

2020年5月15日  
京大 KUCA ヒアリング資料

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

【最大挿入量】

燃料の最大挿入量について

「第 343 回核燃料施設等の新規制基準適合性に係る審査会合」(2020 年 3 月 16 日)の資料 (p 24、表 1) においてにおいて固体減速架台の代表炉心の臨界量について説明した。また、「第 348 回核燃料施設等の新規制基準適合性に係る審査会合」(2020 年 4 月 20 日) (以下、前回審査会合と呼ぶ) の資料 (p 3~4、表 1) においてにおいて軽水減速架台の代表炉心の臨界量について説明した。

これらの表中の U-235 重量は臨界炉心での値であるので、最大過剰反応度 (固体減速炉心で 0.35%  $\Delta k/k$ 、軽水減速炉心で 0.5%  $\Delta k/k$ ) を持つ炉心での U-235 重量を表 1、表 2 に示す。

臨界炉心と最大過剰反応度炉心の U-235 重量の差は固体減速炉心、軽水減速炉心ともに最大でも [ ] [ ] であり、後述する臨界質量の解析精度を考慮しても基準値 [ ] [ ] [ ] を満足している。

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

表1 代表炉心のU-235重量等（軽水減速炉心）

炉心名称	H/ <sup>235</sup> U	列	臨界炉心			$\rho = 0.5\% \Delta k/k$ 炉心		
			炉心長さ (cm) <sup>b</sup>	U-235 (kg)	燃料板枚 数 <sup>c</sup>	炉心長さ (cm) <sup>b</sup>	U-235 (kg)	燃料板枚 数 <sup>c</sup>
C30G0	80	4	41.6			41.7		
		5	31.6			32.3		
C35G0	109	4	34.4			35.2		
		5	27.7			28.4		
C45G0	167	4	31.3			32.0		
		5	25.6			26.1		
C60G0	247	4	32.9			33.7		
		5	26.7			27.2		
C45G(2H <sub>2</sub> O)	167	4	30.1			30.9		
C45G(5H <sub>2</sub> O)			38.8			40.0		
C45G(6H <sub>2</sub> O)			43.0			44.3		
C45G(7H <sub>2</sub> O)			47.0			48.4		
C45G(10H <sub>2</sub> O)			55.3			56.8		
C45G(15H <sub>2</sub> O)			60.5			62.0		
C45G(2H <sub>2</sub> O)		5	24.1			24.7		
C45G(4H <sub>2</sub> O)			27.4			28.1		
C45G(5H <sub>2</sub> O)			30.4			31.8		
C45G(6H <sub>2</sub> O)			33.7			34.6		
C45G(7H <sub>2</sub> O)			36.9			37.4		
C45G(10H <sub>2</sub> O)			44.2			45.2		
C45G(15H <sub>2</sub> O)			49.2			50.2		
C60G(2H <sub>2</sub> O)			247	4	33.7			34.3
C60G(5H <sub>2</sub> O)	43.9					45.3		
C60G(7H <sub>2</sub> O)	52.0					53.5		
C60G(10H <sub>2</sub> O)	59.4					61.1		
C60G(15H <sub>2</sub> O)	64.0					65.6		

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

C60G(2H <sub>2</sub> O)			26.5		292	27.1	4.3	
C60G(5H <sub>2</sub> O)			34.1		376	35.0	5.5	
C60G(7H <sub>2</sub> O)		5	40.7		448	41.7	6.5	
C60G(10H <sub>2</sub> O)			47.3		521	48.4	7.6	
C60G(15H <sub>2</sub> O)			51.7		569	52.7	8.3	

a : 炉心名称について

- C の後の数値は燃料板ピッチ (35 は 3.5 mmピッチ)
- G の後に括弧があるときは 2 分割炉心で、括弧内の数値は炉心間距離を cm 単位で示し、その後に炉心間の物質名 (ここでは軽水 H<sub>2</sub>O) を示す
- G の後の数値が 0 のときは単一炉心

b : 炉心長さは各燃料フレーム列に装荷する燃料板の長さ(2 分割炉心は 2 つの炉心長さの和)

c : 臨界となる炉心サイズから算出した燃料板枚数 (小数点以下は四捨五入)

表 2 代表炉心の U-235 重量および制御棒反応度価値 (固体減速炉心)

