

2019年11月25日

第315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。

(指摘事項番号：25)

代表炉心において固体減速炉心で燃料領域高さを変更した炉心を検討すること。

### 1. 固体減速架台のポリエチレンを減速材とした炉心の燃料領域高さについて

燃料集合体は燃料セルを繰り返したものを燃料さや管(長さ約 1.5m)に挿入し、その上下に反射体を挿入したもので構成される。図 1 にその構成例を示す(この燃料領域高さは約 40.2cm)。

これまで KUCA での炉心構成では燃料領域高さはほとんどの場合約 40cm としていた。この理由は以下の通りである。

- 1) 制御棒の反応度校正曲線が燃料セルを変更してもほとんど同じ形であるため、制御棒操作においてこれまでの運転経験を生かすことができる。
- 2) 上下方向に十分な反射体領域を設けることができる。
- 3) 短くした場合には制御棒の反応度が低下すると共に、反応度印加率が規制値(表 7)を満足しない可能性がある。
- 4) 長くした場合には縦方向に細長の炉心になってしまうため、反射体の影響が大きくなり燃料セル固有の特性をもつ炉心が構成できなくなる(燃料セル固有の中性子スペクトルを持つ領域が狭くなり過ぎて炉物理実験を行う意味が薄れる)。

このような理由から、低濃縮ウラン燃料(以下、LU)を導入した後であっても炉心構成での燃料領域の高さは約 40cm を基本とする予定である。

上述のような理由で実施の可能性は非常に低いですが、燃料領域高さを変更した場合の炉心特性の変化についての検討を行う。

ここでは代表的な炉心として LU とポリエチレンのみを用いた炉心のうち中性子スペクトルの硬い LL1P 炉心、柔らかい L5.5P 炉心、中間の L3P 炉心(最も構成頻度が高いと思われる基本的な炉心)、および LU と天然ウランを用いた中性子スペクトルの硬い LN2P 炉心、柔

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

らかい LN5P 炉心を考える。

燃料領域の上下には従来通りポリエチレン反射体を設け、燃料領域周囲をポリエチレン反射体で囲む。6本の制御棒は燃料領域の周囲に配置する。

なお、ここでは特性の変化を調べるために、燃料装荷量の制限 (U-235 量 [マスキング]) を設けずに解析を行った。

燃料を構成する最小単位のセルの構成を炉心名称とする

- ・ L は低濃縮燃料板 [マスキング]、N は天然ウラン板 (約 1mm 厚)
- ・ L が繰り返されると重ねることを表す (LL は低濃縮燃料板を 2 枚重ねる)
- ・ P はポリエチレンを減速材として用いることを示し、数値は減速材の厚さで、ポリエチレン減速材のときは 1/8 インチ単位の厚さ (例えば 3 のときは 3/8 インチ厚さ) を示す

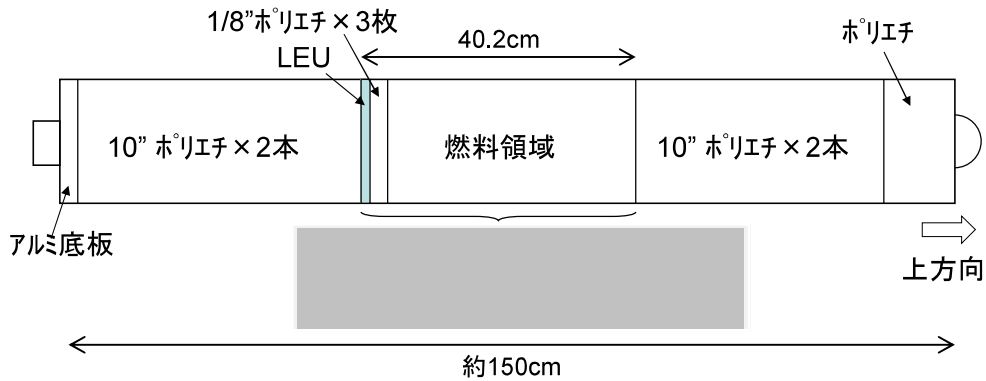


図1 燃料集合体の構成図の例 (L3 燃料セル)

