

**「常陽」の ULOF 及び UTOP 事象における崩壊炉心の特徴と現実的な事象推移**

## 1. 「常陽」の崩壊炉心の特徴

「常陽」の ULOF 及び UTOP 事象では、「常陽」のボイド反応度がほぼ全炉心で負であることから、炉出力が低下して炉心損傷の進展は極めて緩慢なものとなり、冷却材のボイド化、被覆管の溶融、固体燃料ペレットの崩落、ラップ管の溶融による崩壊領域の拡大が徐々に進行する。損傷した炉心は燃料ペレットがデブリベッド状に堆積し、その隙間を溶融したスチールが埋める状況となる。「常陽」炉心の全燃料質量は約 950kg、全スチール質量は約 440kg であるが、遷移過程で崩壊領域が全炉心規模まで拡大した状態での代表的な燃料平均温度約 2,700K とスチール平均温度約 2,500K での体積はそれぞれ約 0.100m<sup>3</sup> と約 0.068m<sup>3</sup> である。崩落した燃料ペレットからなるデブリベッドの空隙率は不明であるが、同一サイズの円筒形の燃料ペレットからなるデブリベッドの空隙率は FCI 試験で形成される不定形でかつ粒子径分布を持つデブリベッドの空隙率約 0.6 よりも大きい少なくとも同程度であると考えられるため、「常陽」の崩壊炉心は崩落した燃料のデブリベッドの間隙を溶融したスチールが占め、重力による分離は起きない状態となる。

一方、遷移過程において燃料ペレットが崩落する領域が拡大する過程では、燃料の崩落による反応度挿入、さらには即発臨界超過によって出力ピークが発生する。第 1 図に「常陽」の評価事故シーケンス ULOF(i)の炉心固体燃料粒子の平均温度と加熱速度の時間変化を示す。燃料粒子の温度は約 2,700K 前後で推移して、出力ピークが発生する都度、約 2,800～2,950K 程度まで上昇した後に約 2,700K 程度まで低下する挙動を示す。加熱速度は出力ピークが発生することで約 1,500K/s、即発臨界超過によって約 10,000K/s に達するが、ほとんどの時間は約 100～200K/s 以下で推移する。ここで、EBR-II 炉で照射した燃料ペレットをサンディア研究所にある試験炉 ACRR で急速加熱した FD 及び STAR 試験から得られた燃料ペレットの挙動をまとめた知見を第 2 図に示す。加熱速度が 300K/s 以下では燃料ペレットはスウェリング、すなわち燃料ペレットの結晶粒内及び粒界にトラップされている FP ガスが膨張することによって固体状態で膨張する挙動を示す。一方、加熱速度が 1,000K/s を超えると燃料ペレットは破碎する。スウェリングが発生すると、燃料粒子の膨張によって炉心内の空間は燃料粒子によって占められ、物質が流動することが出来なくなり、燃料の凝集による反応度および出力の増加も発生しなくなる。本評価では、燃料の凝集による出力増加さらには即発臨界超過による発生エネルギーが炉容器さらには格納容器に与える影響を評価することを目的として、このスウェリングが発生せず、燃料ペレットは焼

