

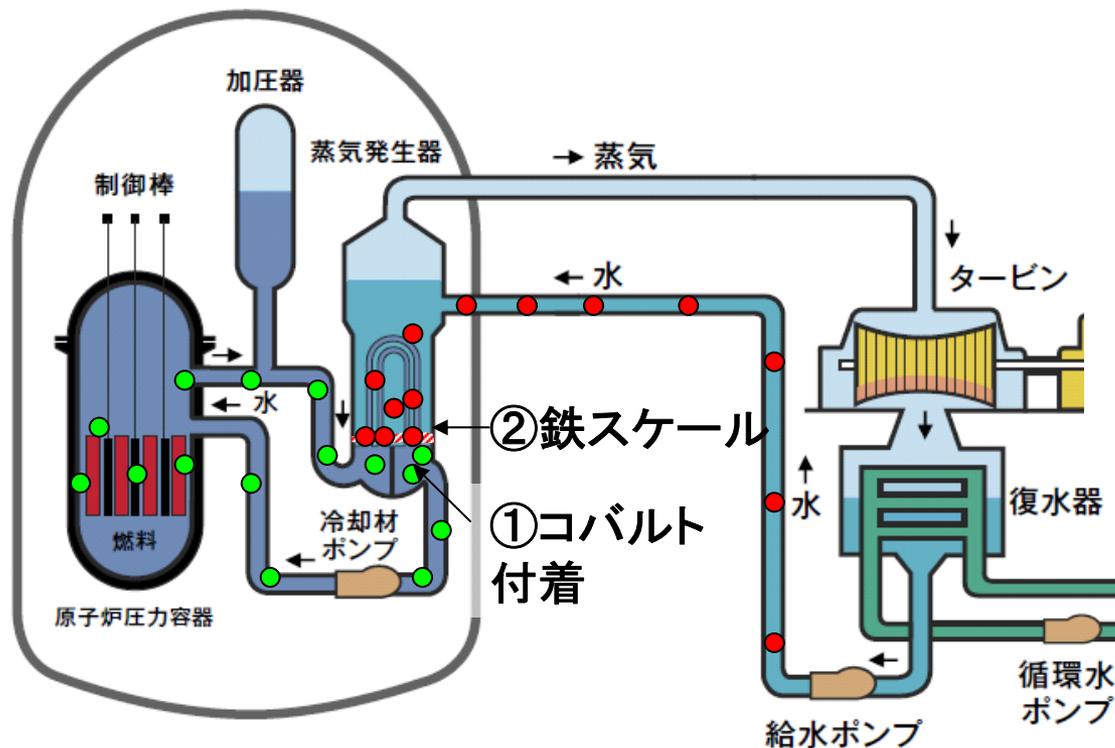
# PWRプラントにおけるスケール付着事象

平成25年6月27日

原子力学会 水化学部会 定例研究会

関西電力株式会社 寺地 巧

# 主要なスケール付着問題



## ①1次系スケール中のコバルト

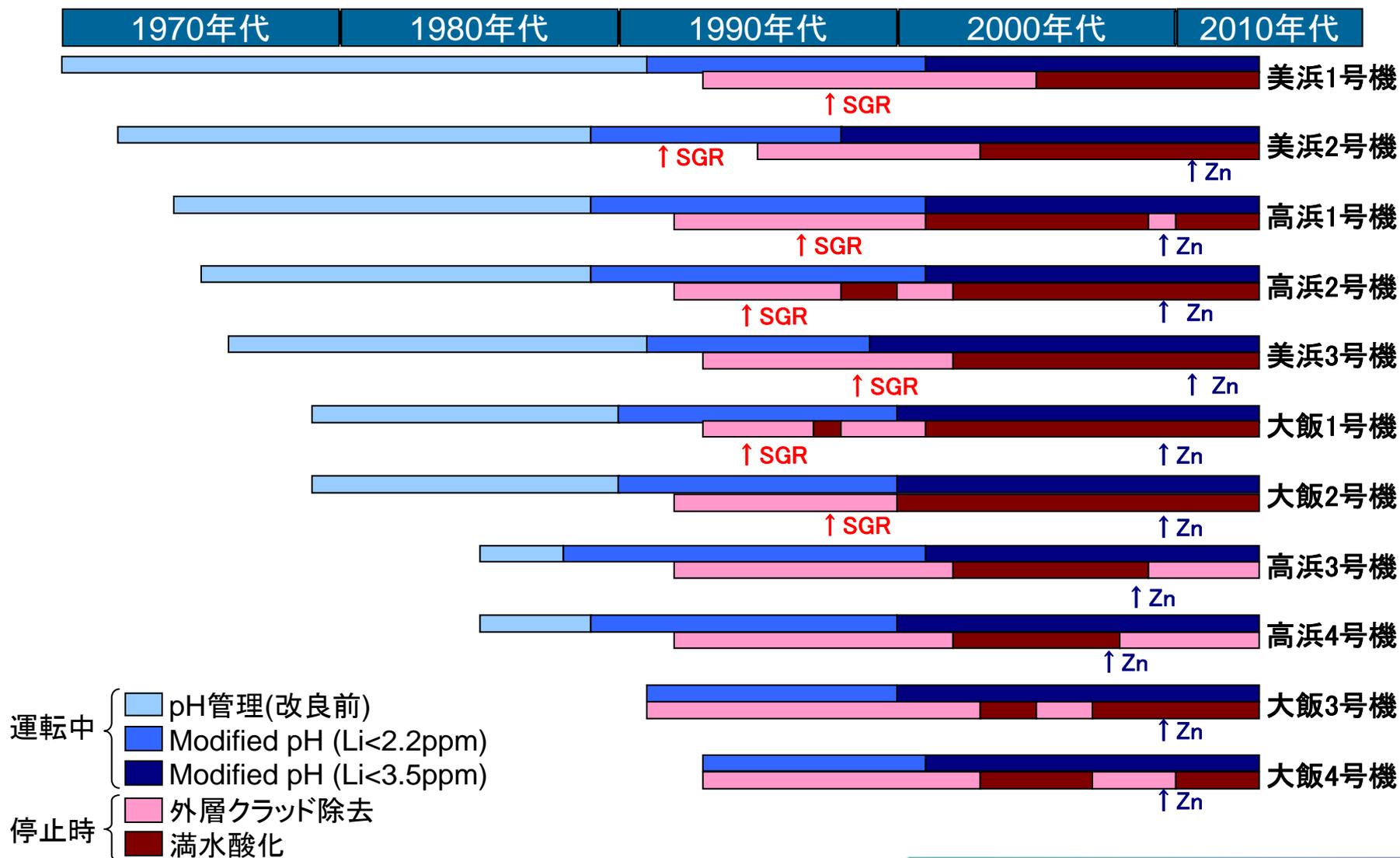
→被ばく低減の観点から問題

## ②SG2次側に持ち込まれる鉄のスケール付着

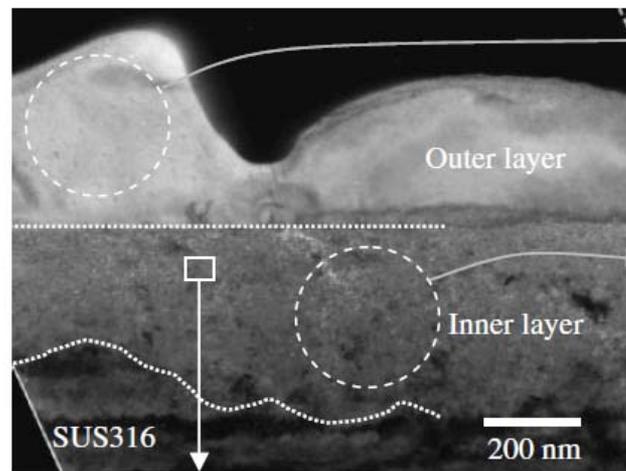
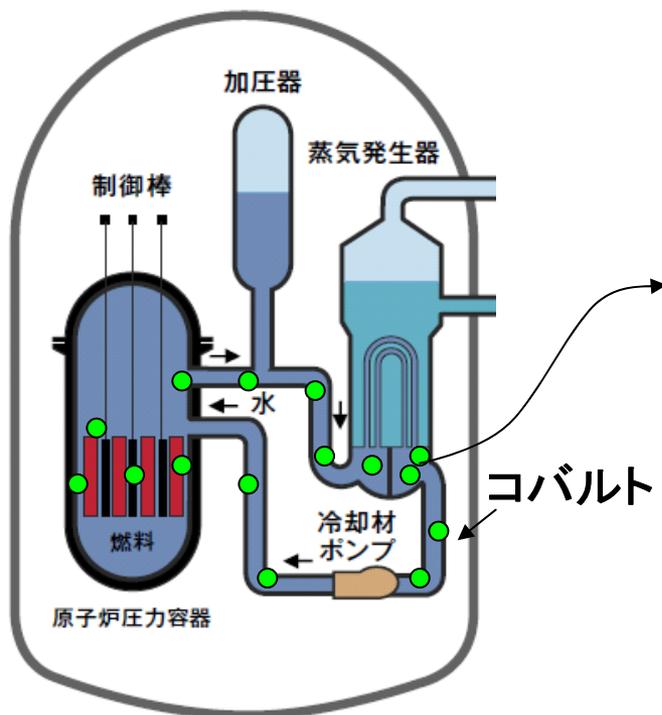
→伝熱管性能低下や材料健全性などの観点から問題

スケール付着は、本定例研究会でも過去に取り扱われているため、プラントパラメータを中心に紹介

# 1次系 水処理の変遷

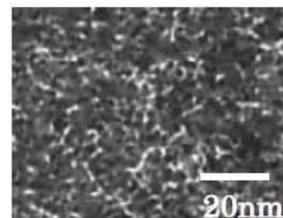


# 1次系の腐食生成物



外層  
