

高レベル放射性廃棄物の解決に向けて 地層処分研究開発

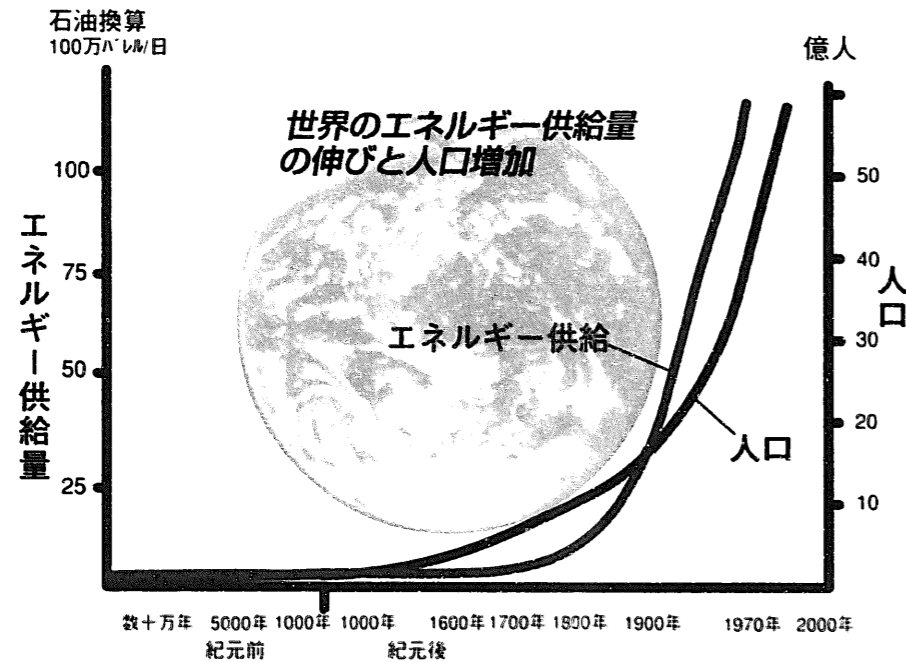


平成10年9月
動力炉・核燃料開発事業団

なぜ原子力発電？

— エネルギー供給量の現状と照らし合わせて —

文明の発展や人口の爆発的な増加とともに、わたしたちが使用するエネルギー量は急激に増加してきました。そしてエネルギー源も薪から、水力、風力、石炭、石油、そして原子力へと多様化してきました。



【出典】「原子力」図面集1997年版、電気事業連合会
U.S. Bureau of the Census資料, 1996
World Population Projection, United Nations, 1992

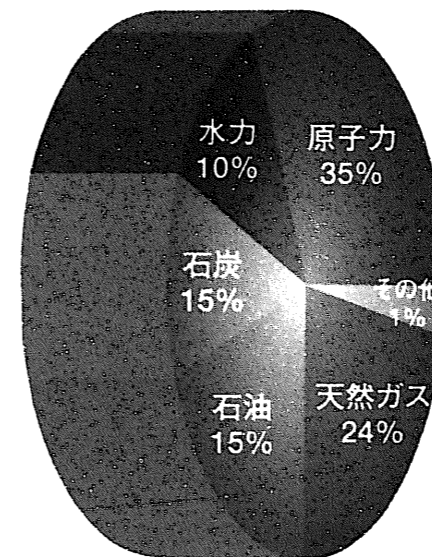
目次

- ① なぜ原子力発電？ — エネルギー供給量の現状と照らし合わせて
- ② 高レベル放射性廃棄物とは？ — 高レベル放射性廃棄物の発生と性質
- ③ 高レベル放射性廃棄物はどうに扱ったらよいのか？ — 貯蔵と処分
- ④ 高レベル放射性廃棄物はどこに処分したらよいのか？ — 処分の方法
- ⑤ 地層処分された高レベル放射性廃棄物が人間に危険をもたらすとすると？ — 接近シナリオと地下水シナリオ
- ⑥ 放射性物質が地下水によって運ばれる？ — 多重バリアにより動きを抑制
- ⑦ 人工的な防護対策は？ — 人工バリア
- ⑧ 地下水の性質と地層のはたらきは？ — 天然バリア
- ⑨ 地層処分の安全性の評価法は？ — 性能評価研究
- ⑩ 地層処分の研究開発はどこまで進んでいるのか？ — 第2次取りまとめ

現在、わたしたちが使用する電気の約1/3が「原子力」で賄われており、いまや原子力はわたしたちの生活を支える柱となっています。現在わが国では省エネルギーが進められていますが、豊かな生活を支えるために電力の消費量は今後ますます多くなるでしょう。

また、エネルギー消費量の増加に伴い、地球温暖化をもたらす二酸化炭素排出等の環境問題もさらに深刻化してくるものと予想されます。その中で二酸化炭素の排出量の少ない原子力発電は、今後とも安定したエネルギーの供給源としての重要な役割を果たすものと考えられます。

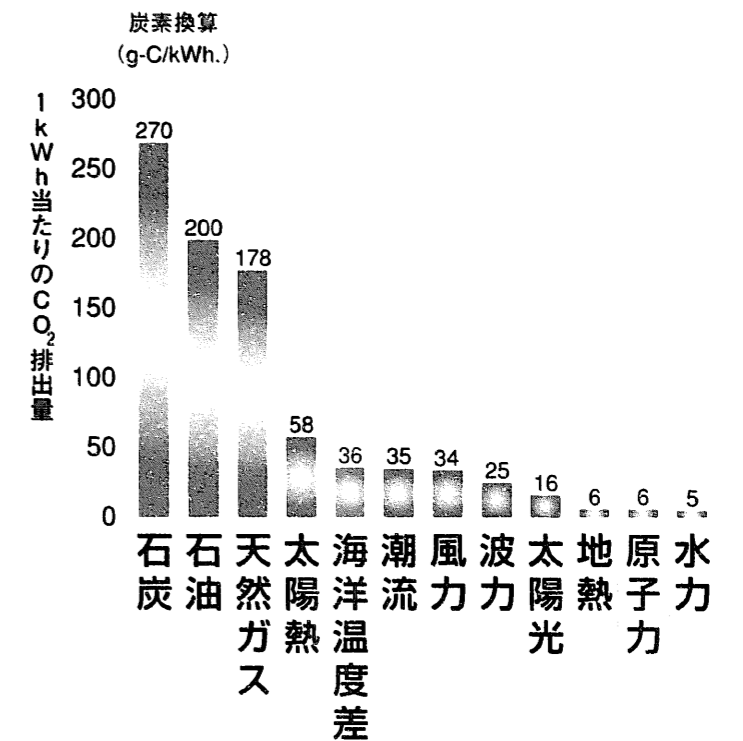
発電電力量の構成比率



平成9年度（推定実績）

【出典】平成10年4月資源エネルギー庁発表資料
(原産マンスリー 1998年6月号、日本原子力産業会議より引用)

各種電力源のCO2排出量



【出典】「原子力」図面集1997年版、電気事業連合会

高レベル放射性廃棄物とは？

— 高レベル放射性廃棄物の発生と性質 —

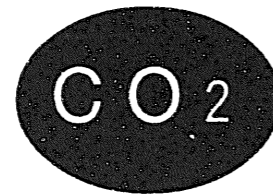
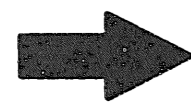
火力発電は化石燃料が燃焼（炭素と酸素が化合）することによりエネルギーが得られるので、必然的に二酸化炭素（CO₂）が発生します。これに対して原子力発電は、ウランなどが反応（核分裂）することによりエネルギーが得られ、その結果使用済燃料が発生します。この使用済燃料から有用な物質を取り除いた後に残るものが高レベル放射性廃棄物です。言い換えれば高レベル放射性廃棄物を発生させることでエネルギーを得ているわけです。このように、エネルギーを得ることと廃棄物が出ることは切り離すことのできない関係を持っています。

