

玄海3号MOX燃料の不純物とギャップ再開の危険性

1. 九電は主要なペレット不純物(炭素、窒素、ふっ素)の規制値をメロックスにあわせて緩和

九電が出した玄海3号MOXの輸入燃料体検査申請書は、8種類の不純物についてウラン燃料よりも規制値を緩和している(右図)。国の「発電用核燃料物質に関する技術基準を定める省令」ではウラン燃料について4つの元素(炭素、ふっ素、水素、窒素)を不純物として規定しているが、そのうち水素を除く3元素で規制値を緩めている。これら3元素は揮発性不純物であり、国への申請書でも「(ペレットと被覆管の間隙には、・・・揮発性不純物が蓄積してくる」と認めているとおり、燃料の安全性に特に大きな影響を与えるものである。ではなぜ九電は規制値をウランより緩めたのか。関電も同じように5元素について規制値を緩和している。保安院の安全審査課が2008年10月に燃料ワーキンググループに提出した資料は、関電MOXの緩和の理由について、「メロックスから緩和に対して強い要望があった」と説明している(右図)。九電の場合も同じであろう。メロックスの低い製造能力にあわせて基準が恣意的に緩められたのである。

表3-1 二酸化ウランペレットより不純物規定値を緩和した元素

不純物	評価
炭素	と同じ規定値としている。
窒素	
ふっ素	と同じ規定値としている。
	は、MOXのASTMの規定値()に対して、()を踏まえて規定している。
	は、()を踏まえて規定している。
	と()は、熱中性子の吸収断面積が大きく、中性子経済に影響する可能性があるが、その影響は別途ボロン当量として管理している。
	()を踏まえて規定している。 ()は融点が低く(約()℃)、照射中に局部的に溶融しペレットの寸法安定性に影響する可能性があるが、メロックス工場で製造されたMOXペレットの豊富な照射実績(ppm以下)は規定値(ppm以下)を下回っている。
	()を踏まえて規定している。 ()は融点が低く(約()℃)、照射中に局部的に溶融しペレットの寸法安定性に影響する可能性があるが、ハルデン炉でMOXペレット(製造実績 ppm未満)が問題なく照射されている。
ボロン当量	中性子経済に影響する可能性があるが、MOX燃料中のプルトニウムの中性子吸収断面積がウランよりも大きく、また中性子スペクトルが硬くなるため、MOX燃料では不純物の中性子吸収効果が小さくなることを考慮して、二酸化ウラン燃料でのボロン当量による反応度効果の影響と同等以下になるよう設定している。

「輸入燃料体検査申請書(九電)」P.1-24

表1のうち、不純物規定値をウランペレットより緩和しているものについては、メロックスから緩和に対して強い要望があったものであり、()を考慮した場合、仕様値を満足できない可能性があると判断されたものである。

「高浜発電所3、4号機ウラン・プルトニウム混合酸化物(MOX)燃料について(2008年10月保安院 原子力発電安全審査課)」P.2-1

2. 九電はMOX燃料棒の内圧評価と基準値を大幅に書き換え

また、九電の輸入燃料体検査申請書には、被覆管を内側から押す内圧の評価とその基準値が設置変更許可申請書から大きく書き換えられているという問題がある。玄海プルサーマルについて2004年5月28日に九電が出した設置変更許可申請書では、内圧を16.1MPa(約159気圧)と評価し、これに対する規制値(これを超えると後述のギャップ再開が生じる)を「約19.0MPa~約19.7MPa(約188~約194気圧)を超えることはない」と幅を持たせて設定している。ところが、2007年9月3日に出された輸入燃料体検査申請書では、内圧は19.5MPa(約192気圧)と大きい値に書き換えられ、これに対する基準値は設置変更許可申請書の最大値19.7MPaのみを採用している(右図)。

表3-8 燃料棒内圧評価結果(通常運転時)

(単位: MPa(abs))

種類	時期	内圧			設計基準	設計比(注)
		最確値	不確定性	合計		
MOX燃料棒				19.5	≤19.7	0.99

(注) 設計基準値に対する評価値の比である。

「輸入燃料体検査申請書(九電)」P.2-50

3. 内圧評価を書き換えたのは不純物の影響ではないのか

なぜ九電は内圧評価を大きく書き換えたのか。その原因は不純物にある疑いが濃い。九電の輸入燃料体申請は、「内圧計算モデル」の中で内圧の原因となるガスを「初期ヘリウム+□+放出FPガス+放出ヘリウム」と規定している(下図)。初期ヘリウムとは、1次冷却材の外圧に対抗するためあらかじめ燃料棒に封入されているヘリウムガスのことである。その次の3つが、運転によって新たに生成されるガスだとすると、FP(核分裂生成物)ガスとヘリウム(アルファ線)を除けば、□(白抜き)に該当するものは、揮発性不純物以外には考えにくい。

九電はメロックスに合わせて炭素、窒素、ふっ素といった主要な揮発性不純物の規制値を緩和している。これはすなわち、メロックスが実際に製造したMOX燃料には当初九電が想定したよりも多くの不純物が含有されていたということである。そのため、「内圧計算」に増大した不純物から発生するガスの影響を入れなければならなくなり、燃料棒の内圧評価を、設置変更の時の16.1MPaから19.5MPaと大幅に修正せざるをえなかったのではないだろうか。

(4) 内圧計算モデル

(a) 内圧計算式

燃料棒の内圧は、次の式に基づいて燃料棒内の蓄積ガス量、ポイド体積及び温度から計算する。

$$P = \frac{N \cdot R}{\sum V_i T_i} \quad (8-22)$$

ここで、

P : 内圧、MPa

N : 総ガスモル数、mol
(初期ヘリウム+□+放出FPガス+放出ヘリウム)

「輸入燃料体検査申請書(九電)」P. 2-26

4. 不純物がもたらすギャップ再開の危険性

燃料ペレットと被覆管の間には最初、わずかな隙間(約0.17mm)が存在している。運転を開始すると、被覆管は1次系冷却材からの外圧によって小さく縮まっていくことになる。一方、燃料ペレットは運転開始後、核分裂生成物や発生するガスによって膨張し、運転に伴ってその径が大きくなっていく。やがて、被覆管とペレットの隙間はなくなってぴったりとくっつくようになり、その後、ペレットの膨張につれて被覆管の内径も増大していくことになる。しかし、ある一定以上に燃料棒の内圧が高まると、ペレットの膨張による増大速度をガスによる被覆管の増大速度が上まわるようになり、いったんはぴったりとくっついていたペレットと被覆管の隙間が再び開きはじめる。これをギャップ再開と呼ぶ。ギャップ再開が起こると、燃料棒の熱が被覆管に十分に伝わらないためペレット内に熱がこもり、ペレットの温度が急激に上昇するという現象が発生する。ペレットの温度上昇はさらに多くのガス放出をもたらして内圧を上昇させ、さらにギャップが開くという循環が起こる。その結果、ペレットの熔融や破裂に至る危険性がある。そのため、安全設計審査指針ではギャップ再開の発生は起こしてはならないものと禁止している。

九電の輸入燃料体検査申請では、ギャップ再開を起こさないための基準値を19.7MPaとし、これに対して内圧19.5MPaと評価しているが、すでに設計比は0.99とぎりぎりである(前頁下図)。ギャップ再開までの余裕はわずか1%だ。しかも、もともと設置変更許可の段階では19.0~19.7と幅を持たせていた。19.0はどこかに消え、いつの間にか輸入燃料体検査申請では最大値の19.7だけが基準値になっている。関電の場合、評価した内圧は設置変更の時のまま16.1MPaであり、基準値は最小側の19.0MPaを採用している(下図)。安全側に立つならば九電は基準値を19.0MPaとすべきである。そうなれば玄海3号MOXは直ちに審査指針違反となるはずだ。不純物を多く含んだメロックス製の欠陥MOXを採用したために、玄海3号プルサーマルはギャップ再開=燃料熔融という重大な危険性をはらんでいるのである。

第2-4表 燃料棒内圧評価

燃料の種類	燃料棒平均燃焼度(MWd/t)	燃料棒内圧	判定	設計基準値	設計比 ^(注)
MOX燃料棒	□	16.1	<	19.0	0.85

(注) 設計基準値に対する評価値の比である。(単位:MPa [abs])

「輸入燃料体検査申請書(関電)」P. 2-17