

(社)日本原子力学会 水化学部会

第12回定例研究会 2011.3.7 @電中研 狛江

福島第二原子力発電所1号機における 酸化チタン注入の実施について

2011年3月7日

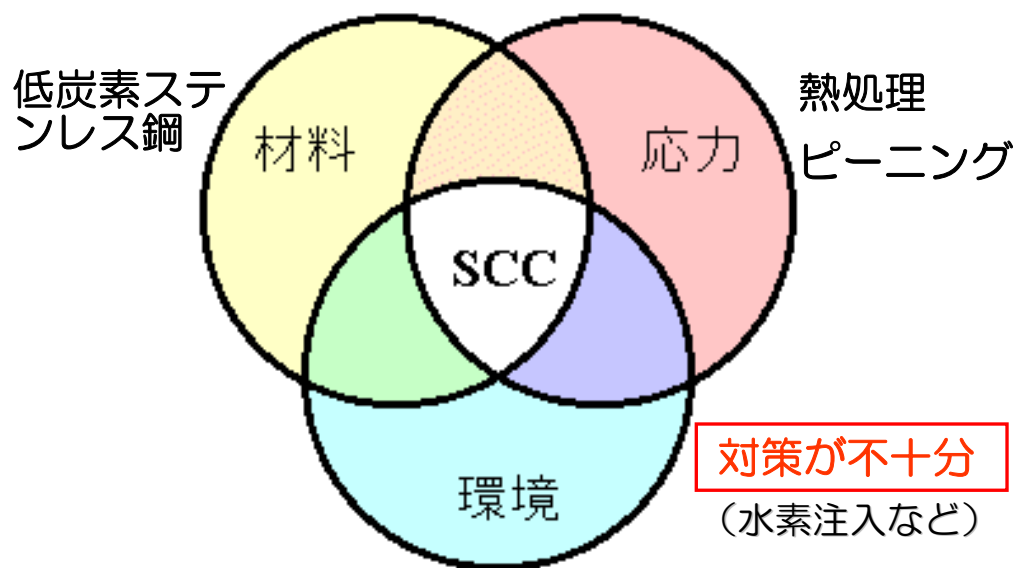
東京電力株式会社
技術開発研究所 材料技術センター
小藪 健



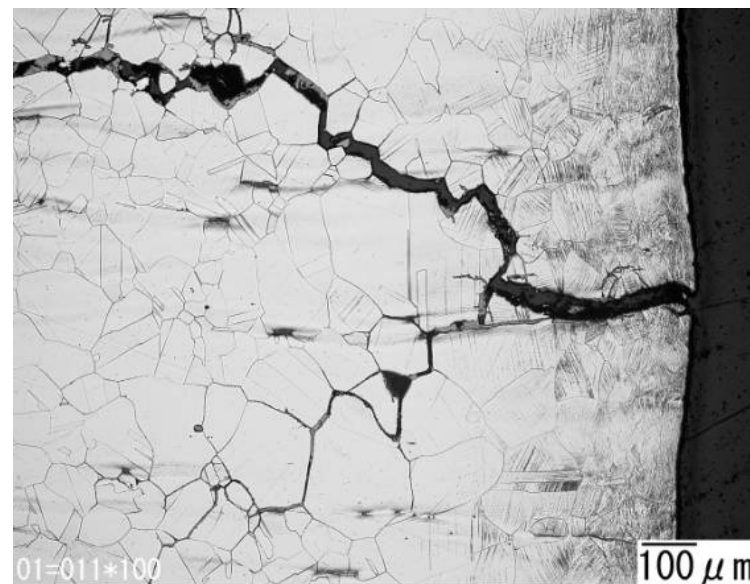
東京電力

原子炉における応力腐食割れ(SCC: Stress Corrosion Cracking)とは

- 材料・応力・環境の3要因の重畳により、結晶粒界に沿って割れが進む現象
- 昭和50年代後半、材料面での対策として低炭素ステンレス鋼を採用し抜本的対策とした(3要因のうち、1要因のみの対策)
- しかし平成14年以降、低炭素ステンレス鋼のSCCが顕在化し、現在では2要因以上、できれば3要因すべてについてSCC対策を検討・実施。
- 材料対策、応力対策に加え、環境対策として酸化チタン技術を開発



SCCの3要因とその対策



福島第二3号機 炉心シュラウドのSCC

従来の環境面でのSCC対策と酸化チタン注入との違い

	原 理
水素注入	炉水中の酸素を低減
貴金属注入	炉水中の酸素を低減 (水素注入の応用技術; 注入水素量を少量化)

