

2019年11月11日

第313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

審査会合での指摘事項

番号		項目	添付	指摘事項	対応
1	第1回審査会合	U-Mo燃料	8	固体減速架台用燃料のウランモリブデン燃料の安全性について、機械的強度、核分裂生成物の保有能力、レーザ溶接部の耐食性等に関する実験研究データを提示のうえ、説明すること。	第299回審査会合資料2 (19/9/02)
2		〃	10	添 10-1 頁の運転時の異常な過渡変化時の判断基準(i)の「燃料のブリスタが発生しないことを確認する。」について、今回追加になったウランモリブデン・アルミニウム分散型燃料のブリスタの発生機構、発生の有無の確認方法について説明すること。	第299回審査会合資料2 (19/9/02)
3		耐震性	8	耐震設計について、燃料の重量増加による耐震上の問題は生じないとの事であるが、これについて定量的な根拠を提示して説明すること。	○
4		燃料貯蔵設備	8	燃料室の貯蔵能力について、貯蔵容量及び貯蔵設備(貯蔵棚、バードケージ)は、十分な余裕があり変更の必要はないとのことであるが、それらについて定量的な根拠を提示して説明すること。	○
5		炉心配置手順等	8	燃料板と減速材用ポリエチレン板および黒鉛板の配置の方法、制限について説明すること。	第304回審査会合資料1 (19/9/30)
6		〃	8	炉心構成が許可範囲であることを担保するために実施する手続きおよび手順について説明すること。また、これに係る保安規定の記載について説明すること。	第304回審査会合資料1 (19/9/30)
7		〃	8	2分割炉心においては炉心間の面間距離が炉心特性に影響を与えられられるが、面間距離の変化範囲をどのように制限するか、その方法を説明すること。	第304回審査会合資料1 (19/9/30)
8		解析手法	8	申請書に記載されている代表炉心の選定の考え方について説明すること。代表炉心の特性について、低濃縮ウラン炉心の特徴について説明すること。申請書に記載されている代表炉心については、即発中性子寿命、実効遅発中性子割合に加えて、温度係数及びボイド係数などの反応度係数について記載すること。	第304回審査会合資料1 (19/9/30)
9		〃	8	代表炉心に対する U235 の臨界量が示されているが、評価方法について説明すること。また、選定している代表炉心については、炉心形状が分かるように燃料棒配列等を記載すること。	第304回審査会合資料1 (19/9/30)
10		〃	10	事故評価に使用するパラメータの計算手法について、評価済実験データなどによる検証結果および動特性解析における誤差の扱いを説明すること。	第304回審査会合資料1 (19/9/30)
11		温度係数	8	温度係数が正(最大)となる炉心(C30)について、高濃縮度(変更前)と低濃縮度(変更後)で温度係数が $+7.1 \times 10^{-5}$ で変わらない理由を説明すること。	

12		''	10	添付書類十の解析で、負の温度係数をゼロとしていることについて、この仮定によりスクラム(出力高)がより早くかかって、結果的に燃料や減速材の温度上昇を過小評価しているのではないか。実際の負の温度係数を前提とした評価結果について説明すること。	第304回審査会合資料1(19/9/30)
13		異常な過渡変化	10	事故評価の反応度投入量評価の前提となる制御棒の反応度値について計算結果を示すこと。また、計算モデル、解析手法及び計算誤差の扱いについて説明すること。	
14		''	10	添10-33頁について、固体減速架台にある中心架台の反応度校正曲線が炉心変更の許可範囲内であり変わらないとしているが、スペクトルの異なる炉心の比較等により具体的に説明すること。	○
15		''	10	添10-27頁の文章では温度上昇量は2℃以下としているが、表10-2-14や表10-2-15ではそれぞれ最大で約7℃、約12℃となっており、数値に矛盾がある。誤りであれば記載を適正化すること。	○
16		''	10	添10-23頁の商用電源喪失について、「別の炉心については核分裂による発熱量の相違は数%以下」として、高濃縮ウランのみの評価を行っているが、添10-8頁や添10-14頁の制御棒の異常な引き抜きの解析では、高濃縮ウランに対して低濃縮ウランの温度上昇が3倍になるものがある。高濃縮ウランと今回追加となった低濃縮ウランの発熱量の違いや、安全評価において低濃縮ウランの評価を行わないことの妥当性を説明すること。	○
17		事故解析	10	添10-40頁について、被ばく評価に係るFPの燃料板内の飛程は低濃縮ウランの方が短いとしているが、各燃料板の仕様を考慮して具体的な数値を示すこと。	○
18		''	10	添10-40頁の燃料の機械的破損について、ウランモリブデン・アルミニウム分散型燃料の燃料ミート体積の減少により、核分裂生成物の放出量が約3%多くなり実効線量も約3%増加するとしているが、それらの算出根拠及び低濃縮ウランの評価を行わないことの妥当性を説明すること。	
19		その他		新規の燃料について濃縮度 と幅を持たせた記載になっているが、実際には濃縮度は一種類ではないか。	
20	第3回審査会合	U-Mo燃料	8	燃料板の落下試験の結果を明示すること。	
21		''	8	芯材の固着度についてのデータを明示すること。圧縮・固着が安全設計上どこに関係するかを整理すること。	
22		''	8	AIとU-Moで燃料を圧縮成形してほとんど100%の理論密度の燃料になっているというのを何らかの形で示して、強度はたとえばAIの強度で代用できることを何らかの方法で示すこと。	
23		''	8	ブリスタ発生の要因を調べること。	

