講演3：燃料デブリとはどんなもの

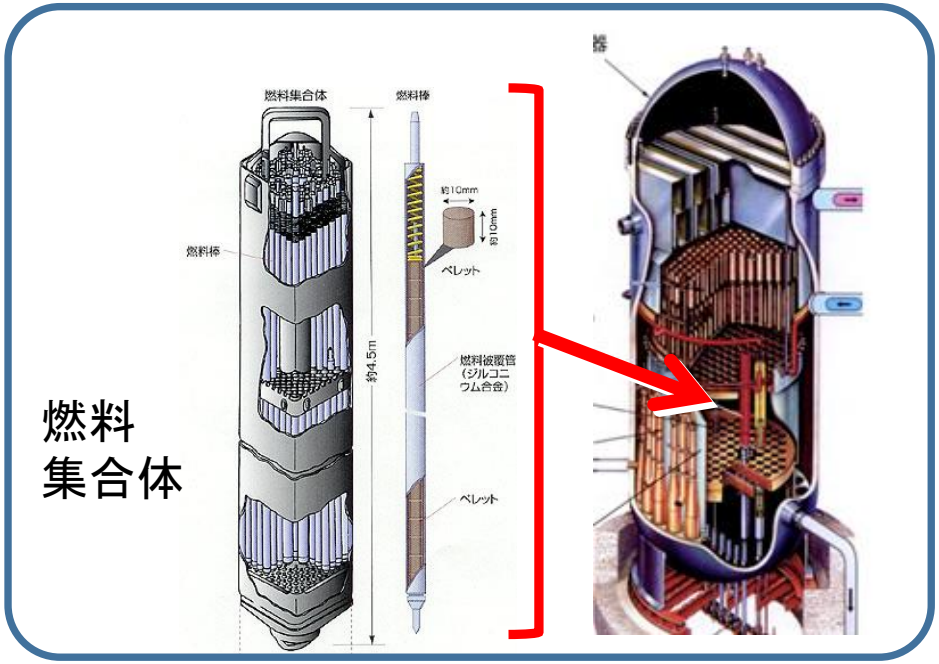
廃炉委・事故進展未解明事項フォローWG
（日本原子力研究開発機構）
永瀬　文久

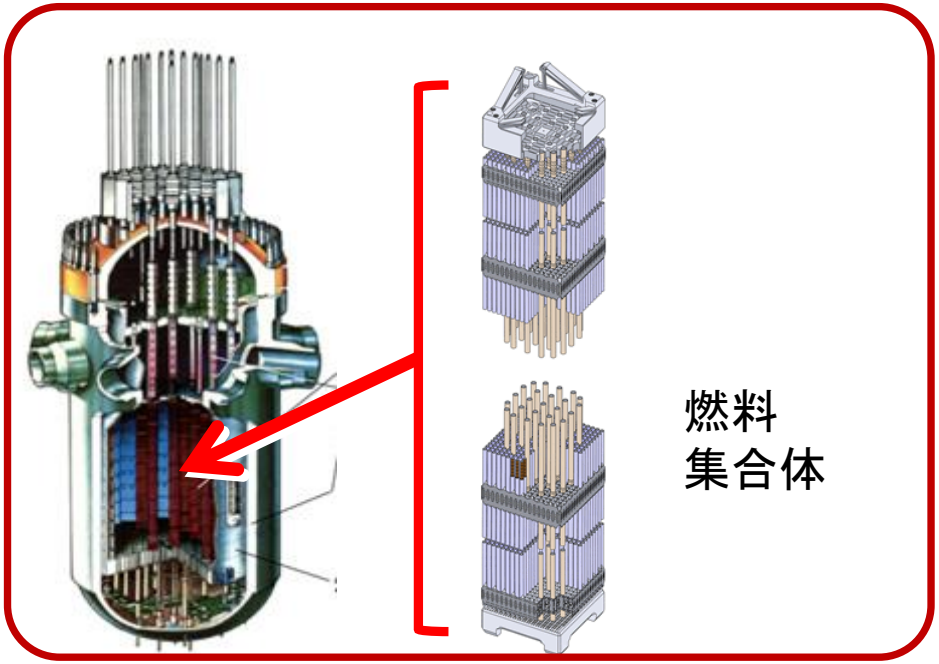
日本原子力学会　シンポジウム
東電福島第一原子力発電所の廃炉について
― 廃炉の状況と課題、その対応策 ―
2017年3月11日(土)

