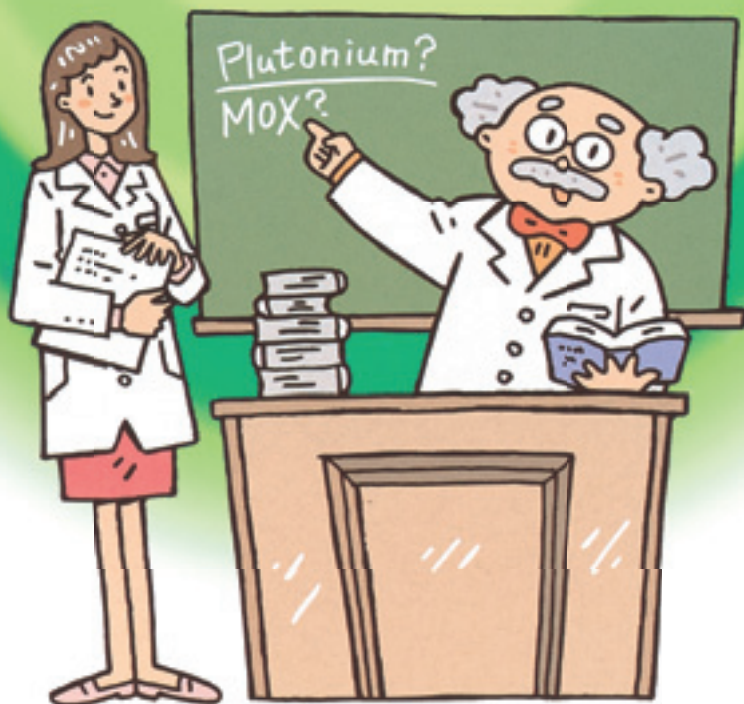


わかる! プルサーマル

ウラン資源を有効活用するしくみ



経済産業省
資源エネルギー庁

序 日本のエネルギー政策

2002（平成14）年6月14日付けで公布・施行された「エネルギー政策基本法」を受け、2003年10月7日付けで「エネルギー基本計画」が閣議決定されました。

その後、2007年3月9日付けで閣議決定が改定され、改定された「エネルギー基本計画」においては、引き続き、使用済燃料の再処理によって回収されるプルトニウムを有効利用するプルサーマルを、着実に推進していくこととしています。

同様に、原子力の研究、開発及び利用に関する新しい長期計画を定めた「原子力政策大綱」（2005年10月閣議決定）の中で、「使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム、ウラン等を有効利用するという基本的方針を踏まえ、当面、プルサーマルを着実に推進する」こととしています。

また、各電気事業者は2015年度までに、合計16～18基の原子炉でのプルサーマルの実施に向けて取り組んでいます。

本パンフレットでは、なぜプルサーマルが必要なのか、プルサーマルとはどのようなものか、プルサーマルの実績・安全性に問題はないのか、こうしたことを日本のエネルギー事情を踏まえながら説明していきます。

目次

序	日本のエネルギー政策	1
1	エネルギー情勢と原子力発電	
1-1	世界のエネルギー事情	2
	・世界のエネルギー情勢	
	・有限なエネルギー資源	
1-2	日本のエネルギー事情	3
	・日本のエネルギー情勢	
	・日本のエネルギー自給率	
1-3	日本の電力事情	4
	・電力供給の情勢	
	・電力供給の基礎を支える原子力発電	
1-4	原子力発電の特徴	5
	・燃料の供給安定性	
	・環境特性	
2	核燃料サイクル	
2-1	リサイクルできるウラン燃料	6
2-2	核燃料サイクルの意義	7
	・エネルギーセキュリティの確保	
	・ウラン資源の有効利用	
	・放射性廃棄物の適切な処分	
2-3	プルトニウムを有効利用するプルサーマル	8
2-4	「原子力政策大綱」における核燃料サイクル政策	9
	・核燃料サイクル政策について	
3	プルサーマル	
3-1	プルサーマルとは	10
3-2	MOX燃料	11
3-3	世界のプルサーマルの実績	12
3-4	日本のMOX燃料の使用実績	13
	・商業用原子炉でのMOX燃料使用実績	
	・新型転換炉「ふげん」でのMOX燃料の使用	
3-5	安全性についての基本的な考え方	14
	・原子力安全委員会で検討された内容	
3-6	MOX燃料の安全上の特性	15
	・原子炉の出力を調整する反応度制御材の効き目について	
	・原子炉内の出力分布について	
	・MOX燃料の融点について	
3-7	プルサーマル実施に係る法令上の主要手続き	16
	・輸入MOX燃料体の検査	
	・使用済MOX燃料の取扱い	

我が国はかつて2度の石油危機に直面し、エネルギー確保がいかに重要なものであるかを経験してきました。その後この経験をもとに、石油代替エネルギー対策、省エネルギー対策を進め、エネルギーの安定供給確保に積極的に取り組んできました。

しかしながら、エネルギー資源の大部分を海外に依存していることなどにより、エネルギー資源の安定供給確保は我が国にとって依然として重要な課題です。また近年、地球温暖化をはじめエネルギーの

■日本のエネルギー政策の基本方針

我が国のエネルギーについては、2002年6月に成立したエネルギー政策基本法*で、次の3つの基本方針が示されています。

1.安定供給の確保（Energy Security）

ここでの課題は次のようになります。

- エネルギー供給源の多様化
- 自給率の向上 その他

2.環境への適合（Environmental Protection）

ここでの課題は、地球温暖化の防止を念頭に、次のようになります。

- 省エネルギーの推進
- 非化石エネルギー利用促進 その他

3.市場原理の活用（Economic Efficiency）

上記2つの基本方針を踏まえた上で、次のことを図ります。

- 規制緩和などの施策推進 その他

■いま取り組むべきこと

この基本方針の下、エネルギー需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図るため、エネルギー基本計画*が策定され、2007年3月に改定が行われました。改定された計画の中では、主に次の6つが挙げられています。

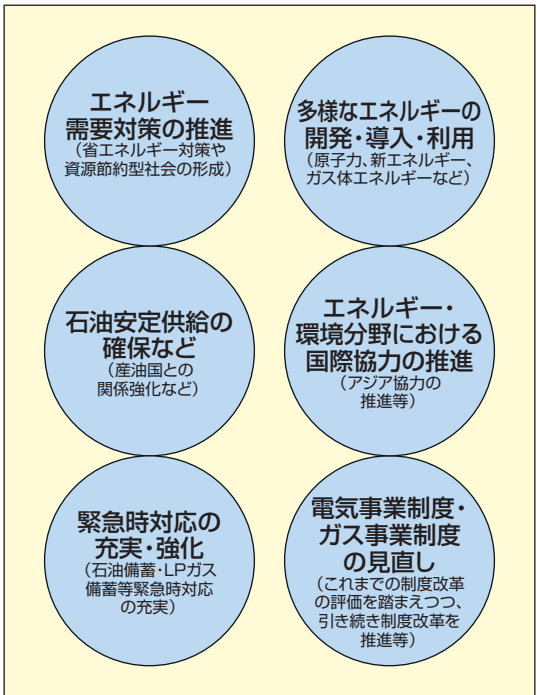
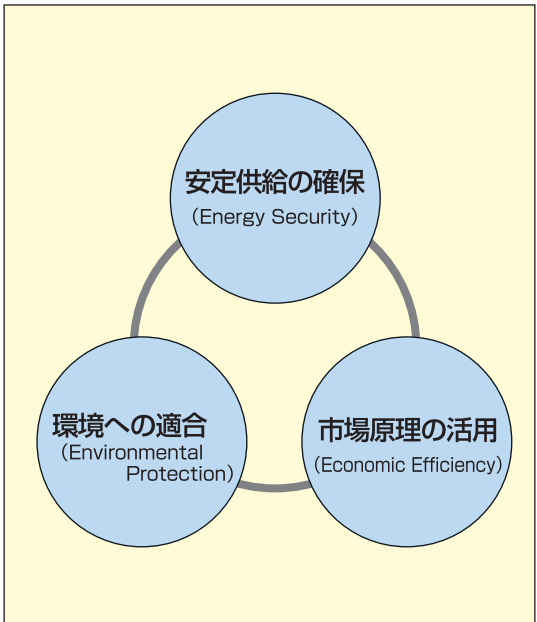
- エネルギー需要対策の推進
- 多様なエネルギーの開発・導入・利用
- 石油安定供給の確保など
- エネルギー・環境分野における国際協力の推進
- 緊急時対応の充実・強化
- 電気事業制度・ガス事業制度の見直し

特に、エネルギーの安定的な確保は大きな課題であるだけに、1つの施策を推進するだけでなく、様々な施策を組み合わせることで、求めることが求められています。

本パンフレットのテーマである「プルサーマル」は、こうした様々な施策のなかで、多様なエネルギーの開発・導入・利用の1つとして位置付けられ、核燃料サイクルの一環として、着実に推進していくこととしています。

利用に伴う環境問題への取組も重要な課題となっています。こうしたなか、我が国のエネルギー政策は「安定供給の確保」、「環境への適合」、「市場原理の活用」を基本方針として、総合的な観点から具体的政策を展開しています。

経済産業省では、昨今の厳しいエネルギー情勢にかんがみ、エネルギー安全保障を核とした「新・国家エネルギー戦略*」を2006年5月に策定しました。



解説

新・国家エネルギー戦略

新・国家エネルギー戦略は、エネルギー安全保障を中心に、地球環境問題を一体的に克服する、新たな「国家エネルギー戦略」として、2006年5月に策定されました。この戦略の中の「原子力立国計画」においては、2030年以降においても総発電電力量に占める原子力発電の比率を30～40%程度以上とすることを目指すなどの目標が示されています。ここでは、現在の軽水炉を前提とした核燃料サイクルの早期確立にむけ、プルサーマル導入の推進が具体的な取組のひとつとして位置付けられています。

解説

エネルギー政策基本法

議員立法として提出され平成14年6月14日に公布・施行された我が国のエネルギー政策の方向性を示す法律。本法では、エネルギーの需給施策について、安定供給の確保、環境への適合、市場原理の活用を基本方針とし、国・地方公共団体、事業者等の責務、エネルギーの需給施策の基本事項を定めることで、施策を長期的、総合的かつ計画的に推進することとしています。

解説

エネルギー基本計画

エネルギー政策基本法に基づいて閣議決定された、エネルギー政策の基本となる計画がエネルギー基本計画で、少なくとも3年ごとに検討を加え、必要があると認めるときには、これを変更するとされており、最近の改定は2007年3月9日付けで閣議決定されました。

