

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)

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

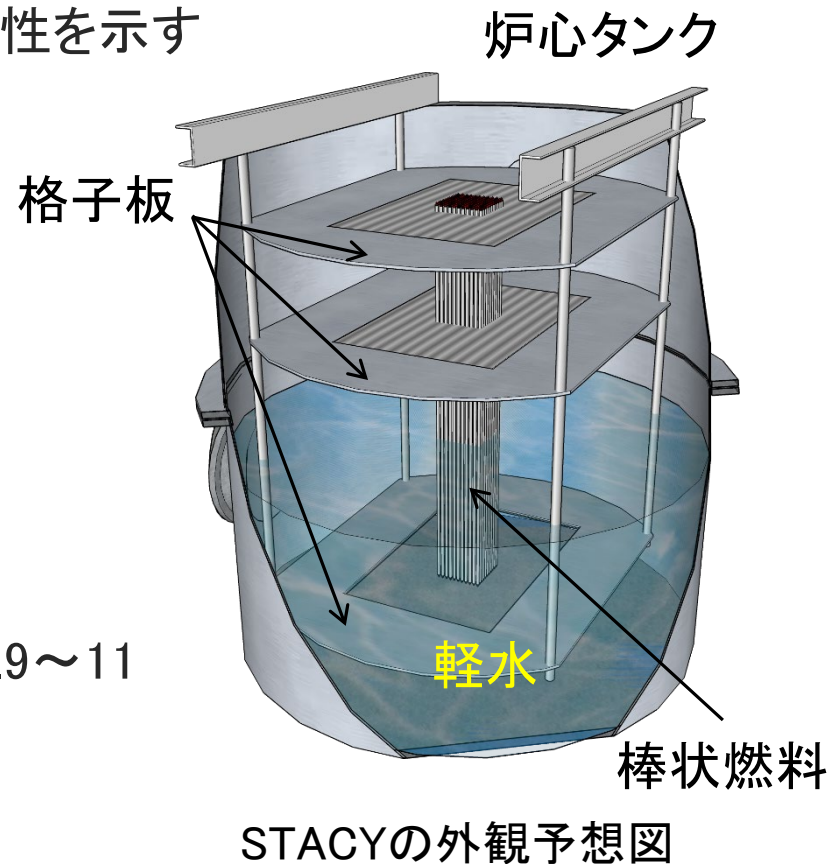
令和4年12月23日

➤ 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の概要

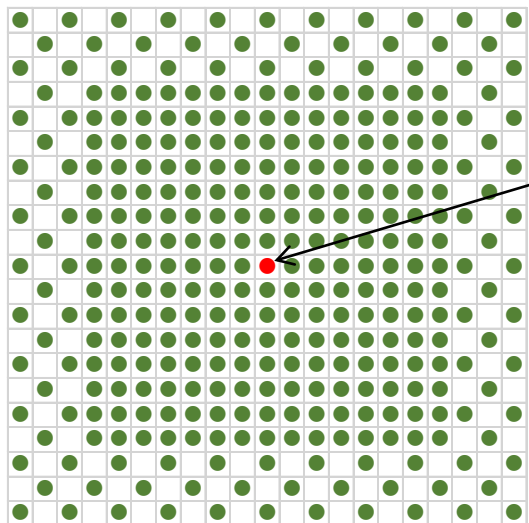
- ^{235}U 濃縮度10wt.%以下の UO_2 燃料
- 軽水減速開放タンク型
- ペレット直径 約0.82 cm
- 被覆管直径 約0.95 cm
- 臨界水位 40～140 cm
- 減速条件 (水対燃料体積比(V_m/V_f)) 0.9～11



主な実験の一覧

実験内容	実験目的	実験手順	実施予定時期
性能確認実験 (+習熟運転)	STACY固有の不確かさを確認	<ul style="list-style-type: none"> ・臨界水位を変えながら水位反応度係数を測定 ・計算解析との整合性を確認、実験不確かさ、実験バイアスを決定 	令和6年度
燃料デブリ模擬体反応度測定	酸化物系燃料デブリの臨界特性評価	<ul style="list-style-type: none"> ・炉心中央の棒状燃料を燃料試料挿入管(ウラン酸化物を封入)と置換する ・置換反応度を臨界水位差で測定 ・計算解析との整合性(コード、核データ)確認 	令和6年度
構造材棒を用いた全長デブリ模擬	燃料デブリの中性子減速条件による特性評価	<ul style="list-style-type: none"> ・棒状燃料とデブリ構造材模擬体を混在させて炉心を構成 ・実験解析を行い、コンクリートでの中性子減速、鉄での中性子吸収など確認 	令和6年度
ボロン注入実験	燃料デブリに中性子吸収体を投入した際の臨界防止効果を確認	<ul style="list-style-type: none"> ・減速材にボロンを添加する 	令和6年度
軸方向Flux分布測定	中性子束分布を実測し、試料の照射条件を評価する	<ul style="list-style-type: none"> ・炉心の任意の位置で軸方向及び径方向に内挿管に入れた放射化検出器を用いて中性子束を実測 ・Cd比の測定により熱中性子束の分布も実測 	令和6年度

1. 実験目的: 原子炉圧力容器/原子炉格納容器底部の酸化物系燃料デブリの臨界特性評価
2. 実験体系: 円筒或いは矩形炉心、**燃料試料挿入管** (ウラン酸化物を封入。実験計画に応じて中性子毒物、構造材模擬材 (軽水炉等の構造材) を添加する。)
3. 実験手順及び概要図:
 - 炉心中央の棒状燃料を**燃料試料挿入管**と置換する
 - 置換反応度を臨界水位差で測定
 - 計算解析との整合性 (コード、核データ) 確認



燃料試料挿入管

1.27 cm 2領域炉心の例

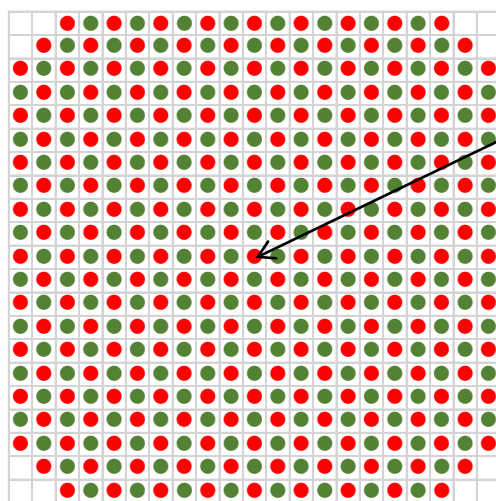


ウラン酸化物

燃料試料挿入管

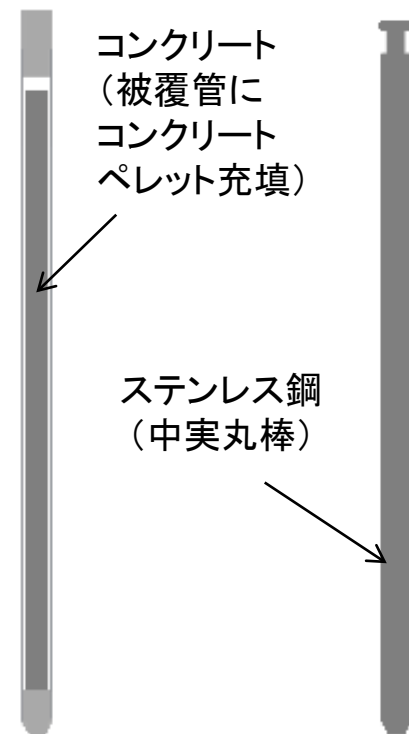
構造材棒を用いた全長デブリ模擬

1. 実験目的: 燃料デブリの中性子減速条件による特性評価
2. 実験体系: 円筒或いは矩形炉心、コンクリートやステンレス鋼を模した多数の**デブリ構造材模擬体**、水割合の変更
3. 実験手順及び概要図:
 - 棒状燃料と**デブリ構造材模擬体**を混在させて炉心を構成
 - 実験解析を行い、コンクリートでの中性子減速、ステンレス鋼での中性子吸収など確認



・棒状燃料と**デブリ構造材模擬体**を混在させて燃料デブリを模擬
・燃料デブリ周囲の中性子減速条件を炉心の水割合の調整で実現 (格子板、水穴)

● **デブリ構造材模擬体**
● 棒状燃料



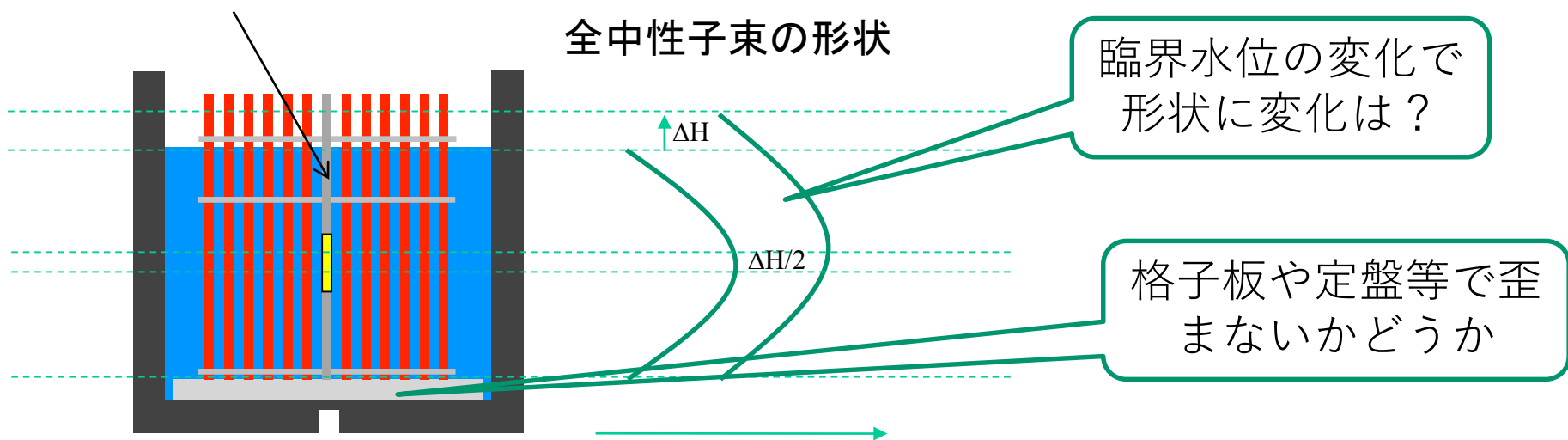
デブリ構造材模擬体

デブリ構造材模擬体を混ぜた炉心の例

1. 実験目的: 中性子束分布を実測し、試料の照射条件を評価する
2. 実験体系: **内挿管**に入れた放射化検出器
3. 実験手順及び概要図:
 - 炉心の任意の位置で軸方向及び径方向に**内挿管**に入れた放射化検出器を用いて中性子束を実測
 - Cd比の測定により熱中性子束の分布も実測

内挿管
(上部開放のさや管)

全中性子束の形状



臨界水位の変化で
形状に変化は？

格子板や定盤等で歪
まないかどうか

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

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

(設工認申請状況)

既認可: g

本設工認申請: c、e、f

令和7年度以降に申請予定: a,b,d

※hについては、それ自体の設工認申請ではなく、各種「炉心」の設工認申請で可溶性中性子吸収材を用いる炉心として認可を取得する。

設工認[STACYの更新(第3回申請)]にて、「基本炉心(1)」として認可取得済み。

本設工認申請第2編の「デブリ模擬炉心(1)」も同様に可溶性中性子吸収材を用いる炉心として認可申請する。

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。

名称	デブリ構造材模擬体 燃料試料挿入管 内挿管
機器種別	—
耐震クラス	B
最高使用圧力	静水頭(2.0 m)
最高使用温度	80 °C

設計仕様(デブリ構造材模擬体)

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

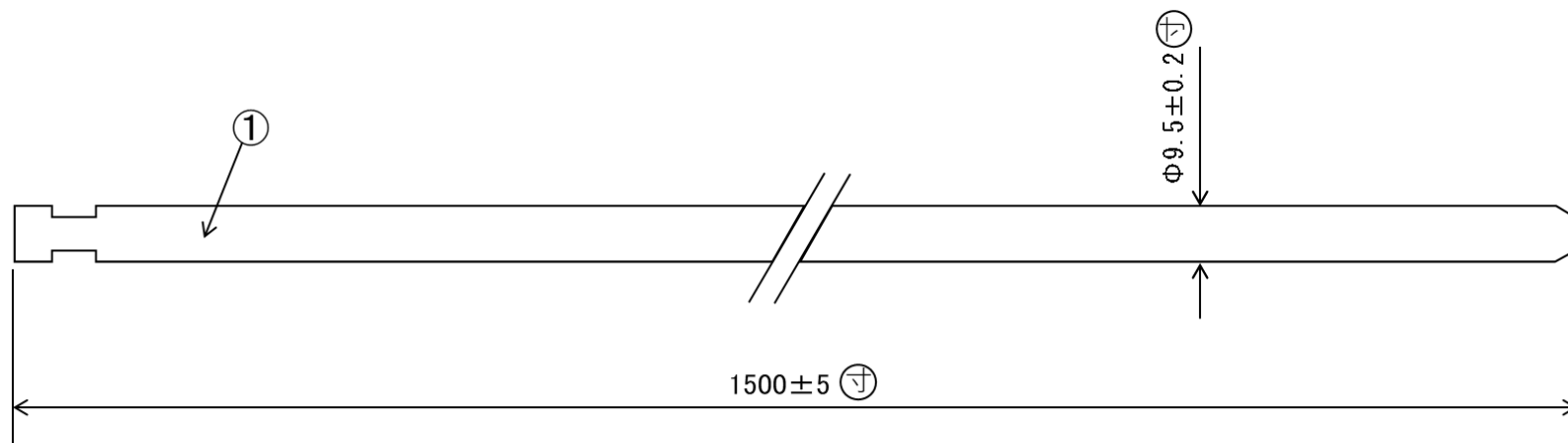
* 1 JIS H 4080相当

* 2 JIS H 4040相当

* 3 JIS H 2105相当

部品番号	部品名	材質
1	SUS棒	SUS304

⊕ : 寸法検査対象箇所

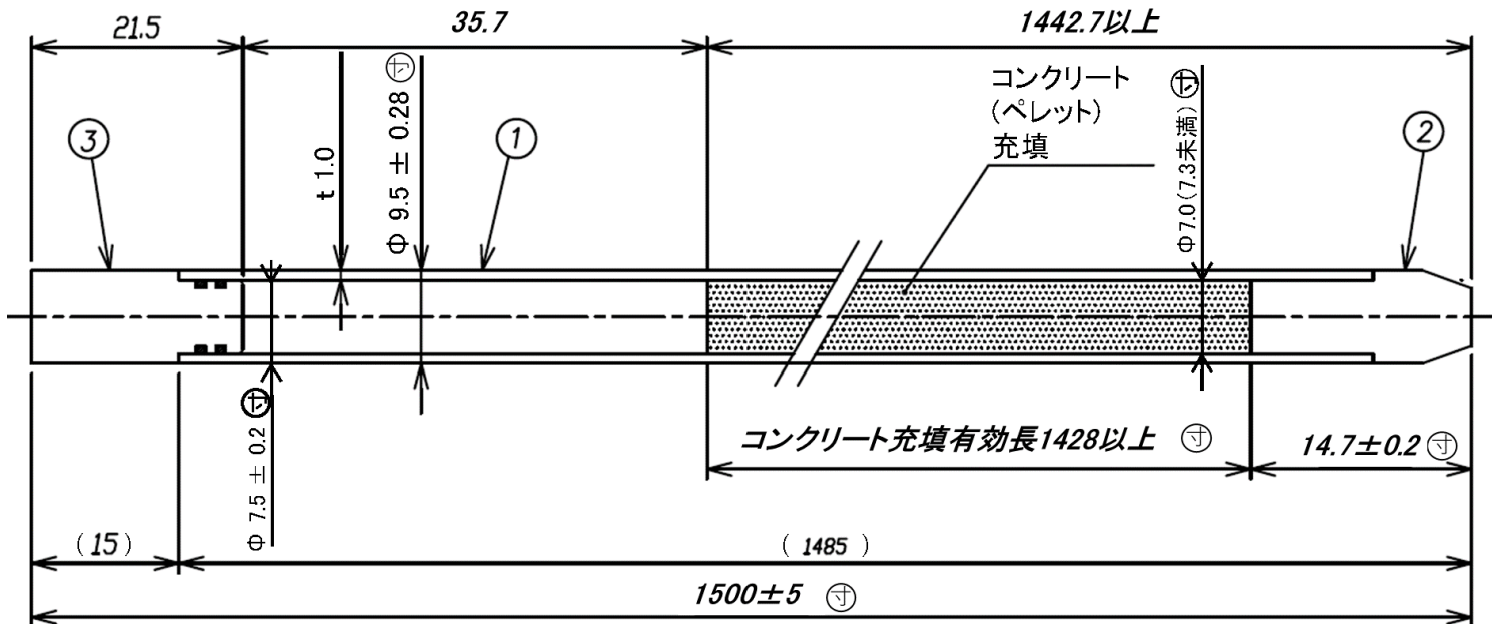


デブリ構造材模擬体(鉄)の構造図

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	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

