

# 原環センター トピックス

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT CENTER TOPICS

1996.3.NO.36

## 目次

地中処分政策と研究開発の現状—スイス、カナダ、スウェーデン—	①
センターのうごき	⑧

## 地中処分政策と研究開発の現状 —スイス、カナダ、スウェーデン—

### 1. 研究開発の概要

3国の計画には次の共通する点がある。

- ・母岩として花崗岩を選定している。
- ・処分候補サイトとは、区別した形で地下研究施設を設け、岩盤の特性調査及び処分システム開発を実施している。
- ・地下研究施設での調査成果などに基づき、処分システムを想定して、性能評価を行っている。具体的には、次のような計画を持っている。

**スイス**：低中レベル廃棄物については山の中腹に横坑を掘削して処分する計画が進行している。サイトとしてはWellenbergが考えられている。高レベル廃棄物処分場については、結晶質岩層と堆積岩層について調査検討が進められている。1994年には性能評価報告書Kristallin-1がまとめられている。今世紀中にサイト選定を終了する計画で

ある。

**カナダ**：低レベル廃棄物は耐侵入地下構造物(IRUS)方式で浅地中に処分する計画である。高レベル廃棄物については花崗岩中への処分が計画されており、1994年に環境影響評価報告書(EIS)がまとめられている。

**スウェーデン**：Oskarshamnの近くのÄspö島に地下研究施設(HRL)が建設されている。長寿命核種を含む廃棄物は深い地層に処分する計画である。

次に最近の重要レポート3つを簡単に紹介する。

- ・スイスの研究者が代表的な6つの性能評価報告書を比較したレポート<sup>1)</sup>
- ・カナダの1994年EISに対するOECD/NEAの専門家グループの評価結果<sup>2)</sup>
- ・スウェーデンの長寿命の放射性核種を含む処分システムの性能評価報告書<sup>3)</sup>

1) F. Neall, et. al., "Putting HLW Performance Assessment Results in Perspective" Nagra Bulletin No.25(1995)

2) OECD/NEA Review Group "The Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste"(1995)

3) M. Wiborgh(ed.) "Prestudy of Final Disposal of Long-Lived Low and Intermediate Level Waste" SKB-TR 95-03(1995)

## 2. 高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する6つの性能評価の比較

### 1) 評価の前提条件

ここで比較した、処分システムの主な特徴を表1に示す。各性能評価の特徴としては次の点があげられる。

SKB91：容器の破損を確率的に扱っている。また、地下水の流動を統計的に発生させた流管で表している。

TVO92：地下水の経路となる破碎帯が処分場を横切るとする、極めて保守的な仮定をしている。AECL94：各パラメータの値を確率密度関数からサンプリングによって設定し、その組み合わせに対応する複数のシミュレーションによって被ばく線量を計算している。

H-3：1000年後、すべての容器が破損とするなど、人工バリアについては、保守的な仮定をしている。岩石圏での核種移行については、多孔質媒体と亀裂媒体の双方をモデル化するなど、むしろ理想化された仮定をしている。

Project Gewähr 1985(PG-85)：ベントナイトの有するバリア効果が無視されており、その結果、ニアフィールドからの核種放出はガラス固化体の溶解あるいは放射性核種に対する溶解度制限によって支配されている。

Kristallin-1(1994)：1000年後すべての容器が破損し消滅するとしている。水みちとなる割れ目が広い間隔で存在し、連結するなど、核種移行遅延効果に対して、どちらかといえば保守的な仮定をしている。

### 2) 全体システム評価のモデルの特徴

いずれの評価でも、放射性核種が処分場から地表の人間環境に至るメカニズムとしては、地下水による輸送が重要なものと考えられている。

容器の破損モードについては、全数同時破損(kristallin-1, PG-85, H-3)、一定数のみ早期破損(SK91, TVO92)と破損時期が分布する(AECL94)に分かれる。

