

## - 参考資料 -

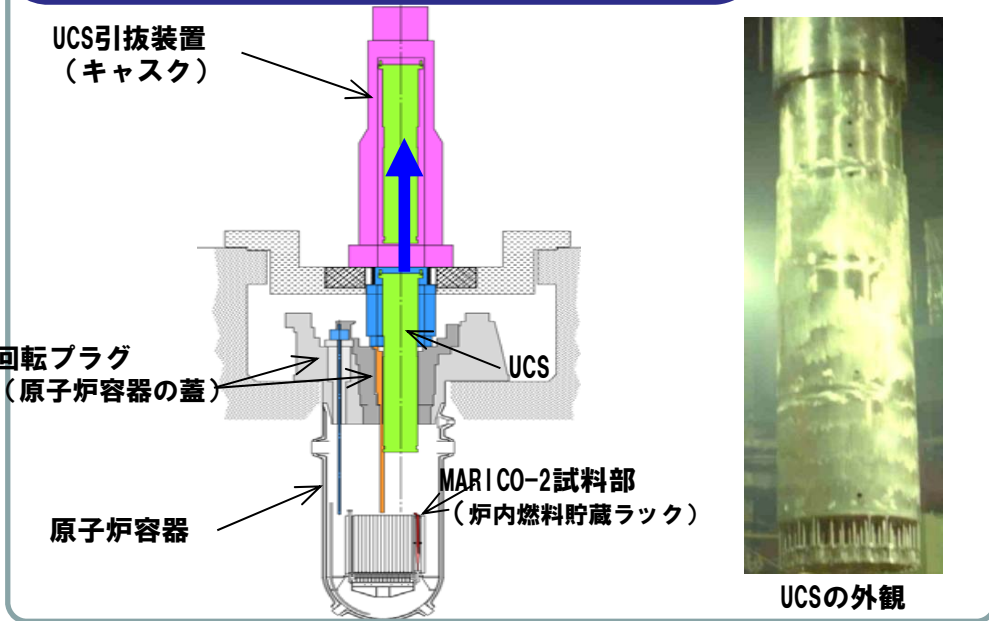
1. 「常陽」の復旧計画
2. MA含有燃料、高Pu富化度燃料の照射試験実績  
(酸化物燃料)
3. MA含有燃料、高Pu富化度燃料の核分裂生成物  
(FP)の照射挙動
4. Puの同位体組成の例と核的特性
5. 廃棄物減容、有害度低減の効果に関する補足説明