1 エネルギー情勢と原子力発電

1-1

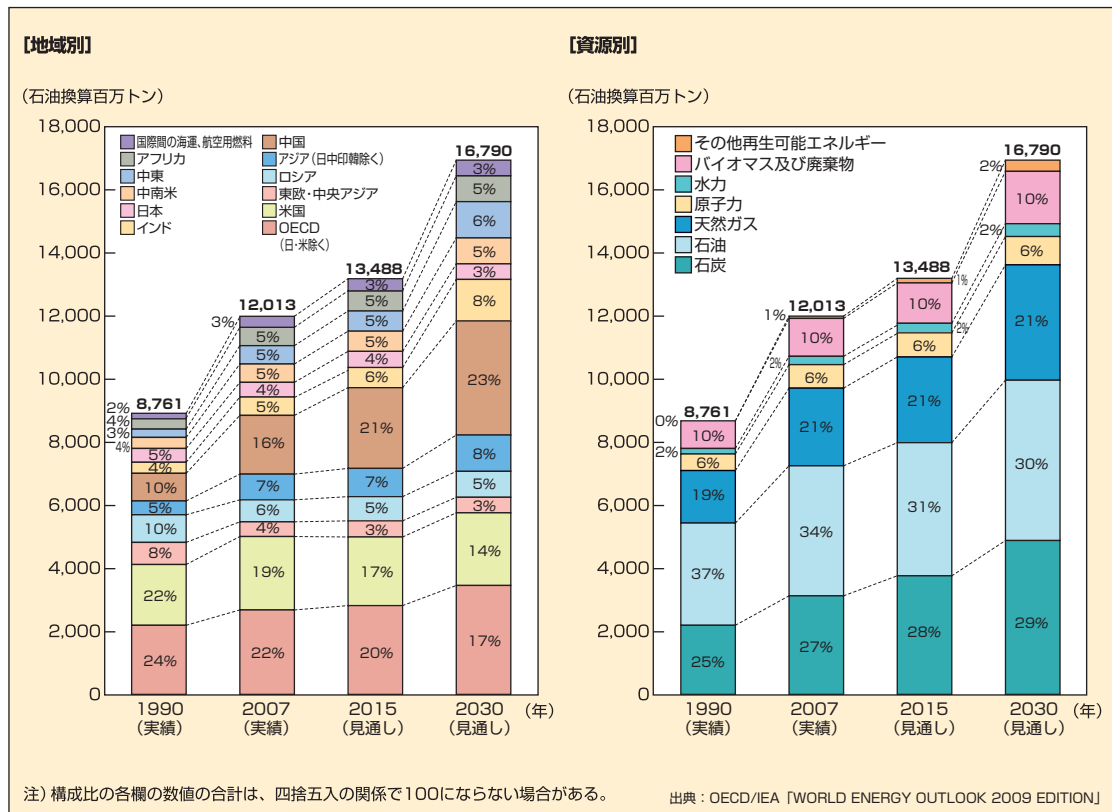
世界のエネルギー事情

●世界のエネルギー情勢

世界のエネルギー需要量は、近年各国で省エネルギーへの取組が進展しているものの、依然として増加の傾向にあります。地域別に見た場合、特にアジアを中心とする発展途上国などにおいて、人口の増大と経済成

長に伴い、大幅に増加するものと考えられています。また、資源別に見た場合、石油の占める割合は依然として大きく、石炭、天然ガスを含めた化石燃料に大きく依存していることが分かります。

世界のエネルギー需要の推移と見通し



解説

確認可採年数

エネルギー資源の多くは地中に埋蔵されていますが、その埋蔵量の内、現在の技術・経済条件の下で採掘できると確認された量を確認可採量、その量を年間産出量で割ったものが確認可採年数になります(ウランについては、確認可採埋蔵量を年間需要量で割った値)。このため、採掘技術の進歩や経済状況の変化、新たな資源の発見などがあった場合、確認可採年数は変動します。

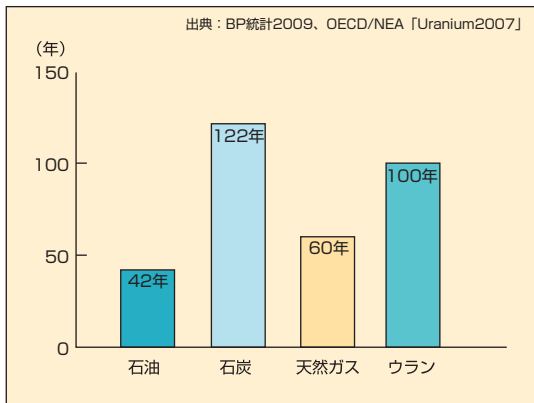
●有限なエネルギー資源

エネルギー資源には限りがあります。主要なエネルギー資源である石油は約42年分、石炭は約122年分、天然ガスは約60年分、ウランは約100年^(注)分に当たる可採埋蔵量が確認されています。

しかし、安定したエネルギー供給を続けるためには、省エネルギーとともに限りあるエネルギー資源の有効活用が必要です。

(注) ウランをワンスルーで軽水炉に用いた場合の可採年数

エネルギー資源の確認可採年数*



1-2

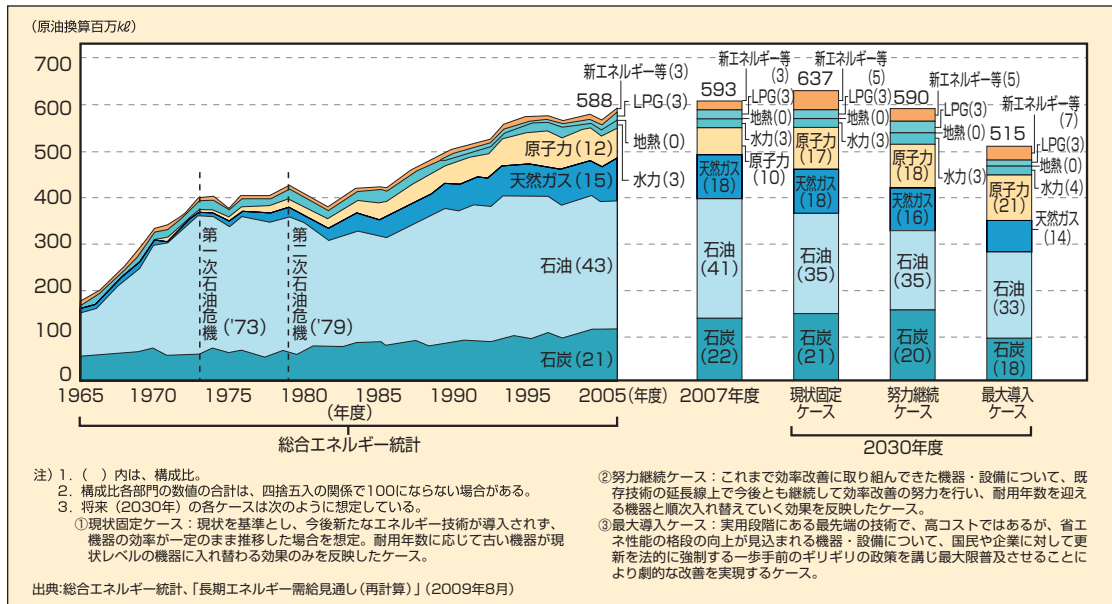
日本のエネルギー事情

●日本のエネルギー情勢

我が国のエネルギー消費は、過去2度の石油危機後の時期を除き、経済成長とともに確実に伸び続けています。もちろん、この間省エネルギーに取り組むなど様々な工夫

をしてきましたが、エネルギー消費そのものが増加傾向にあることは否定できません。いかにエネルギーを安定的に確保するか、私たちにとって重要な課題となっています。

一次エネルギー*供給の見通し(資源別)

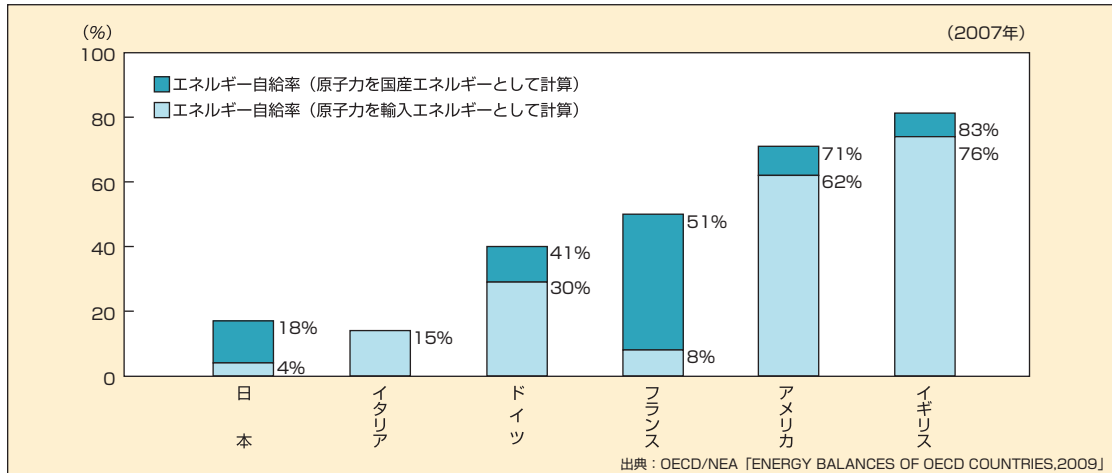


●日本のエネルギー自給率

我が国のエネルギー自給率は、わずか4%にすぎません。原子力を準国産エネルギー*とした場合でも、18%です。

エネルギー自給率が低いということは、輸入相手先の政情や為替レートの変動などにより、私たちの生活が大きな影響を受けることになります。

主要国のエネルギー自給率



解説

一次エネルギー

一次エネルギーとは、石油や石炭、天然ガス、ウランなどの自然界の中にあるエネルギー資源のことをいいます。我が国の一次エネルギー源は、かつてはほとんどが石油でした。現在では石油、石炭など様々な資源が使われていますが、依然として石油の占める割合は高く、約50%になっています。しかし、電源として使われる石油の量は、我が国の石油消費量全体の約6%であり、残りは石炭、天然ガス、原子力、水力で賄われています。



解説

準国産エネルギー

我が国は原子力発電の燃料であるウランを100%輸入しています。しかし、原子力発電は、燃料を一度装荷すると数年間は使い続けられること、使用済ウラン燃料は再処理することで資源として再利用できることなどから、準国産エネルギーとして位置付けられています。

