

2021年12月8日送付
KUCA ヒアリング資料 2

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

実験物を装荷する炉心を構成する場合の運転管理の方法について、運転前に行う解析項目（核的制限値）とその評価方法、運転時の測定項目について説明すること。
低濃縮燃料の追加に係る解析項目の追加項目についても追加方針を説明すること。

新規炉心については原子炉施設保安規定（以下、保安規定）に従って審査を行った上で実験を行う。本事項に関連した原子炉施設保安規定（以下、保安規定）の記載内容は以下のとおりである。

（運転の計画）

第59条 所長は、臨界装置の1年間の利用計画（以下「年間利用計画」という。）を年毎に又は年度毎にたて、これを周知させるものとする。

2 臨界装置部長は、前項に定める年間利用計画に基づき、臨界装置の運転計画をたて、臨界装置に関しての保安の監督をする主任技術者（以下「臨界装置主任技術者」という。）の承認を受けなければならない。

3 （省略）

4 （省略）

5 臨界装置主任技術者は、第2項の承認を行うに当たり、別表第2に掲げる主要な核的制限値及び熱的制限値並びに別表第2の2に掲げる炉心配置その他の制限を満たしていることを確認する。

6 （省略）

（使用の許可）

第89条 臨界装置本体を使用して実験を行おうとする者及び第87条の特性測定、機器の調整又は検査のために運転を必要とする者は、KUCA 実験記録等の使用申込書を提出して、臨界装置主任技術者の承認を受けたのち、所長の許可を受けなければならない。

2 所長は、前項の許可を与えるに当たっては、安全委員会の審議を経なければならない。ただし、当該使用に係る実験が既に安全に実施された実験と比較して、より安全であるか、又は極めて類似した条件の実験であると臨界装置主任技術者が認めた場合は、この限りでない。

3 第1項の許可を与えるに当たっては、安全のため必要な使用上の制限条件を付することができる。

（新配置の炉心の特性測定）

第87条 臨界装置部長は、新配置の炉心を組んだときは、そのつど、その炉心に係る次の各号に掲げる事項について、特性測定を行わなければならない。ただし、第5号に掲げる

事項については、臨界装置主任技術者が安全上支障がないと認めるときは、この限りでない。

- (1) 臨界量
- (2) 過剰反応度
- (3) 制御棒及び非常用制御設備の反応度抑制効果
- (4) 反応度添加率
- (5) 遮蔽効果
- (6) その他臨界装置主任技術者の必要と認める事項

設置変更承認申請書（既承認）に記載されている高濃縮ウラン炉心構成に関する主要な核的制限値等を表 1-1（保安規定別表第 2）及び表 1-2（保安規定別表第 2 の 2）に示す。

また、低濃縮ウラン炉心構成に関して追加予定の主要な核的制限値等を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

この保安規定に従い、新規の炉心にて実験を行う場合の手順は以下のようになる。なお、既に特性実験を終えた炉心については 3) の項目のみを行う。炉心検討のフローを図 1、図 2 に示す。実験前の反応度等については SRAC コードシステム、またはモンテカルロ計算コード（MVP, または MCNP）を用いた核計算により確認している（最近ではほとんどがモンテカルロ計算）。

- 1) 実験を行うものは新規炉心の臨界予測枚数、制御棒反応度価値等の表 1-1、表 1-2 に示した核的制限値等を解析により確認し、それらの結果と実験手順（必要に応じて臨界近接の方法等）を記載した書類を KUCA 実験記録とともに臨界装置部長に提出する。（保安規定第 89 条）
- 2) 臨界装置部長は月に 1 回開催される研究所の原子炉安全委員会（学内外の学識経験者、主任技術者等により構成）にて実験内容について説明し審議に諮り、核的制限値等を満足しており安全上問題ないと判断された場合には所長は臨界装置部長に実験の許可を与える。（保安規定第 89 条）
- 3) 臨界装置部長は運転計画を立てて臨界装置主任技術者の承認を受ける。その際、臨界装置主任技術者は炉心の核的制限値等の予測値を確認する。（保安規定第 59 条）
- 4) 臨界装置部長は新しい炉心において臨界量測定、反応度測定実験等の特性実験を行い、表 1 に示した核的制限値等を満たしていることを確認する。（保安規定第 87 条）
- 5) 臨界装置部長は特性実験の結果を原子炉安全委員会にて報告する。（保安規定にこの報告に関する記載は無いが慣例として実施している）

新しい炉心の特性実験では、臨界近接実験により臨界となる炉心を構築し、その後、以下のような項目について実験により測定を行う。(温度係数については実験を行うことが難しいので計算値のみで評価)

- ・ 過剰反応度 (正ペリオド法)
- ・ 最大反応度添加率 (正ペリオド法)
- ・ 各制御棒反応度 (積分法)
- ・ 中心架台、またはダンプ弁反応度 (積分法)

以下、炉心検討のフローのうち、照射物の有無に挿入管破損有無が重畳するため、より複雑な軽水減速炉心の流れを説明する。

【照射物を用いない場合 (図 2-1)】

- 1) 低濃縮炉心において選択できる範囲より標準型燃料板の装填ピッチを選択する。
- 2) 燃料集合体、制御棒、挿入管を配置し、臨界調整を行い、挿入管健全ケースの過剰反応度を計算し、過剰反応度の制限を満たすことを確認する。
- 3) 挿入管破損ケースの過剰反応度を計算し、過剰反応度の制限を満たすことを確認する。また、破損前後の過剰反応度の差として挿入管反応度を求め、制限値内であることを確認する。
- 4) 挿入管健全ケースの制御棒の反応度を計算し、全反応度が制限を満たすことを確認する。
- 5) 挿入管健全ケースの最大反応度を持つ制御棒の反応度が「全反応度の $1/3$ 以下」であることを確認する。
- 6) 挿入管健全ケースの反応度添加率が規定値以下であることを確認する。
- 7) 挿入管健全ケースのダンプ排水反応度と温度係数が規定値を満足することを確認する。
- 8) 研究所原子炉安全委員会に付議する。

【負の反応度を印加する照射物を用いる場合 (図 2-2)】

- 1) 低濃縮炉心において選択できる範囲より標準型燃料板の装填ピッチを選択する。

- 2) 燃料集合体、制御棒、挿入管を配置し、臨界調整を行い、照射物未装荷・挿入管健全ケースの過剰反応度を計算し、過剰反応度の制限を満たすことを確認する。
- 3) 照射物未装荷・挿入管破損ケースの過剰反応度を計算し、過剰反応度の制限を満たすことを確認する。また、破損前後の過剰反応度の差として挿入管反応度を求め、制限値内であることを確認する。
- 4) 照射物未装荷・挿入管健全ケースの制御棒の反応度を計算し、全反応度が制限を満たすことを確認する。
- 5) 照射物未装荷・挿入管健全ケースの最大反応度を持つ制御棒の反応度が「全反応度の1/3以下」であることを確認する。
- 6) 照射物未装荷・挿入管健全ケースの反応度添加率が規定値以下であることを確認する。
- 7) 照射物未装荷・挿入管健全ケースのダンプ排水反応度と温度係数が規定値を満足することを確認する。
- 8) 照射物を実際の照射位置に設置した照射物装荷・挿入管健全ケースの過剰反応度を求め、これと照射物未装荷・挿入管健全ケースの過剰反応度との差として照射物反応度を計算し、規定値内（負値）であることを確認する。
- 9) 研究所原子炉安全委員会に付議する。

【正の反応度を印加する照射物を用い、挿入管反応度が負値の場合（図 2-3a）】

- 1) 低濃縮炉心において選択できる範囲より標準型燃料板の装填ピッチを選択する。
- 2) 燃料集合体、制御棒、挿入管を配置し、臨界調整を行い、照射物未装荷・挿入管健全ケースの過剰反応度を計算し、過剰反応度の制限を満たすことを確認する。
- 3) 照射物未装荷・挿入管破損ケースの過剰反応度を計算し、過剰反応度の制限を満たすことを確認する。また、破損前後の過剰反応度の差として挿入管反応度を求め、制限値内（負値）であることを確認する。
- 4) 照射物装荷・挿入管健全ケースについて、照射物装荷位置を変えながら最大反応度を与える照射位置をサーベイする。
- 5) 照射物装荷・挿入管健全ケースについて、最大反応度を与える照射位置に照射物を装荷した場合の過剰反応度を計算し、過剰反応度の制限を満たすことを確認する。また、照射物未装荷・挿入管健全ケースの過剰反応度との差として照射物反応度を計算し、制限値内（正値）であることを確認する。
- 6) 照射物未装荷・挿入管健全ケースについて、制御棒の反応度を計算し、全反応度が制限を満たすことを確認する。
- 7) 照射物未装荷・挿入管健全ケースについて、最大反応度を持つ制御棒の反応度が「全反応度の1/3以下」であることを確認する。

- 8) 照射物未装荷・挿入管健全ケースについて、反応度添加率が規定値以下であることを確認する。
- 9) 照射物未装荷・挿入管健全ケースについて、ダンプ排水反応度と温度係数が規定値を満足することを確認する。
- 10) 研究所原子炉安全委員会に付議する。

【正の反応度を印加する照射物を用い、挿入管反応度が正值の場合（図 2-3b）】

- 1) 低濃縮炉心において選択できる範囲より標準型燃料板の装填ピッチを選択する。
- 2) 燃料集合体、制御棒、挿入管を配置し、臨界調整を行い、照射物未装荷・挿入管健全ケースの過剰反応度を計算し、過剰反応度の制限を満たすことを確認する。
- 3) 照射物未装荷・挿入管破損ケースの過剰反応度を計算し、過剰反応度の制限を満たすことを確認する。また、破損前後の過剰反応度の差として挿入管反応度を求め、制限値内（正值）であることを確認する。
- 4) 照射物装荷・挿入管破損ケースについて、照射物装荷位置を変えながら最大反応度を与える照射位置をサーベイする。
- 5) 照射物装荷・挿入管破損ケースについて、最大反応度を与える照射位置に照射物を装荷した場合の過剰反応度を計算し、過剰反応度の制限を満たすことを確認する。また、照射物未装荷・挿入管破損ケースの過剰反応度との差として照射物反応度を計算し、制限値内（正值）であることを確認する。
- 6) 照射物未装荷・挿入管健全ケースについて、制御棒の反応度を計算し、全反応度が制限を満たすことを確認する。
- 7) 照射物未装荷・挿入管健全ケースについて、最大反応度を持つ制御棒の反応度が「全反応度の1/3以下」であることを確認する。
- 8) 照射物未装荷・挿入管健全ケースについて、反応度添加率が規定値以下であることを確認する。
- 9) 照射物未装荷・挿入管健全ケースについて、ダンプ排水反応度と温度係数が規定値を満足することを確認する。
- 10) 研究所原子炉安全委員会に付議する。

表 1-1 KUCA に関する主要な核的制限値等（現在の保安規定の別表第 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 / ²³⁵ U（ポリエチレン減速炉心） 原子数比 4.0×10 ² 以下 固体減速炉心のC / ²³⁵ U（黒鉛減速炉心） 原子数比 1.6×10 ⁴ 以下 軽水減速炉心のH / ²³⁵ U 原子数比 4.0×10 ² 以下
反応度温度係数	2.0×10 ⁻⁴ Δk/k/°C 以下
挿入物の反応度 パイルオシレータ	0.1 %Δk/k 以下（絶対値として）
燃料体の最大挿入量	固体減速炉心 濃縮ウラン 天然ウラン トリウム 軽水減速炉心 濃縮ウラン

表 1-2 KUCA の炉心配置その他の制限（現在の保安規定の別表第 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
軽水減速炉心の炉心配置	検出器を挿入するための挿入管は管の内部に水が流入した場合であっても炉心に反応度が加わらない場所に設置すること。
照射物	燃料体に貼り付ける又は軽水減速炉心の燃料板の間に挿入する照射物は使用しないこと。

表 2-1 KUCA の低濃縮燃料炉心の主要な核的制限値等
(別表第 2 と統合する予定)

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 <u>固体減速炉心</u> <u>軽水減速炉心</u> 中心架台 ダンブ弁	<u>1.35%Δk/k 以上</u> <u>1.5 %Δk/k 以上</u> 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 / ²³⁵ U (ポリエチレン減速炉心) 原子数比 4.0×10 ² 以下 軽水減速炉心のH / ²³⁵ U 原子数比 4.0×10 ² 以下
反応度温度係数	2.0×10 ⁻⁴ Δk/k/°C 以下
挿入物の反応度 パイルオシレータ	0.1 %Δk/k 以下 (絶対値として)
燃料体の最大挿入量	固体減速炉心 濃縮ウラン 軽水減速炉心 濃縮ウラン

表 2-2 KUCA の低濃縮燃料炉心配置その他の制限
(別表第 2 の 2 と統合する予定)

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
その他、固体減速炉心に対する制限	低濃縮ウランの燃料要素を用いて固体減速炉心用燃料集合体を構成する場合、角板とポリエチレン板の組み合わせは、角板 1 枚と 11/16 インチ厚ポリエチレン板の組み合わせ (H/U-235 の原子数比の最も大きなもの) から、角板 2 枚と 1/8 インチ厚ポリエチレン板の組み合わせ (H/U-235 の原子数比の最も小さなもの) までの範囲とする。また、ポリエチレン板は、1/8 インチ厚と 1/16 インチ厚のもの以外は使用しない。
	低濃縮ウランの燃料要素を用いて固体減速炉心用燃料集合体を構成する場合、角板とポリエチレン板の組み合わせは、1 種類のみとする。
	低濃縮ウランの燃料要素を用いて固体減速炉心用燃料集合体を構成する場合、角板とポリエチレン板が組み合わせられる領域の高さは、31cm 以上、47cm 以下とする。ただし、過剰反応度調整のための燃料集合体では、それが 30cm 以下となるものも 2 体までは使用してもよいが、制御棒に隣接して配置しない。
	低濃縮ウランの燃料要素を用いて固体減速炉心用燃料集合体を構成する場合、角板とポリエチレン板が組み合わせられる領域の上部及び下部には、25cm 厚以上のポリエチレン反射材を装填する。
	低濃縮ウランの燃料要素を用いて固体減速炉心を構築する場合、炉心は、1 種類の H/U-235 の原子数比の燃料集合体のみを使用する単一炉心とする。
	低濃縮ウランの燃料要素を用いて固体減速炉心を構築する場合、炉心周囲には、3 層以上のポリエチレン反射体を装荷する。ただし、検出器等の挿入のためにポリエチレン反射体が装荷できない場合を除く。
	低濃縮ウランの燃料要素を用いて固体減速炉心を構築する場合、天然ウラン及びトリウムの燃料要素は使用しない。また、黒鉛は、減速材及び反射材として使用しない。

	低濃縮ウランの燃料要素を用いて固体減速炉心を構築する場合、炉心に対して水平方向に線対称となるように制御棒を配置する。
その他、軽水減速炉心に対する制限	低濃縮ウランの燃料要素を用いて軽水減速炉心用燃料集合体を構成する場合、支持フレームへの標準型燃料板装填ピッチは、約 3mm、約 3.5mm、約 4.5mm 及び約 6mm の 4 種類とする。
	低濃縮ウランの燃料要素を用いて軽水減速炉心を構築する場合、炉心は、1 種類の標準型燃料板装填ピッチの燃料集合体のみを使用する。
	低濃縮ウランの燃料要素を用いて 2 分割軽水減速炉心を構築する場合、約 4.5mm 又は約 6.0mm の標準型燃料板装填ピッチの燃料集合体のみを使用する。
	低濃縮ウランの燃料要素を用いて軽水減速炉心を構築する場合、燃料集合体は、4 列又は 5 列に配列する。ただし、約 6.0mm の標準型燃料板装填ピッチの燃料集合体を使用する 2 分割炉心については、4 列のみとする。
	低濃縮ウランの燃料要素を用いて 2 分割軽水減速炉心を構築する場合、燃料集合体は、分割面に対して対称に配置する。分割幅は、15cm 以下とする。
	低濃縮ウランの燃料要素を用いて軽水減速炉心を構築する場合、各列の標準型燃料板の装填枚数の総数の差異は、2 枚以内とする。
	低濃縮ウランの燃料要素を用いて軽水減速炉心を構築する場合、重水は、反射材として使用しない。
	低濃縮ウランの燃料要素を用いて軽水減速炉心を構築する場合、炉心に対して水平方向に線対称となるように制御棒を配置する。ただし、2 分割炉心においては、分割面の中心点に対して点对称となるように制御棒を配置しても良いこととする。
パイロシレータに対する制限	実験物を装置の中で有意に動かないように固定する。
	実験物は固体とし、粉体や液体は用いない。
炉心装荷物に対する制限	挿入管は固体減速炉心用、軽水減速炉心用ともに、運転中に動くことがないように固定する。
	照射物を装荷しない軽水減速炉心用については、挿入管が破損して内部に水が流入することを考え、水流入の前後で炉心の過剰反応度を 0.5%Δk/k 以下に制限する。
	<u>照射物の装荷の有無に係わらず軽水減速炉心での挿入管への水流入前後の反応度変化は絶対値で0.5%Δk/k以下とする。</u>
	照射物は運転中に反応度の有意な変動がないように燃料体にテープ等で貼付けて固定する。

【照射物を装荷することで炉心に負の反応度が加わる場合】

低濃縮ウランの燃料要素を用いる固体減速炉心では、照射物を取り付ける前の状態（照射物を取り除いた状態）での炉心の過剰反応度を $0.35\Delta k/k$ 以下に制限する。低濃縮ウランの燃料要素を用いる軽水減速炉心では、照射物を取り付ける前の状態で、かつ、挿入管が破損して内部に水が流入することを考え、水流入の前後で過剰反応度を $0.5\Delta k/k$ 以下に制限する。また照射物を取り付ける前後の反応度変化は固体減速炉心では絶対値で $0.35\Delta k/k$ 以下、軽水減速炉心では絶対値で $0.5\Delta k/k$ 以下とする。さらに、軽水減速炉心では照射物を取り付けた後で挿入管に異常が発生していない状態と、照射物を取り除いて挿入管が破損して内部に水が流入した状態での反応度変化は絶対値で $0.5\Delta k/k$ 以下とする。

【照射物を装荷することで炉心に正の反応度が加わる場合】

低濃縮ウランの燃料要素を用いる固体減速炉心では、照射物の装荷により反応度が最も大きくなる位置に照射物がある場合での炉心の過剰反応度を $0.35\Delta k/k$ 以下に制限する。低濃縮ウランの燃料要素を用いる軽水減速炉心では、照射物の装荷により反応度が最も大きくなる位置に照射物がある状態で、かつ、挿入管が破損して内部に水が流入することを考え、水流入の前後で過剰反応度を $0.5\Delta k/k$ 以下に制限する。また、照射物が反応度が最も大きくなる位置にある場合と照射物を炉心から取り除いた場合の反応度変化は固体減速炉心では絶対値で $0.35\Delta k/k$ 以下、軽水減速炉心では絶対値で $0.5\Delta k/k$ 以下とする。さらに、軽水減速炉心では照射物を取り除いて挿入管に異常が発生していない状態と、照射物が反応度が最も大きくなる位置にあり挿入管が破損して内部に水が流入した状態での反応度変化は絶対値で $0.5\Delta k/k$ 以下とする。

