



長期停止後の再稼働に向けた 適切な亜鉛注入管理の検討について

〈九州電力株式会社〉

廣瀬 篤志

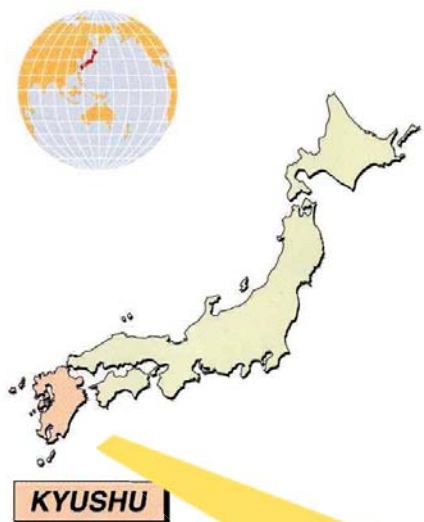
平成25年10月29日

九州電力株式会社

PWR一次系 亜鉛注入管理について

1. 通常運転中における亜鉛注入停止時の酸化皮膜への影響について(これまでの成果)
2. 長期停止後の再稼動に向けた適切な亜鉛注入管理の検討試験について(試験計画)

弊社の原子力発電所について



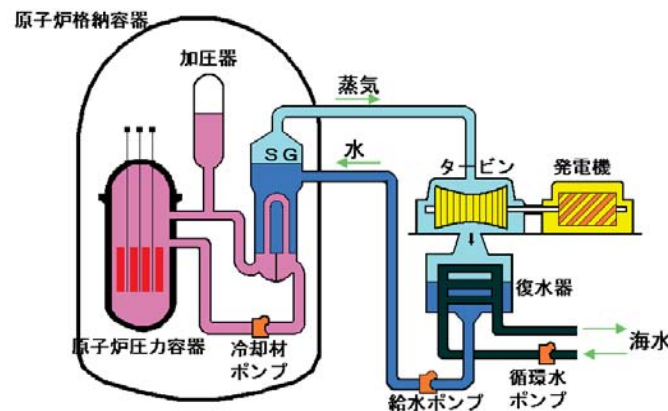
KYUSHU



ユニット	1号機	2号機	3号機	4号機
電気出力	55万9千kW	55万9千kW	118万kW	118万kW
運転開始	昭和50年10月	昭和56年3月	平成6年3月	平成9年7月



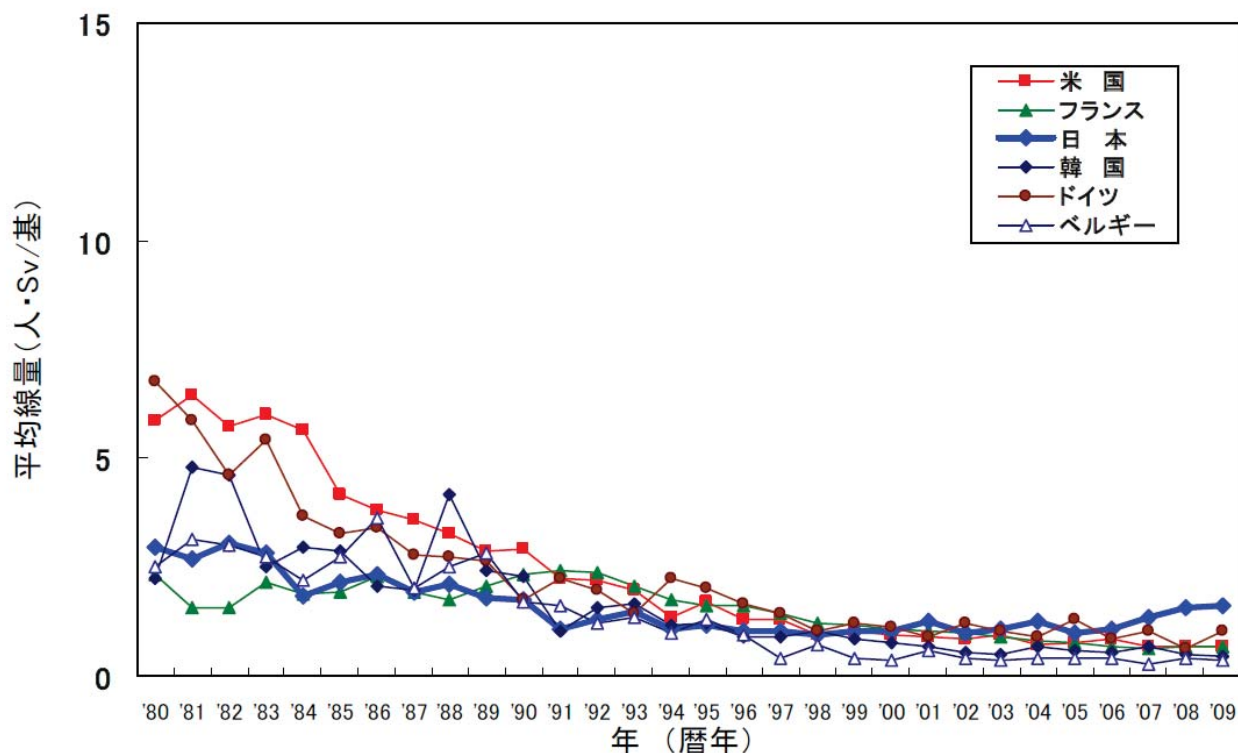
ユニット	1号機	2号機
電気出力	89万kW	89万kW
運転開始	昭和59年7月	昭和60年11月



PWR原子力発電所

年間集団被ばく線量推移比較(原子炉1基当たり)

世界の原子力発電所一基当たり線量の推移 (PWR) (1980-2009)

