

補足資料

燃料試料挿入管及び内挿管の核的影響について

燃料試料挿入管及び内挿管は少量試料（実験試料など核的な影響が小さいもの）を炉心に挿入するものであり、炉心の種類（基本炉心、デブリ模擬炉心）を問わず装荷する。本資料では、燃料試料挿入管及び内挿管の核的な影響について説明する。

(1) 燃料試料挿入管について

燃料試料挿入管は、上部に脱着式端栓を備えた、棒状燃料と同径かつ同等材料でできた被覆管である。燃料試料挿入管はジルコニウム合金製であり、核的な影響は無視できる。また、基本炉心及びデブリ模擬炉心で使用する燃料試料挿入管の装荷物には、 ^{235}U 濃縮度 5 wt%以下の二酸化ウランに鉄、コンクリート、ジルコニウム、アルミニウム等の炉心構造材を模擬した構造材模擬材を添加したもの（ペレット成型したもの）を想定している。このため、燃料試料挿入管の核的な影響は、棒状燃料、コンクリートのデブリ構造材模擬体、鉄のデブリ構造材模擬体それぞれに起因する核特性に包含されるため、燃料試料挿入管特有の核特性を考慮する必要はない。これらの核特性が STACY の安全な運転に支障ないことは事前解析によって示されているが、実験運転に当たっては、実験計画に応じて、保安規定に定める本申請添付書類 III-9-3 に示した手順で事前解析を行い、核的安全性を確認する。

(2) 内挿管について

内挿管は、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製の中空管又はそれらを組み合わせたものであり、検出器を始めとする実験試料等を挿入し、炉心に配列する。内挿管はジルコニウム合金製で棒状燃料と同径のもの（以下「細径内挿管」という。）及びアルミニウム合金製で外径が 28.8 mm のもの（以下「太径内挿管」という。）の 2 種類である。炉心への配列に当たっては、細径内挿管は棒状燃料用の孔に挿入し、太径内挿管は格子板に設けられた 3 箇所への挿入孔に挿入する。内挿管は基本炉心、デブリ模擬炉心等を問わず使用するが、いずれの炉心においても核的制限値として、万一の浸水による置換反応度が合計 0.3 ドル以下となるようにしなければならない。以下では、内挿管が万一浸水した場合でも核的制限値を満足できること、及び、内挿管を挿入した典型的な炉心の安全板挿入時の中性子実効増倍率について示す。なお、内挿管以外の実験用装荷物（燃料試料挿入管及びデブリ構造材模擬体（鉄及びコンクリート））は、内挿管の上部が開放されているのに対してデブリ構造材模擬体（コンクリート）及び燃料試料挿入管は密封構造、デブリ構造材模擬体（鉄）は稠密であるため、浸水を想定する必要はない。また、密封構造とするデブリ構造材模擬体（コンクリート）及び燃料試料挿入管は製作時に密封性確認検査を行う。

(2)-1 内挿管浸水時の反応度効果

浸水時の水置換反応度効果を評価する対象は、浸水時の反応度効果がより大きい太径内

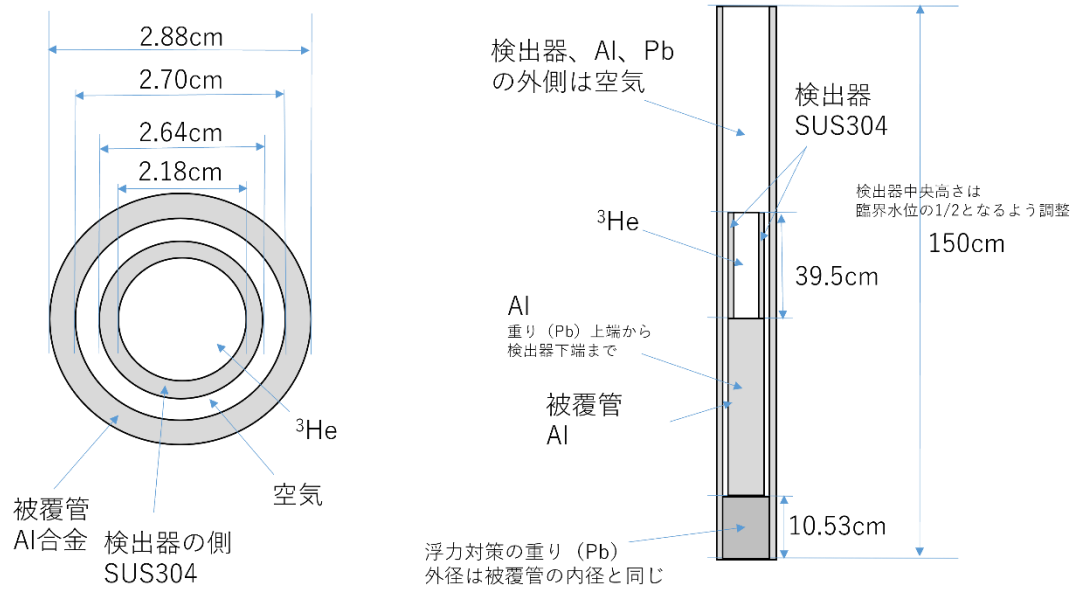
挿管とする。太径内挿管に挿入する代表的な実験試料等として、He-3 検出器を想定する。計算モデルを図補●-1 に示す。太径内挿管の挿入本数は最大数である 3 本とした。計算コード及び核データライブラリは、デブリ構造材模擬体の核特性評価に使用したのと同じ、モンテカルロコード MVP2 と JENDL-3.3 を使用した。計算範囲は、格子間隔を 1.27 cm、1.50 cm、2.54 cm とし、水位は 40 cm、70 cm、110 cm、140 cm とした。計算に当たっては、それぞれの条件で棒状燃料本数を変化させて臨界調整し、当該体系と、内挿管内の水面高さ以下の空隙を水に置換した場合の反応度効果を計算した。