講演内容

- 原子炉炉心（通常の状態）
- 炉心損傷のはじまり
- 事故の進行（溶融炉心の移行）
- 燃料デブリとは
- 燃料デブリの例
- 取出し及び取扱いでの困難と注意

原子炉炉心（通常の状態）



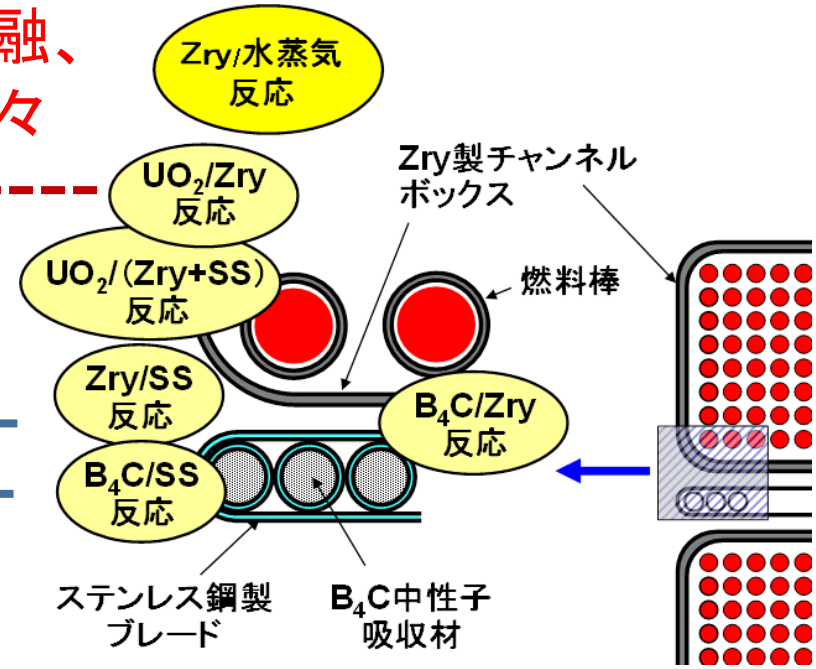


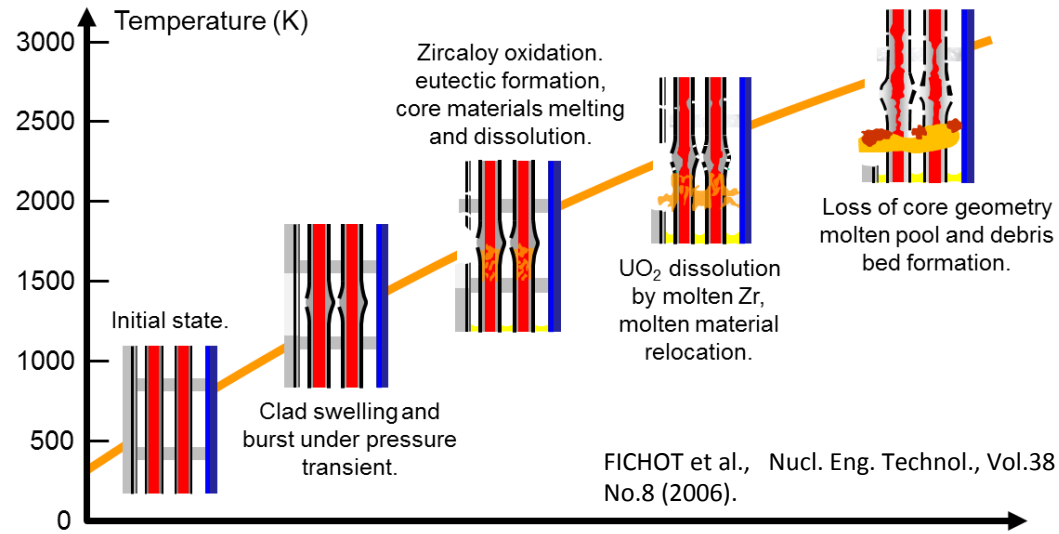
原子炉を構成する材料と重量割合		
	福島第一(BWR)	TMI-2(PWR)
二酸化ウラン(UO_2)	80～100 トン　(60%)	～100 トン　(75%)
ジルカロイ	30～50トン　(25%)	～25トン　(20%)
制御材 (B_4C)	0.5～1トン　(0.5%)	
制御材 (Ag-In-Cd)		～3トン　(2%)
ステンレス鋼など	15～20トン　(10%)	～6トン　(5%)

