

敦賀発電所 1 号炉
廃止措置計画変更認可申請について
(審査会合における指摘事項の回答)

2020年11月18日

日本原子力発電株式会社

審査会合における指摘事項及び対応

No.	指摘事項	対応状況
1	圧縮減容装置について、性能維持施設として記載することを検討すること	資料 2 - 1 参照
2	FPC冷却系停止時の燃料プールの水温評価について、FPC系循環運転停止時及び原子炉建物換気系の停止時の影響について説明すること	資料 2 - 2 - 1 資料 2 - 2 - 2 (補足説明資料) 参照

指摘事項

圧縮減容装置について、性能維持施設として記載することを検討すること

これまで、本文五「4. 2. 2 廃止措置期間中に新たに導入する設備」に記載していた圧縮減容装置について、本文六、七及び添付書類六に「専ら廃止措置で使用する性能維持施設」として記載を追加する。

これに伴い、本文五「4. 2. 2 廃止措置期間中に新たに導入する設備」の記載は削除する。

変更認可申請書	追加記載案
<p>六 性能維持施設</p> <p>1 性能維持施設</p> <p>廃止措置を安全に進める上で、放射性物質を内包する系統及び設備を収納する建屋・構築物等、核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設、放射性廃棄物の廃棄施設、放射線管理施設、換気系、並びに消火装置及び非常用照明を廃止措置の進捗に応じて維持管理していく。 (略)</p> <p>以上の基本的な考え方に基づく具体的な性能維持施設を表6-1に示す。</p> <p>廃止措置の進捗に応じて、表6-1に示す性能維持施設を変更する場合は、廃止措置計画に反映して変更認可を受ける。</p> <p>2 性能維持施設の施設管理</p> <p>性能維持施設については、必要な期間中、必要な機能及び性能が維持できるよう、保安規定に施設管理計画を定め、これに基づき施設管理を実施する。</p>	<p>六 性能維持施設</p> <p>1 性能維持施設</p> <p>廃止措置を安全に進める上で、放射性物質を内包する系統及び設備を収納する建屋・構築物等、核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設、放射性廃棄物の廃棄施設、放射線管理施設、換気系、並びに消火装置及び非常用照明を廃止措置の進捗に応じて維持管理していく。 (略)</p> <p>以上の基本的な考え方に基づく具体的な性能維持施設を表6-1に示す。</p> <p><u>なお、性能維持施設のうち、原子炉施設を解体する工事を実施するに当たって、公衆及び放射線業務従事者の受ける線量を抑制し、又は低減する観点その他の原子力安全の観点から、専ら廃止措置で導入するために導入する施設又は設備（以下、「専ら廃止措置で使用する性能維持施設」という。）については、表6-2に示す。</u></p> <p>廃止措置の進捗に応じて、表6-1又は表6-2に示す性能維持施設を変更する場合は、廃止措置計画に反映して変更認可を受ける。</p> <p>2 性能維持施設の施設管理</p> <p>性能維持施設については、必要な期間中、必要な機能及び性能が維持できるよう、保安規定に施設管理計画を定め、これに基づき施設管理を実施する。</p>

【本文六の追記内容】

- 基本的な性能維持施設についての考え方は廃止措置開始以降に導入する施設・設備でも変わらないが、表6-1に記載する性能維持施設は運転中から引き続き使用しているものを記載しているため、廃止措置開始以降に導入するものについて記載するために、新たに表6-2「専ら廃止措置で使用する性能維持施設」を追加する。

表 6 - 2 の記載内容

表 6 - 2 専ら廃止措置で使用する性能維持施設

施設区分	設備等の区分	位置、構造及び設備		機能	性能	維持期間	備考
		設備（建屋）名称	維持台数				
放射性廃棄物の 廃棄施設	固体廃棄物の廃 棄設備	圧縮減容装置	1台	「七 2 専ら 廃止措置で使用 する性能維持施 設の設計及び工 事の方法」に示 す通り	放射性廃棄物処 理機能	放射性固体廃棄物を処理する能力 を有する状態であること。	処理対象となる 廃棄物の処理完 了まで

【表 6 - 2 における圧縮減容装置についての記載事項】

- 圧縮減容装置は放射性固体廃棄物を圧縮減容するものであることから、施設区分は「放射性廃棄施設の廃棄施設」、設備区分は「固体廃棄物の廃棄施設」、その機能は「放射性廃棄物の処理機能」であり、これを維持するために必要な性能は放射性固体廃棄物を処理する能力を有することである。
- 維持期間は処理対象となる廃棄物の処理完了までである。（変更前の表 5 - 3 の撤去時期に記載されているとおり）
- 位置、構造及び設備については、本文七 2 に設計及び工事の方法を記載し、これに基づき設置するものであることから、本文七 2 に示す通りとする。

本文七の記載内容

審査基準	変更認可申請書への追加記載案
<p>2. 申請書記載事項に対する審査基準 (3) 性能維持施設の位置、構造及び設備並びにその性能並びにその性能を維持すべき期間 (2) で選定された性能維持施設について、それぞれ位置、構造及び設備並びにその性能並びにその性能を維持すべき期間が示されていること。また、ここで示される性能維持施設の性能については、性能維持施設が維持すべき機能ごとに、その性能を満たすために必要な仕様等（以下単に「必要な仕様等」という。）が示されていること。 また、原子炉施設を解体する工事を実施するに当たって、公衆及び放射線業務従事者の受ける線量を抑制し、又は低減する観点その他の原子力安全の観点から、専ら廃止措置で使用するために導入する施設又は設備において、当該施設又は設備の設計及び工事の方法に関することが示されていること。</p>	<p>七 性能維持施設の位置、構造及び設備並びにその性能並びにその性能を維持すべき期間</p> <p>1 性能維持施設の位置、構造及び設備並びにその性能並びにその性能を維持すべき期間 性能維持施設の位置、構造及び設備並びにその性能並びにその性能を維持すべき期間は、表6-1 <u>及び表6-2</u> に示すとおりである。 (略) <u>表6-2に示す専ら廃止措置で使用する性能維持施設は、「2 専ら廃止措置で使用する性能維持施設の設計及び工事の方法」に従って導入し、その仕様及び必要な台数を「位置、構造及び設備」欄に示すとともに、必要となる機能を「機能」欄に示す。</u></p> <p><u>2 専ら廃止措置で使用する性能維持施設の設計及び工事の方法</u> 専ら廃止措置で使用する性能維持施設の導入に当たっては、「五 1 廃止措置の基本方針」に基づき、適切な品質保証活動の下に保安管理を実施し、また、「五 2 安全確保対策」に基づき、日本産業規格等の規格及び基準に準拠するとともに、放射性物質の拡散及び漏えい防止対策、被ばく低減対策、事故防止対策及び労働災害防止対策を講じる。</p> <p><u>(1) 圧縮減容装置</u> 雑固体廃棄物及び解体工事で発生する金属等の減容のため、放射性廃棄物処理機能を持つ固体廃棄物の廃棄設備として、<u>圧縮減容装置を導入する。圧縮減容装置は、耐震重要度Cクラスの耐震設計を行う。圧縮減容装置の配置図を図7-1に、圧縮減容装置の概略図面を図7-2に示す。</u></p> <p><u>以上の基本的考え方に基づく専ら廃止措置で使用する性能維持施設の設置位置及び設計について表7-1に示す。</u></p>

【本文七の圧縮減容装置に関する記載事項】

- 専ら廃止措置に使用する性能維持施設の「位置、構造及び設備」、「性能」、「性能を維持すべき期間」は表6-2に記載
- 専ら廃止措置に使用する性能維持施設の設計及び工事の方法に関する記載を2として追記（本文五に記載していた内容を本文七に記載）
- 圧縮減容装置の配置図及び概略図面についても、本文五に記載していた内容を本文七に記載

表 7 - 1 の記載内容

表 7 - 1 専ら廃止措置で使用する性能維持施設の設置位置及び設計

設備名称	設置位置	設計					
圧縮減容装置	タービン建物 1 階			種類	二	油圧式	
				処理能力	分/本	約 4	
				主要寸法	たて	mm	約 3,550
					横	mm	約 1,900
					高さ	mm	約 945
				主要材料	二	炭素鋼	
				個数	台	1	
				原動機	原動機の種類	二	電動機
					原動機の出力量	kW	約 37
					原動機の個数	台	1

【表 7 - 1 に関する記載事項】

- 「表 7 - 1 専ら廃止措置で使用する性能維持施設の設置位置及び設計」を追加
- 表 7 - 1 の記載内容については、これまで本文五の「表 5 - 4 圧縮減容装置の名称、設置位置、種類、処理能力、主要寸法、主要材料、個数、原動機の種類、原動機の出力量及び原動機の個数」に記載していたのと同様の内容（処理能力及び主要材料について詳細設計の結果を反映）

圧縮減容装置に関する記載箇所の変更について（添付書類六）

添付書類六への記載内容

変更認可申請書	追加記載案																								
<p>添付書類六 性能維持施設及びその性能並びにその性能を維持すべき期間に関する説明書</p> <p>3 性能維持施設の機能及びその性能 (3) 放射性廃棄物の廃棄施設 c. 固体廃棄物の廃棄設備 廃止措置では、放射性固体廃棄物を処理・貯蔵することから、「放射性廃棄物処理・貯蔵機能」を有する設備を維持管理する。具体的な性能維持施設は、下表のとおり。</p> <table border="1" data-bbox="219 643 978 887"> <thead> <tr> <th>機能</th> <th>性能維持施設</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">放射性廃棄物貯蔵機能</td> <td>フィルタスラッジ貯蔵タンク</td> </tr> <tr> <td>使用済樹脂貯蔵タンク</td> </tr> <tr> <td>復水脱塩装置使用済樹脂受タンク</td> </tr> <tr> <td>濃縮廃液貯蔵タンク</td> </tr> <tr> <td>クラッドスラリ貯蔵タンク</td> </tr> <tr> <td>放射性廃棄物処理機能</td> <td>サイトバンカ</td> </tr> <tr> <td>放射性廃棄物処理機能</td> <td>アスファルト固化装置</td> </tr> </tbody> </table> <p>固体廃棄物の廃棄設備の性能は、以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> 各タンク及びサイトバンカは、内包する放射性物質が漏えいするようなき裂、変形等の有意な欠陥がない状態であること。 アスファルト固化装置は、放射性固体廃棄物を処理する能力を有する状態であること。 <p>4 性能維持施設の維持期間 (3) 放射性廃棄物の廃棄施設 c. 固体廃棄物の廃棄設備 固体廃棄物の廃棄設備のうち、「放射性廃棄物処理機能」及び性能は、濃縮廃液処理完了まで維持管理する。「放射性廃棄物貯蔵機能」及び性能は、貯蔵している固体廃棄物の抜出完了まで維持管理する。</p>	機能	性能維持施設	放射性廃棄物貯蔵機能	フィルタスラッジ貯蔵タンク	使用済樹脂貯蔵タンク	復水脱塩装置使用済樹脂受タンク	濃縮廃液貯蔵タンク	クラッドスラリ貯蔵タンク	放射性廃棄物処理機能	サイトバンカ	放射性廃棄物処理機能	アスファルト固化装置	<p>添付書類六 性能維持施設及びその性能並びにその性能を維持すべき期間に関する説明書</p> <p>3 性能維持施設の機能及びその性能 (3) 放射性廃棄物の廃棄施設 c. 固体廃棄物の廃棄設備 廃止措置では、放射性固体廃棄物を処理・貯蔵することから、「放射性廃棄物処理・貯蔵機能」を有する設備を維持管理する。具体的な性能維持施設は、下表のとおり。</p> <table border="1" data-bbox="1243 643 2002 914"> <thead> <tr> <th>機能</th> <th>性能維持施設</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">放射性廃棄物貯蔵機能</td> <td>フィルタスラッジ貯蔵タンク</td> </tr> <tr> <td>使用済樹脂貯蔵タンク</td> </tr> <tr> <td>復水脱塩装置使用済樹脂受タンク</td> </tr> <tr> <td>濃縮廃液貯蔵タンク</td> </tr> <tr> <td>クラッドスラリ貯蔵タンク</td> </tr> <tr> <td>放射性廃棄物処理機能</td> <td>サイトバンカ</td> </tr> <tr> <td>放射性廃棄物処理機能</td> <td>アスファルト固化装置 圧縮減容装置</td> </tr> </tbody> </table> <p>固体廃棄物の廃棄設備の性能は、以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> 各タンク及びサイトバンカは、内包する放射性物質が漏えいするようなき裂、変形等の有意な欠陥がない状態であること。 アスファルト固化装置及び圧縮減容装置は、放射性固体廃棄物を処理する能力を有する状態であること。 <p>4 性能維持施設の維持期間 (3) 放射性廃棄物の廃棄施設 c. 固体廃棄物の廃棄設備 固体廃棄物の廃棄設備のうち、「放射性廃棄物処理機能」及び性能は、処理対象となる廃棄物の処理完了まで維持管理する。「放射性廃棄物貯蔵機能」及び性能は、貯蔵している固体廃棄物の抜出完了まで維持管理する。</p>	機能	性能維持施設	放射性廃棄物貯蔵機能	フィルタスラッジ貯蔵タンク	使用済樹脂貯蔵タンク	復水脱塩装置使用済樹脂受タンク	濃縮廃液貯蔵タンク	クラッドスラリ貯蔵タンク	放射性廃棄物処理機能	サイトバンカ	放射性廃棄物処理機能	アスファルト固化装置 圧縮減容装置
機能	性能維持施設																								
放射性廃棄物貯蔵機能	フィルタスラッジ貯蔵タンク																								
	使用済樹脂貯蔵タンク																								
	復水脱塩装置使用済樹脂受タンク																								
	濃縮廃液貯蔵タンク																								
	クラッドスラリ貯蔵タンク																								
放射性廃棄物処理機能	サイトバンカ																								
放射性廃棄物処理機能	アスファルト固化装置																								
機能	性能維持施設																								
放射性廃棄物貯蔵機能	フィルタスラッジ貯蔵タンク																								
	使用済樹脂貯蔵タンク																								
	復水脱塩装置使用済樹脂受タンク																								
	濃縮廃液貯蔵タンク																								
	クラッドスラリ貯蔵タンク																								
放射性廃棄物処理機能	サイトバンカ																								
放射性廃棄物処理機能	アスファルト固化装置 圧縮減容装置																								