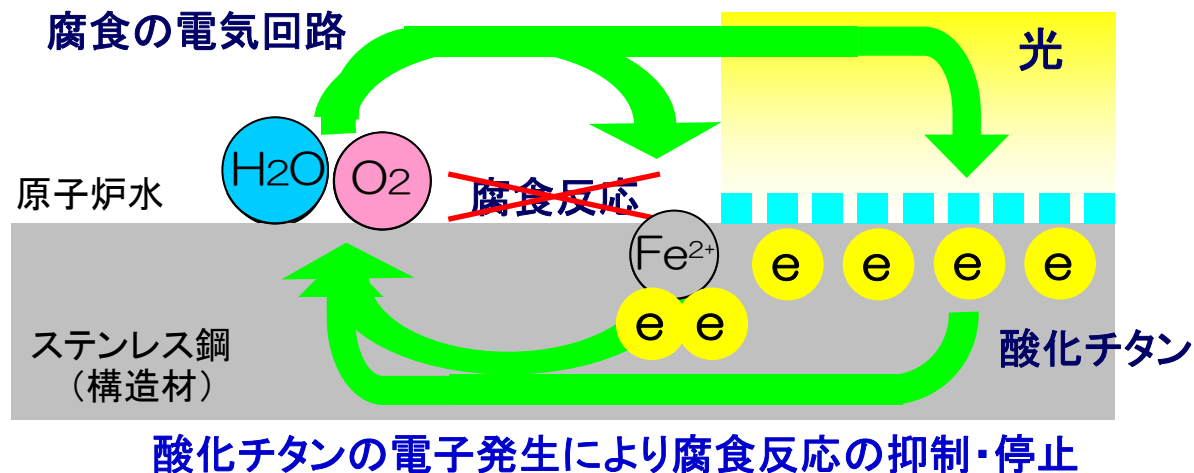


酸化チタン注入技術の開発

- 原理は光触媒効果(水素注入・貴金属注入と全く異なる原理)
- 東電/東芝/IHIの共同開発技術
- 炉内防食は水素注入不要。原子炉内全域に有効

酸化チタンによる環境面でのSCC対策の原理

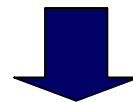
➤『水中の酸素を低減する原理』から『光触媒効果による原理』への変革



➤原子炉の中の光を利用



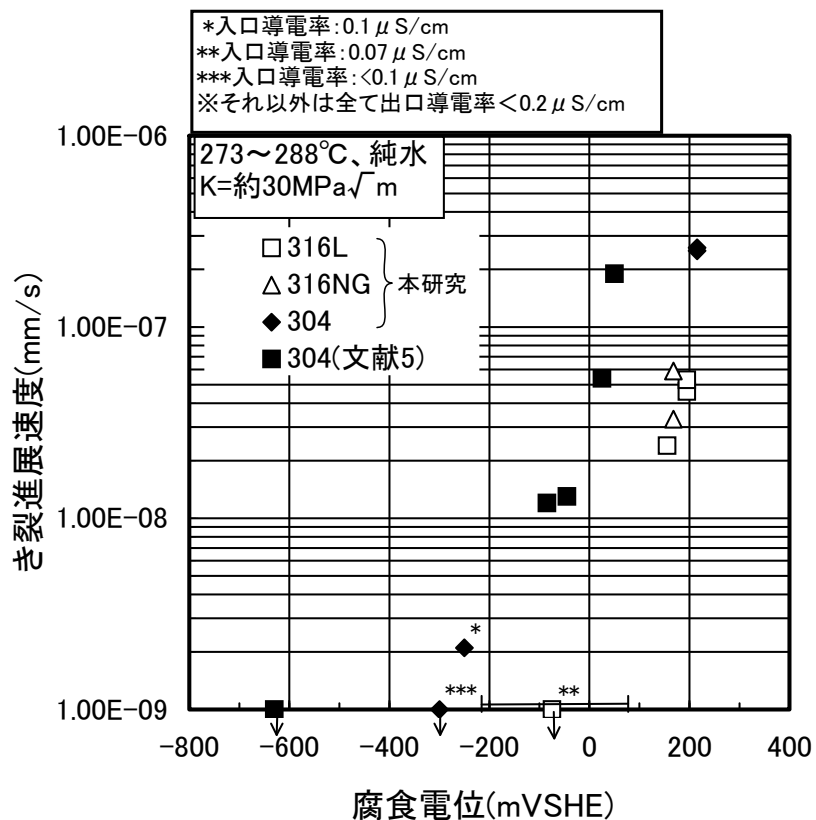
原子炉内には多くの青白いチェレンコフ光あり



原子炉内の放射線を利用

腐食電位の低下によるSCC抑制

腐食電位の低減により、炉内構成材料及び再循環系配管のSCC抑制(ステンレス鋼及びNi基合金)