平成24年11月21日

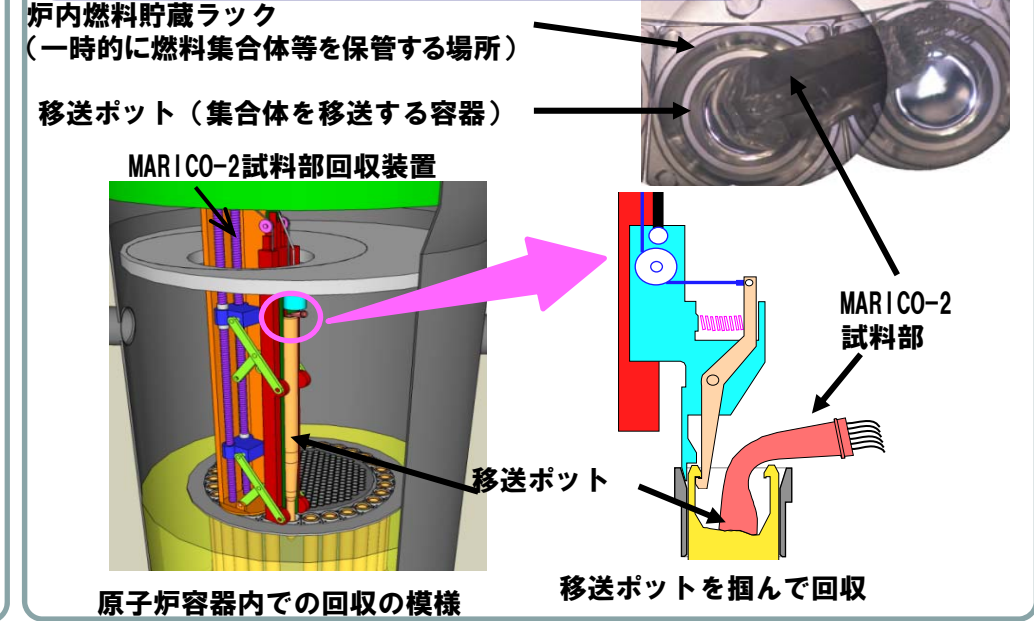
独立行政法人 日本原子力研究開発機構

「常陽」は、原子炉容器内での計測線付実験装置MARICO-2の試料部の変形により燃料交換機能を喪失しており、またMARICO-2試料部との接触により、炉心上部機構(UCS)の下端に変形が生じている。H23年度より復旧機器の設計・製作に着手し、H24年度はUCS引抜き等のモックアップ試験、新UCS製作、MARICO-2試料部回収装置の製作等を実施している。H26年度内に復旧を完了する予定である。

**UCSの交換**：変形したUCSを回転プラグから引き抜き、新たに製作したUCSと交換



**MARICO-2試料部の回収**：UCS引抜き後の貫通孔から試料部を回収



主な作業項目	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度
旧UCSジャッキアップ装置、引抜治具等の製作		UCS模擬体、監視装置の製作		ジャッキアップ装置の製作 機能確認試験
新UCS等の製作				
旧UCS引抜き・新UCS装荷作業			引抜き	装荷
MARICO-2試料部の回収	回収装置の製作			回収
設備復旧・燃料交換等				



