

松江市の質問に対する諸機関の回答について

－ 安全性を中心に －

小林圭二

I 原子力安全・保安院の回答について

1、制御棒の効きについて

プルトニウムはウランに比べ、中性子を減速の途中で吸収する確率が高く、また、減速後の中性子（熱中性子）を吸収する確率も大きい。ウランとの違いを、プルサーマル用ペレット単位で比較すると、最大20倍になる。その結果、プルサーマルでは制御棒に吸収される中性子が減少し効きが低下することが知られている。

本来、軽水炉でプルトニウムを使うなら、それに見合った原子炉の設計が求められる。たとえば、フランスはプルサーマル用の原発を特定の型に限定し、制御棒をウラン燃料時の53本から57本へ4本増設する改造を行った。また、青森県大間で計画中の全MOX用軽水炉（改良沸騰水型軽水炉：ABWR）では、燃料集合体間隙を通常の沸騰水型軽水炉より2.5ミリ広くし、制御棒周りで中性子減速効果を高めるとともに、一部の制御棒に吸収材として濃縮ホウ素（ホウ素10を約50%濃縮）を採用するなどして制御棒の中性子吸収効果を増大させる設計になっている。

島根2号のプルサーマルは、ウラン燃料を前提に設計された原子炉を、燃料集合体以外の構造には一切手を加えずプルサーマルに、いわば流用するものである。その結果、MOX燃料集合体を部分装荷するなど変則的な使い方をする。それでも、ウラン燃料炉心に課せられた設計基準を満たせばいいとの判断となっている。

制御棒の効果が低下することは、「安全審査結果説明資料」（原子力安全・保安院）16頁において、原子炉停止余裕の低下として示されている。そこでは「十分な余裕がある」という説明になっているが、その余裕は、「燃料集合体の配置を工夫する」など運用面で担保されるようになっており、より確実なハード面によってではない。

2、出力のアンバランスに対する対応について

燃料集合体間の隙間は水で満たされ熱中性子が多い。その結果、燃料集合体内でも最外周の燃料棒は内側の燃料棒に比べ核分裂しやすい。その結果、燃料集合体内でも最外周の燃料棒ほど核分裂しやすく内側は燃えにくく、燃料集合体内の燃料棒に出力のアンバランスを生ずる。また、核分裂性物質プルトニウム239の熱中性子を吸収する確率がウラン235の約1.4倍大きく核分裂しやすいため、そのアンバランスがMOX燃料集合体ではより大きくなる。特に、MOX燃料集合体がウラン燃料体と隣り合っている場合、隣接するウラン燃料から流入する熱中性子が多くなり、アンバランスを大きくする。

原子力安全・保安院（以下保安院）の回答によると、外側の燃料棒ほどプルトニウム富化度を下げた燃料設計によりアンバランスを防止するとしている。そこで、アンバランスをもたらす要因の一つである熱中性子の分布が燃料集合体境界周辺でどう違うか、ウラン燃料炉心の燃料集合体境界周辺と、プルサーマル炉心のウラン燃料集合体とMOX燃料集合体との境界周辺とを比較して、わかりやすく図示していただきたい。

また、燃料棒の上下方向にもプルトニウム富化度やウラン濃縮度を変化させていると思われるが、典型例を代表的燃料棒毎に示して頂きたい。

島根2号のプルサーマル炉心では、プルトニウムの多いMOX燃料集合体が炉心内に分散して装荷される。炉心内のプルトニウム分布は、ウラン炉心に比べ局所的な変化が大きい。その結果、炉心内の燃料集合体の間に出力のアンバランスが生ずる。アンバランスの低減は燃料配置の工夫によって行くとされているが、これは運用に委ねるということであり、配置のミスを犯す可能性は否定できない。配置ミスを想定した影響を、ウラン燃料とMOXとの間で比較評価する必要があるのではないかと。プルサーマル炉心出はないが、現実に他国で配置ミスの例が報告されているので検討が必要である。

3、プルトニウムスポットによる影響について

(1) プルトニウムスポットの大きさについて

MOX燃料とウラン燃料との違いは、ウランは単一物質であるのに対しMOX燃料はプルトニウムとウランという異なる物質の混合物である。異なる物質を粉末状で混合する場合、完全な均一に混ざり合うことはあり得ない。両物質の性質が異なる場合、単一物質にない問題を生む。MOXの場合、ペレット中に局所的にプルトニウム濃度の高い塊が残り、プルトニウムスポットと呼ばれている。

プルトニウムスポットがもたらす安全上の問題は、一つは、保安院回答にあるように比較的大きなプルトニウムスポットがペレット表面にある場合で、反応度投入事故時に燃料被覆管を破損させる可能性がある。保安院の回答では、ベルギーとフランスが採用しているペレット製造法(MIMAS法)と英国が採用しているSBR法とでは大きな相違はないとされているが、サイズの大きなプルトニウムスポットの有無に着目すればSBR法のほうが優れていることは、保安院回答の第3図から明らかである。

(2) FPガス放出による燃料は損への影響について

プルトニウムスポットの影響については、まだ必ずしも解明されたとは言えない状況である。プルトニウムはウランより核分裂しやすいため、核分裂生成物もより発生しやすい。したがって、クリプトン85など気体状の核分裂生成物(FPガス)の発生率もウラン燃料より多い。そのガスが燃料棒の内圧を上げ、燃料の健全性を脅かす恐れがウラン燃料より高まる。

各国の実験データを集めて燃焼の進んだMOXペレットとウランペレットのFPガス放出率を比較した図がある(会場で紹介、Y.Guerin et.al., Int. Topical Mtg. on LWR Fuel Performance, Park City, Utah, 2000)。燃焼度40GWd/tまでは両者に差がないが、それを越えるとMOXペレットからの放出率は急増し、ウランペレットの数倍になる。この傾向は保安院回答の第1図でも裏付けられている。この原因がプルトニウムスポットに由来するのかどうか定かではない。最近では、燃焼が進むとMOXペレットのほうがウランペレットより高温になるからだという説が浮上している。この説は、保安院回答の第2図と整合性がある。そうだとすれば、これはMOX燃料特有の問題であり、MOXペレットのFPガス放出率は、燃焼が進むにつれウランペレットより増加の程度がより大きくなることを意味する。

MOX燃料はウラン燃料よりFPガス放出が多い上に、アルファ線(ヘリウムの原子核なのでガス状)の放出も多い。運転中、燃料棒の内圧上昇速度はウラン燃料棒よりはるかに速い。そのため、MOX燃料棒内のガス溜め体積はウラン燃料棒より大きく作られ、管内の初期封入ヘリウムガス圧をウラン燃料棒の半分ほどに抑えて内圧が高くなりすぎないようにする。それでも、運転途中でウラン燃料棒の内圧を追い越して上昇するため、ウラン燃料より早く取り出さねばならない。

燃料棒内に最初からヘリウムガスを加圧封入するのは、熱伝達をよくして運転によるペレットの発熱を被覆管を通じ逃がしやすくし燃料温度の上昇を軽減するためである。また、被覆管外の高圧(約60気圧)によって管が潰されないようにするためでもある。そのヘリウム加圧をウラン燃料棒の半分に減らすことは、安全余裕を切り捨てることに他ならない。

4、その他の問題

(1) 大地震時における原子炉の緊急停止等について

中国電力の評価を妥当だとし、その根拠に別添資料を挙げている。別添資料とは、「耐震安全性評価 説明資料」(保安院)の47頁の図を指すと思われるが、この図の意味がわかりにくい。特に、横軸の燃料集合体相対変位と縦軸のスクラム速度とがどう関係するのか、わかりやすい説明が必要である。

(2) MOX燃料の放射線毒性と被曝低減措置について

使用済ウラン燃料と使用済MOX燃料の比較で、「両者の燃料集合体当たりのγ線および中性子線の線量に大きな差はない」とされているが、4頁の図からすると、縦軸が対数になっていることも合わせ、γ線はともかく中性子線は明らかにMOX燃料の方が強い。

(3) 日本におけるMOX燃料の使用実績(安全審査結果説明資料、5頁(表紙を除く))

敦賀1号(BWR)、美浜1号(PWR)の少数体試験を挙げるなら、それぞれの燃焼度を明示して、現在計画中的のプルサーマルとの条件の違いを明らかにすべきである。

また、そのとき敦賀で使われたMOXペレットは中心部に穴を開けて中心温度の高温を避けたものであり、現在計画中的のMOXペレットと仕様がまったく異なるため、実績とは言えない。

(4) 出力の安定について(安全審査結果説明資料、18～19頁)

出力が急激に変動したとき、「MOX炉心のほうが出力が元に戻ろうとする力が強い」と書かれているが、この性質は安全だけではない。出力を自動制御している状態では、元に戻ろうという力が強いほうが元に戻ったあとのオーバーランも大きく、出力振動の振動幅が大きくなり、安定度を悪くする。振動の減幅比をウラン炉心とMOX炉心とで比較した資料を示すべきである。

19頁の発電機負荷遮断時の出力の解析結果の説明では復元力だけが強調されているが、MOX炉心の方が出力上昇速度が早い上に出力ピークも大きい。動特性において、MOX炉心の方がウラン炉心より危険側であることを示している。

II 原子力安全委員会の回答について

1、各国のMOX燃料の仕様について

プルトニウム含有率、プルトニウム富化度などに対する諸外国の制限値が日本の制限値より低く定められている理由について、回答では、「各国のMOX燃料使用に係わる安全評価基準を設定した経緯等の資料は承知しておりません」と答えている。

日本の原子力安全委員会は、「発電用軽水型原子炉施設に用いられる混合酸化物燃料について」(平成7年、以下、「1/3 MOX報告書」)において、

- ① MOX燃料ペレットのプルトニウム含有率(核燃料物質中の全プルトニウムの濃度、重量%)を13%以下、
- ② プルトニウム富化度(核燃料中の核分裂性プルトニウムの濃度、同)を8%以下、
- ③ 燃料集合体最高燃焼度を45GWd/tまで、
- ④ MOX燃料の炉心装荷率を1/3まで

という制限を設けている。このうちプルトニウム含有率と富化度の制限値が、諸外国に比べ突出して高い。たとえば、現在、世界で最も多数の原発でプルサーマルを実施しているフランスの場合、ペレットのプルトニウム含有率を7.08%以下に制限している。最も制限値の高いベルギーでも8.2%とされている。プルトニウム含有率が高ければ、熱的条件がきびしくなったりペレットからのFPガス放出率が高くなり燃料被覆管の内圧を高めたりするなど安全上の問題を大きくする。

これら諸外国は、日本よりかなり前からMOX燃料の使用経験を有している。原子力安全委員会は、制限値を決定する際に諸外国の規制基準をどこまで調査したのか疑問であり、調査不十分の結果日本の基準が突出したとすれば慎重さを欠いていると言わざるを得ない。

2、わが国の安全評価検討範囲について

「1／3 MOX 報告書」策定の根拠とされた MOX 燃料使用実績及び試験結果（特に BWR）について、回答は、ウラン燃料と異なる破損事例の報告がなかったことに加え、日本における新型転換原型炉ふげん、日本原子力発電の敦賀 1 号炉で照射された燃料集合体 2 体の照射後試験結果を挙げ、「ウランペレットと顕著に異なるところは見られない」としている。

しかし、ふげんの MOX 燃料のプルトニウム富化度はわずか 2 % にすぎず、燃焼度も集合体平均最大 40 GWd / t である。敦賀 1 号で照射された燃料は、ペレットのプルトニウム含有率が最大 6.2 %、燃焼度は最大 26.4 GWd / t にすぎない。そのうえ、敦賀 1 号の MOX ペレットは、安全性を高めるため中空になっており、島根 2 号プルサーマルで予定されているペレットと形状がまったく異なる。「1／3 MOX 報告書」で定められたプルトニウム含有率およびプルトニウム富化度の制限値はもとより、島根 2 号が当面計画しているプルトニウム含有率 10 % 以下、燃焼度 40 GWd / t 以下よりはるかに条件が甘い。これらの試験結果から「ウラン燃料と同一」と判断することはできず、制限値を決める根拠にはなりえない。

「1／3 MOX 報告書」、後に出された「改良型沸騰水型原子炉における混合酸化物燃料の全炉心装荷について」（平成 11 年、原子力安全委員会、以下「全 MOX 報告書」）および今回の回答のいずれを見ても、上記制限値を決めた根拠となる試験結果が明らかでない（あるいは存在しない）。

たとえば、MOX 燃料の熱・機械設計について、「1／3 MOX 報告書」にはウラン燃料用の設計手法（解析コード）を MOX にも適用できるとする根拠の試験結果が書かれていない。後の「全 MOX 報告書」によると、ペレット燃焼度は 63 GWd / t までの、プルトニウム含有率は 6.4 % までの、いずれも試験炉による照射結果（実炉では敦賀 1 号の 6.2 % まで）が使われたとされているが、制限値の半分までにすぎない。

核設計手法についても、「1／3 MOX 報告書」は、MOX 炉心に対する適用性を証明する実験データの出所を具体的に挙げていない。後の「全 MOX 報告書」にはベルギーの VENUS など 3 箇所の臨界実験装置による実験結果が検証に使われたとされているが、プルトニウム含有率は 7 % が最高であり、制限値の 13 % を検証するには遠く及ばない。

以上より、MOX 燃料に係わる制限値の妥当性がどこまで実証されているのか疑問である。諸外国がいずれも日本より厳しい制限値を設けていることを考えれば、日本の制限値の妥当性を実証的に検証することは重要な課題である。

世界の MOX 燃料使用実績は大部分が加圧水型軽水炉（PWR）であって、沸騰水型軽水炉（BWR）は、燃料集合体数にして約 20 %、原発基数にして約 25 % にすぎない。そのうち現在もプルサーマルを続けている原発は、加圧水型 33 基に対し BWR はドイツの 2 基にとどまる。

III プルサーマルの必要性について

プルサーマルの必要性については、

⑤ ウラン資源の有効利用

⑥ 余剰プルトニウムを持たないという国際公約の実行

の 2 点がよく聞かれる。これ以外に、高レベル放射性廃棄物量の低減を挙げるところもあるが、これはプルサーマル自体とは直接関係ないこと。

1、プルサーマルはウラン資源の有効利用にならない

資源的にプルトニウム利用が意味を持つのは高速増殖炉である。軽水炉で利用するプルサーマルに資源上の利点がないことは原子力界の常識である。

高速増殖炉では、理論上、天然のウラン資源の数十％程度を利用できるとされている。濃縮ウ

ランを燃料とする軽水炉（熱中性子炉）のウラン利用率は0.5%程度なので、その百倍程度になる。それに比べプルサーマルでは、使用済MOX燃料のリサイクルを無限回繰り返しても、約1%にすぎない。それは現実には不可能で、せいぜい0.6%どまりだろう。つまり、プルサーマルをやってもウラン資源利用率は0.1%ほどしか向上しない。この利得も、プルサーマルのために必要な再処理工場やMOX燃料製造工場などの建設や運転等への追加投入分の資源量を差し引けば、はたして正味の資源増加が残るのか、極めて疑問である。

プルサーマルに資源上の利点が乏しいことは原子力界ではよく知られている。だからこそ、1961年の国の第二回原子力開発利用長期計画で国策に挙げられながら、その後1990年代中頃までの三十数年間、電力会社も国もプルサーマル実施への具体的動きを始めなかったのだ。それでも日本が軽水炉の使用済燃料をすべて再処理することにしたのは、高速増殖炉の燃料にするためである。

1997年初め、突然、全電力会社でプルサーマル実施への具体的動きが始まった。1995年の年末、高速増殖炉もんじゅの事故によって高速増殖炉開発が頓挫し、再処理の目的を失ったからである。これまで高速増殖炉の燃料資源と位置づけられていた軽水炉使用済燃料の処分問題が表面化し、国の原子力政策の破綻が露わにされたのである。

プルサーマルとは、資源問題とは無関係に、プルトニウムの新たな用途を創り出すことによって政策の破綻をつくろい、そのツケを原発立地に押し付けるものに他ならない。

2、「余剰プルトニウムをもたない」の矛盾

余剰プルトニウムをもたないためという理由は、一応筋が通っているように見える。ところが、一方で青森県六ヶ所再処理工場の稼働を急ぎ、今後、毎年多量のプルトニウムを分離しようとしている。余剰プルトニウムの保有を避けたら再処理工場は稼働すべきでない。矛盾は明らかで、一体何が目的なのかわからない。

IV 高速増殖炉について（資源エネルギー庁の回答に関連して）

日本の原子力政策は高速増殖炉開発を中心に据えてきた。国の「原子力立国計画」では2050年より前の実用化を目的に、開発のスケジュールが作られている。しかし、これが実現できるとは思われない。

世界で最初の原発建設に手をつけた米国は、今日の軽水炉ではなく高速増殖炉だった。その後、六十数年が経っている。米国に続き欧米各国が開発にしのぎを削ってきたが、現在も実用化されていない。理由を挙げると、

（1）危険性が大きい

- ① 炉心の特性が軽水炉と逆で暴走しやすい性質
- ② 冷却材として危険物ナトリウムを大量に使用する（もんじゅで約1600トン）
- ③ 熱対策が必要とされる結果、構造的に地震に弱い
- ④ 燃料に放射能毒性の強いプルトニウムを大量に使う

（2）経済性に疑問

- ① 建設費が高い（単位出力当たり、もんじゅで軽水炉の約5倍）
- ② 運転費が高い
- ③ 核拡散防止対策などの対策がかかる

（3）核兵器拡散につながる

高速増殖炉では、核兵器の原料に最も適した超核兵器級プルトニウムが自然に作られる。ブランケットと呼ばれるほとんど燃焼しない領域で作られるため、核分裂生成物（通称「死の灰」）の生成が非常に少なく、再処理も容易である。資源に目を奪われ高速増殖炉建設に手を出す前

に、倫理上の大問題が存在する。

(4) 世界はすでに高速増殖炉開発から撤退している

- ① 米国は1983年に撤退
最初に撤退へ舵をきった理由は核兵器の開発や拡散につながる危険（1970年代）
- ② 英国は1988年に撤退を決定
1994年に高速増殖原型炉の廃止により撤退完了
- ③ ドイツは1991年に撤退
高速増殖原型炉を完成していたが一度も動かさずに廃炉
- ④ フランスは1992年に撤退を決定
世界唯一の高速増殖実証炉（スーパーフェニックス炉）は1998年廃炉に決定
高速増殖原型炉フェニックス炉は2009年廃炉で廃止
- ⑤ ロシア
燃料が濃縮ウランであり、高速増殖炉ではない。
- ⑥ インド
軍事用（2006年米印原子力合意が証明）であり対象外

(5) 米国とフランスの新しい動きの実体

2006年年頭の両国大統領演説で登場した構想は、高速増殖炉ではなく放射性廃棄物処分対策として一部の廃棄物を焼却するための高速炉である。エネルギー資源目的の日本の計画とは異なる。米国の構想（GNEP）は現在勢いを失っており、財政危機とオバマ新政権の誕生で消滅する可能性が高い。

(6) 日本の実証炉、実体は二つ目の原型炉

「原子力立国計画」によると、日本では2025年までに高速増殖実証炉（もんじゅの次の開発段階の炉）の実現が計画されている。本来、実証炉は、原型炉もんじゅの設計と実績を基礎により実用に向けて改良された設計となるが、現在構想されている実証炉の概念はもんじゅと大きく異なり、事実上第二の原型炉と言うべきものである。

実証炉の最大の設計目的は、もんじゅの建設費が高すぎるため、設計を根本的に変更しなおし、建設コストを大幅に削減することである。そのため冷却系ループ数をもんじゅより減らし、2ループにし、配管構造を抜本的に変更し、ポンプと熱交換器とを一体構造にするなど、多くの未知で複雑な開発が要求される概念が提唱されている。その結果、もんじゅに比べても安全性が低下することはまちがいない、これで実用化するとは思われない。

これまで実験炉常陽と原型炉もんじゅに1兆4200億円使われてきた（2008年4月8日付政府答弁書による。燃料製造関係を含む、再処理関係費は含まず）。現在の日本の財政事情と医療や社会保障関係予算の削減による混乱状況を見ると、いつまでも実用化しない高速増殖炉計画に、今後も巨費を出し続けることは賢明でない。日本も開発から手を引くべき時だと思う。