



JY-108-6

**第53条（多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止）に係る
計算コード及び有効性評価等に対するコメントへの回答**

2022年1月7日

**日本原子力研究開発機構 大洗研究所
高速実験炉部**

No. 261 機械的応答過程におけるプラグ応答の評価（プラグ間隙へのナトリウム流入量の評価）に関し、FCI拳動の不確かさがプラグ応答の評価に与える影響について、今後の有効性評価において説明すること。

ULOF (i) とULOF (iii) の機械的応答過程の解析の比較

ULOF (i) とULOF (iii) の不確かさ影響評価ケース（遷移過程における発生エネルギーの不確かさの影響）において、初期の燃料及びスチール温度並びに炉心平均圧力に差はほとんどなく、同程度の初期条件である。発生する機械的エネルギーも同程度である。

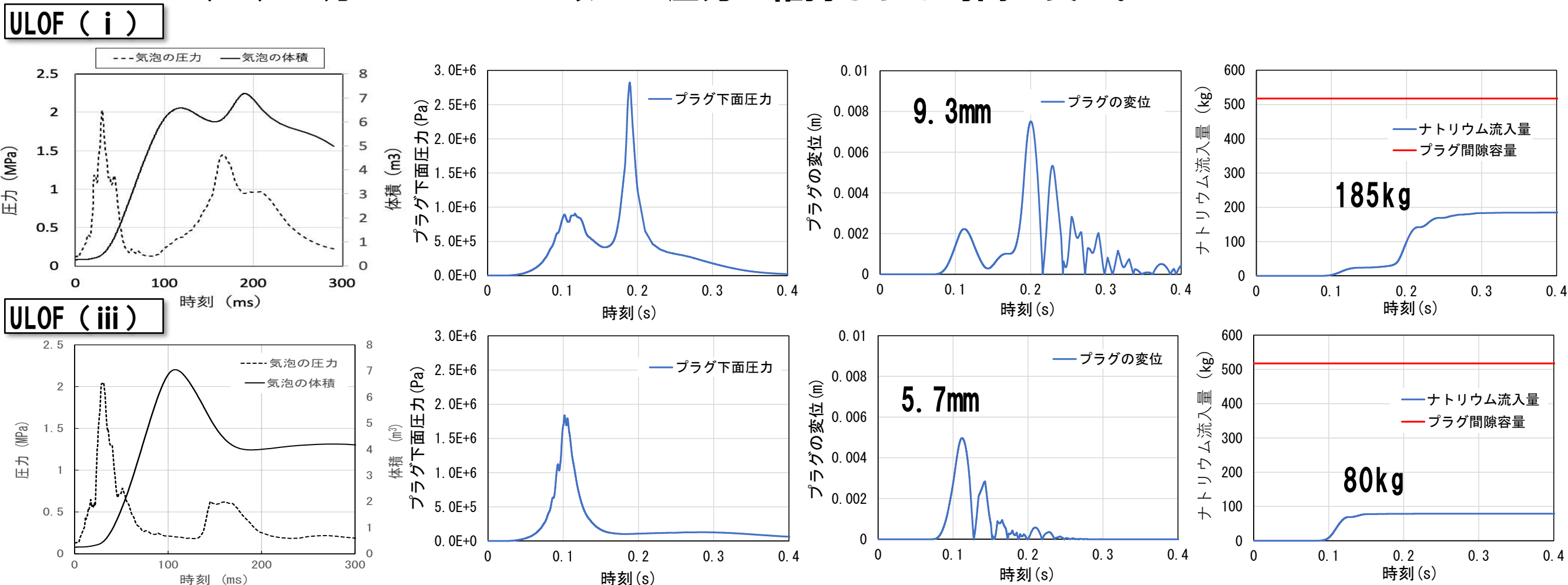
	ULOF (i)	ULOF (iii)
炉心平均燃料温度 (初期値) (°C)	5, 110	5, 130
炉心平均スチール温度 (初期値) (°C)	2, 400	2, 310
炉心平均圧力 (初期値) (MPa)	13. 1	12. 4
機械的エネルギー (MJ)	3. 6	3. 4

ナトリウム噴出量の解析の主要な結果から、プラグの最大変位及びプラグ間隙部へのナトリウム流入量はULOF (i) の方が大きい。いずれの評価事故シーケンスにおいても間隙の容量には十分に余裕があり、回転プラグ間隙を通じた原子炉容器内からのナトリウムの噴出は生じない。

	ULOF (i)	ULOF (iii)
回転プラグの最大変位 (mm)	9. 3	5. 7
プラグ間隙部へのナトリウム流入量 (kg)		
大回転プラグ (間隙容量517kg)	185	80
小回転プラグ (間隙容量315kg)	29	5
炉心上部機構 (間隙容量111kg)	31	6

