



日本原子力学会 水化学部会

「第21回定例研究会」

福島第一原子力発電所における廃炉措置等に向けた取り組み状況について

汚染水浄化設備への取り組み

2014年3月6日

日立GEニュークリア・エナジー(株)

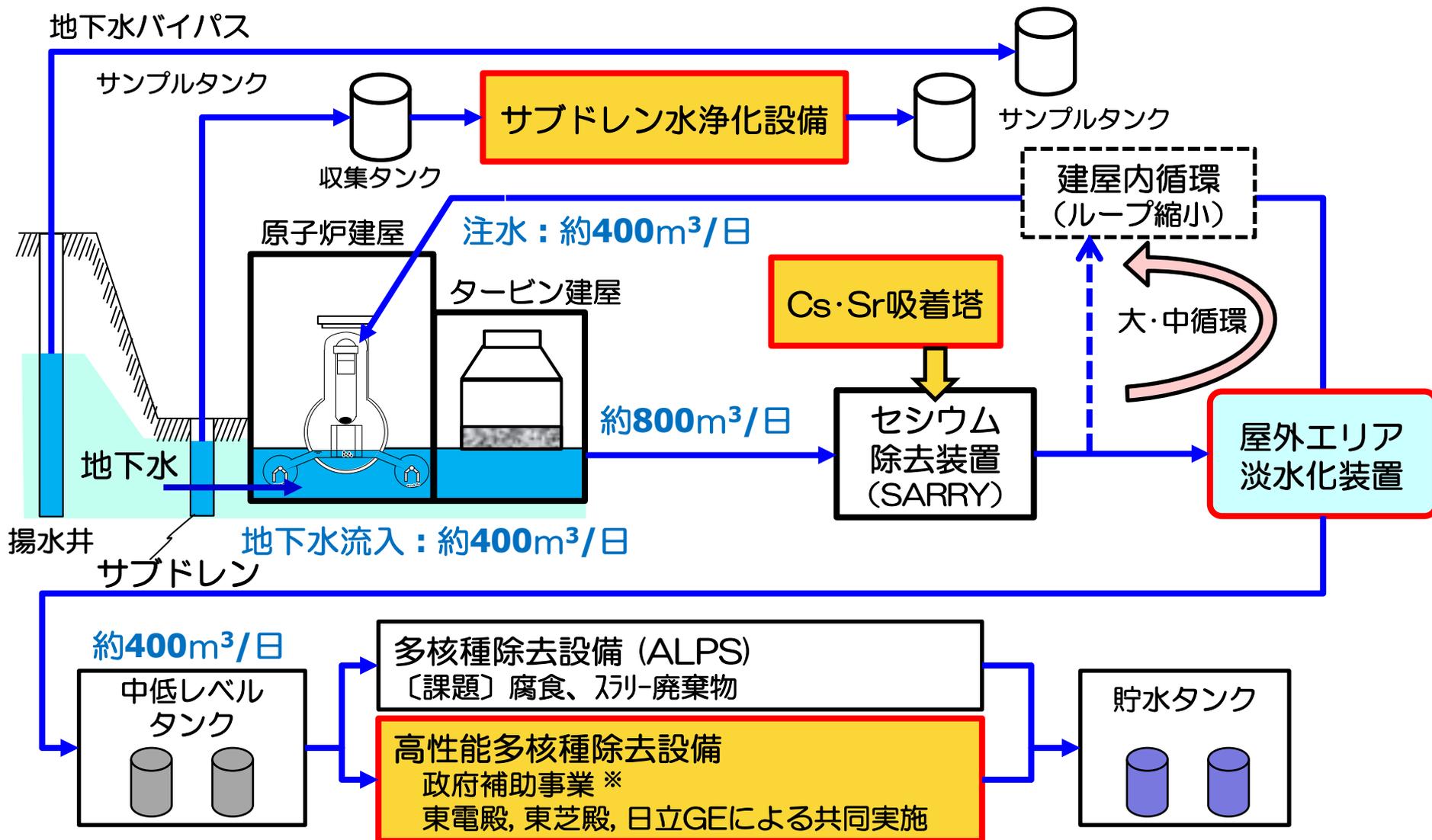
原子力サービス部

川崎 透

1. 汚染水浄化への取り組み状況
2. 放射性核種除去技術の開発
3. サブドレン浄化設備
4. 高性能多核種除去設備
5. まとめ

1. 汚染水浄化への取り組み状況
2. 放射性核種除去技術の開発
3. サブドレン浄化設備
4. 高性能多核種除去設備
5. まとめ

1. 汚染水浄化への取り組み状況



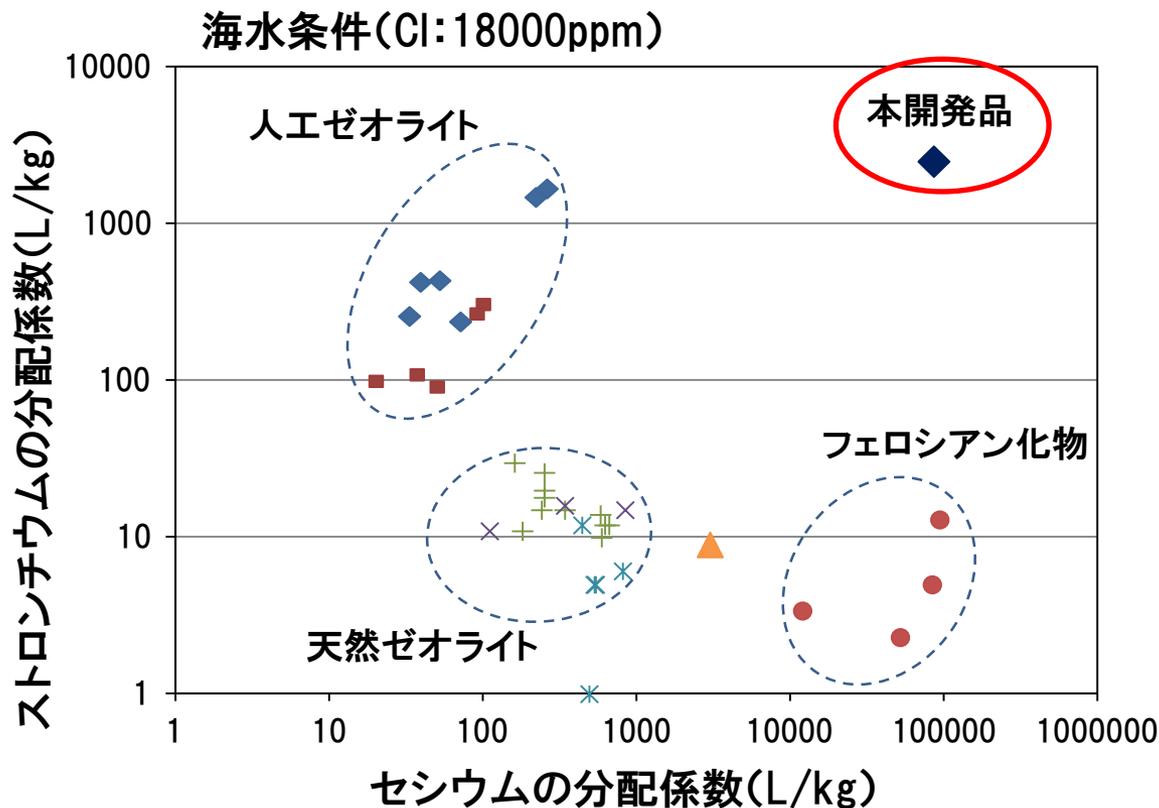
SARRY : Simplified Active water Retrieve and Recovery System, ALPS : Advance Liquid Processing System

