

2019年12月23日

第326回核燃料施設等の新規制基準適合性に係る審査会合

京都大学臨界実験装置 (KUCA)

設置変更承認申請について

京都大学複合原子力科学研究所

「試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則」

(炉心等)

第十五条 試験研究用等原子炉施設は、原子炉固有の出力抑制特性を有するものでなければならない。ただし、臨界実験装置に係る試験研究用等原子炉施設であって当該試験研究用等原子炉施設の安全を確保する上で支障がないものは、この限りでない。

- 2 試験研究用等原子炉施設は、試験研究用等原子炉の反応度を制御することにより核分裂の連鎖反応を制御できる能力を有するものでなければならない。
- 3 炉心は、通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時に試験研究用等原子炉の運転に支障が生ずる場合において、原子炉停止系統、反応度制御系統、計測制御系統及び安全保護回路の機能と併せて機能することにより燃料の許容設計限界を超えないものでなければならない。
- 4 燃料体、減速材及び反射材並びに炉心支持構造物は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、試験研究用等原子炉を安全に停止できるものでなければならない。
- 5 燃料体は、次に掲げるものでなければならない。
  - 一 通常運転時における試験研究用等原子炉内の最高使用圧力、自重、附加荷重その他の燃料体に加わる負荷に耐えるものとする。
  - 二 輸送中又は取扱中において、著しい変形を生じないものとする。

本説明資料に関係した項目における適合のための設計方針

第1項について

原子炉施設は、原子炉固有の出力抑制特性を有する設計とする。ただし、臨界実験装置に係る試験研究用等原子炉施設であって当該試験研究用等原子炉施設の安全を確保する上で支障がないものは、この限りでないものとする。

第2項について

原子炉施設は、試験研究用等原子炉の反応度を制御することにより核分裂の連鎖反応を制御できる能力を有する設計とする。

(指摘事項番号：24)

添付8で取り扱う代表炉心の考え方を整理すること。

### 1. 代表的な均一な1領域炉心の制御棒反応度について

KUCAでの核的制限値として

全制御棒価値が「 $1(\% \Delta k/k) + \text{過剰反応度}(\% \Delta k/k)$ 」以上であること

制御棒反応度の最大の1本は全反応度の1/3以下であること

が規定されている。

以下の制御棒反応度の計算は添付8の臨界計算に用いたものと同じSRACコードシステムを使用した。拡散計算コードCITATIONによる3次元炉心計算において制御棒は内部黒体として取り扱い、熱エネルギー領域において制御棒表面での中性子束の微係数を与えて反応度の解析を行った（微係数はこれまでの実験値との比較により算出）。

全反応度の実験値と計算値を表1に示す。スペクトルの大きく異なる3種類の炉心についてここでの計算値と実験値の違いは最大15%程度である。

表1 制御棒反応度の解析（固体減速架台の既炉心）

炉心	全反応度価値 (実験値) ( $\% \Delta k/k$ )	全反応度価値 (計算値) ( $\% \Delta k/k$ )	C/E
B1/8" P60EU-EU(5) (EE1 炉心)	3.54	4.07	1.15
B2/8" P48EU(2) (E2 炉心)	3.37	3.82	1.13
B3/8" P36EU(3) (E3 炉心)	1.95	1.87	0.96

代表的な炉心として低濃縮ウラン燃料版 (LU) とポリエチレンのみを用いた炉心領域長さ約 40cm の炉心、および炉心領域長さを変化させた炉心について制御棒の反応度価値の解析を行った。

ここで取り上げた炉心は KUCA でポリエチレン減速板を用いて H/U-235 の制限値 (400 以下) の範囲内で、しかも装荷可能な U-235 量の制限値                      の範囲内で構成することができる中性子スペクトルの範囲をほぼ満たしている。(L5. 92P 炉心のような特別な厚さのポリエチレン減速板を必要とするような炉心は除く)。

ポリエチレンを減速材として用いた場合に燃料セル内の H/U-235 の原子数比を変化させバックリングを固定したときの実効増倍率 (k-eff) は図 1 に示すようになり、H/U-235 が約 200 のときに k-eff は最大値となり、それより H/U-235 が増加すると k-eff は緩やかに小さくなり、一方 H/U-235 が減少すると k-eff は急激に小さくなる。ここで取り上げた炉心の中では、H/U-235=203 の L3P 炉心が最も k-eff が大きく、H/U-235=34 の LL1P 炉心が最も k-eff が小さくなっている。

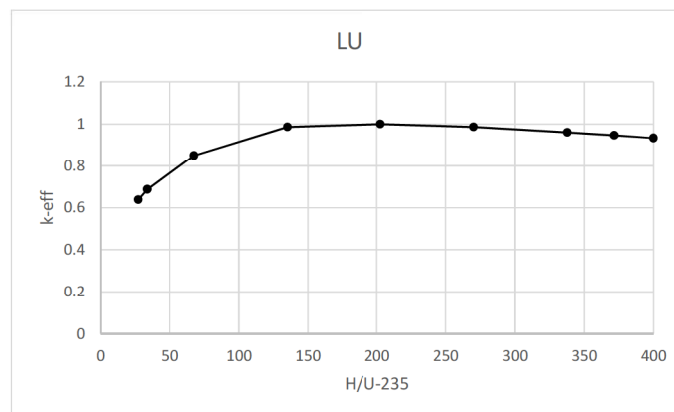


図 1 燃料セル計算での k-eff

上記の H/U-235 と k-eff の関係から燃料領域長さを変更した炉心については以下の 3 種類の炉心を代表として取り上げた。

- ① LU とポリエチレンのみを用いた炉心でのうち既存の最も薄いものは 1/16 インチ厚さを用いて構成することができる炉心のうち、中性子エネルギースペクトルが最も硬く、燃料体数の最も多い LL1P 炉心
- ② ①の逆に中性子エネルギースペクトルの最も柔らかい L5. 5P 炉心
- ③ 燃料体数の最も少ない L3P 炉心

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

各炉心の燃料体と制御棒の配置を図2、図3に、解析結果を表2、表3に示す。

ここでの解析は全て臨界炉心を対象としているので、過剰反応度はゼロであるので全制御棒価値は1(% $\Delta k/k$ )以上であることが求められるが、全制御棒価値の解析結果はすべてこの核的制限値を満足しており、また最大の制御棒の反応度は全反応度の1/3以下であることも満足している。

制御棒の全反応度価値については、炉心の周囲に均等に配置するとすれば臨界となる炉心サイズが小さいほど大きくなり、中性子スペクトルが硬くなるほど反射体の影響を受けやすくなるため大きくなる。しかしここでは各炉心について制御棒の配置を工夫することにより全反応度価値があまり変わらないような炉心を構成している。

黒鉛減速炉心についての制御棒反応度の解析結果を表4に示す。他の結果と同様に全反応度価値等の規制値を満足している。

(なお、この解析結果は11月25日の審査会合の資料に記載した値と少し異なっている。これは審査会合以降、解析精度を上げるために制御棒表面での中性子束の微係数の値を若干見直したこと、および一部の炉心については制御棒の位置を変更したことによる。変更した制御棒は図中に示す。)

