

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
商業機密あるいは防護上の観点  
から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-40-4 改0
提出年月日	平成30年3月22日

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に係る補足説明資料のうち  
補足-40-4 使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置について  
(使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置の概要)

平成30年3月  
日本原子力発電株式会社

## 目 次

1. 概要	1
2. 使用済燃料プール監視カメラ用冷却装置の容量と冷却能力	1
3. 評価条件及び算出方法	2
3.1 評価条件	2
3.2 適用規格	2
3.3 評価方法	2
3.4 算出方法	3
4. 使用済燃料プール監視カメラの耐環境性について	5

## 1. 概要

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置は、原子炉建屋原子炉棟での重大事故等時における高温環境下においても使用済燃料プール監視カメラの機能維持を図るために、カメラ本体を冷却するための空気を供給する設計とする。

本資料では、使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置の容量について説明する。また、使用済燃料プール監視カメラの耐環境性及び冷却能力についても説明する。

## 2. 使用済燃料プール監視カメラ用冷却装置の容量と冷却能力

### (1) 容量

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置の空気圧縮機から供給される空気が使用済燃料プール監視カメラの入口で□℃以下になるように必要流量を設定する。

使用済燃料プール監視カメラ空冷装置の必要流量（空気圧縮機の必要流量）が□L/minであることから、空気圧縮機の容量を□L/min以上とする。

### (2) 冷却能力

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置は、空気圧縮機で圧縮された空気を、除湿器及び冷却器で冷却する設計としている。

除湿器の冷却能力としては同一機器を使用した試験を実施しており、原子炉建屋原子炉附属棟内空調機械室の環境温度である46℃となる周辺温度環境を設定して試験をした結果、除湿器出口の温度は□℃以下となることを確認している。

冷却器の冷却能力としては同一機器を使用した試験を実施しており、冷却器の出口温度は入口温度より□℃低下した空気を供給できることを確認している。

### 3. 評価条件及び算出方法

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置の必要流量（空気圧縮機の必要流量）を求めた評価条件及び算出方法は以下のとおりである。使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置の系統構成を図3-1「使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置の空気供給概略図」に、空気圧縮機の必要流量及び評価温度を表3-1「必要流量及び評価温度」に示す。

#### 3.1 評価条件

- ・使用済燃料プール監視カメラの入口温度：□°C以下
- ・原子炉建屋配管入口温度 □°C
- ・周囲温度：原子炉建屋付属棟（圧縮機，除湿器設置場所）46 °C\*<sup>1</sup>  
原子炉建屋原子炉棟（使用済燃料プール監視カメラ，冷却器設置場所）100°C\*<sup>2</sup>
  - \* 1 添付書類V-1-1-6「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」により46°Cに設定している。
  - \* 2 添付書類V-1-1-6「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」により100°Cに設定している。
- ・空気圧縮機の必要流量 □ L/min
- ・冷却器の冷風率：35 %  
(冷却器入口流量に対する冷却器出口流量の割合)
- ・けい酸カルシウムの熱伝導率：0.0535 W/mK  
(J I S A9501 2014 表4-無機多孔質保温材けい酸カルシウム保温板(筒)1号-15より)
- ・ロックウールの熱伝導率：0.03314 W/mK  
(J I S A9504 2014 表2-人造鉱物繊維保温材ロックウール保温筒より)
- ・保温厚さ：けい酸カルシウム 0.1 m  
ロックウールの熱伝導率 0.02 m
- ・空気の定圧比熱：1.005 kJ

#### 3.2 適用規格

- ・ J I S A9501 2014 保温保冷工事施工標準
- ・ J I S A9504 2011 人造鉱物繊維保温材

#### 3.3 評価方法

- (1) 使用済燃料プール監視カメラの必要最低流量を満足するよう必要流量を任意に与える。
- (2) 設定された空気圧縮機の流量を用いて，原子炉建屋原子炉棟入口から使用済燃料プール監視カメラ入口に向けて温度を算出する。
- (3) 上記の計算を使用済燃料プール監視カメラ入口まで行い□°C以下であることを確認する。  
(解析結果が□°C以上になった場合には，使用済燃料プール監視カメラへの空気流量を増加させ，(1)に戻り再度計算を行い，□°C以下となるまで流量を与える。)

