



**第53条（多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止）
のうち、「使用済燃料損傷防止」の指摘に係る回答**

2021年10月26日

**日本原子力研究開発機構 大洗研究所
高速実験炉部**

No. 156【第53条（多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止）】

- 第一使用済燃料貯蔵建物及び第二使用済燃料貯蔵建物の貯蔵設備におけるリスクについて説明すること。

- 第一使用済燃料貯蔵建物（第1SFF）及び第二使用済燃料貯蔵建物（第2SFF）の水冷却池の冷却水が喪失することを仮定し、使用済燃料の健全性及びスカイシャインガンマ線による敷地境界における実効線量について評価した。以下に示すように、使用済燃料の健全性は確保されるとともに、スカイシャインガンマ線による敷地境界における実効線量は5mSv（7日間）を下回ることから、リスクは小さいと判断できる。

【使用済燃料の健全性】

| 建物 | 缶詰缶封入水温度 |
|-------|----------|
| 第1SFF | 75.7℃ |
| 第2SFF | 74.5℃ |

使用済燃料が健全であることの判断基準

- 缶詰缶の封入水が沸騰しない温度として、缶詰缶封入水温度が100℃未満



使用済燃料の健全性は確保される。

【スカイシャインガンマ線による敷地境界における実効線量】

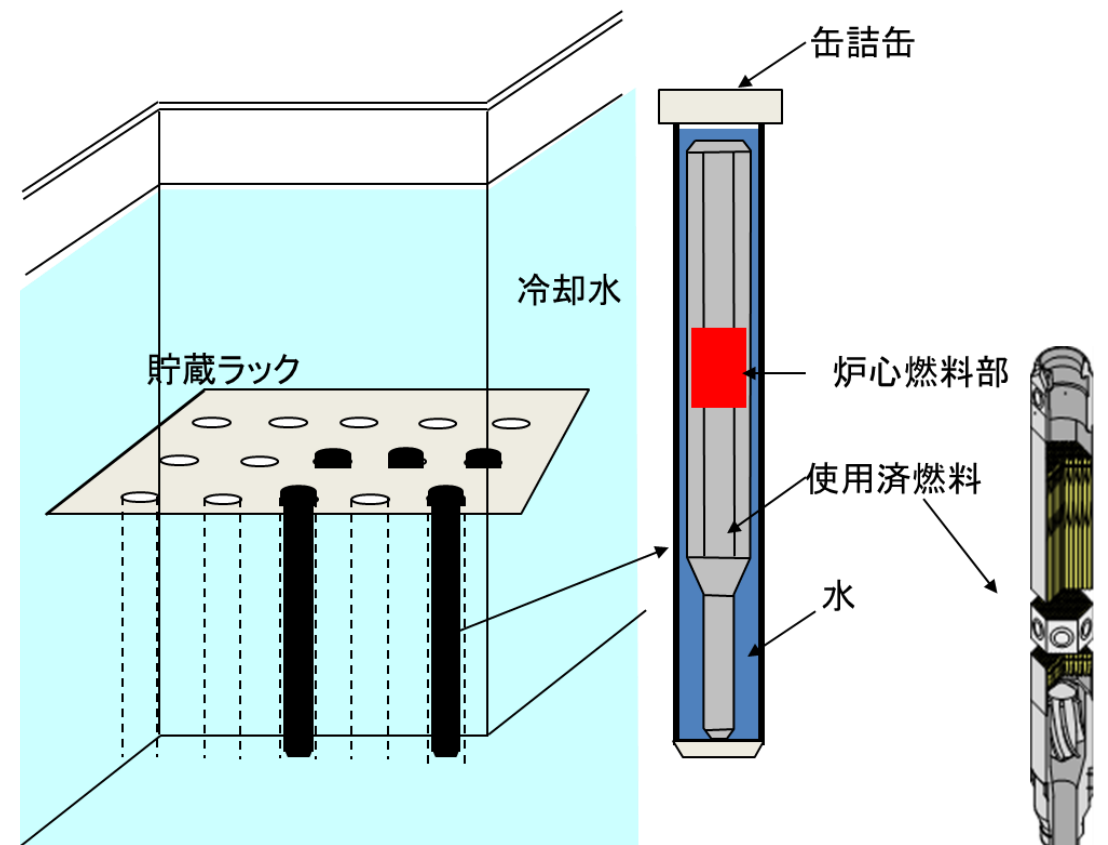
| 方向 | 評価点 敷地境界までの距離 (km) | 実効線量 | |
|-----------|-----------------------|----------------------|----------------|
| | | 1時間あたり (mSv/h) | 合計 (7日間) (mSv) |
| 第2SFFの東方向 | 0.18 | 5.5×10^{-3} | 0.92 |

