

ふげんを照射済燃料集合体が十分な期間にわたり冷却されたものとして告示に定めること及びそれに伴う意見募集について

平成27年9月16日
原子力規制庁

1. 趣 旨

- 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下「機構」という。）の原子炉廃止措置研究開発センター新型転換炉原型炉施設（以下「ふげん」という。）は、平成15年に運転を停止した。その後、平成20年から廃止措置が進められており、現在、使用済燃料貯蔵槽内にのみ照射済燃料（使用済燃料）集合体が存在している。
- ふげんは、現在、原子力災害対策特別措置法に基づき原子力防災管理者が通報すべき事象等に関する規則（以下「通報規則」という。）において、同規則第七条第一号（注：原子力災害対策特別措置法第十条該当事象）の表ト及び第十四条（注：原子力災害対策特別措置法第十五条該当事象）の表トに区分されている（参考1）。
- 一方、照射済燃料（使用済燃料）集合体が十分な期間にわたり冷却されたものとして原子力規制委員会が定めた施設は、通報規則第七条第一号の表チ及び第十四条の表チに区分される（参考1）。
- 機構は、ふげんは照射済燃料（使用済燃料）集合体が十分な期間にわたり冷却された状態にあると考えており、その旨及びその根拠となる評価の内容（参考2）を原子力規制庁に説明した。
- 原子力規制庁は、ふげんを照射済燃料（使用済燃料）集合体が十分な期間にわたり冷却されたものとして原子力規制委員会として定めることが適切であるか検討した。

2. 検討結果

- ふげんの使用済燃料集合体について、機構は以下のように評価している（参考2）。
- ・使用済燃料貯蔵槽内の冷却水が全て喪失し、建屋は健全であるが換気系が停止している状態を仮定した場合でも、ふげんの使用済燃料集合体は自然対流によって冷却されるので、燃料被覆管温度及び燃料中心温度は250℃以下に保たれる。この温度では、ジルコニウム合金の酸化反応が促進されることはない。
- ・また、使用済燃料貯蔵槽内の冷却水が全て喪失した状態を仮定した場合、使用済燃料集合体からのスカイシャイン線による周辺公衆への放射線被ばくの影響については、建屋による遮へい効果を考慮すると、周辺監視区域境界上の実効線量の最大値は1.63 $\mu\text{Sv/h}$ である。
- ・以上の結果から、使用済燃料貯蔵槽の冷却水が全て喪失しても燃料の温度は250℃以下に保たれ、また、周辺公衆への放射線被ばくの影響も小さいこ

とから、ふげんの使用済燃料集合体は十分な期間冷却されている。

- 原子力規制庁は、機構が実施した上記評価における計算条件、計算手法及び計算結果並びに同評価の妥当性を確認した。よって、原子力規制庁としては、ふげんを照射済燃料集合体が十分な期間にわたり冷却されたものとして告示に定めることは、差し支えないと判断する。

3. 対応

- 以上の検討結果を踏まえて、通報規則に基づき、ふげんを使用済燃料集合体が十分な期間冷却されているものとして定める告示案を別添のとおり取りまとめる。また、当該告示案に対する意見募集を実施する。

4. 意見募集の実施要領

期 間：平成27年9月17日から10月16日（30日間）

対 象：別添（告示案）

方 法：電子政府の総合窓口（e-Gov）、原子力規制委員会ウェブサイト、郵送、
F A X

別 添：原子力災害対策特別措置法に基づき原子力防災管理者が通報すべき事象等に関する規則第七条第一号の表ト及び第十四条の表トの規定に基づく照射済燃料集合体が十分な期間にわたり冷却された原子炉の運転等のための施設を定める告示（案）

通報規則（一部抜粋・要約）

	通報規則第七条第一号 （原子力災害対策特別措置法第十条該当事象）	通報規則第十四条 （原子力災害対策特別措置法第十五条該当事象）
ト 使用済燃料貯蔵槽内のみ照射済燃料集合体が存在する原子炉に係る原子炉の運転等のための施設（ホ及びへに掲げるもの並びに照射済燃料集合体が十分な期間にわたり冷却されたものとして原子力規制委員会が定めたものを除く。）	<p>（1）全ての交流母線からの電気の供給が停止し、かつ、その状態が三十分以上（新規規制基準に適合しない場合には、五分以上）継続すること。</p> <p>（2）非常用直流母線が一となった場合において、当該直流母線に電気を供給する電源が一となる状態が五分以上継続すること。</p> <p>（3）使用済燃料貯蔵槽の液位を維持できないこと又は当該貯蔵槽の液位を維持できていないおそれがある場合において、当該貯蔵槽の液位を測定できないこと。</p> <p>（4）原子炉制御室の環境が悪化し、原子炉の制御に支障が生じること、又は原子炉若しくは使用済燃料貯蔵槽に異常が発生した場合において、原子炉制御室に設置する原子炉施設の状態を表示する装置若しくは原子炉施設の異常を表示する警報装置の機能の一部が喪失すること。</p> <p>（5）原子力事業所内の通信のための設備又は原子力事業所内と原子力事業所外との通信のための設備の全ての機能が喪失すること。</p> <p>（6）火災又は溢水が発生し、安全機器等の機能の一部が喪失すること。</p> <p>（7）その他原子炉施設以外に起因する事象が原子炉施設に影響を及ぼすおそれがあること等放射性物質又は放射線が原子力事業所外へ放出され、又は放出されるおそれがあり、原子力事業所周辺において、緊急事態に備えた防護措置の準備及び防護措置の一部の実施を開始する必要がある事象が発生すること。</p>	<p>（1）全ての交流母線からの電気の供給が停止し、かつ、その状態が一時間以上（新規規制基準に適合しない場合には、三十分以上）継続すること。</p> <p>（2）全ての非常用直流母線からの電気の供給が停止し、かつ、その状態が五分以上継続すること。</p> <p>（3）使用済燃料貯蔵槽の液位が照射済燃料集合体の頂部から上方二メートルの液位まで低下すること、又は当該液位まで低下しているおそれがある場合において、当該貯蔵槽の液位を測定できないこと。</p> <p>（4）原子炉制御室が使用できなくなることにより、原子炉制御室からの原子炉を停止する機能及び冷温停止状態を維持する機能が喪失すること又は原子炉施設に異常が発生した場合において、原子炉制御室に設置する原子炉施設の状態を表示する装置若しくは原子炉施設の異常を表示する警報装置の全ての機能が喪失すること。</p> <p>（5）その他原子炉施設以外に起因する事象が原子炉施設に影響を及ぼすこと等放射性物質又は放射線が異常な水準で原子力事業所外へ放出され、又は放出されるおそれがあり、原子力事業所周辺の住民の避難を開始する必要がある事象が発生すること。</p>
チ 原子炉に係る原子炉の運転等のための施設（イからトまでに掲げるものを除く。）	<p>原子炉施設以外に起因する事象が原子炉施設に影響を及ぼすおそれがあること等放射性物質又は放射線が原子力事業所外へ放出され、又は放出されるおそれがあり、原子力事業所周辺において、緊急事態に備えた防護措置の準備及び防護措置の一部の実施を開始する必要がある事象が発生すること。</p>	<p>原子炉施設以外に起因する事象が原子炉施設に影響を及ぼすこと等放射性物質又は放射線が異常な水準で原子力事業所外へ放出され、又は放出されるおそれがあり、原子力事業所周辺の住民の避難を開始する必要がある事象が発生すること。</p>

