



地層処分にかかわる記録保存の研究
- 位置付けと方策 -

杉山 和稔、高尾 肇、大内 仁、坪谷 隆夫

平成14年12月

本報告書は、経済産業省からの委託で（財）原子力環境整備促進・資金管理センターが実施した「モニタリング機器技術高度化調査」のうち、記録保存にかかわる研究成果の一部をまとめたものである。

地層処分にかかわる記録保存の研究 - 位置付けと方策 -

要 約

背景

高レベル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、近年国際機関や諸外国等において、社会的信頼性向上の観点から処分場の閉鎖後を対象とした能動的あるいは受動的な制度的管理の必要性が議論されている。

記録保存は制度的管理の一環として位置付けられ、すでにいくつかの国では具体的な記録保存の方策が実行または計画されている。例えば米国では、将来世代が処分場に侵入する可能性を低減するという観点から、処分の実施者に対してマーカーや文書による記録保存を義務付けている (the US EPA Regulation 40CFR 194, 1998)。さらに、現世代は将来世代の判断の余地を残すべきという倫理的観点から、そのような意思決定に資するための記録を作成し、保管するという役割を記録保存に持たせようとする考え方も出てきている (北欧原子力安全研究プロジェクト KAN-1.3, 1993 等)。

日本では「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(2000) において経済産業大臣が地層処分の記録を永久保存しなければならないことを定めている。原子力安全委員会では「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について (第 1 次報告)」(平成 12 年) において、この法律に定める記録保存を含む制度的管理を、処分場と人間との予測不能な接触の可能性を小さくする上で有効としている。

本研究の目的

以上のような背景の下で、本研究は地層処分に対する制度的管理の一環である記録保存の意義と目的、具体的方策及び技術的可能性等を検討することにより、国及び関連機関等が地層処分に対する社会的信頼の向上につながる計画を策定する際の判断材料を整備するものである。

記録保存の基本的意義と目的

地層処分に対する社会的信頼性向上のための方策として、科学や技術による処分の安

全性にかかわる理論やデータを提供するとともに、社会・倫理的観点からの方策が実施されることが重要と考えられる。地層処分に関する記録を保存することは、世代間倫理の観点から重要な意義をもつものと考えられる。このような記録保存の基本的意義の下に、本研究では記録保存の目的として「将来世代の処分場への接近・侵入行為の抑制」及び「将来世代の意思決定に資する情報提供」の2つを考えた。

記録保存において考慮する将来の時間枠

本研究では、地層処分の記録保存システムの検討にかかわる将来の時間枠について、以下の事項を考慮した。

- ・ 放射性廃棄物の持つ主な危険性の源泉と考えられる放射能は時間の経過とともに低下し、例えば1000年後には数桁減少する。
- ・ 地層処分システムは、地質環境調査や安全評価の結果に不確実性が残存するとともに、それらの不確実性は時間の経過と共に増大するものがある。
- ・ 記録を保存する媒体はその種類によって耐久性が異なる。記録保存の時間によって保存技術を検討する必要がある。

上記の各要素の関係及び記録保存の目的の考察より、将来世代の意思決定のために残す記録は、廃棄体の放射能濃度が比較的高い最初の数百年から千年程度までが意味を持つものと考えた。一方、最初の約千年を過ぎても廃棄体の放射能は引き続き残ることから、より耐久性が期待できる方策により、将来世代による地層処分場への意図しない接近の防止・抑制に必要な情報を可能な限り長期間伝えることが妥当な目標であることが考察された。

予測困難な将来社会に対する記録保存方策

記録保存に関する技術的及び制度的な問題を幅広くとらえ、記録を残す国の制度が継続している将来だけではなく、制度、文化、価値観、言語、知識レベル等が現世代とは異なるかも知れないような将来にまで記録やメッセージを残す方策を検討した。

本研究ではまず、将来社会の文化や価値観等が現代から連続して変化する場合と断絶されている場合に区分し、それぞれの場合についていくつかの社会のモデルを設定した。次に、文化、言語、知識レベル等が異なるそれぞれの社会モデルに対し、個々に効果的と思われる記録保存及び伝達の方策を組み合わせることにより、全体として「頑強」な

記録保存システムを構築するという考え方を示した。

記録保存・情報伝達及び関連技術の事例

上記の視点に基づき、長期間の記録保存を検討する上で参考になる事項を抽出し、地層処分記録保存システムの検討内容を論拠付けるために、既存の記録保存及び情報伝達にかかわる事例を多角的に調査・分析した。調査・分析は、歴史上の文書記録の保存事例（旧約聖書、叙事詩、伝説、日本の古文書、朝鮮王朝實錄等）、歴史上の物理的な記録保存事例（シンボル・モニュメント、寺院・神殿、城塞・都市等）、諸外国及び国際機関による記録保存検討事例（IAEA(1999)、米国のサンディア国立研究所による WIPP のマーカーシステム研究(SNL, 1993)、北欧原子力安全研究プロジェクト（KAN-1.3, 1993）等）及び国内外の現在の記録保存にかかわる制度（戸籍・登記制度、国内外の文化財保護制度、公文書館における文書の保存制度等）を対象とし、各々の対象について記録保存システム研究に生かされる要素を分析した。さらに、現状技術からみた記録媒体の耐久性を検討するために、電子情報システム、紙及びマイクロフィルム、金属・無機材料等の技術、及び情報伝達技術としての記号学や心理学的な知見についても調査した。

記録保存システムの検討

記録保存にかかわる要件や課題を提示することを目的として、「記録保存システム」の試検討を行った。検討の内容はまず、将来世代の処分場への接近の抑制及び将来世代の意思決定という記録保存の目的のために、保存する情報の内容と保存方策を検討した。

次に本研究における記録保存システムの要件を検討した。基本要件として、長期性及び将来社会の不確実性の観点を考慮し、頑強かつ柔軟性を備えたものであるという概念を示し、さらにその下位要件として、記録保存を社会のリレーシステムに委ねる概念と、人間の管理に依存せず永続的な媒体等に委ねるという2つの概念を示した。

これらの検討内容を踏まえて、文書及びマーカー・モニュメントによる記録保存システムを事例的に示した。

耐久性ある記録媒体の開発

記録媒体に関する調査の結果、紙では長期保存を目的として耐久性を向上させるための技術開発が進んでいることが明らかになったが、インク材料の長期耐久性に関する定

量的評価は確認できず、その評価方法について今後の検討課題が残った。

本研究では、記録の長期保存技術を開発するために、原理的に優れた耐久性を保有すると考えられる人工材料（金属、セラミクス等）に文書などを工学的に刻印する試験を行った。試験の結果、適切な材料と加工方法を用いることにより、線、文字、模様、濃淡等が一定のレベルの質及び密度で精細に刻印され、記録の長期保存に関する技術的可能性を示すことができた。とくに検討委員会の委員から提案された、我が国が世界市場をリードする炭化ケイ素は、記録の長期保存のために有望な材料であることが示された。

今後の課題

IAEA の報告書にも述べられているように、適切なデータを収集し、維持し、将来世代へ残していくために、処分事業の初期段階から記録管理システムを構築することが必要と考えられている。諸外国の検討状況を見ると、記録媒体等の技術基盤が整っていないことが大きな課題と考えられたが、今般の研究において極めて有望な記録媒体が存在することを明らかにした。今後は、これらの材料を用いた実際の長期保存記録の作成、我が国の状況に即した記録保存場所、方法、マーカ―及びモニユメント等、記録保存システム構築に向けた具体的な課題について検討を行なう。さらに、記録保存システムのコストと効果に関する評価も重要である。

