



2. 2 プルサーマル計画について  
Program on MOX Fuel Utilization in Light Water Reactors

劔 田 裕 史  
KENDA Hirofumi

日本原子力発電株式会社  
The Japan Atomic Power Company

要 旨

電力全体のプルサーマル計画については、平成9年2月21日に電事連で公表している。MOX燃料は取替燃料の一部として使用されるため、ウラン燃料との共存性を有し、MOX燃料を装荷した炉心の特性を従来のウラン燃料炉心と大幅に変えないことを基本的考え方として設計している。具体的には、MOX燃料の基本構造をウラン燃料と同一とするとともに、核的にはウラン燃料と同等の反応度を持つように設計することとしている。

Abstract

MOX fuel utilization program by the Japanese electric power companies was released in February, 1997. Principal philosophy for MOX fuel design is that MOX fuel shall be compatible with Uranium fuel and behavior of core loaded with MOX fuel shall be similar to that of conventional core. MOX fuel is designed so that geometry and nuclear capability of MOX fuel are equivalent to Uranium fuel.

1. はじめに

我が国の核燃料サイクルの推進に関しては、総合エネルギー調査会原子力部会(部会長=近藤駿介東大教授)が平成9年1月20日にとりまとめた中間報告書の中で、以下の趣旨が述べられている。「プルサーマルは発電設備への追加投資をほとんど伴うことなく、数割程度ウランの利用効率を高めることを可能にすることに加え、核不拡散の観点からも重要な意義を有している。プルサーマルがプルトニウム利用の柱である時代は中長期的エネルギー需給動向、高速増殖炉の開発動向を見通すと、今後数十年にわたり続くと予想され、その重要性は一層高まっている。プルサーマルは全電気事業者の共通の課題であり、今後の燃料装荷計画の一

環として着実に取組むべき事業である。」この報告を基に原子力委員会は平成9年1月31日に核燃料サイクル政策の当面の具体的な施策を決定し、2010年頃までに原子力発電所を持つ全電気事業者がプルサーマルを行う必要があると発表した。平成9年2月21日に電事連は電力全体のプルサーマル計画をとりまとめて公表した。

## 2. MOX燃料の概要

MOX燃料は取替燃料の一部として使用されるため、ウラン燃料との共存性を有し、MOX燃料を装荷した炉心の特性を従来のウラン燃料炉心と大幅に変えないことを設計の基本的考え方としている。このため、MOX燃料の熱・機械設計については、MOX燃料の燃料棒寸法・配列、被覆管材質・肉厚等の基本構造をウラン燃料と同一にしている。核設計については、実際の製造で使用されるPu組成及び母材のU-235濃縮度の変動を考慮して、ウラン燃料と同等の反応度を持つように設計する。

表2.2.1にMOX燃料の主要仕様をウラン燃料と比較して示す。表2.2.2及び第表2.2.3にMOX燃料の設計で使用したPu組成の例を、図2.2.1及び図2.2.2にMOX燃料の反応度の燃焼度変化を示す。ウラン燃料の平衡炉心末期の炉心平均燃焼度において、MOX燃料とウラン燃料の無限増倍率が同じになるように設計することとしている。図2.2.3及び図2.2.4にMOX燃料集合体内のPu富化度分布の設計例を示す。

## 3. プルサーマル計画

電力のプルサーマル計画を表2.2.4に示す。総合エネルギー調査会原子力部会中間報告書にも述べられているとおり、プルサーマルは重要な意義を有しており、地元の理解を得て計画を進めていきたい。

### 参考文献

1. 沸騰水型原子力発電所 混合酸化物燃料のプルトニウム組成変化について（株式会社東芝、TLR-067改訂1、平成11年2月）
2. 沸騰水型原子力発電所 混合酸化物燃料のプルトニウム組成変化について（株式会社日立製作所、HLR-063訂1、平成11年2月）
3. 三菱PWRの新核設計手法と信頼性（三菱重工業株式会社、MAPI-1087改5、平成10年11月）
4. PWR向けMOX燃料のプルトニウム富化度について（三菱重工業株式会社、MHI-NES-1001改1、平成10年4月）

表 2.2.1 MOX燃料集合体の基本仕様

項目	BWR		PWR	
	ウラン燃料	MOX燃料	ウラン燃料	MOX燃料
燃料集合体				
配列	8×8	8×8	17×17	17×17
燃料棒有効長	約3.71m	約3.71m(UO <sub>2</sub> ) 約3.55m(MOX)	約3.66m	約3.66m
燃料棒本数	60本	60本MOX48本 ウラン12本	264本	264本
Pu富化度	—	約2.9~5.8% (U-235:3.0%相当以下)	—	約11%以下 (U-235:4.1%相当以下)
U235濃縮度(濃度)	約3.6%	約1.0~1.2%	約4.1%	約0.2~0.4%
最高燃焼度	50GWd/t	40GWd/t	48GWd/t	45GWd/t
燃料棒				
ペレット直径	10.4mm	10.4mm	8.19又は8.05mm	8.19又は8.05mm
被覆管外径	12.3mm	12.3mm	9.5mm	9.5mm
被覆管厚さ	0.86mm	0.86mm	0.57又は0.64mm	0.57又は0.64mm
被覆管材質	ジルコイ-2(ラ付管)	ジルコイ-2(ラ付管)	ジルコイ-4	ジルコイ-4

