

原環センター トピックス

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT CENTER TOPICS

1999.6.NO.49

目次

スイス・グリムゼル試験場におけるガス移行挙動試験の概要
各国の政策と計画
センターのうごき

スイス・グリムゼル試験場におけるガス移行 挙動試験の概要

1. はじめに

本試験は、平成9年(1997年)9月にスイスのNagra(Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle:スイス放射性廃棄物管理協同組合)との間で締結された協定に基づきグリムゼル試験場でのフェーズVの試験の一環として開始された。グリムゼル試験場は、スイス南部のグリムゼル峠にある揚水式水力発電所のアクセス・トンネルに隣接して作られた、花崗閃緑岩質の地下施設で、種々の国際的な研究プロジェクトに利用されている。(図-1)

原子力施設の解体や、再処理工場等から発生する金属廃棄物、廃棄体容器、鉄筋等が処分場へ処分されると、長期間の後、腐食してガスを発生したり、廃棄物中に含まれる有機化合物が微生物により分解され、ガスが発生することが予想される。これらのガスは、長期間の後、地下の処分場に蓄積されると密閉度の高い処分場施設内の圧力が上昇し、処分場を構成する人工バリア構築物にひ

び割れや最悪の場合、破損を生じさせる可能性が考えられ、また、ガス圧が、放射性物質で汚染された処分施設内の水や空気を周辺岩盤に押し出し、放射性物質が処分施設外の生物圏に移行する、等が考えられる。

これらの現象を想定して、処分場の人工バリアと周辺の天然バリア中での気体あるいは液体の挙動を解析する目的で本試験を計画した。

平成9年度には原位置試験場の選定と試験計画及び室内試験の計画を実施し、平成10年にアクセス坑道とサイロ空洞を掘削した。さらにサイロ周辺に掘削したボーリング孔を使って水理・力学的試験を実施して地圧測定とその傾向等を測定した。

以下に、本試験の概要を示す。

2. 目的

ガス移行挙動試験(Gas Migration Test: GMT)プロジェクトの目的は、主に次の通りである:

- (1) 廃棄物から発生するガスの拡散についての

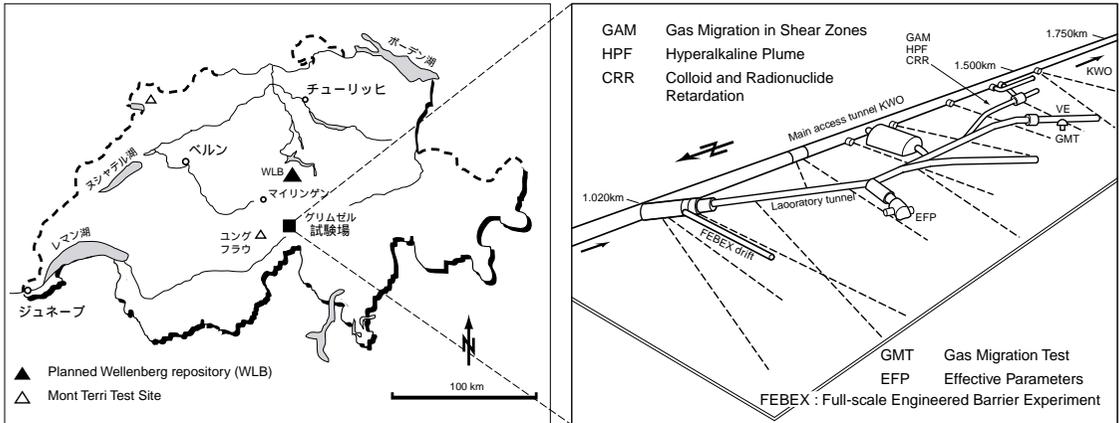


図 - 1 グリムゼル試験場の場所と GMT サイトの位置

- 人工バリアとその周辺岩盤の機能の評価
- (2) 原位置条件下での人工バリアと天然バリアを通過するガス拡散に適用出来るモデルの評価 / 検討
 - (3) ガス拡散に関連する人工バリアシステム (EBS) 設計の改良へのデータの取得 (ガスベントの有無を含め)
 - (4) 原位置条件下での低中レベル放射性廃棄物サイロ・システムの建設と EBS 定置の立証

