

資料〇-〇-〇



# 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8日

# 美浜3号炉 審査会合における指摘事項の回答一覧表

No.	指摘事項	回答
0726-1 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における検査部位との相違について整理すること。	平成28年〇月〇日 P2~P3
0726-2 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 P5~P7
0726-3 電気計装品の絶縁低下	劣化状況評価における設計基準事故及び重大事故等時の放射線集積線量について	平成28年〇月〇日 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における検査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では、熱時効評価に対し厳しい条件としてフェライト量と応力に着目し、それぞれが最も高い部位1箇所を評価部位として抽出している。さらに、エルボの曲率部で応力が高い部位1箇所についても、直管に比べて評価が厳しくなることから評価部位としている。

- 【評価部位】
- ・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 現状保全における検査の代表部位について

1次冷却材管の熱時効に対しては、評価で想定するような疲労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、現状保全における溶接部に対する超音波探傷検査(供用期間中検査)の代表部位は、選定の考え方が異なるため、必ずしも一致しない。

## (2) 現状保全の熱時効評価に対する妥当性について

1次冷却材管に対する熱時効評価代表部位と、現状保全における検査(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妥当性を以下に説明する。

- ・現状保全で実施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により、1次冷却材管と機器との溶接部を選定して実施している。
- ・機器と配管との溶接部は、経年劣化事象に対して一般的に厳しいと考えられる箇所であり、1次冷却材管に想定される疲労き裂の発生・進展が厳しいと考えられる代表部位となっている。

なお、1次冷却材管は、製造時に浸透探傷検査、放射線透過検査を行い、き裂が無いことを確認している。さらに、供用期間中検査により代表定点について継続的にき裂が無いことを確認している。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、1次冷却材管の健全性を維持できる。



熱時効に対する保全については、き裂を確認することが必要であるため、き裂進展が厳しいと考えられる現状保全における検査部位(維持規格に基づく定点)を確認することは、妥当と考える。

また、熱時効による劣化自体が1次冷却材管の設備上の問題となったことはないことから、今後もき裂に着目して現状の保全を継続していくべきと考えている。

No.	指摘事項	回答
0726-1 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における検査部位との相違について整理すること。	平成28年〇月〇日 P2~P3
0726-2 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 P5~P7
0726-3 電気計装品の絶縁低下	劣化状況評価における設計基準事故及び重大事故等時の放射線集積線量について	平成28年〇月〇日 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

## 2. 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(1/3)

### (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号炉で保守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。

## 2. 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(2/3)

### (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号炉が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、環境温度を実測している。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。

### (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、放射線量率を実測している。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号炉のケーブルの更新時期はプラント毎に異なっている。事故時要求のあるケーブルについては、図面確認及び現場調査により、メーカ、線種、布設ルートを確認しており、また、図面確認により更新時期の確認を行っている。更新時期については図面確認の結果から、高浜2号炉の対象ケーブルについては、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、比較的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 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における検査部位との相違について整理すること。	平成28年〇月〇日 P2~P3
0726-2 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 P5~P7
0726-3 電気計装品の絶縁低下	劣化状況評価における設計基準事故及び重大事故等時の放射線集積線量について	平成28年〇月〇日 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

### 3. 劣化状況評価における設計基準事故及び重大事故等時の放射線集積線量について

難燃PHケーブル等の電気・計装設備の絶縁低下に係る劣化状況評価に際しては、下記の通り、60年間の通常運転時の劣化を考慮した上で、設計基準事故時、重大事故等時の条件下においても、健全性が維持できることを確認している。

美浜3号炉 難燃PHケーブルの試験条件(環境認定試験条件)と実機条件との比較

		試験条件 (環境認定試験条件)	実機条件	
			60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件 又は 設計基準事故時の環境条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件 又は 重大事故等時の環境条件
相当 通常 運転	温度	140℃-9日	107℃-9日 (=53℃※1-60年)	
	放射線 (集積線量)	500kGy(7.3kGy/h以下)	206kGy※2	
相当 事故 時 雰囲気	放射線 (集積線量)	1500kGy(7.3kGy/h以下)	① 607kGy	② 500kGy
	温度	最高温度:190℃	最高温度:約122℃	最高温度:約138℃
	圧力	最高圧力:0.41MPa[gage]	最高圧力:約0.26MPa[gage]	最高圧力:約0.305MPa[gage]

