

使用済燃料の管理・プルトニウムの軽水炉利用
に関する現状における取り組みについて

平成9年1月24日

電気事業連合会

燃料高燃焼度化による使用済燃料発生量の低減

燃料の高燃焼度化により使用済燃料燃料の発生量は
20～30%低減できる

型式	平均燃焼度 (Mwd/t)	年間使用済燃料 発生量(tU/年)	使用済燃料発生量 相対比較
BWR	33,000	27	1.0
	39,500	23	0.8
	45,000	20	0.7
PWR	32,000	29	1.0
	43,000	22	0.8
	48,000	20	0.7

注) 110 万 kW 級原子力発電所(稼働率 75%)のケースで評価

[説明]

- ・電力としても使用済燃料発生量低減を一つの目的として燃料の高燃焼度化を実施
- ・今後も高燃焼度化を計画

使用済燃料貯蔵状況の見通し (短期的見通し)

状
況

六ヶ所再処理工場が計画通り進んでも、一部電力(関西電力、日本原電)は2000年頃から使用済燃料の貯蔵量増強対策が必要



対
策

- ・ 六ヶ所再処理工場が予定通り進んでも関西電力(株)、日本原電(株)は2000年頃には貯蔵量増強策が必要

- ・ 2社の対策必要量(合計)

年 度	2001	2003	2005
対策必要量(t)	30	310	490

- ・ 対策・ 関西電力は大飯発電所にてBピット増設による貯蔵量増強対策を計画
- ・ 日本原電は東海、敦賀でドライキャスク、リラッキングによる増強策を計画
- ・ 他電力は短期的には使用済燃料を同一発電所内の余裕のある使用済燃料貯蔵プールへ移送すること等で対応可能となるものの、貯蔵余裕の少ない発電所については、適宜、貯蔵量増強対策を実施
- ・ 対策必要量発生時期に対し、対策準備には相当期間(数年)のリードタイムが必要。

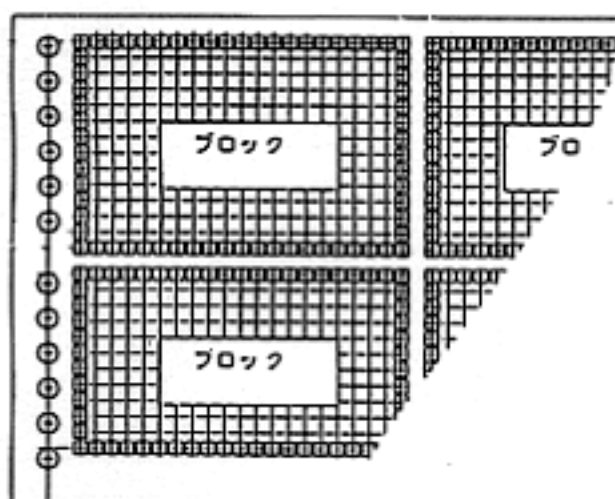
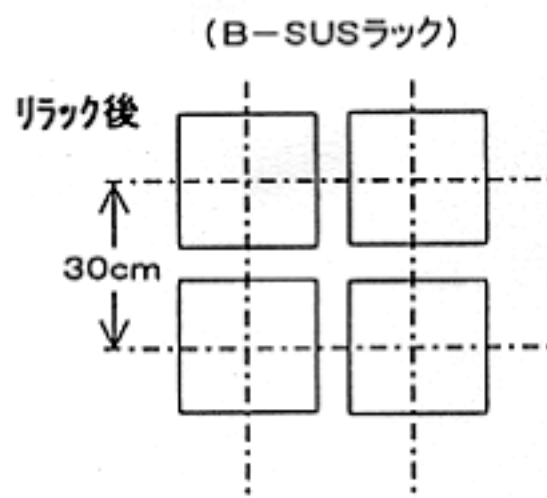
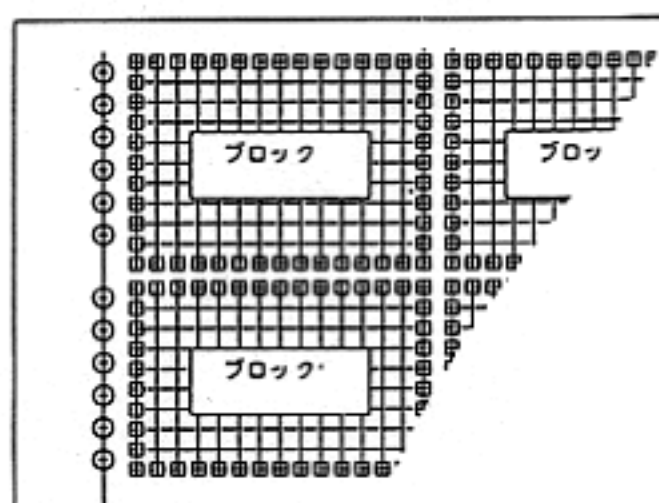
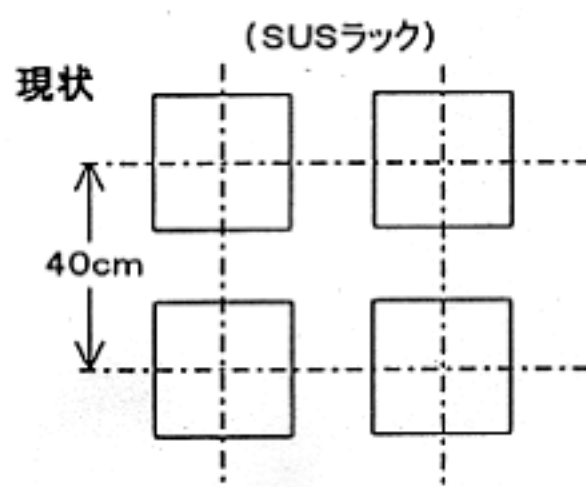
リ ラ ッ キ ン グ