目 次

はじめに	1
第1章 本研究の目的と背景	2
1.1 本研究の目的	2
1.2 地層処分の記録保存の背景	2
第2章 記録保存の基本的意義と目的	5
2.1 記録保存の基本的意義	5
2.2 記録保存の目的	5
第3章 記録保存において考慮する時間枠	7
3.1 時間枠の考慮事項	7
3.2 記録を保存する期間の考察	8
第4章 予測困難な将来社会に対する記録保存方策	9
4.1 地層処分の記録保存における特質	9
4.2 異なる社会に向けた記録保存	9
4.3 アプローチ	10
4.4 社会モデルの設定	11
4.5 各々の社会モデルに対応した記録保存方策	13
第5章 記録保存・情報伝達及び関連技術の事例	16
5.1 歴史・考古学的事例	16
5.2 現在の記録保存事例	17
5.3 関連技術の事例	18
第6章 記録保存システムの検討	26
6.1 保存する情報の内容と保存方策	26
6.1.1 処分場への接近・侵入行為抑制のための情報（レベル ~ ）	27
6.1.2 将来世代の意思決定に資する情報（レベル ~ ）	28
6.2 記録保存システムの要件	30
6.3 記録保存システムの事例検討	32
6.3.1 将来世代による情報探索及び処分場接近のシナリオ検討	32
6.3.2 記録保存システム	33

第7章 耐久性ある記録媒体の開発-----	38
7.1 全体計画-----	38
7.2 実施内容-----	38
7.2.1 選定材料、加工対象及び加工方法-----	39
7.2.2 溝加工試験-----	39
7.2.3 ドット加工試験-----	40
7.3 評価-----	44
第8章 まとめと今後の課題-----	45
参考文献-----	47
謝辞-----	49
地層処分記録保存システム検討委員会 委員-----	50

図目次

図 2-1	記録保存の基本的意義	6
図 3-1	本研究における記録保存にかかわる時間枠	8
図 4-1	記録保存方策検討のためのモデル社会概念	12
図 4-2	地層処分の記録と社会・文化的背景の伝達	13
図 6-1	記録保存における要件の階層構造	31
図 6-2	将来世代による情報探索と処分場接近のシナリオ (例)	36
図 6-3	マーカー・モニュメント及び記録保管庫の配置例	37
図 7-1	レーザー・ウォータージェットハイブリッド加工	40
図 7-2	溝加工結果の例 (ハステロイ)	42
図 7-3	高精度のドット加工刻印試験の成果イメージ	42
図 7-4	ドット加工刻印試験結果 (炭化ケイ素焼結体)	42
図 7-5	ドット加工による試験結果 (11ポイント) の比較	43
図 7-6	炭化ケイ素 (焼結体) に刻印した図及び縮小した文章	43
図 7-7	2ポイントで刻印された文字	43

表目次

表 4-1	各々の社会モデルにおける記録保存、伝達、理解に係る要素の特徴 -----	12
表 4-2	将来社会の形態に対応した記録保存方策の要素 -----	15
表 5-1	歴史上の文書記録の保存事例に見られる特質と適用性 -----	21
表 5-2	歴史上の物理的な記録保存事例に見られる特質と適用性 -----	22
表 5-3	海外の放射性廃棄物処分の記録保存方策に見られる特質と適用性 -----	23
表 5-4	国内外の社会制度に見られる記録保存の特質と適用性 -----	24
表 5-5	関連技術の調査結果に見られる特質と適用性 -----	25
表 6-1	情報のレベル区分と内容及び保存方策-----	29
表 7-1	試験に用いた材料一覧-----	39

はじめに

本研究の目的は、高レベル放射性廃棄物の地層処分における記録保存の目的、具体的方策及び技術的可能性を検討することにより、国及び関連機関等が地層処分に対する社会的信頼性の向上につながる計画を策定する際の判断材料を整備するものである。

地層処分は、安全性の観点からは長期の人間による管理に頼らない処分概念である。一方、国際機関や諸外国においては、地層処分事業に対する公衆の信頼感醸成の観点から、処分場を閉鎖した後の制度的管理の意義が議論されている。それらの議論の中で、処分場にかかわる記録を保存することによって、将来の世代に処分場の情報を伝えることは重要であるとの認識が示されており、すでにいくつかの国では具体的な記録保存の方策が実行または計画されている。

我が国においても、関連法令や原子力安全委員会の議論の中で記録保存の重要性について言及されている。

このような背景を受け、(財)原子力環境整備促進・資金管理センター(Radioactive Waste Management Funding and Research Center: RWMC)では、通商産業省(現経済産業省)の委託により、平成12年度より地層処分に関わる記録保存の研究を実施してきている(原環センター, 2001, 2002)。報告書は本研究テーマに関係する様々な分野の専門家から構成される委員会(地層処分記録保存システム検討委員会)による議論を経て作成した。本資料は、今後、地層処分の専門家をはじめとする各分野の専門家等のレビューを仰ぐことを目的として、これまでの研究成果の概要をまとめたものである。

第1章 本研究の目的と背景

1.1 本研究の目的

本研究の目的は、高レベル放射性廃棄物地層処分にかかわる記録保存の意義と目的、具体的方策及び技術的可能性等を検討することにより、国及び関連機関等が地層処分に対する社会的信頼性の向上につながる計画を策定する際の判断材料を整備するものである。

1.2 地層処分の記録保存の背景

我が国及び世界各国で検討されている高レベル放射性廃棄物の地層処分システムは、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できる最も現実的な方法であるとの国際的なコンセンサスがある(OECD/NEA, 1995)。一方制度的な管理は、安全を確保するための本質的な方策ではないにしても、不用意な人間の侵入の可能性をできるだけ低減したり、将来世代に意思決定の余地を残すという倫理的な視点など、地層処分の安全に深くかかわる視点から有益である。したがって、制度的管理をある程度は組み入れることが地層処分事業に対する信頼や理解を増進するうえで有効であるとの考え方が近年広がってきている(例えば、IAEA, 1999)。

地層処分に関わる制度的管理は、処分場閉鎖後を対象に国際機関あるいは諸外国において、例えば以下のように議論されている。

制度的管理：国あるいは地方政府の法律の下で指定された当局あるいは公的機関による廃棄物サイト(例えば、処分サイト)の管理。この管理は能動的(モニタリング、監視、修復作業)または受動的(土地利用の管理)なものであってもよく、原子力施設(例えば浅地中処分施設)の設計の際に考慮すべき項目の一つであってもよい。

Institutional Control. Control of a waste site (for example, disposal site) by an authority or institution designed under the laws of a country or state. This control may be active (monitoring, surveillance, remedial work) or passive (land use control) and may be a factor in the design of a nuclear facility (for example, near surface disposal facility).
... Safety Series No.111-F, The principles of Radioactive Waste Management

...制度的管理段階においては能動的管理と受動的管理によって管理することができる。

能動的管理は、閉鎖後に継続されるフェンスその他物理的バリアによる侵入者の排除、処分された放射性廃棄物の移動を防止するためのバリアの維持、継続して可能な

性能を確認するためのモニタリングのような管理が含まれる。

受動的管理は社会の制度の中に処分場の位置に関する知識を保存し、あるいはある種の行動のための土地利用を制限するようなものである。受動的制度的管理は、制度的管理期間を超えて存続することになるかも知れない。

... During the institutional control phase, active and passive controls may be used.

