

発電用軽水型原子炉施設に用いられる 混合酸化物燃料について(1/3MOX報告書)

	1/3MOX報告書	九電玄海3号炉
プルトニウム含有率 (ペレット最大)	約13%	約13%
核分裂性プルトニウム富 化度(ペレット最大)	約8%	約8%
炉心装荷率	1/3程度まで	1/4 48体/193体
最高燃焼度 MWd/t	45,000 <small>ウラン燃料を越えない範囲</small>	45,000

従来の設計を大幅に変更することなしに使用可能

発電用軽水型原子炉施設に用いられる
混合酸化物燃料について(1/3MOX報告書)

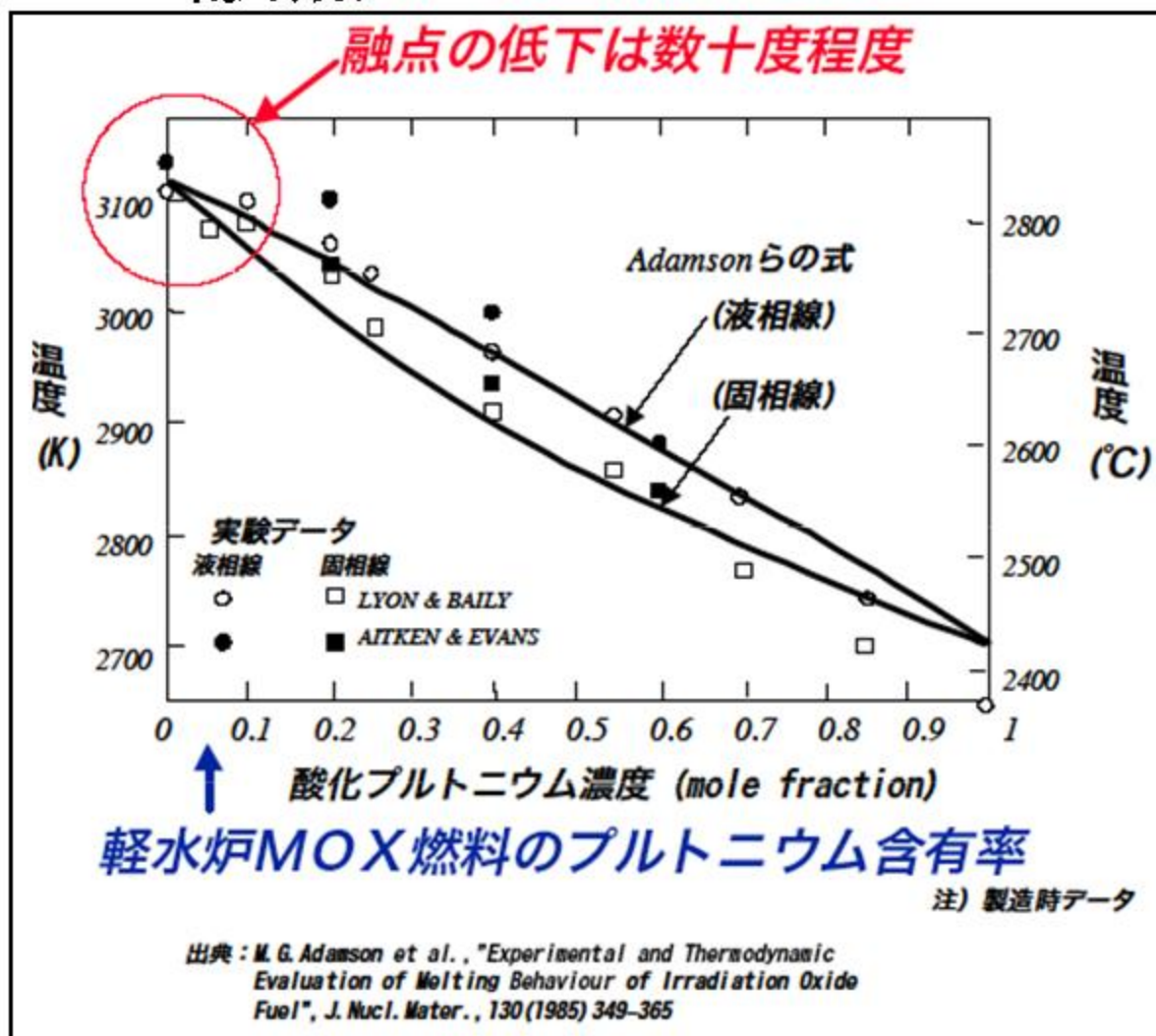
—留意点—

- ペレットの融点及び熱伝導度が低下する
- ペレットのクリープ速度が増加する
- 核分裂生成ガス放出率がウランペレットより若干高め
- ペレット内のプルトニウム含有率の不均一が製造時に生じる可能性がある

