

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-007 改 03
提出年月日	2022年4月28日

工事計画に係る補足説明資料
(核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設)

2022年4月

中国電力株式会社

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

添付書類の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

資料 No.	添付説明書名	補足説明資料（内容）	備考
1	使用済燃料貯蔵槽の温度、水位及び漏えいを監視する装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書	<p>1. 燃料プール温度、燃料プール冷却ポンプ入口温度、燃料プール水位・温度（S A）、燃料プール水位、燃料プール水位（S A）及び燃料プールライナドレン漏えい水位について</p> <p>2. 燃料プール監視カメラ（S A）について</p> <p>3. 大量の水の漏えいその他要因により燃料プールの水位が異常に低下した場合の監視設備について</p>	今回提出範囲
2	燃料取扱設備、新燃料貯蔵設備及び使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書		
3	燃料体等又は重量物の落下による使用済燃料貯蔵槽内の燃料体等の破損の防止及び使用済燃料貯蔵槽の機能喪失の防止に関する説明書		
4	使用済燃料貯蔵槽の冷却能力に関する説明書		
5	使用済燃料貯蔵槽の水深の遮蔽能力に関する説明書		

使用済燃料貯蔵槽の温度，水位及び漏えいを監視する装置の構成に
関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書に係る
補足説明資料

1. 燃料プール温度，燃料プール冷却ポンプ入口温度，燃料プール水位・温度（S A），燃料プール水位，燃料プール水位（S A）及び燃料プールライナドレン漏えい水位について	1
1.1 燃料プール温度（計測範囲，警報動作範囲，警報設定値）	1
1.2 燃料プール冷却ポンプ入口温度（計測範囲，警報動作範囲，警報設定値）	2
1.3 燃料プール水位・温度（S A）（計測範囲，警報動作範囲，警報設定値）	3
1.4 燃料プール水位・温度（S A）の設定点	5
1.5 燃料プール水位・温度（S A）の測定方法	6
1.6 燃料プール水位（計測範囲，警報動作範囲，警報設定値）	10
1.7 燃料プール水位（S A）（計測範囲）	11
1.8 燃料プール水位（S A）の検出原理	12
1.9 燃料プールライナドレン漏えい水位（計測範囲，警報動作範囲，警報設定値）	13
2. 燃料プール監視カメラ（S A）について	14
2.1 燃料プール監視カメラ（S A）の視野概要	14
2.2 蒸気雰囲気下での燃料プール監視カメラ（S A）の監視性	15
2.2.1 可視カメラと赤外線カメラの映像比較	15
2.2.2 赤外線カメラのレンズに結露が発生した状況での監視	16
2.3 燃料プール監視カメラ用冷却設備	17
2.3.1 燃料プール監視カメラ用冷却設備のコンプレッサ，冷却器，エアクーラの機能及び原理	18
3. 大量の水の漏えいその他要因により燃料プールの水位が異常に低下した場合の監視設備について	20

1. 燃料プール温度，燃料プール冷却ポンプ入口温度，燃料プール水位・温度（S A），燃料プール水位，燃料プール水位（S A）及び燃料プールライナドレン漏えい水位について
- 1.1 燃料プール温度（計測範囲，警報動作範囲，警報設定値）

燃料プール温度は，熱電対からの起電力を検出することにより，温度を連続的に計測する。

燃料プール温度の計測範囲は，燃料プール内における冷却水の過熱状態を監視できるよう，0～150℃の温度を計測可能とする。また，燃料プール水位の水位低警報設定（EL 42290mm）を包絡する範囲で温度計測可能な設置位置とする。（図 1-1「燃料プール温度の設置図」参照。）

警報動作は，0～150℃の範囲で設定可能であり，検出信号が警報設定値に達した場合には，中央制御室に音とともに警報表示を行う。温度高の警報動作温度以上の温度では，警報表示状態を継続する。

温度高の警報設定値は，燃料プール温度が燃料プール冷却系により通常 52℃以下で維持されており，燃料プール温度が通常温度より高くなったことを検出するため，燃料プールの運転上の制限値（65℃）に余裕を持たせた温度（55℃）とする。