リスクが小さいことの判断基準：5mSv（7日間）



リスクは小さいと判断できる。

【使用済燃料の貯蔵状況】



- 第1SFF及び第2SFFの水冷却池では、缶詰缶に封入された使用済燃料を貯蔵。なお、缶詰缶は、水で満たされている。
- 第1SFF又は第2SFFに移送される使用済燃料は、炉内燃料貯蔵ラックにおいて60日以上、原子炉附属建物水冷却池で1年以上冷却貯蔵されたものが対象。

【使用済燃料の健全性評価に係る条件等（1/2）】

＜崩壊熱計算条件＞

- FPGS-3コードを使用。燃料集合体は、最高燃焼度に到達しているものとし、適切な冷却期間を考慮するとともに、10%の余裕を見込んで崩壊熱を評価。
- 既貯蔵中燃料集合体に係る崩壊熱（合計）は、**第1SFF：約24kW、第2SFF：約3kW。**

| 貯蔵箇所 | 最大貯蔵体数 | 既貯蔵体数*1 (燃料) |
|-------|--------|-----------------|
| 第1SFF | 600 体 | 500 体 |
| 第2SFF | 350 体 | 228 体 |

*1 照射後試験で解体されて缶詰缶に封入されたものを含む(1缶を1体とする)。

- ※ 燃料集合体1体当たりの崩壊熱評価
 - MK-III：約63W（冷却期間：最短の約15年を使用*2）
 - MK-II：約60W（冷却期間：最短の約22年を使用*2）
 - MK-I：約22W（冷却期間：最短の約41年を使用*2）

*2 2023年3月の運転再開を想定。

- 今後貯蔵される燃料集合体に係る崩壊熱（合計）は、**第1SFF：約21kW、第2SFF：約25kW。**

- ※ 崩壊熱評価において想定する貯蔵予定燃料の内訳

| 貯蔵箇所 | 燃料体数*3 |
|-------|-----------------------|
| 第1SFF | 100（空き容量*4：92体を切り上げ） |
| 第2SFF | 150（空き容量*4：113体を切り上げ） |

*3 サイクル運転（1サイクル：60日定格出力運転、19日停止）を繰り返した後、炉内燃料貯蔵ラック：60日及び原子炉附属建物水冷却池：365日の冷却期間を考慮し、貯蔵予定燃料体数に達するまで、使用済燃料を10体ずつ貯蔵することを仮想。なお、それぞれ結果が厳しくなるように、一方の水冷却池のみに貯蔵することを想定。

- ※ 燃料集合体1体当たりの崩壊熱評価 約386W（炉心第3列外側燃料）
→ 封入水温度評価では、保守的に400Wを使用。

- 水冷却池における崩壊熱（合計）は、**第1SFF：約44kW、第2SFF：約28kW。**
→ 室温計算では、第1SFF：50kW、第2SFF：30kWを使用。

*4 燃料集合体以外の既貯蔵体数も考慮。

【使用済燃料の健全性評価に係る条件等（2/2）】

<計算式>

$$T_w = T_{ci} + \frac{Q_a}{(2\pi k_w L_{cp})} \ln \left(\frac{(r_{wro} + r_{cani})/2}{r_{wro}} \right)$$