放射性物質の漏出は、ガラス固化体では、ゆっくりした溶解、使用済燃料では、ヨウ素、セシウム、炭素の瞬時放出とされている。

岩石圏モデルはケースごとに非常に異なっている。AECL94では、動水勾配が非常に小さいため水の移動が極めて遅く、破碎帯まで拡散で移動するとしている。TVO92では大規模な破碎帯が処分場を横切ると仮定しているため、移行時間が短くなっている。H-3でも地下水流路までの距離は非常に短いと想定されている。Kristallin-1では母岩中の透水性の高いところを集中的に水が流れると想定しているため、地下水流速が大きい。

### 3) 性能評価結果に影響を与える主な要因

廃棄物の形態とインベントリ：使用済燃料の直接処分では<sup>129</sup>I、<sup>135</sup>Csといった核種の瞬時放出の割合が重要である。総インベントリより瞬間的な放出が評価結果に大きく影響する。即ち、容器の破損と放出される核種の移行遅延に関する仮定が評価結果に影響する。

ガラス固化体の処分では核種が瞬時に放出されることはなく、長期にわたって放出されるので、容器の破損時期は評価結果にあまり影響しない。

表1 性能評価で考慮した地層処分

	スウェーデンSKB91 <sup>1)</sup>	フィンランドTVO92 <sup>2)</sup>
廃棄物のタイプ	使用済燃料PWR&BWR	使用済燃料BWR
総インベントリ (キャニスタ)	8,750tU (5830体)	1,840tU (1150体)
容器タイプ、含有量	鉛充填銅製、1.5tU	銅製、鉄製組合せ、1.6tU
容器の定置方法	坑道の処分孔に縦置	坑道の処分孔に縦置
ベントナイトの厚さ等	半径35cm、高さ150cm	半径35cm、高さ150cm
処分場深さ	600m	500m
母岩	花崗閃緑岩	片麻岩または花崗岩
被覆層/地下水放出領域	水堆石、ピート層/湖	水堆石、ピート層/湖

1) SKB：スウェーデン核燃料廃棄物管理会社

2) TVO：フィンランド民間産業電力会社

3) AECL：カナダ原子力公社

ニアフィールドにおける低溶解度維持：ニアフィールドは長期的にみれば中性から弱アルカリ性であり、還元性であるとされている。この条件では主な元素の溶解度が低く、最大放出率が制限される。AECL94ではウランの溶解度を低く見込んでいるので、核種の放出率は非常に小さくなると考えられている。SKB91とTVO92では放射線分解の影響を重視しているため、放出が早くなると仮定している。

緩衝材の低透水性：いずれの評価でも核種の放出率が溶解度で決定されるとしている。これは、緩衝材中ではコロイド輸送がないとしているからである。

ニアフィールドにおける核種移行遅延：どの評価も緩衝材中の溶質の輸送は拡散によると仮定している。緩衝材が核種を強く吸着するため、移行を遅延させることになり、核種はニアフィールドで問題にならないレベルにまで減衰することになっている。

掘削影響領域：TVO92, PG-85及びKristallin-1の各評価では、この領域は速い物質移動が生じる経路として考慮されている。

大規模破碎帯までの距離：TVO92の場合、岩石圏が有するバリア効果が非常に限られている。これは破碎帯が処分場と交差するという保守的な設定がされているからである。その他の評価では処分坑道が大規模破碎帯から距離を置くよう設定している。

亀裂性岩盤中の核種移行評価：AECL94, PG-85及びH-3, では岩石圏が大きなバリア効果を有している。SKB91, TVO92及びKristallin-1では反

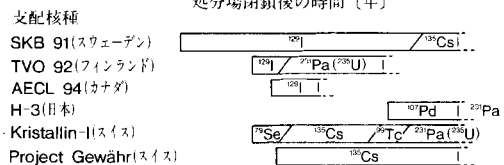
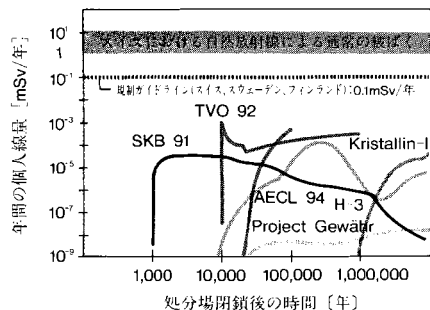


図1 一般個人の被ばく線量の評価結果及び線量を最も支配する放射性核種

対に小さなものとなっている。これは、岩盤自体の差というよりもむしろ評価におけるリアリティの程度に強く依存している。

### 3. OECD/NEAによるEISの検討

#### 1) 背景

カナダ原子力公社 (AECL) は、1994年10月に約17年間にわたる核燃料廃棄物処理処分に関する研究開発の成果を踏まえて、地層処分の環境影響評価報告書 (EIS) を政府に提出した。カナダ資

#### システムの主な特徴

カナダAECL94 <sup>3)</sup>	日本H-3	スイスKristallin-1, PG-85
使用済燃料CANDU	ガラス固化体	ガラス固化体
162,000tU (101,000体)	約50,000tU (約40,000体)	約3,730tU (約2,700体) <sup>4)</sup>
ガラス粒充填チタンライナ1.6tU	厚肉鉄製、1.3tU <sup>5)</sup>	厚肉鉄製、1.3tU <sup>5)</sup>
坑道の処分孔に縦置	処分坑道に横置定置	処分坑道に横置定置
半径25cm、高さ約150cm	半径98cm、定置間隔3m	半径138cm、定置間隔3m
500m	1,000m	約1,000m
花崗岩	未定	片麻岩または花崗岩
氷堆石、ピート層/湖	未定	堆積岩/ライン川砂礫層

4) Kristallin-1で考慮した総発電量1200GWeのシナリオに基づく

Project Gewähr (PG-85 240GWe) では5,900体のキャニスタ中に7,860tU

5) ウラン燃料に相当するガラス固化体

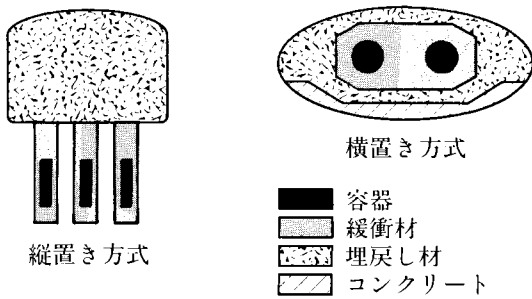


図2 容器の設置オプション

源局 (NRCan) からの要請により、OECD/NEAの専門家グループがEISの検討を行い、1995年4月にその結果がまとめられた。

メンバーは、スイスのC.McCombieを議長とし、スウェーデン、フィンランド、英国、米国、ドイツの専門家5名である。

EISは実際の処分施設ではなく、想定処分概念についての評価である。しかし、岩盤内に設けられた地下研究施設での研究成果等の原位置試験から得られた情報をもとに想定概念が設定されている。想定概念の概要を図2及び3に示す。

核燃料廃棄物処理処分の研究計画は約5億カナダドルの予算規模であり、国内の研究機関のみで

なく、国際協力研究により国外の多くの機関が参加している。

EISは処分場閉鎖前と閉鎖後に大別されるが、OCED/NEAの検討は主に閉鎖後の部分について行われた。次にコメントの概要を述べる。

## 2) 各バリアの性能

### 地下室 (人工バリア)

**廃棄体:** 評価では、CANDU炉の標準燃料のみが考えられているが、過去の燃料には非標準型もあり、それらの燃料にも考慮を払うべきである。  
**キャニスタ:** 安全評価でキャニスタの寿命が最短1,000年とされているが、TiまたはCu材料では10,000年以上の耐腐食性があり、適切に評価されるべきである。

**緩衝材、埋め戻し材:** 他国の評価では、閉鎖後ただちに地下水で飽和されるとして、再飽和期間は評価されていない。ここでとりあげられている再飽和の研究は不均質な膨潤によるキャニスタにかかる力に対する強度評価にも関係するので、さらに研究を進める必要がある。

### 地中環境 (天然バリア)

**評価モデル:** 想定処分概念では割れ目が非常にまばらな岩盤が想定され、核種移行が単純な拡散モデルで評価されているが、このような締まってい

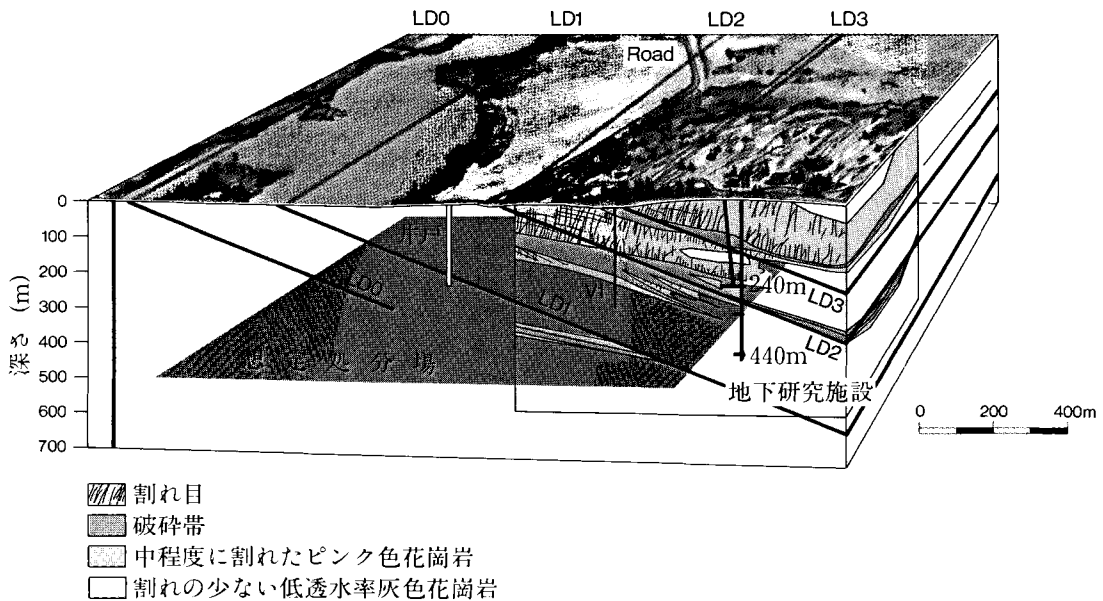


図3 地殻構造と想定処分場との位置関係

て、割れ目のない岩盤を想定している国は他にはない。地下研究施設での調査結果等に基づいているにしても一般的な性質とはいえない。もっと割れ目の多い岩盤でも安全上の余裕がある。このような岩盤についてのモデルや特性調査法の開発を進めれば、サイト選定や安全評価に役立つ。地球化学的なことについても、この評価でとりあげられているような、割れ目の少ない想定処分概念に限定すれば受入れられるが、もっと一般的ケースを想定し、地下水流の長期変化、コロイドによる移行メカニズムなどの研究を進めるべきである。

### 3) 総合システムの評価

**法的規制：**長期の人間及び自然の保護についての規制指針に関しAECLとAECBの間で直接的な討議がなされていないことは驚くべきことである。特に次の点について話し合いを持つべきである。

- ・これ以後は被ばく線量評価の必要がないとする評価停止 (cut-off) 期間、10,000年の妥当性
- ・10,000年以後の突然で劇的な (sudden and dramatic) 漏出及び個人の急性 (acute) 放射線被ばく
- ・この期間について、何が問題で、どのような議論があるか
- ・いろいろな状態での決定グループの定義