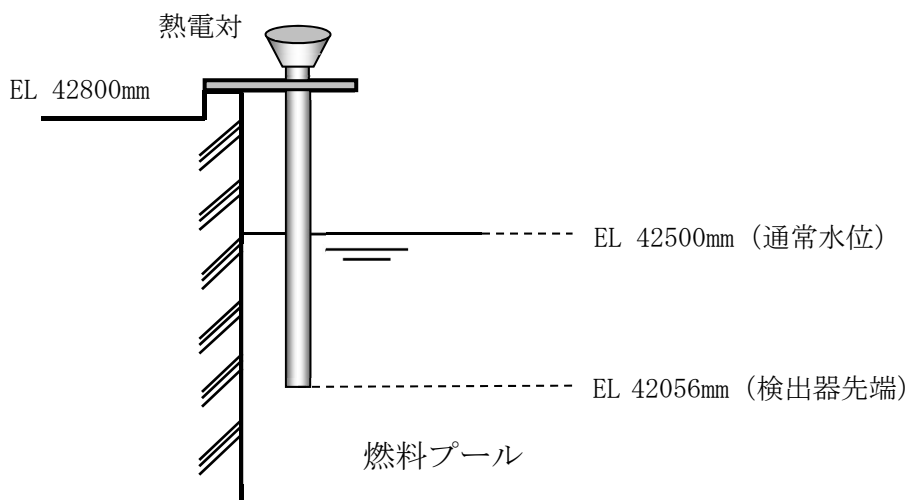


図 1-1 燃料プール温度の設置図

1.2 燃料プール冷却ポンプ入口温度（計測範囲，警報動作範囲，警報設定値）

燃料プール冷却ポンプ入口温度は，熱電対からの起電力を検出することにより，温度を連続的に計測する。

燃料プール冷却ポンプ入口温度の計測範囲は，燃料プール冷却ポンプ入口における冷却水の過熱状態を監視できるように，0～150℃の温度を計測可能とする。（図 1-2「燃料プール冷却ポンプ入口温度の設置図」参照。）

警報動作は，0～150℃の範囲で設定可能であり，検出信号が警報設定値に達した場合には，中央制御室に音とともに警報表示を行う。温度高の警報動作温度以上の温度では，警報表示状態を継続する。

温度高の警報設定値は，燃料プール温度が燃料プール冷却系により通常 52℃以下で維持されており，燃料プール温度が通常温度より高くなったことを検出するため，燃料プールの運転上の制限値（65℃）に余裕を持たせた温度（55℃）とする。

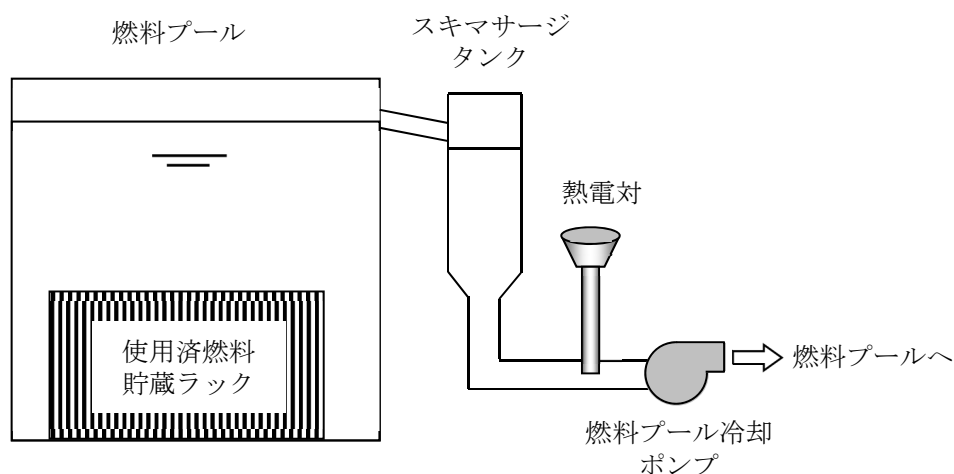


図 1-2 燃料プール冷却ポンプ入口温度の設置図

1.3 燃料プール水位・温度（S A）（計測範囲，警報動作範囲，警報設定値）

a. 水位の計測範囲及び警報動作範囲について

燃料プール水位・温度（S A）の水位計測は， -1000mm^* （EL 34518mm）から6箇所に設置した熱電対のヒータ加熱による温度変化から水中／気中を判定することにより間接的に水位を計測する。

燃料プール水位・温度（S A）の水位計測範囲は，想定事故1，想定事故2及び燃料プールからの大量の水の漏えいその他の要因により当該燃料プールの水位が異常に低下する事故を考慮し，使用済燃料貯蔵ラック上端近傍（ -1000mm^* （EL 34518mm））から燃料プール上部（ $+6710\text{mm}^*$ （EL 42228mm））を計測範囲とする。

警報動作は， -1000mm^* （EL 34518mm）～ $+6710\text{mm}^*$ （EL 42228mm）の範囲における検出点6箇所で設定可能であり，燃料プール水位が警報設定値以下に低下した場合には，中央制御室に音とともに警報表示を行う。水位低の警報動作水位以下の水位では，警報表示状態を継続する。（図1-3「燃料プール水位・温度（S A）の設置図」参照。）

水位低の警報設定値は，燃料プール冷却ポンプが停止した場合の水位低下を考慮し，想定していない異常な水位低下を早期に検知するため燃料プール冷却ポンプが停止した場合の水位より下の水位（ $+6710\text{mm}^*$ （通常水位 -272mm ：EL 42228mm））とする。