表 2.2.2 Pu組成の例 (BWR)

	項目	単位	高組成	標準組成	低組成
再処理 燃料仕様	初期濃縮度	wt%	3.0	3.0	2.2
	取出燃焼度	GWd/t	20	28	28
	冷却期間	年	5	5	5
	再処理後期間	年	2	2	2
Pu組成	Pu-239	%	68	59	53
	Pu-240	%	22	27	30
	Pu-241	%	7	8	9
	Pu-238, 242	%	3	5	7
	Am-241	%	1	1	1
	Pu f 割合	%	75	67	62

表 2.2.3 Pu組成の例 (PWR)

	項目	単位	高組成	代表組成	低組成
再処理 燃料仕様	初期濃縮度	wt%	0.7	3.3~4.1	3.7
	取出燃焼度	GWd/t	3	31~44	43
	冷却期間	年	3	3~5	5
	再処理後時間	年	2	2~5	5
Pu組成	Pu-239	wt%	79	58	55
	Pu-240	wt%	18	23	25
	Pu-241	wt%	2	10	9
	Pu-238, 242	wt%	1	7	8
	Am-241	wt%	0	2	3
	Pu f 割合	wt%	82	68	64

表 2.2.4 電力のプルサーマル計画  
(平成9年2月公表)

	2000年まで	2000年代初頭	2010年まで
東京電力	1999年1基 [累計1基]	2001年1基 1基 [累計3基]	0~1基 [累計3~4基]
関西電力	1999年1基 2000年1基 [累計2基]	[累計2基]	1~2基 [累計3~4基]
中部電力		1基 [累計1基]	[累計1基]
九州電力		1基 [累計1基]	[累計1基]
日本原電		2基 [累計2基]	[累計2基]
北海道電力			1基 [累計1基]
東北電力			1基 [累計1基]
北陸電力			1基 [累計1基]
中国電力			1基 [累計1基]
四国電力			1基 [累計1基]
電源開発			1基 [累計1基]
合計	3基 [累計3基]	6基 [累計9基]	7~9基 [累計16~18基]