計算結果を図補●-2 に示す。なお、反応度をドル (\$) 単位に換算する際の実効遅発中性子割合は、設工認 (実験用装荷物の製作及びデブリ模擬炉心の新設) のデブリ構造材模擬体の解析で安全板挿入時の中性子実効増倍率が最大となった炉心の値が $7.5 \times 10^{-3} \sim 7.8 \times 10^{-3}$ であったことから、有効数字 1 桁で切り下げて 7×10^{-3} とした。図より、内挿管の浸水による置換反応度は、いずれもモンテカルロ計算に由来する 3 標準偏差の統計誤差を考慮しても核的制限値を満足することがわかる。なお、実験運転に当たっては、実験計画に応じて、保安規定に定める本申請添付書類 III-9-3 に示した手順で事前解析を行い、核的な安全性を確認する。解析により核的制限値を満足しない可能性が確認された炉心は、「構成してはならない炉心」として識別するか、或いは水による置換を防ぐため、内挿管内の空隙部にアクリル材等の充填材を配置して運転する。

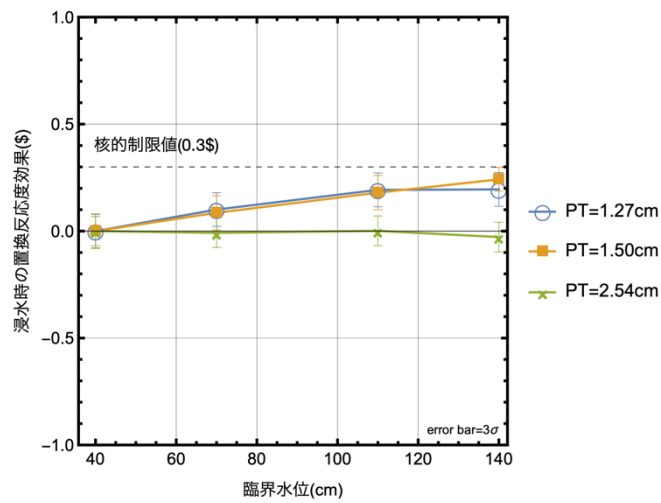
(2)-2 安全板挿入時の中性子実効増倍率

内挿管挿入時にも核的安全性が確保できることを確認するため、内挿管を挿入した炉心の安全板挿入時の中性子実効増倍率 (全挿入時及びワンロッドスタック時) を計算した。内挿管は細径又は太径を考慮した。挿入本数は、細径の場合は 1 本、9 本、25 本のほか、製作する 30 本を包含する本数として 49 本とした。また、太径の場合は 3 本とし、3 箇所挿入孔すべてに挿入することとした。内挿管に挿入する実験試料等は、太径については (1) の解析と同様の He-3 検出器とし、細径については金線とした。なお、反応度効果を大きくするために、金線はカドミウムで被覆し、さらに周囲をアクリルで充填した。細径内挿管の計算モデルを図補●-3 に、炉心配置マップ (それぞれの内挿管本数における中性子実効増倍率 (ワンロッドスタックマージン) が最大となった条件のマップ) を図補●-4 に示す。

