

副本

平成 22 年 (ワ) 第 591 号 MOX 燃料使用差止請求事件








原 告 石丸ハツミ外 129 名

被 告 九州電力株式会社

準 備 書 面 14

平成 26 年 3 月 10 日

佐賀地方裁判所 民事部 合議 2 係 御中

被告訴訟代理人弁護士	堤	克	彦		
同	山	内	喜	明	
同	松	崎	隆		
同	齊	藤	芳	朗	
同	永	原	豪		
同	熊	谷	善	昭	
同	池	田	早	織	

本準備書面は、原告ら平成 25 年 8 月 30 日付「第五準備書面」のうち、「第 2 被告の平成 25 年 5 月 29 日付準備書面 10, 第 3, 2 (2) (ハルデン炉における試験について) への反論」について反論を行うものである。

第 1 はじめに

原告らは、ハルデン炉と玄海 3 号機とでは、燃料ペレット及び燃料被覆管の仕様等に違いがあるため、ハルデン炉でギャップ再開の内圧が高いからといって、玄海 3 号機でも同様の結論になるとはいえない旨主張する。

しかし、以下に述べるとおり、ハルデン炉と玄海 3 号機とにおける燃料ペレット及び燃料被覆管の仕様等の違いを考慮しても、玄海 3 号機においても、ハルデン炉の試験結果と同様に、「燃料棒の内圧が相当高まらない限りは、燃料ペレットの温度は有意に上昇せず、更にギャップが押し広げられるサーマルフィードバックに至る訳ではない」ことに変わりはない。

第 2 被覆管の仕様の違いについて

1 原告らの主張

原告らは、「被覆管の厚みについて、ハルデン炉の方が玄海 3 号機より 1.28 倍大きく、これはハルデン炉の被覆管の方が広がりにくいことを意味するのであるから、ハルデン炉においてギャップ再開の内圧が高いからといって、玄海 3 号機でも同様の結論になるとはいえない」旨主張する。

2 被告の反論

玄海 3 号機においてハルデン炉と同じ応力が発生する過圧量（内圧から外圧を引いた値）は、ハルデン炉の試験における過圧量(10~30MPa)から 1~2 割程度低いに過ぎず、玄海 3 号機においてもハルデン炉の試験結果と同様に、燃料棒の内圧が相当高まらない限りは、燃料ペレットの温度は有意に上昇せず、更にギャップが押し広げられるサーマルフィードバックに至る訳ではない。

以下詳細を説明する。

(1) ハルデン炉における試験内容

ハルデン炉では、①PWR の環境（冷却材圧力及び冷却材温度）を模擬し

たうえて、燃料棒内にガスを入れて加圧し、燃料棒内圧を段階的に上昇させ、どの程度の内圧でペレットの持続的な温度上昇を引き起こすのかを確認する試験【乙 B33】が行われ、あわせて②同じく燃料棒内にガスを入れて加圧し、燃料棒内圧を段階的に上昇させた場合の被覆管の燃料棒内のガスが流れる空隙（ギャップに相当するもの）の測定【乙 B34】が行われた。

(2) ①ペレットの温度上昇に関する試験について

①ペレットの温度上昇に関する試験では、ウラン燃料と MOX 燃料とが用いられているところ、この MOX 燃料における被覆管の仕様は、玄海 3 号機のそれと同一である【乙 B37 “FRAPCON-3 Updates, Including Mixed-Oxide Fuel Properties” U.S.Nuclear Regulatory Commission, A.7 頁, 乙 B20-10 輸入燃料体検査申請書/13 頁】。

したがって、本件 MOX 燃料においても「燃料棒の内圧が 25.5MPa を上回って初めて温度が上昇し始めた」というハルデン炉の試験結果と同じ傾向を示すと考えられる。

(3) ②ギャップの継続的な増加に関する試験について

②ギャップの継続的な増加に関する試験では、ウラン燃料が用いられているところ、このウラン燃料の被覆管の径や厚みが本件 MOX 燃料のそれらと異なっていることは、原告らが指摘するとおりである【乙 B34 1038 頁】。

しかしながら、これらの違いを考慮したとしても、玄海 3 号機においても、ハルデン炉と同様に、「燃料棒の内圧が相当高まらない限りは、更にギャップが押し広げられるサーマルフィードバックに至る訳ではない」ことに変わりはない。

すなわち、ギャップの継続的な増加をもたらす被覆管のクリープ変形は、被覆管に生じる応力（内圧と外圧との差等により被覆管内部に発生するストレス）によるところ、この応力の大きさには被覆管の径及び厚みが影響し、被覆管の径が大きく、厚みが薄いほど応力が大きくなり、クリープ変形が起きやすくなる。そして、ハルデン炉におけるウラン燃料の被覆管と本件 MOX 燃料の被覆管について、被覆管の径及び厚みを基に、同じ応力が発生する場合の過圧量をそれぞれ算定すると、玄海 3 号機の過圧量が

ハルデン炉より 1~2 割程度低くなる¹(つまりハルデン炉よりも 1~2 割程度低い過圧量で同じ応力が発生する)に過ぎない。

したがって、ハルデン炉における「燃料棒内圧が45.5MPaとなる状況においても継続的なギャップ増加が生じなかった」という試験結果からすると、応力の観点から見れば、玄海3号機では「燃料棒内圧が39~42MPa程度となる状況においても継続的なギャップ増加が生じない」と考えることができる。そして、この圧力は、燃料棒内圧設計基準値の19.7MPaに比べるとはるかに高く、玄海3号機においても、ハルデン炉の試験結果と同様に、「燃料棒の内圧が相当高まらない限りは、更にギャップが押し広げられるサーマルフィードバックに至る訳ではない」といえるのである。

第3 ガス圧の注入について

1 原告らの主張

原告らは、「玄海3号機では、ペレット内部から核分裂で生成されたガスがペレット外に出てきて内圧を高め、その場合、ペレット内のガスが外に出た分だけペレット内の圧力は下がり、それだけペレットの膨張が抑えられ、ギ

¹ 一般的な薄肉円筒の応力に関する公式から、被覆管の周方向に負荷される応力は、

$$\sigma_{\theta} = D/(2 \times t) \times \Delta p$$

σ_{θ} : 被覆管周方向応力
D : 被覆管平均径
t : 被覆管肉厚
 Δp : 被覆管の内外差圧

で示される。

ハルデン炉のギャップの継続的な増加に関する試験に用いられた燃料棒の被覆管外径 10.75mm 及び被覆管肉厚 0.73mm から計算すると、被覆管内径は 9.29mm、したがってハルデン炉の試験に用いられた燃料の被覆管平均径は 10.02mm となる。また、玄海3号機の被覆管外径 9.50mm 及び被覆管内径 8.36mm から計算すると、玄海3号機の燃料の被覆管平均径は 8.93mm、被覆管肉厚 0.57mm となる。

被覆管周方向応力 σ_{θ} が等しい場合、ハルデン炉の燃料の被覆管平均径 10.02mm、被覆管肉厚 0.73mm、玄海3号機の燃料の被覆管平均径 8.93mm、被覆管肉厚 0.57mm を用いて燃料被覆管にかかる過圧量の比を計算すると、

$$\text{ハルデン炉 } \Delta p : \text{玄海 } \Delta p = 1 : 0.87$$

となり、同じ応力が発生する場合の過圧量は、玄海3号機の過圧量の方がハルデン炉より 1~2 割程度低くなる。

玄海3号機の過圧量の方がハルデン炉より 2 割低いとして計算した場合、ハルデン炉の試験に用いられた 45.5MPa(過圧量が 30.0MPa)という圧力は、玄海においては、

$$15.5\text{MPa} + 30.0\text{MPa} \times 0.80 = 39.5\text{MPa}$$

となり、39MPa 程度の圧力に相当する(1 割低いとして同様に計算した場合、玄海においては、42MPa 程度の圧力に相当する)。

ギャップ再開を促進するが、ハルデン炉では、外的にギャップに注入されたガス圧のために、ペレット内部の核分裂生成ガスがギャップに出ることが抑制され、それだけペレットは膨脹し、ギャップ再開を抑えるように作用するので、ハルデン炉において容易にギャップが再開しない傾向にあることは何ら不思議ではない」旨主張する。

2 被告の反論

原告らの主張は、「外的にギャップに注入されたガス圧により、ペレット内部の核分裂生成ガスがギャップに出ることが抑制されること」を前提にしているが、上記前提は誤りである。

すなわち、ペレットからのガス放出には、「拡散により放出」されるものと、「核分裂によるエネルギーでペレット表面付近から直接ペレット外に放出」されるものがある。

拡散による核分裂生成ガス（FPガス）放出は、ペレット内でFPガスが熱拡散により移動することによるものであって、ペレット温度が支配的であり、ペレットの外圧の影響はほとんどないと考えられる。

また、核分裂によるエネルギーでペレット表面付近から直接ペレット外に放出されるFPガスについても、ペレットの外圧の影響はほとんどないと考えられる。

したがって、ハルデン炉の試験において、ペレットの外圧によりFPガスの放出が抑制されているとの原告らの指摘はあたらない。

なお、被告は、上記の挙動のモデル化において、ペレットの外圧の影響を用いておらず、燃料棒内圧評価における実測値と予測値の比較により、ペレットの外圧の影響を考慮せずともFPガスの放出を適切に予測できることを確認している。

第4 ガスの熱伝導率の違いについて

1 原告らの主張

原告らは、「ハルデン炉においては、熱伝導率が玄海3号機と同様になるようにアルゴンガスを注入するとしているが、ヘリウム、アルゴン及びキセノンとクリプトンとの熱伝導率には著しい差があるので、玄海3号機と同等であるとはいえない」旨主張する。

2 被告の反論

玄海3号機の被覆管内の混合ガスの熱伝導率は、ガス温度400℃（被覆管の内側の温度は約400～約500℃であり、一例として400℃における計算例を示した。）のとき $6.3 \times 10^{-2} [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ 程度であり、ハルデン炉において試験燃料棒内に注入したアルゴンガスの熱伝導率($3.3 \times 10^{-2} [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ 程度。ガス温度400℃の時の計算値を記載。以下同じ)よりも高い。このように、ハルデン炉の試験は、玄海3号機よりもペレットからの熱が除去されにくい状況下で行われたものであり、ハルデン炉において燃料ペレットの温度が有意に上昇しなかったということは、玄海3号機においても当然に、燃料ペレットの温度が有意に上昇することはないといえる。

ハルデン炉において被覆管内に注入したアルゴンガスと、玄海3号機の被覆管内のガスとは元素が異なり、熱伝導率が異なることは原告らの指摘するとおりである。しかしながら、アルゴンガスは、玄海3号機の燃料棒内のガスよりも熱伝導率が低く、ハルデン炉の試験は玄海3号機よりも熱が除去されにくい（つまり温度が上昇しやすい）状況で行われたものである。

すなわち、玄海3号機の被覆管内は、初期に加圧のために注入されたヘリウムガス（熱伝導率： $26.6 \times 10^{-2} [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ 程度）と、その後ペレットから放出されたFPガス（キセノン（熱伝導率： $1.2 \times 10^{-2} [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ 程度）、クリプトン（熱伝導率： $1.9 \times 10^{-2} [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ 程度））及び α 線由来のヘリウムガスの混合ガスが存在するが、燃焼が進むにつれFPガスの量も増えていき、3サイクル終了時点においては、FPガスの割合が最も高くなる（つまり熱伝導率が最も低くなる）。

ここで、3サイクル終了時点におけるガスの組成（初期封入ヘリウムガス約50%、FPガス及び α 線由来のヘリウムガス約50%【準備書面2 5頁】）について、FPガス及び α 線由来のヘリウムガスが全て最も熱伝導率が低いキセノンであると仮定したとしても、熱伝導率は $6.3 \times 10^{-2} [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ 程度であり、アルゴンガスの熱伝導率に比べて2倍程度高い。

したがって、ハルデン炉の試験は、玄海3号機よりペレットからの熱が除去されにくい状況下で行われたものであり、ハルデン炉において燃料ペレットの温度が有意に上昇しなかったということは、玄海3号機においても当然に燃料ペレットの温度が有意に上昇することはないといえる。

以上