ウラン燃料とMOX燃料の特性

—融点—

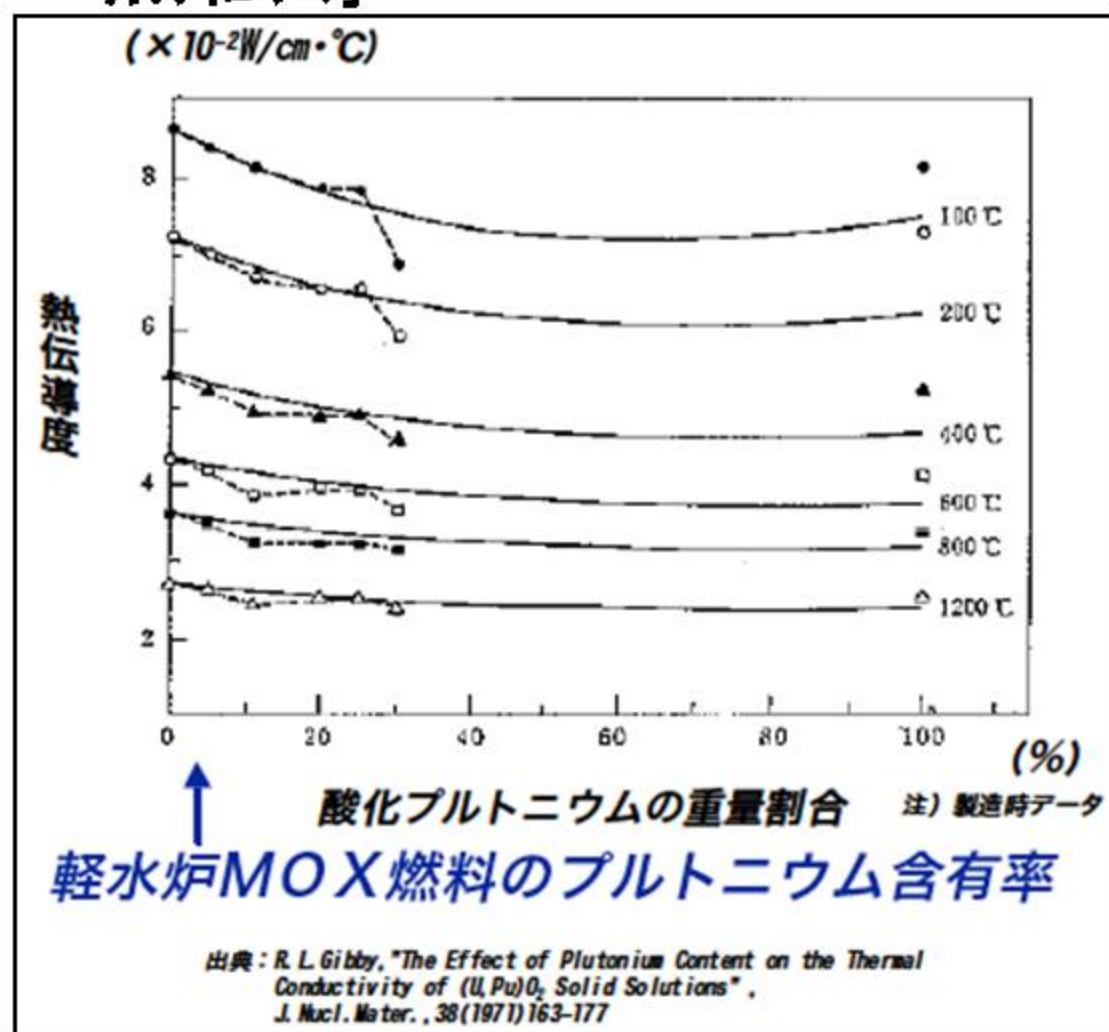
- 確かに融点は低下するが！
- 融点の低下は数十°C程度



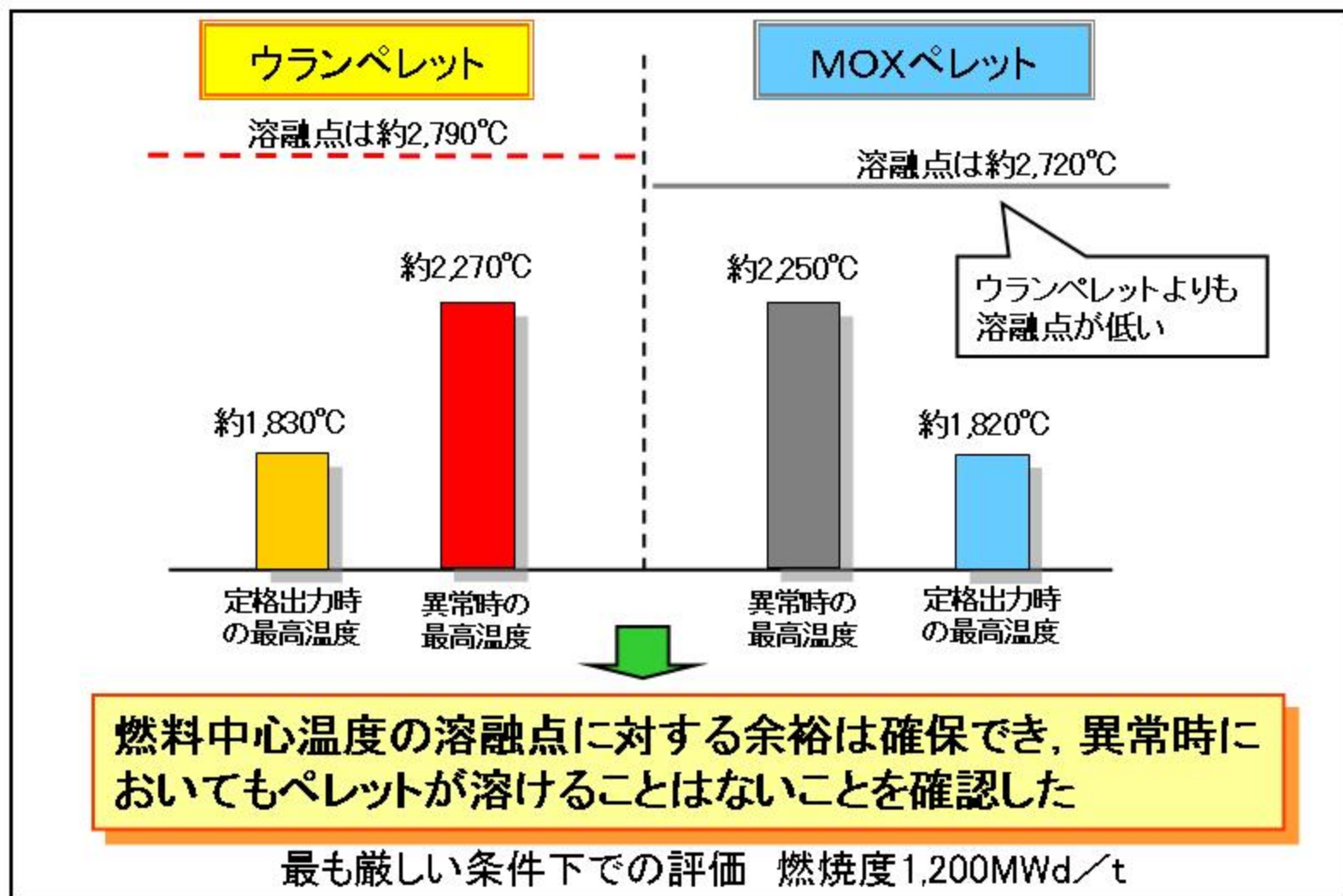
