

# 原環センター トピックス

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT FUNDING AND RESEARCH CENTER TOPICS

2001.6.NO.57

## 目 次

欧州のコンクリートの耐久性に関する研究動向	.....
今後の業務と中期的な経営目標について	.....
センターのうごき	.....

## 欧州のコンクリートの耐久性に関する研究動向

### 1. はじめに

近年、中国大地湾の 5 千年コンクリートやローマ時代のコンクリート等の調査が進められ、環境条件によっては長期にセメント系材料に要求される強度等の性能を維持していることが判ってきた。我が国の放射性廃棄物の処分では、固型化材、充てん材、構造材等にセメント系材料が採用され、さらに坑道方式埋設施設設計では支保材料にもセメント系材料が検討されている。諸外国においてもセメント系材料が大量に用いられ、今後も必要不可欠の材料として考えられている。

放射性廃棄物を埋設処分する環境は、セメント系材料にとっても良好な環境条件とみなせるため、長期に亘って健全であることが予測される。しかしながら、セメント系材料の長期性能評価手法が確立されていないことから、放射性廃棄物処分の安全評価上、セメント系材料の遮水性は評価されておらず、放射性物質の公衆への影響を無視できる程度に小さくするため、遮水性の高いベントナ

イト混合土等の使用が必須とされている。充てん材や構造材に大量に使用されているセメント系材料の長期性能が適正に評価できれば、過剰な構造を改め、合理的な処分施設設計が可能となる。

そこで、当センターでは平成 10 年度より、F.P.Glasser、A.Atkinson、D.Read 博士が所属する英国のシンクタンク「エンタープリス社」とのセメント系材料の長期性能評価技術に関する情報交換を行ってきた。それらの成果の一部である欧州でのコンクリートの耐久性に関する研究動向を報告するとともに、当センターの取り組みを紹介する。

### 2. 欧州の研究動向

#### 2.1 研究の背景

英国では、低中レベル放射性廃棄物（一部長半減期核種を含む）を比較的深い地層に処分する第 2 処分場の計画が進められ、その事業者として NIREX（原子力産業放射性廃棄物管理会社）が 1982

年に設立された。数カ所の候補地の中から最終的にセラフィールドが候補地として選定され、地下900mより浅い地層に処分されることが計画された。NIREXは、まず、岩盤特性調査施設(RCF)を建設し、そこで得られた成果をもとに地下処分施設の具体的設計を進めるべくRCFの建設許可の請願を行ったが、公聴会を含む長期の審議を経て1997年にこの請願は環境大臣から却下され、計画は振り出しに戻っている。NIREXは、この計画の初期から人工バリアとしてのセメント、コンクリートに関する研究を積極的に進め、標準ヴォールト埋め戻し材(NRVB:NIREX Reference Vault Backfill)を開発した。このNRVBは、普通ポルトランドセメントに破碎した石灰石を骨材とし、増量剤として消石灰を加え、高い水/セメント比で調整されたポーラスなコンクリートである。その特性を次のように定義して、地層処分における放射性核種移行を高アルカリ環境下で抑制する最も重要な化学的バリアとして位置づけている。

高空隙率、低強度、高透水性、高透気性という物性を有し、均質である。

間隙水の移動が容易であるため、高アルカリ環境を形成して化学的に均質なニアフィールドを形成する。

廃棄物の劣化に伴い発生するガスの透過を許容し、ヴォールト内のガス蓄圧を最小にできる。

廃棄物パッケージの再取り出しが必要な場合、強度が低いため容易に対応できる。

もともと空隙率が高く、高透水性であるため、コンクリートのひび割れ発生が無視できる。

このNIREXの人工バリアの位置づけでは、化学的バリア機能を強調するあまり、物理的バリアによる隔離機能にも期待して低中レベル放射性廃棄物処分を実施してきた先行国から批判を受けることになり多くの論議を呼んだ。ただこれを契機に人工バリアとしてのセメント系材料の研究が見直され、欧州各国の協調のもとに進められることになった。

