

JAERI - M
89-095

FP挙動評価計算コード:FPRETAINの開発および検証
—照射済燃料からのFP放出と残留FPの分布—

1989年6月

柳澤 和章

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1989

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷(株)

FP挙動評価計算コード：FPRETAINの開発および検証
—照射済燃料からのFP放出と残留FPの分布—

日本原子力研究所東海研究所燃料安全工学部

柳澤 和章

(1989年6月29日受理)

本報は、燃焼度が進んだ燃料棒の挙動—特に燃料中のFPの生成と放出及びその残留量を詳細に追跡するため、NSRRにおいて新たに開発したFP挙動評価計算コード：FPRETAINの開発的検証の結果を報告するものである。検証には、試験炉（ハルデン炉、スタツビック炉及びリソ炉）及び商用炉（敦賀炉及び玄海炉）からの公開データを利用した。得られた知見は以下の通りである。

- (1) 燃料温度の挙動に関しては、燃焼度 20 MWd/kgU までの範囲内で、計算値は実験値と比較的良く一致する。
- (2) 燃料棒内の内圧変化に関しては、燃焼度 20 MWd/kgU までの範囲内で計算値は実験値と比較的良く一致する。
- (3) 長期安定 FP ガスの放出率に関しては、燃焼度 35 MWd/kgU の範囲内で検証した。その結果、NSRR パーンアップ実験で使用を予定している敦賀炉及び玄海炉燃料に関しては、計算結果と実験結果に良い一致がみられた。出力上昇やパンプ試験を行った燃料棒の、特に高燃焼度燃料棒で計算値は実験値よりも過小評価にあった。この原因は、燃料結晶粒径等に燃焼度依存モデルが入っていないためであると判明した。
- (4) 燃焼度 35 MWd/kgU の範囲内で、出力上昇や出力急昇を行った燃料棒の円周歪や円周応力に関し、計算値は実験値と良く一致した。
- (5) 燃料ペレット内半径方向に残留する FP ガスについては、検証に用いた公開データに関する限り、分布形状は実験データと定性的に一致した。一方、定量的には 20 MWd/kgU 以上の燃焼度域では、計算値は過大評価の傾向にあった。

Development and Verification of the FP Behavior
Evaluation Computer Code: FPRETAIN
- Release and Retention of FP from Pre-Irradiated Fuel Rods -

Kazuaki YANAGISAWA

Department of Nuclear Fuel Research
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received June 29, 1989)

This paper describes results of development and verification study by FP behavior evaluation computer code: FPRETAIN, which has been developed to understand the fuel behavior at extended burn-up stages. The birth, the release and the retain process of various kinds of fission products in the fuel pellet and fuel mechanical behavior were modelled in the code.

In this work, open-to-public data obtained from several test reactors (Halden Boiling Water Reactor, Studsvik R2 Reactor and Riso DR-3 Reactor) and from the domestic commercial power reactor were utilized for verification.

Concluding remarks obtained are:

- (1) Regarding fuel centerline temperatures as a function of rod linear power and burn-up, calculation coincided well with experiment up to the burn-ups range of 20 MWd/kgU.
- (2) At burn-ups within 20 MWd/kgU, increased plenum pressures by released Xe and Kr gases were well predicted.
- (3) On release rate of the stable gaseous FP to burn-up range up to 35 MWd/kgU, it was understood that the code was tended to make under-estimation, especially at increased burn-up stages. The code calculation against fuels from domestic reactors, however, resulted in good agreement with post irradiation data.
- (4) Within burn-up ranges up to 35 MWd/kgU, hoop strain calculated by the code coincided well with data obtained from experiment.

- (5) Regarding retained FP gas distribution in a fuel, the calculation agreed with experimental data qualitatively.

Keywords: Developmental Verification, FP, LWR, Performance, Computer Code, FPRETAIN, Pre-irradiated Fuel Rod

目 次

1. はじめに	1
2. 計算コードの開発	2
2.1 コードの概要	2
2.2 計算モデルと計算方法	3
2.3 熱計算用サブモデル	4
3. 計算コードの検証	19
3.1 HBWR 炉データ	19
3.2 R2 炉データ	26
3.3 DR-3 炉データ	27
3.4 敦賀炉データ	27
3.5 玄海炉データ	28
4. 結 言	28
謝 辞	29
参考文献	30
附 録 FPRETAIN インプットとアウトプット	63

Contents

1. Introduction	1
2. Code Development	2
2.1 Outline of the code	2
2.2 Model and method of calculation	3
2.3 Submodels for thermal calculation	4
3. Code Verification	19
3.1 HBWR data	19
3.2 Studsvik R2 data	26
3.3 Riso DR-3 data	27
3.4 Tsuruga reactor data	27
3.5 GENKAI reactor data	28
4. Conclusion	28
Acknowledgment	29
References	30
Appendix Examples of FPRETAIN input and output	63

1. はじめに

NSRR実験では、反応度事故（以下、RIA）時の破損しきい値と機械エネルギー発生しきい値に関する安全裕度を確認するため、これまで未照射燃料をパルス実験に試供して、得られた実験データを整備し、それを安全審査指針⁽¹⁾に反映してきた。NSRR炉は、昭和50年に運開以来、単一パルスと未照射燃料の組み合わせで実験を続けてきたが、昭和60年に開始された炉改造計画により、平成元年度より従来の未照射燃料に加え、照射済燃料も使用が可能となる。照射済燃料の燃料ペレット中には、大量の核分裂生成物（以下、FP）が封じ込められている。また、照射済燃料のガスプレナム部には一部放出された長寿命FPガスが存在している。従来のNSRRで模擬可能な「RIA時」及び炉改造後のNSRRで模擬可能となった「運転時の異常な過渡変化時（以下、異常過渡時）」における燃料挙動研究に関しては、この照射済燃料棒中のFPの挙動も、燃料破損メカニズムの究明に関して重要なものとなる。

燃料ペレット中に生成したFPは、RIA時や異常過渡条件下での、燃料のスウェリング挙動やペレット-被覆管相互作用（以下、PCI）に大きく影響するであろう。一方、パルス照射によって、燃料ペレット温度が急上昇し、それに伴って瞬時に大量のFP放出があれば、それは燃料内ガス圧力の増加に大きく影響するであろう。

燃料ペレット中に残留するFPのうち、これら過渡事象下で燃料挙動に大きく影響を与えるのが、キセノン（Xe）やクリプトン（Kr）のようなFPガス、ヨウ素及びセシウムといった腐食性のFP核種等であろう。すなわち、FPガスは燃料のスウェリングや燃料棒の内圧上昇に大きく寄与するし、ヨウ素やセシウムは、PCI破損の腐食環境の形成に大きく寄与すると考えられる。蒸発温度が184℃と相対的に低いヨウ素を除けば、Xe、Kr及びセシウムといったFPは、照射中の燃料ペレット内で、ある一定の分布をもって残留する傾向にある事が知られている⁽²⁾。このため、照射済燃料によるNSRR実験では、パルス照射を行う前の予備照射済燃料内でのFP残留状況を、正確に把握しておくのが重要である。これは、実験で予測される破損形態が、PCI破損であれ、ふくれによる破裂破損であれ、いずれにしても、燃料挙動に及ぼすFPの影響は少ないと予測されるからである。

実験的にFPガス（XeやKr）の燃料ペレット内分布状態を把握するためには、照射後試験（以下、PIE）に於ける破壊試験：例えば、燃料棒内ガス穿孔試験（ガスパンクチュアリング）や微量燃料採取試験（マイクロドリリング）が有効である。しかし、これらの方法では、得られるデータ数があまり多くないのが難点でもある。実験から得られたデータを有効に活用するため、計算コードを併用するのも、有効な研究手段であろう。このため、実験に併行して、予想されるあらゆる照射条件に対応した燃料ペレット中の残存FP量やその分布状態、さらに燃料からガスプレナム中に放出されるFP核種の量等を予測する計算コード「FPRETAIN」を開発した。当該コードの概要については、2章で記述する。

また、

(1) 燃焼度蓄積後、試験炉にてゆるい過渡出力変化や出力急昇を課せられた燃料棒

(2) 商用炉で定常照射された燃料棒

を対象にして、FPRETAIN コード中に組み込まれたモデリングの妥当性を予備的に評価した結果を、3章で記述する。

なお、一連の評価を予備的评价と称した理由は、FPRETAIN が、通常条件や出力急昇条件のみならず、NSRR でのパルス照射のような異常過渡や事故時の燃料挙動についても評価できる様に、目下開発中のコードのためである。本報は、そのうち、「過渡運転と出力急昇条件」下での燃料挙動に的を絞った、モデリングの説明と検証計算結果の報告という位置付けから、予備的评价とした。

2. 計算コードの開発

FPRETAIN コードは、通常運転時及び過渡時並びに RIA 時における燃料内残留 FP や放出 FP の挙動を詳細に予測する事を主たる目的として、開発中のコードである。現在までに通常運転、出力上昇及び出力急昇条件下での燃料挙動を評価するモデリングの組み込みが終了した。このモデリング内容等について、以下において紹介する。

2.1 コードの概要

コードは、ある照射履歴に対して、燃料棒 1 本の熱的及び力学的な応答を予想するよう設計した。この応答のうち、特に力学的な燃料挙動については、Table 1 に示すように、原研がすでに開発した 1 次元燃料ふるまい解析コード FEMAXI-III⁽³⁾ を参考にした。

熱計算においては、Table 1 に示すように、照射時間及び燃料棒軸方向の任意の箇所に関して、

- (イ) 燃料と被覆管の温度分布
- (ロ) 燃料の熱膨張、スウェリング、焼きしまり、リロケーションに伴う燃料の径方向寸法変化
- (ハ) 熱弾性とクリープ機構に基づく被覆管の径方向寸法変化
- (ニ) 燃料と被覆管間の空隙（ギャップ）及び接触応力
- (ホ) FP ガスの放出、放出されなかった残留 FP ガスの燃料内分布及び燃料棒内の内圧変化

等を考慮するものとした。

一方、力学的計算においては、照射時間及び燃料棒軸方向の代表的 1 ケ所に関して、次に述べる機構を考慮した、燃料と被覆管の応力及び歪状態の計算を行うこととした。すなわち、弾塑性変形、クリープ、熱膨張、燃料の割れとヒーリング、リロケーションとつぶみ型の変形、焼きしまりとスウェリング、ホットプレッシング、力学的な相互作用、ガスによる内圧力及び冷却材による外圧力である。

(2) 商用炉で定常照射された燃料棒

を対象にして、FPRETAIN コード中に組み込まれたモデリングの妥当性を予備的に評価した結果を、3章で記述する。

なお、一連の評価を予備的评价と称した理由は、FPRETAIN が、通常条件や出力急昇条件のみならず、NSRR でのパルス照射のような異常過渡や事故時の燃料挙動についても評価できる様に、目下開発中のコードのためである。本報は、そのうち、「過渡運転と出力急昇条件」下での燃料挙動に的を絞った、モデリングの説明と検証計算結果の報告という位置付けから、予備的评价とした。

2. 計算コードの開発

FPRETAIN コードは、通常運転時及び過渡時並びに RIA 時における燃料内残留 FP や放出 FP の挙動を詳細に予測する事を主たる目的として、開発中のコードである。現在までに通常運転、出力上昇及び出力急昇条件下での燃料挙動を評価するモデリングの組込みが終了した。このモデリング内容等について、以下において紹介する。

2.1 コードの概要

コードは、ある照射履歴に対して、燃料棒 1 本の熱的及び力学的な応答を予想するよう設計した。この応答のうち、特に力学的な燃料挙動については、Table 1 に示すように、原研がすでに開発した 1 次元燃料ふるまい解析コード FEMAXI-III⁽³⁾ を参考にした。

熱計算においては、Table 1 に示すように、照射時間及び燃料棒軸方向の任意の箇所に関して、

- (イ) 燃料と被覆管の温度分布
- (ロ) 燃料の熱膨張、スウェリング、焼きしまり、リロケーションに伴う燃料の径方向寸法変化
- (ハ) 熱弾性とクリープ機構に基づく被覆管の径方向寸法変化
- (ニ) 燃料と被覆管間の空隙（ギャップ）及び接触応力
- (ホ) FP ガスの放出、放出されなかった残留 FP ガスの燃料内分布及び燃料棒内の内圧変化等を考慮するものとした。

一方、力学的計算においては、照射時間及び燃料棒軸方向の代表的 1 ケ所に関して、次に述べる機構を考慮した、燃料と被覆管の応力及び歪状態の計算を行うこととした。すなわち、弾塑性変形、クリープ、熱膨張、燃料の割れとヒーリング、リロケーションとつづみ型の変形、焼きしまりとスウェリング、ホットプレッシング、力学的な相互作用、ガスによる内圧力及び冷却材による外圧力である。

2.2 計算モデルと計算方法

(a) 計算コード

計算コードにて取扱うことのできる基本的な燃料棒の構造は、 UO_2 ペレットをジルカロイ合金にて被覆した、発電用軽水型棒状燃料の仕様を有するものである。燃料棒内部には、径方向ギャップ及び上部ガスプレナムが含まれ、燃料棒外側では冷却材が上流に向かって、自然に又は強制的に流れるものとする。

巻末に示す附録の計算例でも分かるように、入力データとして、燃料ペレットの幾何形状と製造特性（例：中実や中空形状、ディッシュ付ペレットやチャンファー付ペレット形状、初期製造密度等）の他、被覆材の製造特性（例：応力除去材や完全焼鈍材、製造時寸法等）も考慮している。

さらに、燃料棒内に充填するガスの組成（例：ヘリウム、窒素、キセノンやクリプトン）と圧力を考慮する他、照射条件（BWR, PWR, HBWRといった炉型、燃焼度、冷却材圧力、冷却材温度、中性子束、軸方向の出力分布等）も考慮されている。

計算対象の単一の棒状燃料では、熱計算の場合、燃料棒を軸方向に最大12個まで分別する。一方、径方向に関しては、燃料ペレットを10個の同心リングに分割し、被覆管は単一リングに分割して、計算を実行する。

力学的計算の場合、Fig. 1⁽⁴⁾ に示すように、熱計算用に設定した任意の軸方向分割点のうち、1ヶ所だけを選定して計算を行う。計算では、計算対象となっている燃料部分を二次元的に軸対称とし、かつ平面对象も同時に仮定して、例えば、燃料ペレットの半分だけで計算を実行するようになっている。

Fig. 2⁽⁴⁾ から分かるように、燃料ペレットと被覆管は、連続構造体として取扱う。すなわち、燃料棒は数ヶ所にノード点を持つ連続的な梁構造^(5,6) とし、各ノードにおいて剛性方程式を立て、構造体に加わる力と変位を計算するものとする。これら、連続構造体には、当然、境界条件が付随するが、それは参考とした FEMAXI-III⁽³⁾ に十分に説明がなされているので、ここでは説明を省略する。

(b) 計算方法

FPRETAIN計算に関する、基本的な計算フローチャートを、Fig. 3に示す。全体は上半分の熱計算と下半分の力学的計算より構成されている。

照射履歴に基づいて時間ステップを決めたのち、まず、燃料と被覆管の径方向温度分布を一次元モデルにより求め、燃料と被覆材の各ノード点での境界温度が、リロケーションを考慮しつつ求められる。温度分布が決まればそこの平均温度を用いて、各要素中の熱膨張、スウェリング、焼きしまり、FPガス放出等が求められる。被覆管の熱膨張と中性子束による加速クリープも同時に計算される。

これら計算を、軸方向に設定した全ての分割ノードについて繰り返したのち、燃料棒としてのFPガス放出率を拡散機構に基づいて計算する。また、燃料棒内圧力やガス組成等も変化するので、これについても計算する。同時に、燃料ペレット中に残存するキセノン(Xe)やクリプトン(Kr)ガス等の重量等も計算する。熱伝導特性の悪いXeやKrガスと初期充填されたHeガス

との混合過程については、実際には拡散混合で時間がかかると思われるが、コード上では瞬時混合を仮定する。

燃料棒内ギャップや接触圧力及びギャップコンダクタンス等を続いで計算したのち、ある一定の収束条件が満たされるまで、これら一連の計算が続行される。力学的計算は、FPRETAINではオプション扱いとなっている。力学的計算では、温度分布と内圧に関する熱計算結果を引用しつつ、軸方向に設定した特定1ヶ所における二次元の力学的計算が実行できるようにした。

力学的計算では、非線形方程式を解く一手法として知られるNewton-Raphson⁽³⁾を用いて、対象とした位置における各ノードの応力と歪を求めていく。この計算では、弾塑性、クリープ、熱膨張、燃料の割れと割れのゆ着、リロケーション、焼きしまり、スウェリング、ホットプレッシング、発熱量分布等の計算モデルが組み込まれている。

2.3 熱計算用サブモデル

FPRETAINの熱計算用に組み込まれた重要なサブモデルについて、以下で説明を行う。一般的には、ユーザーに対していくつかのオプションが準備され、使用目的に従ってユーザーがそれを選択できるようにもなっている。そのオプションの内容等詳細については、附録で説明した。

熱計算で設定した仮定は、以下の通りである。

- 円周及び軸方向の熱伝達は、無視するものとする。
- 繰り返し手法を用いて、各タイムステップにおける定常的熱計算を実施するものとする。
- 放出されたFPガスは、初期充填ガスと瞬時混合するものとする。
- 冷却材は、軸方向に温度分布をもたず、一定とする。
- リロケーション、焼きしまり、スウェリング等については、炉内実験等から得られたデータに基づいて作成した経験モデルを使用するものとする。
- リロケーションに対しては、燃焼度及び出力サイクル等の影響は及ばないものとする。
- 燃料と被覆の接触圧に対しては、それらのクリープ効果を考慮しないものとする。

2.3.1 熱伝達モデル

(1) 冷却材と被覆管間の熱伝達

被覆管外表面温度は、(1)式で与えられる。

$$T_{CO} = T_W + \frac{q'}{2\pi r_{CO} h_C} \quad (1)$$

ここに、

T_{CO} : 被覆管外表面温度 [K]

T_W : 冷却材温度 [K]

q' : 線出力密度 [W/cm]

r_{CO} : 被覆管の半径 [cm]

h_C : 被覆管と冷却材間の熱伝達係数 [W/cm²・K]

である。

冷却材条件は、炉型（BWR と PWR）によって異なるが、これは入力によって判定させる。BWR のような、核沸騰のある場合には、熱伝達係数は、Jens-Lottes の相関式⁽⁷⁾により、(2)式で定める。

$$h_{C,NB} = 0.1263 \exp\left(\frac{P_W}{6.201 \times 10^6}\right) \cdot q''^{0.75} \quad (2)$$

ただし、 $q'' = q' / 2\pi r_{CO}$ であり、

$h_{C,NB}$: 核沸騰条件に対する被覆管と冷却材間の熱伝達係数 [W/cm²・K]

P_W : 冷却材圧力 [Pa]

q'' : 熱流束 [W/cm²]

である。

冷却材条件が、PWR のような強制対流条件にある場合の、熱伝達係数は Dittus-Boelter の相関式⁽⁸⁾により、(3)式で定まる。

$$h_{C,FC} = 0.023 \frac{k_W}{D_e} \left(\frac{D_e v \rho}{\mu}\right)^{0.8} \cdot (Pr)^{0.4} \quad (3)$$

ここに、

$h_{C,FC}$: 強制対流条件に対する被覆管と冷却材間の熱伝達係数 [Btu/hr・ft²・°F]

k_W : 冷却材の熱伝導率 [Btu/hr・ft²・°F]

D_e : 水力学的等価直径 [in]

v : 冷却材速度 [ft/s]

ρ : 冷却材密度 [lb/ft³]

μ : 冷却軽水の粘性度 [lb/ft・s]

Pr : プラントル数, $Pr = c_p \cdot \mu / k$

c_p : 定圧比熱 [Btu/lb・°F]

である。

(2) 被覆管における温度分布

被覆管の横断面に対して、(4)式に示す一次元積分熱伝導度を用いて、半径 r における温度を計算する。

$$\int_{T_{CO}}^T k_c dT = \frac{q'}{2\pi} \ln\left(\frac{r_{CO}}{r}\right) \quad (4)$$

ここに、

T : 半径 r における被覆管温度 [K]

k_c : 被覆管の熱伝導度 [W/(cm・K)]

r : 半径 [cm]

である。

また、ジルカロイ合金の熱伝導度は(5)式⁽⁹⁾を用いて計算する。

$$k_c = 7.51 + 2.09 \times 10^{-2} T - 1.45 \times 10^{-5} T^2 + 7.67 \times 10^{-9} T^3 \quad (5)$$

ここに、

k_c : ジルカロイの熱伝導度 [W/(m・K)]

T : 温度 [K]

である。

(3) 燃料と被覆管の熱伝達

燃料と被覆管の熱伝達係数は、修正 Ross and Stoute モデル⁽¹⁰⁾を用いて、(6)式で定められる。

$$h_{gap} = h_g + h_s + h_r, \quad (6)$$

ここに、

h_{gap} : 燃料と被覆管の熱伝達係数 [W / (cm² · K)]

h_g : ガスギャップの熱伝達係数 [W / (cm² · K)]

h_s : 固体間の接触による熱伝達係数 [W / (cm² · K)]

h_r : 放射による熱伝達係数 [W / (cm² · K)]

である。

以下、上記の各項目について、説明を行う。

(a) ギャップガスの熱伝達係数 h_g

h_g の値は、(7)式で定める。

$$h_g = \frac{k_{gas}}{C (R_{eff} + R_2) + (g_1 + g_2) + \delta} \quad (7)$$

ここで、

k_{gas} : ギャップ中の混合ガスに対する熱伝導率 [W / (cm · K)]

C : 定数

R_{eff} : 燃料の有効表面粗さ [cm]

R_2 : 燃料の表面粗さ [cm]

g_1 : 燃料表面におけるガスの平均的な温度ギャップ距離 [cm]

g_2 : 被覆表面におけるガスの平均的な温度ギャップ距離 [cm]

δ : 半径ギャップ [cm]

である。

混合ガスに対する熱伝導率 k_{gas} は、MATPRO-09モデル⁽⁹⁾を用いて、(8)式で定める。

$$k_{gas} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_i}{1 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \phi_{ij} \frac{\chi_j}{\chi_i}} \right) \quad (8)$$

ただし、

$$\phi_{ij} = \phi_{ij} \left[1 + 2.41 \frac{(M_i - M_j) (M_i - 0.142 M_j)}{(M_i + M_j)^2} \right] \quad (9)$$

$$\phi_{ij} = \frac{\left[1 + \left(\frac{k_i}{k_j} \right)^{1/2} \left(\frac{M_i}{M_j} \right)^{1/4} \right]^2}{2^{3/2} \left(1 + \frac{M_i}{M_j} \right)^{1/2}} \quad (10)$$

であり、

- n : 混合ガス中のガス成分数
 $i \& j$: ガスの核種
 M_i : ガス核種 i のモル重量
 x_i : ガス核種 i のモル分率
 k_i : ガス核種 i の熱伝導率 [W / (cm · K)]

である。

混合ガスの成分として、ヘリウム (He)、キセノン (Xe)、クリプトン (Kr) 及び窒素 (N_2) の4核種を考慮したが、それぞれの熱伝導率は、以下で定めた。

$$k_{He} = 3.366 \times 10^{-5} T^{0.668}, \quad (11)$$

$$k_{Xe} = 4.0288 \times 10^{-7} T^{0.872}, \quad (12)$$

$$k_{Kr} = 4.726 \times 10^{-6} T^{0.923}, \quad (13)$$

$$k_{N_2} = 2.091 \times 10^{-6} T^{0.846}, \quad (14)$$

ここに、

- k : 熱伝導率 [W / (cm · K)]
 T : 温度 [K]

である。

式(7)中の定数 C の値は、(15)式で定められる。

$$C = 2.77 - 2.55 \times 10^{-8} \cdot P_c, \quad (15)$$

ここに、 P_c は接触圧力 [Pa] であり、 C の最小値は1である。

修正 Ross & Stoute 式では、燃料表面粗さ R_1 のかわりに、炉内ギャップコンダクタンス測定から得られた、燃料中心温度から評価した有効表面粗さを使用している。その推定値は約 4×10^{-4} cm 程度である。燃料製造時に測定される燃料表面粗さは約 1×10^{-4} cm 程度であるから、約4倍程大きい。すなわち、修正 Ross & Stoute 式では、燃料と被覆管内面は、より接触状態が悪くなったような仮定がなされている。

$(g_1 + g_2)$ の値は、各々のガス核種 i に対する $(g_1 + g_2)_i$ の値、すなわち、 $(g_1 + g_2)_i$ の総和であり、(16)式で定められる。

$$g_1 + g_2 = \sum_{i=1}^n (g_1 + g_2)_i \cdot x_i \cdot \frac{10^5}{P_{gas}}, \quad (16)$$

ここで、

- $(g_1 + g_2)_i$: ガス核種 i の温度-ギャップ距離 [cm]
 x_i : ガス核種 i のモル分率
 P_{gas} : 内圧 [Pa]

である。

0.1 MPa のガス圧力に対する、 $(g_1 + g_2)_i$ の平均値は、

ヘリウムに対して : 10×10^{-4} cm

キセノンに対して : 10×10^{-4} cm

クリプトンに対して : 10×10^{-4} cm

窒素に対して $10 \times 10^{-4} \text{ cm}$
 で与えられる。

(b) 固体間接触に対する熱伝達係数 h_s

h_s の値は、(17)式で定まる。

$$h_s = \frac{k_m \cdot P_c}{0.5 \cdot R^{1/2} \cdot H}, \quad (17)$$

ただし、

$$H = \exp(2.6034 \times 10 - 2.6394 \times 10^{-2} T_{ci} + 4.3502 \times 10^{-5} T_{ci}^2 + 2.5621 \times 10^{-8} T_{ci}^3),$$

ここに、

k_m : 燃料と被覆管の平均熱伝導率 [W / (cm · K)]

R : 燃料と被覆管の表面粗さの根号平均 [cm]

H : 被覆管のメイヤ硬度 [Pa]

T_{ic} : 被覆管の内面温度 [K]

である。

k_m 及び R の値は、(18) 及び (19) 式で定まる。

$$k_m = \frac{2(k_1 \cdot k_2)}{k_1 + k_2}, \quad (18)$$

$$R = \left(\frac{R_{eff}^2 + R_2^2}{2} \right)^{1/2}, \quad (19)$$

ここに、

k_1 : 燃料の熱伝導率 [W / (cm · K)]

k_2 : 被覆管の熱伝導率 [W / (cm · K)]

である。

(c) 放射による熱伝達係数 h_r

h_r の値は、(20)式で定まる。

$$h_r = \frac{\sigma}{\frac{1}{e_1} + \frac{1}{e_2} - 1} \cdot \frac{T_1^4 - T_2^4}{T_1 - T_2} \quad (20)$$

ここに、

e_1 : 燃料外表面の放射能

e_2 : 被覆内表面の放射能

σ : ステファン-ボルツマン定数 = 5.67×10^{-12} [W / (cm² · K⁴)]

T_1 : 燃料外表面温度 [K]

T_2 : 燃料内表面温度 [K]

である。

文献(9)によれば、燃料の放射能は(21)式で、また、被覆表面のジルコニウム酸化層の放射能は(22)式で定まる。

$$\left. \begin{aligned} T_1 < 1000 \text{ K}, e_1 &= 0.8707, \\ 1000 \text{ K} \leq T_1 \leq 2050 \text{ K}, e_1 &= 1.311 - 4.404 \times 10^{-4} \cdot T_1, \\ T_1 > 2050 \text{ K}, e_1 &= 0.4083 \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

$$e_2 = 0.74 \quad (22)$$

(4) 燃料中の熱発生率

燃料中の中性子束減衰は、(23)式⁽¹¹⁾で与えられる。

$$\Psi(r) = \Psi_0 \left(I_0(\kappa \cdot r) + \frac{I_1(\kappa \cdot r_{fi})}{K_1(\kappa \cdot r_{fi})} K_0(\kappa \cdot r) \right), \quad (23)$$

ここに、

- Ψ : 熱中性子束 [n / (sec · cm²)]
- r : r 座標 [cm]
- I_0, K_0 : 0 次の修正ベッセル関数
- I_1, K_1 : 1 次の修正ベッセル関数
- κ : 燃料中の中性子拡散長さの逆数 [cm⁻¹]
- r_{fi} : 燃料の内半径 [cm]

である。

逆拡散長 κ の値は、(24)式で定まる。

$$\kappa = 0.328 (e \cdot f_d)^{0.8} + \left(0.54 \frac{0.5}{r_{f0}} \right)^{0.82} \cdot (e \cdot f_d)^{0.19} \quad (24)$$

ここに、

- e : ²³⁵U の濃縮度 [%]
- f_d : 理論密度 [-]
- f_{f0} : 燃料の外半径 [cm]

である。

式(23)で示した中性子減衰率は、次式(25)で近似した。

$$\Psi(r) = \Psi_0 \left[\frac{(b+2)(1-\bar{r}_1^2) \{ (1-a)\bar{r}^b + (a-\bar{r}_1^b) \}}{b(1-\bar{r}_1^2)(a-\bar{r}_1^b) + 2(1-\bar{r}_1^b)(1-a\bar{r}_1^2)} \right] \quad (25)$$

ここで、

- a : 内外表面における熱発生率の比 [-]
- b : 熱発生率分布関数の度数 = 2
- \bar{r}_1 : 規格化した燃料内面半径 = r_{fi} / r_{f0}
- \bar{r} : 規格化した燃料半径 = r / r_{f0}

である。

パラメータ a の値は、(26)式にて定める。

$$a = \frac{\Psi(r_{fi})}{\Psi(r_{f0})} \quad (26)$$

熱発生率は中性子束に比例するから、単位体積当りの熱発生率は(27)式で定まる。

$$q''(r) = q_0 \left[\frac{(b+2)(1-\bar{r}_1^2)\{(1-a)\bar{r}^b + (a-\bar{r}_1^b)\}}{b(1-\bar{r}_1^2)(a-\bar{r}_1^b) + 2(1-\bar{r}_1^b)(1-a\bar{r}_1^2)} \right] \quad (27)$$

ただし、

$$q_0 = \frac{q'}{\pi(r_{f0}^2 - r_{fi}^2)} \quad (28)$$

ここに、 q'' は単位体積当りの熱発生率 [W/cm³] である。

(5) 燃料中の温度分布

燃料と被覆管間のギャップにおける温度降下は、(29)式で定まる。

$$T_{f0} = T_{ci} + \frac{q'}{2\pi r_{f0} h_{gap}} \quad (29)$$

ここで、

- T_{f0} : 燃料の外表面温度 [K]
- T_{ci} : 被覆管内表面温度 [K]
- q' : 線出力密度 [W/cm]
- r_{f0} : 燃料の外半径 [cm]
- h_{gap} : ギャップ熱伝達係数 [W/(cm²・K)]

である。

燃料全体に対する一次元の積分熱伝導率は(30)式で定まる。

$$\int_{T_{f0}}^T k_f dT = \int_r^{r_{f0}} \frac{1}{r} \left[\int_{r_{fi}}^r r \cdot q''(r) dr \right] dr \quad (30)$$

ここに、

- T : 半径 r における燃料温度 [K]
- k_f : 燃料の熱伝導率 [W/(cm・K)]
- r : 半径 [cm]
- q : 単位体積当りの熱発生率 [W/cm³]

(27)式を(30)式に代入すると、

$$\int_{T_{f0}}^T k_f dT = \frac{q'}{4\pi} \cdot F(\bar{r}), \quad (31)$$

を得る。

ここに、

$$F(\bar{r}) = \left\{ \frac{4(1-a)(1-\bar{r}^{b+2})}{(b+2)^2} + (a-\bar{r}_1^b)(1-\bar{r}^2) + 4\left(\frac{1-a}{b+2} \bar{r}_1^{b+2} + \frac{a-\bar{r}_1^b}{2} \cdot \bar{r}_1^2 \right) \ln \bar{r} \right\} \\ \left/ \left\{ \frac{b+2}{b(1-\bar{r}_1^2)(a-\bar{r}_1^b) + 2(1-\bar{r}_1^b)(1-a\bar{r}_1^2)} \right\} \right. \quad (32)$$

であり、

- \bar{r} : 規格化半径 = r / r_{f0}
- \bar{r}_1 : 燃料内表面の規格化半径 = r_{fi} / r_{f0}

である。

計算時には、燃料を幾つかの要素に分割しているが、各要素間の境界温度は、最外端から順に(31)式を使って求められる。

UO₂ 燃料の熱伝導率は、温度と気孔率の関数として、以下の式⁽⁹⁾で評価される。

0 °C < T ≤ 1650 °C の温度範囲では、

$$k_f = \frac{[1 - \beta(1 - f_d)]}{[1 - \beta(1 - 0.95)]} \left[\frac{K_1}{K_2 + T} + K_3 \exp(K_4 T) \right] \quad (33)$$

1650 °C ≤ T < 2840 °C の温度範囲では、

$$k_f = \frac{[1 - \beta(1 - f_d)]}{[1 - \beta(1 - 0.95)]} [K_5 + K_3 \exp(K_4 T)] \quad (34)$$

ここに、

- k_f : 燃料の熱伝導率 [W / (cm · K)]
- f_d : 理論密度比
- β : 気孔率係数 = 2.58 - 0.58 × 10⁻³ T
- T : 燃料温度 [°C]

である。

定数 K₁ から K₅ の値は、(35)式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= 40.4 \\ K_2 &= 464 \\ K_3 &= 1.216 \times 10^{-4} \\ K_4 &= 1.867 \times 10^3 \\ K_5 &= 0.0191 \end{aligned} \right\} \quad (35)$$

2.3.2 ギャップ閉塞モデル

燃料のギャップ閉塞に影響を与える因子として、燃料の熱膨張、燃料のリロケーション、焼きしまりとスウェリング並びに被覆管の熱膨張及び被覆管の弾性変形とクリープ変形がある。

燃料と被覆管の半径方向変位については、熱的計算と力学的計算で、独立に算定を行う方法を採用した。すなわち、相対的であるが、熱的計算でのギャップ量評価は、力学的計算でのギャップ量評価よりも、より単純化されている。

また、計算に当たって、以下の仮定を設定した。

- 熱膨張、リロケーション、焼きしまり並びにガス及び固体スウェリングで生じる燃料の径方向変位は、対象要素の自由膨張モデルで計算する。
- 燃料は等方的に膨張する。
- 熱膨張とクリープによる被覆管の径方向変位は、薄肉円筒理論に基づくものとする。
- 内外圧による被覆管の弾性変形は、厚肉円筒理論に基づくものとする。
- ギャップ閉塞後は、燃料のボンディングを仮定する。すなわち、燃料と被覆管間には、すべりが発生しないものとする。
- 接触後、燃料は剛体として挙動するとして、燃料の塑性とクリープは、考慮しないものとする。
- 核分裂ガスによるスウェリングは、接触圧には何ら寄与しないものとする。

—燃料の膨張による接触が起こったあとは、被覆管は弾性変形するものとする。燃料と被覆管の相互作用で発生した応力に起因する塑性及びクリープ変形は、考慮しないものとする。

(1) 燃料のリロケーションモデル

リロケーションによる燃料の径方向変位量は、(36)式で定められる。

$$u^{rel} = \alpha \delta_0 \quad (36)$$

ここで、

u^{rel} : リロケーションによる径方向変位 [cm]

α : リロケーションパラメータ

δ_0 : 製造時の半径ギャップ [cm]

α の値は、炉内燃料温度測定に関する経験則に基づいて、熱的計算では0.3また力学的計算では0.5とした。

(2) 焼きしまりモデル

燃焼度に依存した焼きしまり（燃料の体積収縮率）は、(37)式で定める。

$$\left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)^d = \frac{\Delta V_{max}}{V_0} \left[1 - \exp\left(-2.3025 \frac{BU}{SBU}\right) \right], \quad (37)$$

ここに、

$\left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)^d$: 焼きしまりによる燃料の体積変化率

V_0 : 燃料の初期自由体積 [m³]

ΔV_{max} : 気孔の最大体積変化量（炉外再焼結実験等から求められる値（入力値））

BU : 燃焼度 [MWd/tUO₂]

SBU : 最大焼きしまりが生じる燃焼度（入力値） [MWd/tUO₂]

(3) 燃料スウェリングモデル

固体状の核分裂生成物（FP）によるスウェリング率⁽⁹⁾は(38)式で定める。

$$\left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)^{ss} \text{ per } 10^{20} \text{ fission/cm}^3 = 0.0025 \quad (38)$$

ここに、 $\left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)^{gs}$ は、固体状FPのスウェリングで生じる体積変化率である。

ガス状FPに起因するスウェリングは⁽¹²⁻¹³⁾、(39)式で定める。

$$\left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)^{gs} \text{ per } 10^{20} \text{ fission/cm}^3 = 4.396 \times 10^2 \exp\left(-\frac{1.645 \times 10^4}{T_s}\right) \quad (39)$$

ただし、

$$T_s = T - 100$$

ここに、

$\left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)^{gs}$: ガス状FPによる体積変化率

T : 温度 [K]

である。

(4) 燃料の熱膨張

燃料の熱膨張は、温度の関数として、(40)式で定める。

$$\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)_f^{\text{th}} = -4.972 \times 10^{-4} + 7.107 \times 10^{-6} T + 2.581 \times 10^{-9} T^2 + 1.140 \times 10^{-13} T^3, \quad (40)$$

ここに、

$$\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)_f^{\text{th}} : \text{燃料の熱膨張率}$$

$$l_0 : \text{初期燃料長 [cm]}$$

$$T : \text{温度 [} ^\circ\text{C]}$$

である。

(5) 燃料の径方向変位

熱膨張、リロケーション、焼きしまり並びに固体及びガス状FPで生ずるスウェリングに起因する、燃料の径方向変位は、(41)式で定める各々の要素における変位を、総和したものとする。

$$u_f = u^{\text{rel}} + \sum_{i=1}^m \left[\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)_{f,i}^{\text{th}} + \frac{1}{3} \left\{ \left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)_i^{\text{d}} + \left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)_i^{\text{ss}} + \left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)_i^{\text{gs}} \right\} \right] \Delta r_i, \quad (41)$$

ここに、

$$u_f : \text{燃料の径方向変位 [cm]}$$

$$u^{\text{rel}} : \text{リロケーションによる径方向変位 [cm]}$$

$$m : \text{同心円要素 (リング) の数}$$

$$\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)_{f,i}^{\text{th}} : \text{i 番目の同心円リングの線膨張率}$$

$$\left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)_i^{\text{d}} : \text{i 番目の同心円の焼きしまりによる体積歪}$$

$$\left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)_i^{\text{ss}} : \text{i 番目の同心円の固体状FPによるスウェリングに起因した体積歪}$$

$$\left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)_i^{\text{gs}} : \text{i 番目の同心円のガス状FPによるスウェリングに起因した体積歪}$$

$$\Delta r_i : \text{i 番目のリングの幅 [cm]}$$

である。

(6) 被覆管の熱膨張

被覆管の軸方向熱膨張は、温度の関数として⁽⁹⁾、(42)式で定める。

$$\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)_c^{\text{th}} = -2.506 \times 10^{-5} + 4.441 \times 10^{-6} T \quad (42)$$

ここに、

$$\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)_c^{\text{th}} : \text{被覆管の軸方向熱膨張率}$$

$$T : \text{温度 [} ^\circ\text{C]}$$

である。

被覆管の径方向熱膨張は、温度の関数として⁽⁹⁾、(43)式で定める。

$$\left(\frac{\Delta D}{D_0}\right)_c^{\text{th}} = -2.373 \times 10^{-4} + 6.721 \times 10^{-6} T \quad (43)$$

ただし、 $27^\circ\text{C} < T < 800^\circ\text{C}$ であり、

$\left(\frac{\Delta D}{D_0}\right)_c^{\text{th}}$: 被覆管の径方向熱膨張率

D_0 : 初期被覆管直径 [cm]

T : 温度 [$^\circ\text{C}$]

である。

(7) 被覆管クリープ

熱計算に用いるクリープ式は、炉内クリープデータから作成した(44)式により、燃焼度等の関数として定める。

$$u_c^{\text{creep}} = \frac{C \times 10^{-10}}{3.0513} \cdot \frac{r_{co} (P_w - P_{\text{gas}})}{(r_{co} - r_{ci})} \sqrt{\text{BU} \times 10^{-3}} \cdot \left(\frac{r_{co} + r_{ci}}{2} \right), \quad (44)$$

ただし、

焼鈍した被覆管に対しては、 $C = 0.50$ を、また、応力除去した被覆管に対しては、 $C = 0.75$ を用いる。また、

u_c^{creep} : クリープによる被覆管の径方向変位 [cm]

r_{co} : 被覆管の外半径 [cm]

r_{ci} : 被覆管の内半径 [cm]

P_w : 冷却材圧力 [P_a]

P_{gas} : 内圧 [P_a]

BU : 燃焼度 [MWd/tUO_2]

とする。

(8) 被覆管の径方向変位

熱膨張、弾性変形及びクリープ変形に起因する、被覆管の径方向変位は、(45)式で定める。

$$u_c = \frac{r_{ci}}{E_c} \left[\frac{P_{\text{gas}} (r_{ci}^2 + r_{co}^2) - 2P_w r_{co}^2}{r_{ci}^2 - r_{co}^2} + \nu_c P_{\text{gas}} \right] + \left(\frac{\Delta D}{D_0}\right)_c^{\text{th}} \cdot \frac{r_{ci} + r_{co}}{2} + u_c^{\text{creep}}, \quad (45)$$

ここに、

u_c : 被覆管の径方向変位 [cm]

E_c : 被覆管のヤング率 [Pa]

r_{ci} : 被覆管の内半径 [cm]

r_{co} : 被覆管の外半径 [cm]

P_{gas} : 内圧 [Pa]

P_w : 冷却材圧力 [Pa]

ν_c : 被覆管のポアソン比

$\left(\frac{\Delta D}{D_0}\right)_c^{th}$: 被覆管の径方向膨張率

u_c^{creep} : クリープによる被覆管の径方向変位 [cm]

である。

(9) ギャップ接触圧力

燃料と被覆管間の半径ギャップは、(46)式で定める。

$$\delta = \delta_0 + u_c - u_f \quad (46)$$

ここに、

δ : 燃料と被覆管間の半径ギャップ [cm]

δ_0 : 製造時の半径ギャップ [cm]

u_c : 被覆管の半径方向変位 [cm]

u_f : 燃料の半径方向変位 [cm]

である。

δ が負になれば、燃料と被覆管は接触したと仮定する。このとき、燃料は剛性体として挙動するという仮定と、接触後の被覆管は弾性変形するという仮定を設けて、以後の変形を計算する。

接触開始後の被覆管の径方向変位は、(47)式で定める。

$$\delta_{fc} = -(\delta_0 + u_c - u_f) \quad (47)$$

ここに、 δ_{fc} は接触後の被覆管の径方向変位とする。

燃料と被覆管間の接触圧力は、(48)式で定める。

$$P_{fc} = \frac{\delta_{fc} \cdot E_c \cdot \Delta r_c}{r_{ci}^2} \quad (48)$$

ここに、

P_{fc} : 燃料と被覆管の接触圧力 [Pa]

δ_{fc} : 接触後の被覆管の径方向変位 [cm]

E_c : 被覆管のヤング率 [Pa]

Δr_c : 被覆管の初期厚さ [cm]

r_{ci} : 被覆管の内径 [cm]

である。

2.3.3 FP 放出モデル

コードでは、現在 X_e , K_r , I , C_s , T_e , B_r , S_r といった7種類のFP核種とそれらの同位体等、合計46のFPについて、取り扱うことが可能であり、将来的には、これ以外の核種についても、取扱う予定である。

(1) FP 生成量

FPの生成量は、経験則に基づいて作成した(49)式で定める。

$$\text{Birth} = \text{Yield} \cdot \text{BU} \cdot w_f \cdot f(\text{BU}) \quad (49)$$

ここに、

- Birth : FP生成量 [cc]
- Yield : 各核種毎に, Table 2の表に示された値⁽¹⁴⁾を引用する。
 ただし, X_e と K_r といった希ガスについて, グロス(両者の総和)のFPガスを定めようとする場合には, Table 3に示された値を引用する。[cc/MWd]
- BU : 蓄積燃焼度 [MWd/kgU]
- w_f : 燃料棒重量 [kgU], コード計算では燃料棒の残留FP重量を求めることが可能である。このときには, 各軸ノード位置における径方向要素(最大10)毎の, 燃料重量が必要になるが, それは次式で求める。
- 径方向要素重量 [kg] = 各軸ノード毎の燃料重量 [kgU] ×
 (2 × 径方向要素番号 - 1) / 100
- f (BU) : プルトニウムの生成による燃焼への寄与率⁽¹⁵⁾であり, Table 4に示された数値を引用する。寄与率の計算法は以下のとおりである。

$$f(\text{BU}) = \frac{{}^{235}\text{U} + {}^{239}\text{Pu} + {}^{241}\text{Pu} \text{ [\% FIMA]}}{235\text{U} \text{ [\% FIMA]}} \quad [-]$$

ただし, 1 % FIMA = 9.3 MWd / kgUとする。

(2) FP放出モデル

Table 2において, 崩壊定数 λ が0(安定核種)のものと0でないものに区別し, それぞれに対して, 放出モデル⁽¹⁶⁾を定める。

(a) 崩壊定数 $\lambda \neq 0$ の場合のFP放出率 F_i

$$F_i = \frac{3}{1 - \exp(-\mu_i \tau_i)} \left[\frac{1}{\sqrt{\mu_i}} \left[\text{erf}(\sqrt{\mu_i \tau_i}) - 2 \sqrt{\mu_i \tau_i} / \pi \exp(-\mu_i \tau_i) \right] - \frac{1 - (1 + \mu_i \tau_i) \exp(-\mu_i \tau_i)}{\mu_i} \right], \quad (\tau_i \leq 0.1 \text{ のとき}) \quad (50)$$

$$F_i = 3 \left[\frac{1}{\sqrt{\mu_i}} \coth(\sqrt{\mu_i}) - \frac{1}{\mu_i} \right] - \frac{6 \mu_i}{\exp(\mu_i \tau_i) - 1} \left(\frac{3}{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - \exp(-n^2 \pi^2 \tau_i)}{n^2 \pi^2 (n^2 \pi^2 + \mu_i)}} \right) \quad (\tau_i > 0.1 \text{ のとき}) \quad (51)$$

(51)式において, $\mu_i \tau_i > 174$ の時は, 以下の式とする。

$$F_i = 3 \left[\frac{1}{\sqrt{\mu_i}} \cdot \coth(\sqrt{\mu_i}) - \frac{1}{\mu_i} \right] \quad (52)$$

ただし,

- μ_i : λ_i / D'
- τ_i : $D' \cdot t$
- D' : 拡散定数であり, $D' = [(D_0 / a^2) \exp(-Q / RT)] \times 100^{\text{BU} / 2800}$
- λ_i : 同位体 i の崩壊定数 [sec^{-1}]
- t : 総照射時間 [sec]
- BU : 時間 t までの蓄積燃焼度 [MWd/tU]
- T : 時間 t における燃料棒内温度 [K]
- D_0 / a^2 : 2.0 [sec^{-1}]

Q : 72300 [cal / mole]
 R : 1.987 [cal / mol · K]

である。

(b) 崩壊定数 $\lambda = 0$ の場合の FP 放出率 F_k

$$F_k = 1 - \left[\sum_{i=1}^{k-1} \{ B_i (\tau_i g_i - \tau_{i+1} g_{i+1}) / D'_i \} \right] + B_k \Delta t_k g_k / \sum_{i=1}^k B_i \Delta t_i \quad (53)$$

ただし,

$\tau_i = \sum_{j=i}^k D'_j \Delta t_j$
 $g_i = g(\tau_i) = 1 - 4\sqrt{\tau_i/\pi} + 3\tau_i/2 ; (\tau_i \leq 0.1)$, または,
 $g_i = g(\tau_i) = \frac{1}{15\tau_i} - \frac{6}{\tau_i} \left(\sum_{n=1}^3 \frac{\exp(-n^2\pi^2\tau_i)}{n^4\pi^4} \right) ; (\tau_i > 0.1)$
 $D'_i = [(D_0/a^2) \exp(-Q/RT_i)] \times 100^{BU_i/28000}$
 Q = 72300 [cal / mol]
 R = 1.987 [cal / mol · K]
 T_i : 時間 t における燃料棒内温度 [K]
 BU_i : 時間 t の蓄積燃焼度 [MWd / tU]
 D_0/a^2 : 2.0 [sec⁻¹]
 k : タイムステップ [-]
 B_i : 時間 t における FP ガス生成率 [-]
 B_k : 時間 k における FP ガス生成率 [-]

である。

(3) FP の生成量, 放出量及び残存量

燃料ペレットからの放出量及び残存量は, (54) 及び(55)式で定める。

$$\text{放出量} = \text{生成量} \times \text{放出率} \quad (54)$$

$$\text{残存量} = \text{生成量} \times (1 - \text{放出量}) \quad (55)$$

生成, 放出及び残存した FP の重量は, (56)式で定める。

$$\text{重量 (mg)} = \frac{\text{生成量 (又は放出量又は保持量) [cc]} \times \text{原子量 [g]}}{22.4 [\ell]} \quad (56)$$

ここに, ガスの理想状態 (0°C, 0.1 MPa) で, 1モルの体積を 22.4 [ℓ] とした。

(4) 照射終了後の短半減期核種 ($\lambda \neq 0$) の残存量

照射終了後, t [sec] 後における核種 ($\lambda \neq 0$) の残存量は, (57) 式で定める。

$$N = N_0 \exp(-\lambda t) \quad (57)$$

ここに,

N_0 : 予備照射終了時の残存量 (100%とする)
 λ : 崩壊定数 [sec⁻¹]
 t : 照射後終了後の経過時間 [sec]

である。

(5) 燃料棒の内圧

理想気体の状態方程式を適用し、プレナム、ギャップ等における平均温度を用いて、燃料棒の内圧を(58)式で定める。

$$P_{gas} = \frac{n_t R T_{av}}{V_{pl} + \sum_{j=1}^m (V_{gap}^j + V_h^j + V_{int}^j)}$$

ただし,

$$T_{av} = \frac{V_{pl} + \sum_{j=1}^m (V_{gas}^j + V_h^j + V_{int}^j)}{\left[\frac{V_{pl}}{T_{pl}} + \sum_{j=1}^m \left(\frac{V_{gap}^j}{T_{gap}} + \frac{V_h^j}{T_{fi}} + \frac{V_{int}^j}{\bar{T}_f} \right) \right]}$$

(58)

ここに,

- P_{gas} : ガス内圧 [P_a]
- T_{au} : ガスの体積平均温度 [K]
- n_t : 燃料棒内のガスのモル総数 [mol]
- R : ガス定数 = 8.314 [J / (K · mol)]
- V_{pl} : プレナム体積 [m^3]
- m : 軸方向ノード数
- j : ノード番号
- V_{gap} : 燃料と被覆管間のギャップ体積 [m^3]
- V_h : 燃料中心孔の体積 [m^3]
- V_{int} : 燃料内ボイド (ディッシュやチャンファによるボイド) 体積 [m^3]
- T_{pl} : プレナム温度 = $T_w + 25$ [K]
- T_w : 冷却材温度 [K]
- T_{fi} : 燃料内温度 [K]
- T_{gap} : 燃料と被覆管間のギャップ温度 = $0.5 (T_{fc} + T_{ci})$ [K]
- T_{fo} : 燃料外面温度 [K]
- T_{ci} : 被覆内面温度 [K]
- \bar{T}_f : 燃料の体積平均温度 [K]

である。

なお、力学的計算は FEMAXI-III が用いている力学的計算手法を踏襲した。その手法については、文献(3)の pp21-45 に、詳細に記述がなされているので、読者はそれを参照されたい。

3. 計算コードの検証

本報で検証の対象とした実験データは、以下に示す公開データ⁽¹⁷⁻³²⁾である。

- (1) ハルデン炉 (HBWR) での実験から得た、燃料温度、燃料棒内圧と FP ガス放出率、燃料ペレット中の FP ガス残留分布データ
- (2) スタツビック炉 (R2) での実験から得た、FP ガス放出率に関するデータ
- (3) リソ炉 (DR-3) での実験から得た、燃料ペレット中の FP ガス残留分布と FP ガス放出率データ

及び

- (4) 我が国の敦賀炉 (BWR), 及び玄海炉 (PWR) で使用された照射済燃料棒の PIE から得た、FP ガス放出率データ

検証計算では、実験から得た燃料棒の照射履歴、製造仕様等を主な入力とした。

以下では、まず上記(1)~(4)の実験の概要について説明を行い、続いて実験データと FPRETAIN 計算との比較を行う。

3.1 HBWR 炉データ

3.1.1 燃料照射実験：実験番号 IFA-508/515

計装付燃料集合体 IFA-508/515⁽¹⁷⁾ は、有効発熱長約 0.42 m の短尺 BWR 型仕様の燃料棒 (濃縮度 10.5 w/o) であり、その燃料外径は約 12.20 mm、ガスプレナム体積は約 6.3 mℓであった。燃料内にヘリウムガス 0.1 MPa が充填された。この燃料棒は、リグと呼ばれる照射容器に装荷され、しかるのち HBWR 炉の照射孔にて長期照射に供された。

この照射実験では、燃料と被覆管間の初期製造直径ギャップ (0.220 mm と 0.100 mm)、被覆管の肉厚 (0.4 mm と 0.6 mm)、燃料ペレットの結晶粒径 (7 μm と 11 μm) 及び燃料ペレットへの添加物 (0.4 w/o SiO₂) 並びに燃焼度が実験パラメータとされた。実験からは、熱的及び力学的な変形ふるまいに関する炉内データが得られた。

Fig. 4 は、供試燃料棒の基本的な構造を示す図であり、Fig. 5 には、燃料棒を照射リグに装荷した様子が示されている。Fig. 6 には、燃料棒に与えられた典型的な出力履歴が示されている。Fig. 6 中(a)は、照射初期 (BOL) に 50 kW/m 程度まで出力上昇実験を行い、その後、線出力レベルを 50 kW/m に保持して燃焼度 40 MWd/kgU まで達した燃料棒に関する出力履歴を示している。一方、Fig. 6 中(b)は、照射末期 (EOL) まで線出力密度 40 kW/m で定常照射後、除荷直前に線出力密度 50 kW/m まで出力上昇実験を行った燃料棒に関する出力履歴である。以下にこれら燃料棒から得られた燃料温度、燃料棒内圧及び FP 放出率実験データと、コードによる検証計算の結果を示す。

(1) 燃料温度

供試燃料棒のうち、直径ギャップだけが互いに異なる 2 本の燃料棒に関して、BOL と EOL

における燃料中心温度炉内データと、FPRETAİNの計算データとの比較を行った。実験データに関しては、燃料内の中性子減衰効果が考慮され、それが線出力密度の値に反映されている。Fig. 7はそれらの結果である。図から、BOLにおける計算値は、線出力密度 50 kW/m までの範囲で、どちらの供試燃料棒に関しても計算値は比較的良く実験値と一致していた。一方 EOLでは、25 kW/m以上の高線出力密度領域で計算値は過小評価の傾向にあることが明らかになった。

(2) 燃料棒内圧とFPガス放出率

供試燃料棒のうち5本の燃料棒に関しては、PIEが実施され、燃料棒ガスプレナム部に存在する長期安定FPガス(XeとKrの同位体ガス等)の圧力及びそれらの燃料ペレットからの放出率が実験的に求められた。実験から得られたデータに関し、計算を実施し、その結果を比較した。その結果を、圧力についてはFig. 8に、又FPガス放出率についてはFig. 9に示す。