※資源エネルギー庁補助事業:汚染水処理対策事業(高性能多核種除去設備整備実証事業)

1. 汚染水浄化への取り組み状況
- 2. 放射性核種除去技術の開発**
3. サブドレン浄化設備
4. 高性能多核種除去設備
5. まとめ

(1) 高性能Cs/Sr吸着剤

- Cs及びSrに対する高い吸着性能を両立した吸着剤を開発
- 廃棄物発生量の低減が可能



分配係数 K_d
ある物質が、接触する2つの相（この場合液体と固体）にどのような比で存在するかを表す係数。
 K_d の値が大きいほど、少ない吸着剤の量で多くの目的物質を効率よく吸着できる。

$$K_d = (C_0 - C_t) / C_t \times (V/m)$$

C_0 : 浸漬前の液相濃度

C_t : 浸漬後の液相濃度

V : 溶液体積

m : 吸着剤重量

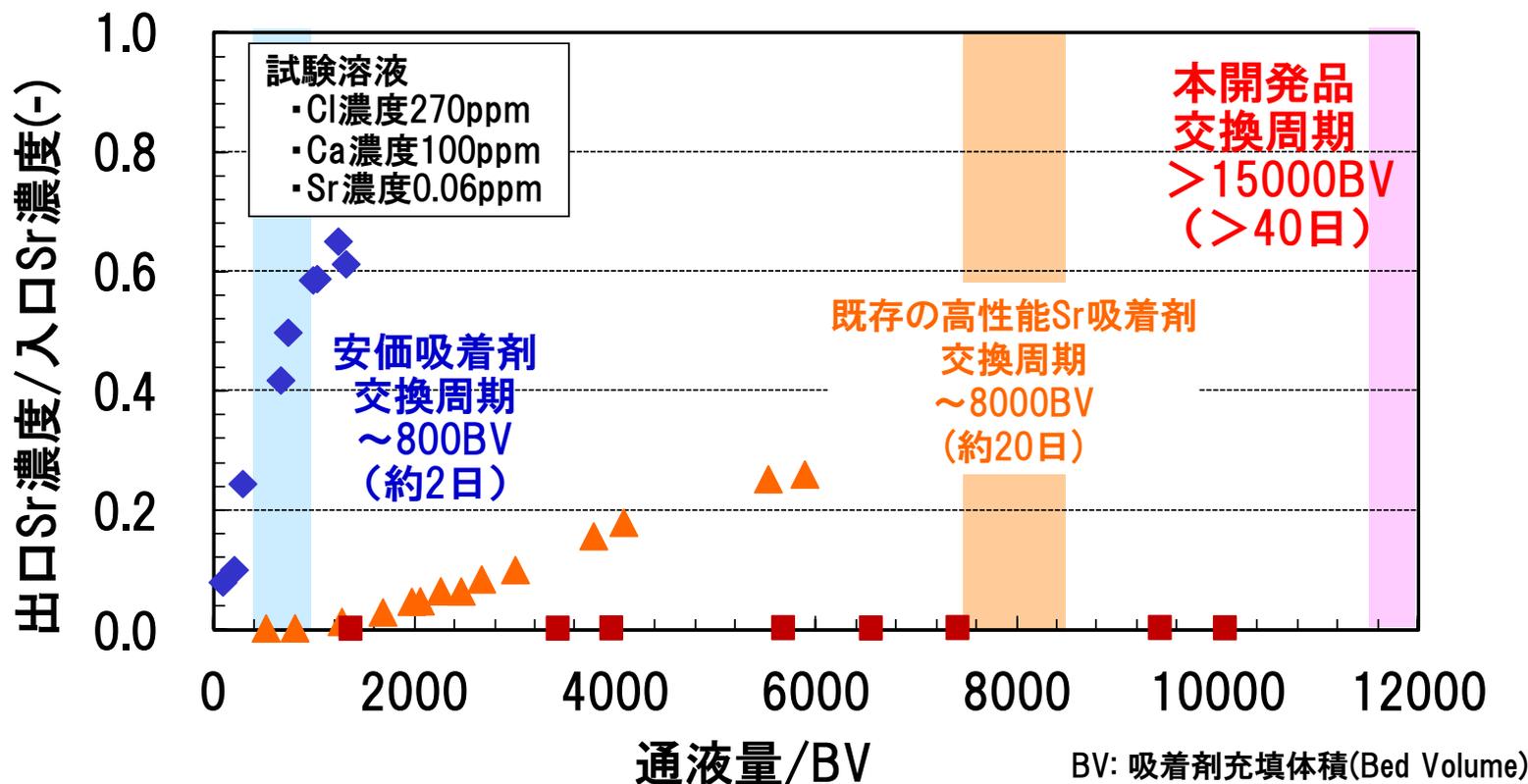
2 放射性核種除去技術の開発

海水中に含まれるCa、非放射性Srの存在により、一般的に海水を含む廃液ではSr吸着剤の交換周期は短いですが、本開発品では海水存在下でも高い性能を発揮



1F汚染水処理に
広く適用可能

1F: 福島第一原子力発電所



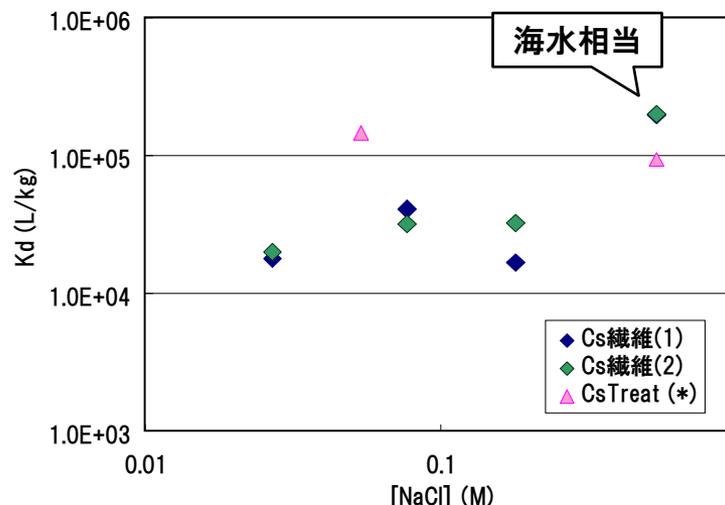
(2)核種吸着繊維

吸着繊維とは

- ポリエチレン等の繊維にCs等の核種を吸着する物質を重合させたもの
- Cs吸着繊維は、海水中で吸着剤と同等の性能を発揮
- モール状など様々な形に加工可能
- 重合させる物質を変えることで、Srのほか様々な核種に適用可能



モール状のCs吸着繊維



Cs吸着繊維の分配係数(塩濃度依存性)