使用済燃料貯蔵ラック間の距離を短くすることで、
稠密化を図り、貯蔵容量の増加を図る
(ボロン添加ステンレスの採用)

例 (PWRの場合)

約1000体 → 約1700体

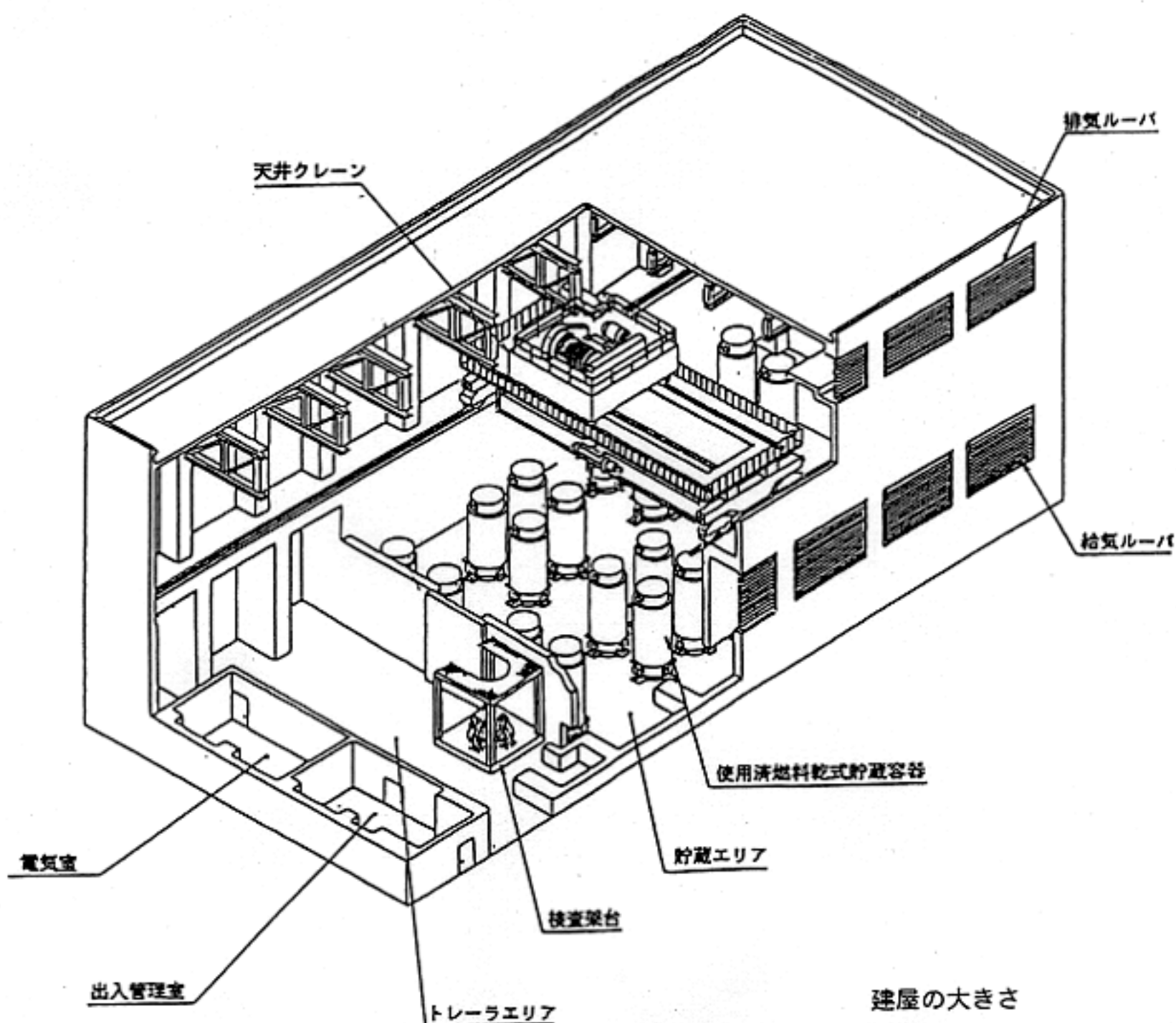
ラックピッチ



乾式貯蔵方式の採用

使用済燃料を使用済燃料貯蔵用の乾式貯蔵容器に入れ、
