

# 個別研究開発プロジェクトの評価 補足資料

(2-③-1) 模擬デブリを用いた特性の把握

(2-③-3) デブリ処理技術の開発

---

2012年4月23日

日本原子力研究開発機構

## 背景・目的

- 福島原発で生成した燃料デブリはTMI-2の燃料デブリと異なると想定される。燃料デブリ取出し時には、その特性に応じた方法や治具等を準備する必要がある。また、燃料デブリ取出し後の処置(長期保管や処理処分)についてその見通しを得ておく必要がある。
- 本プロジェクトの目的は、燃料デブリ特性を把握し廃炉作業で必要となる燃料デブリ情報を提供すると共に、取出し後の燃料デブリの処理方策の検討に資する情報をまとめる。

### 成果の反映先

- サンプルング／燃料取出し方法の策定
  - 臨界安全の検討
  - 計量管理方法の検討
  - 炉心損傷進展の検討
  - 炉内燃料取出後の燃料デブリ処理方策の選定
- 尚、本研究はTMI事故や各国のSA研究等の知見を結集して効果的に実施する必要があり、成果は炉心溶融事故処理の研究開発、炉心安全性の向上にも貢献するものである。

## 平成23年度における事業目標

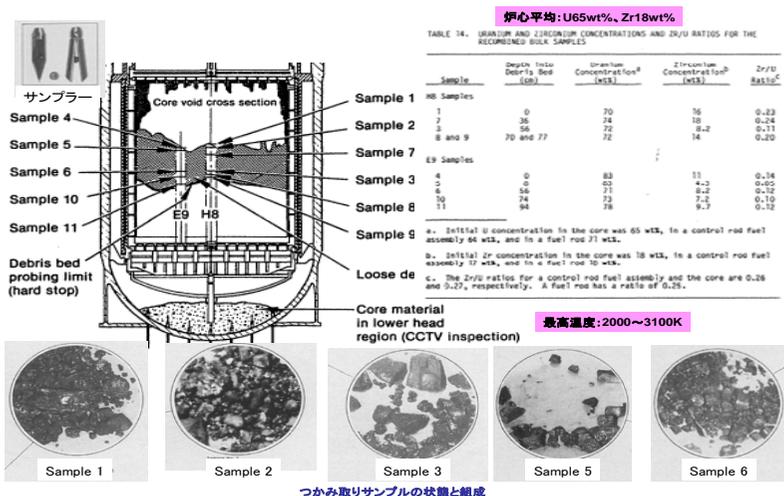
- ◆ 既存情報の整理
  - TMI-2やSA研究等の情報を調査、及び福島情報の整理を行う。
- ◆ 模擬デブリによるデブリ特性の把握
  - 模擬デブリ条件の設定の仕方を整理する。
  - 各種の模擬デブリの試作、特性データの測定
- ◆ 燃料デブリ処理技術の検討
  - 既存技術を調査し、候補技術について適用性検討の点から基礎データを取得する。

## TMI-2文献調査概要

□ “TMI-2”関連154件の文献を収集、計97件の文献について調査

### デブリの性状について

- ジルカロイは酸化又は溶解し燃料と一緒に溶融物化
  - ポイズンロッド、構造材の成分元素はデブリ中に分散
- 圧力容器下部のデブリは主に(U,Zr)O<sub>2</sub>から成る酸化物溶融物
- 炉心部デブリは(U,Zr)O<sub>2</sub>が均一な領域と、Uリッチな部分とZrリッチな部分の2相が混在する領域が存在
  - Fe-Ni-Crの金属相と(U,Zr)O<sub>2</sub>+Fe-Ni-Cr酸化物のセラミックス相が混在
- 分析のための溶解に係る知見として、硝酸+フッ酸でもほとんど溶けず。
  - ピロ硫酸カリウムを用いる方法で溶解可
  - 6M硝酸、3M硝酸+1Mフッ酸、王水の順で溶解し、残渣3%