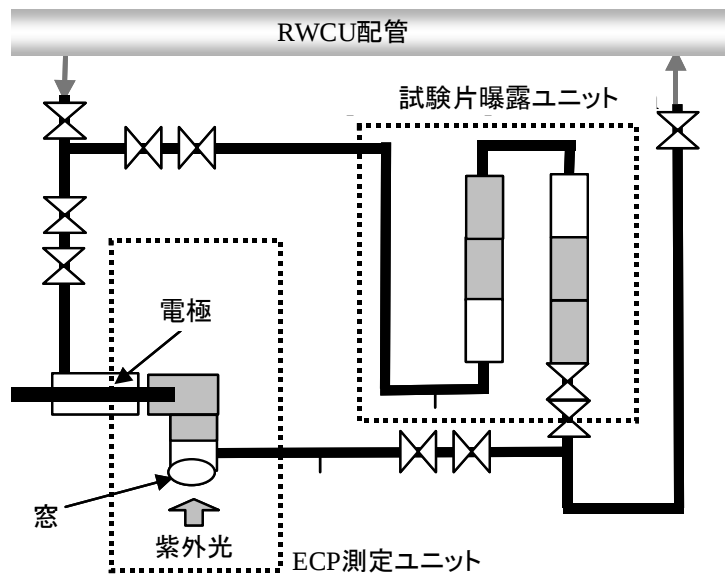
ステンレス鋼の高温純水中におけるSCC進展速度

出典:
伊藤ら, 第48回材料と環境討論会,
(社)腐食防食協会

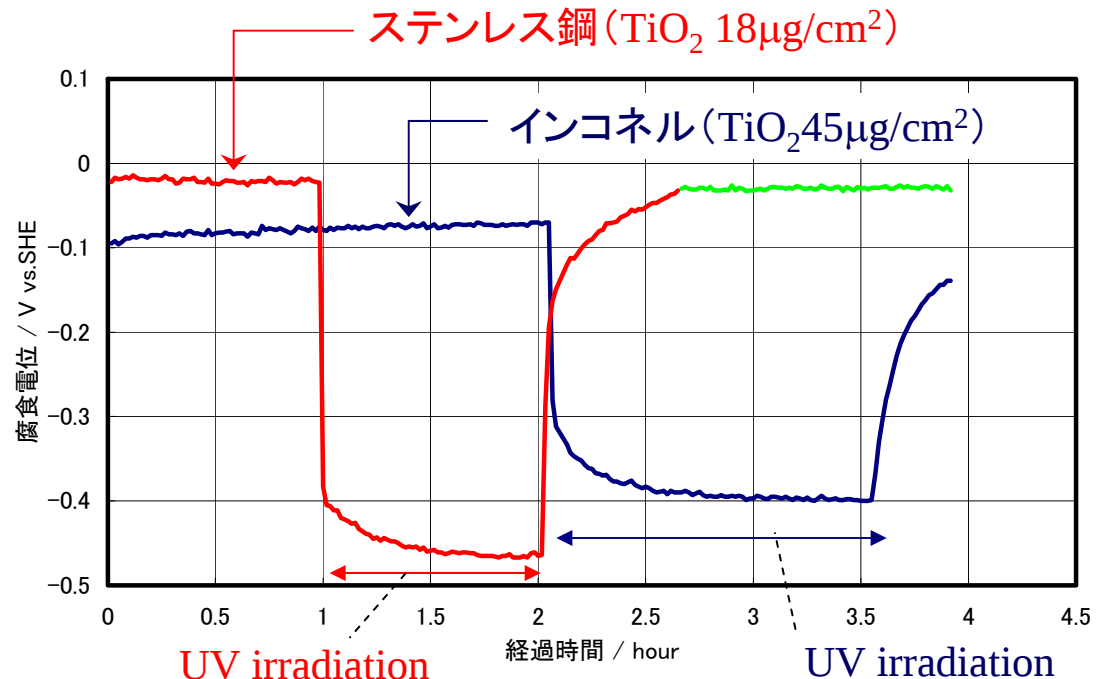
- 腐食電位の低下に伴い、ステンレス鋼のSCC進展速度は低下する(SCC抑制)。

実機原子炉水による事前腐食電位測定結果

- 累積曝露時間: 約6,000時間(最大8,000時間まで実施)
- チェレンコフ光(模擬)環境下で電位低減(水素注入不要)