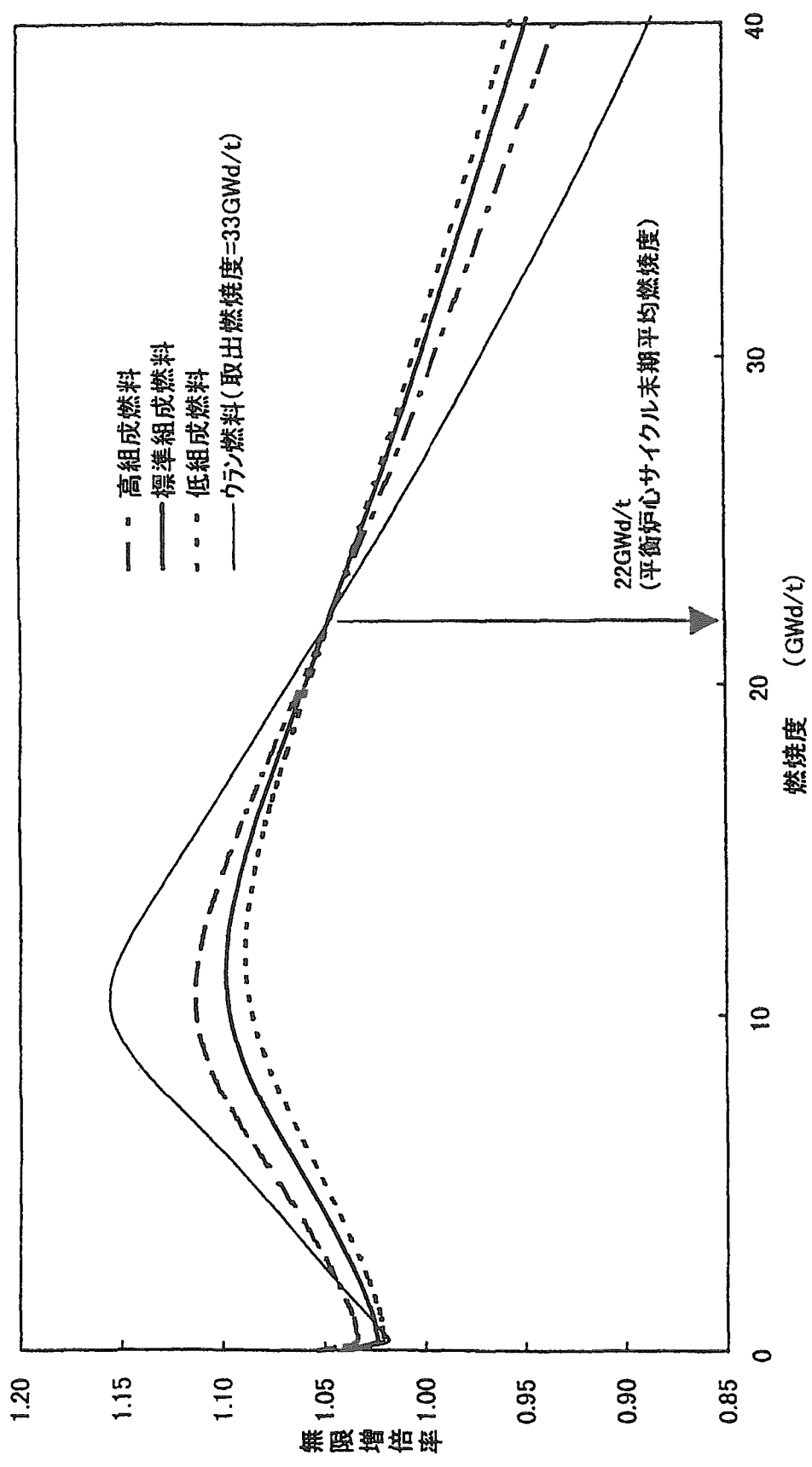


図 2.2.1 MOX燃料の無限増倍率の燃焼度変化の例 (BWR)