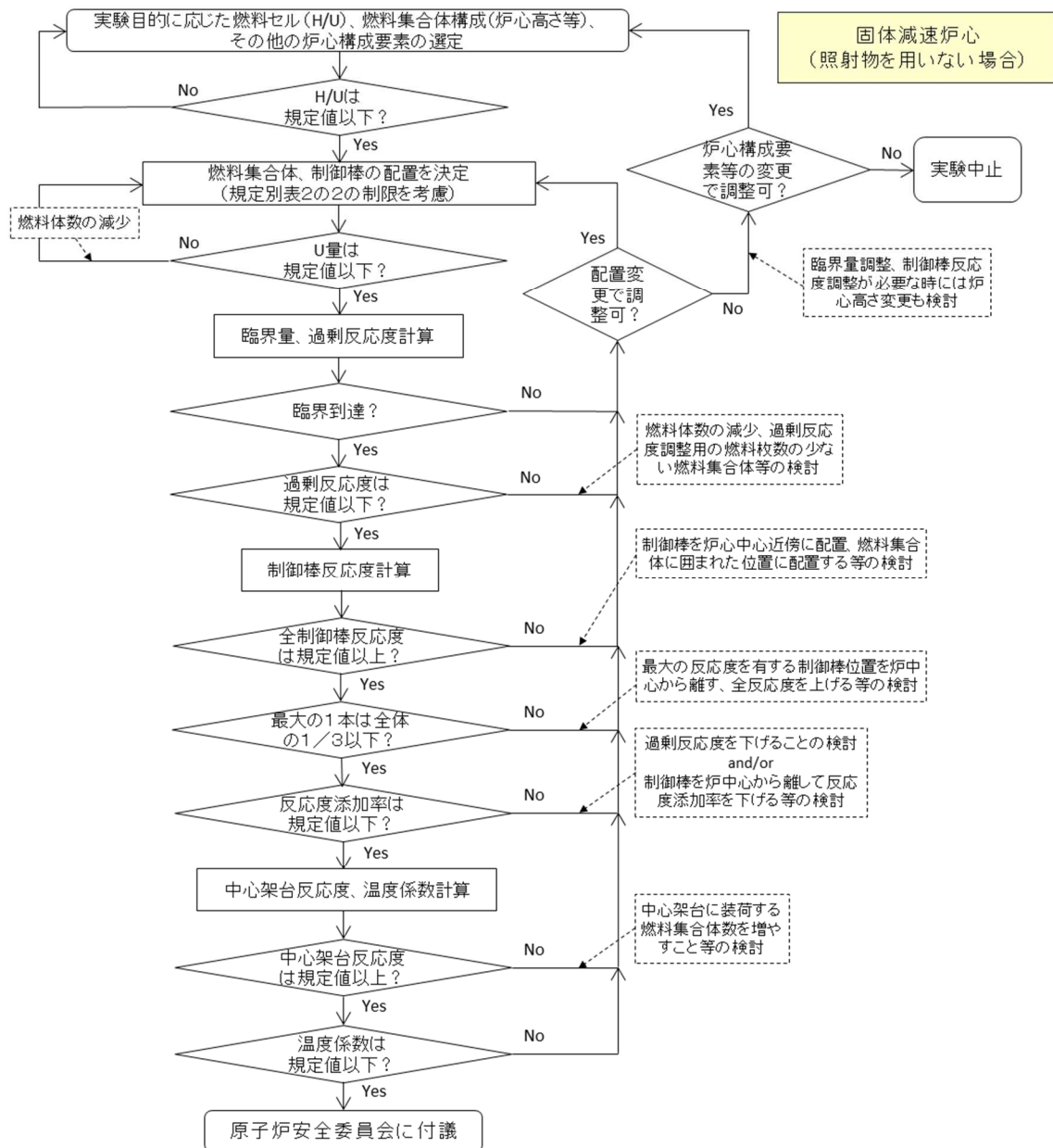


図 1-1 炉心配置決定のためのプロセス
(固体減速炉心、照射物を用いない場合)

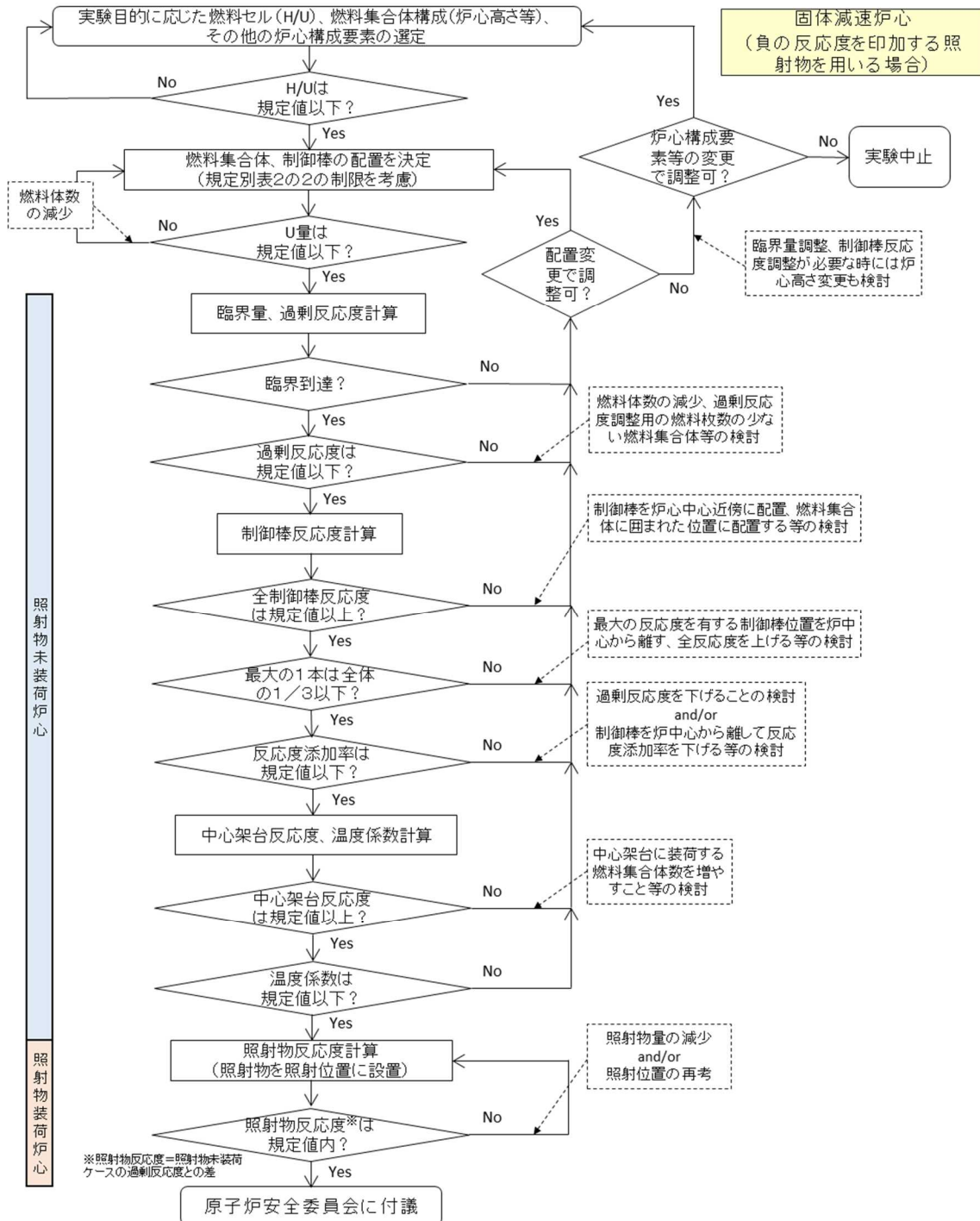


図 1-2 炉心配置決定のためのプロセス
(固体減速炉心、負の反応度照射物 (例: カドミウム) の場合)

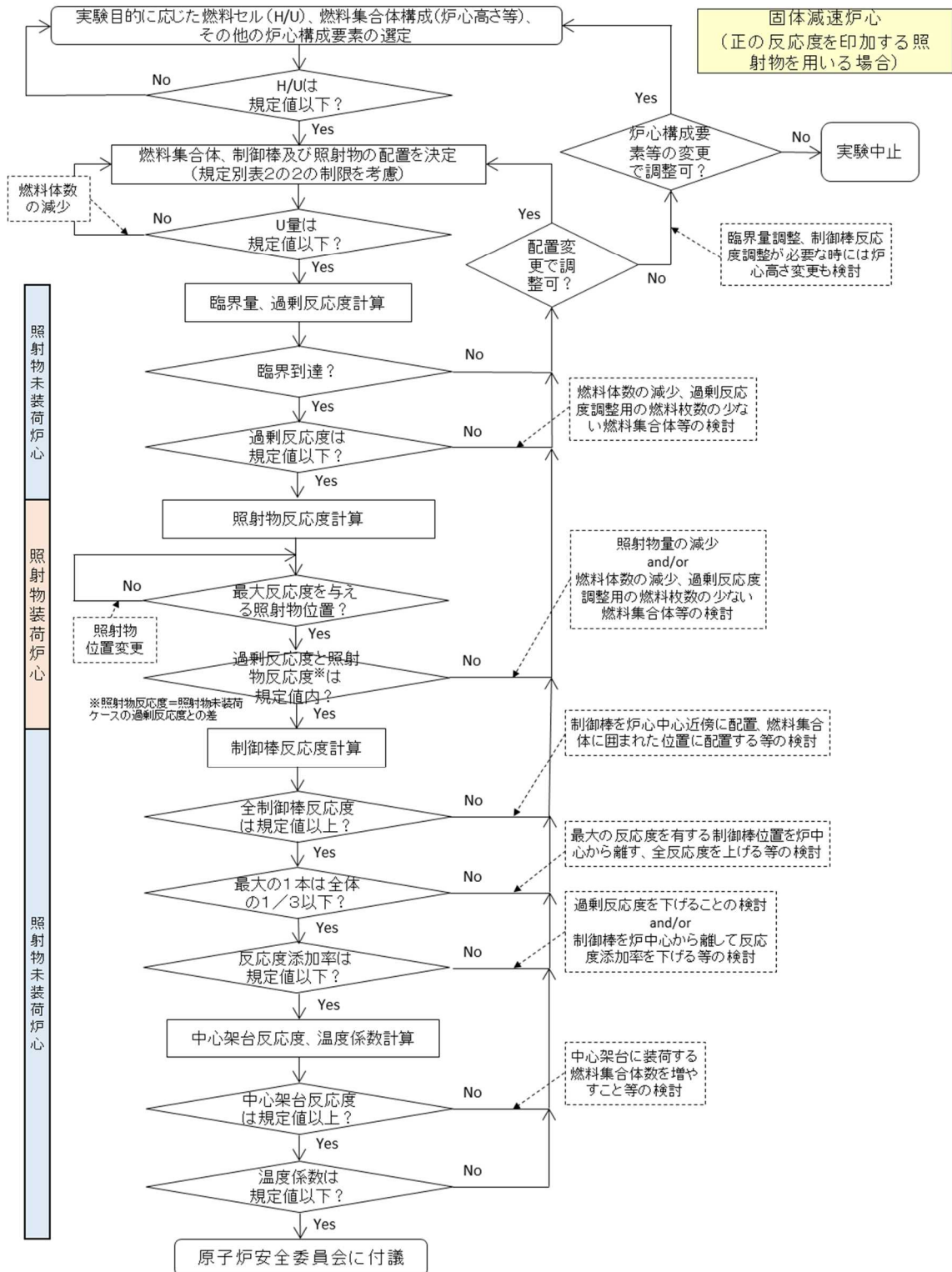


図 1-3 炉心配置決定のためのプロセス
(固体減速炉心、正の反応度照射物(例:ウラン箔)の場合)

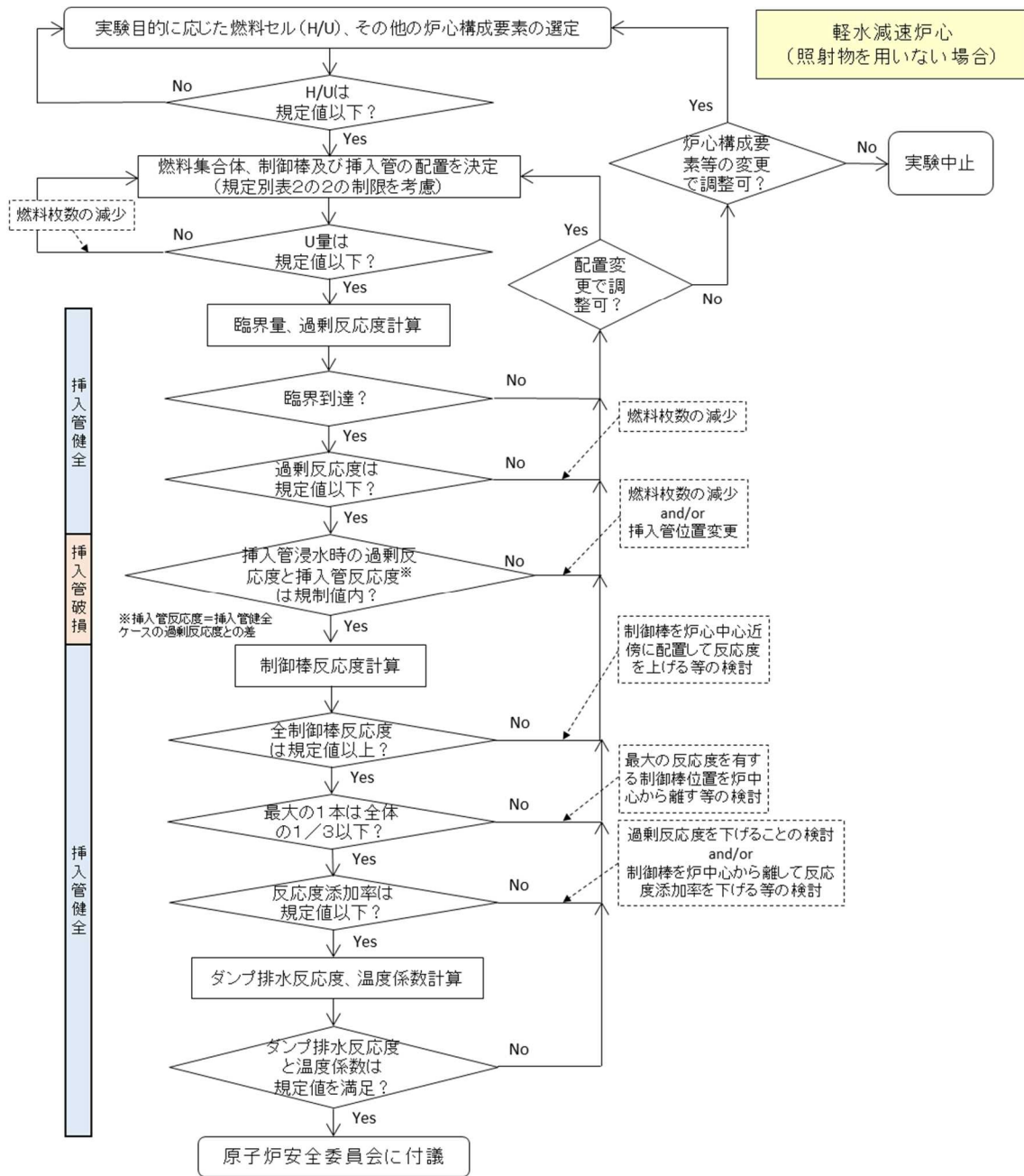


図 2-1 炉心配置決定のためのプロセス
(軽水減速炉心、照射物を用いない場合)

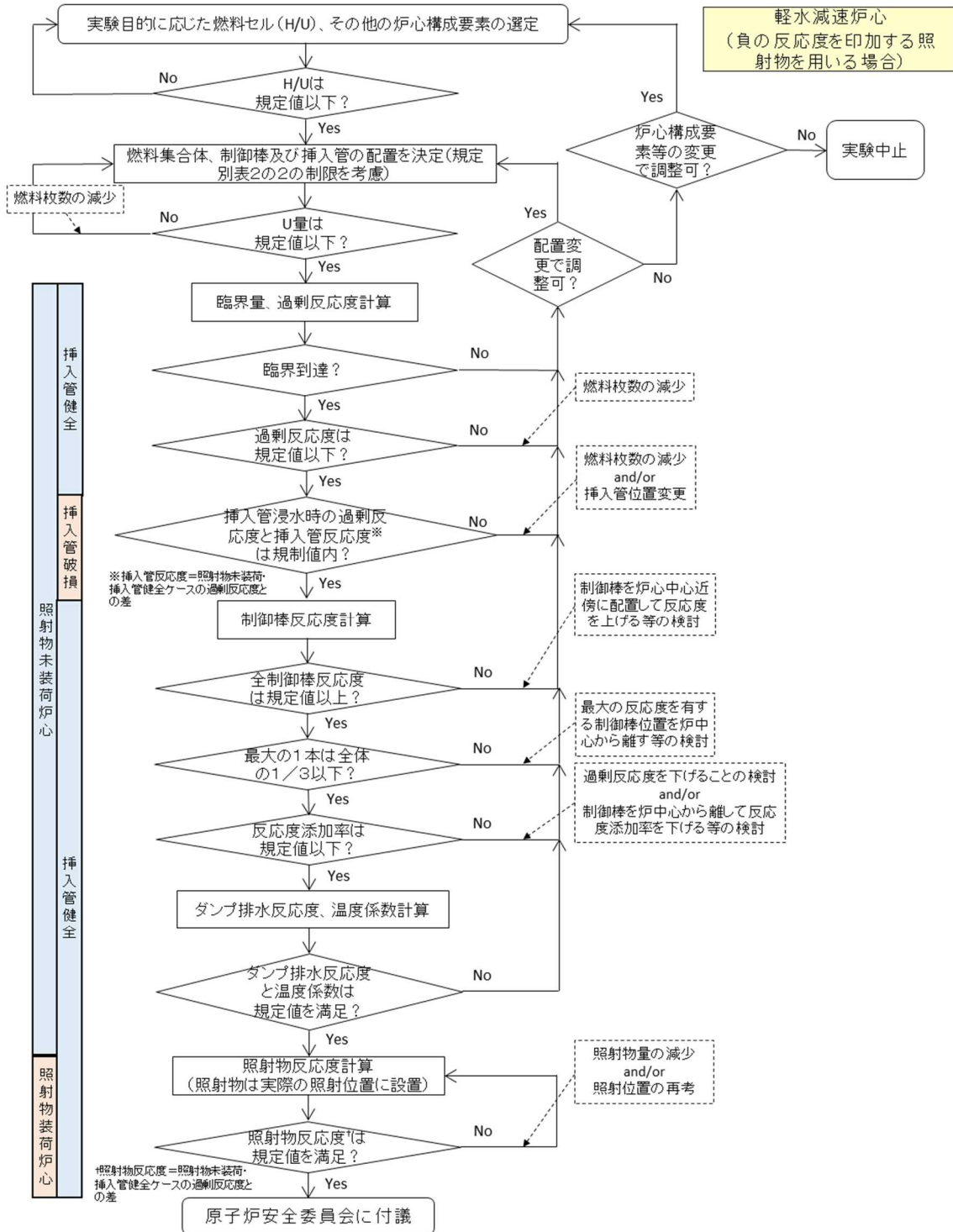


図 2-2 炉心配置決定のためのプロセス
(軽水減速炉心、負の反応度照射物 (例: カドミウム) の場合)

