

平成29年度  
デブリ取出時の未臨界確保方策

# デブリ形態に応じた 適切な臨界防止方策の検討

東工大廃止措置フォーラム  
2018年1月10日

東京都市大学  
工学部 原子力安全工学科  
高木直行 竹澤宏樹

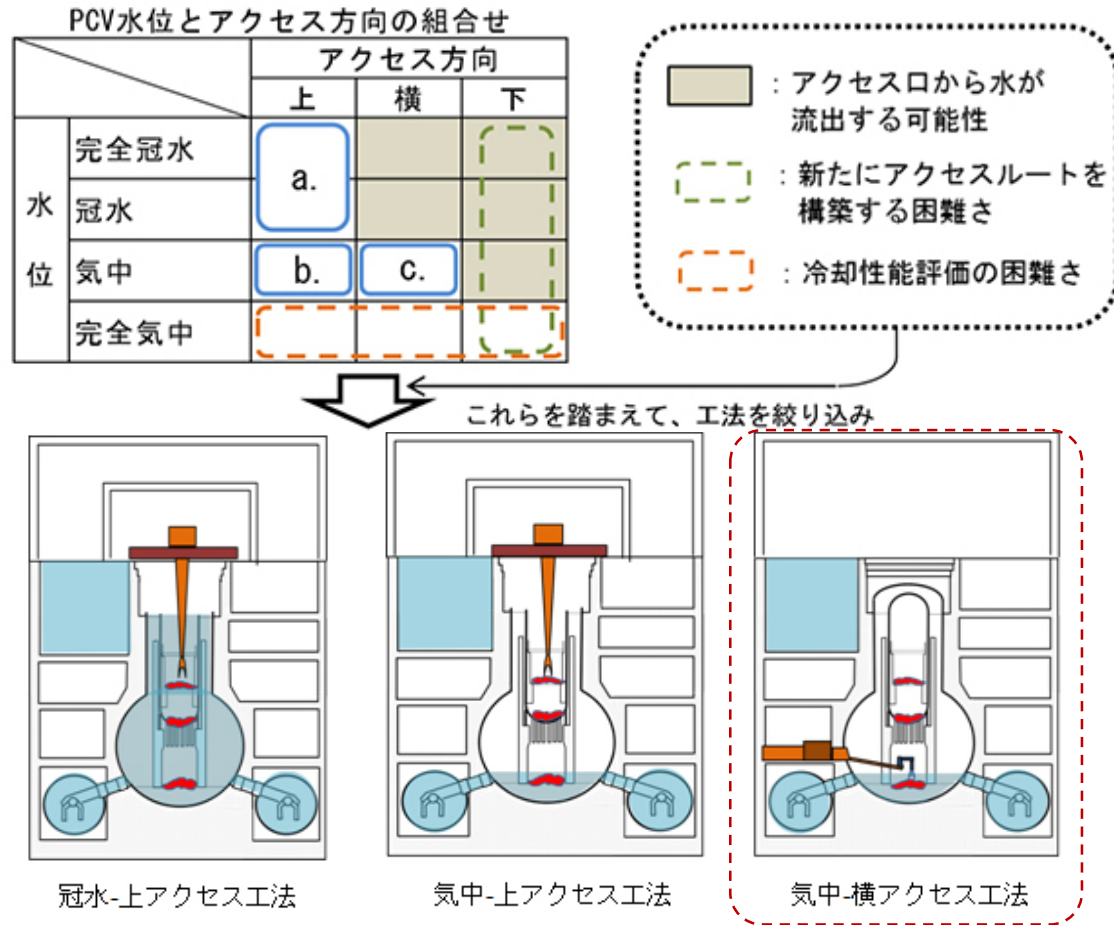
# 目次

- 再臨界防止策 1 (非溶解性中性子吸収材)
- 再臨界防止策 2 (溶解性中性子吸収材)
- 再臨界防止策 3 (減速材排除 & 中性子吸収材)

# 本年度の検討計画

- 様々な組成、形態のデブリ取り出し作業にあたっての必要十分な未臨界度を設定し、それを確保するための方策を検討する。
- デブリ状況に応じた中性子吸収材仕様やその必要量の評価、取り出し工法上の工夫等について検討する。