ウラン燃料とMOX燃料の特性

—熱伝導—

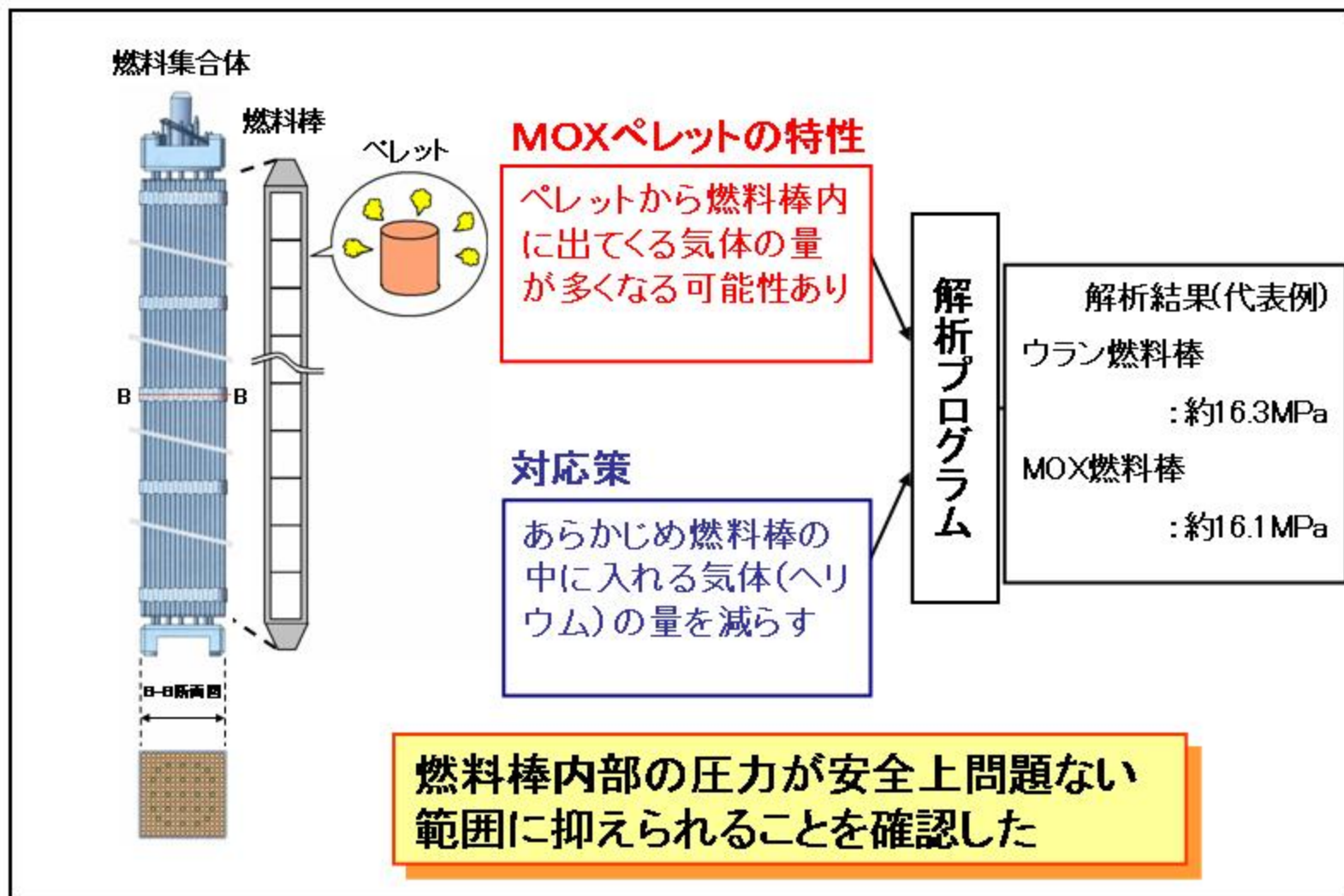
- 確かに熱伝導率は低下するが！
- 熱伝導率の低下は10%程度
- プルトニウム濃度よりも温度（運転条件）の方が影響する