平成 10 年度に実施された周辺岩盤のサイロ空洞掘削前後の水理・力学試験実施項目を表 - 1 に示す。また、本試験の主な実施内容と工程を表 - 2 に示す。

本プロジェクトは、2003 年に完了する予定である。

3. ガス移行挙動試験の概念

ガス移行挙動試験 (GMT) の基本的概念は、日本の現実的な地質条件下で、低中レベル放射性廃棄物のサイロ型処分場を建設する場合を想定して、人工バリアと天然バリア中の気体や液体の挙動を解析・評価することである。グリムゼル試験場では、周囲の岩盤よりも高い透水性の破碎帯を横切るような位置に、高さ約 4m、直径約 4m のサイロを掘削し、その中にベントナイト系充填材 (ベントナイト - 砂の混合層) とその内側にコンクリートサイロを構築することとした。

サイロ中央部には、ガスを充填させる空間 (空洞) を設けてアクセス坑道側からガス注入管を介

してガス (窒素ガスとトレーサーガスの混合) を注入し、サイロ外周に掘削した複数のボーリング孔で、EBS や周辺岩盤内を拡散してくるガス量、ガス圧または、水の量を検出する。(図 - 2)

平成 10 年度からは、これと並行して室内試験を実施して、人工バリア材としてのベントナイトの選定や EBS の層厚、検出器の選定と設置方法等について検討し、その結果を GMT 試験に反映させる。

4. アクセス坑道とサイロ空洞の掘削

GMT 用のアクセス坑道とサイロ空洞の掘削は、1998 年夏からグリムゼル試験サイトの南側で開始され、11 月 30 日までで終了した。

サイロ空洞の掘削は、破碎帯が急角度でサイロ

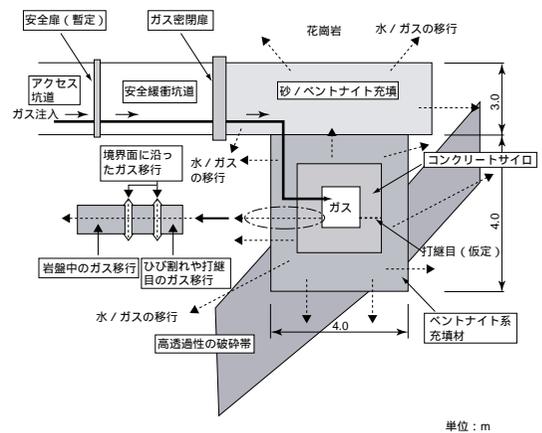


図 - 2 ガス移行挙動試験 (GMT) の原位置試験概念図

と交差しており、破砕帯の破砕程度が大きく、粘着力が小さいこと、及び空洞壁面の損傷をできる限り回避すること、等の点から、静的破砕材を併用した工法を採用した。

スムーズ・プラスチック工法を採用したがサイロの上部(破砕帯面に沿った割れ)での崩壊や、サイロ壁面の荒さを最小にするため、発破の24時間前に静的破砕材 Bristar を充填して岩にあらかじめ圧縮応力を与える工法を採用し、サイロ壁面の荒さを10cm以下に抑えた。

5. 地質構造マッピングと水理・力学試験

平成11年3月までに実施されたサイト調査の内容は、(1)アクセス坑道とサイロ空洞の地質構造マッピング、(2)ボアホールを用いた水力学的試験と間隙水圧の長期モニタリングと(3)サイロ空洞近傍の2つのボアホールでの原位置地圧測定である。

