

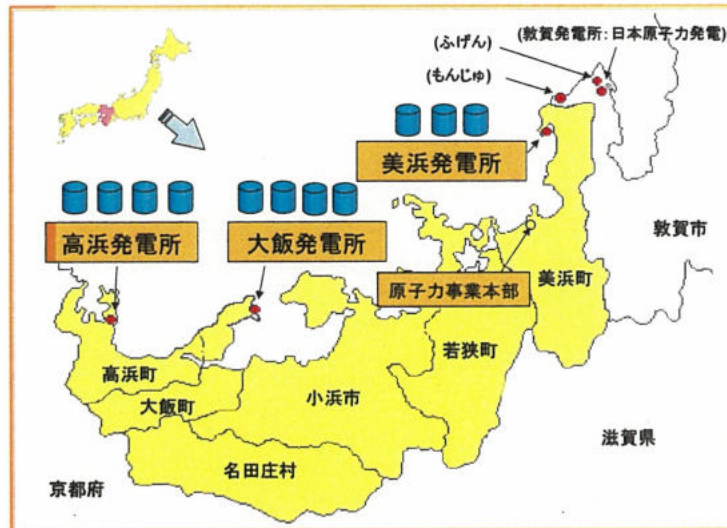
PWRプラントにおける 被ばく線量低減への取り組み



関西電力株式会社
原子力事業本部 放射線管理グループ

関西電力の原子力発電所

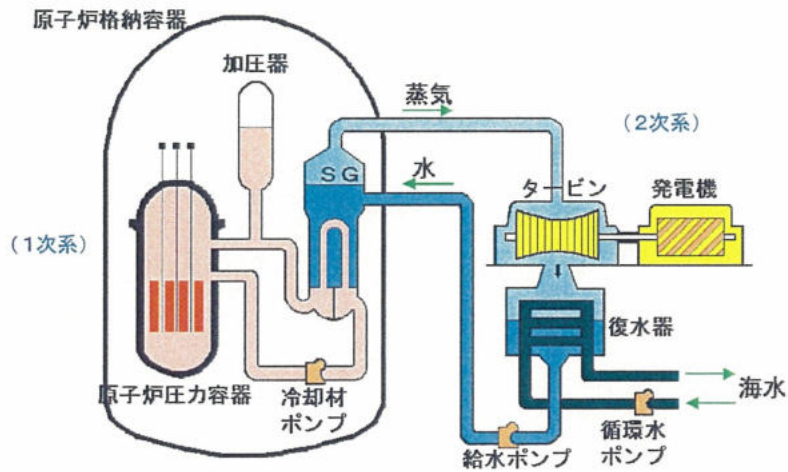
1



福井県内に計11基の加圧水型軽水炉(PWR: Pressurized Water Reactor)を保有

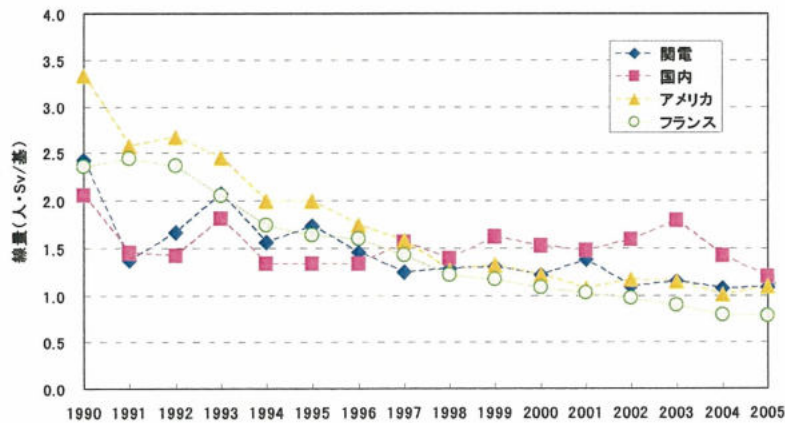
PWR原子力発電所の系統概要図

2



年間集団被ばく線量推移比較(原子炉1基当たり)

3



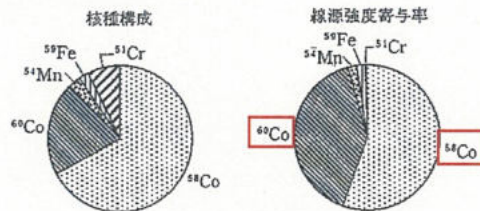
○弊社における原子炉1機当たりの年間集団被ばく線量は様々な対策により低く推移しているが、近年では諸外国と比較して高めに推移している。
 →線源強度のレベルは同程度であるが、運転期間・検査制度による作業量の違いが主な原因

