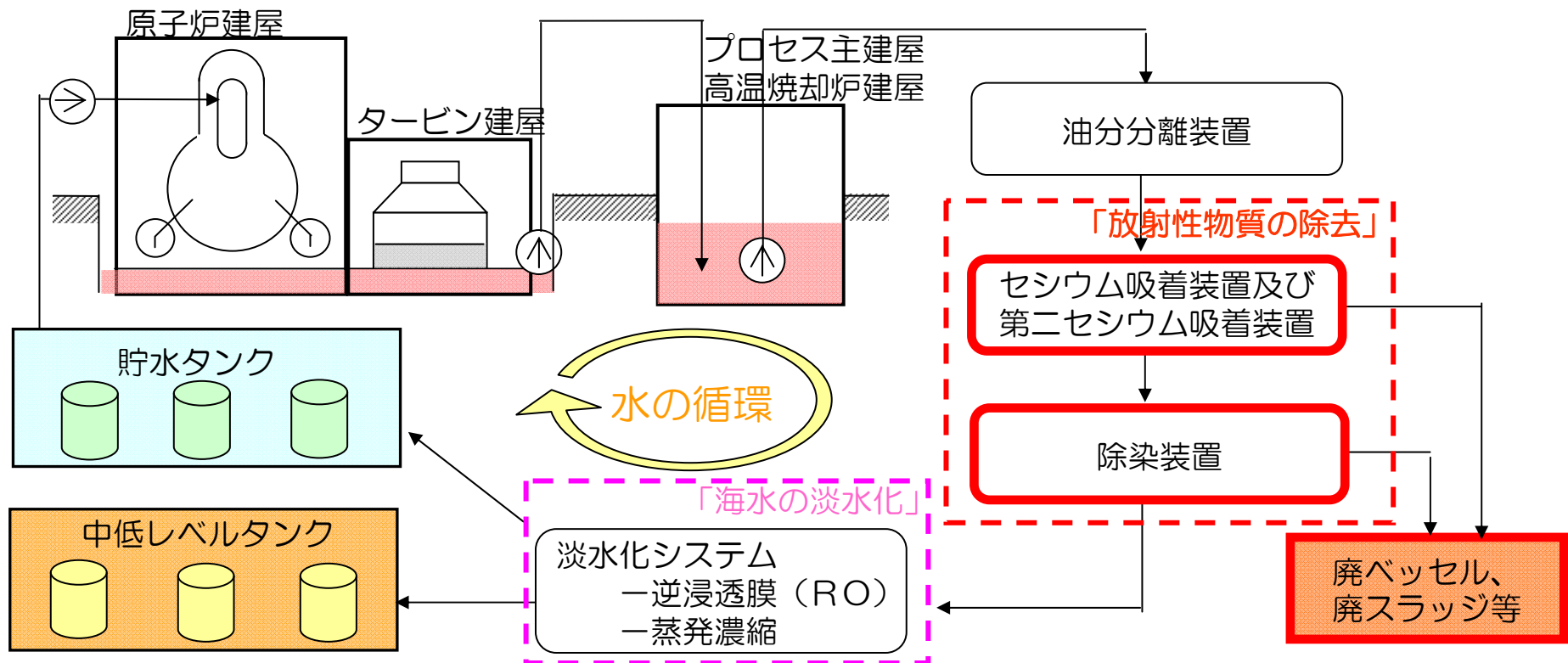

< 参考資料 >
平成23年10月29日
東京電力株式会社

**福島第一原子力発電所
放射性滞留水の回収・処理の取組み**

～水処理(放射能除去)の仕組み～

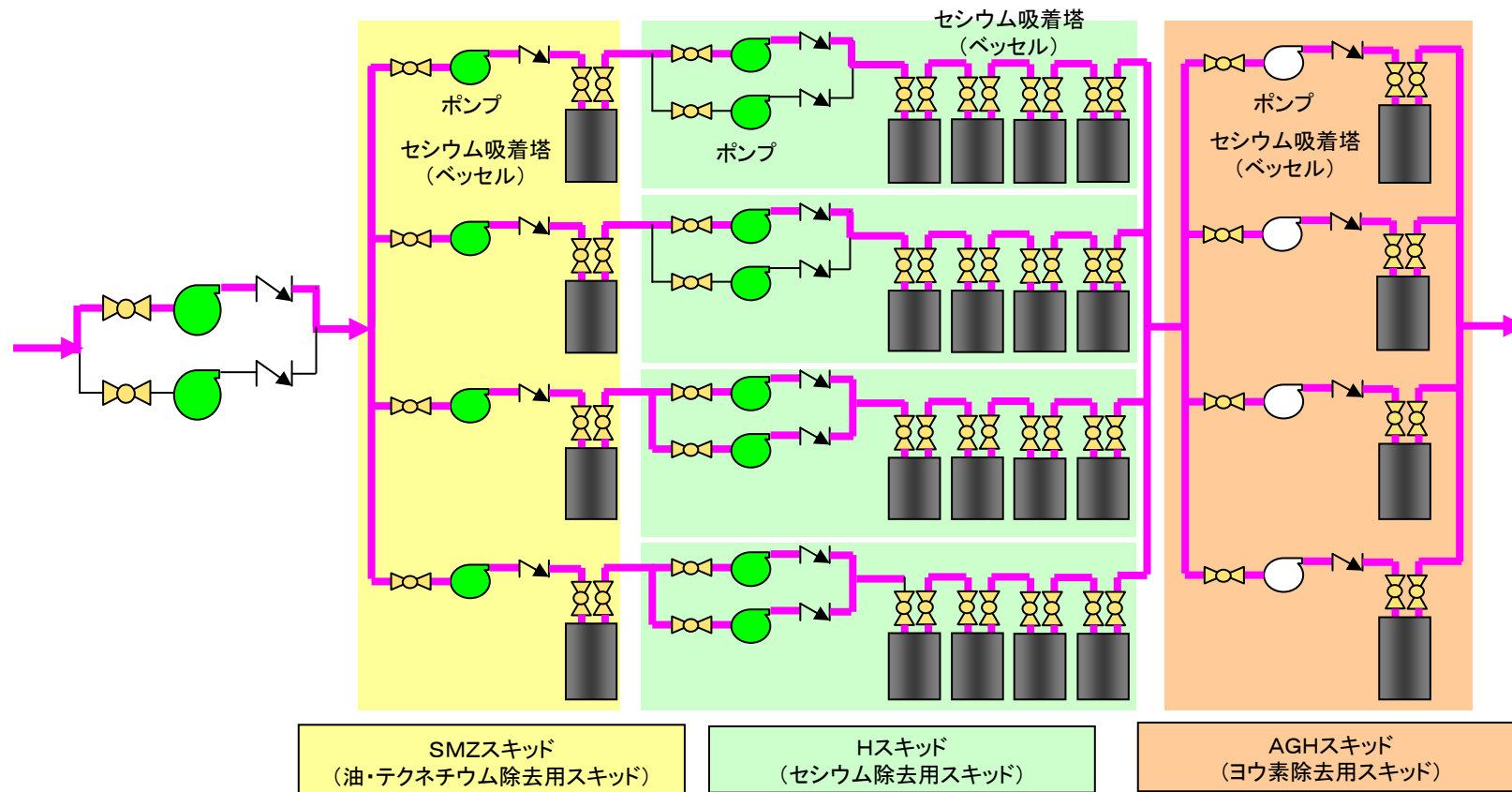
水処理の全体概要

- 高濃度の放射性物質を含んだ滞留水が大量に発生し、漏えいによる環境汚染、被ばくのリスクが高く対処するため設置
 - 滞留水の漏えい防止 → 放射性物質を移送・貯蔵する
 - 放射性物質の環境中への移行の防止 → 吸着させ固定化または凝集
 - 滞留水の発生を抑制 → 再循環する



