

排水全量の放射能モニタリング装置の実用化

High-Speed Monitoring System for Radioactivity Concentration in Wastewater

平野 裕之¹⁾ 高木 賢二²⁾ 福井 久智¹⁾ 太田 裕士²⁾ 田中 真弓³⁾
 秦野 歳久⁴⁾ 栗田 圭輔⁴⁾ 山口 充孝⁴⁾ 長尾 悠人⁴⁾ 鈴井 伸郎⁴⁾
 河地 有木⁴⁾ 大間知 聡一郎⁵⁾ 斎藤 英之⁵⁾ 平塚 一⁶⁾

要 約

東日本大震災後の福島第一原子力発電所事故により環境中に放出された放射性物質の除染作業に伴う工事用水や、除染廃棄物関連施設で発生した浸出水などの大量の排水を扱う施設において、処理後の排水に含まれる放射性セシウムの濃度を、全量、原位置で高速モニタリングする装置を開発した。環境放射線 0.3~0.7 μ Sv/h の除染現場の排水処理プラント敷地内で装置の性能評価試験を行った結果、検出限界値 0.32Bq/L と処理能力 12m³/h を得ることができ、モニタリング性能が実用レベルに達していることが確認された。

目 次

- I. はじめに
- II. モニタリング装置
- III. 装置の性能試験
- IV. まとめ
- V. おわりに

I. はじめに

「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法施行規則」¹⁾では、除染廃棄物の処理等で生じた排水や埋設施設の浸出水を公共用水域へ放流する場合、排出口で放射性のセシウム 134 (¹³⁴Cs) およびセシウム 137 (¹³⁷Cs) の濃度を 1 か月に 1 度以上記録し、3 か月間の平均濃度と、それぞれの基準濃度 (¹³⁴Cs=60Bq/L, ¹³⁷Cs=90Bq/L) の割合の合計が 1 を超えないようにする、と定めている(式(1))。(以下「公定分析」

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

実際に除染が行われている地域では、これよりも高い頻度で(1週間に一度、施設によっては毎時)自主的に水の分析が行われてお

り^{6)~7)}、全量モニタリングが必要とされている。また、公定分析であるゲルマニウム半導体検出器による分析には半日以上かかるため、公定分析に加えて、原位置で、迅速な分析ができるようになれば、その後の対応(再処理など)の効率化に繋がる。そこで、我々は、公定分析とは別に、大量の排水全量の放射能(放射性セシウム濃度)を、原位置で、公定分析と同等以上の精度で得られる、放流水環境の安全・安心に寄与するモニタリング装置(以下「装置」)を開発した^{2)~5)}。従来品に同じ目的の製品はなく、低濃度領域の分析を高速に行うためのセンサの高感度化、ノイズとなる環境放射線の低減、モニタリング水濃度の均一化、などの解決手法を特に工夫した。

以降では装置の概要と特長を説明し、¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs を含んだ水を用いた装置の性能評価試験により、装置の検出限界値、処理能力、遮蔽性能などの値を得、実用化に必須となる目標値を達成したので報告する。

なお、放射能の単位である 1Bq(ベクレル)は、放射性同位元素が 1 秒間に 1 個壊変することを示す。また、単位体積や単位重量に含まれる放射能を放射能濃度と呼び、単位 Bq/L や Bq/kg で表す。

II. モニタリング装置

1. 概 要

装置の概要を Table 1 と Fig.1 に示す。遮蔽水槽(W2.2m×D2.2m×H2.6m)の中に、円筒形状のモニタリング水槽(直径 1.5m×H2.3m、容積約 4m³)を配置した構造で、モニタリング水槽の中央部に放射

1) 環境本部 Environment Division
 2) 機械部 Machinery and Electrical Engineering Department
 3) 土木管理本部 Civil Engineering Management Division
 4) 量子科学技術研究開発機構 National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology
 5) 日本金属化学株 Nikkin Flux Inc.
 6) 日本原子力研究開発機構 Japan Atomic Energy Agency

キーワード: 放射性セシウム, 排水, 除染, Bq/L
Keywords: radioactive cesium, wastewater, decontamination, Bq/L

