

日本原子力学会「水化学部会」第40回定例研究会

大飯発電所3, 4号機 再稼働後の2次系水質および ASCA洗浄における対応について

2021年6月30日

関西電力株式会社
大飯発電所 放射線管理課

1. はじめに

2. 再稼働後の2次系水質について

3. ASCA洗浄における対応について

- 3. 1 概要
- 3. 2 洗浄工程および条件
- 3. 3 洗浄イメージ
- 3. 4 洗浄実績（大飯3号機）
- 3. 5 SGスラッジ除去量推移（大飯3・4号機）
- 3. 6 プラント起動時の化学関連対応
- 3. 7 プラント起動時の水質実績（大飯3号機）

4. まとめ

■ 大飯発電所の概要

	1号機	2号機	3号機	4号機
原子炉	加圧水型軽水炉（PWR）			
現在の状況	廃止措置中 (2019.12 廃止措置計画認可)		第18回定期検査中 (2020.7～)	第18サイクル運転中 (2021.1～)
定格出力	—		118.0万kW	118.0万kW



■ おおい町特産品



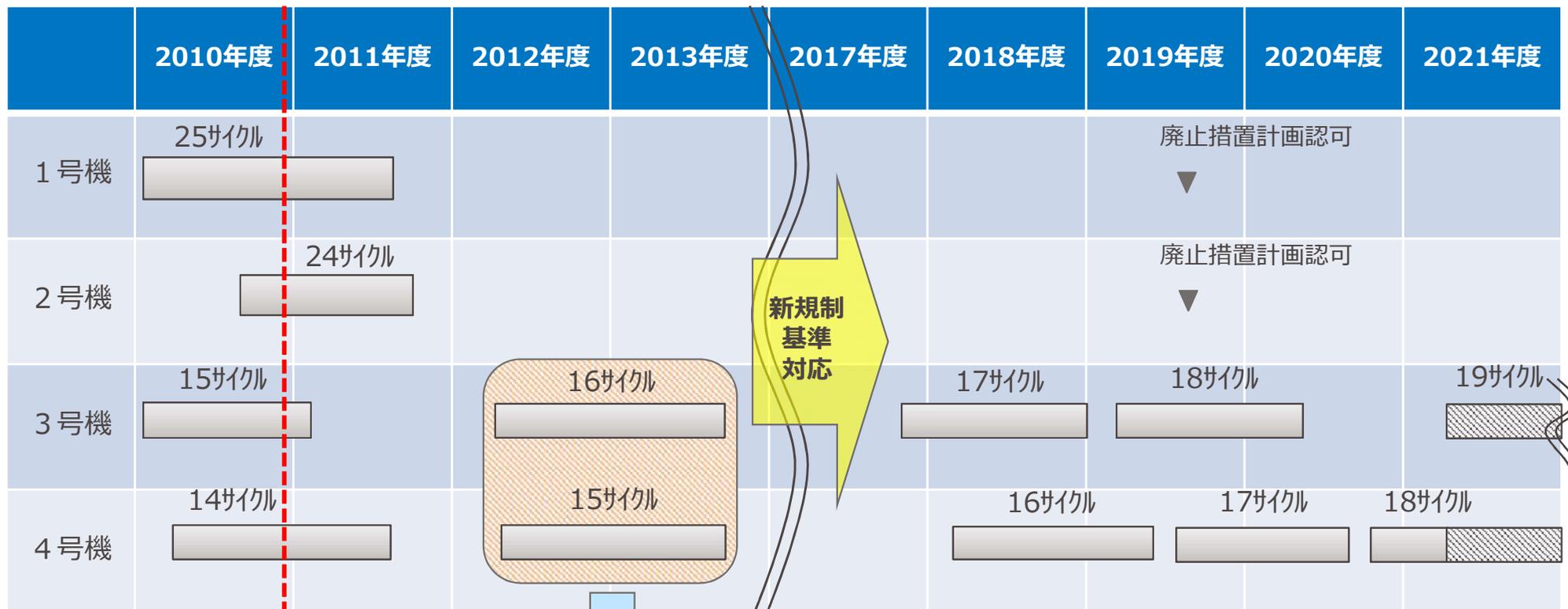
■ 大火勢（おおがせ）



■ 大飯 1～4号機の運転状況

2011.3
東日本大震災発生

■ : 実績
■ : 予定



特別な監視体制による再稼働

1. はじめに

2. 再稼働後の2次系水質について

3. ASCA洗浄における対応について

- 3. 1 概要
- 3. 2 洗浄工程および条件
- 3. 3 洗浄イメージ
- 3. 4 洗浄実績（大飯3号機）
- 3. 5 SGスラッジ除去量推移（大飯3・4号機）
- 3. 6 プラント起動時の化学関連対応
- 3. 7 プラント起動時の水質実績（大飯3号機）

4. まとめ

2. 再稼働後の2次系水質について

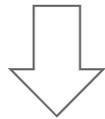
■大飯3, 4号機では、2次系給水処理としてアンモニアによる高pH運転を実施

■アンモニア高pH運転での水質処理条件

高圧給水 pH : ≥ 9.8 (最大 10.0)
 NH₃ : $\geq 5\text{ppm}$ (最大 13ppm)

■目標 Fe濃度

高圧給水 Fe: 約1ppb



SG伝熱管スケール付着による性能低下抑制に効果があるとされている濃度

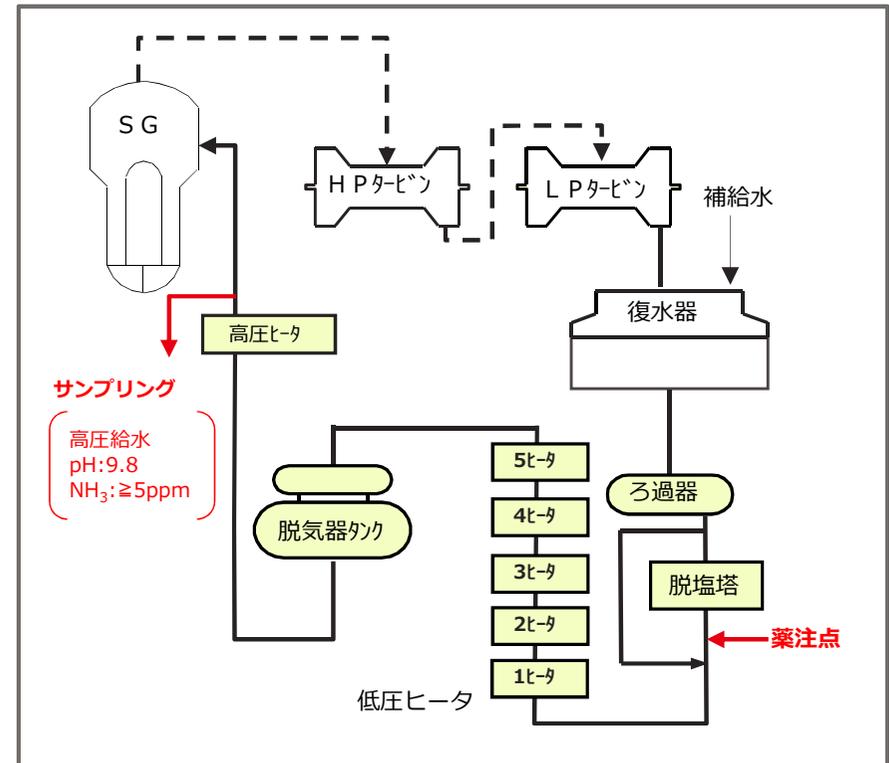


図1. 系統概略

アンモニアによる高pH運転実績

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
3号機	16cy		← 比較 →				17cy
4号機			← 長期停止期間 →			