# 背景：燃料デブリ取出し工法

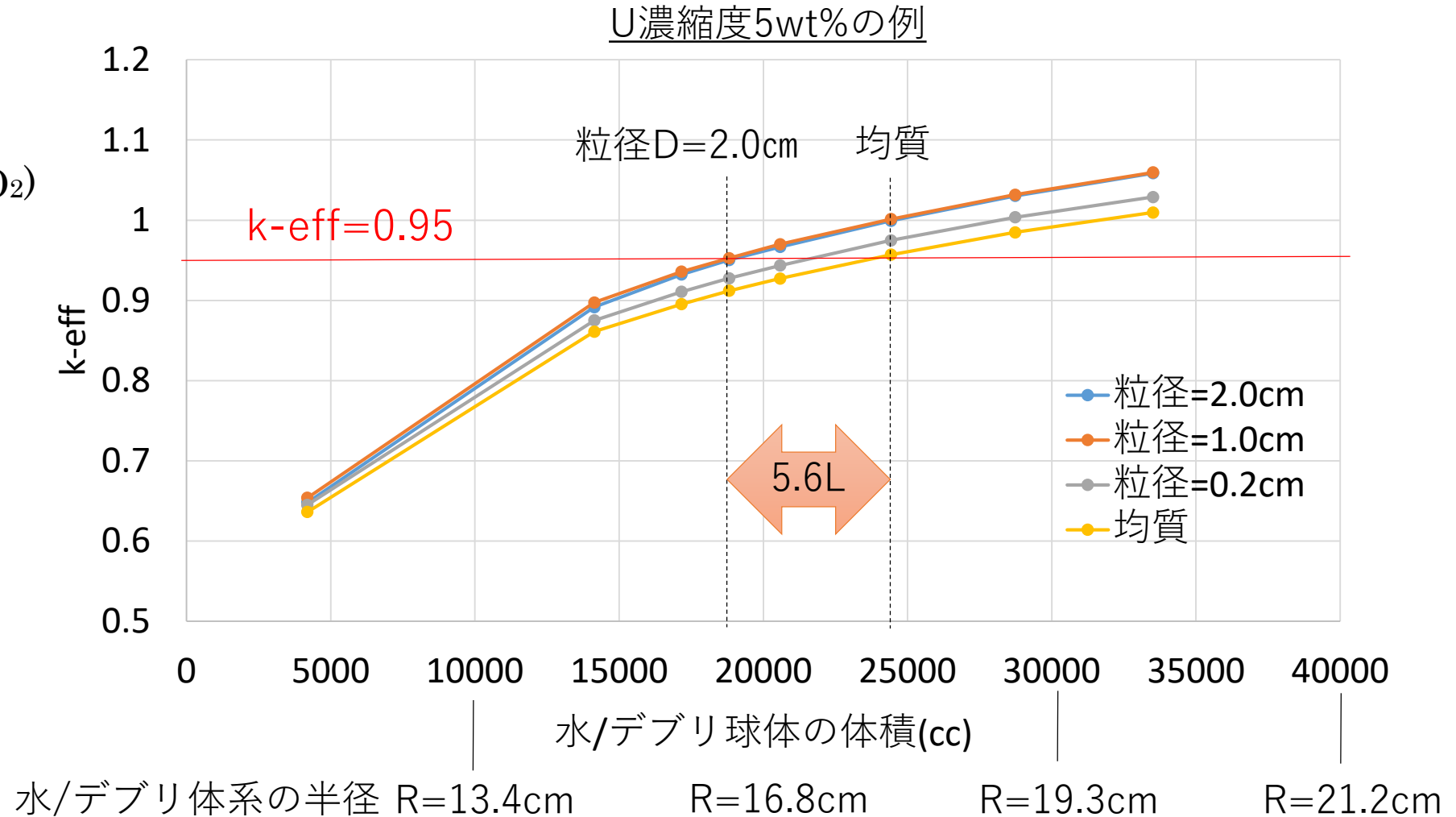
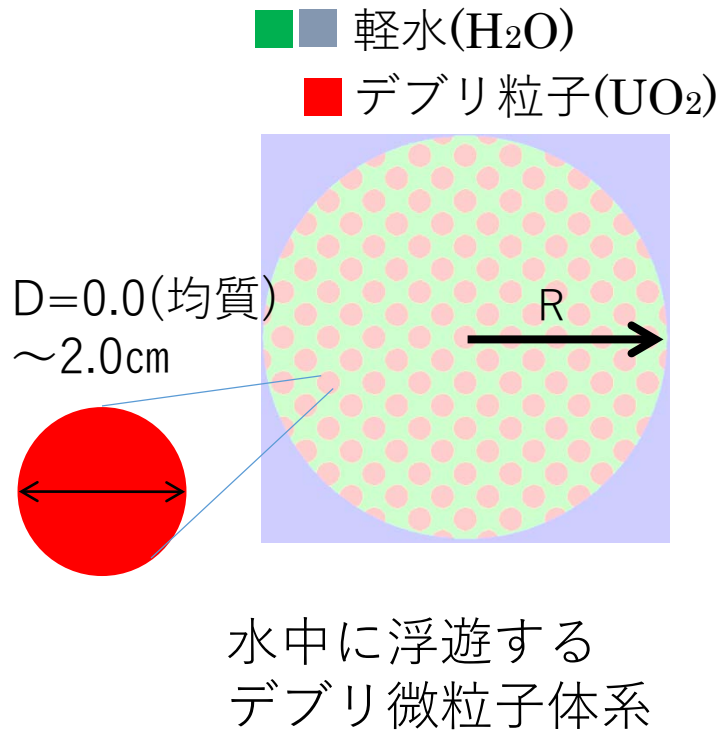