(1) 地質学

アクセス坑道及びサイロ側壁並びにサイロ天井部の地質学的マッピングと4本のボアホールを使った地圧測定等が行われた。

図-3にサイロ天井部のマッピングを示す。図の下方(南)がアクセス坑道側であり、貫入岩(いわゆるランプロファイア)が認められ、サイロの手前で途切れている。サイロの北側には破砕帯が存在し、サイロ周辺には湿った箇所が数カ所認められた。GMT サイトは、VE 破砕帯の南側境界

表-1 周辺岩盤のサイロ空洞掘削前後の水理・力学試験実施項目

実施項目	実施内容	対象ボーリング No.
ボーリングの削孔	サイロ下部空洞周囲における4本のボーリングの削孔(アクセス坑道及びサイロ上部空洞掘削後)	GMT 98-001~004
原位置透水試験	サイロ下部空洞掘削前における、その周囲岩盤の透水係数の測定(アクセス坑道及びサイロ上部空洞掘削後)	GMT 98-001~004
原位置力学試験	サイロ下部空洞掘削前における、その周囲岩盤の応力状態の測定(アクセス坑道及びサイロ上部空洞掘削後)	GMT 98-001, 003
長期間隙水圧モニタリング	本試験位置近傍における間隙水圧測定の継続及びサイロ下部空洞周囲における同測定の開始(アクセス坑道掘削前~サイロ下部空洞掘削後まで)	BOVE84-011, 018, 88-001, 002 GMT 97-001, 002 GMT 98-001~004

に位置し、約10mの厚さと100m以上の幅を持ち、ほぼ垂直な傾斜を持っている。

サイロの南側は、概して“弱く変形した花崗閃緑岩(Granodiorite)”が、また、サイロ中央には“中程度に変形した花崗閃緑岩”が分布している。サイロ壁面の半分程度は破砕帯で占められており、湧水状況は、壁面が常に湿っている程度で、サイロ周辺の数カ所地下水流出点が確認されている。

表-2 試験工程(案)

年度	1997 (H9)	1998 (H10)	1999 (H11)	2000 (H12)	2001 (H13)	2002 (H14)	2003 (H15)
1. 試験計画の策定	原位置試験計画 室内試験計画	室内試験詳細計画	試験パラメータの設定				
2. 人工バリア材料、ガスベント材料等の評価試験(室内)			ベントナイト系充填材透水・透気試験、モックアップ試験等				
3. 試験位置の選定及び地質調査	既存データ収集 ボーリング/透水試験	アクセス坑道・サイロ空洞掘削、地質構造調査					
4. 掘削と調査		ボーリング/水理・力学試験					
5. ガス移行試験の予備評価			ガス移行試験の予備評価				
6. ガス移行評価実証試験(原位置)		試験準備	ステップA: 詳細な空洞周辺岩盤の特性調査試験	人工バリア建設	ステップB: ガスベント有り	ステップC: ガスベント無し(ガスベント目詰り想定)	試験施設撤去
7. 試験後解析評価、モデルの検証及び報告書作成	報告書作成				解析評価		課題の整理

一方、健岩部は、完全に乾燥していた。

(2) 水理試験

水力学試験と間隙水圧の長期モニタリングが GMT サイト周辺の 10 個のボアホールで実施された。水理地質学的研究調査としては、(i) サイトの主要な構造要素の水力学的性質を決め、(ii) GMT 坑道掘削前後の破碎帯中の間隙水圧分布を測定し、(iii) サイロ掘削前のサイロ空洞の近傍における岩盤の水力学的特性を、将来の掘削影響領域(EDZ : Excavation Disturbed Zone) の影響評価のためのレファレンス・データを取ることを、を目的とした。

a) 透水試験

ボーリング孔 GMT97-001 と GMT97-002 を用いた長期の透水試験を実施した。その結果、GMT97-001 孔では、透水係数として 1.0×10^{-9} (m/s)、GMT97-002 孔では、 $1.5 \sim 2.4 \times 10^{-10}$ (m/s) であった。(図-4、表-3)