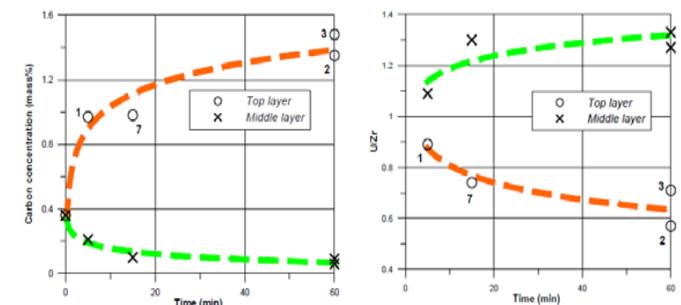
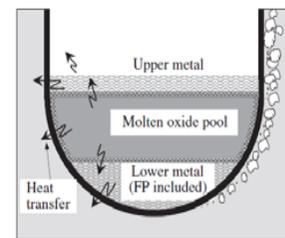


## SA研究調査概要

□ 欧州・ロシア・米国等でのSA研究を調査し、燃料デブリに関するデータ・知見を収集した。

### コリウムの層化に及ぼすB<sub>4</sub>Cの影響

MASCA project, RUSSIA



炉心下部におけるコリウムの層化

B4C添加時のC(左)およびZr(右)の再配置挙動(温度: 2550°C)

