福島第一原子力発電所
廃炉検討委員会セッション
全体セッション(B-3)

燃料デブリの性状把握

2015年9月11日（金）
日本原子力学会 2015年秋の大会

〇鷲谷　忠博[1)]　荻野英樹[1)]　鍛治直也[1)]　宮本泰明[1)]　川野昌平[2)]

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構（IRID）
1)国立研究開発法人　日本原子力研究開発機構
2)東芝

無断複製･転載禁止　技術研究組合　国際廃炉研究開発機構
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

本資料は、資源エネルギー庁からの委託事業としてIRIDが受託し、その組合員であるJAEAが実施した「平成25年度発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備事業」の成果の一部を含む。

内　容

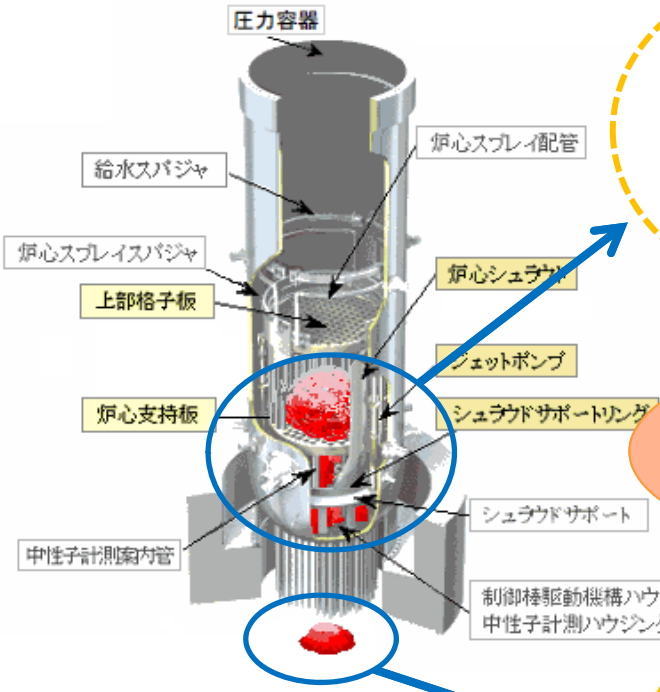
1. 燃料デブリの特性把握の目的
2. 燃料デブリの推定
3. デブリ特性データの取得
   - １F特有反応の評価
   - TMI-2デブリとの比較
   - マクロ特性：MCCI生成物の評価
   - マクロ特性：金属セラミック溶融物の整理

   等
4. デブリ特性リストの整備
5. 取出しに向けたデブリ情報の整理
6. まとめ

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

1．燃料デブリの特性把握の目的

燃料デブリの特性情報は、**燃料デブリの取出し**、**保管**、**処理・処分**を安全に実施するために必要な情報である。



1F炉心状況の推定図

（燃料デブリ）

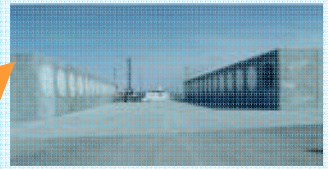
模擬デブリや実デブリの特性データ

（MCCI生成物）

処理・処分

・安定化処理の検討
・容器等の開発

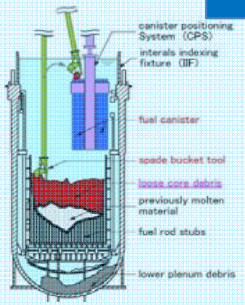
保　管



TMI-2燃料デブリの乾式保管

・保管方法の検討
・容器等の開発
・臨界安全管理
・計量管理

取出し



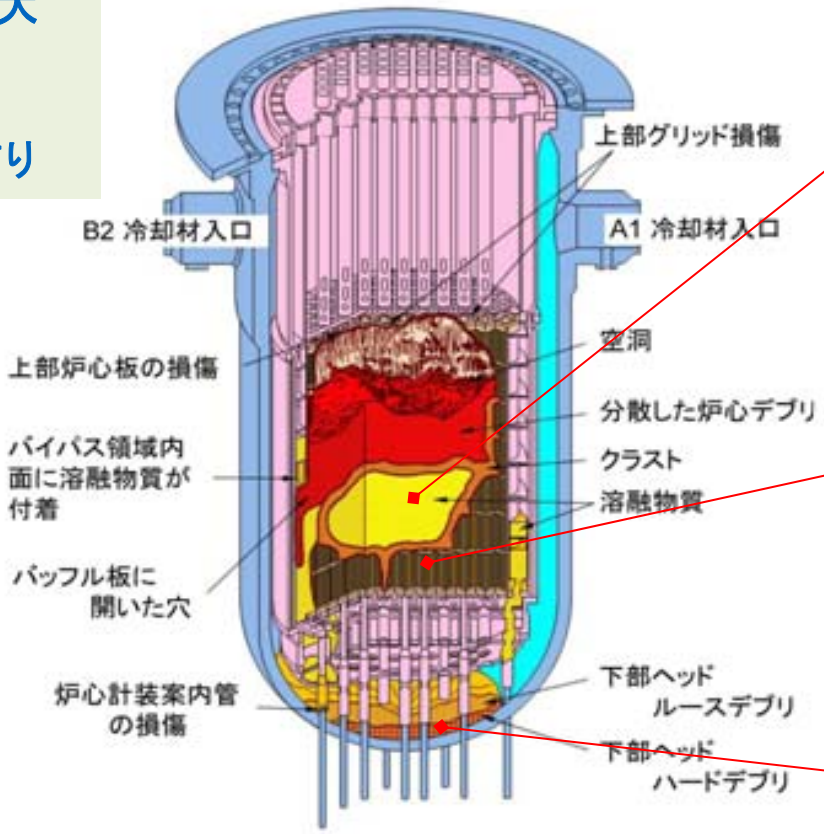
TMI-2 デブリ取出

・工法・工具等の開発
・臨界安全管理
・計量管理

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

2．燃料デブリの推定（TMI-2デブリの概要）

1F事故の特徴:
- BWR(TMI-2:PWR)
- 燃焼度:大
- 金属含有量:大
- 制御棒:B_4C
- 溶融時間:長
- MCCI反応:有り



R.K. McCardell, Nucl. Eng. Des. 118(1990) 441

R.K. McCardell et al. / TMI-2 core sample examinations

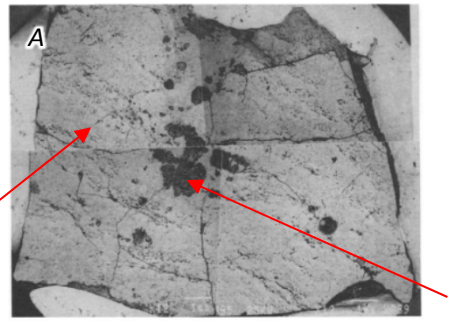
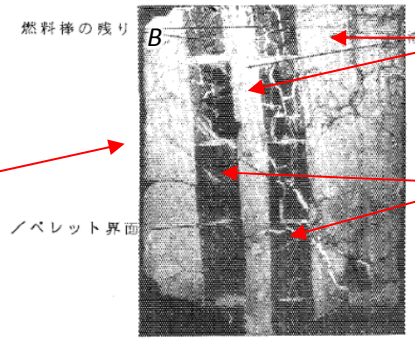


Fig. 4. Example of an entirely ceramic particle from the central region.
JAERI－M 93－111

(U,Zr)O
2700～3100K

Fig-Ni-O



第5図　炉心物質の反応と被覆の溶解

Zr-Fe-Ni-Cr
1400～2200K

燃料ペレット

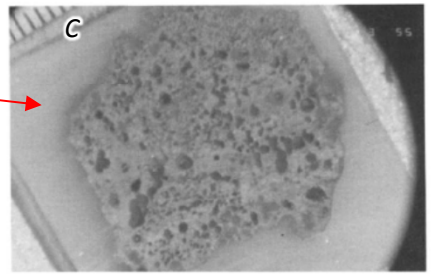


Fig. 9. Cross-section of lower plenum particle 11-5.

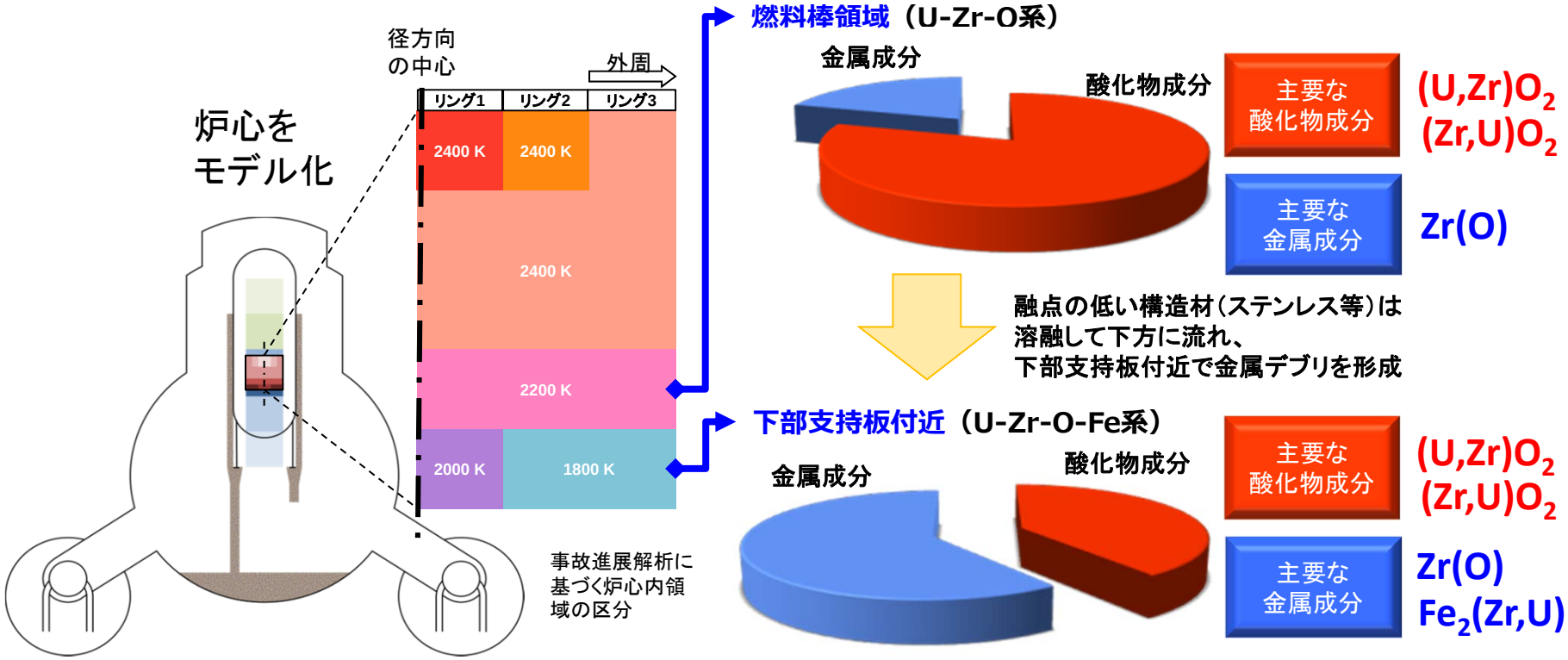
(U,Zr)O2
2800～3100K

[Ref]
*A,B: R. K. McCARDELL,Malcolm, et.al., SUMMARY OF TMI-2 CORE SAMPLE EXAMINATIONS, Nuclear Engineering and Design 118 (1990) 441-449 North-Holland
*C:「TMI-2の事故調査・復旧に関する成果と教訓」 AERI－M 93－111

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

2．燃料デブリの推定（推定される１F炉内のデブリ状況①）

事故進展解析コードの結果より、圧力容器内の元素組成、及び温度分布をもとに、
燃料デブリの化学形を熱力学平衡計算により簡易的に評価。



解析結果に基づき、温度・質量分布等を評価。

⇒　炉心をモデル化（特徴による区分）

評価した温度・質量分布をもとに、想定される炉内の状況下で

安定に存在できる物質(化学形)を熱力学平衡計算で評価

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

池内他、事故進展解析と熱力学平衡計算の併用による圧力容器内デブリの生成状況の検討、原子力学会2014春の年会、F57

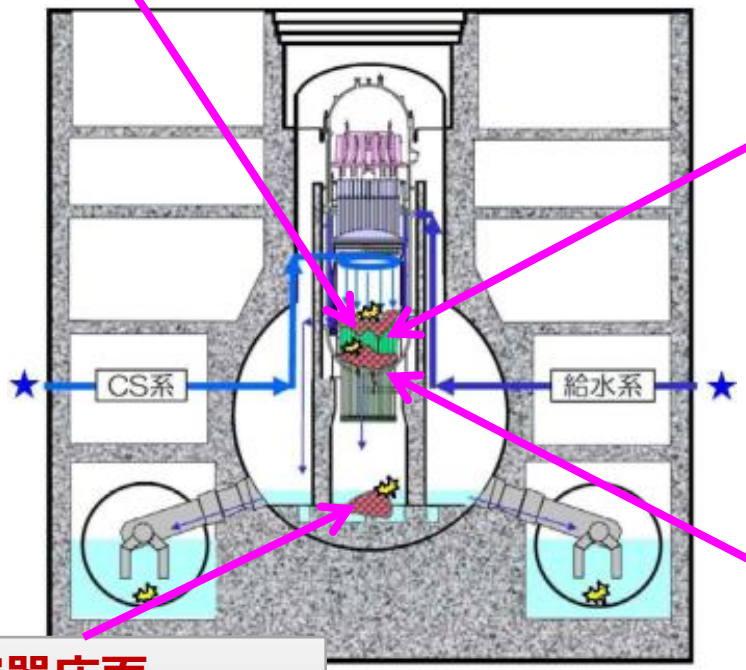
2．燃料デブリの推定（推定される１F炉内のデブリ状況②）

溶融進展後に予想される燃料デブリの生成箇所および材料

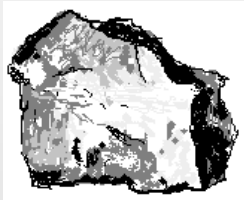
ルーズデブリ層

燃料片や溶融燃料が急冷され、粒子化

- UO_2
- $(U,Zr)O_2$　等



溶融・固化した炉心



上部/下部クラスト：
溶融燃料が比較的早く冷却されてできる塊

再溶融固化層：
溶融燃料がゆっくり冷却されてできる塊

- $(U,Zr)O_2$（Uリッチ相/Zrリッチ相）
- SUS-Zry合金　・Zr/Feホウ化物　等

下部プレナム/制御棒ハウジング

制御棒案内管に溶融燃料等が付着

- SUS
- $(U,Zr)O_2$　等

格納容器床面

MCCI生成物

- $(U,Zr)O_2$
- ジルコン　等

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

注）図や写真は、TMI-2やSA研究の写真及び東京電力による推定状況を暫定的に利用したものであり、実際の1F状況とは異なる可能性があります。

3．デブリ特性データの取得（取得すべき物性値）

取出し機器の性能に影響を与える物性値

取出し機器	主な対象	形状	粒径	密度	硬さ	弾性率	曲げ強さ	破壊じん性	動的破壊じん性	熱伝導度	比熱	融点	溶融潜熱
①衝撃破壊	塊状デブリ			○		○		●	○				
②せん断	ピン状構造物				●	●		●					
③溶断	板状の構造物			●						●	●	●	○
④ピック＆プレイス	粒子状デブリ	○	○	●									
⑤吸引	粒子状デブリ	○	○	●									
⑥コア・ボーリング	塊状デブリ			●	●	●	○	●		●	●		

注）本表は現時点での暫定版であり、今後の新しい知見等により変更が生じる可能性があります。

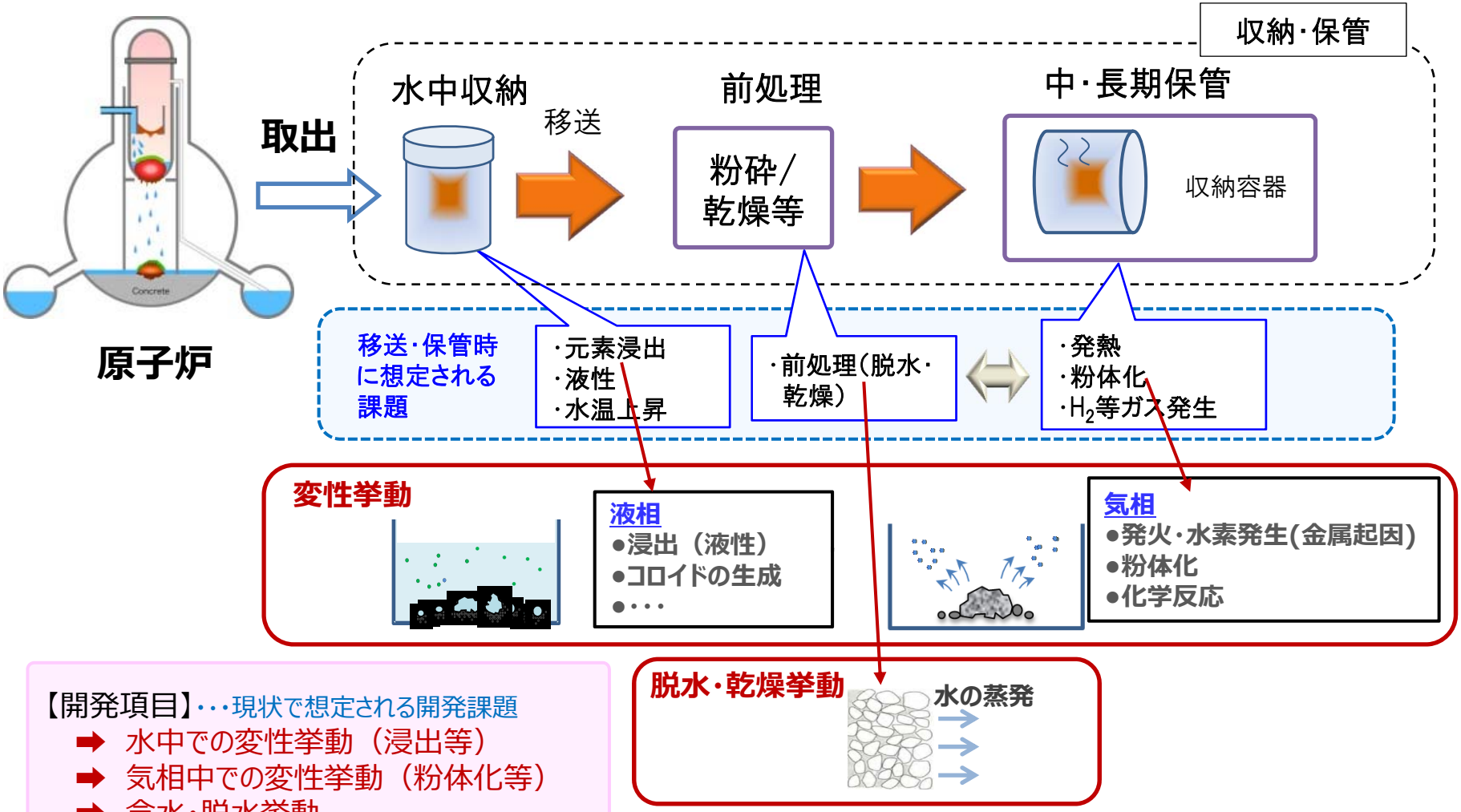
新たに取得すべき物性　　SA研究等による知見も活用

●：　機器設計に大きな影響を与える物性値。（実デブリサンプルにおける測定の可能性も考慮）
○：　その他の物性値で代替可能または推定が困難な物性値。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

3．デブリ特性データの取得（取得すべき物性値）

デブリの収納保管に影響を与える物性値



【開発項目】・・・現状で想定される開発課題
- ➡ 水中での変性挙動（浸出等）
- ➡ 気相中での変性挙動（粉体化等）
- ➡ 含水・脱水挙動

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

３．デブリ特性データの取得（１F特有反応の評価の概要）

◆ TMI-2と異なる1F特有な反応

（1） 海水塩との高温反応

（2） 制御棒材料（B_4C）との高温反応

（3） コンクリートとの高温反応（MCCI）

◆ 把握すべきデブリ特性

- ✓ 機械特性
- ✓ 熱特性
- ✓ 急冷時の影響
- ✓ Pu含有の影響
- ✓ Gdの分布、 等

⇒ 模擬デブリ、TMI-2デブリ等を用いて、実験的に確認。

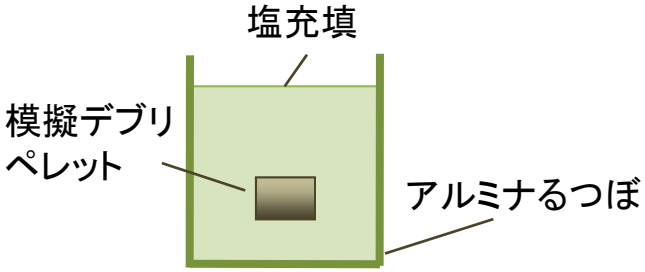
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

3．デブリ特性データの取得（海水塩との高温反応）

デブリ表面で海水が蒸発して塩が析出した状況を想定た基礎データを取得。

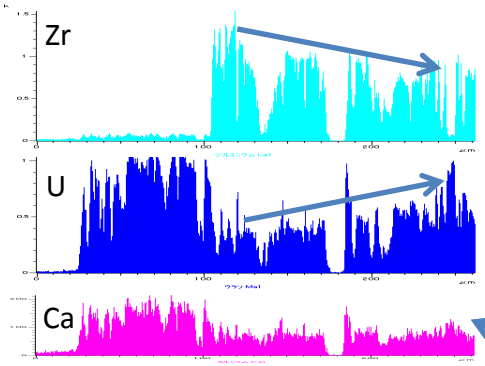
- 蒸固した海水塩に$(U,Zr)O_2$模擬デブリペレットを浸漬し、815 - 1395℃で保持
- 表面にCa(+Na)の**緻密なウラン酸塩層が生成**

  $Ca/Na/U \rightarrow (Ca,Na)UO_{4-x}$ or $CaNaU_2O_{7-x}$
- **Uが選択的に反応**し、ペレット表層近傍では濃度勾配