 $\text{NiFe}_2\text{O}_4, \text{Fe}_3\text{O}_4$   
 正スピネル型  
 の腐食生成物

内層  
 $\text{FeCr}_2\text{O}_4$   
 逆スピネル型  
 の微細粒



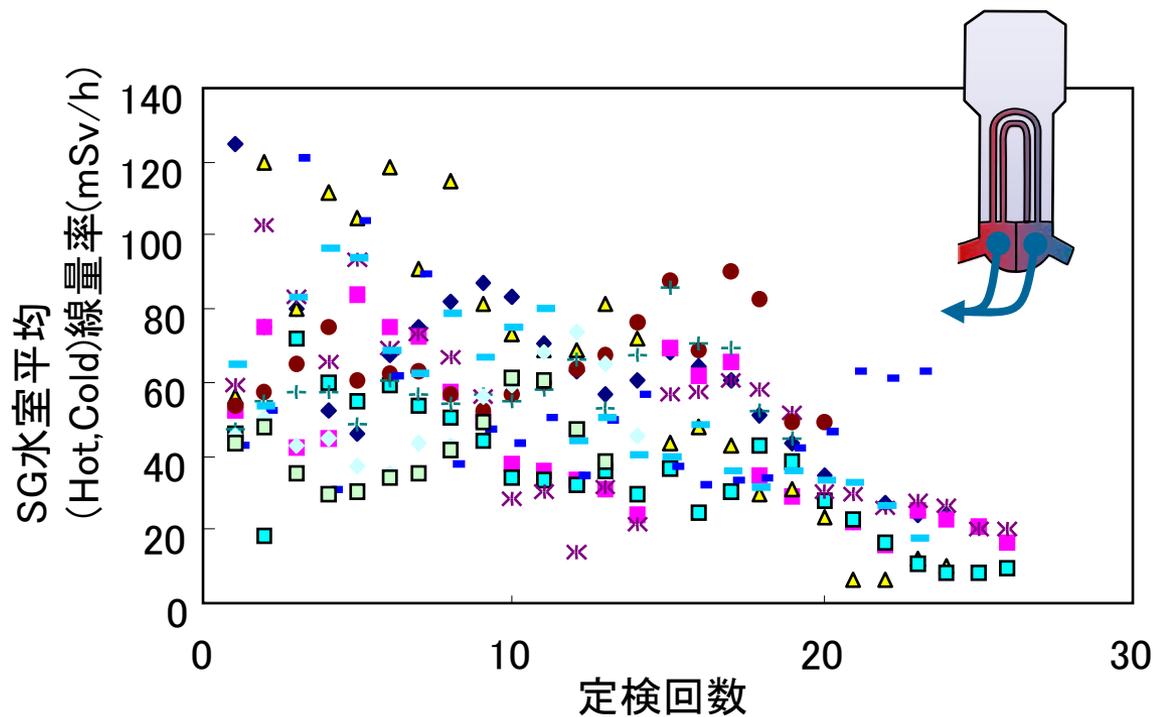
(a) TEM cross-sectional image

模擬皮膜のTEM断面観察結果  
 (316SS, PWR模擬条件, 340時間浸漬)

出典: Terachi et al., Nuclear Science and Technology Vol.45, 10(2008)

- 2層(または3層)の腐食生成物。
- 外層のクラッド主要組成はニッケルフェライト( $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ )
- スピネル構造で内層側はクロム濃度が高い
- コバルトは内層側で特に安定

