

# 福島第一原子力発電所 汚染滞留水処理技術の開発

2012年 3月 7日  
株式会社 東芝



東芝グループは、持続可能な  
地球の未来に貢献します。

# 目 次

---

1. はじめに

2. SARRY<sub>TM</sub>のシステム構成

3. 開発内容・評価

4. 今後の対応

# 目 次

---

1. はじめに

2. SARRY<sub>TM</sub>のシステム構成

3. 開発内容・評価

4. 今後の対応

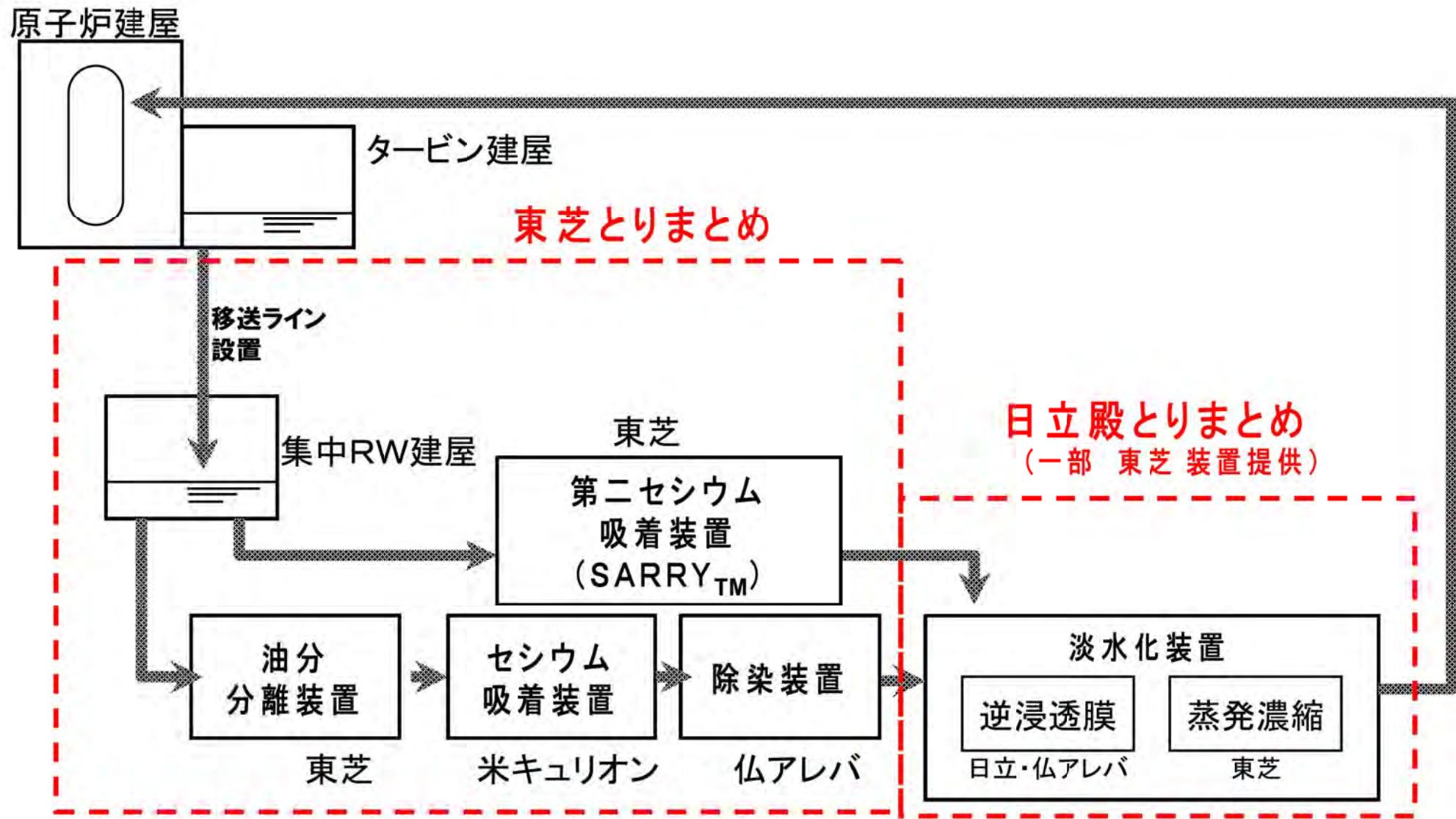
# 1. はじめに：滞留水処理の考え方

- 滞留水の循環による原子炉冷却注水システム構築
  - ・放射性核種の除去(DF:  $10^6$ 以上\*)
  - ・海水成分等の不純物の除去(油分、塩素等)
  - ・除去により発生する廃棄物の最小化
- 滞留水の環境への漏えい防止
  - ・必要処理量の確保による水位の安定化
  - ・安定な運転性能の確保(高稼働率)
- 短期間での設置による運用(梅雨・台風対応)