ULOF (i) とULOF (iii) のプラグ応答の比較

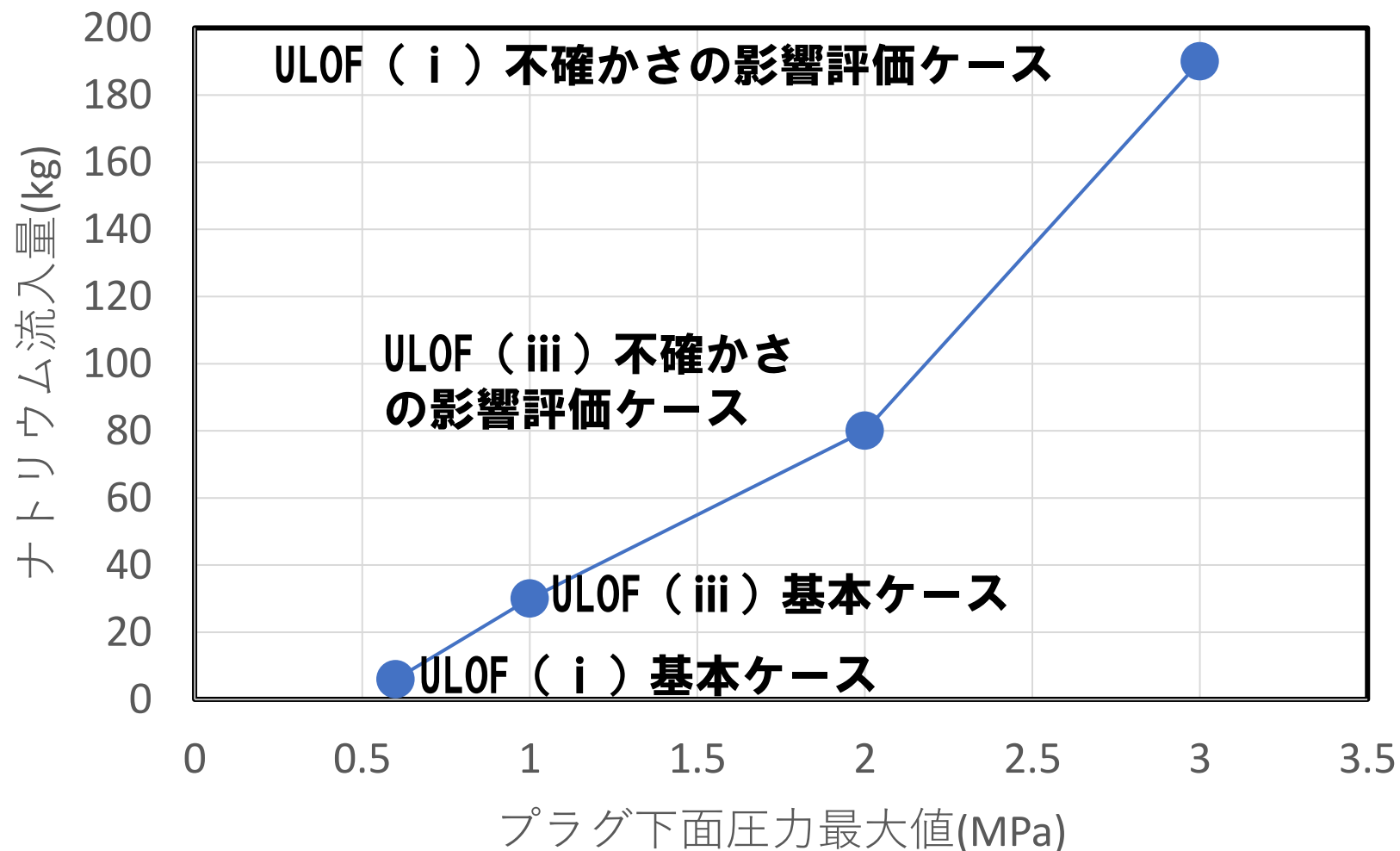
- CDA気泡と体積の圧力履歴：最初の圧力ピークの数値とその幅は、おおむね同じであるが、2回目の圧力ピーク値とその幅はULOF (i)の方が大きく、気泡体積が再度増加する。
- プラグ下面に作用する圧力
ULOF (i) では2回目の圧力ピークに由来する、0.19秒時点のピークが最大
ULOF (iii) では最初の圧力ピークに由来する、0.1秒時点のピークが最大
- プラグ下面に作用する圧力レベルの相違→大回転プラグ変位の大きさの相違
ULOF (i) : 9.3 (mm) / ULOF (iii) : 5.7 (mm)
- 大回転プラグの浮上に要する圧力は 2.75×10^5 (Pa) (絶対圧) である。ULOF (iii) に比べてULOF (i)の方がこのレベル以上の圧力が維持される時間が長い。



