

オンサイト除染排水処理システムの開発・実用化

久保田 洋・繁 泉 恒 河・野 口 俊太郎

除染作業で発生する排水中の放射性セシウムは粘土等の懸濁物質を除去することにより、大幅に低減できることが確認されている。筆者らは除染現場での排水処理をさらに進め、住民の方により「安心」してもらえる除染排水処理を目指し、1t車クラスに搭載可能なコンパクトな排水処理装置に濁度計と水中放射線量計を併用設置した「水質監視型オンサイト除染排水処理装置」の開発を行った。本装置に使用したモニタリングシステムの検証および実排水処理の結果について紹介する。

キーワード：除染排水、オンサイト、濁度、水中放射線量

1. はじめに

福島第一原子力発電所の事故に由来する放射性物質により汚染された地域を除染するために、平成23年8月30日に公布された放射性物質汚染対処特措法（以下、特措法）に基づき、環境省により除染のガイドライン¹⁾が策定された。以降、国直轄の除染特別地域や市町村が中心となる除染実施区域において除染が進められている。除染作業において発生する除染排水は現在、技術指針²⁾に沿って排水中の懸濁物質（SS）を沈降除去する処理が行われている。除染作業に伴う排水の処理基準としては、特措法第33条に定められている同一人が0～70歳まで、その濃度の水を飲用した場合の年間放射線量1mSvに相当する、セシウム137の値を90で除した値とセシウム134を60で除した値の和が1以下という、廃棄物処理施設周辺の公共水域の水中の濃度限度³⁾が基準として用いられることが多い（以下、「公共水域限度」という）。

除染作業で発生する排水中の放射性セシウムは粘土等のSS分に強く吸着されていることが分かっており⁴⁾、この除去方法として、凝集剤を添加しSS分を沈降除去する凝集沈殿処理は排水中の放射能濃度低減において大変有効である。凝集沈殿処理方法として、排水を回収し特定の場所に設置した大型排水処理装置を用いて処理する集約処理か、排水処理装置を現地に持ち込み処理するオンサイト処理がある。放射性物質を含む排水を移送するリスクや敷地の確保等の観点からオンサイトで処理できる方がより好ましいと考えられる。実際、オンサイト処理装置は①ドラム缶やバケツ等を

現地に持ち込み手作業で処理する方法、②4t車などに凝集沈殿処理装置一式を搭載し現地で車上処理する方法が既に行われている⁵⁾。ただし一方で、①の方法については手作業での移動や設置が必要であり処理能力が低いこと、②の方法については道路幅が大きい現場では良いが、住宅が密集しているエリアや狭い路地等では4t車の進入が困難な場合や住民の通行障害となる等その適用範囲が限られるという課題がそれぞれあった。加えて除染排水を処理した処理水の放射能濃度を測定する場合、正確な測定はゲルマニウム半導体検出器等による分析室内での測定が必要であり、費用と時間を要する。また現地測定法として提案されている簡易法でも分析用試料を別途採取する必要がある、測定にあたっては外部の放射線の影響を減衰させるための鉛箱などの遮蔽体を用いることが多い⁶⁾。

筆者らは福島県内の住宅除染業務において、低線量エリア、狭い路地、部分除染、スポット的に発生する除染排水といった状況に対応するため、新たにオンサイト処理装置の開発を行った。開発にあたりこれまでのオンサイト処理の課題を鑑み、従来よりもコンパクトで軽量の構造の排水処理装置とすることで機動性を高くし、かつ処理水放射能濃度が管理基準以下であることをリアルタイムで推定できるモニタリング機能を搭載した「水質監視型オンサイト除染排水処理装置」（以下、「本装置」という）を作製し、実排水処理に適用した。

2. 水質監視型オンサイト除染排水処理装置

(1) 排水処理フロー

本装置の処理フローを図—1に、装置外観を写真—1に示す。処理フローとしては排水処理を行う部分と水質モニタリングを行う部分の2つに分けられる。排水処理装置としては、台座、原水槽、凝集沈殿槽、ろ過槽、処理水槽（モニタリング槽）、制御盤等から構成される。凝集沈殿槽には(株)アステック東京社の「キューンシステム」をろ過槽には同社の「ロ