【添付書類六の圧縮減容装置に関する記載事項】

- 添付書類六については、運転中から引き続き使用している性能維持施設に限られた記載ではないため、固体廃棄物の廃棄施設のうち、放射性廃棄物処理機能を有する性能維持施設として記載を追加する。

五 廃止措置対象施設のうち解体の対象となる施設及びその解体の方法

4. 2 解体の方法

4. 2. 1 施設の解体方法

施設の解体方法を表5-2に示す。

(略)

4. 2. 2 廃止措置期間中に新たに導入する設備

廃止措置期間中に新たに導入する設備を表5-3に示す。導入にあたっては、「五 1 廃止措置の基本方針」に基づき、適切な品質保証活動の下に保安管理を実施し、また、「五 2 安全確保対策」に基づき、日本産業規格等の規格及び基準に準拠するとともに、放射性物質の拡散及び漏えい防止対策、被ばく低減対策、事故防止対策及び労働災害防止対策を講じる。

(1) 圧縮減容装置

雑固体廃棄物及び解体工事で発生する金属等の減容のため圧縮減容装置を導入する。圧縮減容装置は、耐震重要度Cクラスの耐震設計を行う。圧縮減容装置の名称、設置位置、種類、処理能力、主要寸法、主要材料、個数、原動機の種類、原動機の出力及び原動機の個数を表5-4に、圧縮減容装置の配置図を図5-3に、圧縮減容装置の概略図面を図5-4に示す。

五 廃止措置対象施設のうち解体の対象となる施設及びその解体の方法

表 5 - 3 廃止措置期間中に新たに導入する設備

設備名称	概要	撤去時期
圧縮減容装置	雑固体廃棄物及び解体工事で発生する金属等を減容する。	処理の対象となる廃棄物の処理が終了した段階で撤去する。

表 5 - 4 圧縮減容装置の名称、設置位置、種類、処理能力、主要寸法、主要材料、個数、原動機の種類、原動機の出力量及び原動機の個数

名称		圧縮減容装置		
設備位置		タービン建物1階		
本体	種類	—	油圧式	
	処理能力	本/時	約15	
	主要寸法	たて	mm	約3,550
		横	mm	約1,900
		高さ	mm	約945
	主要材料	—	合金鋼	
	個数	台	1	
原動機	原動機の種類	—	電動機	
	原動機の出力量	kW	約37	
	原動機の個数	台	1	

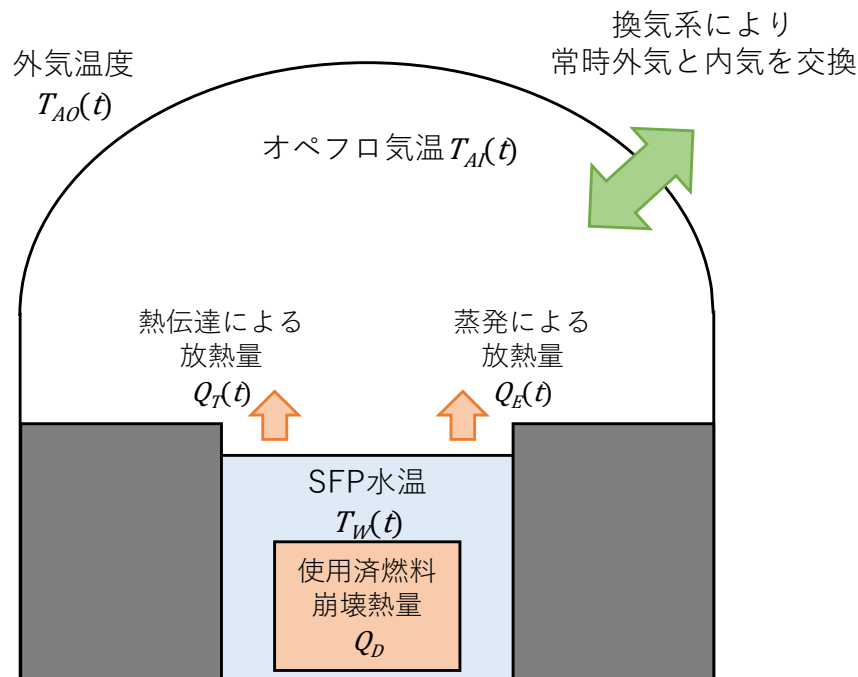
図 5 - 3 圧縮減容装置の配置図
(略)

図 5 - 4 圧縮減容装置の概略図面
(略)

指摘事項

FPC冷却系停止時の燃料プールの水温評価について、FPC系循環運転停止時及び原子炉建物換気系の停止時の影響について説明すること

FPC系の循環運転停止時の燃料プール水温の評価について、以下のモデルと条件を用いて、水温の評価を実施した。

解析モデル

※崩壊熱についてプール水面以外からの熱移動なし
⇒**循環系停止状態を保守的に模擬**

評価式

SFP水温 T_W は以下の式で評価

$$T_W(t) = T_W(t-1) + \frac{Q_D - Q_T(t-1) - Q_E(t-1)}{C_W V_W \rho_W} \Delta t$$

①熱伝達によるSFPからの放熱量 Q_T

$$Q_T(t) = h_A(t) A_{SFP} (T_W(t) - T_{AI}(t))$$

②蒸発によるSFPからの放熱量 Q_E

$$Q_E(t) = H_V M(t) A_{SFP}$$

T_W : SFP水温	T_{AI} : オペフロ気温
A_{SFP} : SFP表面積	Q_T : SFPからの熱伝達による放熱量
Q_D : 総崩壊熱量	Q_E : SFPからの蒸発による放熱量
C_W : 比熱 (水)	V_W : SFP体積
ρ_W : 密度 (水)	h_A : 熱伝達率 (SFP表面)
H_V : 蒸発潜熱	M : 蒸発量

条件

崩壊熱 : 57kW

初期プール水温 : 21.1°C (停止試験開始時のSFP水温)

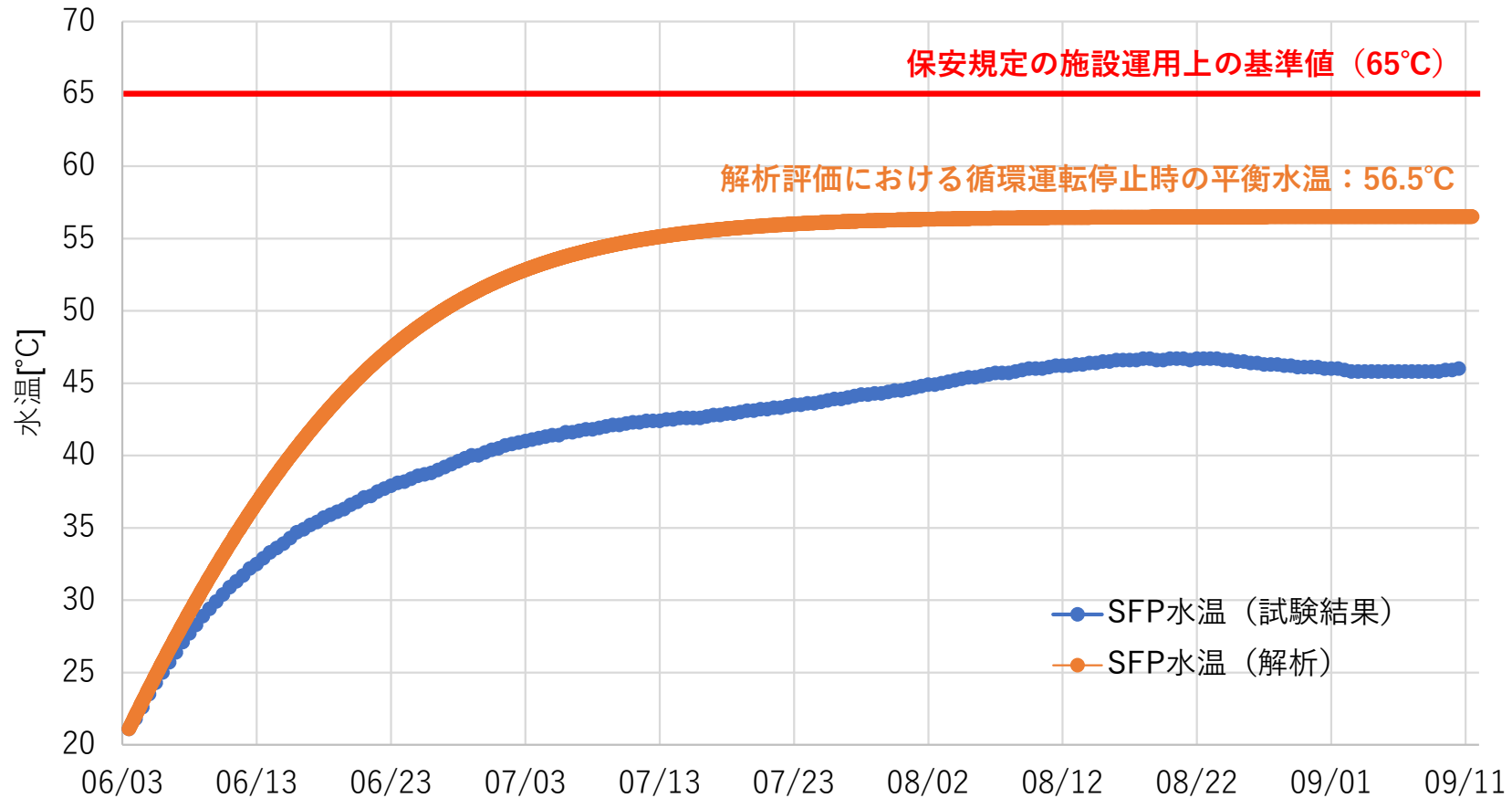
オペフロ気温 : 40°C一定 (外気とオペフロ気温は等しいものと
し、保守的な値を設定)

オペフロ湿度 : 100%一定

FPC系循環停止時の燃料プール水温評価

解析モデルに基づく評価結果は以下のとおり

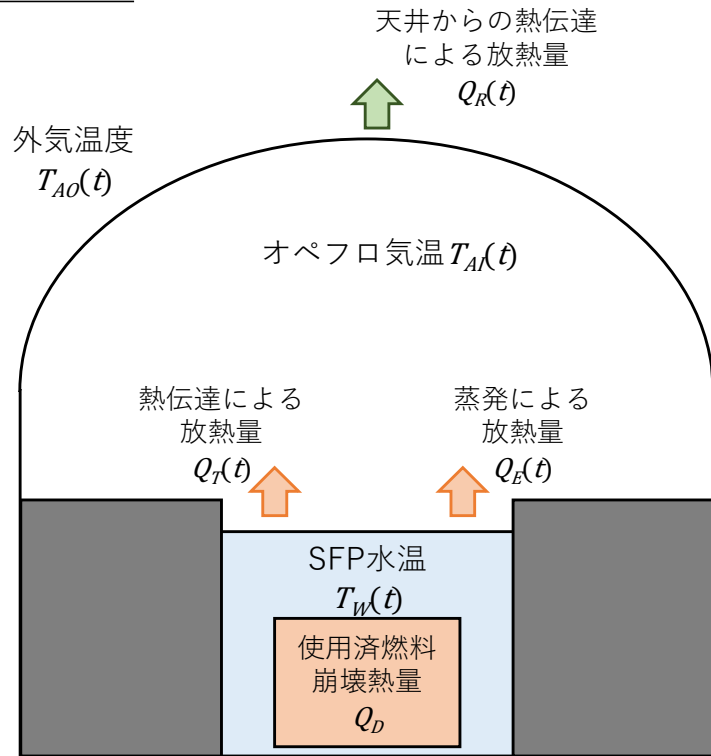
FPC冷却停止時のSFP水温の試験結果及び解析評価値



保守的に模擬したモデルでの評価結果より、FPC冷却停止時に循環運転を停止しても、保安規定に定める施設運用上の基準である65°Cを超えないことを確認した。

原子炉建物換気系停止時のSFP水温の評価モデルとして、保守的な条件である循環系停止時のモデルから外気と内気の空気交換がなくなり、オペフロからの放熱は天井面からの熱伝達のみとし、評価を行った。

