



大飯発電所3号炉 高経年化技術評価 審査会合における指摘事項の回答

関西電力株式会社

2021年6月15日

2021年1月21日審査会合における指摘事項は以下のとおり。

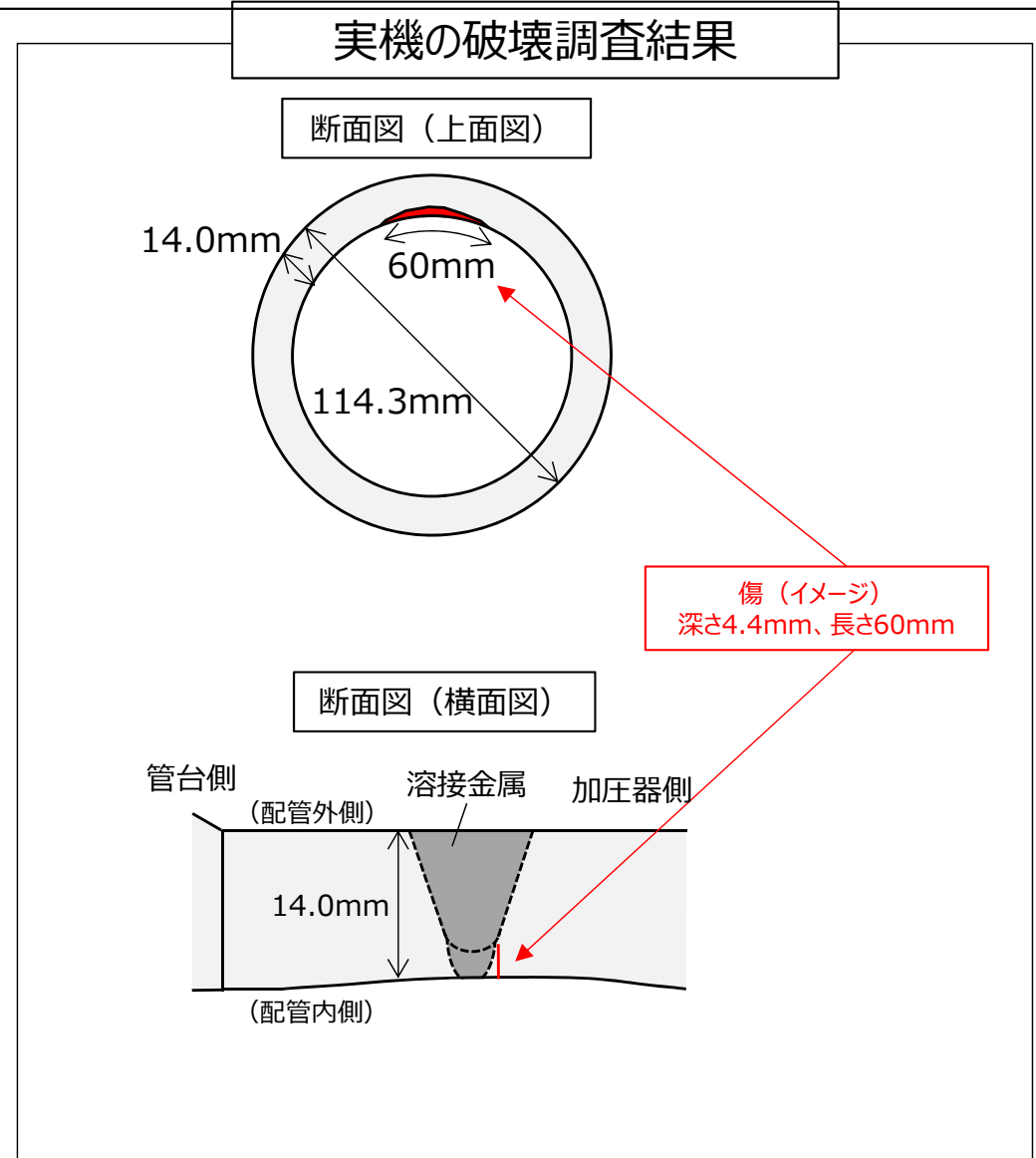
