

論点2 MOX燃料の使用実績

○検討課題

- ① 女川原子力発電所と同じ形式の原子炉（軽水炉）でのMOX燃料の使用実績や実証試験が少ないのではないか。
- ② 女川原子力発電所で使用されるMOX燃料のプルトニウム含有率、装荷割合はこれまでの実績と比べて高くないのか。
- ③ 過去にMOX燃料が破損した例があるが、問題はないか。

○過去に本県や他道県に寄せられた意見

- ・ 特に異常事態でのMOX燃料がどのように振る舞うかについて使用実績や実証実験が不足していると考える。
- ・ 非常に少数の使用実績しかない。特にBWRは少ない
- ・ 女川3号機において燃料集合体560体のうちMOX燃料集合体を最大228体装荷しているが、世界でこのような実例はあるのか。
- ・ 海外では、過去にMOX燃料の破損事故の実例があるが、問題はないか。
- ・ プルサーマルの実績は、フランスやドイツの実績でしかない。
- ・ MOX燃料の破損事故の実例がある。

○東北電力株式会社の講じる対策または見解

- ・ MOX燃料とウラン燃料を比較すると、その特性には多少差があるが、その差の程度やそれが及ぼす影響の程度は、今までのデータや知見より把握されている。（「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」平成7年6月19日原子力安全委員会了承 以下「1/3MOX 報告」）

①について

- ・ 40年前から、軽水炉でのMOX燃料の使用実績があり、2008年12月末時点では、欧州を中心に（日本を含め）10カ国の原子炉58基で6,350体の使用実績があり、これまで安全に使用されてきており、実績は十分である。

【国内での使用実績】

国内の軽水炉では、日本原子力発電(株)敦賀1号機（BWR）で2体（1986年6月～1990年2月）、関西電力(株)美浜1号機（PWR）で4体（1988年3月～1991年12月）のMOX燃料が実証試験で使用され、試験後も燃料が健全であったことが確認されている。

また、炉型が違うものの、国の原子炉「ふげん」による772体のMOX燃料の使用実績がある。

【BWRでの使用実績】

世界の「BWR」での使用実績（2008年12月末時点）は、7カ国（日本、ドイツ、イタリア、オランダ、スウェーデン、インド、米国）の商業用BWRにおいて、計1199体（14基）の実績がある。

②について

- ・ BWRでプルサーマルを行っているドイツのグンドレミンゲンB、C炉では、Pu含有率は約5.4重量%（燃料集合体平均）の実績がある。
装荷率についてもグンドレミンゲンB炉で約1/3（300/784体）の実績がある。
ドイツの実績から、女川原子力発電所で申請しているPu含有率（約2.9～5.8重量%（標準的なもので約4.3重量%））、装荷率（約1/3、228/560体）が高すぎるとい

ことはない。(別紙1参照)

③について

- ・ 国内で製造され、国内で使用された MOX 燃料に破損は発生していない。また海外での MOX 燃料の破損も、その破損原因は、ウラン燃料と同様、燃料製造や異物等に起因するものであり、MOX 燃料に起因する特異な破損は報告されていないことから、現在の MOX 燃料設計及び製造で問題ないと考える。(別紙2参照)

○国の見解

(1/3 MOX 報告書)

(1) 燃料及び装荷炉心の一般的な特徴

MOX燃料の軽水炉における核的特性及びその物性、照射挙動は、①ウラン燃料に比べ差があるものの、これらは把握されており、これまでに得られている経験、データ等からは、安全に係わる特段の問題は生じていない

(2) 燃料の使用実績並びに照射後試験結果について

以上のように、①③MOX燃料の使用についてはこれまで相当の実績があり、また、安全上の課題も特には見当たらないことから、今後、軽水炉において取替燃料の一部としてMOX燃料を使用する上で基本的な技術は確立されているものと判断する。

(3) 熱・機械設計について

プルトニウムを含有するペレットの主要な物性はこれまでの研究等により把握されており、また、①MOXペレットの照射に伴うふるまいについても、その製造方法の相違までも含めて照射後試験等により詳細なデータが採取されている。今回検討を行った燃料設計手法にはMOX燃料の物性や照射挙動のウラン燃料からの変化が適切に考慮されている。

(4) 核設計について

代表的な炉心における設計例の検討の結果から、②MOX燃料集合体の装荷率が1/3程度であれば、ウラン燃料炉心と同等の特性を有する炉心設計は可能と考えられる。

女川原子力発電所で使用を予定しているMOX燃料の許認可条件と、現在、当社と同じBWRでプルサーマルを行っているドイツのグンドレミンゲンB、C炉（9×9燃料、10×10燃料）での許認可条件および実績を以下のとおり比較する。

	燃料型式	燃料集合体平均プルトニウム含有率	燃料集合体平均核分裂性プルトニウム富化度	装荷率 ^{※5}
ドイツにおける2000年までの実績 ^{※1}	9×9 または 10×10	約 5.4wt%	約 3.6wt%	約 1/3 (300/784 体) (2006 年)
ドイツ許認可条件 ^{※2}	9×9 または 10×10	約 7.8wt% (核分裂性プルトニウム割合 70wt%として概算した場合)	5.47wt%	約 1/3 (300/784 体)
東北電力申請書記載内容 (核分裂性プルトニウム割合約 67wt%の場合)	8×8	約 4.3wt% ^{※3}	約 2.9wt% : 概算 ^{※4}	約 1/3 (228/560 体) (約 30/約 95t : 概算 ^{※5})