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

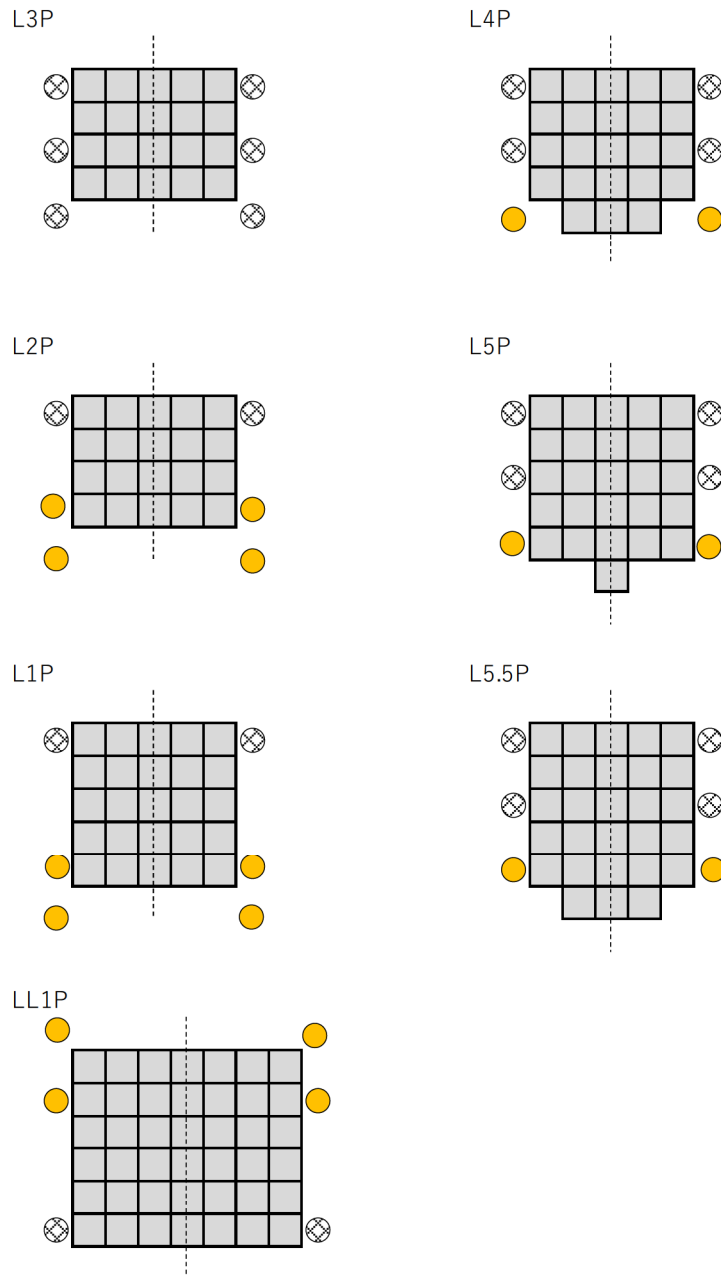


図 2 制御棒価値解析炉心の水平断面の炉心配置図  
(炉心名称と燃料領域長さ、丸は制御棒)  
色つきの制御棒は前回までの配置から変更したもの

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

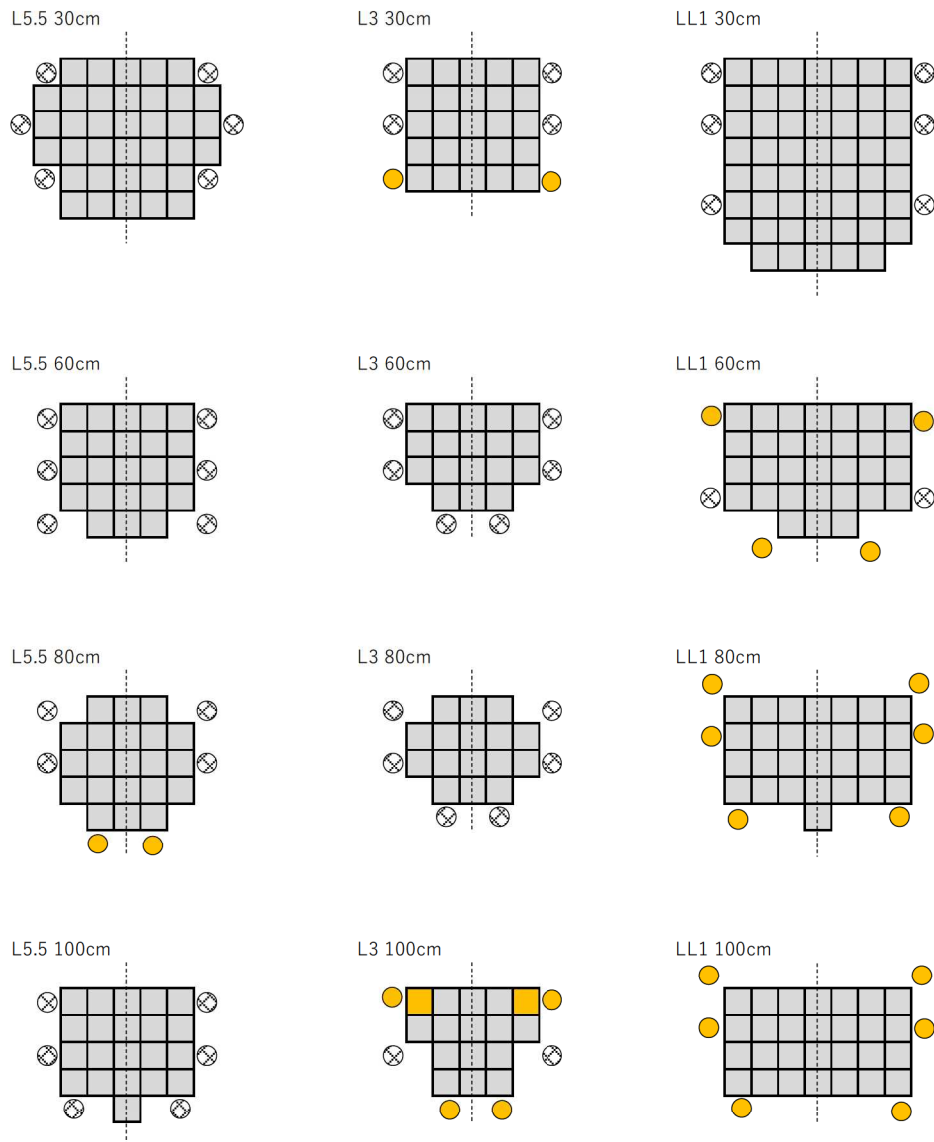


図3 高さを変更した炉心の水平断面の炉心配置図  
(炉心名称と燃料領域長さ、丸は制御棒)  
色つきの制御棒は前回までの配置から変更したもの

表2 固体減速架台炉心の制御棒反応度

炉心名称	H/U-235	炉心高さ (cm)	全反応度 (% Δk/k)	最大反応度 (% Δk/k) (割合%) <sup>1)</sup>	最大微分反 応度 (%dk/k/s)
L5.5P	372	41.1	1.50	0.40 (27%)	0.0119
L5P	338	41.0	1.61	0.45 (28%)	0.0132
L4P	270	38.5	1.51	0.49 (32%)	0.0150
L3P	203	42.4	2.01	0.61 (30%)	0.0177
L2P	135	39.2	1.75	0.44 (25%)	0.0133
L1P	68	38.2	2.04	0.50 (25%)	0.0156
LL1P	34	38.4	1.98	0.59 (30%)	0.0183

1) 全反応度に対する割合



表 3 固体減速架台の炉心高さを変更した場合の制御棒反応度

炉心名称	炉心長 (概略値 cm)	炉心高 さ (cm)	全反応度 (%Δk/k)	最大反応度 (%Δk/k) (割合%) <sup>1)</sup>	最大微分反 応度 (%dk/k/s)
L5.5P	30	30.5	1.40	0.36 (26%)	0.0130
	60	59.9	1.50	0.47 (32%)	0.0104
	80	81.9	2.11	0.49 (23%)	0.0084
	100	100.1	2.39	0.55 (23%)	0.0079
L3P	30	30.5	1.96	0.54 (28%)	0.0197
	60	55.1	3.18	0.60 (19%)	0.0141
	80	77.8	2.90	0.74 (25%)	0.0131
	100	98.2	2.56	0.61 (24%)	0.0090
LL1P	30	30.0	2.51	0.54 (22%)	0.0198
	60	62.9	2.97	0.66 (22%)	0.0141
	80	76.7	3.66	0.93 (25%)	0.0168
	100	101.5	3.85	1.04 (27%)	0.0148

1) 全反応度に対する割合

表 4 固体減速架台の黒鉛減速炉心の制御棒反応度

炉心名称	C/U-235	炉心高さ (cm)	全反応度 (% Δk/k)	最大反応度 (% Δk/k) (割合%) <sup>1)</sup>	最大微分反 応度 (%dk/k/s)
L2G	27.9	90.6	4.04	0.86 (21 %)	0.0135

1) 全反応度に対する割合

## 2. 制御棒の微分反応度について

エネルギー1群の均質な体系であるとき、垂直方向の中性子束分布がコサイン分布であると仮定すると、制御棒の積分反応度校正曲線は以下ようになる。

$$\rho(z) = \rho_0 \left( \frac{z}{H} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi z}{H} \right)$$

ここで  $\rho_0$  は全反応度、 $H$  は反射体節約を含めた炉心高さである。

微分反応度曲線は以下ようになる。

$$\frac{d\rho(z)}{dz} = \frac{\rho_0}{H} \left( 1 - \cos \frac{2\pi z}{H} \right)$$

制御棒を臨界状態で全ストロークを動かすことが可能であるとすると、微分反応度が最大となるのは炉心中央で、そのときの最大値は  $\frac{d\rho(z)}{dz}_{MAX} = \frac{2\rho_0}{H}$  となる。

KUCA の制御棒の駆動速度は、設置申請書に 0.5 m/min 以下 (5/6 cm/sec 以下) と定められている (実測値は 0.796 cm/sec)。

