

令和5年4月6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／改訂1）

前回面談（令和5年3月31日）を踏まえ、下記のとおり、説明資料の編集方針を見直した。

（主要な改訂箇所を黄色マーカーで示す。）

1. デブリ模擬臨界実験の目的

- ・ 審査説明資料に以下の解説を加える。
 - 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砕して取り出す際、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. 炉心構成の組合せ範囲と解析による変化傾向の見通しの説明

- ・前項の実験目的を踏まえ解析条件の選定理由を説明するため、補足説明資料2「解析結果」に以下の解説を加える。また、その主旨を審査説明資料に追記する。
 - 炉心核特性には、反応度制御に係る動特性パラメータ^(*1)及び反応度係数^(*2)並びに緊急停止に係る原子炉停止余裕^(*3)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^(*4)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持たせている。また、時間的余裕をもって原子炉出力を上昇させるために、炉心タンクへの給水流量（炉心タンク水位上昇速度）を調整することで、水位上昇による反応度添加のスピード（反応度添加率^(*5)）を最大3 cent/sに制限することで、急激な反応度添加を防止する。
- ・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次項の代表炉心の中で示す。【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。

*1 実効遅発中性子割合、即発中性子寿命。

*2 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。

*3 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ードスタック時の中性子実効増倍率。

*4 臨界近傍において炉心水位上昇1mm当たりの反応度。

*5 反応度添加率 [cent/s] = 水位反応度係数 [cent/mm] × 水位上昇速度 [mm/s]。

- 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】

・なお、以上の核的制限値は、臨界実験装置の事故時の限界仕様として制限しているものではなく、原子炉の運転制御（臨界・出力調整）に支障のない範囲で制限しているものであり、それらの制限範囲を超えたからと言って、すぐに原子炉が危険な状態になるものではない。すなわち、

- 水位反応度係数ほか反応度係数については、水位など物理量の変化があつて初めて原子炉に反応度が添加されるものであり、原子炉運転中に異常な出力上昇（炉周期短、最大熱出力超^(*)6)）を検知したときは、安全保護回路により原子炉はスクラム（緊急停止）する。
- 原子炉停止余裕として計測している「安全板の反応度効果^(*)7)」については、原子炉停止の二つの方法のうちの一つであり、これが制限値を逸脱していたとしても、もう一つの停止方法である「炉心に給水した減速材の排出」により原子炉は確実に停止する。

3. 代表炉心の説明

・技術基準規則第10条（試験研究用等原子炉施設の機能）への適合性確認を示すため、審査説明資料に代表炉心に関する説明を加える。

- 最低臨界水位40cm及び最高臨界水位140cmにおいて、主要な実験用装荷物であるデブリ構造材模擬体の最大本数（鉄・コンクリート各70本、計140本）及び現有棒状燃料（400本）の範囲で臨界にできる見通しの炉心条件において、原子炉停止余裕を説明する。また、使用前事業者検査の受検を見越して、この炉心が組めること（津波水没時未臨界性の確認）も併せて説明する。

（解析条件の例）

- ・高水位 140cm炉心：棒状燃料本数が節約できる最適減速条件（格子間隔1.50cm）、単位セル配列を変則 2 of 4（4本のうち鉄1本、コンクリート1本、棒状燃料2本）とし、対称配置で最大となるデブリ構造材模擬体68本ずつを装荷した臨界炉心において原子炉停止余裕を評価する。（現有棒状燃料400本でも臨界にならない場

*6 炉周期：原子炉出力が e（約2.7）倍になる時間。STACYでは、炉周期が20秒になるとアラーム、5秒になるとスクラムする。

熱出力：STACYでは、出力が180Wになるとアラーム、220Wになるとスクラムする。

*7 安全板による原子炉停止余裕を計測するときは、炉心に給水した減速材の排出は行わず、安全板のみによる原子炉停止性能を確認する。

合は、デブリ構造材模擬体の本数を調整する。)

- ・低水位 40cm炉心：最適減速条件（格子間隔1.50cm）、単位セル配列を変則 2 of 4（同上）及び最大装荷本数を現有棒状燃料400本とし、デブリ構造材模擬体が最大となる臨界炉心において原子炉停止余裕を評価する。
- なお、原子炉等規制法第二十八条（使用前事業者検査等）第2項の確認事項「工事が設工認に従って行われたものであること」及び「技術基準に適合するものであること」を踏まえ、これら代表炉心の中から選ばれる使用前事業者検査の受検炉心の選定に当たっては、実験用装荷物の製作公差及び炉心核特性の解析誤差を見込んだ炉心構成の調整幅（棒状燃料とデブリ構造材模擬体の装荷本数、炉心水位）を加味して選定する旨を追記する。また、新規棒状燃料900本についても、上記の炉心構成と同様の手順で配列（実験拡張）できることから、現有棒状燃料400本の範囲での使用前事業者検査以降、定期事業者検査での「炉心構成に係る品質マネジメントシステム検査」として受検することとしたい。

4. その他、審査会合コメントを踏まえた追記

- ・上記1.～3.のほか、前々回審査会合（令和5年1月30日）及び前回審査会合（令和5年3月24日）の指摘事項に対する回答説明を加える。
- 適合性説明要否の表において、技術基準規則第8条（外部からの衝撃による損傷の防止）に係る適合性説明は、実験用装荷物が原子炉建家に内包され外部事象から護られるため、不要（×表記）とする。（1/30審査会合の指摘事項 No.1）
- 技術基準規則第38条（実験設備等）に係る適合性説明において、すべての要求事項に対する適合性の記載を拡充する。（1/30審査会合の指摘事項 No.2）
- 設置（変更）許可申請書との整合性について、設計条件の数値（表）だけではなく、文章部分（設計条件、炉心構成の考え方等）についても記載する。（1/30審査会合の指摘事項 No.3）
- 法令要求の内容を踏まえ、放射線業務従事者に対する放射性物質の漏えい及び放射線による被ばく影響について説明すること。また、炉室での作業時間等、実験用装荷物の運用について説明する。（3/24審査会合の指摘事項 No.1）
- フッ素ゴムを使うことの根拠についてSTACYの使用環境と比較のために例示した発電炉の使用環境を定量的に説明する。（3/24審査会合の指摘事項 No.2）
- コンクリート水分率9wt%の出典及び導出方法を明記する。（3/24審査会合の指摘事項 No.3、面談説明予定）
- 解析結果の誤差棒の説明をキャプションに記載すること。また、誤差の計算方法を明確にする。（3/24審査会合の指摘事項 No.4）

以上