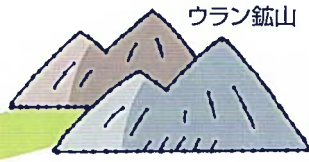


# これが原子燃料サイクルだ 要となる再処理工場



## ウラン採掘

原子力発電の燃料に使われるウランは、カナダやオーストラリア、カザフスタンが代表的な産出国である。ウラン鉱山の採掘法は、鉱山の地表から掘削する露天掘り一般的なのだが、近年はさらに効率のいい方法として、地表から地下の鉱脈までパイプを通し、溶液とともに吸い上げるインシチュリーチング法が採用される。

## 製錬

採掘されたウラン鉱石の中には、不要な鉱物が混ざっている。化学処理によってウラン鉱石から不純物を取り除き、必要なウランだけを回収する工程を製錬と呼ぶ。製錬によって取り出された粉末状のウランは、黄色いケーキのように見えることから、イエローケーキと呼ばれることがある。

製錬工場



## ウラン濃縮

転換後のウランの成分をみると、核分裂してエネルギーを生み出すウラン235の含有率はわずか0.7%程度。それ以外の99.3%は核分裂しにくいウラン238である。原子力発電に使うウランはウラン235の含有率が3~4%なければならない。このため、転換後のウランについて、ウラン235の含有率を高める濃縮を行う。日本は遠心分離法による濃縮を採用する。これはウラン235とウラン238のわずかな重さの違いを利用する仕組み。ウランを遠心分離機にかけると、遠心力で重いウラン238は中心から速い外側に集まり、軽いウラン235は内側に残るので、これによってウラン235の含有率が高いウランを生産する。

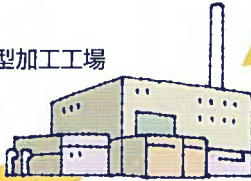
ウラン濃縮工場

## MOX燃料加工

使用済み燃料から再処理によって取り出したプルトニウムは、再び原子力発電所で利用するため、ウラン・プルトニウム混合酸化物(MOX)燃料に加工される。MOX燃料の加工は概略、次のような流れ。まず、プルトニウムとウランを1対1の比率で合わせたMOX粉末と、二酸化ウランの粉末を混合する。続いて、これをペレットに焼き固めて燃料棒に詰め、さらに燃料棒を束ねて燃料集合体をつくる。日本でも現在六ヶ所村でMOX燃料加工工場の計画が進められている。

→P14 プルサーマル計画

成型加工工場



## 成型加工

濃縮されたウランは、気体(六フッ化ウラン)から再び粉末の二酸化ウランに戻される。この粉末は瀬戸物のように焼き固められ、ペレットと呼ばれる固形になり、金属の管(被覆管)に詰められて、燃料棒ができていく。燃料棒は原子炉に入れる時や取り出す時に、ばらばらにならないように束ねられ、燃料集合体として原子力発電所に送られる。

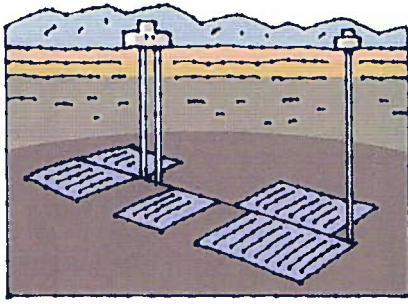


低レベル放射性廃棄物埋設センター

原子燃料サイクルとは、ウランの精製、原子燃料への加工、発電から、リサイクル、廃棄物処分までの一連の工程を指す。このうち、要となるのが、ウランやプルトニウムを使用済み燃料から分離、回収するリサイクルの工程、「再処理」だ。回収したウランとプルトニウムを混合し、原子燃料として加工したものは、ウラン・プルトニウム酸化物(MOX)燃料と呼ばれる。また、MOX燃料を使用して発電することをプルサーマルと呼ぶ。

原子力発電を利用している国でも、原子燃料サイクルへの取り組みについては立場が異なる。北欧諸国などは原子力発電所の数が少なく、経済性などの利点から、使用済み燃料をそのまま廃棄物として地下に処分(直接処分)する政策を取る。しかし原子力発電所の数が多いうフランス、ロシア、今後、原子力発電を強化していく中国、インドといった国はリサイクルを選択する。リサイクルは直接処分に比べ、資源の有効利用・節約、廃棄物の減量という点で格段に優れているからだ。

原子燃料サイクルが世界で最も進んでいるフランスでは、国内の原子力発電所で使用される年間1100トンの原子燃料のうち、約100トンがMOX燃料。これにより天然ウランを25%節約し、高レベル放射性廃棄物の発



地層処分場

## 高レベル放射性廃棄物の処分

使用済み燃料を再処理した後に残る核分裂生成物は、強い放射能を持っている。この核分裂生成物は熔融ガラスと一緒に固められたガラス固化体（高レベル放射性廃棄物）となり、深さ300メートルより深い地下に処分する。これを地層処分と呼ぶ。深い地下に処分するのは、人の生活環境から嚴重に遠ざけるためだ。現在、この処分地の選定作業を進めようとしている。 →P15



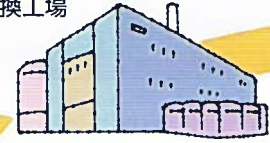
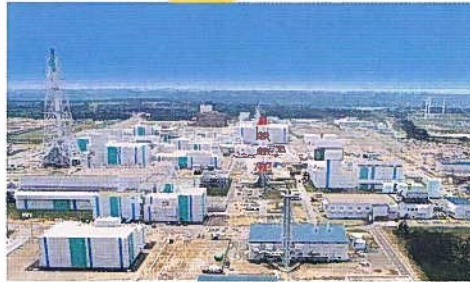
高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター

## 再処理

再処理とは原子力発電所から出る使用済み燃料を化学的に処理し、その中から貴重なプルトニウムやウランを取り出すこと。原子燃料サイクルの要となる工程で、近く青森県六ヶ所村の再処理工場が操業を始める。これらの資源を取り出した後に残る核分裂生成物は、どうやっても再利用できないので、ガラスと混ぜて固め、嚴重に密閉し、深い地下に処分する。再処理には再利用できる資源とこれ以上使えない廃棄物をしっかり分別するという意味もある。

→P12 六ヶ所再処理工場

再処理工場



転換工場

## 転換

イエローケーキを次の濃縮工程への準備としてウラン化合物（六フッ化ウラン）にする。



MOX燃料工場



中間貯蔵施設

## 中間貯蔵

中間貯蔵とは、原子力発電所から出る使用済み燃料を再処理するまでの間、一時的に貯蔵・管理すること。全国の原子力発電所から出る使用済み燃料は年間900~1000トンと見込まれるが、再処理工場の処理容量は年間800トン。容量を超える分は中間貯蔵施設で再処理までの間、一時的に貯蔵される。中間貯蔵施設は原子力発電と再処理を柔軟につなぐ施設としての意味がある。



原子力発電所

## 原子力発電

原子炉の中では、燃料中のウラン235に中性子がぶつかって、ウラン235の原子核が分裂する。この核分裂が起きる時、エネルギー（熱）が生まれる。原子炉の中では核分裂が連鎖的に起きているので、膨大なエネルギーが生み出される。1グラムのウラン235が核分裂すると、2000リットルの石油を燃やすのに匹敵するエネルギーが生まれる。核分裂で生まれた熱で蒸気をつくり、それをタービンに勢よく送り込んで発電するのが原子力発電の仕組み。国内では現在、55基の原子力発電所が営業運転をしている。

(中部電力・浜岡原子力発電所)

生量も使用済み燃料をそのまま処分するよりも5分の1に削減できるという。日本はリサイクルの道を選んでいる。日本の原子燃料サイクル拠点である青森県六ヶ所村では、ウラン濃縮施設や低レベル放射性廃棄物埋設センターなどの設備が稼働しており、再処理工場も動き出そうとしている。MOX燃料工場の建設計画もある。

現在、日本全国に55基の原子力発電所があり、1年間で使用される電気の約3割をまかなっている。運転に伴って発生する使用済み燃料は年間900~1000トンと見込まれる。六ヶ所村の再処理工場では、このうち800トンをリサイクルする方針。プルサーマルもフランスやイギリスで再処理された燃料で、2010年までに開始する予定だ。使える部分を回収し、廃棄物の発生量を少なくする。処分場を建設する際にその効果は大きく、使用済み燃料をそのまま処分するのに比べ、再処理した後に残る廃棄物だけを処分する施設はコンパクトにできる。

スタートラインに立ったばかりの日本の原子燃料サイクル。きちんと完成させるためにも、再処理だけでなく、プルサーマルや高レベル放射性廃棄物処分場など、今後着々と計画を進めていく必要がある。



# 世界最新鋭の再処理工場 六ヶ所再処理工場の概要

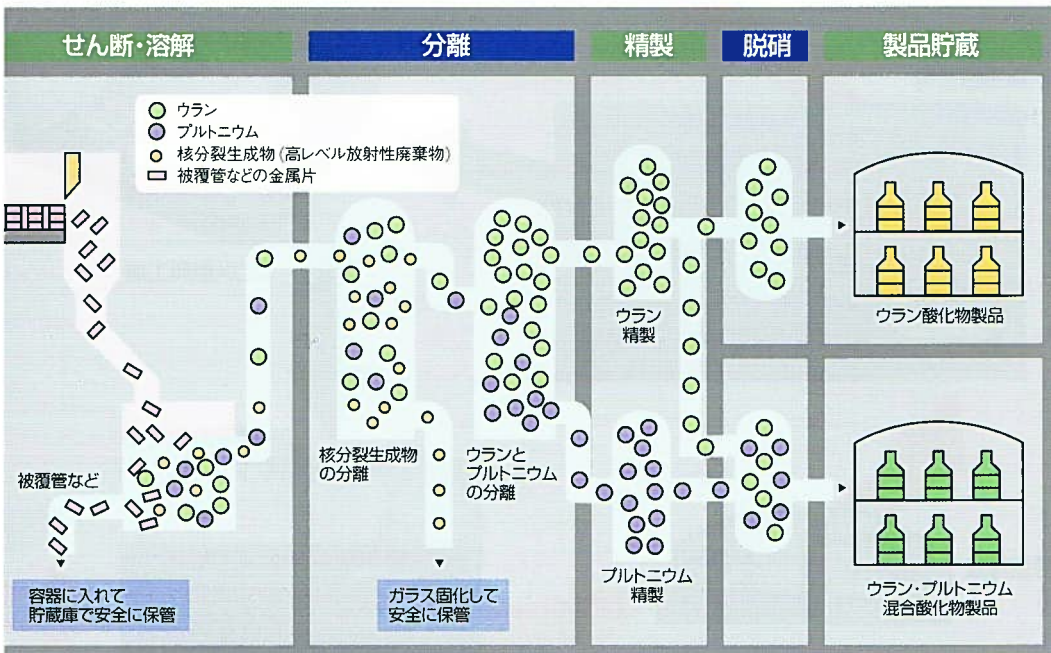
日本の原子燃料サイクル施設の中心の施設となるのが、青森県六ヶ所村にある日本原燃の再処理工場だ。世界最新鋭となる六ヶ所再処理工場は、実績のあるフランスを中心にイギリスやドイツなどの技術を取り入れ、安全性の向上が図られているほか、核拡散防止のためプルトニウムを単体で取り出せないような工夫もされている。操業に向けて最終段階にきたこの六ヶ所再処理工場の概要について紹介する。



中央制御室  
工程ごとに6つのエリアに分けられ、それぞれ10~15人の運転員で運転している



全景  
PR施設から見た六ヶ所再処理工場の全景



## ②せん断・溶解

合計4年以上貯蔵された燃料は、3~4センチの小片に切断。せん断機は厚いコンクリート壁で覆われたセルという小部屋内に設置され、外部から遠隔で操作する。切断された使用済み燃料は溶解槽で硝酸で溶かされる。このとき、燃料にある被覆管は溶けず、低レベル放射性廃棄物（TRU廃棄物）として保管される。

## ③分離

分離工程では、溶解槽で発生した溶解液をウラン溶液、プルトニウム溶液、核分裂生成物（高レベル放射性廃棄物）に分離する。分離工程で発生した高レベル廃棄物は、ガラス溶融炉で溶かしたガラスと混ぜ合わせ、キャニスターというステンレス製の容器に入れられ、貯蔵施設で30~50年保管。その後、地層処分されることになっている。

## ④精製~⑤脱硝~⑥製品貯蔵

ウラン溶液とプルトニウム溶液は、精製工程でさらに微量の核分裂生成物を除去される。脱硝工程では、ウラン溶液からは硝酸分が取り除かれ、またプルトニウム溶液には一定量のウラン溶液が混合された後「ウラン・プルトニウム溶液」となり硝酸分が取り除かれる。それぞれステンレス製容器に封入され、「ウラン酸化物」「ウラン・プルトニウム混合酸化物」として製品貯蔵される。

再処理工場は、原子力発電所で使われたウラン燃料から燃え残りのウランとプルトニウムを取り出し、このウランとプルトニウムを再びウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX）燃料として使えるように化学的な処理を行う工場だ。これに伴って、使用済み燃料に含まれる被覆管や核分裂生成物などが「放射性廃棄物」として発生する。

再処理の工程は、①受け入れ・貯蔵 ②せん断・溶解③分離④精製⑤脱硝⑥製品貯蔵の6段階で行われる。

日本の再処理の第一の特徴は、まず、核兵器の原料にもなるプルトニウムを単体で取り出せないようにしていることだ。再処理して取り出すプルトニウムは、ウランと混合した形で製品化され、核兵器に転用できない。日本は非核保有国で唯一、再処理を認められた国であり、当然、国際原子力機関（IAEA）の監視を受け、監視員も24時間常駐している。

次に、世界最新のさまざまな知見を取り入れていることだ。実績のあるフランスを中心にイギリス、ドイツの国外技術、そして日本独自の技術として核燃料サイクル開発機構（現・独立行政法人日本原子力研究開発機構）の技術など、世界の優れた技術を随所に取り入れた。





使用済み燃料貯蔵プール  
燃料貯蔵プールは燃料種類ごとに1500トンずつ、合計3000トンを貯蔵可能。これは工場の処理能力の3年分以上

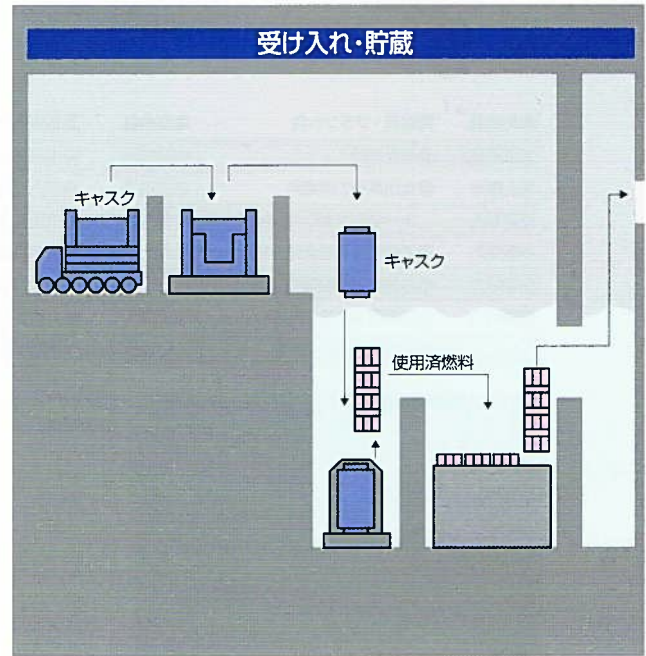
## 「閉じ込める」が基本

再処理工場は、使用済みの原子燃料を取り扱う施設だけに、放射線対策には万全を期している。

原子力発電所と同様に、放射線や放射性物質が外部に出ないように「閉じ込める」設計がなされている。工場の建物内は、セルという小部屋で仕切られており、また外気よりも気圧を低くすることで万一内部で漏えいがあった場合でも外に出ないようにしている。プルトニウムを扱うため、強い地震にも耐えうるよう原子力発電所と同等の耐震設計で建設されている。

このほか、火災対策やプルトニウム

## 再処理工程の流れ



### ①受け入れ・貯蔵

全国の原子力発電所から出た使用済み燃料は、キャスクと呼ばれる輸送容器に入れられ、船舶と専用道路で再処理工場まで輸送。キャスクから使用済み燃料を取り出し工場内に受け入れる作業は、プール内の水中で行われ、使用済み燃料が外気に触れない工夫をしている。

原子力発電所と再処理工場のプールで合計4年以上貯蔵される。これは、発電によって熱を持った使用済み燃料を冷却するため、貯蔵することによって放射能も数百分の1に減衰できる。

## 放射線モニタリング

再処理工場は、ごく微量の放射性物質を排出するが、人体はもちろん環境にも影響を与えない。気体は、高性能エアフィルター、ヨウ素フィルターを通して上で、可能な限り取り除くからだ。その上で、高さ150メートルの排気塔から出口スピード時速70キロメートルで排出し、できるだけ拡散し、濃度を低くするようにしている。

また液体も、蒸発缶を使って可能な

が連続的に核分裂しないようにする臨界安全富集率など、ハード的な対応とヒューマンエラーが発生しないようにさまざまな対策がなされている。

再処理工場は、ごく微量の放射性物質を排出するが、人体はもちろん環境にも影響を与えない。気体は、高性能エアフィルター、ヨウ素フィルターを通して上で、可能な限り取り除くからだ。その上で、高さ150メートルの排気塔から出口スピード時速70キロメートルで排出し、できるだけ拡散し、濃度を低くするようにしている。



ガンマ線を放出する大量の試料を灰化濃縮などを行い放射線物質を測定するゲルマニウム半導体測定装置。採取した試料の化学分析に用いる。放射性物質の種類と量を1日(約8万秒)かけて測定する

0031ミリシーベルトの合計約0.022ミリシーベルトと評価されている。これは、人間が自然界から受ける放射線による影響の100分の1以下という低い値だ。

環境の放射線データは、事業所内のモニタリングポストや、周辺地域のモニタリングステーションなどで環境放射線のモニタリングを行っているほか、海産物や農産物、海水などの試料を採取した化学分析なども行っている。

こうしたモニタリング結果は公表し、監視と評価を受ける仕組みができています。

青森県六ヶ所村は、青森県の下半島の付け根に位置している。再処理工場のほか高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターやウラン濃縮工場、低レベル放射性廃棄物埋設センターなどの重要施設が立地する、日本の原子燃料サイクルの要といつてよい地域だ。





# 有効利用がいよいよスタートへ MOX燃料を原子力発電所で使うプルサーマル計画

MOX燃料を通常の原子力発電所（軽水炉）で利用することを日本ではプルサーマルと呼んでいる。日本政府はプルサーマルを推進する方針で、電力会社は2010年度までに16～18基の原子力発電所でプルサーマルを導入することを目指している。

◆欧州を中心に5000体以上の実績  
プルサーマルは、1963年にベル

ギーでスタート。2005年12月末までに、フランス、スイス、ドイツなどヨーロッパを中心に5290体のMOX燃料が使用されてきた。日本でも、1986年から1991年までの間、試験的に日本原子力発電敦賀発電所1号機（福井県敦賀市、沸騰水型軽水炉、35万7000キロワット）と関西電力美浜発電所1号機（福井県美浜町、加圧水型軽水炉、34万

キロワット）の2カ所で合計6体のMOX燃料を使用した実績がある。また、通常の原子力発電所ではないが、研究開発用の新型転換炉「ふげん」（福井県敦賀市、2005年運転終了）で、MOX燃料を700本以上使用した実績がある。

## ◆各地で着々と進む準備

全国の電力会社では、プルサーマルの実施準備を進めている。実施に当たっては、事前に国の安全審査を受けて許可を取得。地元の見解を聞きながら準備が進められている。

事前了解。四国電力伊方発電所3号機（愛媛県伊方町、加圧水型軽水炉、89万キロワット）では、2006年10月に愛媛県と伊方町が了解した。

## ◆2008年に入ってさらに進展

2008年に入り、さらにプルサーマルに関して各地でさまざまな動きが出てきている。

中国電力の島根原子力発電所2号機（島根県松江市、沸騰水型軽水炉、82万キロワット）は、2月26日に経済産業省原子力安全・保安院による安全審査が終了。中部電力浜岡原子力発電所4号機（静岡県御前崎市、沸騰水型軽水炉、113万7000キロワット）では、2月29日に県が計画を了承した。関西電力高浜3、4号機（福井県高浜町、加圧水型軽水炉、87万キロワット）では、長年中断していたプルサーマルの準備作業を再開している。

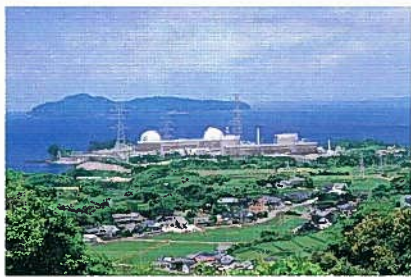
九州電力の玄海原子力発電所3号機（佐賀県玄海町、加圧水型軽水炉、118万キロワット）は、2006年3月にプルサーマル計画について佐賀県と玄海町が

さらに4月23日には、Jパワー（電源開発）が計画している大間原子力発電所（青森県大間町、改良型沸騰水型軽水炉、138万3000キロワット）の原子炉設置を経済産業省が許可、5月に着工した。大間原子力発電所は装荷する燃料をすべてMOX燃料にするもので、当初3分の1の装荷からスタートし、5～10年かけて、燃料をすべてMOX燃料にしていく計画だ。

## プルサーマル計画一覧



電力会社	発電所・プラント名	電力会社	発電所・プラント名
北海道電力	①泊発電所	中国電力	⑦島根原子力発電所2号機
東北電力	②女川原子力発電所	四国電力	⑧伊方発電所3号機
東京電力	③～④基（発電所名未発表）	九州電力	⑨玄海原子力発電所3号機
中部電力	⑤浜岡原子力発電所4号機	日本原子力発電	⑩敦賀発電所2号機
北陸電力	④志賀原子力発電所		⑪東海第二発電所
関西電力	⑤高浜発電所3、4号機	電源開発	⑫大間原子力発電所（建設中）
	⑥大飯発電所1～2基	11社	合計16～18基



玄海原子力発電所  
(九州電力)

# サイクル完結へ 候補地募る 高レベル放射性廃棄物の地層処分

原子力を使う以上、原子燃料サイクルでウランやプルトニウムを取り出し、最終的には廃棄物が出る。この強い放射能を持つ高レベル放射性廃棄物は、深い地層中に処分されることが決まっている。この地層処分の概要や現状などについてまとめた。

## ◆フィンランドはサイト候補地決定

高レベル放射性廃棄物は、再処理工場でガラスと高温で溶かし合わせたガラス固化体にした後、30〜50年冷却。そして地下300メートルより深い安定した地層中に処分する。

さまざまな方法から地層処分が選択された理由は、深い地下の安定した場所が人間の生活から隔離され、かつ放射性物質を閉じ込める性質を持っているからだ。実際、原子力発電を実施している他国でもこの地層処分が選択され、フィンランドや米国ではサイト候補地が決定している。

日本では、原子力発電環境整備機構（NUMO）が実施主体として、サイト候補地を公募している。

## ◆天然バリアと人工バリアで

どうやって高レベル放射性廃棄物を処分するのか。①ガラス固化体②オーバーパック（鉄製容器）③緩衝材（締め固めた粘土）④岩盤——を組み合わせる。このうちガラス固化体、オーバーパック、緩衝材が人工バリア、岩盤が天然バリアになる。

ガラスは放射性物質と一体化し放射性物質が溶け出さないようにする役割がある。オーバーパックはガラス固化体と地下水との接触を防ぐ。緩衝材はオーバーパックの周囲を覆い、水を通しにくくし、放射性物質の動きを抑える。地下深くの岩盤は地下水の移動が極めて遅く、物質を吸着する性質がある。万が一、放射性物質が出て酸素が極めて少ないので、金属が腐食しにくい環境になっている。

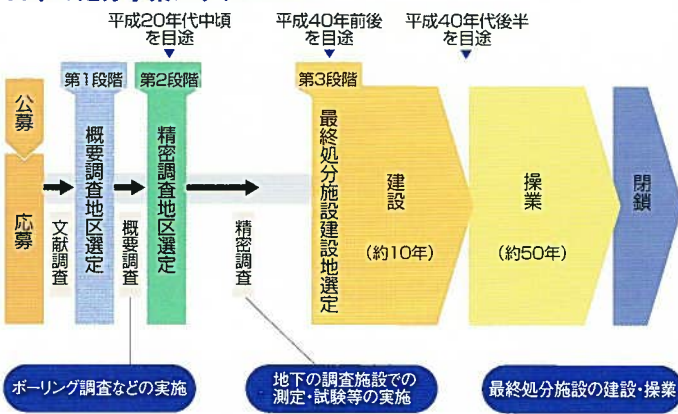
地層処分の一層の安全性向上などに向け、日本原子力研究開発機構（JAEA）など複数の機関で研究開発が進められている。

## ◆サイト候補地選定へ向けて

地層処分では、数万年にわたり放射性物質を人類から隔離する必要がある。このため、処分場は火山や活断層を避

けるなど、安定した地質環境を確保することが必要とされる。選定は3段階で行われ、全国の自治体から応募されてきた中から文献による調査を行い、ボーリングなどの概要調査、地下施設を建設しての精密調査、処分地選定——という流れになっている。文献調査から処分地の選定までは、約20年かけてじっくり行うこととなっている。

## 日本の処分事業スケジュール



## 世界各国の処分事業の進捗状況