T_w : 缶詰缶封入水温度 (°C)
 T_{ci} : 缶詰缶内表面温度 (°C)

$$T_{ci}(t_i) = T_{ci}(t_{i-1}) + \{Q_{out}(t_i) - (h_{can} \times (T_{ci}(t_{i-1}) - T_a(t_{i-1}))) \times (t_i - t_{i-1})\} \div \frac{C_w W_w Q_t}{Q_a}$$

$$h_{can} = \frac{1}{(r_{cano} - r_{cani})/k_{can}}$$

$Q_{out}(t_i)$: 時刻 t_i における全使用済燃料からの放熱量 (J)
 t_i : 時刻 (s) ※ 添字 i は時間分割。 t_{i-1} は t_i の一つ前の時間。
 $T_a(t_i)$: 時刻 t_i における室温 (°C)
 Q_t : 使用済燃料総発熱量 (W)
 Q_a : 使用済燃料1体あたりの発熱量 (W)
 h_{can} : 通過熱量 (W/°C)

<物性値>

| 項目 | 変数 | 値 | 出典 |
|--------|--------|-----------|---|
| 空気 | 比熱 | C_a | 1009 J/kg°C |
| | 密度 | ρ_a | 1.024 kg/m³ |
| | 熱伝導率 | k_a | 0.029 W/mK |
| 水 | 比熱 | C_w | 4216.1 J/kg°C |
| | 密度 | ρ_w | 958.4 kg/m³ |
| | 熱伝導率 | k_w | 0.671 W/mK |
| コンクリート | 熱伝導率 | k_c | 1.74 W/mK |
| | 表面熱伝達率 | h_c | 17 W/m²K |
| 缶詰缶 | 熱伝導率 | k_{can} | 0.132+1.3×10 ⁻⁴ *T W/cm°C T:温度 (°C) |

<缶詰缶及び炉心燃料集合体条件等>

| 項目 | 変数 | 寸法 | 計算式 |
|---------|-----------|------------|-----------|
| 缶詰缶 | 外径 | d_{cano} | 0.1143 m |
| | 外半径 | r_{cano} | 0.05715 m |
| | 内半径 | r_{cani} | 0.05415 m |
| | 発熱長さ | L_{canh} | 3.31 m |
| | 表面積 | A_{can} | 1.2 m² |
| 炉心燃料集合体 | 発熱長さ | L_{cp} | 0.524 m |
| | ラッパ管外対辺距離 | d_{wro} | 0.0785 m |
| | ラッパ管等価外半径 | r_{wro} | 0.0412 m |
| 缶詰缶封入水 | 水重量 | W_w | 12.293 kg |

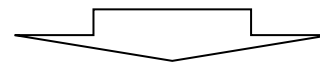
<水冷却池室空気体積及びコンクリート熱通過量>

| 項目 | 記号 | 建屋 | 値 | 計算式 |
|------------|-------|-------|-------------|---|
| 空気体積 | V | 第1SFF | 8449.4 m³ | $\rho_a \times V$ |
| | | 第2SFF | 5896.8 m³ | |
| 空気重量 | W_a | 第1SFF | 8652.1 kg | $\rho_a \times V$ |
| | | 第2SFF | 6038.3 kg | |
| 外気と通過できる熱量 | h_a | 第1SFF | 5081.8 W/°C | 各壁の熱通過率の和 $\sum \frac{1}{\left(\frac{1}{h_c} + \frac{th}{k_c} + \frac{1}{h_c}\right)}$ th:壁厚さ |
| | | 第2SFF | 3558.1 W/°C | |

【スカイシャインガンマ線による敷地境界における実効線量の評価に係る条件等】

- 最大貯蔵量が、第1SFFが600体、第2SFFで800体（燃料：350体、反射体：450体）であることに鑑み、第2SFFの評価で代表させる。
- 貯蔵ラックは地下に位置する。直接ガンマ線に対しては十分な遮蔽があることに鑑み、スカイシャインガンマ線について評価する。
- 燃料集合体は、最高燃焼度に到達しているものとし、適切な冷却期間を考慮する（使用済燃料の健全性評価に同じ）。ただし、既貯蔵中燃料集合体にあつては、冷却期間を一律15年とする。
- 反射体は、設計寿命としている最大中性子照射量に到達しているものとし、適切な冷却期間を考慮する。既貯蔵中反射体にあつては、最大中性子照射量を $1.2 \times 10^{23} \text{n/cm}^2$ ($E \geq 0.1 \text{MeV}$) とし、冷却期間を一律15年とする（体数：324体を切り捨て、300体を使用）。今後貯蔵する反射体にあつては、最大中性子照射量を $3.0 \times 10^{23} \text{n/cm}^2$ ($E \geq 0.1 \text{MeV}$) とし、1年冷却後から、貯蔵予定反射体数（150体）に達するまで、使用済反射体を10体ずつ貯蔵（79日間隔）することを仮想する。
- ORIGENコードにより、使用済燃料：350体と使用済反射体：450体のガンマ線放出率（合計）を評価する。