**性能評価法：**確率論的評価アプローチが他の国に比べ重視されている。確率論的評価コードSYVACは多くの長所があり国際的にも活用されている。しかし、次の欠点がある。

- ・直接的なものではなくリスクで適合性が判断されることになる。
- ・不確定性、多様性、シナリオ等の異なったタイプのものが混ざりあって、処分システムの振る舞いの解析を不透明にする。
- ・一連の事象と過程をわかりにくくする。
- ・シナリオの完全性についての問題がぼける。確率論的評価結果と決定論的評価結果とを比較することが有効である。

人間侵入について、侵入の確率とその結果について高度の定量性をもって評価しているが、最近の英国学士院及び米国科学アカデミーの勧告では人間侵入の評価は他の解析とは別扱いにすべきであるとされている。AECLの仮定、特に確率については議論があり、普通の安全評価の中で考えることはできないと考える。この点でカナダの現状は他の国と異なる。

### 4) サイト選定

- ・サイト選定に20年を予定するのは技術的な面からは長過ぎる。
- ・サイト領域をぎりぎりにとらないことが、柔軟性を持たせることになる。
- ・サイト選定のできるだけ早い段階でボランティアの原則を導入するとの方針は賛成である。
- ・指針や基準が最初は定性的であるべきである。適合性はサイト特性ではなく、システム全体の振舞いで決まるからである。
- ・公衆の参加についてはよく書いている。
- ・地中状態のシミュレーションモデルによる可視画像技術の使用は、地域社会に説明するのに有効である。
- ・サイトの絞り込みはできるだけ早い段階に行うべきである。長すぎたり、調査を詳細にしすぎないことである。3サイトから1サイトを選ぶのに12年は長過ぎる。
- ・サイト特性調査は広範であり、地殻構造と地下水理両者におき、また、システムの化学的安定性についての特性調査に重点をおくべきである。
- ・サイト選定と特性調査を始めるに当たって、品質管理計画が大切である。
- ・性能評価、設計及びサイト調査の調整と集積はサイト特性調査の段階での適切な行動決定のために基本となる。
- ・ベストのサイトに置くことは基本ではない。割れ目の少ない岩盤に処分場を置きたいのなら、そのような割れ目の少ない岩盤を見つけることが本質ではなく、なぜそのような岩盤があるのかを理解する研究が必要であるように思われる。
- ・もし可能ならば、地下水理モデルの表現方法や信頼性はさらに改善されるべきである。

### 5) EISの結論についてのコメント

- ・一つの想定処分概念についての結論となっているので、現実性のある他の概念にもこの結論が適用できることを証明すべきである。
- ・処分場閉鎖後のモニタリングの必要性はすべての国で懸案事項となっている。もし望ましいとすると、その概念と技術の開発推進が必要だろう。

#### 4. スウェーデンの長寿命廃棄物の地中処分の性能評価

##### 1) 放射性廃棄物の処理処分施設

発生源から処分にいたる廃棄物の流れを図4に示す。既に原子炉運転廃棄物の処分施設SFR1は稼働している。ここには研究所の廃棄物も処分される。

ここで述べるのは、全ての長半減期核種を含む廃棄物（長寿命廃棄物）の最終処分施設についてである。使用済燃料はSFL2に処分される。その他の廃棄物処分場がSFL3-5であり、SFL2と同じ深さ約500mの岩盤内で図5に示すような位置に設けられる予定である。

SFL3にはStudsvik原子力研究所からの放射性廃棄物も処分される予定であり、一部には鉛、カ

ドミウム、ベリリウムといった有毒金属も含まれている。また、この廃棄物は、スウェーデン内のRI使用施設（工業施設、大学及び医療機関）から集められたもので、有機物、無機物のいろいろな放射性廃棄物が含まれる。鋼鉄製ドラム缶やコンクリート容器が用いられており、未処理廃棄物が納められているものもある。主に含まれる放射性核種は $^3\text{H}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{63}\text{Ni}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{239}\text{Pu}$ 、 $^{241}\text{Pu}$ 、 $^{241}\text{Am}$ である。全放射エネルギーは2040年時点で $3 \times 10^{15}\text{Bq}$ が予定されている。