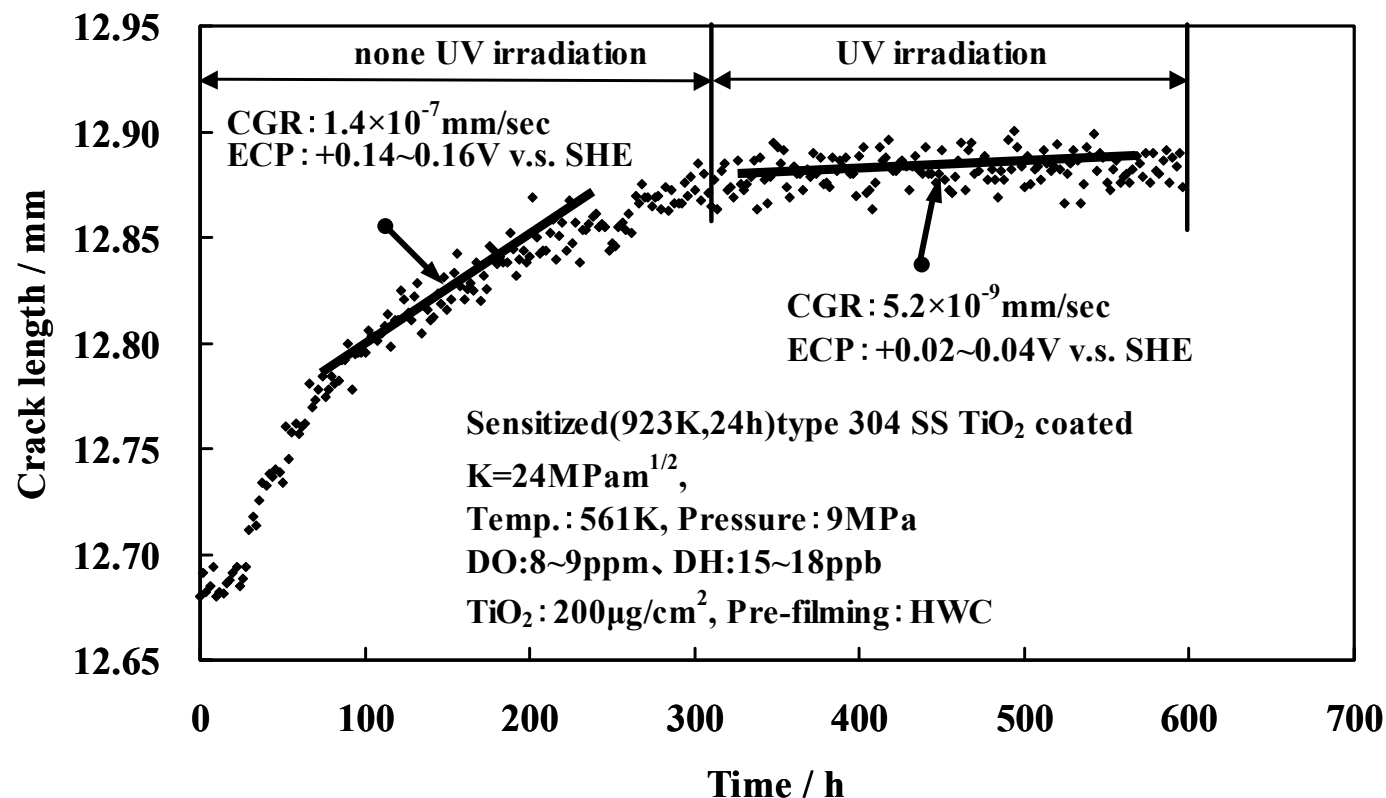
試験装置模式図



腐食電位測定結果
(5,000時間曝露後のデータ)

K.Takamori et. al, 13th International Conference on Environmental Degradation CNS 2007

き裂進展試験(ラボ試験)