24	第4 回 審 査 会 合	解析手法	8	添付8で取り扱う代表炉心の考え方を整理すること。	
25		〃	8	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。	

「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」

(地震による損傷の防止)

第四条 試験研究用等原子炉施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。

2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある試験研究用等原子炉施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。

3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

4 耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

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

原子炉施設のうち、耐震重要施設（設計基準対象施設のうち、地震の発生によって生ずるおそれがある安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの）は、その供用期間中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないように、以下の要求を満たすものとする。

- (1) 原子炉施設は耐震重要度分類を、Sクラス、Bクラス、Cクラスに分類し、その重要度に応じた耐震性を有する構造とする。
- (2) 耐震重要度分類のうち、Sクラスに分類される施設は、基準地震動 S_s による動的地震力に対して安全機能が保持できるようにするとともに、弾性設計用地震動 S_d による動的水平地震力又は地震層せん断力係数に基づいて算定される静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対してもおおむね弾性状態に留まる構造とする。また、Sクラス施設は、下位クラスの波及的影響により、安全機能を損なうことのないようにする。
- (3) 耐震重要度分類のうち、Bクラスに分類される施設は、静的地震力に対して、おおむね弾性状態に留まる構造とする。また、Bクラスの施設のうち、共振するおそれのあるものについては、共振による影響を検討する。
- (4) 耐震重要度分類のうち、Cクラスに分類される施設は、静的地震力に対して、おおむね弾性状態に留まる構造とする。
- (5) 弾性設計用地震動は、基準地震動に対する応答スペクトル上での比率が、目安として0.5を下回らないような値で設定する。

第2項について

上記の第1項において用いる地震力は、地震により発生するおそれがある原子炉施設の安全機能喪失及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度を考慮して以下のとおり設定する。

(1) 動的地震力

動的地震力は、基準地震動及び弾性設計用地震動から算定することとし、Sクラスの施設に適用する。また、Bクラスの施設のうち、共振のおそれのあるものについては、弾性設計用地震動に1/2を乗じたものに対して、影響を検討する。

(2) 静的地震力

以下の地震層せん断力係数及び震度に基づき算定する。

(i) 建物・構築物

水平地震力は、以下の地震層せん断力係数に当該層以上の重量を乗じて算定するものとする。

Sクラス 地震層せん断力係数 $3.0C_i$

Bクラス 地震層せん断力係数 $1.5C_i$

Cクラス 地震層せん断力係数 $1.0C_i$

ここに、地震層せん断力係数を算定する際の C_i は、標準せん断力係数 0.2以上の値に建物・構築物の振動特性、地盤の種類等に応じて決められる係数を乗じることによって求められる値とする。

Sクラスの施設については、鉛直地震力をも考慮することとし、水平地震力と鉛直地震力は、同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。鉛直地震力は、震度 0.3 以上の値に当該層以上の重量を乗じて算定するものとする。ただし、鉛直震度は施設の高さ方向に一定とし、建物・構築物の保有水平耐力が必要保有水平耐力を上回ることを確認する。

(ii) 機器・配管系

耐震重要度分類に基づく各機器・配管の地震力は、上記(i)の地震層せん断力係数の値から求める水平震度及び上記(i)の鉛直震度をそれぞれ 20%増しとした震度より求めるものとする。水平地震力と鉛直地震力とは同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