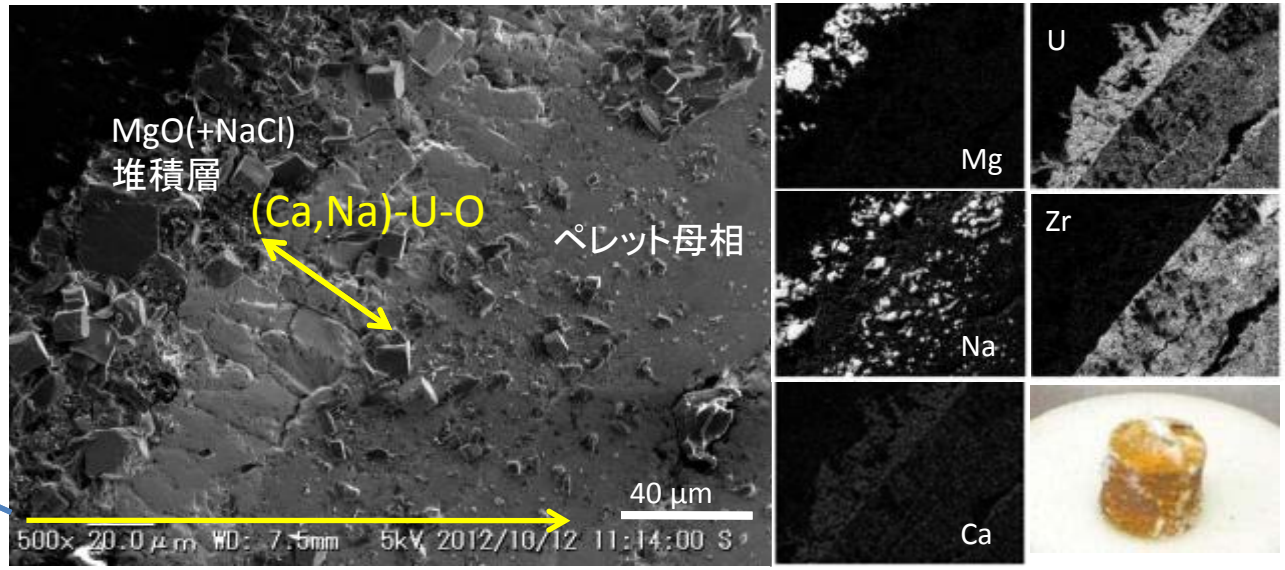


模擬デブリペレットの塩浸漬

例：$(U_{0.4},Zr_{0.6})O_2$－海水塩



元素プロファイル



$(U_{0.4}Zr_{0.6})O_2$模擬デブリペレット断面のSEM像及びX線像 （空気中、1002℃、12h）

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

3．デブリ特性データの取得（B_4Cとの高温反応）

炉心溶融固化物を想定（燃料集合体+B_4C制御棒）

大 ← B_4C/金属Zr比 → 小

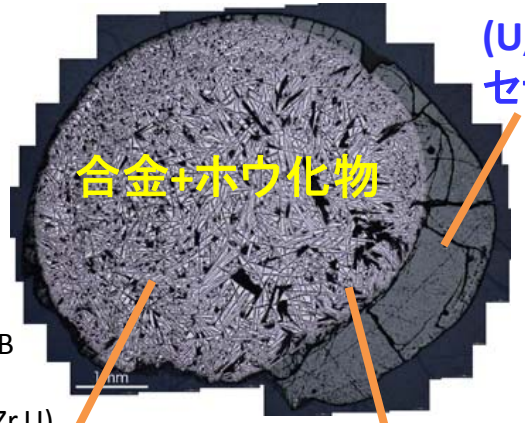
セラミック部分　fcc-$(U,Zr)O_{2\pm x}$

金属質部分　+$(Fe,Cr)_2B$　ZrB_2　+ZrC

Fe-Cr-Ni + $(Fe,Cr,Ni)_2(Zr,U)$

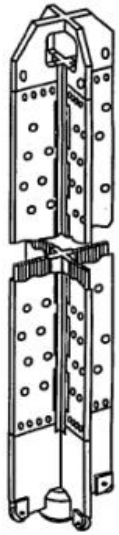
Fe_2Zr型
金属間化合物組成

混合物成形体　溶融固化物



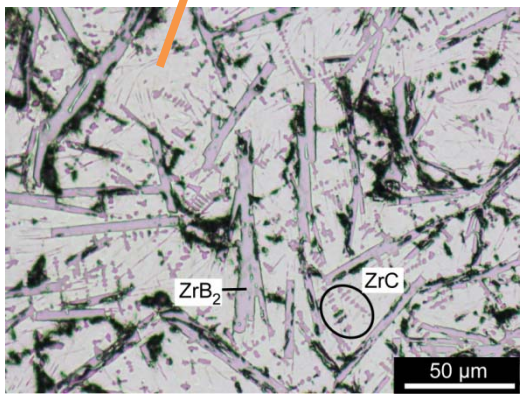
$(U,Zr)O_2$
セラミック

1: ZrB_2
2: $(Fe,Cr,Ni)_2B$
3: Fe-Cr-Ni
4: Fe-Cr-Ni-(Zr,U)

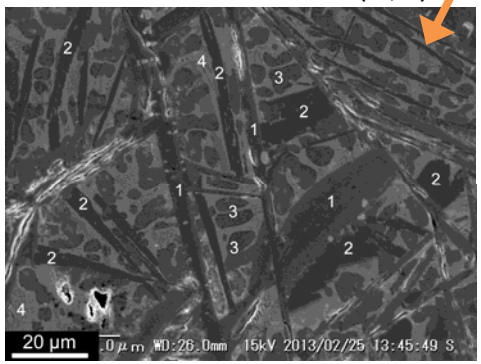


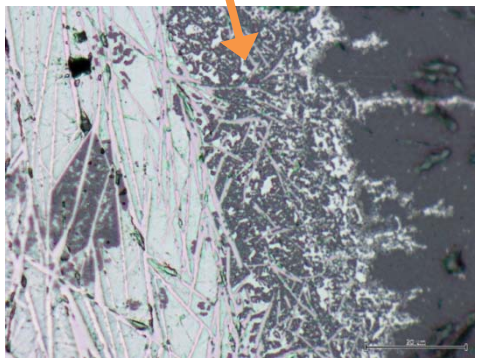
制御棒

母相合金：$(Fe,Cr,Ni)_2Zr$



B_4C/SUS/Zrの溶融固化物の例

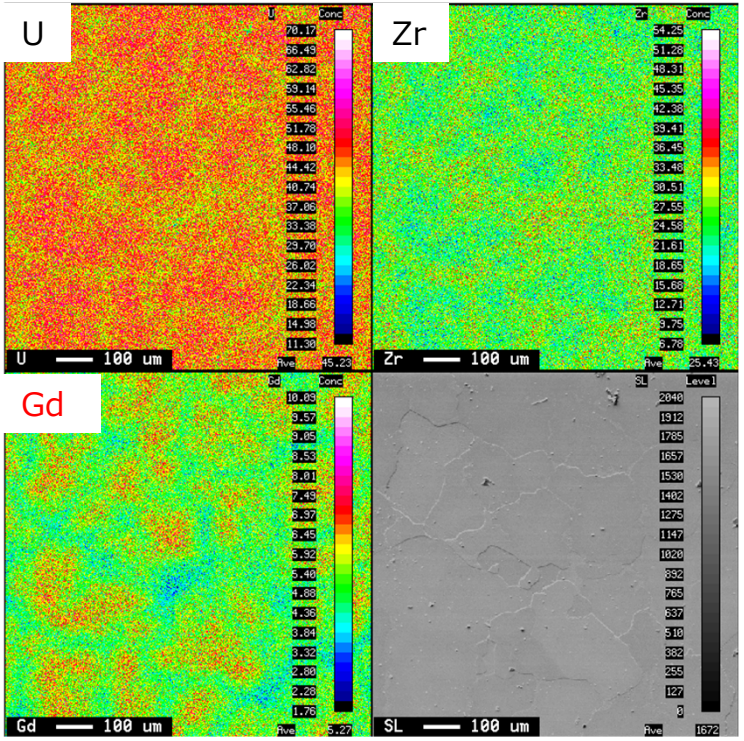




B_4C/SUS/Zr/$(U,Zr)O_2$の溶融固化物の例

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

3．デブリ特性データの取得（デブリ中のGd状況）



Gdの分布状態（O/M=1.993）

O/M（試料調製後）	O/M（溶融後）
1.976	1.989
1.987	1.993

O/M=1.993
（溶融後）

O/M=1.989
（溶融後）

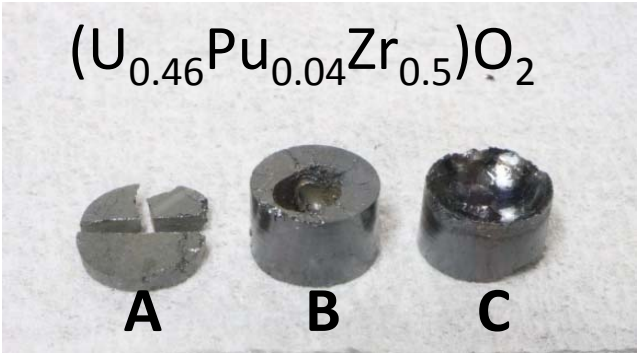
試料：$(U_{0.45}Gd_{0.05}Zr_{0.50})O_{2-x}$

- 面分析結果とUO_2-ZrO_2状態図から、立方晶＋正方晶の2相が存在すると推定されるが、その領域は数十μmであり，マクロ的には均質といえる。
- 2相のGdの濃度差は小さい。

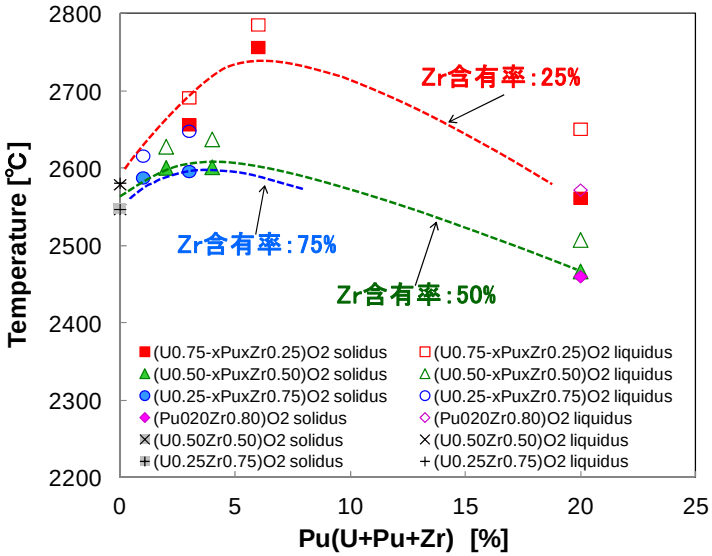
⇒ U-Zr-Gd-O系の燃料デブリ中ではGdの偏在はほぼないと想定される。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

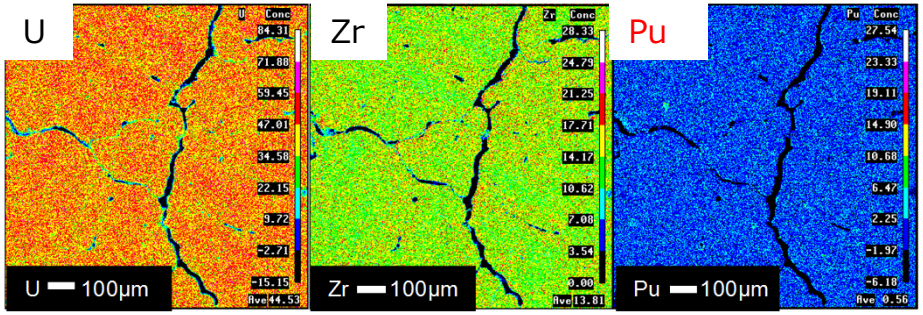
3．デブリ特性データの取得（デブリ中のPu状況）



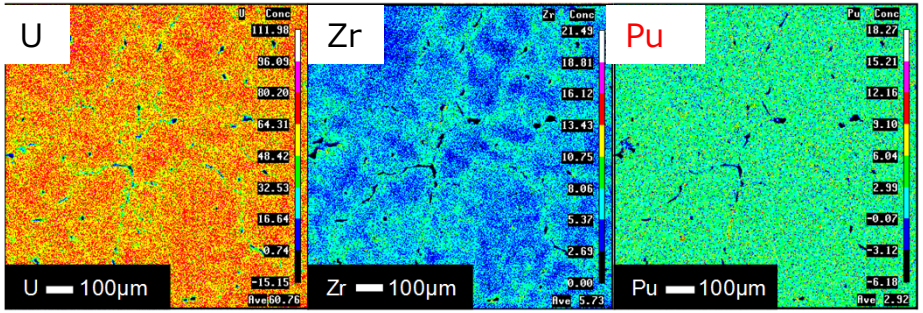
MOX模擬デブリ



$(U_{0.46}Pu_{0.04}Zr_{0.50})O_2$



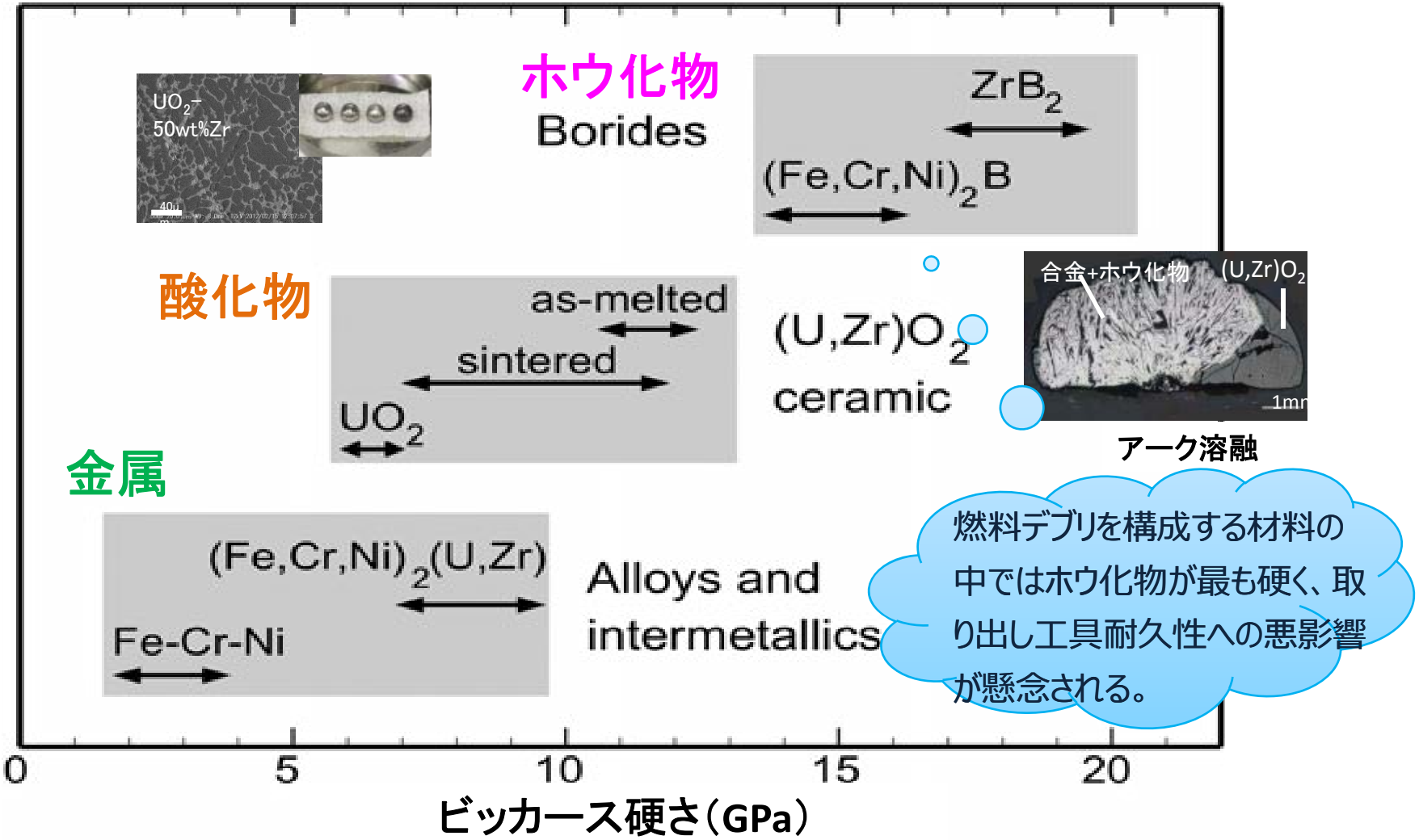
$(U_{0.69}Pu_{0.06}Zr_{0.25})O_2$



- 溶融後の試料は、Pu濃度の異なる領域が数十μmの範囲で存在するが、マクロ的には均一である。
- Pu含有量が10%以下での極大値を示す。これはZr含有の影響と想定される。
- 溶融・固化後の試料の物性（熱伝導率等）に対するPu含有の影響はほとんどなかった。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

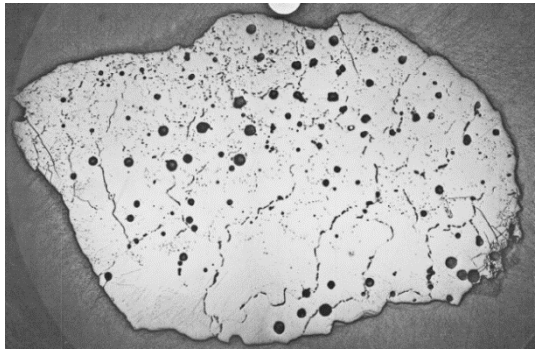
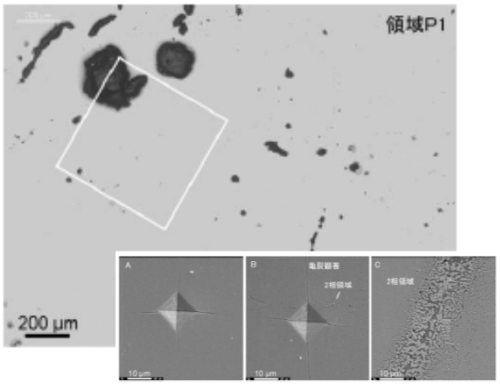
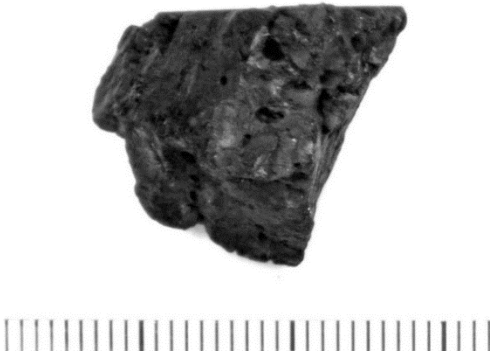
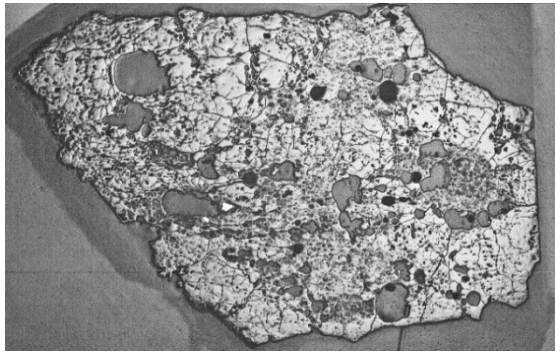
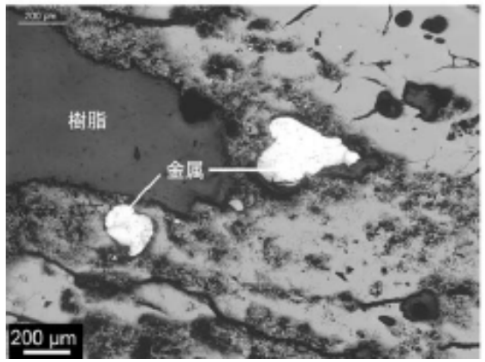
3．デブリ特性データの取得（ビッカース硬度）



燃料デブリを構成する材料の中ではホウ化物が最も硬く、取り出し工具耐久性への悪影響が懸念される。

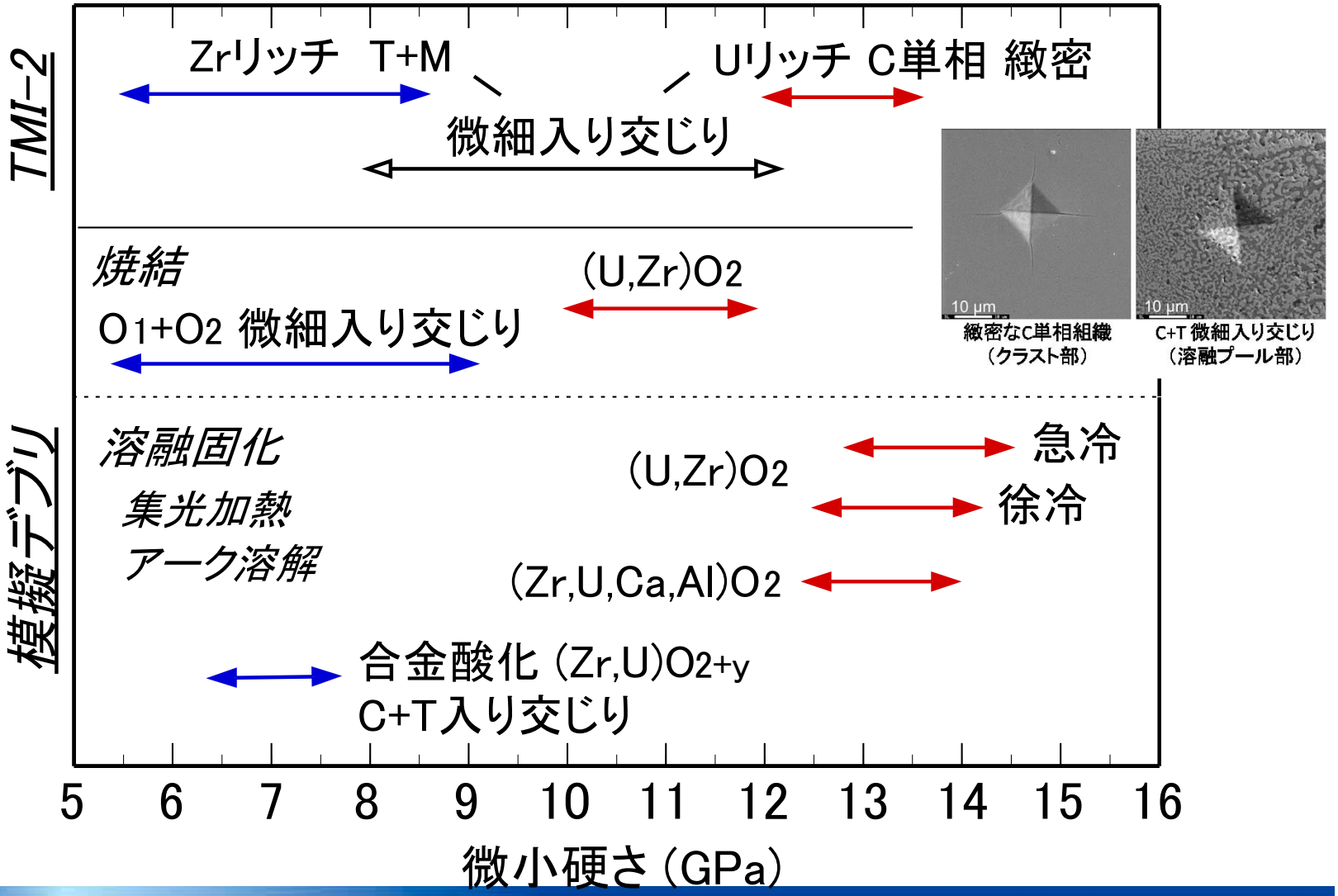
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

