

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 1 3

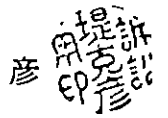
平成 26 年 1 月 22 日

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



同

山

内

喜



同

松

崎



同

斉

藤

芳



同

永

原



同

熊

谷

善



同

池

田

早



## 目 次

第1 求釈明事項1 (1) 及び(2)について .....	3
<求釈明事項> .....	3
<回答> .....	3
1 FINEコードの意義について .....	3
2 具体的な計算方法について .....	4
(1) 計算の概要 .....	4
(2) 計算フロー .....	5
(3) インプット (入力データ) .....	7
(4) 「3サイクル終了時の燃料棒内圧値」の計算 .....	12
(5) 燃料棒内圧設計基準値の求め方 .....	47
(6) 燃料棒内圧評価値の求め方 .....	49
(7) まとめ .....	49
第2 求釈明事項1 (3) 及び(4)について .....	50
<求釈明事項> .....	50
<回答> .....	50
1 求釈明事項1 (3)について .....	50
(1) 「密度変化率」を求められないこと .....	50
(2) 原告の主張は成り立たないこと .....	51
2 求釈明事項1 (4)について .....	52
第3 求釈明事項1 (5)について .....	52
<求釈明事項> .....	52
<回答> .....	52

本準備書面は、御庁平成 25 年 11 月 19 日付書面における求釈明に対して、回答を行うものである。

## 第 1 求釈明事項 1 (1) 及び(2)について

### <求釈明事項>

- (1) 燃料棒内圧設計基準値をどのようにして求めたのか、具体的数値及び具体的計算式を用いて説明して下さい。また、その中で、ギャップ再開が起きない最大内圧値をどのようにして求めたのか、同様に具体的に説明して下さい。
- (2) 燃料棒内圧評価値をどのようにして求めたのか、具体的数値及び具体的計算式を用いて説明して下さい。また、その中で、3 サイクル終了時の燃料棒内圧値をどのようにして求めたのか、同様に具体的に説明して下さい。

### <回答>

#### 1 FINE コードの意義について

従前主張しているように、被告は FINE コードを用いて燃料棒内圧設計基準値及び燃料棒内圧評価値を求めたが、具体的な計算方法について説明する前提として、FINE コードの意義について説明する。

原子力発電所における発電は、①原子炉内でペレットに含まれるウランやプルトニウムが核分裂する、②核分裂で生じた熱エネルギーを、燃料被覆管を通じて 1 次冷却材に伝え、1 次冷却材を加熱する、③ 1 次冷却材を介して熱エネルギーを蒸気発生器へ送り、蒸気を発生させる、④発生した蒸気をタービンに導いてタービンを回転させ、タービンにより駆動される発電機で発電する、という流れで行う。

原子炉で燃焼が進むと、燃料には様々な挙動が生じる。すなわち、ペレットでは「焼きしまり」「スエリング」「核分裂生成物の生成及び放出」等が生じ、燃料被覆管では「熱膨張」「クリープ変形」「弾性変形」等が生じる。

FINE コードは、ウラン燃料の燃料棒設計に用いるために開発されたものであり、これらの燃料の挙動をモデル化し、燃料仕様、プラント条件及び照射条件といった入力データから燃料棒の温度分布、ペレットと燃料被覆管の寸法変化、燃料棒内圧、燃料被覆管応力等の燃料の挙動を計算し、

燃料棒の設計が燃料棒の設計基準を満足していることを確認するために用いている。

FINE コードはウラン燃料の設計において十分な使用実績がある。この FINE コードに MOX 燃料の特性を適切に取り込むことにより、MOX 燃料についてもウラン燃料と同様に挙動を評価することが可能であり、このことは原子力安全委員会によって妥当性が確認されている【乙 A2 号証「原子力安全委員会指針集」955 頁／軽水炉 MOX 報告書「3.3 熱・機械設計について」】。

## 2 具体的な計算方法について

### (1) 計算の概要

図 1 に記載したとおり、被告は、本件 MOX 燃料の燃料仕様、プラント条件及び照射条件を基に、FINE コードを用いて計算を行い、計算結果として得られた「3 サイクル終了時の燃料棒内圧値」に、解析における不確定性を考慮して、「燃料棒内圧評価値」を算出した。また、同じく FINE コードの計算結果として得られた「ギャップ再開が起きない最大内圧値」(ペレット-被覆管ギャップが増加する時点の燃料棒内圧)に、解析における不確定性を考慮して、「燃料棒内圧設計基準値」を算出した。

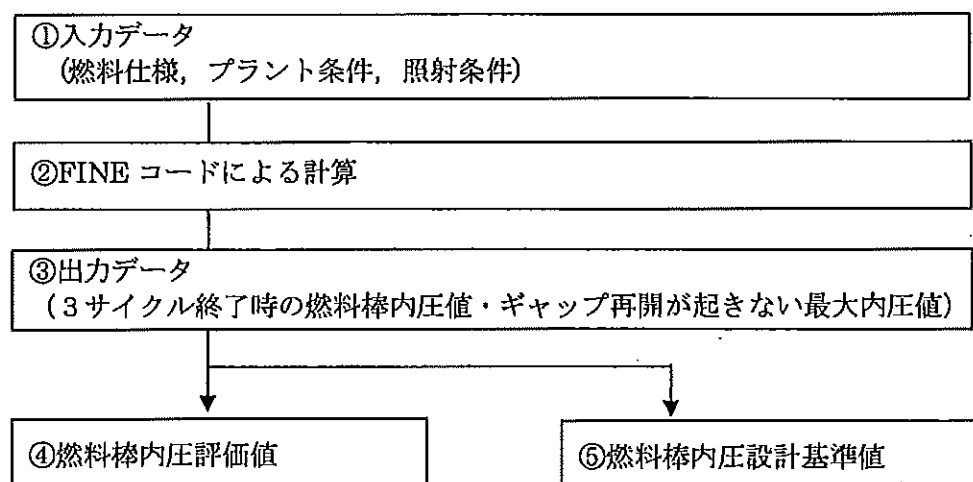


図 1 燃料棒内圧評価値及び燃料棒内圧設計基準値算出の流れ

## (2) 計算フロー

FINE コードを用いて「ギャップ再開が起きない最大内圧値」及び「3 サイクル終了時の燃料棒内圧値」を求める際の計算フローは、図2 「FINE コードの流れ図」に記載のとおりである。

FINE コードによる計算は、ある一時点における燃料の挙動を求めるものであり、燃焼度 0 (MWd/t) 時点から 3 サイクル終了時までの間について、所定の時間幅 (タイムステップ) 毎に数十回の計算を繰り返す。

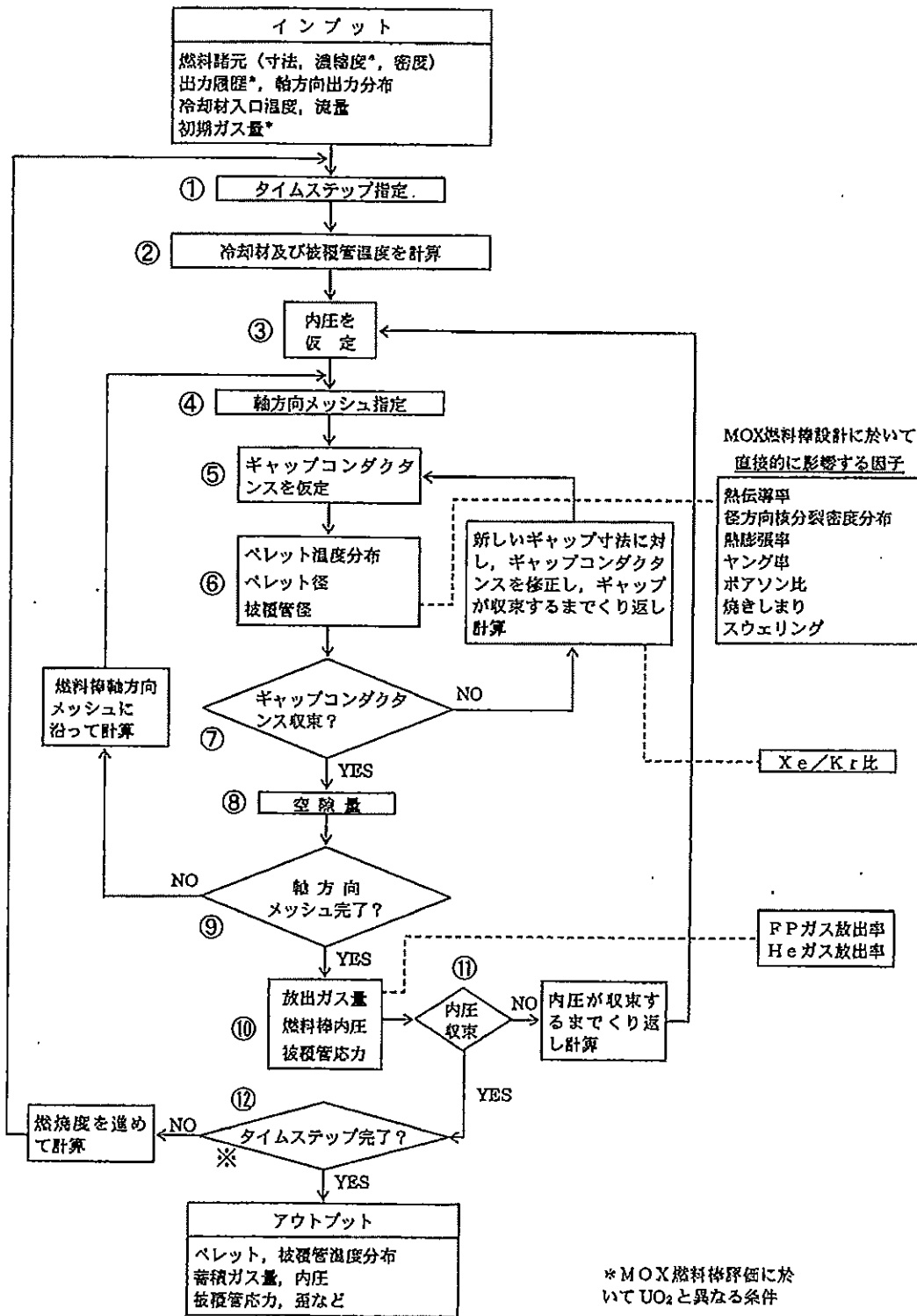


図2 FINE コードの流れ図

※①～⑫の計算を, 3サイクル終了時まで, 所定の時間幅毎に数十回繰り返す。

出典:「乙B10-10 MHI-NES-1030 改1 三菱PWR4ループプラント装荷MOX燃料機  
 械設計 図4-1/44頁」

### (3) インプット (入力データ)

被告が FINE コードに入力した玄海 3 号機のデータ (燃料仕様, プラント条件, 照射条件) のうち主なものは, 表 1 「燃料棒の強度評価に用いた計算条件」, 表 2 「出力履歴」及び図 3 「軸方向出力分布図」に記載のとおりである。

これらの入力データについて, 以下の 2 点について補足説明を行う。

#### ア 計算時点 (タイムステップ) による入力データの変化

上述のとおり, FINE コードによる計算は, 燃焼度 0 (MWd/t) 時点から 3 サイクル終了時までの間について, 所定の時間幅 (タイムステップ) 毎に数十回の計算を繰り返すものである。

この点, 表 1 のうち「燃料諸元」に記載した数値は, 1 回目の計算において燃焼度 0 (MWd/t) 時点での初期値として入力した値である。2 回目の計算では 1 回目の計算結果 (寸法等) を入力して計算を行い, 以降も同様にそれまでの計算結果を引き継いで計算を進めていった。

