

プルサーマル Q&A

このQ&Aは、プルサーマル計画に関する有識者検討会議における検討結果、道議会での議論やその対応などを踏まえて、プルサーマルについてできるだけ多くの道民の皆様にご覧いただくために、平成20年度に北海道において作成したものです。

※ 掲載している情報は平成20年度当時のものです。

目次

● プルサーマルとは

● [プルサーマルについて](#)

● [MOX 燃料について](#)

1 一般的事項（プルトニウムの特性、MOX 燃料の使用実績）

[Q1-1](#) MOX 燃料に含まれるプルトニウムは毒性が強く危険ではないのですか。

[Q1-2](#) MOX 燃料はウラン燃料と特性が異なるようですが、影響はないのですか。

[Q1-3-1](#) MOX 燃料の使用実績は十分あるのでしょうか。

[Q1-3-2](#) MOX 燃料の使用実績は、これまで世界で使用されてきた全ウラン燃料と比べると1%程度にすぎないと言われており、また海外でも特定の国しか導入していないのに、実証試験なしで実用炉に導入して問題はないのですか。

[Q1-4](#) 泊発電所3号機で使用が予定されている MOX 燃料のプルトニウム含有率13%は海外と比べて高いようですが、問題はないのですか。

2 MOX 燃料の使用前（MOX 燃料の製造、輸送・搬入、貯蔵）

[Q2-1](#) 海外での MOX 燃料の製造では、過去にデータ改ざんがあったようですが、品質保証上の問題はないのですか。

[Q2-2](#) MOX 燃料の輸送中の事故に備え、どのような安全対策を講じるのですか。

[Q2-3](#) MOX 燃料の輸送中に事故により、輸送容器内で臨界になることはないのですか。

[Q2-4](#) MOX 燃料は、新燃料の段階でも発熱するようですが、燃料集合体の温度が高くなることにより、強度が低下するようないいことではないのですか。

[Q2-5](#) MOX 燃料の輸送中にプルトニウムを狙うテロに対しての対策は講じられるのですか。

[Q2-6](#) MOX 燃料は、新燃料の段階でも放射線が強いとのことですが、搬入時などの作業時に、作業員への被ばくが大きくなることはないのですか。

[Q2-7](#) プルトニウムはウランより核分裂しやすいといわれていますが、MOX 燃料の貯蔵時に臨界になることはないのですか。

3 MOX 燃料の使用（原子炉内における使用）

Q3-1 MOX 燃料は、ウラン燃料と比べて融点が低下するようですが、燃料が溶けることはないのですか。

Q3-2 MOX 燃料は、ウラン燃料と比べて核分裂の際に生成するガスが多いようですが、燃料被覆管が破損することはないのですか。

Q3-3 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）ができて、燃焼の際に悪影響を与えることはないのですか。

Q3-4 MOX 燃料がウラン燃料と隣り合うと、炉内の出力分布が不均一になることはないのですか。

Q3-5 MOX 燃料の場合、制御棒の効きが低下する傾向があるようですが、原子炉の制御性などへの影響はないのですか。

Q3-6 MOX 燃料の場合、熱中性子の割合が減少することから、出力の上昇がより早くなり、原子炉の制御が不安定になることはないのですか。

Q3-7 MOX 燃料の場合、高速中性子の発生量が多いことから、原子炉容器が傷みやすくなることはないのですか。

4 MOX 燃料の使用後（使用済 MOX 燃料の貯蔵、搬出、処理・処分）

Q4-1 使用済 MOX 燃料を貯蔵することにより、作業エリアの線量が高くなることはないのですか。

Q4-2 使用済 MOX 燃料は、使用済ウラン燃料と比べて発熱量が大きいといわれていますが、貯蔵する設備の冷却能力は十分なのですか。

Q4-3 使用済 MOX 燃料の搬出作業時に、作業員への被ばくが大きくなることはないのですか。

Q4-4 使用済 MOX 燃料の輸送時には、どのような安全対策を講じるのですか。

Q4-5 使用済 MOX 燃料の再処理については、どのように行われる予定ですか。

Q4-6 使用済 MOX 燃料の再処理については、硝酸への溶解性、臨界管理や被ばく対策など課題が指摘されていますが、再処理技術は確立されているのですか。

Q4-7 使用済 MOX 燃料は発熱量が大きいですが、処分されるまで何百年も発電所に置いておくことはないのですか。

Q4-8 使用済 MOX 燃料を再処理して生ずる高レベル放射性廃棄物の処分は、どのように行われる予定ですか。

5 一般的な事項（外部影響、環境保全、安心の確保）

Q5-1 MOX 燃料を使用することにより、平常時の影響（公衆被ばく）が悪化することはないのですか。また、環境に蓄積されるようなことはないのですか。

Q5-2 泊3号機でプルサーマルを実施した場合、最悪どのような事故まで想定しているのですか。

Q5-3 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ことはないのですか。

Q5-4 MOX 燃料を使用する場合、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ですか。

Q5-5 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ですか。

Q5-6 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、北海道電力（株）の安全管理体制は十分なのですか。