表 1 固体減速炉心で燃料領域高さの変更

炉心名称	H/U-235 (-)	概略燃料高さ (cm)	燃料領域高さ (cm)	U-235 (kg)	$\beta_{\text{eff}}$ (-) <sup>a</sup>	$\ell$ (s) <sup>a</sup>	$\beta_{\text{eff}}/\ell$ (s <sup>-1</sup> )
L5.5P	372	30	30.5	[Redacted]	$7.47 \times 10^{-3}$	$5.14 \times 10^{-5}$	145.2
		40	40.4		$7.47 \times 10^{-3}$	$5.13 \times 10^{-5}$	145.5
		60	59.9		$7.45 \times 10^{-3}$	$5.19 \times 10^{-5}$	143.7
		80	77.2		$7.45 \times 10^{-3}$	$5.52 \times 10^{-5}$	142.9
		100	101.0		$7.42 \times 10^{-3}$	$5.32 \times 10^{-5}$	139.5
L3P	203	30	30.0		$7.67 \times 10^{-3}$	$3.91 \times 10^{-5}$	195.9
		40	40.4		$7.66 \times 10^{-3}$	$3.97 \times 10^{-5}$	193.0
		60	55.1		$7.64 \times 10^{-3}$	$4.05 \times 10^{-5}$	188.6
		80	77.8		$7.63 \times 10^{-3}$	$4.12 \times 10^{-5}$	185.3
		100	99.4		$7.60 \times 10^{-3}$	$4.27 \times 10^{-5}$	178.1
LL1P	34	30	30.0		$7.68 \times 10^{-3}$	$2.60 \times 10^{-5}$	295.5
		40	38.6		$7.68 \times 10^{-3}$	$2.58 \times 10^{-5}$	297.2
		60	60.8		$7.68 \times 10^{-3}$	$2.65 \times 10^{-5}$	289.9
		80	80.8		$7.64 \times 10^{-3}$	$2.91 \times 10^{-5}$	262.9
		100	98.0		$7.63 \times 10^{-3}$	$2.99 \times 10^{-5}$	255.6
LN5P	310	30	30.0	$7.50 \times 10^{-3}$	$4.59 \times 10^{-5}$	163.2	
		40	42.1	$7.49 \times 10^{-3}$	$4.59 \times 10^{-5}$	163.4	
		60	60.7	$7.48 \times 10^{-3}$	$4.62 \times 10^{-5}$	162.1	
		80	80.0	$7.47 \times 10^{-3}$	$4.70 \times 10^{-5}$	159.0	
		100	98.1	$7.46 \times 10^{-3}$	$4.71 \times 10^{-5}$	158.7	
LN2P	124	30	29.9	$7.66 \times 10^{-3}$	$3.09 \times 10^{-5}$	247.7	
		40	39.1	$7.66 \times 10^{-3}$	$3.06 \times 10^{-5}$	250.2	
		60	58.1	$7.64 \times 10^{-3}$	$3.19 \times 10^{-5}$	239.5	
		80	81.6	$7.64 \times 10^{-3}$	$3.17 \times 10^{-5}$	240.8	
		100	102.4	$7.62 \times 10^{-3}$	$3.30 \times 10^{-5}$	231.0	

