

令和元年度破損燃料輸送・貯蔵に係る技術調査（分析試料輸送）

輸送容器の臨界解析条件書

三菱重工業株式会社

令和元年 12 月

1 概要

東京電力福島第一原子力発電所において発生した燃料デブリ等の性状を把握する必要から、分析試料を輸送することが想定される。そこで本事業では、デブリの分析試料に想定される量や組成、形態の不確かさが安全評価項目にどの程度の変動幅(感度)を発生させるか、また、制限値に対する裕度を定量的に把握しておくために、調査及び解析を実施する。

本資料では、上記のうち輸送容器の臨界解析にかかる解析条件についてまとめる。

2 参考図書

- 【1】：『核燃料物質等輸送容器概要集』
- 【2】：**LATER** (デブリ性状に関する検討資料)
- 【3】：『燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化（臨界管理方法の確立に関する技術開発）平成 30 年度実施分最終報告』技術研究組合国際廃炉研究開発機構（IRID）
- 【4】：『Burn-up Credit Criticality Safety Benchmark Phase III-C』
NEA/NSC/R/(2015)6

3 使用する解析コード

臨界計算には SCALE システムを用いる。詳細条件について以下に示す。

- ・計算コード： SCALE6.2
- ・断面積ライブラリ： ENDF/B-VII
- ・ヒストリー条件： 2000 バッチ×10000 個の中性子／バッチ

4 解析条件


輸送容器に収納される収納缶の数、輸送容器又は収納缶内に設置される中性子吸収材の有無及び量、並びに収納缶に収納するデブリの分析試料の質量、密度、物質組成（燃料、構造材、コンクリート、水など）、核種組成(ウラン、プルトニウム、超ウラン元素、核分裂生成物、構造材の核種組成、コンクリートの核種組成など)が変動した場合の安全評価項目（臨界解析）にどの程度の変動幅(感度)を発生させるかを定量的に算出し整理する。

なお、臨界解析においては、輸送容器に収納される収納缶の数を考慮した解析は、輸送容器に収納されるデブリの分析試料の重量を変化させることで代替することとする。

4.1 デブリの分析試料の質量、密度、物質組成（燃料、構造材、コンクリート、水など）を考慮した解析

4.1.1 デブリの分析試料をウラン新燃料とした場合の解析

輸送容器に収納するデブリ性状が不明確であるため、想定しうる最も厳しいデブリ組成の条件として、デブリの分析試料がすべてウラン新燃料とした場合の実効増倍率を評価する。評価条件を以下にまとめる。



- ・デブリ組成： ^{235}U 濃縮度 5wt%の新燃料（濃縮度上限値）とし、新燃料に含まれる Gd は考慮しない。また、ペレット密度は 100% とする。
- ・解析モデル：輸送容器（参考図書【1】参照）内に粒状デブリと水の非均質球体を考慮し、（図 1 参照）
- ・反射体条件：輸送容器の周囲 30cm に水反射体を設定する。（輸送容器は単体で輸送されることを想定し、本解析では容器の無限配列体系は考慮しないこととする）
- ・解析ケース：デブリ粒の粒径（ r ）とピッチ（ p ）を変化させ、デブリの分析試料と水の非均質球の領域の球径（ R ）を変化させて実効増倍率を評価する。デブリの分析試料と水の非均質球の領域は、実効増倍率が大きくなると考えられる以下 2 ケースを設定する。


① （図 1(1/2)）

② 
（図 1(2/2)）

4.1.2 デブリの分析試料の物質組成を考慮した場合の解析

4.1.1 でのウラン新燃料のみの場合に加えて、炉内構成要素などの不純物を考慮し、物質組成および密度が変化した場合の実効増倍率への影響を評価する。評価条件を以下にまとめる。

- ・デブリ組成： ^{235}U 濃縮度 5wt%の新燃料に参考図書【2】に記載の炉内構成要素  が混合した組成
- ・解析モデル：輸送容器内に粒状デブリの分析試料と水の非均質球を考慮し、（図 1 参照）
- ・反射体条件：輸送容器の周囲 30cm に水反射体を設定する。

内は商業機密のため、非公開とします。

- ・解析ケース：デブリ粒の粒径 (r) とピッチ (p) を変化させ、評価体系毎にデブリの分析試料と水の非均質球の領域の球径 (R) を変化させて実効増倍率を評価する。デブリの分析試料と水の非均質球の領域は、4.1.1 で実施した 2 ケースのうち、実効増倍率が大きくなった条件を設定する。

[Redacted]

4.2 輸送容器または収納缶内に中性子吸収材を設置した場合の解析

4.1.1 でのウラン新燃料のみの場合に加えて、福島廃炉にかかる経産省補助事業で検討されている中性子吸収材を設置した場合の実効増倍率への影響を評価する。輸送容器内の粒状デブリの分析試料と水の非均質の球状体系モデルに対して、福島廃炉にかかる経産省補助事業で検討されている中性子吸収材（参考図書【3】によれば溶解性中性子吸収材（五ホウ酸ナトリウム）、非溶解性中性子吸収材（ B_4C 、 Gd_2O_3 ）の適用が検討されている）の混合を考慮した場合の実効増倍率への影響を評価する。評価条件を以下にまとめる。

- ・デブリ組成： ^{235}U 濃縮度 5wt% の新燃料に中性子吸収材が混合した組成
- ・解析モデル：輸送容器内に粒状デブリの分析試料と水（または溶解性／非溶解性中性子吸収材）の非均質球を考慮し、[Redacted]（図 1 参照）
- ・反射体条件：輸送容器の周囲 30cm に水反射体を設定する。
- ・解析ケース：デブリ粒の粒径 (r) とピッチ (p) を変化させ、評価体系毎にデブリの分析試料と水の非均質球の領域の球径 (R) を変化させて実効増倍率を評価する。デブリの分析試料と水の非均質球の領域は、4.1.1 で実施した 2 ケースのうち、実効増倍率が大きくなった条件を設定する。

[Redacted]

[Redacted]内は商業機密のため、非公開とします。

4.3 デブリの分析試料の核種組成を変化させた場合

4.2 までの解析では、デブリの分析試料の燃料組成としてはウラン新燃料（新燃料中に含まれる Gd は考慮しない）での評価としているが、輸送容器内のデブリの分析試料は燃焼燃料により構成されていると考えられる。ウラン新燃料には中性子吸収物質である Gd が含まれているため、この Gd を考慮すると、ある程度の燃焼度に至るまでは燃料集合体の反応度は燃焼に伴って高くなり、Gd がすべて燃焼した後は燃焼に伴い燃料集合体の反応度は低下する傾向を示す。そのため、新燃料に含まれる Gd の燃焼を考慮し、燃料集合体の反応度が最も高くなる燃焼度（Gd を考慮しない新燃料よりは反応度がある程度低下した状態）の組成を用いた場合の評価を実施する。評価条件を以下にまとめる。

- デブリ組成： [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
- 解析モデル：輸送容器内にデブリの分析試料と水の非均質球を考慮し、 [REDACTED]
[REDACTED]（図 1 参照）
- 反射体条件：輸送容器の周囲 30cm に水反射体を設定する。
- 解析ケース：デブリ粒の粒径（ r ）とピッチ（ p ）を変化させ、評価体系毎にデブリと水の非均質球の領域の球径（ R ）を変化させて実効増倍率を評価する。デブリと水の非均質球の領域は、4.1.1 で実施した 2 ケースのうち、実効増倍率が大きくなった条件を設定する。

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

[REDACTED]内は商業機密のため、非公開とします。



図 1 (1/2) 輸送容器に対する未臨界性評価 評価体系



内は商業機密のため、非公開とします。

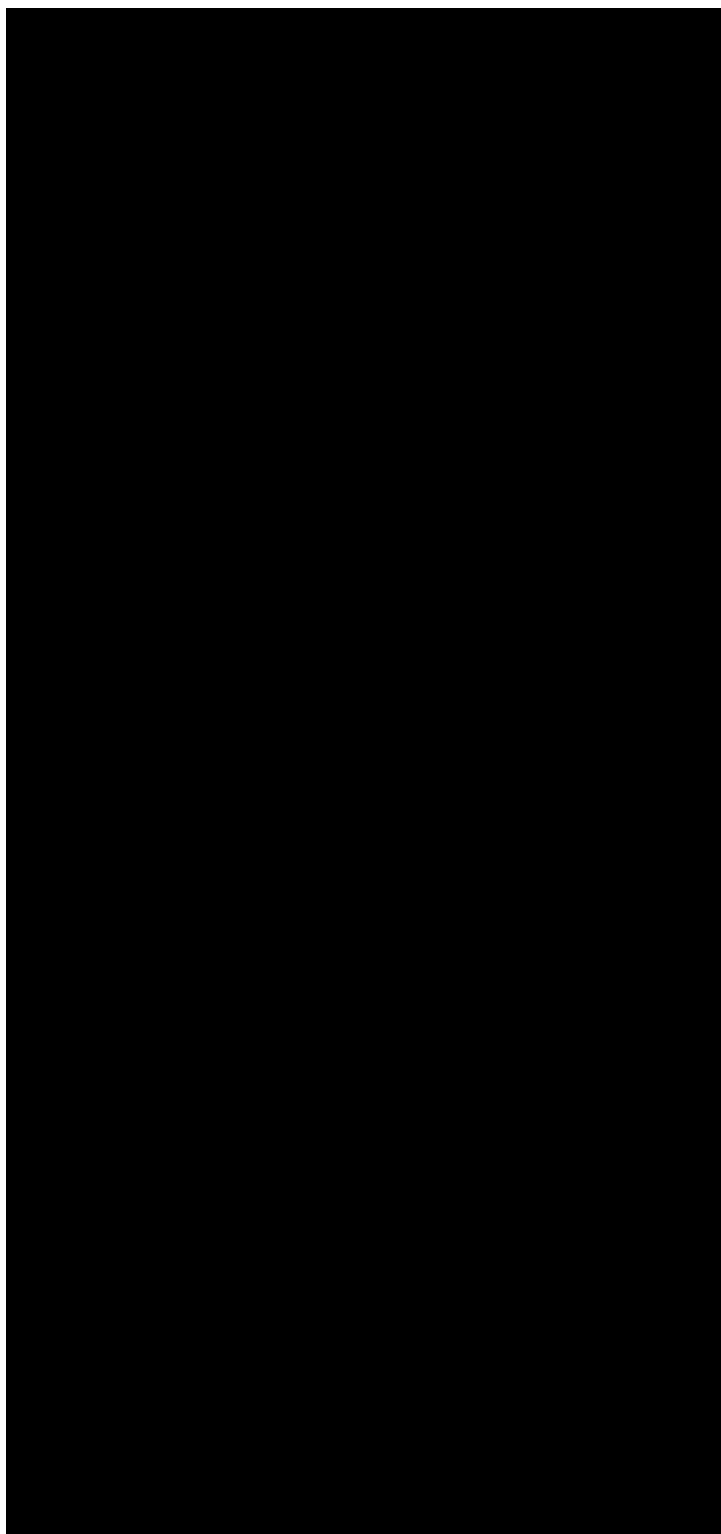


図 1 (2/2) 輸送容器に対する未臨界性評価 評価体系



内は商業機密のため、非公開とします。

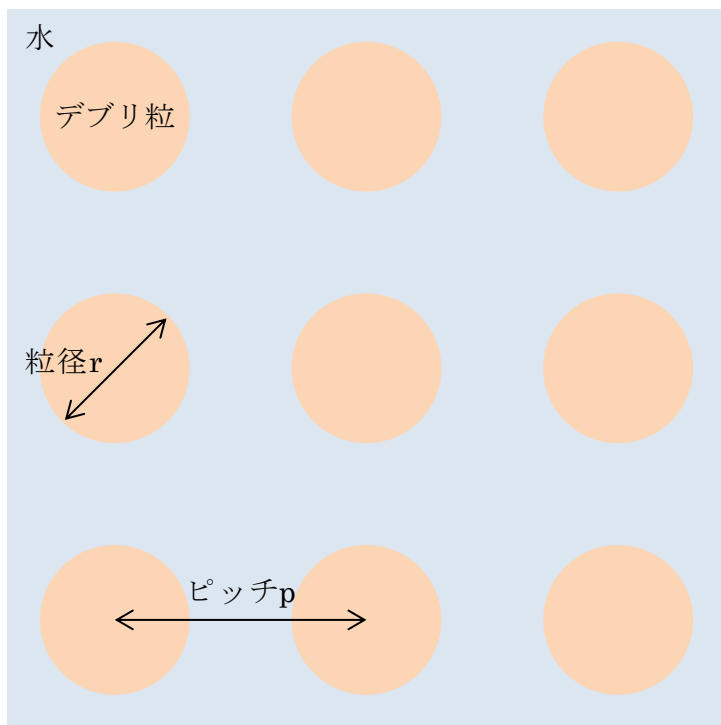


図2 輸送容器に対する未臨界性評価 評価体系
(デブリと水の非均質球領域拡大図)