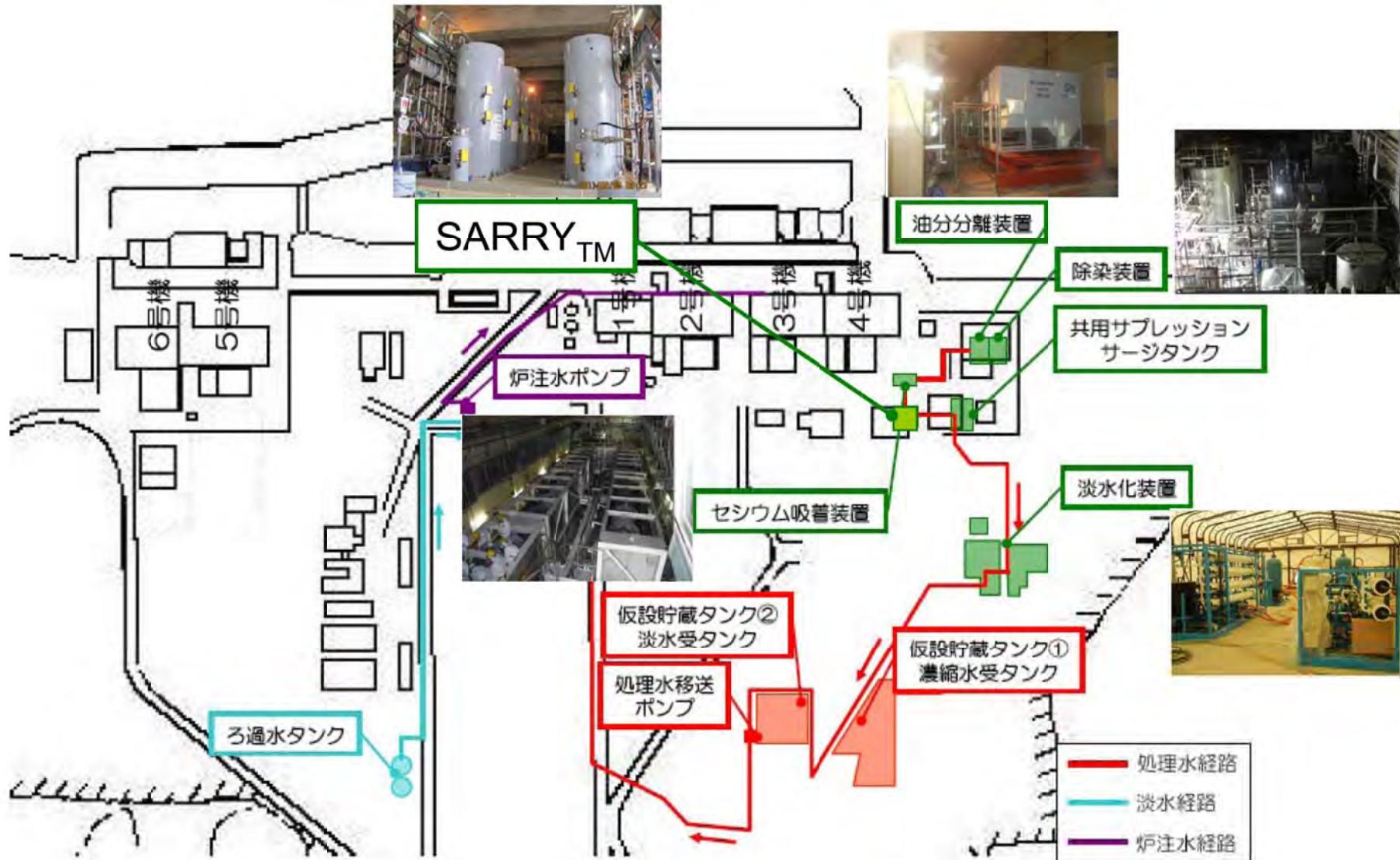
汚染水の処理で実績のある技術の導入

\* : 除去操作前の放射性核種濃度( $\text{Bq}/\text{cm}^3$ )／除去操作後の放射性核種濃度( $\text{Bq}/\text{cm}^3$ )

# 1. はじめに：滞留水処理装置(現行システム)の全体概要



# 1. はじめに：滞留水処理装置 配置図



出典: 東京電力殿発表資料

# 目 次

---

1. はじめに

2. SARRY<sub>TM</sub>のシステム構成

3. 開発内容・評価

4. 今後の対応

## 2. SARRY<sub>TM</sub>のシステム構成 (1) 目的

### ・第二セシウム吸着装置(SARRY<sub>TM</sub>\* )

Simplified Acitive water Retrieve and Recovery System

- 米国実績に基づくShawの提案を受け、当社が共同して系統を設計、機器製作をShaw、東芝、IHIで分担

### ・目的

- 水処理設備の安定性・冗長性向上
- 既存処理装置と組み合わせ、さらに放射能レベルを低減

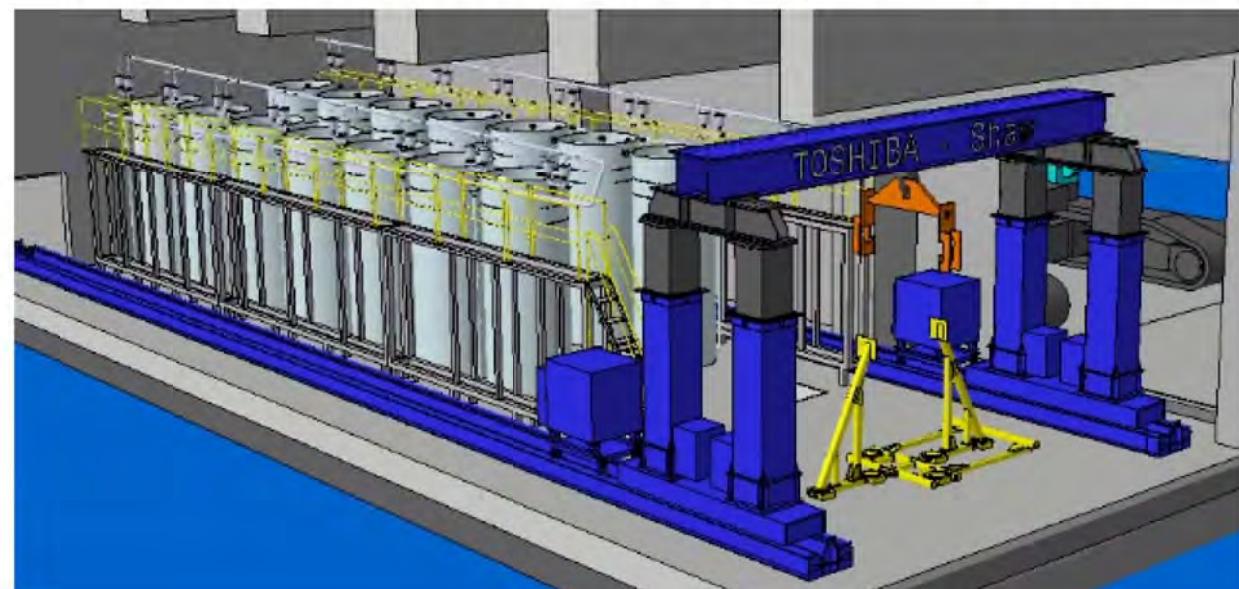


図1. システム鳥瞰図

## 2. SARRY<sub>TM</sub>のシステム構成 (2) 処理の考え方

---

### ● 高稼働率の維持

- ・海水成分存在下でのセシウム除去性能
- ・シミュレーションにより最適運転手法の事前評価
- ・冗長性(既設装置との整合)
- ・廃棄物量確認(交換頻度)
- ・メンテナンスを考慮した設計(遮蔽等)

### ● 安全性の確保

- ・放射線量率、発熱、水素発生に関する対策

### ● 建設計画の確実な遂行

- ・特殊機器の排除
- ・ユニット化(現地工事の最小化)