- 取出し工法の主概念
  - 気中横アクセス工法
- 水の存在
  - 完全気中ではない  
→水中でデブリ取出し作業を行う可能性あり。

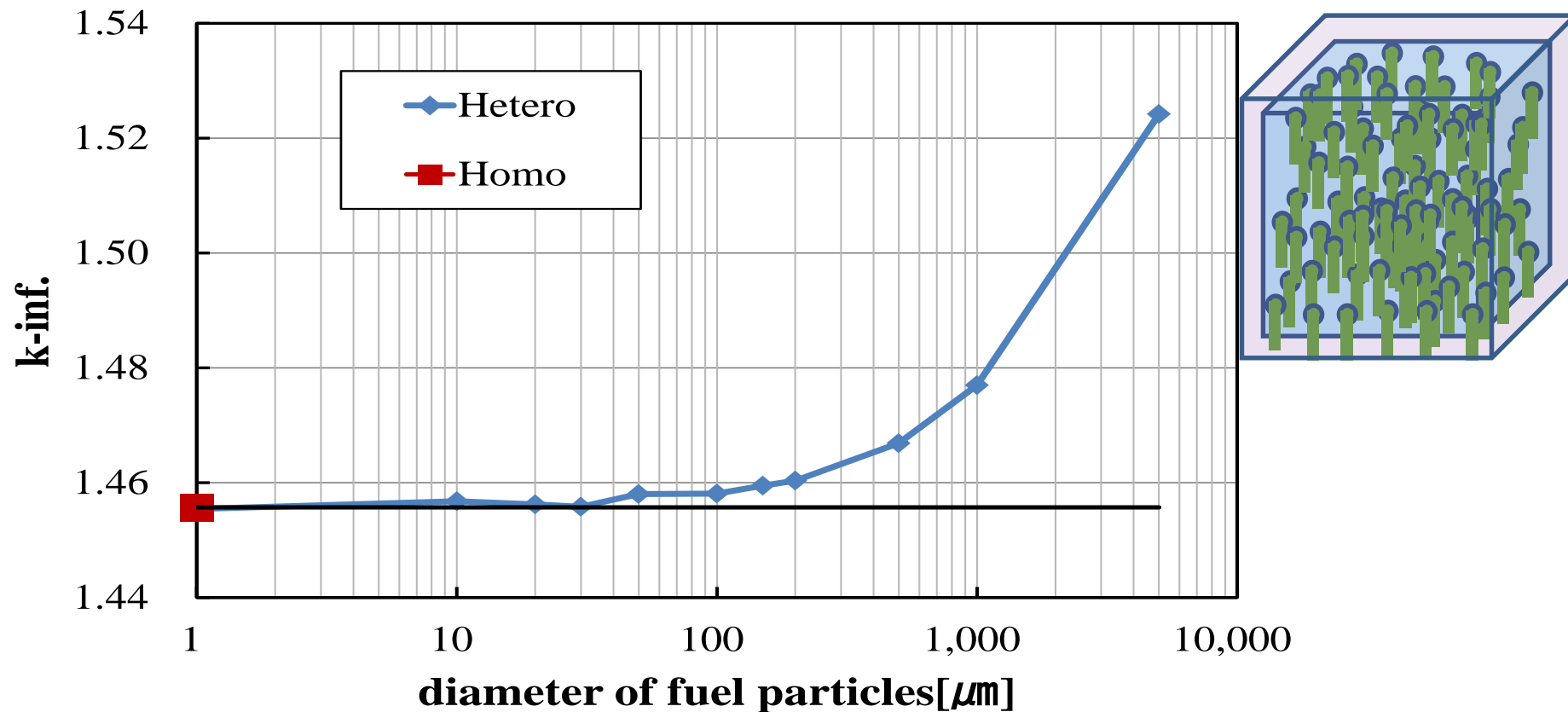
燃料デブリ取り出し分野の戦略プラン (NDF)

[http://www.dd.ndf.go.jp/jp/strategic-plan/book/20170831\\_SP2017OV.pdf](http://www.dd.ndf.go.jp/jp/strategic-plan/book/20170831_SP2017OV.pdf)