Q5-7 地域住民の安心確保に向けて、知識・情報の提供や公開、コミュニケーションの場の提供などだけで十分なのですか。

6 経済性など

Q6-1 一般的に原子力発電コストはどのように構成されているのですか。

Q6-2 プルサーマルは発電所で使い終わった燃料を再処理して実施されるようですが、原子力発電コストのどの部分に影響を与えるのですか。

Q6-3 ウラン燃料とMOX燃料との取得費の違いは、どの程度ですか。また、発電コストに与える影響はどの程度ですか。

Q6-4 プルサーマル実施による電気料金への影響は、どのくらいと考えられているのですか。

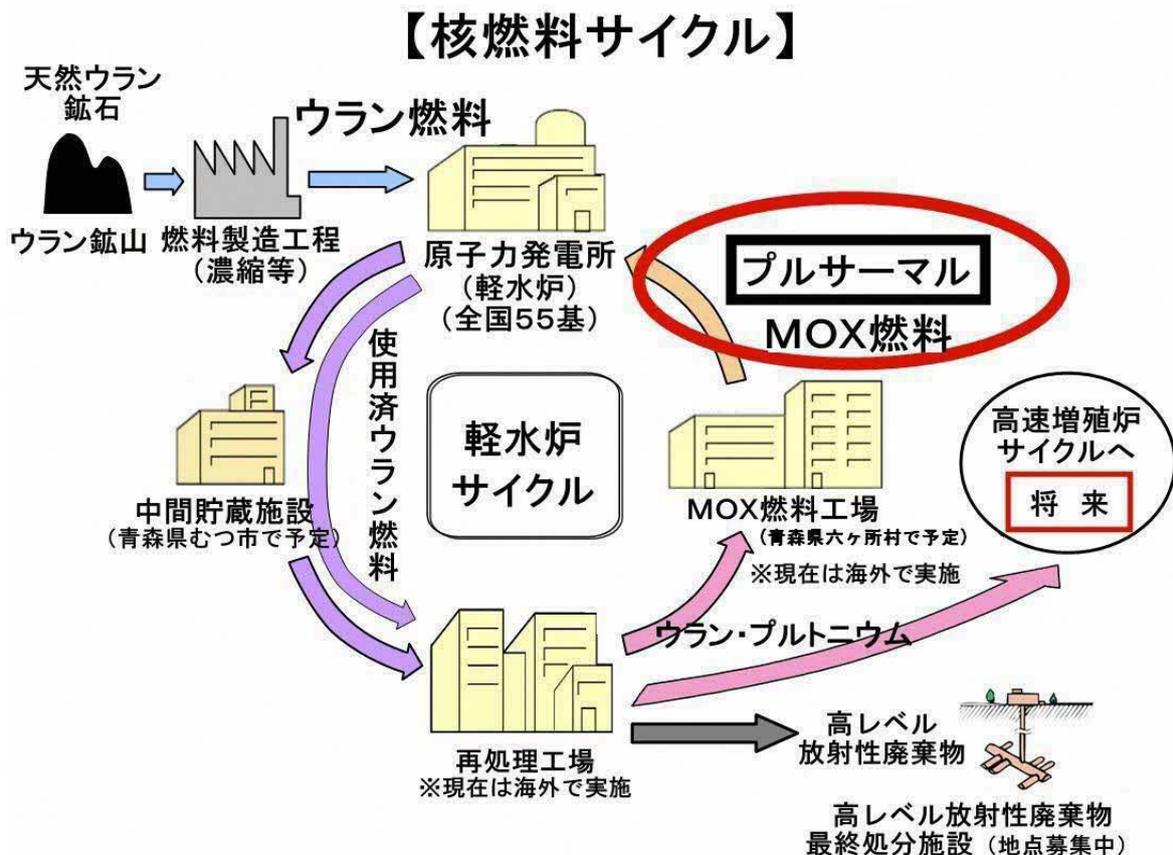
用語解説

● 用語解説

● プルサーマルとは

● プルサーマルについて

原子力発電所から出る使用済燃料を再処理して回収されるウランやプルトニウムを、再び燃料として利用することを「核燃料サイクル」（下図）と呼んでいます。



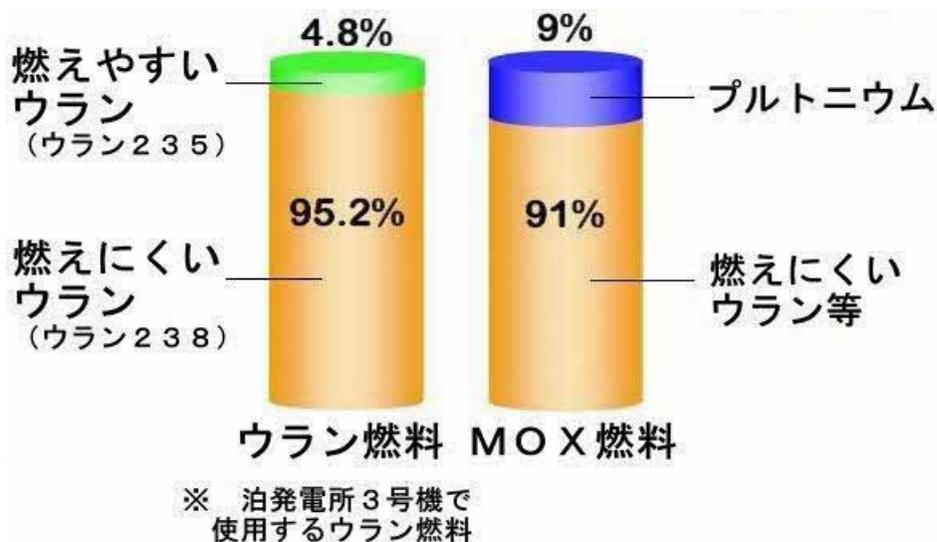
核燃料サイクルのなかで回収されるプルトニウムとウランを混ぜて、MOX（モックス）燃料をつくり、この MOX 燃料を軽水炉（泊発電所のような原子力発電所）で利用することを「プルサーマル」といいます。



● MOX 燃料について

MOX 燃料は、ウラン 235 の代わりに、使用済燃料の再処理によって回収されたプルトニウムを混ぜたものが、ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料、いわゆる MOX 燃料であり、燃料集合体の大きさや形など、基本的な構造はウラン燃料と同じであり、発電の仕組みも変わりません。

MOX 燃料：ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料 (Mixed Oxide Fuel)



【燃料ペレットの組成比率】

1 一般的事項（プルトニウムの特性、MOX 燃料の使用実績）

Q1-1 MOX 燃料に含まれるプルトニウムは毒性が強く危険ではないのですか。

プルトニウムの人体影響は、主にプルトニウムが持つ放射能の影響によるものであり、プルトニウムを吸い込むなどして体の内部から被ばくする「内部被ばく」と、プルトニウムを取り扱うなどして体の外部から被ばくする「外部被ばく」に大別されます。

内部被ばくに関しては、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してされています。

しかし、プルトニウムを含む MOX 燃料として使用する場合は、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。

外部被ばくに関しては、プルトニウムからはアルファ線が放出されますが、アルファ線自体は透過力が弱く、紙 1 枚で遮へいできる程度であるといわれています。

しかし、MOX 燃料として使用する場合は、[自発核分裂](#)しやすいプルトニウムや、放射線を放出してアメリカウムなど別な元素に変わるプルトニウムが含まれているため、[中性子線](#)や[ガンマ線](#)の放出があることから、外部被ばくの防止措置が必要です。

このため、MOX 燃料を使用する際は、専用の輸送容器や取扱設備を使用したり、新燃料でも使用済燃料ピットに保管するなど、放射線の遮へい対策を講じるとしており、安全性は確保されるものと考えます。

Q1-2 MOX 燃料はウラン燃料と特性が異なるようですが、影響はないのですか。

プルトニウムを含む MOX 燃料の場合、ウラン燃料と比較して、核分裂しやすい、中性子を吸収しやすいなどの核的特性や燃料の融点が下がるなどの物理的特性を持ちます。

しかし、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るよう必要な対策を講じ、安全性が確保されていることが解析評価により確認されています。

Q1-3-1 MOX 燃料の使用実績は十分あるのでしょうか。

国内外の軽水炉で、約 6,000 体の MOX 燃料の使用実績がありますが、これまでに MOX 燃料特有の破損は確認されておりません。

また、北海道電力（株）のプルサーマル計画は、これらの豊富な実績や実験データに基づいた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（基本構造がウラン燃料と同一、[プルトニウム含有率](#)がペレット最大で 13%、MOX 燃料の装荷比率 1/3 程度まで、燃料集合体最高[燃焼度](#)がウラン燃料を超えない範囲[45,000MWd/t]）であり、高燃焼度ウランと併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ことが確認されています。

Q1-3-2 MOX 燃料の使用実績は、これまで世界で使用されてきた全ウラン燃料と比べると 1%程度にすぎないと言われており、また海外でも特定の国しか導入していないのに、実証試験なしで実用炉に導入して問題はないのですか。

核燃料サイクルは、全ての国で行われているわけではなく、また MOX 燃料は、軽水炉においてはウラン燃料を再処理した際に、元の燃料集合体 8 体から 1 体程度の製造となることから、割合的には低くなりますが、海外ではすでに 6,000 体以上の MOX 燃料の使用実績があり、MOX 燃料の特性に由来する破損が起きていないことは、MOX 燃料の安全性を示す根拠と考えます。

なお、各国におけるプルサーマルの導入については、それぞれの国のエネルギー事情や、資源の保有量などによって、選択する路線が変わってくるものと考えます。

また、実証試験については、国内で[少数体実証試験](#)として実施した 2 基 6 体がありますが、軽水炉での MOX 燃料使用については、海外における 6,000 体以上の使用実績からも、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豊富に得られており、軽水炉での使用には技術的問題がないことが確認されているものです。

Q1-4 泊発電所3号機で使用が予定されている MOX 燃料のプルトニウム含有率 13%は海外と比べて高いようですが、問題はないのですか。

一般に国内の原子力発電所で計画されている MOX 燃料のプルトニウム含有率は（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%）、海外の原子力発電所で使用されている 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）より高くなっています。

これは、日本と海外では、発電所の運転方法が異なることによるものであり、日本では法律で定められている定期検査の期間にあわせて長期間定格出力で運転しますが、海外では運転期間が短かったり、必要な電気の量にあ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良い運用（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、安全上の問題ではありません。

なお、プルトニウム含有率 13%は、Q1-3の回答のとおり、原子力安全委員会が示した条件の範囲内であり、高燃焼度ウラン燃料と併存した炉心の解析結果においてウラン炉心と同様の安全上の制限値を満足していることが確認されています。

2 MOX 燃料の使用前（MOX 燃料の製造、輸送・搬入、貯蔵）

Q2-1 海外での MOX 燃料の製造では、過去にデータ改ざんがあったようですが、品質保証上の問題はないのですか。

国の輸入燃料体検査制度は、英国原子燃料会社（BNFL）のデータ改ざん（平成 11 年 9 月に発覚）での検査体制の問題点等を踏まえ、電気事業法を見直し、国及び電気事業者による事前確認等が強化されました。

北海道電力（株）、国の通達に基づき、海外の MOX 燃料加工事業者に対する事前の評価、製造中の監査、社員による工程毎の検査などを実施するとともに、品質保証に係る問題発生時の連絡体制を定めるとしてあります。また、品質保証活動に関して第三者機関の客観的な評価を受けるとしていることから、この対策が適切に履行され、国等による確認、評価等が徹底されることにより、輸入 MOX 燃料の品質は確保され则认为されます。

Q2-2 MOX 燃料の輸送中の事故に備え、どのような安全対策を講じるのですか。

輸送時の事故に対しては、放射性物質の漏えいによる災害の発生防止の観点から、輸送容器は、落下、火災、水没などの事態に遭遇しても十分耐えられるよう、「危険物船舶運送及び貯蔵規則」及び「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則」で定める技術基準に適合するものを使用するとしてあります。

＜技術基準に定める輸送容器の試験条件＞

- ・落下試験 9m の高さからの落下、1m の高さから丸棒上に落下
- ・耐火試験 800℃の環境に 30 分
- ・浸漬試験 水深 15m の水中に 8 時間、200m の水中に 1 時間

また、輸送船についても、衝突や座礁を避けるため衝突予防レーダーを備えるとともに、万一の場合でも、船内に水が浸入しにくい二重船殻構造（側壁と船底が二重構造）を有し、火災に備え広範囲に消火設備を有するなど、[国際海事機関（IMO）](#)で定める最高の安全基準を満足する船舶を使用するとしてあります。

したがって、これらの対策を適切に講じることにより、MOX 燃料輸送時の安全性は確保されるものと考えます。

Q2-3 MOX 燃料の輸送中に事故により、輸送容器内で臨界になることはないのですか。

MOX 燃料の輸送容器は、「危険物船舶運送及び貯蔵規則」及び「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則」に基づき、Q2-2の回答のとおり輸送容器を落下、耐火、浸漬の試験条件の下に置いたものを、

