

京都大学複合原子力科学研究所の原子炉施設
[京都大学臨界実験装置(KUCA)]の変更に係る
設計及び工事の計画の承認申請書

(KUCA軽水減速炉心用低濃縮燃料要素の製作)
(KUCA固体減速炉心用低濃縮燃料要素の製作)

京都大学複合原子力科学研究所

2023年4月6日

前回の審査会合での 質問に関する回答

前回(2023/3/14)の審査会合での質問一覧

No.	質問内容
①	「耐震性については燃料要素ではなく、さや管または燃料支持フレームで担保されていた。低濃縮ウラン炉心においても、高濃縮ウラン燃料要素で使用したさや管および支持フレームを使用し、その耐震性についても同様にさや管または燃料支持フレームで担保する」ことに対して、「当該低濃縮燃料要素は、高濃縮燃料要素に比べて1枚当たりの重量は増えるが、既承認の設工認申請書において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、燃料支持フレームの耐震安全性への影響はない」ため、適合性の確認が必要ないとの説明がなされている。この根拠について、資料に記載されているか。
②	「燃料を保管する貯蔵棚は、浸水の恐れのない臨界集合体棟2階に設けられており、さらに、同室内に水源は存在しない」とのことであるが、同室内以外の2階にある水源から、同室内に水が入ることはないという理解で良いか。また、入らないならば、その根拠について説明すること。
③	「燃料取扱場所の放射線量及び温度を測定できる既設の設備が引き続き利用できる」とのことであるが、高濃縮燃料要素から低濃縮燃料要素に変更したとしても既設の設備にて引き続き利用できるという理解で良いか。この根拠についても説明すること。
④	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のうち、最大の温度上昇を与える事象が設計基準事故時ではなく、異常な過渡変化時であるのはなぜか。
⑤	燃料要素貯蔵時の未臨界性担保については、最も厳しい条件で評価すべきと考えるが、この評価にはトリウム貯蔵庫が考慮されていない。なぜか。

質問①とその回答

「耐震性については燃料要素ではなく、さや管または燃料支持フレームで担保されていた。低濃縮ウラン炉心においても、高濃縮ウラン燃料要素で使用したさや管および支持フレームを使用し、その耐震性についても同様にさや管または燃料支持フレームで担保する」ことに対して、「当該低濃縮燃料要素は、高濃縮燃料要素に比べて1枚当たりの重量は増えるが、既承認の設工認申請書において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、燃料支持フレームの耐震安全性への影響はない」ため、適合性の確認が必要ないとの説明がなされている。この根拠について、資料に記載されているか。

KUCAの低濃縮化に関する設置変更承認申請の審査におけるまとめ資料(2022/3/8提出)において燃料さや管、燃料支持フレームの耐震安全性について説明を行い、その安全性を確認している。

固体減速炉心(さや管): U-Mo燃料板よりも重量が重い、天然ウラン金属板にて評価
軽水減速炉心(フレーム): 今回使用するウランシリサイド燃料にて評価



燃料さや管、燃料支持フレームともに、低濃縮燃料要素による耐震性はこれまでの評価範囲に包含されており、耐震安全性に影響はない

詳細は参考資料(燃料さや管、燃料支持フレームの耐震性に関する評価計算書)次ページ以降にその一部を記載する。

質問①とその回答(続き)

・燃料さや管(固体減速架台用)の評価結果

固体減速炉心用低濃縮燃料要素のU-Mo燃料板 [REDACTED] は、従来の高濃縮燃料要素であるU-Al燃料板 [REDACTED] に比べて1枚あたりの重量は増加している。一方、固体減速架台用の燃料さや管 ([REDACTED]) の設工認申請の耐震評価では、U-Mo燃料板より密度の大きな天然ウラン金属板 ([REDACTED]) 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 [REDACTED]、U-Al燃料板の場合で [REDACTED]、天然ウラン金属板の場合で [REDACTED] となり、今回の低濃縮化による重量は既承認の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。

既承認の設工認で想定した重量 > 今回の低濃縮燃料の重量

(天然ウラン板の重量 [REDACTED] > U-Mo燃料板の重量 [REDACTED])

質問①とその回答(続き)

・燃料支持フレーム(軽水減速架台用)の評価結果

高濃縮のU-Al燃料板の重量は1枚当たり[]であったのに対して、低濃縮ウランシリサイド燃料板の重量は1枚当たり[]と約37%増加している。燃料板は[]で、燃料支持フレームの側板の重量は1,326gであるため、高濃縮の場合の燃料体(燃料板と燃料支持フレーム)の重量は[]、低濃縮の場合の重量は[]であり、燃料体としては32%程度重量が増加する。燃料支持フレーム([])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、低濃縮燃料を用いることにより燃料体の重量が約32%程度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。

既承認の設工認で想定した安全率が6倍以上あり、
約32%燃料が増加しても影響なし

質問②とその回答

「燃料を保管する貯蔵棚は、浸水の恐れのない臨界集合体棟2階に設けられており、さらに、同室内に水源は存在しない」とのことであるが、同室内以外の2階にある水源から、同室内に水が入ることはないという理解で良いか。また、入らないならば、その根拠について説明すること。

燃料を保管する貯蔵棚がある■■■■には、燃料を保管する棚、保管庫、テーブル等があるのみで、タンクなどの水源は存在しない。

また、臨界集合体棟2階、■■■■に届く配管はなく、同室内に水が入ることはない。

図 臨界集合体棟2階

質問②とその回答(続き)

