

BWRプラントの長期停止時の 保管対応に係る検討

2013年10月29日

株式会社 東 芝

© 2013 Toshiba Corporation

1/24

CDCC-2013-100136 Rev.0
PSNN-2013-0886

目次

1. はじめに	3
2. 安定運転時 水化学の役割	4
3. 長期停止による水化学への影響	5
4. 長期停止各期間での水化学の対応	6
5. 長期停止時の対応の検討	9
(1) クラッド不純物除去	10
(2) イオン不純物除去	19
(3) 放射能監視	23
6. まとめ	24

1. はじめに

起動後の安定運転時には、プラントの安全性・高信頼性に対する社会からの強い要求に応えるため、一層の被ばく低減や材料健全性確保を可能とする水化学技術の早期適用が望まれる。

一方、プラント停止期間の長期化による水質等の悪化により、プラント起動後の水質、ひいては被ばく線量、材料健全性、プラント性能の維持・監視や燃料健全性維持への影響が懸念される。

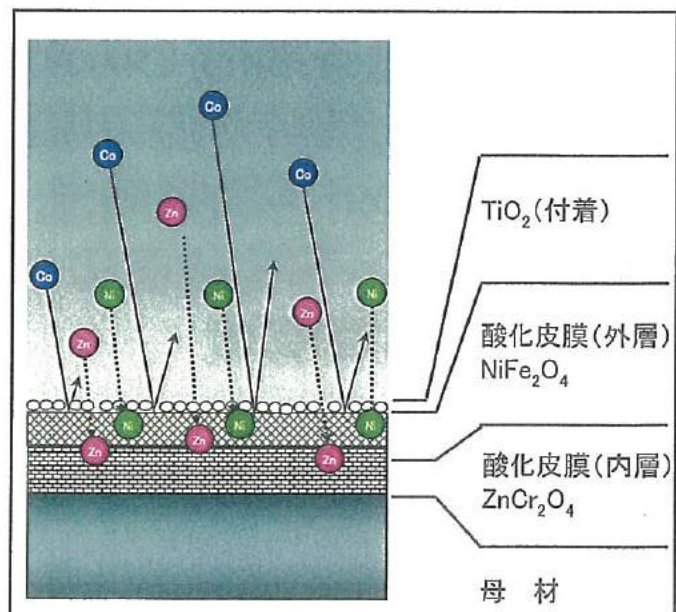
本発表ではプラント起動後の安定した水質実現に向けたプラント停止時(起動時含)の被ばく線量、材料健全性の対応方針について紹介する。

2. 安定運転時 水化学の役割

<目的>

運転時の安全性・高信頼性を達成する

- 被ばく低減と材料健全性確保を両立させた水化学技術
 - ◆ 不純物量低減
 - 沈積線源(給水鉄クラッド濃度)低減
 - コバルト(Co-60)低減
 - ◆ 水質制御/注入技術
 - 極低鉄制御・炉水Ni制御併用
 - 化学除染後再汚染抑制/予防保全
 - 亜鉛注入/酸化チタン付着
- 材料健全性確保
 - ◆ 水素注入制約条件緩和
 - ◆ 酸化チタン防食適用



3. 長期停止による水化学への影響

(1) クラッド不純物の増加

- ・長期停止に伴い、機器配管等の腐食によりクラッド発生量が増加する
- ・クラッド不純物の増加により、起動前等の浄化期間が長くなる

(2) イオン不純物の増加

- ・CD樹脂の酸化劣化により、不純物量が増加する
- ・定検作業での薬剤(防錆材・検査薬液)により、不純物量が増加する
- ・建屋開放により、周辺塩分が流入し、機器等の外表面付着塩分が増加する