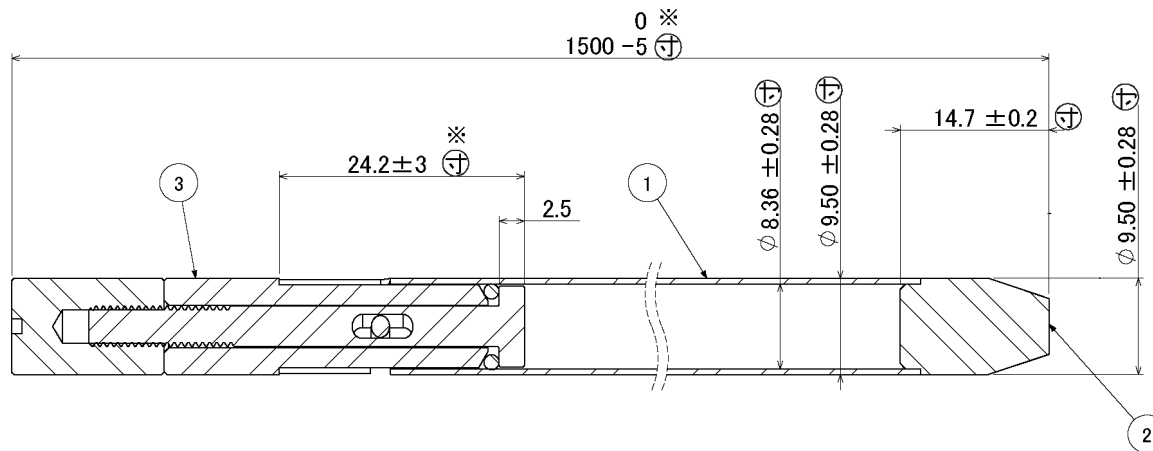


デブリ構造材模擬体(コンクリート)の構造図

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

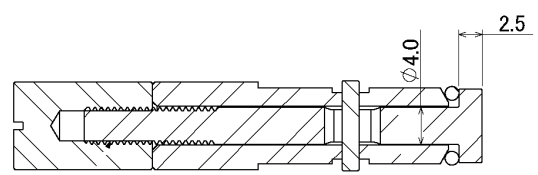
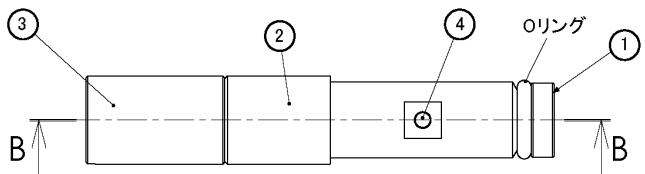
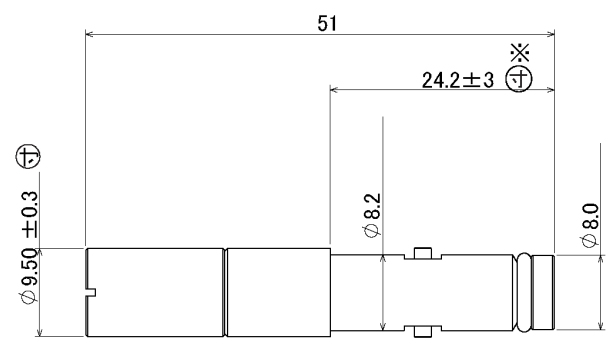
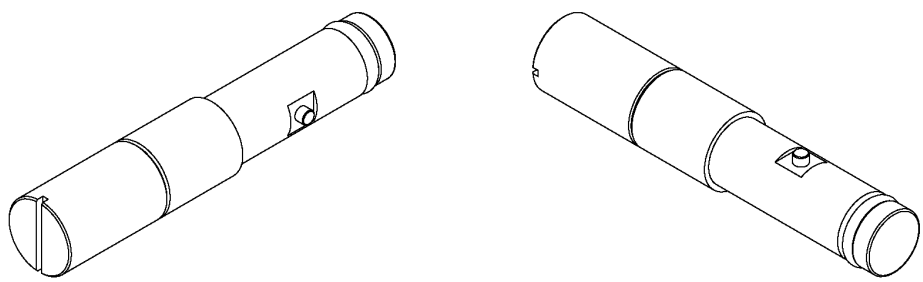


燃料試料挿入管の構造図

燃料試料挿入管(上部端栓)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



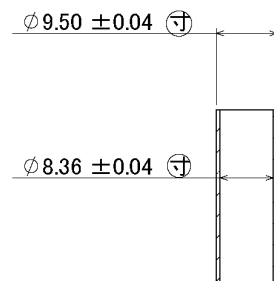
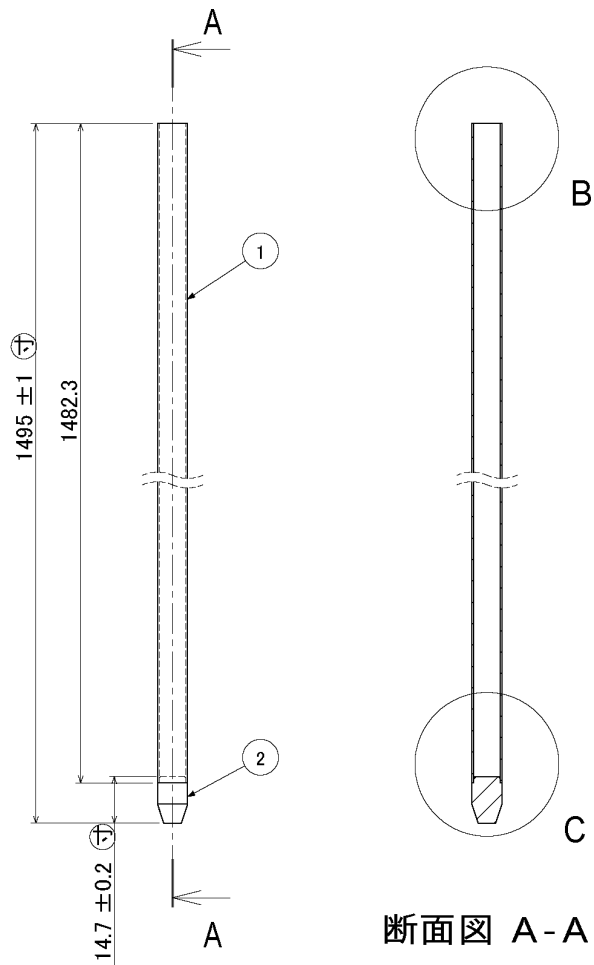
断面図 B-B

燃料試料挿入管の構造図

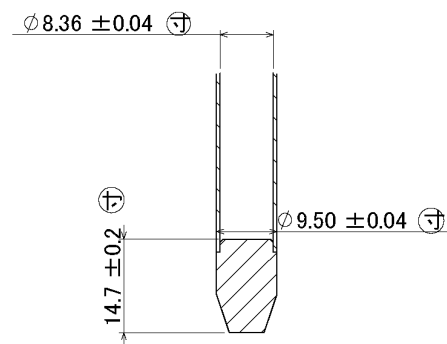
内挿管(細)の構造図

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

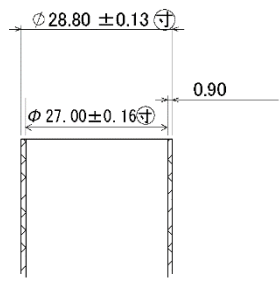
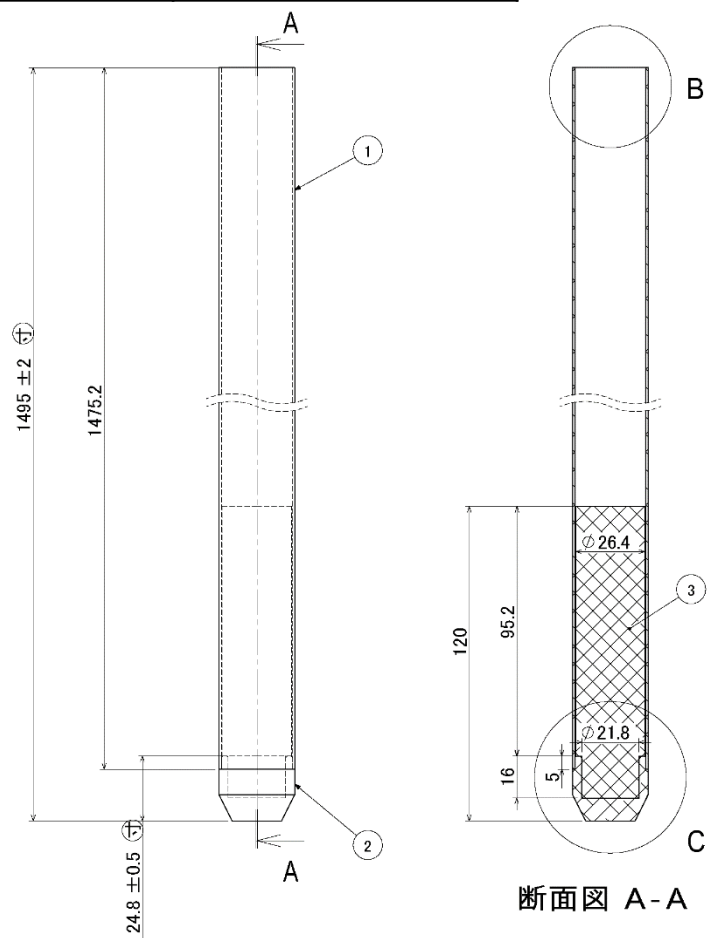


