

原環センター トピックス

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT FUNDING AND RESEARCH CENTER TOPICS

2016.9.NO.119

目次

センターの活動状況	①
地層処分の記録と記憶	③

センターの活動状況

I 運営状況

NAGRAとの協力協定の更新及び情報交換会議の開催

当センターと協力協定を締結しているスイス放射性廃棄物管理共同組合（NAGRA）のトーマス・エルンスト（Thomas Ernst）理事長とストラティス・フォンフォリス（Stratis Vomvoris）国際支援・協力本部本部長を迎え、情報交換に関する協力協定の更新と情報交換会議を開催いたしました。今回更新した協力協定は、2021年までの5年間を対象としたものです。

開催日時：平成28年7月7日（木）14:00～17:00

議題：協力協定への署名

日本における高レベル放射性廃棄物処分プログラムの現状
スイスにおける地層処分プログラムの現状とNAGRAの活動

スイスでは連邦政府が策定した特別計画「地層処分場」に基づいて、3段階からなるサイト選定プロセスが実施されています。現在進められている第2段階では、地域住民の参加の下、2か所以上の候補エリアの選定に向けて、地上施設の設置区域の検討や、地質学的候補エリア間の安全面の比較などの様々な活動が行われています。情報交換会議では、こうしたスイスのサイト選定プロセスやNAGRAにおいて行われている研究開発（R&D）に関する状況、日本の放射性廃棄物処分事業の進捗状況などについて情報の共有を図りました。また、これまで同様、研究開発などの分野において、緊密な連携を行い、協力していくことを確認しました。



NAGRAエルンスト理事長と当センター
高橋理事長による協力協定の更新

Ⅱ 成果等普及活動の実施状況

平成28年度 第1回原環センター講演会の開催

平成28年度第1回原環センター講演会を以下のとおり開催しました。

開催日時：平成28年7月20日（水）14:30～16:00

会 場：京都大学 東京オフィス 大会議室 A, B

演 題：幌延深地層研究の歩み

講 演 者：

- ・国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
バックエンド研究開発部門 幌延深地層研究センター
研究計画調整グループリーダー 棚井 憲治 氏
- ・処分工学調査研究プロジェクト
プロジェクト・マネジャー 小林 正人

本講演では、北海道幌延町の幌延深地層研究センターで、平成13年3月より進められている、深地層の科学的な研究（地層科学研究）及び地層処分の技術的信頼性向上や安全評価手法の高度化に向けた研究開発（地層処分研究開発）の歴史、これまでの成果、現状を紹介しました。



地層処分実規模試験施設公開試験の実施

平成28年7月30日（土）、31日（日）に北海道幌延町で開催された「おもしろ科学館2016inほろのべ」（主催：経済産業省北海道経済産業局、幌延町）において、緩衝材定置試験設備を用いた「緩衝材定置試験」実施しました。重量・寸法を実物の緩衝材ブロックと同じに調整したコンクリート製の模擬緩衝材ブロックを使用し、模擬処分孔へ4段の定置試験を来場者に公開しました。両日で670名の方にご来場頂き、実物のオーバーパックや緩衝材、人工バリアカットモデル、昨年度移設した緩衝材除去システムのうち噴射吸引設備などを間近で実感して頂きました。



緩衝材定置試験設備を用いた
緩衝材ブロック定置試験の公開



緩衝材除去システムの構成、機能について解説

地層処分の記録と記憶

技術情報調査プロジェクト、処分工学調査研究プロジェクト 江藤 次郎

1. はじめに

放射性廃棄物の地層処分は、人間による制度的な管理に頼ることなく長期間にわたり廃棄物を人間の生活環境から安全に隔離する処分概念である。一方で、将来世代の意思決定への手助けや、意図しない人間侵入の回避などのため、放射性廃棄物の地層処分に関しても、その記録や記憶を保存するための取組が国際機関や諸外国等において進められている。

原環センターでは、平成12年度より地層処分に関する記録保存について調査を行っており、その成果を技術報告書^{1), 2), 3), 4)}として取りまとめている。近年は各国の取組について情報を収集するとともに、平成25年度からは経済協力開発機構／原子力機関(OECD/NEA)による国際的検討にも参加している。

本稿では、これまでの原環センターにおける記録保存に関する取組に加え、国際原子力機関(IAEA)の文書や、OECD/NEAによる検討を基に、地層処分に関する記録保存の意義、わが国での記録保存に係る法令と処分実施主体の取組み、記録の階層化と保存すべき記録、記録の損失要因、マーカーの有効性等の検討状況について紹介する。さらに、近年、新たな記録保存方法として提案されているタイムカプセルに関する検討についても併せて紹介する。

2. 地層処分にかかわる記録の保存の意義

地層処分に関する記録の保存や処分場の位置等を示すマーカーの設置は、受動的な制度的管理の一環として位置づけられ、継続的な管理行為がなくとも効果が持続すると期待される措置である。地層処分における制度的管理は、直接的な安全確保の手段ではないものの、安全性、社会的受容性を向上させ得る手段のひとつである。

IAEAの特定安全要件「放射性廃棄物の処分」(2011)⁵⁾では、記録の保存やマーカーの意義について以下のように述べている。

「5.7. 放射性廃棄物の処分施設への侵入のリスクは、マーカー、国際的なものを含む記録保管所の使用による情報の保管のような、受動的管理を使用することによって、能動的管理で予見されるよりも長い時間スケールで低減できるかもしれない。」

また、制度的管理の持つ意義について、以下のよう

に述べている。
「5.12. 地層処分施設は、安全確保手段としての、閉鎖後の長期的な制度的管理に依存するものではない(中略)。そうであっても、制度的管理は、廃棄物