## 2.2 欧州共同体委員会 第4フレームワーク

欧州共同体委員会(CEC)の第3フレームワークで初めてセメントに関する研究が開始され、廃棄物・処分場環境成分・セメントの相互作用、解析・試験・プロセス制御、セメント特性の劣化の影響について研究が開始された。

続いて1994年から開始した第4フレームワークでは、EUの研究所間での協力関係を正式なものとし、barrier performance of cements and concrete(バリアプロジェクト)とthe interaction of cement with bentonite(エコクレイプロジェクト)が開始された。

バリアプロジェクトは、6ヶ国からの9つの主要パートナーによって表-1に示す研究を各研究機関で分担して実施している。研究は、加速試験、核種の浸出、モデル化(変質及びひび割れ)、現位置試験(変質及びひび割れ非加速試験)に大別される。当初はこれらの研究は1998年までの計画であったが、実際には2000年にほぼ完了した。

一方、エコクレイプロジェクトは、セメント系材料と接触して設置された場合のベントナイトとの相互作用を調査することと、ベントナイトの安定性を確保できるセメントの種類を明らかにする目的で実施され、現在も継続されている。スペインのENRESAが調整役を努めており、主契約者はフランスのANDRAである。この研究で対象としたベントナイトは、スペインCa型ベントナイト「FEBEX」と米国ワイオミング産Na型ベントナイト「VOLCLAY」(MX-80)の2種類である。

## 2.3 GEC 以外の研究

詳細については、今後意見交換等を実施していくものと考えているが、以下の諸国においても同様の研究がなされているので概要を紹介する。

### (1) フィンランド

コンクリートの寿命評価モデルの開発に重点をおいた研究を実施してきており、今後は100以上になると予測しているベントナイトとコンクリートの両者の境界における相互作用についての検討を計画している。

### (2) スウェーデン

セメントとベントナイトの相互作用の研究がなされてきており、アルカリ度の高いセメントではベントナイトの膨潤圧が低下し、透水性の増大を観測している。また、古い実構造物の調査を行うことが重要視され、貯水ダムや水路の変質を調べ、顕著な劣化ゾーンを確認している。ただし、現在はポーラスなコンクリートによる核種保持機能と礫材料によるハイドロリックパッケージの人工バリアを計画している。