表 1 のうち「1 次冷却材 (入口温度・流量)」及び「炉心平均線出力密度」は, 燃焼の進行に伴って変化するものではなく, 同じ値を継続して入力した。

表 2 「出力履歴」と図 3 「軸方向出力分布図」を用いて, 当該計算時点 (タイムステップ) に応じた燃料棒出力を入力した。

#### イ 「3 サイクル終了時の燃料棒内圧値」と「ギャップ再開が起きない最大内圧値」とでの入力データの相違

表 1 「燃料諸元」のうち「初期ヘリウムガス圧」について, 「3 サイクル終了時の燃料棒内圧値」を求める際には, 本件 MOX 燃料のガス圧を入力した。

これに対して, 「ギャップ再開が起きない最大内圧値」を求める際には, 「初期ヘリウムガス圧」として, 本件 MOX 燃料のガス圧ではなく, 仮想的に高くしたガス圧を入力した。本件 MOX 燃料は, 使用期間中にギャップ再開を起こさないよう設計されているため, 本件 MOX 燃料のガス圧を入力してもギャップ再開が生じず, 「ギャップ再開が起きない最大内圧値」(ペレット-被覆管ギャップが増加する時点の燃料棒内圧) を求めることができない。そこで, ギャップ再開が生じるような高いガス圧を入力したものである。

また、表2「出力履歴」は「3サイクル終了時の燃料棒内圧値」を求める際に使用した出力履歴であり、「ギャップ再開が起きない最大内圧値」を求める際には、別の複数の燃料棒出力履歴を用いている。

表1 燃料棒の強度評価に用いた計算条件

		MOX 燃料棒
燃料諸元	寸法 mm	
	被覆管外径	9.50
	” 内径	8.36
	プレナム長さ	□
	燃料有効長さ	□
	ペレット長さ	11.5
	” 直径	8.19
	プルトニウム含有率 wt% (代表プルトニウム組成)	高プルトニウム含有率 : 10.59 中プルトニウム含有率 : 6.15 低プルトニウム含有率 : 4.52 核分裂性プルトニウム割合 : 67.50
	プルトニウム含有率 wt% (高プルトニウム組成)	高プルトニウム含有率 : 6.28 中プルトニウム含有率 : 4.19 低プルトニウム含有率 : 3.12 核分裂性プルトニウム割合 : 81.60
	プルトニウム含有率 wt% (低プルトニウム組成)	高プルトニウム含有率 : 13.00 中プルトニウム含有率 : 7.08 低プルトニウム含有率 : 4.90 核分裂性プルトニウム割合 : 63.77
プルトニウム含有率 wt% (核分裂性プルトニウム割合 55wt%)	高プルトニウム含有率 : 13.00 中プルトニウム含有率 : 7.09 低プルトニウム含有率 : 4.85 核分裂性プルトニウム割合 : 55.00	
ウラン 235 濃度 wt%	0.2	
密度 %T.D.	95.0	
初期ヘリウムガス圧 MPa[abs]	□	
1次冷却材	入口温度 °C (通常運転時)	239.2
	流量 kg/(m <sup>2</sup> ・h)	1.21×10 <sup>4</sup>
炉心平均線出力密度 kW/m		17.9

燃料仕様

プラント条件

照射条件

注) □ は、三菱商業機密のためマスキング

出典：「乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 表 3-4/2-40 頁」



表2 出力履歴

燃料	出力履歴名称 (注3)	比出力 (注1)			厳しくなる項目
		サイクル1 (注2)	サイクル2	サイクル3	
MOX 燃料棒					応力、歪
		三菱商業機密のためマスキング			内圧
					疲労

(注1) 炉心平均線出力密度 (17.9kW/m) を1として規格化したもの

(注2) サイクルiとは燃料集合体のi回目の照射回数を示す。

(注3)

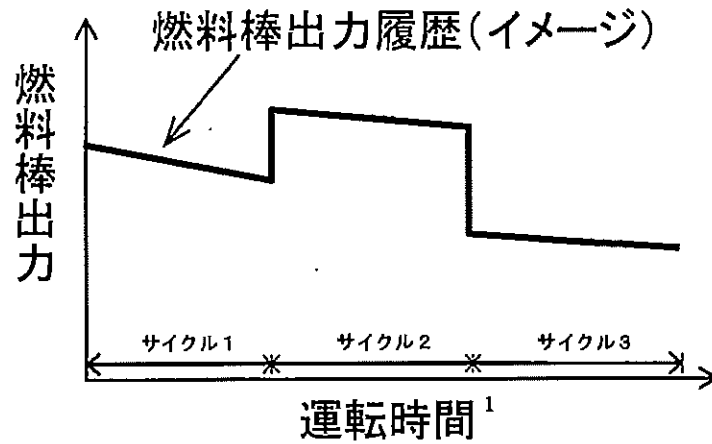
三菱商業機密のためマスキング

出典：「乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 表 3-5/2-41 頁」

表2には、設計で用いた複数の出力履歴のサイクル毎の比出力（燃料棒出力と炉心平均線出力密度の比）に関する情報が記載されている。この中には、内圧が厳しくなる出力履歴も含まれており、表2の「厳しくなる項目」に「内圧」と記載されている欄には、内圧評価値 19.5 (MPa) の計算に使用した出力履歴の比出力が記載されている。

被告は、これらの出力履歴を高組成、代表組成、低組成、55.00%組成のそれぞれの燃料に用いて、燃料棒内圧評価を行った。

表2の出力履歴を運転時間と燃料棒出力のグラフに置き換えたものが、以下のイメージ図となる。



燃料棒出力履歴のイメージ図

¹ 運転時間：出力履歴の表に用いた運転時間は、定格負荷相当時間(EFPH)であり、原子炉を定格出力で連続運転したと仮定して計算した時間数。この運転時間及び燃料棒出力をもとに燃料棒の燃焼度を算出することができる。なお、「燃料棒出力履歴のイメージ図」に記載した3サイクル終了時までの間の運転時間は、燃焼度が最大となる燃料棒の燃焼度が、燃料棒最高燃焼度である53,000MWd/tに達するまでの時間に相当する。

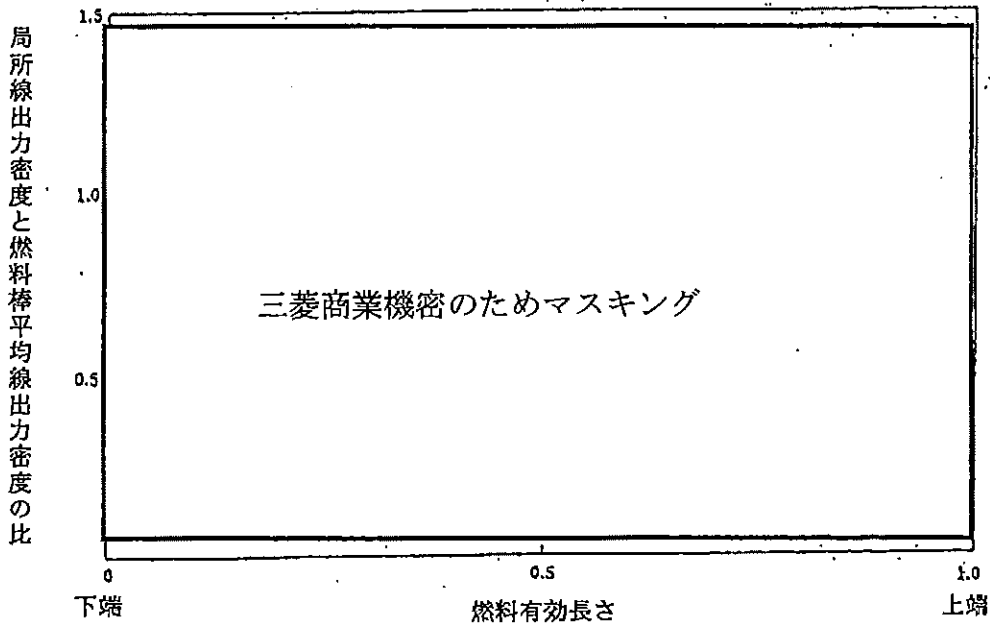
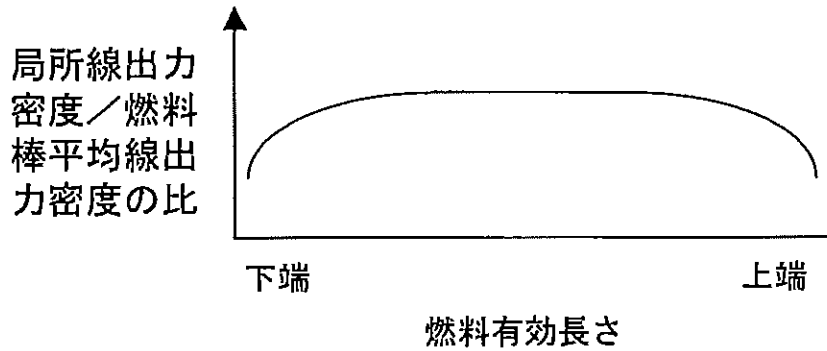


図3 軸方向出力分布図

出典：「乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 図 3-12/2-42 頁」

図3の軸方向出力分布を以下のイメージ図に示す。



軸方向出力分布のイメージ図

#### (4) 「3サイクル終了時の燃料棒内圧値」の計算

以下では、図2「FINE コードの流れ図」の①～⑫に沿って、「3サイクル終了時の燃料棒内圧値」の求め方について、具体的に説明する。

##### ① タイムステップ指定

上述のとおり、FINE コードによる計算は、燃焼度 0 (MWd/t) 時点から3サイクル終了時までの間について、所定の時間幅（タイムステップ）毎に数十回の計算を繰り返すものである。

タイムステップの指定により、燃料棒の出力が定まる。

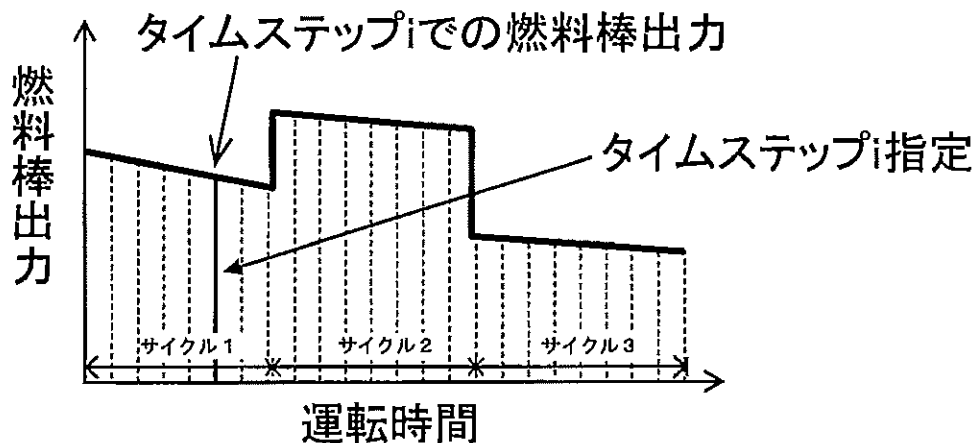


図4 燃料棒出力履歴のタイムステップ指定のイメージ

## ② 冷却材及び被覆管温度を計算

【計算式-1：1次冷却材温度】を用いて、入力データである「軸方向出力分布図」や「1次冷却材入口温度」から、1次冷却材温度の分布を計算する。

そして、【計算式-2：被覆管表面温度（局所沸騰<sup>2</sup>のない場合）】及び【計算式-3：被覆管表面温度（局所沸騰が起こっている場合）】を用いて、1次冷却材温度の分布から、被覆管表面温度を計算し、更に、【計算式-4：被覆管内面温度】を用いて、被覆管表面温度から、被覆管内面温度を計算する。