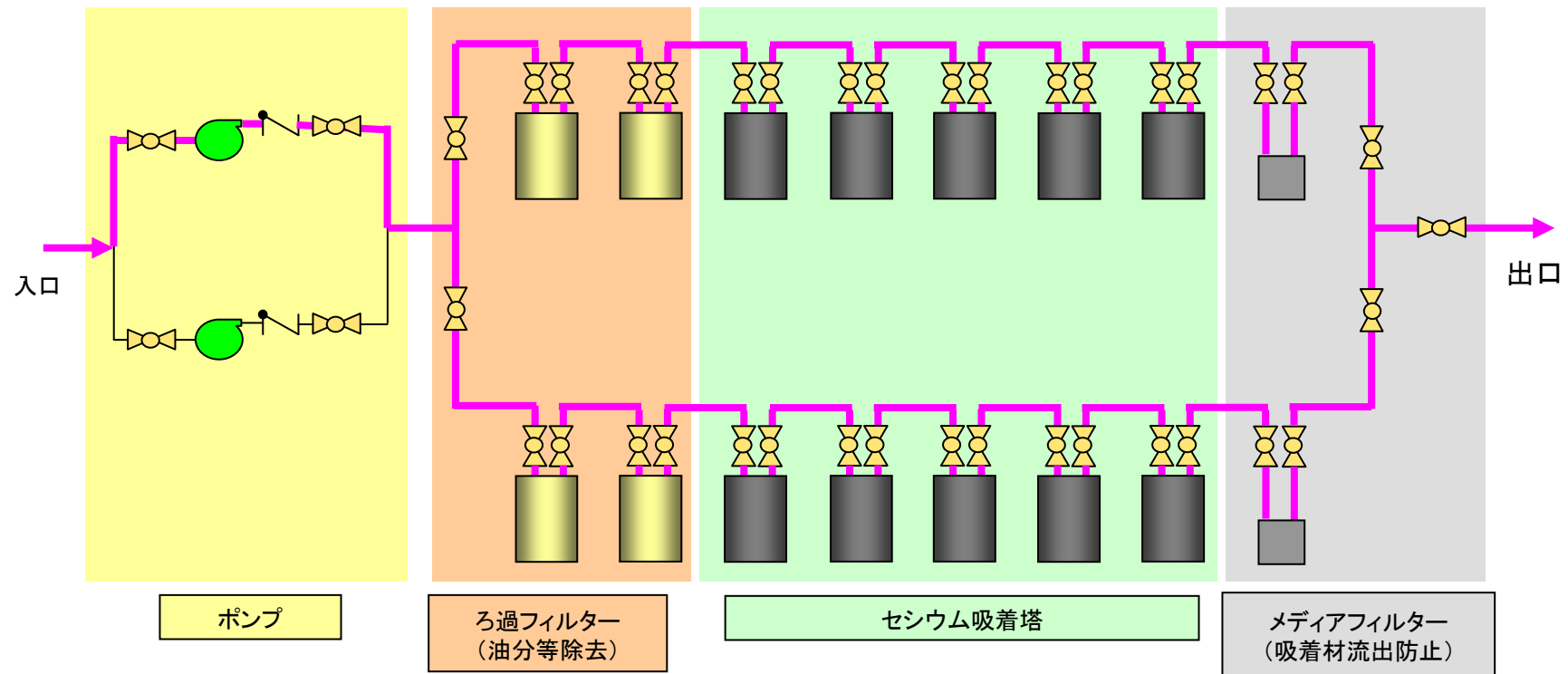
セシウム吸着装置（キュリオン社）

- セシウム吸着装置は、3種類の吸着塔により除染する。
- 4系列あり、装置への送り込みポンプ、各系列のポンプや弁により、15m³/h程度から50m³/hまで処理流量を変更できる。（1系列運転の場合、10数m³/hの低流量運転が可能）



第二セシウム吸着装置（サリー）

- 第二セシウム吸着装置は、2種類のフィルターと吸着塔により除染する。
- 2系列あり、各系列のポンプや弁により、25m³/h程度から50m³/hまで処理流量を変更できる。



放射性物質の固定化・凝集化①（吸着塔）

■吸着塔による除去

- 吸着剤を装着した吸着塔に滞留水を通して、放射性物質、汚染物質を除去
- 吸着剤には、基本設計として、油分・テクネチウム (Tc)、セシウム (Cs)、ヨウ素 (I) を除去するためにゼオライトを利用している。
