

STACY施設 設工認(第3回申請)の補正について

日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所
臨界ホット試験技術部

令和6年1月24日

<補正の経緯>

- 令和5年11月2日付け令05原機(科臨)015をもって変更申請した設工認(STACYの更新(第3回申請))について、令和5年11月8日及び15日の規制庁ヒアリングコメント、並びに令和4年11月8日付け令04原機(科臨)014をもって申請し並行して審査中の設工認(デブリ模擬炉心)のコメントの内容を反映するため補正する。

<補正の内容> 主な補正の内容は以下のとおりである。

- (1) 「原子炉本体のうち、I.炉心」の「4.2.2 機能及び性能の確認に係る検査(機能等検査)」について、受検する炉心の選定方法を詳述化する。
- (2) デブリ模擬炉心の審査における「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」との適合性に関する説明書における第十条(試験研究用等原子炉施設の機能)のコメントに対し、基本炉心の記載も同様に変更する。
- (3) 申請書の工事工程表について、記載を適正化(絶対時間軸表記に修正ほか)する。

なお、上記補正内容以外の設計及び工事の方法は、令和2年11月18日付け原規規発第2011187号をもって原子炉施設の変更に係る設計及び工事の計画の認可を受け、令和4年2月28日付け令03原機(科臨)017及び令和5年5月31日付け令05原機(科臨)004をもって変更を届け出、令和5年11月2日付け令05原機(科臨)015をもって変更申請した認可申請書と同じ。

「原子炉本体のうち、I.炉心」の「4.2.2 機能及び性能の確認に係る検査(機能等検査)」について、赤文字下線のとおり、受検する炉心の選定方法を詳述化する。

4.2.2 機能及び性能の確認に係る検査(機能等検査)

(中略)

e. ワンロッドスタックマージン検査

原子炉の臨界状態において、安全板1枚を残し、残りの安全板を落下させ、中性子実効増倍率を測定し、所定の核的制限値を満足することを確認する。このとき、原子力科学研究所原子炉施設保安規定に定めた手順に従って、保守的な評価結果が得られるよう安全板挿入時の中性子実効増倍率の解析を行い、解析範囲において中性子実効増倍率が高くなった高水位炉心(90～140cm)において検査を行う。

(中略)

g. 原子炉停止余裕検査

原子炉の臨界状態において、全安全板を落下させ、中性子実効増倍率を測定し、所定の核的制限値を満足することを確認する。このとき、原子力科学研究所原子炉施設保安規定に定めた手順に従って、保守的な評価結果が得られるよう安全板挿入時の中性子実効増倍率の解析を行い、解析範囲において中性子実効増倍率が高くなった高水位炉心(90～140cm)において検査を行う。ただし、ワンロッドスタックマージン検査と原子炉停止余裕検査で炉心が異なる場合は、ワンロッドスタックマージン検査の炉心で行う。

(後略)

デブリ模擬炉心の審査における「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」との適合性に関する説明書における第十条(試験研究用等原子炉施設の機能)のコメントに対し、赤文字下線のとおり、基本炉心の記載も同様に変更する。

(試験研究用等原子炉施設の機能)

第10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。

2 船舶に設置する試験研究用等原子炉施設は、波浪により生ずる動揺、傾斜その他の要因により機能が損なわれることがないものでなければならない。

<第1項>

第1項に適合するように、添付書類Ⅲ-9-2「反応度制御についての説明書」のとおり、STACY施設は、既設の起動用中性子源(約74GBq のAm-Be)を用いて原子炉を起動し、給排水系による水位制御にて原子炉の反応度を制御し、原子核分裂の連鎖反応を制御できる能力を有する設計となっている。なお、起動用中性子源による反応度変化は無視できる。

STACY施設は、通常運転時の臨界近傍において、反応度を安全に制御するため、給水系の流量を炉心タンク水位上昇速度1mm/s 以下、かつ、反応度添加率(=炉心タンク水位上昇速度×水位反応度係数)3 セント/s に相当する流量以下に制限する。また、給水停止スイッチにより添加反応度を0.3ドル以下に制限する。このとき、給水流量が制限値を超えた場合は警報が発報し、運転員が給水を停止させる。その後も流量異常が解消されず水位上昇が続いた場合、給水停止スイッチが水面を検知することにより給水が停止する。なお、給水停止スイッチを超えて給水が継続した場合、給水停止スイッチの同軸上方にある排水開始スイッチが水面を検知し、炉心タンクから軽水が排水される。給水停止スイッチ及び排水開始スイッチを超えて給水が継続された場合、給水停止スイッチ及び排水開始スイッチの上方に設置した最大給水制限スイッチが水面を検知することによりスクラムする。