平成 27 年 9 月 11 日
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
原子炉廃止措置研究開発センター

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構原子炉廃止措置研究開発センター 新型転換炉原型炉施設(ふげん)の使用済燃料の評価等について

「ふげん」の原子力事業者防災業務計画は、「原子力災害対策指針(平成 27 年 4 月 22 日改正)」の緊急時活動レベル(EAL)の枠組みに基づき、「5. 使用済燃料貯蔵槽内のみ照射済燃料集合体が存在する原子炉施設(4. 及び照射済燃料集合体が十分な期間にわたり冷却されたものとして原子力規制委員会が定めたものを除く。)」に係るEALを設定、計画し、提出している。

一方、「ふげん」の使用済燃料は十分な期間冷却され、EALの枠組み「6. 原子炉(1. ~5. に掲げる原子炉を除く。)」に係る原子炉施設・・・※」に該当する状態にあると考えている。

本資料は、「6. 原子炉(1. ~5. に掲げる原子炉を除く。)」に係る原子炉施設・・・※」に該当する状態にあることを示すため、まとめた資料である。

※ 原子炉容器内に核燃料物質が存在しない場合であって、使用済燃料貯蔵槽内に新燃料のみが保管されている原子炉及び使用済燃料貯蔵槽内の照射済燃料集合体が十分な期間冷却されているものとして原子力規制委員会が定めた原子炉に係る原子炉施設、東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設のうち、1号炉、2号炉、3号炉及び4号炉に係る原子炉施設(使用済燃料貯蔵槽内に照射済燃料集合体が存在しない場合に限る)等。

1. 貯蔵中の使用済燃料

現在、使用済燃料貯蔵プール内には466体の使用済燃料が貯蔵されている。その内訳は、以下のとおりである。

- ・標準 MOX 燃料集合体(燃料集合体ウラン・プルトニウム富化型燃料)：418 体
- ・標準 UO₂ 燃料集合体(燃料集合体微濃縮ウラン型燃料)：14 体
- ・特殊燃料集合体：28 体
- ・照射用燃料集合体(照射用 36 本燃料、照射用ガドリニア燃料)：6 体

これらの使用済燃料の平均燃焼度は、14,896Mwd/t、平均冷却日数は約 6,180 日(原子炉停止日 平成 15 年 3 月 29 日、評価時点 平成 26 年 5 月 31 日)である。

ORIGEN2(「ふげん」ATR 用ライブラリ※を適用)コードによる解析から、これら使用済燃料の総発熱量は 40.22kW であり、貯蔵中の燃料集合体毎の集合体 1 体当たりの最大発熱量及び平均発熱量(平成 26 年 5 月 31 日時点)は、以下に示すとおりである。

- ・標準 MOX 燃料集合体 : 最大発熱量 0.12kW (平均発熱量 約 0.09kW)
- ・標準 UO₂ 燃料集合体 : 最大発熱量 0.03kW (平均発熱量 約 0.03kW)
- ・特殊燃料集合体 : 最大発熱量 0.11kW (平均発熱量 約 0.06kW)
- ・照射用燃料集合体 : 最大発熱量 0.16kW (平均発熱量 約 0.14kW)

※使用済核燃料の崩壊熱・線源強度の評価に用いた「ORIGEN2-ATR」は、BWR で使用しているライブラリを参考にして、「ふげん」用に開発したものであり、軽核種(構造材)と中重核種(核分裂生成核種およびアクチノイド核種)の反応量及び断面積を考慮できるようにしたもの。スペクトルの違いによる断面積の変動幅の偏りや ATR 各燃料タイプに対する計算が可能なように、BWR ライブラリに補正値を導入している⁶⁾。本評価コードは、「ふげん」の運転中の炉心管理に使用されており、十分な実績がある。

2. 燃料被覆管温度及び燃料中心温度の計算

使用済燃料が十分な期間冷却されていることを示すため、使用済燃料貯蔵プールの冷却水が全て喪失した場合における使用済燃料集合体の健全性について、評価を実施した。

主な計算条件、計算結果等を以下に示す。

(1) 主な計算条件

- 使用済燃料貯蔵プール内の水は全て喪失していると仮定する。
 - 燃料貯蔵プール建屋は健全だが換気は考慮しない（密閉状態）。
 - 燃料からの発熱は、建屋内空気及び建屋の天井を通して外気に放熱されることにより除熱される。
- 解析モデルを図1に示す。

(2) 計算結果

① 建屋からの放熱計算

プールの水が全て喪失し、使用済燃料の発熱による建屋内の空気温度が無限時間経過後に平衡状態となる場合において、外気温度を境界条件として、建屋内空気の最高温度を求める。

平衡状態にある場合の建屋天井の壁を通して伝わる熱流束 q'' は、

$$q'' = Q_{\text{total}} / A_{\text{roof}} \quad [1]$$

Q_{total} : 使用済燃料の総発熱量 (kW)
 A_{roof} : 天井面積 (cm^2)