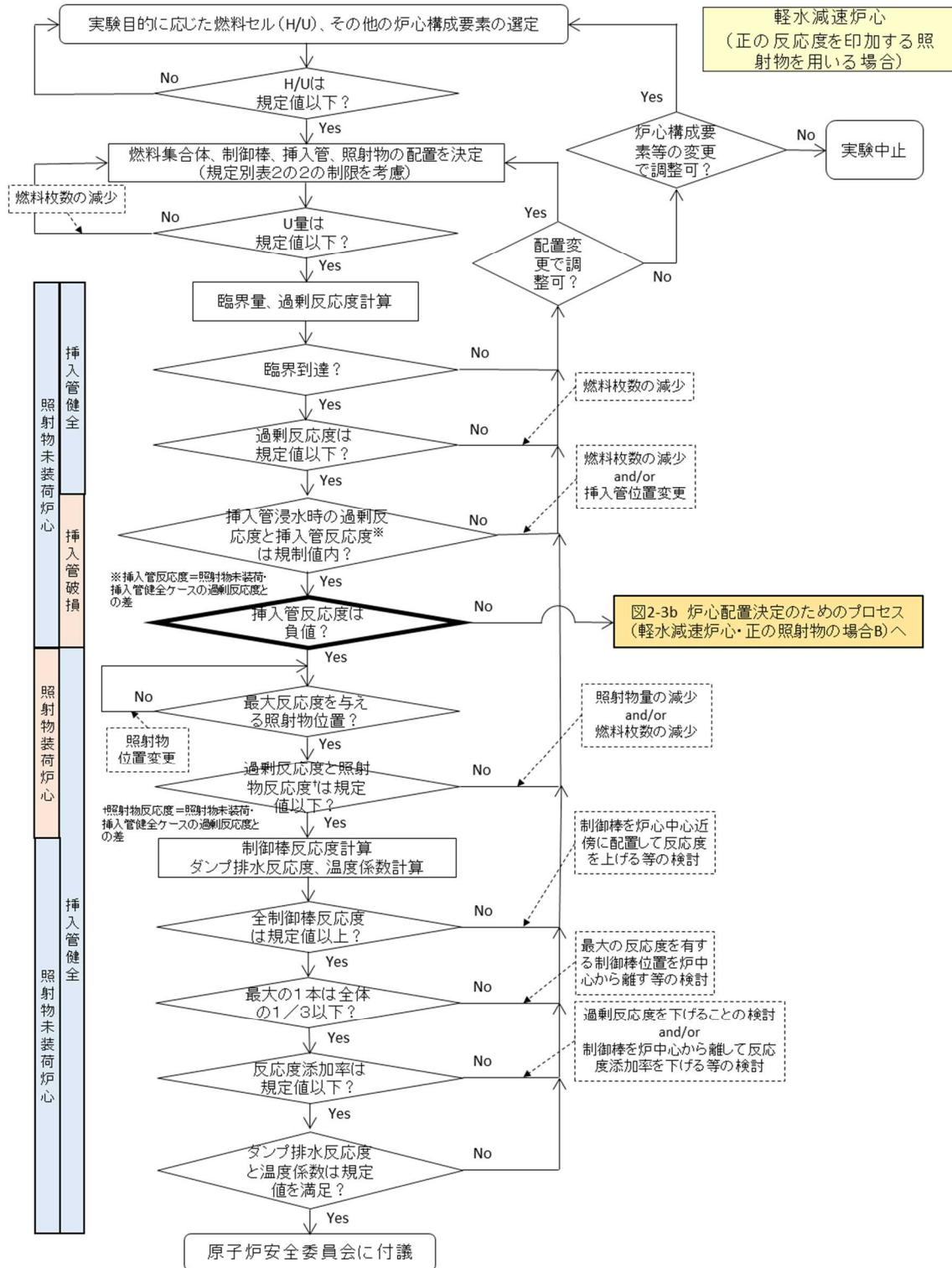


図2-3 a 炉心配置決定のためのプロセス
(軽水減速炉心、正の反応度照射物 (例：ウラン箔)・負の挿入管反応度の場合)

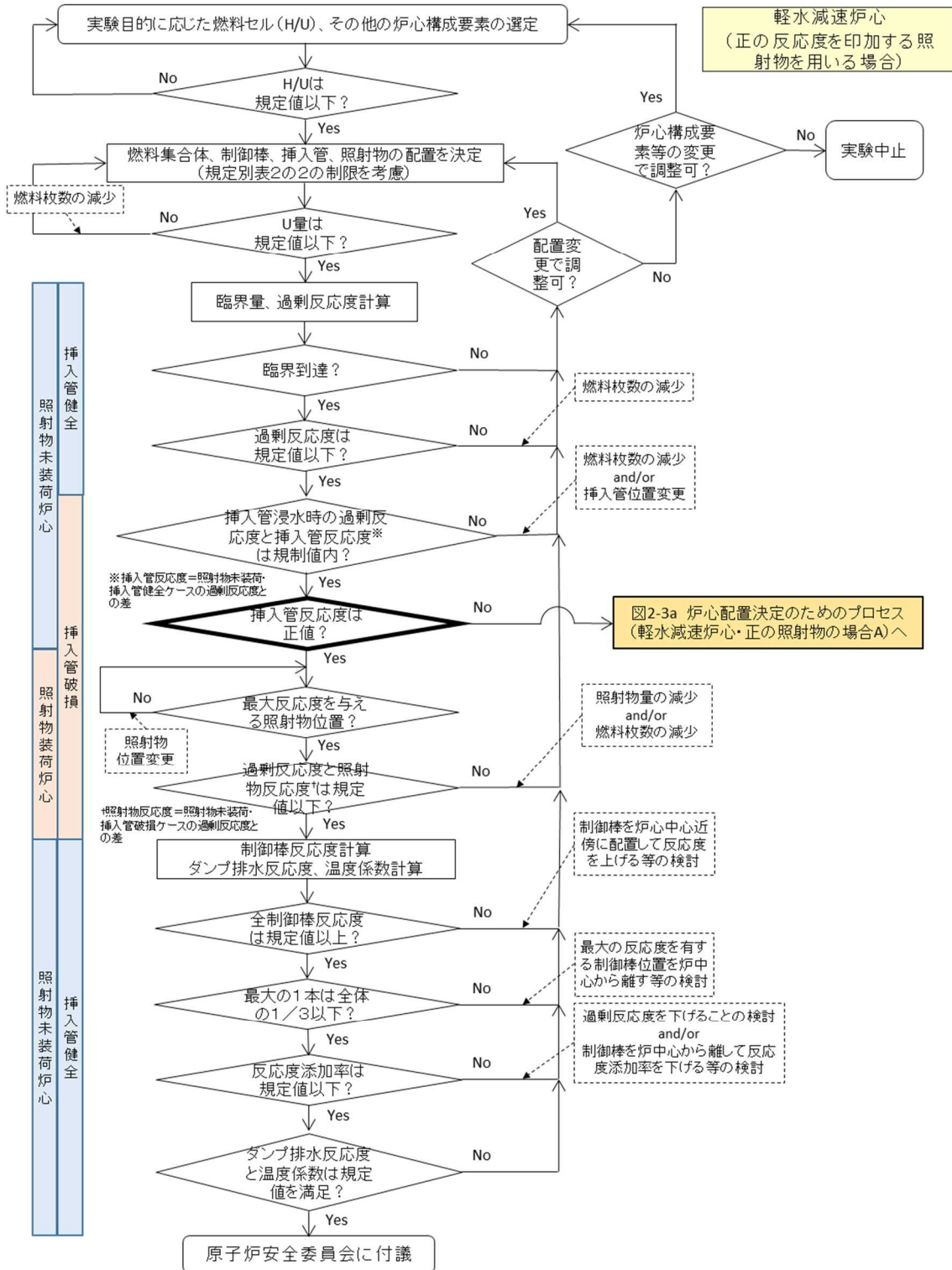


図2-3b 炉心配置決定のためのプロセス
(軽水減速炉心、正の反応度照射物 (例：ウラン箔)・正の挿入管反応度の場合)

実験物を装荷する炉心の状況と異常な過渡変化が発生した場合の炉心反応度の推移について、制御棒パターンのポンチ絵を用いて説明すること。

図1-1に固体減速炉心で炉心に取り付けたカドミウムが落下した場合、図1-2、図1-3に固体減速炉心で炉心に取り付けたウラン箔が落下した場合を示す。また、図2-1に軽水減速炉心で炉心に取り付けたカドミウムが落下した場合、図2-2に軽水減速炉心で炉心に取り付けたウラン箔が落下した場合を示す。

どの場合も制御棒の反応度は核的制限値の最小値【1 + 過剰反応度 + 実験物の移動に伴う反応度】%dk/k、最大反応度を持つ制御棒の反応度は最大値（全体の1/3）とする。

