

## スイスにおける地層処分の実現可能性実証プロジェクト

企画小委員会委員 高橋美昭（原子力発電環境整備機構）

わが国の原子力政策の方向性を示す「原子力政策大綱」（原子力委員会，2005）が昨年11月に閣議決定され，この中で使用済み燃料を再処理し，回収プルトニウムおよびウラン等を有効利用する「核燃料サイクル路線」の堅持が再確認された。地層処分を行う放射性廃棄物のうち，高レベル放射性廃棄物については「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」に基づき，2030年代頃の処分場操業開始を目標として，原子力発電環境整備機構（以下，「NUMO」）は3段階のサイト選定を進めている（NUMO，2002，2004）。また，低レベル放射性廃棄物のうち地層処分が想定される「長半減期低発熱放射性廃棄物（TRU 廃棄物）」<sup>1)</sup>については，国および電気事業者等が，高レベル放射性廃棄物との併置処分の可能性を視野に入れつつ，処分費用の確保方策や事業の実施主体など，制度化に向けた検討を進めている（総合資源エネルギー調査会，2006）。

一方，諸外国の高レベル放射性廃棄物処分の分野における最近の動向としては，今年3月，フランスにおいて，高レベル・長寿命放射性廃棄物を回収可能な地層処分場に処分する方針を示す「放射性物質及び放射性廃棄物の管理計画に関する法律」が閣議に提出され，国民議会で審議中である。処分場の建設は，2015年を目途に法令により許可されるとのことである。また，今年4月，英国の放射性廃棄物管理委員会（CoRWM）は，放射性廃棄物管理オプションの勧告案を公表した。その中で，放射性廃棄物の長期管理オプションとして，地層処分と処分サイトが決定するまでの中間貯蔵を組み合わせた管理方法を勧告している。

スイスにおいては，2002年にNagra（スイス放射性廃棄物管理協同組合）が堆積岩を対象とした「地層処分の実現可能性実証プロジェクト」（Entsorgungsnachweis project）を報告し（右図参照），2006年6月28日，スイス連邦議会はこの承認を発表した。連邦議会によるこの決定は，スイス国内における高レベル放射性廃棄物，使用済み燃料および長寿期中レベル放射性廃棄物の地層処分の実現可能性を原則的に確認するものである。

筆者は，昨年11月から今年3月までスイスNagraに長期出張する機会を得た。その間に得られた情報と今回のスイスでの重要なマイルストーン到達のニュースも含め，スイスにおける高レベル放射性廃棄物等の処分場候補岩種選定の経緯と同プロジェクトの概要を紹介したい。

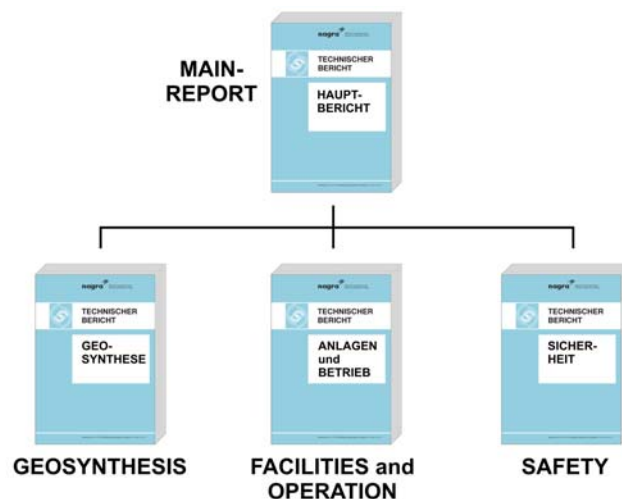


図1 「地層処分の実現可能性実証プロジェクト」（Entsorgungsnachweis project）報告書（Nagra，2002）

<sup>1)</sup> 再処理施設およびMOX燃料加工施設から発生するウランよりも原子番号の大きい超ウラン核種（TRU核種）を含む廃棄物であり，発熱量は小さいが，半減期の長い放射性核種が含まれる。従来より，「TRU廃棄物」と呼称されてきた。

