

2021年6月17日
京大 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

【設置許可基準規則との整合性】

第十六条

第二十四条

第二十九条

京都大学複合原子力科学研究所

第十六条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

1. 変更内容

(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つては、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つては、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。

本設置変更承認申請によって追加される燃料要素は、形状において現有燃料要素と互換性を有しており、燃料の取扱い方法等に変更の必要がない。また、低出力炉であることにも変更がない。従って、第1項、第2項第二号及び第3項に係る記載については、変更が不要である。一方、第2項第一号イ及び第2項第一号ロについては、燃料要素が追加されることの影響を検討した。その結果、これら2号に係る記載も変更は不要と確認された。

2. 説明資料

2.1 第2項第一号ロについて

本設置変更承認申請によって追加される燃料要素は、現有燃料要素と同様、浸水のおそれのない臨界集合体棟の [] の燃料室を設け、約 [] ユニットの棚をもつ貯蔵棚を設け、バードケージに収納して貯蔵する。表1にバードケージの仕様を、図にバードケージの概略図を示す。

表 バードケージの仕様

	固体減速架台用	軽水減速架台用
サイズ (幅×高さ×奥行)	[]	[]
収納燃料板枚数 (制限値) HEU	[]	[]
収納燃料板枚数 (制限値) LEU	[]	[]

現在、軽水減速炉心用のバードケージ (図(a)参照) を [] 所有している。現状、その [] が空で、うち [] を使用すれば本設置変更承認申請で追加する標準型燃料板を貯蔵することができる (変更承認申請で U-235 量 []、1 バードケージの最大量 [])。

一方、固体減速炉心用のバードケージ (図(b)参照) は [] 所有している。今年度中に [] が空になる予定であり、うち [] を使用すれば追加する角板燃料の全てを貯蔵することができる (変更承認申請で U-235 量 []、1 バードケージの最大量 [])。

なお、燃料棚の約 [] ユニットのうち、現在 [] ユニットが空の状態であり、仮に新たにバードケージを製作しても所蔵するスペースは十分に確保されている。以上より、貯蔵棚は炉心から全ての燃料を取出し、貯蔵したとしても十分に余裕のある容量を有している。

参照資料


- ・ 2019年7月11日 京大 KUCA ヒアリング資料 (指摘事項 番号: 4)


2.2 第2項第一号ロについて

バードケージを納める燃料棚は、バードケージ毎に十分な隔離距離を設け、臨界に達するおそれのない配置となっている。また、バードケージは、現有燃料要素を物理的に収納可能な最大枚数まで燃料板を収納し、かつ、その状態のバードケージが完全に水没した状態で三次元的に無限に隣接した場合であっても、臨界に達するおそれはない設計となっている。

本設置変更承認申請で追加する燃料要素についてもバードケージに最大数収納した状態

で周囲を軽水で満たしてそれらを隣接させたことを想定し、反射境界条件を用いた場合の実効増倍率を MCNP6 (version 1.0) + JENDL-4.0 により計算した。その結果は以下のとおりであった。

固体減速炉心用燃料要素： 

軽水減速炉心用燃料要素： 

以上より、実効増倍率は1より十分に小さな値となっており、本バードケージ及びそれを納める燃料棚は臨界に達するおそれのない設計となっている。

(a) 軽水減速架台用

(b) 固体減速架台用

図 バードケージ概念図

第二十四条 実験設備等

1. 変更内容

(工場等周辺における直接ガンマ線等からの防護)

第二十四条 試験研究用等原子炉施設は、通常運転時において試験研究用等原子炉施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による工場等周辺の空間線量率が十分に低減できるものでなければならない。

以前の審査にて（平成 28 年 5 月 11 日付承認、原規規発第 16051111 号）、現有燃料要素を用い KUCA の年間積算出力の最大値である 1kWh まで運転を行った場合、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による敷地境界付近の年間空気カーマは、最大で 1.2 μ Gy となり、年間 50 μ Gy を十分に下回ることを確認していた。本設置変更承認申請により追加予定の燃料要素を用いた場合についても同程度となると考えられるため、本条に係る記載に変更の必要はない。