3．デブリ特性データの取得（TMI-2デブリの概観）

	燃料デブリ概観写真	切断面全体像 （光学顕微鏡画像）	拡大像 （光学顕微鏡画像）
上部クラスト			 ビッカース硬度計による圧痕 （SEM画像）
溶融プール			

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

3．デブリ特性データの取得（TMI-2デブリの硬度）

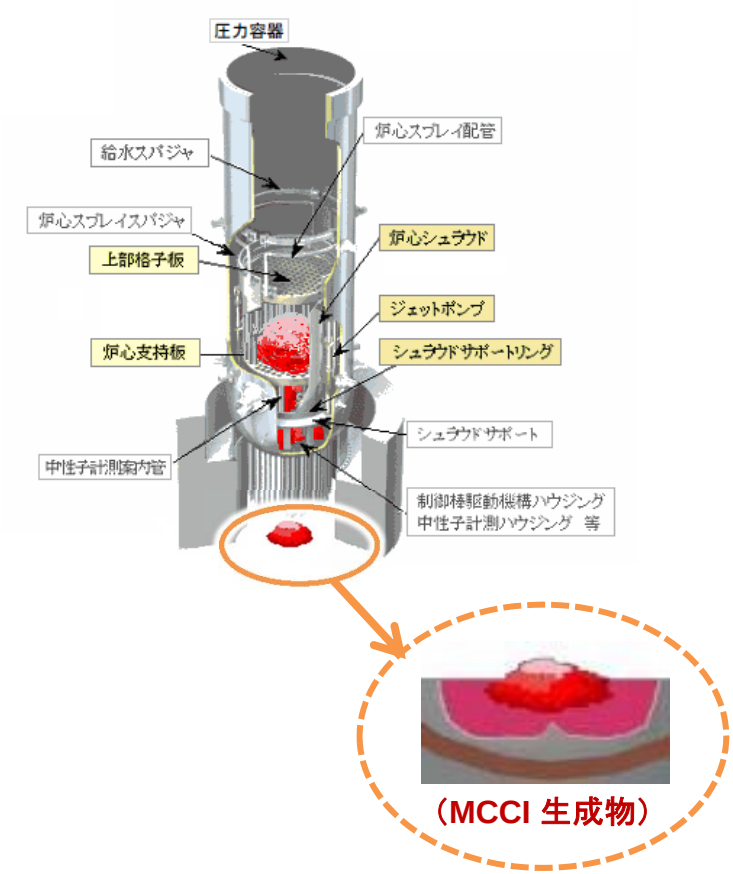


©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

3．デブリ特性データの取得（MCCI生成物の特性評価）

MCCI 生成物

(溶融炉心・コンクリート反応)



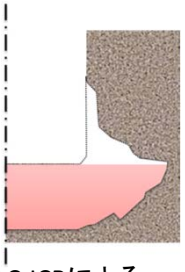
基礎研究

✓ アーク溶融や集光加熱によるMCCI反応の把握、基礎データの取得

集光加熱による
溶融反応

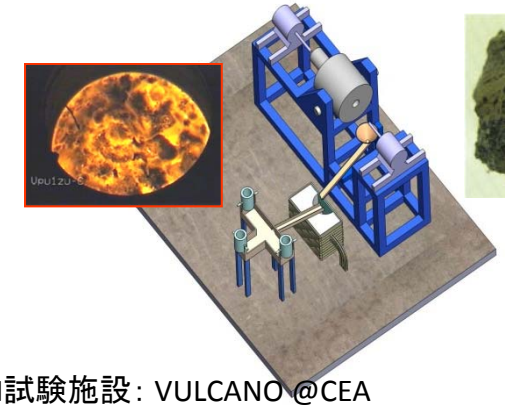
海外叡智の活用 （仏国CEAとの共同研究）

✓ 計算シミュレーションによる推測

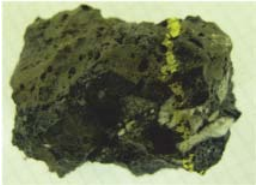


TOLBIAC-ICBによる
コンクリート浸食状況

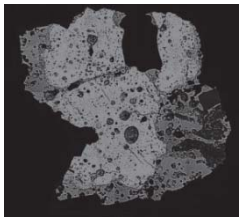
✓ 過去のVULCANO試験サンプルの分析



MCCI試験施設：VULCANO @CEA



MCCI試料

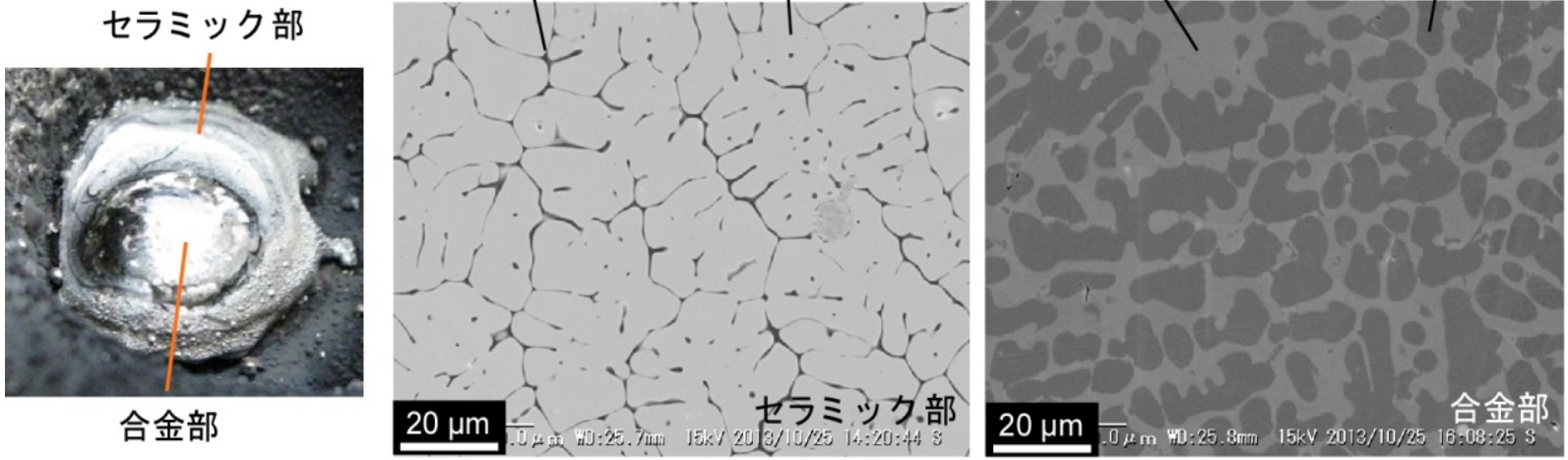


SEM/EDS分析

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

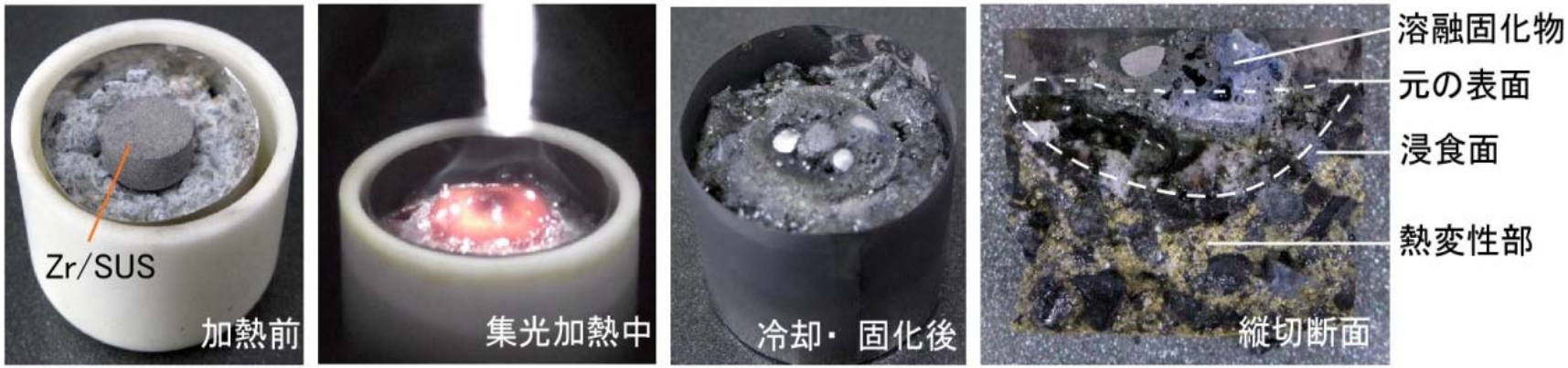
3．デブリ特性データの取得（コンクリートの反応）

アーク溶融



(a) モルタル/Fe/Zr/(U,Zr)O_2混合物をアーク溶解して得た模擬MCCI生成物の外観と断面観察像

集光加熱溶融

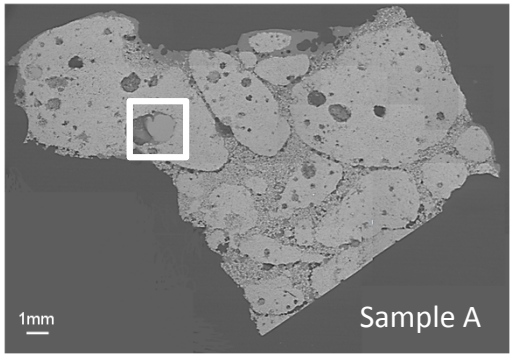


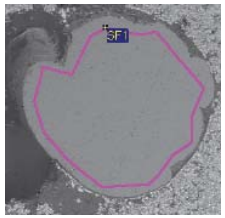
(b) コンクリート上でZr/SUS混合物を集光加熱した際の様子と断面写真

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

3．デブリ特性データの取得（マクロ特性：MCCI生成物）

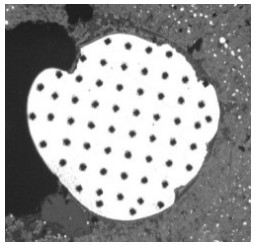
◆ 最も硬さの小い箇所 ⇒ 酸化物中の析出金属





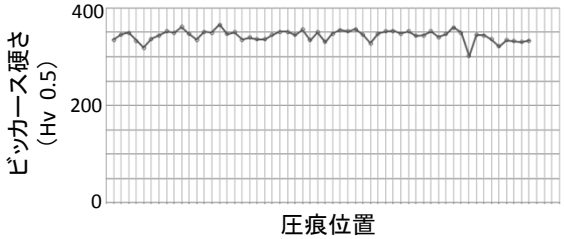
EDS分析結果

Element	At%	Wt%
O	11.5	3.6
Cr	4.3	4.4
Fe	76.2	82.9
Ni	7.2	8.2
Cu	0.7	0.9

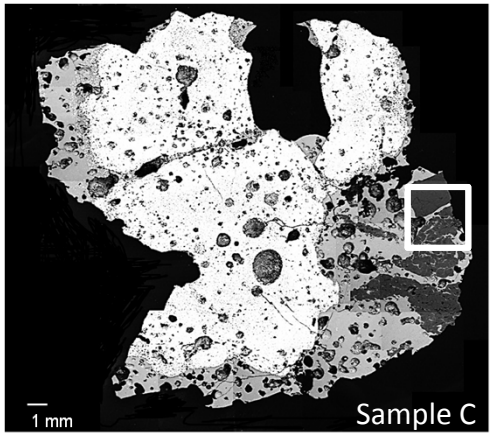


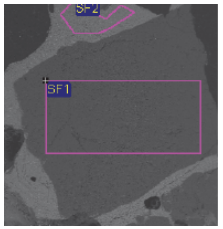
ビッカース硬さ測定結果
（Hv 0.5）

Mean	343
Max.	366
Min	301
S.D.	11
Extent	65



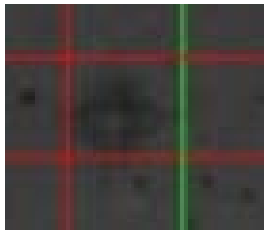
◆ 最も硬さの大い箇所 ⇒ コンクリート由来のケイ素酸化物





EDS分析結果

Element	At%	Wt%
O	68.7	55.6
Na		
Mg		
Al	0.2	0.2
Si	31.2	44.3
Ca		
Cr		
Fe		
Zr		
U		