 - ◆ ゼオライトのイオン交換作用を利用し、放射性物質であるセシウムなどを吸着し、水を浄化する。
 - ◆ ゼオライトは、アルミノケイ酸塩のなかで結晶構造中に比較的大きな空隙を持つものの総称であり、無機材料であり、耐放射線特性にも優れる。
 - ◆ 米国スリーマイル発電所での実績のあるゼオライト並びにそれらを改良したものを等を利用。

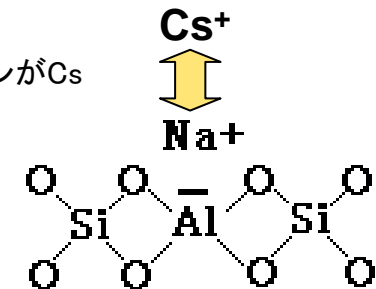


ゼオライトの例



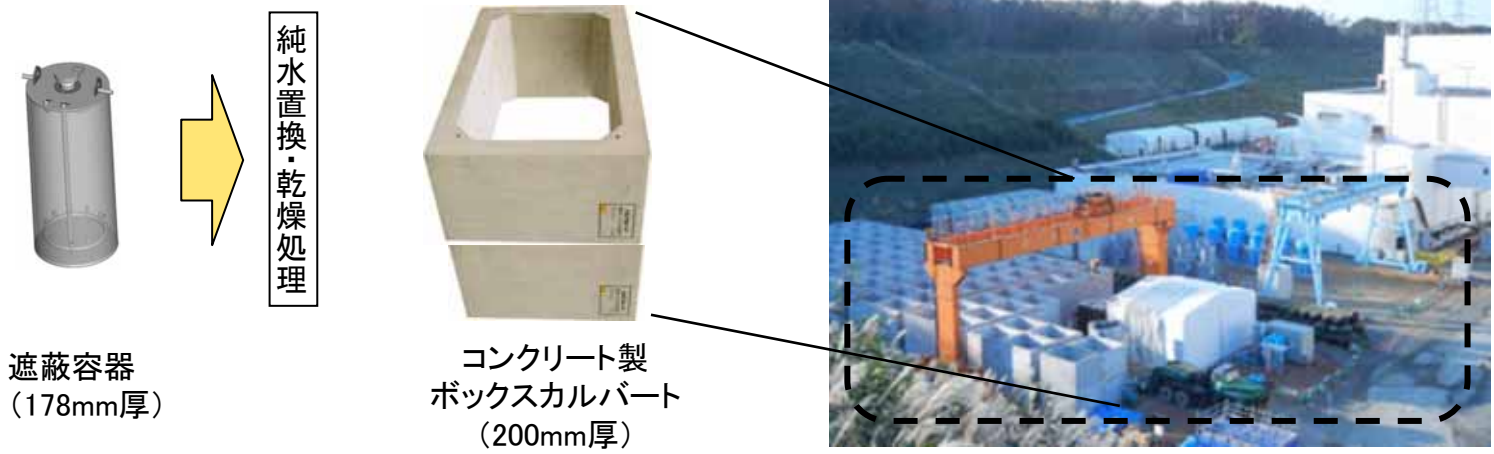
- ・ゼオライトは、アルミニウム(+3価)とケイ素(+4価)が酸素(-2価)を互いに共有し、ケイ素の周りは電氣的に中性、アルミニウムの周りは-1価となり、この負電荷を中和するように、骨格中に陽イオンが入ることができる。
- ・組成や立体構造の違いで、骨格中に入りやすい陽イオンが異なり、Cs+を選択的に取り込むゼオライトを利用する。