## 1. 高レベル放射性廃棄物等の処分場候補岩種選定の経緯

スイスにおける高レベル放射性廃棄物（High-level Radioactive Waste: HLW）については、予備的な安全評価を実施し、安全確保の概念の成立性についての境界条件を明確

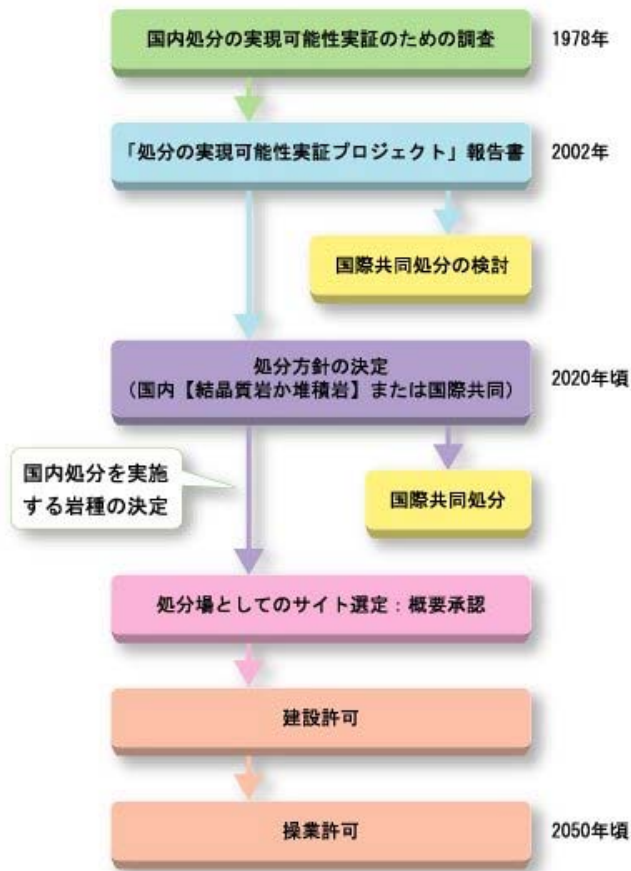


図2 高レベル放射性廃棄物処分の実施スケジュール

出典：(財)原子力環境整備促進・資金管理センターのホームページ <http://www2.rwmc.or.jp/>より

にした上で、このような概念が成立するための地質環境条件を設定し、そのような条件がスイス国内に存在することを明示するプロセスが導入された。左図に高レベル放射性廃棄物処分の実施スケジュールを示す。1978年初頭、原子力発電所を有するあるいは建設を計画している電力会社は、連邦政府より、操業の許認可の継続、および新規申請を受理するための条件として、スイス国内における放射性廃棄物の安全な処分の実現性を1985年までに明示することが要求された。要請された電力は、この回答を1972年に連邦政府と電力が出資して設立したNagraに委任した。

文献等を基にした調査を行う中で、複数（当時は5岩種）の岩種を対象とすることは時間的な制約から困難であることが予想されたため、1983年、Nagraは、以下の選定要因に基づき、岩種の分布と長期安定性の観点から、スイス北部の結晶質岩（花崗岩）に焦点を絞ることで、HSK（スイス連邦原子力安全局）と、AGNEB（連邦バックエンド作業グループ）から承諾を得た。

- スイス南部に分布する結晶質岩は、造山運動が激しい（年間約1mmの隆起速度）ことから、長期にわたり地質環境条件（水理条件、地化学条件）が大きく変化する可能性があり、初期の段階で除外。
- スイス中部に存在が推定される結晶質岩は、その分布深さが1,000m以深とされ、工学的に処分場を建設することが困難と判断されるため、このエリアも除外。
- スイス北部のドイツにつながるエリアには、花崗岩を中心とした結晶質岩が広く分布しており、その生成年代から推定して長期の安定性が確保できる見通しが得られることから、北部エリアを対象岩種として1985年に選定。

Nagraは、1985年、ボーリングの調査結果を基に、スイス北部における安全性、技術的現実性およびサイトの存在性をProjekt Gewähr 1985としてとりまとめ、1985年末に政府に提出した。さらに、1994年、花崗岩サイトでの成立性につき、より現実的なモデルを用いて評価した結果をKristallin-Iレポートとしてとりまとめた。

Projekt Gewähr は規制主体および国内外の専門家のレビューを受け、1988 年、連邦議会で承認された。その時の勧告の一つとして、堆積岩についての検討を開始した。1990 年からは、オパリナスクレイ（頁岩、粘土岩）とモラッセ（礫岩等からなる粗粒の堆積岩）の 2 岩種についてデータを取得した結果、オパリナスクレイは均質で低い透水性を有し、予想される深度に必要な厚さで広く分布していることから、1994 年、Nagra はオパリナスクレイを優先的に調査することを表明した。

## 2. スイス国内処分の実現可能性実証のための調査

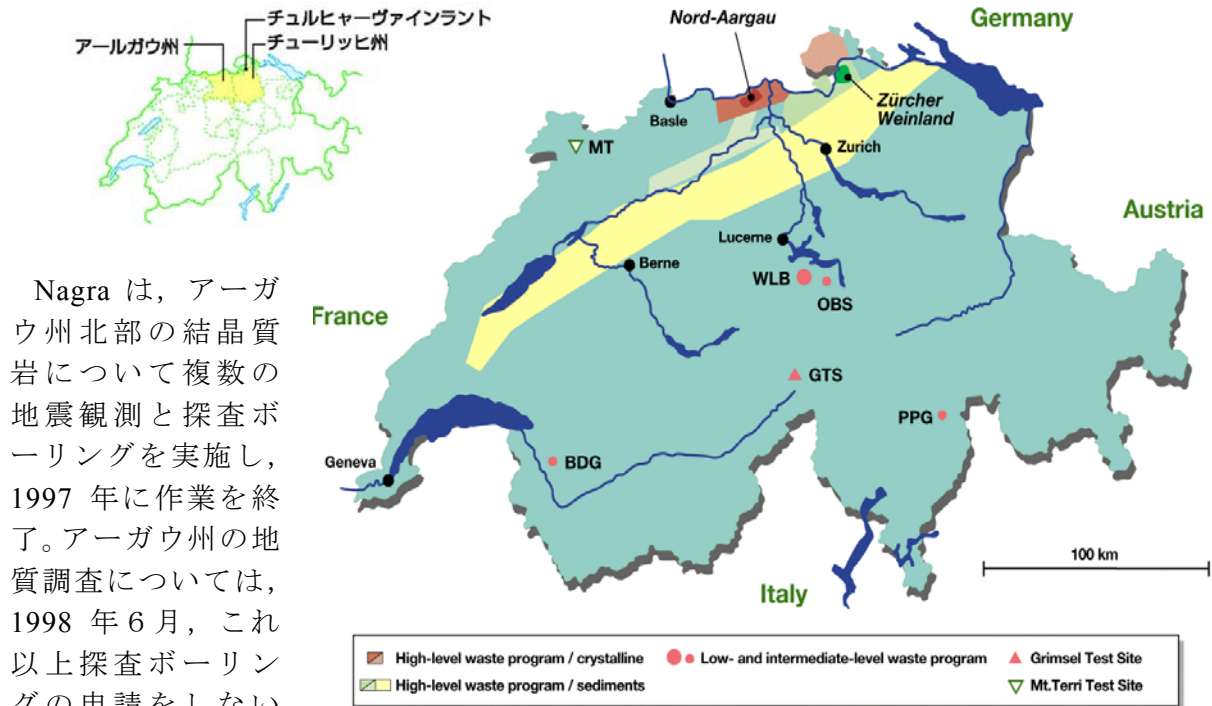


図3 スイスにおける放射性廃棄物処分の候補母岩 (Nagra, 2002)

Nagra は、アーガウ州北部の結晶質岩について複数の地震観測と探査ボーリングを実施し、1997 年に作業を終了。アーガウ州の地質調査については、1998 年 6 月、これ以上探査ボーリングの申請をしないという結論に達したが、必要があれば