Fig. 8から、燃焼度 26 MWd/kgUまでの範囲内で、FPRETAİNは、圧力を±30%の誤差内で予測できたことが分かる。一方、Fig. 9から、長期安定FPガスのXeとKrの放出量に関しては、ギャップ幅が狭い燃料棒では比較的实验値と計算値は良く一致するが、ギャップ幅が広い燃料棒ではあまり良く一致しないものがあったことが分かる。この主たる原因は、燃料棒内の空隙量と燃料温度を予測するモデリングがまだ十分でないであろうと推察される。

(3) 燃料棒の外径変化

IFA-508/515の第3実験は、高線出力密度(40 kW/m)で定常照射された燃料棒に、さらに出力上昇(40から48 kW/mまで約20%の出力上昇)があった場合の、燃料棒の挙動を調べるために実施された。商用炉では、例えば、

- i) 燃料交換後または長期に亘る低出力運転後の再装荷時における炉起動運転、
- ii) 重水炉で行われる原子炉運転中の燃料交換、
- iii) 不注意な制御パターンの交換によって生ずる出力上昇、

等の現象がこれに相当すると言えよう。

実験では、Table 5に示すように、40 kW/mで定出力照射され、平均燃焼度 14 MWd/kgUに達した3本の燃料棒に対し、同時に40 kW/mから48 kW/mまでの出力上昇を課した。この出力上昇時の燃料棒外径は、燃料被覆管表面において180°離れた固定の2点間で燃料棒と軽く接触し、その寸法変化を電気的データとして読みとることができるように工夫された“直径測定ゲージ”を用いて寸法測定された。約42 cmの燃料有効長を往復し、元の位置にゲージが戻って来て直径測定作業を終了するのに、約10分近くが必要である。その間、3 kW/mhの出力上昇率で燃料棒の出力は上昇しているため、ここで言う燃料棒の線出力密度とは直径測定を開始したときの線出力密度と直径測定を終了したときの線出力密度の平均値をとった値である。

Table 5では、3本の燃料棒が示されているが、このうち使用した直径ゲージの感度(直径ゲージ構成材料であるステンレス鋼は、長期照射で放射化し感度が当時相当低下する傾向にあった)が最も良く、信頼性の高いデータがとれた燃料棒29の直径変化データのみを、ここでは計算の対象とした。なお、燃料棒32は、48 kW/mに到達した時点で、ペレット-被覆管相互作用(PCI)により破損した。さらに、燃料棒33の直径ゲージは、長期間の中性子照射によってゲージが放射化され、その感度が極端に低下したため、満足なデータが得られなかった。

Fig. 10 は、実験から得られた燃料棒 29 の直径変化データと FPRETAIN 計算から得られた燃料棒 29 のそれとの比較である。実験データ値は、燃料棒外径の平均ではなく、PCI が局所的に最も厳しくなるペレットとペレットとの境界面における直径データ値を燃料棒全長に亘って選択し、それらの平均値を初装荷時の直径値で除し、歪量に換算したものである。最終的には、それを応力値に換算したものを、比較対象データとした。

図から分かるように、線出力 20 kW/m ぐらいまでは実験に用いた燃料棒の円周引張応力の増加は顕著でなかった。これは長期に亘る定出力照射のために、被覆内面とペレット外形形状とがなじんでしまった結果である。ペレット境界面における残留リッジは、長期に亘ってなじみが繰り返されてできたものであると理解される。円周引張応力に関しては、計算では 30 kW/m 付近まで引張応力の顕著な増加はなかった。これから、計算でのスウェリング量がこの例では、実際よりも少し小さ目に評価されていたと考えられる。

線出力密度の増加に対する円周引張応力の増加量は、実験値に比較して計算値の方が大きい傾向にある。これは計算モデルに組み込んだペレット剛性モデルが、実際のペレットの剛性に対して大きい値で計算するために生じたためであると理解される。

線出力密度の増加とともに、円周引張応力も増加した。最大値に到達後、燃料棒の円周引張応力は、クリープや応力緩和といったメカニズムで減少した。その間のふるまいを、計算コードはよく追従している。

総合的に考えれば、局所的には実験データと計算データの僅かなく違いは観られたものの、計算結果は、実験結果に良く一致したと言えよう。

3.1.2 LWR 模擬実験：実験番号 IFA-523, 524 と IFA-520, 525

(1) 燃料の仕様と照射試験

計装付燃料集合体 IFA-523, 524, 520 及び 525^(18,19) は、有効発熱長約 0.45 m の短尺 PWR 型及び短尺 BWR 型燃料棒を用いた炉内実験に供された。燃料棒の基本的構造は Fig. 4 と殆んど同じであった。PWR 型及び BWR 型燃料棒の製造仕様を Table 6 に示す。表から分かる様に、それら燃料棒は商用炉で使用されている 17×17 PWR 型及び 8×8 BWR 型の燃料仕様に近いものである。これら燃料棒は、Fig. 11 の左側の図に示すような予備照射リグに装荷され、PWR 型燃料棒では平均線出力密度 20 kW/m で、また BWR 型燃料棒では平均線出力密度 30 kW/m で、所期の燃焼度に至るまで定常照射がなされた。冷却材圧力や温度は商用炉と同じ軽水炉 (LWR) 条件が模擬された。照射に用いた燃料棒の実験パラメータ及び到達燃焼度については、Table 7 にまとめて示した。

(2) 出力急昇試験と照射後試験

燃料棒は、所期の燃焼度に到達後、Fig. 11 の右側の図に示した出力急昇リグ中に再装荷されたのち、最高線出力密度 50 kW/m まで、段階的に 3~9 kW/mh の出力急昇率で出力急昇された。出力急昇後、燃料棒は原子炉から除荷され、約 3 ヶ月の水冷却後シェラーホットラボ (ノルウェー) において PIE に供された。PIE では、Table 8 に示す BWR 10, PWR 10 及び PWR 15 の 3 本の燃料棒を対象に、長さ約 10 mm の試料が輪切りにされ、マイクロドリリング用の試料として供された。マイクロドリリングでは、外径 1.474 mm, 内径 1.068 mm の小孔

つきドリルにより、 UO_2 燃料の半径方向所定位置を掘鑿し、ドリルの孔の部分から取り込まれた燃料粉末試料 20～40 mg が採取された。粉末試料は続いて硝酸液で溶解され、その際に放出された希ガスの量を質量分析器にて、また組成等はガスクロマトグラフィーを用いて秤量した。マイクロドリリングでは、試料採取位置を燃料中心から外端に向かって徐々に変化させ、燃料内に残留する希ガスの分布を調べた。

Fig. 12 は、マイクロドリリングの対象となった供試試料に関する、①長手方向切断位置、②予備照射及び出力急昇時の長手方向出力分布及び③燃料棒 PWR 15に関する長手方向の Cs-137 と Zr/Nb-95 の分布を示している。図から分かる様に、燃料棒 PWR 10 に関しては、底部側（燃焼度 6.3 MWd/kgU）と頂部側（燃焼度 4.3 MWd/kgU）から 2つの試料が採取された。長手方向の出力分布に着目すると、予備照射中は実線で示す様に底部側に高く頂部側にむかって漸次出力が減少していく出力分布となっていたが、出力急昇時は逆に燃料低部側に低く、頂部側にむかって漸次出力が増加していく出力分布となっていた。この出力分布のパターンのため、PWR 15 燃料棒のガンマスキニングデータでは、Zr/Nb-95（短半減期核種）については、ほぼ平坦な出力分布、Cs-137（長半減期核種）については、予備照射中の出力分布すなわち出力急昇前の影響をより大きく受けたものが得られた。

Table 9 は粉末試料から得た、希ガス核種に関する質量分析の結果である。質量分析からのデータは、粉末試料単位重量あたりに存在する同位体の質量 (mg/g UO_2) で表示されていたが、計算コードとの検証の都合上、粉末試料単位質量あたりの体積 (ml/g UO_2) に変換した。また、ガスクロマトグラフィーから各同位体の存在割合も求められた。Table 9 において、各同位体の存在比率の合計が 100%にならない場合があるが、これは計算上の端数誤差から生じたものである。

燃料ペレットの外径が異なる試料を相互比較したり、計算コード FPRETAIN からの結果と実験結果を相互比較するため、マイクロドリリングを行った粉末試料の、半径方向採取位置の規格化を行った。すなわち、燃料中心を 0.0 とし、外端を 1.0 とした。さらに燃料中心から外端までを等距離に 10 分割し、それぞれの分割点を順次第 1, 第 2, … 第 10 ノードと称した。

(3) 残留 FP に関する計算結果と実験との照合

マイクロドリリングから得た残留 FP に関する実験値及び FPRETAIN の計算値をまとめて、Table 9 に示した。図中、例えば、BWR 10 試料の燃焼度が 14.2 MWd/kgU となっているのに、Table 8 ではそれが 13.6 MWd/kgU と異なって記載されている。これは、FPRETAIN 計算を行うに際し、入力された出力履歴が、実際のものであって簡略化されたために生じた誤差である。PWR 10 試料では、粉末試料の燃焼度として、4.3 と 6.3 MWd/kgU の 2 つがあったが、比較を行うための計算では、両者の中間燃焼度である 5.7 MWd/kgU をとった。PWR 15 では、粉末試料の実験から得た燃焼度と計算からの燃焼度が良く一致した。

この PWR 15 試料に関して、マイクロドリリングからの実験値と FPRETAIN からの計算値について、Kr 及び Xe 安定同位体に関する相互比較を実施した。Kr に関する比較結果を Fig. 13 に、また Xe に関するそれを Fig. 14 に示す。Fig. 13 中には、PIE から得られた同燃料の中央部及び外端部における燃料表面二次電子写真像 (SEM) も含めた。この SEM 像から分かる様に、燃料中央部では結晶粒界上に FP ガス気泡の集積が観られたが、外端部ではそれが

観られなかった。これは、燃料半径方向に残留FPガスの分布があり、中心部の方がよりFPガス放出に寄与した領域である事を示唆している。

Fig. 13は、径方向に異なる4ヶ所について、マイクロドリリングからの実験結果とFPRETAINからの計算結果を比較したものである。実験データ点上に引かれた横線の長さは、マイクロドリリング時に使用されたドリル直径に相当しており、この範囲内で燃料粉末が採取された事を示している。実験結果から、燃料中央部から外端に向けて、残留FPガスが漸次増加している事が分る。この傾向は、同図中の燃料組織写真観察結果と一致している。すなわち、FP放出がより多くあったと思われる燃料中央部の残留FP量は少ない。計算結果においても、燃料中央部から外端部に向けて残留FPが増加する傾向が示された。定量的に評価してみると、燃料中央部でのFP残留量は比較的良く実験データと一致したが、外端部での残留量は計算値が実験値の $\frac{1}{2}$ 程度となった。

半径方向の残留FP分布に関して、計算結果が燃料外端部で過小評価の傾向を示したのは、この部分のFP放出に関する計算予測値が実際のものより大きかったためと思われる。これは、計算モデルにおいて、燃料からのFP放出量を決定する燃料温度とFPガスの拡散係数に、ある程度の不備がある事を示唆している。従って計算の精度向上のためには、今後、より実際に近い値を持つ燃料温度と拡散係数をモデリングする必要がある。

ハルデン照射燃料に限定すれば、この傾向はKrだけでなく、Xe核種についても同様であった。Fig. 14は、前出燃料の同一粉末試料、同一測定箇所に関するXeの燃料内残留に関するデータである。Xeの核分裂収率は、0.2565 atoms/fission程度であり、Krの0.03756 atoms/fissionよりも7倍程度大きいし、質量数も大きい。従って、同一試料内であっても放出率が殆んど同じであれば、量的にはXeが沢山残留していることになる。図から分る様に、中央部から外端部に向ってXeも残留量が増加する傾向にある事が実験データから分かる。

FPRETAIN計算でもその傾向は一致した。しかし、定量的に評価してみると、実施値に対して計算値は燃料中央部で過大、燃料外端部で過小評価の傾向にあった。

検証対象とした燃料棒PWR 15は、製造時に純ヘリウムガス1.4 MPaが加圧充填されていたが、PIEでは燃料棒内圧が0.47 MPaとなっていた。炉内破損の兆候は何ら観られなかった事から、照射終了後からPIEまでの過程において何らかの理由、例えば取付熱電対の計装線シール部からのガスリーク等で、ガス圧力が半減したのではないかと考えられる。FPRETAINで同燃料棒の最終内圧を計算したところ、標準状態で1.72 MPa (FPガス放出率で19%)となり、現実的に妥当と思われる値となった。これは、あくまでもプレナム中のガスに関する情報であり、燃料中に残留したFPガスに関しては、実験データは検証計算の対象として何らの不具合はないことは何らかである。

(4) FPガス同位体の存在割合に関する計算結果と実験との照合

燃焼度の異なる2つの供試粉末試料について、PIEのパンクチュアリングから得られた放出FPガス中のXe及びKrの存在割合とマイクロドリリングから得られた燃料ペレット中の残留Xe及びKrの存在割合について、比較を行った。その結果をFig. 15に示す。図から分かる様に、 ^{85}Kr を除けば、Xe及びKrの同位体は長期安定核種であるため、それらの存在割合は理論的には一定に近い筈であったのに、実際には $\pm 20\%$ 程度の誤差範囲があった。その誤差の程度は、

相対的ではあるが、XeよりKrの方が大きかった。このことから、FPガスの放出量や残留FPガス量を実験的に求める場合、パンクチュアリング時におけるFPガスの系外リークや測定誤差及びマイクロドリリング中のガス気泡割れにともなうFPガスの系外リークや質量分析時の測定誤差等により、FPガスの同位体組成比は理論組成比にならないこともあることが分かった。

このことは、計算コードと実験値を比較する場合、実験値にもある程度の誤差幅が存在している事を示唆するものである。

3.1.3 ハルデン合同試験

ハルデン合同試験データ^(20,21)を利用して、燃料ギャップ幅、充填ガス組成及びFPガス放出に関する、FPRETAIN検証計算を行った。

(1) 直径ギャップ幅

現行の発電用原子炉燃料では、PWR型で0.17 mmまたはBWRで約0.23 mm程度の初期製造直径ギャップが使用されていることが多い。ハルデン合同実験⁽²⁰⁾では、試験目的上、最大0.38 mmから、最少0.05 mmまでのギャップをもつ燃料棒が製作され、そのギャップ幅が燃料中心温度に及ぼす影響が、運転線出力密度の関数として求められた。Fig. 16は、実験結果の1例である。ギャップ幅の増加とともに燃料中心温度は全体的に増加するようである。同図中には、FPRETAINによる計算結果も示したが、計算結果は実験結果と良く一致している。

(2) 充填ガス組成

現行の発電用軽水型原子炉燃料では、燃料棒製造時にPWR型で3.2 MPa、またBWR型で0.3から0.1 MPaの純He-4ガスを充填する例が多い。この加圧の目的は、PWR型燃料棒では冷却材外圧力による燃料被覆管のつぶれを防止するためであり、BWR型燃料棒ではFPガス放出によるガスギャップ部の熱伝導特性の悪化を防止するためであるとされている。

一方、照射開始とともに、燃料ペレットからはリコイル及びノックアウト並びに拡散といったメカニズムで、FPガスが放出されてくる。燃料棒の炉内使用期間が長期化したり、運転線出力密度が高くなると、FPガス放出の割合が高まる事がある。すなわち、燃料棒中の初期充填Heガスに対するXeやKrのFPガス濃度割合が高まる状況が生じて来ることもある。この様な状況を想定して、ハルデン合同試験⁽²¹⁾では、代表的なFPガスであるXeを用いて、ガスギャップ内でのXeの存在割合を0% (He 100%)、23% (He 77%) 及び100% (He 0%) と3種類に変えた燃料棒(燃料棒内圧は0.1 MPa)が作製され、混合ガス組成が燃料中心温度に及ぼす影響が調べられた。その結果がFig. 17に示されている。図から分かる様に、Xeガスの存在割合が増加すると、燃料中心温度は著しく増加する事が実験的に明らかにされた。図中には、FPRETAINによる計算結果も示したが、計算値は実験値と比較的良く合った。

この混合ガスを用いた実験では、20本の燃料棒がPIEでの破壊検査に供され、各燃料棒毎の最終ガス組成割合が求められた。供試燃料棒中には、あらかじめXeが意図的に混入されていたので、放出FPガスとしてKrにのみ着目した。実験から求められたKrのガス組成割合に対し、FPRETAINからのKrのガス組成割合も求められた。計算値と実験値との比較結果をTable 10に示す。この表から、Krの安定同位体である⁸³Kr、⁸⁴Kr及び⁸⁶Krに関して、燃焼度15 MWd/kgUの範囲内で、両者は比較的良く一致することが分かった。

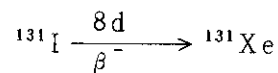
(3) 燃料棒の PCI 破損マップ

燃料被覆管と燃料ペレットが接触している状態で、FPのうち、例えば¹³¹Iのような化学的に腐食作用が強い核種がその近傍に存在していると、PCI-応力腐食割れ、即ちPCI破損が生じることがあるとされている。

実験上、PCIによって被覆管に生じている円周応力を測定評価するのは、この他難しい。また、PCI破損を誘起する腐食環境が実際の程度であったかを正確に評価するのもまた難しい。それは、PCI破損が発生すれば、燃料棒中のFPは冷却材中にも移行して破損時に存在したFP環境の復元は難しいからである。

この点、計算コードは実験から決め難い円周応力や腐食性FPの量や分布を容易に定量化することが可能である。そこでまず、前出のLWR模擬実験や、ハルデン合同試験で使用された燃料棒のうち、主として、出力急昇や出力上昇試験に用いられ燃料棒を選択し、FPRETAINにより、燃料棒が試験中に受けた最大円周応力を評価した。一般に最大円周応力は、出力急昇や出力上昇試験での最高線出力到達時に発生するものと考えられる。

続いて、最大円周応力が発生したのと同時刻におけるFPガス放出率も同コードにて計算した。本来であれば、計算対象のFPガスとして¹³¹I等の腐食性核種を選定すべきであるが、ここでは間接的にXe核種を計算対象に選んだ。これは、¹³¹I等のヨウ素が、184℃以上の温度で気化し、それ以下での温度では燃料棒内のあらゆる箇所に沈着するという性質があり、例えば常温にて実施されるPIEでは非常に定量化しにくい核種であるため、Xeを選定した。もう1つの理由として、例えば¹³¹Iは



という崩壊反応で、安定なXeになってしまうことが判っている。すなわち、自然界に存在する¹²⁷I以外の放射性Iは殆んどがXeに壊変して安定化するため、Xeの挙動からIの挙動を類推するのも、あながち間違いとは言えないと考えられたためである。また、FPガス中に含まれるXeの存在割合が比較的大きいのも選択理由の1つである。

従って、¹³¹IがPCI割れの腐食環境を作っていたと仮定すれば、その崩壊後の核種であるXe量を評価することにより、間接的にはあるが、PCI破損に及ぼすI等の腐食性FPの寄与率を評価することが可能であると考えた。

Fig. 18は、計算コードから得られた最大円周応力とXeガスの燃料棒空隙内への放出率をプロットした結果である。計算コード中には破損・非破損を判定するモデルが組み込まれていないので、得られたデータ点の破損・非破損に関する情報は、実験結果に基づいて判定した。図の上側は、ハルデン合同試験に用いられた燃料棒の、また図の下側は、LWR模擬実験に用いられた燃料棒の最大円周応力とXe放出率の関係図（PCI破損マップと称す）である。

両図から明らかな様に、燃料棒の破損領域は、例えばFig. 18の上図では円周応力330MPa、10% Xe放出率程度以上の領域で形成される。そこで、FPRETAINによる予測破損しきい値をハルデン合同試験データでは、円周応力で330MPa、またXe放出率で10%とした。またLWR模擬実験データでは、それぞれ270MPa、6%とした。

一貫した計算から作成された破損マップ上で燃料棒のPCI破損・非破損領域がうまく選別さ

れたということは、計算結果に信頼性があるという事の裏付けであろう。また現象から考えても、PCI時に発生する円周応力が高かつ腐食性Iの存在量が大きい程、燃料棒は破損しやすくなると考えるのは妥当であり、計算結果はその傾向を示していると考えられる。

また、ハルデン合同試験とLWR模擬実験で、破損しきい値が異なるのは、照射条件、特に冷却材温度（HBWRでの冷却材温度240℃、であり冷却材圧力は3.4MPaである。一方LWRのそれは290～320℃、7.0～16.0MPaである）等が影響していたためと思われる。すなわち、高温高圧の冷却体系下にあったLWR燃料棒のPCI破損しきい値の方がHBWR低くなっていた。この傾向は、実験結果^(18,19)から得られた傾向とも一致する。

3.2 R2炉データ

スウェーデンのエネルギー技術研究所の研究炉R2では、発電用軽水型原子炉で使用した照射済燃料を用いて、燃料棒の線出力密度を従前使用値より高いところに急速に上昇させる、いわゆる出力急昇試験が実施されて来た。本報では、公開となった出力急昇試験データ⁽²²⁻²⁵⁾、特に出力急昇後のPIEで測定した放出FPガス(XeとKr)データを用いて、FPRETAINの検証を行った。

Fig. 19は、Xe+Krの核分裂収率を0.3011 atoms/fissionと仮定して計算したFPRETAINの計算と実験との比較結果を示している。この出力急昇実験は、BWR型及びPWR型の燃料棒が用いられており、出力急昇前の線出力密度の範囲は20～30kW/m、燃焼度は10～30MWd/kgUの範囲であった。用いられた燃料棒は、R2炉内に設置した出力急昇試験装置により、最高線出力密度45kW/m程度まで出力急昇され、その後PIEにてFPガスのパンクチュアリングがなされた。PIEでのデータ評価上用いたXeとKrの核分裂収率値と、FPRETAINで用いた核分裂収率値は、同じである。

Fig. 19から、Xe+Krの放出率が10%ぐらいまでは、誤差±50%の範囲内で計算値と実験値は一致するが、それ以上の放出率では、計算値は過小評価の傾向にあることが分かる。この原因として、FPRETAINではモデルとして用いたFPガスの拡散係数Dと球状ガス気泡半径aの自乗との比の値、すなわちD/a²を照射中一定とし、燃焼度依存性をもたせていなかった事が最も影響していると考えられる。つまり、実際の燃料、特に燃焼度が高くなった燃料では、ガス気泡半径のaが変化すると思われるが、それをコードでは不変値として取り扱っていることが過小評価の傾向をもたらしたと考えられる。この検証の結果から、今後は、D/a²に燃焼度依存性をもたせる事が必要であろう。

燃料ふるまい解析コードFEMAXI-IIIでも、本報が対象とした実験データに対して、検証計算が実施されている⁽²⁶⁾。それによれば、FEMAXI-IIIによる計算結果では、±50%の誤差で殆んど予測値と実験データの一致が観られた。同コードは、FPガスであるXe、Kr同位体総量の放出率を燃料温度のみで取扱っているのが特徴であり、拡散係数といった物理モデルを用いたFPRETAINとは、計算手法が異なっていることに注意されたい。

3.3 DR-3炉データ

デンマーク・リソ研究所では、有効長 83 cm のセグメント化した LWR 型燃料棒（濃縮度 5%，密度 94.5% TD，ペレット直径 12.6 mm，ジルカロイ被覆管肉厚 0.6 mm，プレナムガス容積～10 cc）を製作し、まずそれを HBWR 炉で長期間照射した。HBWR においては、その試験燃料集合体は IFA-148 と称された⁽²⁸⁻³¹⁾。HBWR における照射によって、燃料棒の平均燃焼度は 27～35 MWd/kgU（ペレットピークで 43.7 MWd/kgU）に達した。照射初期の平均線出力密度は約 30 kW/m であったとされている。

同燃料棒は、その後リソ研究所の DR-3 炉に移され、同炉にて“バンプ試験”と称する出力緩昇試験（出力上昇速度は 0.5 kW/mh，冷却材圧力 0.7 MPa）にかけられた。このバンプ試験から、FP ガスの放出データ⁽²⁾や、燃料ペレット中に残存した FP ガスの半径方向分布⁽²⁷⁾等が明らかにされて来た。そこで、DR-3 でのバンプ試験データを利用した FPRETAIN の検証計算を行った。

Table 11 は、バンプ試験で求められた Xe+Kr の放出率と FPRETAIN による Xe+Kr の放出率とをまとめたものであり、それをさらにプロットして比較したのが Fig. 20 である。図から、FP ガス放出率が高い燃料に関しては、計算結果の方が過小傾向にあることが分かる。

燃料棒 F9-3（燃焼度 34 MWd/kgU）に関しては、燃料ペレット内での残留 FP ガスの半径方向分布を示す実験データ⁽²⁸⁻²⁹⁾が得られたので、それとコードによる計算値とを比較した。その結果を Fig. 21 に示す。F9-3 燃料棒の Xe+Kr 放出率に関しては、実験値で 17.5%，計算値で 8% と計算値は過小評価の傾向にあった。これを受けて、図に示す様に、燃料ペレット内の残留 FP ガス量については、計算結果は逆に実験値に対して過大評価の傾向を示した。しかしながら、両者は定性的には、比較的良い傾向一致性が観られた。

3.4 敦賀炉データ

NSRR では、原子炉改造後、照射済の発電用原子炉燃料棒を用いてパルス実験を行う計画が進捗中である。この NSRR 照射済燃料実験に試供される燃料棒の 1 つに、敦賀炉燃料（BWR 型燃料）がある。この敦賀炉燃料に関する公開データ⁽³⁰⁻³²⁾を用いて、FPRETAIN による検証計算を行った。

敦賀炉燃料は、米国ゼネラルエレクトリック（GE）社の設計による旧 7×7 BWR 型燃料である。燃料ペレットの平均濃縮度は約 2.5 w/o，ペレット外径約 12.4 mm のディッシュ付形状で、その初期製造密度は 91～97% TD とされている。また、被覆管の外径は約 14.3 mm，肉厚は 0.81 mm，プレナム容積は約 33 cm³，ヘリウム充填の非加圧燃料棒で、初期製造時の直径ギャップは 0.31 mm であったとされている。

敦賀炉で照射されたときの炉心平均線出力密度は約 18 kW/m であった。照射後、原研の実用燃料試験室にて PIE が実施され、ガスプレナム部に放出された Xe と Kr の放出率が求められた。そのデータ⁽³²⁾を利用して、FPRETAIN の検証計算を行った。その結果を Fig. 22 に示す。実験データは、放出率が低い（5%以下）燃料棒と、放出率が高い（20～30%）ものに分かれた傾向がある。この現象はコード計算でも再現された。Fig. 22 中の矢印をつけた燃料棒に着目し、FP 放出

率の燃焼度依存性を計算した。その結果は、同図中の上側に示されている。計算から推定すると、この燃料棒は燃焼度 18 MWd/kgU 付近から徐々にFP放出を開始したことが分かる。図中には、PIEから得たこの燃料棒に関する最終FPガス放出率データもプロットした。計算結果は実験データと良く一致した事がわかる。

3.5 玄海炉データ

敦賀炉燃料(BWR型燃料)と同じく、NSRR照射済燃料実験に供されるPWR型燃料に、玄海燃料がある。この玄海燃料に関する公開データ^(33,34)を用いて、FPRETAINによる検証計算を行った。

玄海炉燃料は、米国ウェスチングハウス社(W社)の設計による 14×14 型PWR燃料である。燃料ペレットの平均濃縮度は 3.4 w/o 、ペレット外径約 9.294 mm の両端ディッシュ付形状で、その初期製造密度は $95\% \text{ TD}$ とされている。また、被覆管の外径は約 10.72 mm 、肉厚は 0.62 mm 、プレナム容積は 13 cm^3 、ヘリウム 32 kg/cm^2 及び空気 1 kg/cm^2 の混合充填加圧燃料棒で、初期製造時の直径ギャップは、 0.186 mm であったとされている。

玄海炉で照射されたときの炉心平均線出力密度は、約 20 kW/m であり、PIEのガスパンクチュアリングに供された燃料棒の、燃焼度範囲は $31 \sim 38 \text{ MWd/kgU}$ であった。

FPRETAINによる燃料棒内FPガス(Xe+Krで評価)の放出率とPIEによる燃料棒内FPガス放出率の比較結果を、Fig. 23に示す。玄海燃料棒のFPガス放出率は、極めて低く殆んどが 1% 以下であった。コードによる計算結果は、この傾向と良く一致するのが観られた。

4. 結 言

NSRRにおいては、発電炉(敦賀、美浜及び玄海炉)や試験炉(JMTR)で照射した軽水型原子炉燃料棒を用いて、運転時の異常な過渡変化時及び反応度事故時における燃料の破損挙動を研究する計画(通称、バーンアップ計画)が進行中である。

これまでにNSRRで実施されて来た安全性研究は、未照射燃料を用いたもののみであり、照射済燃料を用いての研究は、非常に画期的なことで考えられる。特に、照射済燃料棒の破損が生じた場合、その破損メカニズムを究明する研究は重要であるが、それには実験的データのみならず定性的な計算コードを用いたモデリング面からの追求も非常に有用であると思われる。

これまでNSRRでは、予備照射中の燃料挙動、特にFPの生成、放出、及び燃料ペレット内残留量を詳細に追跡できる計算コードが作成されていなかったため、今回これらを可能とする計算コードFPRETAINをあらたに開発し、そのなかに組込んだ諸々のモデルに関する説明を行った。

本報は、予備照射中及び出力急昇中等の燃料挙動に関する種々の公開データ(ハルデン炉、スタツビック炉、リソ炉、敦賀炉及び玄海炉から得られた炉内及びPIEデータ)を利用して、FPRETAIN中に組み込まれたモデリングの妥当性を検証した。

検証計算の結果、以下の事柄が明らかになった：

率の燃焼度依存性を計算した。その結果は、同図中の上側に示されている。計算から推定すると、この燃料棒は燃焼度 18 MWd/kgU 付近から徐々に FP 放出を開始したことが分かる。図中には、PIE から得たこの燃料棒に関する最終 FP ガス放出率データもプロットした。計算結果は実験データと良く一致した事がわかる。

3.5 玄海炉データ

敦賀炉燃料 (BWR 型燃料) と同じく、NSRR 照射済燃料実験に供される PWR 型燃料に、玄海燃料がある。この玄海燃料に関する公開データ^(33,34) を用いて、FPRETAIN による検証計算を行った。

玄海炉燃料は、米国ウェスチングハウス社 (W 社) の設計による 14×14 型 PWR 燃料である。燃料ペレットの平均濃縮度は 3.4 w/o 、ペレット外径約 9.294 mm の両端 ディッシュ付形状で、その初期製造密度は $95\% \text{ TD}$ とされている。また、被覆管の外径は約 10.72 mm 、肉厚は 0.62 mm 、プレナム容積は 13 cm^3 、ヘリウム 32 kg/cm^2 及び空気 1 kg/cm^2 の混合充填加圧燃料棒で、初期製造時の直径ギャップは、 0.186 mm であったとされている。

玄海炉で照射されたときの炉心平均線出力密度は、約 20 kW/m であり、PIE のガスパンクチュアリングに供された燃料棒の、燃焼度範囲は $31 \sim 38 \text{ MWd/kgU}$ であった。

FPRETAIN による燃料棒内 FP ガス (Xe + Kr で評価) の放出率と PIE による燃料棒内 FP ガス放出率の比較結果を、Fig. 23 に示す。玄海燃料棒の FP ガス放出率は、極めて低く殆んどが 1% 以下であった。コードによる計算結果は、この傾向と良く一致するのが観られた。

4. 結 言

NSRR においては、発電炉 (敦賀、美浜及び玄海炉) や試験炉 (JMTR) で照射した軽水型原子炉燃料棒を用いて、運転時の異常な過渡変化時及び反応度事故時における燃料の破損挙動を研究する計画 (通称、バーンアップ計画) が進行中である。

これまでに NSRR で実施されて来た安全性研究は、未照射燃料を用いたもののみであり、照射済燃料を用いての研究は、非常に画期的なことと考えられる。特に、照射済燃料棒の破損が生じた場合、その破損メカニズムを究明する研究は重要であるが、それには実験的データのみならず定性的な計算コードを用いたモデリング面からの追求も非常に有用であると思われる。

これまで NSRR では、予備照射中の燃料挙動、特に FP の生成、放出、及び燃料ペレット内残留量を詳細に追跡できる計算コードが作成されていなかったもので、今回これらを可能とする計算コード FPRETAIN をあらたに開発し、そのなかに組込んだ諸々のモデルに関する説明を行った。

本報は、予備照射中及び出力急昇中等の燃料挙動に関する種々の公開データ (ハルデン炉、スタツビック炉、リソ炉、敦賀炉及び玄海炉から得られた炉内及び PIE データ) を利用して、FPRETAIN 中に組み込まれたモデリングの妥当性を検証した。

検証計算の結果、以下の事柄が明らかになった：

- (1) 燃棒温度の挙動に関しては、燃焼度 20 MWd/kgU の範囲内で計算値は実験値と比較的良く一致する。
- (2) 燃料棒内の内圧変化に関しても、燃焼度 20 MWd/kgU の範囲内で計算値は実験値と比較的良く一致する。
- (3) 燃焼度 35 MWd/kgU までの範囲において、出力急昇やバンプ試験を行った燃料棒の FP ガス放出率を、特に高燃焼度側で計算値は実験値を過小評価する傾向にある。この原因は、燃料結晶粒径等に燃焼度依存モデルが入っていない為であると思われる。しかし NSRR バーンアップ実験で実際に使用を予定している敦賀炉及び玄海炉燃料に関しては、計算結果は実験結果と良い一致をみた。
- (4) 燃焼度 35 MWd/kgU までの範囲において、出力急昇や出力上昇を行った燃料棒の円周応力や円周歪といった力学的な量に関する計算結果は実験結果と良い一致をみた。
- (5) 燃料ペレット中に残留分布する FP ガスに関しては、計算値は実験値に対し定性的には傾向一致を観たものの、定量的には 20 MWd/kgU 以上の燃焼度で、過大評価の傾向にあった。
- (6) 本報では、燃焼度 35 MWd/kgU までの発電用軽水型原子炉燃料棒の、照射中及び照射後の燃料温度、燃料棒内圧、FP ガス放出率、UO₂ ペレット中の FP ガス残留分布形状と残留量について、FPRETAIN 計算コードによる検証計算結果について記述した。

FPRETAIN の開発目的は、いわゆる予備的な照射を行った燃料棒の FP 挙動評価だけではなく、予備照射済燃料棒を用いた運転時の異常な過渡及び事故条件下での燃料挙動を総合的に評価する事にある。現在、本報の検証計算結果を踏まえたモデリングの改善及び過渡変化や事故時の燃料挙動評価を可能にするモデリングの組み込み及びそれらの検証計算を実行中である。

謝 辞

本コードのモデリング開発に際しては、原子力データセンターの小田久子及び吉利朝子両氏の御協力を得ました。ハルデンデータに関しては、ハルデンプロジェクトの H. Devold 氏、シェラーホットラボの P. Arnesen 氏に、また、リソデータに関しては、P. Knudsen 及び C. Bagger 両氏に御協力を賜りました。本論文の内容については、反応度安全研究室の藤城俊夫室長に有益な助言と討論を賜りました。ここに御礼申し上げます。

- (1) 燃棒温度の挙動に関しては、燃焼度 20 MWd/kgU の範囲内で計算値は実験値と比較的良く一致する。
- (2) 燃料棒内の内圧変化に関しても、燃焼度 20 MWd/kgU の範囲内で計算値は実験値と比較的良く一致する。
- (3) 燃焼度 35 MWd/kgU までの範囲において、出力急昇やバンプ試験を行った燃料棒の FP ガス放出率を、特に高燃焼度側で計算値は実験値を過小評価する傾向にある。この原因は、燃料結晶粒径等に燃焼度依存モデルが入っていない為であると思われる。しかし NSRR パーンアップ実験で実際に使用を予定している敦賀炉及び玄海炉燃料に関しては、計算結果は実験結果と良い一致をみた。
- (4) 燃焼度 35 MWd/kgU までの範囲において、出力急昇や出力上昇を行った燃料棒の円周応力や円周歪といった力学的な量に関する計算結果は実験結果と良い一致をみた。
- (5) 燃料ペレット中に残留分布する FP ガスに関しては、計算値は実験値に対し定性的には傾向一致を観たものの、定量的には 20 MWd/kgU 以上の燃焼度で、過大評価の傾向にあった。
- (6) 本報では、燃焼度 35 MWd/kgU までの発電用軽水型原子炉燃料棒の、照射中及び照射後の燃料温度、燃料棒内圧、FP ガス放出率、UO₂ ペレット中の FP ガス残留分布形状と残留量について、FPRETAIN 計算コードによる検証計算結果について記述した。

FPRETAIN の開発目的は、いわゆる予備的な照射を行った燃料棒の FP 挙動評価だけではなく、予備照射済燃料棒を用いた運転時の異常な過渡及び事故条件下での燃料挙動を総合的に評価する事にある。現在、本報の検証計算結果を踏まえたモデリングの改善及び過渡変化や事故時の燃料挙動評価を可能にするモデリングの組み込み及びそれらの検証計算を実行中である。

謝 辞

本コードのモデリング開発に際しては、原子力データセンターの小田久子及び吉利朝子両氏の御協力を得ました。ハルデンデータに関しては、ハルデンプロジェクトの H. Devold 氏、シェラーホットラボの P. Arnesen 氏に、また、リソデータに関しては、P. Knudsen 及び C. Bagger 両氏に御協力を賜りました。本論文の内容については、反応度安全研究室の藤城俊夫室長に有益な助言と討論を賜りました。ここに御礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 原子力安全委員会：“発電用軽水型原子炉施設の反応度投入事象に関する評価指針について（昭和59年1月19日）
- (2) P. Knudsen, "Fission Products Behavior in High-Burnup Water Reactor Fuel Subjected to Slow Power Increases", Nucl. Technol, 72 (1986) 258.
- (3) T. Nakajima et al., "FEMAXI-III: A Computer Code for the Analysis of Thermal and Mechanical Behavior of Fuel Rods", JAERI 1298(1985).
- (4) 柳澤和章ら,：“二次元燃料ふるまい解析コードFEMAXI-Ⅲの高速演算ベクトル化による構造改善”, JAERI-M 85-013 (1985)
- (5) Levy, S., et al.: A Three-Dimensional Study of Nuclear Fuel Rod Behavior During Startup, 1st SMIRT, D1/5, Berlin (1973).
- (6) T. Okubo et al.: Verification of FEMAXI-III Code, IAEA Specialists' Mtg., Preston, UK (1982).
- (7) W.H. Jens and P.A. Lottes, "Analysis of Heat Transfer, Burnout, Pressure Drop and Density Data for High-pressure Water", ANL-4627 (1951).
- (8) F.W. Dittus and L.M.K. Boelter, "Univ. Calif. Pubs. Eng.", 2,443 (1930).
- (9) MATPRO-09, TREE-NUREG-1005 (1976).
- (10) A.M. Ross and R.I. Stoute, CRFD-1075 (1962).
- (11) J.A.L. Robertson: $\int k d\theta$ in Fuel Irradiation, CRFD-835, (1959).
- (12) W. Chubb, V.W. Storhok, and D.L. Keller: Factors Affectioning the Swelling of Nuclear Fuel at High Temperatures, Nucl. Technol., 18, 231-255 (1973).
- (13) H. Zimmermann: Investigation on Swelling and Fission Gas Behavior in Uranium Dioxide, J. Nucl. Mater. 75, 154-161 (1978).
- (14) K. Tasaka et al.: JNDC Nuclear Data Library of Fission Products, JAERI 1287 (1983).
- (15) C. Bagger: Non-destructive Assessment of Fission Gases Released in Water Reactor Fuel Rods, IWGFPT/22 (1981).
- (16) W.N. Rausch and F.E. Panisko, NUREG/CR-1213 (1979).
- (17) M. Ichikawa et al., "Studies of LWR Fuel Performance under Power Ramping and Power Cycling Utilizing Inpile Measurement and Fuel Modelling", ANS Topical Mtg. on LWR Fuel Performance, Williamsburg, USA (1988).

- (18) 柳澤和章, 近藤吉明, E. Kolstad, "軽水炉燃料のペレット-被覆相互作用, (I) PWR型燃料棒", 日本原子力学会誌 28〔7〕, 641 (1986)
- (19) 柳澤和章, H. Devold, "軽水炉燃料のペレット-被覆相互作用, (II) BWR型燃料棒", 日本原子力学会誌, 28〔8〕 771, (1986)
- (20) E. Kolstad and C. Vitanza, "In-Reactor Measurements of Thermo-mechanical Behavior and Fission Gas Release of Water Reactor Fuel", Res Mechanica 16, (1985)81.
- (21) E. Kolstad et al., "Fuel Behavior During Steady State and Transient Operation", Proc. CSNI Specialist Mtg. on Safety Aspects of Fuel Behavior in Off-Normal and Accident Conditions, Espoo, Finland, 1st-4th September (1980).
- (22) 菊地章, 市川達夫, "インターランプ計画の研究成果" 日本原子力学会誌 23, 7 (1981)
- (23) H. Mogard, and Heckermann, "The International Super-Rump Project at Studsvik, "Proc. ANS Topical Mtg. Light Water Reactor Fuel Performance, Orlando, Florida, April 21-24, 1985, Vol.2, P.6-17, American Nuclear Society (1985).
- (24) T.E. Hollowell, P. Knudsen, and H. Mogard, "The International Over-Ramp Project at Studsvik, "Proc. ANS Topical Mtg. Light Water Reactor Extended Burnup, Williamsburg, Virginia, April 4-8, 1982 Vol.1, p.4-5, Available from National Technical Information Service (1982).
- (25) T. Nakajima et al., "FEMAXI-III: A Computer Code for the Analysis of Thermal and Mechanical Behavior of Fuel Rods", JAERI 1298 (1985).
- (26) 柳澤和章, "照射後試験データによる長期照射燃料棒の内圧増加に関する解析評価と FEMAXI-III 計算", JAERI-M 84-021 (1984)
- (27) M. Mogensen, "Determination of Retained Gas in Irradiated Fuel Sample", RISO-M-2352 (1982).
- (28) P. Knudsen et al., "Fission Gas Release in High-Burnup Fuel During Power Transients", ANS Topical Mtg. on LWR Fuel Performance, p.189, Williamsburg, Virginia, USA (1982).
- (29) P. Knudsen et al., "The Riso Fission Gas Project", OECD-NEA-CSNI/IAEA Specialists' Mtg. on Water Reactor Fuel Safety and Fission Product Release in Off-Normal and Accident Conditions, IWGFPT/16 (1983).
- (30) Y. Tsuchie and K. Iwamoto, "Post-irradiation Examination (PIE) of Tsuruga Fuel", IAEA Specialists' Mtg. Examination of Fuel Assembly for Water Cooled Power Reactor, p.211, IWGFPT/12 (1981).

- (31) Y. Tsuchie et al., "Post-Irradiation Examination and Its Related Analysis of Tsuruga Fuel", ANS Topical Mtg. on LWR Extended Burnup-Fuel Performance and Utilization, p.2-87, Williamsburg, Virginia, USA (1982).
- (32) Y. Tsuchie et al., "Post-Irradiation Examination (PIE) of Tsuruga Fuel, Part-2(JA-5)", IAEA Specialists' Mtg. on Post-Irradiation Examination and Experience, p.123, IWGFPT/22 (1985).
- (33) Y. Kondo: PWR Fuel Performance and Future Trend in Japan, 6th Pacific Basin Nucl. Conf. Beijing, China (1987).
- (34) Y. Iriya et al.; Proving Test on the Reliability for PWR 15×15 Fuel Assemblies Through Three Reactor Cycles in Japan, ANS Topl. Mtg. on LWR Fuel Performance, Williamsburg, Virginia, U.S.A. (1988).

Table 1 Thermal and mechanical processes considered in FEMAXI-III.⁽³⁾

Analysis Part		Thermal Analysis Part	Mechanical Analysis Part
Fuel Mechanics	Thermal expansion	○	○
	Elasticity	—	○
	Plasticity	—	○
	Creep	—	○
	Cracking and healing	—	○
	Initial relocation	○	○
	Densification	○	○
	Swelling	○	○
	Hot pressing	—	○
Fuel-Cladding Mechanical Interaction	Radial contact pressure	○	○
	Axial contact pressure	—	○
	Axial force	—	○
	Inner gas pressure	—	○
Cladding Mechanics	Thermal expansion	○	○
	Elasticity	○	○
	Plasticity	—	○
	Creep	○	○
	Anisotropy	—	○
	Radiation hardening	—	○
Thermal Processes	Heat transfer between coolant and cladding	○	—
	Temperature distribution in cladding	○	—
	Heat transfer between fuel and cladding	○	—
	Heat generation distribution in fuel	○	—
	Temperature distribution in fuel	○	—
	Fission gas release	○	—
	Inner gas pressure	○	—
Ridging Treatment	—	○	

Caption ○ : yes

— : no

Table 2 FPRETAINで取扱う核種の種類, 崩壊定数, yield 値の一覧⁽¹⁴⁾

核種番号	核種	崩壊定数(λ) (1/sec)	yield (cc/MWd)
1	¹³¹ Xe	0.0	2.8866
2	¹³² Xe	0.0	4.3022
3	¹³³ Xe	1.5165×10^{-6}	6.7031
4	¹³⁴ Xe	0.0	7.8101
5	¹³⁵ Xe	2.1205×10^{-5}	6.5483
6	⁸³ Kr	0.0	6.3780×10^{-1}
7	⁸⁴ Kr	0.0	1.0097
8	⁸⁶ Kr	0.0	1.9721
9	⁸⁵ Kr	2.0470×10^{-9}	2.8026×10^{-1}
10	¹³⁶ Xe	0.0	6.3072
11	^{131m} Xe	6.7414×10^{-7}	3.1754×10^{-2}
12	^{133m} Xe	3.6632×10^{-6}	1.9506×10^{-1}
13	^{135m} Xe	7.3582×10^{-4}	1.1176
14	¹³⁷ Xe	3.0163×10^{-3}	6.0686
15	¹³⁸ Xe	8.1758×10^{-4}	6.4371
16	¹³⁹ Xe	1.7548×10^{-2}	5.1527
17	^{83m} Kr	1.0521×10^{-4}	6.3768×10^{-1}
18	^{85m} Kr	4.4161×10^{-5}	1.3013
19	⁸⁷ Kr	1.5139×10^{-4}	2.5386
20	⁸⁸ Kr	6.7322×10^{-5}	3.5978
21	¹²⁵ I	1.3340×10^{-1}	3.0303×10^{-13}
22	¹²⁶ I	6.1619×10^{-7}	2.3800×10^{-10}
23	¹²⁷ I	0.0	1.2114×10^{-1}
24	¹²⁸ I	4.6228×10^{-4}	1.0700×10^{-6}
25	¹²⁹ I	1.3991×10^{-15}	7.1008×10^{-1}
26	¹³⁰ I	1.2836×10^{-3}	6.6200×10^{-5}
27	¹³¹ I	9.9782×10^{-7}	2.8866
28	¹³² I	8.4448×10^{-5}	4.3011
29	¹³³ I	9.2668×10^{-6}	6.7003
30	¹³⁴ I	2.1963×10^{-4}	7.7225
31	¹³⁵ I	2.9129×10^{-5}	6.3056
32	¹³⁴ Cs	6.6393×10^{-5}	5.6700×10^{-6}
33	¹³⁶ Cs	6.1805×10^{-7}	6.3030×10^{-3}
34	¹³⁷ Cs	7.2804×10^{-10}	6.2109
35	¹²⁹ Te	1.6598×10^{-4}	6.8555×10^{-1}
36	¹³¹ Te	4.6210×10^{-4}	2.4916
37	¹³² Te	2.5038×10^{-6}	4.2852
38	¹³³ Te	9.2791×10^{-4}	3.5097
39	¹³⁴ Te	2.7637×10^{-4}	6.8935
40	⁸³ Br	8.0561×10^{-5}	5.3778×10^{-1}
41	⁸⁴ Br	3.6328×10^{-4}	9.8466×10^{-1}
42	⁸⁵ Br	4.0299×10^{-3}	1.3033
43	⁸⁶ Br	1.2414×10^{-2}	1.8219
44	⁸⁷ Br	1.2467×10^{-2}	2.0070
45	⁸⁹ Sr	1.5886×10^{-7}	4.8498
46	⁹⁰ Sr	7.7070×10^{-10}	5.8774

Table 3 グロスとしてのXe, Kr及びXe+Krガスのyield値

核種	yield (cc/MWd)
total - Xe	25.65
total - Kr	3.756
total - Xe + Kr	30.11

Table 4 燃焼度寄与率⁽¹⁵⁾

Burnup % FIMA	Burnup contribution (% FIMA) from			寄与率
	U 235	Pu 239	Pu 241	
2.00	1.80	0.18	0.02	1.111
2.50	2.20	0.28	0.02	1.136
3.00	2.61	0.37	0.02	1.149
3.50	2.99	0.48	0.03	1.171
4.00	3.32	0.63	0.05	1.205
4.50	3.60	0.82	0.08	1.250
4.70	3.71	0.90	0.09	1.267

Table 5 Summary of fuel rod characteristics used in the experiment of IFA's 508.

IFA	508.3		Remarks	
Rod	33	32	29	Sintered and ground UO ₂ L/D: 13~14
1. Fuel	10.44	10.44	10.44	Enrichment : 10.5 w/o U-235 Dishing both ends (0.4 x 7.0 mm)
Density (Mg/m ³)	11.21	11.31	11.21	
Pellet diameter (mm)	15.21	15.19	15.20	
Pellet length (mm)	-	-	-	
Additives to pellet (w/o)	11	11	11	
Grain size (μm)	*	*	*	
2. Cladding	12.20	12.20	12.19	Fully annealed Zr-2 Autoclaved outside
Clad O.D. (mm)	0.390	0.395	0.385	
Thickness (mm)	*	*	*	
3. Assembly	0.210	0.100	0.210	Tot. column length : 420 mm Enr. column length : 390 mm Enr. fuel weight : 0.4 kg Fill gass : 0.1 MPa He
Diametral gap (mm)	2.5	2.4	7.6	
Initial force of plenum spring before loading (kg)	*	*	*	

* Test variables

Table 6 Characteristics of LWR standard fuel used in IFA's 523, 524, 520 and 525 experiments

Characteristics of PWR standard fuel		Characteristics of BWR standard fuel	
1. Fuel		1. Fuel	
Form	Sintered and ground UO ₂	Form	Sintered and ground UO ₂
Density (%T.D.)	95.2	Density	94.8%T.D.
Outer diameter (mm)	8.19	Outer diameter	10.3 mm
Enrichment (%)	13.0	Enrichment	13.0%
Pellet end form	Double dished	Pellet end form	Double chamfered
Center hole diameter (mm)	1.8 mm ϕ for thermocouple only	Center hole diameter	1.8 mm ϕ for thermocouple only
Pellet length (mm)	13.6	Pellet length	10.1 mm
2. Cladding		2. Cladding	
State	Stress relieved Zircaloy-4	Fabricating state	Fully annealed and autoclaved
Outer diameter (mm)	9.505	Outer diameter	12.278 mm
Inner diameter (mm)	8.367	Inner diameter	10.537 mm
Wall thickness (mm)	0.569	Wall thickness	0.871 mm
3. Assembly		3. Assembly	
Enriched fuel column length (mm)	445.0	Enriched length	445.0 mm
Enriched fuel weight (kg)	0.243	Enriched weight	0.388 kg
Diametral gap (mm)	0.176	Diametral gap	0.230 mm
Fill gas pressure (MPa)	3.2 with pure He	Fill gas pressure	0.1 MPa with pure He
Plenum volume (ml)	5.5	Plenum volume	5.3 ml

Table 7 Experimental variables and accumulated burn-ups

(1) PWR

Fuel type	Experimental variables				Accumulated burn-ups (MWd/kg U)			
	Gap (mm)	Fill gas (MPa)	Pellet form	$L/D^{\dagger 1}$	Fresh ~0	Low ~5	Medium ~10	High ~20
Standard	0.17	3.2	DD ^{†2}	1.7		PWR 10	PWR 05	PWR 13 ^{†3} , PWR 14
Type I	0.085	3.2	DD	1.7	PWR 16	PWR 02		
Type II	0.17	1.5	DD	1.7		PWR 03	PWR 11	
Type III	0.17	1.5	DD+CC ^{†4}	1.3			PWR 06, PWR 15	

^{†1} Pellet length divided by pellet outer diameter, ^{†2} Double dishing

^{†3} Power cycled up to 620 times, ^{†4} Double dishing with chamfering in both sides

(2) BWR

	Design parameters		Accumulated burn-up (MWd/kg U)			
	Gap (mm)	Fill gas (MPa)	Unirradiated 0	Low 6	Medium 15	High 20
Standard	0.230	0.1	—	—	BWR 10, BWR 4 BWR 5, BWR 6 [†]	—
Type I	0.100	0.1	BWR 12	BWR 2, BWR 8	BWR 9	BWR 11
Type II	0.230	0.3	—	BWR 14	—	—

[†] Power cycled up to 826 times

Table 8 Results of micro-drilling performed to four different specimens from three irradiated rods.

