

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

大洗研究所（南地区）高速実験炉原子炉施設（「常陽」）

第 24 条（工場等周辺における直接ガンマ線等からの防護）に係る説明書

2020 年 2 月 3 日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

大洗研究所高速実験炉部

今回説明範囲

## 目 次

1. 要求事項の整理
2. 要求事項への適合性
  - 2.1 直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による敷地周辺の空間線量率に係る設計及び管理
  - 2.2 要求事項（試験炉設置許可基準規則第 24 条）への適合性説明

（別紙）

別紙 1 : 「炉心の変更」に関する基本方針

別紙 2 : 直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による敷地周辺の空間線量率

直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による  
敷地周辺の空間線量率

## 1. 概要

原子炉施設は、通常運転時において、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による敷地周辺の空間線量率が十分に低減できるように施設する。ここでは、通常運転時における直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による敷地周辺の空間線量率を評価し、設計方針を満足していることを確認する。

## 2. 設計方針

通常運転時における直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による敷地周辺の空間線量率の評価にあたっては、直接ガンマ線について計算コードQAD-CGGP2Rを用いる。スカイシャインガンマ線については、計算コードANISN及びG-33GP2Rを用いる。敷地境界における空間線量率は、通常運転時において、空気カーマで年間  $50 \mu\text{Gy}$  以下を設計目標値とする。

## 3. 計算条件

### 3.1 線源条件

本計算で用いる線源は、原子炉建物及び原子炉附属建物について、遮蔽区分の上限線量 ( $20 \mu\text{Sv/h}$ ) に相当する仮想的な点線源を用いることとし、以下のように設定した。なお、通常運転時において、格納容器内の運転床面の大部分の線量率は、検出下限レベルである。炉上部ピット及びその上部の立入禁止区域には、局所的に  $20 \mu\text{Sv/h}$  を超えるポイントが存在するが、機器の隙間のストリーミングに起因するものであり、線源設定に用いた  $20 \mu\text{Sv/h}$  は十分な保守性を有する。

等価点線源強度は、建物毎に Ground Level の床面積と等価な表面積を有する半径  $r$  の半球を設定し、この半球表面上の線量率が各建物 Ground Level 床上遮蔽区分の上限線量率の値に等しいとして、Ground Level 上点線源を算出した。

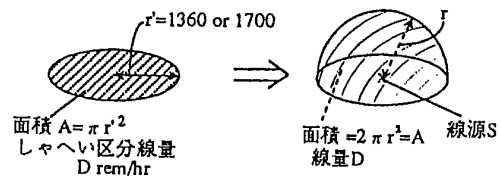
各建物の半球の半径  $r$  は以下の式により算出した。

#### ① 原子炉建物

$$\begin{aligned} \pi 1360^2 &= 2\pi r^2 \\ r &= 961.7 \text{ (cm)} \end{aligned}$$

#### ② 原子炉附属建物

$$\begin{aligned} \pi 1700^2 &= 2\pi r^2 \\ r &= 1202 \text{ (cm)} \end{aligned}$$



また、点線源強度  $S_i$  (photons/s) は以下の式を満たすように算出した。

$$D = \sum_i \frac{S_i \cdot K_i \cdot B_i e^{-\mu_i \cdot r}}{4\pi r^2}$$

ここで、

$S_i$  : 点線源強度 (photons/s) (スペクトルは第 3.1 表、第 3.2 表を参照)

$i$  : エネルギーを表す添字

$D$  : 半球表面上線量率 (=  $20 \mu\text{Sv/h}$ )

$r$  : 半球の半径 (cm)

$K_i$  : 線量率換算係数 ( $(\mu \text{ Gy/h}) / (\text{photons/cm}^2 \cdot \text{s})$ ) (第 3.1 表、第 3.2 表を参照)

$B_i$  : ビルドアップ係数

$\mu_i$  : 空気の線吸収係数

ただし、 $r \approx 1000$  (cm) 程度では  $B_i e^{-\mu_i r} \approx 1$  であるので実際の計算では  $B_i e^{-\mu_i r}$  の項は無視する。