(次ページに続く)

デブリ模擬炉心の審査における「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」との適合性に関する説明書における第十条(試験研究用等原子炉施設の機能)のコメントに対し、赤文字下線のとおり、基本炉心の記載も同様に変更する。

(続き)

反応度添加による出力上昇があった場合は、核計装の炉周期が20s以下になるとアラーム、5s以下になるとスクラムする設計となっている。運転開始前に原則として計算解析により給水停止スイッチ及び最大給水制限スイッチの設置位置を定め、運転中(臨界近接)の臨界水位推定結果により必要に応じて位置を変更する。設置位置の設定及び変更にあたっては複数名で確認を行う。確認の手順は原子力科学研究所原子炉施設保安規定(下部規定を含む。)に定め、遵守する。

また、反応度制御系として給排水系を設け、通常運転時に予想される温度変化及び実験用装荷物の位置変化による反応度変化を調整することで、反応度を安定的に制御できる設計となっている。なお、熱出力は最大200W と低いため、温度上昇率は、出力密度が最大となる位置でも $7.6 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ 以下となり、この温度上昇による反応度添加率は、最大の正の炉心温度反応度係数を仮定しても 4.3×10^{-2} セント/s であり、その反応度変化は無視できる。また、原子炉設置(変更)許可申請書において、運転に伴って生成するキセノンの反応度変化は無視できると評価している。

通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、原子炉停止系統(安全板装置、排水系)、反応度制御系統(給排水系及び安全板装置)、計測制御系統及び安全保護回路(水位スイッチ、核計装)により原子炉を制御し、原子炉停止余裕に係る核的制限値を満足するようにすることで、核分裂の連鎖反応を制御できる能力を有する設計となっている。

STACYでの実験炉心は、原子炉設置(変更)許可を受けた炉心構成、核的制限値及び炉心特性の範囲内において、実験計画に基づき、格子板及び炉心に装荷する機器等を選定し、核的制限値を満足するよう構成する。また、実験炉心を構成する前に原則として計算解析を実施し、核的制限値や炉心特性範囲を満足していることを確認する。

(次ページに続く)

デブリ模擬炉心の審査における「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」との適合性に関する説明書における第十条(試験研究用等原子炉施設の機能)のコメントに対し、赤文字下線のとおり、基本炉心の記載も同様に変更する。

(続き)

このとき、STACYは第10条第1項ただし書の規定の適用を受ける臨界実験装置であり、原子炉固有の出力抑制特性を有することを要しないため、総合的な反応度フィードバックが正となる炉心を許容できる設計とする。原子炉設置(変更)許可を受けた炉心構成条件の範囲内であれば正の反応度係数の絶対値は小さい。また、安全保護系(熱出力変化の早期検知)及び原子炉停止系(1.5s以内の安全板挿入他)により出力上昇が制限され、原子炉の反応度を安全かつ安定的に制御することができる。STACYの運転中(最大200W)の温度変化は小さく、事故時でも温度上昇は小さいため(棒状燃料温度は7℃程度、減速材温度は1℃程度)、炉心を、原子炉設置(変更)許可を受けた炉心特性の範囲で構成することにより、総合的な反応度フィードバックが正となる炉心においても十分な安全性を有する。

原子炉設置(変更)許可申請書に定めた炉心特性の範囲(第1編 I. 炉心 本文3. 1 設計条件 表1及び表2に示す。)で運転する。また、運転に当たっては、炉心が核的制限値を満足し、かつ、炉心特性の範囲になるよう、原則として計算解析により評価し、確認する。評価の結果、炉心特性の範囲を逸脱する場合は、当該臨界炉心を「構成してはならない炉心」として識別し、炉心構成範囲外とする。さらに、想定を超えた津波による浸水に対し炉心の未臨界を確保するため、安全板又は未臨界板の性能とあいまって、海水による全水没を想定したときにも臨界とならないことを計算解析により評価し、確認する。評価の結果、臨界となるおそれがある場合は、当該臨界炉心を「構成してはならない炉心」として識別し、炉心構成範囲外とする。計算解析の方針は、添付書類「Ⅲ-9-3 反応度制御についての評価書」に従うものとし、確認の手順は原子力科学研究所原子炉施設保安規定(その下部規定を含む。)に定め、遵守する。