## 2. SARRY™のシステム構成 (3) システム概要

### ● システム構成

・構成: 砂ろ過フィルタ(2塔) + 吸着塔(5塔)

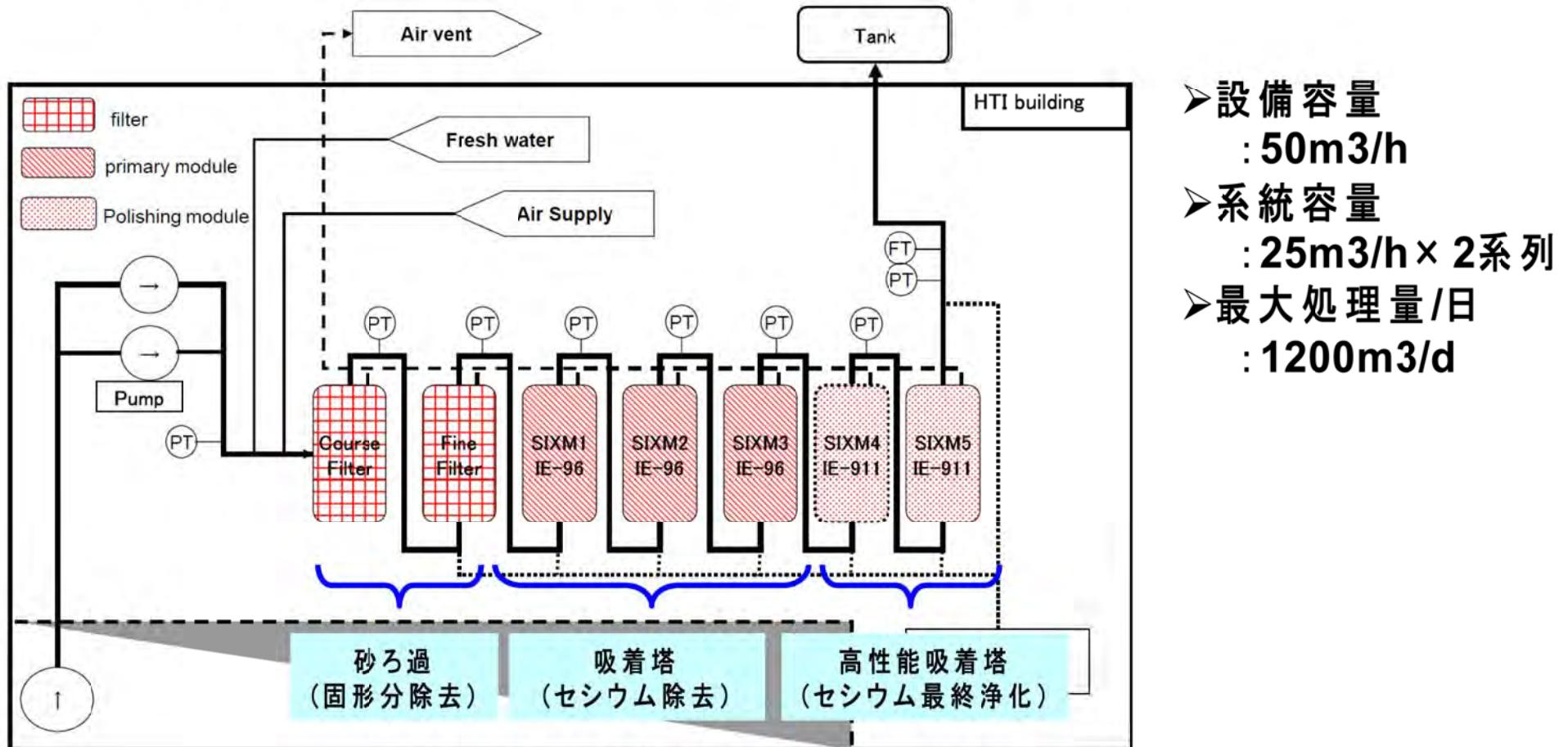


図2. システム全体概要

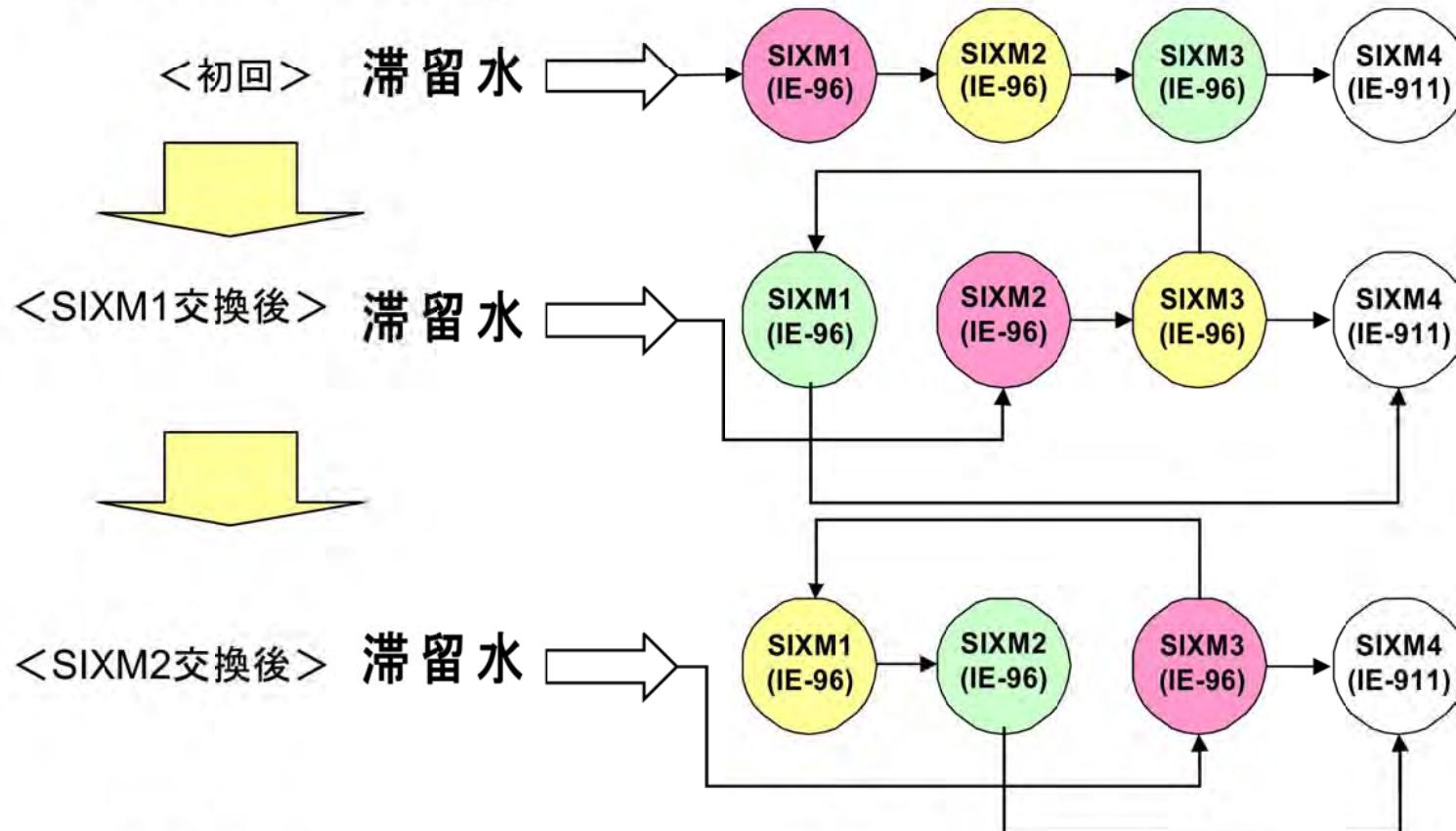
\* 遮蔽付イオン交換モジュール吸着塔(略称:SIXM)