⇒被ばく線量は作業量に依存する部分が大いだが、水化学の視点から線源強度低減を継続的に実施していくことが重要である。

PWRプラントの主な被ばく線源

4

<SG水室内の放射性腐食生成物核種組成>



核種	生成反応	半減期	γ線エネルギー(MeV) ()内は放出率(%)を示す	実効線量率定数 [μSv・m ² /MBq・h]
⁵⁸ Co	⁵⁸ Ni(n, p) ⁵⁸ Co	70.9 日	0.811(99)	0.131
⁶⁰ Co	⁵⁹ Co(n, γ) ⁶⁰ Co	5.27 年	1.173(100), 1.333(100)	0.305
⁵⁴ Mn	⁵⁴ Fe(n, p) ⁵⁴ Mn	312.1 日	0.835(100)	0.111
⁵⁹ Fe	⁵⁸ Fe(n, γ) ⁵⁹ Fe	44.5 日	1.099(57), 1.292(43)	0.147
⁵¹ Cr	⁵⁰ Cr(n, γ) ⁵¹ Cr	27.7 日	0.320(9.9)	0.00458

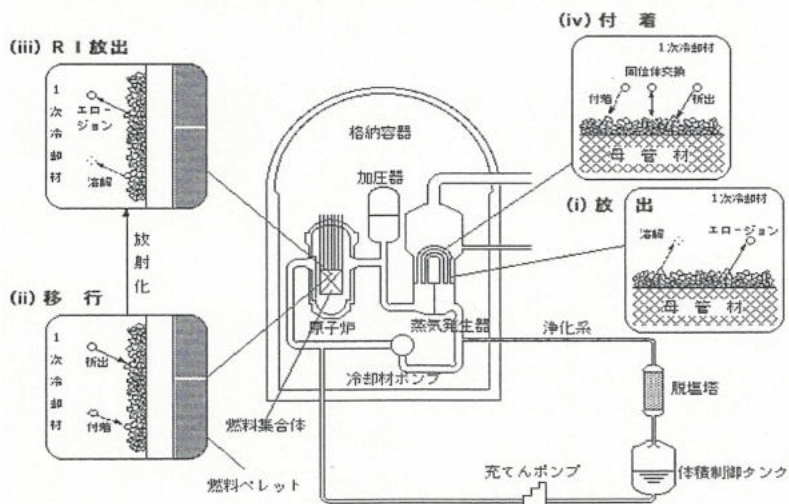
<引用・参考文献>
日本原子力学会編：原子炉水化学ハンドブック(2000)