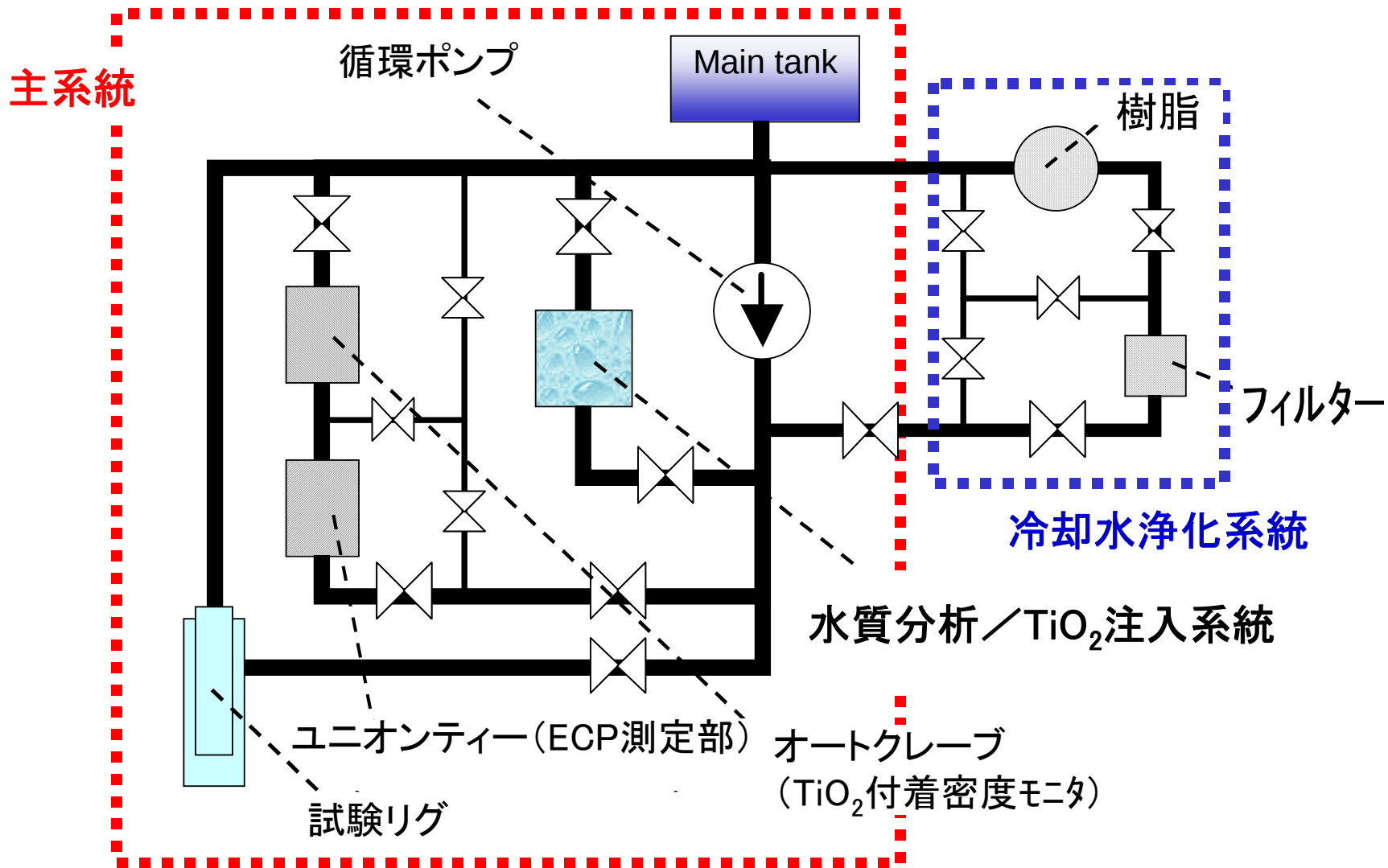


Crack vs. time for TiO₂-coated specimen tested under conditions from no UV irradiation to UV irradiation

K.Takamori et. al, 12th International Conference on Environmental Degradation TMS 2005

Halden炉内実証試験(BWR模擬試験ループ)

- 炉心を貫通し、BWR環境が模擬可能な試験ループを設計・設置



Halden炉内実証試験結果(ステンレス鋼)

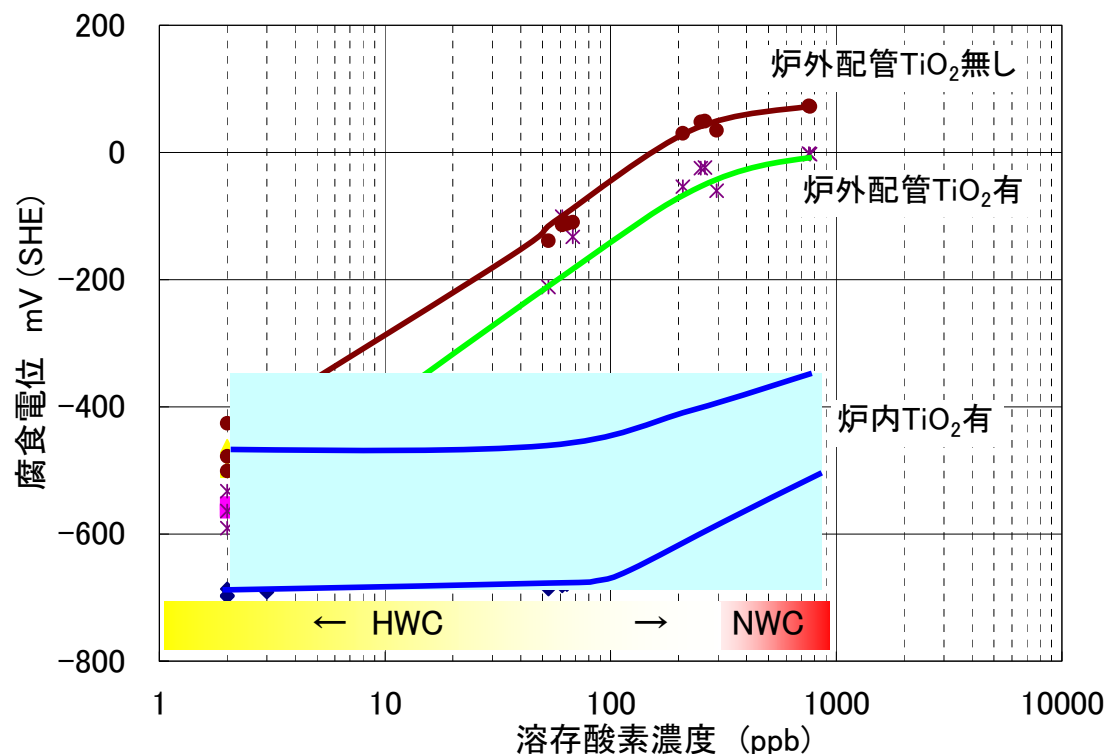
- 注入施工(実機注入デモンストレーション): 付着性良好
- 原子炉内チェレンコフ光環境下で電位低減(水素注入不要)



