

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)

【指摘事項回答】

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5年●月●日

No.	指摘事項	対応状況	該当ページ
1	<p>【技術基準規則の適合性説明】 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(以下「技術基準規則」という。)との適合性説明の第8条(外部からの衝撃による損傷の防止)について、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のであれば適合性説明の要否を再検討すること。</p>	<p>実験用装荷物を設置する原子炉建家は、外部からの衝撃によりその安全性を損なうおそれがないことを既認可で確認している。そのため、本申請においては、技術基準規則との適合性説明を不要とする。 上記の回答内容を設工認申請書の添付書類に記載して補正する。</p>	<p>【資料●-●】 P.6</p>
2	<p>【技術基準規則の適合性説明】 技術基準規則第38条(実験設備等)第1項第1号について、耐震設計以外のことも要求しているため、すべての要求事項に対する適合性を記載すること。その他の条項についても設計方針や適合性の説明を拡充させること。</p>	<p>本設工認申請書全体に係る適合性説明及び設計方針の記載を拡充した。それについて、補足説明資料1及び補足説明資料2で説明する。 補足説明資料1の内容を設工認申請書の添付書類に、補足説明資料2の内容を設工認申請書の本文に記載して補正する。</p>	<p>【資料●-●】 P.7 【資料●-●】 補足説明資料1 P. 1~19 【資料●-●】 補足説明資料2 P. 1~5</p>
3	<p>【設置許可申請書の整合性説明】 設置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こと。</p>	<p>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)についても記載を拡充した。それについて、補足説明資料3で説明する。 補足説明資料3の内容を設工認申請書の添付書類に記載して補正する。</p>	<p>【資料●-●】 P.8 【資料●-●】 補足説明資料3 P. 1~17</p>

No.	指摘事項	対応状況	該当ページ
4	<p>【燃料試料挿入管の設計、リングの性能】</p> <p>① 燃料試料挿入管は、放射線又は放射性物質の著しい漏えいを防止するにあたり、上部端栓を取り扱う時に容易に外れず、水密性を有する脱着式端栓にするとしているが、脱着式端栓はどの程度の水密性をどのように担保するのか、設計の考え方を説明すること。</p> <p>その際、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、炉室での作業時間等、実験用装荷物取扱い時の運用についても説明すること。</p> <p>② 燃料試料挿入管のリングについて、熱、放射線、着脱時の摩擦による影響を説明すること。</p> <p>その際、STACYの使用環境を定量的に説明すること。</p>	<p>① 燃料試料挿入管に求められる放射線の漏えい防止、放射性物質の漏えい防止、上部端栓の水密性に対する設計の考え方を説明する。</p> <p>また、炉室における実験用装荷物取扱い時の放射線量率や運用についても説明する。</p> <p>燃料試料挿入管の検査については、補足説明資料4で説明する。</p> <p>その内容を設工認申請書の添付書類に記載して補正する。また、補足説明資料4の内容を設工認申請書の添付書類に追加して補正する。</p> <p>② リングの使用環境を定量的に示し、その使用形態(上部端栓の脱着頻度、リングの交換頻度)において必要とされる耐熱性、耐放射線性、耐摩耗性について説明する。</p> <p>その内容を設工認申請書の添付書類に追加して補正する。また、設工認申請書の本文構造図にリングの材質(フッ素ゴム)を記載して補正する。</p>	<p>【資料●－●】 P.9～11</p> <p>【資料●－●】 補足説明資料4 P.1～4</p> <p>【資料●－●】 P.12,13</p>

No.	指摘事項	対応状況	該当ページ
5	<p>【コンクリートの組成(水分量)】 デブリ構造材模擬体のコンクリートの具体的な組成が示されていない。水分量、密度等、核的制限値に影響するパラメータの上限値などを示すこと。</p>	<p>【令和5年3月24日第478回審査会合にて説明済】 コンクリートの組成が反応度を与える影響は、コンクリートに含まれる水分量の変化によるものが支配的であるため、設工認申請書のデブリ構造材模擬体(コンクリート)の設計仕様(主要材料)にコンクリートを記載し、設工認申請書の本文構造図にコンクリートの水分量(水分率)の上限値を記載して補正する。 詳細については、補足説明資料2*で説明する。</p>	<p>【資料1-1】* P.12,13,16 【資料1-3】* 補足説明資料2* P.1~2</p>

* 令和5年3月24日審査会合資料番号

No.	指摘事項	対応状況	該当ページ
6	<p>【核的制限値を満足する見通し】 ① デブリ模擬炉心(1)の核特性値が制限された範囲に収まる見通しを示すこと。その際、実際に製作する本数のデブリ構造材模擬体を配置した炉心で核的制限値(原子炉停止余裕、ワンロッドスタックマージン)が確保できる見通しを示すこと。</p>	<p>本設工認の範囲で構成可能な炉心の組合せ(例)を示し、その中から、核的制限値の中でも重要な原子炉停止余裕(中性子吸収材である安全板を緊急挿入したときの中性子実効増倍率)が厳しくなる炉心条件を説明する。具体的には、デブリ構造材模擬体(鉄、コンクリート)及び棒状燃料の装荷本数、それらの配列並びに格子間隔等を変化させた炉心の原子炉停止余裕(安全板全数挿入)及びワンロッドスタックマージン(最大反応度価値を有する安全板1枚が挿入不能)の変化傾向を示す。</p> <p>その結果、安全板の効果が小さくなる、原子炉停止余裕を厳しくする傾向の炉心についての情報が得られ、核的制限値を満足しつつ運転できる見通しが得られた。</p> <p>詳細については、補足説明資料5で説明する。</p> <p>上記見通しを示す解析結果を設工認申請書の添付書類に追加して補正する。</p> <p>なお、臨界実験装置の核的制限値は、それらの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、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・反応度係数については、炉心物理量の変化があっ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示している「安全板の反応度効果」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、もう一つの停止方法(解析上は無視している。)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。 	<p>【資料●-●】 P.14,15 【資料●-●】 補足説明資料5 P.1~11</p>

