

令和5年2月28日(改1)  
日本原子力研究開発機構  
臨界ホット試験技術部

STACY 設工認に係る審査会合(令和5年1月30日)での指摘事項対応のための解析結果

## 1. 概要

コンクリートの材料検査に係る判定基準を設定するため、ペレット密度及び水分量をパラメータとした感度解析を行った。また、主要な核的制限値として、安全板の原子炉停止余裕及びワンロッドスタックマージン並びに炉心タンクの水位反応度係数の評価を行い、コンクリートの密度及び水分量の影響を評価した。加えて、鉄製のデブリ構造材模擬体について、原子炉停止余裕及び水位反応度係数に及ぼす影響を確認した。以下に解析の結果及び当該結果を受けた方針を示す。

## 2. 解析内容

### 2.1 コンクリートの感度解析

#### ① 臨界サーベイ

今回の申請で実際に構成できる最大に近いデブリ構造材模擬体挿入炉心として、今回製作するデブリ構造材模擬体70本のうち69本を挿入した炉心の臨界量(棒状燃料本数)を解析した。また、デブリ構造材模擬体の挿入量に対する炉心核特性の傾向を確認するため、デブリ構造材模擬体25本を装荷した炉心についても検討する。計算コード及び核データライブラリは、設工認添付計算書で使用したものと同一MVP2及びJENDL-3.3を使用した。ヒストリー数も添付計算書と同様(1ヒストリー当たり1万粒子×500バッチ;200スキップバッチで実効300万粒子)である。デブリ構造材模擬体の配列パターンは、想定される典型的な実験炉心パターンとして、炉心中央に隙間なく配列(4 of 4)するほか、棒状燃料3本に対してデブリ構造材模擬体1本(1 of 4)、棒状燃料2本に対してデブリ構造材模擬体2本(2 of 4)の合計3種類とした(図1)。炉心水位は、水位反応度係数を評価するため、許可上の臨界水位の下限40cmから上限140cmまでの40, 70, 110, 140cmの4種類とし、格子間隔は、実験に使用する格子板の間隔1.27cm及び1.50cmのほか、1.27cm格子板を1本飛ばしで使用した2本間隔の2.54cmとした。これらの条件に対し、棒状燃料本数をパラメータとして臨界調整を行った。臨界サーベイの解析範囲を表1に示す。

表1 臨界サーベイの解析範囲

パラメータ	変化範囲	備考
デブリ構造材模擬体本数	25, 69	
配列パターン	4 of 4、1 of 4、2 of 4	
格子間隔 (cm)	1.27, 1.50, 2.54 (1.27cm 格子板の2本間隔)	
棒状燃料本数	900 本以下	パラメータ。900 本は許可上最大本数。
水位 (cm)	40, 70, 110, 140 cm	コンクリート 69 本の炉心のみ水位 90cm の臨界サーベイも行った。

臨界サーベイの結果を図2に示す。図には、使用前事業者検査で使用が想定されている棒状燃料400本以下で構成できる炉心の上限を赤い破線で示す。

## ② コンクリート密度の感度解析

①で解析した炉心のうち、デブリ構造材模擬体本数が現実的に最大に近い69本、及び、実験時の代表的な基準水位として狙う臨界水位90cmの炉心における安全板の原子炉停止効果についてコンクリート密度を変化させた感度解析を行い、影響を反応度( $\Delta k/k$ )で評価した。密度は、普通コンクリート(臨界安全ハンドブック標準組成、密度 $2.3 \text{ g/cm}^3$ 、水分率約9wt%、末尾の付録表参照)を基本とし、製作上コンクリート材料の公差から想定される密度の振れ幅を十分包含できる範囲として最大2倍から最小0.5倍とする構造材模擬体を装荷した炉心を評価する。なお、コンクリートの主要成分(ケイ素 Si、カルシウム Ca)の感度解析も別途実施した。

コンクリート密度の感度解析の結果を図3に示す。なお、密度0(すなわち解析上はボイドとなる。)の点は変化傾向を確認するために追加したものである。コンクリート密度の影響は、中性子スペクトルが過剰減速となる格子間隔2.54cmの炉心については大きな反応度効果は見られない。一方、格子間隔1.27cm(減速不足)及び1.50cm(最適減速)の炉心では、1 of 4及び2 of 4の配列については密度増加に対して正の反応度効果が、4 of 4配列では負の反応度効果が見られる。これはコンクリート製のデブリ構造材模擬体が、1 of 4及び2 of 4配列では減速材として、4 of 4炉心では吸収材として働いていることを示している。

また、コンクリートの主要な成分であるケイ素(Si)及びカルシウム(Ca)を密度の感

度解析の範囲と同様の 0.5 倍、2.0 倍に変化させた感度解析の結果を図 4 に示す。Si 及び Ca の量の感度は、密度のそれに対して小さく、密度変化の感度に包含されることが確認できる。この結果から、コンクリート密度の反応度に対する感度は、Si や Ca 等の主要成分ではなく、水分に由来していることが推測できる。

### ③ 水分量の感度解析

②の推測を確認するため、②と同じ炉心の安全板の原子炉停止効果について、コンクリート内部の水分量のみを変化させた感度解析を行い、影響を反応度 ( $\Delta k/k$ ) で評価した。水分量は、普通コンクリート（臨界安全ハンドブック標準組成、密度 2.3 g/cm<sup>3</sup>、水分率約 9 wt%）を基本とし、コンクリート密度と同様の倍率として水分量が 0.5 倍（水分率約 4.7 wt%）と 2.0 倍（水分率約 16 wt%）、その他水分 0（水なし）の炉心の核特性を評価した（組成については末尾の付録表を参照。）。コンクリートの水分量の感度解析結果を図 5 に示す。水分量の変化に対する反応度の応答は、コンクリート密度のそれと傾向、変化量ともにほぼ同じであり、コンクリートの密度変化に対する反応度への影響は水分量が支配的であることが分かる。

## 2.2 原子炉停止余裕に与える影響

### ④ コンクリート密度及び水分量が安全板の原子炉停止効果に与える影響

コンクリートの密度及び水分量が、炉心の重要な核的制限値である原子炉停止余裕及びワンロードスタックマージンに及ぼす影響を評価するため、②及び③でコンクリート密度及び水分量を変化させた炉心とそれに安全板 1 枚を挿入した炉心との反応度差を解析した。このとき、安全板挿入位置は全炉心で炉心中央付近のスリットに統一し、安全板挿入による水位上昇等の考慮は、設工認添付計算書（保安規定に基づく炉心構成解析での手順と同じ。）と同様の調整を行った。コンクリート密度及び水分量が安全板の原子炉停止効果に与える影響評価の結果を図 6 及び図 7 に示す。図の縦軸は、基準とした普通コンクリート組成の炉心（基準炉心）に安全板を挿入したときの反応度効果と、密度及び水分量を変化させた炉心（変化炉心）において基準炉心と同じ位置に安全板を挿入したときの反応度の差であり、負の値（図の下側）となる場合は、安全板の原子炉停止効果がより高まった安全側の変化であることを意味する。評価の結果、コンクリート密度及び水分量の変化に対する顕著な応答は見られず、正の値（図の上側）の増分は、モンテカルロ計算に由来する統計誤差で説明できる範囲である。これらの結果から、2 倍までのコンクリート密度及び水分量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が確認できる。

### ⑤ デブリ構造材模擬体が原子炉停止余裕に及ぼす影響

①で評価した臨界炉心のうち、デブリ構造材模擬体の挿入本数が原子炉停止余裕及び

ワンロッドスタック（最大反応度効果を持つ安全板1枚が挿入不能時）に与える影響の傾向を確認するため、デブリ構造材模擬体を挿入した炉心について原子炉停止余裕の評価を行った。デブリ構造材模擬体の本数は、最大本数70本に近い69本に加え、変化傾向を見るため25本を評価した。安全板枚数は、格子間隔1.27 cm及び1.50 cmの炉心では全数挿入時2枚、ワンロッドスタック時1枚とし、格子間隔2.54 cmの炉心では炉心が大きくなることを考慮して4枚、ワンロッドスタック時3枚とした。また、臨界水位は、現有する400本の棒状燃料で臨界にできる範囲を確保するため110 cmとした。これらの炉心の臨界データを表2に示す。デブリ構造材模擬体の挿入本数が安全板の原子炉停止効果に及ぼす影響の解析結果を、ワンロッドスタックマージンについて図8に、安全板全挿入時の原子炉停止余裕について図9に示す。図には、挿入本数の傾向を見るため、デブリ構造材模擬体挿入本数が0本の基本炉心（1）の結果も示している。

図より、コンクリートのデブリ構造材模擬体を挿入した炉心より、鉄のデブリ構造材模擬体を挿入した炉心のほうが安全板の効果が小さくなる傾向が見られる。これは、コンクリートよりも鉄のほうが熱中性子の吸収効果が大きく、熱中性子が少なくなることによって、安全板の熱中性子吸収効果が弱まるためである。

図8及び図9に示した全炉心について、棒状燃料本数によって整理した結果を、ワンロッドスタックについて図10-(a)に、安全板を全挿入した原子炉停止余裕について図10-(b)に示す。安全板の原子炉停止効果は棒状燃料本数が増大する（すなわち炉心が大きくなる）に連れて全体として弱まる傾向を見せるが、適切な安全板配置により、デブリ構造材模擬体の種別及び挿入本数に依らず、すべての体系で制限値を満足することができる見通しが得られた。中性子実効増倍率のばらつきは安全板全挿入時のほうが大きい。基本炉心（1）における安全板挿入時の実効増倍率に対し $\pm 0.02 \Delta k$ の範囲である。制限値に対して最も厳しい結果は、安全板全挿入時では制限値との反応度差が $9 \times 10^{-3} \Delta k$ 、ワンロッドスタック時には $7 \times 10^{-3} \Delta k$ であり、ワンロッドスタック時の評価のほうが厳しい結果が得られた。本解析において制限値に対し最も厳しい結果を与える炉心は、図10-(a)中に示したとおり、格子間隔2.54 cmでデブリ構造材模擬体（鉄）を69本挿入した炉心である。また、STACYの初臨界炉心として想定される現有の棒状燃料400本を使用した場合は、格子間隔1.50 cmでデブリ構造材模擬体（鉄）を69本挿入した炉心である。ただし、この場合、基本炉心（1）（デブリ構造材模擬体挿入なし）との反応度差は1標準偏差程度であり、ほとんど違いは見られない。

### 2.3 水位反応度係数の評価

STACYは、水位反応度係数（臨界近傍における単位水位変化当たりの反応度効果）を許可上の上限値 $6 \phi / \text{mm}$ 以下で運転することとしている。デブリ構造材模擬体の挿入本数及び種別が水位反応度係数に及ぼす影響を確認した。計算コード及び核データライブラリは、設工認添付計算書と同様、DANTSYS及びJENDL-3.3を使用した。

挿入本数の依存性を評価するため、デブリ構造材模擬体の配列本数を 2.2 ⑤の評価と同様の 25 本、69 本を配列した条件に加え、デブリ構造材模擬体挿入本数が 0 本の基本炉心（1）の条件及び炉心全面に配列した条件を加えて比較した。このとき、配列パターンは、後述の鉄とコンクリートを同条件で比較するため、1 of 4 配列とした。

次に、種別の依存性を評価するため、25 本の鉄とコンクリートのデブリ構造材模擬体を 1 of 4 パターンで装荷した条件で比較した。

このとき、臨界水位は、設工認申請書添付計算書の解析と同様の 40, 70, 110, 140 cm とした。デブリ構造材模擬体の挿入本数及び種別が水位反応度係数に及ぼす影響評価の結果を図 11-(a), (b) 及び表 3 にそれぞれ示す。図 11-(a) より、挿入本数によって結果に差がわずかにみられるものの、著しい変化を与える要因にはならないことが確認された。

図 11-(b) より、コンクリートのデブリ構造材模擬体を装荷した場合、水位反応度係数がやや大きくなるような傾向がみられるものの、その効果は基本炉心（1）の水位反応度係数に対して最大約 5%程度であり、全体傾向から大きく逸脱するような変化がないことが確認された。以上より、水位反応度係数は、デブリ構造材模擬体の種別及び挿入本数を変えても原子炉の運転操作に支障がないと言える。また、水位反応度係数は臨界水位の 3 乗に反比例して低下することから、想定臨界水位を上げることで、水位反応度係数の上限値（6  $\phi$  /mm）以下に収められる見通しが確認できた。

