



高レベル放射性廃棄物の
地層処分研究開発特集

地層処分研究

1. 地層処分研究開発の考え方と進め方

環境技術開発推進本部

資料番号：85-3

Research on Geological Disposal
1. R & D Concept on Geological Disposal

(Radioactive Waste Management Project)

地層処分の目的は、処分された高レベル放射性廃棄物が、人間に影響を与えないようにしなければならない。このためには、地殻変動等による影響が有意でない地層を選び、地下深部における地下水の存在を考慮して、安全確保を図ることが基本である。地下水の存在に対し、幅広い地質環境条件下で多重バリアシステムが長期にわたり所期の役割を果たしうるという見通しを科学的・技術的に示すことが、現段階における地層処分の研究開発を行う上で最も重要である。

現在、原子力委員会が示した重点的に取り組むべき研究開発課題である地質環境条件の調査研究、処分技術の研究開発および性能評価研究の三項目について、性能評価研究を中心に研究開発を進めている。

1. 高レベル放射性廃棄物と深部の地層の特徴

日本において地層処分を行うことを計画している高レベル放射性廃棄物は、再処理の工程で使用済燃料から分離した核分裂生成物等を含む高レベル放射性廃液を、高温でガラスとともに熔融し、ステンレス製キャニスター中にガラス固化体として固めたものである。ガラス固化することにより、溶液状の放射性物質は、化学的に安定で物理的に動きにくい形態となる。

日本においては、10万世帯の家庭が1年間に消費する電力は、約3億kWhであるが、これは、現在の原子力発電所では、約1tのウラン燃料を燃やすことによって生産される。

この1tの燃料を燃やすことによって発生する高レベル放射性廃棄物は、容積にして約100tの固化体1本である。

ガラス固化体には、高い放射能を持つが比較的寿命の短い放射性核種と、放射能は低い但其の寿命が長い核種とが含まれる。比較的寿命の短い放射性核種は、Cs-137、Sr-90等であるが、これらの核種のほとんどは、初期の数百年間で壊変し安定な核種となる。その結果、図1に示すように固化体の放射能は再処理時点に比べて千年後には約数千分の1程

度になる。

また、高いレベルの放射能が減衰した後に、長期にわたって低いレベルの放射能が残る。これらのうち、重要な核種は、Am-241、Np-237等であるが、これらの核種は固化することにより水に溶け難くなり、特に深部の地下水にはさらに溶け難い性質を示す。このためたとえ、固化体から核種が微量溶け出したとしても、深部の地層中では核種の移動の媒体となる地下水の動きがもともとときわめて小さい上に、核種自身が周辺の岩盤および割れ目に詰まって