No.	指摘事項	対応状況	該当ページ
6	<p>【核的制限値を満足する見通し】 ② 臨界実験装置で核的制限値をどのように満足させるか、考え方を説明すること。</p>	<p>本設工認の範囲で構成可能な炉心の組合せ(例)の中で核的制限値(原子炉停止余裕)を厳しくする炉心条件(代表炉心)においても核的制限値を満足する見通しを得たが、供用段階においても、実験炉心(実験拡張)に対し核的制限値を満足する見通しを得つつ、原子炉を運転する。具体的には、炉心構成に係る安全確認手順(燃料体等の配置、配置替えに伴う炉心特性の算定とその承認)を保安規定に定め、事前解析値と実測値との比較検証により核的制限値を満足する見通しであることを確認しつつ、原子炉を運転する。</p> <p>原子炉の運転に当たっては、核的制限値を担保するために①過剰反応度に係る炉心タンク水位の制限、②反応度添加率に係る水位上昇速度の制限、③原子炉停止余裕に係る安全板の位置及び挿入性の確認を行う。</p> <p>また、それらの手順が正しく行われていることを事業者検査(品質マネジメントシステム検査)により確認する。</p> <p>詳細については、補足説明資料6で説明する。 補足説明資料6の内容を設工認申請書の添付書類に追加して補正する。</p>	<p>【資料●-●】 P.16～19 【資料●-●】 補足説明資料6 P.1～7</p>

<指摘事項 No.1>

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(以下「技術基準規則」という。)との適合性説明の第8条(外部からの衝撃による損傷の防止)について、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のであれば適合性説明の要否を再検討すること。

<回答>

実験用装荷物を設置する原子炉建家は、外部からの衝撃によりその安全性を損なうおそれがないことを既認可で確認している。そのため、本申請においては、技術基準規則との適合性説明を不要とする。

技術基準の条項		説明の必要性の有無	適合性説明
第8条	外部からの衝撃による損傷の防止	無	本申請の対象設備を設置する原子炉建家は、外部からの衝撃によりその安全性を損なうおそれがないことを既認可で確認している。本申請はその設計を変更するものではないため、該当しない。

上記の回答内容を設工認申請書の添付書類に記載して補正する。

<指摘事項 No.2>

技術基準規則第38条(実験設備等)第1項第1号について、耐震設計以外のことも要求しているため、すべての要求事項に対する適合性を記載すること。その他の条項についても設計方針や適合性の説明を拡充させること。

<回答>

本設工認申請書全体に係る適合性説明及び設計方針の記載を拡充した。それについて、補足説明資料1及び補足説明資料2で説明する。

補足説明資料1の内容を設工認申請書の添付書類に、
補足説明資料2の内容を設工認申請書の本文に記載して
補正する。

<指摘事項 No.3>

設置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こと。

<回答>

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)についても記載を拡充した。それについて、補足説明資料3で説明する。

補足説明資料3の内容を設工認申請書の添付書類に記載して補正する。

<指摘事項 No.4 ①>

燃料試料挿入管は、放射線又は放射性物質の著しい漏えいを防止するにあたり、上部端栓を取り扱う時に容易に外れず、水密性を有する脱着式端栓にしているが、脱着式端栓はどの程度の水密性をどのように担保するのか、設計の考え方を説明すること。その際、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、炉室での作業時間等、実験用装荷物取扱い時の運用についても説明すること。

<回答>

燃料試料挿入管は、少量核燃料物質であるデブリ模擬体を封入して使用するため、放射線及び放射性物質の著しい漏えいを防止するように上部端栓が容易に外れない設計としている。燃料試料挿入管の使用概要をP.10に、上部端栓の構造をP.11に示す。

➤ 放射線業務従事者に対する放射線による被ばく影響について

実験用装荷物を取り扱う場合は、作業開始前に、保安規定の下部要領である「放射線安全取扱手引」に定める「放射線作業連絡票」*を用いて、放射線業務従事者の被ばく影響について検討し、適切な放射線防護装備(アラーム付き電子ポケット線量計等)、作業時間等を決定するため、放射線業務従事者が著しく被ばくするおそれはない。

なお、炉室(S)の扉にはインターロック(炉室内空間線量率 $200 \mu\text{Sv/h}$ 以上で開不可)が設けられているため、空間線量率が高い状況で作業することはない。インターロック解除直後に入室することを想定した場合、炉心近傍(1m)の空間線量率は最大約 7.2mSv/h と見積られるが、このような場合、作業時間によっては1回の作業で実効線量 1mSv を超えるため、時間減衰を待って作業する。