炉心名称	H/ <sup>235</sup> U (-)	炉心高 (cm)	$\rho$ 調整用 燃料長 (cm) <sup>4)</sup>	U-235 (kg)	反射体 節約 (cm)	全反応度 (% $\Delta$ k/k)	最大反応度 (% $\Delta$ k/k) (割合 %) <sup>1)</sup>	最大反応度 添加率 <sup>2)</sup> (% $\Delta$ k/k/s)
L5.5P-50	372	50.9	12.1	[マスキング]	5.7	1.71	0.47 (28)	0.0126
L5.5P-40		41.8	21.6		5.8	1.98	0.43 (22)	0.0136
L5.5P-30		30.8	20.5		5.9	1.68	0.40 (24)	0.0157
L4P-50	270	49.7	11.2		6.0	3.17	0.58 (18)	0.0157
L4P-40		39.5	<u>5.5</u>		6.1	2.22	0.45 (20)	0.0145
L4P-30		30.7	24.0		6.2	1.94	0.40 (20)	0.0153
L3P-50	203	51.4	5.9		6.1	1.86	0.52 (28)	0.0136
L3P-40		39.8	13.2		6.2	2.52	0.48 (19)	0.0155
L3P-30		30.5	9.8		6.2	1.65	0.37 (22)	0.0143
L2P-50	135	48.1	12.0		6.2	2.35	0.59 (25)	0.0158
L2P-40		39.0	5.0		6.9	1.75	0.43 (25)	0.0136
L2P-30		30.7	<u>8.1</u>		6.9	2.10	0.38 (18)	0.0141
L1P-50	68	47.7	19.7	7.9	2.04	0.44 (22)	0.0115	
L1P-40		38.2	6.3	8.5	1.96	0.49 (25)	0.0149	
L1P-30		29.2	7.7	9.0	2.00	0.39 (20)	0.0139	
LL1P-50	34	49.7	11.7	10.7	4.01	0.65 (16)	0.0154	
LL1P-40		38.4	8.7	11.6	1.96	0.58 (29)	0.0157	
LL1P-30		30.0	14.5	12.5	2.10	0.51 (24)	0.0154	

1) 括弧内の数値は全反応度に対する割合 (%)

2) 炉心中心高さ位置での反応度添加率

3) 下線を付けた炉心については調整用燃料を 2 体使用した。それ以外の炉心は 1 体使用。

【フィッティング範囲】

外挿距離を求めるための中性子束分布のフィッティング範囲について

制御棒校正曲線（S字曲線）の高さ方向の長さを決めるための反射体節約の値は各炉心ごとに高速群の中性子束分布を最小自乗法によりコサイン関数にフィッティングして求めた。

前回審査会合資料ではフィッティング範囲を明記していなかったため、その範囲を明記したものを表3、表4に示す。

表3 フィッティング範囲と反射体節約（軽水減速炉心）

炉心	列数	フィッティング幅		
		■	■	■
C30G0	4	9.3±0.02	9.2±0.02	9.1±0.05
	5	9.3±0.01	9.2±0.02	9.2±0.06
C35G0	4	8.6±0.01	8.5±0.02	8.4±0.06
	5	8.5±0.01	8.4±0.02	8.4±0.05
C45G0	4	7.8±0.01	7.7±0.02	7.7±0.05
	5	7.8±0.01	7.7±0.02	7.7±0.05
C60G0	4	7.3±0.01	7.3±0.02	7.2±0.05
	5	7.3±0.01	7.3±0.02	7.2±0.04

反射体節約の値の単位は cm

フィッティング範囲は以下の通り



(対象とする位置に近いメッシュ点での値を用いているので「約」を付けている)

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

表4 フィッティング範囲と反射体節約（固体減速炉心）

炉心	高さ (cm)	フィッティング範囲			
L-5.5P	50.9	5.7±0.01	5.7±0.02		
	41.8		5.8±0.01	5.7±0.04	
	30.8			5.9±0.02	5.9±0.04
L-4P	49.7	6.0±0.01	5.9±0.02		
	39.5		6.1±0.01	6.1±0.04	
	30.7			6.2±0.02	6.2±0.04
L-3P	51.4	6.1±0.01	6.2±0.02		
	39.8		6.2±0.02	6.1±0.05	
	30.5			6.2±0.02	6.2±0.03
L-2P	48.1	6.2±0.01	6.1±0.02		
	39.0		6.9±0.01	6.7±0.04	
	30.7			6.9±0.02	7.0±0.04
L-1P	47.7	7.9±0.01	7.6±0.03		
	38.2		8.5±0.02	8.2±0.05	
	29.2			9.0±0.03	8.9±0.05
LL-1P	49.7	10.7±0.02	10.4±0.04		
	38.4		11.6±0.02	11.1±0.05	
	30.0			12.5±0.04	12.3±0.07

