



JY-94-4

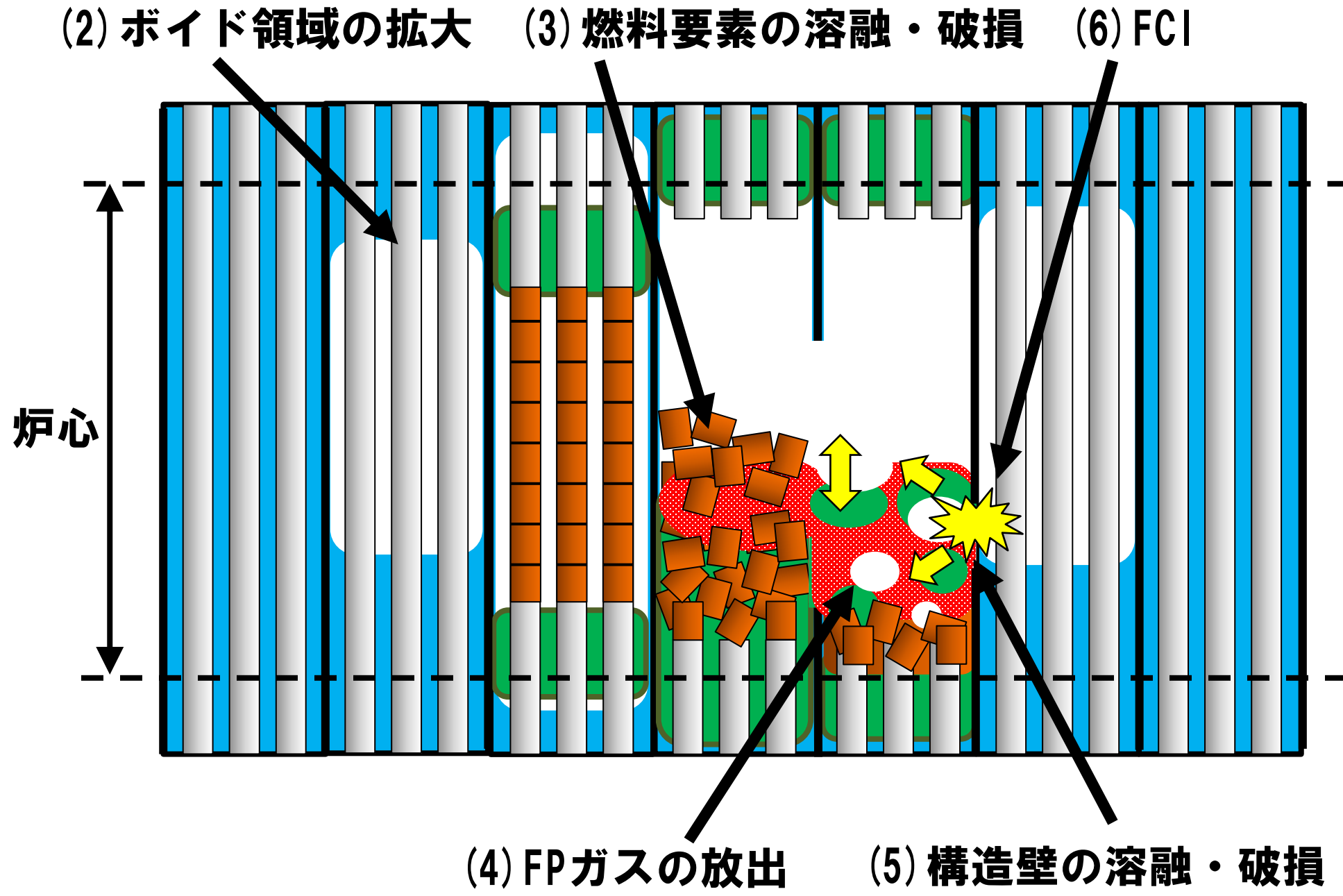
「常陽」の遷移過程の事象推移

2021年11月2日

日本原子力研究開発機構 大洗研究所
高速実験炉部

SIMMERによる解析において考慮すべき物理現象

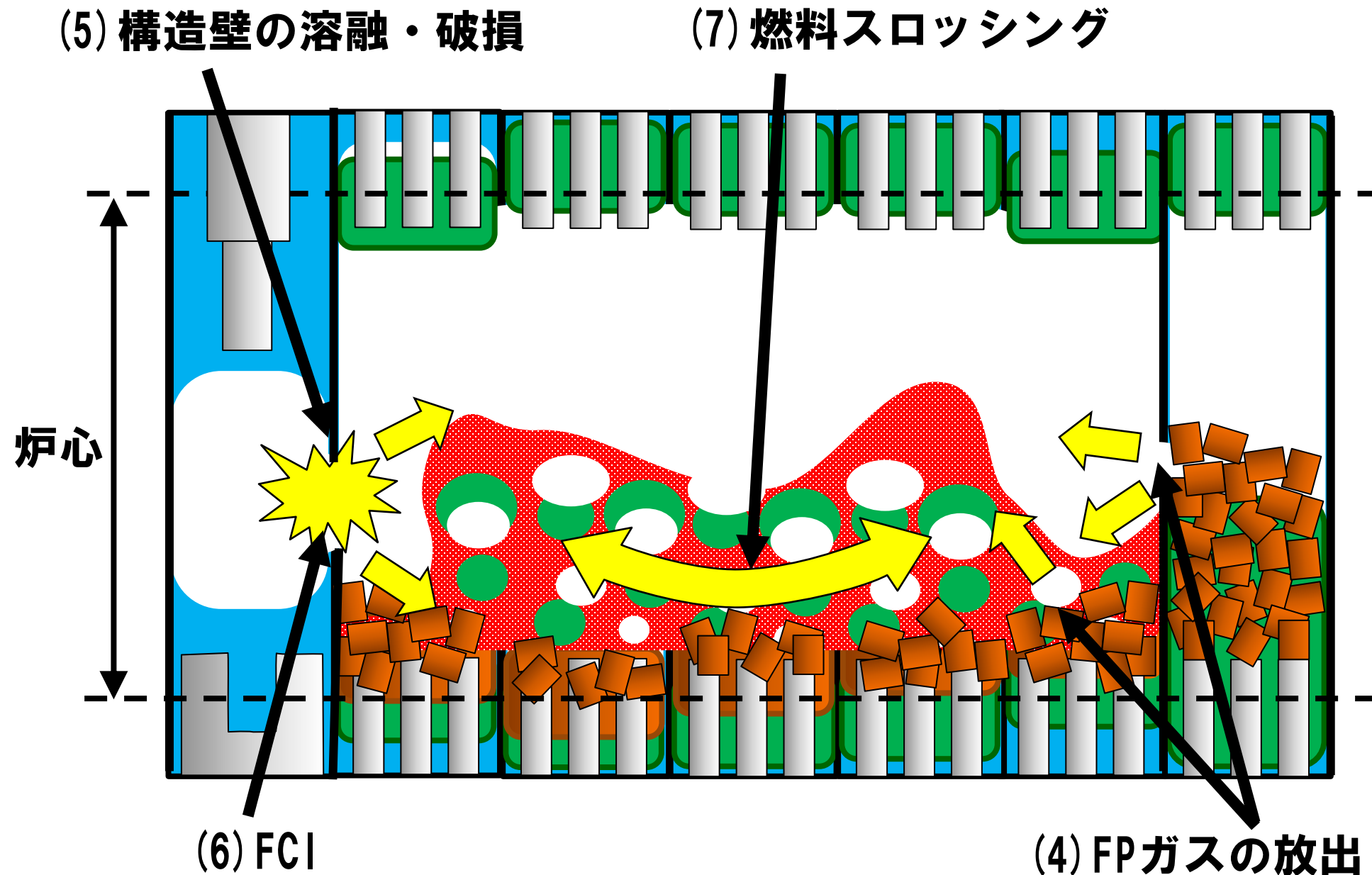
燃料損傷領域の拡大過程



燃料ペレット	被覆管・構造材	ナトリウム
溶融燃料	溶融スチール	気相
固化燃料	固化スチール	

SIMMERによる解析において考慮すべき物理現象

全炉心規模での燃料凝集を駆動する物理現象

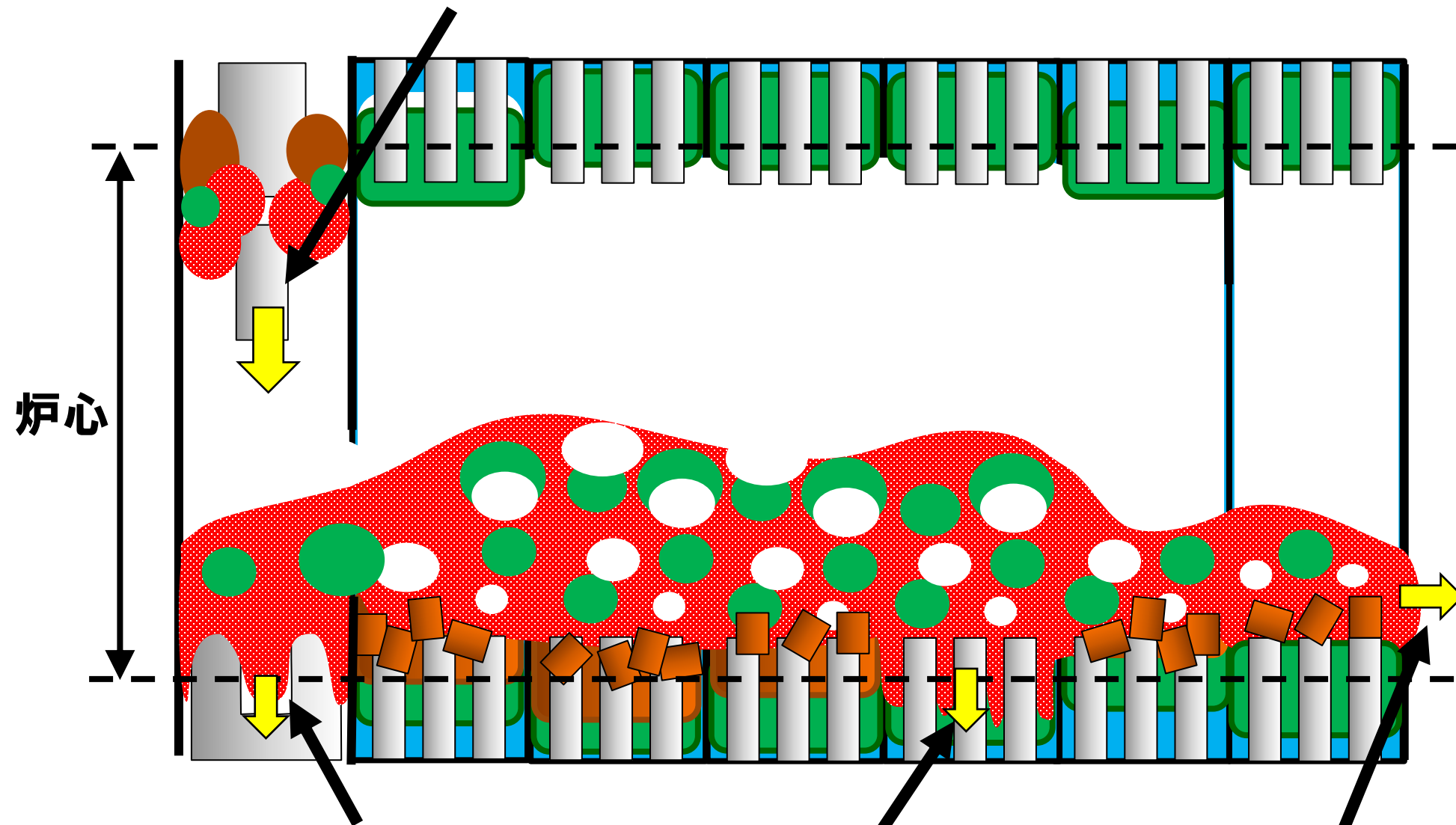


燃料ペレット	被覆管・構造材	ナトリウム