への偶発的な抵触、あるいは地層処分システムの安全特性の低下を起こすおそれのある人間活動を防止したり、その生起可能性を減少させたりすることによって、安全性に寄与することがある。制度的管理は、地層処分に対する公衆の受容性の向上に寄与することもある。」

なお、地層処分の制度的管理に関し、わが国では、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(最終処分法)の規定等から、「記録の保存」として検討しているが、フランスのように、処分場の存在に関する「記憶の維持」という観点からより広範な検討を進めている例⁶⁾も見られる。これらの考え方を統合するため、後述のOECD/NEAにおける国際的検討では、「記録」、「知識」、「記憶」(表1)の保存として取り組んでいる。

IAEA(2011)⁵⁾やOECD/NEA(2014)⁷⁾の記述に加え、保存された記録等の将来の利用を考察すると、地層処分に関する記録、知識、記憶の保存には、以下のような役割が期待される。

- ・将来世代の処分場への接近・侵入行為の抑制：処分場の存在の記憶や、危険性に関する記録、知識が人間の侵入を抑制する。
- ・将来世代の意思決定に資する情報提供：将来世代が、処分場の拡張や、何らかの理由による廃棄物の回収等の意思決定を行う際の情報を提供し、また、その際の安全性を確保する。

表1 OECD/NEAにおける「記録」、「知識」、「記憶」の定義⁷⁾

用語	定義
記録 (Record)	通常、固有かつ原型である物体や、ある媒体に結び付き、選定されたデータや情報であり、後の利用のため適切な文脈と構造と共に保持される。
知識 (Knowledge)	学習プロセスの結果。ある分野において獲得された知識は、洞察や技能をもたらす。知識は、関連するデータ、情報、記録を理解し、解釈し、使用する能力をもたらす。
記憶 (Memory)	過去の出来事、人々、場所や知識のレベルに関する認識

3. わが国での記録保存に関する法令

わが国において、地層処分に関する記録については、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(最終処分法)、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」(炉規法)、「公文書等の管理に関

する法律」(公文書管理法)が関係する。

「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(最終処分法)では以下のように、地層処分事業者である「機構」(原子力発電環境整備機構: NUMO)から提出された記録を国が永久に保存することが規定されている。

「第二節 最終処分の実施 (最終処分施設の閉鎖)」

第十八条 前条の場合において、機構は、当該最終処分施設に関し経済産業省令で定める事項を記録し、これを経済産業大臣に提出するとともに、その写しを当該機構の事務所に備え置き、公衆の縦覧に供しなければならない。

2 経済産業大臣は、前項の規定により提出された記録を永久に保存しなければならない。」

現時点では、最終処分法に基づき保存すべき記録の具体的内容は規定されておらず、今後検討が進められるものと考えられる。また、記録を「永久に」保存すべきという規定を遵守するためには、記録の保存手段に関する検討が必要となるものと考えられる。

一方で、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」(炉規法)においても、事業に関する記録を事業所に保存すべきことを定めており、「核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の第一種廃棄物埋設の事業に関する規則」(第一種廃棄物埋設規則)では、記録すべき事項とその保存期間が具体的に規定されている。しかし、第一種廃棄物埋設規則における、これらの記録の保存期間は、記録の種類毎に1～10年または「廃止措置計画の確認を受けるまでの期間」と定められていることから、既存の紙媒体による文書や磁気記録等により対処することが可能であり、技術的課題は少ないものと考えられる。

なお、「公文書等の管理に関する法律」では、公文書以外にも国が必要と判断した場合や民間文書でも公共性の高い文書は公文書館への移管が可能となっている。上述の最終処分法により国が保存する地層処分事業に関する記録も、その公共性から公文書館への移管が可能と考えられる。

4. 記録保存に関する地層処分実施主体の取組

地層処分実施主体であるNUMOでは、最終処分法の規定を遵守しつつ、人間侵入の防止、将来世代の意思決定への寄与、品質管理等の観点から記録保存に取り組むという考えを、「地層処分事業の安全確保(2010年度版)」⁸⁾において表2のように示している。

表2 NUMO「地層処分事業の安全確保(2010年度版)」⁸⁾における記録保存に関する記述(抜粋)

記載箇所	記載内容
3.1.2 閉鎖後長期の安全確保	地層処分では、人間の侵入をより難しくする地下深部へ処分施設を設置すること、さらに、国による処分の記録の永久保存や保護区域の設定による土地利用制限を行うこと、有用な鉱物資源の存在記録がない場所を処分場として選定するなどの措置を行うことにより、処分施設と人間との接触の可能性を小さくすることが可能となっている。
3.3.2 モニタリング	閉鎖後のモニタリングの在り方については、将来閉鎖の時点で、社会的要請などを考慮して、将来世代が判断すべき課題と考えており、事業期間中に将来世代が検討・判断するために必要な記録を残していくことが重要である。
3.3.3 可逆性と回収可能性	処分場の安全性以外の何らかの理由により回収の議論がなされた場合には、その時点で検討を行い廃棄体の回収を実施するか否かの判断が行われるべきである。(中略) NUMOは、そうした場合にも備え、事業期間中に蓄積した記録や情報などを保存し、将来世代が適切な判断を行うための環境整備に努める。
6.1.3 品質保証の考え方	処分場の設計、建設・操業・閉鎖に関する品質の記録は、適切に保存、管理する。記録は全事業段階を通じて行い、トレーサビリティを明確にする。

