

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-007 改9
提出年月日	2020年 6月 5日

工事計画に係る説明資料（核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設）

2020年 6月

東京電力ホールディングス株式会社

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.	添付書類名称	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	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用済燃料貯蔵プール温度，燃料プール冷却浄化系ポンプ入口温度，使用済燃料貯蔵プール水位，使用済燃料貯蔵プールライナ漏えい検出，使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA）及び使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA 広域）について 2. 使用済燃料貯蔵プール監視カメラについて 3. 大量の水の漏えいその他要因により使用済燃料貯蔵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 4. 使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）について 	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プール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		

別紙 工認添付書類と設置許可まとめ資料との関係

工認添付資料と設置許可まとめ資料との関係
(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))

工認添付資料	設置許可まとめ資料			引用内容
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	DB	第16条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	資料の一部を引用
	SA	第54条	使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備	資料の一部を引用
		第58条	計装設備	資料の一部を引用

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

目 次

1. 使用済燃料貯蔵プール温度，燃料プール冷却浄化系ポンプ入口温度，使用済燃料貯蔵プール水位，使用済燃料貯蔵プールライナ漏えい検出，使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA）及び使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA 広域）について	1
1.1 使用済燃料貯蔵プール温度（計測範囲，警報動作範囲，警報設定値）	1
1.2 燃料プール冷却浄化系ポンプ入口温度（計測範囲，警報動作範囲，警報設定値）	2
1.3 使用済燃料貯蔵プール水位（計測範囲，警報動作範囲，警報設定値）	3
1.4 使用済燃料貯蔵プールライナ漏えい検出（計測範囲，警報動作範囲，警報設定値）	4
1.5 使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA）（計測範囲）	5
1.6 使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA 広域）（計測範囲，警報動作範囲，警報設定値）	6
1.7 使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA）及び使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA 広域）の設定点	8
1.7.1 使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA）	8
1.7.2 使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA 広域）	9
1.8 使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA）及び使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA 広域）の測定方法	10
2. 使用済燃料貯蔵プール監視カメラについて	14
2.1 使用済燃料貯蔵プール監視カメラの視野概要	14
2.2 蒸気雰囲気下での使用済燃料貯蔵プール監視カメラの監視性	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 使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置	17
2.3.1 使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置のコンプレッサ，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使用済燃料貯蔵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
4. 使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）について	21
4.1 使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）	21
4.2 計測結果の表示，記録及び保存	24
4.3 電源構成	24
4.4 計測範囲	26
4.5 測定原理	27
4.6 健全性	28
4.6.1 悪影響防止	28
4.6.2 健全性について	28
4.6.3 水位が異常に低下した場合における健全性について	30
4.6.4 耐震性	32
4.7 設備の維持管理	36

1. 使用済燃料貯蔵プール温度，燃料プール冷却浄化系ポンプ入口温度，使用済燃料貯蔵プール水位，使用済燃料貯蔵プールライナ漏えい検出，使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA）及び使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA広域）について
- 1.1 使用済燃料プール温度（計測範囲，警報動作範囲，警報設定値）

使用済燃料貯蔵プール温度は，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。

使用済燃料貯蔵プール温度の計測範囲は，使用済燃料貯蔵プール内における冷却水の過熱状態を監視できるよう，0～100℃の温度を計測可能とする。また，使用済燃料貯蔵プール水位の水位低警報設定（T.M.S.L. 31140mm）を包絡する範囲で温度計測可能な設計とする。（図1-1「使用済燃料貯蔵プール温度の設置図」参照。）

警報動作は，0～100℃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，使用済燃料貯蔵プール温度が燃料プール冷却浄化系により通常52℃以下で維持されており，使用済燃料貯蔵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，使用済燃料貯蔵プールの最高許容温度（65℃）に余裕を持たせた温度（55℃）とする。

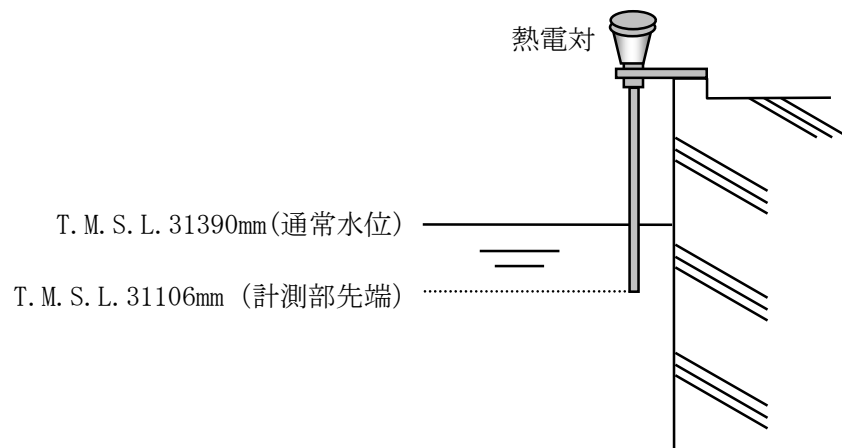


図1-1 使用済燃料プール温度の設置図

1.2 燃料プール冷却浄化系ポンプ入口温度（計測範囲、警報動作範囲、警報設定値）

燃料プール冷却浄化系ポンプ入口温度は、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。

燃料プール冷却浄化系ポンプ入口温度の計測範囲は、使用済燃料貯蔵プール内における冷却水の過熱状態を監視できるように、0～100℃の温度を計測可能とする。（図1-2「燃料プール冷却浄化系ポンプ入口温度の設置図」参照。）

警報動作は、0～100℃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、使用済燃料貯蔵プール温度が燃料プール冷却浄化系により通常52℃以下で維持されており、使用済燃料貯蔵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、使用済燃料貯蔵プールの最高許容温度（65℃）に余裕を持たせた温度（55℃）とする。

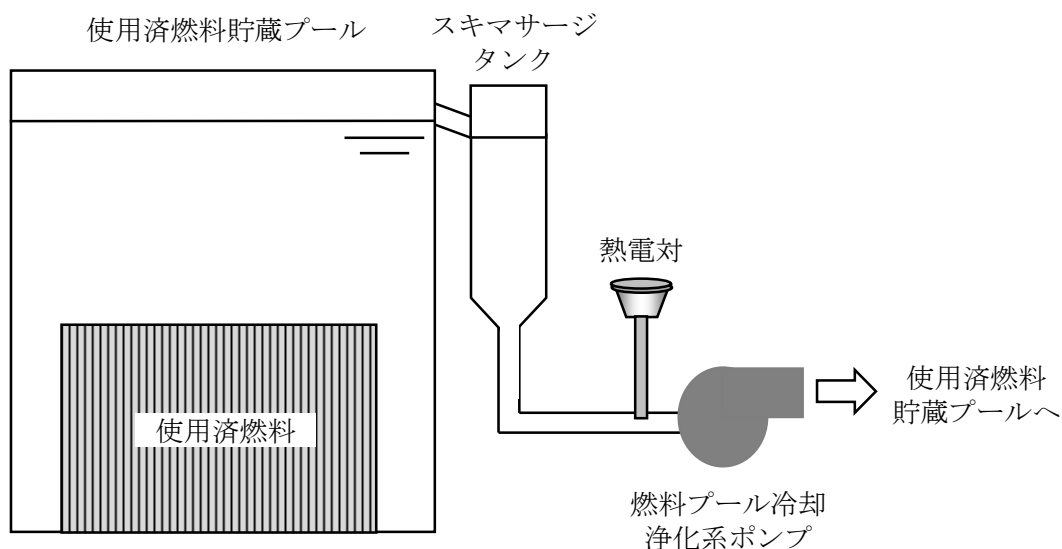


図1-2 燃料プール冷却浄化系ポンプ入口温度の設置図

1.3 使用済燃料貯蔵プール水位（計測範囲，警報動作範囲，警報設定値）

使用済燃料貯蔵プール水位は，フロート式水位検出器で計測され，使用済燃料貯蔵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。

使用済燃料貯蔵プール水位高警報については通常水位（T. M. S. L. 31390mm）から運転操作床面（T. M. S. L. 31700mm）の間のT. M. S. L. 31499mmとする。使用済燃料貯蔵プール水位低警報については通常水位（T. M. S. L. 31390mm）より下のT. M. S. L. 31140mmとする。（図1-3「使用済燃料貯蔵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，使用済燃料貯蔵プール水位の異常な上昇によって原子炉建屋オペレーティングフロアへプール水が溢れるのを事前に検知する水位（通常水位+109mm（T. M. S. L. 31499mm））とする。

水位低の警報設定値は，燃料プール冷却浄化系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浄化系ポンプが停止した場合の水位より下の水位（通常水位-250mm（T. M. S. L. 31140mm））とする。

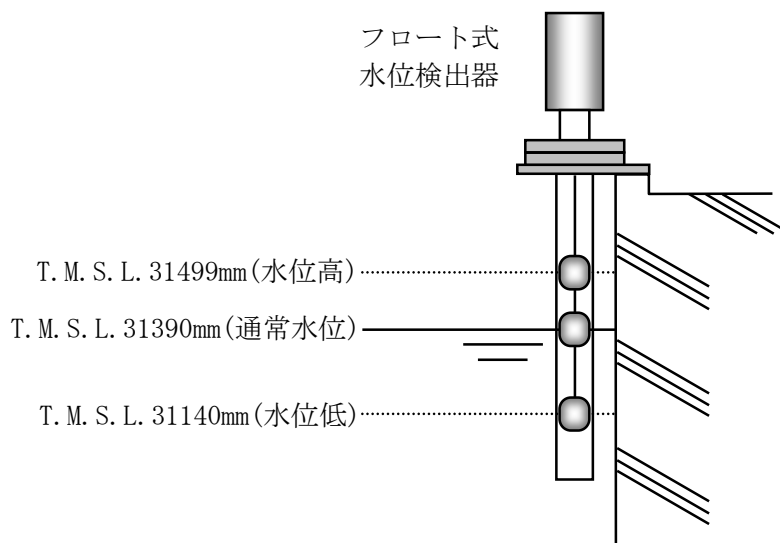


図1-3 使用済燃料貯蔵プール水位の設置図

1.4 使用済燃料貯蔵プールライナ漏えい検出（計測範囲、警報動作範囲、警報設定値）

使用済燃料貯蔵プールライナ漏えい検出は、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。

使用済燃料貯蔵プールライナ漏えい検出水位高警報は使用済燃料貯蔵プールライナからの漏えいを早期監視するためドレン止め弁(T. M. S. L. 12657mm)から+650mm(T. M. S. L. 13307mm)としている。(図1-4「使用済燃料貯蔵プールライナ漏えい検出の設置図」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早期に漏えいを検知するためドレン止め弁 (T. M. S. L. 12657mm) より+650mm (T. M. S. L. 13307mm) とする。

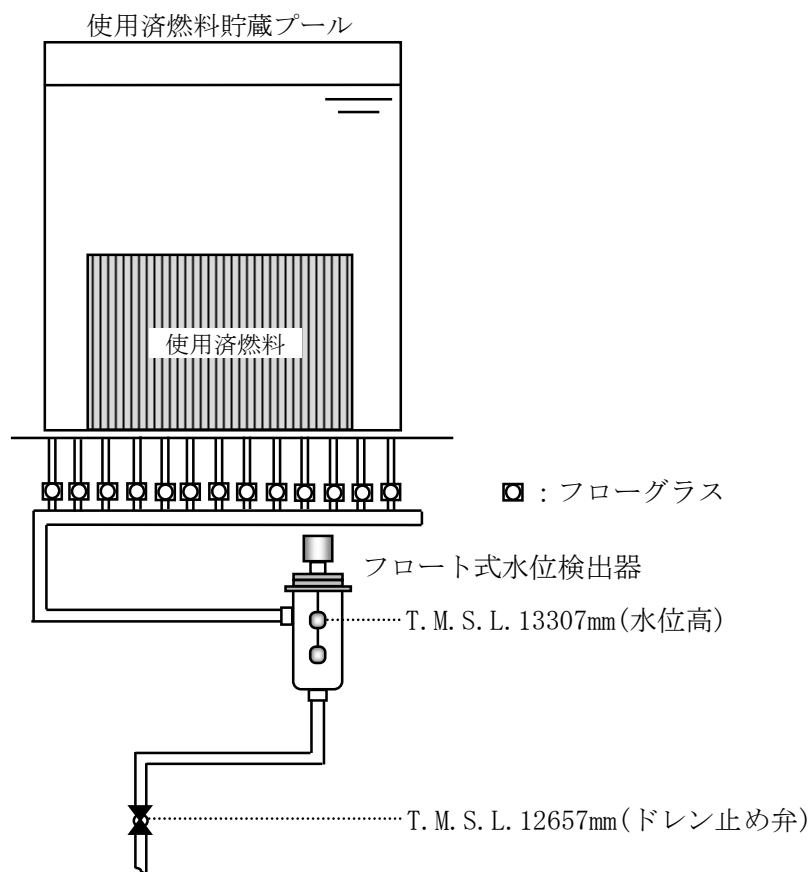


図1-4 使用済燃料貯蔵プールライナ漏えい検出の設置図

1.5 使用済燃料貯蔵プール水位・温度 (SA) (計測範囲)

a. 水位の計測範囲について

使用済燃料貯蔵プール水位 (SA) は、T.M.S.L. 23373mm から 8 箇所に設置した液相部の熱電対と T.M.S.L. 33700mm に設置した気相部の熱電対からの温度差を確認することにより、間接的に水位を計測する。また、液相部の熱電対の温度変化から水中／気中を判定することにより間接的に水位を計測する。