- 1 容器内部の空間に水の浸入または浸出があること
- 2 [中性子増倍率](#)が最大となる配置および減速状態にあること
- 3 密封装置の周囲に厚さ 20cm の水による中性子の反射があること

の条件で安全解析を行っても[臨界](#)に達しないものとして、国の確認を受けて容器承認を取得しているものを使用するとしており、輸送時の未臨界性は確保されるものと考えます。

Q2-4 MOX 燃料は、新燃料の段階でも発熱するようですが、燃料集合体の温度が高くなることにより、強度が低下するようなことはないのですか。

MOX 燃料は、新燃料の段階でもプルトニウムを含んでいるため[アルファ崩壊](#)などによる発熱があり、輸送中の MOX 燃料集合体の温度は最大で 300℃程度になります。このため、燃料集合体の構成部材の強度は場所により4割～9割程度に低下しますが、MOX 燃料の輸送取り扱い時には、加速度計を設置して燃料集合体に加わる力を4G（重力加速度の4倍）程度に制限する対策を講じることから、燃料の健全性は確保され则认为ます。

なお、北海道電力（株）の評価では、燃料輸送容器の表面温度は 54℃であり法令に定める基準値 80℃を満足しています。

Q2-5 MOX 燃料の輸送中にプルトニウムを狙うテロに対しての対策は講じられるのですか。

プルトニウムを狙うテロ(核ジャック)については、使用済 MOX 燃料より未使用の MOX 燃料の輸送中に関して対策が充実されるべきものです。(使用済 MOX 燃料の場合は、強い放射線によって対象物に接近できない、あるいは奪取しても大量に被ばくすることによる一種の抑止効果がある。)

MOX 燃料の海上輸送における安全対策として、[国際海事機関 \(IMO\)](#) や日米原子力協定により国際上の約束が定められており、これに従って事業者は、核物質の防護措置として、

専用輸送船の使用、護衛官の乗船、武装護衛船による護衛、厳重な施錠・封印、オペレーションセンターによる輸送船の位置と積み荷の状況の監視、慎重な輸送船経路の選定、緊急時以外無寄港、特別な連絡体制の構築等を実施することになっています。

このような対策により、核物質防護体制が確立されているため、輸送船が核ジャックされるようなことはないと考えます。

Q2-6 MOX 燃料は、新燃料の段階でも放射線が強いとのことですが、搬入時などの作業時に、作業員への被ばくが大きくなることはないですか。

MOX 燃料には、プルトニウムが含まれているため、プルトニウムの[アルファ崩壊](#)による[アルファ線](#)が放出されますが、アルファ線は遮へいが容易なため、作業時の被ばくについては、プルトニウム 241 がベータ崩壊して生じるアメリシウム 241 からの[ガンマ線](#)や、プルトニウム 238 からの[中性子線](#)について注意が必要とされています。

これらのガンマ線や中性子線に係る被ばく対策として、MOX 燃料の陸揚げ、陸上輸送時には専用輸送容器による遮へいを行い、建屋に搬入後、開梱、検査時には専用の MOX 新燃料取扱い装置による遮へいを行い、使用済燃料ピットへ貯蔵するまで遮へい状態を維持するとともに、作業の自動化、遠隔化等を図ることにより、作業場所の被ばく[線量率](#)をウラン燃料と同等の 0.04mSv/h 以下に抑えるとしています。(管理値=0.15mSv/h)

したがって、これらの対策に加え、作業員の被ばく線量管理を適切に行うことにより、ウラン燃料と比べて作業員の被ばくが問題になることはないものと考えます。

Q2-7 プルトニウムはウランより核分裂しやすいといわれていますが、MOX 燃料の貯蔵時に臨界になることはないのですか。

MOX 燃料に含まれるプルトニウム 239、プルトニウム 241 はウラン 235 より核分裂しやすく([核分裂断面積](#)が大きい)、核分裂の際に放出される中性子数も多いものの、[熱中性子](#)を吸収する効果の方が大きい(熱中性子を吸収し、核分裂の連鎖反応を妨害する)ことから、MOX 燃料はウラン燃料よりかえって[臨界](#)になりにくいとされています。

なお、MOX 燃料の貯蔵は、中性子を吸収しやすい[ほう酸水](#)で満たした使用済燃料ピットの底に、臨界管理上十分な間隔を保持したラック(ほう素を添加したステンレス製)中に 1 体ずつ保管することとしており、また、臨界に関する計算については、燃料の入ったラックが純水中に無限に並んでいると仮定するなど、より臨界になりやすい条件を設定しても基準値以下であることから、貯蔵時に臨界になることはないと考えます。

3 MOX 燃料の使用（原子炉内における使用）

Q3-1 MOX 燃料は、ウラン燃料と比べて融点が低下するようですが、燃料が溶けることはないのですか。

プルトニウムの含有率が高くなると融点が下がる傾向にありますが、含有率 13%の場合の融点は約 2,730℃であり、ウラン燃料ペレットの融点（約 2,800℃）と比較して約 70℃低下しますが、燃焼が進むことに伴う融点の低下は、実験データを大きめに評価してもウランと同程度です。

また、運転中の燃料ペレット中心温度（最も温度が高くなる）には制限を設けており、この制限値を上回らないよう、異常時には原子炉が自動停止する設計となっていますが、通常運転時や、制御棒が意図せず抜けることなどにより出力が上昇する万一の異常時にも、燃料ペレット中心温度は制限値を十分に下回ることから、異常時でも燃料が溶融することはないと考えられます。

• ペレットの融点（ プルトニウム含有率 13%の場合）	約 2,730℃
• 制限値（これを超えないよう原子炉が自動停止する）	2,500℃
• ペレットの中心温度（異常時）	2,230℃
• ペレットの中心温度（通常運転時）	1,740℃

Q3-2 MOX 燃料は、ウラン燃料と比べて核分裂の際に生成するガスが多いようですが、燃料被覆管が破損することはないのですか。

MOX 燃料は、ウラン燃料と比較して気体状の[核分裂生成ガス](#)（[希ガス](#)や[ヨウ素](#)など）の燃料棒内部への放出率が高い傾向にあることが知られています。

また、燃料被覆管は、その内側（燃料ペレットが封入されている）と、外側（[冷却材](#)が流れている）との圧力差を小さくし、かつ、燃料ペレットから被覆管への熱伝達を良くするために、あらかじめヘリウムガスを封入していますが、MOX 燃料を使用する場合は、核分裂生成ガスの増加分を考慮し、[熱伝導率](#)低下の影響の出ない範囲でヘリウムガスの量を少なくすることとしています。

なお、運転時間が長くなると燃料棒の内圧は上昇しますが、MOX 燃料は3サイクル（サイクル＝次の燃料取り替えまでの期間）使用すると原子炉から取り出すこととしており、その期間では内圧が制限値（19.7MPa）以下であることが確認されています。

これらのことから、燃料被覆管が破損するなどの影響はほとんどなく、安全性は確保されるものと考えます。

Q3-3 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）ができて、燃焼の際に悪影響を与えることはないのですか。

MOX 燃料の製造においては、二酸化プルトニウム粉末と二酸化ウラン粉末を混合するため、ごく微細なプルトニウムスポットができる場合がありますが、近年の MOX ペレット製法（MIMAS 法及び SBR 法）では、ペレット成型前に、専用装置により十分に粉碎混合していることから均一性が向上しており、MOX ペレット中に大きなプルトニウムスポットは発生しないとされています。

なお、[米国材料試験協会（ASTM）](#)の規格では、軽水炉に使用される MOX 燃料のプルトニウムスポットの大きさは $400\mu\text{m}$ 以下と規定されていますが、MIMAS 法及び SBR 法においてプルトニウムスポットの最大径が ASTM 規格以下であることが報告書で確認されています。

また、日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構）において、規格より大きい $1,100\mu\text{m}$ 相当のプルトニウムスポットを表面に埋め込んで燃焼させる実験を行っており、燃料被覆管への影響がなかったことが確認されています。

これらのことから、プルトニウムスポットによる燃焼の際の悪影響はほとんどなく、燃料の健全性は確保されると考えます。

Q3-4 MOX 燃料がウラン燃料と隣り合うと、炉内の出力分布が不均一になることはないのですか。

ウランと比べ、中性子が核分裂に使われる前にプルトニウムに吸収されてしまう割合が多いことから、原子炉内の MOX 燃料では、ウラン燃料より中性子の数が少なめとなります。

その結果、MOX 燃料の外周部（ウラン燃料との境界付近）では水が高い所から低い所に流れるように、周りのウラン燃料から中性子が流れ込み、プルトニウムはウランよりも核分裂しやすいため、MOX 燃料集合体の外周部では、燃料棒の出力が相対的に高くなる傾向にあります。このため、MOX 燃料集合体の外周部においては、[プルトニウム含有率](#)を下げ、燃料棒内の核分裂を抑えることで、出力分布が不均一になることを防止することとし

ています。

また、燃料取替作業にあたっては、装荷中および装荷後において複数の人間が複数回の確認を行い、誤装荷を防止するとともに、出力を上昇させる前に出力分布の確認を行うとしていることから、炉内の出力分布が不均一になることはなく、安全性は確保されるものと考えます。

Q3-5 MOX 燃料の場合、制御棒の効きが低下する傾向があるようですが、原子炉の制御性などへの影響はないのですか。

制御棒は熱中性子を吸収する働きがあり、この働きによって核分裂の数をコントロールしています。原子炉を停止するときには全ての制御棒を原子炉内に挿入します。プルトニウムはウランよりも熱中性子を吸収しやすいので、制御棒と熱中性子を奪い合う形となり、結果として、一般的には制御棒の効きはわずかに低下する傾向となります。

しかし、制御棒の挿入位置に MOX 燃料をなるべく配置しないなど、原子炉内の燃料の配置を工夫することにより、MOX 炉心でもウラン炉心と同等に、必要とされる余裕分も含めて制御棒が原子炉を停止させる能力が十分に確保できることが解析評価により確認されています。

さらに、発電所の運転開始前には実際に制御棒の効き具合を測定し、十分余裕があることを確認する検査を行った上で運転に入っていることから、安全性は確保されるものと考えます。

Q3-6 MOX 燃料の場合、熱中性子の割合が減少することから、出力の上昇がより早くなり、原子炉の制御が不安定になることはないのですか。

原子炉の出力が急上昇するような事故想定において、MOX 炉心では中性子寿命が短いため出力上昇が早まりますが、燃料温度効果(ドップラー効果)により、ウラン 238 やプルトニウム同位体が中性子を吸収する効果が大きくなることから、核分裂反応が減少し、出力上昇が抑制されることになり、その効果はウラン炉心に比べ大きくなります。

逆に、主蒸気管破断事故など原子炉冷却材の温度が急激に下降した場合には、ウラン炉心に比べ MOX 炉心では核分裂が増えることとなりますが、解析評価によりウラン炉心と MOX 炉心で挙動に大きな違いはないことが確認されています。

このように、原子炉内の温度が急に変動した場合、元の状態に戻ろうとする自己制御性

は、MOX 炉心の方がウラン炉心に比べ強まる傾向にあります。

また、操作ミスなどの人為的過失（ヒューマンエラー）が発生したとしても、原子炉が自動停止するなど、より安全な状態となるよう設計されている（フェイルセーフ）ことから、ウラン炉心の場合と同様に、運転制御が不能になることはないと考えます。

Q3-7 MOX燃料の場合、高速中性子の発生量が多いことから、原子炉容器が傷みやすくなることはないのですか。

金属材料は中性子の照射を受けると脆くなることが知られていますが、原子炉内で発生する高速中性子は、水と衝突してエネルギーを失い、10 数 cm しか移動しないことから、原子炉容器は炉心の外周部に配置されている燃料からのみ、高速中性子の影響を受けることとなります。

また、原子炉容器への中性子照射量の変動は、核分裂あたりの高速中性子の発生量だけでなく、それぞれの燃料の出力にも左右されます。

泊3号機で標準的な、MOX 炉心、ウラン炉心における原子炉容器への中性子照射量を比較した結果、出力分布の違いから、MOX 炉心がウラン炉心に比べ下回ることを解析評価により確認されていることから、ウラン炉心と比べ原子炉容器が傷みやすくなるなど設備の健全性に影響を与えることはないと考えます。

なお、北海道電力（株）では、原子炉容器内の試験片を計画的に取り出して、照射量の累積値の評価、試験片の強度試験を行うなど、中性子照射による材料の健全性を確認することとしています。

4 MOX 燃料の使用後（使用済 MOX 燃料の貯蔵、搬出、処理・処分）

Q4-1 使用済 MOX 燃料を貯蔵することにより、作業エリアの線量が高くなることはないのですか。

使用済 MOX 燃料は、使用済ウラン燃料と比較して、中性子の線源強度は 10 倍程度と大きいものの、使用済燃料ピットで貯蔵することから、中性子は水中で減衰し、その線量率はガンマ線に比べ無視できるほどになります。

また、使用済 MOX 燃料のガンマ線の線源強度は、燃焼度や核分裂生成物の収率の違いから、使用済ウラン燃料の 8 割程度と低くなります。

したがって、必要な水深を確保し常に水中で取り扱うことにより、作業場所の被ばく線量率を管理値以下とすることができ、使用済ウラン燃料を貯蔵する場合と比べて作業エリアの線量が高くなることはないものと考えます。

Q4-2 使用済 MOX 燃料は、使用済ウラン燃料と比べて発熱量が大きいといわれていますが、貯蔵する設備の冷却能力は十分なのですか。

使用済 MOX 燃料は、使用済ウラン燃料と比べ、半減期が長い超ウラン元素が多く含まれており、処分を行う際に発熱量の減衰が遅くなるというデメリットを有しているため、その特徴を踏まえた取扱いが必要です。

使用済 MOX 燃料の貯蔵は、ほう酸水で満たした使用済燃料ピットで行い、ほう酸水はポンプにより循環し冷却器により冷却するとしており、水温の評価では、基準値を満足するとしています。

この評価は、最も発熱量が大きくなる燃料の組み合わせでピットが満杯になるよう貯蔵し、水面からの放熱を無視するなど、実際より厳しい条件設定の下で行われおり、貯蔵設備の冷却能力は確保されるものと考えます。

Q4-3 使用済 MOX 燃料の搬出作業時に、作業員への被ばくが大きくなることはないのですか。

使用済 MOX 燃料は、使用済ウラン燃料と比較して、中性子の線源強度は 10 倍程度と大きいものの、使用済燃料ピットで貯蔵することから、中性子は水中で減衰し、その線量はガンマ線に比べ無視できるほどになります。

使用済 MOX 燃料の取扱い時は、遮へいに必要な水深を確保した水中で行い、輸送容器への収納も水中で行うとしており、また、輸送容器は、使用済燃料輸送容器をベースに設計された専用のもを使用することから、これらの対策を適切に行うことにより、使用済ウラン燃料の場合と比べて作業エリアの線量が高くなることはなく、管理値以下とすることが可能であり、作業員の被ばくが問題になることはないものと考えます。

Q4-4 使用済 MOX 燃料の輸送時には、どのような安全対策を講じるのですか。

使用済 MOX 燃料の輸送は、使用済ウラン燃料と同様、放射性物質の漏えいによる災害の発生防止の観点から、輸送容器は、落下、火災、水没などの事態に遭遇しても十分耐えられるよう、「危険物船舶運送及び貯蔵規則」及び「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則」で定める技術基準に適合するものを使用としています。

＜技術基準に定める輸送容器の試験条件＞

- ・落下試験 9m の高さからの落下、1m の高さから丸棒上に落下
- ・耐火試験 800℃の環境に 30 分
- ・浸漬試験 水深 15m の水中に 8 時間、200m の水中に 1 時間

また、輸送船についても、衝突や座礁を避けるため衝突予防レーダーを備えるとともに、万一の場合でも、船内に水が浸入しにくい二重船殻構造（側壁と船底が二重構造）を有し、火災に備え広範囲に消火設備を有するなど、国際海事機関（IMO）で定める安全基準を満足する船舶を使用としています。

したがって、これらの対策を適切に講じることにより、使用済 MOX 燃料輸送時の安全性は確保されるものと考えます。

Q4-5 使用済 MOX 燃料の再処理については、どのように行われる予定ですか。

国の原子力政策大綱（平成 17 年 10 月閣議決定）では、ウラン燃料、MOX 燃料の区別

なく、使用済燃料については再処理し、回収されるプルトニウム、ウラン等を有効利用することを基本的方針としており、使用済 MOX 燃料の処理の方策は、使用済ウラン燃料の再処理を行う六ヶ所再処理工場の運転実績などを踏まえて、2010 年頃から検討を開始し、使用済 MOX 燃料の再処理のための施設の操業が、六ヶ所再処理工場の操業終了に十分間にあう時期までに結論を得ることとされています。

このため、いつの時点から再処理を実施するかということは政策上の課題であると考えられ、国において、使用済 MOX 燃料の具体的な処理の方策について、可能な限り速やかに検討を進めることが必要であると考えます。

なお、北海道電力（株）では、泊発電所 1、2、3号機で発生する使用済ウラン燃料を計画的に六ヶ所再処理工場に搬出していくことで 30 年以上貯蔵することができるとしており、使用済 MOX 燃料は、処理の方策が決定されるまでの当面の間は、冷却能力が確保されている泊発電所の使用済燃料ピットで適切に保管されることになるものと考えます。

Q4-6 使用済 MOX 燃料の再処理については、硝酸への溶解性、臨界管理や被ばく対策など課題が指摘されていますが、再処理技術は確立されているのですか。

二酸化プルトニウムは硝酸に溶けにくい性質を有していますが、二酸化プルトニウムと二酸化ウランが十分に固溶している MOX 燃料の場合、硝酸への溶解性について問題はありません。

また、[臨界](#)管理や被ばく対策については、処理工程の幾何学的形状による管理、濃度管理、可溶性中性子吸収材の使用等による臨界安全性の確保や、コンクリートによる中性子遮へいを施すことにより対応が可能であり、日本原子力研究開発機構では、[新型転換炉 \(ATR\)](#) の MOX 燃料の再処理実績を踏まえ、軽水炉 MOX 燃料は既存の再処理施設であっても大きな設備変更を伴うことなく再処理が可能との見解をまとめています。

このようなことから、使用済 MOX 燃料の再処理については、臨界安全性や中性子遮へいなど、使用済 MOX 燃料の特性に配慮すれば、技術的には可能であると考えます。

Q4-7 使用済 MOX 燃料は発熱量が大きいですが、処分されるまで何百年も発電所においておくことはないのですか。

使用済燃料が持つ発熱量は、[燃焼度](#)と冷却期間に大きく依存するため、原子炉から取り出した時点では、MOX 燃料の使用済燃料であるからといって発熱量が特別に大きいというわけではありませんが、使用済 MOX 燃料は、使用済ウラン燃料と比べ、[半減期](#)が長い

[超ウラン元素](#)が多く含まれており、処分を行う際に発熱量の減衰が遅くなるというデメリットを有しているため、その特徴を踏まえた取扱いが必要です。

使用済 MOX 燃料の搬出までの発電所における冷却・貯蔵期間については、国における使用済 MOX 燃料の再処理の方策が決定し、受け入れ先の施設ができていることが条件となりますが、受け入れ先の施設の仕様や、発熱量が下がりにくいことを設計に反映した輸送容器に収納できる冷却条件を満たしたのから搬出されることになり、再処理のために搬出されるまでの当面の間、発電所で適切かつ安全に保管されることとなります。

Q4-8 使用済 MOX 燃料を再処理して生ずる高レベル放射性廃棄物の処分は、どのように行われる予定ですか。

使用済 MOX 燃料の場合も、使用済ウラン燃料と同様に再処理され、分離された高レベル放射性廃液をガラス固化した後、地下 300 メートルより深い安定な地層中に処分されることとなっています。

また、高レベル放射性廃棄物の処分地については、法律に基づき、「原子力発電環境整備機構」(NUMO：ニューモ)が処分を行う機関として、平成 40 年代後半に最終処分を開始できるよう、現在、処分地選定などを進めているところですが、国において、高レベル放射性廃棄物の最終処分の問題について早期に解決を図ることが必要であると考えます。

なお、使用済 MOX 燃料は、使用済ウラン燃料と比べ、[半減期](#)が長い[超ウラン元素](#)が多く含まれており、処分を行う際に発熱量の減衰が遅くなるというデメリットを有していますが、技術的には、ガラス固化する際に加える高レベル放射性廃液の量を少なくする(多くのガラスで薄める)などの方法により、対応が可能と考えます。

5 全般的な事項（外部影響、環境保全、安心の確保）

Q5-1 MOX 燃料を使用することにより、平常時の影響（公衆被ばく）が悪化することはないのですか。また、環境に蓄積されるようなことはないのですか。

MOX 燃料を使用した場合、原子炉内のプルトニウム量はウラン燃料を使用する場合と比べて増量しますが、ウラン燃料と同様に融点が高く、固体として燃料被覆管中に閉じ込められており、外部にプルトニウムが放出されることはありません。

また、通常の運転の過程で生ずる、放射性物質が混ざった気体や液体は、ウラン燃料の場合と同様、それぞれ気体廃棄物、液体廃棄物として放射能濃度を管理し、適正に処理されます。

気体廃棄物は装置の中で長時間保持して放射能を減衰させ、フィルターを通したのち、モニターで監視しながら外に放出されます。

液体廃棄物は蒸発濃縮し、濃縮された廃液は低レベル放射性廃棄物として処分され、蒸留水は、再利用するか放射能を測定して問題ないことを確認した後に海水で希釈しながら放出されます。

なお、解析評価により MOX 炉心とウラン炉心とで実効線量の差は僅かであり、原子力発電所周辺の線量目標値を十分下回っていることが確認されています。

これらのことから、平常時の影響（公衆被ばく）は、ウラン燃料の使用時とほとんど変わらないと考えます。

Q5-2 泊3号機でプルサーマルを実施した場合、最悪どのような事故まで想定しているのですか。

国の指針では、その立地条件の適否を判断するための想定すべき事故として、重大事故及び仮想事故を規定しており、具体的には、一次冷却系の配管が破断し冷却材が格納容器の中に流出するなどの事故であり、事故の程度としては、重大事故は“技術的にみて最悪の場合に起こるかもしれないと考えられる事故”、仮想事故は“重大事故を超えるような技術的には起こるとは考えられない事故”とされ、仮想事故では、炉心中の放射性物質である希ガスの100%とヨウ素の50%が格納容器内に放出されることを想定しています。

今回のプルサーマル計画を実施した場合において、国の指針の仮想事故の想定にしたが

って事故の影響について解析評価を行った結果、国の定める基準値を大幅に下回り、事故時の影響（公衆被ばく）についてもウラン炉心と変わらないことを確認しています。

また、電力会社の自主的な措置として、炉心の重大な損傷に至るようなシビアアクシデント（過酷事故）が発生する確率と格納容器が破損する確率が評価されており、泊発電所3号機の格納容器破損頻度は「6000 万年に1 回程度」と評価され、原子力安全委員会の性能目標の「10 万年に1 回程度」を大きく下回っていることを確認しています。

なお、泊発電所などの国内の軽水炉は、鋼鉄でできた堅牢な格納容器などが設置されていないチェルノブイル原子力発電所とは異なり、放射性物質を閉じこめる構造や多重防護となっていることから、周辺住民への影響が出るようなプルトニウム等の放射性物質を、そのまま大量に環境中に放出するような事故の可能性は考えられません。

Q5-3 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ことはないのですか。

原子力発電所は、極めてまれな大地震に遭遇しても、「原子炉を止める」、「原子炉を冷やす」、「放射性物質を閉じこめる」という、原子炉の安全を守るための重要な安全機能が維持されるような、耐震設計でなされていなければなりません。

プルサーマルは、燃料の一部をウラン燃料から MOX 燃料に変更するものであり、燃料集合体の構造はウラン燃料と同じであること、また、MOX 燃料の使用により原子力発電所の構造や設備の健全性に影響を与えることもないことから、地震による影響はウラン炉心と変わらないと考えます。

Q5-4 MOX 燃料を使用する場合、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ですか。

MOX 燃料を使用することにより、燃料搬入、原子炉内での使用、搬出の各段階で、平常時及び事故時において、環境に影響を与えるようなプルトニウム等の放出は考えられません。

また、MOX 燃料を使用しても、原子炉で発生する熱量は同じであり、発電所自体の構造や設備についても変更はないことから、[温排水](#)の水量や温度については変わらないものと判断されます。

なお、北海道及び北海道電力（株）では、昭和 61 年9月から泊発電所の前面海域にお

いて、水温や流向・流速、底生生物や海藻の出現状況など、温排水の影響について調査しており、平成 19 年度の調査結果では、いずれの項目においても過去の測定値と同程度であり、泊発電所に起因する周辺環境の異常は認められませんでした。

Q5-5 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ですか。

MOX 燃料の使用に関し、燃料搬入、原子炉内での使用、搬出の各段階における平常時及び事故時において、環境に影響を与えるようなプルトニウム等の放出は考えられないこと、また、[温排水](#)の量や温度は変わらないことから、技術的には防災対策、環境放射線及び温排水モニタリングの変更の必要性はないと考えます。

ただし、有識者検討会議では、更なる安心の確保の観点から、原子力防災対策の充実や、プルサーマル実施に伴う環境モニタリングのあり方などについて検討していくことが必要としています。

Q5-6 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、北海道電力（株）の安全管理体制は十分なのですか。

発電所内における MOX 燃料の使用に係るテロ対策については、国の認可を受けた「泊発電所核物質防護規定」により、これまでのウラン燃料より厳重な防護措置が講じられることから、危険が増大する可能性はないと考えます。

また、発電所の保守運営に関する安全管理体制については、国の認可を受けた保安規定やマニュアルに基づき実施されており、これまで、泊発電所 1、2 号機において、周辺環境に影響を及ぼすトラブルや発電所の自動停止などがなかったことは実績として評価できるものであり、業務品質管理、教育訓練が適切に行われていると考えます。

なお、プルサーマル導入に伴う安全管理体制については、MOX 燃料使用までに、マニュアルなどに反映させるとともに、事前の教育訓練等を徹底していくことを確認しています。

ただし、有識者検討会議では、過去の不審火などトラブルを踏まえ、発電所の保守運営のみならず、関係会社を含めた泊発電所全体として安全管理体制のさらなる向上が求められており、MOX 燃料を使用するに当たっては、事故の未然防止対策に重点をおき、従業者に対する安全モラルの徹底やヒューマンエラーの防止などを含む危機管理の考え方を十分取り入れた、より質の高い安全管理の方策を検討し、充実する必要があるとしています。

Q5-7 地域住民の安心確保に向けて、知識・情報の提供や公開、コミュニケーションの場の提供などだけで十分なのですか。

これまでも、トラブルなどの情報公開や、ホームページ、広報誌などによる安全性に係る情報提供が行われており、北海道電力（株）の情報公開については一定の評価ができると考えます。

しかしながら、有識者検討会議では、原子力に対する地域住民をはじめ道民の信頼感・安心感を高めていくため、『とまりん館』を一層効果的に活用するなどして、積極的に、正しい情報をわかりやすく発信するとともに、情報の受け手との間で、双方向コミュニケーションなどの手法を取り入れていくこと、また、放射線や原子力に関する基礎的な知識を得る様々な機会や情報を提供するなどして、エネルギーを含めた総合的な環境教育の推進に努める必要があるとしています。

さらに、今後も、プルサーマルに関する正確で適切な情報の提供・公開に努めるとともに、プルサーマルに係る手続きなどの進捗状況の把握や、情報提供のあり方について検討していく必要があるとしています。

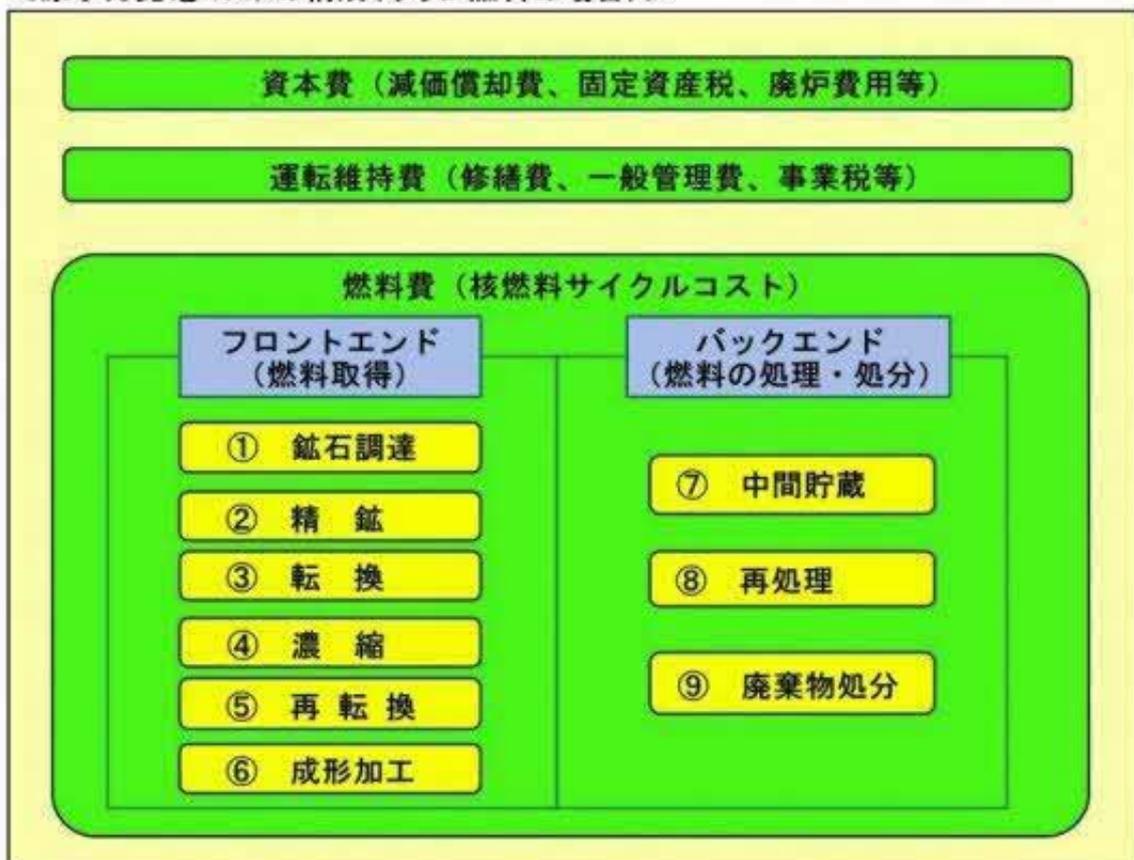
6 経済性など

Q6-1 一般的に原子力発電コストはどのように構成されているのですか。

原子力発電のコストは、下図のとおり、資本費、運転維持費及び燃料費で構成されています。

このうち、燃料費(核燃料サイクルコスト)は、ウラン燃料の場合、発電する前の鉱石調達、精鉱、転換、濃縮、再転換及び成形加工の「**フロントエンド**」と呼ばれる工程での燃料取得費用と発電した後の使用済燃料の中間貯蔵、再処理及び廃棄物処理・処分の「**バックエンド**」と呼ばれる工程の費用に大別されます。

<原子力発電コストの構成(ウラン燃料の場合)>



Q6-2 プルサーマルは発電所で使い終わった燃料を再処理して実施されるようですが、原子力発電コストの、どの部分に影響を与えるのですか。

ウラン燃料の場合の発電コストの構成は Q6-1 の回答のとおりです。

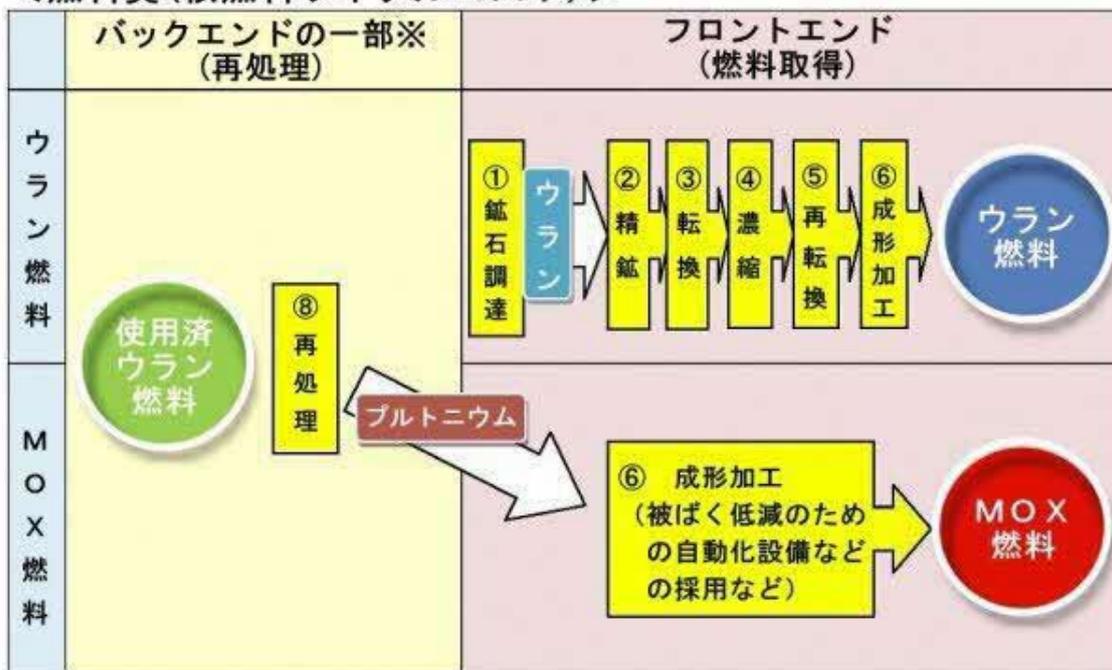
プルサーマルは、取替燃料の一部としてウラン燃料とともに MOX 燃料を使用するものであり、既存の軽水炉における施設・設備や運転方法は基本的に変わらないことから、資本費や運転維持費への影響はほとんどないとされております。

しかしながら、燃料費については、下図のとおり、フロントエンド（燃料取得）において、MOX 燃料はウラン燃料と異なり、鉱石調達、精鉱、転換、濃縮及び再転換の工程が不要となりますので、燃料取得の部分が発電コストに影響するものと考えられます。また、MOX 燃料の成形加工に際しては、被ばく低減のための自動化設備を採用していることなど加工費に係る経費が大きくなることから、結果として MOX 燃料の取得に要する費用が相対的に割高になる可能性があります。

一方、バックエンドの費用については、[使用済燃料再処理準備金制度](#)に基づき、既に現在の原子力発電コストに含まれていることから、プルサーマルの実施により変わるものではありません。

なお、電気事業法に基づく会計規則において、核燃料の取得原価は、当該核燃料を購入したときは、その購入価額、加工したときは加工価額とされており、一般的に、燃料の取得費用には再処理費用は含まれないこととなっています。

<燃料費(核燃料サイクルコスト)>



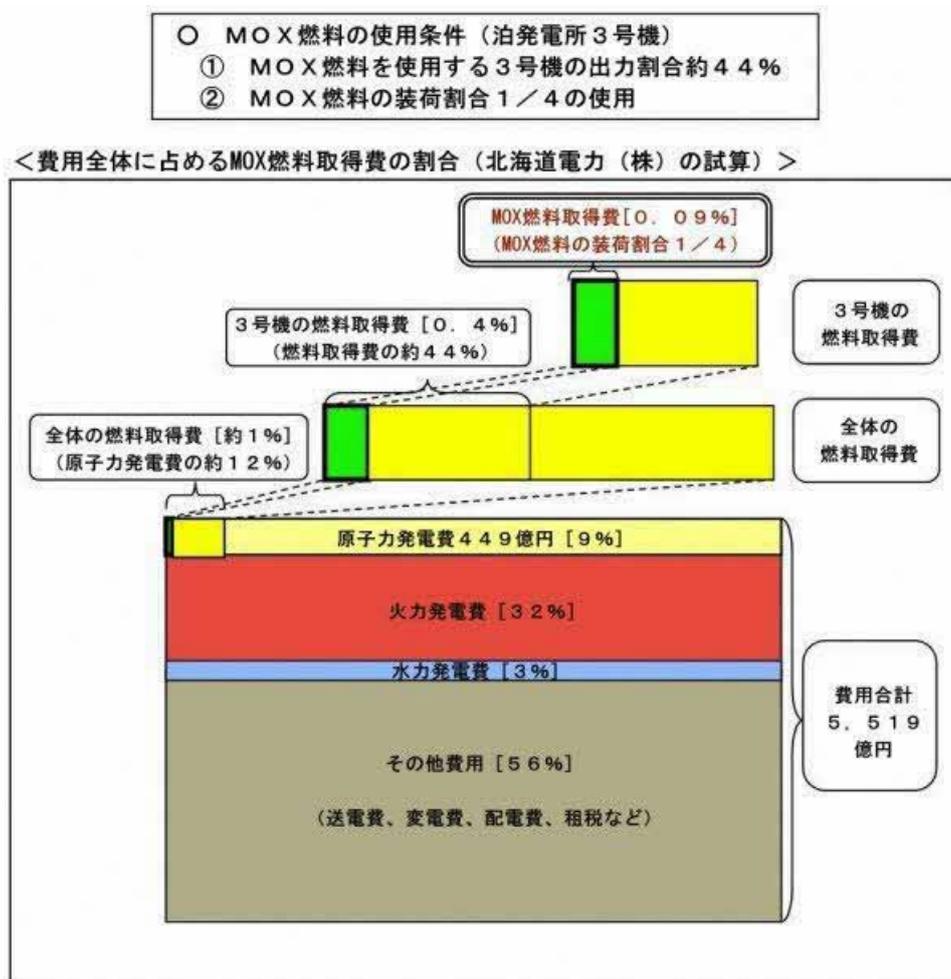
※ 使用済ウラン燃料を再処理して回収されるプルトニウムをプルサーマルにより MOX 燃料として利用する範囲を示しています。

Q6-3 ウラン燃料とMOX燃料との取得費の違いは、どの程度ですか。また、発電コストに与える影響はどの程度ですか。

プルサーマルの実施による原子力発電コストに与える影響としては、Q6-2 の回答のとおり、燃料取得の部分が発電コストに影響するものと考えられますが、北海道電力（株）が、まだ加工契約を行っていないことや、他電力でも私契約上の守秘義務により公表されていないことなどから、ウラン燃料とMOX燃料の取得費の違いを把握することは困難な状況にあります。

従いまして、北海道電力（株）では、プルサーマルの経済性について説明するに当たり、平成 19 年度の決算ベースで泊 3 号機へのプルサーマル実施の影響度合いを試算し、北海道電力（株）の費用全体（5,519 億円）に対し、原子力発電費（449 億円）が占める割合は全体の約 9%であり、以下の予定している MOX 燃料の使用条件によると、下図のとおり、MOX 燃料取得による原子力発電費への影響は約 1%、経常費用全体では約 0.09%としています。

このため、全体として MOX 燃料はウラン燃料に比べ割高になることも考えられるものの、発電費用に占める燃料割合、炉心の装荷割合が小さいため、プルサーマルが発電コストに与える影響は小さいとの見解を示しています。



Q6-4 プルサーマル実施による電気料金への影響は、どのくらいと考えられているのですか。

北海道電力（株）では、電気料金を構成する要素は様々であることから、費用の一部の増加（減少）によりすぐに料金を改定するというものではないため、ひとつの要素の変動を想定したとしても全体への影響を予測することは大変難しいとしています。

ちなみに、国では、原子力委員会「新計画策定会議」において、使用済燃料の取扱いに関して、全量処理、部分再処理、当面貯蔵、全量直接処分の4つのシナリオを定め評価を行った際に、使用済燃料を全量再処理する場合と直接処分する場合の発電コストを比較しており、その試算では、再処理は直接処分に比べて1割程度高くなるとしており、リサイクルによるコストを1世帯当たりの年間電気代に換算すると約600～840円であり、年間電気代の1パーセント程度の負担としております。

<全量再処理と全量直接処分の場合の発電コストの比較>

	全量再処理	全量直接処分
発電コスト	約5.2円/kWh	約4.5～4.7円/kWh

<リサイクルによるコストについて>

リサイクルによるコスト 約0.5～0.7円/kWh

一世帯平均使用量 約300kWh/月

年間電気代 約72,000円

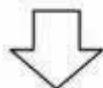
(20円/kWh × 300kWh × 12ヵ月)

年間負担

約600～840円

(0.5～0.7円/kWh × 100kWh × 12ヵ月)

※原子力発電は総電力の1/3と想定



年間1%程度の負担

[原子力委員会新計画策定会議資料より]

【 α （アルファ）線】

放射線の1つで、陽子2個と中性子2個からなるヘリウムの原子核と同じ構造の粒子の流れです。物質を通り抜ける力は弱く、紙一枚程度で止めることができます。アルファ線を体外から受けた場合は、皮膚の表面で止まってしまうため影響はほとんどありませんが、体内にアルファ線を放出する放射性物質を摂取した場合、その物質の周辺の細胞が集中してアルファ線を受け、電離作用によって大きな影響を与えます。

【 α （アルファ）崩壊】

原子核が α 線を放出して他の物質に変わる放射性崩壊のことです。 α 崩壊をした原子はその結果、原子番号が2、質量数が4だけ減少します。

【ATR/Advanced Thermal Reactor】

新型転換炉。日本で開発された原子炉型式の一つで、重水減速沸騰軽水冷却型の圧力管型原子炉のこと。減速材（重水）と冷却材（軽水）が別の物質であることが特徴です。

【FBR/Fast Breeder Reactor】

高速増殖炉。高速中性子により核分裂連鎖反応を起こさせる原子炉を高速炉といいます。高速増殖炉は高速炉において炉心で消費した燃料以上の新しい燃料を作り出す仕組みの原子炉です。

【LWR/Light Water Reactor】

軽水炉。軽水（普通の水）が減速材と冷却材を兼ねている原子炉であり、通常の原子炉のことです。

【温排水】

原子力発電所や火力発電所ではタービンを回した後の蒸気を水に戻すため、大量の冷却水が必要となります。冷却水で蒸気を水に戻す装置が復水器で、冷却水としては主に海水が用いられます。冷却水は、復水器を通る間に温められ、取水したときより温度が上昇して放出されるため、一般に温排水と呼ばれます。

【核種】

原子または原子核の種類を示す用語で、原子番号と質量数で区別します。例えば、ウラン238とウラン239とは同じ原子番号を持っているので同じ原子であるが、質量数が異なるため、異なる核種であるといいます。

核種のうち放射線を出す能力（放射能）を持つものを放射性核種といいます。

【核分裂生成ガス】

核分裂によってできた物質（核分裂生成物）のうち気体状のものをいいます。クリプトン、キセノンなどの希ガスや気体状のヨウ素などがあります。

【核分裂生成物】

ウランやプルトニウムなどが核分裂してできた物質のことで、その大部分が放射性物質です。クリプトン、キセノン、ヨウ素などがあります。

【核分裂断面積】

断面積は、飛んでくる粒子（中性子など）と標的になる粒子（ウランやプルトニウムなど）がぶつかる確率（反応の起こりやすさ）を表す量のことです。中性子がウランやプルトニウムと衝突し、核分裂が起こる確率（起こりやすさ）を核分裂断面積といいます。

【核分裂連鎖反応】

核分裂によって放出された中性子が別の核分裂を起こし、中性子を放出し、また次の核分裂を起こさせるというように、連鎖的に核分裂を起こす現象をいいます。

【 γ （ガンマ）線】

放射線の1つで、不安定な原子核が放射性崩壊により α 線や β 線を出した後、さらに安定した原子核に落ち着こうとして出す電磁波のことです。性質はX線と同じですがエネルギーがより強いことから物質を通り抜ける力が α 線や β 線に比べて強く、遮へいするには鉛板やコンクリート壁が必要です。生物に影響を与える電離作用は α 線、 β 線に比べて小さくなります。

【希ガス】

ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノンおよびラドンの6つの元素の総称です。これらの6元素は大気中の存在量が非常に少ないので希ガスと呼ばれます。また、非常に安定しており、他の元素と容易に化合せずに単独で気体として存在する性質を持ち、不活性ガスともいわれます。原子炉内では核分裂生成物として放射性的クリプトン、キセノン、アルゴンなどが生成されます。

【国際海事機関（IMO/International Maritime Organization）】

船舶の安全及び船舶からの海洋汚染の防止等、海事問題に関する国際協力を促進するための国連の専門機関です。船舶の構造や設備などの安全基準、積載限度に係る技術要件、船舶からの油、有害物質及び排ガスの排出規制等に関する条約等の作成や改訂を随時行っています。

【実効線量】

人体の一部に受けた放射線をすべて足し合わせて、全身で受けたらどのくらいになるか換算した値です。単位はSv（シーベルト）で表します。

【自発核分裂】

中性子の衝撃やエネルギーを加えることなしに原子核が自然に核分裂を起こすことです。

【使用済燃料再処理準備金制度】

核燃料サイクル政策の根幹をなし、極めて巨額な費用と長い期間を要する再処理事業を適正に実施するために必要な資金を、安全性・透明性が担保される形であらかじめ確保することが重要とされています。

このため、再処理事業費はもとより、高レベル放射性廃棄物のガラス固化費用及びその貯蔵費用、さらに再処理施設の廃止費用などについては、世代間及び需要家間の公平性、バックエンド事業の円滑な推進という観点から、平成17年5月に成立した「原子力発電における使用済燃料の再処理等のための積立金の積立て及び管理に関する法律」に基づき、使用済燃料再処理準備金制度に従い電力会社(発電用原子炉設置者)等から管理法人である(財)原子力環境整備促進・資金管理センターに既に積立金として支払われており、これらの費用は料金原価に算入することが認められ、現在の電気料金に含まれています。

【少数体実証試験】

国内におけるMOX燃料の実証試験は、原子炉内でのMOX燃料の振る舞いを調べる試験と、照射後のMOX燃料の健全性を確認する試験に分けて行われました。具体的には、1986年から1989年にかけて日本原子力発電(株)の敦賀発電所1号機(沸騰水型軽水炉：BWR)で2体、1988年から1991年にかけて関西電力(株)の美浜発電所1号機(加圧水型軽水炉：PWR)で4体のMOX燃料が使用され、試験の結果、健全性が確保されていることが確認されました。

【線源強度】

線源(放射線の発生源)から単位時間あたりに放出される放射線の個数のことをいいます。

【線量】

放射線の量のことです。基本的な線量の単位は、単位質量に吸収されるエネルギー量で表わす吸収線量(単位：Gy、グレイ)であり、人体への影響を評価する場合には、吸収線量に放射線の種類などの補正を行った実効線量(単位：Sv、シーベルト)が用いられます。

なお、線量率は単位時間あたりの放射線の量のことであり、Gy/h、mSv/hなどで表されます。

【超ウラン元素】

原子番号92のウランよりも大きな原子番号を持つ元素の総称です。いずれも人工放射性核種であり天然には存在しませんが、原子力利用では、ウランより原子番号の大きい元素がさまざまな核反応で何種類もできます。代表的なものとして、ネプツニウム(Np、原

子番号 93)、プルトニウム(Pu、原子番号 94)、アメリシウム(Am、原子番号 95)、キュリウム(Cm、原子番号 96)などがあり、そのほとんどがアルファ崩壊してアルファ線を放出します。

プルトニウムを除いた超ウラン元素を「マイナーアクチノイド」といい、使用済ウラン燃料にも 0.1%程度含まれますが、使用済 MOX 燃料にはその数倍程度 (MOX 燃料のプルトニウム含有率や燃焼度などによって異なります。) 含まれており、その特徴を踏まえた取扱いが必要です。

なお、国では、将来の高速増殖炉の導入により、これらの物質を燃料として燃やしたり、寿命の短い物質にすることなどができる可能性があり、また、高レベル廃棄物の量を低減させる可能性もあるとしています。

【中性子線】

放射線の1つで、中性子の粒子線のことです。電荷をもたないため透過力が強く、遮へいするためには、水や厚いコンクリートが必要です。人体の外から中性子線を受けると、ガンマ線の場合と同様に組織や臓器に影響を与え、吸収された線量が同じであれば、ガンマ線よりも中性子線の方が人体に与える影響は大きくなります。

【中性子増倍率】

核分裂によって発生した中性子は、他の核分裂性のウランやプルトニウムなどに吸収されて核分裂反応を起こさせますが、核分裂反応で発生した中性子の個数に対する、次の核分裂反応で発生する中性子の個数の割合を中性子増倍率といいます。

中性子増倍率が1未満の時は、発生する中性子は時間の経過と共に減り、中性子増倍率が1より大きい時、中性子は増えてゆきます。

実際の原子炉では、発生した中性子の一部は、減速材や制御棒、周囲の核分裂をしないウランなどに吸収されるため、中性子増倍率にある係数かけた実効(中性子)増倍率を考えます。

実効増倍率が1の時、中性子の増減はなく、連鎖反応は持続し、この状態を臨界といいます。

【同位体】

原子番号が等しく、質量数が異なる核種を同位体(アイソトープ)といいます。同位体のうち放射性を持つものを放射性同位体、そうではないものを安定同位体といい、放射性同位体はラジオアイソトープとも呼ばれます。プルトニウムの同位体には、プルトニウム 238、プルトニウム 239、プルトニウム 240、プルトニウム 241、プルトニウム 242 などがあります。

【熱中性子】

中性子が物質中で原子核と衝突を繰り返して減速され、周りとの熱的に平衡に達した中性子のことです。また一般に、エネルギーの小さな中性子をさします。熱中性子は制御しやすく軽水炉などで用いられます。

【熱伝導率】

物質中の熱の伝わりやすさを示す値です。ある温度勾配があったときに、どの程度の速さで熱が伝わるかで表します。

【燃焼度】

核燃料を原子炉に入れてから取り出すまでに、核分裂によって発生する熱エネルギーの量のことです。単位は、通常、MWd/t（メガワット・デイ・パー・トン）で表します。

【半減期】

放射性核種は放射性崩壊により原子数が時間の経過とともに減少していきます。放射性核種の数が増える前の1/2に減少するまでの時間を半減期といい、それぞれの放射性核種に固有の長さを持っています。短いものでは1秒よりもはるかに短く、長いものでは10億年よりもはるかに長いものもあります。半減期の1倍、2倍、・・・10倍の時間が経過すると放射性核種数は、それぞれ最初の値の1/2、1/4、・・・1/1024に減少することになります。

【BWR（沸騰水型軽水炉／Boiling Water Reactor）】

原子炉の水を沸騰させてできた蒸気をそのままタービンに送るタイプの軽水炉です。

【PWR（加圧水型軽水炉／Pressurized Water Reactor）】

減速材と冷却材として軽水（普通の水）を用い、高い圧力を加えて沸騰を抑える型の軽水炉で、泊発電所の各炉はこのタイプです。炉心で発生した熱を取り出す一次系とタービンへ送るための蒸気を発生する二次系とは、熱交換器（蒸気発生器）によって完全に分離されています。

【Pu（プルトニウム）含有率】

ウランにプルトニウムを混ぜるMOX燃料ペレット中の、ウランとプルトニウム全体の重量のうち、プルトニウムが占める割合のこと、泊発電所のプルサーマル計画では燃料集合体平均9%（ペレット最大13%）です。

【米国材料試験協会（ASTM／American Society For Testing and Materials）】

1902年発足の米国の国際標準化・規格設定機関のことです。主に工業材料およびその試験法の規格を設定・発行しています。

【β（ベータ）線】

放射線の1つで、原子核の崩壊によって放出される電子線のことです。物質の透過力は、アルファ線よりは強いですが、2～3ミリ程度のアルミニウム板により遮へいできます。人体に影響を与える電離作用はアルファ線ほど大きくはありません。

【崩壊】

放射性崩壊ともいい、核種がアルファ線、ベータ線またはガンマ線等を放出して、より安定な他の核種に変わっていく現象のことです。アルファ線を放出する崩壊をアルファ崩壊といいます。

【ほう酸水】

ほう素の化合物であるほう酸を溶かした水のこと。ほう素の高い中性子吸収能力を利用して、PWRでは原子炉出力の制御に用いられます。

【ヨウ素（放射性ヨウ素）】

原子力発電所で生成する放射性ヨウ素（主にヨウ素131、ヨウ素133）は、核分裂生成物として燃料棒中に封じ込まれていますが、燃料の破損が起これると、1次冷却材中に放出されます。放射性ヨウ素は、人体に取り込まれると甲状腺に選択的に集積し、甲状腺がんや甲状腺腫などの甲状腺疾病を誘発する原因となります。特に小児に影響が大きいので、事故評価の際には、全身の被ばく線量とともに、甲状腺被ばく線量が重要となります。

【臨界】

核分裂が同じ数で持続している状態をいいます。原子力発電所では原子炉を臨界状態に保つことにより発電を行います。

【冷却材】

原子炉の炉心部から熱を取り出す役目をするもので、液体では軽水、重水、液体金属、気体では炭酸ガス、ヘリウムガスなどが使用されます。中性子を吸収しにくいこと、放射線によって変質しないことなどが重要です。泊発電所は冷却材として軽水（普通の水）を用いるタイプで、軽水炉と呼ばれます。軽水炉では、冷却材の軽水が減速材も兼ねています。