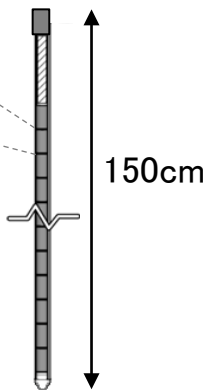
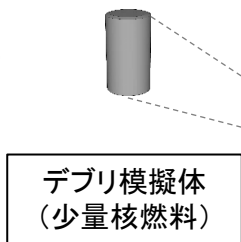
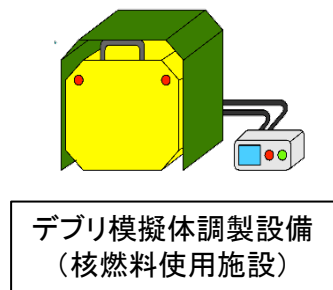
以上のことから、燃料試料挿入管について、放射線の著しい漏えい(放射線業務従事者への被ばく影響)の防止のためにハード対応は不要である。

その他、燃料試料挿入管の検査については、補足説明資料4で説明する。

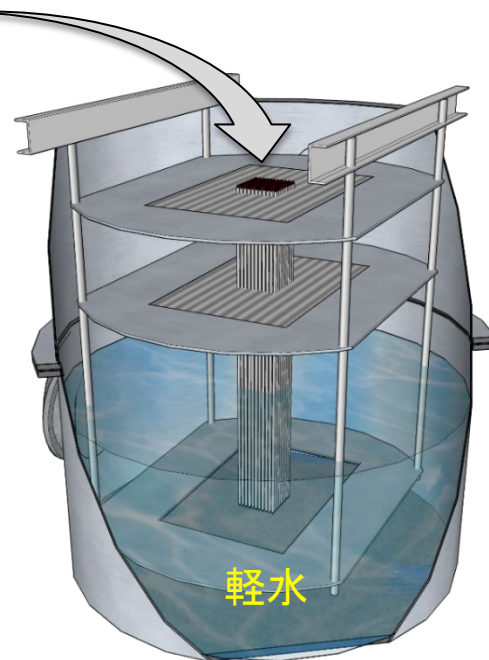
上記の回答内容を設工認申請書の添付書類に記載して補正する。また、補足説明資料4の内容を設工認申請書の添付書類に追加して補正する。

* 1回の作業又は1週間以内の連続作業による実効線量が 1mSv 以下になる放射線作業が対象となる。

デブリ模擬体は少量核燃料物質であり、かつ、STACYは熱出力最大200W(臨界を取るだけの運転の場合は通常約1W)、積算出力最大0.1kW・h/1運転、0.3kW・h/週、3kW・h/年であり、棒状燃料及びデブリ模擬体中の核分裂生成物の蓄積(1.6×10^{14} 核分裂*1)及び放射化による放射線の放出(運転停止後1時間の炉心近傍(1m)での空間線量率 $200 \mu\text{Sv/h}^*2$ 以下)は極めて小さく、燃料試料挿入管は直接手で取り扱うことができるものである。



STACY炉心タンク
(直径 約180cm、高さ 約190cm)



STACYの特徴

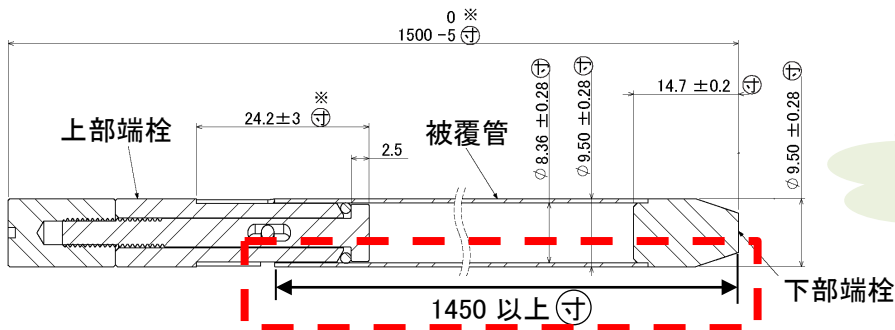
- 上部開放型の炉心タンク、格子板に棒状燃料を配列
- 水位で反応度制御
- 臨界水位40cm～140cm

燃料試料挿入管の使用概要

* 1 設置許可申請書における運転時の異常な過渡変化の評価のうち最大の値

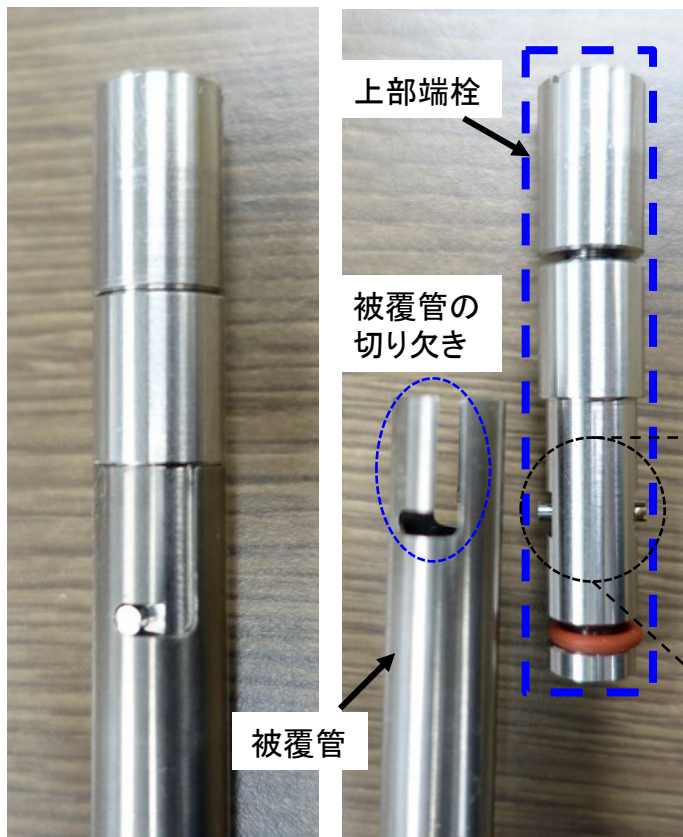
* 2 臨界を取るだけの運転 通常約1Wで1時間(積算出力1W・h)運転した場合の空間線量率