平成 10 年度に新たに掘削されたボーリング孔 GMT98-001 と GMT98-003 は、垂直に掘られ、GMT98-002 と GMT98-004 は、傾斜角 45 度を持ち、下方向に掘られている。これらのボーリング孔で測定された長期の透水試験結果を表-3 に示す。

これらのボーリング孔から採取したコアの写真撮影と観察から、各孔の得られた地質構造の概要は、以下の通りである。

GMT98-001 : サイロ下部空洞の南側の鉛直ボーリング孔で、サイロ空洞壁面から 1m の位置にある健岩部。コアは、健全な花崗閃緑岩で、少数の微小亀裂を含む。ボーリング孔中には明らかな亀裂面は認められなかった。

GMT98-002 : サイロ下部空洞の東側に位置する傾斜角 45 度を持つボーリング孔で、北からの方向角 348 度、20 度の角度で主破碎帯と交差している。ボーリング孔の最初の 1m 区間では、微小の亀裂が存在し、それより深い区間では、強い変形作用を受けた花崗閃緑岩中に、多くの亀裂面が観測されていた。また、1.4m 以深は破碎帯中にあることが確認されている。

GMT98-003 : サイロ下部空洞北側に位置した鉛直ボーリング孔で、この孔は破碎帯の水理・力学試験測定をするために設定されたボーリング孔で、全体は亀裂密度の高い破碎帯に位置している。

GMT98-004 : サイロ下部空洞の西側に位置する傾斜角 45 度のボーリング孔。このボーリング孔は、0.95m で破碎帯と交差し、それ以深は、すべて破碎帯中にある。なお、最初の 50cm 区間は亀裂密

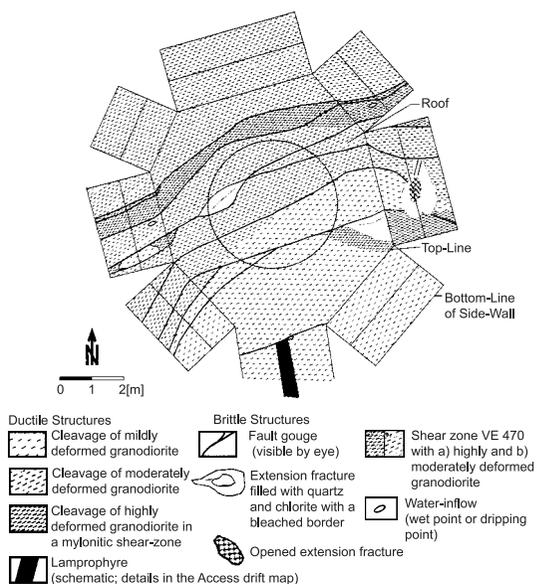


図-3 サイロ空洞の天井と壁及びアクセス坑道の天井の地質学的マッピング

度が高く、これはサイロ上部空洞掘削時の発破の影響と思われる。

GMT98-001 ~ 003 の 3 本のボーリング孔での透水係数は、 2.6×10^{-9} ~ 3.6×10^{-10} (m/s) で、初期地圧は 70 ~ 85kPa が観測された。ここで、健全な岩盤部 (GMT98-001) と破碎帯部 (GMT98-002, -003) の透水性が同等であったこと、しかし、こ

表-3 長期透水試験 (GMT 98-001 ~ 98-004) の結果

試験区間	試験期間 (日)	圧力 Pi (kPa)	透水量係数 T (m ² /s)	透水係数 K (m/s)
GMT 98-001 (健岩部)	7	70	-	-
	2		1.8E-8	2.6E-9
	7		7.0E-9	1.7E-9
GMT 98-002 (破碎帯部)	5	85	-	-
	1		1.1E-8	1.9E-9
	7		1.5E-8	2.6E-9
GMT 98-003 (破碎帯部)	5	85	-	-
	1		6.0E-9	1.0E-9
	7		2.1E-9	3.6E-10
	1.5hr		5.6E-9	9.6E-10
	1.5hr		3.4E-9	5.8E-10
GMT 98-004 (破碎帯部)	1	187	-	-
	3		3.7E-10	6.5E-11
	23		4.3E-10	7.6E-11
			4.1E-10	7.2E-11

