

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）

2022 年 9 月 16 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

第 24 条：工場等周辺における直接ガンマ線等からの防護

目 次

1. 要求事項の整理
2. 設置許可申請書における記載
3. 設置許可申請書の添付書類における記載
 - 3.1 安全設計方針
 - 3.2 気象等
 - 3.3 設備等
4. 要求事項への適合性
 - 4.1 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
 - 4.2 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

(添付)

添付 1 : 設置許可申請書における記載

添付 2 : 設置許可申請書の添付書類における記載（安全設計）

添付 3 : 設置許可申請書の添付書類における記載（適合性）

添付 4 : 設置許可申請書の添付書類における記載（設備等）

本日ご提示範囲

添付 1 設置許可申請書における記載

5. 試験研究用等原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備

ロ. 試験研究用等原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

原子炉施設は、(1) 耐震構造、(2) 耐津波構造に加え、以下の基本方針に基づき、「設置許可基準規則」に適合するように設計する。

k. 原子炉施設は、通常運転時において、原子炉施設からの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「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について（平成元年原子力安全委員会了承）」を参考に、空気カーマで年間 $50 \mu\text{Gy}$ 以下となるように設計及び管理する。

添付 2 設置許可申請書の添付書類における記載（安全設計）

添付書類八

1. 安全設計の考え方

1.1 安全設計の方針

1.1.1 基本の方針

原子炉施設は、以下の基本の方針のもとに安全設計を行い、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」等の関係法令の要求を満足するとともに、「設置許可基準規則」に適合する設計とする。

（5）原子炉施設は、通常運転時において、原子炉施設からの直接ガンマ線及びスカイシヤインガンマ線による敷地周辺の空間線量率が「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」⁽¹⁾を参考に、空気カーマで年間 $50\mu\text{Gy}$ 以下となるように設計及び管理する。

1.9 参考文献

(1) 原子力安全委員会、「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」、平成元年 3 月 27 日了承（平成 13 年 3 月 29 日一部改訂）

添付3 設置許可申請書の添付書類における記載（適合性）

添付書類八

1. 安全設計の考え方

1.8 「設置許可基準規則」への適合

原子炉施設は、「設置許可基準規則」に適合するように設計する。各条文に対する適合のための設計方針は次のとおりである。

(工場等周辺における直接ガンマ線等からの防護)

第二十四条 試験研究用等原子炉施設は、通常運転時において試験研究用等原子炉施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による工場等周辺の空間線量率が十分に低減できるものでなければならない。

適合のための設計方針

原子炉施設は、通常運転時において、原子炉施設からの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「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」を参考に、空気カーマで年間 $50 \mu\text{Gy}$ 以下となるように設計及び管理する。

添付書類八の以下の項目参照

1. 安全設計の考え方

添付書類九の以下の項目参照

1. 放射線の被ばく管理及び放射性廃棄物の廃棄に関する基本方針

添付 4 設置許可記載申請書の添付書類における記載（設備等）

添付書類九

1. 放射線の被ばく管理及び放射性廃棄物の廃棄に関する基本方針

原子炉施設は、外部放射線による放射線障害を防止する必要がある場合において、放射線業務従事者等が業務に従事する場所について、遮蔽、機器の配置、遠隔操作、放射性物質の漏えい防止、換気等の所要の放射線防護上の措置を講じることで、通常運転時等における放射線業務従事者等の放射線被ばくが「線量告示」に定められた線量限度を超えないように、その放射線量を低減できるものとし、かつ、放射線業務従事者が運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故時において、迅速な対応をするために必要な操作ができるものとする。

また、大洗研究所（南地区）周辺の一般公衆の放射線被ばくを合理的に達成できる限り低減するものとし、通常運転時において、原子炉施設からの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「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」⁽¹⁾を参考に、年間 $50 \mu\text{Gy}$ 以下となるように設計する。

放射性廃棄物の廃棄については、周辺監視区域の外の空气中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質の濃度を十分に低減できるものとし、ここでは、全ての燃料集合体の燃焼度が一様に最高燃焼度に達した場合に炉心に蓄積される希ガス及びよう素の1%に相当する量が、1次冷却材中に放出された状態で運転を継続した場合を仮定した上で、通常運転時における大洗研究所（南地区）周辺の一般公衆の放射線被ばくについて、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」⁽²⁾及び「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」⁽³⁾を参考とし、その実効線量が年間 $50 \mu\text{Sv}$ を下回ることを確認する。

なお、放射線の被ばく管理及び放射性廃棄物の廃棄に関する運用については、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」の第37条に基づく原子炉施設保安規定に定める。

6. 参考文献

- (1) 原子力安全委員会、「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」、平成元年3月27日了承（平成13年3月29日一部改訂）
- (2) 原子力委員会、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」、昭和51年9月28日決定（平成13年3月29日一部改訂）
- (3) 原子力安全委員会、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」、昭和57年1月28日決定（平成13年3月29日一部改訂）

