

玄海原発3号炉での MOX燃料使用の問題点

第2版

2006年4月21日

上澤千尋

kamisawa@cnic.jp

原子力資料情報室

東京都東中野1-58-15-3F



玄海原発 3号炉

電気出力118万kW， 加圧水型炉（4ループ）

1994年3月18日運転開始.

炉心：ウラン装荷量89トン， 193集合体.

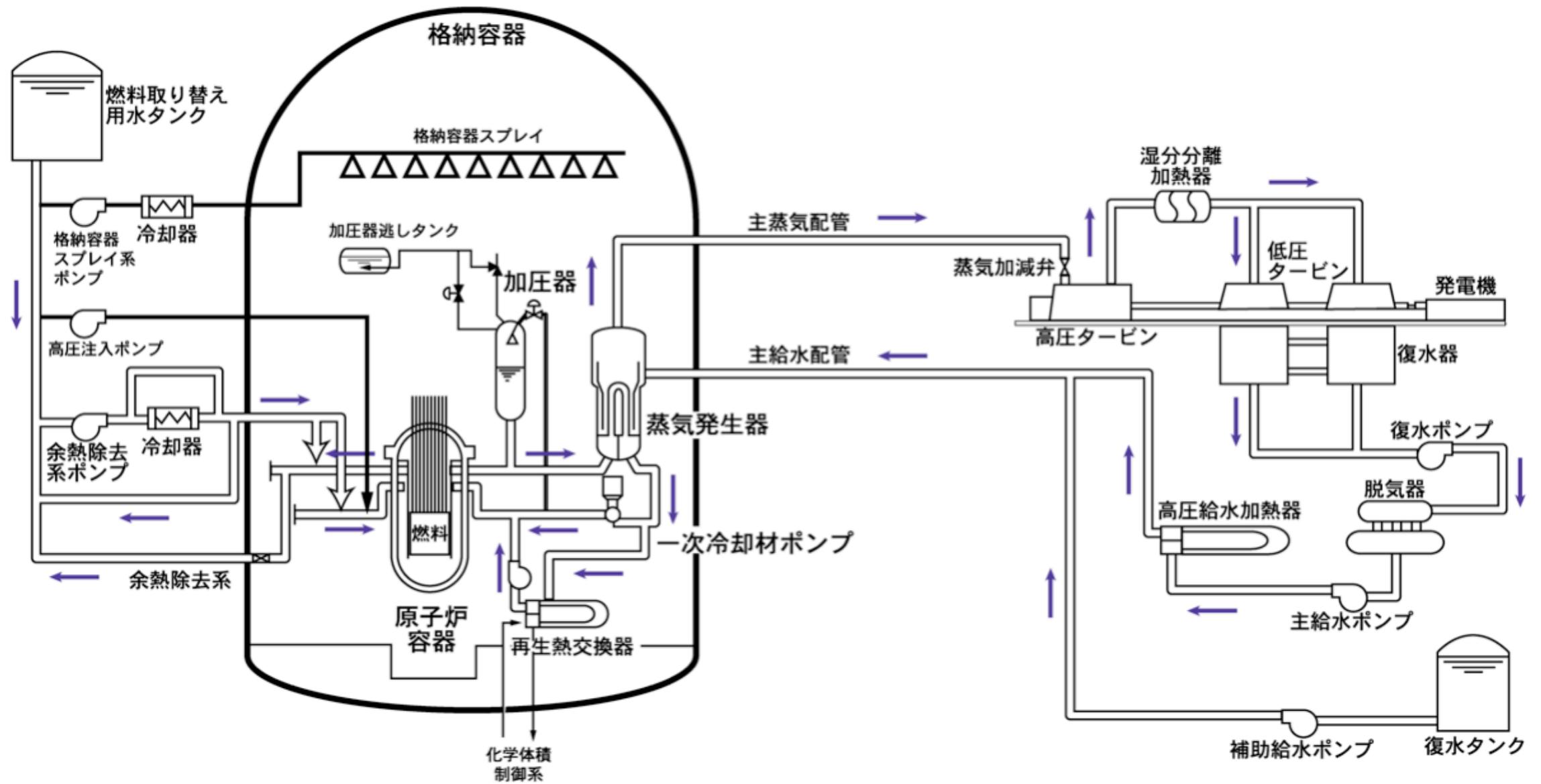
2004.5.28 MOX使用の原子炉設置変更申請.

2005.9.7 設置変更許可.