Table 1 装置の仕様
(Specification of the Monitoring System)

外形寸法	W : 2.2m, D : 2.2m, H : 2.6m
センサ	NaI(Tl)シンチレーション検出器
容量	モニタリング水槽 : 4m ³ , 遮蔽水槽 : 6.6m ³
装置重量	運搬時 : 約 4 トン, 運転時 : 約 15 トン
電力	200V 3φ3W 約 5.5kW (入水ポンプ除く)

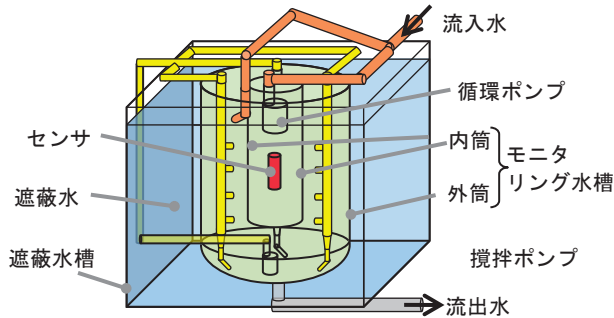


Fig.1 装置の構成

(Configuration of the Monitoring System)

線 (ガンマ線) を検出する NaI(Tl)シンチレーション検出器を配置している。

水のモニタリングはバッチ式に行い、流入、計測、判定、流出のサイクルを繰り返して排水全量をモニタリングする仕組みである。

2. 放射能濃度の推定方法

本装置では、モニタリング水槽中央部で放射線を計測し、予め既知濃度試料で確認しておいた、放射線と放射能の換算式 (校正曲線) に計測値を代入して濃度を推定する (比較法)。放射能 A_{std} の標準線源からの放射線がある位置でカウントして得た計数率 (単位時間当たりのカウント値) が n_{std} 、同じ条件で未知試料をカウントして得た計数率が n_x だった場合、未知試料の放射能 A_x は、

$$A_x = \frac{A_{std}}{n_{std}} n_x \dots \dots \dots (2)$$

と表される。ここで同じ条件とは、試料に含まれる放射能 A 以外の条件 ; 検出器の感度 (検出器効率 ϵ_l)、検出器と線源の位置関係 (幾何学的効率 ϵ_g)、線源と検出器間の減衰 f_A 、線源内部の吸収 f_{sa} 、線源内部の散乱 f_{sct} 、1 壊変当たりの放射線放出割合 a 、である。放射線センサで得られる計測値 n と、これらの要素の関係は式 (3) のように表される⁸⁾。

$$n = \epsilon_G \epsilon_l f_A f_{sa} f_{sct} a A \dots \dots \dots (3)$$

3. 放射線センサ

本装置では、式 (3) の n を得る放射線センサとして、NaI(Tl)シンチレーション検出器を選定した。公定分析法で使用されるゲルマニウム半導体検出器は、エネルギー分解能が高く、¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs

Table 2 ¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs の特性
(Characteristic of ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs)

核種	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs
半減期	2.065 年	30.167 年
主なガンマ線のエネルギー (keV) と放出割合 (%)	563 (8.4), 605 (97.6), 796 (85.5), 802 (8.7), 1365 (3.0)	662 (85.1)

に由来した放射線を精度よく検出できる反面、熱雑音影響を除くために有感部のゲルマニウム結晶を液体窒素温度まで冷却する機構が必要で、原位置での常時使用に向いていない。一方、NaI(Tl)シンチレーション検出器は、常温で動作し、エネルギー分解能はゲルマニウム半導体検出器に劣るが、放射線の検出効率が高いため¹⁰⁾、原位置で常時使用する高速モニタリング装置向けの放射線センサに適していると判断した。

なお、本装置では ¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs に由来した主要な放射線 (Table 2⁹⁾) の計数値の合計値で判定する。2011 年の福島第一原子力発電所事故に由来した ¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs の放射能比が事故直後にほぼ 1 : 1 で、以降、半減期 (Table 2) の影響のみで放射能比が経年変化すると仮定した場合、式 (1) の基準に相当する ¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs の合計値は 72~90Bq/L である (Fig.2)。判別を行うために、基準の 1/10 以下の検出限界値を要求すると、装置が達成すべき検出限界値の目標値は 7.2~9.0Bq/L 以下である。