Active measures include controls such as exclusion of intruders by fences or other physical barriers, the maintenance of accessible barriers against migration of the radioactive inventory, and monitoring to verify that the continued, acceptable performance of the site are maintained after closure.

Passive measures are those designed to maintain knowledge of the facility location within the institutions of society or are designed to limit land use for certain types of activities. Passive controls may be intended to survive beyond the institutional control period.

...IAEA-TECDOC 1097 (Jul.1999) § 1.1

「**受動的な制度的管理**」とは次のものをいう：(1) 処分サイトに設置された永続的な標識、(2) 公共の記録または史料、(3) 土地または資源利用に関する政府の所有権及び規制、(4) 処分システムの所有地、設計及び収容された物質に関する知識を保存するためのその他の方法。

Passive Institutional control means: (1) Permanent markers placed at a disposal site, (2) public records and archives, (3) government ownership and regulations regarding land or resource use, and (4) other methods of preserving knowledge about the location, design, and contents of a disposal system.

...US EPA Regulation 40 CFR Part 191.12(e)

これらの議論によると、処分場閉鎖後の制度的管理は次の2つの種類に区分される。

能動的制度的管理 (Active institutional control)

監視員の配置やフェンスの設置・保守、各種モニタリング等、何らかの具体的な管理を意図した継続的な行為

受動的制度的管理 (Passive institutional control)

処分場の存在を伝えるための記録の保存やマーカーの設置等、継続的な管理行為がなくても効果が持続すると期待される措置

上記のうち、受動的制度的管理のひとつとして扱われる記録保存は諸外国及び国際機関において計画または研究されている。例えば米国では、将来世代による処分場への人間侵入が起きる可能性を低減するという観点から、処分実施者に対してマーカーや文書による記録保存を義務付けている (the US EPA Regulation 40CFR 194, 1998)。さらに、将来世代は何らかの理由で処分場の修復や廃棄物の回収等の意識的な活動を行なう可能性があり、現世代はこのような将来世代の判断 (意思決定) の余地を残すべきという観点から記録を保存するという、より能動的な役割を考慮する考え方も出てきている (Nordic Nuclear

Safety Research Project KAN-1.3, 1993; 以後 KAN1.3, 1993 と表示する)。

日本の地層処分事業においては、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(2000)において経済産業大臣が(地層処分の)記録を永久保存しなければならないことを定めている。原子力安全委員会では、この法律に定める記録保存を含む制度的管理を、処分場と人間との予測不能な接触の可能性を小さくする上でも有効としている(原子力安全委員会, 2000)。

第2章 記録保存の基本的意義と目的

2.1 記録保存の基本的意義

高レベル放射性廃棄物が長寿命の核種を含むことから、地層処分に関する環境面及び倫理面での根拠について、議論がなされている。例えば OECD/NEA(1995)では、放射性廃棄物管理委員会の意見を集約し、世代間の公平の観点から、放射性廃棄物の扱いに関する将来世代の判断や選択の可能性を排除しないようにしておくべきとの国際的なコンセンサスが取りまとめられている。

科学・技術と社会とのかかわりに関しては「科学や技術は広い意味で人間活動の一部である(KAN-1.3, 1993)」、「科学が人間的な領域に入り込むにしたがって、もはや科学は純粋に科学的であることはできなくなる(NRC, 1990)」等の議論がなされている。

上記の議論を踏まえ、図 2-1 に記録保存を行う基本的意義を示した。地層処分に対する社会的な信頼性向上に向けた方策として、科学や技術による処分の安全性にかかわる理論やデータを提供するとともに、社会・倫理的観点からのオプションが整備されることが重要と考えられる。地層処分に関する記録を保存することは、世代間倫理の観点から重要な方策と考えられる^(*)。

^(*) 地層処分記録保存システム検討委員会においては、記録保存は将来世代に向けた方策であるとともに、現世代が地層処分の実施に向けた意思決定を行ううえで重要な意味を有する「超越的な信号(メタシグナル)」であると指摘された。

2.2 記録保存の目的

上記に述べた記録保存の基本的意義のもとに、本研究では、記録保存の目的として、以下に示す2つの項目をあげた。

将来世代の処分場への接近・侵入行為の抑制

国際的な議論と同様に、日本でも「記録保存を含む制度的管理は処分場と人間との予測不能な接触の可能性を小さくする上で有効である」という見解がある(原子力安全委員会, 2000)。したがって本研究においては、記録保存(を含む制度的管理)は、将来世代の処分場への接近・侵入行為の可能性を低減することに寄与するという観点から、記録保存の方策と保存する情報の内容について検討した。

将来世代の意思決定に資する情報の提供

現世代が選択した地層処分に対して、将来世代が何らかの「よりふさわしい対処」を計画する場合、必要な情報があれば計画実施にかかわる将来世代の負担を軽減することができる。例えば、何らかの事情による廃棄物の回収、処分場の修復あるいは処分システムの再評価等である。前述のように、地層処分には世代間の公平の観点から、将来世代の意思決定の余地を残すという倫理規範が存在する。このことから「将来世代の意思決定に資する情報の提供」を記録保存の研究目的の1つとして位置付けた。

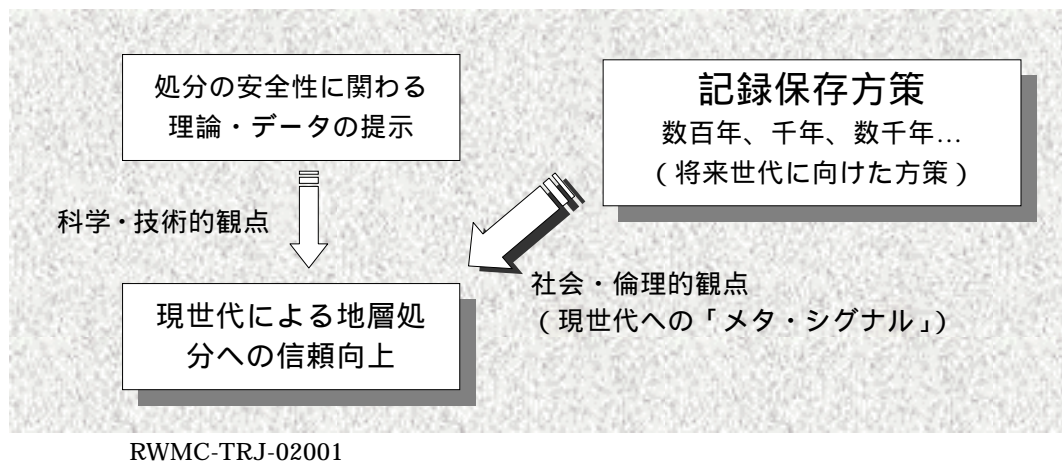


図 2-1 記録保存の基本的意義

第3章 記録保存において考慮する時間枠

3.1 時間枠の考慮事項

将来世代への接近・侵入に対する警告及び意思決定への配慮をいつまで残しておくかを検討するために、時間の経過に伴い変化する要素として以下の事項を検討した。図 3-1 は本研究における記録保存にかかわる時間枠と各要素の関係を概念的に図示したものである。