- ・酸化物相の上層におけるCZr、ZrB<sub>2</sub>等を形成。(C>0.2 wt%)
- ・Fe系溶融物とZr、Bの反応による金属相の密度低下。

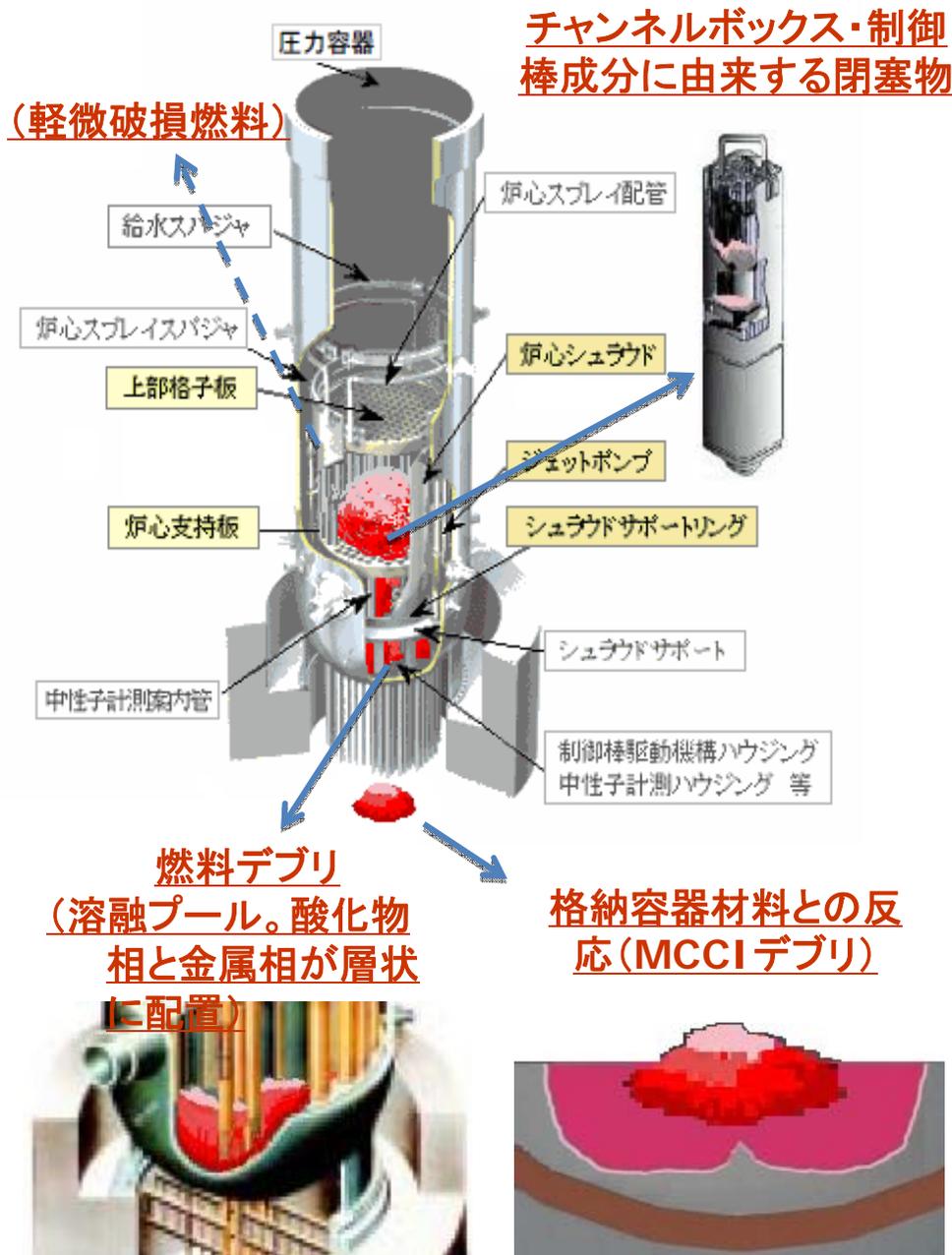


- 金属相の質量比の増加
- 酸化物相におけるU組成の増加

### SA研究で不足している情報 (福島でのデブリ特性把握に向けて)

- 1000~1300°C での長時間の反応
- 水蒸気雰囲気、高圧(数MPa)条件
- 海水の注入での化学形態・組成
- ...1F情報調査等からの情報の追加が必要

種類	デブリ性状及び化学形 (予測例)
軽微破損燃料	●健全燃料とほぼ同じ
燃料デブリ (溶融プール)	●酸化物相 (U, Zr, Fe)O <sub>2-x</sub> , ZrO <sub>2</sub> ●低融点の合金 U-Zr-Fe alloy
閉塞物 (炉心中央～下部)	●酸化物 (U, Zr, Fe)O <sub>2-x</sub> , ●ホウ化物、炭化物 Fe <sub>2</sub> B, FeB, ZrB <sub>2</sub> , ZrC ●低融点の合金 U-Zr-Fe alloy
MCCIデブリ	●酸化物相 (混合相) (U, Zr)O <sub>2</sub> + SiO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ●ケイ酸塩 (U, Zr)SiO <sub>4</sub> ,
海水成分を含むデブリ	??