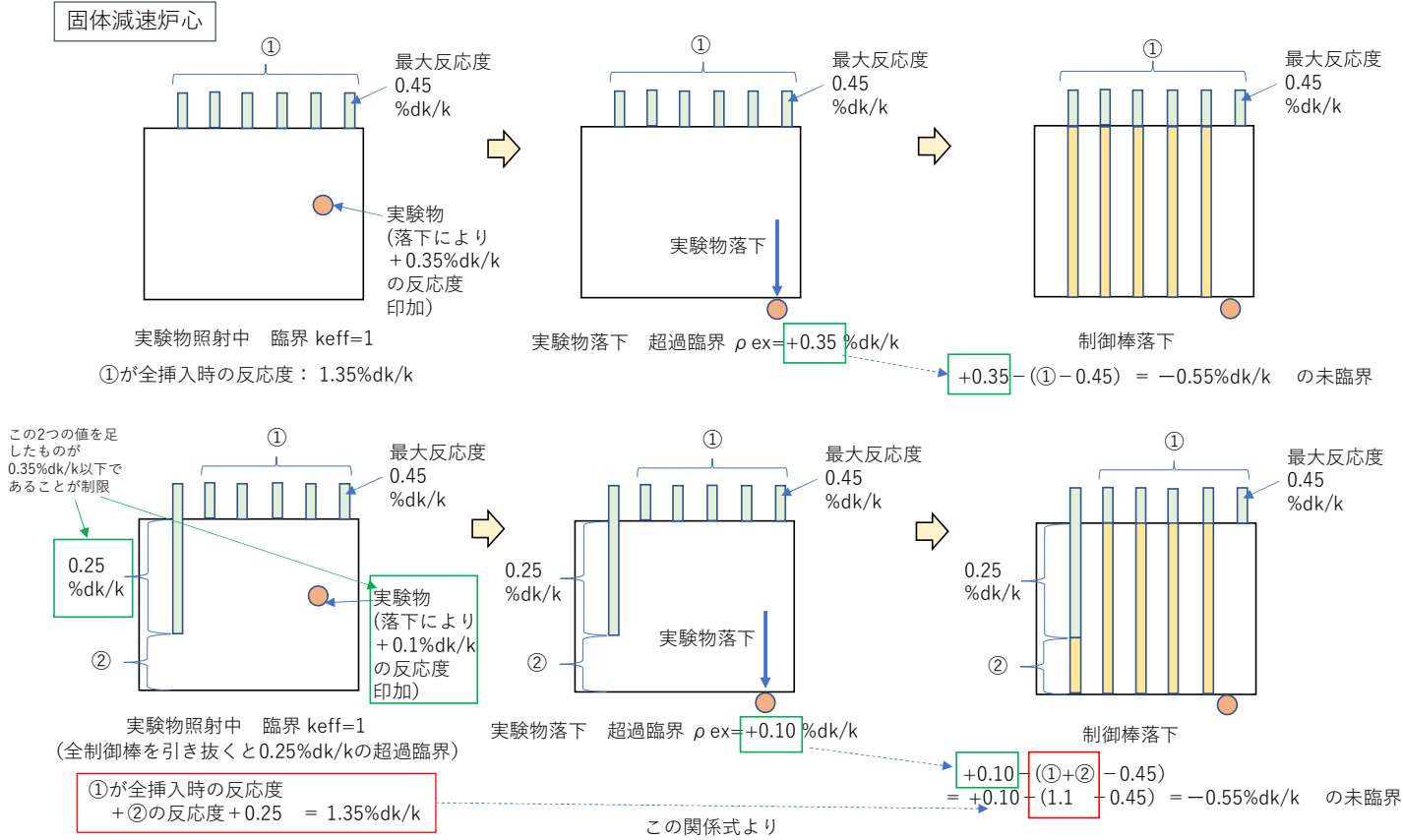


図1-1 固体減速炉心
 実験物の落下により正の反応度が印加される場合
 例えば炉中心に取り付けたカドミウムが炉外に落下

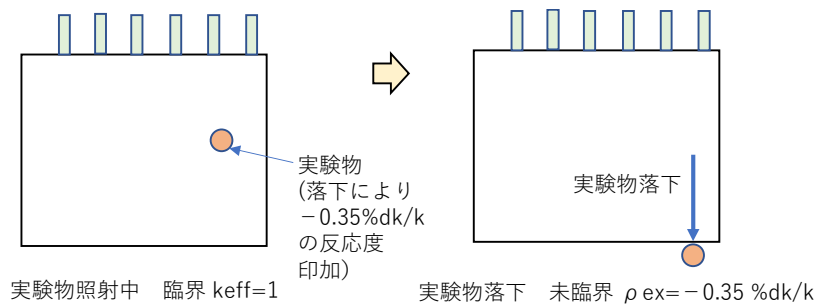


図 1-2 固体減速炉心

実験物の落下により負の反応度が印加される場合

例えば炉中心に取り付けたウラン箱が炉外に落下、すぐに未臨界となり炉停止する

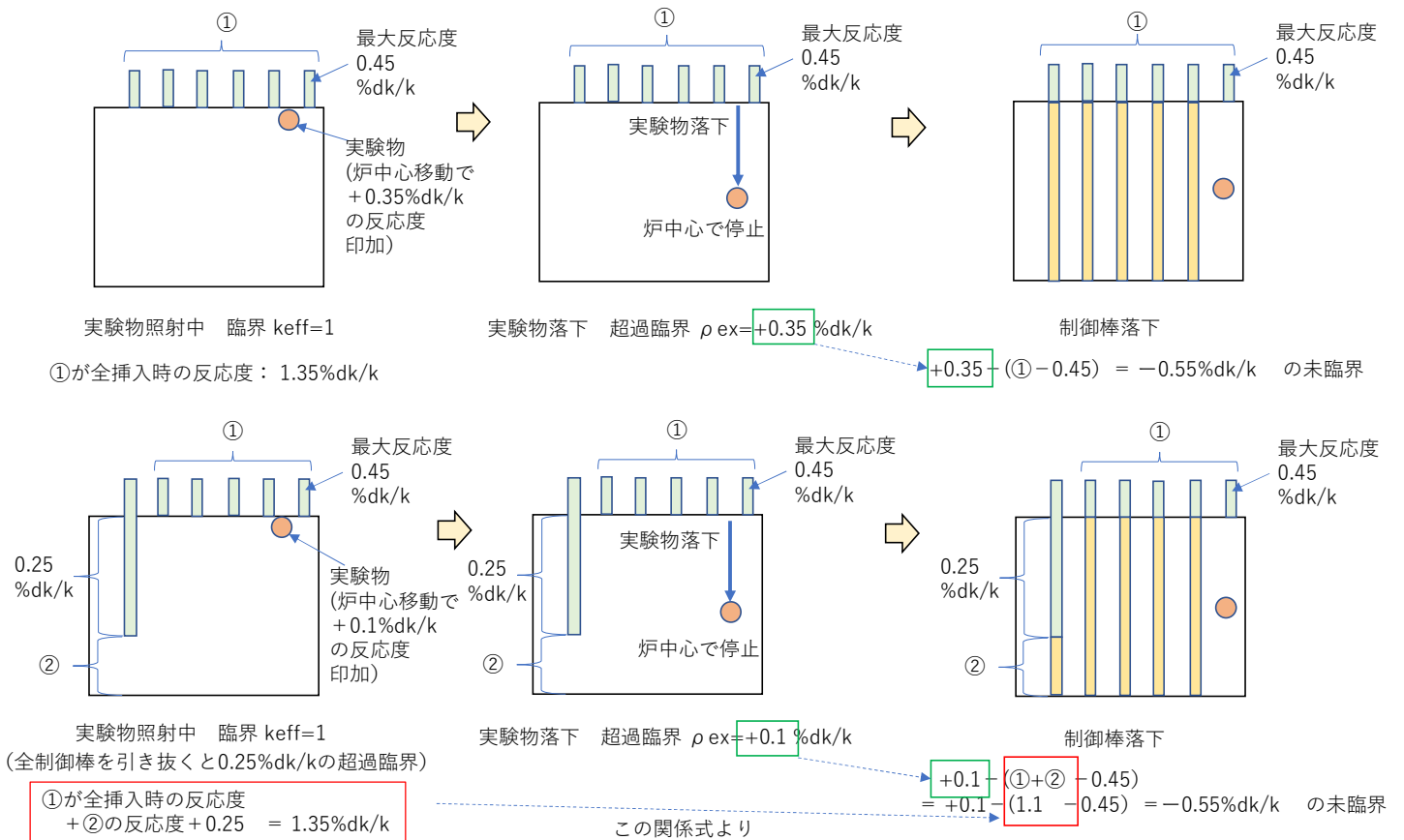


図 1-3 固体減速炉心

実験物の落下により正の反応度が印加される場合

例えば炉外に取り付けたウラン箱が炉中心に落下して停止

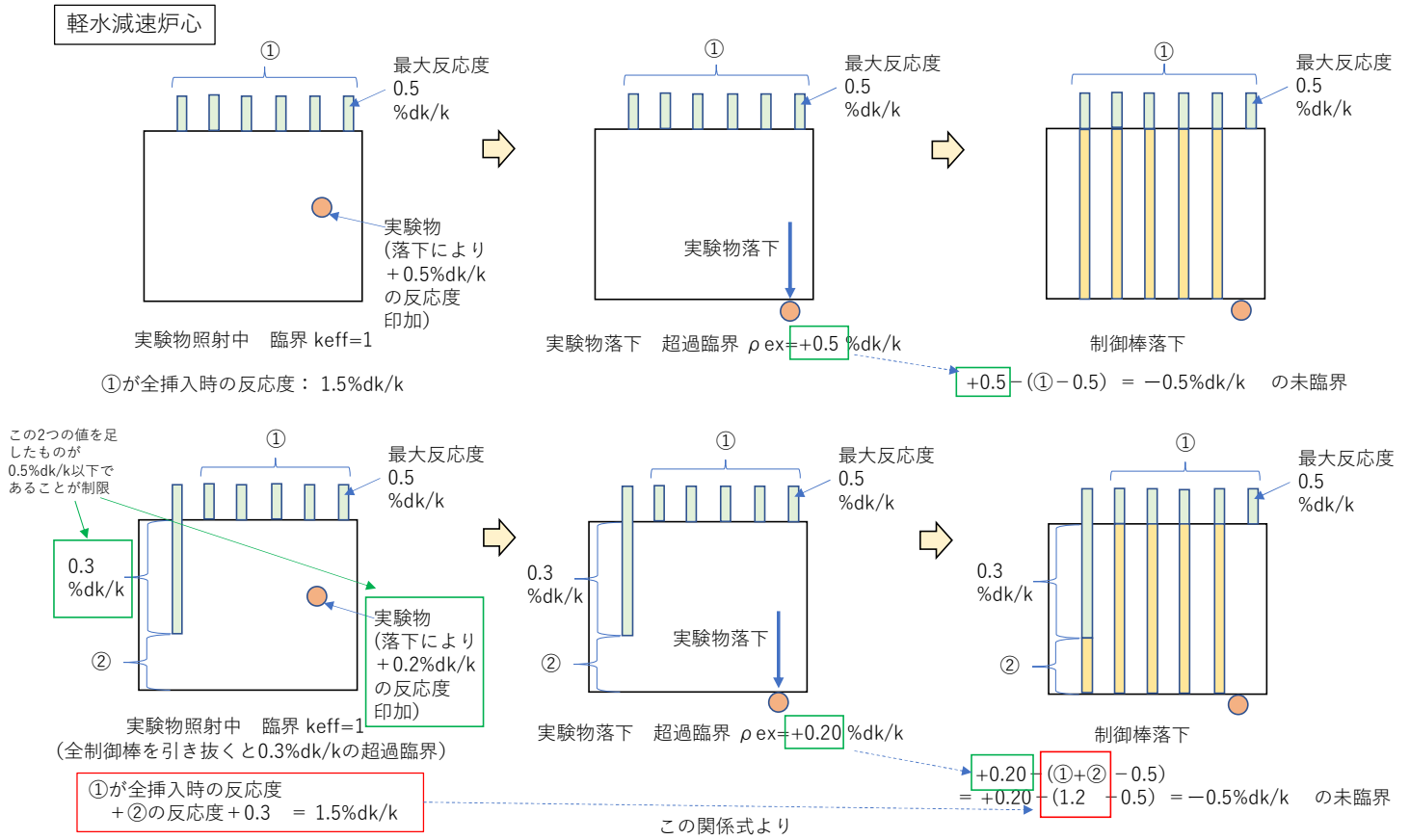


図 2 - 1 軽水減速炉心

実験物の落下により正の反応度が印加される場合
例えば炉中心に取り付けたカドミウムが炉外に落下

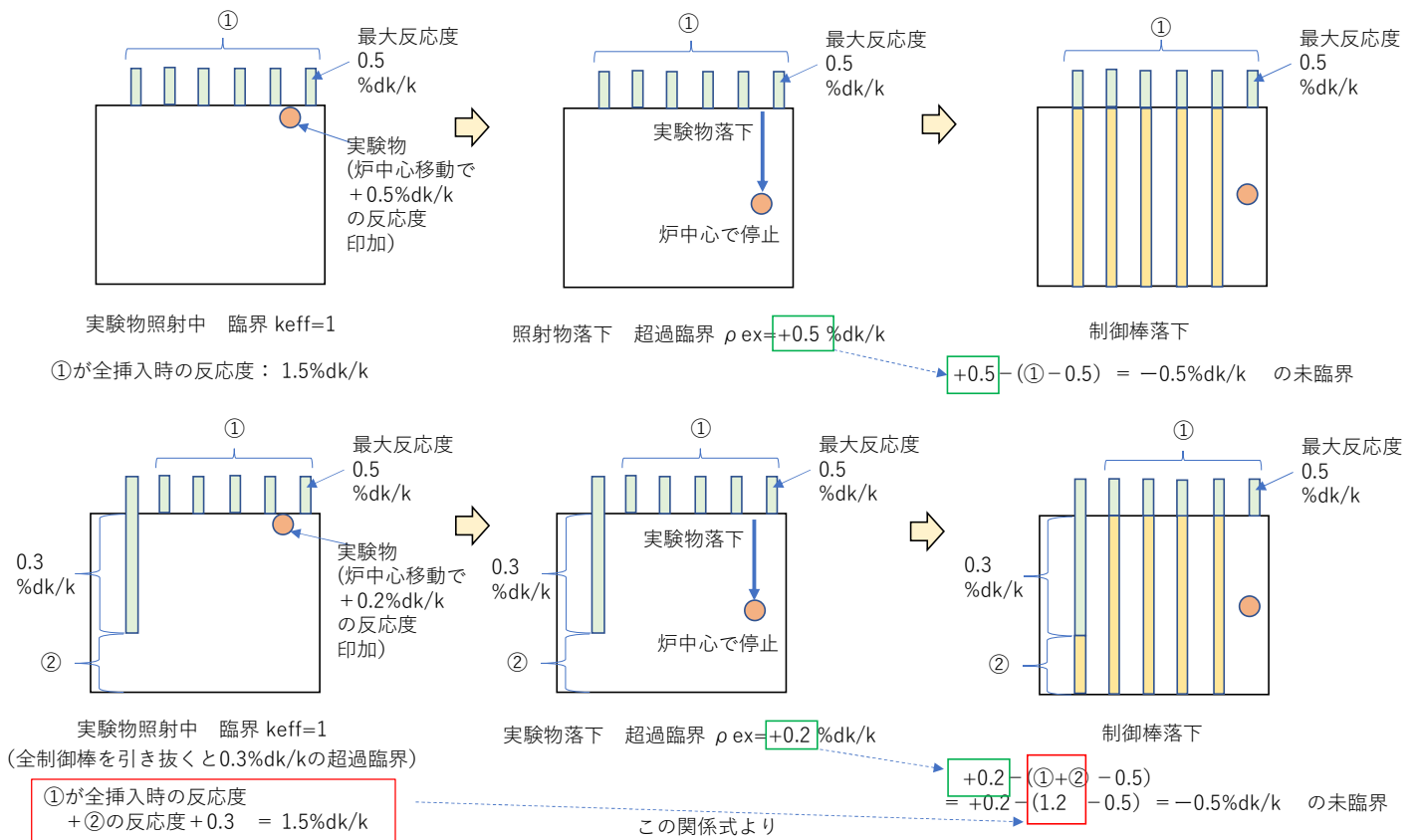


図 2 - 2 軽水減速炉心

実験物の落下により正の反応度が印加される場合
 例えば炉外に取り付けたウラン箔が炉中心に落下して停止

「運転時の異常な過渡変化」の「実験物の異常等による反応度の付加」の解析での全制御棒反応度について説明すること。

添付書類十に記載した「実験物の異常等による反応度の付加」の解析（以下、過渡解析）についての全制御棒反応度の値の設定についてのこれまでの経緯は以下の通りである。

- ・新規規制基準対応時の高濃縮ウラン炉心の KUCA 設置変更申請書（以下、申請書）、および令和元年 5 月に提出した低濃縮ウラン炉心を追加した申請書では照射物の最大反応度を絶対値として $0.5\% \Delta k/k$ 以下に制限し、過渡解析では炉心の過剰反応度を核的制限値の最大値（固体減速炉心 $0.35\% \Delta k/k$ 、軽水減速炉心 $0.5\% \Delta k/k$ ）、全制御棒反応度を固体減速炉心で $1.35\% \Delta k/k$ 、軽水減速炉心で $1.5\% \Delta k/k$ と過渡解析の条件を設定していた。
- ・しかし、その後の確認作業の中でこの照射物の反応度の制限値、および全制御棒反応度の設定では炉心を未臨界とすることができない場合があることが判り、令和 3 年 1 月 18 日の審査会合においてこれらの問題をご説明し、その後の申請書（令和 3 年 3 月 30 日承認）においては現行の申請書に記載された高濃縮ウラン炉心に対する照射物の反応度制限値や過渡解析のシナリオを見直すことなく、照射物等を使用しないこととして添付書類十にはこの過渡解析を記載しなかった。
- ・その後、照射物等に異常が発生しても炉心を未臨界とすることができるようにするために照射物の最大反応度に関する制限値を新たに設定し、その上で過渡解析のシナリオを見直した内容を補正申請として令和 3 年 10 月 4 日に提出した。そこでは、照射物の反応度を最大とするために照射物を取り付けた状態での過剰反応度を $0\% \Delta k/k$ とした炉心を基準として考え、全制御棒反応度は従来から制限値として用いている「過剰反応度 + 1」 $\% \Delta k/k$ （ここでの過剰反応度は照射物を取り付けた正常状態での値）としていたため $1\% \Delta k/k$ と設定し、この条件で炉心を照射物の異常が発生した際に炉心を未臨界とすることができることを確認していた。

例えば、固体減速炉心では制御棒の全反応度を $1\% \Delta k/k$ としたとき照射物の異常により $0.35\% \Delta k/k$ の正の反応度が印加した場合、one rod stuck を考慮して $2/3\% \Delta k/k$ の反応度の制御棒が挿入されて $0.35 - 2/3 = \text{約} -0.31\% \Delta k/k$ の未臨界状態とすることができるとして解析を行った（11 月 22 日のまとめ資料の「異常な過渡変化および設計基準事故の解析条件の整理」の表に記載）。

- ・ 11月24日の原子力規制委員会において過渡解析における全反応度を $1\% \Delta k/k$ としていることについて議論があったため京大で再検討した結果、申請書に記載した全制御棒反応度の制限値を見直し、従来の申請書では全制御棒反応度を「過剰反応度+1」 $\% \Delta k/k$ （過剰反応度は異常が発生する前の値）としていたものを、固体減速炉心および軽水減速炉心の各炉心での最大過剰反応度の制限値をそのまま用いて、全制御棒反応度の制限値を固体減速炉心では $1.35\% \Delta k/k$ 以上、軽水減速炉心では $1.5\% \Delta k/k$ 以上に変更することを考えている。なお、添付十に記載した解析のうち、「原子炉起動時における制御棒の異常な引抜き」のケースBのシナリオにおいては全制御棒反応度を従来の「過剰反応度+1」に基づき $1.05\% \Delta k/k$ として解析を行っているため、この解析については全制御棒反応度の値を変更した結果に修正する（制御棒反応度が大きくなる方向なので温度上昇は従来の結果より小さくなると考えられる）。

これにより各炉心共に全制御棒反応度は最小値であるとして、固体減速炉心では照射物の異常により $0.35\% \Delta k/k$ の正の反応度が印加した場合、one rod stuckを考慮して $1.35 \times 2/3 = 0.9\% \Delta k/k$ の反応度の制御棒が挿入されるため $0.35 - 0.9 = -0.55\% \Delta k/k$ の未臨界状態とすることができる。軽水減速炉心では $0.5\% \Delta k/k$ の正の反応度が印加した場合、one rod stuckを考慮して $1.5 \times 2/3 = 1.0\% \Delta k/k$ の反応度の制御棒が挿入されるため $0.5 - 1.0 = -0.5\% \Delta k/k$ の未臨界状態とすることができる。

上記の全制御棒反応度に関する制限値の変更、およびこの変更に伴う解析結果を再々補正申請に記載する予定である。

(以上)

2-3 実験物の異常等による反応度の付加

原子炉の出力運転中に、炉心に直接挿入又は燃料集合体に取り付けて炉心内挿入する実験物の位置が変化した場合、または挿入管が破損して内部に水が流入することにより炉心に反応度が印加され原子炉出力が急上昇するため燃料、減速材の温度が上昇して許容設計限界を超える可能性がある。以下の解析においては挿入管が破損して正の反応度が加わることを含めて「試料の落下」と記載して説明する。

2-3-1 解析シナリオ

(1) 解析対象炉心

解析の対象とする炉心は、固体減速炉心、軽水減速炉心ともに「第381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11月5日）の説明資料2-1で選定したすべての代表炉心を対象とする。

(2) 反応度等

実験物を取り付けられた状態での各炉心の過剰反応度

固体減速炉心、軽水減速炉心ともに $0\% \Delta k/k$

(過剰反応度と試料の落下により加わる反応度を足し合わせたものを過剰反応度の核的制限値以下であるとするので、過剰反応度がゼロの炉心ほど試料の反応度を大きくすることができるので、印加される反応度をできるだけ大きくするためにこのような条件を設定した)

実験物の反応度(取り付けることにより反応度が加わる試料)

固体減速炉心は絶対値で $0.35\% \Delta k/k$

軽水減速炉心は絶対値で $0.5\% \Delta k/k$

制御棒の全反応度は核的制限値の最小値

固体減速炉心は $1.35\% \Delta k/k$

軽水減速炉心は $1.5\% \Delta k/k$

反応度が最大の制御棒は核的制限値(全体の1/3以下)の最大値

固体減速炉心は $1.35 \times 1/3 = 0.45\% \Delta k/k$

軽水減速炉心は $1.5 \times 1/3 = 0.5\% \Delta k/k$

(3) 初期運転条件

初期温度は室温として 25°C

固体減速炉心では中心架台上限、軽水減速炉心では炉心タンク満水

線型出力計は指示値が 100%で 100W となるレンジ

制御棒はすべて引き抜いて出力 0.01W の臨界状態

(4) スクラム信号発生

【ケース A】

- ・炉心に取り付けていた実験物が炉心から落下し、固体減速炉心では $+0.35\% \Delta k/k$ 、軽水減速炉心では $+0.5\% \Delta k/k$ の反応度がステップ状に加わる。
- ・線型出力計の指示値が 120%（出力が 120W）を超えたときにスクラム信号が発生し、1 秒後に制御棒が落下する。
- ・最大反応度効果を持つ制御棒 1 本以外の制御棒はすべて炉心に挿入されるとするので、「実験物落下による反応度－(全制御棒反応度－最大 1 本の反応度)」の未臨界度となる。すなわち、
固体減速炉心では「 $+0.35-0.9=-0.55\% \Delta k/k$ 」の未臨界度
軽水減速炉心では「 $+0.5-1.0=-0.5\% \Delta k/k$ 」の未臨界度
となる。
- ・出力が 0.1W になるまで解析する。固体減速炉心の中心架台及び軽水減速炉心のダンプ弁は作動しないとする。

【ケース B】

- ・炉心に取り付けていた実験物が炉心からゆっくり落下するような場合、または軽水減速炉心で炉心近傍の挿入管にゆっくり水が入り込むような場合を想定する。固体減速炉心では最大 $+0.35\% \Delta k/k$ 、軽水減速炉心では最大 $+0.5\% \Delta k/k$ の反応度が 1 時間（3600 秒）かけて加わるとする。
- ・線型出力計の指示値が 120%（出力が 120W）を超えたときにスクラム信号が発生し、1 秒後に制御棒が落下する。
- ・最大反応度効果を持つ制御棒 1 本以外の制御棒はすべて炉心に挿入されるとするので、「実験物落下による反応度－(全制御棒反応度－最大 1 本の反応度)」の未臨界度となる。
- ・出力が 0.1W になるまで解析する。固体減速炉心の中心架台及び軽水減速炉心のダンプ弁は作動しないとする。

2-3-2 解析結果

ケース A

ケースAについて固体減速炉心の結果を表 2-3-1 に示す。最も燃料温度が高くなったのが L5.5P-30 炉心で燃料温度上昇は約 0.44℃であり判定基準値を満たしている（出力変化を図 2-3-1 に示す）。

この炉心の燃料重量の誤差（6%）、即発中性子減衰定数の誤差（8%）、温度係数の誤差（32%）を考慮したときの結果を表 2-3-2 に示す。燃料重量の誤差を考慮したときには燃料温度は 6%高くなる。 β_{eff} と ρ が各々 8%の誤差を持った場合の結果より、 ρ の誤差が結果にほとんど影響を及ぼさないが、 β_{eff} に誤差があった場合には燃料温度が最大 18%上昇する。温度係数の誤差も結果に影響しない。

これらの誤差があったとしても燃料温度は約 1.25 倍（ 1.06×1.18 ）となるだけなので判定基準値を満たしている。（ $0.44^\circ\text{C} \times 1.25 = 0.55^\circ\text{C}$ ）

ケースAについて軽水減速炉心の結果を表 2-3-3 に示す。最も燃料温度が高くなったのが C45G(2H₂O) 4 列炉心で燃料温度上昇は約 0.14℃であり判定基準値を満たしている（出力変化を図 2-3-2 に示す）。

この炉心の燃料重量の誤差、即発中性子減衰定数、温度係数の誤差を考慮したときの結果を表 2-3-4 に示す。燃料重量の誤差を考慮したときには燃料温度は 6%高くなる。 β_{eff} と ρ が各々 8%の誤差を持った場合の結果より、 ρ の誤差が結果にほとんど影響を及ぼさないが、 β_{eff} に誤差があった場合には燃料温度が最大 19%上昇する。温度係数の誤差も結果に影響しない。

これらの誤差があったとしても燃料温度は約 1.26 倍（ 1.06×1.19 ）となるだけなので判定基準値を満たしている。（ $0.07^\circ\text{C} \times 1.26 = 0.09^\circ\text{C}$ ）

ケース B

ケース B について固体減速炉心の結果を表 2-3-5 に示す。最も燃料温度が高くなったのが L5.5P-30 炉心で燃料温度上昇は約 2.5℃であり判定基準値を満たしている（出力変化を図 2-3-3 に示す）。