# 水中に浮遊するデブリ微粒子の臨界性

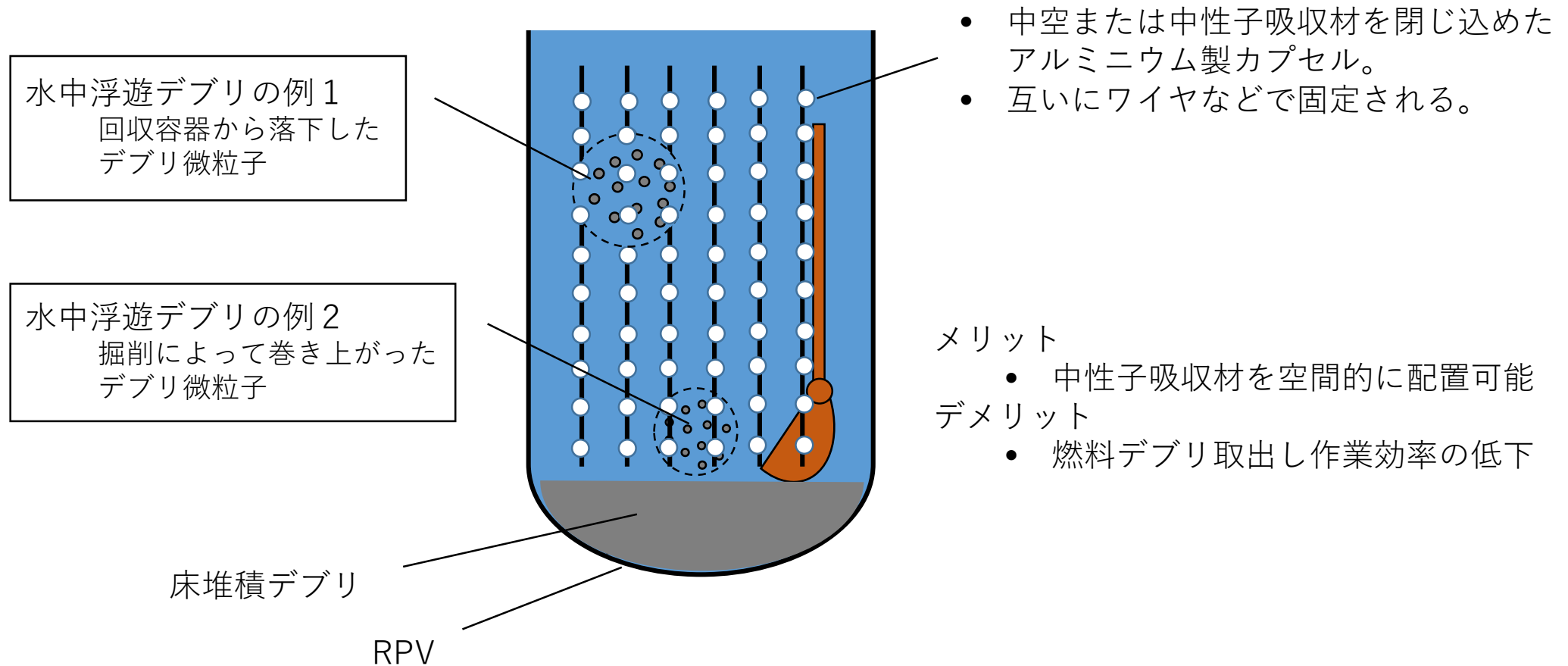


# 粉末状デブリの粒子直径の検討

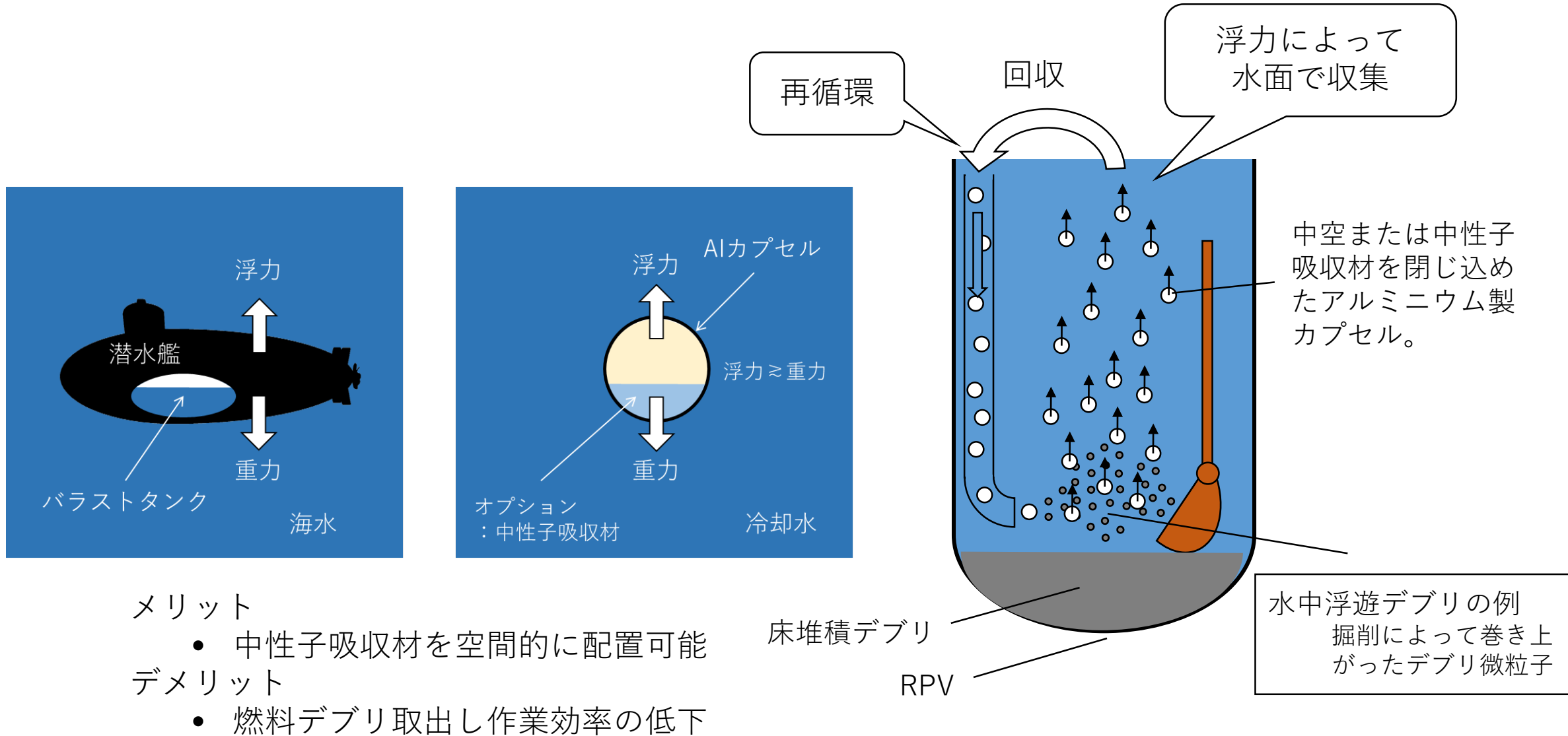


- $V_m/V_f:3.0$ の条件下、デブリ粒子直径 $30.0 \mu\text{m}$ 以下でHomoとHetero一致  
→非均質効果が生じる最小粒子直径：  $30.0 \mu\text{m}$