燃料試料挿入管の設計の考え方 (3/3)

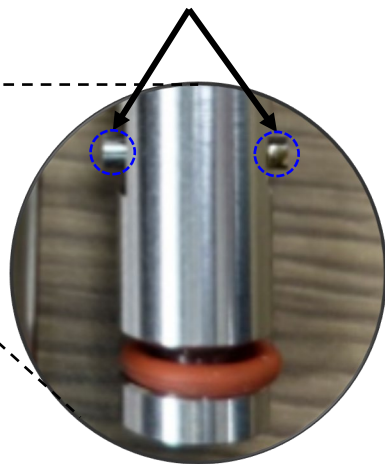


燃料試料挿入管 構造図

設工認申請書の構造図に被覆管の下端から切り欠き位置までの寸法を記載して補正する。
(赤破線部)



上部端栓の突起部分を被覆管の切り欠きに引っ掛けることで、上方に引っ張るだけでは外れない構造



- 上部端栓の上半分をねじ込むことで、Oリングが徐々につぶれて径方向に広がる構造
- Oリングと被覆管との摩擦抵抗が増加し上部端栓が回転しにくくなるため、突起が被覆管の切り欠きから外れにくくなる構造

Oリングが径方向に広がることで被覆管から容易に外れない構造

燃料試料挿入管(試作品)の上部外観

<指摘事項 No.4 ②>

燃料試料挿入管のOリングについて、熱、放射線、着脱時の摩擦による影響を説明すること。その際、STACYの使用環境を定量的に説明すること。

<回答>

STACYは、最大熱出力200Wの低出力炉であり、常温から最高使用温度80℃の範囲で運転を行う。そのため、燃料試料挿入管のOリングに高度な耐放射線性、耐熱性は要求されないが、炉心に挿入して使用することから、一般に耐放射線性、耐熱性を有することで原子力施設に用いられているフッ素ゴムを材質とするOリングを使用する設計とする。このフッ素ゴムは、実用発電炉(高出力・高圧力・高熱の炉心)の制御棒駆動系水圧制御ユニット等のパッキンとして使用実績がある材質である。燃料試料挿入管(上部端栓)の構造図(Oリングの装着状態)をP.13に示す。

また、このOリングは消耗品であるため、あらかじめ必要量を確保し、上部端栓開封のつど交換*¹することから、着脱時の摩耗による影響は問題とならない。

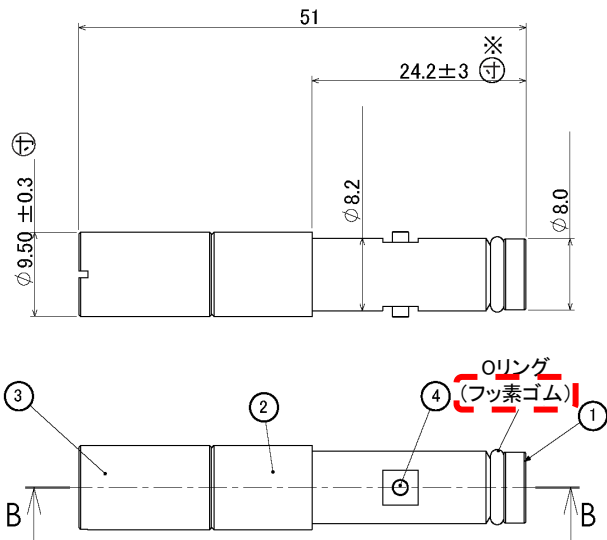
なお、燃料試料挿入管の開封頻度は実験目的に応じて異なるが、長期間開封しない場合でも最大数年程度と想定される。フッ素ゴムの耐用年数は、110℃の環境で30年以上と報告*²されており、STACYの使用環境ではOリングの密封性能を喪失することはない。

上記の回答内容を設工認申請書の添付書類に記載して補正する。また、設工認申請書の本文構造図にOリングの材質(フッ素ゴム)を記載して補正する。Oリングの補正に係る記載は次頁参照。

* 1 Oリングの交換頻度については保安規定の下部規定で定める。

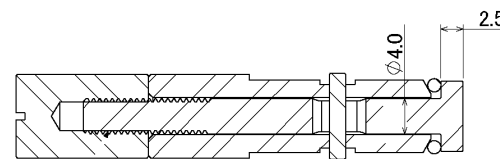
* 2 田村珠美, 金澤幸雄, 中野修, ゴム材料の寿命評価技術, 東芝レビュー Vol.70 No.1, p.40-43, (2015).