制御棒の反応度添加率は設置申請書に「臨界近傍で 0.02% Δk/k/sec 以下」と定められているので、制御棒を臨界状態で全引抜き状態から炉心中心より下方まで動かすことが可能であるとすると最大反応度添加率に関する条件は

$$\frac{d}{dt} \frac{d\rho(z)}{dz}_{MAX} = \frac{2\rho_0}{H} \times \frac{5}{6} \leq 0.02 \text{ (%}\Delta k / k / \text{sec)}$$

となる。

例えば、炉心の燃料領域高さを 30cm とし、反射体節約を 7.8cm (KUCA でのスペクトルの柔らかい炉心での値) としたとき

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

$$\frac{2\rho_0}{30+7.8\times 2}\times\frac{5}{6}\leq 0.02$$

すなわち、最大反応度を持つ制御棒の反応度が  $\rho_0 \leq 0.547$  ( $\% \Delta k / k$ ) を満たせば反応度添加率は確実に制限値を満足することになる。

実際には過剰反応度が小さな炉心であれば、臨界状態で制御棒を炉心中心の微分反応度が大きな場所まで挿入することができないので制御棒の反応度がこの値を超えていたとしても最大反応度添加率に関する制限値を満たす炉心を構築することはできるので、この値が制御棒の反応度に関する制限値とはならない。

解析を行った各炉心の最大反応度を持つ制御棒の最大反応度添加率を  $\frac{2\rho_0}{H}\times\frac{5}{6}$  として表

1、2 に示す。結果はすべて制限値である「臨界近傍で  $0.02\% \Delta k / k / \text{sec}$  以下」を満足していることが判る。

(例えば、表 3 の LL1P の 100cm の最大反応度を持つ制御棒の価値は  $1.04\% \Delta k / k$  となっているが、過剰反応度は  $0.35\% \Delta k / k$  以下であるためこの制御棒を炉心中心まで挿入して臨界にすることはできないので、最大反応度添加率はこの表の値より小さくなる。)

### 3. 軸方向に異なる燃料セルを持つ炉心について

鉛直方向（z 方向）に異なる燃料セルを持つ炉心に対して、制御棒反応度、反応度添加率についての解析を行った。

対象としたのは次の 3 種類の炉心である。

- L5. 5P(軟スペクトル炉心、約 15cm) + L3P(臨界燃料体数の少ない炉心、約 15cm)
- L5. 5P(軟スペクトル炉心、約 15cm) + LL1P(硬スペクトル炉心、約 15cm)
- L5. 5P(約 10cm) + LL1P(約 10cm) + L5. 5P(約 10cm)

いずれも全炉心高さは約 30cm とし、制御棒の反応度を確保することが難しくなると考えられる炉心を取り上げる。なお各領域の高さは均等とした。

各炉心の燃料体と制御棒の配置、z 方向の分布、微分反応度曲線、金線の z 方向反応率分布を図 4～図 6 に、各炉心の制御棒の積分反応度、反応度添加率を表 5 に示す。

全ての炉心において制御棒に関する規制値を満足していることが判る。

(表 5 で全反応度が満たすべき条件としては「 $1\%dk/k + \text{過剰反応度}$ 」以下であるが、ここでは過剰反応度はゼロの炉心を考えているので、すべて満たしている。)

なお軸方向に異なる燃料セルを用いた場合であっても、各燃料セルの H/U-235 または C/U-235 の値は既定値以下であることを燃料体を構成するための条件とする予定である（燃料体中での比率の平均値ではない）。

表5 軸方向分布に異なる燃料セルを有する固体減速架台炉心の制御棒反応度

炉心	炉心高さ (cm)	全反応度 (%Δk/k)	最大反応度 (%Δk/k) (割合%) <sup>1)</sup>	最大反応度添 加率 (%dk/k/s)
		「1%dk/k+過 剩反応度」 以下	最大の反応度が 全反応度の1/3 以下	0.02%dk/k/sec 以下
L5.5P(15cm) + L3(15cm)	29.9	1.22	0.377 (31%)	0.0179
L5.5P(15cm) + LL1(15cm)	30.0	1.26	0.371 (29%)	0.0174
L5.5P(10cm) + LL1(10cm) + L5.5P(10cm)	29.6	1.45	0.36 (25%)	0.0197