# 定置型再臨界防止策の概念



# 浮遊型再臨界防止策の概念





# 解析条件

- 2つのアルミニウム製カプセルを想定

- ① 中空カプセル

- ② Gdコーティングカプセル

- パラメータ

- カプセル半径

- カプセルピッチ

- ガドリニウムコーティング厚さとカプセルAl厚さ（浮力 $\approx$ 重力）

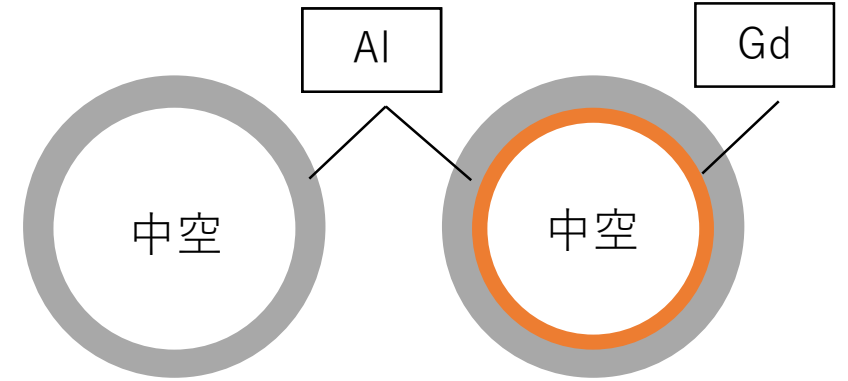
- 未臨界判定条件： $k_{\text{eff}} \leq 0.95$

- 解析コード