れら 3 本のボーリング孔から採取したコアの観測結果からは、顕著な損傷域が認められなかったことは、留意すべき点である。

GMT98-004 (破砕帯部) における試験では、初期圧力は、187kPa で他の 3 つのボーリング孔と比べて顕著に高く、透水係数も他のボーリング孔の測定結果より約 1 桁低く、 $6.5 \sim 7.6 \times 10^{-11}$ (m/s) であった。これらの結果は、本ボーリング孔が空洞の最端部に位置し、掘削の影響を受けていないためと考えられる。

b) 長期間隙水圧測定試験

既存のボーリング孔と新規ボーリング孔を用いて長期間隙水圧を測定した。本試験は、ガス移行試験の数値モデルを作成し、サイロ空洞掘削の影響を観測するため、ガス移行試験前の初期条件を取得し、試験中の観測を行うことを目的としている。(図 - 4)

長期間隙水圧測定時の圧力上昇の状況から、ほとんどの観測区間で圧力観測開始 4 ヶ月後には安定した圧力が得られている。ボーリング孔 GMT98-001 ~ 004 では、大気圧に近く、低い間隙水圧を示している。

斜め 45 度下方に削孔された 2 本のボーリング孔 (GMT98-002 及び 004) では、92 ~ 95kPa で、鉛直に削孔された GMT98-001 と -003 では約 80kPa 程度の値を示している。さらに、前者の方が、わずかではあるが圧力の上昇を示している。

(図 - 5a)

間隙水圧 (絶対圧力) の最高値は、VE88.002 の計測区間 No.2 における 660kPa 及び GMT97-001 の計測区間 No.2 における 605kPa であった。他のボーリング孔では 200kPa 以下であり、これは、サイロ空洞に向かう破砕帯を通る排水によるものと考えられる。(図 - 5b)

(3) 力学試験 (原位置応力測定)

サイロ下部空洞掘削前に、サイロ空洞に削孔された 2 本の鉛直ボーリング GMT98-001 及び GMT98-003 において原位置応力測定試験を実施した。これは、サイロ下部坑道掘削前の周辺岩盤の応力状態を把握するためであり、掘削後の応力測定は、次年度に実施する。

応力測定には、ポアホールスロット・プローブを使用した。このスロット・プローブは、ボーリング孔壁面にボーリング孔と平行にスロットで切れ目を入れ、その際に局所的な応力の再配分によ