設工認申請書の構造図にOリングの材質を記載して補正する。(赤破線部)



部品番号	部品名	材質
1	シールシャフト	SUS304
2	シールキャップ	SUS304
3	ノブ	SUS304
4	ピン	SUS304

寸：寸法検査対象箇所



断面図 B-B

燃料試料挿入管(上部端栓)構造図

核的制限値が制限された範囲に収まる見通し

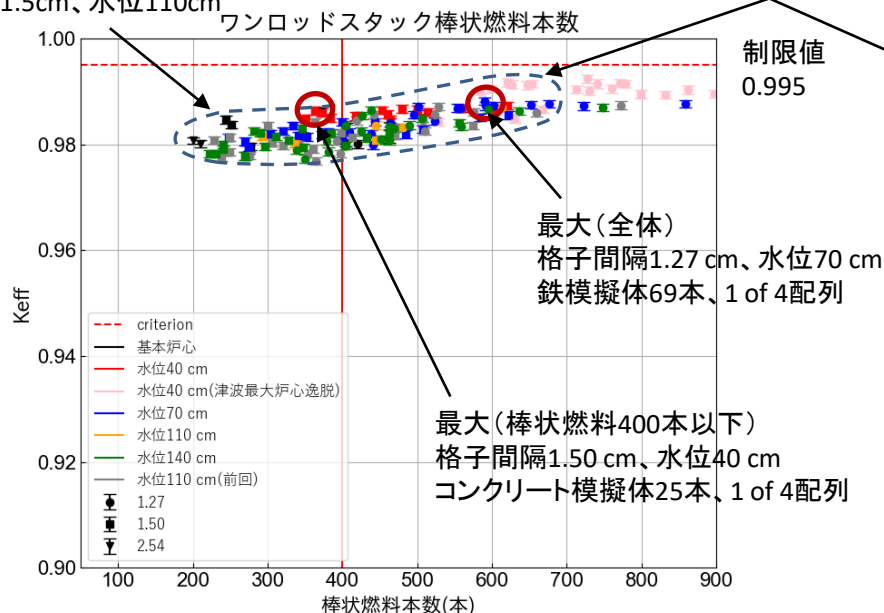
<指摘事項 No.6 ①>

デブリ模擬炉心(1)の核特性値が制限された範囲に収まる見通しを示すこと。その際、実際に製作する本数のデブリ構造材模擬体を配置した炉心で核的制限値(原子炉停止余裕、ワンロッドスタックマージン)が確保できる見通しを示すこと。

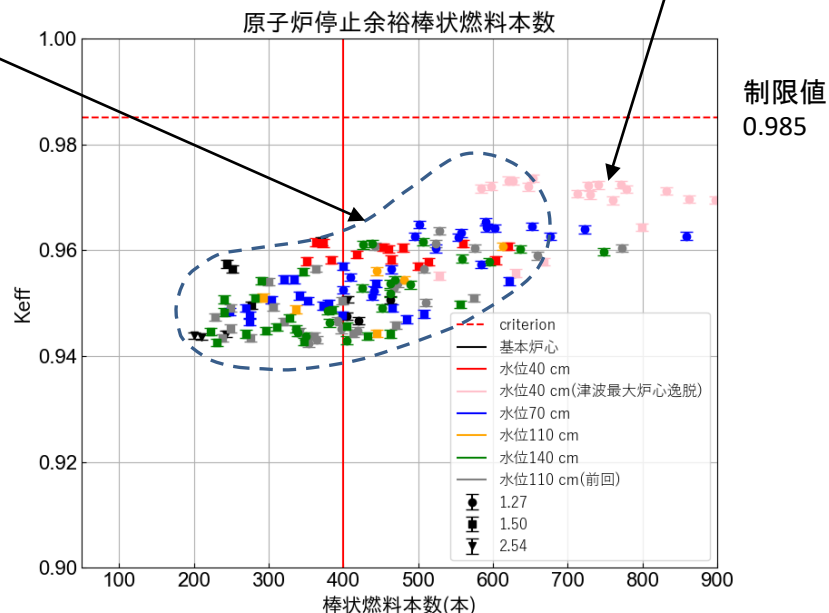
津波水没時に未臨界を担保できない炉心を**ピンク色**で示す。

前回(令和5年3月24日第478回)審査会合提示の基本炉心(1)
格子間隔1.5cm、水位110cm

(破線は前回(令和5年3月24日第478回)審査会合にて
提示した変化範囲を示す補助線)