この炉心の燃料重量の誤差、即発中性子減衰定数、温度係数の誤差を考慮したときの結果を表 2-3-6 に示す。燃料重量の誤差を考慮したときには燃料温度は 7%高くなる。 β_{eff} と ρ が各々 8%の誤差を持った場合の結果より、 ρ の誤差が結果にほとんど影響を及ぼさないが、 β_{eff} に誤差があった場合には燃料温度が最大 5%上昇する。温度係数の誤差により燃料温度が約 2%上昇する。

これらの誤差があったとしても燃料温度は約 1.15 倍 ($1.07 \times 1.05 \times 1.02$) となるだけなので判定基準値を満たしている。 $(2.6^{\circ}\text{C} \times 1.15 = 2.9^{\circ}\text{C})$

ケース B について軽水減速炉心の結果を表 2-3-7 に示す。最も燃料温度が高くなったのが C45G(2H₂O) 4 列炉心で燃料温度上昇は約 0.41°C であり判定基準値を満たしている（出力変化を図 2-3-4 に示す）。

この炉心の燃料重量の誤差、即発中性子減衰定数、温度係数の誤差を考慮したときの結果を表 2-3-8 に示す。燃料重量の誤差を考慮したときには燃料温度は 6% 高くなる。 β_{eff} と ρ が各々 8% の誤差を持った場合の結果より、 ρ の誤差が結果にほとんど影響を及ぼさないが、 β_{eff} に誤差があった場合には燃料温度が最大 6% 上昇する。温度係数の誤差も結果に影響しない。

これらの誤差があったとしても燃料温度は約 1.12 倍 (1.06×1.06) となるだけなので判定基準値を満たしている。 $(0.54^{\circ}\text{C} \times 1.12 = 0.60^{\circ}\text{C})$

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

表 2-3-1 実験物の異常等による反応度の付加（固体減速炉心）

【ケース A（ステップ状反応度印加）】

炉心名称 a、	120W 超 (s)	最大出力 (W)	0.1W まで (s)	積算出力 (J)	温度上昇 (°C) a)	温度上昇 (°C) b)
L5.5P-50	58.0	138.8	297.3	1.55×10^3	1.72×10^{-1}	3.93×10^{-1}
L5.5P-40	58.0	138.8	297.3	1.55×10^3	1.87×10^{-1}	4.30×10^{-1}
L5.5P-30	58.0	138.8	297.3	1.55×10^3	1.92×10^{-1}	4.40×10^{-1} c)
L4P-50	59.7	138.3	301.9	1.59×10^3	1.56×10^{-1}	3.47×10^{-1}
L4P-40	60.6	138.0	304.0	1.60×10^3	1.89×10^{-1}	4.14×10^{-1}
L4P-30	60.6	138.0	304.0	1.60×10^3	2.00×10^{-1}	4.36×10^{-1}
L3P-50	61.5	137.7	306.5	1.63×10^3	1.49×10^{-1}	3.16×10^{-1}
L3P-40	61.7	137.7	307.0	1.63×10^3	1.65×10^{-1}	3.54×10^{-1}
L3P-30	62.0	137.6	307.6	1.63×10^3	1.81×10^{-1}	3.78×10^{-1}
L2P-50	62.4	137.5	309.0	1.65×10^3	1.11×10^{-1}	2.85×10^{-1}
L2P-40	63.0	137.3	310.6	1.66×10^3	1.32×10^{-1}	2.92×10^{-1}
L2P-30	62.6	137.4	309.5	1.65×10^3	1.38×10^{-1}	3.21×10^{-1}
L1P-50	62.0	137.6	308.4	1.64×10^3	6.40×10^{-2}	2.07×10^{-1}
L1P-40	63.0	137.3	311.0	1.66×10^3	6.82×10^{-2}	1.72×10^{-1}
L1P-30	62.8	137.3	310.4	1.66×10^3	7.16×10^{-2}	2.19×10^{-1}
LL1P-50	61.5	137.7	307.2	1.63×10^3	2.69×10^{-2}	1.01×10^{-1}
LL1P-40	62.1	137.5	308.8	1.64×10^3	2.43×10^{-2}	8.84×10^{-2}
LL1P-30	61.9	137.6	308.3	1.64×10^3	2.81×10^{-2}	1.11×10^{-1}

a) 燃料板のみの温度上昇を考慮

b) 各炉心の「最大値／平均値」、および燃料板内の出力分布を考慮する係数（1.09 倍、ただし LL1 炉心についてのみ 1.23 倍）を掛ける

c) 温度上昇が最大となる結果

表 2-3-2 実験物の異常等による反応度の付加（固体減速炉心 L5.5P-30 炉心）
（ケース A） 誤差の影響

	120W 超 (s)	最大出力 (W)	0.1W まで (s)	積算出力 (J)	温度上昇 (°C) a)	温度上昇 (°C) b)	比 c)
基準 d)	58.0	138.8	297.3	1.55E+03	1.92E-01	4.04E-01	—
U 重量 6%減少	58.0	138.8	297.3	1.55E+03	2.03E-01	4.28E-01	1.06
β_{eff} 8%減少	46.0	144.0	265.9	1.28E+03	1.59E-01	3.65E-01	0.83
β_{eff} 8%増加	70.6	135.4	328.6	1.82E+03	2.27E-01	5.19E-01	1.18
ℓ 8%減少	57.9	138.9	297.2	1.54E+03	1.92E-01	4.39E-01	1.00
ℓ 8%増加	57.9	138.9	297.3	1.55E+03	1.92E-01	4.39E-01	1.00
温度係数 32%減少	57.8	138.9	297.2	1.54E+03	1.92E-01	4.39E-01	1.00
温度係数 32%増加	58.0	138.8	297.3	1.55E+03	1.92E-01	4.40E-01	1.00

- a),b)は表 2-3-1 と同じ
- c) 基準の結果に対する比
- d) 表 2-3-1 の結果と同じ

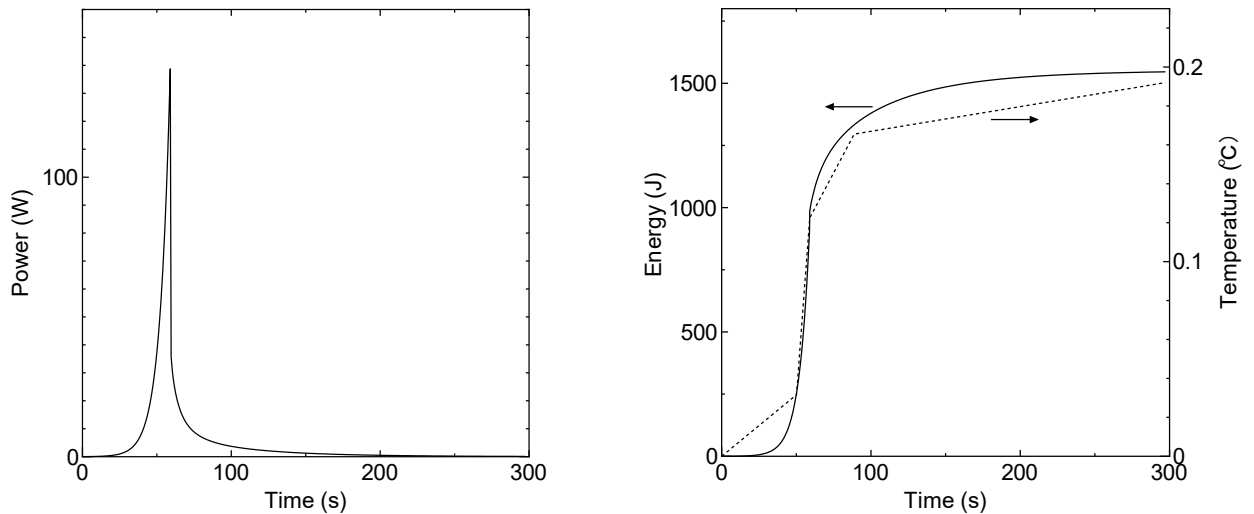


図 2-3-1 L5.5P-30 炉心

実験物の異常等による反応度の付加（ケース A ステップ状反応度添加）
出力変化（左）、積算出力と温度変化（右実線：出力、右点線：温度）

表 2-3-3 実験物の異常等による反応度の付加（軽水減速炉心）

【ケース A（ステップ状反応度印加）】

炉心名称	列	120W 超 (s)	最大出力 (W)	0.1W まで (s)	積算出力 (J)	温度上昇 (°C) ^{a)}	温度上昇 (°C) ^{b)}
C30G0	4	19.9	180.0	239.1	8.80×10^2	1.28×10^{-2}	3.26×10^{-2}
	5	19.9	180.0	239.1	8.80×10^2	1.32×10^{-2}	3.15×10^{-2}
C35G0	4	20.1	179.3	240.0	8.86×10^2	1.80×10^{-2}	4.08×10^{-2}
	5	20.0	179.6	239.6	8.83×10^2	1.78×10^{-2}	4.10×10^{-2}
C45G0	4	19.8	180.2	238.8	8.79×10^2	2.55×10^{-2}	5.08×10^{-2}
	5	19.8	180.2	238.8	8.79×10^2	2.49×10^{-2}	5.26×10^{-2}
C60G0	4	19.3	182.3	236.4	8.64×10^2	2.39×10^{-2}	4.34×10^{-2}
	5	19.3	182.3	236.4	8.64×10^2	2.35×10^{-2}	4.44×10^{-2}
C45G (2H ₂ O)	4	19.4	182.0	236.8	8.67×10^2	2.62×10^{-2}	6.87×10^{-2} ^{c)}
C45G (5H ₂ O)		18.3	186.3	232.4	8.40×10^2	1.96×10^{-2}	6.51×10^{-2}
C45G (6H ₂ O)		18.3	186.3	232.4	8.40×10^2	1.77×10^{-2}	5.84×10^{-2}
C45G (7H ₂ O)		18.4	185.9	232.8	8.42×10^2	1.63×10^{-2}	5.16×10^{-2}
C45G (10H ₂ O)		18.9	183.5	235.2	8.57×10^2	1.41×10^{-2}	3.74×10^{-2}
C45G (15H ₂ O)		19.5	181.3	237.6	8.71×10^2	1.31×10^{-2}	2.79×10^{-2}
C45G (2H ₂ O)	5	19.3	182.3	236.4	8.64×10^2	2.60×10^{-2}	6.70×10^{-2}
C45G (5H ₂ O)		17.9	188.0	230.8	8.31×10^2	1.99×10^{-2}	6.63×10^{-2}
C45G (6H ₂ O)		17.8	188.4	230.4	8.28×10^2	1.79×10^{-2}	6.03×10^{-2}
C45G (7H ₂ O)		17.9	188.0	230.8	8.30×10^2	1.63×10^{-2}	5.41×10^{-2}
C45G (10H ₂ O)		18.6	185.1	233.6	8.47×10^2	1.39×10^{-2}	4.04×10^{-2}
C45G (15H ₂ O)		19.3	182.0	236.8	8.66×10^2	1.28×10^{-2}	3.05×10^{-2}
C60G (2H ₂ O)	4	18.7	184.6	234.0	8.50×10^2	2.29×10^{-2}	5.97×10^{-2}
C60G (5H ₂ O)		17.8	188.3	230.4	8.29×10^2	1.71×10^{-2}	5.26×10^{-2}
C60G (7H ₂ O)		18.0	187.5	231.2	8.33×10^2	1.46×10^{-2}	4.12×10^{-2}
C60G (10H ₂ O)		18.6	185.0	233.6	8.47×10^2	1.30×10^{-2}	3.01×10^{-2}
C60G (15H ₂ O)		19.1	183.0	235.6	8.60×10^2	1.22×10^{-2}	2.28×10^{-2}

a) 燃料板のみの温度上昇を考慮

b) 各炉心の「最大値／平均値」、および燃料板内の出力分布を考慮する係数（1.01 倍）を掛ける

c) 温度上昇が最大となる結果

表 2-3-4 実験物の異常等による反応度の付加（軽水減速炉心 C45G(2H₂O) 4 列炉心）
（ケース A） 誤差の影響

	120W 超 (s)	最大出力 (W)	0.1W まで (s)	積算出力 (J)	温度上昇 (°C) a)	温度上昇 (°C) b)	比 c)
基準 d)	19.4	182.0	236.8	8.67E+02	2.62E-02	6.87E-02	—
U 重量 6%減少	19.4	182.0	236.8	8.67E+02	2.78E-02	7.28E-02	1.06
β _{eff} 8%減少	13.5	215.4	212.6	7.29E+02	2.20E-02	5.78E-02	0.84
β _{eff} 8%増加	25.8	164.7	262.5	1.03E+03	3.12E-02	8.19E-02	1.19
ℓ 8%減少	19.3	182.1	236.7	8.66E+02	2.61E-02	6.86E-02	1.00
ℓ 8%増加	19.4	181.9	236.9	8.67E+02	2.62E-02	6.87E-02	1.00
温度係数 32% 減少	19.3	182.0	236.8	8.67E+02	2.62E-02	6.87E-02	1.00
温度係数 32% 増加	19.4	182.0	236.8	8.67E+02	2.62E-02	6.87E-02	1.00

- a),b)は表 2-3-3 と同じ
- c) 基準の結果に対する比
- d) 表 2-3-3 の結果と同じ

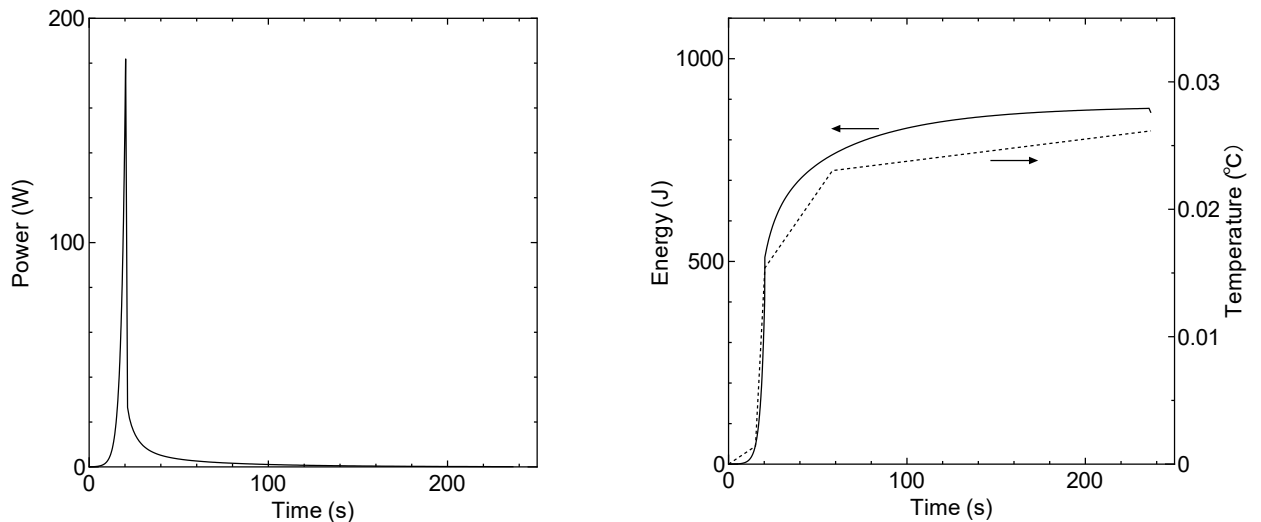


図 2-3-2 C45G(2H₂O) 4 列炉心

実験物の異常等による反応度の付加（ケース A ステップ状反応度添加）
出力変化（左）、積算出力と温度変化（右実線：出力、右点線：温度）

表 2-3-5 実験物の異常等による反応度の付加（固体減速炉心）

【ケース B（ランプ状反応度印加）】

炉心名称 a、	120W 超 (s)	最大出力 (W)	0.1W まで (s)	積算出力 (J)	温度上昇 (°C) a)	温度上昇 (°C) b)
L5.5P-50	1173.7	121.9	1458.5	8.81×10^3	9.77×10^{-1}	2.24×10^0
L5.5P-40	1175.0	121.9	1459.7	8.82×10^3	1.07×10^0	2.45×10^0
L5.5P-30	1174.6	121.9	1459.3	8.80×10^3	1.09×10^0	2.50×10^0 c)
L4P-50	1180.7	122.0	1466.9	8.78×10^3	8.61×10^{-1}	1.92×10^0
L4P-40	1184.7	121.9	1471.8	8.84×10^3	1.04×10^0	2.28×10^0
L4P-30	1184.9	121.9	1472.0	8.85×10^3	1.10×10^0	2.41×10^0
L3P-50	1187.2	122.0	1475.1	8.80×10^3	8.05×10^{-1}	1.71×10^0
L3P-40	1187.8	122.0	1475.8	8.79×10^3	8.88×10^{-1}	1.91×10^0
L3P-30	1188.7	122.0	1477.0	8.80×10^3	9.77×10^{-1}	2.03×10^0
L2P-50	1187.4	122.1	1475.7	8.66×10^3	5.86×10^{-1}	1.50×10^0
L2P-40	1190.6	122.0	1479.6	8.71×10^3	6.91×10^{-1}	1.53×10^0
L2P-30	1188.8	122.0	1477.4	8.69×10^3	7.28×10^{-1}	1.69×10^0
L1P-50	1183.6	122.1	1471.3	8.53×10^3	3.33×10^{-1}	1.08×10^0
L1P-40	1187.9	122.1	1476.6	8.56×10^3	3.51×10^{-1}	8.84×10^{-1}
L1P-30	1187.0	122.1	1475.5	8.55×10^3	3.69×10^{-1}	1.13×10^0
LL1P-50	1180.2	122.2	1467.3	8.45×10^3	1.39×10^{-1}	5.27×10^{-1}
LL1P-40	1182.7	122.1	1470.4	8.47×10^3	1.25×10^{-1}	4.56×10^{-1}
LL1P-30	1181.8	122.1	1469.3	8.46×10^3	1.45×10^{-1}	5.76×10^{-1}

a) 燃料板のみの温度上昇を考慮

b) 各炉心の「最大値／平均値」、および燃料板内の出力分布を考慮する係数（1.09 倍、ただし LL1 炉心についてのみ 1.23 倍）を掛ける

c) 温度上昇が最大となる結果

表 2-3-6 実験物の異常等による反応度の付加（固体減速炉心 L5.5P-30 炉心）
（ケース B） 誤差の影響

	120W 超 (s)	最大出力 (W)	0.1W まで (s)	積算出力 (J)	温度上昇 (°C) a)	温度上昇 (°C) b)	比 c)
基準 d)	1174.6	121.9	1459.3	8.80E+03	1.09E+00	2.50E+00	—
U 重量 6%減少	1175.5	121.9	1460.4	8.84E+03	1.16E+00	2.66E+00	1.07
β_{eff} 8%減少	1120.1	122.0	1392.5	8.33E+03	1.03E+00	2.37E+00	0.95
β_{eff} 8%増加	1227.2	121.9	1523.8	9.26E+03	1.15E+00	2.63E+00	1.05
ℓ 8%減少	1174.6	121.9	1459.3	8.80E+03	1.09E+00	2.50E+00	1.00
ℓ 8%増加	1174.7	121.9	1459.4	8.80E+03	1.09E+00	2.50E+00	1.00
温度係数 32%減少	1170.6	122.0	1454.7	8.62E+03	1.07E+00	2.45E+00	0.98
温度係数 32%増加	1178.7	121.9	1464.0	8.98E+03	1.12E+00	2.55E+00	1.02