5. OECD/NEAにおける取組の概要

OECD/NEAの放射性廃棄物管理委員会(RWMC)では、地層処分に関する記録等の保存に関する取組として、世代を超えた記録、知識及び記憶の保存(The preservation of Records, Knowledge & Memory (RK&M) across Generations)イニシアチブ(以下、RK&Mイニシアチブ)⁹⁾を実施している。実施期間は、第1フェーズが2011年～2014年、第2フェーズが2014年～2018年である。

RK&Mイニシアチブは、OECD/NEA参加国における地層処分に関する記録等の保存に関して、「単一のメカニズムや技術だけで、知識、記憶を数百年、数千年保存することは不可能であり、様々な時間軸に対応するために、複数のメカニズムや技術を統合し、相互に補完することが必要である」との考えから、各国の地層処分実施機関、研究機関、公文書保存機関等が協力して課題に取り組んでいる。現在、13箇国の18機関とIAEAが参加しており、日本からは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(JAEA)と当センター(2015年より)が参加している(表3)。

表3 RK&Mイニシアチブへの参加機関

SKB(スウェーデン)、SSM(スウェーデン)、STUK(フィンランド)、ANDRA(フランス)、ONDRAF/NIRAS(ベルギー)、SCK(ベルギー)、BfS(ドイツ)、GRS(ドイツ)、ENRESA(スペイン)、SURA(チェコ)、PURAM(ハンガリー)、RWM(英国)、SFOE(スイス)、NAGRA(スイス)、USDOE(米国)、NWMO(カナダ)、JAEA(日本)、RWMC(日本)、IAEA

RK&Mイニシアチブにおける主な取組の内容は以下の通りである。

- ・関連文献集の作成
- ・用語集の作成
- ・各国の規制の調査と整理
- ・国際的機構の仕組みの調査
- ・記録、知識、記憶の喪失に係る主要因子の分析
- ・マーカーに関連する人間侵入の要因分析、日本の津波石碑の考察
- ・モニタリングと記録、知識、記憶の保存との関係の考察
- ・記録等の保存方法としてのタイムカプセルの検討
- ・鍵となる情報ファイルの検討

また、これまでに下記の研究報告書を公開している。

- ・マーカーと記憶の保存に関する文献調査¹⁰⁾（以下、マーカーに関する文献調査）
- ・情報、記録、知識の喪失 - 従来型の処分場の歴史における主要要因¹¹⁾（以下、記録の喪失に関する検討）
- ・マーカー - 日本の津波石碑形式における統合的警告からの反映¹²⁾（以下、津波石碑の考察）
- ・地層処分施設のモニタリング：技術及び社会的側面¹³⁾
- ・短中期での記録、知識及び記憶の保存をサポートする国際的機構¹⁴⁾

6. 記録の階層化と長期保存すべき記録

地層処分事業は建設地選定に向けた調査段階から建設/操業段階、閉鎖段階まで約100年にわたる事業であり、膨大かつ多岐にわたる記録が発生する。また、閉鎖後の一定期間地上環境等のモニタリングを実施する場合には、さらに長期にわたって保存すべき記録が発生することとなる。これらの記録を保存すべき時間に関して、原環センターでは、数100年間という時間枠を想定している（図1）⁴⁾。

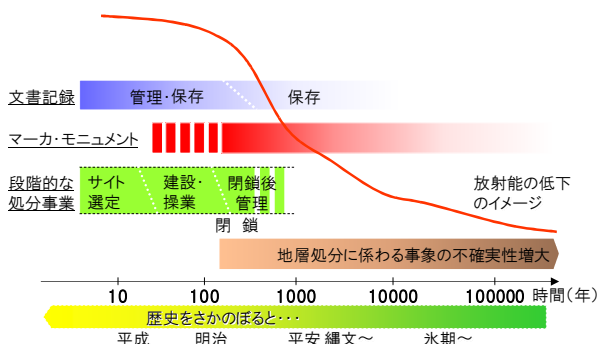


図1 地層処分の記録保存において考慮する時間枠⁴⁾

地層処分に関する記録の一部は、閉鎖後の将来の社会にとって必要あるいは重要なものであるため、可能な限り長期にわたり保存することとなる。一方で、一定の操業プロセス終了後には保存の必要がないような記録の存在も想定される。

このような多様な記録を念頭に、長期にわたり記録を保存するためには、何を、どこで、だれが、どうやって、いつ保存するか、それをどのように維持するかという方策が必要であり、これらの記録を保存、管理するシステムとして構築する必要がある。IAEA（1999）¹⁵⁾では、記録管理システム（RMS）の構築を提唱しており、以下の内容を含むとしている。

- ・記録管理システムに入れるべき記録
- ・記録の索引付け及び情報の検索
- ・記録の保存分類
- ・記録形式（媒体）
- ・記録の送信、受信、アクセプタビリティ
- ・環境からの記録の保護
- ・アクセス管理
- ・記録の修正に対する管理
- ・定期的な複製または記録形式間の転送、国家記録保管所の要件

さらに、同システムの構造について、3つのカテゴリによる階層を提示している（表4）。このような階層構造により、記録の重複性、多様性を保証し、部分的な情報の損失を修復できる可能性があり、記録管理システムがロバストな多重構造となる。特に、高度なレベルの情報（HLI）を各国の公文書保管所に加え、国際公文書保管所に保存することにより、各国国内に、政治的、社会的、経済的変動が発生した場合であっても将来世代に高い信頼性を持った情報を提供することができるとしている。表5にHLIとして例示された項目を示す。