## 2. SARRY<sub>TM</sub>のシステム構成 (3) システム概要

### ● 吸着塔交換

- ・吸着塔は、DFもしくはCs吸着上限量に達したら交換する。

メリーゴーランド方式



吸着塔の順番変更で、各吸着塔のCs吸着量バラつきを低減  
⇒ 吸着塔を有効に利用

## 2. SARRY<sub>TM</sub>のシステム構成 (3) システム概要

### ● 吸着塔交換条件

項目	判定条件	目的
セシウム吸着量	吸着上限 $6 \times 10^{15} \text{Bq}$	吸着塔中心の温度上昇防止 (500°C)
セシウム入口／出口濃度比	<u>1.5以下 (SIXM 1塔目)</u> <u>64以下 (SIXM 3塔目)</u>	吸着能力維持
セシウム出口濃度	<u>10Bq/ml以上</u> (SARRY出口)	吸着能力維持
SIXM表面線量	<u>2mSv/h以上</u> (SIXM表面から30cm)	作業員の被ばく防止

## 2. SARRY<sub>TM</sub>のシステム構成 (4) 吸着塔構造

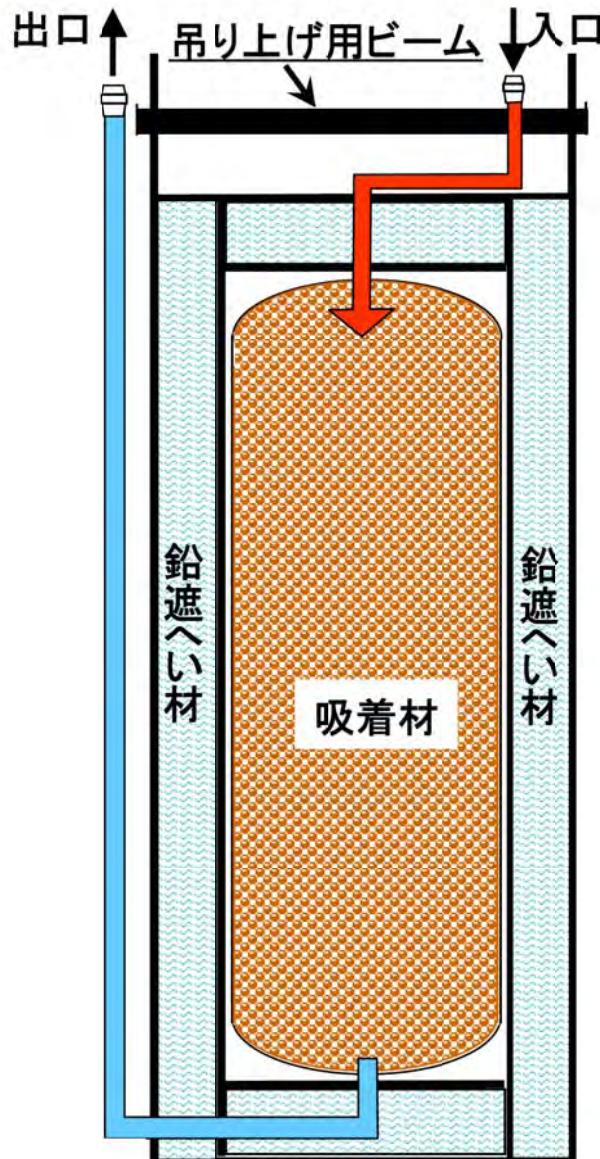


図3. SIXM構造概要



図4. SIXM外観

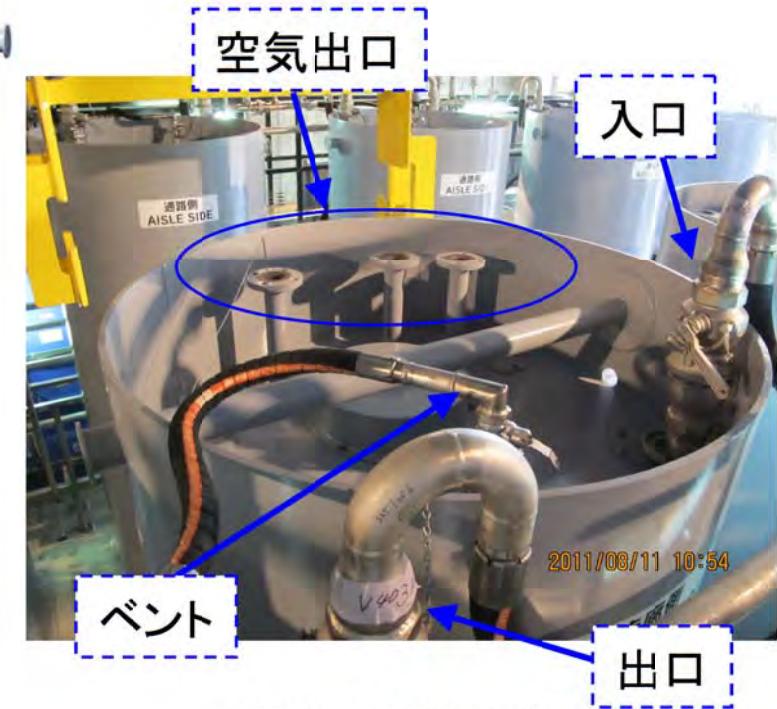


図5. SIXM上部

# 目 次

---

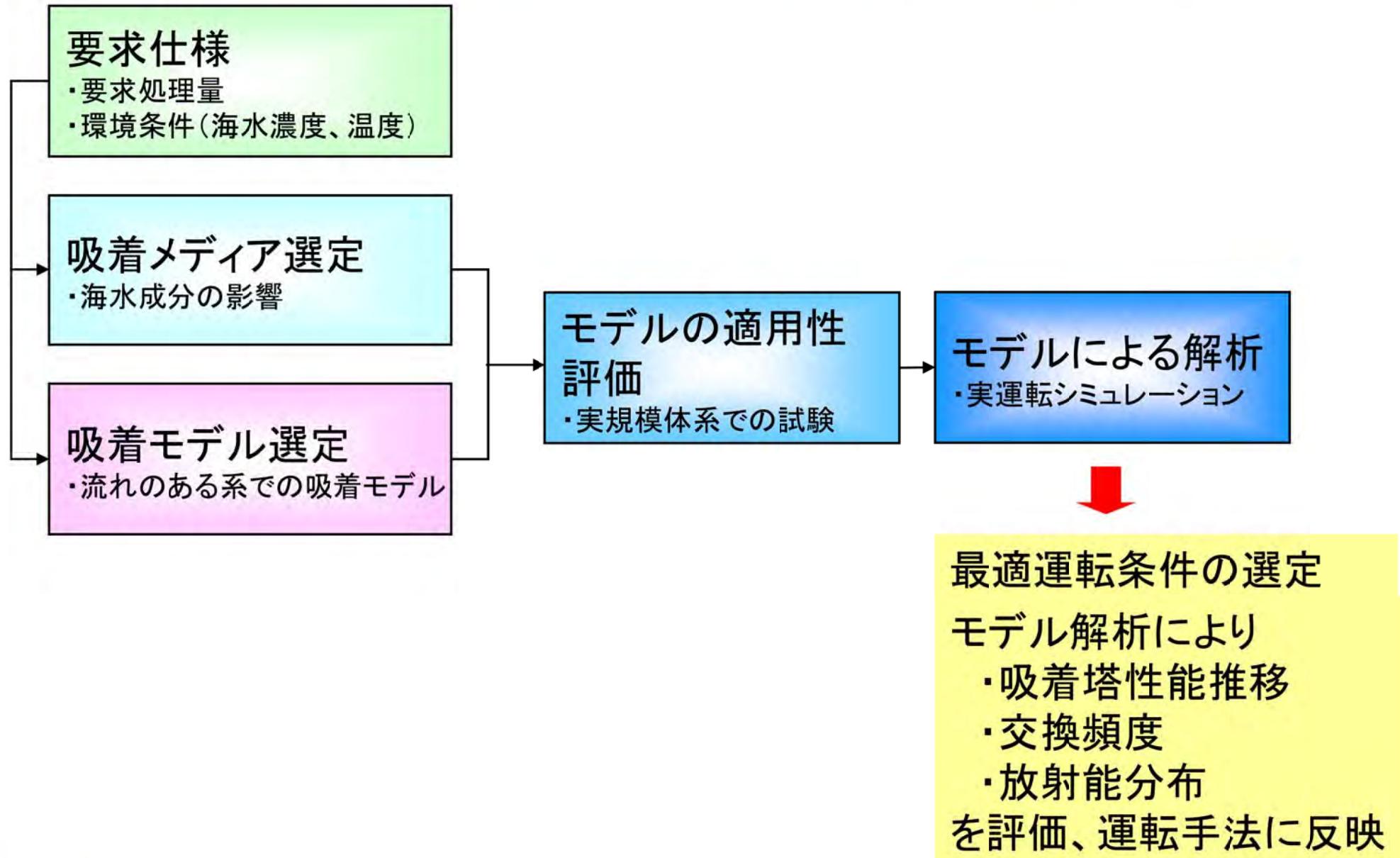
1. はじめに

2. SARRY<sup>TM</sup>のシステム構成

3. 開発内容・評価

4. 今後の対応

## 2. 開発内容・評価 (1) 最適運転条件の設定



### 3. 開発内容・評価 (2) 吸着材選定

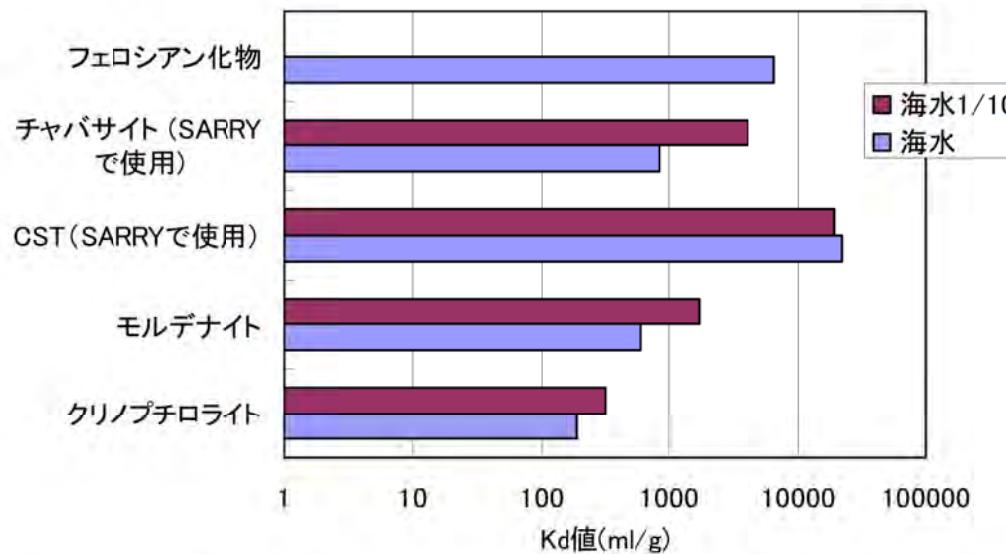
#### ①海水中Csの吸着性能

CST\*>フェロシアン化物>チャバサイト>モルデナイト>..