a),b)は表 2-3-5 と同じ

c) 基準の結果に対する比

d) 表 2-3-5 の結果と同じ

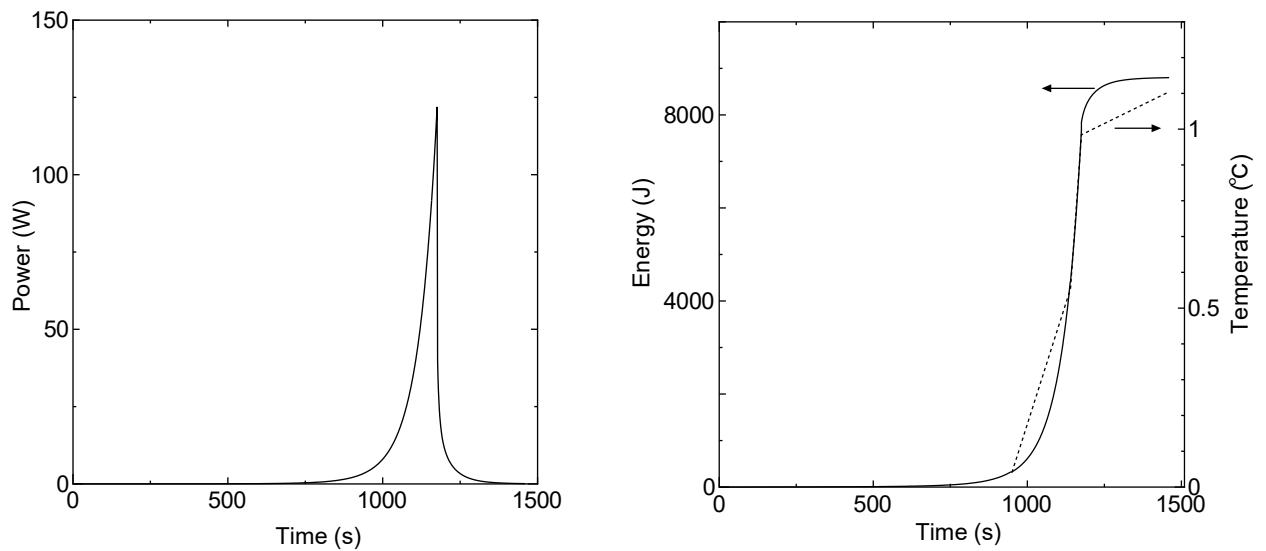


図 2-3-3 L5.5P-30 炉心 出力変化

実験物の異常等による反応度の付加（ケース B ランプ状反応度添加）
出力変化（左）、積算出力と温度変化（右実線：出力、右点線：温度）

表 2-3-7 実験物の異常等による反応度の付加（軽水減速炉心）

【ケース B（ランプ状反応度印加）】

炉心名称	列	120W 超 (s)	最大出力 (W)	0.1W まで (s)	積算出力 (J)	温度上昇 (°C) ^{a)}	温度上昇 (°C) ^{b)}
C30G0	4	960.1	122.7	1228.2	6.84×10^3	9.98×10^{-2}	2.53×10^{-1}
	5	960.1	122.7	1228.2	6.84×10^3	1.03×10^{-1}	2.45×10^{-1}
C35G0	4	961.8	122.7	1230.4	6.86×10^3	1.39×10^{-1}	3.16×10^{-1}
	5	961.1	122.7	1229.5	6.86×10^3	1.38×10^{-1}	3.18×10^{-1}
C45G0	4	960.3	122.7	1228.5	6.88×10^3	2.00×10^{-1}	3.97×10^{-1}
	5	960.3	122.7	1228.4	6.87×10^3	1.95×10^{-1}	4.12×10^{-1}
C60G0	4	955.6	122.7	1222.6	6.82×10^3	1.88×10^{-1}	3.42×10^{-1}
	5	955.6	122.7	1222.5	6.82×10^3	1.85×10^{-1}	3.50×10^{-1}
C45G (2H ₂ O)	4	956.4	122.7	1223.6	6.83×10^3	2.06×10^{-1}	5.41×10^{-1} ^{c)}
C45G (5H ₂ O)		947.5	122.7	1212.3	6.73×10^3	1.57×10^{-1}	5.21×10^{-1}
C45G (6H ₂ O)		947.1	122.8	1211.9	6.71×10^3	1.42×10^{-1}	4.66×10^{-1}
C45G (7H ₂ O)		947.9	122.7	1212.9	6.72×10^3	1.30×10^{-1}	4.12×10^{-1}
C45G (10H ₂ O)		952.6	122.7	1218.8	6.77×10^3	1.11×10^{-1}	2.95×10^{-1}
C45G (15H ₂ O)		957.3	122.7	1224.7	6.82×10^3	1.02×10^{-1}	2.18×10^{-1}
C45G (2H ₂ O)	5	955.6	122.7	1222.5	6.82×10^3	2.05×10^{-1}	5.29×10^{-1}
C45G (5H ₂ O)		943.7	122.8	1207.5	6.66×10^3	1.60×10^{-1}	5.32×10^{-1}
C45G (6H ₂ O)		942.9	122.8	1206.5	6.66×10^3	1.44×10^{-1}	4.85×10^{-1}
C45G (7H ₂ O)		943.9	122.8	1207.8	6.67×10^3	1.31×10^{-1}	4.35×10^{-1}
C45G (10H ₂ O)		949.4	122.7	1214.8	6.73×10^3	1.11×10^{-1}	3.21×10^{-1}
C45G (15H ₂ O)		955.7	122.7	1222.7	6.80×10^3	1.01×10^{-1}	2.40×10^{-1}
C60G (2H ₂ O)	4	950.8	122.7	1216.5	6.77×10^3	1.83×10^{-1}	4.76×10^{-1}
C60G (5H ₂ O)		943.6	122.8	1207.3	6.68×10^3	1.38×10^{-1}	4.24×10^{-1}
C60G (7H ₂ O)		945.0	122.8	1209.2	6.69×10^3	1.17×10^{-1}	3.31×10^{-1}
C60G (10H ₂ O)		949.6	122.7	1215.0	6.74×10^3	1.03×10^{-1}	2.39×10^{-1}
C60G (15H ₂ O)		953.4	122.7	1219.8	6.78×10^3	9.62×10^{-2}	1.80×10^{-1}

a) 燃料板のみの温度上昇を考慮

b) 各炉心の「最大値／平均値」、および燃料板内の出力分布を考慮する係数（1.01 倍）を掛ける

c) 温度上昇が最大となる結果

表 2-3-8 実験物の異常等による反応度の付加（軽水減速炉心 C45G(2H₂O) 4 列炉心）
 (ケース B) 誤差の影響

	120W 超 (s)	最大出力 (W)	0.1W まで (s)	積算出力 (J)	温度上昇 (°C) ^{a)}	温度上昇 (°C) ^{b)}	比 ^{c)}
基準 ^{d)}	956.4	122.7	1223.6	6.83E+03	2.06E-01	5.41E-01 ^{c)}	—
U 重量 6%減少	956.5	122.7	1223.7	6.83E+03	2.19E-01	5.74E-01	1.06
β _{eff} 8%減少	911.0	122.8	1166.0	6.44E+03	1.94E-01	5.11E-01	0.94
β _{eff} 8%増加	1000.2	122.6	1279.1	7.21E+03	2.18E-01	5.71E-01	1.06
ℓ 8%減少	956.4	122.7	1223.5	6.83E+03	2.06E-01	5.41E-01	1.00
ℓ 8%増加	956.5	122.7	1223.6	6.83E+03	2.06E-01	5.41E-01	1.00
温度係数 32% 減少	956.0	122.7	1223.1	6.81E+03	2.06E-01	5.40E-01	1.00
温度係数 32% 増加	956.8	122.7	1224.0	6.85E+03	2.07E-01	5.43E-01	1.00

- a),b)は表 2-3-7 と同じ
- c) 基準の結果に対する比
- d) 表 2-3-7 の結果と同じ

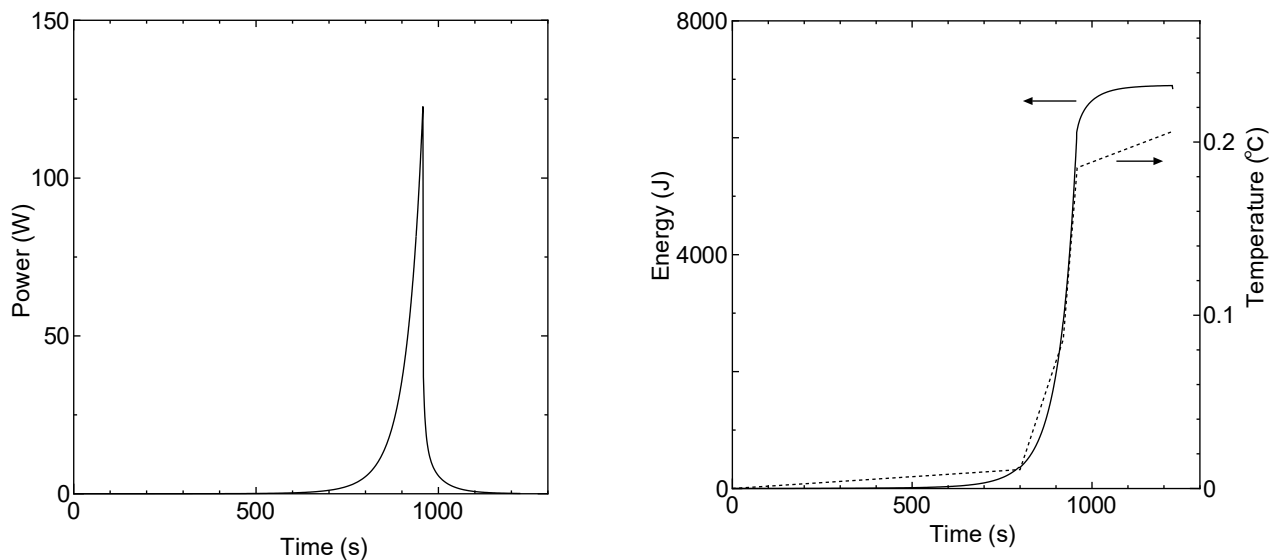


図 2-3-4 C45G(2H₂O) 4 列炉心 出力変化
 実験物の異常等による反応度の付加（ケース B ランプ状反応度添加）
 出力変化（左）、積算出力と温度変化（右実線：出力、右点線：温度）

表 異常な過渡変化および設計基準事故の解析条件の整理 (固体減速炉心)

事象	ケース	過剰反応度 (a) (%Δk/k)	反応度添加率(% Δk/k/s) (ランプ状添加)	全制御棒 の反応度 (%Δk/k)	最大1本 の反応度	スクラム 発生時間 (b) (s)	スクラム 発生時の 出力 (c) (W)	スクラム発生時の 炉心反応度(d)(%Δ k/k)	スクラム後の反応度(e) (%Δk/k)	スクラム 発生前の 積算出力 (J)	スクラム発生後の 積算出力 (J)	全積算出力 (J)	中心架台 の作動の 有無	備考	備考2 (スクラム発生時の反 応度)	備考3 (スクラム後の反応度)
原子炉起動時における制御棒の異常な引抜き	ケースA	0.35	0.02%Δk/k/s(ランプ状添加)	1.35	0.45	70.5	138.7	0.35	-0.55 (+0.35-0.9) (制御棒はスクラム前に全引抜きであり、1.35-0.45=0.9%Δk/kが挿入される)	9.56E2	5.96E2	1.55E3	無	L5.5P-30炉心	温度上昇による-0.0011%Δk/kの反応度加わる	0.1Wの時点では温度上昇による-0.0018%Δk/kの反応度加わる
	ケースB	0.35	0.05%Δk/k(ステップ状添加)	1.35	0.45	3601	0.15	0.05	-0.55 (+0.05-0.6) (制御棒はスクラム前に0.35-0.05=0.3%Δk/kだけ挿入されているため、残りは1.35-0.3-0.45=0.6%Δk/k)	9.95E4	3.98E-1	9.95E4	無	L4P-30炉心 3600秒後に手動スクラム	温度上昇による-0.106%Δk/kの反応度	0.1Wの時点では温度上昇による-0.106%Δk/kの反応度加わる
出力運転中の制御棒の異常な引抜き	ケースA	0.35	0.02%Δk/k/s(ランプ状添加、最大0.35Δk/kまで)	1.35	0.45	5.24	127.6	0.085 (+0.02×4.24)	-0.55 (+0.085-0.635) (制御棒はスクラム前に0.35-0.085=0.265%Δk/kだけ挿入されているため、残りは1.35-0.265-0.45=0.635%Δk/k)	5.84E2	1.82E3	2.40E3	無	L5.5P-30炉心	温度上昇による-0.0007%Δk/kの反応度加わる	0.1Wの時点では温度上昇による-0.0028%Δk/kの反応度加わる
実験物の異常等による反応度の付加	ケースA	0	0.35%Δk/k(ステップ状添加)(f)	1.35	0.33	59.0	138.8	0.35	-0.55 (+0.35-0.9) (制御棒はスクラム前に全引抜きであり、1.35-0.45=約0.9%Δk/kが挿入される)	9.52E2	5.94E2	1.55E3	無	L5.5P-30炉心	温度上昇による-0.0011%Δk/kの反応度加わる	0.1Wの時点では温度上昇による-0.0018%Δk/kの反応度加わる
	ケースB	0	9.72E-5%Δk/k(3600秒で0.35%Δk/kの反応度をランプ状添加)(f)	1.35	0.33	1175.6	121.9	0.11 (+9.72E-5×1174.6)	-0.79 (+0.11-0.9) (制御棒はスクラム前に全引抜きであり、1.35-0.45=約0.9%Δk/kが挿入される)	7.80E3	1.00E3	8.80E3	無	L5.5P-30炉心	温度上昇による-0.009%Δk/kの反応度加わる	0.1Wの時点では温度上昇による-0.010%Δk/kの反応度加わる
商用電源喪失		0.35	-	1.35	0.45	0	100	0	-0.55 (0.0-0.55) (制御棒はスクラム前に0.35%Δk/kだけ挿入されているため、残りは1.35-0.35-0.45=0.55%Δk/k)	-	2.61E3 (FP崩壊熱を含む)	2.61E3	有	L5.5P-30炉心 スクラム信号発生 の12秒後に中心架台の反応度-1.0%Δk/k加わる	-	0.1Wの時点では温度上昇による-0.003%Δk/kの反応度加わる
中性子発生設備利用	ケースA	0.35	-	1.35	0.45	2.3	137.6	0	-0.55 (0.0-0.55) (制御棒はスクラム前に0.35%Δk/kだけ挿入されているため、残りは1.35-0.35-0.45=0.55%Δk/k)	2.64E2	2.68E2	5.31E2	無	L5.5P-30炉心 ケースAは最大中性子発生量の場合	温度上昇による-0.0003%Δk/kの反応度加わる	0.1Wの時点では温度上昇による-0.0006%Δk/kの反応度加わる
	ケースB	0.35	-	1.35	0.45	3601	23.3	0	-0.55 (0.0-0.55) (制御棒はスクラム前に0.35%Δk/kだけ挿入されているため、残りは1.35-0.35-0.45=0.55%Δk/k)	1.73E5	2.95E2	1.73E5	無	L5.5P-30炉心 ケースBは燃料温度が最大となる場合 3600秒後に手動スクラム	温度上昇による-0.20%Δk/kの反応度加わる	0.1Wの時点では温度上昇による-0.20%Δk/kの反応度加わる

燃料落下又は燃料誤装荷	ケースA	0.35	中心架台上昇による反応度 中心架台上昇後は0.02%Δk/k/s(ランプ状添加)	1.35	0.45	17.8 (中心架台上限で制御棒引抜き後の時間)	143.8	0.35	-0.55 (+0.35-0.9) (制御棒はスクラム前に全引抜きであり、1.35-0.45=0.9%Δk/kが挿入される)	3.42E3	2.39E3	5.80E3	無	L2P-30炉心 中心架台上昇後に制御棒引抜き、温度最大	温度上昇による-0.004%Δk/kの反応度が加わる	0.1Wの時点では温度上昇による-0.007%Δk/kの反応度が加わる
	ケースB	0.35	中心架台上昇による反応度	1.35	0.45	184.9	156.6	0.35	-8.22 (この炉心の中心架台の反応度)	6.46E2	1.80E2	8.26E2	有	L5.5P-50炉心 中心架台上昇のみで温度最大	温度上昇による-0.0017%Δk/kの反応度が加わる	0.1Wの時点では温度上昇による-0.002%Δk/kの反応度が加わる

a.過剰反応度：炉心に加わる反応度(ステップ、ランプ)

b.スクラム発生時間：スクラム信号が発報した時間+1秒後の時間

c.スクラム発生時の出力：最大出力と同じ(W)

d.スクラム発生時の炉心反応度

e.スクラム後の反応度：最大反応度の制御棒以外の制御棒が全挿入された状態での反応度

f.過剰反応度と試料の反応度を足したものを過剰反応度の核的制限値以下とするので、過剰反応度がゼロの炉心ほど試料の反応度を大きくすることができる。

表 異常な過渡変化および設計基準事故の解析条件の整理 (軽水減速炉心)