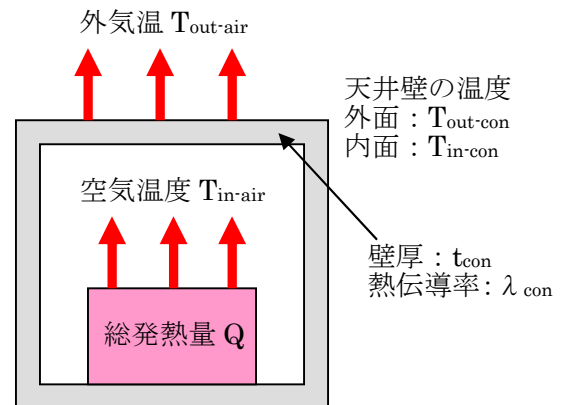


図2 建屋からの放熱

このとき、ニュートンの冷却法則により表される熱伝達式は以下ようになる。

$$q'' = h (T_{\text{in-air}} - T_{\text{out-air}}) \quad [2]$$

$$1/h = \{1/h_1 + t_{\text{con}}/\lambda_{\text{con}} + 1/h_2\} \quad [3]$$

h : 熱伝達係数 ($\text{W}/\text{cm}^2 \text{K}$)

$T_{\text{in-air}}$: 室内温度 (K)

$T_{\text{out-air}}$: 外気温度 (K) ※

※太陽の輻射熱を考慮し、保守的に夏場の日中における天井壁の外面温度が継続するものとして、同温度を相当外気温度とする。

h_1 : 内表面熱伝達率 ($\text{W}/\text{cm}^2 \text{K}$)

h_2 : 外表面熱伝達率 ($\text{W}/\text{cm}^2 \text{K}$)

t_{con} : 天井のコンクリート厚さ (cm)

λ_{con} : コンクリートの熱伝導率 ($\text{W}/\text{cm K}$)

[2]、[3] より、

$$T_{\text{in-air}} = q'' \{1/h_1 + t_{\text{con}}/\lambda_{\text{con}} + 1/h_2\} + T_{\text{out-air}} - 273.15 \quad (^\circ\text{C}) \quad [4]$$

室内温度 $T_{\text{in-air}}$ ($^\circ\text{C}$)
108.0

② 自然対流熱伝達の計算

燃料集合体 1 体の直径を一片とする正方形断面の流路を持つチャンネルを考え、自然対流による空気の流速と被覆管表面の熱伝達率を求める。

燃料集合体の発熱部は、プールの底面から約 710mm の位置から始まる。このため、燃料の外側の空気が供給されるための十分な空間が存在する。

燃料集合体は 20cm 間隔の格子ピッチが確保された状態で貯蔵されているが、ここではより保守的に評価するため、仮想的に燃料集合体同士が接触するまで接近（中心間距離：111.6mm）していると仮定する。

Q : 燃料集合体 1 体の発熱 (W)	・・・ 燃料集合体の最大発熱量
r_c : 被覆管外半径	(m)
r_g : ギャップ部外半径	(m)
r_f : ペレット外半径	(m)
k_c : 被覆管熱伝導率	(W/m K)
k_f : ペレット熱伝導率	(W/m K)
h_{gap} : ギャップコンダクタンス	(W/m ² K)
A : 流路面積	(m ²)
L_f : 摩擦損失計算濡れぶち長さ	(m)
L_h : 伝熱計算用濡れぶち長さ	(m)
L : 発熱長さ	(m)
d_{ef} : 流れの等価直径(=4A/L _f)	(m)
d_{eh} : 熱の等価直径(=4A/L _h)	(m)

空気の集合体内の流れを一点近似で考える。

ρ : 空気の密度 (kg/m ³)
k_a : 空気の熱伝導率 (W/m K)
u : 空気流速 (m/s)
C_p : 定圧比熱(kJ/kg K)
β : 体膨張係数 (1/K)
g : 重力加速度 (m/s ²)
T_e : 出口空気温度 (K)
T_i : 入口空気温度 (K)
T_a : 集合体中間の空気温度 (K)
h_a : 集合体中間の空気熱伝達率 (W/m ² K)
ν : 動粘性係数 (m ² /s)

流れている空気への伝熱より、

$$Q = \rho u C_p (T_e - T_i) A \quad [5]$$

空気に働く浮力を F_B とすると、

$$F_B = \rho g \beta (T_a - T_i) L A \quad [6]$$

集合体表面に働く摩擦力は、管摩擦係数を λ 、局所圧力損失を ζ として

$$F_\tau = \frac{1}{2} \rho u^2 \left(\frac{\lambda L}{d_{ef}} + \zeta \right) A \quad [7]$$

集合体中心部温度は、入口と出口の平均で与えられるため、

$$T_a = \frac{1}{2}(T_i + T_e) \quad [8]$$

[6]式と[7]式はつりあっている状態で流れるため、次式が得られる。

$$\left(\frac{\lambda L}{d_{ef}} + \zeta \right) u^2 = g\beta(T_e - T_i)L \quad [9]$$

上式に[5]式を代入して整理すると、

$$u = \left(\frac{Qg\beta L}{\rho C_p A \left(\frac{\lambda L}{d_{ef}} + \zeta \right)} \right)^{1/3} \quad [10]$$

摩擦損失係数の λ は、層流域($Re < 2,300$)なら次式で与えられる。

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad [11]$$

$$Re = \frac{u d_{ef}}{\nu}$$

また、乱流域 ($Re > 4,000$) ならブラジウスの次式で与える。

$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad [12]$$

遷移領域は、[11]式と[12]式を内挿して与える。

上記の条件で収束計算を行うと、燃料集合体の発熱量(最大発熱量)によって、次表のような結果になる。なお、入口空気温度は、①で計算した建屋内空気温度(室内温度)とする。

燃料集合体	発熱量 Q(W)	出口空気温度 T _e (°C)
標準 MOX 燃料集合体	120	208.6
標準 UO ₂ 燃料集合体	30	150.1
特殊燃料集合体	110	213.6
照射用燃料集合体	160	236.0