※1:原子炉格納容器内でのケーブル周囲温度(約41℃)に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度として設定した。

※2:  $0.39[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25)[\text{h/y}] \times 60[\text{y}] = 205.1\text{kGy}$

#### ① 設計基準事故時の放射線集積線量について

設計基準事故時の環境として、IEEE-323-1974 Appendix A では最大1年間の放射線集積線量を想定していることを踏まえ、1年間の放射線集積線量「**607kGy**」を設定した。

#### ② 重大事故等時の放射線集積線量について

重大事故等時の環境として、外部支援が期待できるまでの期間を考慮し、7日間の放射線集積線量である「**500kGy**」を設定した。

設計基準事故時及び重大事故等時のいずれの場合においても、60年間の劣化「206kGy」を加味した上で、環境認定試験条件である「2000kGy」に十分に包絡され、有意な絶縁低下が生じないことを確認。

No.	指摘事項	回答
0726-1 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における検査部位との相違について整理すること。	平成28年〇月〇日 P2~P3
0726-2 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 P5~P7
0726-3 電気計装品の絶縁低下	劣化状況評価における設計基準事故及び重大事故等時の放射線集積線量について	平成28年〇月〇日 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、コアサンプル採取によって、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。

点検方法の選定は、最新知見（参考1：岩石学的診断法）を踏まえて検討する。具体的には、顕微鏡観察結果より、「反応性あり」と判定された場合は、その部位について、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）

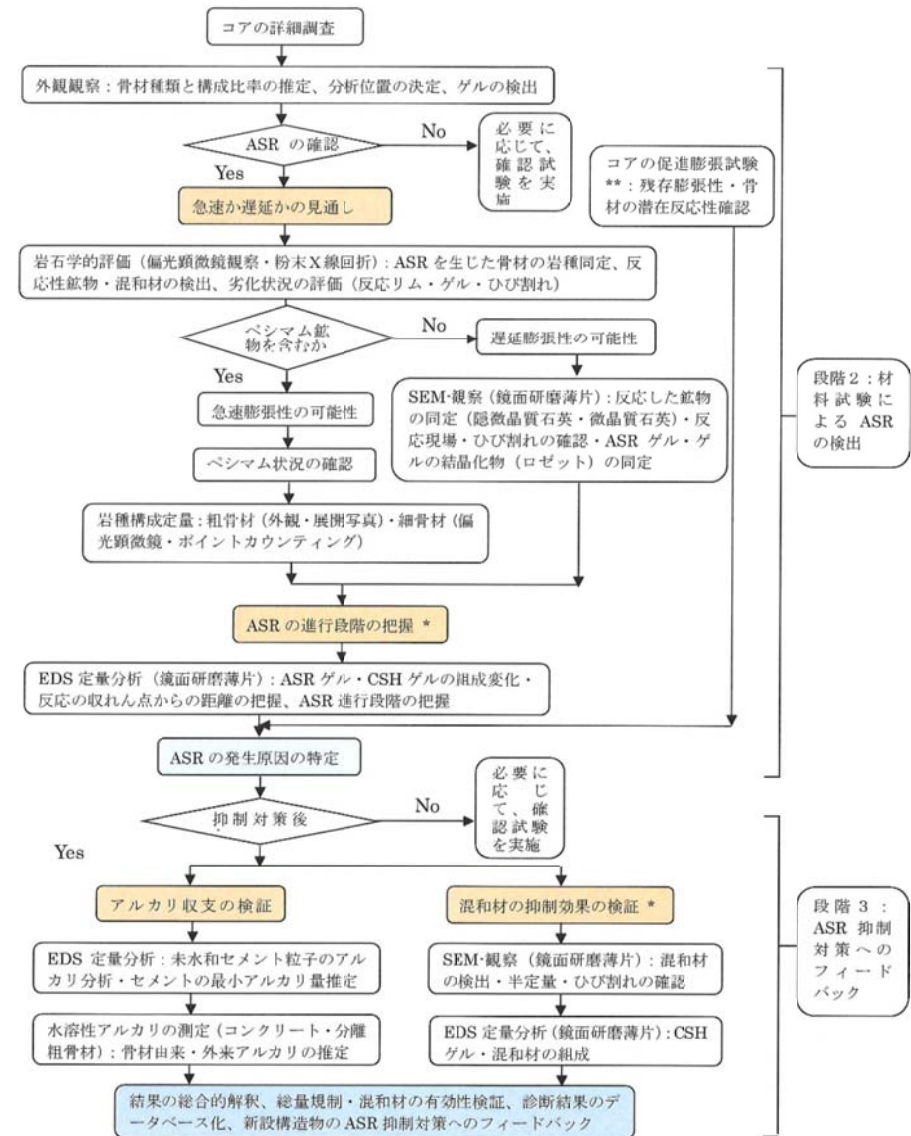
岩石学的診断法	特徴など
偏光顕微鏡	反応性鉱物の同定、進展状況（反応リム、ゲル、ひび割れ）が確認可能
走査電子顕微鏡	特定の反応性鉱物の同定、ゲル生成物の同定、ひび割れなどの進展状況が確認可能

