

Ⅲ プルサーマル計画に係る安全性に関する検討

1 安全性に関する検討の基本方針

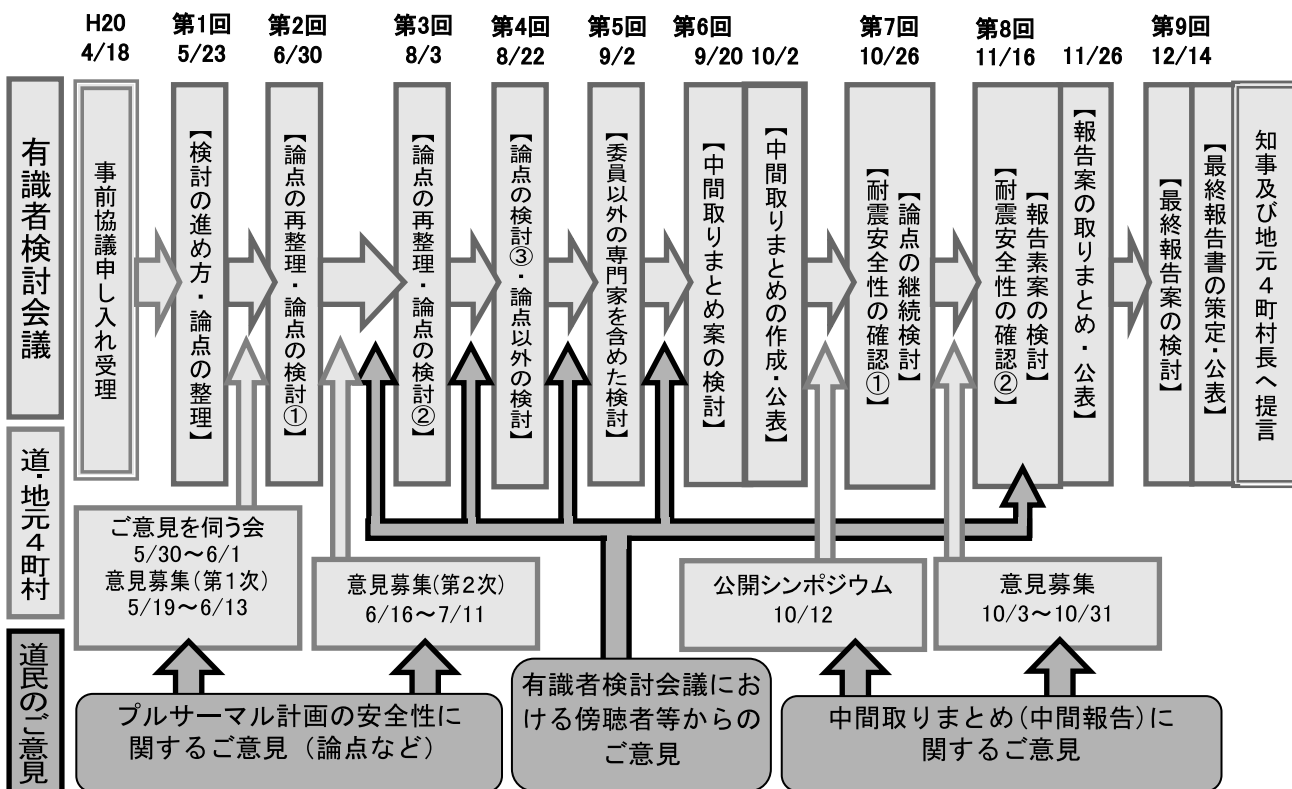
北電株のプルサーマル計画に係る安全性に関する検討を進めるに当たっては、「泊発電所周辺の地域住民をはじめとする道民の様々な意見を検討に反映すること」、「先行して検討を行っている他県の例なども参考にして検討すること」及び「安全性確保を基本として科学的かつ専門的な観点から検討すること」を基本方針とした。

また、検討のスキームとして、科学的かつ専門的な観点から検討を行うが、先行して検討を行った他県での論点などをベースに、道及び地元4町村が開催した「泊発電所のプルサーマル計画に関するご意見を伺う会」の開催や地元4町村役場、インターネット等での閲覧により、地元をはじめ道民の皆さまから広くご意見をいただき、検討に必要な論点を整理し、議論することとした。

そして、論点ごとの検討を進め、検討を一定程度、終えた時点で中間取りまとめ(中間報告)を行い、中間報告について公開シンポジウム等で道民の皆さまからのご意見をいただいた上で最終取りまとめ(最終報告)を行い、知事及び地元4町村長に提言を行うこととした。(資料3参照)

なお、有識者検討会議では、会議自体を公開で開催するほか、会議資料や議事録についても公開し、検討状況の透明性の確保を図るとともに、2回目の有識者検討会議において、会議の開催結果に係る傍聴者などからのご意見も参考とさせていただきながら検討を進めること(資料8参照)、中間取りまとめ前などに委員以外の専門家による意見交換を行うこと(資料9参照)とした。

【安全性に関する検討スキーム】



・北海道(本庁・全支庁・原子力環境センター)、地元4町村役場(泊村・共和町・岩内町・神恵内村)に、資料閲覧・意見提出窓口を設置
 ・道ホームページにおける関係資料の公開及び意見提出様式のダウンロード並びにメールによる意見受付を実施