使用済燃料貯蔵プールとは別の場所で貯蔵する

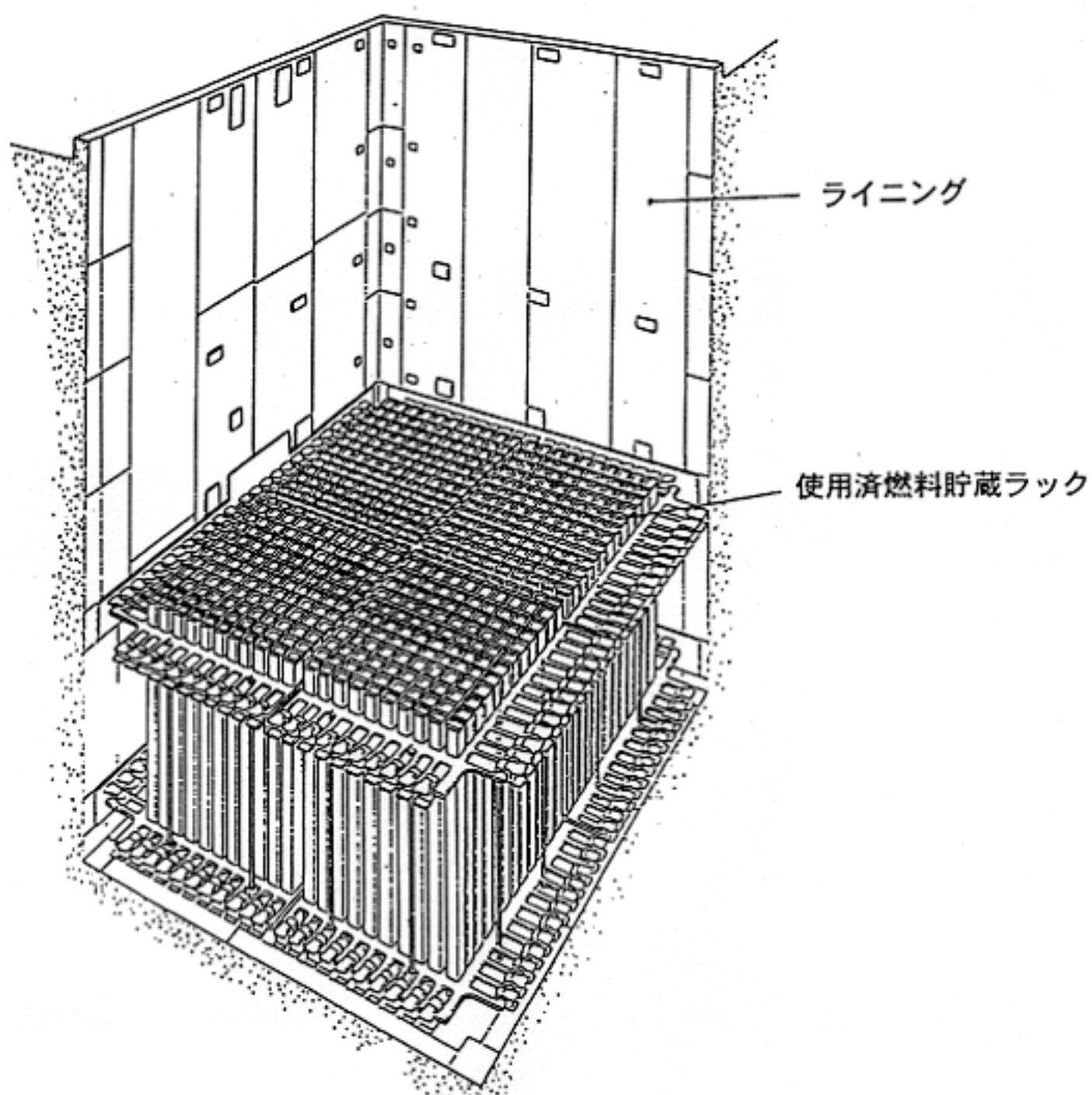
例



建屋の大きさ
面積 約 50m×30m
高さ 約 20m

使用済燃料貯蔵プールの増設

既存のコンクリートピットにライニングを施し、
燃料貯蔵ラックを設置する



使用済燃料貯蔵状況の見通し (長期的見通し)