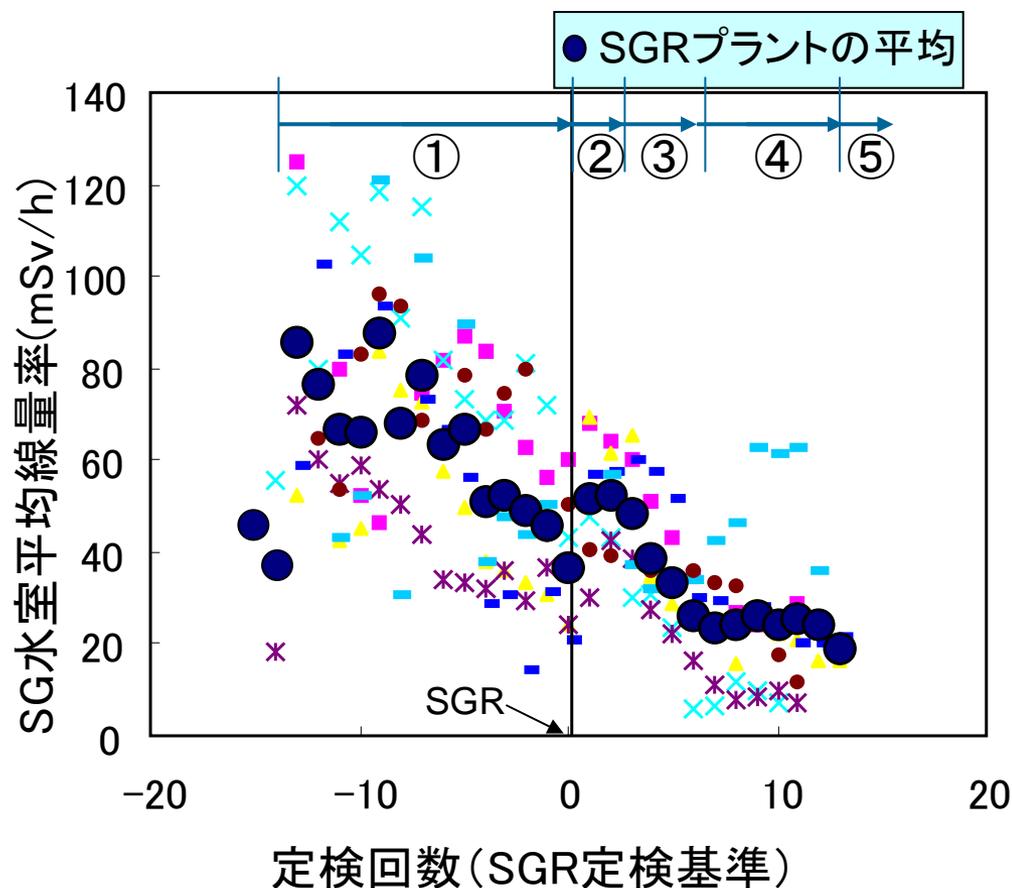
# 1次系 線量率の長期トレンド変化



## 11プラントにおけるSG水質線量率の変化

- プラント間での差は大きいですが、全体的に低下傾向

# SGR前後における線量率変化(関西電力の7PWR)



平均値には以下の傾向が認められた。

① 継続的な低下

② 一時的な増加

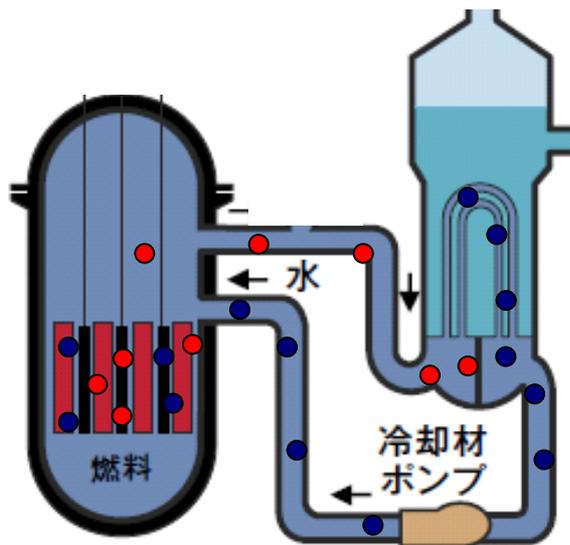
③ 再び低下を開始

④ プラトーを形成

⑤ 低下の再開

詳細評価が必要

# 線量率低下の要因に関する考察



## 線源発生移行の概念

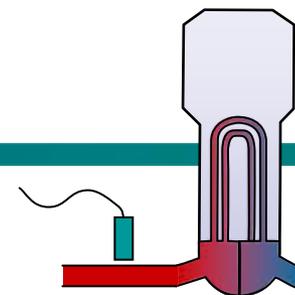
- 1) SG, 主要系統からのNi, Coの溶出
- 2) 燃料表面での放射化  
 $Ni58 \rightarrow Co58$   
 $Co59 \rightarrow Co60$
- 3) 系統設備への析出

## 線量率変化の要因

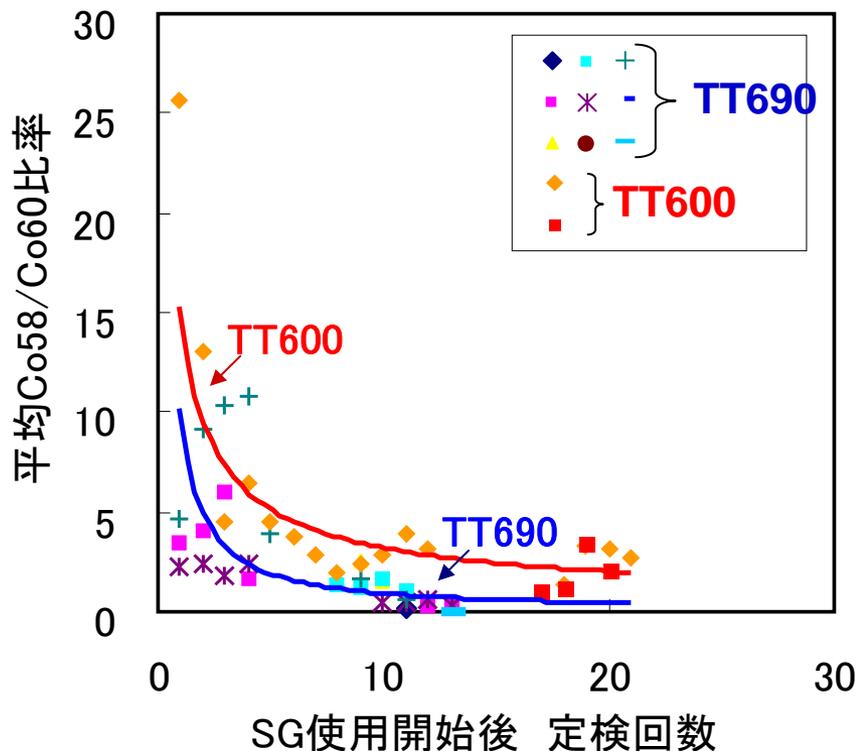
- 腐食量の変化
  - 皮膜形成による溶出量の低下  
(Ni溶出抑制→**Co58**生成抑制)
  - 設備保全による溶出の増加  
(Co溶出増加→**Co60**生成要因)
- SGRなど材料の改善
  - 600合金→690合金  
高Cr化による**Ni溶出量低下**
- 水処理の高度化
  - 高pH化、起動停止時の水処理改善による溶出析出挙動の管理
  - 亜鉛注入による析出抑制 など