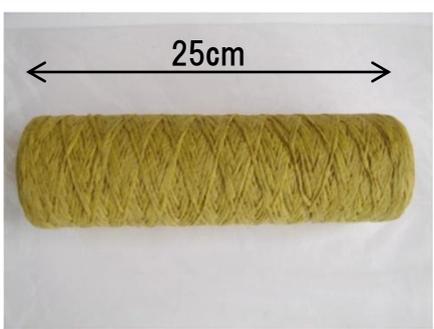
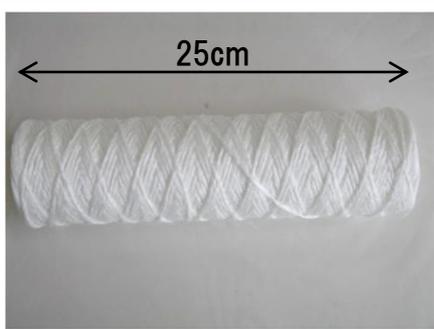
(*) 日本原子力学会有志による測定データ

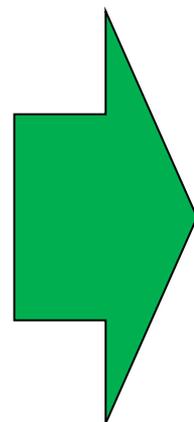
(出典:<http://www.nuce-aesj.org/index.php?id=projects:clwt:start>)

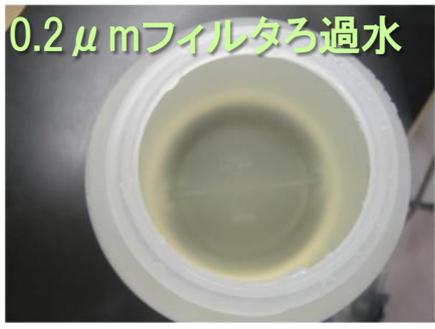
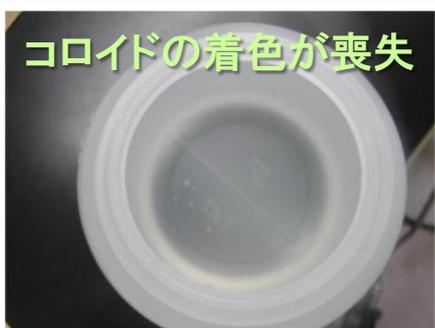
2 放射性核種除去技術の開発

適用例～核種除去フィルタ

- 繊維を1 μm ろ過兼用のフィルタに加工し、核種除去装置の前処理フィルタとして使用。
- 実液試験にてイオン及びコロイド除去能力があることを確認。

	Csフィルタ (1 μm ろ過兼用)	Srフィルタ (1 μm ろ過兼用)
使用前		
使用后		



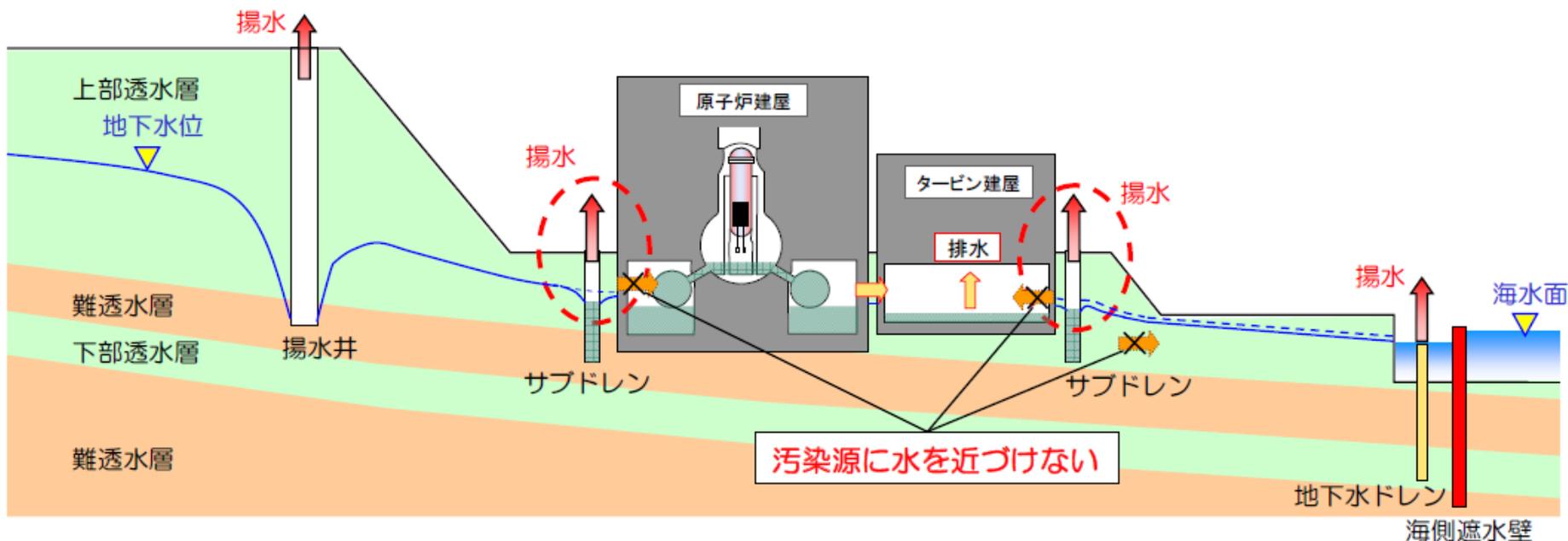
	処理後の状況
0.2 μm フィルタろ過水	
コロイド除去水	

重金属(Cu, Mn, Co, Ni etc.)の吸着による着色を確認

1. 汚染水浄化への取り組み状況
2. 放射性核種除去技術の開発
- 3. サブドレン浄化設備**
4. 高性能多核種除去設備
5. まとめ

サブドレンピットからの地下水くみ上げ

- ◆サブドレンピットとはポンプにより地下水をくみ上げ、建屋周辺水位を下げるための井戸
- ◆建屋周辺の地下水位を下げることで、建屋への地下水の流入と護岸への地下水流出を抑制



