

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構原子力科学研究所の 原子炉施設[STACY（定常臨界実験装置）施設]の変更に係る設計 及び工事の計画（実験用装荷物の製作及びデブリ模擬炉心の新設） に関する審査結果

原規規発第2401264号
令和6年1月26日
原子力規制庁

原子力規制委員会原子力規制庁（以下「規制庁」という。）は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下「申請者」という。）の原子炉施設[STACY（定常臨界実験装置）施設]の変更に係る設計及び工事の計画の認可申請書（実験用装荷物の製作及びデブリ模擬炉心の新設）（令和4年11月8日付け令04原機（科臨）014をもって申請、令和6年1月19日付け令05原機（科臨）022をもって一部補正。以下「本申請」という。）が、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（昭和32年法律第166号。以下「法」という。）第27条第3項第1号に規定する試験研究用等原子炉の設置変更の許可を受けたところによるものであるか、法第27条第3項第2号に規定する「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」（令和2年原子力規制委員会規則第7号。以下「技術基準規則」という。）に適合するものであるか審査した。

1. 法第27条第1項の規定に基づく設計及び工事の計画の認可申請の概要

本申請に係る設計及び工事の計画は、平成30年1月31日に許可した「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構原子力科学研究所の原子炉設置変更許可申請書[STACY（定常臨界実験装置）施設等の変更]」（平成23年2月10日付けをもって申請、平成27年3月31日付け、平成28年11月1日付け、平成29年3月1日付け、同年3月31日付け、同年6月14日付け、同年9月8日付け及び平成30年1月24日付けをもって一部補正。以下「設置変更許可申請書」という。）に従って、燃料デブリの核的特性を模擬する実験をSTACY施設にて行うための実験用装荷物[デブリ構造材模擬体（鉄製及びコンクリート製）、燃料試料挿入管及び内挿管]を製作し、また当該装荷物を従来のもので組み合わせた炉心構成でSTACY施設の運転を行うための炉心を新設するものである。

2. 法第27条第3項第1号への適合性

規制庁は、本申請が試験研究用等原子炉の設置の変更の許可を受けたところ

によるものであることを、以下のとおり確認したことから、法第27条第3項第1号の規定に適合すると判断した。

- (1) 設計及び工事の計画のうち、設備の設計条件及び設備の仕様に関する事項は、設置変更許可申請書に記載された設計方針と整合していること
- (2) 上記事項の他、設計及び工事に係る品質マネジメントシステムが、設置変更許可申請書の試験研究用等原子炉施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の整備に関する事項と整合していること

3. 法第27条第3項第2号への適合性

規制庁は、本申請に係る設計及び工事の計画が、実験用装荷物の製作及び当該装荷物等を装荷した炉心の新設であることから、実験用装荷物の製作については、技術基準規則の

- ①第6条（地震による損傷の防止）
- ②第11条（機能の確認等）
- ③第21条（安全設備）
- ④第38条（実験設備等）

の各規定に、また、炉心の新設については、同規則の

- ①第10条（試験研究用等原子炉施設の機能）

の規定に、それぞれ適合するものであることを確認した。

また、工事の計画に係る技術基準規則の規定への適合性については、一つの設備が複数の条文の要求事項を同時に満たすことを求められることから、当該設備が期待される機能を確実に発揮するための工事の方法及び手順並びに使用前事業者検査の項目及び方法の妥当性について、上記各条への適合性とは別に記載した。

なお、本節で以降に用いる条番号は、断りのない限り技術基準規則のものである。

(1) 第6条（地震による損傷の防止）

第6条第1項の規定は、試験研究用等原子炉施設は、これに作用する地震力による損壊により公衆に放射線障害を及ぼすことがないものでなければならないことを要求している。

規制庁は、耐震重要度がBクラスである実験用装荷物について、共振するおそれのない設計であること及びBクラス耐震重要度に応じて設定する静的地震力と地震力以外の荷重を組み合わせた上で、安全上適切と認められる規格及び基準（JEAG-4601 補-1984等）に基づきおおむね弾性状態に留まるように設計していることを確認したことから、第6条第1項の規

定に適合するものと判断した。

(2) 第10条（試験研究用等原子炉施設の機能）

第10条第1項の規定は、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の反応度を安全かつ安定的に制御でき、かつ、運転時の異常な過渡変化時においても当該試験研究用等原子炉の反応度を制御することにより原子核分裂の連鎖反応を制御できる能力を有するものであることを要求している。

なお、STACY 施設は新規制基準適合性確認の設置変更許可（平成30年1月31日許可）の審査において、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（平成25年原子力規制委員会規則第21号）第15条第1項のただし書きが適用される臨界実験装置であることを確認していることから、原子炉固有の出力抑制特性を有することは必ずしも要求されない。

規制庁は、デブリ模擬炉心（1）（別表1に構成範囲を示す。）が実験段階において多種多様な炉心を構成する臨界実験装置であることを踏まえ、以下を前提として審査を行った。

- a. デブリ模擬炉心（1）は、設置変更許可申請書に示された核的制限値を満足するように構成するものであること
- b. デブリ模擬炉心（1）が核的制限値を満足するものであることの見通しは、停止余裕の少ない炉心のうち代表的な構成の炉心の解析結果に基づいて確認すること
- c. 実験段階において、b. で確認した代表的な構成の炉心以外の炉心を構成する場合には、事前解析により核的制限値を満足するものであることの確認をすることとしていること及びその確認の手順を保安規定に定めるとしていること

規制庁は、上記の前提に基づき、デブリ模擬炉心（1）が以下のとおり設計していることを確認したことから、第10条第1項の規定に適合するものと判断した。

① 反応度を安全に制御できる能力

- a. デブリ模擬炉心（1）の反応度制御は水位によるものであることから、反応度を安全に制御するために、通常運転時の給水系による添加反応度の核的制限値（最大添加反応度）を0.3ドルとし、0.3ドルに相当する水位以下に設置された給水停止スイッチの水面検知により給水を停止することにより、添加反応度の核的制限値を担保する設計としていること

- b. a. の制限を超えた異常な水位上昇に備えて、給水停止スイッチの上方に設置された排水開始スイッチの水面検知により排水を開始する設計としていること。更に、過剰反応度の核的制限値（最大過剰反応度）を 0.8 ドルとし、0.8 ドルに相当する水位以下に設置された最大給水制限スイッチの水面感知によりスクラム（安全板落下及び急速排水弁開）することによって、過剰反応度の核的制限値を担保する設計としていること
- c. 通常運転時における 1 秒間あたりの反応度の増加量（反応度添加率）について、核的制限値（最大反応度添加率）が臨界近傍の水位において 3 セント/s であることから、臨界近傍での水位上昇 1mm あたりの反応度の増加量（水位反応度係数）が 6 セント/mm 以下となるように炉心を構成するとともに、臨界近傍における給水の流量については、水位上昇速度が 1mm/s となる流量及び反応度添加率が 3 セント/s となる流量のうち反応度添加率が少ない方の流量以下であるように既設の低速給水系（低速給水ポンプ、低速給水吐出弁及び低速流量調整弁）を設定する設計としていること
- d. 通常運転の範囲を超えて反応度が添加される場合においては、最大過剰反応度（0.8 ドル）に至る前に炉周期短によりスクラムする設計としていること

② 反応度を安定的に制御できる能力

- a. 添加反応度には、水位制御によるものと実験用装荷物によるものがあるところ、それぞれに制限値（いずれも 0.3 ドル以下）を設けて添加反応度の総量を管理するとともに、臨界近傍における反応度添加率が通常運転時の制限値（3 セント/s）を超えないように、既存の低速給水系により水位の上昇速度を設定し、また、既存の可動装荷物駆動装置により可動装荷物の移動速度を設定する設計としていること
- b. 通常運転時の熱出力が 200W 以下であることから、炉水に中性子吸収材が添加されることによって減速材温度反応度係数の核的制限値（ $3.8 \times 10^{-4} \Delta k/k / ^\circ C$ ）以下の正の温度反応度係数を持つ場合においても、炉水の温度上昇に伴う反応度添加率は無視できること
- c. また、年間最大積算出力が 3kW・h であることから、運転に伴い生成するキセノンに起因する反応度の揺らぎは無視できること

③ 原子核分裂の連鎖反応を制御できる能力

- a. 異常な過渡変化時における未臨界状態への移行は、安全板による停止余裕が小さい傾向を持つ炉心に対する解析結果に基づき、安全

板の挿入（反応度値が最も高い安全板以外の安全板が自動的に落下して炉心へ挿入した状態。以下同じ。）により行うことができ、かつ、未臨界状態を維持できる見通しが得られていること

- b. 実験用装荷物のうち内挿管は、内部が中空、かつ、上部が開放された構造のため、内部浸水により置換反応度を生じるおそれあるが、停止余裕の厳しい例として、炉心に装荷できる最大3本の内挿管（太）の全てが浸水した場合においても、安全板の挿入によって未臨界状態に移行でき、かつ、未臨界を維持できることの見通しが得られていること
- c. 炉水に可溶性中性子吸収材（ボロン）を添加する場合については、ボロンが中性子を吸収することにより臨界状態における安全板の反応度値が相対的に低下する場合があるが、それらの場合においても、ボロンを添加した炉心の解析結果に基づき、安全板の挿入によって未臨界状態に移行でき、かつ、未臨界状態を維持できる見通しが得られていること
- d. 津波によって炉心が冠水した場合においても、全ての安全板の挿入による未臨界状態への移行及び未臨界状態の維持ができる見通しが得られていること

（3）第11条（機能の確認等）

第11条の規定は、試験研究用等原子炉施設について、原子炉容器その他の試験研究用等原子炉の安全を確保する上で必要な設備の機能の確認をするための試験又は検査及びこれらの機能を健全に維持するための保守又は修理ができるものでなければならないことを要求している。

規制庁は、実験用装荷物について以下を確認したことから、第11条の規定に適合するものと判断した。

- ① 実験用装荷物の機能（炉心の形成）を確認するため、装荷物を炉心に装荷する作業の都度目視により外観確認を行うことが可能な設計としていること。なお、有意な傷、変形等を発見したものを除却し、それ以降は使用しない運用としている。
- ② 実験用装荷物のうち燃料試料挿入管の上部端栓の閉じ込めの機能について、密封性を担保するリングは摩耗する恐れがあることから、上部端栓開封の都度予備品と交換できる設計としていること
なお、実験用装荷物の放射化及び核分裂生成物の蓄積に起因する放射線の放出は、STACY施設の出力（最大200W）を考慮すると僅少（運転後に炉室（S）の遮蔽扉のインターロックが解除され、入室可能となる時点におけ

る空間線量率が炉心から 1m の距離で 3.2mSv/h であるところ、そのうち、実験用装荷物に起因する放射線の空間線量率は 32 μ Sv/h 未満) であることから、実験用装荷物の外観検査及び燃料試料挿入管の上部端栓のリングの交換作業を実施することができる。

(4) 第 21 条 (安全設備)

第 21 条第 3 号の規定は、安全設備について、設計基準事故時及び設計基準事故に至るまでの間に想定される全ての環境条件において、その機能を発揮することができるものであることを要求している。

規制庁は、想定される環境条件 (温度、圧力及び放射線の量) に対して実験用装荷物を、以下のとおり設計していることを確認したことから、第 21 条第 3 号の規定に適合するものと判断した。

- ① 温度については、通常運転時の最高温度 (70 $^{\circ}$ C) において異常な過渡変化が生じた場合、棒状燃料及び炉水の温度がそれぞれ 77.0 $^{\circ}$ C 及び 71.2 $^{\circ}$ C に達するものの、実験用装荷物の構造材料のうち最も融点が高いアルミニウム合金の融点 (約 600 $^{\circ}$ C) 及び炉水の沸点 (100 $^{\circ}$ C) よりも低温であるため、温度上昇により安全機能を損なうことはない設計としていること
- ② 圧力については、通常運転時及び異常な過渡変化が生じた場合のいずれも炉内の最高圧力は静水頭 2.0m (0.02MPa) であり、実験用装荷物の構造材料のうち最も許容応力が小さいアルミニウム合金の許容応力 (55MPa) よりも低い圧力であることから、圧力によって安全機能を損なうことはない設計としていること
- ③ 放射線の量については、中性子照射脆化に関して通常運転で発生する中性子数の年間最大量が 8.43×10^{17} 個であり、また、異常な過渡変化において発生する中性子数が 4.0×10^{14} 個であるため、仮に、これら全ての中性子が 1 本の実験用装荷物の表面に集中して照射されたとしても、その中性子フルエンスの量は 1 年間で 1.42×10^{16} 個/cm 2 であり、実験用装荷物の構造材料 (ステンレス鋼、ジルコニウム合金及びアルミニウム合金) で材料脆化の兆候が現れる中性子フルエンスの量 (10 19 個/cm 2) よりも少ないことから、放射線の影響によって安全機能を損なうことはない設計としていること

(5) 第 38 条 (実験設備等)

第 38 条の規定は、試験研究用等原子炉施設に設置される実験設備等は、次に掲げるものでなければならないことを要求している。

- ① 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であること
- ② 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であること
- ③ 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であること
- ④ 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であること
- ⑤ 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であること

規制庁は、実験用装荷物について、以下のとおり設計していることを確認したことから、第38条各号の規定に適合するものと判断した。

- ① 実験設備等の異常発生時の安全性
 - a. 実験用装荷物の材料は、不燃性又は難燃性のものを用いる設計としていること
 - b. 実験用装荷物の材料は、異常発生時における最高温度（77℃）、最高圧力（静水頭 2m（0.02MPa））及び最大の放射線の量（中性子発生数 4.0×10^{14} 個）においても機械的な変形を生じない材質のものを用いるため、変形によって周囲の実験用装荷物を損傷する恐れのない設計としていること
 - c. 実験用装荷物のうち内挿管（太及び細）の浸水にともなう想定外の反応度添加については、炉心に装荷する全ての内挿管の浸水を前提とし、浸水による反応度添加量を可動装荷物（駆動装置により運転中に装荷位置を変化させるもの）による反応度添加量と合わせて 0.3 ドル以下に制限することにより、炉心全体の最大過剰反応度を設置変更許可申請書で示した添加反応度の制限値（0.8 ドル）以下とする運用としていること
- ② 実験物の移動時の反応度の異常投入のおそれがないこと
 - a. 実験用装荷物は、格子板により支持されるため水平方向への移動はなく、また、浮力及び給排水にともなう水流によって浮き上がらないような自重を有することで垂直方向への移動もないため、実験用装荷物の移動によって想定外の反応度が投入されることのない設計としていること

- ③ 放射線及び放射性物質の著しい漏えいのおそれがないこと
- a. 放射線の著しい漏えいについては、燃料試料挿入管の内部に蓄積した核分裂生成物に起因する放射線と各実験用装荷物の放射化に起因する放射線を合わせても、炉心停止時に炉心から 1m の距離で 32 μ Sv/h 未満であることから、著しい漏えいのない設計としていること
 - b. 放射性物質の著しい漏えいについては、燃料試料挿入管の上部端栓はオリングで密封性を確保することにより、最高使用圧力（静水頭 2m (0.02MPa)）が作用しても管内への水の浸入はなく、また、管内で発生する気体状の核分裂生成物のガス圧力は 0.05Pa 以下であり、静水頭 2m の圧力に比べて低いことから、管内から外部への放射性物質の著しい漏えいが生じない設計としていること
 - c. b. のオリングについては、実験用装荷物の最高使用温度が 80°C 及び年間照射線量が 1kGy であるところ、耐熱性（110°C で 30 年以上）及び耐放射線性（照射線量 1MGy 以上）を有するフッ素ゴム素材のものを用いる設計としていること
- ④ 実験設備等の動作状況、異常発生状況等の情報の原子炉制御室での表示
- a. 原子炉制御室での表示は、実験用装荷物を設置する炉室（S）に設置した既設のカメラの映像が、炉心タンク及びその周辺の状況を原子炉制御室の既設の TV モニタに表示される設計であり、また、既設の計測制御系統施設により炉心の中性子束密度、温度及び水位を原子炉制御室で監視できる設計としていること
- ⑤ 原子炉制御室との相互連絡
- a. 炉室（S）と原子炉制御室は、通信連絡設備であるページング装置により、相互に連絡ができる設計としていること

（6）工事の計画

規制庁は、上記各条に規定される要求事項等を踏まえ、実験用装荷物及びデブリ模擬炉心（1）が期待される機能を確実に発揮できるように、工事の方法及び手順並びに使用前事業者検査の項目及び方法が適切に定められていることを確認した。

なお、実験用装荷物のうち、少量核燃料物質を内包する燃料試料挿入管における上部端栓の密閉性については、密閉性確認検査を行うとしていることを確認した。

また、デブリ模擬炉心（1）の機能及び性能の確認のうち、原子炉を運転

しなければ確認できない項目については、初回臨界検査、反応度添加率検査、最大添加反応度検査、ワンロードスタックマージン検査及び原子炉停止余裕検査を行うとしており、また、これらの検査は、事前解析によって求めたワンロードスタックマージンの余裕の少ない炉心で行うとしていることを確認した。

以上により、実験用装荷物の製作及びデブリ模擬炉心（１）の新設に係る工事の計画は、妥当であると判断した。

規制庁は、上記（１）から（６）の事項を確認したことから、本申請は、法第２７条第３項第２号の規定に適合するものと判断した。

4. 審査結果

規制庁は、上記２. 及び３. の事項を確認したことから、本申請は、法第２７条第３項各号のいずれにも適合するものと判断した。

別表1 炉心の構成範囲

「デブリ模擬炉心（1）」とは、下記の構成要素を STACY 施設の炉心タンク内に配置することにより構成される原子炉の炉心をいう。

構成要素	数量等
ウラン棒状燃料	50 本以上 400 本以下。なお、未臨界炉心にあつては 400 本以下。
デブリ構造材模擬体（コンクリート）	0 本以上 70 本以下
デブリ構造材模擬体（鉄）	0 本以上 70 本以下
軽水	臨界水位 40cm 以上 140cm 以下
格子板	格子間隔は 1.27cm 若しくは 1.50cm。格子間隔 1.27cm の格子板に 1 つおきに装荷することにより装荷物の間隔を 2.54cm とする場合を含む。
安全板	2～4 枚
燃料試料挿入管	0 本以上 25 本以下
内挿管（細）	0 本以上 30 本以下
内挿管（太）	0 本以上 3 本以下
可溶性中性子吸収材（ボロン）	常温の軽水に対する溶解度の 1/2 以下及び析出しないこと

別表2 デブリ模擬炉心（1）の設計条件

以下の条件を満たさない炉心は、「構成してはならない炉心」であることを保安規定に定めるとしている。

名称	制限値
臨界水位	40cm 以上 かつ 140cm 以下
最大過剰反応度	0.8 ドル
給排水系による最大添加反応度	0.3 ドル
実験用装荷物による最大添加反応度（内挿管の浸水による置換反応度を含む。）	0.3 ドル
臨界近傍における反応度添加率	3 セント/s 以下
臨界近傍における水位反応度係数	6 セント/mm 以下
安全板による停止時の中性子実効増倍率	0.985 以下
最大反応度値を有する安全板 1 枚が挿入不能時の中性子実効増倍率	0.995 以下
減速材・反射材対ペレット体積比	0.9 以上 かつ 11 以下
最高温度	70℃