- ・ 高レベル放射性廃棄物の持つ放射能（潜在的な危険性）は時間の経過とともに低下する。地層処分の記録が本来意味を持つのは、高レベル放射性廃棄物の放射能が、その初期において自然界に存在するものに比べて著しく有意なレベルで存在するからであり、記録保存の必要性は時間とともに低下する。（高レベル放射性廃棄物の持つ放射能は 30 年後には約 5 分の 1、千年後には約 1 万分の 1 に減少する。）
- ・ 地層処分のシステムが長期にわたり安全であることを示す安全評価は、処分場施設、それを取り巻く地質環境及び廃棄物に関する特性、事象及びプロセスに対する現状の理解に依拠し、かつ不確実性が考慮された評価体系である（核燃料サイクル開発機構, 1999）。これらの地層処分に係る事象等の不確実性は時間の経過と共に増大するものがある。
- ・ 記録保存媒体の長期耐久性は、その種類及び保存環境によってそれぞれの限度がある。調査の結果、現状の紙は保存環境に配慮すれば数百年～千年間は有効な役割を果たすことが期待できるが、インク材料の耐久性を定量的に評価した事例は確認できなかった。より長期間の保存を必要とするならば、他の工学素材等の長期耐久性に優れた材料を選ぶ必要がある。
- ・ 現在の国の計画（「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画」（2000））によれば、最終処分施設建設地の選定及び最終処分施設の建設を経て、最終処分は平成 40 年代の後半を目途として開始される。処分場の操業は数十年間続くことが想定され、すべての地下施設が埋め戻され処分場の「閉鎖」となる。その後も社会が必要と判断する場合に閉鎖後管理の段階を経て、最終的に処分事業が終了する。このように、地層処分の事業は現在から百年を超える時間枠で展開される。実質的に記録の大半が発生するのは処分場閉鎖までの段階と考えられる。閉鎖後管理段階では管理にかかわる記録が発生する。

3.2 記録を保存する期間の考察

上記の各要素の関係及び記録保存の目的の考察より、将来世代の意思決定のために残す記録は、廃棄体の放射能濃度が比較的高い最初の数百年から千年程度までが意味を持つものと考えた。この期間であれば、紙による文書の保存が期待できるが、保存環境の制約やインク材料の評価が課題である。従って、耐久性が期待でき大量の文書等が保存できる媒体の開発が期待される。

一方、最初の約千年を過ぎても廃棄体の放射能は引き続き残ることから、より耐久性が期待できる方策（例：マーカー・モニュメント等）により、将来世代による地層処分場への意図しない接近の防止・抑制に必要な情報を、可能な限り長期間伝えることが妥当な目標であることが考察された。

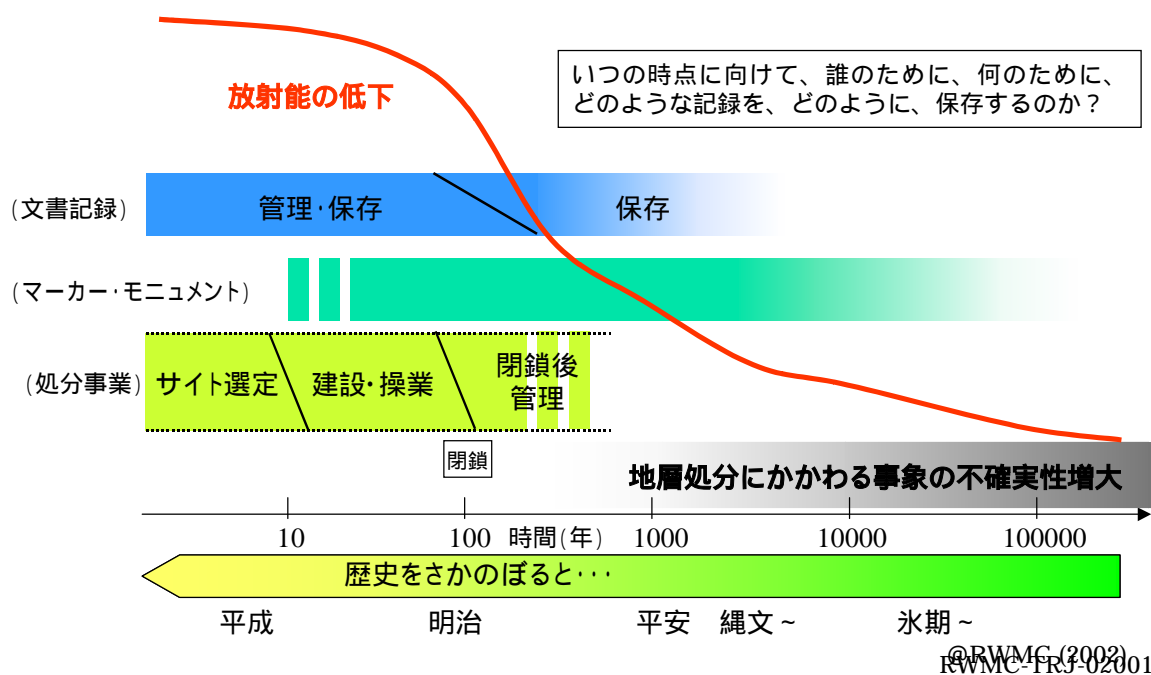


図 3-1 本研究における記録保存にかかわる時間枠

第4章 予測困難な将来社会に対する記録保存方策

本章では、地層処分場の閉鎖後管理期間を経た後の将来の世代に記録を保存し伝達するための方策について検討を行なう。

4.1 地層処分の記録保存における特質

我が国においては、1987年に国の法律として「公文書館法」が制定され、国民の記録遺産としての公文書や歴史的な価値のある史料等を守るための整備が進められている。しかし、「永久保存」と指定された公文書や史料でも、それをいつまで保存するのかということについては、一般にはそれほど深い議論が行なわれているわけではなく、現代のような国の制度が継続する期間においては保存されることが暗黙の内に了解されてきたものと考えられる。

一方、前章までに述べたように、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する記録保存においては、社会的及び倫理的側面から、従来まではとくに大きな注意が払われなかった観点が考慮される。本研究では、将来世代の意思決定のために保存する記録は数百年から千年程度を、さらに、意図しない接近の防止・抑制のための情報は可能な限り長期間保存することが妥当な目標であると考察した。

4.2 異なる社会に向けた記録保存

国の制度、文化、価値観、言語、知識レベル等が現世代とは全く異なるかも知れないような将来にまで記録を残す必要があるか否かについては議論の余地がある。将来世代が我々のメッセージを正しく理解できるかという問題についても検討課題は多い。本研究では、記録保存に関する技術的及び制度的な問題を幅広く取り扱い、考えうる最善の方策(state-of-the-practice)を検討することを基本的な立場としている。

地層処分の記録は文書として保存し、将来世代が継承できれば理想的である。社会が安定性を持続し、国の制度、文化、価値観、言語、知識体系等が継承されるならば、文書等の保存は最も信頼のおけるものとなる。しかし、社会は様々な形態へと変化する可能性がある。将来世代への記録保存に関し、KAN-1.3(1993)では以下のような見解を述べている。

地層処分場の存在と関連するリスクについて、長期にわたり将来世代に警告を与えるために情報を保存する技術を開発しなければならない。この点で情報の保存は2つの表向きは異なった目標を持っている。第1の目標は、依然として現世代と似通った性
--

格を有する将来世代に対して、この種の処分場のリスクを伝えることである。第2の目標は、現世代とは文化的に異なっており、我々の言語が通じず、知識レベルも異なる可能性がある将来世代にこの警告を伝えることである。

A technique is to be developed for conservation of information in order to warn future generations over a long time period about the presence of and risks associated with a deeply buried waste repository. In this context, information conservation has two seemingly different goals. The first goal is to communicate to those future generations, that are still culturally similar to our own, the risks of the repository. The second goal is to communicate this warning to other future generations so culturally different from our own that no understanding of our language or level of knowledge is likely exist.