調査を継続することは可能とした。(適切な処分深度を確保し、安定な岩体が分布するエリアはスイス国内では限定される。)

Nagra は、チューリッヒ州ベンケンのオパリナスクレイの調査に重点を置き、地震波探査の後、1998 年からボーリングを開始した。1999 年 5 月には最終深度 1,007m に達し、地下約 440-710m に存在する厚さ約 300m の粘土層（オパリナスクレイを含む）の透水性が低いことが証明された。1999 年 7 月からは、試錐孔からの長期的な水圧計測と地下水採取が実施されている。同サイトの有効性は、EKRA（スイス連邦政府により組織された放射性廃棄物処分概念専門家グループ）により 2000 年 2 月に発表された放射性廃棄物の処分コンセプトに関する諮問書でも確認されている。

以上の調査は、「地層処分の実現可能性実証プロジェクト」(Entsorgungsnachweis project) の枠組みで実施され、報告書は <http://www.nagra.ch/> で公開されている。

連邦政府が定めた原子力法の中では、国内における処分場オプションだけでなく、国際的なプロジェクトの枠組みの中での国際共同処分場を実現することも可能なオプションとされている。

なお、スイスには 2 つの重要な地下研究施設が存在し、国際共同研究の場として活用

されている。1つは、スイス南部の結晶質岩中のグリムゼル試験場（1984年開設）、もう1つは北西部のオパリナスクレイ中のモン・テリ岩盤研究所（1996年開設）である。これら地下研究所はいずれも山岳地に位置し、数100mの土被りのある研究区域へ既存のトンネルを経由して水平にアクセスするレイアウトになっている。

グリムゼル試験場およびモン・テリ岩盤研究所での研究概要について、以下のホームページを参照されたい。

グリムゼル試験場：<http://www.grimzel.com/index.htm>

モン・テリ岩盤研究所：<http://www.mont-terri.ch/>

### 3. 地層処分の実現可能性実証プロジェクトの承認

スイス連邦安全規制当局ならびに国内外の専門家は、2002年に公開された「地層処分の実現可能性実証プロジェクト」の報告書類を詳細に評価し、連邦議会に対し同プロジェクトの承認を勧告した。2006年6月28日の連邦議会決定は、スイスの放射性廃棄物管理計画が重要なマイルストーンに達したことを意味する。今後、連邦議会により地層処分場予定地選定に関する手順と基準が地層処分場の特別計画（Sachplan）において定められると、次段階として処分場建設予定地選定作業が開始

