

PWR 2次系機器スケール付着挙動と 抑制対策適用への取り組み

三菱重工業(株)

石原 伸夫

日本原子力学会水化学部会第8回定例研究会
11/25/2009, 大阪科学技術センター

○背景

主なスケール付着箇所(プラント系統)
付着箇所・スケール発生箇所の環境
スケール付着による問題点

○水化学管理による対策

水化学管理の変遷
対策(高pH化, ETA処理, 材料改善, 分散剤)

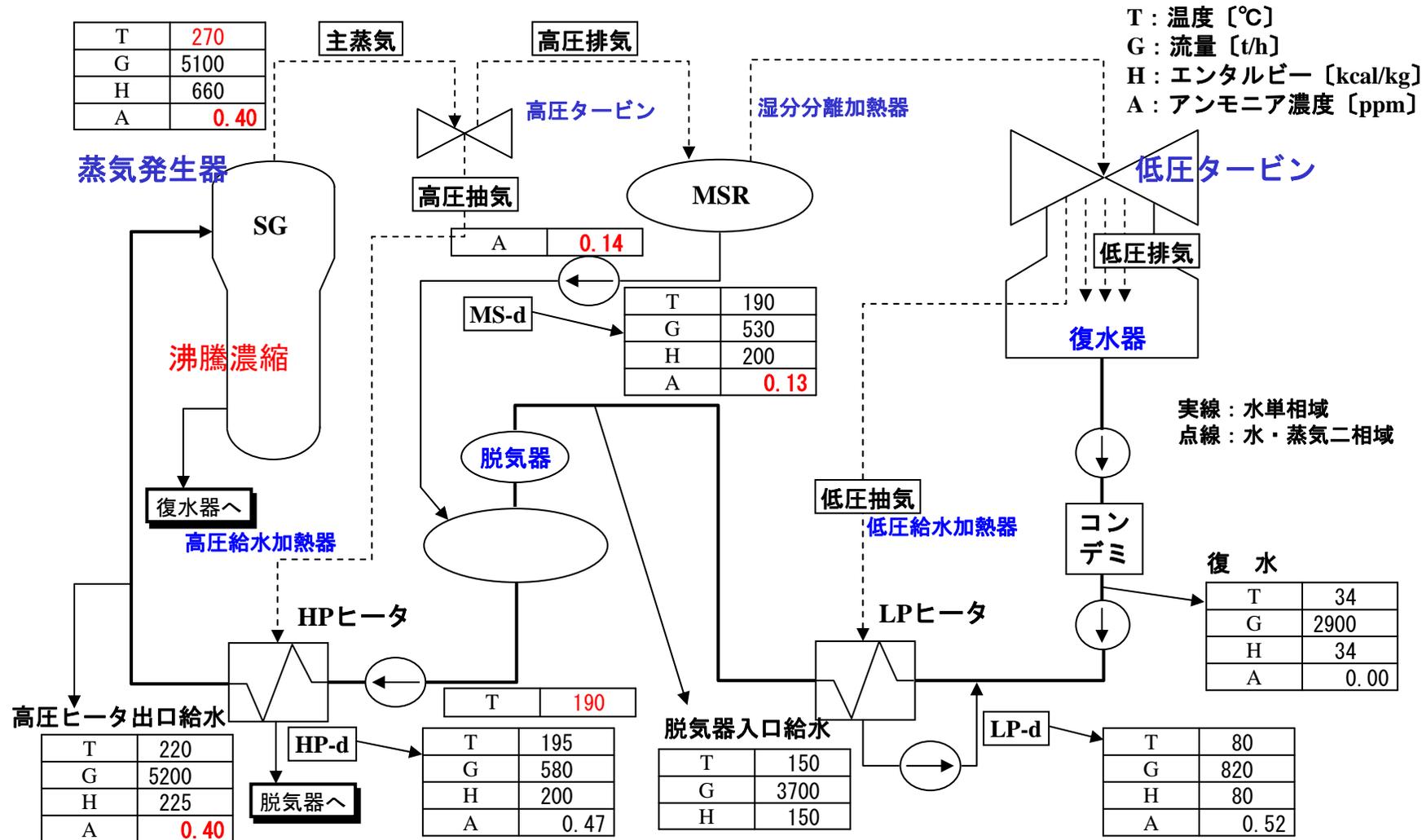
○付着メカニズム

給水ポンプ
蒸気発生器

○化学洗淨

主な化学洗淨法

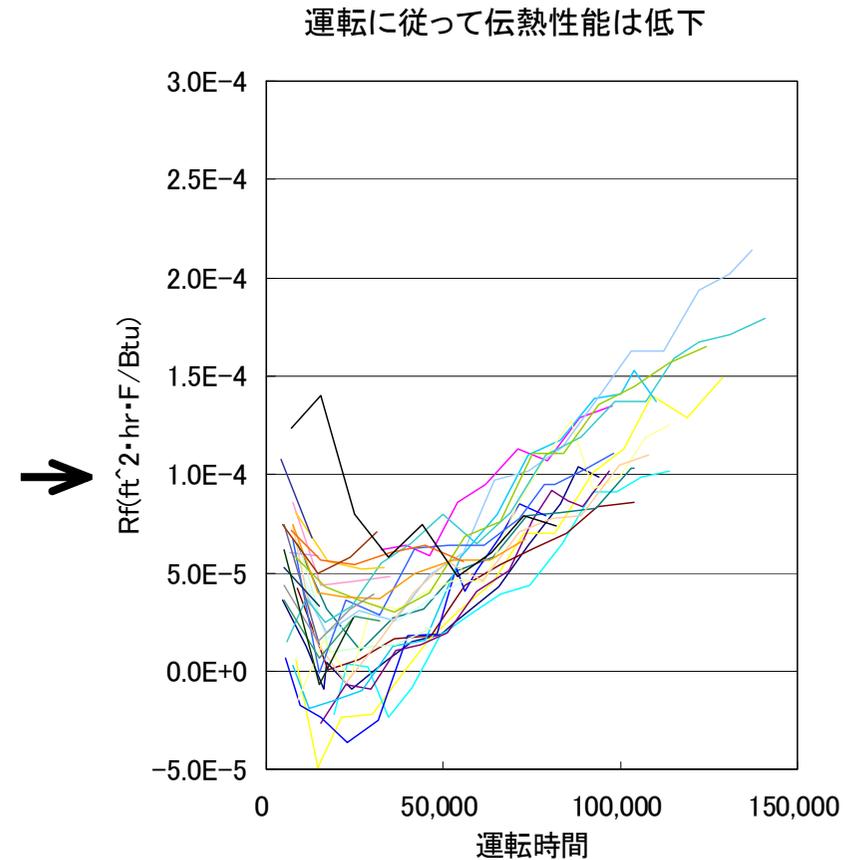
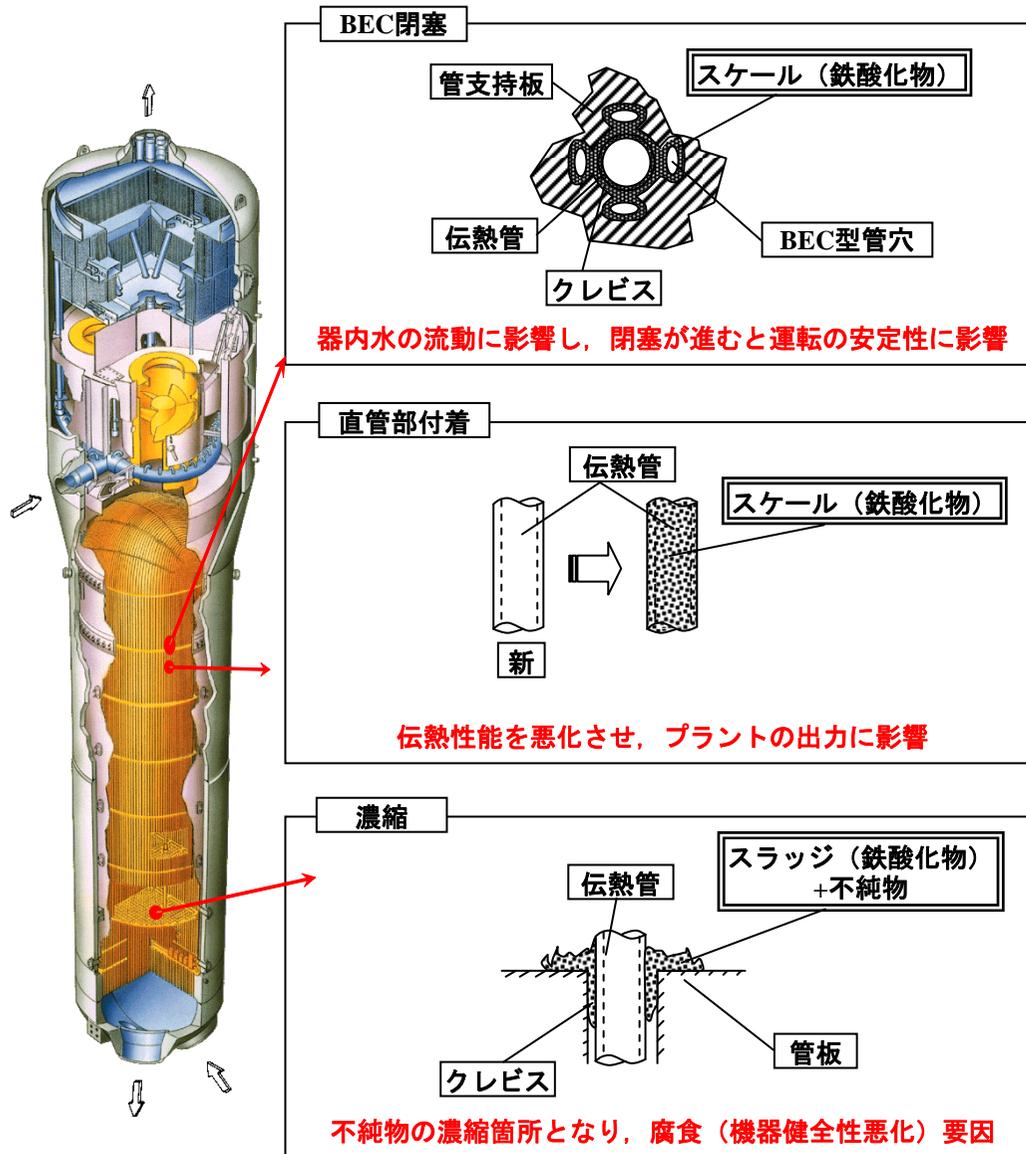
背景(2/4) 付着箇所・スケール発生箇所の環境