なお、線量率換算係数は、ICRP Publication 74 に記載された光子フルエンスから空気カーマへの換算係数を元に、線源スペクトルの 18 群エネルギー群構造に内挿したものである。

また、線源スペクトルについては、以下を使用することとした。

- ① 原子炉建物 : 原子炉建物でのガンマ線は、原子炉容器とペDESTAL との間をストリーミングし、大回転プラグ外側の隙間から上方に漏えいする成分が支配的であることから、大回転プラグ上面の線源スペクトルを用いた。
- ② 原子炉附属建物 : 原子炉附属建物においては、外側燃料集合体 (燃料要素最高燃焼度 90,000Mwd/t とする。) の原子炉停止後 2 日の放出ガンマ線スペクトルを用いた。なお、原子炉附属建物に移送された使用済燃料に付着するナトリウムは、数 g と微量であるため線源には放射化ナトリウムを含まないものとした。

### 3.2 主要形状及び評価点

第 3.1 図、第 3.2 図に原子炉建物及び原子炉附属建物の評価用主要形状を示す。また、評価点と評価点までの距離を第 3.3 図及び第 3.3 表に示す。

評価点までの距離は、原子炉建物及び原子炉附属建物を中心とした時の各方向の敷地境界までの距離とした。

第 3.1 表 原子炉建物の線源スペクトル及び等価線源強度

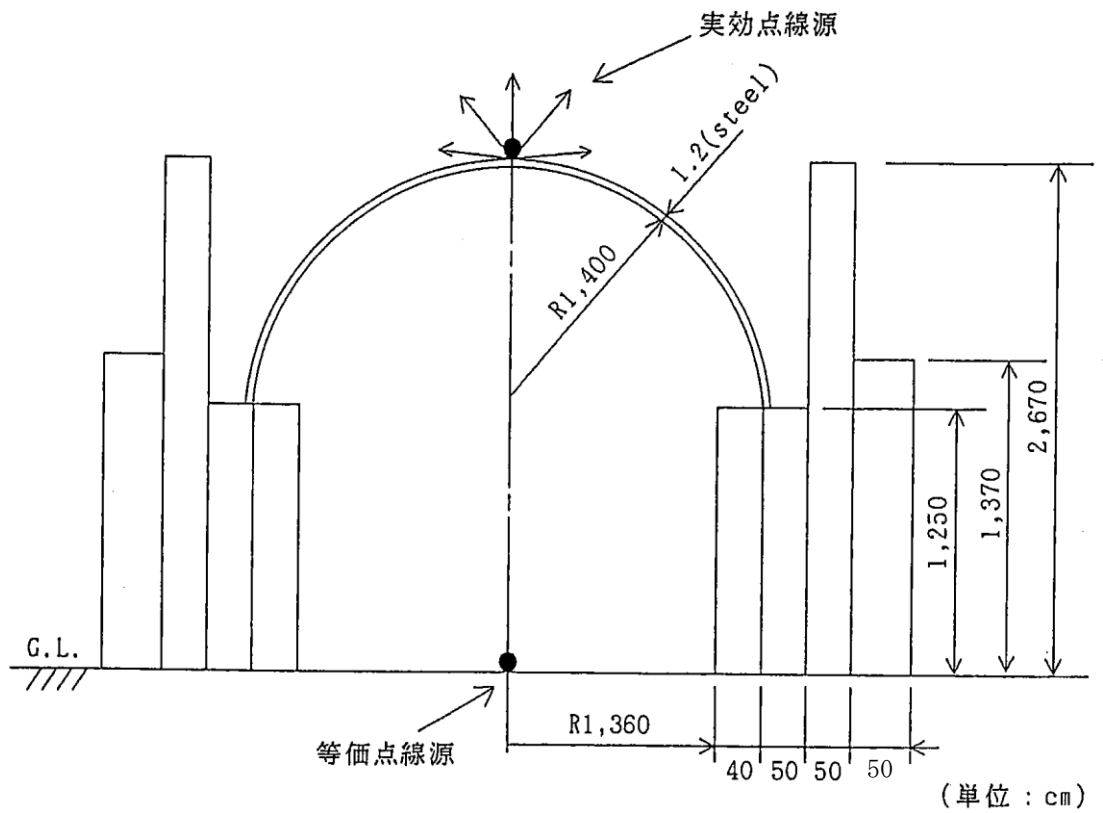
群数 No.	γ 線エネルギー (MeV)			線源スペクトル 相対値	等価点線源強度 (Photon/s)	線量換算係数 ( $\mu$ Gy/h/flux)
	上限	下限	代表			
1	11.0	8.0	9.5	3.17E-03	3.20E+07	8.29E-02
