

リサイクル燃料貯蔵株式会社	
提出日	2023年12月21日
管理表No.	1220-02 改訂01

項目	コメント内容
除熱 (第6条)	<p>適合性説明資料第6条除熱（貯蔵建屋）について、以下の点を説明すること。</p> <p>① 評価結果における「天井（梁除く）」と「天井梁」の温度について、BWR用大型キャスク（タイプ2A）では「天井（梁除く）&lt;天井梁」であるのに対して、BWR用中型キャスク（タイプ2）では「天井（梁除く）&gt;天井梁」となっている理由を説明すること。</p> <p>② 天井梁の温度と各キャスクの発熱量が逆相関となっている理由を説明すること（発熱量の一番低いBWR用大型キャスク（タイプ2A）の天井梁温度が一番高い）。</p>

(回 答)

表-1 使用済燃料貯蔵建屋除熱評価結果

評価部位	評価温度（最高値）			設計基準温度
	BWR用 大型キャスク (タイプ2A)	BWR用 中型キャスク (タイプ2)	PWR用 キャスク (タイプ1)	
キャスク1基 当たりの 最大発熱量	12.1kW	13.7 kW	13.9 kW	
建屋内 雰囲気温度	40.0℃	41.0℃	41.3℃	45℃
(建屋部位)				
側壁	52.7℃	54.5℃	54.8℃	65℃
支柱	54.4℃	56.8℃	57.3℃	
床	56.9℃	58.2℃	60.4℃	
天井（梁除く）	54.5℃	55.7℃	55.8℃	
天井梁	55.6℃	55.0℃	54.8℃	

表-1は、貯蔵建屋各部の局所的な最高温度を代表温度として示したものである。

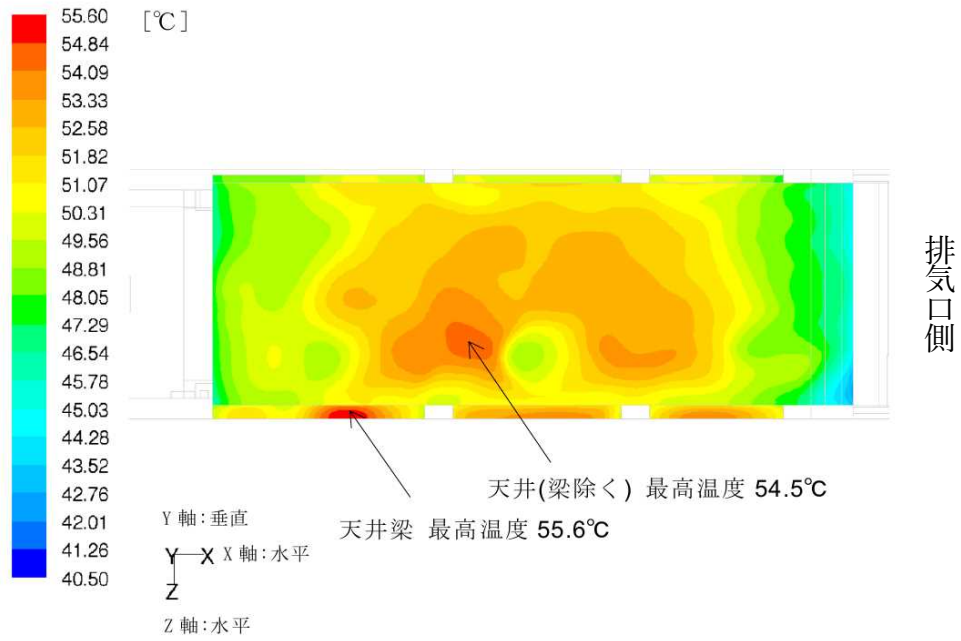
三次元熱流動解析においては、異なる発熱量や寸法・表面放射率（表-2参照）を持つ貯蔵対象キャスクを想定し、キャスクからの周辺空気への対流伝熱、建屋躯体への伝導伝熱、輻射伝熱等を考慮して熱流動解析を行っている。