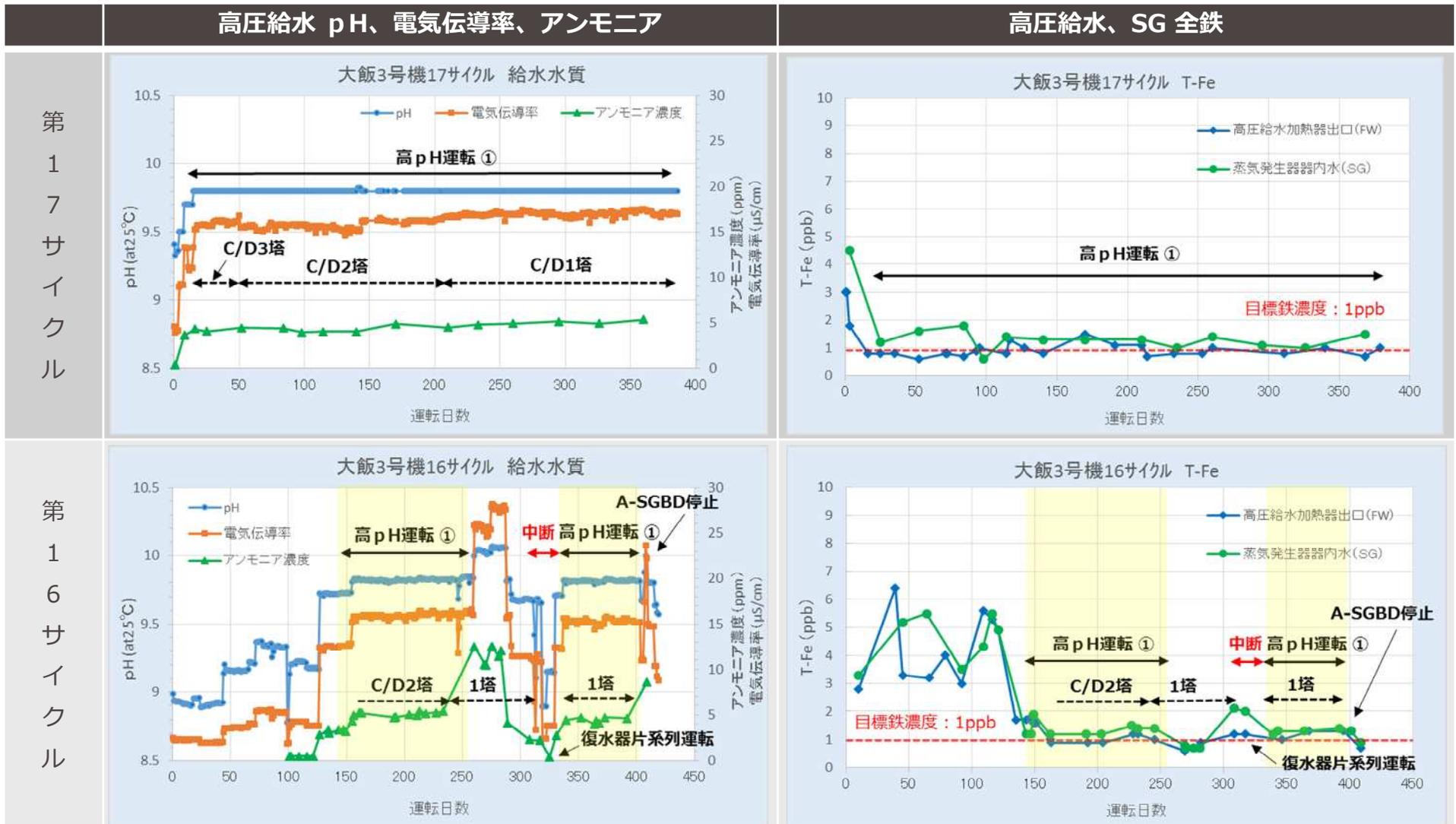
..... 実機調査
 ——— 本格運用

3号機16サイクル（実機調査）および17サイクル（本格運用初回）の2次系水質（給水Fe・SG不純物）について比較を実施

■長期停止前 (3 u 1 6 サイクル) の同条件水質との比較 → → → **長期停止前と同等の水質**
 高 pH 運転①条件 ⇒ 給水 pH: ≥ 9.8 、NH₃: ≥ 5 ppm

