

デブリ取り出し時の再臨界事故解析

東京工業大学科学技術創成研究院

先導原子力研究所

小原 徹

背景

- 福島第一原子力発電所廃止措置における臨界安全
 - 燃料デブリ取り出し時の再臨界事故を防ぐ
 - 万一再臨界事故が発生した場合の現象の進展をあらかじめ評価し作業員の安全確保のための方策を確立する
 - 特に即発超臨界の事故が発生した場合
 - 現象が非常に早く進展するため臨界を検知した後に有効な対応を取ることは困難
 - 有効な安全対策を確立するためにあらかじめ発生エネルギー及び線量をできるだけ精度よく評価しておくことが重要

本研究の目的

- メルトダウン炉心の臨界事故解析と対策の検討
 - 即発超臨界時の挙動解析に重点

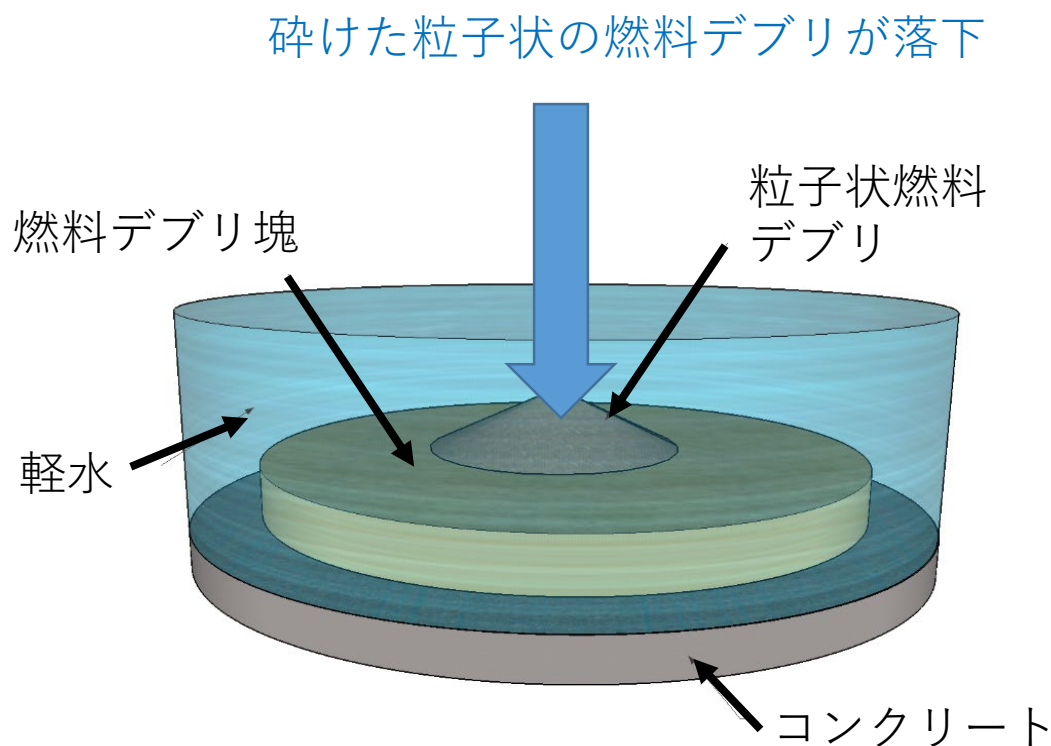
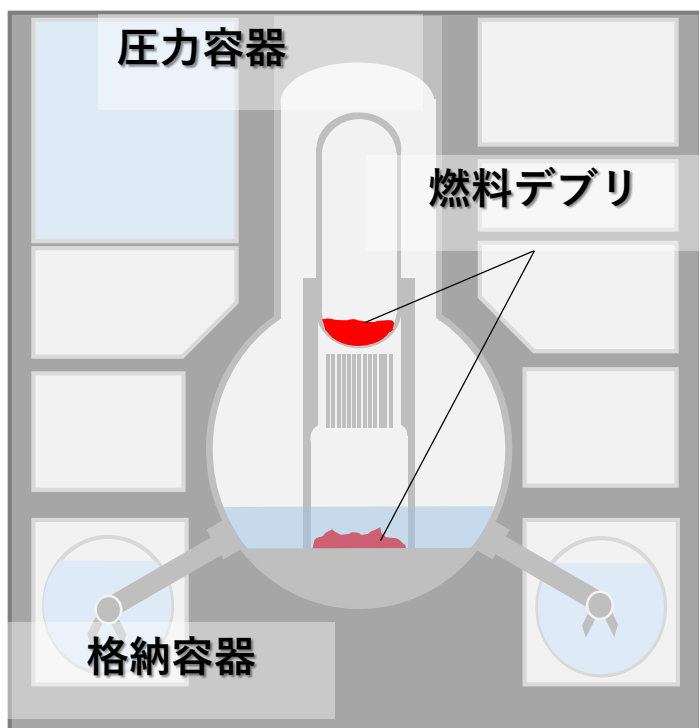
解析手法