(3) 放射能の増加

- ・配管内面酸化皮膜の不安定化となり、放射能(置換性線源)が剥離し、配管付着放射能が増加する

4. 長期停止各期間での水化学の対応

停止中	起動前	起動時	安定運転
<p>被ばく低減</p> <ul style="list-style-type: none"> ・配管・機器の腐食抑制対策 →保管対策 ・配管酸化皮膜の状態監視 →配管線量率又は付着放射能の測定 ・沈積性線源の監視 →定点線量率測定 <p>プラント健全性</p> <ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管等の健全性 →炉水、CST水質監視 ・停止作業の監視 →不純物の低減対策 ・塩害対策 →配管外面等の塩分調査 	<p>被ばく低減</p> <ul style="list-style-type: none"> ・炉内への腐食生成物持込低減 →給復水再循環運転 ・配管酸化皮膜の状態監視 →配管線量率又は付着放射能の測定 ・沈積性線源の監視 →定点線量率測定 <p>プラント健全性</p> <ul style="list-style-type: none"> ・炉水・給復水中の不純物低減 →炉水・給復水調査 ・炉水・給復水への不純物持込低減 →CST水等水質調査 CD樹脂酸化劣化調査 	<p>被ばく低減</p> <ul style="list-style-type: none"> ・炉内への腐食生成物持込量監視 →給水持込量評価 <p>プラント健全性及び起動対応</p> <ul style="list-style-type: none"> ・炉水・給復水の水質監視・評価 →不具合事象の予測と対応方法の検討 	<p>運転時の安全性・高信頼性を達成</p>

対応管理・監視項目の抽出

	項目	対象	方策	推奨・適用先	備考
停止中	クラッド低減対策	鉄クラッド	保管対策	給復水系	鉄クラッド対象
	一次系放射能挙動監視	置換性線源	配管線量率 配管付着放射能測定	PLR・CUW配管	
		沈積性線源	線量率測定	定点測定	
	機器・配管等の健全性	イオン種(硫酸、塩素)、 導電率	水質監視(状態監視)	炉水、CST水	炉水は導電率中心 CST水はTOC中心
			作業後の洗浄徹底	PT作業(イオン不純物)、 タービン保管等	PT作業は硝酸イオン
		塩素イオン	塩分調査(必要に応じて清掃)	定点ポイント(全建屋)	各建屋環境を 中心に確認
起動前	クラッド低減対策	鉄クラッド	給復水再循環	給復水系	鉄クラッド対象
	一次系放射能挙動監視	置換性線源	配管付着放射能測定	PLR・CUW配管	
		沈積性線源	線量率測定	定点測定	
	機器・配管等の健全性	イオン種(硫酸、塩素)、 導電率	CUW浄化	炉水	TOC低減
			ドレン	給復水系	TOC低減
			CUW浄化	CST水	TOC低減 (燃料を用いて分解)
酸化劣化調査 (中性塩交換容量、海水漏洩試験)			CD樹脂	試験結果により、 交換対応	
起動時	機器・配管等の健全性、 起動対応	イオン種(硫酸、塩素)、 導電率	不具合事象の予測と対応方法の検討	炉水、給復水系	炉水は導電率 給復水系は海水リーク

**管理・監視項目は(1)鉄クラッド、(2)イオン種(硫酸、塩素)、
導電率(その他イオン)、(3)放射能(置換性線源、沈積性線源)**

目標値の設定

項目	水質基準値	目標値	停止中	起動前	起動時	備考	
クラッド 不純物	鉄クラッド 給水金属濃度 <15ppb	鉄持込量(起動+運転) 6.4kg(BWR) 7.6kg(ABWR)	○	○	×	1100MWe級BWR、ABWRプラント 10000EFPH運転、給水鉄濃度0.1ppb のケース	
イオン 不純物	硫酸イオン 運転中 <100ppb 停止中 <500ppb	安定運転時 ≦5ppb* 起動時 ≦100ppb*	○	○	○	*:電中研手引き	
	塩化物イオン 運転中 <100ppb 停止中 <500ppb	安定運転時 ≦20ppb* 起動時 ≦100ppb*	○	○	○	*:電中研手引き	
	導電率 運転中 100μS/m 停止中 1000μS/m	安定運転時 ≦20μS/m* 起動時 ≦100μS/m*	○	○	○	硝酸イオン	
放射能	置換性線源	-	○	○	×	配管線量率測定等より、半減期以上に 線量低のとき酸化皮膜剥離等の可能性 有	
	沈積性線源	-	○	○	×	配管線量率測定等より、半減期以上に 線量高のとき沈積線源付着の可能性有 定点測定でホットスポット等の有無確認	
項目	清浄度基準	清掃基準	停止中	起動前	起動時	備考	
イオン 不純物	塩素	100mg/m ²	70mg/m ²	○	×	×	塩害対策対応