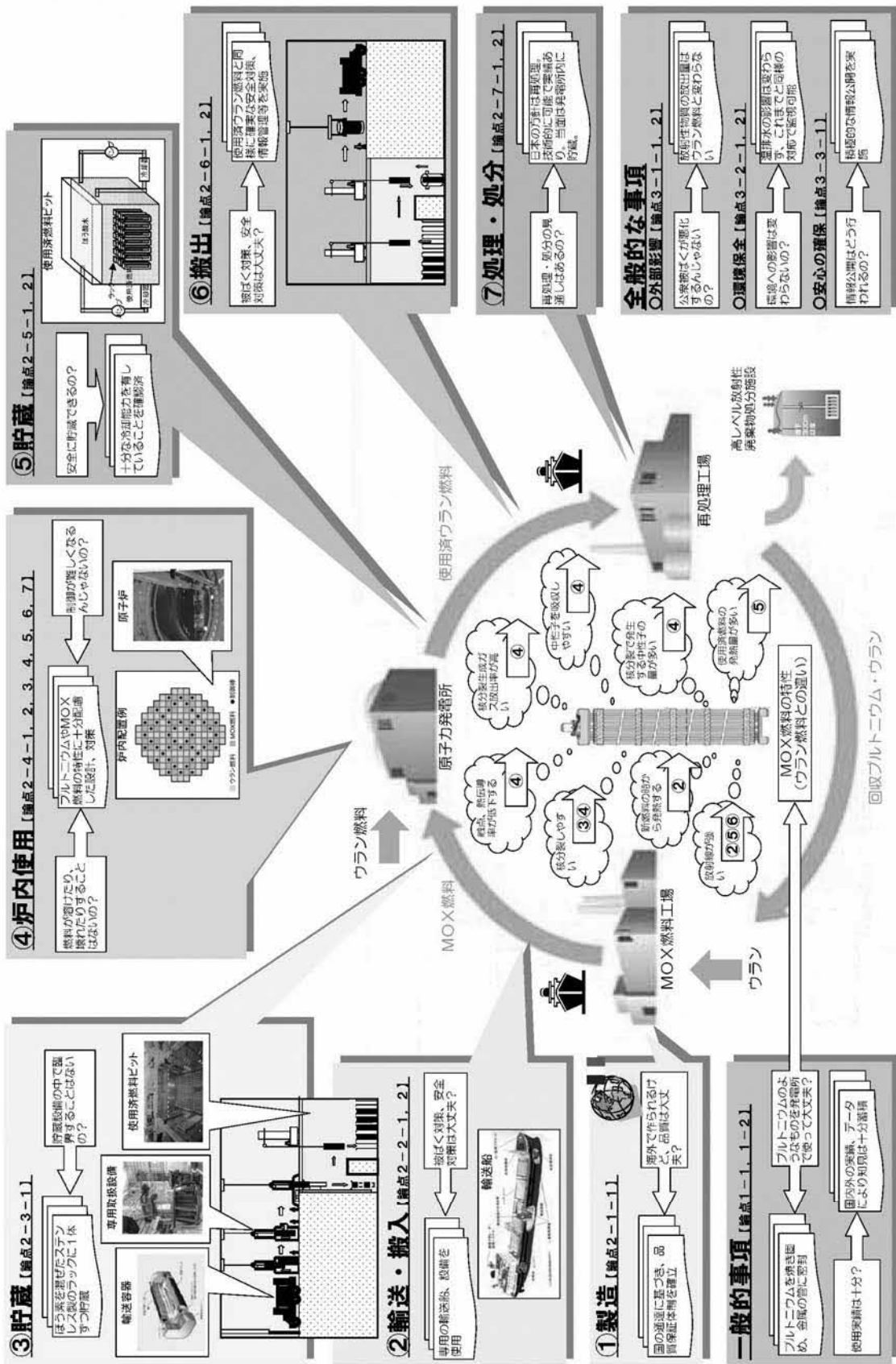
2 安全性に関する検討の論点整理

他県の検討の論点、道民の皆さまからのご意見等を参考にして、プルトニウムの特性、MOX 燃料の使用実績に関する「**一般的事項**」、MOX 燃料の製造、輸送・搬入、貯蔵、炉内使用から、使用済 MOX 燃料の貯蔵、搬出、処理・処分までの「**MOX 燃料使用の流れに関する事項**」、外部影響、環境保全、安心の確保に関する「**全般的事項**」について、ウラン燃料との違いから生じる安全性に係る課題等から 24 の論点を整理した。(資料 4、7 参照)

【プルサーマル計画に係る安全性に関する論点整理のフロー (例)】



【プルサーマルの実施に伴う一連の流れと検討内容（概要）】



◆プルサーマル計画に係る安全性に関する論点項目

【1 一般的事項】

論 点	課 題
1-1 [1/24] プルトニウム特性 (3(1)① P.19 参照)	プルトニウムは非常に毒性が強い物質であり、体内に取り込まれた場合、発ガンなど人体への影響が憂慮される。また、MOX 燃料に加工してもプルトニウムが含まれていることによりウラン燃料と特性が大きく変わるのではないか。このような物質を発電所で使用して問題ないか。
1-2 [2/24] MOX 燃料の使用実績 (3(1)② P.23 参照)	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。また、海外の実績より高いプルトニウム含有率の燃料を、異なる装荷割合で、高燃焼度ウラン燃料と併用することに問題はないか。海外では過去に MOX 燃料の破損例があるが問題はないか。

【2 MOX 燃料使用の流れに関する事項】

論 点	課 題	
2-1 MOX 燃料の製造	2-1-1 [3/24] 海外における MOX 燃料の製造 (3(2)① P.27 参照)	海外における MOX 燃料の製造において、過去にはデータ改ざん等があったが、品質保証上問題ないか。
2-2 MOX 燃料の輸送・搬入	2-2-1 [4/24] 輸送時の安全対策 (3(2)② P.29 参照)	MOX 燃料は、新燃料の段階でもウラン燃料より放射線が強く、崩壊熱が大きい。燃料集合体の強度は低下しないのか。また、事故に備え、輸送容器の安全性確保をはじめ、どのような安全対策を講じるのか。
	2-2-2 [5/24] 作業時の被ばく (3(2)③ P.33 参照)	MOX 新燃料は、新燃料の段階でもプルトニウムを含むため、ウラン燃料より放射線が強い。また、プルトニウムは崩壊によりアルファ線を出す。燃料輸送物の陸揚げ、陸上輸送、建屋搬入、開梱、検査時において作業員への被ばくが大きくなるのではないか。また、事故があった場合、ウラン燃料と比較して影響の及ぶ範囲が拡大するのではないか。
2-3 MOX 燃料の貯蔵	2-3-1 [6/24] 貯蔵設備の未臨界性 (3(2)④ P.36 参照)	MOX 燃料には自発核分裂を行うプルトニウム 240 などが含まれており中性子を発生し、またプルトニウムの核分裂断面積が、ウランより大きいので、貯蔵時に臨界になりやすくなるのではないか。
2-4 原子炉内における使用	2-4-1 [7/24] 燃料健全性への影響① (3(3)① P.38 参照)	ウラン燃料の燃焼過程で生成されたプルトニウムが燃料中に存在する状態と、人工的にプルトニウムを混ぜる MOX 燃料では燃焼特性が違うのではないかと、MOX 燃料は燃料ペレットの融点が低下するとともに、熱伝導率が小さくなり、燃料中心温度が上昇する傾向にある。燃料の熔融など健全性に影響があるのではないかと、また、燃焼が進むと融点がより低下することはないのか。