2	8.0	6.0	7.0	1.15E-01	1.16E+09	6.52E-02
3	6.0	4.0	5.0	9.70E-02	9.79E+08	5.08E-02
4	4.0	3.0	3.50	5.36E-02	5.41E+08	3.98E-02
5	3.0	2.5	2.75	3.28E-02	3.32E+08	3.38E-02
6	2.5	2.0	2.25	4.01E-02	4.05E+08	2.95E-02
7	2.0	1.5	1.75	4.95E-02	4.99E+08	2.47E-02
8	1.5	1.0	1.25	5.82E-02	5.87E+08	1.93E-02
9	1.0	0.70	0.85	5.42E-02	5.47E+08	1.40E-02
10	0.70	0.45	0.575	1.41E-01	1.42E+09	9.82E-03
11	0.45	0.30	0.375	1.06E-01	1.07E+09	6.35E-03
12	0.30	0.15	0.225	1.88E-01	1.90E+09	3.56E-03
13	0.15	0.10	0.125	5.17E-02	5.22E+08	1.73E-03
14	0.10	0.07	0.085	9.29E-03	9.38E+07	1.15E-03
15	0.07	0.05	0.0575	1.04E-03	1.05E+07	1.05E-03
16	0.05	0.03	0.0375	1.42E-05	1.44E+05	1.67E-03
17	0.03	0.02	0.025	2.71E-06	2.73E+04	3.84E-03
18	0.02	0.01	0.015	2.93E-06	2.96E+04	1.12E-02
	合計			1.00E+00	1.01E+10	

