

設工認その 13 に係る内部火災に対する原子炉停止後 30 秒の冷却の確保について

令和 2 年 8 月 25 日

日本原子力研究開発機構

原子力科学研究所

【R2. 7. 21 コメント】

一般的なデータ等で構わないので、この分離により原子炉停止後 30 秒の冷却を確保できることを説明すること。

JRR-3 は、炉心を火災の影響により損傷させないために、原子炉の運転中において火災を確認した場合は、原子炉を停止し、その後、30 秒間の強制冷却（1 次冷却材主ポンプ 2 台、1 次冷却材補助ポンプ 2 台の計 4 台あるポンプのうち少なくとも 1 台による冷却確保）をすることとしている。

JRR-3 施設内において火災発生を確認したときは、原子炉を停止することとしており、三方策の組み合わせによって炉心の崩壊熱除去は達成する。また、原子炉設置時に敷設したケーブルはすべて難燃性のものを採用しており、それらを各系統、ケーブルの種類ごと分離してケーブルダクト、ケーブルトレイ又は電線管に収納し敷設することで、火災に対する防護方針（原子炉停止後 30 秒間の強制冷却維持）を達成することとしている。

1. ケーブル火災について

安全保護系ケーブル及び非常用電源系ケーブル（以下、「防護対象ケーブル」という。）に対して、原子炉建家貫通部以外はケーブル火災に対する分離距離を規定した IEEE384 に準拠したケーブルトレイの物理的分離または鋼製可とう電線管収納による物理的分離を図っている。

安全保護系のケーブルは計装ケーブル及び制御ケーブルから構成されており、JEAC 4626-2010^{*1}においてこれらのケーブルによる火災想定は当該ケーブルの断線・短絡のみを引き起こす火災であり、他には広がらないものとされていることから、安全保護系のうち 1 系統のケーブルがケーブル火災により断線・短絡した場合でも、独立したもう一方の系統により安全機能は維持される。

非常用電源系ケーブルは電力ケーブルで構成されており、JEAC4626-2010 においてこれらのケーブルによる火災想定は当該ケーブルのトレイ内全ケーブルに断線・短絡を起こす火災とされている。1 次冷却材補助ポンプが接続されている非常用電源系のうち一方のケーブルがケーブル火災により断線・短絡した場合には、当該系統に接続する 1 次冷却材補助ポンプが停止するため「1 次冷却材補助ポンプ停止」のスクラム信号により原子炉が停止し、ケーブル火災を起こしたケーブルとは分離独立し敷設させている 1 次冷却材主ポンプ 2 台及び 1 次冷却材補助ポンプ 1 台により 30 秒間の強制冷却が可能である。

以上からケーブル火災が発生した場合においても、防護対象ケーブルの安全機能は護られる。

2. ケーブル火災以外の内部火災について

防護対象ケーブルのうち、安全保護系のケーブルが火災により短絡・断線した場合には原子炉のスクラ

ム信号が発生し原子炉が停止するフェールセーフの設計である。原子炉停止後 30 秒の強制冷却に必要な系統は、1 次冷却材補助ポンプの運転に必要な電源ケーブル（非常用電源系ケーブル）と、1 次冷却材流量の監視に必要なプロセス計装設備である。これらのケーブルは原子炉建家地階、ケーブルダクト室、ケーブル処理室、電気室及び中央制御室に敷設されている。このうち電気室及び中央制御室については床下の埋設配管に敷設されており、内部火災の影響を受けない。ケーブルダクト室及びケーブル処理室についてはケーブル以外の可燃性物質はなく、原子炉運転中は立入禁止とし施錠管理を行っているため、ケーブル火災以外は発生しない。以上のことから、ケーブル火災以外の内部火災からの防護を考慮すべき箇所は原子炉建家地階のみである。

2.1 原子炉建家地階における内部火災想定について

原子炉建家地階において防護対象のケーブルは床面から 2m 以上の高さに敷設されている（図 1 参照）。原子炉建家については、発火性物質及び引火性物質の持込を管理しており、原子炉建家内にそれらを保管する場合には金属製の容器に収納している。また、原子炉建家地階には実験利用設備はなく、運転員以外の立入を禁止している。加えて、原子炉建家地階は運転員による 1 日 3 回の巡視を実施している。以上の状況を踏まえ、火災源については運転員が使用する巡視記録等の紙類を想定し、NUREG/CR-6850 の Final Report^{*2}における仮置可燃物の燃焼試験の結果から表 1 の通り選定する。最も厳しい条件として、これらの仮置可燃物が高さ 2m に敷設されたケーブルトレイの直下において発火した場合のケーブルへの影響を評価する。