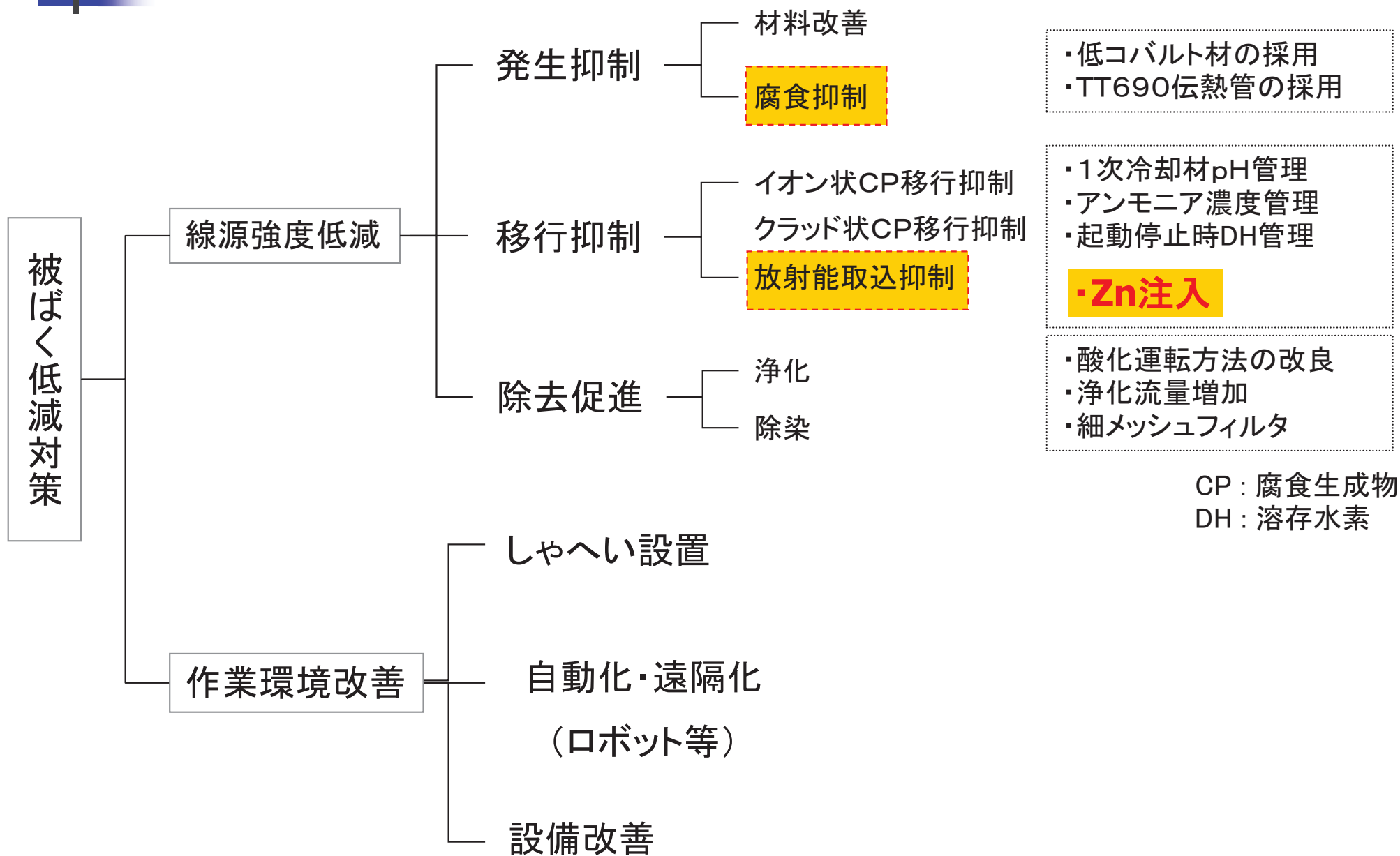


OECD/NEA/ISOE(information system on occupational exposure) annual report

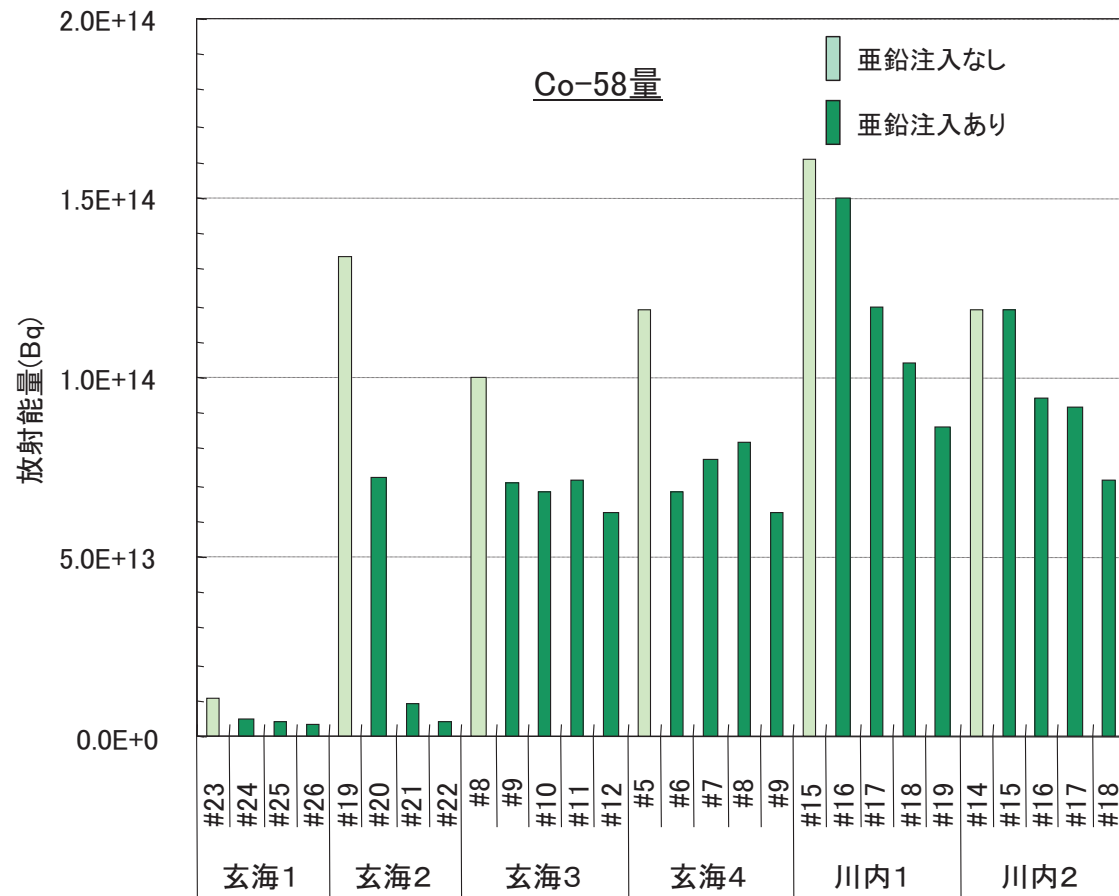
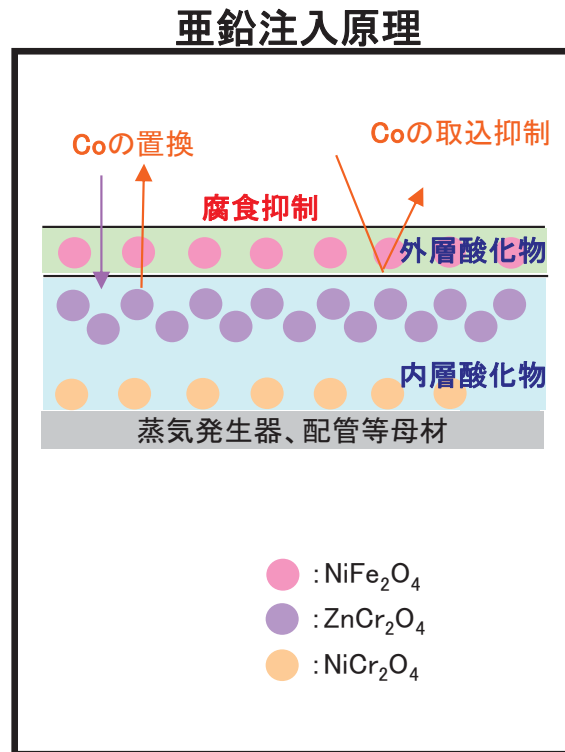
○日本における原子炉1機当たりの年間集団被ばく線量は様々な対策により低く推移していたが、近年では他国と比較して高めに推移している。

