

PWRプラントへの高温電気脱塩技術の適用

(社)日本原子力学会 水化学部会 第14回定例研究会

**(株)東芝 磯子エンジニアリングセンター
宮崎豊明**

2011年 10月18日

発表内容

1. PWR二次系水質管理
2. PWR二次系の浄化系
 - 2.1 復水脱塩塔とSGブローダウン浄化系脱塩装置
 - 2.2 PWR二次系浄化系の課題
 - 2.3 課題に対する解決策
3. 開発目標と課題
 - 3.1 高温電気脱塩の概念
 - 3.2 これまでの高温電気脱塩の研究
 - 3.3 PWR二次系適用時の課題
4. 基礎試験
 - 4.1 基礎試験条件
 - 4.2 基礎試験結果
 - 4.3 基礎試験結果考察
 - 4.4 実機規模試験に向けた改善
5. 実規模試験
6. 高温電気脱塩装置の実機適用例
7. まとめ

1. PWR二次系水質管理

目的

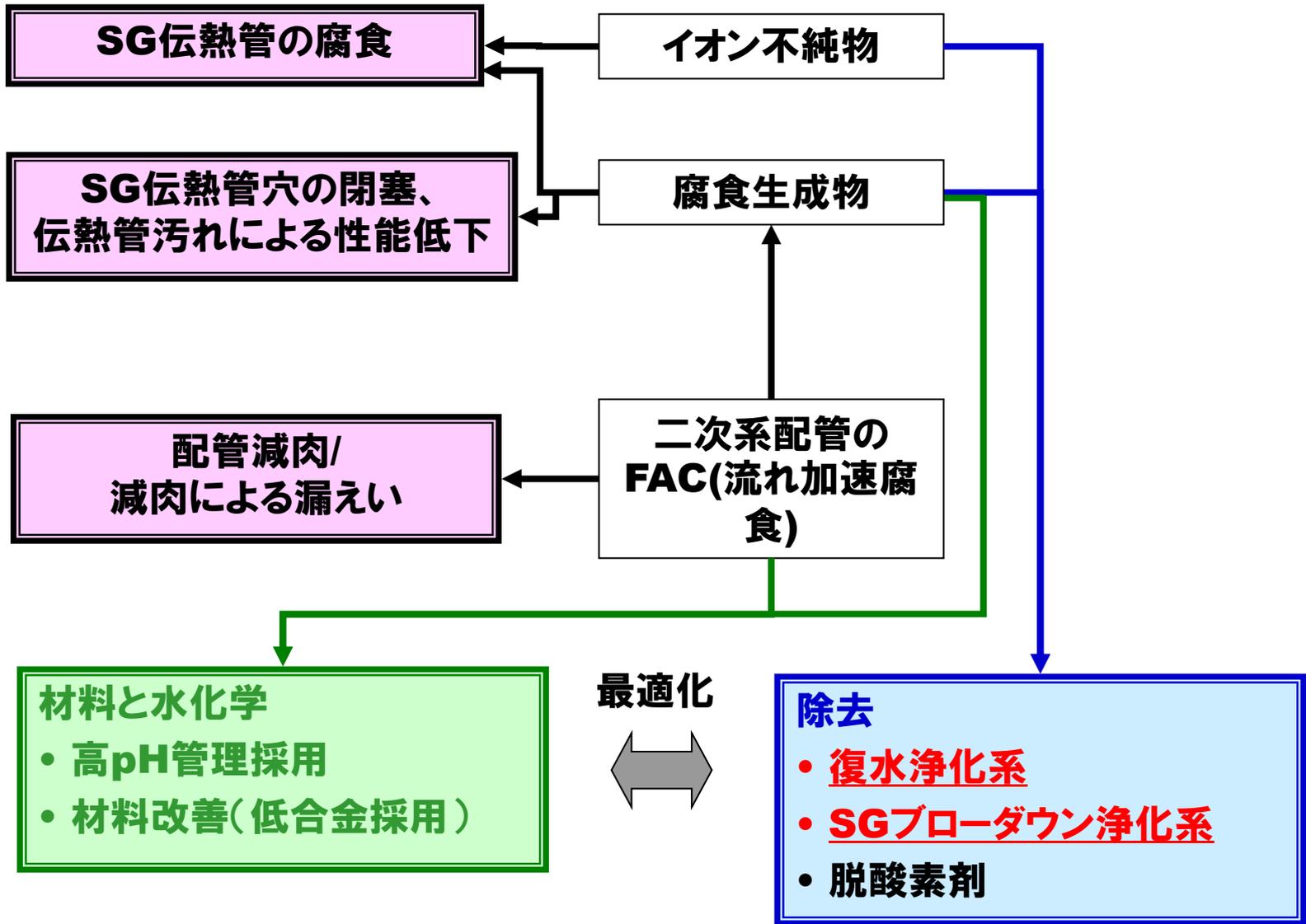
SG健全性とその性能向上、タービン系配管の健全性向上

- SG健全性と配管減肉の両者を抑制
- 材料仕様最適化によるプラント初期コスト、メンテナンスコスト低減

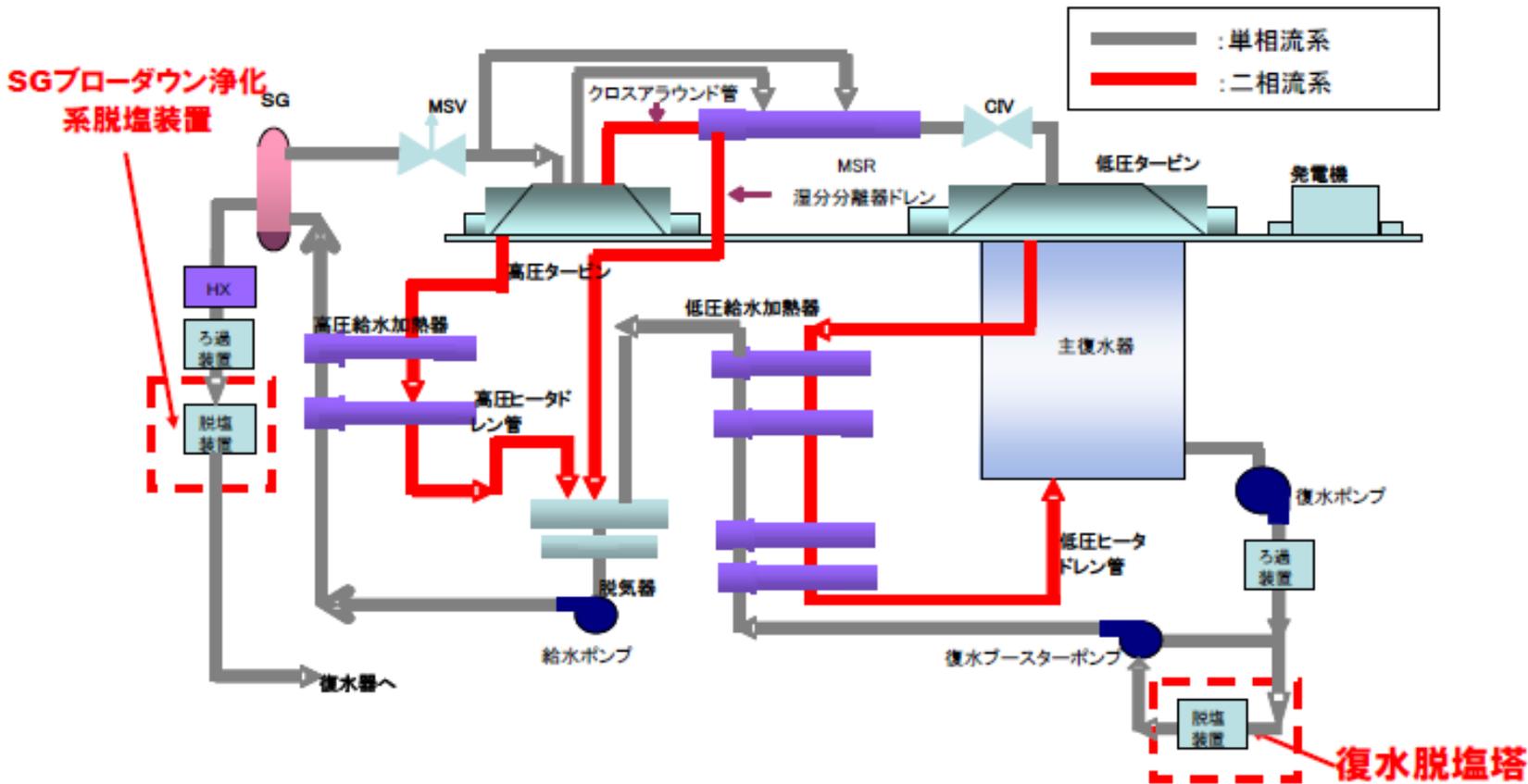
方法

- 高pH管理による給復水全体の腐食低減
- 復水浄化系とSGブローダウン浄化系による浄化
- 脱酸素剤(ヒドラジン)による低酸素濃度管理

1. PWR二次系水質管理



2. PWR二次系の浄化系