### (3) スイス

ポールシュラー研究所のベルナー他によるセメント長期性能評価の研究がなされてきた。ま

表-1 CEC 第4フレームワーク「バリアプロジェクト」の研究内容とその担当箇所

研究の分類	団体名(略称)	研究内容
1. コンクリートの劣化加速試験	アバディーン大学(UOA) 「英国」	1. Mg, 炭酸イオンを用いたセメントの劣化加速試験を行い、地下水中のイオンの働きを調べている。 2. セメントのデータベース作成: CHEMVAL データベースの構築 3. モル研究所原位置(曝露試験)結果のモデル化: 劣化プロセスをモデル化し実験によって劣化生成物を調査している。 4. アクチノイド(Ac)の類似物として Eu を用いて CSH との反応を研究し、生じるアパタイト相の長期的挙動を調べている。
	フランス原子力庁(CEA/ANDRA)「仏」	pH を一定にした純粋な化学的方法で、酸性環境下での劣化を研究している。 ・腐食性反応剤として 6mol/l-NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> 水溶液を用い、温度は室温から 50 まで測定した。 ・蒸留水中での浸出試験と比較して定量化した。
	KEMA 環境技術(KEMA Environmental Technology)「オランダ」	日本の齋藤他の方法を利用してコンクリートの電気化学的劣化促進試験を実施している。
2. 模擬廃棄物の浸出試験	AEA テクノロジー(AEAT) 「英国」	1. 高炉スラグ(BFS)に富んだ混合セメント(BSF85%, OPC10%, Ca(OH) <sub>2</sub> 5%)を使用し、物質試験炉(MTR)のセメント固化放射性廃棄物の塩水浸出試験を行っている。 温度を 25, 85 に設定し様々な塩水を用いたデータを取得している。 2. NIREX 標準ヴォールト埋戻材(NRVB)と CSH ゲルを用いて、フレッシュな埋戻材と(一年間)劣化させた埋戻材のアクチノイド(U, Pu)浸出試験を行っている。
	ベルリン自由大学(FUB) 「ドイツ」	1. 非放射性のセメント固化模擬廃棄物の浸出試験(飽和食塩水, 25, 85 )をバッチ(混合)法とカラム(通水)法の双方で行い、サンプルの鉱物相を同定している。 2. カラム試験により毒性物質及び放射性核種分配係数(Kd)測定を行っている。
3. モデル化研究	インペリアルカレッジ(IC) 「英国」	1. セメントの劣化機構及び様々なイオンを含む地下水との反応の研究: コード PHREEQE, EQ3/6, NETPATH 等を用いてリゼと並行して、割れ目内の反応を模擬している。 2. セメントに関する動力学、拡散、溶解等に注目して、劣化プロセスのシミュレーションを行い、バリアの有効期間を予想している。 3. モル研究所におけるセメント系材料と地下水の反応のモデル化を行い、実試験と比較している。
4. 現位置(非加速)試験	リゼ国立研究所(RISO) 「デンマーク」	コンクリートの亀裂形成(実験)と伝搬のモデル化: 高透水性セメント(NRVB)等の透水挙動の理解と、動水特性の評価(高い間隙率があるいは欠陥のどちらに支配されるか?)が行われている。
	ユーリッヒ研究所(KFA) 「ドイツ」	1. 各団体に使用する放射性又は非放射性の模擬廃棄物の調整を行っている。 2. 廃棄物物性の測定: 相発展、均質性、反応熱、水素発生、圧縮特性等廃棄物の様々な特性を一般的方法で測定している。 3. モル研究所における原位置(曝露)試験: 長期的特性を測定している。
	モル研究所(MOL) 「ベルギー」SCK-CEN	1998 年春から、OPC, NRVB, 混合 PC, 高アルミナセメント等で作製した 36 個のバイナップリング・サンプルを HADES 地下研究所の Boom クレイに直接接触させた(温度: 25, 85 )。12/24 ヶ月後に取りだし、UOA でマイクロ構造分析と化学分析を行っている。

た、スイス連邦工科大学では、LLW 処分向けに高透気性コンクリートの開発が行われてきた。NAGRA を中心にヨルダンのマカリンの高 pH 地下水に関するナチュラルアナログ調査が行われてきた。

#### 2.4 モル研究所での現位置試験

我が国でも参考になると考えられるモル研究所の現位置試験の概要を以下に紹介する。

##### (1) 試験概要

モル研究所の HADES 地下研究施設では、セメント-粘土反応を把握するため、セメントペーストを硬化させたφ75mm 試験片(バイナップ

リング)を、地下 220m の坑道内のブームクレイ(有機質粘土)に挿入し、反応を観測する試験が行われてきた。(図-1)試験に一般性を持たせるために、7 種類のセメントペーストを用いた。

また、試験片にヒーターを挿入して加熱することができるようになっており、試験は計画加熱温度を 25 と 85 の 2 水準で行われた。加熱の意味は、反応を加速するためではなく、高い温度条件でも適用できるデータを取るためである。試験の結果、実際にはセメント-粘土界面で 50.5 ~ 66.7 となっていた。

