.233	0.133	0.133	0.250	0.117	0.100	0.133	0.100	0.083	0.050	0.150

配管内のCs-137付着状況の換算係数への影響

- 換算係数は、配管内に一様な密度でCs-137が付着していることとしているが、実際には均一でないと思われる
- 分布状態を推測できるデータが無いこと、配管外部と異なり風雨の影響が無いので、付着した時の状況が比較的保持されていると思われるので、上下左右均一とするが、上下の分布状態の違いにより換算係数がどの程度異なるかを調べた
- 極端な場合として、配管内部の上半分のみ、あるいは下半分のみに一様な密度でCs-137が付着しているとして2号機での10cm位置での前後1.5mの領域からの換算係数を比較した
 - 内部に一様に分布 : 0.00355 $\mu\text{Sv/h per Bq/cm}^2$
 - 上部にのみ一様に分布 : 0.00416 $\mu\text{Sv/h per Bq/cm}^2$
 - 下部のみに一様に分布 : 0.00293 $\mu\text{Sv/h per Bq/cm}^2$
 - 一様な場合に比べて、上部のみの場合は17%大きくなり、下部のみの場合は17%小さくなる
- 極端な場合でも換算係数及び換算係数を用いて求めた汚染密度への影響は、20%以下である

簡易的計算による周辺線量率から 表面汚染密度への換算係数

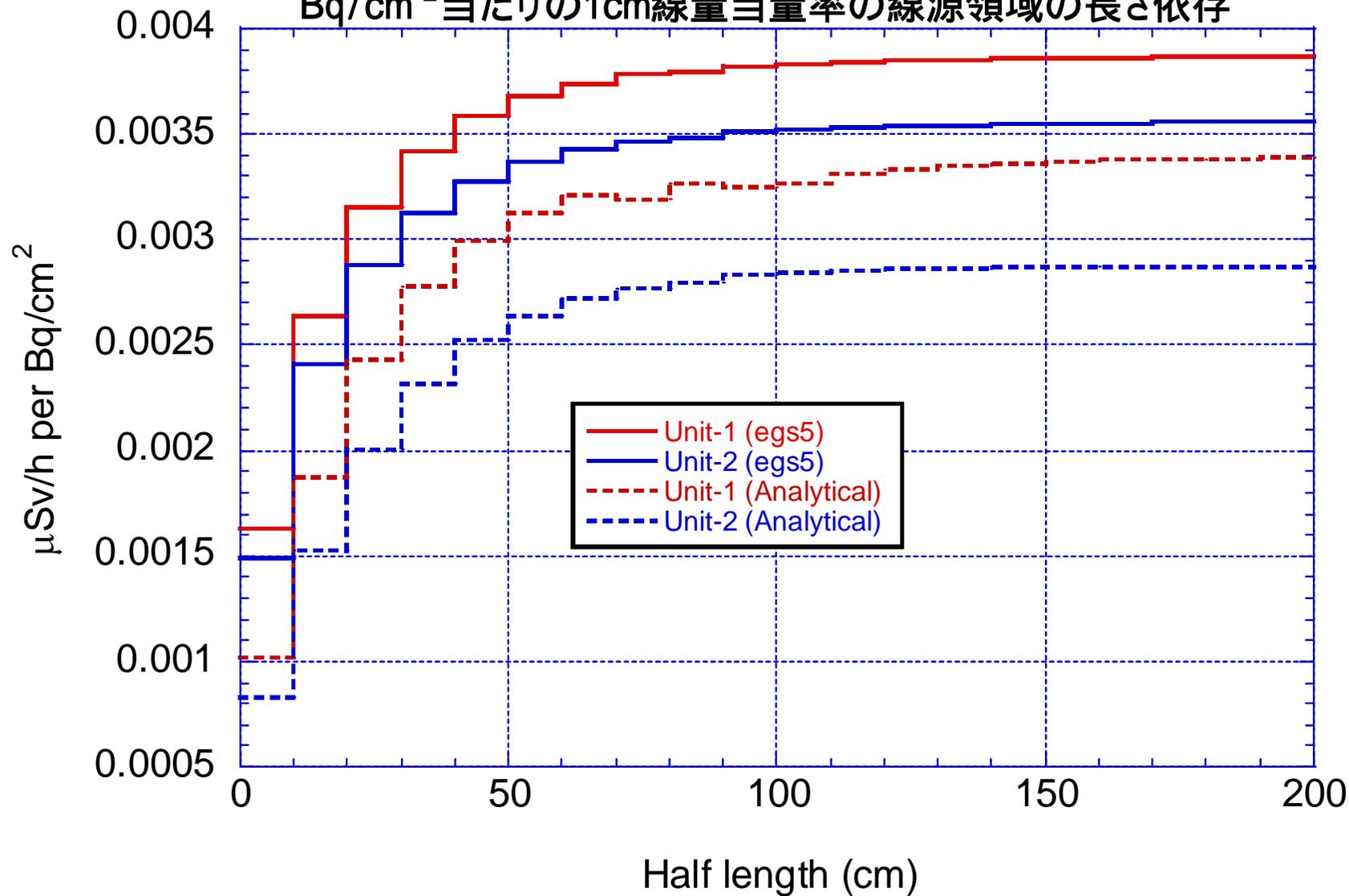
- 基本的考え方
 - 東電の測定は、5 cm の鉛内部に線量計を入れて測定しているので、散乱線の寄与はかなり除去されていると思われる
 - 線量計の実効中心を表面から3.5 cm (線量計の厚さを7 cmとして)位置での配管内部のCs-137からの0.662 keV γ 線の直接線の線量率を測定していると仮定する
 - 汚染は配管の内表面に分布していると思われるが、計算を簡略化するために、配管内面のCs-137が配管の中心に集中していると仮定する