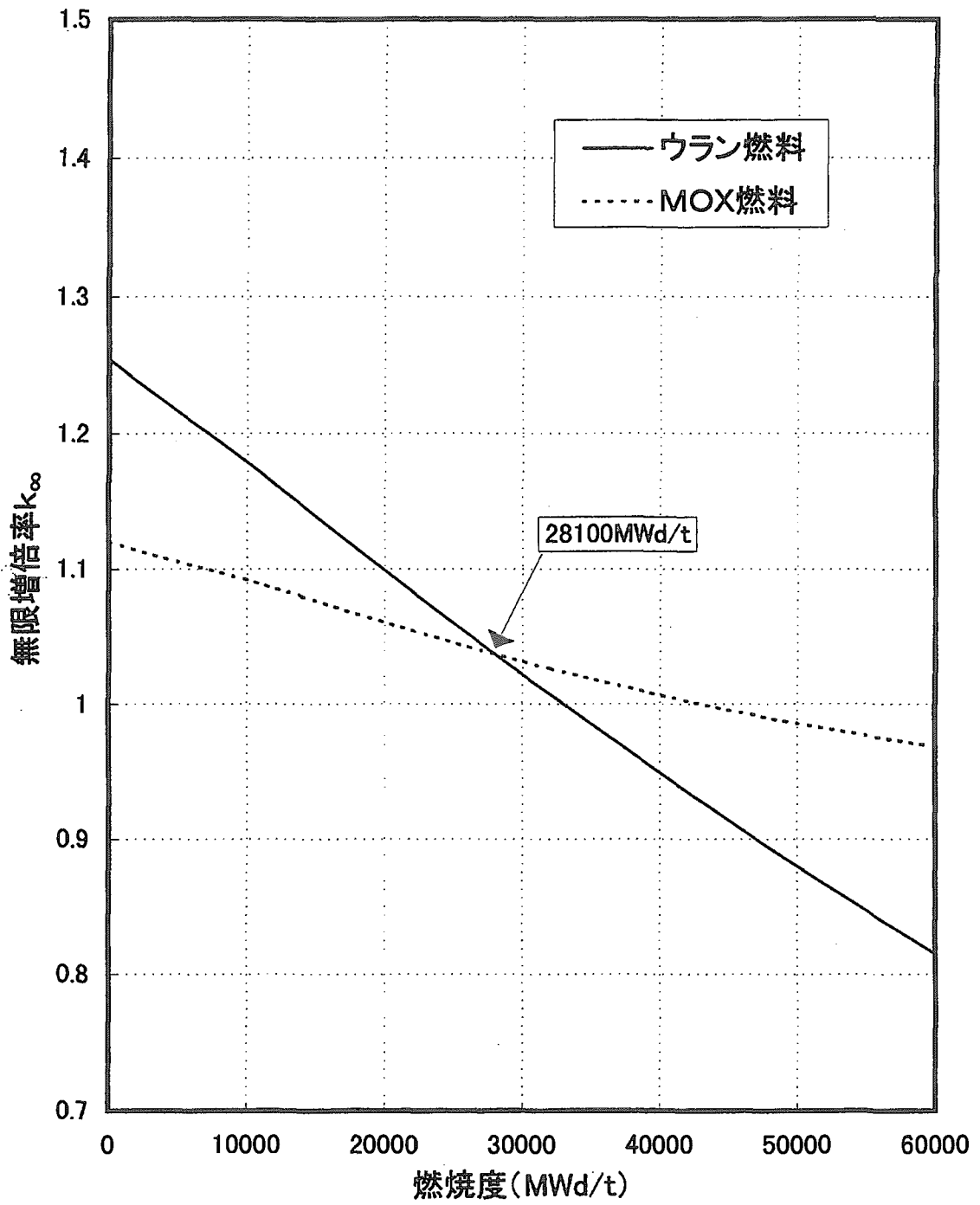


図 2.2.2 MOX燃料の無限増倍率の燃焼度変化の例 (PWR)

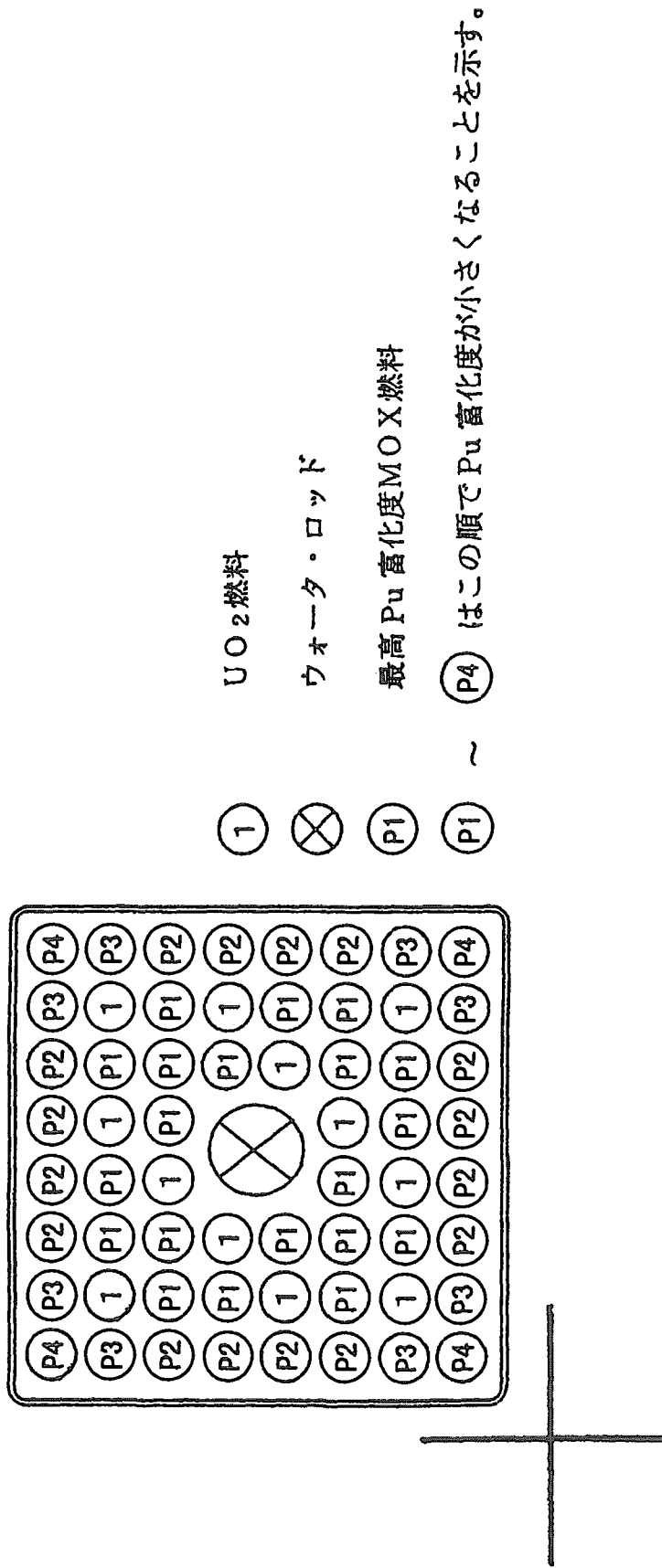
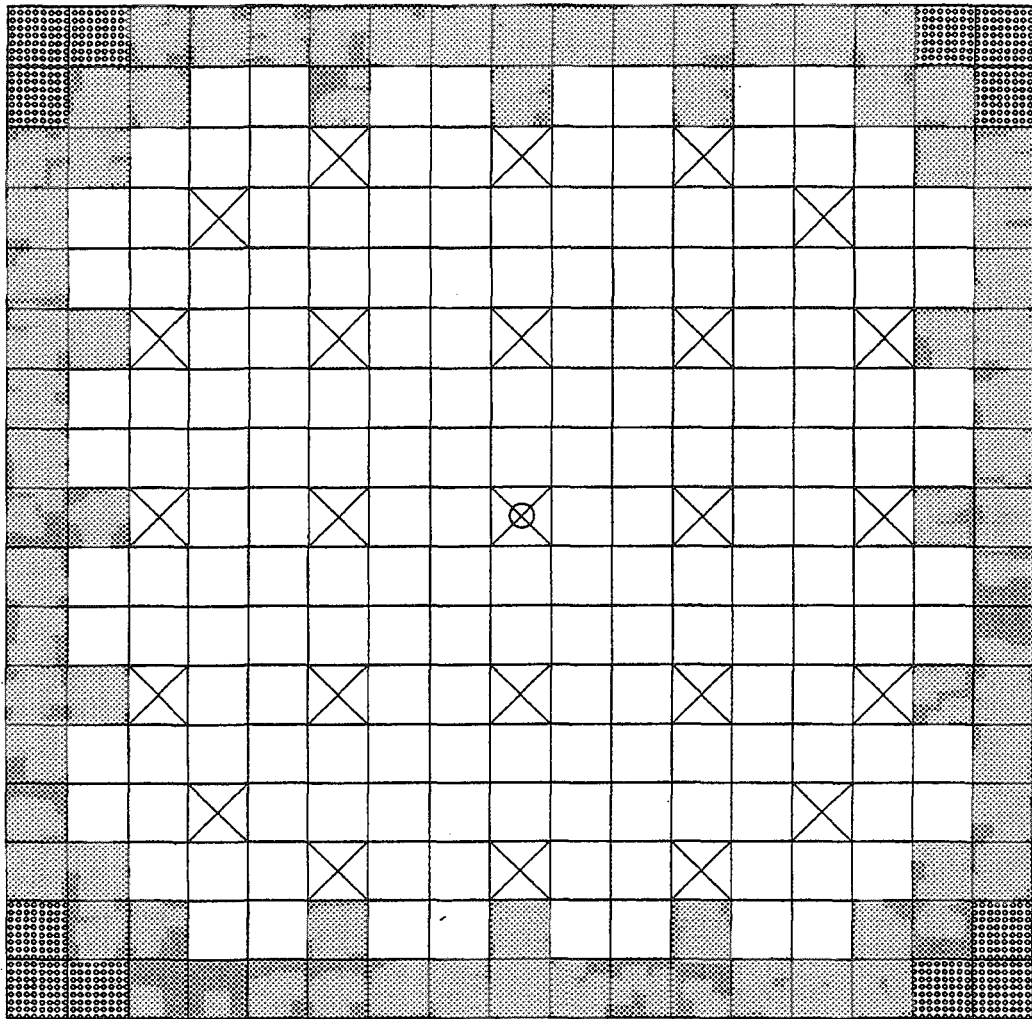