詳細図 C

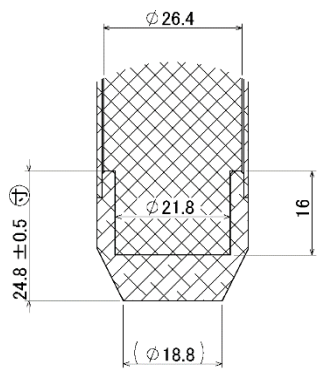
内挿管(太)の構造図

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

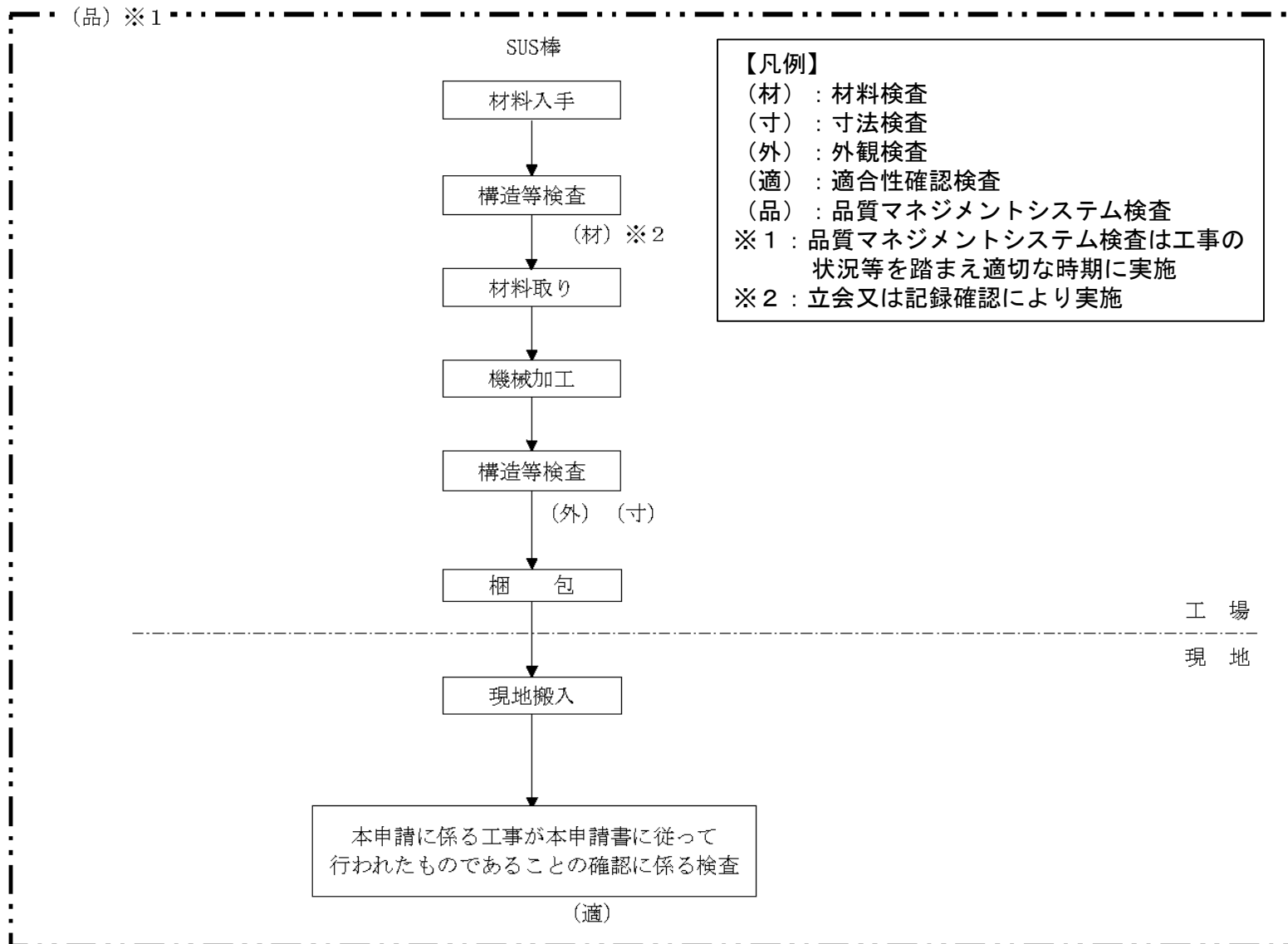
寸 : 寸法検査対象箇所



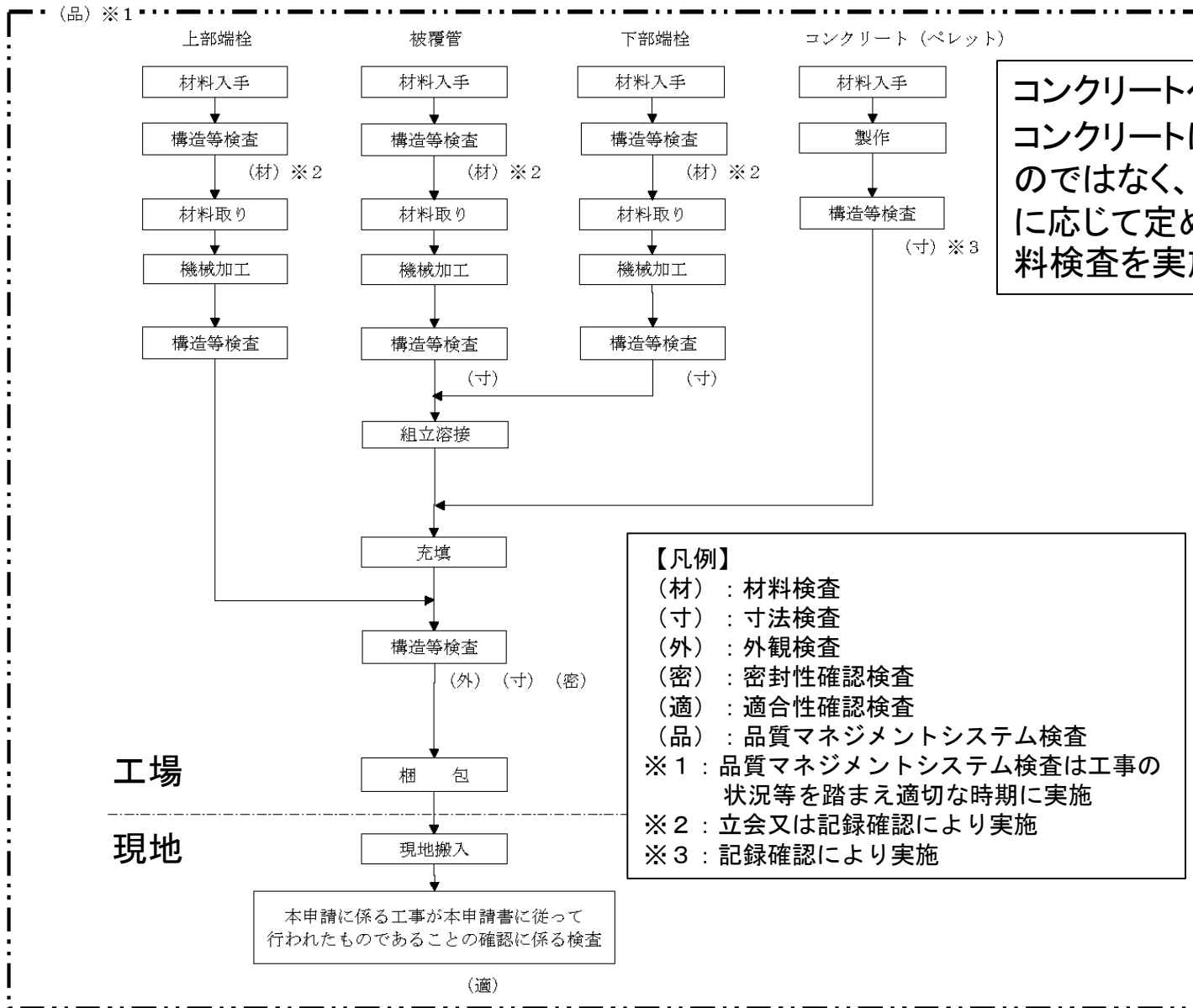
詳細図 B



詳細図 C

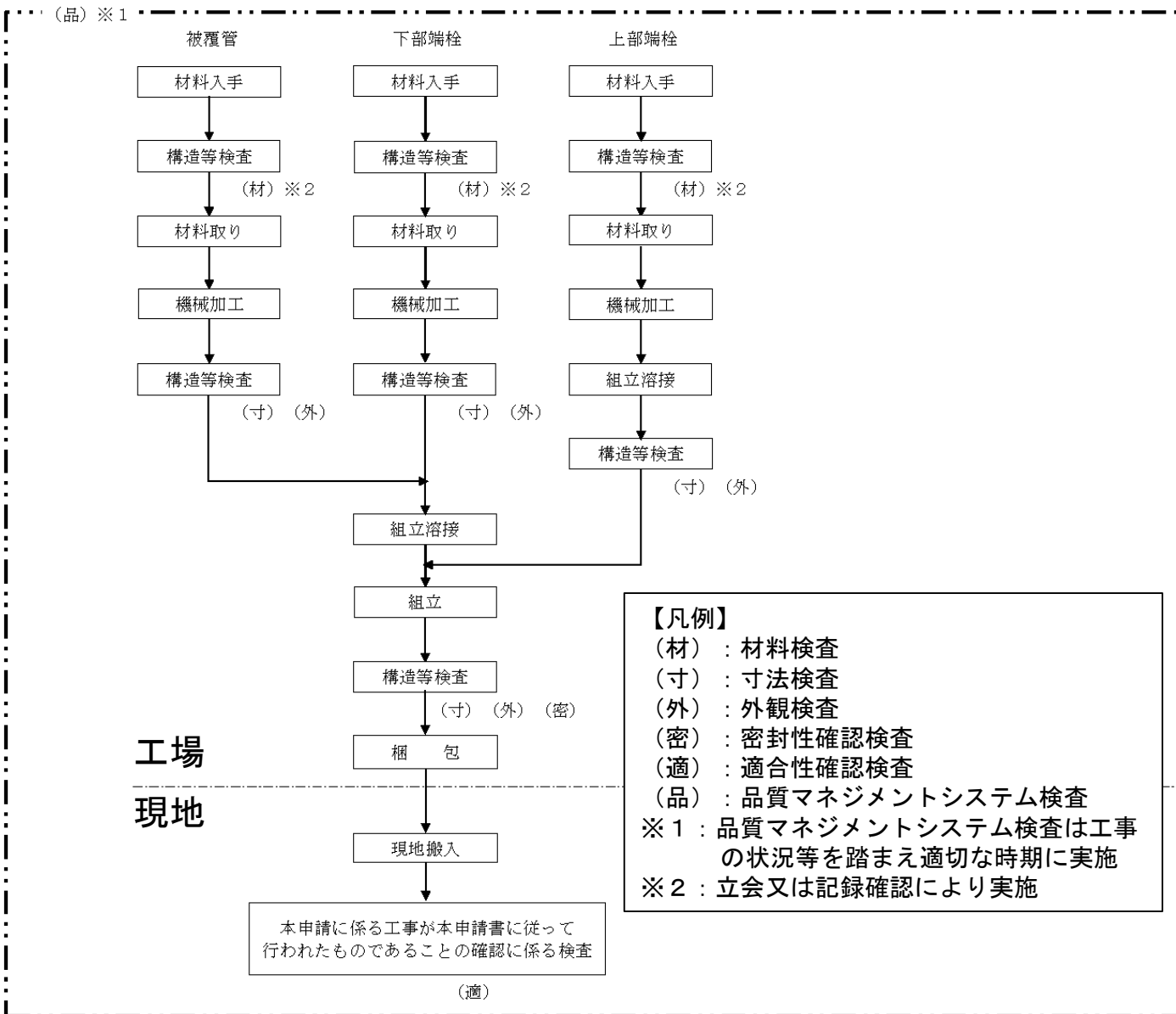


デブリ構造材模擬体(コンクリート)の工事フロー



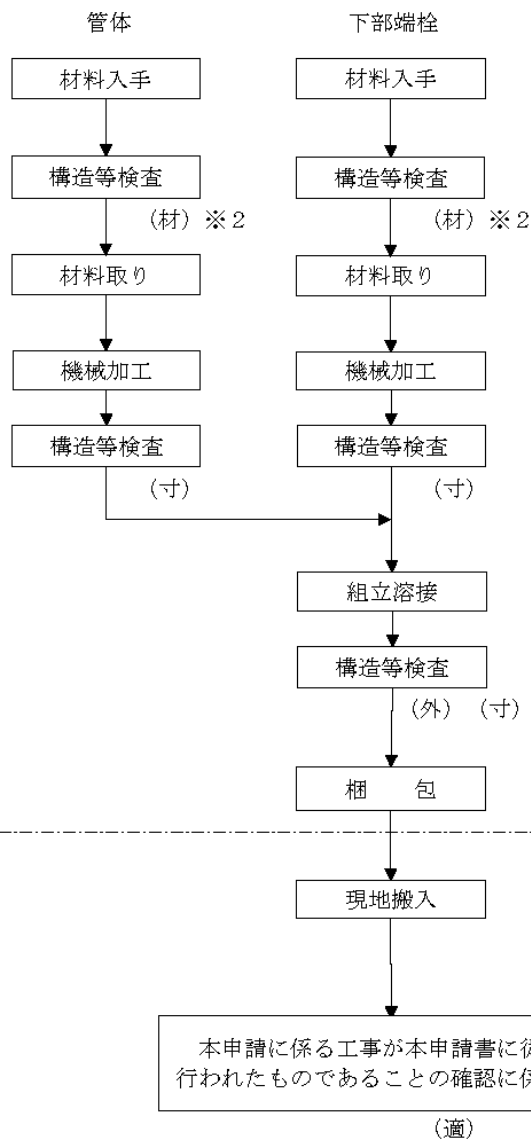
コンクリートペレットについて、
コンクリートは強度を要求するもの
ではなく、その組成は実験目的
に応じて定めるものであるため材
料検査を実施しないこととした。

燃料試料挿入管の工事フロー



内挿管(細)の工事フロー

(品) ※1

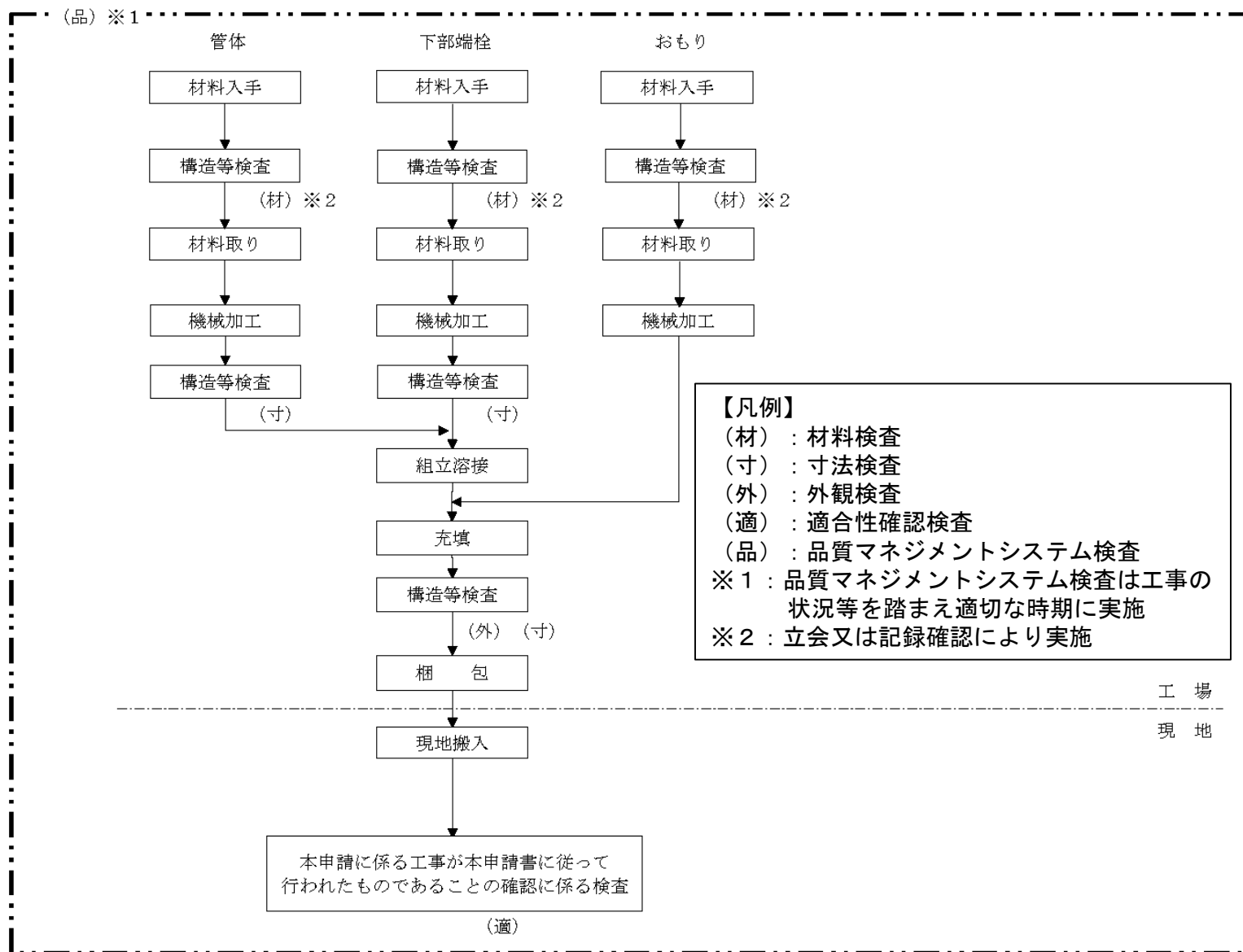


【凡例】

- (材) : 材料検査
- (寸) : 寸法検査
- (外) : 外観検査
- (適) : 適合性確認検査
- (品) : 品質マネジメントシステム検査
- ※1 : 品質マネジメントシステム検査は工事の状況等を踏まえ適切な時期に実施
- ※2 : 立会又は記録確認により実施

工場
現地

内挿管(太)の工事フロー



検査項目	内 容
材料検査	材料検査成績証明書等により、検査対象の材料が設計仕様を満足することを確認する。
寸法検査	必要な寸法を鋼尺、巻尺、ノギス等の器具を用いて実測し、許容値内であることを確認する。実測が困難である場合は、間接的方法(実測可能な測定値からの計算)で行う。
外観検査	目視により外観を確認し、構造上有害な傷、割れ及び変形がないことを確認する。
密封性確認検査	デブリ構造材模擬体の下部端栓並びに燃料試料挿入管の上部及び下部端栓については、ヘリウムリーク法又は発泡法により、静水頭(2.0m)相当圧力に対し、漏れ及び変形等の異常が無いことを確認する。若しくは、静水頭(2.0m)以上の圧力条件下で、水が浸入しないこと及び変形等の異常が無いことを確認する。
適合性確認検査	申請書の「設計及び工事の方法」に従って行われ、下記の技術基準規則への適合性が確認されていることを、記録等により確認する。
品質マネジメントシステム検査	「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」に従って工事及び検査に係る保安活動が行われていることを、記録等により確認する。

技術基準規則の条項		説明の 必要性 の有無*1	適合性
第1条	適用範囲	第1項	
第2条	定義	第1項 第2項	
第3条	特殊な設計による 試験研究用等原子 炉施設	第1項	— STACY施設は特殊な設計による試験研究用等原子炉施設ではないため該当なし。
		第2項	—
第4条	廃止措置中の試験 研究用等原子炉施設 の維持	第1項	— STACY施設は廃止措置中の試験研究用等原子炉施設ではないため該当なし。
第5条	試験研究用等原子 炉施設の地盤	第1項	× 申請設備は施設(建家)ではないため該当なし。
第6条	地震による損傷の 防止	第1項	○ p.27に示す。
		第2項	— STACY施設は耐震重要施設を有しないため該当なし。
		第3項	—
第7条	津波による損傷の 防止	第1項	— STACY施設は津波が到達する施設ではないため該当なし。
第8条	外部からの衝撃に よる損傷の防止	第1項	○ p.27に示す。
		第2項	○
		第3項	— STACY施設は船舶に設置しないため該当なし。
		第4項	— 航空機落下は「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」(平成21・06・25原院第1号)等に基づき評価した結果、防護措置の要否を判断する基準を超えていないことについて設置(変更)許可を受けているため該当なし。
第9条	試験研究用等原子 炉施設への人の不法 な侵入等の防止	第1項	× 申請設備は工場等、施設ではないため該当なし。
第10条	試験研究用等原子 炉施設の機能	第1項	× 申請設備は反応度を制御する設備ではないため該当なし。
		第2項	— STACY施設は船舶に設置しないため該当なし。
第11条	機能の確認等	第1項	○ p.27に示す。
第12条	材料及び構造	第1項	× 「試験研究用等原子炉施設に関する構造等の技術基準」(15科原安第13号)により実験設備は機器種別がなく、また、圧力環境下で使用する設備ではないため該当なし。
		第2項	×
		第3項	×

技術基準規則の条項		説明の 必要性 の有無*1	適合性
第13条	安全弁等	第1項	× 申請設備は安全弁等ではないため該当なし。
第14条	逆止め弁	第1項	× 申請設備は逆止め弁ではないため該当なし。
第15条	放射性物質による 汚染の防止	第1項	×
		第2項	×
		第3項	×
		第4項	×
第16条	遮蔽等	第1項	× 遮蔽設備、遮蔽性能は原子炉建家(炉室の壁、床、天井)で担保されるため該当なし。
		第2項	×
第17条	換気設備	第1項	× 申請設備は換気設備ではないため該当なし。
第18条	適用	第1項	
第19条	溢水による損傷の 防止	第1項	× 申請設備は溢水により安全性を損なうおそれがないため該当なし。申請設備は放射性物質を含む液体を取り扱う設備ではないため該当なし。
		第2項	×
第20条	安全避難通路等	第1項	× 申請設備は安全避難通路ではないため該当なし。
第21条	安全設備	第1項	×
		第2項	×
		第3項	×
		第4項	×
		第5項	×
		第6項	×
第22条	炉心等	第1項	×
		第2項	×
		第3項	×
第23条	熱遮蔽材	第1項	— STACY施設は熱遮蔽材を有しないため該当なし。
第24条	一次冷却材	第1項	— STACY施設は一次冷却材を有しないため該当なし。

*1: 凡例

- : 当該条項の要求事項に適合すべき設備等がSTACY施設に無いことを示す。
- : 当該条項の要求事項に適合すべき設備であり適合性説明を要することを示す。
- × : 当該条項の要求事項に適合すべき設備でなく適合性説明を要しないことを示す。

技術基準規則の条項		説明の 必要性の 有無*1	適合性
第25条	核燃料物質取扱設備	第1項	STACY施設は核燃料物質取扱設備を有しないため該当なし。
		第2項	
		第3項	
		第4項	
		第5項	
		第6項	
		第7項	
		第8項	
第26条	核燃料物質貯蔵設備	第1項	申請設備は核燃料物質貯蔵設備ではないため該当なし。
		第2項	
第27条	一次冷却材処理装置	第1項	STACY施設は一次冷却材処理装置を有しないため該当なし。
第28条	冷却設備等	第1項	STACY施設は冷却設備等を有しないため該当なし。
		第2項	
		第3項	
		第4項	
		第5項	
		第6項	
		第7項	
第29条	液位の保持等	第1項	STACY施設は一次冷却材を有しないため該当なし。
		第2項	
第30条	計測設備	第1項	申請設備は計測設備ではないため該当なし。
第31条	放射線管理施設	第1項	申請設備は放射線管理施設ではないため該当なし。
第32条	安全保護回路	第1項	申請設備は安全保護回路ではないため該当なし。
第33条	反応度制御系統及び原子炉停止系統	第1項	申請設備は反応度制御系統及び原子炉停止系統ではないため該当なし。
		第2項	
		第3項	
		第4項	
		第5項	
		第6項	
第34条	原子炉制御室等	第1項	申請設備は原子炉制御室等ではないため該当なし。
		第2項	
		第3項	
		第4項	
		第5項	
第35条	廃棄物処理設備	第1項	申請設備は廃棄物処理設備ではないため該当なし。
		第2項	

技術基準規則の条項		説明の 必要性の 有無*1	適合性
第36条	保管廃棄設備	第1項	申請設備は保管廃棄設備ではないため該当なし。
		第2項	
		第3項	
第37条	原子炉格納施設	第1項	申請設備は原子炉格納施設ではないため該当なし。
第38条	実験設備等	第1項	p.28に示す。
第39条	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止	第1項	STACY施設は中出力炉又は高出力炉ではないため該当なし。
		第2項	
第40条	保安電源設備	第1項	申請設備は保安電源設備ではないため該当なし。
		第2項	
		第3項	
第41条	警報装置	第1項	申請設備は警報装置ではないため該当なし。
第42条	通信連絡設備等	第1項 第2項	申請設備は通信連絡設備等ではないため該当なし。
第43条 ～ 第52条	第三章 研究開発段階原子炉に係る試験研究用等原子炉施設に関する条項	—	STACY施設は研究開発段階原子炉ではないため該当なし。
第53条 ～ 第59条	第四章 ガス冷却型原子炉に係る試験研究用等原子炉施設に関する条項	—	STACY施設はガス冷却型原子炉ではないため該当なし。
第60条 ～ 第70条	第五章 ナトリウム冷却型高速炉に係る試験研究用等原子炉施設に関する条項	—	STACY施設はナトリウム冷却型高速炉ではないため該当なし。
第71条	第六章 雑則	—	

*1: 凡例

- : 当該条項の要求事項に適合すべき設備等がSTACY施設に無いことを示す。
- : 当該条項の要求事項に適合すべき設備であり適合性説明を要することを示す。
- ×: 当該条項の要求事項に適合すべき設備でなく適合性説明を要しないことを示す。

第6条(地震による損傷の防止)

第1項

- 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に設計する。

第8条(外部からの衝撃による損傷の防止)

第1項及び第2項

- 自然現象及び外部からの衝撃による影響を受けないよう設計された原子炉建家に内包される設計となっている。
 - * : 実験設備は実験棟Aに内包されるため適合性説明を省略する。なお、外部事象による損傷の防止についての説明は、設工認申請書[STACYの更新(第4回申請)]のとおり。

第11条(機能の確認等)

第1項

- 必要な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を実施できるよう、外観の確認ができる設計とする。

第38条(実験設備等)

第1項第1号

- 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。)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設計とする。

第1項第2号

- 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設計とする。

第1項第3号

- 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。

第1項第4号

- 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設計とする。

第1項第5号

- 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とする。

原子炉設置許可申請書(抜粋)

設工認申請書(抜粋)

【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℃

【添付書類八】

1.3 耐震設計方針

第1.3-1表(1) STACY施設の耐震重要度分類

耐震クラス	クラス別設備	設備等名称			当該設備を支持する建物・構築物	支持機能を確保する地震動	備考	
		主要設備 ^{※1}	クラス	支援設備 ^{※2}				
B	STACYの緊急停止のために急激に負の応度を添加するための設備、及びSTACYの停止状態を維持するための設備	計測制御系統施設 (安全板駆動装置、急速排水弁、低速給水吐出弁、低速流量調整弁、低速給水バイパス弁)	B	安全保護回路	B	炉下室	S _B ^{※3}	
		計測制御系統施設 (最大給水制限スイッチ ^{※1} 、給水停止スイッチ ^{※1} 、排水開始スイッチ ^{※1} 、安全保護系の核計装設備) 炉心タンク格納箱 ^{※1}	B	—	—	炉室	S _B ^{※3}	*1 駆動軸を除く。 *2 炉心タンク内又は炉心上方に固定するもの。
	放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した設備で、その破損により、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある設備	核燃料物質貯蔵設備 (Pu保管ピット本体)	B	—	—	実験棟A	S _B ^{※3}	

※1 当該機能に直接的に関連する系統・設備。

※2 当該機能に間接的に関連し、主要設備の支援的役割を持つもの。

※3 地上部分では「建築基準法施行令」より求まる層せん断力係数に係数1.5を、地下部分では水平震度係数1.5を乗じて得られる静的地震力。

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
 0. 実験用装荷物
 3. 設計
 3.1 設計条件

名称	デブリ構造材模擬体
機器種別	—
耐震クラス	B
最高使用圧力	静水頭(2.0 m)
最高使用温度	80℃

名称	燃料試料挿入管
機器種別	—
耐震クラス	B
最高使用圧力	静水頭(2.0 m)
最高使用温度	80℃

名称	内挿管
機器種別	—
耐震クラス	B
最高使用圧力	静水頭(2.0 m)
最高使用温度	80℃

原子炉設置許可申請書(抜粋)

【本文】

又 その他試験研究用等原子炉の附属施設の構造及び設備

(2) 主要な実験設備の構造

(i) 実験用装荷物 (省略)

c. デブリ構造材模擬体

種類 アルミニウム合金、ジルコニウム合金、鉄その他の金属、コンクリートその他の原子炉施設及び核燃料サイクル施設の構造材料又はそれらの混合物(実験計画に応じて中性子毒物を添加する。)

構造棒状 (コンクリート等で構造維持上必要な場合は、金属で被覆する。)

設置方法 格子板に配列中性子毒物 ガドリニウム、サマリウム、ボロンその他の中性子吸収材(添加する場合)

設工認申請書(抜粋)

3. 2 設計仕様

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

原子炉設置許可申請書(抜粋)

【本文】

又その他試験研究用等原子炉の附属施設の構造及び設備

(2) 主要な実験設備の構造

(i) 実験用装荷物 (省略)

e. 燃料試料挿入管

構造 脱着式端栓を備えた円筒形被覆管(内部に単一種類又は複数種類のウラン酸化物を充填して炉心に装荷する。ウラン酸化物には実験計画に応じて中性子毒物、構造材模擬材を添加する。)

設置方法 格子板に配列

²³⁵U濃縮度 10wt%以下

中性子毒物 ガドリニウム、エルビウム、サマリウム、ボロンその他の中性子吸収材(添加する場合)ただし、炉心に装荷する中性子毒物添加量(棒状燃料を含む。)は、炉心に装荷する総ウラン重量(棒状燃料を含む。)の1/100を超えないこと。

構造材模擬材 アルミニウム合金、ジルコニウム合金、鉄、コンクリートその他の原子炉施設及び核燃料サイクル施設の構造材料(添加する場合)

被覆管材料 アルミニウム合金、ジルコニウム合金又はステンレス鋼

炉心装荷量 燃料試料挿入管に含まれる²³⁵Uの重量が炉心装荷総²³⁵U重量の5/100以下

設工認申請書(抜粋)

3.2 設計仕様

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

原子炉設置許可申請書(抜粋)

【本文】

又 その他試験研究用等原子炉の附属施設の構造及び設備

(2) 主要な実験設備の構造

(i) 実験用装荷物 (省略)

f. 内挿管

核的制限 反応度価値 合計0.3ドル以下

(浸水による置換反応度。同時に設置する全内挿管及び可動装荷物駆動装置の反応度価値を含む。)

種類 アルミニウム合金、ジルコニウム合金、ステンレス鋼
その他の金属又はそれらにボロン、カドミウム、ハフニウムその他の中性子吸収材を含有若しくは付加させたもの

構造 中空パイプ状又はそれを組み合わせたもの

設置方法 格子板に配列

設工認申請書(抜粋)

3. 2 設計仕様

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

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 4751相当

*1 JIS H 4080相当

*2 JIS H 4040相当

*3 JIS H 2105相当

適合性

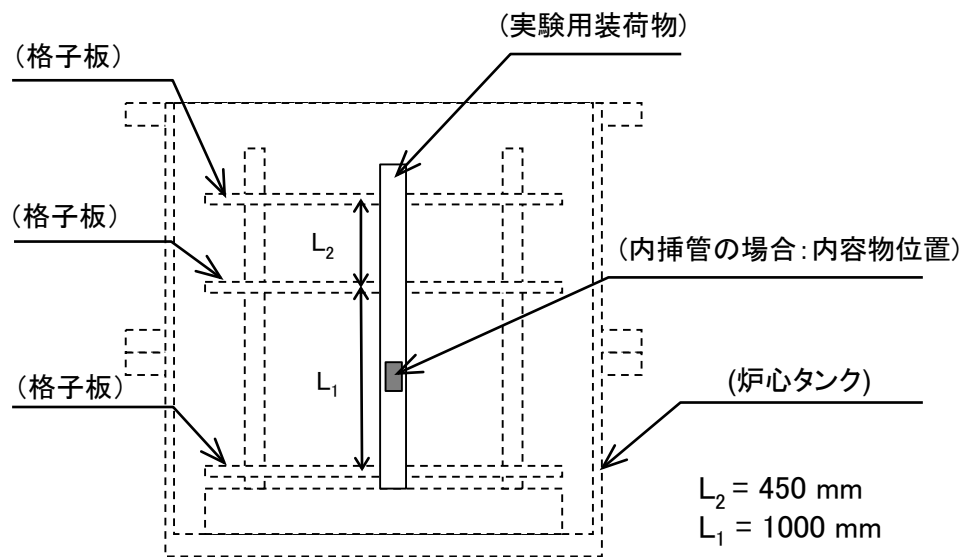
- 技術基準規則第6条第1項の要求に適合するよう、実験用装荷物は、これに作用する地震力による損壊により公衆に放射線障害を及ぼすことがないよう設計する。

基本方針

- 実験用装荷物は、重要度に応じて算定したBクラスの静的地震力を用いて耐震設計を行う。
- なお、デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管は、支持構造物に固定されていないため、共振するおそれはない。

応力評価

- 実験用装荷物の被覆管及び内容物の重量は、実機よりも重くすることで計算結果に保守性を持たせる。
- 曲げモーメントの計算は、最大曲げモーメントが発生する L_1 部分を分布荷重の単純はりモデルとして行う。
- 内挿管については内容物(検出器等)の挿入高さ位置が可変であるため、内容物を集中荷重として曲げモーメントを算出し、分布荷重(被覆管)で算出した曲げモーメントに加えることとする。



実験用装荷物の概略図及び計算モデル

実験用装荷物の許容応力

応力の分類	許容応力*
一次一般膜応力	S_y と S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値
一次応力	S_y

* : 許容応力は第4種容器の値とする。

実験用装荷物の評価結果

(MPa)

機器名	応力	算出応力	許容応力
デブリ構造材模擬体 (鉄)	一次一般膜	6	178
	一次	6	178
デブリ構造材模擬体 (コンクリート)	一次一般膜	9	55
	一次	9	55
燃料試料挿入管	一次一般膜	16	248
	一次	16	310
内挿管(細)	一次一般膜	35	248
	一次	35	310
内挿管(太)	一次一般膜	6	55
	一次	6	55

実験用装荷物に発生する応力は全て許容応力以下である。

適合性

- 技術基準規則第38条第1号に適合するよう、デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管を炉心に挿入する場合には、地震により破損し炉心タンクや棒状燃料に損傷を与え原子炉施設の安全性を損なうことがないよう、適切な耐震強度を有する設計とする。
- 技術基準規則第38条第2号に適合するよう、デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管を炉心に装荷する際は、**保安規定に基づき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。
- 技術基準規則第38条第3号に適合するよう、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。また、内挿管に挿入する核燃料物質及び放射性物質は、密封したものとすることを遵守する。なお、デブリ構造材模擬体は放射性物質を含まない設計のため、本号の適用は不要である。

適合性

- 技術基準規則第38条第4号に適合するよう、デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管は、その装荷状態を制御室からTVモニターにより監視できる設計とする。
- 技術基準規則第38条第5号に適合するよう、デブリ構造材模擬体、燃料試料挿入管及び内挿管が設置される炉室(S)と制御室間の連絡は、ページング装置により行うことができる設計とする。

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。

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

設置変更許可申請書に定めた炉心特性の範囲で運転する。

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

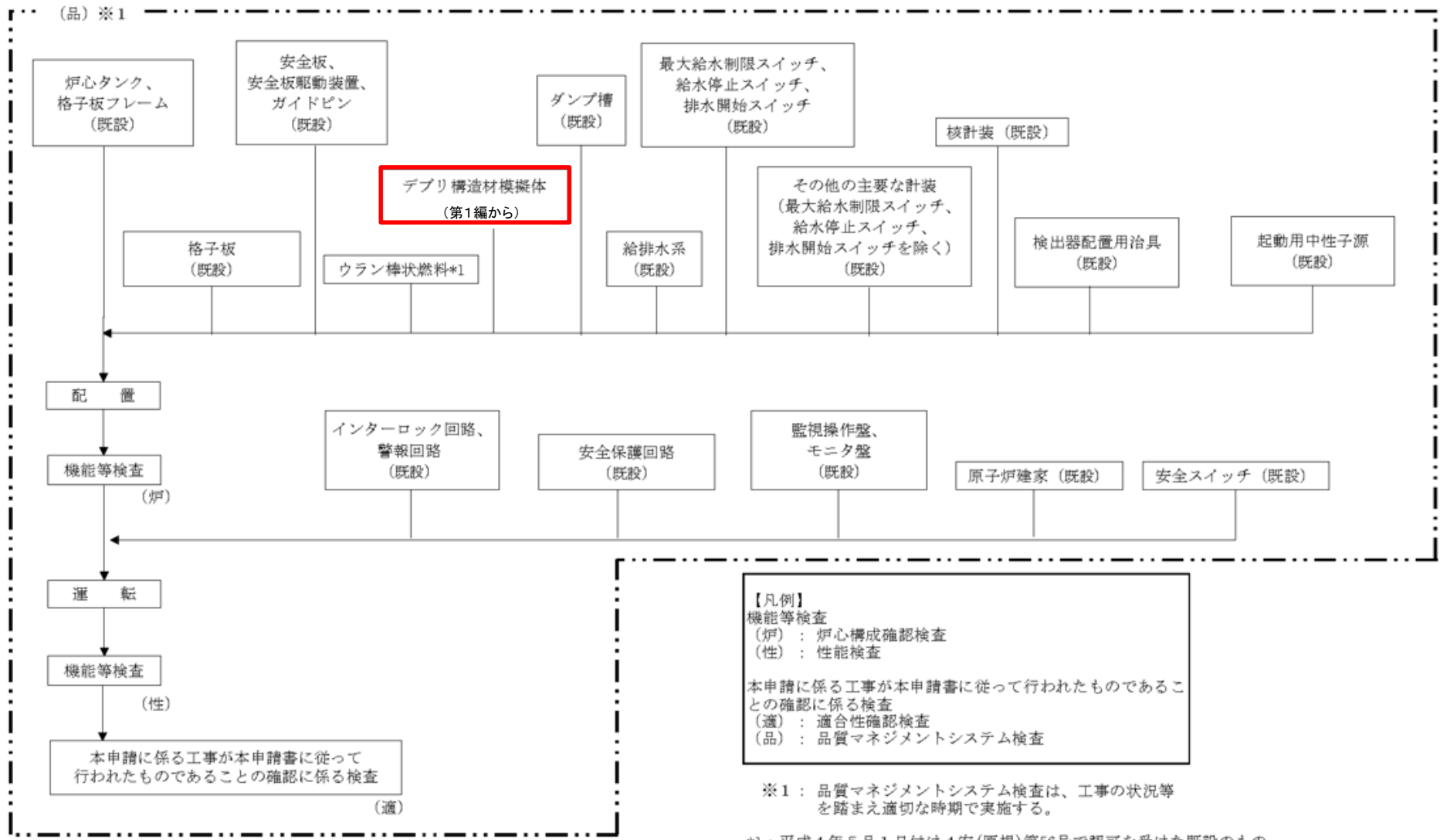
※炉心タンク内の水面の断面積を15%減として評価

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 ($\Delta k/k/^\circ\text{C}$)	$+3.8 \times 10^{-4}$	-3.7×10^{-5}
減速材ボイド反応度係数 ($\Delta k/k/\text{vol}\%$)	$+3.7 \times 10^{-3}$	-3.8×10^{-3}
棒状燃料温度反応度係数 ($\Delta k/k/^\circ\text{C}$)	-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。