○:対応対象時期、×:非対応時期、-:設定無

5. 長期停止時の対応の検討

(1) クラッド不純物除去

- ・鉄クラッド

(2) イオン不純物除去

- ・水中のイオン不純物
- ・機器・配管外面のイオン不純物(塩害)

(3) 放射能監視

- ・置換性線源
- ・沈積性線源

(1) クラッド不純物除去

現状のBWR保管状況

各BWRプラントの保管状況を整理すると、

- ・原子炉系

(RPV、CUW、RHR系)

殆どが満水保管と連続通水で

CUWによる浄化実施(クラッド増加影響無)

- ・タービン系

(主蒸気系、タービン系、復水器、給復水系、ヒータドレン系)

殆どが水抜きと自然乾燥(水抜き保管)

起動前に停止時のクラッド除去が必要

このため、

クラッド発生量及び浄化系負荷評価が必要

各保管環境における腐食速度の評価値

保管仕様	0.1	1	10	100	1000
乾燥保管 (相対湿度<80%)		■			
水抜き保管 (相対湿度90~100%)			■		
脱気水滴水				■	
脱塩水滴水					■
脱塩水通水			■		

[東芝データ]

気相保管条件

湿度が低いほど即ち水分量が少ないほど腐食率は小

液相保管条件

- 満水保管の腐食率
溶存酸素濃度及び酸素量が少ないほど腐食率は小
- 脱塩水通水の腐食率
満水保管よりも腐食率は小

一般に言われている保管条件と同様の傾向

●起動前浄化運転に要する日数の評価

・クラッド発生量評価

BWRプラントは起動前に給復水再循環を行い、HFF等によりクラッドを除去する。

保管状態は給復水系、復水器は自然乾燥より水抜き保管状態として評価

ラボ試験値と実機プラントとの腐食速度実績との比較

- ・通常定検時の腐食速度実績値 約10mdm
- ・長期停止時の腐食速度実績値 約1mdm

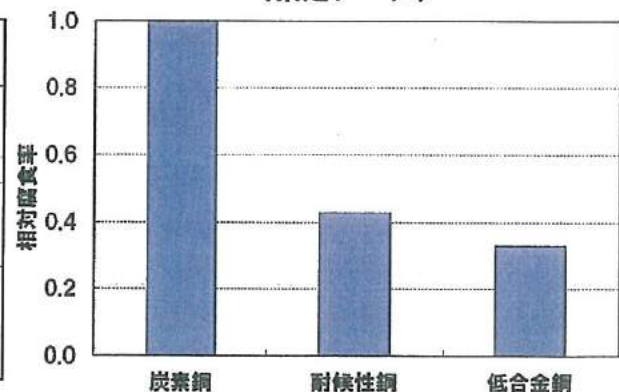
長期保管状態になるほど保管箇所の水分が抜け、より乾燥状態となるため、ラボ試験の乾燥保管状態の腐食速度と同等となる。今回は長期停止時の腐食速度実績値で3～6年間のクラッド発生量を評価した。

3～6年停止のクラッド発生量(1100MWe級)

給復水系のクラッド発生量
(腐食率 1mdm使用時)

		3年停止	4年停止	5年停止	6年停止
クラッド発生量 (Kg)	全炭素鋼	17	23	29	34
	ホットウェル 耐候性鋼	15	20	25	29
	ホットウェル + 復水配管 (CFまで) 耐候性鋼	13	17	21	25

液相中の各材料の相対腐食率
(東芝データ)



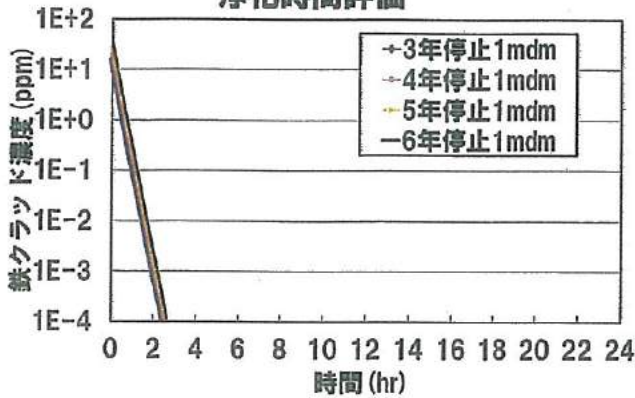
- ・ホットウェル、復水配管が炭素鋼と耐候性鋼のプラントがあるために、3種類のプラントについて評価
- ・耐候性鋼の腐食速度は炭素鋼の約40%相当と評価