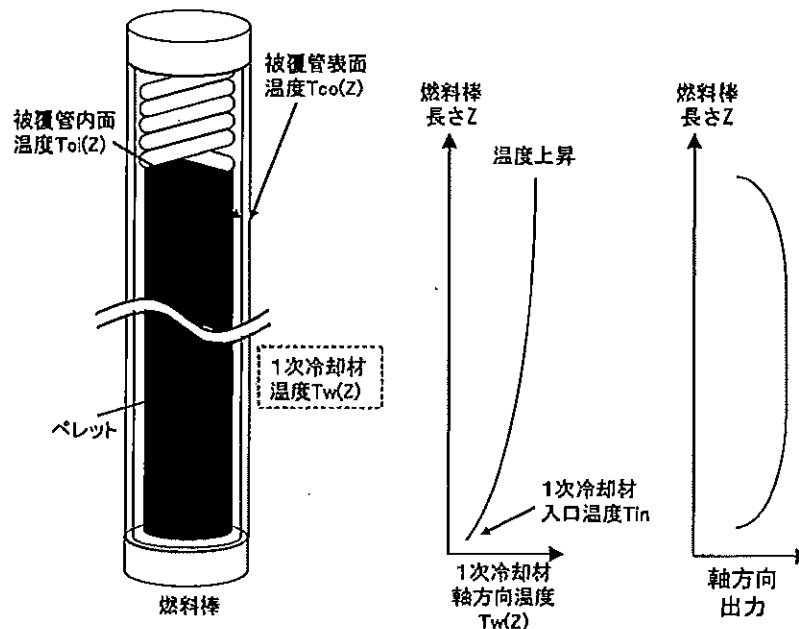


図5 1次冷却材温度と被覆管温度

<sup>2</sup> 局所沸騰：伝熱面温度が充分大きいとき、液体の温度が液体の飽和温度より低くても伝熱面に気泡が発生する現象。

【計算式-1 : 1次冷却材温度  $T_w(Z)$ 】

燃料棒の軸方向位置  $Z$  における 1次冷却材温度  $T_w(Z)$  を計算する。

$$T_w(Z) = T_{in} + \int_0^Z \frac{4 q''(Z)}{C_p G D_e} dZ$$

$T_w(Z)$  : 軸方向位置  $Z$  (m) における 1次冷却材温度, °C

$q''(Z)$  : 軸方向位置  $Z$  における熱流束, Kcal / m<sup>2</sup> · hr

$C_p$  : 1次冷却材の比熱, Kcal / kg · °C

$G$  : 1次冷却材質量速度, kg / m<sup>2</sup> · hr

$D_e$  : 水力的等価直径, m

$T_{in}$  : 1次冷却材入口温度, °C

入力	$q''(Z)$	・入力データの「炉心平均線出力密度」(17.9kW/m), 同「出力履歴」, 同「軸方向出力分布」及び同「被覆管外径」(9.50mm) から計算する値。
	$C_p$	・物理定数 (冷却材温度・圧力に依存)。
	$G$	・入力データの「1次冷却材流量」(1.21×10 <sup>7</sup> kg/m <sup>2</sup> · h)。
	$D_e$	・入力データの「被覆管外径」(9.50mm)及び「被覆管の間隔」(12.6mm)から計算する値。
	$T_{in}$	・入力データの「1次冷却材入口温度」(289.2°C)。
出力	$T_w(Z)$	・軸方向位置 $Z$ における 1次冷却材温度 (°C)。 ・【計算式-2 : 被覆管表面温度 (局所沸騰のない場合)】に入力する。 ・【計算式-21 : 空隙体積と空隙温度】に入力する。

注) 【乙 B1-4 MAPI-1019 改1 三菱 PWR の燃料設計計算コードの概要 / 4 頁】,

【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-9) / 2-17 頁】。

【計算式-2：被覆管表面温度（局所沸騰のない場合） $T_{co}(Z)$ 】

はじめに第二式で境膜熱伝達係数<sup>3</sup> $h$ を計算し、これを第一式に入力して燃料棒軸方向位置 $Z$ における被覆管表面温度 $T_{co}(Z)$ を計算する。

$T_{co}(Z) = T_w(Z) + \frac{q''(Z)}{h} \quad \dots \text{第一式}$		
$\frac{hDe}{K} = 0.023Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad \dots \text{第二式}$		
<p><math>h</math> : 境膜熱伝達係数, <math>Kcal/m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C</math></p> <p><math>De</math> : 水力的等価直径, <math>m</math></p> <p><math>K</math> : 1次冷却材熱伝導率, <math>Kcal/m \cdot hr \cdot ^\circ C</math></p> <p><math>Re</math> : レイノズル数</p> <p><math>Pr</math> : プラントル数</p> <p><math>T_{co}(Z)</math> : 軸方向位置<math>Z</math>における被覆管表面温度, <math>^\circ C</math></p>		
入力	$De$	・入力データの「被覆管外径」(9.50mm)及び「被覆管の間隔」(12.6mm)から計算する値。
	$K$	・物理定数(水の圧力, 温度に依存)。
	$Re$	・物理定数(冷却材流量, 水力的等価直径及び水の粘性に依存)。
	$Pr$	・物理定数(冷却材(水)の比熱, 密度, 熱伝導率, 動粘性係数に依存)。
	$T_w(Z)$	・【計算式-1：1次冷却材温度】の計算結果。
	$q''(Z)$	・入力データの「炉心平均線出力密度」(17.9kW/m), 同「出力履歴」, 同「軸方向出力分布」及び同「被覆管外径」(9.50mm)から計算する値。
出力	$T_{co}(Z)$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軸方向位置<math>Z</math>における被覆管表面温度(<math>^\circ C</math>)。</li> <li>・【計算式-4：被覆管内面温度】に入力する。</li> <li>・【計算式-11：被覆管熱膨張】に入力する。</li> <li>・【計算式-13：被覆管クリープ】に入力する。</li> <li>・【計算式-16：被覆管に働く熱応力】に入力する。</li> <li>・【計算式-17：被覆管内の半径方向温度分布】に入力する。</li> </ul>

注) 【乙B1-4 MAPI-1019 改1 三菱PWRの燃料設計計算コードの概要/4頁】,

【乙B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-10,11)/2-17,18頁】。

<sup>3</sup> 境膜熱伝達係数：被覆管表面に形成される冷却水の膜（境膜）における熱伝達係数（熱の伝わりやすさを表す指標）。

【計算式-3：被覆管表面温度（局所沸騰が起きている場合） $T'_{co}(Z)$ 】  
被覆管表面温度  $T'_{co}(Z)$  を計算する。

$T'_{co}(Z) = T_{sat} + \Delta T_{Thom}$ $\Delta T_{Thom} = \frac{5}{9} \{0.072(0.3687 q''(Z))^{1/2} \exp\left(\frac{-14.22P}{1280}\right)\}$ <p><math>T_{sat}</math> : 1次冷却材飽和温度, °C <math>P</math> : 1次冷却材圧力, kg/cm<sup>2</sup></p>		
入力	$T_{sat}$	・物理定数（1次冷却材圧力（15.5MPa(abs)）から定まる値で、約343°C）。
	$P$	・入力データの「1次冷却材圧力」（15.5MPa(abs)）。 なお、三菱公開文献「乙 B1-4 MAPI-1019 改1 三菱 PWR の燃料設計計算コードの概要 /5 頁」では、単位に（kg/cm <sup>2</sup> ）が使用されている。
	$q''(Z)$	・入力データの「炉心平均線出力密度」（17.9kW/m）、同「出力履歴」、同「軸方向出力分布」及び同「被覆管外径」（9.50mm）から計算する値。
出力	$T'_{co}(Z)$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軸方向位置 <math>Z</math> における被覆管表面温度（°C）。</li> <li>・【計算式-4：被覆管内面温度】に入力する。</li> <li>・【計算式-11：被覆管熱膨張】に入力する。</li> <li>・【計算式-13：被覆管クリープ】に入力する。</li> <li>・【計算式-16：被覆管に働く熱応力】に入力する。</li> <li>・【計算式-17：被覆管内の半径方向温度分布】に入力する。</li> </ul>

注) 【乙 B1-4 MAPI-1019 改1 三菱 PWR の燃料設計計算コードの概要/5 頁】、  
【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-12)/2-18 頁】。



【計算式-4：被覆管内面温度  $T_{ci}(Z)$ 】

燃料棒軸方向位置  $Z$  における被覆管内面温度  $T_{ci}(Z)$  を計算する。

$T_{ci}(Z) = T_{co}(Z) + \frac{q''(Z) R_o \ln(R_o / R_i)}{K_{clad}}$		
<p><math>R_o</math> : 被覆管外径, m</p> <p><math>R_i</math> : 〃 内径, m</p> <p><math>K_{clad}</math>: 被覆管熱伝導率, kcal / m · hr · °C</p>		
入力	$T_{co}(Z)$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・【計算式-2：被覆管表面温度（局所沸騰のない場合）】又は【計算式-3：被覆管表面温度（局所沸騰が起きている場合）】の計算結果。</li> <li>・【計算式-2：被覆管表面温度（局所沸騰のない場合）】と【計算式-3：被覆管表面温度（局所沸騰が起きている場合）】の小さい方の値を使用。</li> </ul>
	$q''(Z)$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・入力データの「炉心平均線出力密度」（17.9kW/m），同「出力履歴」，同「軸方向出力分布」及び同「被覆管外径」（9.50mm）から計算する値。</li> </ul>
	$R_o$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・燃焼度 0 (MWd/t) 時点では，入力データの「被覆管外径」（9.50mm）。</li> <li>・燃焼度 0 (MWd/t) 時点以外は，当該タイムステップの被覆管外径値。</li> </ul>
	$R_i$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・燃焼度 0 (MWd/t) 時点では，入力データの「被覆管内径」（8.36mm）。</li> <li>・燃焼度 0 (MWd/t) 時点以外は，当該タイムステップの被覆管内径値。</li> </ul>
	$K_{clad}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物理定数（被覆管の温度に依存）。</li> <li>・温度は【計算式-17：被覆管内の半径方向温度分布】の計算結果。</li> </ul>
出力	$T_{ci}(Z)$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軸方向位置 <math>Z</math> における被覆管内面温度（°C）。</li> <li>・【計算式-5：ギャップ温度】に入力する。</li> <li>・【計算式-11：被覆管熱膨張】に入力する。</li> <li>・【計算式-13：被覆管クリープ】に入力する。</li> <li>・【計算式-16：被覆管に働く熱応力】に入力する。</li> <li>・【計算式-17：被覆管内の半径方向温度分布】に入力する。</li> <li>・【計算式-21：空隙体積と空隙温度】に入力する。</li> </ul>

注) 【乙 B1-4 MAPI-1019 改1 三菱 PWR の燃料設計計算コードの概要/5 頁】。

### ③ 内圧を仮定する

【計算式-12：被覆管の弾性変形による内径変化】及び【計算式-14：被覆管応力】には、燃料棒内圧を入力する必要があることから、内圧値を仮定する。

2回目以降のタイムステップにおいては、仮定する内圧値に、前のタイムステップの出力として得られた内圧値を用いる。

### ④ 軸方向メッシュ指定

FINE コードでは、燃料棒を軸方向にいくつかの部位（軸方向メッシュ）に分割して燃料棒挙動を計算しており、ここで計算対象となる部位（軸方向メッシュ）を指定する。

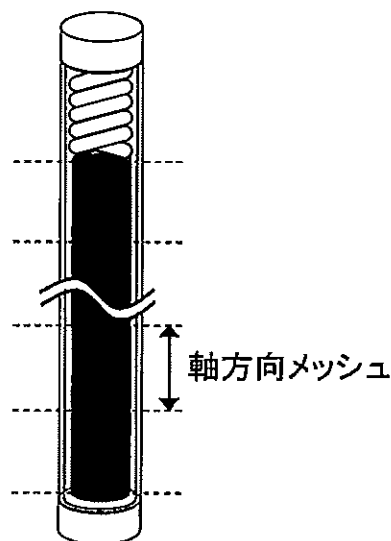


図6 燃料棒の軸方向メッシュ指定のイメージ

### ⑤ ギャップコンダクタンスを仮定

【計算式-5：ギャップ温度】には、ギャップコンダクタンス<sup>4</sup>を入力する必要があることから、ギャップコンダクタンスを仮定する。

<sup>4</sup> ギャップコンダクタンス：ペレットと被覆管の間のギャップ部における熱伝達係数のこと。ギャップ幅に反比例する。

## ⑥-1 ペレット温度分布

【計算式-5：ギャップ温度 $\Delta T$ 】を用いて、⑤で仮定したギャップコンダクタンス（ギャップ熱伝達係数）から、④で指定した燃料棒の軸方向メッシュ位置でのペレットと被覆管の間の温度差を計算する。