廃棄物-火力発電vs原子力発電

100万kW級の発電所一年間の運転では？

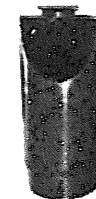
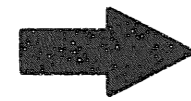
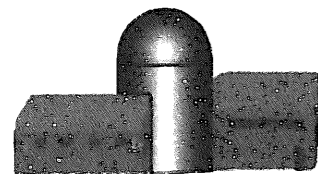


火力発電所



二酸化炭素
500万トン
(石油火力)

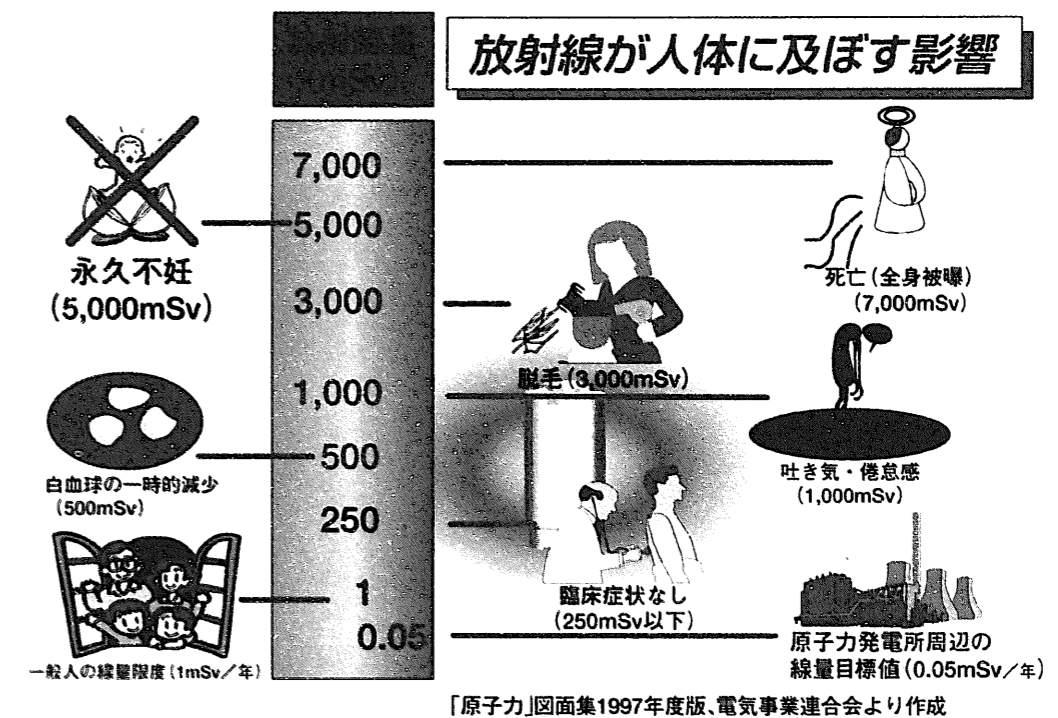
原子力発電所



高レベル放射性
廃棄物
ガラス固化体30本
(約9トン)

【出典】 地層処分研究開発の概要（1996）
動力炉・核燃料開発事業団

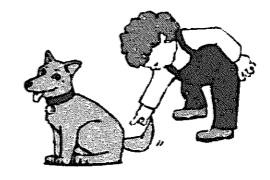
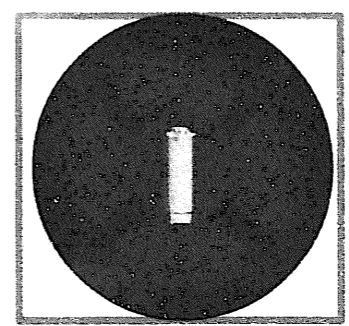
高レベル放射性廃棄物は多量の放射線を放出しますが、この放射線はその強さにより、わたしたちの体に様々な影響をおよぼします。放射線を遮断するものがないまま近づくと、多量の放射線を浴びることになり危険です。そのため高レベル放射性廃棄物は、適切に管理し安全を確保する必要があります。



「原子力」図面集1997年度版、電気事業連合会より作成

高レベル放射性廃棄物は危険なのは

放射線は遮蔽（しゃへい）物
で止めることができる



高レベル放射性廃棄物はどのように扱ったらよいのか？

— 貯蔵と処分 —

現在高レベル放射性廃棄物は、厚さ1～2メートルの鉄筋コンクリートの施設内で管理しており、放射線を継続的に測定・調査して、周辺への影響がないことを確認しています。



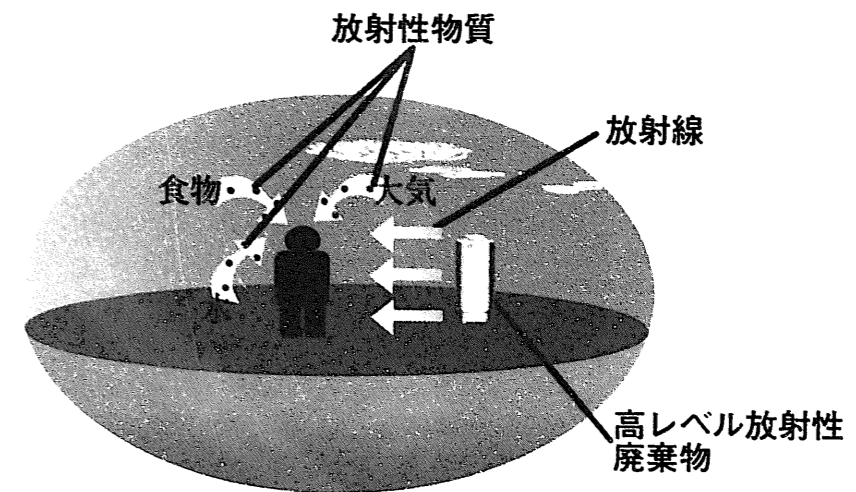
しかし、高レベル放射性廃棄物の放射能が十分に小さくなり、問題とならなくなるまでには、数万年を要します。上記のような方法で放射性廃棄物が放射能を失うまで貯蔵していくと、人の監視を必要とするような管理の仕組みを超長期にわたって維持することが必要になります。この超長期にわたる管理・貯蔵という方法は、将来の世代に責任を負わせることとなりますが、その一方で原子力の恩恵を受けたわたしたちが責任を取るという考え方が国際的に共有されています(国際原子力機関、1989年など)。

高レベル放射性廃棄物の最終処分の安全原則 (国際原子力機関、1989年)

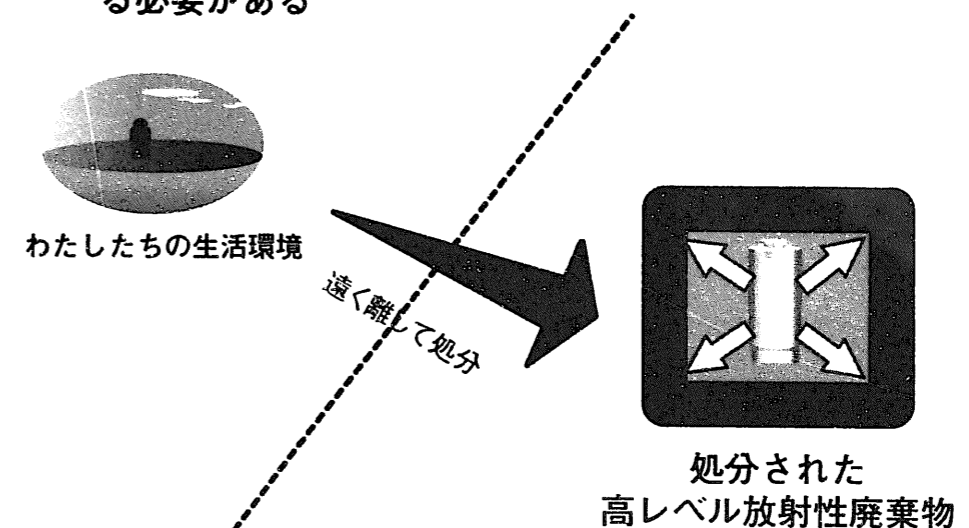
- ① 将来の世代への責任
将来の世代に、処分システムの安全を保ち続けるための責任を負わせたり、処分場が存在することによって大きな制約があったりしないように、高レベル放射性廃棄物を人間とその生活環境から長い間隔離しなければならない。
- ② 放射線学的安全性
人間とその環境の放射線に対する安全は、国際的に受け入れられている放射線防護の原則にそって保障されなければならない。

