

HT-201-2

HTTR 設工認 第 2 回申請の一部補正(R2.3.30)の
コメントに係る回答

令和 2 年 6 月 30 日

日本原子力研究開発機構 大洗研究所

高温ガス炉研究開発センター

高温工学試験研究炉部

第2回申請の一部補正(R2.3.30)に対する確認事項(No.15の追加 R2/6/18):第2編(内部火災)

二酸化炭素消火設備を設置している非常用発電機室の防火ダンパについて、構造図や作動信号を含む作動の流れ図を用いて、同室の火災発生時に、消火に必要な十分な量の二酸化炭素の閉じ込めが可能か説明すること。

【回答】中央制御室にて非常用発電機室の火災を感知した際、二酸化炭素消火設備を手動起動することで、非常用発電機及び換気空調設備の停止信号を発信すると共に約34秒間の退避警報の吹鳴後、消火する火災区域に係る選択弁を開放することで、火災区画に割り当てられている二酸化炭素ボンベの全量を放出する。放出と同時に、消火効果を高めるため、二酸化炭素放出用配管に接続される銅管を介し二酸化炭素の圧力にて、屋外開放ダンパ及び換気空調設備の防火ダンパを閉止する。なお、中央制御室の自動火災報知設備の受信機に、二酸化炭素消火設備の放出状況を表示する。消火完了後、屋外に二酸化炭素の排気用ファンを設置し、手動起動により区画内に充満した二酸化炭素を排気する。なお、排気操作の際には、空気呼吸器を装着し作業員の酸欠防止を図るとともに、区画内の酸素濃度を測定する。ダンパの復旧については、ダンパ復旧箱内の弁の手動開放により蓄圧されていた二酸化炭素を放出することで、屋外に開放されているダンパ及び換気空調設備の防火ダンパを復旧する。

図1に二酸化炭素消火設備起動の流れ、図2に二酸化炭素消火設備系統概、図3に屋外開放ダンパの外観、図4に二酸化炭素排気用ファンの外観、表1に非常用発電機室に係る二酸化炭素消火設備の消火剤量を示す。