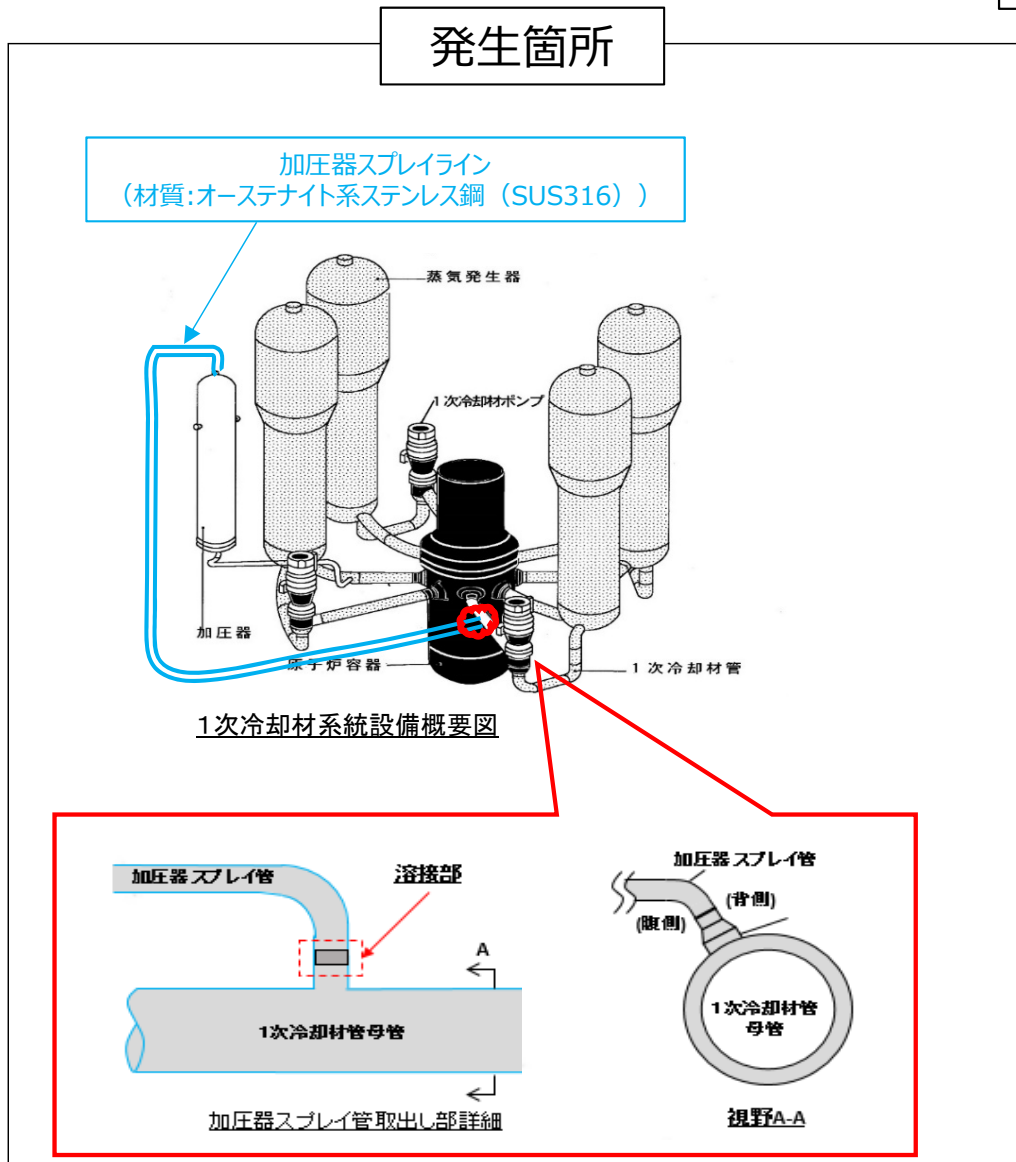
No	指摘事項	回答
① (共通事項)	大飯発電所3号炉 加圧器スプレイ配管の亀裂事象については、別の場で行っている議論も踏まえて、高経年化技術評価としての取り扱いを説明すること。	本日回答 2 ~ 5