2. 説明資料

2.1 評価方法の概要

平常運転時の放射線場は、炉室中央に仮想的な線源を設置することによって模擬した。仮想線源として用いる核種は、比較的ガンマ線エネルギーの高い Co-60 とする。Co-60 のガンマ線の平均エネルギーは 1.25MeV であり、U-235 の即発ガンマ線の平均エネルギーは 1MeV 以下であることから、仮想線源として Co-60 を用いることは保守的である¹⁾。なお、線量の計算には QAD-CGGP2²⁾及び G33-GP2²⁾を使用した。

図 1 QAD-CGGP2 による直接ガンマ線の計算体系

2.2 直接ガンマ線の計算

- ・ QAD-CGGP2 による直接ガンマ線の計算体系を図 1 に示す。遮蔽厚さは、安全側に最も薄い壁厚で一定とした。KUCA の中心から最も近い周辺監視区域境界は、KUCA 中心から █████ 地点であるが、炉心の位置が KUCA の中心と若干異なることを考慮し、保守的に █████ 地点とした。
- ・ QAD-CGGP2 を用いて、単位線源強度の Co-60 を線源位置に設置した際のガンマ線モニタ位置における実効線量率を求め、実測値と一致するように、線源強度を逆算した。実測値は 2013 年度定期検査の出力校正運転における値である、100W 運転時で 51mSv/h

を用いた。

- 計算に用いたコンクリートの組成には「放射線施設の遮蔽計算実務（放射線）データ集 2012」³⁾の値を用いた。なお、KUCA の壁面のコンクリートの実際の密度は 2.3g/cm^3 であり、保守的となる。

図 2 G33-GP2 によるスカイシャインガンマ線の計算体系

2.3 スカイシャインガンマ線の計算

- G33-GP2 の計算体系を図 2 に示す。散乱領域は球形状とし、半径方向距離は 1km、 θ は 20.27° 、 φ は 360° とした。

2.4 平常運転時における年間空気カーマの評価

直接線及び散乱線の結果を合計すると、100W 運転時における評価点の空気カーマ率は $1.2 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ となった。KUCA の年間積算出力は最大 1kWh であることから、KUCA の平常運転時における、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による敷地境界付近の年間空気カーマは最大で $1.2 \mu\text{Gy}$ となり、年間 $50 \mu\text{Gy}$ を十分に下回る。

2.4 新規導入燃料要素を用いる炉心の場合の年間空気カーマの評価

これまでは高濃縮ウランを用いた燃料であったのに対して新規導入燃料は低濃縮ウランであるため、これまでに比べて U-238 の核分裂による影響が大きくなることが考えられる。

U-238 の即発ガンマ線の平均エネルギーは 1MeV 以下であることから、仮想線源として Co-60 を用いることは依然保守的である¹⁾。また、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 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 であり、若干大きい。従って、新規導入燃料要素を用いた炉心の場合、現有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。また、核分裂当りに放出されるガンマ線数は、U-235 が 8.6 であるのに対して、U-238 では 7.6 となり、核分裂当りに放出されるガンマ線数も少なくなる。以上より、本設置変更承認申請により追加する燃料要素を用いる場合、敷地境界付近の年間空気カーマは $1.2 \mu\text{Gy}$ と同程度あるいは小さくなると考えられる。

参考文献

- 1) I. Stetcu, et al., Evaluation of the prompt fission gamma properties for neutron induced fission of $^{235,238}\text{U}$ and ^{239}Pu , Nuclear Data Sheets 163, 261, 2020.
- 2) Y. Sakamoto and S. Tanaka; QAD-CGGP2 and G33-GP2; Revised versions of QAD-CGGP and G33-GP codes with the conversion factors from exposure to ambient and maximum dose equivalents, JAERI-M 90-110, 1990.
- 3) (公財) 原子力安全技術センター; 放射線施設の遮蔽計算実務 (放射線) データ集 2012, 2012.
- 4) 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.