Co58/Co60比率の低下により、Niの溶出抑制が把握可能

# SG使用年数とCo58/Co60比率の関係



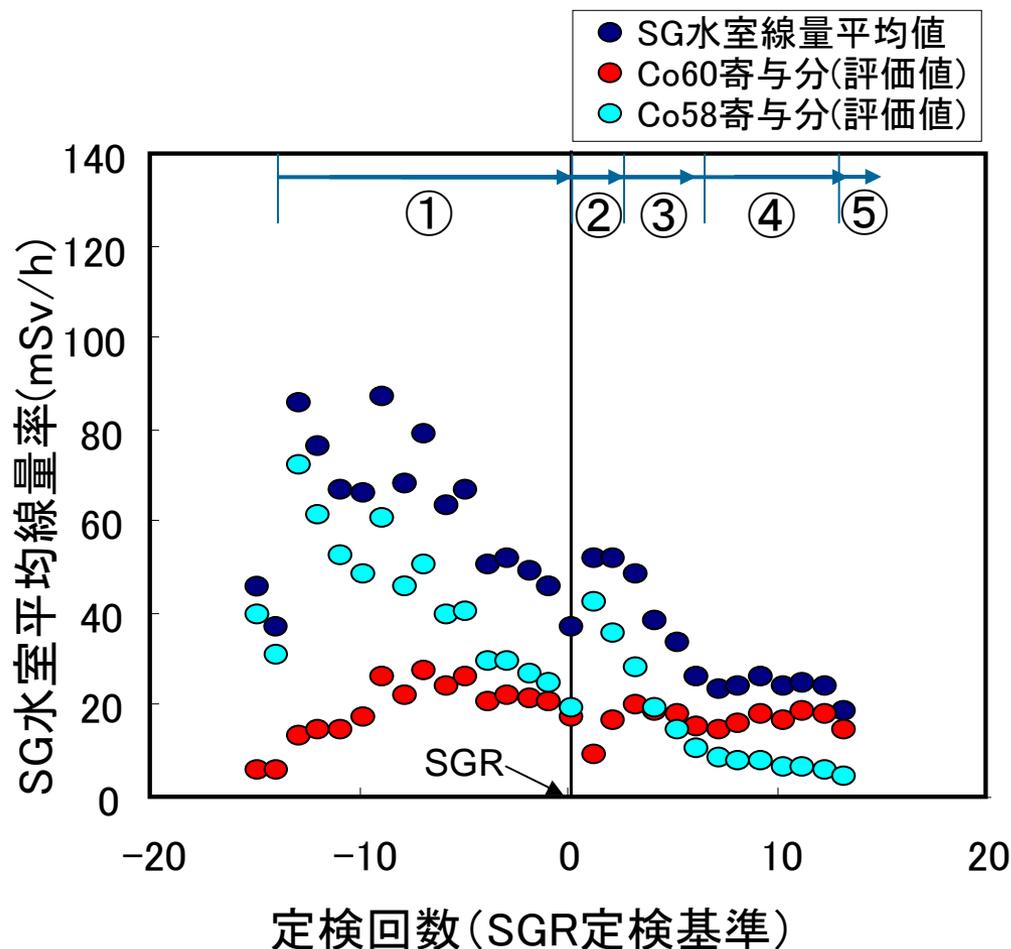
コールドレグ、ホットレグ配管の



- TT600プラントは、TT690プラントより**Co58の比率が高い**。
  - 母材中のNi濃度が高い
- **Co58比率はSG使用初期に高く、その後低下する**。
  - 使用初期はNi溶出が多い  
Ni58→Co58が生成
  - Co60は半減期が長く蓄積される。

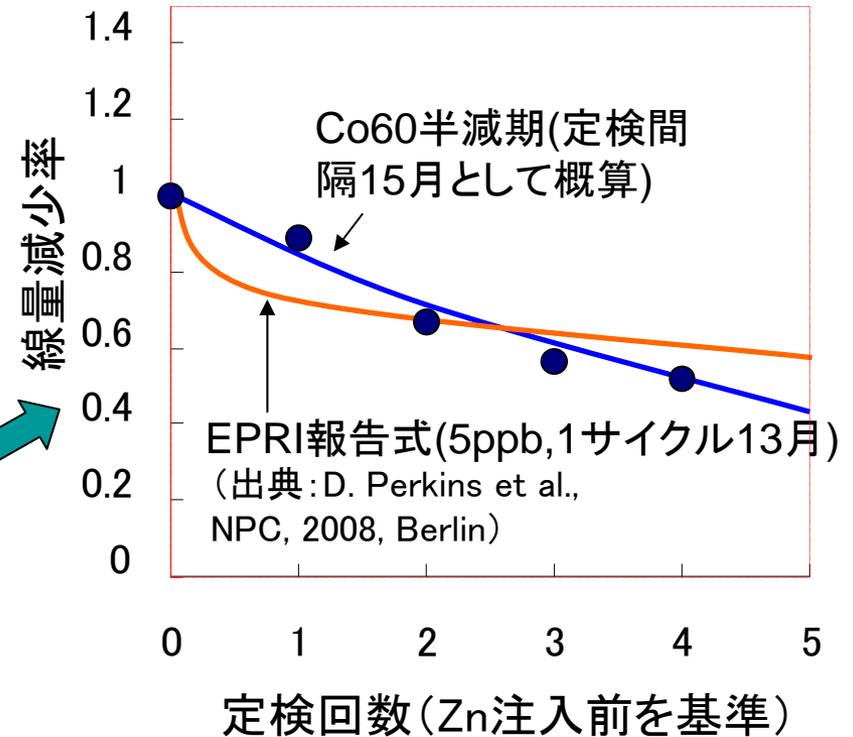
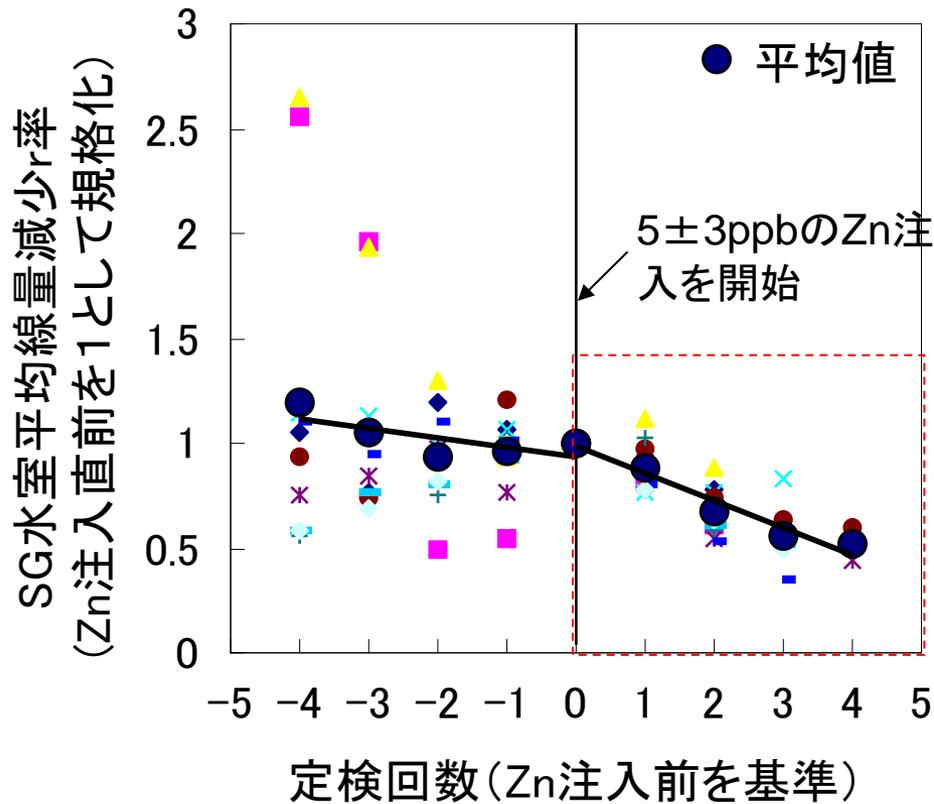
(半減期 Co60:5.27年, Co58:71日)

