

簡易線量率計を用いた水中の放射性セシウム 簡易スクリーニング法

中西 保之^{1*}、伊藤 浩史¹、古川 泰生¹、富永 浩二¹、
野口 俊太郎²、久保田 洋²、繁泉 恒河²

¹株式会社堀場製作所 (〒 601-8510 京都府京都市南区吉祥院宮の東町 2番地)

²株式会社フジタ (〒 151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷 4-25-2 修養団 SYDビル)

Screening Measurement by Simple Dose-rate-meter for the Waste Water Including Radioactive Cesium

Yasuyuki NAKANISHI^{1*}, Hiroshi ITO¹, Yasuo FURUKAWA¹, Koji TOMINAGA¹,
Shuntaro NOGUCHI², Hiroshi KUBOTA², and Koga SHIGEIZUMI²

¹HORIBA, Ltd. (2 Miyahohigashi, Kisshoin, Minamiku, Kyoto 601-8510, Japan)

²Fujita Corporation (4-25-2 Sendagaya, Shibuya-ku, Tokyo 151-8570, Japan)

Summary

Decontamination work for taking off the radioactive materials is still performed in Fukushima prefecture. A waste fluid including radioactive materials comes out in decontamination work. The waste water quality standard of such waste fluid is indicated by the guideline issued by the Ministry of the Environment in Japan. We tried to measure concentration of radioactive cesium in the water by putting simple dose-rate meter in a waterproof case. As a result, we could get a correlation of the measure of the simple dose-rate meter (μ Sv/h) and the concentration of the radioactive cesium in the water (Bq/L). Our system can measure the concentration of the radioactive cesium in the water by 10.3 Bq/L to 1140 Bq/L. It's enough to measure the waste water quality standard of the guideline because the detection lower limit is about 10.3 Bq/L. From these, the screening measurement of the treated waste water that is come out from a decontamination site became possible.

Key Words: Waste water including radioactive materials, Simple dose-rate meter, Guideline, Shielding effect with water

1. はじめに

福島では、現在、除染活動が行われている。除染活動で発生した汚染水は除染処理を行い、環境省が定めるガイドライン¹⁾に従い放流されるのが通例である。このガイドラインでは、¹³⁴Csと¹³⁷Csの各々の核種の放射能濃度が必要なため、Ge半導体検出器に代表される高価な計測器を用いて精密な測定が行われる。

除染活動で生じた汚染水はその場で除染処理して放流したいという要望が強い。しかし、現状は、現場で汚染水の放射能濃度を前述の計測器を用いて容易に測定することができないため、汚染水を除染現場とは異なる場所に設けられた貯水

槽等で保管し、除染処理をした後に前述の計測器等で測定しなければならないという課題が残されている。

一方、一般的に安価な簡易線量率計は核種毎の測定ができず、¹³⁴Csと¹³⁷Csの放射能濃度の分別測定には不適と考えられてきた。我々は、汚染水中に含まれる“水”自身のガンマ線遮蔽効果に着目し、除染処理された後の処理水の中に簡易線量率計を設けて放射線量を測定し、水中の放射能濃度を測定する方法²⁾を提案してきた。この方法を用いて、除染現場で即座にスクリーニングができないという課題を克服できないかについて検討を行い、環境省のガイドラインを用いたスクリーニングへの適用の可能性について報告する。

*Corresponding author: TEL 075-325-5037, Fax 075-321-5648, E-mail: yasuyuki.nakanishi@horiba.com

2. 排水の放流基準

環境省が定めた排水に関するガイドラインでは判定基準として式1が定められている。これより判定するには¹³⁴Csとの濃度と¹³⁷Csの濃度を求める必要がある。

$$\frac{{}^{134}\text{Csの濃度(Bq/L)}}{60(\text{Bq/L})} + \frac{{}^{137}\text{Csの濃度(Bq/L)}}{90(\text{Bq/L})} \leq 1 \quad \dots\dots\dots \text{式1}$$