溶融燃料	溶融スチール	気相
固化燃料	固化スチール	

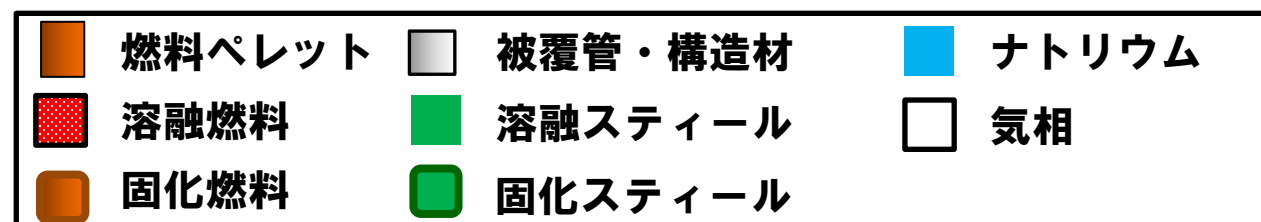
SIMMERによる解析において考慮すべき物理現象

反応度を低減する物理現象

(9) 制御材の炉心への混入



(8) 燃料流出（制御棒下部案内管、ピン束流路、反射体・遮へい集合体ギャップ）



— 遷移過程解析の保守性とエネルギー発生解析結果のまとめ —

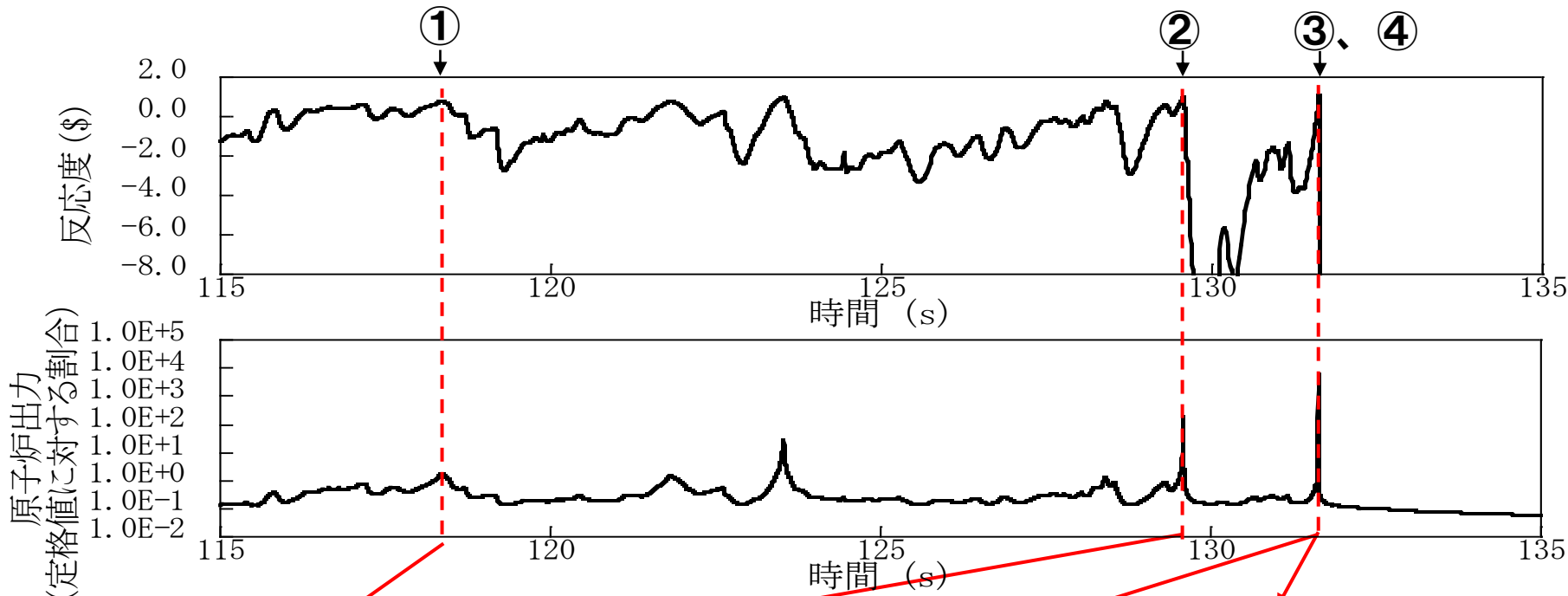
	反応度挿入率	炉心平均燃料最高温度	炉心内の流動挙動	炉心からの燃料流出	燃料集中の主たる駆動力
基本ケース*1	約30\$/s	約3,700°C	3次元的な非軸対称のスロッシングを解析	制御棒下部案内管、径方向反射体・遮へい集合体間ギャップへの流出を考慮	圧力発生で分散した燃料の重力による非軸対称のスロッシングを解析