Fuel specimen (Burn-up)	Radial node	Unit	¹³¹ Xe	¹³² Xe	¹³⁴ Xe	¹³⁶ Xe	Xe- total	⁸¹ Kr	⁸⁴ Kr	⁸⁵ Kr	⁸⁶ Kr	Kr- total
BWR-10 (13.6 MWd/kgU)	1	mg/gUO ₂ ml/gUO ₂ %	0.0264 4.51×10 ⁻³ 11.9	0.0446 7.57×10 ⁻³ 20.1	0.0713 0.0119 32.1	0.0795 0.0181 35.8	0.222 0.0371 99.9	0.00531 0.00143 14.4	0.0101 0.00269 27.5	0.00218 0.000574 5.9	0.0189 0.00492 51.2	0.0369 0.00961 99.0
	6	mg/gUO ₂ ml/gUO ₂ %	0.0813 0.0139 11.7	0.131 0.0222 18.8	0.229 0.0383 33.0	0.254 0.0418 36.5	0.695 0.116 100.0	0.0107 0.00289 14.6	0.0203 0.00541 27.7	0.00432 0.00114 5.9	0.0386 0.00490 51.9	0.0733 0.0143 100.1
	9	mg/gUO ₂ ml/gUO ₂ %	0.0613 0.0105 13.3	0.0844 0.0143 18.3	0.133 0.0222 28.9	0.182 0.0300 39.4	0.461 0.0770 99.9	0.00945 0.00255 14.1	0.0188 0.00501 28.1	0.00369 0.000972 5.5	0.0350 0.00912 52.3	0.0679 0.01765 100.0
	5	mg/gUO ₂ ml/gUO ₂ %	0.0809 0.0138 12.2	0.123 0.0209 18.6	0.218 0.0364 32.9	0.241 0.0397 36.3	0.663 0.111 100.0	0.0107 0.00289 14.8	0.0199 0.00531 27.6	0.00411 0.00108 5.7	0.0374 0.00974 51.9	0.0721 0.0190 100.0
	8	mg/gUO ₂ ml/gUO ₂ %	0.0417 0.00711 12.3	0.0654 0.0111 19.3	0.113 0.0189 33.2	0.119 0.0196 35.2	0.339 0.0567 100.0	0.0085 0.00185 14.7	0.0130 0.00347 28.0	0.00261 0.000689 5.6	0.0240 0.00625 51.6	0.0446 0.0123 99.9
	9	mg/gUO ₂ ml/gUO ₂ %	0.0781 0.0133 12.0	0.124 0.0210 19.0	0.214 0.0358 32.9	0.235 0.0387 36.1	0.651 0.109 100.0	0.00970 0.00262 14.9	0.0180 0.00480 27.6	0.00378 0.000996 5.8	0.0337 0.00878 51.7	0.0651 0.0172 100.0
PWR-10 (4.3 MWd/kgU)	1	mg/gUO ₂ ml/gUO ₂ %	0.0808 0.0138 11.8	0.126 0.0214 18.4	0.219 0.0366 32.0	0.259 0.0427 37.8	0.685 0.115 100.0	0.0100 0.00270 14.6	0.0190 0.00507 27.8	0.00404 0.00106 5.9	0.0354 0.00922 51.7	0.0685 0.0181 100.0
	5	mg/gUO ₂ ml/gUO ₂ %	0.138 0.0236 11.7	0.213 0.0361 18.0	0.378 0.0632 32.0	0.453 0.0746 38.3	1.182 0.198 100.0	0.0168 0.00453 14.5	0.0322 0.00859 27.8	0.00659 0.00174 5.7	0.0602 0.0157 52.0	0.1157 0.0306 100.0
	9	mg/gUO ₂ ml/gUO ₂ %	0.138 0.0236 11.9	0.210 0.0356 18.2	0.369 0.0617 31.9	0.440 0.0725 38.1	1.156 0.193 100.0	0.0196 0.00529 14.5	0.0376 0.0100 27.9	0.00769 0.00203 5.7	0.0714 0.0186 52.9	0.1349 0.0359 101.0
	2	mg/gUO ₂ ml/gUO ₂ %	0.03192 0.00546 11.4	0.0515 0.00874 18.4	0.0874 0.0146 31.2	0.109 0.0180 38.9	0.280 0.0468 99.9	0.00754 0.00203 14.5	0.0142 0.00379 27.3	0.00296 0.000780 5.7	0.0273 0.00711 52.5	0.0520 0.0137 100.0
PWR-15 (12.5 MWd/kgU)	4	mg/gUO ₂ ml/gUO ₂ %	0.179 0.0306 11.2	0.291 0.0494 18.2	0.504 0.0843 31.5	0.626 0.103 39.1	1.600 0.2673 100.0	0.0290 0.00783 13.2	0.0608 0.0162 27.7	0.00119 0.00314 5.4	0.118 0.0307 53.7	0.2196 0.0579 100.0
	6	mg/gUO ₂ ml/gUO ₂ %	0.181 0.0309 11.2	0.292 0.0496 18.1	0.508 0.0849 31.5	0.631 0.104 39.1	1.613 0.269 99.9	0.0359 0.00969 13.2	0.0758 0.0202 27.9	0.0149 0.00393 5.5	0.145 0.0378 53.3	0.2716 0.0716 99.9
	8	mg/gUO ₂ ml/gUO ₂ %	0.294 0.0503 11.1	0.477 0.0809 18.0	0.827 0.138 31.2	1.050 0.173 39.6	2.652 0.442 99.9	0.0520 0.0140 13.6	0.106 0.0283 27.8	0.0214 0.00564 5.6	0.202 0.0526 52.9	0.3827 0.1005 99.9

Table 9 Result of calculation performed by computer code FPRTAIN

Fuel specimen (Burn-up)	radial node	unit	131 Xe	132 Xe	134 Xe	136 Xe	Xe- Total	83 Kr	84 Kr	85 Kr	86 Kr	Kr- Total
BWR-10 14.2 MWD/kgU	1	mg/g·UO ₂ ml/g·UO ₂ %	0.135 0.0231 13.2	0.203 0.0344 19.9	0.374 0.0625 36.7	0.307 0.0505 30.1	1.019 0.1705 99.9	0.0189 0.00511 15.2	0.0303 0.00808 24.5	0.0141 0.00372 11.4	0.0606 0.0158 48.9	0.1239 0.03271 100.0
	6	mg/g·UO ₂ ml/g·UO ₂ %	0.211 0.0361 13.3	0.317 0.0538 19.9	0.584 0.0976 36.7	0.479 0.0788 30.1	1.591 0.2663 100.0	0.0295 0.00797 15.9	0.0473 0.0126 25.5	0.0141 0.00372 7.6	0.0946 0.0246 51.0	0.1855 0.0489 100.0
	9	mg/g·UO ₂ ml/g·UO ₂ %	0.224 0.0382 13.3	0.336 0.0570 19.9	0.619 0.103 36.7	0.507 0.0836 30.1	1.686 0.2818 100.0	0.0313 0.00845 16.0	0.0502 0.0134 25.7	0.0141 0.00372 7.2	0.100 0.0261 51.1	0.1956 0.05167 100.0
	1	mg/g·UO ₂ ml/g·UO ₂ %	0.0610 0.0104 13.3	0.0916 0.0155 19.9	0.169 0.0282 36.8	0.138 0.0228 30.3	0.4596 0.0769 100.0	0.00854 0.00230 15.9	0.0137 0.00365 25.4	0.00434 0.00114 8.1	0.0273 0.00712 50.7	0.05388 0.01421 100.0
	5	mg/g·UO ₂ ml/g·UO ₂ %	0.0676 0.0116 13.3	0.101 0.0172 19.9	0.187 0.0313 36.8	0.153 0.0252 30.1	0.5086 0.0853 100.1	0.00946 0.00255 16.0	0.0152 0.00404 25.6	0.00434 0.00114 7.3	0.0303 0.00789 51.1	0.0593 0.0156 100.0
	8	mg/g·UO ₂ ml/g·UO ₂ %	0.0689 0.0118 13.3	0.103 0.0176 19.8	0.191 0.0319 36.8	0.156 0.0257 30.1	0.5189 0.0870 100.0	0.00964 0.00260 16.0	0.0155 0.00412 25.7	0.00434 0.00114 7.2	0.0309 0.00805 51.2	0.06038 0.01591 100.1
PWR-10 5.7 MWD/kgU	9	mg/g·UO ₂ ml/g·UO ₂ %	0.0689 0.0118 13.3	0.103 0.0176 19.8	0.191 0.0319 36.8	0.156 0.0257 30.1	0.5189 0.0870 100.0	0.00965 0.00260 16.0	0.0155 0.00412 25.7	0.00434 0.00114 7.2	0.0309 0.00805 51.2	0.06039 0.01591 100.0
	2	mg/g·UO ₂ ml/g·UO ₂ %	0.160 0.0274 13.3	0.240 0.0408 19.9	0.443 0.0740 36.7	0.363 0.0598 30.1	1.206 0.202 100.0	0.0224 0.00605 15.8	0.0359 0.00957 25.3	0.0120 0.00316 8.4	0.0718 0.0187 50.5	0.1421 0.03748 100.0
	4	mg/g·UO ₂ ml/g·UO ₂ %	0.177 0.0303 13.3	0.266 0.0451 19.9	0.490 0.0819 36.7	0.401 0.0661 30.1	1.334 0.2234 100.0	0.0248 0.00668 15.9	0.0397 0.0106 25.5	0.0120 0.00316 7.7	0.0793 0.0207 50.9	0.1558 0.04114 100.0
PWR-15 12.5 MWD/kgU	6	mg/g·UO ₂ ml/g·UO ₂ %	0.188 0.0321 13.3	0.282 0.0479 19.9	0.520 0.0869 36.7	0.426 0.0702 30.1	1.416 0.2371 100.0	0.0263 0.00710 16.0	0.0422 0.0112 25.6	0.0120 0.00316 7.3	0.0843 0.0220 51.2	0.1648 0.0435 100.1
	8	mg/g·UO ₂ ml/g·UO ₂ %	0.190 0.0325 13.3	0.285 0.0484 19.9	0.526 0.0879 36.7	0.431 0.0710 30.1	1.432 0.2398 100.0	0.0266 0.00718 16.0	0.0426 0.0114 25.6	0.0120 0.00316 7.2	0.0852 0.0222 51.2	0.1664 0.04394 100.0

Table 10 Measured (ref. 7) and FPRETAIN predicted krypton stable isotopes.

Fuel rod	Brun-up (MWd/kgU)	Experimental(%)			FPRETAIN(%)		
		83Kr	84Kr	86Kr	83Kr	84Kr	86Kr
A	12.1	13.1	33.6	48.6	17.2	27.6	55.2
B	14.9	14.1	28.7	51.4	17.2	27.6	55.2
C	5.38	14.1	27.6	51.4	17.2	27.6	55.3
D	5.53	14.0	27.9	51.1	17.2	27.6	55.2
E	14.8	12.7	29.4	52.0	17.2	27.7	55.3
F	5.68	13.6	28.0	51.1	17.2	27.6	55.2
G	12.1	12.8	29.9	51.4	17.2	27.6	55.2
H	5.74	13.5	28.7	51.2	17.2	27.6	55.2
I	5.68	14.0	28.2	51.2	17.2	27.5	55.3
J	10.6	13.4	30.8	50.5	17.2	27.6	55.2
K	10.6	12.7	29.5	51.8	17.2	27.7	55.1
L	5.68	14.7	27.5	50.7	17.3	27.6	55.2
M	3.59	12.8	30.3	51.0	17.2	27.5	55.2
N	9.26	14.3	27.8	51.7	17.2	27.7	55.2
O	9.34	13.9	28.2	51.4	17.3	27.6	55.2
P	9.41	13.6	28.2	51.8	17.2	27.6	55.2
Q	9.41	12.8	30.3	51.0	17.2	27.6	55.3
R	9.26	14.9	28.0	50.9	17.2	27.6	55.2
S	9.26	13.7	28.0	51.7	17.2	27.6	55.2
T	9.41	13.8	28.2	51.2	17.2	27.7	55.1

Table 11 Xe+Kr release rate obtained from RISÖ bump experiment (ref. 27~29) and one predicted by computer code FPRETAIN.

Fuel rod	Burn-up (MWd/kgU)	Items	Experiment	FPRETAIN
F8-4	33.1	Birth(mg)	5515.3	5515.3
		Release(mg)	425.2	706.2
		Release rate(%)	8.0	13.3
F14-6	33.5	Birth(mg)	5345.9	5345.9
		Release(mg)	1181.4	1151.3
		Release rate(%)	22.1	21.6
G3-2	33.2	Birth(mg)	5328.5	5328.5
		Release(mg)	452.9	887.5
		Release rate(%)	8.5	16.7
G32-3	33.6	Birth(mg)	5343.9	5343.9
		Release(mg)	363.4	486.2
		Release rate(%)	6.8	9.1
M39-48	33.9	Birth(mg)	5347.0	5347.0
		Release(mg)	513.3	961.5
		Release rate(%)	9.6	17.9
F7-3	33.7	Birth(mg)	5146.1	5146.1
		Release(mg)	586.7	51.9
		Release rate(%)	11.4	1.01
F9-3	33.7	Birth(mg)	5199.6	5199.6
		Release(mg)	895.9	416.7
		Release rate(%)	17.5	8.01
G7-3	33.3	Birth(mg)	5193.1	5193.1
		Release(mg)	358.3	256.3
		Release rate(%)	6.9	4.93
J7-3	33.3	Birth(mg)	5194.3	5194.3
		Release(mg)	815.5	677.0
		Release rate(%)	15.7	13.0
M1-3	33.4	Birth(mg)	5193.1	5193.1
		Release(mg)	456.9	252.9
		Release rate(%)	8.8	4.87
M33-3	33.4	Birth(mg)	5119.4	5119.4
		Release(mg)	1269.6	262.4
		Release rate(%)	24.8	5.15
M61-4	33.8	Birth(mg)	5197.4	5197.4
		Release(mg)	597.7	88.4
		Release rate(%)	11.5	1.7

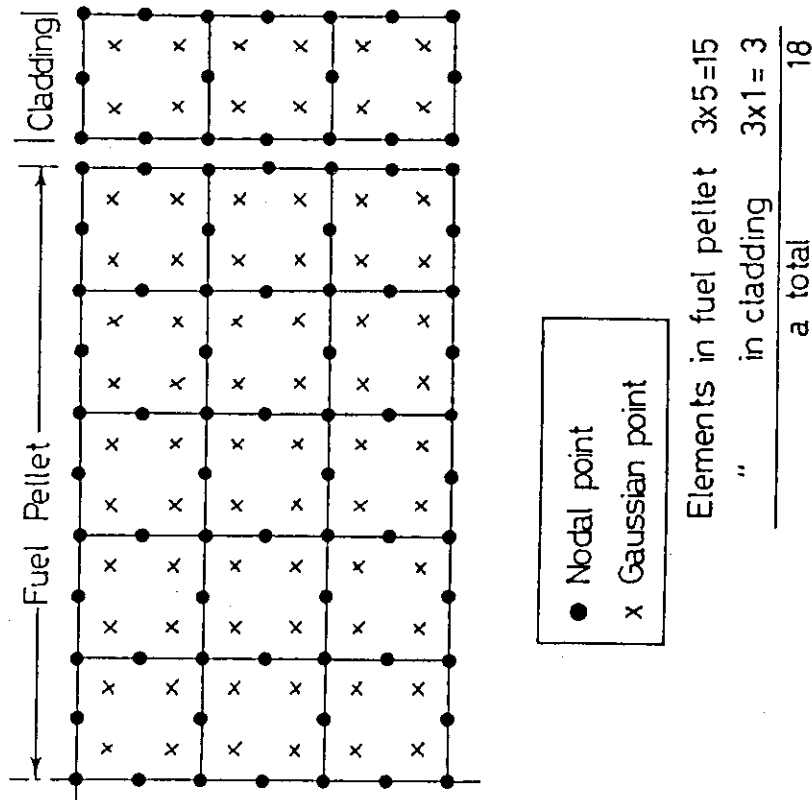


Fig. 2 Element construction which has been used in FEMAXI calculation, where isoparametric type elements with rectangular eight nodal points are used: Ref.(4).

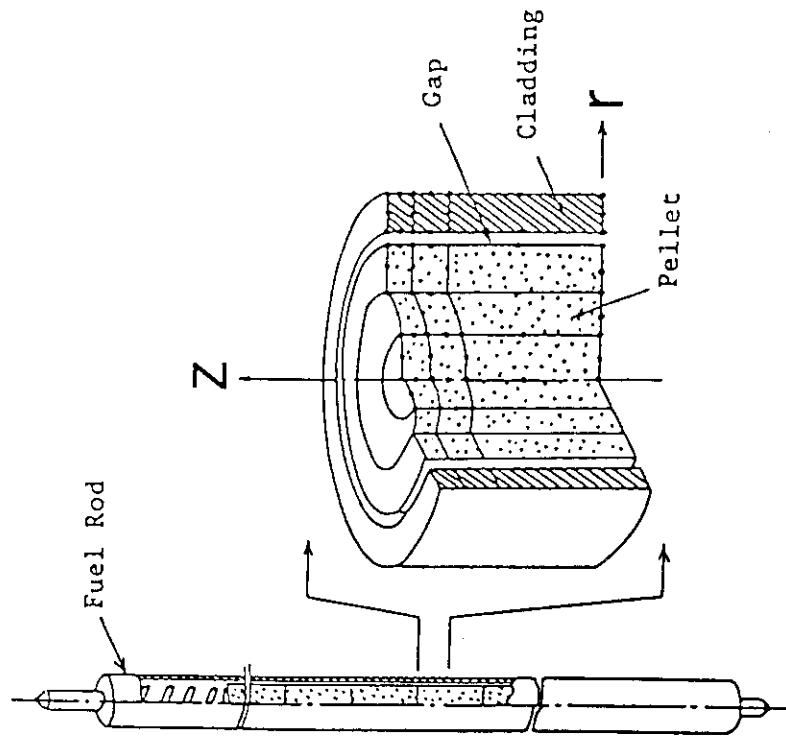


Fig. 1 Geometrical representation of the FEMAXI-III calculational model composed of one-half length of fuel pellet with cladding which is taking an axial continuity into consideration together with boundary condition. Whereas calculation of F.P. gas release is carried out to overall rod length: Ref.(4).

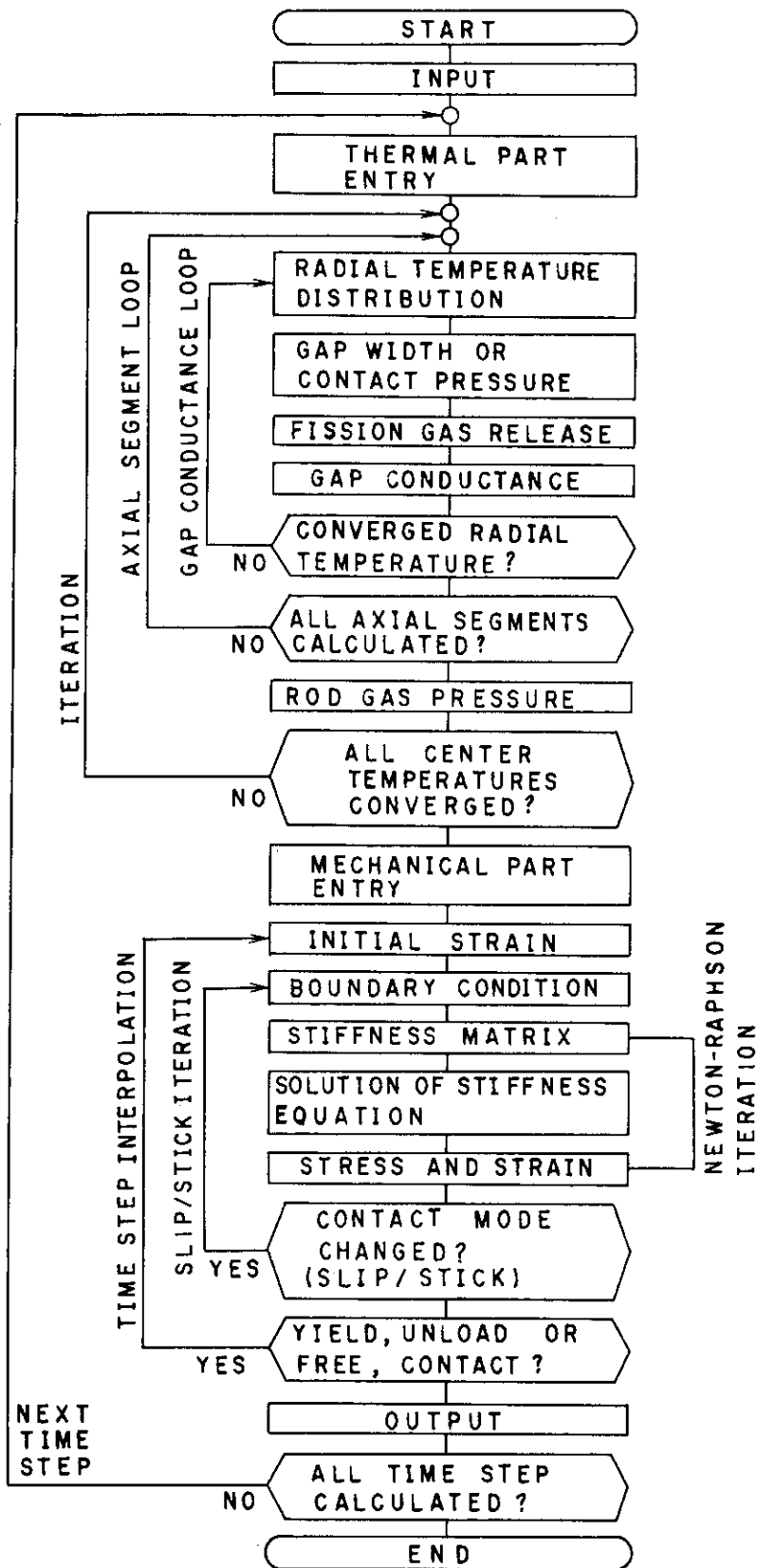


Fig. 3 Flow-chart of FPRETAIN code calculation.

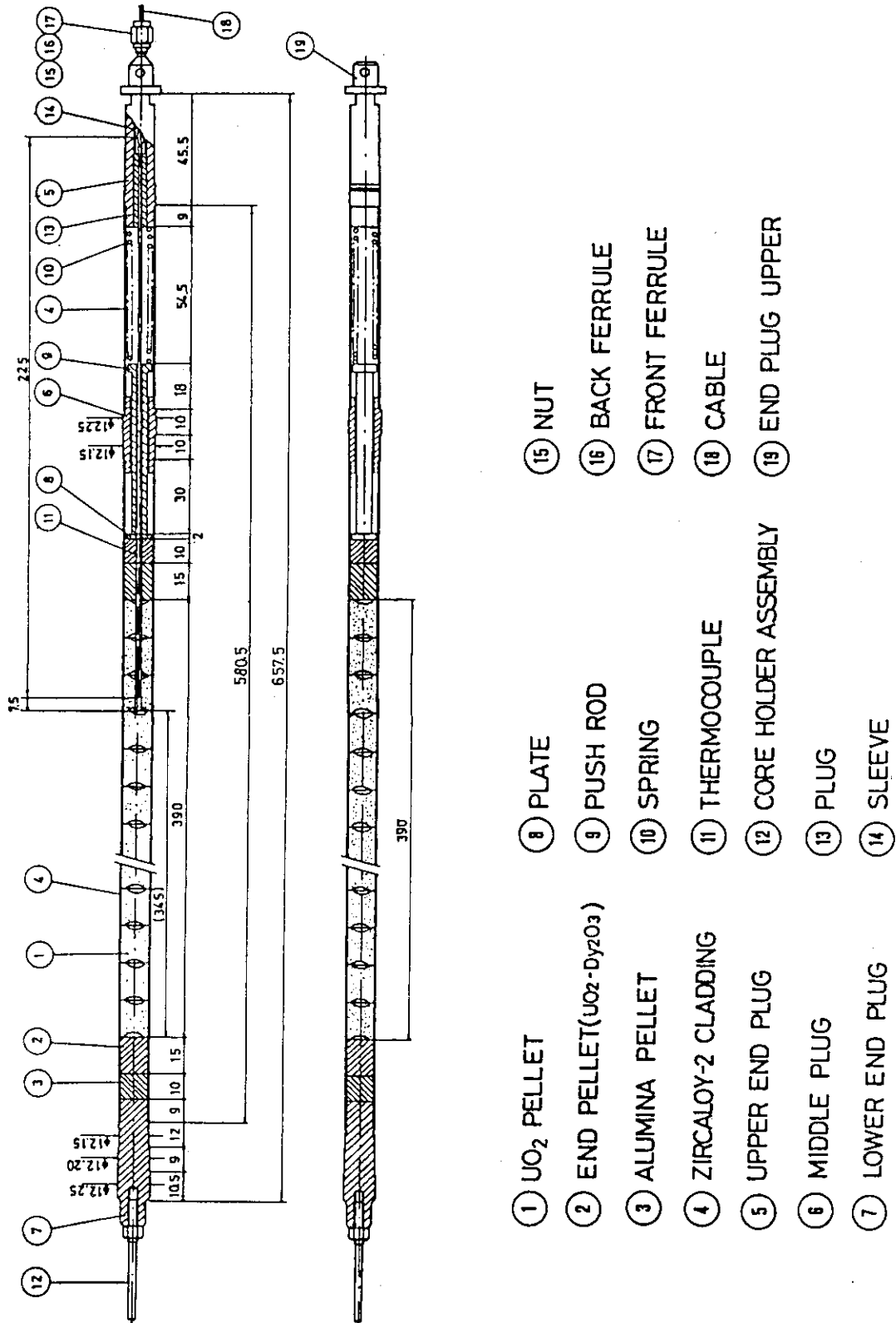


Fig. 4 Schematic drawing of fuel rod with thermocouple (top) and without thermocouple (bottom).

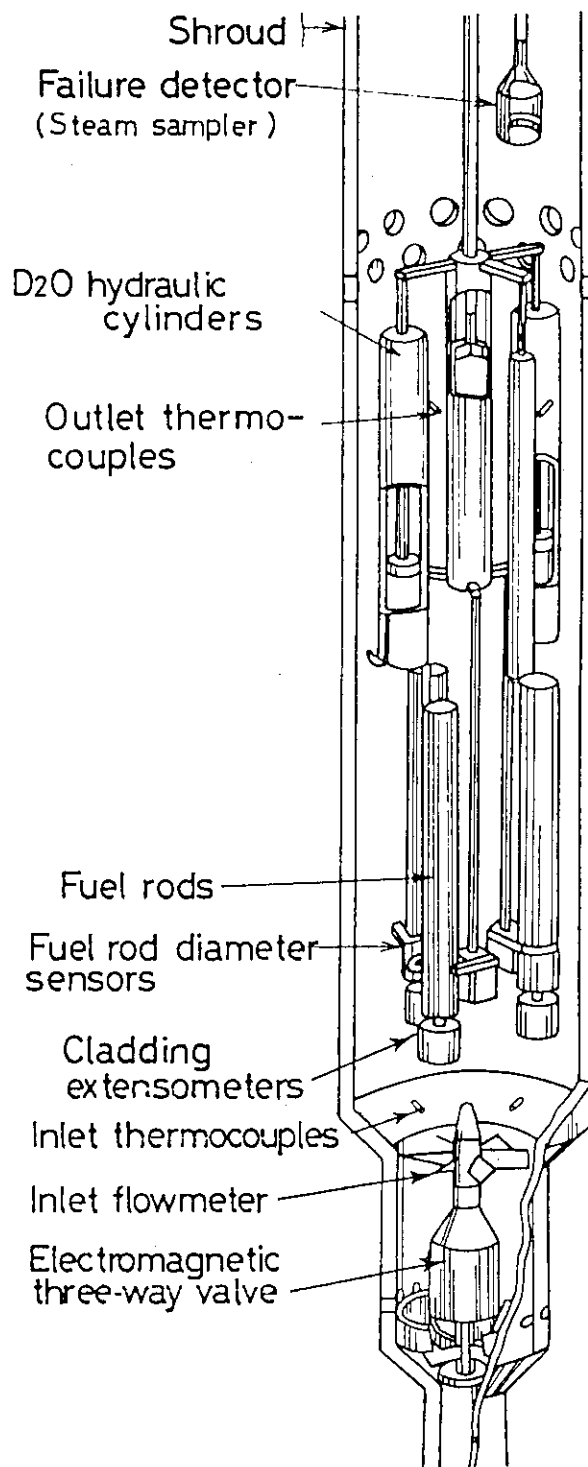


Fig. 5 Fuel rods and attached in-pile instrumentations loaded into irradiation rig in experiment IFA-508.

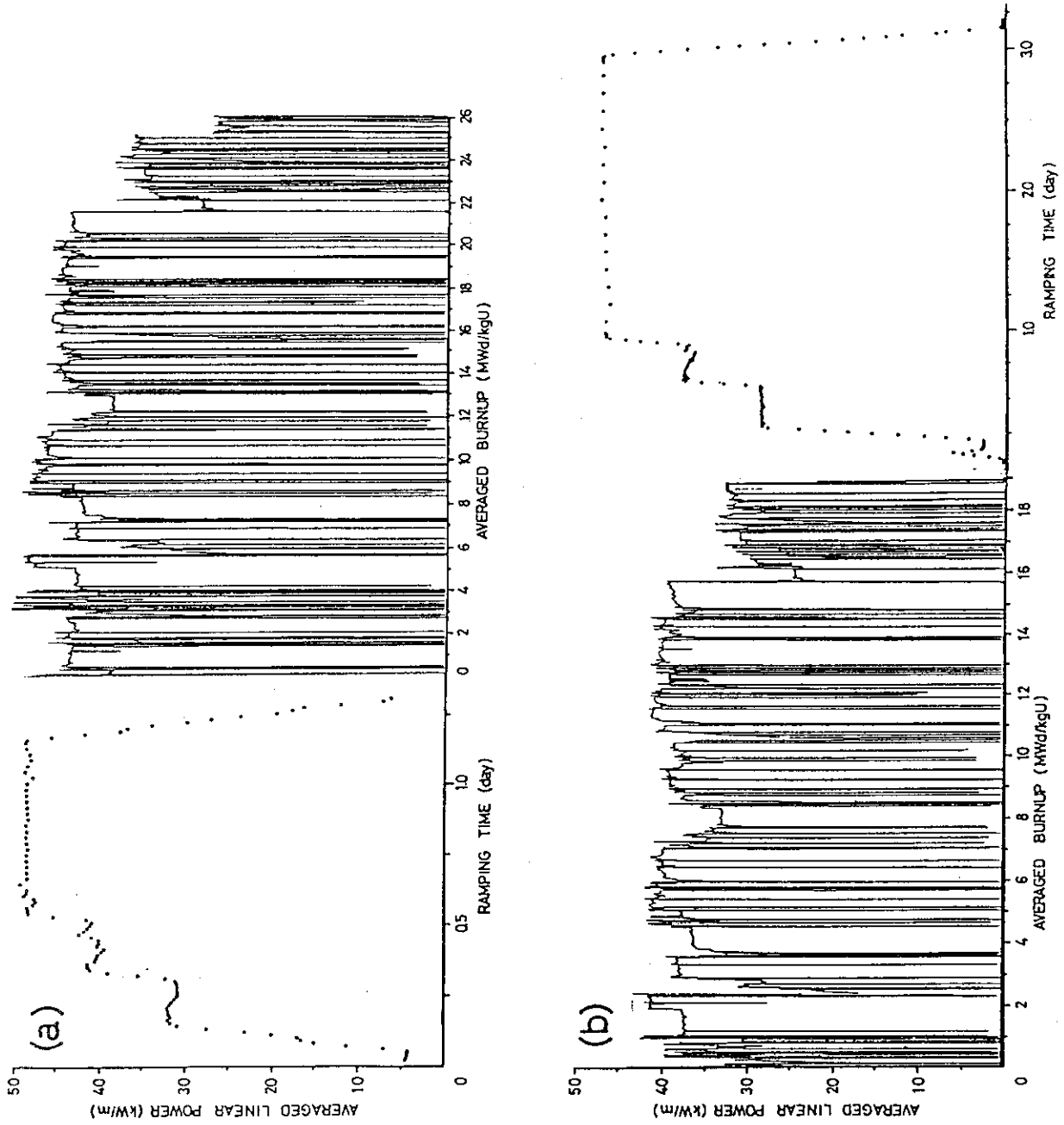


Fig. 6 Typical power histories of experiment IFA-508/515 performed at HBWR.

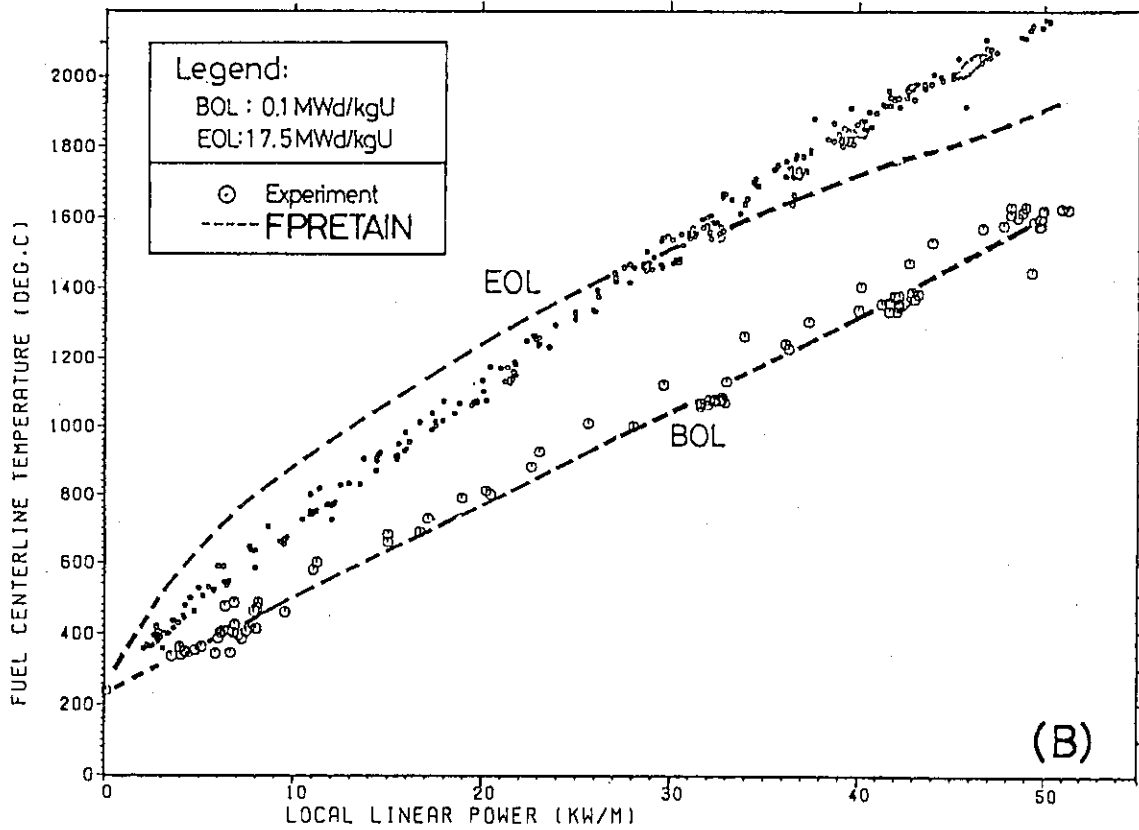
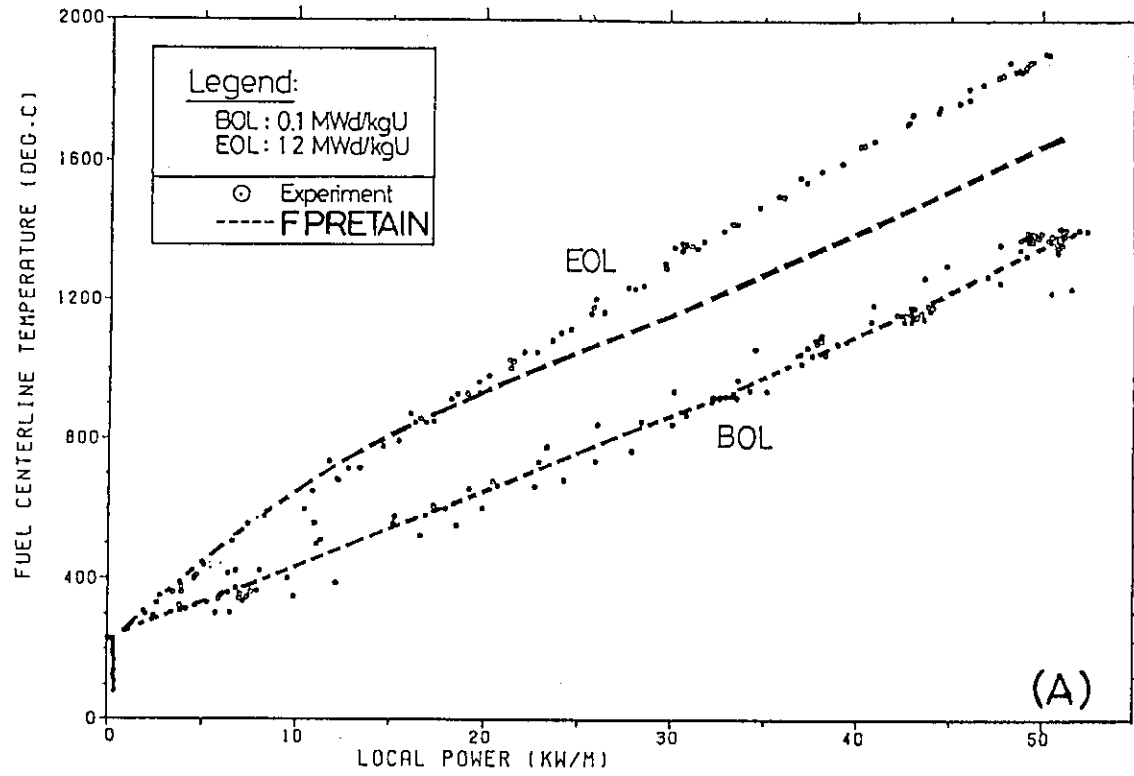


Fig. 7 Fuel centerline temperature of BWR type fuel rod used in IFA-508 at HBWR ; (A) diametral gap of 0.100 mm and (B) diametral gap of 0.220 mm.

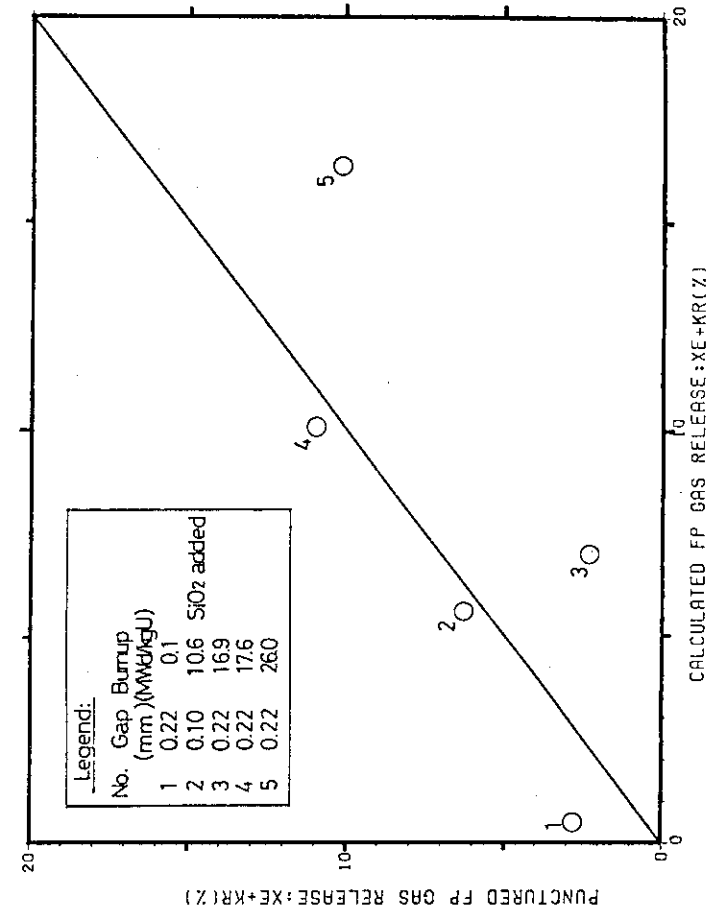


Fig. 9 Measured and predicted FP gas release from IFA-508/515 experiments performed at HBWR.

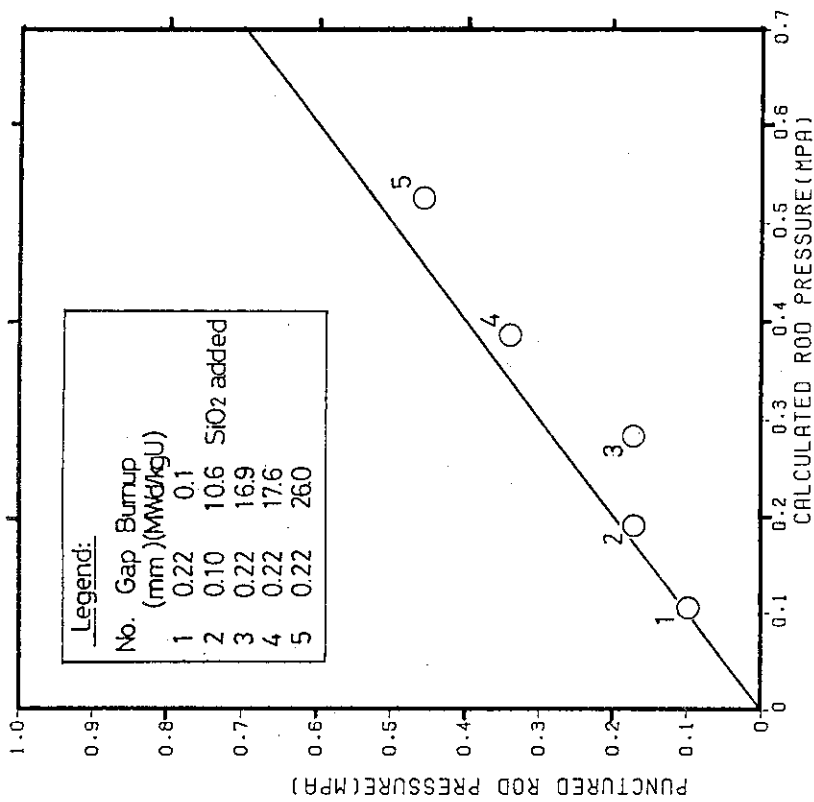


Fig. 8 Measured and predicted plenum gas pressures from IFA-508/515 experiments performed at HBWR.

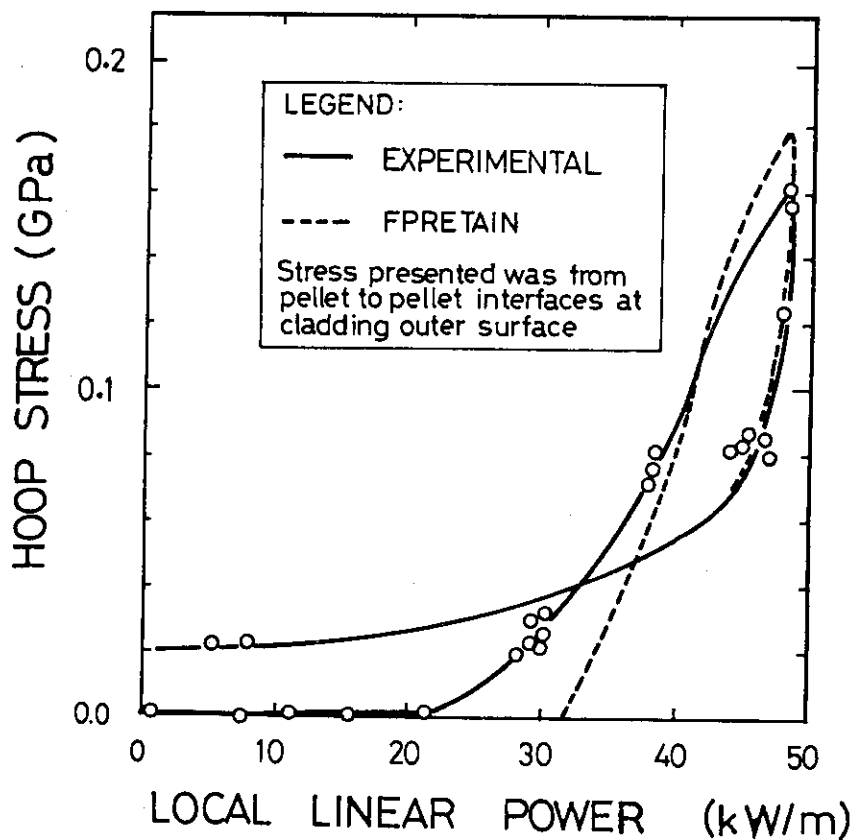
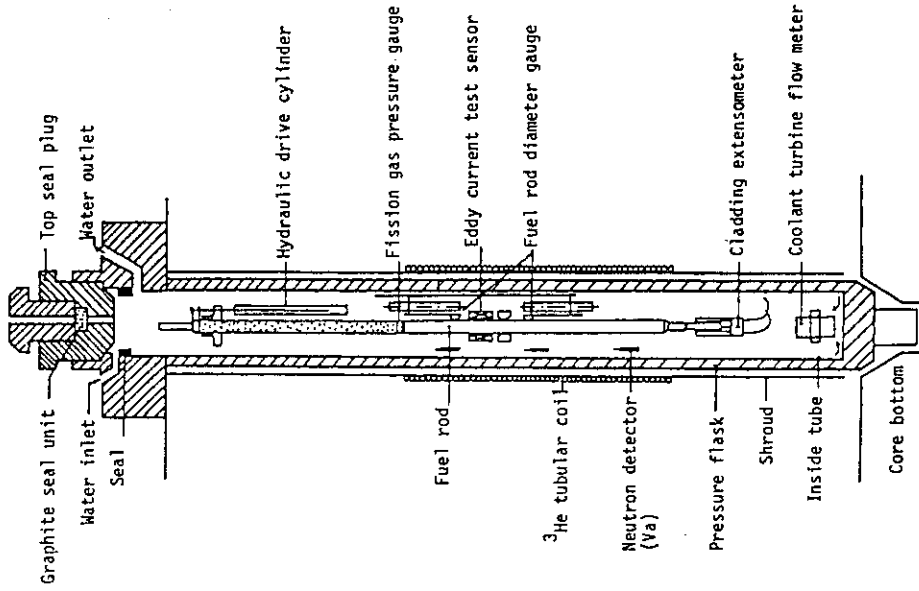
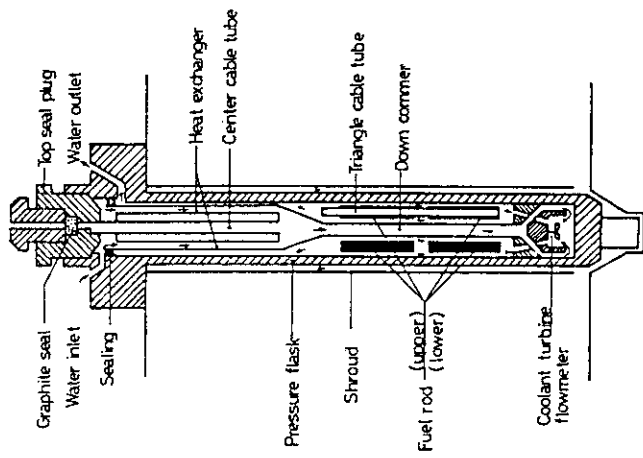


Fig. 10 Cladding hoop stress at pellet to pellet interface vs. local linear power, where HBWR experimental data and calculational one from computer code FPRETAIN was compared.



(2) Schematic representation of power ramping rig



(1) Schematic representation of base irradiation rig

Fig. 11 Schematic representation of (1) base irradiation rig and (2) power ramping rig used in the experiments IFA's 523, 524, 520 and 525 at HBWR.

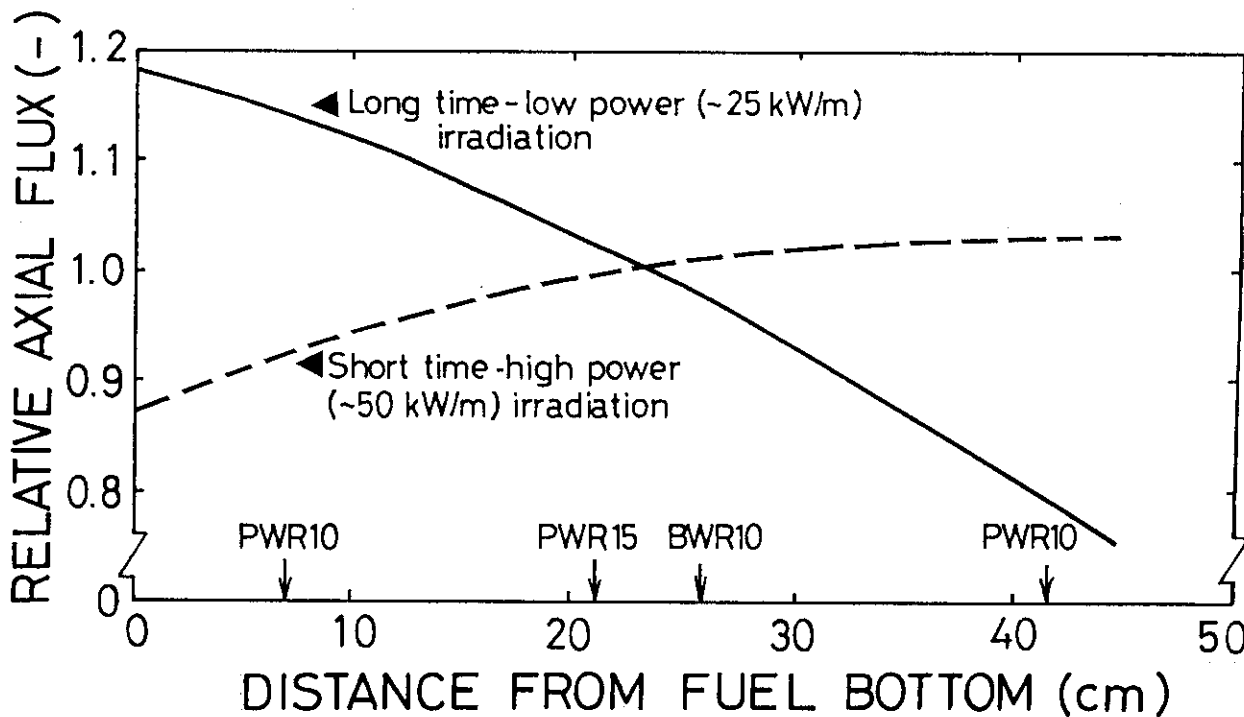
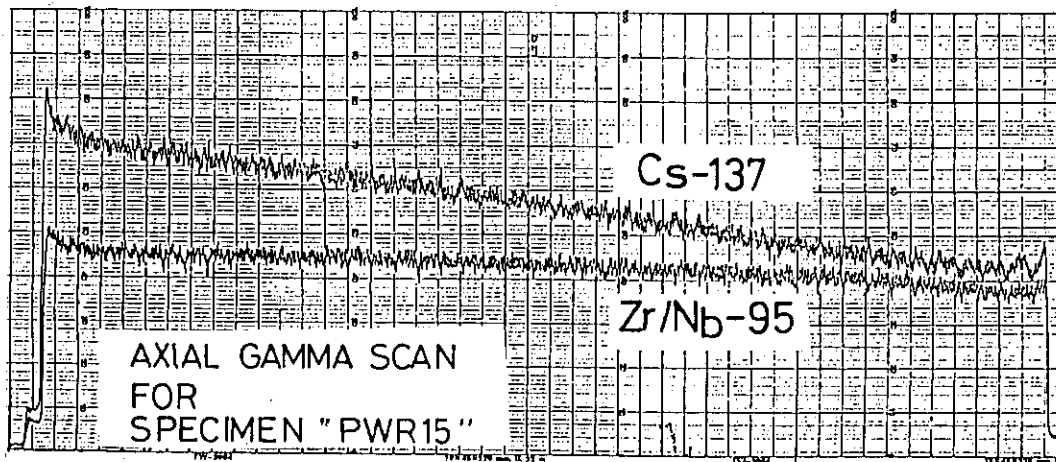


Fig. 12 (Bottom) Relative axial flux distribution (solid line was subjected to base irradiation and dotted line was subjected to power ramping) of micro-drilled specimens at power, sampled location of each specimen are shown by arrows; (top) axial gamma scan profile of fuel rod PWR15 at HBWR experiment.

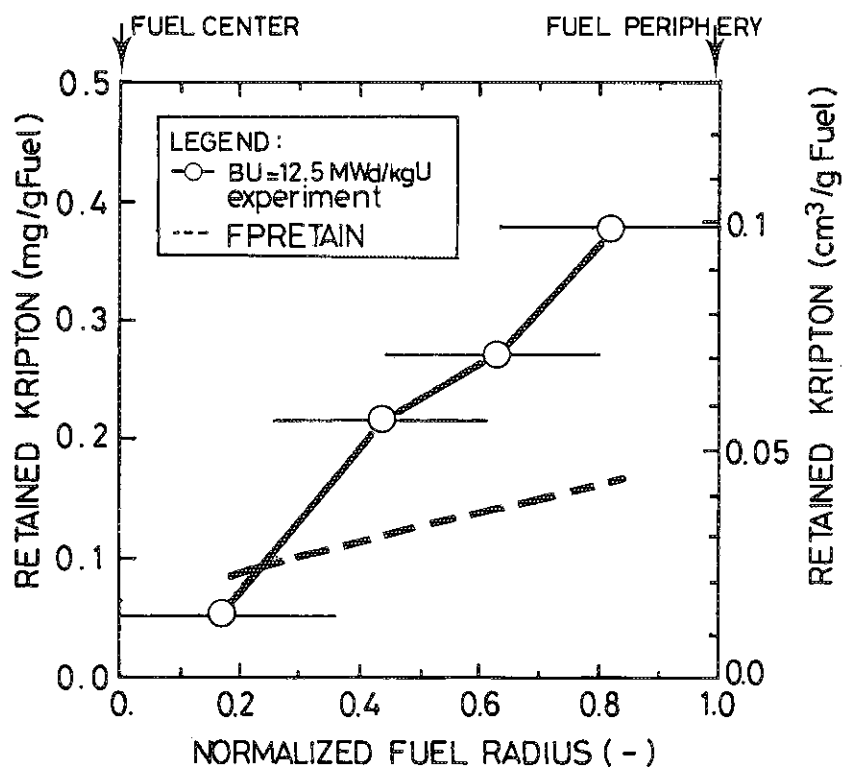
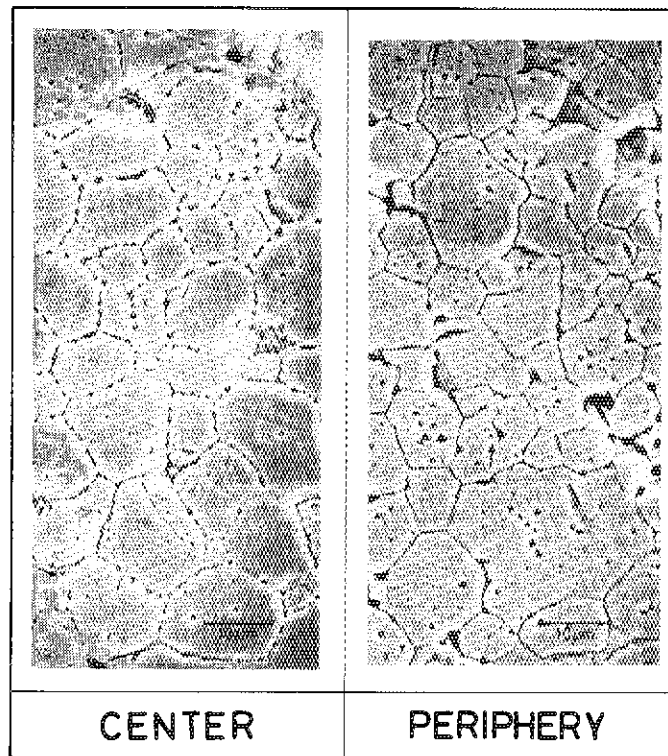


Fig. 13 (Top) Fuel microstructure of PWR15 obtained from center and periphery (bottom) Retained Kr isotopes measured from micro-drilling of irradiated fuel pellet and retained Kr isotopes calculated by computer code FPRETAIN, in which horizontal bands at each data represents the drill outer diameter, i.e., sampled range of Kr isotopes in the fuel.

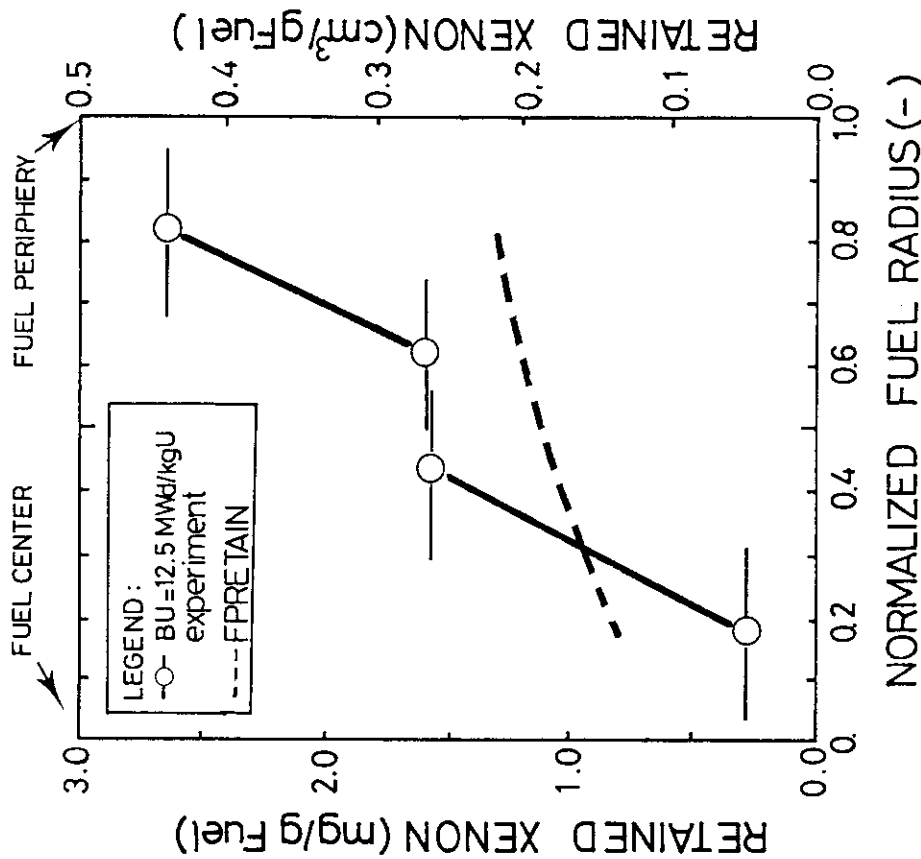


Fig. 14 Retained Xe isotopes measured by micro-drilling of irradiated fuel pellet and retained Xe isotopes calculated by computer code FPREFAIN, in which horizontal bands in experimental data equal to the outer diameter of drill, meaning the sampled range of Xe isotopes of fuel.