#### ②Csの吸着性能は海水塩濃度に依存(濃度1/10で吸着性能増加)

海水中のNaイオンによりCsイオンの吸着量は低下

\* 結晶性ケイチタン酸塩 Crystalline silicotitanates



原子力学会データは<http://www.nuce-aesj.org/index.php?id=projects:clwt:start>

#### 試験条件

V/M: 40~500  
(V: 40~100ml, M: 0.2~1g)  
温度: 室温、浸漬時間: 72時間以上

#### 評価方法

$K_d = (C_i - C_f)/C_f \times V/m$   
Ci: 初期Cs濃度  
Cf: 反応後のCs濃度  
V: 溶液量 (ml)、m: 吸着剂量 (g)



チャバサイト



結晶性ケイチタン酸塩

### 3. 開発内容・評価 (3) 吸着モデル開発

#### ■ 吸着現象のモデル化

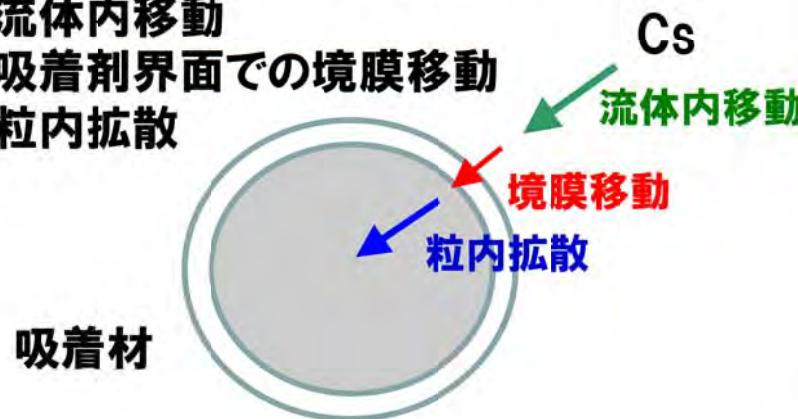
流れのある系での吸着材への放射性核種の吸着モデルを適用

参考文献: J.B. Rosen, "Kinetics of a Fixed Bed System for Solid Diffusion into Spherical Particles.", J. of Chem. Phys. vol.20-3. (1952)

#### 【モデルの考え方】

吸着材でのCsの吸着現象を以下で整理

- ・流体内移動
- ・吸着剤界面での境膜移動
- ・粒内拡散



#### 【モデル式】

$$\frac{C_{out}}{C_{in}} = \frac{1}{2} \left[ 1 + erf \left( \frac{(3Y/2X)-1}{2\sqrt{\nu/X}} \right) \right]$$

$$X = \frac{3D_p \rho_p K_d (1-\phi) z}{\phi u b^2}$$

$$\nu = \frac{D_p \rho_p K_d}{h_f b}$$

$$Y = \frac{2D_p}{b^2} (t - z/u)$$

$D_p$ : 吸着材の粒内拡散係数 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )

$\rho_p$ : 流体密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$K_d$ : Cs核種分配係数 ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )  
(平衡吸着時)

$\phi$ : 空隙率 (-)

$Z$ : 吸着塔長さ (cm)

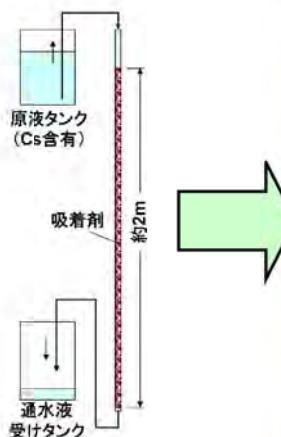
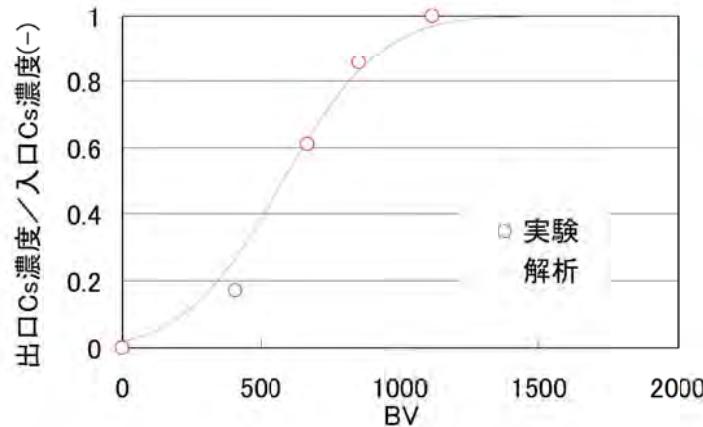
(=滞留時間と一意に相関)

$u$ : 線流速 ( $\text{cm}/\text{s}$ )

$b$ : 吸着剤の粒径 (cm)

$h_f$ : 境膜物質移動係数 ( $\text{cm}/\text{s}$ )

(このモデルの考え方では、滞留時間が決まると、自動的に線流速も決まる)



- 放射性核種の吸着モデルは試験結果とよく一致することを確認。
- SARRY<sup>TM</sup>の運転手法を本モデルにより選定。
- 安全性確保のために条件選定にも活用。

### 3. 開発内容・評価 (4) Cs除染性能

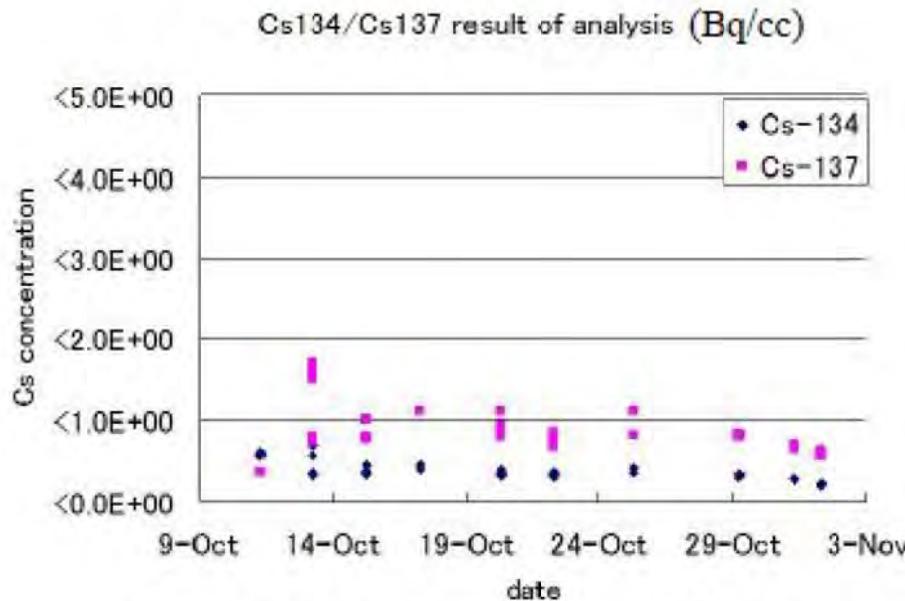


図6. 処理液中のCs濃度の経時変化

- Cs134,137とも2Bq/ml以下の値を示し、Cs除去性能は安定に推移した。
- 1F分析装置の分解能以下のCs濃度を示しており、Cs濃度分解能の値をプロットしている。
- 2011/9/26処理時のCs入口濃度は $2.6 \times 10^6$ Bq/ml、出口濃度は0.6Bq/ml以下で、除染係数は $4.3 \times 10^6$ 以上を達成。