不確かさの影響評価ケース1 (FCIの不確かさ)	約50\$/s	約4,070°C	3次元的な非軸対称のスロッシングを解析	制御棒下部案内管、径方向反射体・遮へい集合体間ギャップへの流出を考慮	上記解析において燃料凝集直前のタイミングで炉心両端2カ所でのFCI圧力の同時発生による炉心中心への燃料集中を仮定
不確かさの影響評価ケース2 (溶融炉心の揺動、分散、凝集挙動の不確かさ)	約80\$/s	約5,110°C	軸対称円筒座標系による解析で燃料の炉心中心への集中を強制	制御棒下部案内管、径方向反射体・遮へい集合体間ギャップへの流出を無視	炉心中心の圧力発生*2で軸対象に分散した燃料の慣性と重力に駆動された燃料集中挙動を解析

*1 なお、基本ケースにおいても、照射試験用集合体を炉心燃料集合体に置換して燃料インベントリを増加し、さらに損傷燃料ペレットが高い密度で堆積し、かつ未溶融の燃料ペレットが溶融燃料に混在した流動性が低い炉心物質が、通常の流体と同様に流動すると想定する保守的な解析条件を用いた。

*2 炉心中心の圧力発生の主成分は急速な核加熱後の高温燃料からの伝熱によるスチール蒸気圧であるが、CABRI TP-A2炉内試験解析によってSIMMERコードは燃料からスチールへの過渡伝熱を過大評価することが示されている。試験結果を再現する伝熱速度で解析すると、反応度挿入率約54\$/s、炉心平均燃料最高温度約4200°Cに緩和される。このように燃料集中を駆動する圧力発生についても、極めて保守的な条件を適用した。