この温度差と②で計算した被覆管内面温度から、ペレット表面温度を計算し、更に【計算式-6：ペレット温度分布】を用いて、ペレット温度分布を計算する。

なお、【計算式-6：ペレット温度分布】に入力するペレットの熱伝導率は、【計算式-7：MOX ペレット熱伝導率】及び【計算式-8：密度補正】を用いて計算する。

【計算式-5：ギャップ温度  $\Delta T$ 】

ペレット-被覆管ギャップにおける温度低下を計算する。

この結果からペレット表面温度  $T_s (= \Delta T + \text{被覆管内面温度 } T_{ci})$  を計算する。

$\Delta T = \frac{q''}{h}$ <p> <math>h</math> : ギャップ熱伝達係数, kcal / m<sup>2</sup> · hr · °C  <math>q''</math> : 表面熱流速, kcal / m<sup>2</sup> · hr         </p>		
入力	$h$	・「⑤ギャップコンダクタンスを仮定」で仮定した値。
	$q''$	・入力データの「炉心平均線出力密度」(17.9kW/m), 同「出力履歴」, 同「軸方向出力分布」, 及び同「ペレット直径」(8.19mm) から計算する値。
	$T_{ci}$	・【計算式-4：被覆管内面温度】の計算結果。
出力	$\Delta T$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ギャップ温度差(°C)。</li> <li>・<math>\Delta T</math>は, ペレット-被覆管ギャップにおける温度低下を表しており, ここからペレット表面温度 <math>T_s (= \Delta T + \text{被覆管内面温度 } T_{ci}(Z))</math> を計算する。</li> </ul>
	$T_s$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ペレット表面温度(°C)。</li> <li>・【計算式-6：ペレット温度分布】に入力する。</li> <li>・【計算式-21：空隙体積と空隙温度】に入力する。</li> </ul>

注) 【乙 B1-4 MAPI-1019 改1 三菱 PWR の燃料設計計算コードの概要/5 頁】。

## 【計算式-6：ペレット温度分布T】

熱伝導方程式を積分してペレット内の温度分布Tを計算する。

$\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \left( rk(T) \frac{dT}{dr} \right) + q''(r) = 0 \quad \dots \text{熱伝導方程式}$		
<p>ここで、  <math>r</math> : ペレット内の任意半径, cm  <math>T</math> : 半径 <math>r</math> におけるペレットの温度, °C  <math>k(T)</math> : 温度 <math>T</math> における燃料ペレットの熱伝導率, W/cm・°C  <math>q''(r)</math> : 半径 <math>r</math> における発熱密度, W/cm<sup>2</sup></p>		
入力	$T_s$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ペレット表面温度。</li> <li>・【計算式-5：ギャップ温度】の計算結果が入力され、熱伝導方程式を解いてペレット内の温度を計算する時の入力値となる。</li> </ul>
	$r$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ペレット内の任意半径（ペレット径方向の位置）。</li> </ul>
	$k(T)$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・【計算式-7：MOXペレット熱伝導率】及び【計算式-8：密度補正】の計算結果。</li> </ul>
	$q''(r)$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・入力データの「炉心平均線出力密度」（17.9kW/m）、同「出力履歴」及び同「軸方向出力分布」から計算する。</li> </ul>
出力	$T$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・半径 <math>r</math> におけるペレット温度。</li> <li>・【計算式-7：MOXペレット熱伝導率】に入力する。</li> <li>・【計算式-9：ペレット熱膨張】に入力する。</li> <li>・【計算式-15：接触圧】に入力する。</li> <li>・【計算式-21：空隙体積と空隙温度】に入力する。</li> <li>・【計算式-22：FPガス放出量（拡散メカニズム）】に入力する。</li> <li>・【計算式-23：FPガス放出量（リコイル・ノックアウト）】に入力する。</li> </ul>

注) 【乙 B1-4 MAPI-1019 改1 三菱 PWR の燃料設計計算コードの概要/7 頁】,  
 【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-19)/2-21 頁】。

【計算式-7: MOX ペレット熱伝導率  $K_{MOX}$ 】

ペレット密度 (95%T.D.) に対する MOX ペレットの熱伝導率  $K_{MOX}$  を計算する。

$K_{MOX} = \left[ \frac{1}{11.8 + 0.0238T} + 8.775 \times 10^{-13} T^3 \right] \times \boxed{\phantom{000000}}$		
<div style="border: 1px solid black; width: 300px; height: 30px; margin: 10px auto;"></div>		※マスキング箇所 は商業機密
$K_{MOX}$ : MOX ペレットの熱伝導率、 $W / (cm \cdot ^\circ C)$ $T$ : ペレット温度、 $^\circ C$ $X$ : 二酸化プルトニウム濃度、wt%		
入力	$T$	・【計算式-6: ペレット温度分布 $T$ 】の計算結果。
	$X$	・入力データの「プルトニウム含有率」。
出力	$K_{MOX}$	・密度 95%T.D. の MOX ペレットの熱伝導率。 ・【計算式-8: 密度補正】に入力する (k95)。

注) 【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-20)/2-21 頁】。

【計算式-8 : 密度補正  $k_{\rho}$ 】

MOX ペレット熱伝導率  $K_{\text{MOX}}$  の密度補正を行う。

$k_{\rho} = \frac{\rho}{100 + \beta(100 - \rho)} \cdot \frac{100 + 0.5(100 - 95)}{95} k_{95}$		
$k_{\rho}$ : 密度 $\rho$ に対する燃伝導率, W / cm℃ $\rho$ : 燃料密度, %T. D. $\beta$ : 定数 $= 0.5$ ( $\rho \geq 95\% \text{T. D.}$ ) $= 1.0$ ( $\rho < 95\% \text{T. D.}$ )		
入力	$\rho$	当該タイムステップのペレット密度。
	$\beta$	・定数。
	$k_{95}$	・【計算式-7 : MOX ペレット熱伝導率】の計算結果。
出力	$k_{\rho}$	・密度 $\rho$ における MOX ペレット熱伝導率。 ・【計算式-6 : ペレット温度分布】に入力する ( $k(T)$ )。

注) 【乙 B1-4 MAPI-1019 改1 三菱 PWR の燃料設計計算コードの概要/9 頁】,

【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-21)/2-22 頁】。


## ⑥-2 ペレット径

ペレットの寸法変化は、熱膨張、焼きしまり及びスエリングによって生じる。

【計算式-9 : ペレット熱膨張】を用いて熱膨張による寸法変化量を計算し、【計算式-10 : 焼きしまり及びスエリング】を用いて焼きしまり及びスエリングによる寸法変化率を計算し、これらの結果からペレット径を計算する。

## 【計算式-9 : ペレット熱膨張 r】

熱膨張によるペレットの寸法変化を計算する。

$r = \sum_{i=1}^{10} \Delta r_i$ $= \sum_{i=1}^{10} \Delta r_{i0} [1 + \alpha (\bar{T}_i)]$		
<p><math>\Delta r_i</math> : 各領域の高温状態寸法, mm</p> <p><math>\Delta r_{i0}</math> : 各領域の室温状態寸法, mm</p> <p><math>\alpha (\bar{T}_i)</math> : 温度 <math>\bar{T}_i</math> に対する熱膨張率</p> <p><math>\bar{T}_i</math> : 各領域の平均温度, °C</p>		
<p>注) ペレット半径方向に各領域の面積が等しくなるようにペレットをリング状に10分割し, 寸法変化を計算する。</p> <p>注) i は, 10分割したペレットを表す (i=1~10)。</p>		
入力	$\Delta r_i$	・分割したペレットリングの幅 (高温時)。
	$\Delta r_{i0}$	・分割したペレットリングの幅 (室温時)。
	$\alpha (T_i)$	・物理定数 (温度に依存)。
	$T_i$	・【計算式-6 : ペレット温度分布】の計算結果。
出力	r	<p>・熱膨張により寸法変化したペレット半径。</p> <p>・【計算式-10 : 焼きしまり及びスエリング】の計算結果と合わせ, 【計算式-21 : 空隙体積と空隙温度】, 【計算式-18 : 熱伝達係数 (ペレット-被覆管の接触がない場合)】及び【計算式-15 : 接触圧】に入力する (ペレット-被覆管直径ギャップの一部となる)。</p>

注)【乙 B1-4 MAPI-1019改1 三菱 PWR の燃料設計計算コードの概要 / 11 頁】,

【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-1) / 2-6 頁】。



【計算式-10：焼きしまり及びスエリング ( $\Delta r/r$ )】

焼きしまり及びスエリングによるペレットの寸法変化率 ( $\Delta r/r$ ) を計算する。

$\frac{\Delta r}{r} = \frac{1}{3} \{S \cdot B + f(\rho_0, T_s, B)\}$ <p>S : 固体スエリング率, (<math>\Delta V/V</math>) / (fission/cm<sup>3</sup>)  B : 燃焼度, fission/cm<sup>3</sup>  <math>\rho_0</math> : 燃料初期密度, %T. D.  <math>T_s</math> : 燃料焼結温度, ℃</p>		
入力	S	・ 固体スエリング率。
	B	・ 「①タイムステップ指定」で指定した燃焼度。
	$\rho_0$	・ 入力データの「ペレット初期密度」(95%T. D.)。
	$T_s$	・ ペレットの焼結温度。
	$f(\rho_0, T_s, B)$	・ ペレット焼きしまりを表す関数式 (本件 MOX 燃料の燃料棒内圧評価においては, 評価値が厳しい結果となるよう, 焼きしまりを考慮していない)。
出力	$\Delta r/r$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ペレットの寸法変化率。</li> <li>・ 【計算式-9：ペレット熱膨張】の計算結果と合わせ, 【計算式-21：空隙体積と空隙温度】, 【計算式-18：熱伝達係数 (ペレット-被覆管の接触がない場合)】及び【計算式-15：接触圧】に入力する (ペレット-被覆管直径ギャップの一部となる)。</li> </ul>

注)【乙 B1-4 MAPI-1019 改1 三菱 PWR の燃料設計計算コードの概要/11 頁】,

【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-2)/2-6 頁】。

### ⑥-3 被覆管径

被覆管の寸法変化は、熱膨張、弾性変形<sup>5</sup>及びクリープ変形<sup>6</sup>によって生じる。

【計算式-11：被覆管熱膨張】を用いて熱膨張による被覆管の寸法変化量を計算し、【計算式-12：被覆管の弾性変形による内径変化】を用いて弾性変形による寸法変化量を計算し、【計算式-13：被覆管クリープ】を用いてクリープ変形による寸法変化量を計算し、これらの結果から被覆管径を計算する。

なお、【計算式-13：被覆管クリープ】に入力する被覆管に加わる応力は、【計算式-14：被覆管応力】、【計算式-15：接触圧】、【計算式-16：被覆管に働く熱応力】及び【計算式-17：被覆管内の半径方向温度分布】を用いて計算する。

<sup>5</sup> 弾性変形：応力をかけると直線的に変形し、応力を取り去ると元の形状に戻る変形。

<sup>6</sup> クリープ変形：比較的低い弾性領域応力を長時間受けている場合、時間と共に徐々に燃料被覆管の変形が進行する現象。

## 【計算式-11：被覆管熱膨張 r】

熱膨張による被覆管の寸法変化を計算する。

$r = r_0 \{1 + \alpha (T - 20)\}$ <p>r : 被覆管高温状態半径, mm  r<sub>0</sub> : 被覆管室温 (20℃) 状態半径, mm  α : 温度 T に対する熱膨張率, 1 / ℃</p>		
入力	r <sub>0</sub>	・ 燃焼度 0MWd/t 時点では, 入力データの「被覆管内径」(8.36mm) の半値を使用。
	α	・ 物理定数 (温度に依存)。 ・ 温度は, 【計算式-17：被覆管内の半径方向温度分布】の計算結果。
	T	・ 被覆管温度 (被覆管表面温度及び内面温度の平均値)。 ・ 被覆管表面温度は, 【計算式-2：被覆管表面温度 (局所沸騰のない場合)】または【計算式-3：被覆管表面温度 (局所沸騰が起こっている場合)】の計算結果。被覆管内面温度は, 【計算式-4：被覆管内面温度】の計算結果。
出力	r	・ 熱膨張により寸法変化した被覆管半径。 ・ 【計算式-12：被覆管の弾性変形による内径変化】及び【計算式-13：被覆管クリープ】の計算結果と合わせ, 【計算式-21：空隙体積と空隙温度】, 【計算式-15：接触圧】及び【計算式-18：熱伝達係数 (ペレット-被覆管の接触がない場合)】に入力する (ペレット-被覆管直径ギャップの一部となる)。

