

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>指摘事項1及び2は、技術基準規則の適合性説明に関する事項であるため、まとめて回答する。 指摘事項を踏まえ、再度、技術基準規則の適合性説明の要否、否である場合はその理由が十分であることを確認した。 適合性説明を要する条項(第1編の製作について第6、11、38条、第2編の炉心について第10条)の要点を本資料で説明し、その他詳細並びに適合性説明を要しない条項についてはその理由を含め補足説明資料1で説明する。</p>	<p>【資料●-●】 P.6~21</p> <p>【資料●-●】 補足説明資料1 P.1~43</p> <p>【資料●-●】 補足説明資料2 P. 1~5</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>また、本設工認申請の設計条件が技術基準規則及び設計方針(設置(変更)許可申請書)との整合性及び適合性の記載が十分であることを確認した(補足説明資料2参照)。 補足説明資料1の内容を設工認申請書の添付書類に記載し、補足説明資料2(設計条件)の内容を設工認申請書の本文に記載して補正する。</p>	

No.	指摘事項	対応状況	該当ページ
3	<p>【燃料試料挿入管の設計、Oリングの性能】 (技術基準規則第38条第1項第3号に係る指摘事項)</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。</p> <p>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。</p>	<p>技術基準規則第38条第1項第3号の適合性説明として回答する。</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。 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。 燃料試料挿入管の検査については、補足説明資料3で説明する。 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3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 O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、O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。 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O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.14~19</p> <p>【資料●-●】 補足説明資料3 P.1~4</p> <p>【資料●-●】 P.17,18</p>

No.	指摘事項	対応状況	該当ページ
4	<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。次頁以降に、設工認第1編及び第2編の設計条件(文章部分)と設置許可申請書との整合性を示す。その他、設計条件の図・表、設計仕様の整合性については、補足説明資料4で説明する。 補足説明資料4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●ー●】 P.22～27</p> <p>【資料●ー●】 補足説明資料4 P.1～18</p>
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。 (* 令和5年3月24日審査会合資料番号)</p>	<p>【資料●ー●】 P. 37,78,79</p> <p>【資料●ー●】 補足説明資料 5-1 P.1～25</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】 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>【資料●-●】 P.28,35,38~41</p> <p>【資料●-●】 補足説明資料 5-2 P.1~30</p> <p>【資料●-●】 補足説明資料 5-3 P.参-1~参-99</p>

(続く)

(続き)

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.42~47</p> <p>【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。

<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>

指摘事項1及び2は、技術基準規則の適合性説明に関する事項であるためまとめて回答する。

指摘事項を踏まえ、再度、技術基準規則の適合性説明の要否、否である場合はその理由が十分であることを確認した。

適合性説明を要する条項(第1編について第6、11、38条、第2編について第10条)の要点を本資料で説明し、その他詳細並びに適合性説明を要しない条項についてはその理由を含め補足説明資料1で説明する。

また、本設工認申請の設計条件が技術基準規則及び設計方針(設置(変更)許可申請書)と整合が取れ、記載が十分であることを確認するため、記載対比表を用いて確認した(補足説明資料2参照)。

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

技術基準規則の適合性説明

本申請のうち、「第1編 I. 実験設備 デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管」に係る適合性説明

条	項目	項号	要求事項	適合性の説明	
第6条	地震による損傷の防止	1	—	試験研究用等原子炉施設は、これに作用する地震力(試験炉許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。)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。	P.8~11に示す。
第11条	機能の確認等	—	—	試験研究用等原子炉施設は、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。	P.12に示す。
第38条	実験設備等	—	1	試験研究用等原子炉施設に設置される実験設備等(試験炉許可基準規則第二十九条に規定する実験設備等をいう。以下この条において同じ。)は、次に掲げるものでなければならない。	P.13~20に示す。
			2	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。	
			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、周辺の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。	

本申請のうち、「第2編 I. 炉心 デブリ模擬炉心(1)」に係る適合性説明

条	項目	項号	要求事項	適合性の説明	
第10条	試験研究用等原子炉施設の機能	1	—	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つては、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。	P.21に示す。

(地震による損傷の防止)

第6条 試験研究用等原子炉施設は、これに作用する地震力（試験炉許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。）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。

2 耐震重要施設（試験炉許可基準規則第三条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下この条において同じ。）は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（試験炉許可基準規則第四条第三項に規定する地震力をいう。）に対してその安全性が損なわれるおそれがないものでなければならない。

3 耐震重要施設は、試験炉許可基準規則第四条第三項の地震により生ずる斜面の崩壊によりその安全性が損なわれるおそれがないものでなければならない。

適合性

<第1項>

デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管は、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よう耐震重要度に応じたBクラスで設計する。耐震計算の方針については、次頁以降で説明する。

<第2項>

STACY施設は耐震重要施設を有しないため、該当しない。

<第3項>

STACY施設は耐震重要施設を有しないため、該当しない。

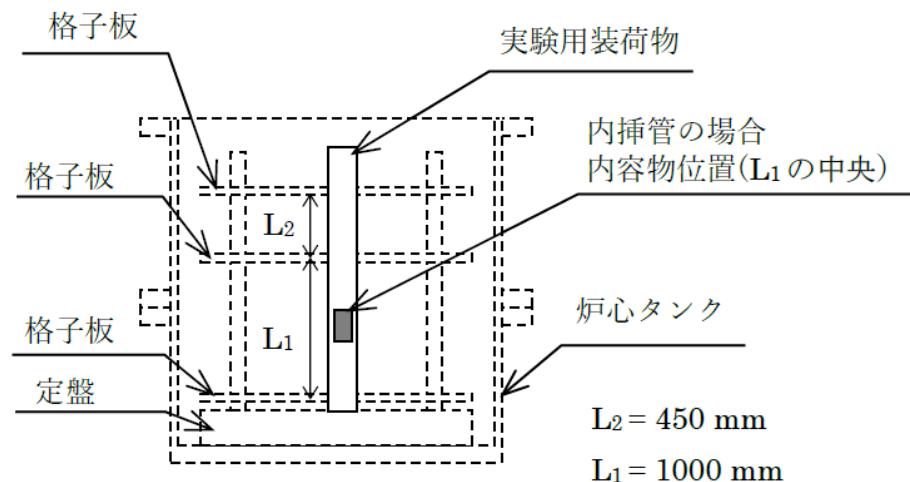
上記の内容を設工認申請書の添付書類に記載して補正する。

<基本方針>

- 実験用装荷物の耐震設計は、「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」及び「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の解釈」の基本的な考え方を参考にして以下のように行う。
- なお、設計管理については、「原子力科学研究所原子炉施設保安規定」、「原子力科学研究所原子炉施設及び核燃料物質使用施設等品質マネジメント計画書」及び「臨界ホット試験技術部の設計・開発管理要領」に基づき品質管理を行うものとする。
 - ・Bクラスの静的地震力に耐える耐震設計を行う。
 - ・Bクラスの静的地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ(地震による軽水の揺動で生じる実験用装荷物に対する付加荷重を含む。)、その結果発生する応力が、安全上適切と認められる規格及び基準等を参考に設定される許容限界を超えずおおむね弾性状態に留まるよう耐震設計を行う。
 - ・なお、デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管は、炉心支持構造物に固定されないため、共振するおそれはない。

<構造計画>

実験用装荷物の構造は、下端は炉心タンクの定盤に接し、水平方向は格子板(3枚)に支持されるものとする。実験用装荷物の構造概略図を右に示す。



上記の内容を設工認申請書の添付書類に記載して補正する。

原子炉施設保安規定(抜粋)

第1編 総則

第3章 品質マネジメント計画
(品質マネジメント計画)

第17条 第2条に係る保安活動のための品質マネジメント活動を実施するに当たり、次のとおり品質マネジメント計画を定める。

品質マネジメント計画書(抜粋)

7. 業務の計画及び実施

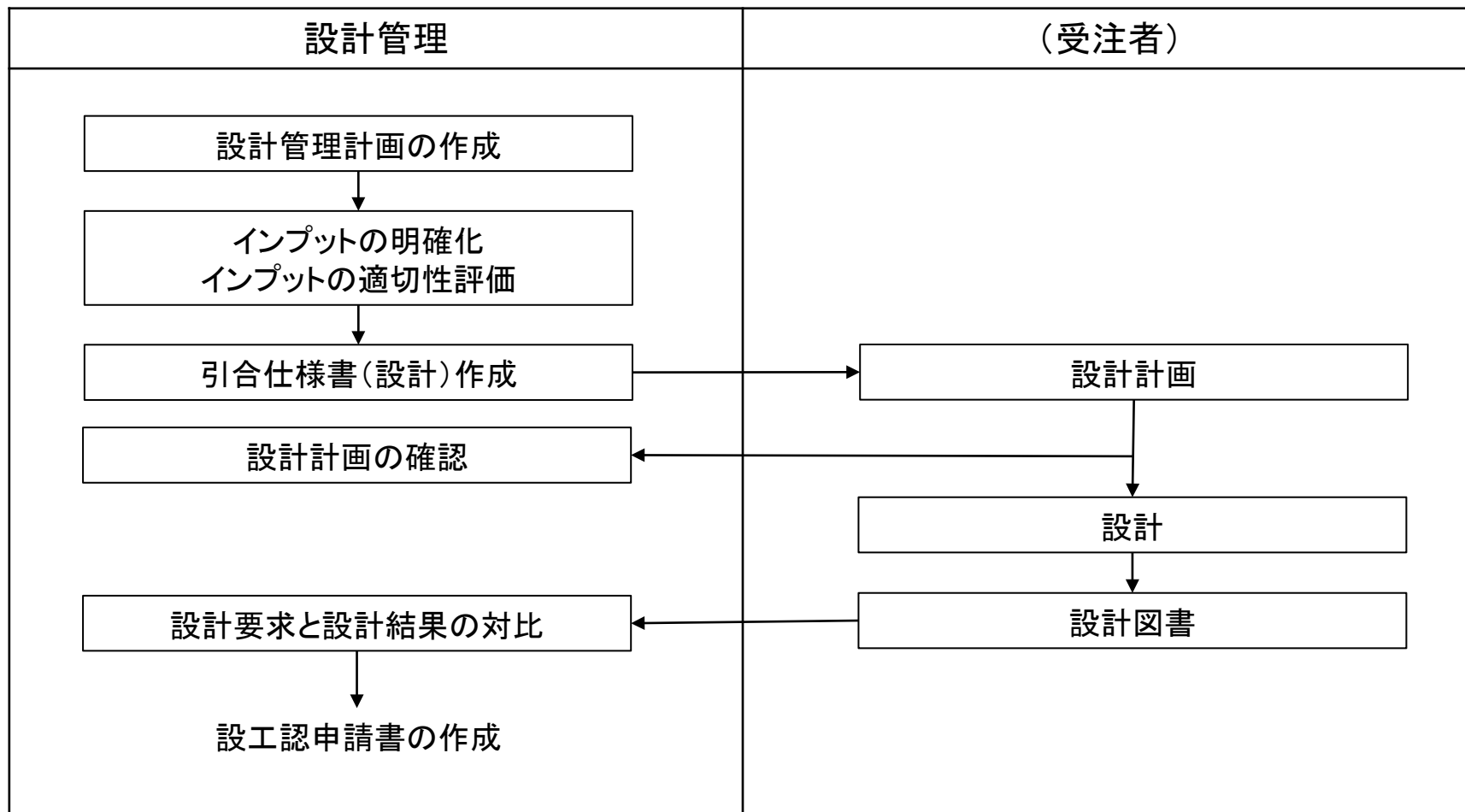
7.3 設計・開発

所長又は設計・開発を行う部長は、原子炉施設等の改造、更新等に関する設計・開発を適切に実施するため、設計・開発に関する管理要領を定め、次の事項を管理する。

7.3	設計・開発	保安管理部設計・開発管理要領	保安管理部長	(科保)QAM-730
		放射線管理部設計・開発管理要領	放射線管理部長	(科放)QAM-730
		工務技術部設計・開発管理要領	工務技術部長	(科工)QAM-730
		研究炉加速器技術部設計・開発管理要領	研究炉加速器技術部長	(科研)QAM-730
		臨界ホット試験技術部の設計・開発管理要領	臨界ホット試験技術部長	(科臨)QAM-730

臨界ホット試験技術部の設計・開発管理要領

臨界ホット試験技術部の設計・開発管理要領に従い、以下のフローで品質管理を行う。



※設計に係る品質管理プロセスを抜粋・要約

(機能の確認等)

第11条 試験研究用等原子炉施設は、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。

適合性

- デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管は、以下の運用とすることで、放射線業務従事者が著しく被ばくするおそれはなく、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設計となっている。
- デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管の保守又は修理のための放射線作業に当たっては、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。
- なお、STACYを1運転当たりの最大積算出力（0.1kW・h）で運転した場合、運転停止から24時間後の炉心近傍（1m）の空間線量率は400 μ Sv/h以下であり、上記の運用に支障はない。
- 燃試試料挿入管の密封性機能を維持するためのOリングは消耗品として扱い、上部端栓を開封するつど交換する。また、あらかじめ必要量を確保することとする。

上記の内容を設工認申請書の添付書類に記載して補正する。

(実験設備等)

第38条 試験研究用等原子炉施設に設置される実験設備等（試験炉許可基準規則第二十九条に規定する実験設備等をいう。以下この条において同じ。）は、次に掲げるものでなければならない。

- 一 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。
- 二 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。

適合性

<第1号>

デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管は、それぞれの耐震重要度に応じたBクラスで設計し、原子炉の運転中に電氣的若しくは機械的な発熱、軽水その他炉内構造材との接触、中性子照射によって変形や状態変化することなく、炉心タンクや棒状燃料に損傷を与えない設計とする。

<第2号>

デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管の状態変化、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、軽水の給排水及び浮力によって浮き上がらないように適切な自重を有する設計とする。なお、これらは炉心タンク内に設置した3枚の格子板により支持されるため、水平方向に移動することはない。

上記の内容を設工認申請書の添付書類に記載して補正する。

(実験設備等)

第38条 試験研究用等原子炉施設に設置される実験設備等（試験炉許可基準規則第二十九条に規定する実験設備等をいう。以下この条において同じ。）は、次に掲げるものでなければならない。

三 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。

<指摘事項 No.3 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。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。

<指摘事項 No.3 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。その際、STACYの使用環境を定量的に説明すること。

<回答>

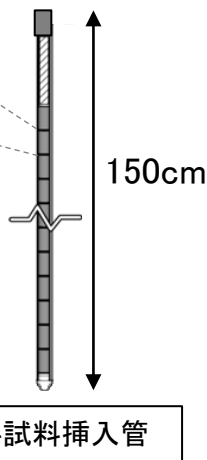
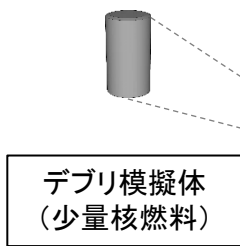
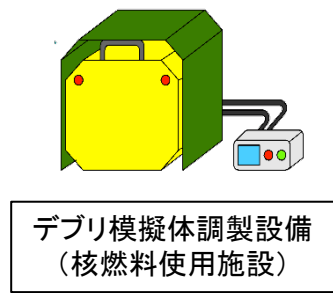
(1) 放射性物質の著しい漏えい(p.15～18)及び(2) 放射線の著しい漏えい(P.19)のおそれについて、それぞれ回答する。

<回答>

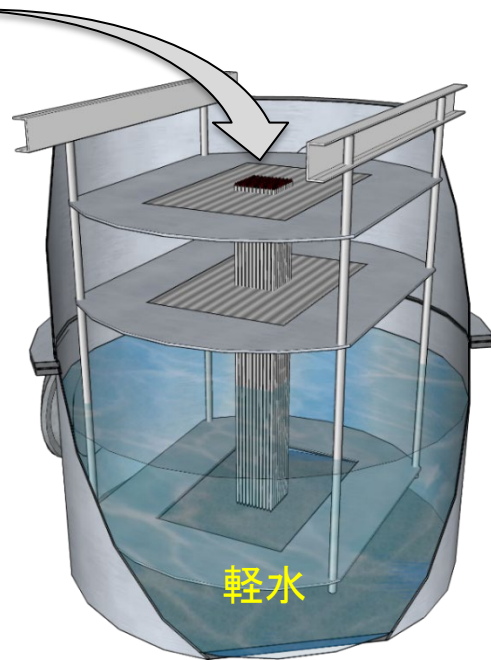
(1) 放射性物質の著しい漏えいのおそれについて

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.15に、上部端栓の構造をP.16、Oリングの熱、放射線、着脱時の摩擦による影響をP.17,18に示す。

燃料試料挿入管の設計の考え方、使用環境、実験用装荷物取扱い時の運用を添付書類に記載して補正する。



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

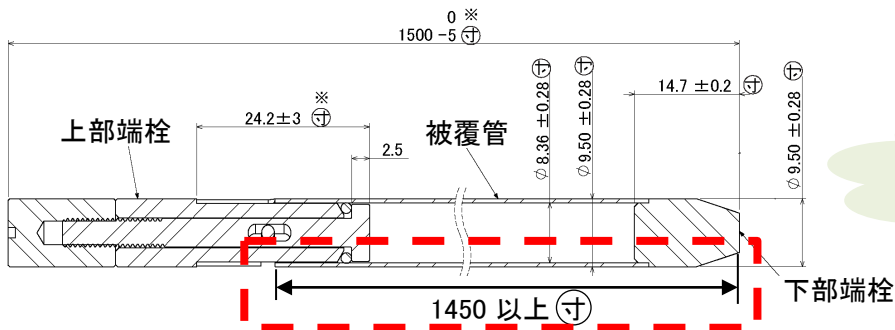
デブリ模擬体は少量核燃料物質であり、かつ、STACYは熱出力最大200W(臨界を取るだけの運転の場合は通常約1W)、積算出力最大0.1kW・h/1運転、0.3kW・h/週、3kW・h/年であり、棒状燃料及びデブリ模擬体中の核分裂生成物の蓄積(1.6×10^{14} 核分裂*¹)及び放射化による放射線の放出(運転停止後1時間の炉心近傍(1m)での空間線量率 $200 \mu\text{Sv/h}$ *²以下)は極めて小さく、燃料試料挿入管は直接手で取り扱うことができるものである。