第3項及び第4項について

本原子炉施設には、耐震重要施設が存在しないため設計上考慮しない。

「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」

(運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止)

第十三条 試験研究用等原子炉施設は、次に掲げるものでなければならない。

- 一 運転時の異常な過渡変化時において、設計基準事故に至ることなく、試験研究用等原子炉施設を通常運転時の状態に移行することができるものとする。
- 二 設計基準事故時において次に掲げるものであること。
 - イ 炉心の著しい損傷が発生するおそれがないものであり、かつ、炉心を十分に冷却できるものであること。
 - ロ 設計基準事故により当該設計基準事故以外の設計基準事故に至るおそれがある異常を生じないものであること。
 - ハ 試験研究用等原子炉施設が工場等周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないものであること。

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項第一号について

設計上の安全対策として多重の安全性を持たせることで、運転時の異常な過渡変化時において、設計基準事故に至ることなく、試験研究用等原子炉施設を通常運転時の状態に移行することができる設計とする。

第1項第二号について

設計基準事故時において次に掲げる要件を満たす設計とする。

- (1) 炉心の著しい損傷が発生するおそれがないものであり、かつ、炉心を十分に冷却できるものであること
- (2) 設計基準事故により当該設計基準事故以外の設計基準事故に至るおそれがある異常を生じないものであること
- (3) 原子炉施設が工場等周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないものであること。

「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」

(燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設)

第十六条 試験研究用等原子炉施設には、次に掲げるところにより、通常運転時に使用する燃料体又は使用済燃料（以下この条において「燃料体等」と総称する。）の取扱施設を設けなければならない。

- 一 燃料体等を取り扱う能力を有するものとする。
 - 二 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。
 - 三 崩壊熱により燃料体等が溶融しないものとする。
 - 四 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。
 - 五 燃料体等の取扱中における燃料体等の落下を防止できるものとする。
- 2 試験研究用等原子炉施設には、次に掲げるところにより、燃料体等の貯蔵施設を設けなければならない。
- 一 燃料体等の貯蔵施設は、次に掲げるものであること。
 - イ 燃料体等を貯蔵することができる容量を有するものとする。
 - ロ 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。
 - 二 使用済燃料その他高放射性の燃料体の貯蔵施設にあっては、前号に掲げるもののほか、次に掲げるものであること。ただし、使用済燃料中の原子核分裂生成物の量が微量な場合その他の放射線の遮蔽及び崩壊熱の除去のための設備を要しない場合については、この限りでない。
 - イ 使用済燃料その他高放射性の燃料体からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。
 - ロ 貯蔵された使用済燃料その他高放射性の燃料体が崩壊熱により溶融しないものとする。
 - ハ 使用済燃料その他高放射性の燃料体の被覆材が著しく腐食するおそれがある場合は、これを防止できるものとする。
 - ニ 放射線の遮蔽及び崩壊熱の除去に水を使用する場合にあっては、当該貯蔵施設内における冷却水の水位を測定でき、かつ、その異常を検知できるものとする。
- 3 試験研究用等原子炉施設には、次に掲げるところにより、燃料取扱場所の放射線量及び温度を測定できる設備を設けなければならない。
- 一 燃料取扱場所の放射線量の異常を検知し、及び警報を発することができるものとする。
 - 二 崩壊熱を除去する機能の喪失を検知する必要がある場合には、燃料取扱場所の温度の異常を検知し、及び警報を発することができるものとする。（地震による損傷の防止）

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

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2項第一号イについて

貯蔵施設は燃料板を貯蔵することができる容量を有する設計とする。

(指摘事項番号：3)

耐震設計について、燃料の重量増加による耐震上の問題は生じないとの事であるが、これについて定量的な根拠を提示して説明すること。

1) はじめに

固体減速架台で使用する燃料さや管（図1）及び軽水減速炉心で使用する燃料支持フレーム（図2）の耐震安全性は新規規制基準対応時の設工認申請書（（その2）、平成29年4月25日付け承認（原規規発第1704255号））において確認されている。ここではその評価結果に基づき、燃料の低濃縮化によっても、燃料さや管及び燃料支持フレームの耐震安全性が確保されることを示す。

2) 燃料さや管及び燃料支持フレームに要求される地震力

燃料さや管及び燃料支持フレームは耐震重要度がCクラスに分類されており、耐震評価に際しての設計用地震力は前述の新規制基準に従い、機器・配管系に対する20%増しを考慮すると水平震度を0.24として求められる。