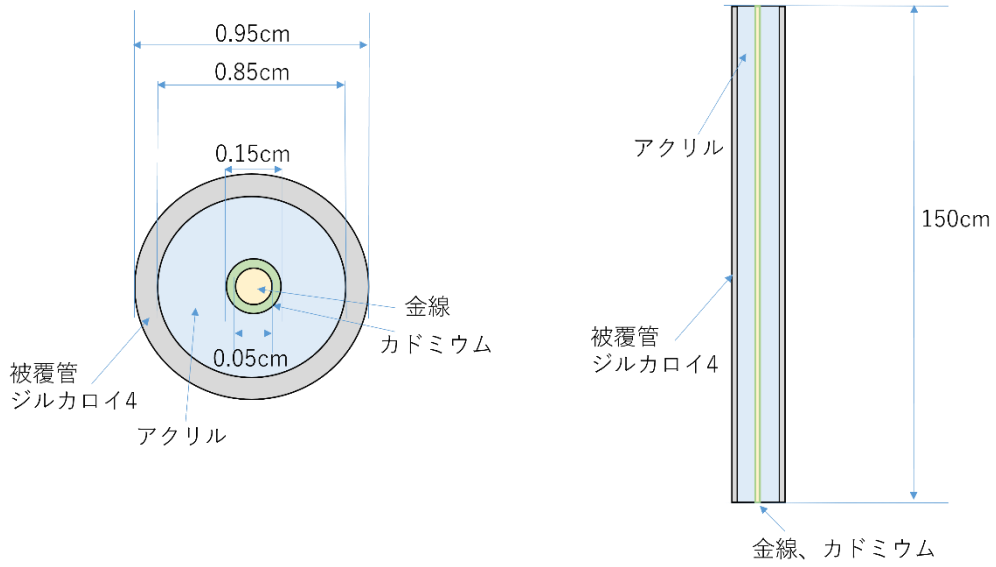
計算結果を図補●-5 に示す。内挿管を使用した炉心で中性子実効増倍率が最大となったのは太径内挿管を挿入した炉心であるが、デブリ構造材模擬体の解析で中性子実効増倍率が最大となった炉心との差は $7 \times 10^{-4} \Delta k$ (約 0.9σ) とモンテカルロ計算の誤差範囲内であり、また基本炉心の解析により使用前事業者検査の受検炉心 (案) として選定した炉心よりも低い (差はワンロッドスタックマージンで $5 \times 10^{-3} \Delta k$ 、原子炉停止余裕で $6 \times 10^{-4} \Delta k$) ことが確認できた。以上から、デブリ構造材模擬体と同様、実験計画に応じて、保安規定に定め本申請添付書類 III-9-3 に示した手順で事前解析を行い、核的な安全性を確認しつつ運転できることが確認できた。



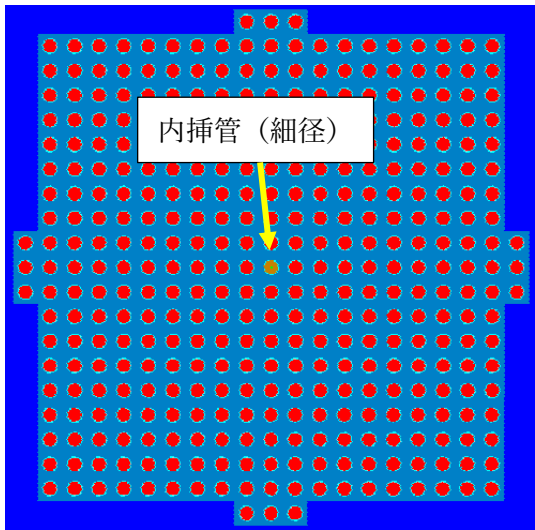
図補●-1 内挿管（太径）の浸水による置換反応度の計算モデル
 (左：上面図、右：立面図)