論 点		課 題
2-4 原子炉内における使用	2-4-2 [8/24] 燃料健全性への影響② (3(3)② P.40 参照)	MOX 燃料はウラン燃料と比較して、燃焼が進んだ段階でペレットからの核分裂生成ガスの燃料棒内部への放出率が高い傾向が見られるという知見が得られている。燃料棒の内圧がより上昇し、燃料そのものや被覆管が破損するなど影響があるのではないかな。
	2-4-3 [9/24] 燃料健全性への影響③ (3(3)③ P.43 参照)	プルトニウム粉末とウラン粉末を混合してペレットをつくる時にプルトニウムの固まり(プルトニウムスポット)ができるといわれている。燃焼の際に健全性に悪影響を与えないかな。
	2-4-4 [10/24] 燃料健全性及び原子炉の制御性への影響 (3(3)④ P.45 参照)	プルトニウムはウランと比較して熱中性子を吸収しやすいため、MOX 燃料がウラン燃料と隣り合うとウラン燃料から MOX 燃料に中性子が流れ込み、MOX 燃料集合体外周部の燃料棒出力が高くなりやすい。出力分布が不均一になり、燃料の健全性や原子炉の制御性に影響があるのではないかな。
	2-4-5 [11/24] 燃料健全性、原子炉の制御性及び設備健全性への影響① (3(3)⑤ P.48 参照)	プルトニウムはウランより熱中性子を吸収しやすいことから、MOX 燃料の採用により、相対的に、制御棒の熱中性子の吸収割合の減少や、ほう酸水中のほう素の熱中性子吸収割合が低下し、制御能力(効き)が低下する傾向がある。原子炉の制御性などへの影響に対し、燃料の適切配置やほう素濃度調整で十分なのかな。 また、事故、地震時など緊急時の停止余裕は十分確保されているかな。
	2-4-6 [12/24] 燃料健全性、原子炉の制御性及び設備健全性への影響② (3(3)⑥ P.51 参照)	プルトニウムはウランより熱中性子を吸収しやすく、また共鳴吸収(中性子の減速途中での吸収)も大きい。MOX 燃料の採用により、熱中性子の割合が減少することから、出力の上昇がより急峻になり、原子炉の制御が不安定になるなど影響があるのではないかな。 また、操作ミスなどにより制御が不能になることはないかな。
	2-4-7 [13/24] 設備健全性への影響 (3(3)⑦ P.54 参照)	核分裂の際、プルトニウムはウランより高速中性子の発生量が多い。金属材料は中性子の照射を受けると脆くなるが、MOX 燃料の採用により、原子炉容器が傷みやすくなるなど設備の健全性や耐久性に影響が生じ、老朽化を早めるのではないかな。
	2-5 使用済 MOX 燃料の貯蔵	2-5-1 [14/24] 取扱・貯蔵設備の遮へい能力 (3(4)① P.57 参照)
2-5-2 [15/24] 貯蔵設備の冷却能力 (3(4)② P.59 参照)		使用済 MOX 燃料は、使用済ウラン燃料に比べ崩壊熱による発熱量が大きいが、使用済 MOX 燃料を貯蔵する設備は十分な冷却能力を有しているかな。また、貯蔵に対する評価はどのように行ったのかな。
2-6 使用済 MOX 燃料の搬出	2-6-1 [16/24] 使用済 MOX 燃料の搬出 (3(4)③ P.61 参照)	発電所からの使用済 MOX 燃料の搬出の実績はない。使用済 MOX 燃料はガンマ線のみならず中性子線も強く、搬出作業時において作業員への被ばくが大きくなるのではないかな。
	2-6-2 [17/24] 使用済 MOX 燃料の輸送 (3(4)④ P.63 参照)	発電所からの使用済 MOX 燃料の輸送の実績はない。輸送に関する情報は事前に公開されないが、テロ対策や事故に備え、どのような安全対策を講じるのかな。

論 点		課 題
2-7 使用済 MOX 燃料の処理・処分	2-7-1 [18/24] 使用済 MOX 燃料の再処理 (3(4)⑤ P.65 参照)	使用済 MOX 燃料の再処理については、2010 年頃から検討するとしているがどのように行う考えか。MOX 燃料の方が硝酸に溶けにくい、中性子線量が大いなど課題が指摘されているが、再処理技術が確立されていないのではないか。
	2-7-2 [19/24] 使用済 MOX 燃料の処分 (3(4)⑥ P.68 参照)	使用済 MOX 燃料の処分はどのように行う考えか。処分されるまでの間は発電所に長期保管されるのか。その場合、貯蔵ピットの容量の問題を含め、どのような安全対策を講じるのか。 また、処理過程で低・中レベル放射性廃棄物を発生させ、全体量としては増大するのではないか。

【3 全般的な事項】

論 点		課 題
3-1 外部影響	3-1-1 [20/24] 平常時の周辺への影響 (3(5)① P.72 参照)	MOX 燃料を使用することにより平常時の影響(公衆被ばく)が悪化するのではないか。
	3-1-2 [21/24] 事故時の周辺への影響 (3(5)② P.76 参照)	プルサーマルで事故が起きた場合、超ウラン元素の放出量が多いためウラン燃料と比べて、被害の範囲が拡大するという説もある。MOX 燃料を使用することにより事故時の影響(公衆被ばく)が悪化するのではないか。 また、泊発電所における、地震による事故時の影響が、プルサーマルの実施により悪化するのではないか。
3-2 環境保全	3-2-1 [22/24] 環境への影響 (3(5)③ P.83 参照)	MOX 燃料を使用する各段階において、温排水の量や温度の変化などをはじめ、環境への影響は生じないのか。また、事故時には被害の範囲が拡大するという説もあるが、防災対策、環境放射線監視(モニタリング)の強化などの必要はないのか。
	3-2-2 [23/24] 安全管理体制 (3(5)④ P.91 参照)	3号機建設中に不審火などが起きたが、MOX 燃料を使用することにより盗取やテロの危険が増大する可能性がある。万一に備えた核物質防護対策や、燃料の取扱い変更に伴う技術導入や教育など、社内の安全管理体制は十分なのか。
3-3 安心の確保	3-3-1 [24/24] 安全性に係る情報公開 (3(5)⑤ P.95 参照)	住民の安心の確保及び風評被害の防止のための情報公開は重要。MOX 燃料の使用や検査に係るデータの公開、モニタリングデータ、トラブルに関する情報公開などを、どのように行うのか。