使用済燃料貯蔵プール水位 (SA) の計測範囲は、想定事故1、想定事故2及び使用済燃料貯蔵プールからの大量の水の漏えいその他要因により当該使用済燃料貯蔵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 (T.M.S.L. 23373mm) から使用済燃料貯蔵プール上端近傍 (T.M.S.L. 30373mm) を計測範囲とする。(図1-5「使用済燃料貯蔵プール水位・温度 (SA) の設置図」参照。)

b. 温度の計測範囲について

使用済燃料貯蔵プール温度 (SA) 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。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 (T.M.S.L. 30190mm) においても温度計測できる設置位置とする。

使用済燃料貯蔵プール温度 (SA) の計測範囲は、使用済燃料貯蔵プール内における冷却水の過熱状態を監視できるように、0~150°Cの温度を計測可能とする。(図1-5「使用済燃料貯蔵プール水位・温度 (SA) の設置図」参照。)

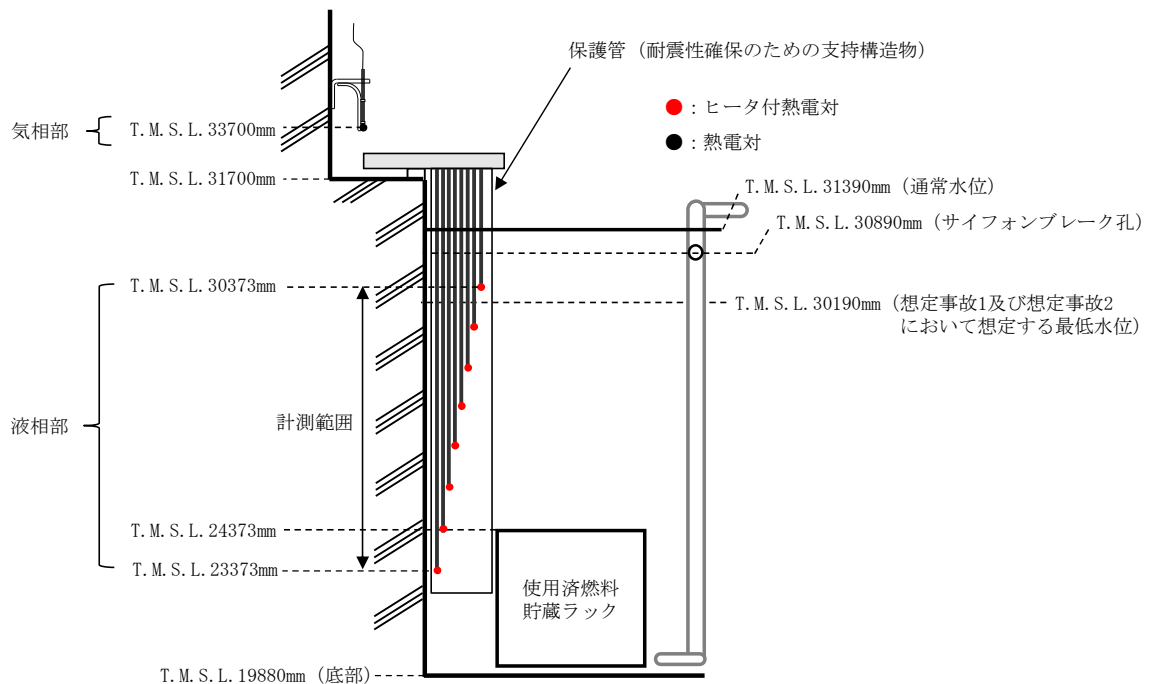


図1-5 使用済燃料貯蔵プール水位・温度 (SA) の設置図

1.6 使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA広域）（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

使用済燃料貯蔵プール水位（SA広域）は，T.M.S.L. 20180mm から 14 箇所に設置した熱電対の温度変化から水中／気中を判定することにより間接的に水位を計測する。

使用済燃料貯蔵プール水位（SA広域）の計測範囲は，想定事故1，想定事故2及び使用済燃料貯蔵プールからの大量の水の漏えいその他要因により当該使用済燃料貯蔵プールの水位が異常に低下する事故を考慮し，使用済燃料貯蔵プール底部近傍（T.M.S.L. 20180mm）から使用済燃料貯蔵プール上端近傍（T.M.S.L. 31123mm）を計測範囲とする。

警報動作は，T.M.S.L. 20180mm～T.M.S.L. 31123mm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。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1-6「使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA広域）の設置図」参照。）

水位低の警報設定値は，燃料プール冷却浄化系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浄化系ポンプが停止した場合の水位より下の水位（通常水位－267mm（T.M.S.L. 31123mm））とする。

b. 温度の計測範囲及び警報動作範囲について

使用済燃料貯蔵プール温度（SA広域）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。

使用済燃料貯蔵プール温度（SA広域）の計測範囲は，使用済燃料貯蔵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，想定事故1及び想定事故2において想定する最低水位（T.M.S.L. 30190mm）においても温度計測できる設置位置とする。

警報動作は，0～150℃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。（図1-6「使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA広域）の設置図」参照。）

温度高の警報設定値は，使用済燃料貯蔵プール温度が燃料プール冷却浄化系により通常52℃以下で維持されており，使用済燃料貯蔵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，使用済燃料貯蔵プールの最高許容温度（65℃）に余裕を持たせた温度（55℃）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（T.M.S.L. 30190mm）においても温度高の警報出力ができる設置位置（T.M.S.L. 29873mm）とする。

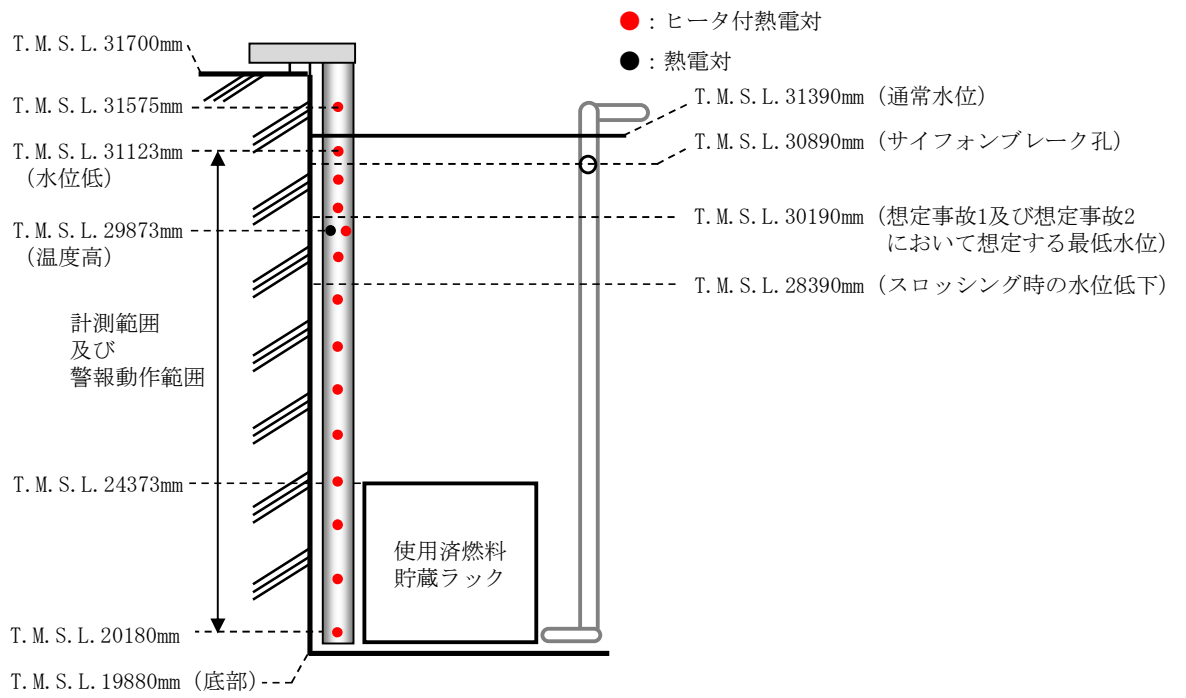


図1-6 使用済燃料貯蔵プール水位・温度 (SA広域) の設置図

1.7 使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA）及び使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA広域）の設定点

1.7.1 使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA）

(1) 目的

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

使用済燃料貯蔵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。

- ・使用済燃料貯蔵プールの水位低下時にサイフォンブレイク孔が有効に機能しているか把握すること
- ・使用済燃料貯蔵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

使用済燃料貯蔵プール水位・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1-7のとおり設定する。

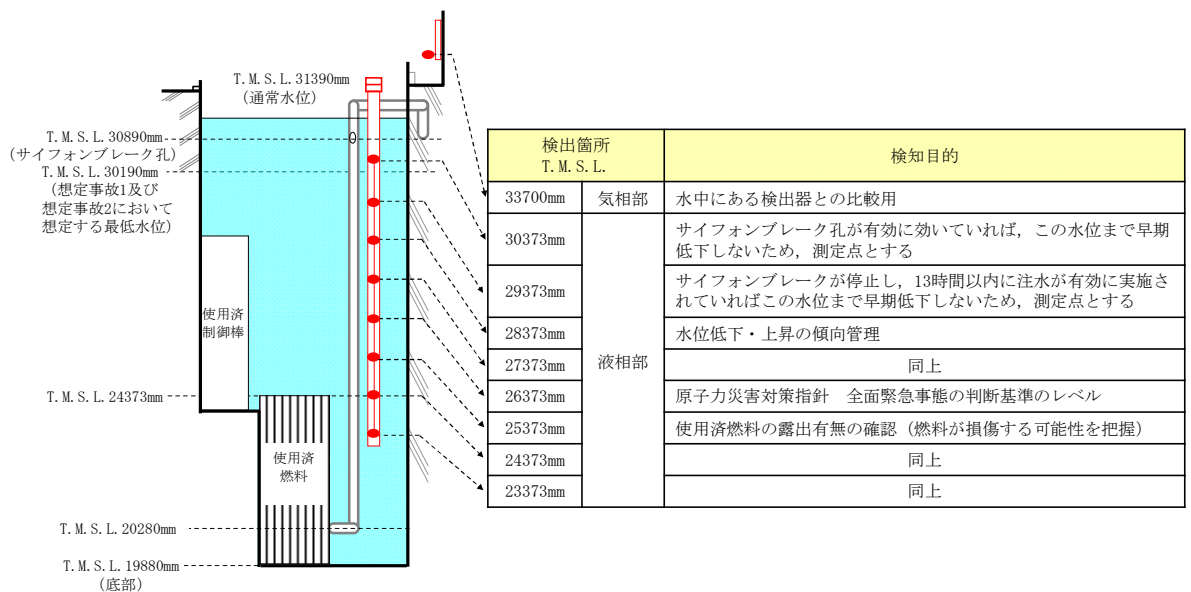


図1-7 使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA）の水位設定点

1.7.2 使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA広域）

(1) 目的

使用済燃料貯蔵プールの水位低下が発生した場合に、使用済燃料貯蔵プール水位（SA広域）において使用済燃料貯蔵プール底部まで複数の温度計（熱電対）にて使用済燃料貯蔵プールの水位を検知する。

使用済燃料貯蔵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。

- ・使用済燃料貯蔵プールの水位低下を早期に検知すること
- ・使用済燃料貯蔵プールの水位低下時にサイフォンブレイク孔が有効に機能しているか把握すること
- ・使用済燃料貯蔵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
- ・使用済燃料貯蔵プール底部付近の水位検知の有無を把握すること