# 参考資料-2 MA含有、高Pu富化度酸化物燃料の照射試験

## ① 実績概要

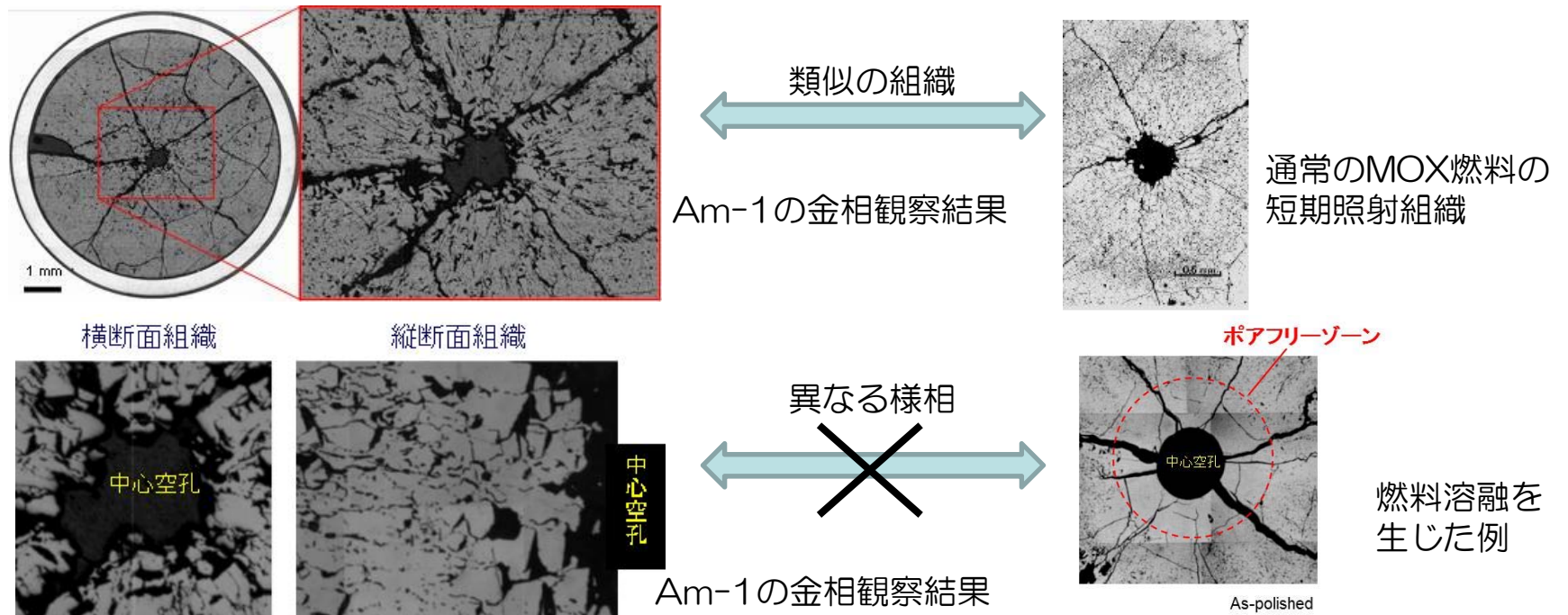
試験名称		実施機関	燃料仕様										照射試験の種類と規模					照射条件	
照射炉	試験名		燃料組成					ペレット密度 (%TD)	ペレット外径 (mm)	O/M比 (---)	被覆管材	試験燃料有効長 (mm)	燃焼初期試験		燃焼蓄積試験			ピン最大線出力 (W/cm)	ピン最大燃焼度 (at%)*4
			Pu/HM (%)	Am/HM (%)	Np/HM (%)	Pu <sub>f</sub> /Pu (%)	U235/U (%)						高線出力試験	熔融試験	短尺ピン	実規模燃料ピン	実規模燃料集合体		
常陽	Am-1(短期)	JAEA	30	3, 5	--	45.9	0.73	93	6.5	1.98	15Cr-20Ni	200	○	--	--	--	--	450	短時間照射
			30	3, 5	--	45.9	0.73	93	6.5	1.95 1.98	15Cr-20Ni	200	○	--	--	--	--	453	短時間照射
			29	2	2	71.7	8.6	93	5.4	1.98	PNC316	200	○	--	--	--	--	444	短時間照射
			29	2	2	71.7	8.6	93	5.4	1.95 1.98	PNC316	200	○	--	--	--	--	443	短時間照射
常陽	B-14	JAEA	31	2.4	--	72.1	12.0	85	5.4	1.96 1.98 2.00	PNC316	400	○	--	--	--	476	短時間照射	
ATR (米)*1	AFC-2C	INL	20	3	2	不明	不明	81*3	4.88	1.95 1.98	HT-9	50.8	--	--	○	--	--	~350	≥10
	AFC-2D		20	3	2	不明	不明	81*3	4.88	1.95 1.98	HT-9	50.8	--	--	○	--	--	~350	≥25
BOR-60	DOVITA*2	RIAR	--	--	5	--	75	--	--	--	ChS-68	350	--	--	--	○	--	500	19.5
フェニックス (仏)	SUPERFACT	CEA/ITU	24	--	2	70.8 *5	0.7 *5	98	5.4	1.94	DIN1.4970	850	--	--	--	○	--	380	6.4
			24	2	--			96	5.4	1.96	DIN1.4970	850	--	--	--	○	--	380	4.1
EBR-II (米)*6	HEDL/ANL 08	HEDL/ANL	40	--	--	非公開	非公開	90	6.5	1.97	20%CW 316SS	305	--	--	--	○	--	~400	9.5
フェニックス (仏)	CAPRIX1	CEA	45	--	--	不明	不明	91.2	5.42 内径2.0	1.96	AIM1	850	--	--	--	○	--	~450	10