原子炉内での燃料の温度 (定格出力時／異常時)燃料が溶けないか



燃料棒内に核分裂生成ガスが異常に充満して 燃料棒を傷めないか



ペレット内のプルトニウム含有率の不均一 ープルトニウムスポットについてー

- ペレット内のプルトニウムスポットは $400\ \mu\text{m}$ (0.4mm)
以下とする

最大スポット(観察結果)MIMAS法(フランス) $214\ \mu\text{m}$

SBR法(イギリス) $100\ \mu\text{m}$

- 定格運転時
スポット内の温度上昇は数 $^{\circ}\text{C}$
初期に消滅

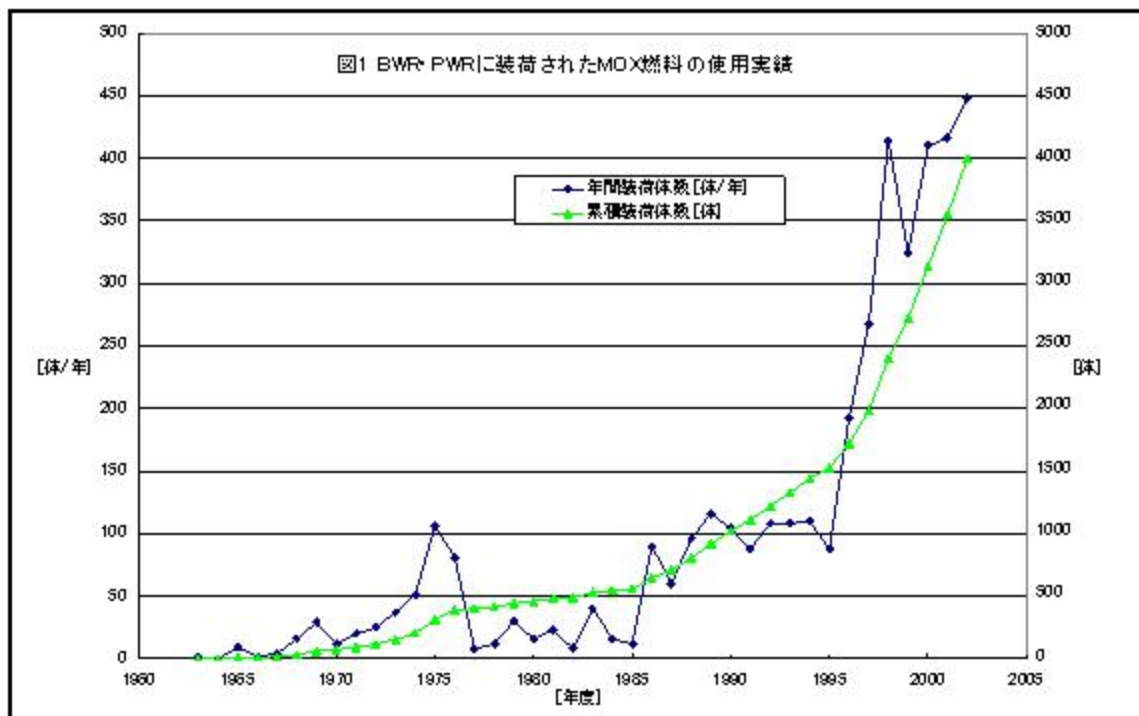
- 異常時
燃料破損の判断基準への影響なし

(NSRRでの試験 $400\ \mu\text{m}$ 、 $1100\ \mu\text{m}$ のスポット共存)

MOX燃料使用の実績 —2004年12月末現在—

国(発電所)	集合体数
フランス(21基)	2,270
ドイツ(15基)	1,828
ベルギー(3基)	305
スイス(3基)	304
アメリカ(6基)	91
イタリア(2基)	70
インド(2基)	10
オランダ(1基)	7
日本(2基)	6
スウェーデン(1基)	3
計(56基)	4,894
*ふげん	772

玄海3号炉の数十年分の実績



出典: 「平成14年度 発電用新型炉プルトニウム等利用方策開発調査 (発電用新型炉利用システム開発調査)」、(財)エネルギー総合工学研究所、IAE-C0213、平成15年3月