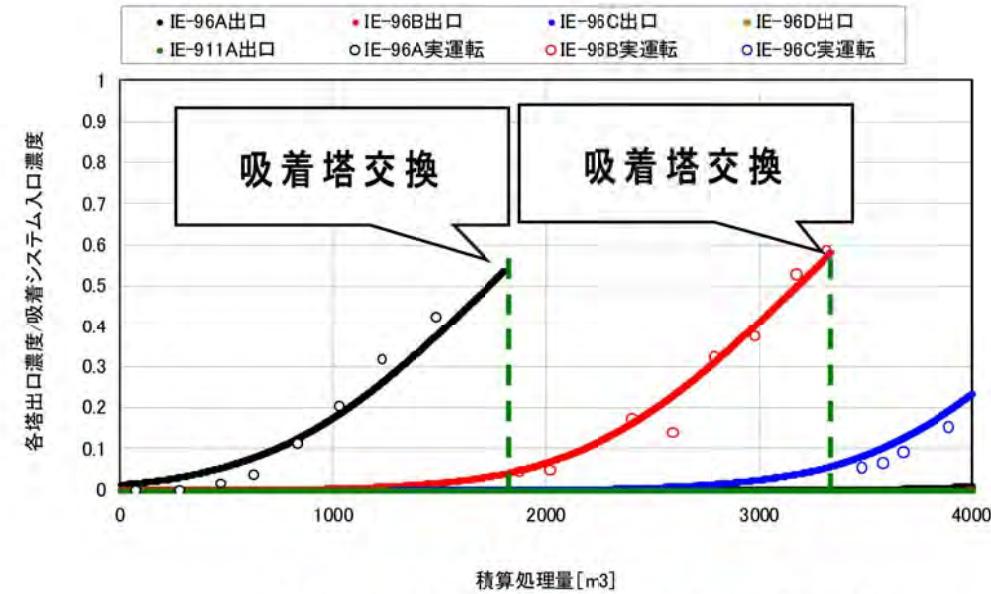


図7. 実測値と解析値との比較

- 設計検証値(実線)と実機分析値(○:プロット点)は概ね一致した。  
⇒ 吸着モデルの妥当性確認  
(シミュレーション可能)  
吸着塔交換時期の計画

※分析データ(Cs濃度:  $4.6 \times 10^{-6}$ mol/l、塩素濃度: 7400ppm)より  
 $Kd=1500\text{ml/g}$ を算出

### 3. 開発内容・評価 (3) 安全性確保の考え方

#### <放射線量率評価>

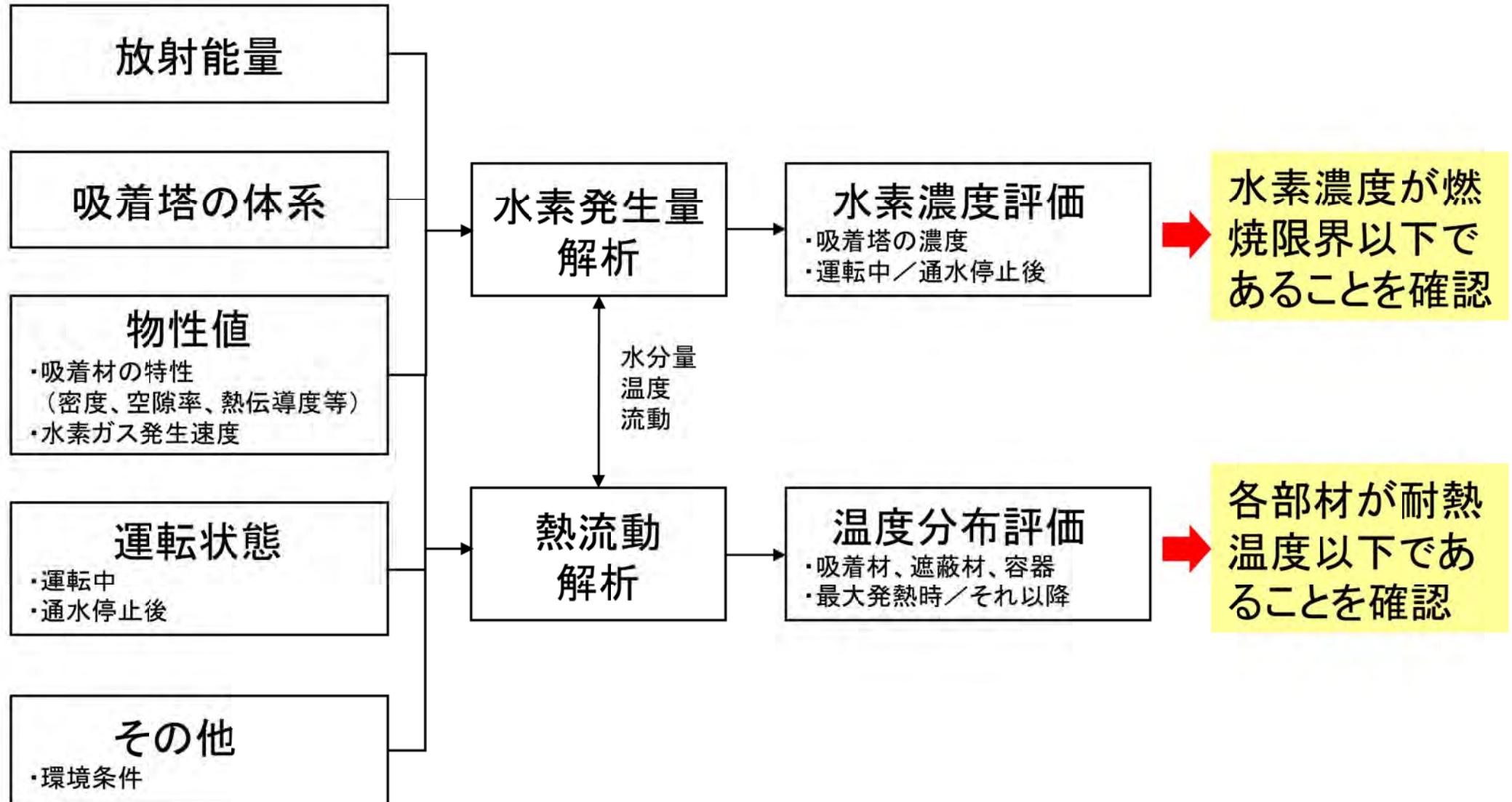
- 運転時および保管時の安全性確保
  - ・作業員の被ばく低減(建屋内、装置周辺)