解析モデル



※循環運転停止中で平衡温度に達している状態で、換気系が停止した状態を模擬
 ⇒天井面以外からの放熱は考慮しない
保守的なモデル

評価式

SFP水温 T_W は以下の式で評価

$$T_W(t) = T_W(t-1) + \frac{Q_D - Q_T(t-1) - Q_E(t-1)}{C_W V_W \rho_W} \Delta t$$

オペフロ気温 T_{AI} は以下の式で評価

$$T_{AI}(t) = T_{AI}(t-1) + \frac{Q_T(t-1) + Q_E(t-1) - Q_R(t-1)}{C_A V_{AI} \rho_A} \Delta t$$

③天井からの熱伝達によるオペフロからの放熱量 Q_R

$$Q_R(t) = h_R(t) A_R (T_{AI}(t) - T_{AO}(t))$$

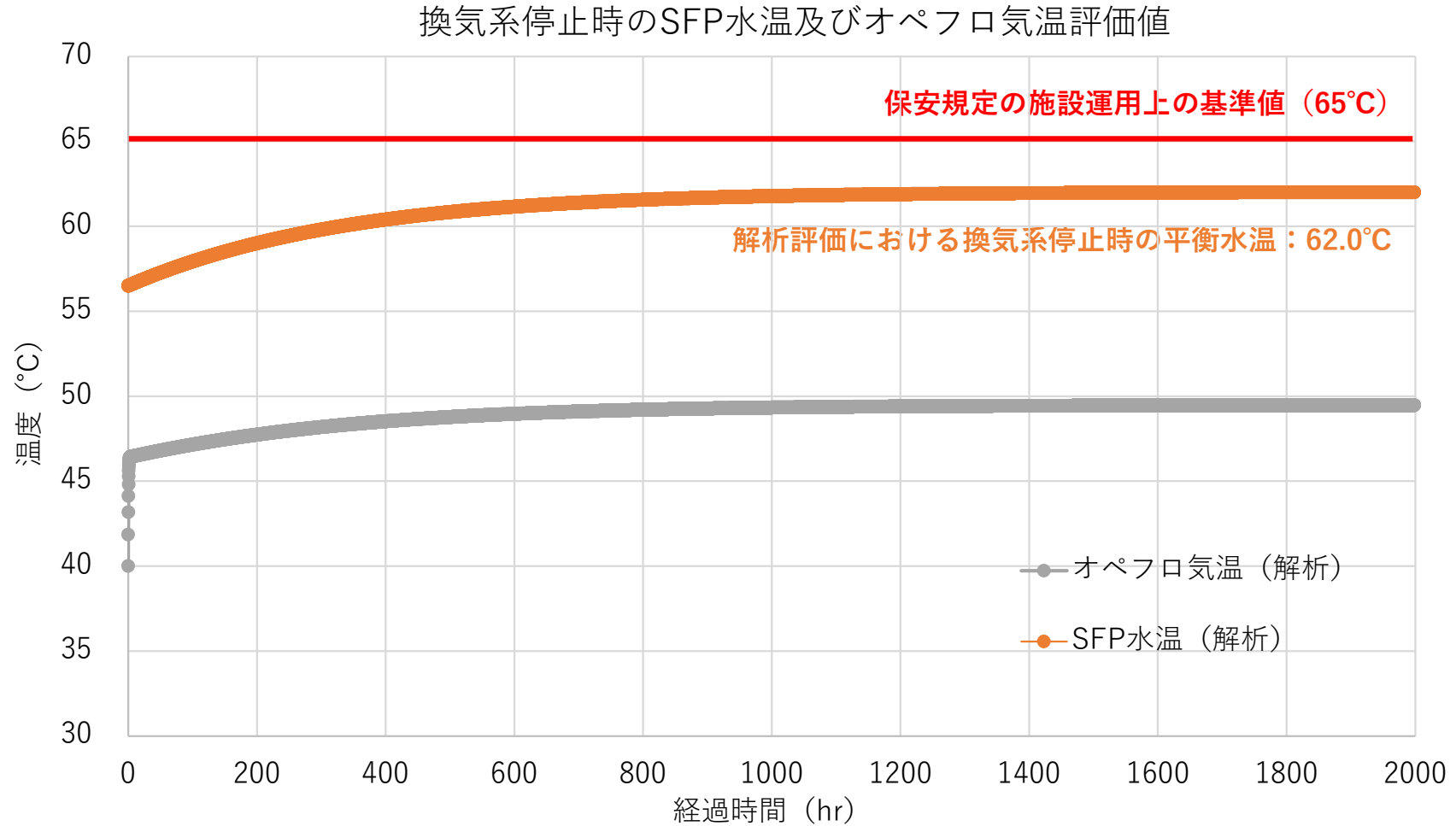
Q_R : 天井からの熱伝達による放熱量	h_R : 天井面の熱伝達率
A_R : オペフロ天井面積	C_A : 比熱 (空気)
V_{AI} : オペフロ体積	ρ_A : 密度 (空気)
T_{AO} : 外気温度	

条件

崩壊熱 : 57kW
 初期プール水温 : 56.5°C (FPC循環停止評時のSFP平衡水温)
 外気温度 : 40°C一定 (敦賀市の最高気温と比較し保守的な値)
 オペフロ湿度 : 100%一定

換気系停止時の燃料プール水温評価

解析モデルに基づく評価結果は以下のとおり



保守的に模擬したモデルでの評価結果より、FPC循環運転停止時に換気系が停止しても、保安規定に定める施設運用上の基準である65°Cを超えないことを確認した。

敦賀発電所 1 号炉
使用済燃料の崩壊熱減少に伴う
性能維持施設の変更について
＜補足説明資料＞

2020 年 11 月 18 日
日本原子力発電株式会社

目 次

1. はじめに	1
2. 使用済燃料プールの水温測定結果について	2
2. 1 SFP の状況	2
2. 2 SFP の水温測定	2
2. 3 測定結果に対する考察	7
2. 4 結論	19
3. 使用済燃料の冷却に係る性能維持施設の変更について	20
3. 1 使用済燃料の冷却に係る性能維持施設の変更内容	20
3. 2 使用済燃料の冷却に係る性能維持施設の見直しに係る具体的影響確認 ...	25
4. 核燃料物質の貯蔵状況及び崩壊熱の推移について	30
4. 1 敦賀発電所 1 号炉の核燃料物質の貯蔵状況について	30
4. 2 崩壊熱の推移について	31

本資料のうち、 は、営業秘密又は核物質防護上の観点から公開できません。

1. はじめに

本資料は、2020年9月4日に廃室発第39号をもって申請した敦賀発電所1号炉廃止措置計画変更認可申請書のうち「(2) 使用済燃料の崩壊熱減少に伴う性能維持施設の変更」に関する事項についての補足説明資料である。

2. 使用済燃料プールの水溫測定結果について

敦賀発電所原子炉施設保安規定の廃止措置管理において、施設運用上の基準として「使用済燃料貯蔵池の水溫が 65℃以下であること」が要求されていることから、使用済燃料プール（以下、「SFP」という。）水の冷却を停止しても、この基準値を超えないことを確認するため、燃料プール冷却系（以下、「FPC 系」という。）の冷却機能を停止した時の SFP 水溫測定を実施し、SFP 水溫は、施設運用上の基準値である 65℃に対し十分裕度を持つことを確認した。

2. 1 SFP の状況

敦賀 1 号炉の SFP には、現時点において、最終サイクルで取り出した使用済燃料を含む使用済燃料 314 体を貯蔵しており、その冷却期間は 9 年を超え、十分冷却が進んでいる状況である。

この状況を踏まえ、夏季における FPC 系の冷却機能停止試験を以下に示すとおり実施した。

2. 2 SFP の水溫測定

2. 2. 1 水溫測定内容

試験期間、試験条件、測定項目等は、以下のとおりである。

① 試験期間

- ・ 2019 年 6 月 3 日から 2019 年 9 月 10 日

② 試験条件（概略系統は図 2-1 のとおり）

- ・ FPC 系熱交換器をバイパスし冷却機能を停止
- ・ SFP 水浄化のため、FPC 系の循環運転は継続
- ・ 原子炉建物通常用換気系（以下、「換気系」という。）を全期間連続運転

(5 階面給気風量 : m³/h)

- ・調査期間中，FPC スキマサージタンク水位維持のため，タンク水位 4～5 m の範囲で随時補給を実施

③ 主要な測定項目

- ・SFP 水温
- ・大気温度
- ・原子炉建屋 5 階室温

④ 水温の測定箇所

- ・SFP 水温の測定箇所及び FPC 系循環水の出口位置は図 2 - 2 のとおりである。
- ・SFP 水温の測定箇所については，FPC 系は循環運転を継続させており，SFP 水温は均一であると考えられることから，保安規定に定める制限値の確認計器である SFP 水温計を測定・評価に用いている。図 2 - 3 に SFP の寸法及び SFP 水温計位置を示す。

⑤ FPC 系の循環運転及び SFP 水の補給について

- ・FPC 系については常時循環運転を実施しており，SFP から FPC スキマサージタンクへ SFP 水をオーバーフローさせることにより，SFP の通常水位を常時維持している。なお，FPC 系の循環運転については，浄化機能維持及び水位維持のため，FPC 系の冷却機能停止後も継続する。
- ・蒸発により減少した SFP 水は FPC スキマサージタンク水位の 4～5 m の範囲で復水貯蔵タンクから随時補給を実施している。
- ・SFP の補給については期間中 36 回，総量で約 m³であった。