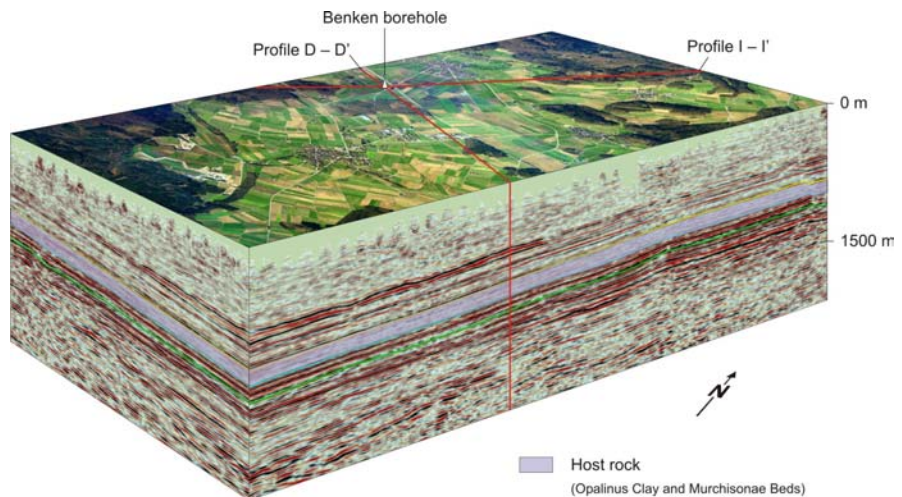


図4 チュルチャーヴァインラント地域の候補母岩（Nagra, 2002）

される。Nagraは現在、連邦エネルギー庁の指揮のもと、この作業の技術的基盤整備を進めている。

2002年、Nagraはチュルチャーヴァインラント（Zürcher Weinland）地域に分布するオパリナスクレイ層を対象とした、地層処分の実現可能性実証プロジェクトに関する技術報告書を公表した。同プロジェクトの対象となった上記の地域と地層は、地域的な野外調査計画および広い視野からの選定作業に基づき、連邦当局の承認を得て1994年に選定された。同プロジェクトの科学的な成果はZürcher Weinland地域に分布するオパリナスクレイ層が高レベル放射性廃棄物の地層処分場建設の母岩に適していること、ならびに建設された処分場が国の定める安全指標と基準を満たすであろうことを示している。これらを踏まえNagraは2002年末に連邦議会に対し同プロジェクトの承認を要請していた。

2003年から2005年にかけて、技術報告書に対する連邦安全規制当局による評価が行われ肯定的な結果が得られた。HSK（スイス連邦原子力安全局）、KNE（放射性廃棄物管理委員会）、KSA（原子力施設安全委員会）、さらにはOECD/NEA（経済協力開発機

構原子力機関)の国際的な専門家グループの全てが同プロジェクトを高く評価した。また AkEnd (ドイツのサイト選定手続委員会)もこれに同調しスイスの処分予定地選定手順を承認した。

スイスの原子力法は放射性廃棄物の安全な処分に関する実証を義務づけている。連邦議会による地層処分の実現可能性実証プロジェクトの承認により、スイスの放射性廃棄物管理計画は重要なマイルストーンに達した。Nagra は連邦議会の決定を歓迎し、これを 30 年以上にわたり継続してきた研究開発成果に対する信頼の証と受け止めている。

なお、処分場予定地選定手順にかかわる件としては、Nagra は同じく 2002 年、連邦議会に対し今後の高レベル放射性廃棄物処分計画を処分場予定地選定の候補地域である Zürcher Weinland 地域に分布するオパリナスクレイに焦点を置いて実施することに対する承認についても要請していた。しかし、地層処分の実現可能性実証プロジェクトの承認にもかかわらず、連邦議会はこの要請を拒否し当面は特別計画の手順を進めることを決定した。

これまででも、地元だけでなく隣国ドイツの住民からのヒアリング、カントンの行政府および議会での意見交換を含めたオープンな手順で調査が進められてきたことから、処分場予定地の最終決定に先立ち、近隣諸国および公衆が参加するオープンな手順により、今後、複数の候補地が調査の対象となる可能性がある。

#### 4. 地層処分の実現可能性実証プロジェクトの概要

2002 年に Nagra がまとめた地層処分の実現可能性実証プロジェクト報告書から、処分概念 (NUMO, 2004 b) を以下に紹介する。

地質環境	- 還元性地下水で飽和されたオパリナスクレイ (頁岩 (粘土岩)) (Nagra, 2002)
処分深度	- 650m (北部スイスにオパリナスクレイが存在する深度, 図 5) (Nagra, 2002)
処分場規模	- 約 1.5km <sup>2</sup> (図 6) (Nagra, 2002)
対象廃棄物	- ガラス固化体, 使用済燃料, MOX 使用済燃料 (沸騰水型原子炉 (BWR), 加圧水型原子炉 (PWR)) (Nagra, 2002)
処分量	- ガラス固化体: 約 730 体 (ウラン換算約 1,195t) - PWR 使用済燃料: 約 1,443t (ウラン換算) - BWR 使用済燃料: 約 1,629t (ウラン換算) - MOX 使用済燃料: 約 145t (ウラン換算) (Nagra, 2002)
処分システム	- ガラス固化体/使用済燃料, キャニスタ, 緩衝材及び天然の地層からなる多重バリアシステム - ガラス固化体, 使用済燃料を鋼鉄製キャニスタ (設計目標とする閉じ込め期間: 1,000 年) に封入 (図 7, 8) - 処分坑道 (直径 2.5m) に, 3m 離して設置されるベントナイトブロック上に横置き定置し, 周辺にペレット型緩衝材を充填 (付図 9) (Nagra, 2002)