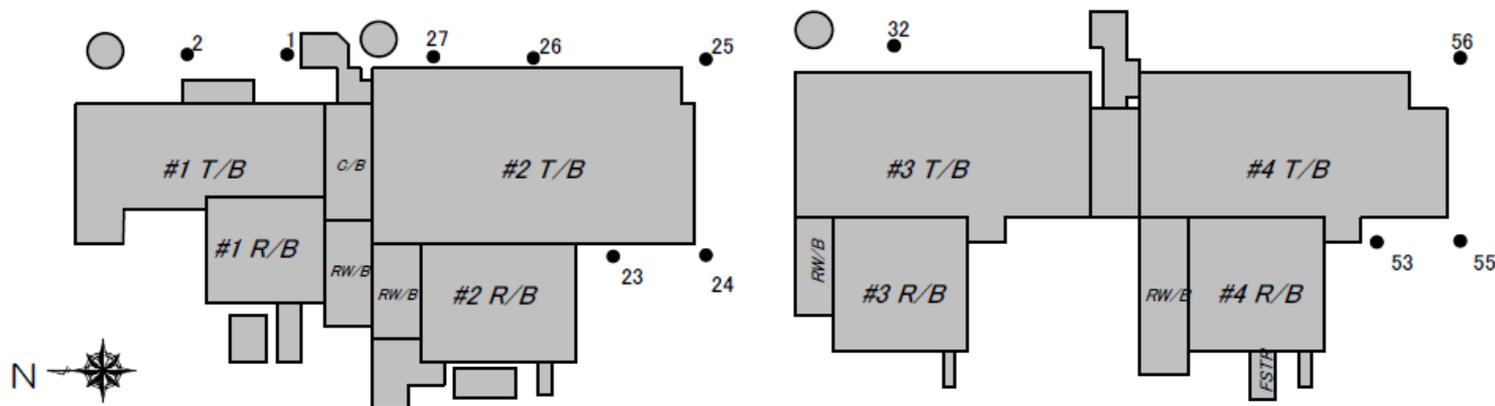
3 サブドレン浄化設備

サブドレンには放射性核種が含まれるため、浄化が必要

表中数値上段：放射能濃度 (Bq/L) 下段 () 内：採取日

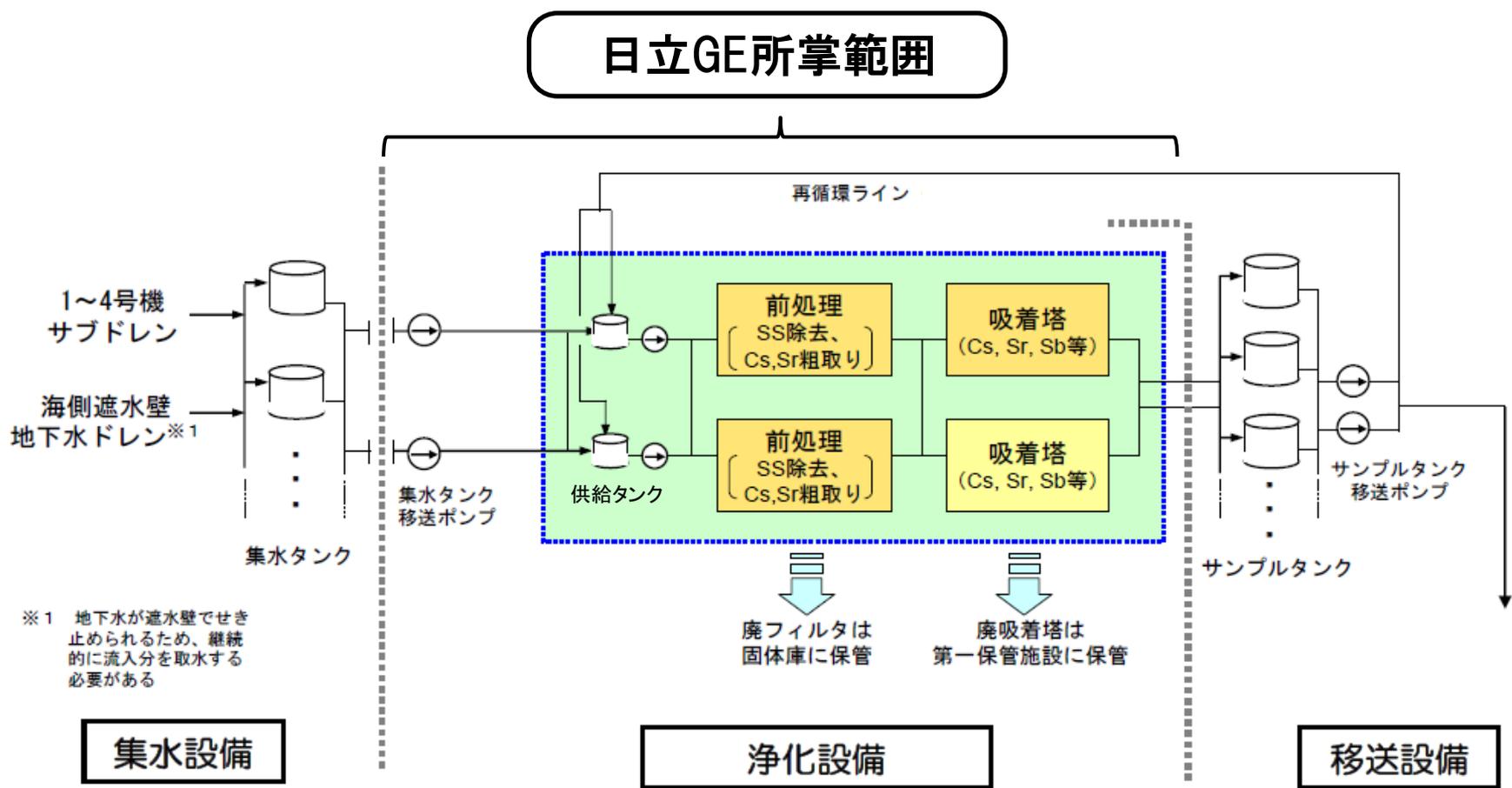
代表核種		告示濃度 限度	1号		2号				3号	4号			
			No.1	No.2	No.23	No.24	No.25	No.26	No.27	No.32	No.53	No.55	No.56
γ核種	Cs-134	60	140 (H25/8/19)	< 14 (H25/8/5)	276 (H24/6/18)	116 (H24/6/19)	645 (H24/6/17)	122 (H24/6/18)	140 (H25/8/19)	< 20 (H25/8/19)	1.7 (H24/5/17)	2.0 (H24/5/17)	< 20 (H25/8/19)
	Cs-137	90	340 (H25/8/19)	20 (H25/8/5)	425 (H24/6/18)	179 (H24/6/19)	990 (H24/6/17)	185 (H24/6/18)	320 (H25/8/19)	21 (H25/8/19)	2.6 (H24/5/17)	3.4 (H24/5/17)	< 20 (H25/8/19)
全β		—	290 (H25/8/5)	25 (H25/8/5)	1,052 (H24/6/18)	284 (H24/6/19)	1,737 (H24/6/17)	499 (H24/6/18)	430 (H24/11/12)	< 9 (H24/11/12)	< 24.4 (H24/6/5)	< 26.1 (H24/6/5)	12 (H24/6/11)
トリチウム		60,000	110,000 (H25/8/5)	3,200 (H25/8/5)	2,129 (H24/6/18)	2,407 (H24/6/19)	1,302 (H24/6/17)	754 (H24/6/18)	470 (H24/11/12)	97 (H24/11/12)	3,826 (H24/6/5)	6,114 (H24/6/5)	6,200 (H24/6/11)