炉外付着量モニタ



炉外配管内部(ECPセンサー部)



ハルデン炉内における酸化チタンによる電位低減効果

出典:

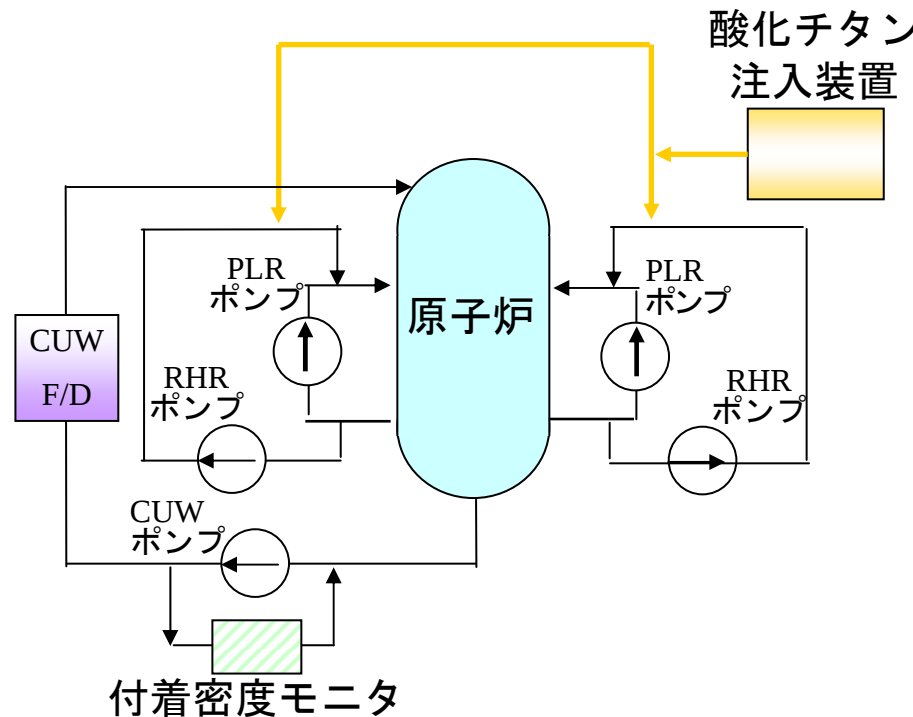
鈴木ら, 放射線環境下における酸化チタンによる腐食環境改善効果,
(社)日本原子力学会2007年春の年会

福島第二原子力発電所1号機の酸化チタン注入の概要

- 福島第二原子力発電所1号機において酸化チタン注入を実施(2010年6月)
- 原子炉停止時(約150℃)に微量の酸化チタン溶液を注入し、配管内面やシュラウド等の表面に定着させる。
- 残留熱除去系(RHR)配管より酸化チタン注入
- 付着密度モニタ(ステンレス試験片)で監視しながら注入(目標: $30 \mu\text{g}/\text{cm}^2$)



酸化チタン注入装置写真



酸化チタン注入の概略図

- 注入から約30時間で目標付着量到達を確認
- 酸化チタン注入中、プラントパラメータに有意な変動はみられていない。(水質パラメータについても停止時の基準値をこえていないことを確認)

(pH、導電率、RHR・PLR・JP・炉心流量、PLRポンプ・モータ振動 等)

