

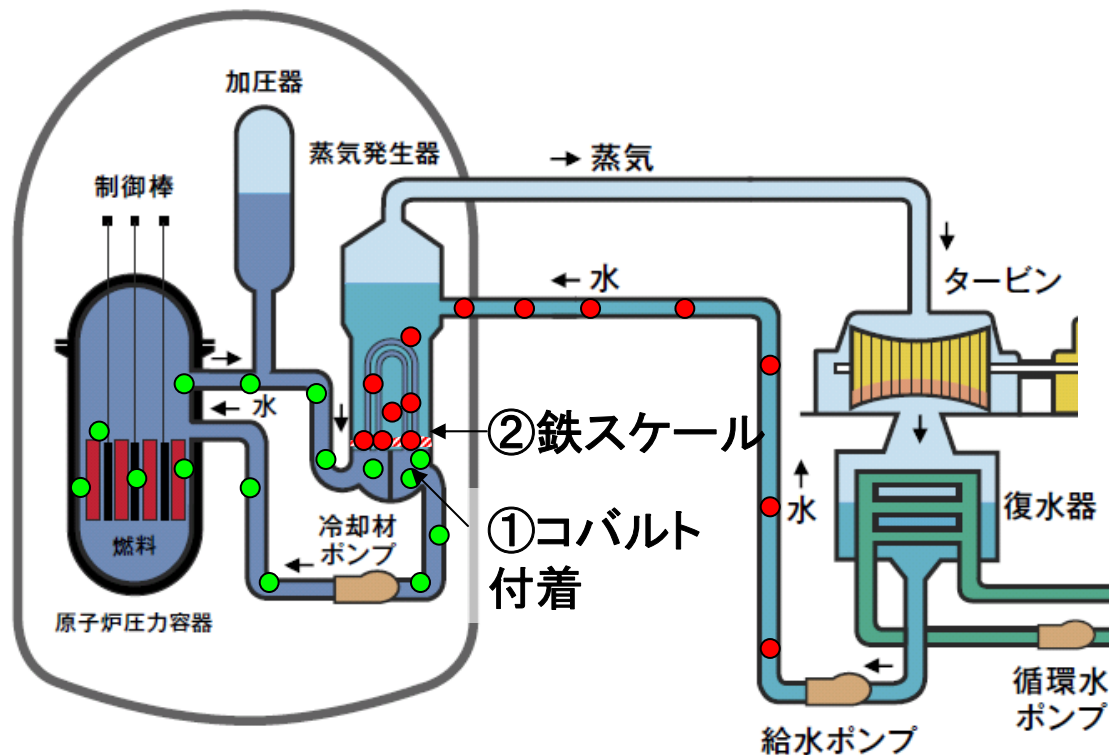
PWRプラントにおけるスケール付着事象

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



① 1次系スケール中のコバルト

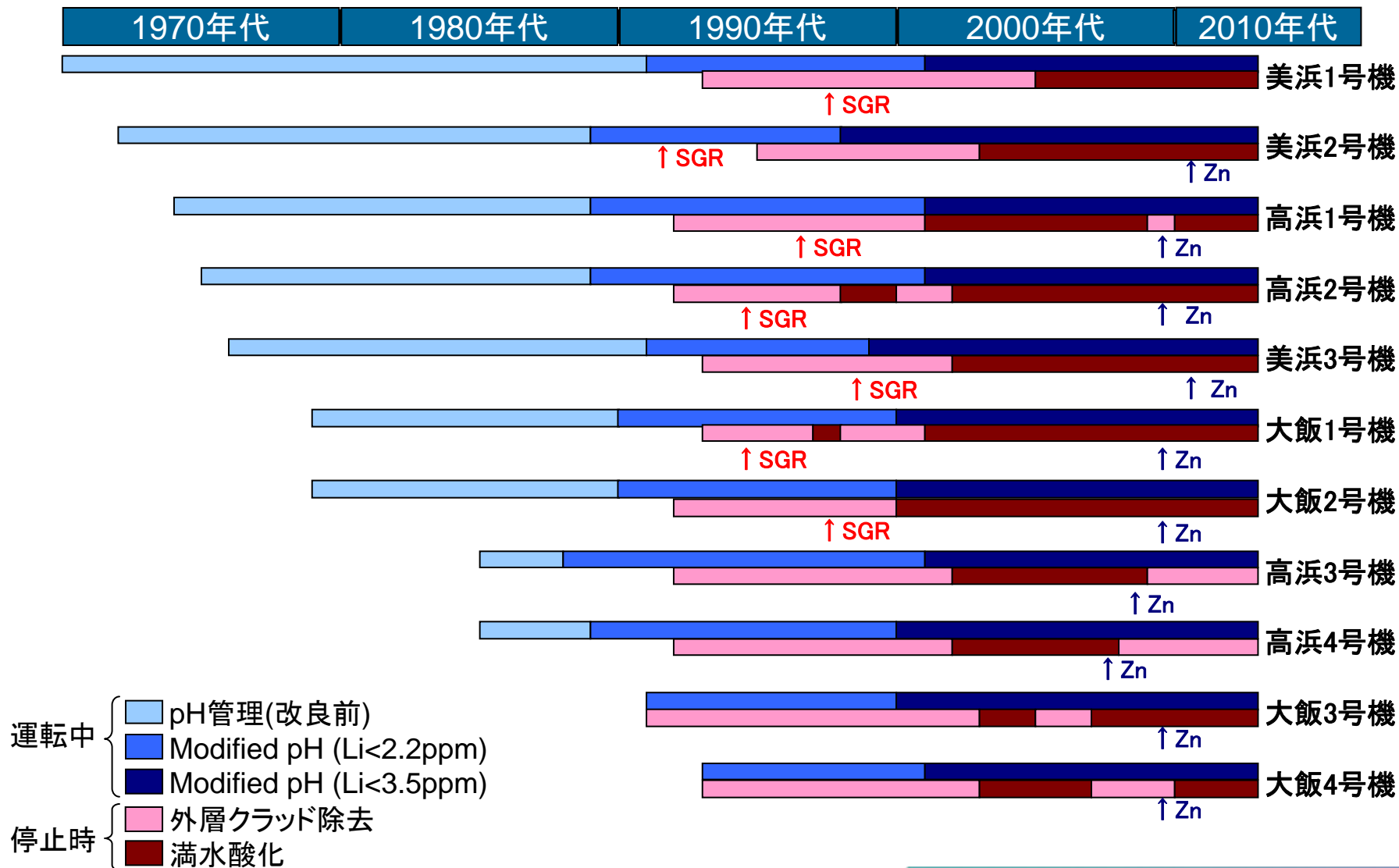
→ 被ばく低減の観点から問題

② SG2次側に持ち込まれる鉄のスケール付着

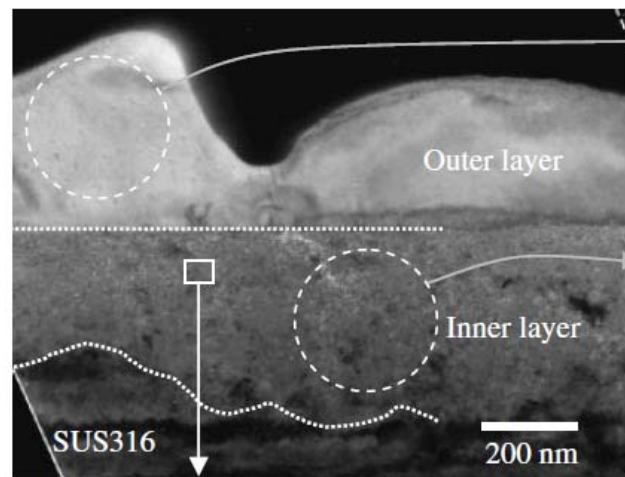
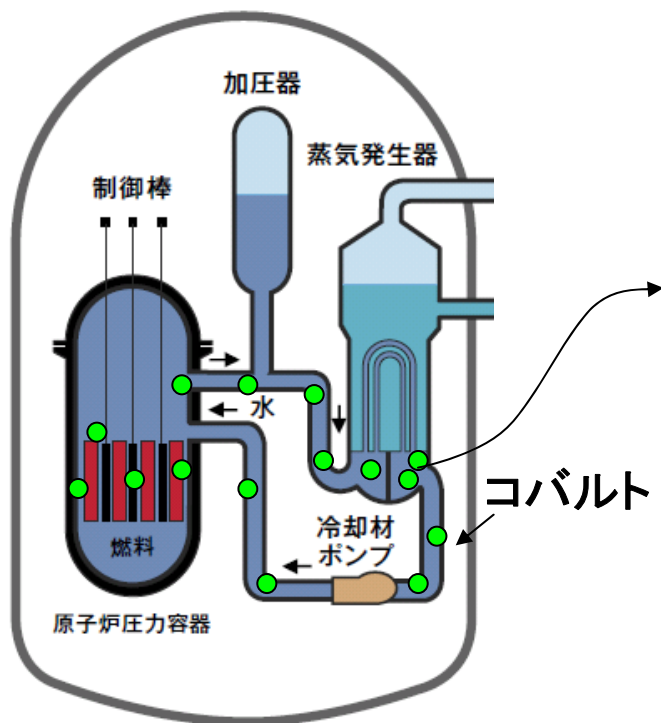
→ 伝熱管性能低下や材料健全性などの観点から問題