・・・Nordic Nuclear Safety Research Project KAN-1.3, 1993 第3.1章

4.3 アプローチ

将来の社会の文化、言語、知識レベル等を一義的に予測することは不可能である。また、これらは必ずしも時間の経過と共に変化するものとは限らない。例えば、旧ユーゴスラビア地域を中心とする東欧の民族紛争と内戦では、短期間のうちに記録保存のシステムが失われてしまった例が報告されている（小川，2000）^(*)。これらの例から示唆されることは、今後近い将来においても社会が劇的に変化し、現代のその地域における価値観、制度的管理体制、記録保存システム等が失われてしまうような可能性も考慮しておくべきということである。

^(*) 「旧ユーゴスラビア地域を中心とする東欧の民族紛争と内戦は、第2次世界大戦を教訓として構築されてきた文化財保護を目的とする国際取り決めの盲点を露にした。これまでユネスコが考えていた文化財保存と保護の方法論は決して万全のものではなかったということを明らかにしたのである。その顕著な事例としては、『国際ブルーシールド委員会覚書き』があげられる。これは、歴史建物や図書館などに、文化財であることを示す青い星型のマークを掲げ、そのようなマークが掲げられた建造物を戦火から守ろうという善意に基づく取り決めである。だが、このマークが民族浄化運動家らにとっては敵対する民族の抹殺すべき文化財を見分けるための目標となってしまった。……(略)…… こうした『惨状』の報告は継続的に行われている。」（小川 千代子：世界の文書館、岩田書院、東京、2000）

本研究では、考え得る最善の方策を検討するという立場から、記録の保存、伝達及び理解可能性に関する予測が困難な社会に対し、地層処分に関する記録を伝えるための方法として次のようなアプローチを採用した。すなわち、記録の読取能力（理解度）の視点から、文化、言語、知識レベル等がそれぞれに異なる複数の社会モデルを設定し、個々に効果的な記録保存及び伝達の方策を組み合わせ、全体として「頑強」な記録保存システムを構築するアプローチである。

このようにして構築した記録保存システムは、比較的近い将来にも起こり得る、社会の急激な変化や価値観の相違に起因する記録及び記録保存システムの喪失といった事態に対しても、対応し得るものと考えられる。以下に設定した将来社会について述べる。

4.4 社会モデルの設定

この問題に係わる要素としては、対象となる社会における科学・技術のレベル、人間の価値観、言語体系及び国の制度等が考えられる。地層処分を行なう現代の社会と将来の社会の連続性に着目して、

- ・ 現代から社会が連続して変化する場合
- ・ 現代からは社会的に断絶されている場合

を考えた。さらに科学技術、知識等や文化の変化を考慮して以下のような 5 種類の将来社会モデルを設定した。図 4-1 は、これらの社会について、当該世代による記録の理解度及び読取能力を、現代からの時間経過との関係で概念的に示したものである。

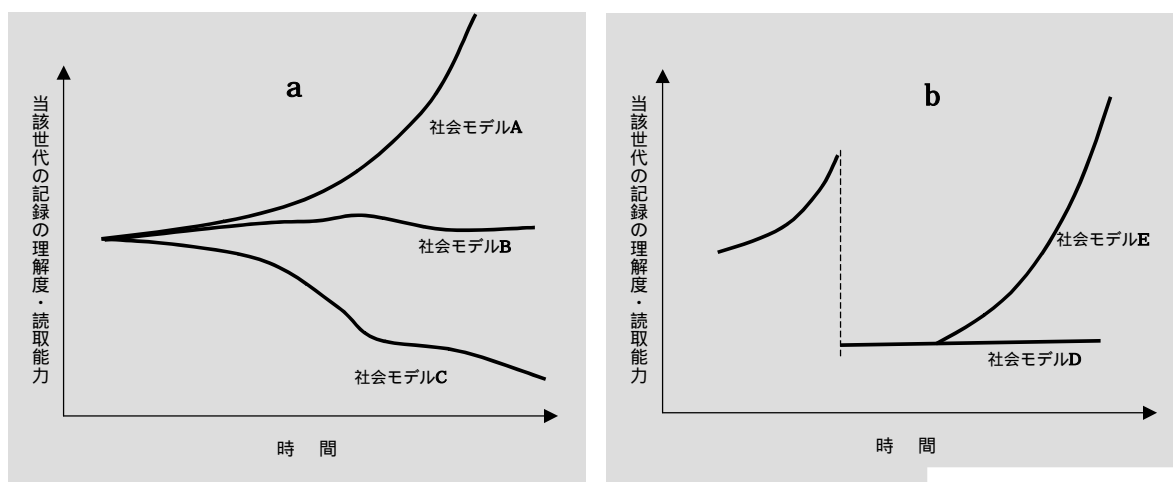
(現代から社会が連続して変化した場合)

- ・ 社会モデル A：現代から言語、価値観等の文化的背景が継承されつつ変化し、科学技術等がさらに発展した社会
- ・ 社会モデル B：現代から言語、価値観等の文化的背景が継承されつつ変化し、科学技術等の顕著な発展はない社会
- ・ 社会モデル C：現代から言語、価値観等の文化的背景が継承されつつ変化し、科学技術等が後退した社会

(現代からは社会的に断絶された場合)

- ・ 社会モデル D：現代との間に社会的な断絶があり、その後に科学技術の発展や他の文化的背景の変化がない段階の社会
- ・ 社会モデル E：現代からの社会的な断絶の後、再び科学技術や他の文化的背景が発展した社会

表 4-1 は、A～E の社会のモデルにおいて、記録の保存、伝達、理解可能性に関係する要素として、科学技術、社会の制度、知識レベル、言語、その他の文化的特徴がどのように位置付けられるかについて例示した。



RWMC-TRJ-02001

図 4-1 記録保存方策検討のためのモデル社会概念

表 4-1 各々の社会モデルにおける記録保存、伝達、理解に係わる要素の特徴

社会モデル	科学技術	社会の制度による記録保存	知識レベル・言語	その他の文化的特徴
A	科学技術は高度に発展し、安定した情報ネットワークが存在している。	文書管理システムが高度化し、国際的な管理制度も考えられる。	高度な知識レベルに支えられた社会であり、言語が変化しても、現代の言語を解読できる能力が十分にある。	記録保存に対する意識が高いが、社会の新陳代謝が早く、古いものが新しいものに更新される可能性も高い。
B	現代と類似した科学技術レベルにあり、情報ネットワーク等が存在している。	現代と類似した制度が維持され、公文書館等が記録の管理・保存を担う。	知識レベルは現代と類似している。言語は徐々に変化するが、現代の言語を理解することは可能である。	記録保存に対する意識は現代と同等であるが、社会の新陳代謝は社会 A より低く、古いものが保存される傾向にある。
C	現代より科学技術レベルが低く、情報ネットワーク等は期待できない。	社会の制度による記録管理・保存は期待できない。	知識レベルは現代より低い。言語が徐々に変化し、現代の言語を解読できなくなる。	記録保存に対する意識は低い。宗教の影響が強い。
D	科学技術のレベルは期待できない。	社会の制度による記録管理・保存システムは喪失されている。	共通の言語は存在しない。現代の言語を理解できない。	先史時代の社会に類似する。
E	現代とは異なった科学技術を有する。	現代とは異なった社会制度である。	現代の言語の解読は期待できないが、記号化されたメッセージを読み解く知識レベルがある。	現代とは異なる価値観をもった社会。