事象	ケース	過剰反応度 ^(a) (%Δk/k)	反応度添加率(%Δk/k/s)	全制御棒の反応度 (%Δk/k)	最大1本の反応度	スクラム発生時間 ^(b) (s)	スクラム発生時の出力 ^(c) (W)	スクラム発生時の炉心反応度 ^(d) (%Δk/k)	スクラム後の反応度 ^(e) (%Δk/k)	スクラム発生前の積算出力 (J)	スクラム発生後の積算出力 (J)	全積算出力 (J)	ダンプ弁の作動の有無	備考1	備考2 (スクラム発生時の反応度)	備考3 (スクラム後の反応度)
原子炉起動時における制御棒の異常な引抜き	ケースA	0.5	0.02%Δk/k/s(ランプ状添加)	1.5	0.5	38.4	181.9	0.5	-0.5 (+0.5-1.0) (制御棒はスクラム前に全引抜きであり、1.5-0.5=1.0%Δk/kが挿入される)	4.38E2	4.29E2	8.67E2	無	C45G(2H2O)炉心	温度上昇による-0.00009%Δk/kの反応度加わる	0.1Wの時点では温度上昇による-0.00018%Δk/kの反応度加わる
	ケースB	0.5	0.05%Δk/k(ステップ状添加)	1.5	0.5	1548.4	120.7	0.05	-0.5 (+0.05-0.55) (制御棒はスクラム前に0.5-0.05=0.45%Δk/kだけ挿入されているため、残りは1.5-0.45=0.5=0.55%Δk/k)	2.13E4	1.99E3	2.33E4	無	C45G(2H2O)炉心	温度上昇による-0.005%Δk/kの反応度加わる	0.1Wの時点では温度上昇による-0.005%Δk/kの反応度加わる
出力運転中の制御棒の異常な引抜き	ケースA	0.5	0.02%Δk/k/s(ランプ状添加)	1.5	0.5	5.3	127.5	0.086 (0.02×4.3)	-0.5 (+0.086-0.586) (制御棒はスクラム前に0.5-0.086=0.414%Δk/kだけ挿入されているため、残りは1.5-0.414-0.5=0.586%Δk/k)	5.90E2	2.04E3	2.63E3	無	C45G(2H2O)炉心	温度上昇による-0.0001%Δk/kの反応度加わる	0.1Wの時点では温度上昇による-0.0006%Δk/kの反応度加わる
実験物の異常等による反応度の付加	ケースA	0	0.5%Δk/k(ステップ状添加) ^(f)	1.5	0.33	59.0	138.8	0.5	-0.5 (+0.5-1.0) (制御棒はスクラム前に全引抜きであり、1.5-0.5=約1.0%Δk/kが挿入される)	4.37E2	4.30E2	8.67E2	無	C45G(2H2O)炉心	温度上昇による-0.00009%Δk/kの反応度加わる	0.1Wの時点では温度上昇による-0.0002%Δk/kの反応度加わる
	ケースB	0	1.39E-4%Δk/k(3600秒で0.5%Δk/kの反応度をランプ状添加) ^(f)	1.5	0.33	957.4	122.7	0.13 (+1.39E-4×956.4)	-0.87 (+0.13-1.0) (制御棒はスクラム前に全引抜きであり、1.5-0.5=約1.0%Δk/kが挿入される)	5.98E3	8.50E3	6.83E3	無	C45G(2H2O)炉心	温度上昇による-0.0013%Δk/kの反応度加わる	0.1Wの時点では温度上昇による-0.0014%Δk/kの反応度加わる
商用電源喪失		0.5	-	1.5	0.5	0	100	0	-0.5 (0.0-0.5) (制御棒はスクラム前に0.5%Δk/kだけ挿入されているため、残りは1.5-0.5=0.5%Δk/k)	-	2.97E3 (FP崩壊熱を含む)	2.97E3	有	C45G(2H2O)炉心 スクラム信号発生 の30秒後にダンプ弁の反応度-1.0%Δk/kが加わる	0	0.1Wの時点では温度上昇による-0.002%Δk/kの反応度加わる
炉心タンクヒータ		0.5	-	1.5	0.5	3601	1	0.00073 (ヒータの温度上昇による反応度)	-0.49927 (+0.00073-0.5) (制御棒はスクラム前に0.5%Δk/kだけ挿入されているため、残りは1.5-0.5=0.5%Δk/k)	6.40E3	9.59E2	7.36E3	無	C45G(6H2O)炉心 3600秒後に手動スクラム	炉心発熱の温度上昇による+0.0006%Δk/kの反応度加わる	0.1Wの時点では温度上昇による+0.0007%Δk/kの反応度加わる

a.過剰反応度 : 炉心に加わる反応度(ステップ、ランプ)

b.スクラム発生時間 : スクラム信号が発報した時間+1秒後の時間

c.スクラム発生時の出力: 最大出力と同じ(W)

d.スクラム発生時の炉心反応度

e.スクラム後の反応度: 最大反応度の制御棒以外の制御棒が全挿入された状態での反応度

f.過剰反応度と試料の反応度を足したものを過剰反応度の核的制限値以下とするので、過剰反応度がゼロの炉心ほど試料の反応度を大きくすることができる。

KUCA設置変更申請書 添付書類10の安全評価結果 高濃縮燃料（既承認）と低濃縮燃料(今回申請)の比較

	高濃縮燃料（既承認）	低濃縮燃料(今回申請)	備考
	<p>共通事項</p> <p>(1) 燃料から周囲の減速材等への熱の伝達は無視し、発生した熱が全て燃料板の燃料ミート部の温度上昇に費やされるものとする。</p> <p>(2) 温度分布が x, y, z 方向共に cos 分布であるとして、温度上昇の平均値に対する出力ピークの係数を掛ける。</p> <p>(3) 反応度温度係数が負の炉心については温度変化に伴う反応度効果は無視する。軽水減速炉心の2分割炉心で正の反応度温度係数を持つ炉心についてはすべて温度係数が制限値の最大値 ($+2 \times 10^{-4} \Delta k/k/^\circ C$) であるとし、燃料温度上昇により正の反応度が加わるとして解析を行う。</p> <p>(4) 制御棒挿入後に出力が 1/10 以下に低下するまでの積算出力を算出する。</p> <p>(5) スクラム発生時には最大の反応度を有する1本の制御棒が落下しない。</p> <p>(6) 判定基準は高濃縮燃料、低濃縮燃料で変更無し。</p>	<p>共通事項</p> <p>(1) 燃料から周囲の減速材等への熱の伝達は無視し、発生した熱が全て燃料板の燃料ミート部と燃料被覆材の温度上昇に費やされるものとする。</p> <p>(2) 各炉心の出力分布の最大値と平均値の比を掛け、さらに燃料板内でのピークを求めるための比率を掛ける。</p> <p>(3) 全ての炉心で各炉心の反応度温度係数（正負とも）を考慮して解析を行う。</p> <p>(4) 制御棒挿入後に出力が 0.1W まで低下するまでの積算出力を算出する。</p> <p>(5) スクラム発生時には最大の反応度を有する1本の制御棒が落下しない。</p> <p>(6) 判定基準は高濃縮燃料、低濃縮燃料で変更無し。</p>	<p>LEUでは各炉心の出力分布と燃料板内出力分布考慮して最大値を求める</p> <p>LEUは全炉心で温度係数考慮</p> <p>積算範囲が異なる</p>
	原子炉起動時における制御棒の異常な引抜き	原子炉起動時における制御棒の異常な引抜き	
シナリオ	<p>(1) 固体減速炉心、軽水減速炉心共に過剰反応度は制限値の最大値（固体減速架台 0.35% $\Delta k/k$、軽水減速炉心 0.5% $\Delta k/k$）とし、制御棒の全反応度、及びダンブ弁開放又は中心架台落下による反応度は制限値の最小値。</p> <p>(2) 添付8で取り上げた全ての代表炉心を対象。</p> <p>(3) 各炉心で起動時として反応度が投入される前の原子炉の状態は出力 0.01W の臨界状</p>	<p><u>ケースA</u></p> <p>(1) 固体減速炉心、軽水減速炉心共に過剰反応度は制限値の最大値（固体減速架台 0.35% $\Delta k/k$、軽水減速炉心 0.5% $\Delta k/k$）とし、制御棒の全反応度、及びダンブ弁開放又は中心架台落下による反応度は制限値の最小値</p> <p>(2) 添付8で取り上げた全ての代表炉心を対象。</p> <p>(3) 各炉心で起動時として反応度が投入される前の原子炉の状態は出力 0.01W の臨</p>	<p>LEUは線型出力</p>

	<p>態、その際の線型出力計の指示値は 100%で出力が 1W となるレンジ。</p> <p>(4) 制御棒の引抜きにより最大反応度添加率 0.02% Δk/k/s で反応度が連続的に投入されたとする。対数出力炉周期系の単一故障を仮定し、炉周期短によるスクラム及び一せい挿入は作動しない。線型出力系の 110%での一せい挿入も作動しない。</p> <p>(5) 出力が線型出力計系の指示値の 120%である 1.2W を超えたときスクラム信号を発する。スクラム信号が発生した 1 秒後に制御棒挿入によりステップ状の負の反応度が加わる。中心架台、ダンプ弁は作動しない。</p>	<p>界状態、その際の線型出力計の指示値は 100%で出力が 100W となるレンジ。</p> <p>(4) 制御棒の引抜きにより最大反応度添加率 0.02% Δk/k/s で反応度が連続的に投入されたとする。対数出力炉周期系の単一故障を仮定し、炉周期短によるスクラム及び一せい挿入は作動しない。線型出力系の 110%での一せい挿入も作動しない。</p> <p>(5) 出力が線型出力計系の指示値の 120%である 120W を超えたときスクラム信号を発する。スクラム信号が発生した 1 秒後に制御棒挿入によりステップ状の負の反応度が加わる。中心架台、ダンプ弁は作動しない。</p> <p><u>ケース B</u> (ケース A と異なる箇所のみ記載)</p> <p>(1) 固体減速炉心、軽水減速炉心共に過剰反応度は 1.35 % Δk/k とし、制御棒の全反応度、及びダンプ弁開放又は中心架台落下による反応度は制限値の最小値</p> <p>(4) 制御棒の引抜きにより 0.05% Δk/k のステップ状の反応度を加える。その際、対数出力炉周期系の単一故障を仮定し、炉周期短によるスクラム及び一せい挿入は作動しない。線型出力系の 110%での一せい挿入も作動しない。</p> <p>(5) 線型出力計の指示値が 120% (出力が 120W) に至らない場合には出力上昇後 1 時間 (3600 秒) を経過した段階で運転員が手動スクラムボタンを押す。スクラム信号が発生した 1 秒後に制御棒挿入によりステップ状の負の反応度が加わる。</p>	<p>系 100W レンジ</p> <p>LEU は線型出力系 120W でスクラム</p> <p>LEU はケース B の小反応度印加を追加</p> <p>LEU は 3600 秒後に手動スクラムもある</p>
結果	<p>固体減速炉心の温度上昇の最大値</p> <p>E3. 7P 炉心 : 積算出力 9.74J、温度上昇 $5.48 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$</p> <p>軽水減速炉心の温度上昇の最大値</p> <p>C60G0 (5 列) 炉心 : 積算出力 4.59J、温度上昇 $1.64 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$</p>	<p>固体減速炉心の温度上昇の最大値</p> <p>ケース A L5. 5P-30 炉心 : 積算出力 $1.55 \times 10^3 \text{ J}$、温度上昇 $4.41 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$</p> <p>ケース B L4P-30 炉心 : 積算出力 $9.95 \times 10^4 \text{ J}$、温度上昇 $2.71 \times 10^1 \text{ } ^\circ\text{C}$</p> <p>軽水減速炉心の温度上昇の最大値</p> <p>ケース A C45G (2H₂O) 4 列炉心 : 積算出力 $8.67 \times 10^2 \text{ J}$、温度上昇 $6.87 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$</p> <p>ケース B C45G (2H₂O) 4 列炉心 : 積算出力 $2.33 \times 10^4 \text{ J}$、温度上昇 $1.85 \times 10^0 \text{ } ^\circ\text{C}$</p>	
	出力運転中の制御棒の異常な引抜き	出力運転中の制御棒の異常な引抜き	

シ ナ リ オ	<p>(1) 固体減速炉心、軽水減速炉心共に過剰反応度は制限値の最大値（固体減速架台 0.35% $\Delta k/k$、軽水減速炉心 0.5% $\Delta k/k$）とし、制御棒の全反応度、及びダンプ弁開放又は中心架台落下による反応度は制限値の最小値。</p> <p>(2) 添付 8 で取り上げた全ての代表炉心を対象。</p> <p>(3) 各炉心で起動時として反応度が投入される前の原子炉の状態は出力 0.01W の臨界状態、その際の線型出力計の指示値は 100%で出力が 100W となるレンジ。</p> <p>(4) 制御棒の引抜きにより最大反応度添加率 0.02% $\Delta k/k/s$ で反応度が連続的に投入されたとする。その際、対数出力炉周期系の単一故障を仮定し、炉周期短によるスクラム及び一せい挿入は作動しない。線型出力系の 110%での一せい挿入も作動しない。</p> <p>(5) 出力が線型出力計系の指示値の 120%である 120W を超えたときスクラム信号を発する。スクラム信号が発生した 1 秒後に制御棒挿入によりステップ状の負の反応度が加わる。中心架台、ダンプ弁は作動しない。</p>	<p>(1) 固体減速炉心、軽水減速炉心共に過剰反応度は制限値の最大値（固体減速架台 0.35% $\Delta k/k$、軽水減速炉心 0.5% $\Delta k/k$）とし、制御棒の全反応度、及びダンプ弁開放又は中心架台落下による反応度は制限値の最小値</p> <p>(2) 添付 8 で取り上げた全ての代表炉心を対象。</p> <p>(3) 各炉心で起動時として反応度が投入される前の原子炉の状態は出力 0.01W の臨界状態、その際の線型出力計の指示値は 100%で出力が 100W となるレンジ。</p> <p>(4) 制御棒の引抜きにより最大反応度添加率 0.02% $\Delta k/k/s$ で反応度が連続的に投入されたとする。その際、対数出力炉周期系の単一故障を仮定し、炉周期短によるスクラム及び一せい挿入は作動しない。線型出力系の 110%での一せい挿入も作動しない。</p> <p>(5) 出力が線型出力計系の指示値の 120%である 120W を超えたときスクラム信号を発する。スクラム信号が発生した 1 秒後に制御棒挿入によりステップ状の負の反応度が加わる。中心架台、ダンプ弁は作動しない。</p>	
結 果	<p>固体減速炉心の温度上昇の最大値 E3. 7P 炉心：積算出力 $9.84 \times 10^2 J$、温度上昇 $2.15 \times 10^0 \text{ }^\circ C$</p> <p>軽水減速炉心の温度上昇の最大値 C60G0 (5 列) 炉心：積算出力 $4.27 \times 10^2 J$、温度上昇 $5.90 \times 10^{-1} \text{ }^\circ C$</p>	<p>固体減速炉心の温度上昇の最大値 L5. 5P-30 炉心：積算出力 $2.40 \times 10^3 J$、温度上昇 $6.83 \times 10^{-1} \text{ }^\circ C$</p> <p>軽水減速炉心の温度上昇の最大値 C45G (2H₂O) 4 列炉心：積算出力 $2.63 \times 10^3 J$、温度上昇 $2.08 \times 10^{-1} \text{ }^\circ C$</p>	
	実験物の異常等による反応度の付加	実験物の異常等による反応度の付加	
シ ナ リ オ	<p>(1) 固体減速炉心、軽水減速炉心共に過剰反応度は制限値の最大値（固体減速架台 0.35% $\Delta k/k$、軽水減速炉心 0.5% $\Delta k/k$）とし、制御棒の全反応度、及びダンプ弁開放又は中心架台落下による反応度は制限値の最小値。</p> <p>(2) 添付 8 で取り上げた全ての代表炉心を対象。</p> <p>(3) 実験物（照射試料）を装着した状態で 1W の臨界状態を保っており、その際の線型出</p>	<p><u>ケース A</u></p> <p>(1) 固体減速炉心、軽水減速炉心共に過剰反応度は 0% $\Delta k/k$ とし、制御棒の全反応度は制限値の最小値（固体減速炉心では 1.35% $\Delta k/k$、軽水減速炉心では 1.5% $\Delta k/k$）、ダンプ弁開放又は中心架台落下による反応度は制限値の最小値（1% $\Delta k/k$）</p> <p>(2) 添付 8 で取り上げた全ての代表炉心を対象。</p>	LEU は印加反応度を最大とするために過剰反応度は 0% $\Delta k/k$

	<p>力計の指示値は 100%で出力が 100W となるレンジ。</p> <p>(4) 炉心に取り付けていた実験用試料が炉心から落下し+0.5%Δk/k がステップ状に加わる。その際、対数出力炉周期系の単一故障を仮定し、炉周期短によるスクラム及び一せい挿入は作動しない。線型出力系の 110%での一せい挿入も作動しない。</p> <p>(5) 原子炉は出力が線型出力系の指示値の 120%である 120W を超えたときスクラム信号を発する。スクラム信号が発生した 1 秒後に制御棒挿入によりステップ状の負の反応度が加わる。中心架台、ダンプ弁は作動しない。</p>	<p>(3) 実験物（照射試料）を装着した状態で 0.01W の臨界状態を保っており、その際の線型出力計の指示値は 100%で出力が 100W となるレンジ。</p> <p>(4) 炉心に取り付けていた実験用試料が炉心から落下し反応度の最大値（固体減速架台+0.35%Δk/k、軽水減速炉心+0.5%Δk/k）がステップ状に加わる。その際、対数出力炉周期系の単一故障を仮定し、炉周期短によるスクラム及び一せい挿入は作動しない。線型出力系の 110%での一せい挿入も作動しない。</p> <p>(5) 原子炉は出力が線型出力系の指示値の 120%である 120W を超えたときスクラム信号を発する。スクラム信号が発生した 1 秒後に制御棒挿入によりステップ状の負の反応度が加わる。中心架台、ダンプ弁は作動しない。</p> <p>ケース B（ケース A と異なる箇所のみ記載）</p> <p>(4) 炉心に取り付けていた実験用試料がゆっくり落下し試料の反応度の最大値（固体減速架台+0.35%Δk/k、軽水減速炉心+0.5%Δk/k）が時間と共に線形に 3600 秒掛けてランプ状に加わる。その際、対数出力炉周期系の単一故障を仮定し、炉周期短によるスクラム及び一せい挿入は作動しない。線型出力系の 110%での一せい挿入も作動しない。</p>	<p>LEU は初期出力 0.01W</p> <p>LEU はケース B のランプ状反応度印加を追加</p>
結果	<p>固体減速炉心の温度上昇の最大値</p> <p>E3.7P 炉心：積算出力 $4.44 \times 10^2 \text{J}$、温度上昇 $2.50 \times 10^{-1} \text{°C}$</p> <p>軽水減速炉心の温度上昇の最大値</p> <p>C60G0（5 列）炉心：積算出力 $4.33 \times 10^2 \text{J}$、温度上昇 $1.55 \times 10^{-1} \text{°C}$</p>	<p>固体減速炉心の温度上昇の最大値</p> <p>ケース A L5.5P-30 炉心：積算出力 $1.55 \times 10^3 \text{J}$、温度上昇 $4.40 \times 10^{-1} \text{°C}$</p> <p>ケース B L5.5P-30 炉心：積算出力 $8.80 \times 10^3 \text{J}$、温度上昇 $2.50 \times 10^0 \text{°C}$</p> <p>軽水減速炉心の温度上昇の最大値</p> <p>ケース A C45G(2H20) 4 列炉心：積算出力 $8.67 \times 10^2 \text{J}$、温度上昇 $6.87 \times 10^{-2} \text{°C}$</p> <p>ケース B C45G(2H20) 4 列炉心：積算出力 $6.83 \times 10^3 \text{J}$、温度上昇 $5.41 \times 10^{-1} \text{°C}$</p>	
	商用電源喪失	商用電源喪失	
シ	(1) 軽水炉心の C35G0（5 列）炉心において、1 ヶ月の最大積算出力（100Wh）となる運転	(1) 固体減速炉心は L5.5P-30 炉心、軽水減速炉心は C45G(2H ₂ O) 4 列炉心において、	LEU は固体減速