注)【乙 B1-4 MAPI-1019 改1 三菱 PWR の燃料設計計算コードの概要 / 13 頁】,

【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-3) / 2-13 頁】。

【計算式-12：被覆管の弾性変形による内径変化 ( $\Delta r_i / r_i$ )】

内圧及び外圧を受ける被覆管の弾性変形による内径の変化を計算する。

$$\frac{\Delta r_i}{r_i} = \frac{\{K^2 (1 + \nu) + (1 - 2\nu)\} \frac{P_i}{E} - K^2 \cdot (2 - \nu) \frac{P_o}{E}}{K^2 - 1}$$

$\Delta r_i$  : 被覆管内半径の変化量, mm

$r_o$  : 被覆管外半径, mm

$r_i$  : 被覆管内半径, mm

$P_i$  : 内 圧, kg/mm<sup>2</sup>

$P_o$  : 外 圧, kg/mm<sup>2</sup>

$\nu$  : 被覆管のポアソン比

$E$  : 被覆管のヤング率, kg/mm<sup>2</sup>

$$K = \frac{r_o}{r_i}$$

入力	K	・被覆管外半径( $r_o$ )／被覆管内半径( $r_i$ )。
	$r_o$	・燃焼度0 (MWd/t) 時点では, 入力データの「被覆管外径」(9.50mm) の半値を使用。
	$r_i$	・燃焼度0 (MWd/t) 時点では, 入力データの「被覆管内径」(8.36mm) の半値を使用。
	$P_i$	・「③内圧を仮定する」で仮定した内圧。
	$P_o$	・入力データの「1次冷却材圧力」(15.5MPa(abs))。
	$\nu$	・物理定数 (温度に依存)。 ・温度は, 【計算式-17：被覆管内の半径方向温度分布 $T(r)$ 】 の計算結果。
	$E$	・物理定数 (温度に依存)。 ・温度は, 【計算式-17：被覆管内の半径方向温度分布 $T(r)$ 】 の計算結果。
出力	$\Delta r_i / r_i$	・被覆管の弾性変形による被覆管内半径の変化率。 ・【計算式-11：被覆管熱膨張】及び【計算式-13：被覆管クリープ】の計算結果と合わせ, 【計算式-21：空隙体積と空隙温度】, 【計算式-15：接触圧】及び【計算式-18：熱伝達係数 (ペレット-被覆管の接触がない場合)】に入力する (ペレット-被覆管直径ギャップの一部となる)。

注)【乙B1-4 MAPI-1019改1 三菱PWRの燃料設計計算コードの概要/14頁】,  
【乙B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-4)/2-13頁】。

【計算式-13：被覆管クリープ $\dot{\epsilon}$ 】

原子炉内での全クリープは、熱クリープ、照射成長及び照射クリープの合成となるため、それぞれを計算する。

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_{th} + \dot{\epsilon}_{grow} + \dot{\epsilon}_{irr}$$

$\dot{\epsilon}$  : 炉内での全クリープ歪速度, 1 / hr

$\dot{\epsilon}_{th}$  : 熱的に生じる炉外クリープ歪速度, 1 / hr

$\dot{\epsilon}_{grow}$ : ジルカロイ管照射成長に伴う歪速度, 1 / hr

$\dot{\epsilon}_{irr}$  : 照射によるクリープ歪速度, 1 / hr

炉外クリープ歪速度

$$\dot{\epsilon}_{th} = a \cdot \exp(b + c T) \cdot \sigma(d + e T) \cdot \epsilon_{th}(f + g T)$$

照射成長に伴う歪

$$\epsilon_{grow} = k \cdot (\phi t)^l$$

照射クリープ歪速度

$$\dot{\epsilon}_{irr} = h \cdot \sigma^i \cdot \phi^j$$

$\sigma$  : 実効応力

T : 温度, K

$\phi$  : 高速中性子束, n / cm<sup>2</sup> / sec

$\phi t$  : 照射量, n / cm<sup>2</sup>

a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l は炉外試験及び照射後試験結果と一致するよう定められたものである。

入力	$\sigma$	・【計算式-14：被覆管応力】及び【計算式-16：被覆管に働く熱応力】の計算結果から計算される応力。
	T	・被覆管温度（被覆管表面温度及び内面温度の平均値）。 ・被覆管表面温度は、【計算式-2：被覆管表面温度（局所沸騰のない場合）】または【計算式-3：被覆管表面温度（局所沸騰が起こっている場合）】の計算結果。被覆管内面温度は、【計算式-4：被覆管内面温度】の計算結果。
	$\phi$	・当該計算時点（タイムステップ i）における入力データの「出力履歴」から計算する値（タイムステップ i における高速中性子束の値）。
	$\phi t$	・当該計算時点（タイムステップ i）までの「出力履歴」から計算する値（タイムステップ i までの高速中性子照射量の積算値）。

	a~1	・定数。
出力	$\epsilon$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全クリープ歪速度 (炉外クリープ歪速度, 照射クリープ歪速度, 照射成長による歪速度の和)。</li> <li>・全クリープ歪速度から, タイムステップ分だけ時間が進んだ時のクリープ変形による被覆管変形量を計算する。</li> <li>・【計算式-11:被覆管熱膨張】及び【計算式-12:被覆管の弾性変形による内径変化】の計算結果と合わせ, 【計算式-21:空隙体積と空隙温度】, 【計算式-15:接触圧】及び【計算式-18:熱伝達係数(ペレット-被覆管の接触がない場合)】に入力する (ペレット-被覆管直径ギャップの一部となる)。</li> </ul>

注)【乙B1-4 MAPI-1019改1 三菱PWRの燃料設計計算コードの概要/14,15頁】,

【乙B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-5,6,7,8)/2-14,15頁】。

【計算式-14：被覆管応力  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_z$ 】

被覆管のクリープ変形計算に必要な被覆管応力を計算する。

$$\sigma_r = \frac{1 - K^2 / R^2}{K^2 - 1} P' - \frac{K^2 - K^2 / R^2}{K^2 - 1} P_o$$

$$\sigma_\theta = \frac{1 + K^2 / R^2}{K^2 - 1} P' - \frac{K^2 + K^2 / R^2}{K^2 - 1} P_o$$

$$\sigma_z = \frac{1}{K^2 - 1} P' - \frac{K^2}{K^2 - 1} P_o$$

$$K = r_o / r_i$$

$$R = r / r_i$$

$\sigma_r$  : 被覆管半径方向応力,  $kg/mm^2$

$\sigma_\theta$  : 被覆管円周方向応力,  $kg/mm^2$

$\sigma_z$  : 被覆管軸方向応力,  $kg/mm^2$

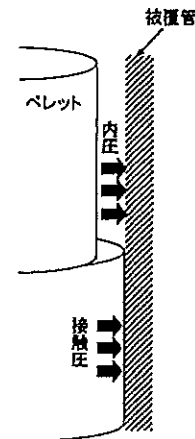
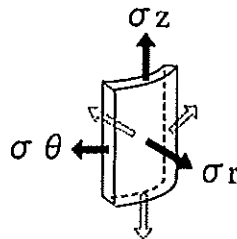
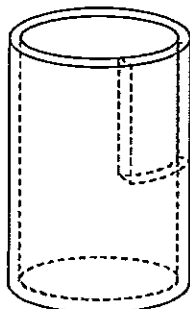
$P'$  : 内圧とペレット-被覆管接触圧の和 ( $P_i = P_c$ ),  $kg/mm^2$

$P_o$  : 外 圧,  $kg/mm^2$

$r_o$  : 被覆管外半径, mm

$r_i$  : 被覆管内半径, mm

$r$  : 被覆管任意半径, mm



入力	$P'$	・「③内圧を仮定する」で仮定した内圧及び【計算式-15：接触圧】に基づき計算される接触圧の和。
	$P_o$	・入力データ「1次冷却材圧力」(15.5MPa(abs))。
	$r_o$	・燃焼度 0 (MWd/t) 時点では、入力データの「被覆管外径」(9.50mm) の半値を使用。

	ri	・ 燃焼度 0 (MWd/t) 時点では, 入力データの「被覆管内径」(8.36mm) の半値を使用。
出力		・ 応力 $\sigma_r$ , $\sigma_\theta$ , $\sigma_z$ から平均応力を求め, その計算結果を【計算式-13: 被覆管クリープ】に用いる。

注)【乙 B1-4 MAPI-1019 改 1 三菱 PWR の燃料設計計算コードの概要 / 19 頁】,  
【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-27) / 2-32 頁】。



【計算式-15: 接触圧  $P_c$ 】

接触圧（ペレット膨張により被覆管に発生する圧力） $P_c$ を計算する。

$P_c = \frac{\frac{\delta}{r_i}}{\frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \times \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} + \frac{\nu_1}{E_1} - \frac{\nu_2}{E_2}}$		
$r_i$ : 燃料棒中心から接触面までの距離, mm $r_o$ : 被覆管外半径, mm $\delta$ : ペレットと被覆管の相互干渉（半径分）, mm $\nu_1, \nu_2$ : 被覆管及びペレットのポアソン比 $E_1, E_2$ : 被覆管及びペレットの弾性係数, kg/mm <sup>2</sup>		
入力	$r_i$	・ 燃焼度 0 (MWd/t) 時点では, 入力データの「被覆管内径」(8.36mm) の半値を使用。
	$r_o$	・ 燃焼度 0 (MWd/t) 時点では, 入力データの「被覆管外径」(9.50mm) の半値を使用。
	$\delta$	・ ⑥-2 で得られたペレット径及び⑥-3 で得られた被覆管径から計算する値。
	$\nu_1$	・ 物理定数（温度に依存）。 ・ 温度は, 【計算式-17: 被覆管内の半径方向温度分布】の計算結果。
	$\nu_2$	・ 物理定数（温度に依存）。 ・ 温度は, 【計算式-6: ペレット温度分布】の計算結果。
	$E_1$	・ 物理定数（温度に依存）。 ・ 温度は, 【計算式-17: 被覆管内の半径方向温度分布】の計算結果。
	$E_2$	・ 物理定数（温度に依存）。 ・ 温度は, 【計算式-6: ペレット温度分布】の計算結果。
	$K$	・ 被覆管外半径 ( $r_o$ ) / 被覆管内半径 ( $r_i$ )。
出力	$P_c$	・ ペレット膨張により被覆管に発生する圧力（接触圧）。 ・ 【計算式-14: 被覆管応力】に入力する。 ・ 【計算式-19: 熱伝達係数（ペレット-被覆管の接触がある場合）】に入力する。

注)【乙 B1-4 MAPI-1019改1 三菱 PWR の燃料設計計算コードの概要/20 頁】,

【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-28)/2-33 頁】。

【計算式-16：被覆管に働く熱応力  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_z$ 】

被覆管のクリープ変形計算に必要な熱応力を計算する。

半径方向応力

$$\sigma_r = \frac{\alpha E_1}{2(1-\nu_1)} \left[ \frac{(K^2 T_o - T_i) - (T_o - T_i)(r_o/r)^2}{(K^2 - 1) - T(r)} \right]$$

接線方向応力

$$\sigma_\theta = \frac{\alpha E_1}{2(1-\nu_1)} \left[ \frac{(K^2 T_o - T_i) + (T_o - T_i)(r_o/r)^2}{(K^2 - 1) - (T_o - T_i) / \ln k - T(r)} \right]$$