そこで高レベル放射性廃棄物は、わたしたちの生活環境から遠く離れたところに安全に隔離して処分(人間が継続してコントロールする状態から廃棄物を開放すること)することが必要となります。

高レベル放射性廃棄物を処分する必要性



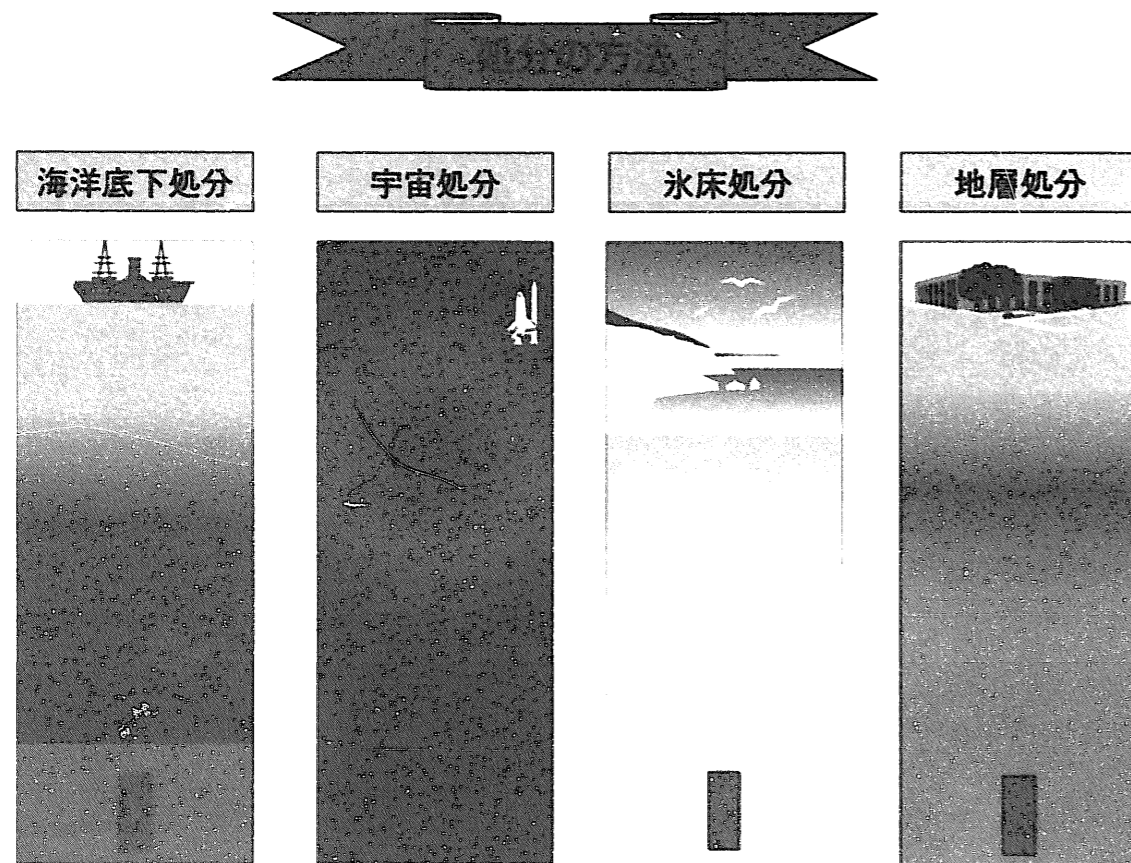
- 高レベル放射性廃棄物がわたしたちの生活環境に影響をおよぼさないよう離れた場所に処分する必要がある



高レベル放射性廃棄物はどこに処分したらよいのか？

— 処分の方法 —

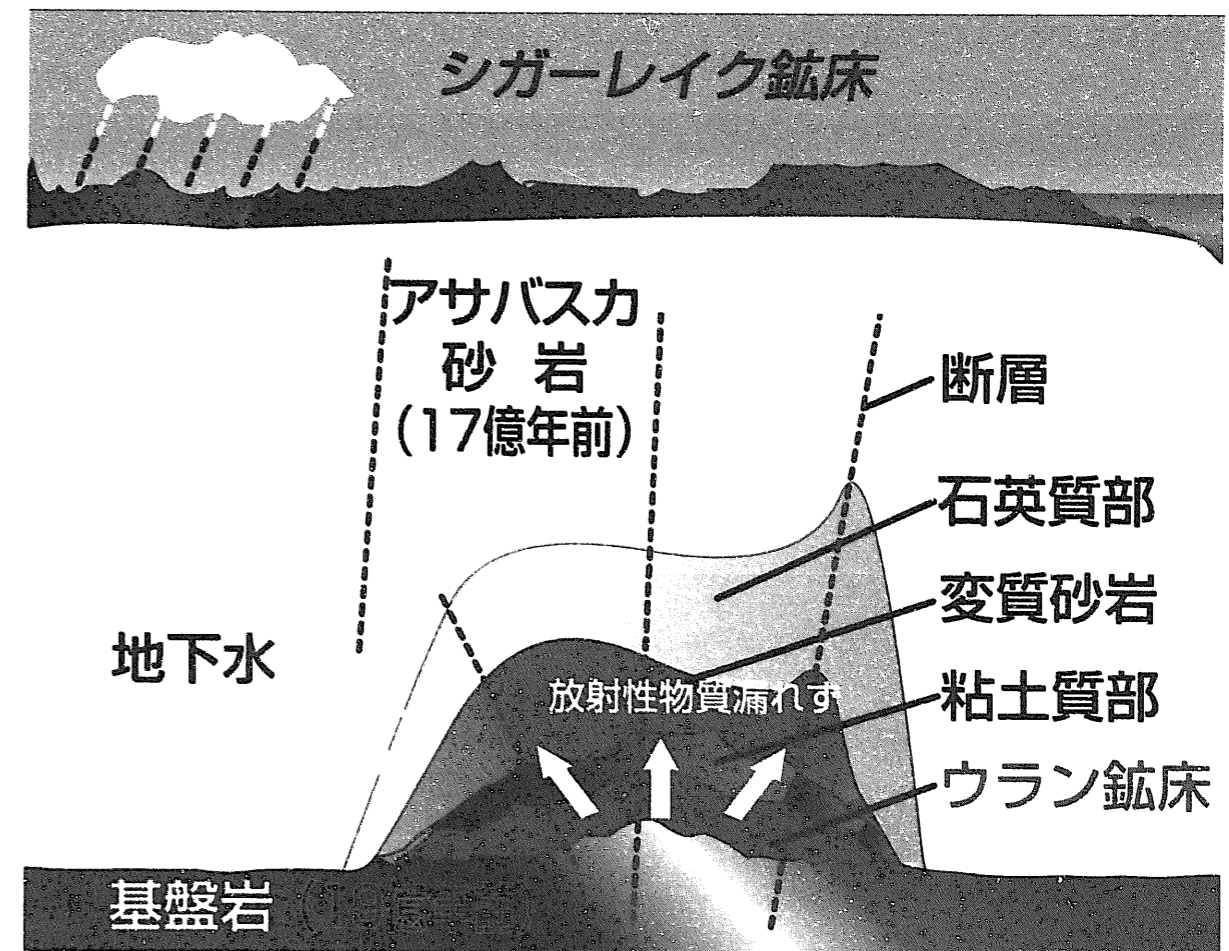
高レベル放射性廃棄物を安全に処分するのに適した、わたしたちの生活環境から遠く離れた場所としては、宇宙空間や、南極の厚い氷の下、深い海の底、地下深い地層の中などが考えられます。