表4 記録保存システムの階層構造

IAEA（1999）¹⁵⁾より作表

情報の階層	説明
高度なレベルの情報（HLI）	将来世代が処分システムを基本的に理解するために必要な、高度に凝縮された情報の集合。国立公文書館や国際公文書館等で保存される
中程度のレベルの情報（ILI）	主に許認可や法的要件を満足するための情報から構成される凝縮された集合
基本的なレベルの情報（PLI）	処分事業の全期間にわたり収集される全ての情報を含む集合

表5 高度なレベルの情報（HLI）の例¹⁵⁾

記録の概要	事 例
安全評価あるいは修復活動の実施に関連する記録	
処分施設位置とサイトデータ	- 閉鎖後の制度的管理期間中に管理されるべき領域と、処分領域（マーカー位置を含む）の境界 - 国／国際的地理学文献の参照 - 地元の人口統計 - サイトデータ（地質学的、水文学的、気象学的、地球化学的データを含む）
処分上設計と人工バリア	- 材質と方法を含む建設仕様／手順 - 各処分ユニット（トレンチ、セル等）の建設と場所を示す最新の図面 - 修正作業を含めた建設不適合／ずれ - 能動的、受動的モニタリングシステムの詳細図と仕様 - 人工バリアの保守と修復の仕様と記録
処分された廃棄物の総量	- 処分記録（処分位置、廃棄物データを含む） - 施設受け入れ基準（廃棄物形状、パッケージング、放射線場、全体含有量）
記録管理システム	記録管理システムの記述（内容物と構造、使用説明書、手順、計画）
作業記録	- モニタリングデータ - 作業承認記録（不適合、修復活動と承認記録）
バックグラウンド情報	処分場システムの機能と性能を将来世代が理解する上で手助けとなる情報
歴史的、法律上、あるいは他の利用に関係する記録	
許認可記録	- 作業認可、許可、要件の記録 - 被曝限度を含め、性能目標 - モニタリング要件 - 性能評価報告書
法律	作業と閉鎖時期に適用される法律環境の記述
一般情報	廃棄物を処分した社会についての情報

鍵となる情報ファイル

高度なレベルの、凝縮された情報について、RK&M イニシアチブでは、処分場に関する全体概要を簡潔に記述した書類（鍵となる情報ファイル：KIF）¹⁶⁾の整備を提唱している。この書類は、ある処分場に関して最初に読まれる書類として、世界各地の公文書館等に広く配布、保存されることを想定している。約50ページの分量で、地層処分場の位置や廃棄物のインベントリ、セーフティケース等の主要な情報を伝えるものであり、一部は数種類の言語で記載される（表6）。

7. 記録の喪失要因に関する検討

処分場に関する記録は、長期にわたる保存期間中に、何らかの要因により喪失する恐れがある。RK&M イニシアチブによる研究報告書のうち「記録の喪失に関する検討」¹¹⁾では、スイス、米国及びドイツにおける埋立地並びに有害廃棄物の処分サイト等の事例に関し、情報の喪失に係る調査・整理が行われた。この結果から、記録や知識の喪失に関する共通の主要要因が特定された（表7）。本研究から、廃棄物処分に関する全ての情報が喪失することは稀であるが、細部が最初に失われる傾向にあること、多くの記録は不十分なデータを用いて作成されているため、一部が失われると記録の再構築が困難であること等が指摘されている。

表6 鍵となる情報ファイル（KIF）の構成案¹⁶⁾

節	題名と内容
0	本書の目的と目次（数種の言語で記述）
1	処分に関する背景 - 放射能と放射性廃棄物の性質 - この廃棄物はどのようにして形成されたか - なぜこの廃棄物は地層処分を必要としたか - 重要な日付 - 施行された規制条項
2	施設の位置 - 処分場の座標（緯度、経度、深度） - 地質環境 - 閉鎖時の水理 - 地質 - 化学パラメータのベースライン - 敷地のモニタリングに関する措置（範囲と時間枠）
3	容器及び施設の配置 - 使用された容器の形式 - 工学的特性 - 接近手段と閉鎖
4	処分された廃棄物のインベントリ - 放射性核種 - 有害成分 - 擾乱がない場合の放射能の変遷に関する分析結果 - 情報の再生方法
5	セーフティケース - 閉鎖後セーフティケースの原則（隔離と閉じ込め） - 予測される影響（通常の変遷） - 人為的擾乱の影響（侵入への警告）
6	処分に関する記録 - KIFの更新計画 - KIFの配置 - 詳細記録の位置と配置
7	世界各国における類似処分場のリスト（数種の言語で記述） - 処分場の座標 - 保存された記録の座標

また、知識の喪失要因の分析の結果、特に以下に示す4つの要因が、調査事例の全てにおいて抽出されたとしている。

- ・記録なし／アーカイブ不足
- ・記録の更新なし／不十分
- ・職務遂行のための予算なし／不十分
- ・人事異動

さらに、稀ではあるが喪失防止が困難な要因として、下記の2つを挙げている。

- ・不法行為（意図的な行為）
- ・社会的な不連続性（断絶）

なお、意図的な行為による記録の喪失に関しては、「マーカーに関する文献調査」¹⁰⁾においても、意識的及び無意識的な行為を通じて、情報が損失する多くの原因が存在するが、社会が中央集権化されている際には、情報管理が意図的に操作され得ることが指摘されている。さらに、この問題についてはKlein et al. (2016)¹⁷⁾により、1950～1960年代に設置された原子力研究施設のモニュメントや歴史的建造物の観察を通じ、故意の破壊や産業活動による破壊等の人為的破壊の重大性が指摘されている。