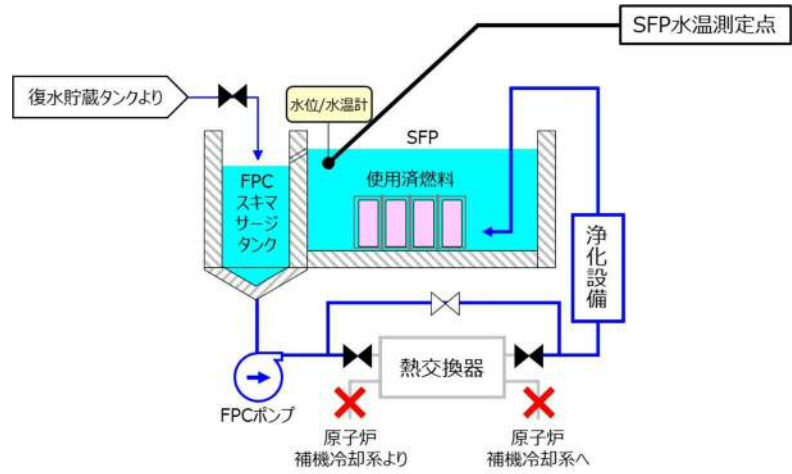


図 2 - 1 試験時の概略系統と水温測定箇所

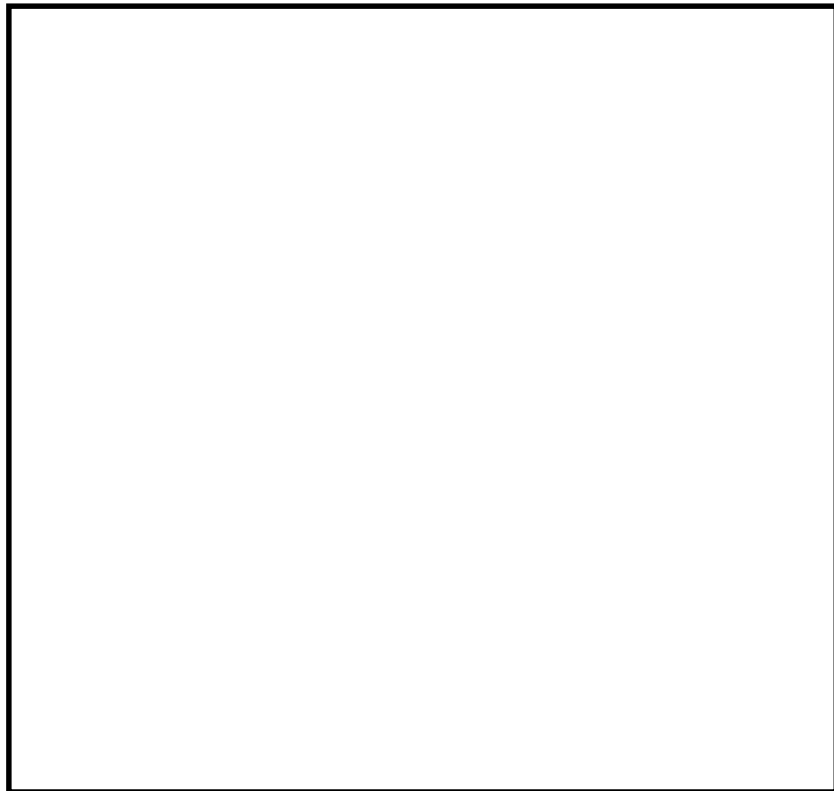


図 2 - 2 SFP 水温の測定箇所及び FPC 系循環水の出口位置

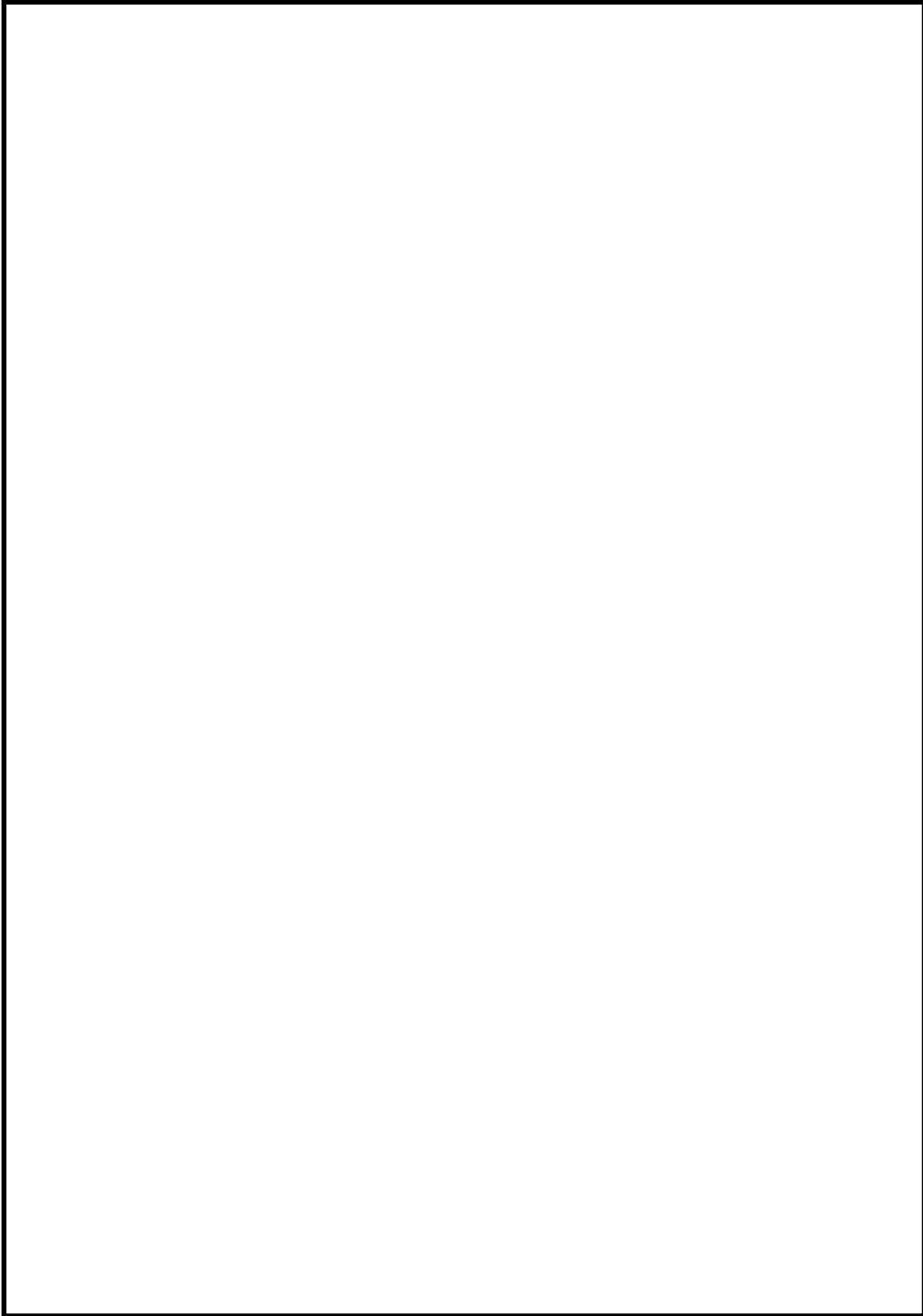


図 2 - 3 SFP の寸法及び SFP 水温計位置

2. 2. 2 水温、室温及び気温の測定結果

試験時の SFP 水温、室温及び気温の測定結果は、図 2-4 のとおりであり、以下の結果が確認された。なお、各測定点における測定データを参考資料に示す。

- 気温が高くなる夏季においても、水温は 50℃未満で推移した。
- 水温は、FPC 系の冷却機能を停止して暫くは継続的に上昇したが、40℃を過ぎて以降の上昇は緩やかとなり平衡状態となっており、それ以降の水温は気温の変化に応じて変化している。試験期間中の最高水温は 8 月 18 日から 8 月 23 日の間に記録された 46.7℃である。
- FPC 系の冷却機能を停止した状態であっても、自然冷却により施設運用上の基準である 65℃以下に対し、20℃程度の余裕を有する。

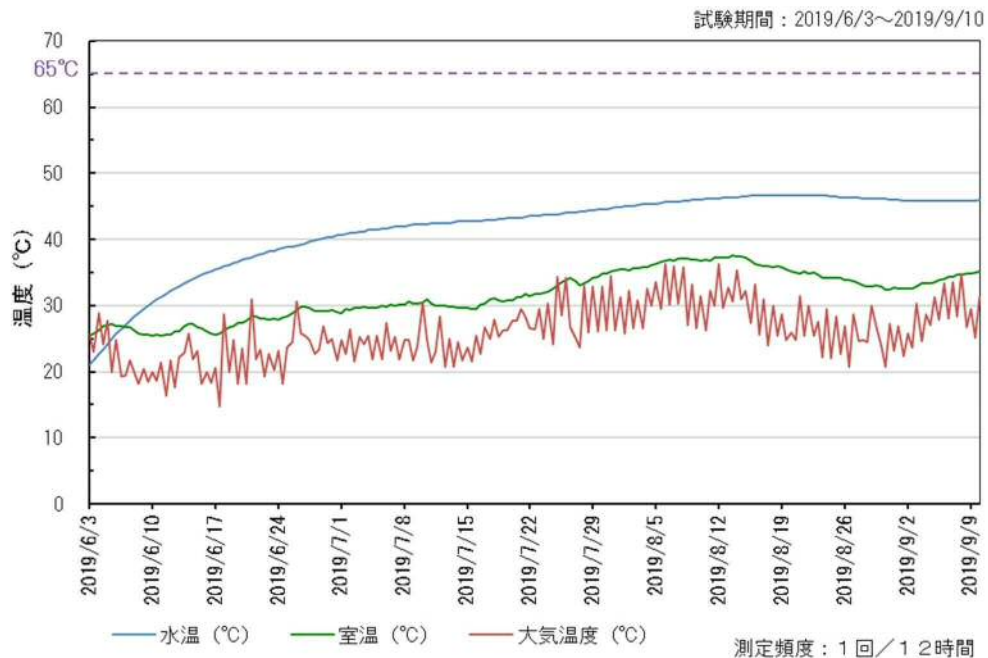


図 2-4 試験時の SFP 水温、室温及び気温の測定結果

2. 3 測定結果に対する考察

前項の測定結果を踏まえ、測定結果に対する考察として、以下の確認を行った。

- ・ 気温と水温の連動性の確認
- ・ 最高水温が記録された時期の妥当性確認
- ・ 環境条件の変化に対する概略評価
- ・ 補給水の水温への影響評価
- ・ FPC 系の循環運転停止時の水温評価
- ・ 換気系停止時の水温評価
- ・ SFP 水温の測定位置の妥当性

具体的な内容についてそれぞれ次項以降に示す。

2. 3. 1 気温と水温の連動性の確認

水温上昇が緩やかとなった、7月1日以降の SFP 水温の測定結果から、気温の変動に対して5日程度の遅れを有し、SFP 水温が連動していることが以下のおり確認できる。この確認結果をグラフに追記したものを図2-5に示す。

- ・ 7月1日から7月15日頃までは平均気温は落ち着いており、水温も7月8日以降ほぼ平衡状態となっている。
- ・ 7月15日～8月10日付近では、平均気温は上昇傾向にあり、水温もこれに追随して上昇している。
- ・ 8月12日に試験期間中において2番目に高い気温である36.2℃を記録（試験期間中の最高気温は8月6日に記録した36.3℃）して以降、気温は低下傾向にあり、水温についても8月18日に最高水温である46.7℃

を記録して以降は一旦平衡に達した後、気温同様に低下している。

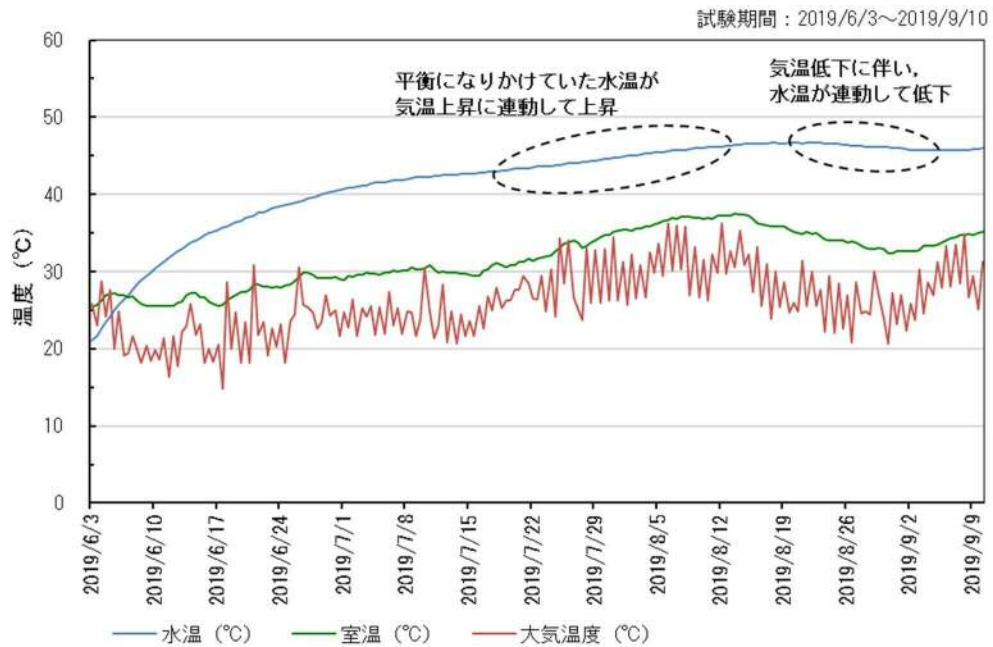


図 2 - 5 SFP 冷却停止試験における気温変化と水温変化の関係

2. 3. 2 最高水温が記録された時期の妥当性確認

今回の試験において、最高水温は 8 月 18 日から 8 月 23 日の間に記録されている。

7 月 1 日から 9 月 1 日までの 1 週間ごとの平均気温は表 2 - 1 のとおりであり、平均気温は 8 月中旬が高いことから、8 月中旬に最高水温が示されることが妥当と考えており、実際の試験結果とも矛盾しないものであった。

表 2 - 1 2019 年 7 月・8 月の週間平均気温

期間	平均気温 (°C)
7 月 1 日～7 月 7 日	24.1
7 月 8 日～7 月 14 日	24.0
7 月 15 日～7 月 21 日	25.5
7 月 22 日～7 月 28 日	28.3
7 月 29 日～8 月 4 日	29.3
8 月 5 日～8 月 11 日	31.3
8 月 12 日～8 月 18 日	30.6
8 月 19 日～8 月 25 日	26.5
8 月 26 日～9 月 1 日	25.1

2. 3. 3 環境条件の変化に対する概略評価

環境条件が変わっても、SFP 水温が 65°C を超えない状況であることを確認するため、気温の観点から概略評価を行った。

水温が 65°C に達するときの室温について、以下の前提条件をもとに、蒸発熱量の計算式を用いて評価する。環境条件評価の概念図は、図 2 - 6 のとおり。

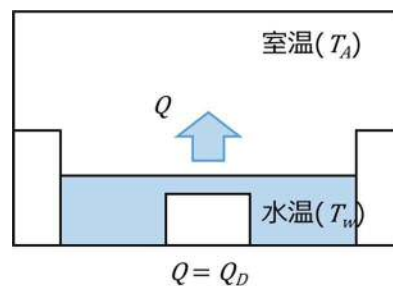


図 2 - 6 環境条件評価の概念図

(前提条件)

- ・ SFP 水面から奪われる熱量は、蒸発熱量のみを考慮 (プール壁面は断熱)

・崩壊熱量 (Q_D) と蒸発熱量 (Q) が釣り合っているとす。

($Q_D = Q$, Q_D の評価時点は冷却停止試験開始時)

(評価式)

$$Q = E \cdot A_{SFP} \cdot 0.2778 \cdot H_V$$

$$E = (0.061\nu + 0.125)(\bar{P}_W - \varepsilon \cdot \bar{P}_A)$$

Q : 水面からの蒸発による伝熱量[W]