フィッティング範囲の中心は炉心高さ中央、反射体節約の値の単位は cm

【最大反応度を有する制御棒についての制限】

制御棒反応度の最大の1本の確認について

KUCAの核的制限値として、「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」と記載されており、この制御棒反応度の誤差を考慮したとき、この核的制限値を満足することの確認について前回審査会合の資料にて説明したが、その補足を含めて再度説明する。

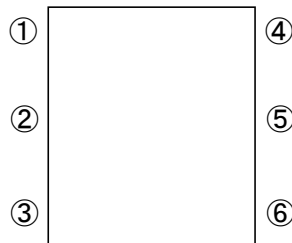


図1 炉心配置 (①～⑥は制御棒)

図-1のように炉心の周囲に6本の制御棒 (①～⑥) が配置されているとする。ただし炉心および制御棒配置は図面の水平方向に対して対称であるとする。

対称性より制御棒の反応度は

$$\rho_1 = \rho_4, \quad \rho_2 = \rho_5, \quad \rho_3 = \rho_6$$

となる (下付添え字は制御棒の番号)。

各制御棒反応度の誤差は  $|\delta\rho_i| = r \rho_i$  ( $i=1\sim6$ ) であるとする。ここで  $r$  は反応度の誤差割合であり、今回の評価では  $r=0.18$  とする。

最大反応度を持つ制御棒は②であるとして、

$$\rho_{total} = 2 \times \sum_{i=1}^3 \rho_i, \quad \rho_2 = \max(\rho_1, \rho_2, \rho_3)$$

とおき、

$$f = \frac{\rho_2}{\rho_{total}}$$

を考える。(核的制限値として  $f$  は 1/3 以下であることが規定されている)

各制御棒の誤差は独立であるとする  $f$  の誤差は以下のように書き表すことができる。



「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

$$(df)^2 = \sum_{i=1}^3 \left( \frac{\partial f}{\partial \rho_i} \right)^2 (\delta \rho_i)^2 = r^2 \sum_{i=1}^3 \left( \frac{\partial f}{\partial \rho_i} \right)^2 \rho_i^2$$

各微分項は

$$\frac{\partial f}{\partial \rho_1} = \frac{\partial f}{\partial \rho_3} = \frac{-\rho_1}{2(\rho_1 + \rho_2 + \rho_3)^2} = -\frac{2 \times f}{\rho_{\text{total}}}$$

$$\frac{\partial f}{\partial \rho_2} = \frac{\rho_1 + \rho_3}{2(\rho_1 + \rho_2 + \rho_3)^2} = \frac{2}{\rho_{\text{total}}^2} (\rho_1 + \rho_3)$$

となるので、

$$(df)^2 = 2 r^2 f^2 \frac{\rho_1^2 + \rho_3^2 + \rho_1 \rho_3}{(\rho_1 + \rho_2 + \rho_3)^2}$$

と書くことができる。従って、比率  $f$  の誤差は以下ようになる。

$$|df| = \sqrt{2} r f \frac{\sqrt{\rho_1^2 + \rho_3^2 + \rho_1 \rho_3}}{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3}$$

ここで、

$$a = \frac{\rho_1}{\rho_2}, \quad b = \frac{\rho_3}{\rho_2}$$

と置くと、比率  $f$  の誤差  $df$  は以下のように書き表される。

$$|df| = \sqrt{2} r \frac{\rho_2}{2(\rho_1 + \rho_2 + \rho_3)} \frac{\sqrt{\rho_1^2 + \rho_3^2 + \rho_1 \rho_3}}{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3}$$

$$= \frac{r}{\sqrt{2}} \frac{1}{\left( \frac{\rho_1}{\rho_2} + \frac{\rho_3}{\rho_2} + 1 \right)^2} \sqrt{\left( \frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^2 + \left( \frac{\rho_3}{\rho_2} \right)^2 + \frac{\rho_1 \rho_3}{\rho_2^2}}$$

$$= \frac{r}{\sqrt{2}} \frac{1}{(a+b+1)^2} \sqrt{a^2 + b^2 + ab}$$

ここで、核的制限値より比率  $f$  は  $1/3$  以下であるので以下の不等式が成り立つ。

$$f = \frac{\rho_2}{2(\rho_1 + \rho_2 + \rho_3)} = \frac{1}{2(a+1+b)} \leq \frac{1}{3}$$