第 3.2 表 原子炉附属建物の線源スペクトル及び等価線源強度

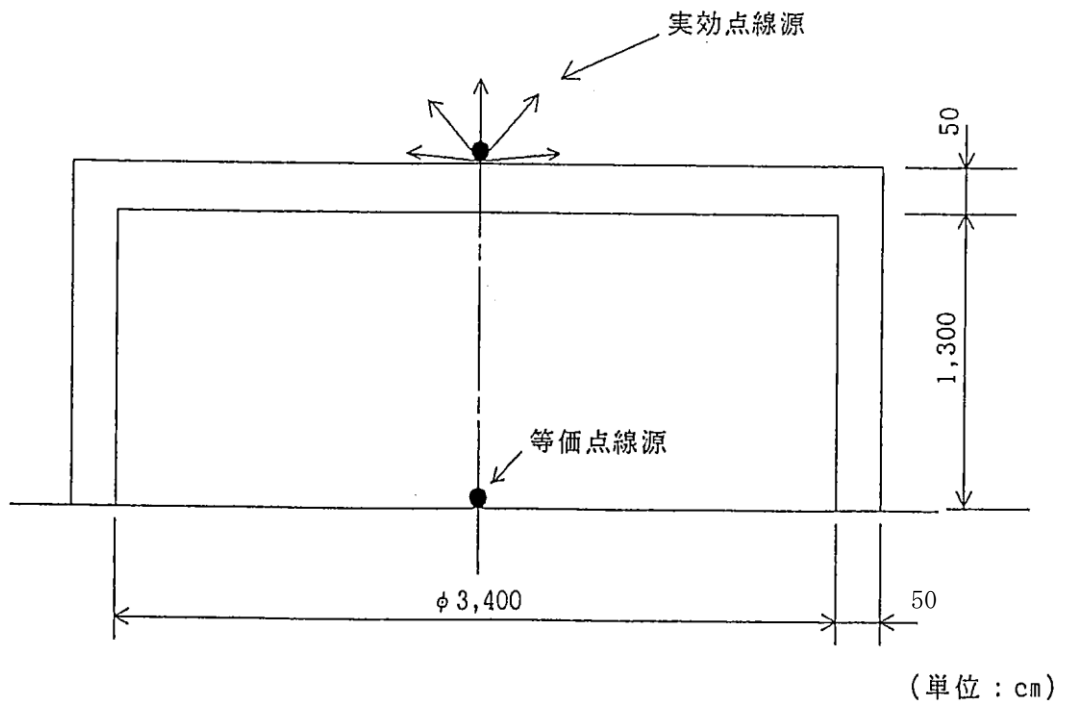
群数 No.	γ 線エネルギー (MeV)			線源スペクトル 相対値	等価点線源強度 (Photon/s)	線量換算係数 ( $\mu$ Gy/h/flux)
	上限	下限	代表			
1	11.0	8.0	9.5	1.17E-13	5.23E-03	8.29E-02
2	8.0	6.0	7.0	1.02E-12	4.54E-02	6.52E-02
3	6.0	4.0	5.0	2.08E-10	9.27E+00	5.08E-02
4	4.0	3.0	3.50	1.05E-05	4.70E+05	3.98E-02
5	3.0	2.5	2.75	1.24E-03	5.56E+07	3.38E-02
6	2.5	2.0	2.25	1.14E-03	5.09E+07	2.95E-02
7	2.0	1.5	1.75	3.33E-02	1.49E+09	2.47E-02
8	1.5	1.0	1.25	1.03E-02	4.62E+08	1.93E-02
9	1.0	0.70	0.85	1.29E-01	5.75E+09	1.40E-02
10	0.70	0.45	0.575	1.30E-01	5.81E+09	9.82E-03
11	0.45	0.30	0.375	4.27E-02	1.91E+09	6.35E-03
12	0.30	0.15	0.225	9.09E-02	4.06E+09	3.56E-03
13	0.15	0.10	0.125	1.19E-01	5.31E+09	1.73E-03
14	0.10	0.07	0.085	5.39E-02	2.41E+09	1.15E-03
15	0.07	0.05	0.0575	3.09E-02	1.38E+09	1.05E-03
16	0.05	0.03	0.0375	6.04E-02	2.70E+09	1.67E-03
17	0.03	0.02	0.025	5.20E-02	2.32E+09	3.84E-03
18	0.02	0.01	0.015	2.45E-01	1.10E+10	1.12E-02
	合計			1.00E+00	4.47E+10	

第 3.3 表 被ばく評価の評価点距離

No.	評価方向	評価距離 (km)
1	N	0.70
2	NNE	0.42
3	NE	0.24
4	ENE	0.19
5	E	0.17
6	ESE	0.19
7	SE	0.26
8	SSE	0.47
9	S	0.85
10	SSW	0.96
11	SW	0.94
12	WSW	0.94
13	W	0.99
14	WNW	0.71
15	NW	0.90
16	NNW	0.76