比較箇所※: **高 pH 運転①**

※3 u 1 6 サイクルについては、アンモニア高 pH 運転実機調査を実施していたため、1 7 サイクルと比較できる期間は約 5 か月



高 pH 運転①中については、目標給水鉄濃度 (約1ppb) 程度であった。

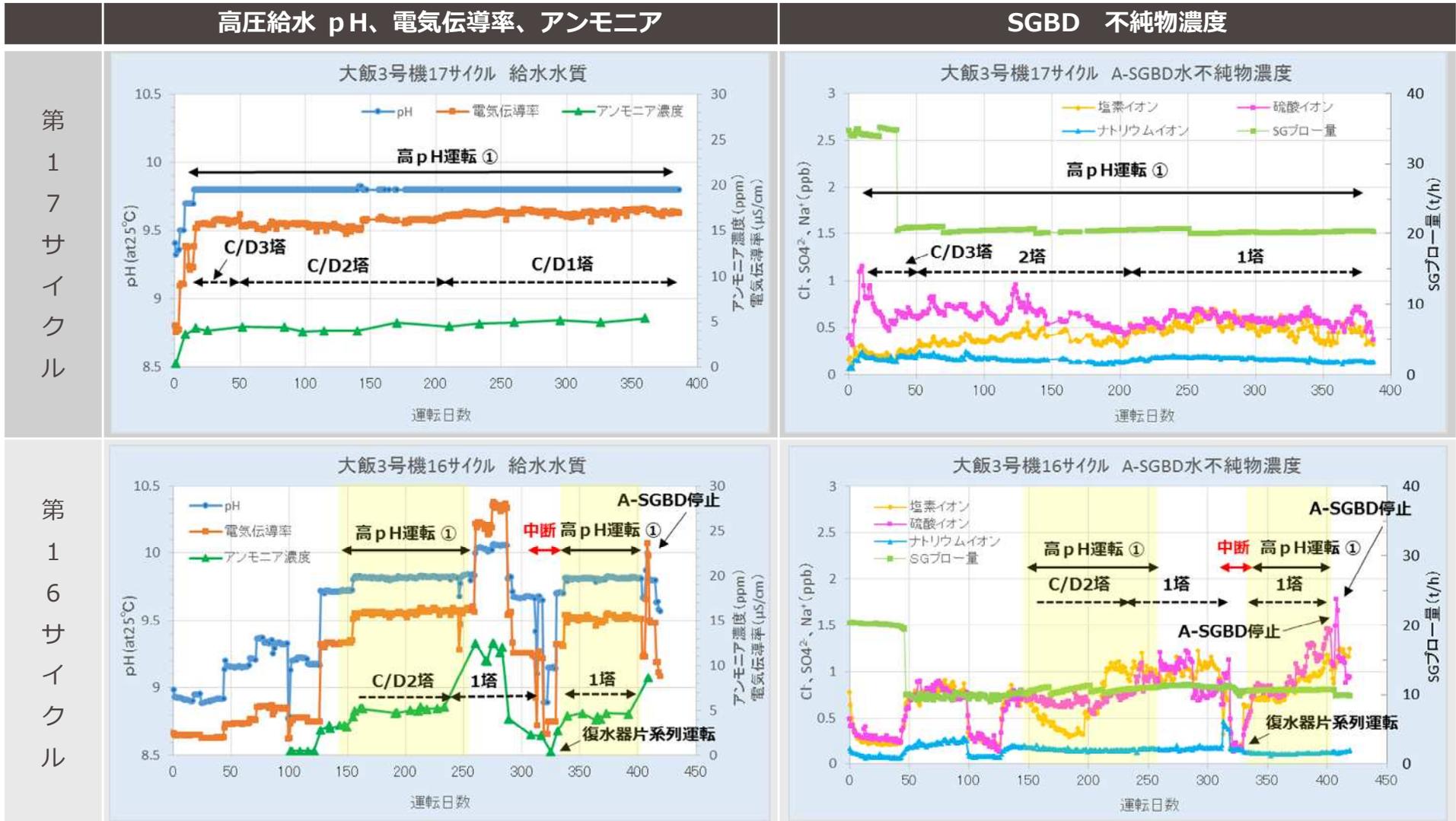
C/D : Condensate demineralizer
 復水脱塩装置

■長期停止前 (3 u 1 6 サイクル) の同条件水質との比較 → 前回と同様に水質管理値※2を満足

高pH運転①条件 ⇒ 給水 pH: ≥ 9.8 、NH₃: ≥ 5 ppm

比較箇所※1: ← 高pH運転① →

※1: 3 u 1 6 サイクルについては、アンモニア高pH運転実機調査を実施していたため、17サイクルと比較できる期間は約5か月



SGBD: 蒸気発生器ブローダウン

※2: 【水質管理値】 Na⁺ ≤ 0.8ppb, Cl⁻ ≤ 1.6ppb, SO₄²⁻ ≤ 1.7ppb

不純物濃度は、SGブロー量、補給水水質およびC/D通水塔数の影響を受けるが、管理値を満足しており問題ない。

- 1サイクルを通して、クレビス pH_t 管理値 (5.7※~9.8) を満足
⇒濃縮倍率は最も厳しい条件である 1×10^{-7} で評価を実施

※SG材質がTT690材かつ、SG器内水の全銅濃度が<0.1ppbの場合に限り、クレビス部管理の下限値 (5.7) を適用除外

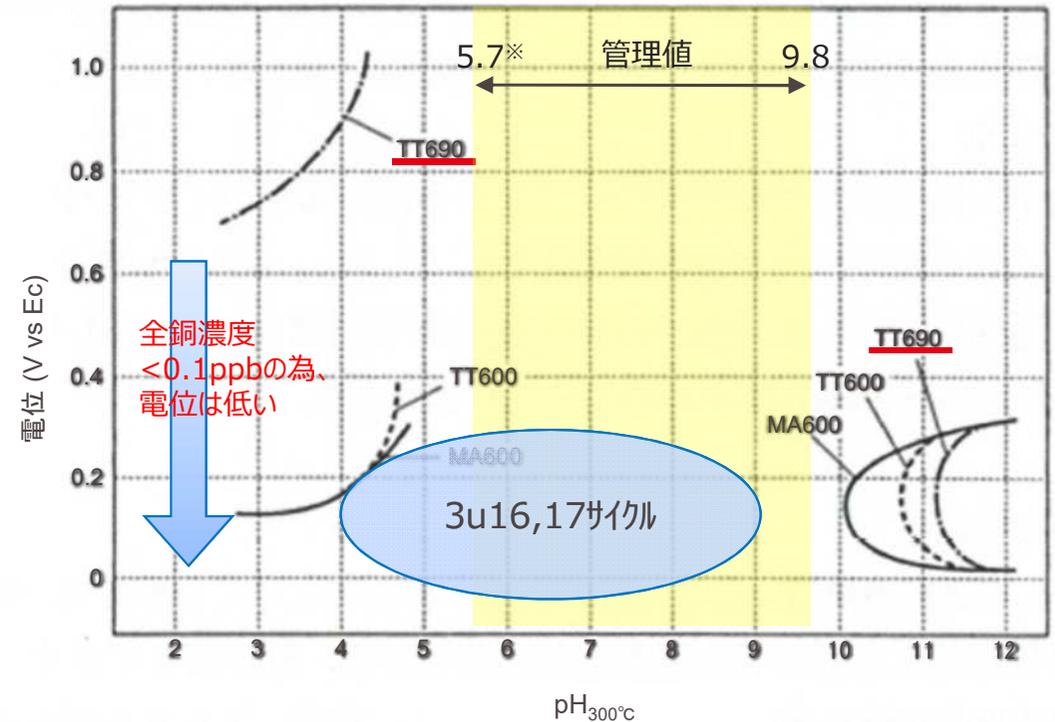


図2. 蒸気発生器伝熱管材のIGA発生環境条件

SGへの鉄持込量推移

- ETA (13,14cy) およびNH₃ (16,17cy) 注入による高pH運転時のSGへの鉄持込量を比較 (15cyは高pH運転期間が短いため、比較対象外)



SGへの鉄持込 (日平均) には大差なし。

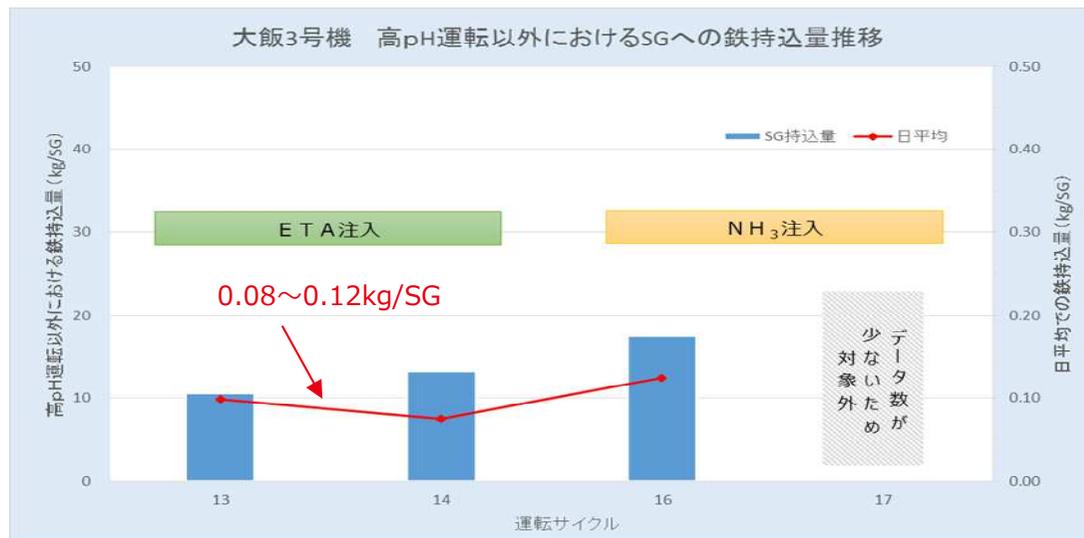
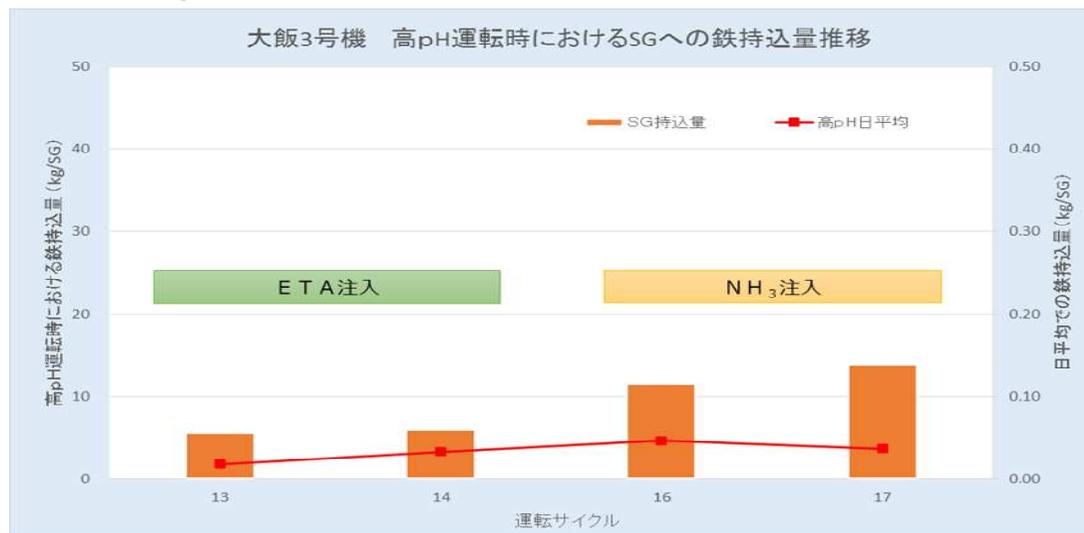
ETA注入時	0.02~0.03kg/SG
NH ₃ 注入時	0.04~0.05kg/SG



NH₃注入による高pH運転においてもSGへの鉄持込が低く抑えられている。因みに高pH運転時以外の期間における鉄持込量と比較しても低いことがわかる (右下図)



SG伝熱管の性能低下が緩和されている。



しかしながら、これまでにSGへ持込された鉄の蓄積により伝熱性能が大幅に低下しており発電機出力低下などに影響していることから、SG内の鉄除去を目的にASCA洗浄を実施した。