従って  $a, b$  については以下のような条件となる。(2番目と3番目の不等式は  $\rho_2$  の反応度が  $\rho_1, \rho_3$  より大きいという条件)

$$a+b \geq \frac{1}{2}, \quad 0 \leq a \leq 1, \quad 0 \leq b \leq 1$$

ここで、 $a$ 、 $b$  を変化させて比率  $f$  の誤差  $df$  の絶対値をプロットすると図 2 のようになる。 $a$ 、 $b$  の値、すなわち最大反応度を持つ制御棒の反応度値に対する各制御棒反応度の比率についての制限は無くすべての想定される状態を含んでいる。

等高線図の左下の青線で囲んだ三角形の領域は上記の  $a$ 、 $b$  に関する条件から外れる領域で、 $df$  が最大となるのは  $a=1$ 、 $b=0$ （または  $a=0$ 、 $b=1$ ）のときで、 $df$  の最大値（誤差が最も大きいとき）は 3.18% となる。

全制御棒反応度に対する制御棒反応度の最大の 1 本が占める割合  $f$  の核的制限値は  $1/3$  であるので、 $100/3=33.3\%$  より、 $f$  の値が  $33.3\%$  より小さい場合には誤差を含めてもこの核的制限値を満たすことになる。

「第 343 回核燃料施設等の新規規制基準適合性に係る審査会合」（2020 年 3 月 16 日）の資料で説明した固体減速炉心の制御棒反応度値の値（当日の説明資料 p29 の表 2）、及び前回審査会議の資料で説明した軽水減速炉心の制御棒反応度値の値（p13 の表 3）に示した  $f$  の値はすべて  $30.2\%$  以下であるので、すべて全制御棒反応度に対する制御棒反応度の最大の 1 本が占める割合  $f$  の核的制限値（ $1/3$  以下）を満たしている。

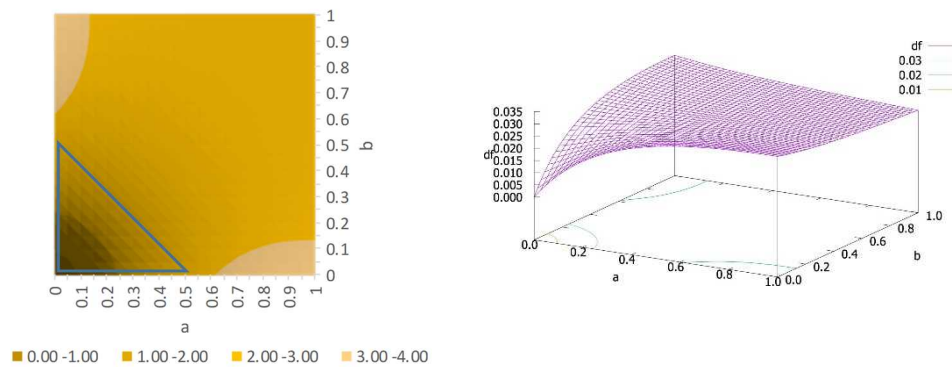


図 2  $a$ 、 $b$  に対する  $f$  の誤差  $df$  (%)（左：等高線図、右：3D）

### 補足の説明

本解析において制御棒の配置は炉心水平断面の水平方向に対して対称であるとして、同じ反応度値の制御棒が3組（2本×3組＝6本）あるとしている。これまでのKUCAでの固体減速架台、および軽水減速炉心の制御棒配置はすべてこのような条件となるように配置しており、今後もその配置方法の考え方に変更は無い。