これらの場所のうち、地下深い地層の中はウランその他の金属鉱物などの資源を数千万年から数億年にわたって安定な状態で隔離してきた事実があります。また、地下深部に関する知見は、鉱業の発展や地球科学の研究を通して蓄積されています。そこで、地下深い地層の中に高レベル放射性廃棄物を隔離すること（地層処分）が考えられました。

わが国では、高レベル放射性廃棄物を安定なガラスの形で固めて30-50年間冷却した後、安定な地層に処分することを基本方針としています。

高いウラン含有率で知られるカナダのシガーレイク・ウラン鉱床は、いまから13億年前にできた鉱床で地下430mの砂岩の中にあり、その周辺は厚さ10~50mの粘土鉱物でおおわれています。また鉱床を切る断層には水が含まれていますが、放射性物質が地下水に溶け出し地表へ運ばれた形跡は認められていません。このように深い地層が放射性物質を隔離・保存する能力は、地球の長い歴史からも確認されています。

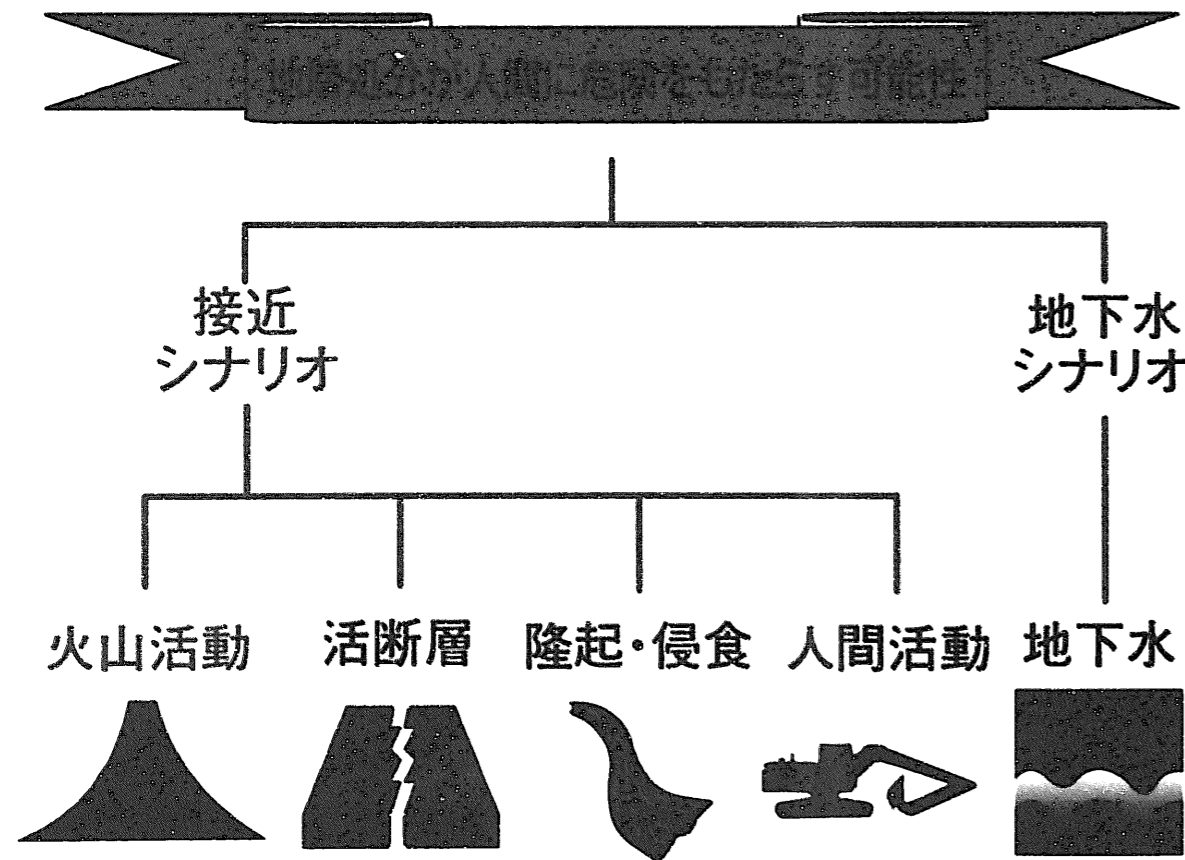


地層処分された高レベル放射性廃棄物が人間に危険をもたらすとすると？

— 接近シナリオと地下水シナリオ —

処分された高レベル放射性廃棄物はそのままでじっとしています。しかし地層処分では、廃棄物の放射能が安全管理上問題にならないほどに減少するまでの長期間、わたしたちの生活環境に危険をもたらさないことを確かなものにするのが不可欠です。そのためには、地層処分した廃棄物がわたしたちの生活環境へ危険をもたらす可能性を探り出し、それらへの対策を施す必要があります。

これらの可能性のあるケースとしては、火山活動、隆起・侵食などの天然現象や資源探査のための試錐・掘削などの人間活動によって放射性廃棄物がわたしたちに近づく場合（接近シナリオ）と、放射性廃棄物が地下水に溶け出してわたしたちの生活環境に運ばれてくる場合（地下水シナリオ）とが想定されます。



地質環境条件の調査研究

地層処分の長期的な安全性を確保するためには、火山活動、断層活動、隆起・侵食および気候・海水準変動などの天然現象の影響が及ばない安定な地層を選び、廃棄物がわたしたちの生活環境に近づく可能性を避けることが重要です。このうち火山は限られた地域に偏って分布しており、日本にも過去数百万年以上火山活動が全く起こっていない地域が広く存在しています（下図）。また、活断層の分布もほとんどが把握されており、活断層のない場所も広く分布しています。隆起・侵食についても地域差がありますが、予想される変化を考慮して処分場を十分に深くすれば安全は保たれます。

一方、わたしたちの子孫が資源探査のための試錐・掘削などを行い、廃棄物に達してしまう可能性については、有用な鉱物資源のない場所を選ぶことで対処することができます。つまり地域を選べばわたしたちの生活環境が接近シナリオで想定されるような危険にさらされることを避けることができると考えられます。そこで処分場の予定地を選ぶときの検討方法を研究（地質環境条件の調査研究）することが重要となるわけです。

火山活動の例



日本は火山国として有名ですが、火山のある場所は限られています。過去数百万年～一千万年前までさかのぼっても火山活動の形跡が見られない場所が存在します。こうした知見に基づけば火山活動のある場所やその影響の大きい場所を避けることは可能であると考えられます。火山活動から小規模な影響を受ける可能性については、処分場の設計段階でのレイアウトで対応することができます。

放射性物質が地下水によって運ばれる？

— 多重バリアにより動きを抑制 —

高レベル放射性廃棄物は地下深い安定な地層に処分されますが、そこにもわずかながら地下水が存在します。放射性物質はそれ自体で動くことはありませんが、周囲の地下水に溶け出し、わたしたちの生活環境に影響をおよぼす可能性を考える必要があります（地下水シナリオ）。この想定に対しては、以下の安全確保の要件を確かなものとするのが大切です。

(地下水シナリオにおける) 安全確保の三要件

・地下水接触の抑制

廃棄物と地下水との接触の可能性を十分低く制限しておくこと

・溶出・移動の抑制

廃棄物が地下水と接触したとしても、廃棄物中の放射性物質が溶け出しにくいようにしておくこと

・環境安全の確認

放射性物質が溶け出したとしても、それが地層を通過して人間の生活圏に到る過程で十分に減衰したり、濃度が低くなることにより人間に影響を及ぼさないことを確認すること

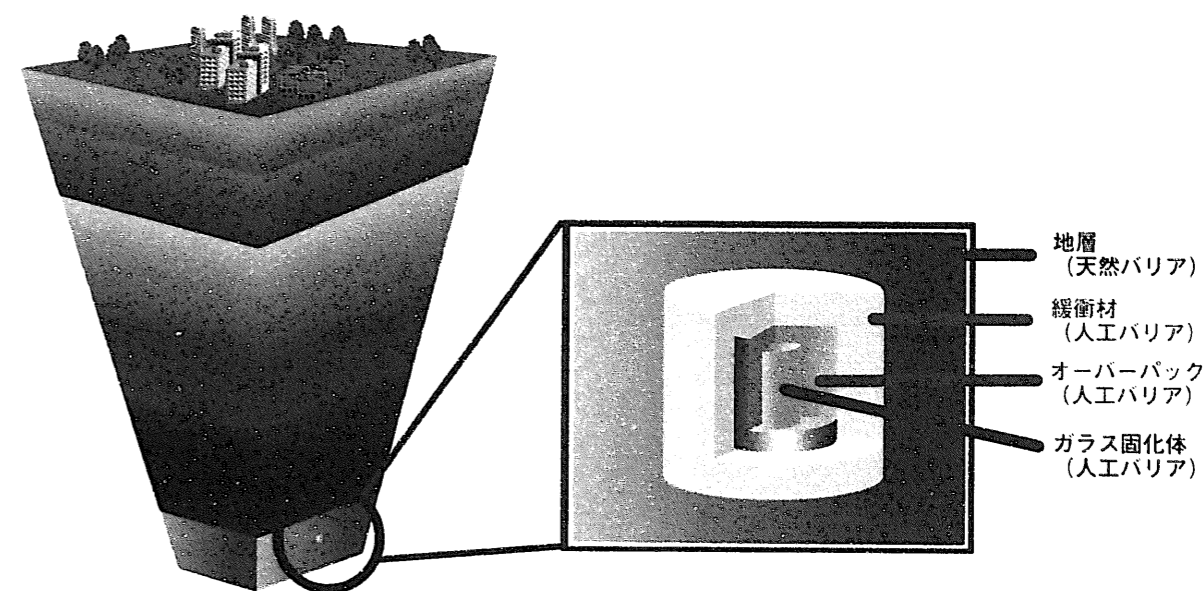
そのための対策としては、廃棄物を囲む多重の容器や防護壁（人工バリア）と、地層が本来的に持つ、物質を隔離・保存する力（天然バリア）を組み合わせて放射性物質の動きを抑える方法（多重バリアシステム）が考えられています。

現在、地層処分の具体的な方法として、①高レベル放射性廃棄物をステンレス容器中で安定なガラスとして溶かして固め、②オーバーバックという分厚い金属容器に密封し、③外側をベントナイトという粘土で覆い、④地下数百メートル以深に埋設する、ことが提案されています。

処分技術の研究開発

前ページの安全確保の三要件にもあるように、地層処分では放射性物質の移動を長期間にわたって抑えておくことができるように、合理的な人工バリアと処分施設の設計や製作・施工に関する研究開発が進められています。

多重バリアシステム



高レベル放射性廃棄物を長期間にわたり地下の安定な地層に隔離し、放射性物質による影響がわたしたちの生活環境におよばないようにするための多層の防護系を多重バリアシステムといいます。これは、工学的な技術により人工的に設けられる人工バリアと天然の岩盤である天然バリアにより構成されます。

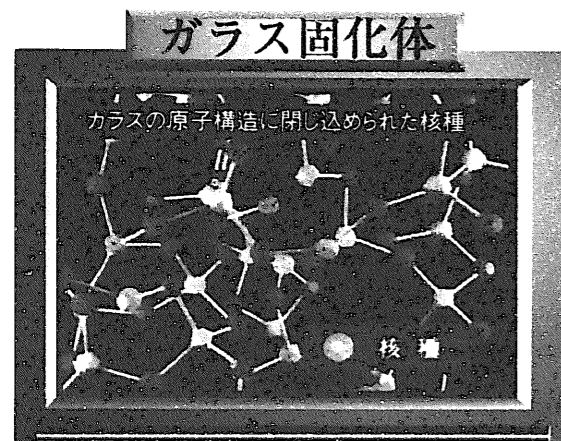
人工的な防護対策は？

— 人工バリア —

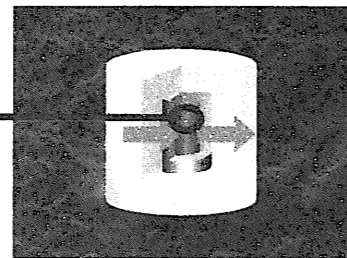
高レベル放射性廃棄物は、三重の人工の防護壁（人工バリア）によって守られています。

高レベル放射性廃棄物は、けい素などと混ぜて高温で融かし、ガラスとして固められます（ガラス固化体）。ガラスは地下水と接しても溶け出しにくく、これまでの調査からガラスの溶ける速さは1,000年間で3ミリメートル程度であることがわかっています。

ガラス固化体のはたらき



ガラス
固化体



- ガラスは放射性物質を安定に取り込み、地下水に溶け出すのを防ぐ

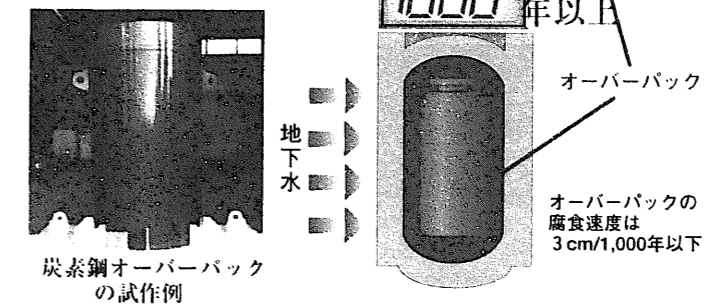
！ ガラスが長期的に安定した物質であることは、数千年前のガラス工芸品や1万年以上前の天然ガラスが健全な形で見つかった例からも実証されている。



ガラス固化体の外側を守るのがオーバーパックと呼ばれる金属製の容器です。鉄製（炭素鋼）の場合、腐食試験の結果や計算結果から推定すると、オーバーパックの腐食は1,000年間で最大でも約3センチメートルということがわかりました。オーバーパックの厚みは、この腐食分や強度などを考慮した上で決められます。

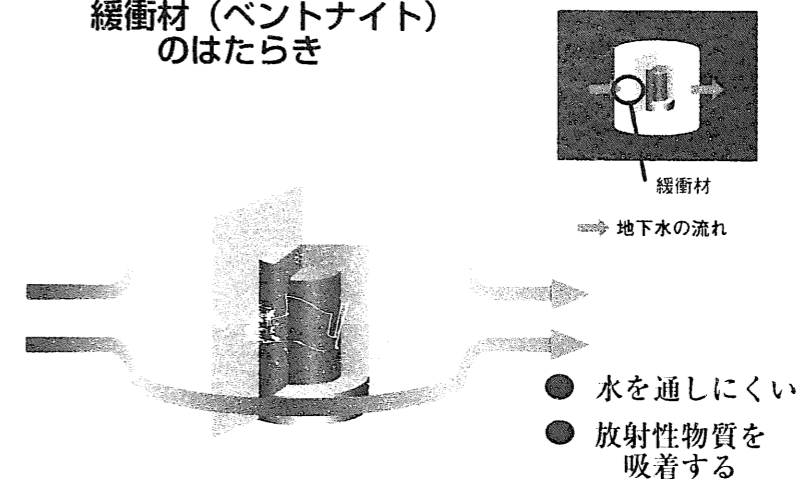
オーバーパックのはたらき

- 処分開始後から長期間ガラス固化体と地下水の接触を防止することで放射性物質が地下水に溶け出さないようにする



人工バリアの一番外側を守るのが緩衝材です。緩衝材にはベントナイトという粘土の一種が用いられますが、ベントナイトは水を通しにくいので、地下水は緩衝材の周りをう回するように流れます。緩衝材の中では水の流れがほとんどないので、仮に放射性物質が地下水に溶け出したとしても移動は極めてゆっくりとしたものになります。また、緩衝材には放射性物質を吸着する性質があるので、その動きはさらに遅くなります。この間に放射性物質の放射能は時間と共に減少していきます。

緩衝材（ベントナイト） のはたらき



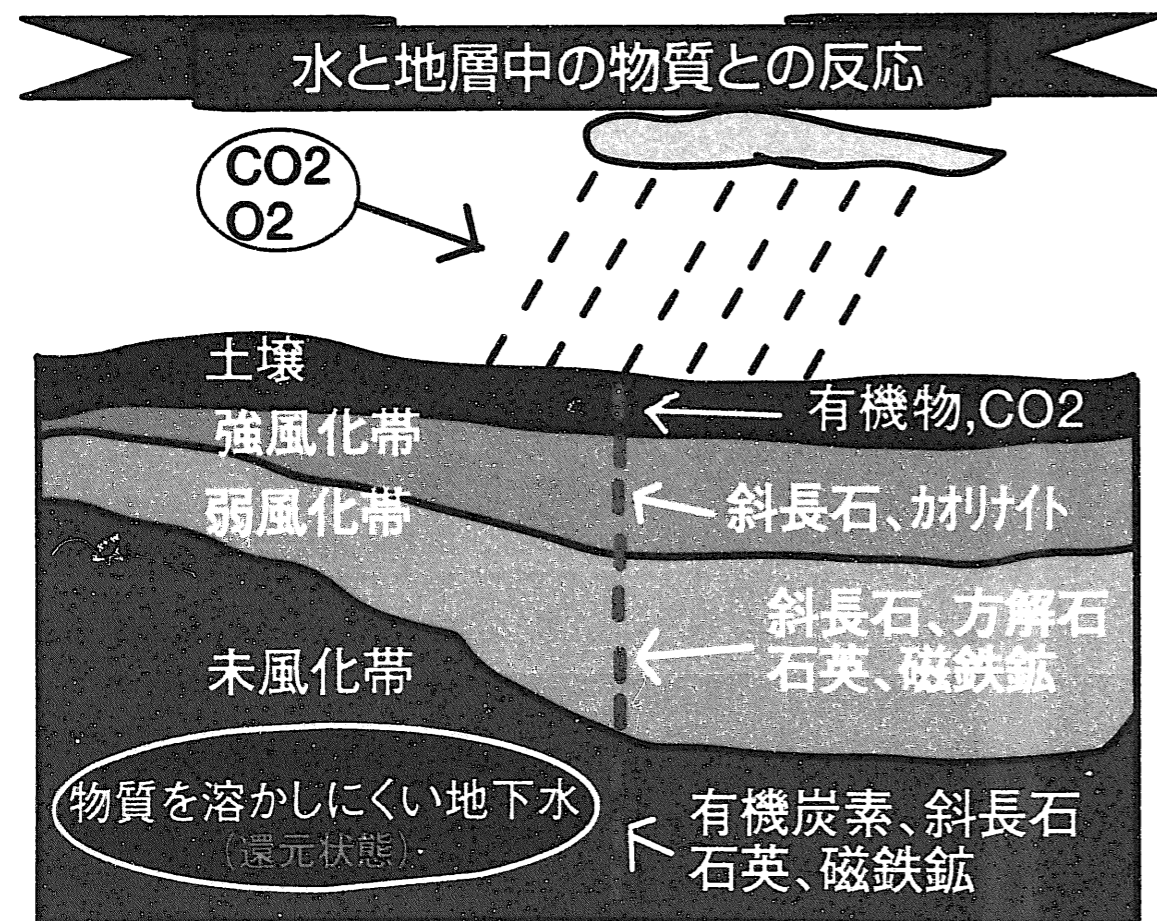
地下水の性質と地層のはたらきは？

— 天然バリア —

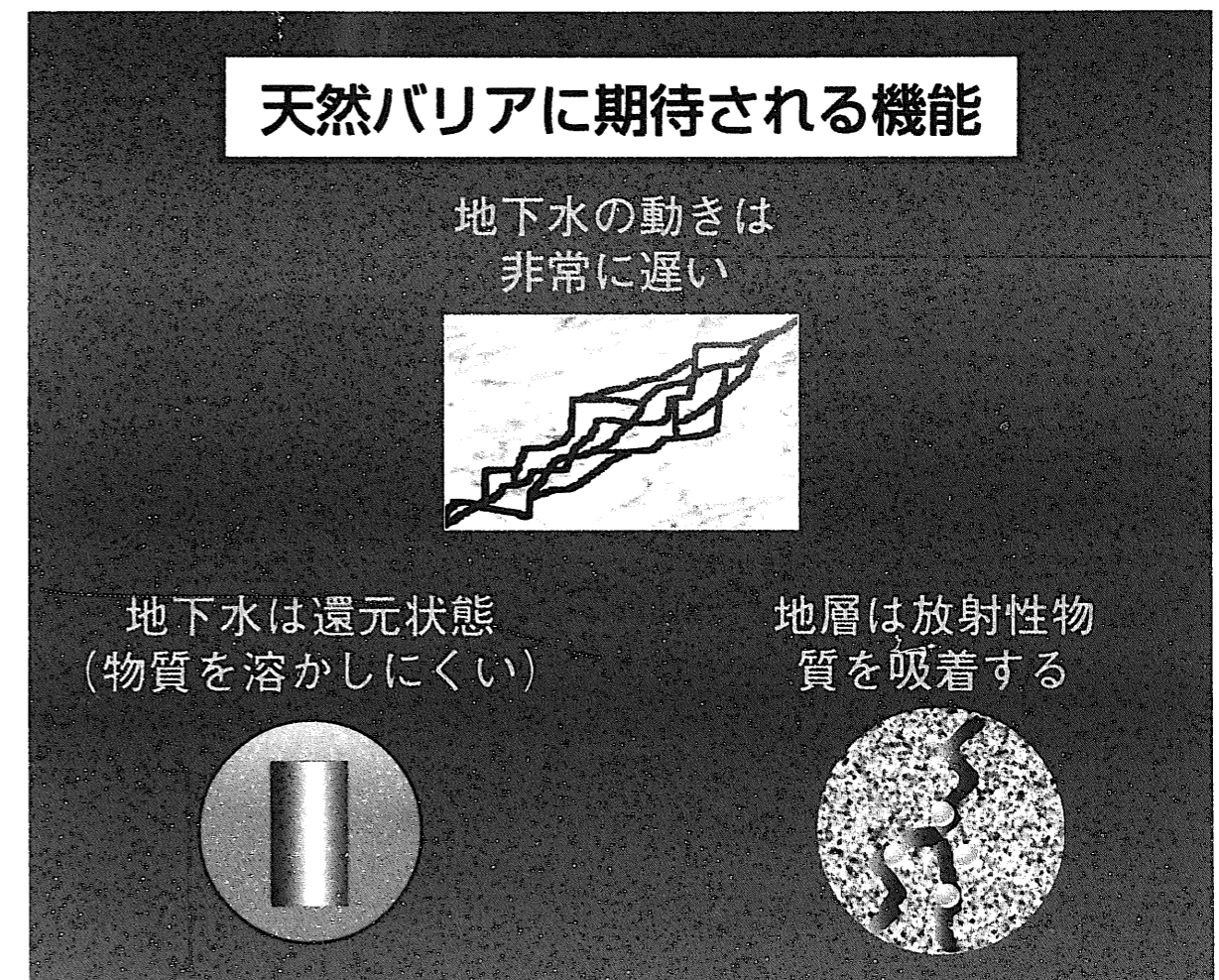
廃棄物中の放射性物質が人工バリアの外に溶け出したとしても数百メートル以上の地層がわたしたちの生活環境と放射性廃棄物の間を隔てています。これまでの調査・研究の結果、深い地層には物質を隔離・保存する力があることがわかっています。

地表にしみ込んだ雨水のほとんどは深い地下までしみ込むことなく、再び地表に出てきますが、一部は地下深くまでしみ込みます。しかし、地下の深いところでは、岩石や堆積物の重みですき間が小さいことなどから、地下水は動きにくく、また量も少なくなります。

さらに水は地下深くにしみ込んでいく過程で岩石の鉱物などと反応するため、地下深くの地下水は、一般に物質を溶かしにくい性質になっています。



これらの性質以外にも、地層には放射性物質を吸着・吸収する性質もあります。したがって、仮に放射性物質が人工バリアを通過したとしても、地層中を移動してわたしたちの生活環境に到達するまでには極めて長い時間がかかります。その間に放射能は安全上問題にならない程度まで減っていきます。

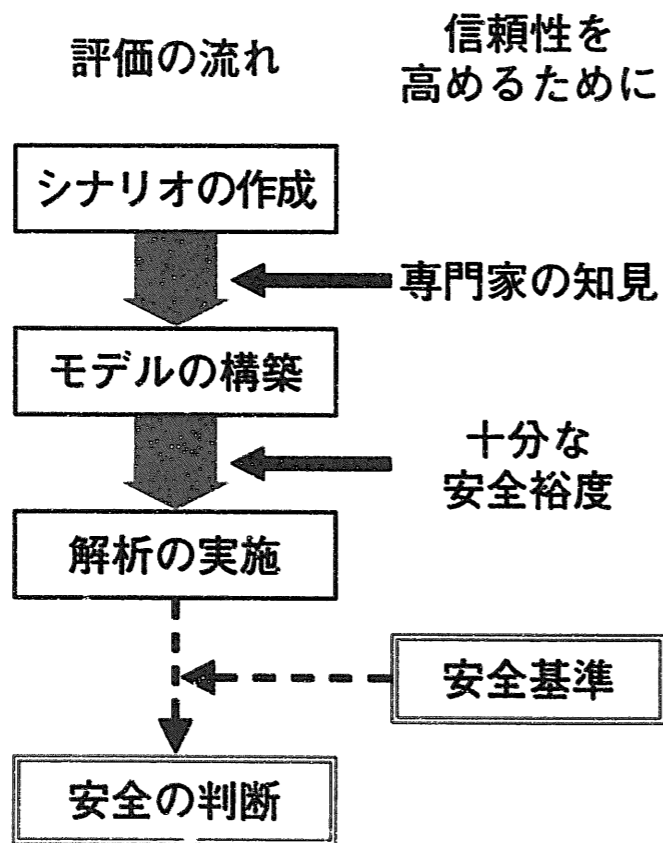


地層処分の安全性の評価法は？

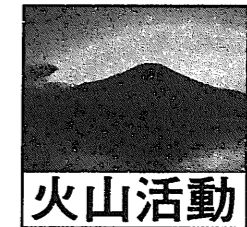
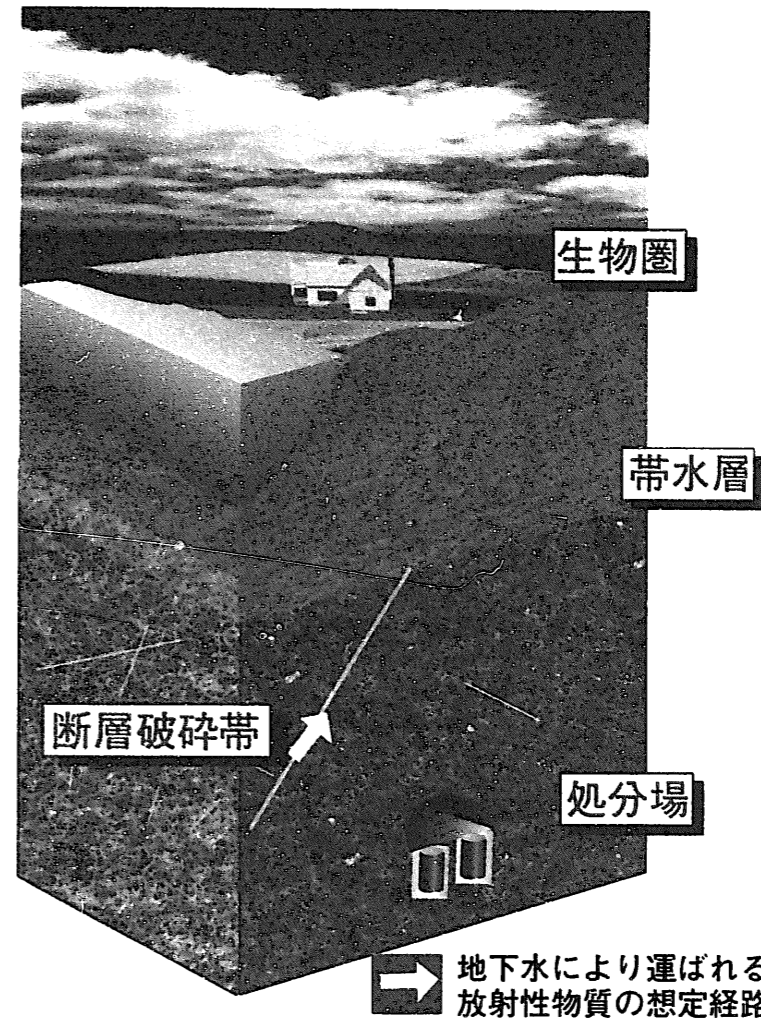
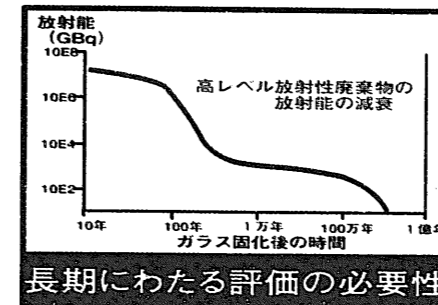
— 性能評価研究 —

地層処分が安全に実施できるかどうかを判断するためには、地層処分全体のシステムがわたしたちの生活環境に及ぼす影響を十分に評価し、安全性を判断する必要があります。地層処分の安全性を考える場合、従来の工学システムを評価する場合と異なり、①数千年・数万年におよぶ、極めて長い期間を考慮しなければならないこと、②割れ目や岩の種類が多い天然の地層という不均質で大きな空間が評価対象に含まれていること、の二点を考慮に入れる必要があります。したがって、他の分野でよく行われるように、試験的なものを作り安全性を確かめるといふわけにはいきません。

この問題への対応としては次のような方法が用いられています。まず、長期間のうちに処分システムの状態を変化させるような状況をもれなく想定し、わたしたちの生活環境への影響を説明する道筋（シナリオ）を作成します。つぎに、シナリオにそって野外観測や実験の結果に基づいたモデルを作り、処分システムが今後どうなるかを予測します。このようにして、地層処分の安全性を評価する研究（性能評価研究）が進められています。



地層処分の性能評価



地層処分の安全性を確保するためには、処分された高レベル放射性廃棄物がわたしたちの生活環境に危険をもたらす可能性が考えられるさまざまなケースを考慮する必要があります。そのためには、①火山活動などの自然現象や人間活動により高レベル放射性廃棄物が直接生活環境に近づくようなシナリオ（接近シナリオ）と、②放射性廃棄物が地下水に溶け出して生活環境に影響を及ぼす可能性に関するシナリオ（地下水シナリオ）について安全性を評価しなければなりません。現在これらのシナリオに基づき、地層処分の安全性を評価する研究が進められています。

地層処分の研究開発はどこまで進んでいるのか？

— 第2次取りまとめ —

現在までの研究開発の結果、多重バリアシステムのはたらきを明らかにするための基礎ができました。動燃事業団では、研究開発の成果を西暦1992年に「第1次技術報告書（第1次取りまとめ）」として国へ報告し、わが国における地層処分の安全確保の技術的可能性を明らかにしましたが、その後の研究成果を2000年前までを目途に取りまとめ、「第2次技術報告書（第2次取りまとめ）」として発表する予定です。






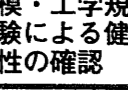


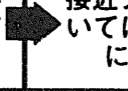
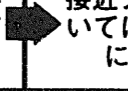




この「第2次取りまとめ」の目標は、「わが国における地層処分の技術的信頼性を示す」と、将来処分場の予定地を選ぶ時、あるいは処分場の安全性を評価する際の「技術的な拠り所」を示すことになっています。そして地層処分の信頼性を示すために、原子力委員会のバックエンド対策専門部会により1997年4月に発表された「高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発の今後の進め方について」に以下のような研究開発の目標が示されています。

- ① 安定な地質環境がわが国に存在することを明らかにすること。
- ② 現実的な工学技術によって人工バリアおよび処分施設が合理的に構築できることを示すこと。
- ③ ニアフィールド*を中心とした処分システムの性能を十分な信頼性をもって評価すること。

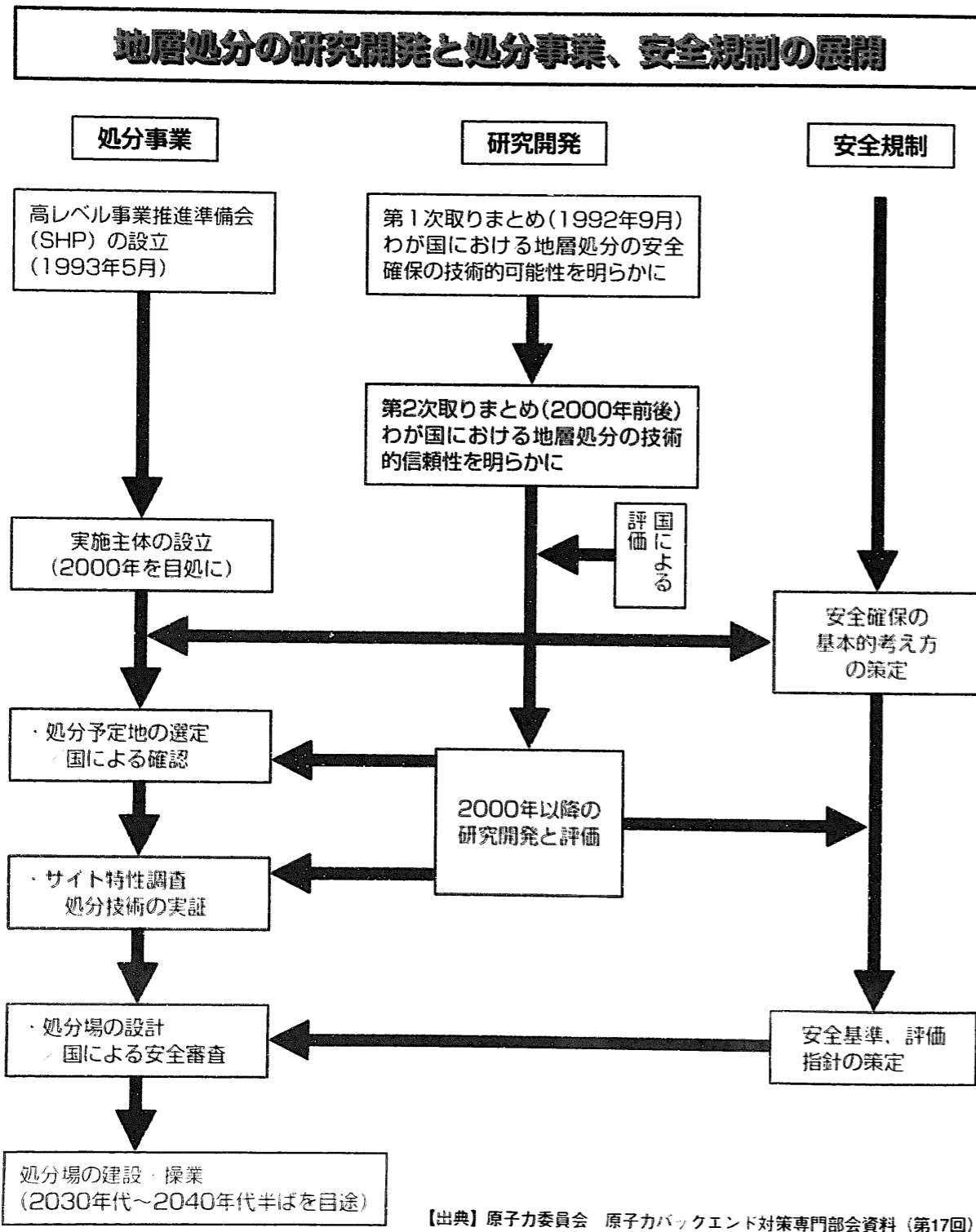
現在動燃事業団は、これらの目標に対応した研究分野（前述の「地質環境条件の調査研究」、「処分技術の研究開発」、「地層処分システムの性能評価研究」）につき研究開発を進めています。「第1次取りまとめ」から「第2次取りまとめ」への研究開発の進展をまとめると次の表のようになります。

(*）ニアフィールド：人工バリアと、その設置などにより影響を受けると考えられる人工バリア近傍の地層とを合わせた領域。

第1次取りまとめから第2次取りまとめへ

	第1次取りまとめ	第2次取りまとめ
地質環境条件の調査研究	地質環境の長期安定性 文献による天然現象の特徴の整理 	事例研究による天然現象の特性と影響の程度と範囲に関する知見の整理 
	地質環境の特性 文献による地質環境の特徴の整理 	地下深部の水理および岩石の特性に関する実測データの充実 
処分技術の研究開発	人工バリア 力学的、熱的安定性の検討等 オーバーパックの試作等 	信頼性の高い合理的な人工バリアの開発 実規模・工学規模の試験による健全性の確認 
	処分施設 設計・施工の要素技術の検討、現状技術の適用性の確認 	信頼性の高い、経済的に合理的な設計手法の検討 
地層処分システムの性能評価研究	シナリオ 安定な地層の存在可能性の見通し 	接近シナリオについてはサイト選定により回避 
	モデル/データ 想定される種々のプロセスを単純化したモデル 	詳細なプロセスを取り入れた現実的モデル 
	システム安全評価 安全確保の見通し 	現実的評価による安全裕度の定量化 

研究開発を含めた地層処分全体の取り組みは次の図のようになっています。



裏表紙

「すいか」と「地層処分研究開発」

みなさんは「すいか」を買う時、どのようにして甘さを見分けるでしょうか？まさか店先でいきなりすいかを割って味見した後で買う買わないを決めることはできないでしょう。まず「すいか」の色を見、重さを量り、叩いて音を聞くのではないのでしょうか。地球の内部を調べるのも似たような手段がとられています。地球の外から全体像を見（人工衛星からの写真や航空写真によるリモートセンシング）、重さを量り（重力測定）、音を調べ（地震波の測定）ます。しかし、これらの手法だけでは地球の内部構造は完全にはわかりません。そこで実際に地下に穴を掘り、地下水や地層分布の調査も合わせて行います。これら様々な方法を用いて調査した結果が地層処分には反映されます。

**動力炉・核燃料開発事業団
環境技術開発推進本部**

本社 〒107-8445 東京都港区赤坂1-9-13
電話：03-3586-3311（代表）
FAX：03-3586-2786

どうねんホームページ：

<http://www.pnc.go.jp/>



どうねん