2011年3月時点で¹³⁴Csの濃度と¹³⁷Csの濃度の比率は、約1:1であることが知られている。また、¹³⁴Csと¹³⁷Csは化学的性質が同じであるため、自然界で一方のみが濃縮されることはない。ただし、¹³⁴Csの半減期は2.06年、¹³⁷Csは30.2年であるため、時間の経過とともに濃度の比率は変化し、2014年9月現在の濃度の比率は約1:3となる。

現在、除染作業時に発生する汚染水中に存在する放射性物質は、ほぼ放射性セシウムと考えられるため、簡易線量率計を用いて導き出した放射能濃度は、放射性セシウム(¹³⁴Csと¹³⁷Csの合算値)と仮定することができる。

このことから、放流予定の水中の放射性セシウムの濃度の合計値と比率がわかれば¹³⁴Cs、¹³⁷Cs各々の濃度を求める事ができ、式1に代入して放流可能かを判断することができると考えられる。簡易的測定方法によって、水中の放射性セシウム濃度(Bq/L)を得ることができれば、ガイドライン数値が求められ、放流の判断が可能になる。

3. 除染現場の排水の測定方法

(1) 排水処理槽と使用した簡易線量率計

今回用いた排水処理槽は、様々な現場で使用できるようにするために1トン程度の小型トラックの荷台に搭載できる大きさを前提とした。このため、排水処理槽の大きさを、幅60cm×奥行60cm×高さ75cm(水位60cm)、容量が200Lの樹脂製の容器とした。この排水処理槽の中心位置に、簡易

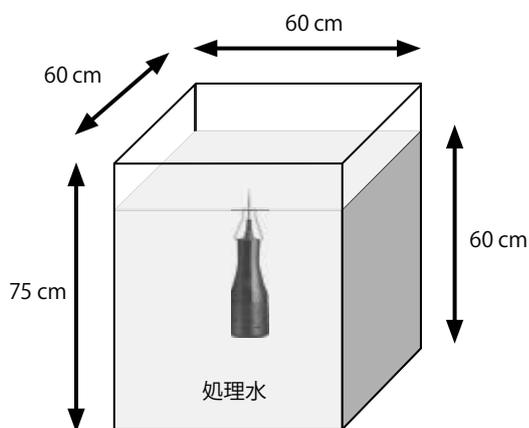


図1 排水処理槽と簡易線量率計

線量率計の感度中心が来るように簡易線量率計を固定し、水中の放射線量の測定を行うことにした。(図1)

使用する簡易線量率計は、株式会社堀場製作所が開発中である環境放射線モニタ PA-1100 を防水加工したケース内に入れた装置(型式 PA-1100 W)を用いた。測定値は接続したUSB ケーブルを介して PC(パソコン) 上で確認できる構造になっている。測定器の外観を図2に示す。また、PA-1100の最小目盛は0.001 μSv/hであり、¹³⁷Csを用いて校正されているため放射性セシウムの測定には適していると判断した。表1にPA-1100の仕様を示す。

(2) 測定

測定は、設置環境が測定に与える影響を考察するために、2つの異なる線量率場(0.1 μSv/h程度:2014年9月測定と0.4 μSv/h程度:2014年11月測定)で行った。この設置環境の線量率は、排水処理槽を空にした状態で簡易線量率計を挿入して得られた簡易線量率計の測定値とした。測定方法の概略を図3に示した。

最初に、設置環境として0.1 μSv/h程度の場合について示す。最初に排水処理槽を空の状態(設置環境のバックグラウンド(BG))で測定する。測定は、PA-1100の測定周期が60 secのため、60 sec 毎5回の指示値の平均を測定値とした。次に放射性物質に汚染されていない水(水道水または井水)200 Lを入れて測定する。空の状態での空間線量率(設置環境の線量率)は0.090 μSv/hとなり、水道水または井水を入れた状態での線量率は0.025 μSv/hであった。このことより、水の遮蔽効果として1/3.6に減少し、放射性セシウムのガンマ線の強度が水により遮蔽される³⁾ことが確認できた。この0.025 μSv/h値は、放射性セシウムに加えて自然界に存在する放射線源に由来するものと考えられることができるため、この0.025 μSv/hを排水処理槽のBG値とした。次に、簡易線量率計の測定値と排水の放射性セシウム濃度の相関を得るため