| 群数 No. | ガンマ線エネルギー (MeV) | | | 線源強度 (Photon/s) | |
|-----------|--------------------|-------|-------|--------------------|----------|
| | 上限 | 下限 | 代表 | 燃料 | 反射体 |
| 1 | 10.00 | 8.00 | 9.00 | 3.92E+05 | 0.00E+00 |
| 2 | 8.00 | 6.50 | 7.25 | 3.51E+06 | 0.00E+00 |
| 3 | 6.50 | 5.00 | 5.75 | 2.04E+07 | 0.00E+00 |
| 4 | 5.00 | 4.00 | 4.50 | 2.33E+07 | 0.00E+00 |
| 5 | 4.00 | 3.00 | 3.50 | 6.90E+11 | 1.24E+02 |
| 6 | 3.00 | 2.50 | 2.75 | 5.44E+12 | 1.03E+09 |
| 7 | 2.50 | 2.00 | 2.25 | 2.18E+14 | 3.34E+11 |
| 8 | 2.00 | 1.66 | 1.83 | 9.93E+13 | 1.16E+12 |
| 9 | 1.66 | 1.33 | 1.49 | 4.90E+14 | 1.87E+16 |
| 10 | 1.33 | 1.00 | 1.16 | 1.03E+15 | 4.43E+16 |
| 11 | 1.00 | 0.80 | 0.90 | 3.07E+15 | 2.05E+15 |
| 12 | 0.80 | 0.60 | 0.70 | 1.08E+16 | 1.26E+15 |
| 13 | 0.60 | 0.40 | 0.50 | 1.78E+16 | 6.39E+13 |
| 14 | 0.40 | 0.30 | 0.35 | 2.43E+15 | 2.46E+12 |
| 15 | 0.30 | 0.20 | 0.25 | 3.51E+15 | 7.54E+12 |
| 16 | 0.20 | 0.10 | 0.15 | 9.73E+15 | 3.68E+13 |
| 17 | 0.10 | 0.500 | 0.075 | 1.48E+16 | 2.33E+14 |
| 18 | 0.050 | 0.001 | 0.026 | 7.17E+16 | 2.92E+15 |
| | 合計 | | | 1.36E+17 | 6.96E+16 |



- DOT3.5コードを用いた遮蔽計算（2次元RZ体系）により、天井外面のガンマ線束を求め、G-33GP3Rコードによりスカイシャインガンマ線計算を行う。
- 水冷却池の冷却水は喪失したものとする。缶詰缶内の封入水は考慮する。線源強度は、ORIGENコードにより算出したガンマ線放出率を相応する貯蔵ラックの集合体高さの体積で除して設定する。
- 評価点は、第2SFFを中心として敷地境界までの距離が最短となる方角E（東）の距離0.18kmとする。

| 評価点 | | 実効線量 | |
|-----------|-------------------|----------------------|----------------|
| 方向 | 敷地境界までの距離 (km) | 1時間あたり (mSv/h) | 合計 (7日間) (mSv) |
| 第2SFFの東方向 | 0.18 | 5.5×10^{-3} | 0.92 |

No. 157【第53条（多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止）】

- 可搬式ポンプ及びホースに関し、資機材の故障等が生じた際の対策について説明すること。

- 「使用済燃料貯蔵設備冷却機能喪失事故」及び「使用済燃料貯蔵設備冷却水喪失事故」において、水冷却池に水を供給するために用いる「可搬式ポンプ」及び「ホース」は、以下の員数を確保するものとし、資機材の故障等に備える。

- i) 可搬式ポンプ：1台 **※ 予備：1台**
 - > 最大吐出量：840 Q /min
 - > 最大揚程：30m



- ii) ホース（消火用ホース）：8本（20m/本）
※ 予備：4本