•浄化は復水浄化系とSGブローダウン系

2.1 復水浄化系とSGブローダウン浄化系脱塩装置 PSN-2011-1131

復水脱塩塔による浄化

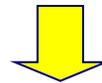
- 除去対象は復水中のイオン不純物である Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} イオン
- pH調整薬品が存在するため復水を全て樹脂で浄化すると樹脂の再生頻度増
→ 再生約20～60回/年、約6～11万 m^3 /年の水使用、廃樹脂約25 m^3 /年
- 樹脂負荷軽減のため、復水浄化系を運転時バイパス、または部分通水し、起動時と非常時(海水混入など)のみに使用

SGブローダウン浄化系脱塩装置による浄化

- 除去対象はSG器内水中のイオン不純物である Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} イオン
- 処理容量は給水の1～2%程度
- 樹脂使用温度制限(66℃)のため、SGブローダウン水冷却の必要があり、熱交換器により熱を損失
- 復水浄化系を使用しない場合、SGブローダウン浄化系が二次系を浄化

2.2 PWR二次系浄化の課題

- 復水浄化系を使用しない場合、**SGブローダウン浄化系**が浄化の役割を担うが、樹脂使用温度まで冷却するため熱損失がある。
- イオン不純物除去のため**SGブローダウン浄化**の増容量化が必要な場合、浄化容量を増やすと熱損失が増大する。