(後略)

申請書の工事工程表について、記載を適正化する。

工事工程表 (変更後)

- ・工程表の年月について、相対時間軸(○年)を絶対時間軸(○年度)に修正
- ・設工認認可日を追加

I. 主要な耐圧部の溶接部に該当しない検査

1. 原子炉本体

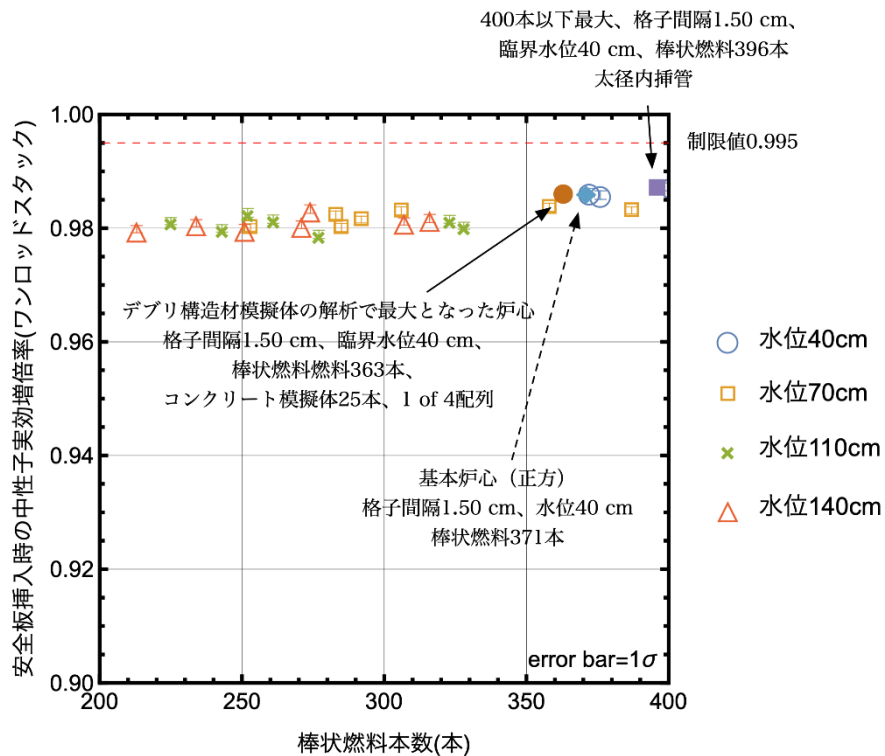
原子炉本体の工事工程表

設備	年月	令和2年度			令和3年度			令和4年度			令和5年度			令和6年度				
		10	1	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	
I. 炉心 (1) 炉心 イ. 基本炉心(1)		▲設工認認可 (令和2年11月18日)																▽炉▽性・適
III. 原子炉容器 (3) 原子炉容器 イ. 炉心タンク				▽材	▽材	▽材	▽材	▽材	▽寸・外			▽耐・据		▽適				
ロ. 内部構造物 b. 格子板フレーム					▽材	▽材	▽寸・外	▽寸・外				▽据		▽適				
・実験装置架台 ・移動支持架台				▽材	▽材		▽材	▽材		▽材	▽据	▽据		▽適				

以下、同様に変更

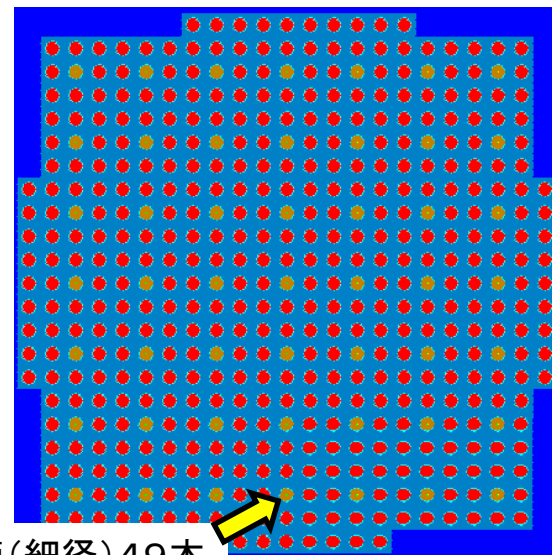
内挿管浸水時の置換反応度効果

- ・ 基本炉心には別途設工認申請している内挿管を装荷する。
- ・ 内挿管は上部開放型のさや管であるため、浸水について事前に計算解析を行いその反応度効果を確認した。