- 空間依存動特性解析
 - MIKコード
 - 積分型動特性モデルに基づき東工大で開発された空間依存動特性解析コード
 - 再臨界により発生する核分裂数の時間変化と積分値（エネルギー）を評価
- 線量評価
 - PHITSコード
 - JAEAで開発された放射線挙動解析モンテカルロコード
 - 核分裂によって発生する中性子線及びガンマ線による線量を評価
- デブリ落下解析
 - Particleworks 6.0
 - MPS法による流体解析コード
 - デブリが水中を落下する場合の挙動評価
- 臨界解析
 - MVPコード
 - モンテカルロ法による中性子輸送解析コード。MIKコードでも使用。
 - デブリの堆積形状による臨界性の評価

PCV下部の燃料デブリ塊に粒子状 燃料デブリが落下・堆積した場合 の臨界事故解析

昨年度の報告

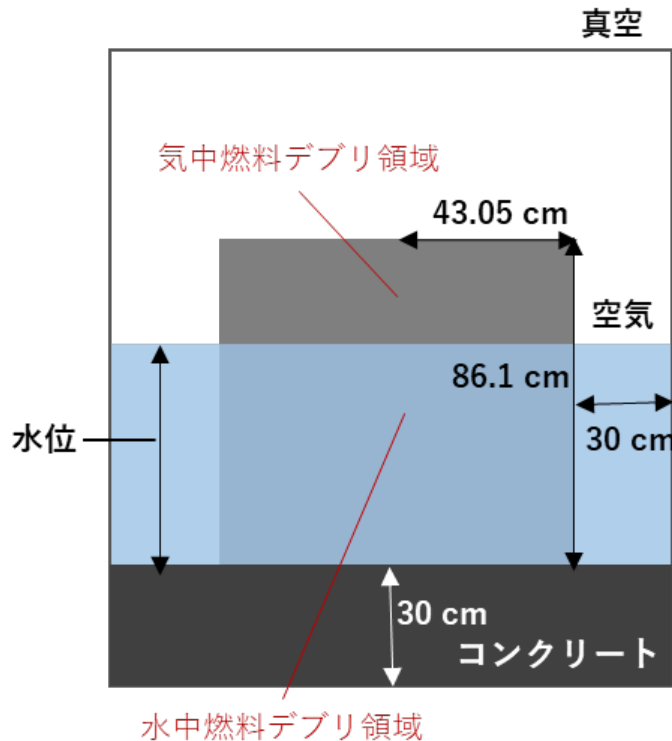
水中に砕けた粒子状デブリが落下し再臨界となった際の放出エネルギーを評価



水位と臨界事故による影響の 関係

- 水位が低いと堆積した粒子状デブリが一部気中にある可能性も考えられる。
 - 水位が発生エネルギーにどのような影響をあたえるか。
 - さらに、核分裂による線量はどうか。

解析条件



燃料組成	UO ₂
密度	10.97 g/cm ³
濃縮度	3 wt%
粒子半径	0.1 cm
充填率	60 %
ユニット底面半径	43.05 cm
高さ	86.1 cm
水反射体厚さ	30 cm
コンクリート厚さ	30 cm
水位	50 cm～120 cm