PWRにおける主要な被ばく線源は⁵⁸Ni及び⁵⁹Coが放射化した⁵⁸Co及び⁶⁰Co

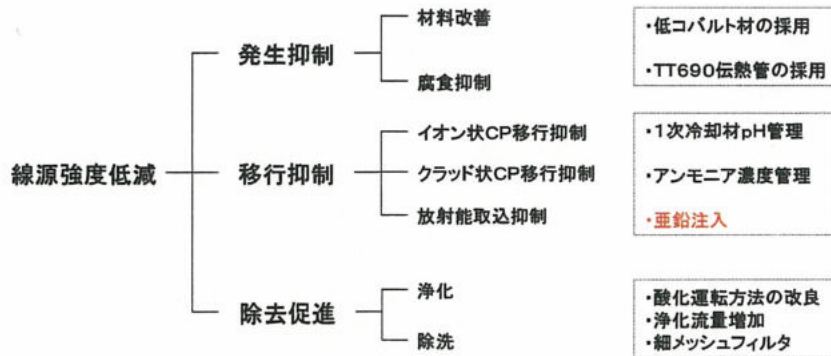
放射性腐食生成物の生成・付着メカニズム

5

1次系構成材料からの腐食生成物が原子炉内で放射化され、機器・配管等に再付着し被ばく線源となる。



被ばく低減への取り組み



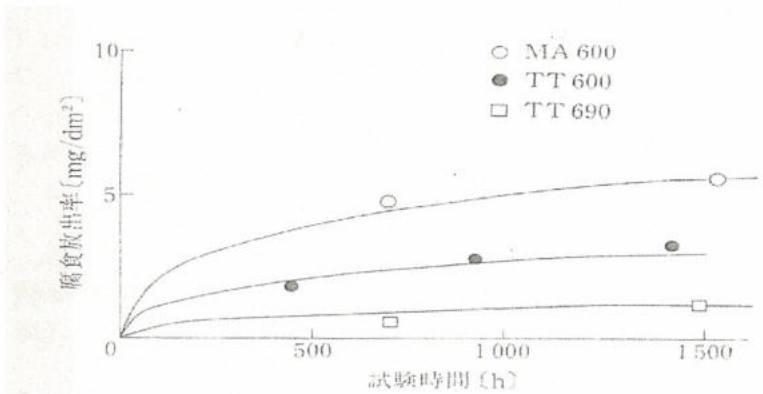
CP : 腐食生成物 (Corrosion Product)

被ばく低減の変遷

	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	00	02	04	06
	SG取替 ▽													
材料改善					▽低Co材採用		▽SG伝熱管TT690材採用*							
1次冷却材pH管理	▽6.9±0.2			▽7.3±0.1 (Modified I)						▽EPRIハント' (Modified II)				
コバルト移行抑制											アンモニア注入		亜鉛注入	
停止時のクラッド除去	▽I7レーション法		浄化流量増加		外層クラッド除去法		改良酸化運転法							

※高浜3・4号機のみTT600材

蒸気発生器伝熱管へのTT690の採用



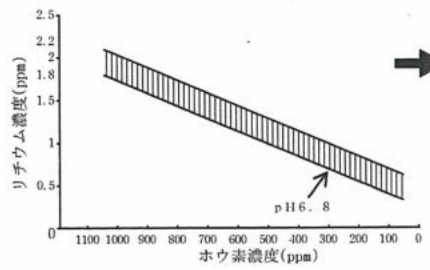
→MA600に比べ、TT690の腐食放出率は約1/4まで低下

<引用・参考文献>
日本原子力学会編：原子炉水化学ハンドブック(2000)

1次冷却材pH(ほう素・リチウム)管理の変遷

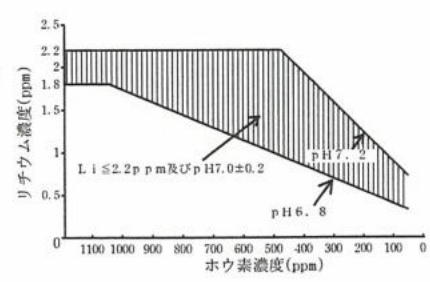
1次冷却材のほう素濃度は原子炉の反応度制御により決まるため、
pH管理はLi濃度の調整にて実施。