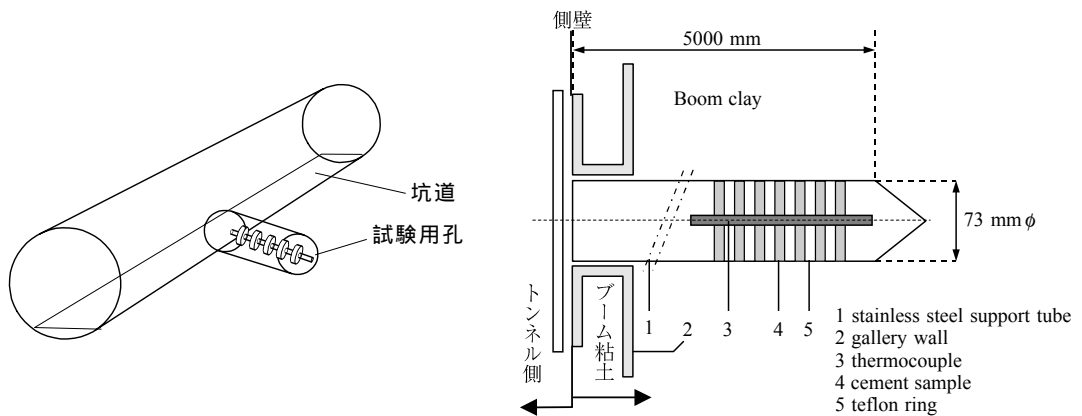


図-1 HADES 地下研究施設埋設試験片概念

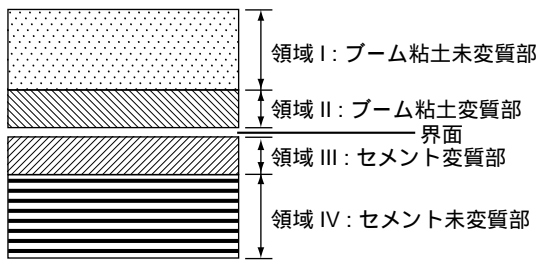


図-2 セメント/粘土相互作用による変質の概念

## (2) 試験結果

12, 18 ヶ月の間接触させておいた試料を調査した結果、ブーム粘土、セメントの双方に反応相が観測され、図-2 に示す ~ の領域に分かれた。温度、セメントの種類にかかわらず、領域 I は主に石英、イライト、ス멕タイト及び随伴鉱物（緑泥岩や長石）との混合層で構成されている未変質ブーム粘土部、領域 II は変質粘土からなり、未変質部と比較して Al, Si, Mg が減少し、Ca が増加している。粘土との境界にある領域 III は変質セメントであり、領域 IV の未変質部と比較して、Ca の減少、Mg, S, Al, Si の増加がみられた。また、85 °C で加熱した試料の場合には、セメントに接触した粘土側に細い帯（10mm）がみられ、結晶性が低く鉱物としては確認されていないが、ハイドロタルサイトとセピオライトに対応するゲルの存在が認められた。

モルの地下水は、硫酸イオン濃度が高く、また、地下で水圧が高いところであるので、反応が加速されていることが考えられるが、加速しない条件（Aberdeen 大学に 8.5 年残置してあった試料）と、起きている現象、生成する鉱物（ハ

イドロタルサイト）が同じであることを確認している。

## 3. 当センターの取り組み

当センターでは、LLW 埋設施設に用いるセメント系材料の長期性能評価の確立に資するため、長期性能評価方法の考え方（図-3）、これまでに実施してきた加速試験結果、加速試験の裏づけとして必要な非加速データ等について、欧州のセメント系材料の専門家との意見交換を継続してきた。

その中で、我々が最終的に LLW 埋設施設のセメント系材料の劣化予測モデルを構築することと並行して、是非実施していかなければならないと考えていることは、埋設施設近傍に制度的管理期間の 300 年を視野に入れた長期サーベイランス用モックアップ施設及び小規模試験体を設置することである。イメージ図を図-4 に示す。これは、劣化予測モデルが適切であることを確認すること、長期にわたる観測結果をモデルに反映してモデルの高度化を図ることを目的としている。

制度的管理期間の最終段階で、モックアップ試験体を掘出して確認することによって、地中に置いた埋設施設の健全性を間接的に証明でき、当初の安全評価と比較して大きな安全裕度を有していることが確認できれば、スムーズに第 3 段階の管理を終了することが可能となる。また、万一、現状では予測できない実施施設の変状等が生じることがあっても、定期的に小規模試験体を掘出して調査することによって事前にそれを検知し、モックアップ試験体によって検証することが可能となる。

この計画についても欧州の専門家との意見交換を行った結果、次の意見を得た。

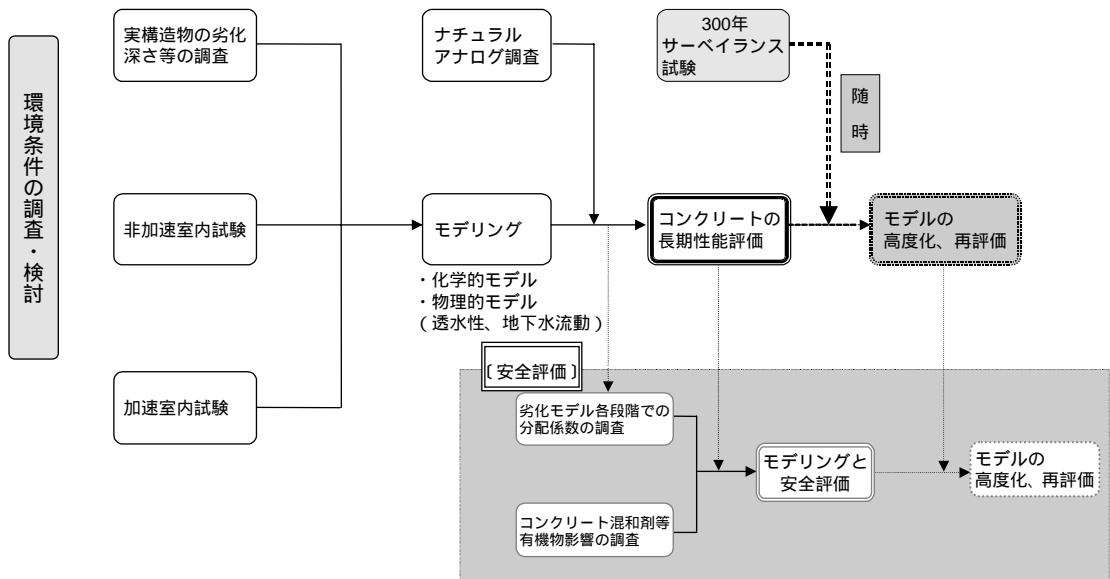


図-3 セメント系材料の長期性能評価フロー

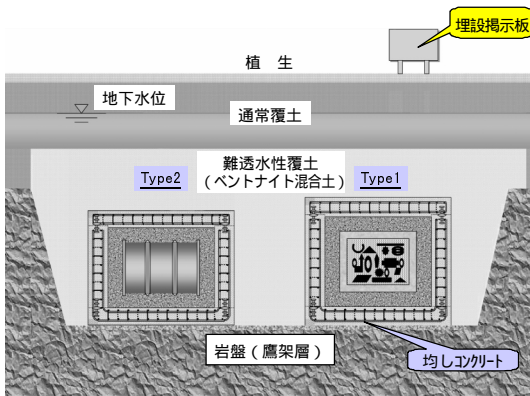


図-4 モックアップ施設イメージ図

どのようなアナログ試験よりも実際の処分場を代表しており、潜在的な課題（操業や閉鎖など）について事前に検知可能となる。

規制者と公衆の両者に対して最終的な処分方策に対する信頼性を構築する材料となる。

欧州の研究者にも賛同を得たこの計画は、小樽港 100 年コンクリート等の例にあるように、後世に貴重な記録を残す有効な手段であり、是非実現させていきたい。

#### 4. おわりに

現在実用化されているセメント系材料はその開発の歴史が比較的新しく、主に構造材としての適

用研究がこれまでの中心であり、その耐久性に関しては 100 年程度の経験と実績が基本となっている。放射性廃棄物処分に係るセメント系材料は構造材としての性能要求に加えて、放射性廃棄物に含まれる核種の半減期に見合った安全性確保の観点からより長期に亘る閉じ込め性能の確認が要求されている。この性能には構造材としての側面のみならず、構成素材として放射性核種との化学的相互作用を含む多面的な性能も要求されている。これらの要求性能については、人間世代の伝承を越える期間の予測または推論が不可欠であるが、その手法については現在決定的なものはなく、多面的な研究成果の考察と研究者間の合意によってのみ形成されてゆくものと考えられる。ここで紹介した CEC での多国間共同研究に見られるように実験室規模の基礎的試験研究から大規模な地層中実証試験まで広範に亘るほか、これら試験成果から得られるデータの整備と予測または推論に繋げるための計算コードの開発等を多角的に進める必要がある。我が国においても業際、学際を越えた協調体制のもと効率的な研究を推進するとともに国際的な協調も重要である。今後セメント系材料の耐久性に係る評価技術が進展し、その特性を十分認識し、安全性を損なうことなく合理的な放射性廃棄物処分の施設設計に反映することが望まれる。

（林 勝、大西 利満）

## 今後の業務と中期的な経営目標について（平成 13 年 4 月）

原環センターは、昭和 51 年に財団法人として設立されて以来、本年で 25 周年を迎えました。その間、我が国の放射性廃棄物対策は大きく進展し低レベル放射性廃棄物に関しては六ヶ所原燃サイクル施設における第 1 期及び第 2 期埋設の実施、高レベル放射性廃棄物に関しては「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」の制定、原環機構の設立、最終処分に必要な資金の積み立て等最終処分の実施に向けた基本的な制度の枠組みが具体化しました。

この度、原環センターは、我が国の放射性廃棄物対策の進展をうけて、自主的に、今後の業務の方向と中期的な経営目標を定めました。今後、この中期経営目標を努力目標として、わが国の放射性廃棄物対策に積極的に貢献して行くこととします。

今後の業務の方向と中期経営目標は次の通りです。

### 今後の業務と中期的な経営目標

#### 業務の方向と経営の考え方

原環センターは、放射性廃棄物の最終処分に関する公正・中立的な調査研究機関であり、法律に基づき指定を受けた資金管理法人であることを踏まえ、更なる経営の体質改善を図り、より一層社会に信頼される「シンクタンク」財団をめざす。

#### 1. 調査研究業務の方向

原環センターは、次の調査研究業務を中心として実施し我が国の放射性廃棄物対策の推進に積極的に貢献する。

最終処分に関する安全規制・基準等の整備に資する調査研究

・低レベル放射性廃棄物最終処分に向けた合理的な規制・基準等の整備に資する調査研究

・今後制定されることとなっている高レベル放射性廃棄物の安全規制制度に関する調査研究及び同法に基づく安全基準・指針等に資する調査研究

最終処分に関する情報の整備、国民の理解増進策

・国内外の最終処分に関する情報の整備と分かりやすい情報の提供

・最終処分制度の整備等に資する調査研究

・最終処分に関する社会合意形成に資する調査研究

最終処分に関する周辺技術及び技術基盤の整備・高度化等

・低レベル放射性廃棄物最終処分に向けた放射性廃棄物処分全体を見通した技術基盤の整備

・処分地選定調査システム、物理探査技術、ガラス固化体の遠隔技術、モニタリング、記録の保存技術等の開発

#### 2. 経営の考え方

財政基盤の充実

年間所要経費の節減に努めるとともに、原環センターの重要な財政基盤である適正な規模の事業を国及び電力から受託する。電力からの寄付金等を原資として一定規模の自主研究事業を確保する。

組織のスリム化・フラット化及び優秀な人材の確保

可能な限り原環センターの要員のスリム化に努め、調査研究部門の部制を廃し管理職層のフラット化をはかる。

組織における技術・知識の継承、専門的知識を有する人材の適正な配置のため調査研究部門に計画的に優秀なプロパーを確保する。

中期経営目標 - 原環センター・チャレンジ 2001～2003 -

「業務の方向と経営の考え方」に示したように、更なる経営の体質改善を図り、より一層社会に信頼される「シンクタンク」財団として我が国の放射性廃棄物対策の推進に向けた調査研究業務を円滑に実施するため、次の通り経営の中期的な目標を定める。

1. 目標達成に向けた期間

平成 13 年度～平成 15 年度の 3 カ年

2. 平成 15 年度経営目標

平成 12 年度との対比を中心に平成 15 年度の経営目標を策定する。

財政基盤の充実

- ・受託事業は、国の事業額を 35 億円程度、電力等の事業額を 7 億円程度を見込む。15 年度の受託額は 12 年度比 80%。
- ・寄付金及び試験研究等引当預金の取り崩しに基づく自主研究事業は、70 百万円を見込む。
- ・総事業費は 45 億円を見込み、12 年度の 80% で収支を均衡させる。

組織のスリム化・フラット化及び優秀な人材の確保

- ・平成 15 年度までに調査研究部門から 6 名を減員する。
- ・平成 13 年 4 月を目途に組織の改編を実施する。
- ・調査研究部門における平成 15 年度のプロパー職員は 14 名（12 年度は 10 名）とし、組織の体質を強化する。
- ・採用するプロパー職員は、調査研究部門の中核指導的な職員として放射性廃棄物処分の課題について十分な知識を有する人材を選考する。

3. 重要な課題

この中期経営目標は、要員のスリム化として調査研究部門を中心として 12 年度の要員の 15% に当たる、6 名の減員を掲げた。原環センターの経営においては、受託事業の縮小に伴う調査研究部門の職員の削減は財政基盤を悪化・崩壊させることにつながるが、優秀な人材を配置し事業の内部実施比率を積極的に向上させ、少ない人数で優れた成果を挙げることに努めることとする。

参 考

組織図

（経営管理部門）	
総務部	
企画部	技術総括室<新設>
（資金管理部門）	
資金管理業務部	
（調査研究部門）	
事業環境整備研究プロジェクト	
基準・安全研究プロジェクト	
情報技術プロジェクト	

調査研究部門の新組織

- ・事業環境整備研究プロジェクト  
最終処分に向けた周辺技術及び技術基盤の整備・高度化等事業環境の整備に係る調査研究
- ・基準・安全研究プロジェクト  
最終処分に向けた安全規制・基準等の整備に係る調査研究
- ・情報技術プロジェクト  
最終処分に向けた情報の整備・提供、国民の理解増進策に係る調査研究

# センターのうごき

## 第 8 回評議員会開催

平成 13 年 3 月 5 日（月）開催の第 8 回評議員会において、「平成 13 年度一般会計に関する事業計画及び収支予算」、「平成 13 年度資金管理業務に関する事業計画及び収支予算」及び「理事の選任」について付議し、提案のとおり承認されました。

この理事の改選により、次の方が交替されました。

区 分	退 任 者	新 任 者	所 属 、 役 職
理事（非常勤）	可児 次郎 (13.3.31 付)	待場 浩 (13.4.1 付)	日本ニユクリア・フユエル(株) 取締役社長

## 第 52 回理事会開催

平成 13 年 3 月 9 日（金）開催の第 52 回理事会において、「平成 13 年度一般会計に関する事業計画及び収支予算」、「平成 13 年度資金管理業務に関する事業計画及び収支予算」及び「評議員の選出」について付議し、提案のとおり承認されました。

この評議員の改選により、同日付をもって次の方が交替されました。

区 分	退 任 者	新 任 者	所 属 、 役 職
評議員	竹内 哲夫	佐々木 正	日本原燃(株) 取締役社長

## 資金管理業務に係る平成 13 年度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」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（13.3.9 付）をし、平成 13 年 3 月 28 日付をもって認可を受けました。

## 所管官庁の変更

平成 13 年 1 月 6 日付の中央省庁等の再編に伴い、当センターの所管官庁が、旧科学技術庁と旧通商産業省との共管から、経済産業省の専管に変更となりました。

## 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 日付で受領した特定公益増進法人の認定期間が経過するので、新たにその証明を受けるべく経済産業大臣に申請し、平成 13 年 3 月 30 日付で証明を受けました。

## 第 1 回積立金運用委員会の開催

「資金管理業務規程」に基づき、積立金運用委員会を組織し、平成 13 年 1 月 30 日に第 1 回委員会を開催し、積立金運用に関する基本方針についてご審議いただきました。

なお、積立金運用委員会のメンバーには、委員長に東京大学大学院教授若杉敬明氏、委員に学習院大学教授神作裕之氏、野村総合研究所研究理事中村実氏、三和総合研究所主任研究員山崎元氏を選出。

## 最終処分積立金の受入と運用管理の開始

「積立金運用委員会」の審議を踏まえ運用計画を策定し、2 月 16 日に第 1 回、3 月 16 日に第 2 回の積立金を原子力発電環境整備機構より受入れ、積立金の運用管理を開始しました。

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/>