

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】

- 第十三条
- 第十八条
- 第十九条
- 第二十条
- 第二十五条

京都大学複合原子力科学研究所

第十三条 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

1. 基本方針

(1) 要求事項に対する適合性

1) 要求事項

(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。

2) 当該条文における変更内容

第1項第二号ロについては、KUCAの設計基準事故は複数想定されており、それらは互いに独立な事象であり、1つが発生することにより、他が誘発されるという因果関係がなく、本設置変更承認申請書によって燃料要素を追加されることとは関係がないため、設計方針に変更の必要はない。一方、その他の条文については、本設置変更承認申請書によって追加する燃料要素を用いた炉心については設計方針を確認する必要がある。

3) 適合のための設計方針（考え方）

- 3)-1 第1項第一号及び第1項第二号ハについては、本設置変更承認申請書にて追加する燃料要素を用いた複数の代表炉心について、想定した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、通常運転時の状態に移行することができることを添10における評価結果（説明資料参照）を踏まえ、条文との適合性を示す。
- 3)-2 第1項第二号イについては、本設置変更承認申請書にて追加する燃料要素を用いた炉心について、設計基準事故時において炉心の著しい損傷が発生するおそれがないことを添10における評価結果（説明資料参照）を踏まえ、条文との適合性を示す。ただし、KUCAには冷却設備はなく、その必要性のないことも示す。

2. 説明資料

2.1 第1項第一号及び第1項第二号イ及びハについて

今後、添付書類10の運転時の異常な過渡変化の解析結果に基づき説明する。またその結果から補正申請の必要性や補正内容を検討する。

第十八条 安全保護回路

1. 基本方針

(1) 要求事項に対する適合性

1) 要求事項

(安全保護回路)

第十八条 試験研究用等原子炉施設には、次に掲げるところにより、安全保護回路を設けなければならない。

- 一 運転時の異常な過渡変化が発生する場合において、その異常な状態を検知し、及び原子炉停止系統その他系統と併せて機能することにより、燃料の許容設計限界を超えないようにできるものとする。
- 二 設計基準事故が発生する場合において、その異常な状態を検知し、原子炉停止系統及び必要な工学的安全施設を自動的に作動させるものとする。
- 三 安全保護回路を構成する機械若しくは器具又はチャンネルは、単一故障が起きた場合又は使用状態からの単一の取り外しを行った場合において、安全保護機能を失わないよう、多重性又は多様性を確保するものとする。
- 四 安全保護回路を構成するチャンネルは、それぞれ互いに分離し、それぞれのチャンネル間において安全保護機能を失わないように独立性を確保するものとする。
- 五 駆動源の喪失、系統の遮断その他の不利な状況が発生した場合においても、試験研究用等原子炉施設をより安全な状態に移行するか、又は当該状態を維持することにより、試験研究用等原子炉施設の安全上支障がない状態を維持できるものとする。
- 六 不正アクセス行為その他の電子計算機に使用目的に沿うべき動作をさせず、又は使用目的に反する動作をさせる行為による被害を防止することができるものとする。
- 七 計測制御系統施設の一部を安全保護回路と共用する場合には、その安全保護機能を失わないよう、計測制御系統施設から機能的に分離されたものとする。

2) 当該条文における変更内容

第1項第三号以降の号については、本設置変更承認申請によって燃料要素が追加されることとは関係がないため、設計方針に変更の必要はない。

3) 適合のための設計方針（考え方）

- 3)-1 第1項第一号については、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複数の代表炉心について、運転時の異常な過渡変化が発生する場合においても燃料の許容設計限界を超えない設計となっていることを添 10 における評価結果（説明資料参照）を踏まえ、条文との適合性を示す。
- 3)-2 第1項第二号については、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複数の代表炉心について、設計基準事故が発生した場合においても原子炉停止システム及び必要な工学的安全施設を自動的に作動させる設計となっていることを添 10 における評価結果（説明資料参照）を踏まえ、条文との適合性を示す。

2. 説明資料

2.1 第1項第一号について

今後、添付書類10の運転時の異常な過渡変化の解析結果に基づき説明する。またその結果から補正申請の必要性や補正内容を検討する。

2.2 第1項第二号について

今後、添付書類10の運転時の異常な過渡変化の解析結果に基づき説明する。またその結果から補正申請の必要性や補正内容を検討する。

第十九条 反応度制御系統

1. 基本方針

(1) 要求事項に対する適合性

1) 要求事項

(反応度制御系統)

第十九条 試験研究用等原子炉施設には、次に掲げるところにより、反応度制御系統を設けなければならない。

- 一 通常運転時に予想される温度変化、キセノンの濃度変化、実験物（構造材料その他の実験のために使用されるものをいう。以下同じ。）の移動その他の要因による反応度変化を制御できるものとする。
- 二 制御棒を用いる場合にあつては、次に掲げるものであること。
 - イ 炉心からの飛び出し、又は落下を防止するものとする。
 - ロ 当該制御棒の反応度添加率は、原子炉停止系統の停止能力と併せて、想定される制御棒の異常な引き抜きが発生しても、燃料の許容設計限界を超えないものとする。

2) 当該条文における変更内容

第1項第二号イについては、本設置変更承認申請によって燃料要素が追加されることとは関係がないため、設計方針に変更の必要はない。

3) 適合のための設計方針（考え方）

- 3)-1 第1項第一号に関して、通常運転時には温度変化及びキセノンの濃度変化は発生しない。実験物の移動及び軽水減速炉心における挿入管が破損し水が流入することによる反応度変化については、第二十九条第一項第二号に関して導入するそれらの事象に係る制限により、挿入管の破損のみが、あるいは実験物の移動と挿入管の破損が同時に発生しても反応度変化が制御できることとなるため、本号を満たしている。
- 3)-2 第1項第二号ロについては、KUCA では一定の反応度転嫁率を超えると制御棒の引抜きを阻止するインターロックが設けられている。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も、原子炉停止系統の停止能力と併せて、想定される制御棒の異常な引き抜きが発生しても、燃料の許容設計限界を超えないことを添10における評価結果（説明資料参照）を踏まえ、条文との適合性を示す。

2. 説明資料

2.1 第1項第二号ロについて

今後、添付書類10の運転時の異常な過渡変化の解析結果に基づき説明する。またその結果から補正申請の必要性や補正内容を検討する。

第二十条 原子炉停止系統

1. 基本方針

(1) 要求事項に対する適合性

1) 要求事項

(原子炉停止系統)

第二十条 試験研究用等原子炉施設には、次に掲げるところにより、原子炉停止系統を設けなければならない。

一 制御棒その他の反応度を制御する設備による二以上の独立した系統を有するものとする。ただし、当該系統が制御棒のみから構成される場合であって、次に掲げるときは、この限りでない。

イ 試験研究用等原子炉を未臨界に移行することができ、かつ、未臨界を維持することができる制御棒の数に比し当該系統の能力に十分な余裕があるとき。

ロ 原子炉固有の出力抑制特性が優れているとき。

二 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において、原子炉停止系統のうち少なくとも一つは、試験研究用等原子炉を未臨界に移行することができ、かつ、少なくとも一つは、低温状態において未臨界を維持できるものとする。

三 制御棒を用いる場合にあつては、反応度価値の最も大きな制御棒一本が固着した場合においても前号の規定に適合するものとする。

2 原子炉停止系統は、反応度制御系統と共用する場合には、反応度制御系統を構成する設備の故障が発生した場合においても通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に試験研究用等原子炉を未臨界に移行することができ、かつ、低温状態において未臨界を維持できるものでなければならない。

2) 当該条文における変更内容

第1項第一号については、KUCAでは固体減速炉心の場合には制御棒及び中心架台が、軽水減速炉心の場合には制御棒及びダンプ弁がそれぞれ独立した2系統の原子炉停止系統を構成しており、本設置変更承認申請によって追加する燃料要素を用いた炉心でも、この構成を変更するものではないため、設計方針に変更の必要はない。

3) 適合のための設計方針（考え方）

3)-1 第1項第二号については、本設置変更承認申請によって追加される燃料要素を用いた炉心に対して、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に

において、原子炉停止系統のうち少なくとも一つは、試験研究用等原子炉を未臨界に移行することができ、かつ、少なくとも一つは、低温状態において未臨界を維持できることを示すことにより、その適合性を示す。

- 3)-2 第1項第三号については、本設置変更承認申請によって追加される燃料要素を用いた炉心に対して、反応度価値の最も大きな制御棒一本が固着して動作しない場合においても、動作する残りの原子炉停止系統のみで原子炉を未臨界に移行することができ、かつ、低温状態において未臨界を維持できることを示すことにより、その適合性を示す。
- 3)-3 第2項については、本設置変更承認申請によって追加される燃料要素を用いた炉心に関して、固体減速炉心においては中心架台に、軽水減速炉心においてはダンプ弁に故障が生じて動作しない場合においても、動作する原子炉停止系統のみで原子炉を未臨界に移行することができ、かつ、低温状態において未臨界を維持できることを示すことにより、その適合性を示す。

2. 説明資料

2.1 第1項第二号について

KUCA の固体減速炉心では制御棒及び中心架台が独立した2系統の原子炉停止系統を構成する。炉心の過剰反応度及びそれぞれ原子炉停止系統の反応度抑制効果を以下のように制限しておくことができれば、一方の原子炉停止系統が動作しない状況であっても、動作するもう一方のみで、原子炉を $0.65\% \Delta k/k$ より深い未臨界に移行し、その状態を維持することができる。

- ・ 炉心の過剰反応度： $0.35\% \Delta k/k$ 以下
- ・ 制御棒の反応度抑制効果：過剰反応度 $+1\% \Delta k/k$ 以上
- ・ 中心架台の反応度抑制効果： $1\% \Delta k/k$ 以上

一方、KUCA の軽水減速炉心では制御棒及びダンブ弁が独立した2系統の原子炉停止系統を構成する。炉心の過剰反応度及びそれぞれ原子炉停止系統の反応度抑制効果を以下のように制限しておくことができれば、一方の原子炉停止系統が動作しない状況であっても、動作するもう一方のみで、原子炉を $0.50\% \Delta k/k$ より深い未臨界に移行し、その状態を維持することができる。

- ・ 炉心の過剰反応度： $0.50\% \Delta k/k$ 以下
- ・ 制御棒の反応度抑制効果：過剰反応度 $+1\% \Delta k/k$ 以上
- ・ 中心架台の反応度抑制効果： $1\% \Delta k/k$ 以上

従って、本号の適合性は、本設置変更承認申請で追加する燃料要素を用いる炉心の場合について、これらの制限を満たす炉心が成立するかどうかを調べることによって確認できる。これまでの解析において、通常運転時、固体減速炉心及び軽水減速炉心の代表炉心がこれらの制限を満たすことを確認した（2020年11月5日付、第381回 審査会合資料2-1）。運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時においては、今後、添付書類10における評価結果を踏まえ、その適合性を示す。また、その結果を受けて補正の要否や内容を検討する。

参照資料

- ・ 2020年11月5日 第381回 審査会合資料2-1

2.2 第1項第三号について

KUCA では、最大の反応度抑制効果を持つ制御棒の反応度が全制御棒反応度の $1/3$ を超

えないように制限される。これまでの解析において、通常運転時、固体減速炉心及び軽水減速炉心の代表炉心において、最大の反応度を持つ制御棒が固着して動作しない場合においても、動作する残りの原子炉停止系統のみで、原子炉を未臨界に移行し、その状態を維持することができることを確認した（2020年11月5日付、第381回 審査会合資料 2-1）。運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時においては、今後、添付書類 10 における評価結果を踏まえ、その適合性を示す。また、その結果を受けて補正の要否や内容を検討する。