水位を変えた体系を複数作成

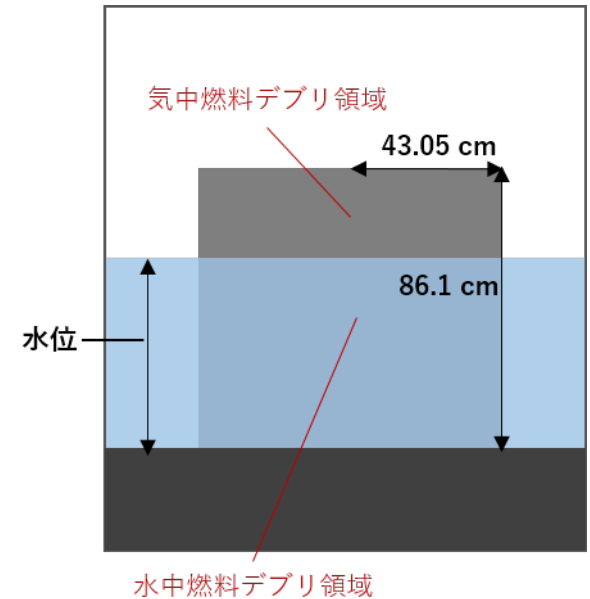
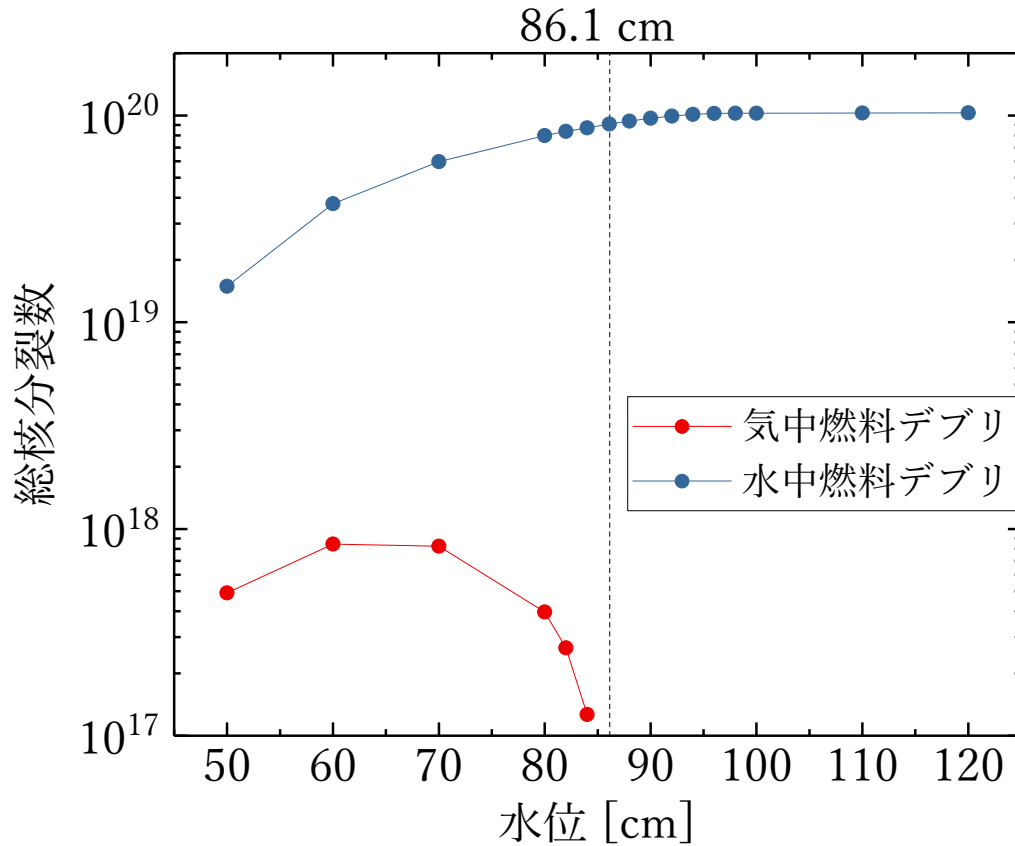