a:  $\beta_{\text{eff}}$  実効遅発中性子割合、 $\ell$  中性子寿命

「グレーのマスクング範囲は不開示情報」

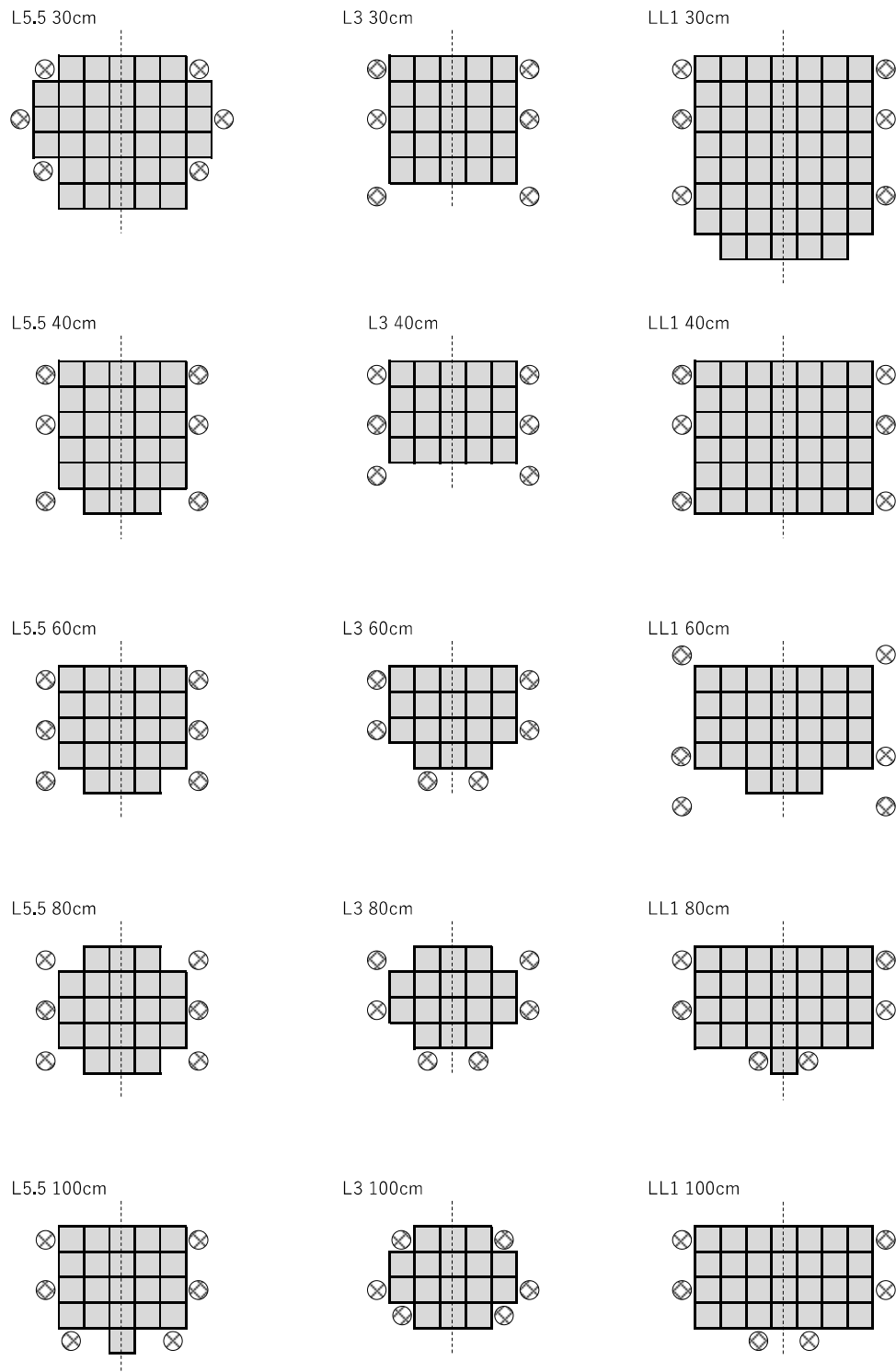


図2 燃料領域長さを変更した炉心の炉心配置図（1）  
（炉心名称と燃料領域長さ、丸は制御棒）

「グレーのマスキング範囲は不表示情報」

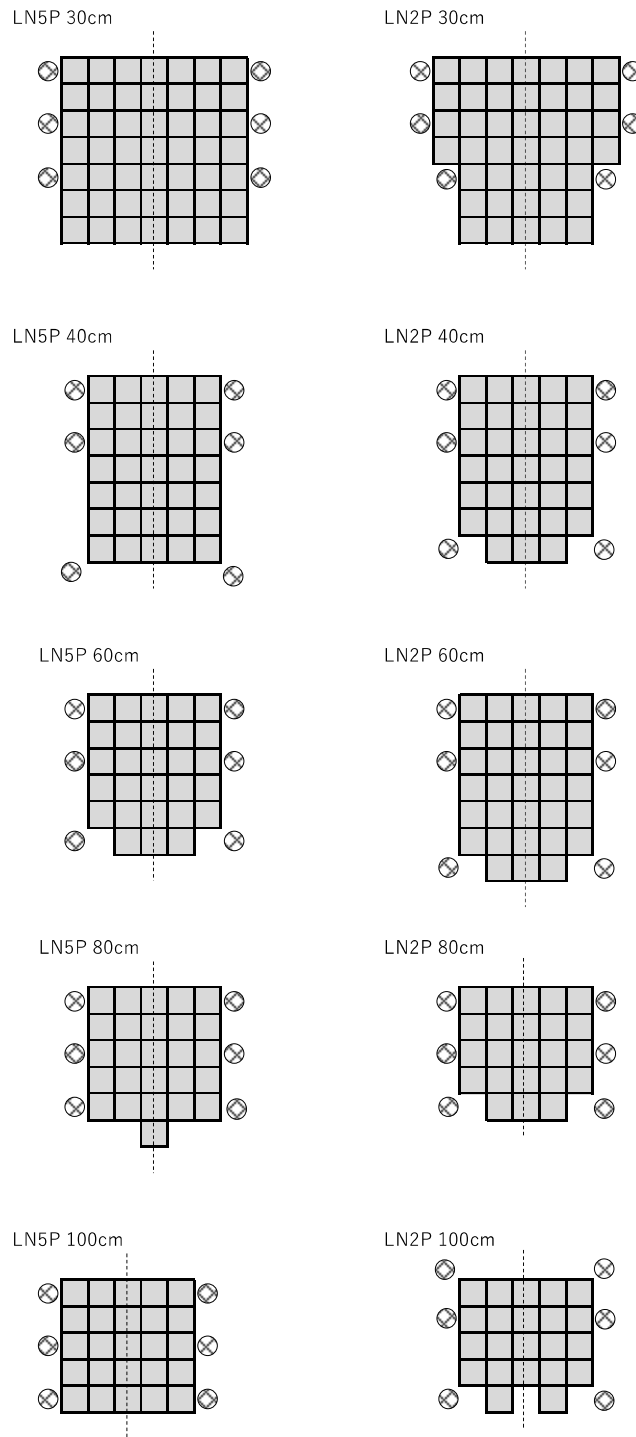


図3 燃料領域長さを変更した炉心の炉心配置図(2)

結果を表 1 に、各炉心の燃料体の配置を図 2、図 3 に示す。この結果より以下のようなことが判る。

- 1) 燃料領域高さが長くなると臨界量は増加する。これは炉心が細長くなるため炉心から中性子の漏洩量が増えるためと考えられる。
- 2) 炉心長が変更になったときの実効遅発中性子割合の変化量は最大でも約 0.9% (L3P 炉心) であり変化量は非常に小さい。
- 3) 炉心長が増加したとき中性子寿命はほとんどのケースで増加している(30cm から 40cm への変化で減少している場合があるが、この変化量のごく僅かで炉心特性にはほとんど影響しない)。これは炉心が細く長くなるため炉心から中性子の漏洩量が増え、反射体の影響が大きくなるためと考えられる。
- 4) 2) と 3) のため、炉心長が増加したとき動特性パラメータである  $\beta_{\text{eff}}/\lambda$  は小さくなる。その変化率は L5.5P 炉心で 4%、L3P 炉心で 10%、LL1P 炉心で 16%、LN5P 炉心で 3%、LN2P 炉心で 7%と、中性子スペクトルが硬い炉心のほうが変化割合は大きい。これは中性子スペクトルが硬い炉心のほうが反射体の影響を受けやすいためと考えられる。
- 5) 炉心長を通常の 40cm から 30cm と短い炉心の変更したとき、各炉心共に実効遅発中性子割合と中性子寿命の値は共にほとんど変化しないので過渡解析への影響はほとんど無視できると考えられる。
- 6) 炉心長を通常の 40cm から長い炉心の変更したとき、実効遅発中性子割合はほとんど変化しないが中性子寿命は若干増加する。そのため、例えば反応度添加時の過渡解析では出力の変化はごく僅か緩やかになるが、温度上昇等の結果にはほとんど影響を及ぼさないと考えられる。(9/30 の第 304 回審査会合資料で  $\beta_{\text{eff}}$  と  $\lambda$  を変化させたときの過渡解析結果を説明)