#### 2.4 鉄の感度解析

デブリ構造材模擬体（鉄）の材料であるステンレス鋼（SUS304）は JIS 規格の材料を用いるため、想定される組成の変化幅は小さく、その反応度効果は無視し得ると考えられる。確認のため、ステンレス鋼の主要組成である鉄の比率を、規格上最低（約 66.4 wt%）から最大（約 70.8 wt%）まで変化させた感度解析を実施した。

解析結果を図 12 に示す。図より、鉄の比率を最低から最大まで変化させた場合、最も反応度効果が大きかった炉心（格子間隔 2.54 cm、鉄比率約 70.8 wt%）でも、その反応度効果は  $1 \times 10^{-3} \Delta k/k$  程度（2 標準偏差程度）であり、無視できることが確認できた。

### 3. まとめ

- (1) コンクリートの密度及び主要組成（ケイ素 Si 及びカルシウム Ca）を、製作上の公差を十分に包含し得る範囲として 0.5 倍から 2 倍まで変化させた感度解析を実施した。また、水分量については、0 倍（水なし）から 2 倍まで変化させた感度解析を実施した。その結果、反応度に対するコンクリートの組成変化の影響は水分の変化によるものが支配的であることが確認できた。
- (2) 主要な核的制限値である原子炉停止余裕に対するデブリ構造材模擬体の影響を確認するため、コンクリート密度及び水分量の変化の原子炉停止余裕及びワンロードスタッ

クマージンに対する感度解析を実施した。解析の結果、コンクリート密度及び水分量は原子炉停止余裕及びワンロッドスタックマージンに顕著な影響を及ぼすものではないと結論づけられた。

(1)及び(2)の結果を踏まえ、コンクリートのデブリ構造材模擬体の製作に当たっては、本解析の評価範囲に収まるよう、水分量について最大 16 wt%の制限を設けて製作する方針とする。

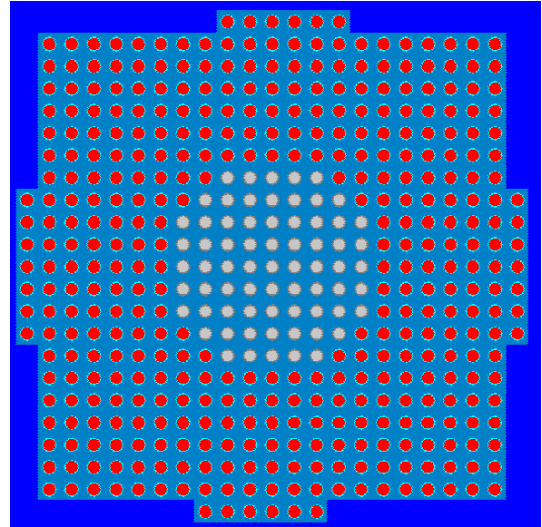
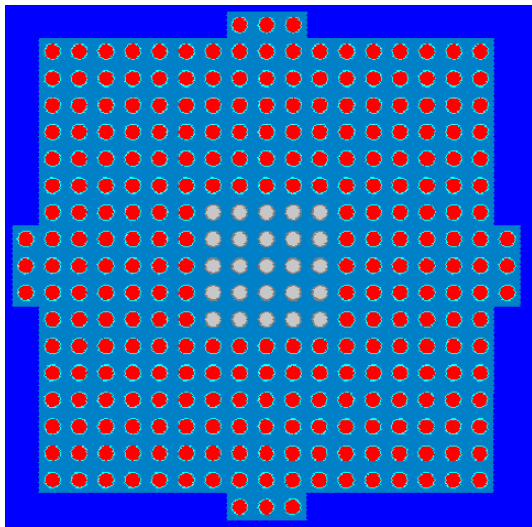
(3) (2)に加え、デブリ構造材模擬体の挿入本数が原子炉停止余裕に対して及ぼす影響を確認するため、コンクリート及び鉄のデブリ構造材模擬体の挿入本数をパラメータとした解析を実施した。その結果、鉄のデブリ構造材模擬体がコンクリートの模擬体に比べて安全板の原子炉停止効果を弱める傾向が見られた。また、棒状燃料本数が大きくなる（すなわち炉心が大きくなる）と安全板の効果が弱まる炉心が現れてくるが、適切な安全板配置により、デブリ構造材模擬体の種別及び挿入本数によらず制限値を満足できる見通しを得た。本解析の範囲において制限値に対し最も厳しい結果を与える炉心は、格子間隔 2.54 cm でデブリ構造材模擬体（鉄）を 69 本挿入した炉心である。また、STACY の初臨界炉心として想定される現有の棒状燃料 400 本を使用した場合は、格子間隔 1.50 cm でデブリ構造材模擬体（鉄）を 69 本挿入した炉心である。ただし、この場合、基本炉心（1）（デブリ構造材模擬体挿入なし）との反応度差は 1 標準偏差程度であり、ほとんど違いは見られない。

(3)の結果を踏まえ、実験に当たっては既知炉心である基本炉心（1）に少数本の鉄のデブリ構造材模擬体を挿入した炉心において使用前事業者検査を実施し、デブリ構造材模擬体の核特性解析値と実測値を確かめつつ徐々に実験範囲を拡大する方針とする。

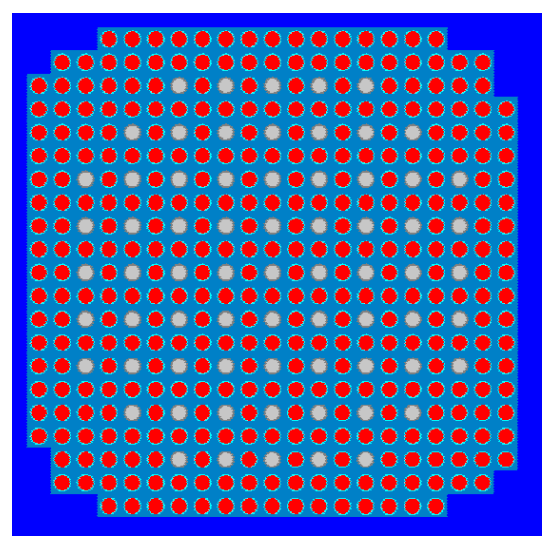
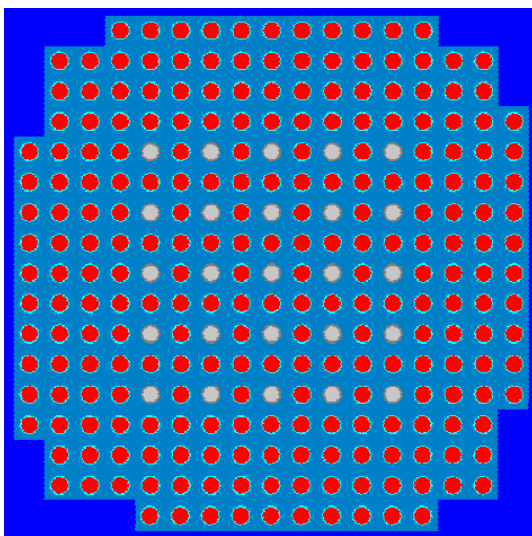
(4) デブリ構造材模擬体の種別及び挿入本数が水位反応度係数に及ぼす影響を確認するため、コンクリート及び鉄のデブリ構造材模擬体の挿入本数をパラメータとした解析を実施した。その結果、水位反応度係数は、デブリ構造材模擬体の種別及び挿入本数を変えても基本炉心（1）の水位反応度係数に対して最大約 5 % の上昇に留まり、水位反応度係数を上限値（6  $\phi$  /mm）以下で支障なく運転できる見通しが得られた。

(5) 鉄の密度を、JIS 規格上想定される最低から最大まで変化させた感度解析を実施した。その結果、反応度に対する鉄の組成変化の影響は最大でも  $1 \times 10^{-3} \Delta k/k$  程度であり、無視できることが確認できた。

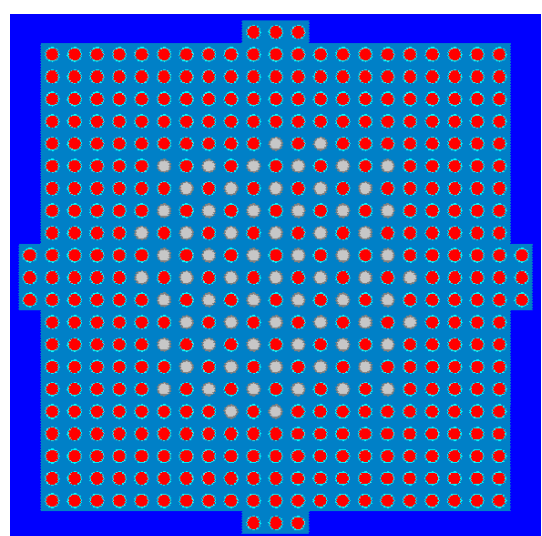
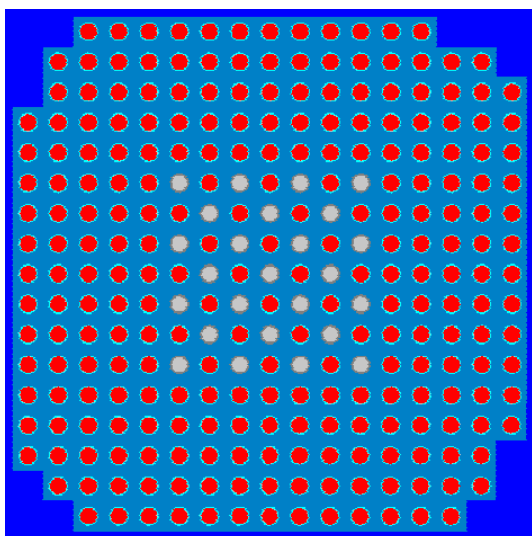
以上



(4 of 4 配列 ; (左) 模擬体 25 本、棒状燃料 276 本、(右) 模擬体 69 本、棒状燃料 398 本)



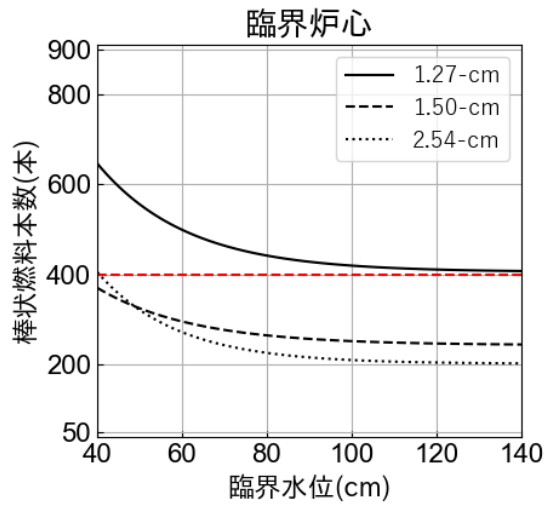
(1 of 4 配列 ; (左) 模擬体 25 本、棒状燃料 241 本、(右) 模擬体 69 本、棒状燃料 354 本)



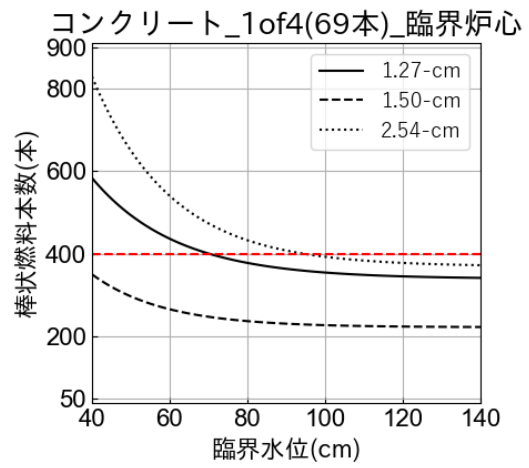
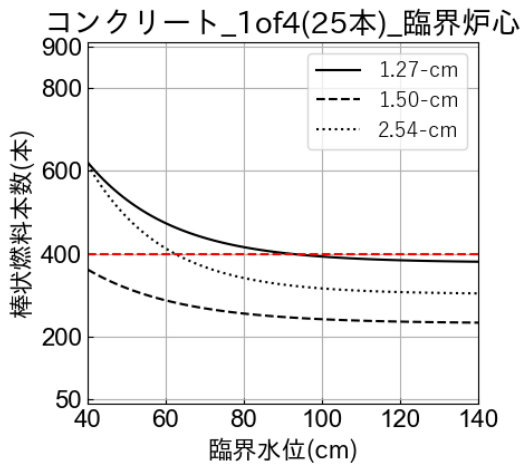
(2 of 4 配列 ; (左) 模擬体 25 本、棒状燃料 249 本、(右) 模擬体 69 本、棒状燃料 384 本)