3) 燃料さや管及び燃料支持フレームの耐震安全性の確認

3)-1 耐震評価方法

燃料さや管及び燃料支持フレームの耐震安全性は、図1や図2に示したようにそれぞれ燃料板がさや管に収納された状態及び側板によって支持された状態において、図3に示すような燃料を含む全体の重量を1質点に集中させた単純なモデルによって、固定部の強度を確認している。従って、低濃縮化に伴う耐震安全性の検討においては設計震度とともに、燃料部の重量の影響を受けることになる。以下では燃料さや管及び燃料支持フレームについて、この観点から低濃縮化による耐震安全性を検討する。

3)-2 燃料さや管（固体減速架台用）の評価

今回の申請で追加するU-Mo燃料板（厚さ■■■■、重量■■■■、平均密度■■■■）は従来のU-Al燃料板（厚さ■■■■、重量■■■■、密度■■■■）に比べて1枚あたりの重量は増加している。一方、設工認申請では固体減速架台用の燃料さや管（角管部の材質A-6063S）の耐震評価ではU-Mo燃料板より密度の大きな天然ウラン金属板（密度約18.9g/cm³）を燃料領域（高さ約40cm）にすべて挿入した場合の評価を行っている。燃料さや管に収納される燃料、ポリエチレンに燃料さや管の重量を積算したそれぞれの全重量は、U-Mo燃料板の場合で■■■■、U-Al燃料板の場合で■■■■、天然ウラン金属

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

板の場合で [] となり、今回の低濃縮化による重量は設工認で想定した重量を下回っており、低濃縮化による燃料さや管の耐震安全性への影響はない。

3)-3 燃料支持フレーム（軽水減速架台用）の評価

従来の高濃縮 U-AI 燃料板の重量は 1 枚当たり [] であったのに対して今回の申請で追加する低濃縮ウランシリサイド燃料板の重量は 1 枚当たり [] と [] 増加している。

燃料支持フレーム（材質 A-6061P）については、平成 20 年に同じ形状で側板の一部に細径検出器用の溝を付けたものを製作している（「標準型燃料要素支持フレーム側板の製作」設工認申請書、平成 20 年 9 月 30 日付け承認（20 学文科科第 597 号））。その際の耐震計算では水平震度 0.72 とし、計算結果としての安全率（材料の許容値応力に対する発生応力の比）が 6 倍以上あることが示されている。従って、耐震重要度 C クラスに本来求められる水平震度 0.24 に対して保守的な地震力（3 倍）を想定して設計されており、またその安全率も考慮すると、今回低濃縮燃料を用いることにより重量が [] 増加したとしても低濃縮化による燃料支持フレームの耐震安全性への影響はない。

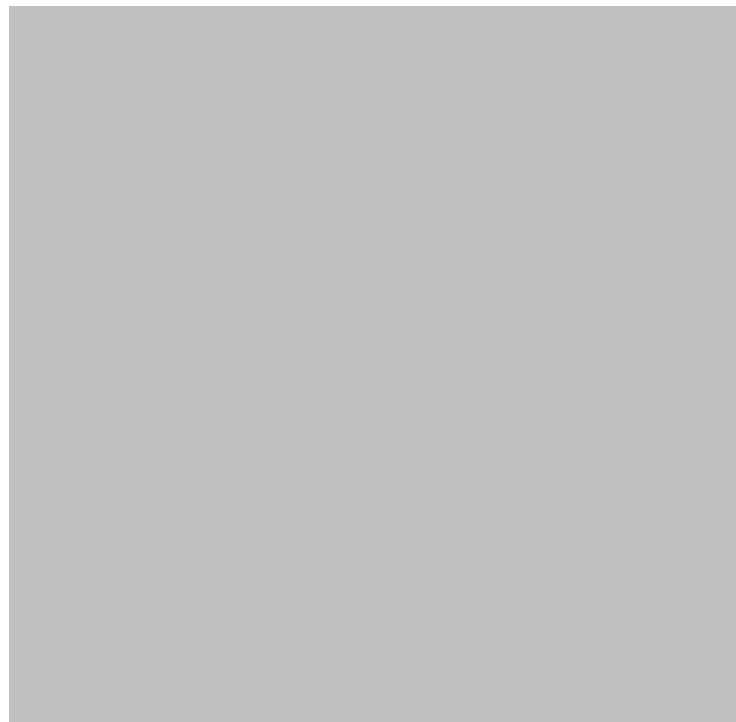


図 1 固体減速架台の燃料さや管の概略図
（左図：鉛直断面、右図：a-a'断面）

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」



図2 軽水減速架台の燃料支持フレームの概略図
(左図：鉛直断面、右図：a-a'断面)