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

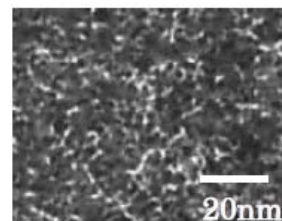


1次系の腐食生成物



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
 FeCr_2O_4
 逆スピネル型
 の微細粒



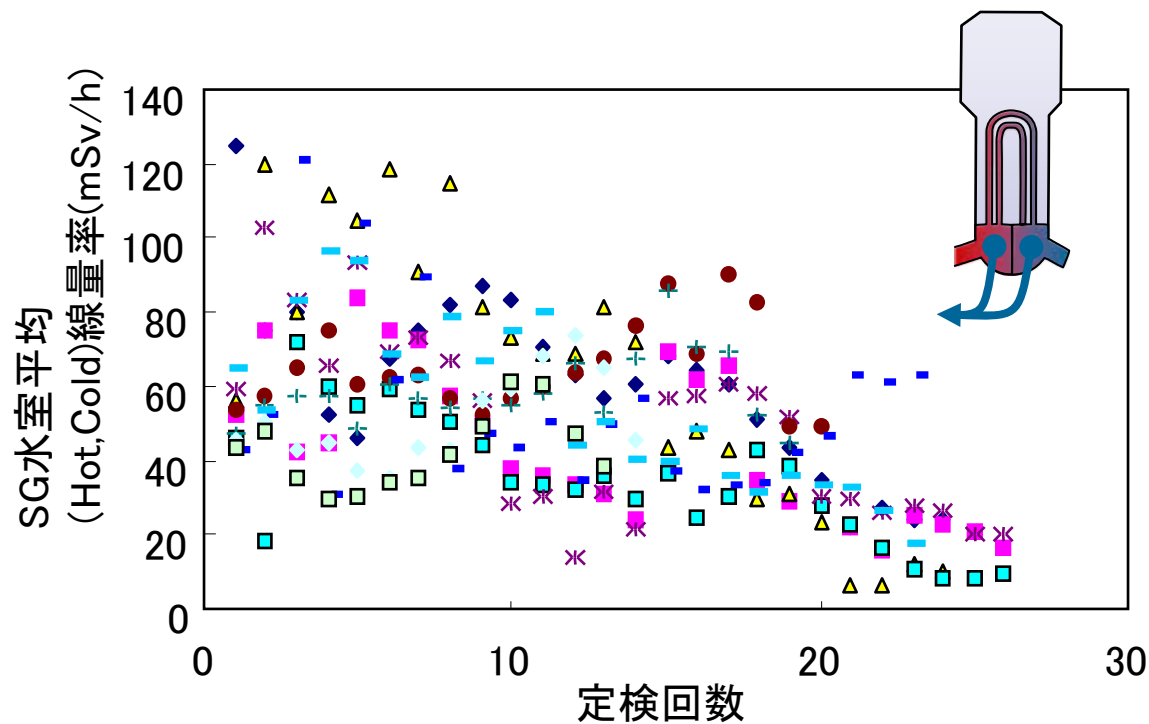
(a) TEM cross-sectional image

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(NiFe_2O_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