ナ リ オ	<p>を行った直後に商用電源が喪失。</p> <p>(2) 過剰反応度は制限値の最大値（軽水減速炉心 $0.5\% \Delta k/k$）とし、制御棒の全反応度、及びダンプ弁開放による反応度は制限値の最小値。</p> <p>(3) 商用電源喪失に伴い、制御棒の電磁石電源断により最大の反応度をもつ 1 本以外の 5 本が炉心に挿入され、ダンプ弁保持の電磁石電源断によりダンプ弁が開となる。ただし、制御棒落下により 1 秒後にステップ状の負の反応度が加わる。またダンプ弁の開動作により 30 秒後に燃料領域の水が全て排出してステップ状の負の反応度が加わる。</p>	<p>1 ヶ月の最大積算出力（100Wh）となる運転を行った直後に商用電源が喪失。</p> <p>(2) 固体減速炉心、軽水減速炉心共に過剰反応度は制限値の最大値（固体減速架台 $0.35\% \Delta k/k$、軽水減速炉心 $0.5\% \Delta k/k$）とし、制御棒の全反応度、及びダンプ弁開放又は中心架台落下による反応度は制限値の最小値。</p> <p>(3) 商用電源喪失に伴い、制御棒の電磁石電源断により最大の反応度をもつ 1 本以外の 5 本が炉心に挿入され、ダンプ弁保持の電磁石電源断によりダンプ弁が開となる。ただし、制御棒落下により 1 秒後にステップ状の負の反応度が加わる。固体減速炉心では 12 秒後に中心架台が落下してステップ状の負の反応度が加わる。軽水減速炉心ではダンプ弁の開動作により 30 秒後にステップ状の負の反応度が加わる。</p>	と軽水減速の 2 炉心を選択
結 果	C35G0（5 列）炉心：積算出力 $3.28 \times 10^3 J$ 、温度上昇 $8.08 \times 10^{-1} \text{ }^\circ C$	<p>固体減速炉心の温度上昇の最大値</p> <p>L5.5P-30 炉心：積算出力 $2.61 \times 10^3 J$、温度上昇 $7.43 \times 10^{-1} \text{ }^\circ C$</p> <p>軽水減速炉心の温度上昇の最大値</p> <p>C45G(2H₂O) 4 列炉心：積算出力 $2.97 \times 10^3 J$、温度上昇 $2.36 \times 10^{-1} \text{ }^\circ C$</p>	
	重水反射体への軽水流入	重水反射体への軽水流入	
シ ナ リ オ	<p>(1) 軽水減速炉心で C30 の単一炉心、または 2 分割炉心の燃料体の外側に重水タンクを設置する。過剰反応度は制限値の最大値、制御棒とダンプ弁の反応度は制限値の最小値。</p> <p>(2) 出力が 100W の臨界状態とし、その際に線型出力計は指示値が 100% で 100W となるレンジ。</p> <p>(3) 重水タンクが大きく破損して全ての重水が軽水と混合した、又は、重水タンクが小さく破損して重水の一部が重水タンクから漏れ出して炉心タンクの軽水と混入。</p> <p>(4) 対数出力炉周期系の単一故障を仮定し、炉周期短にスクラム及び一せい挿入は作動しない。線型出力系の 110% での一せい挿入も作動しない。</p> <p>(5) 原子炉は出力が線型出力計の指示値の 120% である 120W を超えたときにスクラム。ス</p>	低濃縮燃料では重水は使用しないため解析は行わない	

	スクラム信号が発生した 1 秒後に制御棒落下により 1 秒後にステップ状の反応度が加わる。ダンプ弁は作動しない。		
結果	出力上昇せず未臨界	—	
	中性子発生設備又はパルス状中性子発生装置を臨界状態において利用	中性子発生設備又はパルス状中性子発生装置を臨界状態において利用	
シナリオ	<p>(1) 固体減速架台で過剰反応度は制限値の最大値 0.35% Δk/k、制御棒と中心架台の反応度は制限値の最小値。</p> <p>(2) 添付 8 で取り上げた全ての代表炉心を対象。</p> <p>(3) 1W の臨界状態を保っており、その際の線型出力計の指示値は 100% で出力が 100W となるレンジ。</p> <p>(4) 臨界状態で 10^{11}n/s で中性子を打ち込み、炉心には 4×10^9n/s の中性子が入射し出力上昇。</p> <p>(5) 対数出力炉周期系の単一故障を仮定し、炉周期短にスクラム及び一せい挿入は作動しない。線型出力系の 110% での一せい挿入も作動しない。</p> <p>(6) 原子炉は出力が線型出力計の指示値の 120% である 120W を超えたときにスクラム。スクラム信号が発生した 1 秒後に制御棒落下によりステップ状の反応度が加わる。中心架台は作動しない。</p>	<p><u>ケース A</u></p> <p>(1) 固体減速架台で過剰反応度は制限値の最大値 0.35% Δk/k、制御棒と中心架台の反応度は制限値の最小値。</p> <p>(2) 添付 8 で取り上げた全ての代表炉心を対象。</p> <p>(3) 0.01W の臨界状態を保っており、その際の線型出力計の指示値は 100% で出力が 100W となるレンジ。</p> <p>(4) 臨界状態で 10^{11}n/s で中性子を打ち込み、炉心には半分の 5×10^{10}n/s の中性子が入射し出力上昇。</p> <p>(5) 対数出力炉周期系の単一故障を仮定し、炉周期短にスクラム及び一せい挿入には作動しない。線型出力系の 110% での一せい挿入も作動しない。</p> <p>(6) 原子炉は出力が線型出力計の指示値の 120% である 120W を超えたときにスクラム。スクラム信号が発生した 1 秒後に制御棒落下により 1 秒後にステップ状の反応度が加わる。中心架台は作動しない。</p> <p><u>ケース B</u> (ケース A と異なる箇所のみ記載)</p> <p>(4) 臨界状態で炉心にはケース A より少ない中性子が入射。中性子発生量は炉心により異なり、燃料温度が最も上昇する中性子発生量をサーベイして決定する。</p> <p>(6) 線型出力計の指示値が 120% (出力が 120W) を超える場合にはケース A と同様にスクラムするが、120% に至らずに出力が低下する場合には出力上昇後 1 時間 (3600 秒) を経過した段階で運転員が手動スクラムボタンを押し、1 秒後に制御棒落下に</p>	<p>LEU は初期出力 0.01W 中性子発生量の変更</p> <p>LEU はケース B の追加</p>

		よりステップ状の反応度が加わる。中心架台は作動しない。	
結果	温度上昇の最大値 E3. 7P 炉心：積算出力 1.28×10^4 J、温度上昇 7.22×10^0 °C	温度上昇の最大値 ケース A L5. 5P-30 炉心：積算出力 5.31×10^2 J、温度上昇 1.51×10^{-1} °C ケース B L5. 5P-30 炉心：積算出力 1.73×10^5 J、温度上昇 4.93×10^1 °C	
	炉心タンクヒータによる温度上昇	炉心タンクヒータによる温度上昇	
シナリオ	(1) 軽水減速架台で正の反応度温度係数が最も大きい C30G (7H ₂ O) (5 列) 炉心で、反応度温度係数が制限値の最大値 ($+2 \times 10^{-4}$ Δk/k/°C) であるとする、 (2) 出力が 100W の臨界状態とし、その際の線型出力計の指示値は 100% で出力が 100W となるレンジ。 (3) 軽水の初期温度を 25°C とし、炉心タンクヒータを用いて炉心タンク水の温度を上昇させる。ヒータの熱は全て軽水の温度上昇に用いられる。 (4) 線型出力系の 110% での一せい挿入は作動しない。 (5) 原子炉は安全出力計の指示値の 120% を超えたときにスクラムする。スクラム信号が発生した 1 秒後に制御棒落下によりステップ状の負の反応度が加わる。ダンプ弁は作動しない。	(1) 代表炉心の中で軽水減速架台の反応度温度係数が正となる C45G (6H ₂ O) 炉心など 4 つの炉心を対象とし、反応度温度係数は各炉心の値を用いる。 (2) 出力が 1W の臨界状態とし、その際の線型出力計の指示値は 100% で出力が 100W となるレンジ。 (3) 軽水の初期温度を 25°C とし、炉心タンクヒータを用いて炉心タンク水の温度を上昇させる。ヒータの熱は全て軽水の温度上昇に用いられる。 (4) 線型出力系の 110% での一せい挿入は作動しない。 (5) 原子炉は線型出力計の指示値の 120% を超えたときにスクラムする。ただし、1 時間以内にスクラム信号が出ない場合には 1 時間後に運転員により手動スクラムボタンを押して 1 秒後に制御棒落下によりステップ状の負の反応度が加わる。ダンプ弁は作動しない。	LEU は対象炉心 変更 LEU は初期出力 1W LEU は 3600 秒 後に手動スクラム
結果	温度上昇 1.5×10^0 °C	温度上昇の最大値 C45G (6H ₂ O) 5 列炉心：積算出力 7.36×10^3 J、温度上昇 5.36×10^{-1} °C	
	燃料落下又は燃料誤装荷	燃料落下又は燃料誤装荷	
シナリオ	(1) 固体減速架台で、過剰反応度が制限値の最大値 ($0.35\% \Delta k/k$) となるだけの燃料集合体が装荷されている。制御棒と中心架台の反応度は制限値の最小値。 (2) E3. 7, E3, E2, E1, EE1, EEE1 炉心を対象。	<u>ケース A</u> (1) 固体減速架台で、過剰反応度が制限値の最大値 ($0.35\% \Delta k/k$) となるだけの燃料集合体が装荷されている。制御棒と中心架台の反応度は制限値の最小値。 (2) 添付 8 で取り上げた全ての代表炉心の各燃料セルの炉心のうち、(4) の燃料誤装	LEU は対象炉心 を変更。

<p>(3) 6本ある制御棒のうち3本は全引抜き、残りの3本は全挿入とし、中心架台を下限とした状態で炉心配置変更作業を行う。なお、引き抜いた制御棒と挿入された制御棒は燃料領域に対して対称な位置に配置されている。中心架台の反応度は制限値の最低値、または5%$\Delta k/k$とする。</p> <p>(4) 誤ってこの炉心用の燃料集合体をもう1体作成してしまい、炉心の燃料周囲のポリエチレン反射体を取り出してその位置に追加の燃料集合体を装荷した。燃料集合体の装荷位置は1体当たりの反応度が最も大きい位置である。</p> <p>(5) 線型出力計の指示値が100%で0.1Wとなるレンジで中性子源を挿入し、出力0.01Wの定常状態となったとする。その後、中心架台を上昇させる。中心架台の上昇速度は制限値の最大速度。</p> <p>(6) 対数出力炉周期系の単一故障を仮定し、炉周期短にスクラム及び一せい挿入は作動しない。線型出力系の110%での一せい挿入も作動しない。</p> <p>(7) 原子炉は出力が線型出力計の指示値の120%である0.12Wを超えたときにスクラムする。スクラム信号が発生し、スクラム信号の発生に伴い中心架台を上昇させるための油圧ポンプが停止することにより、中心架台の上昇動作は直ちに停止する。制御棒は3本が上限になっているが、その中に最大の反応度を持つ1本が挿入できないとする。スクラム信号が発生した1秒後に制御棒の挿入によりステップ状に負の反応度が加わるとする。</p> <p>(8) 中心架台はスクラム信号発生後の1秒後に落下を開始し、スクラム信号発生後の12秒後までに時間とともに線型に負の反応度を加える。</p>	<p>荷に伴う反応度印加量が最も大きくなる炉心。</p> <p>(3) 6本ある制御棒のうち3本は全引抜き、残りの3本は全挿入とし、中心架台を下限とした状態で炉心配置変更作業を行う。なお、引き抜いた制御棒と挿入された制御棒は燃料領域に対して対称な位置に配置されている。中心架台の反応度および反応度印加量は各炉心のモンテカルロ法による解析値。</p> <p>(4) 誤ってこの炉心用の燃料集合体をもう1体作成してしまい、炉心の燃料周囲のポリエチレン反射体を取り出してその位置に追加の燃料集合体を装荷した。燃料集合体の装荷位置は1体当たりの反応度が最も大きい位置。</p> <p>(5) 線型出力計の指示値が100%で100Wとなるレンジで中性子源を挿入し、出力0.01Wの定常状態となったとする。その後、中心架台を上昇させる。中心架台の上昇速度は制限値の最大速度。</p> <p>(6) 対数出力炉周期系の単一故障を仮定し、炉周期短にスクラム及び一せい挿入は作動しない。線型出力系の110%での一せい挿入も作動しない。</p> <p>(7) 原子炉は線型出力計の指示値の120%である0.12Wを超えたときにスクラムする。スクラム信号の発生に伴い中心架台を上昇させるための油圧ポンプが停止することにより、中心架台の上昇動作は直ちに停止する。制御棒は3本が上限になっているが、その中に最大の反応度を持つ1本が挿入できないとする。スクラム信号が発生した1秒後に制御棒の挿入によりステップ状に負の反応度が加わるとする。</p> <p>(8) 中心架台はスクラム信号発生後の1秒後に落下を開始し、スクラム信号発生後の12秒後までに時間とともに線型に負の反応度を加える。</p> <p><u>ケースB</u> (ケースAと異なる箇所のみ記載)</p> <p>(2) 添付8で取り上げた全ての代表炉心の各燃料セルの炉心のうち、(4)の燃料誤装荷に伴う反応度印加量が最も小さくなる炉心。</p>	<p>誤装荷の反応度を全炉心で解析</p> <p>LEUは中心架台反応度を各炉心の解析値</p> <p>LEUは初期出力0.01W</p> <p>スクラム出力変更</p> <p>LEUはケースBの追加</p>
--	---	--

	温度上昇の最大値 E3.7P 炉心：積算出力 $3.61 \times 10^9 \text{J}$ 、温度上昇は最大で $2.0 \times 10^{-3} \text{°C}$	温度上昇の最大値 ケース A L5.5P-50 炉心：積算出力 $8.26 \times 10^9 \text{J}$ 、温度上昇 $2.10 \times 10^{-1} \text{°C}$ ケース B L2P-30 炉心：積算出力 $5.80 \times 10^9 \text{J}$ 、温度上昇 $1.13 \times 10^0 \text{°C}$	
	燃料の機械的破損	燃料の機械的破損	
シ ナ リ オ	(1) 軽水減速架台、又は固体減速架台 (E3.7P 炉心、C60G0 炉心) において、同じ炉心で月末に 100W での運転を 1 時間行うという運転パターンを運転間隔は 30 日間として 9 回繰り返す。その後、最後の運転の 24 時間後 (次の月の初日) に 100W での運転を 1 時間行う。 (2) 最後の運転を停止してから、1 日後に炉心配置変更作業を行い 1 体の燃料集合体を取り扱う際に誤って燃料板を損傷させた。 (3) 軽水減速架台では燃料を破損させ、燃料芯材において表面より $15 \mu\text{m}$ 深さ内で生成された希ガス (Xe、Kr) 及びよう素が全量放出された。燃料板の破損は KUR の使用済燃料の破損の解析と同じように表面の被覆材がすべて外れたとする。固体減速架台では 1 体の燃料体のうち 10% の燃料板が燃料の端面と平行な方向に折れ曲がり (長さ約 5cm) 燃料芯材が露出し、燃料板の切断面から $15 \mu\text{m}$ 深さ内で生成された希ガス (Xe、Kr) 及びよう素が全量放出された。	(1) 固体減速炉心では全ての炉心のうち燃料体ごとの出力積分値が最大となる燃料体を有する炉心 (L3P-50 炉心)、軽水減速架台では臨界質量が小さい炉心 (C45G2 (4 列) 炉心) を対象。月末に 100W での運転を 1 時間行うという運転パターンを運転間隔は 30 日間として 9 回繰り返す。その後、最後の運転の 24 時間後 (次の月の初日) に 100W での運転を 1 時間行う。 (2) 最後の運転を停止してから、1 日後に炉心配置変更作業を行い 1 体の燃料集合体を取り扱う際に誤って燃料板を損傷させた。 (3) 軽水減速架台では 1 枚の燃料が燃料板の対角線方向に折れ曲がり燃料芯材が露出し、燃料芯材において表面より $15 \mu\text{m}$ 深さ内で生成された希ガス (Xe、Kr) 及びよう素が全量放出された。固体減速架台では 1 体の燃料体のうち 10% の燃料板が対角線方向 (長さ約 7cm) に折れ曲がり燃料芯材が露出し、燃料板の切断面から $15 \mu\text{m}$ 深さ内で生成された希ガス (Xe、Kr) 及びよう素が全量放出された。	LEU では出力積分値が最大となる燃料体を選定 燃料の破損方向を軽水と固体共に燃料板の対角線方向に統一
結 果	被ばく量は最大でも小児に対して約 $0.18 \mu\text{Sv}$	被ばく量は最大でも小児に対して約 $0.004 \mu\text{Sv}$	
	実験設備、実験物等の著しい破損	実験設備、実験物等の著しい破損	
シ ナ リ オ	(1) 固体減速架台 (E3 炉心、EE3 炉心) で最大出力 100W においてパイルオシレータにより天然ウラン、又は濃縮ウラン (4.5%濃縮) の試料 (反応度絶対値の最大値 $0.1\% \Delta k/k$) を使用。照射位置は炉心中心。 (2) 100Wh の運転直後に試料が破損し、内部の核分裂生成物 (希ガス (Xe、Kr) 及びよう	(1) 固体減速架台の全ての代表炉心を対象として、最大出力 100W においてパイルオシレータにより天然ウラン、又は濃縮ウラン (4.5%濃縮) の試料 (反応度絶対値の最大値 $0.1\% \Delta k/k$) を使用。照射位置は試料の核分裂率の最大値となる位置。 (2) 100Wh の運転直後に試料が破損し、内部の核分裂生成物 (希ガス (Xe、Kr) 及び	LEU では全ての炉心を検討。照射位置は核分裂率最大値と

	素) の10%が放出。 (3) 放出の経路については「燃料の機械的破損」と同じとする。	よう素) の10%が放出。 (3) 放出の経路については「燃料の機械的破損」と同じとする。	なる位置
結果	被ばく量は最大でも小児に対して約 $0.092 \mu\text{Sv}$	被ばく量は最大でも小児に対して約 $0.19 \mu\text{Sv}$	