図2 簡易線量率計 PA-1100W 外観 (PA-1100 内蔵)

表1 PA-1100 仕様

検出方式	シンチレーション式
測定線種	γ 線
検出器	CsI+ シリコンフォトダイオード
γ 線感度	^{137}Cs $1\mu\text{Sv/h}$ に対して 1000 cpm 以上 (実力値 2500 cpm)
相対指示誤差	$\pm 10\%$ 以内 (^{137}Cs に対して)
エネルギー特性	0.5 ~ 3 (150 keV ~ 1250keV、 ^{137}Cs との感度比)
測定範囲	0.001 ~ 19.99 $\mu\text{Sv/h}$
サンプリング時間	60 秒
表示更新時間	10 秒 (60 秒の移動平均値を 10 秒毎に表示)
通信機能	Bluetooth、USB 通信機能あり

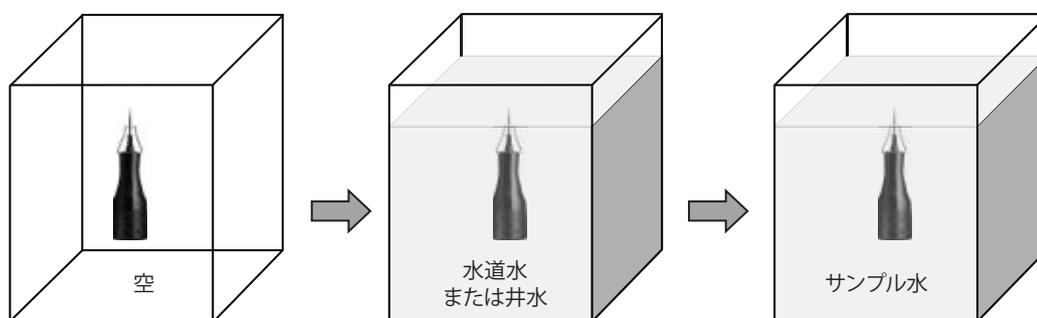


図3 測定方法

サンプル水は濃度を変えるために水道水等で希釈して複数回測定

に、排水処理槽内に除染廃棄物で作製した汚染水を入れ、水道水または井水で適量に希釈してサンプル水とした。線量率の測定は排水処理槽内で放射性物質が沈殿しないようにするためによく攪拌しながら行った。サンプル水は、後日 Ge 半導体検出器にて精密測定を行った。

同様に、設置環境が $0.4 \mu\text{Sv/h}$ 程度でも上記と同様の測定を行った。

4. 測定結果と考察

(1) 設置環境が $0.1 \mu\text{Sv/h}$ 付近での測定結果

設置環境の線量率は前述の $0.090 \mu\text{Sv/h}$ となる。表 2 に Ge 半導体検出器 (GC2018、キャンベラ社製) で精密測定を行った放射性セシウム濃度 (Bq/L) 結果と簡易線量率計の値 ($\mu\text{Sv/h}$) の結果を示す。図 4 は放射性セシウム濃度 (^{134}Cs と ^{137}Cs) の合計値と簡易線量率計の指示値を、図 5 は放射性セシウム濃度 (^{134}Cs と ^{137}Cs) の合計値の低濃度域 (300 Bq/L まで) に着目したグラフである。エラーバーは縦軸が簡易線

量率計の標準偏差、横軸が Ge 半導体検出器の不確かさを示している。簡易線量率計の値は環境 (空で測定した測定値) が測定にどのように影響を与えているかを示すためにバックグラウンドの値を引かずに示している。

図 4 より放射性セシウム濃度が $10.3 \text{ Bq/L} \sim 1140 \text{ Bq/L}$ の範囲で直線的な相関が得られるが、表 2 と図 5 よりサンプル水 10 と 11 は PA-1100 W の指示値が逆転していることと標準偏差より有意な差を認めることができないため、今回の下限限界値は 14 Bq/L (環境省ガイドライン数値で 0.2) とすることができる。また、図 6 に環境省ガイドライン数値と簡易線量率計の指示値とのグラフを示す。この結果より、環境省ガイドラインの排水基準である式 1 の左辺が 1 よりも十分に小さい範囲まで測定ができていることがわかる。