※論点番号(論点の欄)

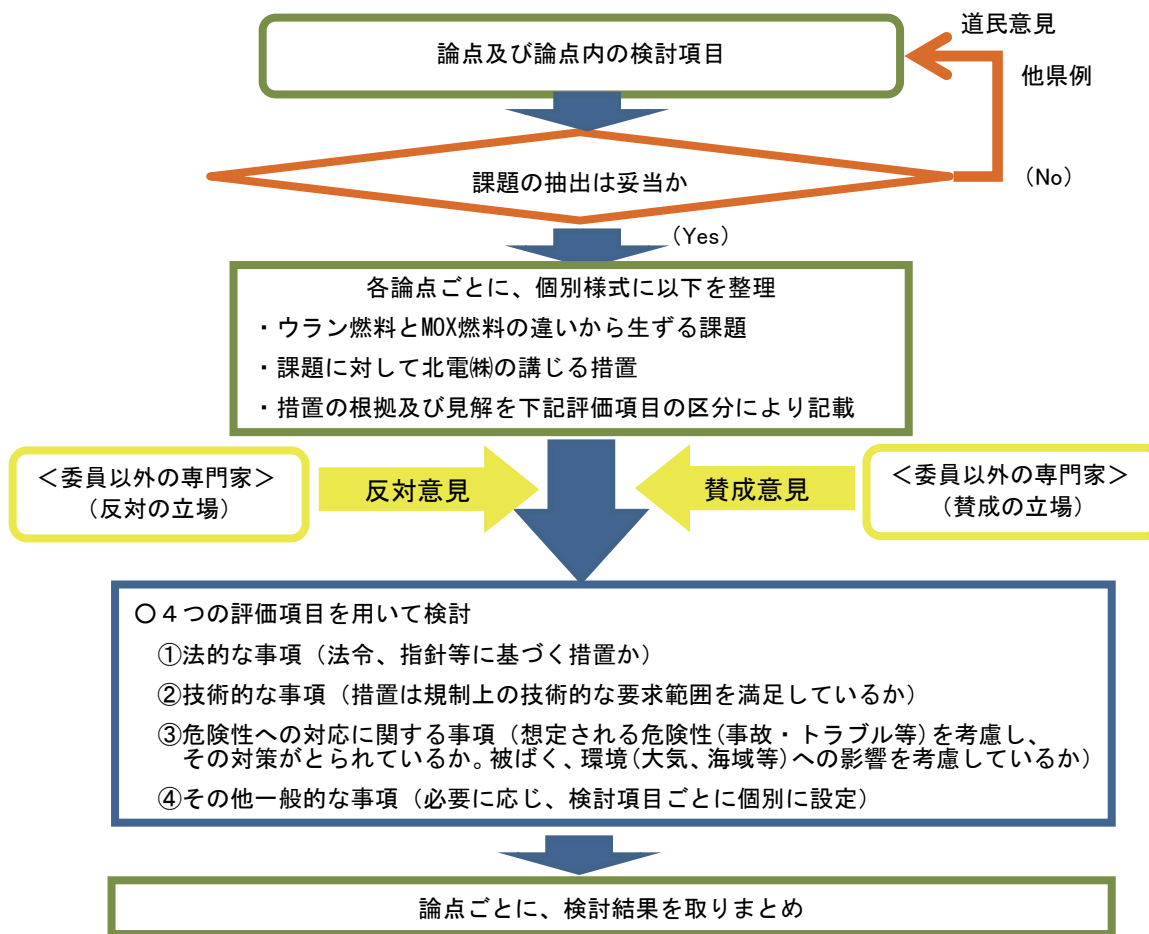
大項目－中項目－小項目(例:論点3-2-1)、[通し番号/全論点数](例:[22/24])

3 安全性に関する論点の検討結果

安全性に関する論点の検討については、前項で整理した論点ごとに、ウラン燃料と MOX 燃料の違いから生ずる課題、その課題に対して北電株の講じる措置について(資料5参照)、プルサーマル計画に反対・賛成の立場の専門家からそれぞれご意見を伺った上で、「法的な事項」、「技術的な事項」、「危険性への対応に関する事項」及び「その他一般的な事項」の4つの評価項目を用いて、論点ごとに次のとおり委員から担当主査及び副主査を選任し、検討結果を取りまとめることとした。

論点ごとの検討結果については、「(1)一般的事項」、「(2)MOX 燃料の使用前」、「(3)MOX 燃料の使用」、「(4)MOX 燃料の使用後」、「(5)全般的事項」に分けて、次ページ以降に示す。

【安全性に関する論点の検討フロー】



【各論点の検討担当（主査・副主査）】

論 点	主 査	副主査
論点1-1[プルトニウムの特性]～論点2-1[MOX 燃料の製造]	小林副会長	杉山委員
論点2-2[MOX 燃料の輸送・搬入]～論点2-3[MOX 燃料の貯蔵]	島津委員	佐藤委員
論点2-4[原子炉内における使用]	成田会長	島津委員
論点2-5[使用済 MOX 燃料の貯蔵]～論点2-6[使用済 MOX 燃料の搬出]	島津委員	佐藤委員
論点2-7[使用済 MOX 燃料の処理・処分]	佐藤委員	井上委員
論点3-1[外部影響(平常時・事故時の周辺への影響(被ばく))]	杉山委員	余湖委員
論点3-2[環境保全(環境への影響、安全管理体制)]	余湖委員	小林副会長
論点3-3[安心の確保(情報公開)]	井上委員	成田会長

(1) 一般的事項(プルトニウムの特性・MOX 燃料の使用実績)【論点1】

① プルトニウムの特性(論点1-1) [1/24]

【プルトニウムは非常に毒性が強い物質であり、体内に取り込まれた場合、発ガンなど人体への影響が憂慮される。また、MOX 燃料に加工してもプルトニウムが含まれていることによりウラン燃料と特性が大きく変わるのではないか。このような物質を発電所で使用して問題ないか。】