### 3.4 算出方法

- ・冷却器入口温度及び使用済燃料プール監視カメラ入口温度の算出式

$$|\theta_{f m} - \theta_{\alpha}| = |\theta_{i m} - \theta_{\alpha}| \cdot e^{-\alpha \cdot l}$$

周囲温度 $\theta_{\alpha}$ は、配管内部の気体温度 $\theta_{f m}$ および $\theta_{i m}$ より高いので

$$\theta_{f m} = \theta_{\alpha} - (\theta_{\alpha} - \theta_{i m}) \cdot e^{-\alpha \cdot l}$$

$$\alpha = \frac{3.6 \cdot U_1}{m' \cdot C_p}$$

- ・熱透過率算出式

$$U_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda}{\ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right)}$$

ここに、

$\theta_{f m}$  : 内部流体 出口温度 (°C)

$\theta_{i m}$  : 内部流体 入口温度 (°C)

$\theta_{\alpha}$  : 周囲温度 (°C)

$m'$  : 内部流体の流量 (kg/h)

$l$  : 管の長さ (m)

$\pi$  : 円周率

$\lambda$  : 保温材 (けい酸カルシウム, ロックウール) の熱伝導率 (W/mK)

$D_i$  : 保温材内径 (m)

$D_e$  : 保温材外形 (m)

$C_p$  : 内部流体の定圧比熱 (kJ)

$U_1$  : 熱透過率

上記に基づき算出した熱透過率 ( $U_1$ ) 及び各インプットは下表の通り。

	$U_1$	$D_e$	$D_i$	$\lambda$
冷却器入口温度 (けい酸カルシウム)	0.1743	0.234	0.034	0.0535
使用済燃料プール監視カメラ入口温度 (ロックウール)	0.1542	0.054	0.014	0.03314

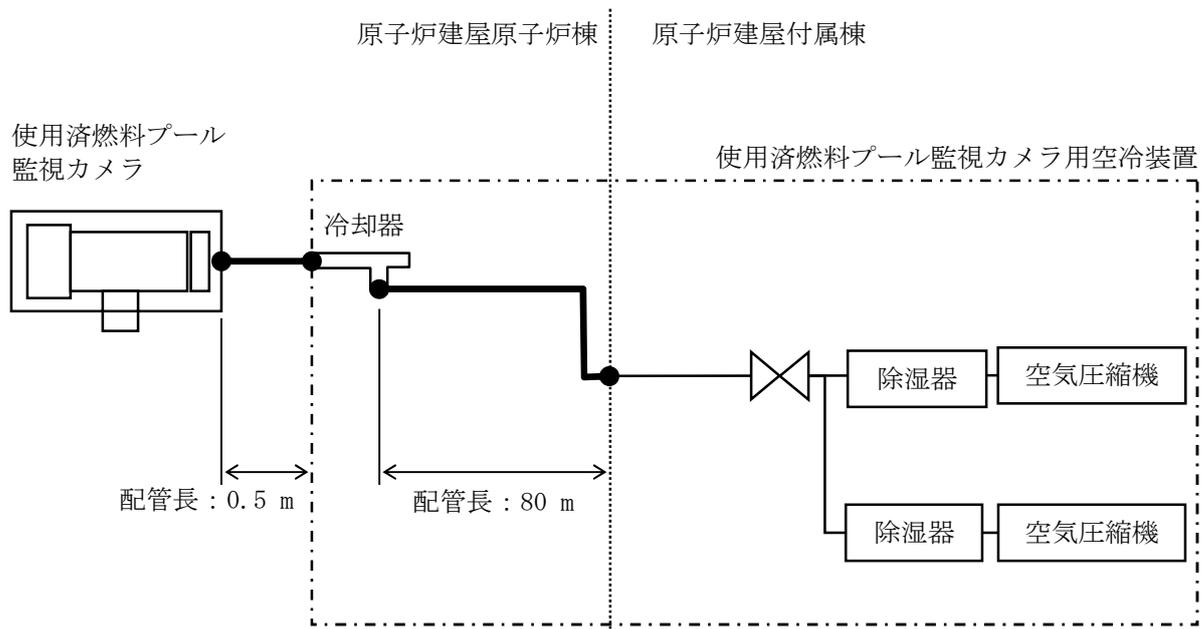


図 3-1 「使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置の空気供給概略図」

表 3-1 必要流量及び評価温度

	必要流量 (L/min)	評価温度 (°C)
使用済燃料プール 監視カメラ用空冷装置	□	□

4. 使用済燃料プール監視カメラの耐環境性について

使用済燃料ピットエリア監視カメラの耐環境性については、実証試験を実施している。また、使用済燃料ピットエリア監視カメラの設計条件に基づき評価が必要な場合は、実証試験結果を踏まえて評価を実施する。