注記*：基準点は使用済燃料貯蔵ラック上端（EL 35518mm）

b. 温度の計測範囲及び警報動作範囲について

燃料プール水位・温度（S A）の温度計測は，熱電対からの起電力を検出することにより，温度を連続的に計測する。

燃料プール水位・温度（S A）の温度計測範囲は，燃料プール内における冷却水の過熱状態を監視できるよう， $0\sim 150^{\circ}\text{C}$ の温度を計測可能とする。また，想定事故1及び想定事故2において想定する最低水位（EL 42150mm）においても温度計測できる設置位置とする。

警報動作は， $0\sim 150^{\circ}\text{C}$ の範囲で設定可能であり，検出信号が警報設定値に達した場合には，中央制御室に音とともに警報表示を行う。温度高の警報動作温度以上の温度では，警報表示状態を継続する。（図1-3「燃料プール水位・温度（S A）の設置図」参照。）

温度高の警報設定値は，燃料プール温度が燃料プール冷却系により通常 52°C 以下で維持されており，燃料プール温度が通常温度より高くなったことを検出するため，燃料プールの運転上の制限値（ 65°C ）に余裕を見た温度（ 55°C ）とする。

温度高の警報検出箇所は，想定事故1及び想定事故2において想定する最低水位（EL 42150mm）においても温度高の警報出力ができる設置位置（EL 41318mm）とする。

●：ヒータ付熱電対（水位・温度計測用：温度高警報なし）

○：熱電対（温度計測用：温度高警報発報）

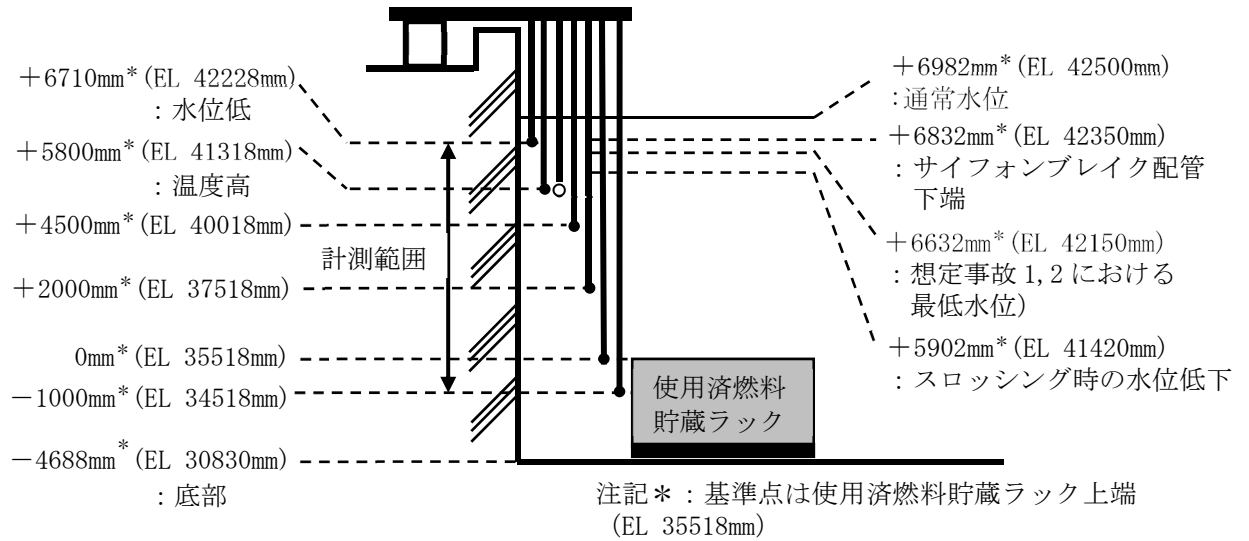


図 1-3 燃料プール水位・温度（S A）の設置図

1.4 燃料プール水位・温度（SA）の設定点

(1) 目的

燃料プールの水位低下が発生した場合に、燃料プール水位・温度（SA）において使用済燃料貯蔵ラック上端近傍まで複数の温度計（熱電対）にて燃料プールの水位を検知する。

燃料プールの検出点としては以下の目的を把握できるように検出点を設ける設計とする。

- ・燃料プールの水位低下を早期に検知すること
- ・燃料プールの水位低下時にサイフォンブレイク配管が有効に機能していることを把握すること
- ・燃料プールの水位低下時に代替注水設備が有効に機能しているか把握すること
- ・使用済燃料の露出有無（燃料損傷の可能性）を把握すること