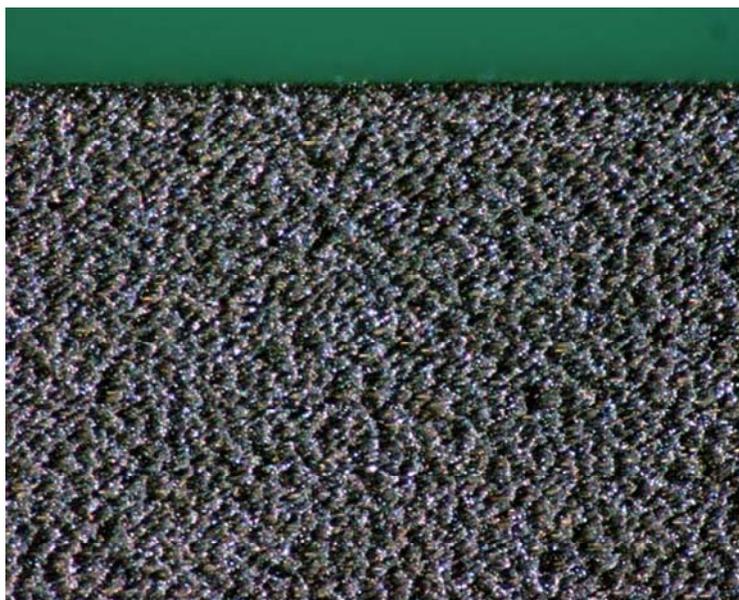
PWR 3ループプラントのヒートバランス・薬注バランスの一例

給水ポンプは温度・水質一定, 蒸気発生器は温度上昇と沸騰濃縮が発生
温度変化, pHの分布が生じることによってスケール発生は加速

背景(3/4) スケール付着による問題点1

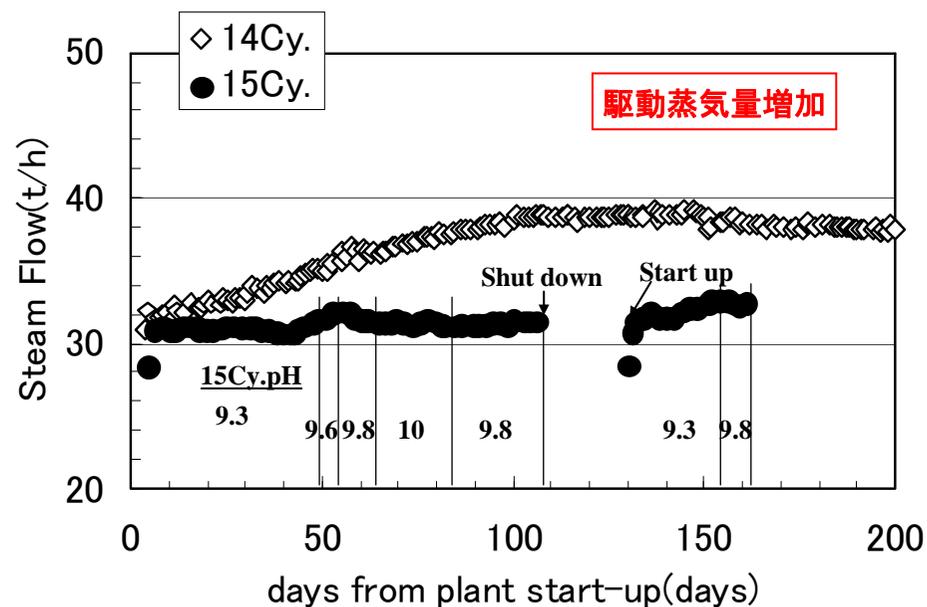


蒸気発生器での問題点



0.5mm

試験で観測されたポンプ表面の付着スケール



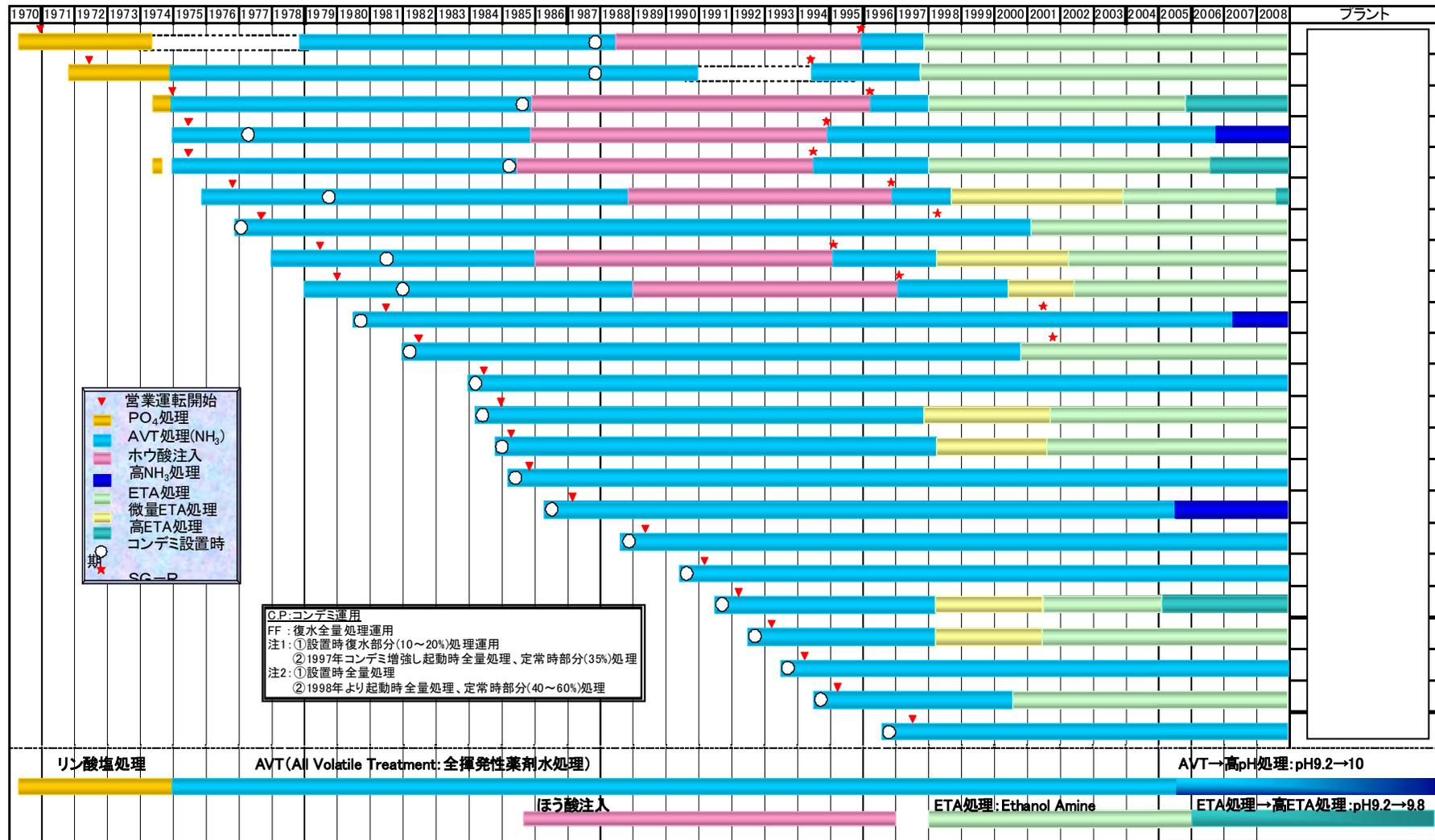
NPP in Asia, Korea, 2005, 21-26

実機給水ポンプでの駆動蒸気量経時変化

駆動蒸気は全蒸気の約1%あり、その増加はプラント出力に影響

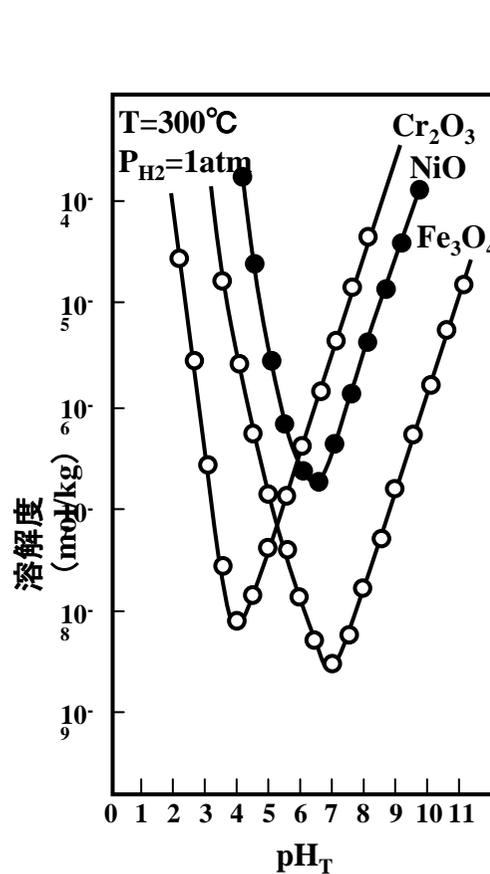
給水ポンプでの問題点

対策 水化学管理変遷

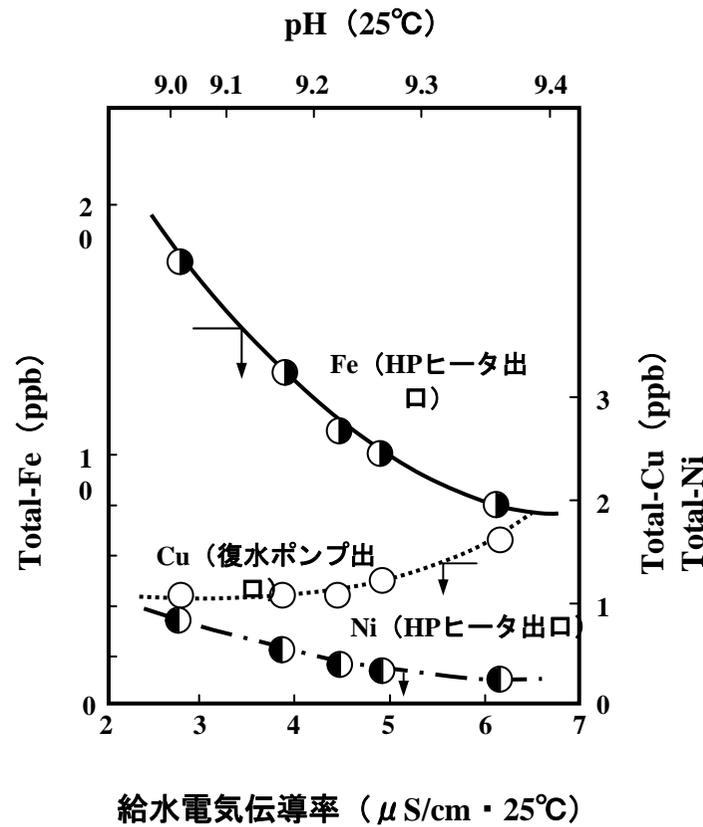


AVT(pH9.2)からETA・高ETA(pH9.8), 高pH(pH10)へ

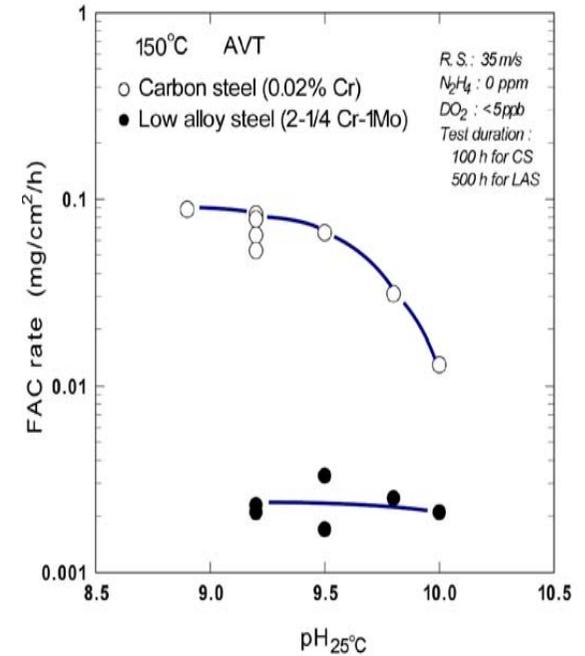
対策1 高pH化・材料改善



300°C高温水中での酸化物の溶解度



SG給水pHと系統水中Fe,Cu濃度の関係



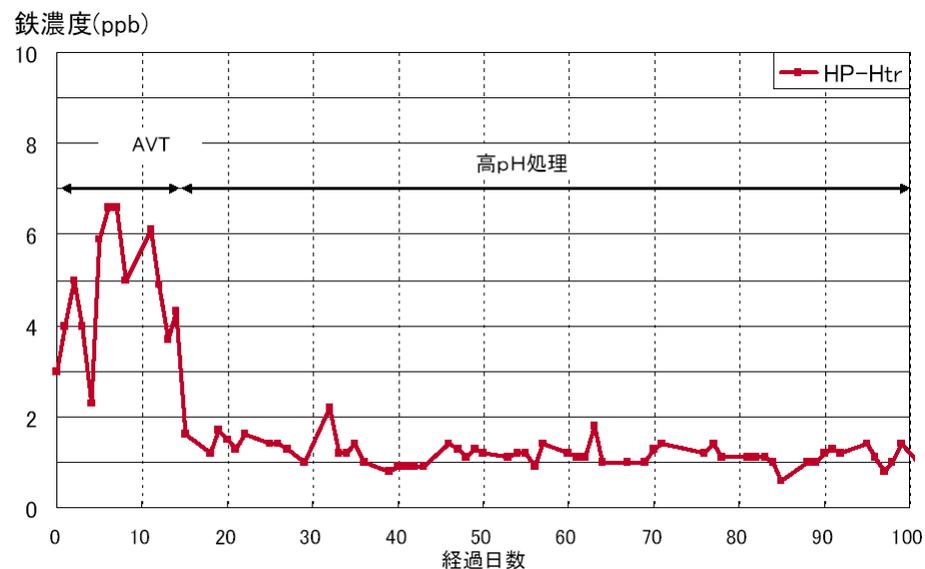
FAC減肉速度とpHの関係

出典:原子炉水化学ハンドブック(日本原子力学会編、コロナ社)

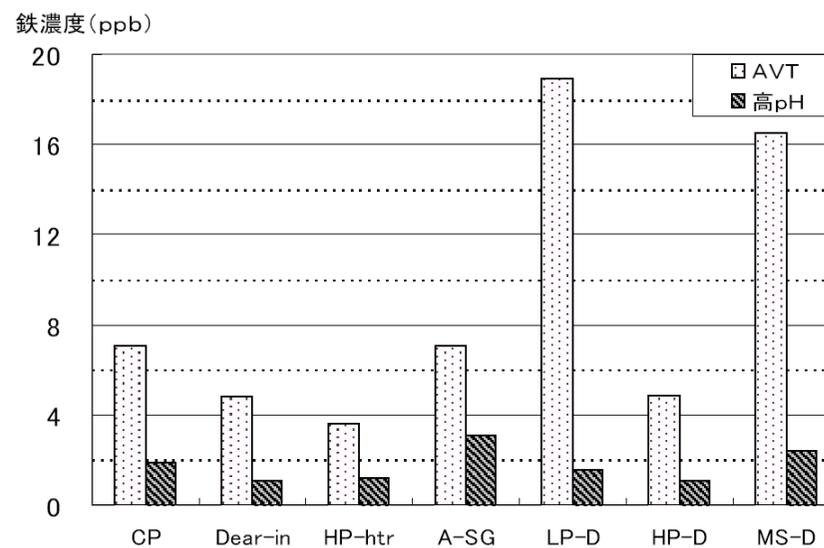
出典:Fontevraud 6, Volume 1, Session A, p.181-190, SFEN, 2006

高pH化により鉄溶解度を低下させ、スケール量を低減
材料を炭素鋼から低合金鋼・SUSにすることでFACは大幅抑制

対策1 高pH化



高pH化後の給水鉄濃度



高pH化前後の各系統鉄濃度

出典:平成20年度火力原子力発電大会論文集, 2009/2

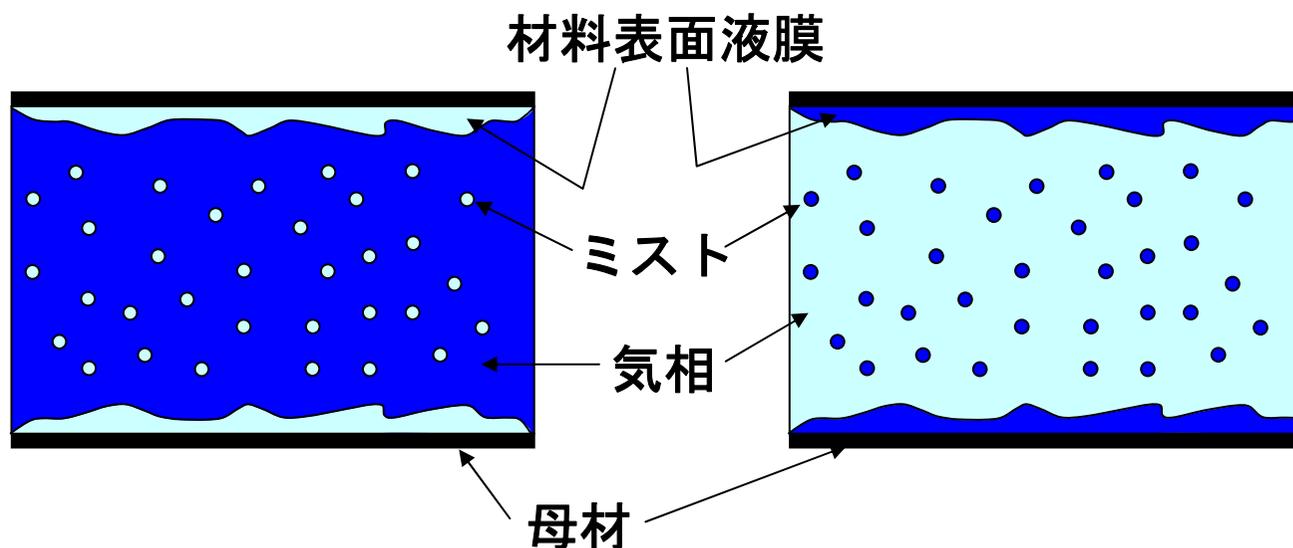
高pH化により鉄濃度は大幅低減

対策2 ETA処理

アンモニア
気液分配 1以上
(蒸気側へ移行しやすい)

ETA
気液分配 1以下
(液(ミスト)側へ移行しやすい)

給水pHが同じでも効果があるため、高pHで溶出しやすい銅系材料使用下でも適用可能



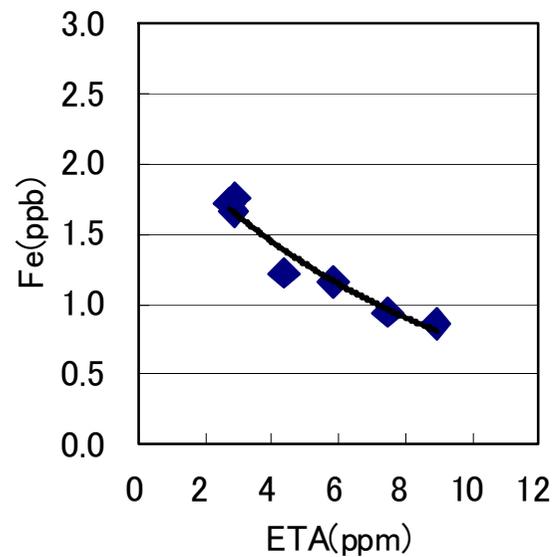
薬液濃度小 = pH低下

薬液濃度大 = pH上昇

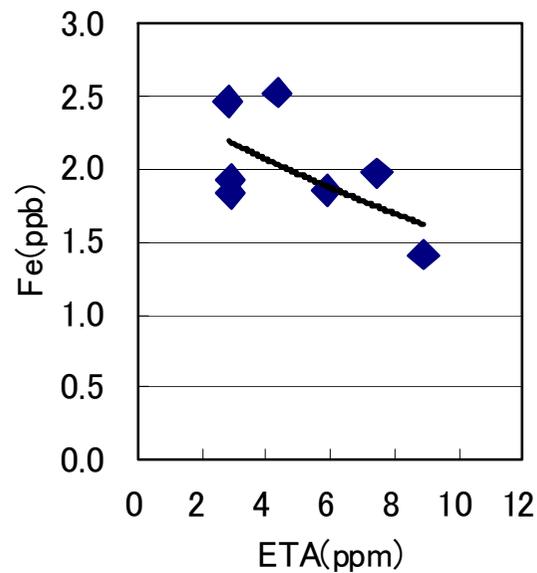
pH調整剤の気液分配模式図

抽気など二相流部の水相pHを上昇させ、鉄溶出を低減する

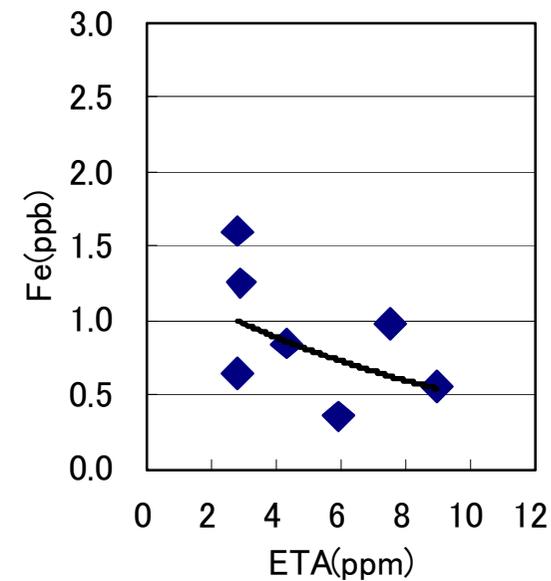
対策2 ETA処理



給水鉄濃度とETA濃度の関係



MSドレン鉄濃度とETA濃度の関係

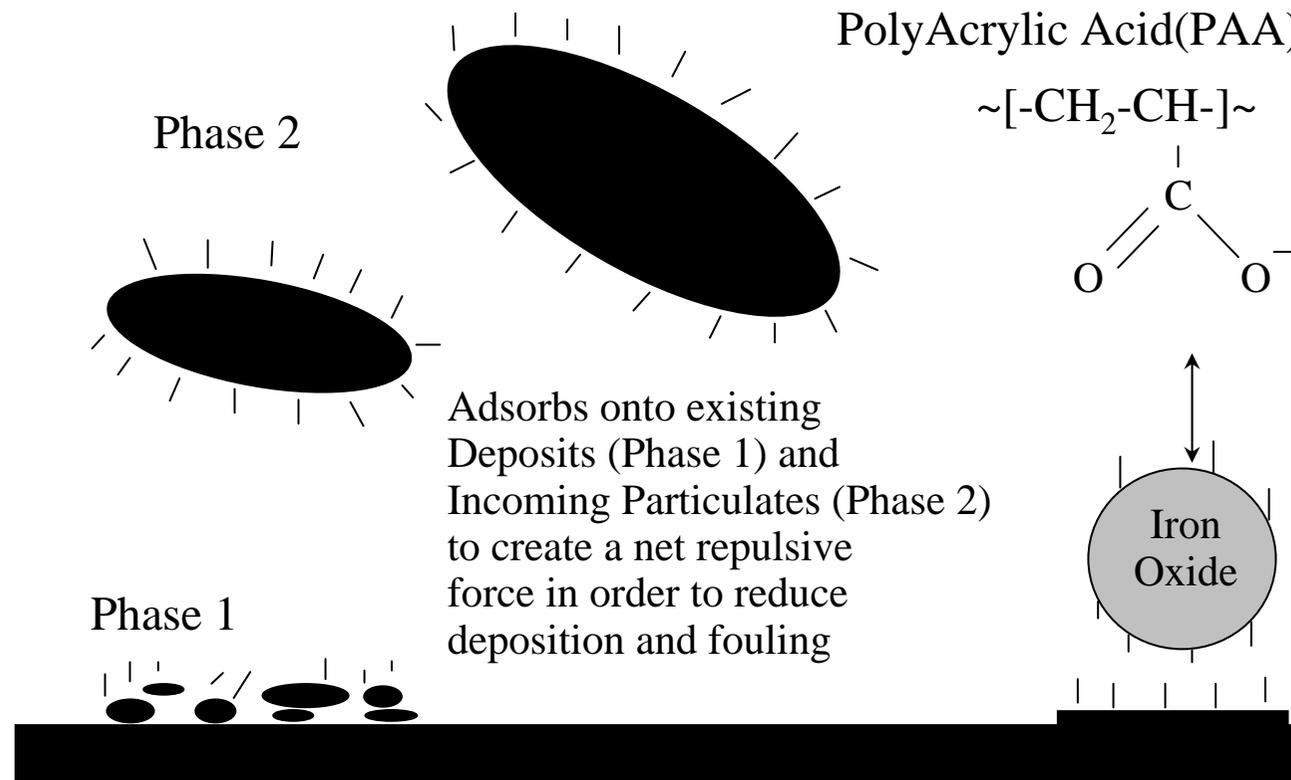


LPドレン鉄濃度とETA濃度の関係

出典: 16th PBNC, Aomori, Japan, 2008, P16P1253

ETA処理によっても各系統鉄濃度は大きく低減

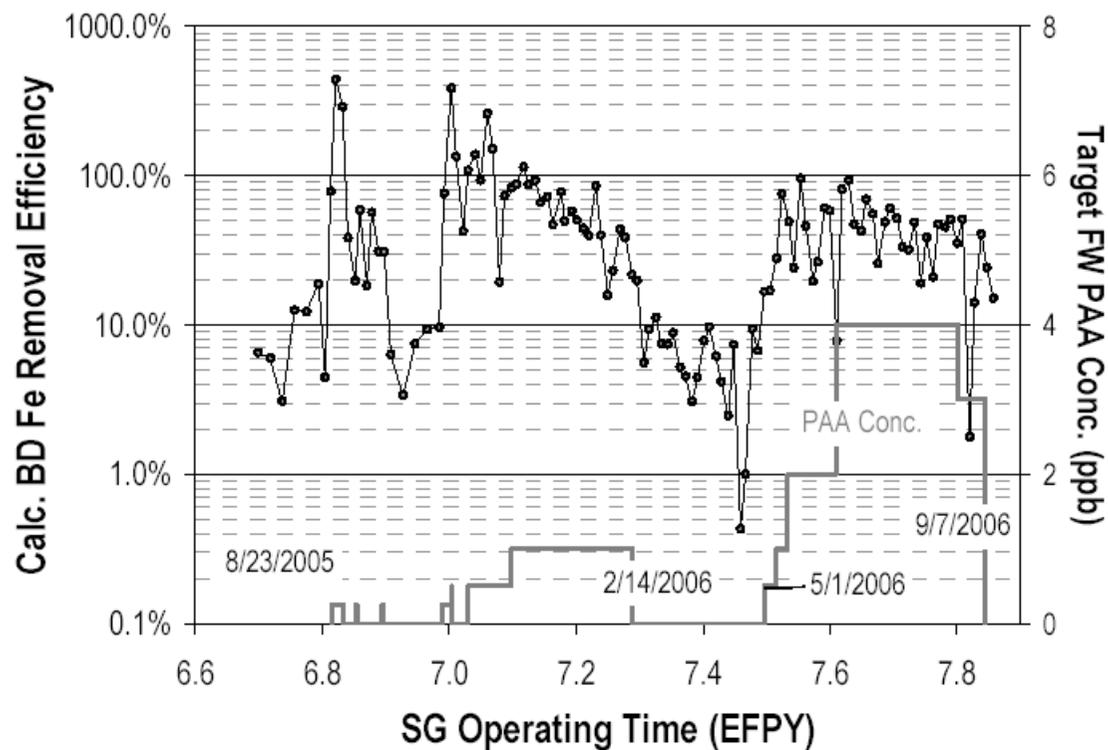
対策3 SGでの分散剤



分散剤ポリアクリル酸による付着防止の原理

PAAが粒子に付着し、負電荷の反発作用でSG伝熱管への付着防止

対策3 SGでの分散剤

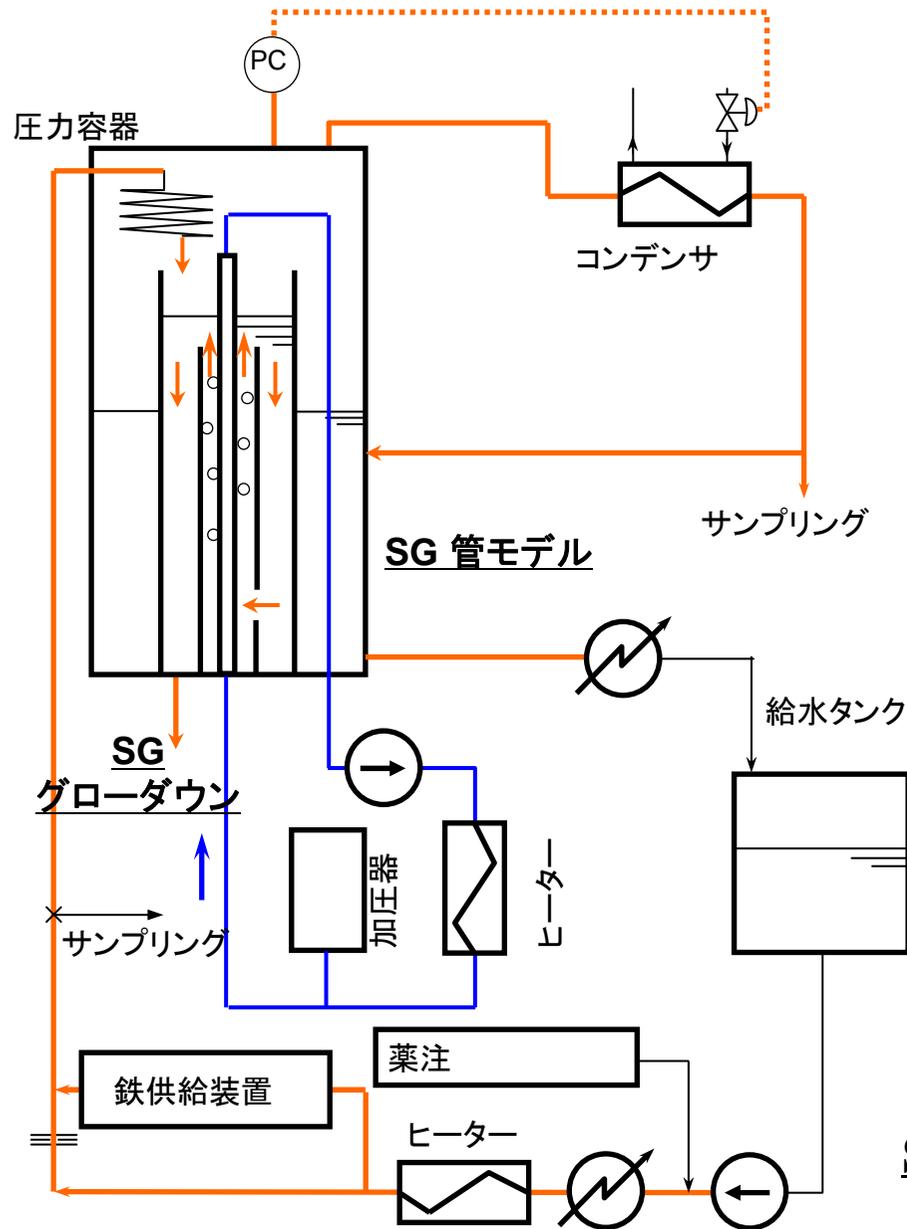


International Conference on Water Chemistry of Nuclear Reactor Systems, 2008, Berlin, L09-4

プラントでの長期試験結果

実機長期試験で付着量を50%低減

SG伝熱管への付着メカニズムの解明 試験装置



- 実機と同径のTT600 SG伝熱管
- 実機の流動・熱流束(沸騰)・pH・鉄濃度を模擬

SG伝熱管スケール付着試験装置の構成

SG伝熱管の化学洗浄

名称	ASCA*	KWU法/EPRI法	COMEX法	クエン酸洗浄	HF・HCl洗浄
対象	数サイクル分 スラッジ除去	本格化洗	本格化洗	火力ボイラなど	火力ボイラ
鉄洗浄薬液	0.5-1% EDTA**	高濃度 EDTA**	クエン酸 -ギ酸	クエン酸 他有機酸	フッ酸 塩酸
処理温度	80℃	170/95℃	80℃	80-130℃	低温
SG洗浄への 適用回数	定期的適用可	数回	不明	—	—
処理時間	24時間	6/24時間	不明	不定	不定

* ASCA:Advanced Scale Conditioning Agent

** EDTA:エチレンジアミン四酢酸

- ・多様な方法があり、方針に合わせて十分な検討の上、導入を検討することが必要
SG伝熱管の実績に限定しなければさらに多種多様。
- ・日本国内ではASCAの導入が進みつつある。
- ・化学洗浄の他にも機械洗浄や化学洗浄との組合せがある。

- PWRにおける主なスケール付着問題発生箇所はSG伝熱管，給水ポンプである。
- スケール付着により，流動・伝熱性能・腐食・動力などの問題を生じる可能性がある。
- 水処理側の付着抑制対策は高pH化，材料改善，ETAなどのアミン処理，分散剤などがある。
- スケール付着メカニズムなども明らかになりつつある。
- SG伝熱管のスケール除去法としていくつかの化学洗浄法があり，導入が進みつつある。