SFL3のヴォールト構造を図6に示す。コンクリート構造物で、容量5,000 $\text{m}^3$ である。内部は部屋に区切られており、廃棄物を収納した後ポーラスコンクリートで埋め戻されることになっている。まわりにはベントナイト混合土の緩衝材が充填される予定である。金属廃棄物が主体であるSFL4、

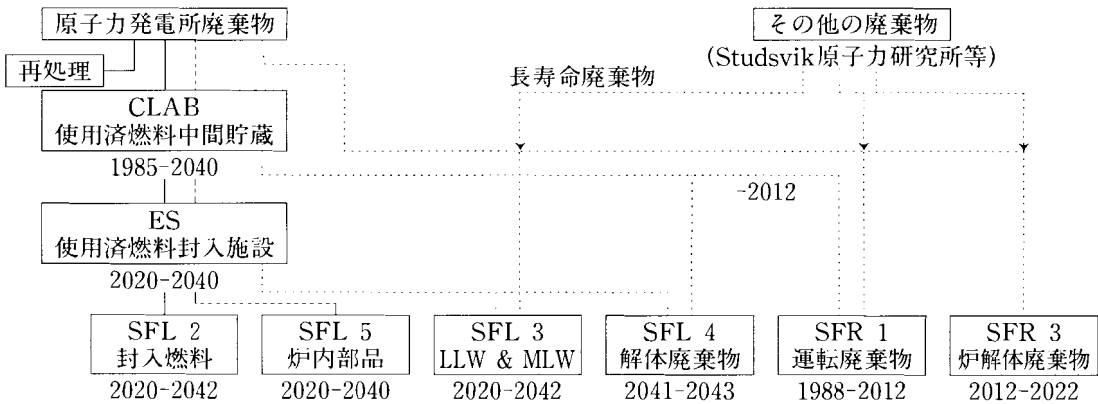


図4 スウェーデンの放射性廃棄物処理処分施設

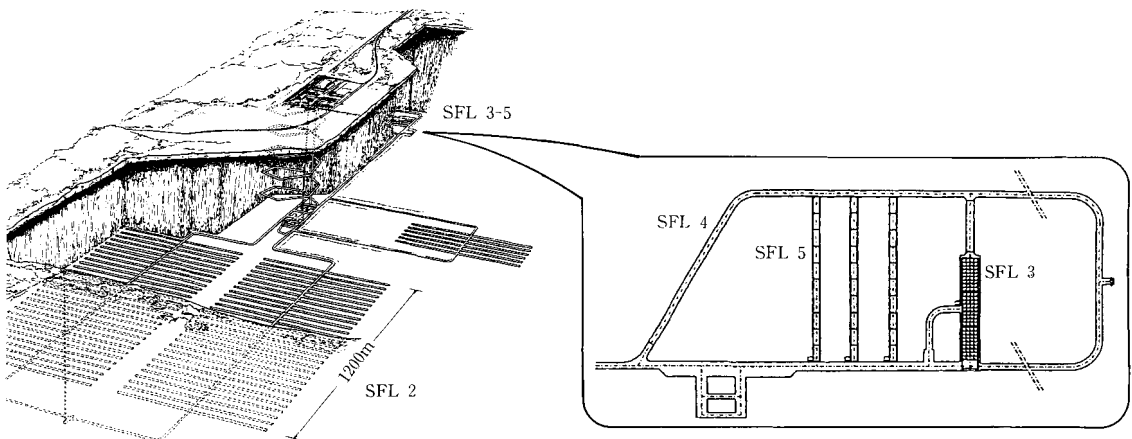


図5 長寿命廃棄物の最終処分施設の概念図

5では砂で埋め戻され、ベントナイト混合土の緩衝材はない。

## 2) SFL3の安全評価

廃棄物内の放射性核種及び化学毒性元素は廃棄物内にしみ込んだ水に即座に溶解するものと仮定する。水中の元素濃度は、溶解度と廃棄物及びパッケージング内のセメントとコンクリートへの吸着によって制限される。金属廃棄物の腐食生成物によっても放射性核種の濃度は制限される。さらに、安定同位体の存在で、同位体希釈の可能性もある。