③ 燃料被覆管温度計算

管内層流における気体単相のNu数(熱流束一定)を、

$$Nu = 4.36 = \frac{hd_{eh}}{k_a} \quad [13]$$

として、熱伝達率hは、

$$h = \frac{k_a}{d_{eh}} \times 4.36 \quad [14]$$

のように求められる。

燃料集合体1体の発熱量Q(W)から、

$$q'' = \frac{Q}{L_H L} \quad (\text{W/m}^2)$$

また、「ふげん」の燃料集合体毎のピーキングファクターの設計値をPFとして、

$$q'' = q'' \times PF \quad (\text{W/m}^2)$$

被覆管の表面温度を T_{co} とすると、

$$q'' = h_a(T_{co} - T_a)$$

T_a の代わりに保守側に T_e を用いて評価すると、

$$T_{co} = T_e + q''/h_a \quad (^\circ\text{C})$$

すなわち、被覆管の表面は、空気温度よりも q''/h_a ($^\circ\text{C}$)上昇することになる。燃料集合体の入口空気温度は、保守側に建屋天井の温度 T_{in-air} に等しいとして計算した出口空気温度と、燃料集合体毎の最大発熱量の計算結果から、燃料被覆管温度は、次表のとおりとなり、最高でも照射用燃料集合体の約 244°C となる。

燃料集合体	q''/h_a ($^\circ\text{C}$)	出口空気温度 T_e ($^\circ\text{C}$)	燃料被覆管温度 T_{co} ($^\circ\text{C}$)
標準 MOX 燃料集合体	3.7	208.6	212.3
標準 UO_2 燃料集合体	0.9	150.1	151.0
特殊燃料集合体	4.7	213.6	218.3
照射用燃料集合体	8.1	236.0	244.1

④ 燃料中心温度計算

燃料部体積は、集合体1体当たり V_{fuel} (m^3)であるから、最も高い燃料内単位体積当たりの発熱量 q''' は、

$$q''' = Q/V_{fuel} \times PF \quad (\text{W/m}^3)$$

燃料中心温度 T_f は、冷却材の温度を T_a とすると、

$$T_{def} = \frac{q''' r_f^2}{2h_a r_c} + \frac{q''' r_f^2}{2k_c} \ln\left(\frac{r_c}{r_g}\right) + \frac{q''' r_f}{2h_{gap}} + \frac{q'''}{4k_f} r_f^2$$

$$T_f = T_a + T_{def} \quad [15]$$

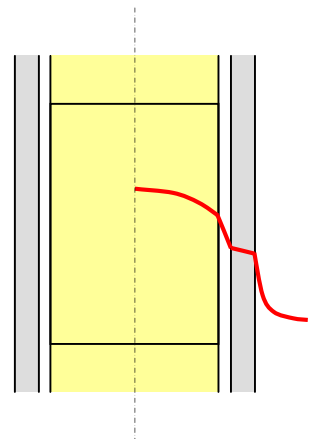


図3 燃料ペレット中心から冷却空気までの温度分布模式図

燃料中心温度は、空気の温度よりも T_{def} °C 上昇する。

すなわち、上記と同様に T_a の代わりに T_e を用いて評価すると、燃料中心温度は、次表のとおりとなり、最高でも照射用燃料集合体の約 245°C となる。

燃料集合体	T_{def} (°C)	出口空気温度 T_e (°C)	燃料中心温度 T_f (°C)
標準 MOX 燃料集合体	3.8	208.6	212.4
標準 UO_2 燃料集合体	1.0	150.1	151.1
特殊燃料集合体	5.8	213.6	219.4
照射用燃料集合体	8.5	236.0	244.5

3. 結論

使用済燃料貯蔵プールの冷却水が全て喪失し、建屋は健全であるが換気系は停止している状態を仮定すると、燃料集合体は室内空気の自然対流により冷却される。

「ふげん」の使用済燃料は、原子炉恒久停止以降、11年以上冷却されており、自然対流による冷却によって、燃料被覆管温度及び燃料中心温度は最高でも 250°C 以下に保たれる。

また、「ふげん」の燃料被覆管は、ジルコニウム合金（ジルカロイ-2）を使用しているが、上記の燃料被覆管温度（250°C 以下）では、ジルコニウム合金の酸化反応が促進されることはない。

なお、上記の評価時点及び建屋等の条件において、使用済燃料からのスカイシャイン線による周辺公衆への放射線被ばくの影響を評価した結果、人の居住が考えられる最も近い地点では実効線量が最大 $2.79 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ であり、また、周辺監視区域境界では実効線量が最大 $1.63 \mu\text{Sv/h}$ であった。（添付資料参照）

以上のことから、使用済燃料貯蔵プールの冷却水が全て喪失しても燃料被覆管は 250°C 以下に保たれ、酸化反応が促進されることはなく、また、使用済燃料からのスカイシャイン線による周辺公衆への放射線被ばくの影響も小さいことから、「原子力災害対策指針」の EAL の枠組み「5. 使用済燃料貯蔵槽内のみ照射済燃料集合体が存在する原子炉施設（4. 及び照射済燃料集合体が十分な期間にわたり冷却されたものとして原子力規制委員会が定めたものを除く。）」における照射済燃料集合体が十分な期間冷却されたものに該当すると考える。

【参考文献】

- (1) 「原子炉の理論と解析」 JJ. ドウデルスタット、LJ. ハミルトン著、成田正邦、藤田文行共訳、現代工学社
- (2) 「伝熱工学資料」改訂第4版、日本機械学会、丸善株式会社
- (3) 「コンクリート標準示方書」土木学会
- (4) 「管路・ダクトの流体抵抗」日本機械学会
- (5) 「屋根の断熱設計」宮野秋彦著、(株)アメックス協販
- (6) 「「ふげん」ATR 用 ORIGEN2 ライブラリの開発」動力炉・核燃料開発事業団(PNC ZN3410 94-01)