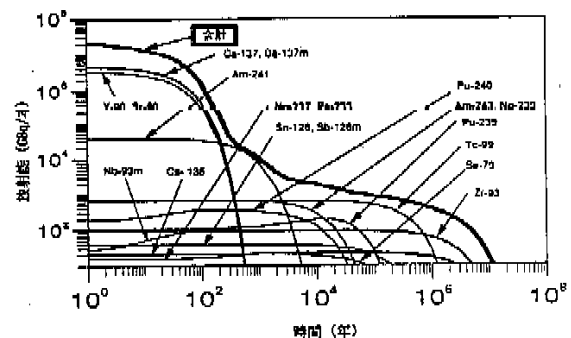


図1 ガラス固化体の放射能の時間変化

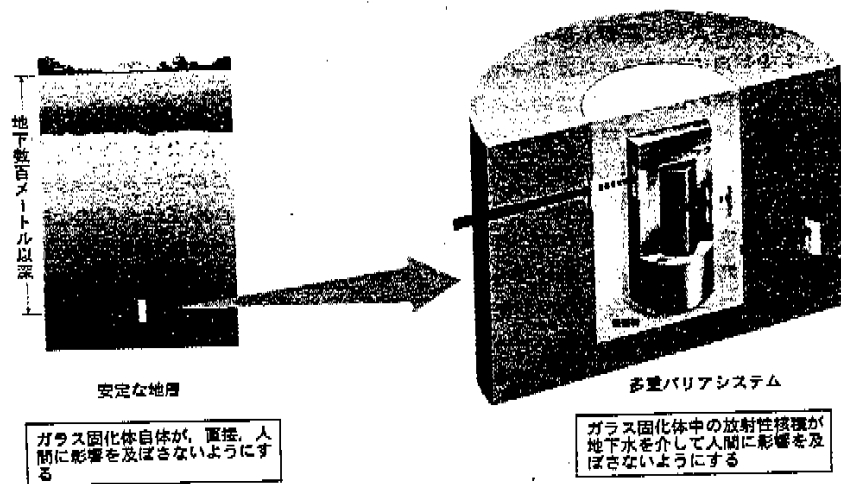


図2 地層処分の安全確認の仕組み(多重バリアシステム)

いる粘土鉱物への吸着ならびに移動経路での沈澱等を起こすことにより、地層中におけるこれらの核種の動きは地下水の動きよりもさらに小さいものとなる。

地層処分の観点から深部の地層は、一般的に、

- ① 地殻に比べてはるかに外的要因による影響を受けにくく、またきわめて長期にわたって安定していること、
 - ② 地層中に存在する地下水は、深くになればなるほど動き難くなること、
- 等の特徴を有している。

2. 地層処分の考え方

地層処分の安全性確保の考え方は、もともと安定な固化体を十分な信頼性を有する適切な手段をもって、人間環境から離れた安定な地層中に埋設することにより、人間の制度的管理を条件とせず、処分した固化体およびその中の核種が、人間とその環境に影響を与えないようにすることである。そのためには次のことが重要である。

- ① 地層の隆起や浸食等により固化体が地表に接近または露出すること、あるいは人間が資源の開発等の目的により固化体に接近すること等の事象に起因して、人間が直接固化体からの影響を受ける可能性を避けるようにすること。
- ② 日本のように地層中に地下水がある場合には、その地下水によって固化体中の核種が溶け出し地表に運ばれる過程を想定しても、人間に影響を及ぼさないようにすること。

すなわち、固化体の埋設場所として、地殻変動等の影響が小さく地下資源の存在する可能性が低い地

層および適切な埋設深度(安定な地層)を選び、このような地質環境が本来備える包蔵性(天然バリア)ならびに、地下水による核種への影響と核種の溶出・移行を防ぐ観点から有効と考えられる人工的な安全防護機能(人工バリア)を機々に組み合わせ、多重バリアシステムを構築することにより安全確保を図ることが地層処分の基本的な考え方である(図2)。

3. 地層処分の研究開発の進め方

3.1 研究開発の重点

これまでの研究開発の結果、多重バリアシステムの諸機能についての各種の知見と研究成果が蓄積され、地層処分の考え方が技術的に可能であるとの見通しを得ている。これらの見通しを、さらに確かなものとするため、より多くの信頼性の高い定量的データを取得し、システムとしての有効性を科学的・技術的に明らかにする研究開発に重点を置いている。

地層処分研究開発の特徴は、

- ① “核種と人工バリアならびに地質環境が長期にわたって複合的に及ぼしあう影響を明らかにする必要があること”。
- ② “処分の安全が遠い将来にわたって確保されていることを、直接経験的に実証するのではなく、科学的な予測手法を用いて証明する必要があること”。
- ③ “研究の対象が地下数百mを超える地下深部までの地質環境特性や、そこで発生する現象とその変化であること”。

等である。

そこで、深部地層の性状や地下水の動き、人工バリア材と地下水との化学反応等について、これらを

支配する法則を見出し、これに基づく解析モデルと信頼性の高いデータを用いた影響解析によって、地層処分の長期的安全確保の仕組みを理論的・科学的に明らかにする研究（性能評価研究）が重要である。この際、天然類似現象の観察および対比（ナチュラアナログ研究）は、これらの予測結果の確かさを裏付ける1つの重要な方法である。日本の条件として、地質環境が多岐にわたり、さらに地層処分の対象となる地質環境が特定されていないので、研究開発にあたっては、日本の代表的な岩種系である堆積岩系と結晶質岩系について、多重バリアシステムを開発していくものとする。