1) 全反応度に対する割合

2) 反応度添加率は制御棒微分反応度曲線の最大値より算出

「グレーのマスクング範囲は不開示情報」

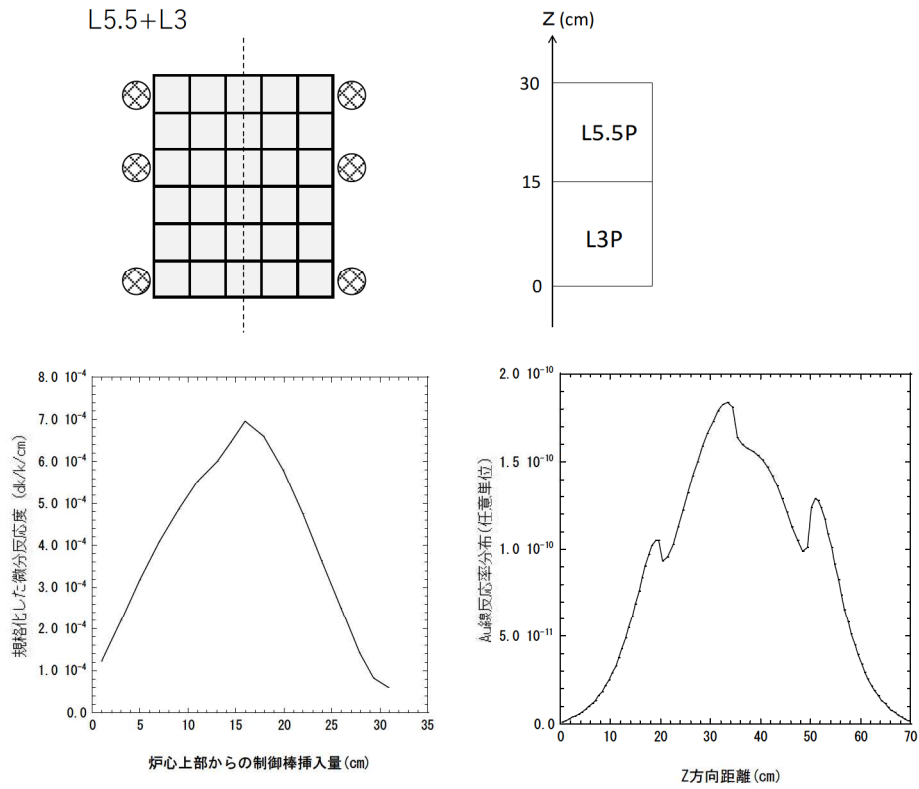


図4 L5.5P+L3P 炉心の配置、微分反応度曲線、金線反応率分布

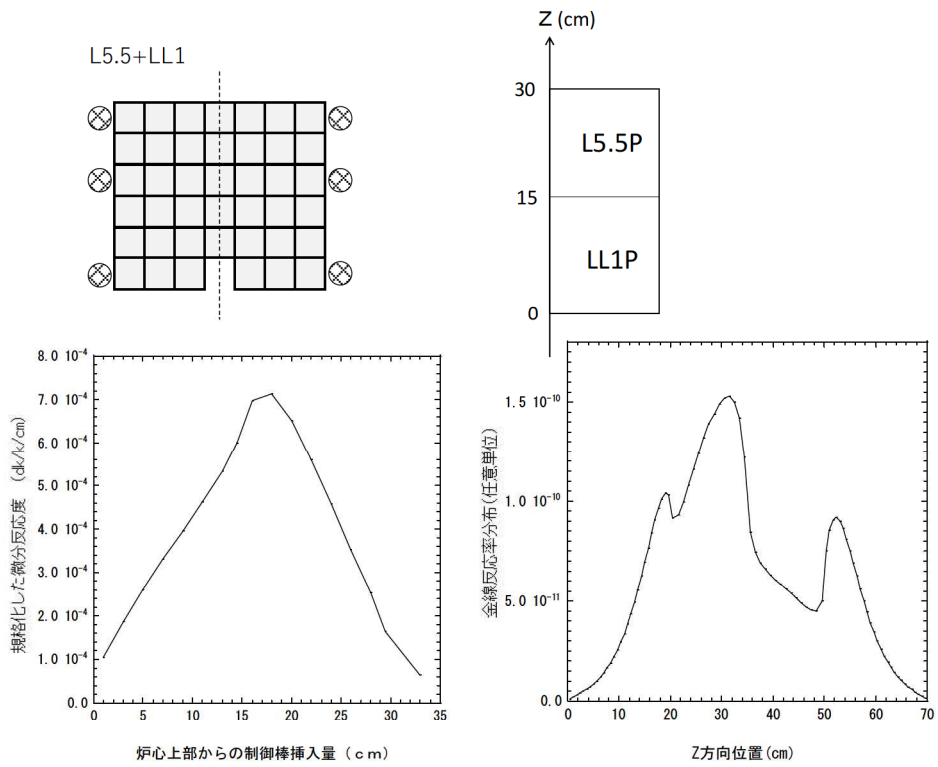


図5 L5.5P+LL1P 炉心の配置、微分反応度曲線、金線反応率分布

「グレーのマスクング範囲は不開示情報」

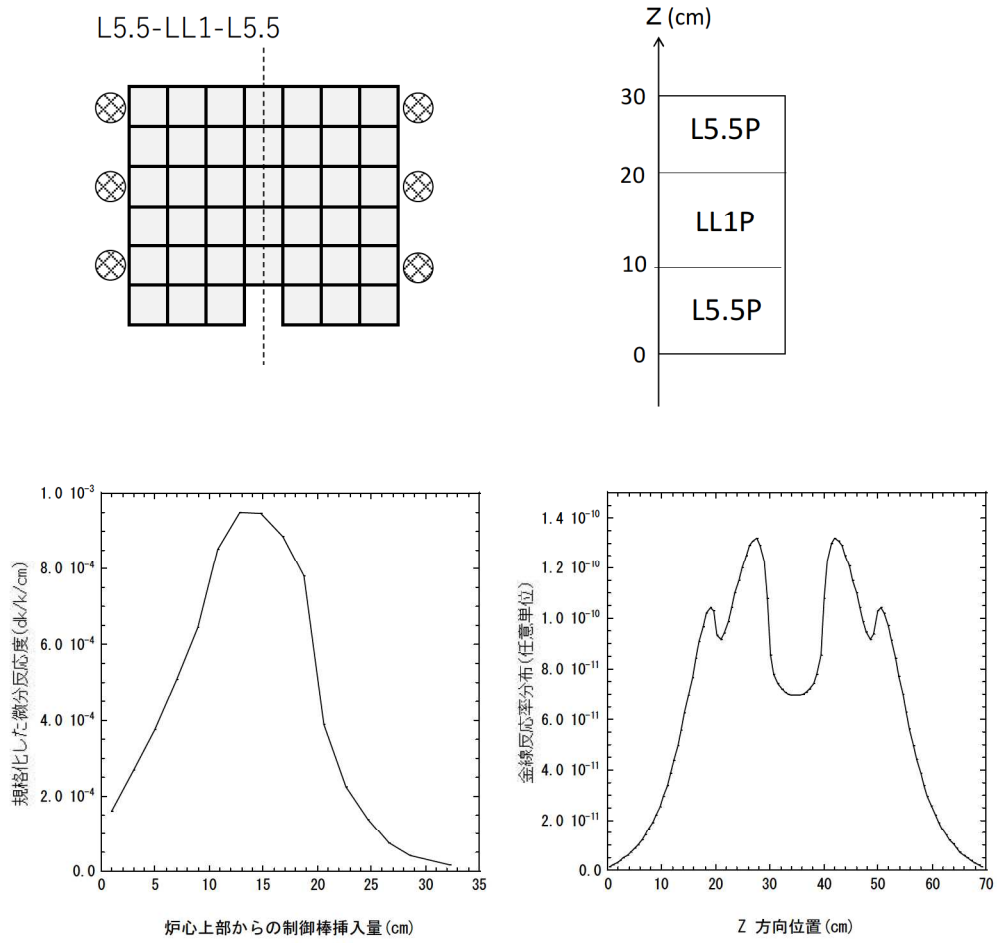


図 6 L5.5P+LL1P 炉心の配置、微分反応度曲線、金線反応率分布

#### 4. 多領域炉心について

異なる燃料体を組み合わせた多領域炉心（ここではゾーン型炉心）については既に高さ約40cmの幾つかの炉心について解析結果をまとめているが、高さが30cmの炉心について、ゾーンの大きさの異なる炉心の解析を追加して実施した。

炉心配置図を図7に、臨界量と各炉心の制御棒の積分反応度、反応度添加率を表6に示す。全ての炉心において制御棒に関する規制値を満足していることが判る。

ゾーンの構成することができるサイズはここでは3×3と5×5を取り上げたが、KUCAで組むことができるこのゾーンのサイズは各燃料体が単独で臨界となる臨界体数、および炉心に装荷することができるU-235量で決まる。

表6 ゾーン型固体減速架台炉心の臨界量と制御棒反応度

炉心	炉心高さ (cm)		全反応度 (% Δk/k)	最大反応度 (% Δk/k) (割合%) <sup>1)</sup>	最大反応度添加率 (%dk/k/s)
L5P(out)+LL1P(in) Zone (3 x 3)	30.2		1.42	0.414 (29 %)	0.0151
L5P(out)+LL1P(in) Zone (5 x 5)	30.5		1.22	0.294 (24 %)	0.0106
L5P(in)+LL1P(out) Zone (3 x 3)	29.9		1.77	0.530 (30 %)	0.0194
L5P(in)+LL1P(out) Zone (5 x 5)	- <sup>3)</sup>		-	-	-
L5P(out)+L-lump <sup>4)</sup> Zone (3 x 3)	30.4		1.23	0.307 (25 %)	0.0111
L5P(out)+L-lump <sup>4)</sup> Zone (5 x 5)	31.3		1.14	0.380 (33 %)	0.0135
L5P(out)+L-lump <sup>4)</sup> Zone (5 x 6)	30.0		2.27	0.438 (19 %)	0.0160

1) 全反応度に対する割合

2) 反応度添加率は中性子束がコサイン分布であるとして算出

3) L5Pのみの臨界量が5×5を超えるため構成できない

4) 燃料板のみの領域



「グレーのマスクング範囲は不表示情報」

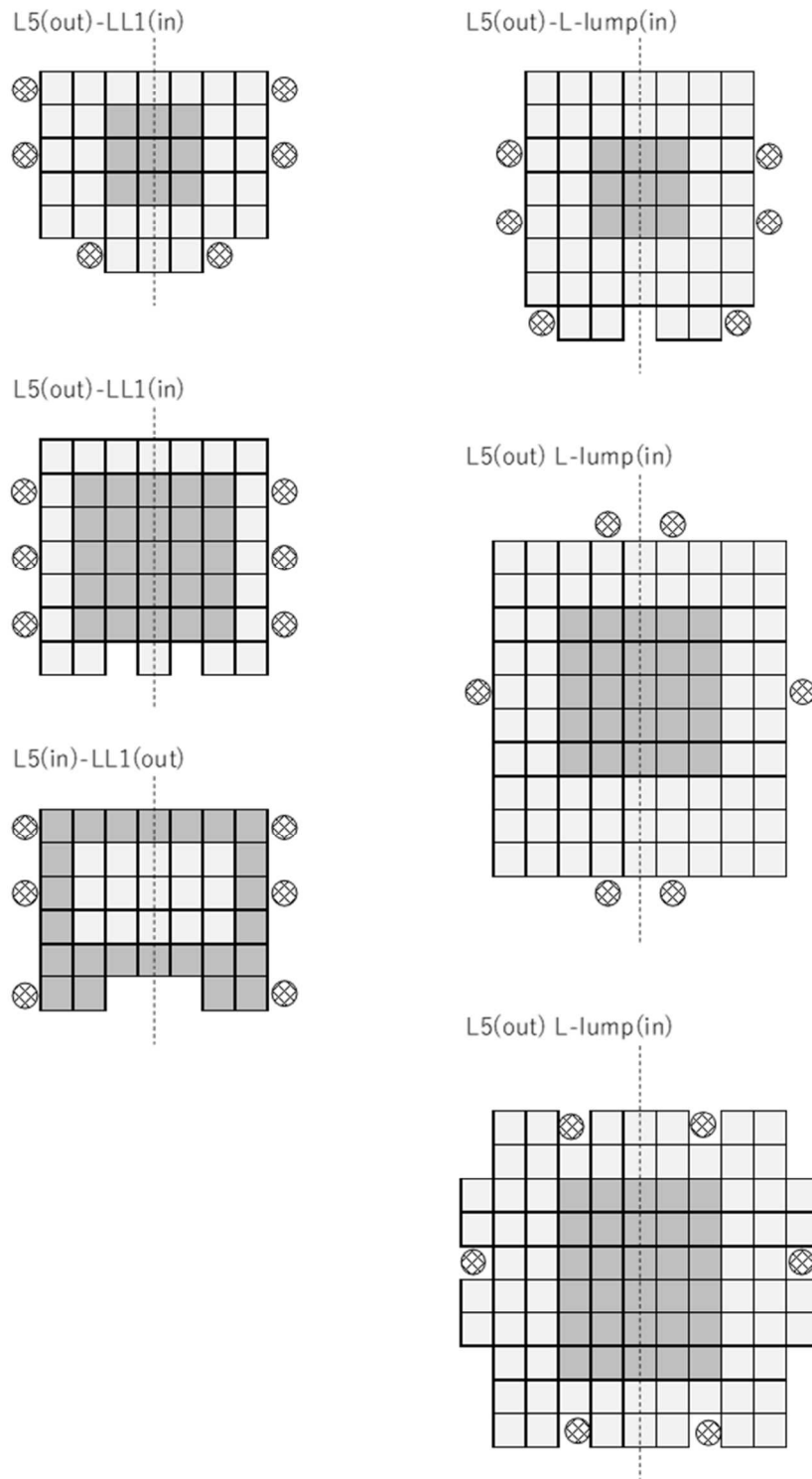


図7 Zone型炉心の炉心配置図  
(濃色の燃料体がLL1P燃料、淡色の燃料体がL5P燃料)