※検出限界値は核種により異なる。



3 サブドレン浄化設備

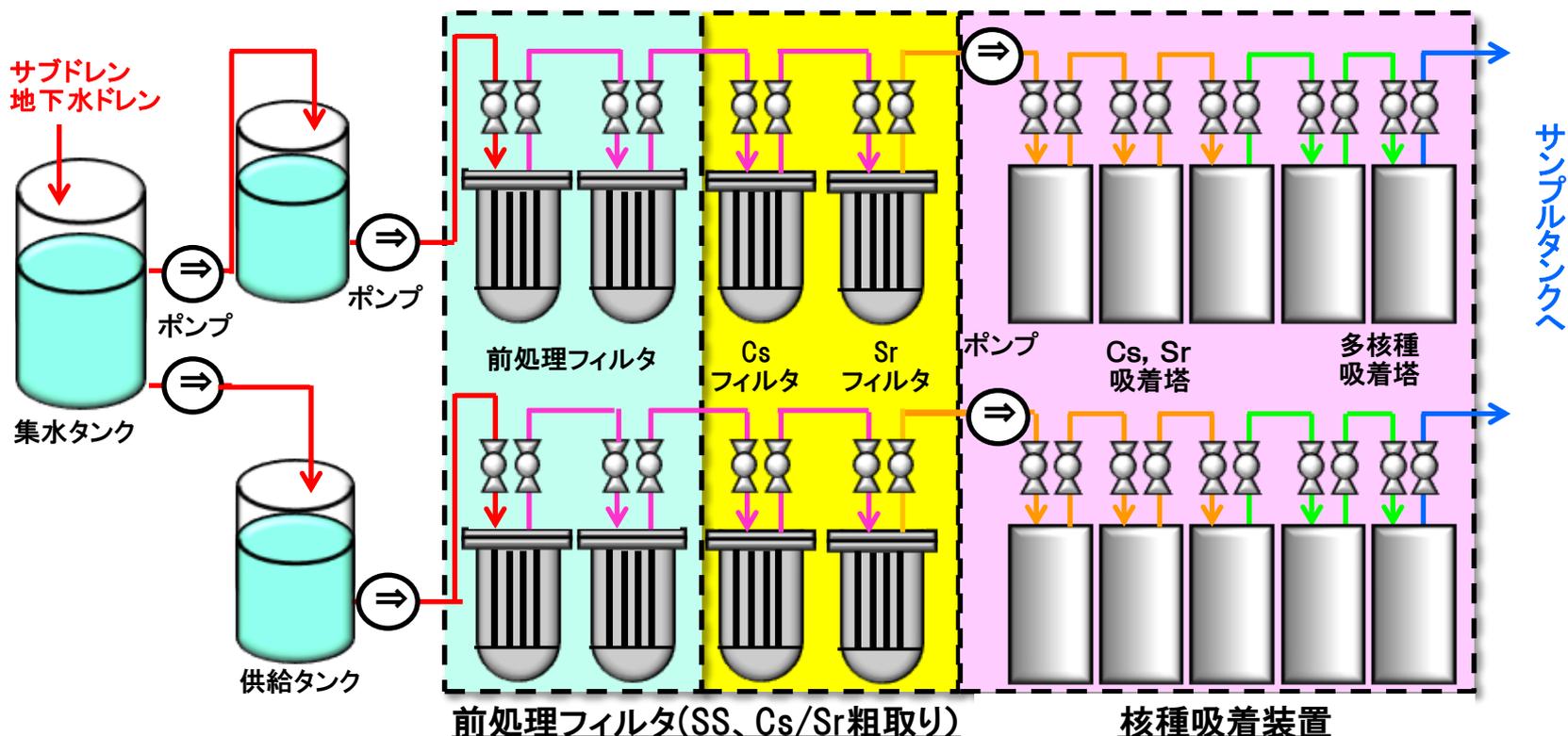
サブドレン浄化設備は、集水設備、浄化設備、移送設備から構成される。



3 サブドレン浄化設備

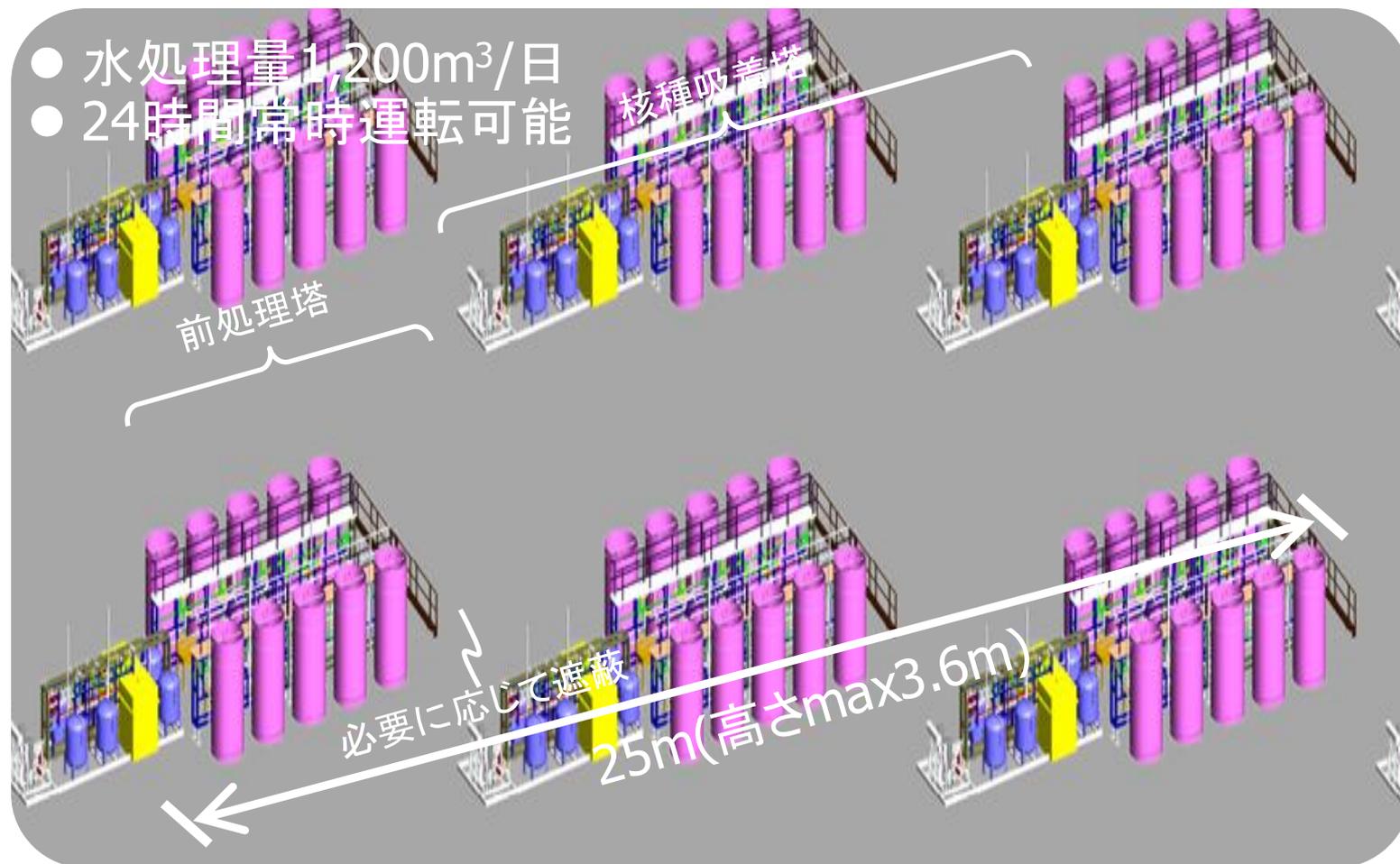
サブドレン浄化設備の主要仕様、系統構成

項目	仕様
処理量	1200m ³ /日(1系統当たり)
処理対象水	サブドレン水、海側遮水壁地下水ドレン水
浄化設備の除染係数(DF)	Cs-137: DF > 10 ⁴ Sr-90: DF > 10 ³