以上の結果より、炉心の燃料領域の長さを変化させたときの炉心特性への影響は非常に小さいため、今回取り上げた以外の炉心についても代表炉心として標準の燃料高さの炉心を取り上げることで問題ないと考えられる。

## 2. 固体減速架台の黒鉛を減速材とした炉心について

黒鉛を減速材とした炉心について、LU を用いた炉心の C/U-235 を表 3 に示す。低濃縮ウラン板を用いた炉心については、表 2 と同様に燃料体の最大挿入量の制限(U-235 量で 20kg)から表 3 の C/U-235 より値が小さな炉心は構成することができない。また、表 3 の C/U-235



「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

より値が大きな炉心については臨界とするために必要な燃料集合体数が多くなり、炉心を構成することが固体減速架台の 29 行×29 列の格子板内で十分な厚さの黒鉛反射体を持つ炉心を構成することができない。

黒鉛減速炉心は燃料領域高さを約 100cm としているが、これより長くすると燃料の上下に十分な厚さの黒鉛反射体を設けることができなくなる。またこれより短くすると燃料体数が増加してしまうため、ここではこの長さ 100cm の炉心を代表炉心として取り上げるが、ポリエチレン減速炉心の場合と同様に炉心長さを若干変更しても実効遅発中性子割合等の炉心特性に大きな影響を及ぼすことはない。

表 2 固体減速架台（低濃縮ウラン）炉心の C/U-235 と U-235 重量

炉心名称 <sup>a</sup>	C/U-235 (-)	U-235 (kg)
L3. 35	2500	
L3G	2236	
L2G	1490	
L1. 5G	1118	
L1. 2G	894	

### 3. 固体減速架台の制御棒反応度について

KUCA での核的制限値（表 7）として全制御棒値が「 $1(\% \Delta k/k) + \text{過剰反応度}(\% \Delta k/k)$ 」以上であることが規定されている。

代表的な炉心として LU とポリエチレンのみを用いた炉心領域長さ約 40cm の炉心について制御棒の全反応度値(6本の制御棒値の合計)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)。

各炉心の燃料体と制御棒の配置を図 4 に、解析結果を表 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、余剰反応度はゼロであるので全制御棒値は  $1(\% \Delta k/k)$  以上であることが求められるが、全制御棒値の解析結果はすべてこの核的制限値を満足している。

1. の炉心の燃料領域の長さを変更した場合の炉心についても同様に制御棒の反応度値の解析を行った。解析結果を表 4 に示す。これらの炉心についても核的制限値を満足している。

制御棒に関する核的制限値としては、全制御棒値の他に「最大の 1 本の全体の 1/3 以下」というものがある。例えば図 4 の L3P 炉心の場合、炉心中心に近い制御棒の反応度値が最も大きく、解析によるとその値は全体の 29%（全制御棒値  $1.73\% \Delta k/k$  に対して  $0.50\% \Delta k/k$ ）であり、この制限値を満足している。

この解析では臨界炉心となるような体系を対象としているが、実際にはある程度の余剰反応度がないと出力を上げることができないので、燃料体数の調整、燃料領域高さの調整、燃料枚数の異なる反応度調整用の燃料体の利用、制御棒の配置の変更などにより余剰反応度を調整する必要がある。

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

表 3 固体減速架台（低濃縮ウラン）炉心の全制御棒反応度

炉心名称	H/U-235	全制御棒反応度 (% $\Delta k/k$ )
L5.5P	372	1.14
L5P	338	1.23
L4P	270	1.27
L3P	203	1.73
L2P	135	2.15
L1P	68	4.00
LL1P	34	2.87

表 4 固体減速架台（低濃縮ウラン）炉心の全制御棒反応度  
(燃料領域の長さを変更した炉心)

炉心名称	炉心長 (概略値 cm)	全制御棒反応度 (% $\Delta k/k$ )
L5.5P	30	1.63
	60	1.49
	80	1.28
	100	2.57
L3P	30	1.37
	60	2.62
	80	2.54
	100	7.28
LL1P	30	2.61
	60	1.36
	80	9.66
	100	8.61