それぞれの体系で空間依存動特性解析・線量評価



円柱形状燃料デブリ体系における超臨界時の水位と線量の関係を明らかにする

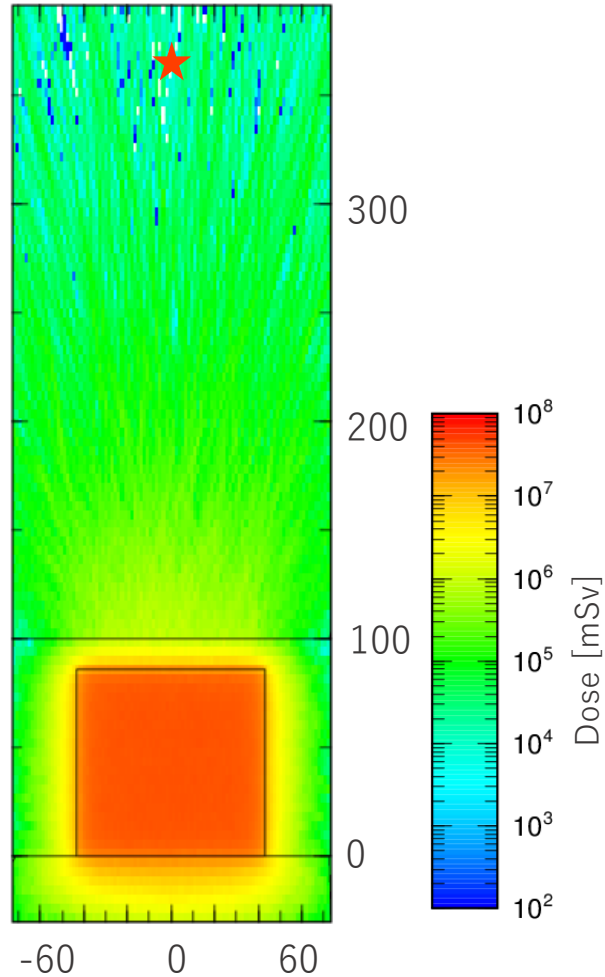
解析結果



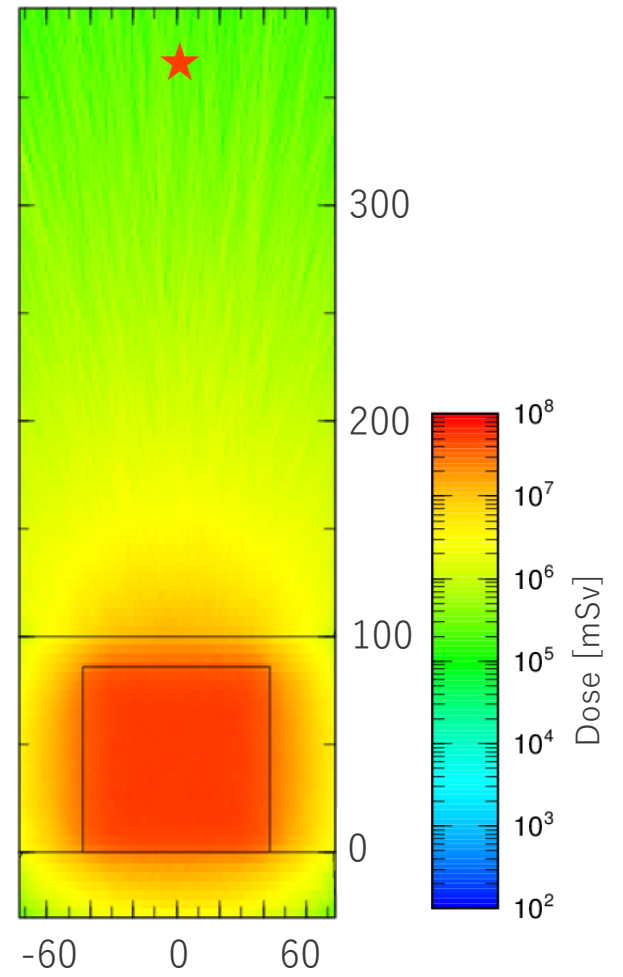
水位と超臨界時の総核分裂数の関係
(核分裂領域別)



