

# 原環センター トピックス

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT FUNDING AND RESEARCH CENTER TOPICS

2006.6.NO.78

## 目次

センターの活動状況	①
放射性廃棄物処分に於けるセメント系材料の役割	③

## センターの活動状況

### I 賛助会員サービス等の実施状況

#### (1) 平成17年度賛助会員講演会

賛助会員及びご支援機関の方々を対象とした平成17年度最後の賛助会員講演会を以下のとおり平成18年3月30日（木）東海大学校友会館において開催しました。

##### ① 「北歐の低中レベル処分の安全基準におけるALARA、BAT、リスク評価の考え方について」

当センター「基準・規格調査研究プロジェクト」の関口高志が、標記演題名でフィンランド、スウェーデンでの処分の規制の考え方と安全基準等について、ICRP等の国際的な基準等の考え方を踏まえ概要を紹介致しました。



##### ② 「平成18年度事業計画等」報告

当センター企画部長 菅原 彰より、平成18年度事業計画、研究テーマ等の概要を紹介致しました。

#### (2) 平成18年度賛助会員講演会

平成18年度第1回の賛助会員講演会を平成18年5月19日（金）虎ノ門パストラルにおいて開催しました。

フランスANDRAより Gérald OUZOUNIAN氏 Jean-Louis TISON氏をお招きし、「フランスの放射性廃棄物管理に関する最近の動向」と題し、処分場の操業の状況、極低レベルから高レベル放射性廃棄物までの廃棄物管理、提案されている新しい法律、地下研での研究等幅広い内容について講演いただきました。



## Ⅱ センターの運営状況

### 第22回評議員会開催

平成18年3月6日（月）開催の第22回評議員会において、一般会計、最終処分資金管理業務及び再処理等資金管理業務に関する平成18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を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、次の方々が交代されました。

（敬称略）

区 分	退 任 者	新 任 者	新任者所属・役職
理 事	坪谷 隆夫（常 勤）	鳥井 弘之（非常勤）	東京工業大学原子炉工学研究所 教授
理 事	木阪 崇司（非常勤）	成合 英樹（非常勤）	（独）原子力安全基盤機構 理事長

### 第66回通常理事会開催

平成18年3月9日（木）開催の第66回通常理事会において、一般会計、最終処分資金管理業務及び再処理等資金管理業務に関する平成18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が交代されました。

（敬称略）

区 分	退 任 者	新 任 者	新任者所属・役職
評議員	林 政義	宅間 正夫	（社）日本原子力産業協会 副会長

### 平成18年度最終処分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項前段の規定に基づき、平成18年3月9日付けにて経済産業大臣に認可の申請を行い、同年同月23日付けをもって認可を受けました。

### 平成18年度再処理等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

「原子力発電における使用済燃料の再処理等のための積立金の積立て及び管理に関する法律」（平成17年法律第48号）第12条第1項前段の規定に基づき、平成18年3月9日付けにて経済産業大臣に認可の申請を行い、同年同月27日付けをもって認可を受けました。

# 放射性廃棄物処分に於けるセメント系材料の役割

## 1. はじめに

放射性廃棄物の処分（以下「処分」という）において、放射性廃棄物をドラム缶をはじめとした容器に充填する際の充填材として、あるいは、処分施設を構成する構造材料としてなど、セメント系材料（ここでは、セメントペースト、モルタル、コンクリートをセメント系材料と総称する）は様々な役割を、その要求される特性に応じて担っている。例えば、一般の土木建築構造物に対する要求である強度及び力学的耐久性のほか、セメント系材料の持つpH緩衝性を利用した溶解度制限やセメント系材料への収着による放射性核種の移行遅延効果などが要求される特性として考えられる。

一方、セメント系材料を用いる上で避けて通れない課題として、地下水の組成への影響が挙げられる。セメント系材料と地下水とが接触することにより、セメント系材料に含まれる可溶性成分（主にアルカリ性の成分）が徐々に溶脱し、周囲の地下水のpHを上昇させる。また同時に、溶脱に伴ってセメント系材料の止水性、強度などの諸特性も変化する。周囲の地下水組成の変化は、同時に用いられるベントナイト系材料や天然バリア（岩盤）の性質をも変化させる可能性がある。

