

平成30年8月24日
日本原子力発電株式会社

重大事故等時の一次遮蔽の熱除去の評価について

炉心の著しい損傷が発生した場合の中央制御室の居住性評価（以下「居住性評価」という）においては、一次遮蔽が十分なコンクリート厚さを有しているため、原子炉格納容器内の放射性物質からのガンマ線の影響は無視できるほど小さく考慮していない。ここでは、重大事故等時の原子炉格納容器内の放射性物質からのガンマ線による一次遮蔽の温度上昇を考慮した一次遮蔽の熱除去の評価を行い、一次遮蔽の遮蔽機能上問題ないことを確認する。

熱除去の評価では、伝熱理論に基づいた解析手法により遮蔽体の温度上昇を計算する。評価に当たっては、線量計算で求める遮蔽体のガンマ線入射線束よりガンマ発熱量を求めて遮蔽体の温度上昇を計算し、その結果が、コンクリートのガンマ線遮蔽能力に対する温度制限値以下となることを確認する。

1. ガンマ線発熱量の評価

想定事象としては、居住性評価に用いている「大破断LOCA+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗+（全交流動力電源喪失）」とし、ガンマ線による発熱量評価の対象線源は原子炉格納容器内の放射性物質及び原子炉建屋原子炉棟内に放出された放射性物質とする。

評価に用いる放射能濃度は、居住性評価の評価期間である7日間の放射能濃度分布を基に設定する。放射能濃度を基に算出したガンマ線線源強度を第1表に示す。また、QAD-CGGP2Rコードを使用し、対象線源からの吸収線量を評価する。原子炉建屋及び原子炉格納容器の立面図を第1図、一次遮蔽の吸収線量評価に使用した計算モデル及び評価点を第2図に示す。

なお、原子炉格納容器内及び原子炉建屋原子炉棟内の配管、支持構造物等による自己遮蔽効果については保守的に考慮しない。

2. 温度上昇の計算方法

1. により得られたガンマ線吸収線量の分布を用いた一次遮蔽内部発熱、一次遮蔽表面の熱伝達率及びコンクリートの熱伝導率を用いて、一次遮蔽内部の温度分布を求める。以下の熱伝導方程式により一次遮蔽の温度分布を求める。なお、コンクリート密度は 2.23g/cm^3 を用いる

$$\lambda \frac{d^2 T}{d x^2} + Q(x) = 0$$

λ : 熱伝導率 ($\text{kJ}/(\text{cm} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$)

$Q(x)$: 一次遮蔽内側表面からの距離 x における発熱量 ($\text{kJ}/(\text{cm}^3 \cdot \text{h})$)

また、遮蔽表面の境界条件は次式で与えられる。

$$q = h \cdot \Delta t$$

q : 伝達される熱量 (kJ/(cm²・h))

h : 自然対流熱伝達係数 (kJ/(cm³・h・°C))

Δ t : 遮蔽表面とその周辺の温度差 (°C)

重大事故等時の原子炉格納容器表面温度（最高温度157 °C）及び原子炉建屋原子炉棟内雰囲気温度（最高温度65.6 °C）について保守的に一定温度として境界条件を設定し計算する。計算した一次遮蔽の温度分布を第3図に示す。

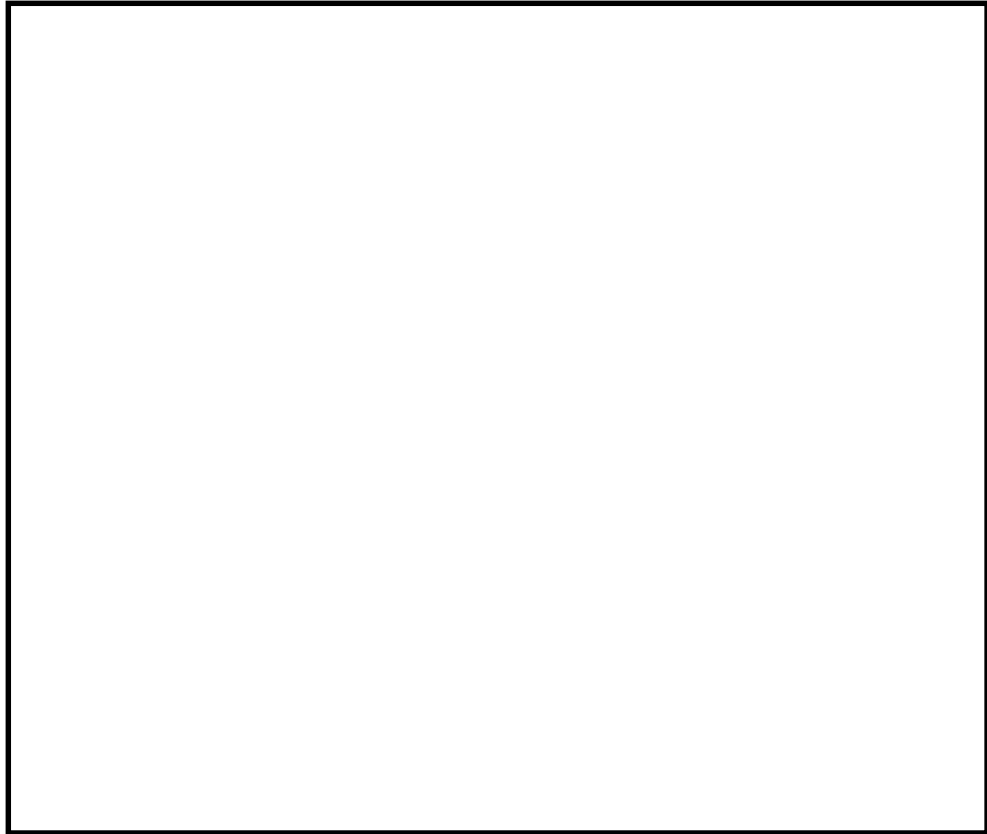
3. まとめ

一次遮蔽のコンクリート温度は、一次遮蔽内部でのガンマ線による温度上昇を考慮しても第3図に示すとおり166 °C以下となり、「遮蔽設計基準等に関する現状調査報告（1977年，日本原子力学会）」において示されているガンマ線に対するコンクリート温度制限値177 °C以下であることを確認した。

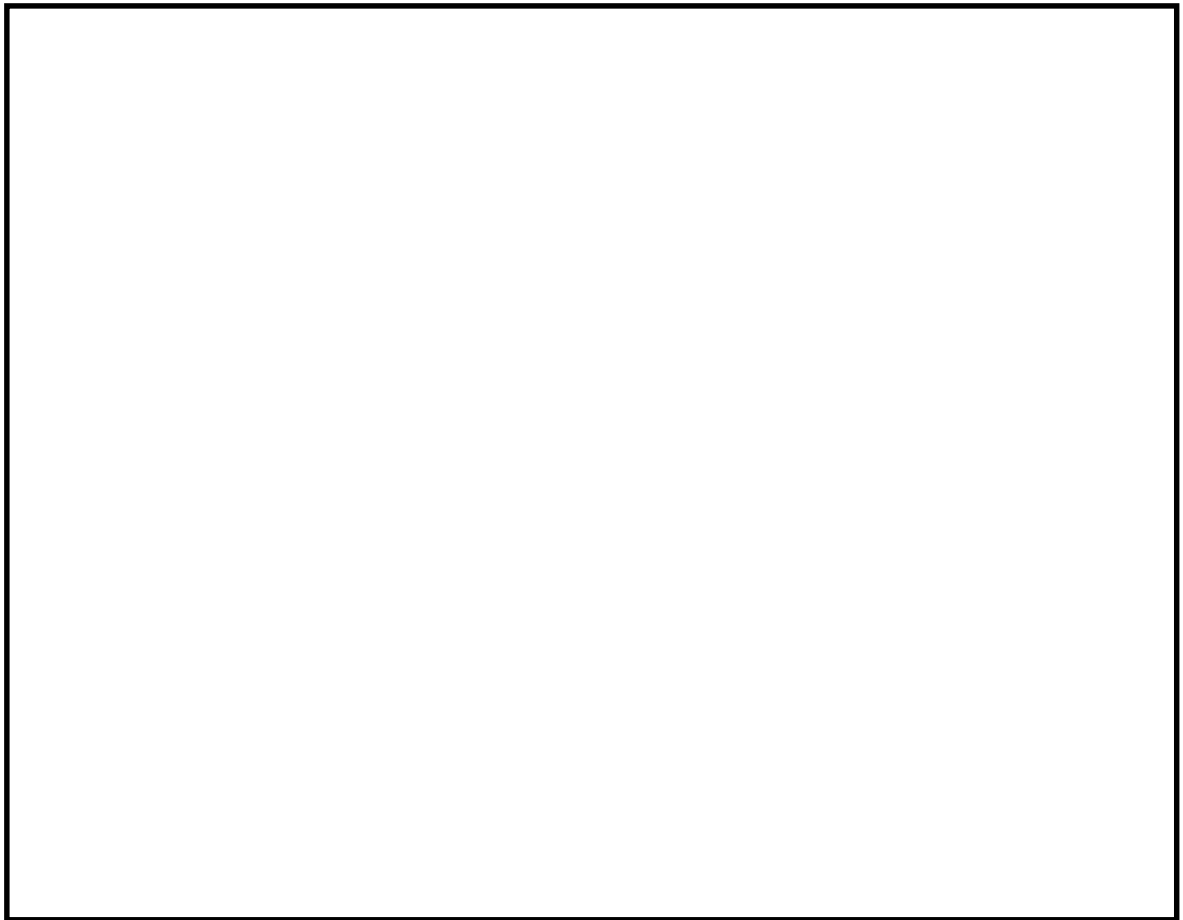
以上

第1表 ガンマ線線源強度

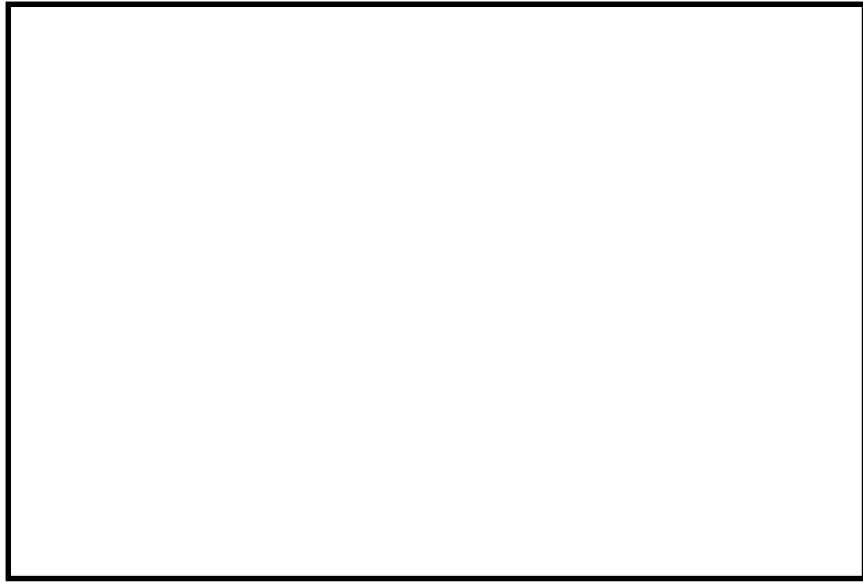
エネルギー (MeV)	原子炉格納容器内線源強度 ($\text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$)	原子炉建屋原子炉棟内線源強度 ($\text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$)
0.01	約 3.7×10^7	約 9.0×10^4
0.025	約 2.7×10^7	約 5.4×10^4
0.0375	約 3.5×10^8	約 1.0×10^6
0.0575	約 2.7×10^6	約 3.9×10^3
0.085	約 3.1×10^8	約 9.2×10^5
0.125	約 2.3×10^6	約 2.6×10^3
0.225	約 1.3×10^8	約 1.2×10^5
0.375	約 4.5×10^7	約 8.0×10^4
0.575	約 1.3×10^8	約 1.8×10^5
0.85	約 6.7×10^7	約 9.9×10^4
1.25	約 2.0×10^7	約 2.3×10^4
1.75	約 4.9×10^6	約 2.8×10^3
2.25	約 7.7×10^6	約 2.5×10^3
2.75	約 5.2×10^5	約 9.4×10^1
3.5	約 1.6×10^4	約 1.4×10^0
5.0	約 2.0×10^{-4}	約 3.0×10^{-7}
7.0	約 2.3×10^{-5}	約 3.4×10^{-8}
9.5	約 2.6×10^{-6}	約 3.9×10^{-9}



第1図 原子炉建屋及び原子炉格納容器の立面図



第2図 一次遮蔽の吸収線量評価に使用した計算モデル及び評価点（立面図）



第3図 一次遮蔽内部の温度分布