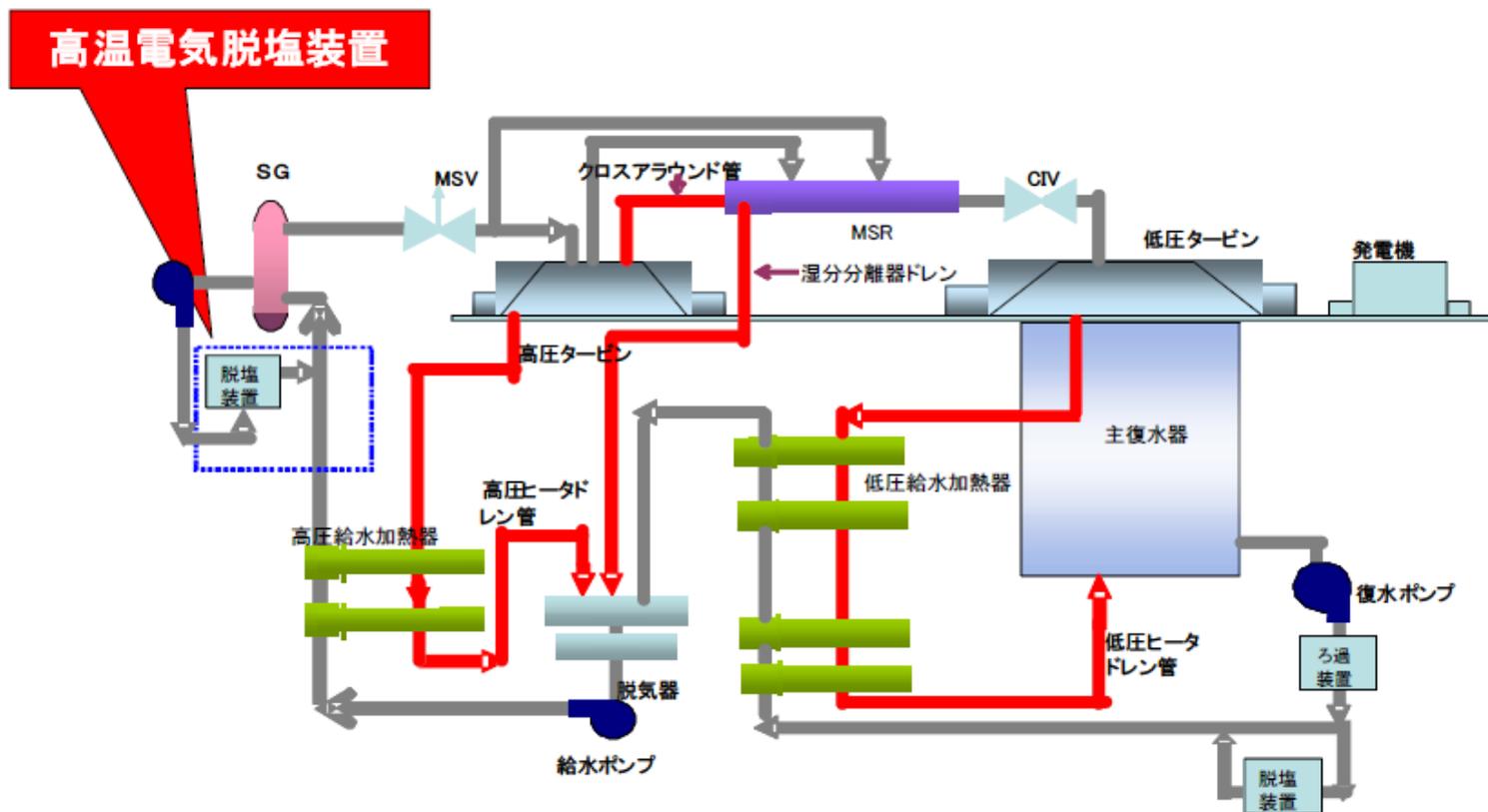


「SGブローダウン水の冷却を必要としない脱塩装置」

2.3 課題に対する解決策

■ 解決策

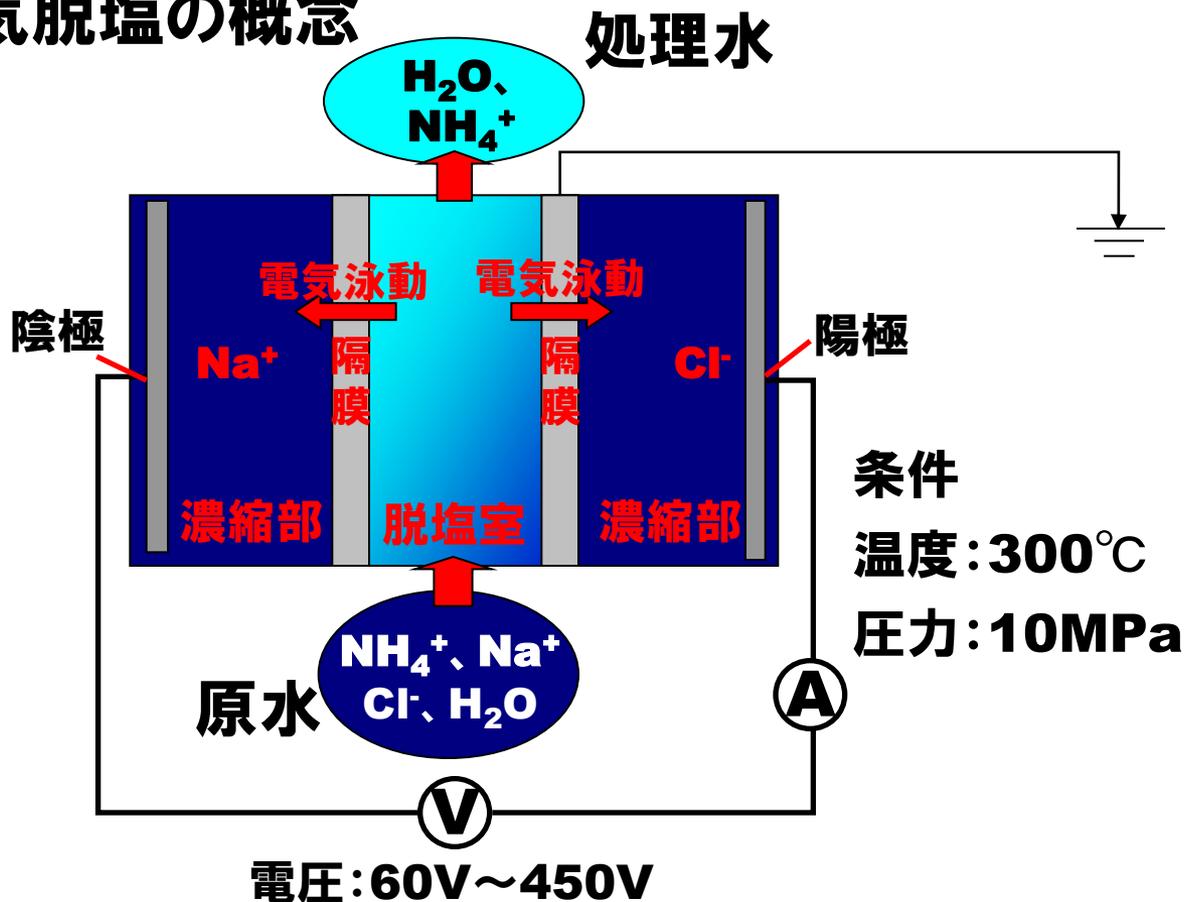
高温水を冷却せずに浄化 → 高温電気脱塩装置



- SGブローダウン浄化容量を増やしても熱損失なし
- 既設プラントでは熱交換器削除可能

3. 開発目標と課題

3.1 高温電気脱塩の概念

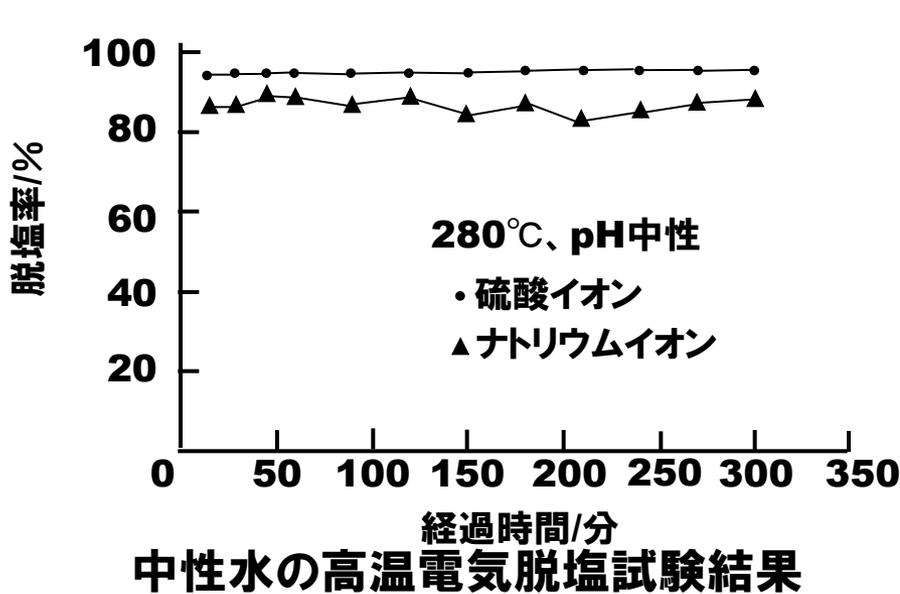