**デブリの種類毎に固有の情報**

- ① 組成分析
- ② 機械物性測定 (硬さ)
- ③ 炉内物量分布評価
- ④ 線量評価
- ⑤ 臨界計算 (空隙率測定、fissile量評価を含む)
- ⑥ 湿食性評価 (溶出率、溶解速度測定)
- ⑦ 高温冶金特性測定
- ⑧ 物量

↓

デブリの種類毎に各データの取りうる範囲を推定

溶融状態のイメージ図

## 模擬デブリ特性の評価方法

- 福島原発からの実際の燃料デブリのサンプリングには長期を要すること予想されることから、その特性を把握するためには、各種の模擬デブリを用いた測定・試験により推定する必要がある。
- 福島原発ではTMI-2と比べて、炉心構成、事故進展、海水影響、等の点で状況が異なると考えられる。従って、本研究では、SA研究でのコリウム・データ等を参考としながら、福島特有事象を中心として、その特性を検討する。
- 検討方法としては、種々の条件下で特性を把握するマッピング評価試験(小規模)の他、機械的及び化学的な特性評価試験、MOXや照射済燃料系でのPu,FP等の影響評価試験を計画している。

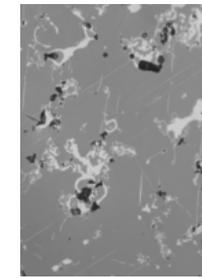
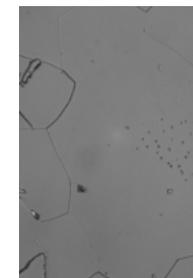
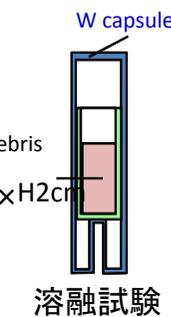
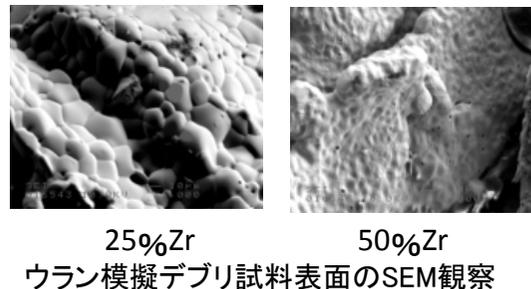
## 模擬デブリによるマッピング評価