(2) 設定点

燃料プール水位・温度（SA）の各設定点は、検出点の単一故障や水位低下・上昇傾向を把握可能とするため、図1-4のとおり設定する。

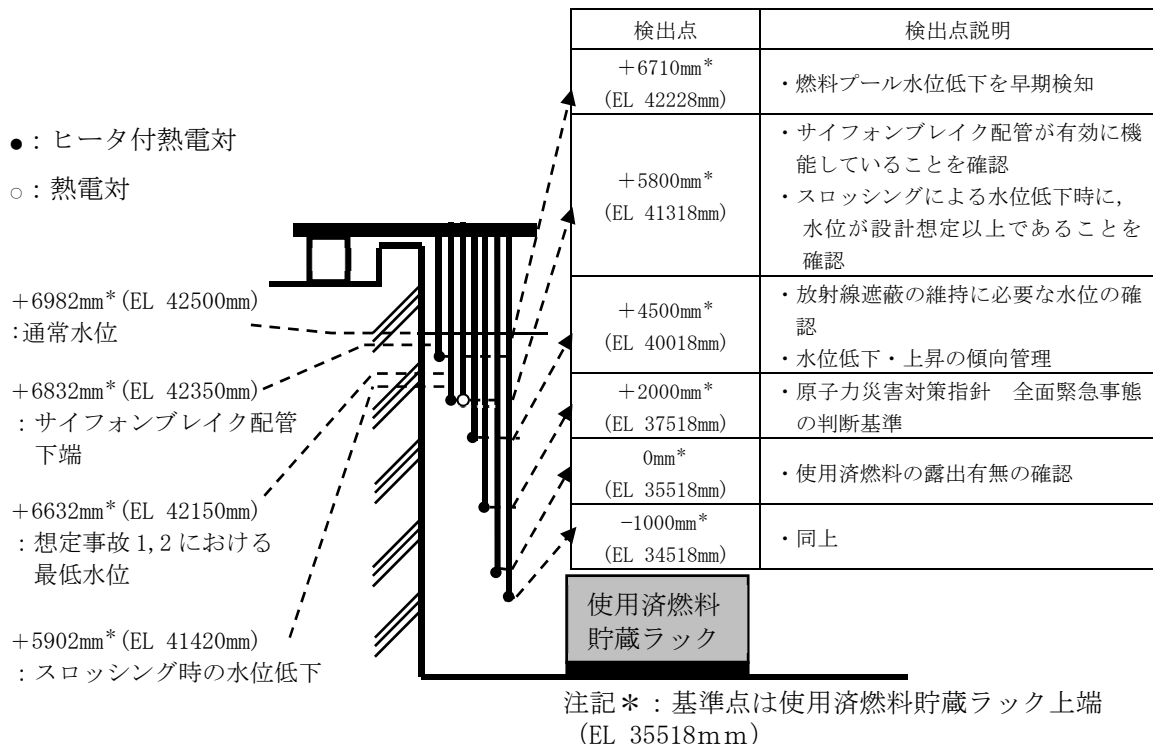


図1-4 燃料プール水位・温度（SA）の水位設定点

1.5 燃料プール水位・温度（S A）の測定方法

(1) 検出原理

燃料プール水位・温度（S A）は、金属シースとヒータ線・熱電対の間に絶縁材を充てん封入したヒータ付熱電対を使用した水位計である。

ヒータ加熱すると、熱電対が検出する温度はヒータ加熱時間に応じて上昇する。ヒータ付熱電対の検出点が気中と水中にある場合を比較すると、熱伝達率の違いから気中にある場合の方が、温度上昇量が大きくなる。

この特性を利用して、ヒータ加熱開始前後の熱電対の温度変化から検出点が水中にあるか気中にあるかを判定する。検出点を燃料プールの深さ方向に複数並べることによって検出点の配置間隔で燃料プール水位を計測することができる。（図 1-5「ヒータ付熱電対による水位検出原理」参照。）

ヒータ加熱開始後 30 秒以上で水中／気中を判定することが可能だが、確実に水中／気中を判定するため、ヒータ加熱時間は 60 秒としている。

また、ヒータ付熱電対は、ヒータを加熱しない状態では、通常の熱電対と同様に温度を計測することが可能である。

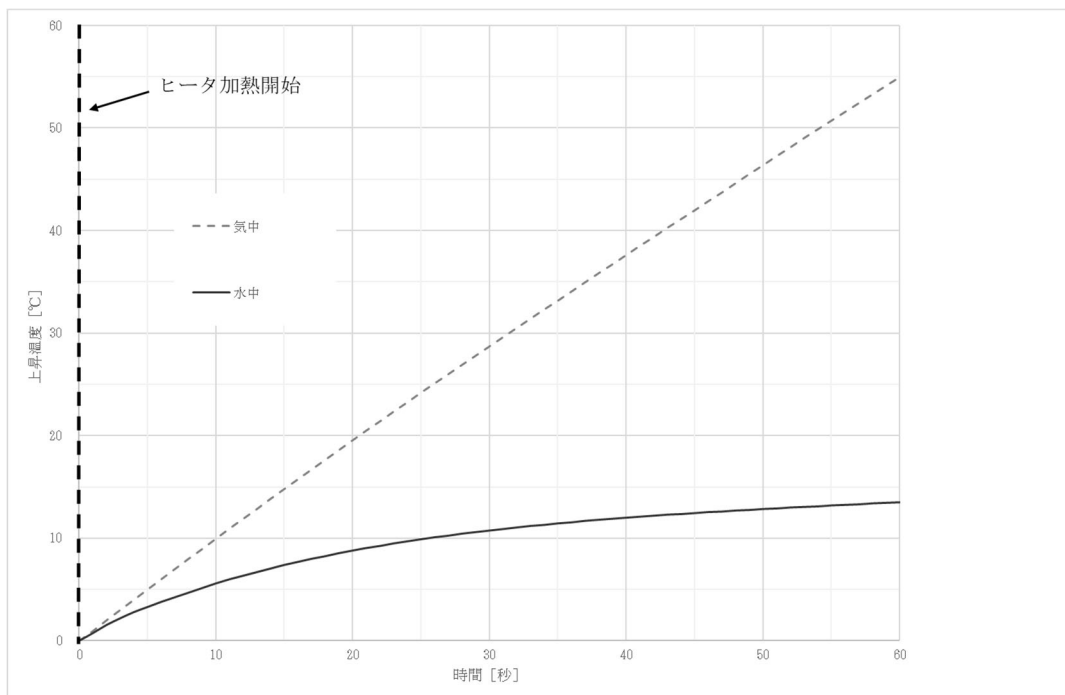
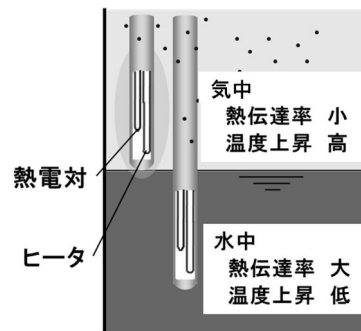