骨格中の陽イオンがCsに交換される



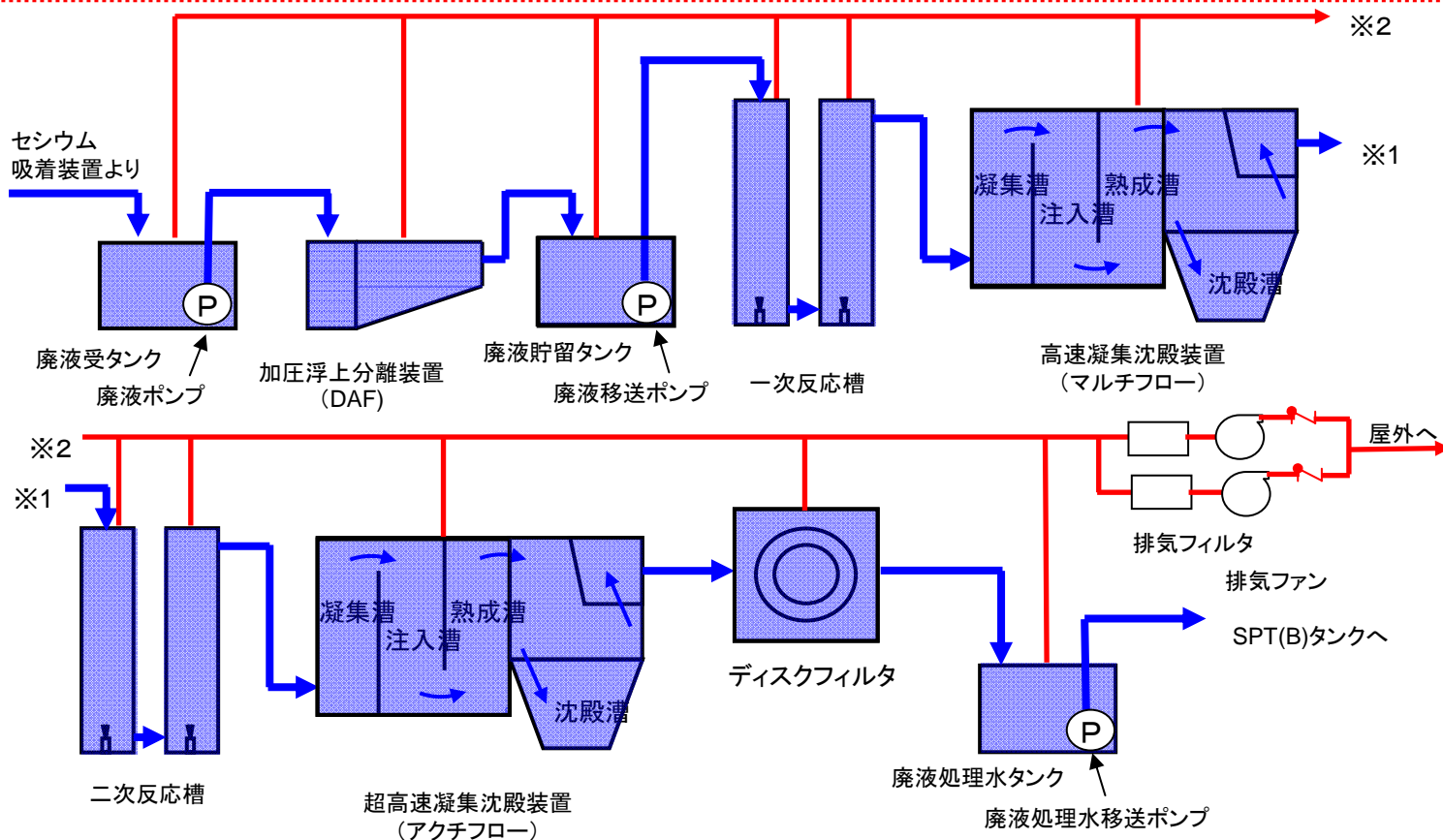
放射性廃棄物（廃ベッセル）

- 放射性除去した吸着塔（ベッセル）は、吸着した放射性物質を含む放射性廃棄物の保管容器として活用
 - 廃ベッセル（鉄製容器）＋コンクリート容器に入れ保管
 - 保管場所では、更に土のうなどにより線量を低減している。
- 循環注水冷却運転により、放射性物質、塩分除去が進み、ベッセル交換間隔が延びていることから、廃棄物量の発生率は低減。



除染装置（アレバ社）

- 除染装置は、加圧浮上分離装置(油分等除去)、凝集沈殿装置2段(マルチフロー、アクチフロー)、ディスクフィルタ(懸濁物等の流出防止)から構成されており、除染状況、装置状況により個別機器のバイパス運転が可能である。
- 流入量がなくなると自動的に待機し、また、ある程度流入すると処理を実施する。