また、上記指摘事項と関連して、以下の運転経験についても高経年化技術評価としての取り扱いを合わせて説明する。

- ・高浜発電所4号炉 蒸気発生器伝熱管の損傷 … 6 ~ 10

1. 事象の概要

2021年1月29日第9回大飯3号機加圧器スプレイライン配管溶接部における有意な指示に係る公開会合 資料1(2ページ)を引用



- 供用期間中検査 (I S I) にて、加圧器スプレイラインの1次冷却材管台と管継手 (エルボ部) の配管溶接部に有意な指示が認められた。その後の破壊調査により、**溶接熱影響部にて深さ4.4mm、長さ60mmの亀裂**があることが明らかとなった。

2. 原因と対策(1/2)

2021年2月12日第11回大飯3号機加圧器スプレイライン配管溶接部における有意な指示に係る公開会合 資料1(1ページ)を引用

<亀裂発生及び亀裂進展原因>

- 調査の結果、過大な溶接入熱（若手による丁寧かつ慎重な溶接や手入れ溶接の可能性を含む）と、形状による影響※が重畳したことで、表層近傍において特異な硬化が生じたものと考えられる。
- この硬化部に高い応力が影響したことにより、亀裂が発生したものと考えられるが、メカニズムがすべて明らかにはなっておらず、PWR1次系の配管溶接部では、これまで同様の事象が生じていないことから、今後知見の拡充に努める。
- 亀裂は溶接熱影響部で粒界に沿って進展しており、硬化したオーステナイト系ステンレス鋼はSCCで進展することが知見としてあることから、粒界型SCCで進展したものと判断した。

※管台－エルボ形状では、変形領域が狭いため、溶接部近傍でひずみが大きくなる。

2. 原因と対策(2/2)

2021年2月12日第11回大飯3号機加圧器スプレイライン配管溶接部における有意な指示に係る公開会合 資料1(9、10ページ)を引用

今回、加圧器スプレイ配管で見つかった亀裂は、以下の理由から特異な事象であると判断している。

- これまでのISIで、当社においては11プラントの安全上重要な配管に対し、10年（高経年プラントは7年）の周期で、延べ約3,000箇所超音波探傷検査を実施してきており、今回の事象を除いて、溶接部近傍の硬化に起因する粒界割れは確認されていない。
- また国内外のPWRプラントにおいても、これまで同様の発生事例の報告はない。
- 今回事象を受け、既に大飯3,4号機においては、同様の事象の可能性のある部位全て（80箇所）に対し追加検査を実施し、欠陥がないことを確認している。
- 当社プラントの内、最も運転時間の短い大飯3号機（約17万時間）で生じたものであり、それよりも運転時間の長い美浜3号機、高浜1～4号機でも、至近3定検分のISI※（109箇所）及び今定検中における本事象と同じ箇所の検査（10箇所）において、欠陥がないことを確認している。



※運転時間で約20万時間が経過した以降の検査

- 上記のとおり、本事象は特異であると判断しているが、メカニズムがすべて明らかにはなっていないため、本事象の原因である「過大な溶接入熱」、「形状による影響」を踏まえ、それぞれについて類似性の高い箇所へ水平展開を行う。

【水平展開】

- 入熱が大きくなる可能性のある溶接部については検査を実施する。また、入熱が大きくなる可能性が低い溶接部であっても、形状による影響を踏まえ検査を実施する。
- これらの類似性の高い箇所に対しては3定検の間、毎定検で検査を実施する。
- なお、知見拡充や研究結果を踏まえて、対象・頻度を検討し、ISI計画に反映する。