図1-5 ヒータ付熱電対による水位検出原理

(2) 事故時の計測性能の信頼性

燃料プールの重大事故等時において、燃料プール水温の上昇に伴う沸騰による水位低下が想定される。その場合は、気中部分のセンサが蒸気に覆われることが想定されるため、そのような状態を模擬した試験を実施している。

試験容器内に水位計を設置し、水温を沸騰状態である 100℃まで加熱した場合と常用最高温度として 52℃まで加熱した場合における試験を実施している。水面から 50 mm上に検出点を持つ気中のヒータ付熱電対(TC1)、水面から 250 mm下に検出点を持つ水中のヒータ付熱電対(TC2) の応答性について比較を行った。気中(TC1)、水中(TC2)の順で 1 分間隔でヒータ加熱を開始している。水温 100℃、52℃のどちらの場合でも、60 秒間のヒータ加熱により気中(TC1)は約 50℃の温度上昇、水中(TC2)は約 10℃の温度上昇が確認でき、水中／気中の判定は可能であると言える。なお、ヒータ加熱による水位判定は 60 秒であり、その後ヒータを OFF とすることで、水中にあるヒータ付熱電対の指示はヒータ加熱前の水温に約 60 秒で復帰する。(図 1-6「高温状態の試験概要」及び図 1-7「高温状態の試験結果」参照。)