【次項で説明】

1. はじめに

2. 再稼働後の2次系水質について

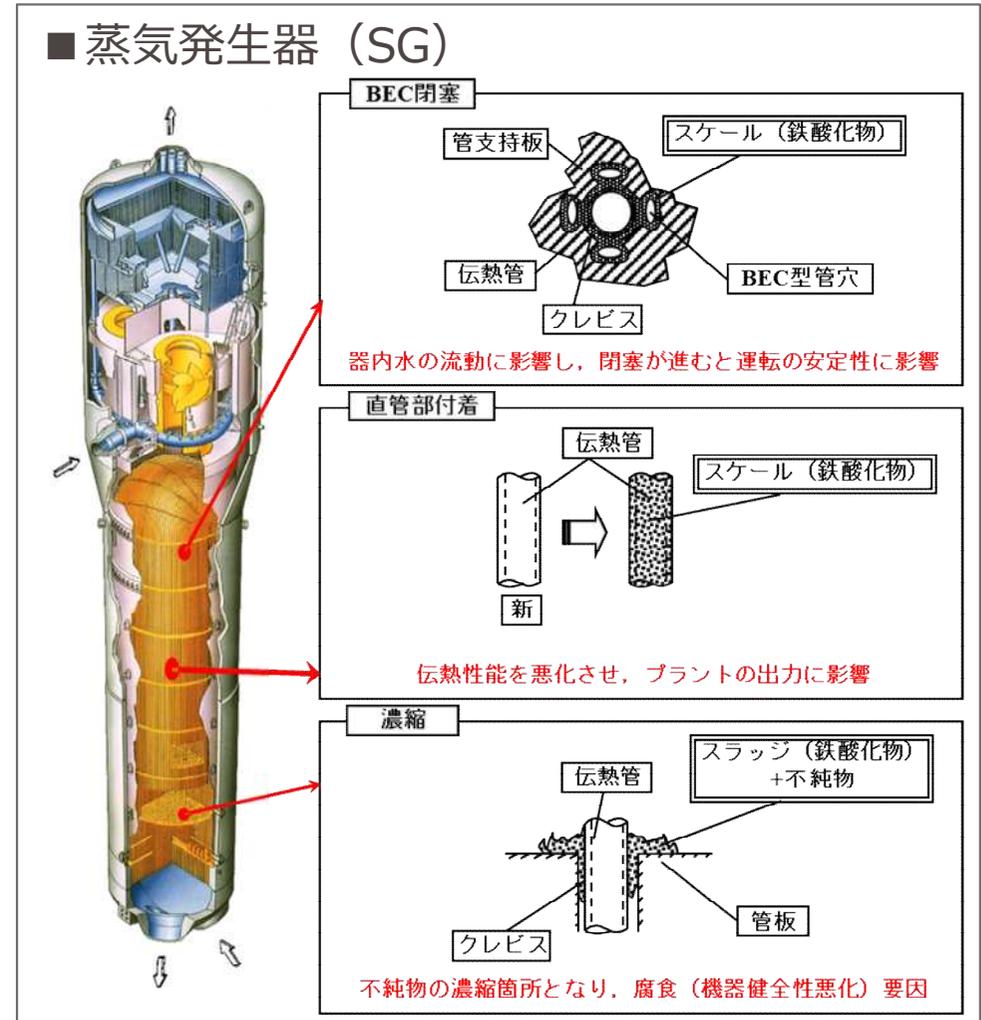
3. ASCA洗浄における対応について

- 3. 1 概要
- 3. 2 洗浄工程および条件
- 3. 3 洗浄イメージ
- 3. 4 洗浄実績（大飯3号機）
- 3. 5 SGスラッジ除去量推移（大飯3・4号機）
- 3. 6 プラント起動時の化学関連対応
- 3. 7 プラント起動時の水質実績（大飯3号機）

4. まとめ

3.1 概要

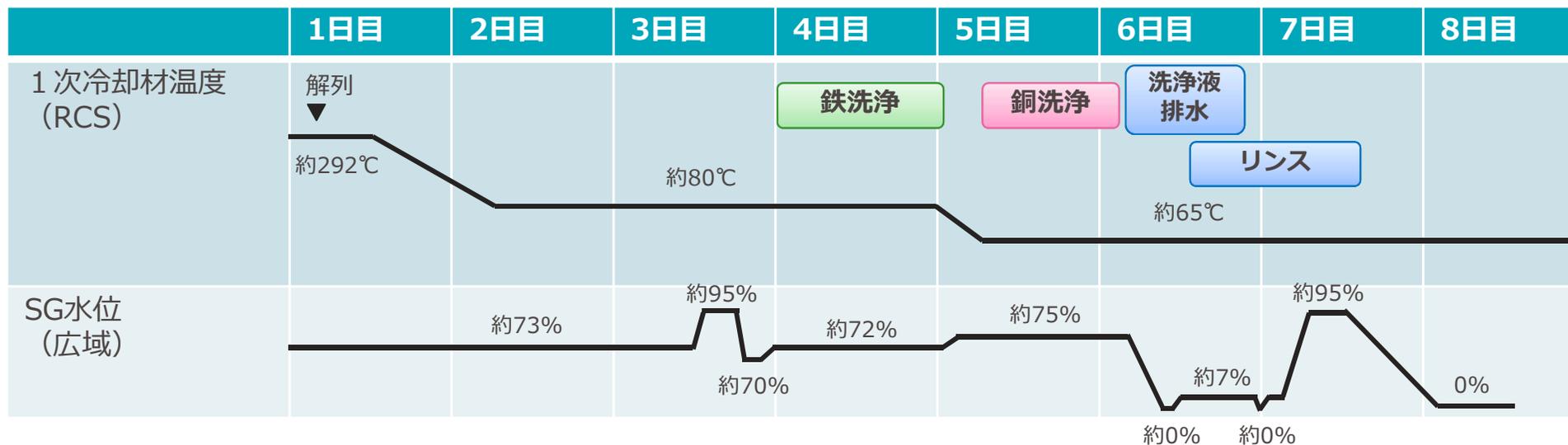
- ASCA洗浄とは
蒸気発生器伝熱管2次側のスケールを希薄キレート剤（EDTA）を用いて洗浄し、表層部を空隙化・脆弱化させる。
- 実施時期
プラント停止時
- 目的
 - ・ 伝熱性能低下の改善
 - ・ BEC管穴閉塞改善
 - ・ 伝熱管付着スケール中の銅除去



ASCA : Advanced Scale Conditioning Agent
EDTA : エチレンジアミン四酢酸 弱酸性の薬液 (キレート剤)
BEC : Broached Egg Crate 四葉型管穴

3. ASCA洗浄における対応について

3.2 洗浄工程および条件

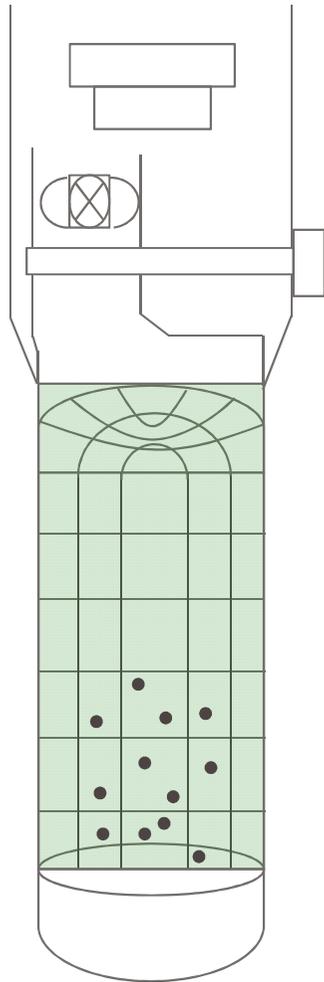


■ 大飯3, 4号機 ASCA洗浄条件

	鉄洗浄	銅洗浄
EDTA濃度	目標10,000ppm (1%)	目標4,100ppm (0.41%) ※
その他添加薬品	N ₂ H ₄ : 1,000ppm	NH ₃ HCO ₃ : 300ppm
pH	9.0~9.2 (9.0目標)	9.5以上 (10.0目標)
洗浄温度	80±5°C	65°C以下 (40°C以上目標)
SG水位	WL 72±0.5%	WL 75±0.5%
洗浄時間	約24hr	約24hr
洗浄時雰囲気	還元性雰囲気 (N ₂ バブリング)	酸化性雰囲気 (Airバブリング)
備考	還元性雰囲気でもグネタイトを溶解し、鉄キレートとして溶液中保持する。	酸化性雰囲気でも金属銅を酸化銅として溶解し、銅キレートを生成させ、排出する。