1-3

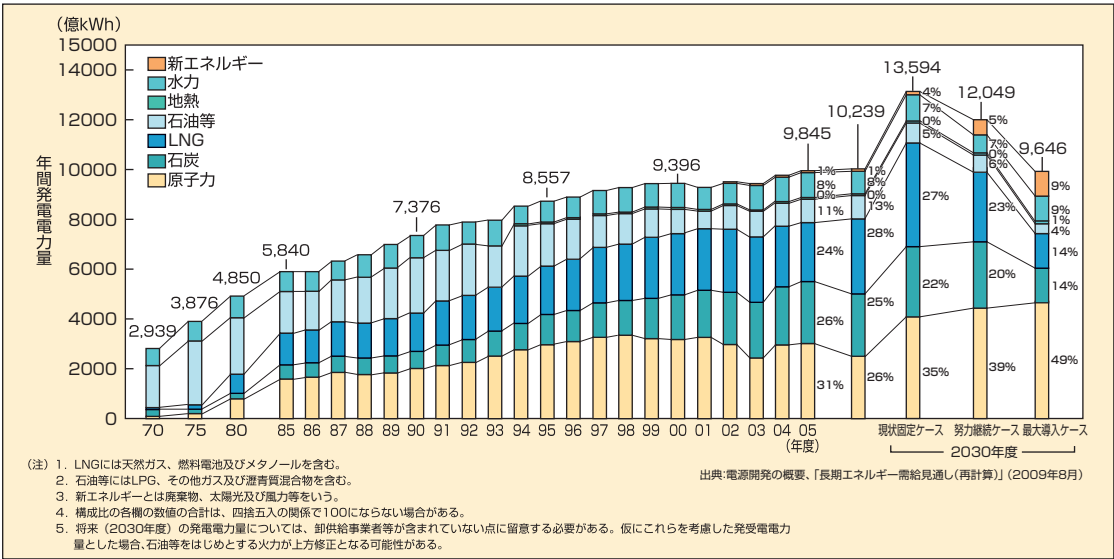
日本の電力事情

●電力供給の情勢

我が国の最終エネルギー供給は、その4割が電気の形で行われています。その供給量は伸び続けており、2007年時点で30年前の約2.6倍になっています。一方、我が国の電源別の電力量構成は、30年前には多くが石油火力でしたが、現在は約3割を占める原

子力発電をはじめ、LNG火力、石炭火力など電源の多様化を図っています。これは、我が国が1970年代に2度の石油危機を経験したことを踏まえ、それまでの石油依存を見直し、エネルギー源の多様化を積極的に進めてきたためです。

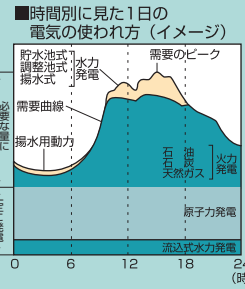
電源別発電電力量の実績（一般電気事業用）及び見通し



解説

ベース電力

1日（あるいは1年間）の電気の需要は刻々と変化しますが、電気は貯蔵できないため、その需要に応じて発電所の出力を変化させています。この需要の変化で最も低いときの電力をベース電力といいます。逆に最も高いときの電力をピーク電力といいます。



1-4

原子力発電の特徴

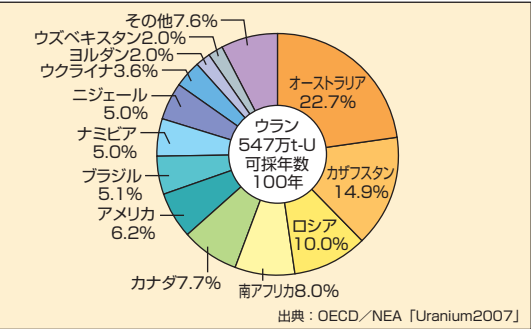
●燃料の供給安定性

我が国はエネルギー資源のほとんどを海外から輸入しています。安定した輸入を行うためには、輸入先の多様化や、自主開発比率を高めることが重要です。原子力発電の燃料であるウランは、オーストラリア、カナダ、カザフスタンを始め、比較的広い地域に分布しており、供給安定性に優れています。さらに安定して長期に輸入ができるよう、供給国の多様化を図るとともに、供給国と長期購入契約の締結を行っています。政府としても、資源国との関係強化や、リスクマネーの供給を通じて、ウランの安定供給確保を支援しています。

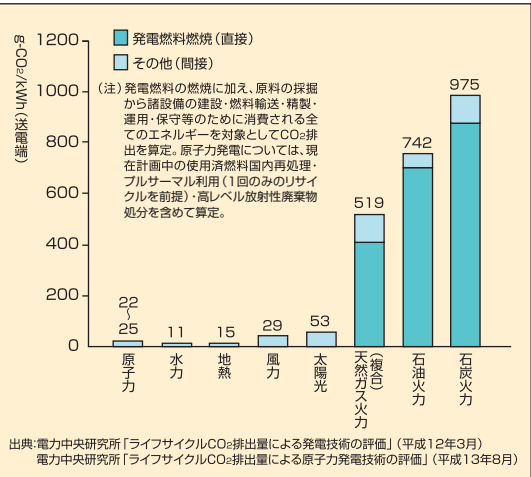
●環境特性

地球温暖化の原因となる二酸化炭素(CO₂)などの温室効果ガス。この温室効果ガスの排出量を削減するため採択された京都議定書*を、我が国も批准しており、CO₂排出量の削減が必要です。火力発電では燃料の燃焼に伴い、CO₂が直接排出されますが、非化石燃料を使う原子力、水力などの場合、そのような排出はなく、輸送、建設などによる間接的な排出のみです。各種電源について、原料の採掘から関係設備の建設、輸送、精製、発電、保守などのために消費されるすべてのエネルギーを対象として、CO₂排出量を算定すると、原子力発電は石油などの化石燃料を使用する火力発電に比べ、著しく少ないことがわかります。

ウラン資源確認可採埋蔵量(2007年)



電源別のライフサイクルCO₂排出量(注)

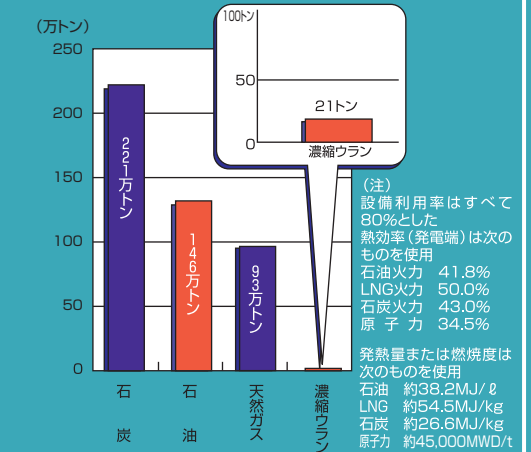


●少ない燃料で発電できる原子力

原子力発電の燃料であるウランは、エネルギー密度が高く、石油、石炭、天然ガスなどの他の燃料に比べて少ない嵩(かさ)で発電ができます。例えば、設備容量100万kW(注)の発電所を1年間運転するために必要な燃料の量は、代表的な発電燃料である石油が約146万トンであるのに対し、ウラン燃料では約21トンで済みます。また、ウラン燃料は一度原子炉に入れると3～4年間はそこで燃焼して発電できます。

(注) 100万kWの電力は約33万世帯の需要に相当します。

100万kWの発電所を1年間運転するために必要な燃料の量



解説

京都議定書

平成9年京都において議定書が採択され、平成17年2月に発効しました。京都議定書ではCO₂などの温室効果ガスの排出量を、1990年を基準として削減することが決められています。削減達成目標年次は2008～2012年で、先進国全体では5%、日本は6%削減が目標です。



2-1

リサイクルできるウラン燃料

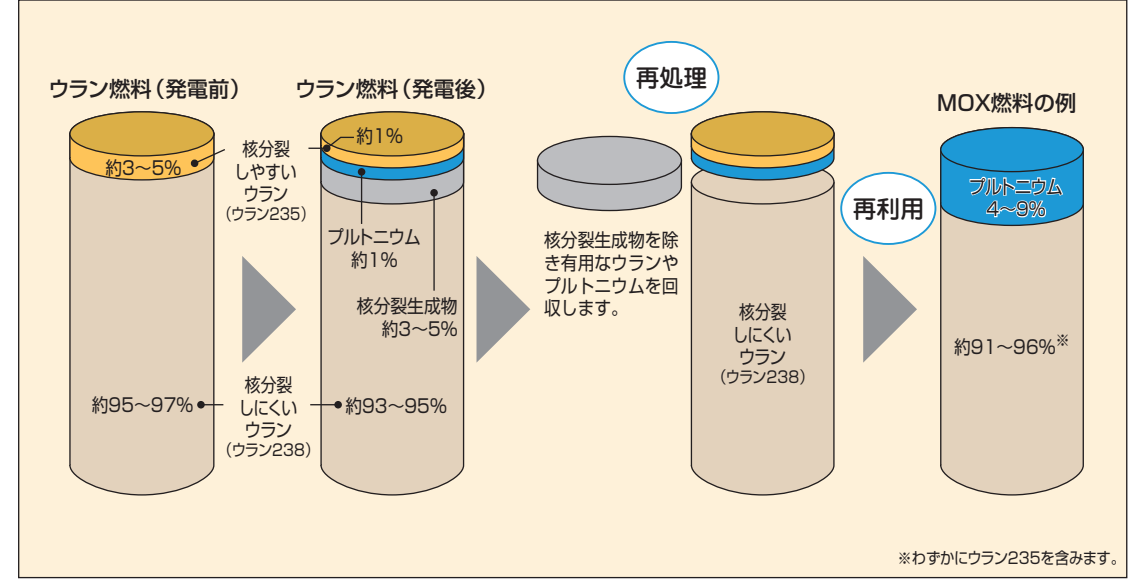
天然ウランは、鉱山から掘り出された後に化学処理され、粉末状の酸化ウランとなります。これを六フッ化ウランというガス状のウラン化合物に転換し、燃えやすいウラン235の濃度を高めるように濃縮後、酸化ウラン粉末に再転換して固体状に成型したものがウラン燃料です。

このウラン燃料は、原子炉の中で数年間燃焼し発電

に使われます。そして、燃焼後に取り出したウラン燃料（使用済燃料）の中には、燃え残ったウラン235や新たに発生したプルトニウムが含まれています。

これらの物質は、その化学的性質の違いを利用して化学的に分離、回収（再処理という）できます。この回収したウラン及びプルトニウムは、再び原子力発電用の燃料に加工し、再利用することができます。

発電前後でのウラン燃料の変化

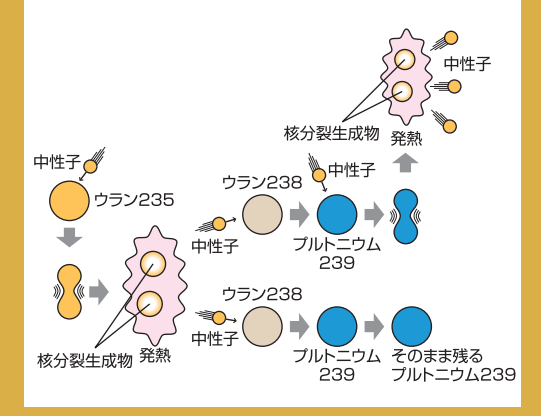


●プルトニウムとは

元素記号Pu、原子番号94のプルトニウムは、天然には存在せず原子炉の中でウランが中性子を吸収してできるものです。原子炉の中で生まれたプルトニウムの一部は、ウラン235と同じように核分裂するため再び核燃料として利用できます。また、1gのプルトニウムのエネルギー量は、石炭で約3トン、天然ガスで約1.5トンのエネルギー量に匹敵します。

我が国は、2007年末現在海外再処理委託により回収された核分裂性プルトニウムを、フランス及びイギリスに約25トン保有しています。これらは、今後海外でMOX燃料に加工され、国内の軽水炉で利用されていきます。

原子炉の中での燃料の燃え方



2-2

核燃料サイクルの意義

ウラン燃料などの核燃料をリサイクルする一連の流れを核燃料サイクルといいます。エネルギー資源の大部分を輸入に依存する我が国においては、ウラン資源の有効利用による長期的なエネルギー安定供給の確

保、放射性廃棄物の適切な処理処分の観点から、核燃料サイクルの確立に向け各種施策に着手に取り組むことが重要です。

核燃料サイクルには、次のような意義があります。

●エネルギーセキュリティの確保

現在我が国の原子力発電の主流となっている軽水炉は、ウラン燃料を使用していますが、我が国では原料であるウランを100%輸入しています。

原子力発電は、もともと供給安定性に優れたエネルギー源ですが、核燃料サイクルが確立すれば、供給安定性は一層強化されます。

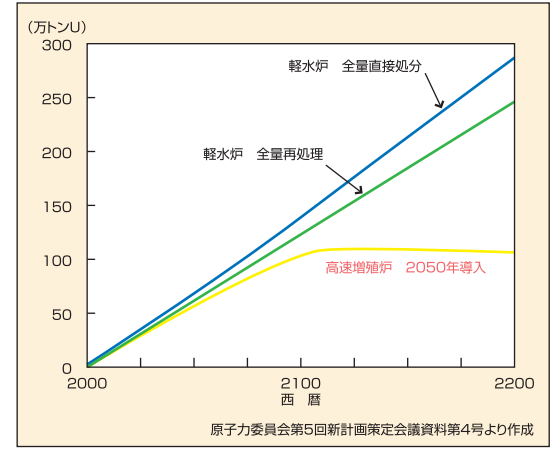
●ウラン資源の有効利用

核燃料サイクルは、再処理により使用済燃料からプルトニウムなどの有用な物質を分離回収し、これを再利用することによって、ウラン資源を有効に利用することができます。軽水炉でウラン燃料を使用し、それをそのまま処分（直接処分）した場合に比べ、再処理してプルトニウムで再利用した場合には、1~2割ウラン資源が節約できます。

将来的に高速増殖炉を用いた核燃料サイクルが実用化されれば、より一層のウラン資源の有効利用を図ることができます。

再処理によって生産されたプルトニウムは、石油など海外からの輸入に頼っている資源に比べて供給が安定しており、このことは、エネルギー資源に恵まれない我が国にとって大きな意義があります。

再処理によるウラン資源の節約効果



●放射性廃棄物の適切な処分

再処理を行わず、使用済燃料を直接処分する場合には、使用済燃料そのものがウラン、プルトニウム、核分裂生成物等をすべて含んだまま高レベル放射性廃棄物となります。そのため、再処理を行った場合に比べ、

多量の廃棄物が発生し、その処分に必要な空間も広大になります。

核燃料サイクルは、放射性廃棄物量の低減にも役立ちます。

2021年頃までに原子力発電所で発生する使用済燃料を全量再処理した場合に発生するガラス固化体を4万本と想定

	体積 (原子力発電設備容量を5,800kWと想定)	処分に要する面積 (軟岩の場合)
使用済燃料を全量再処理した場合 (ガラス固化体*)	約1,400m ³	約14万m ²
使用済燃料を全量直接処分した場合 (使用済ウラン燃料)	約3,800m ³ (注1) 約5,200m ³ (注2)	約21万m ² (注1) 約25万m ² (注2)

(注1) 1キャニスタ当たりの使用済燃料4体のケース
(注2) 1キャニスタ当たりの使用済燃料2体のケース
出典：原子力委員会第9回新計画策定会議資料第8号

解説

ガラス固化体

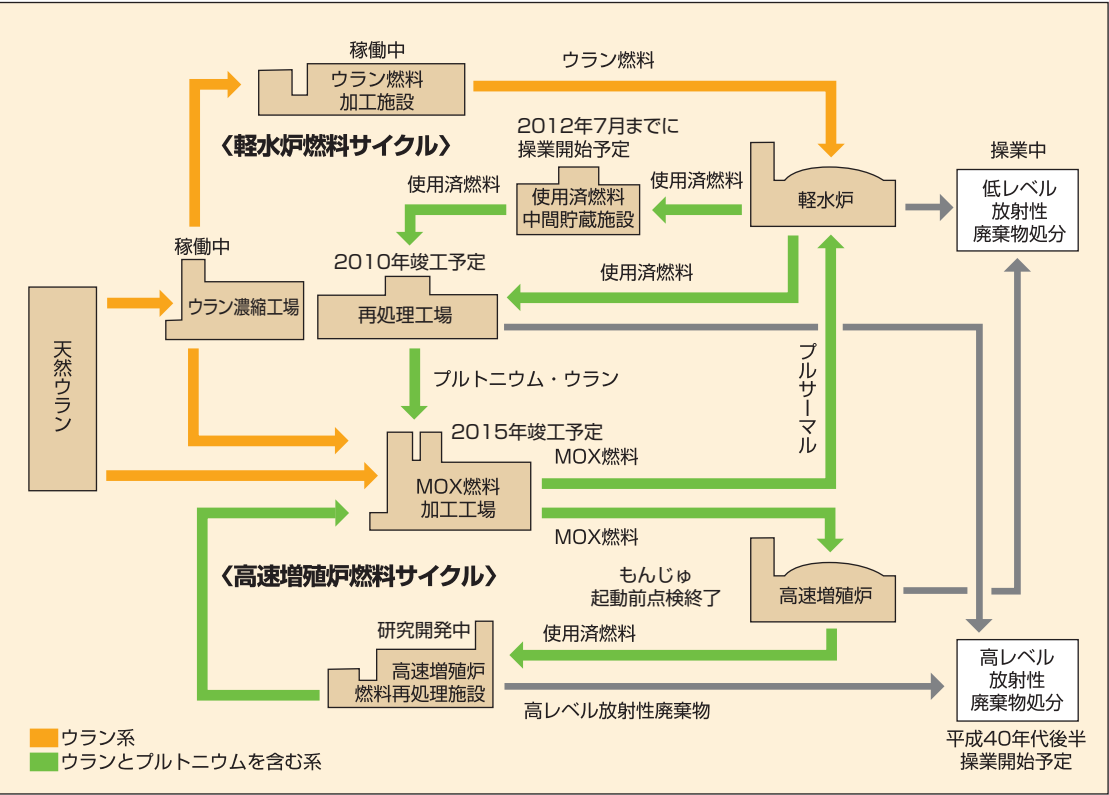
ガラス固化体とは、使用済燃料を再処理した後に残る高い放射能の廃液とガラス原料を均一に混ぜ合わせて高温で熔融し、水分を蒸発させた後、キャニスタと呼ばれるステンレス製容器に入れてゆっくり冷却し固めた状態のものです。

2-3

プルトニウムを有効利用するプルサーマル

使用済燃料の再処理によって回収されるプルトニウムを有効に利用する方法の1つがプルサーマルです。我が国では、「エネルギー基本計画（平成19年3月改定）」

核燃料サイクル（イメージ）



●核燃料サイクルを支える施設

核燃料サイクルを行う上で中心となるものが再処理工場です。再処理工場では、使用済燃料を化学的に処理し、ウラン及びプルトニウムを回収します。

【青森県六ヶ所村の核燃料サイクル施設の概要】

施設	再処理工場	高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター	ウラン濃縮工場	MOX燃料加工工場	低レベル放射性廃棄物埋設センター
施設規模	最大処理能力 800tU/年 使用済燃料貯蔵量 3,000tU	返還廃棄物貯蔵量 ガラス固化体 1,440本 最終的には ガラス固化体 2,880本	施設規模（既許可分） 1,050t SWU/年 最終的には 1,500t SWU/年	最大加工能力 130t-HM/年	約8万m ³ （200リットルドラム缶 約40万本相当） 最終的には約60万m ³
操業開始	2010年竣工予定	1995年	1992年	2015年（予定）	1992年

t-HM:ウランとプルトニウム元素としての重量（トン）

において「使用済燃料の再処理によって回収されるプルトニウムを有効利用するプルサーマルを着実に推進していく」としています。

我が国では、日本原燃（株）が青森県六ヶ所村で、操業を目指し、現在、最終的な試験を行っています。

2-4

「原子力政策大綱」における核燃料サイクル政策

原子力委員会*は、原子力の研究、開発及び利用に関する新たな長期計画の策定のため、「新計画策定会議」を設置し検討を行いました。この会議においては、特に核燃料サイクル政策について集中的に検討し、小委員会も含めて延べ18回、計45時間にわたり徹底的に議

論されました。

その結果を総合的に評価し、核燃料サイクルの推進を我が国の基本的方針とした「原子力政策大綱*」が策定され、平成17年10月に閣議決定されました。

■核燃料サイクル政策について

基本方針

我が国における原子力発電の推進にあたっては、経済性の確保のみならず、循環型社会の追究、エネルギーセキュリティの確保、将来における不確実性への対応能力の確保などを総合的に勘案するべきとの観点から、核燃料資源を合理的に達成できる限りにおいて有効に利用することを目指すものとし、「安全性」、「核不拡散性」、「環境適合性」を確保するとともに、「経済性」にも留意しつつ、使用済燃料を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方針とする。

再処理路線を選択した主な理由

- 再処理路線は直接処分路線に比較して「経済性」の面では劣るが^{（注）}、「エネルギーセキュリティ」、「環境適合性」、「将来の不確実性への対応能力」等の面で優れる。
- 長年かけて蓄積してきた社会的財産（技術、立地地域との信頼関係、我が国において再処理を行うことに関して獲得してきた様々な国際合意等）は、維持すべき大きな価値を有している。
- 再処理路線から直接処分路線に政策変更を行った場合、原子力発電所からの使用済燃料の搬出が困難になり原子力発電所が順次停止する事態が発生することや、中間貯蔵施設と最終処分場の立地が進展しない状況が続くことが予想される。
- 高レベル放射性廃棄物の潜在的有害度、体積及び処分面積を低減でき、廃棄物を最小化することができる。

当面の施策の基本的方向

- 利用可能になる再処理能力の範囲で使用済燃料の再処理を行うこととし、これを超えて発生する使用済燃料は中間貯蔵とする。
- 中間貯蔵された使用済燃料の処理の方策は、2010年頃から検討を開始する。この検討は基本方針を踏まえ柔軟性にも配慮して進めるものとし、六ヶ所再処理工場の操業終了に十分に間に合う時期までに結論を得る。
- 国においては、必要な研究開発体制、所要の経済的措置の整備を行うとともに、安全の確保や核不拡散に対する取組み、国民や立地地域との相互理解を図るための広聴・広報等の取組みを行うべきである。特に、プルサーマルの推進や中間貯蔵施設の立地について一層の努力を行う必要がある。
- 民間事業者には、安全性、信頼性の確保と経済性の向上に配慮しつつ、核燃料サイクル事業を責任をもって推進することが期待される。
- 国及び民間事業者は、それぞれにあるいは協力して、将来の不確実性に対応するために必要な調査研究を進めていくべきである。

（注）核燃料サイクルのコスト試算の結果

- ・現在のウラン価格等を前提とした場合、直接処分の方が再処理するより安価になります。
- ・しかし、リサイクルによるコストは約0.5～0.7円/kWh（割引率2%）で、1世帯当たりの年間負担額換算では、600～840円の負担となり、年間電気代の1%程度です。

解説

原子力委員会

原子力委員会は、1956年に原子力基本法（昭和30年制定）に基づき設置された機関で、日本の原子力政策の基本的枠組みなどについて企画、審議し、決定することを目的としています。その所掌範囲は、関係行政機関の調整、経費の見積もり・配分計画、核燃料物質及び原子炉に関する規制、研究者の育成など原子力利用の全般にわたります。

解説

原子力政策大綱

「原子力政策大綱」は、原子力の開発や利用を行う上で安全の確保、平和利用の堅持等、我が国の原子力研究開発利用に当たっての考え方を示したものです。原子力委員会は、昭和31年から平成12年まで9回にわたり「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」を策定してきました。平成17年10月における新計画の策定に当たっては、原子力政策の実施を担う各省庁に対して基本的な施策の方向を示す役割が期待されていることから、名称を「原子力政策大綱」としました。



3 プルサーマル

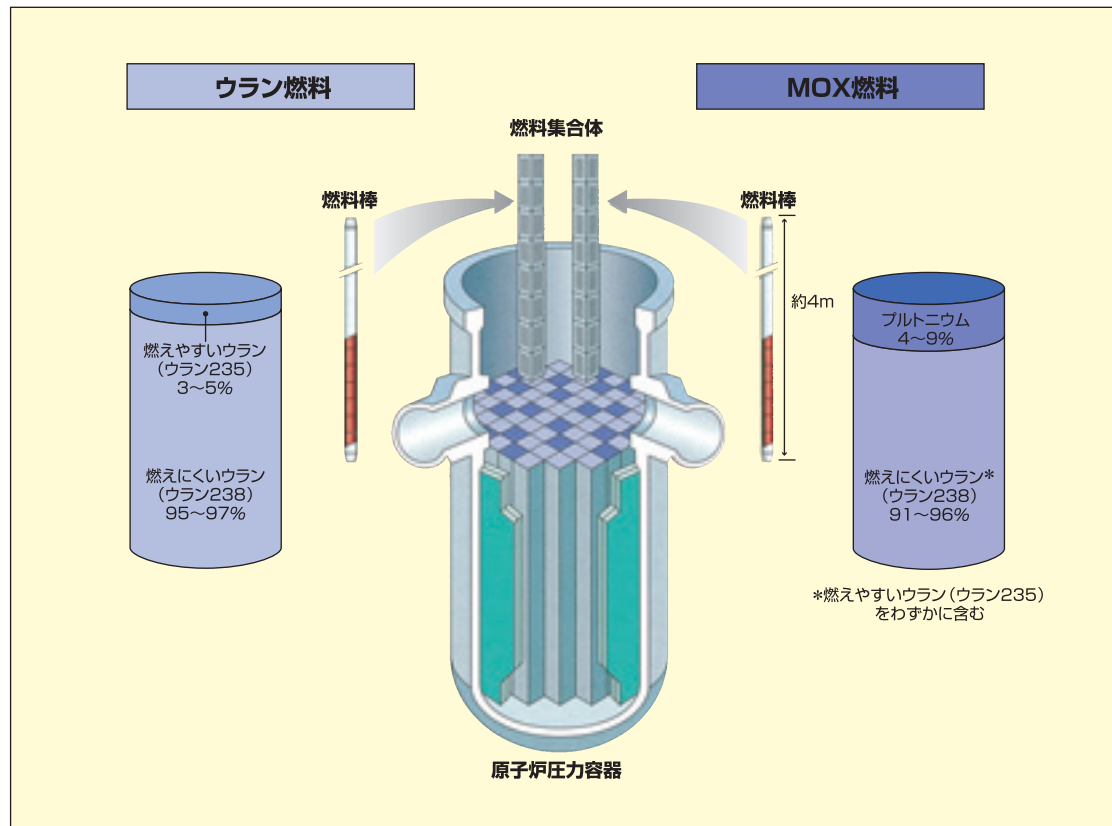
3-1

プルサーマルとは

原子力発電所で使用した後の核燃料(使用済燃料)から取り出したプルトニウムを、ウランと混合してMOX燃料(Mixed Oxide Fuel)に加工し、原子力発電所(軽水炉)で利用することをプルサーマルといいます。プルサーマルという言葉は、**プ**ルトニウムを軽水

炉(**サーマル**リアクター)で利用するという意味の日本独自の造語です。

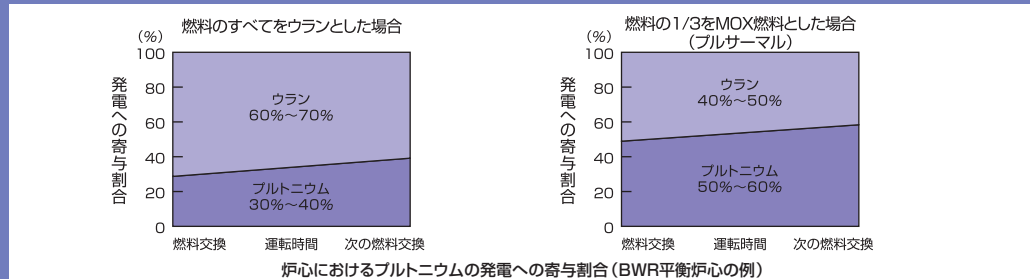
プルサーマル(例)



●現在も発電に貢献しているプルトニウム

現在日本の軽水炉で使用されているのは、燃えやすいウラン235の割合を3~5%に高めたウラン燃料です。このウラン燃料においても、最初はウランのみが核分裂しますが、時間の経過とともに、燃料中

組成の変化



3-2

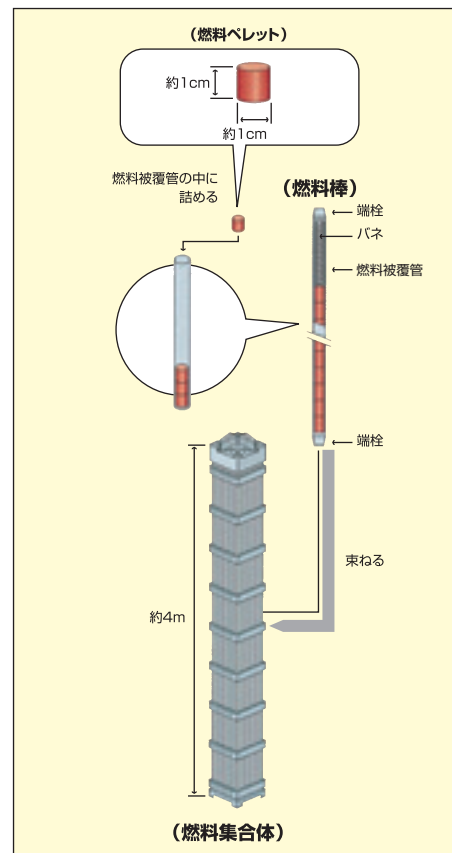
MOX燃料

原子力発電所(軽水炉)で使うMOX燃料の燃料ペレット*、燃料棒*、及び燃料集合体*の大きさや形は、現在使用されているウラン燃料と同じです。

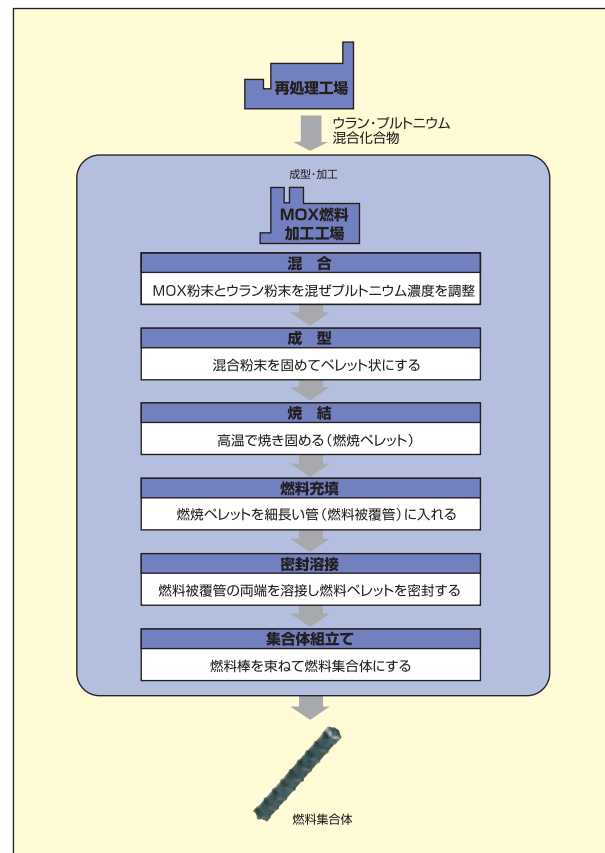
また、MOX燃料加工工場は、フランス、ベルギー、イ

ギリスにおいて既に稼働しています。我が国においても商業用のMOX燃料加工工場の建設が計画されており、2015年の竣工を目指しています。

MOX燃料



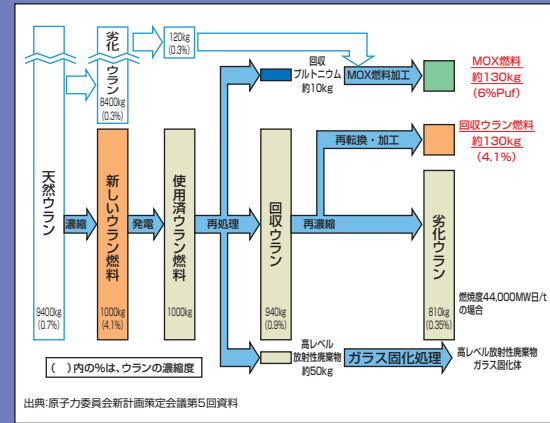
MOX燃料製造工程



●使用済燃料からの回収可能量

使用済燃料に含まれているウランとプルトニウムは、再処理することにより、回収して再び燃料に加工すれば、国産のエネルギー資源として利用することが可能です。

燃焼前の核燃料の組成などにもよりますが、使用済燃料から回収・再処理することにより、ウラン燃料として13%、MOX燃料として13%の回収、再利用が可能とされています。



解説

燃料ペレット

燃料ペレットは直径約1cm、高さ約1cmの円柱状で、セラミック状に焼き固めたものです。燃料ペレット1個で、一般家庭で使う電気の約8~9ヶ月分(約2,600kWh)を供給することができます。

解説

燃料棒

燃料ペレットを耐食性に優れた細長い管(燃料被覆管)に詰めて密封したものが燃料棒です。

解説

燃料集合体

数十~数百本の燃料棒を正方形に束ねたものを燃料集合体と呼びます。炉型により異なりますが、110万kW(電気出力)のBWRでは764体の燃料集合体が、118万kW(電気出力)のPWRでは193体の燃料集合体が装荷されています。この燃料集合体は約1年に1回、機器などの定期検査のために発電所を停止した際、1/4~1/3が新しい燃料集合体と交換されます。



3-3

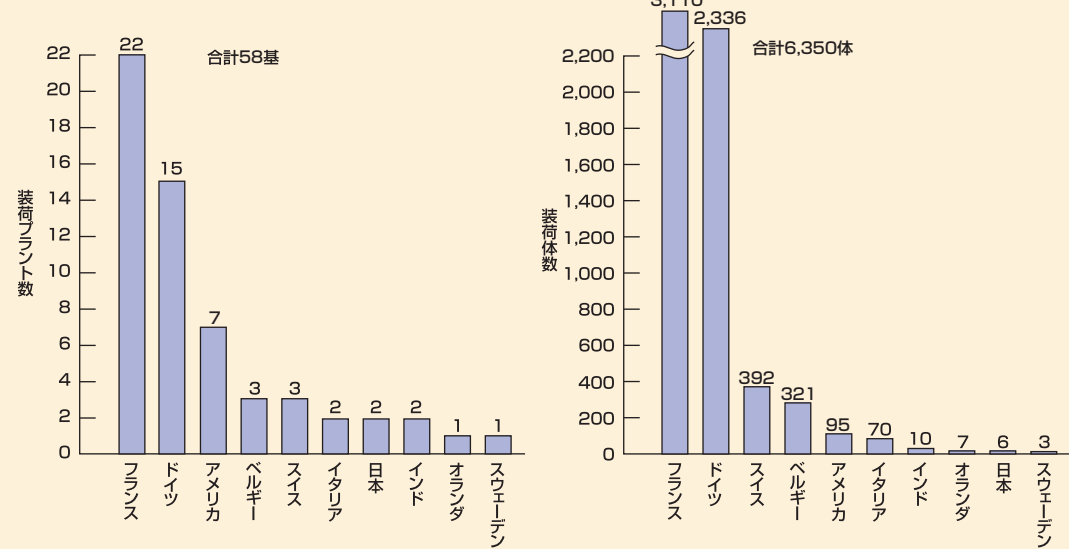
世界のプルサーマルの実績

MOX燃料は1960年代にベルギー、アメリカ、ドイツなどで実証試験が開始され、利用が始まりました。

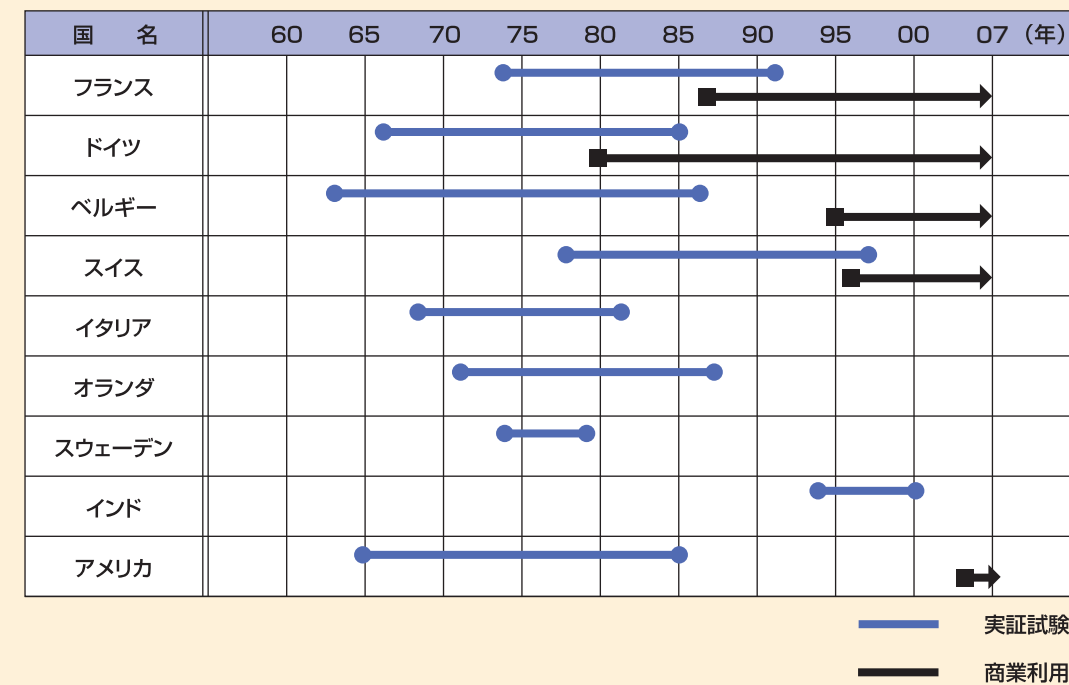
商業用原子力発電所における本格的なプルサーマルは1980年代から開始され、既に20年以上の実績があります。このプルサーマルは、現在もフランスなど4ヵ国で引き続き行われています。

プルサーマルで使用されたMOX燃料集合体の数は、2008年12月末現在フランスの3,110体を筆頭に、ドイツの2,336体、スイスの392体、ベルギーの321体と続いており、世界全体では6,000体以上の実績があり、その信頼性は十分に確認されています。

■各国での使用実績(2008年12月末現在)



■海外のプルサーマルの実施状況



3-4

日本のMOX燃料の使用実績

●商業用原子炉でのMOX燃料使用実績

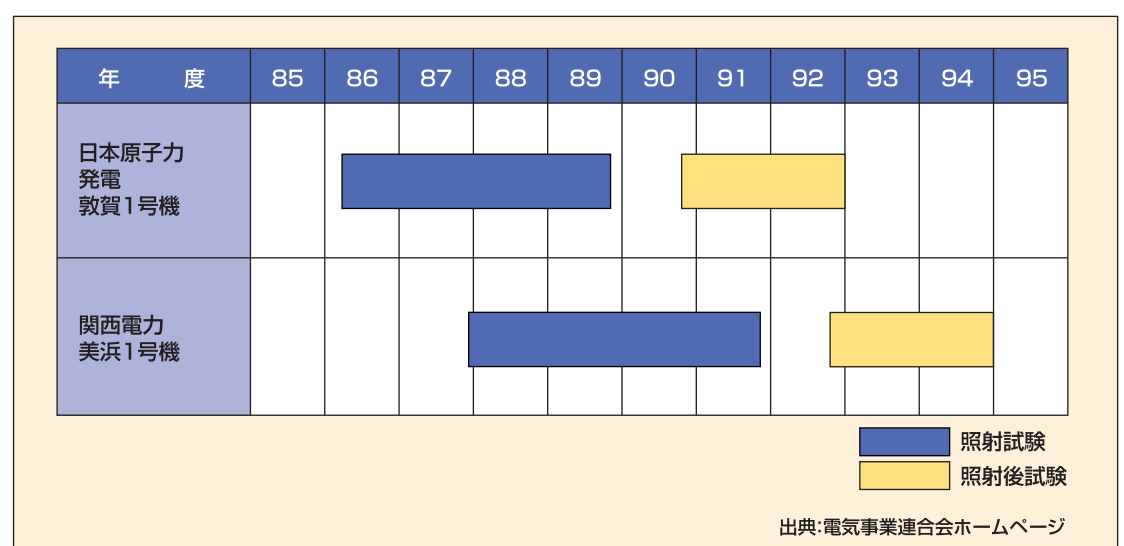
我が国のMOX燃料の実用化研究は、1960年代後半から開始され、1986年には商業用原子炉(軽水炉)での実証試験が開始されました。実証試験は、原子炉内でのMOX燃料のふるまいを調べる照射試験*と、照射後のMOX燃料の健全性を確認する照射後試験*に分けて行われました。