⇒被ばく線量は作業量に依存する部分が多いが、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。

被ばく低減への取り組み



亜鉛注入について



炉外表面沈着放射能量の推移

Zn注入継続により、内層酸化物中では緻密なZnCr₂O₄が形成され続け、
Coの置換、腐食抑制、Co取込抑制が機能



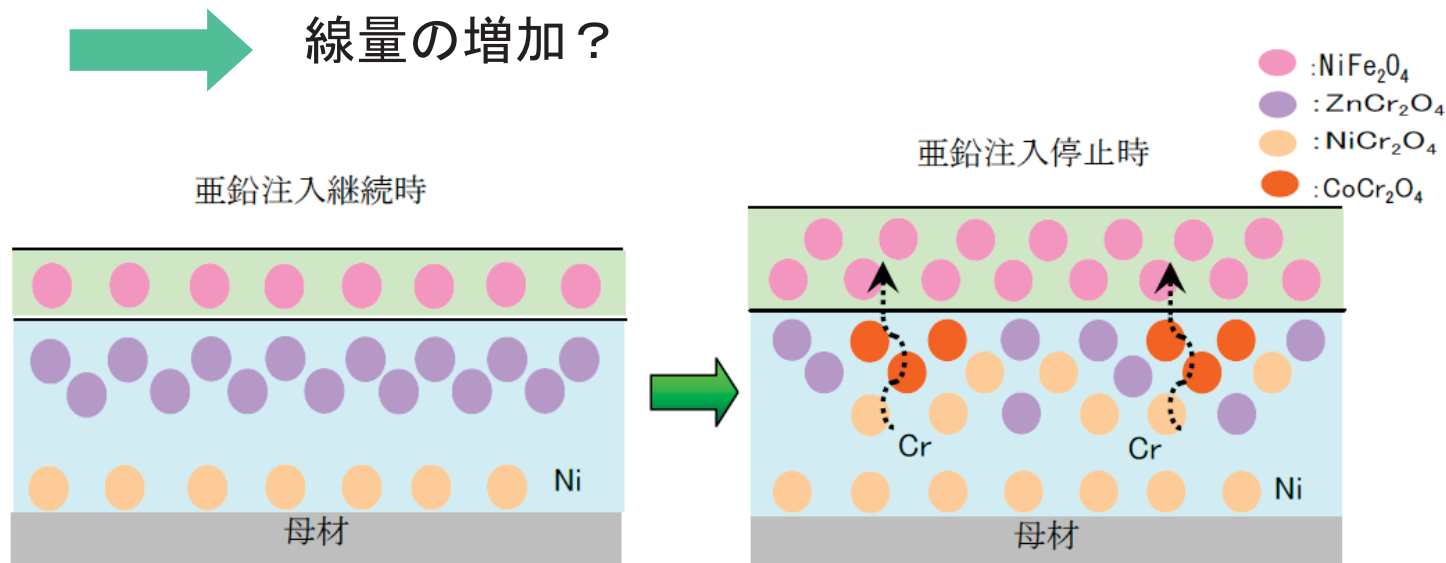
弊社プラントではCoインベントリが経年的に減少傾向

通常運転中における亜鉛注入停止影響

亜鉛注入時の機構・挙動に関する報告は多数ある一方、
亜鉛注入を停止した場合の影響については未知

仮説

- ① $ZnCr_2O_4$ は安定であり溶解速度は非常に小さい
- ② 酸化皮膜/母材界面では微小ではあるが新たに酸化物層が生じる
- ③ Zn注入していない場合、新たに生成した $NiCr_2O_4$ 層にCoが取り込まれる