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

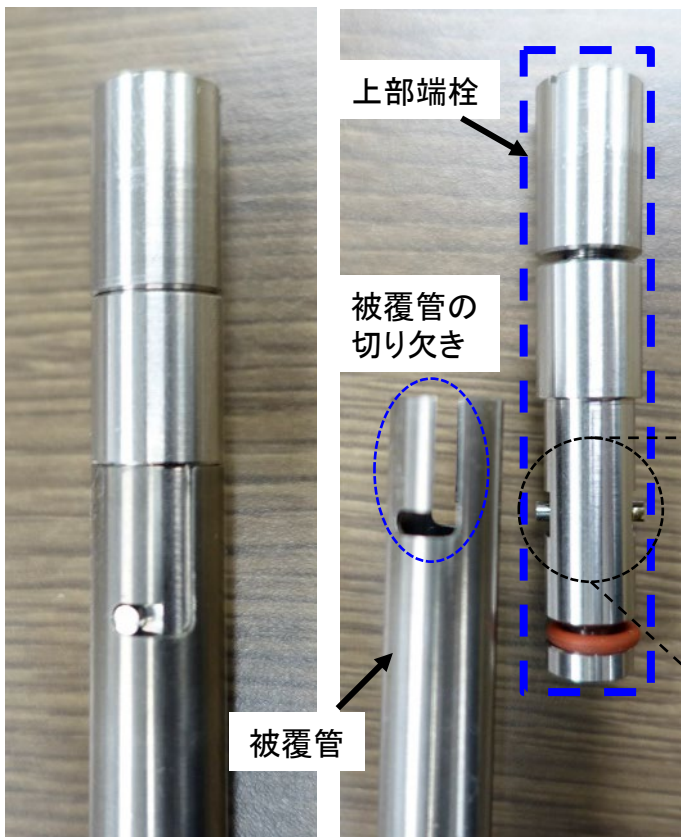
* 2 臨界を取るだけの運転 通常約1Wで1時間(積算出力1W・h)運転した場合の空間線量率

燃料試料挿入管の上部端栓の構造 (第38条関係)

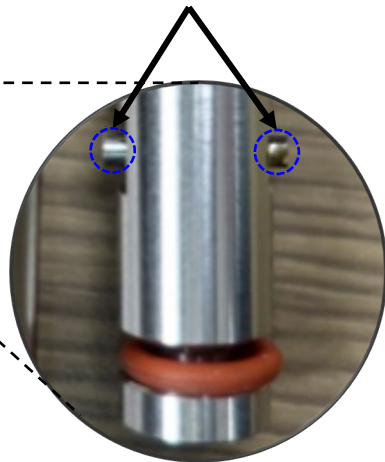


燃料試料挿入管 構造図

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.3 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。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(リングの装着状態)をP.18に示す。

また、この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、着脱時の摩擦による影響は問題とならない。

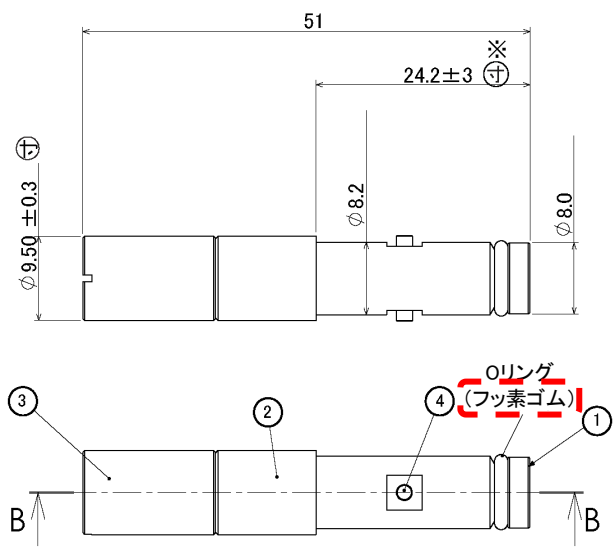
なお、燃料試料挿入管の開封頻度は実験目的に応じて異なるが、長期間開封しない場合でも最大数年程度と想定される。フッ素ゴムの耐用年数は、110℃の環境で30年以上と報告*²されており、STACYの使用環境ではリングの密封性能を喪失することはない。

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リングの材質(フッ素ゴム)を記載して補正する。リングの補正に係る記載は次頁参照。

* 1 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。

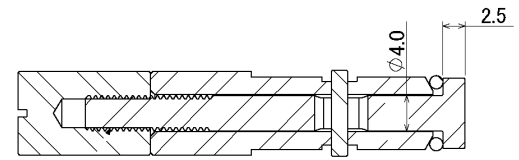
* 2 田村珠美, 金澤幸雄, 中野修, ゴム材料の寿命評価技術, 東芝レビュー Vol.70 No.1, p.40-43, (2015).

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

<回答>

(2) 放射線の著しい漏えいのおそれについて

放射線業務従事者に対する放射線による被ばく影響

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3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3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。

(実験設備等)

第38条 試験研究用等原子炉施設に設置される実験設備等（試験炉許可基準規則第二十九条に規定する実験設備等をいう。以下この条において同じ。）は、次に掲げるものでなければならない。

四 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、周辺の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。

五 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。

適合性

<第4号>

炉心タンク周辺における発煙などの異常及び地震時等の周辺環境（炉室フード内）の異常の有無を監視できるよう、炉室（S）にカメラ、制御室にTVモニタが設置されている。なお、目視では確認することができない運転中の重要なパラメータである中性子束密度、温度及び水位は、既認可の計測制御系統施設で監視できる設計となっている。

<第5号>

デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管は、制御室と相互に連絡することができる炉室（S）に設置する。連絡には、既認可の通信連絡設備（ページング装置）を使用する。

(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。

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。

適合性

<第1項>

- STACY施設は、通常運転時において、給排水系による水位制御にて原子炉反応度を制御することで、反応度を安全かつ安定的に制御できる設計となっている。また、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、給排水系及び原子炉停止系により原子炉を制御し、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。これら給排水系及び原子炉停止系により原子炉施設の安全を確保する考え方は、既認可の「基本炉心(1)」と同様である。
- STACYでの実験炉心は、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。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(1.5秒以内の安全板挿入他)により出力上昇が制限されることで、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。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、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。
- 運転に当たっては、炉心が核的制限値を満足し、かつ、設置許可申請書に定めた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。その確認手順は、原子力科学研究所原子炉施設保安規定(その各規程を含む。)に定め、遵守する。

<第2項>

STACY施設は、船舶に設置しないため、該当しない。

上記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>

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。次頁以降に、設工認第1編及び第2編の設計条件(文章部分)と設置許可申請書との整合性を示す。その他、設計条件の図・表、設計仕様の整合性については、補足説明資料4で説明する。

補足説明資料4の内容を設工認申請書の添付書類に記載して補正する。

設置(変更)許可申請書(設計方針抜粋)

【添八 1.3 耐震設計方針 1.3.1 基本方針】

- (1) STACY施設は、地震により発生するおそれのある安全機能の喪失及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度(以下「耐震重要度」という。)に応じて分類し、それぞれに応じた地震力に十分耐えられるように設計する。また、必要に応じ、地震によるタンク又は容器内の液体の揺動の影響について適切に考慮するものとする。
- (3) 静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えるよう設計する。
- (4) Bクラスの各施設は、共振するおそれのないように設計する。

【添八別1 6. 実験設備 6.1.2 設計方針】

- (10) 実験用装荷物は、適切な方法により試験及び検査ができる設計とする。

【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

- (1) 実験設備等は、その損傷等が発生した場合においても、原子炉施設の安全性を損なうおそれがない設計とする。

【添八別1 6. 実験設備 6.1.2 設計方針】

- (1) 実験用装荷物は、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する設計とする。大型の可燃性材料を使用する場合は、火災防護を考慮した設計とする。
- (3) 実験用装荷物は、各構成要素が十分な強度を有し、その機能が保持される設計とするとともに、原子炉の運転中に電氣的若しくは機械的な発熱、軽水その他炉内構造材との接触、中性子照射によって変形や状態変化することなく、炉心タンクや棒状燃料に損傷を与えない設計とする。

設工認申請書案(抜粋)

【第1編 実験用装荷物】

3. 設計

3.1 設計条件

デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管の設計条件は、次のとおりとする。

- ・Bクラスの静的地震力に耐える耐震設計を行う。
- ・Bクラスの静的地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ(地震による軽水の揺動で生じる実験用装荷物に対する付加荷重を含む。)、その結果発生する応力が、安全上適切と認められる規格及び基準等を参考に設定される許容限界を超えずおおむね弾性状態に留まるよう耐震設計を行う。
- ・デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管は、炉心支持構造物に固定されないため、共振するおそれはない。

- ・デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管は、有害な傷、ひび、割れ、腐食等について、試験又は検査で確認し、保守又は修理を実施できるよう、外観の確認ができる設計とする。

- ・デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管は、不燃性又は難燃性の材料を使用する設計とする。

- ・デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管は、耐震重要度に応じたBクラスで設計し、原子炉の運転中に電氣的若しくは機械的な発熱、軽水その他炉内構造材との接触、中性子照射によって変形や状態変化することなく、炉心タンクや棒状燃料に損傷を与えない設計とする。

設置(変更)許可申請書(設計方針抜粋)

【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】

- (2) 実験用装荷物は、炉心タンク内に設置したときに炉心が中性子反応の観点から垂直方向に一樣とみなせる形状となるように設計する。垂直方向に不均一性を有する場合は、炉心の反応度制御に悪影響を与えないことを、計算解析又は実測データにより確認する。
- (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。
- (9) 可溶性中性子吸収材は、軽水の使用温度範囲において析出しないよう設計及び管理する。また、可溶性中性子吸収材を添加した軽水は反応度係数が正となる場合があることから、核的制限値に関する炉心特性範囲内に制限する。

設工認申請書案(抜粋)

【第1編 実験用装荷物】

- ・デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管は、炉心タンク内に設置したときに炉心が中性子反応の観点から中性子反応の観点から垂直方向に一樣とみなせる形状となるように設計する。
 - ・デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管は、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、軽水の給排水及び浮力によって浮き上がらないように適切な自重を有する設計とする。なお、これらは炉心タンク内に設置した3枚の格子板により支持されるため、水平方向に移動することはない。
 - ・内部が中空で軽水を排除する構造である内挿管は、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。
- ・可溶性中性子吸収材は、実験計画に応じて軽水に添加することとし、軽水の使用温度範囲において析出しないよう濃度を管理する。また、可溶性中性子吸収材を添加した軽水は反応度係数が正となる場合があることから、使用する場合は核的制限値に関する炉心特性範囲内に制限するとともに、津波水没時においても未臨界性を確保できる範囲に制限する。

設置(変更)許可申請書(設計方針抜粋)

【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

(3) 実験設備等は、放射性物質を内蔵する場合は密封性を考慮し、放射性物質の著しい漏えいのおそれがない設計とする。

【添八別1 6. 実験設備 6.1.2 設計方針】

(7) 放射性物質を内蔵する実験用装荷物は、密封性を考慮した設計とする。

【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

(4) 実験設備等は、原子炉の安全上必要なパラメータを制御室に表示できる設計とする。このため、配列式の実験用装荷物は装荷状態を制御室で監視でき、可動式の実験用装荷物は制御室で位置が制御できる設計とする。

【添八別1 6. 実験設備 6.1.2 設計方針】

(8) 配列式の実験用装荷物の装荷状態は制御室より監視でき、可動式のもの
は制御室より駆動制御できる設計とする。

設工認申請書案(抜粋)

【第1編 実験用装荷物】

- ・デブリ構造材模擬体は、放射性物質を内包する設備ではないため、該当しない。
- ・燃料試料挿入管は、内包する放射性物質の放射線及びその放射性物質の著しい漏えいを防止するために、上部端栓を、取扱い時に容易に外れず、水密性を有する脱着式の端栓とする。
- ・内挿管は、非密封の放射性物質を内包する設備ではないため、該当しない。
- ・STACYは低出力炉(熱出力最大200W)、積算出力最大3kW・h/年であるため、デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管の放射化に伴う放射線の放出、燃料試料挿入管に内包するデブリ模擬体中の核分裂生成物の蓄積は極めて小さく、それらは直接手で取り扱うことができるものである。

- ・デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管の異常の発生状況、周辺の環境の状況を監視できるように炉室(S)にカメラ、制御室にTVモニタを設置する。なお、炉心の中性子束密度、温度及び水位は、既認可の計測制御系統施設で監視できる設計となっている。

設置(変更)許可申請書(設計方針抜粋)

【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

(5) 実験設備等を設置している場所と制御室との間は、相互に連絡できる設計とする。

【添八別1 5.6 制御室等 5.6.2 設計方針】

(7) 制御室は、制御室と現場の主要箇所との連絡が可能な通信連絡設備を有する設計とする。

【本文】

5. 試験研究用等原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備

ハ 原子炉本体の構造及び設備

(4) 原子炉容器

(i) 構造 (省略)

(ii) 最高使用圧力及び最高使用温度

最高使用圧力 静水頭(約2m水頭)

最高使用温度 80℃

設工認申請書案(抜粋)

【第1編 実験用装荷物】

・デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管を設置する炉室(S)と制御室の連絡を行う場合は、既認可の通信連絡設備であるページング装置を使用できる設計とする。

・デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管の最高使用圧力は静水頭(2.0 m)、最高使用温度は80℃の設計とする。

設置(変更)許可申請書(設計方針抜粋)

【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15条(炉心等)】

適合のための設計方針

第1項及び第2項について

(1) STACYは、原子炉停止系及び安全保護系の設計とあいまって、総合的な反応度フィードバックが正になる炉心でも安全に運転制御できるよう、炉心特性の範囲を制限するとともに、核的制限値を満足するように炉心を構成する。

(2) STACYは、水位制御により原子炉の反応度を制御し、核分裂の連鎖反応を制御できる能力を有する設計とする。このとき、浸水に対し炉心の未臨界を確保するため、次の対策(運用制限)を講じる。

- ・構成可能な炉心は、安全板の性能とあいまって、浸水(海水による全水没)を想定しても未臨界を確保できる範囲に限定する。

- ・炉心構成作業は、安全板(又は中性子吸収効果の観点から安全板と同等の仕様の中性子吸収板)が炉心に挿入されている状態で行う。

なお、STACYは低出力であり、熱中性子束が小さいため、キセノンによる出力振動は発生しない。

第3項及び第4項について

(1) 炉心は、原子炉停止系、反応度制御系、計測制御系及び安全保護系の機能とあいまって、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、燃料要素の健全性を損なうことのない設計とする。

(2) 燃料要素、減速材及び炉心支持構造物ほか炉心内に設置する機器等は、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、原子炉を安全に停止させることができる設計とする。

なお、STACY施設で選定する設計基準事故は「棒状燃料の機械的破損」及び「溶液燃料の漏えい」であり、原子炉の停止に関係しない。

設工認申請書案(抜粋)

【第2編 デブリ模擬炉心(1)】

3. 設計

3.1 設計条件

デブリ模擬炉心(1)の設計条件は、次のとおりとする。

- ・原子炉停止系及び安全保護系の設計とあいまって、総合的な反応度フィードバックが正になる炉心でも安全に運転制御できるよう、炉心特性の範囲を制限するとともに、核的制限値を満足するように炉心を構成する。

- ・水位制御により原子炉の反応度を制御し、核分裂の連鎖反応を制御できる能力を有する設計とする。このとき、浸水に対し炉心の未臨界を確保するため、次の対策(運用制限)を講じる。

(1) 構成可能な炉心は、安全板の性能とあいまって、浸水(海水による全水没)を想定しても未臨界を確保できる範囲に限定する。

(2) 炉心構成作業は、安全板(又は中性子吸収効果の観点から安全板と同等の仕様の中性子吸収板)が炉心に挿入されている状態で行う。

なお、STACYは低出力(熱出力最大200W)であり、熱中性子束が小さいため、キセノンによる出力振動は発生しない。

- ・炉心は、原子炉停止系、反応度制御系、計測制御系及び安全保護系の機能とあいまって、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、燃料要素の健全性を損なうことのない設計とする。

- ・燃料要素、減速材及び炉心支持構造物ほか炉心内に設置する機器等は、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、原子炉を安全に停止させることができる設計とする。