表 1 想定火災源

火災源	重量	最大発熱速度 (HRR)
段ボール (30cm×40cm×30cm)	0.395kg	26kW
コピー用紙	6.8 kg	
しわくちゃの紙	0.68 kg	

2.2 影響評価について

評価は火災源となる段ボール等の仮置可燃物をケーブルトレイの直下の床面に置き、段ボールの上面から発火した場合（図 2 参照）を想定し、プルーム影響によるケーブルトレイ位置の温度上昇を評価した。評価においては FDT^s (Fire Dynamics Tools)^{*3} の計算モデルに基づいて算出した。評価条件および結果について表 2 に示す。評価の結果、火炎が直接ケーブルトレイに届くことはなく、また、ケーブルトレイ位置におけるプルーム中心軸温度が約 101.96℃となり、ケーブル損傷基準である 205℃まで上昇することはなく、機能喪失しないことを確認した。（別添資料として FDT^s のアウトプットを示す。）

表 2 評価条件及び結果

火災源			ターゲット			影響範囲 (ZOI)	
HRR	火災源等 価直径	火災源高さ	床からの高さ	火災源からの距離		火炎高さ	プルーム中心 軸温度
				水平方向	垂直方向		
26kW	0.34m	0.40m	2.0m	0m	1.6m	0.52m	101.96℃

以上のことから、仮置可燃物から火災が発生した場合でも、防護対象ケーブルを損傷することはないため、運転員は施設内に設置されている火災報知器により感知し、火災発生を確認した後に、原子炉を停止することで、30秒の強制冷却を行うことが可能である。

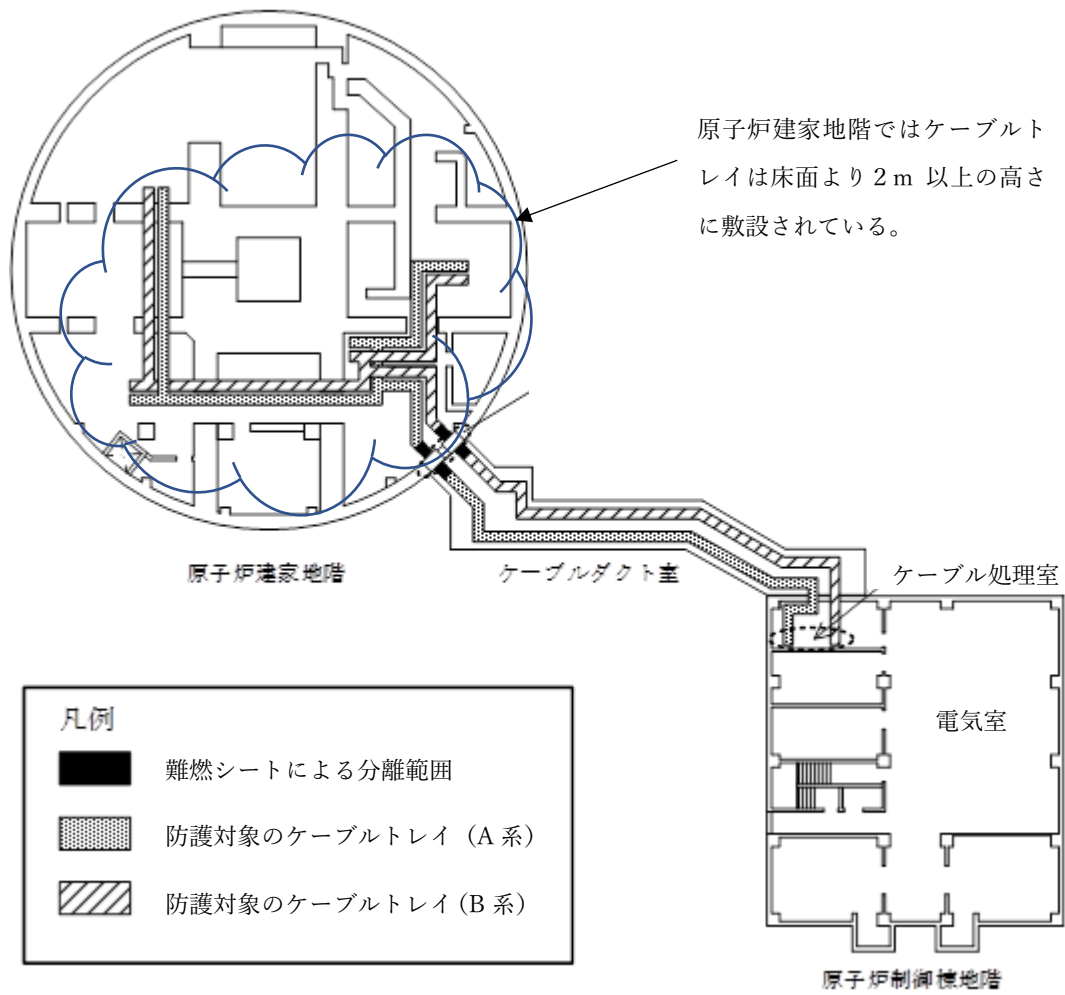


図1 防護対象ケーブルの敷設状況

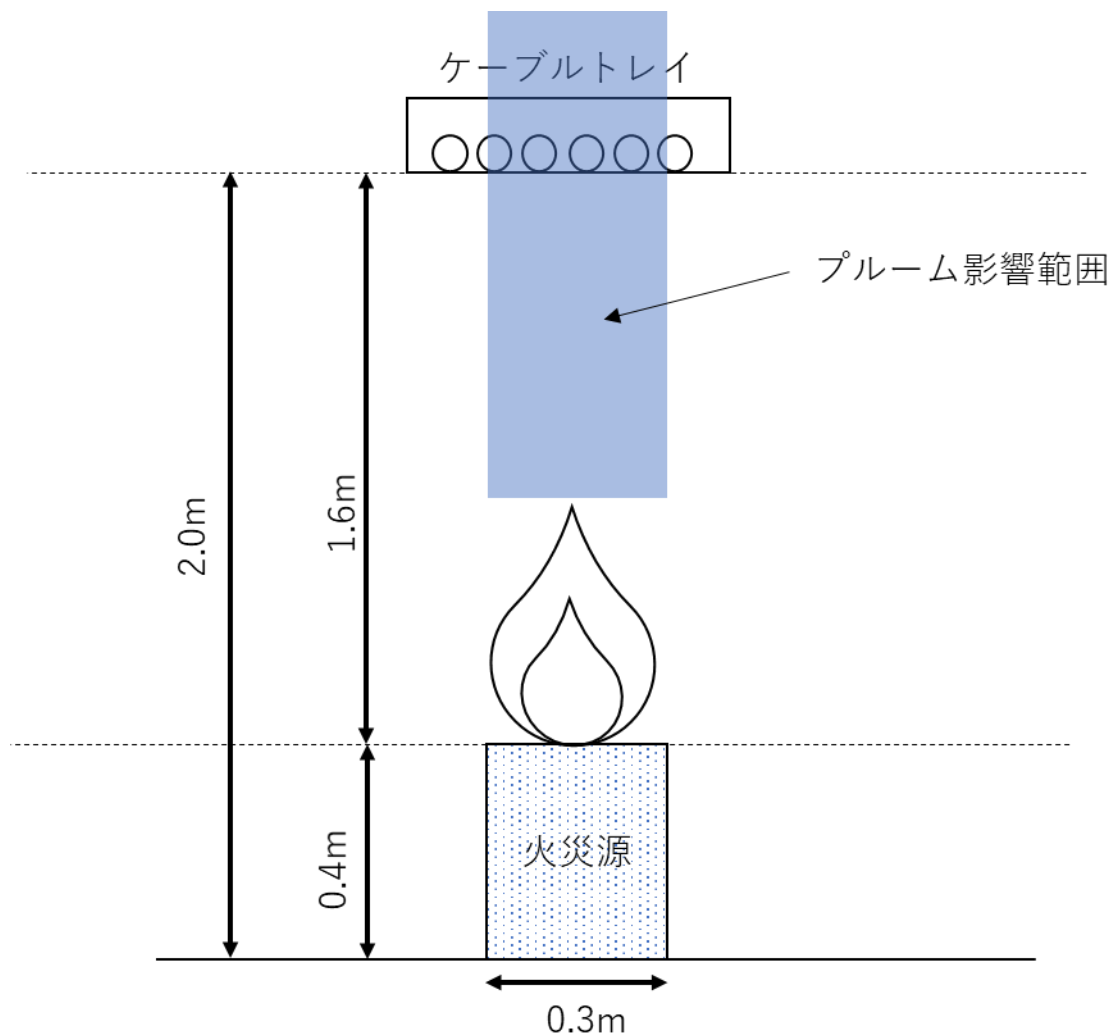


図2 火災影響評価イメージ

<参考文献>

*1: 原子力発電所の火災防護規程 (JEAC 4626-2010)

*2: EPRI/NRC-RES Fire PRA Methodology for Nuclear Power Facilities: Detailed Methodology, Final Report, (NUREG/CR-6850, EPRI 1011989, Volume 2)

*3: Fire Dynamics Tools (FDT[®]) Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program (NUREG-1805, Final Report)



**CHAPTER 9. ESTIMATING CENTERLINE TEMPERATURE
OF A
BUOYANT FIRE PLUME**

**Version 1805.1
(SI Units)**

The following calculations estimate the centerline plume temperature in a compartment fire.
Parameters should be specified ONLY IN THE YELLOW INPUT PARAMETER BOXES.
 All subsequent output values are calculated by the spreadsheet and based on values specified in the input parameters. This spreadsheet is protected and secure to avoid errors due to a wrong entry in a cell(s). The chapter in the NUREG should be read before an analysis is made.

