

高レベル放射性廃棄物処分に向けての
基本的考え方について
－参考資料－
(案)

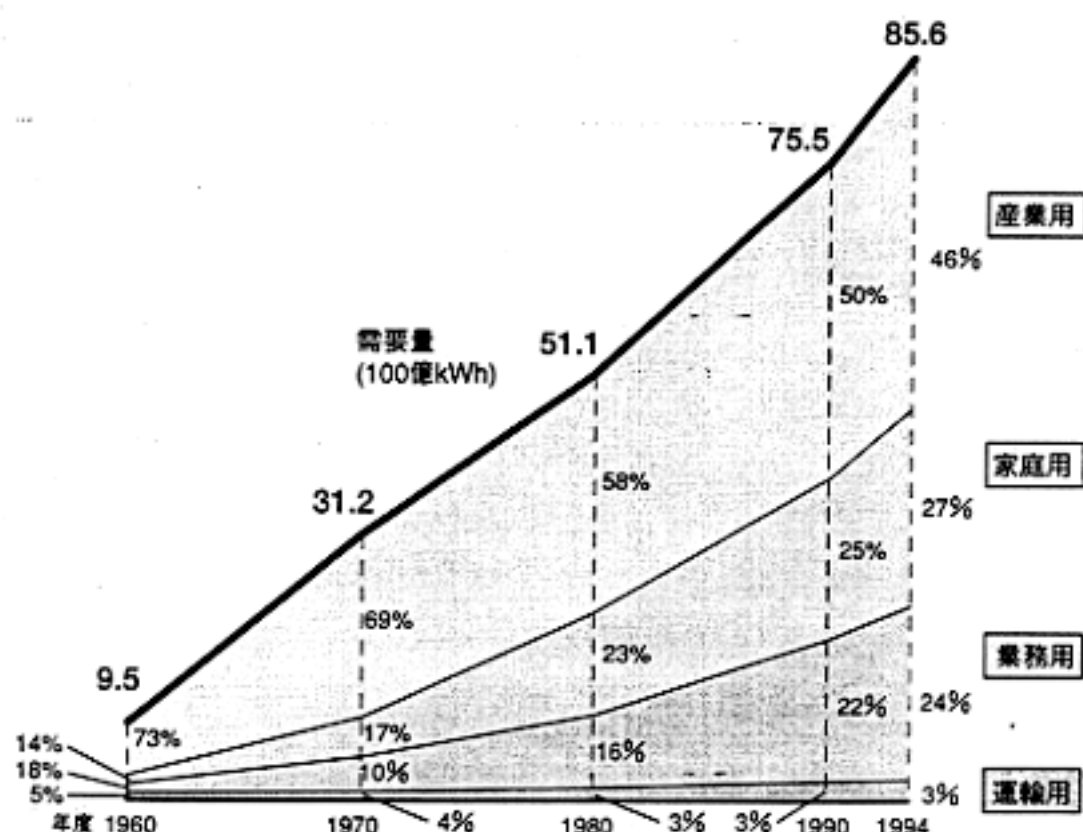
平成9年 月

この資料は、高レベル放射性廃棄物処分懇談会報告書「高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について（案）」について、多くの方々に理解を深めていただくため、懇談会事務局がとりまとめたものです。

目 次

電力の用途では近年家庭用・業務用の需要が伸びています	1
わが国の発電の方式	2
発電の方式によって必要となる燃料の量が大きく異なります	3
発電の方式によって放出される二酸化炭素の量が大きく異なります	4
大気中の二酸化炭素濃度の上昇が地球温暖化の原因の一つといわれています	5
わが国で1年間に発生するいろいろな廃棄物の量	6
核燃料サイクルとは	7
核燃料サイクルから発生する廃棄物	8
高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）ができるまで	9
ガラス固化体は30年から50年間程度冷却のため貯蔵されます	10
高レベル放射性廃棄物の放射能は時間とともに減衰します	11
高レベル放射性廃棄物に含まれる放射能量の時間変化	12
高レベル放射性廃棄物の放射能の減衰	13
なぜ「地層処分」なのか？	14
高レベル放射性廃棄物はわれわれの生活圏から離れた深い地層中に隔離します	15
高レベル放射性廃棄物は何重ものバリアで保護されます	16
処分場の概要と大きさ（例）	17
高レベル放射性廃棄物の処分場の建設から閉鎖まで（例）	18
高レベル放射性廃棄物の埋設	19
処分費用試算	20
高レベル放射性廃棄物処分研究開発等関連の政府予算の推移	21
高レベル放射性廃棄物処分に関わる海外の動向（その1）	22
高レベル放射性廃棄物処分に関わる海外の動向（その2）	23

電力の用途では近年家庭用・業務用の需要が伸びています



【各部門の主な内訳】産業部門：第1次産業、第2次産業

家庭部門：家庭

業務部門：第3次産業、産業部門のうちの管理部門

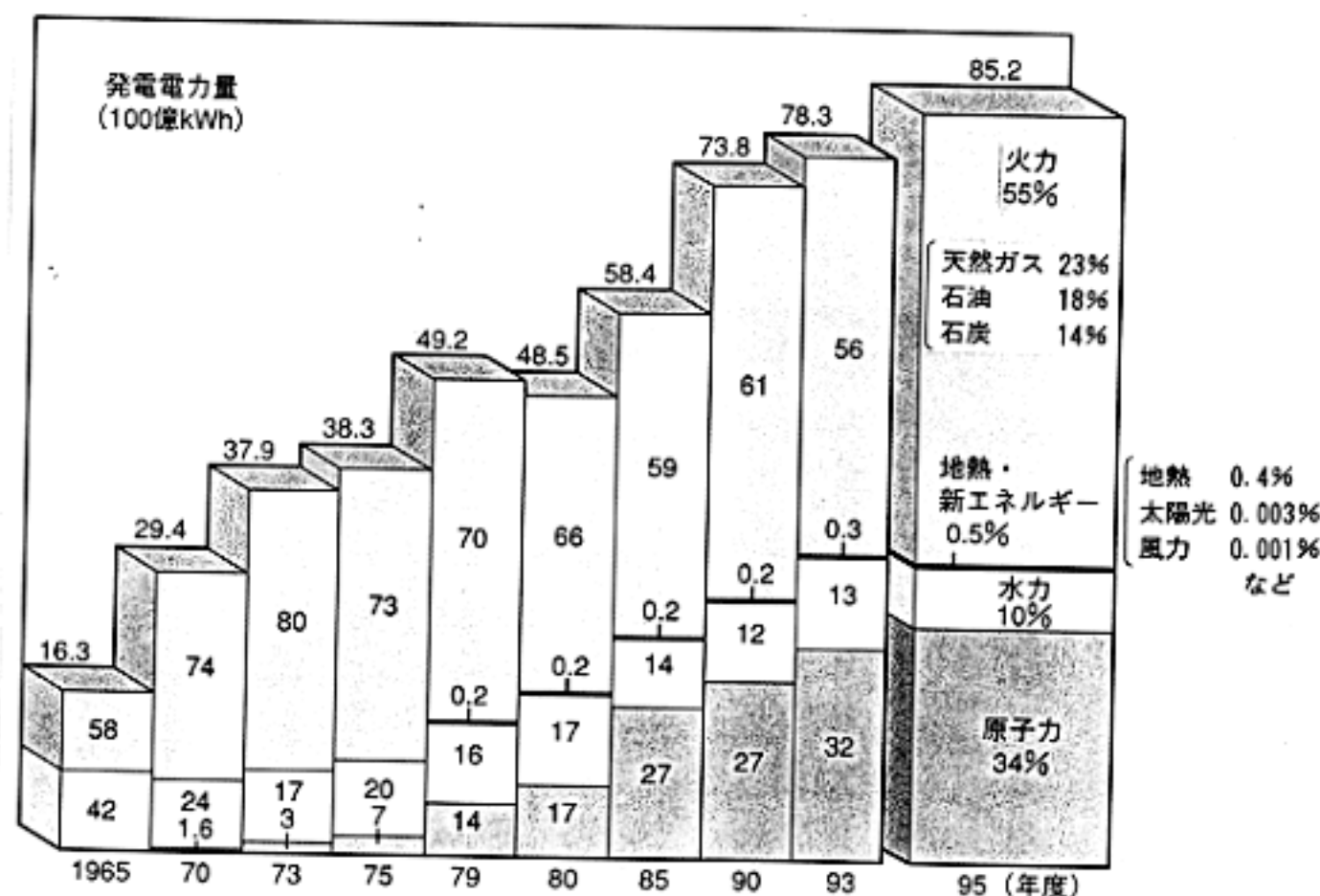
運輸部門：運輸業、自家用運輸

わが国の電力需要量とその内訳の推移

電力需要の内訳をみると、家庭用やオフィスなどの業務用の電力の増加が目立っています。これは、近年の居住空間の快適性の追求など国民の生活向上のニーズが高まる中で、新たな家電製品の普及や機器の大型化などにより、電気の消費量が年々増加しているためと考えられます。