すなわち、固体減速炉心、軽水減速炉心ともに制御棒は図3に示すように炉心配置に対して線対称、または点对称となるように配置する。

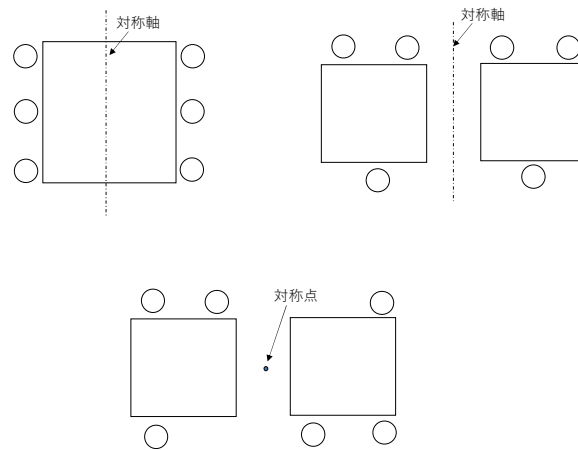


図3 制御棒配置方法の概略図（○：制御棒）

【臨界量の誤差】

実効増倍率の誤差が臨界質量に及ぼす影響について

現在の解析においては実効増倍率の解析精度を±0.6%以内であるとしている。

実効増倍率が±0.6%変化したとき、臨界質量にどのくらいの影響を及ぼすかについて検討する。

前回審査会合の資料において、低濃縮ウランを用いた軽水減速炉心、及び固体減速炉心について臨界近傍で体積を1%変化（体積変化は仮想的にX、Y、Z方向で同じ割合で変化）させたときの実効増倍率の変化を求めたが、ここでは実際の炉心での反応度調製方法に従い、軽水減速炉心では燃料板を増加させる方向に変化（4列または5列のすべての燃料集合体の燃料領域を同じ長さだけ変化）、固体減速炉心では燃料さや管中の燃料高さを変化（すべての燃料集合体の燃料領域を同じ高さだけ変化）させた。

変化量はすべての炉心において臨界炉心（ $k_{eff}=1.0$ ）の炉心について+2%とし、その変化させたときの実効増倍率の変化量は表5、表6に示す。

軽水減速炉心の結果を表5に示す。C30～C60炉心の単一炉心の結果から4列炉心のほうが5列炉心に比べて $\%dV/\% \Delta k$ が大きくなるので、2分割炉心については4列炉心について確認した。これらの結果より実効増倍率に0.6%の誤差があるとすれば解析で求めた炉心体積、すなわち臨界質量には最大3.3%程度の誤差が生じることになる。

固体減速炉心の結果を表6に示す。LL1炉心とL3炉心の高さを変更した結果より高さが50cmの炉心 $\%dV/\% \Delta k$ が大きくなることが判ったので他のセルパターンの炉心も高さ50cmについて確認した。この結果より実効増倍率に0.6%の誤差があるとすれば解析で求めた炉心体積、すなわち臨界質量には最大5.6%程度の誤差が生じることになる。

以上より、実効増倍率に0.6%の誤差があるとすれば臨界質量の評価では最大約5.6%の誤差を見込む必要があることがわかり、ここでは余裕をみて6%の誤差で評価を行うものとする。

「第343回核燃料施設等の新規規制基準適合性に係る審査会合」（2020年3月16日）の説明資料の固体減速炉心の解析において、以下のように記載していた。

「KUCAでの核的制限値として、固体減速炉心の燃料装荷量は [ ] であることが規定されている。「核計算の妥当性の確認について」の項目で臨界質量の解析精度は±4%としているので、代表炉心の解析においては

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

\_\_\_\_\_であることが求められるが、表 1 の全ての炉心においてこの基準値を満足している。」

しかし、上記の解析の結果、臨界質量の解析精度は±6%としているので、以下のように訂正する。最終的な評価結果に変更は無い。

「KUCA での核的制限値として、固体減速炉心の \_\_\_\_\_ であることが規定されている。「核計算の妥当性の確認について」の項目で臨界質量の解析精度は±7%としているので、代表炉心の解析においては