図 2.2.3 MOX燃料集合体内のPu 富化度分布の例 (BWR)








- |   |               |      |
|---|---------------|------|
|  | 高プルトニウム富化度燃料棒 | 176本 |
|  | 中プルトニウム富化度燃料棒 | 76本  |
|  | 低プルトニウム富化度燃料棒 | 12本  |
|  | 制御棒案内シンプル     |      |
|  | 炉内計装用案内シンプル   |      |

図 2.2.4 MOX燃料集合体内のPu富化度分布の例 (PWR)



## コメント・質疑応答内容

Q (栃原/三菱) : 2点教えていただきたい。一つはかなり先の話だと思いますが、プルトニウムのマルチリサイクルについてです。現在はプルトニウムは、将来的に第1工場処理して、1回は使うと思いますけれども、2回目の組成の劣化したものをどのようにお使いになるおつもりでしょうか。というのも低減速炉等に関係してきますので。

もう一つは、プルトニウムの利用形態についてです。今電力さんは電力会社毎に少しずつ4分の1、3分の1と分けて使うオプションですけれども、もう一つ大間でやろうとしているようにフルMOXというある少数のところを全部固めて使うというオプションがある。仮に例えばそういうフルMOXオプションで少数立地だけでやるつもりだと、PでもBでも大型のものを3機、4機作るだけで、MOX工場から出てきたもの全部が使えるわけです。将来的にそういうオプションに移行するのかどうか。例えば低減速炉心ですと非常に大量のPuを1機で使います。そういうようなオプションはどう将来的に考えられるのか。複雑な質問ですけれども2点お教え頂ければありがたいです。

