

平成23年度「除染技術実証試験事業」

フェロシアン化鉄配合吸着凝集沈澱剤を使用した
放射能汚染水浄化システムの研究

概要版

平成24年2月

国立大学法人
東京工業大学原子炉工学研究所
有富正憲

実証試験概要

- ◆ 実施期間: 平成23年12月2日～12月28日
- ◆ 実施場所: 福島県本宮市内小学校
- ◆ 試験対象: プール(大・小)及びプールサイド及びプール側溝等
- ◆ 試験条件: 使用装置: 放射能汚染水浄化プラント「RPM-AP10」
凝集剤: ①イオンリアクションNフェロシアン化鉄20%配合
②イオンリアクションN
凝集剤添加量: 一次反応凝集槽0.1% 二次反応凝集槽0.1% 計0.2%
反応時間: 一次反応凝集槽5分 二次反応凝集槽5分
濾過: バグフィルター 10ミクロン
処理量: 毎時10立米



放射能汚染水浄化プラント「RPM-AP10」運転稼動時全体設置状況



小学校 大プール



小学校 小プール

汚染水浄化試験結果

●処理原水放射線量					単位: Bq/l
	採取日	I-131	Cs-134	Cs-137	
原水 1	H23.12.11	ND(7.15)	16.6(7.48)	17.4(7.44)	
原水 2	H23.12.15	ND(7.03)	43.0(8.25)	48.7(8.55)	
原水 3	H23.12.18	ND(8.61)	40.6(9.41)	58.0(8.96)	
原水 4	H23.12.20	-	287.3	387.55	

※()内は検出限界濃度を示す。
※東京工業大学測定(測定時間1000秒)

●浄化水放射線量					単位: Bq/l
	採取日	I-131	Cs-134	Cs-137	
浄化水 5	H23.12.11	ND(5.96)	ND(8.16)	ND(7.77)	
浄化水 12	H23.12.15	ND(5.31)	ND(8.44)	ND(6.22)	
浄化水 20	H23.12.18	ND(6.16)	ND(8.44)	ND(8.20)	
浄化水 24	H23.12.20	ND(5.85)	ND(6.96)	ND(8.99)	

※()内は検出限界濃度を示す。

●脱水汚泥放射線量						単位: Bq/kg
	I-131	Cs-134	Cs-137	Co-60	Mn-54	
脱水汚泥1	ND(53.8)	12000(48.8)	17100(40.5)	ND(11.3)	ND(25.4)	
脱水汚泥2	ND(90.5)	32000(81.4)	45200(73.6)	ND(21.7)	ND(41.2)	

※()内は検出限界濃度を示す。

●処理量			単位: 立米
処理日	凝集剤	処理量	
H23.12.9	イオンリアクションNフェロシアン化鉄20%配合	20	
H23.12.10	イオンリアクションNフェロシアン化鉄20%配合	10	
H23.12.11	イオンリアクションNフェロシアン化鉄20%配合	20	
H23.12.12	イオンリアクションNフェロシアン化鉄20%配合	20	
H23.12.13	イオンリアクションNフェロシアン化鉄20%配合	20	
H23.12.14	イオンリアクションNフェロシアン化鉄20%配合	20	
H23.12.15	イオンリアクションNフェロシアン化鉄20%配合	20	
H23.12.16	イオンリアクションNフェロシアン化鉄20%配合	20	
H23.12.17	イオンリアクションN	20	
H23.12.18	イオンリアクションN	30	
H23.12.19	イオンリアクションNフェロシアン化鉄20%配合	20	
H23.12.20	イオンリアクションNフェロシアン化鉄20%配合	20	
計		240	



プール汚染原水



処理水



処理水



脱水汚泥(固形残渣物)



処理水放流状況

※全ての処理水放流は、セシウム濃度10Bq/l以下に低減させて行った。
*シアンは排水基準以下で放流した。フェロシアン化鉄の配合量を変動させることでシアン溶出量の調整が可能である。