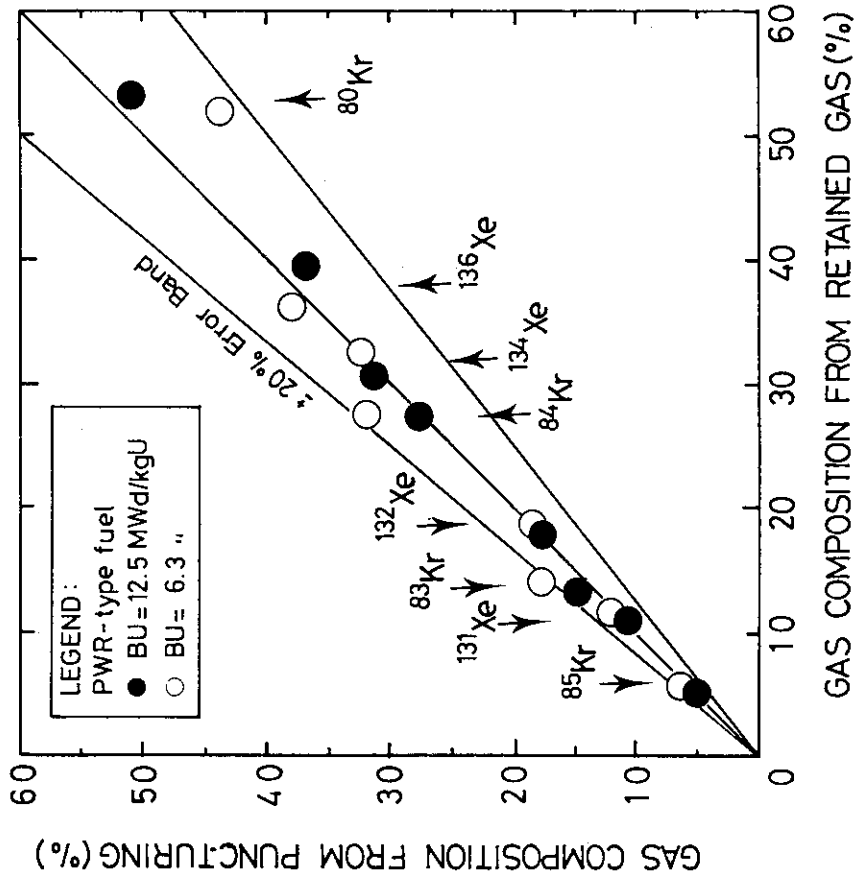


Fig. 15 Comparison of stable isotopes consisted of xenon and krypton. These were measured from PIE puncturing and from micro-drilling of irradiated UO₂ fuel.

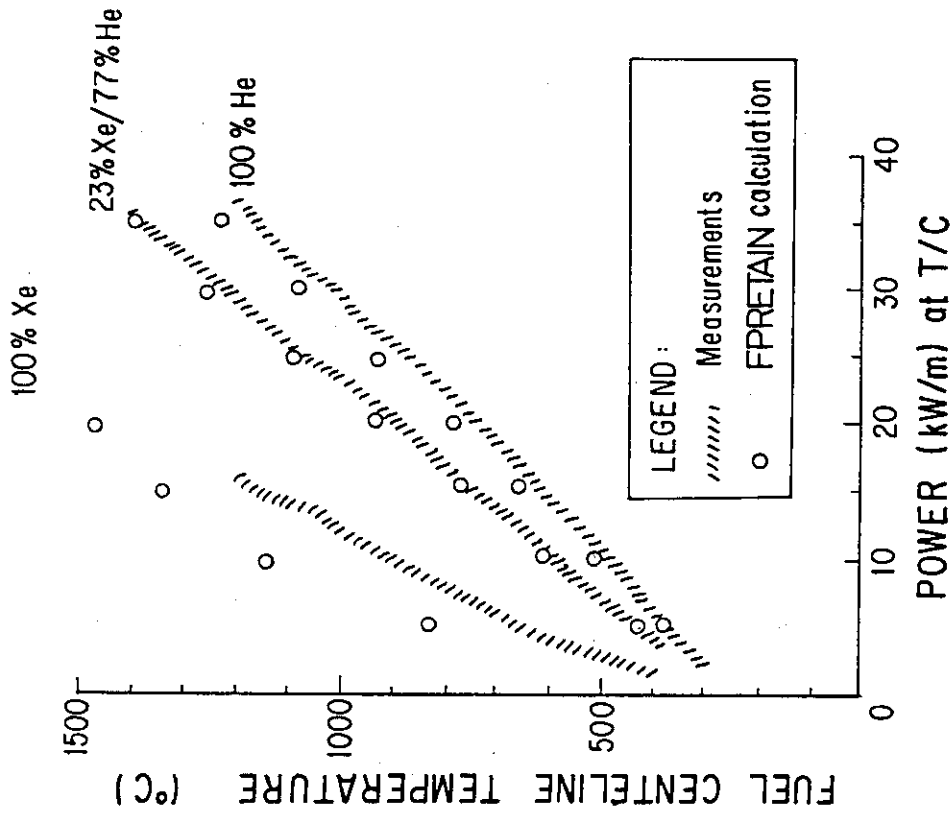


Fig. 17 Fuel centerline temperature vs. power at T/C (thermocouple) location as a function of filler gas composition; comparison of experimental data (ref.7) with predicted data by the computer code FPRETAIN.

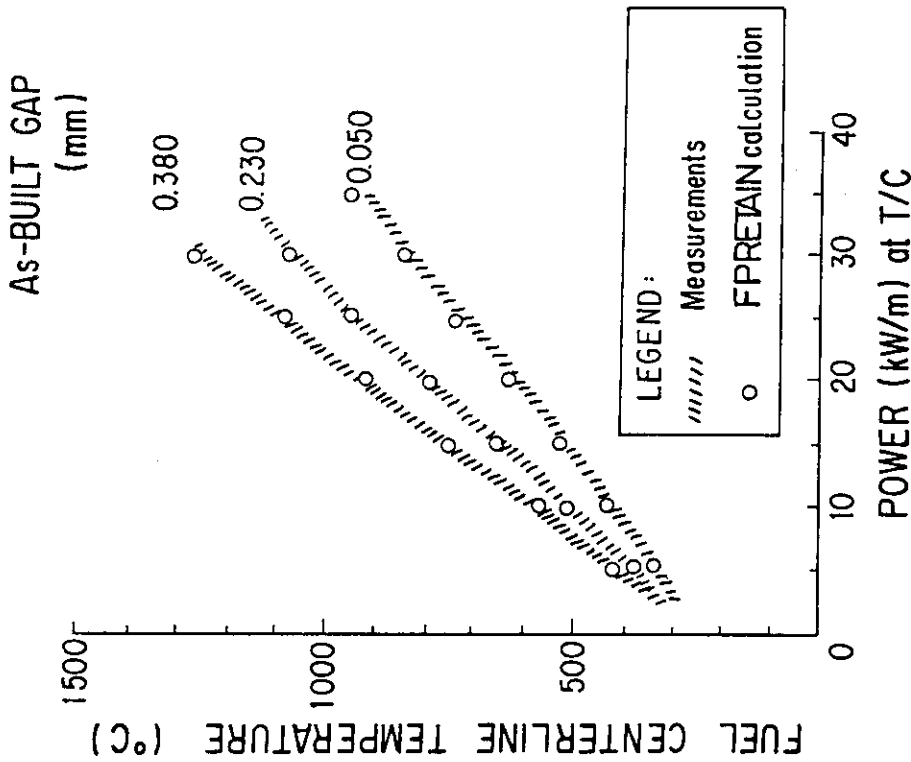


Fig. 16 Fuel centerline temperature vs. power at T/C (thermocouple) location as a function of as-built diametral gap; comparison of experimental data (ref.6) with predicted data by the computer code FPRETAIN.

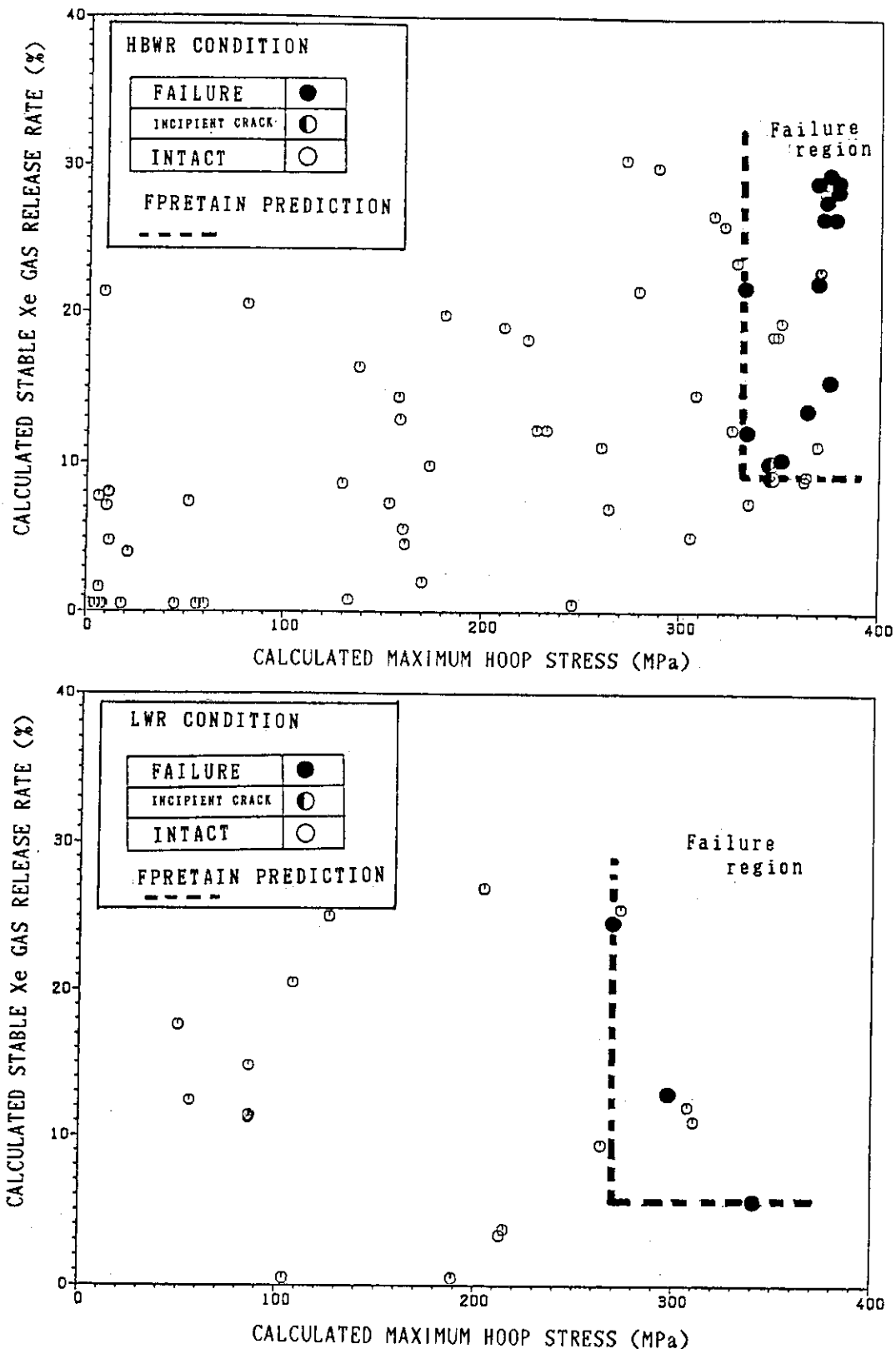


Fig. 18 Calculated stable Xe gas release rate as a function of a maximum hoop stress at power ramping performed (top) under HBWR condition (coolant temp.=240°C at 3.4 MPa coolant pressure) and (bottom) under LWR condition (coolant temp.=280~320°C at 70 or 160 MPa coolant pressure).

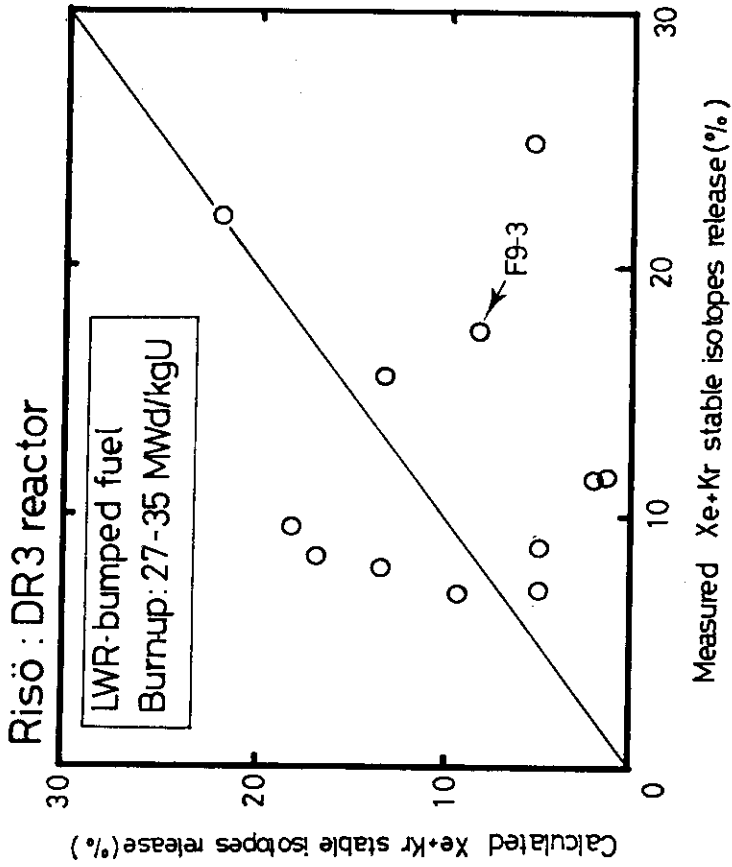


Fig. 20 Comparison between the measured and the calculated release of stable isotope of Xe+Kr: Ref.(27~29). Data point of fuel rod F9-3 shown by arrow in the figure was used for the study of radial xenon distribution across the fuel: the result is given by Fig. 21.

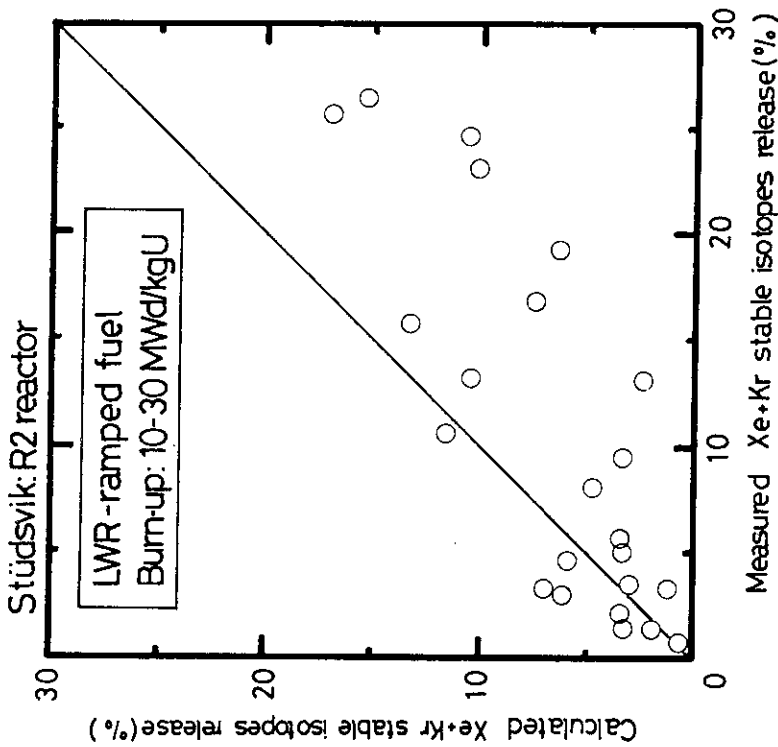


Fig. 19 Comparison between the measured and the calculated release of stable isotope of Xe+Kr: Ref.(22~24).

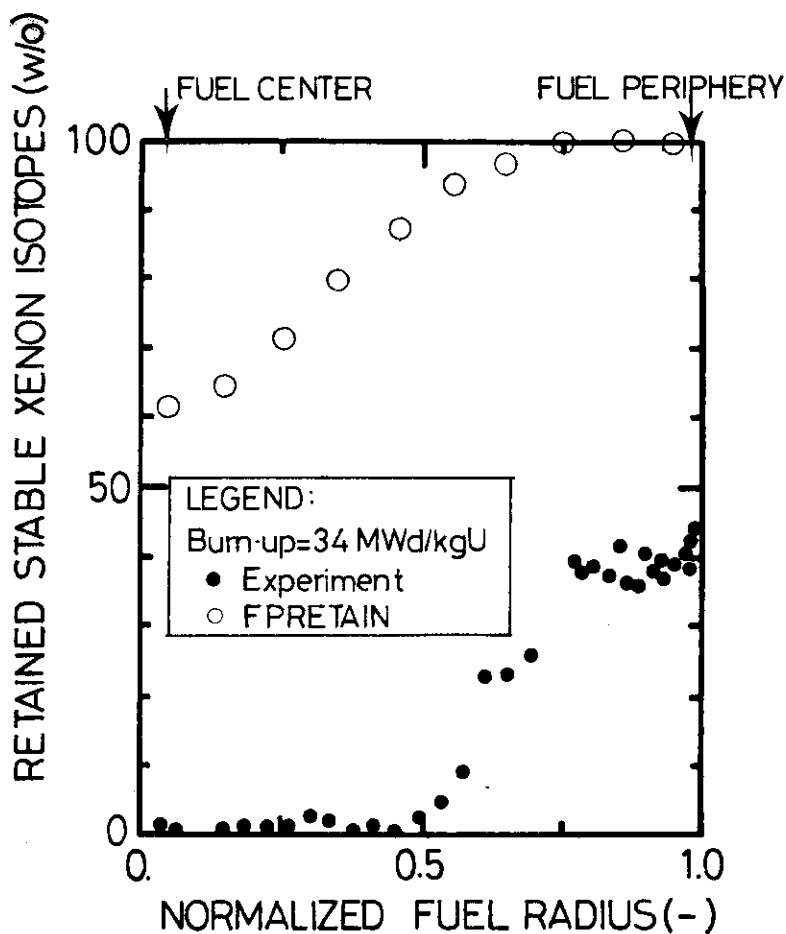


Fig. 21 Stable isotopes of xenon retained in the fuel rod F9-3. Measured and predicted amounts of the isotopes were compared. For the fuel rod F9-3, measured release rate of Xe+Kr was 17.5% and predicted release rate of Xe+Kr was 8%: Ref.(27~28).

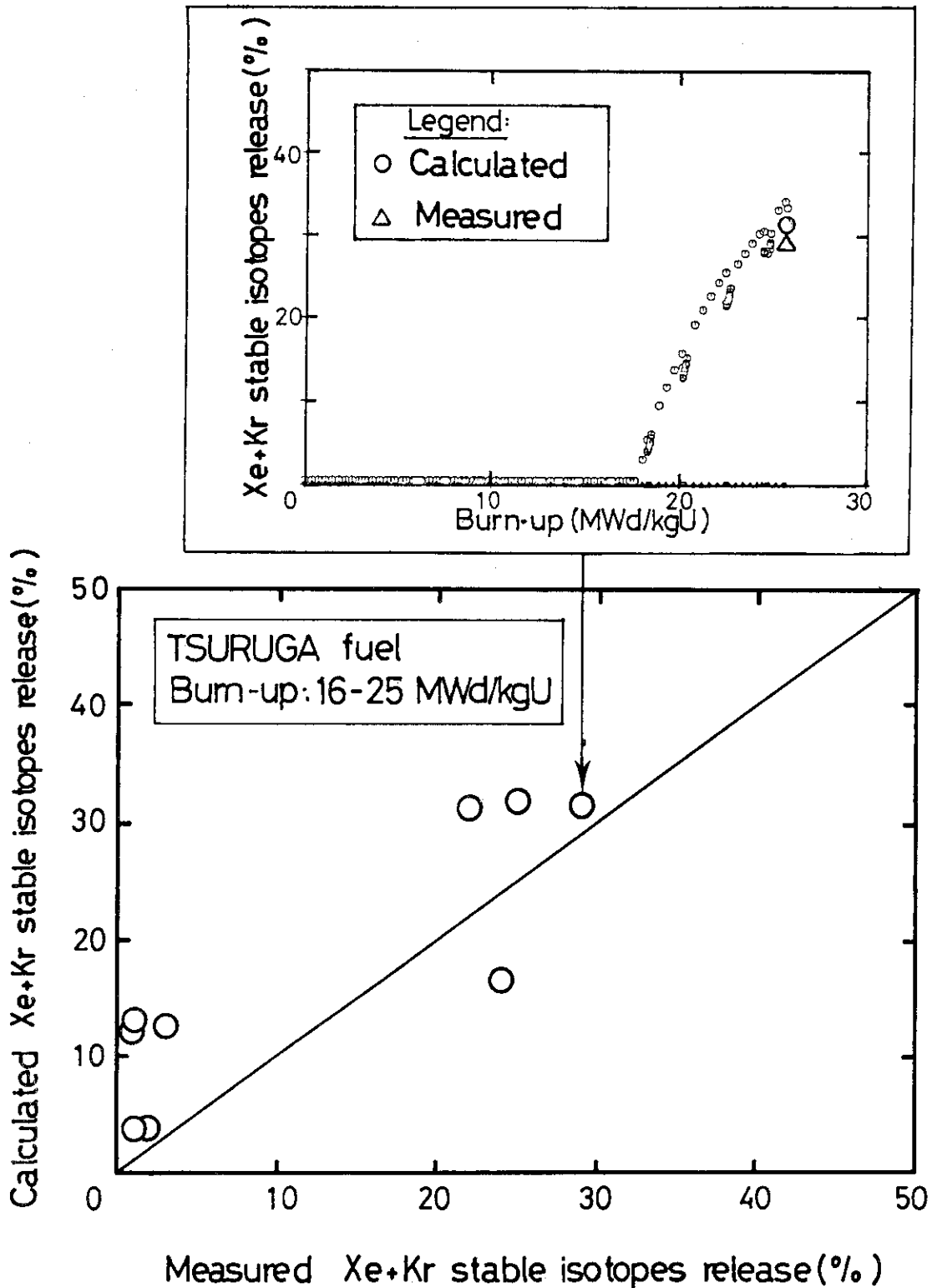


Fig. 22 (Bottom) Comparison between the measured and the predicted release of stable isotope of Xe+Kr. Time-dependent release of Xe+Kr gas from the fuel shown by arrow was predicted and compared with punctured data. The result is shown in the top of figure: Ref.(30~32).

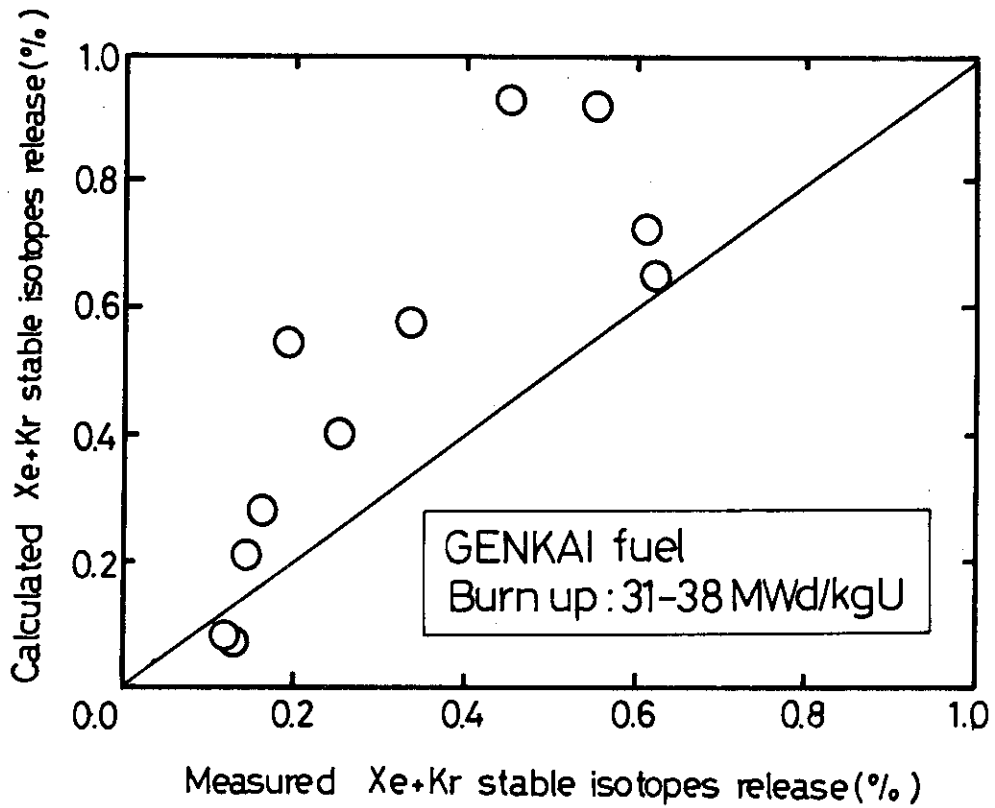


Fig. 23 Comparison between the measured and the predicted release of stable isotope of Xe and Kr on GENKAI PWR type fuel from domestic commercial power reactor.

附録 FPRETAINインプットとアウトプット

1. はじめに

FPRETAINコードの基本設計は、FEMAXI-Ⅲコードとほぼ同一の概念で構成されている。したがって、インプットもアウトプットも、実行コードであるFEMAXI-Ⅲのそれ⁽¹⁾を、基本に作成した。

(1) 斎藤ら, JAERI-M 83-056 (1983)

2. 入 力 編

2.1 入力形式

FPRETAIN における入力は Table A.1 で示す入力形式に従って行なう。

Table A.1 FPRETAIN 入力形式

CARD No.	SYMBOL	(FORMAT)	
1	MTITL(I), I=1, 20	(20 A 4)	任意のタイトル
2	¥ INPUT ¥ END	(2 ~ 80 カラム)	計算パラメータ
	計算パラメータを Name list にて指定する。		
3	NAX, IFEM, IPLANT, TLAG, IÖPT NNCLS, IFIG 1(i) (3 I 10, F10.0, I3, I3, 8 I 3)		燃料棒仕様
	NAX =軸方向ノード数 ($1 \leq NAX \leq 12$) IFEM =着目ノード番号 ($1 \leq IFEM \leq NAX$) IPLANT =1 …… Halden BWR の場合 =2 …… その他の BWR の場合 =3 …… PWR の場合 TLAG =照射終了後の冷却時間 (hour) IÖPT =0 … FEMAXI-III で使用していた FP ガス放出計算方式を用いる ≠0 … ANS 5.4 モデルに基づく FPRETAIN 計算方式を用いる NNCLS =計算対象とする総核種数 ($1 \leq NNCLS \leq 8$) IFIG 1(i) =計算したい FP 核種で、本文 Table 2 の核種番号で選定する ($1 \leq i \leq NNCLS$)		
4	MRASA, CDIN, CDOUT	(I 10, 2 F 10.0)	被覆管仕様
	MRASA =0 …… RA 材 =1 …… SR 材 CDIN =被覆管内径 (cm) CDOUT = # 外径 (cm)		
5	<u>NAX 枚必要</u> (I=1, NAX) IDISH(I), ICHAM(I), PDIN(I), PDIA(I), PLENG(I), ENR(I), FDENI(I), DZ(I)	(2 I 10, 6 F 10.0)	ペレット仕様
	IDISH(I) =0 …… ディッシュなしペレット =1 …… 片端面ディッシュ " " =2 …… 両端面 " " ICHAM(I) =0 …… チャンファなしペレット =1 …… チャンファ ペレット		

CARD No.	SYMBOL	(FORMAT)	
5	PDIN (I)=ペレット中心孔直径 (cm) PDIA (I)=ペレット直径 (cm) PLENG(I)=1 ペレット長さ (cm) ENR (I)=U-235 濃縮度(-) FDENI(I)=ペレット密度対理論密度比(-) DZ (I)=ノードの軸方向長さ (cm)		
6	<u>IDISH = 1 or 2 の場合のみ入力</u> DISH, DEPTH, DISHB (3 F 10.0) DISH=ディッシュ直径 (cm), DISHB=ディッシュ底直径 (cm) DEPTH=ディッシュ深さ (cm)		ディッシュ仕様
7	<u>ICHAM = 1 の場合のみ入力</u> CHAMR, CHAMZ (2 F 10.0) CHAMR=チャンファ幅 (cm) CHAMZ= " 深さ (cm)		チャンファ仕様
8	PLENUM, GPIN, (GMIXO(I), I=1, 4), PWEIT (7 F 10.0) PLENUM =プレナム部容積 (cm ³) GPIN =初期ガス圧力 (MPa) GMIXO(I)=初期ガス組成(-) i=1...He, i=2...N ₂ , i=3...Kr, i=4...Xe PWEIT =ペレット総重量 (gram)		プレナム仕様
9	NHIST (I 10) NHIST > 1 を入力 CARD 10, 11 について NHIST 組入力する。		履歴点数
10	A1, B1, A2, A5, A3, A4, IT, IP (6 F 10.0, 2 I 5) A1=時間 (HOUR) B1=燃焼度 (MWD/TUO ₂ (IBUNP=0) MWD/TU (" =1) GJ/KGU (" =2) A2=線出力 (W/cm) A5=高速中性子束 (n/cm ² ·sec) A3=冷却水温度 (°K) A4= " 圧力 (MPa) IT=入力ジェネレータ IP=0 出力しない履歴点 =1 出力する " =2 出力する " (最終情報出力をあたえる履歴点)		履歴データ

CARD No.	SYMBOL	(FORMAT)	
11	(RH(I), I=1, 12), II	(12F5.0, I5)	相対出力分布
	RH(I) = 軸方向ノード j の相対出力(-) (NAX 個のデータ) II = 同様の相対出力を行なう履歴点数		
12	IEND	(A4)	入力終了カード
	STOP を入力する		

2.2 入力方法

入力は、2.1節に概略した入力形式に従って行なうが、本節では実際の入力例をもとに、入力上の注意や簡略化の方法等について述べる。

説明は、カードナンバー順に行なう。

2.2.1 タイトル

タイトルカードを80カラムイメージで与える。

—FORMAT (20A4)

—Example

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																				
*	*	P	W	P	1	5	:	2	N	D	H	A	L	D	E	N					P	A	M	P	*	*	A	X	I	A	L	L	T	H	E	R	M	A	L																														

2.2.2 計算オプション

計算オプションは、NAMELIST DATAにて指定する方式をとった。ただし、FPRETAINは拡散方程式に基づく、FPの生成・放出を計算するので、FPガス放出計算と力学的計算を同時に行なわせようとする、計算時間が長くなる可能性がある。

従って、力学的計算が特に必要でなければ、NAMELIST DATA中に

$$\text{IFGR} = 4 \text{ (ANS 5.4 オプション)}, \text{ICK} 1 = 1 \text{ (熱計算のみ)}$$

を用いて、計算することを推奨する。なお、 $\text{IFGR} = 0$ とし、Table A.1のCARD No.3のTLAG以降を全て0にすると、従来のFEMAXI-III計算も行える。このときの出力形式は、FPRETAINと少し異なるので、その出力形式については、本附録の章末に参考として添付した。

上記以外の各オプション群には、それぞれ標準値がセットされており、標準値を変更して使用する変数についてのみ指定する。NAMELISTで指定できる変化名、内容、標準値について、Table A.2に示す。

Table A. 2 NAME LISTで指定する変数

変数名	内 容	標準値
IFGR	FPRETAIN計算ではIFGR=4とする, IFGR値なしのときには, FEMAXI-III計算を行う	0
GR	UO ₂ ペレットの初期結晶粒径 (μm), IFGR=4のときのみ使用する。	40
IREST	リスタート計算オプション (=0: no restart, =1: restart)	0
INTST	リスタートテープの作成オプション (=0: 作成しない, =1: 作成する)	0
NGR 2	ガス生成量, 放出率の位置, 時刻ごとの記憶領域の大きさ	5000
NGR 3	ガス生成量, 放出率の記憶場所の指定テーブルの大きさ	300
CRFAC	PWR燃料, クリープ速度式をCRFAC倍とする。	1.3
INPCK	入力チェックオプション (=0: 通常計算, =1: 入力チェックのみ計算は行わない)	0
IBUNP	入力燃料度の単位指定 (=0: MWD/tUO ₂ , =1: MWD/tU, =2, GJ/kgU)	0
ICK 1	温度計算オプション (=0: 通常計算, =1: 温度計算のみを行なう)	0
DMAX	再焼結 (1700℃ × 24 hr) における密度増加	1
DE	冷却材流路の相当直径 (cm)	1.18
V	冷却材流速 (cm/sec)	500
IPH	出力増分オプション (=: 増目ノードで出力増分を決定, =1: 最大出力変動ノードで出力増分を決定)	0
IOPT 1	下部プレナムオプション (=0: 下部プレナムはない, =1: 下部プレナムはある)	0
SBU	やきしまり完了時の燃焼度 (MWD/tUO ₂)	2500
(IWRELI), I=1, 24)	出力オプション (要素ガウス点における出力情報を与える) IWRELの内容と標準値 (=0: 出力しない, =1: 出力する)	

番号	内 容	標準値	番号	内 容	標準値	番号	内 容	標準値
1	径方向応力 (σ_r)	0	2	軸方向応力 (σ_z)	1	3	円周応力 (σ_θ)	1
4	断応力 (τ_{rz})	0	5	相当応力 ($\bar{\sigma}$)	1	6	降伏応力 (σ_Y)	0
7	径方向ひずみ (ϵ_r)	0	8	軸方向ひずみ (ϵ_z)	0	9	円周ひずみ (ϵ_θ)	0
10	断ひずみ (γ_{rz})	0	11	相当塑性ひずみ ($\bar{\epsilon}_p$)	1	12	径方向クリープひずみ ($\epsilon_{c,r}$)	0
13	軸方向クリープひずみ ($\epsilon_{c,z}$)	0	14	円周クリープひずみ ($\epsilon_{c,\theta}$)	1	15	径方向弾性ひずみ (ϵ_r^e)	0
16	軸方向弾性ひずみ (ϵ_z^e)	0	17	円周弾性ひずみ (ϵ_θ^e)	0	18	径, 円周熱ひずみ ($\epsilon_{r,\theta}^{TH}$)	0
19	軸方向熱ひずみ (ϵ_z^{TH})	0	20	やきしまりひずみ (ϵ^{den})	0	21	スウェリングひずみ (ϵ^{sw})	0
22	径方向ヤング率 (E_r)	0	23	軸方向ヤング率 (E_z)	0	24	円周ヤング率 (E_θ)	0

入力例でも示すように, NAME LISTの入力は2カラム以降より始める。

- Example

1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
¥INPUT									IBUNP=1, ICK1=1, IFGR=4									¥END																										

2.2.3 燃料棒仕様

燃料棒仕様に関する入力を行なう。

NAXは軸方向ノード数で、最大12ノードまで指定できる。IFGR=4の場合は無視されるがIFGR=0の場合は有効となるIFEMでは、変形挙動を解析するノード番号を指定する。従ってIFEMは、 $1 \leq IFEM \leq NAX$ の範囲で指定する。IPLANTはプラントの種別を指定する変数で

- IPLANT = 1 : HBWR
- IPLANT = 2 : BWR
- IPLANT = 3 : PWR

である。

FPRETAINでは、照射終了直後の核種残存量を1(100%)と仮定した。冷却によるFP核種崩壊割合を計算する。この変数名がTLAG(F10.0)であり、照射後の冷却期間を時間で入力する。

IOPTは、拡散方程式に基づくFP放出量を計算するFPRETAINと、経験的な測定評価に基づくFP放出量を計算するFEMAXI-IIIの両方を、FPガス計算に使用できるようにしたものである。すなわちIOPT≠0とすると、拡散方程式によるFPRETAIN計算を、また、IOPT=0とすると、試験的な測定評価による従来のFEMAXI-III方式のFP計算が実行される。

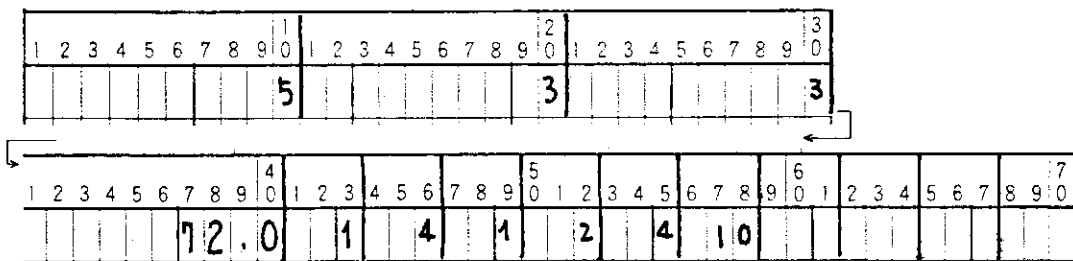
NNCLSは、本文のTable2中に示した核種のうち、計算対象とする核種の総数を計算するものである。ただし、 $1 \leq NNCLS \leq 8$ とする。

IFIG 1(i)は、本文のTable 2中に示した核種のうち、計算対象として選定すべきものを、同表についている核種の対応番号(例、¹³¹Xeなら1、⁸³Krなら6)から選び出す変数である。すなわち $1 \leq i \leq NNCLS$ となる。

-FORMAT (3I 10, F 10.0, 2I 3, 8I 3)

I 10	I 10	I 10	F 10.0	I 3	I 3	I 3	I 3	...	I 3
NAX	IFEM	IPLANT	TLAG	IOPT	NNCLS	IFIG 1(1)	IFIG 1(2)	...	IFIG 1(8)

- Example



2.2.4 被覆管仕様

被覆管仕様に関する入力を行なう。

MRASAは被覆管の材質を指定する変数で、MRASA=0は再結晶材、MRASA=1は応力除

去材である。CDINは被覆管内径 (cm) , CDOUTは被覆管外径 (cm) である。

- FORMAT (I 10, 2F 10.0)

I 10	F 10.0	F 10.0
MRASA	CDIN	CDOUT

- Example

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0		
									1											0.8369											0.9506																				

2.2.5 ペレット仕様

ペレット仕様に関する入力である。

この入力は、各軸方向ノードごとに必要で、2.2.3に示したNAX枚の入力が必要となる。

IDISHはディッシュオプションでIDISH=0はディッシュなしペレット, IDISH=1は片ディッシュペレット, IDISH=2は両ディッシュペレットである。ICHAMはチャンファオプションでICHAM=0はチャンファなしペレット, ICHAM=1はチャンファペレットである。PDINはペレット中心孔直径 (cm) であり, PDIAはペレット直径 (cm) , PLENGは1ペレット長 (cm) である。ENRはU-235の濃縮度(-), FDENIはペレット密度対理論密度比(-), DZは軸方向ノード長さ (cm) を指定する。

- FORMAT (2 I 10, 6 F 10.0)

I 10	I 10	F 10.0	F 10.0	F 10.0	F 10.0	F 10.0	F 10.0
IDISH	ICHAM	PDIN	PDIA	PLENG	ENR	FDENI	DZ

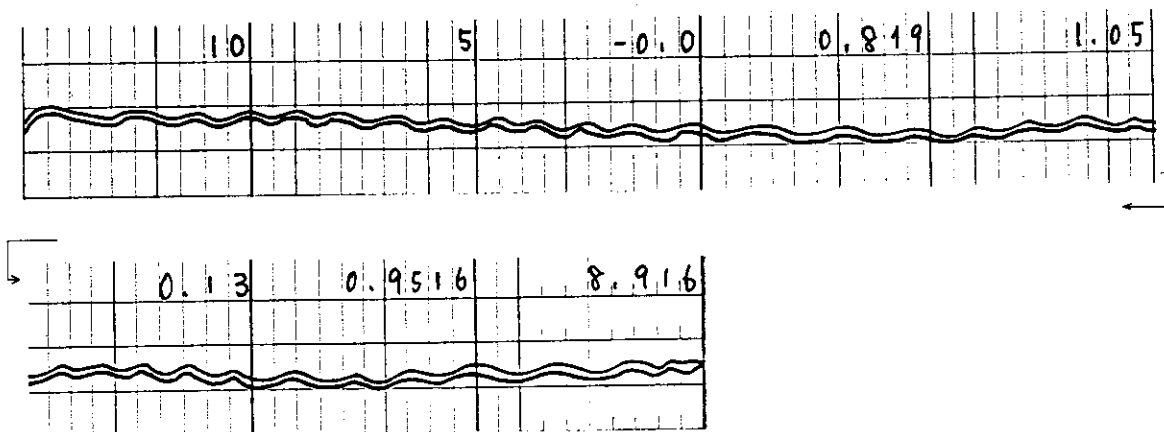
- Example(1)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0				
									2											1											0.0											0.819											1.05
									2											1											0.0											0.819											1.05
									2											1											0.0											0.819											1.05
									2											1											0.0											0.819											1.05
									2											1											0.0											0.819											1.05

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0		
									0.13											0.9516											8.916
									0.13											0.9516											8.916
									0.13											0.9516											8.916
									0.13											0.9516											8.916
									0.13											0.9516											8.916

上記の入力例は各ノード共、両ディッシュ、チャンファペレットで、ペレット中心孔直径=0.0 (cm), ペレット直径=0.819 (cm), 1ペレット長=1.05 (cm), U-235濃縮度=0.13, ペレット密度対理論密度比=0.9516, 軸方向ノード長さ=8.916 (cm)である。このような場合、先に指定したノードの情報と、次に指定したノードの情報が同じ場合には、その箇所に関して入力の省略が出来る。ただし、入力を省略した場合、その箇所は0を入力したのと同じになるので、0に意味がある場合には、省略出来ない。IDISHは0, 1, 2の値が取りうるので、入力を省略したノードについては、ディッシュなしペレットとして扱われるので省略出来ない。ただし、全てのノードがディッシュ付ペレットの場合、最初のノードでの入力IDISH=1×5を指定すれば全て片ディッシュペレット、IDISH=2×5を指定すれば全て両ディッシュペレットとして扱われ、第2ノード以降の入力は省略出来る。ICHAMも同様に0, 1の値を取ることで入力の省略は出来ない。ただし、全てのノードがチャンファペレットならば、最初のノードでICHAM=1×5を指定すれば第2ノード以降の入力は省略できる。PDINはペレット中心孔直径で、中実ペレットの場合はPDIN=0.0であり、中空ペレットの場合はPDIN=1である。従って入力の省略は出来ない。ただし、全ノードとも中心孔直径が同じ中空ペレットの場合には、最初のノードでPDIN=-0.1(中空径0.1cmを仮定している)と入力し、第2ノード以降の入力を省略すると、全てのノードについてPDIN=0.1として扱われる。ペレット直径PDIA, 1ペレット長PLENG, U-235濃縮度ENR, ペレット密度対理論密度比FDENI, 軸方向ノード長さDZについては0の入力を許さないで、省略すればそのまま前のノードの値が参照される。従ってExample(1)は、Example(2)のようになる。ただし、NAX枚の入力は必要である。

- Example(2)



2.2.6 ディッシュ仕様

ディッシュ仕様についての入力は、2.2.5でディッシュ付ペレットの指定を行なった場合のみ入力を行なう。

ディッシュの形状はFig.2.1で示すように、2タイプの選択が可能である。この選択は、ディッシュ底直径 (cm) DISHBで行ない、DISHB=0なら左側のタイプ、DISHB≠0なら右側のタイプとなる。

DISHはディッシュ直径 (cm) であり、DEPTHはディッシュ深さ (cm) である。

-FORMAT (3F 10.0)

F 10.0	F 10.0	F 10.0
DISH	DEPTH	DISHB

-Example

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																														
									0	.	6																												0	.	0	3																																					

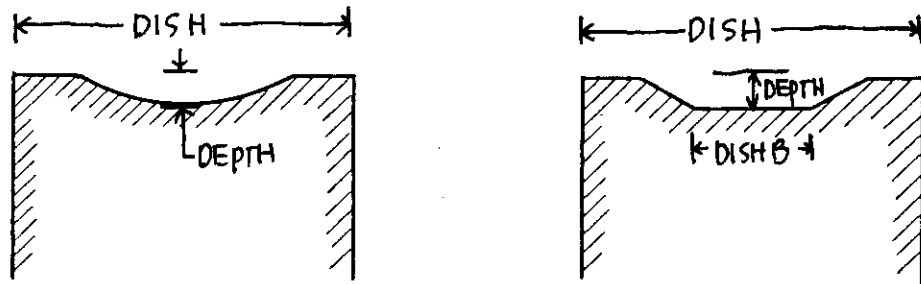


Fig. 2.1 ディッシュペレット断面図

2.2.7 チャンファ仕様

チャンファ仕様の入力は、2.2.5でチャンファペレットの指定を行なった場合のみ入力を行なう。

チャンファペレットは、Fig. 2.2で示すようにペレットの四隅に切られる。

CHAMRはチャンファ幅 (cm)，CHAMZはチャンファ深さ (cm)である。

-FORMAT (2F 10.0)

F 10.0	F 10.0
CHAMR	CHAMZ

- Example

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																				
									0	.	0	5																											0	.	0	3																											

出力履歴データ

出力履歴データは、A1=時間(HR)、B1=燃焼度、A2=線出力(W/cm)、A5=高速中性子束(n/cm²・sec)、A3=冷却水温度(°K)、A4=冷却水圧力(MPa)、IT=入力ジェネレータ、IP=出力オプションについて入力を行なう。ただしA1(時間)が決まればB1(燃焼度)が決まるし、B1が決まればA1は決まるので、A1、B1についてはどちらか一方の入力でよい。

又B1については、単位系の指定をNAMELIST中のIBUNPで行なう。IBUNP=0ならB1はMWd/tUO₂、IBUNP=1ならMWd/tU、IBUNP=2ならB1はGJ/kgUである。

又、IT(入力ジェネレーター)を用いて、増分形での指定が出来る。ITは、0、100、-100の入力選択ができ、IT=0を指定すると、A1(又はB1)はIT=-100を指定した1つ前の履歴点(指定がなければ最初の履歴点)からの経過時間(又は経過燃焼度)として扱われ、IT=-100を指定すると、A1(又はB1)は前段の履歴点からの時間増分(又は燃焼度増分)として扱われ、IT=100を指定すると、A1(又はB1)は最初の履歴点からの時間(燃焼度)として扱う。

IPは出力オプションで、IP ≥ 1は詳細出力を行なう履歴点、IP = 0は簡易出力のみの履歴点である。

-FORMAT(6F10.0, 2I5)

F 10.0	F10.0	F 10.0	F 10.0	F10.0	F 10.0	I 5	I 5
A 1	B 1	A 2	A 5	A 3	A 4	IT	IP

相対出力分布

相対出力分布の入力を行なう。RHは相対出力分布で、出力履歴データで与えたA2(線出力)に対する軸方向ノード位置での出力比を与える。従って入力はNAX(軸方向ノード数)個必要であり、最大12である。又、履歴点で同様な相対出力分布を与える場合には、II(履歴点オプション)を用いて、入力の省略が出来る。

-FORMAT(12F 5.0, I 5)

12 F 5.0	I 5
(RH(I), I = 1, 12)	II

ただし、RHはNAX個のデータをセットすればよい。

- Input method

出力履歴の入力は、出力履歴データと相対出力分布を一組として出力履歴点数組の入力を行なう。

- Example(1)

500 W/cmまで10時間で出力を上昇する。軸方向1ノードでの入力例。ただし、高速中性子束は2.5×10¹³ n/cm²・sec(500 W/cm到達時)、冷却水温度は513.15(°K)、冷却水圧力は

7×10^{13} , 8×10^{13} , 9×10^{13} をセットしたのと同様である。19～23行目についても同様で500 (W/cm) 保持中, 1時間, 3時間, 6時間, 12時間経過における簡易出力を得るために設定した履歴データであり, 24時間経過後については詳細出力を与える。24行目は24時間経過後2.5時間で出力が低下した事を意味している。なお, 冷却水温度, 圧力の条件は一定としたので第2履歴点以降の入力は省略した。又, 線出力, 高速中性子束は線形補間されるので, 最終履歴点に入力がないと入力エラーとなる(ともに0は許されない)。

2.2.10 入力終了

入力終了を示すSTOPをカラム1～4にセットする。ただし, 数ケースについて1度に計算を行なう場合は, 2.2.9から2.2.1に戻り, 最後にSTOPを入力する。

—FORMAT (A4)

—Example

1										2										3										4										5									
S	T	O	P																																														

2.3 入力エラー検出法

入力は, 2.1, 2.2節に入力形式に従って行なうが, 時々ユーザーのルール違反によって入力まちがいを犯す事がある。このような場合に対処してプログラムでは明らかに入力がおかしい場合は, プログラムはエラーメッセージを出力して終了させる。これは, ユーザーの不注意によるものであるから, 以下に掲げる修正処置を行なって再入力する必要がある。ただし, エラー検出されるのは明らかな入力エラーのみであり, 検出されなくてもユーザーの意図通りの入力がされている保障はない。例えば, ペレット密度対理論密度比を1.05と入力すれば100%以上なので入力検出されるが, 0.95と入力すべきなのに, 誤まって0.93と入力した場合検出されないのは当然である。従って, ネームリスト中で入力チェック (INPCK=1) にして初めてのデータの場合入力確認をした方が良い。ここでは, 明らかにおかしいエラーについては, エラー番号付でエラーメッセージが出力されるから, その番号順に内容と修正方法について記す事にする。なお入力が正しいのにエラーが出る場合は, その入力カード以前に入力すべき情報のインプットを忘れた場合が多いから確認が必要である。例えば, ディッシュ付ペレットの指定を行なって, ディッシュ直径とディッシュ深さの入力を忘れると, 次のカードにおけるプレナム容積をディッシュ直径と解釈し, 初期ガス圧力をディッシュ深さと解釈される。すると次のカードは, 履歴点数であり, 初期ガス圧力に対応する位置には入力されないから, 初期ガス圧力が0であるというエラーメッセージでプログラムはストップする。入力リスト上では初期ガス圧力は入力されているのにおかしいと言う事になるのである。このような事項については, 修正方法中には記してないので, 疑問の場合は, 入力データを最初から確認すべきである。

Table A.3 入力エラー一覧表

エラー番号	内 容	処 置 方 法	修 正 例
1	可変ディメンジョンで指定した実数領域が不足である。 ($LD < LASR$ の場合) LD …定義された実数領域 LASR…使用した実数領域	主プログラム中で指定したD(LD)を $LD \geq LASR$ に修正し、ブロックデータ中のLDについても修正する。LASRは、エラーメッセージ中に出力されている。	LD = 45 000 LASR = 47 300 なら、 主プログラム中の DIMENSION 1 ID(10000), D(45 000) を DIMENSION 1 ID(10000), D(47 300) に修正。 又、NAMELIST中でLD=47 300の指定を行なう。
2	可変ディメンジョンで指定した実数領域が不足である。 ($LD < LTSM$ の場合) LD …定義された実数領域 LTSM…マトリックス領域を含まない実数領域	基本的には同上。 注) この場合は、NAMELIST入力でのNGR 2又は履歴点数NHISTの指定がおかしい場合である。	LD = 45 000, LTSM = 47 000 なら、D(52 000), NAMELIST 中でLD = 52 000程度の指定を行なう。
3	可変ディメンジョンで指定した整数領域が不足である。 ($LID < LASI$ の場合) LID …定義された整数領域 LASI…使用した整数領域	主プログラム中で指定したID(LID)を $LID \geq LASI$ に修正し、ブロックデータ中のLIDについても修正する。LASIはエラーメッセージ中に出力されている。 注) NAMELISTの入力でのNGR3,履歴点数NHISTを入力確認する。	LID = 10 000 LASI = 11 900 なら、主プログラム中の DIMENSION 1 ID(10 000), D(45 000) を DIMENSION 1 ID(11 900), D(45 000) に修正。 又、NAMELIST中でLID=11 900の指定を行なう。
4	軸方向ノード総数NAXの入力指定が悪い。 ($NAX \leq 0$ 又は $NAX \geq 13$ の場合)	NAXの入力指定を $1 \leq NAX \leq 12$ の範囲で指定する。	NAX = 14の入力なら、 NAX = 12以下に改ためる。

エラー番号	内 容	処 置 方 法	修 正 例
5	軸方向, 着目ノード番号 IFEMの入力指定が悪い。 (IFEM ≤ 0 又は IFEM > NAXの場合)	IFEMの入力指定を $1 \leq IFEM \leq NAX$ の範囲で指定する。	NAX = 10, IFEM = 12なら, IFEMを, $1 \leq IFEM \leq 10$ の指定に改ためる。
6	プラント指定番号 IPLANT の入力指定が悪い。 (IPLANT ≤ 0 又は IPLANT ≥ 4の場合)	IPLANTの入力指定を $1 \leq IPLANT \leq 3$ の範囲で指定する。 注) IPLANTが1~3の指 定では正常入力として扱 かれるのでユーザーの 注意が必要。	例えば, HALDEN BWRの場合 IPLANT = 4の入力は, IPLANT = 1に修正。
7	被覆管材質番号 MRASA の入力指定が悪い。 (MRASA < 0 又は MRASA ≥ 2 の場合)	MRASAの入力指定は MRASA = 0 : 再結晶材 MRASA = 1 : 応力除去材 の2つである。 従がって, MRASA = 0 又はMRASA = 1に修正す る。	MRASA = 2 なら, 再結晶材なら, MRASA = 0 応力除去材なら, MRASA = 1 に修正。
8	被覆管の内径 (cm) CDIN又は外径 (cm) CDOUTの指定が悪い。 (CDIN ≥ CDOUTの場合)	被覆管内径・外径を $CDIN < CDOUT$ として入力する。	CDIN = 1.08, CDOUT = 1.05 の入力の場合, 被覆管外径で1.22 (cm) なら, CDOUT = 1.22に改ためる。
9	ディッシュオプション IDISH(I)の指定が悪い。 (IDISH < 0 又は IDISH ≥ 3の場合)	IDISHは = 0 ; ディッシュなし = 1 ; 片ディッシュ = 2 ; 両ディッシュ であり, $0 \leq IDISH \leq 2$ として入力する。	IDISH = 3の入力の場合 両ディッシュなら IDISH = 2に改ためる。
10	チャンファオプション ICHAM(I)の指定が悪い。 ICHAM < 0 又は ICHAM ≥ 2 の場合	ICHAMは = 0 ; チャンファなし = 1 ; チャンファ であり, $0 \leq ICHAM \leq 1$ として入力する。	ICHAM = 2の入力の場合 チャンファペレットなら, ICHAM = 1に改ためる。