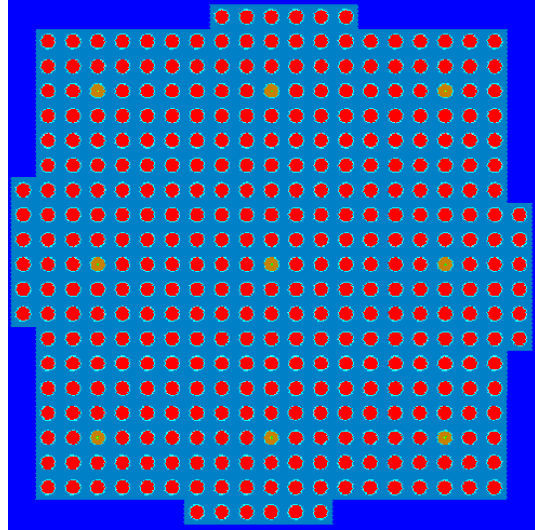
図補●-2 内挿管（太径内挿管 3 本）の浸水による置換反応度の計算結果



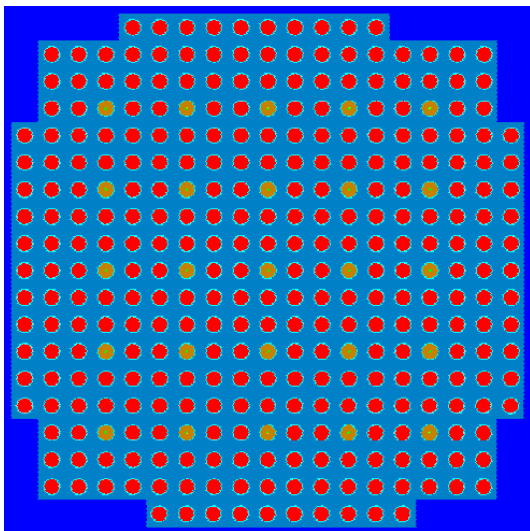
図補●-3 内挿管（細径）の計算モデル
 (左：上面図、右：立面図)