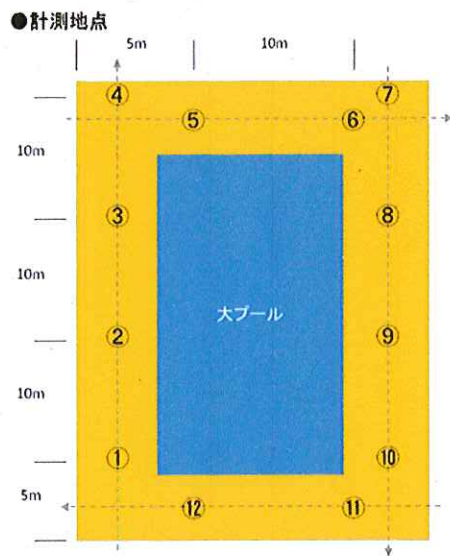
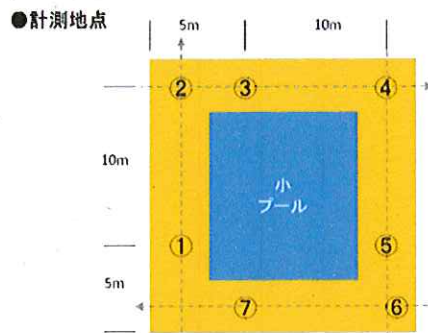
高圧洗浄によるプールサイド等の除染

●大プールサイド除染結果

No.		空間線量 $\mu\text{Sv/h}$			表面汚染密度 Bq/cm^2
		10m	50cm	100cm	
①	除染前	0.805	0.674	0.663	11.47
	除染後	0.41	0.36	0.386	3.82
②	除染前	0.782	0.686	0.744	9.57
	除染後	0.489	0.491	0.523	3.41
③	除染前	0.688	0.637	0.719	8.05
	除染後	0.431	0.458	0.523	2.68
④	除染前	1.353	1.385	1.262	13.06
	除染後	0.495	0.863	0.918	2.46
⑤	除染前	0.794	0.695	0.788	10.17
	除染後	0.502	0.529	0.566	2.81
⑥	除染前	0.893	0.847	0.972	9.92
	除染後	0.426	0.518	0.639	2.16
⑦	除染前	0.89	1.397	1.287	9.56
	除染後	0.462	0.964	1.066	2.56
⑧	除染前	0.797	0.692	0.668	9.13
	除染後	0.409	0.38	0.409	3.51
⑨	除染前	0.742	0.684	0.599	9.39
	除染後	0.414	0.358	0.35	3.44
⑩	除染前	1.019	0.91	0.862	13.42
	除染後	0.423	0.533	0.638	2.39
⑪	除染前	0.811	0.786	0.787	8.43
	除染後	0.393	0.391	0.45	2.75
⑫	除染前	0.746	0.63	0.581	9.20
	除染後	0.445	0.391	0.411	3.45

●小プールサイド除染結果

No.		空間線量 $\mu\text{Sv/h}$			表面汚染密度 Bq/cm^2
		10m	50cm	100cm	
①	除染前	0.889	0.733	0.647	13.12
	除染後	0.527	0.518	0.544	3.51
②	除染前	1.138	1.497	1.239	14.94
	除染後	0.617	0.905	0.907	6.4
③	除染前	0.772	0.778	0.788	10.19
	除染後	0.544	0.658	0.692	4.57
④	除染前	1.182	1.472	1.314	16.95
	除染後	0.54	0.879	0.991	3.54
⑤	除染前	0.895	0.871	0.874	12.24
	除染後	0.536	0.646	0.708	4.51
⑥	除染前	1.2	1.045	0.976	22.18
	除染後	0.589	0.648	0.675	4.55
⑦	除染前	0.842	0.744	0.745	10.5
	除染後	0.512	0.535	0.531	3.19



●超高压での除染結果

No.		表面汚染密度	路面の性状
①	除染前	40.07	アスファルト
	除染後	1.54	
②	除染前	16.34	コンクリート
	除染後	1.59	
③	除染前	2.91	コンクリート
	除染後	0.74	

※ハンドアキュアブラスト・スピンジェット



高圧ジェット洗浄の状況(ハンドガン)



自動走行式高圧洗浄機 FMC-01



ハンドアキュアブラスト



コンクリート表面除去状況



スピンジェット



アスファルト表面除去状況

●高圧洗浄機の圧力

区分	洗浄方法	圧力
高圧	ハンドガン	30Mpa
	自走機FMC-01	25Mpa
超高压	ハンドアキュアブラスト	250Mpa
	スピンジェット	250Mpa

評価

①放射能汚染水浄化プラントの評価

プラント処理能力

	プラント処理能力
処理量	10m ³ /h
凝集剤	0.20%
原水放射線量	34Bq/ℓ～1116Bq/ℓ
浄化水放射線量	ND
脱水汚泥放射線量	29100 Bq/kg～683000 Bq/kg
シアン	0.28mg/ℓ～0.44 mg/ℓ(フェロシアン化鉄20%配合時)
浮遊物質	7 mg/ℓ～9 mg/ℓ
透視度	0.7m～1.1m

【処理能力】

プール水240m³ を処理した結果、原水放射線量34Bq/ℓ～1116Bq/ℓに対して浄化水の放射線量は、検出限界値(概ね10Bq/ℓ)以下であり、放射線量に対する除去率は算出できないが、水中の放射性物質除去には優れた性能を持つものと言える。

【浄化水水質】

浄化水の水質は、シアン濃度に不安を抱えるものの、フェロシアン化鉄の配合量を低減することにより、調整が可能である。また、フェロシアン化鉄を配合しない凝集剤でも放射性物質の除去に成功しており、フェロシアン化鉄の配合量を減らすことには問題がない。浄化水の浮遊物質量は7 mg/ℓ～9 mg/ℓで、透視度は1m以上を確保できる。放流する水の清浄度は問題がない。

【凝集剤能力】

無機成分を主体としており、γ線による分解の可能性は少ないため、放射線には強く、凝集反応速度は速い。セシウムイオンが存在しない場合にはフェロシアン化鉄を使用しない場合でも放射性物質の除去が可能。
セシウムイオンが存在する場合はフェロシアン化鉄が必要となるがその配合量は、簡易的に除去試験を行い決定する必要がある。

【総合評価】

実証試験において、放射性物質の除去において、優れた性能を発揮した。放流水の水質もシアン濃度に不安が残るものの、フェロシアン化鉄の配合量を減らすことが可能であることが判明し、シアン濃度についても対応が可能である。
また、セシウム以外の放射性核種(コバルト60、マンガン54)は検出されなかったことから、逆浸透膜の増設を考慮する必要はない。
この結果、放射能汚染水処理プラントは放射性物質除去に実用可能である。

②高圧洗浄機による除染効果の評価

今回行なった水を用いての高圧洗浄・超高压洗浄とも使用した水は全てバキュームによって回収した。従って、除染行為による放射性物質の拡散はなく、回収した水についても、放射能汚染水処理プラントによって浄化した後に放流した。

【高圧洗浄】

高圧洗浄機での除染率は概ね45%程度であったが、除染対象の表面に傷や割れがある場合には、除染効果が低下した。このことは、雨水側溝で顕著に見られた。自動走行式高圧洗浄機FMC-01については、広範囲を均等に除染ができ、作業効率が良い。また、自動走行・自動洗浄が可能のため人が作業できない高濃度汚染の区域でも使用できる。洗浄に使用した水も自動回収である。

【超高压洗浄】

250Mpaの高圧水流によって、コンクリート、アスファルトの表面を削り取りながら除染を行う。削り厚は0.5mmである。超高压洗浄を行なった路面は表面汚染密度は、 2 Bq/cm^2 以下まで激的に低下した。道路等の路面の除染に効果を発揮する。一方、削り取った面は粗くなるので、除染後に補修する必要が生じる。

【総合評価】

路面などの除染で除染率を50%程度とする場合は、高圧洗浄が良いが、それ以上の除染が必要な場合には、超高压洗浄による除染が必要である。雨水側溝の場合には、洗浄だけでは十分な効果は得られない。

③廃棄物の量及び処理の評価

実証試験で排出された脱水汚泥は、約1800kgでドラム缶で12本分である。この他、落ち葉を回収したもの、水処理に使用したバグフィルター、タイベック、手袋等が廃棄物として発生している。この総量はドラム缶16本分である。

脱水汚泥は放射線量が 8000 Bq/kg 以下であれば、最終処分場埋め立て等の検討も可能であったが、今回発生した脱水汚泥は、 $29100 \text{ Bq/kg} \sim 683000 \text{ Bq/kg}$ であり、埋め立てはできない。また、廃棄物溶出試験(昭和48年環境庁告示第13号)の結果、シアンが溶出基準 1 mg/l を超過し、特別管理廃棄物となっている。将来、放射線量が半減期により低下し、処分を行う場合は、特別管理廃棄物として扱わなければならない。

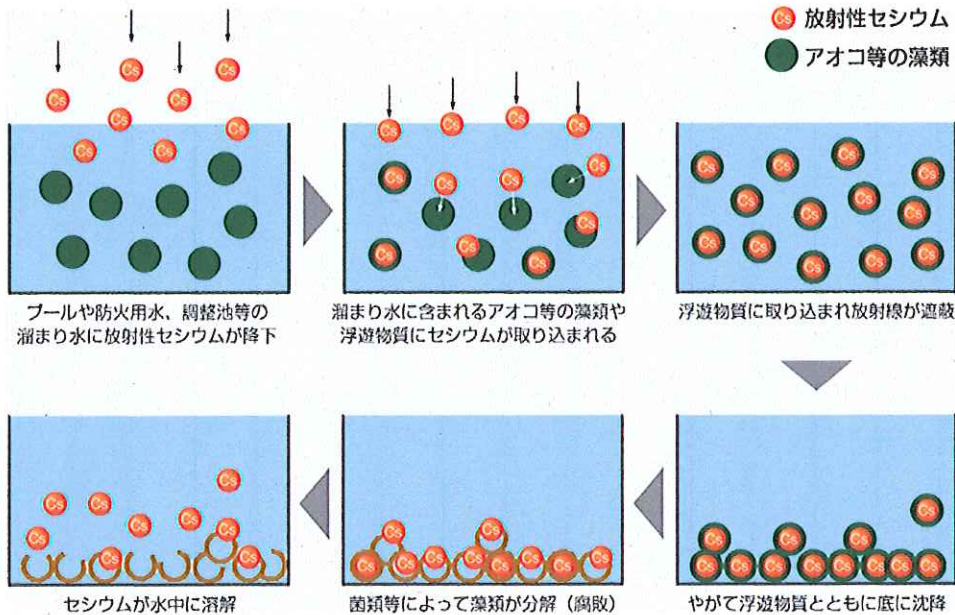


廃棄物の保管状況

実証時試験で得られた知見

① プール等のセシウム土砂吸着の無い水槽でのセシウムの挙動

実証試験を通じて、プール内でのセシウムの挙動が推定できた。
 プール内での放射線量は浮遊物質の量によって変動している。表層では線量は低く、下層に行くに従って高くなり、プール底面で最大値となる。
 プール内の浮遊物質は主に藻類であり、プール底面に堆積する藻類が枯死したものは600000Bq/kgを超える線量を持つ。これらが、分解された場合には植物体が吸収可能な形態でセシウムの放出がなされ、汚染が広がるのが推定される。同様のことが溜池で起こっているとすれば、農業用水として使うには注意が必要と考えられる。



セシウムの挙動模式図

② プール内堆積物の放射線量

プール水の処理工程で、最終段階でのプール水(最も浮遊物質が多いもの)を40ℓ試験的に処理した結果、得られた脱水汚泥の放射線量は683000Bq/kgであった。
 この時の水の放射線量は674.85Bq/ℓであり、この水を40ℓ処理した場合の放射線量は26994 Bq/kgとなる。
 この差は、処理時に沈降していた堆積物の持つ放射線量が極端に大きいことを意味しており、プールや溜池等の除染を行う場合には、堆積する汚泥が多い状態の原水は希釈する等の措置をとる必要がある。
 この作業を行わない場合には、脱水汚泥の放射線量が高くなり、作業員の被爆の可能性が高くなる。

脱水汚泥の放射線量

		単位: Bq/kg	
		Cs-134	Cs-137
脱水汚泥	フェロシアン化鉄	285000	398000

③ 脱水汚泥のセシウム保持力

脱水汚泥溶出試験結果

		単位: Bq/ℓ		
		I-131	Cs-134	Cs-137
脱水汚泥		ND(1.06)	ND(1.84)	ND(1.40)