状
況

六ヶ所再処理工場が計画通り進み、発電所の貯蔵増強策(関電、原電)が講じられても、使用済燃料発生量が搬出量を上回るため、2010年頃には発電所の貯蔵可能量を超過



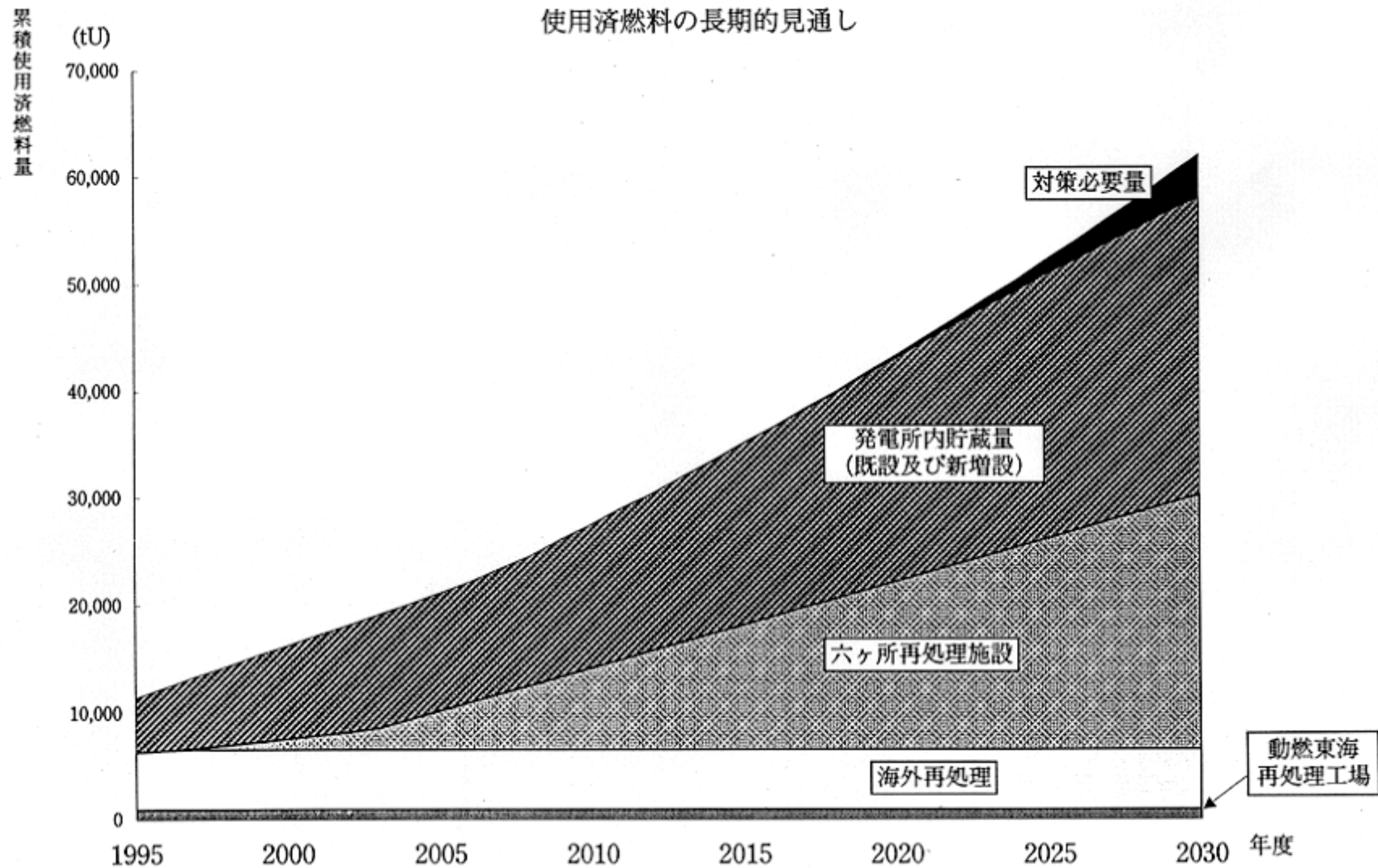
対
策

- 第1再処理工場が計画通り稼働しても、2010年頃から新たな使用済燃料対策が必要

年 度	2010	2030
対策必要量(tU)	30	4000

- 発電所内貯蔵のみで対応する場合は、使用済燃料が毎年600～700t増加
- 対策：
 - 燃料の高燃焼度化の推進
 - 「発電所内貯蔵増強方策」、「発電所外貯蔵」を考慮した中間貯蔵を検討
 - 海外再処理追加については、内外情勢を注視しつつ慎重に対応