炉心損傷のはじまり

炉心材料の酸化、溶融、化学反応、崩落が徐々に広がっていく。

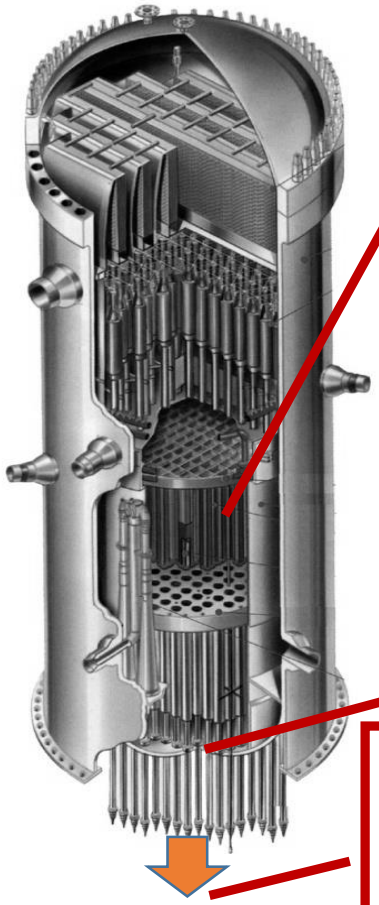
- 2850℃ — UO_2の融点
- 2700℃ — ZrO_2の融点
- 1970℃ — α-Zr(O)の融点
- 1900℃ — α-Zr(O)/UO_2間に液相形成
- 1760℃ — ジルカロイの融点
  溶融ジルカロイによるUO_2の溶解
- 1615℃ — Zr/BCの共晶温度
- 1450℃ — ステンレス鋼の融点
- 1400℃ — インコネルの融点
- Zry被覆管の急速な酸化
- 1200℃ — Fe/Bの共晶温度
- 1130℃ — UO_2/Zry間の液相形成
- 950℃ — Ni/Zr及びFe/Zrの共晶温度
- 830℃ — Ag-In-Cdの融点
- 280-350℃ — 通常時の被覆管表面温度
- 280-320℃ — 通常時の冷却材温度

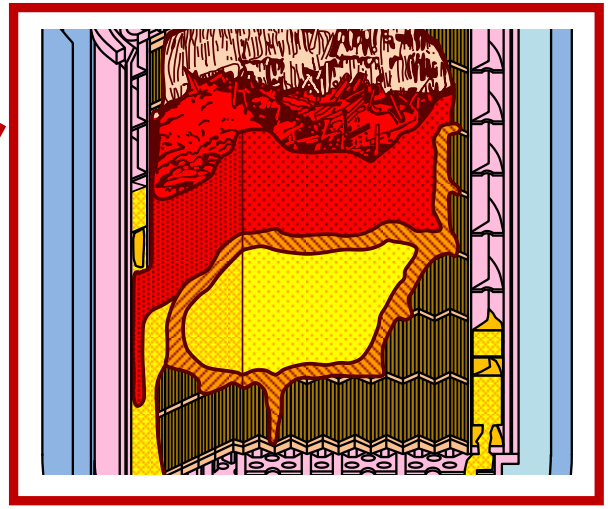




FICHOT et al., Nucl. Eng. Technol., Vol.38 No.8 (2006).