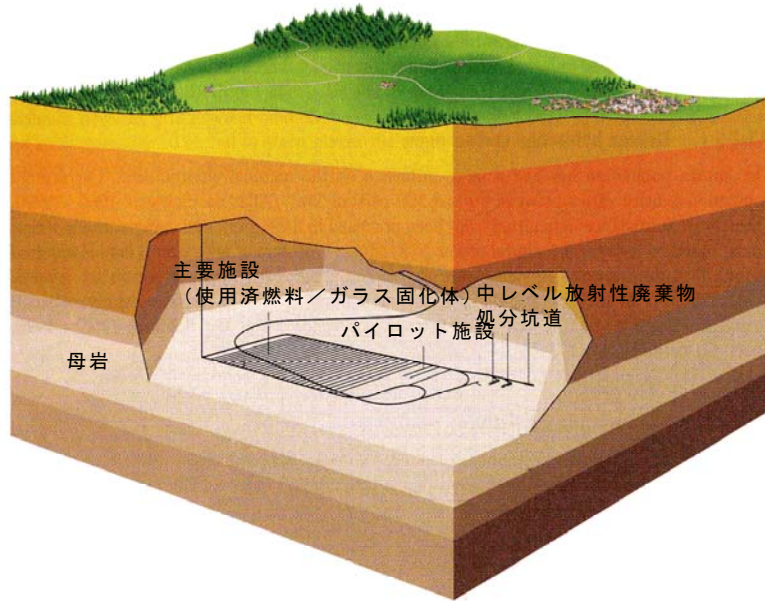


図5 使用済燃料，ガラス固化体及び中レベル放射性廃棄物の処分場レイアウト  
(Nagra, 2002 を和訳)

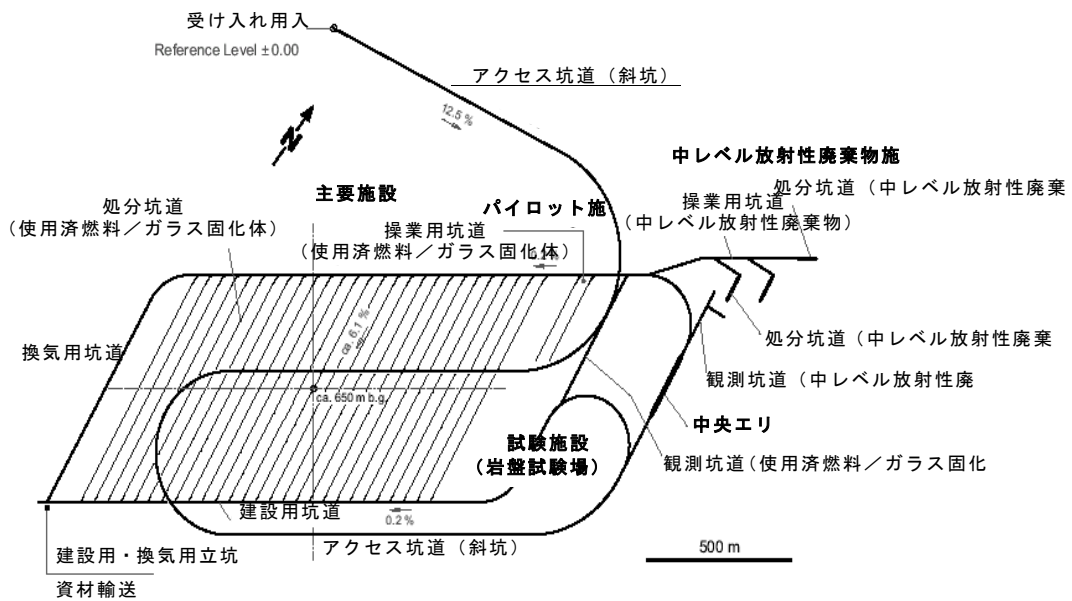


図6 使用済燃料，ガラス固化体及び中レベル放射性廃棄物の処分場計画図  
(Nagra, 2002 を和訳)