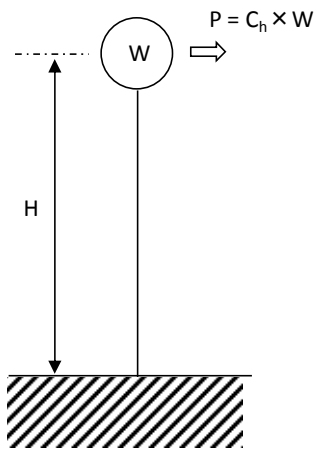


図3 耐震評価モデル (C_h : 水平震度)

(以上)

(指摘事項番号：4)

燃料室の貯蔵能力について、貯蔵容量及び貯蔵設備（貯蔵棚、バードケージ）は、十分な余裕があり変更の必要はないとのことであるが、それらについて定量的な根拠を提示して説明すること。

KUCA の設置変更承認申請書の添付 8 には以下のように記載されている。

8-3-2 核燃料物質貯蔵施設の構造及び貯蔵能力

燃料室に [] の棚をもつ貯蔵棚を設け、バードケージに収納した核燃料物質を貯蔵する。固体減速炉心用燃料要素（角板）は、 [] の [] で、U-235 量にして [] 以下の濃縮ウランを入れる。軽水減速炉心用燃料要素は、 [] の [] 方式で、U-235 量にして [] 以下の濃縮ウランを入れる。全体で U-235 量にして [] まで貯蔵できる。これは TID-70163) の Table 6 輸送用バードケージの U-235 密度の [] に相当する。

- ・現在の高濃縮ウランの所有量に申請書に記載した低濃縮ウランの量（炉心への最大挿入量として U-235 量として固体減速炉心で []、軽水減速炉心で []）を加えても申請書に記載した制限値（U-235 量として []）より少ない。
- ・現在、軽水減速炉心用のバードケージ（図 1）を [] 所有している（1 基に燃料板を [] 貯蔵）。そのうち現在 [] が空であり、1 基あたり U-235 量にして [] 以下の濃縮ウランを入れることができるため、新規の燃料平板をすべて貯蔵することができる。
- ・現在、固体減速炉心用のバードケージ（図 2）を [] 所有している（1 基に燃料角板を []）。新規の燃料角板を貯蔵するためには [] が最低必要である。現在保有している燃料は [] 程度のバードケージがあれば貯蔵することができるが、 [] それにより新規の燃料角板を貯蔵することは可能である。もし仮に追加のバードケージが必要となれば、その時点で設工認申請を行って新たにバードケージを作成する。
- ・燃料棚の [] のうち現在 [] が空の状態であり、仮に新たに固体減速炉心用のバードケージを [] 製作しても燃料棚に所蔵するスペースは十分に確保されている。

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

以上より、燃料室の貯蔵能力について、貯蔵容量及び貯蔵設備（貯蔵棚、バードケージ）の記載については変更の必要はない。

なお、実際の運用にあたっての 1 つのバードケージに収納する最大燃料板枚数については保安規定において定める。



図 1 バードケージ（平板燃料用）



図 2 バードケージ（角板燃料用）

(以上)

添付10の解析について

添付10における過渡解析については、従来の申請書と解析項目、解析方法は変更しておらず、高濃縮燃料を用いた結果に低濃縮燃料を用いた新たな解析結果を追加した。

(1) 運転時の異常な過渡変化

解析は以下のような項目について取り扱う。

- (1) 炉心内の反応度又は出力分布の異常な変化
 - (i) 原子炉起動時における制御棒の異常な引抜き
 - (ii) 出力運転中の制御棒の異常な引抜き
 - (iii) 実験物の異常等による反応度の付加
- (2) 炉心内の熱発生又は熱除去の異常な変化
 - (i) 商用電源喪失
- (3) その他原子炉施設の設計により必要と認められる事象
 - (i) 重水反射体への軽水流入
 - (ii) その他原子炉施設の設計により必要と認められる異常
 - a. 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
 - b. 炉心タンクヒータによる炉心温度上昇