\_\_\_\_\_であることが求められるが、表 1 の全ての炉心においてこの基準値を満足している。」

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

表 5 実効増倍率の変化に対する体積変化（軽水減速炉心）

炉心名称	% $\Delta k$ (2%vol 変化時)	%dV / % $\Delta k$	0.6% $\Delta k$ に対応する%dV
C30G0 (4 列)			3.24
C35G0 (4 列)			2.82
C45G0 (4 列)			2.63
C60G0 (4 列)			2.78
C30G0 (5 列)			2.52
C35G0 (5 列)			2.30
C45G0 (5 列)			2.18
C60G0 (5 列)			2.25
C45G (2 H <sub>2</sub> O) (4 列)			3.22
C45G (5 H <sub>2</sub> O) (4 列)			3.21
C45G (7 H <sub>2</sub> O) (4 列)			3.13
C45G (10 H <sub>2</sub> O) (4 列)			2.90
C45G (15 H <sub>2</sub> O) (4 列)			2.71
C60G (2 H <sub>2</sub> O) (4 列)			3.09
C60G (5 H <sub>2</sub> O) (4 列)			3.09
C60G (7 H <sub>2</sub> O) (4 列)			3.23
C60G (10 H <sub>2</sub> O) (4 列)			3.01
C60G (15 H <sub>2</sub> O) (4 列)			2.84

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

表 6 実効増倍率の変化に対する体積変化（固体減速炉心）

炉心名称	% $\Delta k$ (2%vol 変化時)	%dV / % $\Delta k$	0.6% $\Delta k$ に対応する%dV
LL1-30			1.89
LL1-40			3.53
LL1-50			4.49
L3-30			2.91
L3-40			4.41
L3-50			5.19
L1-50			5.32
L2-50			5.02
L4-50			5.31
L5.5-50			5.54

【後段規制での解析結果】

高濃縮ウランを用いた軽水減速炉心の制御棒の解析について

軽水減速炉心について、既存の高濃縮ウランを用いた幾つかの単一炉心及び2分割炉心の体系について、制御棒反応度の実験値と今回用いたSRACコードシステムを用いた解析結果の比較を行った。結果を表7に示す。

表7 高濃縮ウラン体系（軽水減速炉心）のSRACによる制御棒反応度の解析

炉心 <sup>1)</sup>	反応度 (実験値) (% Δ k/k)	反応度 (計算値) (% Δ k/k)	C/E
C30G0 (5 列)	2.76 ±0.01	2.40	0.87
C35G0 (4 列)	2.87 ±0.01	3.18	1.11
C45G0 (4 列)	2.87 ±0.01	2.44	0.85
C35G (12 H <sub>2</sub> O) (4 列)	1.89 ±0.01	1.97	1.04
C35G (14 H <sub>2</sub> O) (4 列)	1.80 ±0.01	1.67	0.93