(2) 設置環境が $0.4 \mu\text{Sv/h}$ 付近での測定結果

(1) よりも空間線量が高い設置環境が $0.4 \mu\text{Sv/h}$ 付近 (設置環境の線量率は $0.400 \mu\text{Sv/h}$) での測定結果を表 3、図 7、

表2 測定結果 (設置環境0.1 μSv/h付近)

希釈サンプル	¹³⁴ Cs (Bq/L)	¹³⁷ Cs (Bq/L)	¹³⁴ Cs+ ¹³⁷ Cs (Bq/L)	PA-1100W 指示値 (5分間の平均値) (μSv/h)	ガイドライン 数値
サンプル水 1	281.8 ± 5.1	863.9 ± 9.5	1145.7 ± 10.8	0.638 ± 0.008	14.3
サンプル水 2	144.5 ± 3.7	456.2 ± 6.9	600.7 ± 7.9	0.379 ± 0.011	7.5
サンプル水 3	64.7 ± 2.5	212.8 ± 4.8	277.5 ± 5.4	0.189 ± 0.008	3.4
サンプル水 4	33.7 ± 1.8	105.7 ± 3.4	139.4 ± 3.9	0.122 ± 0.003	1.7
サンプル水 5	25.0 ± 1.6	69.2 ± 2.8	94.1 ± 3.2	0.083 ± 0.006	1.2
サンプル水 6	18.6 ± 1.3	53.7 ± 2.5	72.3 ± 2.8	0.067 ± 0.006	0.9
サンプル水 7	15.6 ± 1.2	37.5 ± 2.1	53.1 ± 2.4	0.058 ± 0.006	0.7
サンプル水 8	8.4 ± 0.9	21.3 ± 1.5	29.6 ± 1.7	0.046 ± 0.005	0.4
サンプル水 9	3.1 ± 0.6	11.0 ± 1.0	14.1 ± 1.2	0.040 ± 0.002	0.2
サンプル水 10	4.3 ± 0.7	9.1 ± 1.0	13.4 ± 1.2	0.034 ± 0.004	0.2
サンプル水 11	2.2 ± 0.5	8.1 ± 1.0	10.3 ± 1.1	0.035 ± 0.004	0.1
水道水	N.D	N.D	-	0.025 ± 0.002	-

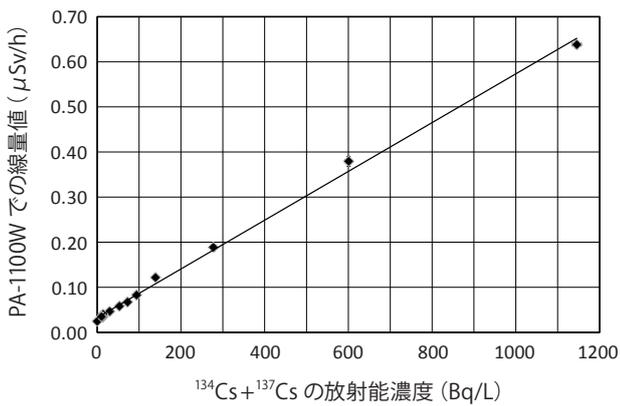


図4 測定結果

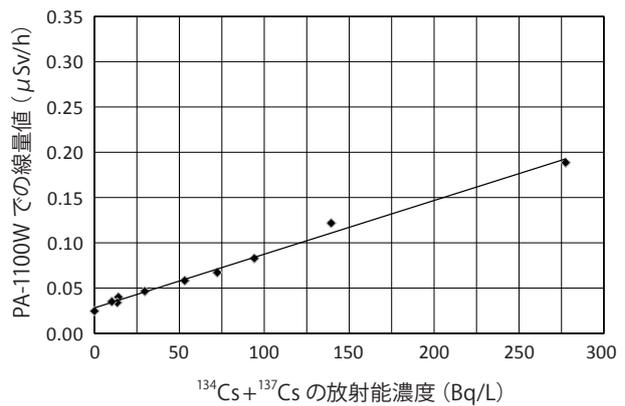


図5 測定結果 (300 Bq/Lまで)