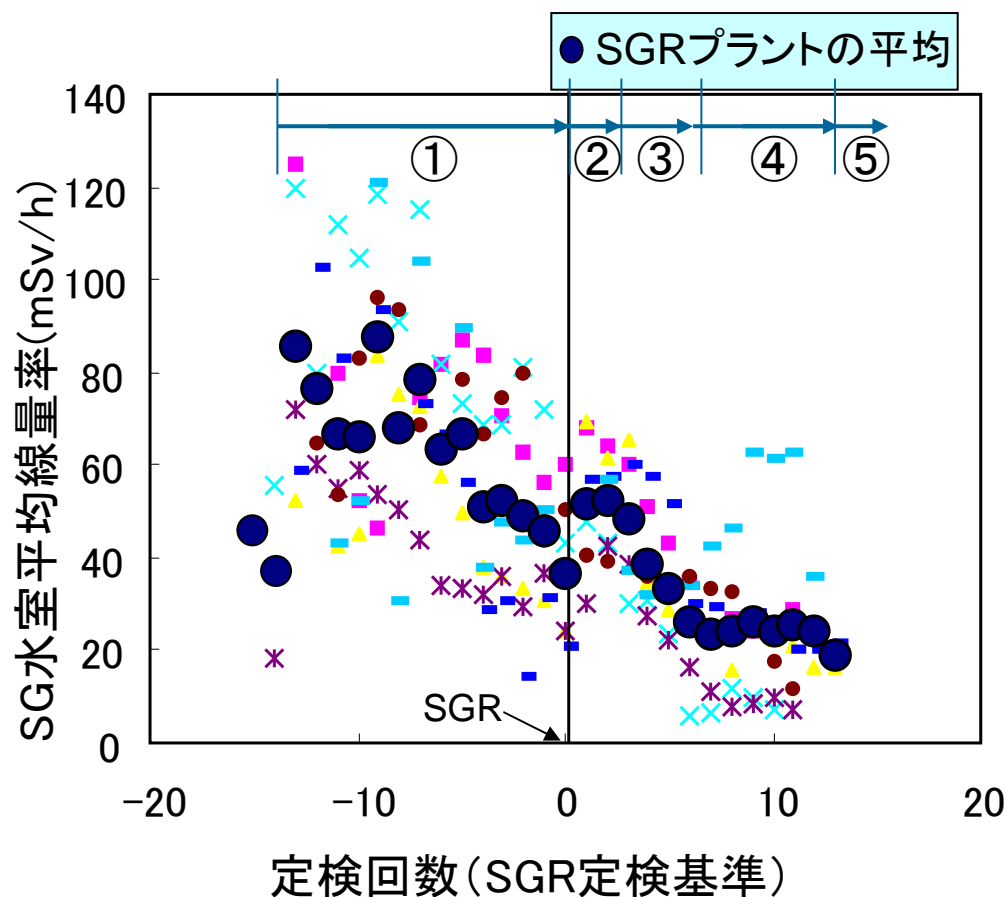
1次系 線量率の長期トレンド変化



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

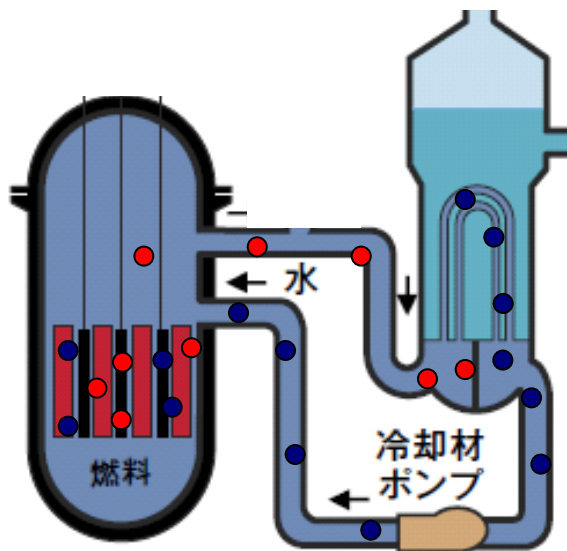


⑤ 低下の再開



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

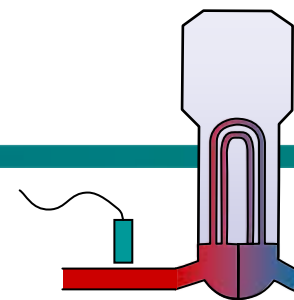
- 1) SG, 主要系統からのNi, Coの溶出
- 2) 燃料表面での放射化
Ni58 → Co58
Co59 → Co60
- 3) 系統設備への析出

線量率変化の要因

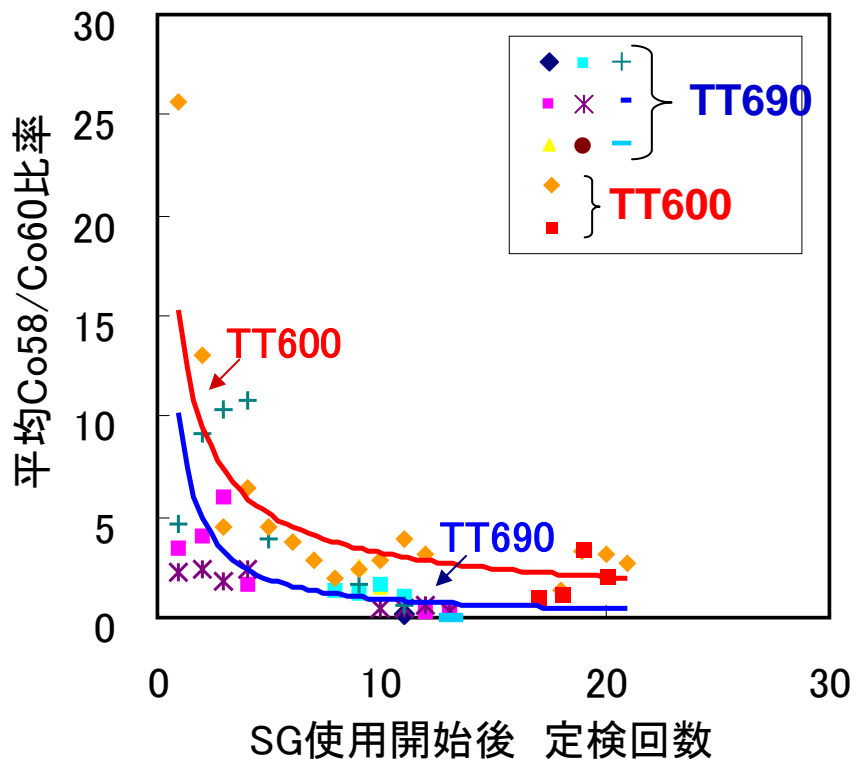
- 腐食量の変化
 - 皮膜形成による溶出量の低下
(Ni溶出抑制 → Co58生成抑制)
 - 設備保全による溶出の増加
(Co溶出増加 → Co60生成要因)
- SGRなど材料の改善
 - 600合金 → 690合金
高Cr化によるNi溶出量低下
- 水処理の高度化
 - 高pH化、起動停止時の水処理改善による溶出析出挙動の管理
 - 亜鉛注入による析出抑制 など