軸方向応力

$$\sigma_z = \left( \frac{\alpha E_1}{1-\nu_1} \right) \left\{ \frac{(K^2 T_o - T_i)}{(K^2 - 1) - (T_o - T_i) / \ln k} - T(r) \right\}$$

 $\alpha$  : 被覆管熱膨張率,  $1/^\circ\text{C}$  $E_1$  : 被覆管ヤング率,  $\text{kg}/\text{mm}^2$  $\nu_1$  : 被覆管ポアソン比 $K = r_o / r_i$  $T_i$  : 被覆管内面温度,  $^\circ\text{C}$  $r_i$  : 被覆管内半径,  $\text{mm}$  $T_o$  : 被覆管外面温度,  $^\circ\text{C}$  $r_o$  : 被覆管外半径,  $\text{mm}$  $r$  : 被覆管任意半径,  $\text{mm}$ 

入力	$\alpha$	・物理定数。
	$E_1$	・物理定数 (温度に依存)。 ・温度は, 【計算式-17:被覆管内の半径方向温度分布】の計算結果。
	$\nu_1$	・物理定数 (温度に依存)。 ・温度は, 【計算式-17:被覆管内の半径方向温度分布】の計算結果。

	$T(r)$	・【計算式-17:被覆管内の半径方向温度分布】の計算結果。
	$K$	被覆管外半径 ( $r_o$ ) / 被覆管内半径 ( $r_i$ )。
	$T_i$	・【計算式-4:被覆管内面温度】の計算結果。
	$T_o$	・【計算式-2:被覆管表面温度 (局所沸騰のない場合)】 または【計算式-3:被覆管表面温度 (局所沸騰が起きている場合)】の計算結果。
	$r_i$	・燃焼度 0 (MWd/t) 時点では, 入力データの「被覆管内径」 (8.36mm) の半値を使用。
	$r_o$	・燃焼度 0 (MWd/t) 時点では, 入力データの「被覆管外径」 (9.50mm) の半値を使用。
	$r$	・被覆管任意半径 (ペレット径方向の位置)。
出力		・ $\sigma_r$ , $\sigma_\theta$ , $\sigma_z$ を用いて平均応力を求め, その計算結果を【計算式-13:被覆管クリープ】に用いる。

注)【乙 B1-4 MAPI-1019 改1 三菱 PWR の燃料設計計算コードの概要 / 21 頁】,  
【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-30-1,2,3) / 2-34 頁】。

## 【計算式-17：被覆管内の半径方向温度分布 T(r)】

被覆管内の半径方向温度分布を計算する。

$T(r) = \frac{T_o \cdot \ln(r / r_i) + T_i \cdot \ln(r_o / r)}{\ln k}$		
但し, $K = r_o / r_i$		
$T_i$ : 被覆管内面温度, ℃ $r_i$ : 被覆管内半径, mm $T_o$ : 被覆管外面温度, ℃ $r_o$ : 被覆管外半径, mm $r$ : 被覆管任意半径, mm		
入力	K	・被覆管外半径 ( $r_o$ ) / 被覆管内半径 ( $r_i$ )。
	$T_i$	・【計算式-4：被覆管内面温度】の計算結果。
	$T_o$	・【計算式-2：被覆管表面温度（局所沸騰のない場合）】 または【計算式-3：被覆管表面温度（局所沸騰が起きている場合）】の計算結果。
	$r_i$	・燃焼度 0 (MWd/t) 時点では, 入力データの「被覆管内径」(8.36mm) の半値を使用。
	$r_o$	・燃焼度 0 (MWd/t) 時点では, 入力データの「被覆管外径」(9.50mm) の半値を使用。
	r	・被覆管任意半径（ペレット径方向の位置）。
出力	$T(r)$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・被覆管の半径方向温度分布。</li> <li>・【計算式-16：被覆管に働く熱応力】に入力する。</li> <li>・【計算式-15：接触圧】に入力する。</li> <li>・【計算式-12：被覆管の弾性変形による内径変化】に入力する。</li> <li>・【計算式-11：被覆管熱膨張】に入力する。</li> </ul>

注)【乙 B1-4 MAPI-1019 改 1 三菱 PWR の燃料設計計算コードの概要 / 21 頁】,

【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-29) / 2-33 頁】。

## ⑦ ギャップコンダクタンス収束

⑥-2で得られたペレット径及び⑥-3で得られた被覆管径から、ペレット-被覆管のギャップ幅を求める。

その上で、【計算式-18：熱伝達係数（ペレット-被覆管の接触がない場合）】または【計算式-19：熱伝達係数（ペレット-被覆管の接触がある場合）】を用いて、ペレット-被覆管のギャップ幅から、ギャップコンダクタンス（熱伝達係数 $h$ ）を計算し、計算されたギャップコンダクタンスが、⑤で仮定したギャップコンダクタンスに収束した場合には⑧に進み、収束しない場合は⑤に戻る。

なお、【計算式-18：熱伝達係数（ペレット-被覆管の接触がない場合）】及び【計算式-19：熱伝達係数（ペレット-被覆管の接触がある場合）】に入力する混合ガスの熱伝導率は、【計算式-20：混合ガスの熱伝導率】を用いて計算する。

## 【計算式-18：熱伝達係数（ペレット-被覆管の接触がない場合）h】

接触がない場合のギャップ熱伝達係数hを計算する。

$h = \frac{K_{gas}}{\frac{\delta}{2} + r}$ <p>ギャップ熱伝達係数 h (kcal / m<sup>2</sup> · hr · °C)</p>		
あるいは		
$h = a K_{gas} + \frac{1}{b + c \delta}$		
のうちの、大きい方の値		
K <sub>gas</sub> : 混合ガスの熱伝導率, kcal / m · hr · °C		
δ : ペレット-被覆管直径ギャップ, m		
r : 4.389 × 10 <sup>-6</sup>		
a : 4921		
b : 3.070 × 10 <sup>-4</sup>		
c : 2.015		
d : 41.66		
入力	K <sub>gas</sub>	・【計算式-20：混合ガスの熱伝導率】の計算結果。
	δ	・⑥-2で得られたペレット径及び⑥-3で得られた被覆管径から求められるペレット-被覆管のギャップ幅。
	r	・定数(4.389×10 <sup>-6</sup> )。
	a	・定数(4921)。
	b	・定数(3.070×10 <sup>-4</sup> )。
	c	・定数(2.015)。
出力	h	・ギャップ熱伝達係数（ギャップコンダクタンス）。 ・⑤で仮定したギャップコンダクタンスとの比較に使用する。

注)【乙 B1-4 MAPI-1019 改1 三菱 PWR の燃料設計計算コードの概要/6 頁】,

【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-14,15)/2-19 頁】。

注)【計算式-18】と輸入燃料体検査申請書添付書類二/式(3-14, 15)は、使用する単位(kcal, W)の違いにより、係数が異なる。

【計算式-19：熱伝達係数（ペレット-被覆管の接触がある場合）h】  
接触がある場合のギャップ熱伝達係数hを計算する。

$h = dP + \frac{K_{gas}}{r}$ ギャップ熱伝達係数 h (kcal / m <sup>2</sup> · hr · ℃)		
K <sub>gas</sub> : 混合ガスの熱伝導率, kcal / m · hr · ℃		
P : 接触圧, kg / cm <sup>2</sup>		
r : 4.389 × 10 <sup>-6</sup>		
d : 41.66		
入力	K <sub>gas</sub>	・【計算式-20：混合ガスの熱伝導率】の計算結果。
	P	・【計算式-15：接触圧】の計算結果。
	r	・定数(4.389 × 10 <sup>-6</sup> )。
	d	・定数(41.66)。
出力	h	・ギャップ熱伝達係数（ギャップコンダクタンス）。 ・⑤で仮定したギャップコンダクタンスとの比較に使用する。

注)【乙B1-4 MAPI-1019改1 三菱PWRの燃料設計計算コードの概要/6頁】、

【乙B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-13)/2-18頁】。

注)【計算式-19】と輸入燃料体検査申請書添付書類二/式(3-13)は、使用する単位(kcal, W)の違いにより、係数が異なる。

【計算式-20：混合ガスの熱伝導率 K<sub>gas</sub>】

燃料棒内のヘリウム及びFPガスの混合ガスの熱伝導率を計算する。

$K_{gas} = \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{1 + \sum_{j=1, j \neq i}^n \psi_{ij} \frac{X_j}{X_i}}$		<p>n : 混合ガス中の成分数 M : 分子量 X : モル分率 K : 熱伝導率、W / (m·°C) ※FPガスの熱伝導率は、Xe, Krの混合ガスとして考慮される。 ※MOX燃料設計では、Xe/Kr比=16.0を使用。</p>
$\psi_{ij} = \phi_{ij} \left[ 1 + 2.41 \frac{(M_i - M_j)(M_i - 0.142M_j)}{(M_i + M_j)^2} \right]$		
$\phi_{ij} = \frac{\left[ 1 + \left( \frac{K_i}{K_j} \right)^{0.5} \left( \frac{M_i}{M_j} \right)^{0.25} \right]^2}{2 \left[ 2 \left( 1 + \frac{M_i}{M_j} \right) \right]^{0.5}}$		
入力	n	・定数（混合ガス中の成分数で定まる）。
	M	・混合ガスの成分毎に定まる値。
	x	・各成分のモル数 / 全成分のモル数。 ・モル数は、【計算式-22：FPガス放出量（拡散メカニズム）】及び【計算式-23：FPガス放出量（リコイル・ノックアウト）】の計算結果を用いる。
	K <sub>i</sub>	・ガス成分 i の熱伝導率。
出力	K <sub>gas</sub>	・混合ガスの熱伝導率。 ・【計算式-18：熱伝達係数（ペレット-被覆管の接触がない場合）】又は【計算式-19：熱伝達係数（ペレット-被覆管の接触がある場合）】に入力する。

注) 【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-16), (3-17), (3-18) / 2-19 頁】。

## ⑧ 空隙量

【計算式-21：空隙体積と空隙温度】を用いて、④で指定した燃料棒の軸方向メッシュ位置における燃料棒内部の自由体積の量（空隙量）を計算する。



【計算式-21：空隙体積 $V_i$ と空隙温度 $T_i$ 】燃料棒空隙体積 $V_i$ 及び温度 $T_i$ を計算する。

$V_i$ : 空隙 $i$ の体積, $\text{cm}^3$ $T_i$ : 空隙 $i$ の温度, $\text{K}$		
<u><math>i</math></u>	<u><math>V_i</math></u>	<u><math>T_i</math></u>
1	プレナム	プレナム温度
2	ペレット・被覆管ギャップ	ギャップ温度
3	ペレット・ディッシュ	燃料平均温度
4	ペレット・クラック	燃料平均温度
5	ペレット・チャンファ	燃料表面温度
入力	プレナム <sup>7</sup> 体積	・【計算式-9：ペレット熱膨張】及び【計算式-10：焼きしまり及びスエリング】の計算結果から得られる燃料棒有効長，【計算式-13：被覆管クリープ】の照射成長の計算結果から得られる被覆管の軸方向寸法（長さ），並びに【計算式-11：被覆管熱膨張】，【計算式-12：被覆管の弾性変形による内径変化】及び【計算式-13：被覆管クリープ】の計算結果から得られる被覆管内径から計算する値。
	ギャップ 体積	・【計算式-9：ペレット熱膨張】及び【計算式-10：焼きしまり及びスエリング】の計算結果から得られるペレット径，【計算式-11：被覆管熱膨張】，【計算式-12：被覆管の弾性変形による内径変化】及び【計算式-13：被覆管クリープ】の計算結果から得られる被覆管内径の差分から計算する値。
	ディッシュ <sup>8</sup> 体積	・ディッシュ寸法（直径，深さ）から計算する値。
	クラック <sup>9</sup> 体積	・ペレット内温度に基づく熱膨張から計算する値。

7 プレナム：燃料棒上部に設ける空隙部。

8 ディッシュ：ペレットの端面に設けられた皿型の窪み。

9 クラック：燃焼に伴いペレットに生じるひび。

	チャンファ <sup>10</sup> 体積	・チャンファ寸法（幅，高さ）から計算する値。
	プレナム 温度	・【計算式-1：1次冷却材温度】の計算結果（プレナム部の1次冷却材温度）と入力データである出力（出力履歴と軸方向出力分布）から計算する値。
	ギャップ 温度	・【計算式-4：被覆管内面温度】と【計算式-5：ギャップ温度】の計算結果から計算する値。
	燃料平均 温度	・【計算式-6：ペレット温度分布】の計算結果から計算する値。
	燃料表面 温度	・【計算式-5：ギャップ温度】の計算結果。
出力	空隙体積 $V_i$ 空隙温度 $T_i$	・【計算式-24：燃料棒内圧】に入力する。

注)【乙 B1-4 MAPI-1019 改1 三菱 PWR の燃料設計計算コードの概要 / 18 頁】，

【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-22) / 2-26 頁】。

なお，三菱公開文献「乙 B1-4 MAPI-1019 改1 三菱 PWR の燃料設計計算コードの概要」公開時のウラン燃料にはチャンファが設けられておらず，プレナム，ギャップ，ディッシュ及びクラックの記載のみとなっている。その後のウラン燃料及びウラン燃料の設計をベースとした被告のMOX燃料ではチャンファが設けられており，輸入燃料体検査申請書ではチャンファが追記されている。

<sup>10</sup> チャンファ：ペレット断面の面取り部。

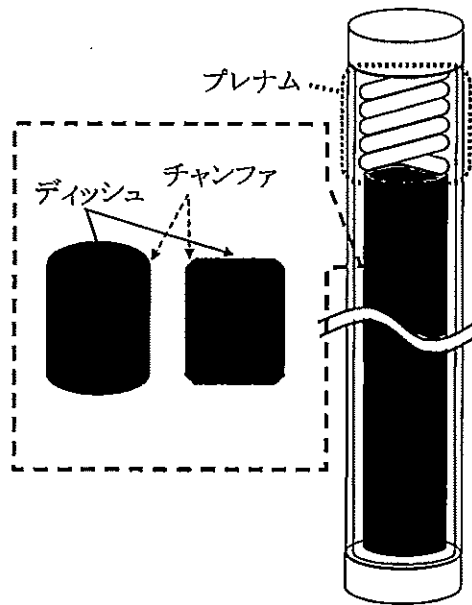


図7 プレナム, デイッシュ, チャンファ

## ⑨ 軸方向メッシュ完了

全ての軸方向メッシュの計算が完了すれば⑩に進み、完了していない場合は④に戻る。

### ⑩-1 放出ガス量

燃料ペレット内で生成される FP ガスは、拡散メカニズム、反跳（リコイル）<sup>11</sup>、たたき出し（ノックアウト）<sup>12</sup>によってペレット外へ放出される。

【計算式-22：FP ガス放出量（拡散メカニズム）】を用いて拡散メカニズムによる FP ガス放出量を計算し、【計算式-23：FP ガス放出量（リコイル・ノックアウト）】を用いて反跳（リコイル）・たたき出し（ノックアウト）による FP ガス放出量を計算し、これらの結果から FP ガス放出量を計算する。

<sup>11</sup> 反跳（リコイル）：ペレットの表面近くで生成した FP ガスが反跳エネルギーによって直接ペレットから燃料棒内に放出されること。反跳エネルギーとは、核反応や放射壊変により放射線を放出した原子が、放射された放射線と反対方向に跳ね返る力のこと。

<sup>12</sup> たたき出し（ノックアウト）：ペレット表面近くにある FP ガスが、核分裂片による衝突等により放出されること。

【計算式-22: FPガス放出量(拡散メカニズム)  $\Delta R_D^i$ 】

拡散メカニズムによるFPガス放出量 $\Delta R_D^i$ を計算する。

$$\Delta R_D^i = \beta_i \Delta t_i - \left( C_{i^*} + \frac{\beta_i}{K_D^i} - C_{i-1} \right) \{ 1 - \exp(-K_D^i \Delta t_i) \}$$

でi番目の時間間隔 $\Delta t_i$ で放出されるFPガス量 $\Delta R_D^i$ が計算される。

$\beta_i$  : 時間間隔iでのFPガス生成率

$C_{i-1}$  : 時間iまでに結晶粒内に蓄積されているFPガス濃度。

入力	$\beta_i$	・入力データの「出力履歴」のうち、タイムステップiの出力から計算する値。
	$C_{i-1}$	・前回のタイムステップで計算した値。
	$K_D^i$	・単位時間当たりの放出割合。 (タイムステップiのペレット燃焼度と温度から計算する値) ・温度は、【計算式-6:ペレット温度分布】の計算結果。
	$C_{i^*}$	・結晶粒界上に蓄積できるFPガス濃度の最大値。 (タイムステップiの温度から計算する値) ・温度は、【計算式-6:ペレット温度分布】の計算結果。
	$\Delta t_i$	・時間間隔(タイムステップiの幅)。
出力	$\Delta R_D^i$	・拡散メカニズムによるFPガス放出量。 ・【計算式-23:FPガス放出量(リコイル・ノックアウト)】の計算結果との和を【計算式-24:燃料棒内圧】及び【計算式-20:混合ガスの熱伝導率】に入力する。

注)【乙B1-4 MAPI-1019改1 三菱PWRの燃料設計計算コードの概要/16頁】、

【乙B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-24)/2-27頁】。

【計算式-23: FP ガス放出量 (リコイル・ノックアウト)  $\Delta R_K^i$ 】リコイル・ノックアウトによる FP ガス放出量  $\Delta R_K^i$  を計算する。

$\Delta R_K^i = \left(\frac{S}{V}\right) \cdot B^i \cdot \left(\sum_{j=1}^i \beta_j \Delta t_j\right)$		
$B^i$ : 燃焼度		
$\left(\frac{S}{V}\right)$ : 実効比表面積で、燃焼度及びペレット表面・中心温度差の関数。		
入力	$(S/V)$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実効比表面積 (当該タイムステップにおけるペレット温度と燃焼度から計算する)。</li> <li>・温度は、【計算式-6: ペレット温度分布】の計算結果。</li> </ul>
	$B^i$	・タイムステップ $i$ の燃焼度。
	$\beta_i$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・時間間隔 <math>i</math> での FP ガス生成率。</li> <li>・入力データの「出力履歴」のうち、タイムステップ <math>i</math> の出力から計算する値。</li> </ul>
	$\Delta t_i$	・時間間隔 (タイムステップ $i$ の幅)。
出力	$\Delta R_K^i$	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リコイル・ノックアウトのメカニズムによる FP ガス放出量。</li> <li>・【計算式-22: FP ガス放出量 (拡散メカニズム)】の計算結果との和を【計算式-24: 燃料棒内圧】及び【計算式-20: 混合ガスの熱伝導率】に入力する。</li> </ul>

注)【乙 B1-4 MAPI-1019 改 1 三菱 PWR の燃料設計計算コードの概要 / 17 頁】、

【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-25) / 2-28 頁】。

## ⑩-2 燃料棒内圧

【計算式-24：燃料棒内圧】を用いて、燃料棒内圧を計算する。

## 【計算式-24：燃料棒内圧P】

燃料棒内圧Pを計算する。

$P = \frac{N \cdot R}{\sum \frac{V_i}{T_i}}$		注)
P : 内圧、MPa N : 総ガスモル数、mol (初期ヘリウム + <input type="text"/> + 放出FPガス + 放出ヘリウム)		i は空隙体積・ 温度で示した空 隙の種類を表 す。
V <sub>i</sub> : ボイド i の体積、cm <sup>3</sup> T <sub>i</sub> : ボイド i の温度、K R : 気体定数 (=8.3144J・mol <sup>-1</sup> ・K <sup>-1</sup> )		※マスキング箇所 は商業機密
入力	N	<ul style="list-style-type: none"> <li>・初期ヘリウムは、入力データの「初期ヘリウムガス圧」を用いて計算（圧力をモル数へ変換計算）した値。</li> <li>・放出FPガスは、【計算式-22：FPガス放出量（拡散メカニズム）】と【計算式-23：FPガス放出量（リコイル・ノックアウト）】の計算結果を1.3倍した値。</li> <li>・放出ヘリウム量は、タイムステップ i の燃焼度から求めたヘリウム生成量をもとに、ペレットから放出されるヘリウム量を計算し入力する。なお、この計算において、MOXペレット内のヘリウム生成量はウランペレットの3倍として計算している。</li> </ul>
	V <sub>i</sub>	・【計算式-21：空隙体積と空隙温度】の計算結果。
	T <sub>i</sub>	・【計算式-21：空隙体積と空隙温度】の計算結果。
出力	P	燃料棒内圧。

注)【乙B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 式(3-22)/2-26頁】。

## ⑪ 内圧収束

【計算式-24：燃料棒内圧】で計算した燃料棒内圧が、⑨で仮定した内圧に収束した場合は⑫に進み、収束しない場合は⑩に戻る。

## ⑫ タイムステップ完了（計算完了）

### a. 未計算のタイムステップがある場合

①に戻って次のタイムステップの計算を行う。

### b. 未計算のタイムステップがない場合

「3サイクル終了時の燃料棒内圧値」の計算が完了となる。

## (5) 燃料棒内圧設計基準値の求め方

上記(4)と同様に FINE コードを用いて計算を行い、ギャップが再開する時点の燃料棒内圧値を求める（なお、上述したとおり、入力データのうち「初期ヘリウムガス圧」の値は、ギャップ再開が発生するよう仮想的に高いものを用いた）。

こうした計算を複数の出力履歴を用いて行い、ギャップが再開する時点の燃料棒内圧値のなかで、最も低い圧力を「ギャップ再開が起きない最大内圧値」とする。

「ギャップ再開が起きない最大内圧値」

「ギャップ再開が起きない最大内圧値」

から不確定性<sup>18</sup>を差し引いて「燃料棒内圧設計基準値」（19.7MPa）を求めた【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 /2-50 頁】（以上、図 8「燃料棒内圧基準値の導出概念図」）。

<sup>18</sup> 平成7年に原子力安全委員会が了承した報告書「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」においては、安全評価において採用が認められている FINE コードを MOX 燃料の機械設計に用いるにあたって、ウラン燃料の場合と同様に、「燃料の製造上のばらつき（公称値と許容範囲の上限値あるいは下限値の差分による燃料棒内圧への影響を、不確定性として算出したもの。）」及び「コードの予測の不確かさ（計算モデルの予測値と実測値の間にはばらつきがあり、この予測値と実測値の差について、燃料棒内圧への影響を、不確定性として算出したもの。）」を考慮することが求められている。