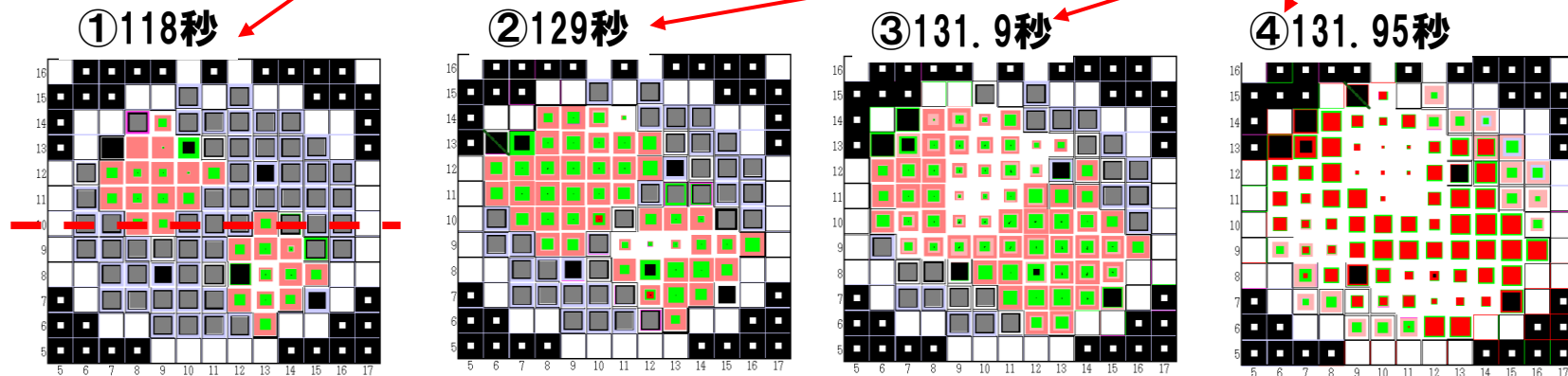
ULOFの格納容器破損防止措置の有効性評価 —炉心物質の流動性に関する保守的想定—

遷移過程基本ケースの事象推移

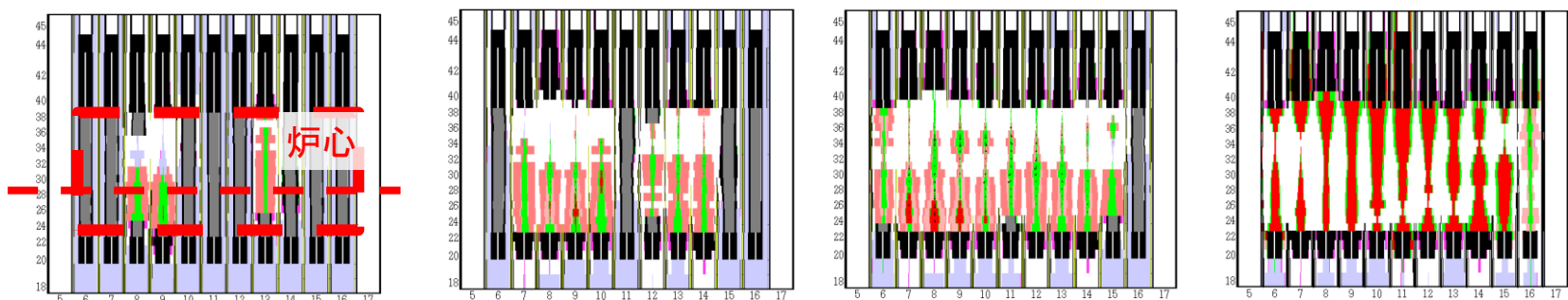


- 「常陽」の遷移過程では、エネルギー発生直前まで未溶融の燃料粒子と破損した燃料ペレットが溶融スティールに高い密度で混在した状態が続く(①~③)。
- この様な炉心物質の流動性は極めて低いが、本解析では通常の溶融スティールと同様に流動すると想定する保守的な解析条件を用いた。

水平断面物質分布



縦断面物質分布



- ガス
- 構造材
- ペレット
- 液体燃料
- 液体スティール
- ナトリウム
- 燃料粒子
- スティール粒子
- 制御材粒子
- 燃料チャンク
- 燃料クラスト
- キャピティー
- 制御棒