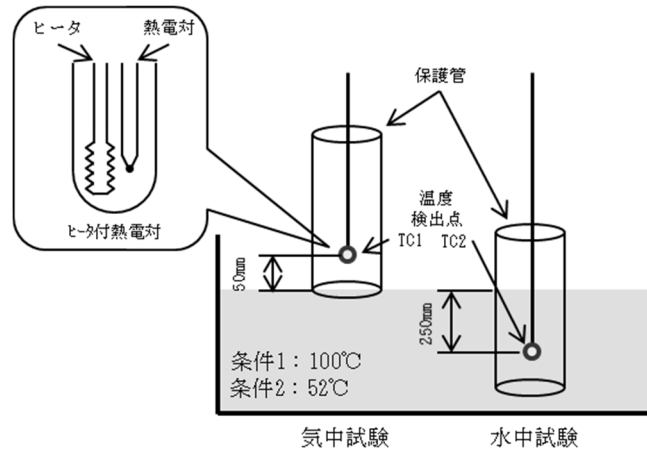


図1-6 高温状態の試験概要

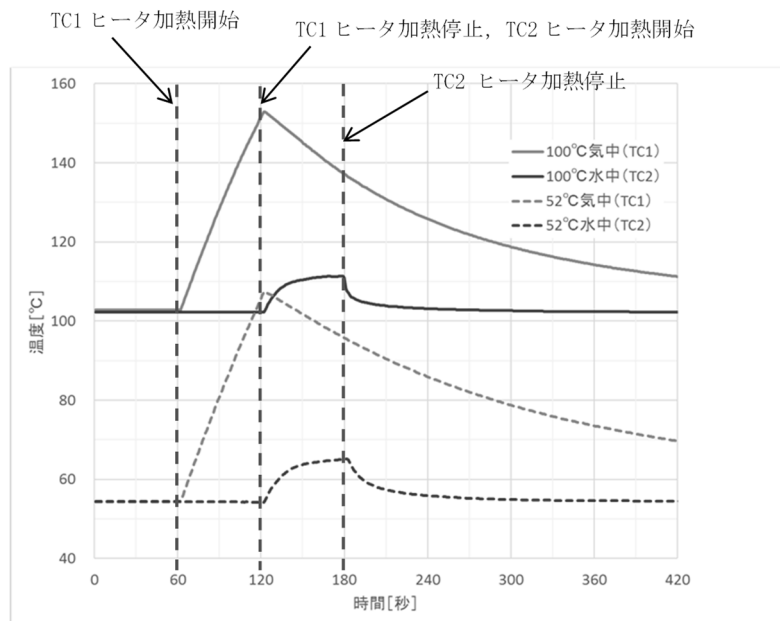


図 1-7 高温状態の試験結果

(3) 温度計及び水位計としての機能維持

燃料プール水位・温度（S A）は、熱電対による温度にて水温及び水位を計測する二つの機能を持つ。

温度計に関しては、水中にある 7 箇所の温度を計測することで多重性を持つ設計とする。また、7 箇所のうち 6 箇所はヒータ付熱電対であるがすべての熱電対に対して同時にヒータを使用しないことで燃料プールの温度については連続して計測が可能である。また、7 箇所のうち 1 箇所は、ヒータが付いていない熱電対であり、温度を連続で計測が可能である。なお、ヒータが付いていない熱電対については、温度計測において、同じ設置高さの検出点のヒータ加熱による影響を受けない設計とする。

水位計に関しては、ヒータ加熱による熱電対の温度上昇によって熱電対が気中又は水中にあるのか判定が可能である。

ヒータ加熱によって水温計測が不可とならないように、常時各熱電対に対して、順番に一定時間（60 秒間）ヒータ ON/OFF を自動的に繰り返して実施することで、同時に水位及び温度の常時計測が可能となる設計とする。（6 個のヒータ付熱電対を上方から順に 1 分ずつヒータに電流を流し、各熱電対について 6 分に 1 回加熱させる計画：図 1-8 「燃料プール水位・温度（S A）のヒータ加熱 ON/OFF サイクル」参照。）

燃料プール水位・温度（S A）は、設計基準事象施設及び重大事故等対処設備であるため、燃料プールに照射された燃料を貯蔵している期間は水温及び水位を常時（点検時を除く）計測している。

また、下記を検知した場合には中央制御室に音とともに警報表示を行う。

- ①熱電対の断線：記録計にて各熱電対からの起電力を監視している。
- ②電源異常：制御盤内の電源装置から給電される電源電圧を監視している。

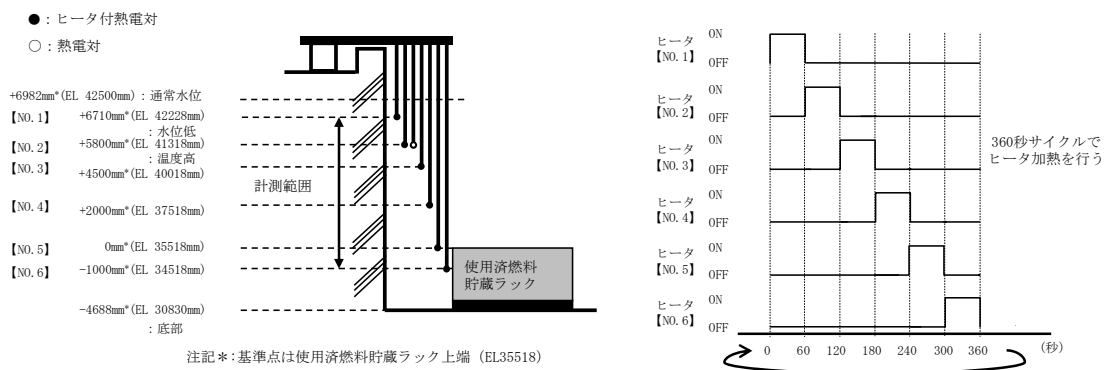


図 1-8 燃料プール水位・温度（S A）のヒータ加熱 ON/OFF サイクル

なお、「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」（以下「技術基準規則」という。）第 69 条第 1 項及びその「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の解釈」（以下「解釈」という。）に係る想定事故（「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」第 37 条解釈 3-1(a)想定事故 1（冷却機能又は注水機能喪失により水温が上昇し，蒸発により水位が低下する事故）及び(b)想定事故 2（サイフォン現象等により燃料プール内の水の小規模な喪失が発生し，燃料プールの水位が低下する事故））における燃料プールの水位低下速度は表 1-1 のとおりと想定しており，上記の計測間隔（ヒータ ON）で水位をとらえることは問題ないと考える。

表 1-1 想定事故時における燃料プールの水位低下速度

	水位低下速度	6 分間での水位低下
想定事故 1	約 0.08m/h	約 8mm
想定事故 2	約 0.08m/h	約 8mm

注：水位低下速度及び 6 分間での水位低下は燃料有効長頂部冠水部以上の水位での値を示す。

1.6 燃料プール水位（計測範囲，警報動作範囲，警報設定値）

燃料プール水位は，フロート式水位検出器で計測され，燃料プール水位が警報設定値に達した場合には，中央制御室に音とともに警報表示を行う。

燃料プール水位高警報については通常最大負荷時水位（EL 42543mm）から原子炉建物 4 階（EL 42800mm）の間とする。燃料プール水位低警報についてはスキマサージタンク開口部下端（EL 42350mm）より下とする。（図 1-9「燃料プール水位の設置図」参照。）