※1 : IAEA Technical Report Series-415 p47

※2 : 燃料の型式認定及び解析コードの検証に係る制度の調査と提言 (JNES) B. 2-33

※3 : 標準的な組成のプルトニウム (核分裂性プルトニウム 67%) の場合の一例。申請値は燃料集合体平均ウラン235濃縮度約3.0wt%相当以下として約2.9~5.8wt%

※4 : 燃料集合体平均プルトニウム含有率から算定した概算値

※5 : 重量比

※6 : MOXペレット換算とした場合の概算値

MOX燃料の破損実績について

MOX燃料の破損事例を第1表に示す。国内で製造され、国内で使用されたMOX燃料に破損は発生しておらず、また海外でのMOX燃料の破損も、その破損原因はウラン燃料と同様、燃料製造や原子炉冷却材中の異物等に起因するものであり、MOX燃料での特異な破損（燃料被覆管の変形等）は報告されていない。

第1表 MOX燃料の破損事例

年	製造	国	発電所	炉型	燃焼度 (GWd/t)	原因	破損数 ^{※2}
1970	GE	アメリカ	Big Rock Point	BWR	20以下	過度なクワットによる局所腐食 ^{※1}	2体 ⁽⁸⁾
1972	BN	ベルギー	BR-3	PWR	30	端栓溶接不良 ^{※1}	1体 ⁽³⁾
1973	Siemens	ドイツ	Obrigheim	PWR	(2サイクル目)	被覆管水素化 ^{※1}	数本 ⁽²⁾
1973	BN	オランダ	Dodewaard	BWR	10	被覆管水素化 ^{※1}	1本 ⁽³⁾
1980		ベルギー	BR-3	PWR	35	水質に起因する局所的な腐食 ^{※1}	6本 ⁽³⁾
1990		スイス	Beznau-1	PWR	15	異物	1体中2本 ⁽³⁾
1993	COGEMA	フランス	Dampierre-1	PWR	(1サイクル目)	異物と推定	1体 ⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽¹⁰⁾
1997		フランス	Tricastin-2	PWR	(1サイクル目)	不明	1体 ⁽⁶⁾⁽¹⁰⁾
1997	BNFL	スイス	Beznau-1	PWR	(1サイクル目)	端栓溶接不良 ^{※1}	1体中1本 ⁽⁷⁾
						不明	2体中2本 ⁽⁷⁾
2000		スイス	Beznau-1	PWR	(3サイクル目)	不明	4体 ⁽⁹⁾
2001	COGEMA	フランス	Tricastin-4	PWR	不明	不明	1体 ⁽¹⁰⁾
2003		フランス	Dampierre-1	PWR	不明	不明	1体 ⁽¹⁰⁾
不明	Siemens	ドイツ	不明	不明	7～14	異物	2体中2本 ⁽¹⁾
					15～29	異物	1体中1本 ⁽¹⁾
					22～37	異物	1体中1本 ⁽¹⁾
不明	BN	不明	不明	不明	不明	異物	3体 ⁽¹¹⁾

- (1) F.U.Schlemmer et al., "Status of Irradiation Experience with Recycled Fuel Materials in the FRG for SIEMENS/KWU Type Fuel Assemblies", IAEA Mtg., Cadarache. Nov. 1989.
- (2) H.J.Schenk et al., "Experience with the Use of Recycle Plutonium in Mixed-Oxide Fuel in Light Water Reactors in the Federal Republic of Germany", Nucl. Tec. Vol.43 MID-APR.1979.
- (3) P.Deramaix et al., "IN-PILE Performance of Mixed-Oxide Fuel with Particular Emphasis on MIMAS Fuel", Nucl.Tec. Vol.102 April 1993.
- (4) S.Benjamin, "Plutonium Recycling: The Point of View of Electricite de France", IAEA-TECDOC-941, 1995
- (5) P.Blanpain et al., "Recent Results from the in Reactor MOX Fuel Performance and Improvement Program", 1997 ANS Topical Meeting, Portland, Oregon
- (6) Nuclear Fuel, August 11, 1997
- (7) Nuclear Fuel, December 27, 1999
- (8) R.W.Voll, "Plutonium Recycle R&D and Operating Experience at Big Rock Point", ANS Topical Mtg., Miami, May(1977)
- (9) BNFL Press Response, August 2, 2000
- (10) J. Provost, et al., "MOX and UOX PWR Fuel Performances EDF Operating Experience", Proc. of the 2005 Water Reactor Fuel Performance Meeting, paper No. 1129, Kyoto, October 2-6, 2005
- (11) 「福島第一原子力発電所3号機並びに柏崎刈羽原子力発電所3号機用MOX燃料に関する品質管理状況の再確認結果について」(東京電力㈱, 平成12年2月)
- ※1: これらの破損原因については既に対策が施され、近年これらの原因による破損事例は報告されていない
- ※2: 体数のみ記載: 破損燃料棒を含む燃料集合体数のみ分かるもの (破損燃料棒本数は不明)
 本数のみ記載: 破損燃料棒の数のみ分かるもの (破損燃料棒を含む燃料集合体数は不明)
 体数, 本数が記載: 破損燃料棒の本数, 体数が分かるもの