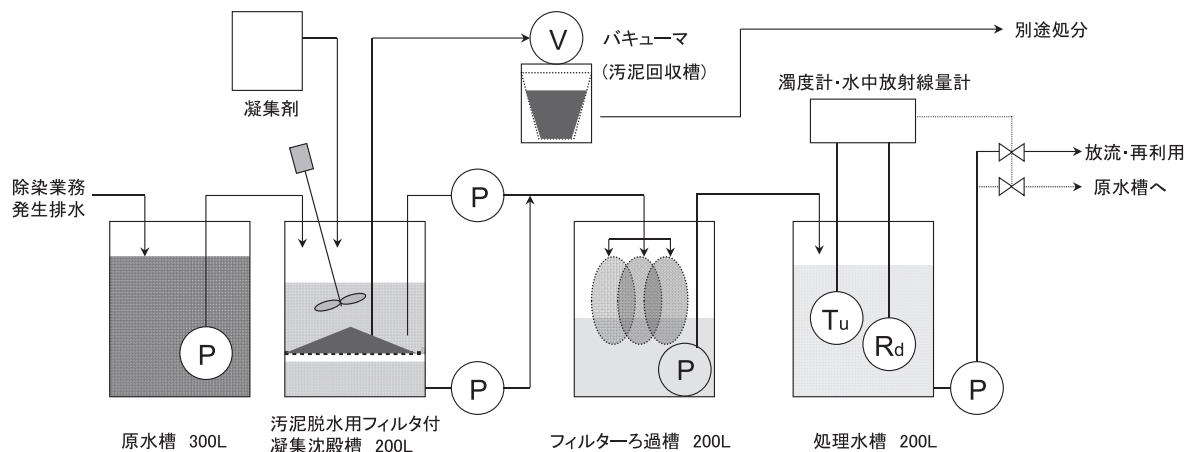


写真—1 本装置外観

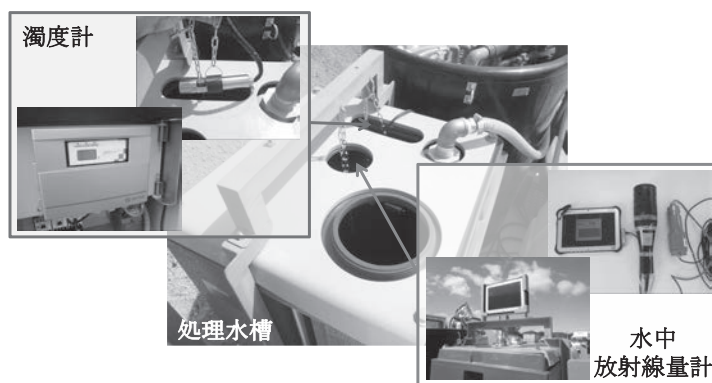
ッキー」をそれぞれ導入⁷⁾し、それらが1～1.5tトラックに搭載可能となるようにコンパクトかつ作業性が確保できる配置とした。装置の処理能力は約400L/時間である。原水槽・処理水槽は軽量化の観点から樹脂製タンクを用いた。各槽間の移送用ポンプのON-OFFスイッチ、濁度計の指示計を制御盤で操作できるようにし、また各槽間のバルブも作業者が操作しやすいように作業スペースへ集約させた。また装置の車両への搭載が行いやすいように装置は鋼製の台座の上に設置し、ユニット化することにより移動式クレーン等を用いて一括で積み替えが可能な構造とした。