核的制限値が制限された範囲に収まる見通し

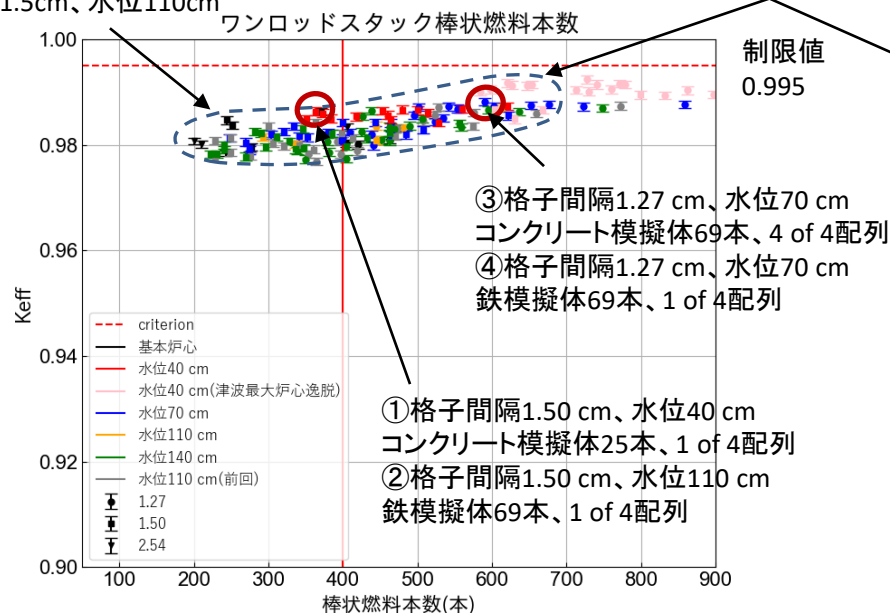
<指摘事項 No.6 ①>

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。

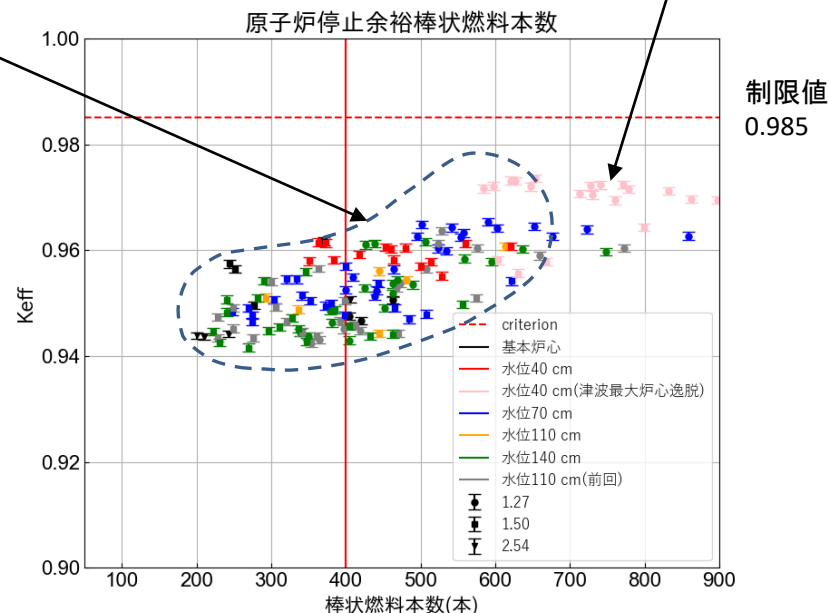
津波水没時に未臨界を担保できない炉心を**ピンク色**で示す。

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描いた補助線の範囲に収まることを確認。
- ・ 棒状燃料が増え、炉心が大きくなるにつれておおむね右肩上がり(厳しくなる方向)に変化する(前回と同傾向)。
- ・ 模擬体の種類(鉄/コンクリート)毎に中性子実効増倍率が最大となった炉心を選出(P. 32参照)。

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。

＜背景＞現在申請中の設工認(実験用装荷物等※)のデブリ模擬炉心及び既認可設工認(第3回[†])の基本炉心について、当初想定した棒状燃料900本の調達の見通しが立っていない。

＜対応＞新規調達の900本及び現有の400本の棒状燃料を使用するとしていた設工認(実験用装荷物等及び第3回)について、炉心構成範囲を現有400本以下とする変更を行う。

＜変更内容＞設工認本文「3.2 設計仕様」に記載した使用燃料体の申請範囲を「50本以上900本以下」から「50本以上400本以下」に変更する。なお、設工認添付の計算書では、「50本以上900本以下」で評価を行っているが、変更後の申請範囲(50本以上400本以下)の評価結果は、現行の申請範囲(50本以上900本以下)の評価結果に含まれることが明らかであるため、評価の変更はせず、使用燃料体の申請範囲を変更して補正する。今後燃料調達が可能となった場合は、別途設工認申請を行う。

詳細は、補足説明資料5-2の付録-4のとおり。

設工認申請書 第2編 デブリ模擬炉心(1)の設計仕様について、使用燃料体の本数を400本として補正する。また、本変更に係る設工認申請書の記載を同様に変更して、補正する。

3.2 設計仕様 (現行申請)

名称		デブリ模擬炉心(1)	
使用格子板の格子間隔		15 mm(四角格子)	12.7 mm(四角格子)
使用燃料体	種類	ウラン棒状燃料	
	²³⁵ U濃縮度	5 wt%	
	装荷本数	50本以上900本以下 ただし、140cm超の給水によっても臨界とならない場合は900本以下	
以下、省略			

3.2 設計仕様 (一部補正)

名称		デブリ模擬炉心(1)	
使用格子板の格子間隔		15 mm(四角格子)	12.7 mm(四角格子)
使用燃料体	種類	ウラン棒状燃料	
	²³⁵ U濃縮度	5 wt%	
	装荷本数	50本以上400本以下 ただし、140cm超の給水によっても臨界とならない場合は400本以下	
以下、省略			

※ 令和4年11月8日令04原機(科臨)012号をもって申請。

† 令和2年11月18日付け原規規発第2011187号で認可取得、令和4年2月28日令03原機(科臨)017号をもって軽微変更を届出。

設工認分割申請の変更

使用する燃料本数を900本以下から400本以下に変更するに当たり、設工認分割申請を下記のとおり変更する。

(現行案) 新規制基準適合対応

フェーズⅠ

第1回 旧炉心等の解体撤去	建家耐震改修
第2回 炉室フードの改造等	TRACYとの系統隔離
第3回 炉心本体 基本炉心(1)(燃料900本以下)	棒状燃料貯蔵設備Ⅱの製作 (先行使用)
第4回 燃料貯蔵設備の改造	ウラン棒状燃料(5wt%)900本

デブリ模擬臨界実験

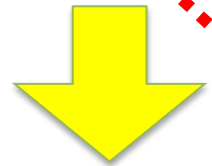
フェーズⅡ

デブリ模擬炉心(1) (燃料900本以下)
実験用装荷物 (デブリ構造材模擬体等)

フェーズⅢ

フェーズⅣ

ウラン棒状燃料の設工認申請時期をフェーズⅠからフェーズⅢ以降に変更し、8分割申請を7分割申請とする。



ウラン棒状燃料設工認は、単独設備の申請であり、当該設工認をフェーズⅢ以降とした場合においてもフェーズⅠにおいて原子炉プラントとしての新規制基準適合対応は完了する。

(変更案) 新規制基準適合対応

フェーズⅠ

第1回 旧炉心等の解体撤去	建家耐震改修
第2回 炉室フードの改造等	TRACYとの系統隔離
第3回 炉心本体 基本炉心(1)(燃料400本以下)	棒状燃料貯蔵設備Ⅱの製作 (先行使用)
第4回 燃料貯蔵設備の改造	

デブリ模擬臨界実験

フェーズⅡ

デブリ模擬炉心(1) (燃料400本以下)
実験用装荷物 (デブリ構造材模擬体等)

フェーズⅢ

フェーズⅣ

ウラン棒状燃料(5wt%)900本
基本炉心(2)(燃料900本以下)
デブリ模擬炉心(2) (燃料900本以下)

令和4年度まで

令和6年度まで

新規規制基準適合対応

フェーズⅠ

原子炉プラントとして必要な設備の整備として設置(変更)許可申請書の工事計画に記載(基本炉心(1)の設工認まで)

【使用する設備】

- 原子炉プラントとして必要な設備一式
- 可動装荷物駆動装置(下方から少量サンプル挿入)

【使用する炉心】

- 基本炉心(1)
(燃料400本以下)

デブリ模擬臨界実験

フェーズⅡ

実験ニーズに応じて柔軟に対応するため設置(変更)許可申請書の工事計画に記載していない

【使用する実験用装荷物】

- デブリ構造材模擬体
- 燃料試料挿入管
- 内挿管

【使用する炉心】

- デブリ模擬炉心(1)
(燃料400本以下)

フェーズⅢ

【使用する実験用装荷物】

- 固定吸収体
- 構造材模擬体
- ボイド模擬体
- 可動装荷物駆動装置(高精度水位計)
- 可動装荷物駆動装置(上方から少量サンプル挿入)

【使用する格子板】

- 格子板(狭小格子間隔)

【使用する実験設備】

- パルス中性子発生措置(既設設備を新規に設工認申請する)

【使用する炉心】

- 軽水炉等模擬炉心(1)
(仮称)

フェーズⅣ

【使用する燃料】

- 濃縮度5wt%超棒状燃料
- 中性子毒物添加棒状燃料
- 短尺棒状燃料

【使用する炉心】

- 軽水炉等模擬炉心(2)
(仮称)

【使用する燃料】

- ウラン棒状燃料(5wt%)
900本

【使用する炉心】

- 基本炉心(2)(燃料900本以下)
- デブリ模擬炉心(2)(燃料900本以下)

設工認の申請状況(色分け)

申請済: 緑字

本申請: 赤字

未申請: 青字

- 事前解析によって求めた、安全板挿入時の中性子実効増倍率が厳しくなる炉心①～④のうち、現有400本の棒状燃料(※)で臨界となる①及び②(表1)を参考に、可能な限り厳しい条件で使用前事業者検査を実施するとした場合は、表2のような炉心が候補となる(次頁に続く)。

表1 安全板挿入時の中性子実効増倍率が最も厳しくなった炉心

No.	格子間隔 (cm)	コンクリート 模擬体 (本)	鉄 模擬体 (本)	配列 パターン	臨界水位 (cm)	棒状燃料 (本)	備考
①	1.50	25+	0	1 of 4	40	363	400本 以下最大
②	1.50	0	69	1 of 4	110	363	

+ 69本とならない理由についてP.40で補足する。

表2 可能な限り厳しい条件で使用前事業者検査を実施するとした場合の受検炉心

No.	格子間隔 (cm)	コンクリート 模擬体 (本)	鉄 模擬体 (本)	配列 パターン	臨界水位※ (cm)	棒状燃料※ (本)	備考
①'	1.50	25	0	1 of 4	40～50	363～311	
②'	1.50	0	69	1 of 4	90～140	377～346	

※臨界水位及び棒状燃料の装荷本数は可変条件であり、実測データ及び臨界近接の結果により決定する。
 なお、上表の変化範囲は、コンクリート模擬体については±2\$, 鉄模擬体については±1\$の反応度調整幅を確保するよう設定したものである。

- （前頁から続き）ただし、STACY更新炉は未知炉心での運転を前提とした臨界実験装置であることから、新たな炉心を構成するときは、核的制限値からの逸脱を防止するため、適切な裕度を加味して段階的に模擬体（実験用装荷物）の本数を増やしていきたいと考えている。つまり、表3に示す複数の受検炉心（案）により段階的に表1の炉心構成に近づけ、最終的に表1の炉心に近い炉心条件により使用前事業者検査を受検することを提案する。

表3 段階的に厳しい条件とする場合の使用前事業者検査受検炉心の例

No.	格子間隔 (cm)	コンクリート 模擬体 (本)	鉄 模擬体 (本)	配列 パターン	臨界水位※ (cm)	棒状燃料※ (本)	備考
①'	1.50	9	0	1 of 4	約70	約280	事前確認
	1.50	25	0	1 of 4	40～50	363～311	受検炉心
②'	1.50	0	25	1 of 4	約70	約340	事前確認
	1.50	0	69	1 of 4	90～140	377～346	受検炉心

※臨界水位及び棒状燃料の装荷本数は可変条件であり、実測データ及び臨界近接の結果により決定する。

(補足1)原子炉停止余裕以外の制限値について	P.35
(補足2)使用前事業者検査炉心の考え方(基本炉心)	P.36
(補足3)コンクリートの感度解析	P.37
(補足4)デブリ構造材模擬体と安全板の効果	P.38
(補足5)デブリ構造材模擬体の効果に関する補足1	P.39
(補足6)デブリ構造材模擬体の効果に関する補足2	P.40
(補足7)内挿管の解析結果	P.41

(補足1)原子炉停止余裕以外の制限値について

- 安全板挿入時の中性子実効増倍率の大小に着目して予備解析結果を示してきたが、設置変更許可申請書に定めたその他の制限値（動特性パラメータ等）については、保安規定（令和4年12月23日付認可）に定め、設工認添付計算書に示した手順に従い、制限された範囲内に入ることを解析により確認する。なお、下表に示すとおり、表1（P. 32）に示した炉心及び表3（P. 33）に示した受検炉心については制限範囲内に入ることを確認済み。

※No.は表1～3と共通。

表4 動特性パラメータ等解析結果

No.*	α_{TM}	α_{TF}	α_V	dp/dH	β_{eff}	I	備考
名称	減速材温度 反応度係数 ($\Delta k/k/^\circ C$)	棒状燃料温度 反応度係数 ($\Delta k/k/^\circ C$)	ボイド反応度 係数 ($\Delta k/k/\%$)	水位反応度 係数 (ドル/mm)	実効遅発 中性子割合 (-)	即発中性子 寿命 (s)	
制限範囲	-3.7×10^{-5} ～ $+3.8 \times 10^{-4}$	-4.1×10^{-5} ～ -8.5×10^{-6}	-3.8×10^{-3} ～ $+3.7 \times 10^{-3}$	$+2.0 \times 10^{-3}$ ～ $+6.0 \times 10^{-2}$	$+6.8 \times 10^{-3}$ ～ $+8.1 \times 10^{-3}$	$+6.9 \times 10^{-6}$ ～ $+8.4 \times 10^{-5}$	
①	2.52E-05	-1.88E-05	-1.98E-03	5.46E-02	7.88E-03	3.68E-05	400本 以下最大
②	3.18E-05	-1.89E-05	-2.06E-03	4.64E-03	7.55E-03	3.68E-05	
①'	2.52E-05	-1.88E-05	-1.98E-03	5.46E-02	7.88E-03	3.68E-05	受検炉心 (水位40cm)
	1.89E-05	-1.91E-05	-2.23E-03	3.32E-02	7.84E-03	3.75E-05	受検炉心 (水位50cm)
②'	4.14E-05	-1.90E-05	-1.91E-03	7.53E-03	7.55E-03	3.67E-05	受検炉心 (水位90cm)
	3.76E-05	-1.91E-05	-2.06E-03	2.39E-03	7.53E-03	3.68E-05	受検炉心 (水位140cm)

減速材にボロンを添加した炉心についても、同様に保安規定及び設工認添付計算書に示した手順に従って解析し、制限値を超えない範囲でボロン濃度を決定する。

- 基本炉心については既認可であるため本設工認の審査対象ではないが、本設工認と同様に安全板挿入時の中性子実効増倍率になるべく大きくなる炉心を使用前事業者検査の受検炉心として選定する場合、以下のような炉心が候補となる。**詳細は、補足説明資料5-2の付録-4のとおり。**

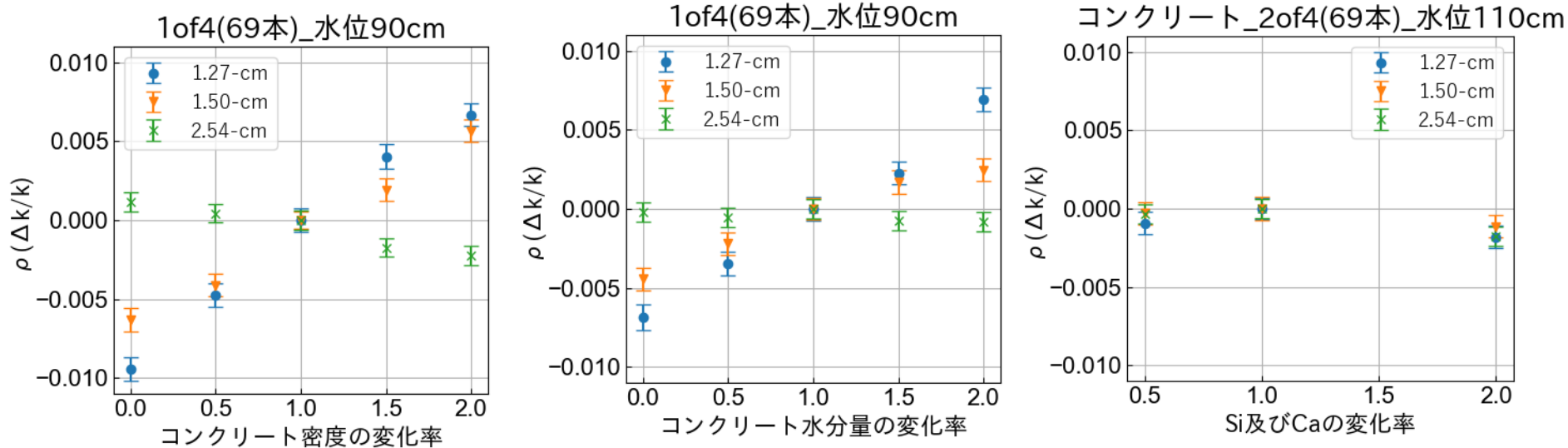
表5 段階的に厳しい条件とする場合の使用前事業者検査受検炉心の例(基本炉心)

No.	格子間隔 (cm)	臨界水位※ (cm)	棒状燃料※ (本)	配列 パターン	備考
①'	1.50	70~90	270~255*	円筒炉心	受検炉心
②'	2.54 [†]	約70	約240	円筒炉心	事前確認
	2.54 [†]	40~50	400~300*	円筒炉心	受検炉心

[†]1.27cmピッチの格子板に棒状燃料を1本飛ばしで挿入する。

※臨界水位及び棒状燃料の装荷本数は可変条件であり、**詳細解析、実測データ**及び臨界近接の結果により決定する。

* 本数の大小が逆であるのは、臨界水位の大小と合わせたため(臨界水位が増大すると本数は減少する。)



(a) コンクリートの密度を変化 (b) コンクリートの水分量を変化 (c) コンクリートの主要組成 (Si及びCa) を変化

<解析内容>

- ・コンクリートの組成を、基準（密度 2.3g/cm^3 、水分率約9 wt%）に対して0~2倍に変化させる感度解析を実施。変化させた組成は(a)全組成、(c)水分量、(b)水分以外の主要成分。

<解析結果>

- ・コンクリートの反応度効果は水分が支配的であること、その効果は最大で約 $7 \times 10^{-3} \Delta k/k$ 程度（約1\$程度）であることを確認。