処分にセメント系材料を用いる際には、処分対象とする放射性廃棄物およびその処分概念によって異なる要求特性や、地下水及び他のバリア材料への影響をも考慮する必要がある。

これまでにも、処分に於いてセメント系材料に期待される役割についてまとめられた例<sup>1)2)</sup>はあるが、本稿では、既に公表されている処分概念について、セメント系材料に要求される特性をまとめると共に、現在、進められている研究・開発の例と、その成果として得られる、セメント系材料の新たな機能の可能性について述べる。

## 2. セメント系材料に要求される特性

セメント系材料にもとめられる機能は、建設→操業→閉鎖（閉鎖後）という、処分における各フェーズによって、また表-1に示すように、処分概念によって異なる。そのうち高レベル放射性廃棄物の処分に於いては、セメント系材料に空洞安定性の確保以外の機能を期待していない。ここでは、それ以外（低レベル放射性廃棄物及び非発熱性長半減期核種（TRU廃棄物）の処分概念を対象にセメント系材料

に求められる特性を、物理的安定性、物理バリア機能および化学バリア機能（セメント系材料それ自体が持つ特性）に加え、他のバリア材料への影響にまとめ、それぞれについて述べる。

### (1) 物理的安定性

前述のように処分場の建設及び操業時には、支保工によって処分する空洞の安定性を確保し、安全に緩衝材の施工、容器の定置、充填材の施工、埋め戻しなどの作業を行えなければならない。また、固形化材および容器には、容器のハンドリングおよび定置時の安全性確保の観点から、容器の段積み荷重に耐える強度、及びハンドリング高さからの落下に対して、安全性を保てるだけの強度を有する必要がある。さらに、構造躯体には、その内部に充填材を施工することから、充填材から受ける荷重に耐えることが必要である。

このように、物理的安定性に関しては、処分場の建設及び操業時の安全性確保の観点から要求される特性が主となっている。

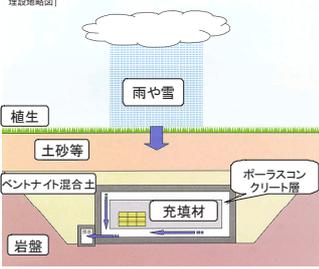
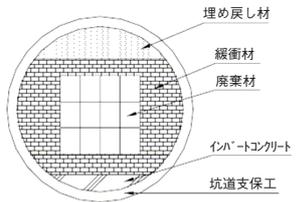
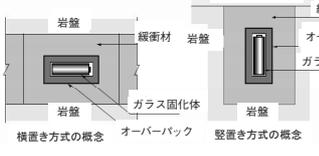
### (2) 物理バリア機能

セメント系材料に求められる物理バリア機能には、セメント系材料による隔離と、セメント系材料の止水性を利用するものがある。

前者は、操業時に放射性核種を容器内部に閉じ込め、容器からの核種の漏洩を防止する機能である。また後者は、主に閉鎖後の放射性核種の移行が、地下水中の拡散及び地下水の移動に伴う移流であることから、セメント系材料の持つ止水性により地下水の移動を制限し、また、セメント系材料のもつ低拡散性により、セメント系材料内の放射性核種の移動速度を制限することにより、放射性核種の放出および移行速度を低く抑え込むものであり、セメント系材料を用いるすべての部材に対して潜在的に期待できる機能であると考えられる。

セメント系材料に物理バリア機能を期待する場合、セメント系材料中の地下水の移動速度が十分に低く保たれていることが必要である。そのためには、セメント系材料自身の透水係数を小さく抑えた上で、ひび割れ及び打ち継ぎ目等の高透水部や欠陥を作らないこと、または、緩衝材（ベントナイト系材料）などによる拡散場の維持など、工学的な工夫が必要である。しかし、ひび割れを全く有さないセメント系構造物の製作はきわめて困難であるため、セメント系材料の物理的閉じ込め機能は潜在的には存在す