このため、性能評価の研究においては、地質環境の特性を幅広く把握し、人工バリアおよび天然バリアの挙動・性能を評価する研究を行っている。

3.2 研究開発の構成

地層処分の研究開発は、性能評価研究、処分技術の研究開発および地質環境条件の調査研究の3分野に分けて進めている。それぞれの研究開発の内容は以下のとおりである。

(1) 性能評価研究

多重バリアシステムの性能の解析および評価を進めている。具体的には地質環境条件の調査研究の成果に基づく水理および地球化学に関する地質環境条件のモデル化、処分技術の研究開発の成果に基づくニアフィールド（人工バリアと人工バリア周辺の領域）の熱的、水理学的、地球化学的および構造力学的条件の解析、オーバーパックの寿命の解析と評価、ガラス固化体からの放射性核種の溶出、緩衝材中ならびに天然バリア中の核種の移動の研究を行っている。中でも当面は、ニアフィールドの性能に係わる研究開発を中心として進めている。

(2) 処分技術の研究開発

諸外国における研究の成果も参考にしながら、地層処分システムに要求される性能が確保できるような人工バリアの設計、製作および施工技術、ならびに処分施設の設計、建設、操業等の要素技術の関する工学的検討を行い、それらの具体例を示すとともに、その技術的有効性を検討する。なお検討にあたっては、経済性等の側面からの最適化は将来の課題とし、安全性の観点を重視している。

(3) 地質環境条件の調査研究

岩石の種類と地域を特定することなく、全国的な視野で、地層の分布、地質構造、岩石の化学的性質や力学的、熱的特性等の物理的特性、地下水の水理や地球化学的特性等を広く調査研究し、日本全体の地質環境の概略について地層処分の観点から把握す

ることを進めている。

地質学的現象のうち、火山の噴火や活断層のように一定の期間についてその発生に地域性が認められるような現象については、その活動状況を概括的にとらえることを進めている。一方、地下水に関する地質環境条件については、可能な限り全国的な視野から地層の種類や深度を幅広くとらえて、情報の収集、整理を進めている。

さらに、地質環境の変化についての調査、研究ならびに地質環境の調査技術の開発を行っている。これらの調査および研究にあたっては、これまでに蓄積されてきた学術的、技術的研究による知見やデータを文献を最大限に活用するほか、動燃事業団で行っている地層の科学的な研究（地層科学研究）の成果も取り入れている。

4. 日本の地層処分システムの技術的有効性評価の進め方

先に述べたように、高レベル放射性廃棄物に含まれる放射性核種の中には、人間とその生活圏に有意な影響を及ぼす可能性のある放射能をきわめて長い期間にわたって持続するものがある。したがって、処分が開始された後のきわめて長い期間を考慮すると、さまざまな可能性について検討しておかなければならない。

日本における地層処分の技術的有効性を明らかにしその具体化を目指していくためには、まず日本の条件に適した地層処分システムの構成に対し、研究開発によってその妥当性を確かめていく必要がある。地層処分システムの妥当性を検討する際の課題には、国際的に共通的に考えられるものと各国において個別に検討されるべきものがあると考えられる。

これらのうち国際的に共通的に考えられるものの例として、地層処分が行われた場所への隕石の衝突や人間の侵入をあげることができる。隕石の衝突は場所を問わず地球上でランダムに発生する現象であることから、国内における研究の成果に加えて諸外国においてこれまでに行われてきた評価例などの知見を日本においても適用できるものと考えられる。それらの成果や評価例によれば隕石の衝突が地層処分システムの性能に影響を及ぼす可能性は、無視し得るほど小さいと考えられる。また、人間の侵入については、安全評価上どのように考えていくべきかが国際的な場で検討されており、その結果を日本においても適用していくことが考えられる。それらを参考にしつつ、今後検討していくことが望ましい。

日本における地層処分については、火山の噴火や地殻の変動といった現象を考慮して、このような現

象の発生する可能性が十分に低く、また仮に発生したとしても地層処分システムへの影響が十分に低いと考えられる適切な地質環境条件の下に実現されるべきである。適切な地質環境条件の評価は、最終的には地域や岩種を限定して実施されるべきものであり、地域を特定することなく進めるという当面の研究開発段階においては、適切な地質環境条件の評価するための手法を整備しておくことが重要であると考えられる。

一方、上記のような現象に比べ地下水の存在については、地域や岩種によらずより一般的な現象であるという前提に立ち、多重バリアシステムをその対策とすることとした。図2に示したような多重バリアシステムが、地下水の存在に対して働くしくみは以下のとおりである。

地層処分に適切な地質環境の下では、一般的に地下水の量は限られており、その動きも緩慢である。地下水は人工バリアの最も外側の部分を構成する緩衝材に接触することになるが、緩衝材は本質的に水をほとんど透さないことから、人工バリア内部への地下水の浸透は大幅に制限される。さらに緩衝材の内側には、堅固な材料で出来たオーバーパックがあり、緩衝材に包まれた状況では材料の腐食もきわめて遅い。このように緩衝材とオーバーパックはガラス固化体に向かおうとする地下水の動きを妨げる。

地下水は、緩衝材とオーバーパックを経た場合に初めてガラス固化体に接触する。しかしながら、このような地下水は、本来、酸化物を溶かしにくい地球化学的性質を有するので、ガラス固化されることにより酸化物形態となっている放射性核種は地下水中に溶出しにくい。また、ガラス固化体に到達する地下水の量が限られていることから、溶出する放射性核種の量は制限される。さらに放射性核種が地下水中に溶出して移動しようとしても、再び緩衝材によってその動きは妨げられることになる。緩衝材中での水の動きはきわめて緩慢であり、放射性核種は主として拡散によって移動すると考えられるが、緩衝材には放射性核種を吸着しやすい性質があり、それによっても放射性核種の移動の程度は大幅に制限され、その間に放射性核種の減衰を期待することができる。

人工バリアを通過した放射性核種は天然バリア中に移行する。地層処分は地下水の量が少なく、またその動きが緩慢であるような地質環境条件において実施される。これに加えて、放射性核種は地下水の通り道に存在する鉱物との間に、吸脱着のような相互作用をしながら移動するため、放射性核種の動きは地下水の動きに比べてもさらに大幅に遅くなり、放射性核種の崩壊による減衰を期待することができ

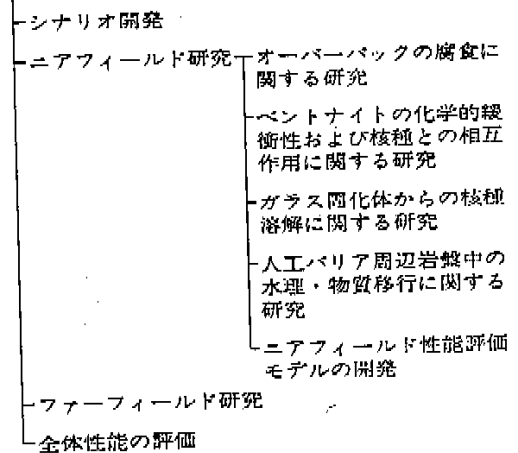
る。さらに、地下水に含まれる放射性核種は様々な方向に分散しつつ地層中を移動する間に、次第に希釈されていく。

上記のように多重バリアシステムは、地層処分された高レベル放射性廃棄物中の放射性核種が、地下水によって人間とその生活圏に有意な影響を与えないようにするための種々の重要な役割をきわめて長期にわたって担うものである。地下水の存在に対し、適切な地質環境条件の下に構築される多重バリアシステムが長期にわたり所期の役割を果たし得るという見通しを得ることは、現段階における地層処分システムの技術の有効性の評価を行ううえで最も重要であると考えられる。

平成元年度に公表された原子力委員会報告書「高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発の重点項目とその進め方」は、動燃事業団の進める研究開発の指針となっている。この報告書は研究開発の推進にあたり、その重点として、地層処分についての国民的理解を得ることの重要性に鑑み、多重バリアシステムの性能を明らかにするとともに、これに基づいて長期間にわたり安全性が確保できるような技術的方法を具体的に示していくことを定めている。

以後のセクションにおいて、これまで述べてきた三つの研究開発課題に対する研究状況の概要を、それらの中で中心的な位置づけを持つ性能評価研究から順次紹介していく。本報告書に対応する各研究項目の全体構成を以下に示す。

● 性能評価研究



● 地質環境条件の調査研究

● 処分技術の研究開発

- 人工バリア技術の研究開発
- 処分施設の技術開発

(環境技術開発推進本部 処分研究グループ
内藤守正、梅木博之)