(凡例) ●棒状燃料、○デブリ構造材模擬体

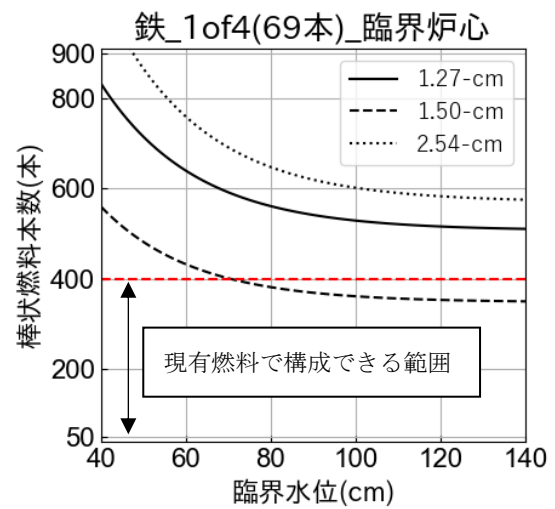
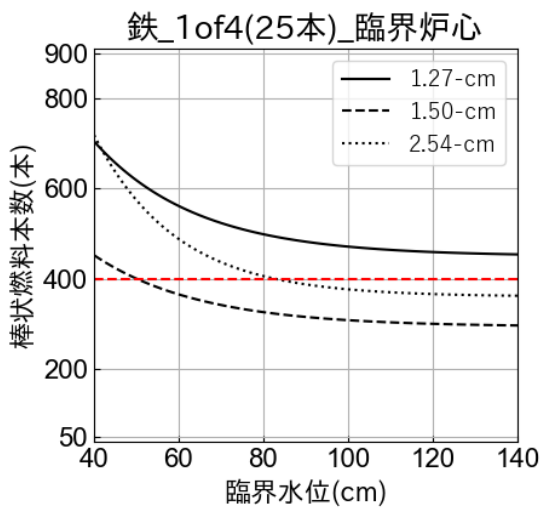
図 1 デブリ構造材模擬体配列パターン例 (上から 4 of 4、1 of 4、2 of 4)



(1) 参考：基本炉心



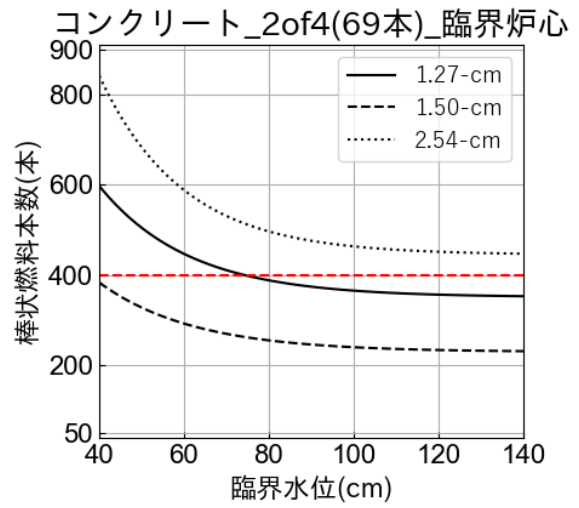
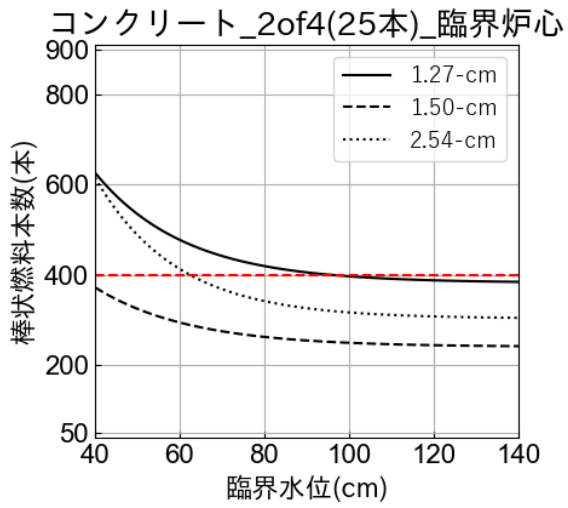
(2) デブリ構造材模擬体（コンクリート）1 of 4 配列（左：25本、右：69本）



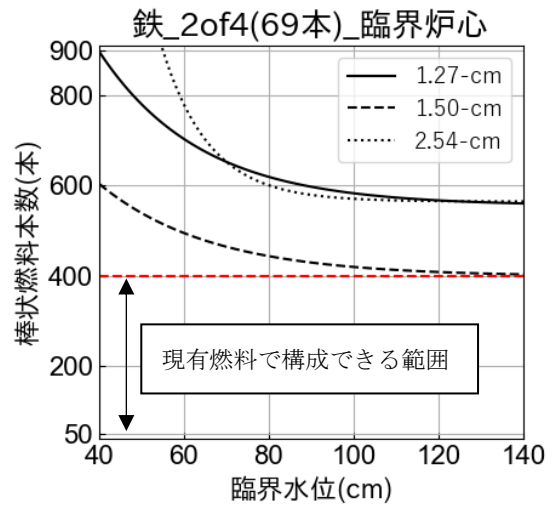
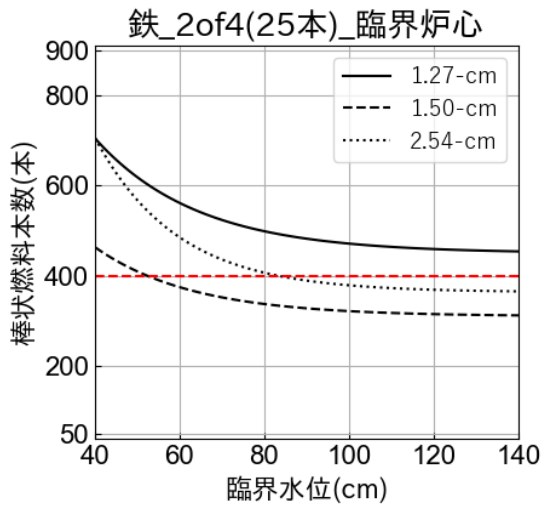
(3) デブリ構造材模擬体（鉄）1 of 4 配列（左：25本、右：69本）

図2 (1/3) 臨界サーベイ結果



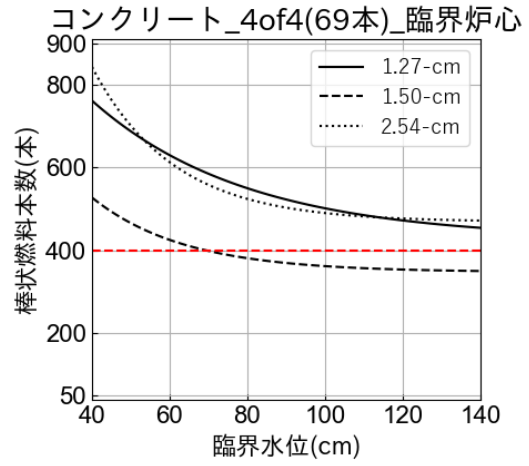
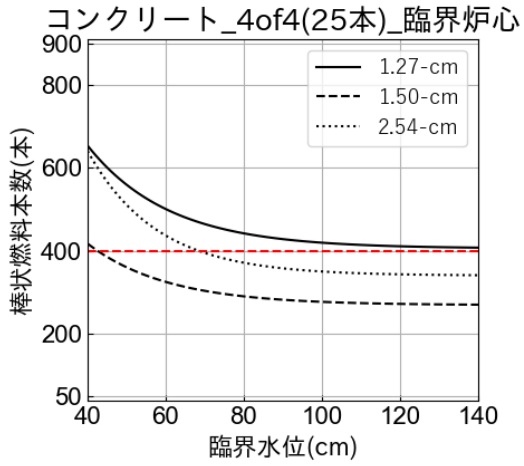


(4) デブリ構造材模擬体（コンクリート）2 of 4 配列（左：25本、右：69本）

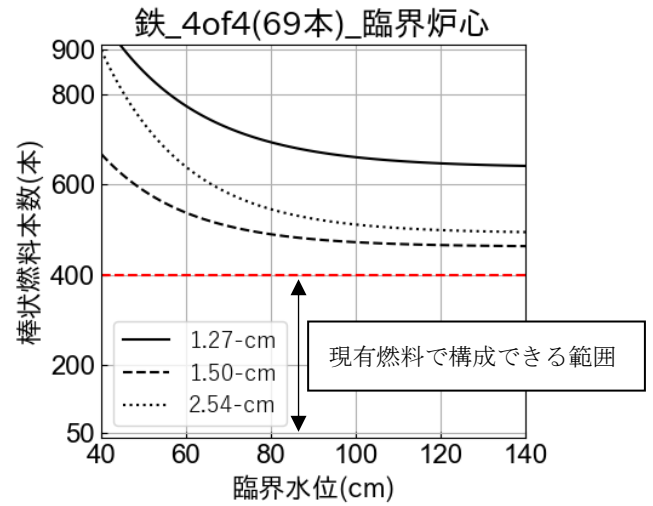
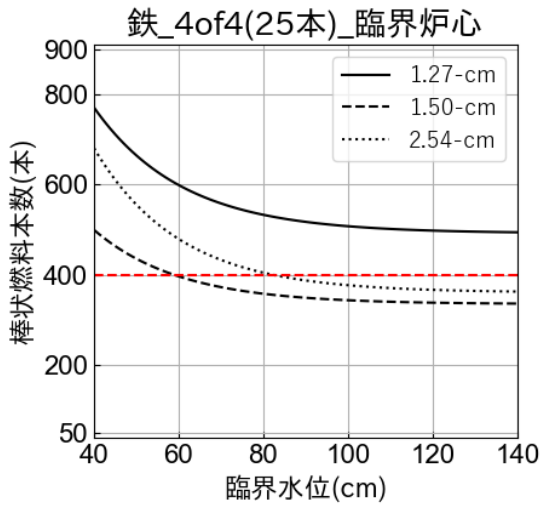