3. 高経年化技術評価の取り扱い

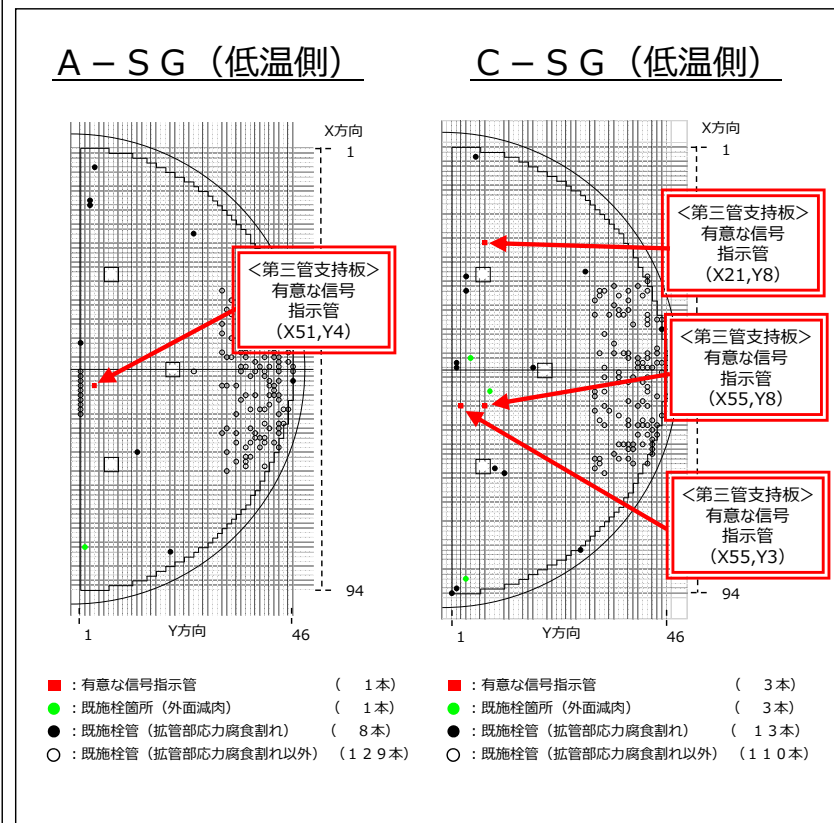
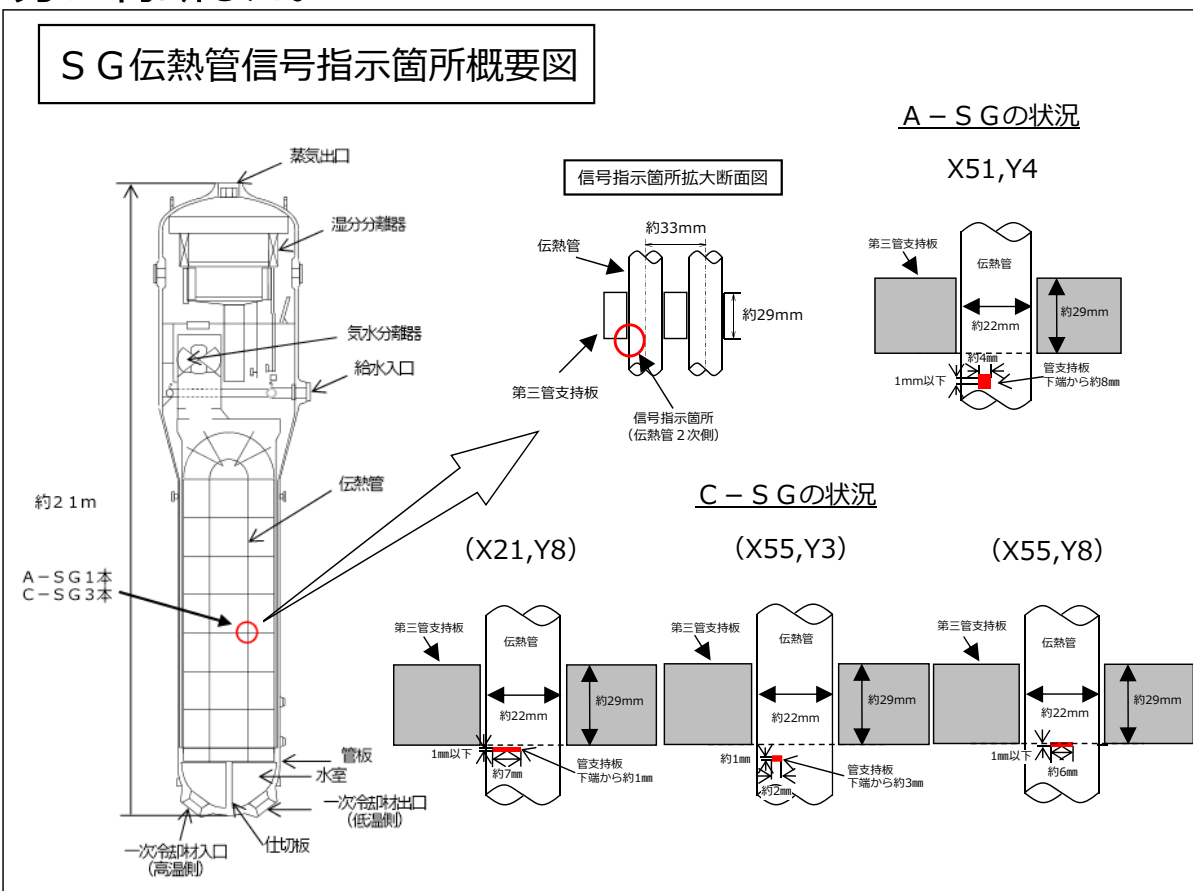
- 亀裂発生部位については、第18回定期検査にて取替えを行う計画であり、取替えに際しては初層入熱量が過大とならない全層Tig溶接を採用するため、今後同様の事象が発生する可能性は小さい。
- 当該部の亀裂は特異な事象と判断され、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- なお、大飯3号炉で発生した事象は特異であるが、メカニズムが全て明らかになっていないことから、類似性の高い箇所に対しては3定検の間、毎定検検査を実施し、知見拡充や研究結果を踏まえて、対象・頻度を検討し供用期間中検査計画に反映することとしている。