•電気泳動の原理でイオンを脱塩

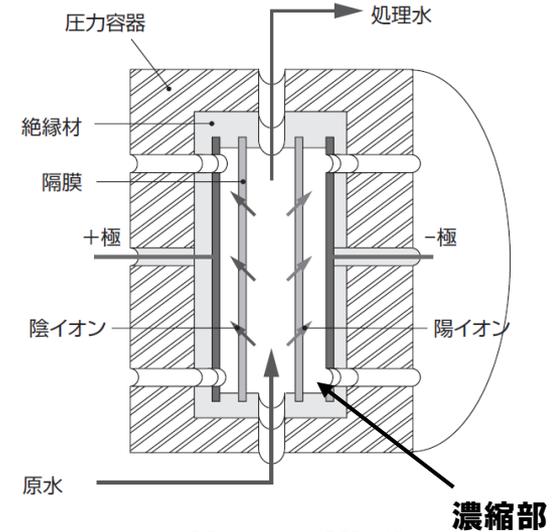
Nernst Planckの式
$$N_i = -D_i \nabla C_i + C_i v + Z_i u_i C_i \Delta \phi$$

拡散項 流動項 電気泳動項
 ↓ ↓ ↓
 ← 電位勾配

3.2 これまでの高温電気脱塩の研究



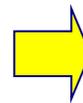
(東芝レビュー, Vol.61 No.12(2006))