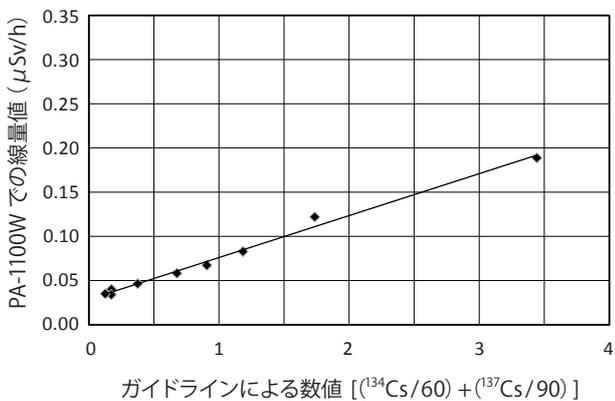


図6 環境省ガイドラインによる結果 (300 Bq/Lまで)

図8にグラフを示す。今回は、300 Bq/L程度の原水を使用し井水で希釈した。こちらも直線的な相関が得られる結果となった。しかし、設置環境の線量が0.4 μSv/h付近と設置環境の線量が0.1 μSv/hに比べ高いため、井水で測定した結果でも指示値が0.143となった。ゆえに井水による遮蔽効果は1/2.7となった。表3および図7よりサンプル7の値がBG(井水)の値とほぼ同じとなったため、サンプル水6を下限限界値と考えた。ゆえに、このときのガイドライン数値0.8までは定量できていると考えることができる。一方、サンプル7までは直線性が良好であるため、検出限界はサンプル水6(61 Bq/L)とサンプル水7(27 Bq/L)の間にあり40 Bq/L付近と推測できる。

表3 測定結果 (設置環境0.4 μSv/h 付近)

希釈サンプル	¹³⁴ Cs (Bq/L)	¹³⁷ Cs (Bq/L)	¹³⁴ Cs+ ¹³⁷ Cs (Bq/L)	PA-1100W 指示値 (5 分間の平均値) (μSv/h)	ガイドライン 数値
サンプル水 1	65.1 ± 2.5	228.6 ± 4.9	293.7 ± 5.5	0.296 ± 0.009	3.6
サンプル水 2	49.7 ± 2.2	151.0 ± 4.1	200.6 ± 4.6	0.250 ± 0.007	2.5
サンプル水 3	39.4 ± 2.0	128.2 ± 3.8	167.6 ± 4.3	0.221 ± 0.008	2.1
サンプル水 4	29.5 ± 1.7	98.4 ± 3.3	127.9 ± 3.7	0.196 ± 0.006	1.6
サンプル水 5	22.9 ± 1.5	76.4 ± 2.9	99.4 ± 3.3	0.185 ± 0.009	1.2
サンプル水 6	14.2 ± 1.1	47.5 ± 2.3	61.6 ± 2.6	0.155 ± 0.005	0.8
サンプル水 7	5.9 ± 0.8	21.6 ± 1.5	27.5 ± 1.7	0.140 ± 0.005	0.3
サンプル水 8	2.3 ± 0.5	9.9 ± 1.0	12.2 ± 1.2	0.137 ± 0.007	0.1
井水	N.D	N.D	N.D	0.143 ± 0.005	-