A : マルチリサイクルにつきまして、核特性はどうなるかというのは三菱さんに解析していただければなんとかなると思うのですけれども、MOXの再処理が長計上も第2処理工場ということでございますので、現実にはCOGEMAでMOX再処理やった実績はありますけれども、今プルサーマルで出てきた使用済みMOXをどこで再処理するというのはここ10年、20年と目処がついてないので、目処がついてから考えればいかなと考えています。その時は三菱さんをお願いいたしますのでよろしく願いいたします。(笑)

大量MOXを少数機にわつと入れるというオプションもありますけれども、今は自分のPuは自分で使うというのが原則で計画されております。将来的には大間のフルMOXなりAPWRでがばっとMOXというのも出来ないことはなく、オプションとしてはあるとは思いますが、MOXというのは高いのでばばを押し付けられるのはちょっと電力会社の発電コストの観点からはなかなかつらいかなというのが本音でございます。

Q (白川/原研) : MOXの最高燃焼度は分かったのですが、取り出し平均燃焼度はいくらかですか。また、ペレットの最大燃焼度はどこまで向上できるのでしょうか。

A : 取り出し平均燃焼度は、数字は覚えていませんけれども、28000 (MWd/t)ぐらいではないかと思えます。ペレットの燃焼度は58000とか62000 (MWd/t)程度です。これは平成7年5月の報告書で設計コードを検証した燃焼度が大体こら辺です。データによってFPガス放出率とかの物性値とかが違うのですけれども、大体この程度であれば今のMOX解析手法を使えるということで、一応認められている燃焼度に近い値です。

Q (高野/原研) : MOXの燃焼度がウランより大分低く抑えられていますけれども、これは欧州のほうでもみなそうやっておりますが、その辺の実績がそういうところにあるということなのではないでしょうか。低く抑える理由はどういうところにあるのか、教えていただきたい。Puを消費するのには一つは高燃焼にしていくというのが非常に有効になりますが、将来

MOX はどの辺まで高燃焼を考えておられるのか。もう一つは MOX 以外で、例えばまだ燃料として未熟なところがありますが Inert Matrix 等でやりますと非常に Pu をよく燃焼できるという研究が行われています。そういうものに対するお考えを伺いたい。

A : PWR につきましては大体现行の 48000(MWd/t)のウラン燃料と同じローカル燃焼度は確保しています。さらにウランについては次の集合体最高で 55000(MWd/t)というのは考えておりますけれども、そこまでの MOX 燃料の設計はまだない。BWR につきましては確かに一世代前の核設計・機械設計になっているのですけれども、結局昔のデータで FP ガス放出率でもそれを無視するわけにはいかないので、設計上も割と保守的な FP ガス放出率を仮定せざるを得ないということで、燃料棒内圧評価ですとか、その辺の制約でなかなか燃焼度を上げられない。経済的にはこういう燃焼度では損なのはわかっているのですけれども、MOX のいいデータがまだないということで、最近の混合のいい MOX のデータを蓄積して、設計コードの保守性の排除ができればこの燃焼度を上げることは可能だと思います。まず日本の MOX を燃やして、その PIE により FP ガス放出率等いろいろなデータをとって、設計コードにフィードバックするというプロセスが必要なんじゃないかなと思います。

Q (高野/原研) : 高燃焼は将来どの辺まで考えていますか。さきほどの低減速とはまた別の話ですが。

A : 設計がどこまで出来るかということで、電力ではせめてウラン並みの燃焼度まではと希望しています。ウランが高燃焼度化をどんどんしていきますので、MOX についてもそれと同じだけの燃焼度としての経済性を確保したいと思っておりますけれども、やはりなかなか難しいようです。

Q (高野/原研) : 100000(MWd/t)とかそういうところまでは考えておられるのですか。

A : ウランは検討として 70000 とか 75000(MWd/t)とか、そういう規模で研究はしていますけれども、まだウランでそういう話をしている段階で、MOX で 70000 とか 100000(MWd/t)とかいうのはまだ電力としては検討しないのではないかと思います。

Q (高野/原研) : InertMatrix 燃料というのは？ご存知かどうかわかりませんが。

A : よく知りません。(笑)

C (大久保/原研) : さきほどの高燃焼度化は実は私どものところでも低減速ではなく高減速としてやっております。

付録 1-2

講演 OHP 資料集

「プルサーマル計画について」

劔田 裕史 (日本原子力発電)

This is a blank page.