放射性物質の固定化・凝集化②（凝集沈殿）

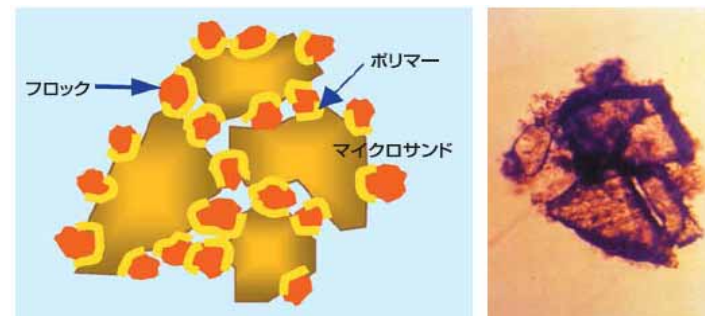
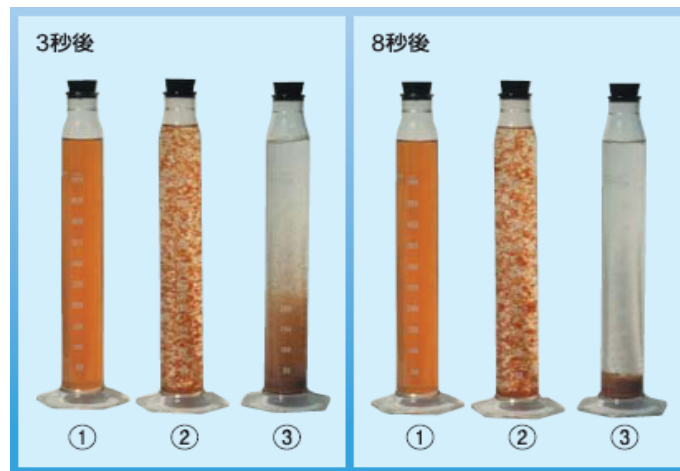
■凝集沈殿法による除去

- 吸着剤溶液にてセシウム（Cs）などの放射性物質を吸着し、凝集剤により、沈降させる。沈降した廃スラッジと処理後の上澄み水に分離され、上澄み水のみを流す。
 - ◆ 吸着剤は、アレバ社にて実績のあるものから実験し、選択
 - ◆ 凝集剤は、ヴェオリア社の水処理技術経験と実験により最適な物を選定調合

凝集沈殿の実験例

同一の汚染物質に対して、下記の各凝集剤を加えた場合の沈殿する状況の差を経過時間の差異で示したもの

- ①: 無機凝集剤のみを加えた場合
- ②: 無機凝集剤＋有機凝集剤を加えた場合
- ③: ②＋珪酸系凝集剤を加えた場合



凝集沈殿させる汚染物質(フロック)の例

放射性廃棄物（廃スラッジ）

- 廃スラッジは、プロセス主建屋内の放射性廃棄物（ペレット）貯槽に一時的に保管
 - 建屋地下階のペレット貯槽（1m厚のコンクリート製）に保管
(約580m³ 10/25時点)
 - ペレット貯槽は直接、地面と接する場所はなく、建屋壁または床が周囲にあるため屋外への廃スラッジの流出はないものと考えられる。
- 今後は、建設中のスラッジ貯蔵施設のセル室（1m厚のコンクリート製）に設置の鉄製タンク(25mm厚)に移送し保管する予定。〔貯蔵容量630m³ 更なる増設予定なし〕



製作中の鉄製スラッジ貯蔵タンク
(外観)



製作中の鉄製スラッジ貯蔵タンク
(内部)

水処理設備の変遷 (1/4) 装置の採用決定まで

- 3月11日 海水の流入
- 3月24日 3号機タービン建屋1階及び地下1階においてケーブル施設工事を実施していた協力企業作業員3名が170mSv以上の被ばく（高線量汚染水浸ったの作業のため）
- 3月24～27日 1～4号の滞留水をサンプリング。分析結果から高線量が存在することを確認。除去することを検討開始。
- 4月上旬 アレバより提案
→短期間で運用開始できる見込みであること、経験をもとにした除染性能、処理水量等から除染装置の採用を決定。
- 4月中旬 キュリオンより提案
→米国電力研究所（EPRI）と国内企業からの紹介があり、当初はセシウム吸着剤のみの購入の予定だったが、セシウム吸着装置一式の採用を決定。
- 5月上旬 東芝より提案
→大量の汚染水を遅滞なく処理し続けるために、処理設備のさらなる処理容量増強を目的に第二セシウム吸着装置の導入を決定



キュリオン社
セシウム吸着装置
平成23年6月8日
当社社員撮影

アレバ社
除染装置
(加圧浮上分離装置)
平成23年6月1日
当社社員撮影



水処理設備の変遷 (2/4) 水処理設備建設実績

- 4月30日 油分離装置、セシウム吸着装置、除染装置、淡水化装置（RO）装置からなる、水処理設備の設置を決定し、着工。
- 6月14日 試運転開始
- 6月17日 運転開始



Hスキッド
(セシウム吸着塔)
平成23年6月6日
当社社員撮影



ディスクフィルター
(除染装置)
平成23年6月5日
当社社員撮影



超高速凝集沈殿除染装置
(除染装置)
平成23年6月15日
当社社員撮影



反応槽
(除染装置)
平成23年6月7日
当社社員撮影

水処理設備の変遷 (3/4) 第二セシウム吸着装置建設実績

- 7月26日 第二セシウム吸着装置吸着塔の据付を開始。
- 8月16日 試運転開始
- 8月18日 運転開始



ベッセル移送
平成23年6月1日
当社社員撮影



ベッセル交換用クレーン
平成23年8月2日
協力会社社員撮影



セシウム吸着塔及びメディアフィルター
平成23年8月2日
協力会社社員撮影

水処理設備の変遷 (4/4) 設備改良・改善例

- 6月10日 セシウム吸着装置にて、配管接続部等からの漏えいを確認。
→耐放射性シール剤を使用し、コーキング処理を実施。
- 6月17日 除染装置の間欠運転時の信号により水処理システム全体が停止。
→間欠運転時のロジックを変更。
- 6月22日 セシウム吸着装置にて、AGHスキッドの出口付近における放射線量が増加。
→全弁を点検。弁の一つの開閉表示に誤りを発見し、修正。
- 7月10・12・13日 除染装置の薬液注入ライン接続部が損傷し、薬液が漏えい。
→接続部を塩化ビニル製からステンレス製に交換。
- 8月4・7日 除染装置の薬液注入ポンプが停止し、予備機の自動起動に失敗。
→薬液注入ポンプの最低回転数を変更し、予備機起動信号のロジック変更。
- 9月8日 第二セシウム吸着装置にて、隣接する制御盤の警報音を勘違いし、非常用停止ボタンを操作。
→運転操作にかかる手順や注意事項の再教育、事例共有を実施。