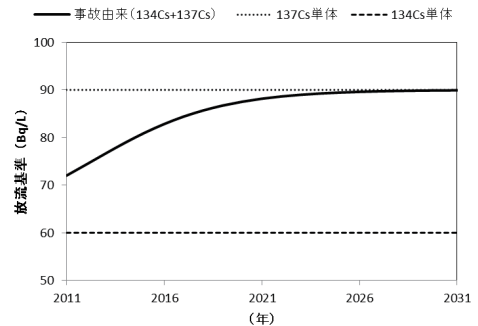


Fig.2 換算された式 (1) の基準

(Converted Standard Limit of Equation (1))

4. 感度向上のための工夫 (装置の特長)

目標とした検出限界値を達成するため、また、高速モニタリングを行うために、配慮した点を説明する。

(1) 大容量の試料中にセンサを配置する (ϵ_G の向上)

水槽の外側から計測するよりも、水槽の内部で計測する浸漬型の計測方式の方が、単位時間当たりにセンサ有感部に入射するガンマ線数は多くなる (Fig. 3)。また、試料容積が大きいくほど含まれる線源が多く、ガンマ線がセンサに届く量が多くなるため (但し、ガンマ線が遮蔽されずにセンサに届く f_A , f_{sa} , f_{sct} が高い範囲内)で、高速化と高精度化に有利となる。

(2) 有感部が大型の検出器の採用 (ϵ_l および ϵ_G の向上)

全方位から到来するガンマ線を検出する場合、有感部 (NaI(Tl)

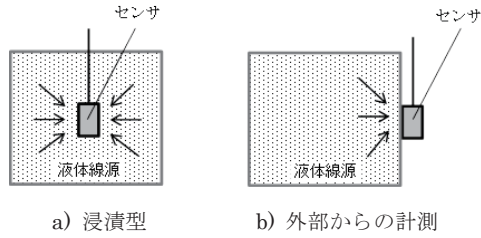


Fig.3 液体の放射線計測
(Radiation Measurement of Liquid)

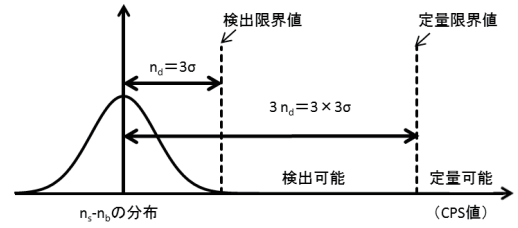


Fig.4 検出限界値
(The Limit of Detection)

結晶)の断面積が大きい方がガンマ線を多く捕えることができる。本装置の開発では購入が可能な NaI(Tl)結晶サイズの中では最大級の5インチ(φ5インチ×高さ5インチ)結晶を採用した。

Table 3 に試料容積とセンサ有感部サイズによる検出効率の違いを試算した結果を示す。

Table 3 検出効率の試算
(Expected Detection Efficiency)

NaI(Tl) 結晶 サイズ	検出器効率 ϵ_f の比 (ガンマ線が直径分の厚さで吸収される割合※)	幾何学的効率 ϵ_G の比 (センサが指向性を持たない場合 = 断面積比)	$\epsilon_f \times \epsilon_G$
1インチ	1.0 (0.47)	1	1
2インチ	1.5 (0.72)	4	6
5インチ	2.0 (0.96)	25	50

※NaIの662keVガンマ線エネルギー吸収係数

(3) 環境放射線の低減 (遮蔽水槽の採用)

検出器で環境放射線に近い計数率が得られた場合に、その値が統計上有意であるとする条件を、環境放射線の計数率を差し引いた正味の計数率が、正味の計数率の誤差(標準偏差)の3倍値より大きい値であること、とした場合 (Fig.4)、検出限界値 n_d は、式(4)のように表される¹¹⁾。

$$n_d = \frac{3}{2} \left[\frac{3}{t_s} + \sqrt{\left(\frac{3}{t_s}\right)^2 + 4n_b \left(\frac{1}{t_s} + \frac{1}{t_b}\right)} \right] \dots (4)$$