4.5 各々の社会モデルに対応した記録保存方策

ここでは、前節で設定した社会モデル A～E に対して、記録を保存・伝達し、将来世代がメッセージを理解するために効果的と考えられる方策を検討した。

社会モデル A の場合は、高度で安定した情報ネットワークが存在し、記録を管理・保管する社会制度も現代以上に整備され、人間の価値観も広域的にまとまっているものと思われる。したがって、社会モデル A に対しては詳細な記録を紙等による文書及びデジタル情報として保存することが有効と考えられる。また、地層処分の記録と共に社会的、文化的な背景に関する情報も共に保存しておくことにより、将来世代がより正確に記録の意味を理解できる可能性がある（図 4-2）。さらに、このような社会は文化的資質も高く、教育等を通じて社会的に記録を継承し、必要に応じて更新していくシステム（リレーシステム）も期待できる。一方、マーカーやモニュメントは記念碑等として、文書保存の補助的な役割にとどまるであろう。

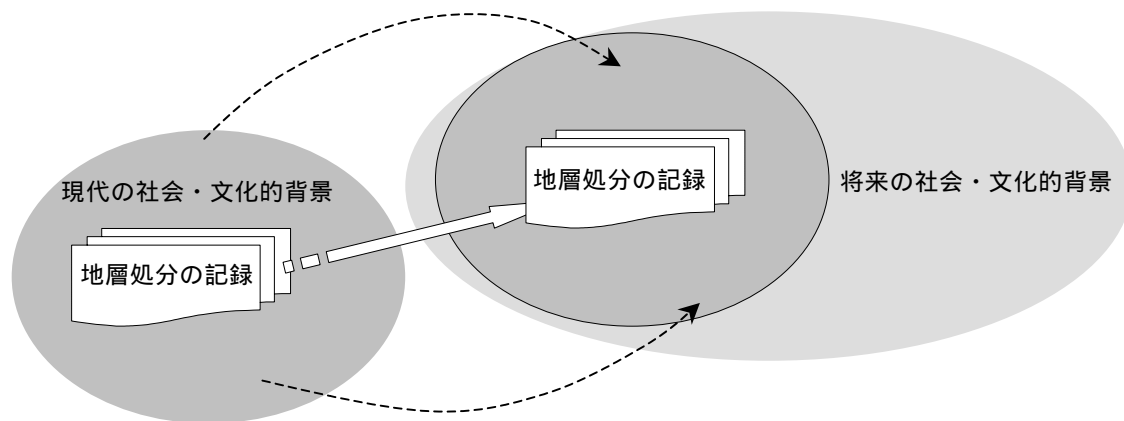


図 4-2 地層処分の記録と社会・文化的背景の伝達

社会モデル B に対しては、現代と同様の科学技術、社会の制度、価値観等を有していることから、紙等による文書記録及びデジタル情報として保存することが有効である。ただし、社会が積極的に記録を保存するかどうかは不明であることから、記録の分散保存などの方策も有効である。このような社会では、社会モデル A に比較して社会の新陳代謝が低く、古いものを撤去して新しいものに更新する機会が少ないため、マーカーやモニュメントがもとのままに保存される可能性が高いものと考えられる。

社会モデル C では、高度な情報システム等を利用した記録の保存は期待できず、紙等の

文書を宗教のような根強い社会制度体系に託すような方策を講じる必要があるかも知れない。また、このような社会では、現代の言語が解読されなくなることも考えられる。したがって、マーカーやモニュメントの重要性が大きく、将来の世代がメッセージを理解するために、心理的に警告や危険を感知できるようなシンボル等が有効と考えられる。

社会モデル D は、人類の先史時代の社会に類似するものであり、科学技術や文書による記録保存システムは喪失している。したがって、心理的に警告や危険を感知できるようなシンボルを用いたメッセージを伝えることが、可能性のある方策と考えられる。

社会モデル E は、いわば現代とは異種の社会であり、現代とは異なる科学技術、言語、価値観を有する社会である。文書の記録が保存されていたとしても言語を解読できない。このような社会に対してメッセージを伝えるために可能性のある方策としては、心理学的なシンボルのほか、記号論や情報科学等に基づく非言語通信等を用いたマーカー・モニュメントが考えられる。

以上の検討をもとに、A～E の社会モデルを考えた場合に効果的と考えられる記録保存方策を表 4-2 に整理した。それぞれの方策の項目は、既存の記録保存に関わる事例、類似事例及び関連技術の調査と考察の結果抽出されたものであり、その調査の概要は第 5 章において記述した。

表 4-2 将来社会の形態に対応した記録保存方策の要素

項目	記録保存媒体				記録保存場所				記録保存システム				情報表示形式				その他															
	紙	フィルム	電子媒体、光媒体等	自然岩石 工学素材	今後の検討項目	許認可当局*1	国土地理院*2	国内外図書館・公文書館・国際機関*2	処分場サイト*2	世界各地*2	地球外、宇宙ステーション*2	今後の検討項目	記録保存に関わる社会制度	教育体系*2	閉鎖後管理期間中の保守改良等	物理的媒体の堅牢性に依存	今後の検討項目	現代の言語	数式	図表	絵	要約されたメッセージ	慣習的シンボル	自然的シンボル	非言語メッセージ	今後の検討項目 (情報表示形式は時代によってニーズが異なるものであり、各々の表示の組合せ、設置時期、場所等については今後のマーカーシステムの構想の中で描いていく)	記録の階層区分*意思決定の観点	記録のレベル区分*人間侵入の観点	情報システムの分散	物理的媒体の重要記録伝達の役割	物理的媒体の警告マーカーとしての役割	今後の検討項目 (マーカーシステムに組込むべき情報のレベル区分、情報の組合せ、設置時期、場所等については今後のマーカーシステムの構想の中で描いていく)
A	文書記録			-	媒体保存方法、環境、期間等					-	既存機関の特質、新規機関等の可能性				-	制度設計									-							将来の意志決定に対応する情報内容の明確化
	物理的媒体	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	既存のシンボル	-	-	-	-	-	-	-
B	文書記録			-	媒体保存方法、環境、期間等					-	既存機関の特質、新規機関等の可能性				-	-									-						将来の意志決定に対応する情報内容の明確化	
	物理的媒体	-	-	-	媒体の耐久性	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	メッセージ内容	-	-	-	-	-	-	レベル別情報の区分方法
C	文書記録			-	媒体保存方法、環境、期間等					-	既存機関の特質				-	-									-						-	
	物理的媒体	-	-	-	媒体の耐久性	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	メッセージ内容	-	-	-	-	-	-	レベル別情報の区分方法
D	文書記録			-	-					-	-	-	-	-	-	-									-						-	
	物理的媒体	-	-	-	媒体の耐久性	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	普遍的シンボル	-	-	-	-	-	-	マーカーシステム
E	文書記録			-	-					-	-	-	-	-	-	-									-						-	
	物理的媒体	-	-	-	媒体の耐久性	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	非言語通信手法	-	-	-	-	-	-	レベル別情報の区分方法