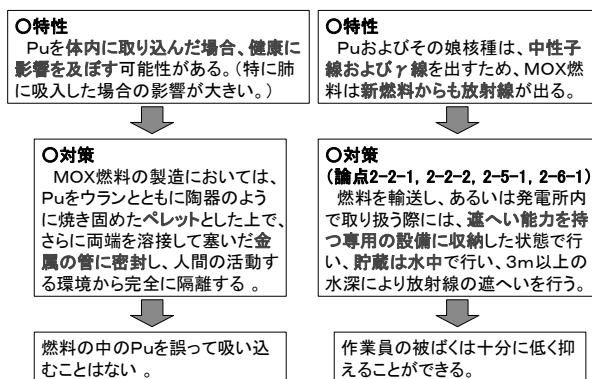
◇ MOX 燃料とウラン燃料の違い

MOX 燃料(プルトニウム)	ウラン燃料(ウラン)
<ul style="list-style-type: none"> ・プルトニウムは、アルファ(α)線による強い放射能を持つ。 ・プルトニウムはウランと異なる核的特性(核分裂しやすい、中性子を吸収しやすい等)を持つ。 ・プルトニウムを含む MOX 燃料ペレットは、ウランペレットと比較して融点が高くなるなど、留意すべき特徴を持つ。 ・MOX 燃料は新燃料の段階でも放射線を放出し、また発熱する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ウランの放射能強度は弱い。 ・ウラン燃料は、製造や新燃料の取扱いの段階で作業員の活動する環境からの隔離や放射線の遮へいは特に必要ない。 ・新燃料は発熱しない。

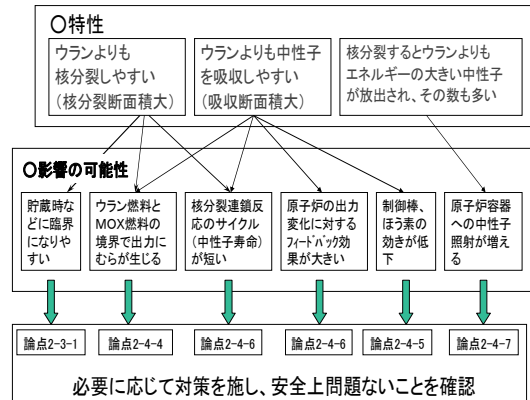
○ 北電株の講じる対策

- MOX 燃料は、プルトニウムを陶器のように焼き固めたペレットとした上で、さらに両端を溶接して塞いだ金属の管に密封する。
- MOX 燃料の輸送・取扱い時には、遮へい能力をもつ専用の設備に収納した状態で行い、貯蔵は水中で行い、3m 以上の水深により放射線の遮へいを行う。(論点 2-2、2-3、2-5、2-6 参照)
- プルトニウムとウランの核的特性の違いに伴う炉心設計上の配慮、あるいは MOX 燃料ペレットとウランペレットとの特性の違いを配慮して、燃料や炉心の設計を行う。(論点 2-1、2-4 参照)

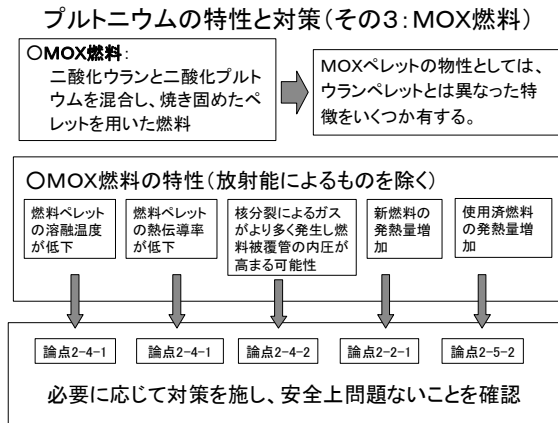
プルトニウムの特性と対策(その1:放射能)



プルトニウムの特性と対策(その2:核的特性)



(1)一般的な事項⇒(2)MOX 燃料の使用前⇒(3)MOX 燃料の使用⇒(4)MOX 燃料の使用後⇒(5)全般的な事項
 ①プルトニウムの特性(論点1-1) [1/24]



□ 各立場(反対・賛成)からのご意見

反対の立場	賛成の立場
<ul style="list-style-type: none"> MOX 燃料の使用は核燃料サイクル全体を通じて、人や環境がプルトニウムに触れるリスクが大きくなることは否定できない。 作業員ではなく、一般人の年被ばく限度値をもとに検討すべきではないか。 	<ul style="list-style-type: none"> ペレットは焼き固められており、金属製の被覆管で密封されており、飛散されない構造である。 さらに、原子炉容器、原子炉格納容器、原子炉建屋と全部で5重の壁で閉じ込められており、外部に放出される可能性は低い。 MOX 燃料とウラン燃料と核的性質が異なることを考慮した炉心設計をしている。

● 有識者検討会議の検討・評価

- プルトニウムを吸入した場合、アルファ線の内部被ばくにより発がんなどの影響などがあるとされている。しかし、プルトニウムを含む MOX 燃料はウラン燃料と同様に融点が高く(含有率 13%の場合、約 2,730℃)、気体になりにくい性質である。放射性物質を閉じ込める構造をもち、多重防護が施されている国内の原子力発電所において、プルトニウムは気体状の希ガスやヨウ素などの核分裂生成物と異なり、発電所内部に閉じ込められ、環境中に出ていく(一般人が吸引により内部被ばくする)可能性は極めて低い。(論点 2-4 参照)
- また、MOX 燃料の搬入、使用済 MOX 燃料の搬出は海上輸送が主であり、一般人が触れるリスクは極めて低く、作業員に対しても、MOX 燃料の形態ではプルトニウムは作業員の活動する環境から完全に隔離された状態であり、燃料ペレットは陶器のように焼き固められた上で被覆管に入れて密封されているため、燃料中のプルトニウムを誤って吸引することはない。また、プルトニウム自身はアルファ線しか出さないが、プルトニウムの自発核分裂などにより中性子が放出されたり、プルトニウムの放射性崩壊によって発生した核種(娘核種)からガンマ線が放出されるため、遠隔操作、水中操作等により作業員の外部被ばくを防止するとともに、アラーム付線量計を所持し被ばく管理することとしている。(論点 2-2-2、2-6-1 参照)
- プルトニウムの影響として、ウランと異なる燃料としての特性である核的特性(核分裂しやすい、中性子を吸収しやすい等)、物理的特性(融点が下がるなど)をもつことから、MOX 燃料では、ほう酸水の濃度を上げ、プルトニウム含有率の異なる MOX 燃料を適切に配置するほか、燃料の中心温度、被覆管の内圧など安全上の制限値は十分に守られ、燃