表7 記録及び知識の喪失の主要要因¹¹⁾

記録及び知識の喪失の主要要因	
技術的／環境的要因	サイトの劣化（技術設備を含む）
	旧処分サイトの再開発／カモフラージュ
	記録なし／保存記録、記録保管所不足
	記録の更新なし／不十分（例えば、地図、図面）
	保存記録、記録保管所の喪失／破壊
経済的要因	職務遂行のための予算なし／不十分
人的要因	人事異動
	記録、知識、記憶の保存分野への一般的無関心
	職務怠慢
	無知及び／又は無能
	傲慢
	実効リスクの過小評価
	情報及び記録の誤った理解
	不法行為（例えば、文書の改ざん、無許可処分）
	データ、情報及び記録の意図的な制限／操作
	不連続性（断絶）（例えば、戦争、社会危機、倒産）
構造的要因	構造的欠陥（例えば、構造的能力の欠如）
	構造的連続性なし／不十分
	法規制の欠如
法規制	法規制の欠如
連成プロセス	上記のいずれかの組合せ

8. 記録保存方策の多重化

記録の喪失への対策としては、情報伝達経路に冗長性を与えると共に、部分的な損壊が生じても全体の機能が保たれる頑強性を保持することで、将来の様々な背景条件の変化にも適応し得る柔軟性を備えたシステムが必要である。このためには、上述した記録の階層化¹⁵⁾に加え、異なる複数の保存方策を組み合わせることが有効と考えられる。

原環センターでは、記録の保存、更新、伝達等を行う制度を社会で維持するという方策（リレーシステム）と、人間の管理・伝承等に依存しない永続的な記録保管庫や媒体、マーカー等を設置するという方策（永続システム）を組み合わせ運用することを提唱している（図2）⁴⁾。

また、同様の考え方は、RK&Mイニシアチブにおいても、現在の世代とある特定の将来世代の間の、中間世代という仲介者を介した情報伝達と、仲介者を介さない情報伝達の両方を用いるべきとする「Dual-track strategy」⁷⁾として認識されている。

・記録保存システムの基本的要件

地層処分の記録保存システムは、異なる複数の方策を組み合わせることにより、情報伝達に冗長性を与えると共に、部分的な損壊が生じても全体の機能が保たれる頑強性を保持し、将来の様々な背景条件の変化にも適応し得る柔軟性を備えたシステムであることが必要である。

リレーシステム（文書等の永久保存）:
記録の保存、更新、伝達等を行う制度を社会で維持すること

- 保存時期
- 保存技術
- 記録の分散配置
- 情報階層化／検索／更新方法

永続システム（マーカー・記録保管庫）:人間の管理・伝承等に依存しない永続的な記録保管庫や媒体を設置すること

- 媒体の耐久性
- 媒体の分散配置
- 情報の簡潔性／冗長性

図2 複数の方策からなる記録保存システム⁴⁾の概略

9. 記録保存技術

処分場に関する記録の保存媒体に関しては、容量と劣化に対する抵抗力を含め、次のような要件を満たすべきと考えられる。

- ・情報の十分な収容能力
- ・長期保存期間中に可読性が確保できる化学的、物理的安定性
- ・情報損失のない他媒体への容易なコピーまたは転写可能性
- ・長期間にわたる再取り出し性：解読技術・装置の維持を含む
- ・読みやすさ、分かりやすさ
- ・非権限者による修正に対する保護
- ・経済的価値の高い材料を含まないこと

これらの要件を念頭に、原環センターではこれまでに以下の媒体について調査・検討を実施した。

- ・紙（標準紙・永久紙）
- ・マイクロフィルム
- ・電子媒体（磁気ディスク・光ディスク）
- ・炭化ケイ素板（SiC）への印字
- ・石英ガラスへの印字

既往の事例

既往事例として、低レベル放射性廃棄物処分場に関する記録保存を実施しているフランスのラ・マンシュ処分場がある¹⁸⁾。処分実施主体である放射性廃棄物管理機関（Andra）は、この処分場に関する全ての記録を紙に印刷し、処分場と国立公文書館という2カ所の異なる場所に2部ずつ保存することを基本としている。これらの記録に用いられている紙は、国際規格ISO 9706（1994年）及びISO 11108（1996年）に準拠し、記録保存の検討の結果、永続性の面で最も優れていると判断された中性紙（pH7.5～8.5の弱アルカリ性）である。

炭化ケイ素板への印字技術

原環センターでは、レーザー光線による炭化ケイ素板への印字（写真1）技術の、地層処分に関する記録保存への適用性を検討した。印字試験により、10cm四方（厚さ1mm）の板に片面あたりA4判6ページ分の文章を印字（文字サイズ：2pt）できることや、図のグラデーションが表現でき、肉眼または拡大鏡により記録の解読が可能であることを示した¹⁾。さらに、印字後の媒体の耐久性に関する試験を実施し、落下や摩耗、化学的腐食に対する耐久性を確認している²⁾。本技術については、耐久性のある記録技術の一つとして、長期にわたり環境からの影響を受け難いことや、記録の解読に高い技術を必要としないことが国際的に評価されている¹⁹⁾。

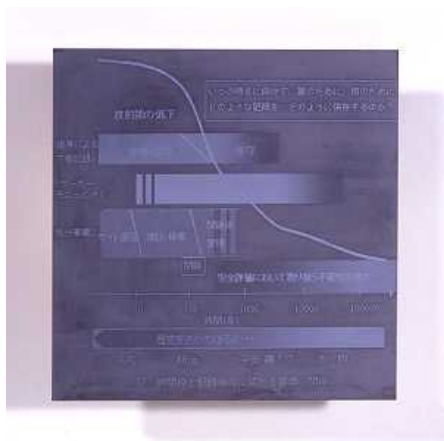


写真1 図1の内容を炭化ケイ素の板（10cm x 10cm）にレーザー刻印したもの⁴⁾

10. マーカーに関する検討

OECD/NEAのRK&Mイニシアチブでは、マーカーを、「影響、権限または危険性を持つ区域を示す、長期間存続する物体であり、あるサイト、もしくはサイト近傍に戦略的に配置され、即座に認識されるか、または時間が経過した後に発見されるもの」と定義している⁷⁾。