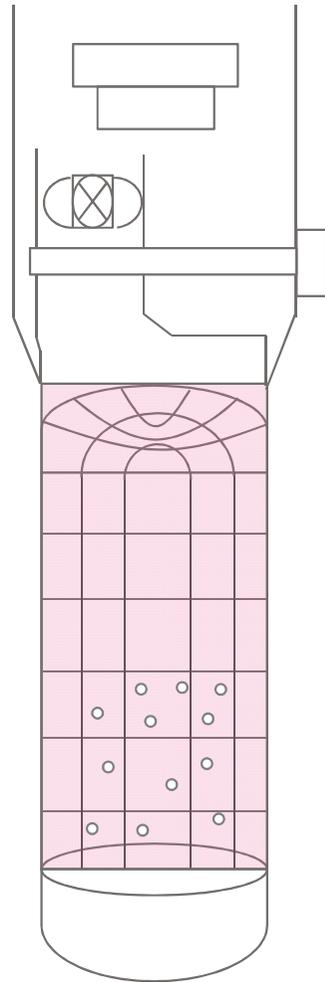
※SG器内の残留銅除去に必要なEDTA量に1.5倍余裕を考慮して設定

鉄洗浄



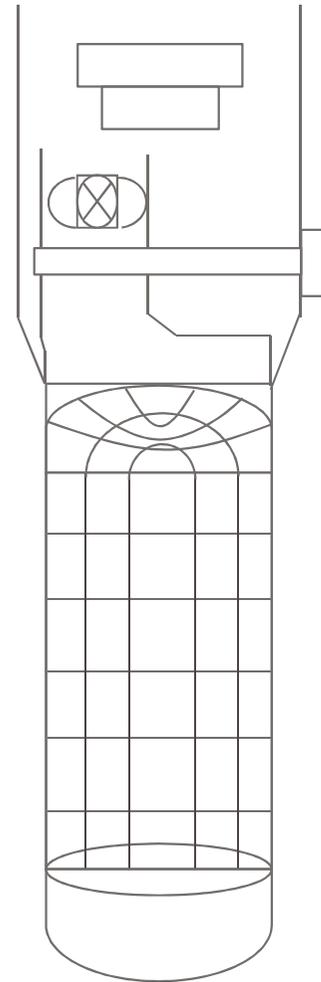
鉄洗浄用薬液注入
+ N₂バブリング
24時間実施

銅洗浄



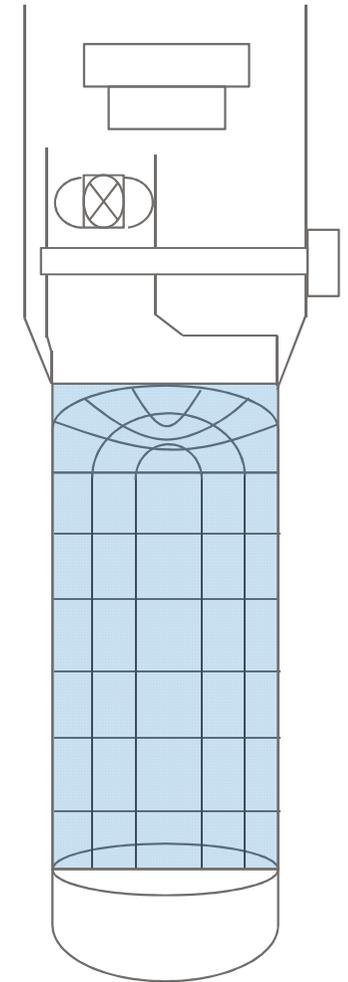
銅洗浄用薬液注入
+ Airバブリング
24時間実施

洗浄液排水



銅洗浄後、排水

リンス



リンス液（純水）
水張り、水質確認
後、排水

■ ASCA洗浄中のSG器内水水質挙動

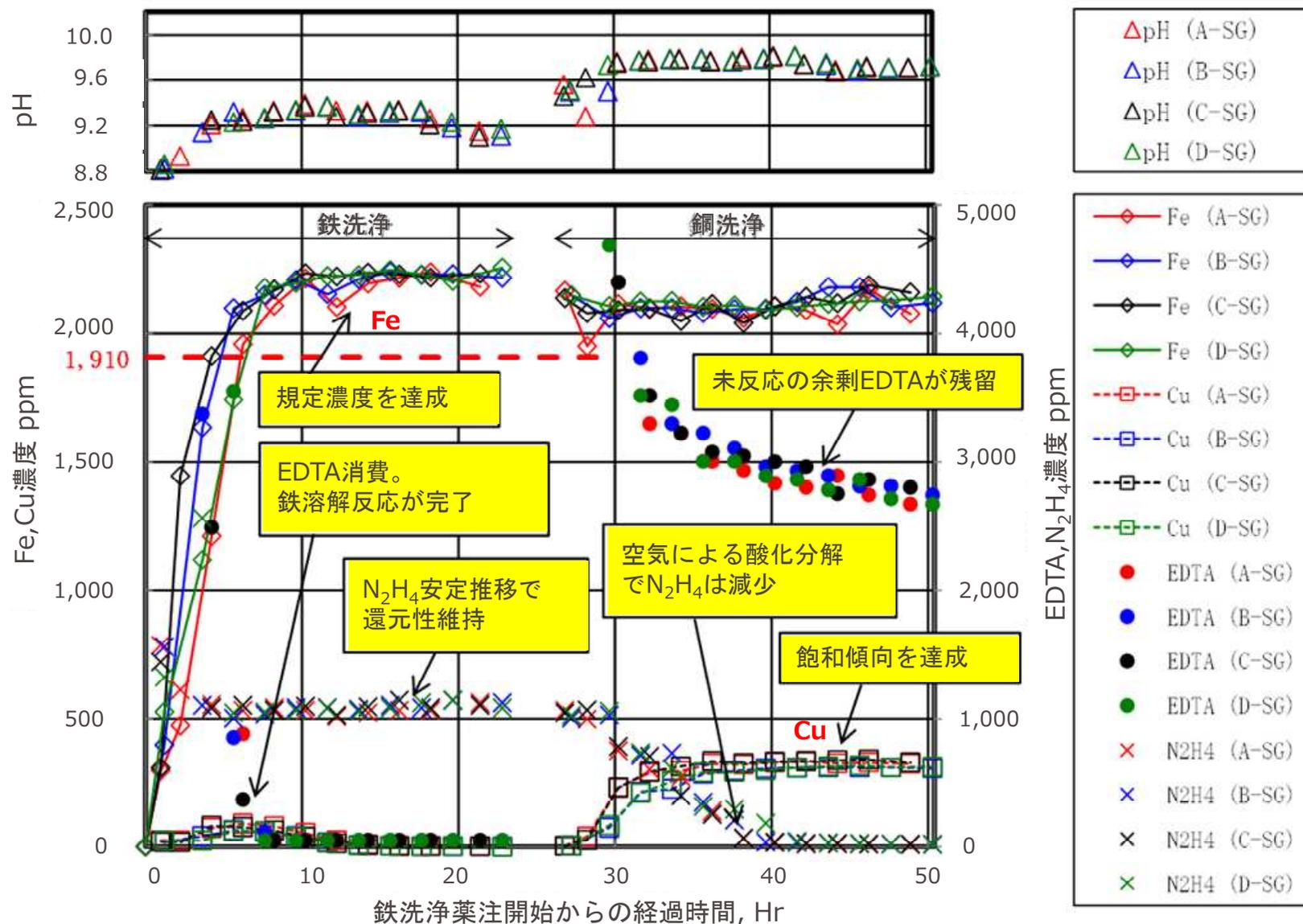


図3. ASCA洗浄時のSG器内水水質挙動

鉄洗浄・銅洗浄ともに結果は良好 ⇒ 鉄・銅溶解効果は十分得られたと判断

■ ASCA洗浄による鉄・銅の除去量

- ✓ 鉄除去量は、EDTA 1%に対する理論溶解量140kg-Fe/SGとほぼ同程度であり、SG器内鉄インベントリーに対する鉄除去率も12%程度で目標通りであった。

項目	A-SG	B-SG	C-SG	D-SG	SG-avg.
Fe濃度（鉄洗浄10hr以降平均） ppm	社外秘のため開示不可				2,211
Fe 除去量 kg-Fe / SG					155
Fe インベントリー量 kg-Fe / SG					1,336
Fe 除去量 %					12%

- ✓ 銅除去量は、SG器内スケール量と伝熱管剥離スケールの銅含有率から事前評価したSG器内銅インベントリー（全量溶解）の約60%と小さいが、以下の理由から洗浄液が浸透した範囲の銅は、ほぼ除去できたと判断した。

- 銅洗浄中のSG器内が酸化性雰囲気維持されたこと
- 銅洗浄開始10時間以降で銅濃度が飽和したこと
- 銅溶解で消費されなかったFree-EDTAが残留して安定推移したこと