① 反応度の振幅が大きくなり始めた最初出力ピーク

② 燃料の炉心下部への沈降によって初めて即発臨界を超過、出力ピークは定格出力を越える。

③ 分散した燃料が炉心下部に凝集し、揺動する過程で即発臨界を超過

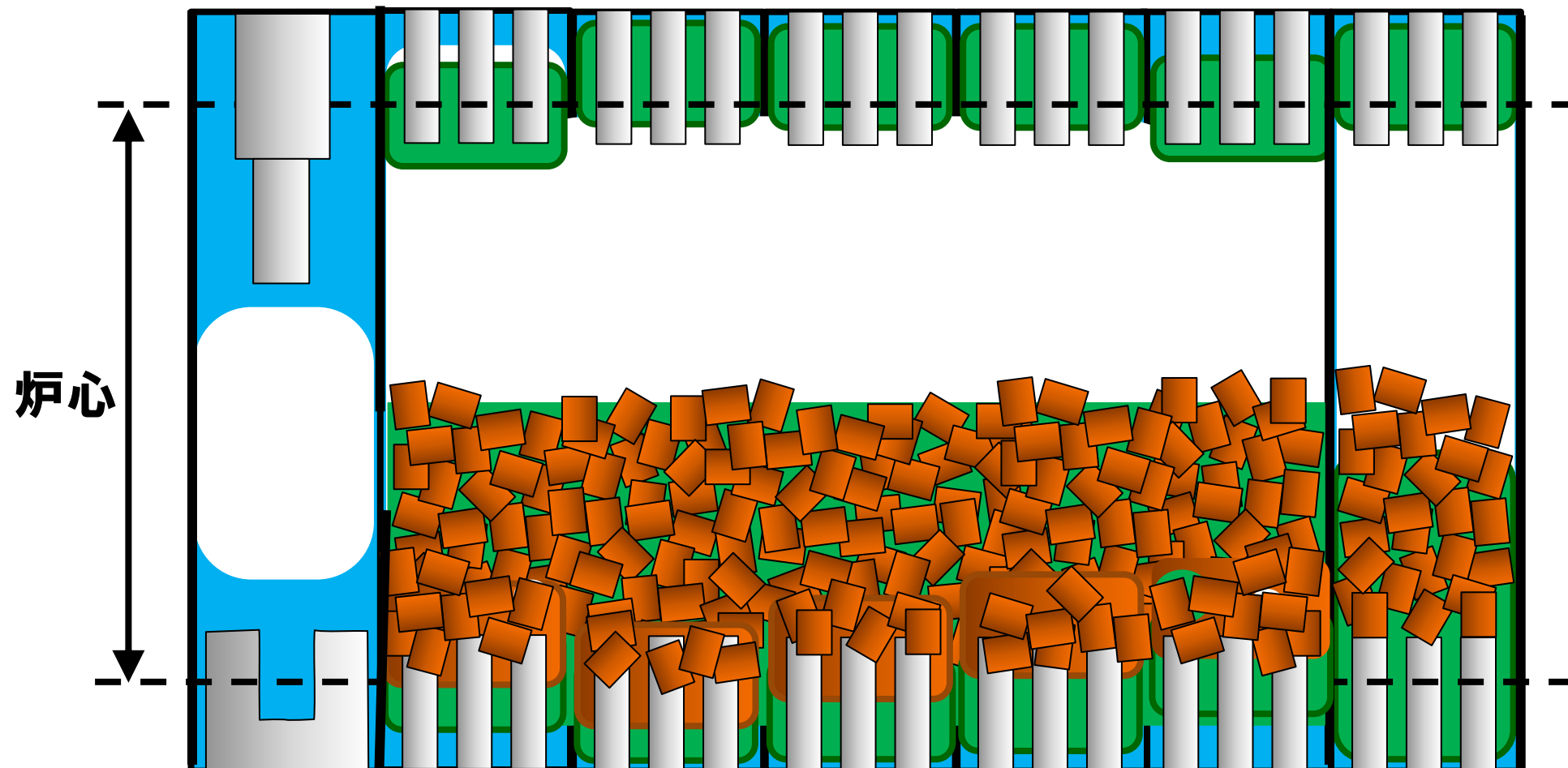
④ エネルギー発生によって燃料が溶融して分散、この後、燃料が炉心外へ流出して事象終息









SIMMERによる解析において考慮すべき物理現象

「常陽」遷移過程の現実的な事象推移(1/2)

「常陽」はほぼ全炉心でボイド反応度が負であるため、損傷領域の拡大の過程では炉出力が低下して炉心の損傷進展が緩慢になるとともに、損傷した炉心は固化した燃料粒子、未溶融の燃料ペレットがデブリベッド状に堆積し、その隙間を溶融したスティールが埋める状況となる。