(a)ワンロッドスタックマージンの評価結果



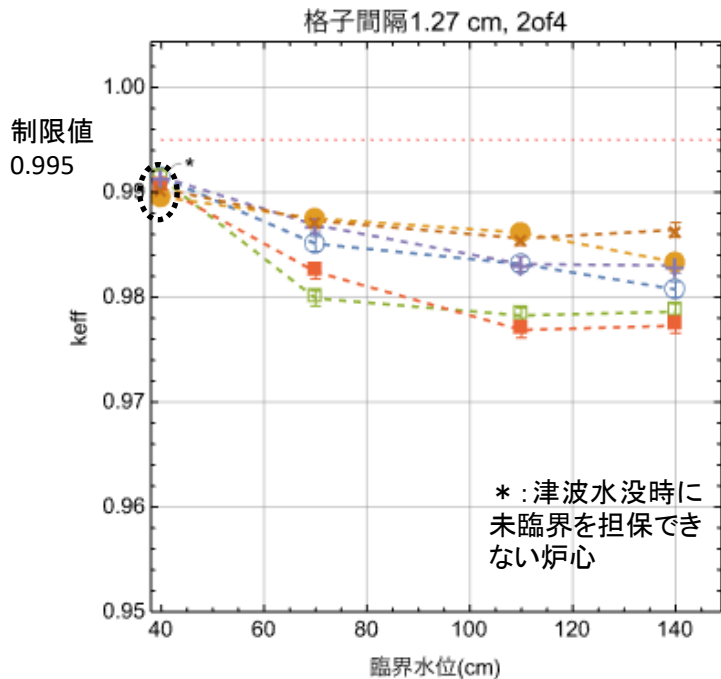
(b)原子炉停止余裕の評価結果

誤差棒=1σ

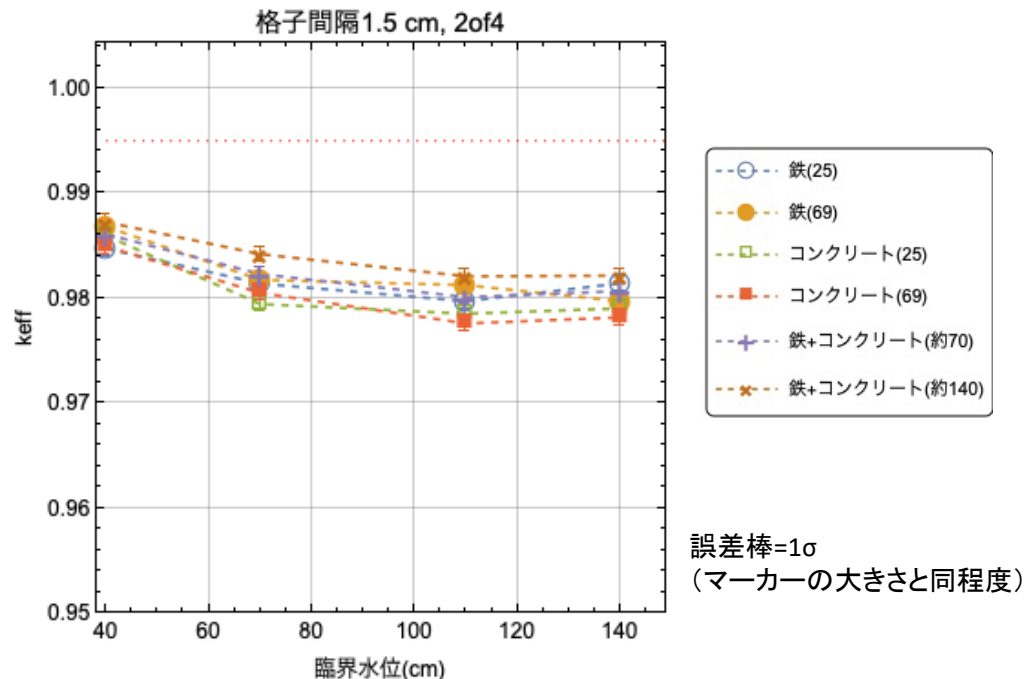
- ・ 解析範囲を広げたことによりX軸の正の方向にデータが追加されるものの、Y軸方向には前回審査会合で提示した範囲に収まっている。
- ・ 前回審査会合資料の結果(鉄のデブリ構造材を使用した炉心が最大となった)と異なり、鉄ではなく、コンクリートのデブリ構造材模擬体を挿入した炉心が最大となった。その理由は、鉄のデブリ構造材模擬体を25本挿入した炉心は、棒状燃料が400本を超えたため集計範囲から外れたことによる
- ・ 上図に示した計算結果は、傾向を示すための例であるが、すべて原子炉停止余裕又はワンロッドスタックマージンの制限値を満足する。

以上の解析より、安全板の効果が小さくなる、つまり原子炉停止余裕を厳しくする炉心の傾向及び範囲に関する情報が拡充され、核的制限値を満足しつつ運転できる見通しが得られた。

本解析の結果を踏まえ、左記の見通しを示す解析結果を設工認申請書 第2編 デブリ模擬炉心(1)の添付書類として追加して補正する。



デブリ構造材模擬体の効果の比較
(格子間隔1.27 cm、2 of 4 配列)



デブリ構造材模擬体の効果の比較
(格子間隔1.50 cm、2 of 4 配列)

その他のデータについては
補足説明資料5を参照。

(変化傾向の要点)

- ・ 水位の上昇とともに、中性子実効増倍率は減少する（安全板の反応度効果が強まる）傾向にある。したがって、臨界水位が低い炉心のほうが原子炉停止余裕に関し厳しめとなる。
- ・ 装荷本数が同数であればコンクリートよりも鉄のほうが、また、その本数が増えるほうが、中性子実効増倍率が高めの値（安全板の反応度効果が弱まる）となる。
- ・ この傾向について、格子間隔1.27cm（減速不足の炉心）では臨界水位が下がるにつれてその差が小さくなり（収斂していき）、かつ、臨界水位40cmの炉心では逆転する例が見られる。この理由については今後の研究に委ねることになるが、これらの炉心は津波水没時に未臨界を担保できない炉心であるため構成することはしない。