以 上

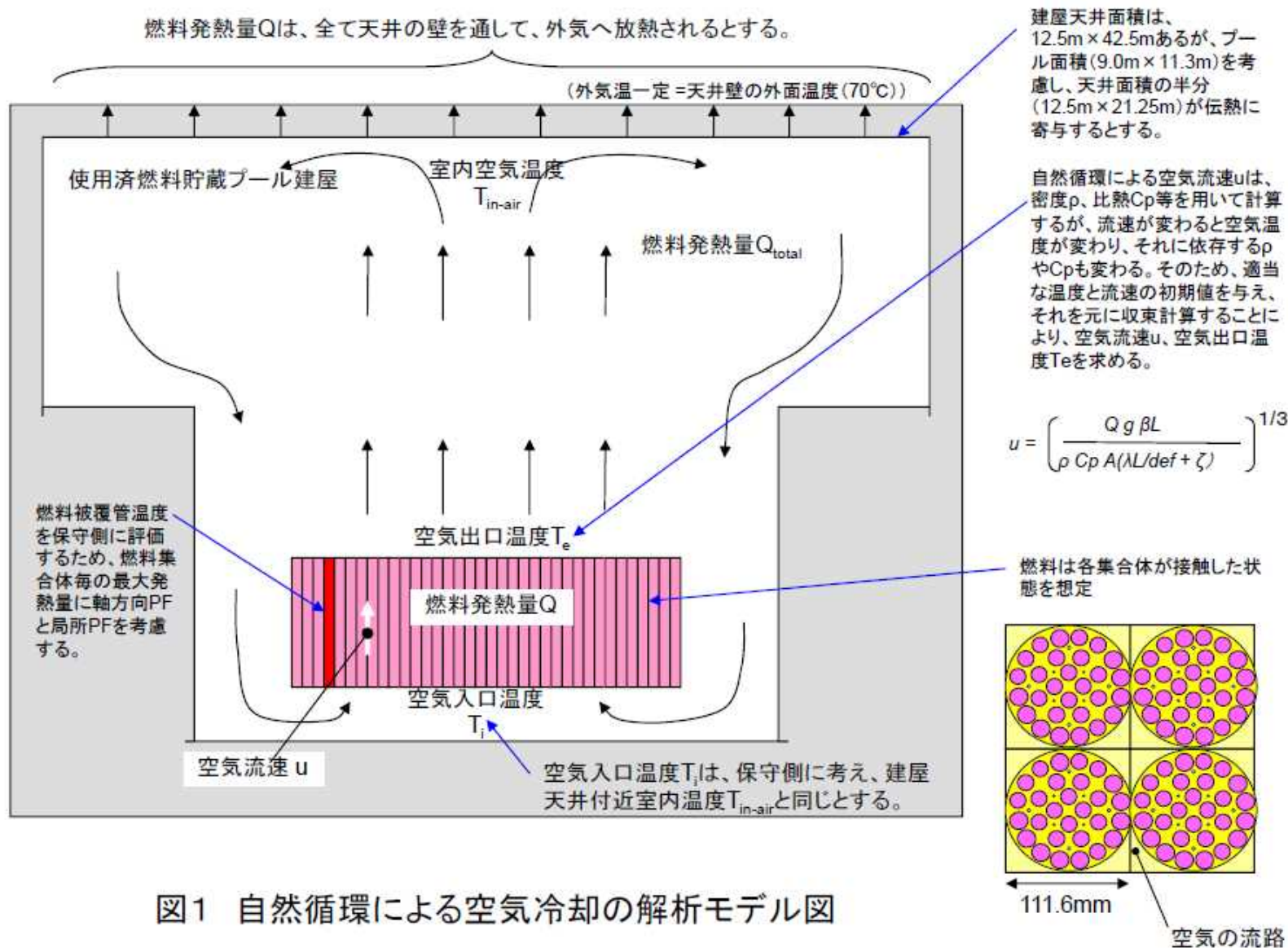


図1 自然循環による空気冷却の解析モデル図

「使用済燃料貯蔵プールの冷却水喪失時における使用済燃料からのスカイシャイン線による周辺公衆への放射線被ばくの影響について」

使用済燃料貯蔵プールの冷却水が全て喪失した場合を想定し、空気中に露出した使用済燃料からのスカイシャイン線について、燃料貯蔵プール建屋や同建屋を構成するコンクリート構造体の遮へい効果を考慮し、周辺公衆の実効線量を評価した。

1. 想定事象

使用済燃料貯蔵プールの水位は、通常、プール底面から 12.0m 以上となるように維持管理しているが、この使用済燃料貯蔵プールにおいて、放射線の遮へい効果を有するプール水が全てなくなることを想定する。ただし、燃料貯蔵プール建屋及び使用済燃料貯蔵プール壁面等の周囲構造物は健全であり、使用済燃料からの放射線を遮へいする効果を発揮するとして、露出された使用済燃料からのスカイシャイン線による周辺公衆の実効線量を評価する。

なお、使用済燃料貯蔵プール中の燃料は地表面よりも低い位置に貯蔵されており周囲の土壌が遮へい効果を有していることから、使用済燃料からの直接線による実効線量は無視することができる。

図 1 にふげん敷地付近の地図を示す。

2. 事象解析

2.1 評価に用いる計算コード

燃料貯蔵プール建屋からのスカイシャイン線による実効線量の評価は、点減衰核法コードである QAD コードを用いて、使用済燃料から十分離れた位置での線量が等価となる点線源の放射能強度を求め、この線源からの放射線によるスカイシャイン線による実効線量を 1 回散乱法コードである G33 コードを用いて評価する。

2.2 スカイシャイン線による実効線量の評価方法

周辺監視区域境界上の着目地点及び周辺監視区域境界外の人の居住する可能性のある地点を評価地点として選定し評価を行う。まず、燃料貯蔵プール建屋に貯蔵中の使用済燃料の線源強度に基づき、使用済燃料貯蔵ラックの中央部における等価点線源を QAD コードによって求める。

次に、使用済燃料の周囲に設けられた構造物（燃料貯蔵プール建屋及び使用済燃料貯蔵プール壁面）による遮へい効果を考慮し、また、点線源位置を使用済燃料貯蔵ラックの中央部に想定し、評価地点におけるスカイシャイン線による一般公衆の実効線量を G33 コードを用いて評価する。

2.3 評価条件

2.3.1 線源強度

実効線量評価に用いる使用済燃料中の放射能強度及び放射線スペクトルは、平成 26 年 5 月 31 日までの冷却期間における放射能の減衰を考慮したものとし、全放射能強度は、使用済燃料貯蔵プールに貯蔵中の 5 種類の燃料（合計 466 体）について、各燃料の放射能強