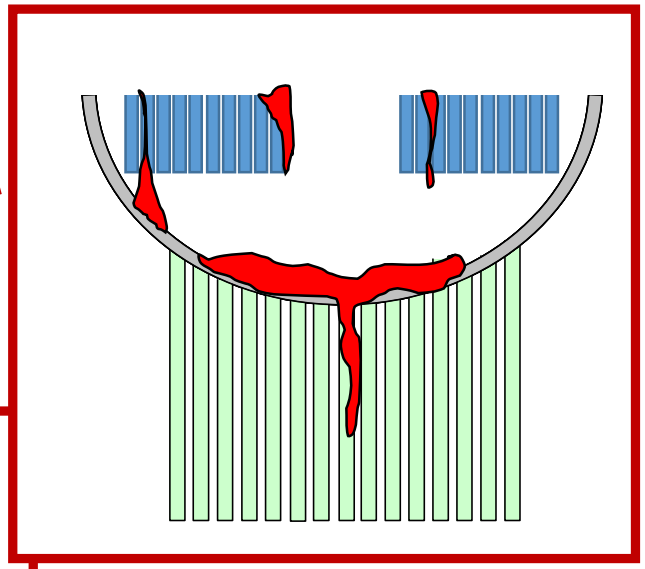
事故の進行（溶融炉心の移行）

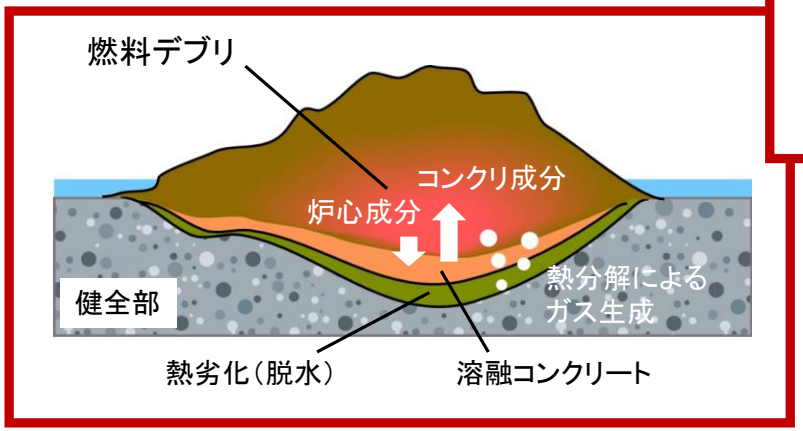




炉心溶融・崩落

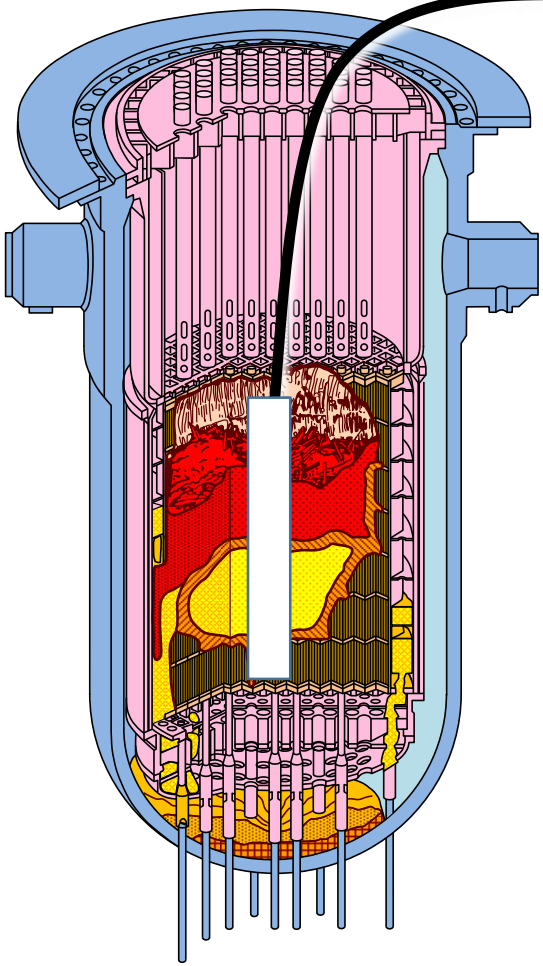
圧力容器
底の破損

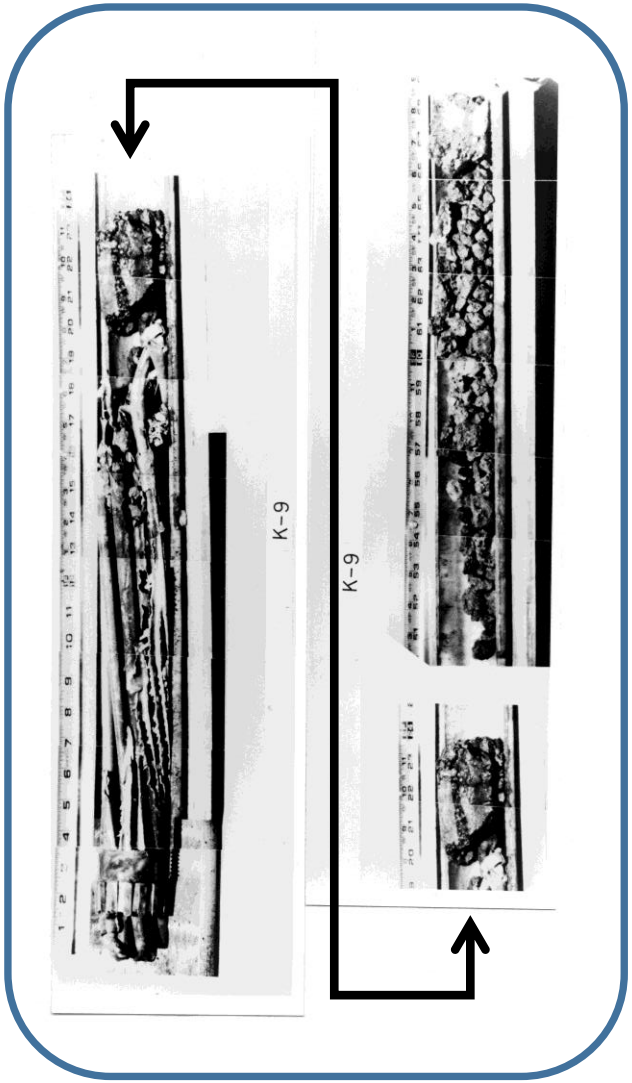




コンクリート
との反応

燃料デブリとは





基本的に
炉心材料が溶けて
混じり、固まった
ものが燃料デブリ

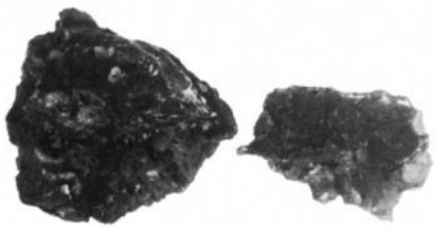
・様々な位置に
・様々な形で
・様々な組成の
（混じり具合）
燃料デブリがある。

＊未知の物質ができている
わけではない。

C.S. Olsen, et al., Nuclear Technology, 87, No. 1, August 1989, pp. 57-.