参照資料

- ・ 2020年11月5日 第381回 審査会合資料 2-1

2.3 第2項について

通常運転時、固体減速炉心及び軽水減速炉心の代表炉心において、固体減速炉心においては中心架台に、軽水減速炉心においてはダンプ弁に故障が生じて動作しない場合においても、動作する残りの原子炉停止系統のみで、原子炉を未臨界に移行し、その状態を維持することができることを確認した（2020年11月5日付、第381回 審査会合資料 2-1）。運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時においては、今後、添付書類 10 における評価結果を踏まえ、その適合性を示す。また、その結果を受けて補正の要否や内容を検討する。

参照資料

- ・ 2020年11月5日 第381回 審査会合資料 2-1

第二十五条 放射線からの放射線業務従事者の防護

1. 基本方針

(1) 要求事項に対する適合性

1) 要求事項

(放射線からの放射線業務従事者の防護)

第二十五条 試験研究用等原子炉施設は、外部放射線による放射線障害を防止する必要がある場合には、次に掲げるものでなければならない。

- 一 放射線業務従事者が業務に従事する場所における放射線量を低減できるものとする。
 - 二 放射線業務従事者が運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、迅速な対応をするために必要な操作ができるものとする。
- 2** 工場等には、放射線から放射線業務従事者を防護するため、放射線管理施設を設けなければならない。
- 3** 前項の放射線管理施設には、放射線管理に必要な情報を原子炉制御室その他当該情報を伝達する必要がある場所に表示できる設備を設けなければならない。

2) 当該条文における変更内容

第1項第一号については、KUCAでは運転架台以外の場所において放射線量を低下させるために

また、運転中の架台には作業者を立ち入らせない設計となっていること、放射線モニタにより放射線を監視し、放射線量率が20 μ Sv/h以上になると警報が発せられるため、他架台で作業中の作業員に異常を知らせ退避を促すことができる設計となっていることから、本設置変更承認申請によって燃料が追加されることとは関係がないため、設計方針に変更の必要はない。

また、第2項及び第3項については、KUCAでは放射線従事者の防護に必要な放射線管理施設として、管理区域の出入口に出入管理装置を設け、及び近傍に汚染検査所並びに除染設備を設けていること、出入管理については管理区域境界扉の開閉状況を制御室で把握することができること、汚染検査所にて汚染が確認された場合には、制御室にて警報が発報する設計となっていることから、本設置変更承認申請によって燃料が追加されることとは関係がないため、設計方針に変更の必要はない。

3) 適合のための設計方針（考え方）

第1項第二号については、
現有燃料要素を用いた炉心運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に

において放射線量を十分に低減できるため、迅速な対応をするために必要な操作を作業員が制御室にて行うことができる設計となっているが、本設置変更承認申請によって追加される燃料要素を用いた炉心による運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時においては、添 10 における評価結果を踏まえ、条文との適合性を示す。

2. 説明資料

現有燃料要素を用いた炉心の場合、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、出力の最高到達値は 200W を超えるが、炉室外周壁により放射線量を十分に低減できるため、迅速な対応をするために必要な操作を作業員が制御室にて行うことができる。

本設置変更承認申請により追加する燃料要素を用いた炉心運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、最高到達出力は 200W を超えなければ、以下に示す理由から作業員が制御室にて迅速な対応をすることができる。

- a) 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、若干大きく¹⁾、本設置変更承認申請によって追加される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。
- b) 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いため²⁾、本設置変更承認申請によって追加される燃料要素を用いた炉心の場合、同じ核分裂数であれば放射線量は少なくなる。

本設置変更承認申請により追加する燃料要素を用いた炉心の運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時における最高到達出力については、今後、添付書類 10 における評価結果に基づき説明する。また、その結果から補正申請の必要性や補正内容を検討する。

参照資料

- 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>.
- 2) I. Stetcu, et al., Evaluation of the prompt fission gamma properties for neutron induced fission of ^{235,238}U and ²³⁹Pu, Nuclear Data Sheets 163, 261, 2020.

以上