# SGR前後における線量率変化(関西電力の7PWR)



- ① 継続的な低下 ↓  
保護皮膜形成によりNi溶出量が低下:  
Co58が減少
- ② 一時的な増加 ↗  
Ni溶出量増加によりCo58が増加
- ③ 再び低下を開始 ↓  
Ni溶出量が再度減少し、Co58が低下
- ④ プラトー →  
Co58の低下に伴い、相対的にCo60  
の影響が顕著になっている。
- ⑤ 低下の再開 ↓  
順次亜鉛注入を開始

# 亜鉛注入前後における線量率変化(関西電力10プラント)

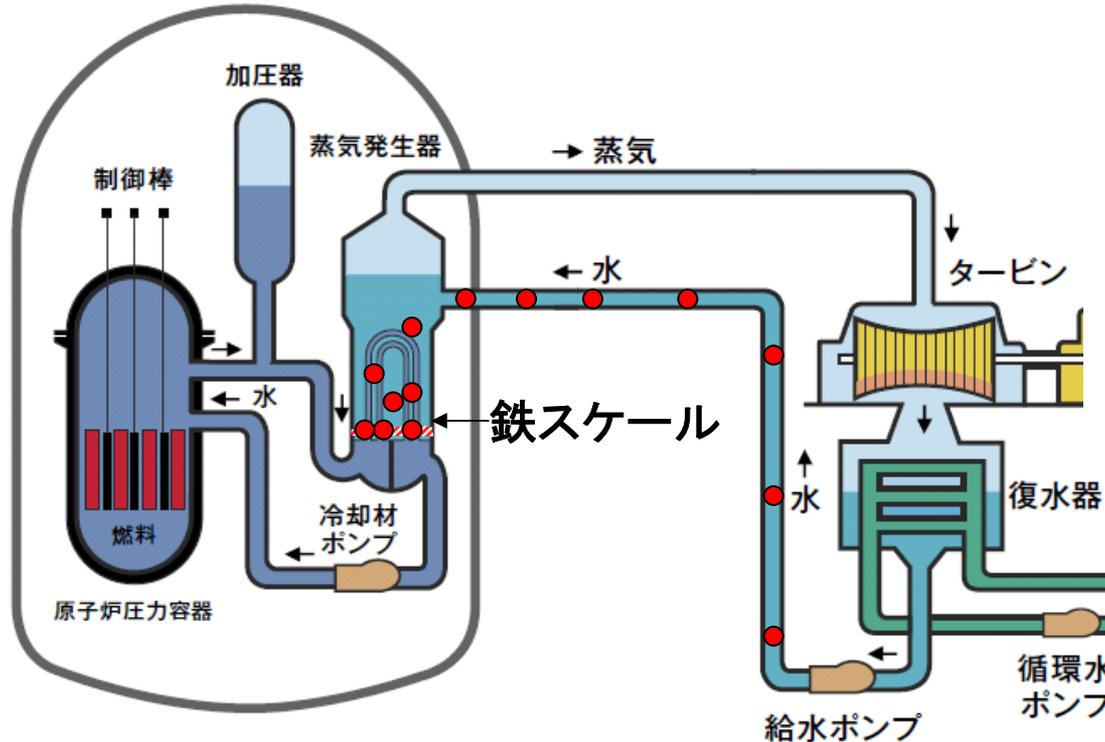


- 亜鉛注入、減少傾向が明瞭に。
- EPRI報告式と類似の低下傾向
- Co60の半減期と相関あり(減衰による低下と一致)

# 1次系におけるスケール問題(SG水質線量率)まとめ

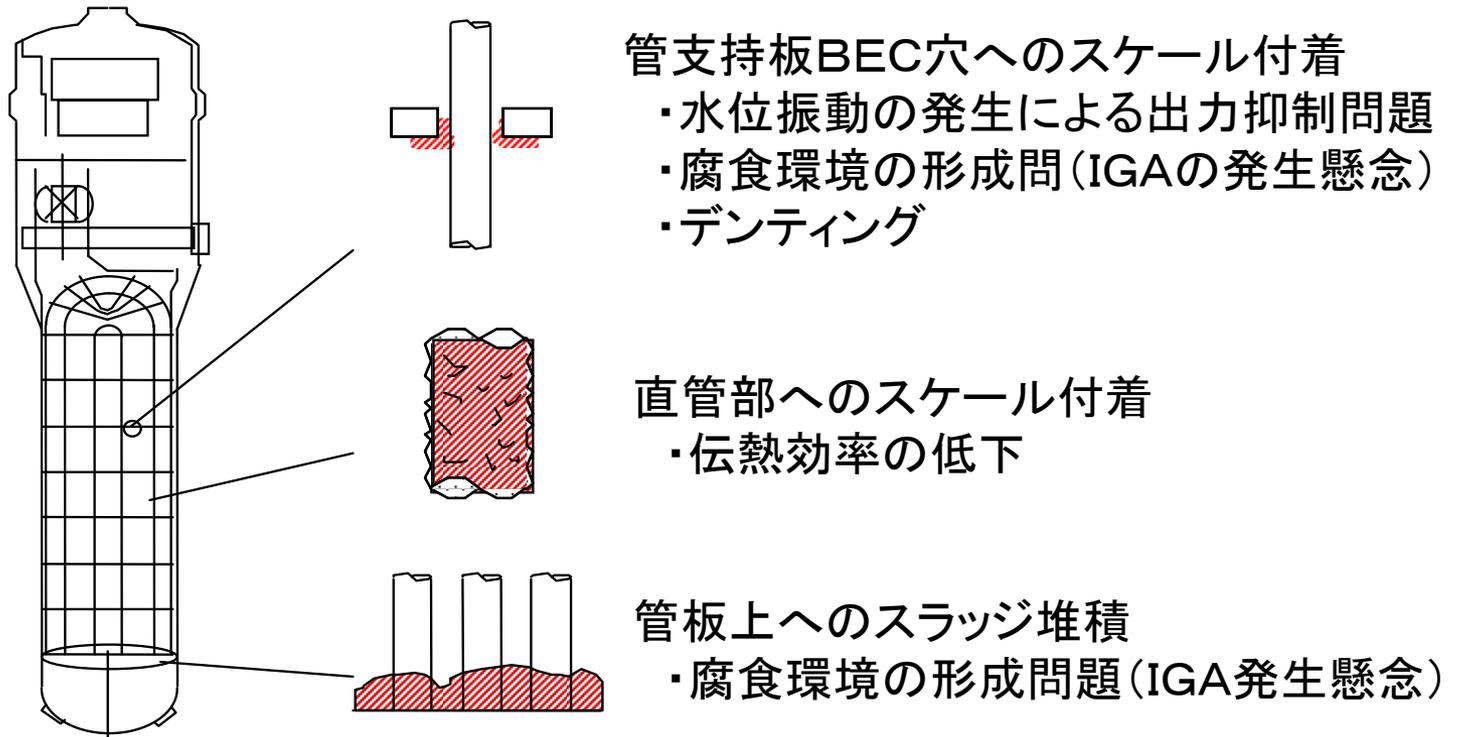
- プラント線量率は連続的に低下傾向
  - SG伝熱管からのNi溶出量低下に伴い、線量率(Co58)が低下
  - 水処理高度化(運転中、起動停止時の水質管理)が寄与
  