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



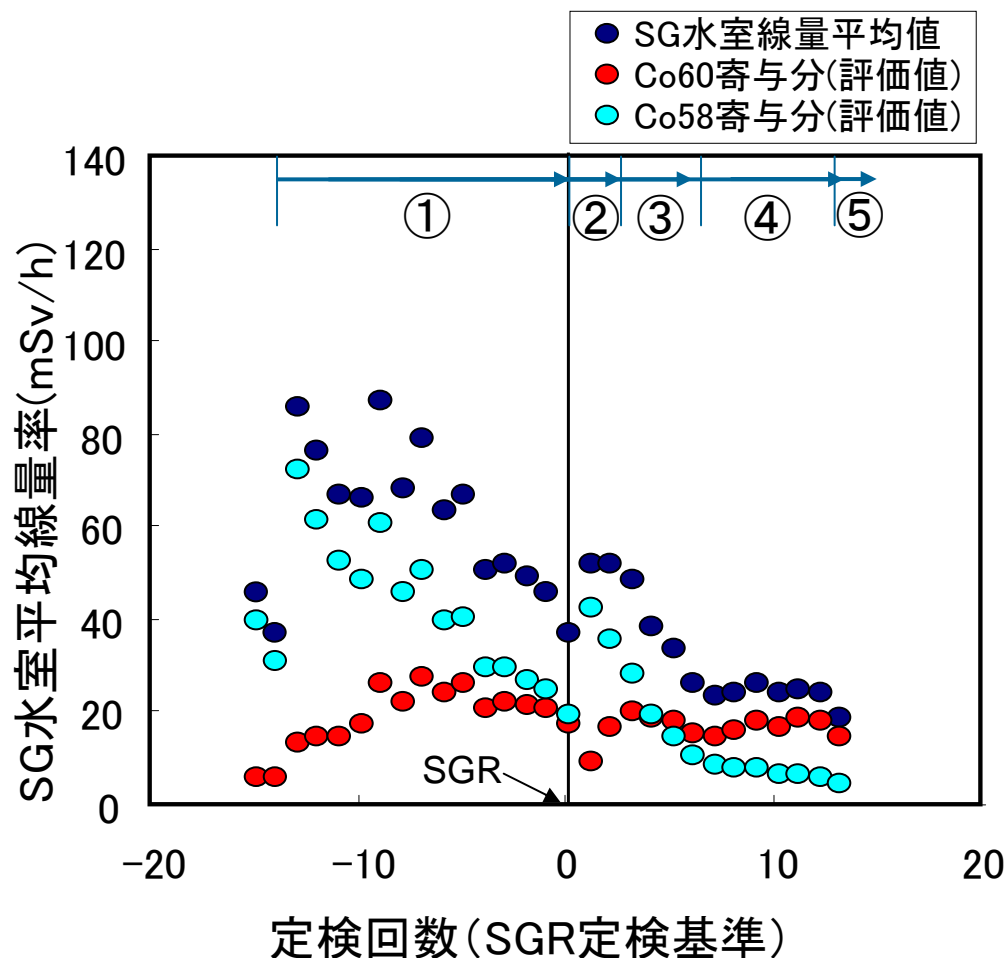
コールドレグ、ホットレグ配管の



- 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。

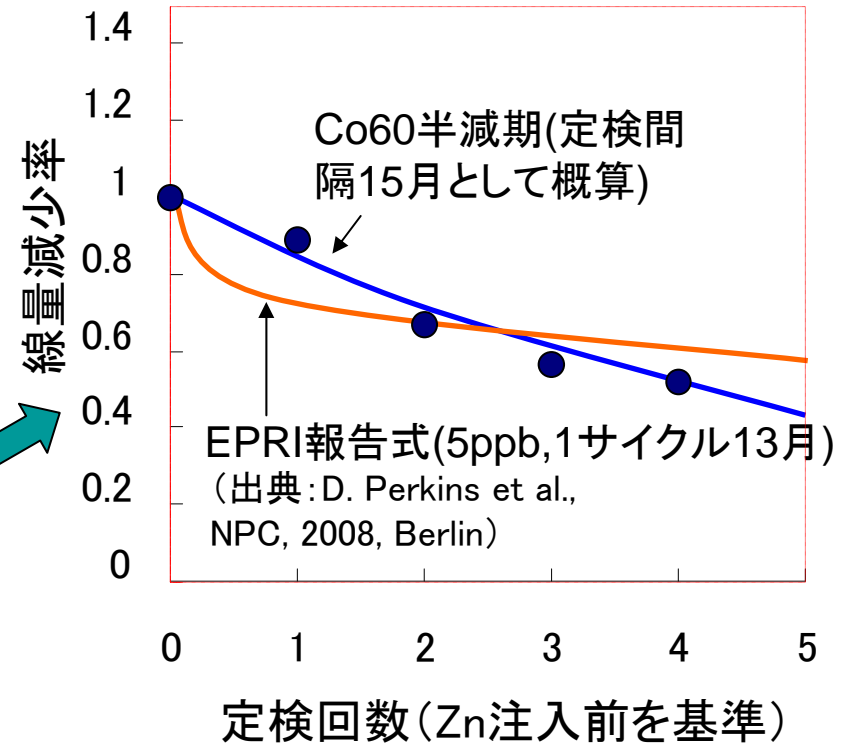
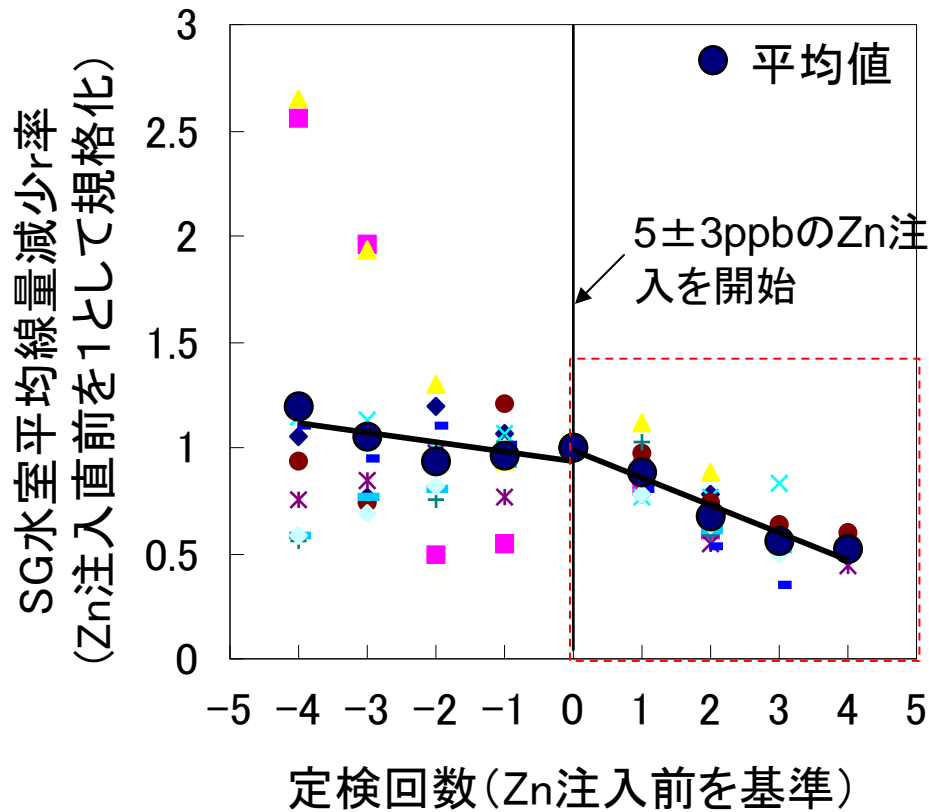
(半減期 Co60:5.27年, Co58:71日)