使用する計算式

- SGTS配管の内径半径を r_0 (cm)、配管の厚さを t_0 (cm)とする。配管は鉄とする
- 0.662MeV γ 線に対する鉄の線減衰係数 μ は、 0.57 cm^{-1} である
- 測定点の真下では、線源位置から線量計の実効中心までの距離 t (cm)は、 $t = 13.5 + r_0 + t_0$ (cm)である
- 配管内部の汚染密度が 1 Bq/cm^2 の場合を考える
 - 測定点の真下から1 (cm) で幅1cmの領域の線源強度は、 $2\pi r_0$ (Bq)
 - 線源から実効中心までの距離 d (cm) は、 $d = \sqrt{l^2 + t^2}$
 - 0.662 MeV γ 線のみによる1cm 線量当量率定数 $\Gamma_{1\text{cm}}$ は、 $0.0908 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq at 1m}$ であるので、周辺線量当量率 $D(l) \text{ } \mu\text{Sv/h}$ は、

$$D(i) = \frac{2\pi r_0}{10^6} \times \left(\frac{100}{d}\right)^2 \times \Gamma_{1\text{cm}} \times \exp\left(-\frac{\mu t_0 d}{t}\right)$$

水平なSGTS配管表面から10cm位置での
 Bq/cm^2 当たりの1cm線量当量率の線源領域の長さ依存



SGTS配管上部から10 cm位置での1 cm線量当量率の比較

モンテカルロ計算(egs5)との比較

- 10 cm 位置での換算係数の比較
 - 1号機: 簡易計算 0.00331、詳細計算 0.00387 $\mu\text{Sv/h per Bq/cm}^2$
 - 2号機: 簡易計算 0.00282、詳細計算 0.00356 $\mu\text{Sv/h per Bq/cm}^2$
- 簡易計算では、散乱線の寄与を無視しており、配管内部の汚染位置も無視して中心軸上にあると仮定した結果なので、詳細計算の結果の88 % (1号機) 及び80 % (2号機) で、汚染密度を少し過大評価することになるが、このような簡単な簡易計算でも、大凡の汚染密度が得られる換算係数を計算する事が可能であることが分かる