「グレーのマス킹範囲は不開示情報」

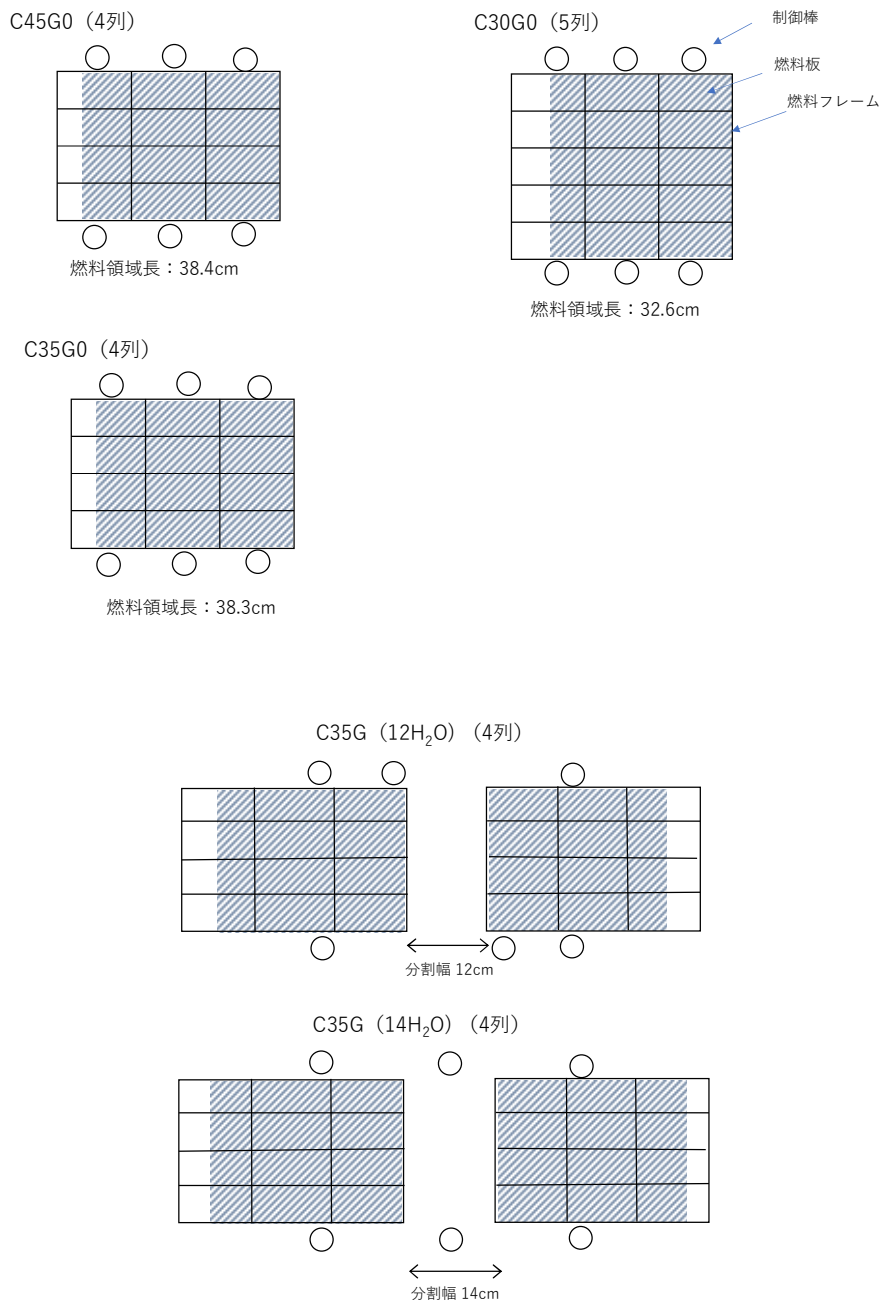


図12 炉心配置図 (軽水減速炉心)  
 (燃料板支持フレームの網掛けした箇所に燃料板を挿入している  
 サイズは 14.2cm×7.1cm)

【補足説明-1】

ダンプ排水の反応度計算の妥当性について

炉心のダンプ排水（減速材である軽水をすべて排水）の反応度について評価は前回審査会合の資料（p16、表4）にて説明した。

その中で炉心から軽水が排出されつつある状態を想定して、燃料板のミート部（ウランの含まれる部分）より5cm下の位置から上部に軽水が無いと仮定してSRACコードの拡散計算コードCITATIONの3次元炉心計算での実効増倍率の値から反応度を求めた。

この計算結果の妥当性を確認するために一部の炉心について同じ計算をモンテカルロ計算コードMCNPを用いて解析を行った。結果を表7に示す。両者の結果はよく一致しており、審査会合で説明した結果は妥当であると考えられる。

表7 ダンプ排水反応度

炉心名称	列数	軽水を一部排水したときの反応度 (% Δk/k)	
		SRAC	MCNP
C30G0	4	3.35	3.33±0.04
C45G0	4	2.65	2.64±0.04

【補足説明-2】

燃料製作時の公差等が実効増倍率に及ぼす影響について

今回新たに製作する低濃縮ウランの公差、不確実性等が実効増倍率に及ぼす影響について評価する。比較のために前回審査会の資料にて説明した高濃縮ウランを用いた固体減速炉心の公差等の不確実性の評価結果のうち、燃料に関する項目のみ 1) に再掲する。

1) 高濃縮ウラン (HEU) 炉心

B 架台の HEU を用いた固体減速炉心について ICSBEP のベンチマーク計算として誤差等の評価を行っている(参考文献)。対象となった炉心は「HEU (1/16-inch) + NU (1-mm) + Poly(2/8-inch)」の単位セルからなる燃料体を用いた単一炉心で、炉心の燃料スペクトルは KUCA で組むことができる炉心の中では中間くらいの硬さのものである。(なお、参考文献にはその他に燃料さや管、天然ウラン板、ポリエチレン板などの公差についても検討しているが、ここでは燃料角板(燃料クーポン)に関する項目ののみを取り上げる)

燃料製作に関する各種項目の誤差や不確実性が実効増倍率に及ぼす影響の評価結果を表 8 に示す。(ここでの **Deviation** の記載方法は参考文献に示されたものと同じ)

燃料製作に関する各項目についての相関は無いとして全ての誤差を考慮したときの実効増倍率に及ぼす効果(各項目の二乗和の平方根)は約 0.039%dk 程度である。

(燃料クーポン以外の項目の公差等に伴う誤差を含めると約 0.052%dk となる)