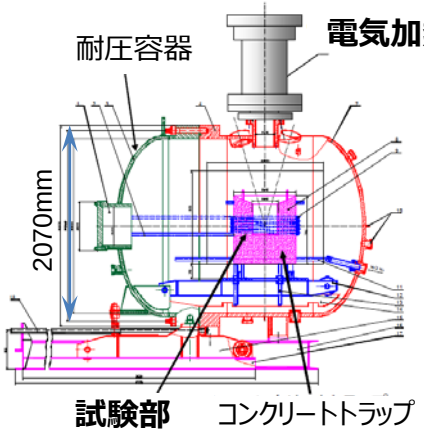
ビッカース硬さ測定結果
（Hv 0.5）

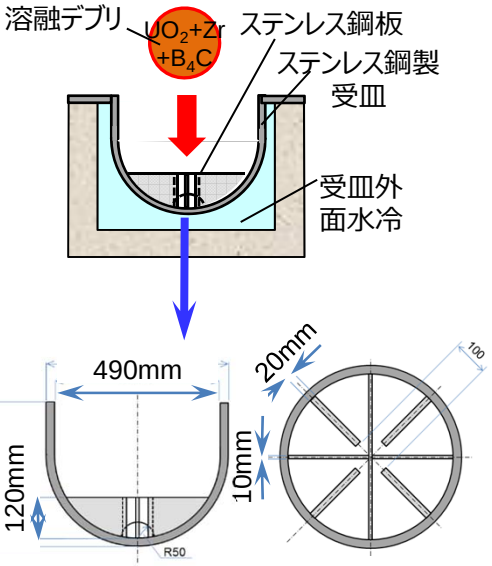
Mean	~1500

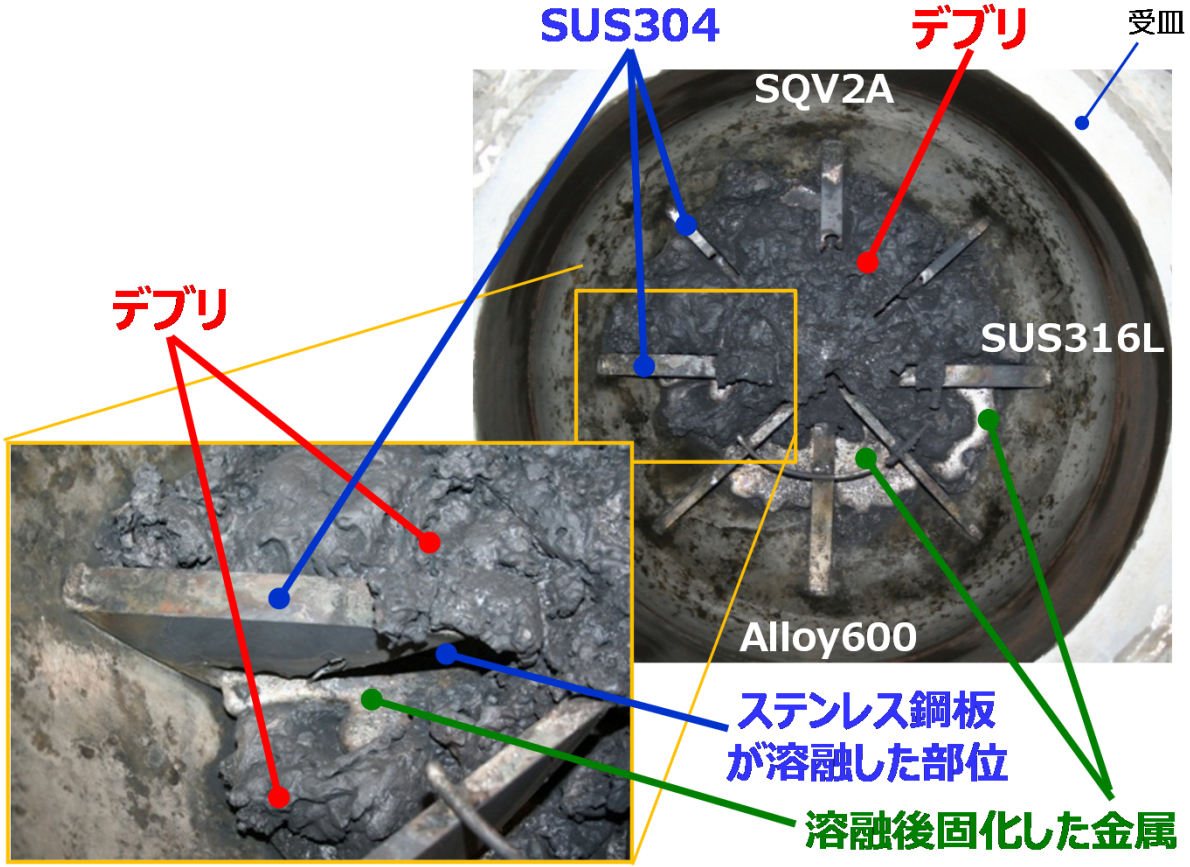
※ 測定できたのが2か所のみ

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

3．デブリ特性データの取得
（マクロ特性：金属セラミックス溶融固化体）





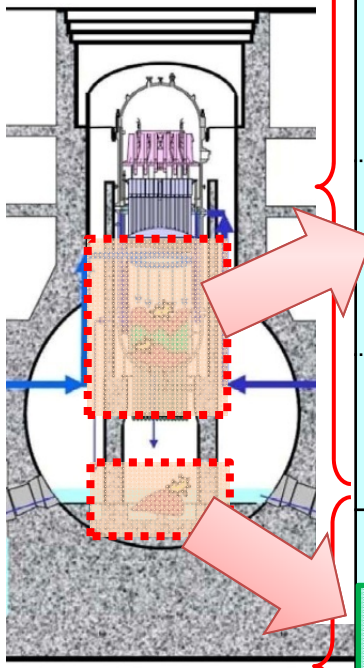


・デブリ成分：71.5wt%UO_2-27.8wt%Zr-0.7wt%B_4C (重量60kg)
・加熱温度：約2500℃　・雰囲気：Arガス中
・受皿内の材料：SUS304, SUS316L, Alloy600, SQV2A

金属とセラミックスの不均質な溶融固化体を製作し、
その特性を把握した。 ⇒今後冷却速度を変更した試験を実施。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. デブリ特性リストの整備 （ミクロ特性データ取得）



※ Ref. TEPCO Home Page (2013.12.13) http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/series/index-j.html

物性値	理論密度 (g/cm^3)	ビッカース硬さ (GPa)	弾性率 (GPa)	破壊じん性 (MPa m$^{1/2}$)	熱伝導率 (W/mK)	比熱 (J/g K)	融点 (°C)
【RPV内部】							
Oxide							
UO_2	11	4-6	190	0-2	10	0.28	2850
ZrO_2-T	6	9-12	200	0-10	1-3	0.61	(tr.)
$(U,Zr)O_2$-C	6-11	6-14	140-220	0-3	1-10	0.3-0.6	2500-2900
$(U,Zr)O_2$-T	6-11	6-11	150-200	0-8	1-3	0.5-0.6	(tr.)
$(U,Zr)O_2$-M	6	3-4	150-200	0-2	1-3	0.6-0.6	(tr.)
Metallic							
Zry-2	7	1-3	60-110	110-150	10--25	0.3	1850
α-Zr(O)	7	1-11	100-180	120-150	23	0.3	1850
Fe	8	2-4	200	5-200	80	0.4	1075-1535
$Fe_2(Zr,U)$	7-8	7-9	160-220	1-3	80	0.4	1500
Other Ceramic							
B_4C	2.5	24	450	0-5	29	2.3	2450
ZrB_2	6.1	22	440	0-20	24	0.7	3040
Fe_2B	7.4	16	200	0-20	24	0.6	1389
【ペデスタル】							
MCCI product							
Si rich oxide (mainly SiO2)	3	10-15	100	0-1	1	10	1600
Si rich oxide (incl. Ca, Cr)	3	4-9	100	0-1	1	10	1600
U rich oxide	6-11	4-9	140-220	0-3	1-10	0.3-0.6	2400-2850
Zr rich oxide	6-7	4-9	150-200	0-8	1-3	0.5-0.6	2500-2850
Cr rich oxide	5	4-9	100-400	0-7	10-33	0.7	2400
$(U,Zr)SiO_4$	4-9	11	150-180	0-2	6	0.5-0.8	2500

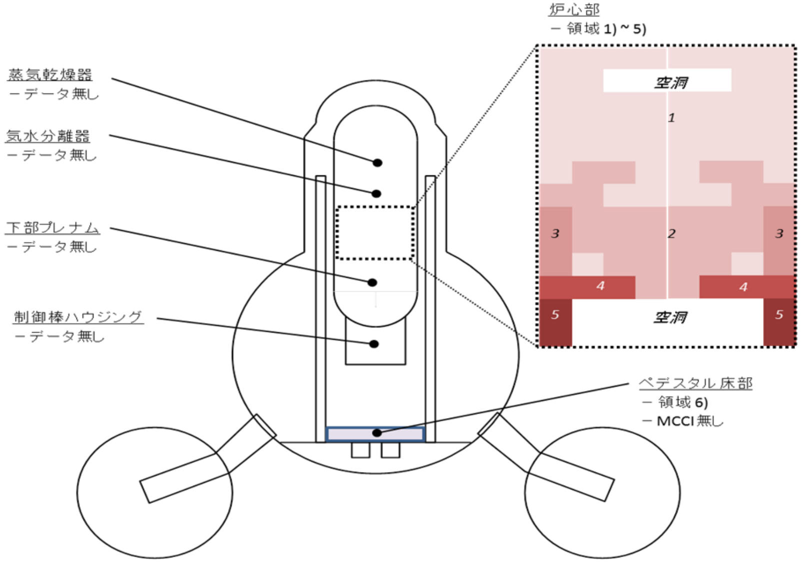
機械的特性　　熱的特性

デブリ取出装置開発等へ反映

Legend:
- Fixed by FY2014
- Reviewed by FY2014 and Fixed in FY2015
- Fixed in FY2015

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. デブリ特性リストの整備 （全体概要）



ミクロ性状（冷温停止後、室温付近での物性を想定）

分類 材質または相	理論密度 (g/cm³)	ビッカース硬さ (GPa)	弾性率 (GPa)	破壊じん性 (MPa m^1/2)	熱伝導率 (W/mK)	比熱 (J/g K)	融点 (°C)
酸化物							
UO_2	11.0	5.9	193	0 - 1.5	10	0.28	2850
ZrO_2-C	6.1	15	200	0 - 10	1 - 3	0.61	2700
ZrO_2-T	5.9	11	200	0 - 10	1 - 3	0.61	(tr.)
ZrO_2-M	5.8	11	200	0 - 10	1 - 3	0.61	(tr.)
$(U,Zr)O_2$-C	6.1 - 11.0	5.9 - 11	200	0 - 3.0	1 - 3	0.28 - 0.61	2500 - 2850
$(U,Zr)O_2$-T	5.9 - 7.4	5.9 - 11	200	0 - 3.0	1 - 3	0.51 - 0.61	(tr.)
$(U,Zr)O_2$-M	5.8 - 6.3	5.9 - 11	200	0 - 3.0	1 - 3	0.58 - 0.61	(tr.)
SiO_2	2.7	13	100	0 - 0.7	1.0	1.25	1710
Al_2O_3	4.0	[illegible]	409	0 - 7.0	25	1.22	2000
$CaO-Al_2O_3-SiO_2$ (glass)	2.2 - 2.8	[illegible]	74	[illegible]	[illegible]	0.77	1600
$(U,Zr)SiO_4$	4.6 - [illegible]	11	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.45 - 0.82	2500
金属							
Zry-2	6.5	2.4	100	0 - 20	23	0.28	1850
α-Zr	6.5	2.4	100	0 - 20	23	0.28	1850
Fe (austenite, γ-Fe)	8.0	2.2	200	0 - 200	80	0.44	1075 - 1535
Fe (ferrite, α-Fe)	8.0	2.2	200	0 - 200	80	0.44	1075 - 1535
Fe (martensite)	8.0	2.3	200	0 - 200	80	0.44	1075 - 1535
$Fe_2(Zr,U)$	8.0	9	200	0 - 20	80	0.37	1500
その他							
B_4C	2.5	24	450	0 - 5.0	29	2.26	2450
ZrB_2	6.1	22	440	0 - 20	24	0.66	3040
Fe_2B	7.4	16	200	0 - 20	24	0.61	1389

ミクロ特性

（補足）2014年以降の仏国CEAとの協力によるMCCI関連試験によりMCCIに関する材質/相について既存のデータが取得できる見込み。（別紙参照）

マクロ性状（冷温停止後、室温付近での物性を想定）

領域	質量	材質または相	予想される形状	寸法	空隙率	含水率	H2発生G値	圧縮強度	U/Pu濃度	SUS混合率	B_4C混合率	Gd混合率	U濃縮度	塩分濃度

酸化物	$(U,Zr)O_2$-C	[illegible]	[illegible]		[illegible]				[illegible]	[illegible]	[illegible]		
2) 中心部A													
酸化物	ZrO_2-M, $(U,Zr)O_2$-C/T	クラスト、溶融固化物、小岩石状デブリ	燃料デブリの形状一覧(表6-9)を参照。		0 - 12				68	0.51	0.83	0.0043	
その他	B_4C												
3) 中心部B													
酸化物	ZrO_2-M, $(U,Zr)O_2$-C/T	クラスト、溶融固化物、小岩石状デブリ	燃料デブリの形状一覧(表6-12)を参照。		0 - 12				43	33	0.60	0.0027	
金属	Fe												
その他	B_4C												
4) 下部(炉心支持板)													
酸化物	ZrO_2-M, $(U,Zr)O_2$-C/T	クラスト、溶融固化物、切り株状[illegible]	[illegible]	[illegible]	0 - 16	0.50 (湿式)	50 (半乾式)	0 - 250	18	41.7	0.0071	0.0011	1.87	0.10
金属	Fe, $Fe_2(Zr,U)$												
その他	B_4C												
5) 下部(炉心支持板)													
酸化物	ZrO_2-M, $(U,Zr)O_2$-C/T	炉心支持板	燃料デブリの形状一覧(表6-12)を参照。		0 - 11				0.61	98	0	0.000038	
金属	Fe												
6) ペデスタル床部													
酸化物	ZrO_2-M, $(U,Zr)O_2$-C/T	粒子状デブリ、構造物破片	燃料デブリの形状一覧(表6-10)を参照。		0 - 16				40	13	0.011	0.0025	
金属	α-Zr, $Fe_2(Zr,U)$												
その他	B_4C, ZrB_2, Fe_2B												

マクロ特性

（注1）有効数字2桁

（補足）2014年以降の仏国CEAとの協力によるMCCI関連試験によりMCCIに関する材質/相、空隙率に関するデータが取得できる見込み。（別紙参照）

（注2）予想される形状および寸法については、事故進展シナリオが不明な状態での粗い想定による。

H26年度実施項目に係る内容

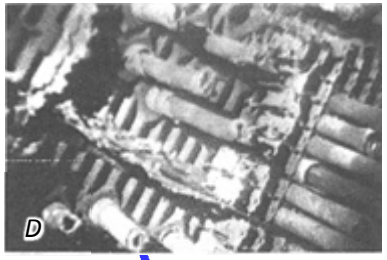
IRID JAEA TOSHIBA Leading Innovation

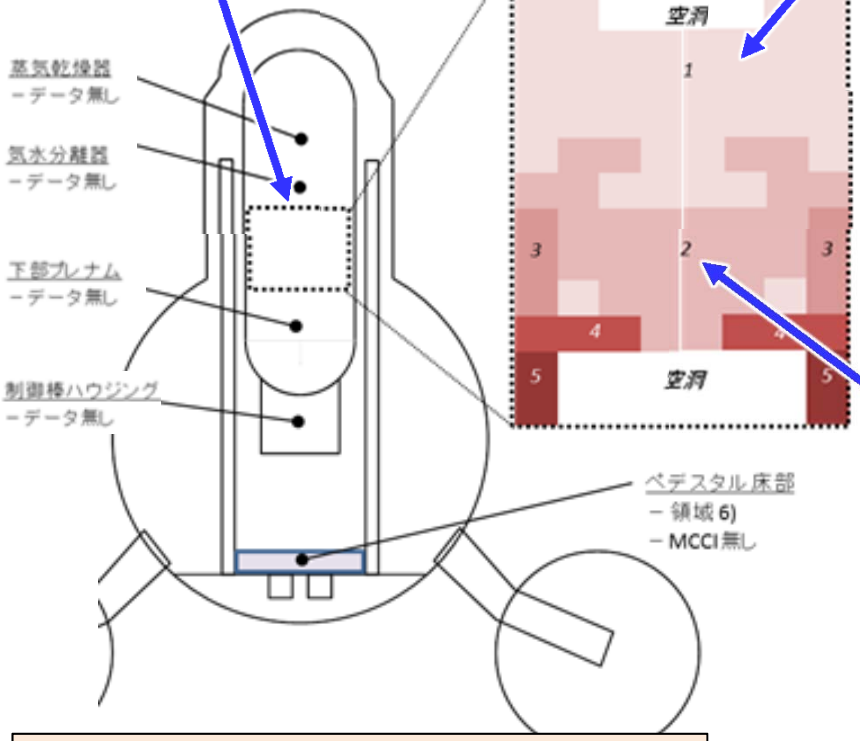
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

5．取出しに向けたデブリ情報の整理　（炉内デブリ）

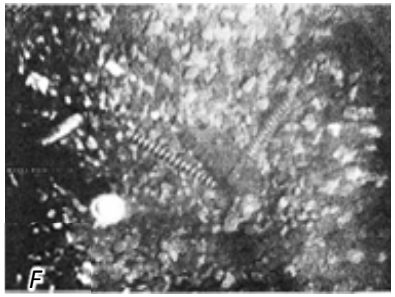
カザフスタンNNC大型試験により取得中

溶融した上部プレナム部等



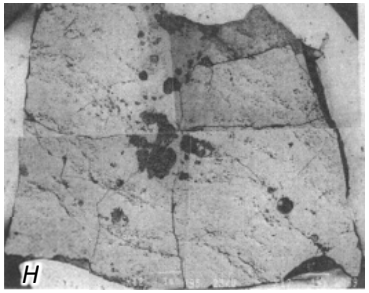


ルースデブリ

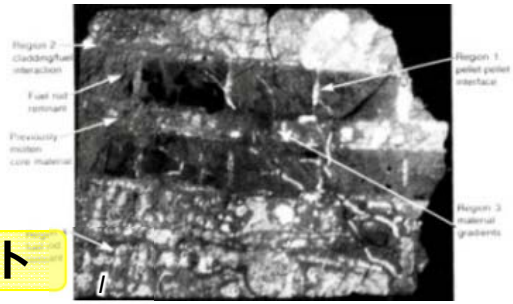


上部クラスト

溶融固化物
(溶融プール)



下部クラスト



炉内状況把握Pjで実施したSAMPSON解析結果に対して、TMI-2事故事例を元に1F2号機の炉内状況を暫定的に仮定した。

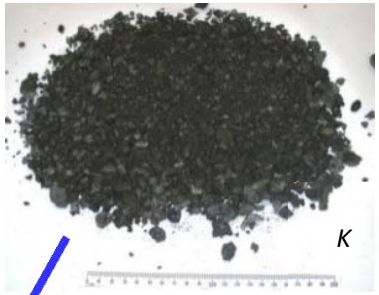
[Ref]
D,F: L. M. Toth, et. al "The Three Mile Island Accident", 1986 American Chemical Society, Volume 293
E,G,H,I: R.K.McCardell, Summary of TMI-2 Core Sample Examinations(1990), Nuclear Engineering and Design 118 (1990)

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

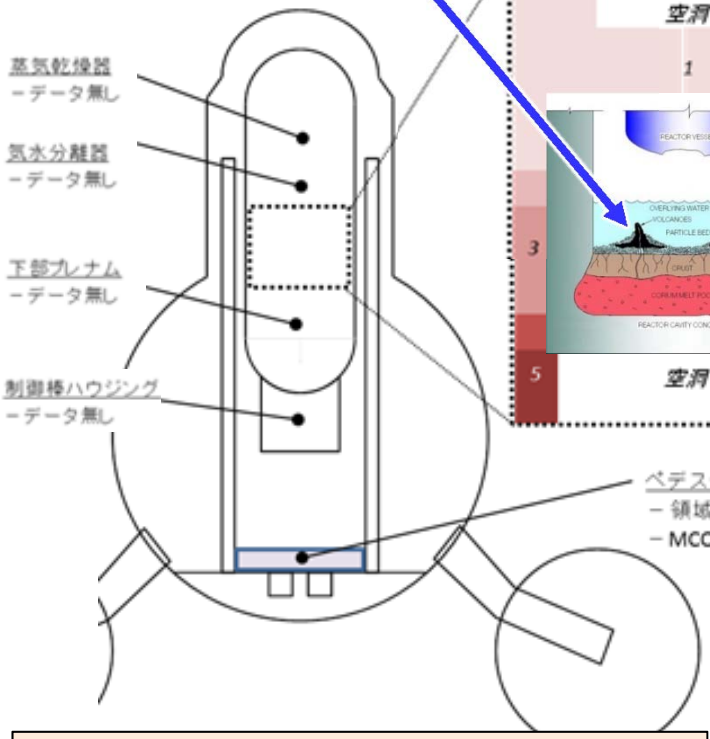
5．取出しに向けたデブリ情報の整理　（MCCI生成物）

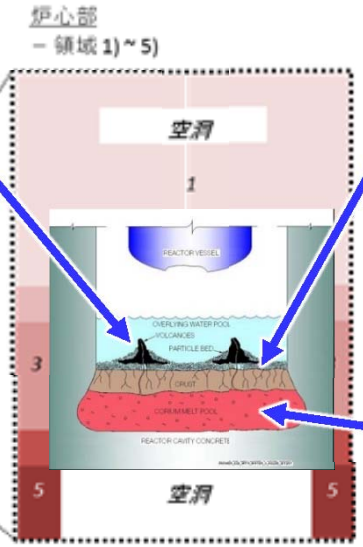
フランスCEA大型試験により取得中

火山状MCCI
生成物

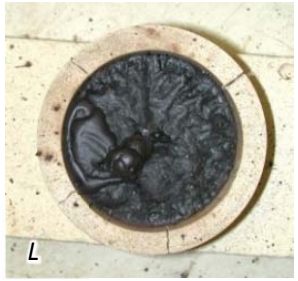


微粉状MCCI
生成物





塊状MCCI生成物



MCCI生成物
（上部外観）

MCCI生成物
（縦断面外観）

炉内状況把握Pjで実施したSAMPSON解析結果に対して、TMI-2事故事例を元に1F2号機の炉内状況を暫定的に仮定した。

[Ref]
J: C. Journeau et al., Oxide-Metal Corium –Concrete Interaction Test in the VULCANO Facility, Proceedings of ICAPP 2007, Nice, France, May 13-18, 2007, Paper 7328
K: M.T.Farmer (private communication)
L: M.T. Farmer, Thermite as a Validated Option to Melt Large Corium Masses, Plinius 2 International Seminar, Marseille, France May 16, 2014
M: M. T. Farmer et al., OECD MCCI Project 2-D Core Concrete Interaction (CCI) Tests:Final Report, February 28, 2006, OECD/MCCI-2005-TR05

6．まとめ

■ 炉内に存在する燃料デブリの推定

- RPV下部には$Zr(O)$や$Fe_2(Zr,U)$ などの金属成分が多いと想定される

■ 模擬デブリによる特性把握

- 1F特有反応
  - ➢ 海水塩の影響: デブリ表面でのCa（+Na）のウラン酸塩相の形成等
  - ➢ B_4C制御材の影響: 硬質な$(Fe,Cr)_2B$、ZrB_2が生成
  - ➢ Pu,Gdにより融点等への影響は少ない
- 主要な物性値
  - ➢ 主要デブリ組成の機械的特性を中心に基礎データを収集
  - ➢ ホウ化物の形成等による硬度増加の可能性（局所的）
  - ➢ 金属含有デブリの生成が多い
  - ➢ MCCIによりケイ酸化合物の形成

