

核燃料部会セッション

「福島第一原子力発電所事故を踏まえた核燃料分野の課題と展望」

# 福島第一原子力発電所事故後の 核燃料分野の役割

大阪大学 山中 伸介

日本原子力学会2012年春の年会

2012年3月19日(月)～21日(水)

福井大学文京キャンパス (〒910-8507 福井市文京3丁目9番1号)

# 1. はじめに

- 福島第一原子力発電所事故：日本国内における最大規模の原子力事故
- 核燃料（燃料ペレットと被覆管）に関する山積する技術課題
  - 核燃料と構造材との反応・溶融・FP放出・水蒸気酸化とそれに伴う水素発生といった事故時の燃料挙動把握に関する課題
  - 原子力発電所内に存在する溶融燃料デブリを含む使用済燃料の現状把握及び取出しに関する課題

# 1. はじめに

- このような課題に対する核燃料の専門家の視点からの学術的検討
  - 福島第一原子力発電所における様々な取組への貢献
  - 今後の原子力の安全性向上への貢献
- 本発表の内容
  - 福島第一原子力発電所事故後の核燃料分野の役割
  - 原子力学会核燃料部会内に設置された「溶融事故における核燃料関連の課題検討ワーキンググループ」における活動状況

## 2. 核燃料・材料分野の現状

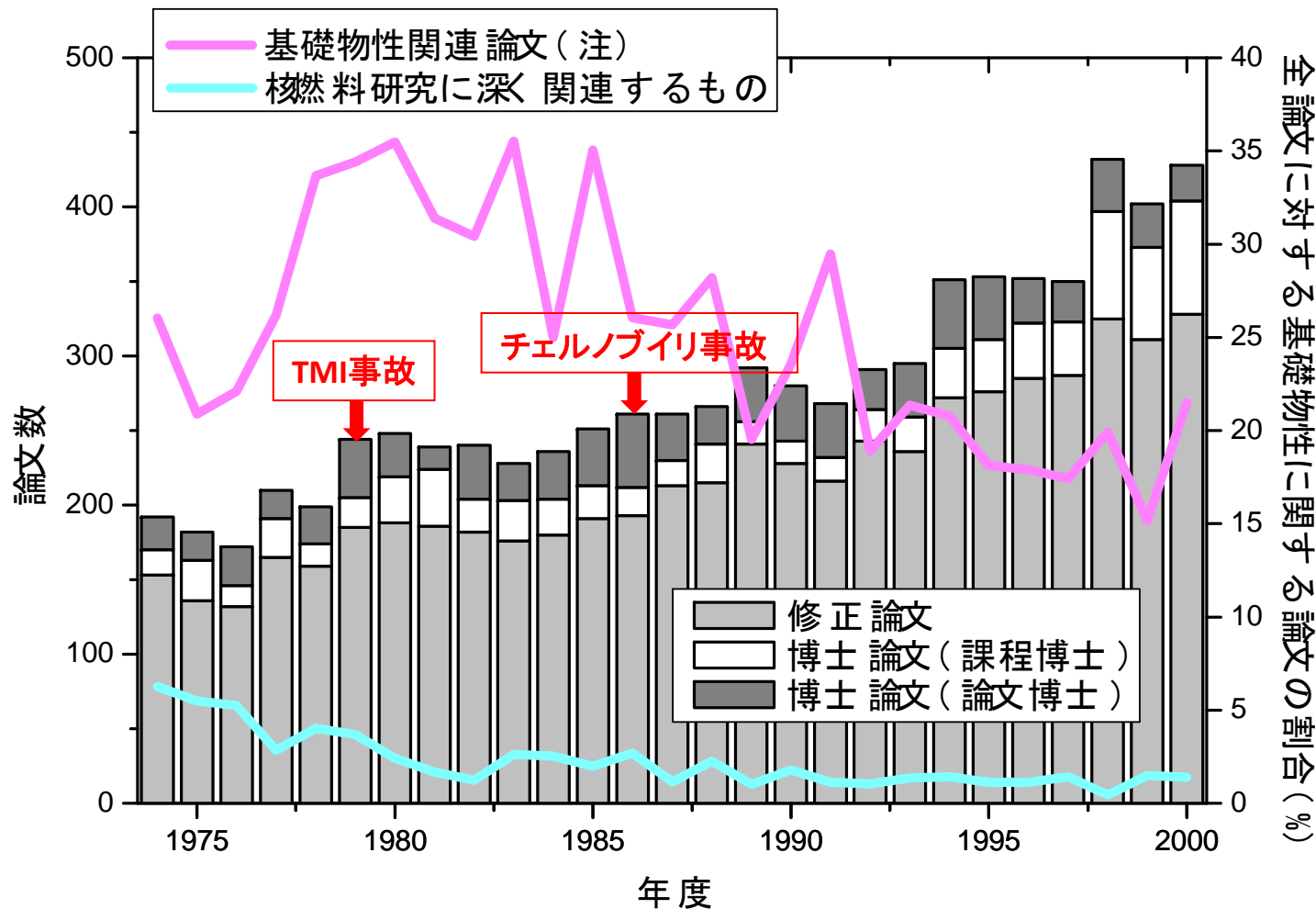
- 核燃料・材料の研究分野

非常に狭い、研究分野になってしまっている。

- 大学では、燃料と被覆管という分野に限って見ると10名程度の教員しかいないのではないだろうか。
- JAEA、企業でも、軽水炉の燃料、被覆管の研究者の数はそれほど多くない。

# 2. 核燃料・炉材料分野の現状

- 修士論文、博士論文数の変化