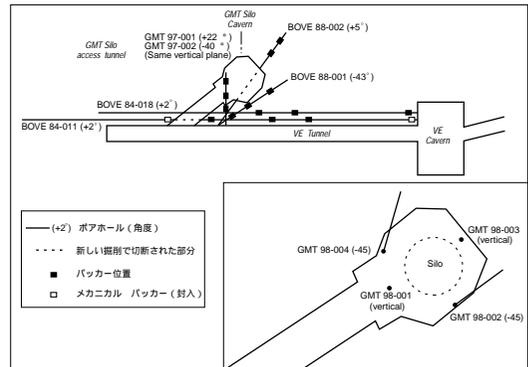


図 - 4 長期間隙水圧測定レイアウト

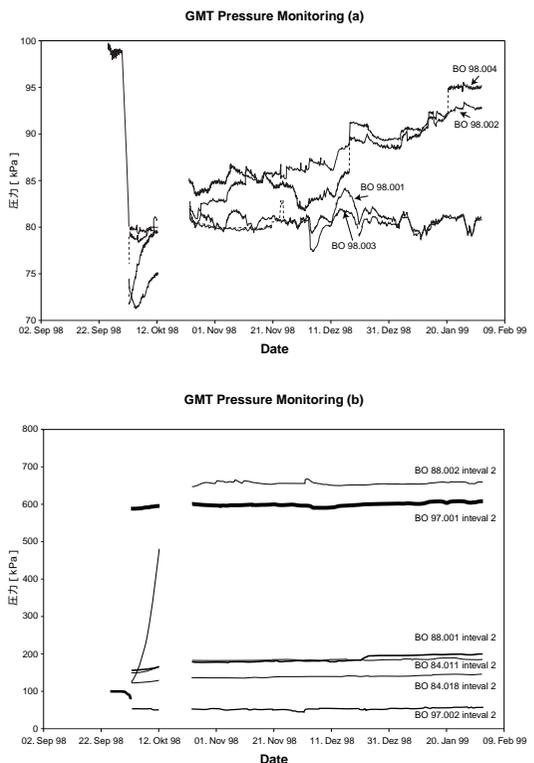


図 - 5 長期間隙水圧測定における圧力上昇状況

って生じる変形 (元に戻ろうとする、ボーリング孔に垂直な面での応力) をひずみ計で測定する方法である。その結果を、深度を横軸に、応力を縦軸にして 図 - 6 に示す。GMT98-001 では、平均の最大主応力方向は、107 度で、おおよそアクセス坑道と垂直な位置関係にあり、平均応力値は 12.7MPa であった。

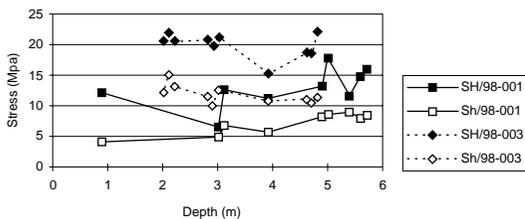


図 - 6 ボアホール GMT98-001 と GMT98-003 における最大水平応力 (SH) と最小水平応力 (Sh)

GMT98-003 孔では、最大主応力方向は 145 度で、平均応力は、19.9MPa であった。2 つのボーリング孔での応力値の違いは、それぞれの VE トンネルに対する相対的な位置及びアクセス坑道における位置の違い (遠近)、即ち、GMT98-003 がサイロ上部空洞の奥に位置し、坑道先端部のため、掘削の影響が少なく、GMT98-001 と比較して応力値が大きかったものと考えられる。

(安藤康正、藤原 愛、安富 勇)

参考文献： A.Fujiwara, I.Yasutomi, Y.Ando, S.Vomvoris, M.Fukaya, P.Marschall, W.Kickmaier, K.Ando; The Fifth International Workshop on Key Issues in Waste Isolation Research, 2-4 December, 1998, Barcelona, Spain

各国の政策と計画

1999 年 4 月に開催された OECD/NEA の RWMC (放射性廃棄物管理委員会) に提出された各国の現状報告書¹⁾に基づき簡単に紹介する。

カナダ

1998 年 3 月評価パネルが「カナダの使用済燃料の地層処分概念は、技術的には安全性が確保されているが公衆の支持は得られていない。」との趣旨の結論を出した。この結論を受けて 1998 年 12 月カナダ政府は次の点を明確にした。

- ・ 廃棄物発生者と所有者で廃棄物管理組織を作り、処分を含む長期の管理の活動の責務について協力する。
- ・ 発生者と所有者は廃棄物管理組織の全ての活動運営の財政措置をする。それには研究開発から処分施設の撤去までの全てが含まれる。
- ・ 廃棄物管理組織は長期管理に好ましいアプローチ (次の点を含め) を政府に報告する。
 - 包括的な公衆の参加計画
 - 倫理的社会的評価の枠組み
 - アボリ人の参加プロセス
 - 現実的な長期管理 (修正 AECL 地層処分概念、原子炉サイトでの貯蔵、集中貯蔵を含めて。)
 - 各提案サイトの Risk, Cost & Benefit の比較
 - 将来ステップ