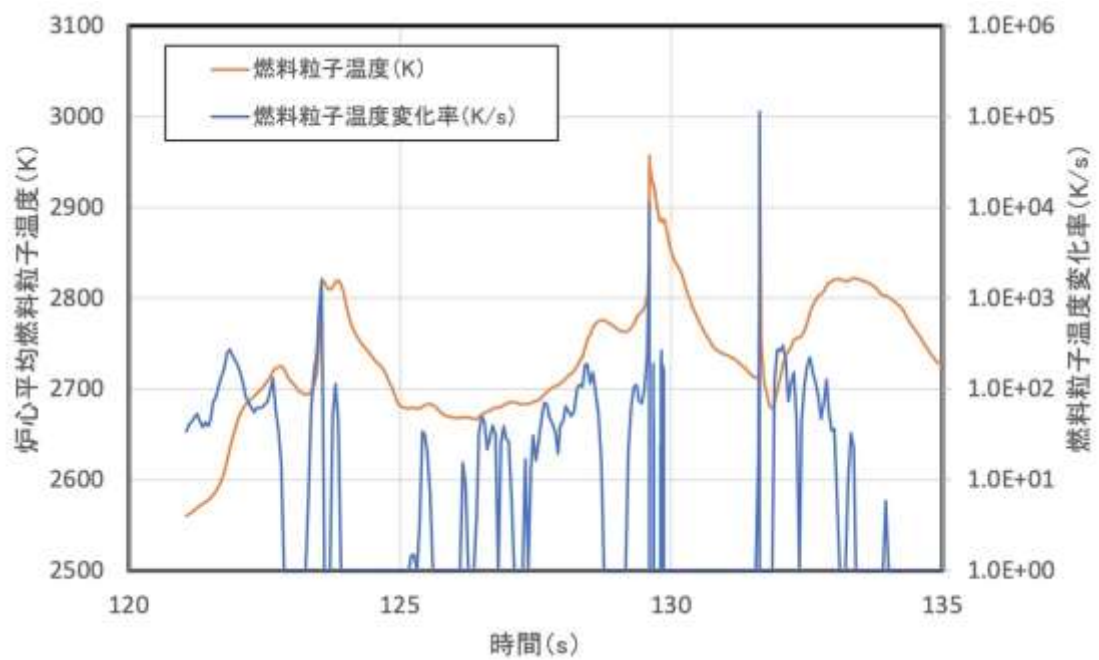
結密度を保って堆積するという極めて保守的な想定を用いて SIMMER コードによる解析を行った。一方で、加熱速度が 1,000K/s を超える出力ピークが発生することで、崩落した燃料ペレットは破碎して微粒化する。この結果、炉心物質は直径が数 mm 以下の燃料粒子からなるデブリベッドの隙間に熔融スティールが混合した状態となる。このような炉心物質の流動性は極めて小さく、ほとんど流動しないと考えられる。

## 2. 「常陽」の現実的な事象推移

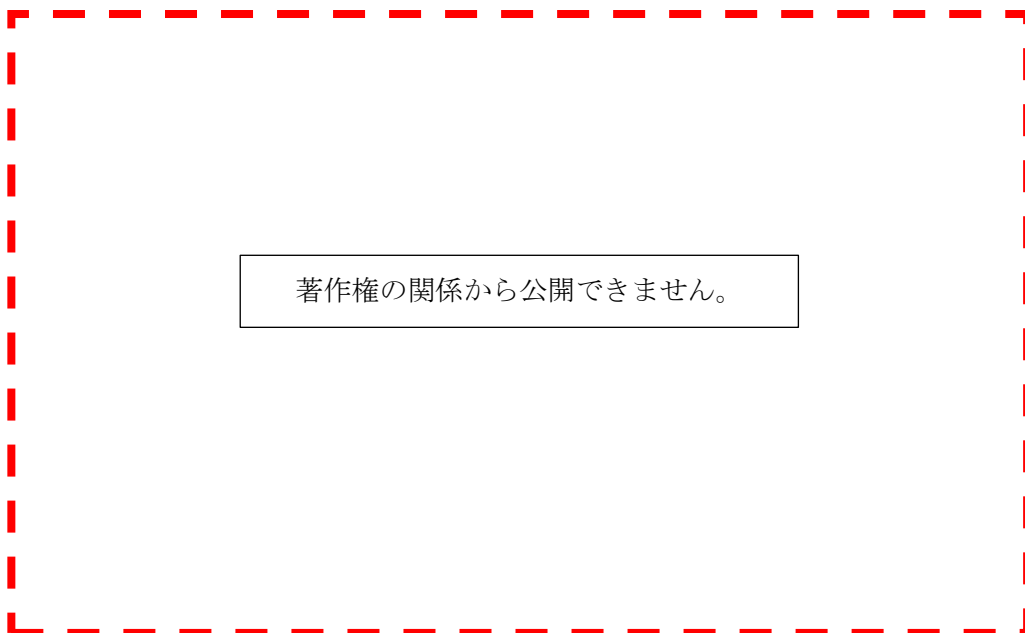
前節で述べた通り、「常陽」の遷移過程では炉心は実際には固化した燃料粒子、未熔融の燃料ペレットがデブリベッド状に堆積し、その隙間を熔融したスティールが埋めた状況となり、流動性は極めて小さく、ほとんど流動しないと考えられる。この状況を考慮した場合の現実的な事象推移と、本評価での仮定と同様にこれらの炉心物質が通常の流体と同様に流動すると想定した場合の事象推移の概念を比較した図を第3図に示す。現実的な事象推移では、炉心物質はほとんど流動しないため、低下した炉出力によって炉心の中心から徐々に熔融領域が広がっていく。炉心物質の揺動は熔融している限られた範囲で発生し、その結果燃料凝集によって発生する即発臨界超過の発生エネルギーは限定されたものになる。従って、固体燃料粒子とスティールの混合物からなる炉心物質が通常の流体と同様に流動し、全炉心の物質が燃料凝集に関与するとの想定を用いて即発臨界超過を解析した本評価は、エネルギー発生の観点から極めて保守的な解析であると言える。