- 材料変更(SGR)などは、一時的に線量率増加要因として影響  
→事前皮膜処理が有効と考えられる。
  
- 被ばく低減に関する取り組み
  - 亜鉛注入はCo取り込み抑制に顕著な効果を発揮(5年で半減)
  - 高経年化プラントはCo60への対策が重要

## 2次系における主要なスケール付着問題



- SG2次側に持ち込まれる鉄を主体としたスケールの付着
  - 伝熱性能低下、SG健全性の観点から持ち込み抑制を実施
  - FAC(2次系配管の減肉)の観点からも重要

# SGへの鉄持込による不具合

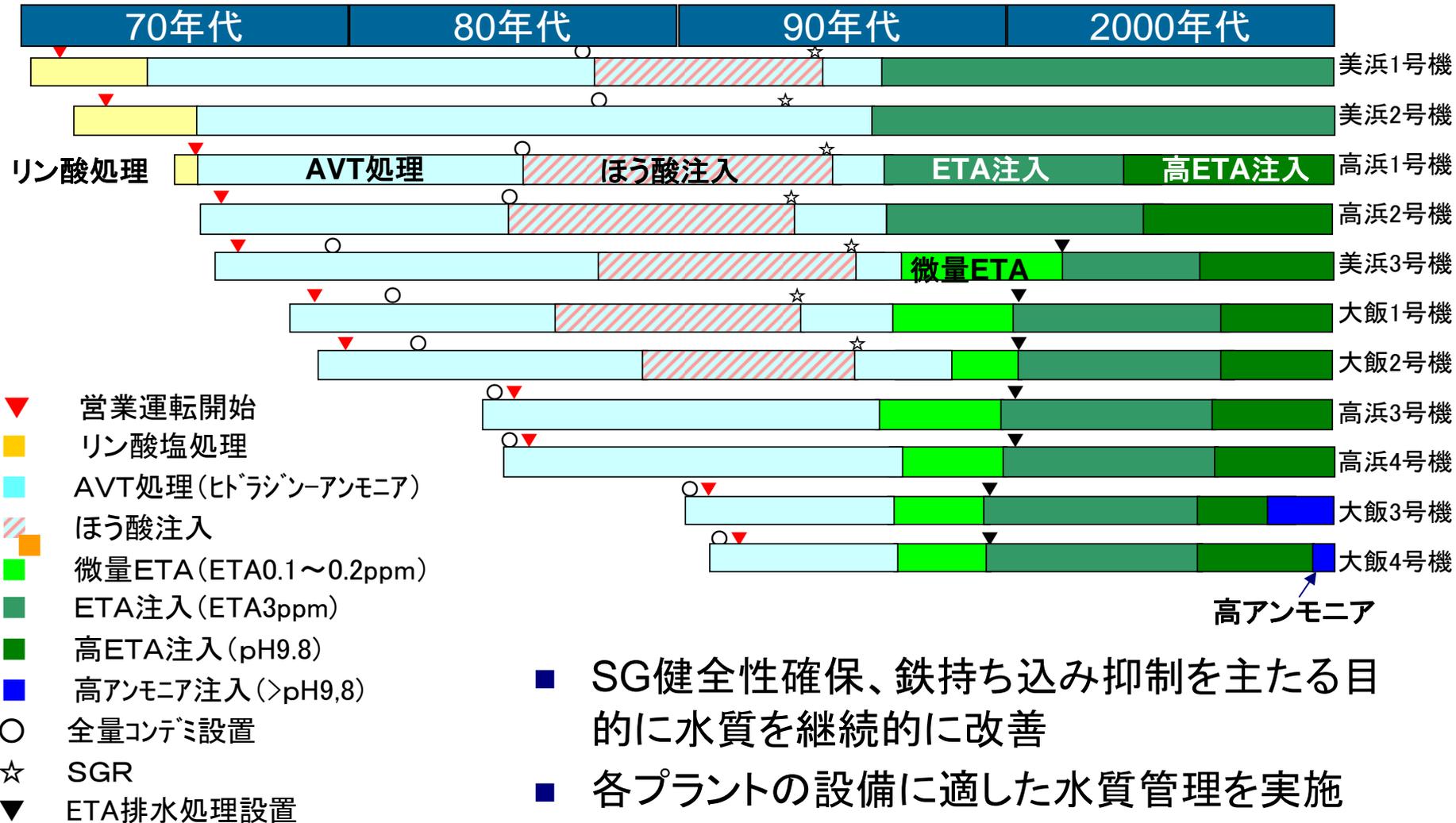


## 主な対策

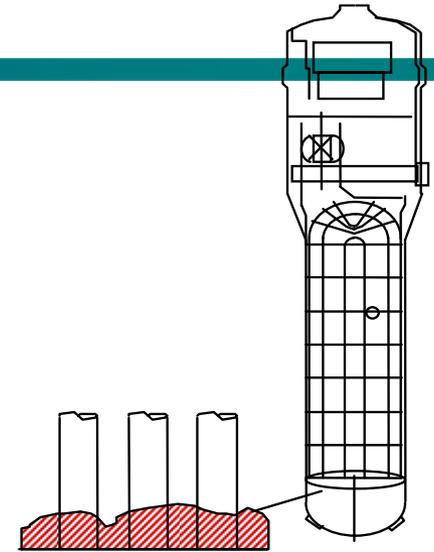
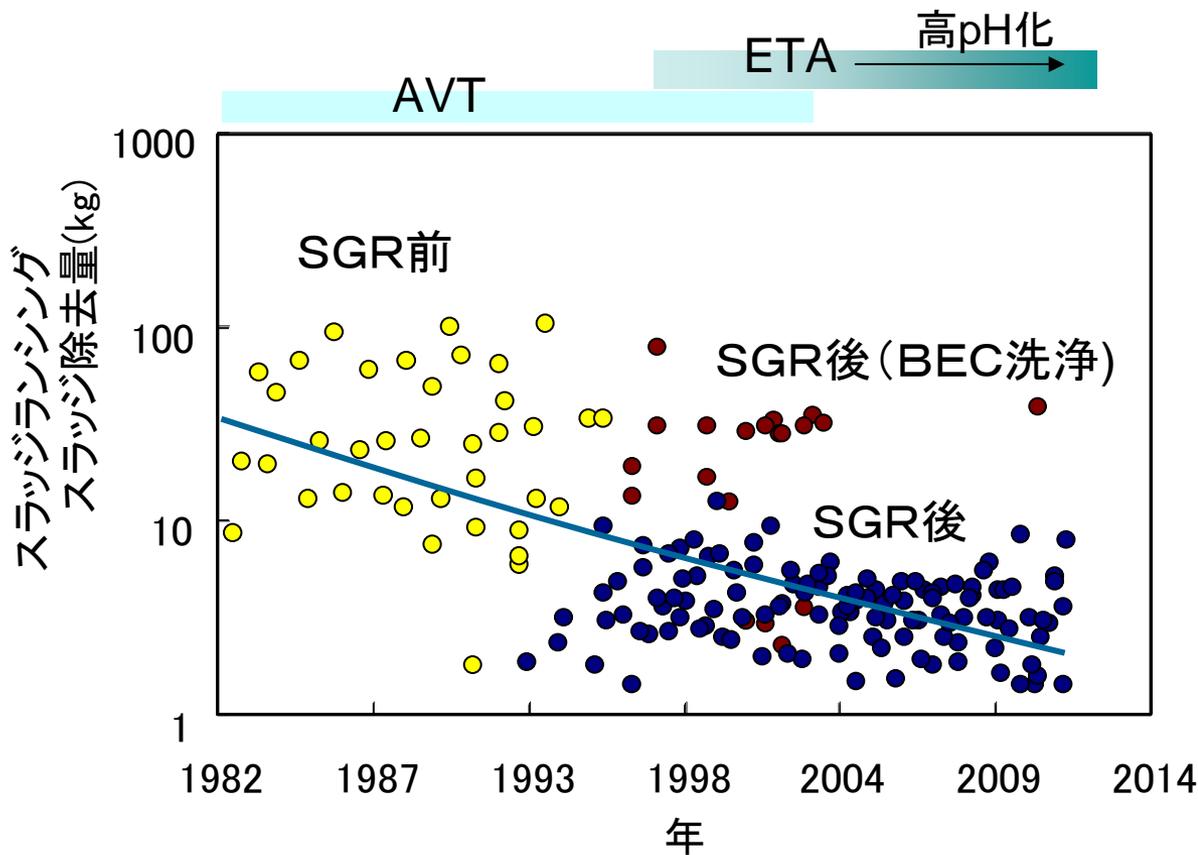
- 運転中: 鉄の持ち込み抑制(pH制御、アミン種の選定)
- 定検中: スラッジランシング、BEC洗浄、ASCA洗浄