RK&Mイニシアチブによる研究報告書のうち「マーカーに関する文献調査」¹⁰⁾は、2008年～2010年にスイスの連邦エネルギー庁（BFE）の委託により作成された文献の改訂英語版である。この報告書では、マーカーの概念、実施あるいは要件等に関する技術報告書、学術論文、国の規制等を調査し、マーカーシステムに関連する課題や問題点を整理し、特に議論が必要な課題として下記の検討が実施された。

- ・マーカーに関する基本的な課題
- ・人間及び社会に関する問題点
- ・地表環境及び地下空間
- ・マーカーと構造物
- ・経時的な情報伝達
- ・マーカーシステムの喪失に対する感受性

この報告書では、人間及び社会に関する問題点として、処分場への侵入に対する動機についての分析を行い、マーカープログラムを検討する際の考慮事項として、人間侵入に関する予防措置の提案を行っている（表8）。

表8 侵入シナリオと可能性のある予防措置¹⁰⁾

侵入シナリオ	動機	予防措置
経済的理由による、処分場への意図的でない掘削。鉛直方向又は側面からの貫入。（資源探査等）	原材料、水の探索；処分場の場所又はその危険性の忘却	地表近傍（浅地）マーカー
貯蔵施設（ガス、石油）、トンネル又はその他の地下構造物の意図的でない建設。鉛直方向又は側面からの貫入	貯蔵容量の探索；処分場の場所又はその危険性の忘却	地表近傍、アクセス立坑及び処分場でのマーカーが可能。処分場周辺外の場合は、マーカーを用いた予防措置は困難
液体廃棄物（CO ₂ 隔離、液体廃棄物、など）の意図的でない注入	貯蔵容量の探索；処分場の場所又はその危険性の忘却	地表近傍マーカー
新しい兵器システムを試験するための、処分場又はその周辺への意図的でない掘削（地下核実験等）	試験サイトの探索；処分場の場所又はその危険性の忘却	地表近傍マーカー
新たな廃棄物を定置するための、処分場の意図的な開放	処分場の拡張又は再利用	有効な予防措置なし。あるいは、地表近傍、アクセス立坑及び処分場でのマーカー
有価物（銅、鋼、など）を回収するための、処分場の意図的な開放	資源のリサイクリング	リサイクルできない材料（例えば、セラミックス）だけを使用。追加のマーカー（地表、深部）
新たな空間計画評価又はリスク考察による、廃棄物インベントリの意図的な回収	処分場又はその一部の解体	地表近傍、アクセス立坑及び処分場でのマーカー
地下環境を浄化するための、廃棄物の意図的な回収	処分場又はその一部の解体	地表近傍、アクセス立坑及び処分場でのマーカー
社会に危害を加える（焦土作戦）ための、処分場への意図的な掘削	わがまま等（テロリズム）	有効な予防措置なし。
考古学的な探査又は地下研究	歴史的な好奇心（宝探し）、地下探索	有効な予防措置なし。あるいは、地表近傍、アクセス立坑及び処分場でのマーカー
地下水流動経路に短絡のある処分場近傍の地下の、意図的でない探査	天然資源、水の探索；処分場の場所又はその危険性の忘却	処分場敷地境界外ならば、マーカーによる予防は困難
処分場への影響がある、地表での建設（例えば、大型ダム）	水供給、エネルギー生成、灌漑	地表近傍マーカー

既往の検討事例

マーカーに関する代表的な検討事例としては、米国の廃棄物隔離パイロットプラント（WIPP）における検討例²⁰⁾が挙げられる（図3）。同図の大規模地表マーカーは処分場の敷地境界等に設置され、警告情報を絵文字等で記載するほか、処分場の基本情報を英語、フランス語、スペイン語、中国語、ロシア語、

アラビア語と、ナバホ語の7言語で記述する計画である。

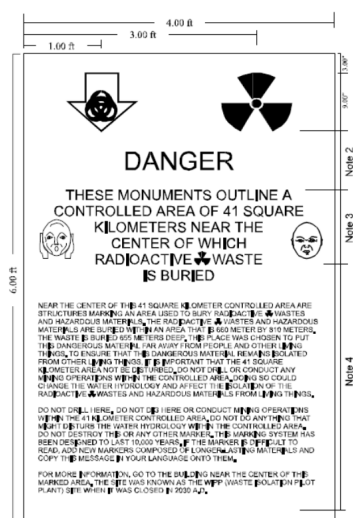


図3 米国WIPPにおける大規模地表マーカーの文字盤に刻印される文字(英語)と図の案²⁰⁾、文字盤の高さ:約180cm、幅:約120cm

日本の津波石碑の考察

放射性廃棄物の処分場に関するマーカーを検討するにあたり、既存の類似事例として、石碑等による情報伝達がどのように行われているかを検討することが有用と考えられる。

RK&Mイニシアチブによる研究報告書のうち「津波石碑の考察」¹²⁾では、将来世代に情報及び警告を伝達するための媒体としてのマーカーの潜在的有効性への理解を深めることを目的として、日本の北東部沿岸に数百個設置されている津波に関する石碑(例えば、図4)の役割について検討した。