<80年代前半>



マグネタイト (Fe_3O_4)溶解度に基づき、
pH6.8を下限値としLi濃度幅0.3ppmとして管理

<80年代後半>

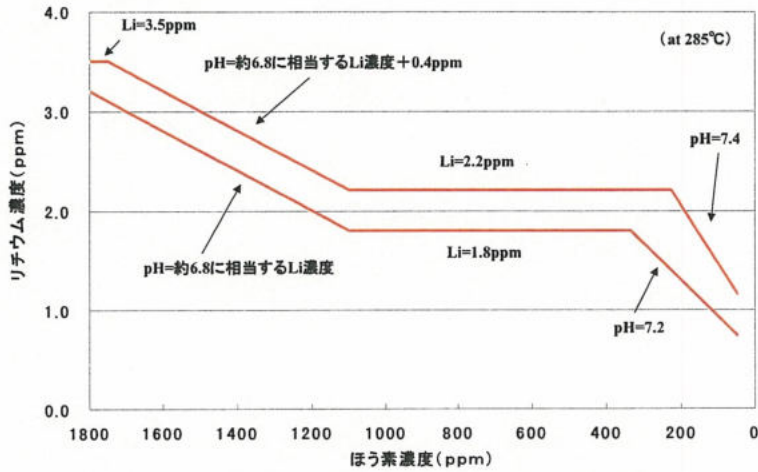


ニッケルフェライト($NiFe_2O_4$)溶解度に基づき、
pH7.0±0.2を目標とした管理

現在の1次冷却材pH(ほう素・リチウム)管理

10

<90年代後半以降>

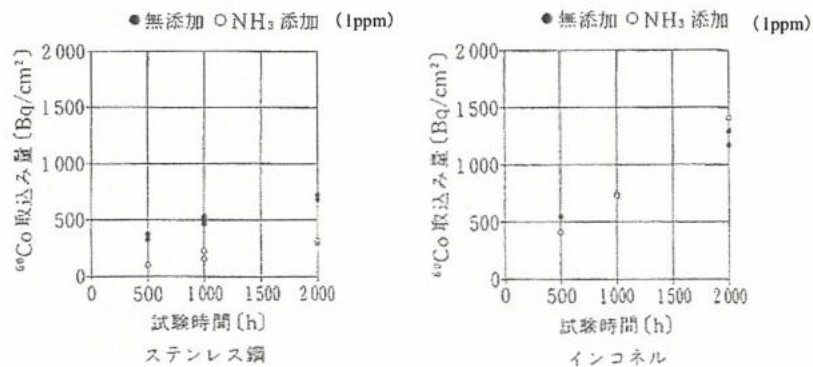


ニッケルフェライト($\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.05}\text{Fe}_{2.15}\text{O}_4$)溶解度に基づき設定
 → Ni、Coの溶解度が低くなる1次冷却材最適pHは7.3

1次冷却材へのアンモニア添加

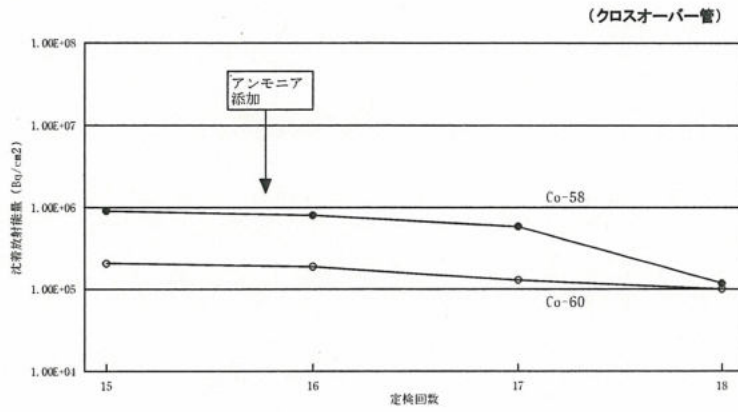
11

1次冷却材中にアンモニアを添加することにより、コバルトイオンを錯体化
 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ として系統構成材表面の酸化皮膜へのコバルト移行抑制

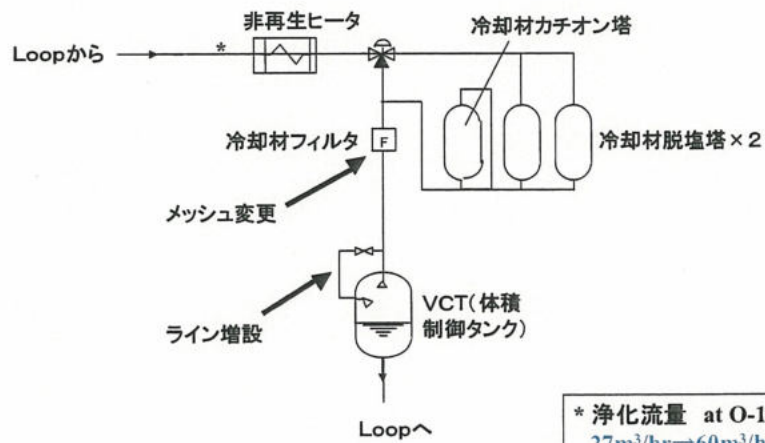


<引用・参考文献>
 日本原子力学会編・原子炉水化学ハンドブック(2000)