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)

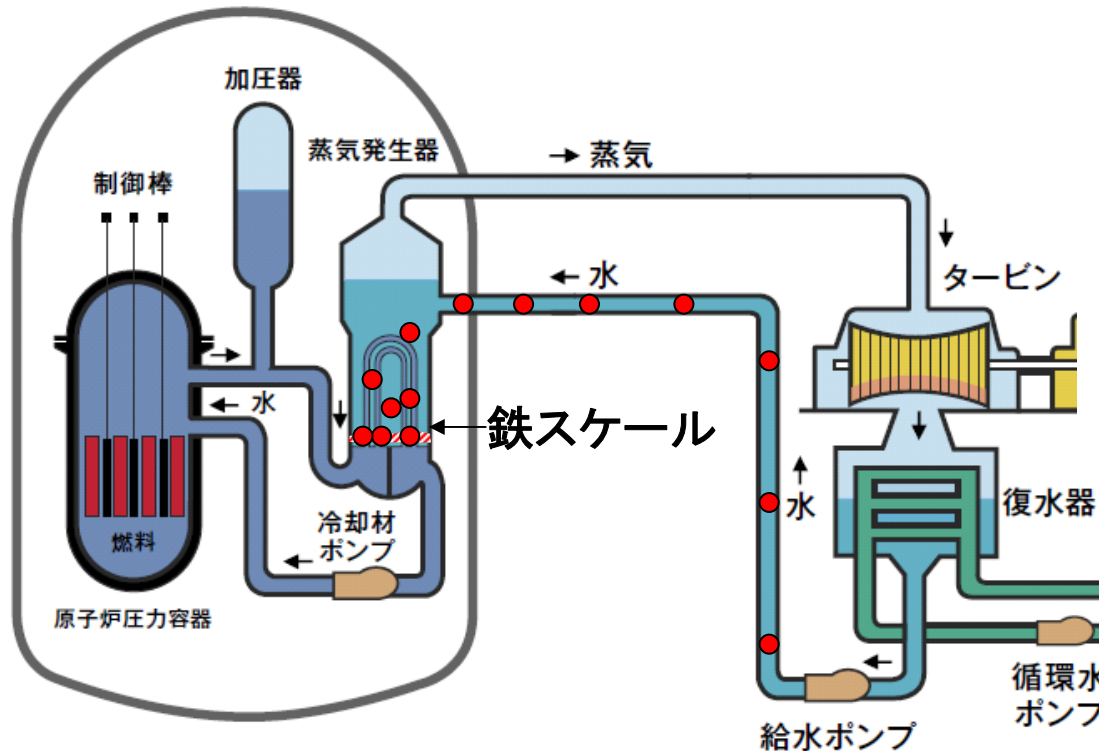
1次系におけるスケール問題(SG水質線量率)まとめ

- 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。

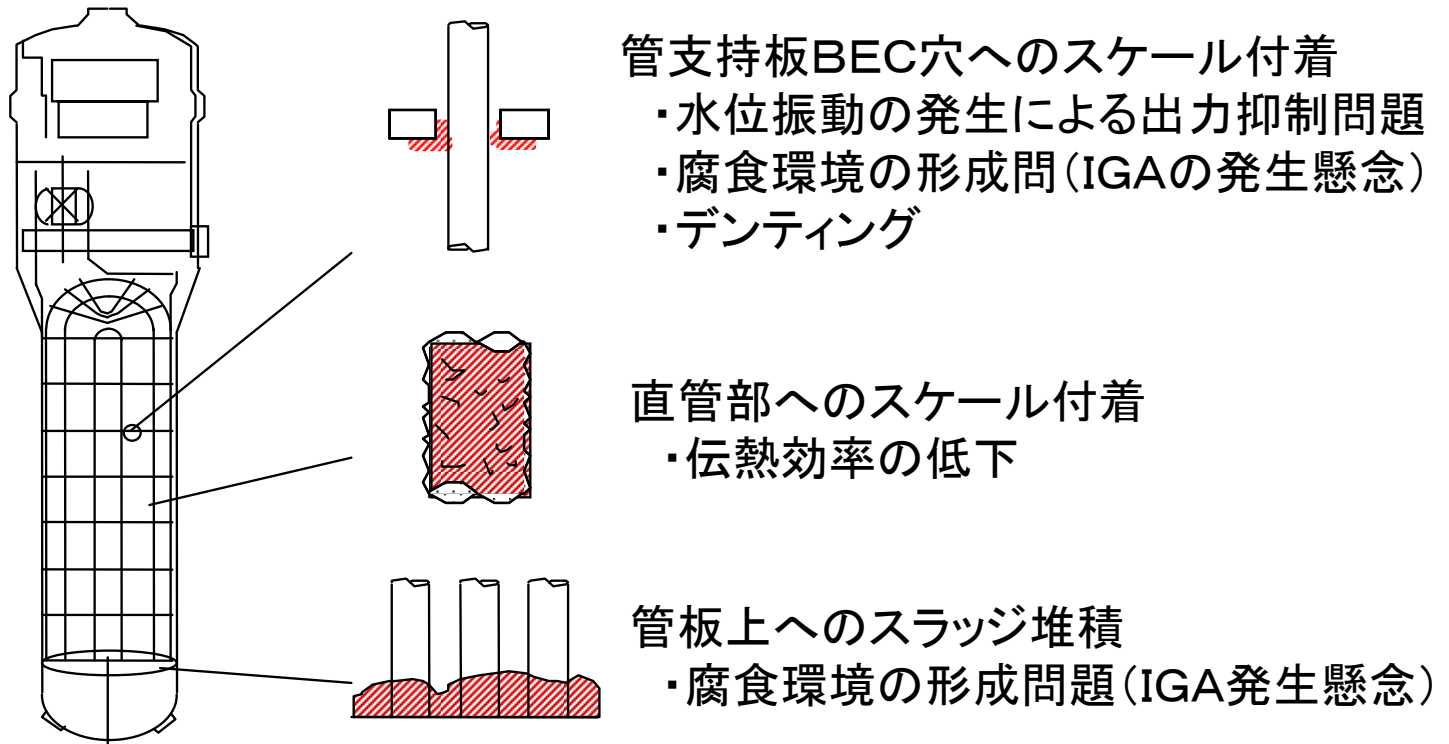
- 被ばく低減に関する取り組み
 - 亜鉛注入はCo取り込み抑制に顕著な効果を発揮(5年で半減)
 - 高経年化プラントはCo60への対策が重要

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

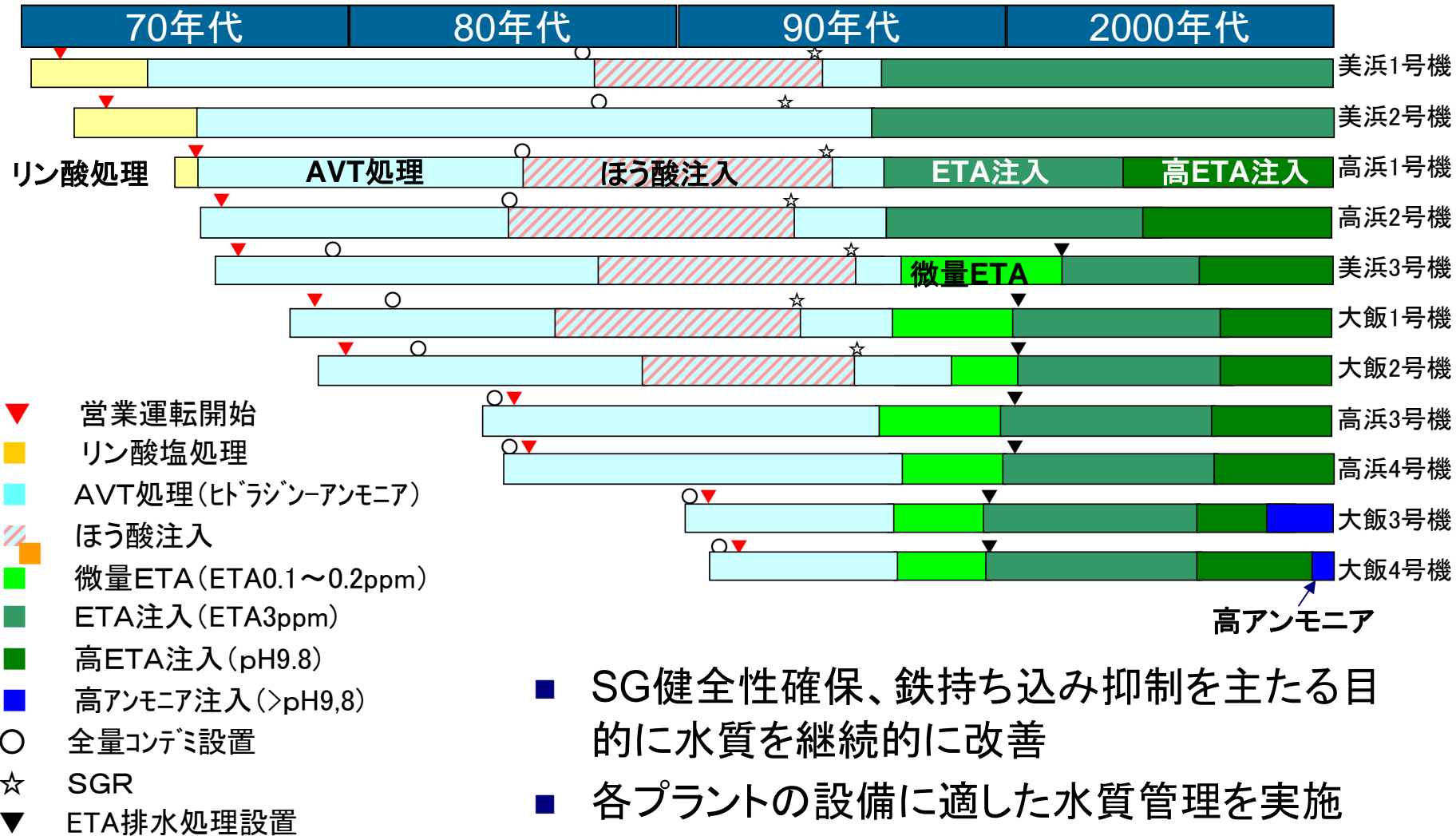


主な対策

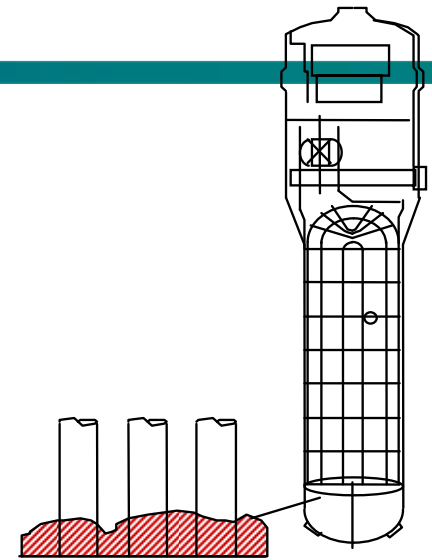
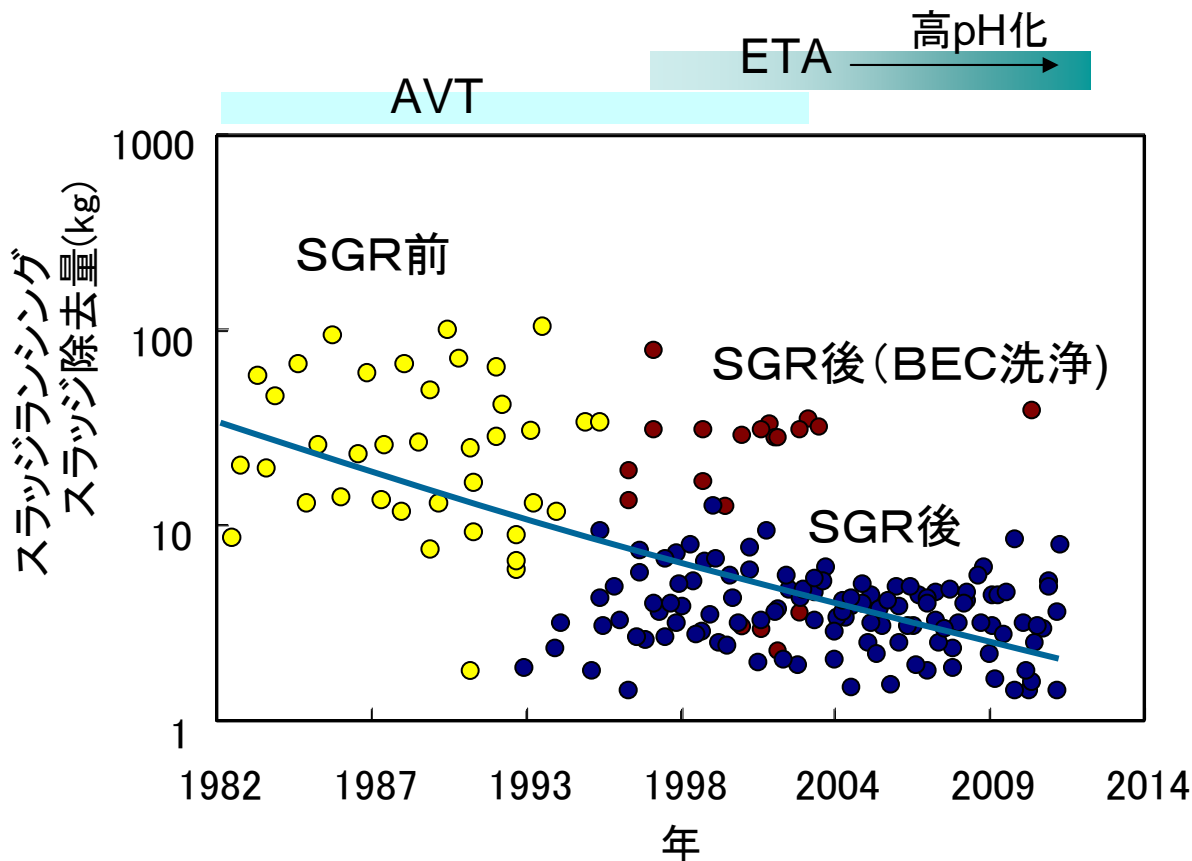
- 運転中: 鉄の持ち込み抑制 (pH制御、アミン種の選定)