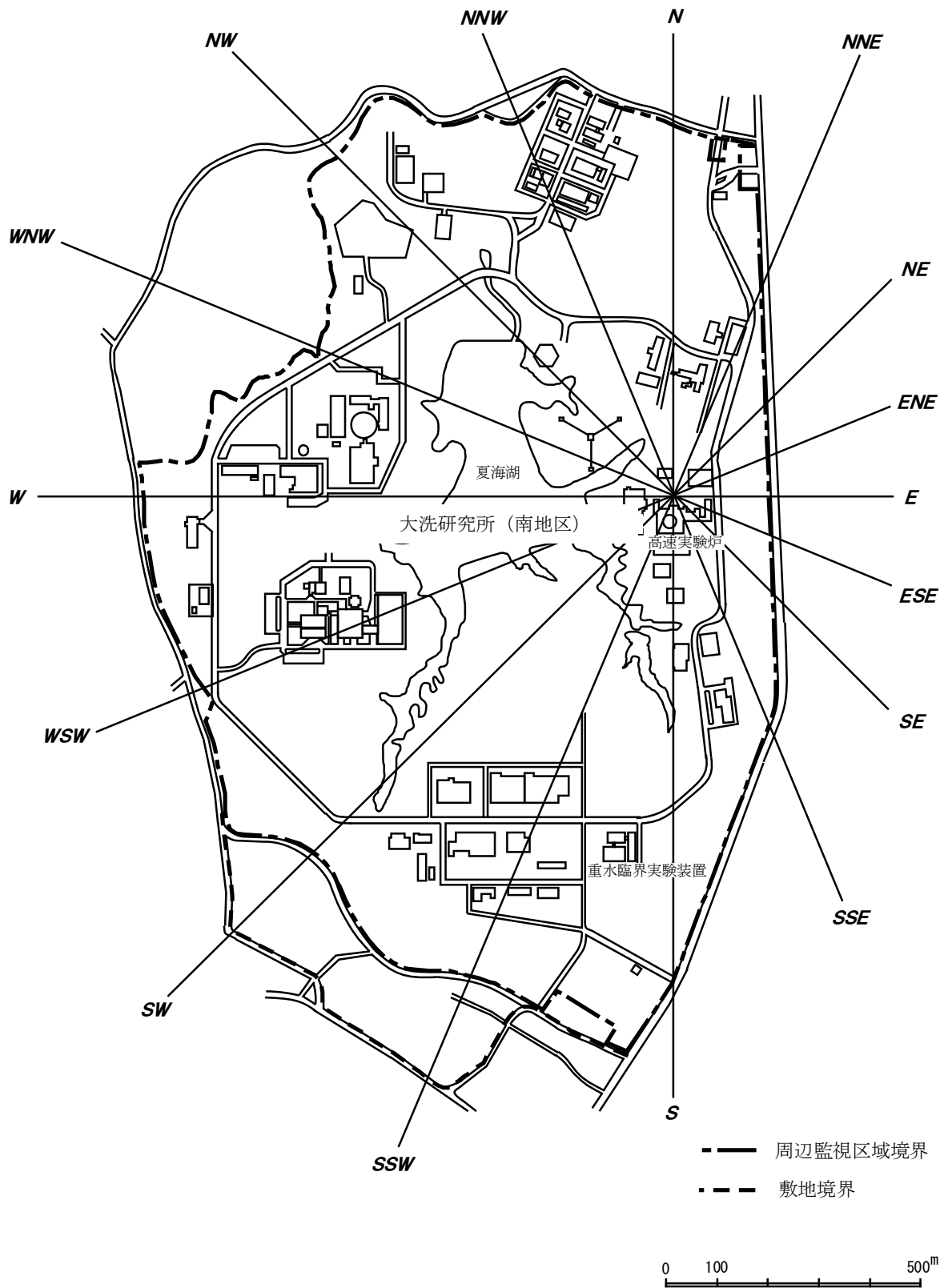


第 3.1 図 原子炉建物の評価用主要形状



第 3.2 図 原子炉附属建物の評価用主要形状



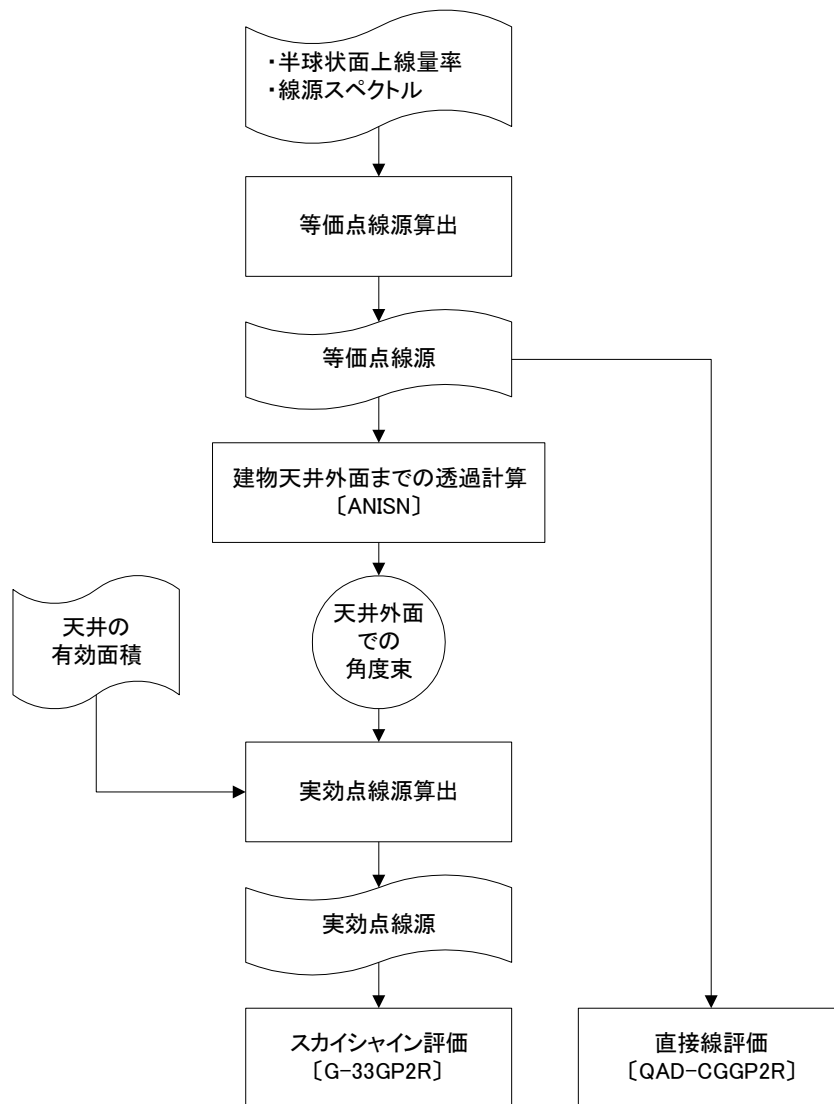


第 3.3 図 被ばく評価の評価点

#### 4. 計算方法

原子炉建物及び原子炉附属建物を3次元でモデル化し、それぞれの平常時における直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の空間線量率を計算した。空間線量率の計算フローを第4.1図に示す。

空間線量率は、建物壁面を水平方向に透過する直接ガンマ線と建物天井を透過し上空へ抜けて散乱するスカイシャインガンマ線との合計で算出される。直接ガンマ線計算にはQAD-CGGP2Rを用い、スカイシャインガンマ線計算にはANISN及びG-33GP2Rを用いる。



第 4.1 図 空間線量率の計算フロー

## 5. 評価結果

各評価点の原子炉建物、原子炉附属建物及び合計線量率を第 5.1 表に示す。

第 5.1 表より、最も建物に近い方向 E の 0.17km 地点においても空間線量率は、空気カーマで 6.4  $\mu\text{Gy}/\text{y}$  である。以上により、空間線量率は、空気カーマで年間 50  $\mu\text{Gy}$  を下回り、設計方針を満足する。