わが国の発電の方式

火力（天然ガス・石油・石炭）	： 55%
原子力	： 34%
水力	： 10%
地熱・新エネルギー	： 0.5%

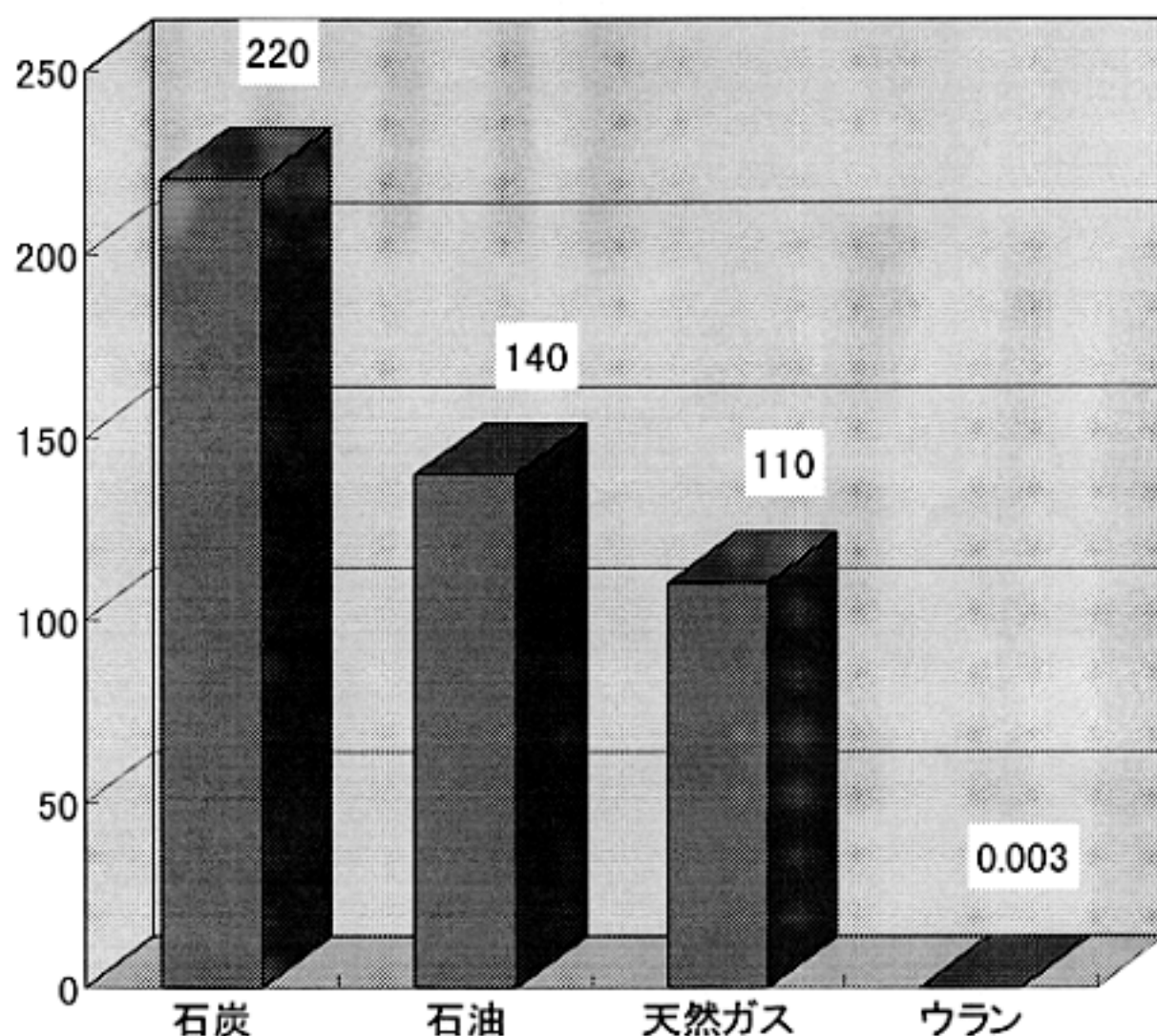


わが国の発電電力量の推移

わが国の発電は、水力中心の時代から、次第に火力中心の時代となり、その後、オイルショック以降、高価で供給の不安定な石油に代わって原子力、天然ガス、石炭などの石油代替エネルギーを用いた発電の割合が増加してきました。1995年度には、原子力が34%、火力が55%、水力が10%程度の割合となっています。

発電の方式によって
必要となる燃料の量が大きく異なります

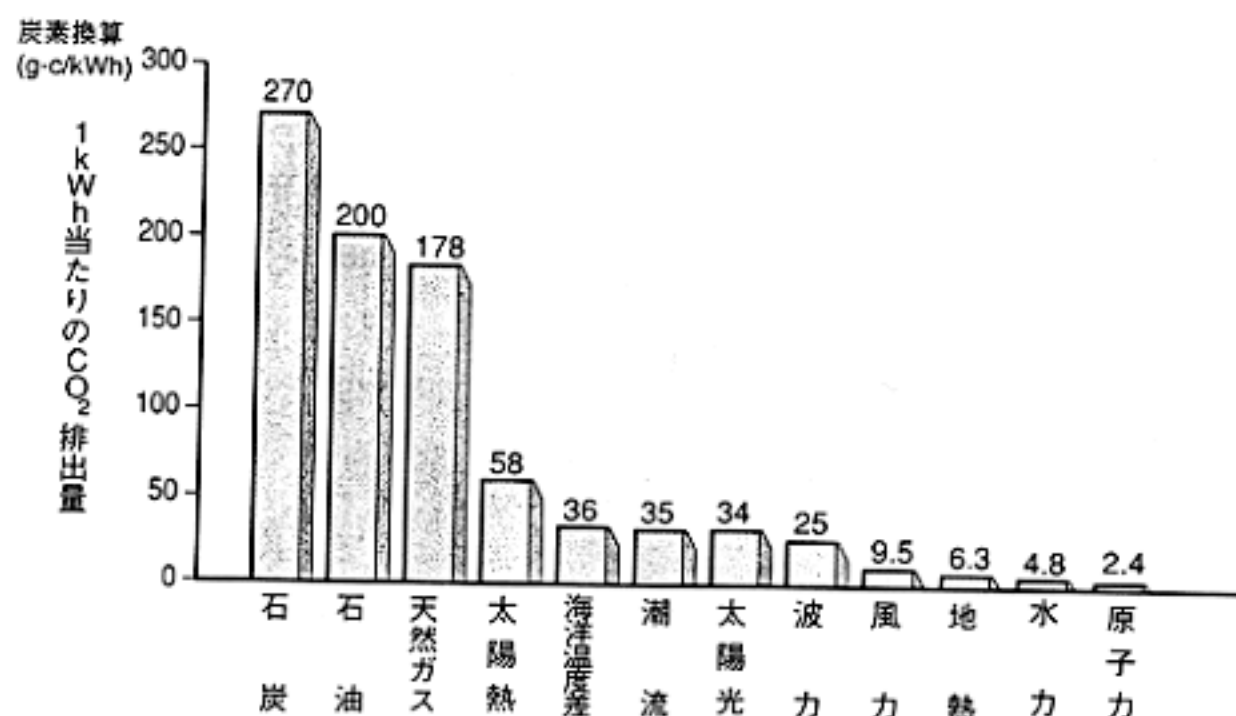
(万トン)



100万キロワットの発電所を1年間運転するために必要な燃料の比較

ウラン燃料を使う原子力発電の特長の一つとして、化石燃料を使う火力発電と比べ、数万分の1という極めて少量の燃料で同じ量の発電が可能である点があります。この特長により、燃料の輸送や備蓄が容易となるため、安定な供給を確保する上でも優れた発電方式であるといえます。

発電の方式によって放出される二酸化炭素の量が大きく異なります



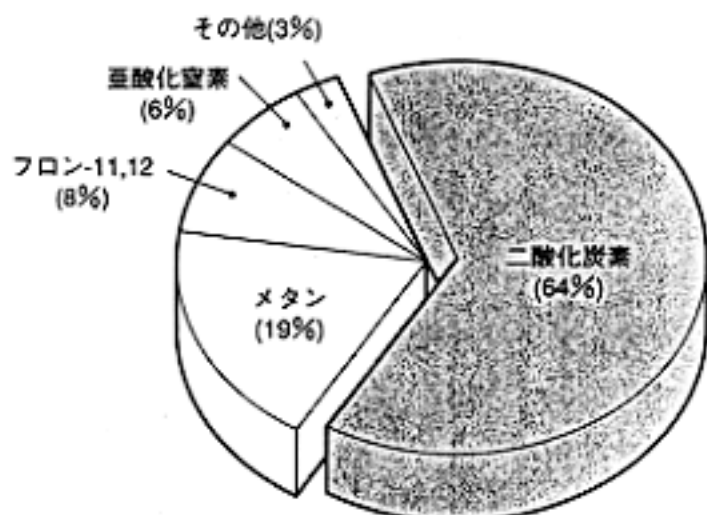
注) 発電所の建設等の過程で排出されるものを含む。

各発電の二酸化炭素排出量

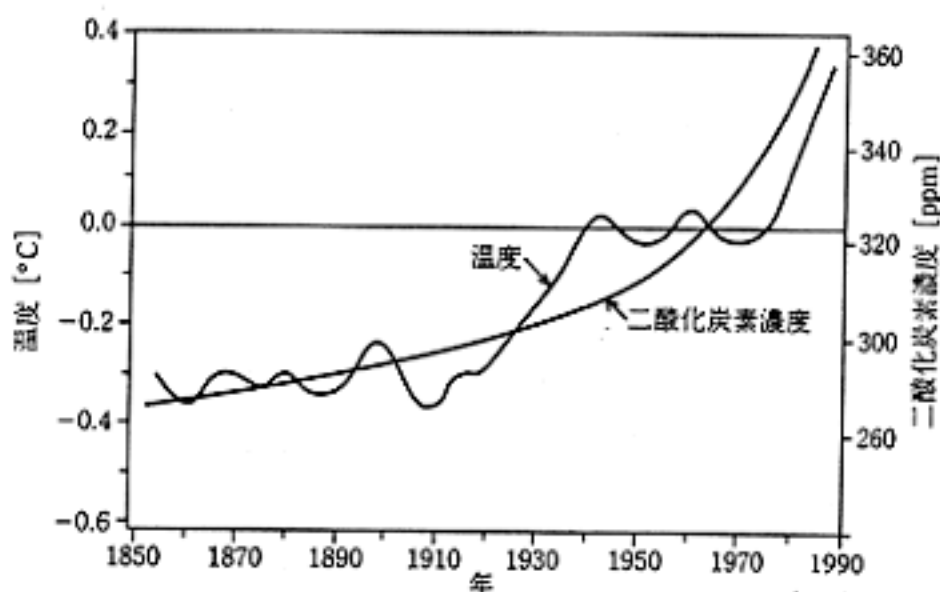
石炭、石油などの化石エネルギーの消費に伴って排出される二酸化炭素、窒素酸化物、硫黄酸化物などは、地球温暖化、酸性雨などの地球環境問題の原因の一つとなっており、エネルギーの消費と環境問題は密接な関係があります。

発電量当たりの二酸化炭素発生量の多いものは、石炭、石油、天然ガスといった化石燃料の燃焼により二酸化炭素を排出するものであり、原子力は水力、地熱などと同様に発電の過程で二酸化炭素等を発生しない非化石エネルギーで、二酸化炭素発生量の最も少ない部類に入ります。