- 福島を想定した各種条件(組成、温度、酸素分圧等)で少量のウラン系模擬デブリを調製、その性状を評価し、他の試験(照射済試料、MOX試料)を補完するデータを取得する。
- 生成条件と性状(相、元素分布、密度等)の相関性を評価する。



## 模擬デブリの調製状況

- UO<sub>2</sub>及びZircaloy-2を原料として、25、50、75%Zrを含む混合酸化物の焼結資料をタンゲステンカプセルの中に封入後、高周波炉で約2,600℃まで昇温し、模擬デブリを得た。
- MOX燃料の模擬デブリ調製試験を実施中。



ウラン模擬デブリの微細組織

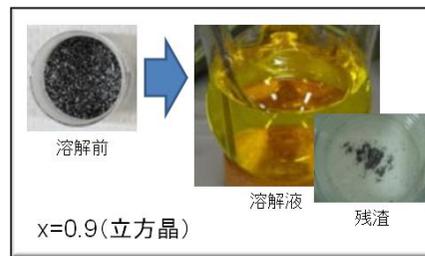
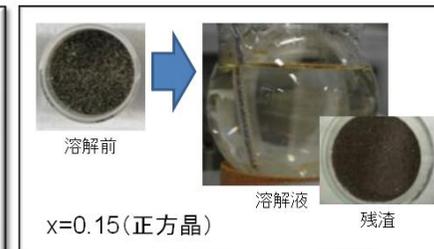
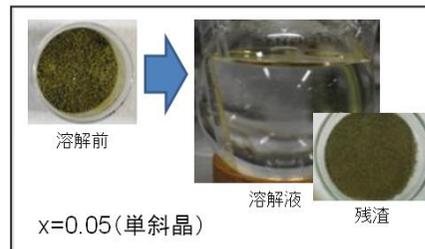
OUO<sub>2</sub>及びZircaloy-2の混合割合によって、微構造や組織が大きく変化することを確認した。

### 燃料デブリ処理技術の検討

- 燃料デブリの処理方策を検討する上で、従来の処理技術等を参考に、処理方策の可能性について検討を行う。
- 検討に当たっては、TMI-2 のデブリ処理経験や SA 研究における最新情報など、国内外の情報を反映しつつ進める。
- 処理方法(候補技術)
  - (技術課題: 技術的成立性、廃棄物処理)
  - 湿式法 (PUREX プロセスの改良、他)
  - 乾式法 (金属電解法、酸化物電解法、他)

### 湿式法適用性検討に係る模擬デブリの溶解試験(例)

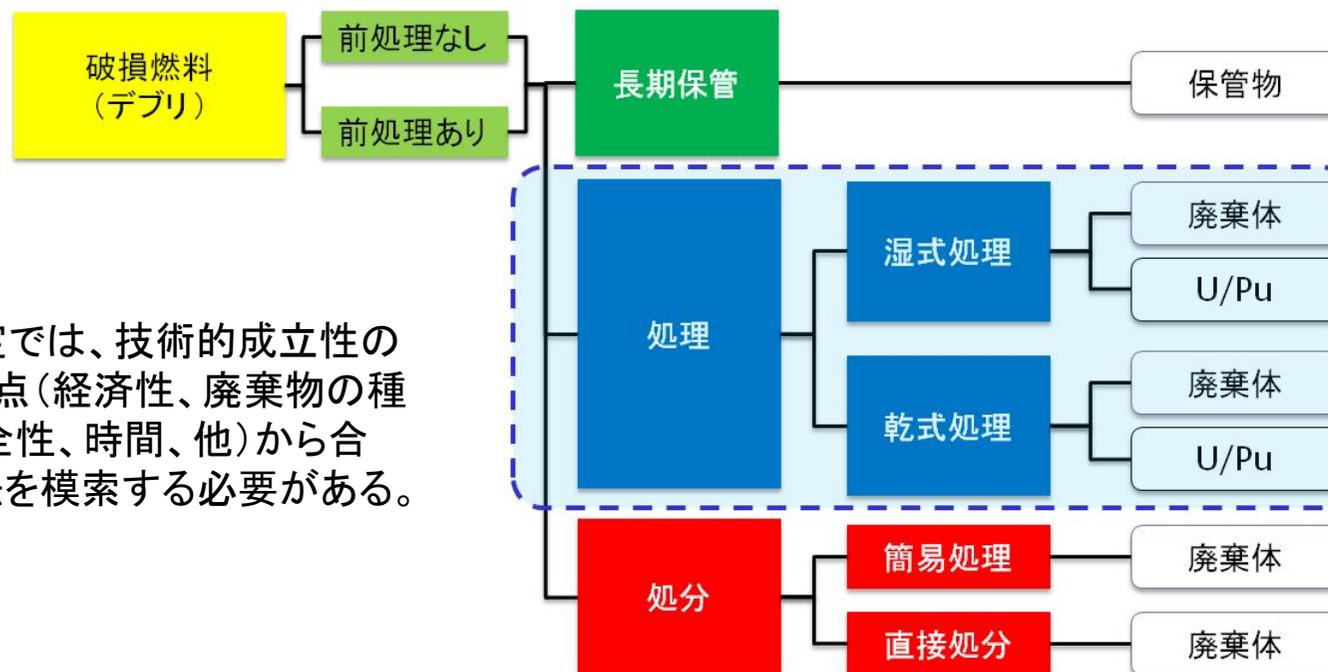
- 粒径1mm未満に粉碎後、6M HNO<sub>3</sub>, 80℃ にて 4時間溶解