(注) 純粋な核燃料・炉材料に関するテーマに加えて、核燃料・炉材料が関連する様々な分野(例:放射線化学・物理、溶液化学、照射挙動、核融合)における基礎物性的な研究テーマもこの中には含まれています。

## 2. 核燃料・炉材料分野の現状

- 核燃料研究の過去から現在への移り変わり
- 過去(40年前～):核燃料、炉材料に関する確実な基礎研究の推進
  - 基礎力を持った優秀な人材を多数輩出
  - 様々な事象への対応力強化
- いつからか、基礎研究に携わる人材、投入時間が徐々に低減(配分予算は維持)
  - 大学における核燃料関連研究室の減少
  - 産業界における核燃料研究のあり方の変化

## 2. 核燃料・炉材料分野の現状

- このような状況の下、2011年3月11日、東北地方太平洋沖地震を端緒として、東京電力福島第一原子力発電所において、極めて重大な原子力事故が発生した。
- 事故前と事故後では、核燃料研究を取り巻く状況が一変した。

### 3. 今、我々がなすべきこと

- 福島第一原子力発電所事故が核燃料分野につきつけたこと → 今こそ基礎に戻るべきか？
- 福島第一原子力発電所事故後、これまで見なかった(必要もなかった)研究領域の存在があらわとなった。
- そして、その領域を基礎的に研究することが、重要な意味を持つようになったのでは？



### 3. 今、我々がなすべきこと

- これまでは、シビアアクシデントは起こりえないという前提があった。
  - このため、燃料・材料に関する研究で対象とする温度範囲は、高くても1500°C程度までが上限であった。
  - それ以上の温度域における物性データは、それほど重要視されていなかった。
- しかしながら、福島第一原子力発電所事故後、シビアアクシデントは起こりうるものとなり、これまでの前提が大きく変化した。