酸化チタン注入後の調査状況

➤炉内酸化チタン付着密度調査

- ✓ シュラウド、RPV壁、CRDハウジング表面に付着しているクラッドをかき取り、酸化チタン付着量を測定
- ✓ 腐食電位低下に必要な酸化チタン付着量が確保していることを確認
- ✓ 今後、注入4サイクル後まで酸化チタン付着量調査を実施予定

➤燃料調査(副次影響評価)

- ✓ 前回定検時において燃料棒に酸化チタンを塗布した燃料の1サイクル照射後の燃料棒の外観検査および酸化被膜厚さ測定を実施
- ✓ 上記について特に異常はみられていない。
- ✓ 注入後5サイクルまで外観検査、酸化被膜厚さ測定、ファイバースコープによる調査等を実施予定

➤プラント起動後のプラントパラメータ調査・水質調査(副次影響評価)

- ✓ 特に異常はなし。（酸化チタンによる水質パラメータの変動はみられていない）

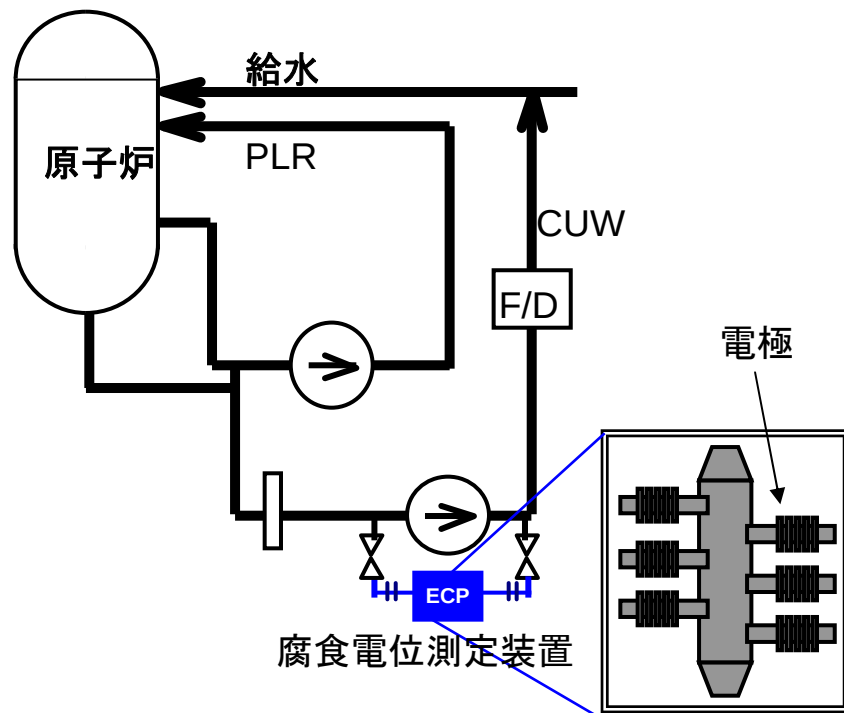
プラントパラメータ調査項目（原子炉・タービン・放射線モニター・オフガス関連パラメータ等）

水質調査項目（pH、導電率、溶存酸素、金属濃度、放射能濃度、酸化チタン濃度）

運転時調査：腐食電位調査

腐食電位測定を実施中

- ✓目的：酸化チタン防食の暗環境（光なし）での腐食電位低減効果の確認
- ✓方法：炉外に腐食電位測定装置を設置し、高流速環境で測定
- ✓調査項目：腐食電位
- ✓パラメータ：測定部流速、水質（水素注入量）



項目	測定装置仕様
測定部流速	約1m/s
電極本数	参照極2本 試料極4本
参照電極種類	銀/塩化銀型 白金型
酸化チタン 施工方法	プラント注入と同時に 炉外にて施工 ラボで施工

今後の予定

➤オンライン酸化チタン注入技術の開発

- ✓ 現在の停止操作中に酸化チタン注入する技術では、クリティカル工程に影響を及ぼすことから、運転中に注入可能なオンライン酸化チタン技術の開発を実施中

➤炉内腐食電位測定（電共研「炉内ヘルスマニタリング研究（腐食電位測定評価）」）

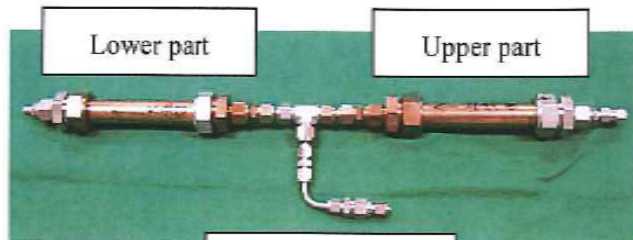
- ✓ 酸化チタン・水素注入の腐食電位低減効果を確認するために炉内にECPセンサーを設置することにより、腐食電位測定を実施
- ✓ 1F6のシュラウド取替工事に合わせて、シュラウド内側、炉底部、PLR配管にECPセンサー設置し、炉内構造物の腐食電位を直接測定
- ✓ 2013年より腐食電位データを取得し、得られたデータは維持規格・原子力学会水素注入標準に反映する予定 → 点検頻度の合理化