エラー番号	内 容	処 置 方 法	修 正 例
11	ペレット内径 (cm) PDIN, ペレット直径 (cm) PDIA の指定が悪い。 (PDIN < PDIA < CDIN) の関係を満たさない場合)	PDIN < PDIA < CDIN の関係を満たされるように入 力する。	PDIN = 0.2, PDIA = 1.10, CDIN = 1.08 の場合, かつ CDIN の入力が正しい時 200 μm ギャップなら, PDIA = 1.06 に修正。
12	1 ペレット長 (cm) PLENG の入力指定が悪い。 (PLENG ≤ 0 の場合)	1 ペレット長を PLENG > 0 として入力す る。	PLENG ≤ 0 の入力 で 1 ペレット長 = 1.3 (cm) なら PLENG = 1.3 に修正する。
13	U-235 の濃縮度(-)ENR の 入力指定が悪い。	U-235の濃縮度を 0 < ENR < 1 として入力する。	ENR ≤ 0 又は ENR ≥ 1 の入力 で 濃縮度が 2.6 % なら ENR = 0.026 に修正する。
14	ペレット密度対理論密度比 (-)FDENI の入力指定が悪い。	ペレット密度対理論密度比 を 0 < FDENI < 1 として 入力する。	FDENI ≤ 0 又は FDENI ≥ 1 の 入力 で ペレット密度対理論密度比 が 95 % なら FDENI = 0.95 に修 正する。
15	ノード長 (cm) DZ の入力 指定が悪い。 (DZ ≤ 0 の場合)	ノード長を DZ > 0 として入力す る。	DZ ≤ 0 の入力 で ノード長が 50cm なら, DZ = 50.0 に修正する。
16	ディッシュ仕様の入力指定 が悪い。 DISH > PDIA 又は DISHB > DISH の場合 又は DEPTH ≤ 0 DISH …ディッシュ直径 (cm) DISHB …ディッシュ底直径(cm) DEPTH …ディッシュ深さ (cm) PDIA …ペレット直径 (cm)	ペレット直径, ディッシュ 直径, ディッシュ底直径の 間に, DISHB ≤ DISH ≤ PDIA として入力する。 又, ディッシュ深さを DEPTH > 0 として入力 する。	PDIA = 1.08 (cm) DISH = 1.10 (cm) で ディッシュ直径が 0.7 (cm) なら, DISH = 0.7 に修正して入力する。
17	チャンファ仕様の入力指定 が悪い。 (CHAMR ≤ 0 又は CHAMZ ≤ 0 の場合) CHAMR …チャンファ幅 (cm) CHAMZ …チャンファ深さ(cm)	チャンファ幅, チャンファ 深さを CHAMR > 0 CHAMZ > 0 として入力する。	CHAMR = 0 の入力 で チャンファ 幅は 0.002 (cm) なら, CHAMR = 0.002 に修正して入力す る。

エラー番号	内 容	処 置 方 法	修 正 例
18	初期ガス圧力 (MPa) GPIN の入力指定が悪い。 (GPIN ≤ 0 の場合)	初期ガス圧力を GPIN > 0 にして入力を行なう。	GPIN = 0 の入力では GPIN = 1 (bar) ならば GPIN = 0.1 に修正して入力する。
19	初期ガス組成(-) GMIXO の 入力指定が悪い。 GMIXO(i) は i = 1 : He, i = 2 : N ₂ , i = 3 : Kr, i = 4 : Xe その総和は 1 にならなければ ならない。 ($\sum_{i=1}^4 \text{GMIXO}(i) \neq 1$ の場合)	初期ガス組成を $\sum_{i=1}^4 \text{GMIXO}(i) = 1$ になるよう入力を行なう。	初期ガス組成が He = 1/3, N ₂ = 1/3, Kr = 0, Xe = 1/3 の場合 GMIXO(1) = 0.33, GMIXO(2) = 0.33 GMIXO(3) = 0.0, GMIXO(4) = 0.33 では, $\sum_{i=1}^4 \text{GMIXO}(i) = 0.99$ となり, $\sum_{i=1}^4 \text{GMIXO}(i) \neq 1$ である。 従って, GMIXO(1) = 0.34, GMIXO(2) = 0.33 GMIXO(3) = 0.0, GMIXO(4) = 0.33 のようにして, $\sum_{i=1}^4 \text{GMIXO}(i) = 1$ となるように修正して入力する。
20	ペレット総重量 (gr) PWEIT の入力指定が悪い。 (PWEIT ≤ 0 の場合)	ペレット総重量を PWEIT > 0 にして入力を行なう。	PWEIT = 0 の入力では PWEIT = 1 (kg) なら, PWEIT = 1000.0 に修正して入 力する。
21	履歴点数 NHIST の入力指 定が悪い。 (NHIST ≤ 1 の場合)	履歴点数を NHIST ≥ 2 にして入力を行なう。	NHIST = 1 の入力では履歴点数が 2 なら, NHIST = 2 に修正して入力する。
22	時間, 燃焼度共に入力指定 されていない。 (A1 = B1 = 0 の場合) A1 : 時間 (HR) B1 : 燃焼度 IBUNP = 0 : MWD/tUO ₂ = 1 : MWD/tU = 2 : GWD/kgU	最初のステージ以外は全ス テージにおいて時間又は燃 焼度の入力指定を行なわな ければならないが, これが 共に入力指定がないので入 力を行なう。	A1 = 0, B1 = 0 で 例えば燃焼度が 10000 (MWD/tU) ならば, A1 = 0.0, B1 = 10000.0 に修正して入力する。 燃焼度の単位指定は NAMELIST 中の IBUNP で行なう。

エラー番号	内 容	処 置 方 法	修 正 例
23	時間入力中時間の入力が後戻りしている。 ($A1_{n-1} \geq A1_n$ の場合) A1 … 時間 (HR) n-1 … (n-1) ステージ n … n ステージ	時間入力中で時間増分が常に正になるように入力を修正する。 ($A1_{n-1} < A1_n$)	エラーメッセージ中で出力される Old Stage 10 = 13500.0 (HR) New Stage 11 = 13480.0 (HR) ならば、例えばステージ 11 は 13520.0 (HR) ならば、 $A1_{11} =$ 13520.0 に修正して入力する。
24	燃焼度入力中燃焼度の入力が後戻りしている。 ($B1_{n-1} \geq B1_n$ の場合) B1 … 燃焼度 MWD/tUO ₂ MWD/tU GJ/kgU	燃焼度入力中で燃焼度増分が常に正になるように入力を修正する。 ($B1_{n-1} < B1_n$)	エラーメッセージ中で出力される。 Old Stage 8 = 750.0 (GJ/kgU) New Stage 9 = 730.0 (GJ/kgU) ならば、例えばステージ 9 は 9000 (MWD/tU) (= 776.64 (GJ/kgU)) ならば、 $B1_9 = 9000.0$ に修正して入力する。
25	線出力 (W/cm) A 2 の最終ステージでの入力していない。 ($A2_{last} \leq 0$ の場合)	線出力は補間して入力を作成する都合上最終ステージの入力は必要である。 ($A2_{last} > 0$ とする) 例えば、最終ステージに 0W/cmを入力した場合は $A2_{last} = 0.001$ とする。	$A2_{last} = 0$ の場合 線出力が 0W/cm の場合 $A2_{last} =$ 0.001 に修正して入力する。 (特に最終ステージでなくとも 0W/cmの入力は、0.001W/cm に変更して入力の必要がある)
26	冷却水温度 (°K) A 3 の最初のステージでの入力が室温以下である。 ($A3_1 \leq 291.15$ の場合)	冷却水温度 (°K) は入力しない場合は前ステージから変わらないとして扱う。 従って最初のステージの入力は必要である。 室温は 18°C にセットしており、この温度以上の値をセットする必要がある。 $A3_1 > 291.15$ とする。	$A3_1 = 0$ の場合 冷却水温度が 280°C ならば $A3_1 = 553.15$ に修正して入力する。
27	冷却水圧力 (MPa) A 4 の最初のステージでの入力が 0 以下である。 ($A4_1 \leq 0$ の場合)	冷却水圧力は入力しない場合は前ステージから変わらないとして扱う。 従って、最初のステージでは入力は必要である。 $A4_1 > 0$ の値を入力する必要がある。	$A4_1 = 0$ の場合 冷却水圧力が 135 (bar) ならば $A4_1 = 13.5$ (MPa) に修正して入力する。

エラー番号	内 容	処 置 方 法	修 正 例
28	高速中性子束 ($n/cm^2 \cdot sec$) A5の最終ステージでの入力 していない。 ($A5_{last} \leq 0$ の場合)	高速中性子束は補間して入 力を作成する都合上最終ス テージの入力は必要である。 ($A5_{last} > 0$ とする) 特に最終ステージでなくて も0の入力は前後から補間 されるから注意が必要であ る。	$A5_{last} = 0$ の場合 $A2_{last} = 0$ W/cmの場合 $A5_{last} = 2 \times 10^9$ ($n/cm^2 \cdot sec$) に修正して入力する。

2.4 リスタート

FEMAXI-IIIはリスタート機能を備えているので、ここではその使用方法について述べる。

リスタートは、長期に沿る履歴を追跡したり、ある履歴点までは同じ計算条件を用いるが、その先の計算条件を変えて調べた場合等に有効であるし、計算機のターン・アラウンドが悪い場合等にも利用出来る。

ここでは、その使い方について説明する。

リスタートは、ユニット11番を標準として用いているが、ユニット番号についてはネームリストの指定で自由な番号の選択が可能である。

Fig.2.3からわかるように、リスタートを用いる場合は、最初の計算においてリスタートテープを作成しなければならない。ただし、タイムリミットに対する処置は施してないのでタイムリミット時にはリスタートテープは作成されないから注意してほしい。リスタートテープの作成は、ネームリスト中のINTST=1とする。

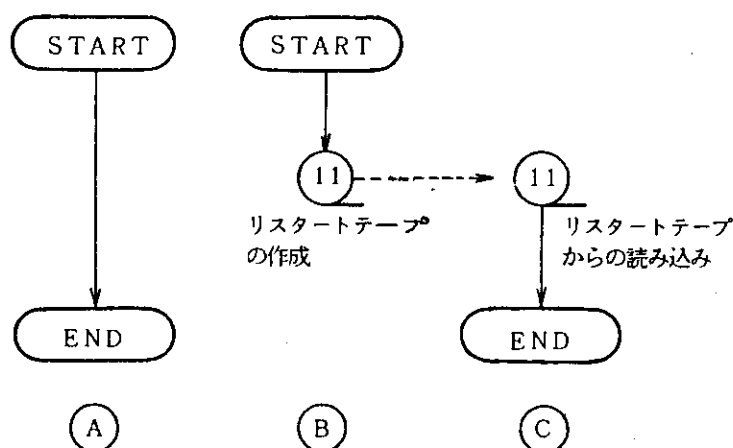


Fig. 2.3 リスタート機能

同時に履歴データをリスタートテープ作成する履歴点までデータにセットする。その際、履歴点数 NHIST と、同様な相対出力分布で用いる履歴点数の指定の変更を忘れないようにしなければならない。入力㊸のリスタートテープ作成時の入力例を入力㊹で示す。

リスタートテープが作成された後のリスタート計算の入力について次に述べる。

リスタート計算は、ネームリスト中の IREST = 1 に変更し、他はリスタート計算しない場合と同様な入力である。従って、履歴データについても既にリスタートテープを作成した部分についても入力を行なう。なお、再リスタートを行なう場合を除いて、ネームリスト中で入力した INTST = 1 の指定を解除する。入力㊹からのリスタート計算時の入力例について入力㊺で示す。

すなわち $\text{㊸} = \text{㊹} + \text{㊺}$ となる。

3. 出 力 編

FPRETAIN を用いて計算した、ハルデン出力急昇実験燃料棒“PWR 15”⁽¹⁸⁾の例について説明する。

<計算対象例>

- 燃料仕様 : 17 × 17 型のセグメント化 PWR 燃料棒 (ディッシュ・チャンファ―付 UO₂ペレット, 濃縮度 10.5 w/o, 燃料有効発熱長 44.58 cm, 応力除去ジルカロイ-4 材使用)
- 燃料棒仕様 : 純ヘリウム 1.5 MPa 加圧
直径ギャップ 0.170 mm
プレナム容積 5.6 cm³
- 照射条件 : ハルデン炉 (HBWR) に設置した PWR 水ループを使用
冷却軽水温度約 570 ~ 590 °K
冷却材圧力約 14 ~ 15 MPa
熱中性子束 7.8×10^{13} n/cm²・sec
- 実験条件 : 燃料棒は, 17 ~ 22 kW/m の線出力密度にて燃焼度 12.3 MWd/kgU まで予備照射されたのち, 当該燃焼度で最大 58 kW/m まで出力急昇にかけられた。
- 照射後試験 : 燃料棒は出力急昇後降荷され, 約 120 日冷却された。
- 解析目的 : 燃料棒内の FP ガスの放出, ペレット内残留分布状況等の, 熱的な挙動を評価する。

---PWR15:2ND HALDEN RAMP**AXIAL&THERMAL ---K.YANAGISAWA--- ①

P.W.R. FUEL ROD. ②

*INPUT DATA

(1) PELLETS SPECIFICATIONS -----

③ NODE	④ DIAMETER (CM) ⑤ INSIDE ⑥ OUTSIDE	⑦ SHAPE CHAMF DISH	⑧ U-235 ENRICH.	⑨ FRACTIONAL DENSITY	⑩ ONE PELLET LENGTH (CM)	⑪ NODE LENGTH (CM)
1	0.0 0.819	* **	0.130	0.952	1.050	8.916
2	0.0 0.819	* **	0.130	0.952	1.050	8.916
④ * 3	0.0 0.819	* **	0.130	0.952	1.050	8.916
4	0.0 0.819	* **	0.130	0.952	1.050	8.916
5	0.0 0.819	* **	0.130	0.952	1.050	8.916

CHAMFER WIDE (CM) = 0.050 CHAMFER DEPTH (CM) = 0.030 ⑬
 DISH DIAMETER (CM) = 0.600 DISH DEPTH (CM) = 0.030 ⑭
 PELLETS TOTAL WEIGHT (GRAM) = 244.000 ⑮
 GRAIN SIZE (MICRON) = 15.000 ⑯
 MAXIMUM FRACTIONAL DENSITY = 0.962 ⑰
 SATURATE BURNUP (MWD/TU02) = 2500.000 ⑱

(2) OTHERS

CLAD. MATERIAL IS STRESS RELIEVED ZIRCALOY
 CLAD. INSIDE DIAMETER (CM) = 0.837 ⑲
 CLAD. OUTSIDE DIAMETER (CM) = 0.951 ⑳
 THERMAL RELOCATION (-) = 0.300 ㉑
 PLENUM VOLUME (CM**3) = 5.600 ㉒
 INITIAL GAS PRESSURE (MPA) = 1.500 ㉓

INITIAL GAS COMPOSITION (PERCENT)
 HELIUM = 100.0
 NITROGEN = 0.0
 KRYPTON = 0.0
 XENON = 0.0
 PELLETS SURFACE ROUGHNESS (CM) = 0.0005 ㉔
 CLADDING SURFACE ROUGHNESS (CM) = 0.0001 ㉕
 ROOM TEMPERATURE (DEG.K) = 291.15 ㉖ ㉗

MEMORY (MAXIMUM) = 123000
 MEMORY (REQUIRED) = 122948

 * ***PWR15:2ND HALDEN RAMP***AXIAL&THERMAL ---K.YANAGISAWA--- (28) *****
 * *****
 * *****

NODAL POINT AND ELEMENT CONNECTION MAP

*** PELLET ***			GAP			*** CLADDING ***									
7+	11+	18+	22+	29+	33+	40+	44+	51+	55+	62	I	69+	73+	80	(29)
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	
6	3	17	6	28	9	39	12	50	15	61	I	68	18	79	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	
5+	10+	16+	21+	27+	32+	38+	43+	49+	54+	60	I	67+	72+	78	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	
4	2	15	5	26	8	37	11	48	14	59	I	66	17	77	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	
3+	9+	14+	20+	25+	31+	36+	42+	47+	53+	58	I	65+	71+	76	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	
2	1	13	4	24	7	35	10	46	13	57	I	64	16	75	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	
1+	8+	12+	19+	23+	30+	34+	41+	45+	52+	56	I	63+	70+	74	

***** NODAL COORDINATE (MICRON) *****

(R-DIRECTION)		GAP															
0.0	375.0	750.0	1125.0	1500.0	1500.0	1875.0	1875.0	2250.0	2250.0	2625.0	3000.0	3000.0	3547.5	4095.01	4184.5	4468.7	4753.0
0.0	750.0	1500.0	1500.0	1500.0	1875.0	1875.0	2250.0	2250.0	2625.0	3000.0	3000.0	3547.5	4095.01	4184.5	4468.7	4753.0	4753.0
0.0	375.0	750.0	1125.0	1500.0	1500.0	1875.0	1875.0	2250.0	2250.0	2625.0	3000.0	3000.0	3547.5	4095.01	4184.5	4468.7	4753.0
0.0	750.0	1500.0	1500.0	1500.0	1875.0	1875.0	2250.0	2250.0	2625.0	3000.0	3000.0	3547.5	4095.01	4184.5	4468.7	4753.0	4753.0
0.0	375.0	750.0	1125.0	1500.0	1500.0	1875.0	1875.0	2250.0	2250.0	2625.0	3000.0	3000.0	3547.5	4095.01	4184.5	4468.7	4753.0
0.0	750.0	1500.0	1500.0	1500.0	1875.0	1875.0	2250.0	2250.0	2625.0	3000.0	3000.0	3547.5	4095.01	4184.5	4468.7	4753.0	4753.0

(Z-DIRECTION)		GAP															
4950.0	4954.6	4968.6	4991.8	5024.4	5066.5	5118.0	5179.1	5250.0	5250.0	5250.0	4950.01	5250.0	5250.0	5250.0	5250.0	5250.0	5250.0
4125.0	4140.5	4187.0	4187.0	4265.0	4265.0	4375.0	4375.0	4375.0	4375.0	4375.0	4225.01	4375.0	4375.0	4375.0	4375.0	4375.0	4375.0
3300.0	3303.1	3312.4	3327.9	3349.6	3377.6	3412.0	3452.8	3500.0	3500.0	3500.0	3500.01	3500.0	3500.0	3500.0	3500.0	3500.0	3500.0
2475.0	2484.3	2512.2	2512.2	2559.0	2559.0	2625.0	2625.0	2625.0	2625.0	2625.0	2625.01	2625.0	2625.0	2625.0	2625.0	2625.0	2625.0
1650.0	1651.5	1656.2	1663.9	1674.8	1688.8	1706.0	1726.4	1750.0	1750.0	1750.0	1750.01	1750.0	1750.0	1750.0	1750.0	1750.0	1750.0
825.0	828.1	837.4	837.4	853.0	853.0	875.0	875.0	875.0	875.0	875.0	875.01	875.0	875.0	875.0	875.0	875.0	875.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

CALCULATIONAL VARIABLE TABLE (1)

CALCULATION OPTION

NAME	DESCRIPTION	DIMENSION	VALUE
IREST	RESTART OPTION (=0;NORESTART, =1;RESTART)		0
INST	DRAW UP RESTART TAPE OPTION (=0;NO, =1;YES)		0
IPLT	DRAW UP PLOTTER TAPE OPTION (=0;NO, =1;YES)		0
NREC1	RESTART TAPE NUMBER		11
NREC2	PLOTTER TAPE NUMBER		1
DPXX	POWER INCREMENTAL WIDTH	W/CM	10.0
EFCOEF	TIME INCREMENTAL WIDTH PARAMETER (BE RESTRICTED FROM CREEP)		10.0
ITEND	NEWTON-RAPHSON ITERATION COUNT		1
KUMAX	BOUNDARY CONDITION ITERATION COUNT		10
THETC	CREEP PARAMETER		1.0
THETP	YIELD PARAMETER		0.5
AY	TILTING VALUE	CM	0.0
AMU	PELLET/CLADDING FRICTION COEF.		0.40
ILOCK	LOCKING OPTION (=0;P/C GAP SIZE, =1;AXIAL COORDINATE)		0
TROOM	ROOM TEMPERATURE	DEG.K	291.15
IBUNP	BURNUP DIMENSION FLAG (=0;MWD/TU02, =1;MWD/TU, =2;GJ/KGU)		1
INPCK	INPUT DATA CHECK OPTION (=0;CALCULATION, =1;INPUT DATA CHECK)		0
CRTM	OUTPUT DATA OPTION (FINAL INFORMATION GIVES AFTER CRTM)	HR	0.0
ITIM	BOUNDARY CONDITION TIME STEP CONTROL OPTION (=0;NO, =1;YES)		1
ITIMY	ELASTIC/PLASTIC CONDITION TIME STEP CONTROL OPTION (=0;NO, =1;YES)		1
ICK1	MECHANICAL CALCULATION OPTION (=0;CALCULATE, =1;NO CALCULATE)		1
ICHI	ELASTIC CALCULATION OPTION (=0;NO, =1;YES)		1
IWRLE	ELEMENT INFORMATION OUTPUT CONTROL TABLE (=0;OFF, =1;ON)		0
1	SIG(R)		0
6	SIG(Y)		5
11	EPSP		10
16	EPSE(Z)		15
21	EPSSWL		20
2	SIG(Z)		0
7	EPS(R)		0
12	EPSC(R)		1
17	EPSE(T)		0
22	ELAST(R)		0
3	SIG(T)		4
8	EPS(Z)		9
13	EPSC(Z)		14
18	EPSE(R)		19
23	ELAST(Z)		24
DIMENSION INFORMATION			

CALCULATION OPTION

NAME	DESCRIPTION	DIMENSION	VALUE
LASR	REAL DIMENSION AREA (USED)		27183
LO	REAL DIMENSION AREA (DEFINED)		45000
LASI	INTEGER DIMENSION AREA (USED)		7747
LOI	INTEGER DIMENSION AREA (DEFINED)		10000
NODE	NODAL POINT NUMBER		80
NOD2	NODAL POINT FREEDOM NUMBER		160
NELM	ELEMENT NUMBER		18
NPAR	GAP PAIR NUMBER		7
NMAX	SYMMETRIC MATRIX FREEDOM NUMBER		137
NMY	NON-SYMMETRIC MATRIX FREEDOM NUMBER		14
NMK	BOUNDARY PAIR NUMBER		6
MAX	SYMMETRIC MATRIX AREA		2806
NCR	NON-SYMMETRIC MATRIX AREA		291
MM	CLADDING LAYER NUMBER		1
NN	PELLET LAYER NUMBER		5
KK	AXIAL LAYER NUMBER		3
NAX	AXIAL NODE NUMBER		5
NHIST	TIME HISTORY POINT NUMBER		49

 CALCULATIONAL VARIABLE TABLE (2)

 PELLET OPTION

NAME	DESCRIPTION	DIMENSION	VALUE	
HO,FO,GO,EO	PARAMETER OF ANISOTROPY	-	1.0	73
GAMR,GAMZ,GAMT	CRACK PARAMETER	-	1.0	74
BETA	HOTPRESS PARAMETER	-	0.0	75
YEC	PELLET CRACK ELASTIC VALUE (YEC(R),YEC(Z),YEC(T))	PA	2.0D+09	76
FRELOC	MECHANICAL RELOCATION PARAMETER	-	0.002	77
EPSRLZ	AXIAL RELOCATION PARAMETER	-	0.50	78
DCHG	RE-RELOCATOIN PARAMETER	-	3.000D-03	79
SPCON	UNRESTRAINT SWELLING BOUNDARY STRESS	PA	0.50	80
XN	UNRESTRAINT SWELLING BOUNDARY STRESS COEF.	PA	-1.000D+06	81
	CLADDING OPTION	-	1.00	

NAME	DESCRIPTION	DIMENSION	VALUE	
HO,FO,GO,EO	PARAMETER OF ANISOTROPY	-	1.0	82

HISTORY DATA (1)

83

TIME	H:M:S	MWD/TUO2	BURNUP	GJ/KGU	W/CM	DEG.K	MPA	N/CM2.S	FLUX	NEUTRONI	HISTRY	PRINT
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
1	0:0:0	0.0	0.0	0.0	0.00	568.00	15.00	7.800D+13	0	0	0	0
2	1:59:59	1.6	1.8	0.16	212.00	568.00	15.00	7.800D+13	0	0	0	0
3	1910:19:34	3085.1	3500.0	302.03	212.00	574.00	14.20	7.800D+13	100	0	0	0
4	1910:23:1	3085.1	3500.1	302.04	190.00	574.00	14.00	7.800D+13	0	0	0	0
5	4101:35:52	6258.3	7100.0	612.68	190.00	592.00	14.20	7.800D+13	0	0	0	0
6	4101:39:13	6258.4	7100.1	612.69	223.00	592.00	14.20	7.800D+13	0	0	0	0
7	4464:37:50	6875.3	7800.0	673.09	223.00	584.00	14.60	7.800D+13	0	0	0	0
8	4464:41:2	6875.4	7800.1	673.10	212.00	584.00	14.60	7.800D+13	0	0	0	0
9	6319:24:12	9872.2	11200.0	966.49	212.00	577.00	14.00	7.800D+13	0	0	0	0
10	6319:27:49	9872.3	11200.1	966.50	172.00	577.00	14.00	7.800D+13	0	0	0	0
11	7059:1:21	10841.8	12300.0	1061.41	172.00	577.00	14.00	7.800D+13	0	0	0	0
12	7059:9:22	10841.9	12300.1	1061.42	1.00	577.00	14.00	7.800D+13	0	0	0	0
13	7059:15:22	10841.9	12300.1	1061.42	0.83	405.50	7.23	7.800D+13	-100	0	0	0
14	7062:39:22	10842.6	12300.9	1061.49	51.76	422.30	13.53	7.800D+13	0	0	0	0
15	7079:9:22	10849.6	12308.8	1062.17	59.74	526.20	12.42	7.800D+13	0	0	0	0
16	7080:9:22	10850.1	12309.4	1062.22	79.06	540.00	13.99	7.800D+13	0	0	0	0
17	7080:39:22	10850.5	12309.9	1062.27	144.46	548.10	13.97	7.800D+13	0	0	0	0
18	7081:9:22	10851.2	12310.7	1062.33	201.73	551.70	13.95	7.800D+13	0	0	0	0
19	7088:39:22	10862.8	12323.9	1063.47	206.52	556.70	13.86	7.800D+13	0	0	0	0
20	7089:9:22	10863.7	12324.8	1063.55	228.24	542.80	13.35	7.800D+13	0	0	0	0
21	7101:9:22	10884.7	12348.7	1065.61	230.96	555.90	12.88	7.800D+13	0	0	0	0
22	7112:9:22	10904.1	12370.7	1067.51	231.83	556.20	12.86	7.800D+13	0	0	0	0
23	7113:9:22	10905.9	12372.7	1067.69	248.47	552.70	12.54	7.800D+13	0	0	0	0
24	7114:9:22	10907.8	12374.9	1067.88	256.88	573.00	14.01	7.800D+13	0	0	0	0
25	7114:39:22	10908.8	12376.1	1067.98	269.71	556.60	13.53	7.800D+13	0	0	0	0

(85)

HISTORY DATA (2)

NHIST I	TIME	I	L.H.R.	I	AXIAL NODE PEAKING FACTOR									
I	H: M: S	I	W/CM	I	1	2	3	4	5					
1 I	0: 0: 0	I	0.00	I	1.180	I	1.100	I	1.000	I	0.890	I	0.790	I
2 I	1:59:59	I	212.00	I	1.180	I	1.100	I	1.000	I	0.890	I	0.790	I
3 I	1910:19:34	I	212.00	I	1.180	I	1.100	I	1.000	I	0.890	I	0.790	I
4 I	1910:23: 1	I	190.00	I	1.180	I	1.100	I	1.000	I	0.890	I	0.790	I
5 I	4101:35:52	I	190.00	I	1.180	I	1.100	I	1.000	I	0.890	I	0.790	I
6 I	4101:39:13	I	223.00	I	1.180	I	1.100	I	1.000	I	0.890	I	0.790	I
7 I	4464:37:50	I	223.00	I	1.180	I	1.100	I	1.000	I	0.890	I	0.790	I
8 I	4464:41: 2	I	212.00	I	1.180	I	1.100	I	1.000	I	0.890	I	0.790	I
9 I	6319:24:12	I	212.00	I	1.180	I	1.100	I	1.000	I	0.890	I	0.790	I
10 I	6319:27:49	I	172.00	I	1.180	I	1.100	I	1.000	I	0.890	I	0.790	I
11 I	7059: 1:21	I	172.00	I	1.180	I	1.100	I	1.000	I	0.890	I	0.790	I
12 I	7059: 9:22	I	1.00	I	1.180	I	1.100	I	1.000	I	0.890	I	0.790	I
13 I	7059:15:22	I	0.83	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
14 I	7062:39:22	I	51.76	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
15 I	7079: 9:22	I	59.74	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
16 I	7080: 9:22	I	79.06	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
17 I	7080:39:22	I	144.46	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
18 I	7081: 9:22	I	201.73	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
19 I	7088:39:22	I	206.52	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
20 I	7089: 9:22	I	228.24	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
21 I	7101: 9:22	I	230.96	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
22 I	7112: 9:22	I	231.83	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
23 I	7113: 9:22	I	248.47	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
24 I	7114: 9:22	I	256.88	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
25 I	7114:39:22	I	269.71	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I

HISTORY DATA (2)

NHIST I	TIME	I	L.H.R. I	AXIAL NODE PEAKING FACTOR										
				H	M	S	W/CM	I	1	2	3	4	5	
26	7115: 9:22	I	292.33	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
27	7115:39:22	I	317.68	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
28	7116: 9:22	I	347.93	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
29	7116:39:22	I	358.80	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
30	7117: 9:22	I	409.77	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
31	7117:39:22	I	418.47	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
32	7118: 9:22	I	455.04	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
33	7118:39:22	I	478.83	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
34	7119: 9:22	I	517.54	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
35	7119:39:22	I	470.90	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
36	7120: 9:22	I	505.58	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
37	7121: 9:22	I	471.06	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
38	7122: 9:22	I	477.04	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
39	7123: 9:22	I	471.28	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
40	7135: 9:22	I	472.58	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
41	7142:54:22	I	484.48	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
42	7143:24:22	I	429.29	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
43	7144: 9:22	I	354.13	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
44	7144:54:22	I	288.23	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
45	7145:39:22	I	218.65	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
46	7146: 9:22	I	151.38	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
47	7146:24:22	I	112.29	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
48	7146:39:22	I	39.16	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I
49	7146:54:22	I	0.10	I	0.890	I	0.950	I	1.000	I	1.030	I	1.040	I

***PWR15:2ND HALDEN RAMP**AXIAL&THERMAL ---K.YANAGISAWA---

STAGE I P O W E R H I S T O R Y I T H E R M A L I N F O R M A T I O N (N O D E N U M B E R 1)											
NST I	I	TIME (HR)	LHR (KW/M)	BURNUP I (MWD/KGU)	I	PC	TEMPERATURE (C)			CLEAR (MIC)	F.G.R. (%)
							PS	CI	CO		
1 I	0.0	0.00	0.0000	I	294.9	294.9	294.9	294.9	294.9	57.884	0.500
23 I	2.0	25.02	0.0022	I	1135.2	523.9	350.6	320.0	32.272	0.939	
28 I	1910.3	25.02	4.1300	I	1136.7	533.0	356.6	326.2	24.627	26.954	
31 I	1910.4	22.42	4.1301	I	1034.8	515.5	350.9	323.5	28.063	19.540	
37 I	4101.6	22.42	8.3780	I	1031.0	510.8	368.8	341.7	18.221	18.745	
41 I	4101.7	26.31	8.3781	I	1160.4	520.9	377.3	345.7	14.172	17.297	
42 I	4464.6	26.31	9.2040	I	1145.9	511.3	369.4	337.7	12.433	19.002	
44 I	4464.7	25.02	9.2041	I	1098.6	505.8	366.6	336.3	13.947	16.864	
49 I	6319.4	25.02	13.2160	I	1062.3	480.0	359.6	329.2	6.977	17.867	
53 I	6319.5	20.30	13.2161	I	905.7	462.4	349.2	324.4	11.701	15.093	
56 I	7059.0	20.30	14.5140	I	898.2	456.5	349.2	324.4	9.430	15.322	
74 I	7059.2	0.12	14.5141	I	307.0	305.2	304.1	304.0	26.046	13.830	
75 I	7059.3	0.07	14.5141	I	134.3	133.5	132.5	132.4	28.215	13.830	
81 I	7062.7	4.61	14.5148	I	271.3	208.2	160.6	154.1	22.815	13.830	
82 I	7079.2	5.32	14.5219	I	397.1	312.5	265.2	258.3	22.812	13.841	
84 I	7080.2	7.04	14.5224	I	458.6	340.7	282.8	273.8	20.887	13.831	
91 I	7080.7	12.86	14.5228	I	635.8	393.1	303.9	287.7	16.233	14.121	
97 I	7081.2	17.95	14.5235	I	794.1	424.9	318.8	296.4	11.853	14.464	
98 I	7088.7	18.38	14.5353	I	813.3	431.2	324.7	301.9	11.440	14.517	
101 I	7089.2	20.31	14.5361	I	856.9	428.0	315.2	289.8	10.043	14.525	
102 I	7101.2	20.56	14.5573	I	881.4	440.4	328.7	303.3	9.812	14.603	
103 I	7112.2	20.63	14.5769	I	884.1	440.9	329.2	303.6	9.714	14.592	
105 I	7113.2	22.11	14.5788	I	926.3	443.2	329.0	301.6	8.526	14.579	
106 I	7114.2	22.86	14.5807	I	972.0	460.0	350.9	323.0	7.078	14.639	
108 I	7114.7	24.00	14.5817	I	987.9	449.9	337.0	307.4	6.412	14.620	
111 I	7115.2	26.02	14.5828	I	1050.5	453.7	341.1	309.0	4.621	14.655	

PWR15:2ND HALDEN RAMPAXIAL&THERMAL ---K.YANAGISAWA---

STAGE I POWER HISTORY I THERMAL INFORMATION (NODE NUMBER 1)												
NST I	TIME (HR)	LHR (KW/M)	BURNUP (MWD/KGU) I	PC	TEMPERATURE (C) PS	CI	CO	CLEAR (MIC)	F.G.R. (%)			
114 I	7115.7	28.27	14.5840 I	1130.2	461.9	352.9	318.3	2.460	14.696			
118 I	7116.2	30.97	14.5853 I	1207.6	458.9	354.9	317.0	0.0	14.707			
120 I	7116.7	31.93	14.5866 I	1239.2	459.6	358.8	319.8	0.0	14.713			
126 I	7117.2	36.47	14.5881 I	1380.5	455.8	361.9	317.4	0.0	14.728			
127 I	7117.7	37.24	14.5897 I	1424.2	465.0	375.0	330.0	0.0	14.760			
131 I	7118.2	40.50	14.5914 I	1535.8	464.1	380.5	331.7	0.0	14.798			
134 I	7118.7	42.62	14.5932 I	1623.6	470.1	392.4	341.5	0.0	14.900			
138 I	7119.2	46.06	14.5951 I	1756.6	474.6	399.1	344.2	0.0	15.121			
143 I	7119.7	41.91	14.5970 I	1608.6	475.4	396.5	346.5	0.0	15.216			
147 I	7120.2	45.00	14.5989 I	1707.1	468.8	394.0	340.3	0.0	15.313			
151 I	7121.2	41.92	14.6026 I	1608.7	475.2	394.1	344.1	0.0	15.448			
152 I	7122.2	42.46	14.6063 I	1623.9	473.2	393.1	342.3	0.0	15.548			
153 I	7123.2	41.94	14.6099 I	1612.2	476.6	396.0	346.0	0.0	15.632			
154 I	7135.2	42.06	14.6535 I	1613.7	475.2	393.7	343.5	0.0	16.422			
156 I	7142.9	43.12	14.6820 I	1663.2	480.7	401.2	349.9	0.0	16.875			
162 I	7143.4	38.21	14.6838 I	1485.3	479.5	387.7	342.0	0.0	16.856			
170 I	7144.2	31.52	14.6861 I	1252.0	474.3	366.6	328.4	0.0	16.825			
177 I	7144.9	25.65	14.6879 I	1058.4	465.1	345.3	313.8	4.491	16.778			
184 I	7145.7	19.46	14.6894 I	853.8	440.6	322.2	298.0	10.346	16.624			
191 I	7146.2	13.47	14.6901 I	666.9	406.9	308.6	291.7	15.173	16.299			
195 I	7146.4	9.99	14.6903 I	562.1	381.2	300.3	287.7	18.104	15.979			
203 I	7146.7	3.49	14.6905 I	358.4	304.5	269.9	265.4	23.369	15.878			
207 I	7146.9	0.01	14.6905 I	23.1	23.0	22.9	22.9	30.076	15.878			

PWR15:2ND HALDEN RAMPAXIAL&THERMAL ---K.YANAGISAWA---

STAGE I POWER HISTORY I THERMAL INFORMATION (NODE NUMBER 2)										
NST I	TIME (HR)	LHR (KW/M)	BURNUP I (MWD/KGU)	I PC	TEMPERATURE (C)		CO	CLEAR (MIC)	F.G.R. (%)	
					PS	CI				
1 I	0.0	0.00	0.0000 I	294.9	294.9	294.9	294.9	294.9	57.034	0.500
23 I	2.0	23.32	0.0020 I	1072.6	516.0	346.9	318.3	34.316	0.943	
28 I	1910.3	23.32	3.8500 I	1078.5	527.5	352.9	324.4	27.221	27.341	
31 I	1910.4	20.90	3.8501 I	983.9	509.6	347.5	322.0	30.386	19.493	
37 I	4101.6	20.90	7.8100 I	984.5	508.2	365.4	340.2	20.958	18.185	
41 I	4101.7	24.53	7.8101 I	1105.9	520.4	373.4	343.9	17.176	16.702	
42 I	4464.6	24.53	8.5800 I	1091.8	510.9	365.5	335.8	15.497	18.389	
44 I	4464.7	23.32	8.5801 I	1048.2	505.2	362.8	334.6	16.885	16.237	
49 I	6319.4	23.32	12.3200 I	1016.5	482.2	355.9	327.5	10.099	17.051	
53 I	6319.5	18.92	12.3201 I	869.4	462.3	346.2	323.0	14.541	14.199	
56 I	7059.0	18.92	13.5300 I	862.9	457.1	346.2	323.0	12.357	14.452	
74 I	7059.2	0.11	13.5301 I	306.8	305.2	304.1	304.0	28.021	13.046	
75 I	7059.3	0.08	13.5301 I	134.5	133.6	132.6	132.4	30.181	13.046	
81 I	7062.7	4.92	13.5308 I	282.0	214.0	161.3	154.4	24.489	13.046	
82 I	7079.2	5.68	13.5384 I	409.4	318.3	260.0	258.7	24.424	13.059	
84 I	7080.2	7.51	13.5390 I	475.1	347.8	283.9	274.3	22.373	13.045	
91 I	7080.7	13.72	13.5394 I	667.2	403.3	305.8	288.6	17.255	13.307	
97 I	7081.2	19.16	13.5401 I	839.0	436.1	321.5	297.6	12.428	13.654	
98 I	7088.7	19.62	13.5527 I	859.5	442.3	327.5	303.1	11.970	13.708	
101 I	7089.2	21.68	13.5536 I	908.1	439.3	318.3	291.2	10.412	13.715	
102 I	7101.2	21.94	13.5762 I	933.4	451.5	331.8	304.6	10.140	13.798	
103 I	7112.2	22.02	13.5972 I	936.2	452.0	332.3	305.0	10.033	13.786	
105 I	7113.2	23.60	13.5991 I	982.4	454.1	332.3	303.1	8.711	13.769	
106 I	7114.2	24.40	13.6012 I	1030.1	470.4	354.3	324.5	7.181	13.821	
108 I	7114.7	25.62	13.6023 I	1048.7	460.3	340.6	309.0	6.429	13.806	
111 I	7115.2	27.77	13.6034 I	1116.4	463.3	344.9	310.8	4.456	13.839	

PWR15:2ND HALDEN RAMPAXIAL&THERMAL ---K.YANAGISAWA---

STAGE I P O W E R H I S T O R Y I T H E R M A L I N F O R M A T I O N (N O D E N U M B E R 2)											
NST I	TIME (HR)	LHR (KW/M)	BURNUP (MWD/KGU)	I	PC	TEMPERATURE (C)	PS	CI	CO	CLEAR (MIC)	F.G.R. (%)
114 I	7115.7	30.18	13.6047	I	1201.7	470.4	357.0	320.2	2.092	13.885	
118 I	7116.2	33.05	13.6061	I	1285.9	466.5	359.4	319.1	0.0	13.903	
120 I	7116.7	34.09	13.6075	I	1320.2	466.9	363.4	322.0	0.0	13.916	
126 I	7117.2	38.93	13.6091	I	1474.1	461.7	367.2	319.9	0.0	13.948	
127 I	7117.7	39.75	13.6108	I	1520.2	470.5	380.4	332.5	0.0	14.016	
131 I	7118.2	43.23	13.6126	I	1641.0	468.7	386.4	334.4	0.0	14.119	
134 I	7118.7	45.49	13.6145	I	1733.2	474.2	398.6	344.4	0.0	14.336	
138 I	7119.2	49.17	13.6165	I	1883.4	485.6	405.7	347.4	0.0	14.795	
143 I	7119.7	44.74	13.6186	I	1716.9	479.6	402.6	349.4	0.0	14.985	
147 I	7120.2	48.03	13.6206	I	1833.0	479.6	400.5	343.3	0.0	15.176	
151 I	7121.2	44.75	13.6246	I	1716.9	479.3	400.2	346.9	0.0	15.402	
152 I	7122.2	45.32	13.6285	I	1733.0	477.1	399.2	345.2	0.0	15.566	
153 I	7123.2	44.77	13.6324	I	1720.4	480.7	402.0	348.8	0.0	15.700	
154 I	7135.2	44.90	13.6789	I	1721.7	479.1	399.8	346.4	0.0	16.934	
156 I	7142.9	46.03	13.7094	I	1775.2	485.9	407.4	352.9	0.0	17.660	
162 I	7143.4	40.78	13.7112	I	1584.2	484.5	393.3	344.6	0.0	17.651	
170 I	7144.2	33.64	13.7137	I	1332.2	481.5	371.2	330.6	0.0	17.629	
177 I	7144.9	27.38	13.7156	I	1124.0	474.9	349.1	315.6	4.304	17.573	
184 I	7145.7	20.77	13.7172	I	903.6	452.2	325.1	299.3	10.716	17.422	
191 I	7146.2	14.38	13.7180	I	700.6	417.8	310.6	292.6	16.078	17.093	
195 I	7146.4	10.67	13.7182	I	586.7	390.5	301.8	288.4	19.301	16.786	
203 I	7146.7	3.72	13.7184	I	366.7	308.8	270.4	265.6	25.067	16.702	
207 I	7146.9	0.01	13.7184	I	23.2	23.1	22.9	22.9	32.015	16.702	

***PWR15:2ND HALDEN RAMP**AXIAL&THERMAL ---K.YANAGISAWA---

STAGE I P O W E R H I S T O R Y I T H E R M A L I N F O R M A T I O N (N O D E N U M B E R 3)											
NST I	I	TIME (HR)	LHR (KW/M)	BURNUP (MWD/KGU)	I	PC	TEMPERATURE (C)		CLEAR (MIC)	F.G.R. (%)	
							PS	CI	CO		
1 I	0.0	0.00	0.000	I	294.9	294.9	294.9	294.9	294.9	57.884	0.500
23 I	2.0	21.20	0.0018	I	995.2	504.7	342.2	316.2	36.817	0.943	
28 I	1910.3	21.20	3.5000	I	1005.7	518.9	348.2	322.3	30.433	27.764	
31 I	1910.4	19.00	3.5001	I	920.3	500.6	343.4	320.1	33.271	19.418	
37 I	4101.6	19.00	7.1000	I	925.9	503.3	361.2	338.3	24.435	17.589	
41 I	4101.7	22.30	7.1001	I	1036.8	517.6	368.5	341.6	20.998	16.023	
42 I	4464.6	22.30	7.8000	I	1023.4	508.3	360.6	333.6	19.397	17.702	
44 I	4464.7	21.20	7.8001	I	984.1	502.4	358.2	332.5	20.635	15.536	
49 I	6319.4	21.20	11.2000	I	958.0	482.7	351.2	325.3	14.119	16.130	
53 I	6319.5	17.20	11.2001	I	823.0	460.5	342.4	321.3	18.192	13.180	
56 I	7059.0	17.20	12.3000	I	817.7	456.1	342.4	321.3	16.105	13.460	
74 I	7059.2	0.10	12.3001	I	306.6	305.1	304.1	304.0	30.553	12.205	
75 I	7059.3	0.08	12.3001	I	134.7	133.7	132.6	132.4	32.703	12.205	
81 I	7062.7	5.18	12.3009	I	292.3	220.1	162.0	154.7	26.721	12.205	
82 I	7079.2	5.97	12.3088	I	421.1	324.4	266.7	259.0	26.600	12.220	
84 I	7080.2	7.91	12.3094	I	490.6	355.2	284.8	274.7	24.426	12.203	
91 I	7080.7	14.45	12.3099	I	696.6	414.1	307.4	289.3	18.856	12.399	
97 I	7081.2	20.17	12.3107	I	881.1	448.1	323.7	298.6	13.595	12.758	
98 I	7088.7	20.65	12.3239	I	902.5	454.3	329.8	304.2	13.095	12.817	
101 I	7089.2	22.82	12.3248	I	956.0	451.5	320.8	292.3	11.375	12.824	
102 I	7101.2	23.10	12.3487	I	981.9	463.6	334.3	305.8	11.068	12.911	
103 I	7112.2	23.18	12.3707	I	984.9	464.0	334.8	306.2	10.951	12.899	
105 I	7113.2	24.85	12.3727	I	1034.7	466.2	335.0	304.3	9.499	12.882	
106 I	7114.2	25.69	12.3749	I	1084.0	482.0	357.1	325.8	7.893	12.933	
108 I	7114.7	26.97	12.3761	I	1105.4	471.9	343.5	310.4	7.055	12.922	
111 I	7115.2	29.23	12.3773	I	1177.6	474.4	348.1	312.2	4.908	12.951	

PWR15:2ND HALDEN RAMPAXIAL&THERMAL ---K.YANAGISAWA---

STAGE I P O W E R H I S T O R Y I T H E R M A L I N F O R M A T I O N (N O D E N U M B E R 3)												
NST I	I	TIME (HR)	LHR (KW/M)	BURNUP (MWD/KGU)	I	PC	TEMPERATURE (C)			CO	CLEAR (MIC)	F.G.R. (%)
							PS	CI				
114	I	7115.7	31.77	12.3786	I	1267.8	480.6	360.5	321.8	2.348	12.996	
118	I	7116.2	34.79	12.3800	I	1357.3	475.5	363.2	320.9	0.0	13.026	
120	I	7116.7	35.88	12.3816	I	1393.6	475.4	367.3	323.8	0.0	13.056	
126	I	7117.2	40.98	12.3832	I	1557.3	468.6	371.6	321.9	0.0	13.143	
127	I	7117.7	41.85	12.3850	I	1605.1	477.0	384.9	334.6	0.0	13.283	
131	I	7118.2	45.50	12.3869	I	1731.3	474.3	391.2	336.7	0.0	13.473	
134	I	7118.7	47.88	12.3889	I	1827.9	481.0	403.7	346.8	0.0	13.811	
138	I	7119.2	51.75	12.3911	I	1983.7	494.6	411.3	350.0	0.0	14.463	
143	I	7119.7	47.09	12.3932	I	1807.4	484.7	407.6	351.8	0.0	14.750	
147	I	7120.2	50.56	12.3953	I	1933.1	488.5	405.9	345.9	0.0	15.022	
151	I	7121.2	47.11	12.3996	I	1807.4	484.4	405.2	349.3	0.0	15.346	
152	I	7122.2	47.70	12.4037	I	1825.4	483.0	404.3	347.6	0.0	15.574	
153	I	7123.2	47.13	12.4078	I	1810.7	485.7	407.1	351.2	0.0	15.752	
154	I	7135.2	47.26	12.4567	I	1812.5	484.2	404.9	348.8	0.0	17.406	
156	I	7142.9	48.45	12.4888	I	1873.1	494.6	412.6	355.4	0.0	18.432	
162	I	7143.4	42.93	12.4908	I	1671.0	490.5	397.9	346.8	0.0	18.429	
170	I	7144.2	35.41	12.4933	I	1405.2	490.1	375.1	332.4	0.0	18.403	
177	I	7144.9	28.82	12.4954	I	1185.1	486.3	352.3	317.0	4.725	18.327	
184	I	7145.7	21.86	12.4970	I	950.2	464.7	327.6	300.4	11.677	18.175	
191	I	7146.2	15.14	12.4978	I	732.4	429.2	312.3	293.3	17.561	17.830	
195	I	7146.4	11.23	12.4981	I	609.9	400.3	303.0	288.9	21.071	17.561	
203	I	7146.7	3.92	12.4983	I	374.6	313.3	270.9	265.8	27.326	17.507	
207	I	7146.9	0.01	12.4983	I	23.2	23.1	22.9	22.9	34.509	17.507	

PWR15:2ND HALDEN RAMPAXIAL&THERMAL ---K.YANAGISAWA---

STAGE I POWER HISTORY I THERMAL INFORMATION (NODE NUMBER 4)												
NST I	TIME (HR)	LHR (KW/M)	BURNUP (MWD/KGU)	I	PC	TEMPERATURE (C)			CLEAR (MIC)	F.G.R. (%)		
						PS	CI	CO				
1 I	0.0	0.00	0.0000	I	294.9	294.9	294.9	294.9	294.9	57.884	0.500	
23 I	2.0	18.87	0.0016	I	911.1	490.3	337.1	313.8	39.495	0.943		
28 I	1910.3	18.87	3.1150	I	925.7	506.9	343.1	319.9	33.924	28.145		
31 I	1910.4	16.91	3.1151	I	850.3	488.6	338.7	318.0	36.400	19.246		
37 I	4101.6	16.91	6.3190	I	860.9	495.5	356.6	336.1	28.324	16.934		
41 I	4101.7	19.85	6.3191	I	959.7	511.5	363.1	339.1	25.286	15.209		
42 I	4464.6	19.85	6.9420	I	947.2	502.6	355.2	331.1	23.785	16.869		
44 I	4464.7	18.87	6.9421	I	912.7	496.5	353.0	330.1	24.854	14.718		
49 I	6319.4	18.87	9.9680	I	891.9	480.2	346.1	323.0	18.703	15.014		
53 I	6319.5	15.31	9.9681	I	770.8	456.1	338.2	319.4	22.344	11.977		
56 I	7059.0	15.31	10.9470	I	766.7	452.6	338.2	319.4	20.383	12.257		
74 I	7059.2	0.09	10.9471	I	306.4	305.0	304.1	303.9	33.433	11.232		
75 I	7059.3	0.09	10.9471	I	134.8	133.8	132.6	132.4	35.572	11.232		
81 I	7062.7	5.33	10.9479	I	300.5	225.5	162.4	154.9	29.350	11.231		
82 I	7079.2	6.15	10.9561	I	430.1	329.8	267.1	259.1	29.191	11.249		
84 I	7080.2	8.14	10.9567	I	502.5	361.8	285.3	274.9	26.919	11.228		
91 I	7080.7	14.88	10.9572	I	718.8	424.0	308.4	289.7	20.989	11.340		
97 I	7081.2	20.78	10.9580	I	912.6	459.7	325.1	299.2	15.379	11.700		
98 I	7088.7	21.27	10.9716	I	934.9	465.9	331.1	304.8	14.849	11.765		
101 I	7089.2	23.51	10.9726	I	991.9	463.6	322.3	293.0	12.996	11.778		
102 I	7101.2	23.79	10.9971	I	1018.1	475.5	335.9	306.5	12.664	11.870		
103 I	7112.2	23.88	11.0198	I	1021.3	475.9	336.4	306.9	12.540	11.858		
105 I	7113.2	25.59	11.0219	I	1073.8	478.2	336.7	305.0	10.982	11.834		
106 I	7114.2	26.46	11.0242	I	1124.3	493.9	358.8	326.6	9.318	11.892		
108 I	7114.7	27.78	11.0253	I	1147.7	483.9	345.3	311.2	8.403	11.885		
111 I	7115.2	30.11	11.0266	I	1223.3	486.3	350.0	313.1	6.119	11.925		

PWR15:2ND HALDEN RAMPAXIAL&THERMAL ---K.YANAGISAWA---

STAGE I P O W E R H I S T O R Y I T H E R M A L I N F O R M A T I O N (N O D E N U M B E R 4)												
NST I	TIME (HR)	LHR (KW/M)	BURNUP (MWD/KGU)	I	PC	TEMPERATURE (C)	PS	CI	CO	CLEAR (MIC)	F.G.R. (%)	
114 I	7115.7	32.72	11.0279	I	1317.0	492.1	362.6	322.8	3.402	11.975		
118 I	7116.2	35.84	11.0294	I	1401.2	479.8	365.4	321.9	0.0	12.004		
120 I	7116.7	36.96	11.0310	I	1438.7	479.4	369.7	324.9	0.0	12.050		
126 I	7117.2	42.21	11.0327	I	1608.6	471.7	374.2	323.1	0.0	12.173		
127 I	7117.7	43.10	11.0346	I	1657.4	479.9	387.6	335.9	0.0	12.366		
131 I	7118.2	46.87	11.0365	I	1785.5	476.7	394.2	338.1	0.0	12.614		
134 I	7118.7	49.32	11.0386	I	1888.0	486.1	406.8	348.2	0.0	13.030		
138 I	7119.2	53.31	11.0408	I	2044.9	500.0	414.6	351.5	0.0	13.779		
143 I	7119.7	48.50	11.0430	I	1866.1	489.2	410.6	353.2	0.0	14.113		
147 I	7120.2	52.07	11.0452	I	1994.1	493.9	409.2	347.4	0.0	14.431		
151 I	7121.2	48.52	11.0495	I	1863.8	487.7	408.3	350.8	0.0	14.805		
152 I	7122.2	49.14	11.0537	I	1885.4	488.0	407.4	349.1	0.0	15.076		
153 I	7123.2	48.54	11.0580	I	1868.4	489.7	410.1	352.6	0.0	15.279		
154 I	7135.2	48.68	11.1084	I	1872.0	489.1	407.9	350.2	0.0	17.208		
156 I	7142.9	49.90	11.1414	I	1932.8	499.7	415.7	356.8	0.0	18.368		
162 I	7143.4	44.22	11.1435	I	1723.5	493.2	400.6	348.1	0.0	18.355		
170 I	7144.2	36.48	11.1461	I	1449.8	494.1	377.4	333.4	0.0	18.290		
177 I	7144.9	29.69	11.1482	I	1222.4	492.0	354.2	317.9	4.789	18.219		
184 I	7145.7	22.52	11.1499	I	978.8	471.6	329.0	301.1	12.069	18.047		
191 I	7146.2	15.59	11.1507	I	751.9	435.7	313.3	293.8	18.274	17.675		
195 I	7146.4	11.57	11.1510	I	624.1	405.9	303.8	289.3	21.960	17.493		
203 I	7146.7	4.03	11.1512	I	379.4	315.9	271.1	265.9	28.514	17.468		
207 I	7146.9	0.01	11.1513	I	23.2	23.1	22.9	22.9	35.840	17.468		

