

美浜発電所 3号炉 審査会合における指摘事項の回答 (運転期間延長認可申請関係)

関西電力株式会社

平成28年9月1日

| No. | 指摘事項 | 回答 |
|------------------------------|---|----------------------|
| 0726-1 電気計装品の絶縁低下 | 美浜3号炉の難燃PHケーブルが、高浜1, 2号炉と異なり、保守管理に関する方針とならない理由について整理すること。 | 平成28年〇月〇日 P2~4 |
| 0726-3 2相ステンレス鋼の熱時効 | 1次冷却材管の熱時効評価部位と現状保全部位との相違について整理すること。 | 平成28年〇月〇日 P8~P9 |
| 0726-4 コンクリートの強度低下/遮蔽能力低下 | コンクリートのアルカリ骨材反応に対する特別点検における点検手法選定の考え方について整理すること。 | 平成28年〇月〇日 P11~P12 |
| 0726-5 コンクリートの強度低下/遮蔽能力低下 | 1次遮蔽壁の温度分布解析の保守性について、解析手段の観点から整理すること。 | 平成28年〇月〇日 P14~P16 |

1. 美浜3号炉の難燃PHケーブルが保守管理に関する方針とならない理由について

(1) 検討の方法について

美浜3号炉の難燃PHケーブルが、高浜1, 2号炉と異なり、保守管理に関する方針とならない理由について、高浜1, 2号炉で管理に関する方針として策定した低圧ケーブル等※に着目して、評価結果の違いが生じた要因についての検討を行った。

表1に、ケーブルの健全性評価にあたっての各種条件及び評価結果を示す。

※:高浜1, 2号炉は、保守管理に関する方針の対象となった格納容器内通路部ケーブル。美浜3号炉では最も評価結果が厳しくなったケーブル。

表1. 格納容器内通路部ケーブルの評価条件及び評価結果

| | 対象ケーブル | ① 温度上昇値 [°C] | ② ケーブル布設環 境温度[°C] | ③ 評価温度 ①+②[°C] | ④ 放射線量 率[Gy/h] | ⑤ ケーブル 更新時期 | ⑥ 評価年数 | ⑦ 次回更新が必 要となる時期 |
|-----------|---------------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-----------|-----------------------|
| 美浜 3号炉 | B冷却材ループ高温側サンプル 第1隔離弁動力ケーブル 等 | 12 | 41 | 53 | 0.0014 | 第11回定 期検査時 | 78年 | 運開後 92年 |
| 高浜 1号炉 | Aループ高温側サンプル第1隔離 弁用動力ケーブル | 17 | 47 | 64 | 0.0002 | 第12回定 期検査時 | 38年 | 運開後 54年 |
| 高浜 2号炉 | Aアキュムレータ出口弁用動力 ケーブル | 17 | 44 | 61 | 0.00001 | — | 47年 | 運開後 47年 |

【評価の流れの概要】

- ・トレイによる温度上昇値(①)とケーブル布設環境温度(②)より、評価温度(③)を算出する。
- ・評価温度(③)と布設場所の放射線量率(④)を試験データと比較し、当該ケーブルの健全性を確認できた評価年数(⑥)を導出する。
- ・評価年数(⑥)と当該ケーブルの更新時期(⑤)から、プラント運転年数からの次回更新が必要となる時期(⑦)を導出する。
⇒ 結果、高浜1, 2号炉ではプラント運転開始から60年に至る前に、ケーブルの更新が必要となり、美浜3号炉では不要となった。

以上の通り、評価にあたっては、ケーブルの①“温度上昇値”、②“ケーブル布設環境温度”、③“評価温度”、④“放射線量率”及び⑤“ケーブル更新時期”が重要な要素となるため、これら5点に関して各々検討を行った。

1. 美浜3号炉の難燃PHケーブルが保守管理に関する方針とならない理由について

(2) 劣化状況評価に用いる評価条件の違いについて(1/2)

① “温度上昇値”の違い

ケーブルトレイの温度上昇値の評価の際には、プラント運転時における通電電流値を計算し、その電流値による発熱量を評価している。美浜3号炉と高浜1, 2号炉では、ケーブルトレイに布設するケーブルの施工状況(布設状況)に差異があるため、通電電流値に差異が生じ、結果として、美浜3号炉と比較して、高浜1, 2号が5℃高くなっている。