建屋内の雰囲気温度や建屋部位の温度は、キャスクの発熱量に影響されるが、ピンポイントで局所最高温度の数値を比較すると逆転してしまう場合がある。しかし、第1-1図、第1-2図、第1-3図に温度分布を示すように、局所最高温度の発生位置を除いたその他の部分の温度についてはおおむねキャスク発熱量の大小に対応した温度レベルとなっており、表-1に示すように局所最高温度であっても設計基準温度より低い温度であることから、事業許可基準規則に適合しているものと判断している。

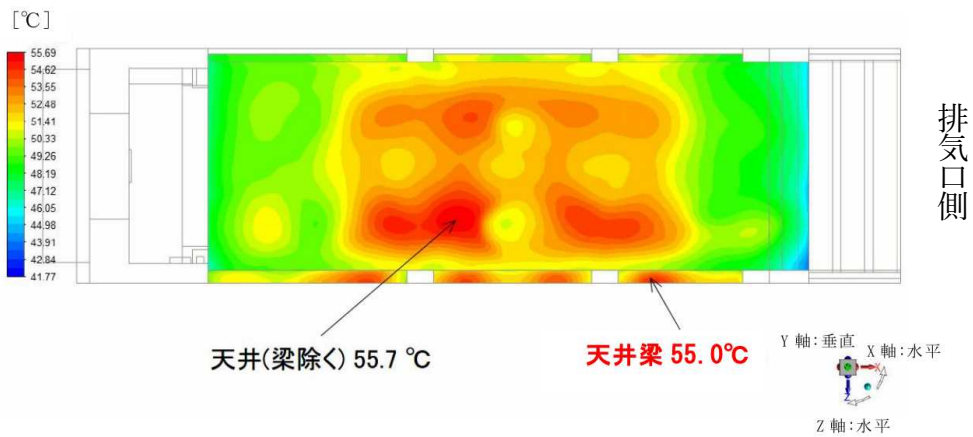
引き続き、解析評価技術の動向を踏まえ、安全評価の品質の向上に努める。

表-2 各金属キャスクの高さ・外径・表面放射率

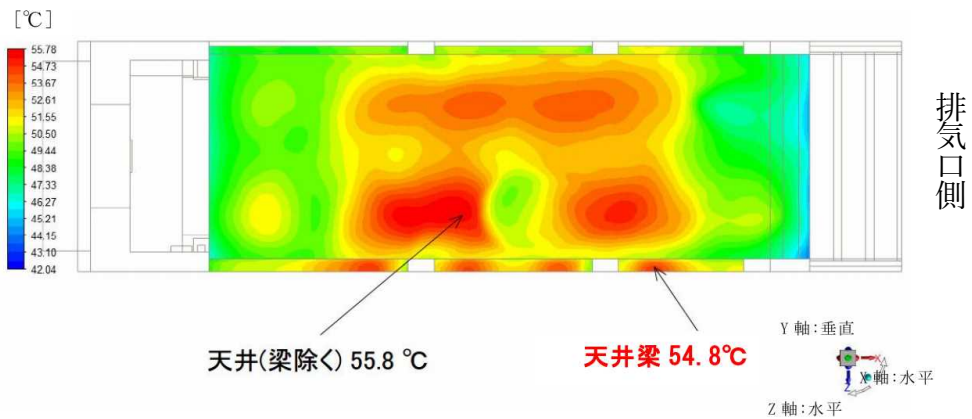
	BWR用 大型キャスク (タイプ2A)	BWR用 中型キャスク (タイプ2)	PWR用 キャスク (タイプ1)
高さ	5.320m	5.479m	5.119m
外径	2.482m	2.378m	2.530m
表面放射率	0.8	側面 0.8 上面 0.11	



第1-1図 BWR用大型キャスク(タイプ2A) 天井表面温度分布



第1-2図 BWR用中型キャスク(タイプ2) 天井表面温度分布



第1-3図 PWR用キャスク(タイプ1) 天井表面温度分布

以上

[コメント①に対する回答の補足]