(2) モニタリング用計測器

本装置にはモニタリング用計測器として、これまで濁水中の放射能濃度の管理として用いられている濁度計⁸⁾（オプテックス社製、TC-100）に加えて、水中放射線量計も処理水槽（ポリエチレン製200L、600×600×750mmH）にそれぞれ設置した（写真—2）。水中放射線量計には(株)堀場製作所の「PA-1100W」⁹⁾を用いた。両測定器とも上部より吊るして固定し、水中放射線量計は測定部が槽中央になるように調整し



図—1 排水処理フロー



写真—2 モニタリング用計測器

た。それぞれの測定値について濁度計は制御盤の表示器に、放射線量計はタブレット型 PC に接続することで外部にリアルタイムの数値を表示し、現場で作業者が確認することができるようにした。

3. モニタリングシステムの検証

(1) モニタリング装置の検証試験

モニタリングに用いる濁度計、水中放射線量計の性能を検証する目的で、現地にて検証試験を行った。試験は除染作業除去物を材料として、初期汚染水を作製し、処理水槽（200 L）内にて 10 ～ 11 回に分けて清水で希釈しながら濁度、水中放射線量の計測値と希釈汚染水のゲルマニウム半導体検出器での分析値の関係を検証した。試験条件を表 1 に示す。表中のバックグラウンド水中放射線量とは処理水槽内を希釈用の清水のみで満たした際の値である。空間線量率と比較して、サイト A、B それぞれ 28%、35% まで低減されており、200 L 水槽により外部の放射線量を 70% 程度遮蔽できることが確認された。

(2) 水中放射線量と放射能濃度

図 2 にモニタリング検証試験における水中放射線量と放射能濃度の関係を示す。水中放射線量は放射能濃度に対して決定係数でサイト A、B 共に 0.99 と高い相関関係を示した。回帰直線の傾きはサイト A では 1,800 なのに対してサイト B では 1,700 とその差は 6% 程度であり、排水中の懸濁物の違いによる影響をほとんど受けないことが示唆された。図 2 より両サイトの水中放射線量は公共水域限度である $^{134}\text{Cs}/60 + ^{137}\text{Cs}/90$ の値が 1 (75 Bq/L 相当) 以下の濃度域であっても定量性が得られることが明らかになった。水中放射線量の定量下限値としては、サイト A では 30 Bq/L 程度、サイト B では 50 Bq/L 程度であることが推定された。これらのことから水中放射線量はオンサイトにおいて放射能濃度をモニタリングする指標として有効であり、公共水域限度相当の 75 Bq/L であれば適用可能であることが明らかになった。ただ

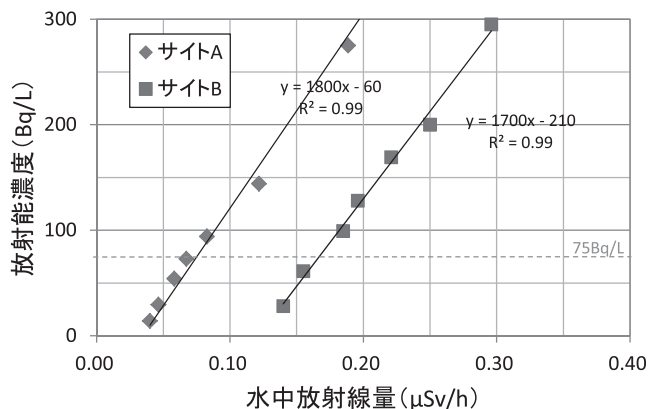


図 2 水中放射線量と放射能濃度の関係

しサイト A よりも B において定量下限が高くなった理由としてバックグラウンド線量が影響していると考えられ、高線量地域で使用する場合にはさらに定量下限が上昇する可能性が考えられた。

(3) 濁度と放射能濃度

図 3 にモニタリング検証試験における濁度と放射能濃度の関係を示す。濁度は測定器 (TC-100) の測定範囲が最大 99.9 であるため、それ以下の値について放射能濃度との相関関係を調べた。放射能濃度との関係ではサイト A で決定係数 0.97、サイト B で 0.99 と共に高い相関関係にあることが明らかになった。

