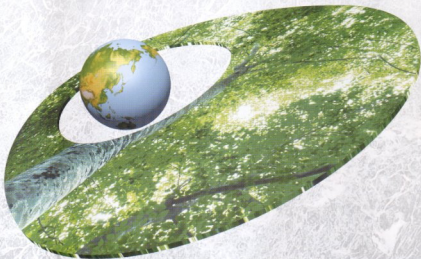


# 地球に学び、 人の英知を集めて

ウランから生じガラスに姿を変えた  
高レベル放射性廃棄物は、再び大地へ

地層処分研究開発  
第2次取りまとめ



生活環境から、完全に隔離する。

ガラス固体系オーバーパック

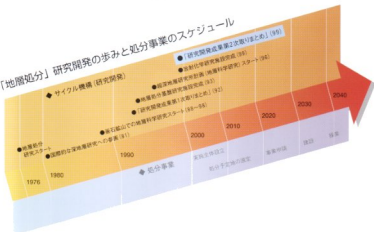
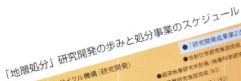
金属缶

核分裂のエネルギーを利用する原子力発電によってウランから生じた高レベル放射性廃棄物は、安全を確保するため、安定なガラスに固められ（ガラス固化体）、施設の中で一時的に貯蔵管理されます。その終止上げとして、日本では、生活環境から切り離し永久に遠ざける「地層処分」を行うことにしています。

この方針に基づき、「地層処分」の研究開発が行われてきました。

## 「地層区分」の概念

深い地層中に、高レベル放射性廃棄物を安定な形態にしたガラス固結体、オーバーバック（金属製容器）、緩衝材（粘土を主成分とした材料）といった人工バリアで包み、さらに周囲の地層を天然バリアとして利用し、生活環境から切り離します。これを「多層バリアシステム」といいます。



# 「地層処分」の信頼性を示すために

- 日本に「地層処分」に適した地層はあるのでしょうか？
- 「地層処分」を行う技術はあるのでしょうか？
- 「地層処分」は安全なのでしょうか？

サイクル機構は、これらの問いに応えるため、国の方針に基づき、研究協力などによって得られたこれまでの成果を、「第2次取りまとめ」として集大成しました。



## 総論レポート：

3つの研究分野の技術的成果（第1分冊～第3分冊）を総合的に取りまとめ、「日本でも地層処分が技術的に十分信頼性をもって行えること」、「今後、地層処分を温めていく際の技術的な掘り所が得られたこと」を示しています。



## 第1分冊：

「日本の地層は処分に適した場所はあるのか？」という問いに答えて、地層や地形に刻まれた過去から現在までの記録に関する情報などをまとめています。



## 第2分冊：

「地層処分を行う技術はあるのか？」という問いに答えて、実際に「地層処分」を行う時の人工バリアの設計・施工および、処分場の建設・操業などの技術、管理の考え方をまとめています。



## 第3分冊：

「地層処分は安全なのか？」という問いに答えるもので、処分した後、地層中で起こる現象やその影響を予測する方法、安全性の検討の結果をまとめています。



## 別冊：

「第2次取りまとめ」の参考としていただくために、地層処分の背景となる情報をまとめたものです。日本が「地層処分」を基本方針に選んだ経緯、国内外の関連情報、今後の進め方などを紹介しています。



# なぜ、「地層処分」が選ばれたのでしょうか？

高レベル放射性廃棄物を長期間にわたって生活環境から切り離しておくために、さまざまな方法が考えられてきました。現在では、「地層処分」が最も確かな安全確保の方法として、各国で取り組みが進められています。

## 未来の世代に「負の遺産」を残さないために

ウランを発電に使った結果、発生する高レベル放射性廃棄物の放射能の量は、数万年で燃料を作るのに要したウラン鉱石全部の放射能の量と同程度にまで下がります。今と同じように人が貯蔵管理するとなれば、ずっと先の世代まで、施設の維持管理を引き受けてもらうことになります。しかし、このような長期にわたって続いた社会制度も技術も前例がありません。