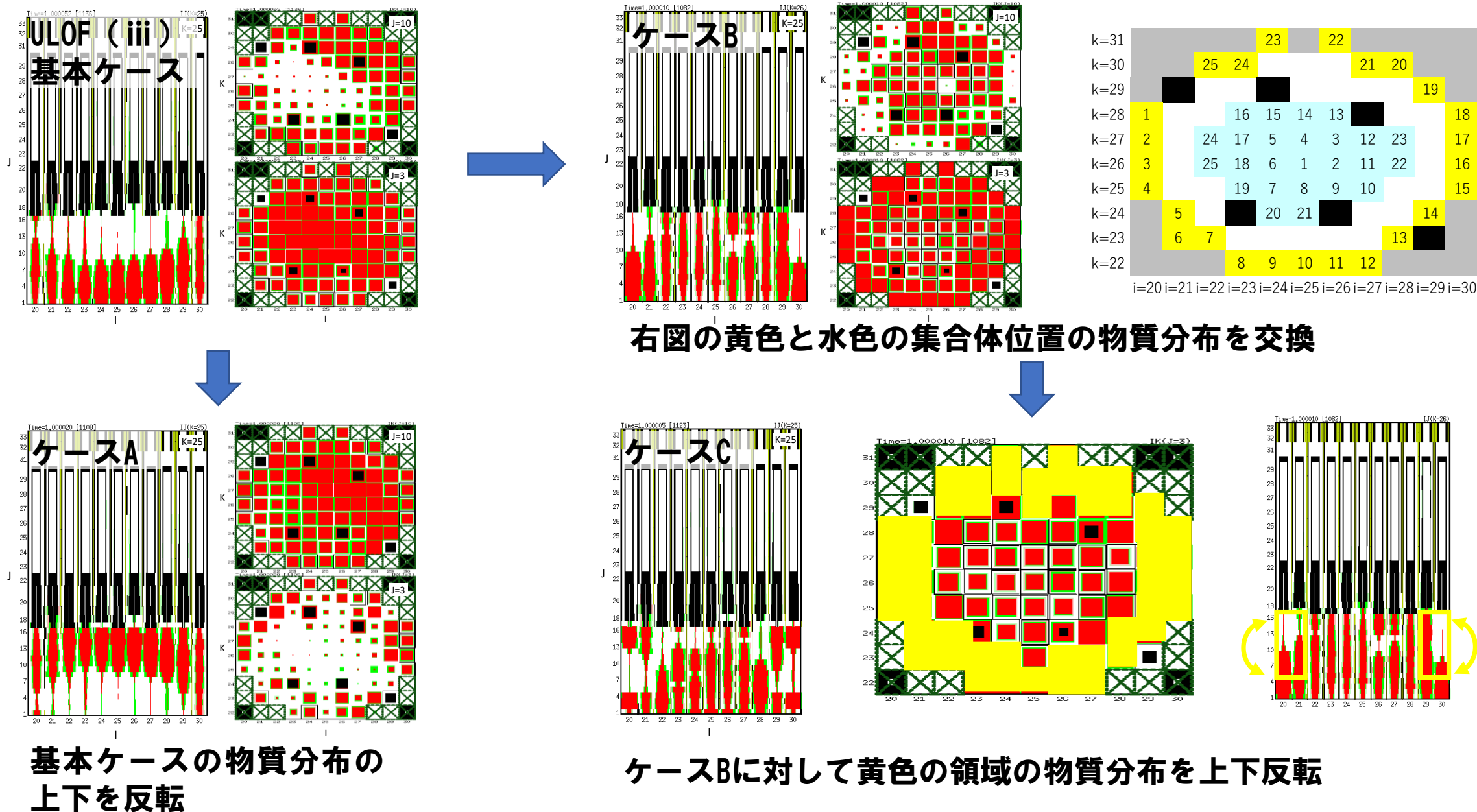
以下の理由によりULOF (i)の方がナトリウム流入量が顕著となったと言える。

- ① プラグ下面に作用するピーク圧力及びプラグ変位がULOF (i)の方が大きい。
- ② プラグの浮上している時間がULOF (i)の方が長い。

- ULOF (i) と ULOF (iii) のプラグ下面の最大圧力の違いは、上部プレナム下部での FCI 挙動の違いによる。
- プラグ間隙へのナトリウム流入量はプラグ下面の最大圧力が増加するに従って増加する。
- プラグ下面の最大圧力に影響する上部プレナム下部での FCI 挙動に関する不確かさ影響の評価が必要と考えられる。
- THINA 試験の検証解析によって、上部プレナム下面における FCI に S I M M E R を適用することの妥当性を確認しているが、原子炉容器規模への外挿性に関して不確かさ影響を確認する解析が必要と考えられる。

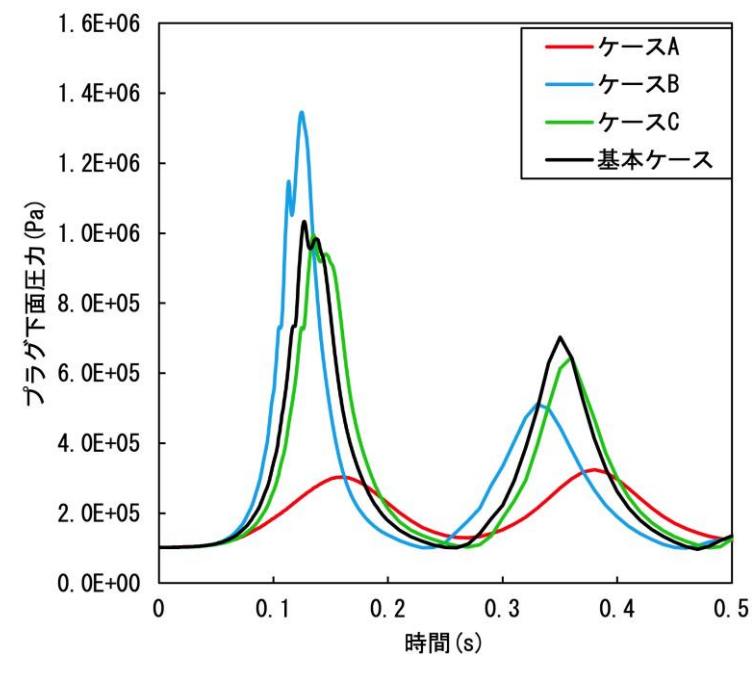
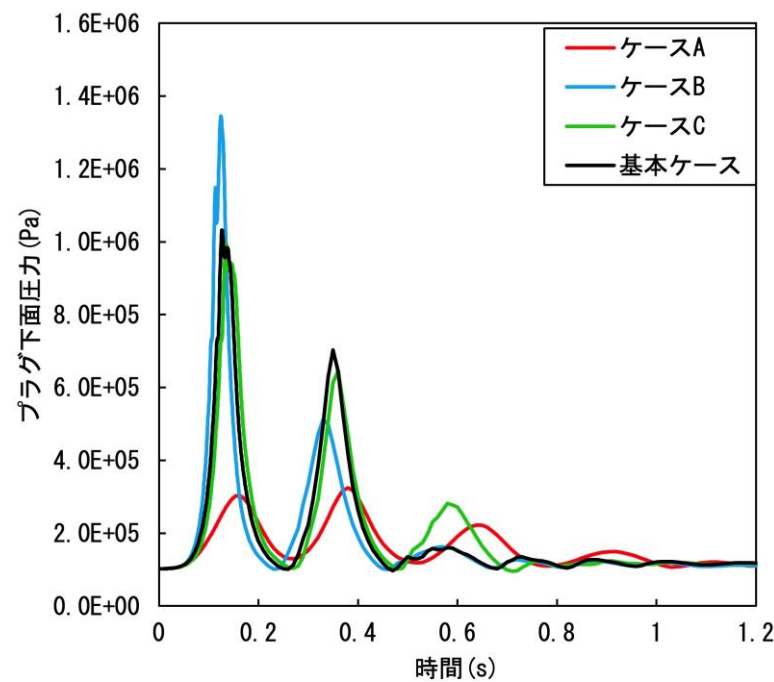


- ULOF (i) と ULOF (iii) の不確かさ影響評価ケース (遷移過程における発生エネルギーの不確かさの影響) プラグ下面の最大圧力の違いは、上部プレナム下部でのFCI挙動の違いによる。
- FCI挙動の基本ケースに対するFCI挙動の不確かさの影響の評価として、上部プレナム下部への炉心物質の放出パターンに影響を与えることを目的として、即発臨界超過直後の炉心内の物質配位を組み替えたパラメータ解析を実施した。
- パラメータ解析の対象は炉心平均燃料温度の高い ULOF (iii) とした。



- **最も大きな機械的エネルギーとプラグ下面圧力の最大値を与えたケースはケースBである。**
- **ケースBでは、基本ケースに対して炉心の外側と内側の集合体を入れ替えたことにより、より高圧な炉心外側の溶融炉心物質が相対的に先行して上部プレナムへと排出され、その結果集合体出口における溶融炉心物質と液体ナトリウムとの混合が顕著となってためと考えられる。**

	基本ケース	ケースA	ケースB	ケースC
炉心平均燃料温度(°C)	4200			
プラグ下面圧力の最大値(Pa)	1.03E+6	3.24E+5	1.35E+6	9.95E+5
プラグ下面圧力のピーク時刻(s)	0.127	0.380	0.125	0.135
機械的エネルギーの最大値(MJ)	2.565	0.91	2.858	2.43
機械的エネルギーのピーク時刻(s)	0.340	0.380	0.115	0.145
圧力源の最大膨張体積(m ³)	6.35	4.36	6.79	6.50
圧力源の最大膨張時刻(s)	0.35	0.38	0.128	0.149



- ULOF (i) と ULOF (iii) の基本ケースのうち炉心平均燃料温度の高い ULOF (iii) に対して、FCI 挙動の不確かさが機械的エネルギー発生に与える影響の評価を行うことを目的として、機械的エネルギー解析の初期状態における炉心内の物質配位を組み替えたパラメータ解析を実施した。
- その結果、上部プレナム下部における FCI の挙動が大きく影響される結果となった。ただし、基本ケースの機械的エネルギー約 2.6MJ、プラグ下面圧力の最大値約 1.03MPa に対して、パラメータ解析ケースの中で最大となった値は、それぞれ約 2.9MJ、約 1.35MPa であり、遷移過程におけるエネルギー発生の不確かさ影響確認ケースの約 3.4MJ、約 1.8MPa を超えない。

No. 262 UTOPにおけるFCIの不確かさの影響評価について、保守的な評価として最も影響が大きいものを評価していることを説明すること。また、ULOFと同様に、制御棒下部案内管2カ所でFCIを同時に発生させた場合には、燃料の凝集を阻害することであるが、当該評価の結果についても説明すること。

UTOPの格納容器破損防止措置の有効性評価 遷移過程の解析手法及び解析体系

1. 計算コード SIMMER-IV

2. 基本ケース解析体系の概要

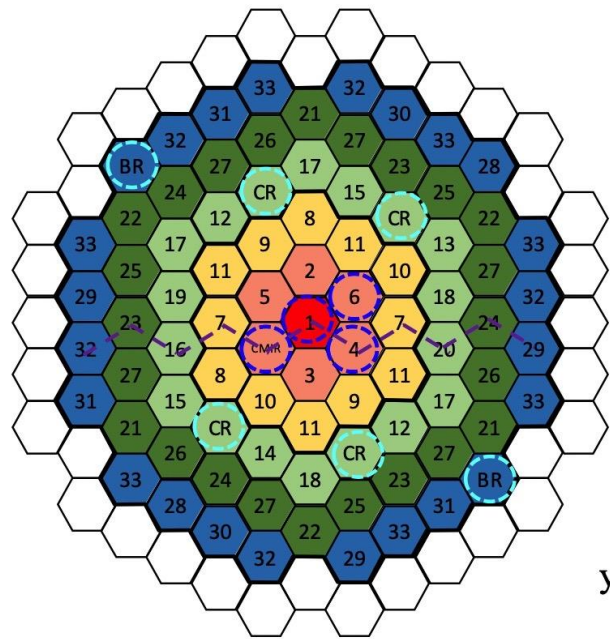
3次元直交座標（流体力学メッシュ：21×19×67）
で全炉心の崩壊挙動を解析する。

鉛直方向は低圧プレナムからカバーガス領域までを、
径方向は内側炉心から遮へい集合体までをモデル化する。

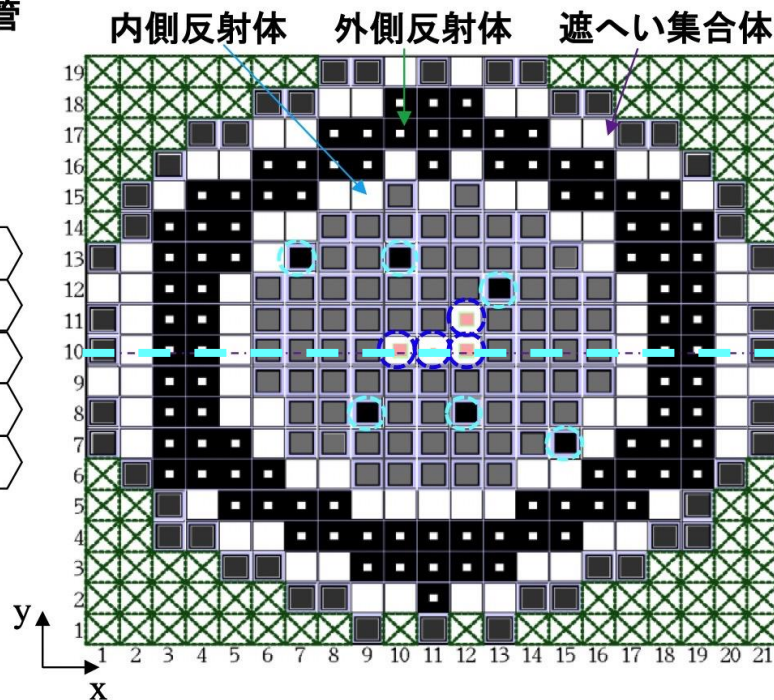
j																					
66, 67	カバーガス					[黒色領域]										カバーガス					
54, 55	[茶色領域]					ハンドリングヘッド										[茶色領域]					
39~53	ガスプレナム		ガスプレナム		ガスプレナム		ガスプレナム		ガスプレナム		ガスプレナム		ガスプレナム		ガスプレナム		ガスプレナム		ガスプレナム		
23~38	遮へい集合体		外側反射体		内側反射体		外側炉心		内側炉心		外側炉心		内側反射体		外側反射体		遮へい集合体		遮へい集合体		
14~22	下部反射体																				
4~13	高圧プレナム																				
1~3	低圧プレナム																				
	1	2	3	4	5,6	7~15										16,17	18	19	20	21	i