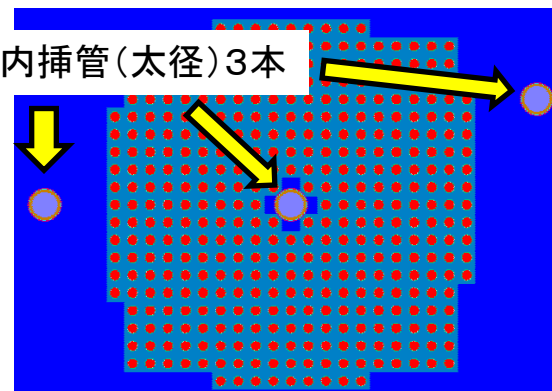
ワンロッドスタックマージンの評価結果

- ・ 中性子実効増倍率が最大となったのは太径内挿管を挿入した炉心であるが、デブリ構造材模擬体の解析で中性子実効増倍率が最大となった炉心との差は $7 \times 10^{-4} \Delta k$ (約 0.9σ) とモンテカルロ計算の誤差範囲内であった。実験計画に応じて、保安規定に定める設工認申請書添付書類 Ⅲ-9-3に示した手順で事前解析を行い、核的な安全性を確認しつつ運転できることが確認できた。本解析結果を追加して補正する。



内挿管(細径)49本

● 棒状燃料



内挿管(太径)3本

炉心マップの例

原子炉設置(変更)許可申請書と設工認申請書の整合性

- ・以下の整合性を追加して補正する。

原子炉設置(変更)許可申請書

【添八 1.6 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への適合 第29条(実験設備等)】
適合のための設計方針

(2) 実験設備等は、その状態変化、損傷、逸脱等により運転中の原子炉に過度の反応度変化を与えない設計とする。このため、配列式(格子板に配列)の実験用装荷物は、軽水の給排水及び浮力によって、支持された位置から逸脱することのないように設計する。可動式(駆動装置による移動)の実験用装荷物は、安定した駆動制御ができる設計とするとともに、反応度添加量及び反応度添加率を制限する。また、軽水中に挿入する実験用装荷物のうち内部が中空で軽水を排除する構造のものは、その損傷により炉心に過度の反応度を添加することがないよう、内部への浸水による置換反応度を可動式の装荷物による反応度添加量と合わせて制限する。

【添八別1 6. 実験設備 6.1.2 設計方針】

(4) 配列式(格子板に配列)の実験用装荷物は、損傷、脱落はもとより軽水の給排水及び浮力によって、支持された位置から逸脱することのないように設計する。

(6) 減速材及び反射材中に挿入する実験用装荷物のうち内部が中空で軽水を排除する構造のものは、その損傷により炉心に過度の反応度を添加することがないよう、内部への浸水による置換反応度を可動装荷物による反応度添加量と合わせて制限する。

設工認申請書

添付書類 Ⅲ-17-1 実験設備等についての説明書
【以下「設工認申請書」から該当箇所を抜粋】

3. 詳細設計方針・内容

3.1 詳細設計方針

(中略)

実験設備等は、その状態変化、損傷、逸脱等により運転中の原子炉に過度の反応度変化を与えない設計とする。このため、配列式(格子板に配列)の実験用装荷物は、軽水の給排水及び浮力によって、支持された位置から逸脱することのないように設計する。可動式(駆動装置による移動)の実験用装荷物は、安定した駆動制御ができる設計とするとともに、反応度添加量及び反応度添加率を制限する。また、軽水中に挿入する実験用装荷物のうち内部が中空で軽水を排除する構造のものは、その損傷により炉心に過度の反応度を添加することがないよう、内部への浸水による置換反応度を可動装荷物による反応度添加量と合わせて制限する。

(後略)