したがって生活環境から遠ざけ、切り離しておくことで、人が関わらなくても安全に処分できる方法が検討されてきました。人の生活環境から遠く離れた場所とは、宇宙空間、深海の地積層の下、南極の厚い氷の下、深い地層の中などです。

ウランの変遷



## 最善の対策として選ばれた「地層処分」

現在は、多くの国が多重バリアシステムによる「地層処分」を行うことが最も良い手段と考えています。

### 「地層処分の選択理由」

- 廃棄物を人が管理をする必要がないこと
- 廃棄物を処分する地層の特徴が比較的良好に知られ、安全性を示すことができる可能性が高いこと
- 廃棄物を自国の中で処分できること
- 現状の科学や技術で廃棄物の処分を実現できること
- 必要があれば廃棄物をもう一度取り出せる可能性が高いこと



街なかに突然ライオンが現れたら危険です。しかし、動物園でしっかり管理してやれば、人に危害を加える心配はありません。高レベル放射性廃棄物もライオンと同様にしっかり管理している国は心配ありませんが、ライオンと比べるとはるかに寿命が長いので、長期的な対策が必要です。



2000年レポートチーム  
部長 増田さん

数万年は触れないで下さい



# 大地に残された 過去からのメッセージ

日本列島は多数の火山があり、地震や断層活動も多いところです。それゆえに、世界的にみても火山の活動や地震を起こす断層の活動などがよく調べられている地域でもあります。「自然に学ぶ」こうした研究を通じて、火山活動や断層活動などの影響が少なく、地下水や岩が「地層処分」に適した条件を備えた地層が、広く存在することがわかりました。

## 日本に安定といえる地層はあるのでしょうか？

46億年の地球の歴史からみれば、文明が栄えている時間は一瞬です。「地層処分」で考えなければならない数万年という時間、地球の歴史からみれば、つかの間のことです。

地質学の世界では、約170万年前から現在までの時代を「第四紀」と呼んでいます。この時代は地層や地形にさまざまな自然現象の記録が保存されているのでよく調べられています。特に過去数十万年については、火山活動や断層活動が起こった場所や活動の規則性が明らかにできるようになってきています。

そうした「自然に学ぶ」研究を通じて、少なくとも今後十万年程度にわたって火山活動や断層活動などの影響が十分に小さい場所、つまり「地層処分」に適した安定な地層を見つけることも可能になってきました。



身近に見ることができる約10万年前から堆積した第四紀の地層の例（千葉県印西市木下くさおろし）。

「例えば、火山から

噴出したものが分布している場所や

年代を丹念に調べることによって、過去百万年以上の間に、日本で火山活動が起こった地域はほとんど変わっていないといったことなどが専門家の皆さんの協力でわかってきました」

2000年レポートチーム

総合化グループ 研究主幹 清水さん



## 地下深い地層には、どのような性質があるのでしょうか？

「地層処分」が対象とする深い地層は、地表に近いところに比べて、岩や地下水の性質・働きなどが大きく異なります。

例えば、深い地層は地下水が浸透しにくい性質があります。また、深い地層中の地下水は物質が溶けこみにくい性質をもっています。わずかに溶け込んだ物質も、岩の割れ目などを通る間に、その表面にくっついたり、岩の中にしみ込んだりするので、地下水によって物質が速くに運ばれるにはきわめて長い時間がかかります。このように、深い地層は放射能を閉じ込めるのに都合のよい条件を多く備えています。

これらのことは、これまでの地質学などの研究でも知られていましたが、実際に東濃地域や釜石鉱山での地層科学研究で確かめることができました。

## 日本列島周辺のプレートと、主な火山の分布



鉱山の坑道を使った研究風景

## 地表と深い地層との地震の揺れの比較

〔三陸はるか沖地震〕  
〔釜石鉱山で計測〕



深いところほど、地震による揺れは小さい。

## 成果（地質環境の特徴）

- 火山・断層活動や著しい隆起・侵食が起こるような場所は限定できる。
- 深い地層の中の地下水は酸素がなく、物質を溶かしにくい性質があり、岩の割れ目の表面には物質をくっつけて動きを遅らせる効果がある。
- 深い地層では温度や圧力も大きくなるが、「地層処分」のための坑道の建設や操業に問題はない。