## 5. 代表炉心の選定について

### 5-1. 過渡解析との関係について

代表炉心についての過渡解析結果（添付 10 の運転時の異常な変化のうちの原子炉起動時における制御棒の異常な引抜き）との関係を調べる。

結果を図 7～図 12 に示す。これらの結果から以下のようなことがわかる。

- ・  $\beta_{\text{eff}}/\lambda$ が大きくなると積算出力は増加するので（図 7）、 $\beta_{\text{eff}}/\lambda$ ができるだけ大きな炉心を代表炉心として加える。
- ・  $\lambda$ と積算出力はあまり相関は見られない（図 8）。
- ・  $\beta_{\text{eff}}/\lambda$ が大きくなると 1.2W 超えまでの時間が長くなる（図 9）。そのため図 5 の積算出力が増えると考えられる。
- ・  $\beta_{\text{eff}}$ が大きくなると 1.2W 超えまでの時間が長くなる（図 10）。 $\beta_{\text{eff}}$ が大きくなるとドル単位の反応度が小さくなり出力変化が穏やかになるためと考えられる。
- ・  $\beta_{\text{eff}}$ が大きくなると積算出力は増加するので（図 11）、 $\beta_{\text{eff}}$ ができるだけ大きな炉心を代表炉心として加える。
- ・ 臨界量が増えると温度上昇が小さくなるので（図 12）、臨界量ができるだけ小さい炉心を代表炉心として加える。

### 5-2 選定の方法

- ・ 減速材はポリエチレン板または黒鉛板を用いた炉心とする。
- ・ 燃料角板と減速材との組合せ方法としては、原子数比を以下のように制限する。

H/U-235 の原子数比  $4.0 \times 10^2$  以下

C/U-235 の原子数比  $2.5 \times 10^3$  以下（従来の「 $1.6 \times 10^4$  以下」から変更）

この制限値は燃料体内の全ての燃料単位セル（燃料板と燃料板に挟まれた領域）に対して適用する。（燃料体内での平均値ではない）

- ・ 単位セルのパターンとしては原子数比の制限値を満足すること、および申請書本文に記載された「燃料体の最大挿入量」の U-235 重量以下で臨界炉心を組むことができる炉心とする。
- ・ 燃料角板とポリエチレン板、または燃料角板と黒鉛板以外の単位セルとして、現在所有しているトリウム金属板（厚さ 1/8 インチ）、または天然ウラン金属板（厚さ約 1 mm）を燃料角板とポリエチレン板と組みあせた単位セルの炉心についても考える。

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

- ・燃料角板と組み合わせる単位セルで使用するトリウム金属は [ ]、天然ウラン金属は [ ] とする。(申請書に制限値を追加記載)
- ・代表炉心として取り上げるものとしては以下の4つの種類である。
  - ① 燃料角板、ポリエチレン板
  - ② 燃料角板、黒鉛板
  - ③ 燃料角板、ポリエチレン板、トリウム金属板
  - ④ 燃料角板、ポリエチレン板、天然ウラン金属板
- ・ポリエチレン板を用いた燃料集合体内での燃料領域(単位セルが占める範囲)の高さは約40cmとする(これまでのKUCAでの燃料体はほとんどがこの高さ)。ただし、一部の炉心については炉心の高さを30~100cmとした炉心についても取り上げる。
- ・トリウムを用いた炉心は臨界量が大きいため高さは大きくする。黒鉛を用いた炉心については高さ約100cmとする。
- ・ポリエチレン板を減速材として用いた炉心については、燃料領域(単位セルを繰り返した領域)の上下、および燃料集合体の周囲にポリエチレン反射体を用いる。また黒鉛板を減速材として用いた炉心については燃料領域の上下、および燃料集合体の周囲に黒鉛反射体を用いる。(燃料領域の周囲は3層以上のポリエチレン反射体または黒鉛反射体で囲む。ただし、検出器を挿入するなどの実験の都合上、一部の燃料体については反射体を設置しない炉心構成も可能とする。申請書に制限値を追加記載)
- ・炉心は燃料集合体を配置し、周囲に制御棒(合計6本)を配置して臨界となる炉心を決定する。制御棒はy方向(図2の水平方向)に対称に配置する。
- ・燃料角板とポリエチレン板からなる炉心については、2種類の異なる単位セルの燃料集合体を組み合わせた炉心(ゾーン型炉心)を取り上げる。内側(in)に3×3=9体、および5×5=25体の燃料を配置し、その周囲(out)に別の異なる単位セルからなる燃料集合体を配置する。2種類の燃料集合体としては、できるだけ中性子スペクトルが異なる燃料集合体を選ぶ。
- ・代表炉心としては、燃料体数ができるだけ少ない炉心とできるだけ多い炉心を取り入れる。
- ・代表炉心としては、添付10に記載する反応度の異常な変化の過渡解析において積算出力ができるだけ大きくなる炉心、燃料板の温度上昇ができるだけ大きくなる炉心、および過渡変化の時間ができるだけ長くなる炉心と短くなる炉心を取り入れる。