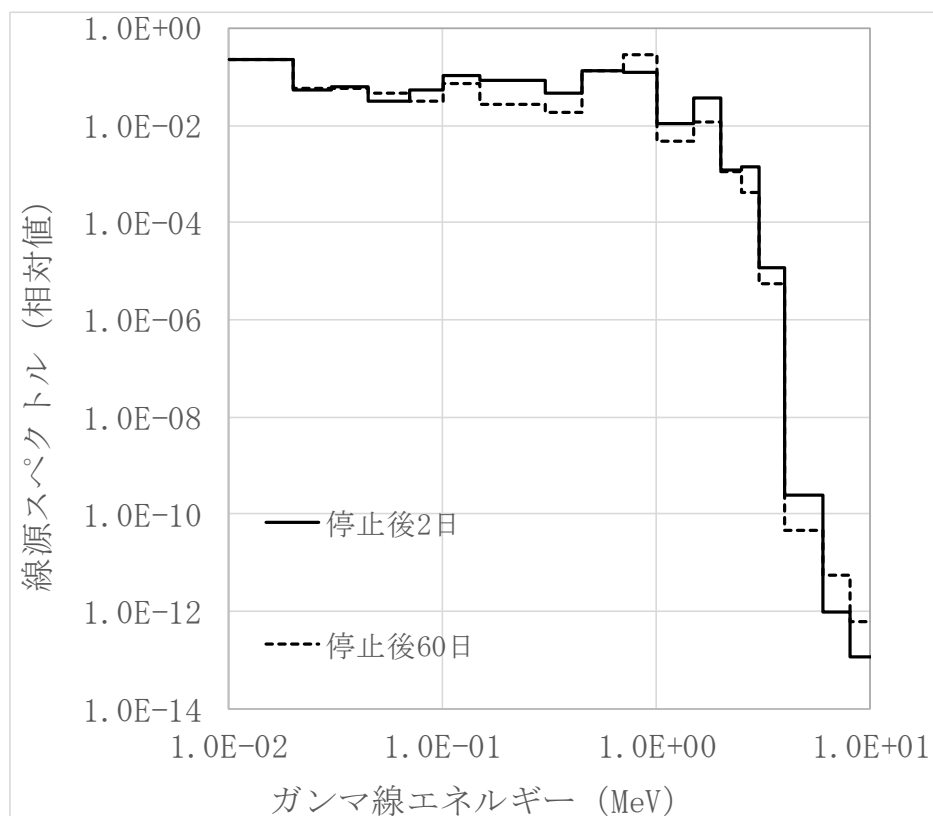
第 5.1 表 直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による空間線量率

評価地点			空間線量率						建物 合計 $\mu\text{Gy}/\text{y}$
			原子炉建物			原子炉附属建物			
No.	方向	距離 km	スカイシャイン線 $\mu\text{Gy}/\text{y}$	直接線 $\mu\text{Gy}/\text{y}$	合計 $\mu\text{Gy}/\text{y}$	スカイシャイン線 $\mu\text{Gy}/\text{y}$	直接線 $\mu\text{Gy}/\text{y}$	合計 $\mu\text{Gy}/\text{y}$	
1	N	0.70	1.47E-03	2.33E-04	1.71E-03	3.93E-03	8.48E-03	1.24E-02	1.41E-02
2	NNE	0.42	3.70E-02	1.36E-03	3.84E-02	1.01E-01	9.78E-02	1.99E-01	2.38E-01
3	NE	0.24	3.80E-01	6.72E-03	3.87E-01	1.09E+00	7.65E-01	1.85E+00	2.24E+00
4	ENE	0.19	7.73E-01	1.22E-02	7.85E-01	2.24E+00	1.59E+00	3.83E+00	4.62E+00
5	E	0.17	1.04E+00	1.61E-02	1.06E+00	3.05E+00	2.21E+00	5.26E+00	6.32E+00
6	ESE	0.19	7.73E-01	1.22E-02	7.85E-01	2.24E+00	1.59E+00	3.83E+00	4.62E+00
7	SE	0.26	2.89E-01	5.43E-03	2.94E-01	8.21E-01	5.87E-01	1.41E+00	1.70E+00
8	SSE	0.47	2.02E-02	9.51E-04	2.11E-02	5.48E-02	6.04E-02	1.15E-01	1.36E-01
9	S	0.85	3.08E-04	1.06E-04	4.14E-04	7.87E-04	2.71E-03	3.50E-03	3.92E-03
10	SSW	0.96	1.05E-04	6.23E-05	1.67E-04	2.56E-04	1.23E-03	1.49E-03	1.66E-03
11	SW	0.94	1.27E-04	6.85E-05	1.96E-04	3.13E-04	1.42E-03	1.73E-03	1.93E-03
12	WSW	0.94	1.27E-04	6.85E-05	1.96E-04	3.13E-04	1.42E-03	1.73E-03	1.93E-03
13	W	0.99	7.93E-05	5.41E-05	1.33E-04	1.90E-04	1.00E-03	1.19E-03	1.32E-03
14	WNW	0.71	1.32E-03	2.21E-04	1.54E-03	3.52E-03	7.83E-03	1.14E-02	1.29E-02
15	NW	0.90	1.88E-04	8.31E-05	2.71E-04	4.70E-04	1.89E-03	2.36E-03	2.63E-03
16	NNW	0.76	7.77E-04	1.69E-04	9.46E-04	2.04E-03	5.32E-03	7.36E-03	8.31E-03