表-1 低レベル、高レベル及びTRU廃棄物の処分概念と、各処分概念でセメント系材料に期待される機能

対象	低レベル廃棄物	非発熱性長半減期廃棄物 (TRU 廃棄物)	高レベル廃棄物	
処分概念	 <p>日本原燃株式会社 Web Site<sup>3)</sup></p>	<p>横断面図</p>  <p>TRU 廃棄物処分技術検討書-第2次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ<sup>4)</sup></p>	 <p>『わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性』—地層処分研究開発第2次取りまとめ— 分冊2:地層処分の工学技術<sup>5)</sup></p>	
セメント系材料を使用する可能性のある部材と要求特性	固形化材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・操業中の放射性核種の漏出防止</li> <li>・容器内部を充填することで埋設荷重に耐える十分な強度を持たせる</li> <li>・容器内をアルカリ性に保つことで、放射性核種の溶解度を一定に保つ</li> <li>・セメント系材料への放射性核種の収着による移行抑制</li> <li>・容器内の熱伝導率を高め、廃棄物から発生する熱を放散する</li> <li>・セメント系材料の低透水性による放射性核種の移行遅延</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・操業中の放射性核種の漏出防止</li> <li>・1次容器(ドラム缶など)内を充填し、放射性核種の漏洩を抑制する</li> <li>・容器内部を充填することで埋設荷重に耐える十分な強度を持たせる</li> <li>・セメント系材料への放射性核種の収着による移行抑制</li> <li>・容器内の熱伝導率を高め、廃棄物から発生する熱を放散する</li> <li>・セメント系材料の低透水性による放射性核種の移行遅延</li> <li>・代替技術として、放射性核種(I-129)のコントロールリリース</li> </ul>	(廃棄物はガラス固化体である)
	容器 (パッケージ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・操業中の放射性核種の漏出防止</li> <li>・1次容器の定置及び充填材施工の効率化</li> <li>・埋設荷重に耐える十分な強度を持たせる</li> <li>・廃棄物から発生する熱の放散</li> <li>・セメント系材料の低透水性による放射性核種の移行遅延</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・操業中の放射性核種の漏出防止</li> <li>・1次容器の定置及び充填材施工の効率化</li> <li>・埋設荷重に耐える十分な強度を持たせる</li> <li>・廃棄物から発生する熱の放散</li> <li>・セメント系材料の低透水性による放射性核種の移行遅延</li> <li>・代替技術として、放射性核種(C-14)の長期閉じ込め</li> </ul>	(パッケージ(オーバーバック)の材質は炭素鋼(代替技術としてチタン合金、銅など)であり、1,000年間の物理的閉じ込めを機能とする)
	充填材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・容器間のすき間の充填により、埋設荷重に耐える十分な強度を持たせる</li> <li>・施設内をアルカリ性に保つことで、放射性核種の溶解度を一定に保つ</li> <li>・セメント系材料への放射性核種の収着による移行抑制</li> <li>・容器内の熱伝導率を高め、廃棄物から発生する熱を放散する</li> <li>・廃棄物および構造躯体の支持</li> <li>・地下水の浸入抑制</li> <li>・セメント系材料の低透水性による放射性核種の移行遅延</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・容器間のすき間の充填により、埋設荷重に耐える十分な強度を持たせる</li> <li>・セメント系材料への放射性核種の収着による移行抑制</li> <li>・容器内の熱伝導率を高め、廃棄物から発生する熱を放散する</li> <li>・廃棄物および構造躯体の支持</li> <li>・地下水の浸入抑制</li> <li>・セメント系材料の低透水性による放射性核種の移行遅延</li> </ul>	なし(オーバーバックと緩衝材とが直接接触)
	ポーラスコンクリート	<ul style="list-style-type: none"> <li>・定置領域への地下水の浸入抑制</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・なし(坑道型の処分形態では周囲は地下水で満たされており、閉鎖後の排水は行わないため、徐々に施設内に地下水が浸入し、やがて飽和する)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・なし(坑道型の処分形態では周囲は地下水で満たされており、閉鎖後の排水は行わないため、徐々に施設内に地下水が浸入し、やがて飽和する)</li> </ul>
	支保工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空洞安定性の確保</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空洞安定性の確保</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空洞安定性の確保</li> </ul>
その他の部材	構造躯体	なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>リファレンスでは鋼製構造躯体。コンクリート製を用いる場合には以下の機能を潜在的に期待できる可能性がある</li> <li>・パッケージの定置および充填施工の効率化</li> <li>・地下水の定置領域への浸入の抑制</li> <li>・セメント系材料への放射性核種の収着による移行抑制</li> <li>・セメント系材料の低透水性による放射性核種の移行遅延</li> </ul>	なし(オーバーバックと緩衝材とが直接接触)
	緩衝材	(ベントナイト系材料の止水性により、施設への地下水の浸入を抑制)	(ベントナイト系材料の止水性により、定置領域の拡散場を維持するとともに放射性核種の収着によりその移行を抑制)	(ベントナイト系材料の止水性により、定置領域の拡散場を維持するとともに放射性核種の収着によりその移行を抑制)
	埋め戻し材	(施設への地下水の浸入抑制)	・放射性核種の収着によりその移行を抑制	・放射性核種の収着によりその移行を抑制