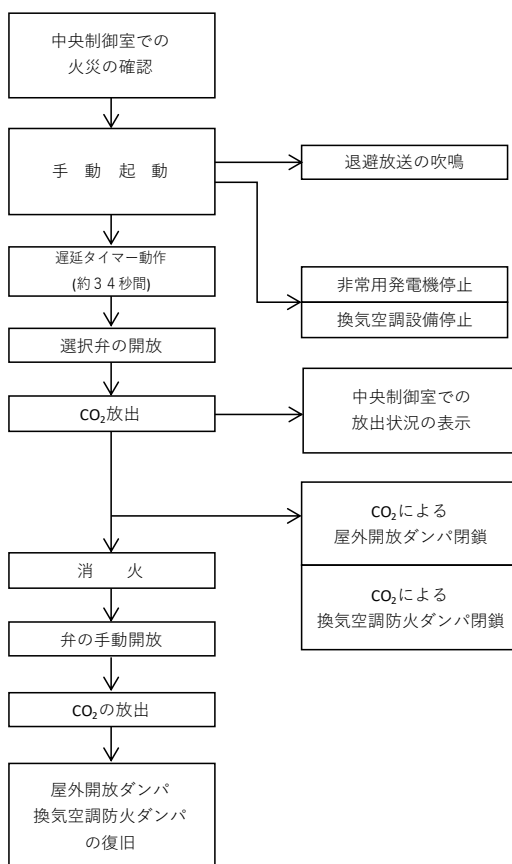


図1 二酸化炭素消火設備起動の流れ

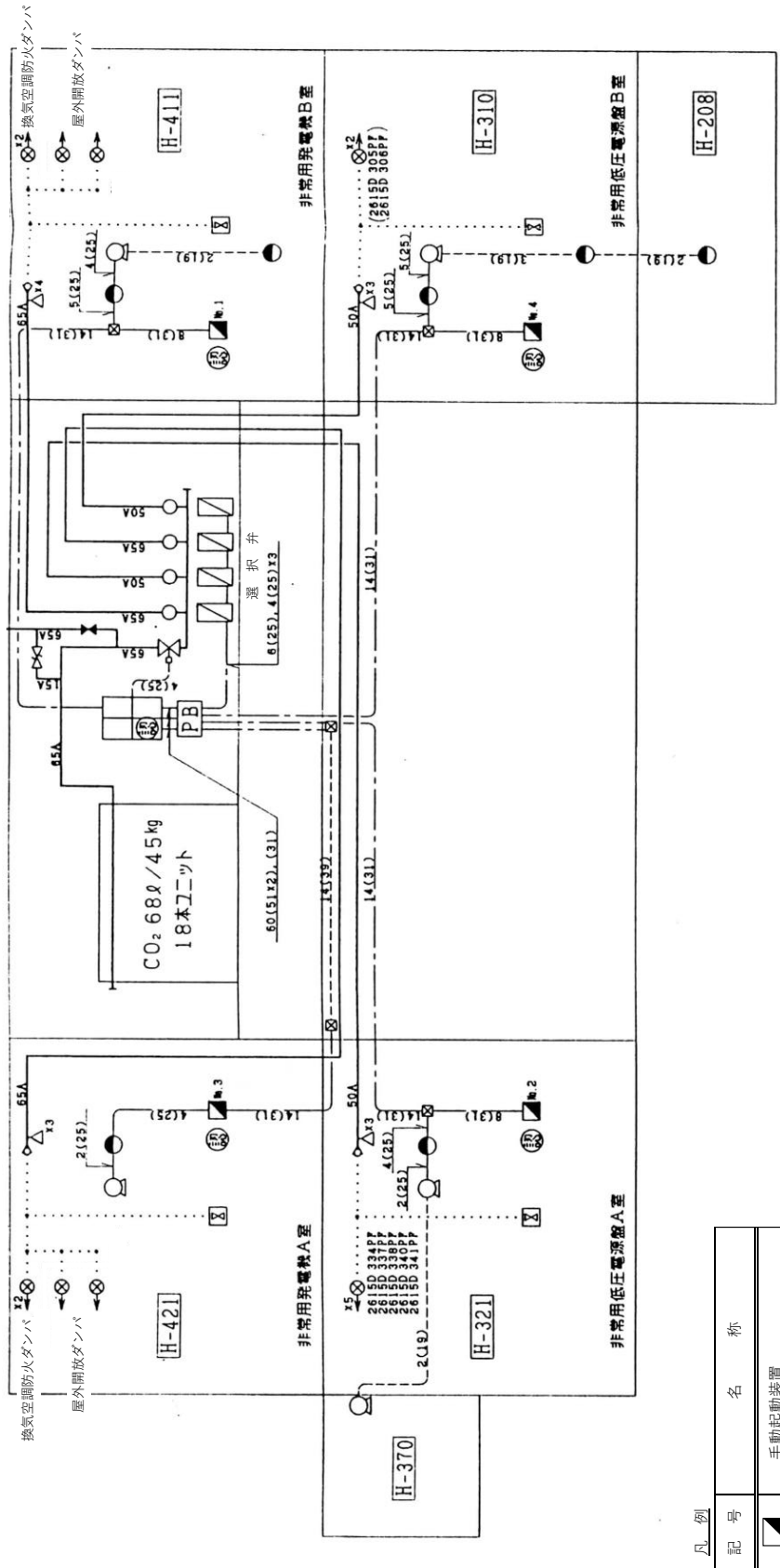


図2 二酸化炭素消火設備起動の概略系統図

記号	名称
▲	手動起動装置
●	ガス放出表示灯
○	スピーカー
▽	噴射ヘッド



図 3 屋外開放ダンパの外観



図 4 二酸化炭素排気用ファンの外観

表 1 非常用発電機室に係る二酸化炭素消火設備の消火剤量

火災区画	防護容積 (m^3)	容積係数 (Kg/m^3)	開口部面積 (m^2)	開口部付加係数 (Kg/m^3)	必要薬剤量 (Kg)	放出本数 (68L/45Kg)	主管径 (A)	主端径 (A)	噴出ヘッド 個数
H-411	$131 \text{ m}^3 \times 7.4\text{H}=970$	0.8	0	5.0	776.0	18 本	65	32	4
H-421	$104 \text{ m}^3 \times 7.7\text{H}=801$	0.8	0	5.0	641.0	15 本	65	32	3

3.2(1)、第4.1表

積載荷重を 1000N/m² としているところ、第4.1表では 3432N/m² としているので、両者の関係性を説明すること。

【回答】

第4.1表に示す 3432N/m² は、屋根に積載可能な荷重として人間の荷重、資機材（工事を行う際の足場や仮置き物等）の荷重を含めて部位毎に設定している荷重である。一方、3.2項(1)の 1000N/m²（除灰時の人員荷重*）は、第4.2表の許容値（VA+S+LL）の LL 値であり、降灰時に屋根に負荷される荷重の一部として除灰時の人員荷重を考慮して評価の条件として設定した値である。

*積載荷重(積載：LL)には、除灰時の人員荷重として、「建築構造設計基準の資料(国土交通省 平成30年度版)」における「屋上(通常人が使用しない場合)」の床版計算用積載荷重における 980 N/m² を包絡した 1000 N/m² を考慮する。

第4.1表

評価部位によって固定荷重に違いがあるので、どういった屋根部材（スラブ、トラス、小梁）を想定したかの内訳を説明すること。

【回答】

核物質防護情報が含まれているため公開出来ません。