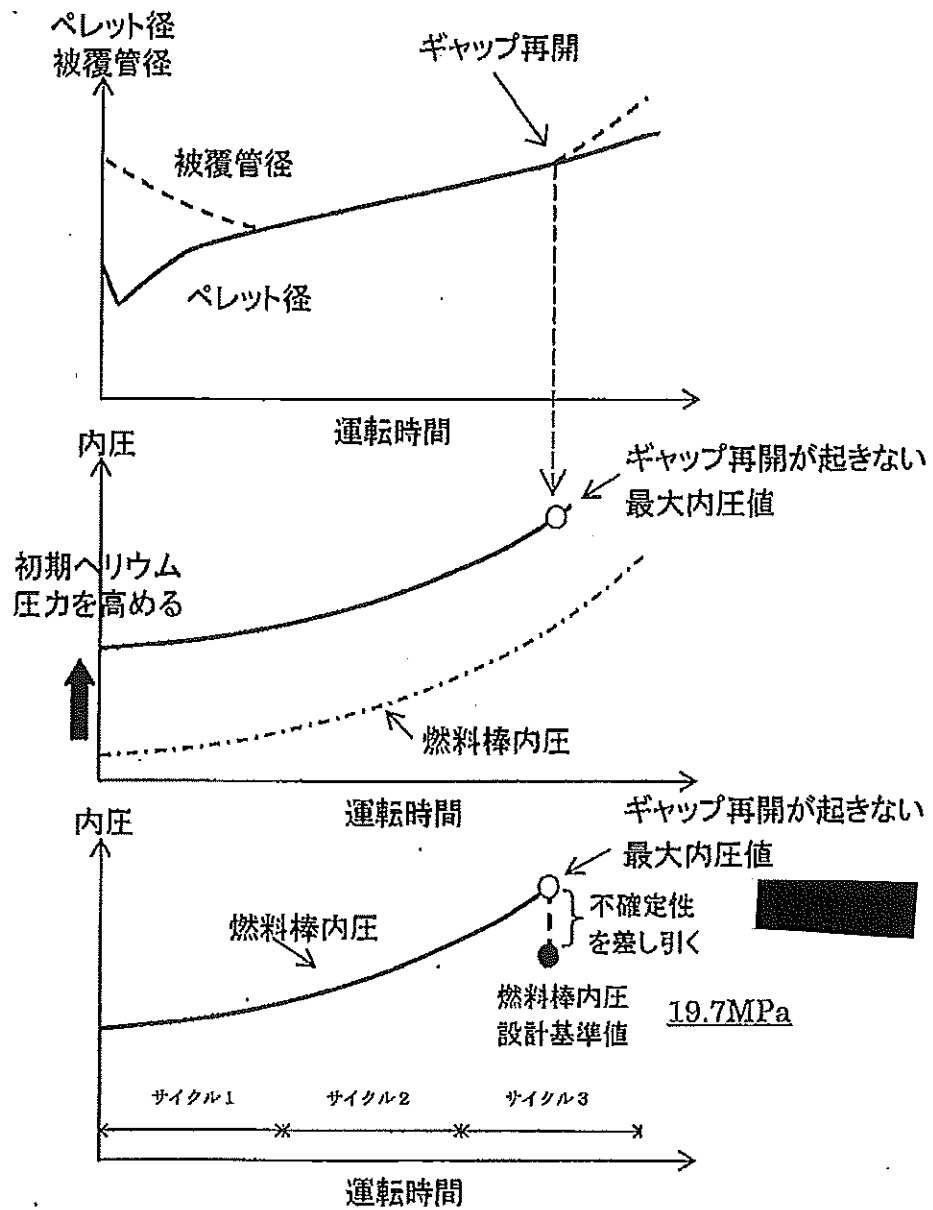


図8 燃料棒内圧基準値の導出概念図



## (6) 燃料棒内圧評価値の求め方

上記(4)で求めた「3サイクル終了時の燃料棒内圧値」のうち、燃料棒内圧が最も高いものは四捨五入して約15MPaであり、被告はこの「3サイクル終了時の燃料棒内圧値」(約15MPa)に不確定性を加えて、「燃料棒内圧評価値」(19.5MPa)を求めた【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 /2-50頁】(以上、図9「燃料棒内圧評価値の概念図」)。

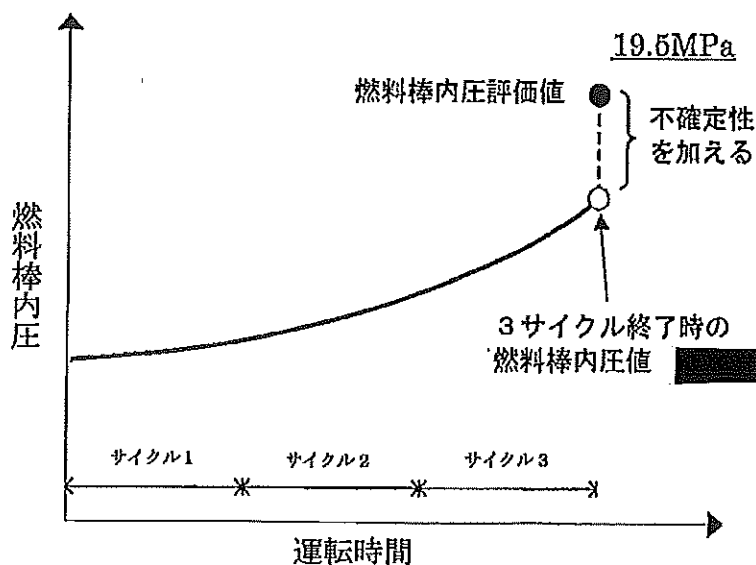


図9 燃料棒内圧評価値の概念図

## (7) まとめ

以上のとおりの計算を行い、被告は、本件 MOX 燃料について「燃料棒内圧評価値」(19.5MPa)が「燃料棒内圧設計基準値」(19.7MPa)を下回り、ギャップ再開が生じないことを確認した【乙 B20-9 輸入燃料体検査申請書添付書類二 /2-50頁】(図10「本件 MOX 燃料の燃料棒内圧評価結果」)。

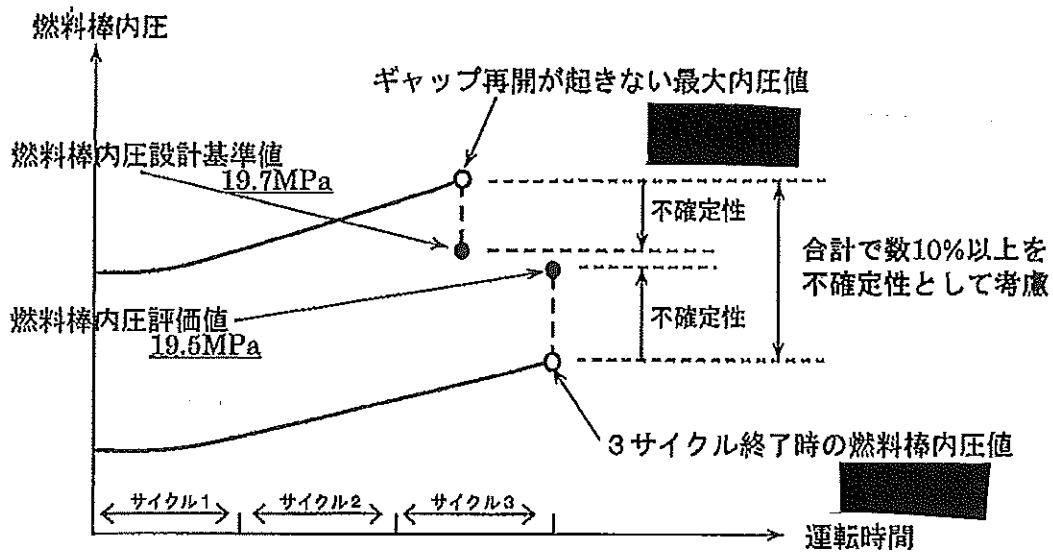


図10 本件 MOX 燃料の燃料棒内圧評価結果

第2 求釈明事項1(3)及び(4)について

<求釈明事項>

- (3) 「図3-3(2)MOX及び二酸化ウランペレットの密度変化」によれば、各燃焼度に応じた個々のMOX及び二酸化ウランペレットの密度が明らかになっているので、そこからMOX及び二酸化ウランペレットの密度変化率を求めることが可能とも考えられますが、この点について被告はどのように考えているのか、具体的に説明して下さい。
- (4) 仮に「図3-3(2)MOX及び二酸化ウランペレットの密度変化」におけるデータを前提とした場合、原告ら主張のウラン密度及びMOX密度の計算式を導くことができるのかどうかについて、被告の考えを説明して下さい。

<回答>

1 求釈明事項1(3)について

- (1) 「密度変化率」を求められないこと

図3-3(2)からは「密度変化率」は求めることはできない。

「密度変化率」を求めるには、同一のペレット（ないし同一仕様のペレット）について、ある時点での密度の値と別の時点での密度の値が必要である。ある時点での密度の値と別の時点での密度の値を比較して、その「変化」の割合を求めるものだからである。

図3-3(2)における各プロットが全て同一のペレット（ないし同一仕様のペレット）についてのデータであれば、図3-3(2)はまさに密度の「変化」を示すものとして、「密度変化率」を求めることができるが、図3-3(2)における各プロットについては、図3-3(2)の基となった文献によって、各プロットの仕様について一切言及されておらず、同一のペレット（ないし同一仕様のペレット）のデータであることを裏付けるものが一切存せず、「密度変化率」を求めることはできない。

## (2) 原告の主張は成り立たないこと

原告らは、図3-3(2)から求めた「密度変化率」をもとに「MOXペレットの膨張速度」を求めた上で、定量的評価を行って、運転終了の7日前に約19.2MPaでギャップ再開が起こるとの旨を主張している。

この点、原告らが主張するような定量的評価を行うには、精緻・正確な膨張速度が必要であり、当然のことながら、その前提としては精緻・正確な密度変化率が必要である。原告らが言う「密度変化率」が密度変化率たりえないことは上記(1)で述べたとおりであるが、仮に図3-3(2)における各プロットが全て同一のペレット（ないし同一仕様のペレット）についてのデータであり、図3-3(2)から一応の「密度変化率」が読み取れると仮定しても、統計データには当然「ばらつき」が伴うのであり、この「ばらつき」を何ら考慮していない原告らの「密度変化率」は、精緻・正確な密度変化率とは程遠い。

また、ペレットの密度（体積）の変化の仕方は、燃焼前（初期）の燃料ペレットの仕様や、燃料が辿った出力履歴といった照射条件によっても異なるのであり、MOXペレットについて、仕様や照射条件と無関係に一般的に共通する「密度変化率」が存在するわけではない。従って、図3-3(2)から一応の「密度変化率」が読み取れると仮定

しても、当該「密度変化率」は、あくまでも当該 MOX ペレットについて、当該照射条件のもとで示した数値に過ぎず、これを仕様や照射条件の異なる別の MOX ペレットに適用することなどできない。原告らの主張は、図 3-3 (2) から読み取った「密度変化率」について、仕様も照射条件も同一とは限らない本件 MOX 燃料に適用するものであり、極めて不合理な立論である。

## 2 求釈明事項 1 (4) について

図 3-3 (2) のグラフのプロットをもとに、数学的に最小二乗法により近似式を求めた場合には、原告ら主張のような計算式が導かれることは争わない。

ただし、上記 1 (1) で述べたとおり、図 3-3 (2) から「密度変化率」は求めることはできず、原告ら主張の計算式は、「ウラン密度及び MOX 密度」の計算式としては意味がない。

## 第 3 求釈明事項 1 (5) について

### <求釈明事項>

- (5) 原告の主張によるギャップ再開を防止するために、例えば、各運転サイクルを 10 日ずつ短縮したり、あるいは第 3 サイクルの運転期間を 1 か月短縮するというような対応は可能かどうかについて、被告の考えを説明して下さい。

### <回答>

前提として、原子力発電所の運転期間と、燃料棒内圧評価における燃料棒の運転期間（サイクル）は、全く別の概念である。

すなわち、原子力発電所の運転期間については、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」に定められた施設定期検査を受けるべき時期（施設定期検査が終了した日以降十三月を超えない時期）を満足するように設定するものである。

これに対して、燃料棒内圧評価における燃料棒の運転期間（3 サイクル終了時までの運転期間）は、燃料棒の「燃焼度」をもって定めるものであ

り、具体的な「日数」を定めるものではない。

原告らは、燃料棒内圧評価における燃料棒の運転期間（3サイクル終了時までの運転時間）について、ギャップ再開が起きるまでの「日数」を論じているが、「燃焼度」は「日数」に置き換えられるものではない。

仮に、いただいた求釈明の内容を、上記の観点から合理的に捉えなおすと、「燃焼度制限まで運転せずに、原告が主張する程度に早い燃焼度の段階で運転を中止することは可能か」となる。そういった対応も技術的には十分可能であるが、その必要はないと考えている。

従前主張しているように、本件 MOX 燃料の安全性は十分に確認されており、本件 MOX 燃料の内圧は、ギャップ再開が起きる内圧まで高まることはなく、ギャップ再開が起きる危険性はない。また、仮にギャップ再開が生じたとしても、燃料棒の内圧が相当高まらない限りは、ペレットの温度が有意に上昇することはなく、また、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わけではないからである。

以 上