PWR15:2ND HALDEN RAMPAXIAL&THERMAL ---K.YANAGISAWA---

STAGE I POWER HISTORY I THERMAL INFORMATION (NODE NUMBER 5)												
NST	I	TIME	LHR	BURNUP	I	PC	TEMPERATURE (C)	CI	CO	CLEAR	F.G.R.	
I		(HR)	(KW/M)	(MWD/KGU)	I		PS			(MIC)	(%)	
1	I	0.0	0.00	0.0000	I	294.9	294.9	294.9	294.9	294.9	57.884	0.500
23	I	2.0	16.75	0.0014	I	835.9	475.4	332.4	311.7	41.856	0.943	
28	I	1910.3	16.75	2.7650	I	853.0	493.5	338.4	317.8	37.028	28.284	
31	I	1910.4	15.01	2.7651	I	786.8	475.7	334.5	316.0	39.187	18.784	
37	I	4101.6	15.01	5.6090	I	801.3	486.1	352.4	334.2	31.928	16.100	
41	I	4101.7	17.62	5.6091	I	889.0	503.2	358.2	336.8	29.248	14.267	
42	I	4464.6	17.62	6.1620	I	877.1	494.4	350.3	328.8	27.850	15.939	
44	I	4464.7	16.75	6.1621	I	847.1	488.4	348.3	327.9	28.771	13.790	
49	I	6319.4	16.75	8.8480	I	830.3	475.0	341.4	320.8	23.010	13.673	
53	I	6319.5	13.59	8.8481	I	722.4	450.0	334.3	317.6	26.249	10.688	
56	I	7059.0	13.59	9.7170	I	719.2	447.2	334.3	317.6	24.418	10.916	
74	I	7059.2	0.08	9.7171	I	306.1	304.9	304.0	303.9	36.149	10.031	
75	I	7059.3	0.09	9.7171	I	134.9	133.9	132.6	132.4	38.278	10.031	
81	I	7062.7	5.38	9.7179	I	305.5	229.6	162.5	154.9	31.898	10.030	
82	I	7079.2	6.21	9.7262	I	435.4	333.8	267.2	259.2	31.716	10.051	
84	I	7080.2	8.22	9.7268	I	509.5	366.8	285.5	275.0	29.386	10.027	
91	I	7080.7	15.02	9.7273	I	731.7	431.7	308.7	289.9	23.230	10.082	
97	I	7081.2	20.98	9.7281	I	930.8	469.1	325.5	299.4	17.402	10.404	
98	I	7088.7	21.48	9.7418	I	953.5	475.4	331.6	305.0	16.854	10.477	
101	I	7089.2	23.74	9.7428	I	1012.6	473.7	322.8	293.2	14.911	10.495	
102	I	7101.2	24.02	9.7676	I	1038.9	485.5	336.4	306.7	14.565	10.605	
103	I	7112.2	24.11	9.7905	I	1042.2	486.0	336.9	307.1	14.439	10.597	
105	I	7113.2	25.84	9.7926	I	1096.2	488.6	337.2	305.3	12.810	10.573	
106	I	7114.2	26.72	9.7949	I	1147.2	504.2	359.3	326.8	11.108	10.631	
108	I	7114.7	28.05	9.7961	I	1171.9	494.6	345.9	311.5	10.144	10.628	
111	I	7115.2	30.40	9.7974	I	1249.5	497.2	350.7	313.4	7.770	10.677	

PWR15:2ND HALDEN RAMPAXIAL&THERMAL ---K.YANAGISAWA---

STAGE I P O W E R H I S T O R Y I T H E R M A L I N F O R M A T I O N (N O D E N U M B E R 5)												
NST	I	TIME	LHR	BURNUP	I	PC	TEMPERATURE	CI	CO	CLEAR	F.G.R.	
		(HR)	(KW/M)	(MWD/KGU)	I		PS			(MIC)	(%)	
114	I	7115.7	33.04	9.7987	I	1345.0	503.0	363.2	323.1	4.930	10.741	
118	I	7116.2	36.18	9.8002	I	1422.3	484.3	366.2	322.2	0.0	10.775	
120	I	7116.7	37.32	9.8018	I	1460.0	483.7	370.4	325.2	0.0	10.827	
126	I	7117.2	42.62	9.8035	I	1631.4	475.3	375.1	323.5	0.0	10.948	
127	I	7117.7	43.52	9.8054	I	1680.1	483.3	388.5	336.3	0.0	11.138	
131	I	7118.2	47.32	9.8074	I	1808.1	479.7	395.1	338.6	0.0	11.387	
134	I	7118.7	49.80	9.8095	I	1908.3	487.8	407.8	348.7	0.0	11.813	
138	I	7119.2	53.82	9.8117	I	2065.3	501.8	415.7	352.1	0.0	12.580	
143	I	7119.7	48.97	9.8139	I	1886.0	490.8	411.6	353.7	0.0	12.878	
147	I	7120.2	52.58	9.8161	I	2015.0	495.6	410.2	347.9	0.0	13.218	
151	I	7121.2	48.99	9.8205	I	1884.0	489.4	409.3	351.2	0.0	13.565	
152	I	7122.2	49.61	9.8248	I	1905.5	489.7	408.4	349.6	0.0	13.840	
153	I	7123.2	49.01	9.8290	I	1888.4	491.4	411.1	353.1	0.0	14.042	
154	I	7135.2	49.15	9.8800	I	1891.7	490.6	408.9	350.7	0.0	15.982	
156	I	7142.9	50.39	9.9133	I	1952.9	501.5	416.7	357.3	0.0	17.138	
162	I	7143.4	44.65	9.9154	I	1746.0	496.4	401.6	348.5	0.0	17.091	
170	I	7144.2	36.83	9.9180	I	1471.3	498.6	378.1	333.8	0.0	17.034	
177	I	7144.9	29.98	9.9202	I	1238.1	495.0	354.8	318.2	4.990	16.946	
184	I	7145.7	22.74	9.9219	I	990.9	474.8	329.5	301.3	12.415	16.751	
191	I	7146.2	15.74	9.9227	I	760.1	438.7	313.6	293.9	18.762	16.377	
195	I	7146.4	11.68	9.9230	I	630.1	408.5	304.1	289.4	22.524	16.284	
203	I	7146.7	4.07	9.9232	I	381.4	317.1	271.2	266.0	29.208	16.274	
207	I	7146.9	0.01	9.9232	I	23.2	23.1	22.9	22.9	36.597	16.274	

PWR15:2ND HALDEN RAMPAXIAL&THERMAL ---K.YANAGISAWA---

STAGE I P O W E R H I S T O R Y I T H E R M A L I N F O R M A T I O N (R O D A V E R A G E)						
NST I	TIME (HR)	LHR (KW/M)	BURNUP I (MWD/KGU) I	F.G.R. PRESSURE (%) (MPA)		
1 I	0.0	0.00	0.0000 I	0.500	3.026	
23 I	2.0	21.20	0.0018 I	0.942	3.414	
28 I	1910.3	21.20	3.5000 I	27.629	3.671	
31 I	1910.4	19.00	3.5001 I	19.332	3.567	
37 I	4101.6	19.00	7.1000 I	17.642	3.853	
41 I	4101.7	22.30	7.1001 I	16.051	3.877	
42 I	4464.6	22.30	7.8000 I	17.733	3.894	
44 I	4464.7	21.20	7.8001 I	15.582	3.838	
49 I	6319.4	21.20	11.2000 I	16.156	3.973	
53 I	6319.5	17.20	11.2001 I	13.248	3.834	
56 I	7059.0	17.20	12.3000 I	13.502	3.887	
74 I	7059.2	0.10	12.3001 I	12.257	3.525	
75 I	7059.3	0.08	12.3001 I	12.257	2.504	
81 I	7062.7	5.18	12.3009 I	12.257	2.720	
82 I	7079.2	5.97	12.3088 I	12.272	3.350	
84 I	7080.2	7.91	12.3094 I	12.255	3.471	
91 I	7080.7	14.45	12.3099 I	12.451	3.634	
97 I	7081.2	20.17	12.3107 I	12.798	3.751	
98 I	7088.7	20.65	12.3239 I	12.857	3.792	
101 I	7089.2	22.82	12.3248 I	12.867	3.732	
102 I	7101.2	23.10	12.3487 I	12.955	3.823	
103 I	7112.2	23.18	12.3707 I	12.944	3.827	
105 I	7113.2	24.85	12.3727 I	12.925	3.825	
106 I	7114.2	25.69	12.3749 I	12.981	3.972	
108 I	7114.7	26.97	12.3761 I	12.969	3.881	
111 I	7115.2	29.23	12.3773 I	13.005	3.907	

***PWR15:2ND WALDEN RAMP**AXIAL&THERMAL ---K.YAMAGISAWA---

STAGE I P O W E R H I S T O R Y I T H E R M A L I N F O R M A T I O N (R O D A V E R A G E)						
NST I	I	TIME (HR)	LHR (KW/M)	BURNUP (MWD/KGU) I	F.G.R. PRESSURE (%)	
114 I		7115.7	31.77	12.3786 I	13.054	3.986
118 I		7116.2	34.79	12.3800 I	13.077	3.989
120 I		7116.7	35.88	12.3816 I	13.104	4.009
126 I		7117.2	40.98	12.3832 I	13.173	3.985
127 I		7117.7	41.85	12.3850 I	13.289	4.068
131 I		7118.2	45.50	12.3869 I	13.444	4.074
134 I		7118.7	47.88	12.3889 I	13.726	4.140
138 I		7119.2	51.75	12.3911 I	14.269	4.167
143 I		7119.7	47.09	12.3932 I	14.499	4.199
147 I		7120.2	50.56	12.3953 I	14.731	4.157
151 I		7121.2	47.11	12.3996 I	15.001	4.198
152 I		7122.2	47.70	12.4037 I	15.200	4.191
153 I		7123.2	47.13	12.4078 I	15.354	4.221
154 I		7135.2	47.26	12.4567 I	16.805	4.251
156 I		7142.9	48.45	12.4888 I	17.673	4.320
162 I		7143.4	42.93	12.4908 I	17.656	4.280
170 I		7144.2	35.41	12.4933 I	17.618	4.206
177 I		7144.9	28.82	12.4954 I	17.552	4.076
184 I		7145.7	21.86	12.4970 I	17.389	3.914
191 I		7146.2	15.14	12.4978 I	17.043	3.802
195 I		7146.4	11.23	12.4981 I	16.798	3.727
203 I		7146.7	3.92	12.4983 I	16.738	3.485
207 I		7146.9	0.01	12.4983 I	16.738	1.916

*** BIRTH AT EACH AXIAL NODE (TOTAL AMOUNT) *** (87)

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE UNIT	1 (81)	2	3	4	5	TOTAL (85)
207	12.498 (88)	XE-131	MG (91) 1.14D+01	1.04D+01	9.30D+00	8.04D+00	6.92D+00	4.61D+01
			ML (82) 1.94D+00	1.79D+00	1.59D+00	1.38D+00	1.18D+00	7.88D+00
			EX (83) 1.15D+01	1.15D+01	1.15D+01	1.15D+01	1.15D+01	1.15D+01
		XE-132	MG 1.71D+01	1.57D+01	1.60D+01	1.21D+01	1.04D+01	6.92D+01
			ML 2.90D+00	2.66D+00	2.37D+00	2.05D+00	1.76D+00	1.17D+01
			EX 1.71D+01	1.71D+01	1.71D+01	1.71D+01	1.71D+01	1.71D+01
		XE-134	MG 3.14D+01	2.89D+01	2.57D+01	2.23D+01	1.91D+01	1.28D+02
			ML 5.26D+00	4.83D+00	4.30D+00	3.72D+00	3.20D+00	2.13D+01
			EX 3.10D+01	3.10D+01	3.10D+01	3.10D+01	3.10D+01	3.10D+01
		XE-136	MG 2.58D+01	2.37D+01	2.11D+01	1.82D+01	1.57D+01	1.05D+02
			ML 4.25D+00	3.90D+00	3.47D+00	3.01D+00	2.58D+00	1.72D+01
			EX 2.50D+01	2.50D+01	2.50D+01	2.50D+01	2.50D+01	2.50D+01
		KR-83	MG 1.59D+00	1.46D+00	1.30D+00	1.13D+00	9.68D-01	6.45D+00
			ML 4.29D-01	3.95D-01	3.51D-01	3.04D-01	2.61D-01	1.74D+00
			EX 2.53D+00	2.53D+00	2.53D+00	2.53D+00	2.53D+00	2.53D+00
		KR-84	MG 2.55D+00	2.34D+00	2.09D+00	1.80D+00	1.55D+00	1.03D+01
			ML 6.80D-01	6.25D-01	5.56D-01	4.81D-01	4.14D-01	2.76D+00
			EX 4.01D+00	4.01D+00	4.01D+00	4.01D+00	4.01D+00	4.01D+00
		KR-85	MG 7.16D-01	6.58D-01	5.86D-01	5.07D-01	4.36D-01	2.90D+00
			ML 1.89D-01	1.73D-01	1.54D-01	1.34D-01	1.15D-01	7.65D-01
			EX 1.11D+00	1.11D+00	1.11D+00	1.11D+00	1.11D+00	1.11D+00
		KR-86	MG 5.10D+00	4.69D+00	4.17D+00	3.61D+00	3.10D+00	2.07D+01
			ML 1.33D+00	1.22D+00	1.09D+00	9.40D-01	8.08D-01	5.38D+00
			EX 7.82D+00	7.82D+00	7.82D+00	7.82D+00	7.82D+00	7.82D+00
		TOTAL (96)	MG 9.56D+01	8.79D+01	7.82D+01	6.77D+01	5.82D+01	3.88D+02
			ML 1.70D+01	1.56D+01	1.39D+01	1.20D+01	1.03D+01	6.88D+01
			EX 1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02

(97) *** BIRTH AT EACH AXIAL NODE (AMOUNT/GRAM FUEL) ***

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE UNIT	1 (94)	2	3	4	5	TOTAL (95)
207	12.498 (89)	XE-131 (90)	MG (88) 2.33D-01	2.14D-01	1.90D-01	1.65D-01	1.42D-01	1.89D-01
			ML (88) 3.98D-02	3.66D-02	3.26D-02	2.82D-02	2.42D-02	3.23D-02
			EX (88) 1.15D+01	1.15D+01	1.15D+01	1.15D+01	1.15D+01	1.15D+01
	XE-132	MG 3.50D-01	3.21D-01	2.86D-01	2.47D-01	2.13D-01	2.83D-01	
		ML 5.93D-02	5.45D-02	4.85D-02	4.20D-02	3.61D-02	4.81D-02	
		EX 1.71D+01	1.71D+01	1.71D+01	1.71D+01	1.71D+01	1.71D+01	
	XE-134	MG 6.44D-01	5.92D-01	5.27D-01	4.56D-01	3.92D-01	5.22D-01	
		ML 1.08D-01	9.90D-02	8.81D-02	7.62D-02	6.55D-02	8.73D-02	
		EX 3.10D+01	3.10D+01	3.10D+01	3.10D+01	3.10D+01	3.10D+01	
	XE-136	MG 5.28D-01	4.85D-01	4.32D-01	3.74D-01	3.21D-01	4.28D-01	
		ML 8.70D-02	7.99D-02	7.12D-02	6.15D-02	5.29D-02	7.05D-02	
		EX 2.50D+01	2.50D+01	2.50D+01	2.50D+01	2.50D+01	2.50D+01	
	KR-83	MG 3.26D-02	3.00D-02	2.67D-02	2.31D-02	1.98D-02	2.64D-02	
		ML 8.79D-03	8.08D-03	7.20D-03	6.22D-03	5.35D-03	7.13D-03	
		EX 2.53D+00	2.53D+00	2.53D+00	2.53D+00	2.53D+00	2.53D+00	
	KR-84	MG 5.22D-02	4.80D-02	4.27D-02	3.69D-02	3.18D-02	4.23D-02	
		ML 1.39D-02	1.28D-02	1.14D-02	9.85D-03	8.47D-03	1.13D-02	
		EX 4.01D+00	4.01D+00	4.01D+00	4.01D+00	4.01D+00	4.01D+00	
	KR-85	MG 1.47D-02	1.35D-02	1.20D-02	1.04D-02	8.93D-03	1.19D-02	
		ML 3.86D-03	3.55D-03	3.16D-03	2.73D-03	2.35D-03	3.13D-03	
		EX 1.11D+00	1.11D+00	1.11D+00	1.11D+00	1.11D+00	1.11D+00	
	KR-86	MG 1.04D-01	9.60D-02	8.54D-02	7.39D-02	6.35D-02	8.46D-02	
		ML 2.72D-02	2.50D-02	2.23D-02	1.92D-02	1.66D-02	2.20D-02	
		EX 7.82D+00	7.82D+00	7.82D+00	7.82D+00	7.82D+00	7.82D+00	
TOTAL	(96)	MG 1.96D+00	1.80D+00	1.60D+00	1.39D+00	1.19D+00	1.59D+00	
		ML 3.47D-01	3.19D-01	2.84D-01	2.46D-01	2.12D-01	2.82D-01	
		EX 1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	

(100) *** RELEASE AT EACH AXIAL NODE (TOTAL AMOUNT) ***

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE UNIT	NODE NO.					TOTAL (95)
			1 (94)	2	3	4	5	
207	12.498 (89)	XE-131 (90)	MG (101) 1.82D+00	1.76D+00	1.65D+00	1.42D+00	1.14D+00	7.79D+00
			ML (102) 3.12D-01	3.02D-01	2.82D-01	2.43D-01	1.95D-01	1.33D+00
			FGR (103) 1.61D+01	1.69D+01	1.77D+01	1.77D+01	1.65D+01	1.69D+01
	XE-132	MG	2.74D+00	2.65D+00	2.47D+00	2.13D+00	1.71D+00	1.17D+01
		ML	4.65D-01	4.50D-01	4.20D-01	3.62D-01	2.90D-01	1.99D+00
		FGR	1.61D+01	1.69D+01	1.77D+01	1.77D+01	1.65D+01	1.69D+01
	XE-134	MG	5.05D+00	4.88D+00	4.56D+00	3.93D+00	3.15D+00	2.16D+01
		ML	8.44D-01	8.16D-01	7.62D-01	6.57D-01	5.27D-01	3.61D+00
		FGR	1.61D+01	1.69D+01	1.77D+01	1.77D+01	1.65D+01	1.69D+01
	XE-136	MG	4.14D+00	4.00D+00	3.73D+00	3.22D+00	2.58D+00	1.77D+01
		ML	6.82D-01	6.59D-01	6.15D-01	5.31D-01	4.25D-01	2.91D+00
		FGR	1.61D+01	1.69D+01	1.77D+01	1.77D+01	1.65D+01	1.69D+01
	KR-83	MG	2.55D-01	2.47D-01	2.30D-01	1.99D-01	1.59D-01	1.09D+00
		ML	6.89D-02	6.67D-02	6.22D-02	5.37D-02	4.30D-02	2.94D-01
		FGR	1.61D+01	1.69D+01	1.77D+01	1.77D+01	1.65D+01	1.69D+01
	KR-84	MG	4.09D-01	3.96D-01	3.69D-01	3.19D-01	2.55D-01	1.75D+00
		ML	1.09D-01	1.06D-01	9.85D-02	8.50D-02	6.81D-02	4.66D-01
		FGR	1.61D+01	1.69D+01	1.77D+01	1.77D+01	1.65D+01	1.69D+01
	KR-85	MG	2.39D-18	9.94D-19	3.26D-19	9.34D-20	2.93D-20	3.83D-18
		ML	6.30D-19	2.62D-19	8.59D-20	2.46D-20	7.72D-21	1.01D-18
		FGR	3.34D-16	1.51D-16	5.56D-17	1.84D-17	6.72D-18	1.32D-16
	KR-86	MG	8.18D-01	7.91D-01	7.38D-01	6.37D-01	5.11D-01	3.50D+00
		ML	2.13D-01	2.06D-01	1.92D-01	1.66D-01	1.33D-01	9.11D-01
		FGR	1.61D+01	1.69D+01	1.77D+01	1.77D+01	1.65D+01	1.69D+01
TOTAL	(96)	MG	1.52D+01	1.47D+01	1.37D+01	1.19D+01	9.51D+00	6.51D+01
		ML	2.69D+00	2.61D+00	2.43D+00	2.10D+00	1.68D+00	1.15D+01
		FGR	1.59D+01	1.67D+01	1.75D+01	1.75D+01	1.63D+01	1.67D+01

(10) *** RELEASE AT EACH AXIAL NODE (AMOUNT/GRAM FUEL) ***

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE UNIT	NODE NO.					TOTAL
			1 (94)	2	3	4	5	
207 (88)	12.498 (89)	XE-131	MG (90) 3.74D-02	3.61D-02	3.37D-02	2.91D-02	2.33D-02	3.19D-02
			ML (90) 6.39D-03	6.18D-03	5.77D-03	4.98D-03	3.99D-03	5.46D-03
			FGR (90) 1.61D+01	1.69D+01	1.77D+01	1.77D+01	1.65D+01	1.69D+01
XE-132		MG 5.61D-02	5.43D-02	5.06D-02	4.37D-02	3.50D-02	4.79D-02	
		ML 9.52D-03	9.21D-03	8.59D-03	7.42D-03	5.94D-03	8.14D-03	
		FGR 1.61D+01	1.69D+01	1.77D+01	1.77D+01	1.65D+01	1.69D+01	
XE-134		MG 1.03D-01	1.00D-01	9.33D-02	8.05D-02	6.45D-02	8.84D-02	
		ML 1.73D-02	1.67D-02	1.56D-02	1.35D-02	1.08D-02	1.48D-02	
		FGR 1.61D+01	1.69D+01	1.77D+01	1.77D+01	1.65D+01	1.69D+01	
XE-136		MG 8.48D-02	8.20D-02	7.65D-02	6.60D-02	5.29D-02	7.24D-02	
		ML 1.40D-02	1.35D-02	1.26D-02	1.09D-02	8.71D-03	1.19D-02	
		FGR 1.61D+01	1.69D+01	1.77D+01	1.77D+01	1.65D+01	1.69D+01	
KR-83		MG 5.23D-03	5.06D-03	4.72D-03	4.07D-03	3.26D-03	4.47D-03	
		ML 1.41D-03	1.37D-03	1.27D-03	1.10D-03	8.81D-04	1.21D-03	
		FGR 1.61D+01	1.69D+01	1.77D+01	1.77D+01	1.65D+01	1.69D+01	
KR-84		MG 8.38D-03	8.11D-03	7.56D-03	6.53D-03	5.23D-03	7.16D-03	
		ML 2.23D-03	2.16D-03	2.02D-03	1.74D-03	1.39D-03	1.91D-03	
		FGR 1.61D+01	1.69D+01	1.77D+01	1.77D+01	1.65D+01	1.69D+01	
KR-85		MG 4.90D-20	2.04D-20	6.67D-21	1.91D-21	6.00D-22	1.57D-20	
		ML 1.29D-20	5.36D-21	1.76D-21	5.04D-22	1.58D-22	4.14D-21	
		FGR 3.34D-16	1.51D-16	5.56D-17	1.84D-17	6.72D-18	1.32D-16	
KR-86		MG 1.68D-02	1.62D-02	1.51D-02	1.31D-02	1.05D-02	1.43D-02	
		ML 4.37D-03	4.22D-03	3.94D-03	3.40D-03	2.72D-03	3.73D-03	
		FGR 1.61D+01	1.69D+01	1.77D+01	1.77D+01	1.65D+01	1.69D+01	
TOTAL (96)		MG 3.12D-01	3.02D-01	2.82D-01	2.43D-01	1.95D-01	2.67D-01	
		ML 5.52D-02	5.34D-02	4.98D-02	4.30D-02	3.44D-02	4.71D-02	
		FGR 1.59D+01	1.67D+01	1.75D+01	1.75D+01	1.63D+01	1.67D+01	

(10) *** RETAIN AT EACH AXIAL NODE (TOTAL AMOUNT) ***

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE UNIT	1	2	3	4	5	TOTAL
207	12.498	XE-131	9.54D+00	8.68D+00	7.65D+00	6.62D+00	5.78D+00	3.83D+01
		MG (88)	1.63D+00	1.48D+00	1.31D+00	1.13D+00	9.88D-01	6.54D+00
		ML (100)	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		RE (11)						
		XE-132	1.43D+01	1.30D+01	1.15D+01	9.95D+00	8.68D+00	5.75D+01
		MG	2.43D+00	2.21D+00	1.95D+00	1.69D+00	1.47D+00	9.75D+00
		ML	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		RE						
		XE-134	2.64D+01	2.40D+01	2.12D+01	1.83D+01	1.60D+01	1.06D+02
		MG	4.41D+00	4.02D+00	3.54D+00	3.06D+00	2.67D+00	1.77D+01
		ML	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		RE						
		XE-136	2.16D+01	1.97D+01	1.74D+01	1.50D+01	1.31D+01	8.68D+01
		MG	3.56D+00	3.24D+00	2.86D+00	2.47D+00	2.16D+00	1.43D+01
		ML	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		RE						
		KR-83	1.34D+00	1.22D+00	1.07D+00	9.27D-01	8.09D-01	5.36D+00
		MG	3.60D-01	3.28D-01	2.89D-01	2.50D-01	2.18D-01	1.45D+00
		ML	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		RE						
		KR-84	2.14D+00	1.95D+00	1.72D+00	1.49D+00	1.30D+00	8.58D+00
		MG	5.70D-01	5.19D-01	4.58D-01	3.96D-01	3.46D-01	2.29D+00
		ML	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		RE						
		KR-85	7.16D-01	6.58D-01	5.86D-01	5.07D-01	4.36D-01	2.90D+00
		MG	1.89D-01	1.73D-01	1.54D-01	1.34D-01	1.15D-01	7.65D-01
		ML	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02
		RE						
		KR-86	4.28D+00	3.89D+00	3.43D+00	2.97D+00	2.59D+00	1.72D+01
		MG	1.11D+00	1.01D+00	8.94D-01	7.74D-01	6.75D-01	4.47D+00
		ML	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		RE						
		TOTAL	8.04D+01	7.32D+01	6.45D+01	5.58D+01	4.87D+01	3.23D+02
		MG	1.43D+01	1.30D+01	1.15D+01	9.91D+00	8.65D+00	5.73D+01
		ML	8.41D+01	8.33D+01	8.25D+01	8.25D+01	8.37D+01	8.33D+01
		RE						

*** RETAIN AT EACH AXIAL NODE (AMOUNT/GRAM FUEL) *** (11)

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE UNIT	1 (84)	2	3	4	5	TOTAL (85)
207	12.498 (88)	XE-131	MG (82) 1.95D-01	1.78D-01	1.57D-01	1.36D-01	1.18D-01	1.57D-01
			ML (83) 3.34D-02	3.04D-02	2.68D-02	2.32D-02	2.02D-02	2.68D-02
			RE (10) 8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		XE-132	MG 2.93D-01	2.67D-01	2.35D-01	2.04D-01	1.78D-01	2.35D-01
			ML 4.98D-02	4.53D-02	3.99D-02	3.46D-02	3.02D-02	4.00D-02
			RE 8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		XE-134	MG 5.41D-01	4.92D-01	4.34D-01	3.75D-01	3.28D-01	4.34D-01
			ML 9.04D-02	8.23D-02	7.25D-02	6.28D-02	5.48D-02	7.25D-02
			RE 8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		XE-136	MG 4.43D-01	4.03D-01	3.56D-01	3.08D-01	2.68D-01	3.56D-01
			ML 7.30D-02	6.64D-02	5.86D-02	5.07D-02	4.42D-02	5.86D-02
			RE 8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		KR-83	MG 2.73D-02	2.49D-02	2.19D-02	1.90D-02	1.66D-02	2.19D-02
			ML 7.38D-03	6.72D-03	5.92D-03	5.12D-03	4.47D-03	5.92D-03
			RE 8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		KR-84	MG 4.38D-02	3.99D-02	3.52D-02	3.04D-02	2.65D-02	3.52D-02
			ML 1.17D-02	1.06D-02	9.38D-03	8.11D-03	7.08D-03	9.38D-03
			RE 8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		KR-85	MG 1.47D-02	1.35D-02	1.20D-02	1.04D-02	8.93D-03	1.19D-02
			ML 3.86D-03	3.55D-03	3.16D-03	2.73D-03	2.35D-03	3.13D-03
			RE 1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02
		KR-86	MG 8.76D-02	7.98D-02	7.03D-02	6.08D-02	5.31D-02	7.03D-02
			ML 2.28D-02	2.08D-02	1.83D-02	1.58D-02	1.38D-02	1.83D-02
			RE 8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		TOTAL (96)	MG 1.65D+00	1.50D+00	1.32D+00	1.14D+00	9.97D-01	1.32D+00
			ML 2.92D-01	2.66D-01	2.35D-01	2.03D-01	1.77D-01	2.35D-01
			RE 8.41D+01	8.33D+01	8.25D+01	8.25D+01	8.37D+01	8.33D+01

(14) *** BIRTH AT EACH RADIUS NODE (AXIAL NODE = 3) (TOTAL AMOUNT) ***

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE UNIT	RADIUS NO. (107)									
			1 (116)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
207 (88)	12.498 (89)	MG (91)	9.30D-02	2.79D-01	4.65D-01	6.51D-01	8.37D-01	1.02D+00	1.21D+00	1.39D+00	1.58D+00	1.77D+00
		ML (92)	1.59D-02	4.77D-02	7.95D-02	1.11D-01	1.43D-01	1.75D-01	2.07D-01	2.39D-01	2.70D-01	3.02D-01
		EX (93)	1.15D+01	1.15D+01	1.15D+01	1.15D+01	1.15D+01	1.15D+01	1.15D+01	1.15D+01	1.15D+01	1.15D+01
XE-132		MG	1.40D-01	4.19D-01	6.98D-01	9.78D-01	1.26D+00	1.54D+00	1.82D+00	2.09D+00	2.37D+00	2.65D+00
		ML	2.37D-02	7.11D-02	1.18D-01	1.66D-01	2.13D-01	2.61D-01	3.08D-01	3.55D-01	4.03D-01	4.50D-01
		EX	1.71D+01	1.71D+01	1.71D+01	1.71D+01	1.71D+01	1.71D+01	1.71D+01	1.71D+01	1.71D+01	1.71D+01
XE-134		MG	2.57D-01	7.72D-01	1.29D+00	1.80D+00	2.32D+00	2.83D+00	3.35D+00	3.86D+00	4.38D+00	4.89D+00
		ML	4.30D-02	1.29D-01	2.15D-01	3.01D-01	3.87D-01	4.73D-01	5.59D-01	6.45D-01	7.31D-01	8.17D-01
		EX	3.10D+01	3.10D+01	3.10D+01	3.10D+01	3.10D+01	3.10D+01	3.10D+01	3.10D+01	3.10D+01	3.10D+01
XE-136		MG	2.11D-01	6.33D-01	1.05D+00	1.48D+00	1.90D+00	2.32D+00	2.74D+00	3.16D+00	3.59D+00	4.01D+00
		ML	3.47D-02	1.04D-01	1.74D-01	2.43D-01	3.13D-01	3.82D-01	4.52D-01	5.21D-01	5.91D-01	6.60D-01
		EX	2.50D+01	2.50D+01	2.50D+01	2.50D+01	2.50D+01	2.50D+01	2.50D+01	2.50D+01	2.50D+01	2.50D+01
KR-83		MG	1.30D-02	3.91D-02	6.51D-02	9.11D-02	1.17D-01	1.43D-01	1.69D-01	1.95D-01	2.21D-01	2.47D-01
		ML	3.51D-03	1.05D-02	1.76D-02	2.46D-02	3.16D-02	3.86D-02	4.57D-02	5.27D-02	5.97D-02	6.68D-02
		EX	2.53D+00	2.53D+00	2.53D+00	2.53D+00	2.53D+00	2.53D+00	2.53D+00	2.53D+00	2.53D+00	2.53D+00
KR-84		MG	2.09D-02	6.26D-02	1.04D-01	1.46D-01	1.88D-01	2.29D-01	2.71D-01	3.13D-01	3.55D-01	3.96D-01
		ML	5.56D-03	1.67D-02	2.78D-02	3.89D-02	5.01D-02	6.12D-02	7.23D-02	8.34D-02	9.46D-02	1.06D-01
		EX	4.01D+00	4.01D+00	4.01D+00	4.01D+00	4.01D+00	4.01D+00	4.01D+00	4.01D+00	4.01D+00	4.01D+00
KR-85		MG	5.86D-03	1.76D-02	2.93D-02	4.10D-02	5.27D-02	6.44D-02	7.62D-02	8.79D-02	9.96D-02	1.11D-01
		ML	1.54D-03	4.63D-03	7.72D-03	1.08D-02	1.39D-02	1.70D-02	2.01D-02	2.32D-02	2.62D-02	2.93D-02
		EX	1.11D+00	1.11D+00	1.11D+00	1.11D+00	1.11D+00	1.11D+00	1.11D+00	1.11D+00	1.11D+00	1.11D+00
KR-86		MG	4.17D-02	1.25D-01	2.09D-01	2.92D-01	3.75D-01	4.59D-01	5.42D-01	6.26D-01	7.09D-01	7.92D-01
		ML	1.09D-02	3.26D-02	5.43D-02	7.60D-02	9.78D-02	1.19D-01	1.41D-01	1.63D-01	1.85D-01	2.06D-01
		EX	7.82D+00	7.82D+00	7.82D+00	7.82D+00	7.82D+00	7.82D+00	7.82D+00	7.82D+00	7.82D+00	7.82D+00
TOTAL (95)		MG	7.82D-01	2.35D+00	3.91D+00	5.48D+00	7.04D+00	8.61D+00	1.02D+01	1.17D+01	1.33D+01	1.49D+01
		ML	1.39D-01	4.17D-01	6.94D-01	9.72D-01	1.25D+00	1.53D+00	1.81D+00	2.08D+00	2.36D+00	2.64D+00
		EX	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE	UNIT	RADIUS NO.	TOTAL
207	12.498	XE-131	MG	9.30D+00	
			ML	1.59D+00	
			EX	1.15D+01	
		XE-132	MG	1.40D+01	
			ML	2.37D+00	
			EX	1.71D+01	
		XE-134	MG	2.57D+01	
			ML	4.30D+00	
			EX	3.10D+01	
		XE-136	MG	2.11D+01	
			ML	3.47D+00	
			EX	2.50D+01	
		KR-83	MG	1.30D+00	
			ML	3.51D-01	
			EX	2.53D+00	
		KR-84	MG	2.09D+00	
			ML	5.56D-01	
			EX	4.01D+00	
		KR-85	MG	5.86D-01	
			ML	1.54D-01	
			EX	1.11D+00	
		KR-86	MG	4.17D+00	
			ML	1.09D+00	
			EX	7.82D+00	
TOTAL			MG	7.82D+01	
			ML	1.39D+01	
			EX	1.00D+02	

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE	UNIT	RADIUS NO.	TOTAL
207	12.498	XE-131	MG	1.90D-01	
			ML	3.26D-02	
			EX	1.15D+01	
	XE-132	MG	2.86D-01		
		ML	4.85D-02		
		EX	1.71D+01		
	XE-134	MG	5.27D-01		
		ML	8.81D-02		
		EX	3.10D+01		
XE-136	MG	4.32D-01			
	ML	7.12D-02			
	EX	2.50D+01			
KR-83	MG	2.67D-02			
	ML	7.20D-03			
	EX	2.53D+00			
KR-84	MG	4.27D-02			
	ML	1.14D-02			
	EX	4.01D+00			
KR-85	MG	1.20D-02			
	ML	3.16D-03			
	EX	1.11D+00			
KR-86	MG	8.54D-02			
	ML	2.23D-02			
	EX	7.82D+00			
TOTAL		MG	1.60D+00		
		ML	2.84D-01		
		EX	1.00D+02		

(119) *** RELEASE AT EACH RADIUS NODE (AXIAL NODE = 3) (TOTAL AMOUNT) ***

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE UNIT	RADIUS NO. (119)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
207	12.498 (89)	XE-131 (90)	MG (91) 4.85D-02 ML (92) 8.30D-03 FGR (93) 5.22D+01	1.33D-01 2.27D-02 4.75D+01	1.81D-01 3.10D-02 3.90D+01	1.86D-01 3.19D-02 2.86D+01	1.64D-01 2.81D-02 1.96D+01	1.46D-01 2.49D-02 1.43D+01	1.50D-01 2.56D-02 1.24D+01	1.74D-01 2.97D-02 1.25D+01	2.10D-01 3.59D-02 1.33D+01	2.54D-01 4.35D-02 1.44D+01
		XE-132	MG 7.29D-02 ML 1.24D-02 FGR 5.22D+01	1.99D-01 3.38D-02 4.75D+01	2.72D-01 4.62D-02 3.90D+01	2.80D-01 4.75D-02 2.86D+01	2.47D-01 4.19D-02 1.96D+01	2.19D-01 3.72D-02 1.43D+01	2.25D-01 3.81D-02 1.24D+01	2.61D-01 4.43D-02 1.25D+01	3.15D-01 5.35D-02 1.33D+01	3.82D-01 6.48D-02 1.44D+01
		XE-134	MG 1.34D-01 ML 2.25D-02 FGR 5.22D+01	3.67D-01 6.13D-02 4.75D+01	5.02D-01 8.39D-02 3.90D+01	5.16D-01 8.62D-02 2.86D+01	4.55D-01 7.60D-02 1.96D+01	4.04D-01 6.75D-02 1.43D+01	4.14D-01 6.92D-02 1.24D+01	4.81D-01 8.04D-02 1.25D+01	5.81D-01 9.71D-02 1.33D+01	7.04D-01 1.18D-01 1.44D+01
		XE-136	MG 1.10D-01 ML 1.81D-02 FGR 5.22D+01	3.01D-01 4.95D-02 4.75D+01	4.11D-01 6.77D-02 3.90D+01	4.23D-01 6.96D-02 2.86D+01	3.73D-01 6.14D-02 1.96D+01	3.31D-01 5.45D-02 1.43D+01	3.39D-01 5.59D-02 1.24D+01	3.94D-01 6.49D-02 1.25D+01	4.76D-01 7.84D-02 1.33D+01	5.77D-01 9.50D-02 1.44D+01
		KR-83	MG 6.80D-03 ML 1.83D-03 FGR 5.22D+01	1.86D-02 5.01D-03 4.75D+01	2.54D-02 6.85D-03 3.90D+01	2.61D-02 7.04D-03 2.86D+01	2.30D-02 6.21D-03 1.96D+01	2.04D-02 5.51D-03 1.43D+01	2.09D-02 5.65D-03 1.24D+01	2.43D-02 6.56D-03 1.25D+01	2.94D-02 7.93D-03 1.33D+01	3.56D-02 9.61D-03 1.44D+01
		KR-84	MG 1.09D-02 ML 2.90D-03 FGR 5.22D+01	2.97D-02 7.93D-03 4.75D+01	4.07D-02 1.08D-02 3.90D+01	4.18D-02 1.11D-02 2.86D+01	3.68D-02 9.83D-03 1.96D+01	3.27D-02 8.72D-03 1.43D+01	3.35D-02 8.94D-03 1.24D+01	3.90D-02 1.04D-02 1.25D+01	4.71D-02 1.26D-02 1.33D+01	5.70D-02 1.52D-02 1.44D+01
		KR-85	MG 3.29D-21 ML 8.67D-22 FGR 5.62D-17	9.87D-21 2.60D-21 5.61D-17	1.64D-20 4.33D-21 5.61D-17	2.30D-20 6.06D-21 5.60D-17	2.95D-20 7.77D-21 5.59D-17	3.60D-20 9.48D-21 5.58D-17	4.24D-20 1.12D-20 5.57D-17	4.88D-20 1.29D-20 5.56D-17	5.52D-20 1.45D-20 5.54D-17	6.14D-20 1.62D-20 5.52D-17
		KR-86	MG 2.18D-02 ML 5.67D-03 FGR 5.22D+01	5.95D-02 1.55D-02 4.75D+01	8.13D-02 2.12D-02 3.90D+01	8.36D-02 2.18D-02 2.86D+01	7.37D-02 1.92D-02 1.96D+01	6.54D-02 1.70D-02 1.43D+01	6.71D-02 1.75D-02 1.24D+01	7.79D-02 2.03D-02 1.25D+01	9.42D-02 2.45D-02 1.33D+01	1.14D-01 2.97D-02 1.44D+01
		TOTAL (95)	MG 4.05D-01 ML 7.17D-02 FGR 5.16D+01	1.11D+00 1.96D-01 4.70D+01	1.51D+00 2.68D-01 3.86D+01	1.56D+00 2.75D-01 2.83D+01	1.37D+00 2.43D-01 1.94D+01	1.22D+00 2.15D-01 1.41D+01	1.25D+00 2.21D-01 1.22D+01	1.45D+00 2.57D-01 1.23D+01	1.75D+00 3.10D-01 1.31D+01	2.12D+00 3.75D-01 1.42D+01

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE	UNIT	RADIUS NO.	TOTAL
207	12.498	XE-131	MG	1.65D+00	
			ML	2.82D-01	
			FGR	1.77D+01	
XE-132			MG	2.47D+00	
			ML	4.20D-01	
			FGR	1.77D+01	
XE-134			MG	4.56D+00	
			ML	7.62D-01	
			FGR	1.77D+01	
XE-136			MG	3.73D+00	
			ML	6.15D-01	
			FGR	1.77D+01	
KR-83			MG	2.30D-01	
			ML	6.22D-02	
			FGR	1.77D+01	
KR-84			MG	3.69D-01	
			ML	9.85D-02	
			FGR	1.77D+01	
KR-85			MG	3.26D-19	
			ML	8.59D-20	
			FGR	5.56D-17	
KR-86			MG	7.38D-01	
			ML	1.92D-01	
			FGR	1.77D+01	
TOTAL			MG	1.37D+01	
			ML	2.43D+00	
			FGR	1.75D+01	

(20) *** RELEASE AT EACH RADIUS NODE (AXIAL NODE = 3) (AMOUNT/GRAM FUEL) ***

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE UNIT	RADIUS NO.									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
207	12.498	MG (88)	9.94D-02	9.05D-02	7.43D-02	5.45D-02	3.74D-02	2.72D-02	2.36D-02	2.37D-02	2.53D-02	2.74D-02
		ML (89)	1.70D-02	1.55D-02	1.27D-02	9.32D-03	6.39D-03	4.64D-03	4.03D-03	4.06D-03	4.33D-03	4.69D-03
		FGR (90)	5.22D+01	4.75D+01	3.90D+01	2.86D+01	1.96D+01	1.43D+01	1.24D+01	1.25D+01	1.33D+01	1.44D+01
XE-132		MG	1.49D-01	1.36D-01	1.12D-01	8.19D-02	5.61D-02	4.08D-02	3.54D-02	3.56D-02	3.80D-02	4.12D-02
		ML	2.53D-02	2.31D-02	1.89D-02	1.39D-02	9.53D-03	6.92D-03	6.00D-03	6.05D-03	6.45D-03	6.99D-03
		FGR	5.22D+01	4.75D+01	3.90D+01	2.86D+01	1.96D+01	1.43D+01	1.24D+01	1.25D+01	1.33D+01	1.44D+01
XE-134		MG	2.75D-01	2.51D-01	2.06D-01	1.51D-01	1.03D-01	7.51D-02	6.52D-02	6.57D-02	7.00D-02	7.59D-02
		ML	4.60D-02	4.19D-02	3.44D-02	2.52D-02	1.73D-02	1.26D-02	1.09D-02	1.10D-02	1.17D-02	1.27D-02
		FGR	5.22D+01	4.75D+01	3.90D+01	2.86D+01	1.96D+01	1.43D+01	1.24D+01	1.25D+01	1.33D+01	1.44D+01
XE-136		MG	2.26D-01	2.05D-01	1.68D-01	1.24D-01	8.48D-02	6.16D-02	5.34D-02	5.38D-02	5.74D-02	6.22D-02
		ML	3.71D-02	3.38D-02	2.77D-02	2.04D-02	1.40D-02	1.01D-02	8.80D-03	8.86D-03	9.45D-03	1.02D-02
		FGR	5.22D+01	4.75D+01	3.90D+01	2.86D+01	1.96D+01	1.43D+01	1.24D+01	1.25D+01	1.33D+01	1.44D+01
KR-83		MG	1.39D-02	1.27D-02	1.04D-02	7.63D-03	5.23D-03	3.80D-03	3.30D-03	3.32D-03	3.54D-03	3.84D-03
		ML	3.76D-03	3.42D-03	2.81D-03	2.06D-03	1.41D-03	1.03D-03	8.90D-04	8.96D-04	9.56D-04	1.04D-03
		FGR	5.22D+01	4.75D+01	3.90D+01	2.86D+01	1.96D+01	1.43D+01	1.24D+01	1.25D+01	1.33D+01	1.44D+01
KR-84		MG	2.23D-02	2.03D-02	1.67D-02	1.22D-02	8.38D-03	6.09D-03	5.28D-03	5.32D-03	5.67D-03	6.15D-03
		ML	5.95D-03	5.41D-03	4.44D-03	3.26D-03	2.24D-03	1.62D-03	1.41D-03	1.42D-03	1.51D-03	1.64D-03
		FGR	5.22D+01	4.75D+01	3.90D+01	2.86D+01	1.96D+01	1.43D+01	1.24D+01	1.25D+01	1.33D+01	1.44D+01
KR-85		MG	6.74D-21	6.74D-21	6.73D-21	6.72D-21	6.71D-21	6.70D-21	6.68D-21	6.67D-21	6.65D-21	6.62D-21
		ML	1.78D-21	1.78D-21	1.77D-21	1.77D-21	1.77D-21	1.77D-21	1.76D-21	1.76D-21	1.75D-21	1.75D-21
		FGR	5.62D-17	5.61D-17	5.61D-17	5.60D-17	5.59D-17	5.58D-17	5.57D-17	5.56D-17	5.54D-17	5.52D-17
KR-86		MG	4.46D-02	4.06D-02	3.33D-02	2.44D-02	1.68D-02	1.22D-02	1.06D-02	1.06D-02	1.13D-02	1.23D-02
		ML	1.16D-02	1.06D-02	8.67D-03	6.37D-03	4.37D-03	3.17D-03	2.75D-03	2.77D-03	2.95D-03	3.20D-03
		FGR	5.22D+01	4.75D+01	3.90D+01	2.86D+01	1.96D+01	1.43D+01	1.24D+01	1.25D+01	1.33D+01	1.44D+01
TOTAL	(96)	MG	8.30D-01	7.56D-01	6.20D-01	4.55D-01	3.12D-01	2.27D-01	1.97D-01	1.98D-01	2.11D-01	2.29D-01
		ML	1.47D-01	1.34D-01	1.10D-01	8.05D-02	5.52D-02	4.01D-02	3.48D-02	3.50D-02	3.73D-02	4.05D-02
		FGR	5.16D+01	4.70D+01	3.86D+01	2.83D+01	1.94D+01	1.41D+01	1.22D+01	1.23D+01	1.31D+01	1.42D+01

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE	UNIT	RADIUS NO.	TOTAL
207	12.498	XE-131	MG	3.37D-02	1.77D+01
			ML	5.77D-03	
			FGR	1.77D+01	
		XE-132	MG	5.06D-02	1.77D+01
			ML	8.59D-03	
			FGR	1.77D+01	
		XE-134	MG	9.33D-02	1.77D+01
			ML	1.56D-02	
			FGR	1.77D+01	
		XE-136	MG	7.65D-02	1.77D+01
			ML	1.26D-02	
			FGR	1.77D+01	
		KR-83	MG	4.72D-03	1.77D+01
			ML	1.27D-03	
			FGR	1.77D+01	
		KR-84	MG	7.56D-03	1.77D+01
			ML	2.02D-03	
			FGR	1.77D+01	
		KR-85	MG	6.67D-21	5.56D-17
			ML	1.76D-21	
			FGR	5.56D-17	
		KR-86	MG	1.51D-02	1.77D+01
			ML	3.94D-03	
			FGR	1.77D+01	
TOTAL		MG	2.82D-01		
		ML	4.98D-02		
		FGR	1.75D+01		

(12) *** RETAIN AT EACH RADIUS NODE (AXIAL NODE = 3) (TOTAL AMOUNT) ***

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE UNIT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
207	12.498	XE-131	4.45D-02	1.46D-01	2.84D-01	4.65D-01	6.73D-01	8.77D-01	1.06D+00	1.22D+00	1.37D+00	1.51D+00
		MG (89)	7.60D-03	2.50D-02	4.85D-02	7.95D-02	1.15D-01	1.50D-01	1.81D-01	2.09D-01	2.34D-01	2.59D-01
		ML (90)	4.78D+01	5.25D+01	6.10D+01	7.14D+01	8.04D+01	8.57D+01	8.76D+01	8.75D+01	8.67D+01	8.56D+01
		RE (91)										
		XE-132	6.68D-02	2.20D-01	4.26D-01	6.98D-01	1.01D+00	1.32D+00	1.59D+00	1.83D+00	2.06D+00	2.27D+00
		MG	1.13D-02	3.73D-02	7.23D-02	1.18D-01	1.71D-01	2.24D-01	2.70D-01	3.11D-01	3.49D-01	3.85D-01
		ML	4.78D+01	5.25D+01	6.10D+01	7.14D+01	8.04D+01	8.57D+01	8.76D+01	8.75D+01	8.67D+01	8.56D+01
		RE										
		XE-134	1.23D-01	4.05D-01	7.85D-01	1.29D+00	1.86D+00	2.43D+00	2.93D+00	3.38D+00	3.79D+00	4.19D+00
		MG	2.06D-02	6.77D-02	1.31D-01	2.15D-01	3.11D-01	4.06D-01	4.90D-01	5.65D-01	6.34D-01	7.00D-01
		ML	4.78D+01	5.25D+01	6.10D+01	7.14D+01	8.04D+01	8.57D+01	8.76D+01	8.75D+01	8.67D+01	8.56D+01
		RE										
		XE-136	1.01D-01	3.32D-01	6.44D-01	1.05D+00	1.53D+00	1.99D+00	2.40D+00	2.77D+00	3.11D+00	3.43D+00
		MG	1.66D-02	5.47D-02	1.06D-01	1.74D-01	2.51D-01	3.28D-01	3.96D-01	4.56D-01	5.12D-01	5.65D-01
		ML	4.78D+01	5.25D+01	6.10D+01	7.14D+01	8.04D+01	8.57D+01	8.76D+01	8.75D+01	8.67D+01	8.56D+01
		RE										
		KR-83	6.22D-03	2.05D-02	3.97D-02	6.50D-02	9.42D-02	1.23D-01	1.48D-01	1.71D-01	1.92D-01	2.12D-01
		MG	1.68D-03	5.53D-03	1.07D-02	1.76D-02	2.54D-02	3.31D-02	4.00D-02	4.61D-02	5.18D-02	5.71D-02
		ML	4.78D+01	5.25D+01	6.10D+01	7.14D+01	8.04D+01	8.57D+01	8.76D+01	8.75D+01	8.67D+01	8.56D+01
		RE										
		KR-84	9.97D-03	3.28D-02	6.36D-02	1.04D-01	1.51D-01	1.97D-01	2.38D-01	2.74D-01	3.07D-01	3.39D-01
		MG	2.66D-03	8.76D-03	1.70D-02	2.78D-02	4.02D-02	5.25D-02	6.34D-02	7.30D-02	8.20D-02	9.05D-02
		ML	4.78D+01	5.25D+01	6.10D+01	7.14D+01	8.04D+01	8.57D+01	8.76D+01	8.75D+01	8.67D+01	8.56D+01
		RE										
		KR-85	5.86D-03	1.76D-02	2.93D-02	4.10D-02	5.27D-02	6.44D-02	7.62D-02	8.79D-02	9.96D-02	1.11D-01
		MG	1.54D-03	4.63D-03	7.72D-03	1.08D-02	1.39D-02	1.70D-02	2.01D-02	2.32D-02	2.62D-02	2.93D-02
		ML	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02	1.00D+02
		RE										
		KR-86	1.99D-02	6.57D-02	1.27D-01	2.08D-01	3.02D-01	3.93D-01	4.75D-01	5.48D-01	6.15D-01	6.78D-01
		MG	5.19D-03	1.71D-02	3.31D-02	5.43D-02	7.85D-02	1.02D-01	1.24D-01	1.43D-01	1.60D-01	1.77D-01
		ML	4.78D+01	5.25D+01	6.10D+01	7.14D+01	8.04D+01	8.57D+01	8.76D+01	8.75D+01	8.67D+01	8.56D+01
		RE										
		TOTAL	3.77D-01	1.24D+00	2.40D+00	3.92D+00	5.67D+00	7.39D+00	8.92D+00	1.03D+01	1.15D+01	1.27D+01
		MG	6.72D-02	2.21D-01	4.27D-01	6.97D-01	1.01D+00	1.31D+00	1.58D+00	1.83D+00	2.05D+00	2.26D+00
		ML	4.84D+01	5.30D+01	6.14D+01	7.17D+01	8.06D+01	8.59D+01	8.78D+01	8.77D+01	8.69D+01	8.58D+01
		RE										

STAGE		BURNUP	NUCLIDE	UNIT	RADIUS NO.	TOTAL
		(MWD/KGU)				(U)
207	XE-131	12.498	MG		7.65D+00	
			ML		1.31D+00	
			RE		8.23D+01	
	XE-132		MG		1.15D+01	
			ML		1.95D+00	
			RE		8.23D+01	
	XE-134		MG		2.12D+01	
			ML		3.54D+00	
			RE		8.23D+01	
XE-136	KR-83		MG		1.74D+01	
			ML		2.86D+00	
			RE		8.23D+01	
	KR-84		MG		1.07D+00	
			ML		2.89D-01	
			RE		8.23D+01	
	KR-85		MG		1.72D+00	
			ML		4.58D-01	
			RE		8.23D+01	
KR-86		MG		5.86D-01		
		ML		1.54D-01		
		RE		1.00D+02		
TOTAL			MG		6.45D+01	
			ML		1.15D+01	
			RE		8.25D+01	