廃棄物中の水はセメントとコンクリートの存在でpHとイオン濃度は高くなり、鋼鉄廃棄物等金属の存在で還元性条件が維持される。廃棄物中の有機物がアルカリ性の水で分解され、有機錯化剤が含まれる可能性もある。

廃棄物内に存在する放射性核種はポーラス型コンクリートを經由して、ベントナイト混合土の層を拡散して周辺の岩盤に到達する。

これまでの計算で考慮されていない、今後さらに考慮すべきものに次の4点がある。

- ・気体の発生と輸送
- ・腐食生成物との吸着/沈殿
- ・方解石との共沈
- ・コロイドの生成と輸送

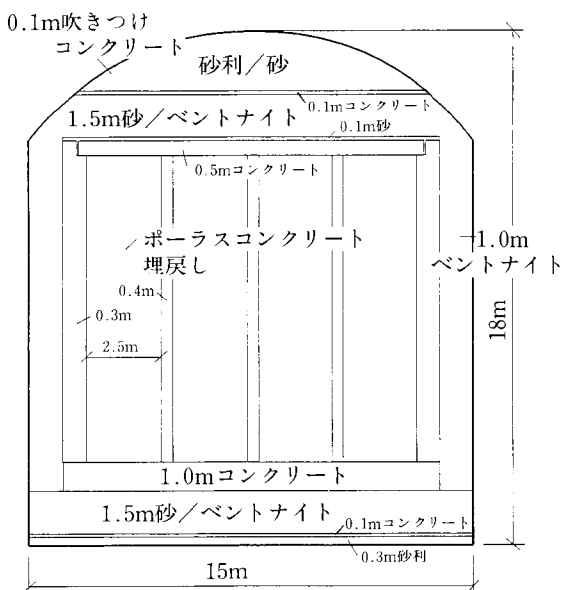


図6 SFL3の処分ヴォールトの断面概念図

処分された放射性廃棄物からの気体の発生量は表3のように見積られている。(中村治人)

表2 SFL3-5の廃棄物の量 (ton)

物質	SFL3	SFL4	SFL5
金属			
鋼鉄	217	8800 <sup>b)</sup>	1900
アルミニウム	51		
鉛	7.5		
カドミウム	1.2		
真鍮、銅	7.5		
ベリリウム	0.3		0.3
ハフニウム			4
ジルコニウム			30
有機物			
イオン交換樹脂	270		
セルロース	46		
樹脂/ゴム	67		
その他	2.8		
コンクリート			
/セメント <sup>a)</sup>	2360	850	
その他			
フェロシアン沈殿	4.6		
ウラン廃棄物焼却灰	2.9		
合計	3038	9650	1934

a) 固化廃棄物及び汚染コンクリート

b) 輸送キャスク及び輸送容器

表3 SFL3-5における気体発生率<sup>1)</sup>

	SFL3	SFL4	SFL5
放射線分解			0.1 <sup>2)</sup>
微生物による分解			
セルロース	7		
その他の有機物	4		
鉄の腐食			
廃棄物	1	20	3
パッケージ	4	4	5
アルミニウム	390 <sup>3)</sup>		
ジルカロイ			0.003
合計	406	24	8

1) 処分場条件 (10°C、50気圧) での容量に対応。

2) 最初の10年間の平均。経時的に減少する。

3) 約3年後にはなくなる。

# センターのうごき

## 平成7年度調査研究受託状況

平成7年12月1日以降平成8年2月29日までの間に次の受託契約が行われました。

委託者	調査研究課題	契約年月日
電力各社等	・制度化を考慮した解体廃棄物の処理処分方策研究	7. 12. 28

編集発行

財団法人 原子力環境整備センター  
〒105 東京都港区虎ノ門2丁目8番10号 第15森ビル  
TEL 03-3504-1081 (代表) FAX 03-3504-1297