第二十九条 実験設備等

1. 変更内容

(実験設備等)

第二十九条 試験研究用等原子炉施設に設置される実験設備（試験研究用等原子炉を利用して材料試験その他の実験を行う設備をいう。）及び利用設備（試験研究用等原子炉を利用して分析、放射性同位元素の製造、医療その他の行為を行うための設備をいう。）（以下「実験設備等」と総称する。）は、次に掲げるものでなければならない。

- 一 実験設備等の損傷その他の実験設備等の異常が発生した場合においても、試験研究用等原子炉の安全性を損なうおそれがないものとする。
- 二 実験物の移動又は状態の変化が生じた場合においても、運転中の試験研究用等原子炉に反応度が異常に投入されないものとする。
- 三 放射線又は放射性物質の著しい漏えいのおそれがないものとする。
- 四 試験研究用等原子炉施設の健全性を確保するために実験設備等の動作状況、異常の発生状況、周辺の環境の状況その他の試験研究用等原子炉の安全上必要なパラメータを原子炉制御室に表示できるものとする。
- 五 実験設備等が設置されている場所は、原子炉制御室と相互に連絡することができる場所とする。

本設置変更承認申請は、第1項第一号に係る異常が発生した場合における安全性、第1項第四号に係る原子炉制御室における表示及び第1項第五号に係る原子炉制御室との相互連絡について変更を行うものではないため、これら各号に対する変更は不要である。

一方、挿入管のうち軽水減速炉心用のものは、管の内部に水が流入することにより反応度が投入される可能性がある。また、実験物である照射物は、燃料体等に貼り付けて固定するため、これが脱落することにより反応度が投入される可能性がある。従って、これらの一方、あるいは両方が同時に生じる場合においても、運転中の試験研究用原子炉に反応度が異常に投入されない設計である必要があり、第1項第二号は変更が必要である。

さらに、第1項第三号に関して、本設置変更承認申請により追加される燃料要素を用いた炉心の場合について、放射線又は放射性物質の著しい漏えいのおそれがないことを確認する必要がある。

2. 説明資料

2.1 第1項第二号について

挿入管(検出器又は照射物を挿入するためのアルミニウム等の円管または角管)のうち、軽水減速炉心用のものは、管の下部が密封されて水が内部に入らない構造としている。しかし、管の内部に水が流入することにより反応度が投入される可能性がある。従って、照射物を用いない運転時において、水流入の前後で共に軽水減速炉心の過剰反応度が $0.5\% \Delta k/k$ 以下となるように制限する。この制限を新たに加えることにより、仮に水流入が発生した場合においても、炉心の核的制限値が満足される。

実験物である照射物は、燃料体等に貼り付けて固定する。従って、それが脱落することにより、炉心に反応度が異常に投入される可能性が考えられる。さらに、軽水減速炉心においては、挿入管への水の流入による反応度の投入が重畳する可能性が考えられる。従って、以下のような制限を加える。

a) 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(例えばカドミウム)

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。一方、軽水減速炉心では、照射物を取り付ける前の状態で、挿入管に水が流入する前後で過剰反応度を $0.5\% \Delta k/k$ 以下に制限する。

b) 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(例えばウラン箔)

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反応度を $0.35\% \Delta k/k$ 以下に制限する。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、挿入管に水が流入する前後で過剰反応度を $0.5\% \Delta k/k$ 以下に制限する。

これらの制限を新たに加えることにより、仮に照射物が脱落した場合においても、さらに軽水減速炉心において挿入管への水流入が重畳した場合にも炉心の核的制限値が満足される。

参照資料

・ 2021年5月17日 第404回 審査会合資料 1-1

2.2 第1項第三号について

(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した、及び実験物の異常等による反応度の付加の場合に関して、本設置変更承認申請により追加される燃料要素について、今後、添付書類 10 の運転時の異常な過渡変化の解析により評価する。

- (b) パイルオシレーターにおいて実験物として核燃料を用いるとき、当該実験設備が損傷し、実験物より核分裂生成物が放出される可能性がある。本設置変更承認申請により追加される燃料要素について、今後、添付書類 10 の当該設計基準事故の解析により評価する。