6年間停止時のクラッド発生量評価結果

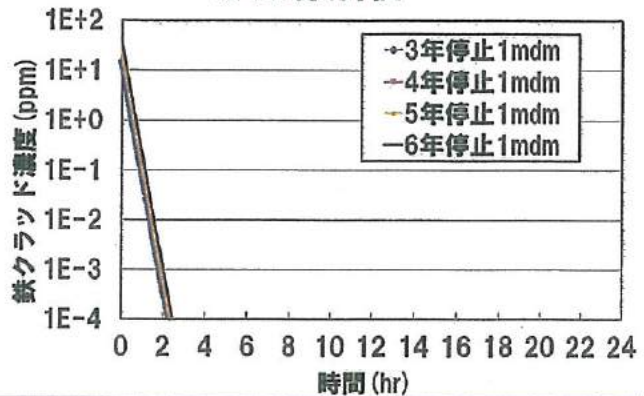
ホットウェルと復水配管が耐候性鋼の場合 25kg
全部炭素鋼の場合 34kg

給復水再循環浄化時間評価 (1100MWe級)

7000m²/塔の全炭素鋼ケースの
浄化時間評価

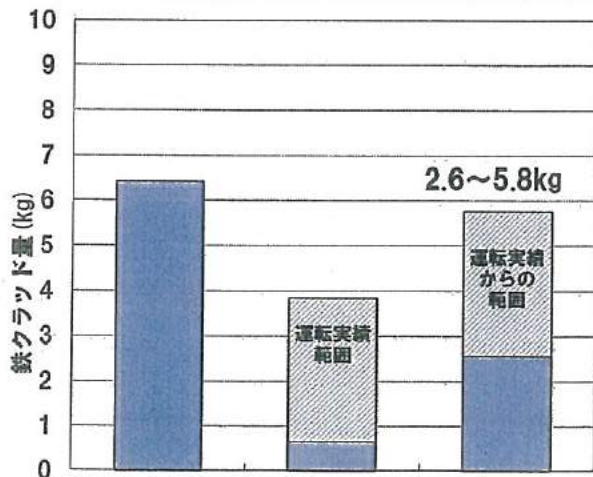


9000m²/塔の全炭素鋼ケースの
浄化時間評価

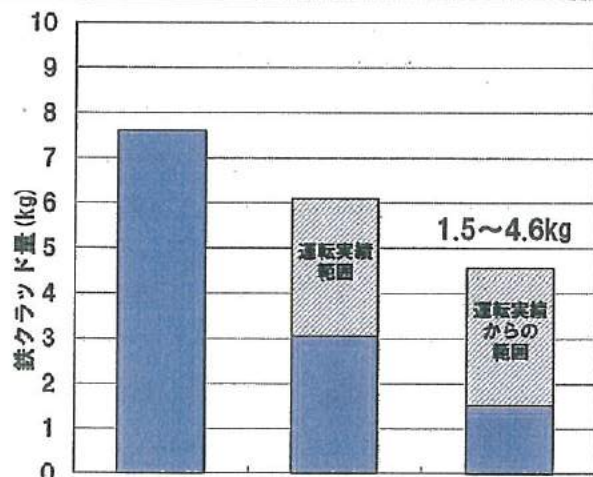


- ・給水再循環運転による浄化は7000m²/塔、9000m²/塔とも 3塔で実施
- ・1塔当りのクラッド捕捉量は、56～72kgなので、逆洗が必要な最大クラッド捕捉量までは尤度があると評価
- ・HFF負荷量は運転中の負荷量も考慮し、起動時に逆洗を実施しないような運用を検討する必要がある。
- ・給復水循環浄化の運転時間は、クラッド剥離のためのスイング運転等を考慮しなければ、3時間以内にクラッド濃度が0.1ppb以下になると評価