#### <発熱量および水素発生量評価>

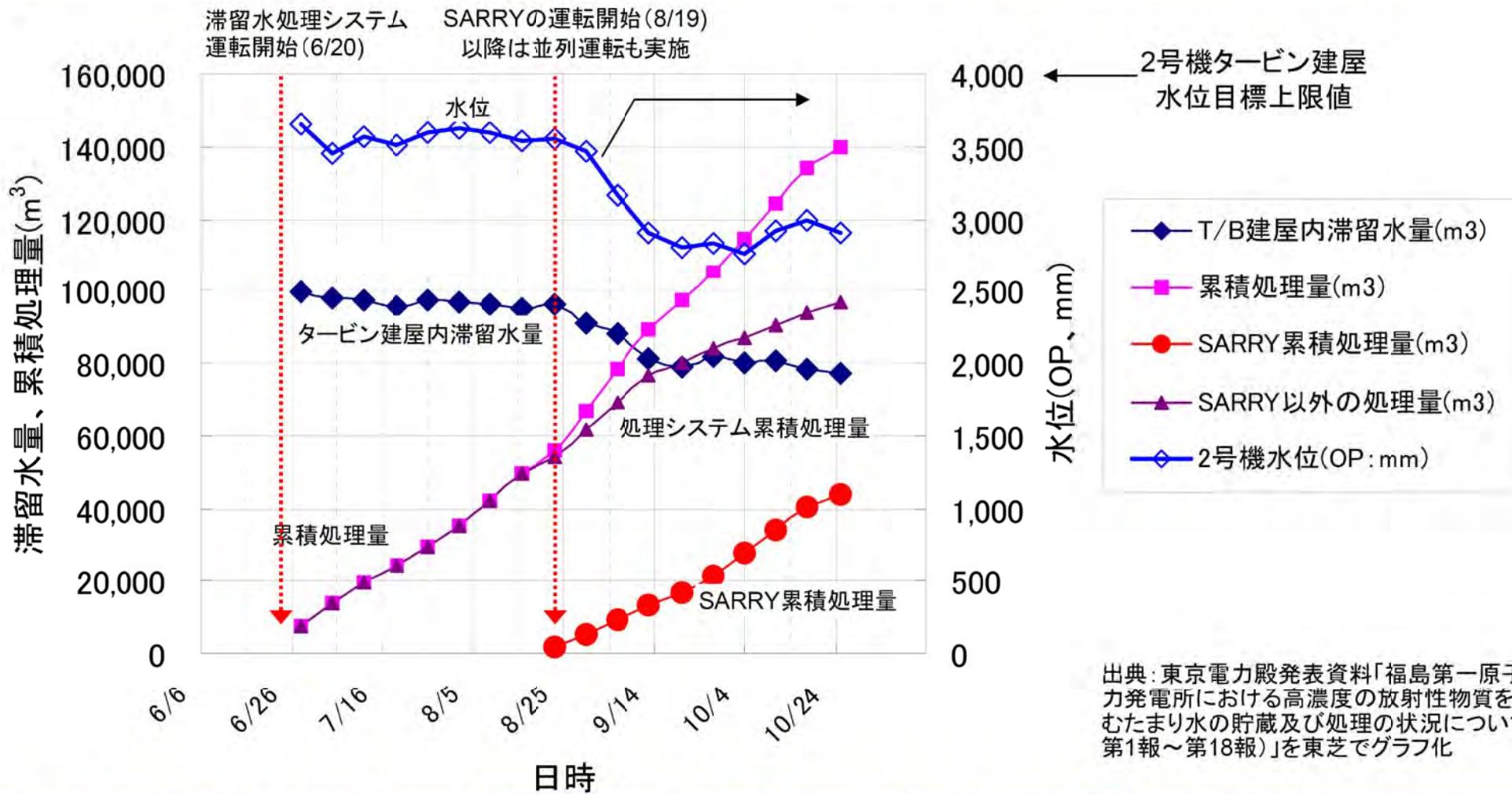
- 運転中や通水停止後における安全性確保
  - ・熱 : 最も厳しい条件において吸着材や鉛遮蔽材への影響
  - ・水素 : 運転中および通水停止後の水素濃度

想定される条件での安全性を検討し確認

### 3. 開発内容・評価 (4) 水素濃度および温度評価



### 3. 開発内容・評価 (5) SARRY<sub>TM</sub>導入による効果



- SARRY<sub>TM</sub>運転に伴い推移が大幅に低下、漏洩リスク低減に貢献
- 稼働率90%以上を達成、放射能DFは10<sup>6</sup>以上を達成し、原子炉冷却に活用
- 廃棄物発生量低減を達成  
(2012/2/21現在、使用済み吸着塔358本の内SARRY<sub>TM</sub>分は32本)

# 目 次

---

1. はじめに

2. SARRY<sub>TM</sub>のシステム構成

3. 開発内容・評価

4. 今後の対応

## 4. 今後の対応

---

本設備の稼動期間は1年での設計としていたが、3年からそれ以上の利用も計画されている。

今後は、

- ・セシウム濃度の低下、塩濃度の低下に伴う、交換頻度の見直し
  - ・吸着塔構造の見直し(コスト削減等)
  - ・塩濃度減少に伴う、最適なメディアの選定
  - ・廃吸着塔の処理
- の検討を進めていく。

今後も汚染水を浄化して、福島第一発電所の安定化に貢献していきたい。

---

**TOSHIBA**  
Leading Innovation >>>