ここで、 n_s は環境放射線を含んだ検出器の計数率、 n_b は環境放射線のみの計数率、 σ は正味の計数率 ($n_s - n_b$) の誤差 (標準偏差)、 t_s は環境放射線を含んだ値の計測時間、 t_b は環境放射線の計測時間である。

式(4)から、検出限界値 (3σ) を低くする方法に、計測時間を長くする方法と、環境放射線の計数率を低く抑える方法があることがわかる。高速モニタリングを目指す本装置では、計測時間が短いため、後者の環境放射線の計数率低減を行った。即ち、放射線センサの有感部を半径1m以上の水の層(モニタリング水を含む)で囲み、装置外部からの環境放射線を十分に遮蔽した。環境放射線を計測対象物で遮蔽して低減する方式の装置は、少量をサンプリングし

て分析する従来の計測器では成立せず、「現存被ばく状況」下で低濃度試料を大容量分析するという計測条件が揃ったことで認識された方式であり、次に述べるモニタリング水の攪拌機能と並ぶ本装置の特長である。モニタリング水槽の外側の遮蔽層は車両による輸送時の重量制限や廃棄の容易さを考慮して遮蔽水槽とした。

(4) 試料の均一性確保 (循環と攪拌機能)

水中の放射性セシウムの様態は溶存態と懸濁態に分類され、除染排水のほとんどの成分は土粒子に固着した懸濁態とされている。モニタリング水に土粒子が含まれ、計測中に土粒子が沈降した場合、計測結果に影響すると考えられるため、本装置では計測中もポンプで循環と攪拌(旋回)を行い、モニタリング水濃度を均一に近づけるよう配慮した。

モニタリング水槽には、直径0.4m、長さ1.8mの上下が開放された円筒(内筒)が蓋と一体化して吊り下げられており、内筒上部の循環ポンプでモニタリング水を吸引し、直径1.5m×高さ2.3mの外筒との間へ吐出して循環流を生成している。循環流量は10分間の計測時間中にモニタリング水の3倍以上の容量が内筒のセンサ近傍を通過するように設定した。また、攪拌流は、モニタリング水槽底部中央の攪拌ポンプでモニタリング水を吸引し、直径1.2mの円周方向3箇所固定した攪拌配管へ供給した。攪拌配管には鉛直方向5箇所ずつに攪拌ノズルが配置されており、モニタリング水を水平方向に吐出させることで時計回りの旋回流を生成し、沈殿物が水槽底部中央の攪拌ポンプで吸引され易くなっている (Fig.5)。

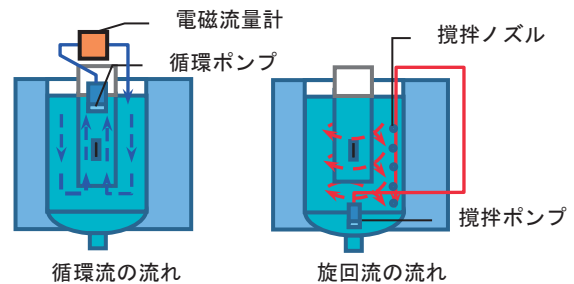


Fig.5 モニタリング水の循環と旋回
(Circulation and Stirring Systems)

III. 装置の性能試験

1. 実施条件

2016年10月に除染現場の水処理施設内に装置を設置して (Photo 1)、既知濃度の放射性セシウムを含んだモニタリング水に対する装置の出力を記録し、装置の校正曲線と検出限界値を確認した。モニ



Photo 1 現場測定の様子 (装置の外観) Photo 2 濃度設定用に採取した土粒子サンプル (Appearance of Detector) (Powdered Dry Sludge Samples)