2006.3.26 MOX使用に係わる地元の事前了解.

加圧水型炉のしくみ

加圧水型原発のしくみ

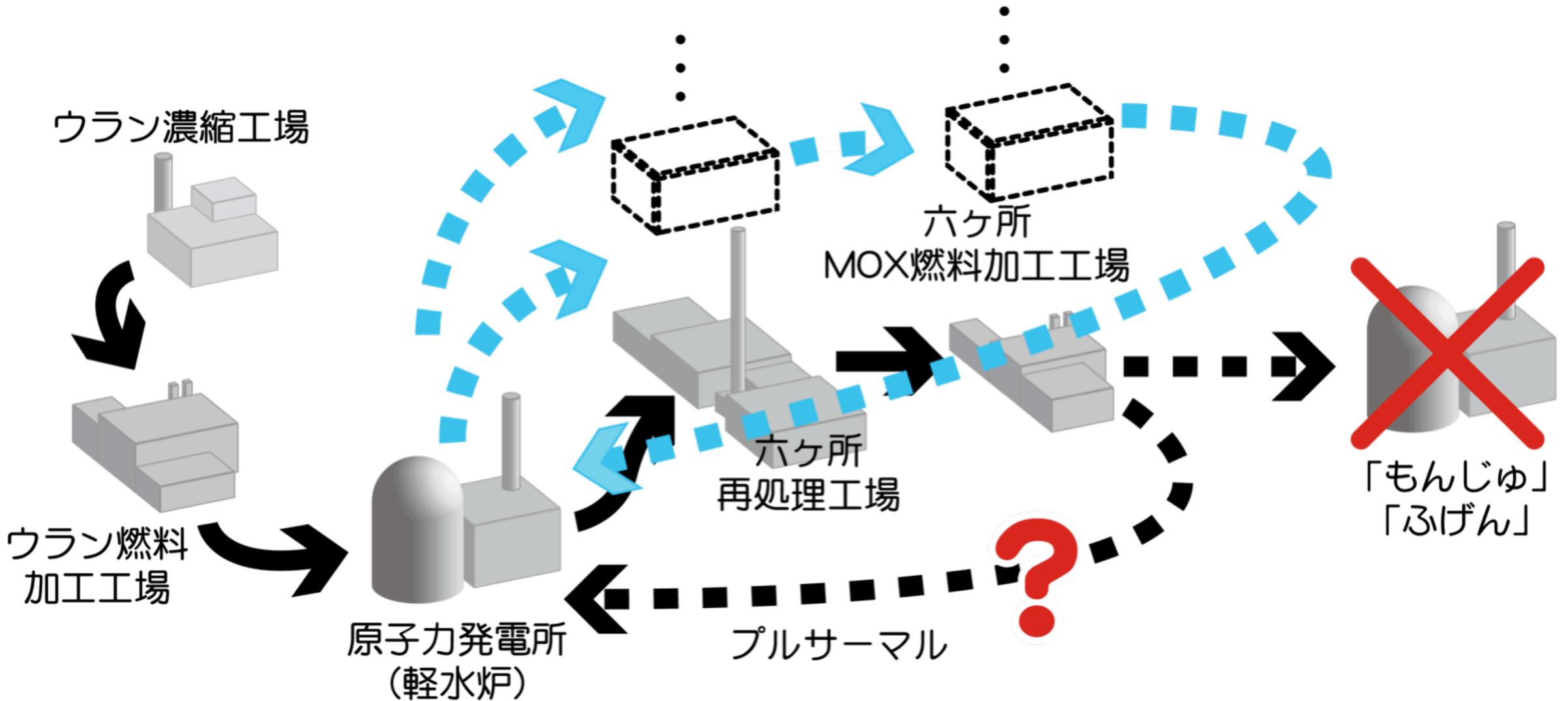


プルサーマルの必要性とは？

・・・誰にとって必要なのか？

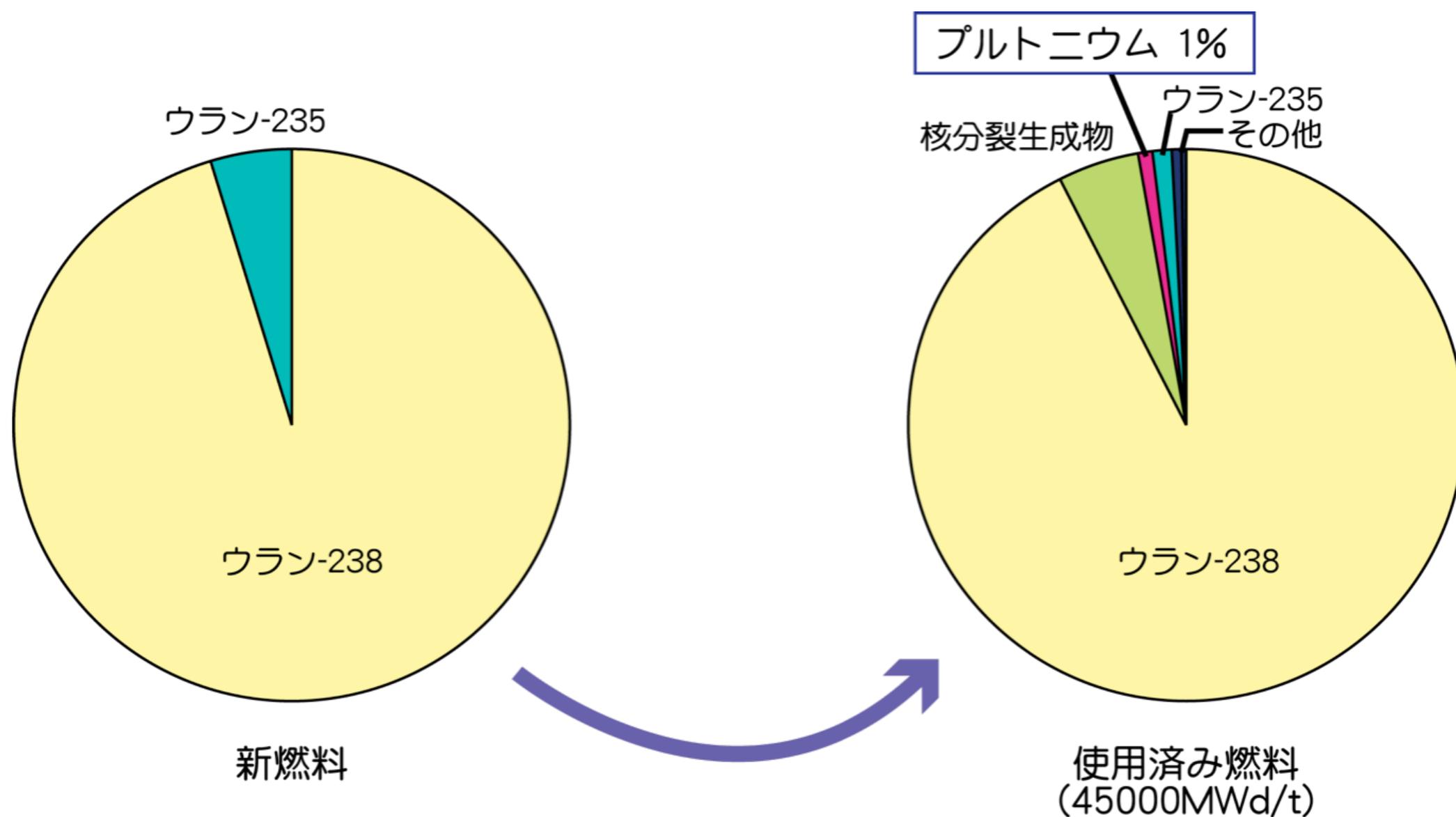
- ウラン資源の節約（？）
- 余剰プルトニウムをもたない国際公約
→プルトニウムの消費[40t以上]（？）
- 使用済み燃料（核のゴミ）対策を含めた六ヶ所再処理工場の理由づけ
- 原発運転の継続の理由づけ
→核燃料サイクル破綻の後始末