(2) 設定点

使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA広域）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1-8のとおり設定する。

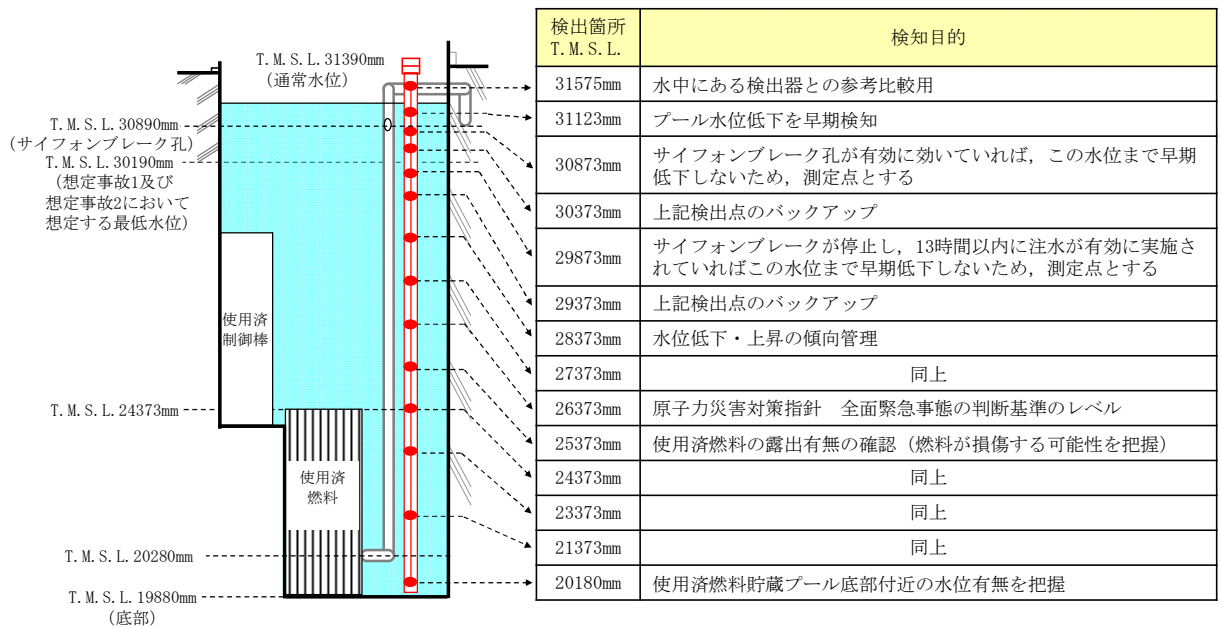


図1-8 使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA広域）の水位設定点

1.8 使用済燃料貯蔵プール水位・温度 (SA) 及び使用済燃料貯蔵プール水位・温度 (SA広域) の測定方法

(1) 検出原理

使用済燃料貯蔵プール水位 (SA) 及び使用済燃料貯蔵プール水位 (SA広域) 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。ヒータ付熱電対の検出点が気中にあるときにヒータを加熱すると、熱電対が検出する温度はヒータ加熱時間にほぼ比例して上昇する。一方、検出点が水中にあるときにヒータを加熱すると、熱電対が検出する温度はヒータ加熱開始後、数十秒で飽和する。これは気中と水中とで熱伝達率が異なっているためである。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。検出点を使用済燃料貯蔵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使用済燃料貯蔵プール水位を計測することができる。(図1-9「熱電対 (ヒータ付) 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、ヒータ加熱時間は約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。

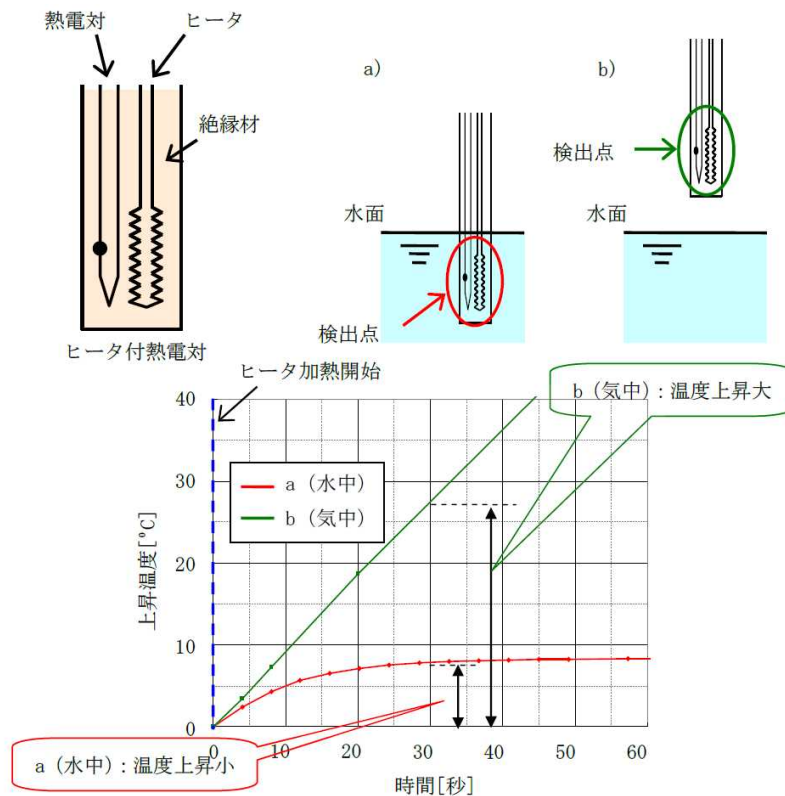


図1-9 熱電対 (ヒータ付) による水位検出原理

(2) 事故時の計測性能の信頼性

燃料貯蔵設備に係る重大事故等時において、使用済燃料貯蔵プール温度の上昇に伴い、沸騰による使用済燃料貯蔵プール水位の低下が想定される。その場合は、気中部分の熱電対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100℃まで加熱（沸騰状態）した状態から水位を低下させた試験を実施している。

ヒータ付熱電対の応答性について、水位を低下させてJP2（真ん中の温度計）温度計の挙動を確認した。

JP2温度計が水面下（水中）の場合は温度上昇することなく水温を測定しているが、検出器が水面以上（気中）となった場合はヒータによる加熱で温度が顕著に上昇し始めることが確認されており、検出点をヒータで加熱することにより水中／気中の判定は可能である。（図1-10「高温状態の試験結果」参照。）なお、ヒータONによる水位判定は約60秒であり、その後ヒータOFFすることで、水中にある熱電対の指示値は、ヒータON前の水温に約60秒で復帰する。

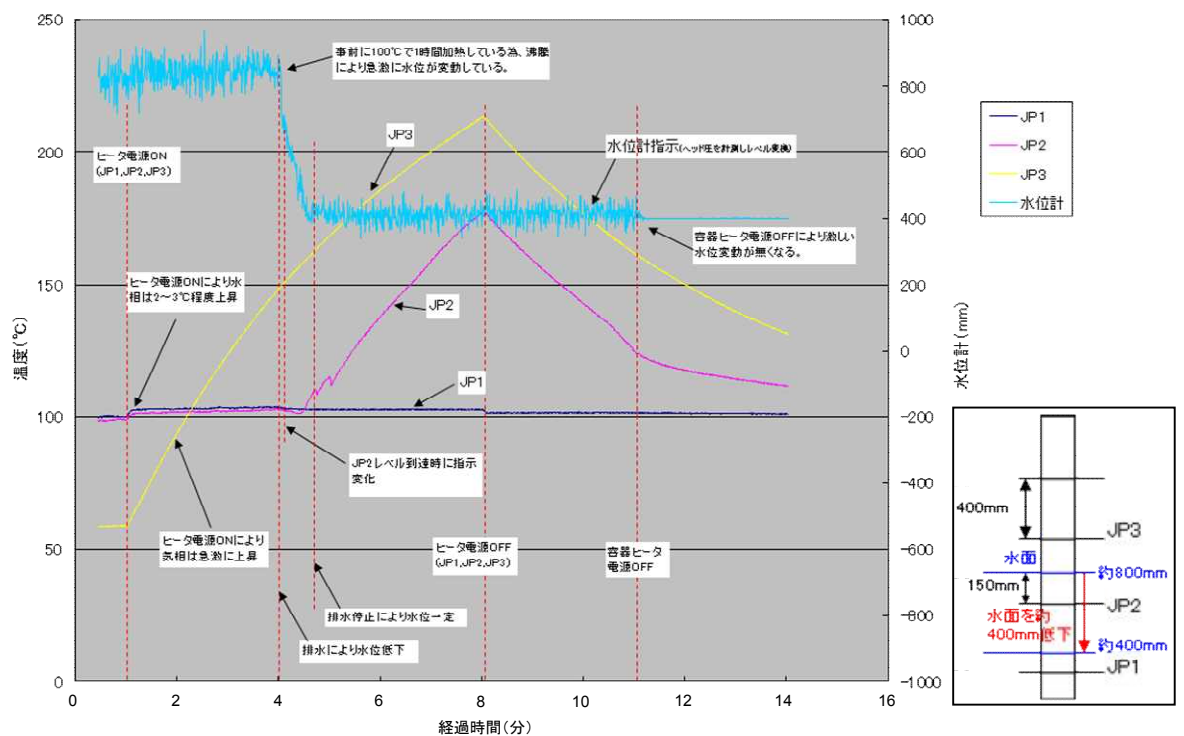


図1-10 高温状態の試験結果

(3) 温度計及び水位計としての機能維持

使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA広域）は、熱電対による温度にて水温及び水位を測定する二つの機能を持つ。

温度計に関しては、14箇所の温度を測定することで多重性を持つ設計とする。また、ヒータ付きの熱電対であるが全ての熱電対に対して同時にヒータを使用することはないため使用済燃料貯蔵プールの温度については連続して測定が可能である。

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り熱電対が水中又は気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測定が不可能とならないように、各熱電対に対して順番に一定時間ヒータON/OFFを繰り返して実施することで、同時に水位・温度計測が可能な設計とする（14箇所の熱電対を上から交互に2グループに分けて、1分間ヒータONを繰り返して約7分で1周させる）（図1-11「ヒータON/OFFの概要」参照）。

使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA広域）は、重大事故等対処設備であるが使用済燃料貯蔵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）測定している。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。

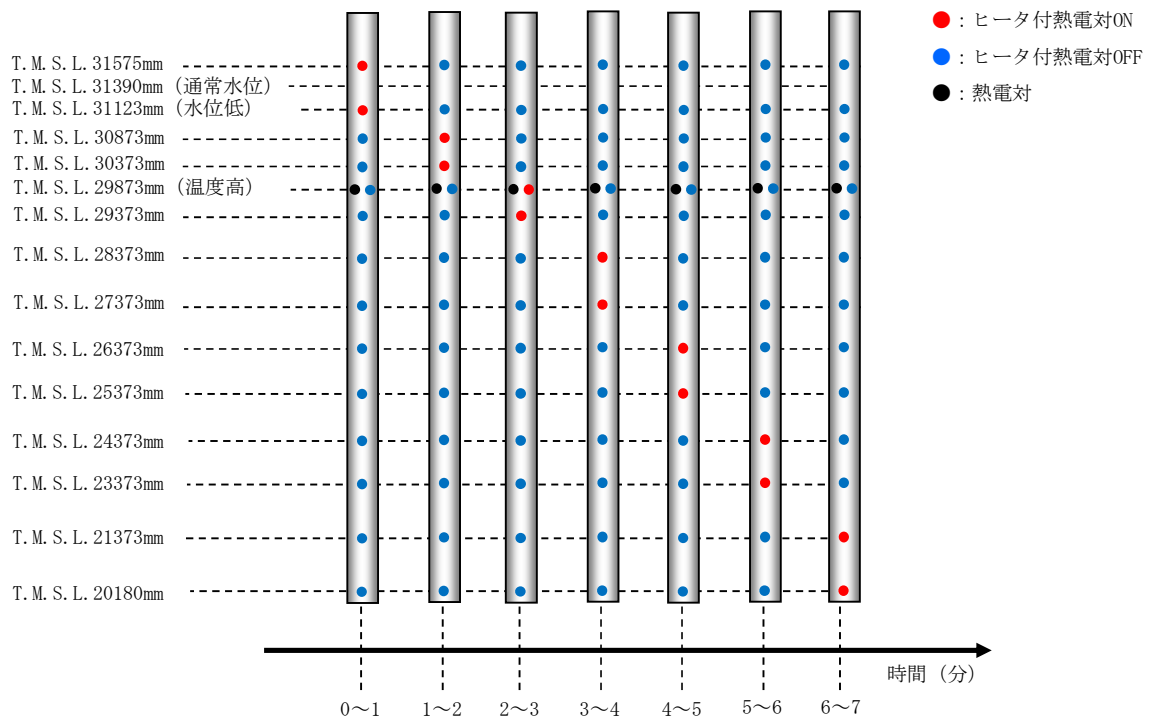


図1-11 ヒータON/OFFの概要

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条及びその解釈の3-1(a)及び(b)で定義する想定事故1（使用済燃料貯蔵槽の冷却機能又は注水機能が喪失することにより、使用済燃料貯蔵槽内の水の温度が上昇し、蒸発により水位が低下する事故）及び想定事故2（サイフォン現象等により使用済燃料貯蔵槽内の水の小規模な喪失が発生し、使用済燃料貯蔵槽の水位が低下する事故））における使用済燃料貯蔵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、約7分間隔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使用済燃料貯蔵プールの水位低下速度