- 連続エネルギー中性子輸送モンテカルロ計算コードMVP2.0

- 核データ

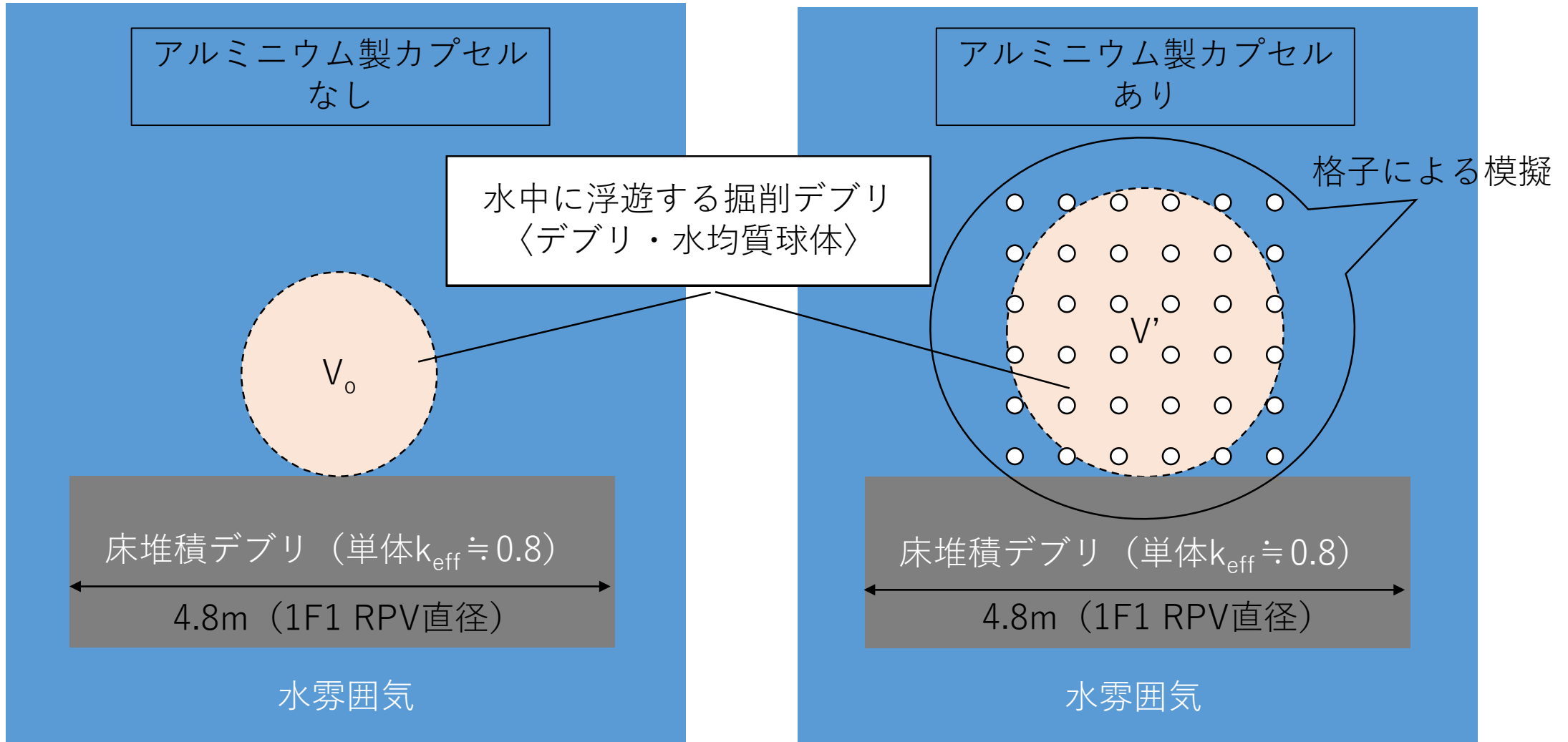
- JENDL-4.0



①中空カプセル

②Gdカプセル

# 概念仕様検討のためのMVP解析モデル

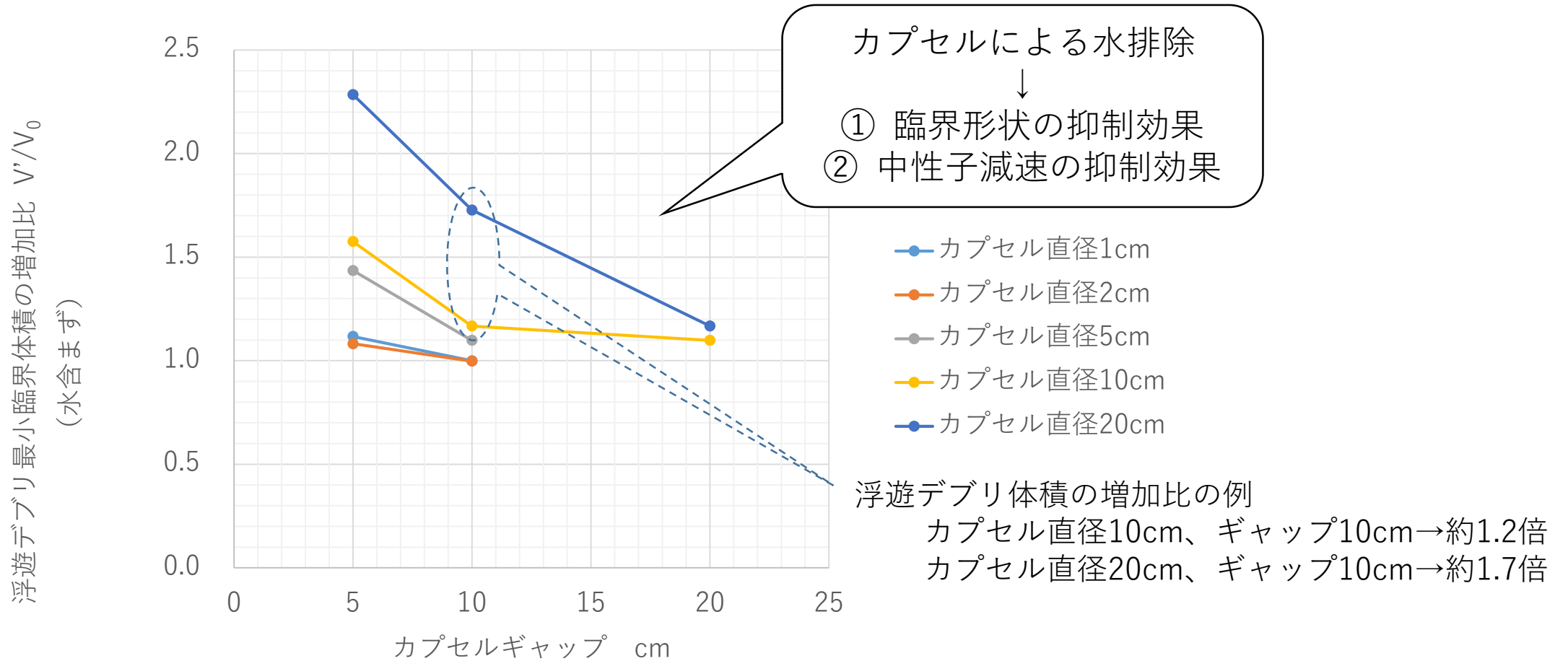


# デブリ組成

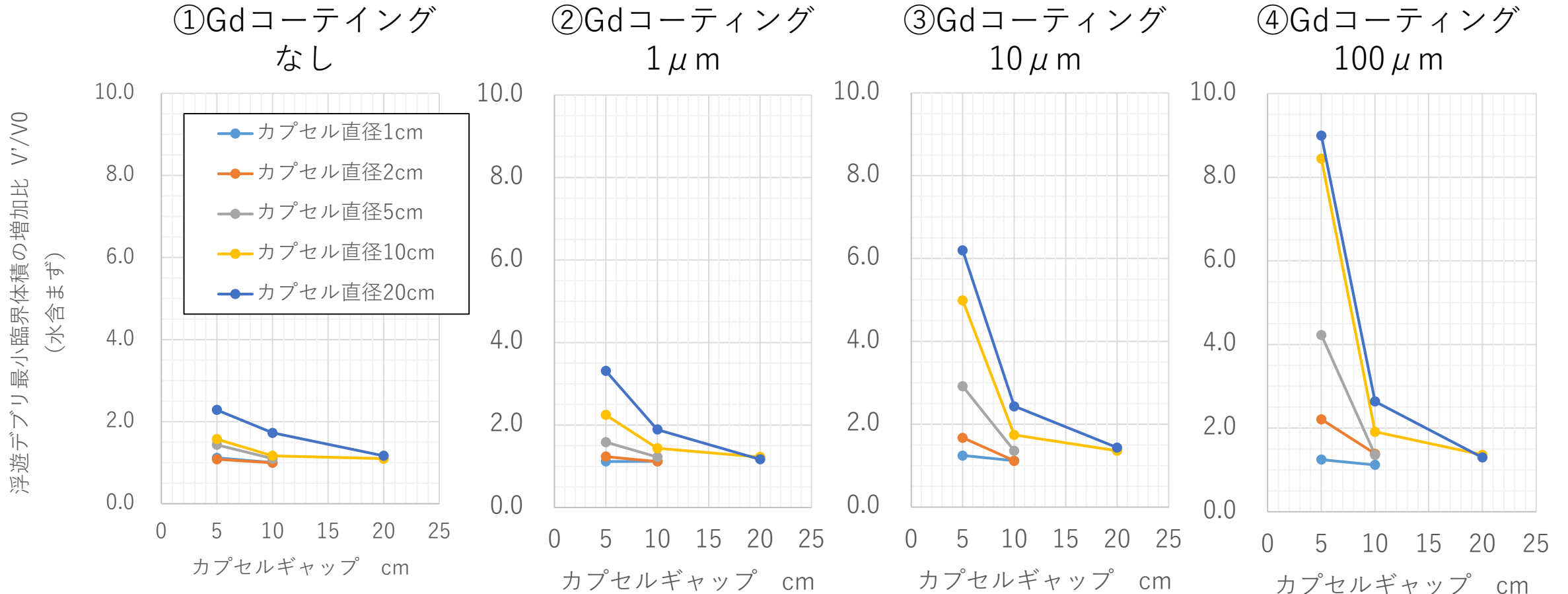
- 床堆積デブリ
  - 事故時の平均燃焼度（代表値：1F3 21.8GWd/t）
    - 福島第一原子力発電所の燃料組成評価（JAEA-Data/Code 2012-018）
    - 構造材含む。
  - 空隙割合：約20vol%（TMI-2測定値）への水混入を想定
    - 燃料デブリと水は均質混合
  - 水環境での $k_{\text{eff}}$ ：約0.8（推定値）に設定
    - $k_{\text{inf}} \doteq 0.85$
- 水中に浮遊する掘削デブリ
  - 事故時の平均燃焼度 + 構造材 + 水（最適減速条件  $H/U \doteq 11$ ）
    - $k_{\text{inf}} \doteq 1.2$