\*1: ATR(熱中性子試験炉)においてCdシュラウドにより熱中性子を除外した中性子スペクトルにより照射、 \*2: RIAR型バイパック燃料、\*3: スミア密度、  
\*4: 燃焼度 1at%=9.4~9.5GWd/t、\*5: C.T. Walker, G. Nicolaou, J.Nucl. Mat. 218(1995) 129-138、 \*6: 右記以外にORT定常照射、ORT過渡照射の各試験でPu40%のMOX燃料の照射試験が実施されている。

## ② Am-1短期照射(1/3)

### Am-1照射試験 (JAEA、2006年) \*

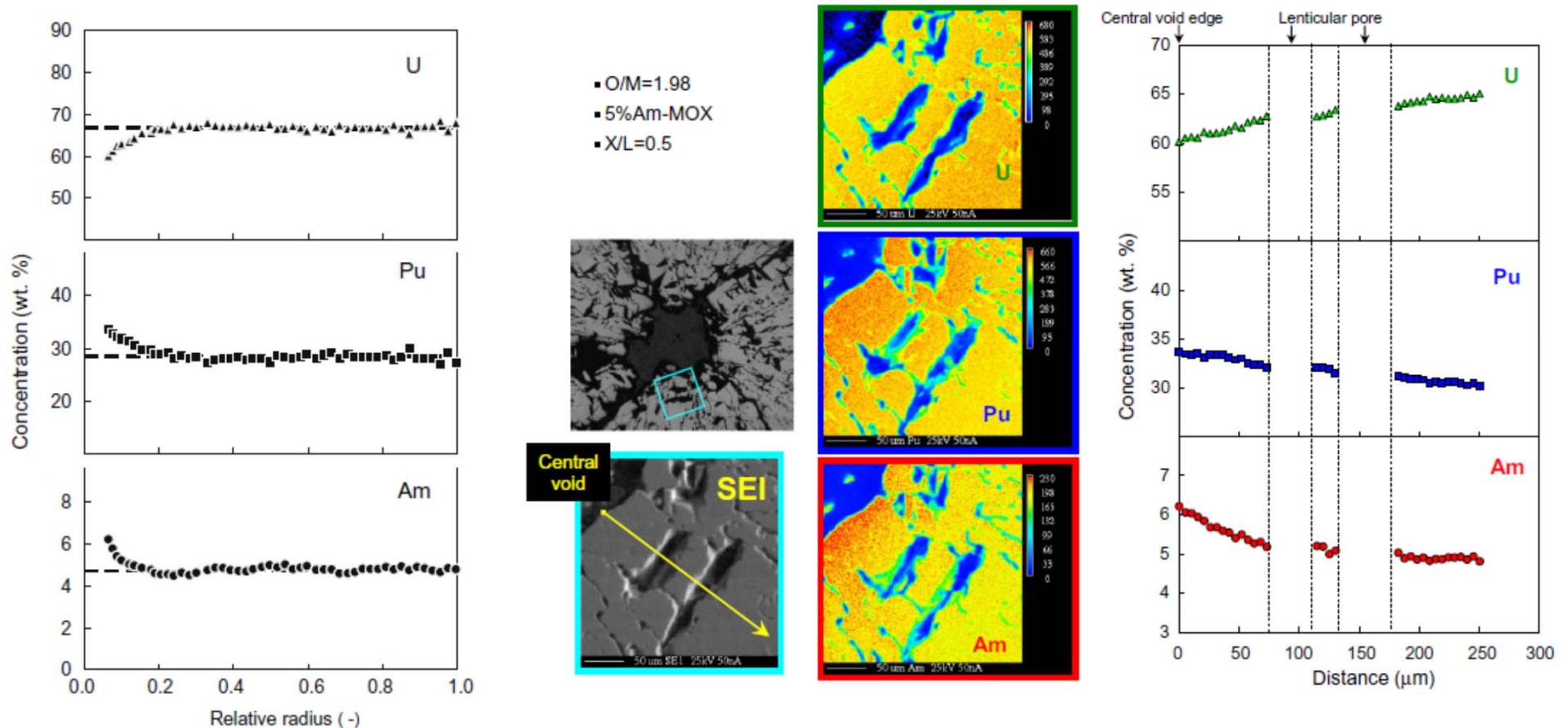
- 照射燃料： Am (3%or5%) 含有MOX燃料；3ピン、  
Am (2%) +Np (2%) 含有MOX燃料；3ピン
- 照射条件： 線出力；430W/cm、短期照射 (10min.、24hr.)
- 結果：
  - 10min.の短期照射中に燃料組成変化を開始 (中心空孔形成・レンズ型ボイドの発達)
  - Am含有MOX燃料の短期照射後の組織は、通常MOX燃料と類似の形態である。
  - ポアフリーゾーン (燃料溶融した場合で観察される典型的な組織形態) は認められず、本試験条件下において燃料溶融は認められなかった。(溶融防止に係る裕度確認)