(5) デブリ構造材模擬体（鉄）2 of 4 配列（左：25本、右：69本）

図2 (2/3) 臨界サーベイ結果（続き）



(6) デブリ構造材模擬体（コンクリート）4 of 4 配列（左：25本、右：69本）



(7) デブリ構造材模擬体（鉄）4 of 4 配列（左：25本、右：69本）

図2 (3/3) 臨界サーベイ結果（続き）

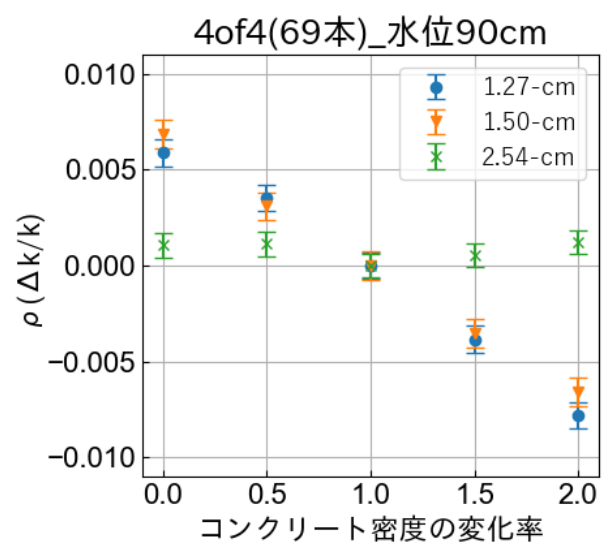
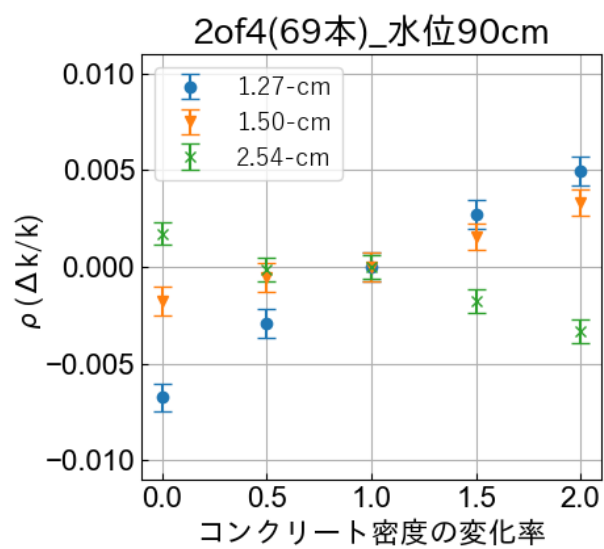
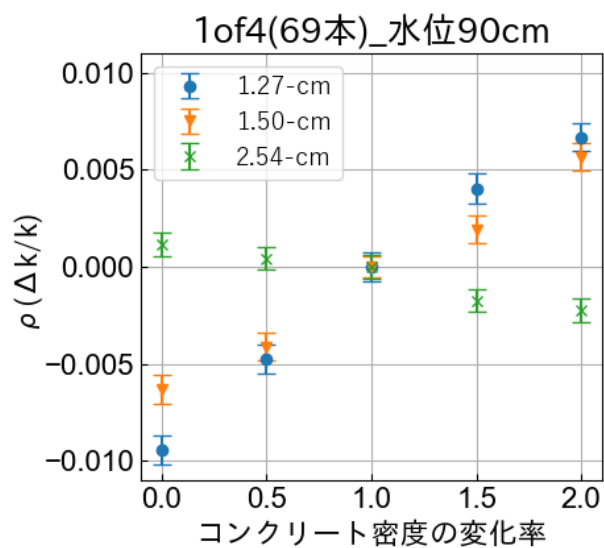


図3 コンクリート密度の感度解析結果

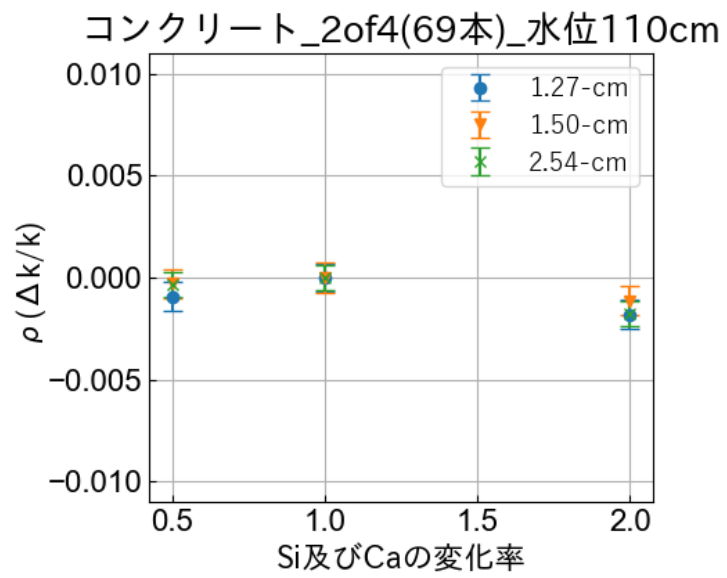


図4 コンクリート主要成分の感度解析結果

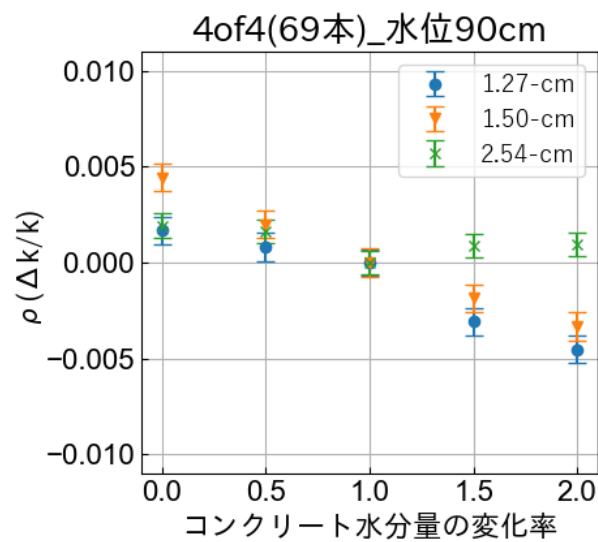
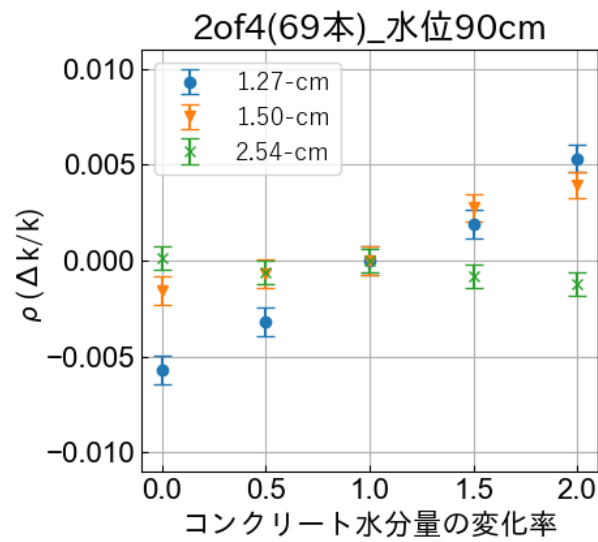
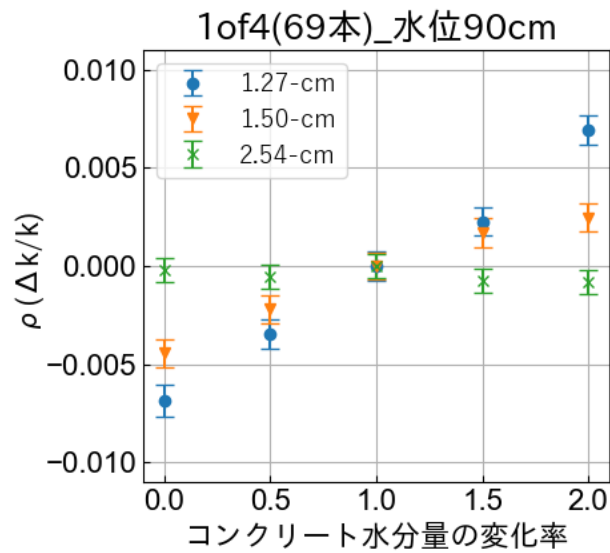


図5 コンクリートの水分量の感度解析結果

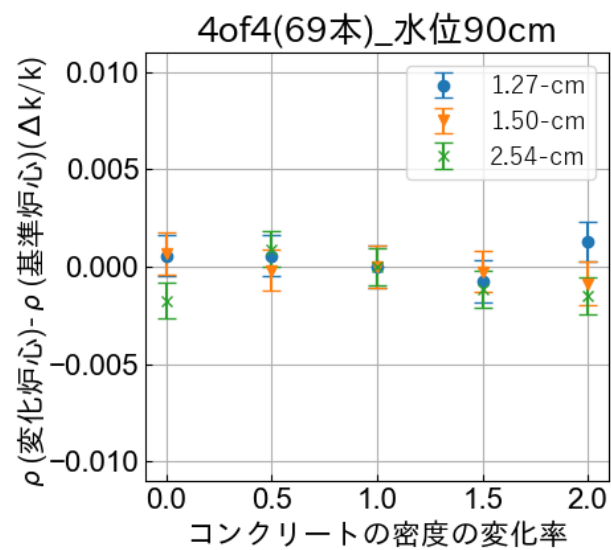
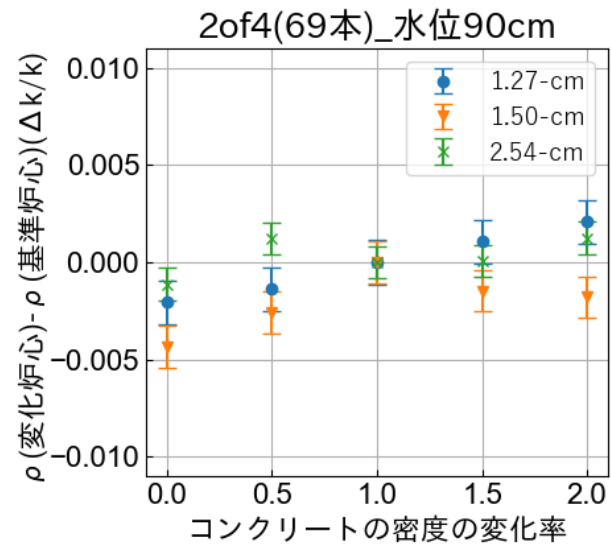
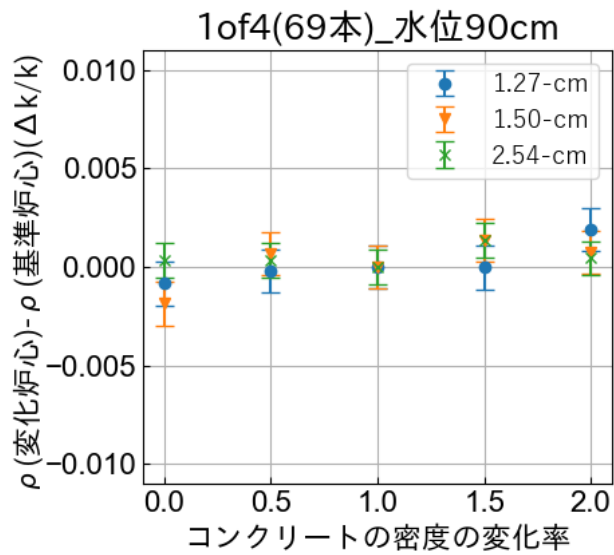


図6 コンクリート密度が安全板の原子炉停止効果に及ぼす影響解析結果

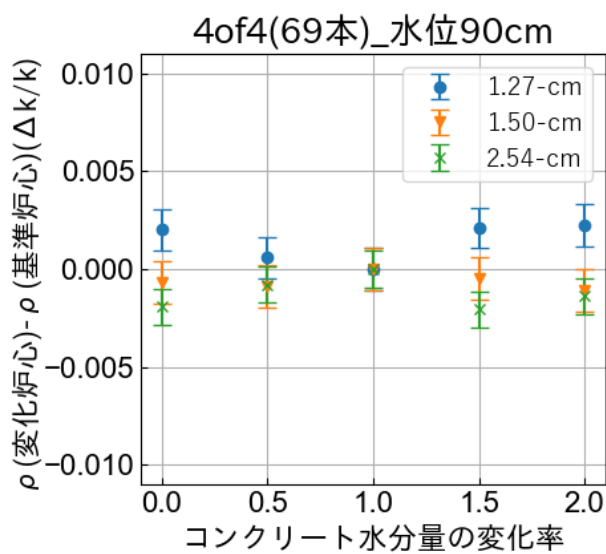
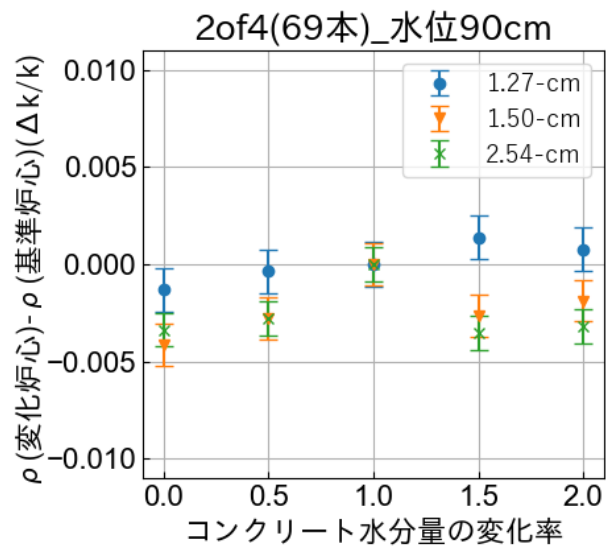
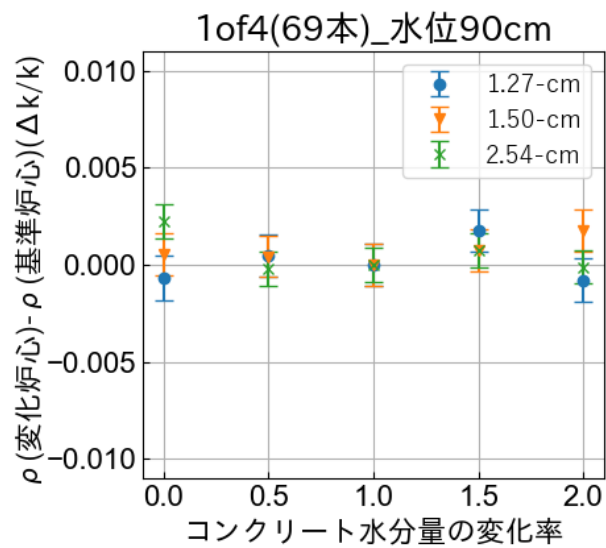


図7 コンクリート水分量が安全板の原子炉停止効果に及ぼす影響解析結果

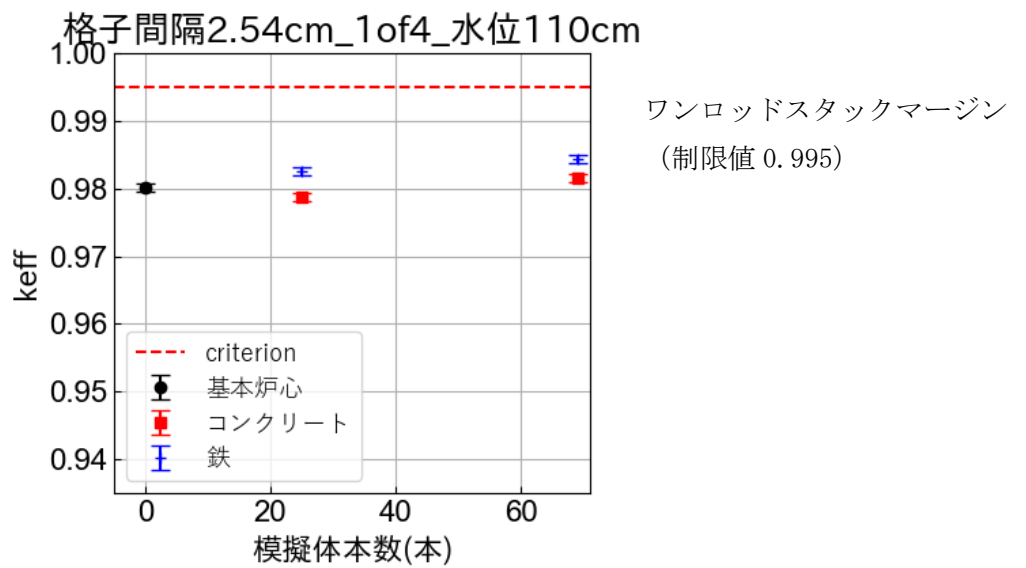
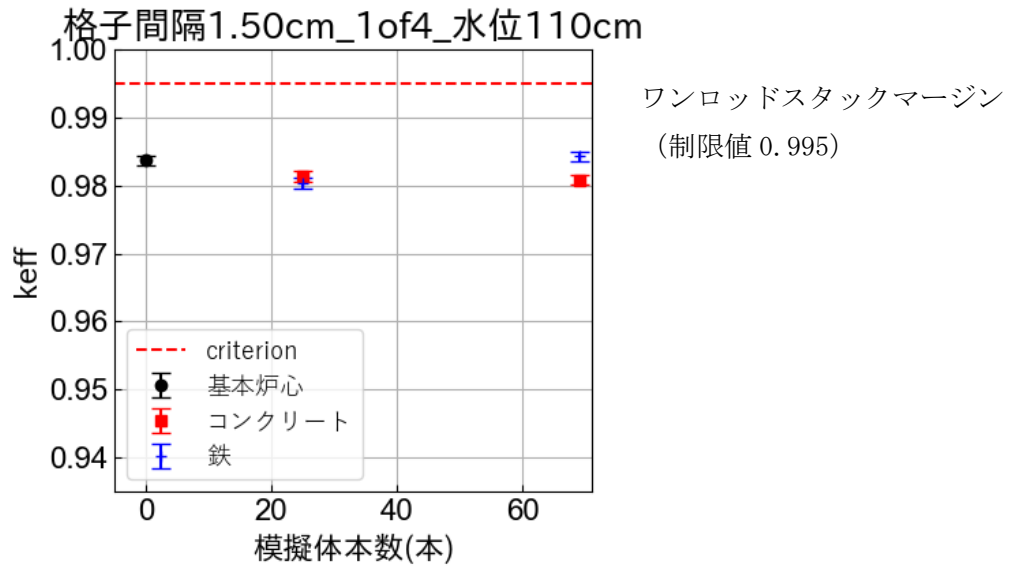
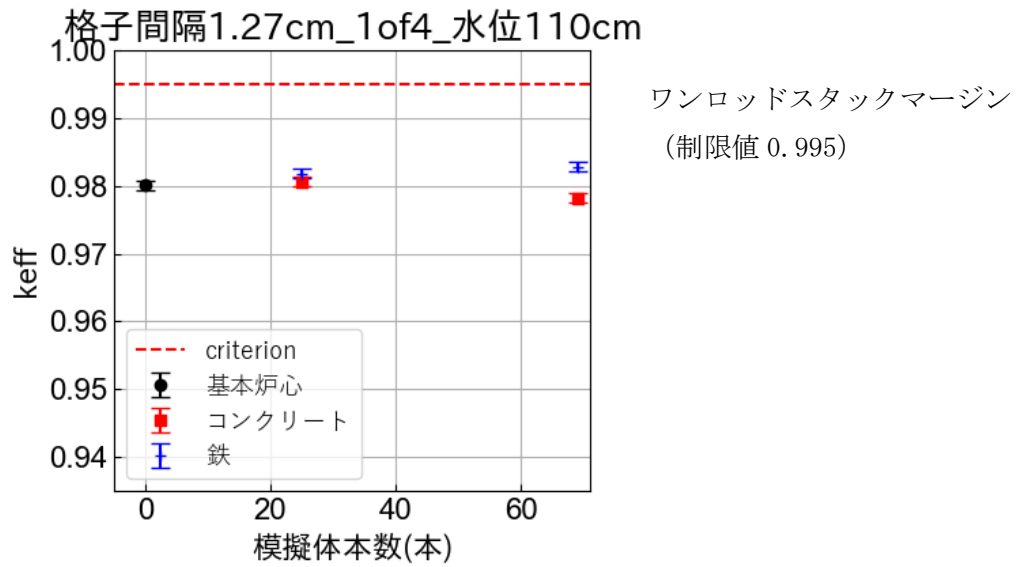


図8 (1/3) デブリ構造材模擬体の挿入本数がワンロードスタックマージンに及ぼす影響の評価結果 (1 of 4 配置)



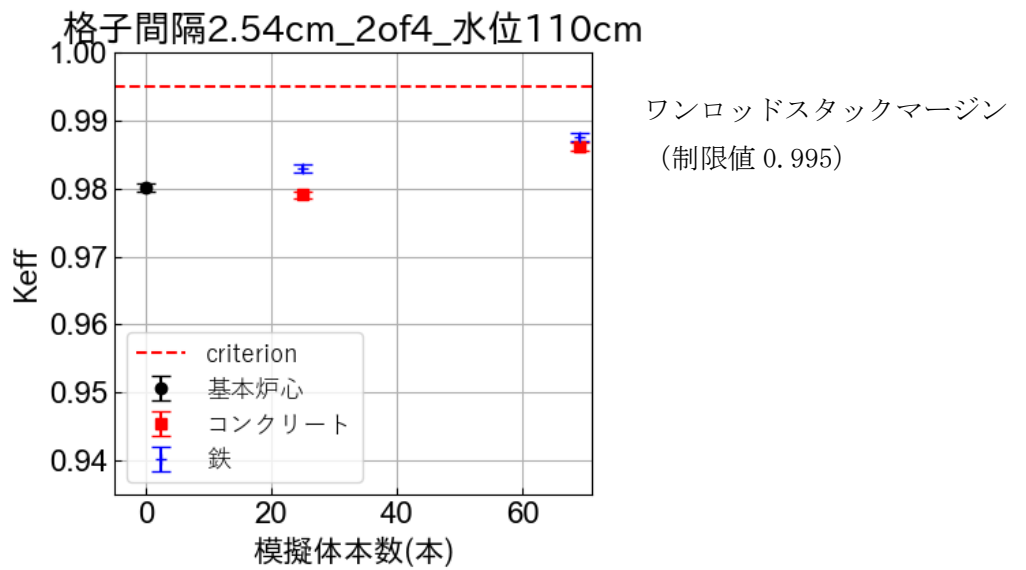
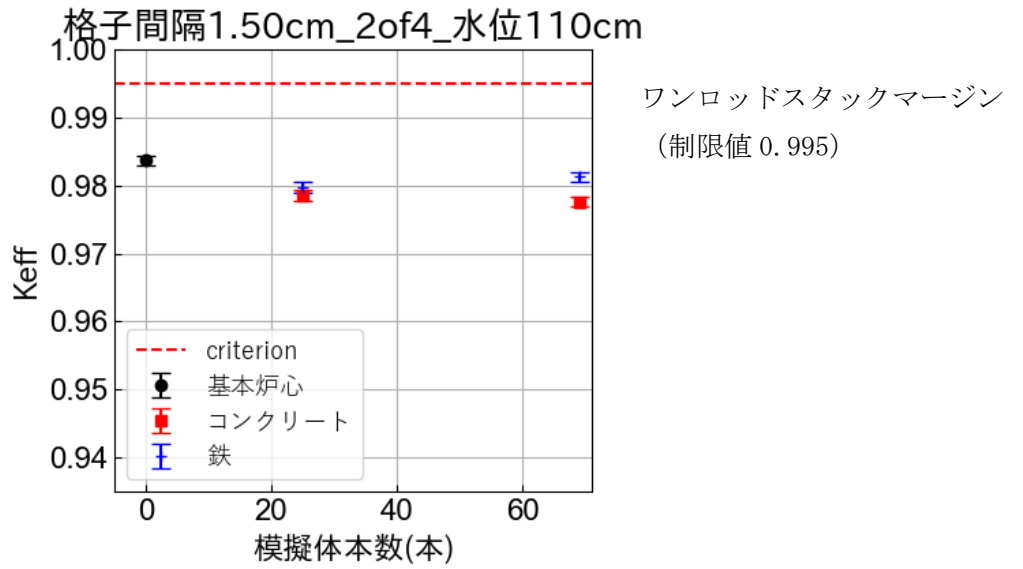
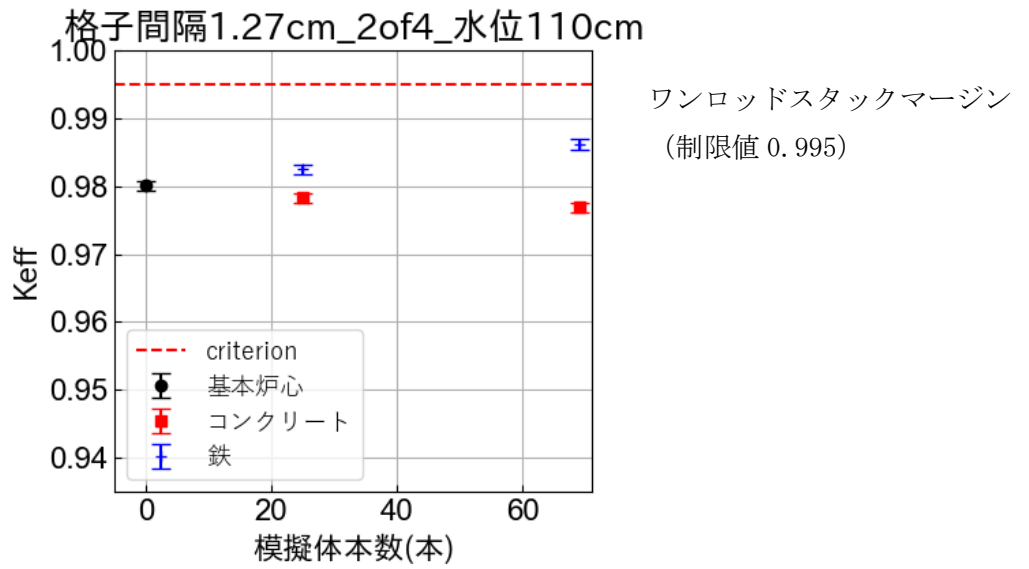


図8 (2/3) デブリ構造材模擬体の挿入本数がワンロッドスタックマージンに及ぼす影響の評価結果 (続き) (2 of 4 配置)

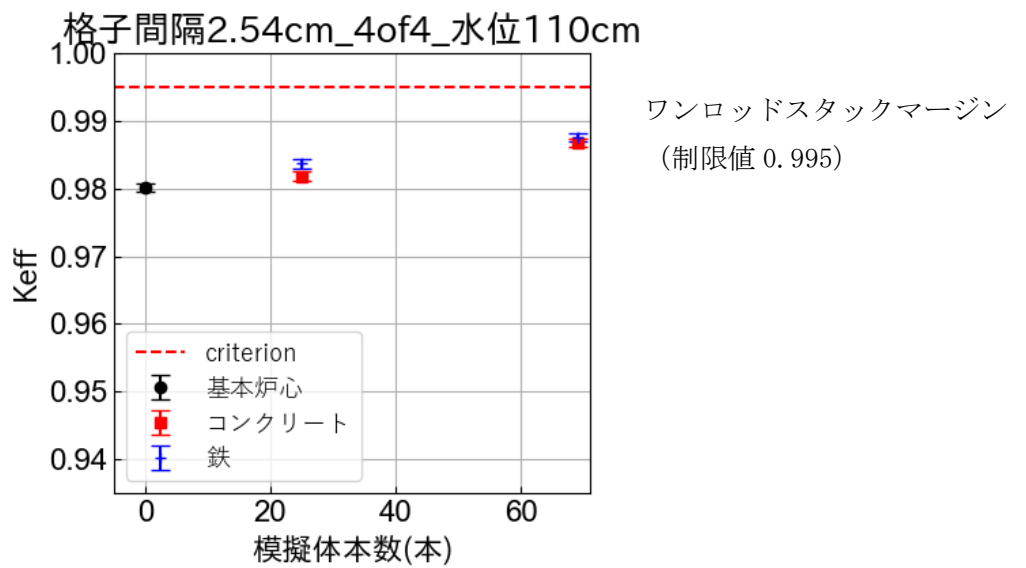
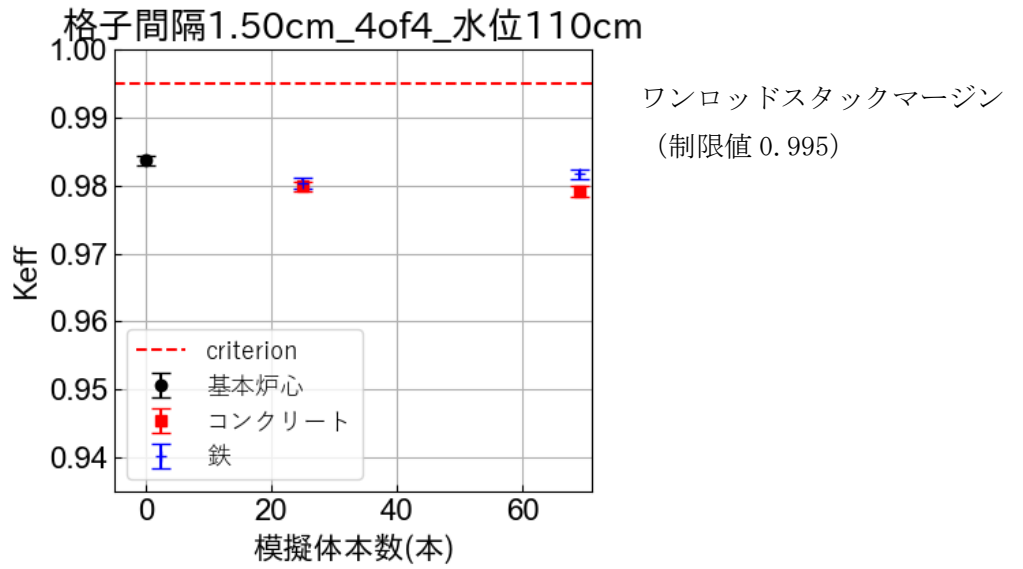
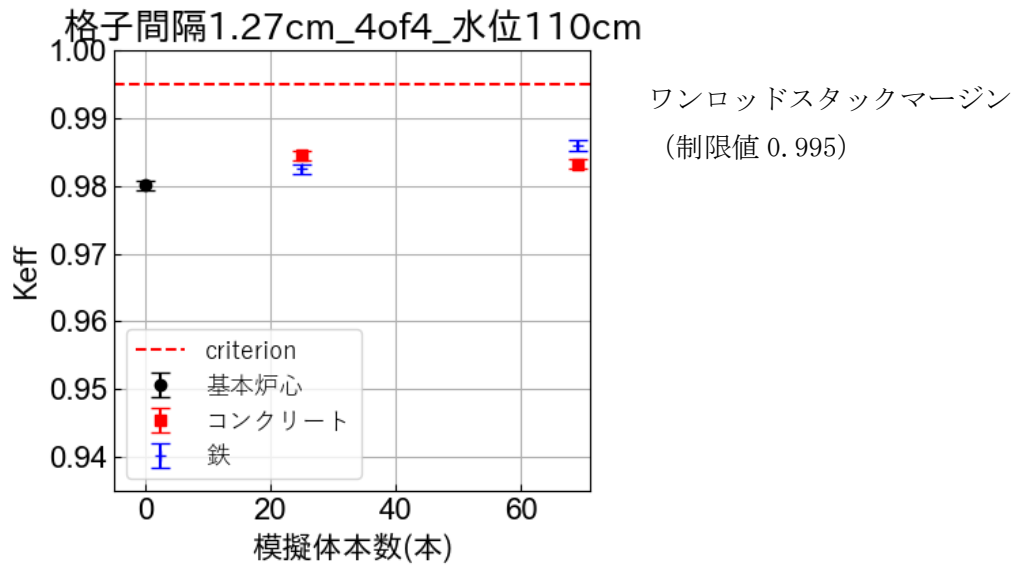


図8 (3/3) デブリ構造材模擬体の挿入本数がワンロッドスタックマージンに及ぼす影響の評価結果 (続き) (4 of 4 配置)

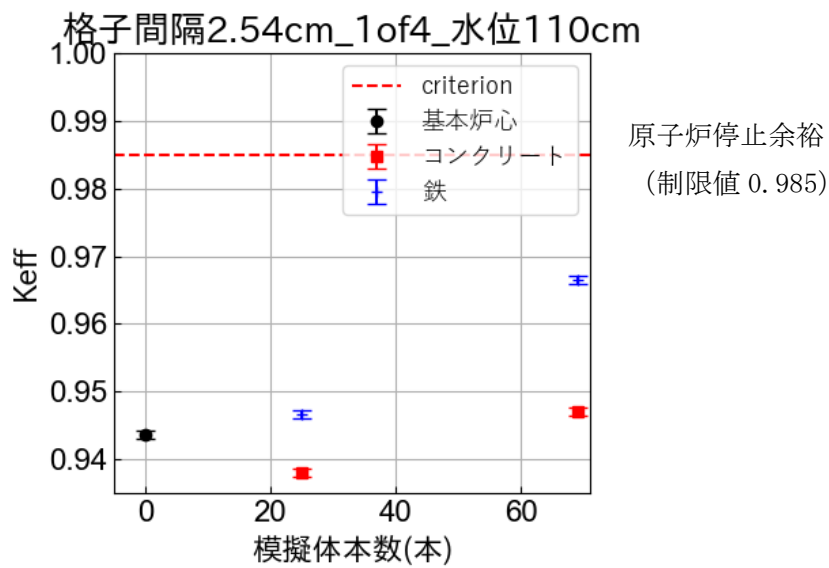
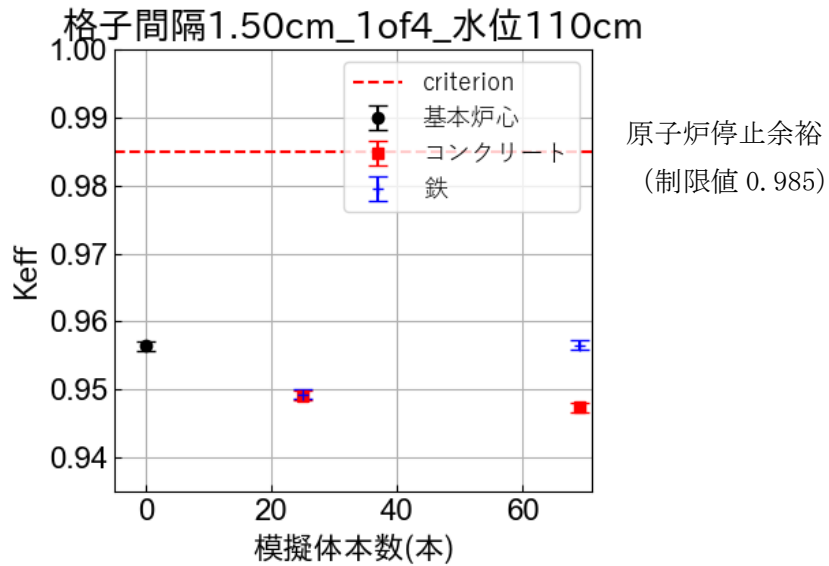
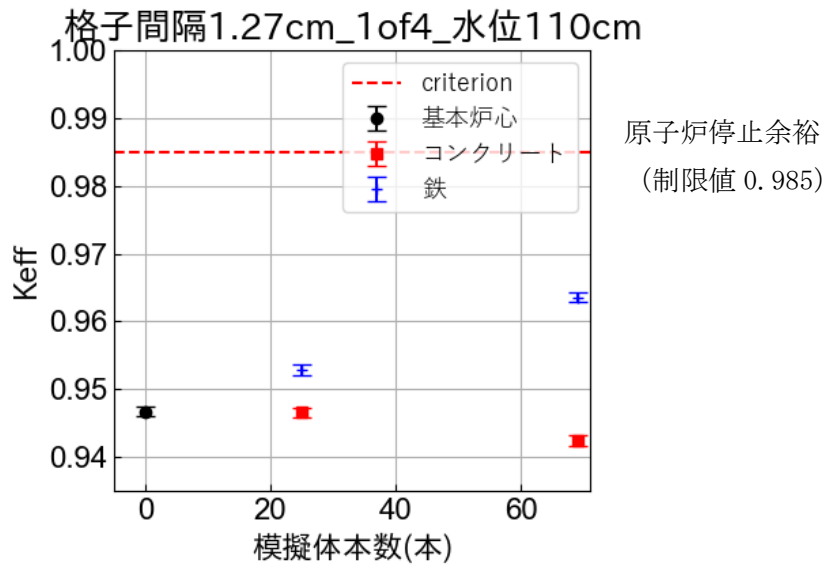


図9 (1/3) デブリ構造材模擬体の挿入本数が原子炉停止余裕に及ぼす影響の評価結果 (1 of 4 配置)

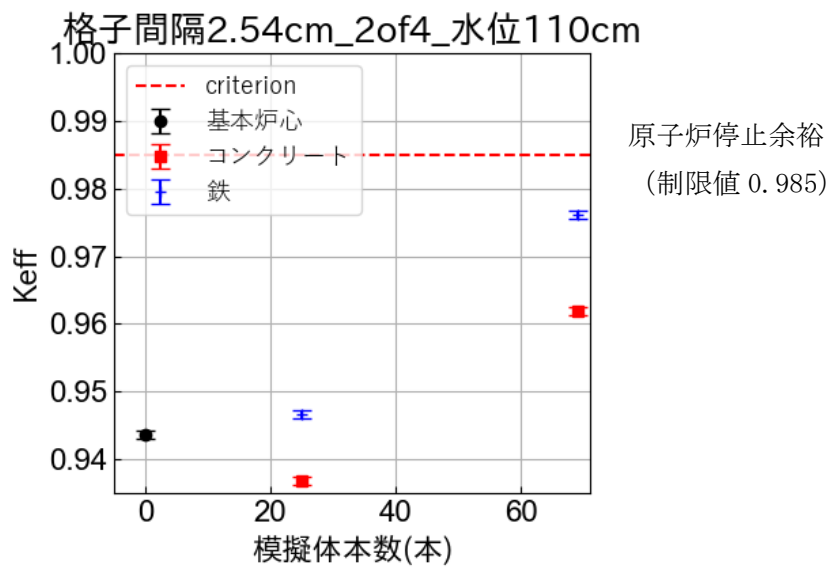
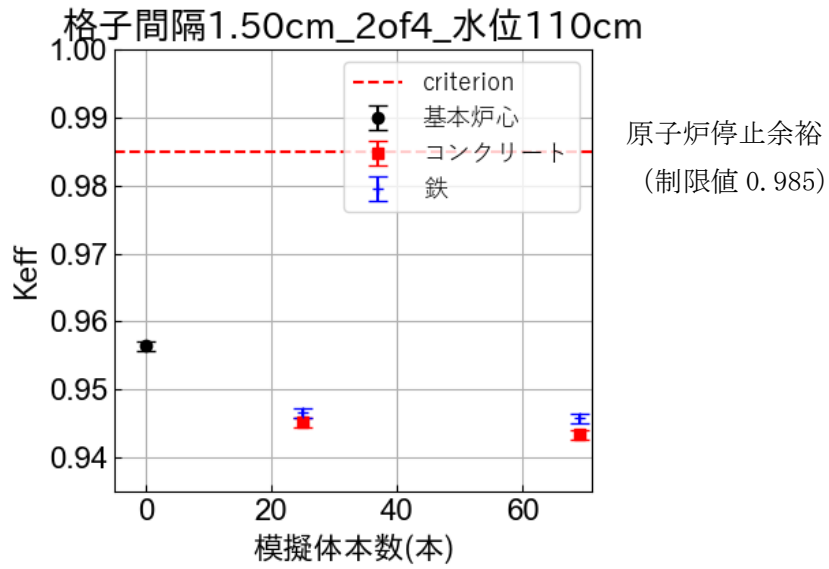
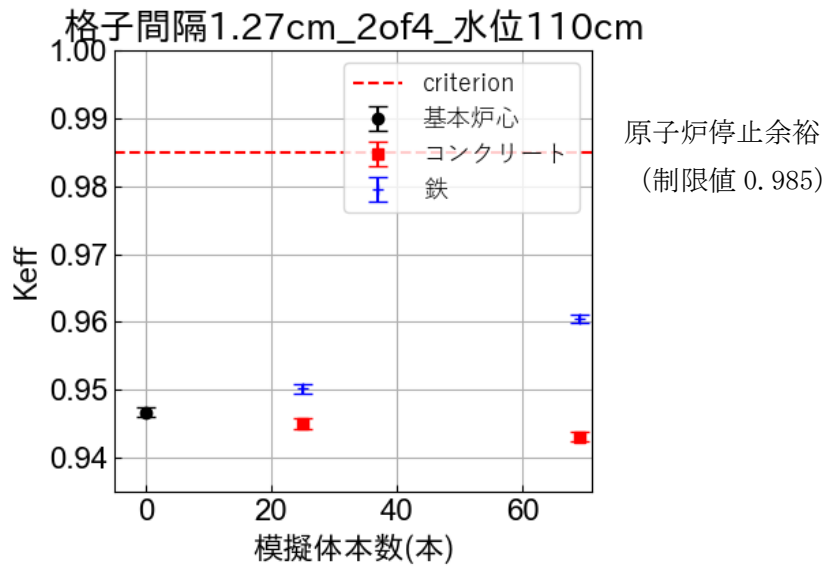


図9 (2/3) デブリ構造材模擬体の挿入本数が原子炉停止余裕に及ぼす影響の評価結果 (続き) (2 of 4 配置)

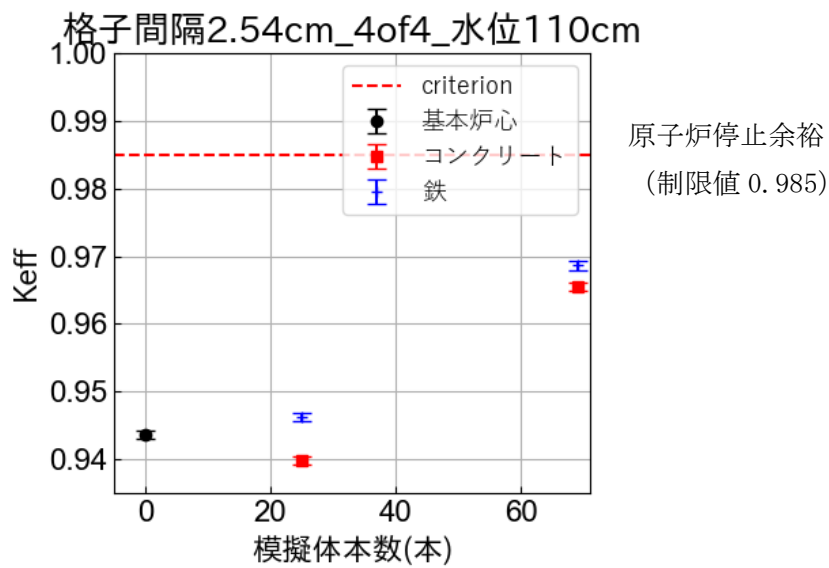
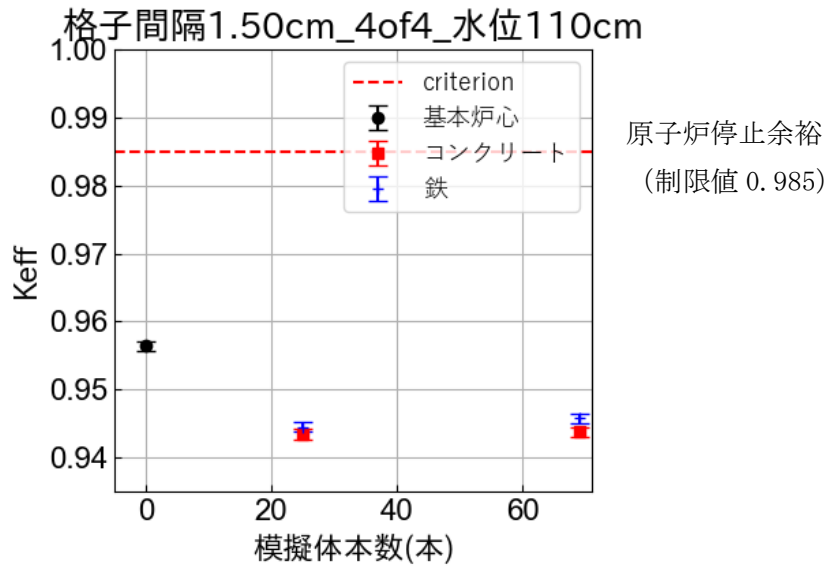
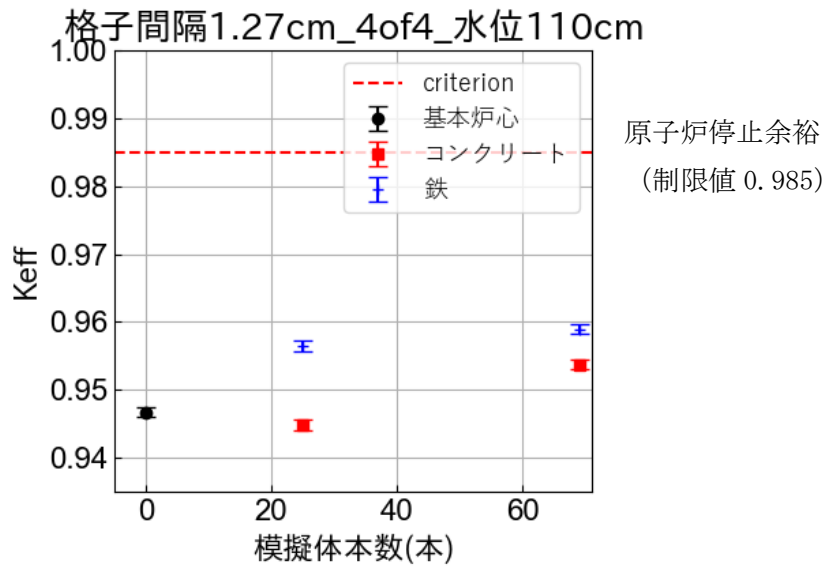
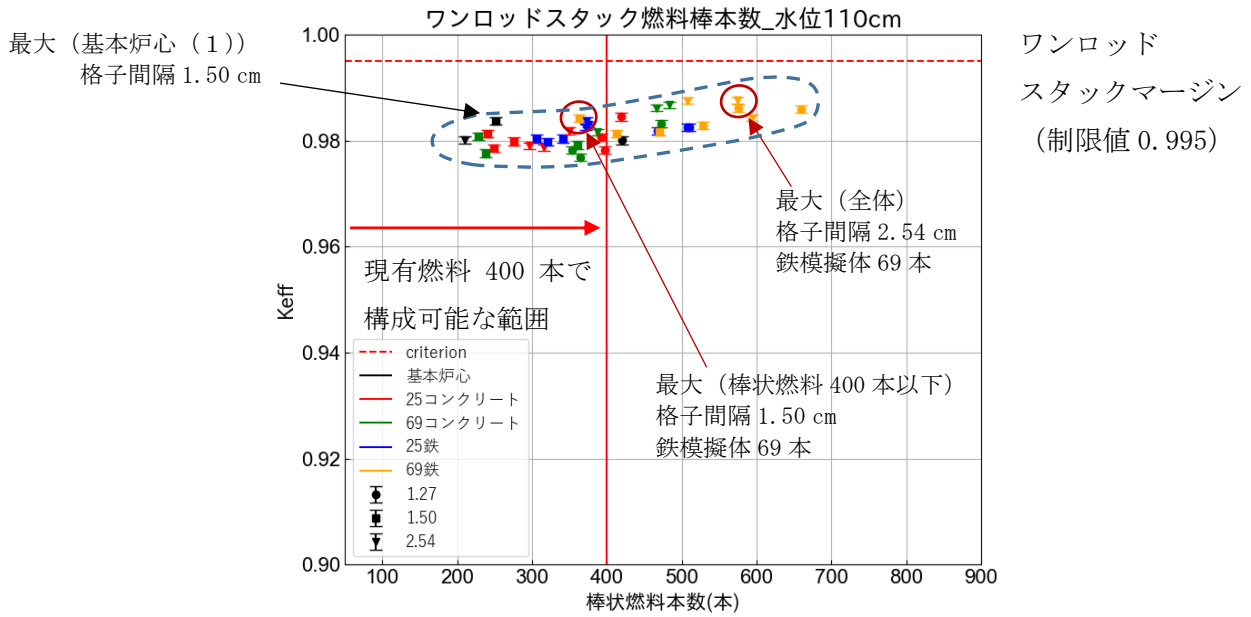
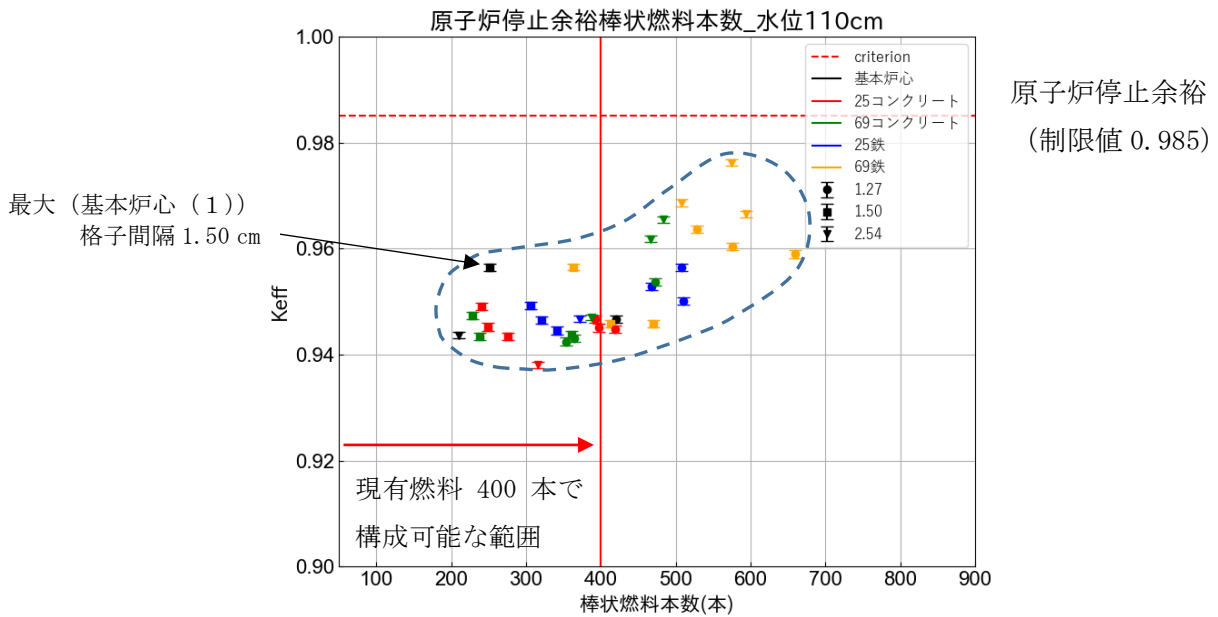