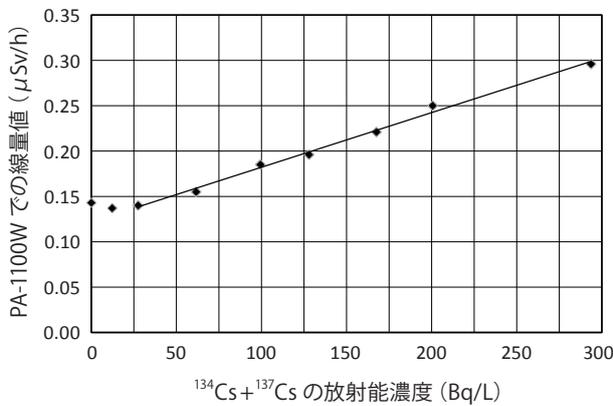


図7 測定結果

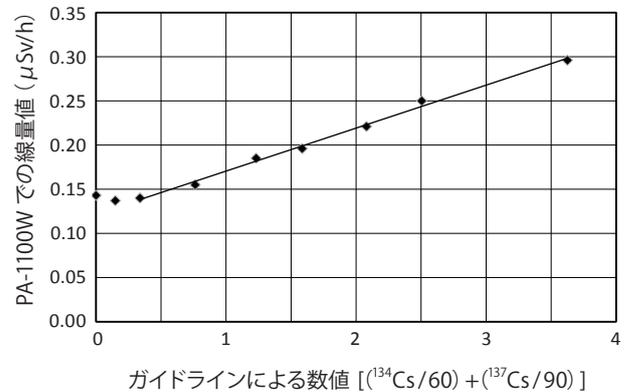


図8 環境省ガイドラインによる結果

5. まとめ

除染現場で発生する除染水の排水処理を現場でできることを想定し、小型トラックで可搬できる大きさである 200 L の樹脂製容器を排水処理槽として製作し、簡易線量率計を用いて 2 つの環境が異なる場所にて環境省のガイドラインに沿ったスクリーニングができるかの検討を行った。

その結果、排水処理槽内の水で周囲環境に存在する放射性セシウムのガンマ線を減衰させることが確認でき、同排水処理槽を使った放射性セシウム濃度と簡易線量率計の測定値との間には直線的な相関を得ることができた。

設置環境が 0.1 μSv/h 付近では検出下限界の値が 14 Bq/L (ガイドライン値 0.2) となり環境省ガイドラインの基準を十分に下回る結果となり、設置環境が 0.4 μSv/h 付近の場合には検出限界が悪くなるが、環境省ガイドラインで示される式 1 の左辺の 1 を満足することが分かった。この結果より、さらなる検討が必要ではあるが、小型のトラックに搭載できる 200 L 程

度の樹脂製の容器の中に簡易線量率計を沈めて線量率を測定することでも、環境省のガイドラインに沿ったスクリーニングができる可能性を見いだすことができた。

参考文献

- 1) 環境省：「放射能濃度測定方法ガイドライン第 2 版 (平成 25 年 3 月)」、pp5 - 43 ~ 45 (2013)
- 2) 古川 泰生、松本 絵里佳、関口 欽太、北村 巧 (株式会社堀場製作所)：簡易型線量率計を用いた水中投入型の放射線モニタ。第 2 回環境放射能除染研究発表会要旨集、88 (2013)
- 3) 社団法人日本アイソトープ協会：「アイソトープ手帳 11 版」、p.174 (2011)

2015 年 1 月 29 日受付

2015 年 4 月 18 日受理

和 文 要 約

除染活動で発生する汚染水を放流するためには、環境省が定めるガイドラインに従い放流する必要がある。しかし、このガイドラインに従い汚染水の放射性セシウムの濃度の測定を行うには Ge 半導体検出器などの高価な測定器が必要となり、汚染水を除染現場から別の場所に移動させ、前述の方法にて測定を行い放流しなければならないという不便さがある。我々は、除染現場で汚染水の処理ができることを目的として、簡易線量率計と小型トラックに搭載できる 200 L の樹脂製の容器を用いて汚染水中の簡易線量率計の指示値を測定するという方法を用いて環境省のガイドラインが適用できないかの検討を行った。設置環境が 0.1 $\mu\text{Sv/h}$ と 0.4 $\mu\text{Sv/h}$ で測定を行い、設置環境が 0.4 $\mu\text{Sv/h}$ 付近の場所でも環境省のガイドラインが適用できる可能性を示すことができた。