タリング水の設定濃度範囲は目標性能である $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}<7.2\text{Bq/L}$ を確認するため、 $0\sim 20\text{Bq/L}$ (0.74, 1.01, 2.14, 4.59, 7.18, 10.03, 14.17, 18.31Bq/L) とした。濃度の設定は事前に水処理施設の処理工程で得られたろ過土壌を乾燥・分級して U8 容器 (φ56mm×H88mm; 容積約 100ml) に詰め (Photo 2), ゲルマニウム半導体検出器で土粒子の放射能濃度を分析して濃度を確定させておき、清水 (水道水) へ投入して濃度を設定した (測定で使用したモニタリング水は終了後に水処理施設へ返送)。使用した土粒子の粒子径は、 $250\mu\text{m}\sim 850\mu\text{m}$ 間、 $75\mu\text{m}\sim 250\mu\text{m}$ 間、 $75\mu\text{m}$ 以下、の3種類で、サイズの小さい土粒子径 $75\mu\text{m}$ 以下の土粒子試料を低濃度モニタリング水の設定用に使用した。

2. センサ出力 (ガンマ線エネルギースペクトル)

ガンマ線計測システムの概要を Fig.6 に示す。ガンマ線が NaI(Tl) 結晶に吸収されると、そのエネルギーに比例した数の光子 (シンチレーション光) を放出するため、その光を光電子増倍管に導き、電

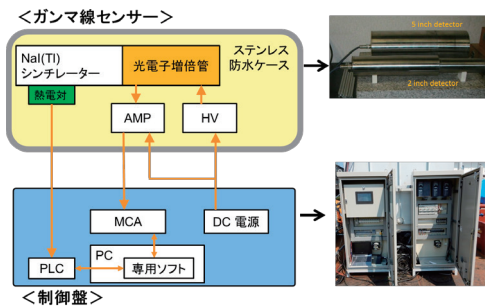


Fig.6 データ収録システム (Data Acquisition System)

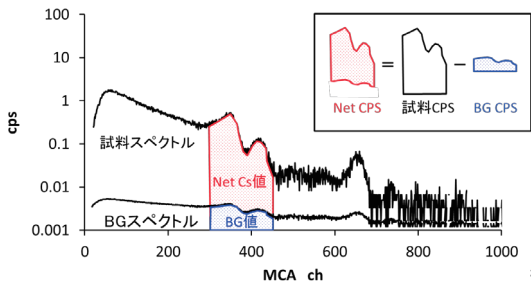


Fig.7 波高スペクトルと正味の Cs カウント値 (Pulse Height Spectrum and Definition of Net Cs Counts)

気信号に変換して、主増幅器 (AMP) で増幅し、波高 (\propto エネルギー) を横軸にしたスペクトルを、多チャンネル分析器 (MCA) によって記録した。Fig.7 が実際に記録されたガンマ線の波高 (エネルギー) スペクトルである。本装置では、放射性セシウム ($^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$) に由来したガンマ線として、エネルギーが $540\text{keV}\sim 830\text{keV}$ の範囲に相当する放射線数を計数しており、グラフの縦軸は、単位時間当たりの計数率 (CPS=Count Per Second) で示した。遮蔽で取り除けない環境放射線や、天然に存在する自然放射性核種に由来するガンマ線の影響を除去するため、事前に清水 (水道水) 試料に対して同じ計測を行い、その値 (BG CPS) を差し引いた値を正味のカウント値 (Net CPS) として、セシウム濃度の推定に用いた。

また、カウント値には、センサ部の温度に基づいた温度補正が可能である。予め実施した恒温槽試験結果¹²⁾ から評価した、 $0\sim 40^\circ\text{C}$ の範囲でのカウント値への影響は 10%未満であった。

3. 性能試験結果

(1) 校正曲線

土粒子投入量から算出したモニタリング水のセシウム濃度と、任意の濃度において本装置で計測を行った際の正味の検出器の計数率 (Net CPS) との関係を図.8 に示す。グラフから、計測時間が 60 分間の場合と 10 分間の場合の結果に顕著な違いはなく、濃度分布が時間により変化しなかったといえる。また、本装置における 1CPS が 1.04Bq/L へと換算できるという結果を得た。

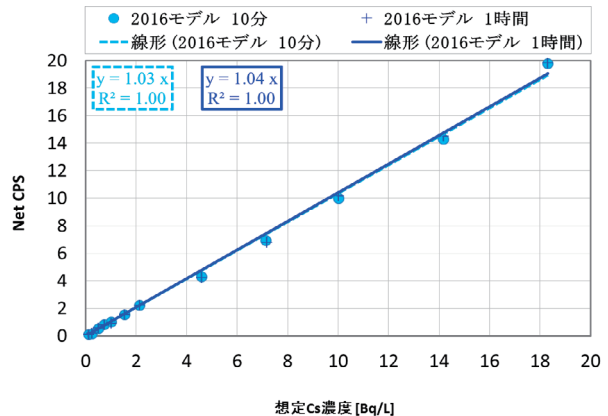


Fig.8 放射能濃度 vs センサ出力値 (Concentration of Cs vs Net Cs Counts)

Fig.9 は Fig.8 における 60 分間の実測値と、放射線解析の結果とを比較したものである。モニタリング水に含まれる放射性セシウム ($^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$) 由来のガンマ線が、NaI(Tl)結晶に落としたエネルギーとその数を算出した。これにより、得られたエネルギースペクトルから $540\sim 830\text{keV}$ の値を積算することで、実際の検出器応答を模擬している¹³⁾。この放射線解析により得られた検出器の計数率 (▲) は実測値 (●) の校正曲線とほぼ一致していた。この結果から、本装置の攪拌と循環がうまくいっており、検出器近傍のモニタリング水の濃度は濃度分布が無い場合と同程度であり、校正曲線として妥当であることが示唆された。

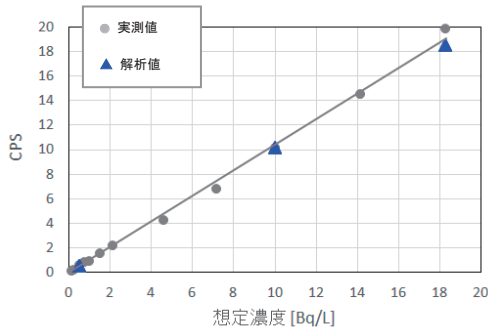


Fig.9 実測値と解析値の比較
(Comparison between Measurement and Analysis)

Fig.10 に、Fig.8 の計測を攪拌 ON、攪拌 OFF、再攪拌の順に行った結果を示す。攪拌 OFF の傾きが低くなっていることから、土粒子が沈降し、検出器近傍の濃度低下が起こっていたと考えられる。減少した傾きは、その後の再攪拌で、初期の攪拌 ON の値にほぼ復旧しており、装置の攪拌と循環が機能して濃度分布が再現されていることが確認された。

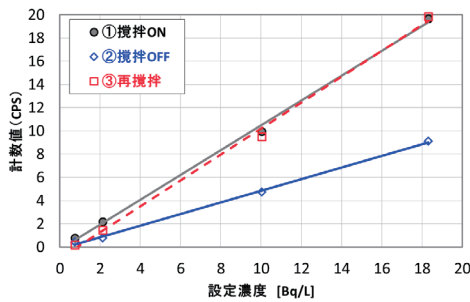


Fig.10 攪拌の効果
(Effect of Stirring)

(2) 検出限界値

セシウム領域のカウンタ値に対する検出限界値を式(4)で算出した結果を Table 4 に示す。空間線量率 0.3~0.7μSv/h の環境下で、10 分間計測した場合の検出限界値は 0.32Bq/L で、目標とした 7.2Bq/L を大幅にクリアしていることが確認された。

遮蔽水槽に水を満たさずに評価した場合の検出限界値も十分低い値が得られており、設置場所の環境放射線が低い場合には、モニタリング水槽のみの装置構成でも有効であることが示された。

Table 4 装置の検出限界
(Limit of Detection of the Monitoring System)

遮蔽水槽の水	計測時間 (分間)	空間線量率 (μSv/h) 2016.10	検出限界値 (Bq/L)	定量限界値 (Bq/L)
有	10	0.3~0.7	0.32	0.96
	60		0.13	0.39
無	10		0.50	1.50
	60		0.20	0.60