\*【出典】K. Tanaka et al., "Microstructure and elemental distribution of americium-containing uranium plutonium mixed oxide fuel under a short-term irradiation test in a fast reactor", J. Nucl. Mater. 385, 407 (2009).

## ③ Am-1短期照射(2/3)

- 結果：
  - 10min.の短期照射中にPuとAmの再分布が認められた。
  - (中心空孔周辺でPuとAmの高濃度化)



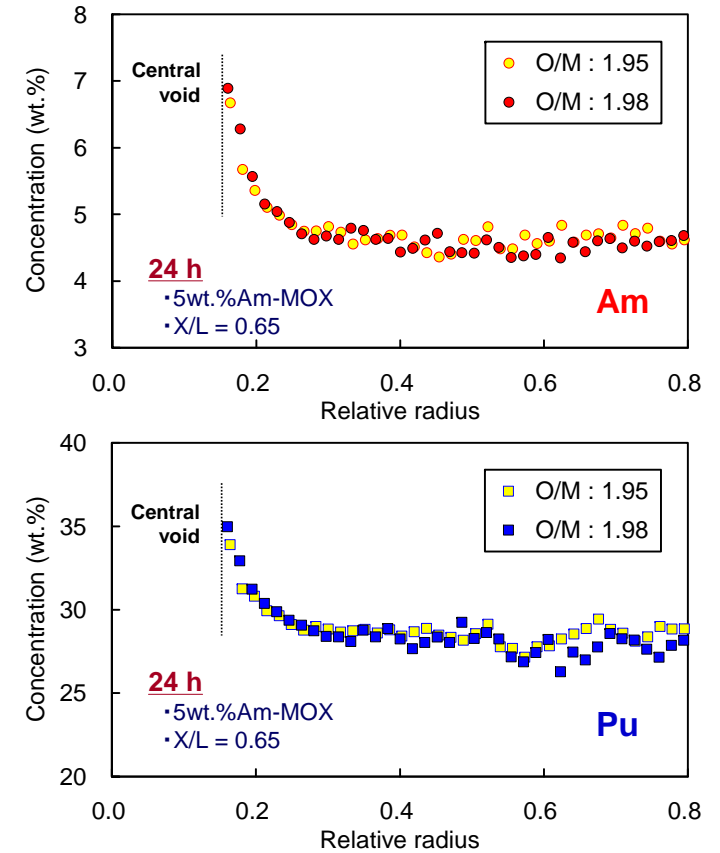
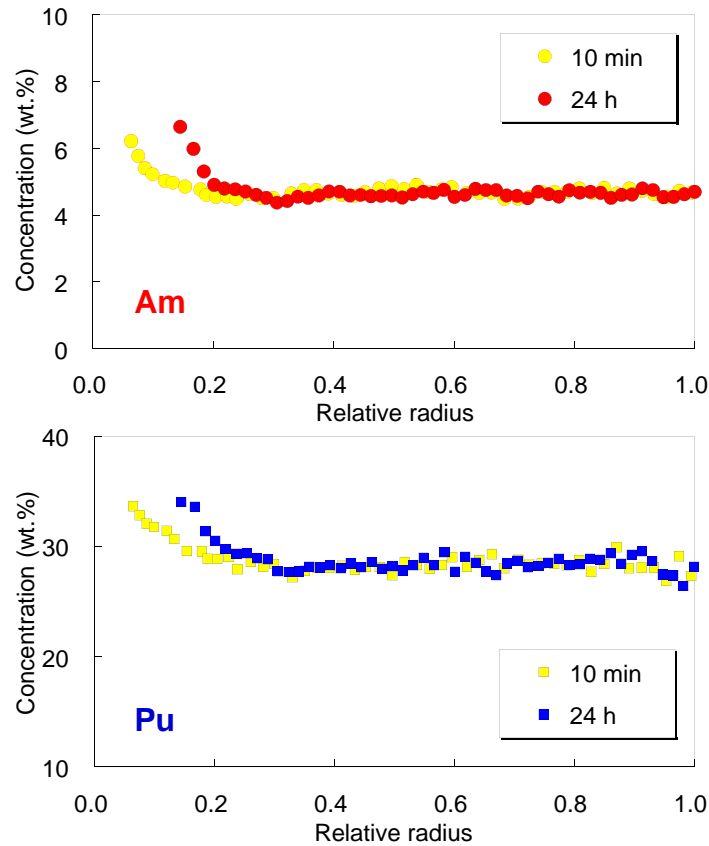
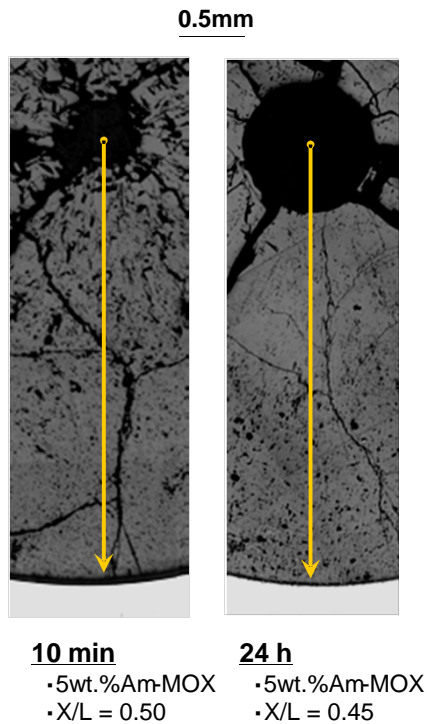
燃料ペレット径方向のU, Pu, Amの濃度分布

燃料ペレット径方向のU, Pu, Amの濃度分布 (中心空孔周辺詳細測定)

【出典】K. Tanaka et al., "Microstructure and elemental distribution of americium-containing uranium plutonium mixed oxide fuel under a short-term irradiation test in a fast reactor", J. Nucl. Mater. 385, 407 (2009).

## ④ Am-1短期照射(3/3)

- 結果：
  - 照射時間の伸展（10min→24h.）により、中心空孔径が拡大すると共にPu及びAmの再分布挙動が進展することが認められた。
  - Pu及びAm再分布挙動の初期O/M比依存性が認められた。



10min.照射及び24h.照射した5%Am-MOX燃料における組織変化と燃料ペレット径方向のU、Pu、Amの濃度分布

燃料ペレット径方向のU、Pu、Amの濃度分布におよぼす初期O/M比の影響（24h.照射した5%Am-MOX燃料）

【出典】K. Tanaka et al., "Restructuring and redistribution behavior of actinides in 3% and 5%Am-containing MOX fuels at the initial stage of irradiation", J. Nucl. Mater. to be submitted.