3 サブドレン浄化設備

- ◆ 設置面積の小さいコンパクトな構成
- ◆ フィルタ、吸着塔をスキッド化し、据付工程を短縮



3 サブドレン浄化設備

◆ 実液試験による性能確認結果



サブドレンピット上での
フィルタ通水試験



ホットラボでの
吸着剤通水試験

通水前後の主な核種濃度

単位: Bq/cm³

核種	通水前	フィルタ 通水後	吸着剤 通水後
Cs-134	2.82E-01	<5.40E-03	<1.04E-04
Cs-137	6.75E-01	<7.54E-03	<9.98E-05
全β	1.33E+00	1.43E-02	<9.17E-04
Sr-90	2.3E-01	—	<1.13E-04
Sb-125	—	—	<3.31E-04

1. 汚染水浄化への取り組み状況
2. 放射性核種除去技術の開発
3. サブドレン浄化設備
- 4. 高性能多核種除去設備**
5. まとめ

【処理対象水の水質条件(設計ベース)】

主な核種	濃度(Bq/cm ³)
Sr-90	1E+06
Cs-137	1E+02
Cs-134	1E+02
Sb-125	5E+02
Ru-106	2E+02

項目	単位	値
塩化物イオン濃度	ppm	6000
マグネシウムイオン濃度	ppm	400
カルシウムイオン濃度	ppm	300
水素濃度イオン指数(pH)	-	7.5
浮遊物質濃度(SS)	mg/L	5

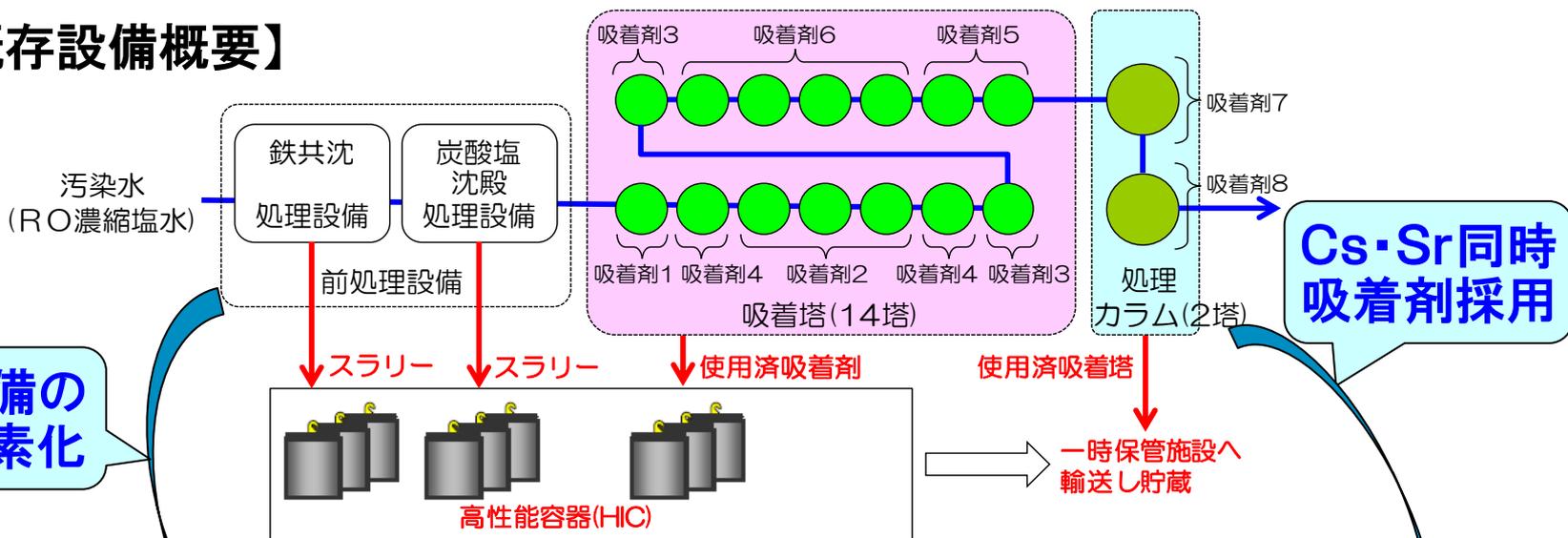
※塩化物イオン濃度に比例して、
上記以外の海水由来微量成分を含む

【適用技術と効果】

- ・高性能Cs/Sr吸着剤の適用
→海水成分(Ca、Mg、Sr)共存下における放射性Srの除去が可能
- ・コロイドフィルタ(核種吸着繊維使用)の併用
→コロイド状の放射性核種の除去が可能