項目	A-SG	B-SG	C-SG	D-SG	SG-avg.
Cu濃度（銅洗浄10hr以降平均） ppm	社外秘のため開示不可				319
Cu 除去量 kg-Cu / SG					23.6
Cu インベントリー量 kg-Cu / SG					41.2
Cu 除去率 %					57%

■ ASCA洗浄効果（SG伝熱性能回復効果）



図4. SG伝熱管汚れ係数の推移

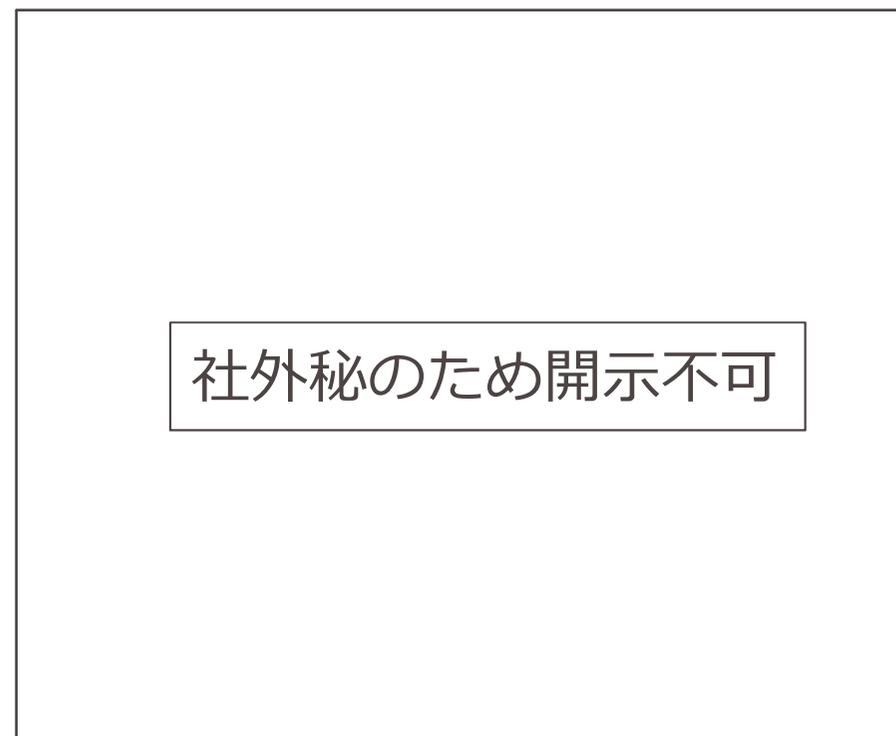
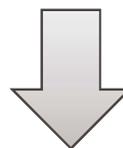


図5. タービン入口蒸気圧力の推移

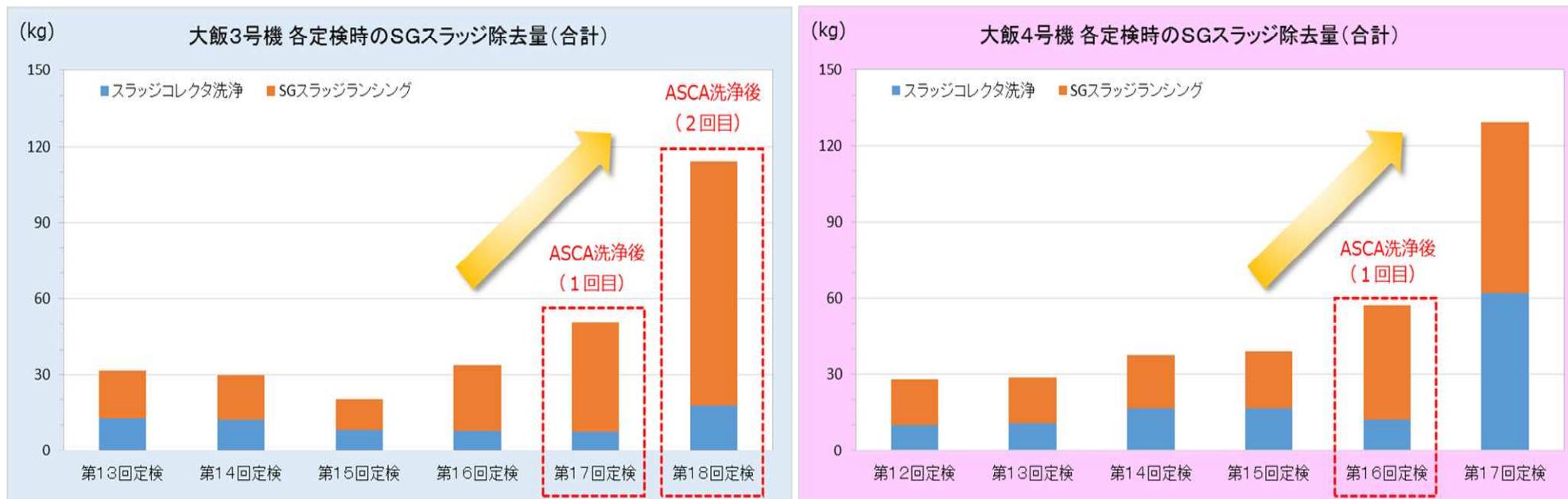
SG伝熱管汚れ係数・タービン入口蒸気圧力ともに、18サイクル定熱運転到達後4ヶ月間と前サイクルを比較し、4サイクル前と同程度まで回復している。



ASCA洗浄実施プラントと同等であり、良好な伝熱性能回復が得られたと評価

■大飯3・4号機 各定検時におけるSGスラッジ除去量推移

ASCA洗淨の実施により過去定検時に比べ、SGスラッジ除去量に変化があったかを確認



ASCA洗淨後のSGスラッジ除去量は過去定検時に比べ増加しており、特に1回目のASCA洗淨後の次の定検時には大幅に増加した。 (ASCA洗淨を1回しか実施していない4号機も同様の挙動)

1回目のASCA洗淨でSG伝熱管スケールの表層部が空隙化・脆弱化し、運転中における熱変化やSG器内水の流動変動による影響でプラント停止後のSGスラッジランシングで大量のスラッジが排出されたものと推測

■ ASCA洗浄実施におけるプラント起動時の化学関連対応

<検討事項>

- ① プラント出力上昇時におけるSGブロー方法等の変更
- ② 水質監視計器の復旧時期変更
- ③ 運転中におけるSGBD水質監視計器の部材取替
- ④ SGBDサンプルシステムのフラッシング
- ⑤ 純水（所内用水）の確保

SGBD：蒸気発生器ブローダウン

■ プラント出力上昇時におけるSGブロー方法等の変更

ASCA洗浄実施後のプラント起動時においては、出力上昇に伴う温度上昇および流量変動によって脆弱化したスケールが剥離し、SGブロー水の鉄および銅濃度が大幅に上昇する。

SG伝熱管健全性維持の観点からスケールを確実に排出することが必要であるため、プラント出力上昇時のSGブロー方法等を変更

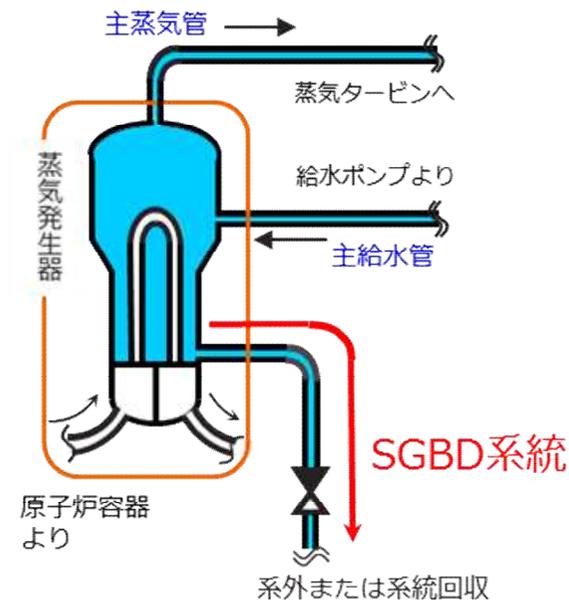


図6. SGBD系統概要

プラント状況	SGブロー量 (通常時)	SGブロー量 (今回)	排出先
並列～75%負荷到達	35t/h・SG	15t/h・SG 減量	系統回収→系外 に変更
75%負荷～定格熱出力運転到達	35t/h・SG	35t/h・SG 変更なし	