(3) 遮蔽性能

II-4-(3) で説明したように、装置を設置する場所の環境放射線は装置の検出限界値に影響するため、装置の遮蔽性能を把握しておくことは重要である。そこで、性能試験では、遮蔽水槽の外側にコイン形状の ¹³⁷Cs 密封標準線源を貼り付けて、遮蔽水とモニタリング水の条件を変えて計測を行い、装置の遮蔽性能を評価した。結果を Table 5 に示す。遮蔽係数 *S* は鉄製の水槽を空にした状態で得られた Net CPS 値を、各遮蔽条件で得られた Net CPS 値で除した比で、遮蔽性能が高いほど値が大きくなる。厚さ 0.5m の遮蔽水槽の水に対しては *S*=7.3 (±1%)、厚さ 0.75m のモニタリング水槽の水に対しては *S*=127.1 (±4%)、両方の水槽を満たした厚さ 1.05m の水に対しては *S*=927.8 (±5%) が得られた。装置外部からの環境放射線は、両方の水槽を満たした通常のモニタリング状態において、 $(1 - 1/927.8) \times 100 = 99.9\%$ が遮蔽されていたと評価された。

Table 5 装置の遮蔽係数 (測定値)

(Shielding Factors of Monitoring System (Measurement))

遮蔽条件 <i>F</i> : 容器 (鉄) <i>S</i> : 遮蔽水 <i>t</i> =0.3m <i>M</i> : モニタリング水 <i>t</i> =0.75m	計数率 (CPS)			遮蔽係数 <i>S</i> $S = C_{int}/C_{ext}$ <i>C_{int}</i> : 条件 <i>F</i> の Net 値 <i>C_{ext}</i> : 各条件の Net 値 (括弧内は <i>S</i> の相対誤差)
	BG 値 (環境放射線成分のみ)	¹³⁷ Cs 線源 + BG 値	¹³⁷ Cs 線源 Net 値	
<i>F</i>	404.5	862.2	457.7	1.0 (—)
<i>F</i> + <i>S</i>	54.5	116.8	62.3	7.3 (±1%)
<i>F</i> + <i>M</i>	6.3	9.9	3.6	127.1 (±4%)
<i>F</i> + <i>S</i> + <i>M</i>	(<i>F</i> , <i>F</i> + <i>S</i> , <i>F</i> + <i>M</i> の Net 値から算出)			927.8 (±5%)
(<i>F</i> + <i>S</i> + <i>M</i>)'	3	3.4	0.4	1144.3 (±26%)

(4) 処理能力

今回の装置試験で放射線計測時間を 10 分間とした場合、約 4m³ のモニタリング水の入水から排水を完了するまでに要した時間は合計 21 分 10 秒であった (入水: 約 4 分 30 秒, 排水: 約 6 分 40 秒)。よって、装置 1 台の処理能力は概略 12m³/h (=288m³/日) と評価される。入排水時間は装置の接続先のポンプの能力に依存しており、処理時間はさらに短縮が可能である。

最後に、本装置を 2 系統導入して交互にモニタリングし、処理能力を高める運用イメージを Fig.11 に示す。モニタリング水の判定結

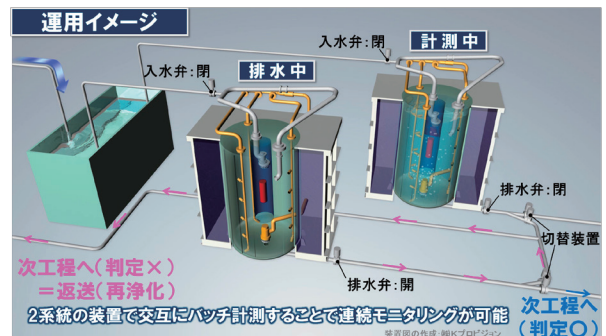


Fig.11 2 系統による連続モニタリングのイメージ
(Alternative Operation by Two Sets of Monitoring System)

果によって送水先を切り替え、連続的なモニタリングシステムとすることが可能である。

IV. まとめ

- 排水全量を原位置で高速モニタリングする装置を製作し、放射性セシウムを含んだ排水を使って、装置性能試験を行った。
- 実測により検出器の計数率からモニタリング水濃度を推定する精度のよい校正曲線を取得した。
- 装置の検出限界値を環境放射線が 0.3~0.7 μ Sv/h の環境下で評価した結果 0.32Bq/L であった。この値は、排水を河川へ放流する際に適用される基準の 1/10 以下であり、本装置によるモニタリングが可能であることが確認された。
- 装置の遮蔽性能を実測により確認した結果、¹³⁷Cs 由来のガンマ線に対する透過率は 1/927.8 (=遮蔽率 99.9%) であることが確認された。
- 装置試験時の装置の単体での処理能力は概略 12m³/h であった。接続先のポンプ性能の向上や複数台の装置を運用することにより処理能力の向上が見込まれる。