<結論>

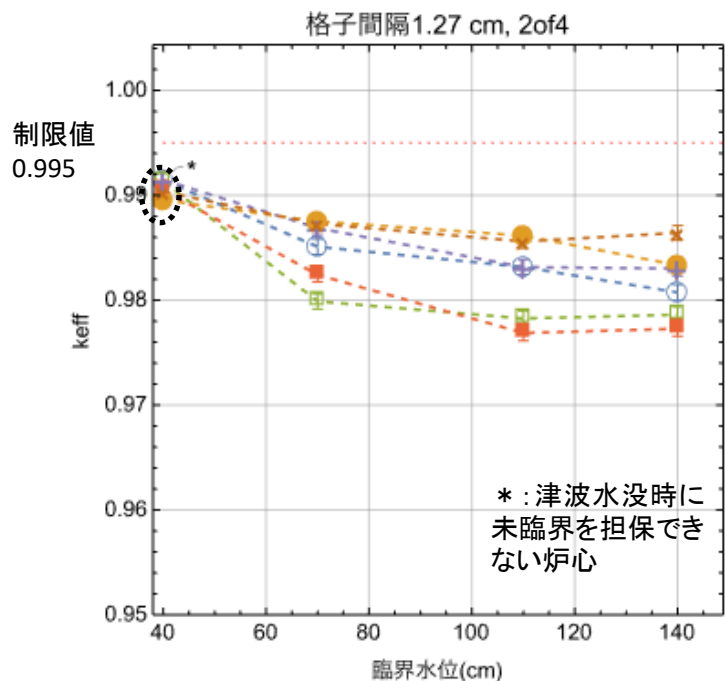
- ・本設工認では、コンクリート模擬体の水分率に標準組成の2倍（最大16wt%※）の制限を設けて製作する。なお、2倍までの密度及び水分率の変化が安全板の原子炉停止効果に与える影響は小さいことを別途確認済み。

※水分量を2倍としているため、水分率は2倍にならない。
16wt%は、水:その他=9:91→18:91の水分率 $18/(91+18) = 16.5\%$ を丸めた値。

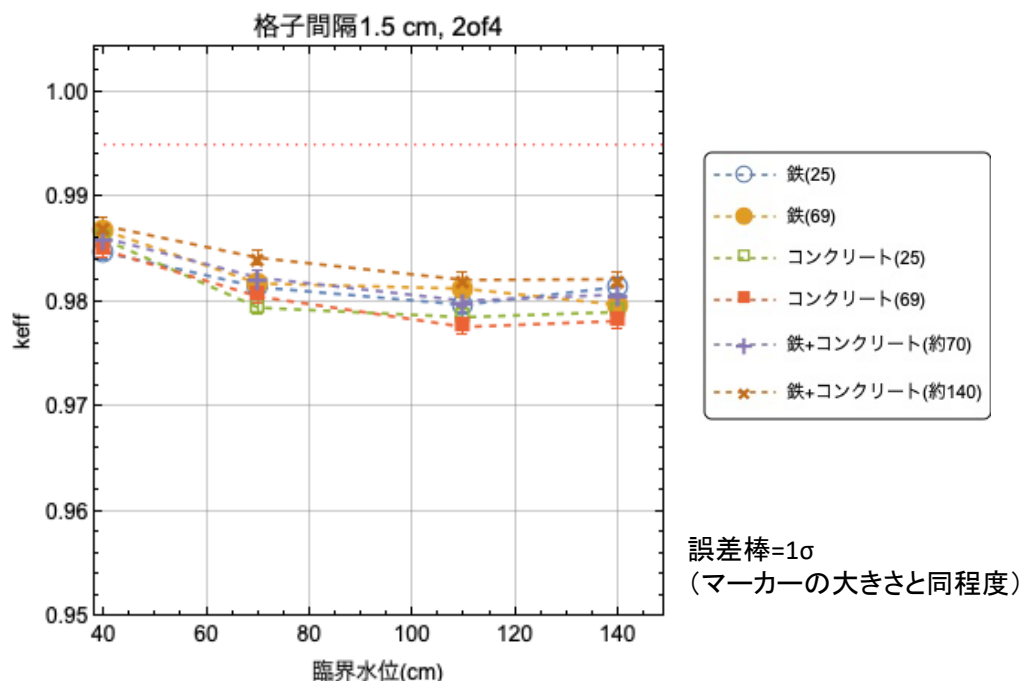
本ページの内容については令和5年3月24日第478回審査会合にて説明済。

本資料に掲載のデータは抜粋である。その他のデータについては補足説明資料5-1を参照。

(補足4) デブリ構造材模擬体と安全板の効果



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)



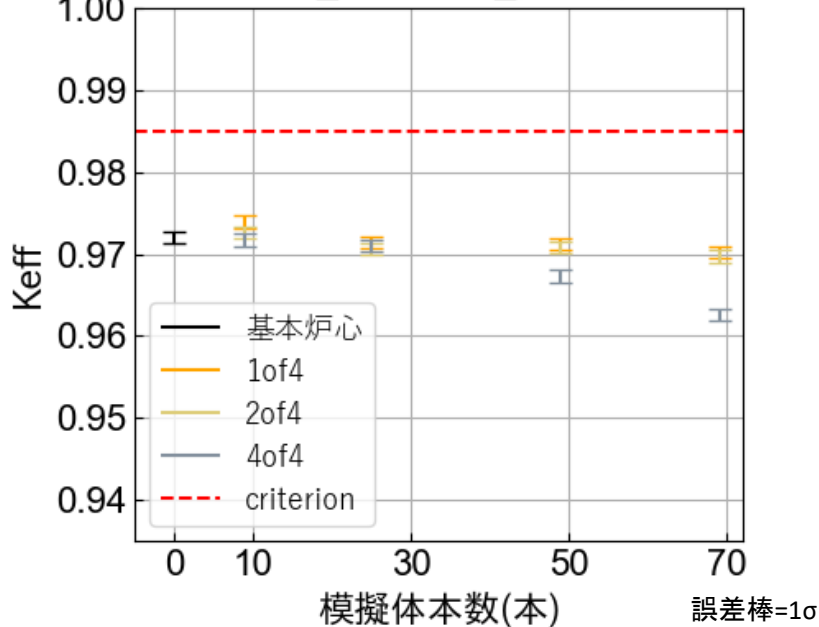
デブリ構造材模擬体の効果の比較
(格子間隔1.50 cm、2 of 4 配列)

(変化傾向の要点)

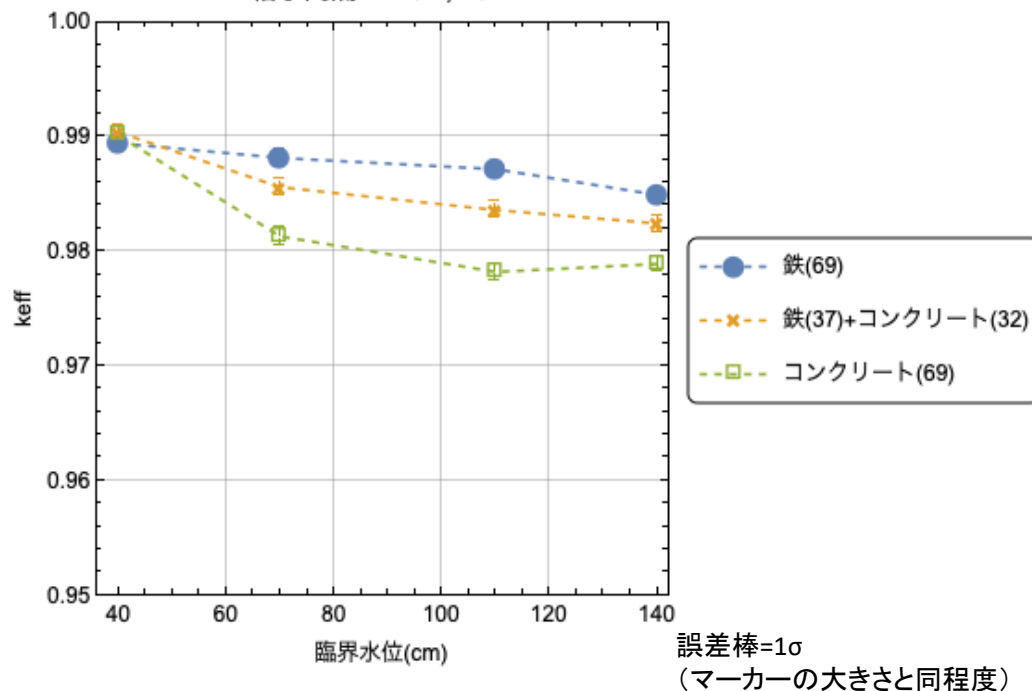
- ・ 臨界水位の上昇とともに、中性子実効増倍率が減少する（安全板の反応度効果が強まる）傾向が見られ、臨界水位が低い炉心のほうが原子炉停止余裕に関し厳しめとなった。
- ・ 装荷本数が同数であればコンクリートよりも鉄のほうが、また、その本数が増えるほうが、中性子実効増倍率が高めの値（安全板の反応度効果が弱まる）となった。
- ・ この傾向について、格子間隔1.27cm（減速不足の炉心）では臨界水位が下がるにつれてその差が小さくなり（収斂していき）、かつ、臨界水位40cmの炉心では逆転する例が見られる。この理由については今後の研究に委ねることになるが、これらの炉心は津波水没時に未臨界を担保できな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

炉心形状固定の解析(左)及び複数種類のデブリ構造材模擬体の効果(右)

コンクリート_1.27cm_原子炉停止余裕



格子間隔1.27cm, 1of4

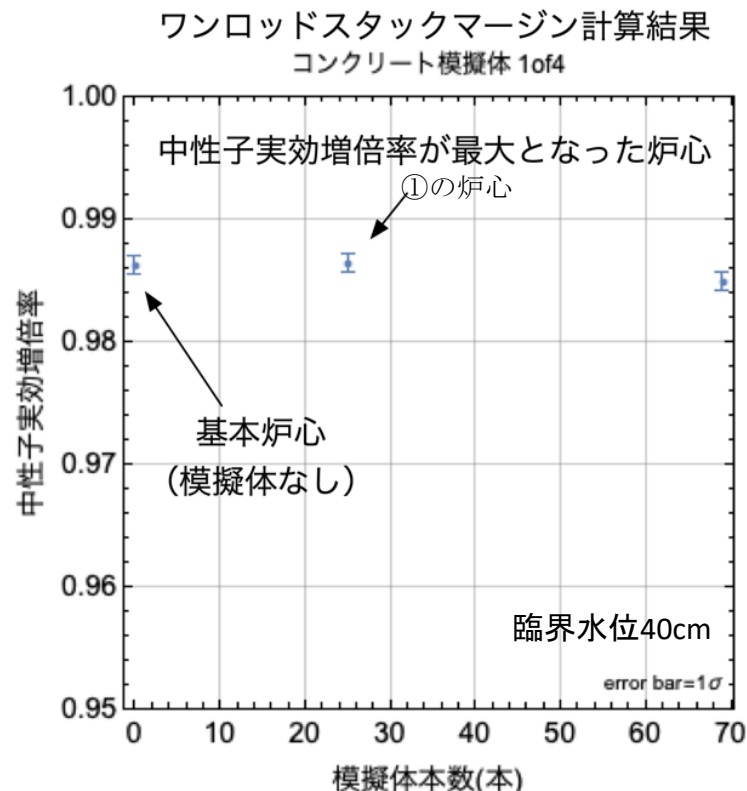
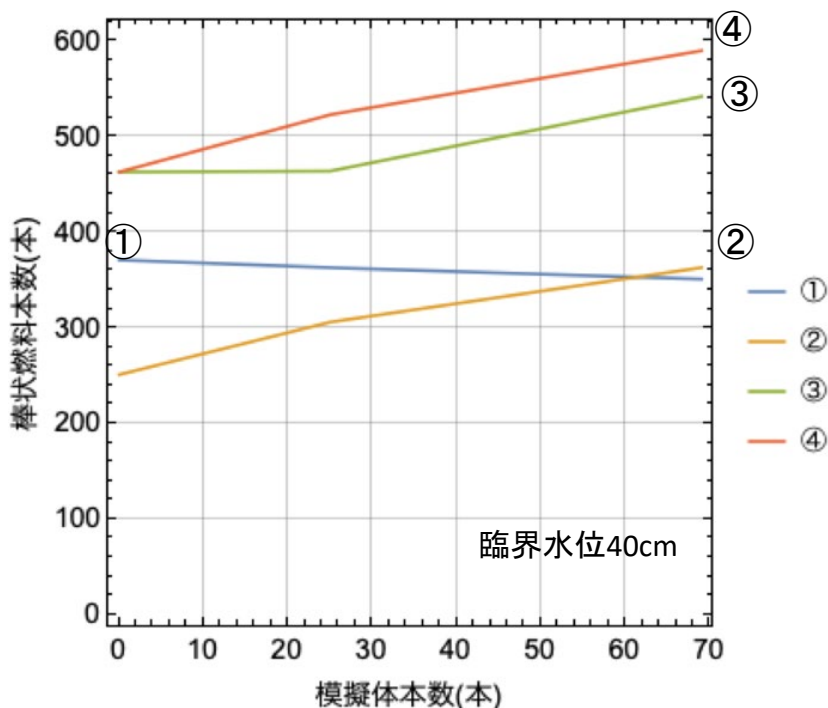


- 安全板の効果が主として炉心の大きさに影響されることを確認するため、炉心形状を固定し、配列パターンを変えた解析（臨界は水位で調整）を実施。炉心形状を固定した場合、模擬体の配列の影響は大きくないことを確認。

- 鉄とコンクリートの模擬体を混在させた炉心（右図×マーク）は、それぞれを単独で使用した炉心（右図●マークおよび□マーク）に包含される傾向にある。
- 燃料試料挿入管に挿入する模擬デブリペレット（二酸化ウラン、鉄、コンクリート等の混合物）もそれぞれの単独の評価結果に包含されることが期待される。

表1 (P.32) の①の条件でコンクリート模擬体69本の炉心が最大値とならない理由

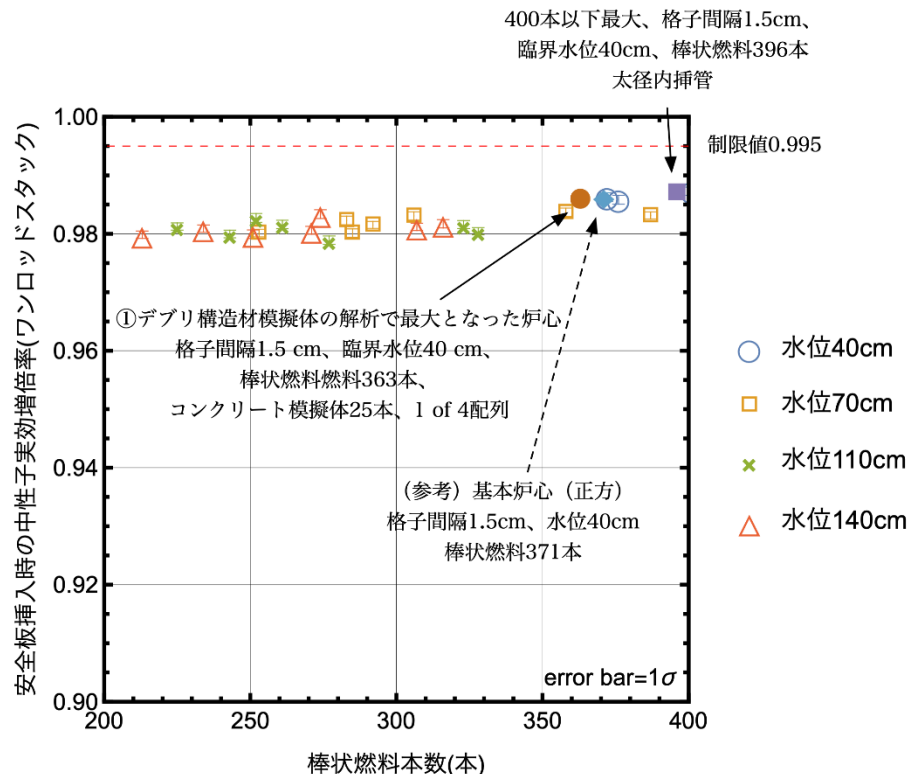
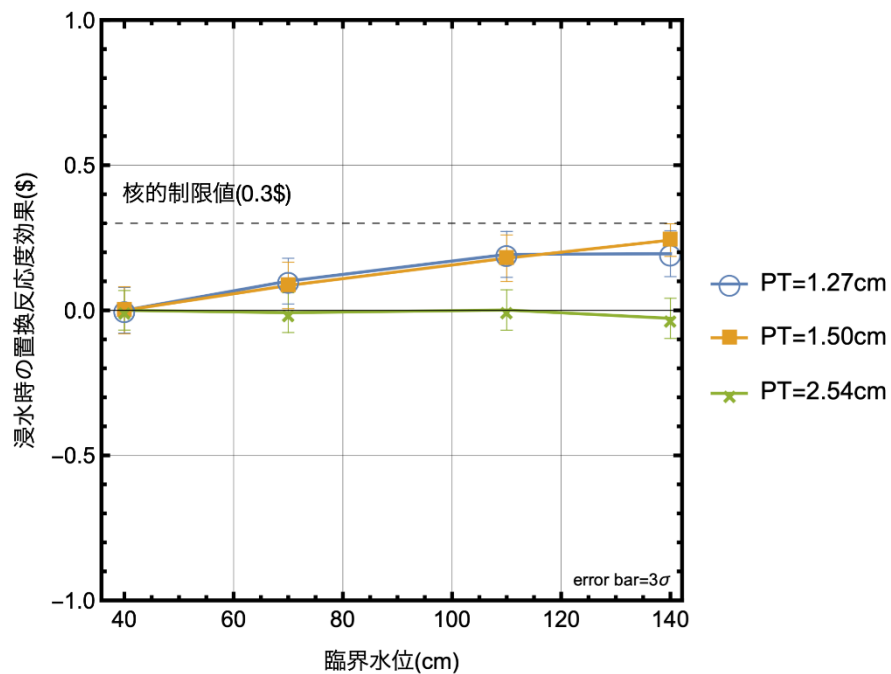
①～④はp.29表1の記号と同じ。