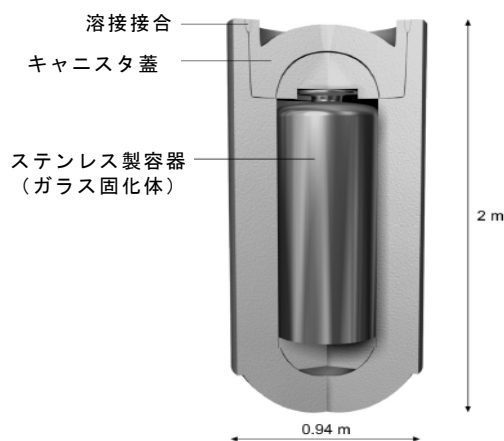


図7 ガラス固化体のキャニスタ  
(Nagra, 2002 を和訳)

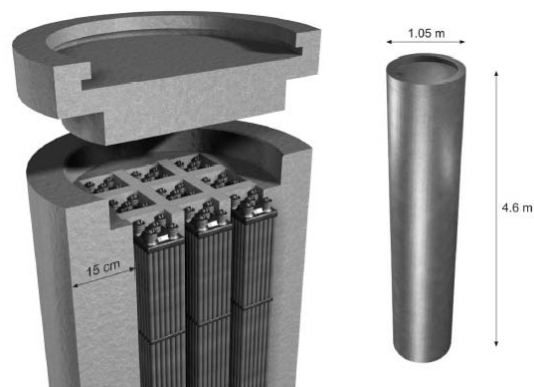


図8 BWR 使用済燃料のキャニスタ  
(出典：Nagra, 2002)

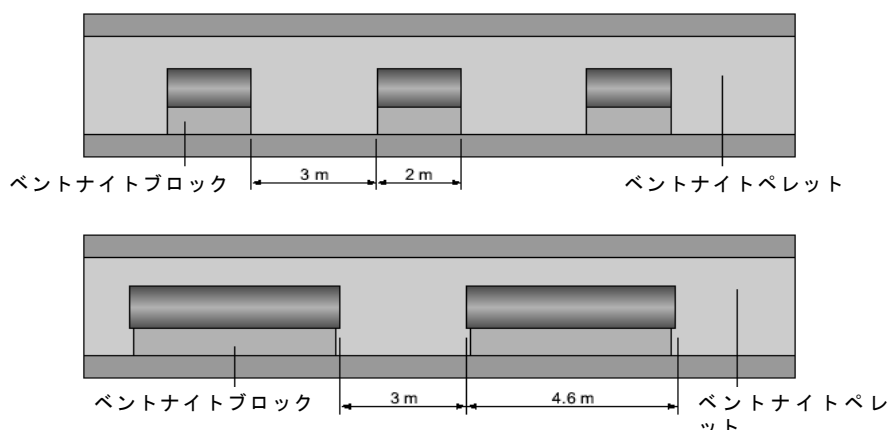


図9 ガラス固化体（上図）と使用済燃料（下図）のキャニスタの定置  
(Nagra, 2002 を和訳)

#### 【参考文献】

原子力委員会（2005）：原子力政策大綱，2005年10月11日。

総合資源エネルギー調査会（2006）：放射性廃棄物小委員会報告書，総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会放射性廃棄物小委員会，平成18年6月16日。

NUMO（2002）：概要調査地区選定上の考慮事項，高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料-3。

NUMO（2004a）：概要調査地区選定上の考慮事項の背景と技術的根拠～「概要調査地区選定上の考慮事項」の説明資料，2004年6月。

NUMO（2004b）：高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性～「処分場の概要」の説明資料，2004年6月。

Nagra（2002）：Project Opalinus Clay, Safety Report, Demonstration of Disposal Feasibility for Spent Fuel, Vitrified High-level Waste and Long-lived Intermediate-level Waste (Entsorgungsnachweis), National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste, Technical Report 02-05, Wetingen, Switzerland, December 2002.

経済産業省資源エネルギー庁（2006）：諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について，2006年3月。