⇒ASCA洗浄実施先行プラントの実績から、75%負荷以降に鉄および銅濃度の上昇が懸念されたため、この間については最大流量35t/h・SGで実施することとした。

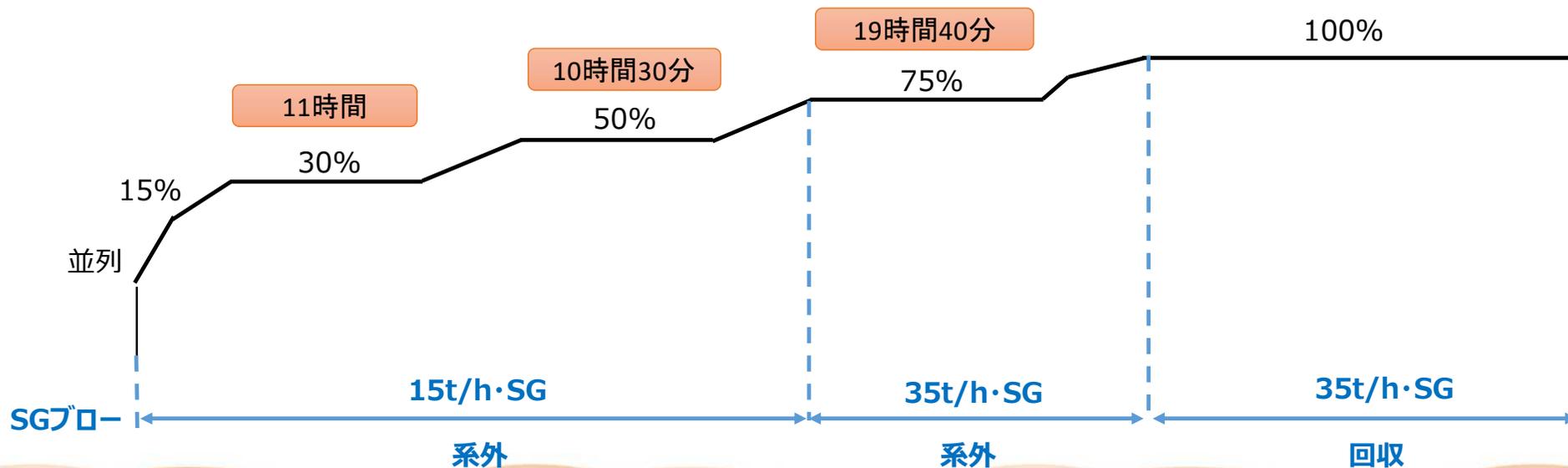
3. ASCA洗浄における対応について

3.6 プラント起動時の化学関連対応① (2/2)

■プラント出力上昇時における出力保持時間の変更

SGブローによる鉄・銅の排出促進の観点から、出力保持時間を見直した。
 (変更時間については、MHI殿見解書および先行プラント実績をもとに設定)

プラント負荷	出力保持時間	
	変更前	変更後
30%	約6時間	約11時間
50%	約6時間	約10時間30分
75%	約17時間10分	約19時間40分



■ 水質監視計器の復旧時期変更

ASCA洗浄実施により発生するスラッジ等の閉塞による計器故障を防止するため、関係する水質監視計器については、計器への影響軽減を目的にスラッジ等の排出が抑制されたタイミングで計器を復旧する必要がある。

<復旧時期>

SGブローによる鉄・銅の排出が完了する**定格熱出力運転到達以降**に実施

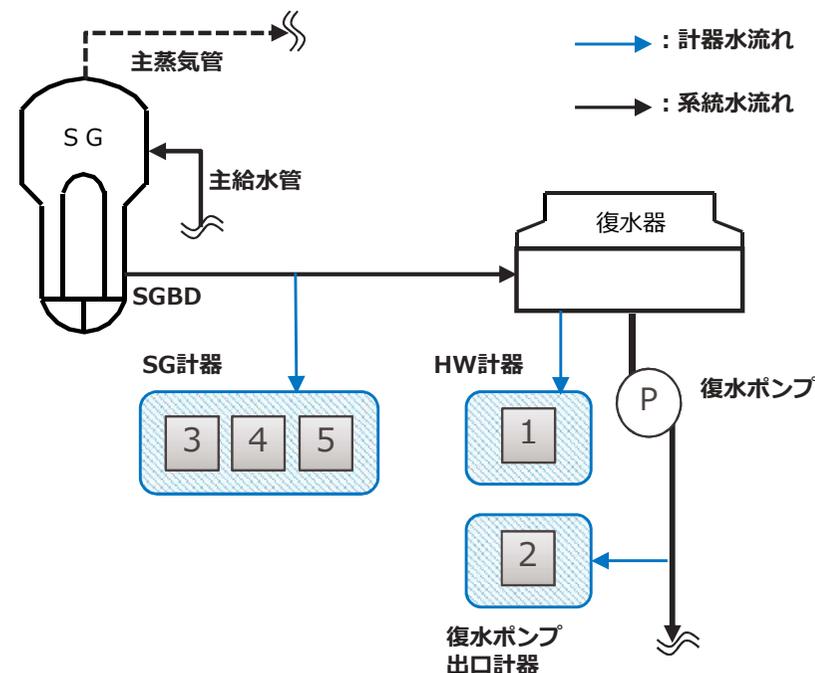


図7. 水質監視計器設置場所

系統	水質監視計器	選定理由
復水器 (HW) ※	カチオン電気伝導率 1	入口フィルタおよびカチオン交換膜が閉塞する恐れがあるため
復水ポンプ出口	カチオン電気伝導率 2	
蒸気発生器 (SG)	カチオン電気伝導率 3	電極が閉塞する恐れがあるため
	pH計 4	
	連続型イオンクロマト装置 5	入口フィルタおよびカラムが閉塞する恐れがあるため