	水位低下速度	7分間での水位低下
想定事故 1	約 0.08m/h	約 10mm
想定事故 2	約 0.29m/h	約 34mm

注記：水位低下速度及び7分間での水位低下は燃料有効長冠水部以上の水位での値を示す。

2. 使用済燃料貯蔵プール監視カメラについて

2.1 使用済燃料貯蔵プール監視カメラの視野概要

使用済燃料貯蔵プール監視カメラは、重大事故等対処設備の機能を有しており、使用済燃料貯蔵プール及びその周辺の状態が確認できるよう高所に設置し、燃料貯蔵設備に係る重大事故等時において、使用済燃料貯蔵プールの状態を監視する。また、照明がない場合や蒸気雰囲気下においても使用済燃料貯蔵プールの状態が監視できる赤外線監視カメラである。

使用済燃料貯蔵プールの水位が低下した場合、水面は一様に低下するため、一部の水面が使用済燃料貯蔵プール監視カメラの視野外にあっても使用済燃料貯蔵プールの状態を監視することが可能である。また、使用済燃料貯蔵プール上端が確認できる角度にあることから、使用済燃料貯蔵プール監視カメラの設置位置は妥当である。

使用済燃料貯蔵プール監視カメラの視野概略図を図 2-1 に示す。

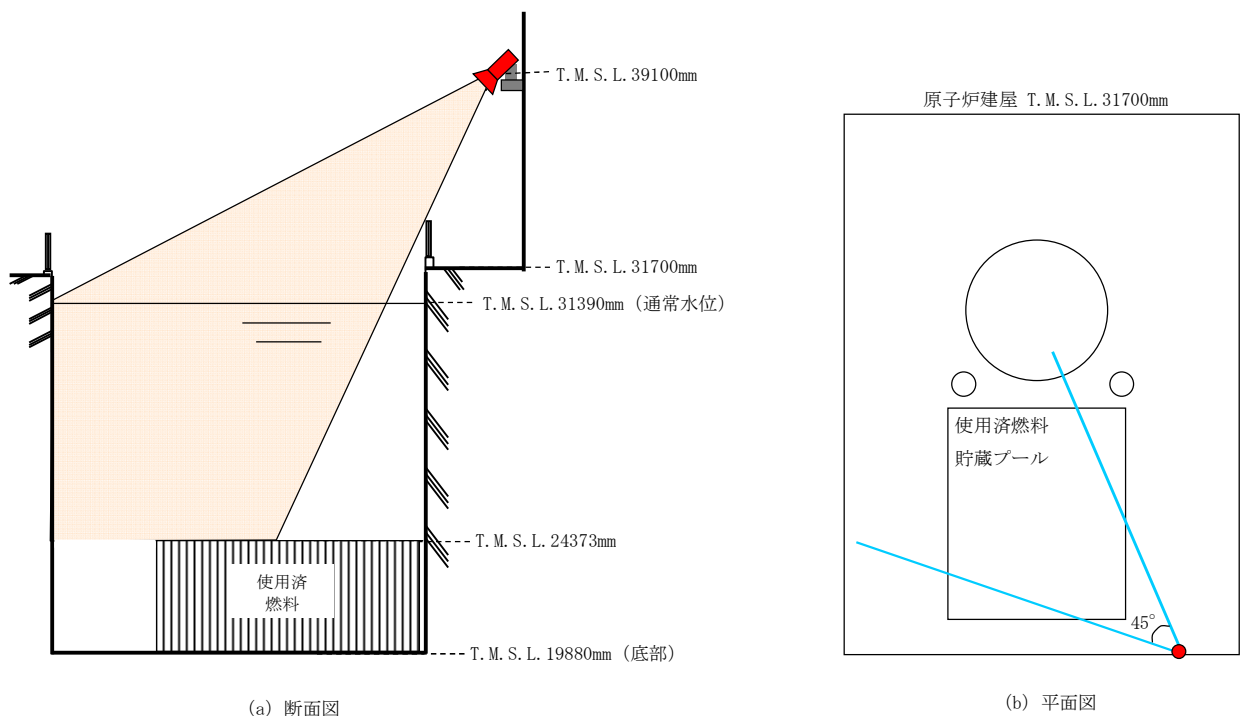


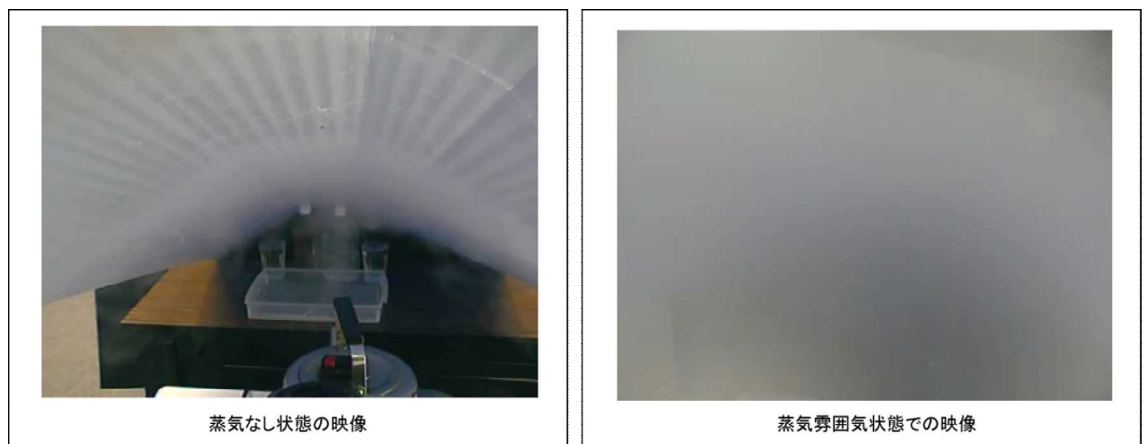
図 2-1 使用済燃料貯蔵プール監視カメラの視野概略図

2.2 蒸気雰囲気下での使用済燃料貯蔵プール監視カメラの監視性

2.2.1 可視カメラと赤外線カメラの映像比較

蒸気雰囲気下（沸騰したヤカンの蒸気に加え、空焚きした鍋に水を注いだ状態）と蒸気なし状態において、可視カメラと赤外線カメラの映像を比較した結果、可視カメラにおいては、蒸気雰囲気下では蒸気によるレンズの曇りによって、状態把握が困難であるが、赤外線カメラは大きな影響は見られなかったことから、赤外線カメラにおいては、蒸気雰囲気下でも状態監視可能である。（図 2-2「可視カメラと赤外線カメラの映像比較」参照。）

①可視カメラ



②赤外線カメラ

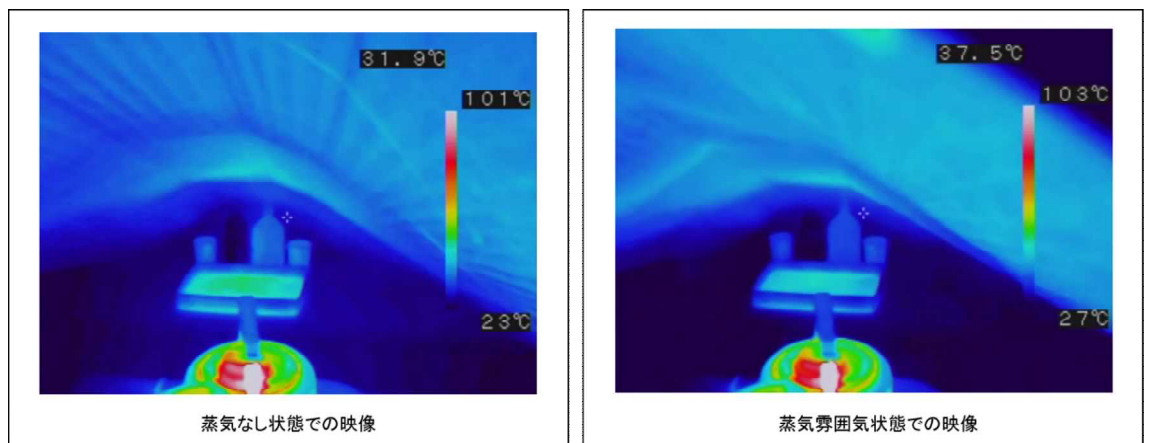


図 2-2 可視カメラと赤外線カメラの映像比較

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

使用済燃料貯蔵プール監視カメラは耐環境性向上のため使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置で冷却を行うが、使用済燃料貯蔵プール監視カメラが設置されている原子炉建屋（T.M.S.L. 31700mm）の温度は100℃と想定されることから温度差による結露の発生が考えられる。赤外線カメラのレンズ表面に結露なしの状態と、レンズ表面に結露を模擬した状態のカメラ映像を比較した結果、結露ありの場合についても結露なしの状態と変化が見られないことから、赤外線カメラにおいては、カメラのレンズ表面に結露が発生した場合にも状態監視可能である。（図2-3 「赤外線カメラのレンズに結露が発生状態での監視」参照。）

③赤外線カメラのレンズに結露を模擬

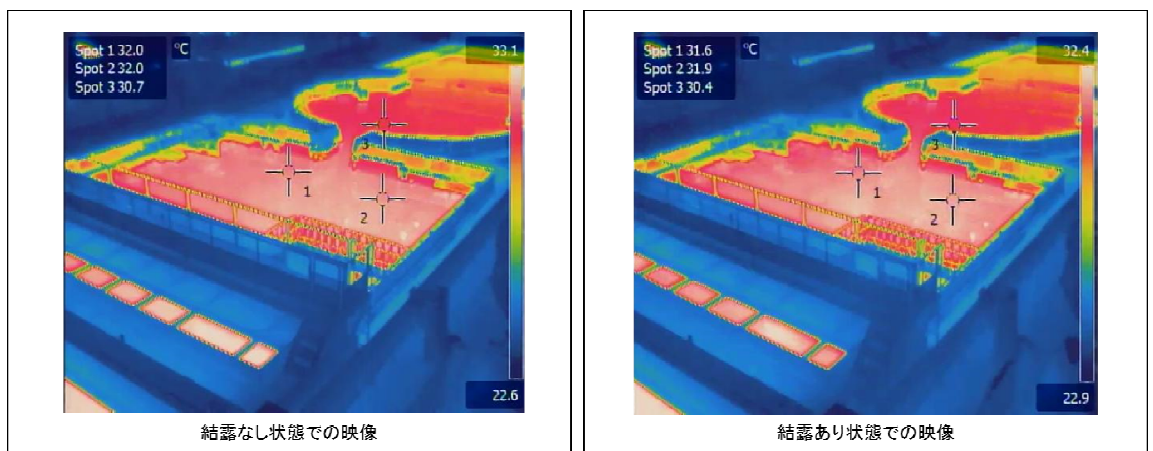


図2-3 赤外線カメラのレンズに結露が発生状態での監視

2.3 使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置

使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置は、重大事故等対処設備の機能を有しており、コンプレッサ、冷却器、エアクーラ等で構成し、燃料貯蔵設備に係る重大事故等時に使用済燃料貯蔵プール監視カメラの耐環境性向上用の空気を供給する。コンプレッサ及び冷却器は3台設置し、コンプレッサは3台で必要流量141.5L/min以上を確保する（図2-4「使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置の概略構成図」参照。）

使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置は常設設備とし、使用済燃料貯蔵プール監視カメラの冷却に必要な空気を設置場所（原子炉建屋内の原子炉区域外）での操作のみで確保できる。試験等により必要流量が確保されていることを確認し、試験後は流量等に影響を与える操作をしないことで必要な流量を確保する。