# 1) 中空カプセルの再臨界防止効果

カプセル使用前後での $k_{\text{eff}} \doteq 0.95$ となるデブリ取出し体積の比較結果

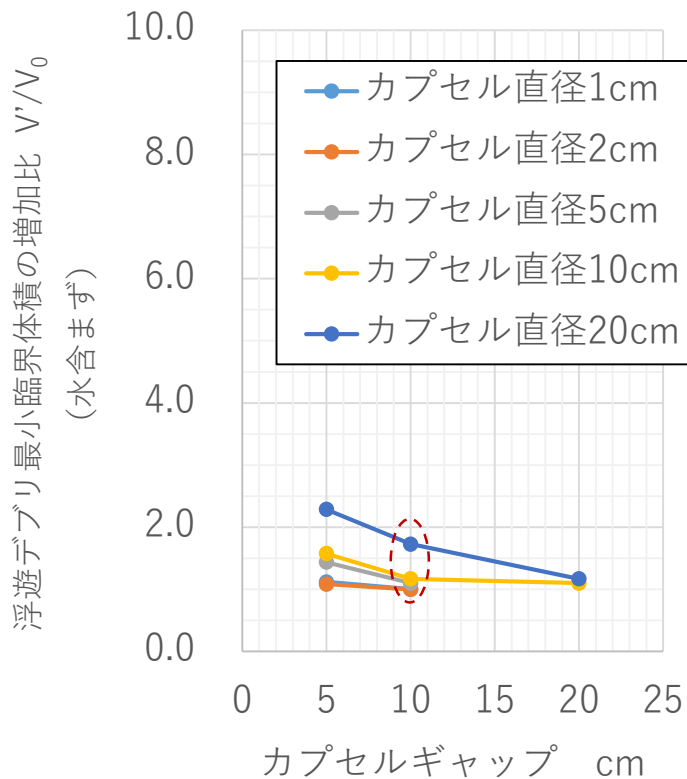


## 2) Gdコーティングカプセルの再臨界防止効果



# カプセル仕様の例

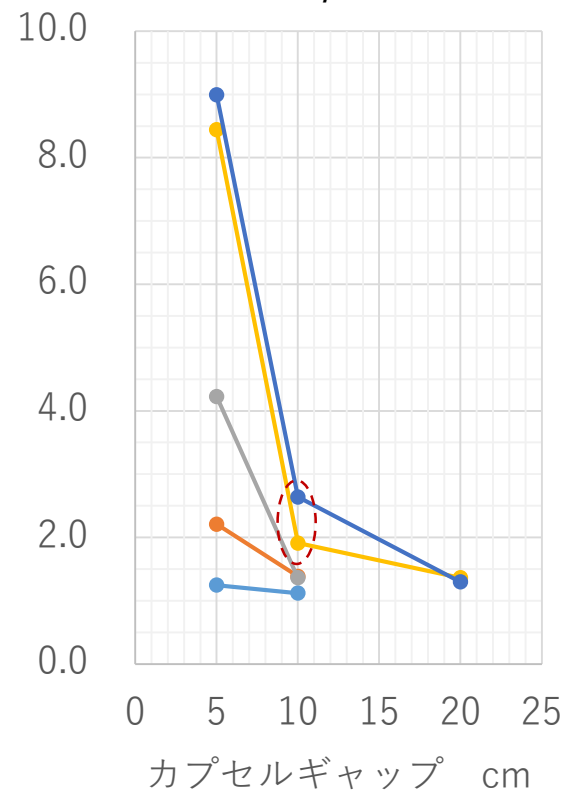
①Gdコーティングなし



直径	10cm
Al厚さ	約0.7cm
個数	$4^3 = 64$ 個
ギャップ	10cm

直径	20cm
Al厚さ	約1.4cm
個数	$4^3 = 64$ 個
ギャップ	10cm

④Gdコーティング  
100  $\mu$ m



直径	10cm
Al厚さ	約0.68cm
Gd厚さ	100 $\mu$ m
個数	$4^3 = 64$ 個
ギャップ	10cm

直径	20cm
Al厚さ	約1.39cm
Gd厚さ	100 $\mu$ m
個数	$4^3 = 64$ 個
ギャップ	10cm

# まとめ

- 中空Alカプセルの再臨界防止効果
  - 直径20cmのカプセルを10cm間隔で配置→浮遊デブリ最小臨界体積比 $V'/V_0$ ：**約1.7倍**
    - 水排除による中性子減速の抑制
- Gdコーティング中空Alカプセルの再臨界防止効果
  - Gdコーティング：100  $\mu\text{m}$ の場合
    - 直径10cmのカプセルを10cm間隔で配置→ $V'/V_0$ ：**約2倍**
    - 直径20cmのカプセルを10cm間隔で配置→ $V'/V_0$ ：**約2.6倍**
- メリット
  - 炉水へホウ酸を投入することなく中性子吸収材を炉内に配置
  - 冷却水が止水されなくても臨界を抑制
- 課題
  - 燃料デブリ取出し作業機器の可動範囲を制限
  - カプセル間隔の維持