米国

EPA は 1999 年夏には新環境基準を提案する予定である。また、NRC は Yucca Mountain 処分場のサイト固有の改訂許可基準を提案した (1999 年 2 月 22 日 Federal Register)。

DOE は Yucca Mountain 実行可能性評価報告書を 1998 年 12 月に発行した。結論は、このサイトで科学技術的調査検討を進めるべきであるとなっている。一方、同サイトでの調査研究開発は順調に進行している。

WIPP では、1999 年 3 月 26 日 LANL から最初の放射性廃棄物の受け入れが行われ、歴史的な 1 段階を達成した。この搬入は 2000 年末まで週 1 回から週 17 回に増して続行される予定である。この廃棄物は non-mixed、contact-handled waste であるが 1999 年末までには mixed waste についての許可も得られる予定である。

スウェーデン

SKB は使用済燃料の集中中間貯蔵施設の貯蔵容量を増す (CLAB stage 2) 許可を得て、掘削工事に着手した。

また、処分の安全解析報告書 SR-97 の評価を NEA に依頼した。

SKI は使用済燃料の最終処分の長期安全評価についての新しい基準を準備中である。また、SSI は放射性廃棄物処分に関連する「人の健康と環境保護」に関する次の内容を含む新しい基準を発行した。

- ・ 最終管理は最適化され、可能な最良技術によるべきである。
- ・ 集団線量は比較の目的で計算すべきである。
- ・ 個人に対するリスクターゲット $10^{-6}/y$ は最高被ばく領域を代表する個人についてである。
- ・ 生物の多様性及び生物資源の保護。
- ・ 2 つの時間枠 (始めの千年と千年を超す期間)。

・人間侵入の結果は評価されるべきである。

ノルウェー

1998年9月28日低中レベル廃棄物施設の運転責任機関が Statsbygg から IFE に移った。

英国

上院科学技術特別委員会は1999年3月放射性廃棄物政策の見直しの結果をまとめた報告書を出した。結論の主な点は次の3点である。

- ・すべての長寿命廃棄物についての総合的な政策が必要である。
- ・監視期間中は閉鎖しないで回収可能性を維持し段階的な処分を行うことが望ましい。
- ・1つまたはそれ以上の深地層処分場の建設が必要である。今から50年以内に操業できるようにする必要がある。

スイス

中間貯蔵施設 ZWILAG の建設は1998年に終了した。運転許可は1999年中に得られる予定。

低中レベル放射性廃棄物の Wellenberg 処分場については52%対48%で住民投票で破れ、反対の主な理由が回収可能性とモニタリングであることを念頭に対策が進められている。容易に回収可能な期間は建設後100年程度まで続けられると考えられる。その他、技術的観点と社会経済的観点からの検討が進められている。

フランス

la Manche 処分場は1994年に操業を終わり、監視期間に入っている。安全解析レポートは、1998年12月専門家グループの検討を終わり、1999年に公聴会が開かれる予定である。

Aube 処分場については、最初の1年間の操業経験を反映した報告書の専門家の検討が1997年11月に終わっている。

新施設 CENTRACO の操業許可が1999年はじめに得られる予定である。この施設は廃棄物の減容処理に役立つと期待されている。

長寿命廃棄物処分の地下研究施設のサイト選定については、1998年12月、東部サイト Bure 粘土質地層とこれから選ばれる花崗岩サイトの2サイトで行うことが決められた。

スペイン

El Cabril 処分場には1998年12月時点11,800m³が処分された。ENRESA は1998年2月 Vandellos 1 原子力発電所の解体を開始する許可を得た。