- 表1 (P.32) の①の条件 (格子間隔1.50cm、コンクリートのデブリ構造材模擬体使用) では、模擬体を増加させると臨界に要する棒状燃料本数が減少 (左図) し、模擬体を最大数挿入すると中性子実効増倍率が減少する (右図)。また、本数が0本 (挿入なし) ~25本の間には中性子実効増倍率の違いは見られない (右図)。

(補足7)内挿管の解析結果

内挿管が浸水した場合の反応度効果(左)及び安全板挿入時の中性子実効増倍率(右)を評価



- 内挿管（太径）が浸水した場合の置換反応度を評価し、実験範囲全体にわたり核的制限値（0.3\$）を満足することを確認した。満足しない炉心は解析により事前に特定し、「構成してはならない炉心」として識別する。

- 内挿管（太径）を3本挿入した場合に安全板挿入時の中性子実効増倍率が最大となったが、P. 28で棒状燃料400本以下で最大となった①の炉心との差は誤差の範囲（1標準偏差以内）であることを確認。

<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> ◆ハード（反応度制御系・計測制御系統、原子炉停止系等）とソフト（炉心構成と炉心核特性の安全確認手順）があいまって、核的制限値を満足させ、原子炉を安全に運転することができる。

（試験炉技術基準規則第10条第1項関係）

	炉規法第28条第2項第1号 設工認に従って行われたものであること	炉規法第28条第2項第2号 技術上の基準に適合するものであること	その他許可書、保安規定の 要求事項
原子炉 本体 設備	<p>◆ハードとして製作仕様を確認。 【設工認第3回（基本炉心）で別途確認】 （反応度制御系・計測制御系）</p> <ul style="list-style-type: none"> 炉心給排水系設備（給水ポンプ、排水弁、給水停止スイッチ等）、核計装等（原子炉停止系） 安全保護回路、安全板装置、急速排水弁（その他） インターロック回路、遮蔽等 	<p>◆ハードとして機能・性能を確認。 （試験炉技術基準規則第10条第1項）</p> <ul style="list-style-type: none"> 通常運転時において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原子炉固有の出力抑制特性を有するとともに、当該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。 	<p>（原子炉の仕様）</p> <ul style="list-style-type: none"> 熱出力：最大200W 燃料本数：最大900本 減速材対燃料ペレット体積比：0.9~11 減速材温度：常温~最大70℃ 臨界水位：40cm~140cm ほか
実験用 装荷物	<p>◆ハードとして製作仕様を確認。</p>	<p>◆ハードとして機能・性能を確認。 （試験炉技術基準規則第38条）</p>	<p>（反応度の仕様）</p> <ul style="list-style-type: none"> 反応度価値 最大30セント
炉心	<p>該当なし。 （炉心構成は、燃料体、減速材、反射材等の配置及び配置替えであって、工事ではないため。 試験炉保安規定審査基準参照）</p>	<p>該当なし。 （炉心構成は、燃料体、減速材、反射材等の配置及び配置替えであって、工事ではないため。 試験炉保安規定審査基準参照）</p> <p>（参考：試験炉許可基準規則第15条第3項）</p> <ul style="list-style-type: none"> 炉心は、《中略》原子炉停止系統、反応度制御系統、計測制御系統及び安全保護回路の機能と併せて機能することにより燃料の許容設計限界を超えないものでなければならない。 <p>（注）STACYは、燃料の許容設計限界を超えるおそれはないため、原子炉運転において燃料破損は生じない。）</p>	<p>◆ソフトとして炉心仕様を確認。</p> <ul style="list-style-type: none"> 炉心構成書（事前解析、設計基準事故を超える津波冠水時の未臨界解析） 炉心証明書（実測確認） <p>◆ソフトとして炉心状態・機器機能を確認。</p> <ul style="list-style-type: none"> 起動前点検、月例点検等

- ◆原子炉運転中の異常な過渡変化時及び設計基準事故時には、異常な出力上昇を早期検知し、自動的かつ安全に原子炉を停止させることができる。
(試験炉技術基準規則第10条第1項関係)

- ◆原子炉運転中の異常発生
(反応度制御機器の故障・誤動作・誤操作、事前の炉心解析の誤り・運転条件値の誤設定等)

- ◆異常検知 (核計装)
 - ・起動系、運転系対数出力系 (各2系統)
 - ペリオド*監視 (20秒でアラーム、5秒でスクラム信号) 《*原子炉出力がe倍 (約2.7倍) になる時間》
 - ・安全出力系 (2系統)
 - 出力監視 (180W でアラーム、220W でスクラム信号)
 - 積分出力監視 (40W・hでアラーム、100W・hでスクラム信号)
 - ・運転系線型出力系 (2系統)
 - 指示値逸脱監視 (各レンジ指示値 90%でアラーム、100%で排水弁開のインターロック信号)

- ◆スクラム動作 (原子炉停止系)
 - ・安全板自動挿入 (1.5秒以内に自重落下。炉心によって枚数が異なる。) → 瞬時に未臨界状態
 - ・急速排水弁自動開 (2系統。その他、通常排水弁 (1系統) も自動開。) → 未臨界状態を維持

- ◆原子炉の状態
 - ・原子炉は、駆動力を要さず自動的かつ安全に停止し、かつ、燃料の許容設計限界を超えない (事故時ピーク出力989W、棒状燃料の温度上昇7.0°C) ため、棒状燃料が機械的・熱的に破損するおそれはない。(万一破損した場合でも、周辺公衆の実効線量は 3.1×10^{-4} mSvである。)
 - ・なお、核的制限値は、事故時の限界仕様 (危険な状態) 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「設定」しているものであり、核的制限値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。

◆炉心構成及び炉心特性の具体的な安全確認手順は、以下のとおり。

(炉心核特性を満足する見通しについて)

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.45参照)

※保安規定に定める炉心構成書及び炉心証明書の作成と原子炉主任技術者等による確認を行う。(P.46参照)

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。

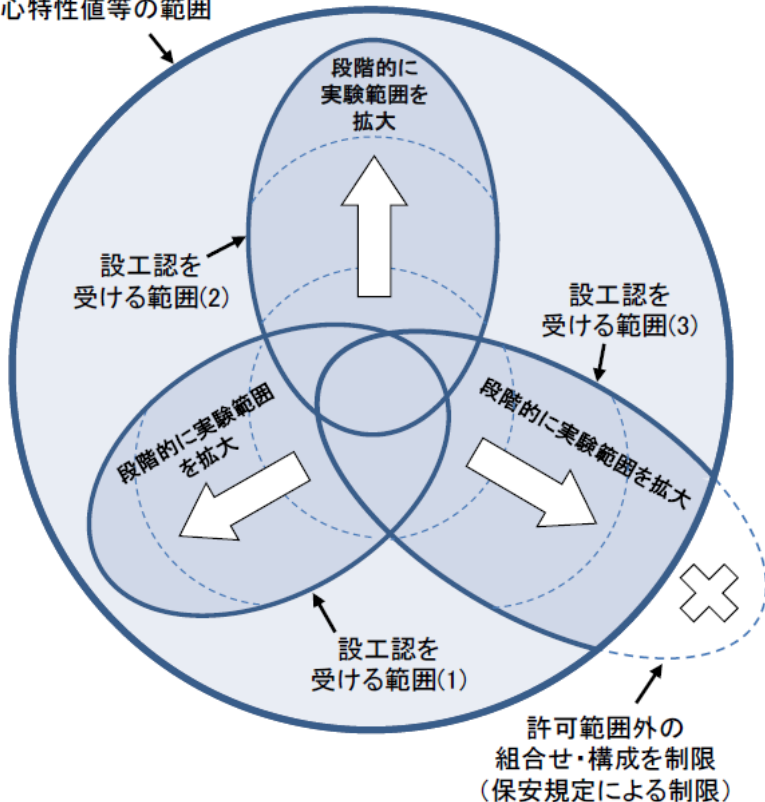
原子炉の運転に当たっては、核的制限値を担保するために①過剰反応度に係る炉心タンク水位の制限、②反応度添加率に係る水位上昇速度の制限、③原子炉停止余裕に係る安全板の位置及び挿入性の確認を行う。(P.47参照)

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。

設置変更許可を受けた
炉心特性値等の範囲



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。



【STACYの核的安全性の確保】

実験計画に基づき、炉心構成(中略)の詳細及び範囲を決定し、臨界水位、各種反応度係数、安全板反応度価値等を計算解析によって求め、核的制限値を満足する見通しがあることを確認する。(中略)実験計画の作成に当たり、事前計算解析の間違いによる核的制限値からの逸脱を防止するため、未知の炉心構成における条件の変更は、臨界水位にあっては高水位から低水位に、実験用装荷物にあってはその反応度効果の小さいものから大きなものに変化させていく。(設置変更許可申請書添付書類八「3.3 運転手順」より抜粋。)

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

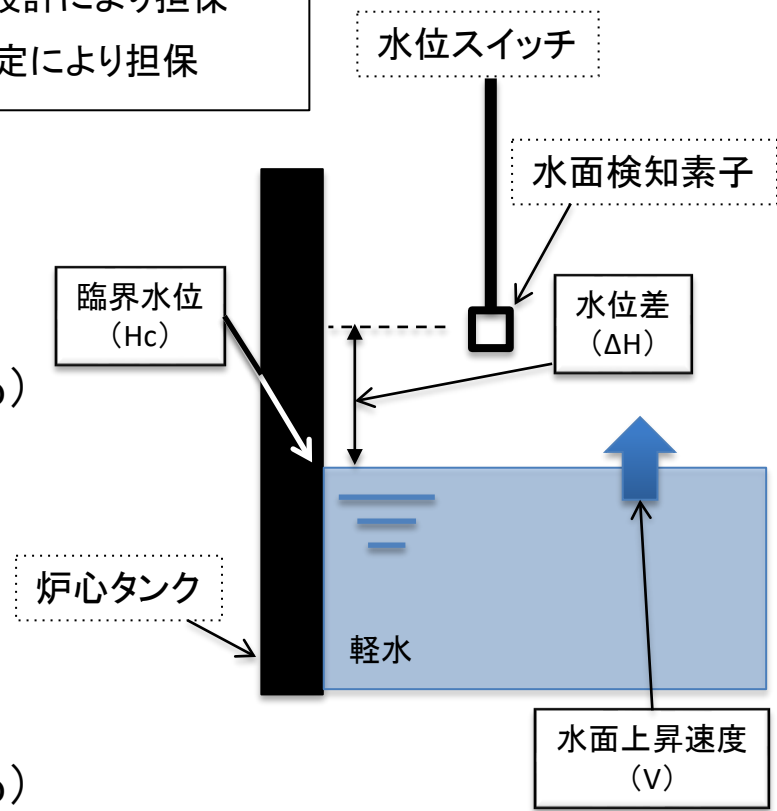
方法: 炉心タンクの水面上昇速度を制限する

- 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。

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

(一部使用承認の適用)

本設工認の申請設備のうちデブリ構造材模擬体(鉄)、内挿管及びデブリ模擬炉心(1)について、必要な実験データの早期取得に向け、当該設備の製作及び使用前事業者検査が終了次第、実験運転に供することとしたい。このため、これらの設備について、試験炉規則第3条の4(使用前確認を要しない場合)に基づく一部使用承認の適用を要望する。

(一部使用承認の対象範囲)

(1) その他試験研究用等原子炉の附属施設

主要な実験設備

実験用装荷物

デブリ構造材模擬体(鉄)、内挿管

(2) 原子炉本体

炉心

デブリ模擬炉心(1)

(完成した部分を使用しなければならない特別な理由)

本設工認の申請設備である①デブリ構造材模擬体(鉄)、②デブリ構造材模擬体(コンクリート)、③燃料試料挿入管、④内挿管は、それぞれ製作完了時期が異なる。燃料デブリに係る臨界データの早期取得に向けて、①デブリ構造材模擬体(鉄)、④内挿管及びこれらで構成される⑤デブリ模擬炉心(1)については、製作及び使用前事業者検査が終了次第、実験運転に供する必要がある。

(参考) 全体工程(予定)

項目	年度		令和5年度				令和6年度			
	4-6月	7-9月	10-12月	1-3月	4-6月	7-9月	10-12月	1-3月		
① デブリ構造材模擬体(鉄)	設工認		製作・検査		▽一部使用承認書交付*1					
		一部補正△*2	△認可(希望)		△使用前事業者検査受検					
② デブリ構造材模擬体(コンクリート)	設工認		製作・検査		▽使用前確認証交付					
		一部補正△*2	△認可(希望)		△使用前事業者検査受検					
③ 燃料試料挿入管	設工認		製作・検査		▽使用前確認証交付					
		一部補正△*2	△認可(希望)		△使用前事業者検査受検					
④ 内挿管(細径、太径)	設工認		製作・検査		▽一部使用承認書交付*1					
		一部補正△*2	△認可(希望)		△使用前事業者検査受検					
⑤ デブリ模擬炉心(1)	設工認		製作・検査		検査	▽一部使用承認書交付*1		検査	実験運転	
		一部補正△*2	△認可(希望)		← デブリ構造材模擬体(鉄)を使用 →		← デブリ構造材模擬体(コンクリート)も加えて使用 →			
【既認可設工認第3回】 基本炉心(1)と 関連する設備			設工認	製作・検査		▽使用前確認証交付				
			△届出*3		△運転再開(R6年5月)*4					

- * 1: ①デブリ構造材模擬体(鉄)、④内挿管、⑤デブリ模擬炉心(1)は、製作・検査を完了したのから実験運転に供するため、一部使用承認を要望する。
- * 2: 審査会合の指摘事項の反映、デブリ模擬炉心(1)の炉心構成範囲を現有400本以下とするなどの一部補正を行う。
- * 3: 基本炉心(1)の炉心構成範囲を現有400本以下とする変更を行う。
- * 4: STACYの運転再開時期は、今後の工事の進捗状況により変更となる場合がある。

補足説明資料 1

- ・ 技術基準規則との適合性説明

補足説明資料 2

- ・ 技術基準規則、設置(変更)許可申請書、設工認申請書の適合性及び整合性に係る記載対比表

補足説明資料 3

- ・ 燃料試料挿入管の密封性確認検査の方法及びその詳細

補足説明資料 4

- ・ 設置(変更)許可申請書と設工認申請書案(設計条件・設計仕様)の整合性に係る記載対比表

補足説明資料 5

- ・ 炉心解析結果に関する説明
 - コンクリート及び鉄の反応度効果に関する感度解析(資料5-1)
 - 原子炉停止余裕及びワンロードスタックマージンが厳しくなる炉心の傾向分析(資料5-2)
 - 炉心形状固定の解析(資料5-2の付録-1)
 - 燃料試料挿入管及び内挿管の核的影響(資料5-2の付録-2)
 - デブリ構造材模擬体が遮蔽計算に及ぼす影響(資料5-2の付録-3)
 - 棒状燃料400本以下とした場合のデブリ模擬炉心及び基本炉心の受検炉心(資料5-2の付録-4)

補足説明資料 6

- ・ 臨界実験装置における核的制限値の担保

補足説明資料 7

- ・ 燃料調達状況を踏まえたデブリ模擬炉心及び基本炉心に係る設工認申請書の見直しと受検炉心

以降、参考資料

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)

審査会合資料より抜粋

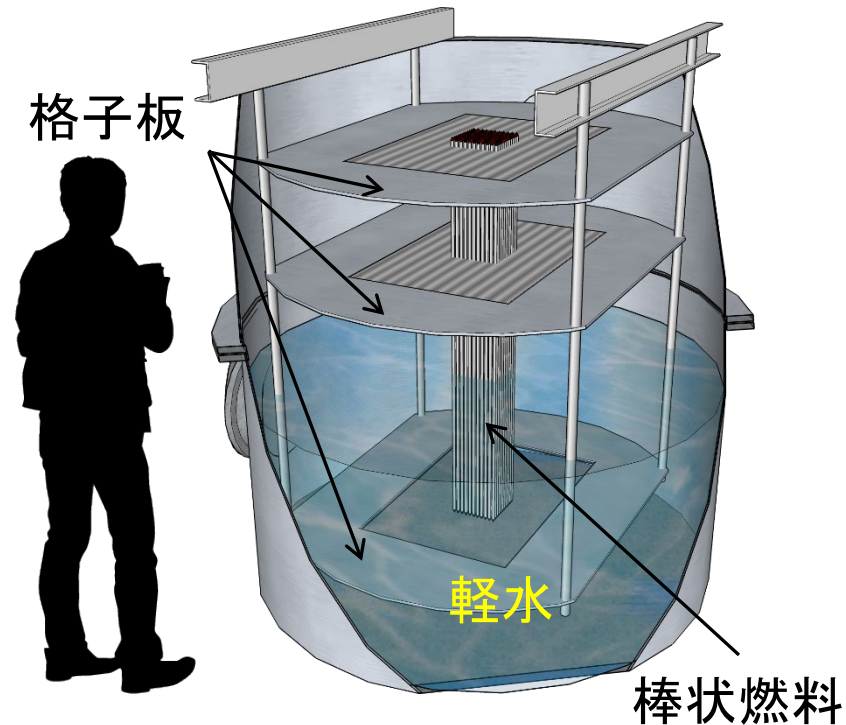
➤ STACYにおける臨界実験の目的

- 燃料デブリの臨界特性を明らかにする
- 燃料デブリを取り扱う解析計算の妥当性を示す

➤ STACYの特徴

- ウラン酸化物棒状燃料及び軽水減速材を用いる臨界実験装置
- ^{235}U 濃縮度10wt%以下(現有は約5wt%)
- 上部開放型の炉心タンク、格子板に棒状燃料を配列
- 水位で反応度制御するために給水ポンプ、排水弁を設置
- 緊急停止用として炉心タンク上部に安全板を配置

炉心タンク
(直径 約180cm、高さ 約190cm)



STACYの外観イメージ

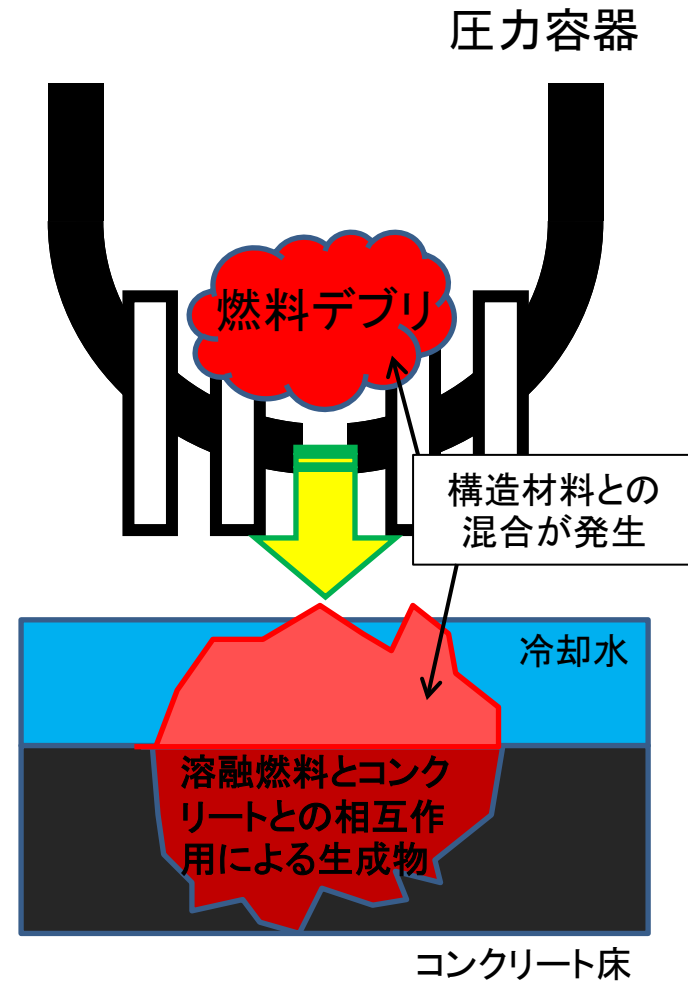
(燃料デブリの問題)

- 組成・形状が不確かな核燃料物質の発生
 - 鉄・コンクリート等、通常の原子炉の燃料に含まれない構造材料の混入
 - 制御棒、可燃性毒物等、反応度影響の強い物質の変形、移動、混合
- ➔ 従来経験のない混合物の臨界安全性検討が必要

(燃料デブリ取出し時の性状変化)

- 取出し作業中の変形、粉碎、移動による性状、減速材対燃料体積比の変化
- 遮へい、冷却に使用する軽水の変化
(可溶性中性子吸収材濃度変化、ボイド率変化)
- ➔ 取出し作業に先立ち、幅広い条件下の臨界安全性検討が不可欠

- JAEAは、想定される燃料デブリの臨界データを網羅的に収録したデータベース(臨界マップ)を解析により整備する。
- 上記データベースの精度確認のため、STACYを使用した臨界実験を計画している。



燃料デブリのイメージ

(1) 反応度価値測定

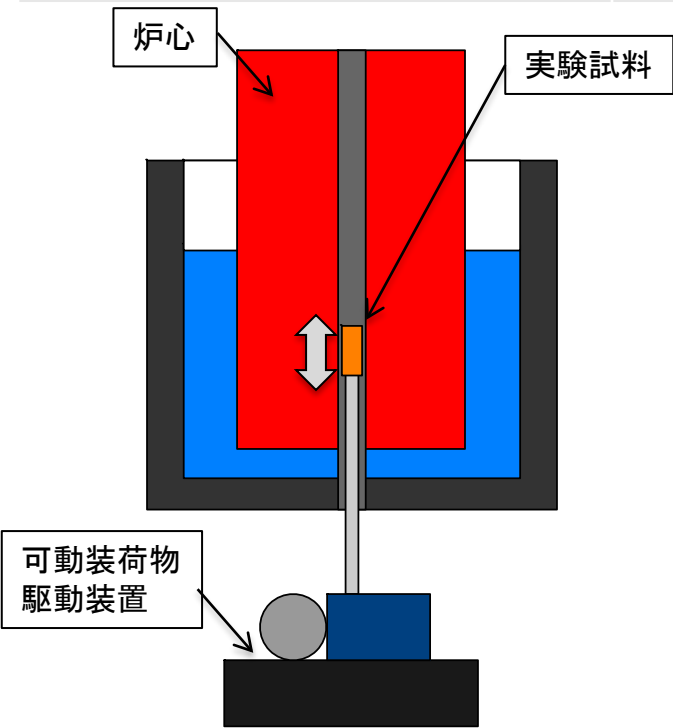
少量の実験試料をテスト領域に挿入し、反応度価値、核データを測定・検証する。

(2) 全炉心デブリ模擬実験

炉心全体でデブリを核的に模擬（非均質）し、臨界量や反応度を測定する。また、計算モデルを検証する。

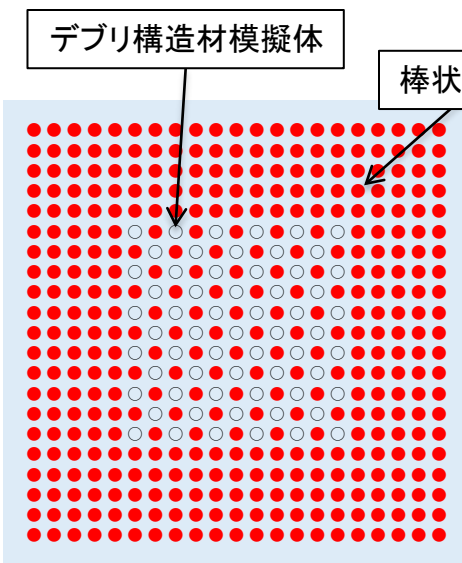
(3) 燃料デブリ模擬体試験

燃料試料（デブリ模擬体）をテスト領域に装荷して、反応度を測定する。



使用する実験用装荷物:

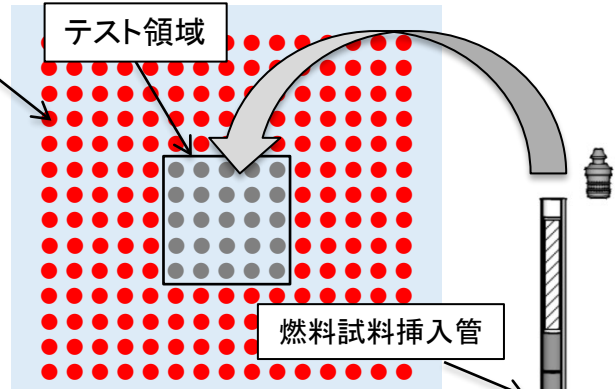
- 可動装荷物駆動装置
- 内挿管



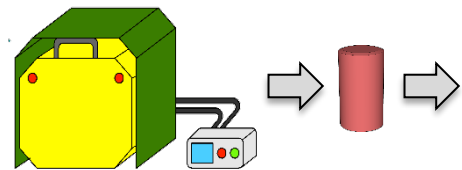
炉心のモデル例
デブリ構造材模擬体61本を炉心中央に均一に配列し、その周囲に棒状燃料を配列

使用する実験用装荷物:

- **デブリ構造材模擬体**
- ボイド模擬体
- 固定吸収体
- 構造材模擬体



炉心のモデル例
燃料試料挿入管25本を炉心中央に配列し、その周囲に棒状燃料を配列



使用する実験用装荷物:

- **燃料試料挿入管**

Hard (設置許可・設工認段階)

臨界実験装置は、①核特性等の測定を目的とするものであり、測定目的に応じて、炉心構成及び運転モードの変更、減速材の水位及び温度の制御、運転中の燃料の移動等が行われるとともに、多種多様の燃料及び実験試料が使用される。②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り、総合的な反応度フィードバックが正になる範囲の実験が行われる場合もある。③最大過剰反応度についての運転制限値を厳しく設定する等、安全確保上、運転管理に負うところが大きい。《後略》

水冷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)より引用。

Soft (供用段階)

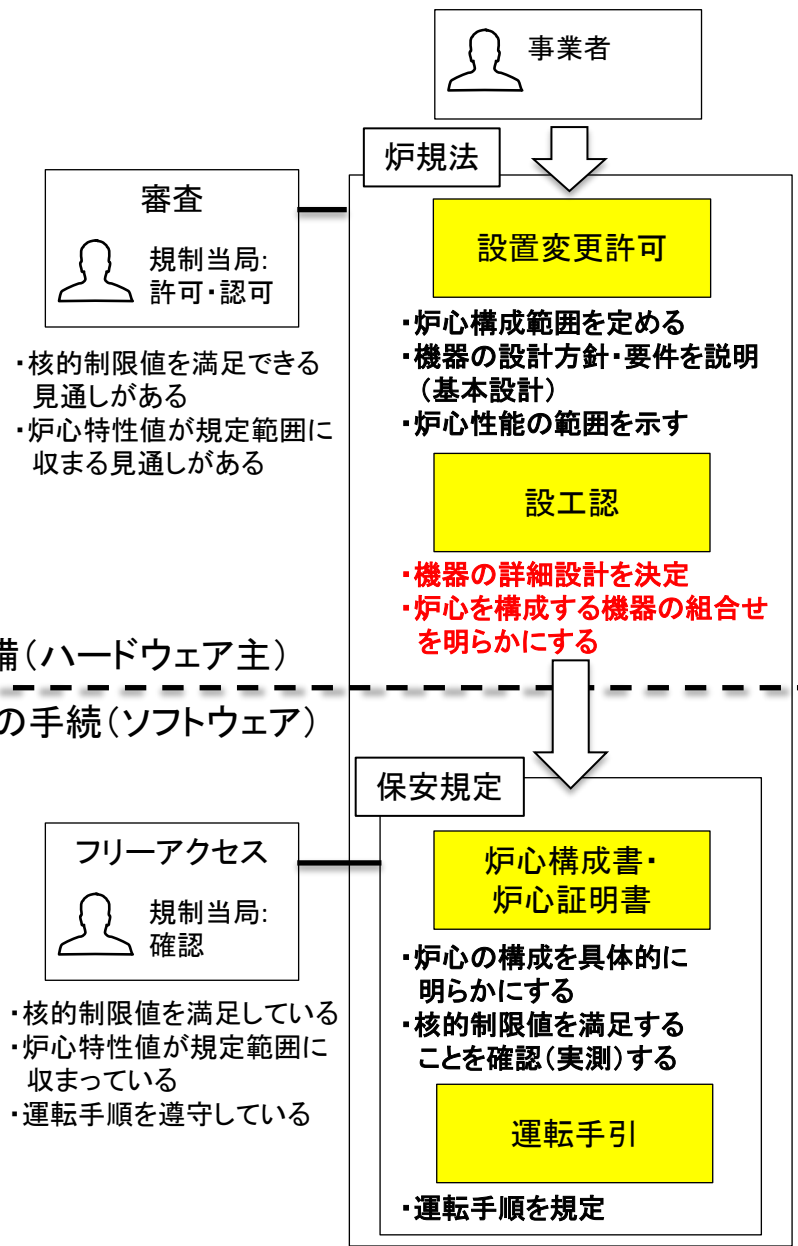
試験炉規則第15条第1項第6号イからハまで試験研究用等原子炉施設の運転に関する体制、確認すべき事項、異状があった場合の措置等
《中略》

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。
《省略》

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
(制定 平成25年11月27日、最新改正 令和2年2月5日原規規発第 2002054 号-7)

位置、構造及び設備(ハードウェア主)

配置及び配置替えの手續(ソフトウェア)



令和4年度まで

令和6年度まで

新規規制基準適合対応

デブリ模擬臨界実験

フェーズⅠ

フェーズⅡ

フェーズⅢ

フェーズⅣ

原子炉プラントとして必要な設備の整備として設置(変更)許可申請書の工事計画に記載(基本炉心(1)の設工認まで)

実験ニーズに応じて柔軟に対応するため設置(変更)許可申請書の工事計画に記載していない

【使用する設備】

- 原子炉プラントとして必要な設備一式
- 可動装荷物駆動装置(下方から少量サンプル挿入)

【使用する炉心】

- 基本炉心(1)

【使用する実験用装荷物】

- デブリ構造材模擬体
- 燃料試料挿入管
- 内挿管

【使用する炉心】

- デブリ模擬炉心(1)

【使用する実験用装荷物】

- 固定吸収体
- 構造材模擬体
- ボイド模擬体
- 可動装荷物駆動装置(高精度水位計)
- 可動装荷物駆動装置(上方から少量サンプル挿入)

【使用する格子板】

- 格子板(狭小格子間隔)

【使用する実験設備】

- パルス中性子発生措置(既設設備を新規に設工認申請する)

【使用する炉心】

- 軽水炉等模擬炉心(1)(仮称)

【使用する燃料】

- 濃縮度5wt%超棒状燃料
- 中性子毒物添加棒状燃料
- 短尺棒状燃料

【使用する炉心】

- 軽水炉等模擬炉心(2)(仮称)

設工認の申請状況(色分け)

申請済: 緑字

本申請: 赤字

未申請: 青字

(設工認段階)

(1) 炉心構成要素の組合せ範囲の明確化

- 炉心支持構造物(格子板パターン等)
- 棒状燃料(種類、本数)
- 減速材対燃料ペレット体積比
- 安全板(挿入位置、枚数)
- 実験用装荷物*(中性子吸収体、他)

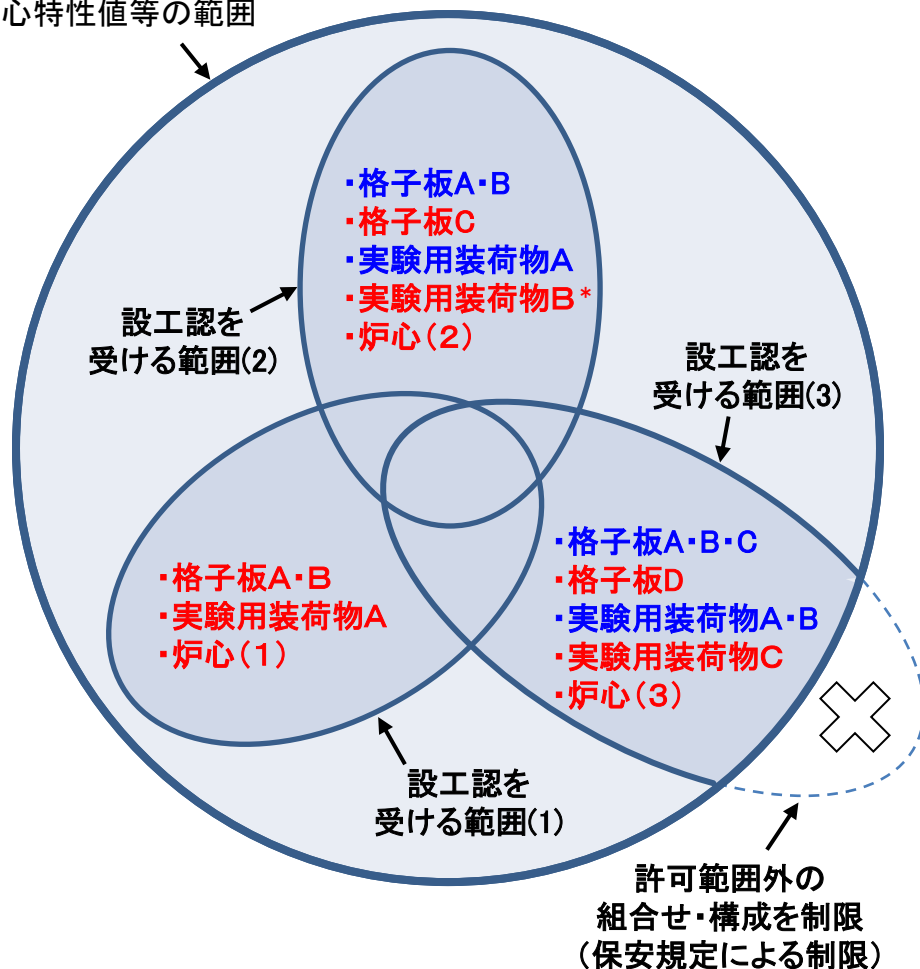
(2) 炉心性能の説明

- 核特性値が制限された範囲に収まる見通しを示す
- 核的制限値を満足できる見通しを示す
- 制限範囲を逸脱する条件を特定、保安規定により制限する手順を示し、許可範囲内で運転できる見通しを示す

* : 実験用装荷物のうち核特性への影響が申請済みの炉心評価に包含される場合は、炉心としての申請を省略する。

(実験試料等 核的影響の小さいものを装荷する内挿管、水面の上方で使用する高精度水位計、申請済み実験用装荷物の寸法等軽微設計変更など)

設置変更許可を受けた炉心特性値等の範囲

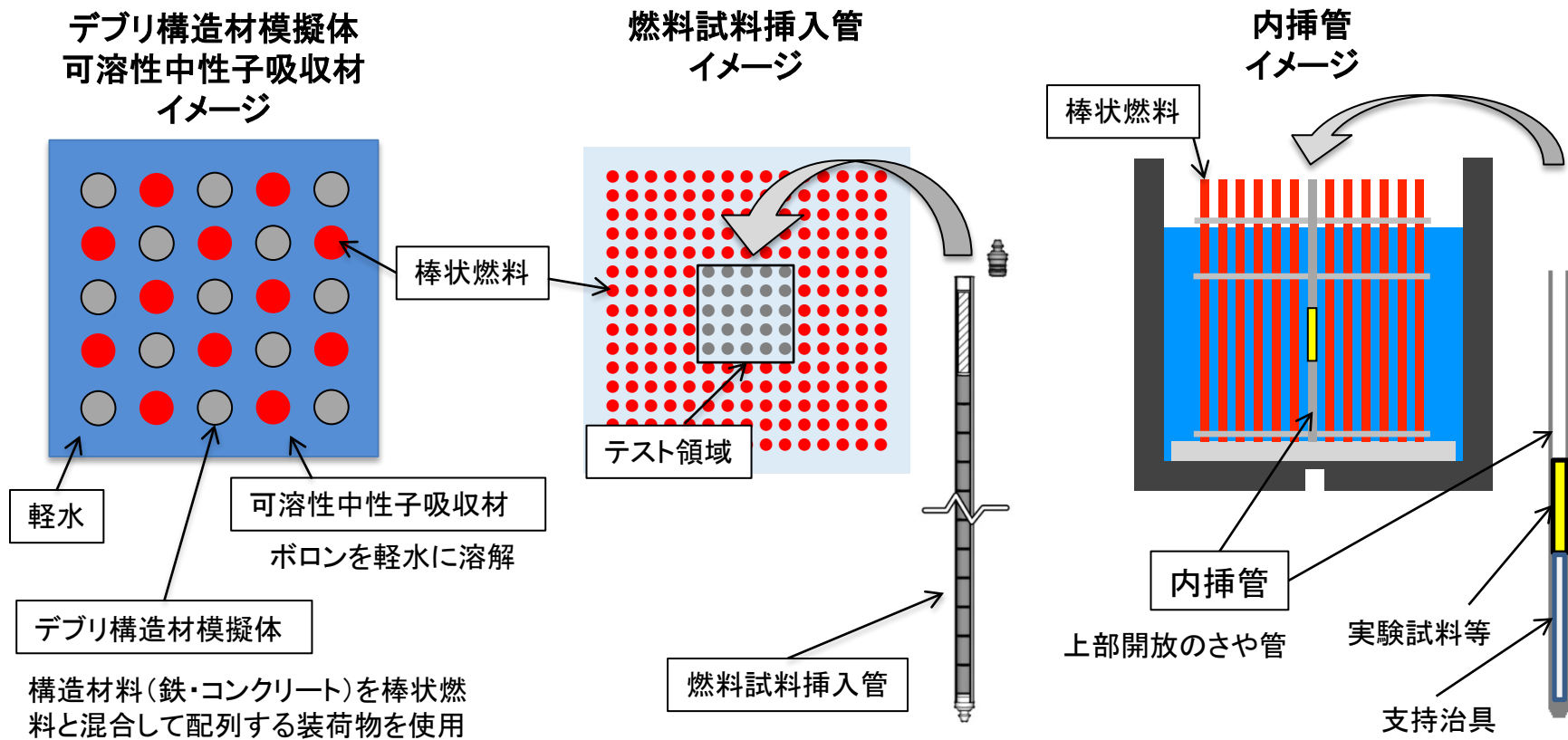


新しい炉心を構成する際の方針(概念図)
その1: 設工認段階

炉心の種類	格子板 (12.7mm、15mm)	可溶性中性子 吸収材 (ボロン)	デブリ構造材 模擬体 (鉄、コンクリート)	燃料試料 挿入管*	内挿管* (細径、太径)	可動装荷物 駆動装置* (下方から少量 サンプル挿入)
基本炉心(1)	○	○	×	○	○	○
デブリ模擬炉心(1)	○	○	○	○	○	○

凡例 ○:組合せ可、×組合せ不可

*: 実験試料等 核的影響の小さいものを装荷するものとして、
設工認申請済みの炉心に装荷して用いる。

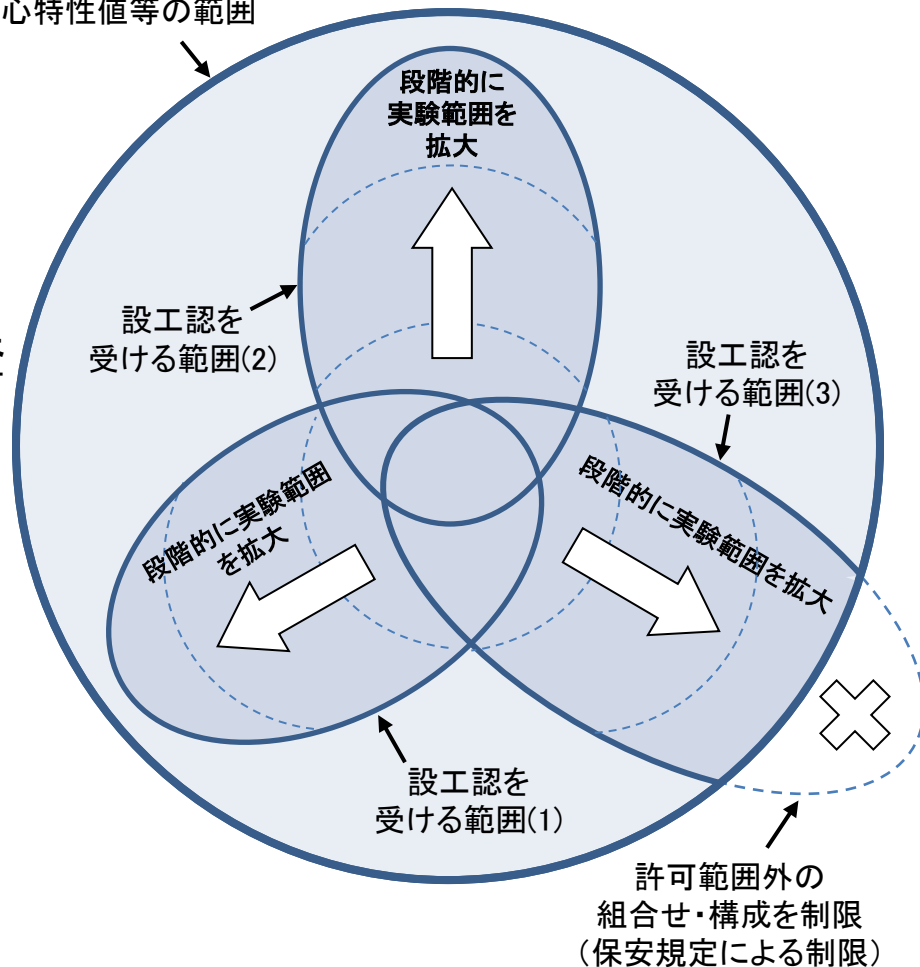


(保安規定)

(1) 炉心構成の変更に関すること

- 実験炉心構成計画の明確化
 - 設工認で認可を受けた範囲内かつ実験計画範囲内において、核特性が比較的よく知られた炉心から実験を開始(使用前事業者検査及び定期事業者検査でも同様とする)
 - 実測等による検証を進めつつ、段階的に実験範囲を拡大
- 炉心構成手順の明確化
 - 炉心構成の手順(制限・禁止事項等)(炉心構成制限事項の遵守、棒状燃料装荷時の注意事項等)
 - 炉心構成状態の確認点検

設置変更許可を受けた炉心特性値等の範囲



新しい炉心を構成する際の方針(概念図)
その2: 供用段階

本申請は、STACY(定常臨界実験装置)施設で用いる実験用装荷物の製作及びデブリ模擬炉心を新設するために申請するものである。

第1編 その他試験研究用等原子炉の附属施設のうち I. 実験設備

第2編 原子炉本体のうち I. 炉心

その他試験研究用等原子炉の附属施設は、次の施設から構成される。

- (1) 非常用電源設備
- (2) 主要な実験設備
- (3) その他の主要な事項

上記のうち、(2)主要な実験設備は、次の設備から構成される。

イ. 実験用装荷物

- ロ. パルス中性子発生装置

上記のうち、イ. 実験用装荷物は、次の設備から構成される。

- a. 固定吸収体
- b. 構造材模擬体
- c. デブリ構造材模擬体
- d. ボイド模擬体
- e. 燃料試料挿入管
- f. 内挿管
- g. 可動装荷物駆動装置
- h. 可溶性中性子吸収材

今回申請する範囲は、上記(2)主要な実験設備のうち、イ. 実験用装荷物のうち、c. デブリ構造材模擬体、e. 燃料試料挿入管、f. 内挿管の製作に関するものである。

実験設備等(デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管に限る。)は、STACYの炉心に配置して使用する。その使用環境下でSTACYの安全性を損なうおそれがない設計とする。

- 設置(変更)許可申請書の耐震重要度分類に従い耐震Bクラスの設計とする。
 - Bクラスの静的地震力に耐える耐震設計を行う。
 - Bクラスの静的地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果発生する応力が、安全上適切と認められる規格及び基準等を参考に設定される許容限界を超えず、おおむね弾性状態に留まるよう耐震設計を行う。
 - 共振するおそれのないように設計する。
- 機器種別は、基準*に従い、主要な実験設備であるため機器種別のクラスなしとして設計する。
- 最高使用圧力及び最高使用温度は、設置(変更)許可申請書で定める原子炉容器の値と同じ静水頭(2.0m)、80℃で設計する。
- 実験設備等に必要な機能を確認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を実施できるよう、外観の確認ができる設計とする。
- 実験設備等の移動又は状態の変化が生じた場合においても反応度が異常に投入されないように設計する。
- 放射線又は放射性物質の著しい漏えいのおそれがない設計とする。
- 実験設備等の動作状況、異常発生状況、周辺の環境の状況その他の安全上必要なパラメータを制御室に表示できる設計とする。
- 実験設備等が設置される炉室は、制御室と相互に連絡することができる設計とする。

設工認申請書では技術基準に対しどのように設計するかを記載していないため、本スライドのような記載を追加して補正する。

* : 試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準(文部科学省:平成15年5月30日付け15科原安第13号)

名称		デブリ構造材模擬体(鉄)
型式		棒状形状
主要寸法	直径	9.5 mm
	全長	1500 mm
主要材料	SUS棒	SUS304
本数		70本

名称		デブリ構造材模擬体 (コンクリート)
型式		棒状形状
主要寸法	被覆管外径	9.5 mm
	被覆管内径	7.5 mm
	全長	1500 mm
主要材料	被覆管	アルミニウム合金*1
	上部端栓	アルミニウム合金*2
	下部端栓	アルミニウム合金*2
本数		70本

*1 JIS H 4080相当

*2 JIS H 4000相当

名称		燃料試料挿入管	
型式		棒状形状	
主要寸法	被覆管外径	9.5 mm	
	被覆管内径	8.36 mm	
	下部端栓長さ	14.7 mm	
	全長	1500 mm	
主要材料	被覆管	ジルカロイ-4* ¹	
	下部端栓	ジルカロイ-4* ¹	
	上部端栓	シールシャフト	SUS304
		シールキャップ	SUS304
		ノブ	SUS304
ピン		SUS304	
本数		25 本	

*1 JIS H 4751相当

名称		内挿管(細)
型式		棒状形状
主要寸法	管体外径	9.5 mm
	管体内径	8.36 mm
	全長	1495 mm
主要材料	管体	ジルカロイ-4 ^{*1}
	下部端栓	ジルカロイ-4 ^{*1}
本数		30本

*1 JIS H 4751相当

名称		内挿管(太)
型式		棒状形状
主要寸法	管体外径	28.8 mm
	管体内径	27.0 mm
	全長	1495 mm
主要材料	管体	アルミニウム合金 ^{*1}
	下部端栓	アルミニウム合金 ^{*2}
	おもり	鉛 ^{*3}
本数		3本

*1 JIS H 4080相当

*2 JIS H 4040相当

*3 JIS H 2105相当

設計条件に対応する設計仕様を拡充し補正する。

(耐震性)

- デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管は、3枚の格子板に支持されるため、共振するおそれはない。

(閉じ込め)

- 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ために、上部端栓を、取扱い時に容易に外れず、水密性を有する脱着式の端栓とする。

(状態監視)

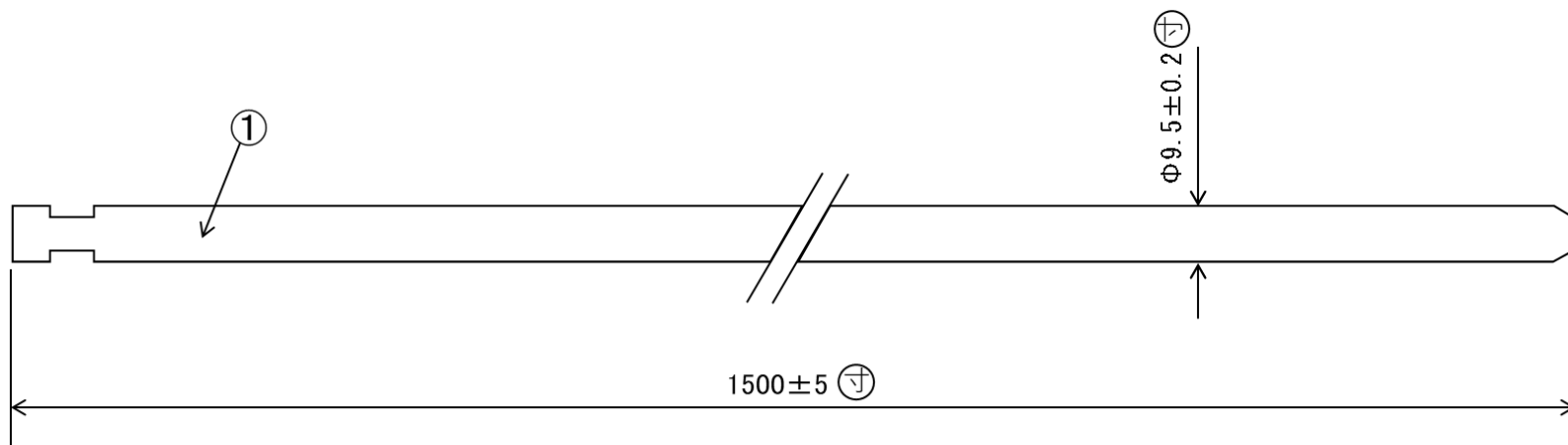
- デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管の異常の発生状況、炉心周辺の環境の状況を監視できるように炉室(S)にカメラ、制御室にTVモニタが設置されている。

(通信連絡)

- デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管を使用する炉室は、制御室とページング装置で相互に連絡することができる。

部品番号	部品名	材質
1	SUS棒	SUS304

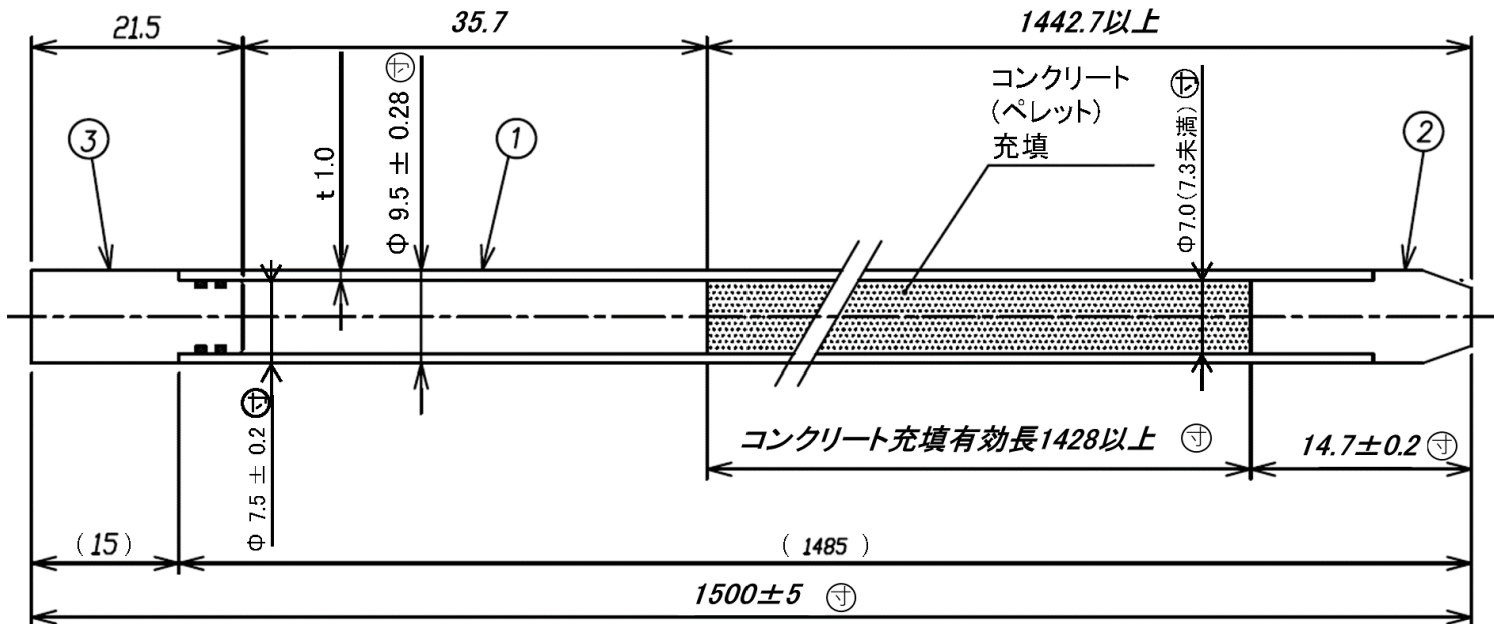
⊕ : 寸法検査対象箇所



デブリ構造材模擬体(鉄)の構造図

部品番号	部品名	材質
1	被覆管	アルミニウム合金
2	下部端栓	アルミニウム合金
3	上部端栓	アルミニウム合金

寸 : 寸法検査対象箇所

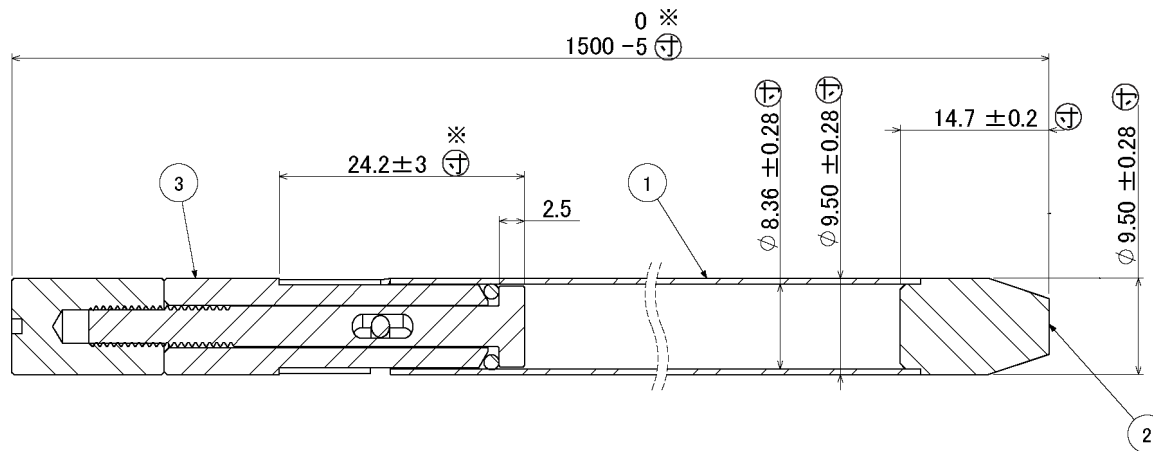


デブリ構造材模擬体(コンクリート)の構造図

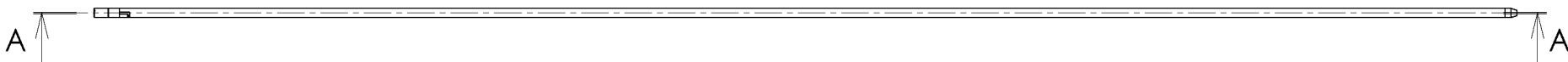
部品番号	部品名	材質
1	被覆管	ジルカロイ-4
2	下部端栓	ジルカロイ-4
3	上部端栓	部品図参照