# 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	オパール・ガラスは検出できない
JCI-DD3	総プロ法 (旧建設省)	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
		細骨材(薄片)	正確	測定に熟練・時間を要する	
		偏光顕微鏡観察	反応・ひびの進展状況確認(薄片)	正確	薄片作製・観察に熟練を要する
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



## コンクリート建造物のASR診断フロー(案)

出典: 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)

※記載の一部誤記は修正

No.	指摘事項	回答
0726-1 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における検査部位との相違について整理すること。	平成28年〇月〇日 P2~P3
0726-2 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 P5~P7
0726-3 電気計装品の絶縁低下	劣化状況評価における設計基準事故及び重大事故等時の放射線集積線量について	平成28年〇月〇日 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裕度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

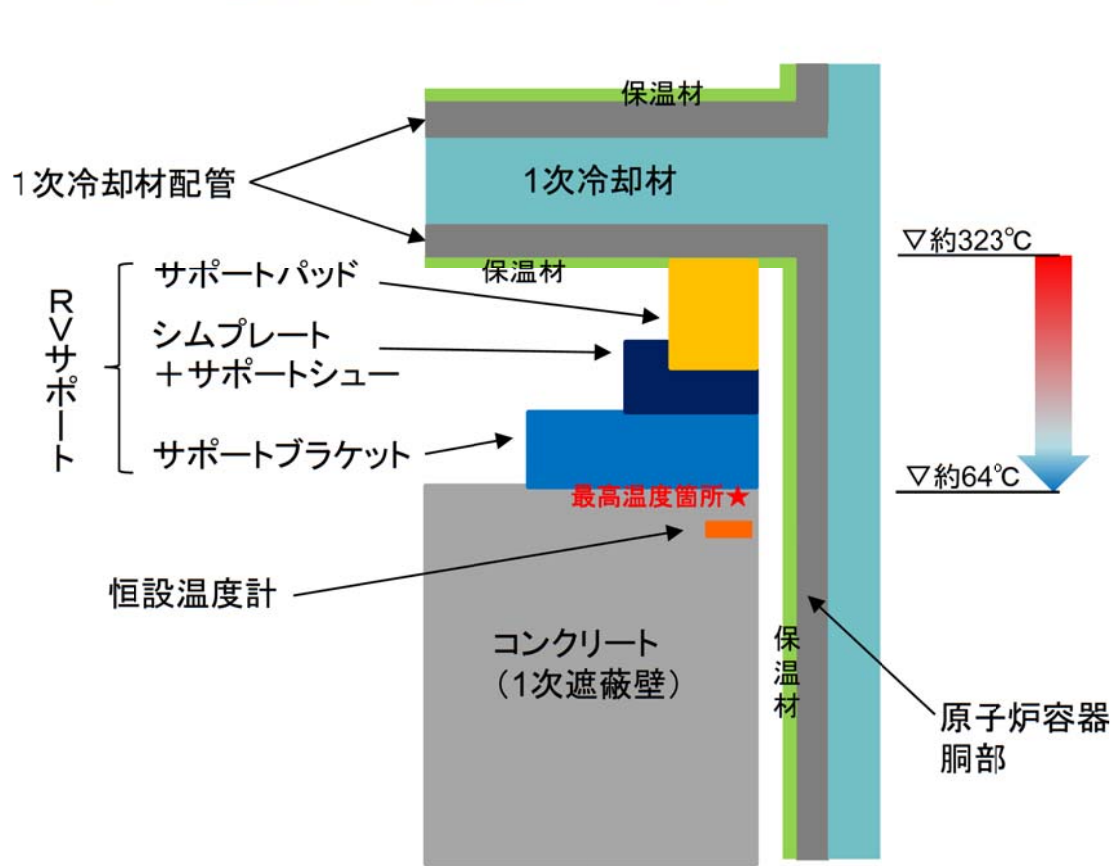
解析においては、解析モデル及び入力パラメータを保守的に設定している

- ・【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

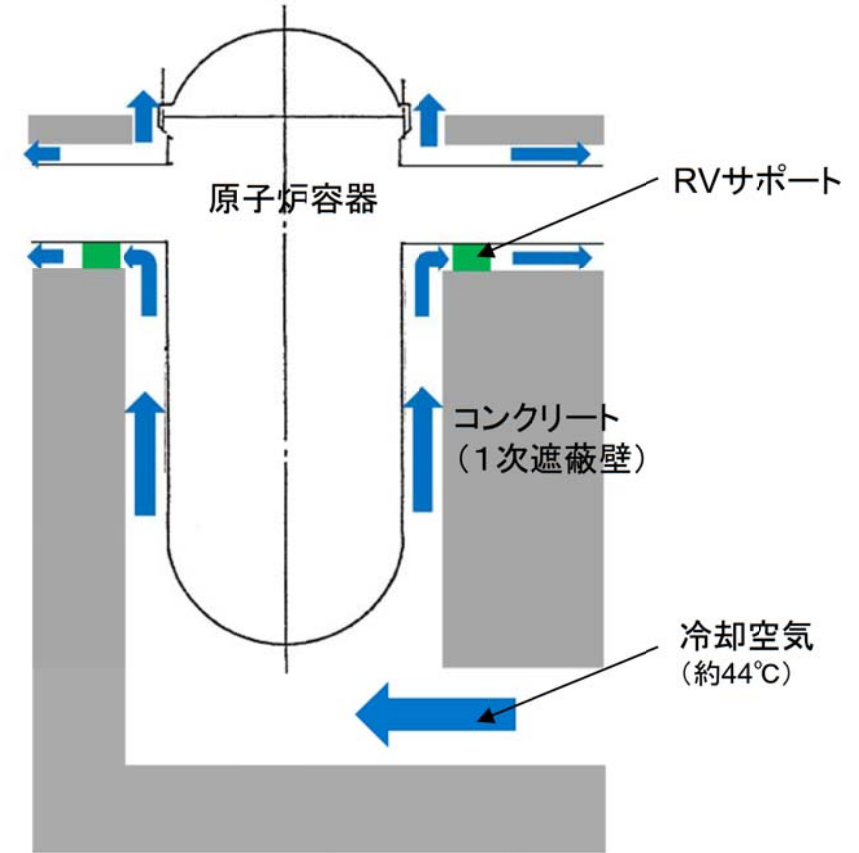
### ②解析結果と実測値の比較について

- ・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

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません