

令和5年3月31日
日本原子力研究開発機構
臨界ホット試験技術部

STACY施設設工認（実験用装荷物の製作及びデブリ模擬炉心の新設）
審査説明資料の記載充実化について（編集方針）

1. デブリ模擬臨界実験（設工認申請内容の目的説明）

- ・審査説明資料に以下の解説を加えたもので説明する。
 - 燃料デブリは、燃料、構造材の鉄、躯体のコンクリートの熔融混合物である。なお、鉄は中性子吸収材として、コンクリートは中性子散乱材又は中性子減速材として臨界特性に寄与する。
 - 水中の燃料デブリを破碎して取り出す際、燃料と水（中性子減速材）の割合が変わり、臨界となる可能性がある。この臨界条件を把握するため、格子板の格子間隔（棒状燃料等を装荷する穴の間隔）を変えて棒状燃料等を配列することにより、燃料と水の割合を変えた臨界実験を行う。
 - また、燃料デブリを模擬するため、棒状燃料と同じ形状・寸法の「デブリ構造材模擬体」（鉄の棒、コンクリートペレットを詰めた棒の2種類）を製作する。また、燃料、鉄、コンクリートを混合したペレット（STACYに隣接する核燃料使用施設BECKYで製作したペレットをSTACYにおいて少量核燃料使用許可燃料として使用する。）を封入する「燃料試料挿入管」を製作する。
 - 「内挿管」（中空・上部開放の棒）は、中性子検出器や実験機器等を炉心内に挿入する案内管である。
 - デブリ模擬炉心では、棒状燃料とデブリ構造材模擬体（鉄、コンクリート）、また、実験目的に応じて燃料試料挿入管、内挿管を格子板に配列し、燃料デブリが取り得る成分割合や形状を再現して臨界実験を行う。

2. 臨界実験装置の特徴（安全審査に当たっての前提その1）

- ・審査説明資料に以下の解説を加えたもので説明する。
 - 臨界実験装置は、原子炉等規制法施行令において「炉心構造を容易に変更することができる試験研究用等原子炉であって、核燃料物質の臨界量等当該試験研究用等原子炉の核特性を測定する用に専ら供するもの」と定義される。また、旧原子力安全委員会の「水冷却型試験研究用原子炉施設の安全評価に関する審査指針」の中で、「臨界実験装置は、多種多様の燃料及び実験試料が使用され、炉心構成を変えるたびに制御棒価値、反応度フィードバック等の核特性、核計装の応答性等が異なることから、安全確保上、運転管理に負うところが大きい。このため、原子炉の運転出力及び積分出力を極めて低く制限して核分裂生成物の蓄積及び放射線を抑えることにより、炉心

の冷却設備や炉心周囲に接した遮蔽体を要しないなどの特徴を有している。したがって、臨界実験装置の安全評価に当たっては、これらの臨界実験装置の特徴を踏まえる必要がある」(以上、要約抜粋・補足加筆)との基本的考え方が示されている。【記載済み】

- この基本的考え方は、福島第一原子力発電所事故後の新規制基準が施行された前後で何ら変わるものではない。
- 臨界実験装置の安全審査に当たっては、これら「運転管理に負うところが大きい」及び「そのために施設の潜在的リスクを下けている」との特徴^(*)が、原子力安全の基本的な考え方の一つであるグレーデッドアプローチに基づいて適切に考慮されること(臨界実験装置など低リスク施設に対する安全目標の明確化及び品質管理が手順どおりに行われていることの確認)が合理的と考える。

3. 臨界実験装置の特徴を踏まえた安全確保の考え方(安全審査に当たっての前提その2)

- ・ 審査説明資料に以下の解説を加えたもので説明する。
 - 試験研究炉の中でも臨界実験装置は、原子炉の運転に関しハードとソフトが相まって安全確保が図られることから、許可段階(設計仕様の設定並びに事故防止及び災害防止の評価)の後、次の1)設工認段階、2)検査段階、3)供用段階(保安規定)まで一連の安全性確認が必要とされる。
 - 1) 設工認段階: 設備機器の詳細設計仕様の確認(ハード)とそれらを組み合わせた炉心核特性の変化傾向の把握(ソフト)。
 - 2) 検査段階: 炉心核特性の変化範囲の中で無理の無い受検炉心^(*)の選定と許可範囲内において運転できることの確認(ソフト)。
 - 3) 供用段階: 保安規定に基づく炉心構成手順の遵守状況の確認(ソフト)。

(1) 設工認段階で説明する2つの「見通し」

- ・ 審査説明資料に以下の解説を加えたもので説明する。
 - 前節の臨界実験装置の特徴を踏まえ、臨界実験装置の運転における安全を確保するためには、次の見通しを得る必要がある。一つは「①炉心核特性の変化傾向」の見通し(危険側となる炉心構成の把握)、もう一つはその変化傾向の延長(臨界実験装置では実験拡張)における「②原子炉運転の安全確保」の見通し(許可範囲内で運転できること)である。
 - 臨界実験装置以外の試験研究炉では、限られた炉心構成について、臨界実験装置などで精度検証された解析モデルによる事前解析が行われる。その解析による炉心の

*1 未知炉心に対する実験拡張のための炉心構成の自由度が認められ、その代償として潜在的リスクを下げた原子炉において、炉心変更を手順で担保する。

*2 これから実験検証を行う未知炉心の場合、受検及びその後の実験拡張に当たっては、核特性の知られた既知炉心に少量の実験試料等を装荷した炉心から始めるのが望ましい。

- ①（運転による核特性変化の見通し）と②（運転期間を通じて制限範囲に収める安全確保の見通し）が同義となるので、①の変化傾向の中から見出される「代表炉心（原子炉仕様の熱出力、圧力、燃焼度等が最大となる厳しい炉心）」と、それを踏まえ②の安全確保上、原子炉運転性能を確認すべき「受検炉心（燃料初装荷の中で厳しい炉心でよい）」が決まる。
- 他方、臨界実験装置は、未知炉心の臨界特性を把握することが目的であり、許可範囲内において多種多様の燃料及び実験試料を用いて炉心構成を自由に変えることができるため、②の安全確保の見通しは、保安規定に定める手順によって「制限値を超える炉心を組まない」とのソフト対応が中心となる（その他、ハード対応としてインターロック、フェイルセーフなどの安全機構が設けられる。）。
また、①の変化傾向の見通しは、未知試料や未検証の解析方法による予想であって、その結果が実測値と合っているかをこれから実験検証しようとするものである。それゆえ、事前解析値が実測値と合わないことを前提に、②のソフト対応により安全確保を図りつつ実験拡張していく運用とされている。
 - この臨界実験装置の特徴を踏まえると、旧原子力安全委員会が解説しているとおり、「臨界実験装置は、運転管理に負うところが大きい」との運用にならざるを得ない。ただし、「このため、原子炉の運転出力及び積分出力を極めて低く制限して核分裂生成物の蓄積及び放射線を抑えることにより、炉心の冷却設備や炉心周囲に接した遮蔽体を要しない」などの設計考慮をするとされている。

(2) 炉心核特性の変化傾向（危険側となる炉心構成の把握）の見通し（設工認段階での説明）

- ・ 補足説明資料2「解析結果」に以下の解説を加えたもので説明する。
 - 炉心核特性には、反応度制御に係る動特性パラメータ^{(*)3}及び反応度係数^{(*)4}並びに緊急停止に係る原子炉停止余裕^{(*)5}がある。STACYにおける動特性パラメータは、臨界水位に応じて決まる水位反応度係数^{(*)6}での制御に包含されるため、原子炉運転上、特に気にする必要は無い。このため、原子炉停止余裕に着目して、炉心核特性の変化の

*3 実効遅発中性子割合、即発中性子寿命。

*4 炉心の物理パラメータの変化に対する反応度。炉心水位の調整で臨界制御するSTACYの運転に関係するのは水位反応度係数のみ。STACYは最大熱出力200W（通常の実験運転では1W程度）であり、運転中の温度変化がなく炉心冷却が不要なため、温度反応度係数やボイド反応度係数の影響は受けない。

*5 STACYでは、炉心に配置した安全板の全数（炉心に応じて2枚～最大8枚）を挿入したときの中性子実効増倍率。その他、最大反応度効果を有する1枚が挿入不可となったワンロッドスタック時の中性子実効増倍率。

*6 臨界近傍において炉心水位上昇1mm当たりの反応度。

見通しを説明する。

- 上述の水位反応度係数は臨界水位の3乗に反比例するので、臨界水位が低いほど大きくなり繊細な水位調整が求められる。この場合でも、最大6 cent/mmを超えないように制限し、最大添加反応度の制限値30centに対し十分な余裕をもって安定して運転できることを確認している。
- ・ 補足説明資料2「解析結果」の表参-1 (p.19)を、(1)炉心構成の組合せ(鉄、コンクリート等の併用の実験計画)と、(2)炉心核特性の主要な変化傾向を示す解析条件として選定したもの(次の選定理由を含む。)の2つに分けて説明する。
 - デブリ構造材模擬体(鉄、コンクリート)の本数:実験試料の反応度効果の変化傾向を把握するために選定。物の製作数70本の中で、対象配置にできる最大69本とその中間の25本を選定。【記載済み】それら鉄とコンクリートを組み合わせた反応度効果も示す。【追加】