検査項目	内 容
炉心構成 確認検査	デブリ模擬炉心(1)について、格子板、計装、制御設備等関連する系統を含め、所定の構成であることを目視により確認する。
性能検査	<p>原子炉施設の性能に関する検査のうち、原子炉を運転しなければ確認できない以下の項目の検査を行う。</p> <p>a. 初回臨界検査 炉心タンク内に軽水を段階的に給水し、水位を上昇させることにより、原子炉が水位40 cmから140 cmの範囲内で臨界を達成し、臨界を維持できることを確認する。</p> <p>b. ワンロッドスタックマージン検査 原子炉臨界状態において、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。</p> <p>c. 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。</p>

※水位反応度係数は炉心の形状によらず臨界水位によって定まるとみなせる。
このため、反応度検査は基本炉心(1)の性能検査で確認済みとし、検査項目としていない。
なお、反応度添加率等の反応度に係る確認は、運転ごとに実施する。

技術基準規則の条項		説明の 必要性 の有無*1	適合性
第1条	適用範囲	第1項	
第2条	定義	第1項 第2項	
第3条	特殊な設計による 試験研究用等原子 炉施設	第1項	— STACY施設は特殊な設計による試 験研究用等原子炉施設ではないた め該当なし。
第4条	廃止措置中の試験 研究用等原子炉施 設の維持	第2項	—
第5条	試験研究用等原子 炉施設の地盤	第1項	— STACY施設は廃止措置中の試験研 究用等原子炉施設ではないため該 当なし。
第6条	地震による損傷の 防止	第1項	× 申請設備は施設(建家)ではないた め該当なし。
第7条	津波による損傷の 防止	第1項	× 本条項は施設(設備)に対する地震 力の影響に関する条項のため該当 なし。
		第2項	— STACY施設は耐震重要施設を有し ないため該当なし。
		第3項	—
第8条	外部からの衝撃に よる損傷の防止	第1項	— STACY施設は津波が到達する施設 ではないため該当なし。
		第2項	× 本条項は施設(設備)に対する外部 からの衝撃に関する条項のため該 当なし。
		第3項	×
		第4項	— STACY施設は船舶に設置しないた め該当なし。 航空機落下は「実用発電用原子炉 施設への航空機落下確率の評価基 準について」(平成21・06・25原院第1 号)等に基づき評価した結果、防護 措置の要否を判断する基準を超え ていないことについて設置(変更)許 可を受けているため該当なし。
第9条	試験研究用等原子 炉施設への人の不 法な侵入等の防止	第1項	× 申請設備は工場等、施設ではないた め該当なし。
第10条	試験研究用等原子 炉施設の機能	第1項	○ p.47に示す。
		第2項	— STACY施設は船舶に設置しないた め該当なし。
第11条	機能の確認等	第1項	× 申請設備は機能の確認等を有しな いため該当なし。
第12条	材料及び構造	第1項	×
		第2項	× 申請設備は材料及び構造を確認す る施設(設備)ではないため該当なし。
		第3項	×

技術基準規則の条項		説明の 必要性 の有無*1	適合性
第13条	安全弁等	第1項	× 申請設備は安全弁等ではないため 該当なし。
第14条	逆止め弁	第1項	× 申請設備は逆止め弁ではないため 該当なし。
第15条	放射性物質による 汚染の防止	第1項	×
		第2項	×
		第3項	×
		第4項	×
第16条	遮蔽等	第1項	× 遮蔽設備、遮蔽性能は原子炉建家 (炉室の壁、床、天井)で担保され るため該当なし。
第17条	換気設備	第2項	×
第18条	適用	第1項	× 申請設備は換気設備ではないため 該当なし。
第19条	溢水による損傷の 防止	第1項	× 申請設備は溢水により安全性を損 なうおそれがないため該当なし。 申請設備は放射性物質を含む液 体を取り扱う設備ではないため該 当なし。
		第2項	×
第20条	安全避難通路等	第1項	× 申請設備は安全避難通路ではない ため該当なし。
第21条	安全設備	第1項	×
		第2項	×
		第3項	×
		第4項	×
		第5項	×
		第6項	×
第22条	炉心等	第1項	× 申請設備は燃料体、減速材及び反 射材並びに炉心支持構造物では ないため該当なし。
		第2項	×
		第3項	×
第23条	熱遮蔽材	第1項	— STACY施設は熱遮蔽材を有しな いため該当なし。
第24条	一次冷却材	第1項	— STACY施設は一次冷却材を有し ないため該当なし。

*1: 凡例
 — : 当該条項の要求事項に適合すべき設備等がSTACY施設に無いことを示す。
 ○ : 当該条項の要求事項に適合すべき設備であり適合性説明を要することを示す。
 × : 当該条項の要求事項に適合すべき設備でなく適合性説明を要しないことを示す。

技術基準規則の条項		説明の 必要性の 有無*1	適合性
第25条	核燃料物質取扱設備	第1項	STACY施設は核燃料物質取扱設備を有しないため該当なし。
		第2項	
		第3項	
		第4項	
		第5項	
		第6項	
		第7項	
		第8項	
第26条	核燃料物質貯蔵設備	第1項	申請設備は核燃料物質貯蔵設備ではないため該当なし。
		第2項	
第27条	一次冷却材処理装置	第1項	STACY施設は一次冷却材処理装置を有しないため該当なし。
第28条	冷却設備等	第1項	STACY施設は冷却設備等を有しないため該当なし。
		第2項	
		第3項	
		第4項	
		第5項	
		第6項	
		第7項	
第29条	液位の保持等	第1項	STACY施設は一次冷却材を有しないため該当なし。
第30条	計測設備	第1項	申請設備は計測設備ではないため該当なし。
第31条	放射線管理施設	第1項	申請設備は放射線管理施設ではないため該当なし。
第32条	安全保護回路	第1項	申請設備は安全保護回路ではないため該当なし。
第33条	反応度制御系統及び原子炉停止系統	第1項	申請設備は反応度制御系統及び原子炉停止系統ではないため該当なし。
		第2項	
		第3項	
		第4項	
		第5項	
		第6項	
第34条	原子炉制御室等	第1項	申請設備は原子炉制御室等ではないため該当なし。
		第2項	
		第3項	
		第4項	
		第5項	
第35条	廃棄物処理設備	第1項	申請設備は廃棄物処理設備ではないため該当なし。
		第2項	

技術基準規則の条項		説明の 必要性の 有無*1	適合性
第36条	保管廃棄設備	第1項	申請設備は保管廃棄設備ではないため該当なし。
		第2項	
		第3項	
第37条	原子炉格納施設	第1項	申請設備は原子炉格納施設ではないため該当なし。
第38条	実験設備等	第1項	申請設備は実験設備等ではないため該当なし。
第39条	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止	第1項	STACY施設は中出力炉又は高出力炉ではないため該当なし。
第40条	保安電源設備	第1項	申請設備は保安電源設備ではないため該当なし。
		第2項	
		第3項	
第41条	警報装置	第1項	申請設備は警報装置ではないため該当なし。
第42条	通信連絡設備等	第1項	申請設備は通信連絡設備等ではないため該当なし。
第2項			
第43条～第52条	第三章 研究開発段階原子炉に係る試験研究用等原子炉施設に関する条項	—	STACY施設は研究開発段階原子炉ではないため該当なし。
第53条～第59条	第四章 ガス冷却型原子炉に係る試験研究用等原子炉施設に関する条項	—	STACY施設はガス冷却型原子炉ではないため該当なし。
第60条～第70条	第五章 ナトリウム冷却型高速炉に係る試験研究用等原子炉施設に関する条項	—	STACY施設はナトリウム冷却型高速炉ではないため該当なし。
第71条	第六章 雑則		

*1: 凡例

- : 当該条項の要求事項に適合すべき設備等がSTACY施設に無いことを示す。
- : 当該条項の要求事項に適合すべき設備であり適合性説明を要することを示す。
- ×: 当該条項の要求事項に適合すべき設備でなく適合性説明を要しないことを示す。

第10条(試験研究用等原子炉施設の機能)

第1項

- 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。
- 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°C程度、減速材温度は1°C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。
- デブリ模擬炉心(1)が、制御設備の能力とあいまって、主要な核的制限値についての条件を満足していることに関する評価の方法については以降に示す。

原子炉設置許可申請書(抜粋)

設工認申請書(抜粋)

臨界水位		棒状燃料の有効長下端より40cm以上140cm以下の範囲
主要な核的制限値	最大過剰反応度	0.8ドル
	給水による最大添加反応度	0.3ドル
	安全板による停止時の中性子実効増倍率	0.985 以下
	最大反応度値を有する安全板1枚が挿入不能の場合の中性子実効増倍率	0.995 以下
	制御設備による最大反応度添加率	3セント/s
	可動装荷物による最大反応度添加率	3セント/s
	可動装荷物の反応度値	0.3ドル以下
主要な熱的制限値		70℃ 以下

第2編 原子炉本体のうち I. 炉心

(1) デブリ模擬炉心(1)

3. 設 計

3.1 設計条件

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℃
実験用装荷物による最大添加反応度	0.3ドル

原子炉設置許可申請書(抜粋)

構造	<ul style="list-style-type: none"> 炉心は、単一種類又は複数種類の燃料体(棒状燃料)等を炉心タンク内の格子板フレームに取り付けた格子板に垂直になるよう配列した後、減速材及び反射材(軽水。実験計画に応じて可溶性中性子吸収材を添加する。)を炉心タンクに給水することにより構成する。 棒状燃料の種類、本数及び配置、格子板フレーム・格子板の種類及び組合せ、炉心平均の減速材対燃料ペレット体積比並びに炉心温度は、炉心構成及び核的制限値の範囲内において、実験計画に基づき決定する。 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、炉心特性の変化範囲に制限を設ける。
臨界水位	棒状燃料の有効長下端より40cm以上140cm以下の範囲
使用燃料体	ウラン棒状燃料(²³⁵ U濃縮度10wt%以下)は、単一種類又は複数種類のを組み合わせて使用する。このとき、炉心の平均 ²³⁵ U濃縮度は10wt%以下とする。
燃料体の最大挿入量	最大挿入量 720kgU 挿入本数 50本以上 900本以下 (ただし、棒状燃料の有効長下端より140cm超の給水によっても臨界とならない炉心については900本以下)

設工認申請書(抜粋)

3.2 設計仕様

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
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	減速材、反射材(軽水)に加え、安全板	
関連主要設備	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	実験用装荷物	デブリ構造材模擬体

原子炉設置許可申請書(抜粋)

第1表 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

第2表 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}

設工認申請書(抜粋)

表1 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

表2 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}

➤ デブリ模擬炉心(1)の解析の一例を以降に示す。

デブリ模擬炉心(1)の解析パターンの一例※

組成	コンクリート(普通コンクリート) 鉄(SUS304)
配列パターン	5×5 1of4 2of4
臨界水位(cm)	40 70 110 140
格子間隔(mm)	12.7 15 25.4

解析対象とした炉心の選定

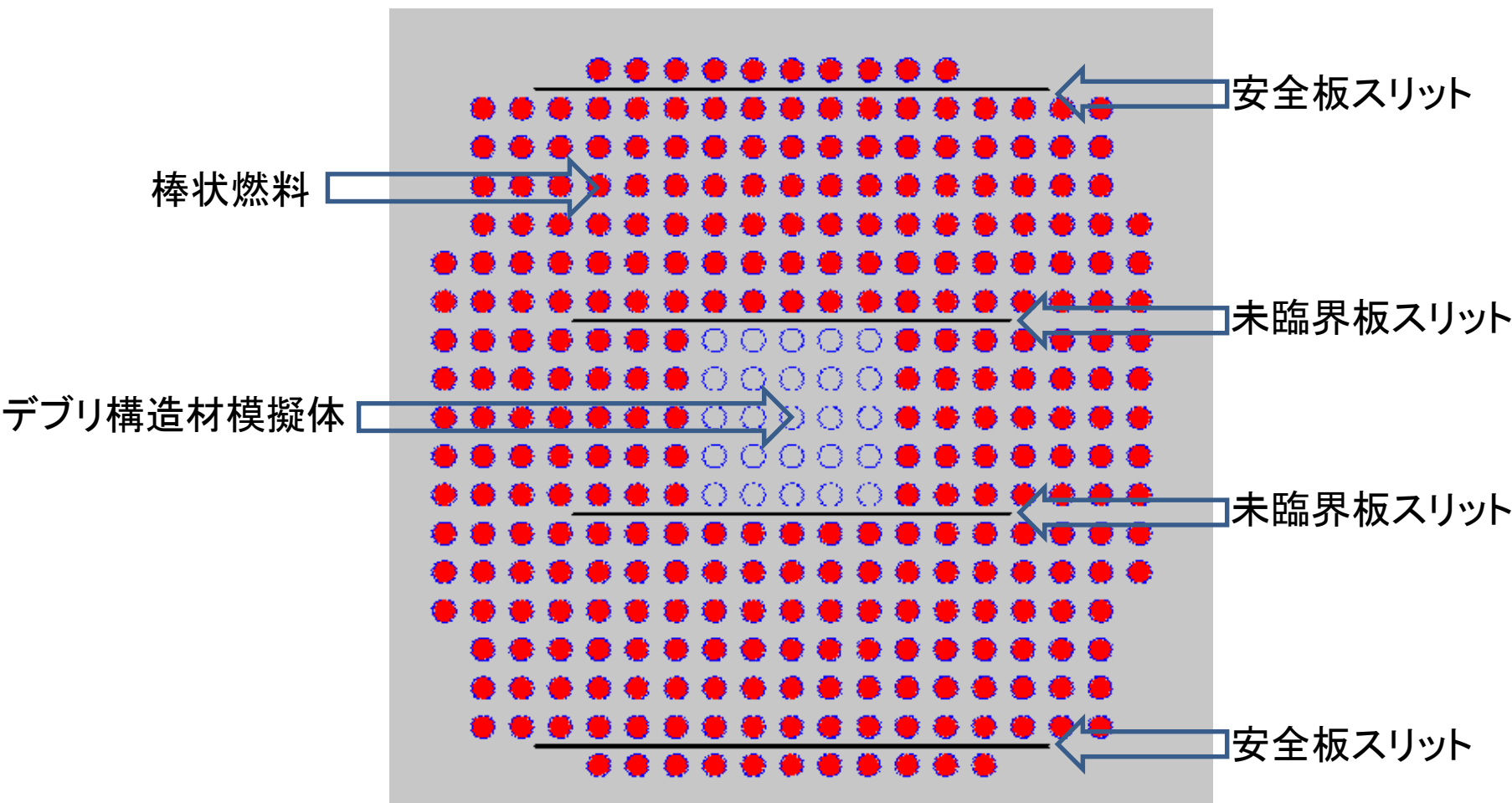
- ・ 5×5
炉心中央にまとめて配列したパターン
- ・ 1 of 4
炉心全体に均一に配列したパターン
- ・ 2 of 4
炉心全体に均一に配列したパターン

※解析の一例であり、実験に応じて各パラメータを変更する。

- ・ 各組成、配列パターン、臨界水位、格子間隔で臨界炉心、臨界ボロン濃度を評価した。
- ・ 津波最大炉心については臨界水位ではなく水没させたときを想定して評価した。