料の健全性が保たれていることを解析評価により確認している。(論点 2-4 参照)

- 燃料からの発熱については、MOX 燃料専用容器で輸送し、貯蔵する際は水中に貯蔵するなどの対策を講じている。使用済 MOX 燃料の場合も同様。(論点 2-2、2-3、2-5、2-6 参照)

<<検討結果>>

プルトニウムを含む MOX 燃料はウラン燃料と同様に融点が高く、気体になりにくい性質であることから、放射性物質を閉じ込める構造をもち、多重防護が施されている国内の原子力発電所において、プルトニウムは発電所内部に閉じ込められ、環境中に出ていく(吸入により内部被ばくする)可能性は極めて低い。

また、プルトニウムを含む MOX 燃料がもつ、ウランと異なる燃料としての特性(核的・物理的)を検証した上で、必要な対策を講じることとすることから、発電所の使用について基本的に問題はなく、安全性は確保されるものとする。

<法的事項> 論点2参照

<国の安全審査>

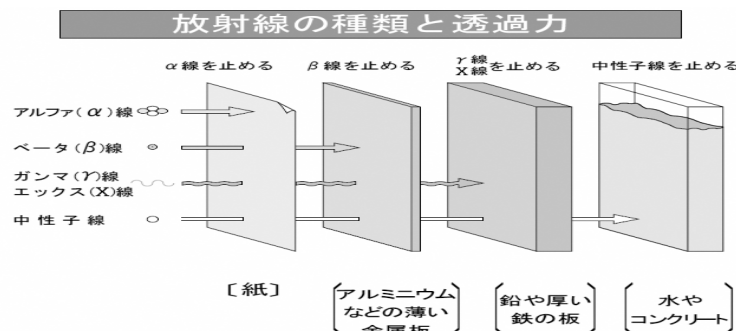
プルサーマルを導入する原子炉について『核的性質』、『燃料のふるまい』、『事故時の影響』、『燃料取扱』の4つの項目に大きく分けて審査する。

<コラム① プルトニウムの人体への影響について>

プルトニウムは、天然にはほとんど存在しない元素であり、一部の同位体を除き、アルファ(α)線を出す放射性物質です。アルファ線はベータ(β)線やガンマ(γ)線に比べ、透過力は弱く紙1枚で遮へいすることができますが、それ故にアルファ線のもつすべてのエネルギーが遮へい物に加わることになることから、体内に取り込んだ場合は人体に影響を与えることになります。

プルトニウムは、消化器には吸収されにくいので、飲食物等と一緒に飲み込んだような場合は、ほとんど体外へ排泄されますが、呼吸とともに吸い込んだ場合(吸入摂取)には、肺や骨に長くとどまる性質を持っており、アルファ線により、体の細胞にガンなどの影響を及ぼす可能性があると考えられています。

ただし、燃料ペレットは陶器のように焼き固められた上で被覆管に入れて密封されているため、燃料中のプルトニウムを誤って吸入することはありません。



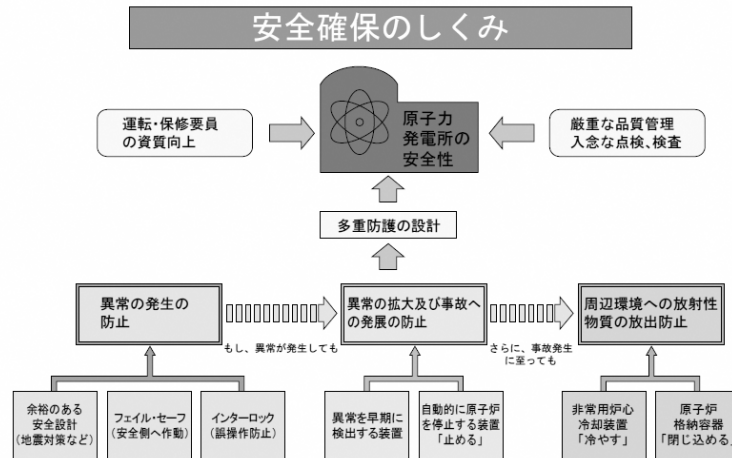
出典：資源エネルギー庁「原子力2007」

(1)一般的な事項⇒(2)MOX燃料の使用前⇒(3)MOX燃料の使用⇒(4)MOX燃料の使用後⇒(5)一般的な事項
 ①プルトニウムの特長(論点1-1) [1/24]

<コラム② 多重防護について>

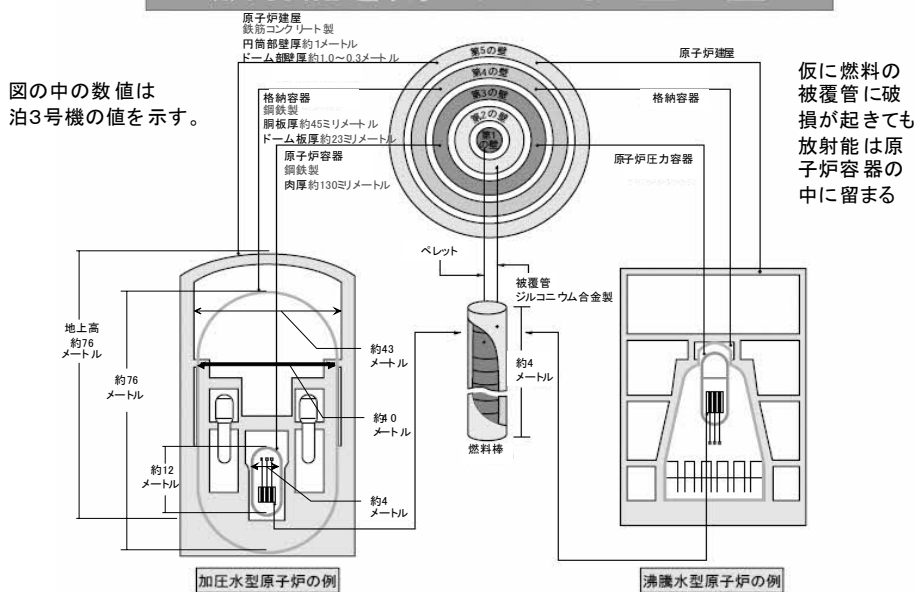
人間はミスを犯す、機械は故障することを前提に、安全対策を何段階にも構成し、原子力発電所の安全性を高めることを「**多重防護**」といいます。余裕のある安全設計、フェイル・セーフ(安全側へ作動)、インターロック(誤操作防止)[止める]などの安全保護系による「①異常発生の防止」、自動監視装置、緊急停止(スクラム・トリップ)などによる「②異常の拡大及び事故への発展の防止」、非常用炉心冷却装置(ECCS)や格納容器などによる「③周辺環境への放射性物質の放出防止[冷やす、閉じ込める]」と3段階の安全対策を基本としており、「**深層防護**」と呼ぶこともあります。