亜鉛注入停止時の腐食メカニズム概念

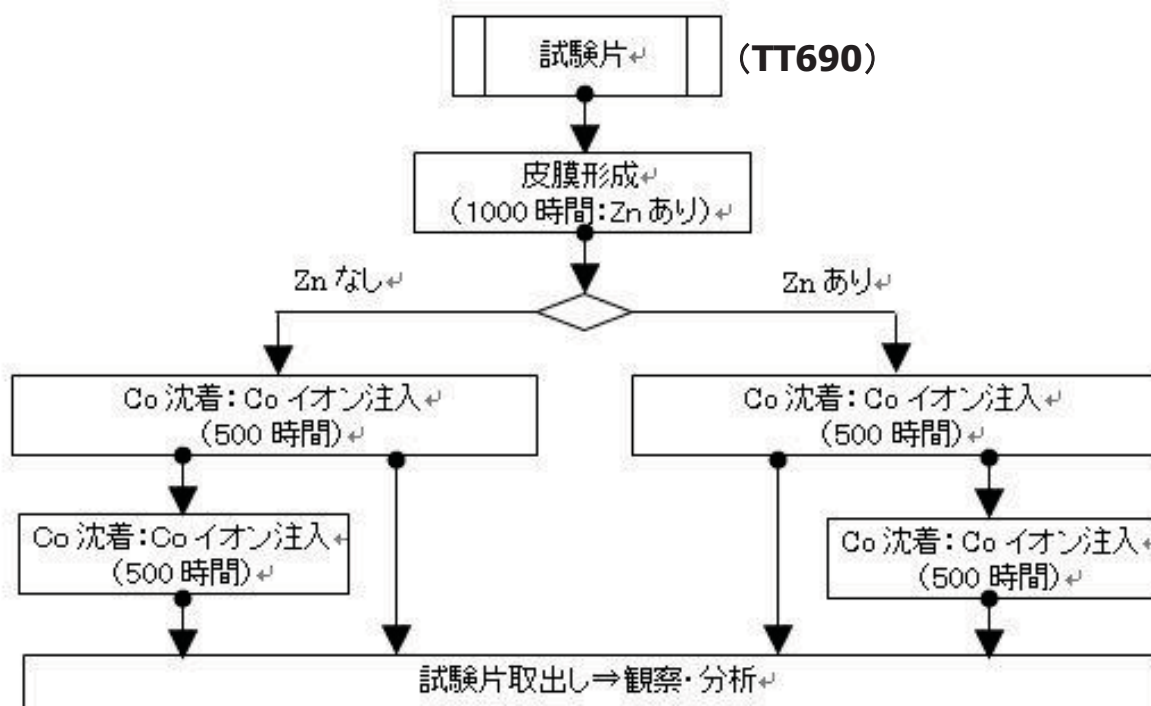
通常運転中における亜鉛注入停止影響

試験概要

1次系流れ環境での亜鉛注入/無注入条件をラボ装置で模擬し
亜鉛注入停止による酸化皮膜の挙動を評価



循環型オートクレーブ試験装置



- ① 腐食量
- ② 結晶構造分析
- ③ 断面分析
- ④ 元素組成

亜鉛注入停止試験 試験フロー概念図

通常運転中における亜鉛注入停止影響

試験概要

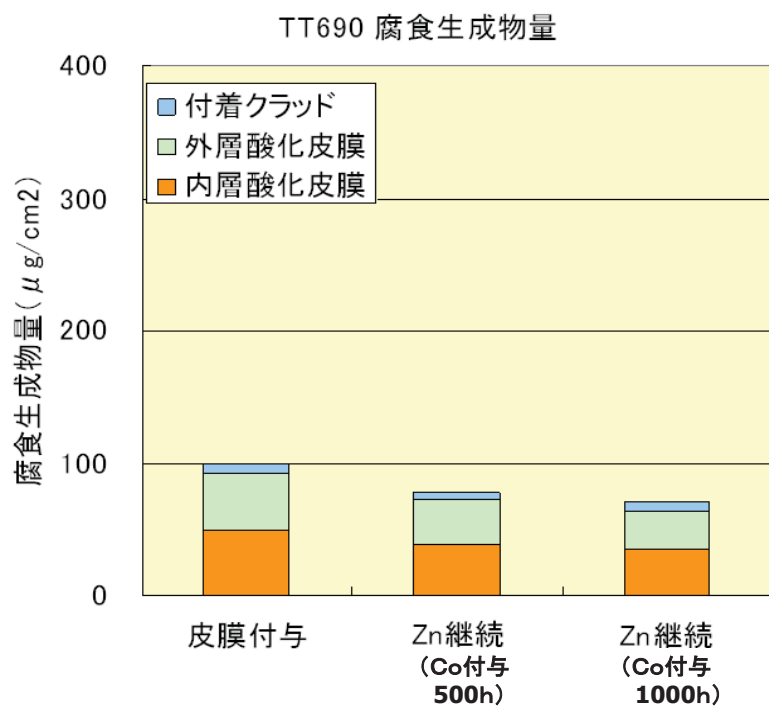
亜鉛注入停止試験 試験条件

試験片No.	①	②	③	④	⑤
試験条件	皮膜形成	亜鉛注入継続		亜鉛注入停止	
		Co沈着(500h)	Co沈着(1000h)	Co沈着(500h)	Co沈着(1000h)
試験時間	1000 h	500 h	1000 h	500 h	1000 h
試験温度	250°C				
B濃度	500ppm				
Li濃度	2.0ppm				
DH濃度	30ccSTP/kg-H ₂ O				
Co濃度	0ppb	0.1ppb			
Zn濃度		10ppb		0ppb	