原子炉附属建物からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の評価に用いた  
線源スペクトル（相対値）の設定における原子炉停止後の経過日数の影響

原子炉附属建物からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の評価では、外側燃料集合体（燃料要素最高燃焼度：90,000MWd/t）の原子炉停止後2日の放出ガンマ線スペクトルから、線源スペクトル（相対値）を作成し、等価点線源強度の設定に用いた。なお、放出ガンマ線スペクトルには、アクチノイド、核分裂生成物及び構造材の放射化物質並びにそれらの娘核種を線源として考慮した。

線源スペクトル（相対値）は、ガンマ線スペクトルの合計が1となるように規格化したものである。線源スペクトル（相対値）は、原子炉停止後の経過日数により、その形状が若干異なる（一例として、第1図に原子炉停止後2日及び原子炉停止後60日の線源スペクトルを示す。）。ただし、第1図に示すように原子炉停止後60日におけるガンマ線スペクトルを使用した場合にあっても、空間線量率（最大値：最も建物に近い方向Eの0.17km地点）は、空気カーマで約 $5.3\mu\text{Gy/y}$ から、約 $5.1\mu\text{Gy/y}$ に変動する程度であり、設計目標値とした年間 $50\mu\text{Gy}$ 以下との比較結果に与える影響は小さい。



第1図 原子炉停止後2日及び原子炉停止後60日の線源スペクトルの比較

原子炉附属建物からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の評価に用いた  
線源スペクトル（相対値）の設定における放射化ナトリウムの影響

等価点線源強度の設定に使用した「使用済燃料」の線源スペクトル\*と、1次冷却材であるナトリウム 1g に含まれる「Na-22 及び Na-24」の線源スペクトルを第 1 表に示す。「Na-22 及び Na-24」のガンマ線発生率は、「使用済燃料」と比較して十分に小さく（ $10^{-8}$  倍以下）、仮に kg オーダーのナトリウムの存在を想定した場合であっても、線源スペクトルへの影響は無視できる。

\*： 等価点線源強度の設定には、線源スペクトル（相対値）を使用している（原子炉停止後 2 日）。ここでは、放射化ナトリウムの影響を確認するため、線源スペクトル（絶対値）を用いる。

第 1 表 「使用済燃料」と「Na-22 及び Na-24」の線源スペクトル

γ 線エネルギー (代表値：MeV)	線源スペクトル			
	使用済燃料 (Photon/s)	Na-22 (Photon/s/g_Na)	Na-24 (Photon/s/g_Na)	Na-22, -24 合計 (Photon/s/g_Na)
9.50	1.07E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
7.00	9.27E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
5.00	1.89E+07	0.00E+00	1.81E+03	1.81E+03
3.50	9.60E+11	0.00E+00	1.74E+05	1.74E+05
2.75	1.14E+14	2.86E-04	2.54E+08	2.54E+08
2.25	1.04E+14	1.91E-02	1.08E+01	1.08E+01
1.75	3.04E+15	2.30E-01	4.72E+01	4.74E+01
1.25	9.43E+14	3.23E+05	2.77E+08	2.77E+08
0.85	1.17E+16	3.09E+02	1.24E+05	1.25E+05
0.575	1.19E+16	5.07E+05	9.36E+05	1.44E+06
0.375	3.89E+15	4.34E+03	2.69E+06	2.69E+06
0.225	8.29E+15	1.11E+04	7.46E+06	7.48E+06
0.125	1.08E+16	8.49E+03	5.96E+06	5.97E+06
0.085	4.91E+15	1.31E+04	9.36E+06	9.37E+06
0.058	2.81E+15	2.16E+04	1.58E+07	1.58E+07
0.038	5.51E+15	1.50E+04	1.11E+07	1.11E+07
0.025	4.74E+15	2.29E+04	1.71E+07	1.71E+07
0.015	2.24E+16	1.08E+05	8.22E+07	8.24E+07
合計	9.12E+16	1.04E+06	6.83E+08	6.84E+08