なお、使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置は、常設代替交流電源設備である第一ガスタービン発電機又は可搬型代替交流電源設備である電源車から給電が可能である。

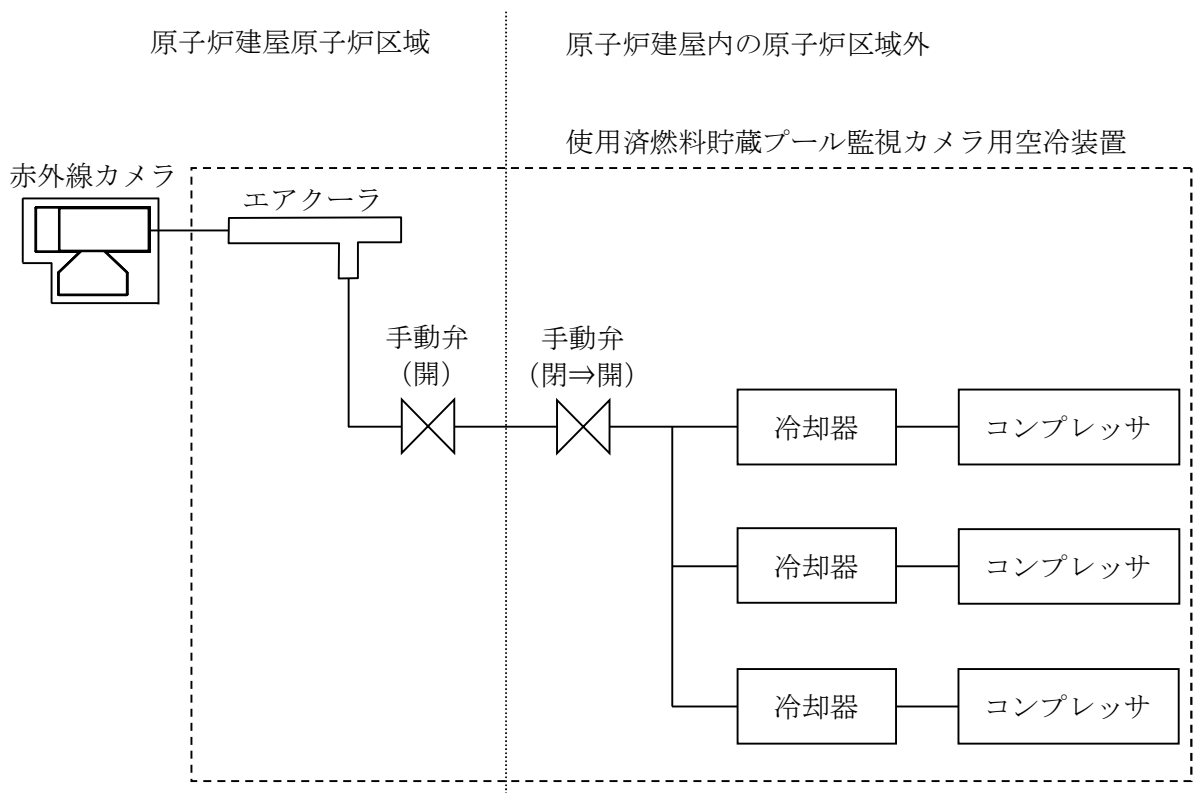


図2-4 使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置の概略構成図

2.3.1 使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置のコンプレッサ、冷却器、エアクーラの機能及び原理

(1) コンプレッサ

コンプレッサは、コンプレッサ内を往復するピストンの作用で、内部の空間容積を変化させることにより、空気を圧縮し、圧縮された空気を冷却器に送り出す。コンプレッサは、交流電源を必要とする。

(2) 冷却器

冷却器では、コンプレッサより送られてくる空気の湿分を除去するため、冷却器内を循環する冷媒によりコンプレッサから送られてくる空気を冷却する。冷却器は交流電源を必要とする。冷却器の概要図を図 2-5 に示す。

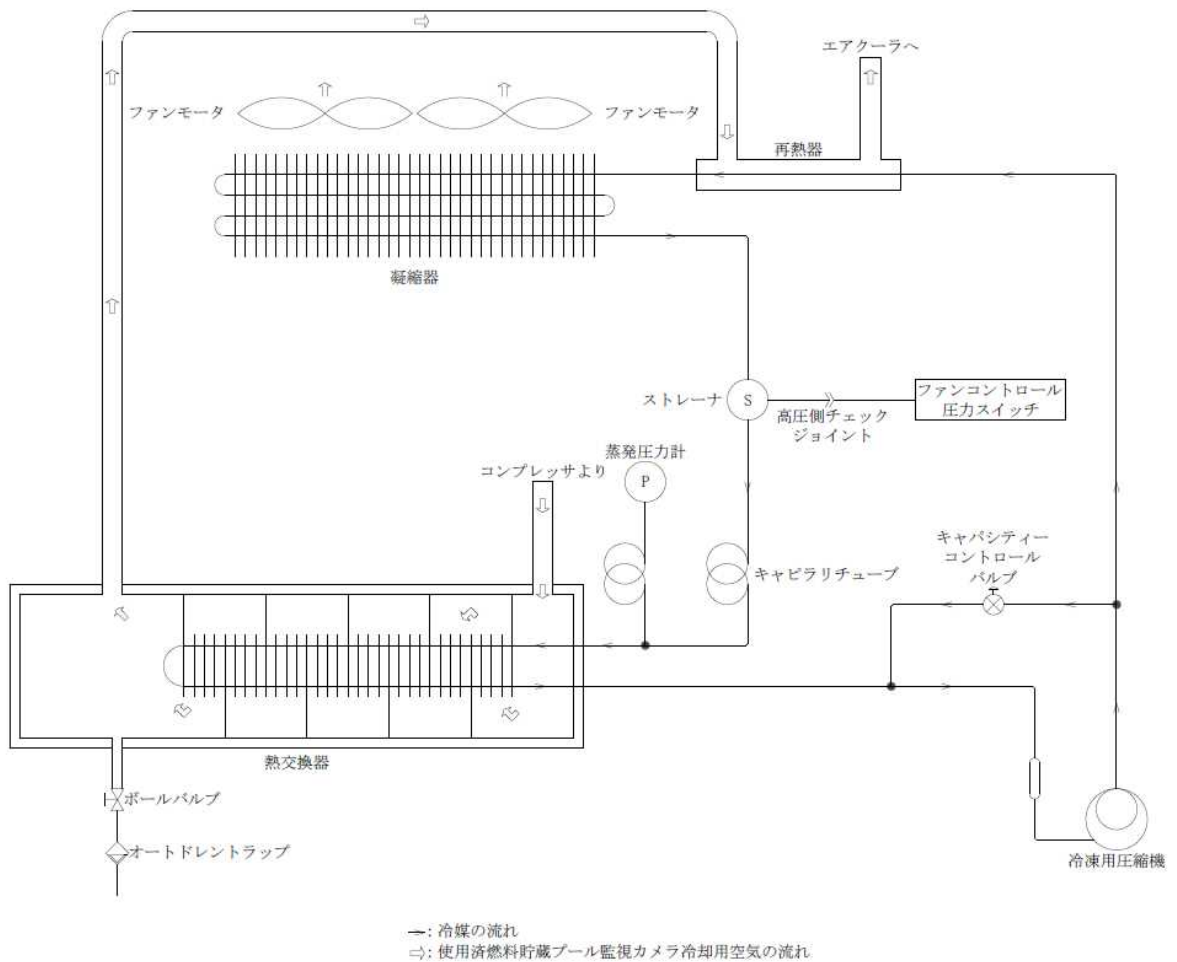


図 2-5 冷却器の概要図

(3) エアクーラ

a. エアクーラの仕様

エアクーラの基本仕様を表 2-1 に示す。

表 2-1 エアクーラの基本仕様

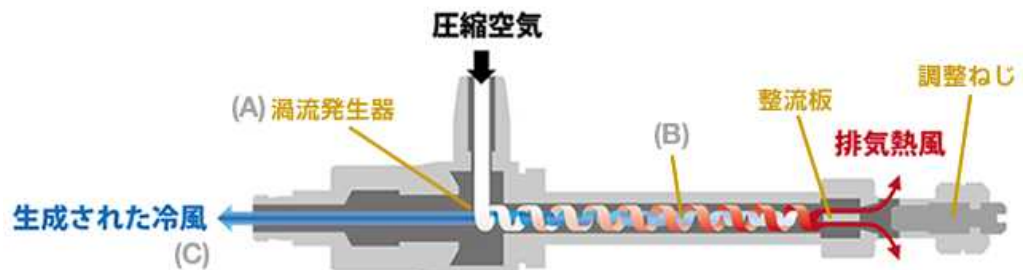
項目	仕様
圧縮空気圧	0.3~0.7MPa
消費空気量	165~390L/min
冷風率	25~75%*
重量	380g

*：冷風率は調整ねじによりあらかじめ 70% で固定とする。

b. エアクーラの機能及び原理

コンプレッサから供給された圧縮空気は、渦流発生器（ゼネレータ）により接線方向に音速で吐出され、膨張すると共に高速回転し渦流となって、(A) から (B) の方向へ移動する。この時、整流板と調整ねじの間の空間によって熱風排出口から排出される空気量(冷氣比率)が定まる。

一方、排気されない残留空気は渦流の遠心力によってできた内側の空洞内を外側の渦流と同方向に回転しながら冷風となって、冷風出口 (C) の方へ流れる。



(東浜工業株式会社, 東浜商事株式会社 HP より)

図 2-6 エアクーラの構造

器内に発生した渦流には大きな遠心力が働いて圧力、密度が急上昇し、抵抗を増加して温度が上昇する。この時に渦流の外側ほど周速は大きく、また温度も高くなり渦流の中心部との間に大きな圧力差を生じる。渦流の中心部を空気が (B) から (C) 冷風出口の方向へ移動する時に膨張しながら減速による制動作用のため外側の渦流に対して仕事を行うため、外側では温度が上がり、中心部には低温の空気ができる。また、暖かい空気から供給された熱量と冷たい空気から持ち去られた熱量は常に等しいので調整弁から外側の熱量の排出量を多くすることにより、内側の冷氣量が少なくなり、温度の低下は大きくなる。

3. 大量の水の漏えいその他要因により使用済燃料貯蔵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

使用済燃料貯蔵プールからの大量の水の漏えいその他の要因により使用済燃料貯蔵プールの水位が異常に低下する事象においては、使用済燃料貯蔵プールの水位及び温度による監視を継続し、水位監視を主としながら必要に応じて、使用済燃料貯蔵プール監視カメラにより使用済燃料貯蔵プールの状態を監視する。

- ・使用済燃料貯蔵プール水位の異常な低下事象時における水位監視については、使用済燃料貯蔵プール底部までの水位低下傾向を把握するため、使用済燃料貯蔵プール水位（SA 広域）を配備する。

【水位監視】

燃料貯蔵設備に係る重大事故等により変動する可能性のある範囲にわたり水位監視を行う。

【温度監視】

水位監視を主として、使用済燃料貯蔵プール温度（SA 広域）にて温度監視を行う。
（温度は沸騰による蒸発状態では、使用済燃料プール水の温度変化がないことから、必要に応じて監視する。）

使用済燃料貯蔵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は、図 3-1「使用済燃料貯蔵プールの水位が異常に低下した場合の監視設備概略図」に示す。