取り上げた炉心の中性子エネルギースペクトルに関するパラメータとなる各炉心の $\beta_{\text{eff}}/\beta$ を表7に示す。

「グレーのマスクング範囲は不表示情報」

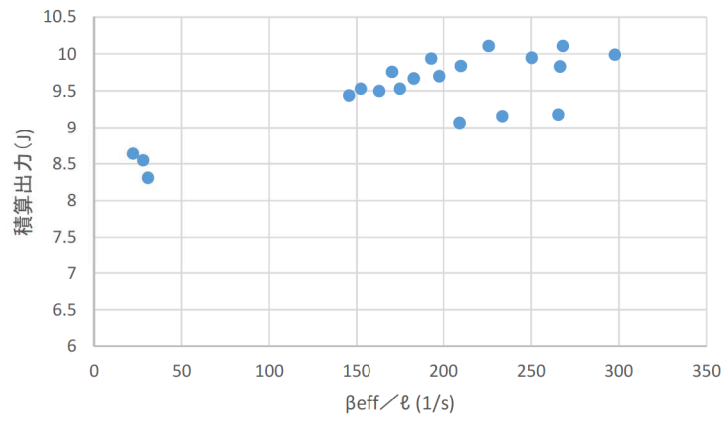


図7  $\beta_{eff}/\ell$ と積算出力

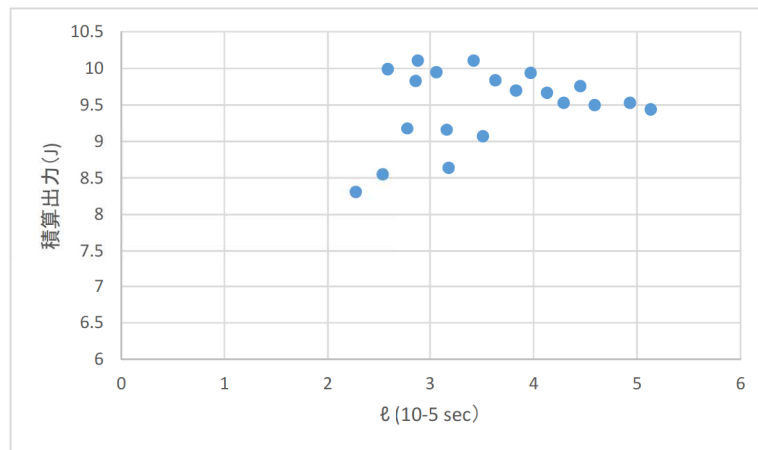


図8  $\ell$ と積算出力

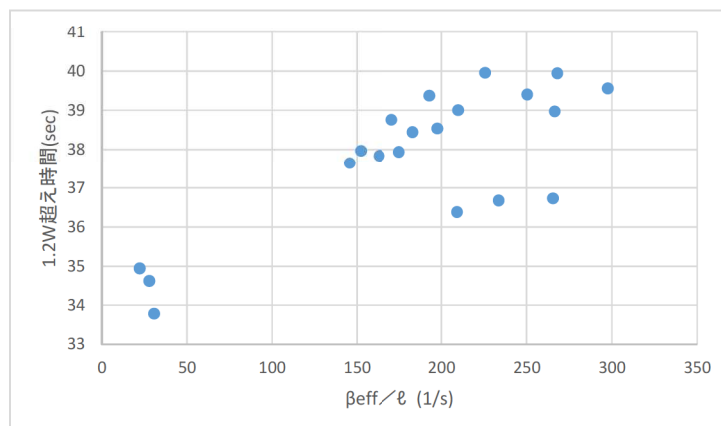


図9  $\beta_{eff}/\ell$ と1.2W 超過時間

「グレーのマスクング範囲は不表示情報」

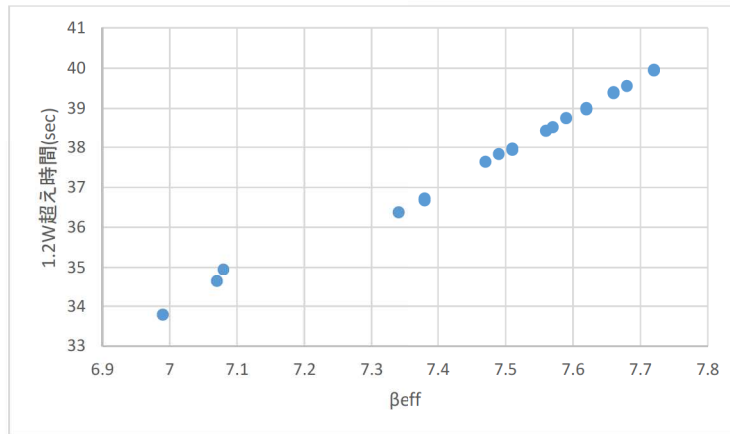


図 10  $\beta_{eff}$  と 1.2W 超過時間

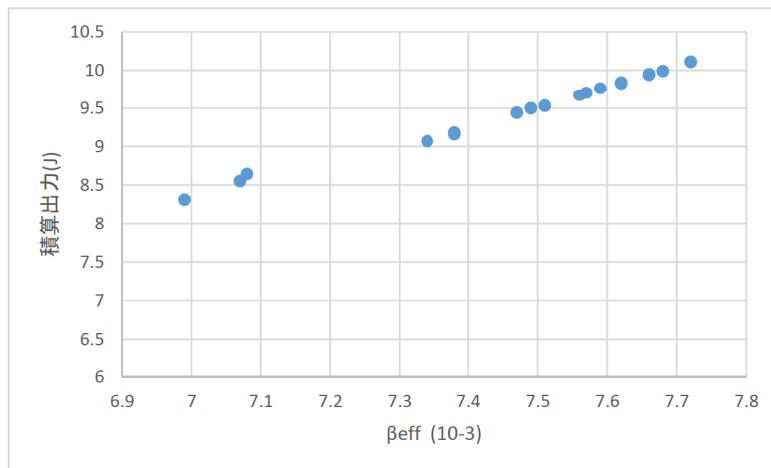
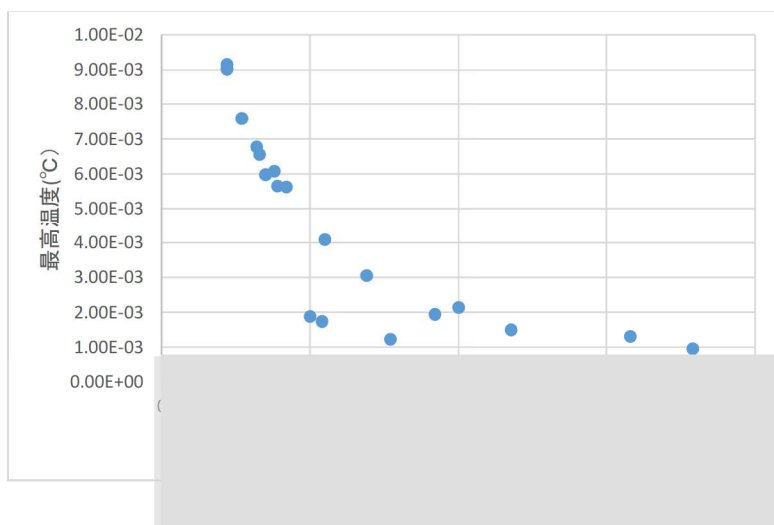


図 11  $\beta_{eff}$  と 積算出力



「グレーのマスクング範囲は不開示情報」

表7 固体減速炉心（低濃縮ウラン）の  $\beta_{eff}/\lambda$

種類	炉心名称	$\beta_{eff}/\lambda$ (1/s)	備考
燃料、ポ リエチ	L5. 92P	139. 5	H/U-235 = 400
	L5. 5P	145. 6	
	L5P	152. 3	
	L4P	170. 6	
	L3P	192. 9	
	L2P	225. 7	
	L1P	268. 1	
	LL1P	297. 7	
	LL0. 81P	305. 8	
燃料、天 然U、ポリ エチ	LN5P	163. 2	
	LNN5P	175. 1	
	LN4P	183. 1	
	LNN4P	197. 7	
	LN3P	209. 9	
	LLN3P	266. 4	
	LN2P	251. 1	
燃料、ト リウム、 ポリエチ	LLT5P	264. 0	
	LLT4P	233. 5	
	LLT3P	210. 3	
燃料、黒 鉛	<b><u>L3. 35</u></b>	<b><u>20. 6</u></b>	H/U-235 = 2500
	L3G	22. 3	
	L2G	27. 9	
	L1. 5G	32. 2	
	L1. 2G	36. 2	
燃料、ポ リエチレ ン 混在炉心	L3P(out)+L1P(in)	238. 9	
	L3P(in)+L1P(out)	211. 8	
	L5P(out)+LL1P(in)	199. 0	
	L5P(in)+LL1P(out)	191. 0	
	L5P(out)+LLL1P(in)	189. 8	
	L5P(in)+LLL1P(out)	195. 3	
	L5P(out)+LLLL1P(in)	183. 7	
	L5P(in)+LLLL1P(out)	199. 5	

## 6. 新規炉心の決定方法

KUCA において新しい炉心での実験を行う前には研究所の原子炉安全委員会での承認を受ける必要があるが、その新規炉心を決定するプロセスの流れを図 13、図 14 に、またその際に参考にする炉心構成に関する制限値を表 8 に示す。

このように決定した新規炉心の審査のために安全委員会に提出する資料を添付 1 に示す。

このようなプロセスにより実験前に確実に制限値を満足する炉心を構成することができることを確認している。さらに実験においては臨界近傍実験により安全を確認しながら徐々に燃料を増やして最終的に実験を行う炉心を構築し、さらに反応度測定実験により制御棒等の反応度が制限値を満足していることを確認した後に目的とした実験を実施している。

表 8 KUCA の炉心構成に関する制限値（保安規定の別表第 2 の 2 より）

事 項	制 限 値 等
最大過剰反応度 固体減速炉心 軽水減速炉心	0.35 %Δk/k 0.5 %Δk/k
反応度制御能力 制御棒 中心架台 ダンプ弁	過剰反応度プラス1%Δk/k 以上 最大の 1 本は、全体の1/3以下 1 %Δk/k 以上 1 %Δk/k 以上
反応度添加率	0.02 %Δk/k/s 以下（臨界近傍において）
減速材対燃料の割合	固体減速炉心のH / <sup>235</sup> U（ポリエチレン減速炉心） 原子数比 4.0×10 <sup>2</sup> 以下 固体減速炉心のC / <sup>235</sup> U（黒鉛減速炉心） 原子数比 1.6×10 <sup>4</sup> 以下 軽水減速炉心のH / <sup>235</sup> U 原子数比 4.0×10 <sup>2</sup> 以下
反応度温度係数	2.0×10 <sup>-4</sup> Δk/k/°C 以下
挿入物の反応度 照射試料 挿入管	0.5 %Δk/k 以下（絶対値として） 0.5 %Δk/k 以下（軽水減速炉心のみ）
燃料体の最大挿入量	固体減速炉心 濃縮ウラン [マスキング] (U-235量) 濃縮ウラン [マスキング] (U-235量) 天然ウラン [マスキング] トリウム [マスキング] 軽水減速炉心 濃縮ウラン [マスキング] (U-235量) 濃縮ウラン [マスキング] (U-235量)



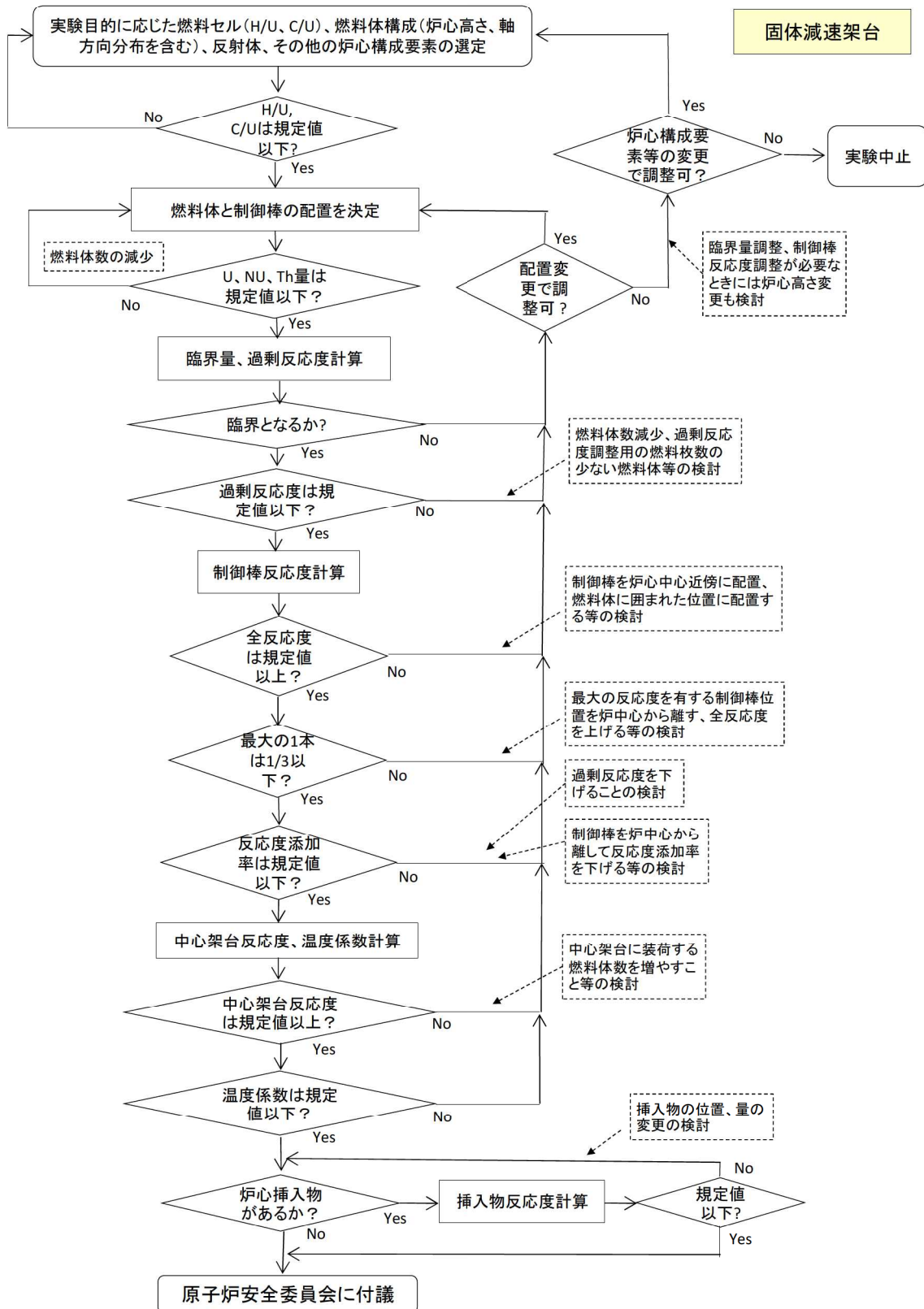


図 13 新規炉心決定のプロセス(固体減速架台)

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

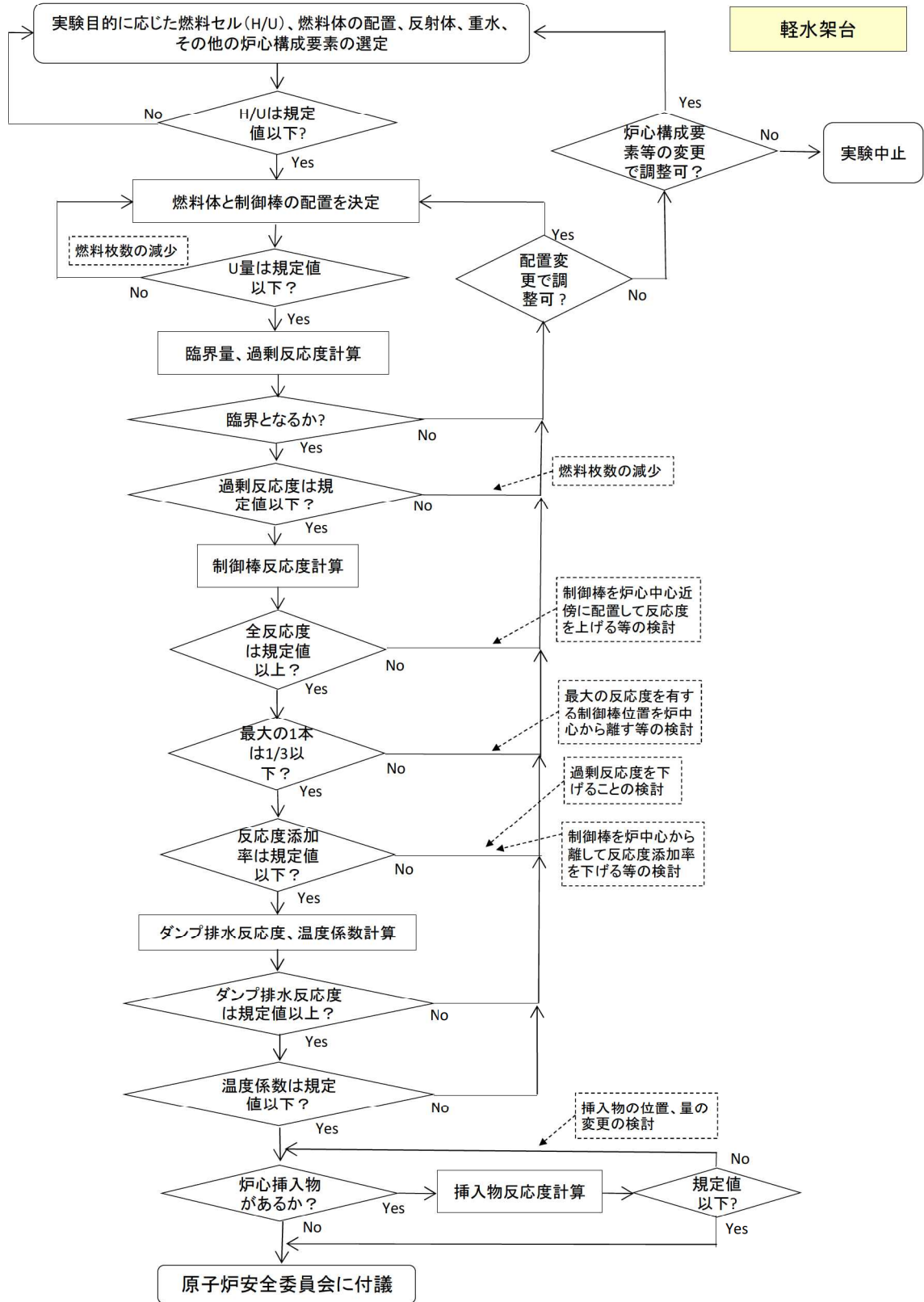


図 14 新規炉心決定のプロセス(軽水減速架台)

## 添付 1

研究所の原子炉安全委員会での新規炉心の審査資料（抜粋）

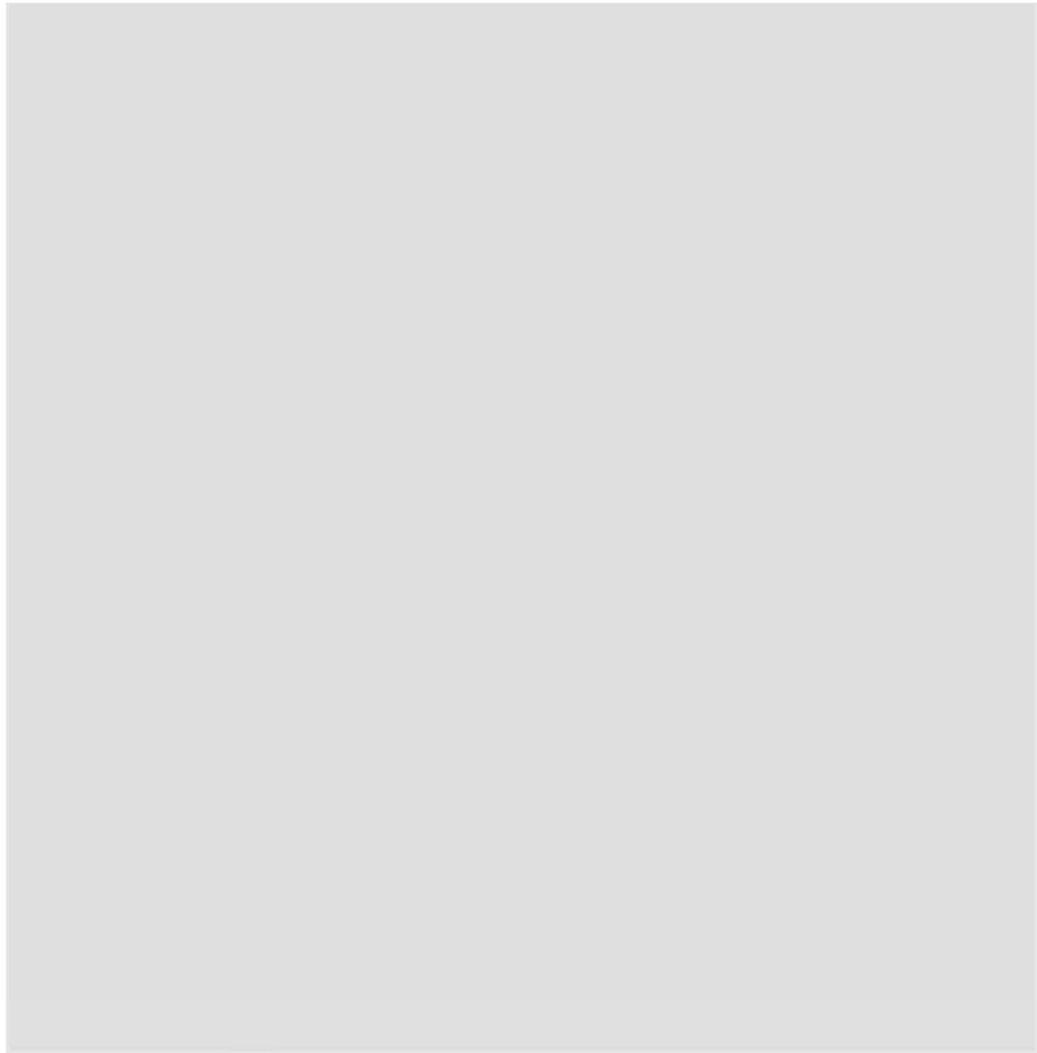
## 2. 核特性の事前解析について

核特性の事前解析は、モンテカルロ計算コード MVP3.0 および核データライブラリ JENDL-4.0 を使用し、 $3 \times 10^7$  のトータルヒストリ数で実施した。表 1 に解析結果を示す。表 1 に示すように、核特性計算の結果、本炉心は KUCA 核的制限値を満足していることを確認した。

表 1 事前解析結果

核特性		解析値	KUCA の核特性制限値
最大過剰反応度		$0.274 \pm 0.02 \text{ \%}\Delta k/k$	0.35 $\text{ \%}\Delta k/k$ 以下
最大反応度添加率		$0.0105 \text{ \%}\Delta k/k/\text{sec}$	0.02 $\text{ \%}\Delta k/k/\text{sec}$ 以下
制御棒価値	C1 (S4)	$0.272 \pm 0.03 \text{ \%}\Delta k/k$	1. 全制御棒価値が炉心の過剰反応度+1 $\text{ \%}\Delta k/k$ 以上 全制御棒価値（本炉心の場合） 2.522 $\text{ \%}\Delta k/k$
	C2 (S6)	$0.454 \pm 0.03 \text{ \%}\Delta k/k$	
	C3 (S5)	$0.535 \pm 0.03 \text{ \%}\Delta k/k$	
	合計	$(0.272 + 0.454 + 0.535) \times 2 = 2.522 \pm 0.05 \text{ \%}\Delta k/k$	2. 最大の 1 本が全体の 1/3 以下 (0.841 $\text{ \%}\Delta k/k$ 以下) 最大の 1 本（本炉心の場合） 0.535 $\text{ \%}\Delta k/k$
最大		$0.535 \pm 0.02 \text{ \%}\Delta k/k$	
中心架台反応度		$7.244 \pm 0.03 \text{ \%}\Delta k/k$	1% $\Delta k/k$ 以上
温度係数		$7.23\text{E-}05 \text{ }\Delta k/k/^\circ\text{C}$	$2.0\text{E-}04 \text{ }\Delta k/k/^\circ\text{C}$ 以下
H/U235		テスト領域：66 ドライバー領域：196	400 以下

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」



<b>F</b>	2/8"p27ETEE燃料体	<b>C</b>	Control rod
<b>D</b>	2/8"p49EU燃料体	<b>S</b>	Safety rod
<b>p</b>	2/8"p13EU燃料体	<b>N</b>	Neutron source
<b>Gr</b>	Carbon	<b>FC</b>	Fission chamber
	Polyethylene reflector (old)	<b>UC</b>	UIC detector

図1 B(2/8"p27ETEE+2/8"p49E(8))炉心の炉心配置図

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

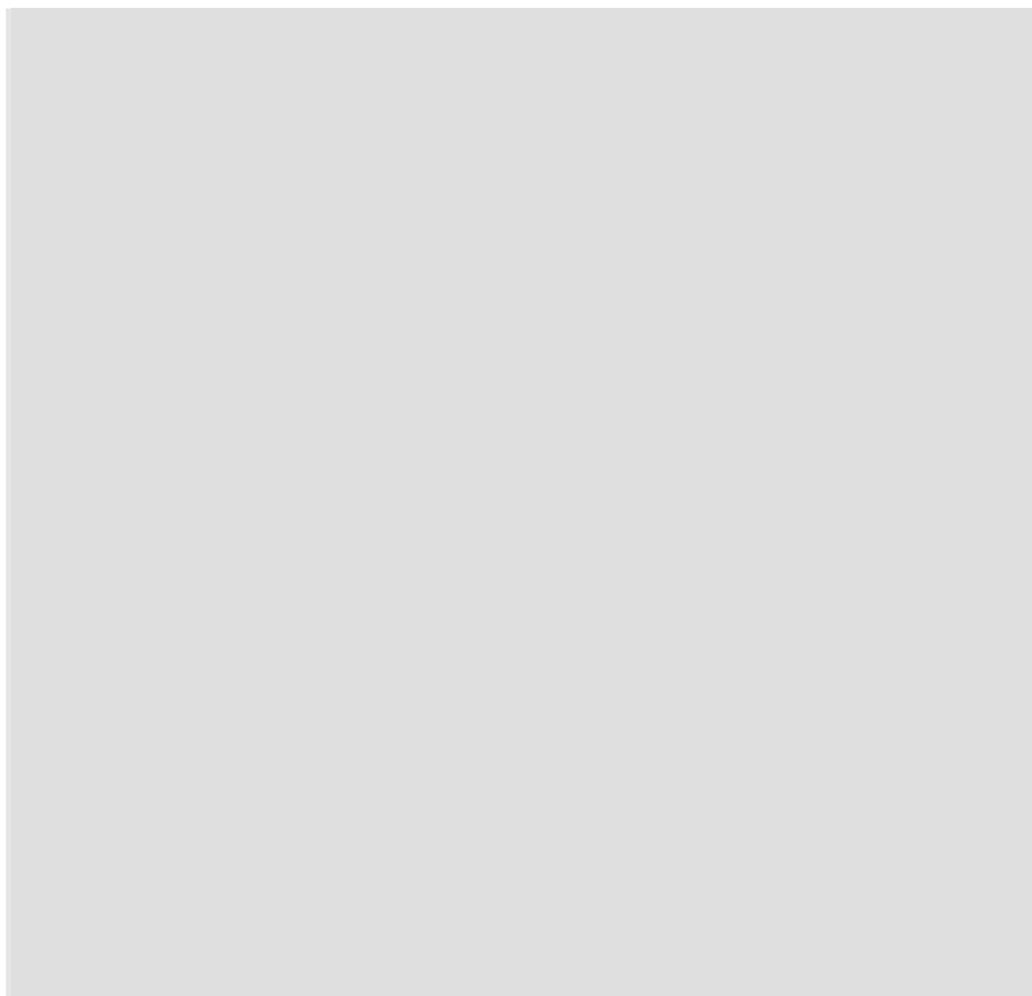


図 2 燃料体図

(追記)

燃料体 (F) の燃料領域高さ : 約 38.6cm、  
燃料体 (D) の燃料領域高さ : 約 38.9cm、