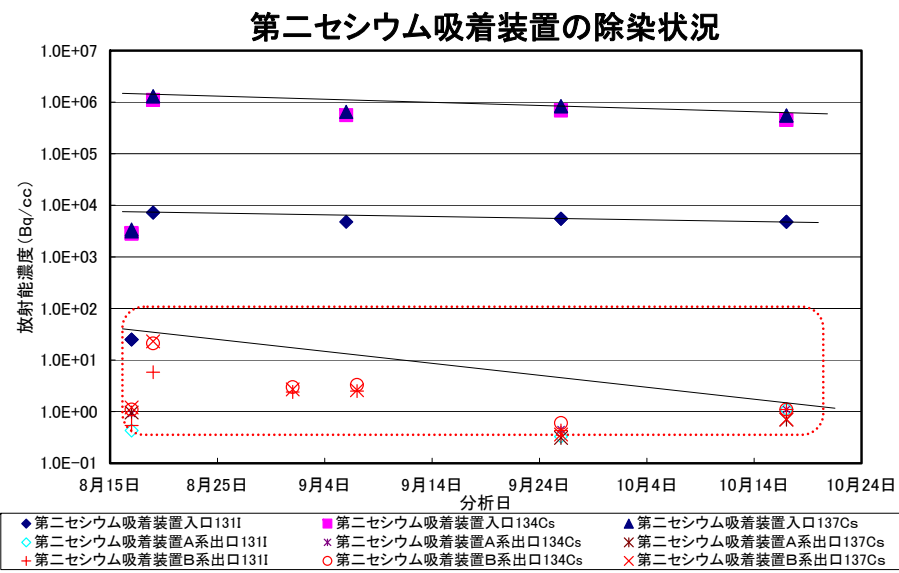
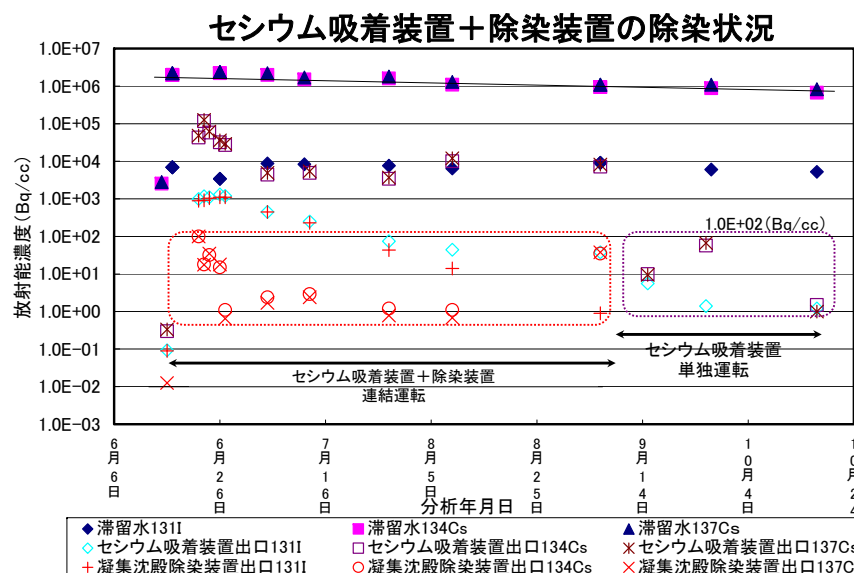