② “ケーブル布設環境温度”の違い

トップドームの有無(図1参照)や、格納容器内の状況等(周辺設備・空間(図2参照)等)が各々異なり、環境温度について定量的な評価が困難であるため、各プラントで、ケーブル布設環境調査を実施している。結果として、美浜3号炉と比較して、高浜1号炉で約6℃、高浜2号炉で約3℃高くなっている。

③ “評価温度”の違い

①と②の和であり、結果として美浜3号炉と比較して、高浜1号炉で約11℃、高浜2号炉で約8℃高くなっている。



美浜3号炉



高浜1号炉(右)

図1. トップドーム写真



美浜3号炉



高浜1号炉

図2. 格納容器内の状況(周辺設備・空間)写真

トップドームを除き、熱出力、主要な機器や配管設計は同じである。
ただし、補機類の配管や電線管の配置等については施工状況として異なっている。

1. 美浜3号炉の難燃PHケーブルが保守管理に関する方針とならない理由について

(2) 劣化状況評価に用いる評価条件の違いについて(2/2)

④ “放射線量率”の違い

ケーブル布設環境については、格納容器内の状況等(周辺設備・空間等)が各々異なり、放射線量率について定量的な比較が困難であるため、各プラントで、ケーブル布設環境調査を実施している。結果として、美浜3号炉の放射線量率が大きくなっているが、絶対値として小さいため、ケーブル劣化への影響は小さい。

⑤ “ケーブル更新時期”の違い

美浜3号炉及び高浜1, 2号炉の当該ケーブルについては、これまでに取替えが行われているものであるが、ケーブルの更新時期はプラント毎に異なっている。特に高浜2号炉においては、更新時期が明確に確認できなかったため、保守的に運転開始から使用されているものとして評価を行っており、特に大きな違いとなっている。

(3) まとめ

前項で示した様々な要因により、高浜1, 2号炉ではプラント運転開始から60年に至る前にケーブルの更新が必要、また、美浜3号炉では不要という評価結果となった。結果、美浜3号炉の難燃PHケーブルは保守管理に関する方針の対象とならなかった。

| No. | 指摘事項 | 回答 |
|------------------------------|---|----------------------|
| 0726-1 電気計装品の絶縁低下 | 美浜3号炉の難燃PHケーブルが、高浜1, 2号炉と異なり、保守管理に関する方針とならない理由について整理すること。 | 平成28年〇月〇日 P2~4 |
| 0726-3 2相ステンレス鋼の熱時効 | 1次冷却材管の熱時効評価部位と現状保全部位との相違について整理すること。 | 平成28年〇月〇日 P8~P9 |
| 0726-4 コンクリートの強度低下/遮蔽能力低下 | コンクリートのアルカリ骨材反応に対する特別点検における点検手法選定の考え方について整理すること。 | 平成28年〇月〇日 P11~P12 |
| 0726-5 コンクリートの強度低下/遮蔽能力低下 | 1次遮蔽壁の温度分布解析の保守性について、解析手段の観点から整理すること。 | 平成28年〇月〇日 P14~P16 |

(1) 熱時効評価の代表部位と現状保全の代表部位の考え方について

① 熱時効評価の代表部位について

1次冷却材管に対する熱時効評価に対しては、熱時効評価に厳しくなる条件としてフェライト量と応力に着目してそれぞれ最も高い部位を1箇所評価部位として抽出する。なお、エルボの曲率部で応力が高い部位は直管に比べて評価が厳しくなるので、エルボで応力が高い部位も1箇所抽出する。

その結果抽出された評価部位は、以下のものである

- ・ホットレグ直管(応力大)
- ・クロスオーバレグRCP側90° エルボ(フェライト量大)
- ・SG入口50° エルボ(エルボで応力大)

② 現状保全の代表部位について

1次冷却材管の熱時効に関して、熱時効による脆化程度を保全では検知することはできないため、脆化程度は保守的に想定して評価している。従って保全では、評価で想定するようなき裂がないことを確認することが必要であり、現状保全項目として以下の2つを挙げている。