解析結果



中性子

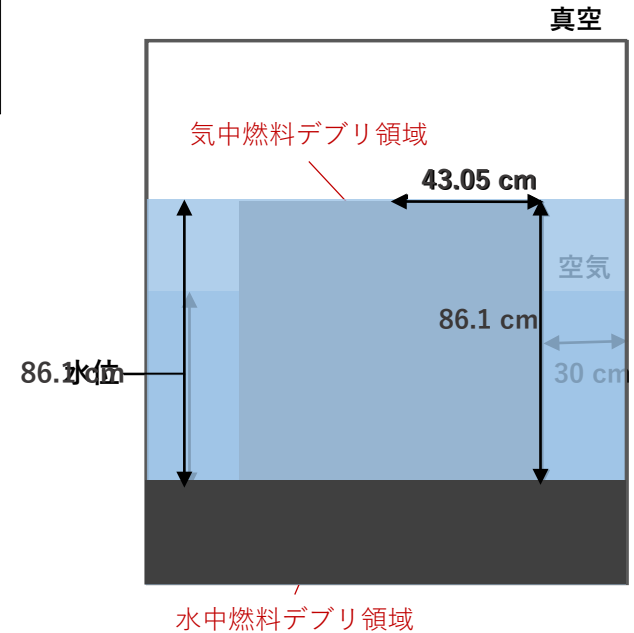
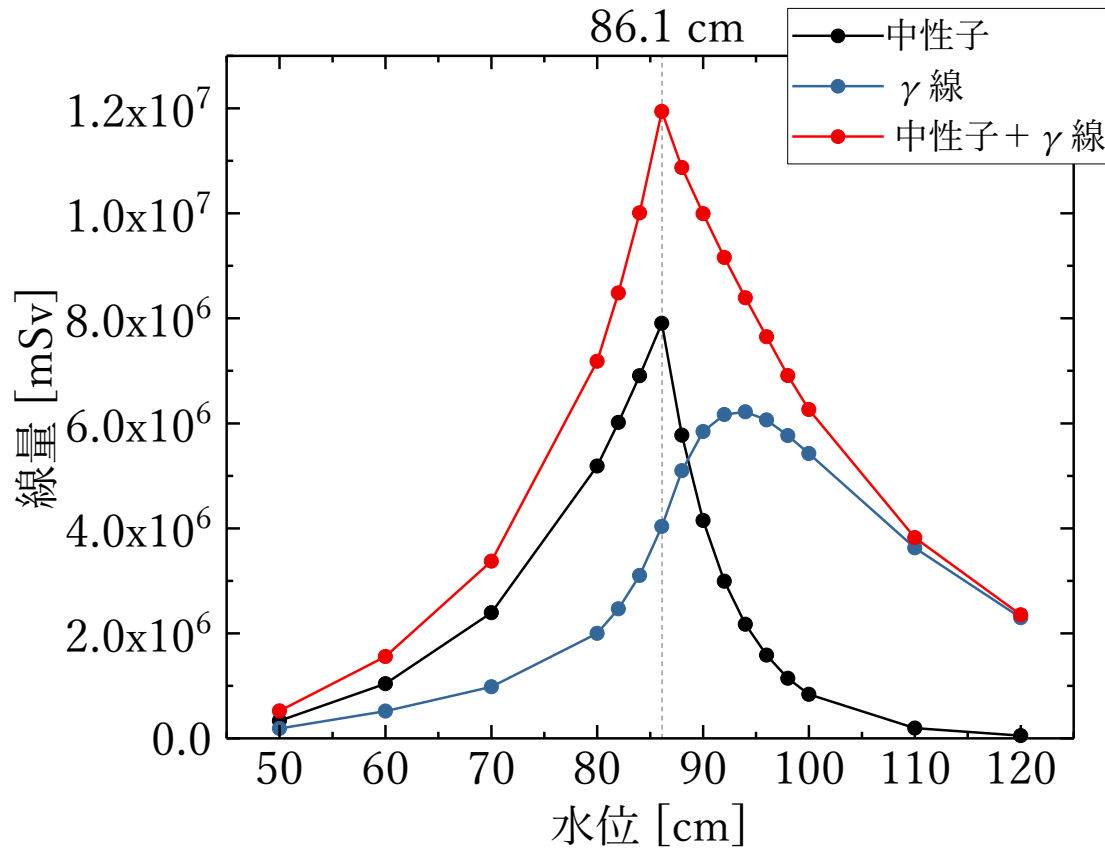


γ 線

超臨界時の線量

(水位：100 cm)

解析結果



線量が最大となる体系

水位：86.1 cm

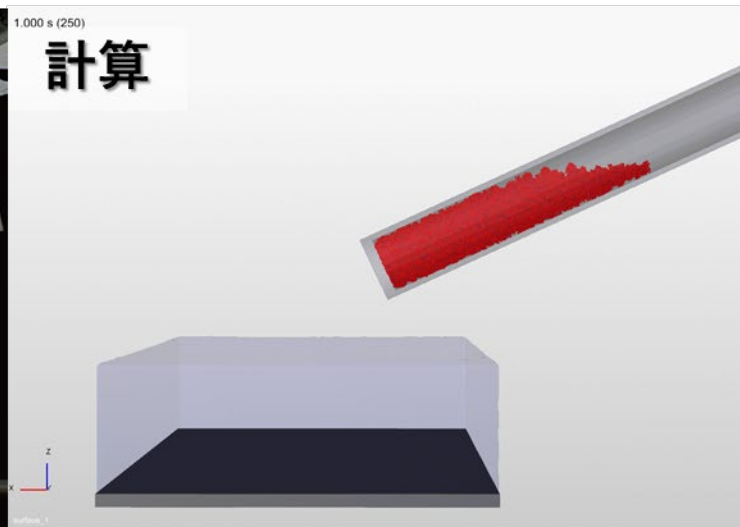
水位と超臨界時の線量の関係

(線種別、ユニット上面中心から300cm上部の点での線量)

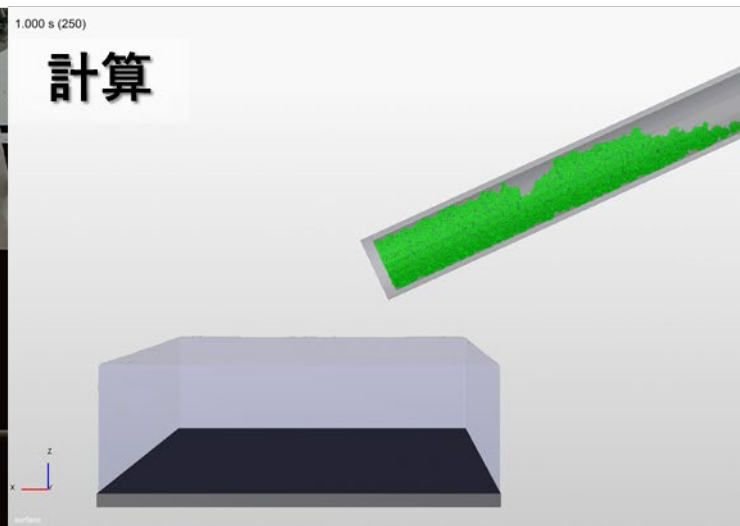
粒状デブリの落下・堆積挙動

水中堆積の実験と計算結果

SUSボルト



Alボルト



燃料デブリ組成を用いた臨界計算

燃料デブリ組成条件での結合計算

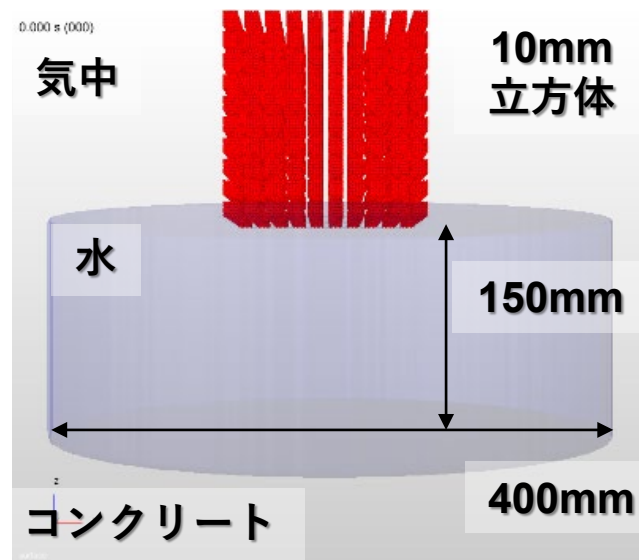
数値流体計算

- 燃料デブリ組成を持つ1000個の立方体の水中堆積計算
(立方体位置の時間変化を計算)

臨界計算

- 組成・密度は数値流体計算と同じ
(実効増倍率の時間変化を計算)