その結果から、日本の石碑の寿命(最長で千年)は、類似の時間スケールにわたるマーカーの残存可能性を例証していることを指摘している。同時に、石碑の警告情報が2011年に発生した津波からの避難へ寄与した事例、寄与しなかった事例を分析し、目に見えるマーカーは記憶の保持に寄与するが、継続的な警戒に実質的影響を及ぼすことのない、歴史的及び文化的な物体になる可能性があることを指摘している。さらに、マーカーの警告機能は、過去との連続性を有した、比較的小さな地域社会で生き残る可能性が高いことを指摘している。

日本の津波石碑については、さらにKlein et al. (2016)¹⁷⁾において、人類の歴史においてマーカーの警告機能が有効に伝達されたことが明らかになっている唯一の事例が日本の津波石碑であるとして、津波石碑による警告内容に関する学校教育に着目した上で、地域社会での世代間の情報伝達の重要性が指摘されている。



大津浪津波記念碑
 高き住居は
 児孫の和楽
 想へ惨禍の
 大津浪
 此処より下に
 家を建てるな
 明治廿九年にも
 昭和八年にも津
 浪は此処まで来て
 部落は全滅し生
 存者僅かに前に二
 人に四人のみ幾歳
 経るとも要心おせ

図4 津波石碑の例、岩手県宮古市重茂姉吉¹⁾の石碑の写真(左)と記載内容(右)²¹⁾

11. タイムカプセルに関する検討

これまでに見てきたように、紙などの媒体に記録した情報がある世代から次の世代に引き継いで保存していく方法も、マーカーにより将来のある世代に直接情報を伝達する方法も、それぞれに記録や記録の持つ警告機能が喪失する可能性を考慮する必要がある。このため、両方の方法を並行して用いて、記録等の喪失を避ける必要がある。

RK&Mイニシアチブでは、ある世代から次の世代に情報を伝える方式と、長時間経過後の世代に直接情報を伝える方式を融合することができると新たな方法として、タイムカプセルを検討している²²⁾。

タイムカプセルとは、目的を持って作られた、歴史的な記録を貯蔵する封印された匿体であり、ある特定の時期に、あるいは故意でない発見により、将来世代に情報を伝える手段である。また、将来世代に情報を伝えるための、広く理解された手段である。

科学的な試みとして、数千年後に開封されることを意図したタイムカプセルとしては以下の事例がある。

- Clock of the Long Now Foundation, 米国
- Crypt of Civilization, 米国
- Helium Centennial Time Columns Monument, 米国
- Westinghouse Time Capsules, 米国
- Memory of Mankind, オーストラリア
- Osaka Castle Dual Time Capsules, 日本
(大阪万博のタイムカプセル)

さらには、Pioneer、Viking、Voyagerといった宇宙探査船に搭載された人類や地球に関する情報を記録した銘板等もタイムカプセルの一種と認識されている。

このような科学的な試みとしてのタイムカプセルのうち、大阪万博のタイムカプセル^{23), 24)}について、

集中的に調査が行われた。このタイムカプセルは、同じ内容物を持つタイムカプセルを2個設置し、1個は一度も開封せずに5000年間埋設し続け、もう1個は100年ごとに開け内容を確認するという特徴を持つ。この特徴について、記録や記憶の保存を伝統や儀式と結び付ける可能性を示唆するものと評価されている。また、タイムカプセルの収容物を保護するための技術的取組や、広範な社会が関与した収容物の選定過程のほか、文化遺産である大阪城公園への設置により破壊や盗難からの安全性が高められていることや、博物館へのレプリカの保存により広く認知され続けるようにした点が、地層処分に関するタイムカプセルが参考とすべき点として評価されている。

これらの科学的な試みとしてのタイムカプセルの持つ特徴を基に、放射性廃棄物の記録・知識・記憶の保存に関するタイムカプセルの概念として、表9に示す特徴を持つ、「Millennial Time capsule」が提案されている。また、これに加え、オーバーパック等と同じ材料で作った小型のタイムカプセル内に処分場や廃棄体に関する情報を保存し、地下の処分場周辺に設置し、人間侵入時に警告を与えるという、小型のタイムカプセルも提案されている。

表9 Millennial Time capsuleの特徴²²⁾

- ・情報を保存するものとして容易に理解できる。
- ・多量の書類と物を内包する。デジタル情報の収容は任意。
- ・移動やダメージを与えることが困難。
- ・記念碑として考えられる側面を持つ。
- ・数世紀間にわたり定期的に開けて中身を確認し、更新する、儀式化された機会を提供する。(2個のタイムカプセルのうち1個や、レプリカの利用を想定)
- ・ある世代から次の世代に情報を伝える方式と、長時間経過後の世代に直接情報を伝える方式を融合することができる。
- ・「Millennial Time capsule」を作成するための、広範な社会が関与した、科学的アプローチの例が複数存在し、「Millennial Time capsule」を開発するためのノウハウに平等に接することができる。
- ・地域の伝承や伝統に繋がることができる。
- ・千年間にわたり、少なくとも部分的に保存された、古代の共同墓地等の、浅い地中の史跡が多数存在する。現代の技術により、少なくとも同等の期間の保存が可能である。

12. おわりに

本稿では、地層処分に関する記録保存の意義、わが国での記録保存に関係する法令と処分実施主体の取組み、記録保存の方法と記録の損失要因、マーカーの有効性等の検討状況、さらには、近年、新たな記録保存方法として提案されているタイムカプセルに関する検討について概観した。

わが国では、現在、地層処分場の立地について、科学的有望地が年内に公表される見込みとなっており、その後のサイト選定に向けた取組が加速されることが期待されている。記録保存に関しては、候補地の調査段階から開始されるものと考えられる。事