V. 敷地境界における通常運転時の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の評価 (MK-IV炉心)

敷地境界における通常運転時の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の評価

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^[1]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^[2]及びG33-GP2R^[1]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50μGy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（20μSv/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20μSv/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20μSv/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。

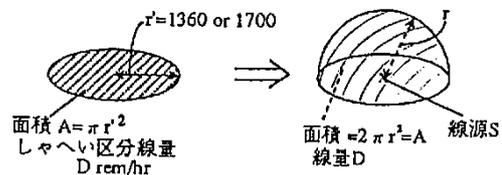
各建物の半球の半径rは以下の式により算出した。

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

μ_i : 空気の線吸収係数

ただし、 $r \doteq 1000$ (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 $90,000 \text{ MWd/t}$ 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。

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 (μ 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	

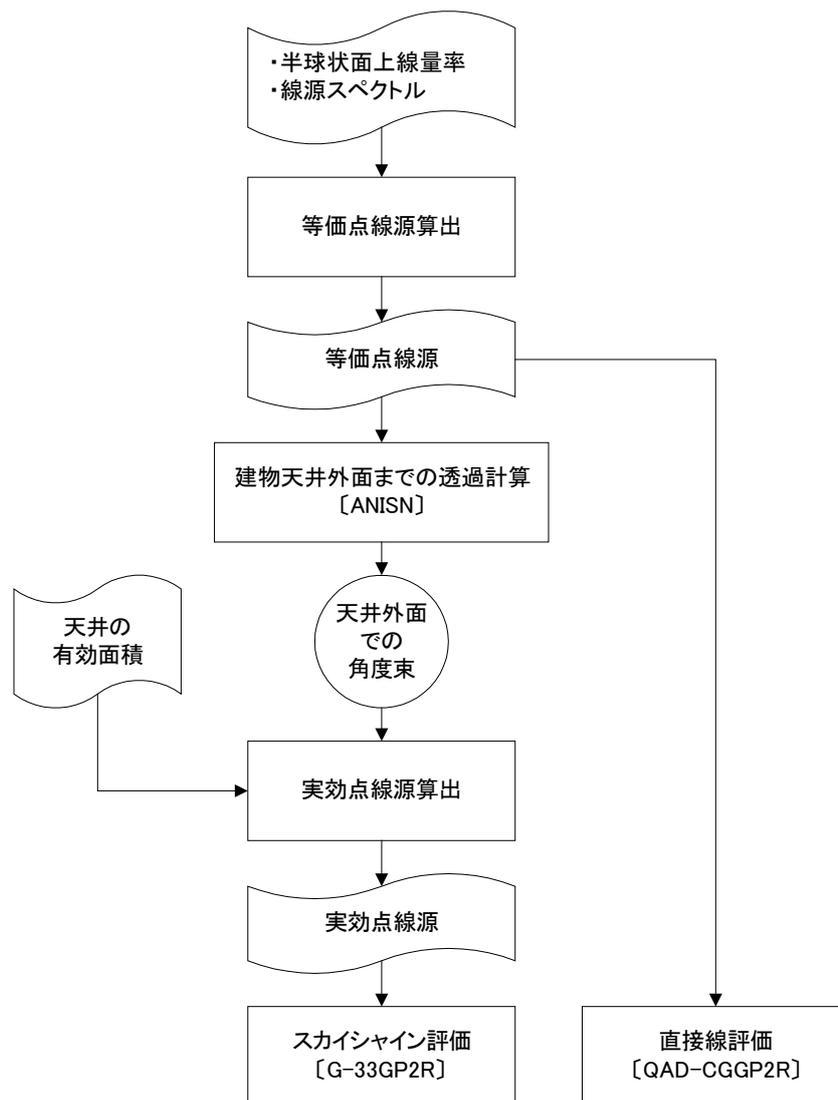
第 3.2 表 原子炉附属建物の線源スペクトル及び等価線源強度

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 (μ 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	

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の空間線量率をQAD-CGGP2R、ANISN及びG33-GP2Rより計算した。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。



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、及び原子炉附属建物の合計線量率を第 5.1 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敷地境界までの距離とした。

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 μ Gy/y である。以上により、空間線量率は、空気カーマで年間 50 μ 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 μ Gy/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 μ Gy/y	直接線 μ Gy/y	合計 μ Gy/y	スカイシャイン線 μ Gy/y	直接線 μ Gy/y	合計 μ Gy/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

6. 参考文献

- [1] Y. Sakamoto, S. Tanaka, "QAD-CGGP2 and G33-GP2: Revised Versions of QAD-CGGP and G33-GP" (Codes with the Conversion Factors from Exposure to Ambient and Maximum Dose Equivalents), JAERI-M 90-110(1990).
- [2] 小山謹二; 田代晋吾; 南多善; 筒井恒夫; 出田隆士; 宮坂駿一, 「中性子・ガンマ線予想 1 次元 Sn コード」, ANISN-JR, JAERI-M 6954, (1977)