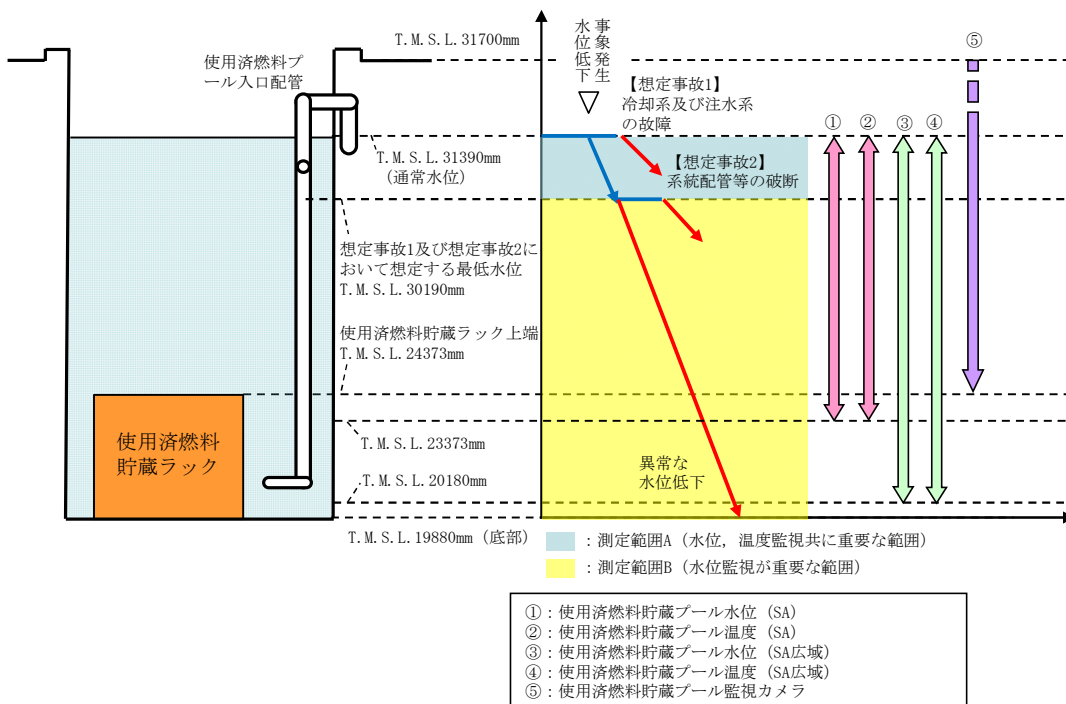


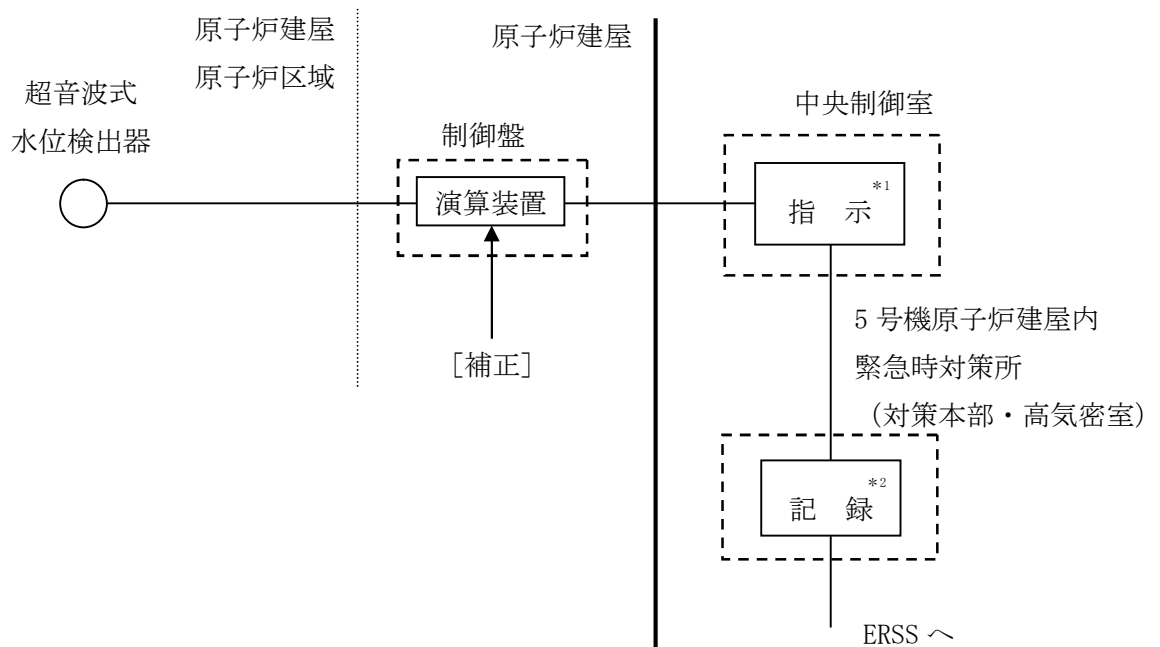
図 3-1 使用済燃料貯蔵プールの水位が異常に低下した場合の監視設備概略図

4. 使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）について

4.1 使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）

自主対策設備である使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の検出信号は、超音波式水位検出器からの電流信号を、制御盤内の演算装置にて補正演算を行い中央制御室の指示部にて水位信号へ変換する処理を行った後、使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）を中央制御室に指示し、緊急時対策支援システム伝送装置にて記録及び保存する。記録及び保存について「4.2 計測結果の表示、記録及び保存」に示す。（図4-1「使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の概略構成図」及び図4-2「使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の構造図」参照。）

使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）は、非常用直流電源設備から給電する。外部電源が喪失した場合には、所内蓄電式直流電源設備であるAM用直流125V蓄電池又は可搬型直流電源設備である電源車及びAM用直流125V充電器から給電が可能である。電源構成について「4.3 電源構成」に示す。



注記*1 : 記録計

*2 : 緊急時対策支援システム伝送装置

図4-1 使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の概略構成図

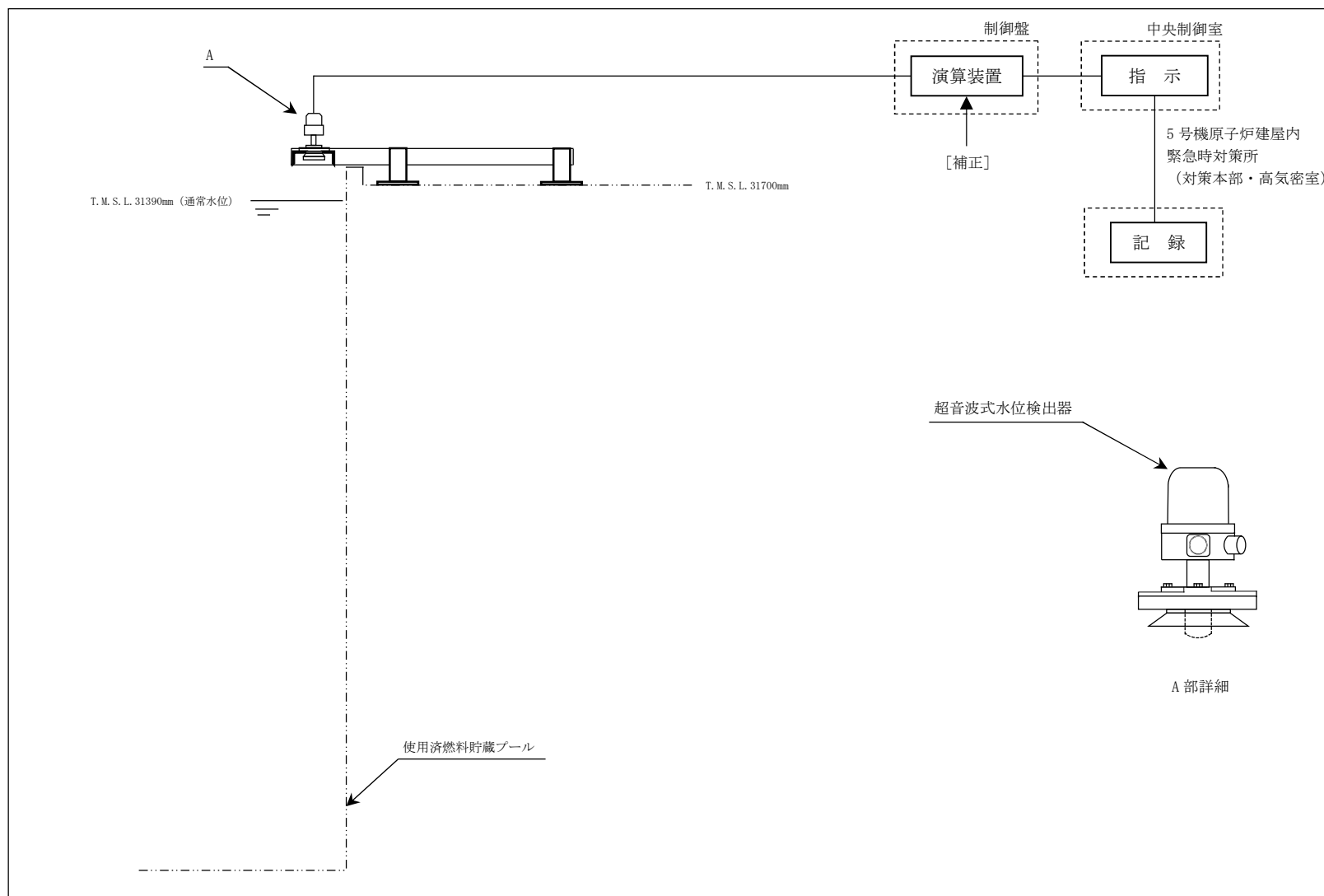


図 4-2 使用済燃料貯蔵プール水位 (超音波式) の構造図

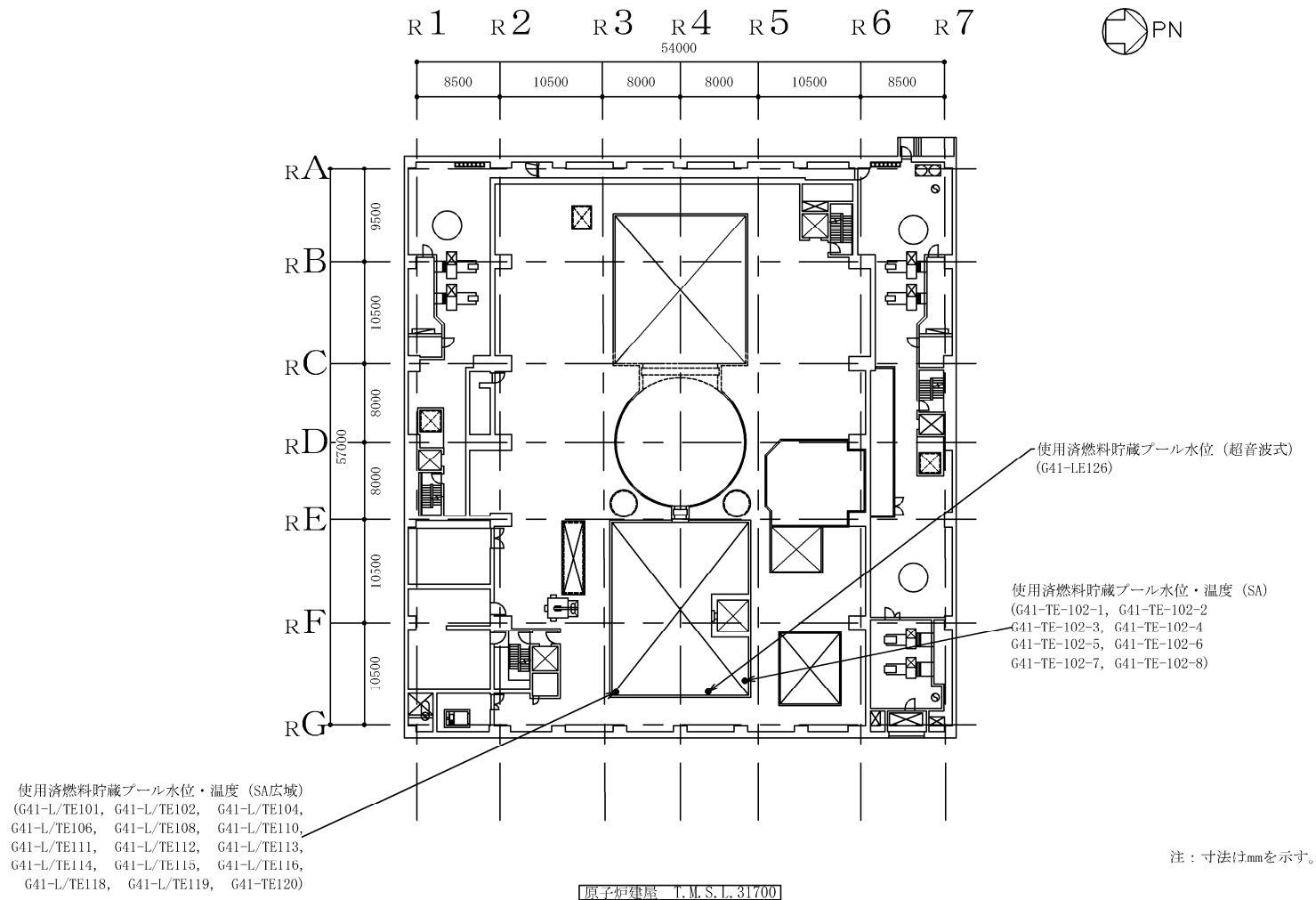


図4-3 使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の取付箇所を明示した図面

4.2 計測結果の表示，記録及び保存

使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の計測結果は，中央制御室に指示又は表示し，記録できる設計とする。使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の計測結果の指示又は表示場所及び記録場所を表 4-1「使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の計測結果の指示又は表示場所及び記録場所」に示す。