水位低の警報動作水位以下又は水位高の警報動作水位以上の水位では，警報表示状態を継続する。

水位高の警報設定値は，燃料プール水位の異常な上昇によって原子炉建物 4 階へプール水が溢れるのを事前に検知する水位（通常水位+60mm（EL 42560mm））とする。

水位低の警報設定値は，燃料プール冷却ポンプが停止した場合の水位低下を考慮し，想定していない異常な水位低下を早期に検知するため燃料プール冷却ポンプが停止した場合の水位より下の水位（通常水位-210mm（EL 42290mm））とする。

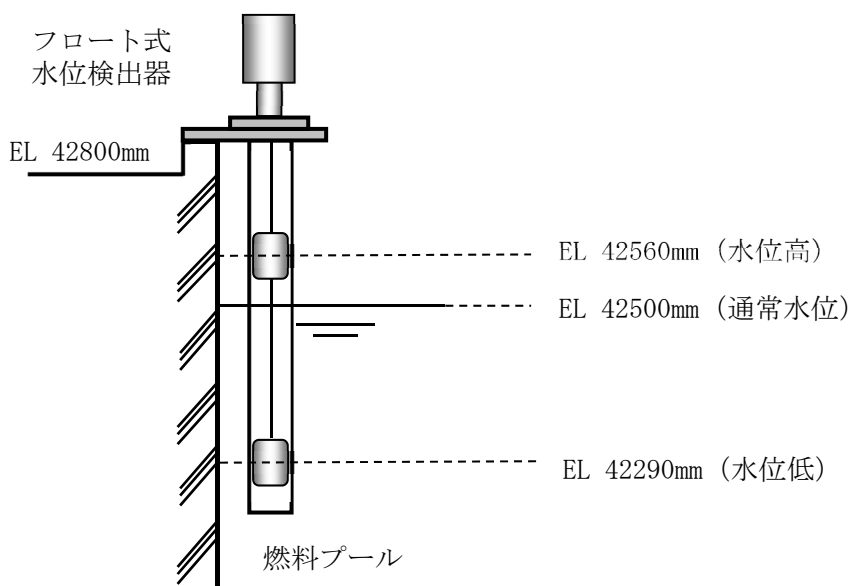


図 1-9 燃料プール水位の設置図

1.7 燃料プール水位（S A）（計測範囲）

燃料プール水位（S A）は、断続的に発信したパルスを探測に伝播し、水面部でのインピーダンス変化により反射してくるパルスの往復時間を計測することで、水位を連続的に計測する。

また、燃料プール水位（S A）の計測範囲は、想定事故1、想定事故2及び燃料プールからの大量の水の漏えいその他の要因により当該燃料プールの水位が異常に低下する事故を考慮し、使用済燃料貯蔵ラック下端近傍（ -4.30m^* （EL 31218mm））から燃料プール上端近傍（ $+7.30\text{m}^*$ （EL 42818mm））を計測範囲とする。（図1-10「燃料プール水位（S A）の設置図」参照。）

注記*：基準点は使用済燃料貯蔵ラック上端（EL 35518mm）

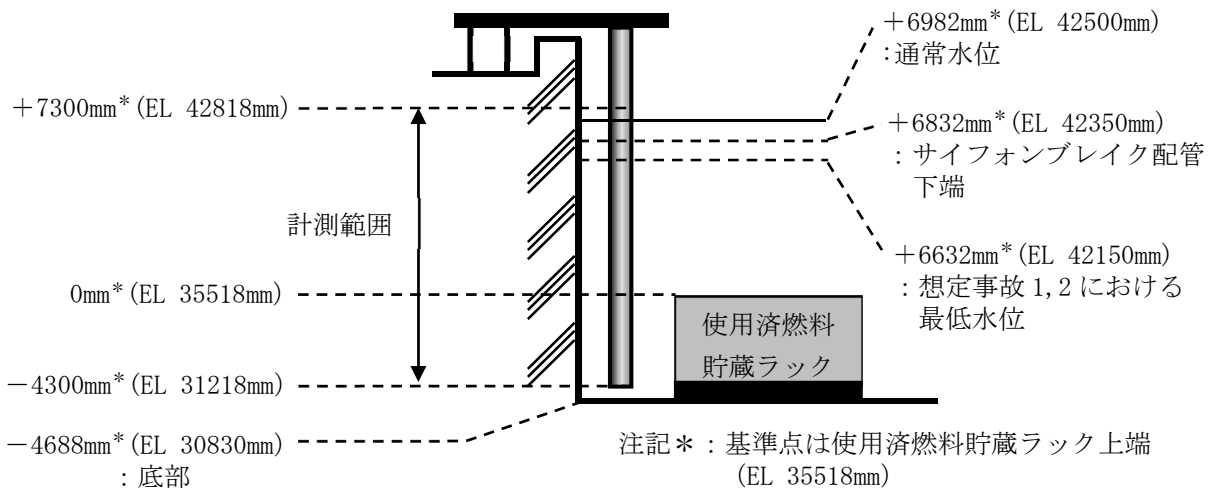


図1-10 燃料プール水位（S A）の設置図

1.8 燃料プール水位（SA）の検出原理

燃料プール水位（SA）（ガイドパルス式）は、パルス（電気信号）がインピーダンス（抵抗）の変化点で反射する性質を利用した検出器であり、演算装置からパルスを発生させ、検出器内部のプロープによりパルスを伝送し、空気と水のインピーダンスの差により、水面で反射したパルスが演算装置に戻るまでの時間を計測し、そのパルスの反射時間を演算装置にて水位に換算して計測する水位計である。

検出器は伝達回路となる導体のステンレスの芯棒（プローブ）が、同様に伝達回路となる導体のステンレス鋼管に収められた構造となっており、検出器端部から検出器ボールジョイント部下付近までの連続水位計測が可能である。（図 1-11「ガイドパルス式水位計による水位検出原理」参照。）

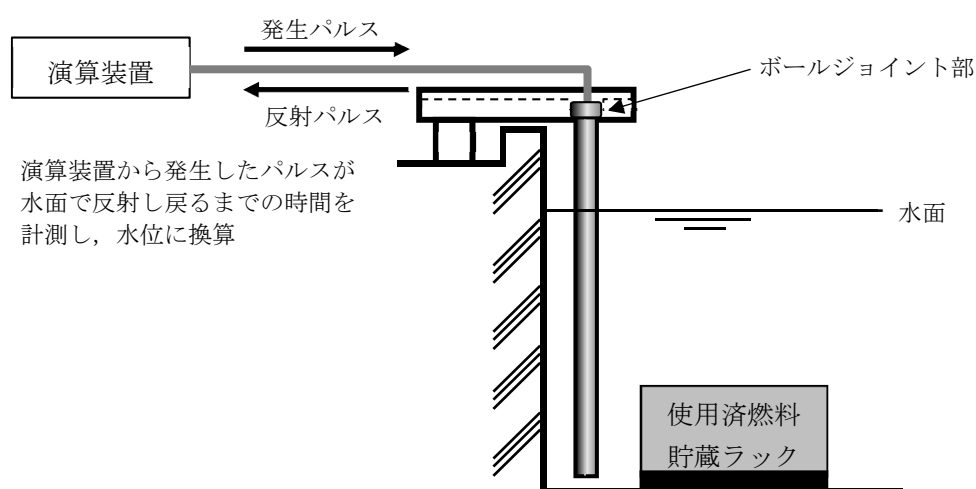


図 1-11 ガイドパルス式水位計による水位検出原理

1.9 燃料プールライナドレン漏えい水位（計測範囲，警報動作範囲，警報設定値）

燃料プールライナドレン漏えい水位は，フロート式水位検出器で計測され，水位が警報設定値に達した場合に，中央制御室に音とともに警報表示を行う。

燃料プールライナドレン漏えい水位高警報は燃料プールライナからの微小漏えいを監視するためドレン止め弁（EL 28750mm）より上とする。（図 1-12「燃料プールライナドレン漏えい水位の設置図」参照。）

水位高の警報動作水位以上の水位では，警報表示状態を継続する。

水位高の警報設定値は，漏えい水検出器の下流側に設けたドレン止め弁からの水位により微小漏えいを検知するため，計器の設置スペースを考慮しドレン止め弁（EL 28750mm）より+400mm（EL 29150mm）とする。

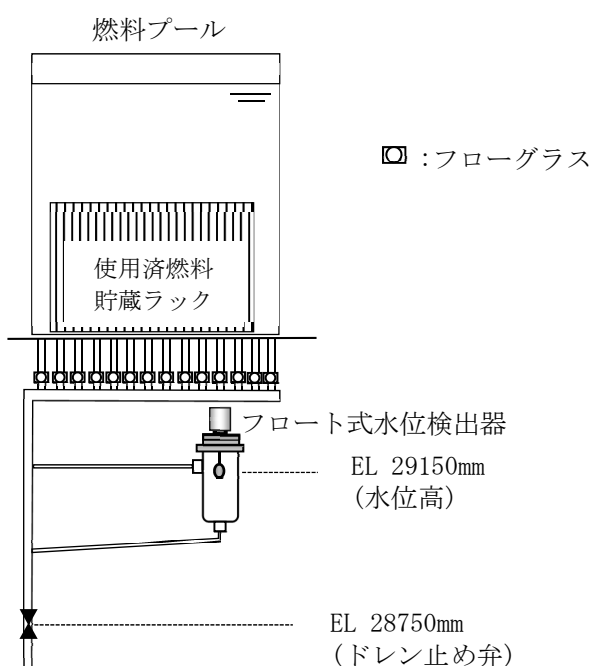


図 1-12 燃料プールライナドレン漏えい水位の設置図