(12) *** RETAIN AT EACH RADIUS NODE (AXIAL NODE = 3) (AMOUNT/GRAM FUEL) ***

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE UNIT	RADIUS NO.													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
207	12.498	XE-131	MG	9.100-02	9.990-02	1.160-01	1.360-01	1.530-01	1.630-01	1.670-01	1.670-01	1.670-01	1.670-01	1.650-01	1.630-01	
			ML	1.560-02	1.710-02	1.990-02	2.320-02	2.620-02	2.790-02	2.850-02	2.850-02	2.850-02	2.850-02	2.850-02	2.820-02	2.790-02
			RE	4.780+01	5.250+01	6.100+01	7.140+01	8.040+01	8.570+01	8.760+01	8.760+01	8.760+01	8.760+01	8.760+01	8.670+01	8.560+01
	XE-132	MG	1.370-01	1.500-01	1.750-01	2.040-01	2.300-01	2.450-01	2.510-01	2.510-01	2.500-01	2.500-01	2.480-01	2.450-01		
		ML	2.320-02	2.550-02	2.960-02	3.460-02	3.900-02	4.160-02	4.250-02	4.250-02	4.250-02	4.250-02	4.210-02	4.160-02		
		RE	4.780+01	5.250+01	6.100+01	7.140+01	8.040+01	8.570+01	8.760+01	8.760+01	8.760+01	8.750+01	8.750+01	8.670+01	8.560+01	
	XE-134	MG	2.520-01	2.770-01	3.220-01	3.760-01	4.240-01	4.520-01	4.620-01	4.620-01	4.610-01	4.610-01	4.570-01	4.510-01		
		ML	4.210-02	4.620-02	5.380-02	6.290-02	7.080-02	7.560-02	7.720-02	7.720-02	7.710-02	7.640-02	7.540-02			
		RE	4.780+01	5.250+01	6.100+01	7.140+01	8.040+01	8.570+01	8.760+01	8.760+01	8.750+01	8.750+01	8.670+01	8.560+01		
	XE-136	MG	2.070-01	2.270-01	2.640-01	3.080-01	3.470-01	3.700-01	3.790-01	3.790-01	3.780-01	3.780-01	3.750-01	3.700-01		
		ML	3.400-02	3.730-02	4.340-02	5.080-02	5.720-02	6.100-02	6.240-02	6.240-02	6.230-02	6.170-02	6.090-02			
		RE	4.780+01	5.250+01	6.100+01	7.140+01	8.040+01	8.570+01	8.760+01	8.760+01	8.750+01	8.750+01	8.670+01	8.560+01		
	KR-83	MG	1.270-02	1.400-02	1.630-02	1.900-02	2.140-02	2.290-02	2.340-02	2.340-02	2.330-02	2.330-02	2.310-02	2.280-02		
		ML	3.440-03	3.780-03	4.390-03	5.140-03	5.780-03	6.170-03	6.310-03	6.310-03	6.300-03	6.240-03	6.160-03			
		RE	4.780+01	5.250+01	6.100+01	7.140+01	8.040+01	8.570+01	8.760+01	8.760+01	8.750+01	8.750+01	8.670+01	8.560+01		
	KR-84	MG	2.040-02	2.240-02	2.610-02	3.050-02	3.430-02	3.660-02	3.740-02	3.740-02	3.740-02	3.740-02	3.700-02	3.660-02		
		ML	5.450-03	5.980-03	6.950-03	8.130-03	9.160-03	9.770-03	9.980-03	9.980-03	9.970-03	9.880-03	9.750-03			
		RE	4.780+01	5.250+01	6.100+01	7.140+01	8.040+01	8.570+01	8.760+01	8.760+01	8.750+01	8.750+01	8.670+01	8.560+01		
	KR-85	MG	1.200-02	1.200-02	1.200-02	1.200-02	1.200-02	1.200-02	1.200-02	1.200-02	1.200-02	1.200-02	1.200-02	1.200-02		
		ML	3.160-03	3.160-03	3.160-03	3.160-03	3.160-03	3.160-03	3.160-03	3.160-03	3.160-03	3.160-03	3.160-03	3.160-03		
		RE	1.000+02	1.000+02	1.000+02	1.000+02	1.000+02	1.000+02	1.000+02	1.000+02	1.000+02	1.000+02	1.000+02	1.000+02		
	KR-86	MG	4.080-02	4.480-02	5.210-02	6.100-02	6.870-02	7.320-02	7.490-02	7.490-02	7.480-02	7.410-02	7.310-02			
		ML	1.060-02	1.170-02	1.360-02	1.590-02	1.790-02	1.910-02	1.950-02	1.950-02	1.950-02	1.930-02	1.900-02			
		RE	4.780+01	5.250+01	6.100+01	7.140+01	8.040+01	8.570+01	8.760+01	8.760+01	8.750+01	8.750+01	8.670+01	8.560+01		
TOTAL		MG	7.720-01	8.470-01	9.820-01	1.150+00	1.290+00	1.380+00	1.410+00	1.410+00	1.400+00	1.390+00	1.370+00			
		ML	1.380-01	1.510-01	1.750-01	2.040-01	2.390-01	2.440-01	2.500-01	2.500-01	2.490-01	2.470-01	2.440-01			
		RE	4.840+01	5.300+01	6.140+01	7.170+01	8.060+01	8.590+01	8.780+01	8.780+01	8.770+01	8.690+01	8.580+01			

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE	UNIT	RADIUS NO.	TOTAL
207	12.498	XE-131	MG	1.57D-01	
			ML	2.68D-02	
			RE	8.23D+01	
	XE-132	MG	2.35D-01		
		ML	3.99D-02		
		RE	8.23D+01		
	XE-134	MG	4.34D-01		
		ML	7.25D-02		
		RE	8.23D+01		
	XE-136	MG	3.56D-01		
		ML	5.86D-02		
		RE	8.23D+01		
	KR-83	MG	2.19D-02		
		ML	5.92D-03		
		RE	8.23D+01		
KR-84	MG	3.52D-02			
	ML	9.38D-03			
	RE	8.23D+01			
KR-85	MG	1.20D-02			
	ML	3.16D-03			
	RE	1.00D+02			
KR-86	MG	7.03D-02			
	ML	1.83D-02			
	RE	8.23D+01			
TOTAL		MG	1.32D+00		
		ML	2.35D-01		
		RE	8.25D+01		

(122) *** TOTAL BIRTH & RELEASE AT EACH AXIAL NODE ***

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE	UNIT	NODE NO.					
				1	(94) 2	3	4	5	TOTAL
207	12.498	(124) XE (BIRTH)	ML	1.73D+01	1.59D+01	1.41D+01	1.22D+01	1.05D+01	7.00D+01
(88)	(89)	(125) KR (BIRTH)	ML	2.53D+00	2.32D+00	2.07D+00	1.79D+00	1.54D+00	1.03D+01
		(126) XE+KR (BIRTH)	ML	2.03D+01	1.86D+01	1.66D+01	1.43D+01	1.23D+01	8.22D+01
		(127) XE+KR (RELEASE)	ML	3.22D+00	3.11D+00	2.90D+00	2.51D+00	2.01D+00	1.37D+01

⑬⑧ NUCLIDE RETAINS AFTER 2.88000D+03 (HR)		
XE-131	100.000 %	RETAINED
XE-132	100.000 %	RETAINED
XE-134	100.000 %	RETAINED
XE-136	100.000 %	RETAINED
KR-83	100.000 %	RETAINED
KR-84	100.000 %	RETAINED
KR-85	97.900 %	RETAINED
KR-86	100.000 %	RETAINED

(註) これ以降に、冷却時間経過後、ペレット内残留量に変化がある場合には、各軸毎の保持量及び各径毎の保持量が出力される。

*** RETAIN AT EACH AXIAL NODE (TOTAL AMOUNT) ***

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE UNIT	1	2	3	4	5	TOTAL	
207	12.498	XE-131	MG	9.54D+00	8.68D+00	7.65D+00	6.62D+00	5.78D+00	3.83D+01
			ML	1.63D+00	1.48D+00	1.31D+00	1.13D+00	9.88D-01	6.54D+00
			RE	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		XE-132	MG	1.43D+01	1.30D+01	1.15D+01	9.95D+00	8.68D+00	5.75D+01
			ML	2.43D+00	2.21D+00	1.95D+00	1.69D+00	1.47D+00	9.75D+00
			RE	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		XE-134	MG	2.64D+01	2.40D+01	2.12D+01	1.83D+01	1.60D+01	1.06D+02
			ML	4.41D+00	4.02D+00	3.54D+00	3.06D+00	2.67D+00	1.77D+01
			RE	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		XE-136	MG	2.16D+01	1.97D+01	1.74D+01	1.50D+01	1.31D+01	8.68D+01
			ML	3.56D+00	3.24D+00	2.86D+00	2.47D+00	2.16D+00	1.43D+01
			RE	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		KR-83	MG	1.34D+00	1.22D+00	1.07D+00	9.27D-01	8.09D-01	5.36D+00
			ML	3.60D-01	3.28D-01	2.89D-01	2.50D-01	2.18D-01	1.45D+00
			RE	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		KR-84	MG	2.14D+00	1.95D+00	1.72D+00	1.49D+00	1.30D+00	8.58D+00
			ML	5.70D-01	5.19D-01	4.58D-01	3.96D-01	3.46D-01	2.29D+00
			RE	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		KR-85	MG	7.01D-01	6.44D-01	5.74D-01	4.96D-01	4.27D-01	2.84D+00
			ML	1.85D-01	1.70D-01	1.51D-01	1.31D-01	1.12D-01	7.49D-01
			RE	9.79D+01	9.79D+01	9.79D+01	9.79D+01	9.79D+01	9.79D+01
		KR-86	MG	4.28D+00	3.89D+00	3.43D+00	2.97D+00	2.59D+00	1.72D+01
			ML	1.11D+00	1.01D+00	8.94D-01	7.74D-01	6.75D-01	4.47D+00
			RE	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
TOTAL			MG	8.04D+01	7.31D+01	6.45D+01	5.58D+01	4.87D+01	3.22D+02
			ML	1.43D+01	1.30D+01	1.15D+01	9.91D+00	8.64D+00	5.73D+01
			RE	8.41D+01	8.33D+01	8.25D+01	8.25D+01	8.37D+01	8.32D+01

*** RETAIN AT EACH AXIAL NODE (AMOUNT/GRAM FUEL) ***

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE UNIT	NODE NO.					TOTAL	
			1	2	3	4	5		
207	12.498	XE-131	MG	1.95D-01	1.78D-01	1.57D-01	1.36D-01	1.18D-01	1.57D-01
			ML	3.34D-02	3.04D-02	2.68D-02	2.32D-02	2.02D-02	2.68D-02
			RE	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		XE-132	MG	2.93D-01	2.67D-01	2.35D-01	2.04D-01	1.78D-01	2.35D-01
			ML	4.98D-02	4.53D-02	3.99D-02	3.46D-02	3.02D-02	4.00D-02
			RE	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		XE-134	MG	5.41D-01	4.92D-01	4.34D-01	3.75D-01	3.28D-01	4.34D-01
			ML	9.04D-02	8.23D-02	7.25D-02	6.28D-02	5.48D-02	7.25D-02
			RE	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		XE-136	MG	4.43D-01	4.03D-01	3.56D-01	3.08D-01	2.68D-01	3.56D-01
			ML	7.30D-02	6.64D-02	5.86D-02	5.07D-02	4.42D-02	5.86D-02
			RE	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		KR-83	MG	2.73D-02	2.49D-02	2.19D-02	1.90D-02	1.66D-02	2.19D-02
			ML	7.38D-03	6.72D-03	5.92D-03	5.12D-03	4.47D-03	5.92D-03
			RE	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		KR-84	MG	4.38D-02	3.99D-02	3.52D-02	3.04D-02	2.65D-02	3.52D-02
			ML	1.17D-02	1.06D-02	9.38D-03	8.11D-03	7.08D-03	9.38D-03
			RE	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
		KR-85	MG	1.44D-02	1.32D-02	1.17D-02	1.02D-02	8.74D-03	1.16D-02
			ML	3.78D-03	3.48D-03	3.10D-03	2.68D-03	2.30D-03	3.07D-03
			RE	9.79D+01	9.79D+01	9.79D+01	9.79D+01	9.79D+01	9.79D+01
		KR-86	MG	8.76D-02	7.98D-02	7.03D-02	6.08D-02	5.31D-02	7.03D-02
			ML	2.28D-02	2.08D-02	1.83D-02	1.58D-02	1.38D-02	1.83D-02
			RE	8.39D+01	8.31D+01	8.23D+01	8.23D+01	8.35D+01	8.31D+01
TOTAL			MG	1.65D+00	1.50D+00	1.32D+00	1.14D+00	9.97D-01	1.32D+00
			ML	2.92D-01	2.66D-01	2.35D-01	2.03D-01	1.77D-01	2.35D-01
			RE	8.41D+01	8.33D+01	8.25D+01	8.25D+01	8.37D+01	8.32D+01

*** RETAIN AT EACH RADIUS NODE (AXIAL NODE = 3) (TOTAL AMOUNT) ***

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE UNIT	RADIUS NO.									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
207	12.498	MG	4.45D-02	1.46D-01	2.84D-01	4.65D-01	6.73D-01	8.77D-01	1.06D+00	1.22D+00	1.37D+00	1.51D+00
		ML	7.60D-03	2.50D-02	4.85D-02	7.95D-02	1.15D-01	1.50D-01	1.81D-01	2.09D-01	2.34D-01	2.59D-01
		RE	4.78D+01	5.25D+01	6.10D+01	7.14D+01	8.04D+01	8.57D+01	8.76D+01	8.75D+01	8.67D+01	8.56D+01
		MG	6.68D-02	2.20D-01	4.26D-01	6.98D-01	1.01D+00	1.32D+00	1.59D+00	1.83D+00	2.06D+00	2.27D+00
		ML	1.13D-02	3.73D-02	7.23D-02	1.18D-01	1.71D-01	2.24D-01	2.70D-01	3.11D-01	3.49D-01	3.85D-01
		RE	4.78D+01	5.25D+01	6.10D+01	7.14D+01	8.04D+01	8.57D+01	8.76D+01	8.75D+01	8.67D+01	8.56D+01
		MG	1.23D-01	4.05D-01	7.85D-01	1.29D+00	1.86D+00	2.43D+00	2.93D+00	3.38D+00	3.79D+00	4.19D+00
		ML	2.06D-02	6.77D-02	1.31D-01	2.15D-01	3.11D-01	4.06D-01	4.90D-01	5.65D-01	6.34D-01	7.00D-01
		RE	4.78D+01	5.25D+01	6.10D+01	7.14D+01	8.04D+01	8.57D+01	8.76D+01	8.75D+01	8.67D+01	8.56D+01
		MG	1.01D-01	3.32D-01	6.44D-01	1.05D+00	1.53D+00	1.99D+00	2.40D+00	2.77D+00	3.11D+00	3.43D+00
		ML	1.66D-02	5.47D-02	1.06D-01	1.74D-01	2.51D-01	3.28D-01	3.96D-01	4.58D-01	5.12D-01	5.65D-01
		RE	4.78D+01	5.25D+01	6.10D+01	7.14D+01	8.04D+01	8.57D+01	8.76D+01	8.75D+01	8.67D+01	8.56D+01
KR-83		MG	6.22D-03	2.05D-02	3.97D-02	6.50D-02	9.42D-02	1.23D-01	1.48D-01	1.71D-01	1.92D-01	2.12D-01
		ML	1.68D-03	5.53D-03	1.07D-02	1.76D-02	2.54D-02	3.31D-02	4.00D-02	4.61D-02	5.18D-02	5.71D-02
		RE	4.78D+01	5.25D+01	6.10D+01	7.14D+01	8.04D+01	8.57D+01	8.76D+01	8.75D+01	8.67D+01	8.56D+01
KR-84		MG	9.97D-03	3.28D-02	6.36D-02	1.04D-01	1.51D-01	1.97D-01	2.38D-01	2.74D-01	3.07D-01	3.39D-01
		ML	2.66D-03	8.76D-03	1.70D-02	2.78D-02	4.02D-02	5.25D-02	6.34D-02	7.30D-02	8.20D-02	9.05D-02
		RE	4.78D+01	5.25D+01	6.10D+01	7.14D+01	8.04D+01	8.57D+01	8.76D+01	8.75D+01	8.67D+01	8.56D+01
KR-85		MG	5.74D-03	1.72D-02	2.87D-02	4.01D-02	5.16D-02	6.31D-02	7.46D-02	8.60D-02	9.75D-02	1.09D-01
		ML	1.51D-03	4.53D-03	7.56D-03	1.06D-02	1.36D-02	1.66D-02	1.96D-02	2.27D-02	2.57D-02	2.87D-02
		RE	9.79D+01	9.79D+01	9.79D+01	9.79D+01	9.79D+01	9.79D+01	9.79D+01	9.79D+01	9.79D+01	9.79D+01
KR-86		MG	1.99D-02	6.57D-02	1.27D-01	2.08D-01	3.02D-01	3.93D-01	4.75D-01	5.48D-01	6.15D-01	6.78D-01
		ML	5.19D-03	1.71D-02	3.31D-02	5.43D-02	7.86D-02	1.02D-01	1.24D-01	1.43D-01	1.60D-01	1.77D-01
		RE	4.78D+01	5.25D+01	6.10D+01	7.14D+01	8.04D+01	8.57D+01	8.76D+01	8.75D+01	8.67D+01	8.56D+01
TOTAL		MG	3.77D-01	1.24D+00	2.40D+00	3.92D+00	5.67D+00	7.39D+00	8.92D+00	1.03D+01	1.15D+01	1.27D+01
		ML	6.71D-02	2.21D-01	4.26D-01	6.97D-01	1.01D+00	1.31D+00	1.58D+00	1.83D+00	2.05D+00	2.26D+00
		RE	4.84D+01	5.30D+01	6.14D+01	7.17D+01	8.06D+01	8.59D+01	8.77D+01	8.77D+01	8.68D+01	8.57D+01

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE	UNIT	RADIUS NO.	TOTAL
207	12.498	XE-131	MG	7.65D+00	
			ML	1.31D+00	
			RE	8.23D+01	
		XE-132	MG	1.15D+01	
			ML	1.95D+00	
			RE	8.23D+01	
		XE-134	MG	2.12D+01	
			ML	3.54D+00	
			RE	8.23D+01	
		XE-136	MG	1.74D+01	
			ML	2.86D+00	
			RE	8.23D+01	
		KR-83	MG	1.07D+00	
			ML	2.89D-01	
			RE	8.23D+01	
		KR-84	MG	1.72D+00	
			ML	4.58D-01	
			RE	8.23D+01	
		KR-85	MG	5.74D-01	
			ML	1.51D-01	
			RE	9.79D+01	
		KR-86	MG	3.43D+00	
			ML	8.94D-01	
			RE	8.23D+01	
		TOTAL	MG	6.45D+01	
			ML	1.15D+01	
			RE	8.25D+01	

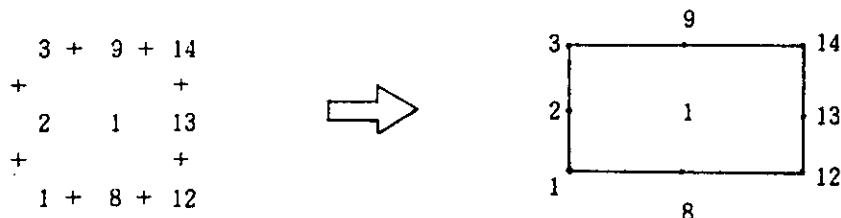
*** RETAIN AT EACH RADIUS NODE (AXIAL NODE = 3) (AMOUNT/GRAM FUEL) ***

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE UNIT	RADIUS NO.												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
207	12.498	XE-131	MG	9.100-02	9.990-02	1.160-01	1.360-01	1.530-01	1.630-01	1.670-01	1.670-01	1.670-01	1.650-01	1.630-01	
			ML	1.560-02	1.710-02	1.990-02	2.320-02	2.620-02	2.790-02	2.850-02	2.850-02	2.850-02	2.850-02	2.820-02	2.790-02
			RE	4.780+01	5.250+01	6.100+01	7.140+01	8.040+01	8.570+01	8.570+01	8.570+01	8.760+01	8.760+01	8.750+01	8.670+01
		XE-132	MG	1.370-01	1.500-01	1.750-01	2.040-01	2.300-01	2.450-01	2.510-01	2.510-01	2.500-01	2.480-01	2.450-01	
			ML	2.320-02	2.550-02	2.960-02	3.460-02	3.900-02	4.160-02	4.250-02	4.250-02	4.250-02	4.250-02	4.210-02	4.160-02
			RE	4.780+01	5.250+01	6.100+01	7.140+01	8.040+01	8.570+01	8.570+01	8.760+01	8.760+01	8.750+01	8.670+01	8.560+01
		XE-134	MG	2.520-01	2.770-01	3.220-01	3.760-01	4.240-01	4.520-01	4.620-01	4.620-01	4.610-01	4.570-01	4.510-01	
			ML	4.210-02	4.620-02	5.380-02	6.290-02	7.080-02	7.560-02	7.720-02	7.720-02	7.710-02	7.640-02	7.540-02	
			RE	4.780+01	5.250+01	6.100+01	7.140+01	8.040+01	8.570+01	8.570+01	8.760+01	8.760+01	8.750+01	8.670+01	8.560+01
		XE-136	MG	2.070-01	2.270-01	2.640-01	3.080-01	3.470-01	3.700-01	3.790-01	3.790-01	3.780-01	3.750-01	3.700-01	
			ML	3.400-02	3.730-02	4.340-02	5.080-02	5.720-02	6.100-02	6.240-02	6.240-02	6.230-02	6.170-02	6.090-02	
			RE	4.780+01	5.250+01	6.100+01	7.140+01	8.040+01	8.570+01	8.570+01	8.760+01	8.760+01	8.750+01	8.670+01	8.560+01
		KR-83	MG	1.270-02	1.400-02	1.630-02	1.900-02	2.140-02	2.290-02	2.340-02	2.340-02	2.330-02	2.310-02	2.280-02	
			ML	3.440-03	3.780-03	4.390-03	5.140-03	5.780-03	6.170-03	6.310-03	6.310-03	6.300-03	6.240-03	6.160-03	
			RE	4.780+01	5.250+01	6.100+01	7.140+01	8.040+01	8.570+01	8.570+01	8.760+01	8.760+01	8.750+01	8.670+01	8.560+01
		KR-84	MG	2.040-02	2.240-02	2.610-02	3.050-02	3.430-02	3.660-02	3.740-02	3.740-02	3.740-02	3.700-02	3.660-02	
			ML	5.450-03	5.980-03	6.950-03	8.130-03	9.160-03	9.770-03	9.980-03	9.980-03	9.970-03	9.880-03	9.750-03	
			RE	4.780+01	5.250+01	6.100+01	7.140+01	8.040+01	8.570+01	8.570+01	8.760+01	8.760+01	8.750+01	8.670+01	8.560+01
		KR-85	MG	1.170-02	1.170-02	1.170-02	1.170-02	1.170-02	1.170-02	1.170-02	1.170-02	1.170-02	1.170-02	1.170-02	
			ML	3.100-03	3.100-03	3.100-03	3.100-03	3.100-03	3.100-03	3.100-03	3.100-03	3.100-03	3.100-03	3.100-03	
			RE	9.790+01	9.790+01	9.790+01	9.790+01	9.790+01	9.790+01	9.790+01	9.790+01	9.790+01	9.790+01	9.790+01	
		KR-86	MG	4.080-02	4.480-02	5.210-02	6.100-02	6.870-02	7.320-02	7.490-02	7.490-02	7.480-02	7.410-02	7.310-02	
			ML	1.060-02	1.170-02	1.360-02	1.590-02	1.790-02	1.910-02	1.950-02	1.950-02	1.950-02	1.930-02	1.900-02	
			RE	4.780+01	5.250+01	6.100+01	7.140+01	8.040+01	8.570+01	8.570+01	8.760+01	8.760+01	8.750+01	8.670+01	8.560+01
TOTAL			MG	7.720-01	8.460-01	9.820-01	1.150+00	1.290+00	1.380+00	1.410+00	1.410+00	1.400+00	1.390+00	1.370+00	
			ML	1.380-01	1.510-01	1.750-01	2.040-01	2.290-01	2.440-01	2.500-01	2.500-01	2.490-01	2.470-01	2.440-01	
			RE	4.840+01	5.300+01	6.140+01	7.170+01	8.060+01	8.590+01	8.770+01	8.770+01	8.770+01	8.680+01	8.570+01	

STAGE	BURNUP (MWD/KGU)	NUCLIDE	UNIT	RADIUS NO.	TOTAL
207	12.498	XE-131	MG	1.57D-01	
			ML	2.68D-02	
			RE	8.23D+01	
		XE-132	MG	2.35D-01	
			ML	3.99D-02	
			RE	8.23D+01	
		XE-134	MG	4.34D-01	
			ML	7.25D-02	
			RE	8.23D+01	
		XE-136	MG	3.56D-01	
			ML	5.86D-02	
			RE	8.23D+01	
		KR-83	MG	2.19D-02	
			ML	5.92D-03	
			RE	8.23D+01	
		KR-84	MG	3.52D-02	
			ML	9.38D-03	
			RE	8.23D+01	
		KR-85	MG	1.17D-02	
			ML	3.10D-03	
			RE	9.79D+01	
		KR-86	MG	7.03D-02	
			ML	1.83D-02	
			RE	8.23D+01	
		TOTAL	MG	1.32D+00	
			ML	2.35D-01	
			RE	8.25D+01	

〔出力された変数の意味及びその説明〕

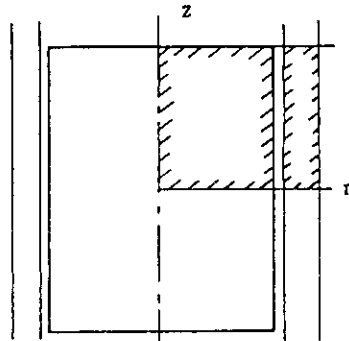
- ① タイトル名
- ② 燃料タイプ
- ③ 軸方向ノード番号
- ④ 力学的モデルで用いるノード番号
- ⑤ ペレット内径 (cm)
- ⑥ ペレット外径 (cm)
- ⑦ チャンファオプション (ブランク……チャンファなし, *……チャンファペレット)
- ⑧ ディッシュオプション (ブランク……ディッシュなし, *……片ディッシュ
* *……両ディッシュ)
- ⑨ ペレット濃縮度 (—)
- ⑩ 製造時ペレット密度対理論密度比 (—)
- ⑪ ペレット長さ (cm)
- ⑫ ノード長さ (cm)
- ⑬ チャンファ形状 (幅 (cm), 深さ (cm))
- ⑭ ディッシュ形状 (直径 (cm), 深さ (cm), 底部径 (cm), 底部径=0.0はおわん形ディッシュ)
- ⑮ ペレット総重量 (gr)
- ⑯ ペレット粒径 (μm)
- ⑰ やきしまりによる最大到達率比 (—)
- ⑱ やきしまりが完了する (90%) 燃焼度 (MWd/tUO₂)
- ⑲ 被覆管内径 (cm)
- ⑳ 被覆管外径 (cm)
- ㉑ 熱的モデルで用いるリロケーションパラメータ (—)
- ㉒ プレナム体積 (cm³)
- ㉓ 初期封入ガス圧 (MPa)
- ㉔ 初期封入ガス組成比 (%)
- ㉕ ペレット表面粗さ (cm)
- ㉖ 被覆管表面粗さ (cm)
- ㉗ 室温 (°K)
- ㉘ タイトル名
- ㉙ 節点番号, 要素番号図



使用している四角形 8 節点要素を構成する節点番号と要素番号。

上図では要素番号1は要素が節点番号1, 8, 12, 13, 14, 9, 3, 2の8節点によって構成されている事を示す。

③⑩ 初期節点座標図 (μm)



力学的モデルで着目している半ペレット長相当部で初期節点座標,

②⑨図での節点番号に対応して初期座標を与える。

例えば節点番号60のr座標は4852.5 μm , z座標は4333.3 μm である。

③①~③④ 計算オプション

- ③① リスタートオプション (=0 ; 最初からの計算, =1 ; リスタート計算)
- ③② リスタートテープ作成のオプション (=0 ; 作成しない, =1 ; 作成する)
- ③③ プロッターテープ作成のオプション (現在使用不可)
- ③④ リスタートテープ番号 (ユニット11を使用)
- ③⑤ プロッターテープ番号 (現在使用不可)
- ③⑥ 線出力増分幅 (10W/cmにて使用)
- ③⑦ 時間増分パラメータ (10倍にて使用)
- ③⑧ ニュートン法に繰り返し計算回数 (1回繰り返し計算を行なう)
- ③⑨ 境界条件収束計算による繰り返し計算回数 (最大10回まで)
- ③⑩ クリープパラメータ ($\theta = 1.0$ にて使用)
- ③⑪ 塑性パラメータ ($\theta = 0.5$ にて使用)
- ③⑫ ティルテング値 (フラットペレット=20 μm , ディッシュ付ペレット=0 μm)
- ③⑬ ペレット被覆管摩擦係数 (0.4を使用)
- ③⑭ ロッキングオプション (=0 : ペレット被覆管ギャップ幅にて判定, =1 : 軸方向座標)
- ③⑮ 室温 ($^{\circ}\text{K}$)
- ③⑯ 入力で用いる燃焼度の単位系 (=0 : MWd/tUO₂, =1 : MWd/tU, =2 : GJ/kgU)
- ③⑰ 入力データのチェックオプション (=0 : 通常計算, =1 : 入力データチェックのみ)
- ③⑱ 最終情報のための時刻 (指定した時間以降の最大応力, 最大変位等を調べる)
- ③⑲ 境界条件変化時のタイムステップコントロール (=0 : しない, =1 : する)
- ③⑳ 降状・除荷変化時のタイムステップコントロール (=0 : しない, =1 : する)
- ③㉑ ③⑥の線出力増分幅を適用する軸方向ノード
(=0 : 力学的モデルで用いるノード番号について適用する,
=1 : タイムステップでの線出力増減幅の最大のノードについて適用する)
- ③㉒ 力学的モデル計算オプション (=0 : 計算する, =1 : 熱モデルのみ計算する)
- ③㉓ 弾性計算オプション (=0 : 塑性クリープ等考慮する, =1 : 弾性計算する)

- ⑤4 出力オプション（応力，ひずみ等に関する出力を指定する。
=0：出力しない，=1：出力する）
- ⑤5～⑦2 領域に関する情報
- ⑤5 実数領域使用量
 - ⑤6 実数領域の定義された大きさ
 - ⑤7 整数領域使用量
 - ⑤8 整数領域の定義された大きさ
 - ⑤9 節点総数
 - ⑥0 節点自由度総数
 - ⑥1 要素総数
 - ⑥2 ギャップ節点对数
 - ⑥3 対称マトリックスの自由度数
 - ⑥4 非対称マトリックスの自由度数
 - ⑥5 Slip/fixedを判定するギャップ節点对数
 - ⑥6 対称マトリックスの領域の大きさ
 - ⑥7 非対称マトリックスの領域の大きさ
 - ⑥8 力学的モデルの被覆管径方向分割数
 - ⑥9 力学的モデルのペレット径方向分割数
 - ⑦0 力学的モデルの半ペレット長部に対する軸方向分割数
 - ⑦1 軸方向ノード数
 - ⑦2 履歴基準点数
- ⑦3～⑧1 ペレットオプション
- ⑦3 ペレット異方性パラメータ
 - ⑦4 ペレットクラックパラメータ
 - ⑦5 ペレットホットプレスパラメータ
 - ⑦6 ペレット開クラック時の剛性（Pa）
 - ⑦7 力学的モデルで用いるリロケーションパラメータ
 - ⑦8 軸方向リロケーション
 - ⑦9 力学的モデルで用いる再リロケーションパラメータ（シャフリング効果）
 - ⑧0 非拘束スウェリングを止める圧縮応力（Pa）
 - ⑧1 非拘束スウェリングの圧縮応力に対する応答係数
- ⑧2 被覆管オプション
- ⑧2 被覆管異方性パラメータ
- ⑧3～⑧6は履歴点データ
- ⑧3 入力した履歴点データ
- | | |
|--------|---|
| NHIST | 入力ステージ番号 |
| TIME | 時間（時：分：秒）で表示 |
| BURNUP | 燃焼度（MWd/tUO ₂ , MWd/tU, GJ/kgU）で表示 |

- L. H. R. 線出力 (W/cm) で表示
 COOLANT TEMP 冷却水温度 (°K) で表示
 COOLANT PRESS. 冷却水圧力 (MPa) で表示
 FAST NEUTRON FLUX 高速中性子 (n/cm²・sec) で表示
 HISTORY OPTION 時間, 燃焼度指定方法に関するオプション
 PRINT OPTION 出力オプション (≠0の入力ステージを出力する)
- ⑧4 入力で指定した線出力に対する係数 (例えば 0.1 なら 10%増で線出力を与える)
 ⑧5 入力した軸方向相対出力分布
- NHIST 入力ステージ番号
 TIME 時刻 (時:分:秒) で表示
 L. H. R. 線出力 (W/cm) で表示
 AXIAL NODE 軸方向ノードの相対出力分布
 PEAKING FACTOR
- ⑧6 力学的モデルで着目するノード番号
 ⑧7 各軸ノード毎の F P ガス総生成量を出力
 ⑧8 ステージ数
 ⑧9 バーンアップ (MWd/kg U)
 ⑨0 核種
 ⑨1 生成量 (mg)
 ⑨2 生成量 (ml)
 ⑨3 計算した総核種中の存在比 (体積%)
 ⑨4 軸ノード番号 (燃料棒上部から下部にむかって大きくなる)
 ⑨5 1核種における全軸ノード合計量
 ⑨6 1ノードにおける総核種合計量
 ⑨7 各軸ノード毎の F P ガス単位燃料当り生成量 (/g UO₂) を出力
 ⑨8 単位燃料当り生成量 (mg /g UO₂)
 ⑨9 単位燃料当り生成量 (ml /g UO₂)
 ⑩0 各軸ノード毎の F P ガス総放出量を出力
 ⑩1 放出量 (mg)
 ⑩2 放出量 (ml)
 ⑩3 放出率 (%)
 ⑩4 各軸ノード毎の F P ガス単位燃料放出量 (/g UO₂) を出力
 ⑩5 単位燃料当り放出量 (mg /g UO₂)
 ⑩6 単位燃料当り放出量 (ml /g UO₂)
 ⑩7 各軸ノード毎の F P ガス総保持量を出力
 ⑩8 保持量 (mg)
 ⑩9 保持量 (ml)
 ⑪0 保持率 (%)
 ⑪1 各軸ノード毎の単位燃料当り F P ガス保持量を出力

- ⑪⑫ 単位燃料当り保持量 (mg /gUO₂)
- ⑪⑬ 単位燃料当り保持量 (ml /gUO₂)
- ⑪⑭ 特定軸における各径ノード毎のFPガス総生成量を出力
- ⑪⑮ 特定軸ノード番号
- ⑪⑯ 径ノード番号 (中心から外にむかって大きくなる)
- ⑪⑰ 1核種における特定軸の全径ノード合計量
- ⑪⑱ 特定軸における各径ノード毎の単位燃料当りFPガス生成量を出力
- ⑪⑲ 特定軸における各径ノード毎のFPガス総放出量を出力
- ⑪⑳ 特定軸における各径ノード毎の単位燃料当りFPガス放出量を出力
- ⑪㉑ 特定軸における各径ノード毎のFPガス総保持量を出力
- ⑪㉒ 特定軸における各径ノード毎の単位燃料当りFPガス保持量を出力
- ⑪㉓ 各軸ノードにおけるXe, Kr total量 (ml) の生成及び放出を出力
- ⑪㉔ total - Xe の生成量 (ml)
- ⑪㉕ total - Kr の生成量 (ml)
- ⑪㉖ total - Xe + Kr の生成量 (ml)
- ⑪㉗ total - Xe + Kr の生成量 (ml)

この出力は入力した核種の種類によりかわる。

入力した核種が全種類Xe のとき	total - Xe の放出量を出力
" " Kr のとき	total - Kr "
" " Xe 又はKrのとき	total - Kr+Xe "

入力した核種に, Xe 又はKr以外のものが含まれている時には出力されない

- ⑪㉘ 照射終了, t 時間後の核種の残存割合 (%) を出力
- ⑪㉙ 各核種の残存割合

〈参 考〉

FPRETAINは、「2.1 入力形式」の Table A.1 で表示・説明した“CARD 3”において、TLAG, IOPT, NNCLS 及び IFIG 1(i)の各項目を省略し、かつ、NAMELIST中のIFGR=4を省略すると、そのまま FEMAXI-Ⅲコード⁽³⁾と同等な計算ができるように工夫がなされている。

すなわち、熱的及び力学的な計算も可能となる。そこで、FEMAXI-Ⅲ同等内容コードとしてFPRETAINを実行する場合の、入力及び出力例について、参考として以下に示す。

〈計算対象例〉

燃料仕様 : BWR型燃料棒 (ディッシュ・チャンファー付中空 (0.1 cm径) UO₂ペレット, 濃縮度 13 w/o, 燃料有効発熱長 3.12 m, 完全焼鈍ジルカロイ-2材使用)

燃料棒仕様 : 純ヘリウム 0.1 MPa 充填
直径ギャップ 0.015 mm
プレナム容積 16 cm³

照射条件 : ハルデン炉 (HBWR) 条件
冷却軽水温度 513.15 °K, 圧力 3.4 MPa
熱中性子束 4.0×10^{13} n/cm²·sec

実験条件 : 燃料棒は、20 kW/mの線出力密度にて燃焼度 20 MWd/kgUまで予備照射されたのち、当該燃焼度で最大 50 kW/m まで出力急昇にかけられた。

解析目的 : 燃料棒の、主として力学的挙動を評価する。

FEMAXI-3 SAMPLE-CASE NO.1

B.M.R. FUEL ROD. ②

• INPUT DATA

(1) PELLETS SPECIFICATIONS

④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭
MODE	DIAMETER (CM)	INSIDE	OUTSIDE	SHAPE	U-235 ENRICH.	FRACTIONAL DENSITY	DNE PELLET LENGTH (CM)	NODE LENGTH (CM)	CHAMFER WIDE (CM)	CHAMFER DEPTH (CM)
1	0.100	0.971	*	**	0.035	0.950	1.300	26.000	0.002	0.026
2	0.100	0.971	*	**	0.035	0.950	1.300	26.000	1981.300	0.840
3	0.100	0.971	*	**	0.035	0.950	1.300	26.000	15.000	0.960
4	0.100	0.971	*	**	0.035	0.950	1.300	26.000	2500.000	0.960
5	0.100	0.971	*	**	0.035	0.950	1.300	26.000		
6	0.100	0.971	*	**	0.035	0.950	1.300	26.000		
7	0.100	0.971	*	**	0.035	0.950	1.300	26.000		
8	0.100	0.971	*	**	0.035	0.950	1.300	26.000		
9	0.100	0.971	*	**	0.035	0.950	1.300	26.000		
10	0.100	0.971	*	**	0.035	0.950	1.300	26.000		
11	0.100	0.971	*	**	0.035	0.950	1.300	26.000		
12	0.100	0.971	*	**	0.035	0.950	1.300	26.000		

CHAMFER WIDE (CM) = 0.002
 DISH DIAMETER (CM) = 0.840
 PELLET TOTAL WEIGHT (GRAM) = 1981.300
 GRAIN SIZE (MICRON) = 15.000
 MAXIMUM FRACTIONAL DENSITY = 0.960
 SATURATE BURNUP (MWD/TUO2) = 2500.000

(2) OTHERS

CLAD. MATERIAL IS FULLY ANNEALED ZIRCALOY
 CLAD. INSIDE DIAMETER (CM) = 0.995
 CLAD. OUTSIDE DIAMETER (CM) = 1.117
 THERMAL RELOCATION (-) = 0.300
 PLENUM VOLUME (CM**3) = 16.000
 INITIAL GAS PRESSURE (MPA) = 0.100

INITIAL GAS COMPOSITION (PERCENT)
 HELIUM = 100.0
 NITROGEN = 0.0
 KRYPTON = 0.0
 XENON = 0.0
 PELLET SURFACE ROUGHNESS (CM) = 0.0005
 CLADDING SURFACE ROUGHNESS (CM) = 0.0001
 ROOM TEMPERATURE (DEG.K) = 291.15

CALCULATIONAL VARIABLE TABLE (1)

CALCULATION OPTION		CALCULATIONAL VARIABLE TABLE (1)		
NAME	DESCRIPTION	DIMENSION	VALUE	
IREST	RESTART OPTION (=0:MORESTART, =1:RESTART)	-	0	
INTST	DRAW UP RESTART TAPE OPTION (=0:NO, =1:YES)	-	0	
IPLOT	DRAW UP PLOTTER TAPE OPTION (=0:NO, =1:YES)	-	11	
NRECI	RESTART TAPE NUMBER	-	1	
NRECC	PLOTTER TAPE NUMBER	-	1	
DPAX	POWER INCREMENTAL WIDTH	W/CM	10.0	
EFCOEF	TIME INCREMENTAL WIDTH PARAMETER (BE RESTRICTED FROM CREEP)	-	10.0	
ITEMD	NEWTON-RAPHSON ITERATION COUNT	-	1	
KUMAX	BOUNDARY CONDITION ITERATION COUNT	-	10	
THEYC	CREEP PARAMETER	-	1.0	
THEYF	YIELD PARAMETER	-	0.5	
AY	TILTING VALUE	CM	0.0000	
AMU	PELLET/CLADDING FRICTION COEF.	-	0.40	
ILOCK	LOCKING OPTION (=0:P/C GAP SIZE, =1:AXIAL COORDINATE)	-	291.15	
TRUON	ROOM TEMPERATURE	DEG-K	0	
IBUNP	BURNUP DIMENSION FLAG (=0:MMO/TUO2, =1:MMO/TU, =2:G/KGU)	-	0	
INPKC	INPUT DATA CHECK OPTION (=0:CALCULATION, =1:INPUT DATA CHECK)	-	0	
CRFM	OUTPUT DATA OPTION (FINAL INFORMATION GIVES AFTER CRT)	HR	0.0	
ITIMG	BOUNDARY CONDITION TIME STEP CONTROL OPTION (=0:NO, =1:YES)	-	1	
ITINY	ELASTIC/PLASTIC CONDITION TIME STEP CONTROL OPTION (=0:NO, =1:YES)	-	1	
IPH	POWER INCREMENTAL WIDTH ATTENTION MODE (=0:IFEM NODE, =1:MAXIMUM VARIABLE MODE)	-	0	
ICK1	MECHANICAL CALCULATION OPTION (=0:CALCULATE, =1:NO CALCULATE)	-	0	
ICKI	ELASTIC CALCULATION OPTION (=0:NO, =1:YES)	-	0	
IVREL	ELEMENT INFORMATION OUTPUT CONTROL TABLE (=0:DIFF, =1:ON)	-	0	
1 SIG(R)	0 2 SIG(Z)	1 3 SIG(T)	4 SIG(RZ)	5 EQU.SIG
6 SIGT	7 EPS(R)	8 EPS(Z)	9 EPS(T)	10 EPS(RZ)
11 EPS	12 EPS(RK)	13 EPS(ZK)	14 EPS(TK)	15 EPS(RK)
16 EPS(Z)	17 EPS(ET)	18 EPS(HK)	19 EPS(HZ)	20 EPSDEN
21 EPSWL	1 22 ELAST(R)	0 23 ELAST(Z)	0 24 ELAST(T)	0

DIMENSION INFORMATION		DIMENSION	VALUE
LASK	KIAL DIMENSION AREA (USED)	-	27227
LD	KIAL DIMENSION AREA (DEFINED)	-	45000
LAS1	INTEGER DIMENSION AREA (USED)	-	8426
LDT	INTEGER DIMENSION AREA (DEFINED)	-	10000
NODE	MODAL POINT NUMBER	-	80
MOD2	MODAL POINT FREEDOM NUMBER	-	160
NELM	ELEMENT NUMBER	-	18
MPAK	GAP PAIR NUMBER	-	7
MPAX	SYMMETRIC MATRIX FREEDOM NUMBER	-	144
MPAY	NON-SYMMETRIC MATRIX FREEDOM NUMBER	-	14
MNA	BOUNDARY PAIR NUMBER	-	6
MNAK	SYMMETRIC MATRIX AREA	-	2955
MNA	NON-SYMMETRIC MATRIX AREA	-	291
MN	CLADDING LAYER NUMBER	-	1
MW	PELLET LAYER NUMBER	-	5
MK	AXIAL NODE NUMBER	-	3
MAX	AXIAL NODE NUMBER	-	12
MHIST	TIME HISTORY POINT NUMBER	-	21

 CALCULATIONAL VARIABLE TABLE (2)

 PELLET OPTION

NAME	DESCRIPTION	DIMENSION	VALUE
HO,FO,GO,EO	PARAMETER OF ANISOTROPY	1.0	1.0
GAMR,GAMZ,GAMT	CRACK PARAMETER	0.0	0.0
BETA	HOTPRESS PARAMETER	0.002	0.002
YEC	PELLET CRACK ELASTIC VALUE (YECIN),YEC(Z),YEC(T))	PA	2.0E+09
PRELOC	MECHANICAL RELOCATION PARAMETER	0.50	0.50
EPSRLZ	AXIAL RELOCATION PARAMETER	3.000E-03	3.000E-03
DCHG	KE-RELOCATION PARAMETER	0.5C	0.5C
SPCUN	UNRESTRAINT SWELLING BOUNDARY STRESS	PA	-1.000E+06
XN	UNRESTRAINT SWELLING BOUNDARY STRESS COEF.	1.00	1.00

 CLADDING OPTION

NAME	DESCRIPTION	DIMENSION	VALUE
HO,FO,GO,EO	PARAMETER OF ANISOTROPY	1.0	1.0
		3.0	3.0

HISTORY DATA (1)

TIME	ME	S	MWD/TUD2	MWD/TU	BURNUP	G/KGU	W/CM	DEG-K	MPA	M/CM2.S	FLUX	HISTRY	OPTION
1	01	01	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	513.15	3.40	2.000E+09	0	1	1
2	11	01	0.7	0.7	0.6	200.00	513.15	3.40	4.000E+13	0	1	1	1
3	3806114	0	5000.0	5672.5	489.50	200.00	513.15	3.40	4.000E+13	0	1	0	1
4	7611158	0	10000.0	11345.0	979.00	200.00	513.15	3.40	4.000E+13	0	1	0	1
5	114171421	0	15000.0	17017.5	1468.50	200.00	513.15	3.40	4.000E+13	0	1	0	1
6	15223126	0	20000.0	22690.0	1958.00	200.00	513.15	3.40	4.000E+13	0	1	1	1
7	15224126	0	20000.7	22690.7	1958.07	0.00	513.15	3.40	2.000E+09	-100	1	2	1
8	15225126	0	20000.7	22690.7	1958.07	0.00	513.15	3.40	2.000E+09	-100	1	0	1
9	15226141	0	20001.7	22691.9	1958.17	250.00	513.15	3.40	5.000E+13	-100	1	0	1
10	15298141	0	20119.9	22826.1	1969.74	250.00	513.15	3.40	5.000E+13	-100	1	1	1
11	15298156	0	20120.4	22826.6	1969.79	300.00	513.15	3.40	6.000E+13	-100	1	0	1
12	15299111	0	20120.9	22827.2	1969.84	350.00	513.15	3.40	7.000E+13	0	1	0	1
13	15299126	0	20121.5	22827.9	1969.90	400.00	513.15	3.40	8.000E+13	0	1	0	1
14	15299141	0	20122.2	22828.7	1969.97	450.00	513.15	3.40	9.000E+13	0	1	0	1
15	15299156	0	20123.0	22829.5	1970.04	500.00	513.15	3.40	1.000E+14	0	1	1	1
16	15300156	0	20126.3	22833.3	1970.36	500.00	513.15	3.40	1.000E+14	-100	1	0	1
17	15302156	0	20132.9	22840.7	1971.01	500.00	513.15	3.40	1.000E+14	0	1	0	1
18	15305156	0	20142.7	22851.9	1971.97	500.00	513.15	3.40	1.000E+14	0	1	0	1
19	15311156	0	20162.4	22874.3	1973.90	500.00	513.15	3.40	1.000E+14	0	1	0	1
20	15323156	0	20201.8	22919.0	1977.76	500.00	513.15	3.40	1.000E+14	0	1	1	1
21	15326126	0	20205.9	22923.6	1978.16	0.00	513.15	3.40	2.000E+09	-100	1	1	1

RELATIVE POWER FACTOR = 0.000 (2)

HISTORY DATA (2)

NHIST I	TIME I	L-M-K. I	AXIAL NODE PEAKING FACTOR											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0: 0: 0	0.00	0.770	0.850	0.900	0.920	0.940	0.960	0.980	1.000	1.020	1.050	1.100	1.150
2	1: 0: 0	200.00	0.770	0.850	0.900	0.920	0.940	0.960	0.980	1.000	1.020	1.050	1.100	1.150
3	3806:14: 0	200.00	0.770	0.850	0.900	0.920	0.940	0.960	0.980	1.000	1.020	1.050	1.100	1.150
4	7611:58: 0	200.00	0.770	0.850	0.900	0.920	0.940	0.960	0.980	1.000	1.020	1.050	1.100	1.150
5	11417:42: 0	200.00	0.770	0.850	0.900	0.920	0.940	0.960	0.980	1.000	1.020	1.050	1.100	1.150
6	15223:26: 0	200.00	0.770	0.850	0.900	0.920	0.940	0.960	0.980	1.000	1.020	1.050	1.100	1.150
7	15224:26: 0	0.00	0.770	0.850	0.900	0.920	0.940	0.960	0.980	1.000	1.020	1.050	1.100	1.150
8	15225:26: 0	0.00	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.980	0.990	1.000	1.010	1.020	1.040	1.060
9	15226:41: 0	250.00	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.980	0.990	1.000	1.010	1.020	1.040	1.060
10	15228:41: 0	250.00	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.980	0.990	1.000	1.010	1.020	1.040	1.060
11	15228:56: 0	300.00	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.980	0.990	1.000	1.010	1.020	1.040	1.060
12	15229:11: 0	350.00	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.980	0.990	1.000	1.010	1.020	1.040	1.060
13	15229:26: 0	400.00	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.980	0.990	1.000	1.010	1.020	1.040	1.060
14	15229:41: 0	450.00	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.980	0.990	1.000	1.010	1.020	1.040	1.060
15	15229:56: 0	500.00	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.980	0.990	1.000	1.010	1.020	1.040	1.060
16	15300:56: 0	500.00	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.980	0.990	1.000	1.010	1.020	1.040	1.060
17	15302:56: 0	500.00	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.980	0.990	1.000	1.010	1.020	1.040	1.060
18	15305:56: 0	500.00	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.980	0.990	1.000	1.010	1.020	1.040	1.060
19	15311:56: 0	500.00	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.980	0.990	1.000	1.010	1.020	1.040	1.060
20	15323:56: 0	500.00	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.980	0.990	1.000	1.010	1.020	1.040	1.060
21	15326:26: 0	0.00	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.980	0.990	1.000	1.010	1.020	1.040	1.060

MECHANICAL ATTENTION MODE NUMBER = 8

FEMAXI-3 SAMPLE-CASE NO.1

STAGE NO. = 126 TIME (HRS) = 15299.9334 COOLANT TEMP. (K) = 513.150 COOLANT PRESS. (MPA) = 3.400

NODE	L-M-A (1/2/3)	BURN UP (MD/TUD2)	TOTAL GAS	GAP CONDUCTANCE (W/CM*2 K)	SOLID KAD.	PC	TEMPERATURE (K)	CI	CO	CLEARANCE (MICRONS)	CONTACT FORCE (MPA)	MODE
1	465.000	15514.3	0.5319	0.1701	0.3557	0.0061	2150.4	871.2	586.7	526.7	37.359	1
2	470.000	17115.6	0.5634	0.1749	0.3826	0.0059	2148.7	858.8	587.3	528.7	39.836	2
3	475.000	18116.8	0.5654	0.1758	0.3837	0.0060	2170.6	861.4	588.0	528.8	40.030	3
4	480.000	18519.1	0.5652	0.1762	0.3830	0.0060	2193.1	865.0	588.6	528.8	40.030	4
5	485.000	18919.3	0.5650	0.1767	0.3822	0.0061	2215.4	868.7	589.3	528.8	40.030	5
6	490.000	19320.5	0.5647	0.1771	0.3815	0.0061	2237.5	872.3	589.9	528.9	40.030	6
7	495.000	19721.8	0.5645	0.1776	0.3805	0.0062	2259.5	875.9	590.6	528.9	40.030	7
8	500.000	20123.0	0.5643	0.1781	0.3800	0.0062	2281.5	879.6	591.2	529.0	40.030	8
9	505.000	20524.2	0.5641	0.1785	0.3793	0.0063	2302.8	883.2	591.8	529.0	40.030	9
10	510.000	21125.5	0.5638	0.1790	0.3785	0.0064	2324.4	886.9	592.5	529.0	40.030	10
11	520.000	22128.0	0.5633	0.1799	0.3770	0.0065	2367.1	894.2	593.8	529.1	40.030	11
12	530.000	23130.4	0.5625	0.1805	0.3755	0.0066	2405.6	901.5	595.1	529.2	40.030	12

INITIAL GAS (MDL) = 1.20E-03

FISSION GAS RESULT

LOCAL FISSION GAS RELEASE FRACTION (AXIAL NODE)

NODE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.25183	2.024925	3.026218	4.027554	5.028648	6.029788	7.030981	8.032229	9.033372	10.034325	11.036326	12.038486

KOD AVERAGE FISSION GAS RELEASE FRACTION = 0.31093

ROD GAS PRESSURE (MPA) = 4.396

TOTAL GAS (MDL) = 1.72E-02

RELEASED IODINE (GRAM/CM*2) = 9.13E-05 (AVERAGE)

RELEASED GAS (MDL)

PRODUCED GAS	HE	N2	CR	XE	TOTAL
1	0.00E+00	0.00E+00	6.68E-03	4.47E-02	5.14E-02
2	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
3	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
4	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
5	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
6	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
7	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
8	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
9	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
10	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
11	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
12	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02

ROD AVERAGE FISSION GAS RELEASE FRACTION = 0.31093

ROD GAS PRESSURE (MPA) = 4.396

TOTAL GAS (MDL) = 1.72E-02

RELEASED IODINE (GRAM/CM*2) = 9.13E-05 (AVERAGE)

RELEASED GAS (MDL)

PRODUCED GAS	HE	N2	CR	XE	TOTAL
1	0.00E+00	0.00E+00	6.68E-03	4.47E-02	5.14E-02
2	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
3	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
4	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
5	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
6	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
7	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
8	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
9	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
10	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
11	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02
12	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-03	1.39E-02	1.60E-02

RADIAL TEMPERATURE DISTRIBUTION AT AXIAL NODE OF B

PELLET	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2261	2206	2119	2000	1847	1670	1476	1275	1074	880	680	480

***** OUTPUT ---STAGE--- 126 *****

TIME 15299.93 MK
 LINEAR HEAT RATING 500.00 W/CM
 FAST NEUTRON FLUX 1.00E+14 N/CM**2.5
 FISSION RATE 2.11E+13 FISSIONS/CM**3.S
 BURNDUP 2.01E+04 MWD/TUD2

***** TEMPERATURE DISTRIBUTION *****

N	TEMP(K)	N	TEMP(K)	N	TEMP(K)	N	TEMP(K)
1	2277.38	2	2238.19	3	2184.29	4	2077.98
6	1801.74	7	1657.06	8	1445.21	9	1284.13
11	577.64	12	541.70			10	1001.80

***** PELLET/CLADDING MECHANICAL INTERACTION STATUS *****

COMBINATION FUEL-CLAD	CONTACT STATUS	P E L L E T		C L A D D I N G		TOTAL STRESS(PA)	TOTAL STRESS(PA)	RADIAL	AXIAL	RADIAL	AXIAL	RADIAL GAP (MICRONS)
		INCREMENTAL RADIAL	INCREMENTAL AXIAL	INCREMENTAL RADIAL	INCREMENTAL AXIAL							
62-69	FIXD	4.1235E+05	-1.4797E+06	-6.2363E+07	4.1960E+06	-4.1235E+05	1.4797E+06	6.2363E+07	-4.1960E+06	6.2363E+07	-4.1960E+06	2.7756E-12
61-68	FIXD	2.6096E+05	-1.4672E+05	-5.0274E+07	1.9849E+07	-2.6096E+05	1.4672E+05	5.0274E+07	-1.9849E+07	5.0274E+07	-1.9849E+07	6.11062E-12
60-67	OPEN	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	5.9473E-01
59-66	FIXD	-3.7594E+05	-8.3580E+03	-3.1271E+07	-6.0478E+06	3.7594E+05	8.3590E+03	3.1271E+07	6.0478E+06	3.7594E+05	8.3590E+03	-1.1102E-12
58-65	FIXD	-2.4243E+05	1.5243E+05	-3.7750E+07	-1.2266E+07	2.4243E+05	-1.5243E+05	3.7750E+07	1.2266E+07	2.4243E+05	-1.5243E+05	2.2204E-12
57-64	FIXD	-2.6428E+04	-3.8911E+04	-3.7608E+07	-5.4745E+06	2.6428E+04	3.8911E+04	3.7608E+07	5.4745E+06	2.6428E+04	3.8911E+04	5.5511E-13
56-63	FIXD	-1.6895E+05	0.0000E+00	-4.2053E+07	0.0000E+00	1.6895E+05	0.0000E+00	4.2053E+07	0.0000E+00	1.6895E+05	0.0000E+00	4.9960E-12