## 参考文献

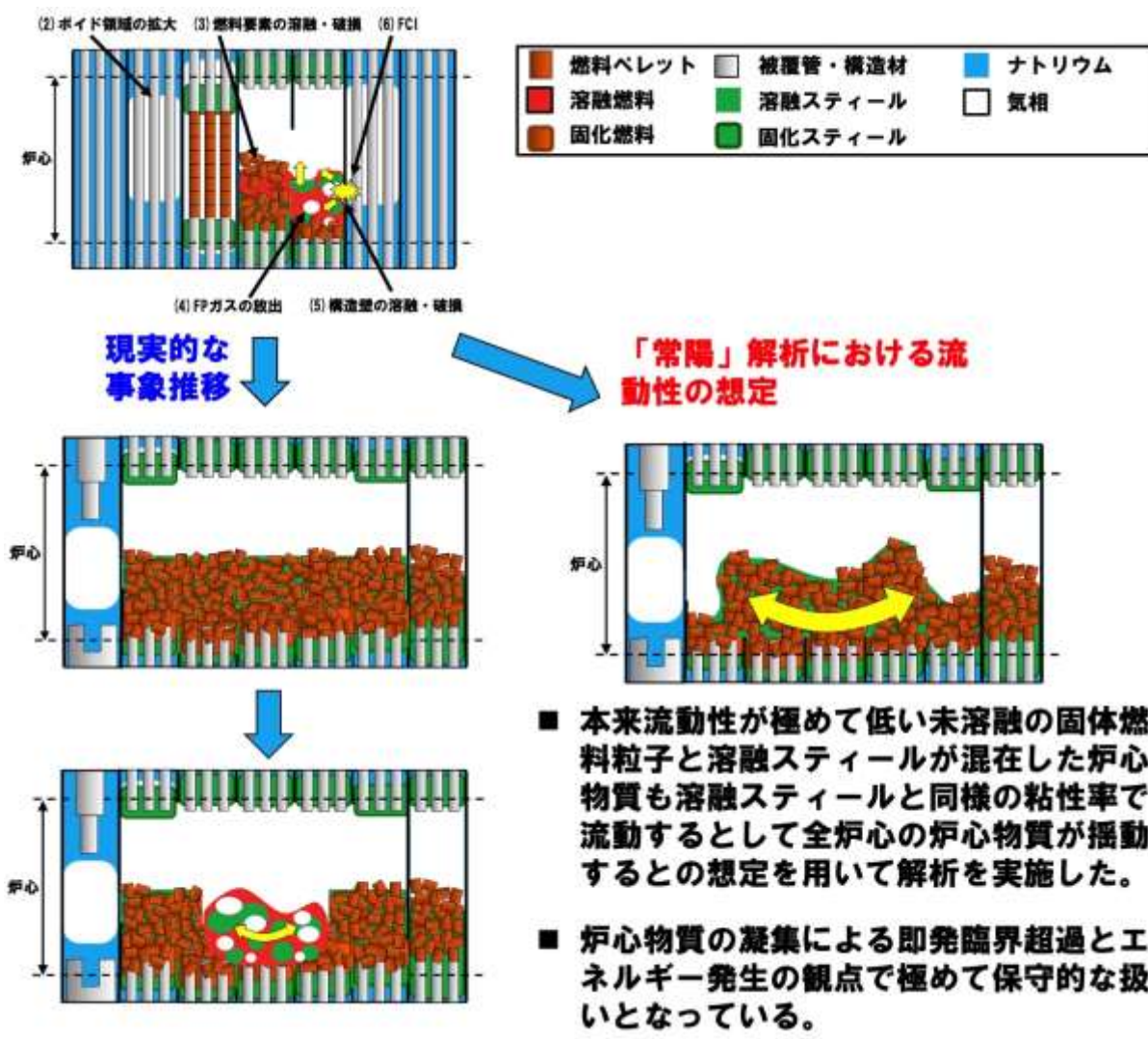
[1] P. Royle, et al., "CONTRIBUTIONS FROM THE ACRR IN-PILE EXPERIMENTS," Nucl. Eng. and Design, 100, 387-408, 1987.



第1図 遷移過程における炉心平均燃料粒子温度と加熱速度の時間履歴



第2図 燃料ペレットの加熱速度と破損挙動の関係<sup>[1]</sup>



第3図 「常陽」遷移過程の現実的な事象推移と本評価で想定した保守的な事象推移