## ナチュラアナログ

### 一天然にある地層処分によく似てできごとー1

岐阜県東濃鉱山のウラン鉱床は、地下百数十メートルに広がっています。およそ1000万年前にできたもので、その後の断層活動などによって上下に30メートルほどずれていますが、ウランが地下水に溶け出して移動した痕跡はほとんど認められません。ウラン鉱床付近に存在する地下水は1万数千年前の雨水で、酸素が含まれていません。地下深い地層には物質を閉じこめる性質があることを示す一例です。



東濃鉱山で採取されたウラン鉱石。中央の黄褐色の鉱層にウランが富んでいる。

# 今ある技術でできる

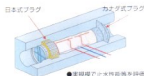
カナダとの施工技術の国際共同研究



カナダの地下420mに設けた試験坑道

「地層処分」では、性質などがよくわかっている材料と、現状で利用可能な技術をもとに、長期間必要とされる性能を確保できる処分施設や人工バリアを設計・施工できることを示しました。

## 「地層処分」を行う技術はあるのでしょうか？



「第2次取りまとめ」では、東濃地域や釜石鉱山での地層科学研究、東海事業所地層処分基盤研究施設（ENTRY）での研究成果や、諸外国における研究成果などにより、地層に関する情報や人工バリア材と地層および地下水との関係、廃棄物中の成分の動きなどの知識が深まりました。このことで、十分な安全性を保ちつつ「第1次取りまとめ」より、人工バリアの厚みなどを大幅にスリムにすることができました。

坑道の掘削や埋め戻しも、現在の土木工事で実績のある技術で十分行うことができます。

## 人工バリアの模型

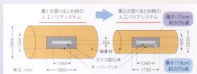


## 成果（工学技術）

- 「第1次取りまとめ」に対し、人工バリアを約50%スリム化しても十分な安全性を保つことができた。
- 現在の技術で、人工バリアの製作・施工、処分場全体の設計・施工・操業、及び品質管理ができることを示した。
- 処分場を閉じる時の判断に必要な、水質や水圧などの計測項目などの技術的な情報を明らかにした。



処分孔たて置き方式



処分した後の遠い将来のことは直接見ることはできません。したがって、「地層処分」の影響については、地質環境の研究や人工バリア技術の研究などから得られた最先端の情報や知識を組み合わせることで、その安全性を科学的に予測し、確認します。

## 「地層処分」は安全なののでしょうか？

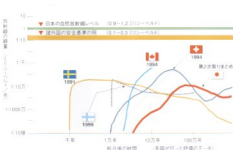
地層処分の安全にかかわるさまざまな要素をもれなく洗い出して、「もし、こうなったらどうなる」というシナリオを世界中の専門家の協力を得て作成しました。

つづいて、さまざまなシナリオに対して、コンピュータを駆使して解析する新しいシステムを活用し、安全性を確かめました。この結果は、考えうるさまざまなケースに対しても安全であり、日本の自然にある放射能のレベルや諸外国が示している安全基準の値を下まわり、「遠い将来にわたって生活環境に影響が及ばない」というものでした。

この画像は、地層の複雑な地質の中を動く地下水の計算例です。科学的な証拠を積み上げて、予測によって安全性を評価するのが「地層処分」の特徴です。

### 安全評価結果の国際比較

影響が最大になる場合は、スウェーデン、スイス、カナダ、フィンランドと同等のものでした。



2000年レポートチーム  
総合セグメントリーダー 梅本さん

### 成果（安全評価）

- 処分後どうなるかを表すシナリオを確立した。
- シナリオを構成する個々の現象を、実験室などで確かめることによって、シナリオに沿ってコンピュータで解析できるようになった。
- さまざまなシナリオについて解析した結果、処分後のいくつかの時点でも、生活環境に影響のないことがわかった。

### ナチュラアナログ

#### 一天然にある地層処分によく似たできごと②

この銅管は、平成6年に大阪府の下田遺跡から出土した約1800年前の弥生時代のもので、稲藁束と似たような粘土質の土壌に埋められた状態では、1000年間でも最大でも1ミリ程度しか腐食は進んでいませんでした。銅もオーバークックの材料の一つとして検討されています。



下田遺跡から出土した銅管  
(財)大阪府埋蔵文化財調査

# 成果が伝える次への展開

「地層処分」をどのように行うかは、将来の世代に先送りすることなく、現代の社会で議論され決められなければならない課題です。

## これからを考えるために

「第2次取りまとめ」では、多くの科学的に精度の高い証拠や、国内外での専門家によるチェックなどの客観的な評価と検討を積み重ねることで、信頼性を高め、日本においても地層処分が可能であることを示すことができました。

これらの成果は、実際に処分を行う機関が、処分地を選定する際や国が安全基準を決める際の技術的な拠り所の一部となるものです。今後は、この取りまとめに示した成果について、国による評価が行わ

れ、これからの研究開発の方向性が示されることになっています。

「地層処分」は、最終的に社会の総意として選択されるものです。サイクル機構は、これからもその判断材料を提供していく必要があると考えます。深地層の研究施設や地層処分基盤研究施設、放射化学研究施設には、社会へより多くの確かな情報を提供していくためにも重要な役割があると考えます。

サイクル機構では、インターネットや説明会などを通じて、「第2次取りまとめ」や今後得られる成果を、皆さんに広くお伝えしていきます。



OECD-NEAによる国際レビュー集議



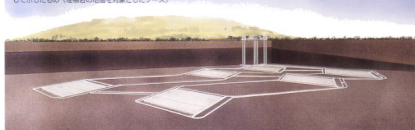
研究現場での国際交流の風景



研究開発報告会の風景

## 地層処分場の設計例

「第2次取りまとめ」で、ガラス固化体40000本の処分場として示したもの（堆積岩の地層を対象としたケース）



<http://www.jnc.go.jp/kaihatu/tisou/tisou.html>

本冊子に関するお問い合わせ・ご意見などは、以下にお断いたします。

核燃料サイクル開発機構 2000年レポートチーム 情報普及グループ

〒100-8245 東京都千代田区丸の内1-1-2 (NKKビル)

TEL (03) 5220-3311 (代表) FAX (03) 3212-2020

このホームページから、地層処分インターネットフォーラムや総合評価システムのホームページにもご案内しています。

サイクル機構と共同研究を行っている機関などのリンク集です。

#### A. 海外諸機関

##### 1. 米国

DOE (米エネルギー省) <http://www.doe.gov/>

OCRWM (放射性廃棄物管理局) <http://www.rw.doe.gov/>

Yucca Mt Project (ユッカマウンテン・プロジェクト) <http://www.ymp.gov/>

WIPP Project (ウィップ・プロジェクト) <http://www.wipp.carlsbad.nm.us/>

NRC (米原子力規制委員会) <http://www.nrc.gov/>

EPA (米環境省) <http://www.epa.gov/>

NEI (原子力エネルギー協会) <http://www.nei.org/>

ORNL (オークリッジ国立研究所) <http://www.ornl.gov/>

LBL (ローレンス・バークレイ国立研究所) <http://www.lbl.gov/>

LLNL (ローレンス・リバモア国立研究所) <http://www.llnl.gov/>

SNL (サンディア国立研究所) <http://www.sandia.gov/>

ANS (米原子力学会) <http://www.ans.org/>

LANL (ロスアラモス国立研究所) <http://www.lanl.gov/external/>

PNL (パシフィック・ノースウェスト研究所) <http://www.pnl.gov/>

##### 2. カナダ

NRC (カナダ天然資源省) <http://www.NRC.ca.gc.ca/home/>

AECI (カナダ原子力公社) <http://www.aeci.ca/>

AECB (カナダ原子力規制委員会) <http://www.gc.ca/aecb/homepage.htm>

CEAA (カナダ環境評価局) <http://www.ceaa.gc.ca/>

CNS (カナダ原子力学会)

<http://www.science.mcmaster.ca/cns/www/cns/cns.html>

##### 3. 英国

BNFL (英核燃料公社) <http://www.bnfl.co.uk/>

NIREX (ナイレックス) <http://www.nirex.co.uk/>

##### 4. フランス

Cadarache (カダラッシュ研究所) <http://www.cad cea.fr/>

EDF (仏電力庁) <http://www.edf.fr/>

SFEN (仏原子力学会) <http://www.eerie.fr/>

ANDRA (放射性廃棄物管理機関) <http://www.andra.fr/>

CEA (フランス原子力庁) <http://www cea.fr/>

##### 5. ドイツ

FZK (カールスルーエ原子力研究センター) <http://www.fzk.de/>

KFA (ユーリッヒ原子力研究所) <http://www.kfa-juelich.de/>

BfS (連邦放射線防護庁) <http://www.BfS.de/>

DBE (ドイツ廃棄物処分施設・運転会社) <http://www.dbe.de/>

##### 6. スウェーデン

SKB (スウェーデン原子燃料廃棄物管理会社) <http://www.skb.se/>

SKI (スウェーデン原子力発電検査局) <http://www.ski.se/>

##### 7. スイス

PSI (ポール・シェラー研究所) <http://www.psi.ch/>

NAGRA (スイス放射性廃棄物管理協同組合) <http://www.nagra.ch/>

##### 8. ベルギー

HADES Project (ヘデス・プロジェクト) <http://hades.sckcen.be/>

##### 9. フィンランド

TVO (林業関係電力会社) <http://www.tvon.fi/>

Posiva Oy (ポシバ社) <http://www.posiva.fi/>

#### 10. 国際機関

IAEA (国際原子力機関) <http://www.iaea.or.at/>

OECD / NEA (ヨーロッパ経済協力機構 / 原子力機関)

<http://www.nea.fr/>

EU (ヨーロッパ共同体) <http://europa.eu.int/>

ウラン協会 <http://www.ulondon.org/>

#### B. 国内諸機関

##### 1. 省庁

科学技術庁 <http://www.sta.go.jp/>

通商産業省 <http://www.miti.go.jp/>

##### 2. 研究協力機関 (地層処分研究開発協議会)

日本原子力研究所 <http://www.jaeri.go.jp/>

通商産業省工業技術院地質調査所 <http://www.aist.go.jp/GSJ/>

科学技術庁防災科学技術研究所 <http://www.bosai.go.jp/>

電力中央研究所 <http://criepi.denken.or.jp/>

原子力環境整備センター <http://www.rwm.or.jp/>

高レベル事業推進準備会 <http://www.shp-jp.com/>

##### 3. その他原子力関係機関

原子力安全研究協会 <http://www.nsra.or.jp/>

日本原子力産業会議 <http://www.jaif.or.jp/>

日本原子力文化振興財団 <http://www.jaero.or.jp/>

科学技術庁放射線医学総合研究所 <http://www.nirs.go.jp/>

原子力発電技術機構 <http://www.nupec.or.jp/>

Ri - 研究所等廃棄物事業推進準備会 <http://www.isotopia-jp.com/>

##### 4. 電力

北海道電力 <http://lavender.hepco.co.jp/>

東北電力 <http://www.tohoku-epco.co.jp/>

東京電力 <http://www.tepco.co.jp/>

中部電力 <http://www.chuden.co.jp/>

北陸電力 <http://www.rikuden.co.jp/>

関西電力 <http://www.kepco.co.jp/>

中国電力 <http://www.energi.co.jp/>

四国電力 <http://www.yonden.co.jp/>

九州電力 <http://www.kyuden.co.jp/>

電気事業連合会 <http://www.fepc.or.jp/>

電源開発 <http://www.epdc.co.jp/>

日本原子力発電 <http://www.japc.co.jp/>

日本原燃 <http://www.jnfr.co.jp/>