本講演ではプラント実績を紹介 (技術項目はMHI殿により情報提供)

# 2次系 水処理の変遷



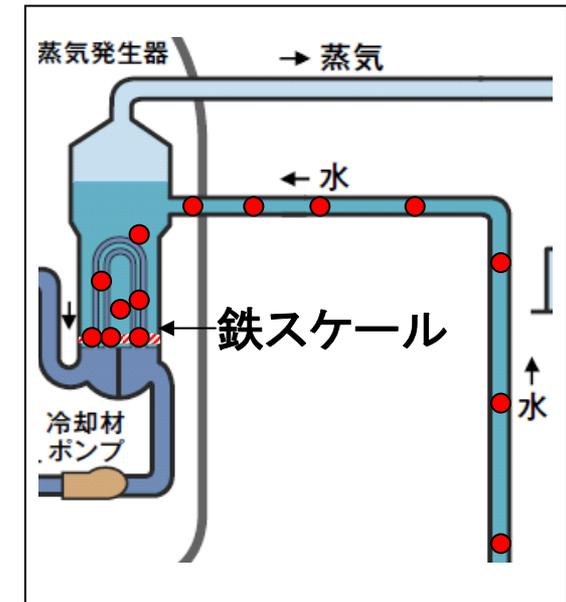
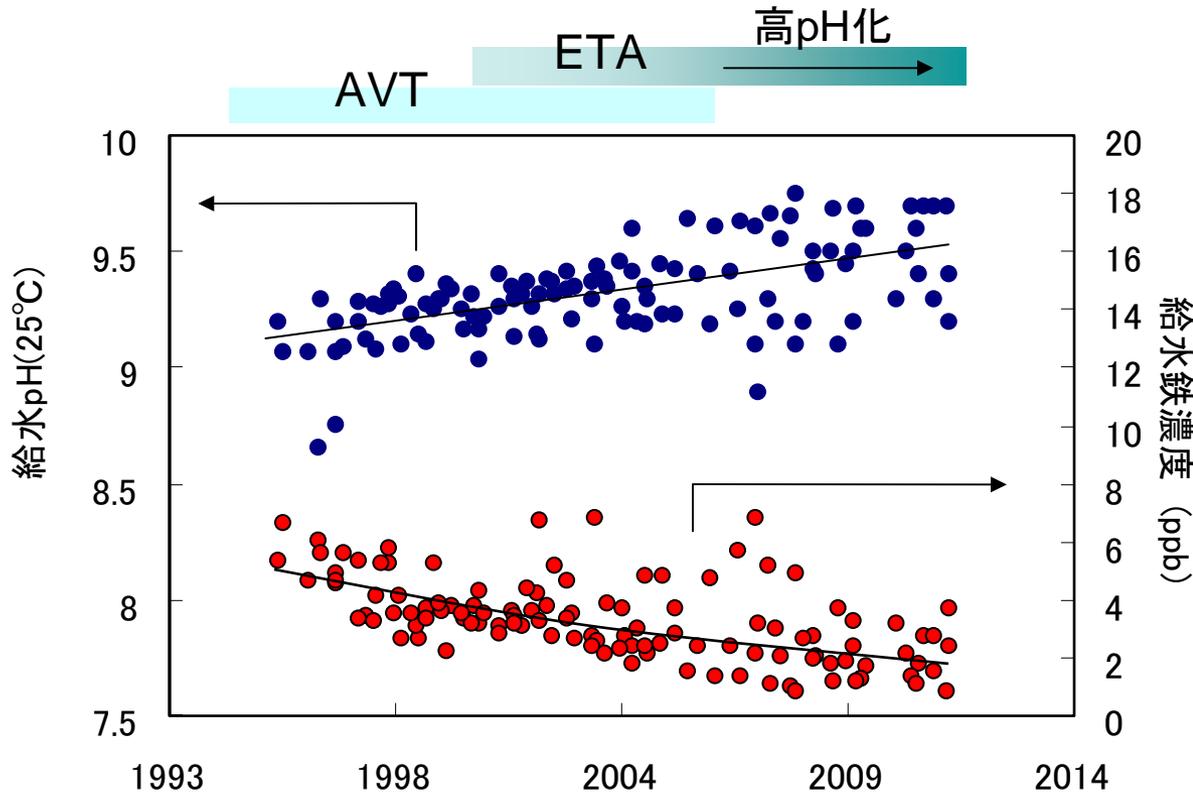
# 2次系 スラッジランシングでの鉄除去量 (関西電力のPWR 11プラント)



