

「令和元年度破損燃料輸送・貯蔵に係る技術調査」
安全評価項目の感度整理（除熱）の途中経過報告について

三菱重工業株式会社

2020年2月4日

1. はじめに

本資料は、「破損燃料輸送・貯蔵に係る技術調査」の実施項目である「安全評価項目の感度の整理」のうち、除熱評価の途中経過を纏めたものである。

2. 解析方針

2. 1 評価方針

輸送容器を模擬したモデルを作成して熱伝導解析を実施し、定常状態における輸送容器の各部温度を算出して安全性機能維持について評価する。感度調査をするにあたり、最初に発熱量が最も厳しくなると想定される条件で実施し、本結果を基に成立性の目途を得る。具体的には、デブリサンプルが全てを UO_2 のピークペレット燃焼度とした場合の発熱量 $2.71 \times 10^3 [W/g]$ を用いて、最大のデブリ質量 $3 [kg]$ の条件で解析を実施し、基準値に対する裕度を確認する。

2. 2 解析モデル

参考文献に記載されている対象キャスクの概略図を基に、形状を簡素化した軸対称モデルで作成した。解析モデルを図1に示す。

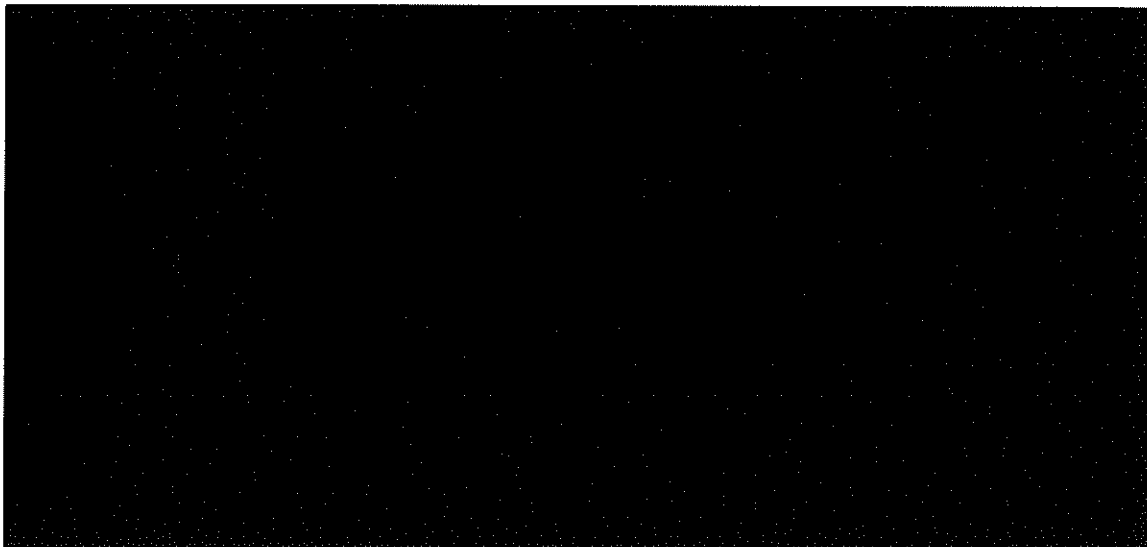


図1 解析モデル

□内は著作権保護のため、非公開とします。

2. 3 解析コード

解析コードは ABAQUS Ver.2018HF4 を使用した。

2. 4 解析条件

主な解析条件を表1に示す。また輸送容器の健全性を維持できる温度の基準値（クライテリア）については、輸送容器蓋部分の O リング部が支配的になると考えられるため、一般的な O リングを想定し、機能維持の目安として 150[°C]として設定した。

表1 主な解析条件、境界条件

条件	設定方針
発熱量	発熱量： 2.71×10^{-3} [W/g]（組成 UO ₂ 、冷却期間 10 年） 質量：3[kg] 収納物の発熱量を輸送容器キャビティ内部に均等に配置
外周面	自然対流による熱伝達率を想定（緩衝体設置部分は断熱条件）
雰囲気温度	38[°C]
緩衝体部分	緩衝体は木材製であり、金属と比較して熱伝導率が小さいことから、緩衝体を取り付けられる輸送容器外表面は保守的に断熱条件とする
太陽ふく射	太陽ふく射を考慮するケースにおいて（2.5 節参照）、外周部に 200[W/m ²]を設定し、ふく射係数を考慮
基準値 （クライテリア）	輸送容器の最高温度：150[°C]

2. 5 解析ケース

解析ケースを表2に示す。輸送容器の温度分布に対する支配要因を確認するため、収納物、及び太陽ふく射熱を考慮する場合と考慮しない場合について解析を実施した。

表2 解析ケース

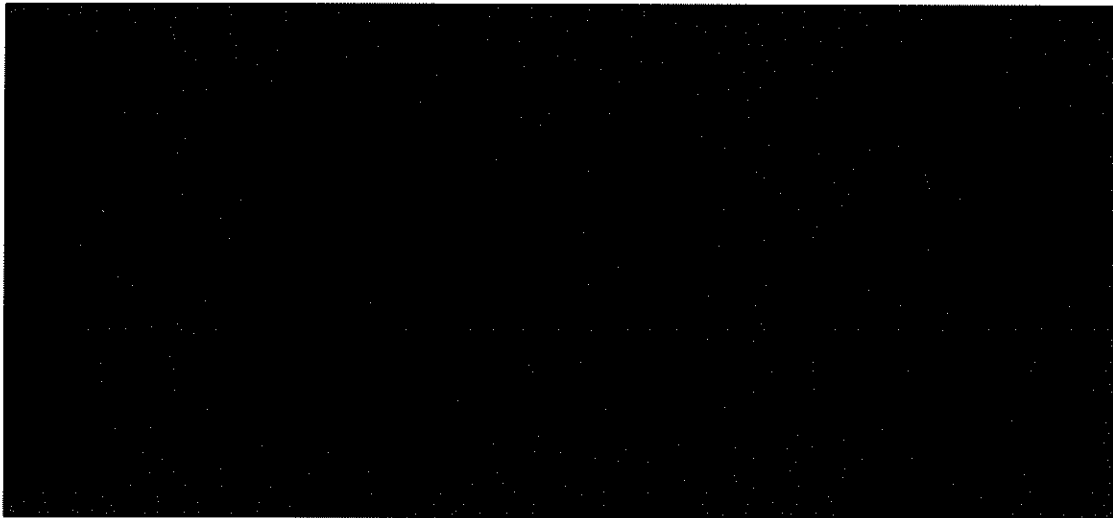
解析ケース	収納物の発熱	太陽ふく射熱	備考
ケース0	×	×	初期状態（38°C）
ケース1	○	×	
ケース2	×	○	
ケース3	○	○	

×：考慮しない、○：考慮する

3 解析結果

解析により得られた輸送容器の温度分布図を図2に、各ケースの最高温度を表3に示す。図2からは以下のことが言える。

- ・ ケース1、ケース3では、輸送容器内のキャビティで最高温度、輸送容器外表面の中間高さ付近で最低温度となる温度分布となり、収納物から発生される熱が外周部で冷却される傾向が確認できた。
- ・ ケース1の最高温度は40.3℃であり、温度上昇量は2.3℃程度であった。デブリ発熱量が8.13[W]程度で十分小さいため、収納物による輸送容器の温度上昇について大きな影響はないと考えられる。
- ・ ケース3では最高温度が72.6℃、温度上昇量が34.6℃であり、収納物の発熱量より太陽ふく射の影響の方が大きいことが分かる。デブリ発熱量が8.13[W]程度に対して、太陽ふく射の発熱量が383[W]と大きいためである。



(ケース1)

(ケース2)

(ケース3)

図2 輸送容器の温度分布結果

表3 輸送容器の最高温度

解析ケース	収納物の発熱	太陽ふく射熱	最高温度 (℃)	温度上昇 (℃)
ケース0(初期状態)	×	×	(38.0)	(0.0)
ケース1	○	×	40.3	2.3
ケース2	×	○	72.0	34.0
ケース3	○	○	72.6	34.6

×：考慮しない、○：考慮する

□ 内は著作権保護のため、非公開とします。

4 考察

各条件における発熱量と輸送容器の最大温度を図3に示す。図3からは、太陽ふく射熱の考慮有・無のいずれの条件においても収納物の質量（発熱量）に伴い、輸送容器の最高温度は上昇することが確認できる。しかしながら、太陽ふく射熱を考慮した場合においても、デブリ最大質量 3kg 程度では、基準値の 150℃を大きく下回っており、除熱機能上問題とならないと考えられる。

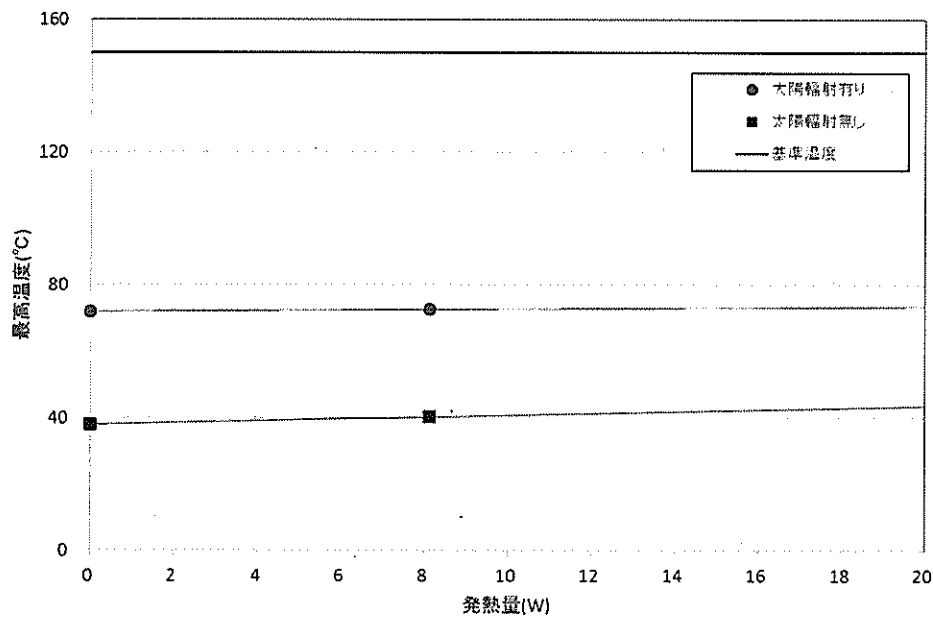


図3 収納物の発熱量と輸送容器の最高温度の関係

5 今後の方針

4章の考察の結果、想定し得る最大のデブリ量では除熱の観点で問題とならないことが推測できる。本評価には、収納物付近のモデル化の不確実性を含んでおり、これを確認することで、収納物付近の状態に依らず、除熱機能を維持できることが言える。そこで、収納物の熱源のモデル化についての影響を確認する予定である。

6 まとめ

除熱評価の途中経過を整理した。規制庁殿と協議の上、引き続き調査を進め、最終報告として纏める。

以上