← 次頁参照

⊕ : 寸法検査対象箇所



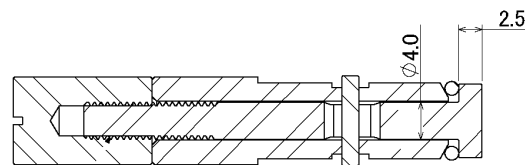
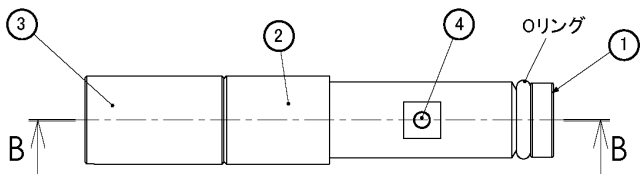
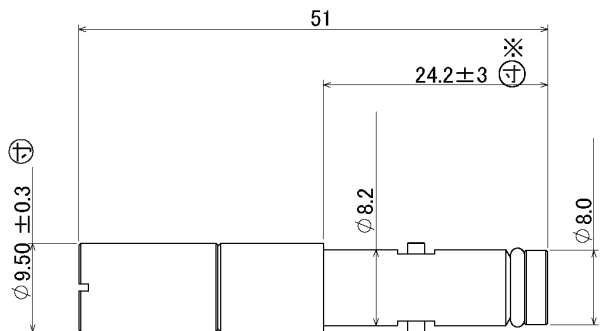
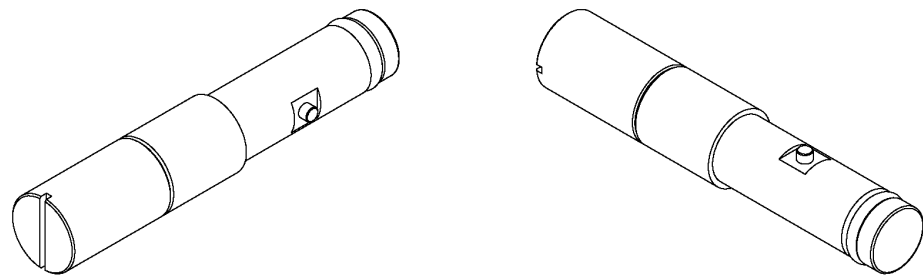
断面図A-A



燃料試料挿入管の構造図

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

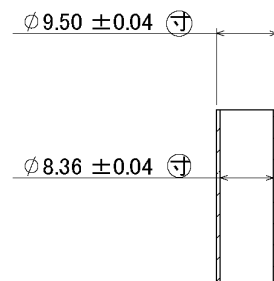
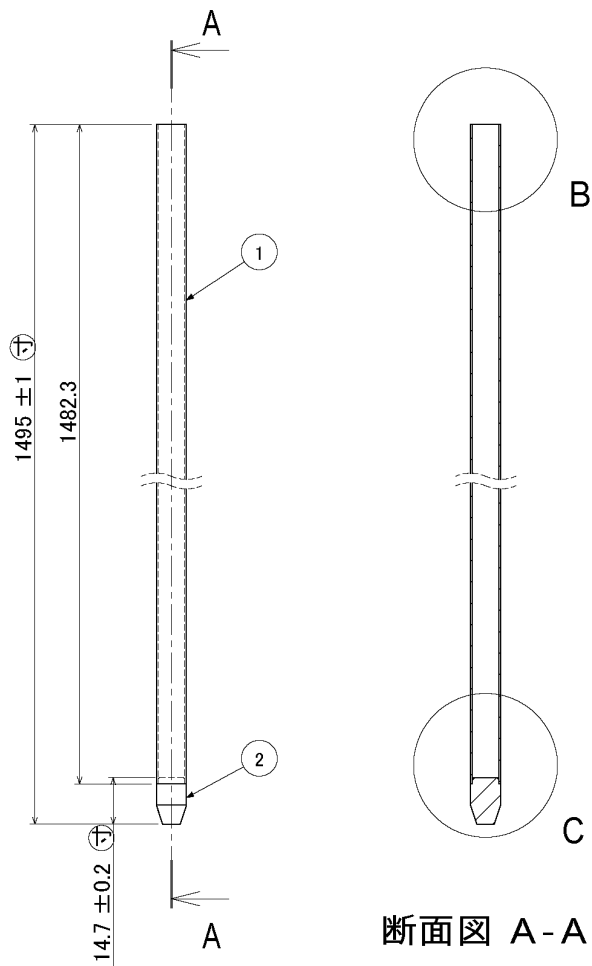


断面図 B-B

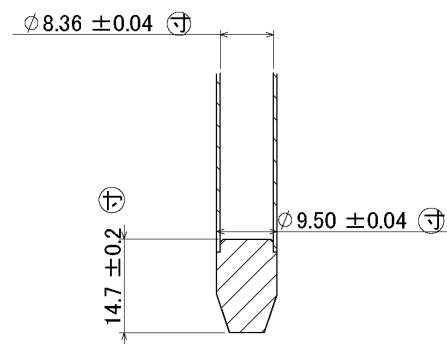
燃料試料挿入管の構造図

部品番号	部品名	材質
1	管体	ジルカロイ-4
2	下部端栓	ジルカロイ-4

⊕ : 寸法検査対象箇所



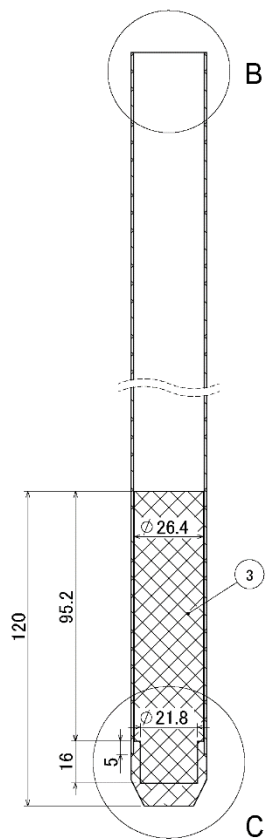
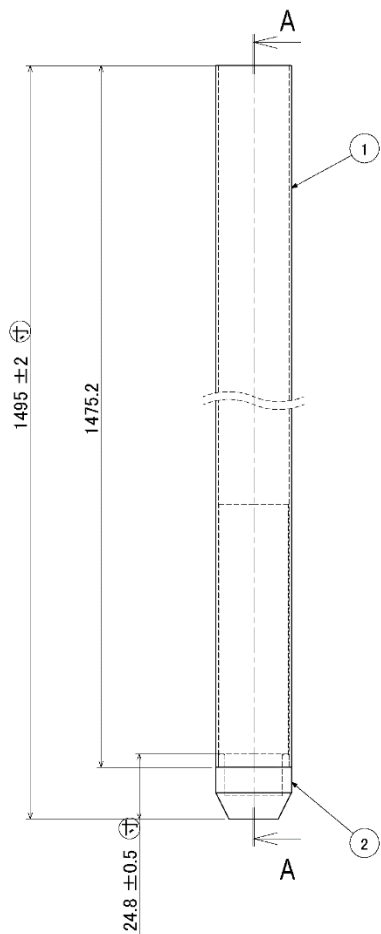
詳細図 B



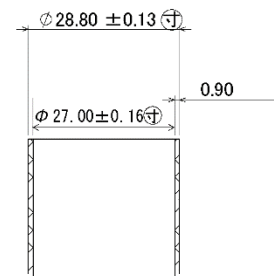
詳細図 C

部品番号	部品名	材質
1	管体	アルミニウム合金
2	下部端栓	アルミニウム合金
3	おもり	鉛

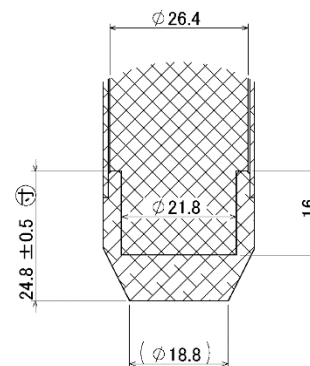
寸 : 寸法検査対象箇所



断面図 A-A



詳細図 B



詳細図 C

本申請は、STACY(定常臨界実験装置)施設で用いる実験用装荷物の製作及びデブリ模擬炉心を新設するために申請するものである。

第1編 その他試験研究用等原子炉の附属施設のうち
I. 実験設備

第2編 原子炉本体のうち
I. 炉心

原子炉本体は、次の施設から構成される。

- (1) 炉心
- (2) 燃料体
- (3) 原子炉容器
- (4) 放射線遮蔽体
- (5) その他の主要な事項

上記のうち、「(1) 炉心」は、以下の設備から構成される。

- イ. 基本炉心(1)
- ロ. デブリ模擬炉心(1)

今回申請する範囲は、上記「(1) 炉心」のうち、「ロ. デブリ模擬炉心(1)」の新設に関するものである。

- デブリ模擬炉心(1)は、設置(変更)許可を受けた炉心構成条件、核的制限値に関連する炉心特性値、STACYで構成される炉心の動特性定数の範囲内において、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構成する。
- これら炉心構成の確認は保安規定に基づき実施する。

設工認申請書では炉心構成条件等の説明をしていないため、本スライドのような記載を追加して補正する。

炉心構成条件

名称	デブリ模擬炉心(1)
臨界水位	40 cm以上 140 cm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
反応度添加率	臨界近傍で3セント/s以下
安全板による停止時の中性子実効増倍率	0.985 以下
最大反応度価値を有する安全板1枚が挿入不能時の中性子実効増倍率	0.995 以下
減速材・反射材対燃料ペレット体積比	0.9以上 11以下
最高温度	70°C
実験用装荷物による最大添加反応度	0.3ドル

核的制限値に関連する炉心特性値

炉心特性値	最大値	最小値
水位反応度係数 (ドル/mm) $\frac{d\rho}{dH}$	6.0×10^{-2}	2.0×10^{-3}
最大反応度添加率 相当給水流量 V_{lim}^* (ℓ/min)	1915	65

※炉心タンク内の水面の断面積を15%減として評価

STACYで構成される炉心の動特性定数

動特性定数	最大値	最小値
減速材温度反応度係数 ($\Delta k/k/^\circ C$)	$+3.8 \times 10^{-4}$	-3.7×10^{-5}
減速材ボイド反応度係数 ($\Delta k/k/vol\%$)	$+3.7 \times 10^{-3}$	-3.8×10^{-3}
棒状燃料温度反応度係数 ($\Delta k/k/^\circ C$)	-8.5×10^{-6}	-4.1×10^{-5}
即発中性子寿命 (s)	8.4×10^{-5}	6.9×10^{-6}
実効遅発中性子割合 (—)	8.1×10^{-3}	6.8×10^{-3}

名称		デブリ模擬炉心(1)	
使用格子板の格子間隔 (既設)		15 mm(四角格子)	12.7 mm(四角格子)
使用燃料体 (既設)	種類	ウラン棒状燃料	
	²³⁵ U濃縮度	5 wt%	
	装荷本数	50本以上900本以下 ただし、140cm超の給水によっても臨界とならない場合は900本以下	
減速材、反射材		軽水(実験計画に応じて可溶性中性子吸収材(ボロン)を添加)	
制御材(既設)		減速材、反射材(軽水)に加え、安全板	
関連主要設備 (既設)	計装	最大給水制限スイッチ(2系統) 給水停止スイッチ(2系統) 排水開始スイッチ(1系統)	
	制御設備	給排水系、安全板(2~4枚)	
主要な 実験設備 (新設)	実験用装荷物	デブリ構造材模擬体	

運転に当たり、炉心が核的制限値を満足し、かつ、設置変更許可申請書に定めた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。その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。

<指摘事項 No.6>

デブリ構造材模擬体の設計仕様の材料にコンクリートを挙げること。

<回答>

第1編 実験用装荷物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て補正する。

詳細については、補足説明資料2で説明する。

その内容を第2編 デブリ模擬炉心(1)の添付書類に追加して補正する。

設工認申請書第1編 実験用装荷物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、その水分率を記載(赤破線部)し、補足説明資料2の内容を第2編 デブリ模擬炉心(1)の添付書類に追加して補正する。

コンクリートの設計仕様

名称		デブリ構造材模擬体 (コンクリート)
型式		棒状形状
主要寸法	被覆管外径	9.5 mm
	被覆管内径	7.5 mm
	全長	1500 mm
主要材料	被覆管	アルミニウム合金 ^{*1}
	上部端栓	アルミニウム合金 ^{*2}
	下部端栓	アルミニウム合金 ^{*2}
	コンクリート	水分率 9 wt% ^{*3}
本数		70 本

*1 JIS H 4080相当

*2 JIS H 4000相当

*3 臨界安全ハンドブックの標準組成

<指摘事項 No.7>

コンクリートの組成が具体的に示されていない。STACYの反応度は燃料棒周りの水素原子の量に影響されると理解している。コンクリート中の水素原子の量及びその範囲について上限値などを示すこと。

<回答>

コンクリートの組成が反応度に与える影響は、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、第1編 実験用装荷物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。

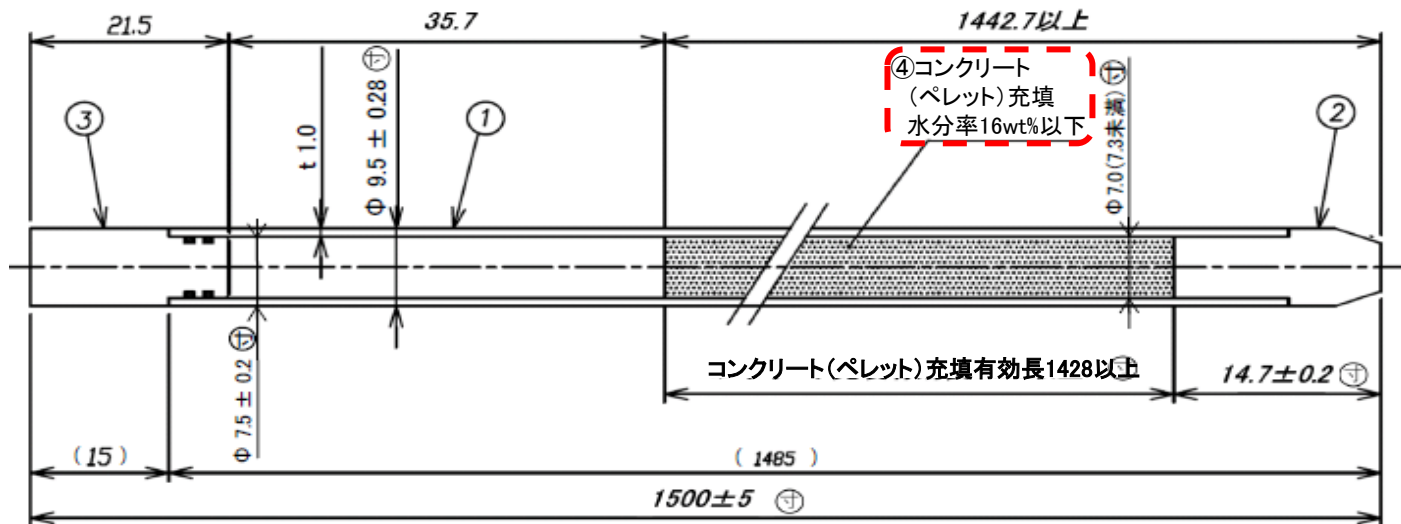
その内容を第2編 デブリ模擬炉心(1)の添付書類に追加して補正する。

設工認申請書第1編 実験用装荷物の本文構造図に水分率の上限を記載(赤破線部)し、補足説明資料2の内容を第2編 デブリ模擬炉心(1)の添付書類に追加して補正する。

(参考)コンクリートの水分量

部品番号	部品名	材質
1	被覆管	アルミニウム合金
2	下部端栓	アルミニウム合金
3	上部端栓	アルミニウム合金
4	コンクリート(ペレット)	コンクリート

組成	水分量 w (g/cm ³)	水分以外の組成 o (g/cm ³)	水分率 w/(w+o) (wt%)
標準組成	0.206	2.094	9.0
水分量0.5倍	0.103	2.094	4.7
水分量2.0倍	0.412	2.094	16.4



⊕ : 寸法検査対象箇所

デブリ構造材模擬体(コンクリート)構造図