核燃料サイクルの現状 . . .



. . . 核のスパイラル（らせん）が構築される見通しが無い今、
需給・技術的な点から、プルトリウム利用の意味はない。

リサイクルできない使用済み燃料



再処理してとり出せるプルトニウムは1%以下

回収ウランにはU-232が含まれるため、被曝の危険性が高い

回収ウランにはU-236が含まれるため、燃焼のじゃまになる

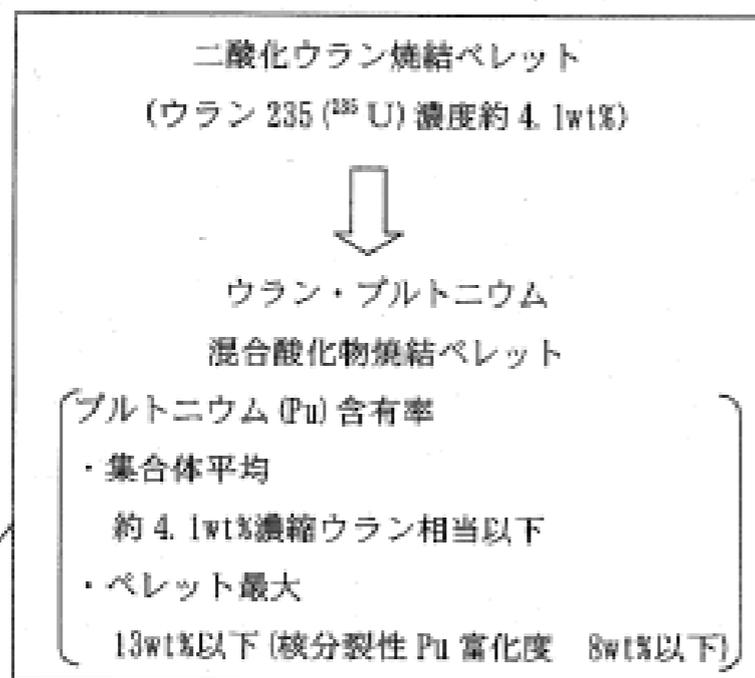
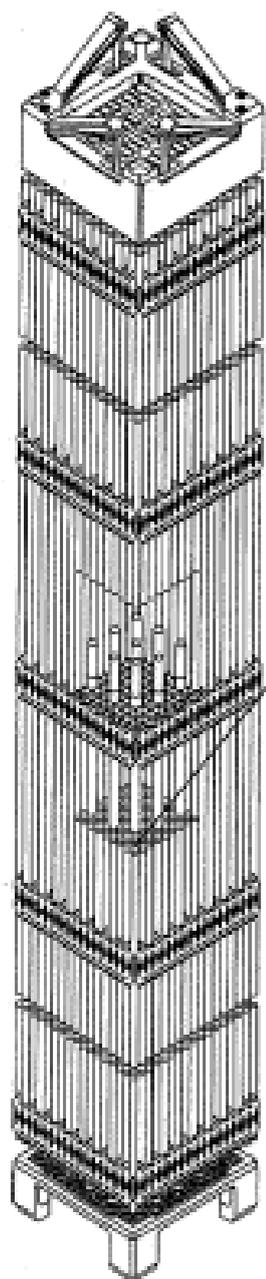
プルサーマル計画の現状



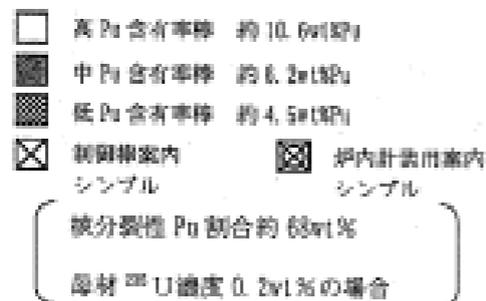
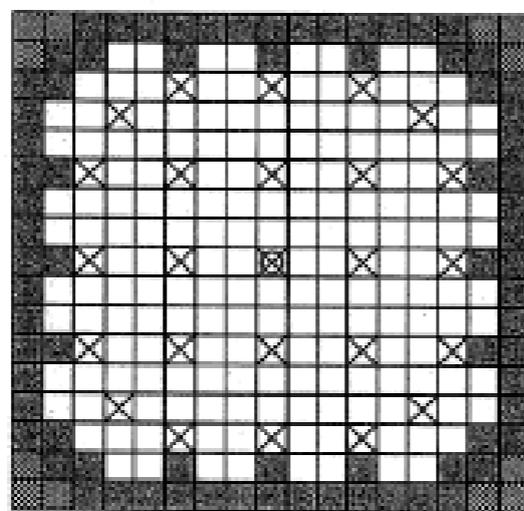
全く進まないプルサーマル