図9 (3/3) デブリ構造材模擬体の挿入本数が原子炉停止余裕に及ぼす影響の評価結果 (続き) (4 of 4 配置)

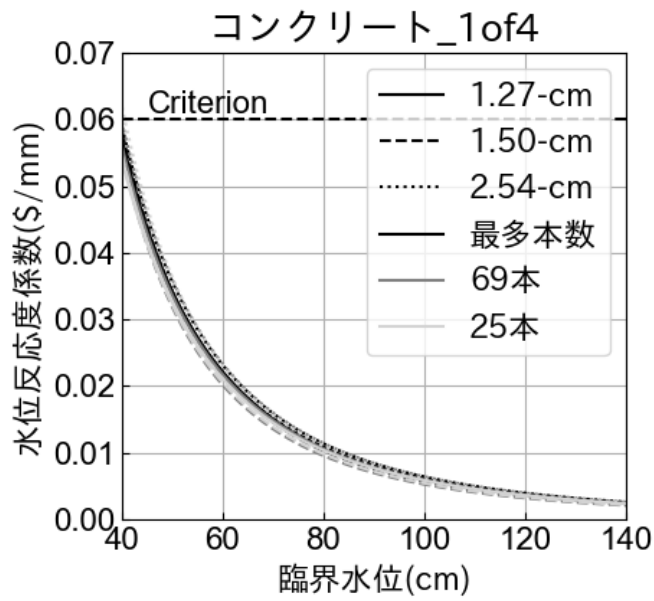


(a) ワンロッドスタックマージンの評価

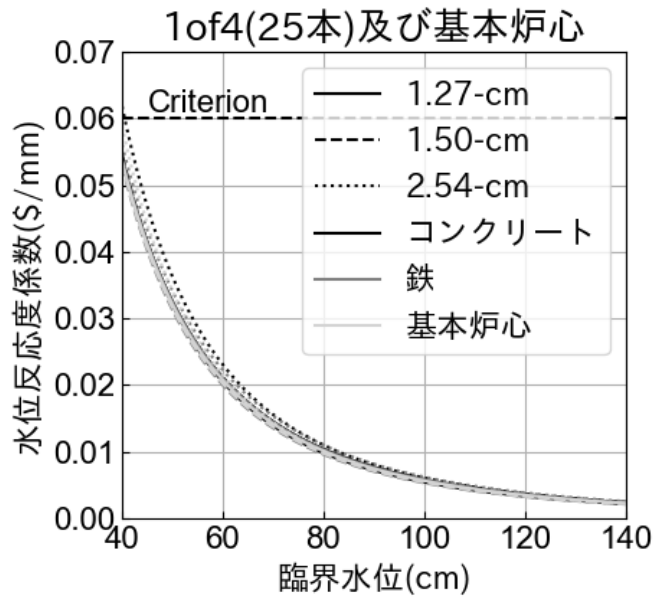


(b) 原子炉停止余裕の評価

図 10 棒状燃料本数と安全板の原子炉停止効果



(a) 構造材模擬体挿入本数の比較 (コンクリート)



(b) 構造材模擬体種別の比較

図 11 デブリ構造材模擬体の挿入本数及び種別が水位反応度係数に及ぼす影響の評価結果

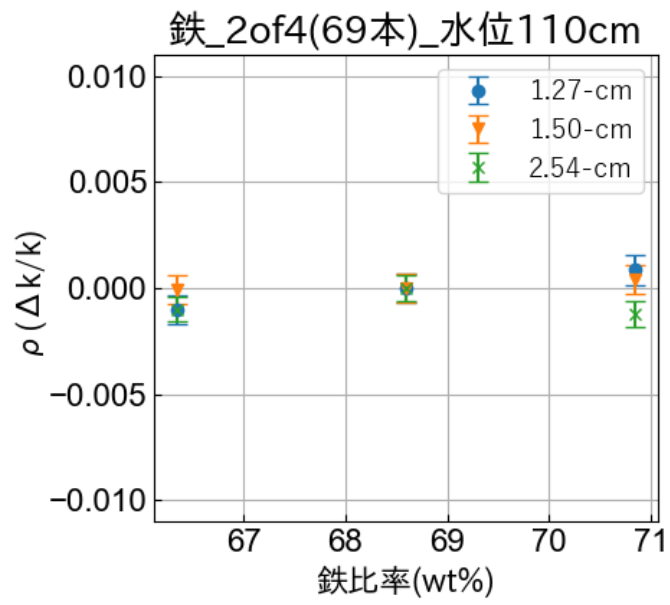


図 12 鉄の感度解析結果



表2 臨界炉心データ (図8及び図9関連)

模擬体種別 (配置)	格子間隔 (cm)	模擬体挿入本数 (本)		安全板枚数 (枚)
		25	69	
コンクリート (1 of 4)	1.27	392	354	2
	1.50	241	228	2
	2.54	316	388	4
鉄 (1 of 4)	1.27	468	528	2
	1.50	306	363	2
	2.54	372	594	4
コンクリート (2 of 4)	1.27	397	365	2
	1.50	249	238	2
	2.54	296	466	4
鉄 (2 of 4)	1.27	510	576	2
	1.50	321	413	2
	2.54	376	574	4
コンクリート (4 of 4)	1.27	419	472	2
	1.50	276	361	2
	2.54	350	484	4
鉄 (4 of 4)	1.27	508	660	2
	1.50	342	470	2
	2.54	373	508	4

臨界水位:110cm

表3 水位反応度係数フィッティングパラメータ (図 11 関連)

条件	格子間隔 (cm)	変換定数 C ( $\$ \cdot \text{cm}^2$ )	外挿距離 $\lambda$ (cm)
コンクリート (最多本数)	1.27	$8.97 \times 10^4$	14.0
	1.50	$7.84 \times 10^4$	11.3
	2.54	$9.66 \times 10^4$	14.7
コンクリート (69 本)	1.27	$8.80 \times 10^4$	14.0
	1.50	$7.14 \times 10^4$	10.8
	2.54	$9.62 \times 10^4$	14.4
コンクリート (25 本)	1.27	$8.89 \times 10^4$	15.0
	1.50	$7.60 \times 10^4$	11.8
	2.54	$8.40 \times 10^4$	11.4
鉄 (25 本)	1.27	$8.64 \times 10^4$	14.3
	1.50	$7.48 \times 10^4$	12.1
	2.54	$9.57 \times 10^4$	15.5
基本炉心	1.27	$8.32 \times 10^4$	13.7
	1.50	$7.70 \times 10^4$	12.5
	2.54	$7.40 \times 10^4$	10.1

フィッティング式 :  $d\rho/dH=C/(Hc+\lambda)^3$

付録表 コンクリートの組成データ

コンクリート (標準組成)			
核種	密度 ( $10^{24}/\text{cm}^3$ )	核種	密度 ( $10^{24}/\text{cm}^3$ )
H-1	$1.3743 \times 10^{-2}$	Al-27	$1.7409 \times 10^{-3}$
O-16	$4.5933 \times 10^{-2}$	Si-nat	$1.6617 \times 10^{-2}$
C-nat	$1.1532 \times 10^{-4}$	K-nat	$4.6054 \times 10^{-4}$
Na-nat	$9.6397 \times 10^{-4}$	Ca-nat	$1.5026 \times 10^{-3}$
Mg-nat	$1.2389 \times 10^{-4}$	Fe-nat	$3.4507 \times 10^{-4}$

コンクリート(密度0.5倍)			
核種	密度 ( $10^{24}/\text{cm}^3$ )	核種	密度 ( $10^{24}/\text{cm}^3$ )
H-1	$6.8715 \times 10^{-3}$	Al-27	$8.7045 \times 10^{-4}$
O-16	$2.2967 \times 10^{-3}$	Si-nat	$8.3085 \times 10^{-3}$
C-nat	$5.7660 \times 10^{-5}$	K-nat	$2.3027 \times 10^{-4}$
Na-nat	$4.8199 \times 10^{-4}$	Ca-nat	$7.5130 \times 10^{-4}$
Mg-nat	$6.1945 \times 10^{-5}$	Fe-nat	$1.7254 \times 10^{-4}$

コンクリート(密度2.0倍)			
核種	密度 ( $10^{24}/\text{cm}^3$ )	核種	密度 ( $10^{24}/\text{cm}^3$ )
H-1	$2.7486 \times 10^{-2}$	Al-27	$3.4818 \times 10^{-3}$
O-16	$9.1867 \times 10^{-2}$	Si-nat	$3.3234 \times 10^{-2}$
C-nat	$2.3064 \times 10^{-4}$	K-nat	$9.2108 \times 10^{-4}$
Na-nat	$1.9280 \times 10^{-3}$	Ca-nat	$3.0052 \times 10^{-3}$
Mg-nat	$2.4778 \times 10^{-4}$	Fe-nat	$6.9014 \times 10^{-4}$

※-natは天然核種組成を示す。

付録表 コンクリートの組成データ (続き)

コンクリート(水分量0.5倍) 水分率約4.7 wt%			
核種	密度 ( $10^{24}/\text{cm}^3$ )	核種	密度 ( $10^{24}/\text{cm}^3$ )
H-1	$6.8715 \times 10^{-3}$	Al-27	$1.7409 \times 10^{-3}$
O-16	$4.2497 \times 10^{-2}$	Si-nat	$1.6617 \times 10^{-2}$
C-nat	$1.1532 \times 10^{-4}$	K-nat	$4.6054 \times 10^{-4}$
Na-nat	$9.6397 \times 10^{-4}$	Ca-nat	$1.5026 \times 10^{-3}$
Mg-nat	$1.2389 \times 10^{-4}$	Fe-nat	$3.4507 \times 10^{-4}$

コンクリート(水分量2.0倍) 水分率約16.4 wt%			
核種	密度 ( $10^{24}/\text{cm}^3$ )	核種	密度 ( $10^{24}/\text{cm}^3$ )
H-1	$2.7486 \times 10^{-2}$	Al-27	$1.7409 \times 10^{-3}$
O-16	$5.2805 \times 10^{-2}$	Si-nat	$1.6617 \times 10^{-2}$
C-nat	$1.1532 \times 10^{-4}$	K-nat	$4.6054 \times 10^{-4}$
Na-nat	$9.6397 \times 10^{-4}$	Ca-nat	$1.5026 \times 10^{-3}$
Mg-nat	$1.2389 \times 10^{-4}$	Fe-nat	$3.4507 \times 10^{-4}$

※-natは天然核種組成を示す。

(参考) コンクリートの水分量

組成	水分量 w ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	水分以外の組成 o ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	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