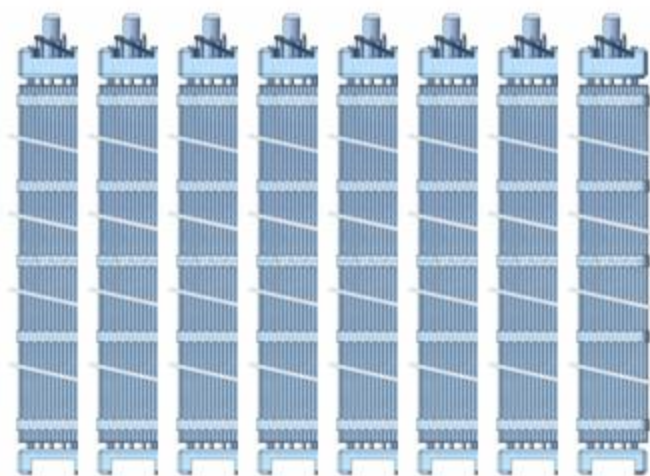
MOX燃料使用の実績

—出力、燃焼度、装荷率—

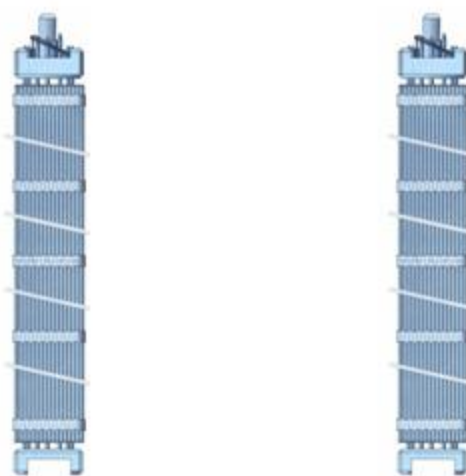
国	発電所	出力 万 kW	MOX 装荷 開始	燃焼度 MW d/t	装荷率 %
ベルギー	ドール3	105.8	1995	49.000	20
ドイツ	グンドレミンゲン(B)	134.4	1996	55,000	26
	ネッカー2	136.5	1998	50.000	27
	イザール2	145.5	1998	45.000	33
	ブロックドルフ	144.0	1989	50.000	33
	グローンデ	143.0	1988	50.000	33
	ウンターベーサー	135.0	1984	50.000	31
	フィリップスブルク2	142.4	1988	50.000	23
スイス	ゲスゲン	102.0	1997	52.000	36
九電	玄海3	118.0	2010 ?	45.000	25

まとめ

- プルトニウムを使用するにあたって、ウラン燃料と大きく異なることはありません。
- 積極的に使用することによって、エネルギー資源を有効に利用することができます。



8体 (1,000kg)
使用済みウラン燃料



MOX燃料 (130kgPu) 1体
ウラン燃料 (120kgU) 1体

NSRR試験

	<u>Phase 1</u>	<u>Phase 2</u>
<u>(U,Pu)O₂ Pellet</u>	PWR14x14	ふげん燃料
Diameter:	9.31 mm	12.40 mm
Length:	10.0 mm	13.0 mm
PuO ₂ /(U,Pu)O ₂ :	6.3 w/o	10.0 w/o
(²³⁹ Pu + ²⁴¹ Pu)/Pu:	74 w/o	80 w/o
²³⁵ U in U:	Natural	10 w/o
Diameter of artificially made plutonium spot on the pellet surface:	None	None (5 rods) 400 μm (4 rods) 1100 μm (3 rods)
<u>Zircaloy Cladding</u>		
Outer Diameter:	10.72 mm	14.50 mm
Wall Thickness:	0.62 mm	0.90 mm
<u>Fuel Rod</u>		
Fuel Stack Length:	110 mm	117 mm
Filler Gas:	He	He
Gas Pressure:	0.1 MPa	0.1 MPa

Pu含有率

Pu富化度

U濃縮度

Puスポット

NSRR試験—条件Phase1—

Test No.	Reactivity Insertion (\$)	Core Energy Release (MW·s)	Energy Deposit (cal/g)	Maximum Clad Surface Temperature (°C)	Appearance of the Post-test Fuel Rods
701-1	2.35	41.5	117	220	No visible change.
701-9	2.51	44.9	126	290	Partial discoloration of the cladding.
701-8	2.80	52.7	148	1020	Discoloration of the whole cladding active region.
701-2	3.28	66.8	188	1180	Ditto.
701-3	3.80	82.8	233	1400	Discoloration of the whole cladding active region. Partial oxide spalling.
701-4	4.00	89.1	250	1620	Ditto.
701-7	4.05	90.9	255	1670	Ditto.
701-6	4.10	92.7	260	> 1650	Deformation of the cladding lower portion due to melting. Cracks in the deformed portion.
701-5	4.19	95.0	267	1800	Rod broke into two pieces at lower portion.
701-10	4.40	101.9	286	> 1690	Deformation of the cladding lower portion due to melting. Circumferential cracks near the deformed portion.