表-3 に、ケーススタディとして実施したBWR用大型キャスク(タイプ2A)を対象として、給気温度を変更(29.8℃)し、FLUENTバージョン(2019R3)で実施した追加解析ケース、PWR用キャスク(タイプ1)を対象として、同じ給気温度(29.8℃)、キャスク発熱量(12.1kW)、FLUENTバージョン(2019R3)で実施した追加解析ケースにおける「天井(梁除く)」と「天井梁」の温度について、表-1 記載の結果と比較して示す。

本比較から、「天井(梁除く)」と「天井梁」の温度評価結果の高低関係は、キャスク発熱量の大小や給気温度よりも、貯蔵対象キャスクの種類によって変化していることが分かる。

表-3 ケーススタディ評価結果

キャスク種類	給気温度	キャスク発熱量	天井(梁除く)最高温度評価値	高低関係	天井梁最高温度評価値	備考
BWR用大型キャスク(タイプ2A)	29.5℃	12.1kW	54.5℃	<	55.6℃	表-1 記載値(FLUENT6.2)第2-1図
BWR用大型キャスク(タイプ2A)	29.8℃	12.1kW	54.7℃	<	55.9℃	ケーススタディ結果(FLUENT2019R3)第2-2図
PWR用キャスク(タイプ1)	29.8℃	12.1kW	53.1℃	>	52.2℃	ケーススタディ結果(FLUENT2019R3)第2-3図
PWR用キャスク(タイプ1)	29.8℃	13.9kW	55.8℃	>	54.8℃	表-1 記載値(FLUENT2019R3)第2-4図

このような「天井(梁除く)」と「天井梁」の温度評価結果の高低関係が逆となる理由は、PWR用キャスク(タイプ1)の上面ふく射率がBWR用大型キャスク(タイプ2A)よりも小さい設計になっているために、キャスクからの放熱の形態が変化し、「天井(梁除く)」と「天井梁」の温度分布が変化したためと考えられる。

つまり、給気口から流入してきた空気流は、キャスク列を通過して排気塔側に向かうにつれて温度が上昇し、自然対流効果で天井部へ向かうが、キャスク表面からの対流伝熱量が増えると排気塔側の空気温度がより上昇しやすくなる。キャスクの種類によって表面放射率が変わると、キャスク発熱量のうち、輻射伝熱によって建屋躯体各部に伝わる熱量が減少する。それを補うために対流伝熱によってキャスク周囲を流れる空気流へ伝わる伝熱量が増える。その結果、排気塔側の空気温度が上がり易くなると考えることができる。

また、給気口から流入してきた空気流は、主に床面からキャスク高さ程度までの領域を流れる。そのため、キャスク上部空間で天井付近はキャスク列の高さ位置に比べて流速が遅くなる。そのため、天井面や天井梁と空気流との間の対流伝熱は抑えられ、天井面や天井梁の表面度に対してはキャスクからの輻射伝熱が比較して卓越することとなる。

このことと、前述したように、上面の表面放射率の小さいキャスクの場合に排気塔側の空気温度が上がり易くなることから、BWR用大型キャスク(タイプ2A)の場合(第2-1図、第2-2図)に比べて、PWR用キャスク(タイプ1)の場合(第2-3図、第2-4図)は、天井梁の温度のピーク位置が排気塔側へシフトしている。

このようなキャスク表面の輻射率の変化によって、「天井(梁除く)」と「天井梁」の温度分布が変化し、局所最高温度の値およびそれらの発生位置も変化したと考えられる。なお、BWR用中型キャスク(タイプ2)においても、PWR用キャスク(タイプ1)と表面放射率が同じ想定であることから同様な説明が可能である。

[コメント②に対する回答の補足]

表-1において天井梁の温度と各キャスクの発熱量が逆相関となっているのは、以下のような理由による。

天井梁面は、キャスク上面からの輻射熱を受けやすい位置にあり、空気流速が遅くなる天井面付近にあることから空気流への放熱が行われにくい部位である。そのため、キャスク上面から受ける輻射伝熱の大小やおよびキャスクから自然対流で上昇してくる空気温度の影響を受けやすい。

