

高浜3・4号機使用済燃料ピットAエリアの臨界安全性評価について

- (1) 高浜3・4号機の使用済燃料ピットAエリアの臨界性に関する関西電力(関電)の判断は、実際のピットに関する実効増倍率の評価値0.977が臨界実験に基づく評価基準0.98より小さいから臨界には達しないというものです(表1)。
- (2) 評価値0.977には不確定性0.020が含まれているとしており(表1の注釈及び表2)、それを除いた値0.957には不確定性は含まれていないことを関電は認めました。
- (3) 他方、評価基準0.98は米国のANSI/ANS-57.2の第6.4.2.2.3項に従って決めたとしています。しかし、第6.4.2.2.3項にはそのような内容はなく、安全余裕 Δk_m を0.02~0.05とすることが書かれているだけです。関電はこの安全余裕を最低の0.02にとり、 $1-0.02=0.98$ にしたと答えました。しかし、そのような基準の決め方はANSI/ANSにはどこにも書かれていません。
- (4) ANSI/ANS第6.4.2.2.1項によれば、評価の判断基準は、ピットに関する実効増倍率の最大評価値 k_s が評価基準である最大許容増倍率 k_a 以下であること、つまり、
$$k_s \leq k_a$$
となっています。そして、上記(3)で問題にした評価基準は次式で規定されています。
$$k_a = k_c - \Delta k_u - \Delta k_m$$
関電はこのうち $k_c = 1.00$ 、安全余裕 $\Delta k_m = 0.02$ ととり、臨界実験に関する不確定性 Δk_u を無視して $k_a = 0.98$ と決めたことを認めました。
- (5) この点、関電の主張によれば、不確定性 Δk_u は上記(2)で述べた不確定性0.020として評価値0.977の中に含めているからそれでいいのだというのです。しかし、ANSI/ANSでは、実際のピットに関する評価値と臨界実験から導かれる基準値のそれぞれで不確定性を考慮することが求められています。関電の評価方式はANSI/ANSに反するものであり、また、関電の方式を正当化する別の規格的な考えが示されているわけでもありません(原子力安全・保安院は自らの具体的基準はもっておらず、関電の考えがANSI/ANSによるものであることを認めています)。
- (6) 11月18日には議論の結果、関電は自らの方式がANSI/ANSの考え方に忠実に従ったものではないことを認めました。その結果、ANSI/ANSに従えば、(2)の不確定性(表2)のうちの臨界実験に関する部分0.0156を Δk_u とし、他のラックなど製作にかかわる不確定性部分を評価値0.957に加えることになると関電は答えました。その製作に関する不確定性は0.0077となります(表2より)。その結果、評価値 $=0.957+0.0077=0.965$ 、基準値 $=1.00-0.0156-0.020=0.964$ となって評価値が基準値を上回るので、臨界に到達しないことが保証されません。
- (7) 実は関電の(6)のような不確定性の取り方は、ANSI/ANSに照らせば充分ではありません。上記(4)のピット評価値 k_s の不確定性には製作に関するものだけでなく計算上の不確定性も考慮することが要求され(第6.4.2.2.1項及び第6.4.2.2.6-7項)、他方、臨界実験に関する不確定性としては、ラックに関する不確定性を「外挿(extrapolation)」によって考慮すべきことが規定されています(第6.4.2.2.2項)。これら不確定性を正確に考慮すれば、臨界安全性がさらに確実に崩れることは明らかです。安全側に考えて関電の不確定性計算値0.020を両者に適用すれば、評価値 $k_s = 0.977$ 、基準値 $k_a = 0.960$ となり、評価値は基準値を大幅に上回るようになります。

関西電力株式会社 高浜発電所原子炉設置変更許可申請

(1号、2号、3号及び4号原子炉施設の変更) コメント回答 (その2)

平成22年1月27日 原子力安全委員会 原子炉安全専門審査会

資料第3-7号 平成22年1月 原子力安全・保安院 より

表1 燃料貯蔵設備の未臨界性の評価結果 (7-4頁)

	実効増倍率	
	純水冠水条件	評価基準
1号及び2号炉 新燃料貯蔵庫	0.938 ^{*1}	≤0.95
1号及び2号炉 使用済燃料ピット	0.973 ^{*1}	≤0.98
3号及び4号炉 使用済燃料ピット (Aエリア)	<u>0.977^{*1}</u>	<u>≤0.98</u>
3号及び4号炉 使用済燃料ピット (Bエリア)	0.948 ^{*2}	≤0.98

※1: 不確定性 0.020 を含む

※2: 不確定性 0.025 を含む

表2 不確定性計算結果 (1号炉、2号炉、3号炉及び4号炉 使用済燃料ピット)
(7-5頁下側表)

項目		不確定性		
		1, 2号炉	3, 4号炉	
			Aエリア	Bエリア
臨界計算上の不確定性		0.0000		
平均誤差	δk	(平均値は 1.0022 となるので保守的に 0.0000 とする。)		
95%信頼度-95%確率	ϵ_c	0.0156		
製作に関わる不確定性 ^{*2}				
①ラック間隔公差	ϵ_p	0.0029	0.0029	0.0129
②ラック内辺公差	ϵ_w	0.0012	0.0064	0.0052
③ラック内偏心	ϵ_f	0.0016	0.0009	0.0009
④燃料製作公差	ϵ_r	0.0025	0.0031	0.0031
不確定性合計 ^{*1}	ϵ	0.0162	0.0174	0.0211
設計に用いる不確定性	ϵ	0.020	0.020	0.025

$$*1) \epsilon = \delta k + \sqrt{\epsilon_c^2 + \epsilon_p^2 + \epsilon_w^2 + \epsilon_f^2 + \epsilon_r^2}$$

*2)ラック及び燃料製作に係る公差の設定が違ふことによりピット毎の不確定性が異なる。なお、3,4号炉使用済燃料ピットのラック間隔公差についてはAエリアの使用済燃料貯蔵設備の貯蔵能力変更を図った際にラック間隔公差の考え方を変更しており、Aエリアの公差はBエリアの公差よりも小さな値となっている。

ANSI/ANS-57.2-1983(W1993) 抜粋 (元の添付資料は英文。訳責：美浜の会)

6.4 使用済燃料貯蔵ラック

6.4.2 設計条件一核臨界安全性

6.4.2.2 臨界性の計算は燃料取扱事故についての不利な効果や 2.12.4 で設定された条件を含み、以下のように実行される。

6.4.2.2.1 正常発生及び確かな異常発生の下での燃料貯蔵ラック内の燃料の増倍率の評価値は、確定最大許容増倍率 k_a と等しいかそれ以下である。すなわち、

$$k_s \leq k_a \quad (\text{式1})$$

ただし、

k_s = 燃料貯蔵ラック内燃料の最大増倍率の評価値で、モンテカルロ法のような計算技法の統計的な不確実性に関するすべての必要な許容範囲を含む。

最大許容増倍率は、以下の表式から計算される。

$$k_a = k_c - \Delta k_u - \Delta k_m \quad (\text{式2})$$

ただし、

k_c = ベンチマーク実験について特定の計算方法を用いた計算結果である k_{eff} (中性子実効増倍率)。その値は、理論的な技法と数値データの組み合わせを表す (より詳細は、ANSI/ANS-8.1-1983[30] 参照)。

Δk_u = ベンチマーク実験の不確実性の絶対値。

Δk_m = 未臨界性についての許容された余裕を保証するために要求される値

6.4.2.2.2 Δk_u は、ベンチマーク実験における不確実性だけでなく、ベンチマーク実験結果を燃料貯蔵ラックに関するパラメータ範囲に外挿することから生じる定誤差の不確実性をも含む。全ての不確実性は 95/95 の裕度制限で表わされる。

6.4.2.2.3 Δk_m は、運転上の制約とすべてのプラント条件の下で未臨界である適切な余裕を提供する。そして、より小さい値が正当化され得ない限り、値 0.05 が想定されるべきである。どんな場合でも Δk_m の値は 0.02 未満は用いられない。

6.4.2.2.6 貯蔵ラックの設計において想定される燃料集合体の配列は、以下の点を考慮して、 k_s が最大値となる配列にするべきである。

- (a) 集合体間の間隔の取り方
- (b) 集合体間での中性子減速、
- (c) 集合体間の固定された中性子吸収材

6.4.2.2.7 k_s が最大値となる燃料集合体の配列の決定は、以下の点に基づく。

- (a) ラック内の燃料集合体の位置の偏心と近接するバンドルとの間隔の変動
- (b) 寸法誤差
- (c) 製作材料の変動
- (d) 通常時及び事故時の条件下での燃料と減速材密度の変動
- (e) 燃料中の可燃性毒物の存在
- (f) 集合体間のセル壁における構造材料と固定中性子吸収材の存在
- (g) セル壁内の中性子吸収材の変動