投入熱量(エンタルピー)
117~286cal/g

被覆管温度
220~1800°C

NSRR試験—試験結果—

Test 701-10 (286 cal/g)



Test 701-5 (267 cal/g)



破損は輸送時に起きたと思われる。

Test 701-6 (260 cal/g)



Test 701-7 (255 cal/g)



NSRR試験—試験結果—

(1) Fuel Failure Threshold Energy Deposition at Axial Center

Standard UO ₂ Fuel:	253 - 264 cal/g
Phase 1 (U,Pu)O ₂ Fuel:	255 - 260 cal/g
Phase 2 (U,Pu)O ₂ Fuel:	215 cal/g

(2) Fuel Failure Threshold Energy Deposition at Failure Location Considering Axial Power Distribution

Standard UO ₂ Fuel (1.06):	268 - 280 cal/g
Phase 1 (U,Pu)O ₂ Fuel (1.1):	280 - 286 cal/g
Phase 2 (U,Pu)O ₂ Fuel (1.3):	280 cal/g

破損しきい熱量

標準ウラン燃料:	268～280cal/g
MOX燃料Phase1:	280～286cal/g
MOX燃料Phase1:	280cal/g

ウラン燃料と
MOX燃料に
差はない

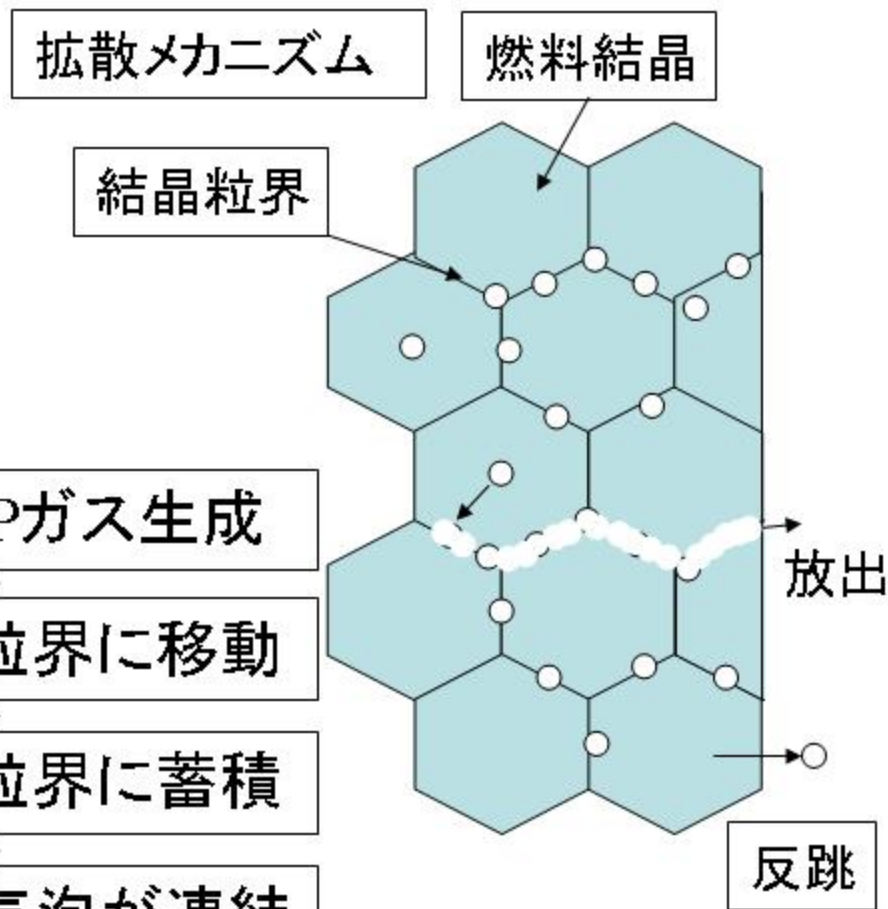
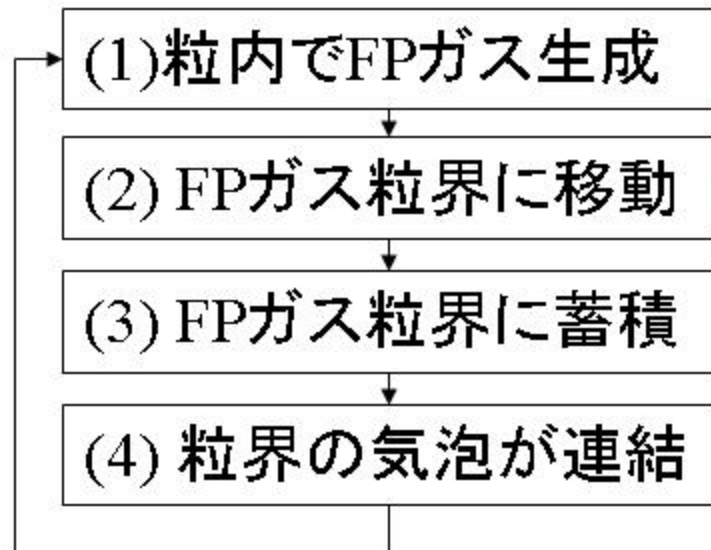
気体状核分裂生成物(FPガス)放出モデル