### 3. 今、我々がなすべきこと

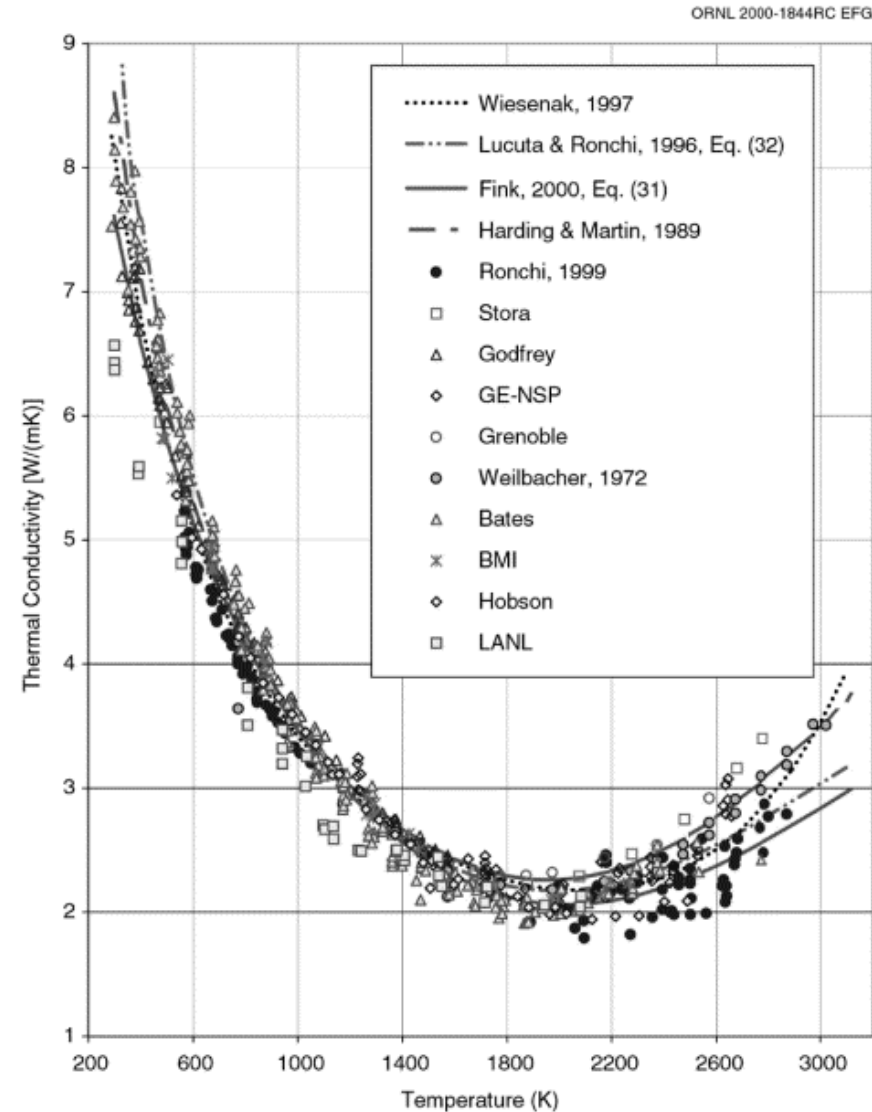
- したがって、燃料材料研究においても、対象とする温度範囲を従来の最大1500°Cというものに加えて、より高い温度まで広げてやる必要がある。
- ところがそのようなデータは極めて限られるし、信頼性も高くない。
- 一燃料の例をあげると・・・
  - $\text{UO}_2$ の熱伝導率
  - $\text{UO}_2$ のBredig転移
  - $\text{PuO}_2$ の融点

### 3. 今、我々がなすべきこと

- 他にも、照射燃料の融点や、シビアアクシデント時の各種FPの燃料からの放出挙動(ソースターム)についても、不明な点が多い。
- 特に、ソースターム評価においては、必要な基礎データが圧倒的に不足している。
  - 照射下における核分裂生成物やアクチニド元素の挙動・化学形態
  - FP化合物の熱・機械物性、熱力学データ、拡散・蒸発・輸送現象など