大気中の二酸化炭素濃度の上昇が 地球温暖化の原因の一つといわれています



地球温暖化への温室効果ガスの寄与

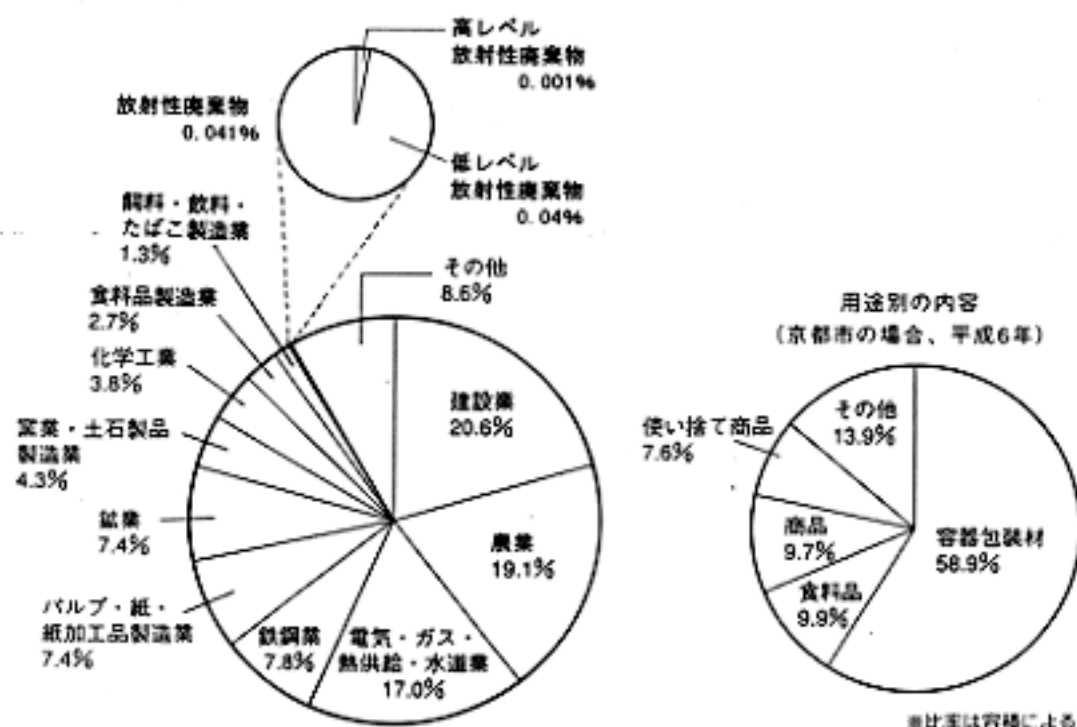


大気中の二酸化炭素濃度と気温の変化

赤外線を吸収して地球温暖化をもたらすガスを温室効果ガスといい、二酸化炭素、フロン、メタン、亜酸化窒素などがあります。

全温室効果ガスが地球温暖化に及ぼす影響のうち、二酸化炭素の影響は64%と最も大きく、地球の平均気温と大気中の二酸化炭素濃度の経年変化を重ね合わせると、相関関係があることがわかります。

わが国で1年間に発生するいろいろな廃棄物の量



産業廃棄物(平成5年)		一般廃棄物(平成5年)	
●排出量	3億9700万トン	●排出量	5030万トン
●最終処分量	8400万トン	●最終処分量	1496万トン
●再資源化量	1億5600万トン	●再資源化量	220万トン
●処分場の数	2687ヶ所	●処分場の数	2321ヶ所

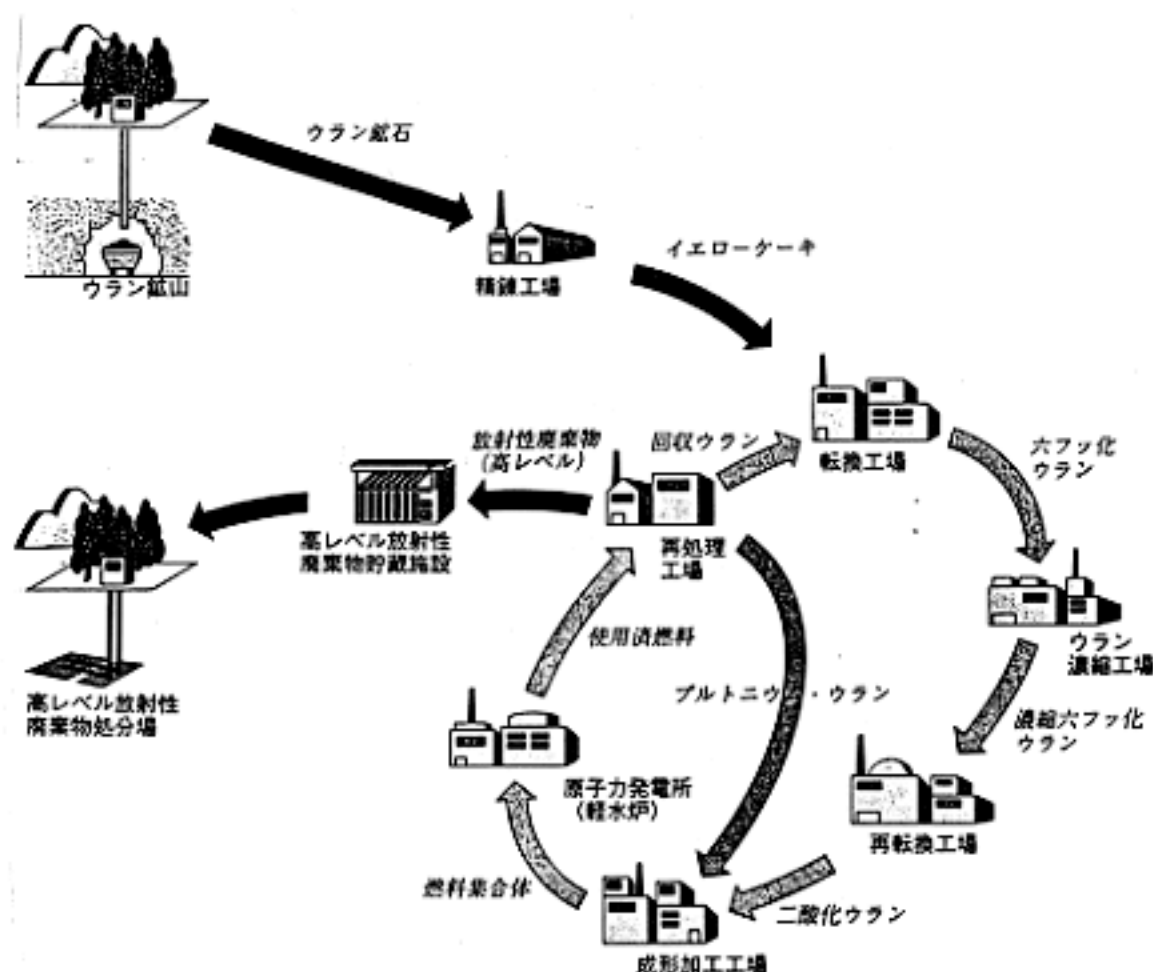
放射性廃棄物

高レベル放射性廃棄物 ¹⁾		低レベル放射性廃棄物 ²⁾	
ガラス固化体	1,000本	200リットルドラム缶	100,000本
(約400トン)		(約4万トン)	

- 1) 1995年度の原子力発電電力量実績を2,659億kWh、1億kWh当たりの高レベル放射性廃棄物発生量を約0.351本として算出した。また、ガラス固化体1本当たりの重量を約400kg(容器を含まない)とした。
- 2) 1億kWh当たりの低レベル放射性廃棄物発生量を約35.7本(200リットルドラム缶)として算出した。また、200リットルドラム缶1本当たりの重量を約400kg(容器を含まない)とした。

原子力発電で発生する廃棄物は非常に少なく、その量としては、高レベル放射性廃棄物で産業廃棄物及び一般廃棄物の約10万分の1、低レベル放射性廃棄物で約1万分の1と非常に少なく、廃棄物が管理しやすいという利点にもつながっています。

核燃料サイクルとは

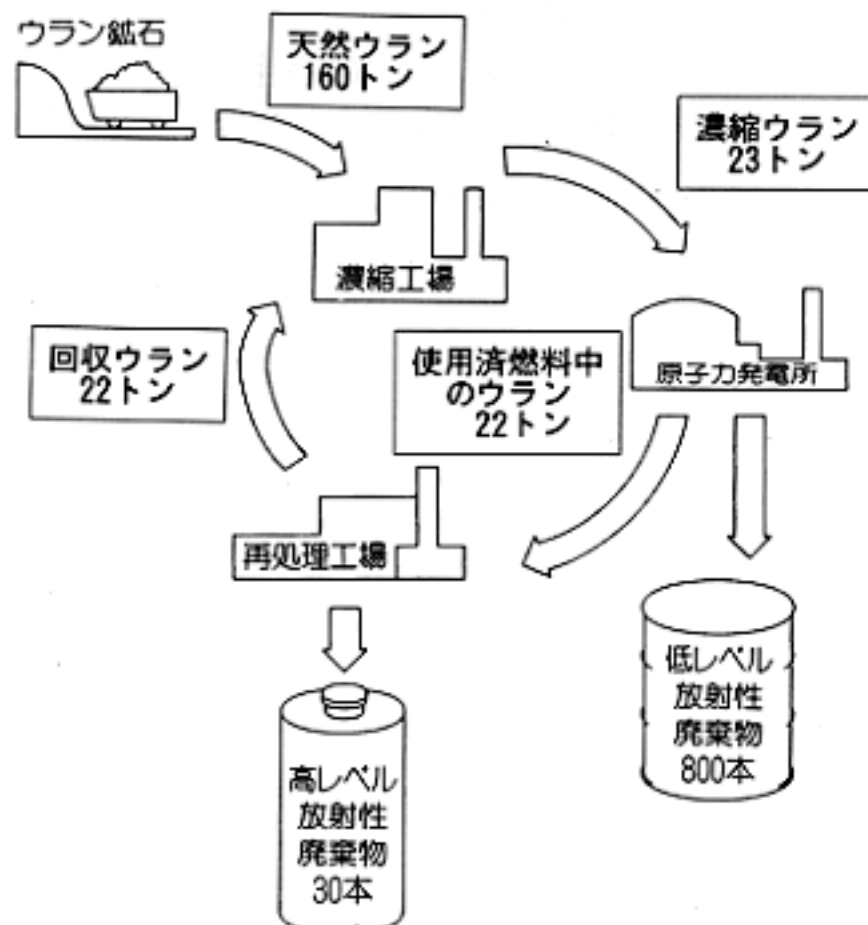


ウラン採鉱、高レベル放射性廃棄物処分と核燃料サイクル

原子力発電には、ウランが燃料として使われます。ウランは石油や石炭と違って、一度使った燃料の中に、燃え残りのウランと、新たに生じたプルトニウムが含まれています。このウランとプルトニウムを燃料として再び利用すれば、資源の有効利用がはかれます。図に示すような、このための一連の流れを核燃料サイクルと呼びます。

高レベル放射性廃棄物は、原子力発電所の使用済燃料から、再処理によりウランとプルトニウムを取り出す際に分離されます。高レベル放射性廃棄物を安全かつ確実に処理処分することが、原子力発電にとっては重要な課題です。

核燃料サイクルから発生する廃棄物

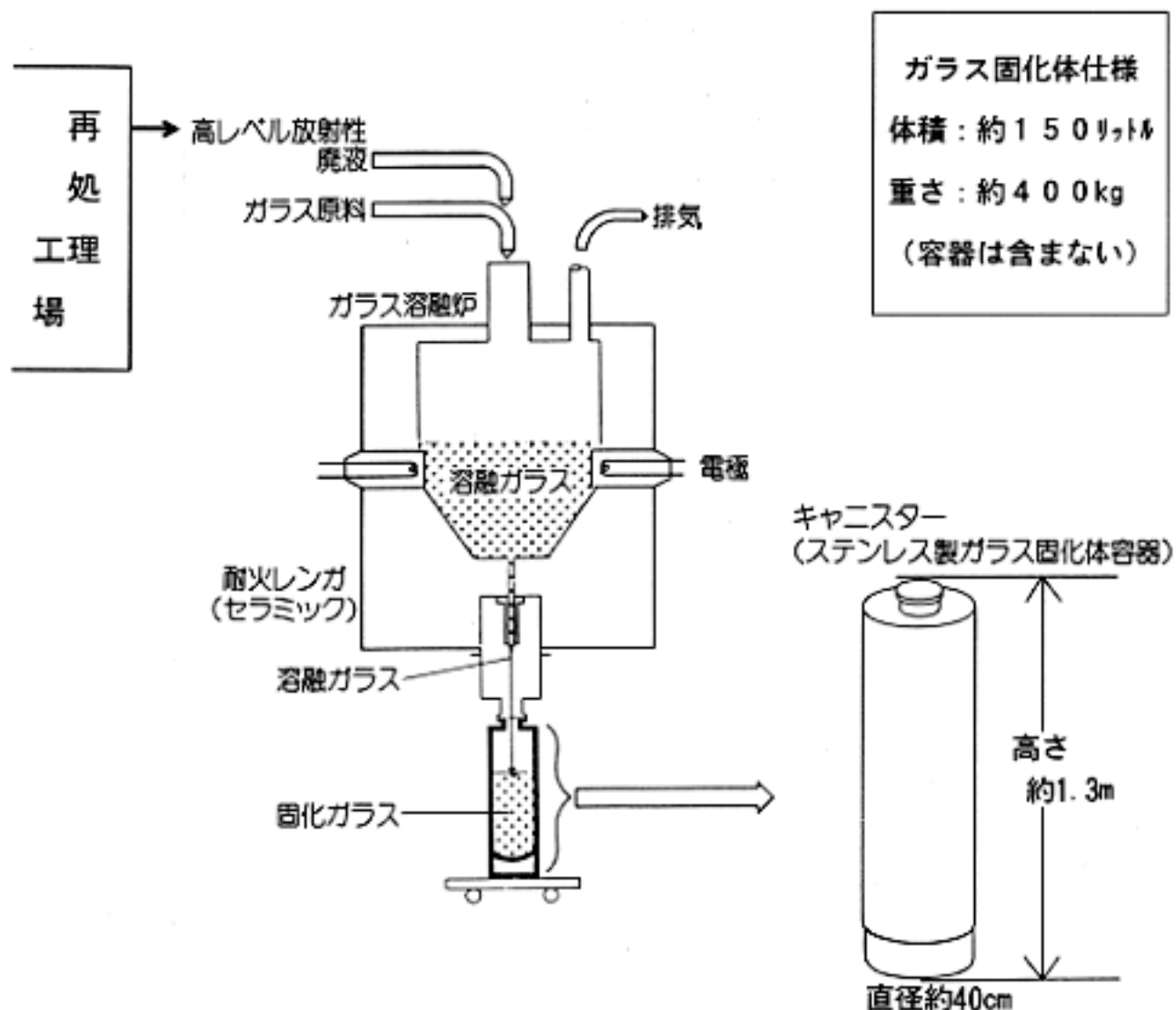


100万kWの原子力発電所を1年間運転した場合の廃棄物の発生量

<高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の発生量の見積り>

- ①日本人1人が1年間に消費する電力量は、約7,000kWhです。
- ②100万kWの原子力発電所1基が1年間に発電する電力量は約70億kWhです。
- ③したがって、①②の結果から、100万kWの原子力発電所1基で約100万人分の電力量をまかなうことができるのがわかります。
- ④上の図からわかるように、100万kWの原子力発電所1基を1年間運転すると、約30本のガラス固化体が発生します。
- ⑤したがって、③④の結果から、1年間の消費電力の全てを原子力発電でまかなった場合、約3万人分の消費電力に対して1本のガラス固化体が発生することがわかります。
- ⑥また、⑤の結果から、日本人1人が一生（約80年）の間に消費する電力の半分を原子力発電でまかなった場合、発生するガラス固化体の大きさはゴルフボール3個程度となります。

高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）ができるまで

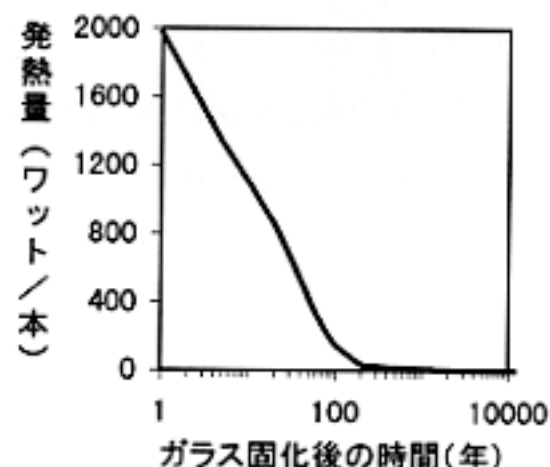


高レベル放射性廃液中の放射性物質は、長期間にわたり安定して封じ込めることに優れているガラスと一緒に溶かし、混ぜ合わせます。そして腐食に強いステンレス製の容器「キャニスター」に入れて固め、ガラス固化体にします。

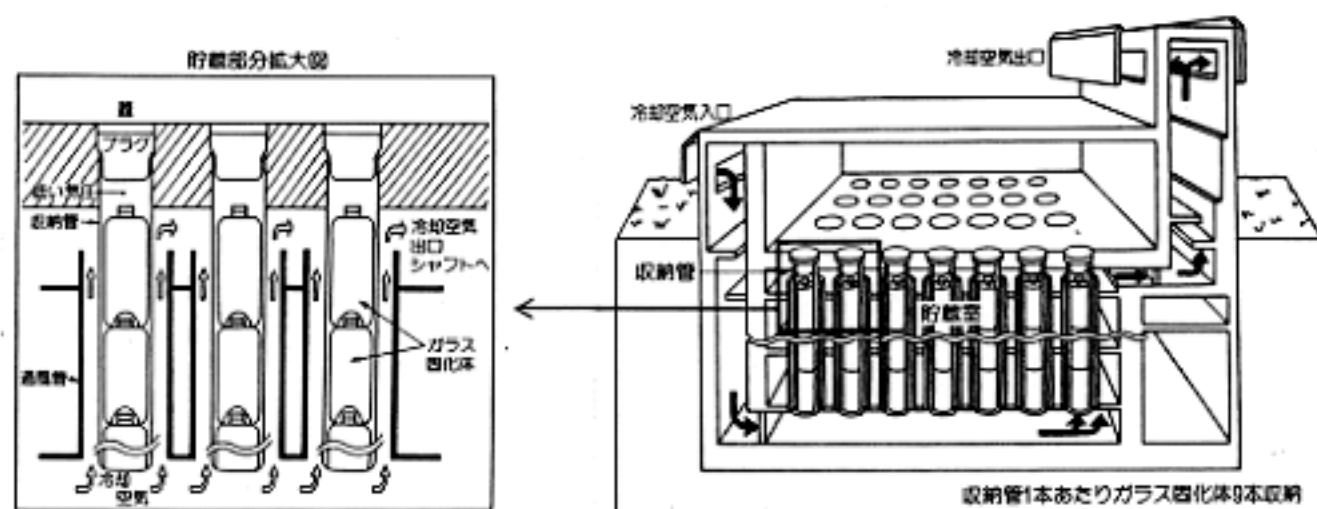
ガラスには水に非常に溶けにくく、長期間にわたり変質しにくいという性質があります。このことは、古代の遺跡から、ガラス製品が輝きや鮮やかな色彩をほとんど失わずに出土していることからわかります。

高レベル放射性廃液をガラスにより安定な形態に固化すると、色ガラスの成分と同じように、ガラスと一体化したものになります。

ガラス固化体は30年から50年間程度 冷却のため貯蔵されます



ガラス固化体の発熱量の時間変化



高レベル放射性廃棄物貯蔵施設

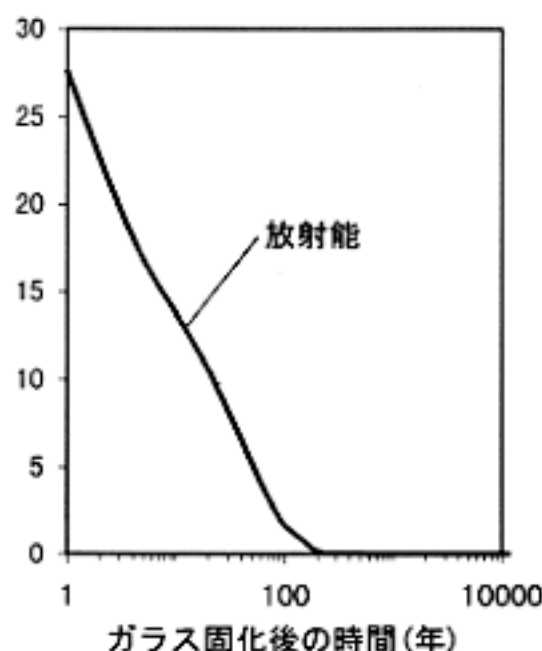
ガラス固化体は、その中に含まれる放射性物質が放出する放射線の影響で発熱しています。しかし、放射性物質の大半は半減期が短く、数百年で急激に放射能が減少します。

そのため、ガラス固化体は、地層処分を行う前に30年から50年間程度冷却のために貯蔵されます。貯蔵施設において、ガラス固化体は空気冷却されます。このとき、ガラス固化体と冷却空気が直接接しないようになっています。

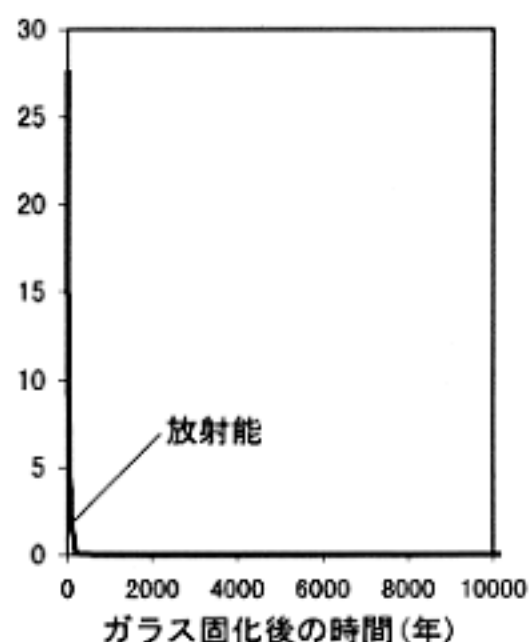
30年から50年間冷却することにより、発熱量は約3分の1から5分の1に減少し、安全かつ合理的な処分を行うことができます。

高レベル放射性廃棄物の放射能は時間とともに減衰します

放射能
[$\times 10^6$ ギガ・ベクレル/本]



放射能
[$\times 10^6$ ギガ・ベクレル/本]

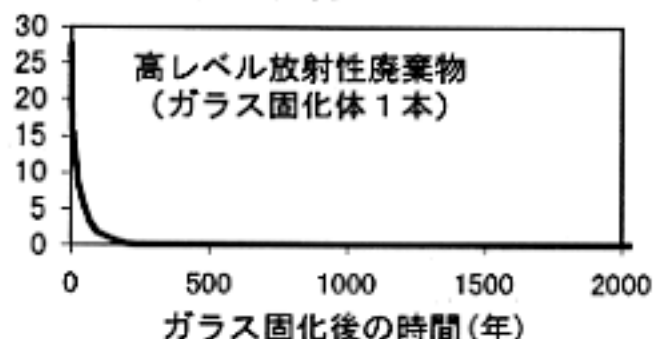


ガラス固化体1本当たりの放射能の時間変化（計算例）

高レベル放射性廃棄物は、初期の頃は非常に高い放射能を有するのが特徴ですが、半減期の短い放射性物質が大半を占めているため、数百年で急激に放射能は減少します。また、放射能は低くても半減期の長い放射性物質も含まれています。

高レベル放射性廃棄物に含まれる放射エネルギーの時間変化

放射能[ギガ・ベクレル/本]



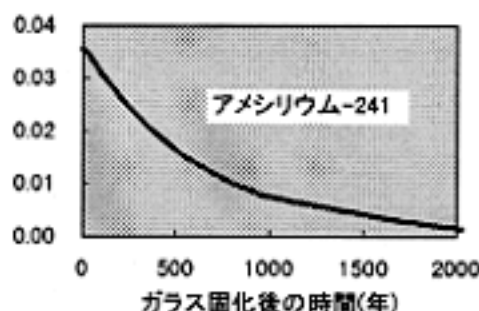
高レベル放射性廃棄物の放射能のほとんどは、数百年の間に急速に減少します。

放射能[ギガ・ベクレル/本]



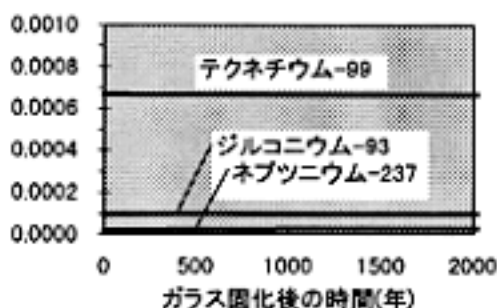
初期の高い放射能は、半減期の短い放射性核種によるものです

放射能[ギガ・ベクレル/本]



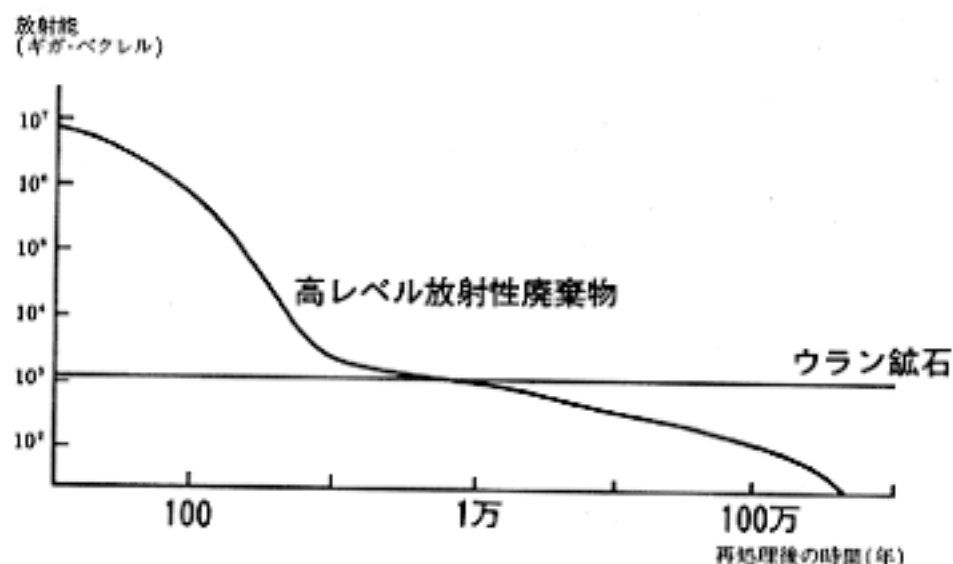
その後、半減期の長い放射性核種が残りますが、その放射能は低いものです。

放射能[ギガ・ベクレル/本]

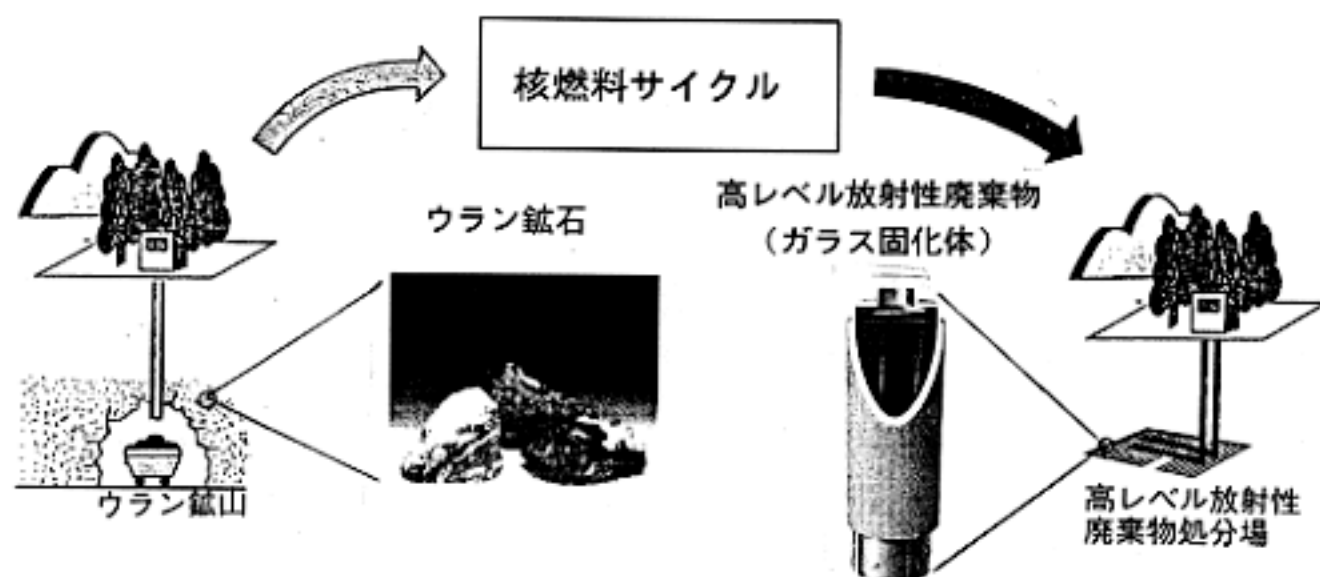


半減期の非常に長い放射性核種の放射能は、さらに微量なものです。

高レベル放射性廃棄物の放射能の減衰



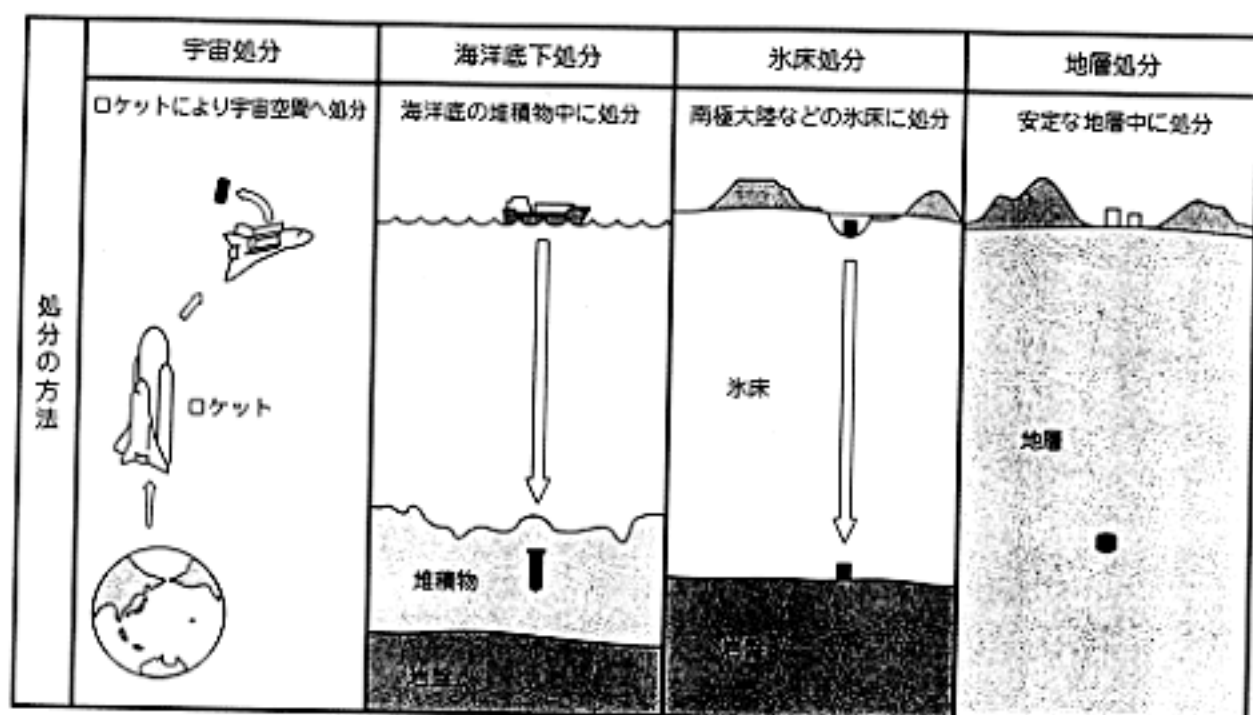
- 1 トンの燃料の再処理から発生する高レベル放射性廃棄物と
1 トンの燃料を製造するのに必要なウラン鉱石の放射能の比較



高レベル放射性廃棄物の放射能は
やがて地中にあるウラン鉱石と同程度になります

高レベル放射性廃棄物の放射能は、時間とともに減衰していきます。1万年程度経過すると、再処理で発生した高レベル放射性廃棄物の放射能は、再処理した燃料を製造するのに使った量のウラン鉱石と同程度の強さにまで減衰します。

なぜ「地層処分」なのか？



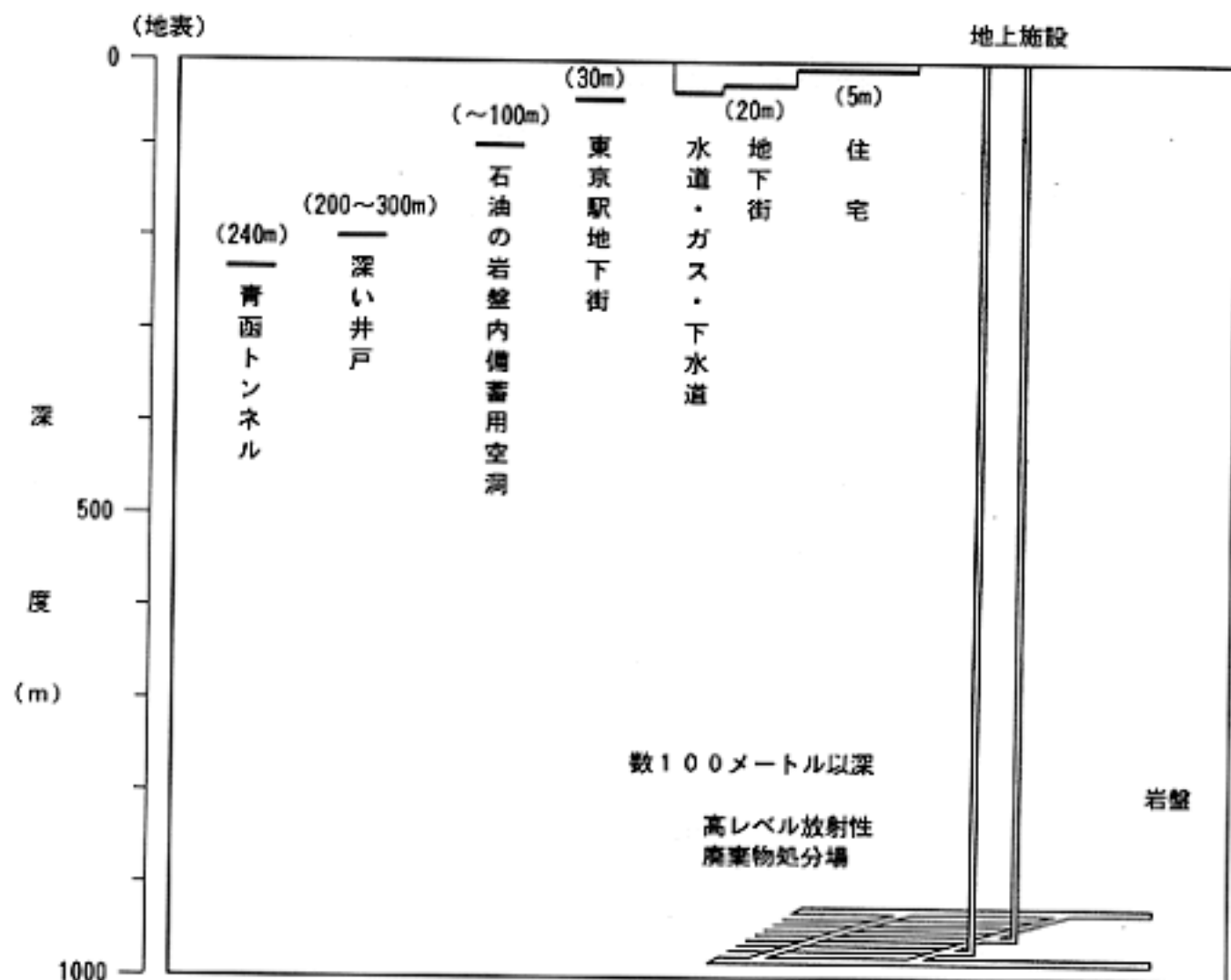
高レベル放射性廃棄物は、放射性物質が外に漏れないようにして、安全に保管されています。しかし、非常に長い時間にわたって保管することはできないので、人間の生活環境から遠く離れた場所に閉じ込めておく必要があります。

高レベル放射性廃棄物を閉じ込めておくのにふさわしい、人間の生活環境から遠く離れた場所としては、宇宙や、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、石油や石炭、金属などの資源が長い間保存されており、物質を閉じ込めておく能力が非常に高いことがわかります。

そこで、処分を検討している海外の国々では、地下深い地層の中に高レベル放射性廃棄物を閉じ込める方法（地層処分）に着目し、これを基本方針としています。

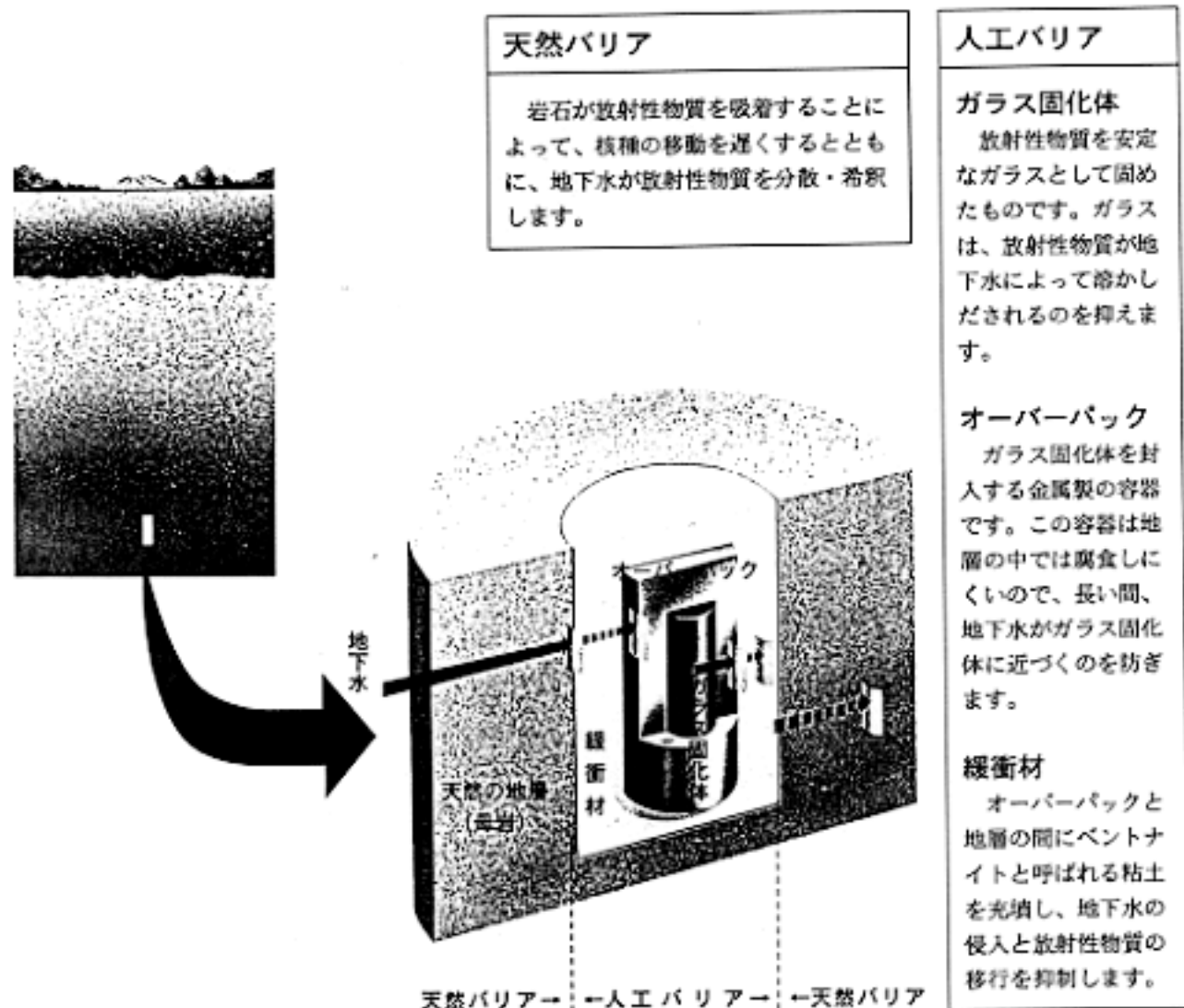
高レベル放射性廃棄物はわれわれの生活圏から 離れた深い地層中に隔離します



高レベル放射性廃棄物は、その放射能が減衰するまでの期間が非常に長いので、人間の活動が及ばない深い地層中に処分することが望ましいといえます。人間の地下利用は、高層建築物の基礎杭で65メートル程度、地下鉄工事の深い所でも50メートル程度です。

したがって高レベル放射性廃棄物は、これらの活動が及ばない地下数百メートル以深に処分されることになっています。

高レベル放射性廃棄物は何重ものバリアで保護されます



地層処分では、地下水を介して人間に影響を及ぼすことのないように、人工バリアと天然バリアとを組み合わせた多重バリアシステムによって、非常に長い期間の安全性が確保されると考えられています。

①人工的な障壁：人工バリア

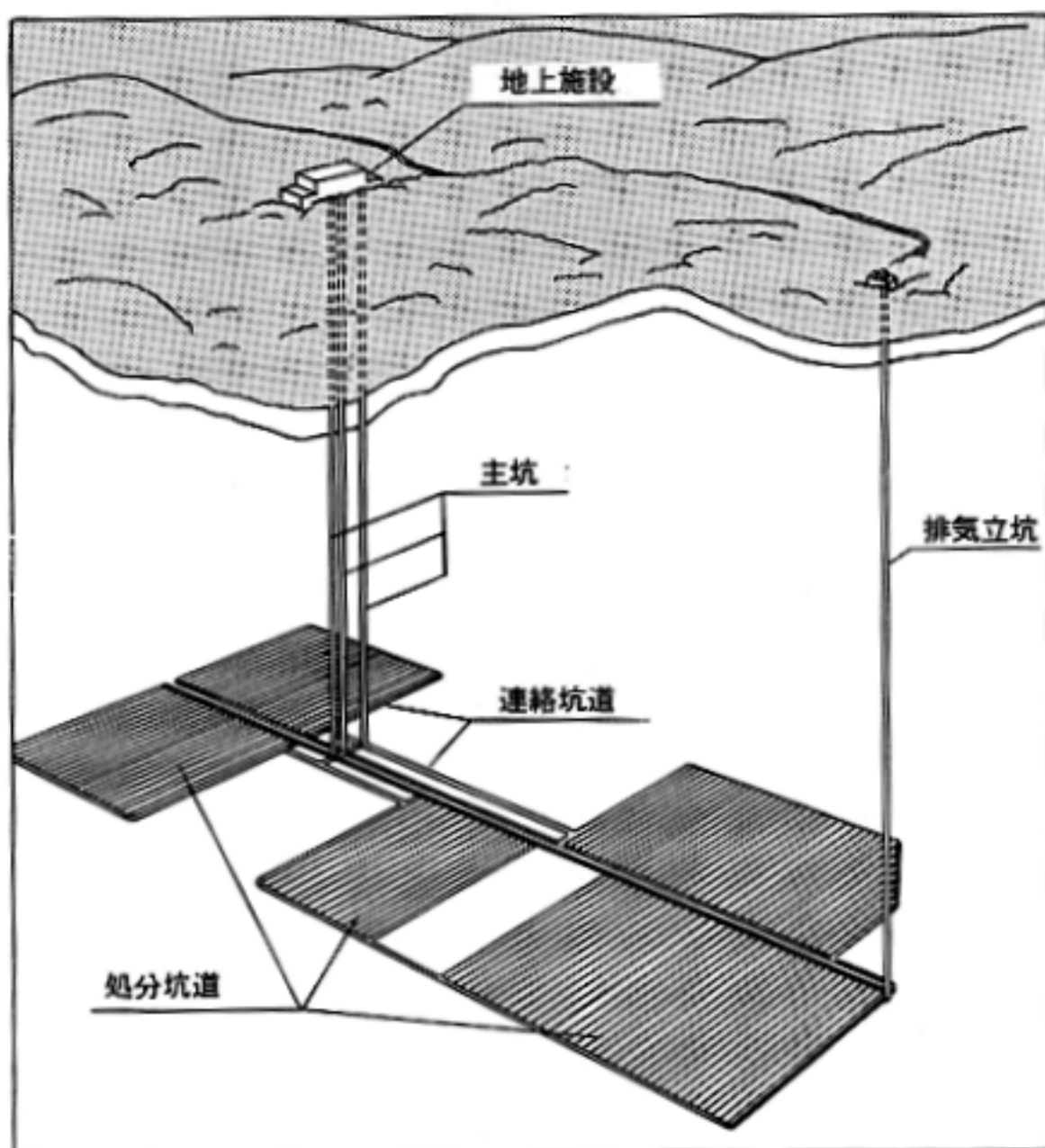
地下水への放射性物質の溶出を少なくするため、地下水との接触を遅らせ、放射性物質が周辺の地層中に移行することを妨げます。

廃棄物(ガラス固化体)、キャニスター、オーバーパック、緩衝材がこれに当たります。

②周囲の天然の地層：天然バリア

移行する放射性物質に対して吸着するなどして、その動きを遅くする働きがあります

処分場の概要と大きさ（例）



深さ：数百メートル以上

規模：ガラス固化体4万本を平面状に埋設する場合

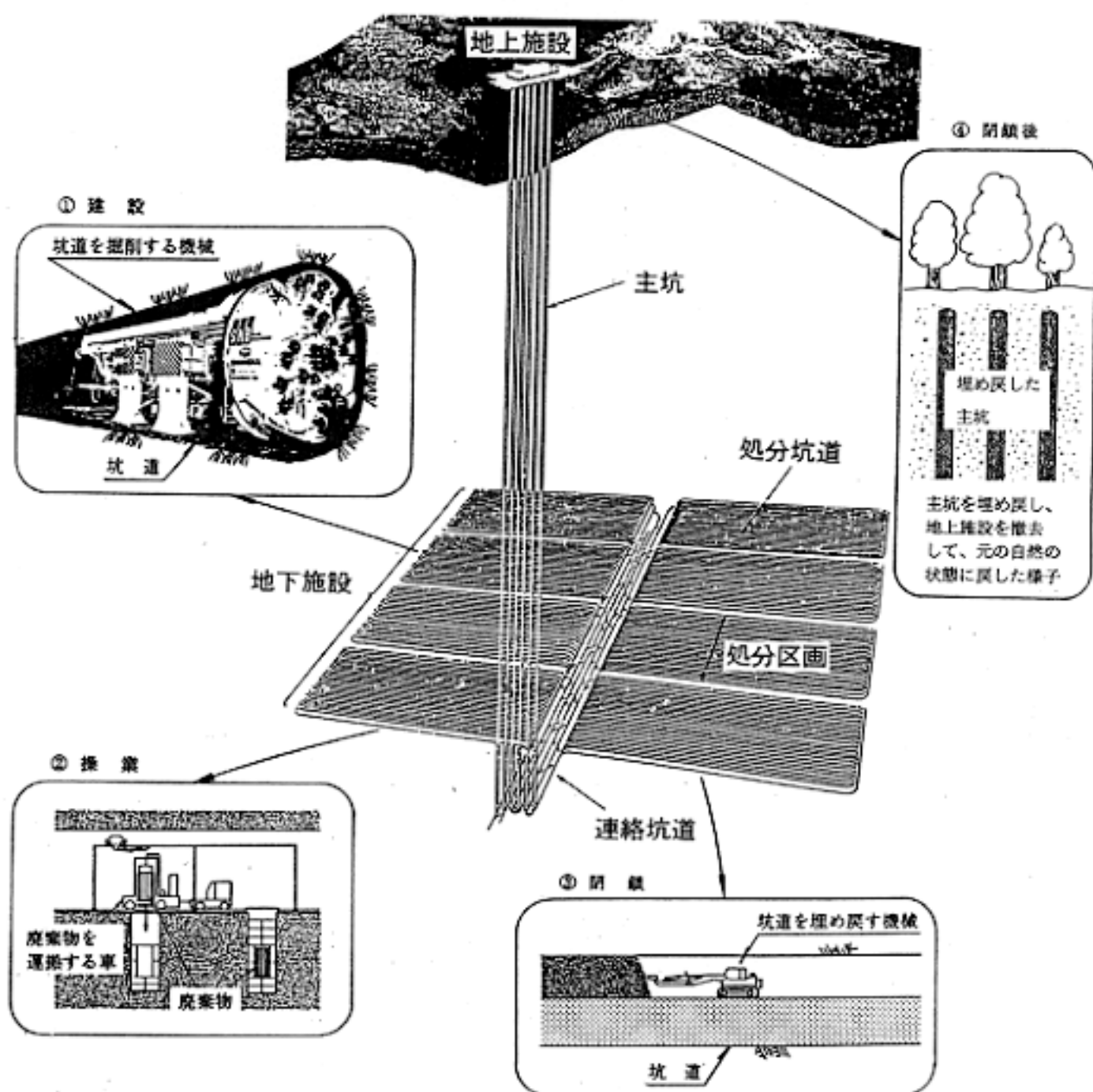
約4 km²（約2km四方）程度

ガラス固化体7万本を平面状に埋設する場合

約7 km²（約2.7km四方）程度

参考：関西国際空港 約5 km²

高レベル放射性廃棄物の処分場の建設から閉鎖まで（例）



①地下の処分場にアクセスするための主坑、連絡坑道、高レベル放射性廃棄物を埋設する処分坑道を掘削します。

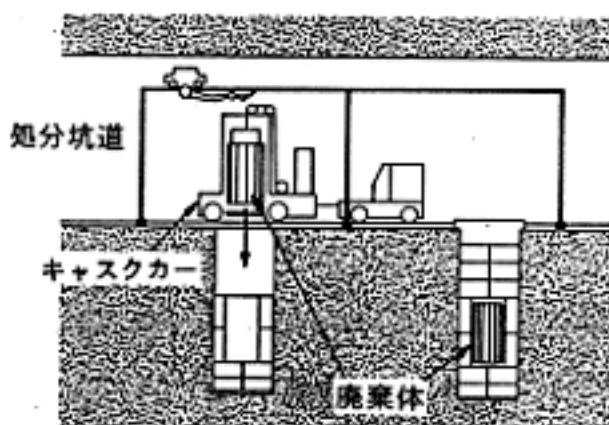
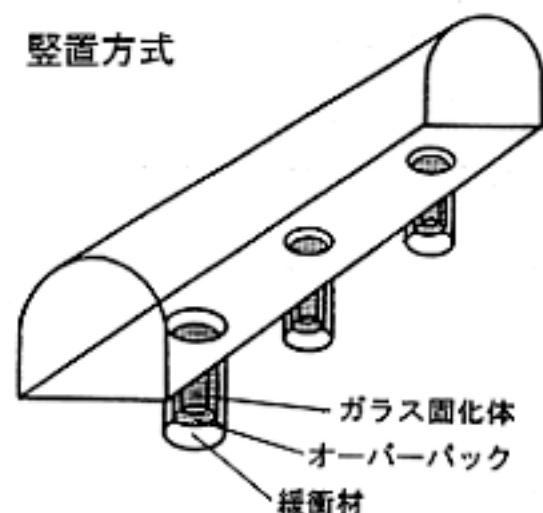
②処分坑道に緩衝材のベントナイトのブロックを設置し、ブロックの空間にオーバーパックされたガラス固化体を定置します。

③坑道に埋め戻し材を充填して、坑道を閉鎖します。

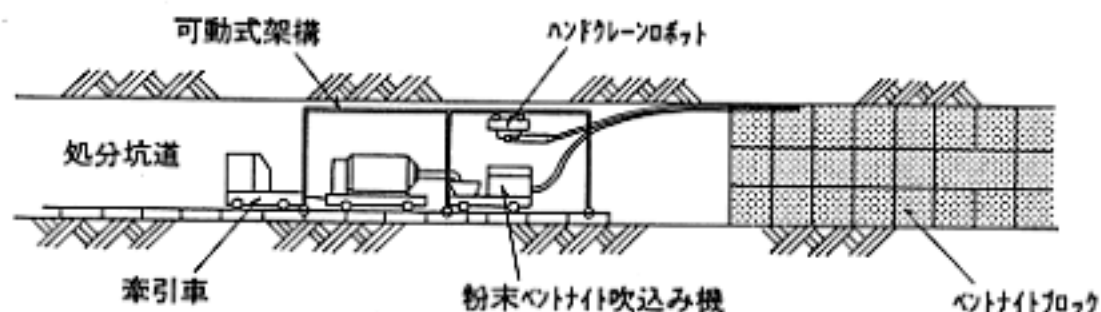
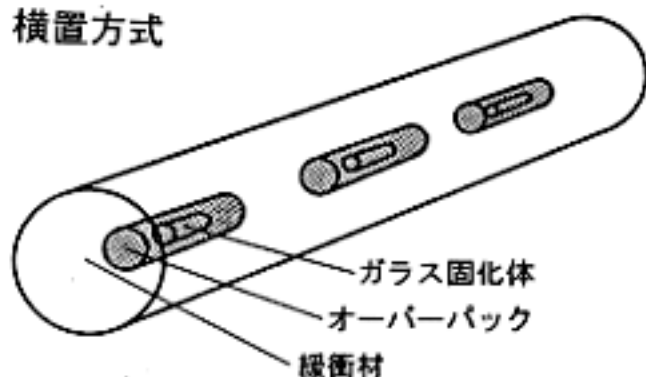
④主坑を埋め戻し、地上施設を撤去して、元の自然の状態に戻します。

高レベル放射性廃棄物の埋設

縦置方式



横置方式



- ①緩衝材のベントナイトはブロック状にして積み上げられます。
- ②できた空間にオーバーバックされたガラス固化体が定置されます。
- ③さらに上側をベントナイトのブロックで覆います。
- ④ブロックと岩石の隙間や処分坑道は、粉体状のベントナイトの吹き付けで充填されます。

処分費用試算

処分ケース		ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
処分深度(m)		500	500	500	500
処分岩種		結晶質岩	堆積岩	結晶質岩	堆積岩
定置方式		処分孔 縦置方式	処分坑道 横置方式	処分孔 縦置方式	処分坑道 横置方式
7ヶス方式		斜坑	斜坑	斜坑	斜坑
オ-ハ-ハ-ツク厚(cm)		30	30	30	30
緩衝材厚(cm)		33	98	33	98
廃棄体処分本数(本)		70,000	70,000	38,000	38,000
埋設間隔(m)		3.4	4.5	3.4	4.5
工程別費用 (割合)	選定・調査	0.15	0.10	0.17	0.14
	建設	0.21 (約0.7兆円)	0.35 (約1.8兆円)	0.20 (約0.6兆円)	0.31 (約1.1兆円)
	操業	0.54	0.46	0.51	0.45
	その他	0.10	0.09	0.12	0.10
	合 計	1.00 (約3.5兆円)	1.00 (約5.2兆円)	1.00 (約2.8兆円)	1.00 (約3.7兆円)

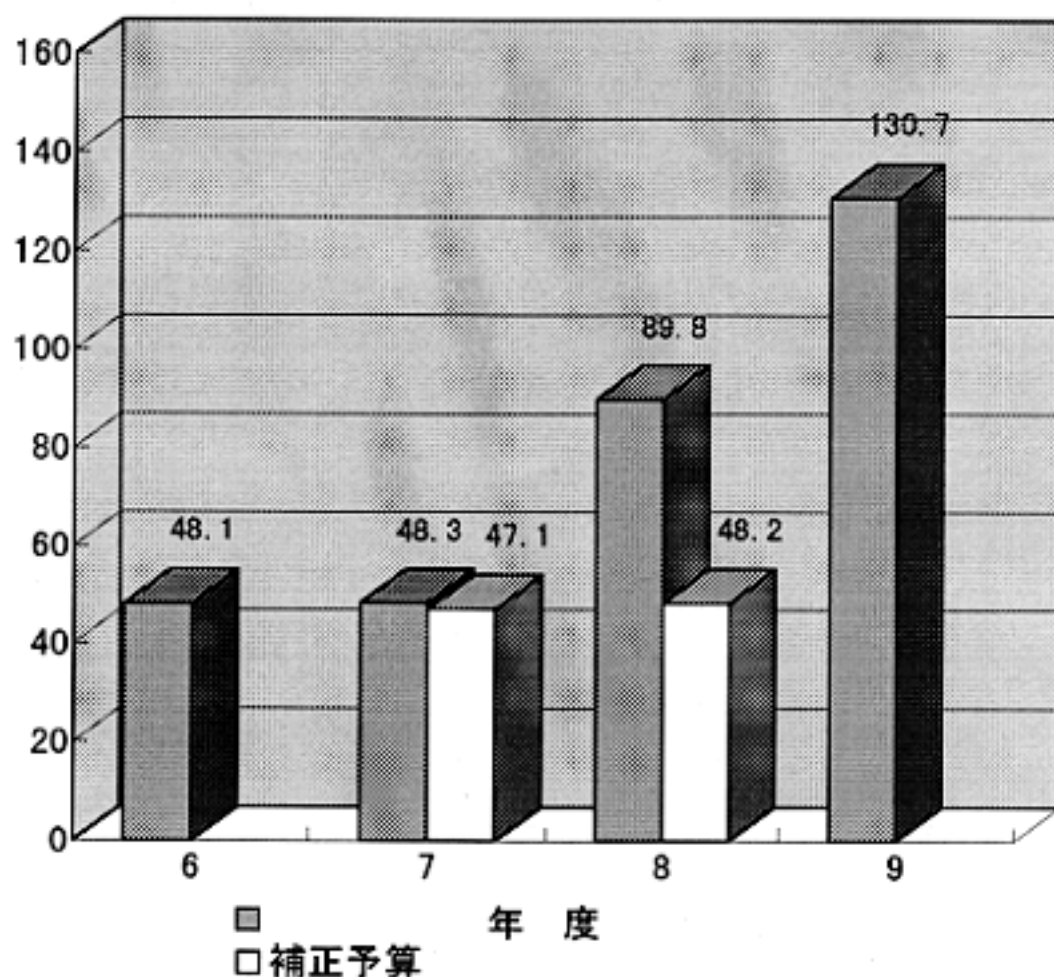
処分坑道長さ 約260km 約330km 約150km 約190km

高レベル事業推進準備会「中間とりまとめ」（平成8年5月）関連資料より

処分費用は、実施主体（2000年を目安に設立）が行う処分予定地の選定を始め、処分場の建設、操業等にわたる費用を概算したものです。原子力発電1kWhあたりに直すと、数銭から10銭程度となります（原子力発電の発電原価は、1kWhあたり9円程度）。なお、現在の総発電電力量に占める原子力発電の比率は3割程度であるため、電気料金1kWhあたり2～3銭程度になります。

高レベル放射性廃棄物処分研究開発等関連の政府予算の推移

予算(億円)



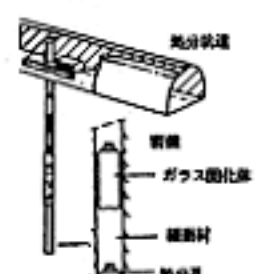
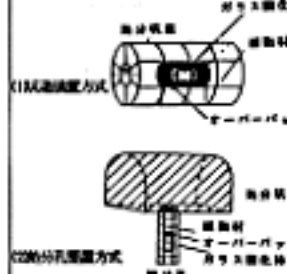
【平成9年度予算の主な項目】

- 地層処分研究開発費 約65億円
(性能評価研究、処分技術開発等)
- 地層科学研究 約66億円
(地質環境調査、地質の長期安定性に関する研究等)

高レベル放射性廃棄物処分に関わる海外の動向(その1)

	アメリカ	カナダ	スウェーデン	ドイツ
処分概念	処分坑道 コンクリート 使用済み燃料入りステンレス鋼容器 封鎖 処分孔	処分坑道 上部遮断材 花崗岩 下部遮断材 封鎖材(ベントナイト/砂) 使用済み燃料入りステンレス鋼容器 処分孔 (オプションとして坑道配置方式も研究)	処分坑道 砂/ベントナイト充填 使用済み燃料入り鋼製容器 ベントナイト製凍土層 封鎖 ベントナイトブロック	岩盤層 処分坑道 ガラス固化体 封鎖層 処分孔 遮断材
処分の形態	使用済燃料 ガラス固化体	使用済燃料	使用済燃料	使用済燃料 ガラス固化体
実施主体	連邦エネルギー省 (DOE)	未定 ※ウツロ・ハット・ロ社を中心 に検討中	スウェーデン核燃料 廃棄物管理会社 (SKB)	連邦放射線防護庁 (BfS)
研究主体	“	カナダ原子力公社から 民営化検討中	“	“
資金負担	発電事業者が高レベル 廃棄物基金(NWF)に 払込	発電事業者が引当金と して内部留保	発電事業者が納付金を 国債局の基金に納付金 を納付	発電事業者がBfSに 対し分担金を負担
地下 研究施設 〔所在地〕	ユッカマウンテン探査・地下 研究施設(EFS) 〔ユッカマウンテン処分場サイト〕	ウイトシェル地下研究所 (URL) 〔ウイトシェル〕	ハート・ロック研究所 (HRL) 〔オスカーシャム〕	ゴアレーベン探査施設 〔ゴアレーベン処分場サイト〕
手順	1985 DOEミッションプラン (処分場選定計画) 1987 ユッカマウンテン処分場選定 に選定 1988 サイト特性調査計画 1991 地表からのサイト特性調査開始 1994 調査研究施設での調査開始 1998 サイト選定評価 2000 環境影響評価報告	1981 核燃料廃棄物管理プログラム 1994 環境影響評価報告書(EIS) 1994 環境影響評価レビュー・レポート -96 評価 1996 処分概念について公聴会 -97 199X 処分概念の可成りについての政府判断	1983 安全評価書(KBS-3) 1986 環境影響評価書(R&D-86) (3年毎に改訂、SKIがレビュー) 1990 HRL建設開始 1992 安全評価書(SK91) SKB研究開発実証計画 (RD&D-92) 1993 予備的サイト特性調査開始 1995 SKB研究開発実証計画改訂 (RD&D-95) 199X 環境影響評価書	1979 ゴアレーベン処分場選定プロ ジェクト・フェーズ1開始 1984 安全影響評価書(PSE) 1988 性能評価書 (CEC PAGIS) 1991 ゴアレーベン安全評価書(当 前予定)ただし、進捗が遅れ現在 に至る
建設開始 予定	2010年	未定	2008年(実証処分) 2020年(フルスケール)	2008年

高レベル放射性廃棄物処分に関わる海外の動向(その2)

	スイス	フランス	イギリス	日本
処分概念			未定	
処分の形態	ガラス固化体 使用済燃料	ガラス固化体	ガラス固化体	ガラス固化体
実施主体	スイス放射性廃棄物 管理協同組合 (NAGRA) (見守りの役割の建設・運用を担ぐ)	フランス放射性廃棄物 管理機関 (ANDRA)	未定	未定
研究主体	“	“		動燃事業団が中核
資金負担	組合員である発電事業者 が分担金を拠出	発電事業者がANDRAに 出資金を拠出	発電事業者が引当金と して内部留保	未定
地下 研究施設 〔所在地〕	ゲリムセール テストサイト(GTS) 〔ゲリムセール〕 モンテリー テストサイト(NTS) 〔モンテリー〕	候補地を3カ所選定 〔オート・マルヌ、ムーズ県、 カール県、ワリエヌ県〕	未定	超深地層研究所 貯蔵工学センター(計画中)
手順	1978 NAGRA放射性廃棄物管理計画 1985 安全評価書 (Gewahr-85) 1992 NAGRA放射性廃棄物管理計画 改訂 1994 安全評価書:結晶質岩 (Kristallin I) 2000 堆積岩の評価を含む総合安全評価 書	1983 CEA放射性廃棄物全計画 1988 性能評価書 (CEC PAGIS) 1995 地下研究施設候補地3カ所に係る 1996 候補地での地下研究施設の許可申請 ならびに選定 1998 地下研究施設建設開始 2006 総合評価報告書	貯蔵期間は50年間としている。地層処分 研究開発に関する手順は示されていない。 地層を特定しない(実現可能性に関する基礎 研究)にある。	1976 放射性廃棄物貯蔵について (原子力委員会) 1989 研究開発の重点項目とその進め方 (原子力委員会) 1992 第1次とりまとめ (H3レポート) 1993 国(原子力委員会)の評価 1994 「原子力開発利用長期計画」改訂 1999 第2次とりまとめ 2000頃 国の評価
埋設開始 予定	2020年(早期ケース) 2049年(遅延ケース)	未定	未定	2030~2040代半ば