下線: 条件が満たされたとき期待できる機能

斜体: TRU廃棄物処分技術検討書<sup>2)</sup>で示された代替技術により期待できる機能

るが、セメント系材料の性能として取り込むことは難しい。表-1に示す各概念に於いても、緩衝材による止水バリアにより、廃棄体の定置領域内の地下水の移動を制限することで、セメント系材料に物理的閉じ込め機能を期待しない概念を採用している。また、物理バリア機能を期待するためには、ひび割れや打ち継ぎ目の存在しない低透水性のセメント系材料を作製した場合にも、長期間地下水と接することによる水溶性成分の溶脱に伴って、セメント系材料の止水性は変化するため、その変化を十分に予測し、必要な期間その性能が維持されることを示すことが必要である。言い換えれば、ひび割れを有さない（または止水性に影響を及ぼさない大きさのひび割れしか有さない）セメント系構造物を製作することができ、地下水との反応による止水性（透水係数）の変化を予測することができれば、その物理バリア機能を活かせるものと考えられる（表-1に下線で示した）。3.で述べるようように、セメント系材料の物理バリア機能を積極的に利用する技術の検討・開発も行われている。

### (3) 化学バリア機能

セメント系材料に期待される化学バリア機能には、アルカリ性による溶解度制限と、放射性核種の収着による移行抑制（遅延）とが考えられている。

核種の溶解度は、その環境による化学形態の変化（価数やアコ錯体の形成等）や溶解度制限固相の変化（水酸化物の沈殿等）により変化する。そのため、評価の対象期間の短い（短半減期の核種が対象核種となっている）低レベル放射性廃棄物の処分に於いては、施設内のアルカリ性の維持機能をセメント系材料に期待している。一方、長半減期核種を多く含むTRU廃棄物の処分においては、地下水との反応によるセメント系材料の組成変化に伴い、処分場内の環境が長期的に変遷するため、その変遷に伴った各核種の溶解度の変化を含めた評価を実施している。言い換えれば、処分場周辺のアルカリ性化による核種の溶解度の変化は、バリア機能としてではなく、長期間にわたる処分場性能の変遷の一部として取り扱われている。

一方、放射性核種の収着による移行抑制機能は、いずれの概念においても期待されている。放射性核種の収着能は、固相／液相の分配係数として表現される。例えば、ある核種のセメント系材料に収着した核種の固相中の濃度（mol/kg）と地下水中の濃度（mol/l）との比が $a$ であったときの分配係数は $a(l/kg)$ である。従って、吸着または吸収により、放射性核種を高濃度で保持できるほど、高い分配係数を示し、放射性核種の移行遅延効果も大きい。分配係数は、収着媒体である固相の表面の状態（電荷や地下水と接触する鉱物の組成など）によって変化する。また、

セメント系材料の表面状態は、その地下水環境およびセメント系材料自身の変遷によって変化する。そのため、TRU廃棄物の処分においては、セメント系材料の組成変化およびそれに伴う地下水の液性（pH、イオン強度等）の変化に応じた分配係数を設定することで、処分場の長期性能を評価している。

### (4) 他のバリア材料への影響

これまでに述べてきたように、地下水との反応によりセメント系材料に含まれる可溶性鉱物が溶脱し、セメント系材料自身の物理的特性および物理・化学バリア機能が変化する。また、セメント系材料から溶脱した成分（主にアルカリ成分およびカルシウム）の影響を受けて、周囲の地下水の液性も変化する。さらにセメント系材料からの溶脱成分は、処分場内の他の材料と反応し、その性質を変化させる。