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2010年までの計画
東京電力	福島第一3	X	X	X	X	X	X	X	1基
			(福島県知事MOX装荷拒否)		トラブル隠し発覚で 事前了解撤回				1基
		柏崎刈羽3	X	X	X	X	X	X	0~1基
			(刈羽村住民投票MOX拒否)				1基	0~1基	0~1基
関西電力	高浜4	X	X	X	X				1基
		高浜3	X	X	X				1基
		(燃料の検査データ改ざん発覚)				美浜3 配管破裂死傷事故	X	X	1~2基
中部電力				X					1基
				MOX申し入れ断念 (浜岡1で配管破裂・圧力容器漏洩)					1基(浜岡4)
九州電力					(2000年代初頭の実施断念)				1基
日本原電							敦賀2・東海第二		1基
北海道電力									1基
東北電力									1基
北陸電力									1基
中国電力									1基(島根2)
四国電力									1基
									伊方3 審査終了
電源開発			X		X		X	X	1基
			大間の 安全審査一時凍結		運転開始予定を 2012年に延期				大間 審査中

玄海3号炉のMOX燃料



集合体内 Pu 含有率分布



17行17列の燃料集合体

(燃料棒264本, 制御棒シンブル24本,
炉内モニターシンブル1本)

[Pu_f 68%, 母材の劣化ウラン0.2%の場合]

Pu富化度の違う

3種類のMOX燃料棒

(Pu_t: 10.6, 6.2, 4.5%)

集合体平均Pu富化度9%

集合体1体当たり (約460)

約41kgのPuが入っている。

玄海3号炉のMOX燃料の装荷量

193体中48体まで。

(集合体数にして約1/4 [約24.9%])

Pufにして1.36トン

(核分裂性物質重量の約1/3 [約32.8%])

[Puf 68%, 母材の劣化ウラン0.2%の場合]

(参考)

柏崎刈羽3号炉 (BWR) の場合

764体中312体まで：集合体数にして約40.8%

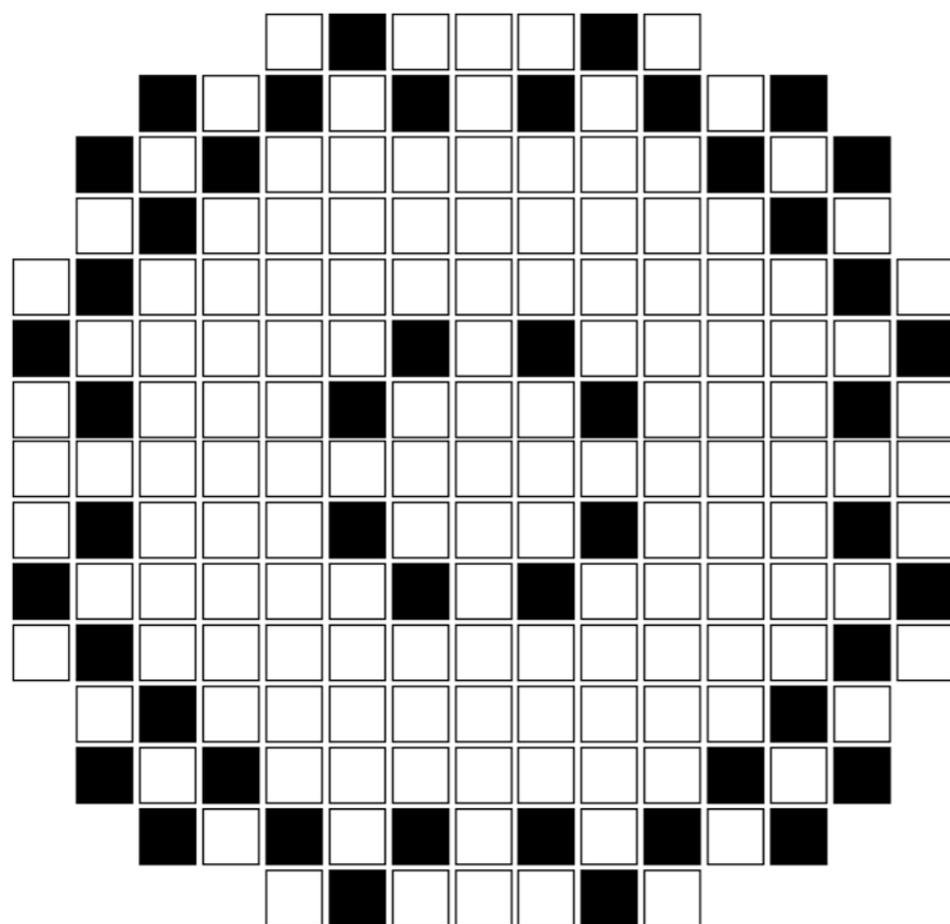
Pufにして1.53トン：核分裂物質重量の約32%

集合体Pu平均富化度4.3%

MOX1体 (170kg) あたり約7.3kgのPu

[Puf:67%, 母材中U-235:0.2%,

MOX集合体のウラン棒のU-235:1.0%]



■ MOX 燃料 (48 体) □ ウラン燃料 (145 体)

玄海3号炉の
設置変更許可申請書をもとに作成。

MOX燃料の使用実績

世界の軽水炉におけるMOX燃料の使用実績



注) 日本では軽水炉以外にATR「ふげん」で772体の使用実績がある。(2003年3月)



←燃料の型 (BWRとPWRでは大きさが違う) やPuの富化度などを無視して、MOX燃料棒が入った燃料集合体をすべてひとしく1体と数えていることに注意。

出典：資源エネルギー庁「原子力2005」他

日本でのMOX使用実績

敦賀1号炉 (BWR) で2体 (Puf 2kg/体) [全炉心は308体]

美浜1号炉 (PWR) で4体 (Puf 10kg/体) [全炉心は121体]

MOXの安全上の問題

物理化学的性質

- 融点が下がる. (40~70度) → 燃料の溶融破損
- 熱伝導度が下がる.
- 未使用MOXは硝酸に溶けやすい. → 核拡散上の問題
- 希ガス (FP, $\alpha \rightarrow \text{He}$) の放出率があがる. → 被曝の危険性が増す

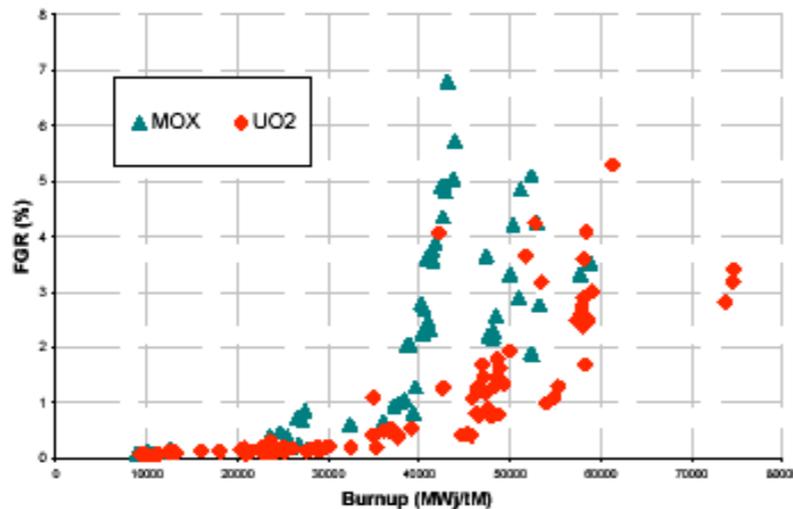
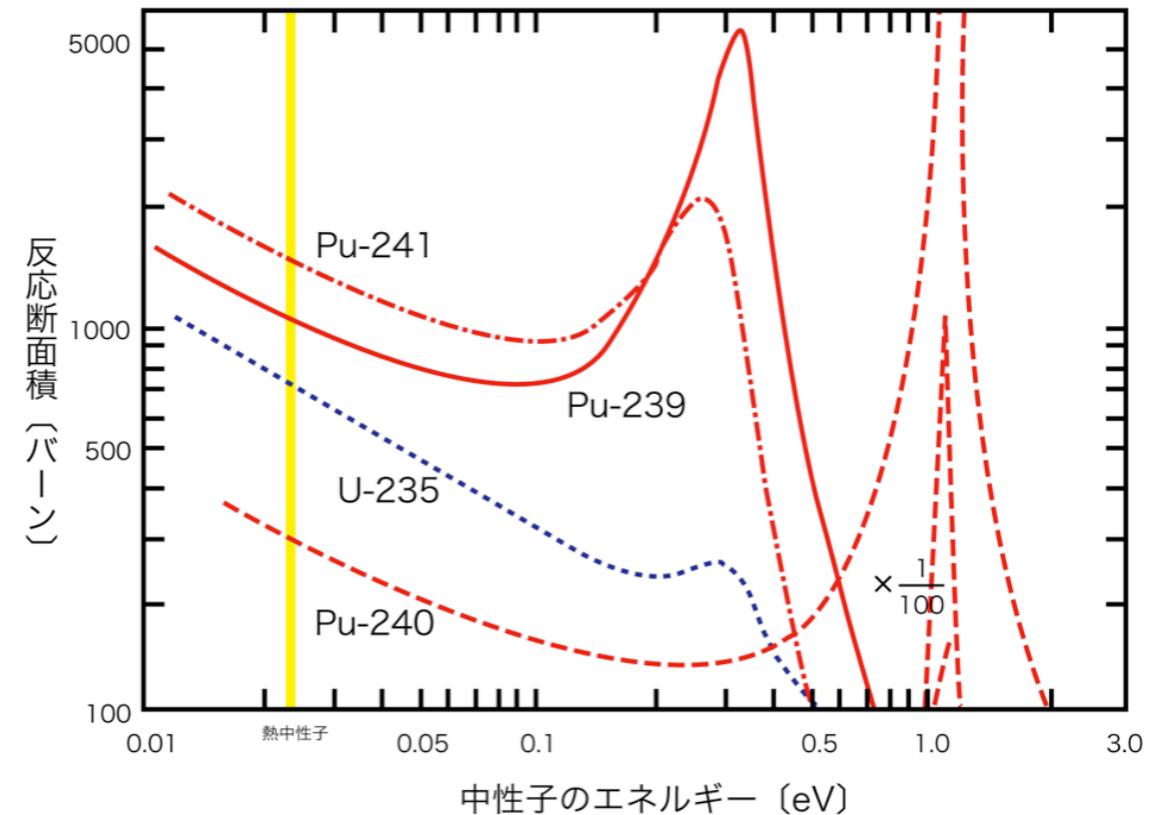


Figure 1. Fractional fission gas release as a function of burnup (French EDF 17x17 900 MWe reactor data)

MOXの安全上の問題

核的特性

ウランとプルトニウムの中性子反応断面積



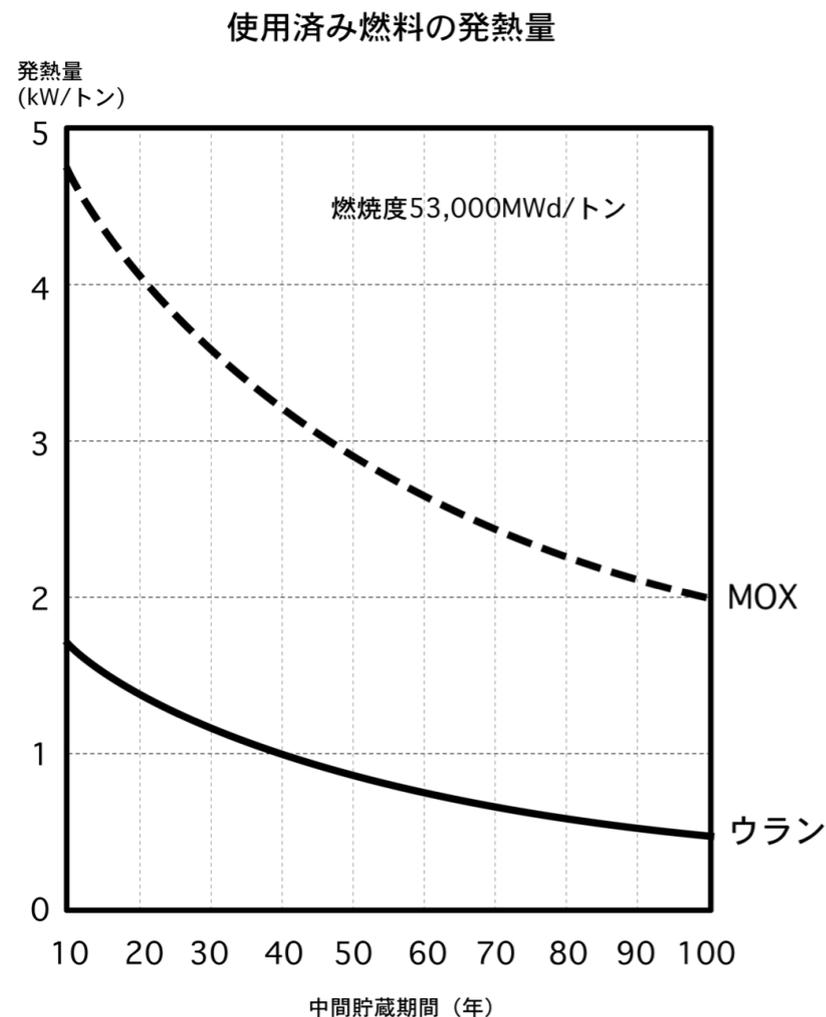
H.W.グレイブス「核燃料管理の方法と解析」所収の図に加筆

- 中性子を吸収しやすい。→制御棒，ホウ素の価値下がる
- ヨウ素，トリチウムの生成量が増す。
- アクチニド（Np-237, Pu-240, Pu-242, Am-241, Cm-242, Cm-244）の生成量が5～10倍程度に増す。
→事故時の被曝の影響を増大

MOXの安全上の問題

放射線

- アルファ線が増える.
- 中性子線が増える, 「硬く」なる.



→原子炉圧力容器の脆化

→労働者の被曝増大

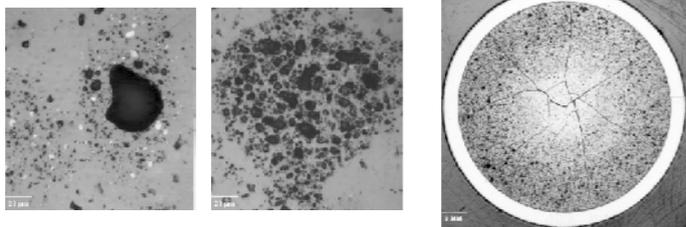
→使用済み燃料の発熱量増大

→使用済み燃料, 廃棄物管理の困難

MOXの安全上の問題

炉物理

- 制御棒, ホウ素価値下がる → 原子炉停止余裕減少
- 出力の局所的上昇 → 燃料棒の破損 (PuスポットによるPCIも)
- ドプラー係数がより負に → ある種の事故の危険性高まる
- ボイド係数がより負に (BWR) → 危険性高まる
- 減速材係数がより負に (PWR) → 反応度増加時の急な出力上昇
- 遅発中性子割合が減る (U-235:0.7% vs. Pu-239:0.2% & Pu-241:0.5%)
- 即発中性子寿命がより短くなる → 制御の困難,
→ LOCA時の再臨界



MOX燃料のトラブル事例

原発名	炉型	発生年	燃焼度 (MWd/t)	損傷の状況と原因
BR3 (ベルギー)	PWR	1972	30000	端栓の溶接不良が原因の損傷 (燃料棒1本)
		1980	35000	大量のクラッド付着による燃料被覆管の局所腐食 (燃料棒6本)
ベズナウ1 (スイス)	PWR	1990	15000	原子炉内に混入した異物によるへこみ (1集合体中の2本の燃料棒)
		1997	?	燃料被覆管に損傷 (3集合体中の3体) . 燃料製造工程中の問題か?
ドーデバルド (オランダ)	BWR	1973	10000	燃料被覆管の水素化 (燃料棒1本)
原子炉名不明 (ドイツ)			7000~14000	原子炉内に混入した異物による損傷 (2集合体中の2本の燃料棒)
			15000~ 29000	原子炉内に混入した異物による損傷 (1集合体中の1本の燃料棒)
			22000~ 37000	原子炉内に混入した異物による損傷 (1集合体中の1本の燃料棒)
ダンピエール1 (フランス)	PWR	1993	?	原子炉内に混入した異物による損傷 (1集合体中の1本の燃料棒)
トリカスタン2 (フランス)	PWR	1997	?	不明 (集合体1体)
高浜3, BNFL	PWR, MOX工場	1999	(製造時)	高浜3号炉用に製造していたMOX燃料ペレットの検査データをねつ造.
ダンピエール4 (フランス)	PWR	2001	?	燃料交換中に1体の装荷位置を間違えたために, MOX燃料を含む113体の集合体をつぎつぎと誤装荷. 仏規制当局の解析では臨界状態だった!

プルトニウムの毒性

(職業人に対する年摂取限度, ICRP Pub.30ベース)

	吸入		経口	
	ベクレル	μg	ベクレル	μg
プルトニウム239	590	0.26	2.7×10^6	1190
ウラン238	1500	1.2×10^5	8.1×10^6	6.5×10^8
原子炉級プルトニウム (33000MWd/t)	1.6×10^5	0.028	8.1×10^7	140

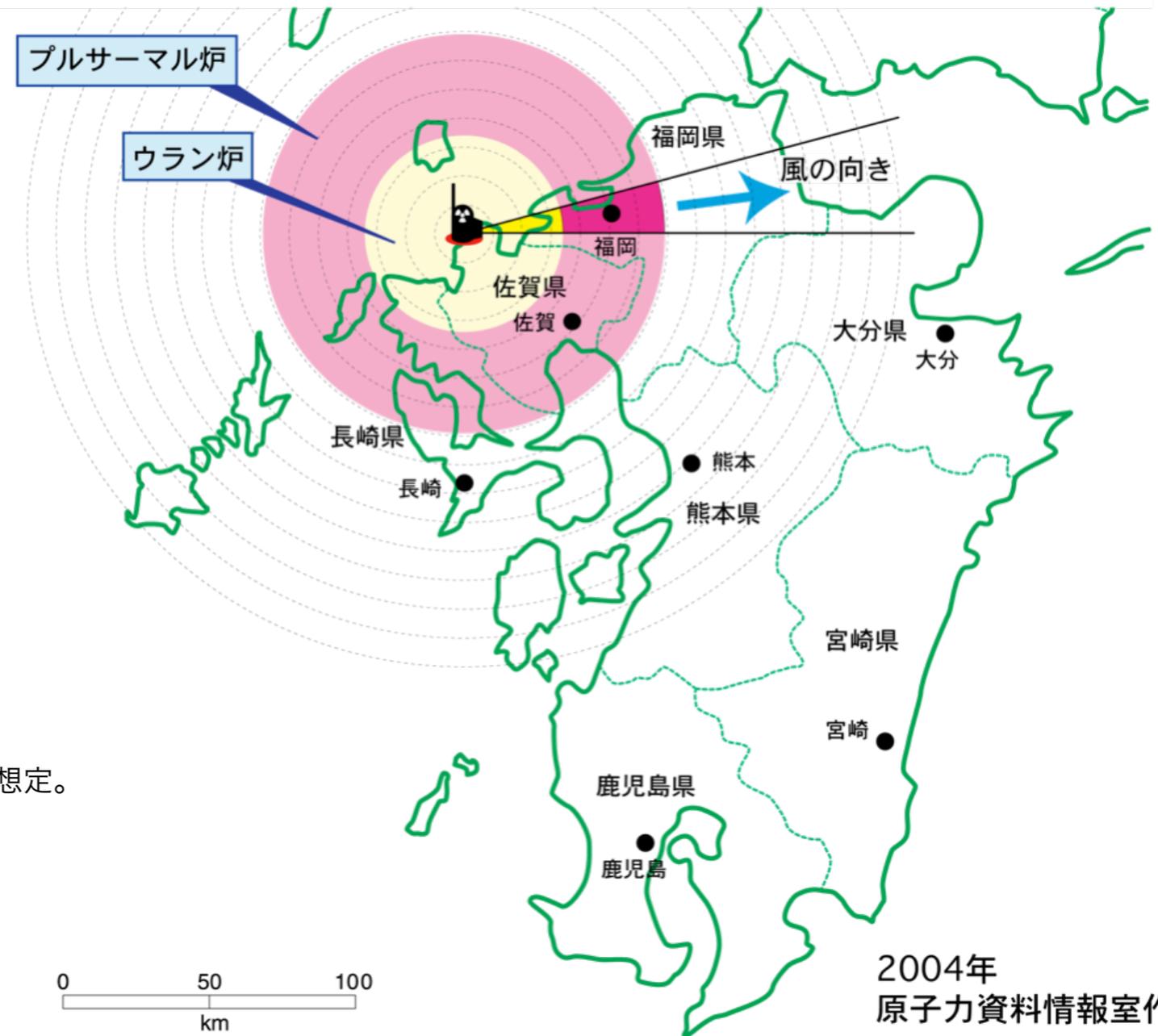
μg 数に注意

高木ほか「MOX総合評価」より

玄海原発・プルサーマル

大事故による被害範囲の拡大 (半数致死線量 (全身3シーベルト) 範囲の広がり)