- FPガスは下記のメカニズムで放出される

中高温領域: 拡散メカニズム

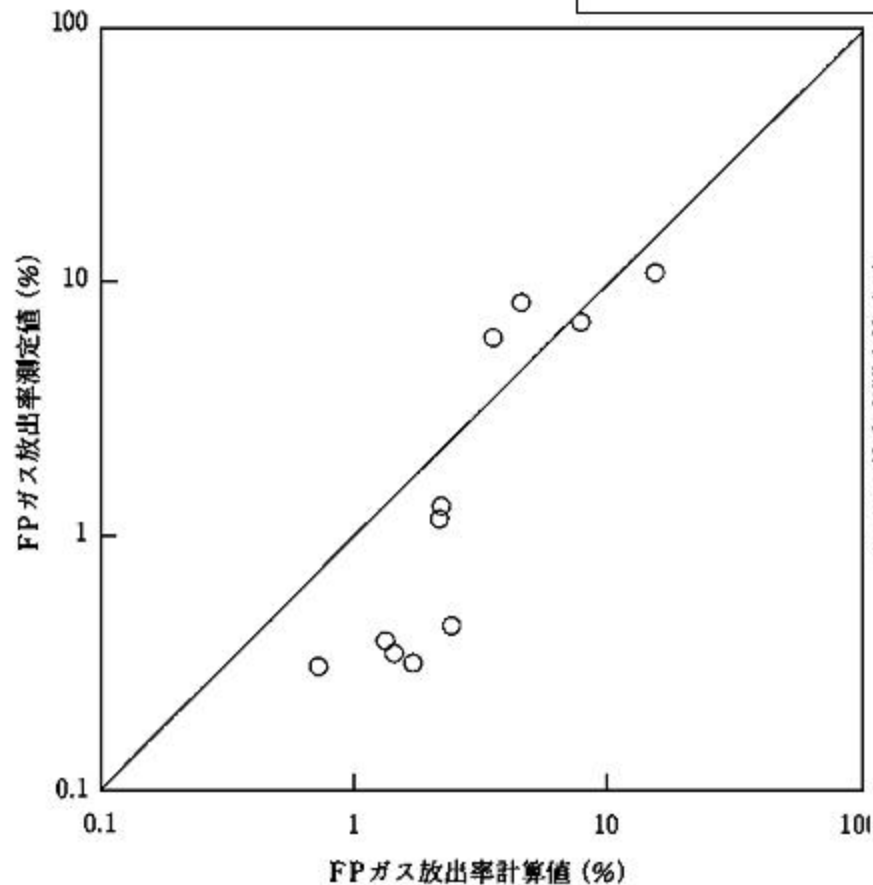
低温領域 : 反跳、たたき出し

- 解析プログラム FINE、FPAC

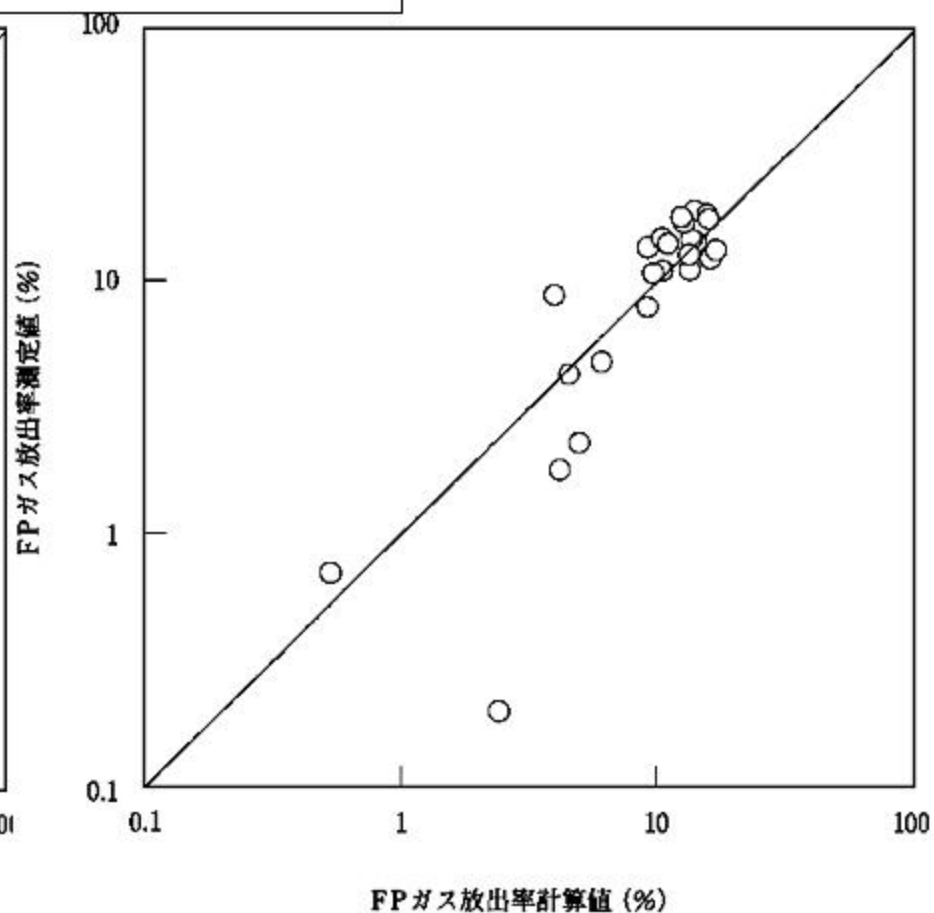


FPガス放出率検証例

十分な精度で予測可能

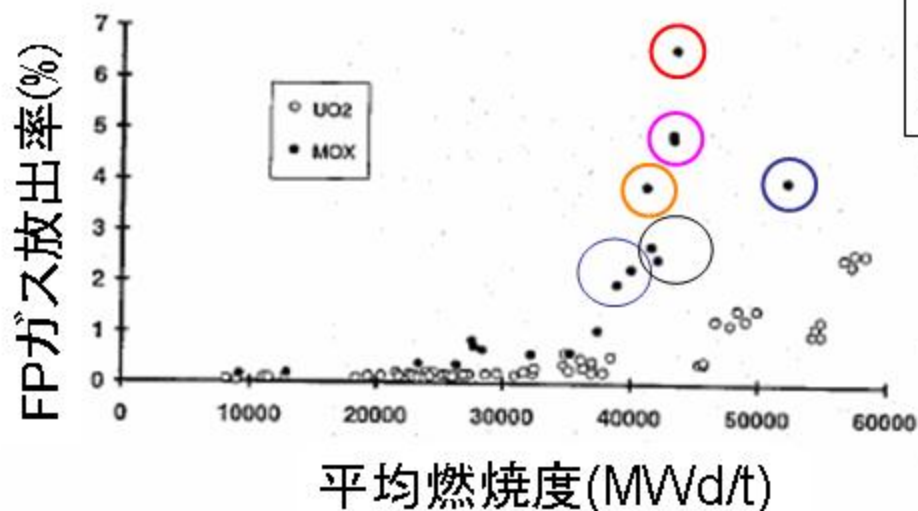


MOX燃料FPガス放出率検証例
(PWR-FPAC)



MOX燃料FPガス放出率検証例
(BWR)

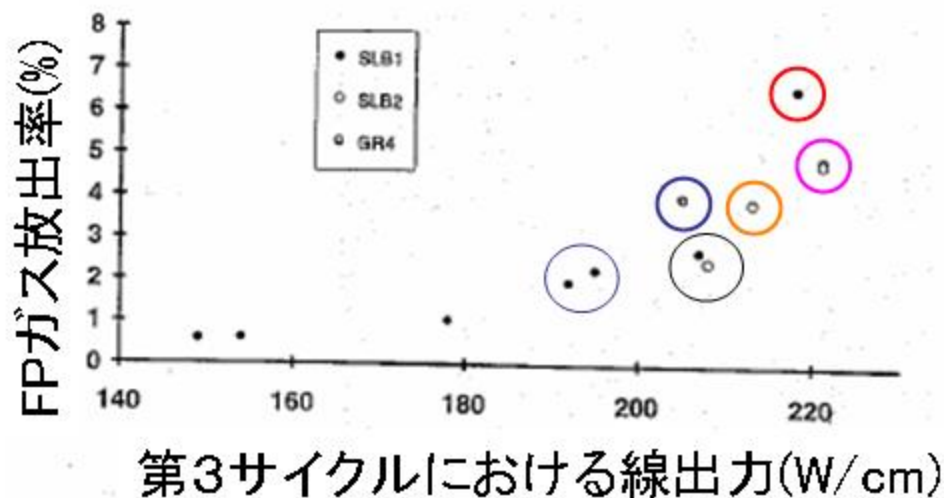
FPガス放出率測定結果



燃焼度と共に放出率上昇
MOX燃料の方が高め

予測の範囲内

IAEA1995-Blancpain



FPガス放出率は
燃焼末期での線出力
の影響を受ける

FPガス放出率測定結果