4 高性能多核種除去設備

【既存設備概要】



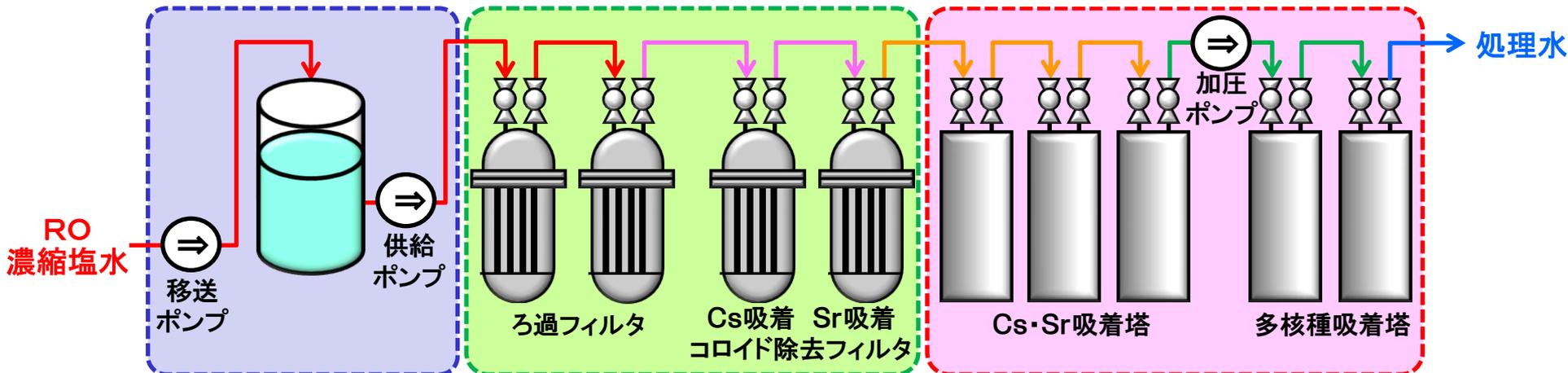
【提案設備概要】

- ①凝集沈殿と同等の核種除去能力を有するコロイド除去フィルタ
- ② Cs・Sr同時(高性能)吸着剤を用い塔数や廃吸着塔を削減

処理水移送

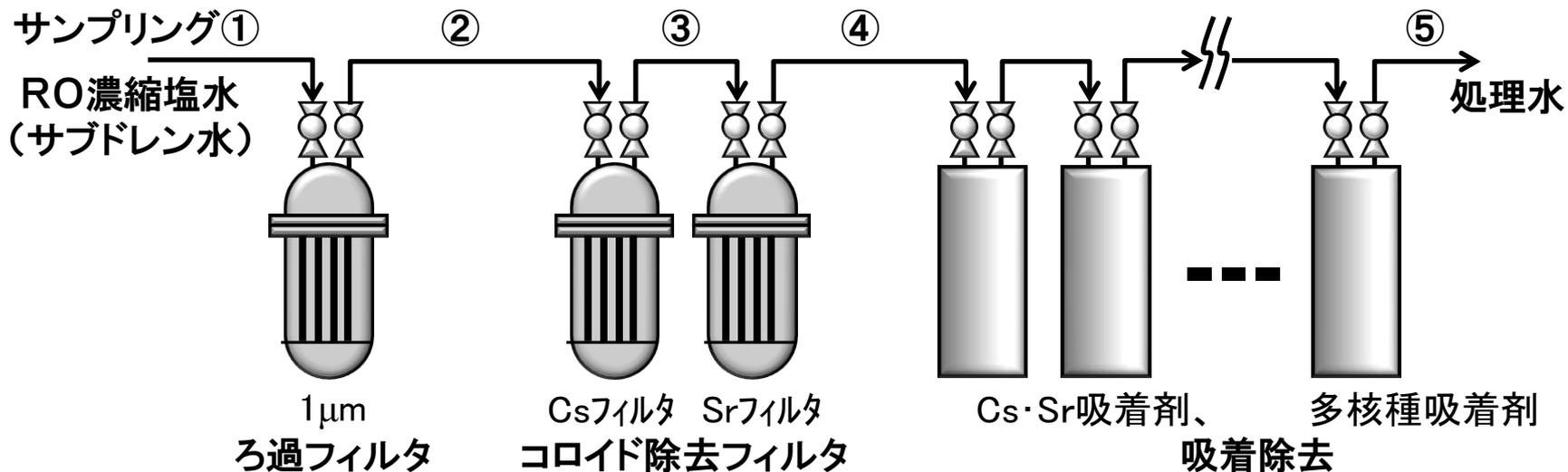
フィルタ処理装置

核種吸着装置(溶解性核種除去)



※上図はプロセスを模式的に表したフローであり、実機塔数はフィルタ8塔、吸着塔15塔。

実液を用いたラボ通水試験の概要

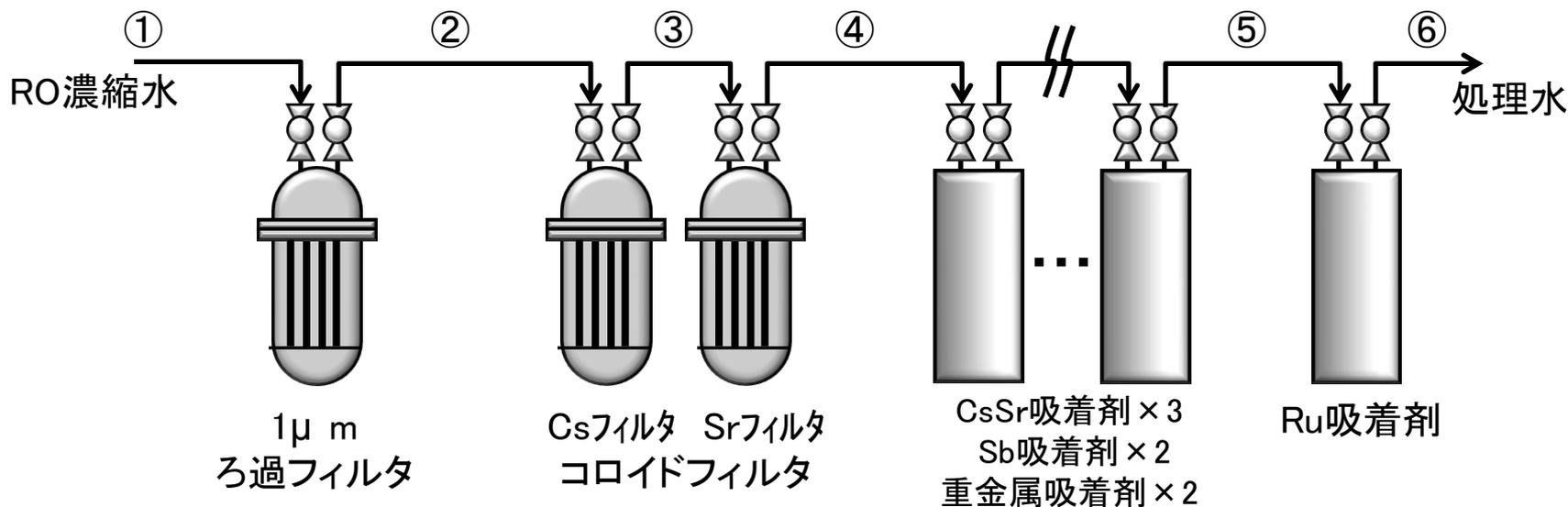


ホットラボでの
フィルタ性能確認試験



ホットラボでの
核種除去性能確認試験

4 高性能多核種除去設備



単位: Bq/cm³

核種	①	②	③	④	⑤	⑥	目標値
Cs-134	1.28E+00	1.45E+00	<2.98E-01	<8.05E-02	3.19E-04	1.32E-04	2.8E-04
Cs-137	2.74E+00	2.49E+00	<2.26E-01	<4.89E-02	2.66E-04	2.46E-04	2.8E-04
全β	1.36E+05	1.37E+05	1.11E+05	2.51E+03	1.14E-01	7.58E-03	—
Sr-90	1.72E+05	—	—	—	—	6.48E-04	1.5E-04
Sb-125	1.76E+01	1.72E+01	1.72E+01	1.77E+01	<6.87E-04	<3.06E-04	3.8E-04
I-129	1.99E-02	—	—	—	—	<8.34E-04	6.9E-04
Ru-106	—	—	—	—	1.57E-01	5.76E-03	1.2E-03

①原水一般水質分析結果

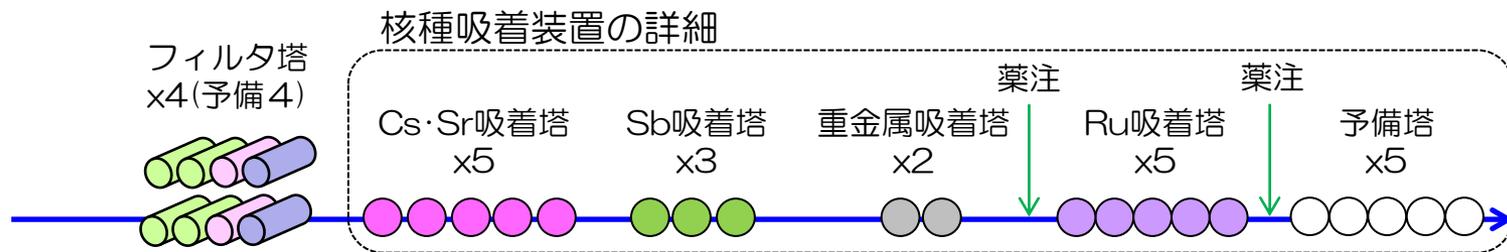
Clイオン: 790ppm、pH: 7.0、導電率: 3400μ S/cm

目標値に到達しなかった核種と対応
 Sr-90 CsSr吸着塔の塔数増加(3塔→5塔)
 Ru-106 Ru除去方法を検討中(吸着剤選定)

4 高性能多核種除去設備

実液を用いたラボ通水試験からコロイド除去フィルタおよび吸着剤の核種除去性能を評価した。

■核種除去性能の見通し(主要核種抜粋)

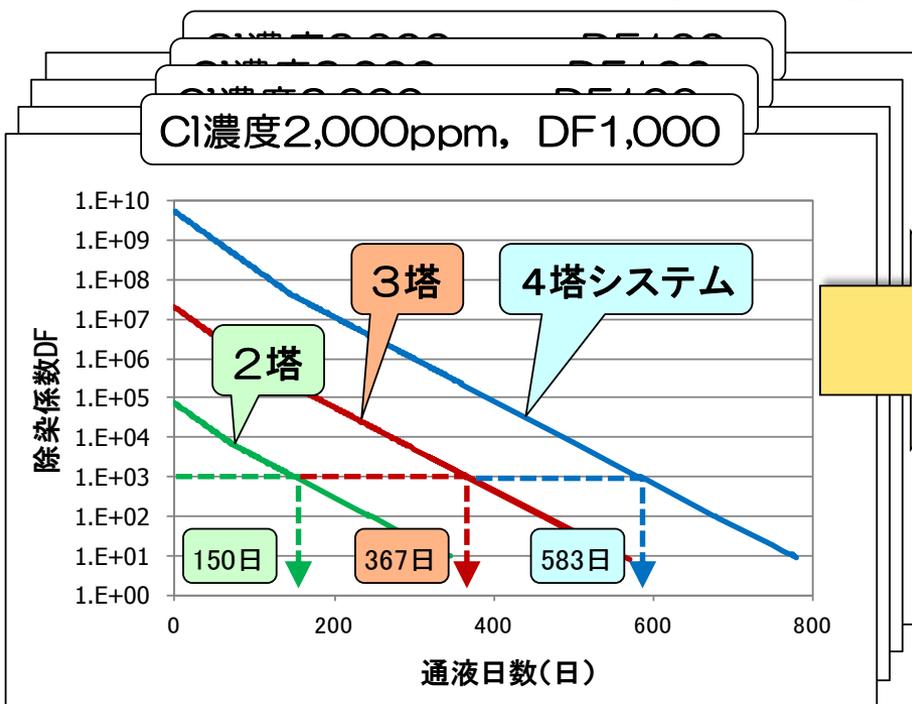


核種 \ 処理	RO濃縮塩水 処理前	フィルタ 処理水	核種吸着装置での処理水				処理後の 目標値 (NDレベル)
			Cs·Sr 吸着塔	Sb 吸着塔	重金属 吸着塔	Ru 吸着塔	
Sr-90	1.0E+06	1.0E+05	<1.5E-04	同左	同左	同左	<1.5E-04
Cs-137	1.0E+02	1.0E+01	<1.5E-08	同左	同左	同左	<2.8E-04
Sb-125	5.0E+02	5.0E+02	5.0E+02	<5.0E-6	同左	同左	<3.8E-04
Co-60	6.6E-01	6.6E-02	6.6E-02	6.6E-02	<6.6E-05	同左	<1.1E-04
Mn-54	7.7E-01	7.7E-02	7.7E-02	7.7E-02	<7.7E-05	同左	<1.1E-04
Ru-106	2.0E+02	2.0E+02	2.0E+02	2.0E+02	2.0E+01	<1.0E-03	<1.2E-03
I-129	9.1E-02	9.1E-02	9.1E-02	(9.1E-02)	<1.0E-04	同左	<6.9E-04

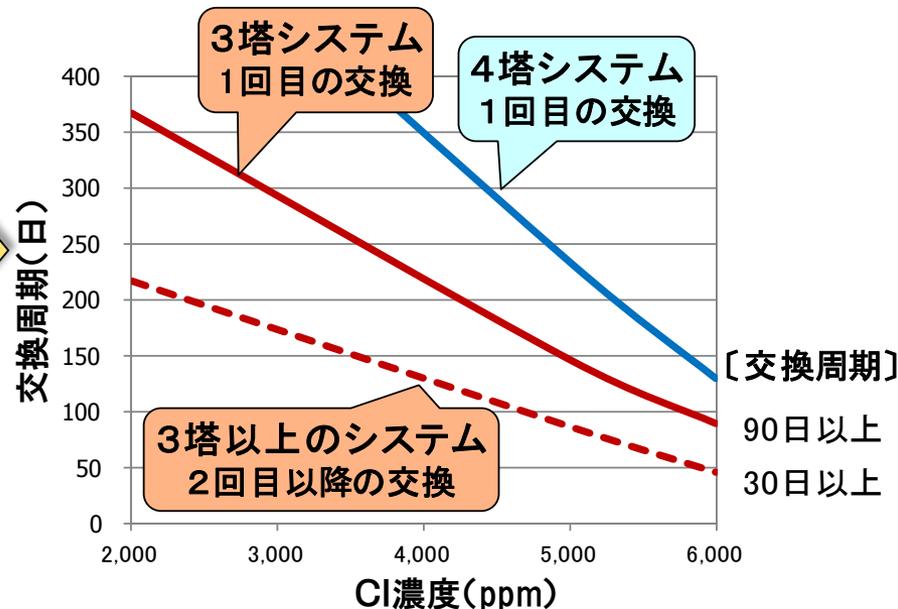
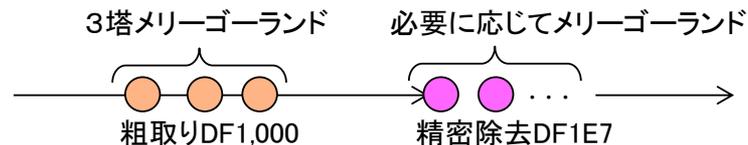
■ 吸着塔の交換周期の評価方法

- ① Cs・Sr吸着塔の性能を様々な条件でシミュレーション
- ② シミュレーションにもとづく塔構成と交換周期から廃棄物発生量を評価

様々な条件でシミュレーション
(パラメータ: Cl濃度、DF、塔数)



【Cs・Sr吸着塔の構成】



高性能多核種除去設備の特長

- 前処理方式の変更(沈殿処理→フィルタろ過)による廃棄物量の大幅な低減と設備の簡素化
- 高性能吸着剤の採用による吸着塔数削減と長寿命化による廃棄物量の更なる低減
- 廃棄物は固体(フィルタ、吸着塔)のため、取り扱いが容易
- 核種除去性能は目標値まで核種を除去できる見通し
- 材料の耐食性の改善(ライニング、二相ステンレスを採用)

1. 汚染水浄化への取り組み状況
2. 放射性核種除去技術の開発
3. サブドレン浄化設備
4. 高性能多核種除去設備
5. まとめ

- ◆ 震災以降、日立はグループ一丸となって1F汚染水浄化に取り組んできました。
- ◆ 高性能Cs/Sr吸着剤、核種吸着繊維など、1Fの状況に応じた技術開発を進めています。
- ◆ 今後も、サブドレン浄化設備、高性能多核種除去設備など、汚染水浄化に向けた抜本対策に全力で対処していきます。

ご静聴ありがとうございました。

HITACHI