高浜4号炉 蒸気発生器伝熱管の損傷事象の取り扱い(1/5)

2021年2月5日第15回原子力施設等における事故トラブル事象への対応に関する公開会合
資料1-1 3ページより抜粋

1. 事象の概要

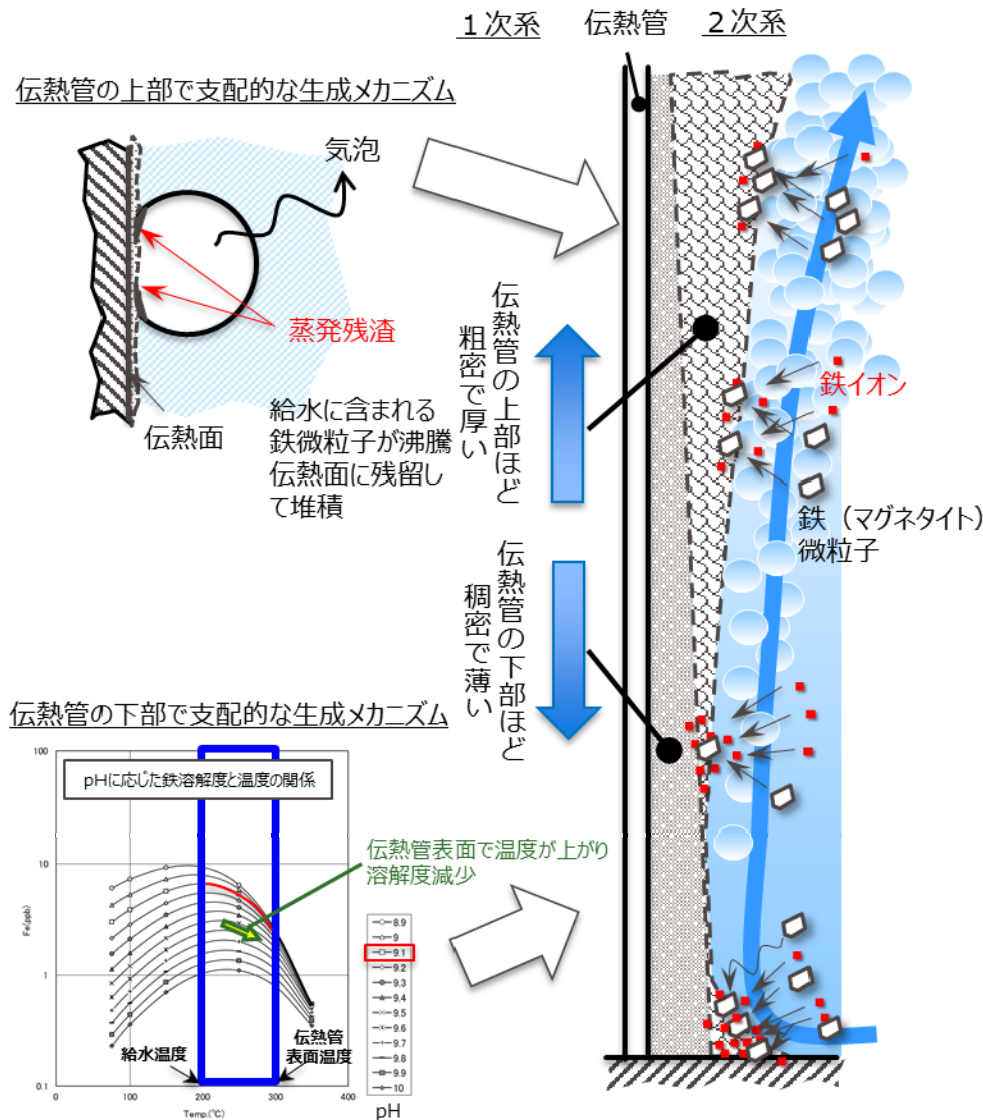
2020年10月7日からの高浜発電所4号機第23回定期検査において、3台ある蒸気発生器(以下、SG)の伝熱管の健全性を確認するため渦流探傷試験(以下、ECT)を実施した。その結果、A-SGの伝熱管1本およびC-SGの伝熱管3本の伝熱管4本について、管支持板部付近に、外面からの減肉とみられる有意な信号指示を確認したことから、実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則第18条並びに第56条に適合しておらず、実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第134条に該当することを、11月20日13時00分に判断した。



2021年2月5日第15回原子力施設等における事故トラブル事象への対応に関する公開会合
資料1-1 57ページより抜粋

2. 推定原因(1/2)

①プラント運転中に給水とともに持ち込まれる鉄イオンおよび鉄微粒子が、析出付着、蒸発残渣として伝熱管表面にスケールが生成される。



②生成されたスケールは、プラントの起動停止による熱伸びおよび収縮により剥離する。

【プラント起動からプラント運転中】

- プラント起動に伴う伝熱管の熱伸びにより伝熱管表面に密着しているスケールに引張力が働き、割れが発生。
- プラント運転中の給水に含まれる鉄イオンおよび鉄微粒子が割れた箇所へ供給され、割れが一部修復。

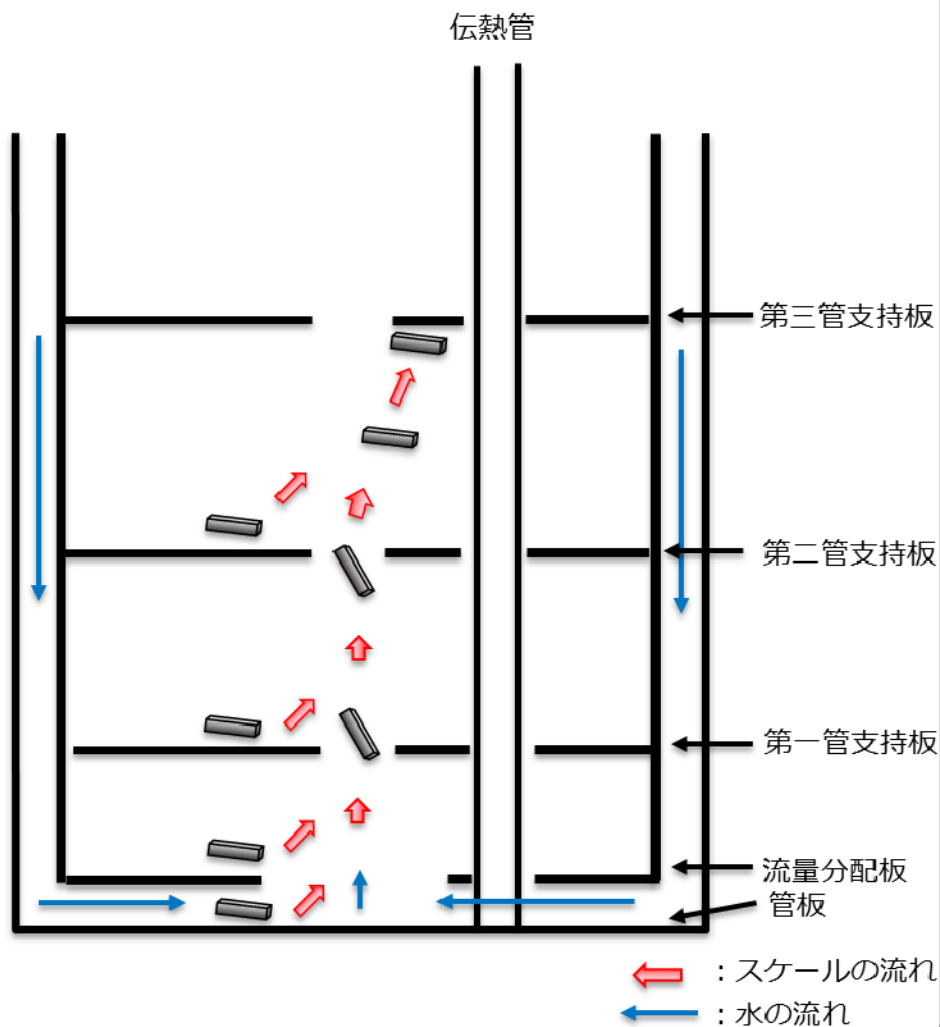
【プラント停止時】

- プラント停止に伴う伝熱管の熱収縮により伝熱管表面のスケールに圧縮力が作用し、界面の密着が弱い箇所では剥離が発生。

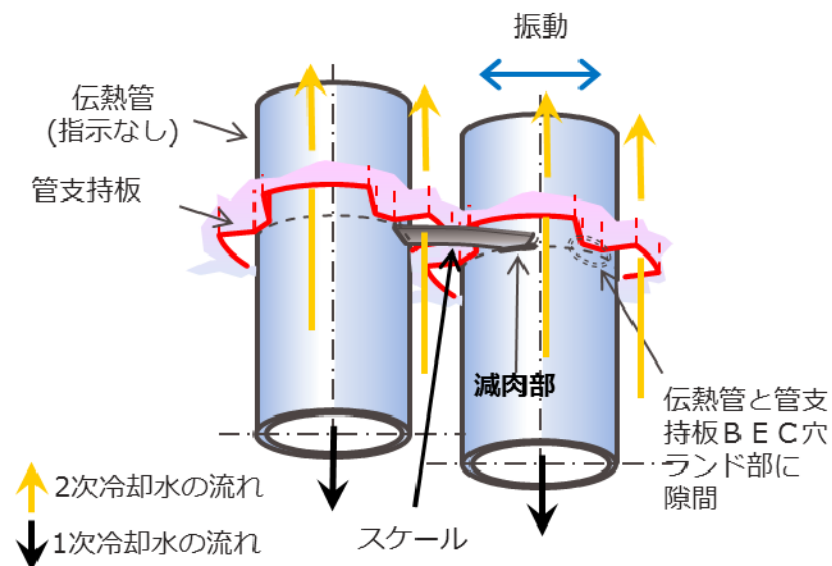
2021年2月5日第15回原子力施設等における事故トラブル事象への対応に関する公開会合
資料1-1 58ページより抜粋

2. 推定原因(2/2)

③停止時に剥離したスケールは、プラント起動・運転時の管群上昇流および水平方向流に乗って第三管支持板下面に達し、伝熱管と接触した。



④剥離したスケールの内、AおよびC-S Gで回収した稠密な性状をもつスケールが、伝熱管と接触し、運転中に生じる伝熱管の振動によって、伝熱管外表面を摩耗させ、伝熱管外面にきずをつけた。



減肉メカニズム概要

2021年2月16日第16回原子力施設等における事故トラブル事象への対応に関する公開会合
資料1 8ページより抜粋

3. 他プラントへの水平展開

- 他プラントについては、今回代表プラントでスケールを回収し、いずれも稠密層厚さが0.1mm未満であることおよび減肉体積比が十分小さいこと（0.1未満）を確認している。
- また、現在の鉄持込み量は約30kg/サイクルと十分低く抑えられている。
- 従って、至近で薬品洗浄を行う必要はないと考えているが、高浜発電所3号機および4号機の水平展開として、以下のとおり、実機スケールによる監視を行っていく。

<スケール監視方法>

プラント		鉄持込み量*	頻度	確認内容	備考
SGR 未実施 プラント	大飯3	1,850kg	2定検毎	稠密層厚さ及び摩耗体積比を確認	薬品洗浄を実施済みであり、高浜3, 4と同等の鉄持込み量まで計算上10定検以上となるが、実機スケールを確認し確実に発生を防止するとともに、データの蓄積を図る。
	大飯4	1,950kg	同上	同上	
SGR プラント	高浜1	680kg	—	—	SGRプラントで鉄持込み量が最大の高浜2について、今回採取できるスケールはない状況であったが、念のため、高浜2を代表プラントとしてスケールの確認を行う。
	高浜2	940kg	2定検毎	スケールの有無を確認	
	美浜3	780kg	—	—	

※高浜3, 4号機の最初の外面減肉発生時の鉄持込み量は約2,400kg

<薬品洗浄実施時期>

- 薬品洗浄については、蓄積したデータの傾向を踏まえ、従来の電気出力維持の観点に加え、摩耗減肉に対する予防保全の観点で、適切なタイミングで行うこととする。

3. 高経年化技術評価の取り扱い

- 大飯3号炉については、2次側水質は全揮発性薬品処理(AVT(All Volatile Treatment))により鉄持込量を抑制するとともに、第17回定期検査時(2019年度) および第18回定期検査時(2020～2021年度)に希薄薬液洗浄(ASCA(Advance Scale Conditioning Agent))を実施している。
- また、第18回定期検査時(2020年度～2021年度)に回収したスケールの稠密層厚さは小さく、伝熱管との摩耗試験を行ったところ、試験開始後にスケールが欠損するか、スケールの方が早く摩耗した結果となり、伝熱管に有意な摩耗減肉を発生させるようなスケールは確認されなかった。
- 今後は、スケールの性状を監視するために、定期的に管板および第一・第二管支持板上面にあるスケールを回収し、稠密層厚さ計測およびスケール摩耗試験を実施し、必要に応じて薬品洗浄をすることとしているため、スケールによる摩耗減肉が発生する可能性は小さい。
- 蒸気発生器伝熱管に対しては、定期的に全数渦流探傷検査を実施し、健全性を維持している。
- したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

引き続き、以下に示すような運転経験や最新知見等を踏まえ、適切な時期に高経年化技術評価として再評価および変更を実施していく。

- ・材料劣化に係る安全基盤研究の成果
- ・これまで想定していなかった部位等における経年劣化事象が原因と考えられる国内外の事故・トラブル
- ・関係法令の制定および改廃
- ・原子力規制委員会からの指示
- ・材料劣化に係る規格・基準類の制定および改廃
- ・発電用原子炉の運転期間の変更
- ・発電用原子炉の定格熱出力の変更
- ・発電用原子炉の設備利用率(実績)から算出した原子炉容器の中性子照射量
- ・点検・補修・取替の実績