装置の構造

- 電極を隔膜でサンドイッチ状にはさむ構造
→ 平板構造
- 濃度勾配によるイオンの逆流を隔膜により抑制

BWR水質の高温脱塩試験(**pH中性**、
 ~300°C)では脱塩効果は確認済み



PWR二次系特有の条件(**高pH**、~
 300°C)での脱塩効果確認要

3.3 PWR二次系適用時の課題

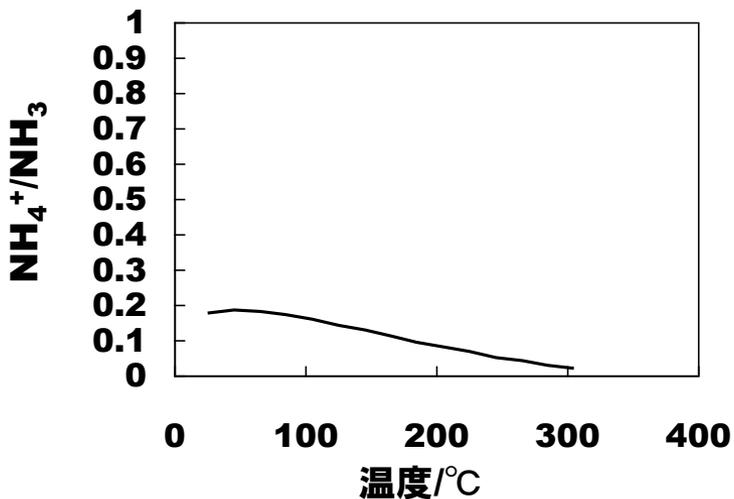
1. 高pH化による導電率増加による導電率増加への影響確認

BWR条件: 中性(pH~7) **➡** PWR条件: 高pH(pH~10)