「グレーのマスキング範囲は不表示情報」

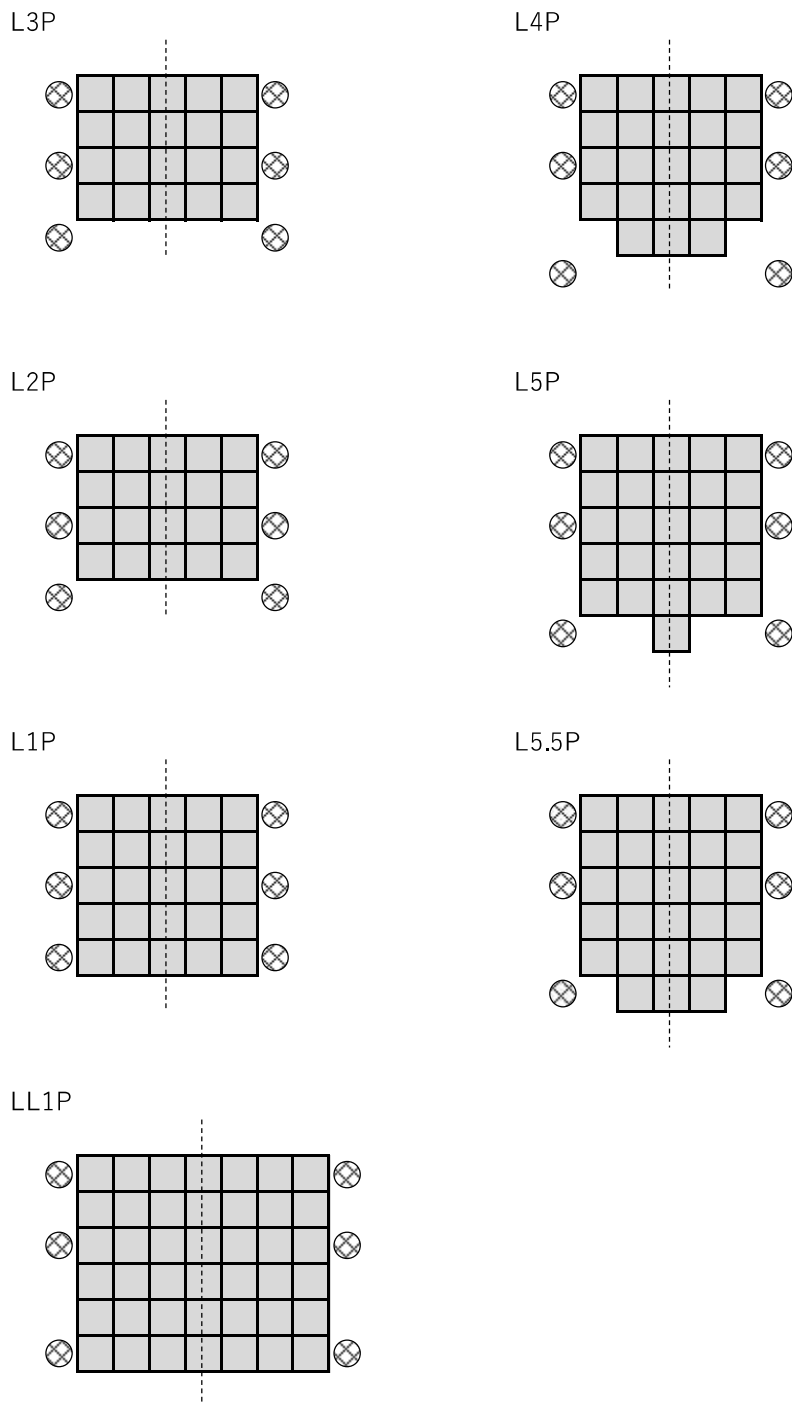


図 4 制御棒価値解析炉心の水平断面の炉心配置図  
(炉心名称と燃料領域長さ、丸は制御棒)

#### 4. 異なる燃料セルパターンの混在炉心について

燃料セルパターンが異なる燃料体が混在した炉心について検討する。

- ・ 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）とする。
- ・ 内側（in）に $3 \times 3 = 9$ 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。
- ・ 中性子スペクトルの柔らかい燃料体としてはL3PまたはL5Pとする。
- ・ 臨界体系として組むことができる中性子スペクトルの硬い炉心としては、現在保有しているポリエチレン板（最小厚さ1/16インチ）を使用したとき最もH/U-235の小さい炉心でLL1Pまでであるが、ここでは単独では臨界とすることができないLLL1P、LLLL1、LLLL0.5燃料体を用いる場合も考える。
- ・ 中性子スペクトルの柔らかい燃料体としてはL3PまたはL5Pとする。

結果を表5に、水平方向の金線反応率分布例を図5に、炉心配置を図6に示す  
この結果より以下のようなことがわかる。

- 1) L3P と L1P の比較的中性子スペクトルの似た燃料体を用いた場合、ゾーン型炉心の $\beta_{\text{eff}}/\ell$ の値は各燃料体を用いた単独炉心の $\beta_{\text{eff}}/\ell$ の値の中間付近の値となっている（L3P炉心： $\beta_{\text{eff}}/\ell = 192.9$ 、L1P炉心：268.1）。
- 2) H/U-235の小さな中性子スペクトルの硬いLL1P、LLL1P、LLLL1P、LLLL0.5などの燃料体と中性子スペクトルの柔らかいL5P燃料体を混在したとき、ゾーン型炉心の $\beta_{\text{eff}}/\ell$ の値はほとんど変化せず、L5P炉心での値（152.3）に近い値となっている。これはH/U-235の小さな燃料体での中性子束がL5P燃料体に比べて低く、中性子インポートランスも低いためと考えられる。すなわち、この場合の炉心特性はH/U-235の大きな燃料体（ドライバーとなる核分裂反応を起こしやすい燃料体）の特性でほぼ決まってしまう、H/U-235の小さな燃料体の特性は炉心の過渡解析の結果には表れてこないといえる。

この解析は異なる燃料体を混在させた場合であるが、仮に1つの燃料体の中に異なるパターンの燃料セルを混在させた場合についても同じような結果になると考えられる。

以上より、異なる燃料セルパターンの燃料体が混在した場合であっても、これまで解析対象としている単独で臨界となる燃料セルからなる炉心の特性の範囲から外れることはなく、例えば現在最も大きな $\beta_{\text{eff}}/\ell$ の炉心（LL0.82P炉心）より $\beta_{\text{eff}}/\ell$ の大きな炉心を構成することはできないと考えられる。

表5 混在炉心（固体減速炉心）（低濃縮ウラン）

炉心名称 <sup>a</sup>	炉心高さ (cm)	U-235 (kg)	$\beta_{\text{eff}}$ (-)	$\ell$ (s)	$\beta_{\text{eff}}/\ell$ (1/s)
L3P(out)+L1P(in)	39.7		$7.73 \times 10^{-3}$	$3.23 \times 10^{-5}$	238.9
L3P(in)+L1P(out)	38.0		$7.69 \times 10^{-3}$	$3.63 \times 10^{-5}$	211.8
L5P(out)+LL1P(in)	39.9		$7.60 \times 10^{-3}$	$3.82 \times 10^{-5}$	199.0
L5P(in)+LL1P(out)	38.0		$7.60 \times 10^{-3}$	$3.98 \times 10^{-5}$	191.0
L5P(out)+LLL1P(in)	41.1		$7.63 \times 10^{-3}$	$4.02 \times 10^{-5}$	189.8
L5P(in)+LLL1P(out)	39.9		$7.65 \times 10^{-3}$	$3.92 \times 10^{-5}$	195.3
L5P(out)+LLLL1P(in)	39.8		$7.62 \times 10^{-3}$	$4.15 \times 10^{-5}$	183.7
L5P(in)+LLLL1P(out)	39.7		$7.67 \times 10^{-3}$	$3.84 \times 10^{-5}$	199.5
L5P(out)+LLLL0.5P(in)	39.9		$7.63 \times 10^{-3}$	$4.12 \times 10^{-5}$	185.2
L5P(in)+LLLL0.5P(out)	44.8		$7.68 \times 10^{-3}$	$3.70 \times 10^{-5}$	207.7

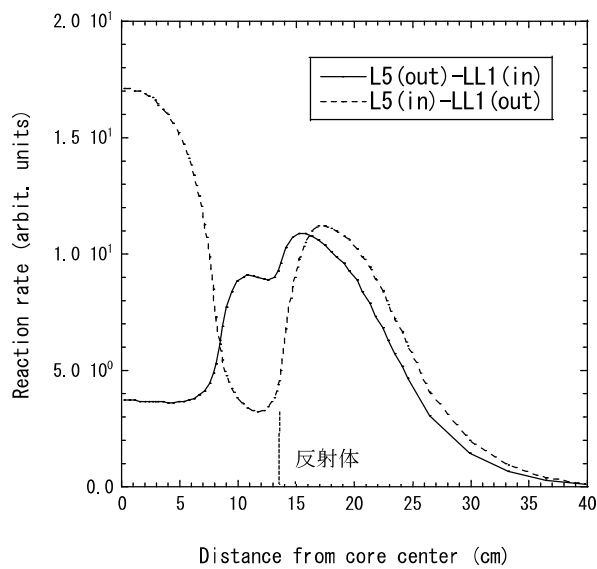


図5 異なる燃料体混在炉心の水平方向の金線反応率分布  
(図6のy方向は内部ゾーン中心、z方向は中央)

「グレーのマスキング範囲は不表示情報」

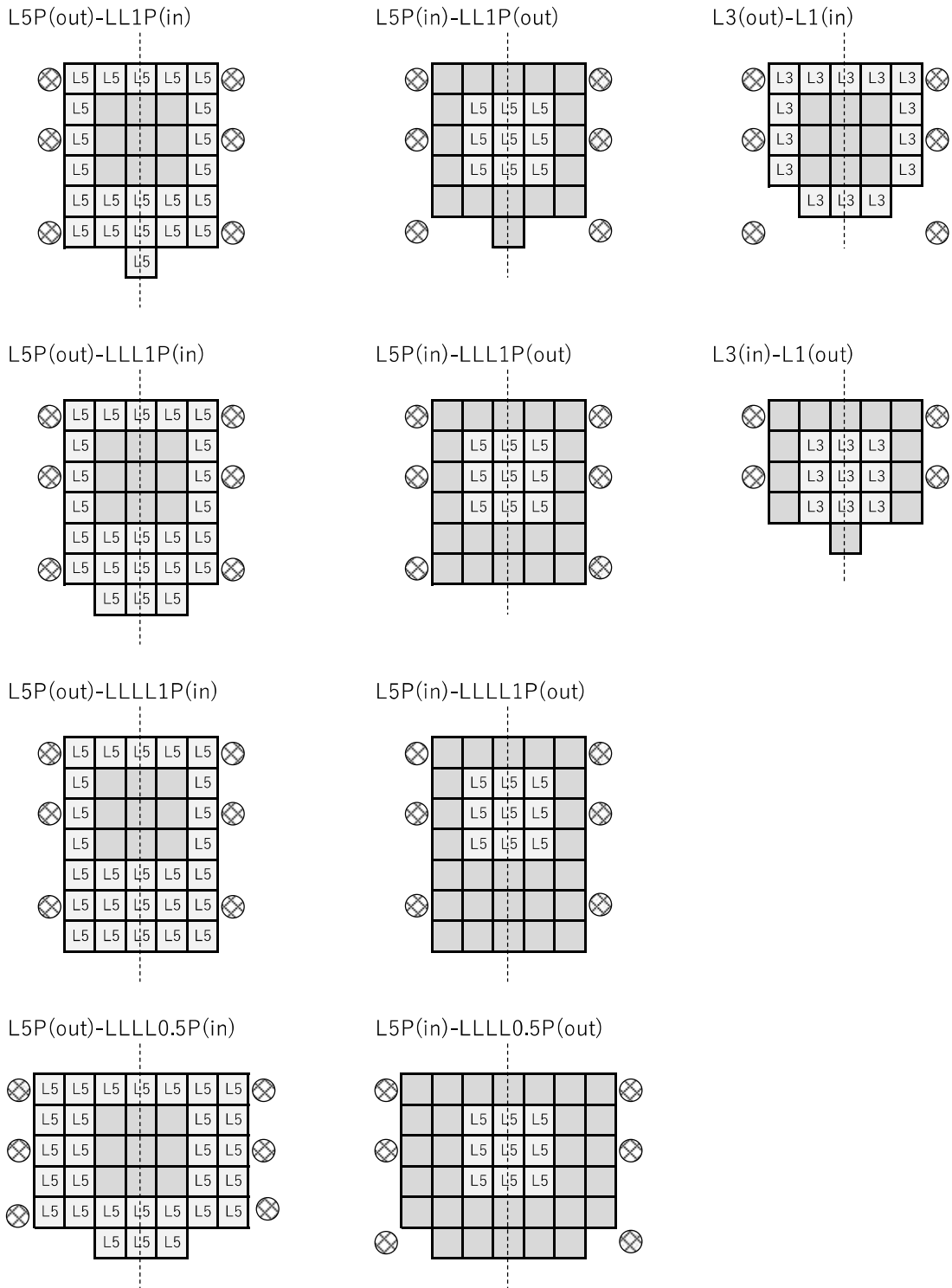


図6 異なる燃料体混在炉心の水平断面の炉心配置図  
 (L3、L5の記載の無い燃料体は、もう一方のスペクトルの硬い燃料体)

## 5. 代表炉心の選定について

### 5.1 固体減速炉心

- ・減速材は設置変更承認申請書(以下、申請書)に記載の通り、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、高濃縮ウラン (EU) 炉心、低濃縮ウラン (LU) 炉心ともに申請書に以下の原子数比を制限値としている。(表 6、7)

H/U-235 の原子数比  $4.0 \times 10^2$  以下

C/U-235 の原子数比  $1.6 \times 10^4$  以下

- ・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を考える。
- ・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。
- ・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、図 1 に示すように燃料領域(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。
- ・炉心を構成する条件として燃料体の周囲、および上下に反射領域を設けることを設置変更申請書に記載する。(なお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。)
- ・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。
- ・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  $3 \times 3 = 9$  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。

- 表 6 に固体減速架台の各炉心の  $\beta_{\text{eff}}/\ell$  の値を示す。
- 図 7 に代表的な L1, L3, L5.5 炉心の水平方向の金線反応率分布を示す。

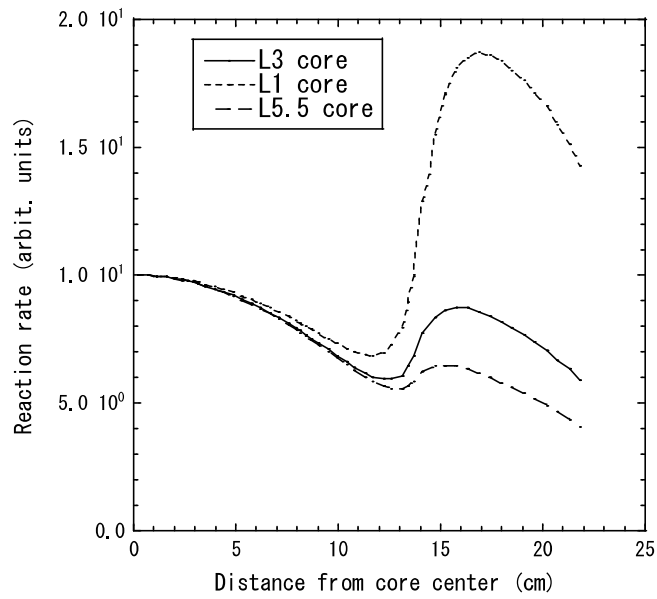


図 7 L1, L3, L5.5 炉心の水平方向の金線反応率分布  
(y 方向、z 方向は炉心中央)

## 5.2 軽水減速炉心について

- 燃料平板と減速材との組合せ方法としては、EU 炉心、LU 炉心ともに申請書に以下の原子数比を制限値としている。

H/U-235 の原子数比  $4.0 \times 10^2$  以下

- 燃料集合体については燃料平板のピッチが約 3.0 mm、約 3.5 mm、約 4.5 mmのもの(既存の燃料集合体)を考え、これまで最も使用頻度が高い約 3.5 mmピッチの炉心を代表炉心とする。ただし、異なる燃料板ピッチの炉心を新たに製作することを考えて、それ以外のピッチの炉心についても取り上げる。
- 燃料集合体の配置は3列から6列を考える。(約 3.5 mmピッチの炉心について)
- 2分割炉心として、ギャップに軽水がある場合と重水がある場合について幾つかの分割幅の炉心を代表炉心として取り上げる。
- 「燃料体の最大挿入量」の U-235 重量の制限値以下で臨界とすることができる炉心を考える。
- 代表炉心として、2種類の異なるピッチの燃料集合体を並べた炉心も取り上げる。

表6 固体減速炉心（低濃縮ウラン）の  $\beta_{\text{eff}}/\ell$

種類	炉心名称	$\beta_{\text{eff}}$ (-)	$\ell$ (s)	$\beta_{\text{eff}}/\ell$ (1/s)
燃料、ポリエチレン	L5.92P	$7.44 \times 10^{-3}$	$5.33 \times 10^{-5}$	139.5
	L5.5P	$7.47 \times 10^{-3}$	$5.13 \times 10^{-5}$	145.6
	L5P	$7.51 \times 10^{-3}$	$4.93 \times 10^{-5}$	152.3
	L4P	$7.59 \times 10^{-3}$	$4.45 \times 10^{-5}$	170.6
	L3P	$7.66 \times 10^{-3}$	$3.97 \times 10^{-5}$	192.9
	L2P	$7.72 \times 10^{-3}$	$3.42 \times 10^{-5}$	225.7
	L1P	$7.72 \times 10^{-3}$	$2.88 \times 10^{-5}$	268.1
	LL1P	$7.68 \times 10^{-3}$	$2.58 \times 10^{-5}$	297.7
	LL0.81P	$7.66 \times 10^{-3}$	$2.50 \times 10^{-5}$	305.8
燃料、天然U、ポリエチレン	LN5P	$7.49 \times 10^{-3}$	$4.59 \times 10^{-5}$	163.2
	LNN5P	$7.51 \times 10^{-3}$	$4.29 \times 10^{-5}$	175.1
	LN4P	$7.56 \times 10^{-3}$	$4.13 \times 10^{-5}$	183.1
	LNN4P	$7.57 \times 10^{-3}$	$3.83 \times 10^{-5}$	197.7
	LN3P	$7.62 \times 10^{-3}$	$3.63 \times 10^{-5}$	209.9
	LLN3P	$7.62 \times 10^{-3}$	$2.86 \times 10^{-5}$	266.4
	LN2P	$7.66 \times 10^{-3}$	$3.06 \times 10^{-5}$	251.1
燃料、トリウム、ポリエチレン	LLT5P	$7.34 \times 10^{-3}$	$3.51 \times 10^{-5}$	264.0
	LLT4P	$7.38 \times 10^{-3}$	$3.16 \times 10^{-5}$	233.5
	LLT3P	$7.38 \times 10^{-3}$	$2.78 \times 10^{-5}$	210.3
燃料、黒鉛	L3.35G	$7.05 \times 10^{-3}$	$3.42 \times 10^{-4}$	22.3
	L3G	$7.08 \times 10^{-3}$	$3.18 \times 10^{-4}$	22.3
	L2G	$7.07 \times 10^{-3}$	$2.53 \times 10^{-4}$	27.9
	L1.5G	$6.99 \times 10^{-3}$	$2.27 \times 10^{-4}$	32.2
	L1.2G	$7.00 \times 10^{-3}$	$1.95 \times 10^{-4}$	36.2
燃料、ポリエチレン混在炉心	L3P(out)+L1P(in)	$7.73 \times 10^{-3}$	$3.23 \times 10^{-5}$	238.9
	L3P(in)+L1P(out)	$7.69 \times 10^{-3}$	$3.63 \times 10^{-5}$	211.8
	L5P(out)+LL1P(in)	$7.60 \times 10^{-3}$	$3.82 \times 10^{-5}$	199.0
	L5P(in)+LL1P(out)	$7.60 \times 10^{-3}$	$3.98 \times 10^{-5}$	191.0
	L5P(out)+LLL1P(in)	$7.63 \times 10^{-3}$	$4.02 \times 10^{-5}$	189.8
	L5P(in)+LLL1P(out)	$7.65 \times 10^{-3}$	$3.92 \times 10^{-5}$	195.3
	L5P(out)+LLLL1P(in)	$7.62 \times 10^{-3}$	$4.15 \times 10^{-5}$	183.7
	L5P(in)+LLLL1P(out)	$7.67 \times 10^{-3}$	$3.84 \times 10^{-5}$	199.5

表 7 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（濃縮度約93%） 20kg（U-235量） 濃縮ウラン（濃縮度20%未満） 20kg（U-235量） 天然ウラン 500kg トリウム 500kg 軽水減速炉心 濃縮ウラン（濃縮度約93%） 10kg（U-235量） 濃縮ウラン（濃縮度20%未満） 15kg（U-235量）

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
燃料集合体の装填位置	中心架台に 1 体以上の燃料集合体が装填されていること。ただし、炉心の過剰反応度が負の場合は除く
固体減速炉心の燃料集合体等の構成	燃料集合体、減速材及び反射材及びその他さや管は、さや管の上下に厚さ 5cm 以上の黒鉛若しくは金属が装填されていること。ただし、空さや管あるいは検出器等の挿入孔のある集合体等で設置できない場合は除く
固体減速炉心の炉心配置	炉心を囲む最低 1 層は黒鉛若しくは金属を装填したさや管で囲むこと。ただし、中性子発生装置のターゲット付近は除く

この「炉心構成に関する制限値」に燃料体の周囲、および上下に反射体を設置することを記載する。

(以上)