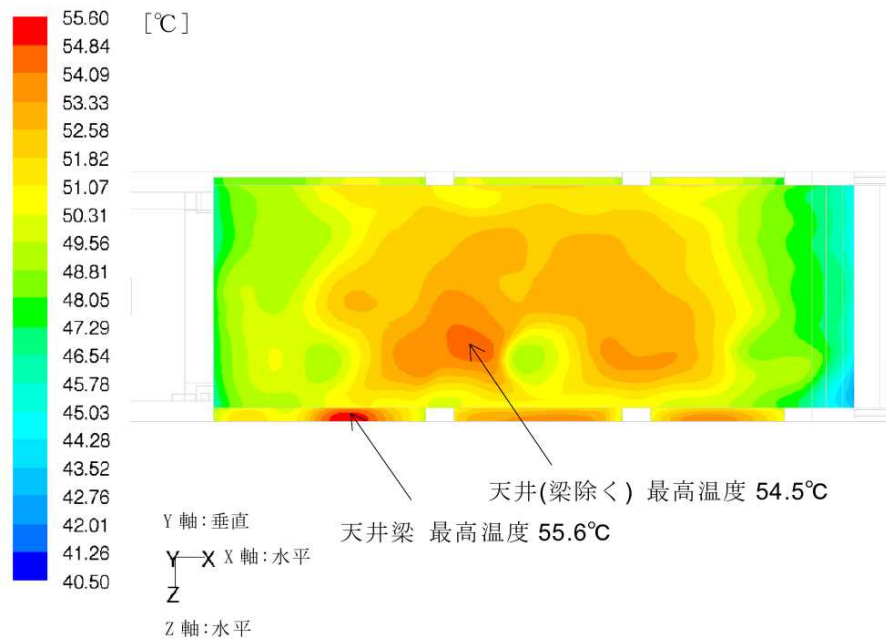
表-4にPWR用キャスク(タイプ1)を対象として、給気温度29.8℃、キャスク発熱量12.1kW、FLUENTバージョン2019R3を使用してケーススタディとして実施した追加解析ケースの「天井梁」の温度について、表-1記載の結果と併せて比較表として示す。

キャスク上面の表面放射率が小さいPWR用キャスク(タイプ1)でキャスク発熱量12.1kWとした場合に、天井梁での最高温度は、給気温度の上昇にもかかわらず3℃以上低下しており、これは、キャスク上面ふく射率の変化によって天井梁面が受け取る輻射伝熱量が減少したためである。さらに、キャスクの発熱量を13.9kWに増やした場合でも、表面放射率が減少したことの効果が上回り、BWR用大型キャスク(タイプ2A)の温度を超えない結果となったために逆相関に見える結果になったと考えられる。

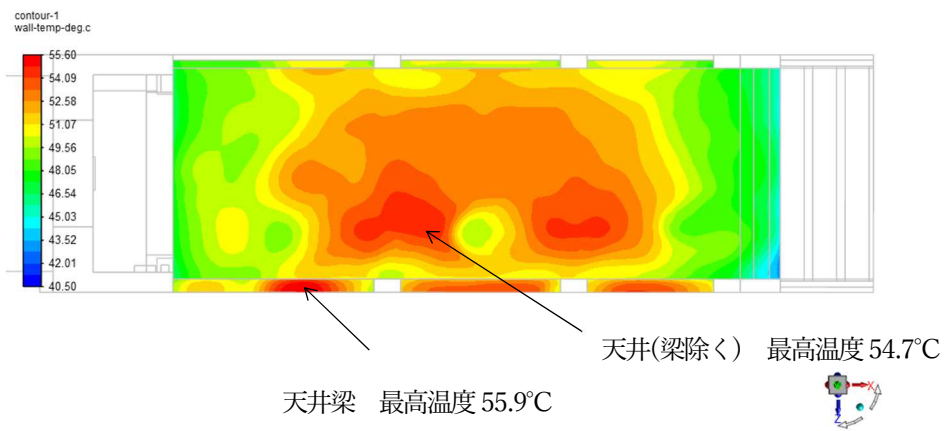
表-4 天井梁最高温度の評価結果比較

キャスク種類	給気温度	キャスク発熱量	天井梁最高温度評価値	キャスク表面放射率	備考
BWR用大型キャスク(タイプ2A)	29.5℃	12.1kW	55.6℃	上面0.8 側面0.8	表-1記載値(FLUENT6.2)第2-1図
PWR用キャスク(タイプ1)	29.8℃	12.1kW	52.2℃	上面0.11 側面0.8	ケーススタディ結果(FLUENT2019R3)第2-3図
PWR用キャスク(タイプ1)	29.8℃	13.9kW	54.8℃	同上	表-1記載値(FLUENT2019R3)第2-4図

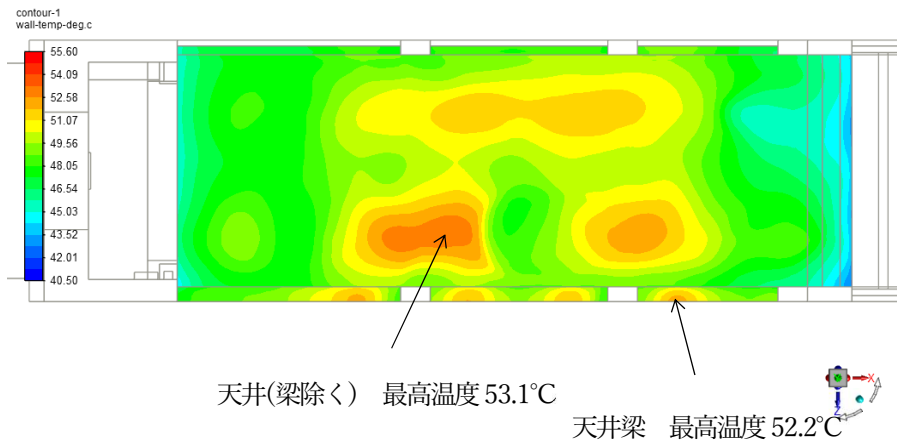
以上



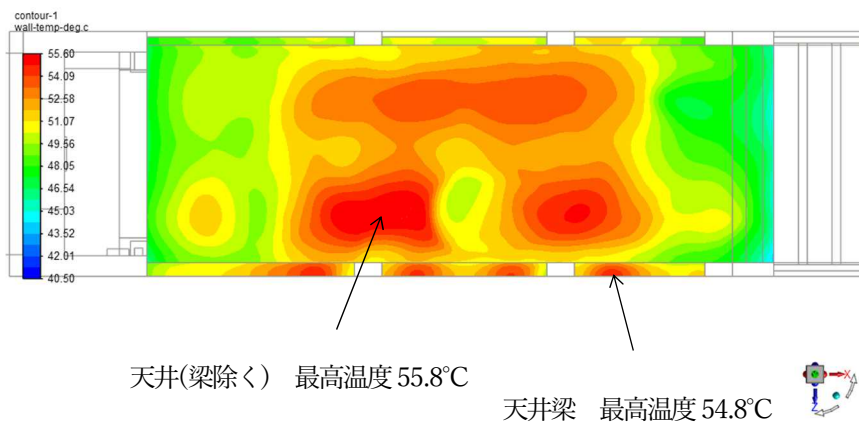
第2-1図 BWR用大型キャスク(タイプ2A) 天井表面温度分布  
 (発熱量 12.1kW, 給気温度 29.5°C) (FLUENT6.2)



第2-2図 BWR用大型キャスク(タイプ2A) 天井表面温度分布  
 (発熱量 12.1kW, 給気温度 29.8°C) (FLUENT2019R3)



第2-3図 PWR用キャスク(タイプ1) 天井表面温度分布  
(発熱量 12.1kW, 給気温度 29.8°C) (FLUENT2019R3)



第2-4図 PWR用キャスク(タイプ1) 天井表面温度分布  
(発熱量 13.9kW, 給気温度 29.8°C) (FLUENT2019R3)