- 定検中: スラッジランシング、BEC洗浄、ASCA洗浄

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



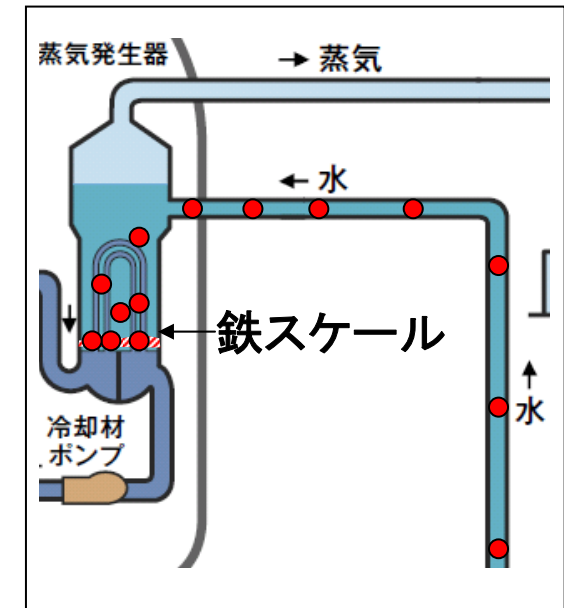
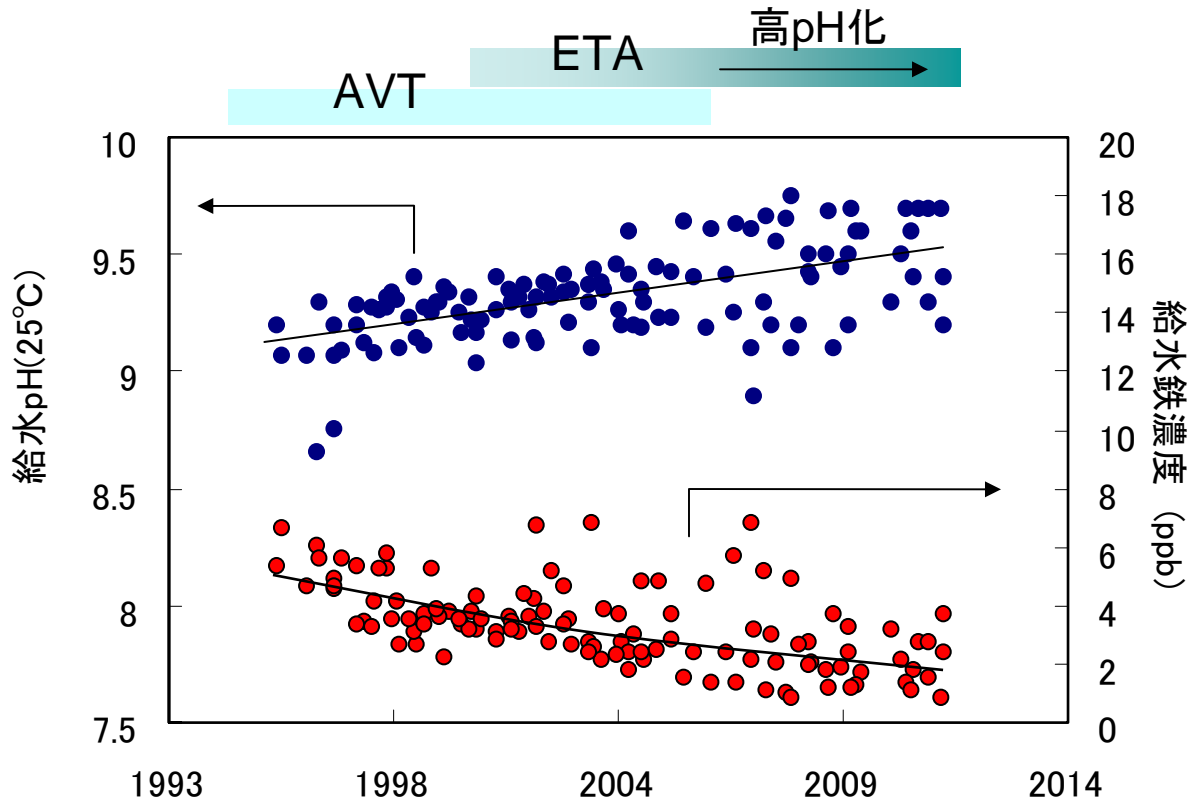
2次系 スラッジランシングでの鉄除去量 (関西電力のPWR 11プラント)