スラッジランシング: 管板部に堆積した鉄(主にマグネタイト)を水圧により除去

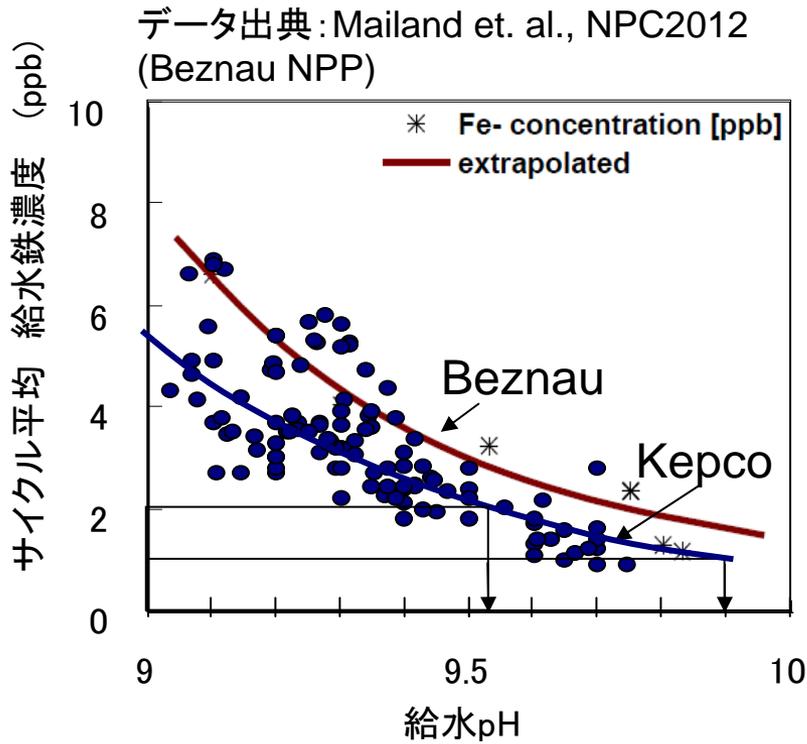
- スラッジランシング時のスラッジ除去量は低下傾向にある
- AVTからETAへの変更、高pH化により継続的に低下

# 給水鉄濃度、pHの変遷 (SGR以降の関西電力11プラントにおけるサイクル平均)

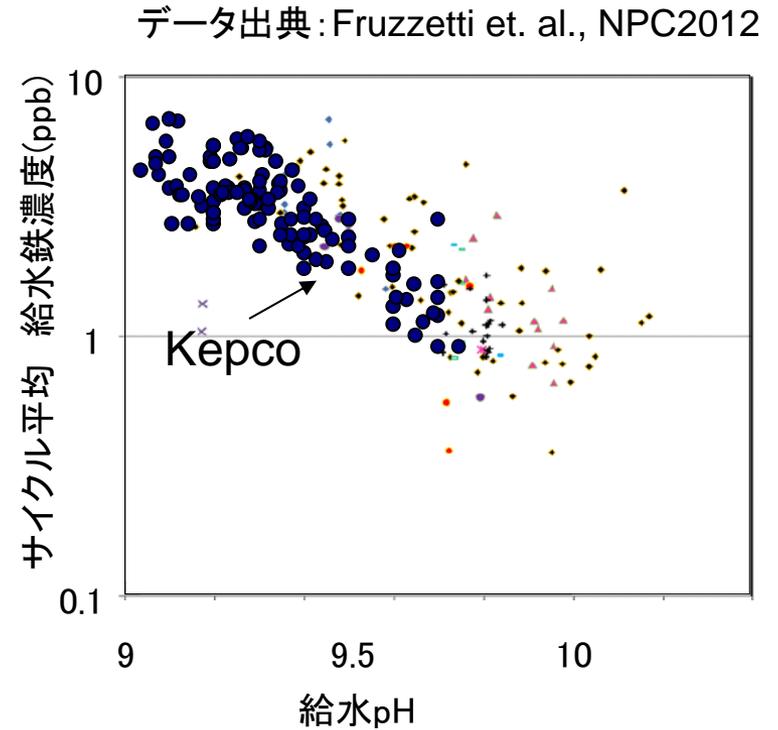


- 高pH化は銅の溶出増加となるため、銅系材料(復水器・給水過熱器伝熱管)の排除と合わせ段階的に高pH化を推進
- pH増加に伴い、給水鉄濃度は低下傾向

# 給水鉄濃度とpHの関係



Beznau NPPと関西電力プラントの比較



EPRI公開データと関西電力プラントの比較

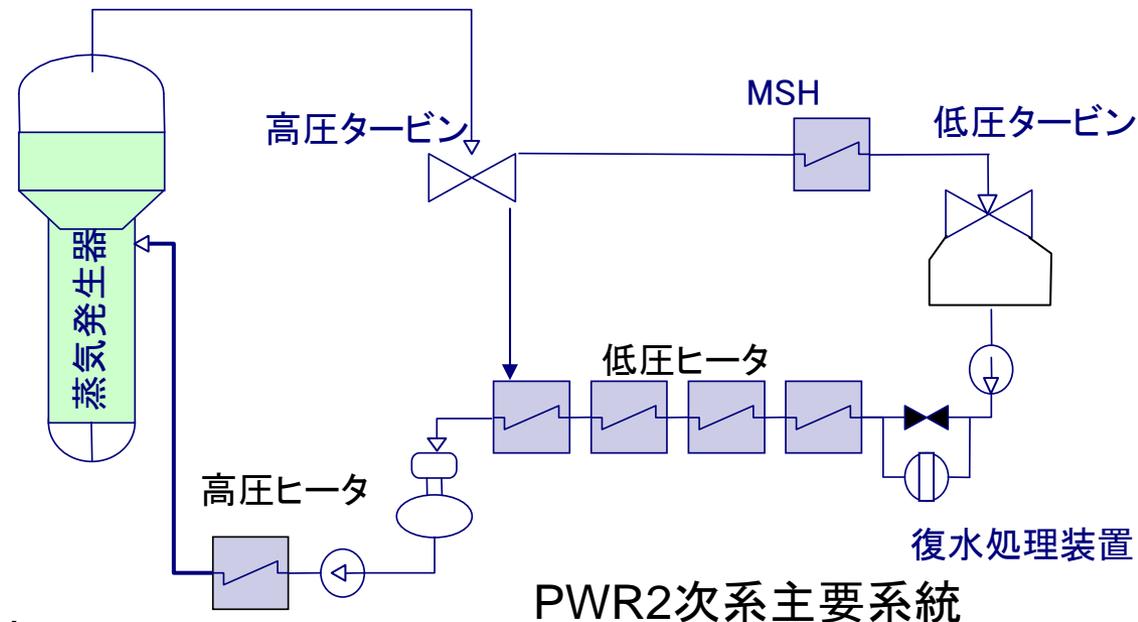
- 同pHでは、海外プラントより僅かに低い給水鉄濃度低減を達成
- pH9.5～9.9程度で、給水鉄濃度2～1ppb(目標1ppb)までの低減が見込まれる

## 2次系 pH最適化の概念

- 給水鉄濃度低減には高pH化が有効
- 高pH化の弊害(例)
  - アミン使用量増加によるコンデミ(復水処理装置)の負荷増加  
→コンデミのバイパス運転→不純物量の増加懸念
  - 銅系材料の溶出(対策:復水器やヒータなどから銅系材料の排除が必要)
  - ETA排水処理



設備健全性、経済性などを考慮し、各プラントに最適なアミン種(アンモニア、ETA、モルフォリンなど)選定、pH管理を実施



参考:ETAは気液分配係数の差により、アンモニアと比べて抽気系統での溶出抑制効果が高い

## 2次系におけるスケール問題(SG鉄持込)まとめ

- SGへの鉄および不純物持ち込み抑制、FAC抑制の観点から、2次系の水化学管理改善が進められている。
- ETA採用、高pH化により、SGへ持ち込まれる鉄は継続的に低下している。
- pH9.5～9.9程度で、給水鉄濃度2～1ppbまでの低減が見込まれる。