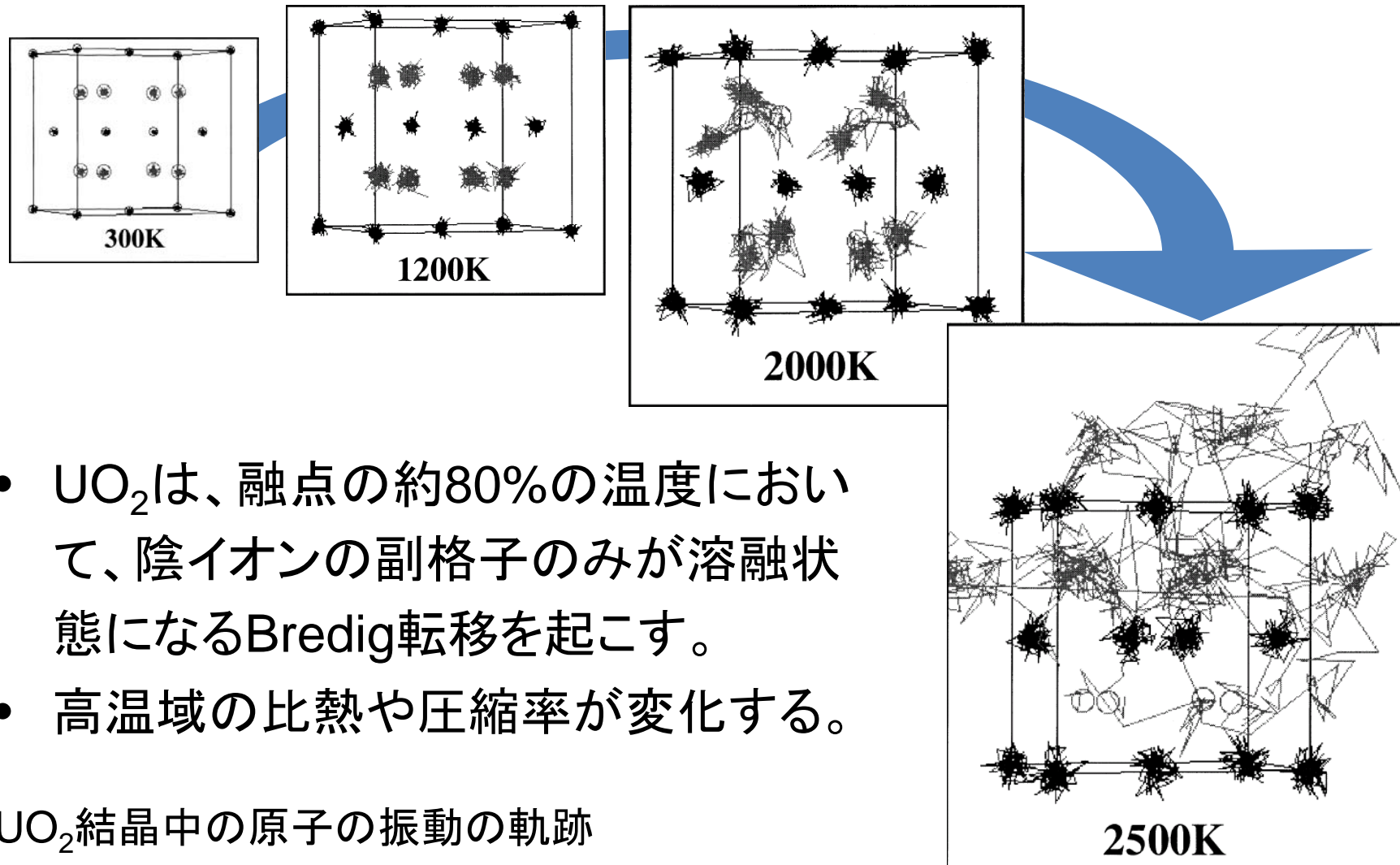
# UO<sub>2</sub>の熱伝導率

- 数多くの実験データ
- 広い温度範囲
- ただし、1500°C以上になるとデータ間のばらつきが大きくなる

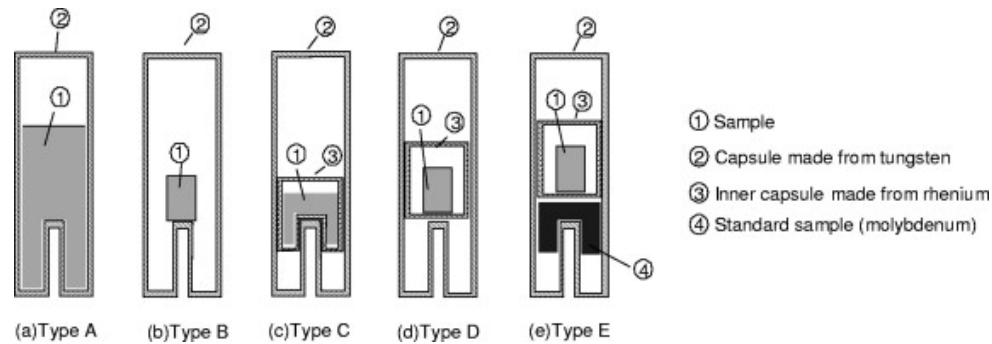


UO<sub>2</sub>の熱伝導率の温度依存性

# UO<sub>2</sub>のBredig転移

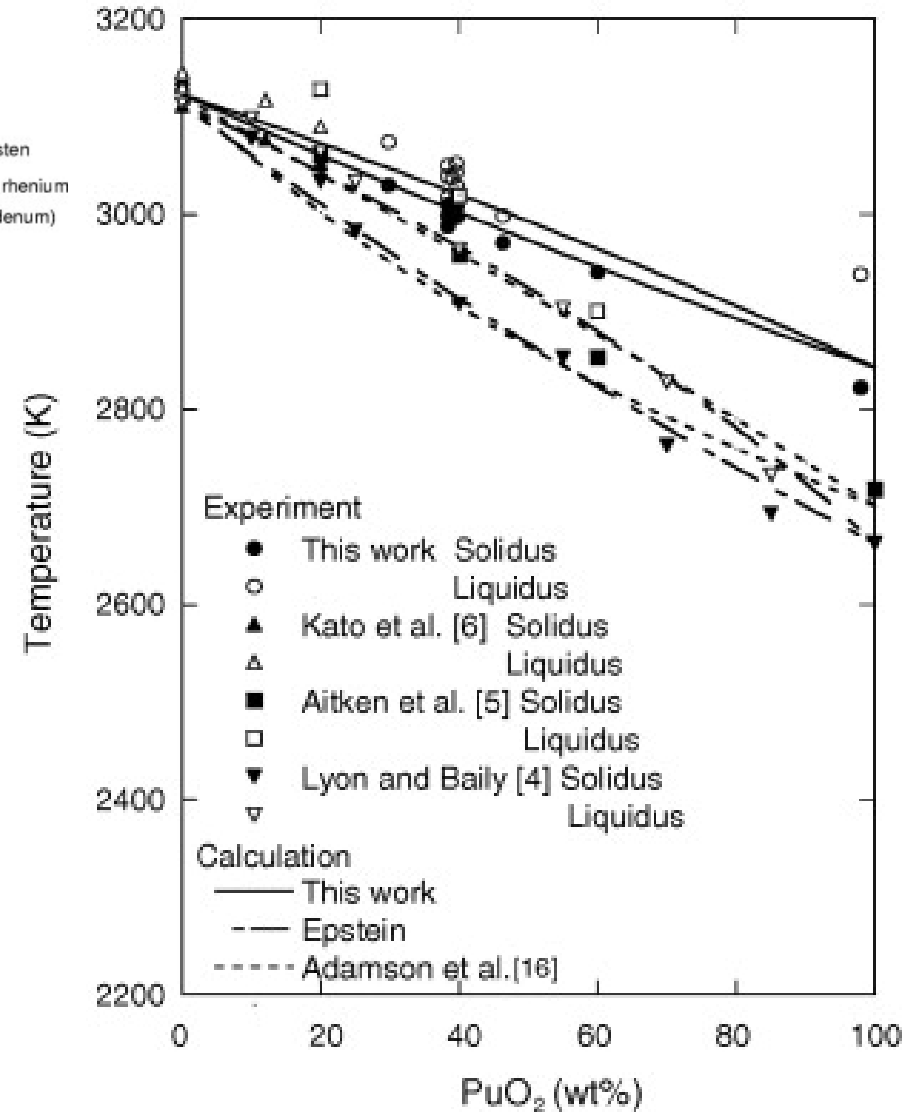


# PuO<sub>2</sub>の融点



- Reカプセルを用いるサーマルアレスト法で、PuO<sub>2</sub>及びMOX燃料の融点を再評価。
- PuO<sub>2</sub>の場合、再評価後の融点は、従来データよりも約200°C高い。

UO<sub>2</sub>-PuO<sub>2</sub>系の固相・液相線



### 3. 今、我々がなすべきこと

- 一方、被覆管に目を向けても、基礎データに欠けたところが多い。
  - ジルコニウム合金の高温物性
  - 被覆管材料と高温水蒸気との反応挙動(例えば、酸化熱の評価方法の妥当性を検証する必要がある。)
  - ジルコニウム合金以外の材料の基礎データ及び軽水炉被覆管材料としての適用性
- さらに、将来を見据えて、国内外における研究者間の連携体制を整えておくことも重要である。
- より安全性を向上させた核燃料も研究開発する。