本結果から濁度は放射能濃度が公共水域限度相当の 75 Bq/L 以下と低い濃度領域においても高い直線性を有しており、水道水の管理目標値である 10 Bq/L に

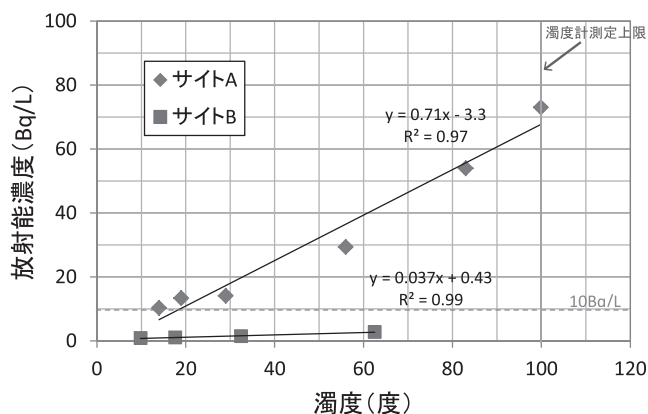


図 3 濁度と放射能濃度の関係

表 1 モニタリング装置検証試験条件

試験地	所在地	空間線量率	バックグラウンド 水中放射線量	汚染水材料	初期汚染水濃度
		$\mu\text{Sv/h}$	$\mu\text{Sv/h}$		Bq/L
サイト A	福島県内	0.09	0.025	雨水枡等堆積物	1,140
サイト B	福島県内	0.40	0.14	排水処理汚泥	295

ついても管理基準として適用することが可能であることが示唆された。ただし濁度についてはサイト A、B の回帰直線の傾きは大きく異なっており、排水中の濁質分と放射能濃度との関係式を排水の種類毎に作成しておく必要があることも明らかになった。

(4) モニタリング装置の特徴

本装置で用いた濁度計、水中放射線量計のそれぞれの特徴を表一 2 にまとめる。

4. 除染排水処理

表一 3 に実排水処理の結果の一例を示す。3 種類の排水は原水が 59 ～ 172 Bq/L であったが、本装置で処理したあとの処理水は 10 Bq/L 以下まで低下しており、低減率は最大 99% 以上であった。このことから本装置が実排水の処理においても有効であることが確認された。

モニタリングデータはサイト A で行った試験では濁度および水中放射線量とも低い値を示しており、実測の放射能濃度に沿う結果となった。一方、サイト B で行った実排水試験では水中放射線量がバックグラウンドよりも 0.1 μ Sv/h 以上高い値を示した。しかし濁度は 25 であり、図一 3 の関係式（サイト B）からも放射能濃度は低いことが推定された。結果的には、サ

イト B の実排水処理を行った場所の近傍にあったフレコンからの線量の遮蔽有無が結果に影響していることが判明し、実測の放射能濃度は濁度が示すとおり低い値であった。このことから水中放射線量計の測定時には周辺環境を確認し、線量が安定している場所を選ぶ必要があることが確認された。

本装置は開発後、除染現場にて 70 バッチ以上の排水の処理を行ったが、定期的な放射能濃度測定およびモニタリング装置の指標から処理水が 10 Bq/L 以下であったことが確認されている。

5. おわりに

本装置は 1 t 車に搭載可能な容積・重量に収まるよう設計したことにより、処理量は多くないが大型のトラックが入れない住宅街や狭い道路の先にある除染現場にも対応することができる装置となった。また本装置はユニット化されていることから、積み下ろし作業は一括で短時間のうちに行うことができ、必要時のみ車両に搭載して使用することも特長のひとつである。さらに従来のオンサイト排水処理では行われていない濁度計および水中放射線量計を用い測定値をリアルタイムで表示することにより、処理水質を「見える化」し、より安心な除染排水の管理を実施することが可能となった。