2. pH調整剤であるアンモニアを除去しないこと。

300℃でのNH₄⁺の存在率は2%である。

→ 電気脱塩されない可能性が高いが確認が必要



NH₄⁺存在率の温度依存性

基礎試験(～30L/hrの処理容量)により確認することとした。

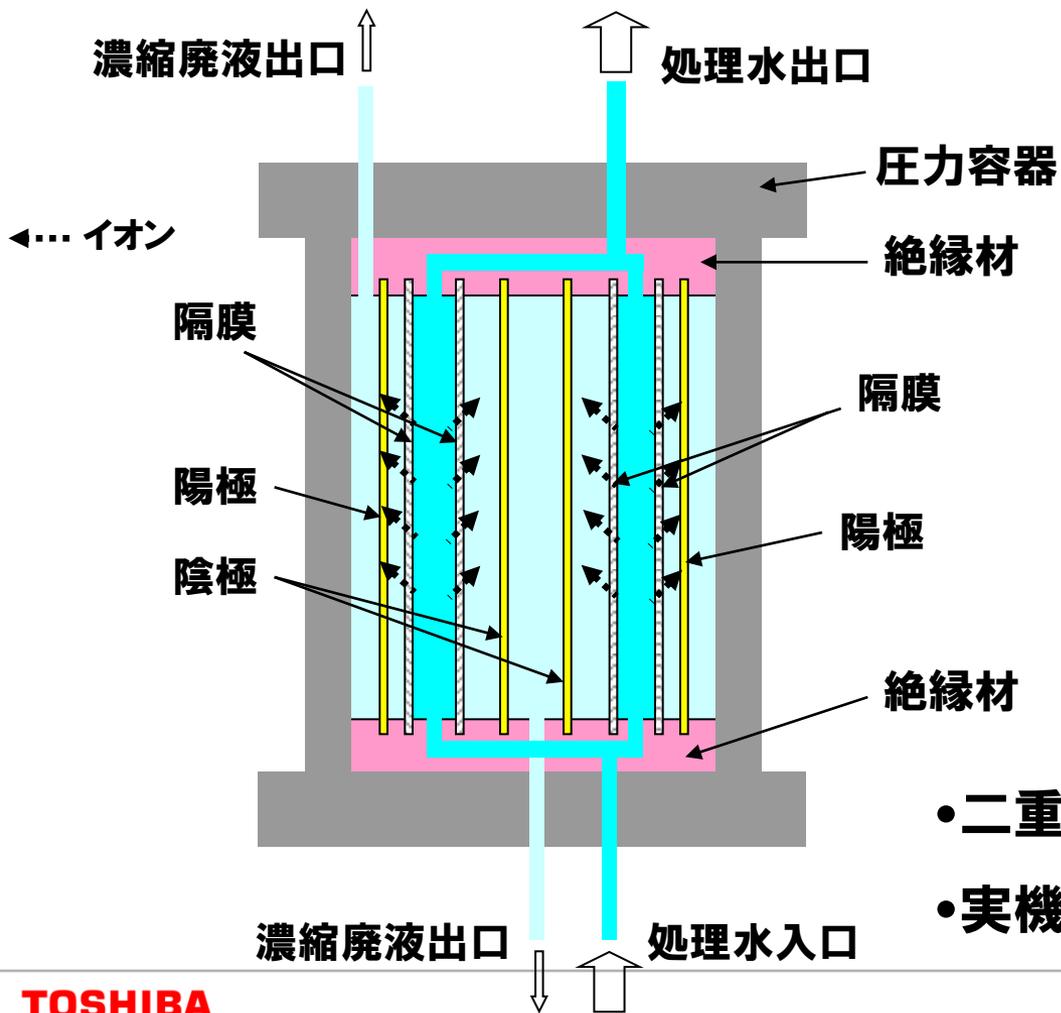


その後、1m³/hr程度の処理容量の装置を製作し実証試験を実施する。

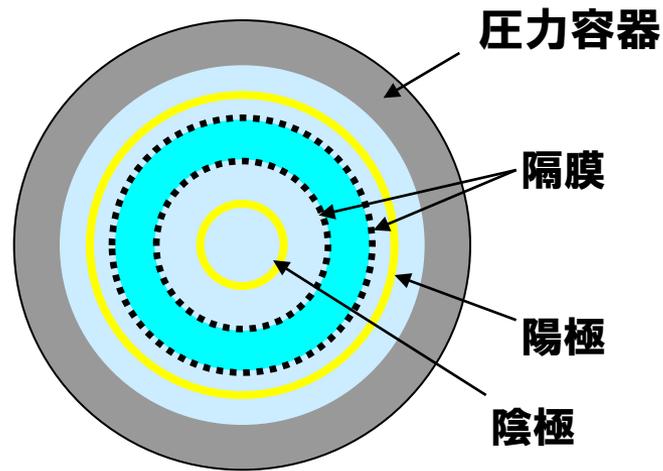
4. 基礎試験

4.1 基礎試験装置

- 装置全体図 -



- 装置断面図 -



- 二重円筒型(モジュール)とした。
- 実機設備はモジュールの並列運用となる。

4.2 基礎試験条件

目的

- **PWR二次系特有の条件(高pH)での脱塩の成立性確認**

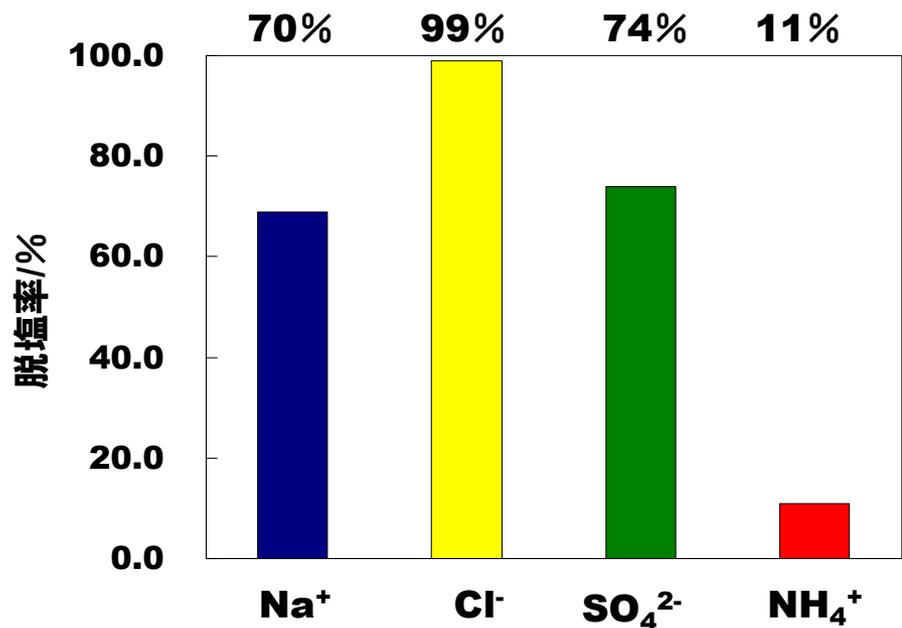
条件

- **温度 :280°C**
- **圧力 :8MPa**
- **電圧 :200~400 V**
- **濃縮液排出量:4%**
- **処理容量:15L/hr**

試料水質

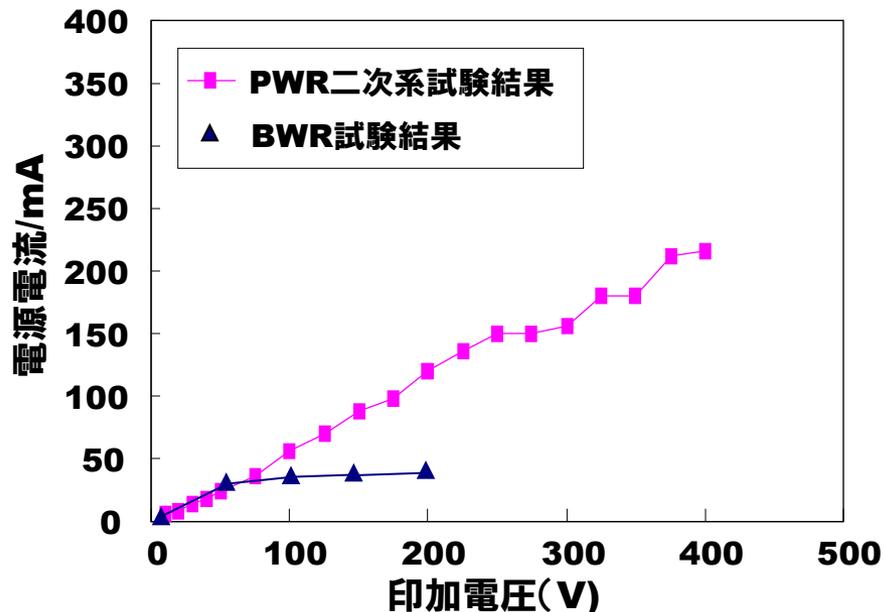
- **pH :10(@25°C)**
- **NH₃ :10ppm**
- **Na⁺ :30ppb**
- **Cl⁻ :30ppb**
- **SO₄²⁻ :30ppb**

4.3 基礎試験結果



15L/hrの処理容量での脱塩試験結果

(280°C、高pH条件、400V)



脱塩試験での電流値

(280°C、高pH条件、400V)