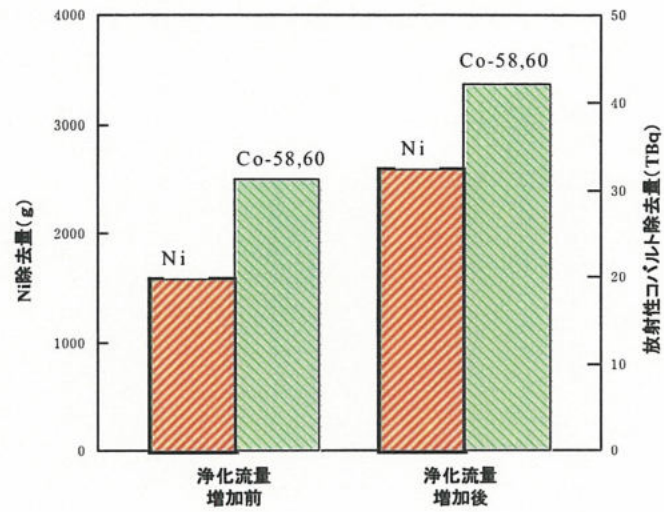
アンモニア添加による冷却材配管沈着放射能推移



CVCS浄化流量増加による設備改造



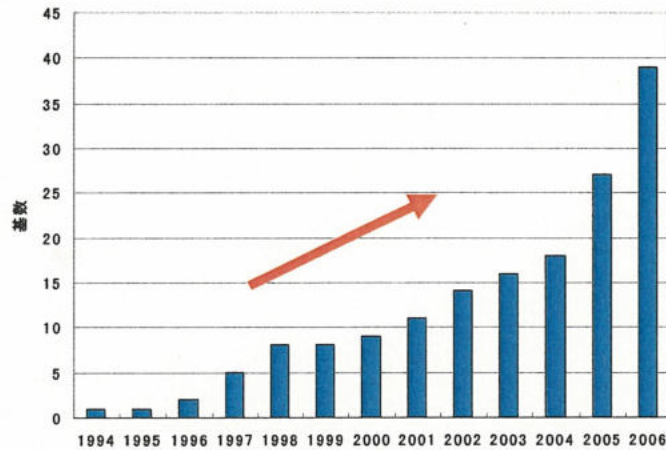
停止時のNi及び放射性Co除去量



高浜4号機における亜鉛注入の適用状況について

海外及び国内プラントの亜鉛注入状況

16



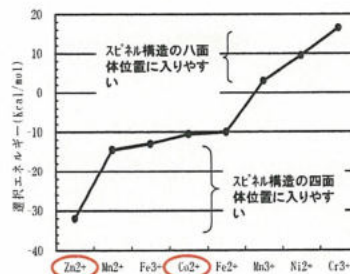
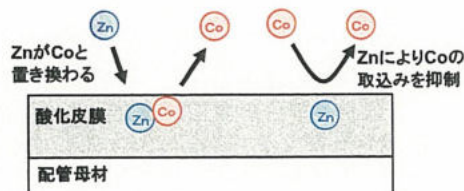
1994年Farley2号機(米国)において、PWRとして初めて亜鉛注入が実施された。
⇒国内PWRプラントへも適用が開始され始めている。

高浜発電所4号機・第18サイクル(2007年8月末)より亜鉛注入適用開始

亜鉛注入による被ばく低減効果

17

- 被ばく低減メカニズム
亜鉛がCoよりも酸化皮膜にとりこまれやすいことを利用し、Coを亜鉛と置き換えることによって、被ばく低減を達成
- 海外・国内プラントでの亜鉛注入実績
海外・国内実機プラントへの亜鉛注入が実施され、被ばく低減効果確認
- 国内プラント評価
電共研及びNUPECプロジェクトの試験から、被ばく低減効果を確認・実証



亜鉛注入基本計画

18

○目的

発電所内での従事者の被ばく低減を目的に、1次冷却材へ亜鉛を注入を実施する。

⇒先行プラント実績より、年間約10～20%の被ばく線源低減効果を期待

○亜鉛濃度

RCS目標濃度: 5ppb(先行プラント実績より、被ばく低減効果が期待できる濃度)

RCS上限濃度: 10ppb(被ばく低減効果が飽和する濃度、
材料健全性が実証されている濃度範囲内)

○注入形態

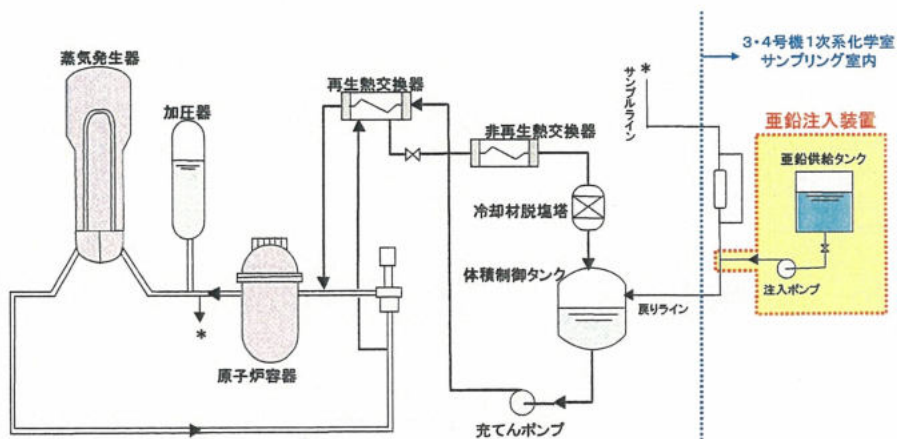
減損酢酸亜鉛(DZA: Depleted Zinc Acetate)