屋根スラブは、部位ごとに屋根スラブ厚さが ■cm, ■cm, ■cm となっており（No28 回答の第4.1 図参照）、その違いによって固定荷重に差が生じているものである。

第3.5表

SD295A の弾性限界を示していない理由を説明すること。

【回答】

SD295A の鉄筋は床スラブで使用しており、床スラブの火山灰評価における許容値は、保守側として短期許容応力度を採用している。このため、SD295A については弾性限界を示していない。

第 4.2 表

許容応力の比により積載可能な荷重を評価しているが、この手法が、曲げ、せん断、圧縮、引張の応力をそれぞれに対しても保守的であることを説明すること。

また、最大でも短期許容応力度を超えないので、建家全体としては弾性範囲内であるという理解でよいか。

【回答】

許容応力度の比による積載可能な荷重の評価は、火山灰堆積のない通常時の応力評価結果を基に、短期/長期の許容応力度の比 1.5 倍を乗じて積載可能な荷重を求め、それを火山灰荷重に比べて大きいことを確認したものである。

火山灰堆積のない通常時の応力評価では、応力の作用方向や種類を考慮して評価した結果であり、曲げ、せん断等の評価結果を含むものである。この結果を基に許容応力度の比 1.5 倍を用いて評価した結果についても、同様に応力の作用方向や種類を考慮した評価結果となる。また、この評価結果は短期の許容応力度を超えないことを確認したものであり、建家全体として弾性範囲内であることを確認しているものである。

4.2

使用済燃料貯蔵建家の側壁は耐震壁構造で鉄骨架構式構造ではないのか。(鉄骨架構であれば、層間変形角を評価しなくてよいのか、という観点の質問)

【回答】

使用済燃料貯蔵建家地上部の主要な構造断面を図 1 屋根伏図及び図 2 軸組図に示す。本建家は鉄骨架構式構造ではない。上部構造は、鉄筋コンクリート造耐震壁と、その周辺に鉄筋コンクリート造(一部、鉄骨鉄筋コンクリート造)の大梁及び柱部材を配置した構造となっており、架構としては鉄筋コンクリート造(一部、鉄骨鉄筋コンクリート造)である。また、耐震壁は平面的に閉じた形をした外壁であり、屋根面は鉄筋コンクリート造の構造スラブとなっており、平面的及び立面的に剛性の高い設計となっている。