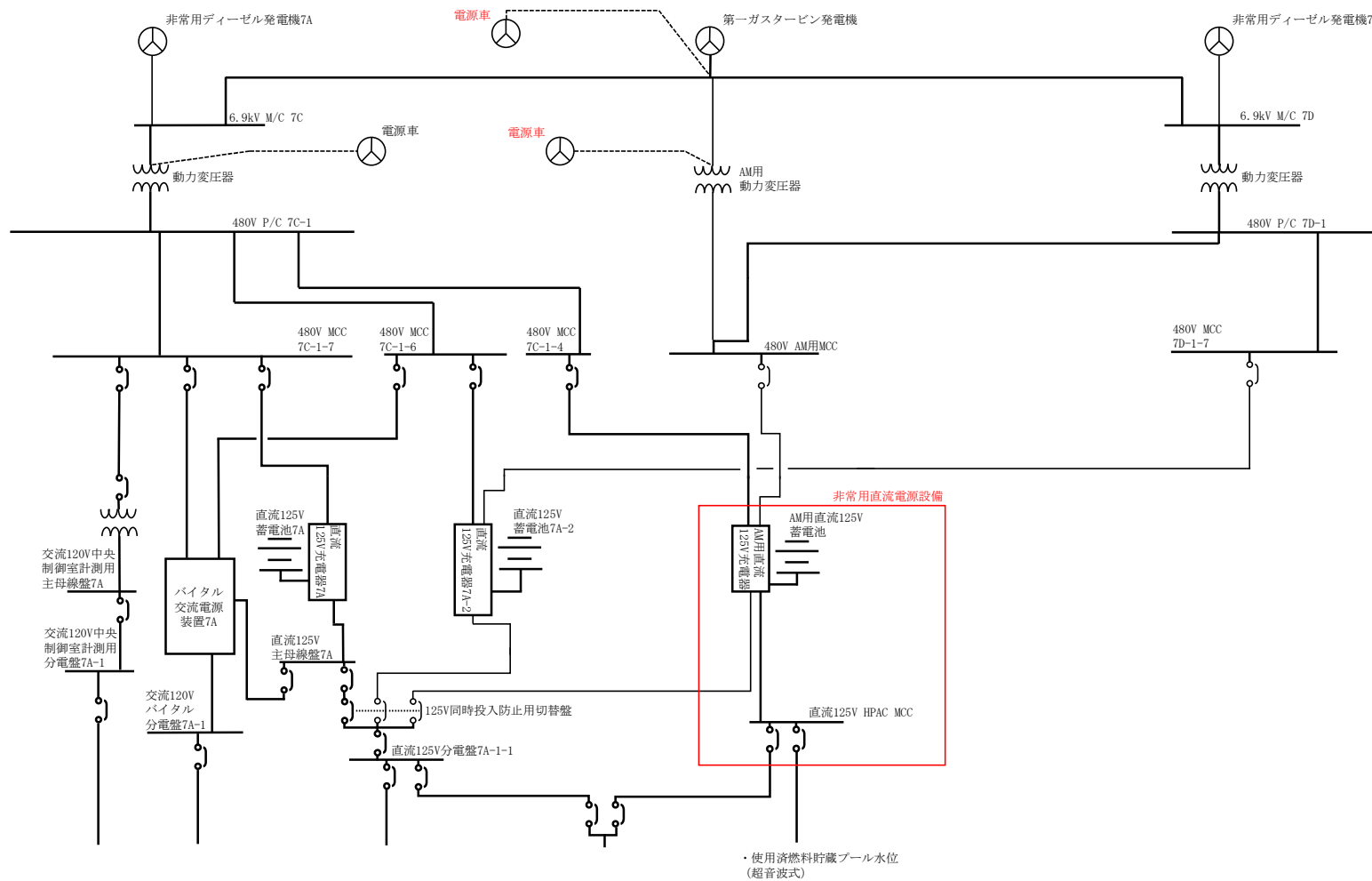
使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の計測結果は，緊急時対策支援システム伝送装置に電磁的に記録，保存し，電源喪失により保存した記録が失われないとともに，帳票として出力できる設計とする。また，プラント状態の推移を把握するためにデータ収集周期は1分，記録の保存容量は計測結果を取り出すことで継続的なデータを得ることができるよう，14日以上保存できる設計とする。

表 4-1 使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の計測結果の指示又は表示場所及び記録場所

計測装置	指示又は表示場所	記録場所
使用済燃料貯蔵プール水位 （超音波式）	中央制御室	中央制御室（記録計） 5号機原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部・高気密室）（緊急時対策支援システム伝送装置）

4.3 電源構成

使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）は，非常用直流電源設備から給電する。外部電源が喪失した場合には，所内蓄電式直流電源設備である AM 用直流 125V 蓄電池又は可搬型直流電源設備である電源車及び AM 用直流 125V 充電器から給電が可能である。（図 4-4「使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の概略電源系統図」参照。）




【凡例】
M/C : メタルクラッド開閉装置
P/C : パワーセンタ
MCC : モータコントロールセンタ
 : 配線用遮断器

図 4-4 使用済燃料貯蔵プール水位 (超音波式) の概略電源系統図

4.4 計測範囲

使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）は，自主対策設備であるが使用済燃料貯蔵プールに照射された燃料を貯蔵している期間は水位を常時（点検時を除く）測定している。

使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の計測範囲は，想定事故 1，想定事故 2 及び使用済燃料貯蔵プールからの大量の水の漏えいその他要因により当該使用済燃料貯蔵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（T. M. S. L. 24373mm）から使用済燃料貯蔵プール上端近傍（T. M. S. L. 31513mm）計測範囲とする。（図 4-5「使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の設置図」参照。）

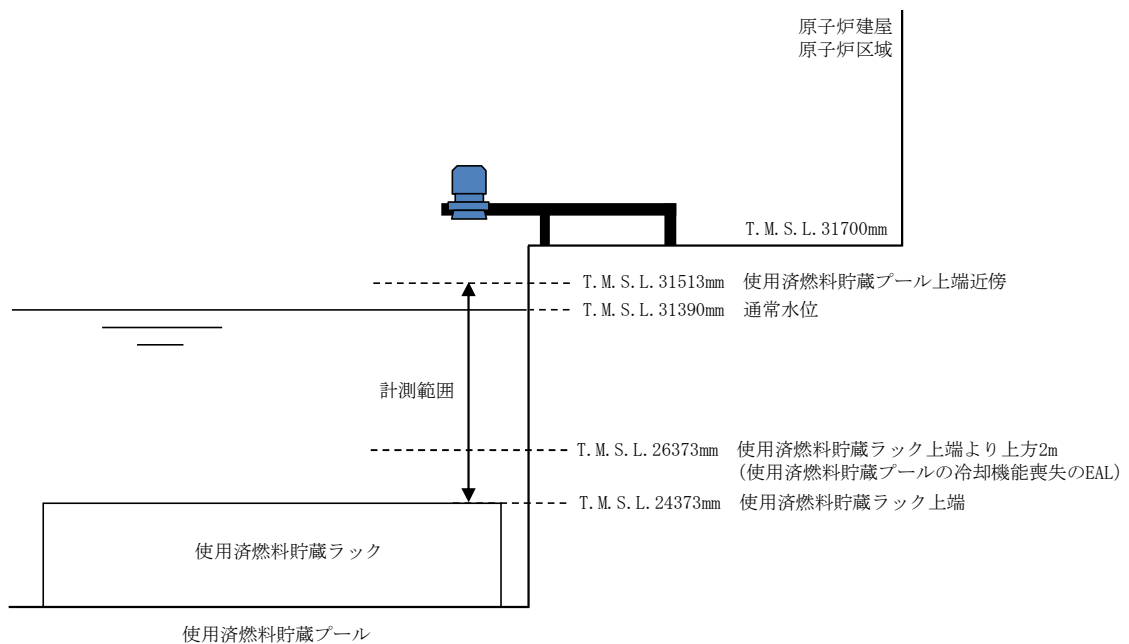


図 4-5 使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の設置図

4.5 測定原理

超音波式水位検出器の測定原理は、図4-6「超音波式水位計の測定原理」に示すとおり、超音波式水位検出器から測定液面に向けてパルス状の超音波を出し（送信）、測定液面で超音波が反射し超音波式水位検出器に戻ってくる（受信）時間を測定し、水位に換算する。

超音波の送信から受信までの時間を伝搬時間とすると、超音波の伝搬速度を求めることで、超音波式水位検出器から測定液面までの距離を算出することができる。

超音波の伝搬速度（音速）は、温度で変化するため、温度による補正を実施する必要がある。ただし、図4-7「温度と音速の関係」に示すとおり、その関係は非線形であることから、演算装置で伝搬速度を求めるために、温度を区分に分けて線形近似補正を行う方針とする。

超音波水位検出器は以下のa～cを行い、水位を算出する。

- 超音波水位検出器は送信①のタイミングで超音波を測定液面に向かって送信する。
- 測定液面を反射した超音波を受信②の信号として超音波水位検出器が受信する。
- 送信①～受信②の伝搬時間から水位を算出する。

[伝搬時間の計算]

測定液面が使用済燃料貯蔵ラック上端まで下がった際の伝搬時間は以下となる。

計算条件 超音波水位検出器から使用済燃料貯蔵ラック上端までの距離：7707mm

周囲環境温度：0℃（伝搬時間が長くなる0℃で計算）

音速：331m/s

上記条件から伝搬時間を求めると、約47msecであることから、超音波水位検出器が超音波を送信する送信間隔の約200msec内に超音波を受信することができる。

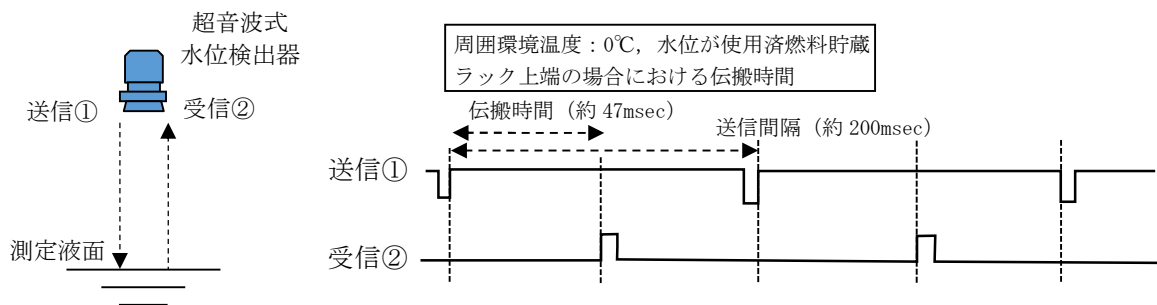


図4-6 超音波式水位計の測定原理

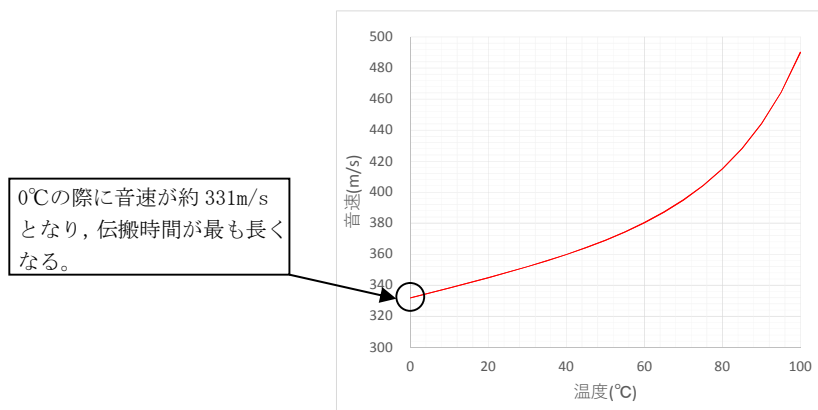


図4-7 温度と音速の関係

4.6 健全性

4.6.1 悪影響防止

使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）は、他の設備への悪影響防止を考慮した設計とする。自主対策設備を使用することによる悪影響検討結果は、V-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」の補足説明資料「11. 自主対策設備の悪影響防止について」のとおり、以下の内容である。

直接影響：使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）は、他の設備と電氣的な分離をすることから、使用による悪影響なし。

間接影響：使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）は、設備の健全性を確認した条件下で使用することから、使用による悪影響なし。