○: 制御棒下部案内管及び
後備炉停止制御棒下部案内管

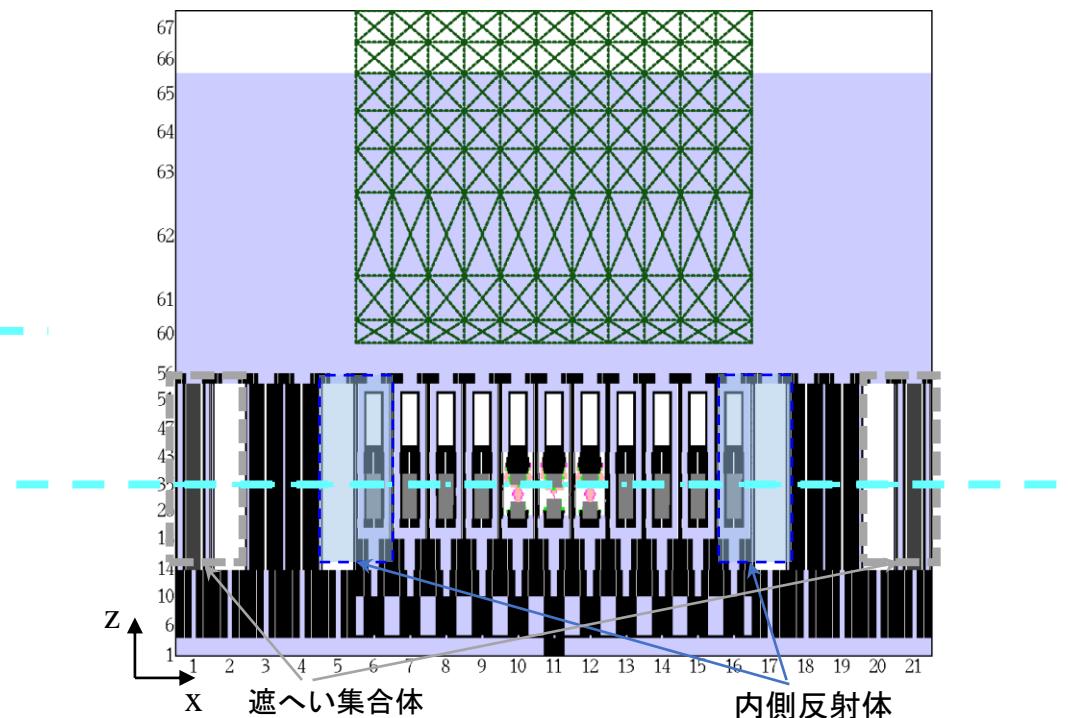
⊗: 計算除外セル



「常陽」炉心構成

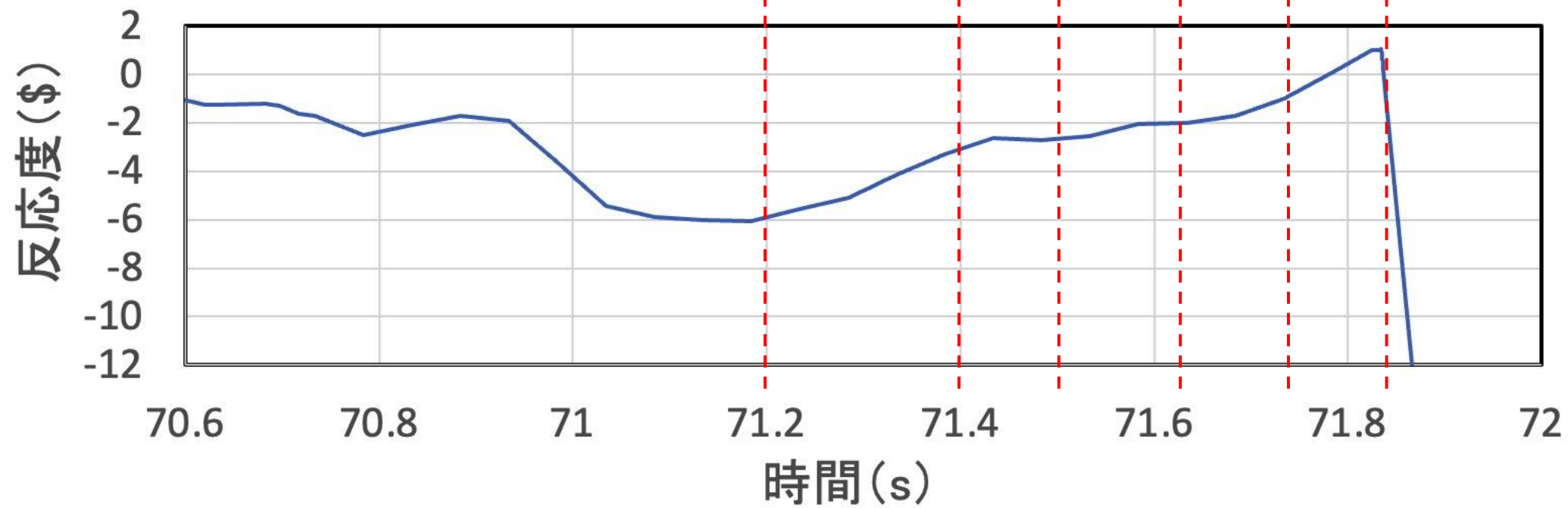