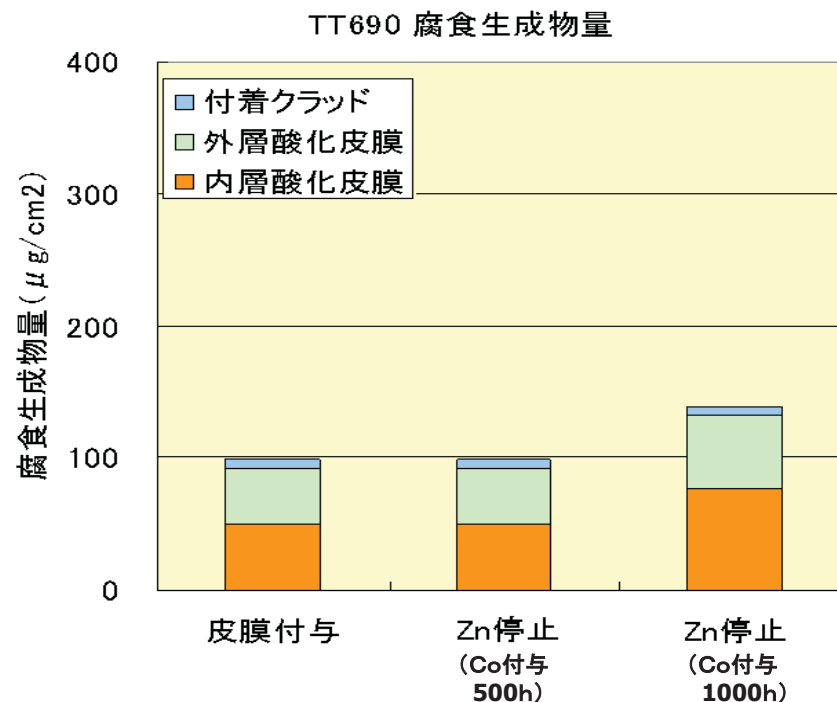
通常運転中における亜鉛注入停止影響

試験結果 ①腐食量

亜鉛注入継続



亜鉛注入停止



結果

- ・ Zn停止時に腐食量の増加が見られた。

評価

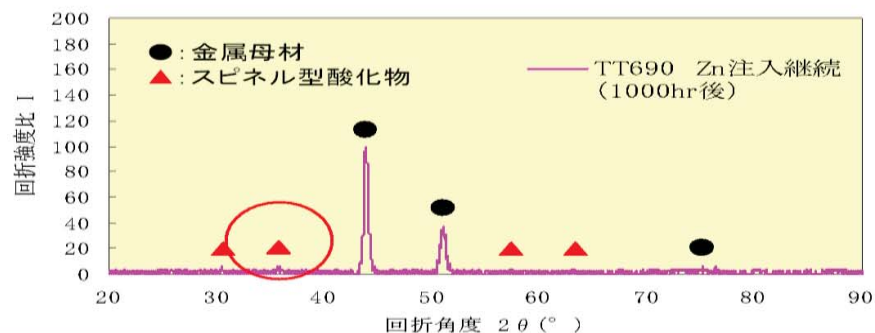
- ・ 腐食抑制が機能しなくなることによる腐食量増加

通常運転中における亜鉛注入停止影響

試験結果 ②結晶構造分析

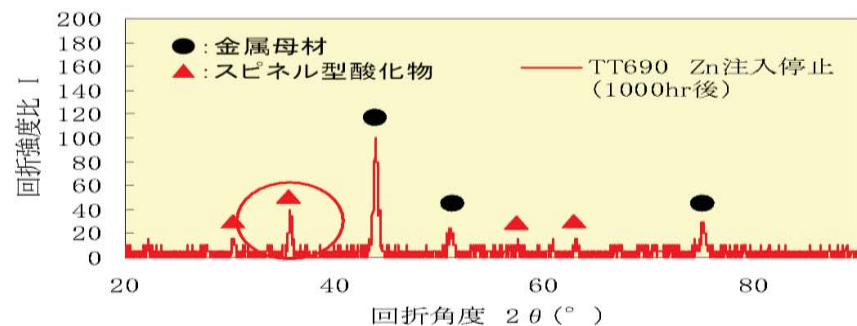
亜鉛注入継続

TT690 Zn注入継続(1000hr後)



亜鉛注入停止

TT690 Zn注入停止(1000hr後)



結果

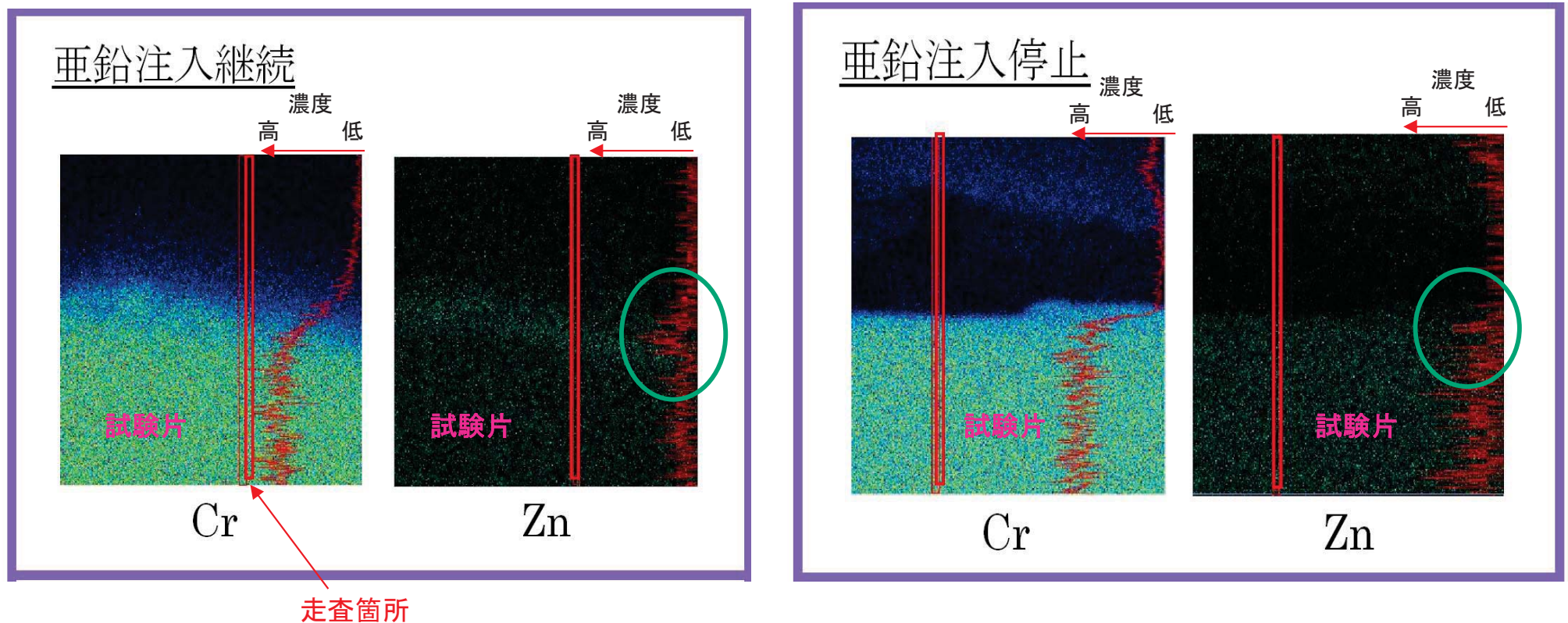
- ・ Zn停止時にスピネル酸化物(酸化皮膜)の増加が見られた。

評価

- ・ 腐食抑制が機能しなくなることによる酸化物皮膜の成長

通常運転中における亜鉛注入停止影響

試験結果 ③断面元素分布(SEM/EDS)