※SGBD水が流入するA1,B1水室のみ対象

■ 運転中におけるSGBD水質監視計器の部材取替

SGブローを十分に実施した後も、微量の鉄・銅排出によってプラント運転中にカチオン交換膜やフィルタ等が詰まり、計器が故障する可能性がある。

事象発生

運転中の水質管理に支障をきたす恐れあり

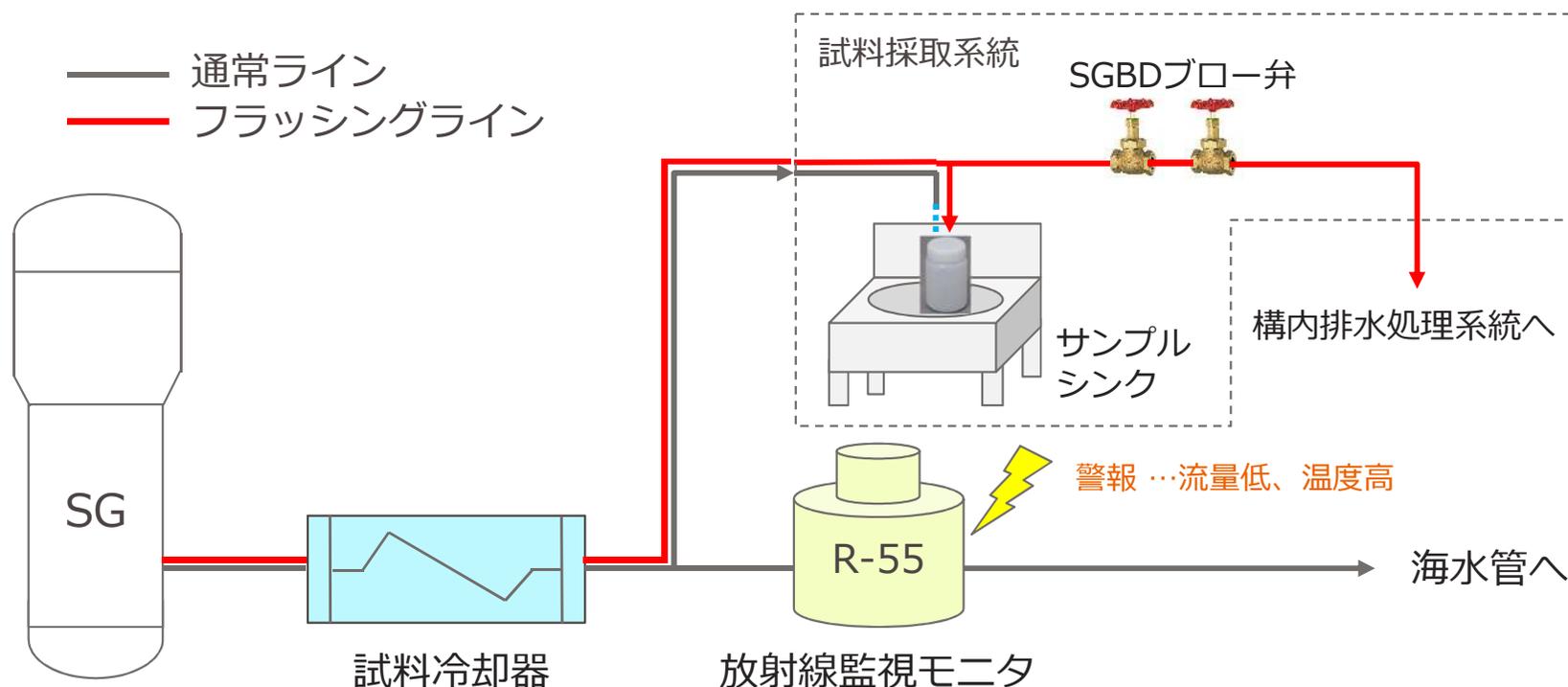
計器復旧後、水質挙動が安定したタイミングで部材の取替および点検を実施

取替部材：カチオン電気伝導率計（カチオン交換膜、フィルタ、流量計※）
pH計（電極） ※清掃のみ

その後、運転中での計器故障等の不具合は発生していない。

■ SGBDサンプルシステムのフラッシング

SGBDサンプルシステムに蓄積した鉄・銅を排出することを目的として、プラント起動時（臨界～定格熱出力運転到達）にフラッシングを実施
⇒実施頻度：1回/日程度



フラッシング時は以下の点に注意が必要

- ・放射線監視モニタ（R-55）の流量低下 ⇒ **設定流量以下で警報**
- ・放射線監視モニタ（R-55）の入口温度上昇 ⇒ **インターロックあり**
- ・上記パラメータ変動による放射線監視モニタの指示変動 ⇒ **対外事前連絡**

フラッシングにより懸濁物質（Fe等）の排出が確認できた。

■ 純水（所内用水）の確保

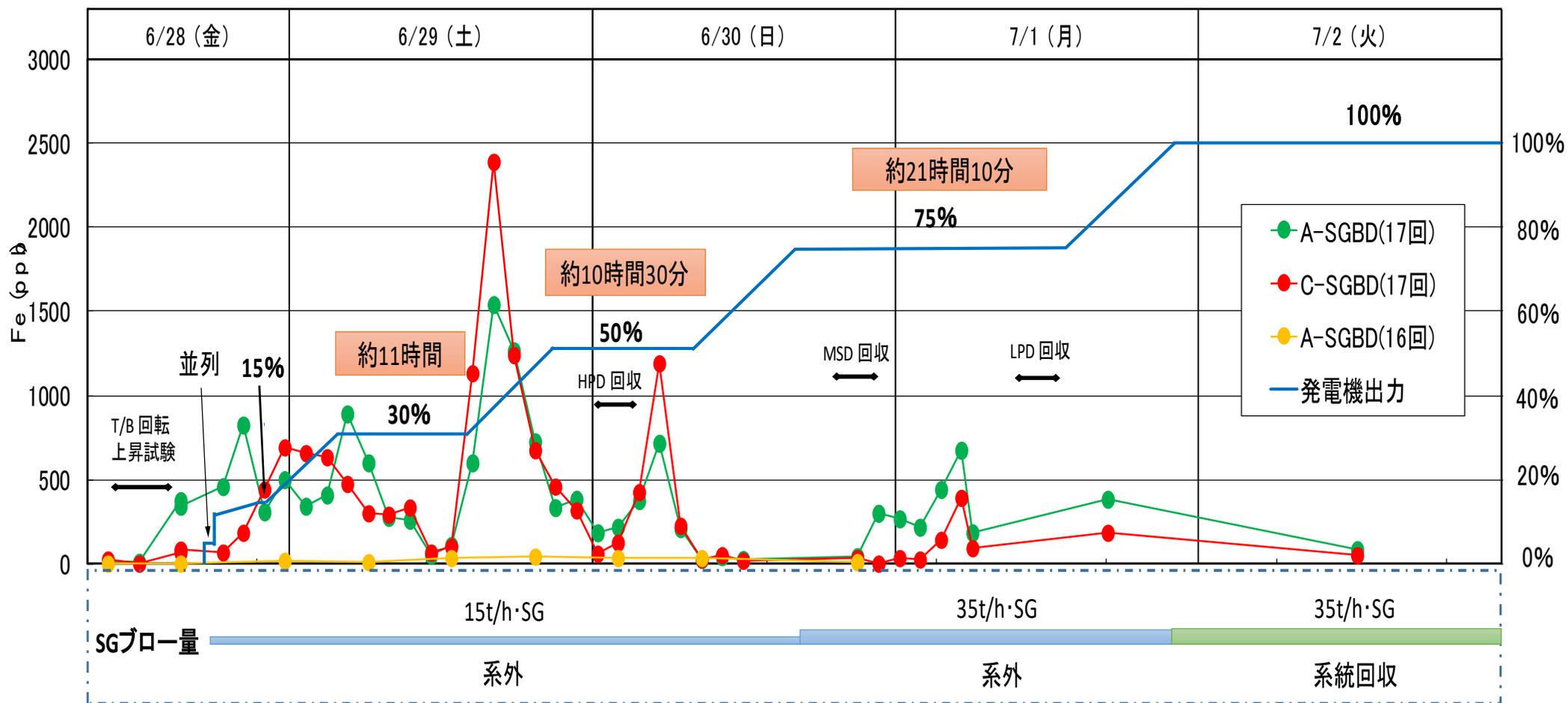
SGブローの系外排出により純水を多く使用するため、以下の対応を実施

- ・ プラント起動までに純水タンクの保有量を最大としておく
- ・ 鉄・銅の排出が比較的少ない「並列～75%負荷到達」のSGブロー量を当初予定よりも減量（35t/h・SG → 15t/h・SG）
- ・ 事前に関係部署と調整し、純水不足時の対応などを検討
⇒バックアップ設備の準備、SGブローのさらなる減量

使用箇所	時期	ブロー量・時間	純水使用量
A,B,C,D SGブロー	並列～75%負荷到達	15t/h・SG 約47時間	約2,820m ³
	75%負荷～定熱到達	35t/h・SG 約31時間	約4,340m ³

結果的に純水不足には陥らず、計画通りSGブローを実施できた

■ 大飯3号機 17回定検起動時のA,C-SGBD鉄濃度推移



- ✓ プラント起動時のSGBDの鉄濃度は、従来の定検起動時よりも大幅に上昇した。特に負荷30%、50%において、大きな鉄濃度の上昇がみられた。(最大約2400ppb)
- ✓ その後は、徐々に低濃度で推移し、定格熱出力運転到達には従来と同程度まで低下した。
- ✓ 銅濃度については、従来の定検起動時と同程度 (<3ppb) であり、上昇は見られなかった。

1. はじめに

2. 再稼働後の2次系水質について

3. ASCA洗浄における対応について

- 3. 1 概要
- 3. 2 洗浄工程および条件
- 3. 3 洗浄イメージ
- 3. 4 洗浄実績（大飯3号機）
- 3. 5 SGスラッジ除去量推移（大飯3・4号機）
- 3. 6 プラント起動時の化学関連対応
- 3. 7 プラント起動時の水質実績（大飯3号機）

4. まとめ

1. 再稼働後の2次系水質について（大飯3号機）

長期停止前の運転サイクルと同等の水質挙動であり、大飯3号機第17サイクルの高pH運転は良好であった。

2. ASCA洗浄における対応について

■ ASCA洗浄実施結果および効果の確認結果（大飯3号機）

- ・ ASCA洗浄における鉄洗浄・銅洗浄については、SG器内水の水質挙動および鉄・銅除去量から結果は良好であったと判断する。
- ・ ASCA洗浄後のSG伝熱性能を確認した結果、良好に回復しており、洗浄効果が得られていることが確認できた。

■ ASCA洗浄実施におけるプラント起動時の化学関連対応

- ・ ASCA洗浄後のプラント起動時における各種対応（SGブロー方法の変更、出力保持時間の変更など）を行うことで、水質管理に万全を期した。

Thank you.