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

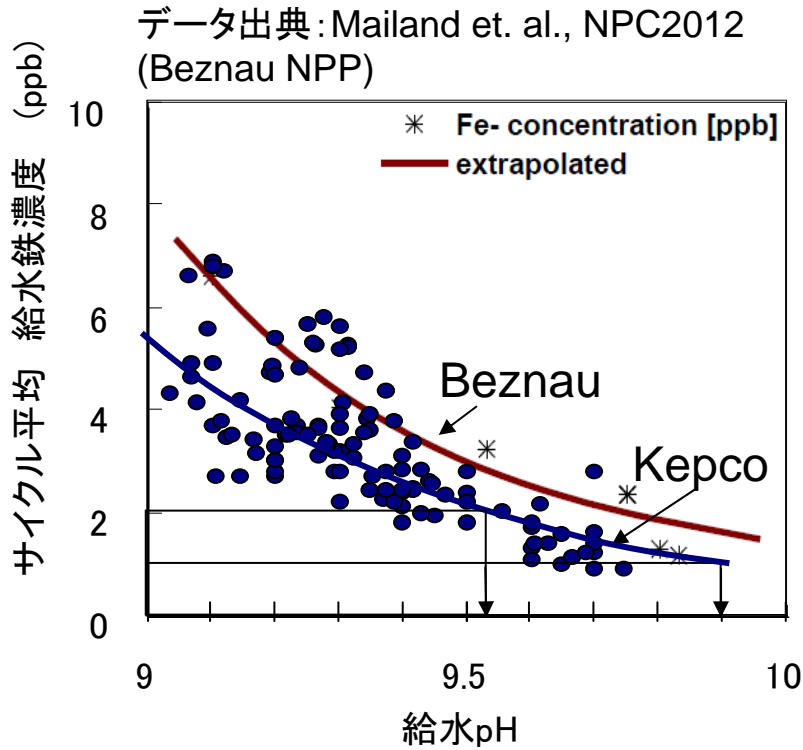
- スラッジランシング時のスラッジ除去量は低下傾向にある
- AVTからETAへの変更、高pH化により継続的に低下

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)

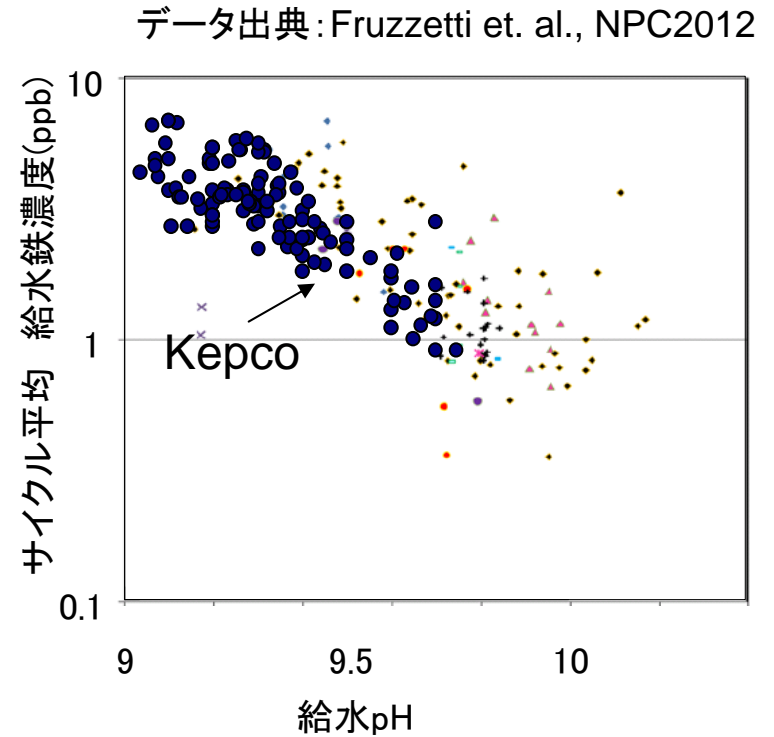


- 高pH化は銅の溶出増加となるため、銅系材料(復水器・給水過熱器伝熱管)の排除と合わせ段階的に高pH化を推進
- pH増加に伴い、給水鉄濃度は低下傾向

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

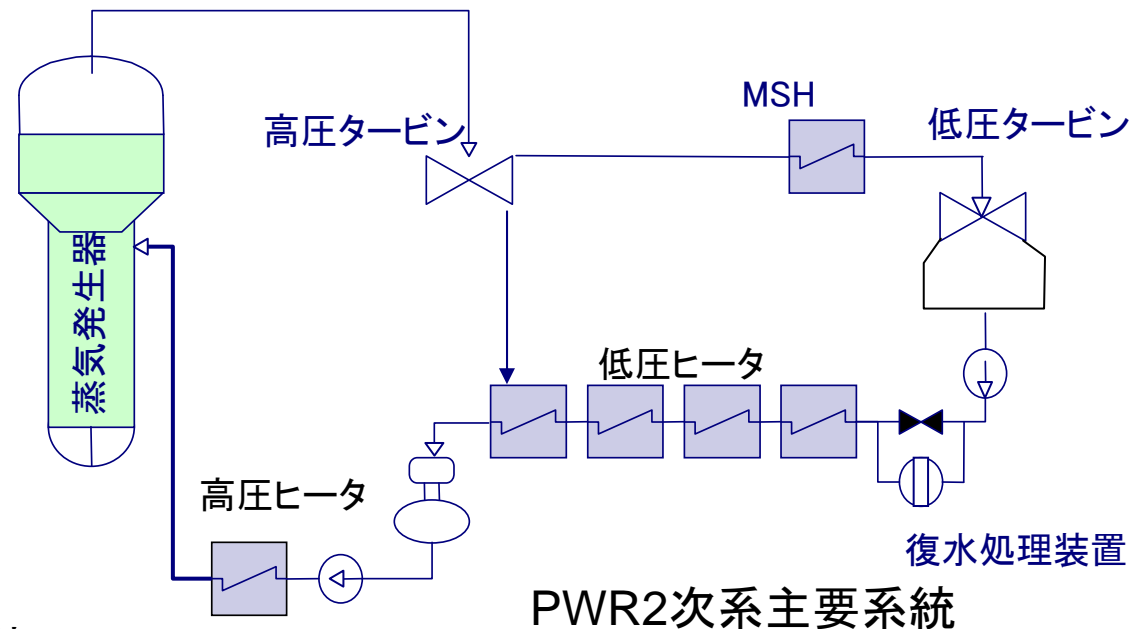
- 同pHでは、海外プラントより僅かに低い給水鉄濃度低減を達成
- pH9.5～9.9程度で、給水鉄濃度2～1ppb(目標1ppb)までの低減が見込まれる

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。