<指摘事項 No.6 ②>

臨界実験装置で核的制限値をどのように満足させるか、考え方を説明すること。

<回答>

本設工認の範囲で構成可能な炉心の組合せ(例)の中で核的制限値(原子炉停止余裕)を厳しくする炉心条件(代表炉心)においても核的制限値を満足する見通しを得たが、供用段階においても、実験炉心(実験拡張)に対し核的制限値を満足する見通しを得つつ、原子炉を運転する。具体的には、炉心構成に係る安全確認手順(燃料体等の配置、配置替えに伴う炉心特性の算定とその承認)を保安規定に定め、事前解析値と実測値との比較検証により核的制限値を満足する見通しであることを確認しつつ(※)、原子炉を運転する。(P.17参照)

※保安規定に定める炉心構成書及び炉心証明書を作成と原子炉主任技術者等による確認を行う。(P.18参照)

なお、核的制限値を満足する見通しであることの確認において、解析値が実測値と大きく離れている場合、かつ、実測値が解析値よりも危険側(制限値に近い側)にある場合は、解析値と実測値の偏差基準(C/E値)を調整した上で改めて解析を行い、次の実験拡張における条件設定を慎重に行って再度実測値と比較・検証する。

原子炉の運転に当たっては、核的制限値を担保するために①過剰反応度に係る炉心タンク水位の制限、②反応度添加率に係る水位上昇速度の制限、③原子炉停止余裕に係る安全板の位置及び挿入性の確認を行う。(P.19参照)

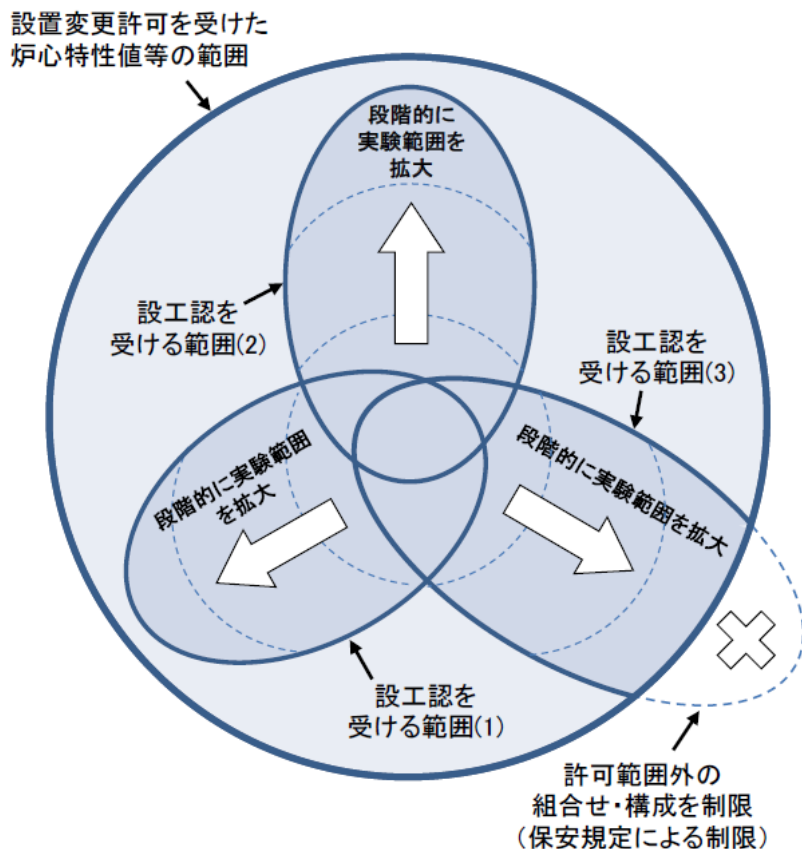
また、それらの手順が正しく行われていることを事業者検査(品質マネジメントシステム検査)により確認する。

詳細については、補足説明資料6で説明する。

補足説明資料6の内容を設工認申請書の添付書類に追加して補正する。

(設工認で示す「代表炉心」と使用前事業者検査の「受検炉心」について)

設工認で示す工事フローとの関連で、設工認で示した「代表炉心(核的制限値を厳しくする炉心)」と、使用前事業者検査(工事が設工認に従って行われたものであることの確認)の「受検炉心」を同一とすべきとの意見もあるが、臨界実験装置の特徴及び運転目的(未知炉心・未知試料に係る核特性の実験検証)を踏まえると、代表炉心を受検炉心とする必要はないと考える。つまり、これから実験拡張して検証していく実験炉心及び実験試料装荷の限界(すなわち代表炉心)の探査は事業者が行う実験計画そのものであり、その実験拡張の際の安全確保は保安規定に定める手順によって行われることから、使用前事業者検査の受検炉心は、代表炉心を参考としつつ、製作公差、解析誤差及び事前解析の検証精度を考慮した調整幅を加味して選定する。



新しい炉心を構成する際の方針
(概念図)

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。

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(平成3年7月18日原子力安全委員会決定、平成13年3月29日一部改訂)より抜粋引用。



【臨界実験装置の設計(許可)思想】

臨界実験装置の安全確保は運転管理に負うところが大きく、また、よく知られていない新しい炉心に対する潜在的危険性を小さくするために極低出力、極低燃焼度とする設計(許可)思想。