核物質防護情報が含まれているため公開出来ません。

図 1 屋根伏図

図 2 軸組図

4. 1. 2

評価に用いた応力解析方法を説明すること。解析コードを使用した場合は、その名称と既設工認における使用実績、検証実績も併せて説明すること。

【回答】

<原子炉建家の応力解析>

(1) 屋根トラス

- ・静的弾性解析による応力解析及び「S 規準」に基づく断面算定
(既認可と同一の方法)

*また、応力解析は既認可申請の結果(火山灰堆積のない常時荷重)に基づく火山灰荷重の倍率から求めた。

(2) 小梁及び屋根スラブ

- ・手計算により応力を算定し、「S 規準」及び「RC 規準」に基づく断面算定
(既認可と同一の方法)

<使用済燃料貯蔵建家の応力解析>

(1) 屋根鉄骨梁

- ・一貫構造計算プログラム「Super Build/SS3(ユニオンシステム株式会社)」を用いた応力解析及び「S 規準」に基づく断面算定
- ・Super Build/SS3(ユニオンシステム株式会社)の使用実績を下表に示す。なお、本計算プログラムは、国土交通大臣認定プログラムである Super Build/SS2 をベースとしたプログラムである。

表 Super Build/SS3(ユニオンシステム株式会社)の使用実績

申請	施設名
JRR-3 設工認 (その 3)	第 1 編 使用済燃料貯槽室の耐震改修
	第 2 編 燃料管理施設の耐震改修
JRR-3 設工認 (その 5)	第 1 編 実験利用棟の耐震改修

(2) 屋根スラブ

- ・手計算により応力を算定し、「RC 規準」に基づく断面算定
(既認可と同一の方法)

第 4.6 表、第 4.7 表

屋根トラスの斜材（25）と束材（44）では、曲げモーメントとせん断力が「-」となっている理由を説明すること。

【回答】

屋根トラスの斜材と束材の解析モデルで使用した部材はトラス要素のため、曲げモーメントとせん断力は生じないため、「-」と表現している。

なお、解析モデル図では、両端ピン（○）と表現としている。

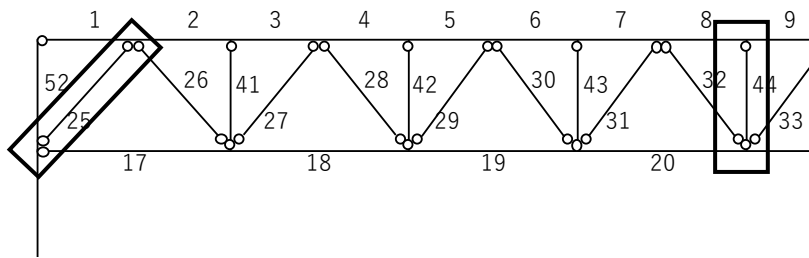


図 屋根トラスの解析モデル（一部拡大）

4. 1. 2. 2、4. 1. 2. 3

屋根スラブ及び小梁の構造概要を示して解析モデルを説明すること。

【回答】

原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家の屋根スラブ、小梁について、以下に構造概要を示す。また、評価モデル及び応力算定方法を申請書に記載する。

(1) 原子炉建家 屋根スラブ及び小梁の構造概要

核物質防護情報が含まれているため公開出来ません。

図 1. 1 原子炉建家屋根伏図

核物質防護情報が含まれているため公開出来ません。

表 1. 1 原子炉建家 屋根スラブ及び小梁の構造

(2) 使用済燃料貯蔵建家 屋根スラブの構造概要

核物質防護情報が含まれているため公開出来ません。

図 2.1 使用済燃料貯蔵建家屋根伏図

核物質防護情報が含まれているため公開出来ません。

表 2.1 使用済燃料貯蔵建家 屋根スラブ及び小梁の構造

核物質防護情報が含まれているため公開出来ません。

屋根スラブは、厚さ■■■ mm の連続した鉄筋コンクリート造スラブで、配筋は上端・下端で同じである。また、屋根スラブは鉄骨の小梁で支持されている。

スラブ端部の固定度については、スラブが梁スパンごとに分かれている場合、支持条件はピンとなるが、本屋根スラブは連続した構造となっているため、固定端として端部に曲げモーメントが生じる応力分布（支持条件：4辺固定）で評価することが適切であると考えられる。設計時の屋根スラブの評価においても4辺固定として評価している。（図1、表1参照）

なお、降下火砕物が堆積した条件の評価で検定値が最大（0.21）となる原子炉建家屋根スラブを4辺ピン支持と仮定した場合のスラブ応力は、最大発生位置が端部上端から中央下端になり、曲げモーメントの差は5%程度（ $0.084w \cdot Lx^2 / 0.080w \cdot Lx^2 = 1.05$ ）とわずかである。原子炉建家屋根スラブの検定値には十分な余裕があり、降下火砕物に対して十分な安全性を有している。（表2参照）

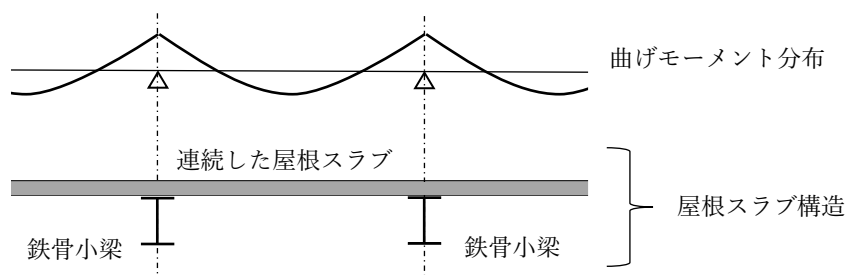


図1 屋根スラブ構造と曲げモーメント分布

表 1 設計時の屋根スラブの支持条件

<p>核物質防護情報が含まれているため公開出来ません。</p>

表2 スラブの応力図 (RC 規準 (1988) 抜粋)

4 辺固定と 4 辺ピン固定の比較

支持条件	4 辺固定		4 辺ピン固定	
位置	端部上端	中央下端	端部上端	中央下端
λ (L_y/L_x)	1.72 (4500/2625)			
曲げ モーメント	$0.080w \cdot Lx^2$	$0.037w \cdot Lx^2$	—	$0.084w \cdot Lx^2$
応力図	<p>(注: コンクリートのヤング係数 E: スラブ厚)</p> <p>付図 10.1 等分布荷重時 4 辺固定スラブの応力図と中央点のたわみ δ^0 ($\nu=0$)</p>		<p>付図 10.9 等分布荷重時 4 辺単純支持スラブの応力図と中央点のたわみ δ^0 ($\nu=0$)</p>	

第4.9表

屋根スラブの長辺側ではせん断力が「-」となっている理由を説明すること。

【回答】

せん断力に対しては1方向スラブとして評価しているため、長辺側は「-」とした。

表4.11表

小梁の下弦材、斜材、束材で曲げモーメントが「-」となっている理由を説明すること。また、小梁にはせん断力は発生しないのか説明すること。(屋根トラスの評価ではせん断力を評価しているため)

【回答】

小梁の構造はトラスである。上弦材は、直接屋根スラブを受けているため、曲げモーメントが発生する。その他の部材は、曲げモーメントは生じない。なお、小梁に生じる応力は、圧縮、引張力が支配的であり、せん断力は極めて小さい。