持込可能鉄量評価



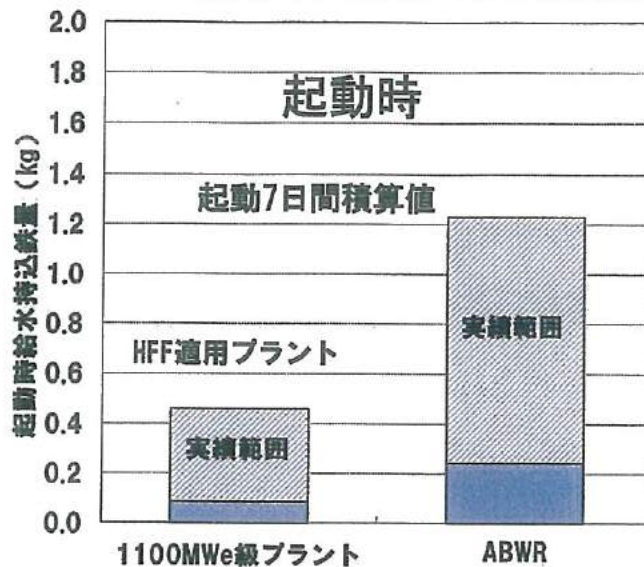
最適鉄量 at 10000EFPH
最適鉄量 (0.1ppb) に対する持込可能鉄量の評価 (1100MWe級プラント)



最適鉄量 at 10000EFPH
最適鉄量 (0.1ppb) に対する持込可能鉄量の評価 (ABWRプラント)

極低鉄運転(給水鉄濃度0.1ppb)の最適鉄量に対して、1100MWeでは2.6～5.8kg、ABWRでは1.5～4.6kgが持込可能な鉄量と簡易評価
→各プラントの運用にあわせ詳細な鉄量評価が必要

通常起動時の持込実績



- ・起動時の給水持込実績は、1100MWe 0.1~0.5kg、ABWR 0.2~1.3kg
- ・通常起動時の給水持込実績は、1100MWe、ABWRともに持込可能量を下回り、極低鉄運転が可能
- ・長期停止後の給水再循環運転もスイング運転を含め通常起動時と同レベルのクラッド濃度まで低減すれば、極低鉄運転が可能

(1) クラッド不純物除去ーまとめ

- ・タービン系の停止時保管方法は、水抜き保管で長期停止になるにつれて乾燥保管並みに腐食速度が低下
- ・6年程度の停止では給復水再循環運転時に逆洗の必要はないが、運転中のHFF負荷量も考慮し、起動時に逆洗を実施しないような運用の検討が必要。起動前浄化期間も通常定検と同程度と評価
- ・持込可能鉄量については、各プラントの状況に応じ個別評価が必要。長期停止後の給水再循環運転も通常起動時と同レベルのクラッド濃度まで低減すれば、極低鉄運転が可能

(2) イオン不純物除去－塩化物・硫酸

1) 発生源

- ・CD樹脂
- ・タービン防錆剤

2) 管理目標

起動・安定運転中の目標値(電中研手引き)を達成し
うる値

3) 対策

- ・CD樹脂
事前酸化劣化試験により、劣化状況を把握
運用前に必要に応じ、樹脂交換の実施
- ・タービン防錆剤
不用分の徹底除去及び浄化運転の実施

イオン不純物除去－導電率(硝酸イオン)

1) 発生源

- ・PT薬液
(復水器チューブ、給水加熱器チューブ検査)