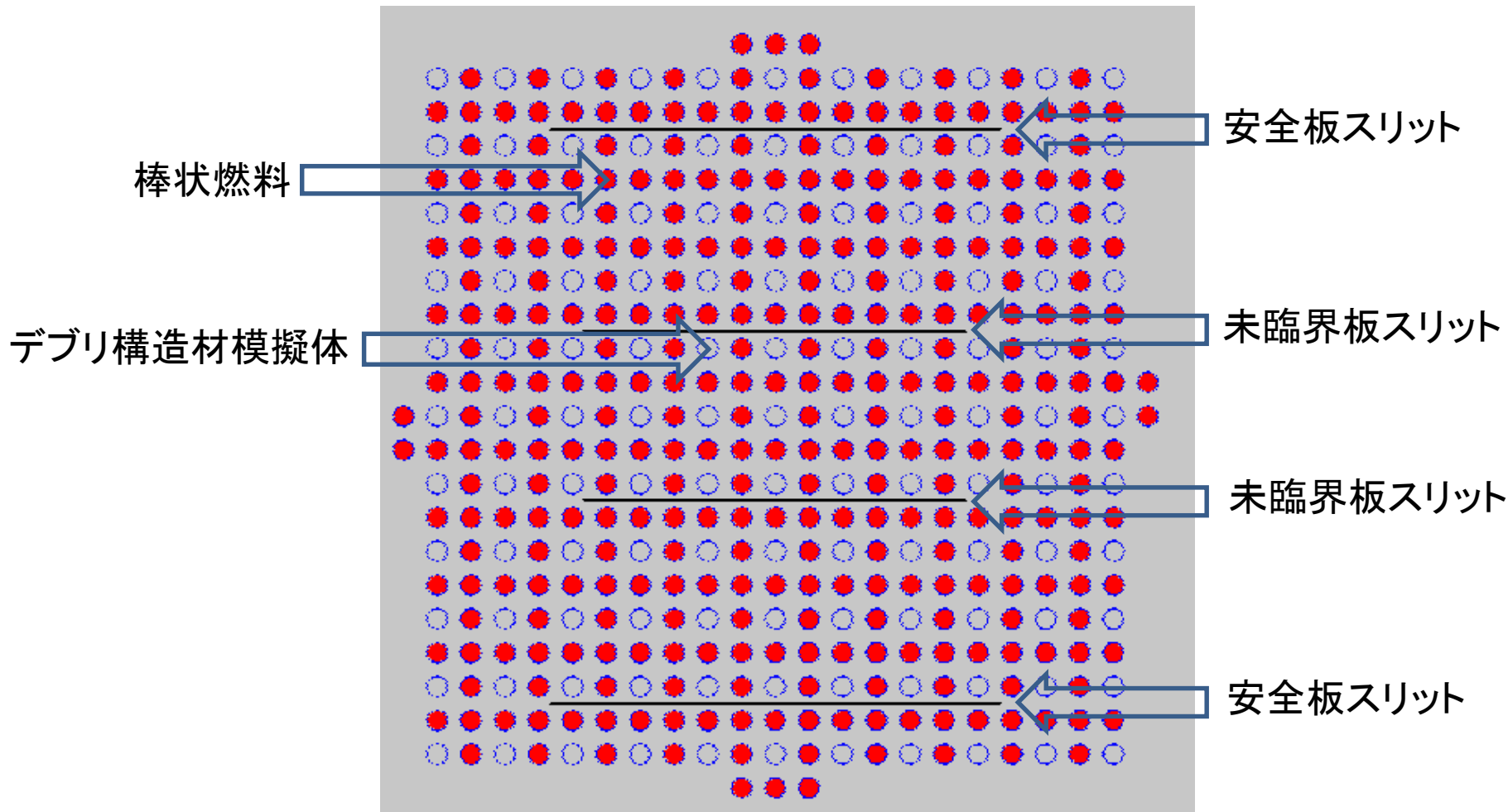
デブリ模擬炉心(1)の配列パターンイメージ(5×5)

➤ 5×5: 炉心中央にデブリ構造材模擬体を縦横5本ずつ装荷



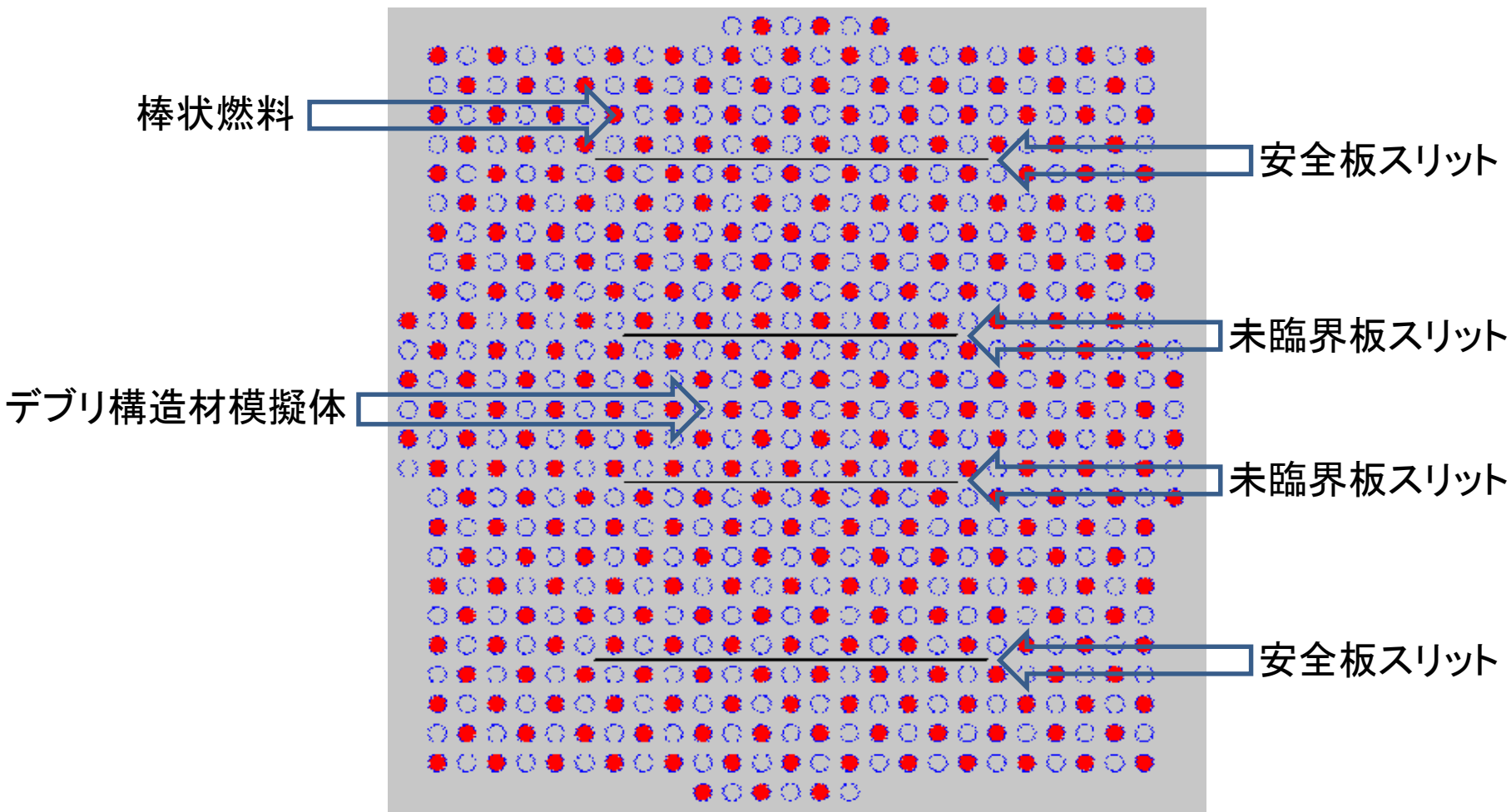
- 棒状燃料
- デブリ構造材模擬体



- 1of4: 棒状燃料だけの行と棒状燃料1本につき左右にデブリ構造材模擬体を1本ずつ装荷する行を2行ごとに繰り返す



- 棒状燃料
- デブリ構造材模擬体

➤ 2of4: 棒状燃料1本につき上下左右にデブリ構造材模擬体を1本ずつ装荷



-  棒状燃料
-  デブリ構造材模擬体

➤ 計算条件

計算コード、断面積ライブラリ及び群定数

- 中性子実効増倍率の計算

計算コード: 連続エネルギーモンテカルロ計算コード MVP2

断面積ライブラリ: JENDL-3.3

- 核特性パラメータの計算

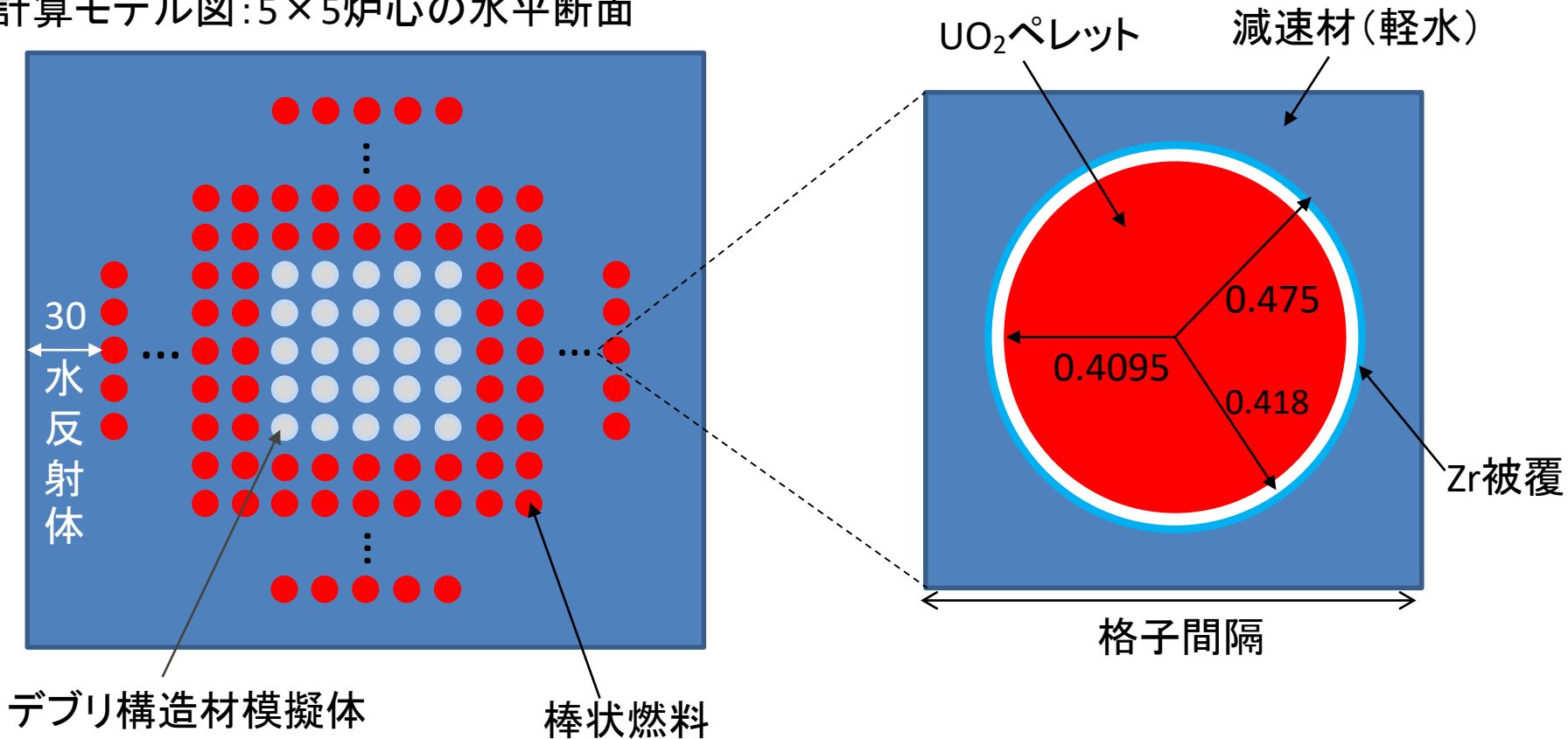
計算コード: 多群法に基づくSn法輸送計算コードDANTSYS

群定数: JENDL-3.3を基にした統合核計算コードシステムSRACライブラリ107群定数をSRAC内の衝突確率法に基づくPIJモジュールで求めた空間依存スペクトルを重みとして縮約したもの。

表 MVPの解析条件

バッチあたりの粒子数	10000
バッチ数	500
スキップバッチ数	200
粒子源発生分布	XY方向: 燃料ペレット部に均一分布 水没部: 余弦分布 水没部より上: 均一分布