**Project / Inspection
Title:**

JRR-3内部火災影響評価 (ケーブルへの影響)

INPUT PARAMETERS

Heat Release Rate of the Fire (Q)	26.00	kW
Elevation Above the Fire Source (z)	1.60	m
Area of Combustible Fuel (A _c)	0.09	m ²
Ambient Air Temperature (T _a)	25.00	°C

AMBIENT CONDITIONS

Specific Heat of Air (c _p)	1.00	kJ/kg-K
Ambient Air Density (ρ _a)	1.18	kg/m ³
Acceleration of Gravity (g)	9.81	m/sec ²
Convective Heat Release Fraction (χ _c)	0.70	

NOTE: Ambient Air Density (ρ_a) will automatically correct with Ambient Air Temperature (T_a) Input

Click Here to Calculate this Sheet and Return to THIEF



CHAPTER 9. ESTIMATING CENTERLINE TEMPERATURE OF A BUOYANT FIRE PLUME

Version 1805.1
(SI Units)

ESTIMATING PLUME CENTERLINE TEMPERATURE

Reference: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition, 2002, Page 2-6.

$$T_{p(\text{centerline})} - T_a = 9.1 (T_a/g c_p^2 \rho_a^2)^{1/3} Q_c^{2/3} (z - z_0)^{-5/3}$$

Where,

$T_{p(\text{centerline})}$ = plume centerline temperature (°C)

Q_c = convective portion of the heat release rate (kW)

T_a = ambient air temperature (K)

g = acceleration of gravity (m/sec²)

c_p = specific heat of air (kJ/kg-K)

ρ_a = ambient air density (kg/m³)

z = distance from the top of the fuel package to the ceiling (m)

z_0 = hypothetical virtual origin of the fire (m)

Convective Heat Release Rate Calculation

$$Q_c = \chi_c Q$$

Where,

Q_c = convective portion of the heat release rate (kW)

Q = heat release rate of the fire (kW)

χ_c = convective heat release fraction

$$Q_c = 18.2 \text{ kW}$$

Fire Diameter Calculation

$$A_c = \pi D^2/4$$

$$D = \sqrt{(4 A_c/\pi)}$$

Where,

A_c = area of combustible fuel (m²)

D = fire diameter (m)

$$D = 0.34 \text{ m}$$

Hypothetical Virtual Origin Calculation

$$z_0/D = -1.02 + 0.083 (Q^{2/5})/D$$

Where,

z_0 = virtual origin of the fire (m)

Q = heat release rate of fire (kW)

D = fire diameter (m)

$$z_0/D = -0.12$$

$$z_0 = -0.04 \text{ m}$$



**CHAPTER 9. ESTIMATING CENTERLINE TEMPERATURE
OF A
BUOYANT FIRE PLUME**

**Version 1805.1
(SI Units)**

Mean Flame Height Calculation

$$L = -1.02D + 0.235 (Q^{2/5})$$

Where,

- L = mean flame height (m)
- Q = heat release rate of fire (kW)
- D = fire diameter (m)

$$L = 0.52 \text{ m}$$

Centerline Plume Temperature Calculation

$$T_{p(\text{centerline})} - T_a = 9.1 (T_a/g c_p^2 \rho_a^2)^{1/3} Q_c^{2/3} (z - z_0)^{-5/3}$$

$$T_{p(\text{centerline})} - T_a = 76.96 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_{p(\text{centerline})} = 374.96 \text{ }^\circ\text{K}$$

Answer	$T_{p(\text{centerline})} =$	101.96 °C	215.53 °F
---------------	------------------------------	------------------	------------------

NOTE:
The above calculations are based on principles developed in the SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd Edition, 1995. Calculations are based on certain assumptions and have inherent limitations. The results of such calculations may or may not have reasonable predictive capabilities for a given situation, and should only be interpreted by an informed user. Although each calculation in the spreadsheet has been verified with the results of hand calculation, there is no absolute guarantee of the accuracy of these calculations. Any questions, comments, concerns, and suggestions, or to report an error(s) in the spreadsheets, please send an email to David.Stroup@nrc.gov and Naeem.Iqbal@nrc.gov or MarkHenry.Salley@nrc.gov.

Prepared by: Date: Organization:

Checked by: Date: Organization:

Additional Information: