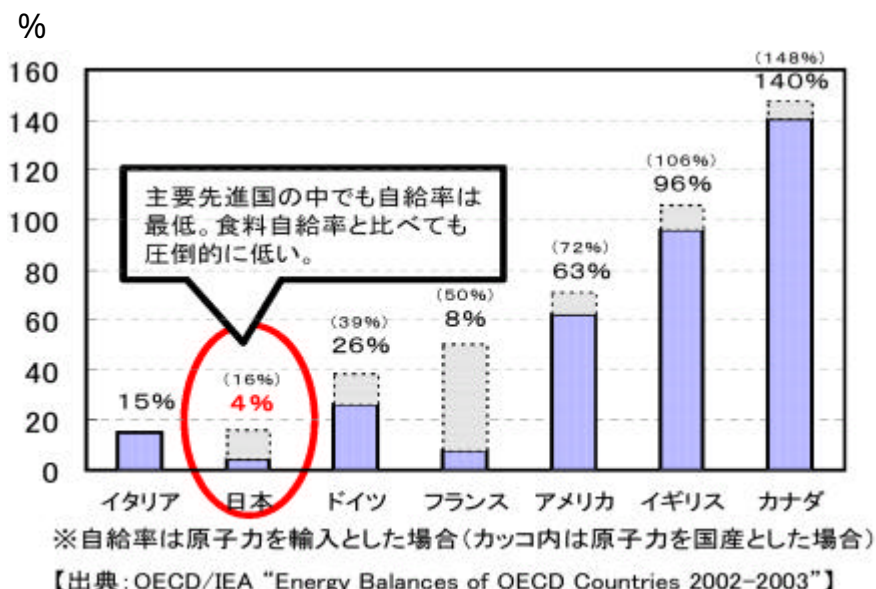


これは各国のエネルギーの自給率を示したものでして、カナダが高いのですが順に下がって
 いった日本はここにあります。4%と書いてある通りエネルギーの自給率はかなり低い値です。
 この点線が原子燃料サイクル(カッコ内は原子力を国産とした場合)ですと16%になりまして
 この並びは原子力も入れたものです。それでも4%から16%になる程度でエネルギー自給は
 乏しいものと言えます。

主要国のエネルギー自給率(2003年)



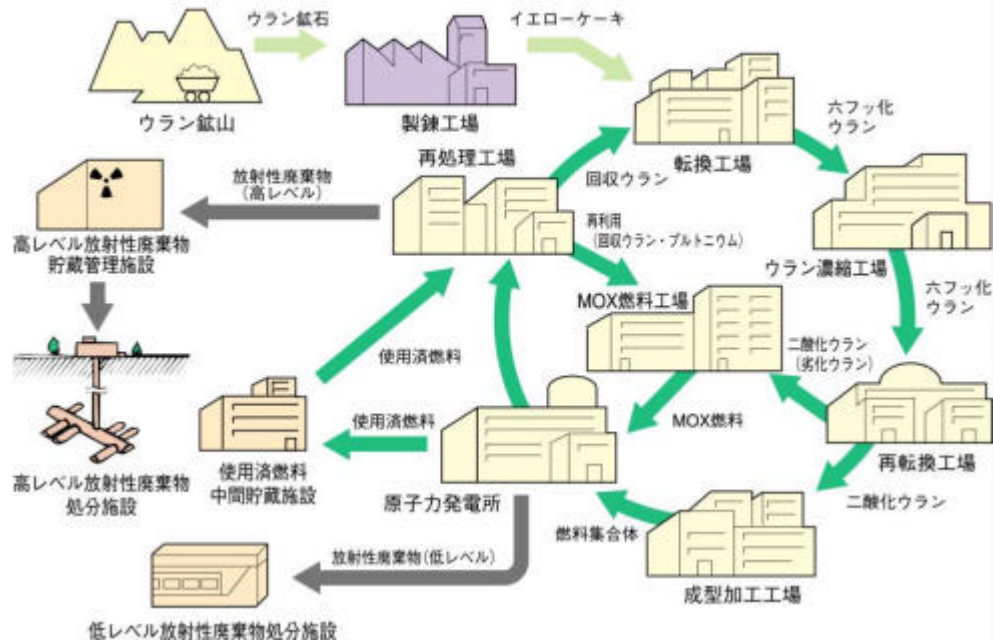
サイクル施設のそれぞれのところに入る前に、ウランの燃料としての特徴を4つほどあげたいと思います。ひとつは少量の燃料で大量のエネルギーを生み出すことができる。ふたつめはリサイクル可能である。それから石油燃料や石炭燃料がそのまま燃やせるのに対して濃縮という加工・手間が必要です。最後に使い方によっては増殖させることが可能になります。

ウラン - 燃料としての特徴

- 少量の燃料で大量のエネルギーを生み出す
- リサイクル可能
- 濃縮する必要がある
- 使い方によっては増殖させることが可能

これは原子燃料サイクルの絵です。はじめはウラン鉱石のところでしたウラン鉱石を取り出して精錬という過程をえます。次に転換、次に濃縮、再転換、成型加工、原子力発電所で燃やしまして再処理工場に、ウラン、プルトニウムについては取り出しまして MOX 燃料の加工工場におくと MOX 燃料として再び原子力発電所で使うことができます。この線は放射線廃棄物の流れで低レベル廃棄物は原子力発電所から出まして処分施設に行きます。再処理工場からは高レベル廃棄物が出まして貯蔵管理施設にいった最終的には処分場に行って地層処分地面の深くに埋められることになります。

原子燃料サイクル

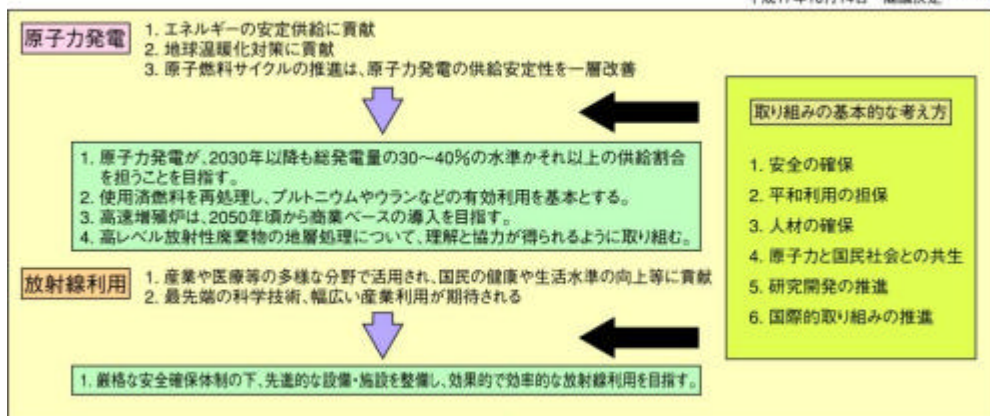


これからそれぞれの施設について順にご説明していきますが、その前に、原子力委員会がつくった国の政策である原子力政策大綱を見てください。これは平成17年10月に決定されています。その中で原子力発電についてはエネルギーの安定供給に貢献、地球温暖化対策に貢献、原子燃料サイクルの推進は原子力発電の供給安定性をいっそう改善するということから何をしていくかが書いていまして、2番使用済燃料を再処理しプルトニウムやウラン等を有効利用することを基本方針とする。高速増殖炉は、2050年頃から商業ベースの導入を目指すとなっていて、この政策大綱を議論する時にはそれまでも再処理をするというのが国の政策だったのですがもう一回それに拘らずに徹底的に議論して色々な方法を比較検討しまして再処理路線が日本にとって最良であるという結論に達しています。

原子力政策大綱

原子力発電や放射線利用について、今後の10年程度の間に各省庁が推進する施策の基本的方向性を示す

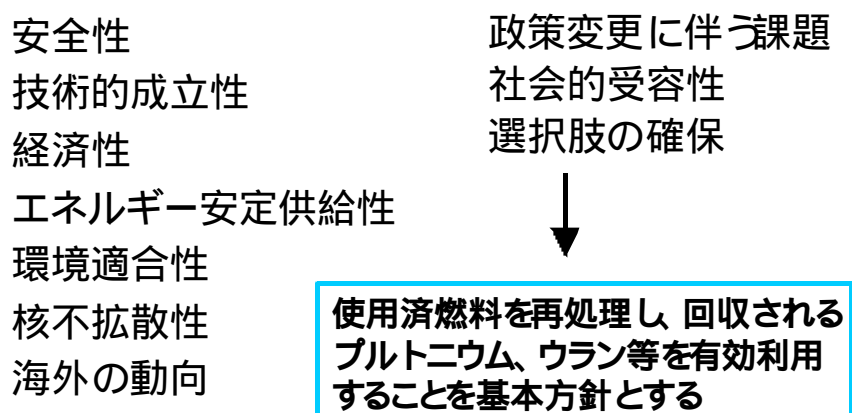
平成17年10月11日 原子力委員会決定
平成17年10月14日 閣議決定



原子力政策大綱の妥当性を定期的に評価(原子力委員会)

政策大綱からの抜粋ですけれどサイクルを考える際の 10 項目の視点というのが上げられています。安全性からはじまりまして 4 番としてエネルギー安定供給性、環境適合性、7 番として海外の動向、政策変更に伴い仮題とか、社会的受容性これらの 10 項目を挙げて、サイクル再処理して使う、あるいはサイクルではなくて再処理しないで燃料を直接処分するといういくつかの方策を比較しました結果、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ことになりました。この中でも特に大きな要素だったのはエネルギーの安定供給が大きな要素になっていましてそれから政策課題、政策を変更しました時に地元青森県のみなさんに与える影響がかなりマイナスのものがあるだろうということも考えていました。一方経済性で言いますと再処理と言うのは再処理工場で手間を掛ける分若干経済性は落ちるといふところはあります。

サイクルを考える際の10項目の視点 (原子力政策大綱 :平成 17年 10月)



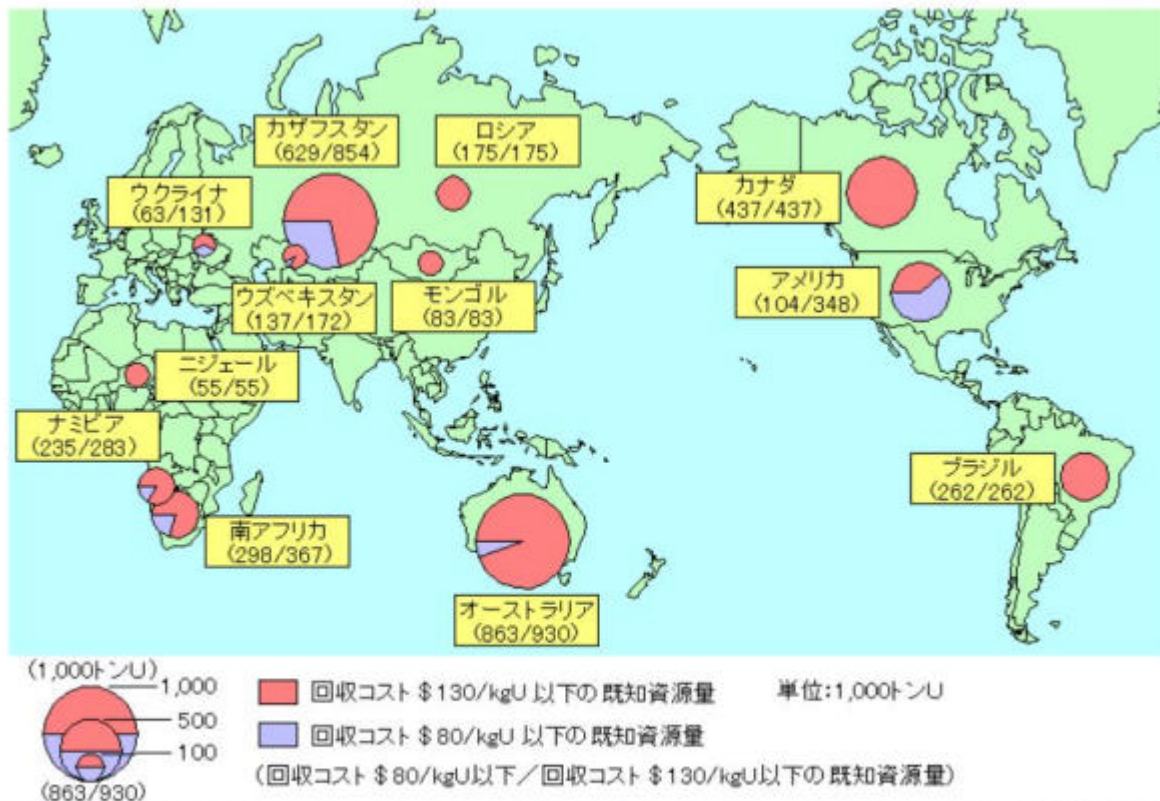
次はサイクルの中のウラン資源のところからご説明していきたいと思ひます。ウラン資源は、地殻中に広く分布しており、平均すると 1 トンあたり数グラム存在するものです。その中でも比較的含有量の高いところと低いところがありまして採算の取れる高いところからウラン鉱山として掘削し取り出しています。石油と異なりまして、政情の安定した国に多く存在し安定供給が期待できます。ではどのようなところに存在しているかといひますと、オーストラリア、カナダ、カザフスタン、南アフリカなどにあります。

ウラン資源の分布

- 地殻中に広く分布しており、平均すると 1 トンあたり数グラム存在する。
- 比較的ウランの含有量の高いウラン鉱石を掘削し、取り出す。
- 石油と異なり、政情の安定した国に多く存在し、安定供給が期待できる。

この図は回収コストで分けていまして赤のところは回収コストが少し高いもの、安いものはこちらのほう、こちらが多くあればよりやすく取れるということになります。日本はカナダ、

オーストラリア、アフリカから多く輸入していますけれど、今後はカザフスタンからも輸入が始まるのではないかと思います。



【出所】URANIUM 2001-RESOURCES, PRODUCTION AND DEMAND:OECD/NEA,IAEA,2002に基づき作成

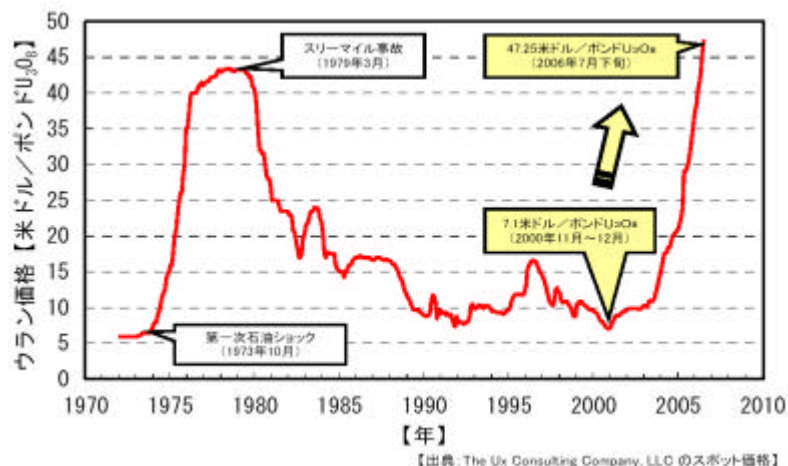
図1 世界のウラン資源量の分布

【出典】(社)日本原子力産業会議:原子力年鑑2004年版・各論(2003年11月)、p.122

こちらの図はウラン価格の変化でかなり劇的に変わっています。最初 1970 年くらいに第一次石油ショックがあって石油が上がったわけですがそれに連動してウランも上昇しています。

このところでスリーマイルの事故があり、原子力の将来にかなり悲観的な見方が広がり、アメリカでは増設をストップしたということもあって供給がだぶついて価格は下がっています。それから核兵器のウランも市場に出てきたりして比較的長い間落ち着いた状態が続いたのですが、2000 年頃から急上昇しています。

ウラン価格の変化



この原因の一つにはこのような安い状態が長く続いたのでウラン鉱山の開発に

あまり熱心じゃなくなって新しい鉱山を作らなくなってそのうちに供給力が不足してきた。それから中国とか新しく原子力を作ろうという動きがありますので、需要が伸びてきたそれに加

えて価格が上昇するとそれをあてこんで儲けようという動きも出てきまして本当にウランを使う人ではなくその利鞘のところでなんとかお金を得ようという人の売買が乗りましてこの様な急上昇していると言われ

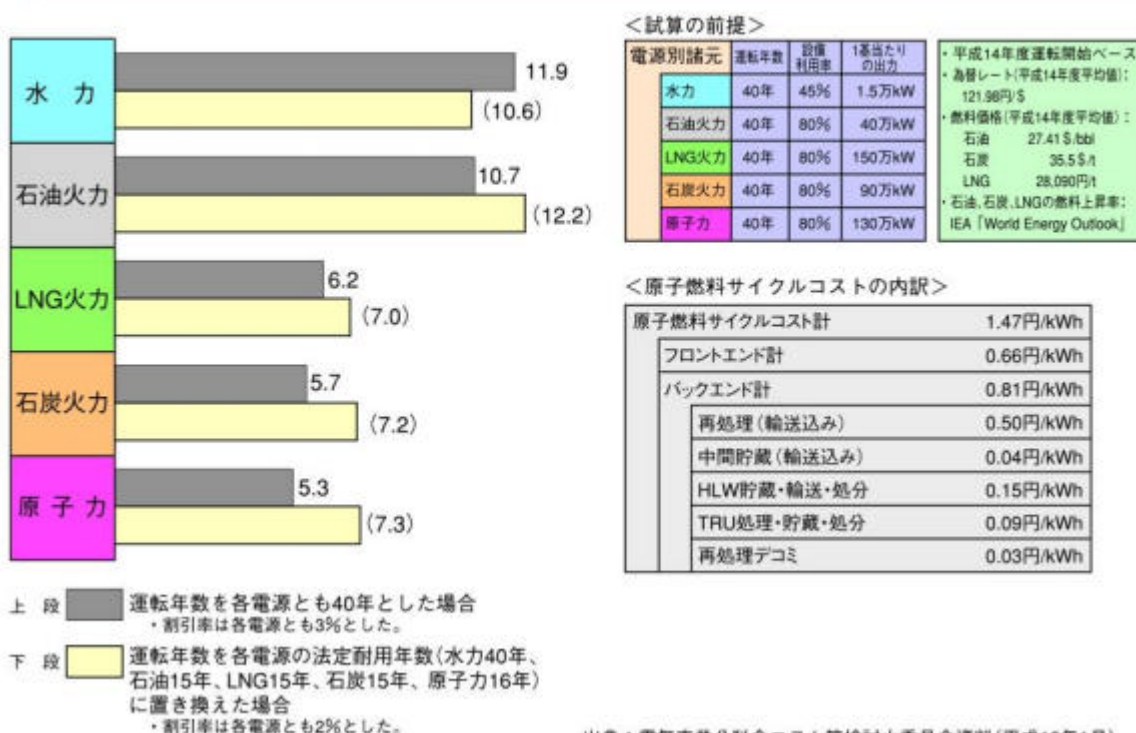
ています。鉱山の開発が進めばこの傾向は変わってくるのではないかと思っています。それからかなり劇的な変化ではあったのですが、原子力発電単価に占める鉱石費用が小さいので、発電単価の全体に与える影響は小さくなっています。

ウランの価格変動とその影響

- 世界的な需要の増大と在庫の減少から近年価格は上昇している。
- 鉱山の開発が進めばこの傾向は変わってくる。
- 原子力の発電単価に占める鉱石費用は小さいので発電単価全体に与える影響は小さい。

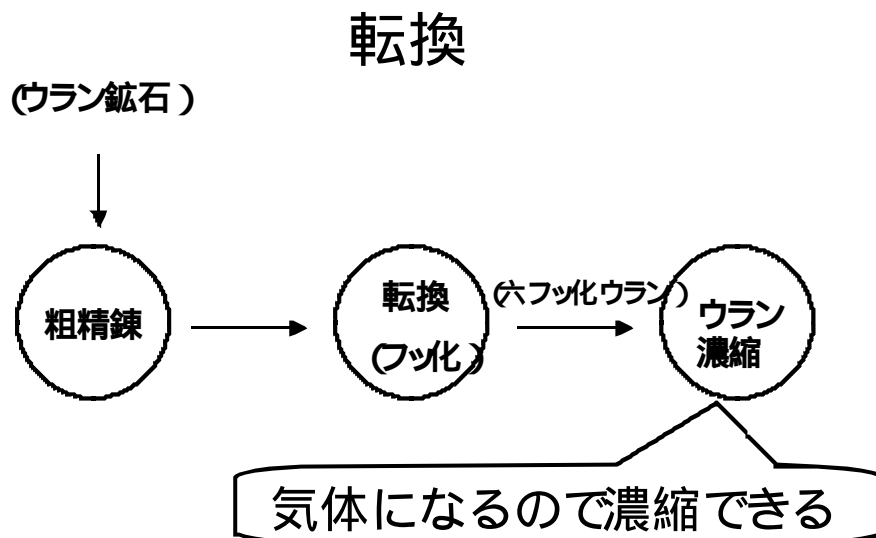
これが電源別の発電コストです。水力、火力、LNG、石炭、原子力と並べてモデルケースを作ってコスト比較をしています。原子力は耐用年数を16年とした時には7.3円/kWhです。耐用年数を40年としたときには燃料費の割合が比較的低い原子力は5.3円/kWhになります。16年とした時は石炭、LNGよりも若干高く、耐用年数を実態にあわせると逆転するという傾向にあります。ここに書いてあるのは原子燃料コストの内訳です。フロントエンド計のところ0.66円/kWhとなっています。フロントエンドというのは発電所に入るまでに掛かる燃料費だと考えてください。それに比較してバックエンドは発電所から出た後に再処理したり中間貯蔵したり、処分したりするのに掛かるお金で、大きく発電所を前後しましてフロントとバックと名前を使い分けています。これが0.66円で全体が5.3円、このフロントエンドの中に含まれるのは鉱石代と濃縮代と加工代の3つがあります。以前は大体三等分といわれていましたが今は比率は変わっていると思います。例えば三等分としまして0.22円になりますので5.3円の中に占める割合はかなり小さいわけです。今ご説明したのがウラン鉱石のところです。

1キロワットアワー当たりの電源別発電コスト(送電端)



出典：電気事業分科会コスト等検討小委員会資料(平成16年1月)

続きまして精錬工場を飛ばしまして転換工場のところにいきます。転換というのはなにをしているかと言うとウランの鉱石を濃縮ができるように固体から気体にするというものです。ここで転換と書いていますが、六フッ化ウランという科学形態にしますとウランは少し温度を上げるだけで気体になります。気体になると濃縮できることになります。



これは世界のウラン転換工場です。ロシア、フランス、アメリカ、カナダ、イギリス、中国、アルゼンチンとならんでいますけれど、日本がないということが分かると思います。日本は転換し終わったものでないといけないということになります。後ほど転換の逆に再転換という物もできますが、そちらが日本に2つほどあったのですが JCO の事故の後に、JCO が再転換工場だったので事故で閉鎖して再転換工場も1つという状態で日本のサイクルにとっては弱点になっています。

世界のウラン転換工場

(2004年12月現在)

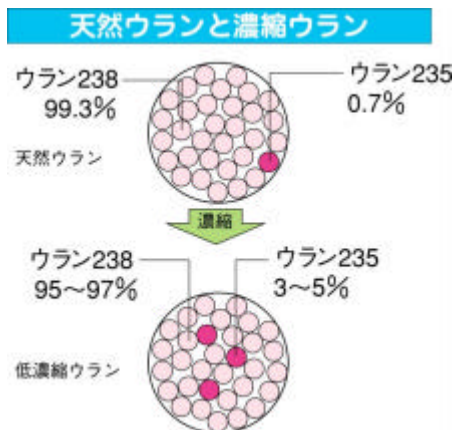
濃縮原料UF₆の製造

国名	運営者	所在地	年間処理能力 (tU/年)
ロシア	ロシア原子力省 (MINATOM)	アンガルスク	20,000
		エカテリンブルグ	4,000
フランス	コミュレックス	ビエールラット (UF ₆)	14,000
		ビエールラット (Rep.U)	350
アメリカ	コンバーダイン	メロポリス	14,000
カナダ	カメコ	ポートホープ	10,500
イギリス	BNFL	スプリングフィールド	6,000
中国	中国核工業集团公司 (CNNC)	Lanzhou (甘粛省蘭州)	400
アルゼンチン	アルゼンチン原子力委員会 (CNEA)	リオネグロ	62

出典：IAEA-HP*Nuclear Fuel Information Systems*

こちらの図は天然ウランと濃縮ウランを図で示したもので、天然ウランはウラン 238 という若干重いものが占めていてウラン 235 はほんのわずかで、これですと日本の軽水炉では使えませんので 3 ~ 5 % くらい濃縮する必要があります。

どのようにして濃縮するかといいますといくつか方法がありまして、ガス拡散、遠心分離、レーザー濃縮、科学法とあります。ただ科学法というのは実用化されていませんし、レーザー濃縮はまだ開発中でして、現在実用化されているのはガス拡散と遠心分離という二つの方法です。



濃縮技術

- 原子炉で使えるようにウラン 235 の濃度を上げる
- いくつかの方法がある
 - ・ガス拡散 (実用化済み)
 - ・遠心分離 (実用化済み)
 - ・レーザー濃縮 (開発中)
 - ・化学法 (研究されたが実用されず)

では世界のウラン濃縮工場はどのようなものがあるか並べて見ますとアメリカ、ユーロディフ(ヨーロッパ)、ウレンコ(ヨーロッパ)、ロシア、中国、日本、パキスタンとあります。方法は先ほどいいましたガス拡散と遠心分離と 2 種類で最近新しい工場は遠心分離になってきています。容量をみますとアメリカでは 11,300 t、ユーロディフでは 10,800 t と、このくらいの桁をもっていますが、日本は 1,050 t と一桁小さいわけで日本の濃縮ウランを

全体に供給することもできません。かなりのところはアメリカやヨーロッパに頼っています。さらに年数が経つうちに動かなくなっている遠心分離の機械もありますので、実力では 1,050 t よりも下がっていて、2010 年から新しいタイプの新型遠心分離機を導入しようとしています。

世界のウラン濃縮工場

2003年12月現在

遠心分離法のしくみを描いたのがこちらの図で、UF6 気体上のウランが供給されて遠心分離機の中に入れます。これは縦に切った状態で回転させると重いものは外側に、軽い物は内側に寄るといふ理屈を使っています。ほんの少しずつ濃縮されるところを何段も重ねて欲しい濃縮度

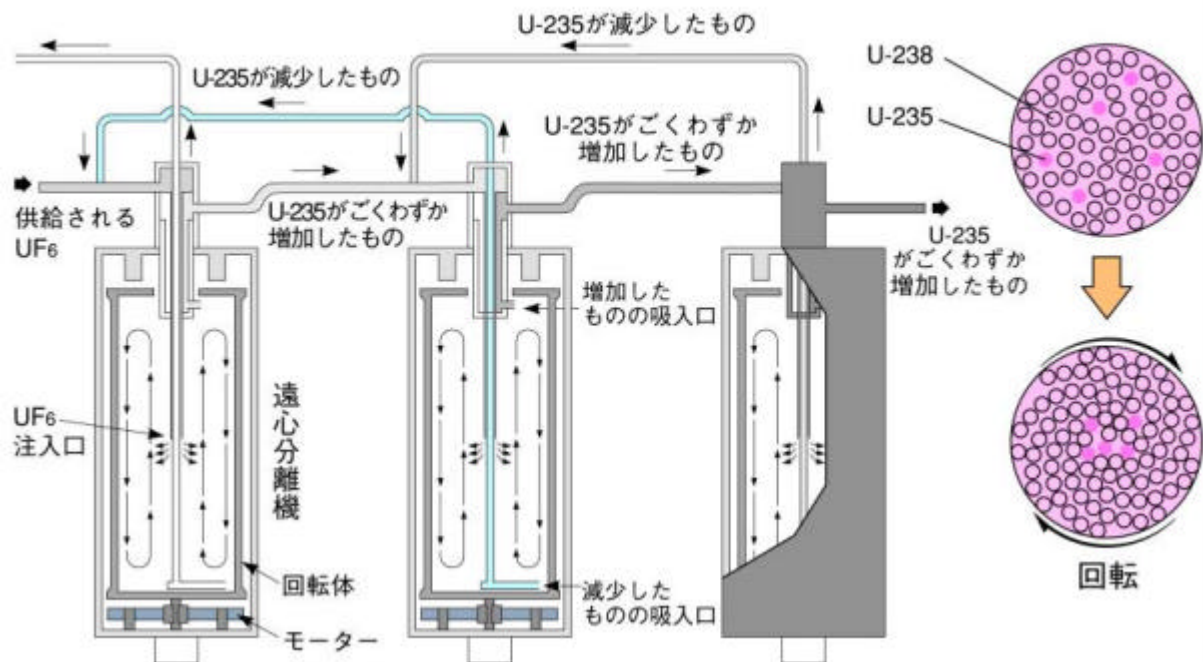
国名	運営者	工場所在地	濃縮法	規模 (SWU/年)
アメリカ	エネルギー省 (DOE) / USEC	パデューカ	ガス拡散法	11,300t
ユーロディフ (フランス含め5カ国)	ユーロディフ	トリカスタン(フランス)	ガス拡散法	10,800t
ウレンコ (イギリス・オランダ・ドイツ)	ウレンコ	カーベンハースト(イギリス)	遠心分離法	2,300t
	ウレンコ	アルメロ(オランダ)	遠心分離法	2,200t
	ウレンコ	グロナウ(ドイツ)	遠心分離法	1,800t
ロシア	ロシア原子力省 (MINATOM)	エカテリンブルグ	遠心分離法	7,000t
		トムスク	遠心分離法	4,000t
		クラスノヤルスク	遠心分離法	1,000t
		アンガルスク	遠心分離法	1,000t
中国	中国核工業公司 (CNNC)	Lanzhou (甘粛省蘭州)	ガス拡散法	900t
		Shaanxi (陝西省漢中)	遠心分離法	200t
日本	日本原燃株式会社 (JNFL)	青森県六ヶ所村	遠心分離法	1,050t (運次増設し、最終的には1,500SWU/年)
パキスタン	パキスタン原子力委員会 (PAEC)	カフタ	遠心分離法	5t

(注) SWUは、分離作業単位 (Separative Work Unit) の略。ウランを濃縮する際に、必要となる仕事量の単位。

出典：OECD/NEA "Trend in the Nuclear Fuel Cycle (2001)"
IAEA-HP "Nuclear Fuel Information Systems"

まで持っていきます。

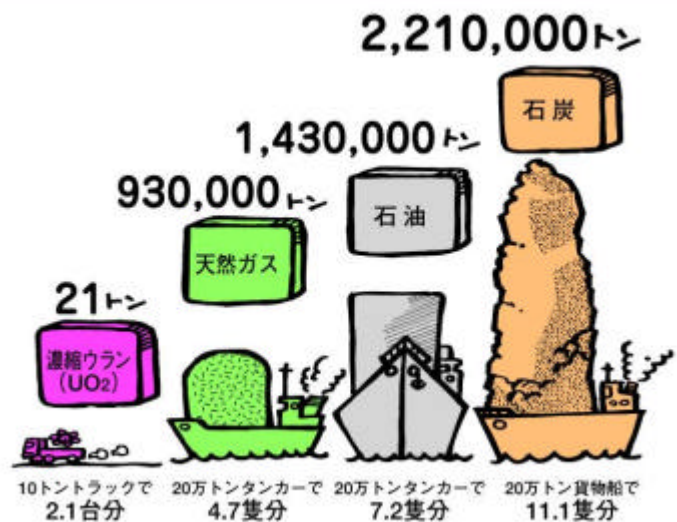
遠心分離法のしくみ



このように濃縮まで終わりますと最初のほうに説明しました通り同じ出力の 100 万 kW の発電所を 1 年間運転する燃料に比較しても濃縮ウランが 21t で済むところ、石油、ガス、石炭などの燃料ですと、4 桁くらい桁が違うことになりますので、輸送、備蓄の点からは原子力は強みがあります。

100万kWの発電所を1年間運転するために必要な燃料

続きまして原子燃料サイクルの転換、濃縮まで終わりましたので、次は再転換です。再転換という過程は気体状の濃縮ウランを発電所で使えるように固体状のウランにするという過程です。このところは JCO がなくなりましたので、現在は三菱原子燃料という加工工場と一緒にあるところが 1ヶ所だけになっています。このサイクルの輪の中でもこのところが脆弱な状態になっています。



出典：資源エネルギー庁『原子力2005』

続いて成型加工工場ではウランを発電所で使えるような形にします。世界の加工工場を見てもたくさんあります。それぞれの国で自分の国で使うためのものがあります。日本はここでして GNF-J(神奈川県)、三菱原子燃料、原子燃料工業この 3 社が加工工場を運営しています。日本のところだけ取り上げますと三菱原子燃料これは加圧水型で泊発電所のタイプの燃

料をつくります。G N F-J は沸騰水型の燃料をつくります。原子燃料工業は両方の型をつくり出すことが出来ます。事業所が熊取と東海の 2 ヶ所にあります。このように加圧水型が 2 社、沸騰水型が 2 社ということで互いに競合する状況になっています。

世界のウラン燃料加工工場

(2004年12月現在)

国名	運営者	所在地	炉型別	年間製造能力
フランス	コジェマ	ロマンヌ	PWR	1,400t
アメリカ	GE Nuclear Energy	ウイリントン	BWR	1,200t
	ウエスティングハウス	コロンビア	PWR	1,150t
	シーメンス	リッチランド	PWR,BWR	700t
	COGEMA/FRAMATOM	リンチブルク	PWR	400t
ロシア	ロシア核燃料会社 (JSC-TVEL)	ノボシビルスク	VVER	1,000t
		エレクトロスタル	VVER	620t
日本	(株)グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン (GNF-J)	神奈川県横須賀市	BWR	750t
	三菱原子燃料 (株) (MNF)	茨城県東海村	PWR	440t
	原子燃料工業 (株) (NFI)	大阪府熊取町 茨城県東海村	PWR BWR	284t 200t
ドイツ	フラマトムANP	リンゲン	PWR,BWR	650t
スウェーデン	ウエスティングハウス	ヴァストマンランド	PWR,BWR	600t
ベルギー	FBFC	デッセル	PWR	500t
韓国	韓国電力会社	テジョン	PWR	400t
スペイン	SEPI/CIEMAT	サラマンチャ	PWR,BWR,VVER	400t
イギリス	BNFL	スプリングフィールド	LWR,VVER	330t
ブラジル	ブラジル原子力工業会社 (INB)	リオデジャネイロ	PWR	240t
中国	中国核工業公司 (CNNC)	Yibin (宜賓)	PWR	200t
インド	原子力省 (DAE)	ハイデラバッド	BWR	24t

出典：IAEA-HP* Nuclear Fuel Information Systems*

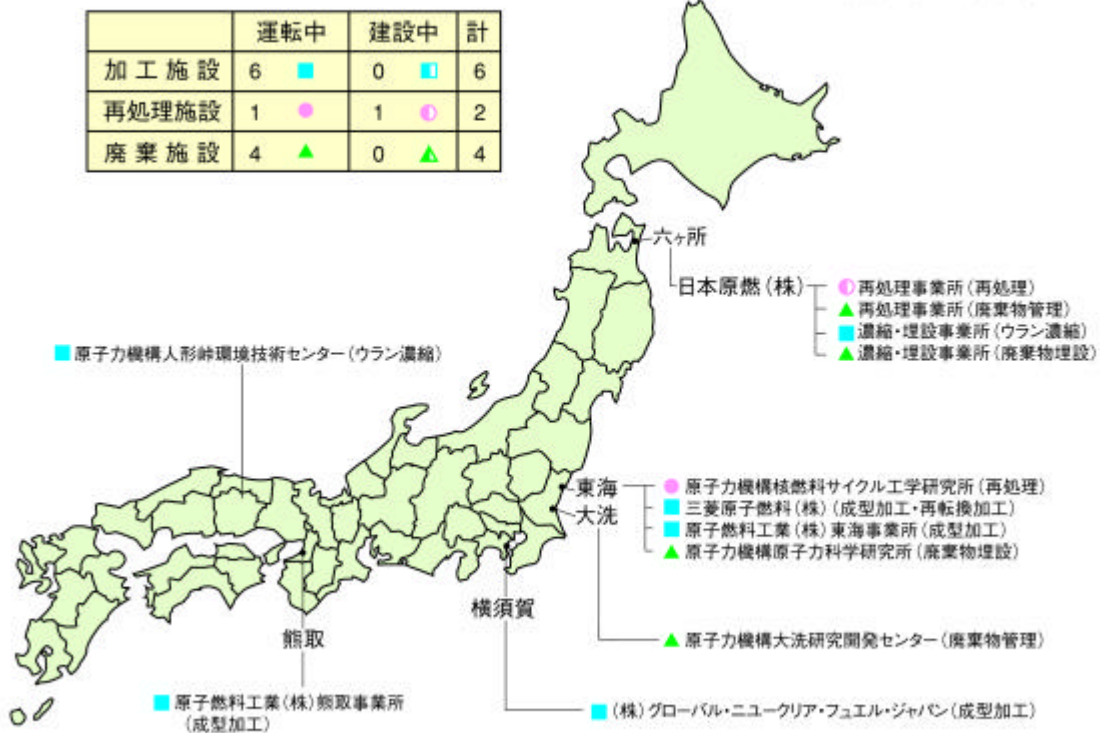
場所を示しますと熊取がこちら、横須賀の GNF-J という工場がこちら、それから三菱原子燃料それから原子燃料工業の東海事業所がこちらになります。加工再処理廃棄施設ですがあるところとえば原燃のサイクル施設、それからウラン濃縮が人形峠に研究施設としてありましたが、これは商業的には動いておりません。

国内成型加工工場

事業者	事業所名	炉型別
三菱原子燃料	同左	加圧水型
GNF-J	同左	沸騰水型
原子燃料工業	熊取事業所	加圧水型
	東海事業所	沸騰水型

加工・再処理・廃棄施設位置図

平成17年10月末現在

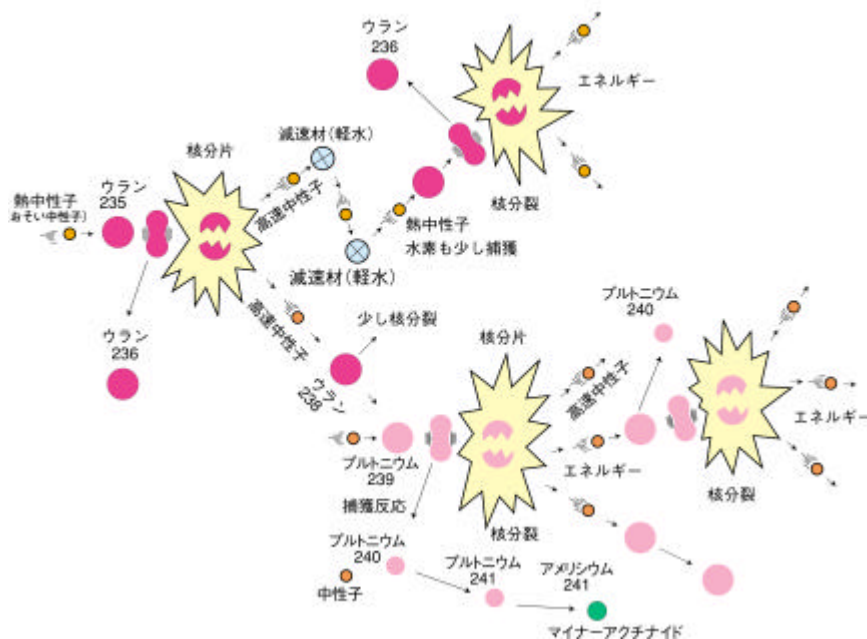


(注) 原子力機構：日本原子力研究開発機構(平成17年10月1日、日本原子力研究所と核燃料サイクル開発機構が統合して発足)

出典：原子力安全白書 平成16年版 他

ちょっとここで発電所のところまでできましたので発電所の中の反応を簡単にご説明したいと思います。一番左が熱中性子でこれがウラン 235 に当たると核分裂し、また中性子をだす。出した中性子が次の核分裂を引き起こすこととなります。この時の中性子の出かたが多ければ発電をするだけでなくウランの増殖という新しい燃料を作るということにも使えます。それがプルトニウム 239 という新しい燃料でウラン 238 から出来てきます。

ウランの核分裂とプルトニウムの生成・核分裂



原子炉の比較をしますと、軽水炉ではこの反応で1の燃料を燃やした時0.6しか新しい燃料ができない状態ですので、プルトニウムはできるのですが、全体の量は少しずつ減っていきます。それに対して高速増殖炉は1.2ですので1あれば自分のところを燃やせるわけです。1.2あるのでだんだんと燃料を増やしていくことができます。

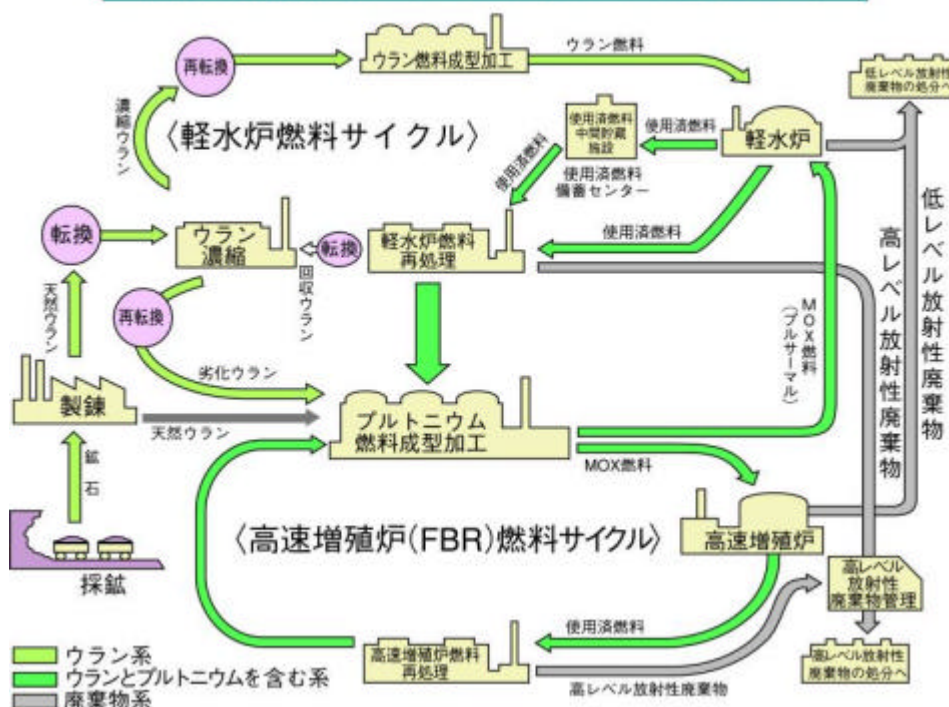
原子炉の比較

	分裂に寄与する中性子	燃 料	減速材	冷 却 材	※ 転換比
高速増殖炉 (FBR)	高速中性子	核分裂性 プルトニウム 約16~21% 劣化ウラン 約79~84% (ブランケット燃料 は劣化ウランのみ)	—	ナトリウム	約1.2
軽水炉 (BWR/PWR)	熱中性子	ウラン235 3~5% ウラン238 95~97%	軽水	軽水	約0.6

※：燃料の燃焼1.0に対して、新たに生成する燃料の割合

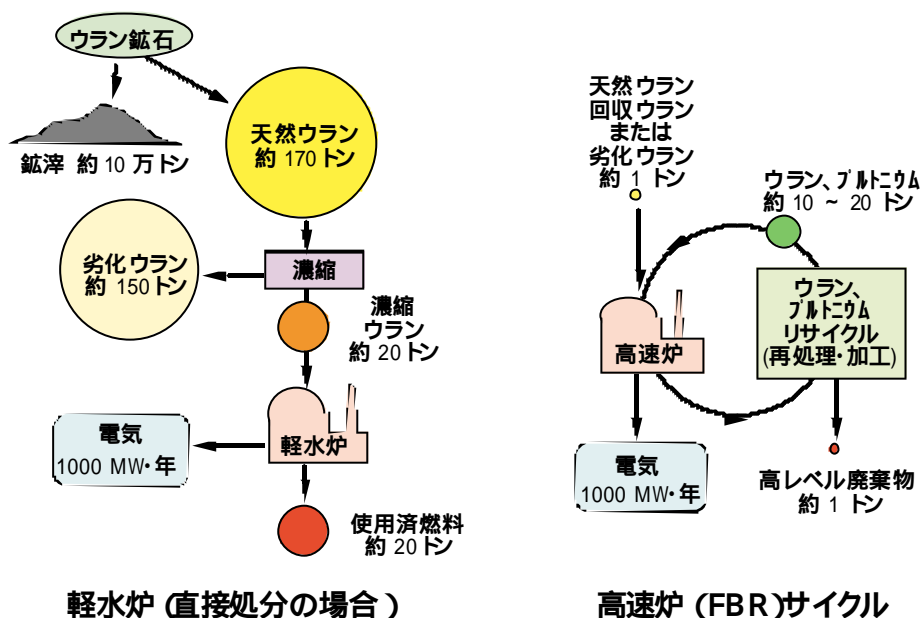
高速炉のサイクルも軽水炉のサイクルに書き込んだものがこれです。かなり見にくい物ですが説明しますと高速増殖炉のサイクルは下のところにあります。プルトニウム燃料加工施設があり高速増殖炉がありまして再処理をしますとまた燃料ができますのでまた加工する。濃縮という過程はいらなくなります。それに対して軽水炉の場合はウラン濃縮という過程がありますし天然ウランをたくさん必要とします。

原子燃料サイクル(FBRを含む)



すっきりさせた図がこれでサイクル機構の資料からいただいています。究極のリサイクルとあります。軽水炉の場合は天然ウラン 170 t を使いまして軽水炉で電気出力 1,000MW で運転することができます。この途中濃縮で使用済み燃料が 20t でてくる。それに対して究極ですから非常にうまくいった場合ということになります。高速炉サイクルの場合は 1 t 天然ウラン、回収ウランまたは劣化ウランを供給すれば高速炉で使いましてそれでまた燃料が出来ますので再処理加工施設をえますとまたリサイクルができる。1 t の供給ですが常にまわってる量は 10 ~ 20 t です。それで同じ出力 1,000MW を出すことができます。高レベル廃棄物は約 1 t です。同じ電気出力をだしているわけですが前後の出入りを見ますと 170 t の天然ウランに対して天然ウランとは限らない劣化ウランでもいいものが 1 t で済む、使用済みの廃棄物は 20 t に対して 1 t で済むということですので、燃料がかなり少ない量で電気は同じ量を出し続けることができます。

究極のリサイクル



これは別の資料からとりましたので数字が変わっていますが、資源年数の比較ということで見ると現在の燃料サイクルですと在来型既知資源 85 年で枯渇するのではないかと、さらに掘っていくとまだあるだろうけれどこの程度です。それに対してプルトニウムリサイクルを 1 回だけまわしますと 1 ~ 2 割上がります。高速燃料サイクルにしますと 2550 という事なので二桁近く資源の持つ年数が増えます。

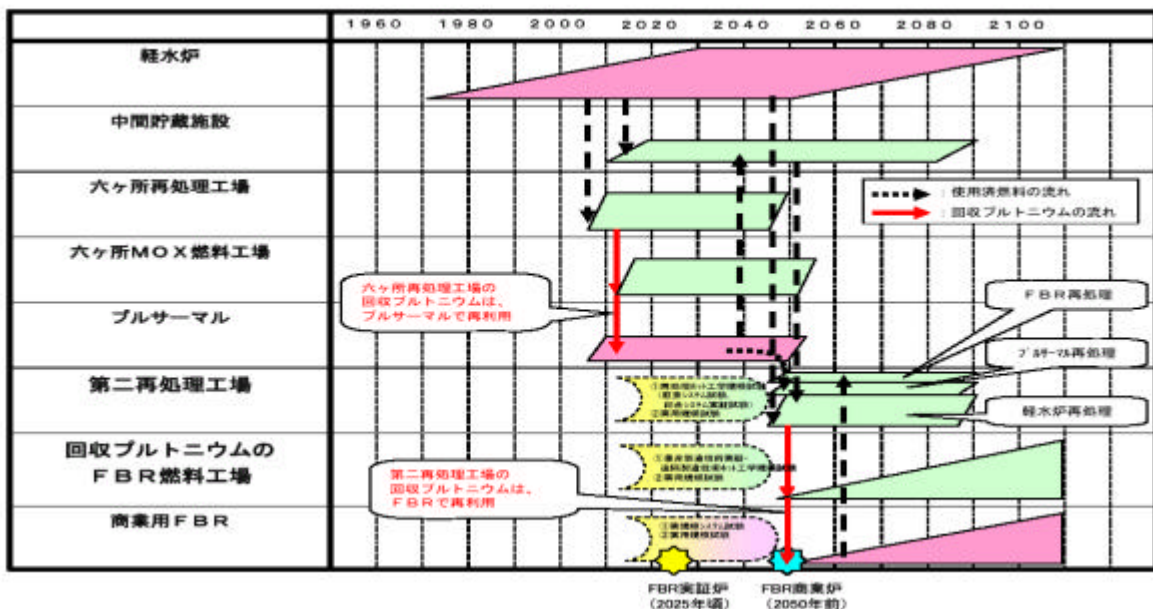
資源年数の比較

炉/燃料サイクル	在来型既知資源年数	在来型資源年数
現在の燃料サイクル	85	270
燃料リサイクル (Pu、1リサイクル)	100	300
高速炉燃料サイクル (Uリサイクル)	2550	8500

では現在 FBR ではなくて軽水炉だけですがどのように移行できるのかというシナリオを示したものがこの原子力立国計画です。これは経済産業省が 2006 年 8 月にまとめた計画から抜粋したものです。先ほどでてきましたのは政策大綱でしたが、政策大綱の結論を受けまして今度は経済産

業省がより具体的なプランを提示したというものです。一番上が軽水炉です。現在利用されている軽水炉は徐々に増えましたがそのうちに減らしていき、そのかわり商業用 FBR を立ち上げるということになっています。2050年くらいから立ち上げてだんだん置き換えていき、軽水炉からでてくる使用済燃料の流れですが六ヶ所再処理工場にいきます。それから中間貯蔵施設でしばらくの間貯蔵しておきます。再処理工場に入った燃料は再処理されてプルトニウムが取り出されてプルサーマルにつなげ、これは軽水炉で使うということです。次は第二再処理工場があってまだ存在しない再処理工場です。これからつくる再処理工場ですがこれを作ってプルサーマル燃料を受け入れて再処理する。そしてその燃料からとりだしたプルトニウムは FBR にもっていく。FBR で使った燃料は第二再処理工場に持っていきプルトニウムを取り出してまわします。この間は燃料工場ですね。このように 2050 年より前から移行していき再処理工場もつくっていくという計画です。

FBR 実用化に向けた移行シナリオ



原子力立国計画 (2006年8月)

次からが使用済燃料ですが、原子力発電所での使用状況は今日とは異なりますが、使った後の使用済燃料の貯蔵についてご説明します。使用済燃料は核分裂停止後も出した後も熱発生は少しずつ減少しながらつづいていくという特徴があります。それから放射線も出します。ですから発電所では水中に保管して冷却しています。水中ですと放射線も水がさえぎってくれますのでその水のそばに人が行っても使用済燃料は水中深く沈んでいますので放射線によ

使用済燃料の貯蔵

- 核分裂停止後も熱発生 (崩壊熱) は減少しながらも続く
- 発電所では水中に保管して冷却
- 水が放射線もさえぎる

る被爆はありません。

これは使用済燃料を発電所から出す時の写真です。泊発電所で撮った写真です。使用済燃料の輸送容器でこのタイプですと 14 体の使用済燃料が入っています。車で運び船に乗せかえて六ヶ所の再処理工場に運んでいきます。

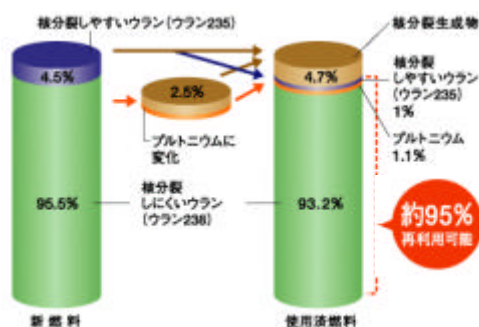
使用済燃料の輸送



再処理工場の説明の前に使用済燃料の組成がどのようになっているか見たいと思います。新燃料ですと 95 %程度のウラン 238 があって 4 ~ 5 %の 235 があり、これを燃やしますと 93 %程度のウラン 238 それから廃棄物になります核分裂生成物、高レベル廃棄物になるものです。それからまだ残っているウラン 235 それからプルトニウムという組成になります。これを再処理してウラン、プルトニウムを取り出しまして核分裂生成物を廃棄物にするというのが再処理工場です。

再処理してウラン、プルトニウムを取出す

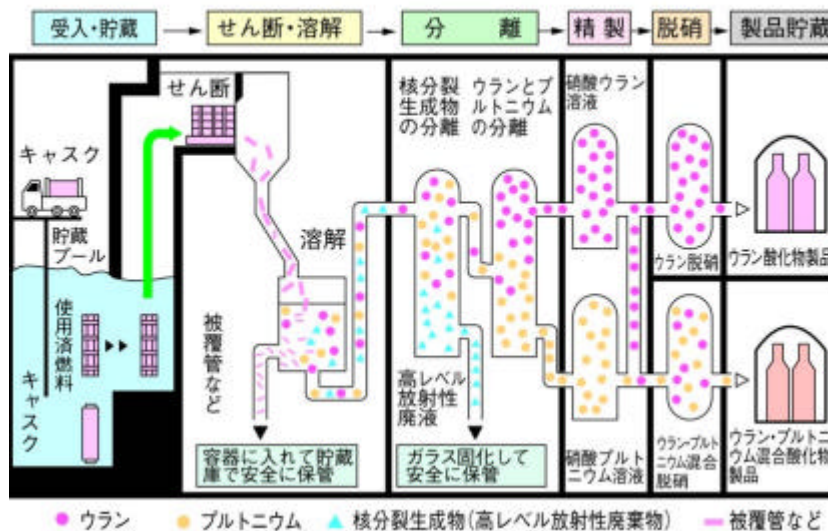
【発電によるウラン燃料の変化】



行程を模式的に描いたのがこの図でキャスク(輸送容器)を水中に入れ水中からだしてここで切ります。切るのは物理的にぶった切るといって感じではばらにして溶解させます。硝酸溶液に溶かして溶解します。そうするとウランは溶液になって被覆管は解けないのでここで分離することができます。高レベル放射性廃液、これは核分裂生成物といって核分裂が終わったもので使いようがありませんので取り出してガラス保管します。次に行くのがウランとプルトニウムの混ざったもの

の(硝酸に溶けたもの)にこまできてここでウランとプルトニウムに分離します。ここは奇妙な事をしますが、せっきく分離したプルトニウムの中にウランを混ぜてまたプルトニウムとウランの混合物になります。こちらはウランだけになります。ここで硝酸を取り除いてウラン酸化物製品とウラン・プルトニウム混合酸化物製品になってこれが最終的な出来上がりです。なぜこのようなウランを混ぜるかといいますと最初の工場の考えではプルトニウムはプルトニウムで分離して保管するというものだったのですが、プルトニウムだけ単独ですと爆弾に転用するのが容易であるということでアメリカがこのような工

再処理の工程



場に懸念を示して再処理工場の運転、建設自体が反対されたわけで、それに対してこのように混ぜておけばウランが混ざってプルトニウムが純粋なものにならなくなるので爆弾になりにくくなります。このような行程にすることによってアメリカの同意を得られて再処理工場の運転が間近になっています。おさらいになります。先ほどの行程文字に書いてみます。

世界の再処理工場を示しています。フランスとイギリスに大きなものがありまして日本もこの両方の工場に使用済燃料を送って再処理をしてもらってウラン・プルトニウムと廃棄物を返還されるという事になっています。日本は東海に小さな実験的な施設があります。ロシアにもあります。

現在作っているのが青森県六ヶ所村の 800 t はこの中でも比較的大きいというか匹敵する規模の工場を作っていて 2007 年操業開始予定です。再処理工場は現在アクティブ試験という実際の使用済燃料を用いて試験を行っていて 2007 年 8 月に操業開始予定です。若干行程は遅れていると聞いていますが、ここは変わっていません。建設費は 2.17 兆円という巨額の建設ですが、これは単独で見ると相当大きなものなのですが最初の発電コストの内訳で見たとおり、日本の電力全体でみるとバックエンドの中の一部になりますので原子力発電の発電単価のごく一部ということになっています。処理能力は 800 t です。

次に MOX の加工施設ですが、フランスで順調に動いているのがあります。日本では日本原燃が六ヶ所村に現在つくるところで 2012 年運開予定です。まだ工事が始まっていませんので現場に行っても場所があるだけです。

つづきまして先程お見せした行程の中の高レベル廃棄物を出すところをご説明します。これも再

処理工場の中になるわけですが、高レベル廃液がここから入ってきましてガラスの原料を一緒

世界の再処理工場

(2005年10月現在)

運転中

国名	設置者	設置場所(工場名)	処理能力	操業開始年
フランス	フランス核燃料公社 (COGEMA)	ラ・アージュUP2	1,000tU	1967
		ラ・アージュUP3	1,000tU	1990
イギリス	イギリス原子燃料会社 (BNFL)	セラフィールド(THORP)	900tU	1994
ロシア	ロシア原子力省 (MINATOM)	チェリャピンスク (RT-1)	400tU	1971
日本	日本原子力研究開発機構 (JAEA)	東海再処理工場	210tU	1977

建設中

国名	設置者	設置場所(工場名)	処理能力	操業開始年
日本	日本原燃株式会社 (JNFL)	青森県六ヶ所村	800tU/年	2007

出典：IAEA-HP* Nuclear Fuel Information Systems*

日本原燃六ヶ所再処理工場

- 2006年3月から実際の使用済燃料を用いた最終的な試験(アクティブ試験)開始
- 2007年8月操業開始予定
- 建設費 2.17兆円
- 処理能力 800ton/年

世界のMOX燃料加工施設

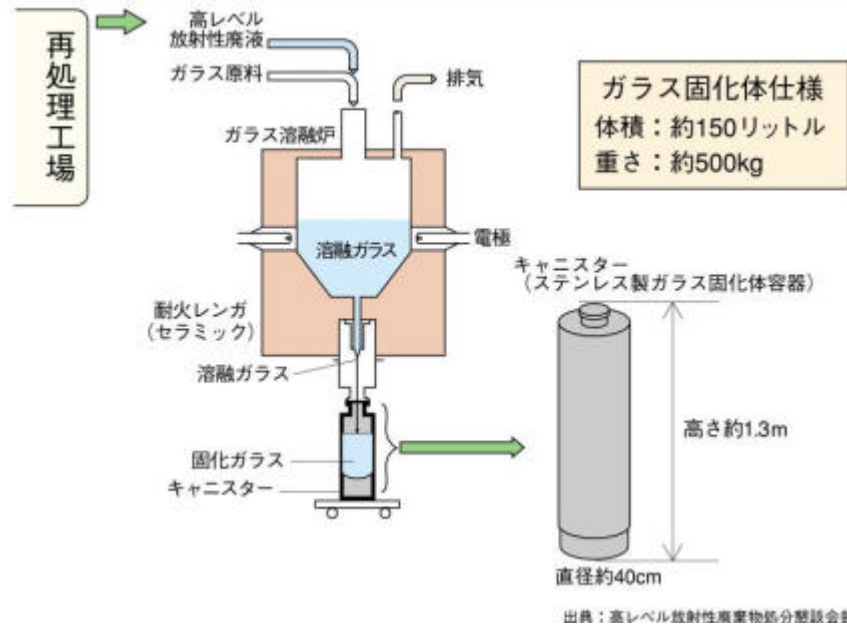
(2005年10月現在)

国名	設置者	設置場所(施設名)	設備能力 (tHM/年)	操業開始	製品
フランス	COGEMA社/フラマトム社	マルクール (MELOX)	145	1995年	LWR燃料
ベルギー	FBFC International	デッセル (FBFC MOX工場)	100	1997年	PWR, BWR燃料
		ベルゴニュークリア	デッセル (デッセルPO工場)	40	1973年
イギリス	イギリス原子燃料会社 (BNFL)	セラフィールド (SMP)	120	性能確認中	PWR, BWR燃料
日本	日本原子力研究開発機構 (JAEA)	東海村 (プルトニウム燃料第三開発室)	5tMOX/年	1988年	FBR燃料
		六ヶ所村 (JMox 燃料工場)	130	設計中(2012年頃)	PWR, BWR燃料
ロシア	ロシア原子力省 (MINATOM)	ディミドログラード	1tMOX/年	1975年	FBR燃料
		チェリャピンスク (PAKET)	0.5tMOX/年	1980年	FBR燃料

出典：IAEA-HP* Nuclear Fuel Information Systems*

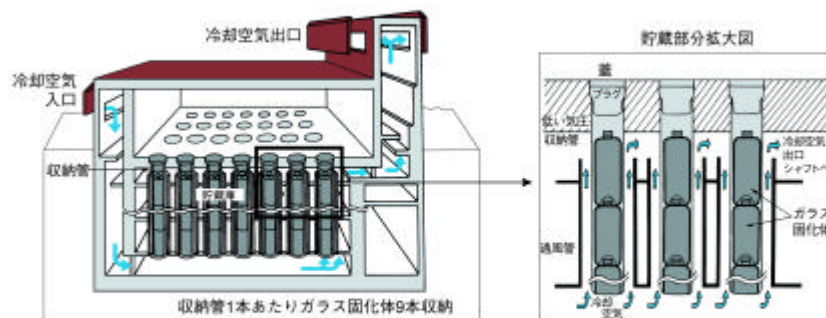
に電極で高熱にした熔融路に注いでガラスの原料と廃液を混ぜて落とし、ステンレス製の容器に入れて固化したものが高レベル廃棄物、ガラス固化体という言い方もしますが、これができます。大きさがいいますと高さ 1.3 m 直径 40cm ですけれどこの側には近寄れないような強い放射線をだしているものです。

高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)ができるまで



このようにしてできた高レベル廃棄物はしばらくの間熱を出しますので貯蔵しておきます。これは縦にガラス固化体が 9 本積み重なった状態で貯蔵して収納管に入れて外気と隔離しています。そのまわりを冷やしています。

高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)貯蔵施設



廃棄物のところにいきましたので原子力の廃棄物と一般の廃棄物を比較してみますと、放射線が高いというところで扱いにくいところがあるのですが量でいいますと発生量は t/年で高レベルは 1.5 t/年、低レベル 56 t/年に対して一般廃棄物は 228,700 t/年、産業廃棄物は 1,080,000 t/年、燃料と同じように量が何桁も違うということになりますのでいったん廃棄の仕方が確立できればそれほど量的には処分は困難なものではないということがこの数値からも累推出来ます。

日本で発生する廃棄物の量

	発生廃棄物量 (t/日)	備考
一般廃棄物	主に家庭から排出される生ゴミ、粗大ゴミ及びオフィスから排出される紙くずなど	228,700 平成14年度実績
産業廃棄物	事業活動に伴って生じた廃棄物のうち、廃油、廃プラスチック、廃酸、廃アルカリなどの19種類	1,080,000 平成14年度実績
放射性廃棄物	原子力施設の運転、保守などに伴って発生する放射性的の廃棄物	高レベル 1.5 平成12～16年度実績より推定
		低レベル 56 平成16年度実績

出典：環境省「日本の廃棄物処理」平成14年度版
資源エネルギー庁調査会原子力部会放射能廃棄物小委員会第2回資料（平成17年8月）
原子力安全・保安院「平成16年度原子力施設における放射性的廃棄物管理状況」他

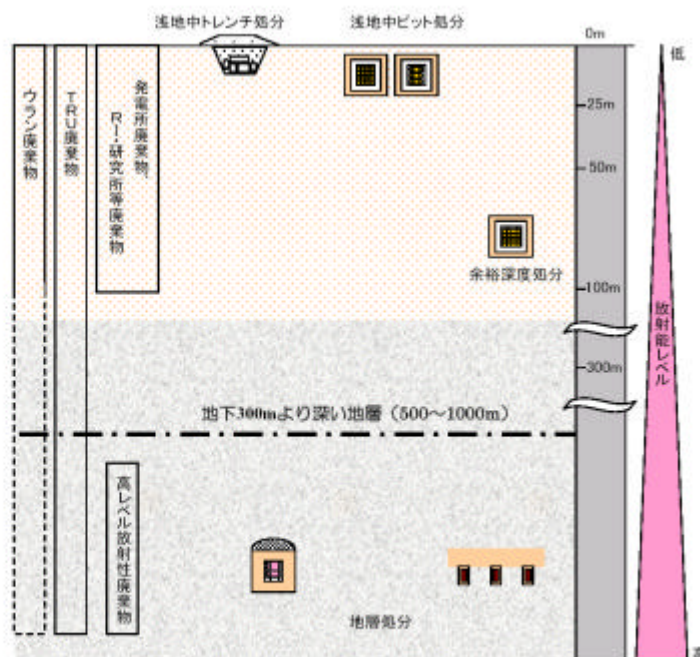
放射性廃棄物の処分の仕方を示したものがこの図で4つに分類されます。一つは浅地中トレンチ処分というもので、地中に人工構築物を設けない浅地中埋没処分、ちょっと穴を掘って埋める程度のもので、一番放射能が低いものです。だんだんに高くなっていきます。次は浅地中ピット処分、コンクリートピットを作ってその中に廃棄物を入れて土を被せるといった処分です。次に余裕深度処分で50

～100m一般的な地下利用に対して充分余裕を持った深度まで埋めるものです。一番深いのが地層処分で300mよりも深いところに埋めます。これが高レベル放射性廃棄物、それからウラン廃棄物、TRU廃棄物、発電所廃棄物、RI研究所廃棄物など再処理工場からでたもの、発電所から出たものなど出た物事に分けて、その出たものの中でもそのものの放射能レベルが高ければ深いところに埋めるし低ければ浅地中ピット処分にといいことになります。

放射能の強さに応じた4種類の処分方法

放射性廃棄物の処分方法は、深さや放射性物質の漏出を抑制するためのバリアの違いにより、4つに分類される。

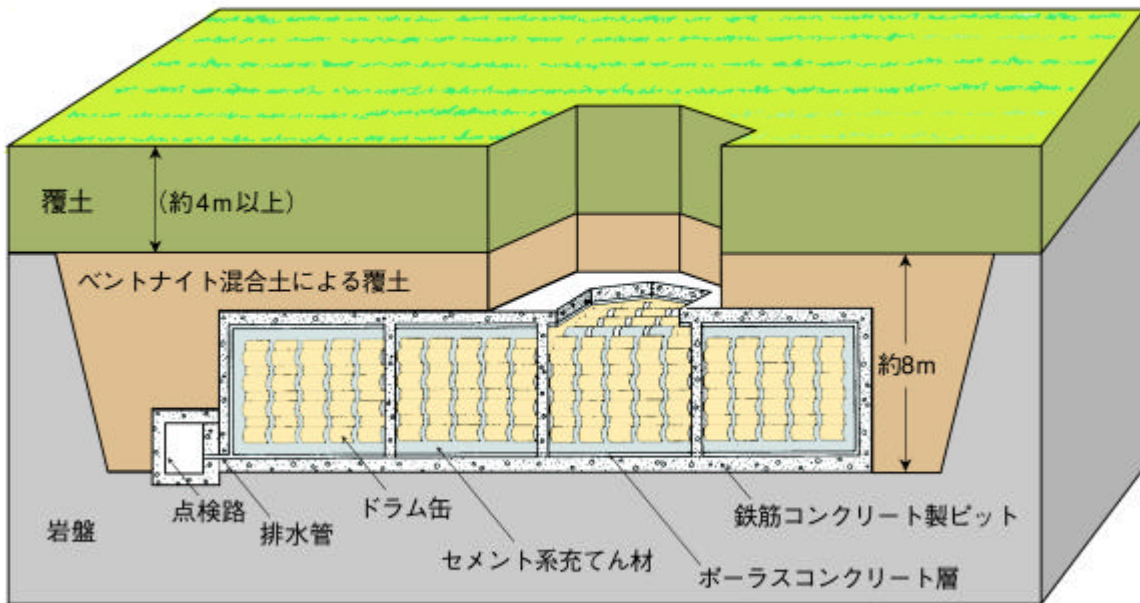
- ・浅地中トレンチ処分
人工構築物を設けない浅地中埋没処分
- ・浅地中ピット処分
コンクリートピットを設けた浅地中への処分
- ・余裕深度処分
一般的な地下利用に対して十分余裕を持った深度（地下50～100m）への処分
- ・地層処分
地下300mより深い地層中に処分



(新計画策定会議(第19回)資料第2号「放射性的廃棄物処理処分について」より)

この図は先ほどの図の中でコンクリートピット処분을六ヶ所村で運転稼働しているもので、ドラム缶がここに入っています。その外側を覆っているのがコンクリートのピットです。この上に土を被せてここはベントナイトという水を通しにくいもので覆っています。

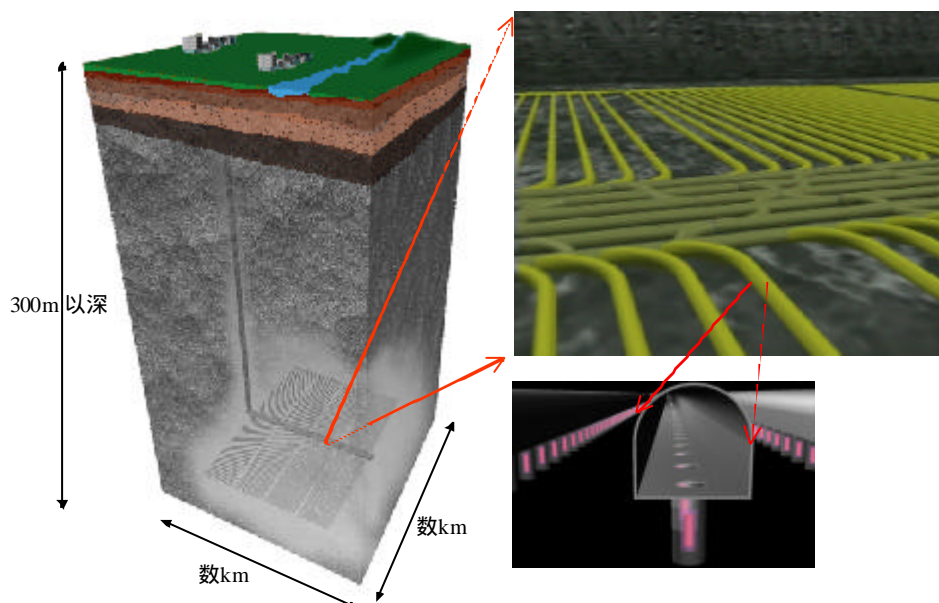
低レベル放射性廃棄物埋設センターの概念図



出典：原子力安全白書 平成11年版

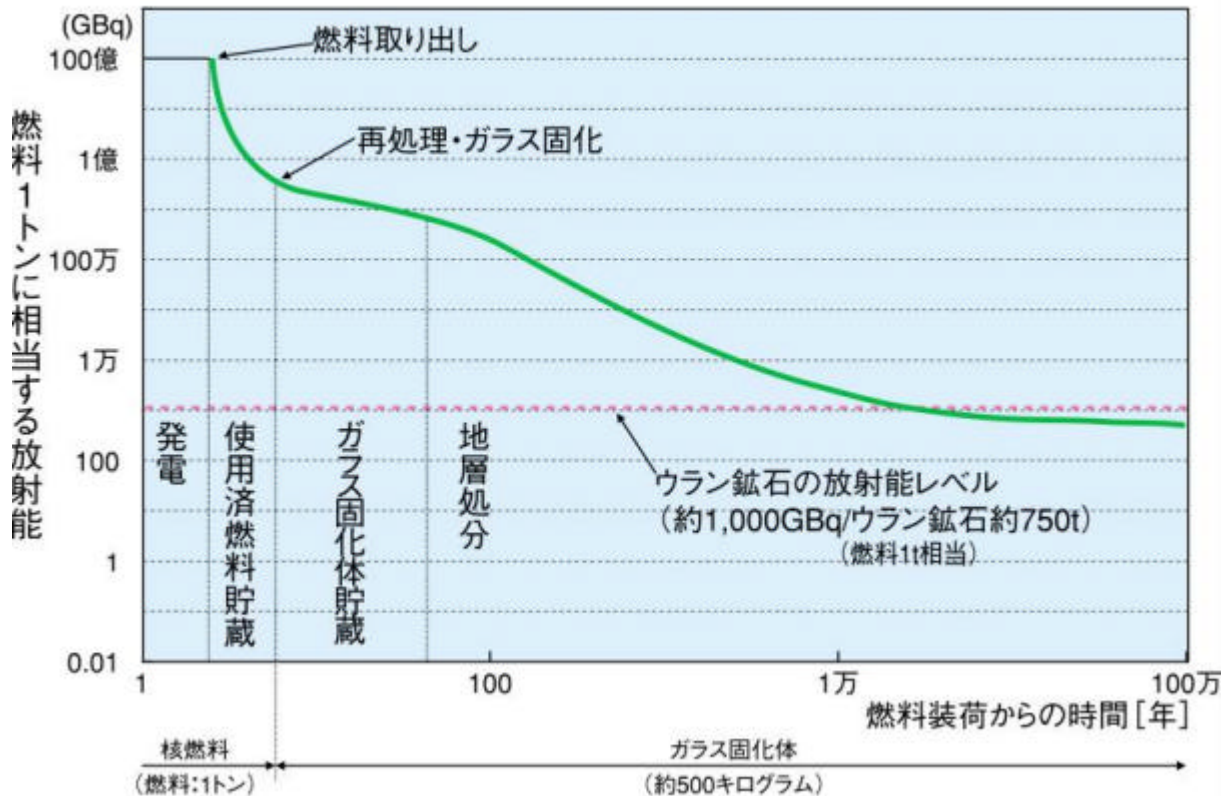
これは高レベル放射能廃棄物ガラス固体処分所のイメージです。この辺に地上施設がありこれが縦のガラス固体を移動する為の穴です。この下にあるのが処分して機体を置くところです。ここを拡大したのがこれでしてこのルートから来たものが枝分かれしています。このように運ばれていってそれぞれの穴は横から見るとこのようになっていてここにあるピンクのものがガラス固化体です。少しずつ間隔を開けながら置いて土を埋め戻していきます。

地層施設のイメージ



それで高レベル廃棄物の放射能がどうなるかといいますと燃料取り出しの時にはこのレベルだと貯蔵中に減衰してガラス固体貯蔵中にまた減衰してここからは処分しているうちにだんだんと発熱量、放射能は減っていき 1 万年くらい経ちますとウラン鉱石の放射能レベルくらいまで下がっていくことになります。

高レベル放射性廃棄物の放射能の減衰

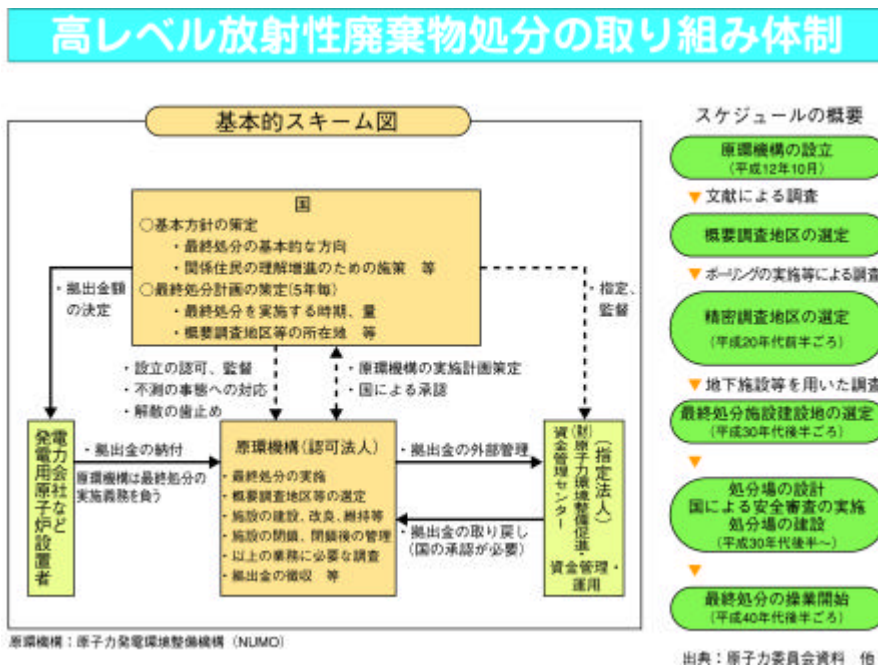


出典：「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性」(核燃料サイクル開発機構)

では処分場を決めるという過程がどのようなになっているかを示したのがこの図です。新聞などでご承知と思いますが、処分場は現在公募を待っていますが、なかなか簡単に決まらない状態です。

決める手順というのはどのようなになっているのか処分する実施主体はだれなのかを示したのがこの図です。ここは国で基本方針の作成や処分計画の作成などが行われます。ここにあるのが電力会社です。放射線廃棄物を出して再処理工場に送っています。ここにあるのは原環機構(原子力発電環境整備機構)です。略称はNUMOです。わりと最近出来てこの法人が最終処分をすることになります。最終処分の実施、地区の選定、施設の建設改良維持、閉鎖などがありますがここが主体になって行ないます。ここにあるのが何かといいますとお金を預かる組織です。高レベル廃棄物の処分代金はもともとは電力会社が発電にともなって拠出します。かなり巨額のお金ができるわけですが拠出したものはいったんNUMOに入りまして、NUMOはお金を抱えておく組織ではありませんので入れたものはそのまま原子力環境整備促進・資金管理センターにいけます。ここで資金管理、運用を行って貯まったものを少しずつ確実に増やします。またNUMOがお金が必要になればこちらに申請して拠出金の取り戻しができます。処分場の建設が始まればかなりのまとまった金額が出ますが、現在は調査、公募活動中ですのでそれほど大きな金額ではありません。その活動に必要な資金はこのような流れでNUMOにきます。こちらに書いたのがスケジュールです。原環機構は平成 12 年 10 月に出来ています。それで

どの場所を処分場の候補地とするかはNUMOが決めることはできないので、NUMOが示した計画を見て自治体が手を上げて応募する形態をとっています。応募しますと文献による調査をして、ボーリング調査をしてそれから精密調査を行っていき、場所を決定して処分場の場所



を決めることとなります。このような過程になりますので文献調査に手を上げたところが必ずしも処分場になるわけではなく、適地であればすすめますが適地でなければ途中でねられるということになります。

高レベル廃棄物の処分計画で、フランス、日本、ベルギー、スイス、アメリカ、ドイツといういろいろあるわけですが、処分の形態がフランスは日本と同じ再処理をして高レベル廃棄物を処分するという計画です。アメリカは直接処分穴に直接埋めてしまうという計画です。ドイツは再処理も直接処分もあります。最近アメリカが直接処分から再処理に政策を変更して

しますので、この調査時点よりも現状で言いますと再処理する国が増えていきます。ここに書いてあるのは廃棄物の実施主体です。処分所の深度は400～1000mといった所もありますし、日本のように300m以深という表現もありますし色々ばらついていきます。処分候補地としては、アメリカはユッカマウンテン、フィン

世界の高レベル放射性廃棄物処分計画

国名	使用済燃料取扱	軽水炉燃料サイクル利用	廃棄物処分実施主体	廃棄物処分形態	処分量	処分地候補及び岩種	処分深度	処分開始予定時期	備考
フランス	再処理	推進中	放射性廃棄物管理機構 (ANDRA)	未定	未定	未定	400～1,000m	未定	処分形態について、地層処分、分離変換技術、長期貯蔵について、研究実施中
日本	再処理	少量の使用実績あり	原子力発電環境整備機構 (NUMO)	ガラス固化体	未定	未定	300m以深	2030年代～2040年代半ば	
ベルギー	(海外委託)再処理 (1991年まで) 間接処分	推進中	放射線廃棄物・核物質管理庁 (ONDRP/NRASI)	ガラス固化体 (遠隔搬送物) 使用済燃料	未定	候補地: 選定未着手	220m	2010年	現在、再処理中止
スイス	(海外委託)再処理 (2006年まで) 間接処分	推進中	放射線廃棄物管理協同組合 (NAGRA) (政府-民間共同出資)	ガラス固化体 (遠隔搬送物) 使用済燃料	4,400トン (ウラン換算、内再処理3,1200トン)	候補地: 未定 岩種: 花崗岩 オリガス結土	400～1,000m	2050年	
アメリカ	(国が引き取り) 直接処分	実績あり 現在は中止	エネルギー省 (DOE)	使用済燃料 ガラス固化体	70,000トン	候補地: ユッカマウンテン 岩種: 凝灰岩	200～500m	2010年	
ドイツ	(海外委託)再処理 (2005年まで) 直接処分	推進中	連邦放射線防護庁 (BfS)	使用済燃料 ガラス固化体	24,000m ³ (廃棄物量、他使用済燃料、ガラス固化体等)	候補地: ゴラーベン 岩種: 岩塩ドーム	840～1,200m	2030年	ゴラーベンを含めサイト選定手続再検討中
フィンランド	直接処分	実績なし	(民間会社) ポジヴァ社	使用済燃料	6,500トン (ウラン換算)	候補地: オルキルナイト 岩種: 結晶質岩	500m (深部ケース)	2020年	
スウェーデン	直接処分	実績あり 現在は中止	(民間会社) 核燃料・廃棄物管理会社 (SKB)	使用済燃料	9,300トン (ウラン換算)	候補地: オスカンム 岩種: 結晶質岩	400～700m	2023年	

出典：原子力ポケットブック2005年版 原子力委員会新計画策定会議(第4回)資料等

ランドはオルキルナイトですとか、候補地のところまでいっているところもありますが日本はまだ未定です。

これが朝日新聞の 11 月 5 日の記事で、公募という形態をとって待っているわけですが、西日本の過疎地、四国でいくつか動きがあり財政難の町には交付金が最初の調査段階から 2.1 億円出て、その次の段階に進みますと 20 億円出るとかなりの交付金が出ますのでその魅力で公募、誘致の動きもあるのですが、確定したものにはなっていません。

高レベル処分場 誘致の動き

朝日新聞
11月5日

西日本の過疎地「誘致」の動き

原発ごみ捨て場所は 高レベル廃棄物最終処分場

高レベル放射性廃棄物の最終処分場を誘致する動きが、西日本の過疎地を中心に広がっている。財政難の町は、最初の調査段階から 2.1 億円の出る。その次の段階に進みますと 20 億円出るとかなりの交付金が出ますのでその魅力で公募、誘致の動きもある。

財政難の町、交付金魅力

高レベル放射性廃棄物の最終処分場を誘致する動きが、西日本の過疎地を中心に広がっている。財政難の町は、最初の調査段階から 2.1 億円の出る。その次の段階に進みますと 20 億円出るとかなりの交付金が出ますのでその魅力で公募、誘致の動きもある。

応募ゼロ 焦る エネ庁

高レベル放射性廃棄物の最終処分場を誘致する動きが、西日本の過疎地を中心に広がっている。財政難の町は、最初の調査段階から 2.1 億円の出る。その次の段階に進みますと 20 億円出るとかなりの交付金が出ますのでその魅力で公募、誘致の動きもある。

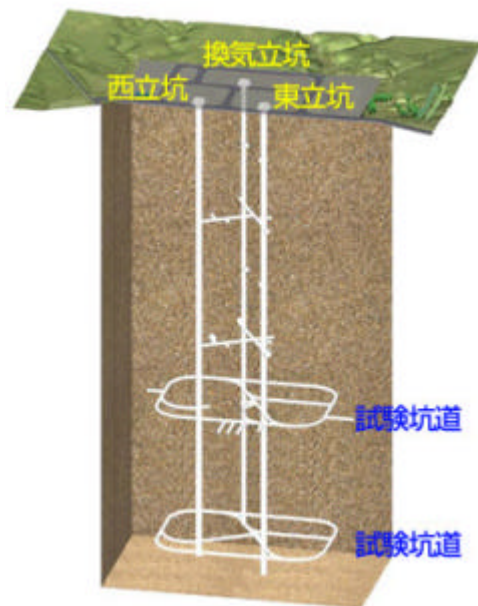
施設集

高レベル放射性廃棄物の最終処分場を誘致する動きが、西日本の過疎地を中心に広がっている。財政難の町は、最初の調査段階から 2.1 億円の出る。その次の段階に進みますと 20 億円出るとかなりの交付金が出ますのでその魅力で公募、誘致の動きもある。

以上でサイクル全体を説明したのですが、最後に、北海道ですので幌延の深地層研究所をご紹介します。研究施設の図は立抗があります。このようにまっすぐに掘っていきましてここに試験坑道が 2ヶ所あります。ここで試験をします。

幌延 深地層研究所

何を研究するかと言いますと地層科学研究、地層処分研究開発、地震に関する研究、地下空間を利用する研究で放射性物質を持ち込むということは絶対にできないのが JAU と道との約束ですのでそれを使わない研究を行うことになります。今少しずつ穴を掘り始めたところです。私の説明は以上です。



< 質 疑 ・ 応 答 >

質 問

< 上川地協 成田 >

究極のリサイクルのところなんですが、なんとなくわかったんですが究極のリサイクルというのは天然ウランを 170 t 毎年供給しつづけたら劣化ウランが 150 t 出てきて使用済燃料が 120 t 出てくるもう片方では、毎年 1 t ずつ供給すれば高レベル廃棄物が 1 t ずつでてくるが発電量は変わらないという解釈でいいのですか？

回 答

< 内田 >

はい、おっしゃる通りなんですですけど、発電所に入るところだけ見ますと左側も濃縮ウラン約 20 t 入れるとなっています。高速炉は 10 ~ 20 t がまわっていますので発電所高速炉には 10 ~ 20 t の量の燃料が入ることになります。違うのは高速炉の場合ですとその中の 1 t 程度が廃棄物になるのでウランが減った部分は補給しなければなりません。天然ウランか回収ウランか劣化ウランで供給しないとつりあいが取れないということになりますけれど軽水炉直接処分の場合にはまわるルートがないので常に天然の 170 t を使って濃縮したものは 20 t になるのですが、濃縮した残りの劣化ウラン 150 t 濃縮度が天然よりも低くなっているものが出来て、高い濃縮度も物を作り出した代わりに低い濃縮度の物も大量にでてこのような流れをして 170 t の供給を続けないと発電は続けられないことになります。

質 問

< 上川地協 成田 >

簡単に言えば毎年 170 t 必要なものが、毎年 1 t でいいということですね。

回 答

< 内田 >

そうです。1 t でいいし天然ウランでもいいし、ここに回収ウランとか劣化ウランと書いていますが、天然ウランは山から掘り出したもので、劣化ウランは濃縮カスみたいなもので、とにかくどんなウランでもいいので 1 t 供給したらいいのです。

質 問

< 上川地協 成田 >

それでもうひとつお聞きしたいのですが、今、軽水炉型でやっているんですよね。そうすると劣化ウランやなんかはでてきているわけですね。例えば 150 t でれば高速炉になれば今あるウランだけでも 150 t あれば 150 年もつわけですね。そのことでこれができればこれから買う必要もなくなってくると、買う必要がないということですね。

回 答

< 内田 >

はい、そうです。

質 問

< 上川地協 成田 >

もう一点だけいいですか。今朝の新聞で大規模な風力発電の新エネルギーの事を、昨日の夕刊ですね、言ってましたがそういう新しいエネルギーの事も北電も歓迎していた話を聞いたんですが、そちらの将来性についてイーターの話は立ち消えになっていますが、その辺についてなにかございましたらおしえてください。

回 答

< 内田 >

イーターは世界共同で所有するという事なので青森県はもれて決定したのか実質的にはもうならないようですが、日本にはできませんが世界ではすすんでいます。それと新エネルギーですが風力とか太陽光とかあってそれぞれ利点もあり、廃棄物がでない、燃料がいらなどあるのでどれも開発していく必要があると思っています。現在もどんどん増えつづけています。ただ量の点から行くと主役にはならないじゃないかと、原子力や石炭のように電気を発電する主要な力にはならなくて脇役というか、どれか一つに偏らないでどれも開発していく必要があると思っています。

質 問

< 全開発 村上 >

どうもごくろうさまです。今ですね核兵器保有ですとかいろいろなことが政府ではなくある党の方々がいつているのですが、そのような議論までいった時に先ほどプルトニウムをそのままだとアメリカがだめだと言ってウランと混ぜるという話もでていたのですが、核保有を含めて日本の中で論議されていった時に政府が原子力の方針をだしているのですが兼合いについて現状どのように受け止めているのかお聞かせ願いたいと思います。

回 答

< 内田 >

あの、政策全体まで話せませんので、原子力発電だけを限定していいますと原子力を使って再処理する、濃縮ウランを使うということも回りの国との協定にしばられて利用法を限定された状態で使っています。平和利用で発電所に使うことで濃縮ウランを供給してもらっているし再処理工場も運転できています。これが核兵器に転用可能性もあるということになればその条件も変わってきますので濃縮ウランの供給も受けられないし再処理工場も動かなくなりますので、発電所も燃料がなくなって動かせなくなることになります。