■ デブリ特性リストの構築（H27年度末とりまとめ予定）

- 得られた物性値を集約して1F特性リストを構築中

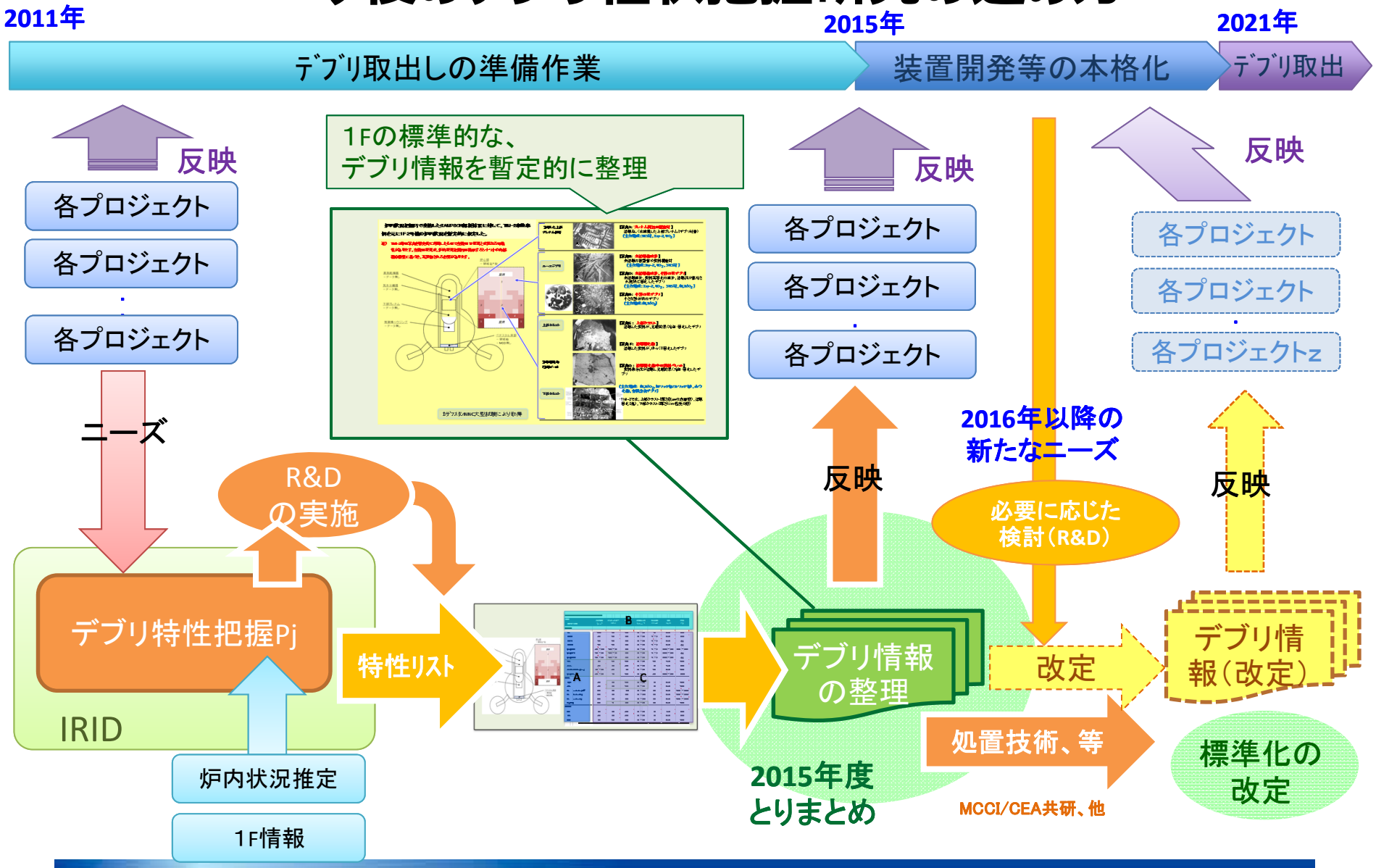
  ⇒ 炉内デブリ状況の推定、廃止措置作業への反映

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

補足資料

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

今後のデブリ性状把握研究の進め方



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

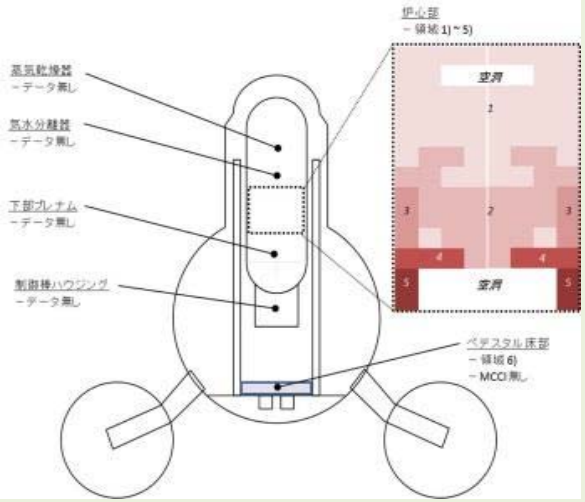
デブリ特性リストの整備　（考え方）

A:　燃料デブリとして生成する材料（相）　⇨ A

B:　評価が必要な物性　⇨ B

C:　物性データ　⇨ C

「燃料デブリ特性リスト」イメージ



B

ミクロ性状（冷温停止後、室温付近での物性を想定）							
分類 材質または相	理論密度 (g/cm³)	ビッカース硬さ (GPa)	破壊じん性 (MPa·m^(1/2))	熱伝導率 (W/mK)	比熱 (J/g·K)	融点 (℃)
酸化物						
UO_2	11.0	5.9	193	0 - 1.5	10	0.28	2850
ZrO_2-C	6.1	15	200	0 - 10	1 - 3	0.61	2700
ZrO_2-T	5.9	11	200	0 - 10	1 - 3	0.61	(tr.)
ZrO_2-M	5.8	11	200	0 - 10	1 - 3	0.61	(tr.)
$(U,Zr)O_2$-C	6.1 - 11.0	5.9 - 11	200	0 - 3.0	1 - 3	0.28 - 0.61	2500 - 2850
$(U,Zr)O_2$-T	5.9 - 7.4	5.9 - 11	200	0 - 3.0	1 - 3	0.51 - 0.61	(tr.)
$(U,Zr)O_2$-M	5.8 - 6.3	5.9 - 11	200	0 - 3.0	1 - 3	0.58 - 0.61	(tr.)
SiO_2	2.7	13	100	0 - 0.7	1.0	1.25	1710
Al_2O_3	4.0	27	409	0 - 7.0	25	1.22	2000
CaO-Al_2O_3-SiO_2 (glass)	2.2 - 2.8	4.1	74	0 - 0.8	1.4	0.77	1600
$(U,Zr)SiO_4$	4.6 - 8.3	11	166	0 - 1.2	6.1	0.45 - 0.82	2500
金属							
Zry-2	6.5	2.4	100	0 - 20	23	0.28	1850
α-Zr	6.5	2.4	100	0 - 20	23	0.28	1850
Fe (austenite, γ-Fe)	8.0	2.2	200	0 - 200	80	0.44	1075 - 1535
Fe (ferrite, α-Fe)	8.0	2.2	200	0 - 200	80	0.44	1075 - 1535
Fe (martensite)	8.0	2.3	200	0 - 200	80	0.44	1075 - 1535
$Fe_2(Zr,U)$	8.0	9	200	0 - 20	80	0.37	1500
その他							
B_4C	2.5	24	450	0 - 5.0	29	2.26	2450
ZrB_2	6.1	22	440	0 - 20	24	0.66	3040
Fe_2B	7.4	16	200	0 - 20	24	0.61	1389

A

C

（補足）2014年以降の仏国CEAとの協力によるMCCI関連試験によりMCCIに関する材質/相について硬さのデータが取得できる見込み。（別紙参照）

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

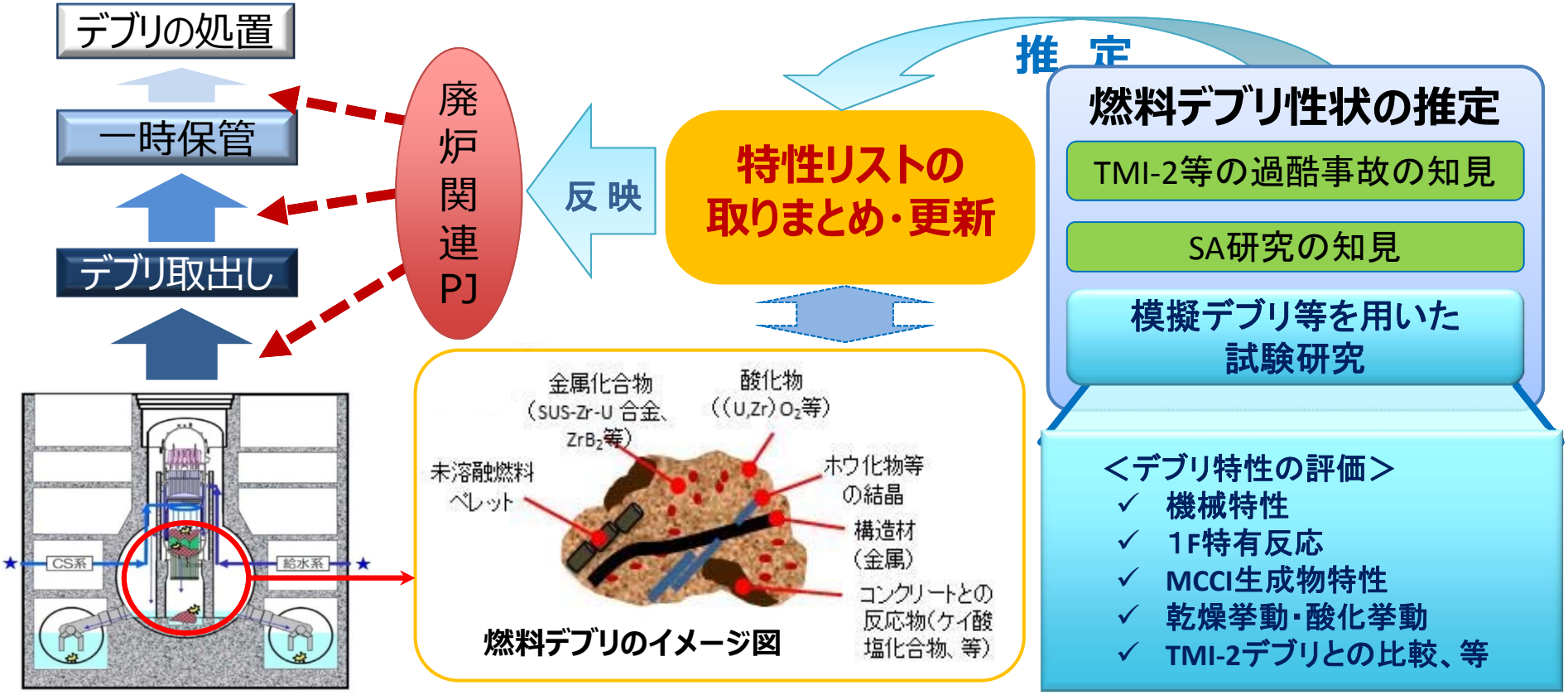
プロジェクトの目的(1)　燃料デブリ性状把握の目的

背景：

【背景】１Fでは、TMI-2と異なる、種々の燃料デブリの生成が想定される。福島廃炉技術開発の関連PJ*)では、燃料デブリの特性（機械的特性、熱的特性等）情報が必要。

（＊燃料デブリ取出技術開発PJ、収納・移送・保管技術開発PJ、臨界管理技術開発PJ、計量管理技術開発PJ）

● 本PJでは過去の過酷事故やSA研究の知見に加えて、模擬デブリ等を用いた研究を行い燃料デブリ性状を推定、各PJへ情報を提供する。



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning