

原環センター トピックス

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT FUNDING AND RESEARCH CENTER TOPICS

2004.6.NO.70

目次

センターの活動状況	①
HADES地下研究施設の実験プログラムに関する会議・ワークショップ (Conference & Workshop on the Experimental Programme of the URF HADES)	③

センターの活動状況

I 賛助会員サービス実施状況

報告会及び懇親会を開催

平成16年3月17日（水）、東海大学校友会館において賛助会員を対象とした報告会及び懇親会を開催しました。

報告会において、当センターが米国で開催されたWaste Management 2004で発表した内容を中心に「遠隔操作技術開発の現状」を紹介するとともに、平成16年度の当センターの事業展開について説明しました。



報告会



懇親会

Ⅱ センターの運営状況

第15回評議員会開催

平成16年3月8日（月）開催の第15回評議員会において、中期的な事業運営方針（平成16～18年度）について報告するとともに、一般会計及び資金管理業務に係る平成16年度事業計画及び収支予算並びに本年3月末をもって任期満了となることに伴う全役員の選任について付議し、それぞれ原案のとおり承認されました。今回の役員の変更により、次の方々が交替されました。

区 分	退 任 者	新 任 者	所 属、役 職
理事（非常勤）	都甲 泰正	殿塚 猷一	核燃料サイクル開発機構 理事長
同	鎌田 迪貞	松尾 新吾	九州電力（株） 取締役社長

第60回通常理事会開催

平成16年3月12日（金）開催の第60回通常理事会において、中期的な事業運営方針（平成16～18年度）について報告するとともに、一般会計及び資金管理業務に係る平成16年度事業計画及び収支予算並びに理事長、専務理事及び常務理事の選任並びに本年3月末をもって任期満了となることに伴う全評議員の選出について付議し、それぞれ原案のとおり承認されました。

理事長には板倉治成氏が、専務理事には井上毅氏が、常務理事には米原高史氏がそれぞれ再任され、評議員については次の方々が交替されました。

区 分	退 任 者	新 任 者	所 属、役 職
評議員	中島 光夫	金子 孝二	原燃輸送（株） 取締役社長
同	川村 隆	河原 暲	（株）日立製作所 常務
同	成合 英樹	宅間 正夫	（社）日本原子力学会 副会長

平成16年度資金管理業務に関する事業計画書及び収支予算書の認可

特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律（平成12年法律第117号）第77条第1項の規定に基づき、経済産業大臣に認可の申請（平成16年3月15日付）をし、平成16年3月22日付をもって認可を受けました。

HADES地下研究施設の実験プログラムに関する会議・ワークショップ (Conference & Workshop on the Experimental Programme of the URF HADES)

高村 尚 (ANDRA駐在)

1. はじめに

ベルギーでは1995年、処分の実施主体であるONDRAF/NIRAS（ベルギー放射性廃棄物・核分裂性物質管理機関）と処分関連研究機関のSCK・CEN（ベルギー原子力研究センター）が組織したPRACLAYというグループにより、「PRACLAYプロジェクト」が開始された。このプロジェクトの目的は、Boom粘土層（海で堆積した粘土層で、ベルギーの地層処分の候補地層）での地層処分の実現性を示すことである。2000年12月、このグループが発展し、両者のJVとしてEURIDICE（European Underground Research Infrastructure for Disposal of radioactive waste In a Clay Environment）が結成された。現在、EURIDICEはベルギーにおける地層処分の実現可能性を明確にするため、PRACLAYプロジェクトの次期フェーズとして、新たな実規模実証プログラムを計画・推進中である。

2004年1月27日～29日、ベルギーMol市において、ベルギーにおける既往の研究成果及び最近の研究動向に関する報告と、今後の国際協力の呼びかけを目的とした「HADES地下研究施設の実験プログラムに関する会議・ワークショップ(Conference & Workshop on the Experimental Programme of the URF HADES)」(以下 ワークショップ)が、上記3機関により開催された。ワークショップの内容は以下のとおりである。

- ・ EURIDICEとURF HADESの概要 (P. Govaerts氏 SCK)
- ・ 研究開発における地下研究所の役割 (C. Thegerström氏 SKB)
- ・ 高中レベル放射性廃棄物処分に関するベルギーの研究開発計画 (J.-P. Boyazis氏 ONDRAF)
- ・ 実証試験“PRACLAY”の概要 (Ph. Lalieux氏 ONDRAF)
- ・ URF HADESで実施されたANDRAの研究 (F. Jacq氏 ANDRA)
- ・ URF HADESにおける既往及び予定されている試験の概要 (B. Neerdael氏, X. Sillen氏, G. Volckaert氏 SCK)
- ・ Connecting Galleryに関する研究 (F. Bernier氏, W. Bastiaens氏, J. Verstricht氏, Xiang Ling Li氏 EURIDICE)
- ・ PRACLAY Heater test (F. Bernier氏 EURIDICE)

- ・ PRACLAY Plug test (X.L. Li氏 EURIDICE)
- ・ 国際共同研究の提案 (A. Sneyers氏 SCK)
- ・ 国際共同研究に関するブレインストーミング (A. Sneyers氏 SCK)
- ・ URF HADES見学 (P. Meynendonckx氏 EURIDICE)
- ・ PRACLAYに対する国際共同研究提案 (J. Bel氏 ONDRAF)
- ・ ワークショップの成果のまとめ及び今後のアクションプラン

上記内容の中から、ベルギーの最近の研究動向を以下に報告する。

2. URF HADESの経緯

ベルギーでは、Mol-Dessel地区の原子力発電関連施設サイトの地下に堆積するBoom粘土層への、高レベル及び長半減期核種を含む放射性廃棄物の地層処分に関する実現可能性が検討されている。関連する研究は1974年にSCKにより開始され、その後、当地区の地下250m付近に地下研究施設URF HADES (Underground Research Facility: High Activity Disposal Experimental Site)を建設することが決定された (図1)。1980年、第1立坑と周辺坑道の建設が始まり、以後それらの施設を利用した各種の研究が実施されてきた。1997年、PRACLAYプロジェクトを本格的に開始するため、第2立坑の建設が開始され、2001年から2002年にかけて、HADESの既設研究部分（第1立坑及び周辺坑道）と第2立坑を連結するConnecting galleryが建設された。Connecting galleryの建設には日本のトンネル建設でもおなじみのトンネルボーリングマシン (TBM) が使用され、支保材 (トンネルの安定を図る支持材) にはプレキャストコンクリートセグメントが採用されている。

2006年には、Connecting galleryからPRACLAY専用の研究用トンネル (PRACLAY gallery) が建設される予定である。PRACLAY galleryでは、今後約10年間にわたり実際の処分環境を模擬した実規模実証試験が行われる予定である。

また、第2立坑の地上部には展示館と地上での試験場を兼ねた建屋が建設されており、見学者は、ここでビデオ等による説明を受け展示物を見学した後、地下施設を見学することになっている。この建屋で

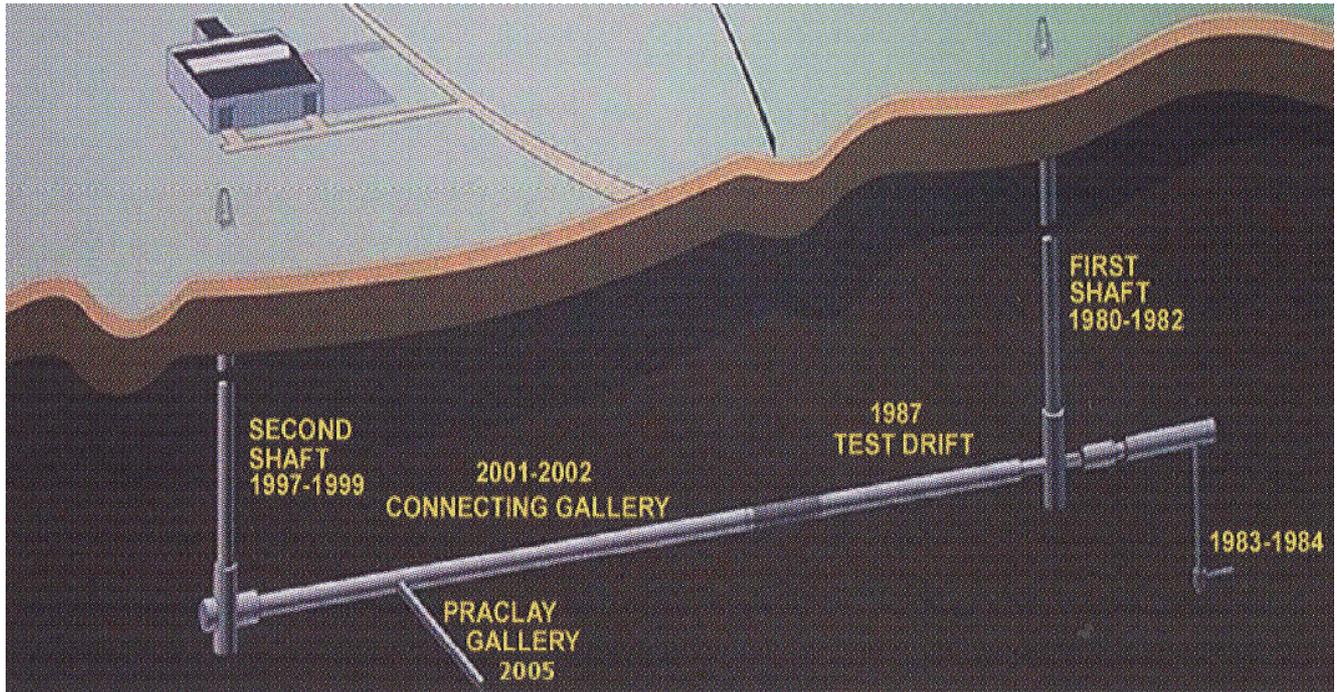


図1 URF HADES ¹⁾

は、地上のモックアップ試験として、OPHELIEモックアップ試験が行われた（1995年から2003年）。これは、直径2m（処分坑道の直径を模擬）の鋼管に、ベントナイト緩衝材ブロック（FoCa粘土（フランス産Ca型ベントナイト）60%，砂35%，黒鉛5%混合）、その中央に直径508mmのヒータ（廃棄体を模擬）を定置し、緩衝材の挙動を調査したものである。

3. 既往の研究及び実証

3.1 第2立坑の建設

第2立坑は、上部内径が3m、水平坑道に接続する下部内径が5mの円筒形立坑である（図2）。立坑建設の途中、地下水を豊富に含んだ砂層を通過する際には、地上からの凍結工法が採用された。この部分の支保工には、一次覆工として掘削後すぐに吹付コンクリートが施され、二次覆工としてプレキャストコンクリートセグメント（セグメント外周部に厚さ8mmの鋼製ライナーを敷設）が使用された。吹付コンクリートとセグメントの間隙にはアスファルト系材料が充填された。立坑の掘削深度が、地下研究施設の対象層であるBoom粘土層に到達してからは、Boom粘土層内の立坑掘削方法を確立及びBoom粘土の掘削時の挙動を確認するために、凍結工法を用いず支保には現場打設コンクリートが採用された。

その結果、深度190mからBoom粘土層の中間部分である250mまで、凍結工法を使用しなくても安全な掘削が可能であることを実証することができた。また、立坑掘削時のモニタリングによって、Boom粘土

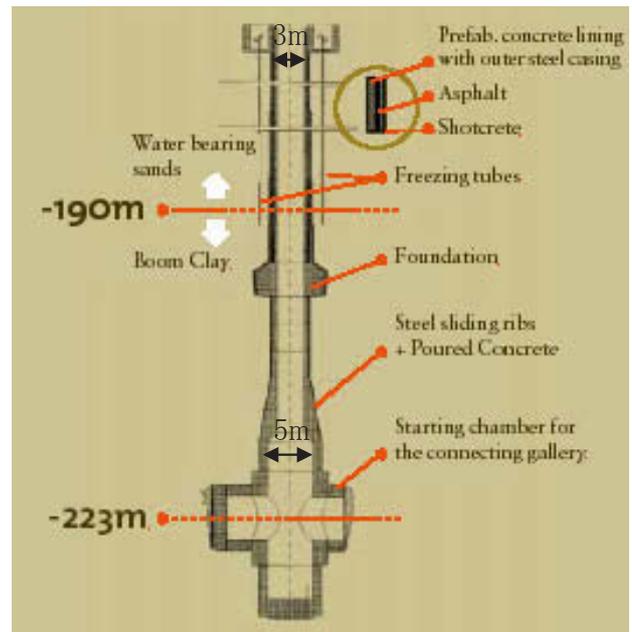


図2 第2立坑概要 ²⁾

層の掘削時の力学的挙動は深度によらず均等であることが確認された。

立坑から、水平坑道を掘削する際には、立坑掘削中に発生したと考えられるすべり面が立坑中心から外側に向かって対称に幾層にも観察された。水平坑道掘削時には坑道切羽（掘削中のトンネルの最先端部分）が立坑から十分に離れるまで、これらのすべり面に沿うBoom粘土の剥落を防止するための支保を十分に行いながら掘削が進められた。



写真1 TBM (トンネルボーリングマシン) 1)

3.2 Connecting galleryの建設

Connecting galleryは、第2立坑と既往の地下研究施設(第1立坑に接続する水平坑道)を結ぶ水平坑道である。Connecting galleryに関しては、一般的な建設技術によりBoom粘土層に高レベル放射性廃棄物処分場用の坑道が、合理的に建設可能であることを実証することが大きな目的であった。掘削には、坑道周辺のEDZ(掘削影響領域)の発生を最小限に抑えることを目的としてTBMが使用された(写真1)。Boom粘土層の変形挙動が大きい場合には、TBMがBoom粘土層にトラップされ、動けなくなる恐れがあるため、事前に力学解析等を十分に行った上で、TBMの設計及び施工方法の検討がなされた。また、掘削速度の向上、余掘り量と無支保区間の低減、Boom粘土層の変形挙動に応じた支保の最適な設計が課題であった。

TBMは、Boom粘土を掘削するためのロードヘッダー、作業員の安全確保のための長さ2.3mのシールド部分、及びセグメントを組み立てるエレクターの3要素から構成されている。掘削に伴うEDZの低減、円滑な掘削面とTBMの直進性の確保を目的として、ロードヘッダーで実際に掘削する内径は、シールド部分の外径よりも小さく設計されている(シールドの最外郭部を粘土層内に貫入させつつ掘進する)。

セグメントはシールド部分から離れた後方で組み立てられるため、坑道掘削中には長さ3m程度の無支保区間が存在する。この無支保区間でBoom粘土層の掘削直後の変形をある程度許容することにより、合

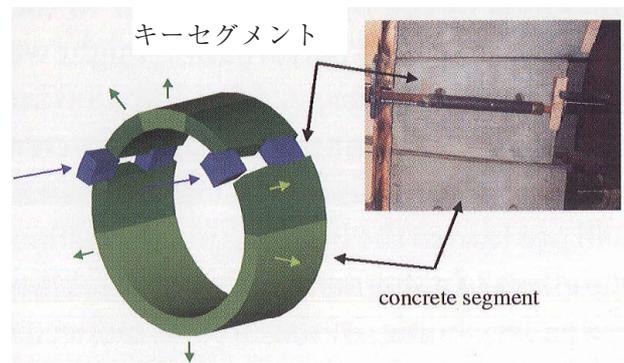


図3 セグメントリング 1)

理的な支保設計を実現している。セグメントリングは12分割(厚さ40cmのプレキャストコンクリートブロック)されており、そのうち2つは楔形状のキーセグメントとして使用されている。セグメントリングの直径は、TBM掘進用の推進油圧ジャッキによりキーセグメントを後方に押しこむ度合いにより、4800mm±10mmの範囲で調節できるようになっており、無支保区間のBoom粘土の変形に追従することができる(図3)。



写真2 Connecting gallery現況

Connecting gallery (写真2) では建設技術の実証以外に、次の2つの研究が実施された。

- ・切羽前方からの掘削中におけるBoom粘土層の水理・力学に関するパラメータのモニタリング：これにより掘削に起因するBoom粘土の水理・力学的応答が同定され、支保の変形量や支保に作用する全土圧が高い精度で予測することが可能となった。
- ・掘削に起因するEDZにおける亀裂パターンに関する研究：Boom粘土の最も重要な特性のひとつである水理・力学挙動を確認し、自己シーリング性能に関する特性も把握した。

これらの研究を通じて、Boom粘土層（深度250m）に一般的な建設技術を使用して、放射性廃棄物処分場としての長期性能を確保できる坑道が建設可能であることを示すことができた。

平均掘削速度は3m/日であったが、将来的には掘削機器の改良と、ずり出し立坑の直径を大きくすることにより、掘削速度を10m/日程度にまで改善できるものと考えられている。

3.3 OPHELIE モックアップ

OPHELIE モックアップは、処分坑道の一部分、主に人工バリアに注目した実証試験である。直径2m、長さ5mの鋼管（処分坑道の直径を模擬）に、ベントナイト緩衝材ブロック（FoCa粘土60%、砂35%、黒鉛5%混合）が定置され、その中央に直径508mmのヒーター（廃棄体を模擬）が置かれた。この試験では、模擬発熱に伴う緩衝材中の水の動きや緩衝材の力学的、化学的な挙動が調査された。モックアップには150個のセンサーが設置された。緩衝材の膨潤試験は1997年に開始（ヒーター試験はその6ヵ月後から開始）され2002年まで継続された。

緩衝材に関する計測では、事前の予測値よりも高い熱伝導特性、低い膨潤特性及び高い塩化物と硫化物含有量が確認された。また、モックアップ解体時の調査によって、5年間のベントナイトブロックの膨潤により、ベントナイトブロックの定置時に避けられなかった物理的な隙間（ベントナイトブロックと処分坑道を模擬した鋼管の間の隙間）が、すべてシーリングされていることが確認できた。ただし、解体時のベントナイトブロックの飽和度は92%程度であり、中心部分のベントナイトブロックは未飽和であった。OPHELIEモックアップ試験では、人工バリアの温度上限値の再設定や、人工バリア設計の変更など、今後新たな改良を行う上で重要な知見が得られた。

4. PRACLAYプロジェクト

ベルギーでは、現在、「The super-container design」、
「The borehole design」、及び「The sleeve design」の
3つの処分概念が検討されている。これらの概念から
1つの概念をリファレンスとして選択するまでには
多くの知見が必要であるとされている。したがって、
PRACLAYプロジェクトの次期フェーズは、今後どの
概念が選択されても良いように、かつ選択のための
知見が得られるようにフレキシビリティを持たせ、
また、技術的・化学的観点だけでなく経済的観点も
考慮に入れて計画されている。

現在、地下施設で実施されるPRACLAYプロジェ
クト（次期フェーズ）として次の5つの試験が予定され
ている（図4）。

- ・ Gallery and crossing
- ・ Heater test
- ・ Backfill test
- ・ Plug test
- ・ Witness test

次期フェーズのPRACLAYプロジェクトは、2006
年、Connecting galleryから直角方向に分岐する長さ
40m、直径2mのPRACLAY galleryの建設によって開始
される。まず、両坑道の接続部分のEDZを極力拡大
させない建設方法の実証が「Gallery and Crossing」
試験として行われる。

PRACLAYプロジェクトの最重要試験である
「Heater test」はPRACLAY galleryの奥から30mの部
分で実施される。Heater testの目的は、Boom粘土層
の中で、坑道、EDZ、人工バリア、プラグ等を模擬
した実際の処分環境下における廃棄体熱負荷時の

Boom粘土の挙動を実規模で確認することである。
Heater testは10年以上継続される予定であるが、最
初の5年間で得られる結果によりBoom粘土層が処分
場としてふさわしいかどうかの1次的評価を示すこ
とができると考えられている。ベルギーの現在の処
分概念では、Boom粘土層が処分場の超長期の閉じ込
め性能を確保する上での重要なバリアのひとつであ
るため、廃棄体処分後短期間に生じる廃棄体発熱に
よる急激な温度上昇がBoom粘土の特性にどのよう
な影響を与えるのかを確認することは極めて重要で
ある。

Heater testの最先端部分には、Super-containerが定
置され、坑道支保との隙間の充填技術を実証する
「Backfill test」が実施される。隙間の充填には粒状
ベントナイト等が使用される予定であり、その形状
や必要な膨潤圧、力学的強度などが検討される。な
お、Backfill testは、EUの第6次共同プロジェクトで
あるESDRED (Engineering Studies and Demonstration
of Repository Designs)の1項目として実施されること
になっている。ESDREDは欧州8カ国13機関が参加す
る国際プロジェクトである。

また、Heater testが実施される箇所とConnecting
galleryの間には試験区間の非排水状態を確保するた
めの止水プラグが設置される。止水プラグとその周
辺では「Plug test」として、その止水性能や、EDZ
及びBoom粘土層内の水理状況の確認が行われる。

「Witness test」は、数10年間以上にわたる人工バ
リア及び天然バリアの長期挙動を把握するために実
施されるもので、同時にモニタリング機器の長期使
用試験も行われる。さらにWitness testは、将来世代
への「Engineered analogue」の提供にも寄与できるも

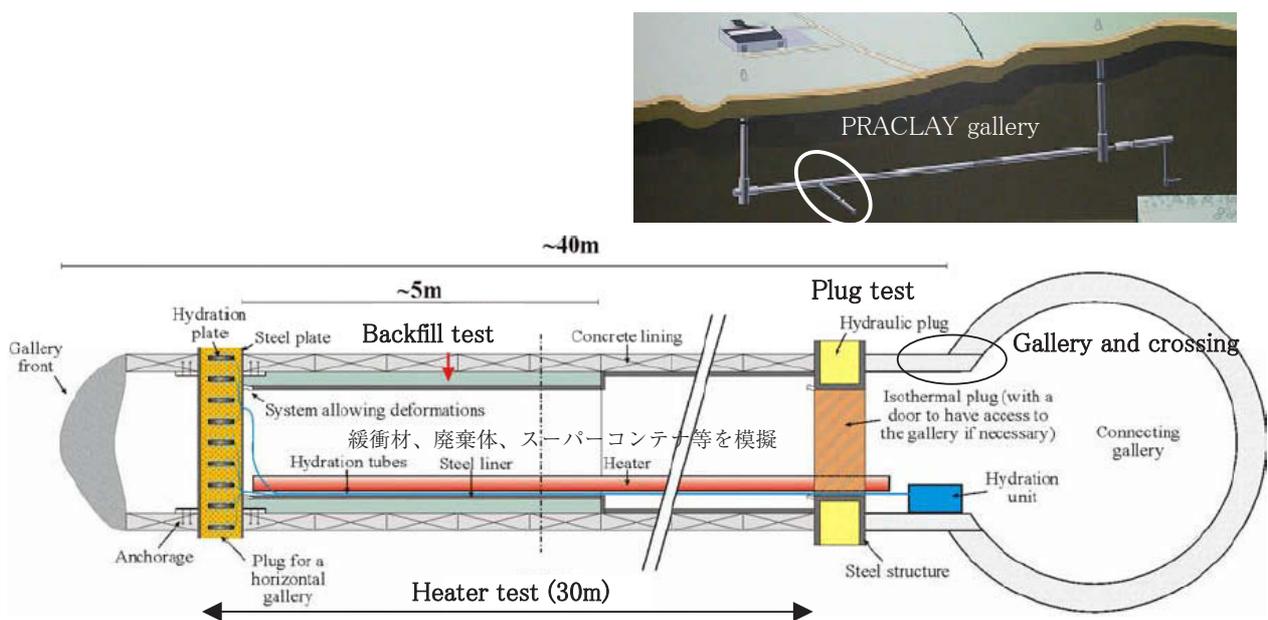


図4 PRACLAYプロジェクト（次期フェーズ）³⁾

のと期待される。ただし、このWitness testは、Heater testの終了後、各試験の評価を行った後に実施されるものであり、早くても2017年以降に開始されるものである。

上記のとおり、ベルギーではBoom粘土層内における高レベル及び長半減期核種を含む放射性廃棄物の処分概念が検討されており、2006年から開始予定のPRACLAYプロジェクトの次期フェーズでは、その実現可能性を示すための実規模実証試験が実施される。これらの実証試験で得られる結果や知見は、今後ベルギーが、放射性廃棄物処分の概念及び戦略を選択する上での重要な判断材料となるものである。

5. あとがき

今回の、ワークショップには海外処分関連機関からANDRA、SKB、NAGRA、及び当センターが参加した。また、ベルギー国内や欧州の役所、電力、大学、コンサルタント、メーカ等の研究者、技術者等、総勢70名が参加した。

今回のワークショップには2つの目的があった。

1つは、ベルギーの放射性廃棄物処分技術に関する最新の研究成果の報告、2つ目は、今後予定しているプロジェクトをより有効に実施するために国際協力を積極的に進め、技術的なノウハウの結集を目指すというものであった。

1つ目の目的に関しては、発表者から最新の研究成果が簡潔に分かりやすく報告され、出席者との間で活発な議論が行われるなど、十分達成されたものと感じられる。2つ目の目的についても、少人数のグループに分かれてのブレインストーミングや議論の時間が十分確保されており、参加者の間で国際協調・国際協力の重要性を再確認することができた。

自然条件・社会条件の違いから各国の処分概念には若干の違いがあるものの、上記のPRACLAYプロジェクトに代表されるように欧州各国はそれぞれの知見を結集し協力して研究開発を進めていく方向性にある。当センターは、これまで欧米の関連機関と主に情報収集という形で良好な関係を築いてきているが、今後日本からの情報の発信という役割もより積極的に行っていく必要があると感ずる。

参考文献

- 1) EURIDICE News Nr.2, September 2003
- 2) EURIDICE News Nr.1, February 2002
- 3) The PRACLAY Heater Test and the PRACLAY Plug Test, F. Bernier, X. L. Li, SCK, Conference & Workshop on the Experimental Programme of the URF HADES, Mol.27-29, January 2004, EURIDICE

編集発行

財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

〒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

ホームページ <http://www.rwmc.or.jp/>