判定基準は以下の通りである。

- (i) 燃料の最高温度は400℃を超えないこと。
- (ii) 構造材のアルミニウムの最高温度は400℃を超えないこと。
- (iii) 固体減速架台の減速材である黒鉛及びポリエチレンの最高温度は100℃を超えないこと。
- (iv) 軽水減速架台の減速材である軽水の最高温度は100℃未満であること。

主要な解析条件は以下の通りである。

- (1) 解析対象炉心
解析の対象とする炉心は、添付書類8の「8-2-1 炉心」に示したように、固体減速架台又は軽水減速架台の炉心の中から解析の項目に応じて選定する。(選定理由については各項目に記載する)
- (2) 初期運転条件

初期温度は特に明記しない場合は室温として 25℃とする。また原子炉熱出力などの初期値は解析の項目に応じて設定する。

(3) 安全保護回路及び原子炉停止系の特性

安全保護回路により監視している原子炉施設のプロセス量が設定値を超えた場合、原子炉のスクラム信号が発生し、自動的に制御棒の保持電磁石の励磁電流が遮断され自重により炉心に挿入される。スクラム時間は、スクラム信号の発生から制御棒が完全に挿入されるまでの時間である 1 秒とする。スクラム信号発生により制御棒は全数 (6 本) が炉心下端まで落下するが、解析に当たっては最大反応度効果を持つ制御棒 1 本が完全に引き抜かれた状態で挿入できないものとする。

(4) 反応度温度係数

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フィードバックを無視し、反応度温度係数が正の炉心については温度変化に伴う反応度フィードバックを考慮する。

(5) 温度の評価

発生した熱は全て燃料の温度上昇に用いられるとし、炉心での発熱分布が \cos 分布であるとして燃料温度の最大値を評価する。

(2) 設計基準事故

設計基準事故の解析については、以下のような項目について取り扱う。

- (1) 反応度の異常な投入
 - (i) 燃料落下又は燃料誤装荷
- (2) 環境への放射性物質の異常な放出
 - (i) 燃料の機械的破損
 - (ii) 実験設備、実験物等の著しい損傷

判定基準は運転時の異常な過渡変化の解析での判定基準 (i) ~ (iv) に以下の項目を加える。

- (v) 周辺公衆の実効線量の評価値が発生事故当たり 5mSv を超えないこと。

主要な解析条件は運転時の異常な過渡変化の解析と同じである。

(3) 運転時の異常な過渡変化の一部結果について

表1に運転時の異常な過渡変化での各炉心の積算出力の最大値と最小値を示す。

この表から、炉心ごとの結果のばらつきは最大でも23%程度であり積算出力の値に大きな差異は無いこと、高濃縮ウランと低濃縮ウランの炉心の結果に大きな違いは無いことが判る。

表1 運転時の異常な過渡変化の解析での各炉心の積算出力の最大値と最小値

項目	架台	HEU 炉心 積算出力 (J)			LEU 積算出力 (J)		
		最小	最大	最大/最小	最小	最大	最大/最小
原子炉起動時における制御棒の異常な引抜き	固体	8.48	10.4	1.23	8.31	10.1	1.22
	軽水	4.53	4.79	1.06	4.50	4.78	1.06
出力運転中の制御棒の異常な引抜き	固体	855	1052	1.23	838	1022	1.22
	軽水	419	450	1.07	420	450	1.07
実験物の異常等による反応度の付加	固体	407	473	1.16	383	441	1.15
	軽水	426	455	1.07	409	438	1.07

(以上)

(指摘事項番号：14)

添 10-33 頁について、固体減速架台にある中心架台の反応度校正曲線が炉心変更の許可範囲内でありあまり変わらないとしているが、スペクトルの異なる炉心の比較等により具体的に説明すること。

前回の審査会合のご指摘に基づき、現在添付 8 に記載する代表炉心の選定方法について検討を行っている。その中で燃料集合体の燃料部の高さを約 40cm としていたことを見直す作業を行っており、その場合は中心架台の反応度校正曲線が大きく変更になるため、その追加炉心の解析においてこの解析を追加します。

(以上)

(指摘事項番号：15)

添 10-27 頁の文章では温度上昇量は 2℃以下としているが、表 10-2-14 や表 10-2-15 ではそれぞれ最大で約 7℃、約 12℃となっており、数値に矛盾がある。誤りであれば記載を適正化すること。