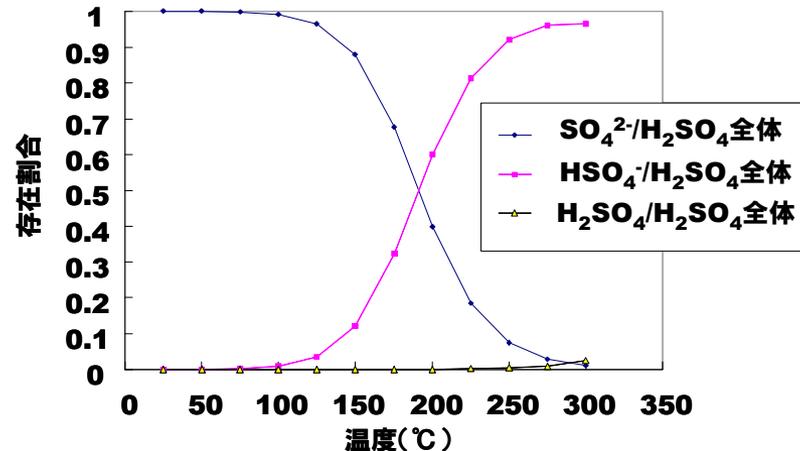
- アンモニアはほぼ除去されない。
- 電流値は電圧200VでBWR条件の3倍ほどになった。
- 電流値はおおむね導電率に比例することを確認した。
- 硫酸イオン、ナトリウムイオンが低いものの脱塩効果は確認 → 設計改良により改善

4.4 基礎試験結果考察

1. 硫酸イオンの脱塩率が低い理由

- 解離度の温度依存性により、 H_2SO_4 は 200°C 近辺から HSO_4^- のほうが多くなる(下図)。

硫酸イオンの存在状態



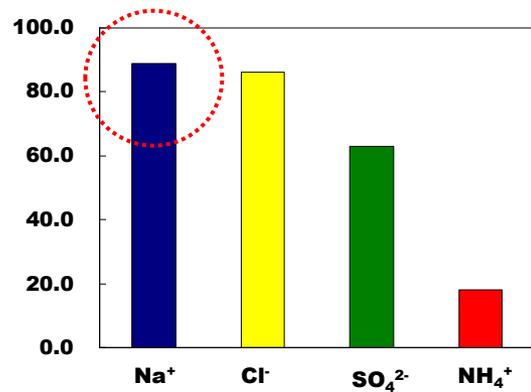
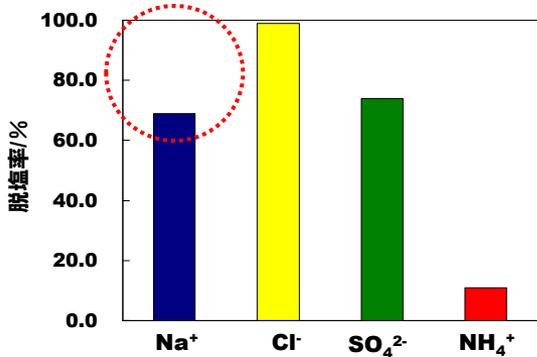
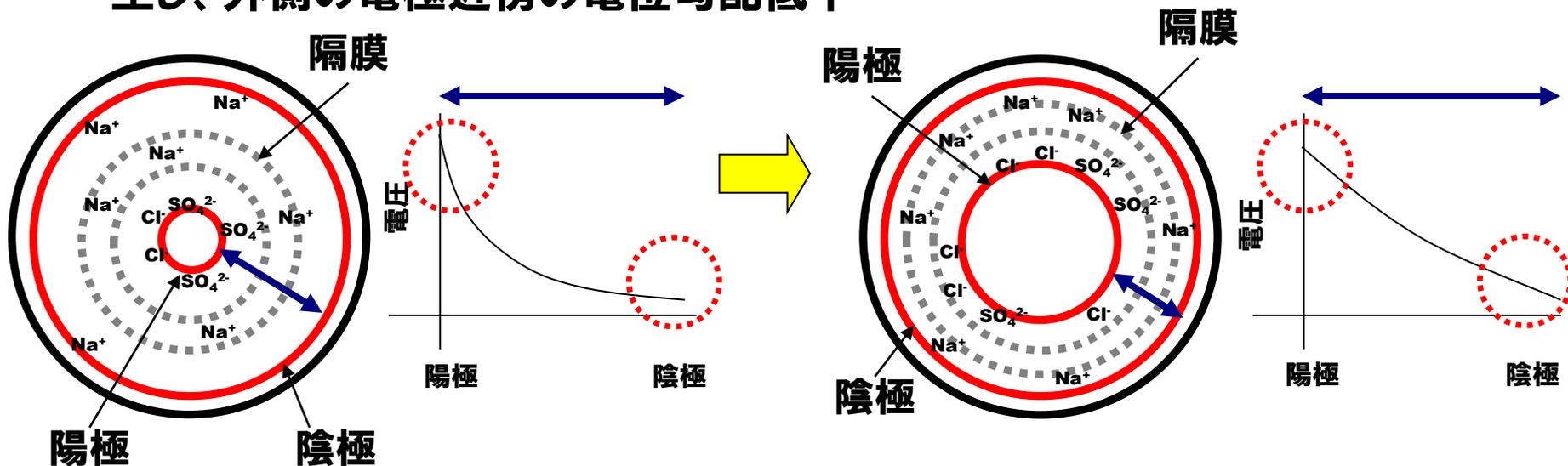
- 電極表面近傍で硫酸イオンの濃度が局所的に上がり、硫酸の解離平衡が左へ進み、脱塩率が下がる。
- 高pHでは、解離度の低下から硫酸アンモニウムが生成し、イオンの割合が低い可能性がある。



4.4 基礎試験結果考察

2. ナトリウムイオンの脱塩率が低い理由

- 内極と外極の半径比が大きいと外側電極と内側電極の近辺の電位に差が生じ、外側の電極近傍の電位勾配低下



4.5 実機規模試験に向けた装置改善

1. 硫酸イオンの脱塩率向上

– 処理時間増加

➡ 装置を軸方向に延長(軸方向の延長のみで処理時間増加に対応可能)