被曝線量 (健康被害)	ウラン炉	プルサーマル炉
6シーベルト (全数致死)	19 km	40 km
3シーベルト (半数致死)	34 km	69 km
1シーベルト (急性障害・一部死亡)	76 km	148 km
250ミリシーベルト (急性障害)	196 km	382 km
50ミリシーベルト (職業人の年線量限度)	573 km	1072 km



事故規模：ラスムッセン報告のPWR2型事故が玄海3号炉で起きたと想定。

(出力118万キロワットの加圧水型炉が炉心溶融する。)

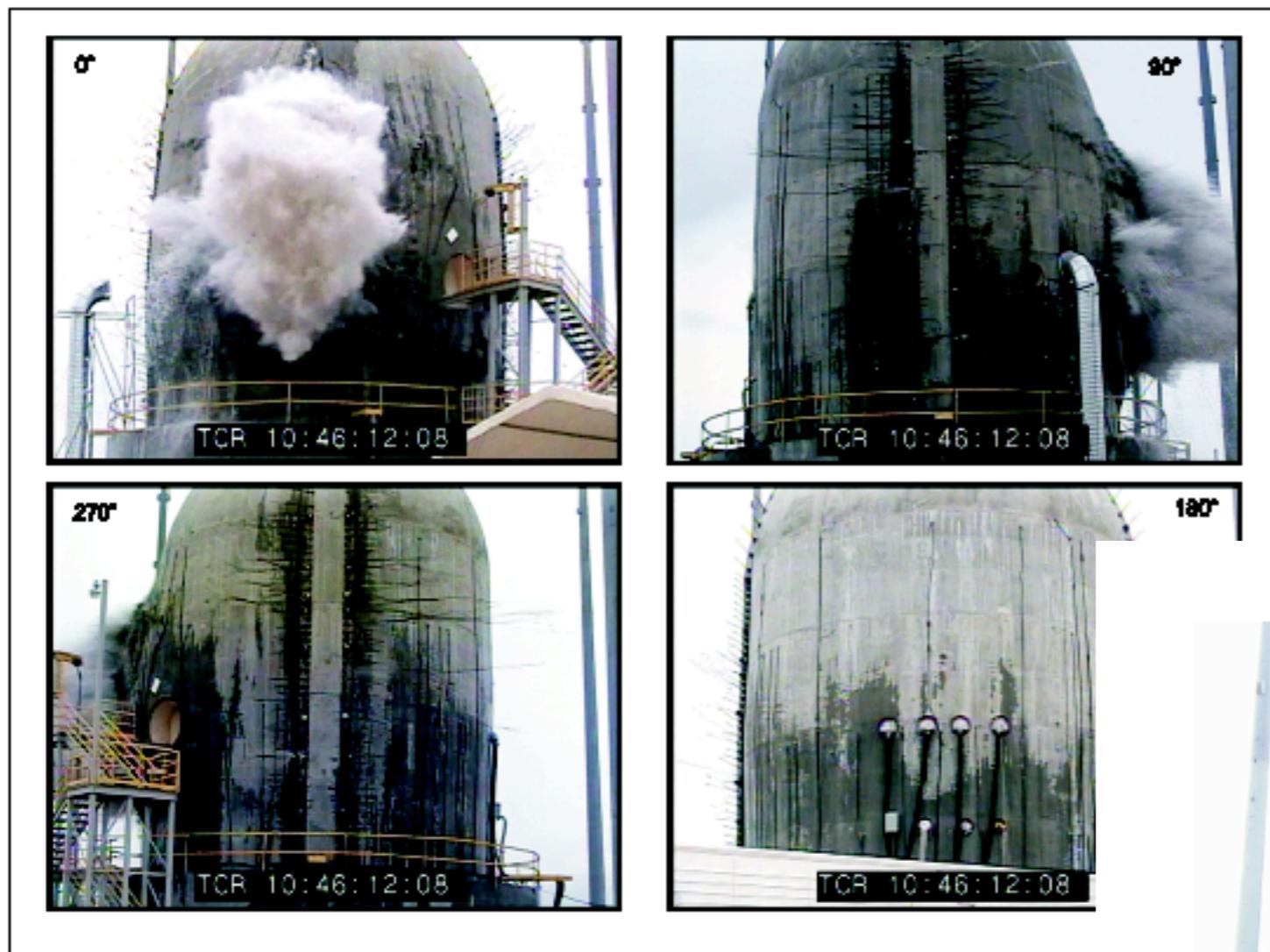
天候：晴れ (降雨なし), 風速・風向き：2 m/s、ほぼ真西

放射能雲の広がり角：15度

プルサーマル炉では炉心に蓄積したプルトニウムやアメリシウム、キュリウムの量がウラン炉に比べて5~10倍程度になり、住民の被曝に大きく影響する。 →立地指針, Puめやす指針の不備

格納容器破損実験

—シビアアクシデントに耐えられるか—



1/4スケールの模型実験では設計に十分な余裕がみこまれていないことがわかった。

Figure 9-2. PCCV SFMT: Photograph of Exterior of PCCV at Instant of Failure



NRCとNUPECらの共同実験

NUREG/CR-6809, NUREG/CR-6810より