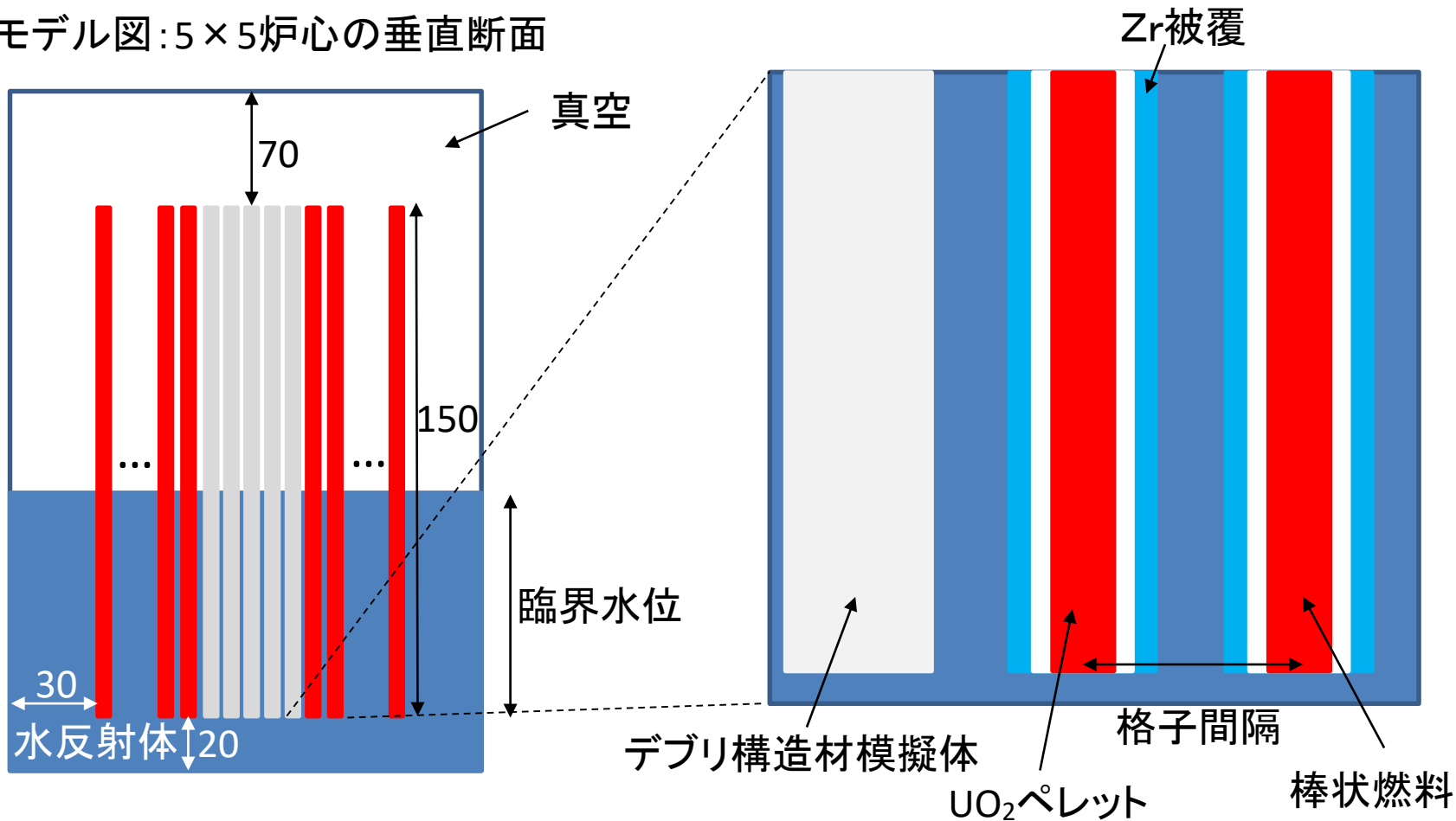
➤ 計算モデル図: 5×5炉心の水平断面



※単位: cm

- 炉心を30cmの水反射体で囲った。
- 格子間隔を12.7, 15, 25.4mmとした。
- 津波水没時の計算では水反射体及び減速材を海水とした。

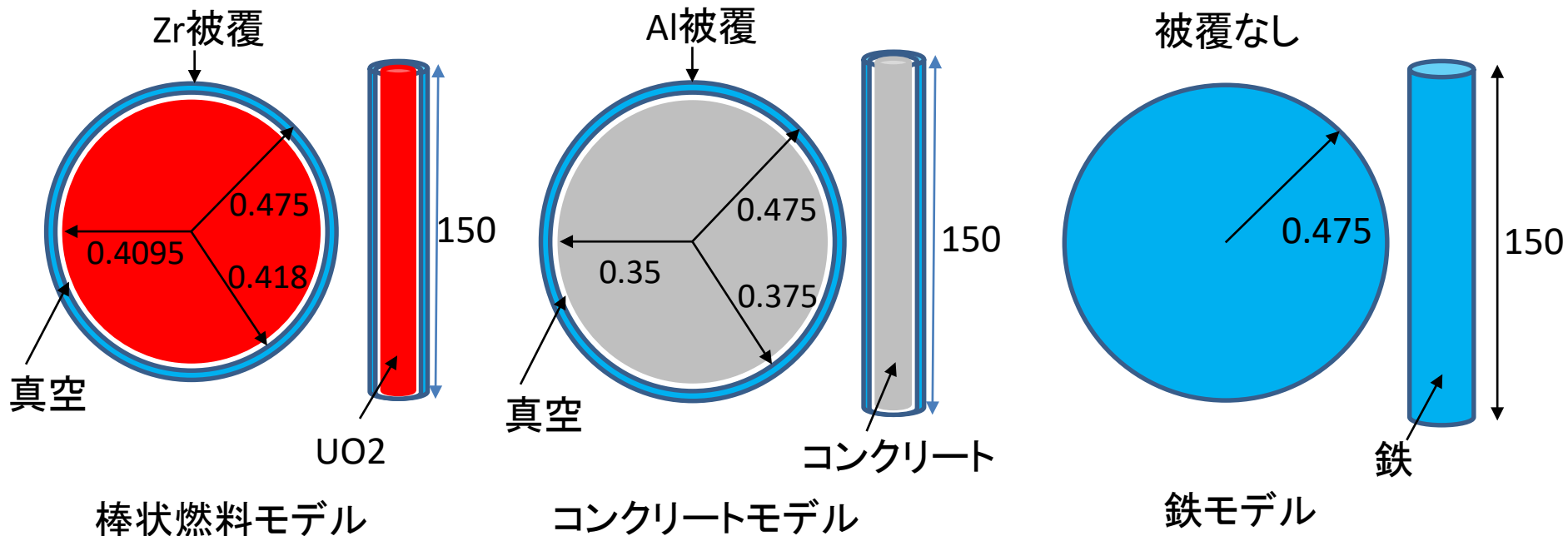
➤ 計算モデル図: 5×5炉心の垂直断面



※単位: cm

- 棒状燃料、デブリ構造材模擬体の下端から下側で水反射体20cmとした。
- 臨界水位を40,70,110,140cmとして解析した。
- 水面から上部は真空とした。

➤ 計算モデル図：棒状燃料、デブリ構造材模擬体モデル図



※単位: cm

- 棒状燃料、コンクリートモデルの下部端栓は無し
- 棒状燃料モデルのZr肉厚: 0.057cm
- コンクリートモデルのAl肉厚: 0.1cm
- 鉄モデルは被覆無し

➤ 臨界炉心の評価

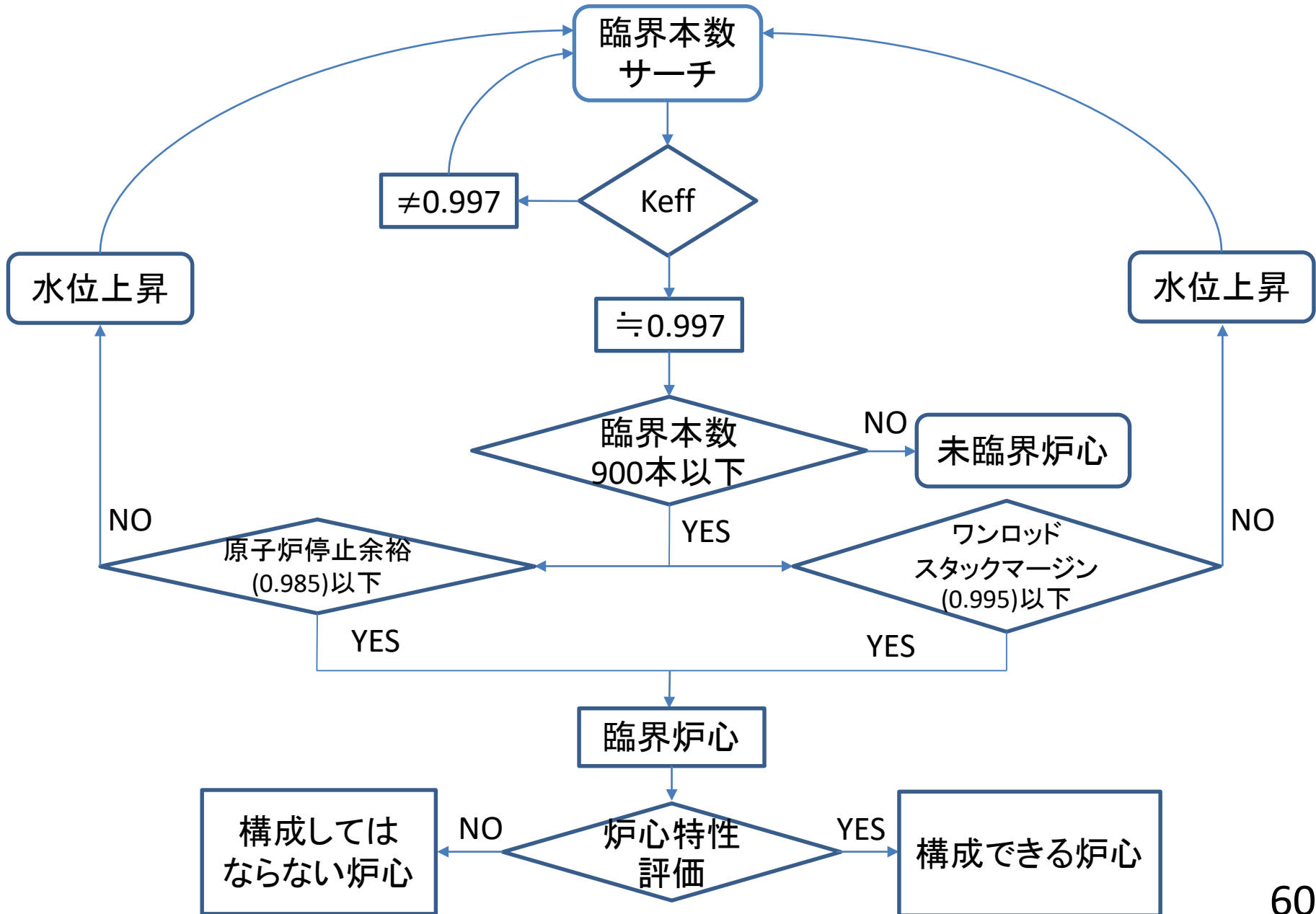
- 中性子実効増倍率が臨界となる棒状燃料本数を評価し、その本数を臨界本数とする。
(各組成、配列パターン、臨界水位、格子間隔で評価)
- 棒状燃料本数が900本を超えた場合、その炉心は未臨界炉心として扱う。

➤ 安全板の評価

- 臨界炉心について原子炉停止余裕、ワンロッドスタックマージンを満足することを確認する。
- 満足しない場合は、臨界水位を上げ、臨界本数を減らし満足することを確認し、その炉心を臨界炉心とする。

➤ 炉心特性評価

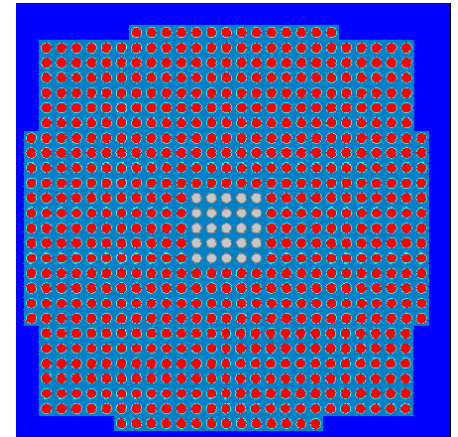
- 上記の安全板の評価を満足した臨界炉心について各炉心特性値を評価し、構成範囲を逸脱しないことを確認する。
- 逸脱した炉心は構成してはならない炉心として扱う。



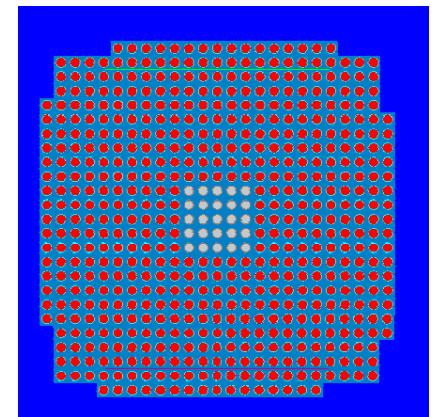
- 津波最大炉心とは
 - STACYは津波が到達しない施設であるが、想定を超える津波に水没した場合でも臨界事故にならない炉心を構成することとしている。
 - 安全板又は未臨界板を炉心に挿入している状態で海水に水没した場合でも臨界にならない最大の炉心を評価し、それより小さな炉心で運転を行う。

- 津波最大炉心の評価
 - 炉心が津波により水没したときを想定し、津波水没時に安全板又は未臨界板が2枚挿入され、中性子実効増倍率が0.995以下になる棒状燃料本数を評価する。
 - この炉心を津波最大炉心とし、その際の棒状燃料本数を制限本数(最大900本)と定める。
 - この制限本数が臨界炉心の臨界本数(棒状燃料本数)を下回る場合(制限本数<臨界本数)、その炉心は構成してはならない炉心として扱う。
 - 構成してはならない炉心については、棒状燃料本数を制限本数と同じにして臨界となる水位を上昇させ、構成できる炉心を再評価する。

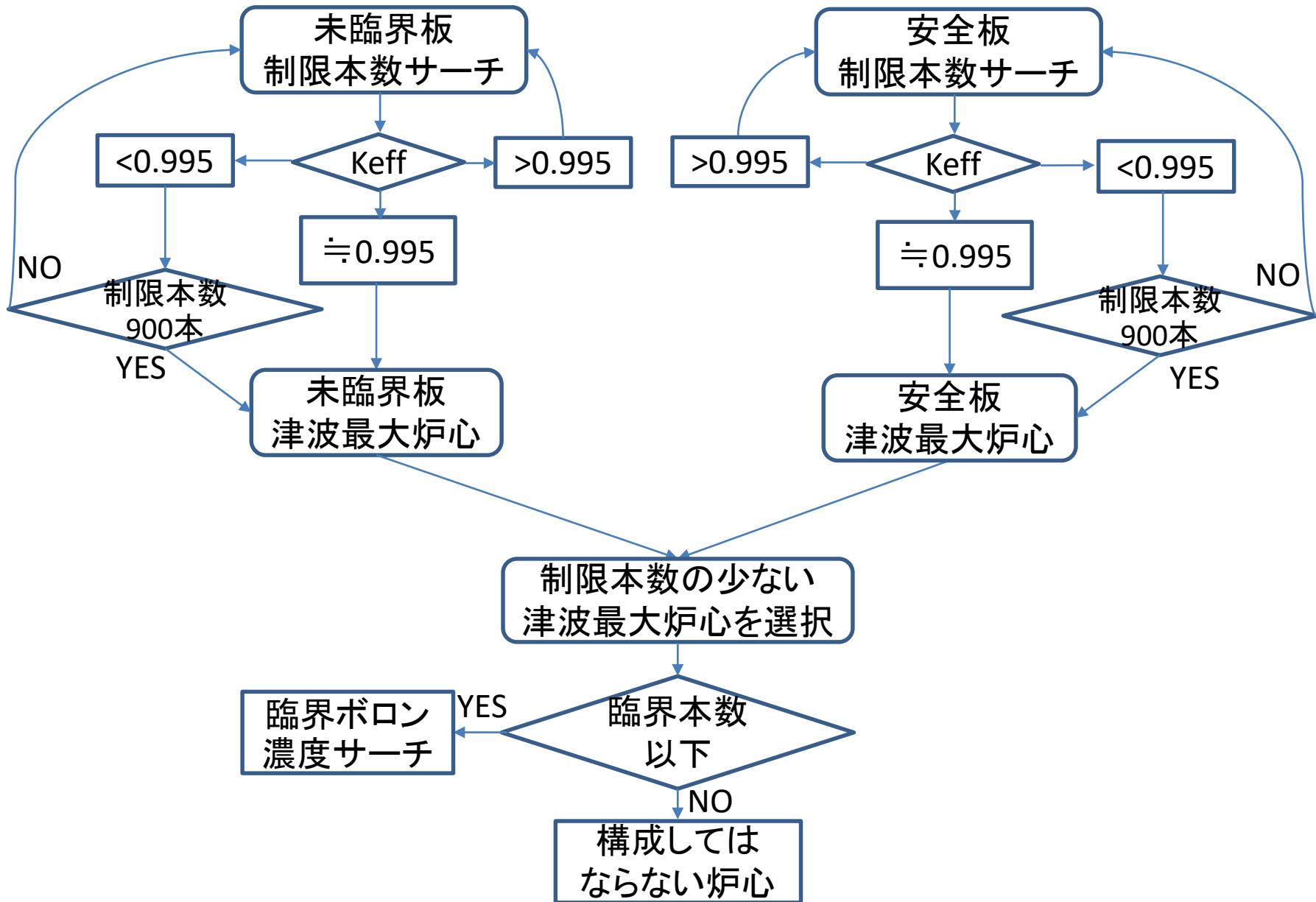
- 津波最大炉心評価例
 - 評価例:コンクリート、配列パターン5×5、格子間隔12.7mm、臨界水位40cm