この状態の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。

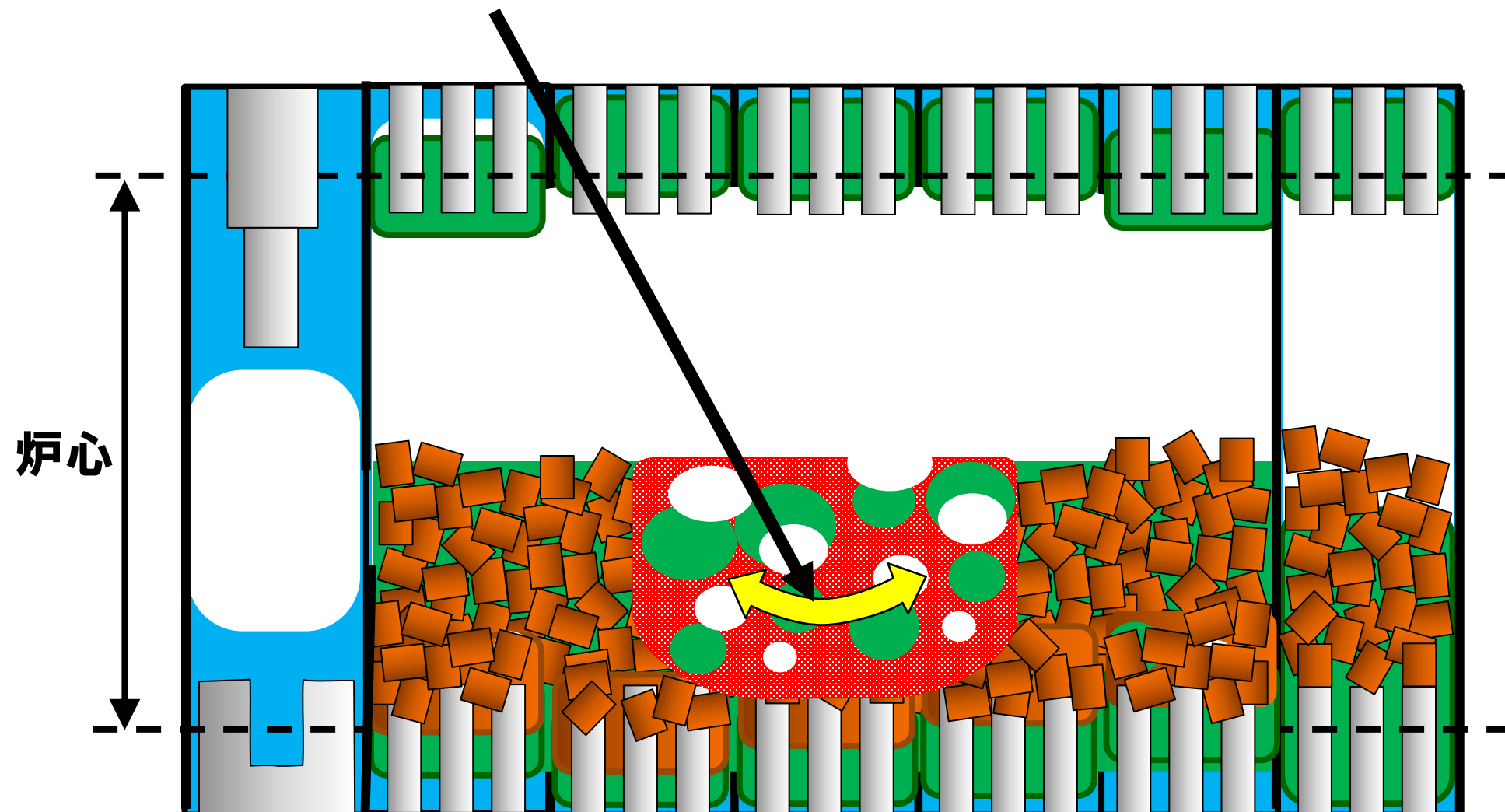










	燃料ペレット		被覆管・構造材		ナトリウム
	溶融燃料		溶融スティール		気相
	固化燃料		固化スティール		

SIMMERによる解析において考慮すべき物理現象

「常陽」遷移過程の現実的な事象推移(2/2)

固体燃料粒子ベッドと溶融スチールからなる炉心物質の流動性は極めて小さいため、炉出力による溶融が炉心の中心から進展する場合、炉心物質の揺動は溶融している限られた範囲で発生し、その結果発生する即発臨界超過による発生エネルギーは限定されたものになる。