表 8 HEU を用いた炉心（「HEU+NU+Poly(2/8-inch)」の燃料セル）の HEU 燃料  
クーポンに関する各項目の誤差(不確実性)が実効増倍率に及ぼす影響

項目	Deviation	Deviation ( $\Delta k$ ) ( $1\sigma$ )
HEU-AI 重量		0.00014
U 重量		0.00005
クーポン 幅		0.00020
クーポン厚さ		0.00015
<sup>234</sup> U 量		0.00005
<sup>235</sup> U 量		0.00006
<sup>236</sup> U 量		<0.00001
HEU-AI 不純物		0.00018
クーポン上下塗装厚さ		0.00013
クーポンサイド塗装厚さ		0.00004
塗装密度		0.00004
塗料中水素含有量濃度		0.00009
塗料中炭素含有量		0.00004
合計		0.00039

参考文献

“Evaluation of the Kyoto University Critical Assembly Erbium Oxide Experiments”, LEU-MET-THERM-005, NEA/NSC/DOC/(95)03/IV Volume IV.

## 2) 低濃縮ウラン (LEU) 炉心

LEU を用いた固体減速炉心と軽水減速炉心について、新たに製作する予定の燃料 (固体減速炉心での U-Mo を用いた燃料角板 (燃料クーポン) と  $U_3Si_2$  を用いた軽水減速炉心の燃料長板) の製作時の公差や不確実性が実効増倍率に及ぼす影響の評価を行った。解析にはこれまでと同様に SRAC コードシステムを用いた。

評価を行った炉心は中性子エネルギースペクトルが大きく異なる体系で、固体減速炉心では LL1、L3、L5.5 炉心 (共に炉心高さは約 40cm)、軽水減速炉心では C30G0(4 列)、C60G0(4 列) 炉心である。燃料クーポンおよび燃料長板の燃料製作時の公差等の値は現在検討している値であり設工認申請までに確定する予定であるが、今のところこの値から大きく外れることはないと考えている。

結果を表 9、表 10 に示す。各項目についての相関は無いとして全ての誤差を考慮したときの実効増倍率に及ぼす効果 (各項目の二乗和の平方根) は最大でも固体減速炉心においては約 0.023%dk、軽水減速炉心で約 0.041%dk であり、1) で述べた高濃縮ウランに関する誤差である約 0.039%dk と大きくは変わっておらず、実効増倍率の計算誤差に比べて 1 桁以上に小さい値である。

表 2 LEU を用いた固体減速炉心 (L5.5(40cm)、L3(40cm)、LL1(40cm)) の  
燃料に関する各項目の誤差(不確実性)が実効増倍率に及ぼす影響

項目	公差等	偏差 ( $\Delta k$ ) ( $1\sigma$ )						
		LL1(40cm)	L3(40cm)	L5.5(40cm)				
燃料コンパクト厚	[Grayed out]	[Grayed out]	[Grayed out]	[Grayed out]				
燃料コンパクト幅								
ウラン量								
ウラン濃縮度								
ウラン分布均一性								
Mo 量								
アルミパウダー中の他元素量								
燃料クーポンアルミカバー厚								
燃料クーポン厚								
燃料クーポン幅								
アルミボックス中の他元素量								
合計					—	5.6E-5	1.5E-4	2.3E-4

- 1) A5NE の基準値は表 4 に示す
- 2) AG3NE の基準値は表 5 に示す

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

表 3 LEU を用いた軽水減速炉心 (C30G0(4 列)、C60G0(4 列)) の  
燃料に関する各項目の誤差(不確実性)が実効増倍率に及ぼす影響

項目	基準値	偏差 ( $\Delta k$ )				
		C30G0(4 列)	C60G0(4 列)			
ウラン密度	[マスキング]	[マスキング]	[マスキング]			
ウラン濃縮度						
<sup>235</sup> U 量						
Si 量						
ウラン分布均一性						
アルミパウダー中の他元素量						
燃料 meat 部長さ						
燃料 meat 部幅						
燃料板厚						
燃料板幅						
燃料板長さ						
燃料板アルミ被覆厚						
アルミ被覆中の他元素量						
合計				—	1.8E-4	4.1E-4

[マスキング]

[マスキング]