使用済燃料の長期的見通し



使用済燃料貯蔵量見通しの前提条件

(長期見通し)

本資料は、電力として使用済燃料の貯蔵対策を検討するため、典型的な前提条件を設定し、一例として貯蔵量の推移を試算したものであり、諸条件の変化、対策の進捗、将来的な対応方法の選択等により、様々に変化しうるものである。

1. 新規プラント導入計画

・以下の新規プラントを仮定

- a. 電力による電源開発計画： 軽水炉 20基 2454.5 万 kW
- b. 想定新規プラント： 2010 年(約 7000 万 kW)、2030 年(約 1 億 kW)
の発電規模を目標とした新規分は 110 万 kW
級プラント建設を想定

2. 使用済燃料発生量

(1) 既設プラント

- a. 至近年(約 2～5 年)
 - ・各社の運転計画による
- b. 中長期における評価
 - ・ PWR：13 ヶ月運転、3 ヶ月定検、約 3 バッチ取替
 - ・ BWR：13 ヶ月運転、3 ヶ月定検、約 4 バッチ取替

(2) 新規プラント

- ・ 110 万 kW 既設プラント平均発生量を新規プラントの出力比例倍と仮定

(3) 高燃焼度燃料の導入

- ・ 電力各社の導入計画に基づき考慮

3. 使用済燃料貯蔵量

- (1) 管理容量：原則として「貯蔵容量から 1 炉心+1 取り替え分を差し引いた容量」ただし、1 炉心分のみを差し引いた容量で管理する場合もある。
- (2) プールの共用化：許可済の計画を考慮（東京電力(株)柏崎刈羽発電所、関西電力(株)大飯発電所、四国電力(株)伊方発電所、九州電力(株)玄海発電所、日本原電敦賀発電所）
- (3) 当面の対策(関西電力(株)大飯発電所；B ピット増設、日本原電(株)；乾式貯蔵キャスク設置、リラッキング)：考慮

4. 使用済燃料搬出量

- (1) 動燃東海再処理向け
 - ・平成 9 年以降の搬出は見込まないと仮定
- (2) 海外再処理向け
 - ・現契約に基づく契約量を搬出することが出来ると仮定
- (3) 六ヶ所再処理向け
 - ・平成 8 年 4 月申請の事業指定申請に基づく受入量に応じた量を搬出することが出来ると仮定
 - ・六ヶ所再処理計画(下表)
同上事業指定申請に基づく：平成 9 年度 使用済燃料受入開始
平成 14 年度 再処理開始

六ヶ所再処理施設の受入、再処理計画(平成 8 年 4 月申請)

年度	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
受入計画(t)	150	250	300	300	300	300	400	800	800	800	800
再処理量(t)						40	200	360	520	680	800

以上

プルサーマル

1. 基本的考え方

- ・我が国は、再処理で回収されたプルトニウムとウランを燃料として有効利用し、ウラン資源の利用効率を高めることを基本方針としている。
- ・プルサーマルにより、発電設備への追加投資をほとんど伴うことなく、数割程度ウラン資源を節約することが可能である。
- ・余剰プルトニウムを持たないとの原則の下、高速増殖炉の実用化までの間プルサーマルを適切な規模で実施
- ・海外では相当数の実績あり

2. 当面の対応

- ・再処理によって回収されたプルトニウムは、MOX燃料に成型加工した上で、軽水炉で利用する「プルサーマル」を1990年代後半には、現在稼働中の軽水炉少数基で導入し、その後順次拡大する予定

3. 長期的対応

- ・六ヶ所再処理工場で回収されるプルトニウムを速やかに軽水炉用MOX燃料に加工するため、国内MOX燃料加工事業を確立する。

4. プルサーマルの経済性

- ・MOX燃料の使用量は原子力発電全体からみてごくわずかであり、原子力発電コストに与える影響は小さい。

5. 使用済MOX燃料の再処理

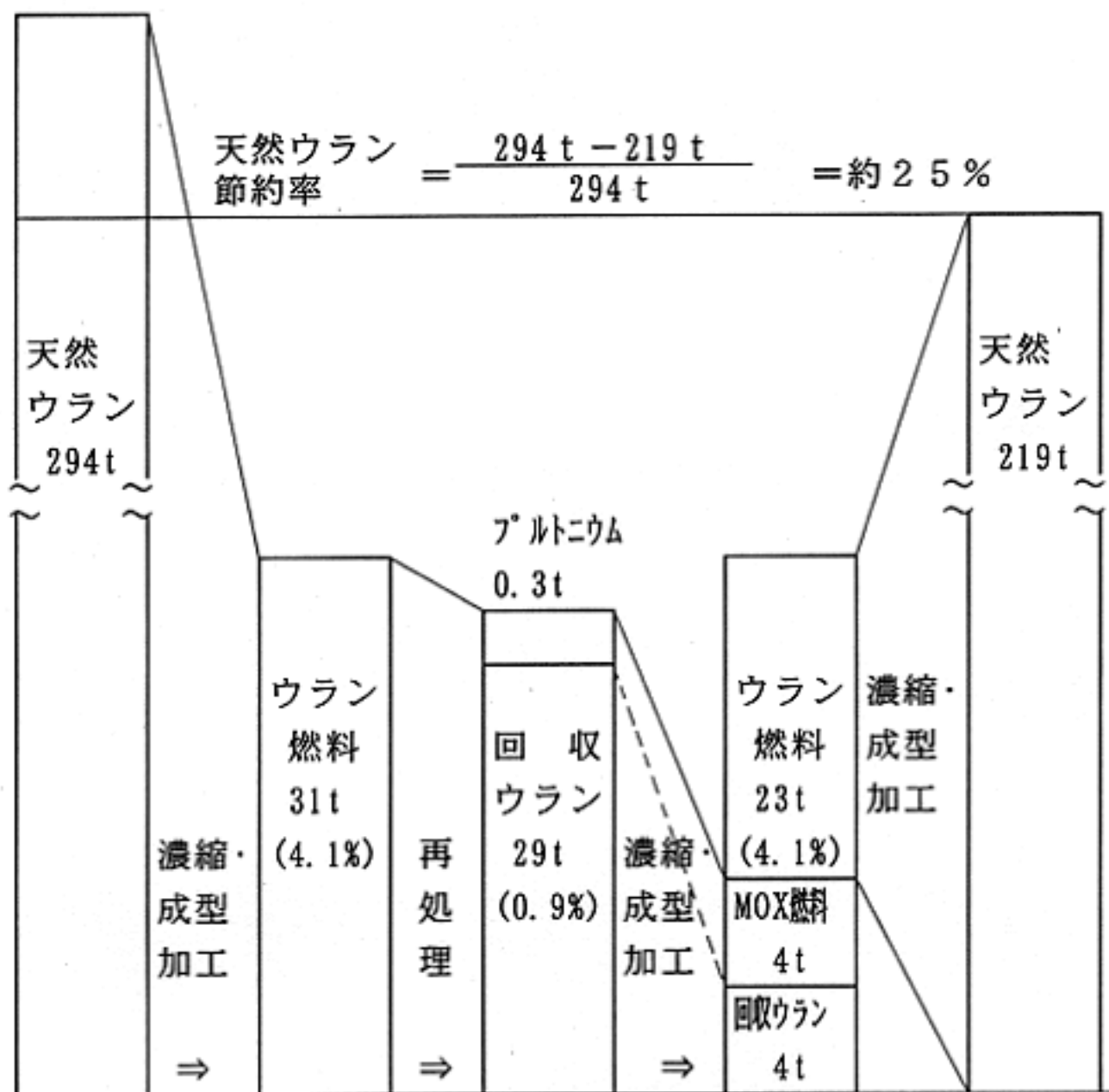
- ・使用済MOX燃料は、再処理までの間貯蔵する予定
- ・技術的には再処理可能であり、海外では既に工場規模で再処理実績あり

リサイクルによるウラン資源の節約効果について

リサイクル（プルサーマル、回収ウラン利用）により、ウラン資源を数割程度節約することができる。

詳細：別シート

リサイクルによる資源節約効果に関する計算例
(PWR 4.1%濃縮ウランの場合)



上記計算は、100万kW級プラントの燃料取替量約31t
(天然ウラン約294t利用)を照射後再処理し、それによっ
て得られる回収ウラン、回収プルトニウムをリサイクルし、
再び燃料約31tを作った場合のものである。

海外における軽水炉M O X燃料使用実績

- ・ 現在フランス、ドイツ、スイス、ベルギーで、20基以上の発電所で継続的に使用されており、今後も利用拡大が計画されている
- ・ 海外では燃料集合体で合計1、500体以上の照射実績あり

詳細：別シート

世界のプルサーマル実績

(1996年12月現在)