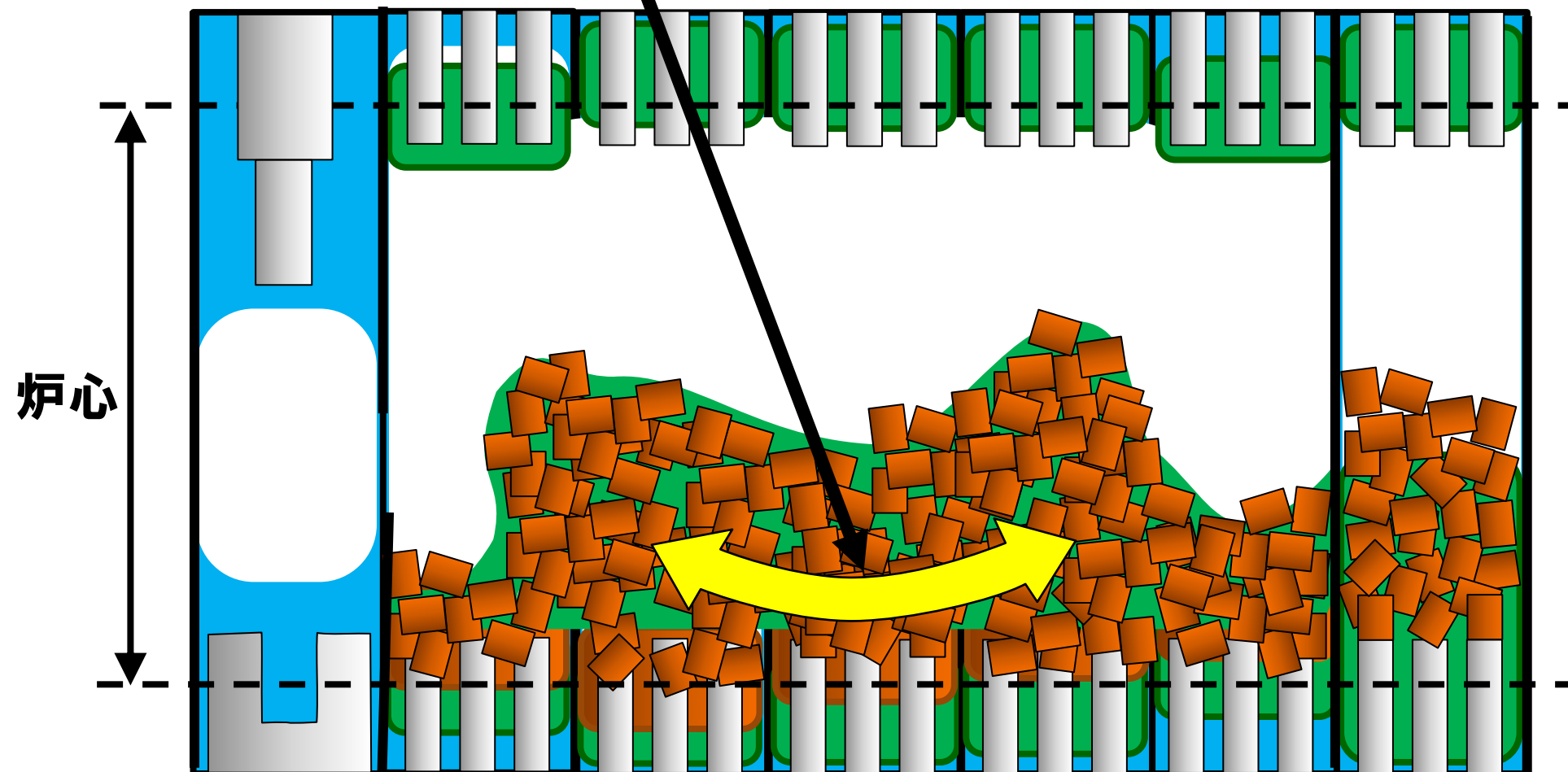










	燃料ペレット		被覆管・構造材		ナトリウム
	溶融燃料		溶融スチール		気相
	固化燃料		固化スチール		

SIMMERによる解析において考慮すべき物理現象

「常陽」遷移過程解析における想定

「常陽」の遷移過程解析では、本来流動性が極めて低い未溶融の固体燃料粒子と溶融ステールが混在した炉心物質も溶融ステールと同様の粘性率で流動するとして全炉心の炉心物質が揺動に参加できるとの想定を用いて解析を実施しており、これは炉心物質の凝集による即発臨界超過とエネルギー発生観点で極めて保守的な扱いとなっている。



	燃料ペレット		被覆管・構造材		ナトリウム
	溶融燃料		溶融ステール		気相
	固化燃料		固化ステール		