参考として、左図に水源となりうる炉室内の臨界集合体棟1階の補給水系統配管図を示す。配管は臨界集合体棟1階にあり[REDACTED]がある臨界集合体棟2階には水源となる配管通っていない、配管は[REDACTED]よりも下に設けられていることから、同室内に水が入ることはない。

図 臨界集合体棟1階

質問③とその回答

「燃料取扱場所の放射線量及び温度を測定できる既設の設備が引き続き利用できる」とのことであるが、高濃縮燃料要素から低濃縮燃料要素に変更したとしても既設の設備にて引き続き利用できるとの理解で良いか。この根拠についても説明すること。

低濃縮燃料要素は、高濃縮燃料要素に比べて、U-235量は少なく、U-238量が多くなる。従って、低濃縮炉心では、臨界に寄与するU-238量が増加する。運転中での熱中性子によるU-235核分裂によって放出される全エネルギーは、 202.77MeV^1 であるのに対して、高速中性子によるU-238核分裂によって放出される全エネルギーは 206.04MeV^1 であり、若干大きい。従って、低濃縮燃料要素を用いた炉心の場合、高濃縮燃料要素を用いた炉心よりも同じ出力を得るのに必要な核分裂数は少なくなる。そのため、蓄積される核分裂生成物は高濃縮燃料要素に比べ、低濃縮燃料の方が少なくなり、放射線線量は低下する。

(なお、ガンマ線モニタの測定可能なレンジは $1\sim 10^6\ \mu\text{Sv/h}$ である。(定事検にて確認))

温度について、KUCAは出力が極めて低く、貯蔵時に臨界にならないことから、低濃縮燃料と高濃縮燃料ともに温度上昇は無視できるほど小さい。

(なお、温度計の測定可能範囲は $-9.9\ ^\circ\text{C}\sim 50\ ^\circ\text{C}$ (カタログ値))

以上のことから、高濃縮燃料要素から低濃縮燃料要素に変更したとしても既設の設備にて引き続き利用できる。

1) A.F. Badalov and V.I. Kopejkin, Uranium and plutonium energy release per fission event in a nuclear reactor, https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/20/051/20051054.pdf.

質問④とその回答

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のうち、最大の温度上昇を与える事象が設計基準事故時ではなく、異常な過渡変化時であるのはなぜか。

審査会合での参考資料(評価計算書AおよびC)にて示したとおり、

「設置変更承認申請書の添付10の10-3-1には、設計基準事故として、「反応度の異常な投入」と「環境への放射性物質の異常な放出」を想定しているが、反応度の異常な投入となる可能性は極めて低いことから、温度上昇を伴う設計基準事故は発生しない(「環境への放射性物質の異常な放出」については、温度上昇には関連しない)。そのため、設計基準事故に温度上昇を伴うシナリオは除外されているため、温度上昇については、過渡変化時における評価が最大値となる。」

「反応度の異常な投入」については、燃料落下又は燃料誤装荷が設置変更承認申請書で想定されており、その内添付10の10-3-2において、誤装荷であっても未臨界状態が保たれることを確認している。さらに、誤装荷を防止するために、次ページに示すような対策を講じる。

質問④とその回答

当直運転主任は、当直運転員を指揮して、燃料集合体の炉心への挿入及びその炉心からの取出しを行う場合は、KUCA炉心配置変更計画指令書に従って行わなければならない。その際、当直運転主任は、次の各号に掲げる事項を当直運転員に実施させることにより、燃料集合体の誤装荷を未然に防がなければならない。

- (1) 固体減速架台用燃料集合体さや管表面に燃料名称を記載する。
- (2) 固体減速架台用燃料集合体の上部キャップへのマーキングにより反射体との識別を明確にする。
- (3) 燃料集合体の装荷作業時、指令書に記載された燃料集合体配置を表示した燃料配置ボードを炉心横の足場に設置する。
- (4) 燃料集合体の装荷作業時、装荷作業を行う現場運転員と制御室運転員が連絡を取り合い、指令書と燃料集合体装荷位置の整合性を声に出して相互に確認する。
- (5) 燃料集合体の装荷作業時、他の現場運転員は、燃料配置ボードと燃料集合体装荷位置の整合性の確認を補助する。
- (6) 作業終了後、燃料集合体配置が指令書に記載されたものと一致していることを再度確認する。

質問⑤とその回答

燃料要素貯蔵時の未臨界性担保については、最も厳しい条件で評価すべきと考えるが、この評価にはトリウム貯蔵庫が考慮されていない。なぜか。

トリウムの無限増倍率は1より十分に小さいため、臨界安全ハンドブックの評価からも外されており、未臨界性担保の観点からは、ウラン燃料の周りはより評価が厳しくなる水を配置した。

審査会合資料では、バードケージを完全に水没させた無限配列による評価を実施したが、参考として、実際の燃料棚の配置数で、真空中と周囲を水とした場合の評価を以下に示す。

固体減速架台用

■■■■ バードケージを横に置いて、その上に■■■■重ねたとき。(燃料棚のような配置でバードケージを隣接させた配置、バードケージ数は■■■■)

真空中: 0.07559 ± 0.00002

周囲を水: 0.44830 ± 0.00016

軽水減速架台用

横に■■■■ バードケージを置いて、その上に■■■■重ねたとき。(燃料棚のような配置でバードケージを隣接させた配置(実際は■■■■であるが、今回は■■■■)。バードケージ数は■■■■)

真空中: 0.05634 ± 0.00001

周囲を水: 0.47923 ± 0.00015

審査会合で示した評価でより保守的な評価を実施し、その安全性を確認したが、実状に即した評価であっても、十分に未臨界性を担保している。(詳細は評価計算書を参照)