試験結果	<p>空冷カバーに 30 L/min のエアを吹き込んだ場合、使用済燃料ピットエリア監視カメラ本体の温度は平均 43.6 °C まで冷却されていることから、雰囲気温度が 100 °C 環境であっても、計測機能維持が可能であることを確認した。また、カメラ映像機能は温度曝露試験にて <input type="text"/> °C の環境下まで監視可能であることを確認した。</p> <p>今回の試験結果を基に、使用済燃料ピットエリア監視カメラ空冷装置の設計条件で設定している配管出口温度及び必要流量を流した場合の使用済燃料ピットエリア監視カメラの空冷カバー内部温度を求め、温度曝露試験にて機能維持が確認された <input type="text"/> °C 以下であることを確認した。</p>
最高使用温度	<p style="text-align: center;">≤ 50 °C <input style="width: 150px; height: 20px;" type="text"/></p>
試験条件	<p>蒸気封入容器温度 100 °C          圧縮空気量 30 L/min          圧縮空気温度 常温</p>
温度試験内容	<p>本試験では、空冷カバーの冷却性能を確認するために、空冷カバーに常温空気を吹き込みながら、過熱蒸気の吹込みを開始し、蒸気封入容器内部の雰囲気温度が 100 °C に達するまで加熱した。</p> <p>そして、使用済燃料ピットエリア監視カメラ外部温度が定常状態になるまで雰囲気温度を維持し、使用済燃料ピットエリア監視カメラ外部温度が定常状態になったあと、各箇所の温度及びその変化の計測を行った。</p>
試験回路構成	<p>The diagram illustrates the test setup. On the left, a box labeled '過熱蒸気発生器' (Superheated steam generator) has a red arrow pointing to a larger box labeled '蒸気封入容器' (Steam containment vessel). Below this arrow is the text '約 <input type="text"/> の過熱蒸気'. Inside the '蒸気封入容器' box, there is a smaller box labeled 'カメラ+空冷カバー' (Camera + cooling cover) containing a camera icon. Below the '蒸気封入容器' box, a 'コンプレッサ' (Compressor) is connected to a vertical pipe labeled 'エア流量計' (Air flow meter). A blue arrow labeled '冷却エア' (Cooling air) points from the flow meter to the 'カメラ+空冷カバー' box. To the right of the '蒸気封入容器' box, two boxes are connected: 'カメラ制御用 PC' (Camera control PC) and '温度測定機器' (Temperature measurement device).</p>

設計条件による空冷カバー内の温度評価

機械による熱負荷は以下の式により求められる。

$$Q = V (T_2 - T_1) \cdot C_p \cdot \gamma$$

機械工学便覧B 8 熱交換器・空気調和・冷凍 第2章 空気調和2.2.5

a. 風量の計算より引用

ここで、

Q: 機械による負荷(W)

V: 風量 (m<sup>3</sup>/s)

T<sub>1</sub>: 入口空気温度 (°C)

T<sub>2</sub>: 出口空気温度 (°C)

C<sub>p</sub>: 流体の比熱 (J/kg・°C)

γ: 流体の密度 (kg/m<sup>3</sup>)

与えられた条件 (試験結果)

圧縮空気量 V =  L/min

空冷カバー空気入口温度 T<sub>1</sub> =  °C

空冷カバー内部温度 T<sub>2</sub> =  °C

上記条件より機械による顕熱負荷Qを求める。

$$Q = \text{$$
$$= \text{$$
$$= \text{$$

C<sub>p</sub>及びγを一定とし、必要流量、評価温度及び上記で求めた顕熱負荷Qを用いて空冷カバー内部温度を算出する。

$$V = \text{必要流量} \times \text{冷風率} = 450 \times 0.35 = 157.5 \text{ L/min}$$

$$T_1 = \text{評価温度} = \text{ °C}$$

$$T_2 = \text{空冷カバー内部温度} = X \text{ °C}$$

$$Q = \text{$$
$$X = \text{ °C}$$