A: 現代の延長上に想定され、現代より発展した社会モデル B: 現代の延長上に想定され、進歩が停滞した社会モデル C: 現代の延長上に想定され、現代より退化した社会モデル

D: 現代との間にギャップがあり、新たな発展がない社会モデル E: 現代との間にギャップがあり、再発展した社会モデル

*1: 短期的 *2: 長期的 : 想定した社会への有効性を定性的に示す表記であり、は よりも有効性が高いことを表している。

RWMC-TRJ-02001

第5章 記録保存・情報伝達及び関連技術の事例

地層処分の記録保存システムには、予測困難な将来社会に対しても、現代の我々のメッセージを正しく伝えるという長期的な機能が求められる。歴史上のみならず現代においても、このような目的でつくられた総合的なシステム事例は知られていないが、記録保存システム構築のために参考になると考えられる様々な要素を、様々な類似事例の中に見出すことができる。本研究では、記録保存システムの構築可能性を論拠付けることを目的として、記録保存に関連する歴史・考古学的事例、現在の記録保存事例及び関連技術等を多角的に調査・分析した。これらの調査・分析結果を表5-1～表5-5に整理した。

5.1 歴史・考古学的事例

歴史・考古学的事例の調査及び考察の結果は、文書記録の保存事例（表5-1）及び物理的媒体の保存事例（表5-2）ごとに整理した。物理的媒体の保存事例の調査からは、文字の表示方法等に関する知見も得られた。

文書記録の保存事例

文書記録の調査では、明確なメッセージ性を有しまとまった形態で保存されている最古の文書として「宗教の教典」（例：旧約聖書：松岡，1997、新井，1992、旧約新約聖書大事典編集委員会，1989等）同じく文書の形態を保ち遠い過去から現在に残されたものとして「古代文学」（藤縄，1996、佐藤，1985等）及び「伝説」（自由国民社，1998等）の事例を対象とした。さらに、我が国に豊富に保存されている古文書保存の事例（相田，1959、佐藤，1997等）及び王朝の歴史を後世に伝えるという明確な意思のもとに作成された朝鮮王朝實録（Sangmin，1997）を調査対象とした。

これらの調査の結果、記録が保存された要因には事例ごとの特徴があるが、大きくは保存媒体と保存環境が重要であること、世代間を通じて写本等の継承が行われてきたこと（リレーシステム）分散して保存されたこと、記録そのものの価値が認められること等が考察された。一方、記録が保存されなかった要因についてもいくつかの知見を得ることができ、それらは例えば社会や国家の制度が変わった場合や、戦禍を被った場合等が挙げられた。

物理的媒体の保存事例

物理的媒体の保存事例調査では、それらを建造した民族や他民族、並びに後世代に向けたメッセージを示すと思われるシンボル（象徴）、モニュメント（記念碑、遺跡）のほか、寺院・神殿、城塞・都市、及びその他の古代遺跡等を対象に取り上げた（自由国民社, 1998 等）。

これらの事例からは、保存媒体そのものが岩石や煉瓦等の頑強な物質であり、基本的には人間による管理がなくても置かれた環境で長期間保存されるものであることがわかった。一方、これらの遺跡等が保存されなかった要因として、民族や宗教間の対立や価値観の相違による破壊や持ち去り、資源としての再利用のほか、近代の土木建築（ダム）に伴う遺跡の移動というものもあった。物理的媒体に刻まれたメッセージに関しては、文字が表意文字（漢字等）で記述されていることや、複数言語で記述されている（例：ロゼッタストーン）ことが、後世代による解読に寄与した例が示された。

5.2 現在の記録保存事例

現在の記録保存事例として、海外の放射性廃棄物処分に関わる記録保存検討事例（表 5-3）、及び国内外の社会制度にみられる事例（表 5-4）を調査した。

海外の放射性廃棄物処分に関わる記録保存検討事例

海外の放射性廃棄物処分の長期記録保存に関する議論や研究はいくつかの先行事例が見られる。本研究ではこれらのうち、公表されている文書として、IAEA の技術文書（IAEA, 1999）、米国のサンディア国立研究所による WIPP のマーカーシステム研究（SNL, 1993）、及び北欧原子力安全研究プロジェクトによる研究(KAN-1.3, 1993)について整理した。

これらの整理結果からは、記録保存の主な目的として人間侵入の防止・抑制、及び将来世代の意思決定に資する情報提供が示されており、保存する記録の内容及び保存方策が検討されていることがわかった。文書保存では国内外の保管所（公文書館等）に分散して保存することの考えが示されており、とくに KAN-1.3(1993)では国際的な記録保管所の設立を提案している。

情報の重要度をレベル区分して管理・保存することが共通のコンセプトとして示され

ている。IAEA(1999)では、情報を重要度により基礎レベル情報（PLI：処分事業の全期間にわたって収集される全ての情報を含む集合）、中間レベル情報（ILI：主に許認可及び法的な要件を満足するために必要とされる情報から構成される凝縮された情報）、高いレベルの情報（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より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）に区分し、階層構造をもたせることによって頑強な記録管理システムを構築するという情報戦略を示している。WIPP においても階層構造をもつマーカー・モニュメントの考え方が示され、さらに言語学、記号学、心理学等の観点からメッセージの伝達方法が検討されている(SNL, 1993)。

国内外の社会制度にみられる事例

国内外の社会制度に見られる事例に関しては、日本の戸籍・登記制度、国内外の文化財保護制度及び公文書館における文書保存制度を調査した。

現在の戸籍・登記制度では紙、マイクロフィルムに加え、最近では電子媒体での保存（及び運用）がなされている。また、副本制度等の記録の分散保存が採用されている（都竹, 1991、東京法経学院, 1993）。原本や原物が保存の対象となる文化財保護では、保存・修復技術の継承や、学校教育等を通じた啓蒙活動が行われている（文化庁, 1988）。

公文書館等における文書保存では、我が国では1987年に「公文書館法」が制定され、国民の記録遺産としての公文書や歴史的な価値のある史料等を保存するための整備が進められている。米国では管理の統括的な権限を有する行政庁や専門職（アーキビスト）の役割等が明確にされている（安藤, 1998、小川, 2000等）。

5.3 関連技術の事例

現状技術の調査では、紙及びマイクロフィルム、電子情報システム、金属・無機材料、及び情報伝達手法（心理学的検討を含む）について整理した（表 5-5）。

紙及びマイクロフィルム

紙は記録を保存する上で最も基本的な媒体である。本研究では、一般に記録用紙として使用されている上質紙、歴史的に長期に保存されてきた紙の事例として和紙、さらに最古の筆記用紙の事例としてパピルスについてその特質や保存技術などを中心に調査し

た。紙では長期保存を目的として耐久性を向上させるための技術開発が進んでおり、米国の評価指標である ASTM 規格による評価により、1000 年の耐久性を持つ用紙が国内でも開発されている（例：王子製紙株式会社, 2001）。ただし、インクの耐久性に関する研究例は見当たらず、その評価方法について研究課題が残された。