◎印は30%以上の装荷割合の実績のある炉

*印はデータ不詳

国名	プラント名	炉型/GrossMWe	装荷年	全炉心体数	累積装荷体数
<u>現在MOX燃料装荷中のPWR</u>					
ベルギー	チアンジュ2	PWR/970	1995.3-	157	20
	ドール3	PWR/1020	1995-	*	16
フランス	◎ サンローランB1	PWR/956	1987-	157	128
	◎ サンローランB2	PWR/956	1988-	157	112
	◎ グラブリーヌ3	PWR/951	1989-	157	120
	◎ グラブリーヌ4	PWR/951	1989-	157	72
	ダンビエール1	PWR/937	1990-	157	56
	ダンビエール2	PWR/937	1993-	157	40
	ブレイエ2	PWR/951	1994-	157	16
	トリカスタン2	PWR/955	1996-	*	16
	トリカスタン3	PWR/955	1996-	*	8
ドイツ	ネッカル1	PWR/840	1982-	177	32
	オブリッヒハイム	PWR/357	1972-	105	62
	フリッブス2	PWR/1402	1988-	193	52
	グローンデ	PWR/1394	1988-	193	32
	ブロックドルフ	PWR/1395	1988-	193	40
	グラーフェンインフェルト	PWR/1345	1985-	193	88
	ウンターペーザー	PWR/1320	1984-	193	60
スイス	◎ ベツナウ1	PWR/364	1978-	121	40
	◎ ベツナウ2	PWR/364	1984-	121	52
小計					1062

過去にMOX燃料装荷実績のあるPWR

フランス	セナ	PWR/320	1974-1987	112	14
ベルギー	◎ BR-3	PWR/11.2	1963-1987	73	151
アメリカ	ギネー	PWR/490	1979	121	4
	サンオノフレ1	PWR/456	1970	157	4
	◎ サクストン	PWR/5.5	1965-1969	*	16
イタリア	トリノ	PWR/270	1976	112	8
日本	美浜-1	PWR/340	1988-1991	121	4
小計					201

PWRへのMOX燃料装荷体数実績合計 1263

現在MOX燃料装荷中のBWR

ドイツ	グント・レインゲンC	BWR72/1344	1995-	784	16
	グント・レインゲンB	BWR72/1344	1996-	784	32
小計					48

過去にMOX燃料装荷実績のあるBWR

ドイツ	リンゲン	BWR/252	1970	284	1
	グント・レインゲンA	BWR/250	1974-1976	368	64
	カール	BWR/16	1966-1982	172	95
アメリカ	クオッドシティズ1	BWR3/833	1974	724	5
	ビッグ・ロック・ポイント	BWR/75	1968-1976	84	53
	ドレスデン1	BWR/210	1967-1969	464	15
イタリア	ガリリアーノ	BWR/164	1968-1975	208	62
オランダ	ドーデバルト	BWR/58	1971-1988	164	12
スウェーデン	オスカーシャム1	BWR/462	1974	448	3
日本	敦賀-1	BWR/357	1986-90	308	2
小計					312

BWRへのMOX燃料装荷体数実績合計 360

欧州のプルサーマル発電所

装荷中：▲

計画中：△



プルサーマルの安全性

MOX燃料の使用に関する基本的な技術基盤は 確立されている

1. プルトニウムの特性は把握されている

- ・現在運転されている原子力発電所では、炉内で核分裂により生成されたプルトニウムが、発電所からのエネルギーの約1/3を担っている。
- ・原子炉の設計に、既にプルトニウムの特性が反映されている。

2. 海外での豊富なプルサーマル実績

- ・PWRで1263体、BWRで360体のMOX燃料の装荷実績あり(1996年12月現在)
- ・ウラン燃料と異なる燃料破損は報告されていない。

3. 我が国でのMOX燃料使用実績

(1) 少数体実証計画

- ・BWR：敦賀1号機(1986年7月～1990年1月、2体)
- ・PWR：美浜1号機(1988年4月～1991年12月、4体)
- ・運転中の良好な炉心特性、燃料のふるまいの確認
- ・照射後試験で、ウラン燃料と同等の健全性を確認

(2) 新型転換炉「ふげん」

- ・昭和54年以降600体以上の使用実績あり

4. 原子力安全委員会が1/3炉心MOX燃料の安全指標等を取りまとめ

(参考：発電用軽水炉原子炉施設に用いられる混合酸化物燃料について)

- ・MOX燃料の特性・挙動はウラン燃料と大きな差がないと判断
- ・MOX燃料およびその装荷炉心はウラン燃料炉心と同様の設計が可能と判断
- ・安全審査に当たっては、MOX燃料の特性を適切に考慮すると、ウラン燃料炉心に用いる判断基準、安全設計・評価手法が適用可能と判断

5. MOX燃料装荷炉心の安全性確保

- ・ウラン燃料と共存性を有する基本設計
- ・MOX燃料の物性等を適切に考慮して設計・評価
- ・集合体内プルトニウム富化度、炉内MOX燃料配置の適切な設計等

MOX燃料の少数体実証計画の結果について

1. 概 要

軽水炉におけるMOX燃料の本格利用に先立ち、少数体実証計画として、敦賀1号炉（BWR）で、MOX燃料2体を1986年から1990年まで3サイクル（燃料集合体燃焼度で約26,000Mwd/t）、美浜発電所1号炉（PWR）でMOX燃料4体を1988年から1991年まで3サイクル（燃料集合体燃焼度で約23,000Mwd/t）にわたり照射した。