2) 管理目標

起動・安定運転中の導電率水質基準目標値
100 μ S/mを達成しうる値

3) 対策

PT作業後の洗浄徹底
硝酸イオン付着量調査の実施

イオン不純物除去－塩害

1) 発生源

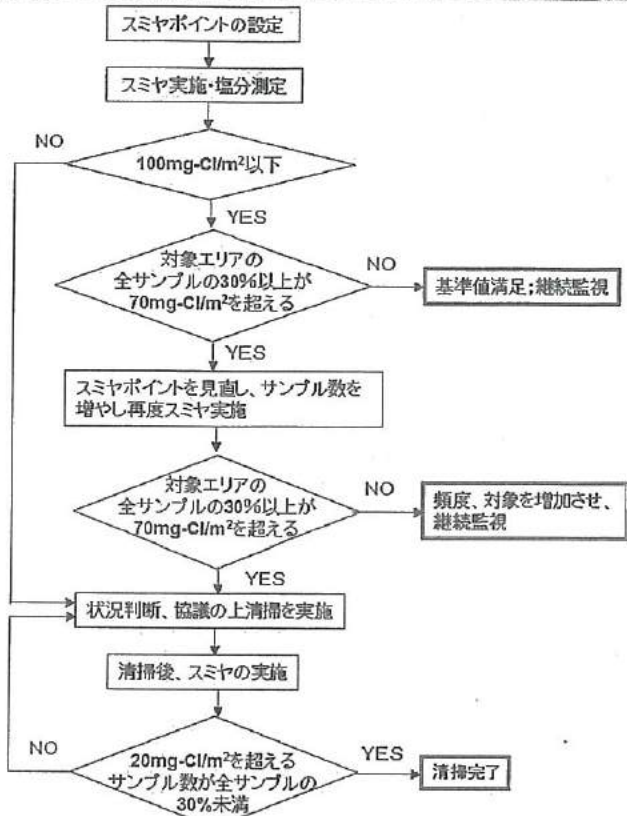
- ・外気取入(大物搬入庫 開閉)回数増加
- ・点検等の作業品持込品 数の増加等

2) 管理目標

70mg-Cl/m²以下

3) 対策

停止日数を考慮して調査 頻度決定に変更

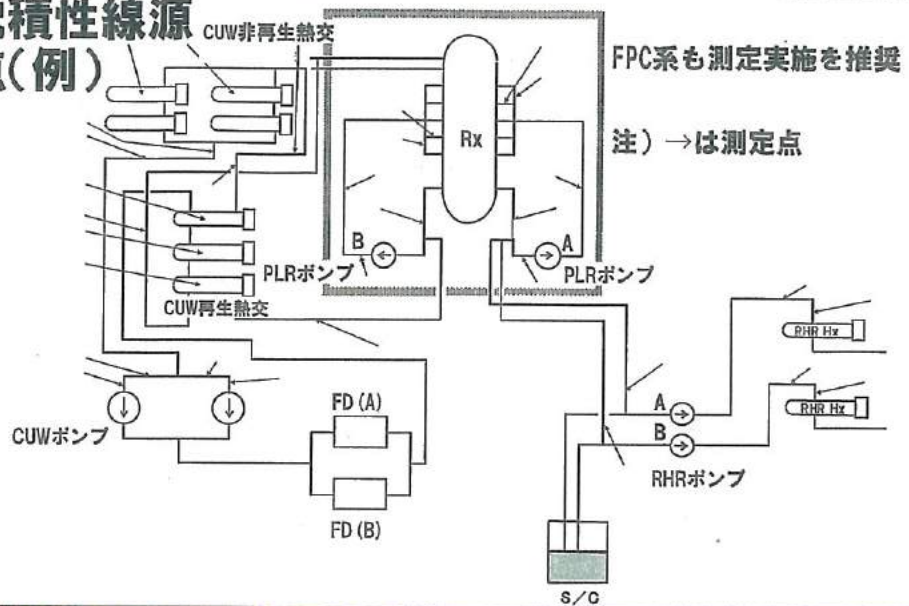


(2) イオン不純物除去－まとめ

- ・CD樹脂は、酸化劣化試験を推奨
- ・防錆材／PT薬液は事前の徹底除去
- ・CD樹脂劣化時を想定し、樹脂交換の検討
- ・塩分調査は停止期間を考慮した調査頻度の再検討

(3) 放射能監視－線量率の定点測定

置換性線源/沈積性線源
線量率測定点(例)



配管酸化皮膜の不安定化及びホットスポット増加
 →停止中及び起動前まで、定期的に定点の線量率測定を実施
 →プラント起動後の線量予測に必須
 極低鉄やNi/Fe比運転の運転方法の検討と必要に応じZn注入等も検討

6. まとめ

安定運転時の安全性・高信頼性を達成するため、プラント長期停止時の対応方針を検討した。
その結果、以下の施策の検討を推奨する

- 停止時水抜き保管実施の徹底
- 起動時のHFF逆洗を避けるために、HFFへの運転中負荷量を考慮した運用の検討
- 給水再循環浄化運転終了時のクラッド濃度を通常起動時と同レベルまでの実施
- 樹脂酸化劣化試験
- 塩分調査頻度の再検討
- 線量率の定期的な定点測定