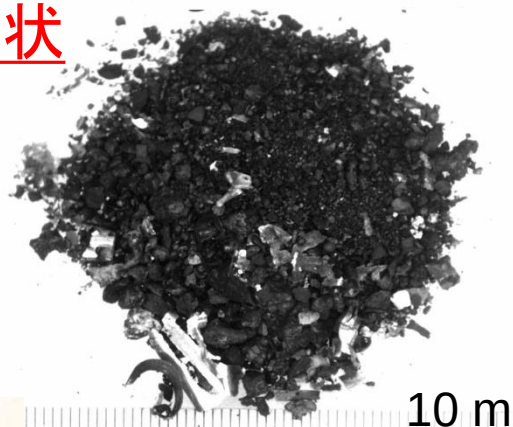
燃料デブリの例（TMI−2炉から採取）

岩石状

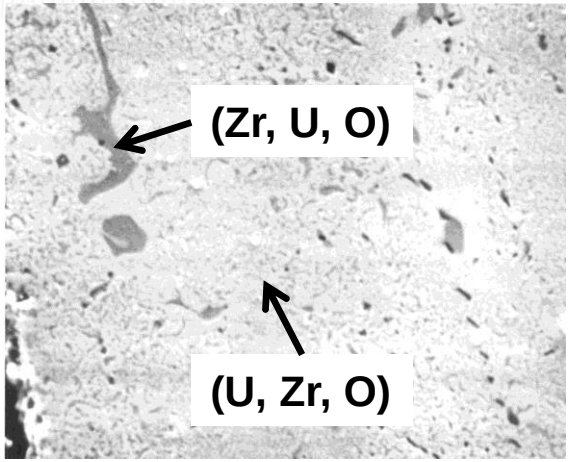


10 mm

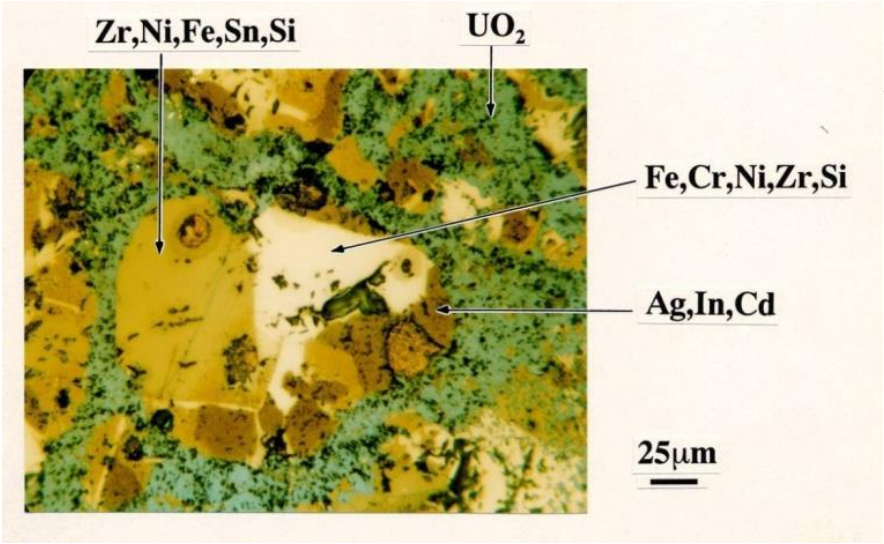
砂・小石状



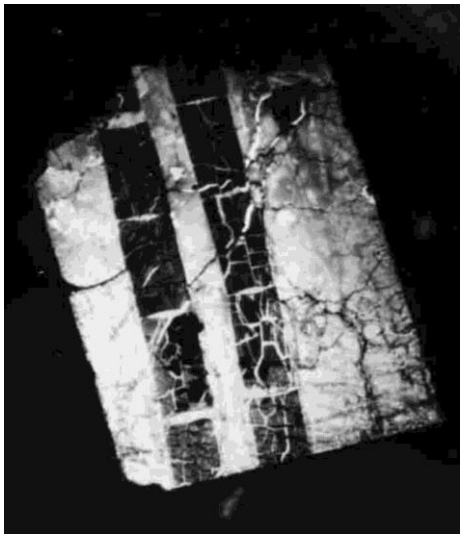
10 mm



10 μm



10 mm



セラミクスを主成分としたデブリ

金属を主成分としたデブリ

燃料棒を溶かしながら固まった燃料デブリ

取出し及び取扱いでの課題と注意（事前準備）

- 様々な形状、組成（混合状態）、硬さ等の特性を有する。
- 炉壁へのこびりつき、複雑な構造物との混在がある。
- 慎重な臨界管理が必要。
- 高い放射線量（被ばく）への対応が必要。
- 慎重な保管・廃棄（放射能、発熱、物理化学的安定性、漏えい、水分、水素）が必要。
- TMI-2の経験の活用と事前検討（IRID等でのR&D）、等が必要。