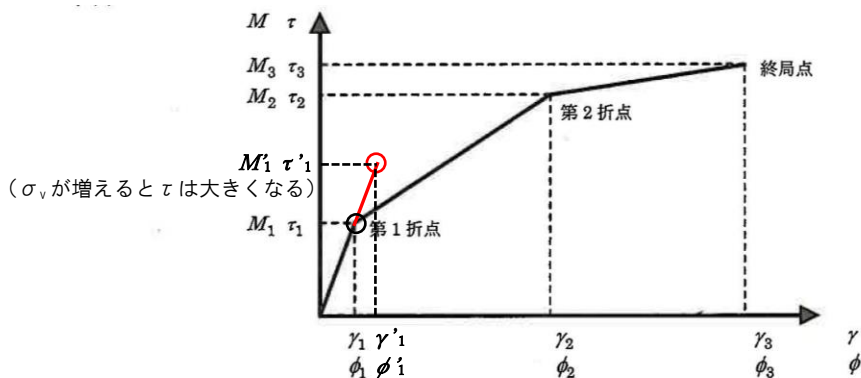
5. (2)

「建家屋根に降下火砕物等の鉛直荷重を作用させると復元力特性における第1折れ点が増加することが明らかである」と説明しているので、明らかである考え方を説明すること。また、その説明を踏まえれば、風荷重による層せん断力評価では、降下火砕物荷重を考慮した復元力特性の増加を考慮したモデルで評価したという理解で良いか。(地震力による評価と異なるモデルによる評価であるかを確認したい。)

【回答】

耐震壁の復元力特性は、次頁に示すとおり、降下火砕物等の鉛直荷重により縦軸応力度 σ_v が増加し、第1折れ点は大きくなる。

風荷重時は、保守的に上記の復元力特性の増加を考慮せず評価している。



附図 3.7-1 トリリニア・スケルトンカーブ (JEAC4601-2015 抜粋・一部加筆)

a. せん断変形 ($\tau-\gamma$ 関係)

第1折点 $\left\{ \begin{array}{l} \tau_1 = \sqrt{0.31\sqrt{F_c}(0.31\sqrt{F_c} + \sigma_v)} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(附 3.7-1)} \\ \gamma_1 = \tau_1 / G \dots\dots\dots \text{(附 3.7-2)} \end{array} \right.$

第2折点 $\left\{ \begin{array}{l} \tau_2 = 1.35 \tau_1 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(附 3.7-3)} \\ \gamma_2 = 3 \gamma_1 \dots\dots\dots \text{(附 3.7-4)} \end{array} \right.$

終局点 $\left\{ \begin{array}{l} \tau_3 = (1 - \frac{\tau_s}{1.4\sqrt{F_c}})\tau_0 + \tau_s \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \tau_s \leq 1.4\sqrt{F_c} \dots\dots\dots \text{(附 3.7-5)} \\ \quad = 1.4\sqrt{F_c} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \tau_s > 1.4\sqrt{F_c} \\ \gamma_3 = 4.0 \times 10^{-3} \dots\dots\dots \text{(附 3.7-6)} \\ \tau_0 = (0.94 - \frac{0.56M}{QD})\sqrt{F_c} \end{array} \right.$

ただし, $\frac{M}{QD} > 1$ のとき $\frac{M}{QD} = 1$ とする。

$$\tau_s = \frac{(P_v + P_H)_s \sigma_y}{2} + \frac{(\sigma_v + \sigma_H)}{2}$$

ここで,

- F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)
- G : コンクリートのせん断弾性係数 (N/mm²)
- E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)
- P_v, P_H : 縦, 横筋比 (実数)
- σ_v, σ_H : 縦, 横軸応力度 (N/mm²) (圧縮を正とする。)
- σ_y : 鉄筋降伏応力度 (N/mm²)
- $\frac{M}{QD}$: シアスパン比

図 復元力特性の算定式 (JEAC4601-2015 抜粋)