度の合計値及び各燃料集合体構造材の放射化による放射能強度の合計値を合算した値とする。

この場合、表 2.1 に示すように全放射能強度は 4.83×10^5 TBq である。

2.3.2 計算モデル

貯蔵中の使用済燃料の全放射能は、使用済燃料貯蔵ラックと容積及び高さが等価な円筒状（直径 860cm×高さ 465cm）に分布しているものとする。また、使用済燃料貯蔵プールの冷却水（プール水）が全てなくなり、水位がプール底面まで低下した状態とする。

さらに、燃料からの放射線は、燃料貯蔵プール建屋及び使用済燃料貯蔵プール壁面が健全な状態であることを考慮し、散乱角を使用済燃料貯蔵ラック中心から使用済燃料貯蔵プールの縁までの角度を 26.98° として、全方位へ放射されるものとする。

図 2.1 にスカイシャイン線による実効線量の計算モデル図を示す。

2.3.3 評価地点

スカイシャイン線による実効線量の評価は、16 方位のうち海側方位を除く 12 方位の周辺監視区域境界上の着目地点について行う。また、周辺監視区域境界外において人の居住する可能性のある地点として、施設の南東方位 1150m（浦底地区）及び東北東方位 780m（立石地区）の 2 地点について評価を行う。

図 2.2 に評価地点概略図を示す。

2.3.4 燃料貯蔵プール建屋からの直接線及びスカイシャイン線による実効線量評価結果

燃料貯蔵プール建屋に貯蔵中の 466 体の使用済燃料の全放射能強度を考慮し、使用済燃料貯蔵プール水がなくなった状態を想定して、スカイシャイン線による一般公衆の実効線量を評価した結果、表 2.2 に示すように、周辺監視区域境界上の着目地点においては、施設からの距離が最短となる東北東方位で最大となり、 $1.63 \mu\text{Sv/h}$ であった。

また、周辺監視区域境界外において人の居住する可能性のある地点に対する評価の結果、施設の東北東方位 780m 地点（立石地区）で最大となり、 $2.79 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ であった。

この結果から、実効線量の最大値は、周辺監視区域境界上、 $1.63 \mu\text{Sv/h}$ であるが、周辺監視区域境界は急峻な山の頂きや尾根あるいは日本原子力発電（株）敦賀発電所の私有地であり、周辺監視区域境界及びその近傍には人の居住は考えられないことから、スカイシャイン線による一般公衆の実効線量は、 $2.79 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ と評価できる。

【参考文献】

- (1) Y. Sakamoto and S. Tanaka, “QAD-CGGP2 and G33-GP2: Revised version of QAD-CGGP and G33-GP (Codes with the Conversion Factors from Exposure to Ambient and Maximum Dose Equivalents)”, JAERI-M90-110, Japan Atomic Energy Research Institute, July 1990.

表 2.1 使用済燃料の放射能強度*1（直接線及びスカイライン線による実効線量評価）

燃料集合体の形式	ウラン・プルトニウム富化型燃料	微濃縮ウラン型燃料	特殊燃料	照射用燃料	
				36本燃料	カトリニア燃料
主要諸元 燃料 被覆管 燃料配列	UO ₂ +PuO ₂ ジルコイ-2 28本クラスタ	UO ₂ ジルコイ-2 28本クラスタ	UO ₂ ジルコイ-2 36本クラスタ	UO ₂ +PuO ₂ ジルコイ-2 36本クラスタ	UO ₂ +PuO ₂ +Gd ₂ O ₃ ジルコイ-2 36本クラスタ
貯蔵体数*1（体）	418	14	28	1	5
最大放射能強度*2 （TBq/体）	1.47×10 ³	3.90×10 ²	1.37×10 ³	1.36×10 ³	1.39×10 ³
燃料放射能強度*3 （TBq）	4.47×10 ⁵	4.19×10 ³	2.11×10 ⁴	1.36×10 ³	6.70×10 ³
構造材放射能強度*3 （TBq）	2.01×10 ³	1.49×10 ¹	1.25×10 ²	1.48×10 ⁰	1.04×10 ¹
形式別放射能量 （TBq）	4.49×10 ⁵	4.20×10 ³	2.12×10 ⁴	1.36×10 ³	6.71×10 ³
全放射能強度（TBq）	4.83×10 ⁵				

*1：平成26年5月31日における使用済燃料貯蔵体数を示す。（平成27年6月1日現在も同様）

*2：各形式の燃料集合体の1体当たりの最大の放射能強度を示す。

*3：各形式の燃料集合体の放射能強度の合計値を示す。

表 2.2 各条件における各地点のスカイシャイン線による一般公衆の実効線量の評価結果

地点		スカイシャイン実効線量 ($\mu\text{Sv/h}$)
立石地区 (居住の可能性のある地点)	780 m 地点	2.79×10^{-2}
浦底地区 (居住の可能性のある地点)	1150 m 地点	3.19×10^{-4}
NNE(北北東)	480 m 地点	1.12×10^0
NE(北東)	460 m 地点	1.44×10^0
ENE(東北東)	450 m 地点	1.63×10^0
E(東)	510 m 地点	7.71×10^{-1}
ESE(東南東)	800 m 地点	2.19×10^{-2}
SE(南東)	720 m 地点	5.80×10^{-2}
SSE(南南東)	780 m 地点	2.79×10^{-2}
S(南)	700 m 地点	7.41×10^{-2}
SSW(南南西)	570 m 地点	3.67×10^{-1}
SW(南西)	460 m 地点	1.44×10^0
WSW(西南西)	460 m 地点	1.44×10^0
N(北)	500 m 地点	8.73×10^{-1}