運転開始からしばらくの間、様々な不具合・トラブルが発生したが、それぞれ再発防止対策を講じ、安定した運転を実現

放射性物質の除去実績

■ 放射性物質の状況

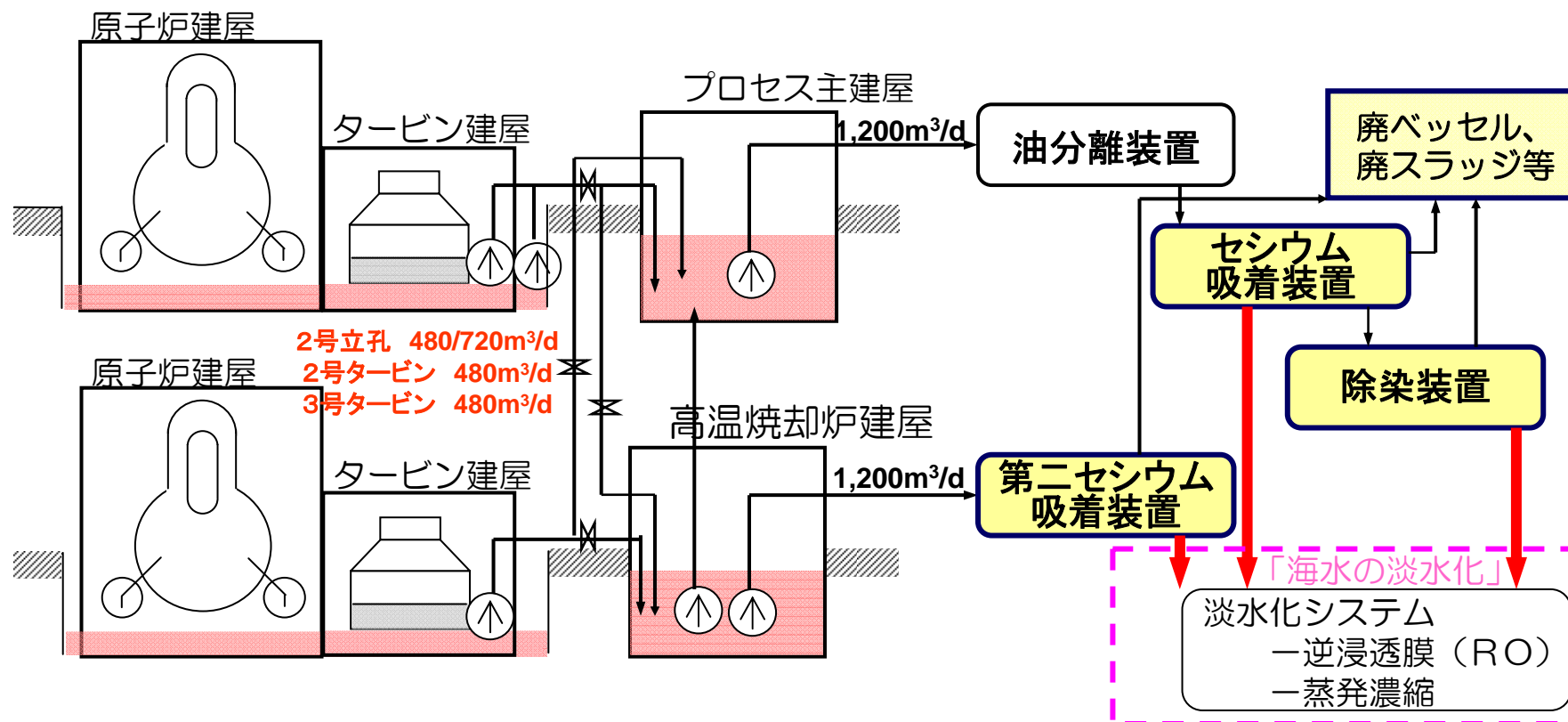
- 開発当初（タービン建屋、立坑などの分析結果等から）
 - ◆ 高濃度放射能……線量1,000mSv/h以上
 - 主要核種……号機により濃度に差異があるが、放射能の濃度により、 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs を主要核種と想定
- 除去
 - ◆ 主要な核種の除去を計画



滞留水のセシウム濃度は、低下傾向
 連結運転、単独運転でも、淡水化装置(RO)受入目安である $1.0\text{E}+02\text{Bq/cm}^3$ 未満に除染
 第二セシウム吸着装置は、除染後の濃度も低下傾向

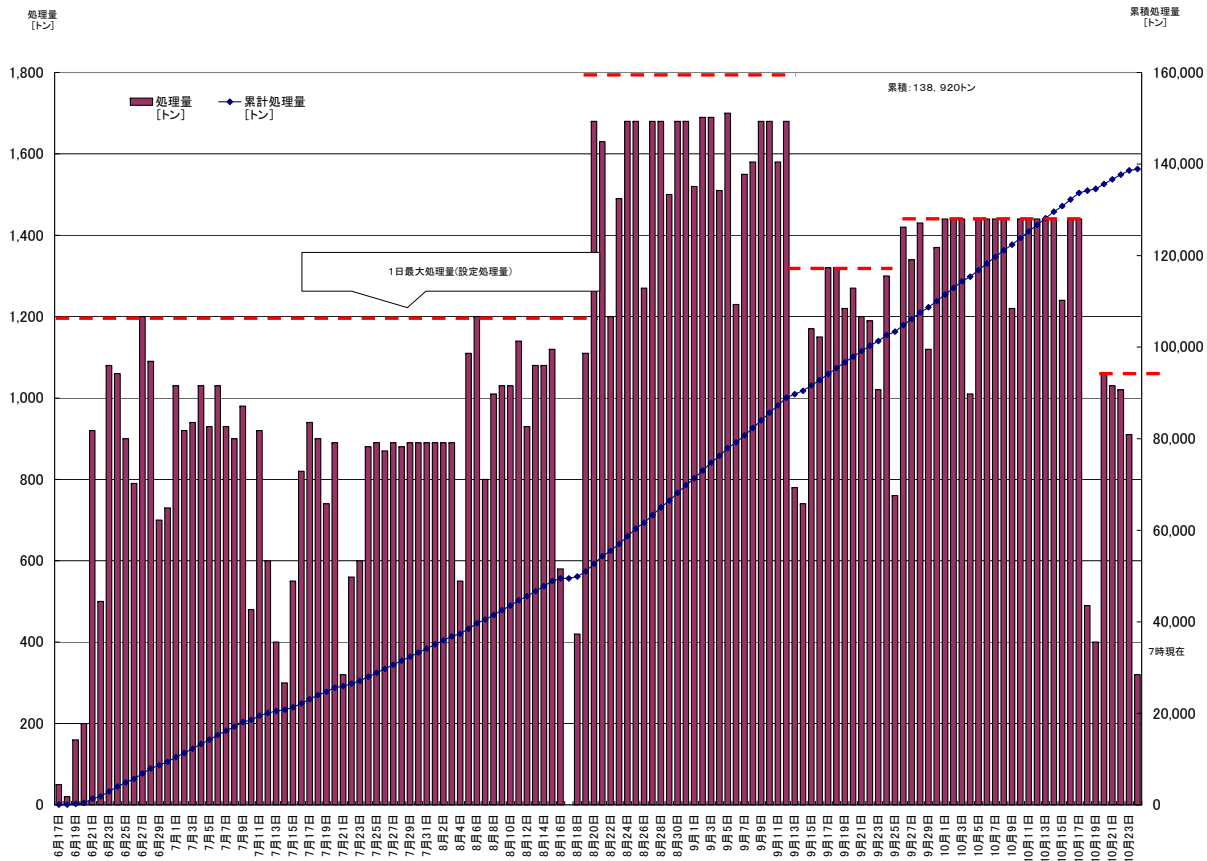
処理容量と貯蔵容量

- 処理量……～71m³/h (1,692m³/d) まで実績有り。
 - 冷却水量を確保、流入分も処理し、建屋内水位を維持する
- 貯蔵量……1号～4号計約7.7万m³、プロセス主+高温焼却炉約1.7万m³ (10/25時点)
 - 原子炉建屋、タービン建屋、プロセス主建屋・高温焼却炉建屋にて貯蔵
 - 6月下旬当時 約12万m³貯蔵していたが現在、約9.4万m³
- 最近は、2, 3号タービン建屋水位がOP3m程度を維持できている。



水処理実績

- 約14万m³の水を処理し、淡水化（10/25時点）
 - 6月14日 セシウム吸着装置、除染装置、試運転開始
 - 6月17日 同装置、運転開始
 - 8月16日 第二セシウム吸着装置、試運転開始
 - 8月18日 同装置、運転開始



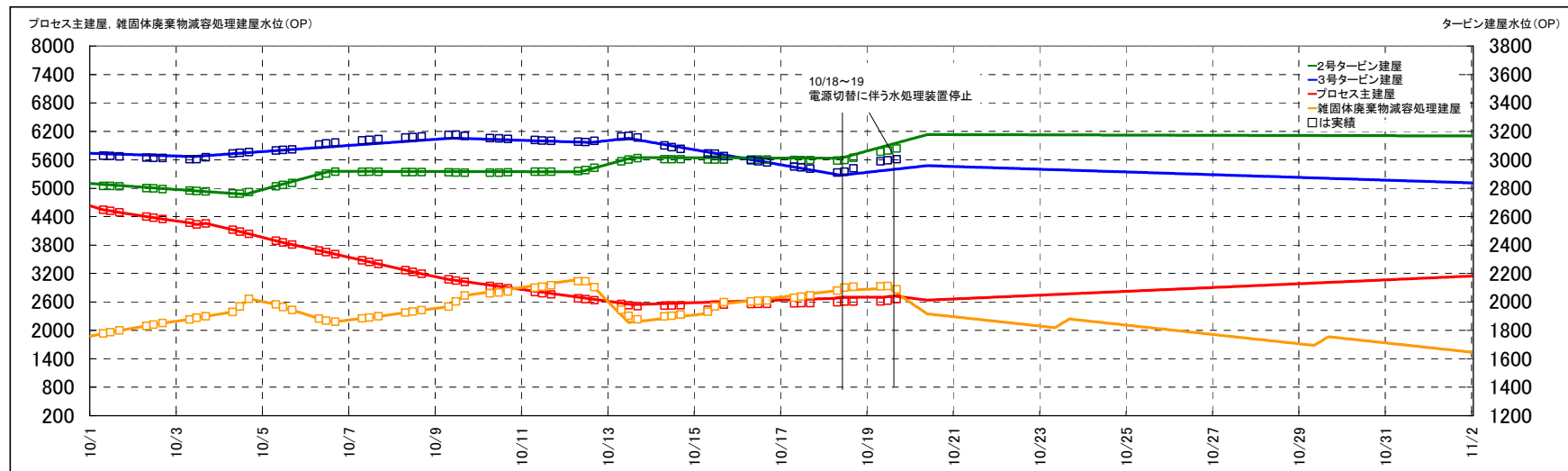
水処理の現状と今後の方針

■ 建屋水位と処理量

- タービン建屋の水位は、低下傾向でありOP3mをほぼ維持している。
- プロセス主建屋、高温焼却炉建屋の水位は、維持
- 50m³/h程度で処理

- 放射性廃棄物量の発生を抑えるため、第二セシウム吸着装置を主体に運転し、セシウム吸着装置を単独でその補助とし、凝集沈殿装置は、更なるバックアップとして当面運用していく方針

2. 3号機タービン建屋およびプロセス主建屋, 雑固体廃棄物減容処理建屋の水位変動グラフ



水処理の今後の設備対策

■ 腐食対策

- 犠牲電極の設置、防食塗装の実施、腐食評価等を実施して設置
- 脱塩が進んでいるものの、今後の使用に耐え得るか設計上の評価を実施し、補修工事等を進める。

■ 水素ガス対策

- 水の放射線分解により水素ガスが発生する。
⇒排気装置の設置、掃気装置（コンプレッサーなど）の設置、乾燥・置換の実施

■ 放射性物質対策

- 放射性物質の更なる除去を目指して、新たな処理装置の検討や選択を実施中



除染装置
排気装置外観



除染装置
コンプレッサー外観