SIMMER-IV計算体系：炉心水平断面図

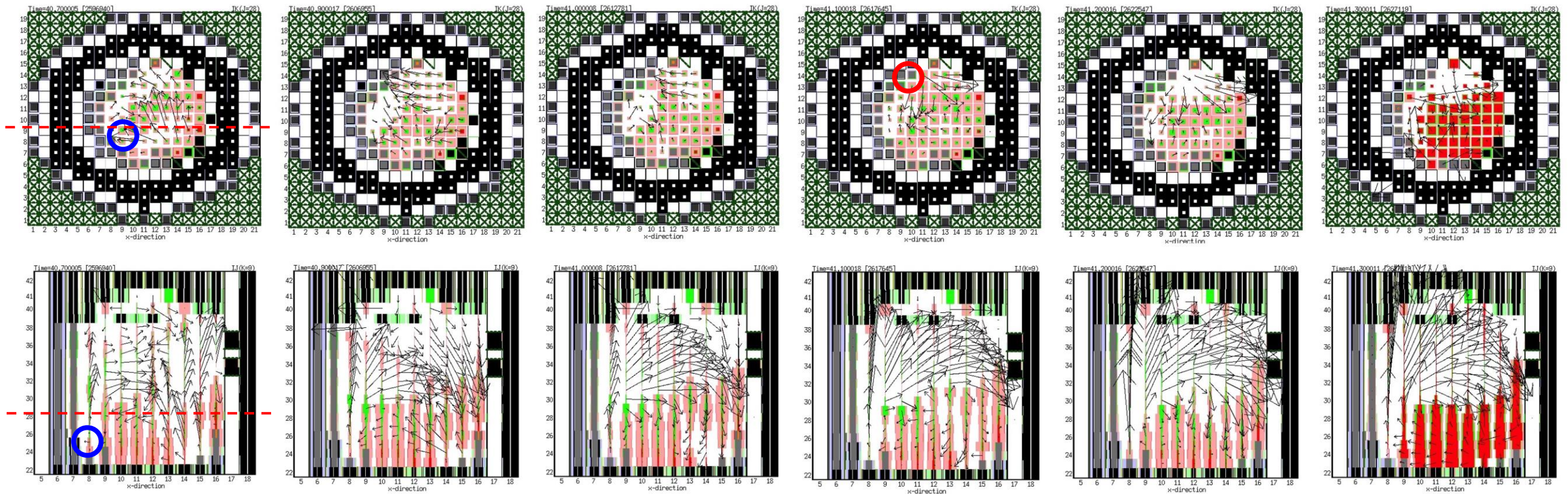


SIMMER-IV計算体系：炉心鉛直断面図

UTOPの格納容器破損防止措置の有効性評価 FCIの不確かさの影響評価 (1/2)