「4.6.2 健全性について」に示すとおり、重大事故等時の環境性能において健全性が確認できていること、及び「4.6.4 耐震性」に示すとおり、耐震性を確保できていることから、使用による悪影響はない。

発電所におけるリソースの消費：

使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の監視に人員を要するが、必要な人員を想定した手順が確立され、それに基づき対応するため、悪影響なし。

使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）は、電源を要するが、他の設備の使用に悪影響が生じないよう必要な電源を確保できる場合のみ使用する。

4.6.2 健全性について

使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）は、想定される重大事故等時の設置場所における環境条件を考慮した設計とする。

(1) 使用環境

使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の環境条件は、表4-2「使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の耐環境試験の評価結果」に示す通り、有効性評価で想定される環境条件を包絡する環境条件を設定する。

(2) 健全性

使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の検出器及びケーブルを図4-8「耐環境試験回路」に示すとおり設置し耐環境試験を実施している。使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）は、表4-2及び表4-3「使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の耐環境試験の評価結果（詳細）」に示す通り、環境条件を満足する試験条件で耐環境試験を実施し、健全性を維持できることを確認している。

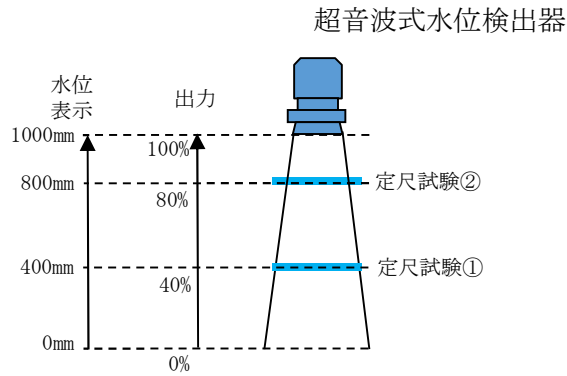


図 4-8 耐環境試験回路

表 4-2 使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の耐環境試験の評価結果

項目	環境条件 (包絡条件)	試験結果	評価結果
温度	100℃ (168 時間)	[Redacted]	想定される環境温度での機能維持を確認しており，健全性を維持できる。
湿度	蒸気 (168 時間)		想定される環境湿度での機能維持を確認しており，健全性を維持できる。
圧力	3.5kPa (168 時間)		想定される環境圧力での機能維持を確認しており，健全性を維持できる。
放射線	510Gy / 168 時間		想定される環境線量での機能維持を確認しており，健全性を維持できる。

表 4-3 使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の耐環境試験の評価結果（詳細）

項目	判定基準	試験前	試験後	評価結果
定尺試験①	出力：40.0% ^{*1} ±1.0%F.S. 以内 ^{*2}	[Redacted]		良

注記*1：試験では，出力が40.0%となる位置に反射板を設定する。

*2：超音波水位検出器は，超音波の送信と受信のみを行っている。精度への影響は音速によるものであり，測定する距離は精度には影響を与えないことから，送信波に対する受信波の確認として，1点確認の定尺試験を行っている。

4.6.3 水位が異常に低下した場合における健全性について

使用済燃料貯蔵プールの水位が異常に低下した場合には、使用済燃料貯蔵プール周辺の積算放射線量（7日間）が高くなる。このことから、使用済燃料貯蔵プールの水位が異常に低下した場合の放射線量評価を行い、放射線試験結果から使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の水位監視機能が健全性を維持できることを確認している。

(1) 放射線量評価

使用済燃料貯蔵プールの保有水喪失時における使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の放射線量評価を行う。想定線源（使用済制御棒、使用済燃料）からの放射線量を求める際に設定する評価点との位置関係を図4-9「使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の評価点」に示す。

使用済燃料貯蔵プール水位が、使用済燃料貯蔵プールの底部まで低下した際の積算放射線量の算出結果を表4-4「使用済燃料貯蔵プールの水位が異常に低下した場合の耐放射線性能」の解析結果に示す。

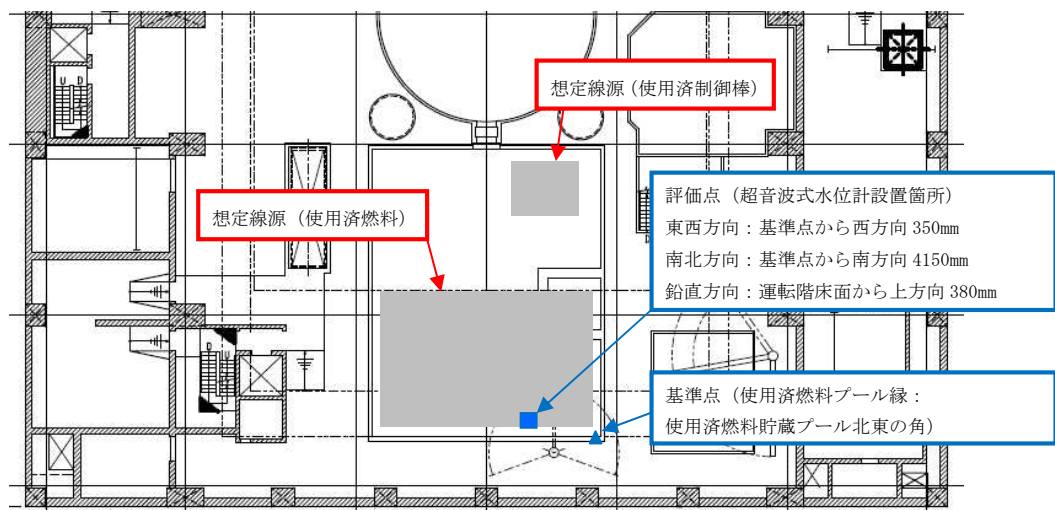


図4-9 使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の評価点

(2) 放射線試験結果

解析結果により得られた積算線量を満足する放射線試験を実施して、表4-4及び表4-5「使用済燃料貯蔵プールの水位が異常に低下した場合の耐放射線性能（詳細）」に示す通り、使用済燃料貯蔵プールの水位が異常に低下した場合においても使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の水位監視機能が健全性を維持できることを確認している。

表 4-4 使用済燃料貯蔵プールの水位が異常に低下した場合の耐放射線性能

項目	解析結果	試験結果	評価結果
放射線		積算線量 200kGy 以上	想定される環境線量での機能維持を確認しており、健全性を維持できる。

表 4-5 使用済燃料貯蔵プールの水位が異常に低下した場合の耐放射線性能（詳細）

項目	判定基準	試験結果			評価結果
		試験前	100kGy 到達後	200kGy 到達後	
定尺試験②	出力：80.0%*1±1.0%F.S 以内*2				良

注記*1：試験では、出力が 80.0%となる位置に反射板を設定する。

*2：超音波水位検出器は、超音波の送信と受信のみを行っている。精度への影響は音速によるものであり、測定する距離は精度には影響を与えないことから、送信波に対する受信波の確認として、1点確認の定尺試験を行っている。

4.6.4 耐震性

耐震評価は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明する。

使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）は、据付架台が床面に基礎ボルトで設置されていることから、基礎ボルトについて引張り及びせん断について耐震評価を実施する。耐震評価部位について、図4-10「使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の概略構造図」に示す。

使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を表4-6「使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の構造強度評価結果」及び表4-7「使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の機能維持評価結果」に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

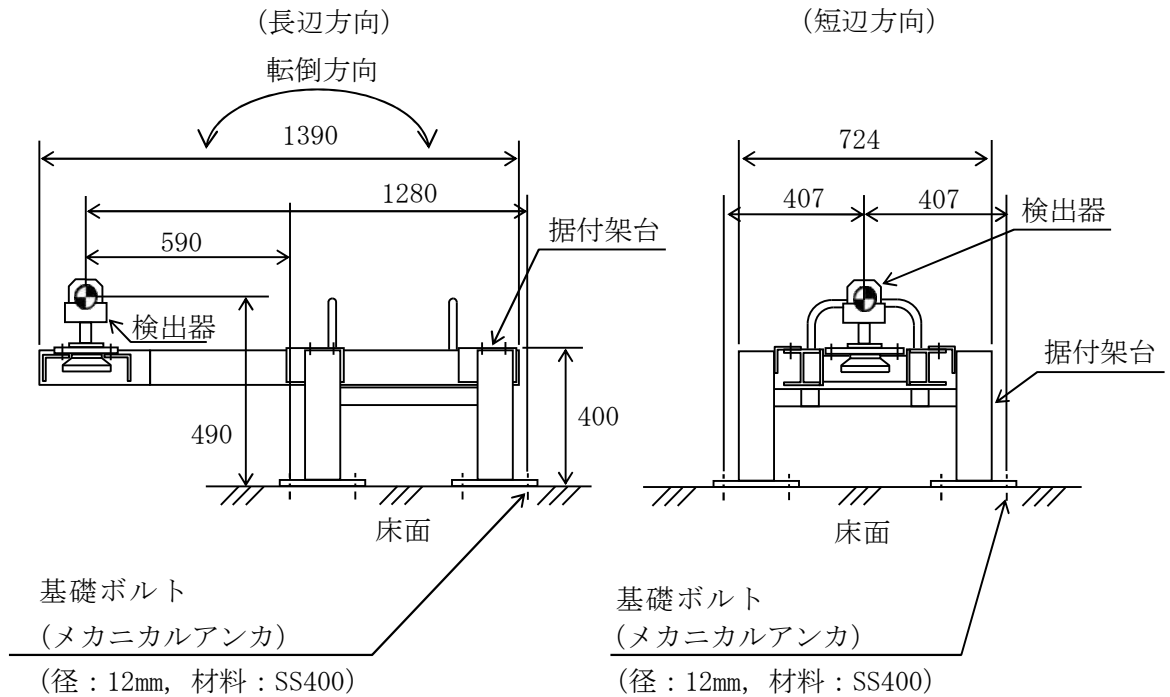


図 4-10 使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の概略構造図

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（ $=9.80665$ ）	m/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
l_1	重心とボルト間の水平方向距離（ $l_1 \leq l_2$ ）	mm
l_2	重心とボルト間の水平方向距離（ $l_1 \leq l_2$ ）	mm
m	検出器及び据付架台の質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図4-10でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図4-10 短辺方向転倒の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_2}{n_f \cdot (l_1 + l_2)}$$

計算モデル図4-10 長辺方向転倒の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h + m \cdot g \cdot (1 + C_V) \cdot l_1}{n_f \cdot (l_2 - l_1)}$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = m \cdot C_H \cdot g$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

【使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）（G41-LE126）の耐震性についての計算結果】

設計条件

機器名称	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
		水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
使用済燃料貯蔵プール水位 (超音波式) (G41-LE126)	原子炉建屋 T. M. S. L. 31.700*	0.05 以下	0.05 以下	C _H =1.38	C _V =1.15	100

注記*：基準床レベルを示す。

機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n
基礎ボルト		490	12 (M12)	113.1	16

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f * (mm)	F* (MPa)	転倒方向
					基準地震動 S _s
基礎ボルト	407	407	4	232	長辺方向
	590	1280	4		

注記*：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。

表 4-6 使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の構造強度評価結果

部材	材料	周囲環境温度 (°C)	応力	基準地震動 S _s	
				算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
基礎ボルト	SS400 (径:12mm)	100	引張り	σ _b =11	f _{t s} =139*
			せん断	τ _b =2	f _{s b} =107

すべて許容応力以下である。

注記*：f_{t s}=Min[1.4・f_{t o}-1.6・τ_b, f_{t o}]

表 4-7 使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の機能維持評価結果

		機能維持評価用加速度* (×9.8m/s ²)	機能確認済加速度 (×9.8m/s ²)
使用済燃料貯蔵プール水位 (超音波式)	水平方向	1.15	
	鉛直方向	0.96	

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

4.7 設備の維持管理

(1) 使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の点検方法

使用済燃料貯蔵プール水位（超音波式）の計測設備は、設置環境や動作頻度に対する故障及び劣化モード等を考慮した適切な周期による定期的な点検（時間基準保全）により、設備性能を確保していることの確認を行う。

対象機器毎の点検項目及び点検内容は、表 4-8 「計測設備の対象機器毎の点検項目及び点検内容」のとおりである。

表 4-8 計測設備の対象機器毎の点検項目及び点検内容

対象機器	点検項目	点検内容
超音波式検出装置	外観点検	各部点検手入れ
	特性試験	直流抵抗測定 校正
演算装置	外観点検	各部点検手入れ
	特性試験	校正
制御盤	外観点検	盤（ラック）、及び取付器具点検手入れ