表一 2 各モニタリング装置の特徴

	濁度計	水中放射線量計
測定範囲	10 Bq/L 以下でも推定可能 濁度計の上限までしか測定できず	30 Bq/L が定量下限（200 L 槽） 高濃度の測定可能
測定時間	10 秒程度	3 ～ 5 分
外部放射線の影響	受けない	受ける 定量下限が上昇するため、高線量域では遮蔽が必要
濁質の影響	受ける 懸濁物質の放射能濃度により変換係数が大きく変化	ほとんど受けない
溶解性 Cs への対応	対応不可	対応可能

表一 3 実排水処理結果

処理場所	排水種類	放射能濃度				処理水槽モニタリングデータ	
		¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs + ¹³⁷ Cs	$\frac{{}^{134}\text{Cs}}{{}^{137}\text{Cs}} + \frac{{}^{137}\text{Cs}}{{}^{134}\text{Cs}}$	濁度	水中放射線量
		Bq/L	Bq/L	Bq/L	60 90	度	μ Sv/h
A	雨水枡等洗浄排水	15	44	59	0.74	—	—
	処理水	< 0.73	< 0.89	< 1.6	< 0.02	0.3	0.038 (0.03-0.04)
A	樋等洗浄排水	40	132	172	2.1	—	—
	処理水	< 0.5	0.71	0.71	< 0.02	11	0.049 (0.04-0.05)
B	路面洗浄排水	40	130	170	2.1	—	—
	処理水	< 0.8	1.7	1.7	< 0.03	25	0.42 (0.28-0.30)

本装置で適用した濁度計と水中放射線量計を用いたモニタリングは、それぞれが放射能濃度と高い相関関係を示すことが確認されたが、両測定器を併用することにより、それぞれの特長を生かし、より精度の高いモニタリングが可能であることが示唆された。併用方式を用いることで濁質の影響を受けにくい水中線量計を用いて濁度計を校正することも可能と考えられ、様々な種類の土壌を取り扱う除染現場だけでなく、分級などの中間処理にともなう排水処理の水質管理においても有効な手法となることが考えられ、今後の除染関連業務での活用が期待される。

謝 辞

本装置の開発にあたり、水中放射線量計の貸与をはじめ、モニタリング装置検証試験において多くのご協力を頂いた(株)堀場製作所の中西保之氏、伊藤浩史氏、渡辺崇氏、高井義則氏に感謝いたします。

J C M A

《参考文献》

- 1) 環境省：除染関係ガイドライン 第2版 (2013)
- 2) 福島県：除染業務に係る技術指針 第2版 (2014)
- 3) 経済産業省：原子力発電所以外に適用されている放射能に関する主な指標例 (2012).
http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/120427_01a.pdf
- 4) (独)国立環境研究所：放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分 (技術資料 第四版) (2014)
- 5) 福島県生活環境部：平成24年度第一回福島県除染技術実証事業実施

結果報告書 (2013)

- 6) 除染廃棄物・技術協議会 浄化土壌 WG：受け入れ土壌 / 浄化土壌の測定技術の情報. http://tacrw.jp/03_techinfo/pdf/03_06/03_06_02_material_pub.pdf
- 7) (株)アステック東京：簡易型濁水・汚泥処理装置キューン、超簡易型ろ過機ロッキー. <http://www.astec-tokyo.co.jp/product/index.html>
- 8) 農林水産省：農地除染対策の技術書 (第2編施工編) (2013). <http://www.maff.go.jp/j/nousin/seko/josen/>
- 9) 中西保之、伊藤浩史、古川泰生、富永浩二、野口俊太郎、久保田洋、繁泉恒河：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. 環境放射能除染学会誌, Vol3, No.2, pp83-88 (2015)

【筆者紹介】

久保田 洋 (くばた ひろし)

(株)フジタ

建設本部 環境エンジニアリングセンター
土壌環境部



繁泉 恒河 (しげいずみ こうが)

(株)フジタ

建設本部 環境エンジニアリングセンター
土壌環境部



野口 俊太郎 (のぐち しゅんたろう)

(株)フジタ

建設本部 環境エンジニアリングセンター
土壌環境部
部長