# プルサーマル計画について

日本原子力発電(株) 発電技術部  
剣田裕史

1

- ・ 総合エネルギー調査会原子力部会中間報告  
(平成9年1月20日)
  - プルサーマルは発電設備への追加投資をほとんど伴うことなく、数割程度ウランの利用効率を高めることが可能
  - プルサーマルがプルトニウム利用の柱である時代は今後数十年にわたり続く
- ・ 原子力委員会決定  
(平成9年1月31日、閣議了解 平成9年2月4日)
  - 2010年頃までに原子力発電所を持つ全電気事業者がプルサーマルを行う必要がある
- ・ 電事連 プルサーマル計画公表 (平成9年2月24日)

2

電力のプルサーマル計画

(平成9年2月公表)

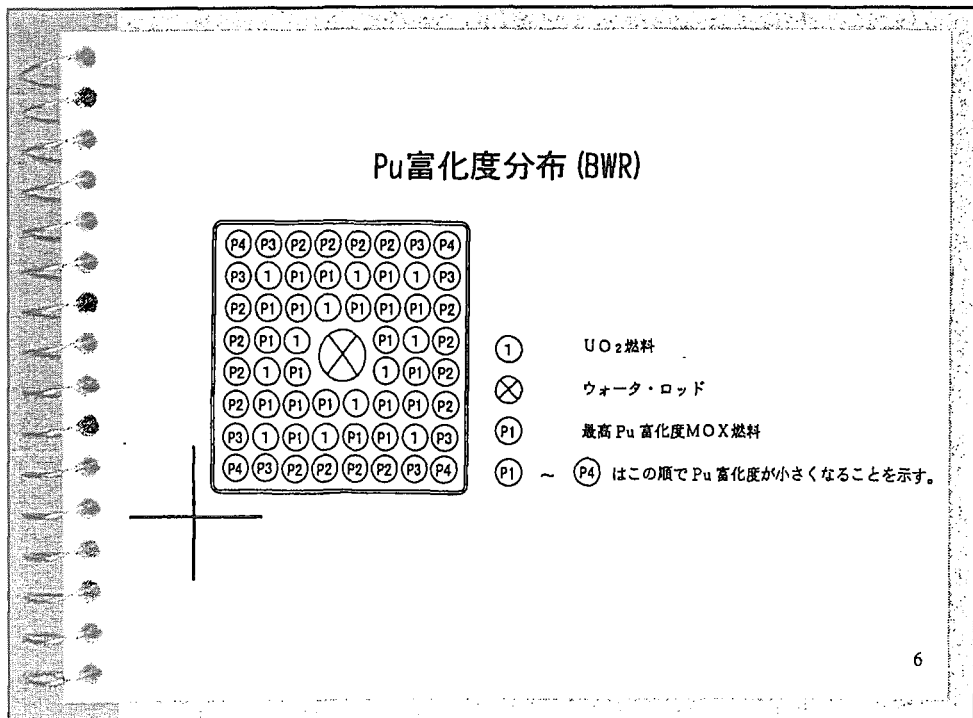
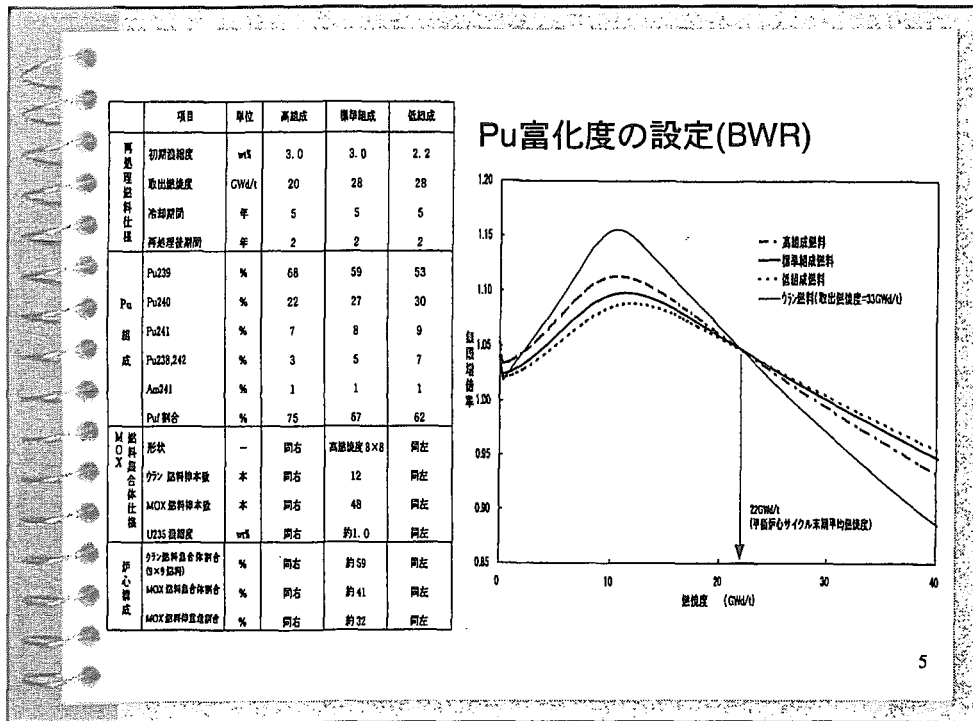
	2000年まで	2000年代初頭	2010年まで
東京電力	1999年1基 [累計1基]	2001年1基 1基 [累計3基]	0~1基 [累計3~4基]
関西電力	1999年1基 2000年1基 [累計2基]	[累計2基]	1~2基 [累計3~4基]
中部電力		1基 [累計1基]	[累計1基]
九州電力		1基 [累計1基]	[累計1基]
日本原電		2基 [累計2基]	[累計2基]
北海道電力			1基 [累計1基]
東北電力			1基 [累計1基]
北陸電力			1基 [累計1基]
中国電力			1基 [累計1基]
四国電力			1基 [累計1基]
電源開発			1基 [累計1基]
合計	3基 [累計3基]	6基 [累計9基]	7~9基 [累計16~18基]