## ⑤ B14照射

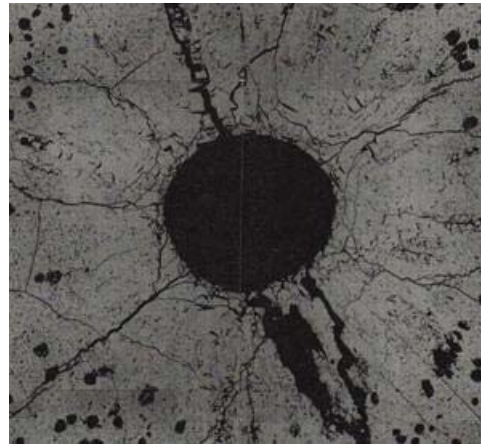
### B14照射試験 (JAEA、2007年) \*

- 照射燃料：Am (2.4%) 含有低密度MOX燃料 (もんじゅ仕様) ; 4ピン (製造時ギャップ幅及びO/M比をパラメータ)
- 照射条件：線出力；476W/cm、短期照射 (約350~385W/cmで48h保持後、476W/cm で10min照射)
- 結果：
  - Amによる燃料融点及び燃料熱伝導度の低下が生じるが、「もんじゅ」燃料の設計線出力を超える条件でも燃料溶融が防止された。
  - 高O/M比 (2.00) のペレットでは中心空孔径が拡大する傾向が認められた。
  - 製造時ギャップ幅の拡大に伴い中心空孔径も拡大する傾向が認められた。

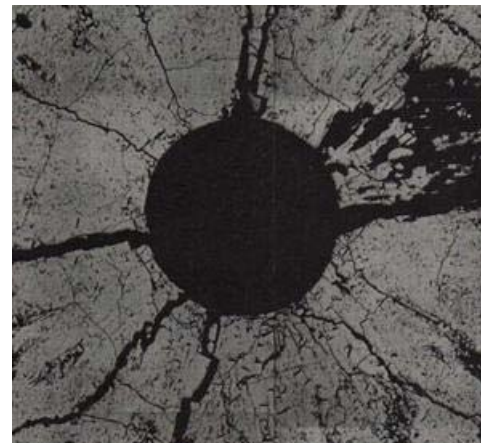
1.0mm



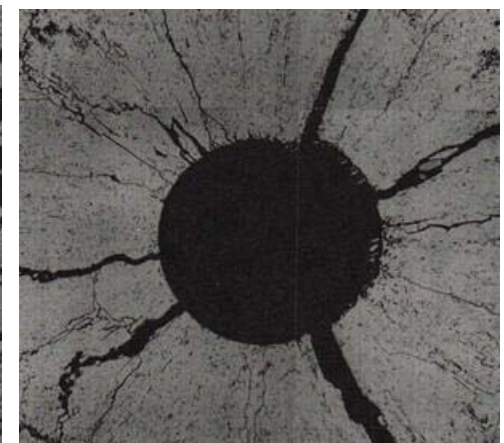
O/M=1.96, ギャップ幅160µm



O/M=1.98, ギャップ幅160µm



O/M=1.98, ギャップ幅200µm



O/M=2.00, ギャップ幅200µm

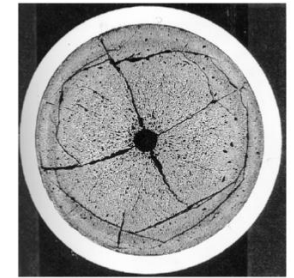
\*【出典】 日本原子力学会 2009年秋の大会 Am含有MOX燃料高線出力試験(B14照射試験) N07~N13

## ⑥ 仏国SUPERFACT、米国ATR-AFC

仏国 Phenix 炉（高速炉原型炉）での照射

SUPERFACT照射試験（CEAとITUの共同、1986-1988年）\*

- 照射燃料：Am（2%）含有MOX燃料；2ピン、  
Np（2%）含有MOX燃料；2ピン
- 照射条件：線出力；380-350W/cm、燃焼度；6.7at%
- 結果：
  - ・ 核変換率； 30% ( $^{237}\text{Np}$ )、28% ( $^{241}\text{Am}$ ) 【炉心中央にて】
  - ・ 通常のMOX燃料と同様の燃料組織を呈した
  - ・ U, Pu, Am, Npの径方向分布は平坦（アクチノイドの再分布なし）
  - ・ 本試験の条件のような線出力、MA含有量、燃焼度の条件では、MA含有の影響は見られない（ただし、Am含有燃料では、He放出が通常のMOX燃料の4倍であった）。