- ・定期的に溶接部の超音波探傷検査を実施(供用期間中検査)
- ・定期的に1次冷却材管全体に対する漏えい確認を実施(供用期間中検査)

このうち、代表部位に対して確認しているのは、超音波探傷検査である。超音波探傷検査の対象部位は維持規格に基づいて定点サンプリング方式で下記のとおり選定している。

- ・機器と配管との溶接継手を選定(対象箇所の25%) ⇒ 機器と配管との溶接継手に対し9箇所を選定



以上のように、熱時効評価の代表部位と、現状保全で引用している溶接部に対する超音波探傷検査(供用期間中検査)では代表部位選定の考え方が異なるため、部位は必ずしも一致しない。

(2) 現状保全の熱時効評価に対する有効性について

1次冷却材管に対する熱時効評価代表部位と、現状保全(超音波探傷検査)代表部位とは必ずしも一致していないが、熱時効に対する現状保全としての有効性を説明する。

現状保全で引用している超音波探傷検査(供用期間中検査)は、維持規格に基づいて定点サンプリング方式で選定し、1次冷却材管と機器との溶接部に対して実施している。

機器と配管との溶接部を定点とする理由は、初期欠陥の存在可能性、応力(形状不連続、残留応力)の観点からもき裂の発生・進展が厳しいと考えられる部位であることから、き裂の発生・進展を確認する代表箇所として選定している。

なお、1次冷却材管は、製造時に浸透探傷検査、放射線透過検査を実施して健全性を確認している。従って代表箇所となる定点に対してき裂がないことを確認することで、定点以外の1次冷却材管全体に対してき裂の発生・進展の兆候がないことを確認できている。また、仮に定点にき裂を発見した場合は原因分析の上、1次冷却材管全体に必要な水平展開を図るため、定点に対する確認で1次冷却材管の健全性が維持できる。

また、熱時効評価代表部位は、時効による脆化が進んだ状態でき裂を保守的に仮定した場合に評価が厳しくなる可能性のある部位である。一方、保全で確認する対象はき裂であり、現状保全の代表部位は、き裂進展が厳しくなると考えられる部位となっている。



熱時効による脆化自体が1次冷却材管の設備上の問題となったことはなく、熱時効に対する保全では、き裂に着目することが必要であると考えられるため、き裂進展が厳しいと考えられる部位を代表部位として確認することは、現状保全として有効である。

| No. | 指摘事項 | 回答 |
|------------------------------|---|----------------------|
| 0726-1 電気計装品の絶縁低下 | 美浜3号炉の難燃PHケーブルが、高浜1, 2号炉と異なり、保守管理に関する方針とならない理由について整理すること。 | 平成28年〇月〇日 P2~4 |
| 0726-3 2相ステンレス鋼の熱時効 | 1次冷却材管の熱時効評価部位と現状保全部位との相違について整理すること。 | 平成28年〇月〇日 P8~P9 |
| 0726-4 コンクリートの強度低下/遮蔽能力低下 | コンクリートのアルカリ骨材反応に対する特別点検における点検手法選定の考え方について整理すること。 | 平成28年〇月〇日 P11~P12 |
| 0726-5 コンクリートの強度低下/遮蔽能力低下 | 1次遮蔽壁の温度分布解析の保守性について、解析手段の観点から整理すること。 | 平成28年〇月〇日 P14~P16 |

特別点検方法は、最新知見(岩石学的診断法)や目視点検での結果などを踏まえて選定し、アルカリ骨材反応状況を確認する。

選定した方法による特別点検の結果、「反応性あり」と判定された場合は、追加のコアサンプル採取や、アルカリ骨材反応の進展状況を把握するために、より精緻な方法による特別点検を実施する必要がある。

点検方法の選定にあたっては、岩石学的診断法を踏まえて検討する(参考1参照)。

具体的には、顕微鏡観察結果より、「反応性あり」と判定された部位について、より詳細な判定(反応性鉱物の同定など)が可能な「偏光顕微鏡観察」や、「走査電子顕微鏡観察」などの方法を選定し、点検を実施する。

精緻な点検方法(岩石学的診断法)

| 岩石学的診断法 | 特徴など |
|---------|---------------------------------------|
| 偏光顕微鏡 | 反応性鉱物の同定、進展状況(反応リム、ゲル、ひび割れ)が確認可能 |
| 走査電子顕微鏡 | 特定の反応性鉱物の同定、ゲル生成物の同定、ひび割れなどの進展状況が確認可能 |

参考1: 岩石学的診断法

岩石学的診断法(国内)

| 試験方法 | | | 長所 | 課題 | |
|------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------------------|------|--|
| 骨材 | 総プロ法 (旧建設省) | 目視観察 | コンクリートより取り出した骨材・コアのスライス片 | 簡便 | 岩種判定が目的・切断により、ゲルが見えにくくなる |
| | | 偏光顕微鏡観察 | 薄片(主にコンクリートより取り出した粗骨材) | やや簡便 | 粗骨材中の有害鉱物の含有状況の判定が目的。細骨材は対象外。セメントペーストのひび割れの進展状況を観察せず |
| | | X線回折分析 | コンクリートから取り出した粗骨材 | 簡便 | オペール・ガラスは検出できない |
| | JCI-DD3 | 偏光顕微鏡観察 | 薄片(未使用骨材) | やや簡便 | コンクリート中の骨材の反応状況は観察の対象外 |
| | | X線回折分析 | 未使用骨材 | 簡便 | 反応性鉱物をリストアップしているが、内容が不正確 |
| コンクリート | 総プロ法 (旧建設省) | 湿式化学分析 | ゲルの確認(掻き取った試料) | 簡便 | 試料採取位置が記録されず |
| | | | 水溶性アルカリの測定 | やや簡便 | 水溶性アルカリをすべてセメント由来とみなす。そのため、セメントのアルカリ量を過大に評価する |
| | NEXCO 西日本 (九州) 福永ら (2007) | 実体顕微鏡観察 | ゲルの検出(コア外周・破断面) | 簡便 | 岩種の詳細は分からない |
| | | 岩種構成定量 | 粗骨材(展開写真) | やや簡便 | 展開カメラは市販されていない |
| | | | 細骨材(薄片) | 正確 | 測定に熟練・時間を要する |
| | Katayama et al (2008) | SEM観察 | ゲルの検出(鏡面研磨薄片) | 正確 | 観察に熟練を要する |
| | | EPMA分析・EDS分析 | ゲルの組成分析(鏡面研磨薄片) | 正確 | 観察・分析に熟練・時間を要する |
| 未水和セメントのアルカリ分析(鏡面研磨薄片) | 正確 | | 観察・分析に熟練・時間を要する | | |

SEM: 走査電子顕微鏡

EPMA: 電子線プローブ・マイクロアナライザー

EDS: エネルギー分散型スペクトル分析装置

(原子力用コンクリートの反応性骨材の評価方法の提案(JNES-RE-2013-2050)より)

| No. | 指摘事項 | 回答 |
|------------------------------|---|----------------------|
| 0726-1 電気計装品の絶縁低下 | 美浜3号炉の難燃PHケーブルが、高浜1, 2号炉と異なり、保守管理に関する方針とならない理由について整理すること。 | 平成28年〇月〇日 P2~4 |
| 0726-3 2相ステンレス鋼の熱時効 | 1次冷却材管の熱時効評価部位と現状保全部位との相違について整理すること。 | 平成28年〇月〇日 P8~P9 |
| 0726-4 コンクリートの強度低下/遮蔽能力低下 | コンクリートのアルカリ骨材反応に対する特別点検における点検手法選定の考え方について整理すること。 | 平成28年〇月〇日 P11~P12 |
| 0726-5 コンクリートの強度低下/遮蔽能力低下 | 1次遮蔽壁の温度分布解析の保守性について、解析手段の観点から整理すること。 | 平成28年〇月〇日 P14~P16 |

1次遮蔽壁における熱による強度低下の評価について、温度分布解析で求めた最高温度(約64℃)は制限値(65℃)に対して余裕が小さい結果となっているが、下記を考慮すると、保守性を踏まえた解析手段によって得られた値であり、実機の1次遮蔽壁の温度に対して余裕を有していると判断している。