結合計算幾何条件



結合計算条件

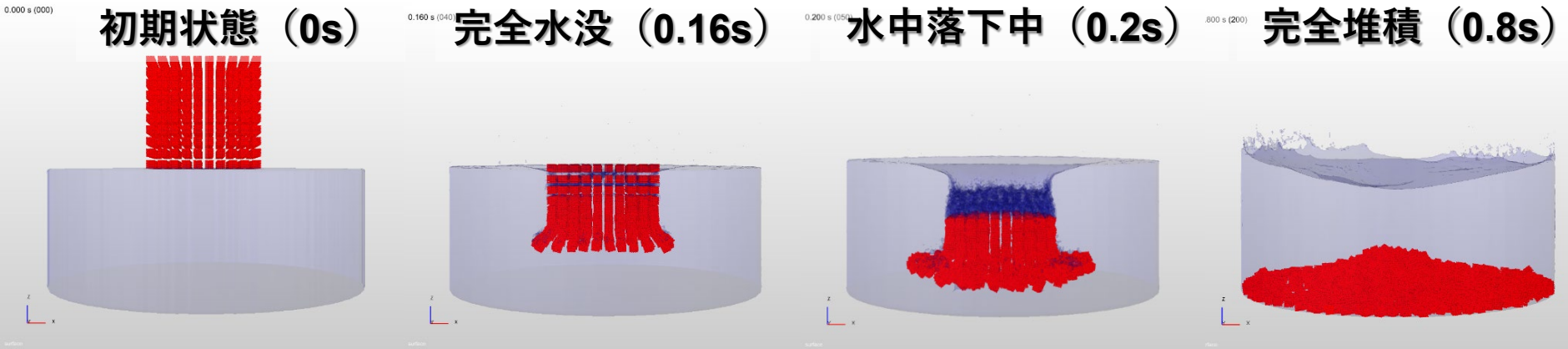
組成	燃料デブリ (先行研究の計算結果参照)
密度	7.87 g/cm ³
ヒストリー数	200万
バッチ数	80

燃料デブリ組成

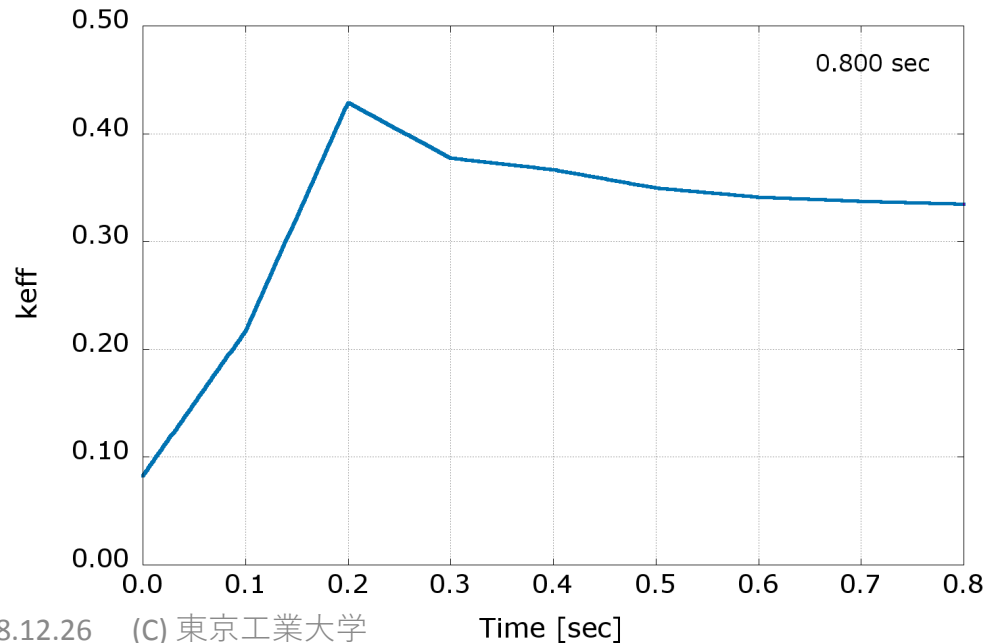
物質	質量割合 (%)	密度(g/cm ³)	物質	質量割合 (%)	密度(g/cm ³)
UO ₂	53.04	10.96	Ni	0.39	8.91
Zr	11.26	6.51	NiO	0.84	6.67
ZrO ₂	10.25	5.6	SiO ₂	1.76	2.65
Cr	0.79	7.19	CaO	0.28	3.3
Cr ₂ O ₃	1.9	5.21	MgO	0.2	3.58
Fe	11.21	7.87	Al ₂ O ₃	0.27	3.97
FeO	7.81	5.7	合計	100	7.87

臨界計算結果

水中堆積過程



実効増倍率の時間変化



まとめ

- 粒子状燃料デブリ落下時の再臨界事故解析
 - 落下場所の水位が線量に大きく影響する
 - 水位を高くすることで水による遮蔽効果が有効に働く
- 粒子状デブリの水中での落下・堆積挙動
 - 手法を確立
 - より現実的な解析が可能に