2%Am燃料

米国ATR炉（熱中性子試験炉）での照射\*\*

AFC照射試験（2003年～）

- AFCI（Advance Fuel Cycle Initiative）の枠組み
- 金属燃料、酸化物燃料、窒化物燃料について、種々のパラメータを変えたMA含有燃料の照射試験を実施
- 照射条件の例（AFC-2C, 2D）（Cdシュラウドにより熱中性子を除去した中性子スペクトル適用）
  - 線出力；350W/cm
  - 燃焼度；10at% (2C)、25at% (2D)
  - MA含有量；3%Am+2%Np含有MOX燃料ピン

\*【出典】C. T. Walker et al., "Transmutation of neptunium and americium in a fast neutron flux: EPMA results and KORIGEN predictions for the superfact fuels", J. Nucl. Mater. 218, 129 (1995)

\*\*【出典】H. J. MacLean, et al., "Irradiation of Metallic and Oxide Fuels for Actinide Transmutation in the ATR", Global '07, p.1341, Boise, Idaho, USA, Sep. 9-13, (2007)





## 参考資料-2 海外での高Pu富化度MOX燃料の照射試験実績

### ⑦ 米国EBR-II HEDL/ANL-08

米国EBR-II炉（高速炉実験炉）での照射(HEDL/ANL-08)\*

- 照射燃料：ピン外径： $\phi 7.62\text{mm}$ 、ペレット外径： $\phi 6.5\text{mm}$ 、  
Pu富化度：30%及び40%、ペレット密度：90%TD、O/M：1.97
- 照射条件：線出力： $\sim 400\text{W/cm}$ 、燃焼度： $\sim 9.5\text{at\%}$ 、

○結果：

- 燃料カラム長増加：通常のピン（Pu富化度 $\sim 25\%$ ）と同様。
- FPガス放出：通常のピンと同様。
- 組織変化：ペレット外周の形状(円)がよく維持されている。
- FCCI：FCCI深さは通常のピンの半分程度。  
Pu富化度30%のピンは40%のピンより約20%小さい。
- FP拳動：ペレット外周部のFPと燃料の反応量は通常のピンより少ない。

⇒ 通常MOX燃料ピンに比べ特段に不利になる拳動は認められなかった。

\*【出典】L. A. Lawrence, "Performance of High Plutonium Weight Fraction Mixed-Oxide Fuel", Trans. Am. Nucl. Soc., 44, 256(1983)



## 参考資料-2 海外での高Pu富化度MOX燃料の照射試験実績

### ⑧ 米国EBR-II ORT

#### 米国EBR-II炉（高速炉実験炉）での運転信頼性試験(ORT)（PNC/DOE）

ORTは、高速増殖炉の運転信頼性を確立するため、米国エネルギー省(DOE)との日米共同研究として1981年10月から開始された(Phase-1試験)。

その後、1987年9月からは、試験の内容を拡張したPhase-2試験が実施された。

- Phase-1試験：「もんじゅ」燃料を対象に高速炉燃料の運転過渡時の信頼性が極めて高いことを示した。
- Phase-2試験：実証炉用の高性能燃料を対象に運転信頼性評価に係るデータベースの拡充と、より高度な定量評価を実施した。

高Pu富化度燃料は、Pu富化度40wt.%のMOX燃料ピン4本をPhase-1において9at.%まで照射（定常または15%繰り返し過渡照射）した。いずれのピンも破損は生じず、健全であることを確認した。