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*)において2体のMOX燃料が使用され、ついで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*)において4体のMOX燃料が使用されました。

この合計6体のMOX燃料は、照射後試験の結果、健全性が確保されていることが確認されました。

軽水炉でのMOX燃料使用実績

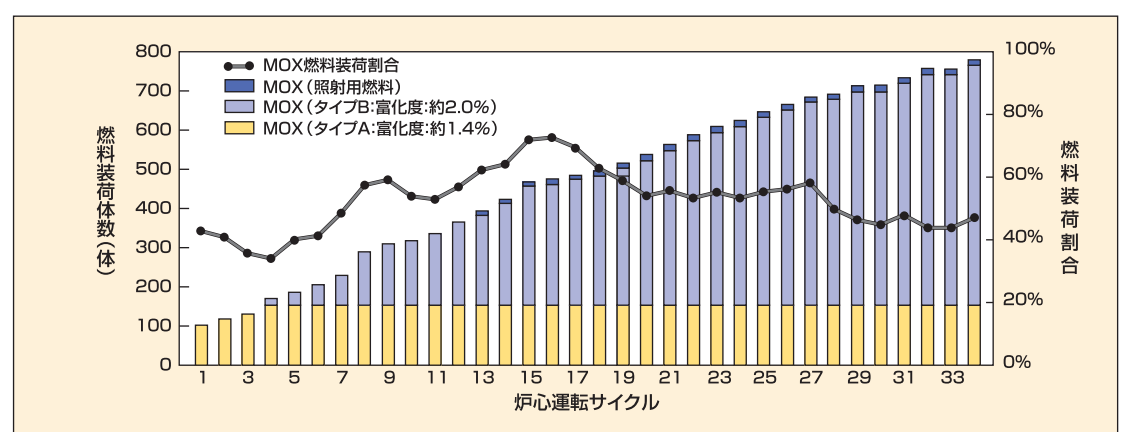


●新型転換炉「ふげん」でのMOX燃料の使用

「ふげん」は、我が国が独自に開発した新型転換炉(ATR)という原子炉で、世界で初めてMOX燃料を本格的に使用する発電用原子炉として、プルトニウム利用技術などの実証試験を行ってきました。

1979年からの本格的な運転開始から、2003年3月の運転終了までの24年間の間に、772体(1基当たりの装荷体数では世界最高)のMOX燃料集合体を使用した実績があります。

「ふげん」でのMOX燃料使用実績



解 説

BWR
(Boiling Water Reactor)

沸騰水型軽水炉と呼ぶ原子炉のことです。原子炉の中で発生した熱で水を沸騰させ、高温高圧の蒸気にしてから、そのまま直接タービン発電機へ送りこみます。

解 説

PWR
(Pressurized Water Reactor)

加圧水型軽水炉と呼ぶ原子炉のことです。原子炉の中で発生した熱で水は高温になりますが、加圧器で高い圧力をかけることによって水は炉の中では沸騰しません。そのため、加圧型と呼ばれています。発電には、この加圧高温水(一次冷却水)で発電用の水(二次冷却水)を熱し、発生した蒸気を使用します。

解 説

照射試験、照射後試験

照射試験とは、原子炉の中で実際に燃料を燃焼させる試験で、燃焼中の燃料の発熱状況などの挙動を確認するとともに、燃焼後の水中外観観察、漏れ試験なども行われます。照射後試験は、燃料試験施設で照射後の燃料を解体し、ペレットや被覆管などの詳しい試験・検査を行うものです。



解 説

原子力安全委員会

昭和53年、原子力の安全確保体制を強化するため新たに旧原子力委員会の機能のうち安全規制を独立して担当する原子力安全委員会が設置されました。

原子力安全委員会は、原子力の研究、開発及び利用に関する事項のうち、安全の確保に関する事項について企画し、審議し、及び決定する権限を有しています。

具体的には、安全規制の基本的政策の審議、安全に関する審査、原子力防災への対応などを実施しています。



3-5

安全性についての基本的な考え方

原子力安全委員会*はMOX燃料の安全性について検討を行い、その結果は「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）にまとめました。

そこでは、MOX燃料の特性はウラン燃料と大きな

差はなく、MOX燃料の割合が炉心全体の1/3程度までの範囲内ならば、特段の設備変更などを行うことなくウラン燃料の場合と同等な条件で、原子炉を利用できるとしています。

■原子力安全委員会で検討された内容

検討の範囲

- MOX燃料の基本構造は十分な実績のあるウラン燃料と同一とする
- 核分裂性プルトニウム富化度は、最も高いペレットで約8%（プルトニウム含有率約13%）までとする
- MOX燃料の炉心装荷率は1/3程度までとする
- 燃料集合体最高燃焼度はウラン燃料を超えない範囲（45,000MWd/t）とする

検討の結果

- 軽水炉におけるMOX燃料の核的特性などは十分に把握されており、これまでの実績から安全性に特段の問題は生じていない
- MOX燃料は既に相当の実績があり安全上の課題も特には見当たらないため、基本的な技術は確立されているといえる
- MOX燃料集合体の装荷率が1/3程度であれば、これまでの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
- MOX燃料は代替燃料の一部として使用される他には、軽水炉としての特徴は変わらず、安全評価の妥当性の確認について「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針（安全評価審査指針）」等に表示された事象をそのまま用いることができる

結 論

- 今回検討した範囲においてMOX燃料の特性と挙動はウラン燃料と大きな差はない
- MOX燃料及びそれを装荷する炉心は従来のウラン燃料炉心と同様の設計が可能と認められる



従って、安全評価にあたっては

- これまでのウラン炉心に用いている判断基準
- MOX燃料の特性を適切に取り込んだ安全設計手法・安全評価手法を適用することは差し支えない

その後、改良型沸騰水型原子炉では、全炉心にMOX燃料を装荷した場合にも、現在の安全設計・評価手法を使うことができるという検討結果を得ています。

その内容は、「改良型沸騰水型原子炉における混合酸化物燃料の全炉心装荷について」（平成11年6月28日原子力安全委員会了承）にまとめられています。

3-6

MOX燃料の安全上の特性

プルサーマルとは、プルトニウムとウランを混合したMOX燃料を現在の軽水炉で燃料として使用するものです。ウランとプルトニウムとでは、核特性や物性等の面で違いがありますので、その違いを踏まえた対応が

必要となります。

以下にその代表的なものを示しますが、いずれについてもその特性は十分把握されており、必要な対策が取られています。

●原子炉の出力を調整する反応度制御材の効き目について

原子炉では連鎖的な核分裂反応が起こっていますが、この反応を制御するために制御棒*などの反応度制御材を使用します。プルサーマルでは、MOX燃料に含まれるプルトニウムの影響により、ウラン燃料を使用した原子炉に比べ燃料に吸収される熱中性子*の割合が高くなります。このため、反応度制御材に吸収される熱中性子の割合が低くなり、反応度制御材の効果がわずか

ながら弱まります。

そのため、減速材*でもある冷却水に含まれるホウ素などの反応度制御材の量を増やしたり（PWRの場合）、装荷するMOX燃料の割合や配置を適切にしたりして、安全に運転かつ制御できるようにしています。

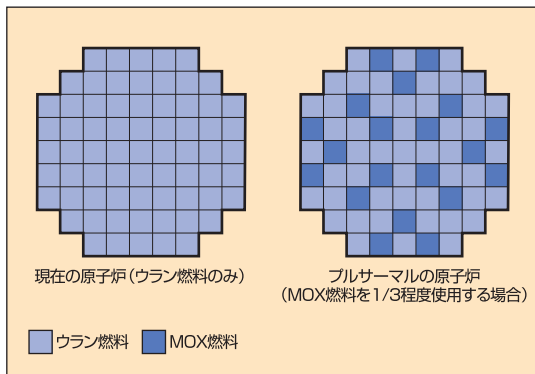
出典：平成13年度版原子力安全白書

●原子炉内の出力分布について

原子炉に装荷したMOX燃料は、ウラン燃料や減速材に近い場所にあるものは、その周辺での水の減速に伴い多くの熱中性子が存在するため、核分裂反応が増加しやすくなります。そのため、原子炉内での出力分布が偏る可能性があります。

そのため、燃料の配置を工夫したり、燃料集合体中にプルトニウム含有率の異なる燃料棒を配置したりして、出力分布を平坦になるようにします。

燃料の構成の比較（イメージ）



出典：平成13年度版原子力安全白書

●MOX燃料の融点について

未照射のMOX燃料ペレットが溶け始める温度（融点）は、プルトニウム含有率が約13%の場合、約2,730℃であり、ウラン燃料の約2,800℃に比べて低くなっています。

しかし、PWRにおける評価例に示しているように通常運転時のペレットの最高中心温度は、約1,770℃と評価されており、融点に対して十分な余裕が確保されています。また、運転中に制御棒が異常に引き抜かれた場合に考えられる燃料ペレットの最高中心温度は約2,320℃であり、融点に対して十分な余裕があると評価されています。

PWRにおける燃料中心最高温度の評価例

	通常時	異常時	融点
ウラン燃料	約1,770℃	約2,320℃	約2,800℃
MOX燃料	約1,770℃	約2,320℃	約2,730℃

出典：平成13年度版原子力安全白書

解 説

制御棒

原子炉の出力をコントロールするのが制御棒。この制御棒は中性子を吸収しやすい銀-インジウム-カドミウム合金（PWRの場合）をステンレス鋼管で被覆してできおり、燃料集合体間に入れ入れることで、炉心内の中性子の生成・消失のバランスを調整し原子炉の出力を制御します。また、緊急時にはこの制御棒が自動的に挿入され、原子炉の運転を停止します。

解 説

熱中性子

核分裂によって発生した中性子は高いエネルギーを持ち、平均秒速2万キロメートルで走ります。これを高速中性子と呼びますが、軽水炉などでは水などの減速材でこの高速中性子を平均秒速2.2キロメートルくらいまで減速させウラン235の核分裂を起こしやすくします。この速度を遅くした中性子を熱中性子と呼び、この熱中性子により核分裂連鎖反応を起こさせる原子炉を熱中性子炉といいます。現在、実用化されている原子炉（発電炉）はほとんど熱中性子炉です。

解 説

減速材

原子炉の中では、中性子がウラン原子に衝突し、次々に核分裂を起こします。この際、うまく核分裂するように、中性子の速度を減速させるものが減速材です。燃料の性質や原子炉の目的に応じて、普通の水（軽水）、重水、黒鉛などが使用されます。普通の水を使っている原子炉のことを軽水炉といいます。

3-7

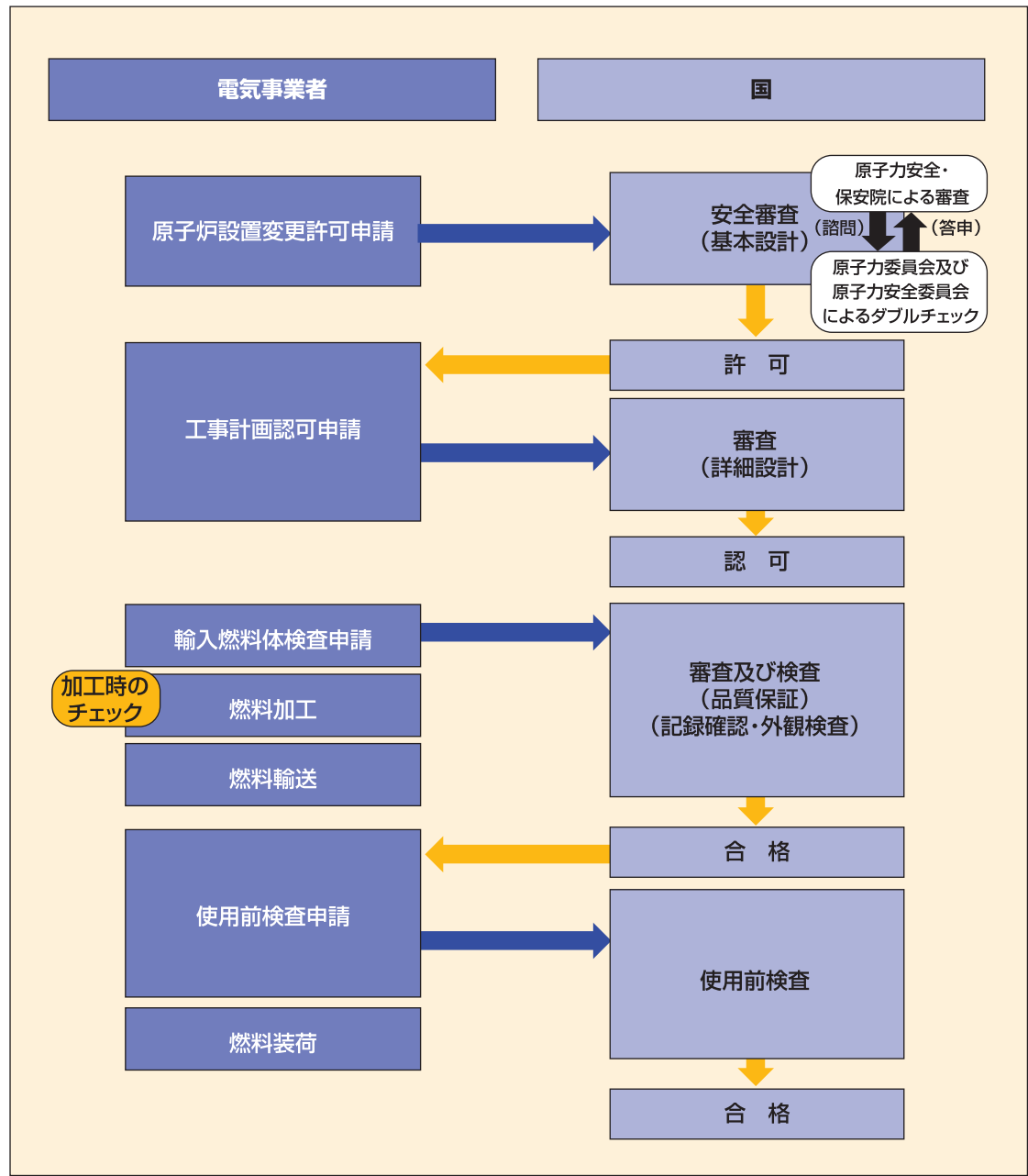
プルサーマル実施に係る法令上の主要手続き

プルサーマルは「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」や「電気事業法」に基づき、何段階にも分けて国が厳しく審査及び検査を行い、安全性に問題がないことを確認した上で初めて実施できることになります。

例えば、事業者から提出されたプルサーマル計画に

係わる原子炉設置変更許可申請は、原子力安全・保安院が審査（安全審査）を行います。さらにその結果は原子力委員会及び原子力安全委員会に諮問され、二重に審査（ダブルチェック）した上で許可が与えられます。事業者はさらに各種品質保証などについての国の審査及び検査を受け、初めてプルサーマルが行われます。

プルサーマル計画の法令上の主な手続き

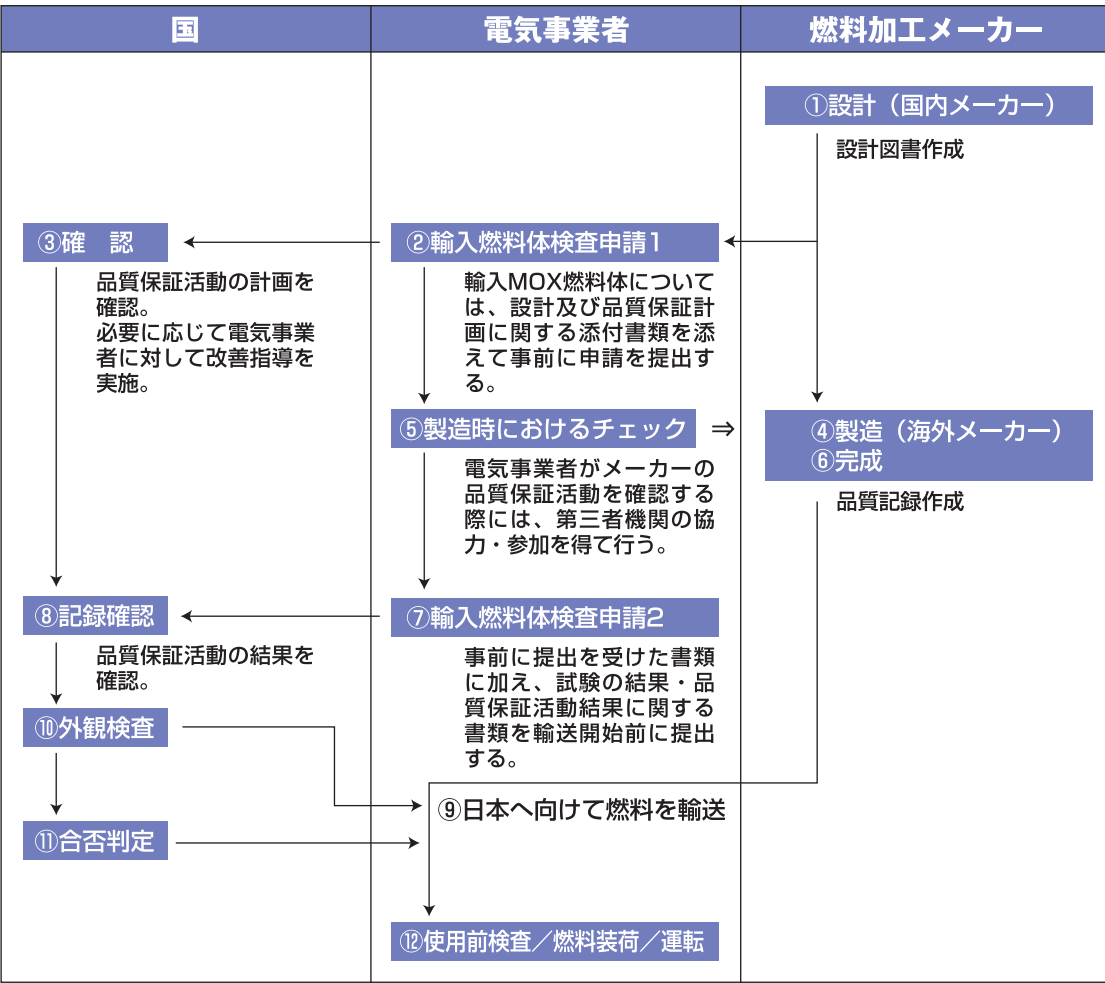


●輸入MOX燃料体の検査

現在の手続きは、BNFL（英国原子燃料会社）のMOX燃料検査記録不正問題の反映を踏まえ、電気事

業法施行規則を改正*し、輸入MOX燃料に対していままで以上に厳しく国が検査するようにしたものです。

輸入MOX燃料体に関する検査の仕組み



●使用済MOX燃料の取扱い

プルサーマルに伴って発生する軽水炉使用済MOX燃料の取扱いは、「使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム*、ウラン等を有効利用する」という基本方針を踏まえて2010年頃から検討が開始されます。

そのため、使用済MOX燃料は、将来再処理工場等へ搬出するまでの間、原子力発電所において適切に貯蔵していきま

解説

電気事業法施行規則の改正

1999年、関西電力（株）がBNFL（英国原子燃料会社）より輸入したMOX燃料に関し、その品質データの一部分が改ざんされていた事実が発覚しました。

このMOX燃料検査記録不正問題を受け、平成15年に電気事業法施行規則が改正されました。この改正により、海外MOX燃料の成型加工の着手の1ヶ月前には、設計及び品質保証計画の確認、製造したMOX燃料体の日本への輸送の1ヶ月前には製品の検査を行うことが義務付けられました。



解説

回収されるプルトニウムについて

プルサーマルを行うことは、国内のプルトニウム備蓄量を減らし、核不拡散性を高めるという側面もあります。また、商業用軽水炉から出るプルトニウムは、プルトニウム239にさらに中性子が飛び込んだプルトニウム240が多く含まれます。このため、核兵器で使うことが技術的に難しくなっています。

原子力未来へつなぐエネルギー

第16回 原子力ポスターコンクール



文部科学大臣賞

なかだ よしふみ
中田 喜文さん (10歳 富山県)

ポスターで伝えたいこと

僕は電車が好きなので、原子力エネルギーの力で走る電車で、環境に良い未来を運ぶことが出来るようになればいいなと思いました。



経済産業大臣賞

ながい まゆこ
永井 蘭子さん (13歳 埼玉県)

ポスターで伝えたいこと

日本で作られている電気は、原子力発電で約26%もまかなわれていて、電気を作る時にCO₂が出ないクリーンなエネルギーというのが印象に残りました。こうして温暖化ストップにつながっていくといいなという希望があります。

主催：文部科学省 経済産業省資源エネルギー庁