2. 結 果

運転中の炉心特性、燃料のふるまいについては良好であり、定期検査においても異常は認められなかった。

また、燃料取り出し後の照射後試験により、燃料棒外観、酸化膜厚さ、伸び、燃料棒断面金相、FPガス放出率等についての詳細評価が実施され、その結果、燃料棒としての照射挙動はウラン燃料棒と同等であること、ペレットの照射挙動もウランペレットと顕著に異なるところが見られないこと及び照射された全ての燃料が健全であったことが確認されている。

プルサーマル発電の経済性

OECD/NEAでは、MOX燃料の取得費はウラン燃料とほぼ同等と評価

プルサーマルは、現在商業発電を行っている軽水炉をそのまま利用して、ほとんど追加設備投資なくプルトニウムを燃料として有効利用し、資源の利用効率を向上できるものである。

MOX燃料の経済性については、OECD/NEAの報告で、MOX燃料の加工費はウラン燃料の3～5倍程度になるものの、ウラン原料として劣化ウランを使用する場合、燃料取得費の大半を占める「ウラン鉱石取得から濃縮までの費用」が不要となることから、両燃料の取得費は同程度と評価されている。

発電コストに占める燃料取得費の割合は約1割程度であり、さらに、将来的にプルサーマルが本格化した時点での、MOX燃料の装荷量は、日本全体の原子燃料使用量の1/10程度であることから、MOX燃料の原子力発電コストに与える影響はほとんど無いと評価される。

なお、プルサーマルが本格化している欧州では、今後のMOX燃料市場の拡大、量産加工技術の進歩等により、MOX燃料費の経済性向上の余地は大きいと見られている。

MOX燃料の経済性評価

◆ “Plutonium Fuel, An Assessment”, OECD/NEA, 1989

ウラン燃料加工費	\$ 200 / kg U (\$ 175 ~ \$ 300 / kg U)
MOX燃料加工費	\$ 800 / kg HM (\$ 700 ~ \$ 1000 / kg HM)

- (注) 1. 1987年米ドル価額ベースで、90年代半ばのコストを評価したもの。
2. () 内は、ばらつきの範囲。

◆ “The Economics of the Nuclear Fuel Cycle”, OECD/NEA, 1994

[/ kg]	ウラン燃料	MOX燃料		
		3 倍	4 倍	5 倍
ウラン鉱石取得	\$ 509	\$ 65	\$ 65	\$ 65
転換	\$ 58	\$ 7	\$ 7	\$ 7
濃縮	\$ 552	—	—	—
加工	\$ 275	\$ 825	\$ 1100	\$ 1375
合計	\$ 1394	\$ 897	\$ 1172	\$ 1447

- (注) 1. MOX燃料の倍数は、ウラン燃料の加工費と比較したMOX燃料の加工費の割合。NEAのレポートでは、4倍を標準ケースとし、3倍と5倍で感度分析している。
2. 上表のMOX燃料は、ウラン原料に天然ウランを用いることを前提にしていることから、ウラン鉱石取得費と転換費が若干発生しているが、ウラン燃料の濃縮工程で分離保管されている劣化ウランをウラン原料に用いる場合には、基本的にこれらの費用は発生しない。

M O X 使用済燃料の再処理

- ・再処理までの間貯蔵するが、当面は発電所内で適切に貯蔵管理
- ・海外では、M O X 使用済燃料の再処理を工場規模で実施済み

1. 使用済M O X燃料は、ウラン燃料に比べて発熱量の減衰が相対的に遅いものの、燃料取り出し直後の発熱量はほぼ同等であること等により、貯蔵プールでの保管に支障はない。

2. 工場規模のM O X使用済燃料再処理実績

	試運転 (A P M - マルクール)	工場規模運転 (U P 2 - ラ・アーク)
再処理済燃料量 (t U + P u)	2. 1	4. 7
再処理期間	9 1 年末 / 9 2 年初	9 2 年 1 1 月
使用済燃料中 P u 含有量 (%)	4. 1	4. 1 ~ 4. 4
燃焼度 (M W D / t)	3 4, 0 0 0	3 3, 0 0 0 ~ 4 1, 0 0 0
冷却期間 (年)	3. 5	5. 5

注1) A P M - マルクール：再処理能力 高速炉燃料 5 t / 年

U P 2 - ラ・アーク：再処理能力 濃縮ウラン燃料 8 0 0 t / 年

注2) M O X 使用済燃料は既存の再処理施設でウラン燃料と混合され再処理された。