炉心構成書

【主な記載事項】

1. 実験の目的
2. 最大熱出力
3. 炉心構成
 - (1) 格子板の種類(格子間隔)
 - (2) 棒状燃料の種類、濃縮度、本数
 - (3) 可溶性中性子吸収材(ボロン濃度)
 - (4) 安全板の枚数
 - (5) 実験用装荷物の種類、本数
4. 臨界水位
5. 減速材及び反射材温度
6. 反応度
 - (1) 給水制限(高速給水速度、低速給水速度)
 - (2) 臨界近傍での反応度添加率
 - (3) 最大過剰反応度
 - (4) 安全板の反応度(原子炉停止余裕、ワンロードスタックマージン、炉心が浸水(海水による全水没)した場合の安全板及び未臨界板の中性子実効増倍率)
 - (5) 可動装荷物の最大添加反応度、反応度添加率

【承認プロセス】

部長が炉心構成書を作成し、所長の承認*を得る。

炉心証明書

【主な記載事項】

1. 最大熱出力
2. 炉心構成
 - (1) 格子板の種類(格子間隔)
 - (2) 棒状燃料の種類、濃縮度、本数
 - (3) 可溶性中性子吸収材(ボロン濃度)
 - (4) 安全板の枚数
 - (5) 実験用装荷物の種類、本数
 - (6) 減速材及び反射材温度
4. 臨界量(棒状燃料の本数及び臨界水位)
5. 反応度
 - (1) 給水制限(高速給水速度、低速給水速度)
 - (2) 臨界近傍での反応度添加率
 - (3) 最大添加反応度
 - (4) 最大過剰反応度
 - (5) 安全板の反応度(原子炉停止余裕、ワンロードスタックマージン)
 - (6) 可動装荷物の最大添加反応度、反応度添加率
6. 炉心構成の変化範囲(格子板、棒状燃料、可溶性中性子吸収材、実験用装荷物)

【承認プロセス】

課長が、最大熱出力及び炉心構成に係る事項並びに臨界量、過剰反応度及び安全板反応度の推定値(計算解析により算定)を記載した炉心証明書を作成し、部長の承認*を得る。

承認を受けた炉心において試験運転を行い推定値と実測値を比較・検証する。

その結果を踏まえ、課長が炉心構成の変化範囲を記載した炉心証明書を作成し、部長の承認*を得る。

* 承認を得るときは、原子炉主任技術者の同意を得なければならない。

主要な核的制限値の遵守

① 過剰反応度

Hard	主に設備の設計により担保
Soft	主に保安規定により担保

方法: 炉心タンクの水位を制限する

- Hard 水位スイッチの性能
- Soft 段階的臨界近接手順
- Hard 炉心形状の特性(垂直方向に一様とみなせる)

② 給水による反応度添加率

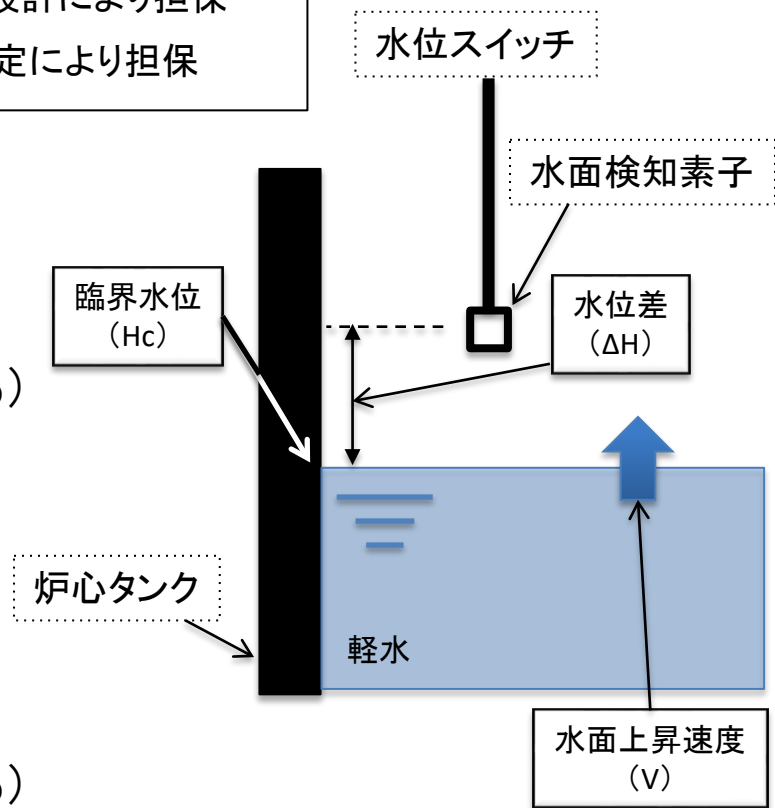
方法: 炉心タンクの水面上昇速度を制限する

- Hard 給水ポンプの性能
- Soft 段階的臨界近接手順
- Hard 炉心形状の特性(垂直方向に一様とみなせる)

③ 原子炉停止余裕

方法: 炉心構成に合わせた適切な位置に安全板を配置し、確実に挿入する

- Soft 計算解析による安全板反応度価値評価
- Hard 格子板スリットの形状



過剰反応度	$\rho = \Delta H \times dp/dH$
反応度添加率	$dp/dt = v \times dp/dH$

dp/dH は、炉心が垂直方向に一様とみなせるとき、水平断面に依存せず、以下の式に従う(修正一群理論)。このため、STACYは、炉心の水平方向の形状にかかわらず水位制御に係る核的制限値を満足できる。

$$dp/dH = \frac{C}{(Hc+\lambda)^3} \quad C, \lambda: \text{炉心毎の定数}$$