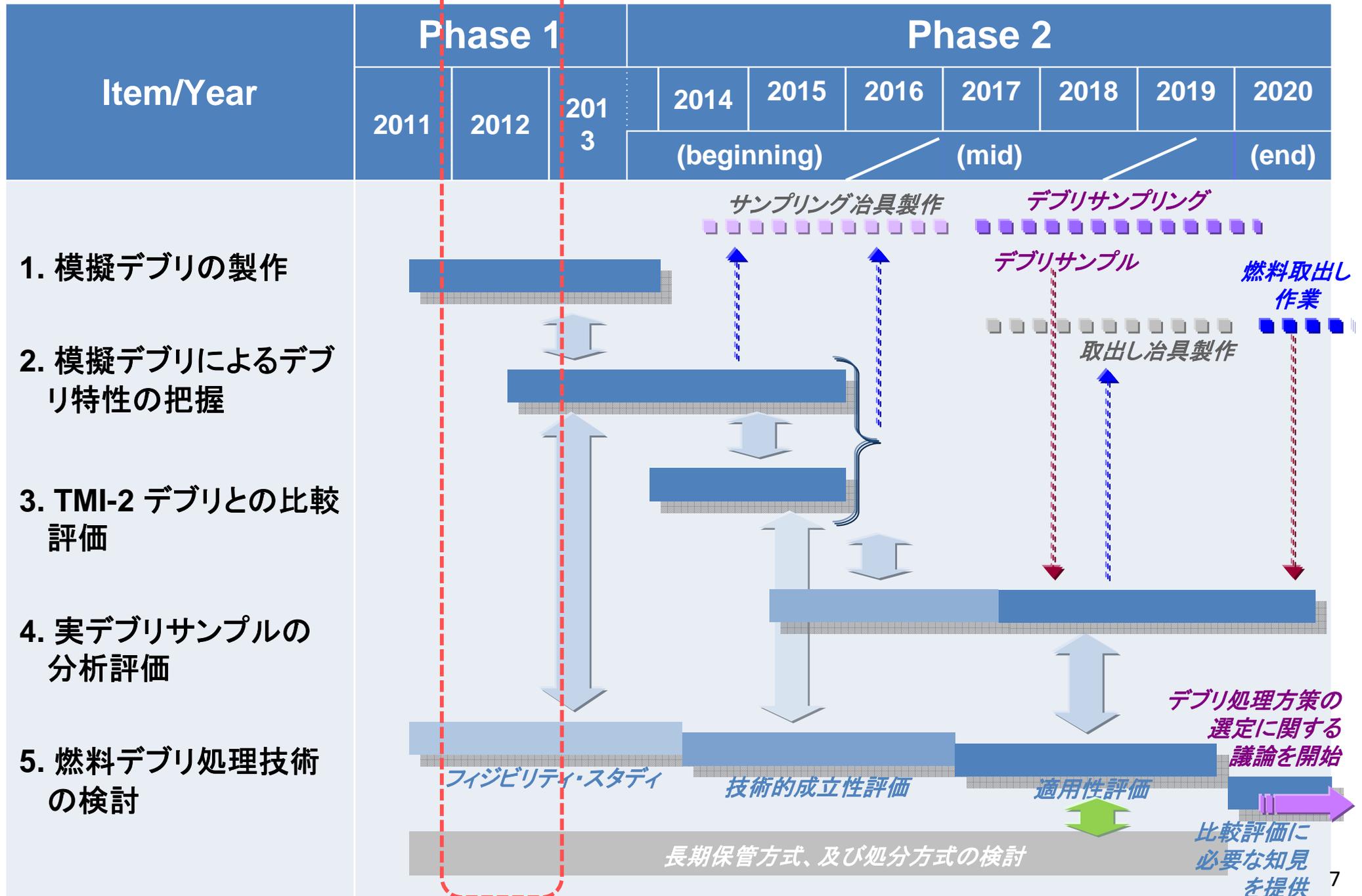


- Zrリッチな単斜晶、正方晶は、ほとんど溶解しなかった。
- Uリッチな立方晶は、UO<sub>2</sub>より溶解性は低いものの、溶解が進んだ。

### 燃料デブリの処置(処理・処分)に関する選択肢(例)

- 処置方策の選定では、技術的成立性の他、総合的な観点(経済性、廃棄物の種類・発生量、安全性、時間、他)から合理的な処理方法を模索する必要がある。





- (1) 模擬デブリの製作、模擬デブリによるデブリ特性の把握 ……(H23年度からの検討を継続)
- ◆ 炉心状況進展に係るR&Dの進捗を踏まえつつデブリ生成状況の推定を進め、模擬デブリ条件の検討を継続する。
  - ◆ サンプルング・取出に係る技術検討側との連携を強化し、その現場ニーズを踏まえたデブリ特性取得の優先順位設定を行いつつ、模擬デブリによる特性評価試験を継続する。
    - 現場ニーズのある機械的特性(硬度等)の把握を優先的に実施する。
    - その他のデブリ特性(組成、相状態、機械的物性、融点、酸素ポテンシャル(O/M)、熱膨張率、等)についても、現場ニーズ側と連携しつつ、実施計画の調整を図る。
  - ◆ MCCI生成物については、PCV/RCV内アクセス時に最初に接触する可能性の高いこと、並びに予測される多様性の幅の広さから事前検討の難しいことを踏まえ、特性把握に係るアプローチの検討を進める。
  - ◆ 海外のコリウム・データベースへのアクセスに向けて、国際協力等の方策を具体化する。
- (2) TMI-2デブリとの比較評価(準備作業)
- ◆ 分析設備・輸送/受入方法整備に関し、実施施設及び輸送方法に係る検討を進める。
  - ◆ 国際協力(共同研究)の可能性について、米国(INL)等の関係機関との調整を進める。
- (3) 燃料デブリ処理技術の検討
- ◆ 既存処理技術(湿式・乾式処理)の適用性検討 ……(フィジビリティ検討を継続)
  - ◆ 燃料デブリの保管・処理・処分に係るシナリオ検討に向けた技術的要件の整理

# 4. 実施体制

燃料デブリ取り出し準備ワーキング／燃料デブリ性状把握・処理準備サブワーキング

報告 ↑ ↓ 審議

## 日本原子力研究開発機構

### 東海研究開発センター

(核燃料サイクル工学研究所・原子力科学研究所)

高レベル放射性物質研究施設 (CPF)



第4研究棟



燃料サイクル安全工学研究施設 (NUCEF)



### 大洗研究開発センター

照射燃料集合体試験施設 (FMF)

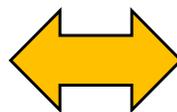


ソースターム試験装置 (AGF: 照射燃料試験施設)



- 核燃料開発研究者が連携
- 機構内の試験施設においてこれまでの知見を活かし研究開発を実施

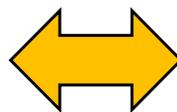
東京電力(株)  
(株)東芝  
日立GEニュークリア・エナジー(株)



連携

- 事故時のプラントデータ等

国内外関連機関  
(電力中央研究所、日本原燃(株)等)



連携

- 処理方法に係る研究の実施
- 過酷事故時における燃料挙動等に関する研究成果

他研究開発との連携



- (2-①-9) デブリの臨界管理技術の開発
- (2-②-1) 炉内状況把握のための事故進展解析技術の高度化
- (2-③-4) 燃料デブリに係る計量管理方策の構築
- (3-2) 放射性廃棄物の処理・処分技術の開発