汚染水処理後の脱水汚泥を蒸留水中で6時間震とうし、得られた検液を0.45ミクロンのメンブランフィルターで濾過した後に、放射線量を測定した結果、放射線は検知できなかった。
 このことから、吸着凝集された放射性物質は強固に保持され、漏れ出すことがないことが確認された。

本技術の適用範囲

【放射能汚染水処理プラント】

①学校等プール水

学校等のプール水及び堆積物の除染に適する。

②開放型の防火水槽の貯留水

開放型の防火水槽の貯留水及び堆積物の除染に適する。

③家屋等除染の洗浄水

家屋等除染の洗浄水及び洗浄に伴う土砂等の除去に適する。

④瓦礫洗浄除染の洗浄水

瓦礫洗浄除染の洗浄水及び洗浄に伴う土砂等の除去に適する。

⑤土壌洗浄の洗浄水

土壌洗浄の洗浄水及び洗浄に伴う土砂等の除去に適する。

⑥田畑への清浄な水の供給

農業用水を放射能汚染水浄化プラントに通水した処理水を田畑へ供給することにより水からの汚染の流入を防ぎ、安全な農作物の生産を可能とする。
また、空間線量の高い地域で水耕栽培等を行う場合の水の供給。

⑦溜池等の貯留水

溜池等の貯留水及び堆積物の除染に適する。

⑧原子力発電所の汚染水

低レベル放射線量の水処理に適する。高濃度の場合には放射性物質の吸着力が高いことから脱水汚泥の放射線量が高くなり、被爆の可能性が高い。

⑨河川水、地下水、海水

海水でも凝集能力の低下がないため、環境水一般の除染に対応可能である。

【高圧洗浄】

①道路等の洗浄除染

自走機FMC-01は広域を自走し洗浄と洗浄水の回収を同時に行うことができ作業効率に優れる。

②家屋の除染

自走機FMC-01は壁面の除染も行えるため、足場等の設置をしなくとも除染作業が可能である。

③コンクリート等に入り込んだセシウムの町高圧洗浄

超高圧洗浄でコンクリート、アスファルトの表面を削り取ることで、コンクリート中に侵入したセシウムを除去、回収が可能である。

まとめ

- 放射能汚染水処理プラントは当初計画の時間あたり10m³の処理能力を達成した。
- 放射能汚染水処理プラントの浄化水では、実証試験を通じて、放射線量は検出下限値以下であった。放射線量としては、10Bq/l以下を達成している。
- プール水中のセシウムイオンは極微量と見られフェロシアン化鉄を配合しない凝集剤であっても、放射線量10Bq/l以下を達成している。
- シアン濃度にやや不安が残るが、フェロシアン化鉄の配合量を少なくすることが可能であり、シアン濃度の調整は可能である。
- 浮遊物質とプール底面の汚泥の放射線量が高いことから、処理原水の放射線量の管理が重要である。
- 脱水汚泥のセシウム保持能力は高く、安全である。シアンについてもフェロシアン化鉄の配合量低減で対応できる。
- 処理原水のセシウムイオンの有無によっては、フェロシアン化鉄を配合しない凝集剤のみでの処理も可能である。
- 凝集剤は無機を主体とする成分で作られ、 γ 線による分解がなく放射線に対して安定している。また、実証試験では行なっていないが、海水を用いた凝集実験でも、凝集能力の低下がないことが立証している。
- 浄化水の清浄度は高く、透視度は1m以上であり、放流に対して不快感はない。
- 浄化水は、高圧洗浄の洗浄水として再利用可能である。
- 放射能汚染水処理プラントは適用範囲が広い。
- 高圧洗浄のみでは、放射性物質の除去はできないが、放射線量を半減することが可能である。
- 超高圧洗浄でコンクリート、アスファルトの表面を削り取る方法は有効である。
- コストにおいては、プラントの定常運転や凝集剤の量産ができれば下げることができる。
- 高圧洗浄、超高圧洗浄とも洗浄水の回収システムは確立しており、放射能汚染水処理プラントとの併用によって、除染行為による汚染拡散がない。



以上のことから、

放射能汚染水処理プラント、高圧洗浄・超高圧洗浄ともに
実用可能なシステムが確立していることが実証された。