V. おわりに

検出限界値が、0.32Bq/L と確認された本装置の適用範囲は、各種排水の放流管理のみならず、飲料水管理レベル（基準 7.2Bq/L、検査装置に要請される検出限界の目標値 1Bq/L¹⁴⁾）に達しており、浄水場や食品工場などを含めた、水を扱う様々な施設への適用も期待される。

謝 辞

本開発は、国立研究開発法人科学技術振興機構の研究成果展開事業（先端計測分析技術・機器開発プログラム：実施期間 H26~H28）の支援を受けて行われた。

参考文献

- 1) 環境省；平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法施行規則，2011.
- 2) 鹿島プレスリリース；放射性セシウム濃度の連続モニタリング装置『セシモニウォーター®』を開発，2014.9.
- 3) H.Fukui et al.; Demonstration testing of a system for the high speed monitoring of the radioactive concentration of wastewater in situ, Desalination and Water Treatment, 2017.
- 4) 秦野歳久ほか；排水全量の放射能モニタリング装置の実用化開発（I），第 5 回環境放射能除染研究発表会要旨集，2016，p.38.
- 5) 秦野歳久ほか；排水全量の放射能モニタリング装置の実用化開発，日本原子力学会春の年会予稿集，2017，p.2B18.
- 6) 環境省；特定廃棄物の埋立処分事業（旧フクシマエコテッククリーンセンター）に関する参考資料，フクシマエコテッククリーンセンター埋立処分実施要綱（案），2014，p.100.
- 7) 双葉地方水道企業団；平成 29 年度水質検査計画について，2017，p.11.
- 8) 富永洋ほか；放射線応用計測，日本工業新聞社，2004，p.203.
- 9) 日本アイソトープ協会；アイソトープ手帳 10 版，2006，p.52.
- 10) 文部科学省；放射能測定法シリーズ 6，NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータ機器分析法，1974.
- 11) 厚生労働省；水道水の放射能測定マニュアル，2011，p.49.
- 12) 平野裕之ほか；排水全量の放射能モニタリング装置の実用化開発（II），第 5 回環境放射能除染研究発表会要旨集，2016，p.105.
- 13) 栗田圭輔ほか；モンテカルロ法による排水全量放射能モニタリング装置の特性評価，日本原子力学会春の年会予稿集，2017，p.2B12.
- 14) 平成 24 年 3 月 5 日付厚生労働省健康局水道課帳通知；水道水中の放射性物質に係る管理目標値の設定等について，2012.

High-Speed Monitoring System for Radioactivity Concentration in Wastewater

*Hiroyuki Hirano, Kenji Takagi, Hisatomo Fukui¹⁾, Hiroshi Oota²⁾, Mayumi Tanaka³⁾,
Toshihisa Hatano⁴⁾, Keisuke Kurita⁴⁾, Mitsutaka Yamaguchi⁴⁾, Yuto Nagao⁴⁾, Nobuo Suzui⁴⁾,
Naoki Kawachi⁴⁾, Soichiro Omachi⁵⁾, Hideyuki Saito⁵⁾ and Hajime Hiratsuka⁶⁾*

The authors have developed a high-speed system for monitoring the concentration of radioactive cesium contained in construction water used in the decontamination of radioactive materials released into the environment owing to the accident at the Fukushima Daiichi Power Plant after the Great East Japan Earthquake and leachate generated at facilities handling decontamination wastes. A performance evaluation test of the apparatus at the site of the wastewater treatment plant at the decontamination site, which had an environmental radiation of 0.3 to 0.7 μ Sv/h, showed that a detection limit of 0.32 Bq/L and a processing speed of 12 m³/h can be obtained, thereby confirming that the performance had reached a practical level.