なお、実験目的に応じて装荷される燃料試料挿入管(製作数25本。燃料、鉄、コンクリートを含むデブリ模擬体ペレットを封入)及び内挿管(製作数 細径30本、太径3本。中性子検出器や実験機器を挿入)は、デブリ構造材模擬体の反応度効果に包含される。
 - 臨界水位と原子炉停止余裕の関係:水位を変化させても臨界を確保できる典型炉心において臨界水位を変化させたときの原子炉停止余裕を図示する。【追加】
 - 減速材中のボロン濃度と原子炉停止余裕の関係:ボロン濃度を変化させても臨界を確保できる典型炉心においてボロン濃度を変化させたときの原子炉停止余裕を図示する。【追加】

4. 原子炉運転の安全確保(許可範囲において運転できること)の見通し(検査段階及び保安規定段階での説明)

- ・ 補足説明資料3「核的制限値の担保」に以下の解説を加えたもので説明する。
 - 許可範囲内において多種多様の燃料及び実験試料を用いて炉心構成を自由に変えることができる臨界実験装置は、燃料と実験試料の組合せによっては核的制限値を超える炉心も組むことができる。しかし、そういう炉心は組まないよう、複数者(実験計画者、施設管理者、施設管理統括者、原子炉主任技術者、原子力科学研究所長)の確認を経て承認する手順で安全を担保する。(それゆえ、3.(2)で述べた、設工認段階で説明する「①炉心核特性の変化傾向の見通し」の中で核的に危険となる代表炉心の探索は、試験研究炉のそれに比べ重要ではない。)
 - 未知炉心として初めて運転する初回炉心やその後の実験拡張炉心では、臨界近接操作^(*7)において予想臨界水位が許可範囲(40cm~140cm)を逸脱するおそれがあるとき

*7 逆増倍率法と呼ばれる一般的な原子炉運転方法。STACYの場合、炉心タンクに段階的に給水してその都度中性子計数率比(M)を測定し、逆増倍率(1/M)を外挿して予想臨

- は原子炉の運転を中止し実験計画を見直すため、原子炉の安全運転に支障はない。
- 臨界水位は、実験計画に応じ、運転しやすい水位（水位差による実験試料の反応度効果測定を精度よく行うことができる水位）になるように設定する。
 - p. 7の検査に関し、試験炉規則第28条（使用前事業者検査）第2項第1号「工事が設工認に従って行われたものであること」の確認については、実験用装荷物の製作工事は個々に材料検査、寸法検査等を受けていること、それらを組み合わせた炉心構成は「工事」ではなく構造材の「配列」でありその手順は保安規定で担保（※）することでもって確認される。（※保安規定審査基準）
 - また、同条第2項第2号「技術上の基準（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）に適合するものであること」の確認については、技術基準各条項の要求事項及び同規則第10条（試験研究用等原子炉施設の機能）に対し許可を受けた制限値を超えることなく運転できることの確認であり、事前解析値（設計値）と実測値が合っていることを確認（比較検証）することではない。その事前解析値（設計値）と実測値の確認（比較検証）は、臨界実験装置の目的である実験運転として行われる。
 - 以上を踏まえ、p. 9の受検炉心に関し、受検炉心（基本炉心に鉄1本装荷）として選定した理由（中性子吸収効果の大きい鉄がコンクリートよりも厳しい反応度効果を与える傾向がある。実験拡張に際しその限界を実験検証していくため、少数本から実験を行う。）を追記する。

界水位を推定しながら、徐々に臨界水位に近づけていく。

◆試験研究の用に供する原子炉等における保安規定の審査基準

試験炉規則第15条第1項第6号イからハまで

(試験研究用等原子炉施設の運転に関する体制、確認すべき事項、異状があった場合の措置等)

5. 臨界実験装置については、以下の事項が定められていること。

- ・燃料体、減速材、反射材等の配置及び配置替えに伴う炉心特性の算定及びその結果の承認に関すること。

◆原子炉等規制法

(使用前事業者検査等)

第二十八条 試験研究用等原子炉設置者は、原子力規制委員会規則で定めるところにより、設置又は変更の工事をする試験研究用等原子炉施設について検査を行い、その結果を記録し、これを保存しなければならない。

2 前項の検査(次項及び第三十七条第一項において「使用前事業者検査」という。)においては、その試験研究用等原子炉施設が次の各号のいずれにも適合していることを確認しなければならない。

- 一 その工事が前条第一項又は第二項の認可を受けた設計及び工事の計画(同項ただし書の原子力規制委員会規則で定める軽微な変更をしたものを含む。)に従って行われたものであること。
- 二 次条の技術上の基準《*》に適合するものであること。

《*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》

◆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

(試験研究用等原子炉施設の機能)

第十条 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試験研究用等原子炉固有の出力抑制特性を有するとともに、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なければならない。ただし、試験炉許可基準規則第十五条第一項ただし書の規定の適用を受ける臨界実験装置に係る試験研究用等原子炉施設にあっては、試験研究用等原子炉固有の出力抑制特性を有することを要しない。

以上