文章中に「温度上昇量が 2℃以下」と記載したのは誤りで、表 10-2-14 や表 10-2-15 の結果が正しいです。

添付 8 の代表炉心の追加に伴い、添付 10 の解析の対象炉心も追加されることとなりますので、補正申請において記載を適正化します。

(以上)

(指摘事項番号：16)

添 10-23 頁の商用電源喪失について、「別の炉心については核分裂による発熱量の相違は数%以下」として、高濃縮ウランのみの評価を行っているが、添 10-8 頁や添 10-14 頁の制御棒の異常な引き抜きの解析では、高濃縮ウランに対して低濃縮ウランの温度上昇が3倍になるものがある。高濃縮ウランと今回追加となった低濃縮ウランの発熱量の違いや、安全評価において低濃縮ウランの評価を行わないことの妥当性を説明すること。

ここで解析を行った C35G0(5 列)炉心は第 10-2-7 表の制御棒の異常な引抜きの解析結果から判るように、温度上昇が大きくなるほうの炉心である。これは臨界量が比較的少ないため同じ発熱量に対して温度上昇量が大きくなるためである。第 10-2-7 表の結果では 449.9(J)の発熱に対して 0.111℃の温度上昇があったので、第 10-2-13 表の商用電源喪失の解析結果で発生する熱量の総量 $1389+1890=3279$ (J) による温度上昇は $0.111 \times 3279 / 449.9 = 0.809$ ℃となる。そのため、「燃料上昇温度は 1℃以下となる。」と文中に記載している。

「別の炉心については核分裂による発熱量の相違は数%以下」と記載したことの妥当性については別炉心での結果を追加で示します。

(以上)

(指摘事項番号：17)

添 10-40 頁について、被ばく評価に係る FP の燃料板内の飛程は低濃縮ウランの方が短いとしているが、各燃料板の仕様を考慮して具体的な数値を示すこと。

従来の固体減速炉心用の燃料角板、軽水減速炉心用の燃料長板の燃料ミート部は同じウランアルミニウム合金で、アルミニウムとウランの原子数比は [REDACTED]、平均密度は [REDACTED] であった。

本申請で追加する固体減速炉心用の U-Mo 燃料角板の燃料コンパクト（燃料ミート部）は U-Mo 粒子をアルミニウム粒子と混ぜた後に型に入れて圧力をかけて成形したものである。現在使用予定の U-Mo 燃料は平均粒径 [REDACTED] の粒で、燃料コンパクトを成形するときのアルミニウムとウランの原子数比は [REDACTED]、アルミニウムの体積割合は [REDACTED] である。（燃料コンパクトの平均密度は [REDACTED]）

また、軽水減速架台用の U_3Si_2 燃料長板の燃料ミート部は U-Mo 燃料角板の場合と同様に U_3Si_2 粒子をアルミニウム粒子と混ぜた後に型に入れて圧力をかけて成形したものをアルミニウム板とサンドイッチし、ローラーで圧延して製作したものである。現在使用予定の U_3Si_2 燃料は粒径の [REDACTED] で、アルミニウムの体積割合は U-Mo 燃料と同様に [REDACTED] である。（燃料コンパクトの平均密度は [REDACTED]）

イオンの物質中での飛程を計算するために開発された SRIM コード（The Stopping and Range of Ions in Matter (SRIM) software、version 2008）を用いて種々の媒質中での FP の飛程を計算した。ここでは 1 回の核分裂反応で生成されるエネルギーのうち 168MeV が FP のエネルギーになるとして、平均的にその半分のエネルギーの 84MeV のイオンの飛程を求めた。

結果を表 1 に示す。

表 1 84MeV の FP の飛程

媒質	飛程 (μm)
UAl ₃	10
U ₃ O ₈	9.2
U ₃ Si ₂	8.0
U-7Mo	5.8
Aluminum	12

「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

従来のウランアルミニウム合金ではウランの原子数が非常に少ないため、アルミニウム中と同程度の飛程になる。それに対して U-7Mo 燃料、 U_3Si_2 燃料中での飛程はアルミニウムの場合と比べて約 48%、67%であり、アルミニウムの体積が [] を占めることを考えても平均の飛程は短くなっている。

添付 10 の設計基準事故の燃料の機械的破損の解析では安全側に見積もるために、アルミニウム中の FP の飛程より長めの $15\mu m$ として評価を行っている。

(以上)