– 濃縮液排出流量:濃縮室にイオンが溜まると濃度勾配による拡散で脱塩率が低下するため、適度な排出が必要

➡ パラメータとして試験で確認

2. ナトリウムイオンの脱塩率向上

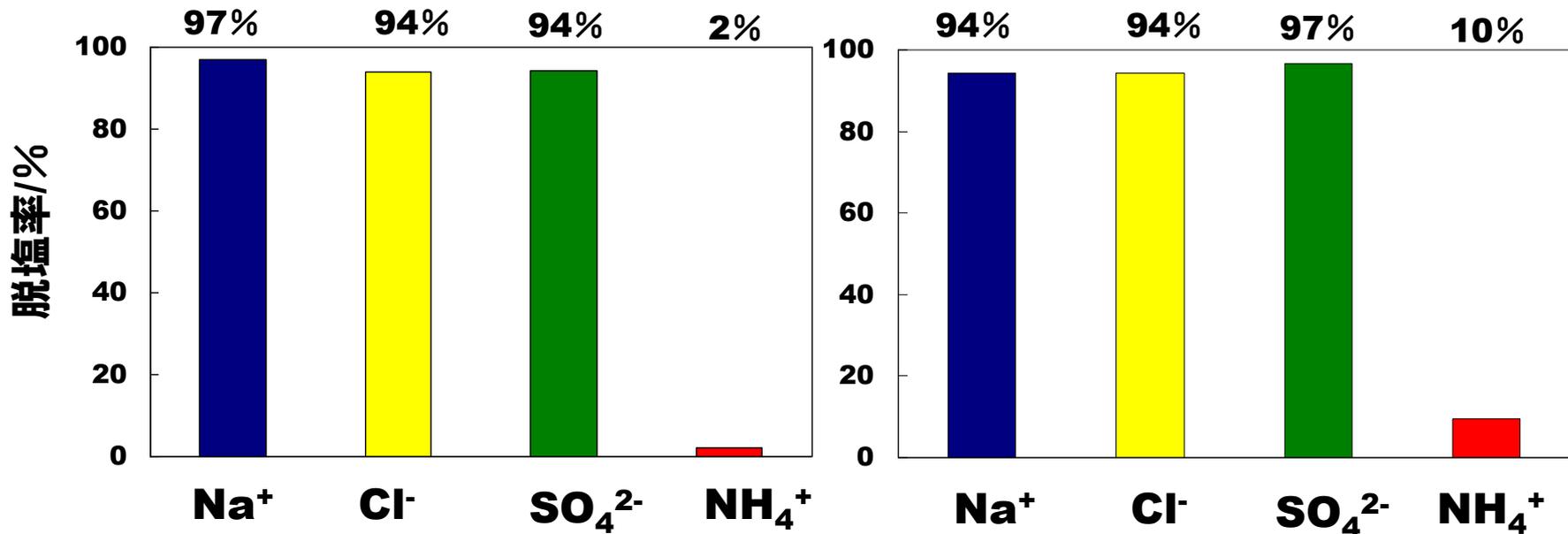
内極と外極の半径比

➡ 電位勾配がほぼ直線を保つように、半径比を最適化

5. 実規模試験結果

電圧:200V

濃縮液排出流量:約0.1%



300°C、高pH条件での脱塩試験結果(脱塩処理開始後25分)

(左)処理流量1 m³/hr、(右)処理流量0.5 m³/hr

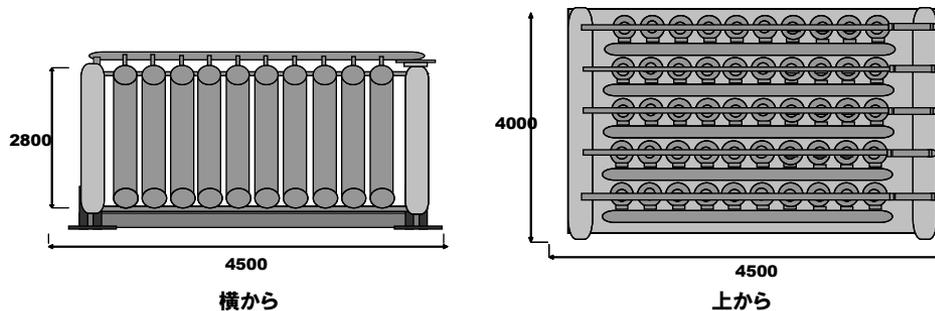
PWR二次系の条件でも高脱塩率を確認

6. 高温電気脱塩装置の実機適用例

開発目標

処理流量	100 m ³ /hr
脱塩率	Na ⁺ 、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 90%以上
濃縮液排出量(廃液発生量)	処理容量の10 t/hr以下(10%以下)
運転圧力	10 MPa以上
運転温度	300°C以上

50m³/hr処理容量の高温電気脱塩装置イメージ図



- ~1m³/hrの処理容量の脱塩装置を並列に設置し構成
- 100 m³/hrの処理容量に対しては2ユニット設置

7. まとめ

- **PWRプラントのSGブローダウン系の熱損失低減のため高温電気脱塩技術適用に取り組んでいる。**
- **脱塩装置は樹脂を用いた既存の装置と異なり、金属製の隔膜と電極から構成される、電気泳動の原理を用いた装置である。**
- **実機適用規模の1m³/hrの装置を製作し、試験を実施、PWR二次系の条件でナトリウム、塩化物イオン、硫酸イオン共に90%以上の高脱塩率を確認した。**
- **pH調整剤のアンモニアを除去することなく他の不純物イオンを除去できる装置であることを確認した。**
- **今後、処理容量、電位勾配、濃縮液排出量などの条件の最適化を行っていく。**

TOSHIBA
Leading Innovation >>>