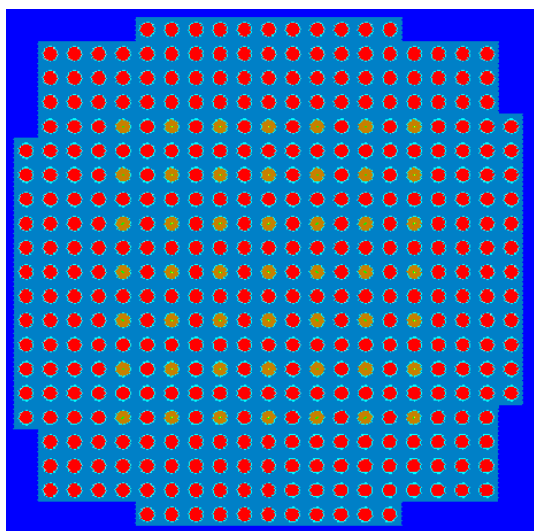
棒状燃料 376 本、臨界水位 40cm、内挿管 1 本



棒状燃料 376 本 臨界水位 40cm 内挿管 9 本

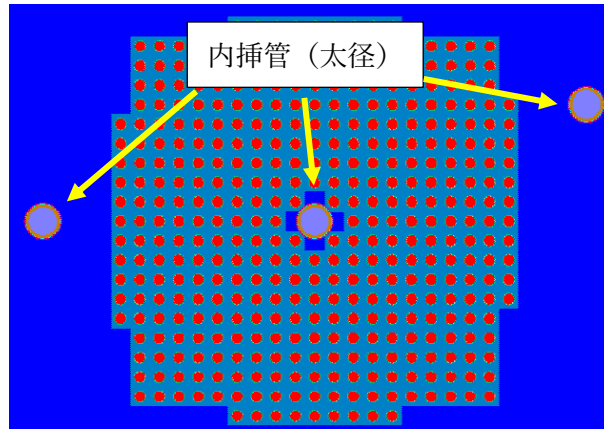


棒状燃料 306 本、臨界水位 70cm、内挿管 25 本



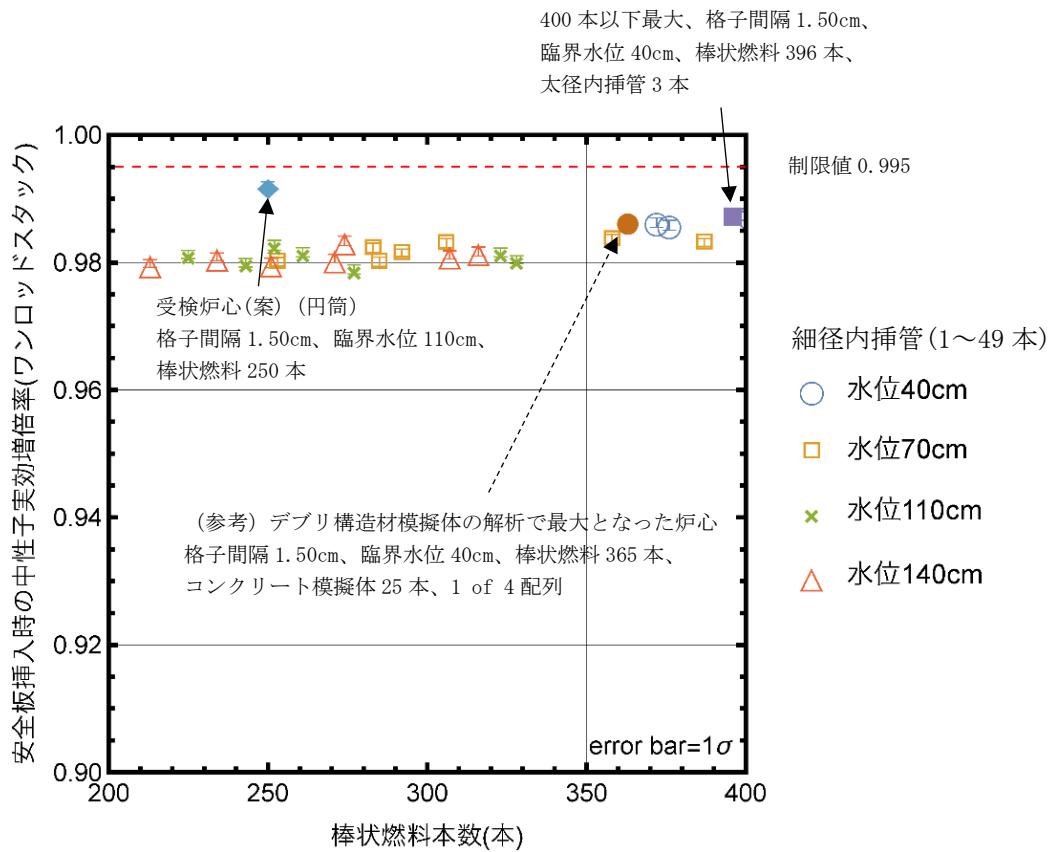
棒状燃料 358 本 臨界水位 70cm 内挿管 49 本

図補●-4(1) 内挿管挿入時の炉心マップ (細径内挿管)

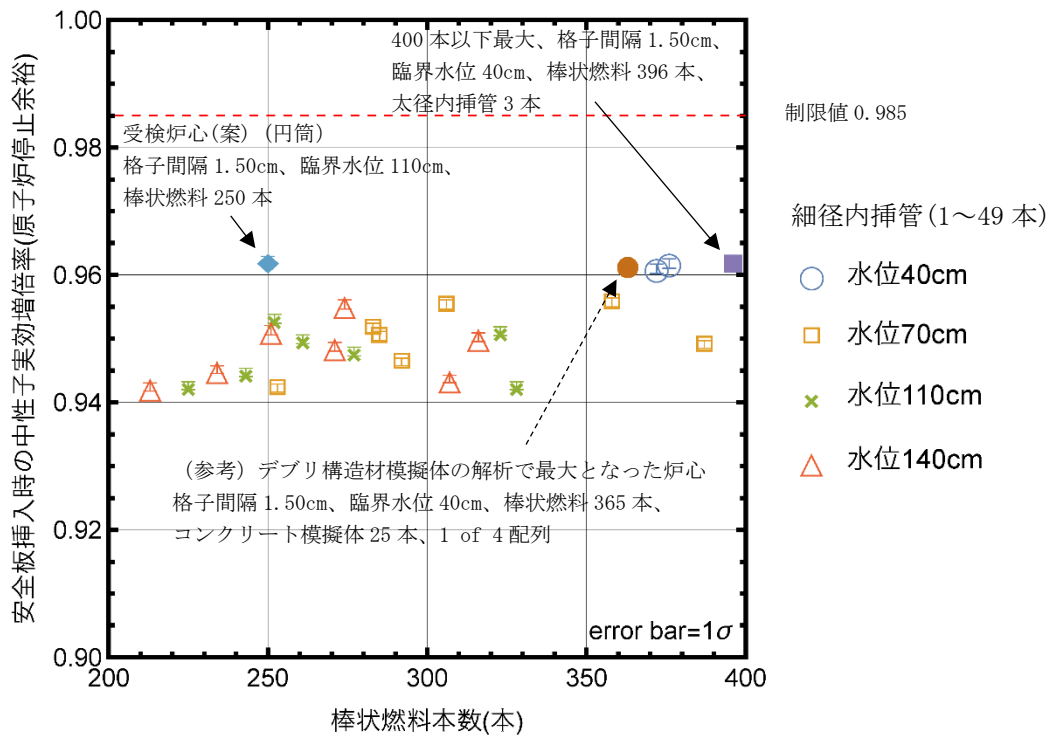


棒状燃料 396 本、臨界水位 40cm、内挿管 3 本

図補●-4(2) 内挿管挿入時の炉心マップ (太径内挿管)



図補●-5(1) 内挿管挿入炉心の安全板挿入時の中性子実効増倍率 (ワンロードスタック)



図補●-5(2) 内挿管挿入炉心の安全板挿入時の中性子実効増倍率 (原子炉停止余裕)