# 海外における核燃料研究の状況

- 米国：TMI以降の核燃料研究
  - 実験的研究は殆どされずシミュレーション中心
- 欧州：チェルノブイリ以降の核燃料研究
  - 確実な基礎研究の推進（実験、シミュレーションも充実）
  - ホットラボ施設の整備
- アジア：福島以降の核燃料研究（予想）
  - 中国、韓国の台頭、東南アジア諸国でも原子力が推進
- アジア諸国には先達として、欧米とは協力者として
- お手本にすべきは欧州か



# 国内における核燃料研究の状況

- 大学での核燃料研究室の減少（再掲）
- 研究設備（例：ホットラボ施設）の老朽化、人材の高齢化
  - 立ち行かなくなりつつある技術伝承、人材育成
- 産官学の垣根を越えた連携体制の構築
  - ホットラボ施設連携
  - 垣根を越えた「場」の構築と、その場を用いての技術伝承、人材育成

## 4. まとめと結論

- 福島第一原子力発電所事故前に、核燃料・炉材料研究分野は既に非常に小さく狭い領域になっていた。
- 事故後、核燃料・炉材料研究を取り巻く状況が一変した。
- 真に重要なことは、基礎に戻るのか？
- 福島第一原子力発電所事故後、シビアアクシデントは起こりうるものとなり、これまでの前提が大きく変化した。

# 4. まとめと結論

## ① 燃料ペレット研究

- 1500°C以上の温度域における基礎物性データの取得

## ② 燃料中のFP挙動評価研究

- FP化合物の基礎物性データ、とりわけ、熱力学データ、蒸発・移行評価のための基礎物性データの取得

## ③ 被覆管研究

- ジルコニウム合金の高温基礎物性データの取得
- ジルコニウム合金以外の被覆管材料の適用性評価

## ④ 組織体制構築

- 国際連携の再構築(アジア、米国、欧州)
- 産・官・学でのホットラボ連携・人材育成体制の構築

# 最後に・・・

- 核燃料部会において、「溶融事故における核燃料関連の課題検討ワーキンググループ（以下、WG）」が設置され、「今、核燃料研究者がすべきこと」について議論しています。
  - － WGでは、「若手の核燃料研究者」、「海外の核燃料研究者」、「核燃料以外の原子力分野における一線級の研究者」などから、「今、核燃料研究者がすべきこと」について意見を述べていただき、議論を深めています。
  - － 議論の内容は、核燃料部会HPで随時公開します。
- 議論がまとまった段階で、結果を報告いたします。

「まあ、さてあらん. . . .」

以下、補足資料

### 3. 今、我々がなすべきこと

- 燃料溶融試験、燃料デブリの物性評価、燃料とコンクリートとの反応挙動評価・・・
  - 各国でこれまでに行われてきた「シビアアクシデント研究」において、既に膨大なデータが取得され、蓄積されている。
  - 既往研究の後追いや単なる焼き直しにならないように研究提案、研究計画の精査が不可欠であり、巨額の資金を費やしてデータを取得しても、それを真に役立つものにできるかどうかを十分に考える必要がある。

# 燃料からの放射性物質放出 (燃料ソースターム)

- 核種の放出速度は燃料昇温実験において燃料の  $\gamma$  線強度変化から比較的容易に求められるものの、放出される際の化学形に関する直接の情報を得ることは困難。
- 溶融時に燃料から放出される放射性物質の化学形は、燃料の組成や温度、周囲の雰囲気組成などに大きく依存するが、化学形の違いによって、燃料から放出された後のプラント内での付着や沈着、フィルターでの除染係数が大きく変化するため、環境中に放出される放射性物質の量、核種とその化学形、タイミング(ソースターム)を知る上で、燃料から放出された時点での放射性物質の化学形を知ることは極めて重要(しかも現時点で不足)。
- 化学形を知るには、例えば高温質量分析等を用いることにより、着目している物質の蒸気圧(活量)を実測することで把握できると考えられる。