***** PELLET/PELLET MECHANICAL INTERACTION STATUS *****

MODAL POINT	CONTACT STATUS	AXIAL STRESS (PA)		AXIAL DISPLACEMENT (CM)		DISTANCE	RADIAL GAP (MICRONS)	MINIMUM	BOUNDARY
		INCREMENTAL	TOTAL	CONTACT	DISP.				
7	OPEN	0.0000E+00	0.0000E+00	6.4589E-01	6.5725E-01	1.1351E-02	-1.1102E-12	3.0000E+00	
11	OPEN	0.0000E+00	0.0000E+00	6.5725E-01	6.5725E-01	1.2069E-02	-1.1102E-12	3.0000E+00	
18	OPEN	0.0000E+00	0.0000E+00	6.4477E-01	6.5725E-01	1.2480E-02	-1.1102E-12	3.0000E+00	
22	OPEN	0.0000E+00	0.0000E+00	6.4449E-01	6.5725E-01	1.2756E-02	-1.1102E-12	3.0000E+00	
29	OPEN	0.0000E+00	0.0000E+00	6.4470E-01	6.5725E-01	1.2541E-02	-1.1102E-12	3.0000E+00	
33	OPEN	0.0000E+00	0.0000E+00	6.4586E-01	6.5725E-01	1.1390E-02	-1.1102E-12	3.0000E+00	
40	OPEN	0.0000E+00	0.0000E+00	6.4784E-01	6.5725E-01	9.6055E-03	-1.1102E-12	3.0000E+00	
44	OPEN	0.0000E+00	0.0000E+00	6.5016E-01	6.5725E-01	7.6841E-03	-1.1102E-12	3.0000E+00	
51	OPEN	0.0000E+00	0.0000E+00	6.5331E-01	6.5725E-01	3.9311E-03	-1.1102E-12	3.0000E+00	
55	FIXD	1.0300E+06	-2.5045E+08	6.5725E-01	6.5725E-01	0.0000E+00	-1.1102E-12	3.0000E+00	
62	OPEN	0.0000E+00	0.0000E+00	6.5493E-01	6.5725E-01	2.3110E-03	-1.1102E-12	3.0000E+00	

***** NODAL DISPLACEMENT (MICRON) *****

(R-DIRECTION)	48.9	61.3	73.9	81.3	86.5	93.5	99.4	102.0	105.31	30.3	30.0	29.2
22.0	35.6	18.0	42.2	65.6	83.5	101.91	26.9	25.9				
-17.4	-6.8	14.2	31.3	46.3	57.0	66.6	74.3	80.9	86.8	94.51	20.1	20.4
-60.7	8.1	22.9	41.8	55.4	67.1	79.9	93.61	106.6	118.5	130.4	142.3	154.2
-83.4	-25.9	2.2	22.9	41.8	55.4	67.1	79.9	93.61	106.6	118.5	130.4	142.3
-93.1	1.4	22.9	41.8	55.4	67.1	79.9	93.61	106.6	118.5	130.4	142.3	154.2

-99.7	-34.4	-1.3	23.1	42.1	56.6	67.7	76.2	83.2	88.6	95.7	10.7	20.8	20.8
(Z-DIRECTION)													
215.3	199.6	182.0	160.8	139.5	122.5	106.9	93.7	81.7	72.5	69.3	17.2	17.2	17.2
173.4	143.0	143.0	111.2	83.2	83.2	83.2	70.0	56.4	54.5	50.1	15.5	12.6	12.6
120.3	111.7	102.4	92.1	82.4	73.5	65.6	60.0	50.4	54.5	50.1	12.8	11.5	10.2
81.2	69.9	69.9	56.3	47.2	42.9	42.9	29.7	28.9	27.8	26.9	9.0	8.7	8.7
49.3	44.7	40.9	37.4	34.4	32.3	30.8	29.7	28.9	27.8	26.9	5.7	5.9	6.2
23.1	18.9	18.9	16.3	14.9	14.9	14.9	14.5	14.5	13.7	13.7	2.8	3.2	3.2
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

PLOT NUMBER = 2

***** ELEMENT INFORMATION STRESS (MN/M**2) *****

SIG(Z)	-2.3	-5.6	-12.4	-8.2	-7.6	2.2	-85.0	-149.1	-127.2	156.0	282.7	282.7
	-22.4	-23.0	-35.6	-29.5	-48.3	-63.6	-69.7	-145.6	-32.2	188.5	184.7	184.7
	-30.4	-34.1	-41.5	-39.7	-59.2	-61.7	-98.6	-126.3	-61.8	239.1	134.0	134.0
	-32.7	-47.5	-48.7	-71.2	-92.3	-119.2	-130.0	-24.4	2.9	202.4	188.8	188.8
	-33.3	-51.6	-63.2	-83.7	-67.3	-138.7	-118.0	-32.2	2.2	198.3	219.8	219.8
	-34.2	-55.7	-65.2	-84.1	-102.8	-143.9	-135.1	-24.1	2.9	197.4	239.4	239.4

PLOT NUMBER = 3

***** ELEMENT INFORMATION STRESS (MN/M**2) *****

SIG(T)	-19.6	-22.1	-29.7	-38.7	-33.7	-0.4	4.0	2.7	10.2	305.7	230.8	230.8
	-25.2	-47.0	-52.3	-45.2	-54.2	-64.0	-2.2	3.0	9.7	296.9	301.4	301.4
	-54.4	-60.9	-61.4	-54.7	-84.8	-77.7	-74.8	2.7	7.5	275.5	231.6	231.6
	-59.7	-75.4	-70.2	-90.4	-96.1	-91.8	-2.8	2.9	7.0	243.3	224.9	224.9
	-58.3	-77.7	-78.7	-74.9	-97.3	-90.2	-0.5	3.3	6.1	262.6	266.3	266.3
	-58.1	-80.7	-79.1	-81.5	-95.7	-112.0	-105.9	0.1	3.8	272.6	282.1	282.1

PLOT NUMBER = 5

***** ELEMENT INFORMATION STRESS (MN/M**2) *****

EO-SIG	17.1	18.7	26.1	41.2	51.4	69.9	113.7	176.5	136.8	309.0	323.2	323.2
	20.8	30.7	35.0	41.4	50.8	68.8	118.4	174.9	35.2	296.6	277.4	277.4
	40.6	31.0	26.5	25.0	49.5	69.7	118.4	61.8	45.0	270.6	202.2	202.2
	40.5	31.0	28.7	28.3	41.0	68.8	118.4	47.7	47.6	264.0	233.3	233.3
	39.3	39.0	31.1	27.6	40.5	69.1	105.9	55.2	45.0	266.0	251.7	251.7
	39.1	40.4	31.8	27.7	40.5	68.4	118.2	53.7	50.7	277.8	275.6	275.6

PLOT NUMBER = 11

***** ELEMENT INFORMATION STRAIN (C.C) PERCENT *****

EPSP	0.0	0.0	0.0	8.1	60.6	5.6	6.0	27.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	169.7	29.6	30.9	84.0	133.9	59.1	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	379.9	39.9	22.2	20.5	30.4	37.3	14.6	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0
	725.3	82.1	49.3	49.3	60.6	48.0	23.9	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	953.5	125.8	83.3	71.2	72.0	47.5	16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1097.9	165.8	115.9	96.4	93.0	62.5	25.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

PLOT NUMBER = 14

***** ELEMENT INFORMATION STRAIN (0.01 PERCENT) *****

EPSC(I)	-78.3	-54.3	-23.2	1.8	12.2	13.8	15.4	16.7	16.5	1	4.7	6.4
-164.3	-78.3	-54.3	-23.2	1.8	12.2	13.8	15.4	16.7	16.5	1	4.7	6.4
-442.4	-23.5	-148.8	-60.5	-14.1	4.5	7.4	9.6	10.8	11.6	1	-3.5	-3.6
-423.8	-231.6	-148.3	-73.9	-23.6	4.8	8.4	9.5	10.4	10.0	1	-5.8	-4.1
-405.7	-270.9	-168.5	-73.7	-20.0	6.8	9.7	10.3	10.4	9.3	1	-5.9	-4.1
-384.0	-280.6	-163.9	-68.4	-16.1	8.2	11.3	11.1	10.9	9.3	1	-5.8	-4.0
-375.9	-283.5	-163.6	-66.1	-15.7	9.2	12.2	11.7	11.3	9.3	1	-5.6	-3.9

PLOT NUMBER = 20

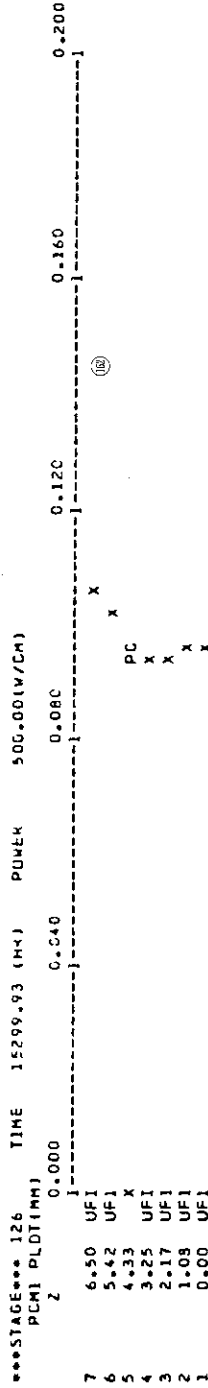
***** ELEMENT INFORMATION STRAIN (0.01 PERCENT) *****

EPSDEM	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	1	0.0	0.0
-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	1	0.0	0.0
-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	1	0.0	0.0
-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	1	0.0	0.0
-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	1	0.0	0.0
-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	1	0.0	0.0
-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	1	0.0	0.0

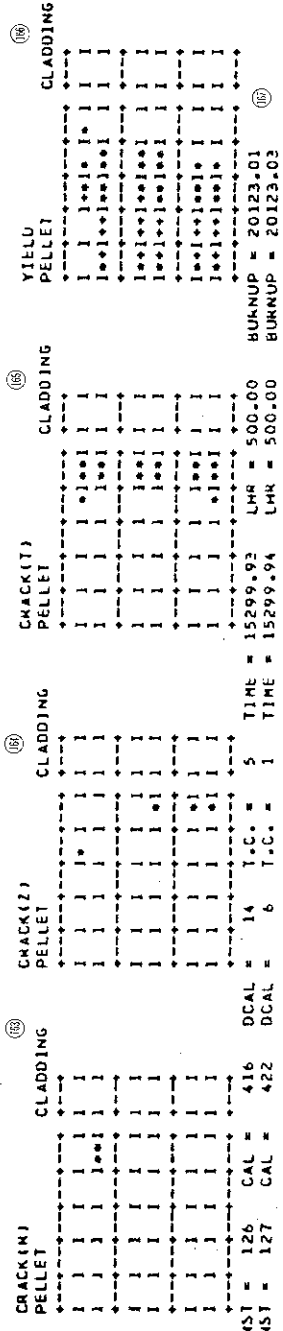
PLOT NUMBER = 21

***** ELEMENT INFORMATION STRAIN (0.01 PERCENT) *****

EPSSWL	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	1	0.0	0.0
44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	1	0.0	0.0
44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	1	0.0	0.0
44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	1	0.0	0.0
44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	1	0.0	0.0
44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	1	0.0	0.0
44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8	1	0.0	0.0



***** CRACK AND YIELD MAP (***YES) *****



FEMAKI-3 SAMPLE-CASE NO.1

STAGE I	POWER	HISTORY	LMR	BURNUP	PC	TEMPERATURE	CI	CD	GAP	CON.	W/CM2	C	CLEAR	CONTACT	F.G.M.	IOD	(10-5
(HR)	(W/CM)	(MWD/TUO2)I	(W/CM)	(MWD/TUO2)I	(%)	(PS)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MIC)	(MPA)	(%)	(%)	(G/CM2)
1 I	0.0	0.0	0.0	0.0	240.6	240.6	240.6	240.6	0.3014	0.2994	0.0000	50.575	0.000	0.000	0.500	0.000	
21 I	1.0	200.0	0.7	1	795.0	414.9	277.9	252.6	0.4750	0.4714	0.0000	31.440	0.000	0.000	0.500	0.000	
30 I	3806.2	200.0	5000.0	1	839.1	450.9	277.9	252.6	0.3761	0.3722	0.0000	36.137	0.000	0.000	0.500	0.038	
38 I	7612.0	200.0	10000.0	1	847.5	454.5	277.9	252.6	0.3685	0.3645	0.0000	30.003	0.000	0.000	0.500	0.075	
46 I	11417.7	200.0	15000.0	1	850.1	453.9	277.9	252.6	0.3699	0.3659	0.0000	24.295	0.000	0.000	0.500	0.113	
54 I	15223.4	200.0	20000.0	1	847.7	449.6	277.9	252.6	0.3790	0.3750	0.0000	18.992	0.000	0.000	0.500	0.150	
74 I	15226.4	0.0	20000.7	1	240.6	240.6	240.6	240.6	0.2040	0.2020	0.0000	40.570	0.000	0.000	0.500	0.150	
75 I	15225.4	0.0	20000.7	1	240.6	240.6	240.6	240.6	0.2040	0.2020	0.0000	40.570	0.000	0.000	0.500	0.150	
100 I	15226.7	250.0	20001.7	1	994.8	465.6	284.8	253.3	0.4502	0.4460	0.0000	13.444	0.000	0.000	0.500	0.150	
101 I	15298.7	250.0	20119.9	1	994.5	465.3	284.8	253.3	0.4508	0.4466	0.0000	13.324	0.000	0.000	0.500	0.151	
106 I	15298.9	300.0	20120.4	1	1137.7	470.4	291.7	253.9	0.5463	0.5420	0.0000	7.869	0.000	0.000	0.500	0.151	
111 I	15299.2	350.0	20120.9	1	1494.9	591.4	296.4	254.5	0.3864	0.2218	0.1608	0.000	17.403	8.194	2.479		
116 I	15299.4	400.0	20121.5	1	1642.2	580.7	305.0	255.0	0.4721	0.2000	0.2664	0.000	28.236	13.253	4.010		
121 I	15299.7	450.0	20122.2	1	1784.0	566.7	311.6	255.4	0.5741	0.1933	0.3752	0.000	38.848	19.752	5.976		
126 I	15299.9	500.0	20123.0	1	2008.4	606.4	318.0	255.8	0.5643	0.1781	0.3800	0.000	40.030	32.229	9.752		
135 I	15300.9	500.0	20126.3	1	2008.5	606.5	316.0	255.8	0.5642	0.1780	0.3800	0.000	40.030	32.235	9.755		
139 I	15302.9	500.0	20132.9	1	2008.5	606.5	318.0	255.8	0.5642	0.1780	0.3800	0.000	40.030	32.237	9.759		
140 I	15305.9	500.0	20142.7	1	2009.6	606.5	318.0	255.8	0.5642	0.1779	0.3800	0.000	40.030	32.241	9.765		
141 I	15311.9	500.0	20162.4	1	2008.6	606.5	318.0	255.8	0.5641	0.1779	0.3800	0.000	40.030	32.248	9.777		
142 I	15323.9	500.0	20201.8	1	2008.8	606.6	318.0	255.8	0.5640	0.1778	0.3794	0.000	40.030	32.262	9.800		
192 I	15326.4	0.0	20205.9	1	240.6	240.6	240.6	240.6	0.0257	0.0236	0.0000	41.562	0.000	0.000	32.269	9.804	

STAGE	POWER	MISTOKY	LMR	BUMNUP	GAS (MOLE)	F.G.R. PRESSURE	10010-5	FRACTIONS OF GAS MIXTURE				
I	TIME (HR)	(W/CM) (MWD/TUDZ)	I	INITIAL RELEASE PRODUCE (%)	(MPA)	HE	HE	HE				
1	0.0	0.0	0.0	0.00120	0.00000	0.500	0.181	0.000	100.0	0.0	0.0	0.0
21	1.0	200.0	0.7	0.00120	0.00000	0.500	0.234	0.000	100.0	0.0	0.0	0.0
30	3806.2	200.0	5000.0	0.00127	0.00006	0.500	0.240	0.036	95.0	0.0	0.7	4.4
38	7612.0	200.0	10000.0	0.00133	0.00013	0.500	0.261	0.073	90.4	0.0	1.2	8.3
46	11417.7	200.0	15000.0	0.00140	0.00019	0.500	0.282	0.109	86.3	0.0	1.8	11.9
54	15223.4	200.0	20000.0	0.00146	0.00026	0.500	0.304	0.146	82.5	0.0	2.3	15.2
74	15224.4	0.0	20000.7	0.00146	0.00026	0.500	0.228	0.146	82.5	0.0	2.3	15.2
75	15225.4	0.0	20000.7	0.00146	0.00026	0.500	0.229	0.146	82.5	0.0	2.3	15.2
100	15226.7	250.0	20001.7	0.00146	0.00026	0.500	0.320	0.146	82.5	0.0	2.3	15.2
101	15298.7	250.0	20119.9	0.00146	0.00026	0.500	0.321	0.147	82.4	0.0	2.3	15.3
106	15298.9	300.0	20120.4	0.00146	0.00026	0.500	0.334	0.147	82.4	0.0	2.3	15.3
111	15299.2	350.0	20120.9	0.00541	0.00421	0.500	1.344	2.404	22.3	0.0	10.1	67.6
116	15299.4	400.0	20121.5	0.00800	0.00679	0.500	2.004	3.882	15.1	0.0	11.0	73.9
121	15299.7	450.0	20122.2	0.01172	0.01052	0.500	2.963	6.010	10.3	0.0	11.7	78.1
126	15299.9	500.0	20123.0	0.01719	0.01597	0.500	4.396	9.127	7.0	0.0	12.1	80.9
135	15300.9	500.0	20126.3	0.01718	0.01593	0.500	4.397	9.130	7.0	0.0	12.1	80.9
139	15302.9	500.0	20132.9	0.01719	0.01598	0.500	4.399	9.134	7.0	0.0	12.1	80.9
140	15305.9	500.0	20142.7	0.01720	0.01599	0.500	4.401	9.139	7.0	0.0	12.1	80.9
141	15311.9	500.0	20162.4	0.01722	0.01601	0.500	4.406	9.150	7.0	0.0	12.1	80.9
142	15323.9	500.0	20201.8	0.01725	0.01605	0.500	4.416	9.171	7.0	0.0	12.1	80.9
192	15326.4	0.0	20205.9	0.01727	0.01607	0.500	4.416	9.171	7.0	0.0	12.1	80.9

FEMAXI-3 SAMPLE-CASE NO.1 (R) (M) (S) (T) (U) (V) (W) (X) (Y) (Z) (AA) (AB) (AC) (AD) (AE) (AF) (AG) (AH) (AI) (AJ) (AK) (AL) (AM) (AN) (AO) (AP) (AQ) (AR) (AS) (AT) (AU) (AV) (AW) (AX) (AY) (AZ) (BA) (BB) (BC) (BD) (BE) (BF) (BG) (BH) (BI) (BJ) (BK) (BL) (BM) (BN) (BO) (BP) (BQ) (BR) (BS) (BT) (BU) (BV) (BW) (BX) (BY) (BZ) (CA) (CB) (CC) (CD) (CE) (CF) (CG) (CH) (CI) (CJ) (CK) (CL) (CM) (CN) (CO) (CP) (CQ) (CR) (CS) (CT) (CU) (CV) (CW) (CX) (CY) (CZ) (DA) (DB) (DC) (DD) (DE) (DF) (DG) (DH) (DI) (DJ) (DK) (DL) (DM) (DN) (DO) (DP) (DQ) (DR) (DS) (DT) (DU) (DV) (DW) (DX) (DY) (DZ) (EA) (EB) (EC) (ED) (EE) (EF) (EG) (EH) (EI) (EJ) (EK) (EL) (EM) (EN) (EO) (EP) (EQ) (ER) (ES) (ET) (EU) (EV) (EW) (EX) (EY) (EZ) (FA) (FB) (FC) (FD) (FE) (FF) (FG) (FH) (FI) (FJ) (FK) (FL) (FM) (FN) (FO) (FP) (FQ) (FR) (FS) (FT) (FU) (FV) (FW) (FX) (FY) (FZ) (GA) (GB) (GC) (GD) (GE) (GF) (GG) (GH) (GI) (GJ) (GK) (GL) (GM) (GN) (GO) (GP) (GQ) (GR) (GS) (GT) (GU) (GV) (GW) (GX) (GY) (GZ) (HA) (HB) (HC) (HD) (HE) (HF) (HG) (HH) (HI) (HJ) (HK) (HL) (HM) (HN) (HO) (HP) (HQ) (HR) (HS) (HT) (HU) (HV) (HW) (HX) (HY) (HZ) (IA) (IB) (IC) (ID) (IE) (IF) (IG) (IH) (II) (IJ) (IK) (IL) (IM) (IN) (IO) (IP) (IQ) (IR) (IS) (IT) (IU) (IV) (IW) (IX) (IY) (IZ) (JA) (JB) (JC) (JD) (JE) (JF) (JG) (JH) (JI) (JJ) (JK) (JL) (JM) (JN) (JO) (JP) (JQ) (JR) (JS) (JT) (JU) (JV) (JW) (JX) (JY) (JZ) (KA) (KB) (KC) (KD) (KE) (KF) (KG) (KH) (KI) (KJ) (KK) (KL) (KM) (KN) (KO) (KP) (KQ) (KR) (KS) (KT) (KU) (KV) (KW) (KX) (KY) (KZ) (LA) (LB) (LC) (LD) (LE) (LF) (LG) (LH) (LI) (LJ) (LK) (LL) (LM) (LN) (LO) (LP) (LQ) (LR) (LS) (LT) (LU) (LV) (LW) (LX) (LY) (LZ) (MA) (MB) (MC) (MD) (ME) (MF) (MG) (MH) (MI) (MJ) (MK) (ML) (MN) (MO) (MP) (MQ) (MR) (MS) (MT) (MU) (MV) (MW) (MX) (MY) (MZ) (NA) (NB) (NC) (ND) (NE) (NF) (NG) (NH) (NI) (NJ) (NK) (NL) (NM) (NO) (NP) (NQ) (NR) (NS) (NT) (NU) (NV) (NW) (NX) (NY) (NZ) (OA) (OB) (OC) (OD) (OE) (OF) (OG) (OH) (OI) (OJ) (OK) (OL) (OM) (ON) (OO) (OP) (OQ) (OR) (OS) (OT) (OU) (OV) (OW) (OX) (OY) (OZ) (PA) (PB) (PC) (PD) (PE) (PF) (PG) (PH) (PI) (PJ) (PK) (PL) (PM) (PN) (PO) (PP) (PQ) (PR) (PS) (PT) (PU) (PV) (PW) (PX) (PY) (PZ) (QA) (QB) (QC) (QD) (QE) (QF) (QG) (QH) (QI) (QJ) (QK) (QL) (QM) (QN) (QO) (QP) (QQ) (QR) (QS) (QT) (QU) (QV) (QW) (QX) (QY) (QZ) (RA) (RB) (RC) (RD) (RE) (RF) (RG) (RH) (RI) (RJ) (RK) (RL) (RM) (RN) (RO) (RP) (RQ) (RR) (RS) (RT) (RU) (RV) (RW) (RX) (RY) (RZ) (SA) (SB) (SC) (SD) (SE) (SF) (SG) (SH) (SI) (SJ) (SK) (SL) (SM) (SN) (SO) (SP) (SQ) (SR) (SS) (ST) (SU) (SV) (SW) (SX) (SY) (SZ) (TA) (TB) (TC) (TD) (TE) (TF) (TG) (TH) (TI) (TJ) (TK) (TL) (TM) (TN) (TO) (TP) (TQ) (TR) (TS) (TT) (TU) (TV) (TW) (TX) (TY) (TZ) (UA) (UB) (UC) (UD) (UE) (UF) (UG) (UH) (UI) (UJ) (UK) (UL) (UM) (UN) (UO) (UP) (UQ) (UR) (US) (UT) (UU) (UV) (UW) (UX) (UY) (UZ) (VA) (VB) (VC) (VD) (VE) (VF) (VG) (VH) (VI) (VJ) (VK) (VL) (VM) (VN) (VO) (VP) (VQ) (VR) (VS) (VT) (VU) (VV) (VW) (VX) (VY) (VZ) (WA) (WB) (WC) (WD) (WE) (WF) (WG) (WH) (WI) (WJ) (WK) (WL) (WM) (WN) (WO) (WP) (WQ) (WR) (WS) (WT) (WU) (WV) (WW) (WX) (WY) (WZ) (XA) (XB) (XC) (XD) (XE) (XF) (XG) (XH) (XI) (XJ) (XK) (XL) (XM) (XN) (XO) (XP) (XQ) (XR) (XS) (XT) (XU) (XV) (XW) (XX) (XY) (XZ) (YA) (YB) (YC) (YD) (YE) (YF) (YG) (YH) (YI) (YJ) (YK) (YL) (YM) (YN) (YO) (YP) (YQ) (YR) (YS) (YT) (YU) (YV) (YW) (YX) (YZ) (ZA) (ZB) (ZC) (ZD) (ZE) (ZF) (ZG) (ZH) (ZI) (ZJ) (ZK) (ZL) (ZM) (ZN) (ZO) (ZP) (ZQ) (ZR) (ZS) (ZT) (ZU) (ZV) (ZW) (ZX) (ZY) (ZZ)

POWER HISTORY I				PELLET INFORMATION				
STAGE I	LHK (W/CM)	BURNUP (MWD/TU2)	BURNUP (MWD/TU) I	DEL.DR (MIC)	DEL.DM (MIC)	UR.SWELL MAX.EPSZ (0.01%)	S.SWELL (0.01%)	EPSOEN (0.01%)
1 I	0.0	0.0	0.0	240.6	0.0	0.0	0.0	0.0
21 I	1.0	200.0	0.7	795.0	43.4	34.8	0.0	0.0
30 I	3806.2	200.0	5003.0	5672.5	839.1	17.4	0.0	11.9
38 I	7612.0	200.0	10000.0	11345.0	847.5	36.0	28.0	21.7
46 I	11417.7	200.0	15000.0	17017.5	850.1	46.9	33.5	31.8
54 I	15223.4	200.0	20000.0	22690.0	847.7	57.4	48.7	41.8
74 I	15224.4	0.0	20000.7	22690.7	240.6	17.4	13.8	0.3
75 I	15225.4	0.0	20000.7	22690.7	240.6	17.4	13.3	0.3
100 I	15226.7	250.0	20001.7	22691.9	994.8	69.6	57.7	0.3
101 I	15298.7	250.0	20119.9	22826.1	994.5	69.6	58.0	0.3
106 I	15298.9	300.0	20120.4	22826.6	1137.7	73.9	66.4	0.3
111 I	15299.2	350.0	20120.9	22827.2	1494.9	98.8	83.4	0.3
116 I	15299.4	400.0	20121.5	22827.9	1642.2	106.8	89.7	0.3
121 I	15299.7	450.0	20122.2	22828.7	1784.0	113.0	94.8	0.3
126 I	15299.9	500.0	20123.0	22829.5	2008.4	121.6	102.3	0.3
135 I	15300.9	500.0	20126.3	22833.3	2008.5	105.4	85.2	0.3
139 I	15302.9	500.0	20132.9	22840.7	2008.5	100.1	84.7	0.3
140 I	15305.9	500.0	20142.7	22951.9	2008.6	97.6	82.5	0.3
141 I	15311.9	500.0	20162.4	22874.3	2008.6	95.6	81.8	0.3
142 I	15323.9	500.0	20201.8	22919.0	2008.8	94.0	81.1	0.3
192 I	15326.4	0.0	20205.5	22923.6	240.6	5.4	5.9	0.3

FEMAXI-3 SAMPLE-CASE NO.1 (1)

STAGE I POWER HISTORY I		GAP INFORMATION I			F.G.R. I			CLADDING INFORMATION I			EPST/EPSTZ I		
INST I	TIME (HR)	LHM (W/CM)	BURNUP (MWD/TUO2) I	AV.GAP (MIC)	H.GAP (MIC)	F.G.R. (%)	JUD(10-51) I	DEL.DR (MIC)	DEL.DM (MIC)	DEL-MIGDE (MIC)	EPST (0.01%)	EPSTZ (%)	
1	1	0.0	0.0	0.0	73.0	73.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
21	1	1.0	200.0	0.7	38.6	31.2	0.5	0.0	1.8	1.8	0.0	1.1	
30	1	3806.2	200.0	5000.0	54.1	46.9	0.5	0.0	-0.5	-0.5	0.0	1.1	
38	1	7612.0	200.0	10000.0	42.5	34.3	0.5	0.1	-1.5	-1.5	0.0	1.1	
46	1	11417.7	200.0	15000.0	31.1	23.0	0.5	0.1	-2.3	-2.3	0.0	1.1	
54	1	15223.4	200.0	20000.0	20.1	11.8	0.5	0.2	-3.0	-3.0	0.0	1.1	
74	1	15224.4	0.0	20000.7	53.5	50.1	0.5	0.2	-4.8	-4.8	0.0	0.1	
75	1	15225.4	0.0	20000.7	53.5	50.1	0.5	0.2	-4.8	-4.8	0.0	0.1	
100	1	15226.7	250.0	20001.7	10.8	0.0	0.5	0.2	-2.5	-2.7	0.2	1.4	
101	1	15298.7	250.0	20119.9	10.6	0.0	0.5	0.2	-2.6	-2.5	0.2	1.4	
106	1	15298.9	300.0	20120.4	2.7	0.0	0.5	0.2	1.1	-3.3	4.3	2.9	
111	1	15299.2	350.0	20120.9	0.3	0.0	0.5	0.2	2.5	9.9	14.3	11.4	
116	1	15299.4	400.0	20121.5	0.3	0.0	0.5	0.2	31.7	15.6	16.0	13.3	
121	1	15299.7	450.0	20122.2	0.2	0.0	0.5	0.2	37.2	20.5	16.7	14.4	
126	1	15299.9	500.0	20123.0	0.1	0.0	0.5	0.2	44.2	27.4	16.8	17.0	
135	1	15300.9	500.0	20126.3	0.4	0.0	0.5	0.2	28.9	15.3	13.7	15.3	
139	1	15302.9	500.0	20132.9	0.4	0.0	0.5	0.2	24.0	11.0	13.0	14.8	
140	1	15305.9	500.0	20142.7	0.4	0.0	0.5	0.2	21.6	9.3	12.3	14.3	
141	1	15311.9	500.0	20162.4	0.4	0.0	0.5	0.2	19.7	8.3	11.4	13.6	
142	1	15323.9	500.0	20201.8	0.4	0.0	0.5	0.2	18.4	7.8	10.6	12.3	
192	1	15326.4	0.0	20205.9	66.8	75.3	32.3	9.8	6.0	-2.4	9.3	2.0	

FEMAXI-3 SAMPLE-CASE NO.1												
CLADDING INFORMATION												
STAGE I POWER HISTORY I												
NST I	TIME I (HR)	LHR (W/CK)	QUMUP (MWD/TUO2I)	IMAX (O.01%)	EPSCCT (O.01%)	MAX.EPSP (O.01%)	R-ESIG (MPA)	R-SIGZ (MPA)	K-SIGT (MPA)	MAX.ESIG (MPA)	MAX.SIGZ (MPA)	MAX-SIGT (MPA)
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.8	-14.5	-28.5	23.8	-14.5	-28.5
21	1.0	200.0	0.7	0.0	0.0	0.0	28.2	-19.1	-33.7	28.2	-19.1	-33.7
30	3806.2	200.0	5000.0	-3.2	0.0	0.0	24.4	-16.1	-29.3	24.4	-16.1	-29.3
38	7612.0	200.0	10000.0	-4.4	0.0	0.0	23.4	-15.1	-28.1	23.4	-15.1	-28.1
46	11417.7	200.0	15000.0	-5.4	0.0	0.0	22.8	-14.6	-27.4	22.8	-14.6	-27.4
54	15223.4	200.0	20000.0	-6.1	0.0	0.0	22.4	-14.2	-26.9	22.4	-14.2	-26.9
74	15224.4	0.0	20000.7	-6.1	0.0	0.0	16.2	-9.7	-21.7	16.2	-9.7	-21.7
75	15225.4	0.0	20000.7	-6.1	0.0	0.0	18.2	-9.7	-21.7	18.2	-9.7	-21.7
100	15226.7	250.0	20001.7	-6.1	0.0	0.0	22.2	-15.1	-27.0	22.2	-15.1	-27.0
101	15228.7	250.0	20119.9	-6.1	0.0	0.0	22.1	-15.0	-27.0	22.1	-15.0	-27.0
106	15228.9	300.0	20120.4	-6.1	0.0	0.0	18.6	-12.7	-21.7	18.6	-12.7	-21.7
111	15229.2	350.0	20120.9	-6.1	0.0	0.0	213.8	84.4	209.9	213.8	84.4	209.9
116	15229.4	400.0	20121.5	-5.9	0.0	0.0	274.0	106.2	272.1	274.0	106.2	272.1
121	15229.7	450.0	20122.2	-3.2	0.0	0.0	298.6	120.2	297.3	298.6	120.2	297.3
126	15229.9	500.0	20123.0	4.7	0.0	0.0	309.0	156.0	305.7	309.0	156.0	305.7
135	15300.9	500.0	20126.3	5.1	0.0	0.0	178.5	111.5	169.3	183.7	111.5	170.0
139	15302.9	500.0	20132.9	5.2	0.0	0.0	138.5	96.9	125.2	150.4	96.9	130.4
140	15305.9	500.0	20142.7	5.2	0.0	0.0	118.7	87.7	103.1	137.2	87.7	111.4
141	15311.9	500.0	20162.4	5.3	0.0	0.0	100.5	76.7	83.8	124.2	76.7	94.9
142	15323.9	500.0	20201.8	5.4	0.0	0.0	83.1	62.4	67.3	107.1	62.4	80.5
192	15326.4	0.0	20265.9	5.4	0.0	0.0	18.1	-6.2	-15.1	18.1	-6.2	10.9

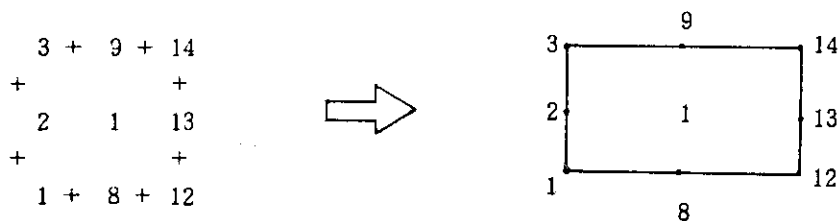
FEMAXI-3 SAMPLE-CASE NO.1

FINAL INFORMATION

STAGE	MAX.TIME (HR)	MAX.LWR (W/CM)	INI.GAP (MIC)	HU+MUP (MHD/TUOZ)	MAX.TEMP (DEG.C)	F.G.N. (%)	IDD(IIO-S GRAM/CH2 V.)	CR.DOWN(A)	CR.DOWN(M)	DEL-DM (MIC)	DEL-DM (MIC)	DEL-RIGDE (MIC)
192	15326.4	500.0	150.0	20205.9	2008.8	31.2	9.0	-4.9	-4.8	6.0	-2.4	8.3
CALC. TIMES	MAX.DELOR (MIC)	MAX.DELOM (MIC)	MAX.DELH (MIC)	K-MAXE(SIG (MPA)	R-MAX(SIG (MPA)	K-MAX(SIG (MPA)	MAX-SIGZ (MPA)	MAX-SIGT (MPA)	AV-GAP (MIC)	R-GAP (MIC)	CONTACT LHK(W/CM)	
676	44.2	27.4	16.5	311.9	156.0	308.6	311.9	239.3	308.6	53.5	50.1	246.0

〔出力された変数の意味及びその説明〕

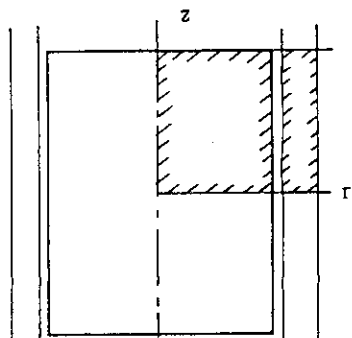
- ① タイル名
- ② 燃料タイプ
- ③ 軸方向ノード番号
- ④ 力学的モデルで用いるノード番号
- ⑤ ペレット内径 (cm)
- ⑥ ペレット外径 (cm)
- ⑦ チャンファオプション (ブランク……チャンファなし, *……チャンファペレット)
- ⑧ ディッシュオプション (ブランク……ディッシュなし, *……片ディッシュ
* *……両ディッシュ)
- ⑨ ペレット濃縮度 (-)
- ⑩ 製造時ペレット密度対理論密度比 (-)
- ⑪ ペレット長さ (cm)
- ⑫ ノード長さ (cm)
- ⑬ チャンファ形状 (幅 (cm), 深さ (cm))
- ⑭ ディッシュ形状 (直径 (cm), 深さ (cm), 底部径 (cm)
底部径 = 0.0 はおわん形ディッシュ)
- ⑮ ペレット総重量 (gr)
- ⑯ ペレット粒径 (μm)
- ⑰ やきしまりによる最大到達率比 (-)
- ⑱ やきしまりが完了する (90%) 燃焼度 (MWd/tUO₂)
- ⑲ 被覆管内径 (cm)
- ⑳ 被覆管外径 (cm)
- ㉑ 熱的モデルで用いるリロケーションパラメータ (-)
- ㉒ プレナム体積 (cm³)
- ㉓ 初期封入ガス圧 (MPa)
- ㉔ 初期封入ガス組成比 (%)
- ㉕ ペレット表面粗さ (cm)
- ㉖ 被覆管表面粗さ (cm)
- ㉗ 室温 (°K)
- ㉘ タイトル名
- ㉙ 節点番号, 要素番号図



使用している四角形 8 節点要素を構成する節点番号と要素番号。

上図では要素番号1は要素が節点番号1, 8, 12, 13, 14, 9, 3, 2の8節点によって構成されている事を示す。

③⑩ 初期節点座標図 (μm)



力学的モデルで着目している半ペレット長相当部で初期節点座標,

②⑨図での節点番号に対応して初期座標を与える。

例えば節点番号60のr座標は4852.5 μm , z座標は4333.3 μm である。

③①~⑤④ 計算オプション

- ③① リスタートオプション (=0 ; 最初からの計算, =1 ; リスタート計算)
- ③② リスタートテープ作成のオプション (=0 ; 作成しない, =1 ; 作成する)
- ③③ プロッターテープ作成のオプション (現在使用不可)
- ③④ リスタートテープ番号 (ユニット11を使用)
- ③⑤ プロッターテープ番号 (現在使用不可)
- ③⑥ 線出力増分幅 (10 W/cmにて使用)
- ③⑦ 時間増分パラメータ (10倍にて使用)
- ③⑧ ニュートン法に繰り返し計算回数 (1回繰り返し計算を行なう)
- ③⑨ 境界条件収束計算による繰り返し計算回数 (最大10回まで)
- ③⑩ クリープパラメータ ($\theta = 1.0$ にて使用)
- ③⑪ 塑性パラメータ ($\theta = 0.5$ にて使用)
- ③⑫ ティルテング値 (フラットペレット=20 μm , ディッシュ付ペレット=0 μm)
- ③⑬ ペレット被覆管摩擦係数 (0.4を使用)
- ③⑭ ロッキングオプション (=0 : ペレット被覆管ギャップ幅にて判定, =1 : 軸方向座標)
- ③⑮ 室温 ($^{\circ}\text{K}$)
- ③⑯ 入力で用いる燃焼度の単位系 (=0 : MWd/tUO₂, =1 : MWd/tU, =2 : GJ/kgU)
- ③⑰ 入力データのチェックオプション (=0 : 通常計算, =1 : 入力データチェックのみ)
- ③⑱ 最終情報のための時刻 (指定した時間以降の最大応力, 最大変位等を調べる)
- ③⑲ 境界条件変化時のタイムステップコントロール (=0 : しない, =1 : する)
- ③⑳ 降状・除荷変化時のタイムステップコントロール (=0 : しない, =1 : する)
- ③㉑ ③⑥の線出力増分幅を適用する軸方向ノード
 (=0 : 力学的モデルで用いるノード番号について適用する,
 =1 : タイムステップでの線出力増減幅の最大のノードについて適用する)
- ③㉒ 力学的モデル計算オプション (=0 : 計算する, =1 : 熱モデルのみ計算する)
- ③㉓ 弾性計算オプション (=0 : 塑性クリープ等考慮する, =1 : 弾性計算する)

- ⑤④ 出力オプション（応力，ひずみ等に関する出力を指定する。
=0：出力しない，=1：出力する）
- ⑤⑤～⑦② 領域に関する情報
- ⑤⑤ 実数領域使用量
 - ⑤⑥ 実数領域の定義された大きさ
 - ⑤⑦ 整数領域使用量
 - ⑤⑧ 整数領域の定義された大きさ
 - ⑤⑨ 節点総数
 - ⑥⑩ 節点自由度総数
 - ⑥⑪ 要素総数
 - ⑥⑫ ギャップ節点对数
 - ⑥⑬ 対称マトリックスの自由度数
 - ⑥⑭ 非対称マトリックスの自由度数
 - ⑥⑮ Slip/fixed を判定するギャップ節点对数
 - ⑥⑯ 対称マトリックスの領域の大きさ
 - ⑥⑰ 非対称マトリックスの領域の大きさ
 - ⑥⑱ 力学的モデルの被覆管径方向分割数
 - ⑥⑲ 力学的モデルのペレット径方向分割数
 - ⑦① 力学的モデルの半ペレット長部に対する軸方向分割数
 - ⑦② 軸方向ノード数
 - ⑦③ 履歴基準点数
- ⑦④～⑧① ペレットオプション
- ⑦④ ペレット異方性パラメータ
 - ⑦⑤ ペレットクラックパラメータ
 - ⑦⑥ ペレットホットプレスパラメータ
 - ⑦⑦ ペレット開クラック時の剛性 (Pa)
 - ⑦⑧ 力学的モデルで用いるリロケーションパラメータ
 - ⑦⑨ 軸方向リロケーション
 - ⑦⑩ 力学的モデルで用いる再リロケーションパラメータ (シャフリング効果)
 - ⑦⑪ 非拘束スウェリングを止める圧縮応力 (Pa)
 - ⑦⑫ 非拘束スウェリングの圧縮応力に対する応答係数
- ⑧② 被覆管オプション
- ⑧② 被覆管異方性パラメータ
- ⑧③～⑧⑥は履歴点データ
- ⑧③ 入力した履歴点データ
- | | |
|--------|---|
| NHIST | 入力ステージ番号 |
| TIME | 時間（時：分：秒）で表示 |
| BURNUP | 燃焼度（MWd/tUO ₂ ，MWd/tU，GJ/kgU）で表示 |

- L. H. R. 線出力 (W/cm) で表示
 COOLANT TEMP. 冷却水温度 (°K) で表示
 COOLANT PRESS. 冷却水圧力 (MPa) で表示
 FAST NEUTRON FLUX 高速中性束 (n/cm²・sec) で表示
 HISTRY OPTION 時間, 燃焼度指定方法に関するオプション
 PRINT OPTION 出力オプション (≠0の入力ステージを出力する)
- ⑧4 入力で指定した線出力に対する係数 (例えば 0.1 なら 10%増で線出力を与える)
 ⑧5 入力した軸方向相対出力分布
- NHIST 入力ステージ番号
 TIME 時刻 (時:分:秒) で表示
 L. H. R. 線出力 (W/cm) で表示
 AXIAL NODE PEAKING FACTOR 軸方向ノードの相対出力分布
- ⑧6 力学的モデルで着目するノード番号
- ⑧7~⑩5 熱的モデルの出力
- ⑧7 タイトル名
 ⑧8 タイムステップステージ番号
 ⑧9 時間 (hr)
 ⑨0 冷却水温度 (°K)
 ⑨1 冷却水圧力 (MPa)
 ⑨2 軸方向ノード番号
 ⑨3 力学的モデルで着目するノード番号
 ⑨4 線出力 (W/cm)
 ⑨5 燃焼度 (MWd/tUO₂)
 ⑨6 ギャップ熱伝達率 (W/cm²・°K)
 ⑨7 ガスによる熱伝達成分 (W/cm²・°K)
 ⑨8 固体接触による熱伝達成分 (W/cm²・°K)
 ⑨9 輻射による熱伝達成分 (W/cm²・°K)
 ⑩0 ペレット中心温度 (°K)
 ⑩1 ペレット表面温度 (°K)
 ⑩2 被覆管内面温度 (°K)
 ⑩3 被覆管外面温度 (°K)
 ⑩4 ギャップクリアランス (μm)
 ⑩5 ギャップ接触圧力 (MPa)
 ⑩6 ペレット内面对表面発熱密度比 (-)
 ⑩7 発熱密度関数における形状指数 (-)
 ⑩8 燃焼度 (10²⁰ fissions/cc)
 ⑩9 ペレット熱膨張 (μm)
 ⑪0 ペレットスウェリング (μm)

- ①① ペレット焼きしまり (μm)
- ①② ペレットリロケーション (μm)
- ①③ 被覆管クリープ (μm)
- ①④ 初期封入ガスモル (mole)
- ①⑤ 軸方向ノードごとの希ガス放出率 (-)
- ①⑥ 燃料棒内平均希ガス放出率 (-)
- ①⑦ 燃料棒内平均ガス圧 (MPa)
- ①⑧ ガスモルの総量 (mole)
- ①⑨ ガスモル比 (He, N₂, Kr, Xe) (%)
- ①⑩ ヨウ素濃度 (g/cm^2) (燃料棒内平均と最大)
- ①⑪ 生成ガスモルの内分け (mole)
- ①⑫ 放出ガスモルの内分け (mole)
- ①⑬ 全体ガスモルの内分け (mole)
- ①⑭ 力学的モデルで用いる軸方向ノード番号
- ①⑮ ①⑭ のノードのペレット内 (10分割), 被覆管内 (2分割) にした箇所における温度 ($^{\circ}\text{K}$)
- ①⑯～①⑰⑱ 力学的モデルの出力
 - ①⑯ タイムステップステージ番号
 - ①⑰ 時間 (hr)
 - ①⑱ 線出力 (W/cm)
 - ①⑲ 高速中性子束 ($\text{n}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$)
 - ①⑳ 核分裂密度 ($\text{fissions}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$)
 - ①㉑ 燃焼度 ($\text{MWd}/\text{t UO}_2$)
 - ①㉒ 要素ガウス点での温度 ($^{\circ}\text{K}$)
- ①㉓～①㉔① ペレット/被覆管接触情報
 - ①㉓ ペレット, 被覆管, 接触対の節点番号
 - ①㉔ 接触状態
 - ①㉕ ペレット径方向接触圧力増分 (Pa)
 - ①㉖ ペレット軸方向接触圧力増分 (Pa)
 - ①㉗ ペレット径方向接触圧力 (Pa)
 - ①㉘ ペレット軸方向接触圧力 (Pa)
 - ①㉙ 被覆管径方向接触圧力増分 (Pa)
 - ①㉚ 被覆管軸方向接触圧力増分 (Pa)
 - ①㉛ 被覆管径方向接触圧力 (Pa)
 - ①㉜ 被覆管軸方向接触圧力 (Pa)
 - ①㉝ ギャップ幅 (μm)
- ①㉞～①㉟① ペレット/ペレット接触情報
 - ①㉞ ペレット上端面の節点番号

- ⑭⑤ 接触状態
- ⑭⑥ 軸方向接触圧力増分 (Pa)
- ⑭⑦ 軸方向接触圧力 (Pa)
- ⑭⑧ 軸方向座標
- ⑭⑨ 接触境界面の軸方向座標 (cm)
- ⑭⑩ 接触境界面までの距離 (cm)
- ⑭⑪ ペレット/被覆管の最小ギャップ幅 (μm)
- ⑭⑫ 軸方向拘束が開始するギャップ幅 (μm)
- ⑭⑬ 節点径方向変位 (μm)
- ⑭⑭ 節点軸方向変位 (μm)
- ⑭⑮～⑭⑰ は入力項目を指定する要素ガウス点情報である。
- ⑭⑱ 要素ガウス点位置での軸方向応力 (MPa)
- ⑭⑲ 要素ガウス点位置での円周方向応力 (MPa)
- ⑭⑳ 要素ガウス点位置での相当応力 (MPa)
- ⑭㉑ 要素ガウス点位置での相当塑性ひずみ (0.01%)
- ⑭㉒ 要素ガウス点位置での円周方向クリープひずみ (0.01%)
- ⑭㉓ 要素ガウス点位置でのやきしまりひずみ (0.01%)
- ⑭㉔ 要素ガウス点位置でのスウェリングひずみ (0.01%)
- ⑭㉕ ペレット/被覆管接触状態図 (ペレットの製造時表面座標を0とした位置からのペレット表面, 被覆管内面座標 (mm)
Pはペレット表面, Cは被覆管内面, XはPとCが重なった場合で接触状態を示す。)
- ⑭㉖ ペレット径方向クラック状態マップ (*……クラックガウス点)
- ⑭㉗ ペレット軸方向クラック状態マップ (*……クラックガウス点)
- ⑭㉘ ペレット円周方向クラック状態マップ (*……クラックガウス点)
- ⑭㉙ 弾塑性状態マップ (*…降伏ガウス点, +…除荷したガウス点
ブランク…降伏を経験していないガウス点)
- ⑭㉚ タイムステップ情報 (ステージ番号, 計算回数, 計算回数増分,
タイムステップコントロール回数, 時間 (hr),
線出力 (W/cm), 燃焼度 (MWd/tUO₂))
- ⑭㉛～⑭㉞ は軸方向ノードごとの熱的モデルに関する情報
- ⑭㉟ タイトル名
- ⑭㊱ 軸方向ノード番号
- ⑭㊲ タイムステップ番号
- ⑭㊳ 時間 (hr)
- ⑭㊴ 線出力 (W/cm)
- ⑭㊵ 燃焼度 (MWd/tUO₂)
- ⑭㊶ ペレット中心温度 (°C)
- ⑭㊷ ペレット表面温度 (°C)

- ①76 被覆管内面温度 (°C)
- ①77 被覆管外面温度 (°C)
- ①78 ギャップ熱伝達率 (W/cm²・°C)
- ①79 ガスによる熱伝達成分 (W/cm²・°C)
- ①80 固体接触による熱伝達成分 (W/cm²・°C)
- ①81 ギャップクリアランス (μm)
- ①82 ギャップ接触圧力 (MPa)
- ①83 ノードの希ガス放出率 (%)
- ①84 ノードのヨウ素濃度 (10⁻⁵ g/cm²)
- ①90~②00 は燃料棒内を一様に扱かう熱的モデルからの情報
- ①85 タイトル名
- ①86 タイムステップ番号
- ①87 時 間 (h r)
- ①88 着目ノードでの線出力 (W/cm)
- ①89 着目ノードでの燃焼度 (MWd/tUO₂)
- ①90 希ガス総量 (mole)
- ①91 初期封入ガス (mole)
- ①92 放出ガス (mole)
- ①93 生成ガス (mole)
- ①94 ガス放出率 (%)
- ①95 ガス圧力 (MPa)
- ①96 ヨウ素濃度 (10⁻⁵ g/cm²)
- ①97 希ガス中の He 比 (%)
- ①98 希ガス中の N₂ 比 (%)
- ①99 希ガス中の Kr 比 (%)
- ②00 希ガス中の Xe 比 (%)
- ②07~②13 は力学的モデルにおけるペレットに関する情報
- ②01 タイトル名
- ②02 タイムステップ番号
- ②03 時 間 (h r)
- ②04 線出力 (W/cm)
- ②05 燃焼度 (MWd/tUO₂)
- ②06 燃焼度 (MWd/tUO₂)
- ②07 ペレット中心温度 (°C)
- ②08 ペレットリッジ部直径変位 (hot stand-by からの変位) (μm)
- ②09 ペレット中央部直径変位 (hot stand-by からの変位) (μm)
- ②10 ペレット非拘束スウェリングひずみ (全スウェリングひずみ-拘束スウェリングひずみ) (μm)
- ②11 ペレット最大軸方向ひずみ (0.01%)

- ②12 ペレット拘束スウェリングひずみ (0.01%)
- ②13 ペレット焼きしまりひずみ (0.01%)
- ②19~②22 は力学的モデルにおけるギャップに関する情報
- ②23~②27 は力学的モデルにおける被覆管に関する情報
- ②14 タイトル名
- ②15 タイムステップステージ番号
- ②16 時間 (hr)
- ②17 線出力 (W/cm)
- ②18 燃焼度 (MWd/tUO₂)
- ②19 平均ギャップ幅 (μm)
- ②20 リッジ部ギャップ幅 (μm)
- ②21 希ガス放出率 (%)
- ②22 ヨウ素濃度 (10^{-5} g/cm^2)
- ②23 リッジ部被覆管変位 (hot stand-by からの変位) (μm)
- ②24 中央部被覆管変位 (hot stand-by からの変位) (μm)
- ②25 リッジ高さ (μm)
- ②26 被覆管軸方向ひずみ (0.01%)
- ②27 被覆管軸方向ひずみに対する径方向ひずみ比 (%)
- ②33~②40 は力学的モデルにおける被覆管に関する情報
- ②28 タイトル名
- ②29 タイムステップ番号
- ②30 時間 (hr)
- ②31 線出力 (W/cm)
- ②32 燃焼度 (MWd/tUO₂)
- ②33 被覆管内面最大円周方向クリープひずみ (0.01%)
- ②34 被覆管内面最大相当塑性ひずみ (0.01%)
- ②35 被覆管内面リッジ部相当応力 (MPa)
- ②36 被覆管内面リッジ部軸方向応力 (MPa)
- ②37 被覆管内面リッジ部円周応力 (MPa)
- ②38 被覆管最大相当応力 (MPa)
- ②39 被覆管最大軸方向応力 (MPa)
- ②40 被覆管最大円周応力 (MPa)
- ②42~②67 は熱的、力学的モデルのまとめである。(IPは履歴点データ)
- ②41 タイトル名
- ②42 総タイムステップ数
- ②43 最終時間 (hr)
- ②44 最大線出力 (W/cm)
- ②45 製造時ギャップ幅 (μm)

- ②46 最終燃焼度 (MWd/tUO₂)
- ②47 最大ペレット中心温度 (°C)
- ②48 最終ガス放出率 (%)
- ②49 最終ヨウ素濃度 (10^{-5} g/cm²)
- ②50 IP=2を指定した履歴点での平均外圧クリープ (hot stand-byからの変位) (μ m)
- ②51 IP=2を指定した履歴点での最大外圧クリープ (hot stand-byからの変位) (μ m)
- ②52 最終リッジ部被覆管変位 (hot stand-byからの変位) (μ m)
- ②53 最終中央部被覆管変位 (hot stand-byからの変位) (μ m)
- ②54 最終リッジ高さ (μ m)
- ②55 総計算回数
- ②56 IP=2で指定した履歴点以後で計算された被覆管リッジ部の最大変位
(hot stand-byからの変位) (μ m)
- ②57 IP=2で指定した履歴点以後で計算された被覆管中央部の最大変位
(hot stand-byからの変位) (μ m)
- ②58 IP=2で指定した履歴点以後で計算された最大リッジ高さ (μ m)
- ②59 IP=2で指定した履歴点以後で計算された被覆管リッジ部の最大相当応力 (MPa)
- ②60 IP=2で指定した履歴点以後で計算された被覆管リッジ部の最大軸方向応力 (MPa)
- ②61 IP=2で指定した履歴点以後で計算された被覆管リッジ部の最大円周応力 (MPa)
- ②62 IP=2で指定した履歴点以後で計算された被覆管内面の最大相当応力 (MPa)
- ②63 IP=2で指定した履歴点以後で計算された被覆管内面の最大軸方向応力 (MPa)
- ②64 IP=2で指定した履歴点以後で計算された被覆管内面の最大円周応力 (MPa)
- ②65 IP=2で指定した履歴点での平均ギャップ幅 (μ m)
- ②66 IP=2で指定した履歴点でのリッジ部ギャップ幅 (μ m)
- ②67 IP=2で指定した履歴点以後での接触開始線出力 (W/cm)