1次遮蔽壁における解析による最高温度と制限値の比較

| 最高温度(℃) | 制限値※(℃) | 判定 |
|---------|---------|----|
| 約64 | 65 | OK |

※日本建築学会「原子炉建屋構造設計指針・同解説」(1988)

①解析モデル、入力条件について

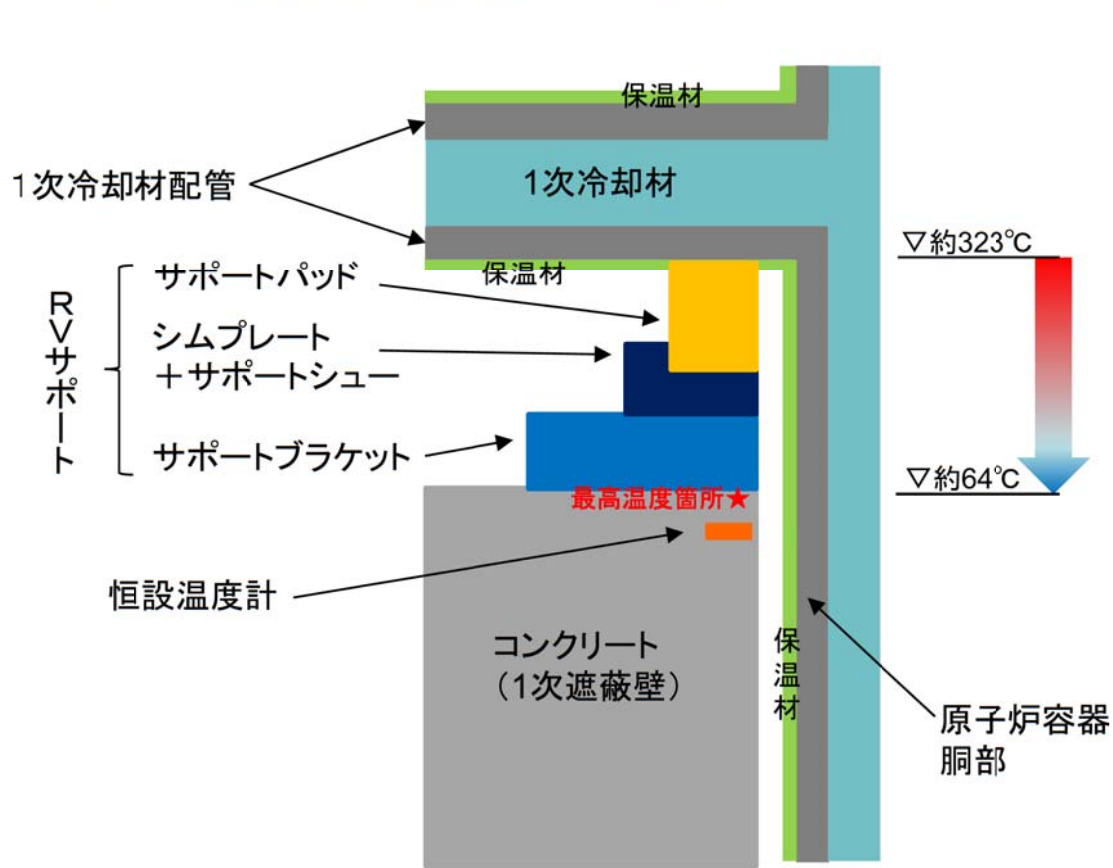
解析においては、解析モデル及び入力パラメータを保守的に設定している

- ・【解析モデル】1次遮蔽壁は原子炉容器側の面及び1次冷却材配管側の面以外は熱が逃げない断熱モデルとしている
- ・【入力条件】サポートパッドの配管接触部の温度は、1次冷却材温度と等しい値としている
- ・【入力条件】冷却空気温度は、実測温度(約38℃)が設計値(約44℃)よりも低いことを確認している
- ・【入力条件】RVサポート、コンクリート(1次遮蔽壁)の寸法などについて、許容差(施工誤差、摩耗など)を考慮しても、最大で0.5℃程度の温度上昇であることを確認している

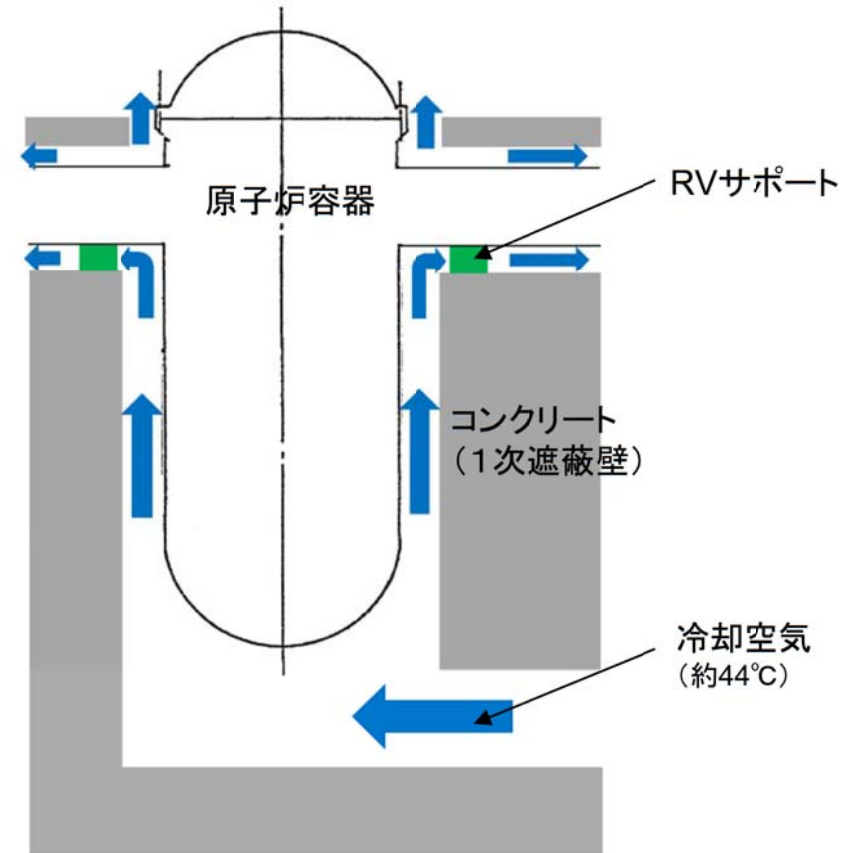
②解析結果と実測値の比較について

- ・コンクリート内部における評価点近傍の実測温度(約56℃)が、解析結果(約59℃)より低いことを確認している

・1次冷却材配管からの伝熱と冷却の概要



1次冷却材配管からコンクリートへの伝熱の概要図



空気による冷却の概要図

・恒設温度計設置箇所での解析値と実測値の比較

| 項目 | 解析値 | 実測値 | 備考 |
|--------------|-------|-------|----------------------|
| 恒設温度計設置箇所の温度 | 約59°C | 約56°C | 実測値の計測期間はH22.7~H22.9 |

・RVサポート～1次遮蔽壁の各部位における熱伝導率と温度の推移



解析モデル(全体)

温度分布解析結果(解析モデル
全体及びRVサポート部)

温度分布解析結果
(最高温度部位)

材料物性値(熱伝導率)

| 部位 | 使用材料 | 熱伝導率(W/(m・K))※1 | 備考 |
|----------------|----------|-----------------------------------|---|
| サポートパッド | 低合金鋼 | 43.0 (300K)、41.7(500K)、34.8(800K) | 熱伝導率は左記の値を定義し、その間の温度では解析コード内で線形補完した値を設定している |
| サポートシュー+シムプレート | 低合金鋼 | 43.0 (300K)、41.7(500K)、34.8(800K) | |
| サポートブラケット | 炭素鋼 | 51.6 (300K)、47.8(500K)、38.2(800K) | |
| コンクリート | 普通コンクリート | 1.5(293K)、1.1(600K) | |

※1: 出典 伝熱工学資料 改訂第4版 日本機械学会編