E : 蒸発質量流束[kg/(m²・hr)]

A_{SFP} : SFP 表面積[m²]

H_V : 水の表面温度における潜熱[kJ/kg]

ν : 水面上の風速[m/s]

ε : 建屋内の湿度[-]

\bar{P}_W : 水面近傍の飽和水蒸気圧@水面温度[kPa]

\bar{P}_A : 建屋内の飽和蒸気圧@室温[kPa]

(出典: 空気調和・衛生工学便覧 第14版 4 給排水衛生設備編 p. 488)

上記の式を飽和蒸気圧 (\bar{P}_A) について整理する。

$$\bar{P}_A = \frac{1}{\varepsilon} \left(\bar{P}_W - \frac{Q}{(0.061\nu + 0.125) \cdot A_{SFP} \cdot 0.2778 \cdot H_V} \right)$$

この式に、水温が 65℃ のときの飽和水蒸気圧 (\bar{P}_W) と飽和蒸気圧曲線より、飽和蒸気圧 (\bar{P}_A) に対応する室温を求めると、約 65℃ となる。

(計算の入力条件は、別紙 1 参照)

気温と室温の温度差は、平均して 6℃ 程度であり、水温が 65℃ になるため

には、気温が約 60℃を超えるような状況となるが、この状況は現実的に起こりにくいものと判断する。

2. 3. 4 補給水の水温への影響評価

SFP への補給水による水温への影響について、比熱を用いた計算により以下のとおり評価する。補給水影響評価の概念図については、図 2-7 のとおり。

なお、補給水については、図 2-1 に示すとおり、復水貯蔵タンクから SFP に直接補給されるのではなく FPC スキマサージタンクに補給され、SFP からのオーバーフロー水とともに、FPC 系を通った後に SFP に補給されることとなるが、評価においては直接 SFP に補給されるものとして評価した。

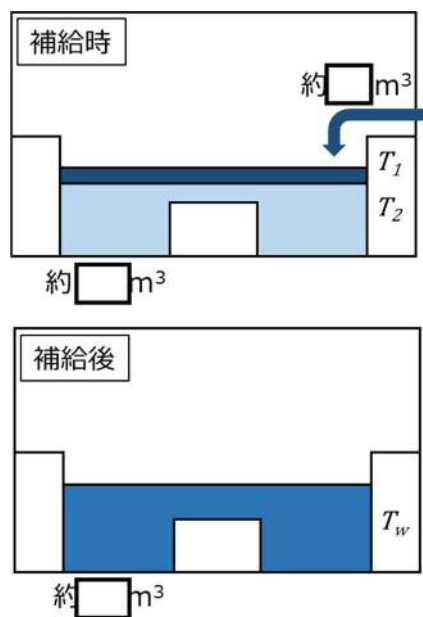


図 2-7 補給水影響評価の概念図

(評価式)

$$Q = m \cdot C_W \cdot \Delta T$$

Q : 熱量[kJ]

m : 質量[kg]

C_W : 比熱[kJ/(kg・K)]

ΔT : 温度差[K]

補給水を注水した後の、SFP 水温を T_W とすると、補給水及び SFP 水それぞれの熱量変化は以下のとおりとなる。

$$Q_1 = m_1 \cdot C_{W1}(T_W - T_1)$$

$$Q_2 = m_2 \cdot C_{W2}(T_2 - T_W)$$

T_1 : 補給水の水温[°C]

T_2 : 補給前の SFP 水温[°C]

T_W : 熱平衡に達した時の SFP 水温[°C]

1: 補給水を指す添字

2: SFP 水を指す添字

熱量の保存により両者は等しくなるので、 $Q_1 = Q_2$ 即ち、

$$m_1 \cdot C_{W1}(T_W - T_1) = m_2 \cdot C_{W2}(T_2 - T_W)$$

SFP 水温への影響は、8月31日時点の水温測定データに基づき計算すれば、

$$T_2 - T_W = \Delta T \cong 0.07$$

である。(計算の入力条件は、別紙2参照)

以上より、水の補給により、水温は約 0.07 (°C/回) 程度低下することを示

しており、実績から補給頻度はおよそ2日に1回程度であることから、今回の冷却機能停止試験にて確認された20℃の裕度に対する影響は小さいものと判断する。

2. 3. 5 FPC系の循環運転停止時の水温評価

FPC冷却機能停止時にFPCの循環運転を停止した場合のSFP水温評価モデルについて、図2-8に示す。

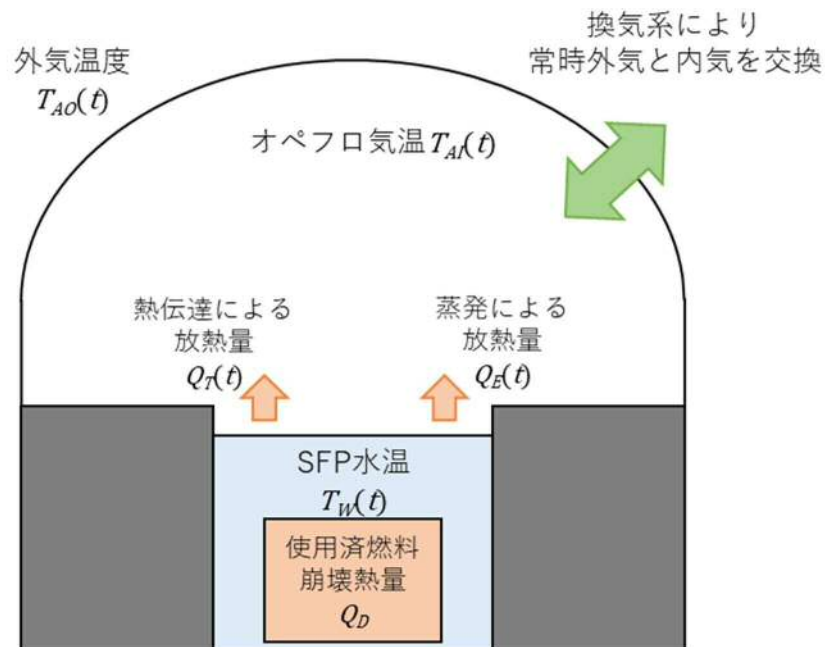


図2-8 FPC循環運転停止時のSFP水温評価モデル

この評価モデルにおける基本条件は以下のとおり。

- ・使用済燃料集合体については、1つの熱源とみなして評価する。
- ・SFP水温及びオペフロ気温は滞留等を考慮せず常に均一な変動を仮定する。
- ・換気系を運転させていることから、オペフロ気温は外気温度と等しいと

仮定する。

- ・外気温度については、保守的に 40°C一定とする。(参考：敦賀市観測史上
最大値 37.6°C)
- ・評価開始時の SFP 水温については、FPC 冷却機能停止試験開始時の SFP 水
温である 21.1°Cとし、オペフロ湿度は 100%一定とした。

このモデルにおいて、SFP 水温 T_W は以下の式で評価する。

(計算で用いた値については、別紙 3 参照)

$$T_W(t) = T_W(t-1) + \frac{Q_D - Q_T(t-1) - Q_E(t-1)}{C_W V_W \rho_W} \Delta t$$

熱伝達による SFP からの放熱量 Q_T 及び蒸発による SFP からの放熱量 Q_E に
ついては、以下の式で評価する。

$$Q_T(t) = h_A(t) A_{SFP} (T_W(t) - T_{Ai}(t))$$

$$Q_E(t) = H_V M(t) A_{SFP}$$

ここで、

T_W : SFP 水温 [°C]

T_{Ai} : オペフロ気温 [°C]

A_{SFP} : SFP 表面積 [m²]

Q_D : 総崩壊熱量 [kW]

Q_T : SFP からの熱伝達による放熱量 [kW]

Q_E : SFP からの蒸発による放熱量 [kW]

V_W : SFP 体積 (水量) [m³]

C_W : 比熱 (水) [kJ/(kg · K)]

h_A : 熱伝達率 (SFP 表面) [J/(K · s · m²)]

ρ_W : 密度 (水) [kg/m³]

H_V : 蒸発潜熱 [J/kg]

M : 蒸発量 [kg/(m² · hr)]

P_W : 飽和水蒸気圧 (水温) [Pa]

P_A : 水蒸気圧 (空気) [Pa]

熱伝達率（SFP 表面） h_A は、加熱面が水平な場合の自然熱対流熱伝達率として、次の Fujii の経験式を用いる。

Grashof 数の定義 $G_r = \rho_A^2 g \beta \Delta T L^3 / \mu^2$ を用いれば、熱伝達率 h_A は以下のように表せる。

ここで、

k : 熱伝導率 (空気) [J/K · s · m] ρ_A : 密度 (空気) [kg/m³]

g : 重力加速度 [m/s²] β : 熱膨張係数 [1/K]

μ : 粘度 [kg/m · s] Pr : プラントル数 [—]

ΔT : 温度差 (空気－水面) [°C] L : 代表長さ [m]

蒸発量 M については、温水プールを用いた蒸発実験による蒸発係数の経験式である Smith の式を用いる。

ここで、

v : 風速 [m/s]

SFP 水温 T_w を時間ステップ $\Delta t(t-1 \sim t)$ ごとに解くことで、平衡となる温度を算出する。

このモデルにおいては SFP からの放熱を熱伝達からの放熱と蒸発による放熱に限っており、その他の放熱を考慮していないことから、循環運転を停止した状態を模擬したモデルと考えることができる。また、外気温を 40℃とすることで保守的な評価を実施している。

これにより評価を実施した結果を図 2-9 に示す。FPC の循環系運転停止を模擬したモデルで保守的に評価しても、施設運用上の基準である 65℃を超えないことを確認した。

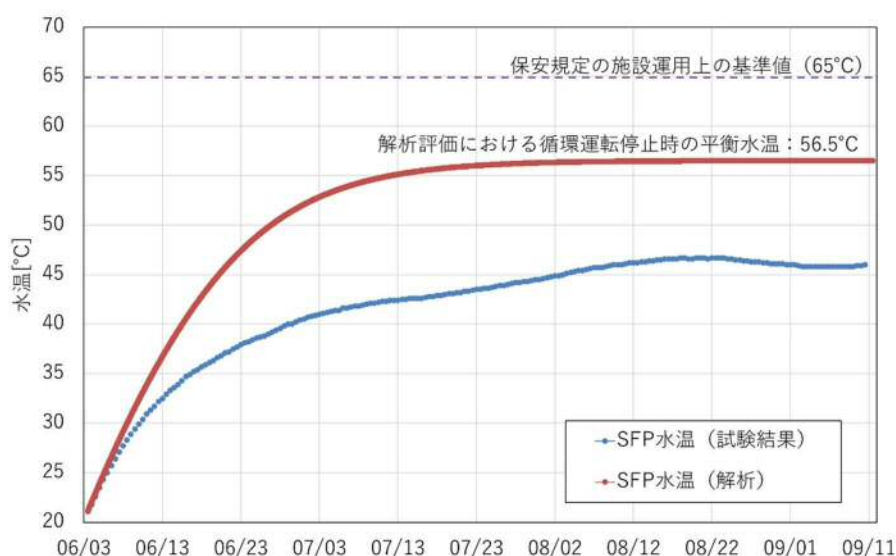


図 2-9 FPC 循環運転停止時の SFP 水温評価結果

2. 3. 6 換気系停止時の水温評価

2. 3. 5 で用いたモデルにおいては、換気系が常時運転しているものとして、オペフロ内気については外気と常に交換されていることからオペフロ気温と外気温度は同じであるものとして評価したが、換気系が停止した場合、空気の交換がなくなり SFP 水面から放出された熱はオペフロ気温上昇に寄与することとなる。

一方で、換気系が停止している場合でも、建屋天井面を介した熱伝達によ

る放熱はあると考えられることから，これを考慮したオペフロ気温を以下の式によって評価する。

$$T_{AI}(t) = T_{AI}(t-1) + \frac{Q_T(t-1) + Q_E(t-1) - Q_R(t-1)}{C_A V_{AI} \rho_A} \Delta t$$

ここで，

Q_T : SFP からの熱伝達による放熱量 [kW]

Q_E : SFP からの蒸発による放熱量 [kW]

Q_R : 天井からの熱伝達による放熱量 [kW]

C_A : 比熱 (空気) [kJ/kg · K] V_{AI} : オペフロ体積 [m³]

ρ_A : 密度 (空気) [kg/m³]

SFP からの熱伝達による放熱量 Q_T と SFP からの蒸発による放熱量 Q_E は 2 .

3 . 5 で用いたものと同じ式にて評価する。天井からの熱伝達による放熱量 Q_R については，以下の式で評価する。

$$Q_R(t) = h_R(t) A_R (T_{AI}(t) - T_{AO}(t))$$

天井面の熱伝達率 h_R は以下の式で求められる。

$$1/h_R = 1/h_1 + d_R/\lambda_{con} + 1/h_2$$

ここで，

h_R : 天井面の熱伝達率 [J/K · s · m²] A_R : オペフロ天井面積 [m²]

h_1 : 内表面熱伝達率 [J/K · s · m²] h_2 : 外表面熱伝達率 [J/K · s · m²]

d_R : 天井のコンクリート厚さ [m]

λ_{con} : 熱伝導率 (コンクリート) [J/K · s · m]

これによって、求めた時間ステップごとのオペフロ気温 T_{Af} と 2. 3. 5 で用いたのと同じ SFP 水温 T_w の評価式を時間ステップごとに解くことで、換気系停止以降の経過時間ごとのオペフロ気温 T_{Af} 及び SFP 水温 T_w が得られる。(計算で用いた値については、別紙 3 参照)

なお、評価においては、FPC 系の循環運転停止時に換気系が停止した場合を模擬し、初期条件としては、2. 3. 5 における評価で平衡に達した時の SFP 水温である 56.5°C とその際に用いているオペフロ気温 40°C を用いる。

これにより評価を実施した結果を図 2-10 に示す。FPC 循環系停止時に換気系が停止した場合を模擬したモデル評価において、施設運用上の基準である 65°C を超えないことを確認した。

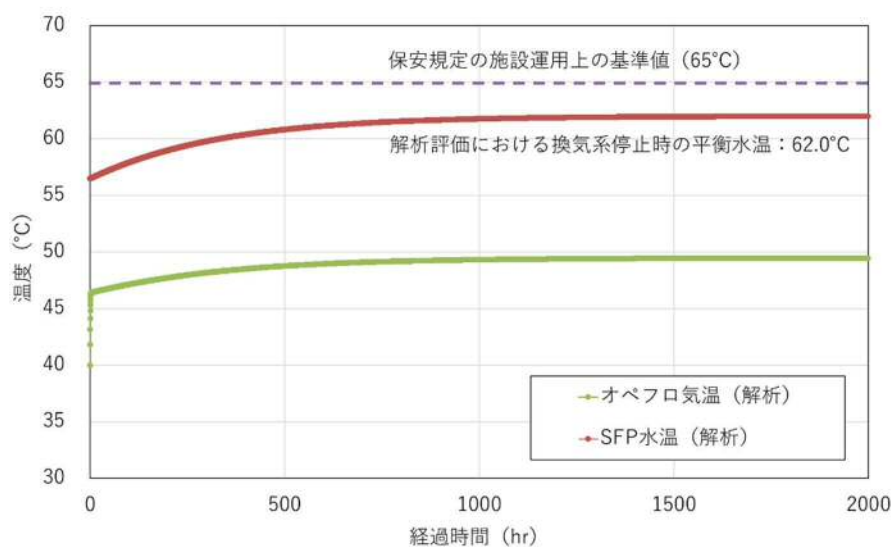


図 2-10 換気系停止時の SFP 水温評価結果

2. 3. 7 SFP 水温の測定位置の妥当性

SFP 中における SFP 水の循環モデルを図 2-1-1 に示す。使用済燃料の崩壊熱により加熱された SFP 水は、放熱しながら上部へ移動した後、水面付近で壁面へと移動し、その後プール下部へ移動するため、プール中では上部の温度が高くなると考えられる。

保安規定の施設運用上の SFP 水温の基準は建屋コンクリート躯体の健全性維持のための基準であり、図 2-3 に示すように、評価に用いた SFP 水温計はプール壁面近傍の水面付近の水温を測定していることから、評価上保守的な位置で水温を測定しているものと考えられる。

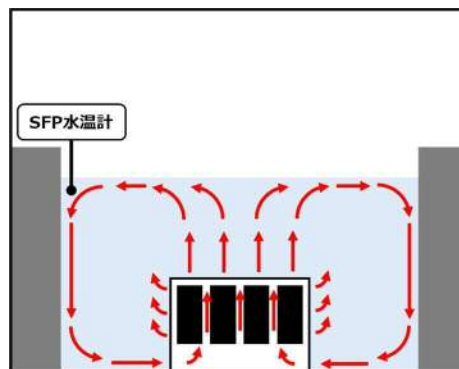


図 2-1-1 SFP 中における SFP 水の循環モデル

2. 4 結論

2. 2 及び 2. 3 の結果より、敦賀 1 号炉の SFP 水の冷却を停止しても、夏季において SFP の水温は約 47℃未満で推移し、施設運用上の基準値である 65℃に対して、十分な余裕を持つ状況であることが確認された。この結果から、敦賀 1 号炉の SFP 水の冷却は不要であるものと判断する。

3. 使用済燃料の冷却に係る性能維持施設の変更について

敦賀発電所 1 号炉の使用済燃料貯蔵設備に貯蔵している使用済燃料の崩壊熱が初回申請時からさらに減少し、FPC 系による冷却が不要となったことを受け、使用済燃料の冷却に係る性能維持施設の見直しの考え方について整理する。

3. 1 使用済燃料の冷却に係る性能維持施設の変更内容

「発電用原子炉施設及び試験研究用等原子炉施設の廃止措置計画の審査基準（以下「審査基準」という。）」における使用済燃料の冷却に係る要求事項としては、「(6) 性能維持施設及びその性能並びにその性能を維持すべき期間に関する説明書」の「2) 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の維持管理」, 「5) 解体中に必要なその他の施設の維持管理」に要求があり、それぞれの要求事項及び変更認可前後での要求機能と具体的な性能維持施設の整理は以下のとおり。

(1) 核燃料物質貯蔵施設の維持管理

審査基準では、核燃料物質の貯蔵施設について、所要の性能を満足するよう当該核燃料物質貯蔵設備を維持管理することが必要とされている。

核燃料物質貯蔵施設の所要の性能とは、設置許可本文「二(ロ) 核燃料物質貯蔵設備の構造及び貯蔵能力」に示す機能を満足することであり、具体的には「臨界防止機能」、「冷却・浄化機能」、「使用済燃料プール水補給機能」、「水位の監視機能」、「漏えいの監視機能」及び「放射線遮蔽機能」である。

廃止措置では、新燃料及び使用済燃料を当該炉から搬出するまで貯蔵する必要があるため、廃止措置計画認可時点ではこれらの機能を有する設備

を維持することとしていた。

その後、使用済燃料の崩壊熱の減少により自然放熱での冷却が可能となったため、使用済燃料貯蔵設備の「冷却・浄化機能」を「浄化機能」のみへ変更する。

変更認可前後における維持機能及び性能維持施設は次のとおりである。

【変更前】

維持機能	性能維持施設	
臨界防止機能	新燃料貯蔵設備	
	使用済燃料貯蔵設備 (2号炉原子炉建屋内)	1号炉使用済燃料ラック
冷却・浄化機能 使用済燃料プール水補給機能 水位の監視機能 漏えいの監視機能 放射線遮蔽機能	使用済燃料貯蔵設備 (1号炉原子炉建物内)	使用済燃料プール 水位警報装置 漏水検知装置 燃料プール冷却系
使用済燃料プール水補給機能	復水貯蔵タンク	

【変更後】

維持機能	性能維持施設	
臨界防止機能	新燃料貯蔵設備	
	使用済燃料貯蔵設備 (2号炉原子炉建屋内)	1号炉使用済燃料ラック
浄化機能 使用済燃料プール水補給機能 水位の監視機能 漏えいの監視機能 放射線遮蔽機能	使用済燃料貯蔵設備 (1号炉原子炉建物内)	使用済燃料プール 水位警報装置 漏水検知装置 燃料プール冷却系
使用済燃料プール水補給機能	復水貯蔵タンク	

(2) 解体中に必要なその他の施設の維持管理

① 非常用電源設備

審査基準では、商用電源が喪失した際、解体中の原子炉施設の安全確保上必要な場合には、適切な容量の電源設備を確保し、これを適切に維持管理することが必要とされている。

このため、廃止措置計画認可時点では使用済燃料を使用済燃料貯蔵設備に貯蔵している間は、使用済燃料の冷却が必要であり、商用電源を喪失した際においても冷却を行う必要があったため、商用電源を喪失した際に使用済燃料貯蔵設備の冷却のために必要な「電源供給機能」を有する設備を維持管理することとしていた。

その後、使用済燃料の崩壊熱の減少により自然放熱での冷却が可能となったことから、商用電源喪失時にディーゼル発電機による電源供給機能は不要となる。

変更認可前後における維持機能及び性能維持施設は次のとおりである。

【変更前】

維持機能	性能維持施設
電源供給機能	ディーゼル発電機 蓄電池

【変更後】

維持機能	性能維持施設
電源供給機能	蓄電池

② その他の安全確保上必要な設備

審査基準では、その他の安全確保上必要な設備（照明設備，補機冷却設備等）の維持が必要とされている。

廃止措置計画認可時点では，廃止措置の安全確保上，使用済燃料を冷却する必要があるため，使用済燃料貯蔵設備の冷却に必要な「補機冷却機能」を有する設備を維持することとしていた。

その後，使用済燃料の崩壊熱の減少により自然放熱での冷却が可能となったことから，本要求事項に基づく原子炉補機冷却系の維持は不要となる。

変更認可前後における維持機能及び維持対象設備は次のとおりである。

【変更前】

維持機能	性能維持施設	
補機冷却機能	原子炉補機冷却系	熱交換器 補機冷却水ポンプ 補機冷却用海水ポンプ

【変更後】

維持機能	性能維持施設	
該当なし	該当なし	

以上の整理に基づき，変更後における使用済燃料冷却に係る性能維持施設範囲は，図 3-1 のとおりである。

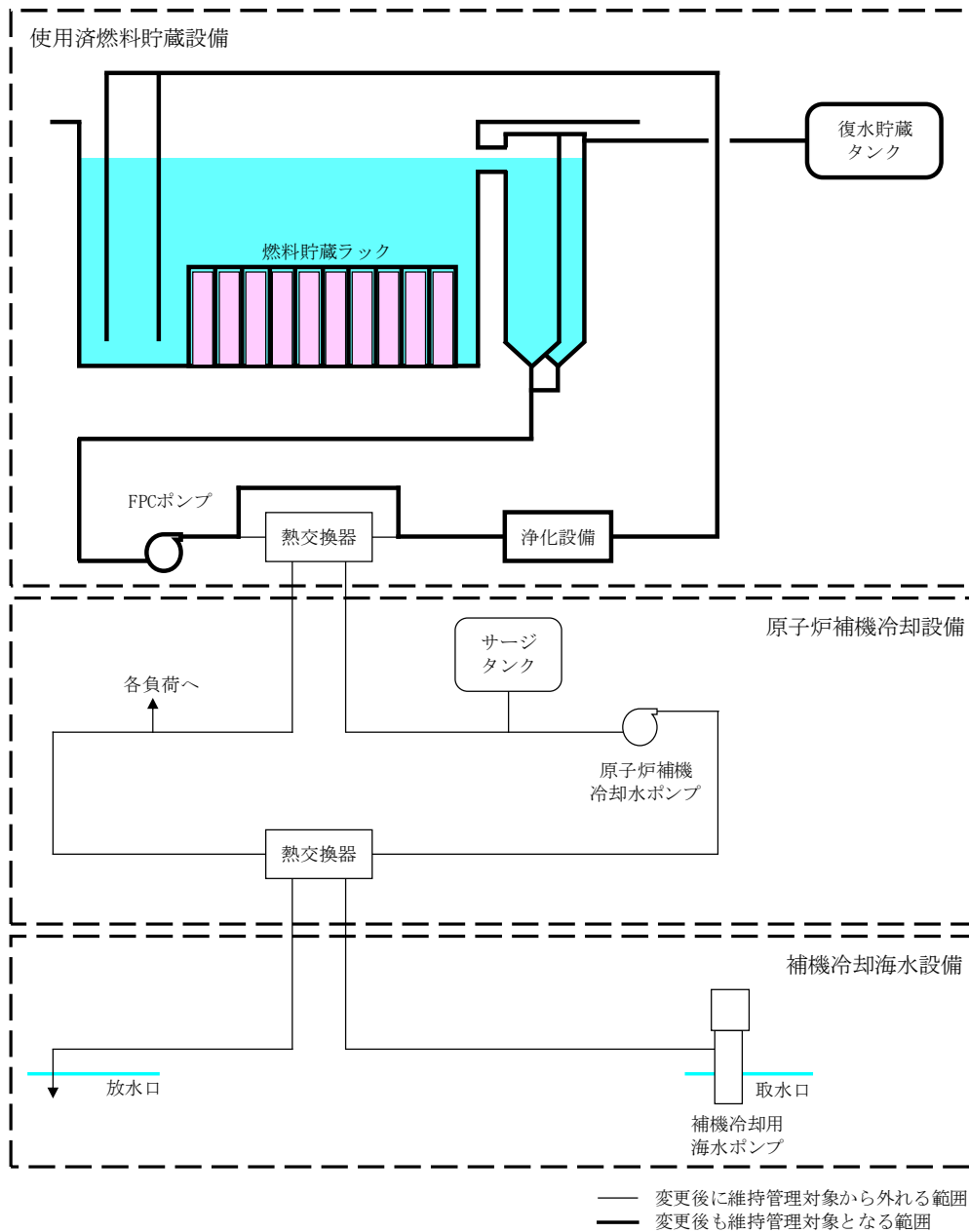


図 3 - 1 変更後における使用済燃料冷却に係る性能維持施設範囲

3. 2 使用済燃料の冷却に係る性能維持施設の見直しに係る具体的影響確認

原子炉補機冷却設備，補機冷却海水設備，及びディーゼル発電機を性能維持施設から除外することについて，それぞれの具体的な冷却先及び負荷先に対し影響がないことを確認する。

なお，ここでは原子炉補機冷却設備及び補機冷却海水設備を「補機冷却設備」，ディーゼル発電機を「DG」という。

3. 2. 1 補機冷却設備による冷却水供給の要否について

補機冷却設備による性能維持施設への冷却水の供給先について，性能維持施設としての補機冷却設備の必要性を表3-1に示す。

使用済燃料が自然放熱による冷却が可能となった以降は，補機冷却設備による冷却は不要であることを確認した。このため，補機冷却設備については，廃止措置計画の性能維持施設から除外する。

3. 2. 2 DGによる電源供給の要否について

電源が必要な性能維持施設について，DGによる電源供給の要否を表3-2に示す。また，これらの設備について蓄電池からの電源供給先となっているかについても表3-2に示す。加えて，蓄電池からの電源供給先となっている性能維持施設等の直流電源母線の負荷を表3-3に示す。

使用済燃料が自然放熱による冷却が可能となった以降は，いずれの設備についても交流電源で作動するものについては電源供給が必須なものではなく，直流電源で作動するものは蓄電池による電源供給が可能であるため，DGによる電源供給は必須でないことを確認した。このため，DGについては，廃止措置計画の性能維持施設から除外する。

表 3 - 1 性能維持施設としての補機冷却設備の必要性

補機冷却設備	冷却水供給先	補機冷却設備による冷却水供給の要否		説明
		変更前	変更後	
原子炉補機冷却設備 〔・熱交換器 ・補機冷却水ポンプ〕	使用済燃料貯蔵設備 (燃料プール冷却系)	○	×	使用済燃料が自然放熱による冷却が可能になれば，原子炉補機冷却設備による冷却水の供給は不要となる。
補機冷却海水設備 (補機冷却用海水ポンプ)	原子炉補機冷却設備 〔・熱交換器 ・補機冷却水ポンプ〕	○	×	使用済燃料が自然放熱による冷却が可能になれば，原子炉補機冷却設備による冷却水の供給は不要となるため，原子炉補機冷却設備への海水供給は不要となる。

表 3-2 DGによる電源供給の要否 (1/2)

電源が必要な性能維持施設			維持機能	DGによる電源供給先	蓄電池による電源供給先	DGによる電源供給要否		説明		
施設区分	設備等の区分	設備(建屋)名称				変更前	変更後			
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	核燃料物質取扱設備	燃料取扱装置(1号炉原子炉建物内)		燃料取扱機能 臨界防止機能 燃料落下防止機能	○	×	×	×	停電時は燃料取扱作業が行われないこと、また、燃料取扱作業中に停電が発生した場合、燃料体を保持する設計となっている。	
		原子炉建物クレーン(1号炉原子炉建物内)			×	×	×	×	—	
核燃料物質貯蔵設備	使用済燃料貯蔵設備(1号炉原子炉建物内)	水位警報装置	水位の監視機能	水位の監視機能	○	×	×	×	停電時は、保安規定で定める自主設備として設置している水位計や現地による水位確認を行うため、停電時の電源供給は必須ではない。なお、保安規定で定める自主設備の水位計については、蓄電池からの電源供給が可能である。	
		漏水検知装置			漏えいの監視機能	○	×	×	×	停電時は、上記の水位計や現地での漏えい確認を行うため、停電時の電源供給は必須ではない。
		燃料プール冷却系				冷却・浄化機能	○	×	○	×
放射性廃棄物の廃棄施設	液体廃棄物の廃棄設備	機器ドレン系	ろ過装置	放射性廃棄物処理機能	×		×	×	×	—
		床ドレン系	蒸発濃縮装置		×	×	×	×	—	
		再生廃液系	蒸発濃縮装置		×	×	×	×	—	
	固体廃棄物の廃棄設備	アスファルト固化装置		放射性廃棄物処理機能	×	×	×	×	—	
		圧縮減容装置			×	×	×	×	—	
放射線管理施設	屋内管理用の主要な設備	放射線監視装置	固定エリア・モニタ	放射線監視機能	○	×	×	×	固定エリア・モニタは、管理区域内の線量の変動・人が駐在・作業等の立入のあるエリアに設置しており、停電時は作業を中断するとともに、必要に応じてサーベイメータ等による監視を行う。	
			半固定放射線検出器		○	×	×	×	半固定放射線検出器は、管理区域内から作業員が退出する際の体表面汚染を測定するために設置しており、停電時はサーベイメータにより測定可能である。	

表 3-2 DGによる電源供給の要否 (2/2)

電源が必要な性能維持施設			維持機能	DGによる 電源供給先	蓄電池に よる電源 供給先	DGによる 電源供給要否		説明	
施設区分	設備等の区分	設備(建屋)名称				変更前	変更後		
放射線管理施設	屋外管理用の 主要な設備	排気筒モニタ	放射線監視機能 管理放出機能	○	○	×	×	施設内の揮発性放射性物質(希ガス・よう素)については、使用済燃料が破損しない限り施設内に発生源はなく、停電時は管理区域内作業を停止するとともに、換気系が停止しダンプが閉止するため、放射性物質は管理区域外へ放出されない。また、蓄電池による電源供給も可能であり、更にモニタリングポストにより周辺環境への影響を監視することで、DGによる電源供給ができなくとも監視可能である。	
		補機冷却海水系モニタ		○	○	×	×		停電時は海水ポンプが停止し、排水が行われない。
		排水のサンプリング・モニタ設備		○	×	×	×		停電時は海水ポンプが停止し、排水が行われない。
原子炉格納施設	主要な附属設備	原子炉建物通常 用換気系	換気機能	×	×	×	×	—	
				送風機	×	×	×	×	—
その他主要設備	換気系	タービン建物換 気系	換気機能	×	×	×	×	—	
				排風機	×	×	×	×	—
		サービス建物換 気系		送風機	×	×	×	×	—
				排風機	×	×	×	×	—
		廃棄物処理建物 換気系		送風機	×	×	×	×	—
				排風機	×	×	×	×	—
	照明設備	非常用照明	照明機能	○	○	×	×	停電時は、蓄電池による電源供給を行う。	

表 3 - 3 直流電源母線の負荷

○蓄電池の電源容量：2,000AH

直流電源母線の接続先		電源負荷量 (A)
核燃料物質貯蔵設備	使用済燃料貯蔵設備の水位・水温計※	20
放射線管理施設	排気筒モニタ	220
	補機冷却海水系モニタ	
照明設備	非常用照明	200
負荷合計		440

※ 保安規定で定める自主設備の負荷量を記載

4. 核燃料物質の貯蔵状況及び崩壊熱の推移について

敦賀発電所 1 号炉の核燃料物質の貯蔵状況，及び敦賀発電所 1 号炉の SFP に貯蔵している使用済燃料の崩壊熱の推移について説明する。

4. 1 敦賀発電所 1 号炉の核燃料物質の貯蔵状況について

4. 1. 1 使用済燃料の貯蔵状況

表 4-1 に示すとおり，現時点において，敦賀発電所 1 号炉の SFP には使用済燃料が 314 体，敦賀発電所 2 号炉の使用済燃料ピット（敦賀発電所 1 号炉専用ラック）には 442 体の使用済燃料が貯蔵されている。

表 4-1 敦賀発電所 1 号炉の使用済燃料の貯蔵状況

貯蔵場所	貯蔵量 (2020.9.4 時点)
敦賀発電所 1 号炉 SFP	314 体
敦賀発電所 2 号炉 使用済燃料ピット	442 体
合計	756 体

なお，核燃料物質の管理について，敦賀発電所 1 号炉廃止措置計画認可申請書には下記のとおり，1 号炉原子炉建物から 2 号炉原子炉建屋への運搬のみが記載されており，今後，使用済燃料が敦賀発電所 1 号炉に新たに搬入される計画はない。

六 核燃料物質の管理及び譲渡し

2 核燃料物質の管理

使用済燃料は、搬出までの期間、1号炉原子炉建物内又は2号炉原子炉建屋内の使用済燃料貯蔵設備で貯蔵する。なお、1号炉原子炉建物内に貯蔵している使用済燃料は、原子炉本体等解体準備期間中に、1号炉原子炉建物から、使用済燃料輸送容器に収納し、2号炉原子炉建屋に運搬し、使用済燃料貯蔵設備で貯蔵する。2号炉の使用済燃料貯蔵設備に運搬した使用済燃料は、2号炉にて管理を行う。また、全ての使用済燃料を2号炉の使用済燃料貯蔵設備に運搬した場合、2号炉の核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設は、共用施設として取り扱わず、1号炉の全ての使用済燃料は廃止措置対象施設から搬出されたものとする。

4. 1. 2 新燃料の貯蔵状況

2015年12月時点において、新燃料は敦賀発電所1号炉のSFPに36体貯蔵されていたが、2018年11月に加工事業者への搬出が完了している。

4. 2 崩壊熱の推移について

前項で示した使用済燃料の貯蔵状況を踏まえた敦賀発電所1号炉の使用済燃料の崩壊熱推移を図4-1に示す。

初回申請時（2015年12月時点）の崩壊熱は83kWであったが、その後は時間経過に伴い崩壊熱は低下している。

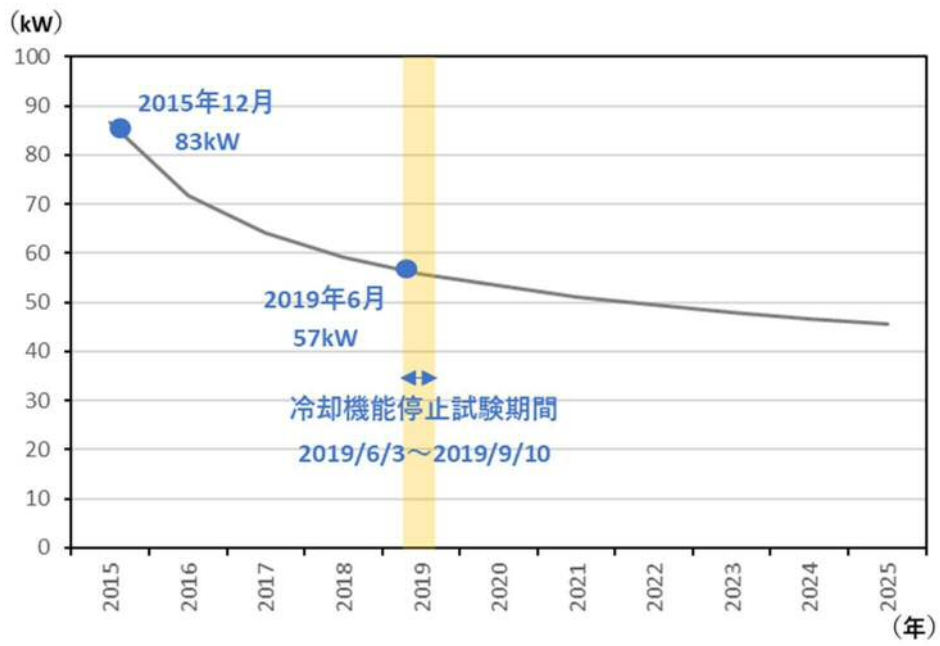


図4-1 敦賀発電所1号炉の使用済燃料の崩壊熱推移

以上

水温変化計算の入力値

$$\cdot Q = E \cdot A_{SFP} \cdot 0.2778 \cdot H_V$$

$$\cdot E = (0.061\nu + 0.125)(\bar{P}_W - \varepsilon \cdot \bar{P}_A)$$

(出典：空気調和・衛生工学便覧 第14版 4 給排水衛生設備編 p.488)

	説明	単位	入力値
Q	水面からの蒸発による伝熱量 (冷却停止試験開始時の崩壊熱)	W	5.7×10^4
A_{SFP}	SFP 表面積	m ²	
H_V	評価水温 (65℃) における水の潜熱	kJ/kg	2345.4
ν	水面上の風速	m/s	0
ε	湿度 (試験期間中の原子炉建屋5階の平均値)	—	0.656
\bar{P}_W	評価水温 (65℃) における水面近傍の飽和蒸気圧	kPa	25.041

水温変化計算の入力値

(補給水の水温への影響評価 (2019年8月31日時点))

$$\cdot Q_1 = m_1 \cdot C_{W1}(T_W - T_1)$$

	説明	単位	入力値
C_{W1}	補給水の比熱	kJ/(kg・K)	4.18
T_1	補給水の水温	°C	29.9

$$\cdot Q_2 = m_2 \cdot C_{W2}(T_2 - T_W)$$

	説明	単位	入力値
C_{W2}	SFP水の比熱	kJ/(kg・K)	4.18
T_2	補給前のSFP水温	°C	46.0

$$\cdot m_1 = \rho_1 \cdot V_1$$

	説明	単位	入力値
ρ_1	補給水の密度 (30°C)	kg/m ³	995.6
V_1	SFPへの1回あたり補給水量	m ³	<input type="text"/>

$$\cdot m_2 = \rho_2 \cdot V_2$$

	説明	単位	入力値
ρ_2	SFP水の密度 (46°C)	kg/m ³	989.8
V_2	補給前のSFP水量	m ³	<input type="text"/>

入力パラメータ

パラメータ	記号	設定値	単位	出典・考え方
崩壊熱	Q_D	57	kW	崩壊熱（調査開始時点）
比熱（水）	C_W	4.18	kJ/kg・K	日本機械学会「伝熱工学資料」（改訂第5版）より（25℃における値）
密度（水）	ρ_W	997	kg/m ³	日本機械学会「伝熱工学資料」（改訂第5版）より（25℃における値）
SFP 保有水量	V_W		m ³	基本図面より算出
SFP 表面積	A_{SFP}		m ²	基本図面より算出
オペフロ体積	V_{AI}		m ³	基本図面より算出
オペフロ天井面積	A_R		m ²	基本図面より算出
熱伝導率（空気）	k	2.72E-2	J/K・s・m	日本機械学会「伝熱工学資料」（改訂第5版）より（40℃における値）
比熱（空気）	C_A	1.01	kJ/kg・K	日本機械学会「伝熱工学資料」（改訂第5版）より（40℃における値）
密度（空気）	ρ_A	1.11	kg/m ³	日本機械学会「伝熱工学資料」（改訂第5版）より（40℃における値）
重力加速度	g	9.8	m/s ²	国立天文台編「理科年表」（2017）より
熱膨張係数	β	3.19E-3	1/K	理想気体の状態方程式より 40℃における値を算出
粘度	μ	1.92E-5	kg/m・s	日本機械学会「伝熱工学資料」（改訂第5版）より（40℃における値）
プラントル数	Pr	0.711	—	プラントル数の定義 $Pr = C_A \times \mu / k$ より（40℃における値）
飽和水蒸気圧	P_W	計算値	Pa	Tetens の近似式により算出
水蒸気圧（空気）	P_A	計算値	Pa	Tetens の近似式及び湿度により算出
蒸発潜熱	H_v	2.44E+6	J/kg	日本機械学会「蒸気表」（1999）より
風速	v	0	m/s	原子炉建屋5階面における実測値
内表面熱伝達率	h_1	9	J/K・s・m ²	井上書院「最新建築環境工学」より
外表面熱伝達率	h_2	23	J/K・s・m ²	井上書院「最新建築環境工学」より
天井コンクリート厚	d_R		m	基本図面より（原子炉建物のドーム部の天井の厚さ）
熱伝導率（コンクリート）	λ_{con}	2.6	J/K・s・m	土木学会「コンクリート標準示方書」より

測定日時	プール水温	室温	大気温度
	(°C)	(°C)	(°C)
06/03 12:00	21.1	25.4	25.8
06/04 00:00	21.7	25.7	23.0
06/04 12:00	22.6	26.2	28.8
06/05 00:00	23.4	26.9	24.1
06/05 12:00	24.2	27.1	27.7
06/06 00:00	25.0	27.2	20.0
06/06 12:00	25.7	26.9	24.8
06/07 00:00	26.4	26.9	19.2
06/07 12:00	27.0	26.7	19.4
06/08 00:00	27.7	26.8	21.7
06/08 12:00	28.3	26.3	20.0
06/09 00:00	28.9	25.8	18.1
06/09 12:00	29.4	25.6	20.4
06/10 00:00	29.9	25.6	18.5
06/10 12:00	30.4	25.5	19.9
06/11 00:00	30.9	25.6	18.6
06/11 12:00	31.3	25.5	21.3
06/12 00:00	31.8	25.6	16.4
06/12 12:00	32.2	25.6	21.7
06/13 00:00	32.6	26.0	17.7
06/13 12:00	32.9	26.1	22.2
06/14 00:00	33.3	26.9	22.9
06/14 12:00	33.7	27.2	25.8
06/15 00:00	34.0	27.2	21.8
06/15 12:00	34.3	26.7	23.2
06/16 00:00	34.7	26.6	18.1
06/16 12:00	35.0	26.1	20.0
06/17 00:00	35.2	25.8	18.3
06/17 12:00	35.5	25.6	20.6
06/18 00:00	35.7	25.7	14.8
06/18 12:00	35.9	26.2	28.6
06/19 00:00	36.1	26.7	20.0
06/19 12:00	36.4	26.9	24.7
06/20 00:00	36.6	27.3	18.2
06/20 12:00	36.9	27.4	23.5
06/21 00:00	37.1	27.7	18.2
06/21 12:00	37.3	28.3	30.9
06/22 00:00	37.6	28.3	21.8
06/22 12:00	37.7	28.1	23.4
06/23 00:00	37.9	28.0	19.2

測定日時	プール水温	室温	大気温度
	(°C)	(°C)	(°C)
06/23 12:00	38.2	27.9	22.6
06/24 00:00	38.3	28.0	20.3
06/24 12:00	38.5	27.9	23.2
06/25 00:00	38.7	28.2	18.1
06/25 12:00	38.8	28.3	23.6
06/26 00:00	38.9	28.8	24.5
06/26 12:00	39.0	29.3	30.6
06/27 00:00	39.2	29.8	25.7
06/27 12:00	39.4	29.8	25.4
06/28 00:00	39.6	29.6	24.7
06/28 12:00	39.8	29.2	22.6
06/29 00:00	40.0	29.1	23.4
06/29 12:00	40.1	29.1	26.9
06/30 00:00	40.3	29.1	24.3
06/30 12:00	40.4	29.3	25.0
07/01 00:00	40.6	29.0	21.7
07/01 12:00	40.7	28.9	24.7
07/02 00:00	40.8	29.4	22.7
07/02 12:00	40.9	29.3	26.4
07/03 00:00	41.0	29.6	21.6
07/03 12:00	41.1	29.6	25.3
07/04 00:00	41.2	29.8	24.2
07/04 12:00	41.4	29.7	25.5
07/05 00:00	41.5	29.7	21.8
07/05 12:00	41.5	29.6	25.4
07/06 00:00	41.6	29.9	21.9
07/06 12:00	41.7	29.8	27.4
07/07 00:00	41.8	30.2	23.1
07/07 12:00	41.9	30.0	25.3
07/08 00:00	41.9	30.2	21.9
07/08 12:00	42.0	30.2	24.8
07/09 00:00	42.1	30.6	24.7
07/09 12:00	42.2	30.3	21.7
07/10 00:00	42.2	30.3	23.8
07/10 12:00	42.2	30.4	30.4
07/11 00:00	42.3	30.9	24.7
07/11 12:00	42.4	30.3	21.4
07/12 00:00	42.4	29.9	23.0
07/12 12:00	42.5	30.0	28.3
07/13 00:00	42.5	29.9	20.8

測定日時	プール水温	室温	大気温度
	(°C)	(°C)	(°C)
07/13 12:00	42.5	29.8	24.9
07/14 00:00	42.6	29.8	20.7
07/14 12:00	42.7	29.7	24.5
07/15 00:00	42.7	29.7	21.7
07/15 12:00	42.7	29.6	23.6
07/16 00:00	42.7	29.5	21.6
07/16 12:00	42.8	29.5	25.5
07/17 00:00	42.8	30.1	22.6
07/17 12:00	42.9	30.3	26.8
07/18 00:00	43.0	30.9	25.0
07/18 12:00	43.0	31.1	27.9
07/19 00:00	43.1	30.8	25.2
07/19 12:00	43.1	30.6	26.2
07/20 00:00	43.2	30.8	26.2
07/20 12:00	43.3	30.8	27.7
07/21 00:00	43.3	31.2	27.7
07/21 12:00	43.3	31.3	29.4
07/22 00:00	43.4	31.7	28.4
07/22 12:00	43.5	31.4	26.5
07/23 00:00	43.6	31.7	26.4
07/23 12:00	43.6	31.8	29.5
07/24 00:00	43.7	31.9	24.9
07/24 12:00	43.7	32.1	30.3
07/25 00:00	43.8	32.6	24.1
07/25 12:00	43.8	33.1	34.3
07/26 00:00	43.9	33.6	28.5
07/26 12:00	44.0	33.8	34.1
07/27 00:00	44.1	34.1	26.7
07/27 12:00	44.1	33.7	25.1
07/28 00:00	44.2	33.1	23.7
07/28 12:00	44.2	33.3	33.1
07/29 00:00	44.3	33.7	25.9
07/29 12:00	44.4	34.1	32.8
07/30 00:00	44.5	34.4	26.0
07/30 12:00	44.6	34.8	32.9
07/31 00:00	44.6	34.8	26.2
07/31 12:00	44.7	35.2	34.5
08/01 00:00	44.8	35.3	26.2
08/01 12:00	44.9	35.4	31.2
08/02 00:00	45.0	35.4	25.7

測定日時	プール水温	室温	大気温度
	(°C)	(°C)	(°C)
08/02 12:00	45.0	35.3	32.2
08/03 00:00	45.1	35.6	26.5
08/03 12:00	45.2	35.6	30.8
08/04 00:00	45.3	35.8	26.6
08/04 12:00	45.3	35.8	32.5
08/05 00:00	45.4	36.1	29.9
08/05 12:00	45.4	36.3	33.6
08/06 00:00	45.5	36.6	29.5
08/06 12:00	45.6	36.7	36.3
08/07 00:00	45.7	36.9	30.1
08/07 12:00	45.7	36.8	36.0
08/08 00:00	45.7	37.1	30.3
08/08 12:00	45.8	37.1	35.8
08/09 00:00	45.9	37.1	27.0
08/09 12:00	46.0	37.0	33.2
08/10 00:00	46.0	36.9	26.6
08/10 12:00	46.0	36.8	31.5
08/11 00:00	46.1	36.9	26.2
08/11 12:00	46.2	36.8	32.2
08/12 00:00	46.2	37.2	29.9
08/12 12:00	46.2	37.2	36.2
08/13 00:00	46.3	37.3	29.7
08/13 12:00	46.3	37.2	32.7
08/14 00:00	46.4	37.5	30.6
08/14 12:00	46.4	37.4	35.3
08/15 00:00	46.5	37.4	30.9
08/15 12:00	46.5	37.2	32.2
08/16 00:00	46.6	36.8	27.3
08/16 12:00	46.6	36.3	33.2
08/17 00:00	46.6	36.1	25.6
08/17 12:00	46.6	36.0	31.0
08/18 00:00	46.7	35.9	23.9
08/18 12:00	46.7	35.8	30.0
08/19 00:00	46.6	35.9	25.4
08/19 12:00	46.6	35.8	28.6
08/20 00:00	46.7	35.5	24.7
08/20 12:00	46.7	35.2	25.9
08/21 00:00	46.7	35.0	24.8
08/21 12:00	46.6	34.9	31.4
08/22 00:00	46.7	35.1	25.5

測定日時	プール水温	室温	大気温度
	(°C)	(°C)	(°C)
08/22 12:00	46.7	34.9	30.0
08/23 00:00	46.7	35.0	25.5
08/23 12:00	46.7	34.6	27.6
08/24 00:00	46.6	34.2	22.2
08/24 12:00	46.6	34.1	29.4
08/25 00:00	46.5	34.1	22.0
08/25 12:00	46.5	34.1	28.4
08/26 00:00	46.4	34.1	22.6
08/26 12:00	46.4	33.8	26.9
08/27 00:00	46.3	33.9	20.8
08/27 12:00	46.3	33.7	28.6
08/28 00:00	46.3	33.4	24.6
08/28 12:00	46.2	33.1	24.8
08/29 00:00	46.2	32.9	24.4
08/29 12:00	46.1	32.9	30.0
08/30 00:00	46.1	33.1	27.1
08/30 12:00	46.1	32.9	23.9
08/31 00:00	46.1	32.4	20.7
08/31 12:00	46.0	32.4	27.2
09/01 00:00	46.0	32.7	23.2
09/01 12:00	46.0	32.6	26.9
09/02 00:00	45.9	32.6	22.3
09/02 12:00	45.8	32.6	25.8
09/03 00:00	45.8	32.6	23.7
09/03 12:00	45.8	32.8	30.3
09/04 00:00	45.8	33.3	24.6
09/04 12:00	45.8	33.4	28.6
09/05 00:00	45.8	33.4	27.0
09/05 12:00	45.8	33.5	31.3
09/06 00:00	45.8	33.8	27.9
09/06 12:00	45.8	34.0	33.3
09/07 00:00	45.8	34.3	28.0
09/07 12:00	45.8	34.4	33.5
09/08 00:00	45.8	34.7	28.4
09/08 12:00	45.8	34.7	34.9
09/09 00:00	45.8	34.9	26.7
09/09 12:00	45.9	34.8	29.5
09/10 00:00	45.9	35.0	25.1
09/10 12:00	46.0	35.1	31.3