業期間中は広範囲な情報が記録され、事業者により保存されるが、これらの記録は、後に最終処分法に基づいて国により「永久に」保存されるため、長期に保存される記録の具体的な内容や保存方法を予め検討しておく必要がある。また、具体的な保存期間を法制化することも必要と考えられる。

長期保存すべき記録の内容や、記録の階層化については、IAEAやOECD/NEAにより検討が進められているため、これらを基にわが国の状況を考慮して、今後、具体化していくことが可能と考えられる。

長期にわたり保存された記録を維持し、喪失を免れるための方法については、ある世代から次の世代に引き継いで保存していく方法と、マーカー等により、将来のある世代に直接情報を伝達する方法を並行して用いて、記録等の喪失を避けることや、耐久性のある記録媒体の開発、複数の場所に保存することなどが検討されている。しかし、記録を保管する組織の存続性や予算の継続性に関する不確実性に加え、人為的な記録の破壊等の可能性を排除することは困難である。これらは、将来の社会的な状況にも依存するため、記録の維持に向けて、複数の方法を組み合わせて冗長性を確保するなど、記録が維持される可能性を高めていく必要がある。

本報告は、経済産業省資源エネルギー庁の委託事業である平成12年度～平成18年度「地層処分技術調査等 モニタリング機器技術高度化調査」、平成19年度～平成24年度「地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発」及び平成25～平成27年度「地層処分技術調査等事業 処分システム工学確証技術開発」の成果の一部である。

参考文献

- (1) 杉山和稔他：地層処分にかかわる記録保存の研究 ― 位置付けと方策 ―、RWMC-TRJ 02001、2002.12
- (2) Kazutoshi Sugiyama et al.: Record Preservation Study on Geological Disposal - Significance and Technical Feasibility -, RWMC-TRE-03001, 2003.3
- (3) Jin Ohuchi et al.: International workshop on Record Management and Long-term Preservation and Retrieval of Information regarding Radioactive Waste, Rome, 27-28 January 2003, RWMC-TRE-03002, 2003.11
- (4) 杉山和稔他：地層処分にかかわる記録保存の研究 ― 位置付け・方策・技術的可能性 ―、RWMC-TRJ-08001、2009.3
- (5) IAEA: Specific Safety Requirements No. SSR-5, Disposal of Radioactive Waste, 2011.5
- (6) ASN: 深地層における放射性廃棄物の最終処分

-
- に関する安全指針, "Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde", 2008
- (7) OECD/NEA-RWMC: Glossary of Terms, Draft -Definitions as of 3 March 2014, NEA/RWM(2011)14/REV4, 2014
- (8) NUMO: 地層処分事業の安全確保 (2010 年度版), NUMO-TR-11-01, 2011
- (9) OECD/NEA: -RWMC Preservation of Records, Knowledge and Memory (RK&M) across Generations, <https://www.oecd-neo.org/rwm/rkm/>
- (10) OECD/NEA-RWMC: Literature Survey on Markers and Memory Preservation for Deep Geological Repositories, NEA/RWM/R(2013)5, 2013
- (11) OECD/NEA-RWMC: Loss of Information, Records, Knowledge and Memory - Key Factors in the History of Conventional Waste Disposal, NEA/RWM/R(2014)3, 2014
- (12) OECD/NEA-RWMC: Markers - Reflections on Intergenerational Warnings in the Form of Japanese Tsunami Stones, NEA/RWM/R(2014)4, 2014
- (13) OECD/NEA-RWMC: Monitoring of Geological Disposal Facilities: Technical and Societal Aspects, Preservation of Records, NEA/RWM/R(2014)2, 2014
- (14) OECD/NEA-RWMC: International Mechanisms to Support Records, Knowledge and Memory Preservation Over the Short and Medium Term, NEA/RWM/R(2015)2, 2015
- (15) IAEA: Maintenance of records for radioactive waste disposal, TECDOC-1097, 1999.7
- (16) Jean-Noël Dumont et al.: Key Information File for Radioactive Waste Repositories - Preliminary Tests - 16169, WM2016 Conference, March 6-10, 2016, Phoenix, Arizona, USA
- (17) Thomas Klein et al.: As Permanent as Practicable: The reality of Permanent Markers - 16191, WM2016 Conference, March 6-10, 2016, Phoenix, Arizona, USA
- (18) ANDRA, Disposal facilities: preserving a collective memory for future generations, Essential Series, 2006
- (19) Abe Van Luik: SESSION 113 PANEL ON RECORDS, KNOWLEDGE & MEMORY (RK&M) PRESERVATION, WM2016 Conference, March 6-10, 2016, Phoenix, Arizona, USA
- (20) U. S. Department of Energy, Carlsbad Field Office: Permanent Markers Implementation Plan, DOE/WIPP 04-3302, August 19, 2004
- (21) 国土交通省,
<http://www.thr.mlit.go.jp/road/sekihijouhou/archive/karute/iwate077.pdf>
- (22) Claudio Pescatore and Abraham Van Luik: Millennial Time Capsules as a Promising Means for Preserving Records for Future Generations-16542, WM2016 Conference, March
- (23) パナソニック、
<http://www.panasonic.co.jp/history/timecapsule/index.html>
- (24) Panasonic,
<http://panasonic.net/history/timecapsule/index.html>

編集発行

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

〒104-0052 東京都中央区月島1丁目15番7号（パシフィックマークス月島8階）

TEL 03-3534-4511（代表） FAX 03-3534-4567

ホームページ <http://www.rwmc.or.jp/>