また、原子炉の中でウランが核分裂してできる放射性物質が発電所の外に放出され環境に影響を与えることがないように、「**ペレット**」、「**被覆管**」、「**原子炉容器**」、「**原子炉格納容器**」、「**原子炉建屋**」による5重の防壁にして、放射性物質を閉じ込める構造となっています。



出典：資源エネルギー庁「原子力2007」

放射能を閉じ込める5重の壁



② MOX 燃料の使用実績 (論点 1-2) [2/24]

【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と。また、海外の実績より高いプルトニウム含有率の燃料を異なる装荷割合で、高燃焼度ウラン燃料と併用することに問題はないか。海外では過去に MOX 燃料の破損例があるが問題はないか。】

◇ MOX 燃料とウラン燃料の違い

MOX 燃料	ウラン燃料
<ul style="list-style-type: none"> ・プルトニウム含有率 ペレット最大 13%以下 燃料集合体平均 約 9% (約 4.1%ウラン燃料相当以下) ・集合体最高燃焼度 45,000MWd/t ・MOX 燃料装荷比率 40 体以下 (原子炉内での使用割合:約 1/4 以下) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ウラン濃縮度 約 4.8%以下 ・集合体最高燃焼度 55,000MWd/t

○ 北電機(株)の講じる対策

- 国の報告書に基づき、プルトニウム含有率 13% 以下(ペレット最大)、集合体最高燃焼度 45,000MWd/t(ウラン燃料を超えない範囲)、MOX 燃料装荷比率約 1/3 以下の条件の範囲内で、MOX 燃料の特徴に留意した上で、従来のウラン燃料炉心と同様の燃料及び炉心の設計並びに安全評価を行っている。
- 高燃焼度ウラン燃料と MOX 燃料の並存は、燃料の配置に配慮するなどにより、十分に可能であることを解析により確認している(今後、安全審査において詳細に審査)。
- 国内外の使用実績では、MOX 燃料の特性に由来したと結論づけられた燃料破損は起きていない。

<国内外の使用実績>

【各国における MOX 燃料使用実績(軽水炉)】

2007 年末現在

国名	基数	累計装荷体数	装荷期間
日本	2基	6体 [*]	1986~1991
ベルギー	3基	321体	1963~
フランス	21基	2,894体	1974~
ドイツ	15基	2,220体	1966~
インド	2基	10体	1994~2000
イタリア	2基	70体	1968~1981
オランダ	1基	7体	1971~1987
スウェーデン	1基	3体	1974~1979
スイス	3基	392体	1978~
アメリカ	7基	95体	1965~
合計	57基	6,018体	

^{*}日本の6体は、実証試験のための装荷(関西電力・美浜1号機、日本原電・敦賀1号機)

<参考> 新型転換炉「ふげん」における MOX 燃料使用実績

国名	プラント名	累計装荷体数	装荷期間
日本	ふげん ^{**}	772体	1978~2003

^{**}減速材に重水を使うことにより、ウランがプルトニウムに転換する割合を高めている。

55,000MWd/t ウラン燃料炉心および MOX 燃料混在炉心の安全性に
関わる解析項目の評価結果例 (泊 3 号機の解析結果)

項 目		単 位	安全解析 使用値	ウラン炉 心	1/4MOX 炉 心	
反 応 度 停 止 余 裕		% $\Delta k/k$	≥ 1.8	1.95	1.94	
最 大 線 出 力 密 度 (注)		kW/m	≤ 39.6	34.1	33.8	
燃料集合体 最高燃焼度	ウラン燃料	MWd/t	$\leq 55,000$	54,200	53,100	
	ウラン・プルトニウム 混合酸化物燃料	MWd/t	$\leq 45,000$	-	41,700	
F_{XY}^N		-	≤ 1.52	1.44	1.45	
減 速 材 温 度 係 数 ($\delta \rho / \delta T_m$)		10^{-5} ($\Delta k/k$)/ $^{\circ}C$	-78~8	-66~-7.9	-71~-11.5	
ド ッ プ ラ 係 数 ($\delta \rho / \delta T_f$)		10^{-5} ($\Delta k/k$)/ $^{\circ}C$	-5.2~-1.8	-3.5~-2.4	-3.6~-2.6	
制御棒 落下時	落下制御棒 価値	% $\Delta k/k$	≤ 0.25	0.17	0.18	
	$F_{\Delta H}^N$	-	≤ 1.84	1.70	1.69	
制御棒 飛び出し F_Q	サイクル 初 期	高 温 零出力	-	10.4	6.7	
		高 温 全出力	-	2.2	2.1	
	サイクル 末 期	高 温 零出力	-	12.0	11.3	
		高 温 全出力	-	2.0	2.0	
飛び出し 制御棒 価値	サイクル 初 期	高 温 零出力	% $\Delta k/k$	0.63	0.23	
		高 温 全出力	% $\Delta k/k$	0.02	0.02	
	サイクル 末 期	高 温 零出力	% $\Delta k/k$	1.0	0.43	0.47
		高 温 全出力	% $\Delta k/k$	0.15	0.03	0.02
最 大 反 応 度 添 加 率		10^{-5} ($\Delta k/k$)/s	≤ 86	49	35	

(注) ペレット焼きしまり効果を含まない。

安全解析使用値を満足

□ 各立場(反対・賛成)からのご意見

反対の立場	賛成の立場
<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・国内では少数体試験しか行っていない。 ・実証試験は原子力長期計画では言及されていながら、その後、国内で行われなかったのは、電力会社が消極的であったのではないか。 	<ul style="list-style-type: none"> ・諸外国では 40 年前から、軽水炉での MOX 燃料の使用実績がある。 ・プルトニウム含有率は海外の実績よりも高めとなっているが、国内のウラン燃料(4.1%)と同じ反応性をもたせるためであり、MOX 燃料だから特に反応しやすくなるという訳ではない。 ・海外では、過去に MOX 燃料の破損事例が報告されているが、プルトニウム特有のものではなく、破損率もウラン燃料と同程度である。 ・原子力安全委員会から、事故時もウラン燃料の場合と同様に考えて良いとの見解が示されている。

● 有識者検討会議の検討・評価

- 泊3号機で使用される燃料集合体の平均プルトニウム含有率は約9%とされており、海外の実績を上回っているが、国内の軽水炉は海外と比べ燃料交換の間隔が長いことなどからウラン燃料の濃縮度を高くしており、ウラン燃料と同じ反応性をもたせるためにプルトニウムの含有率も高くしている。
- MOX 燃料については、ペレット燃焼に伴う融点や熱伝導率の低下などの物理的特性、中性子の挙動などの核的特性がウラン燃料と異なるが、実験による実測データやそれに基づく予測により、影響を予測し安全対策を講じている。例えば、融点のデータはプルトニウム含有率 100%に至るまで得られている。
- 原子力安全委員会の報告書「発電用軽水型原子炉施設に用いられている混合酸化燃料について」では、国内外の試験、実験データに基づき、プルトニウム含有率 13%以下(ペレット最大)、集合体最高燃焼度 45,000MWd/t(ウラン燃料を越えない範囲)、MOX 燃料装荷比率約 1/3 以下の条件の範囲においては、冷却材喪失事故、反応度投入事象などの異常時も含め、従来のウラン炉心の設計、評価手法の妥当性が確認されている。
- 北電(株)は、高燃焼度ウラン燃料(55,000MWd/t)の中に MOX 燃料が 1/4 炉心分並存した場合の炉心について解析評価を行い、反応度停止余裕などの安全性に関する項目の数値が高燃焼度ウラン燃料のみの炉心と同様に、安全解析に使用している値(制限値)を満たしていることを確認している。
- 国内外の軽水炉で MOX 燃料の使用実績は 6,018 体あるが(2007 年 12 月末現在)、これまでに MOX 燃料特有の破損は確認されていない。また、泊発電所では運転開始以来、燃料の破損は起きていないが、1次冷却材中における核分裂生成物の放射能濃度を定期的に測定することにより、燃料の健全性を確認している。
- 国内でのプルサーマルの実績は、少数体実証試験として実施した2基、6体あるが、海外では約 6,000 体の使用実績があり、設計の妥当性を検証するためのデータは海外実績も含め豊富に得られている。
- 実証試験については、昭和 62 年の原子力長期計画に記載があるが、平成6年の時点では海外において既に 1,000 体を超える実績があり、またこれに伴い設計の妥当性を検証するためのデータも海外実績を含め得られたことにより、軽水炉での使用に技術的問

題のないことが確認されている。

<<検討結果>>

MOX 燃料の使用について、原子力安全委員会の検討により従来のウラン燃料と同様の安全設計、評価を行っても問題ないことが確認されている条件の範囲内であり、高燃焼度ウランと並存した炉心の解析結果においてウラン炉心と同様に安全上の制限値を満足している。

また、国内外の軽水炉で MOX 燃料特有の破損は確認されておらず、1 次冷却材中の放射能濃度を定期的に測定することなど、講じる対策については、6,000 体を超える MOX 燃料の使用実績、国内外の試験、実験データなどの知見に基づいており、安全性は確保されるものとする。

<法的事項>
 発電用軽水型原子炉施設に用いられている混合酸化物燃料について

<国の安全審査>
 プルサーマルを導入する原子炉について『核的性質』、『燃料のふるまい』、『事故時の影響』、『燃料取扱』の4つの項目に大きく分けて審査する。

<コラム③ MOX 燃料のプルトニウム含有率について>

海外の原子力発電所などで使用される MOX 燃料のプルトニウム含有率(フランスでは集合体平均で7%の実績有り)は、一般に日本国内(泊発電所3号機で計画しているプルトニウム含有率は集合体平均9%、ペレット最大で13%)より低くなっていますが、その理由としては原子力発電所における運転方法の違いによるものと考えられます。

日本の原子力発電所では、法律により定期検査が定められており、この定期検査に合わせて長期間にわたり定格出力で運転しています。これに対し、海外の原子力発電所では運転期間が短かかったり、必要な電気の量に合わせて出力を調整しながら運転したり(負荷追従運転)、運転期間の末期には定格出力まで達しなくてもよい運用(コストダウン運転)としており、燃料の利用効率が良くなっています。

このため、海外の原子力発電所で使用する MOX 燃料のプルトニウム含有率は、日本より低くなっているものであり、安全上の理由ではないと考えられます。

なお、泊発電所3号機で使用予定の MOX 燃料は、原子力安全委員会の安全に使用できることを示した報告書の範囲内ですが、その安全性は国の安全審査により個別に確認されることとなります。

[原子力安全委員会の報告書の範囲と泊発電所3号機のプルサーマル計画]

	報告書	泊発電所3号機
MOX 燃料のプルトニウム含有率	ペレット最大で 13%	ペレット最大で 13% (平均約 9%)
MOX 燃料の炉心装荷率	1/3 程度まで	1/4 以下
MOX 燃料の燃料集合体最高燃焼度	45,000MWd/t	45,000MWd/t

☆ コストダウン運転とは

原子力発電所では、燃料取替直前の燃料中のウラン235もしくはプルトニウムの量が減ってしまった場合においても、出力を下げることによって運転継続ができる。このようにサイクル末期にゆるやかに出力を落としていく運転をコストダウン運転と呼ぶ。海外の原子力発電所では、このコストダウン運転により燃料取替をせずに運転できる期間が長くなり、燃料をより効率的に使用することができる。