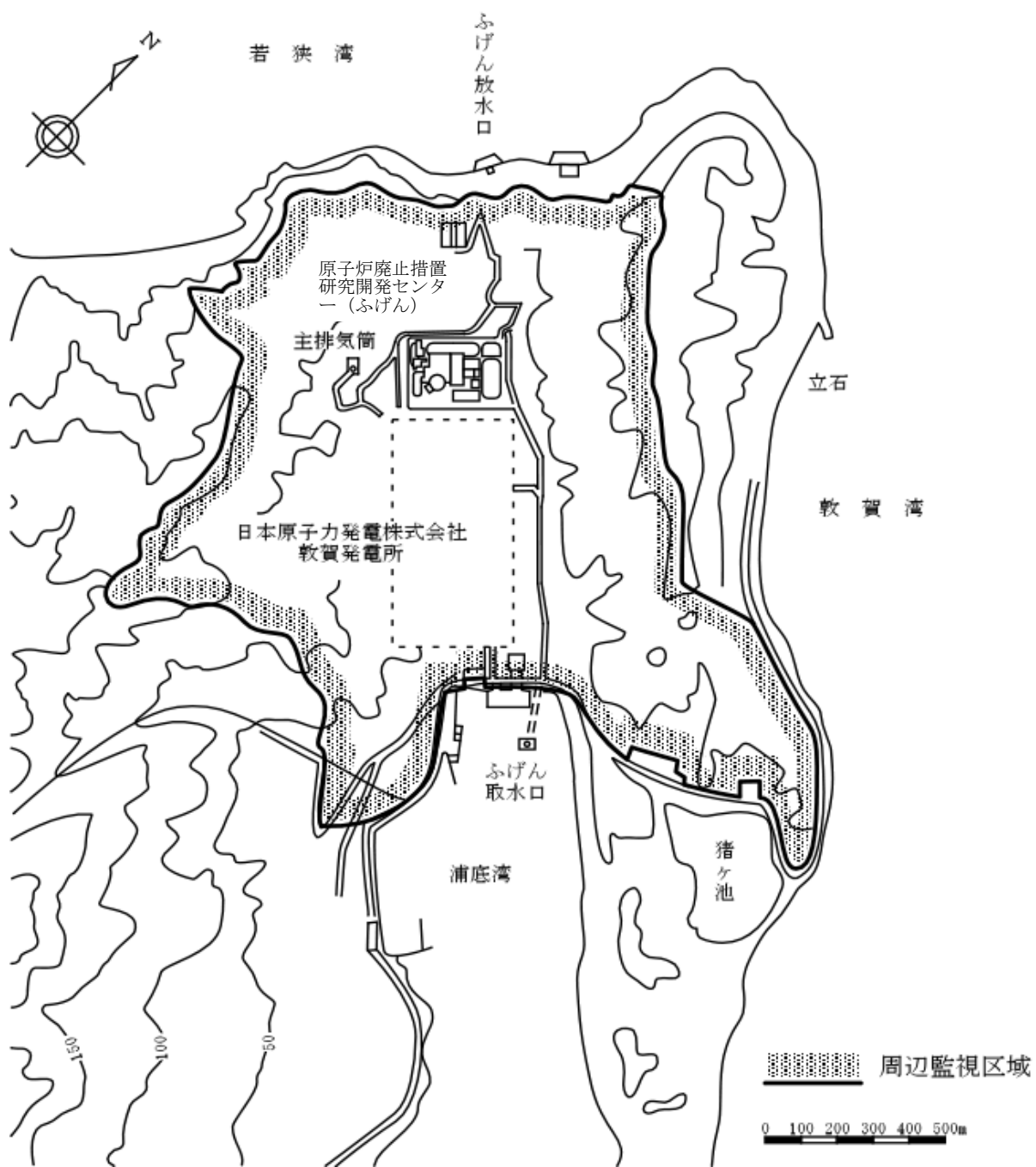


図1 ふげん敷地付近地図

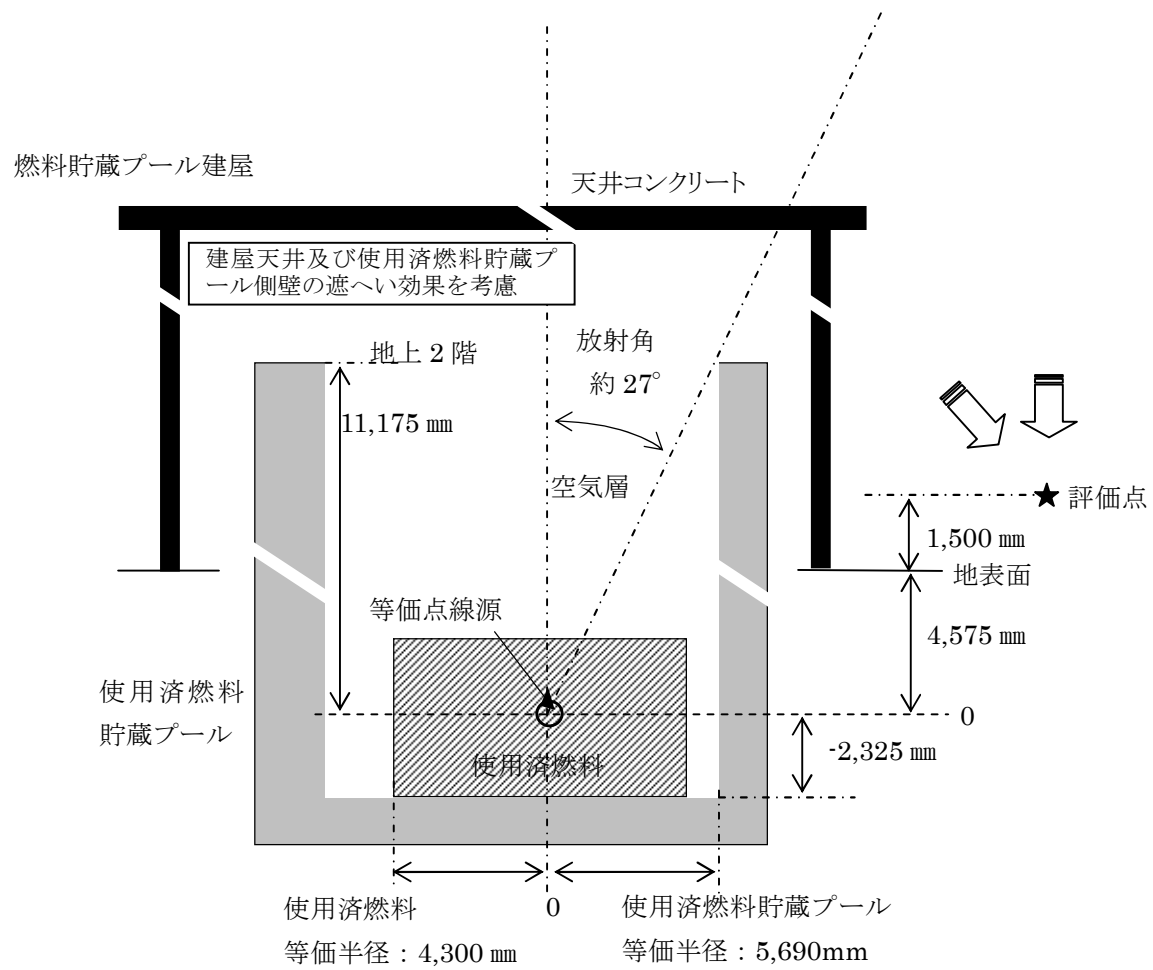


図 2.1 スカイシャイン線による実効線量評価の計算モデル図

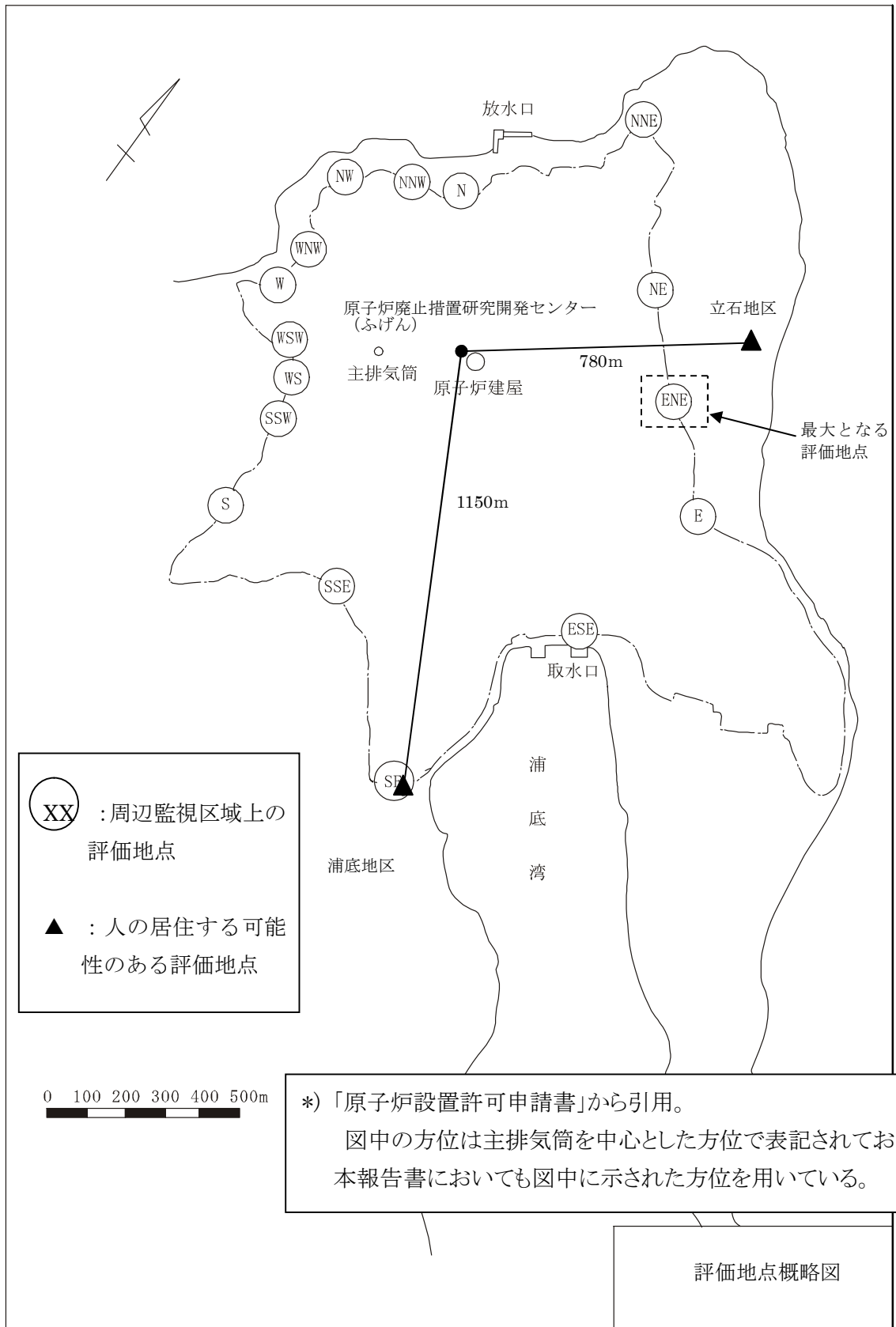


図 2.2 評価地点概略図 (直接線及びスカイシャイン線による実効線量評価)

別添

○原子力規制委員会告示第 号

原子力災害対策特別措置法に基づき原子力防災管理者が通報すべき事象等に関する規則（平成二十四年
文
部科学省
令第二号）第七条第一号の表ト及び第十四条の表トの規定に基づき、原子力災害対策特別措置法に
済産業省
基づき原子力防災管理者が通報すべき事象等に関する規則第七条第一号の表ト及び第十四条の表トの規定に
基づく照射済燃料集合体が十分な期間にわたり冷却された原子炉の運転等のための施設を定める告示を次の
ように定め、平成 年 月 日から適用する。

平成 年 月 日

原子力規制委員会委員長 田中 俊一

原子力災害対策特別措置法に基づき原子力防災管理者が通報すべき事象等に関する規則第七条第一号
の表ト及び第十四条の表トの規定に基づき照射済燃料集合体が十分な期間にわたり冷却された原子炉
の運転等のための施設を定める告示

（用語）

第一条 この告示において使用する用語は、原子力災害対策特別措置法に基づき原子力防災管理者が通報すべき事象等に関する規則（以下「通報事象等規則」という。）において使用する用語の例による。

（照射済燃料集合体が十分な期間にわたり冷却されたものとして原子力規制委員会が定める原子炉の運転等のための施設）

第二条 通報事象等規則第七条第一号の表ト及び第十四条の表トの照射済燃料集合体が十分な期間にわたり冷却されたものとして原子力規制委員会が定める原子炉の運転等のための施設は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構原子炉廃止措置研究開発センターにおける原子炉の運転等のための施設とする。