➤酸化チタンによる放射能付着抑制技術の開発

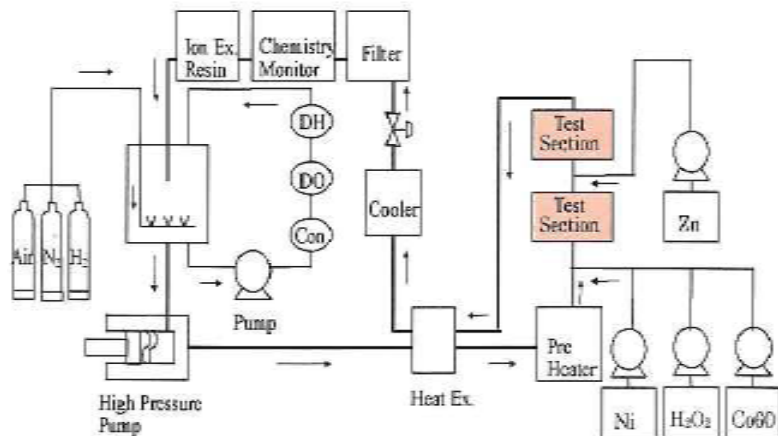
- ✓ 酸化チタンが付着することにより一次系配管に付着する放射能取り込み抑制の可能性

【参考】酸化チタンによるCo-60付着抑制の例

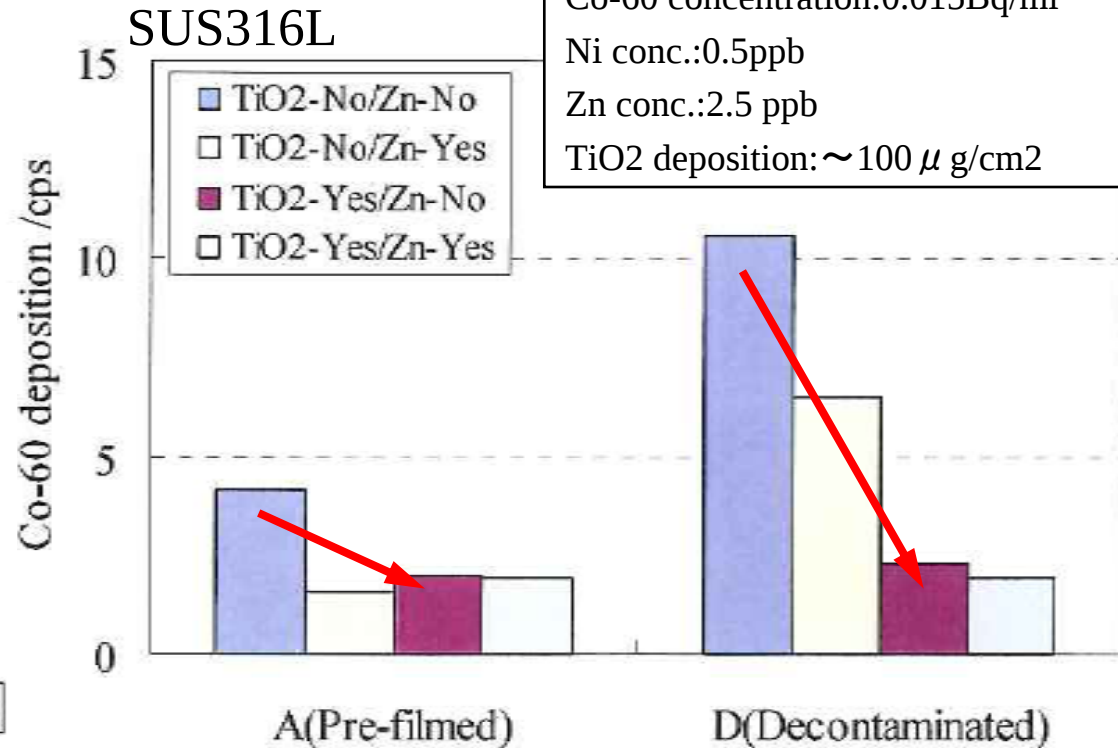
■ Possible to suppress Co-60 deposition



Test section



Schematic diagram of test loop for Co-60 deposition test



The effect of Zn and TiO₂ on Co-60 deposition

S.Yamamoto et al. Symposium on Water Chemistry and Corrosion of Nuclear Power Plants in Asia, 2007, Taipei, Taiwan

End of presentation