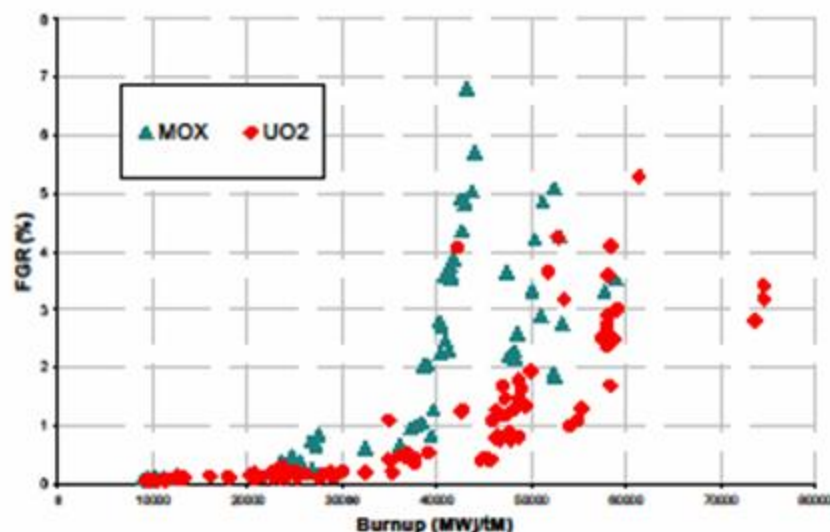


Figure 1. Fractional fission gas release as a function of burnup (French EDF 17x17 900 MWe reactor data)

ANS2004-Blanpain

Proceedings of the 2004 International Meeting on LWR Fuel Performance
Orlando, Florida, September 19-22, 2004
Paper 1075

最新データ

- MOX燃料特有のFPガス放出の増加はみられない。
- 4、5サイクル使用の高燃焼度燃料においても、異常なFPガス放出は起きていない。

(最終サイクルで低線出力運転)

- FPガス放出率の増大傾向は主に線出力の影響によるもので、燃焼度の進行によるものではない。

Puの毒性の比較