ドイツ

原子力法の改訂の中で、処分関係では次の点が

あげられる。

- ・地層処分場は全ての種類の放射性廃棄物に対して1つあれば十分である。
- ・高レベル放射性廃棄物処分場は2030年までに完成すべきである。
- ・Gorleben 岩塩ドームは適性に欠けるとの疑いが出てきている。従って、試験掘削は中止して別のサイトについて適性を調査する。
- ・Morsleben サイトでの処分は中止する。
- ・原則として、中間貯蔵施設はプラント操業者が原子力発電所サイトに設けなければならない。中間貯蔵施設は最終処分場には使わない。

ベルギー

実証試験施設 PRACLAY 建設の基盤づくりが進んでいる。従来の研究施設 HADES とをつなぐトンネルの掘削が1999年6月末までには始まり、1999年中に終了の予定である。PRACLAY の完成は2000年の予定である。

イタリア

低レベル放射性廃棄物処分場のサイト選定のためのスクリーニングが1998年当初から開始された。

オランダ

Dodewaard 原子力発電所の運転が1997年3月に停止され、解体計画が検討されている。

IAEA

使用済燃料の貯蔵に関するシンポジウムが OECD/NEA との共催で1998年11月ウィーンで開催された。このシンポジウムの重要な結論は、使用済燃料は今後数十年は中間貯蔵を行うことになると考えられ、これまで考えられていた期間より長くなるのでその対策が必要である。

使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の模擬処分環境での化学耐久性と性能評価について協力研究計画が1998年に始まった。

EC

1999年1月、ヨーロッパの放射性廃棄物対策の現状についてまとめたレポートが出版された。

1999年4月20-21日、放射性廃棄物の環境影響評価と地層処分に関する Workshop が Brussels で開かれる。ここでは、環境影響評価への公衆の参加の問題、廃棄物の回収可能性や安全指標の問題等がとりあげられる。

(中村治人)

1) RWMC に出席した原研燃料サイクル安全工学部村岡氏より入手。

センターのうごき

第 2 回 評議員会開催

平成 11 年 3 月 12 日（金）第 2 回評議員会が開催され、

1. 平成 11 年度事業計画及び収支予算が承認されました。
2. 次の役員人事について承認されました。（平成 11 年 3 月 12 日付）

区 分	退 任	新 任	役 職
非常勤理事	近藤 俊幸 永野 健 吉川 允二	都甲 泰正 秋元 勇巳 松浦祥次郎	核燃料サイクル開発機構理事長 三菱原子燃料株式会社取締役社長 日本原子力研究所理事長

第 46 回 理事会開催

平成 11 年 3 月 19 日（金）第 46 回理事会が開催され、

1. 平成 11 年事業計画及び収支予算が承認されました。
2. 次の評議員が選出されました。（平成 11 年 3 月 19 日付）

区 分	退 任	新 任	役 職
評 議 員	永井 康男	日浦 治也	三菱重工株式会社常務取締役

特定公益増進法人であることの証明の更新

平成 11 年 3 月 31 日付けで主務大臣から特定公益増進法人の証明を受けました。

平成 11 年度に推進する調査研究等の課題

当センターは平成 11 年度事業計画に基づき

低レベル放射性廃棄物の処理処分に関する調査研究	12 件
高レベル放射性廃棄物、TRU 廃棄物等の処理処分に関する調査研究	13 件
ウラン廃棄物の処理処分に関する調査研究	3 件
放射性廃棄物の処理処分全般にわたる調査研究等	4 件

計、32 件の調査研究等を実施する予定です。

平成 11 年度調査研究受託状況

平成 11 年 4 月 1 日以降、平成 11 年 5 月末までの間で、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
科 学 技 術 庁	・放射性廃棄物地層処分事業管理システム調査	11. 4. 1
通 商 産 業 省	・高レベル放射性廃棄物等の処理・処分に関するフィージビリティ調査	11. 5. 26

編集発行

財団法人 原子力環境整備センター
〒105-0001 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