臨界炉心
臨界本数654本



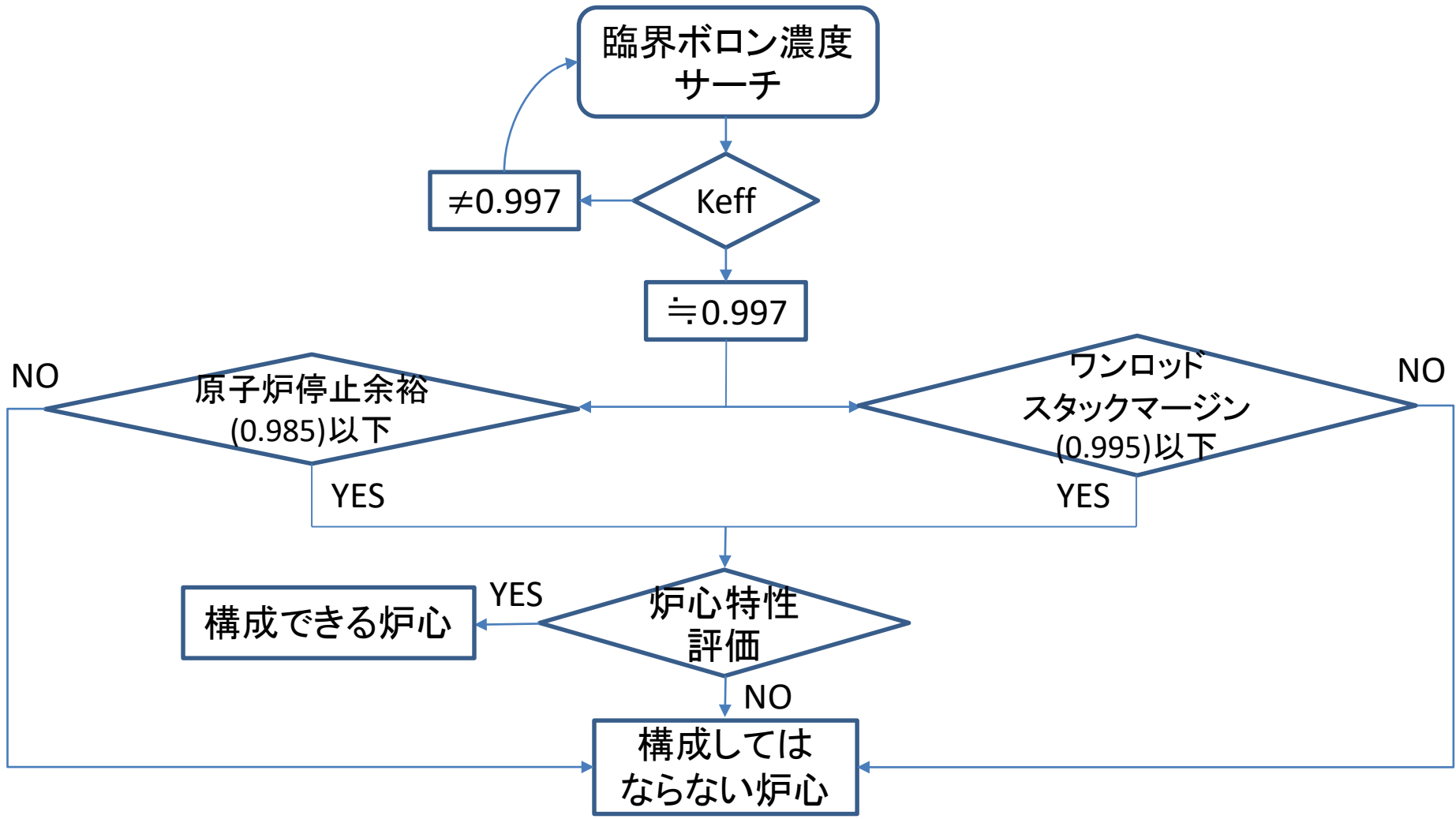
津波最大炉心(安全板挿入)
制限本数568本



- 可溶性中性子吸収材(ボロン濃度)評価
 - ボロン添加実験のため津波最大炉心(安全板、未臨界板)の制限本数の少ない炉心について棒状燃料本数を制限本数と同じにして、各パターンで臨界ボロン濃度(臨界となるボロン濃度)を評価する。

- 安全板の評価
 - 評価した臨界ボロン濃度での原子炉停止余裕、ワンロッドスタックマーヅンを満足することを確認する。
 - 満足しない場合、その炉心については構成してはならない炉心として扱う。

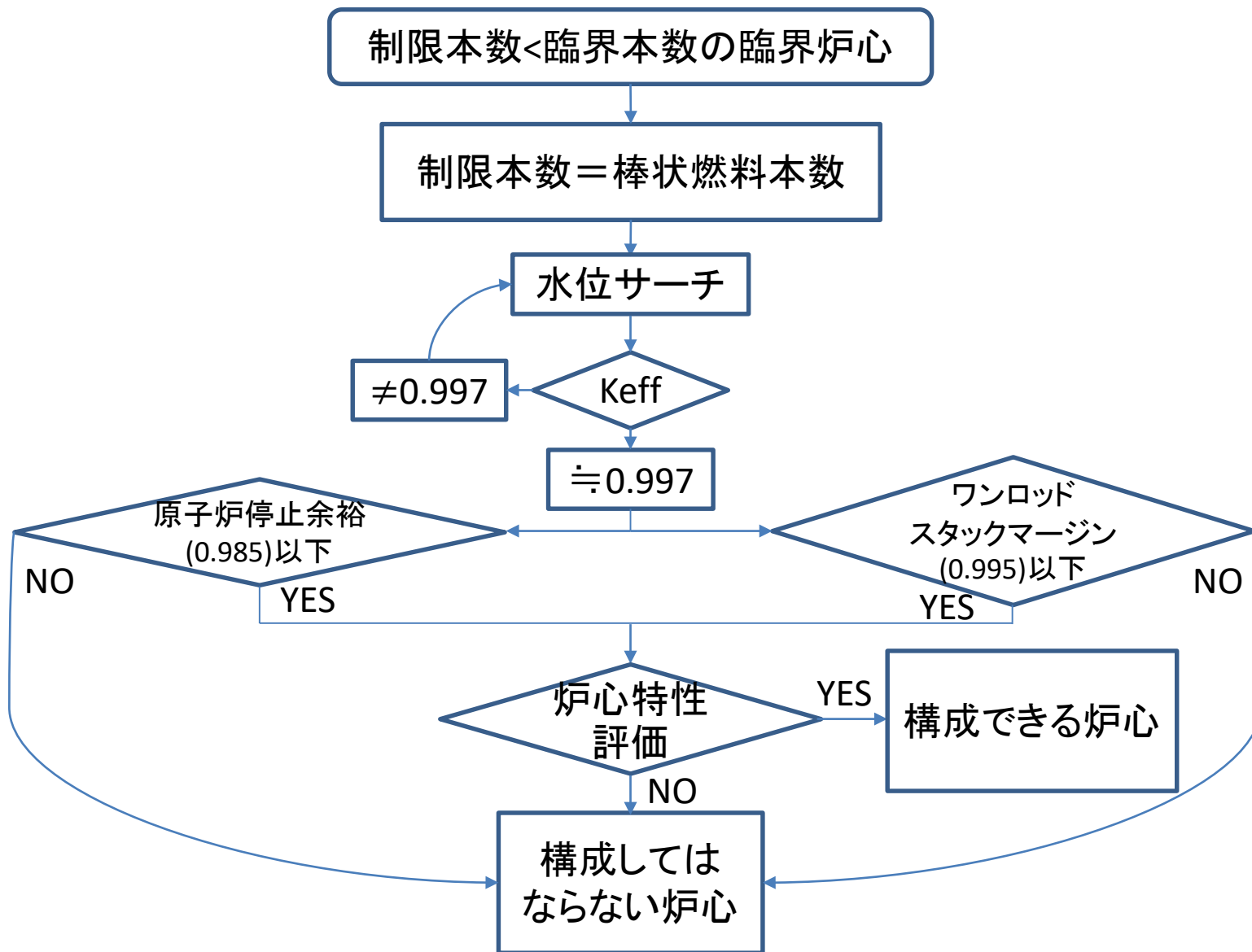
- 炉心特性評価
 - 上記の安全板評価を満足した臨界炉心について各炉心特性値を評価し、構成範囲を逸脱しないことを確認する。
 - 逸脱した炉心は構成してはならない炉心として扱う。

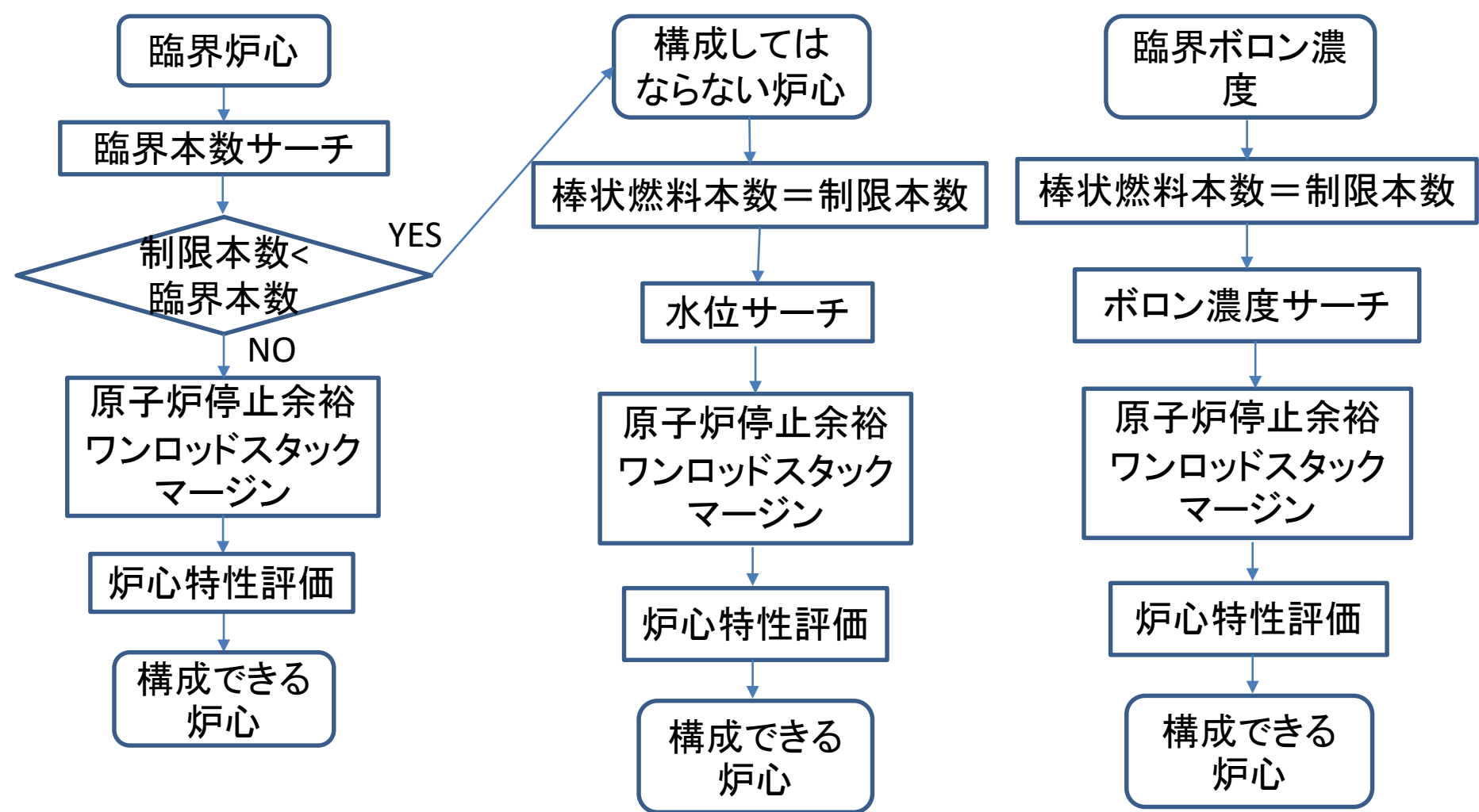


- 構成してはならない炉心の再評価
 - 臨界炉心の本数が津波最大炉心の制限本数を超えた炉心は構成してはならない炉心と識別する。
 - 構成できる炉心条件を明らかにするために棒状燃料本数を制限本数と同じにして、水位を上昇させることで構成できる臨界炉心を評価する。

- 安全板の評価
 - 再評価した臨界炉心について原子炉停止余裕、ワンロッドスタックマージンを満足することを確認する。
 - 満足しない炉心については構成してはならない炉心として扱う。

- 炉心特性評価
 - 上記の安全板評価を満足した臨界炉心について各炉心特性値を評価し、構成範囲を逸脱しないことを確認する。
 - 逸脱した炉心は構成してはならない炉心として扱う。





デブリ模擬炉心(1)の計算例(1/5)

➤ デブリ模擬炉心の計算例

- 計算炉心をデブリ構造材模擬体をコンクリート、配列パターン5×5、格子間隔12.7mm

計算炉心の例	
デブリ構造材模擬体	コンクリート
配列パターン	5×5
格子間隔(mm)	12.7

➤ 臨界炉心の評価

- 水位40,70,110,140cmの臨界となる棒状燃料本数(臨界本数)を評価した。

➤ 安全板評価

- 原子炉停止余裕、ワンロッドスタックマージンを満足することを確認した。

コンクリート(5×5)の格子間隔12.7mmの臨界本数及び安全板評価

臨界水位 (cm)	臨界本数 (本)	原子炉停止余裕 判定	ワンロッドスタックマージン 判定
40	654	良	良
70	464	良	良
110	419	良	良
140	405	良	良

- 津波最大炉心の評価
 - 津波水没時に安全板又は未臨界板が2枚挿入された際の中性子実効増倍率が0.995以下になる棒状燃料本数(制限本数)を評価した。
 - 制限本数が臨界本数を下回る場合、その炉心は構成してはならない炉心として扱う。

コンクリート(5×5)の格子間隔12.7mmの津波最大炉心					
津波最大炉心		臨界水位 (cm)	臨界本数 (本)	安全板 判定	未臨界板 判定
安全板 制限本数 (本)	未臨界板 制限本数 (本)	40	654	否	良
		70	464	良	良
568	701	110	419	良	良
		140	405	良	良

- 水位40cmの炉心では安全板の制限本数が臨界本数を下回った。
 - この炉心について棒状燃料本数を制限本数と同じにして臨界となる水位を評価し、構成できる炉心を再評価した。

➤ 臨界ボロン濃度の評価

- 制限本数の少ない炉心(今回は安全板)について棒状燃料本数を制限本数と同じにして、各水位で臨界ボロン濃度(臨界となるボロン濃度)を評価した。
- 水位40cmの炉心は構成してはならない炉心として扱うため評価しない。

➤ 安全板評価

- 原子炉停止余裕、ワンロッドスタックマージンを満足することを確認した。

コンクリート(5×5)の格子間隔12.7mmの臨界ボロン濃度評価

臨界水位 (cm)	棒状燃料本数 (本)	臨界ボロン濃度 (ppm)	原子炉停止余裕 判定	ワンロッドスタックマージン 判定
40	568	—	—	—
70		211.8	良	良
110		362.3	良	良
140		413.0	良	良

- 構成してはならない炉心の再評価
 - 水位40cmの炉心は制限本数が臨界本数を下回ったため、構成してはならない炉心として扱う。
 - 棒状燃料本数を制限本数と同じにして臨界となる水位を上昇させ、その炉心を再評価した。

- 安全板の評価
 - 原子炉停止余裕、ワンロッドスタックマージンを満足することを確認した。

コンクリート(5×5)の格子間隔12.7mmの再評価炉心

臨界水位 (cm)	臨界本数 (本)	原子炉停止余裕 判定	ワンロッドスタックマージン 判定
47.7	568	良	良

➤ 炉心特性評価

- 臨界炉心、臨界ボロン濃度での各炉心特性値を評価した。

コンクリート(5×5)の格子間隔12.7mmの臨界炉心の炉心特性評価

臨界水位 (cm)	臨界本数 (本)	減速材温度反応度係数 ($\Delta k/k/^\circ\text{C}$)	減速材ポイド反応度係数 ($\Delta k/k/\text{vol}\%$)	棒状燃料温度反応度係数 ($\Delta k/k/^\circ\text{C}$)	即発中性子寿命 (s)	実効遅発中性子割合 (-)	水位反応度係数 (ドル/mm)
47.7	568	良	良	良	良	良	良
70	464	良	良	良	良	良	良
110	419	良	良	良	良	良	良
140	405	良	良	良	良	良	良

コンクリート(5×5)の格子間隔12.7mmの臨界ボロン濃度の炉心特性評価

臨界水位 (cm)	臨界ボロン濃度 (ppm)	減速材温度反応度係数 ($\Delta k/k/^\circ\text{C}$)	減速材ポイド反応度係数 ($\Delta k/k/\text{vol}\%$)	棒状燃料温度反応度係数 ($\Delta k/k/^\circ\text{C}$)	即発中性子寿命 (s)	実効遅発中性子割合 (-)	水位反応度係数 (ドル/mm)
40	—	—	—	—	—	—	—
70	211.8	良	良	良	良	良	良
110	362.3	良	良	良	良	良	良
140	413.0	良	良	良	良	良	良

第六条（地震による損傷の防止）

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。

第八条（外部からの衝撃による損傷の防止）

試験研究用等原子炉施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）によりその安全性を損なうおそれがある場合において、防護措置、基礎地盤の改良その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

- 2 試験研究用等原子炉施設は、周辺監視区域に隣接する地域に事業所、鉄道、道路その他の外部からの衝撃が発生するおそれがある要因がある場合において、事業所における火災又は爆発事故、危険物を搭載した車両、船舶又は航空機の事故その他の敷地及び敷地周辺の状況から想定される事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）により試験研究用等原子炉施設の安全性が損なわれないよう、防護措置その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。
- 3 試験研究用等原子炉を船舶に設置する場合にあっては、原子炉格納容器に近接する船体の部分は、衝突、座礁その他の要因による原子炉格納容器の機能の喪失を防止できる構造でなければならない。
- 4 試験研究用等原子炉施設は、航空機の墜落により試験研究用等原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合において、防護措置その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

第十条（試験研究用等原子炉施設の機能）

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。

第十一条 (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。

第三十八条 (実験設備等)

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。
- 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。
- 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。