5. 1、5. 2

風力係数、ガスト影響係数を建家形状からどのように設定したのか考え方を示すこと。

【回答】

風力係数、ガスト影響係数は、告示（平 12 建告第 1454 号）に基づき設定している。

1. 原子炉建家

原子炉建家のガスト影響係数 G_f は、地表面粗度区分を II（表 1 参照）、 $H=24.7$ m（軒高=24.2 m、最高高さ=25.2 m）として、表 2 から直線補間より、

$G_f=2.102$ とした。

表 1 地表面粗度区分

(2015 年版建築物の構造関係技術基準解説書抜粋)

H が Z_b 以下の場合	$E_r = 1.7 \left(\frac{Z_b}{Z_G} \right)^\alpha$
H が Z_b を超える場合	$E_r = 1.7 \left(\frac{H}{Z_G} \right)^\alpha$

地表面粗度区分		Z_b (単位 メートル)	Z_G (単位 メートル)	α
I	都市計画区域外にあって、極めて平坦で障害物がないものとして特定行政庁が規則で定める区域	5	250	0.10
II	都市計画区域外にあって地表面粗度区分 I の区域以外の区域（建築物の高さが13メートル以下の場合を除く。）又は都市計画区域内にあって地表面粗度区分IVの区域以外の区域のうち、海岸線又は湖岸線（対岸までの距離が1,500メートル以上のものに限る。以下同じ。）までの距離が500メートル以内の地域（ただし、建築物の高さが13メートル以下である場合又は当該海岸線若しくは湖岸線からの距離が200メートルを超え、かつ、建築物の高さが31メートル以下である場合を除く。）	5	350	0.15
III	地表面粗度区分 I、II 又は IV 以外の区域	5	450	0.20
IV	都市計画区域内にあって、都市化が極めて著しいものとして特定行政庁が規則で定める区域	10	550	0.27

H 建築物の高さと軒の高さとの平均（単位 メートル）

表 2 ガスト影響係数 G_f

(2015 年版建築物の構造関係技術基準解説書抜粋)

H	地表面粗度区分		
	(1)	(2)	(3)
10 以下の場合		10 を超え 40 未満の場合	40 以上の場合
I	2.0		1.8
II	2.2	(1) と (3) とに掲げる数値を直線的	2.0
III	2.5	に補間した数値	2.1
IV	3.1		2.3

また、風力係数 C_f については、表 3 により風上壁面及び風下壁面 C_{pe} 及び表 4 の kz から下式により算定した。

$$C_f = C_{pe} = 0.8kz - (-0.4)$$

C_f の算定結果を表 5 に示す。

表 3 C_{pe} の算出式
(2015 年版建築物の構造関係技術基準解説書抜粋)

表 1 壁面の C_{pe}

部位	風上壁面	側壁面		風下壁面
		風上端部より $0.5a$ の領域	左に掲げる領域以外の領域	
C_{pe}	$0.8kz$	-0.7	-0.4	-0.4

表 4 kz の算出式
(2015 年版建築物の構造関係技術基準解説書抜粋)

H が Z_b 以下の場合		1.0
H が Z_b を超える場合	Z が Z_b 以下の場合	$\left(\frac{Z_b}{H}\right)^{2\alpha}$
	Z が Z_b を超える場合	$\left(\frac{Z}{H}\right)^{2\alpha}$
この表において、 Z_b 及び α は、それぞれ次の数値を表すものとする。		
Z_b 第 1 第 2 項の表に規定する Z_b の数値		
α 第 1 第 2 項の表に規定する α の数値		

表 5 原子炉建家の風力係数 C_f

高さ Z G. L. (m)	$kz = (Z/H)^{2\alpha}$ $\alpha = 0.15$ $Z_b = 5$	$C_f = 0.8kz + 0.4$
G. L. +24.2 m	0.99	1.2
G. L. +14.2 m	0.85	1.1
G. L. +8.2 m	0.72	1.0