例えば緩衝材として用いられるベントナイト系材料は、セメント系材料から溶脱するカルシウムと反応し、カルシウム型化、ゼオライト化など<sup>6)</sup>により、その性能が変化する。緩衝材には、放射性核種の収着に加え、その止水性により処分場内の拡散場を保ち、放射性核種の移行を遅延させる効果が期待されているため、セメント系材料の影響によるこれら変質は、処分場全体の性能に大きな影響を与えることが懸念されている。

また、天然バリアとしての機能が期待されている処分場周辺の岩盤についても、緩衝材と同様に、セメント系材料の溶脱に伴って供給されるアルカリ成分およびカルシウムによってカルサイトやC-S-Hの生成等の変質を生じる<sup>7)</sup>ことや、岩盤を構成する鉱物の溶解による止水性の低下が懸念されている。

これら緩衝材及び周辺岩盤への影響に加え、高レベル廃棄物の処分においても、地下水の高アルカリ性化は、オーバーパックの腐食形態を変化させ、その寿命に影響を及ぼす可能性が指摘されている<sup>8)</sup>。

セメント系材料の地下水との反応は、上述のような他のバリア材料の機能変化の基点となる現象であることから、その変質過程（セメント系材料の鉱物相の変化及び平衡となる地下水組成）のモデル化検討が数多く行われており<sup>9)~12)</sup>、その結果が処分場の長期性能の評価に用いられている。

## 3. セメント系材料の新たな機能の可能性

### (1) セメント系材料の物理バリア機能の利用

前節で述べたとおり、既存の概念において、セメント系材料に期待される主な機能は、核種の収着による移行遅延機能であった。これは、セメント系材料に不可避なひび割れの発生とその進展に対して、長期評価が困難であったことに起因している。このことは、収着性の十分に期待できない化学種

(I-129,C-14など) に対しては、バリア機能を十分に発揮できないことを意味している。

しかし、これまで潜在的に期待できるに過ぎなかった、物理的閉じ込め機能についても、セメント系材料のひび割れ発生を制御し、止水性に影響を及ぼすようなひび割れを起こさない施工技術及び材料が開発されることにより、積極的に機能として評価することが可能になり、これら非取着性の核種に対してもその影響を低減できるものと考えられる。

セメント系材料の物理バリア機能の利用例として、日本原燃株式会社が計画している次期埋設施設においては、**図-1**に示すように、緩衝材に低透水性を、充填材に低拡散性を期待する概念が検討されている。このようにセメント系材料に低拡散性を期待するためには、前節で述べたように施設の止水性が保たれていることが必要である。この例では緩衝材（ベントナイト）によって施設の止水性を担保し、施設内を拡散場に保つことで、セメント系材料の低拡散性を期待できるように考えられている。

また、緩衝材の機能に係わらず、セメント系材料による放射性核種の隔離を試みている例としては、当センターが経済産業省からの委託を受けて実施している、廃棄体開発調査において開発中のC-14の長期閉じ込め技術<sup>14)</sup> が挙げられる。この技術は、高強度高緻密コンクリートによって容器を一体成形し、

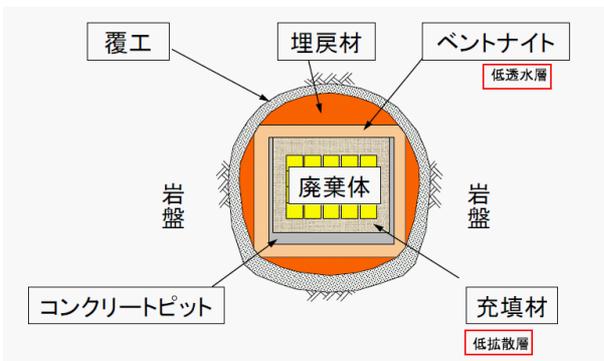


図-1 低拡散層を設けた施設概念の例<sup>13)</sup>

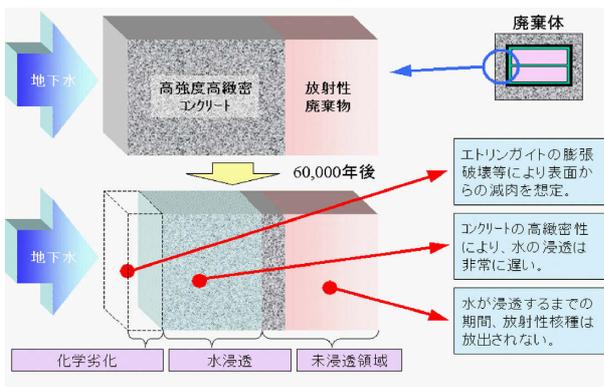


図-2 コンクリート容器によるC-14の長期閉じ込めの概念図

**図-2**に示すように、その低透水性（透水係数： $4 \times 10^{-19} \text{m/sec}$ ）を利用して、6万年間にわたって地下水との接触による廃棄物の放出を抑制するものである。C-14の半減期は約5,730年であるため、6万年間の閉じ込め期間を設けることによって、その影響を約1/1,000にまで低減できる。この技術はTRU廃棄物処分技術検討書<sup>4)</sup>において、C-14による影響の低減のための代替技術として紹介されている。

(2) セメント系材料を用いた核種の取着能の向上

放射性核種の移行抑制機能として、各バリア材料に期待されている放射性核種の取着は、それぞれのバリア材料に固有のものである。そのため、天然の鉱物であるベントナイト系緩衝材や天然バリアの放射性核種の取着能をコントロールすることは困難である。

一方、セメント系材料は工業製品であり、その組成を目的に応じて制御することが可能である。

当センターが経済産業省からの委託を受けて実施している、ヨウ素固定化技術調査では、TRU廃棄物処分における重要核種であるI-129を $\text{IO}_3^-$ の形態で固定化するセメント系材料を、ヨウ素固定化技術のひとつとして開発している<sup>15)</sup>。I-129は、地質媒体およびセメント系材料への取着分配係数が小さいため、人工バリア及び天然バリアによる移行抑制効果を得ることが難しいが、セメント系材料の構成鉱物である、エトリンガイト (AFt) およびモノサルフェート相 (AFm) の $\text{SO}_4^{2-}$ と置換することが知られており、AFtおよびAFmの含有量の多いセメント系材料を用いる事により、十分な移行抑制効果を期待することができる (**図-3**)。この技術はTRU廃棄物処分技術検討書<sup>4)</sup>において、I-129による影響の低減のための代替技術として紹介されている。

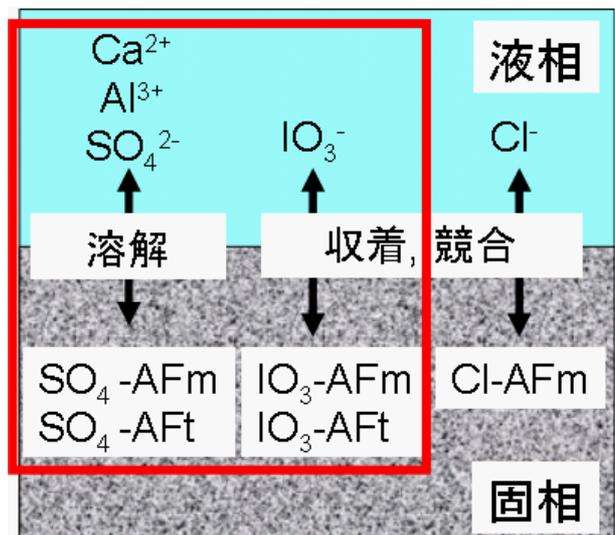


図-3 セメント系材料によるヨウ素固定化の概念

このようにセメント系材料は、その組成を制御することにより特定の性能を強化する事が可能であるが、組成の変化に応じて他の性質（物理的安定性、物理バリア機能および地下水組成への影響）も変化するため、適用する部材に対する要求特性（表-1）を満足できることが必要である。

### (3) 他のバリア材料への影響の低減

前述の通り、セメント系材料と地下水との反応は、各バリア材料の性能変化の基点となる事象である。従ってセメント系材料からのアルカリ成分およびカルシウムの溶脱を抑制することにより、処分場の性能の変化を小さく抑えることができると考えられる。

このような考え方に基づいて、低アルカリ性セメントの開発が行われている。低アルカリ性セメントとしては、ポルトランドセメント<sup>16)</sup> にシリカ微粉末やフライアッシュなどのポゾラン材料を多量に添加した混合セメント系と、セメント鉱物の組成を制御した特殊セメント系とが研究されている。前者の例としては、日本原子力研究開発機構で開発されているHFSCがある。HFSCは普通ポルトランドセメント<sup>16)</sup> (OPC) または早強セメント<sup>16)</sup> (HPC) にフライアッシュ (FA) 及びシリカフューム (SF) を大量に添加したセメントである。SAおよびSFがOPCまたはHPCに含まれるアルカリ成分及びカルシウムを消費することによって、硬化体にCa(OH)<sub>2</sub>をはじめとした易溶性鉱物をほとんど含まないため、カルシウムの溶脱を抑制できる<sup>17) ~19)</sup>。HFSCは、オーバーパックの腐食挙動への影響低減のために、高レベル放射性廃棄物の処分への適用が検討されている<sup>20)</sup>。また、後者の例としては、電力中央研究所で検討が進められているLACがある。LACはセメント原料の組成を制御することにより、硬化体の主成分をエトリンガイトとしたものであり、影響を受けた地下水のpHを10.3程度（OPCでは12.6程度）に抑えたものである<sup>21) , 22)</sup>。

これら低アルカリ性セメントの使用によって、セメント系材料の変質に伴う他のバリア機能への影響を低減できる可能性があるが、その使用にあたっては、工業的な生産性、経済性等を考慮すると共に、変質に伴う低アルカリ性セメント自身の性質の変化（物理的安定性や透水性など）を含めて検討する必要がある。

低アルカリ性セメントは、硬化体に含まれる溶脱成分の量または鉱物種を積極的に制御することによって、他のバリア材料への影響を低減させる技術であるが、前述の通り、他のバリア材料への影響は、セメント系材料中のアルカリ及びカルシウムの溶脱がその原因であるため、溶脱量の少ないセメント系材料、言い換えれば化学的耐久性の高いセメント系材料を使用することで、低減する事ができるものと

考えられる。セメント系材料の化学的耐久性を高める方策としては、普通セメントに代わる材料として、フライアッシュセメントをはじめとした混合セメント<sup>16)</sup> の使用が考えられる。混合セメントはポルトランドセメントにフライアッシュ、高炉スラグ、シリカ質微粉末などの混合材を加えたセメントであり、普通セメントと比較して相対的にアルカリ量およびカルシウム量が少なく、また、硬化体中に含まれるCa(OH)<sub>2</sub>量も少ないため、他のバリア材料に及ぼす影響も小さく、セメント系材料自体の変質に伴う透水性の変化も小さい事が考えられる。

## 4. おわりに

既存の概念に於いては、セメント系材料に期待される主な機能は、建設・操業時の物理的安定性と、核種の吸着による移行遅延機能であった。これは、セメント系材料に不可避なひび割れの発生とその進展にたいしての長期評価が困難であったことに起因している。また、セメント系材料は、他のバリア材料の性質の変化の原因であり、その使用により処分場の性能評価を複雑なものにしている。一方、処分場の建設及び操業を考えたとき、(特に我が国においては) ほとんどの地質環境及び処分概念でセメント系材料の使用は避けて通ることができないと考えられる。従って、放射性廃棄物処分の安全性を向上させるためには、前述のような評価上の制限や欠点を克服していくことが必要不可欠である。そのため、セメント系材料に関しての新たな試みは、本稿で述べた技術に限らず幅広く実施されている。

それら新たな試みや、既存の材料・技術に関するデータの拡充によって、処分の信頼性が向上し、より安全性の高い概念が構築されることを期待する。

## 参考文献

- 1) 田中 知ほか、「放射性廃棄物処分システムにおいてセメントに期待される役割」,日本原子力学会誌,Vol.39.No.12,pp1008(1997).
- 2) 田中 知ほか、「放射性廃棄物処分システムにおいてセメントに期待される役割(II)材料設計の観点から」,日本原子力学会誌,Vol.42, No.3, pp.178(2000).
- 3) 日本原燃株式会社, 日本原燃株式会社WEB site, 「放射性物質の漏出を抑える仕組み」  
[http://www.jnfl.co.jp/business-cycle/2\\_maisetsu/maisetsu\\_03/maisetsu\\_04/maisetsu\\_04\\_05.html](http://www.jnfl.co.jp/business-cycle/2_maisetsu/maisetsu_03/maisetsu_04/maisetsu_04_05.html)
- 4) 核燃料サイクル開発機構／電気事業連合会, 「TRU廃棄物処分技術検討書-第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ-」,JNC TY1400 2005-013/FEPC TRU-TR2-2005-02,(2005).
- 5) 核燃料サイクル開発機構,「わが国における高レ

- ベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性  
—地層処分研究開発第2次取りまとめ— 分冊  
2：地層処分の工学技術」,JNC TN1400  
99-022,(1999).
- 6) たとえば 久保博ほか,ベントナイト系緩衝材  
のコンクリート間隙水による長期変質の基礎研  
究,地盤工学会誌,第46巻,第10号(1998)
  - 7) たとえば 三原守弘ほか,カラム法による高pH  
溶液の岩石に及ぼす影響試験,日本原子力学会  
1999年春の年会講演予稿集
  - 8) 核燃料サイクル開発機構,「高レベル放射性廃棄  
物の地層処分技術に関する知識基盤の構築—平  
成17年取りまとめ— 分冊2 工学技術の開発」,  
JNC TN1400 2005-015(2005).
  - 9) A. Atkinson et.al., "Aquiois chemistry and  
thermodynamic modelling of CaO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O gels",  
AERE R 12548,(1987).
  - 10) K. Fujii and W. Kondo, "Estimation of  
thermochemical data for calcium silicate hydrate  
(C-S-H)",J. Am. Ceram.Soc., 66, C-220(1983).
  - 11) U. Berner, "A thermodynamic description of the  
evolution of pore water chemistry and uranium  
speciation during the degradation of cement",  
PSI-Ber. Nr.62(1990).
  - 12) F. P.Glasser et. al., " Solubility modelling of  
cements :Implications for radioactive waste  
immobilisation",Mater. Res. Soc. Symp. Proc.,  
84,331(1988).
  - 13) 日本原燃株式会社, 低レベル放射性廃棄物の次  
期埋設技術の検討状況,原子力安全委員会Web  
Site, [http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/haishi/  
haishi005/siryo54.pdf](http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/haishi/haishi005/siryo54.pdf)
  - 14) 原環センター,「平成16年度地層処分技術調査等  
TRU廃棄物関連処分技術調査 廃棄体開発調査  
報告書」,(2005).
  - 15) 原環センター,「平成16年度地層処分技術調査等  
TRU廃棄物関連処分技術調査 ヨウ素固定化技  
術調査 報告書」,(2005).
  - 16) JIS R5210-1997
  - 17) 大和田仁, 三原守弘, 入矢桂史郎, 松井淳,「放  
射性廃棄物地層処分システムにおけるセメント  
系材料の検討 -浸出液のpHを低くしたセメン  
ト系材料の施工性と機械的特性-」, サイクル機  
構技術資料, JNC TN8400 99-057(2000).
  - 18) 三原守弘ほか,「シリカフェームを混合したセメ  
ントペーストの浸出試験とモデル化」,放射性廃  
棄物研究, vol.3,No.2,71(1997)
  - 19) H.Owada et.al., "The geochemical modeling study  
on leaching behavior of HFSC for cementitious  
radioactive waste repository", Proceedings of  
ICEM'99 ,1087(1999).
  - 20) 核燃料サイクル開発機構,「高レベル放射性廃棄  
物の地層処分技術に関する知識基盤の構築 平  
成17年度取りまとめ—分冊2 工学技術の開発  
—」,JNC TN1400 2005-015(2005).
  - 21) 田熊 靖久ほか,「アーウィン含有クリンカー  
セッコウスラグ系セメントの水和反応とpH  
挙動」, 日本セラミックス協会学術論文誌,  
104,11,1040,(1996).
  - 22) 坂本浩幸ほか,「人工バリア材用セメントのpH  
調整」, 日本原子力学会誌, 38,4,51,(1996).

(大和田 仁)

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/>