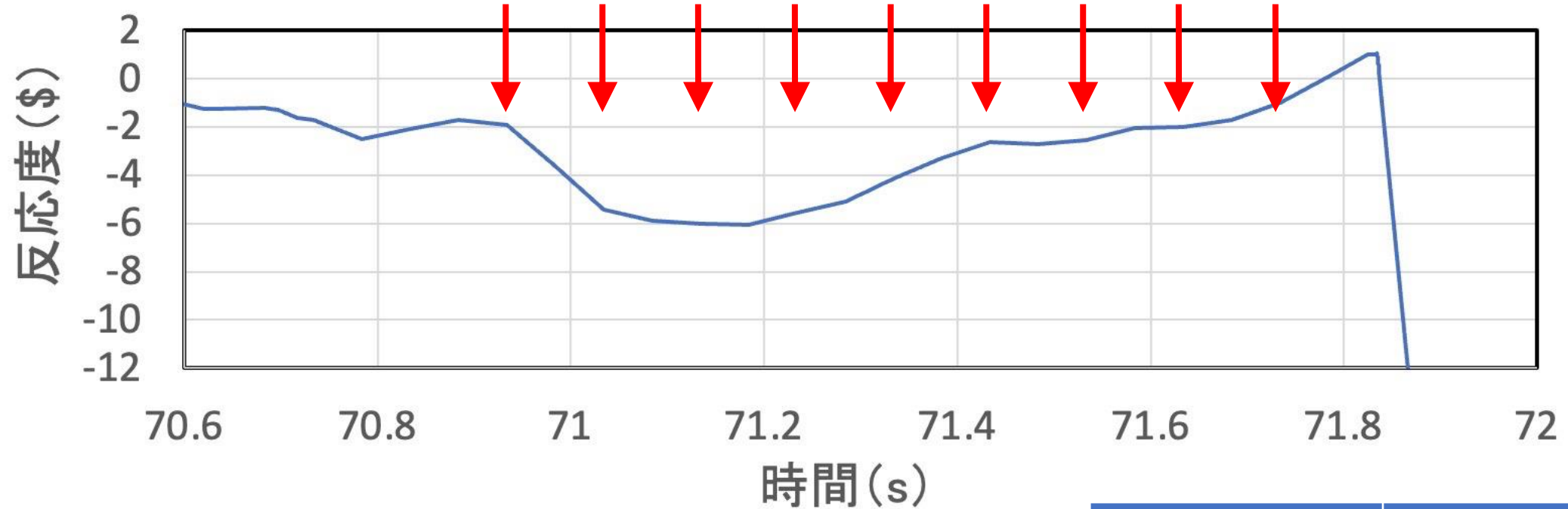


- ガス
- 構造材
- ペレット
- 液体燃料
- 液体スチール
- ナトリウム
- 燃料粒子
- スチール粒子
- 制御材粒子
- 燃料チャンク
- 燃料クラスト
- キャビティー
- 制御棒

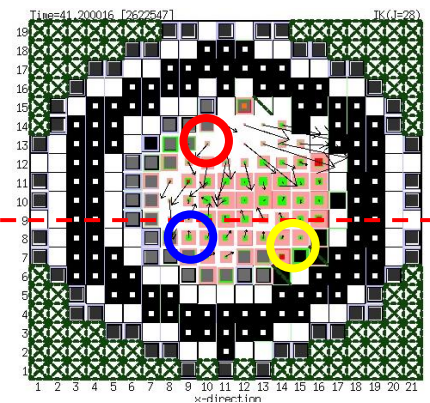


- 基本ケースでは約71.2sの水平断面図左下（青丸）炉心下部のFCIで吹き上げられた炉心物質が約71.6sの水平断面図上部の炉心下部で発生したFCIによって水平断面図右下の炉心下部に集中することで、即発臨界を超過した。

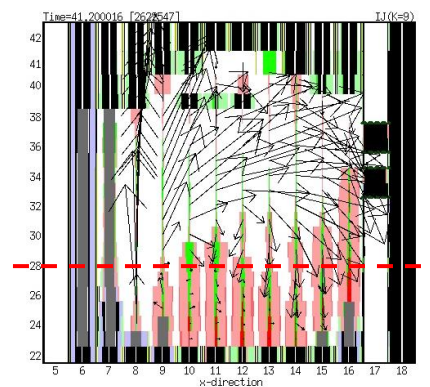
UTOPの格納容器破損防止措置の有効性評価 FCIの不確かさの影響評価 (2/2)



71.73秒



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



- 基本ケースでは約71.2sの水平断面図左下（青丸）炉心下部のFCIで吹き上げられた炉心物質が約71.6sの水平断面図上部のFCIによって水平断面図右下の炉心下部に集中することで、即発臨界を超過。
- この燃料集中を加速する水平断面図左上（赤丸）の炉心下部で約80atm程度のFCIを強制的に発生させる。時間は上図の矢印で示す70.93~71.73sまで0.1s間隔とする。
- 水平断面図の左上（赤○）に右下（黄○）も加えてFCIの同時2カ所発生を仮定して炉心中心領域に燃料を集中させるケースも実施した。

FCI時刻 (s)	1カ所FCI	2カ所FCI
基本ケース	約2,820	
70.93	約2,750	約3,300
71.03	約2,950	—
71.13	約3,600	約3,415
71.23	約2,840	約3,028
71.33	約3,410	—
71.43	約2,830	約3,030
71.53	約3,060	約3,090
71.63	約3,190	—
71.73	約2,750	約3,030
スロッシング不確かさの影響評価ケース	約4,300	