3

MOX燃料集合体の基本仕様

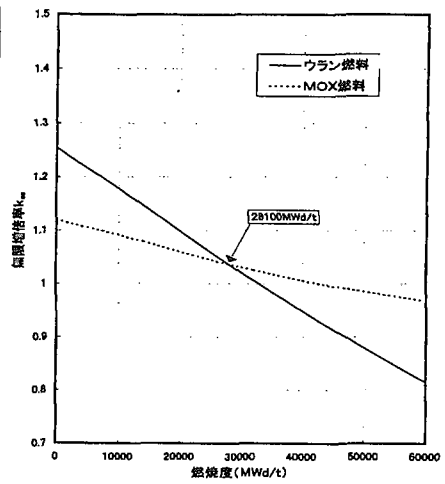
項目	BWR		PWR	
	ウラン燃料	MOX燃料	ウラン燃料	MOX燃料
燃料集合体				
配列	8x8	8x8	17x17	17x17
燃料棒有効長	約3.71m	約3.71m (UO <sub>2</sub> ) 約3.55m (MOX)	約3.66m	約3.66m
燃料棒本数	60本	60本 MOX 48本 ウラン 12本	264本	264本
Pu富化度	—	約2.9~5.8% (U-235:3.0%相当)	—	約11%以下 (U-235:4.1%相当)
U235濃縮度(濃度)	約3.6%	約1.0~1.2%	約4.1%	約0.2~0.4%
最高熱密度	5.0GWd/t	4.0GWd/t	4.8GWd/t	4.5GWd/t
燃料棒				
ペレット直径	10.4mm	10.4mm	8.19mm±0.05mm	8.19mm±0.05mm
被覆管外径	12.3mm	12.3mm	9.5mm	9.5mm
被覆管厚さ	0.86mm	0.86mm	0.57mm±0.04mm	0.57mm±0.04mm
被覆管材質	Zircaloy-2 (5付管)	Zircaloy-2 (5付管)	Zircaloy-4	Zircaloy-4

4



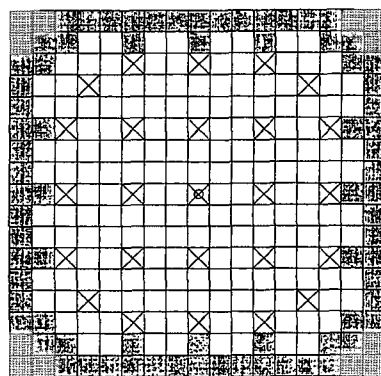
### Pu富化度の設定(PWR)

項目	単位	低燃成	代燃成	高燃成
初期燃成度	wt%	3.7	3.3 ~ 4.1	0.7
燃成度	CFd/l	43	31 ~ 44	3
燃成期間	年	5	5 ~ 5	3
燃成期間	年	5	2 ~ 5	2
燃料燃成	PWR		PWR	75%以上
<b>Pu</b>				
<sup>239</sup> Pu	wt%	55	58	79
<sup>240</sup> Pu	wt%	26	23	18
<sup>241</sup> Pu	wt%	9	10	2
<sup>242</sup> Pu, <sup>243</sup> Pu	wt%	8	7	1
<sup>243</sup> Am	wt%	3	2	0
Pu <sup>+</sup> 割合	wt%	64	68	82
<b>MOX</b>				
燃料燃成度	-	17x17	同左	同左
Pu <sup>+</sup> 富化度	wt%	6.9	6.1	4.5
<sup>239</sup> U燃成度	wt%	0.2	0.2	0.2
<b>炉心</b>				
燃料燃成度	%	約75	同左	同左
MOX燃成度	%	約25	同左	同左



7

### Pu富化度分布 (PWR)



- 高プルトニウム富化度燃料棒 176本
- 中プルトニウム富化度燃料棒 76本
- 低プルトニウム富化度燃料棒 12本
- 制御棒案内シンプル
- 炉内計装用案内シンプル

8