2. 使用済燃料貯蔵建家

使用済燃料貯蔵建家のガスト影響係数 G_f は、地表面粗度区分を II (表 1 参照)、 $H=17.7$ m (軒高=17.2 m、最高高さ=18.2 m) として、表 2 から直線補間より、

$$G_f=2.149$$

また、風力係数 C_f については、表 3 により風上壁面及び風下壁面 C_{pe} 及び表 4 の k_z から下式により算定した。

$$C_f=C_{pe}=0.8k_z-(-0.4)$$

C_f の算定結果を表 6 に示す。

表 6 使用済燃料貯蔵建家の風力係数 C_f

高さ Z G. L. (m)	$k_z=(Z/H)^{2\alpha}$ $\alpha=0.15$ $Z_b=5$	$C_f=0.8k_z+0.4$
G. L. +17.2 m	0.991	1.2
G. L. +11.325 m	0.875	1.1
G. L. +8.2 m	0.794	1.1
G. L. +4.2 m	0.684	1.0

第2回申請の一部補正(R2.3.30)に対する確認事項 (No. 42 R2/6/18) : 第2編 (外部火災)

外部火災に対する評価対象施設の構造健全性の評価に加え、防護対象機器の性能が維持されることも評価すべき。具体的には、非常用ガスタービン発電機の給気温度が許容値以下であることも評価すべきではないか。(非常用電源設備も防護対象であるため)

【回答】

非常用発電機の性能の維持が確認されている外気の給気温度は40℃である。

外部火災が発生した場合、非常用発電機は熱せられた外気を取り込む恐れがあるが、非常用発電機の給気ダクトは、HTTR原子炉建家の北・南側に物理的に分散して設置されており、想定する外部火災の影響を同時に受けることはない。万一、非常用発電機が作動中に外部火災が発生した場合は、発火点の方位にある非常用発電機を停止することにより、外気の取り込みを防止する。その他の給気系統については、外部火災発生時に機器を停止し、外気の取り込みを防止する。

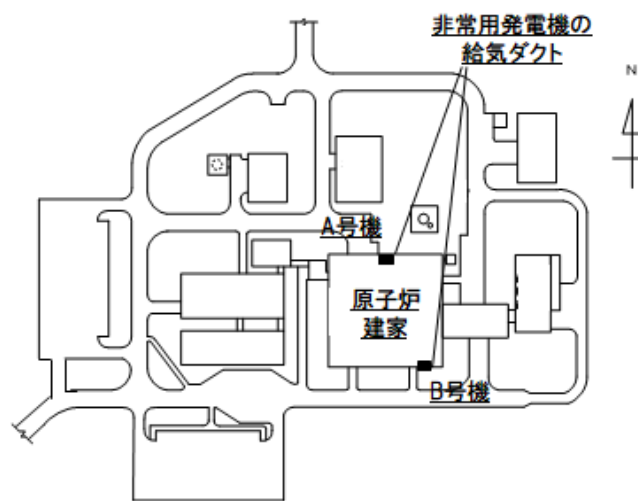


図 非常用発電機の配置

第2回申請の一部補正(R2.3.30)に対する確認事項 (No. 46 R2/6/18) : 第2編 (外部火災)

森林火災における各建家の温度評価結果が、許可まとめ資料 (外部火災) と異なっているので、評価条件に変更があるのであれば説明すること。

原子炉建屋 (137℃で変更なし)、使用済燃料建屋 (150℃⇒138℃)、冷却塔 (161℃⇒135℃)、排気筒 (128℃⇒112℃)

【回答】

防火帯の設定に伴い、森林境界が変わった箇所があるので、熱影響評価において各防護対象から火炎までの離隔距離を変更し評価した (まとめ資料 第6条 外部火災 HT-193-4 P21を修正)。

以下のとおり、離隔距離を変更している。

- ・ 使用済燃料貯蔵建家 (40m⇒42m)
- ・ 冷却塔 (55m⇒65m)
- ・ 排気筒 (70m⇒80m)

なお、防火帯の外縁(火炎側)に森林境界があるものとして、離隔距離を設定している。実際には防火帯の外縁(火炎側)から20mの範囲に森林はない。