結果

- ・ Zn停止時には明瞭な $ZnCr_2O_4$ 層が観察されなかった。

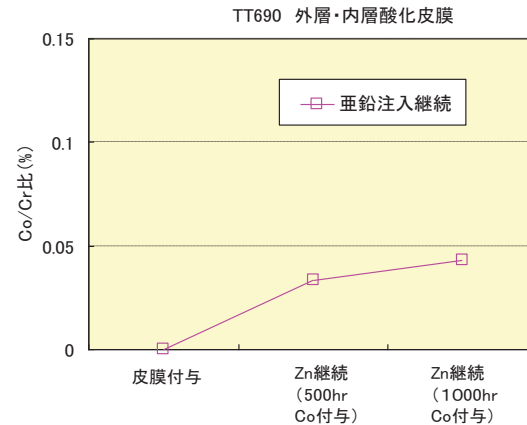
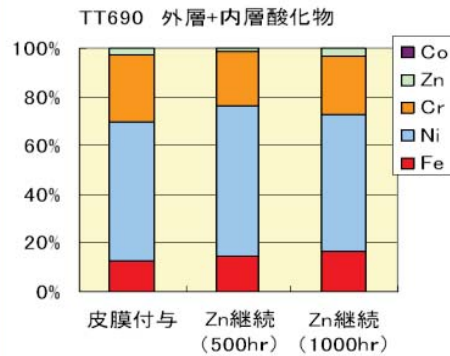
評価

- ・ 新しく成長する酸化皮膜の為に $ZnCr_2O_4$ 層の緻密性が失われる。

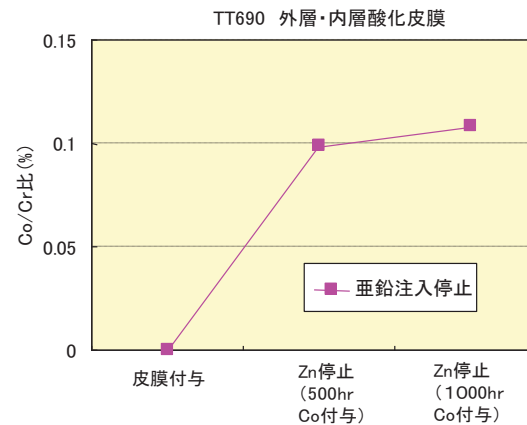
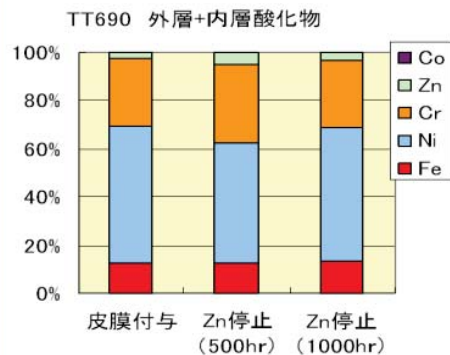
通常運転中における亜鉛注入停止影響

試験結果 ④元素組成(化学分析)

亜鉛注入継続



亜鉛注入停止



結果

・Zn継続時と比較し、Zn停止時ではCoの増加率が大きい

評価

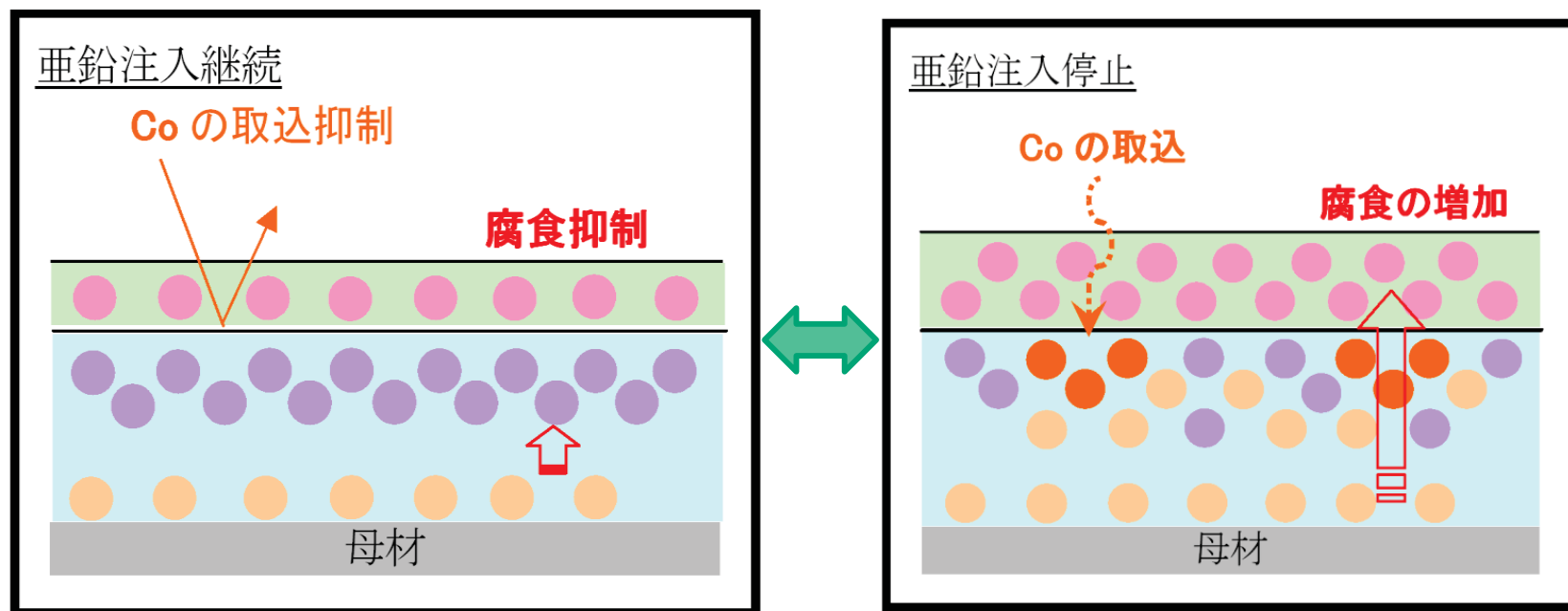
・Zn停止条件では、新規に成長する酸化皮膜にZnが取込まれないためにCo取込抑制が機能しなくなり、Co取込が進行

通常運転中における亜鉛注入停止影響

総合評価

模式図

● : NiFe_2O_4
 ● : ZnCr_2O_4
 ● : NiCr_2O_4



評価

- ・ Zn注入継続により、内層では緻密な ZnCr_2O_4 の層が形成され続け、腐食抑制・Co取込抑制が機能する。
- Zn注入停止により、
 - ・ 腐食に伴い、酸化皮膜中の ZnCr_2O_4 層がみだれ、腐食抑制機能が低下する。
 - ・ 新規のZn供給がないために、新しく成長する酸化皮膜ではCo取込抑制効果が機能しなくなる。

通常運転中における亜鉛注入停止影響

(参考)

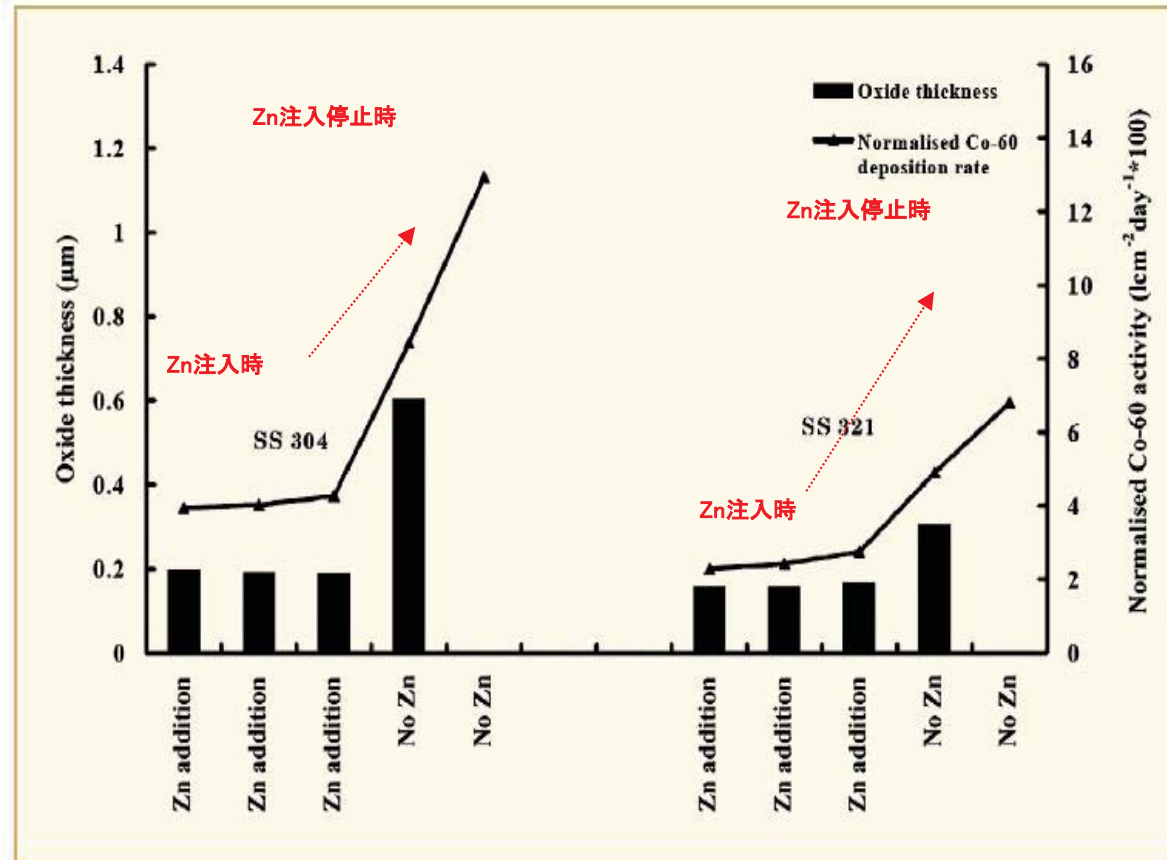


図 様々な試験フェーズでの照射期間中の新ステンレス鋼のサンプルでの酸化物の厚さと規格化されたコバルト60の取り込み率[Latinen et al, 1998]

海外の試験結果からも、亜鉛注入を停止することによって酸化皮膜が厚くなることが報告されている。

長期停止に伴う亜鉛注入停止影響評価

○通常運転中、亜鉛注入を停止することにより、
一次系統の皮膜は変化



プラント長期停止時の酸化皮膜への影響

○プラント長期停止に伴い、亜鉛注入が停止
酸化皮膜の成長速度は小さいが、皮膜の一部が変化する可能性



プラント停止状態を模擬し、長期停止状態がSG酸化皮膜に与える影響を評価

長期停止に伴う亜鉛注入停止影響評価

当社原子力発電所SG一次側停止状態

	解列	SG満水期間	SG水抜期間
玄海1号機	H23.12.1	約420日	約100日
玄海2号機	H23.1.29	約770日	約100日
玄海3号機	H22.12.11	—	約900日
玄海4号機	H23.12.25	—	約535日
川内1号機	H23.5.10	—	約775日
川内2号機	H23.9.1	—	約660日

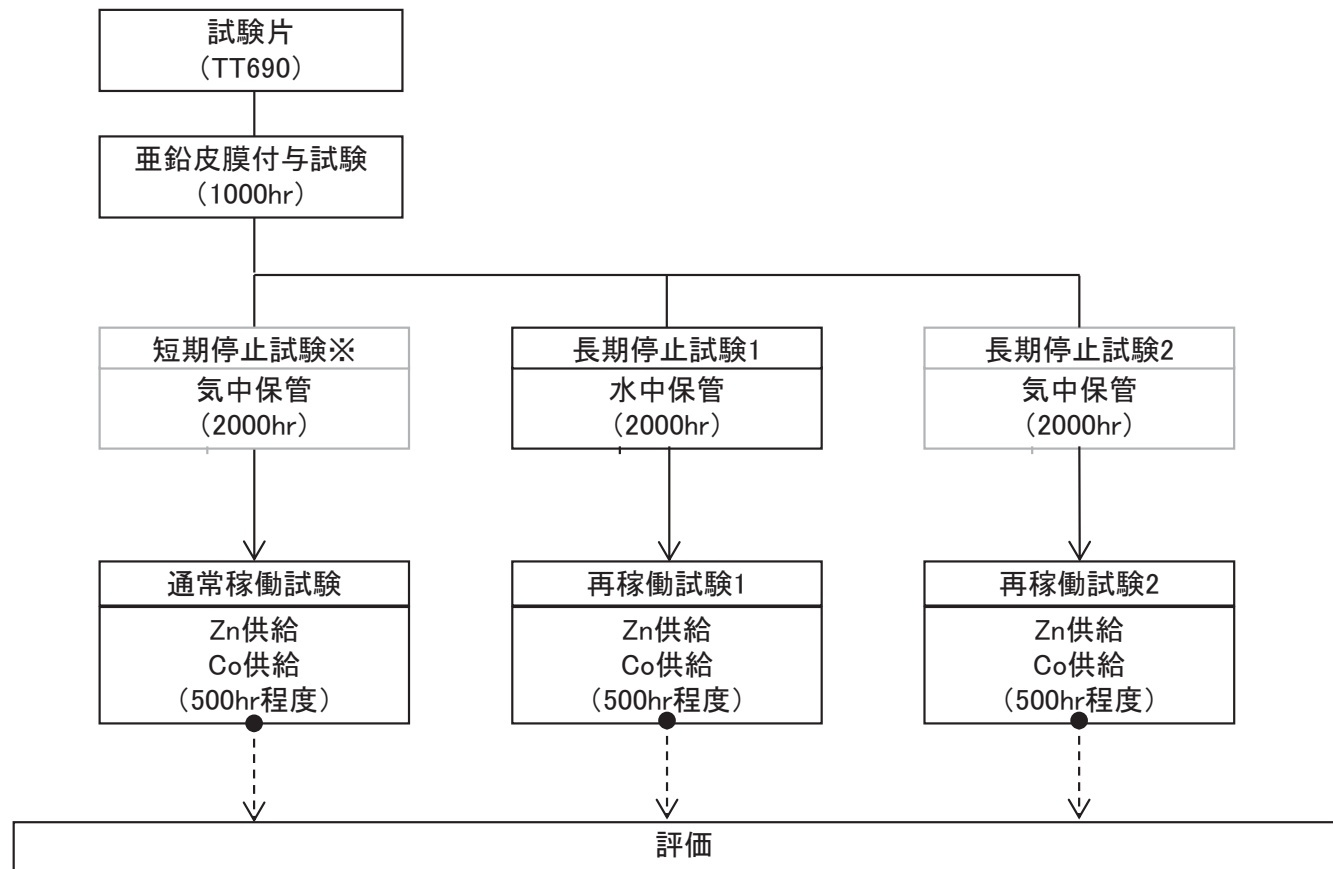
※ 停止期間は、平成25年7月1日時点での日数

SG保管状態は 水中(SG満水) or 気中(SG水抜)

長期停止に伴う亜鉛注入停止影響評価

試験概要

長期停止環境(水中、気中)におけるSG酸化皮膜の挙動を評価



試験フロー概念図

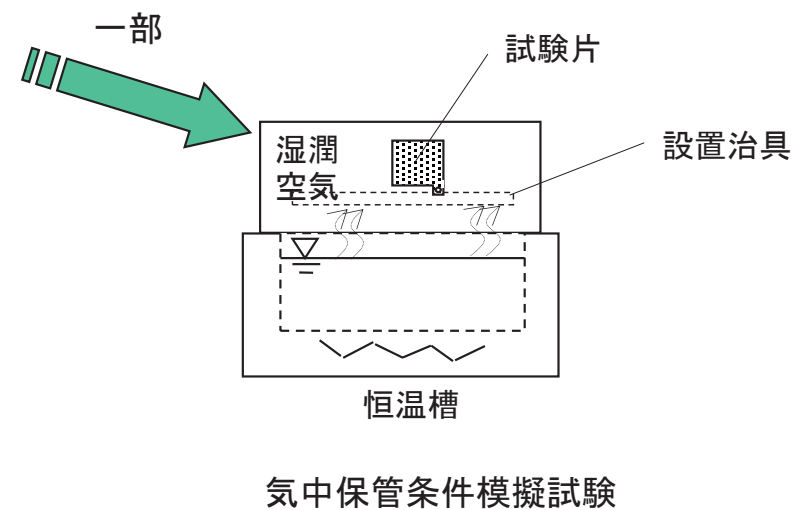
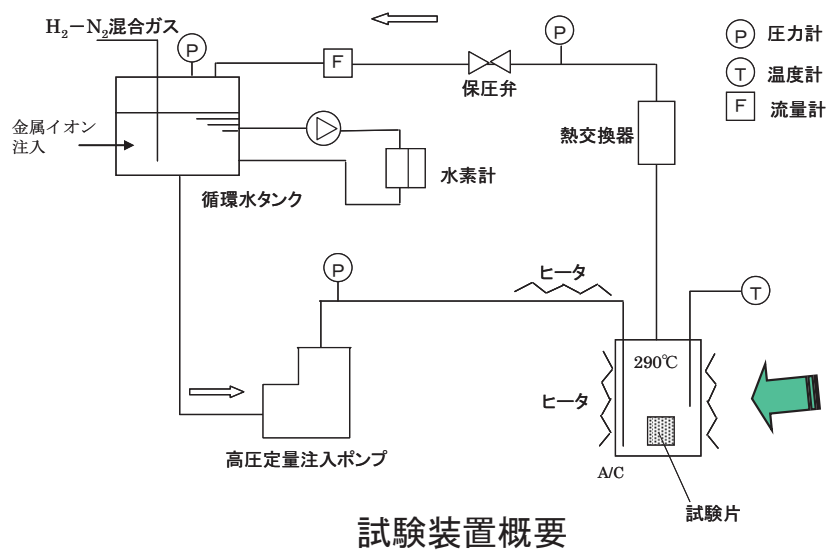
※短期停止...通常定検を模擬

長期停止に伴う亜鉛注入停止影響評価

試験条件

	短期停止/ 通常稼働試験	水中保管/ 再稼働試験	気中保管/ 再稼働試験
亜鉛皮膜付与試験		Zn10ppb 250℃ (1000hr)	
停止試験	気中保管 25℃ (2000hr)	水中保管 95℃ (2000hr)	気中保管 95℃ (2000hr)
稼働試験		Zn5、20ppb Co0.1ppb 290℃ (500hr)	

→ 25℃ ↑ 95℃で
約4.3倍の加速率



- ・長期停止時および再稼働時における酸化皮膜性状と、Co取り込み特性について評価

分析項目

- ・外観観察
- ・酸化皮膜の化学分析
- ・IMA



- ・長期停止後の再稼働時における亜鉛注入の最適条件を検討する

ご静聴ありがとうございました!!

21