↳ Zn-64の同位体存在比を1%以下に低減し、亜鉛の放射化による線源上昇を抑制

(天然亜鉛には5つの安定同位体(Zn-64[48.6%]、Zn-66[27.9%]、Zn-67[4.1%]、Zn-68[18.8%]、Zn-70[0.6%])があり、このうちZn-64は炉内で放射化されると長半減期放射性核種であるZn-65となる。)

高浜4号機における亜鉛注入システム概要

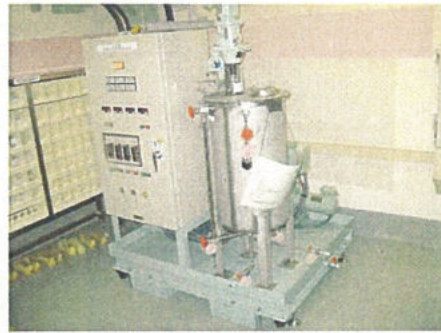
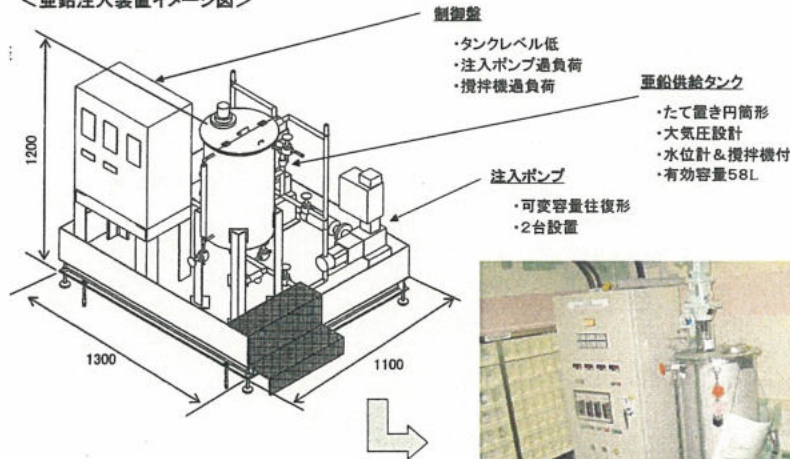
19



高浜4号機の亜鉛注入装置

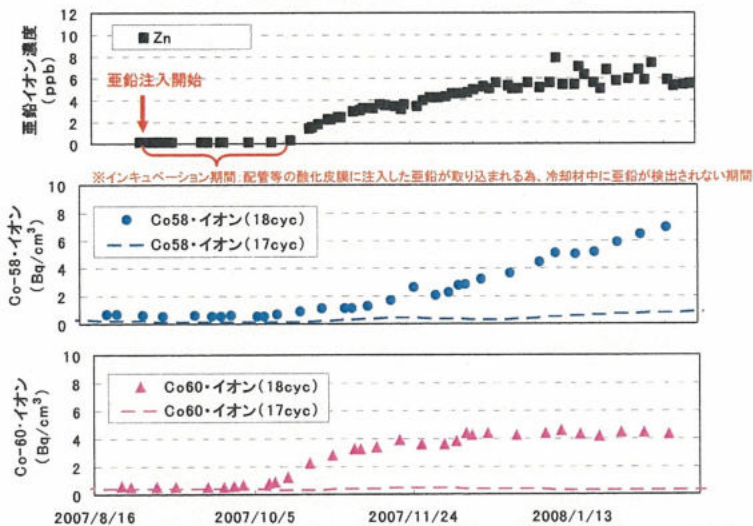
20

<亜鉛注入装置イメージ図>



高浜4号機亜鉛注入による水質変化

21



亜鉛注入開始後、6ヶ月が経過しているが、現在のところ冷却材の水質(pH、電気伝導率等)及び機器・設備への有意な影響は確認されていない。
現在のところ、放射性コバルトイオン濃度の上昇は先行プラント実績の想定範囲内である。

亜鉛注入に関する今後の予定

○高浜4号機

- ・第18回定期検査(2008年8月)にて、主要機器・配管等の線量当量率測定を予定しており、線量当量率低減効果の確認をする。

○他プラントへの展開

- ・2008年度に高浜3号機、大飯3・4号機へ被ばく低減を目的に亜鉛注入適用予定
- ・2010年を目途に、全プラントへ亜鉛注入を適用予定

E N D

ご清聴ありがとうございました。