また、現行で保存の観点から使用されている媒体の代表であるマイクロフィルムについて調査した。現在、マイクロフィルムは公文書館、博物館、図書館、官庁、企業、大学をはじめ金融・保険・流通・製造等の広い分野で使用されている。情報の保存手段が多様化する中で、マイクロフィルムの長期保存性や法的証拠性等、記録媒体としての長所等が見直され、貴重な文化遺産の大量保存やイメージ情報のデータベースとして活用される等、新たな利用も盛んになってきている。

電子情報システム

電子情報システムは多くの分野での管理・運用で不可欠のものになっている。しかし、電子機器やソフトの世代交代が速く、将来世代による情報の読み取り可能性が不確実であること、記録媒体の耐久性が現状では長期間は期待できないこと等の理由により、長期の記録保存の方策としては問題が多い。

金属材料及び無機材料

金属及び無機材料を用いた記録媒体の開発を念頭に置き、耐食性に優れ、様々な環境の変化に対しても安定と考えられる材料について調査した。

具体的には、鉄鋼、ステンレス鋼、銅、チタン、ニッケル、各種合金、及びアルミナ、ジルコニア、窒化ケイ素、炭化ケイ素の耐食・耐熱・力学特性を調査した。その結果、金属材料ではチタン合金及びニッケル基合金の耐久性が優れていることがわかった。セラミックス材料の中では高温高圧条件下あるいは強い腐食性雰囲気まで考慮しても、炭化ケイ素及び窒化ケイ素等の材料が特に耐久性に優れているとの見通しが得られた。

情報伝達及び心理学的検討

記録保存の課題のひとつは、将来の世代が記録されたメッセージを正しく理解できるための方策を構築することである。現代の言語や価値観が通用しない社会への情報伝達手段として、言語学的及び非言語学的な技術の事例を調査した。

具体的には、象形文字や NASA の SETI 計画(*)で試みられた非言語通信の手法（学習研究社, 1993）を始め、心理学の知見（詫摩, 1989）等を調査した。調査の結果、言語学的な情報伝達には表意文字（漢字など）の使用が有効と考えられていることや、論理表現や図形を用いた通信手法の研究事例が既に存在することがわかった。さらに、人間の本能や深層心理に関する基本的な事項を整理した。

これらの要素技術は、地層処分記録保存研究における 1 つの方法論として示すことができたが、将来世代への情報伝達技術としての体系化は今後の課題である。

(*) SETI 計画：米国 NASA の「地球外知性体探索」計画。“Search for Extra Terrestrial Intelligence” の略。

表 5-1 歴史上の文書記録の保存事例に見られる特質と適用性

取りまとめ項目	旧約聖書	叙事詩	伝説	我が国の古文書	朝鮮王朝實錄
記録の位置付け(なぜ、何の為に、誰に向けて)	律法、生活の規範の書であると共に、民族の誇りをその民族に伝えるという明確な意図のもとに記録された。	民族の英雄の活躍と悲壮美を語り伝えるため記録された。対象がその民族のみとは限らないと思われる。	史実の伝承、後世への教訓あるいは理想国家論がこの物語に託されたという諸説がある。対象がその民族のみとは限らないと思われる。(A)	狭義には、特定の対象に伝達する意志をもってするところの意思表示の所産である	李氏朝鮮王朝の王と王族が、治世の出来事、民族の歴史を後世に伝えるという意図のもとに記録された。
記録の作成(誰が、どの様にして)	ユダヤ民族間の口伝 ユダヤ教の祭司を中心とする多数の著述者による記述、改訂・改編(P文書、J文書、E文書、D文書)	シュメール、ヒッタイト、アッカド、アッシリア等の諸民族による口伝、記述(G) ミケーネ文明時代からの口承(H) 詩人の崇拜者等による口述筆記(H) ギリシャ、アレクサンドリアの学者による記述(H)	エジプトのサイスの神官によるギリシャのソロンへの伝承(A) ギリシャ自然哲学者のプラトンが著書クリアティスの中で記述(A)	朝廷、幕府と守護、御家人といった関係において、差出人が、受取人に当てて、文書を発する。 法令に基づいて戸籍、帳簿を作成する。	任命された歴史家によってドラフトが作成される 歴史家の公平性と独立性を確保するため、ドラフトは非公開(「史草」)
1. 記録が保存された要因					
保存媒体	羊皮紙、石版紙	粘土板(G) 紙	紙	和紙	紙
保存環境	洞窟(死海写本) 古代図書館 教会、修道院	王室文書庫等(G) 古代図書館(H) 修道院(H)	古代図書館(A) 修道院(A)	校倉造の倉庫(正倉院) 武家、社寺といった家屋	山岳地帯に建造された倉庫(史庫)
保存システム	口伝、写本等による世代間の継承 聖書学者等による研究	朗誦等による世代間の継承(H) 祭典における競技 記録の分散(G) 他民族による保護(H)	写本等による世代間の継承(A) 情報の多面性(A) 他民族による保護(A)	世代間の継承 本質的な価値による伝来 付随的応用的価値による伝来	保存のための制度の確立 分散保存
その他の要因					
-2 自己主張	信仰への情熱 民族の誇り	民族の誇り		土地、財産の所有権 歴史、家系図の継承	民族にとって重要な歴史 民族の誇り
-3 内在する価値	歴史、文学的価値	歴史、文学的価値	楽園伝説(A) 古代史実の可能性(A)	史料としての学問的価値 芸術(墨蹟)としての価値	史料としての学問的価値
2. 情報が伝達された要因		複数言語による記述(G)	情報の多面性(A)		
3. 記録が保存されなかった要因				法制度、社会制度の変遷 国家制度の変動 戦渦 火事、盗難	国家制度の変動 戦渦
4. 記録保存システム研究に生かされる要素	保存環境---閉鎖空間、図書館 保存システム---リレーシステム	保存環境---図書館 保存システム---リレーシステム、保存結社の存在 その他---記録の分散、複数言語	保存環境---図書館 保存システム---リレーシステム その他---情報の多面性	法令に基づく本質的価値と付随的価値 リレーシステム 記録媒体 - 和紙に墨	保存のための制度の確立 分散保存 リレーシステム

G: ギルガメッシュ叙事詩
H: ホメロスの叙事詩

A: アトランティス伝説

表 5-2 歴史上の物理的な記録保存事例に見られる特質と適用性

取りまとめ項目	シンボル・モニュメント	寺院・神殿	城塞・都市	その他
記録の位置付け(なぜ、何の為に、誰に向けて)	王に対する信仰のシンボルとして足下の人民を始め、周辺異民族にも向けられたものと思われる。(P、S、O)	王に対する信仰のシンボルとして足下の人民を始め、周辺異民族にも向けられたものと思われる。(AB、AN) 仏教のシンボル(B)	青銅器を主とする出土品は主に祭祀の道具や副葬品として造られた。(I) 都市の権力を象徴するモニュメントであるとも考えられている。(M) 外敵からの防御(T)	
記録の作成(誰が、どの様にして)	古代エジプト・クフ王(P) 古代エジプト・カフラー王(S) 古代エジプト・ラメセス2世(O)	古代エジプト・ラメセス2世(AB) クメール帝国・スーリャヴァルマン2世(AN) 記録なし(B)	具体的な作成者は不明(I、M、T)	
1. 記録が保存された要因				
保存媒体	石灰岩(P、S) 赤色花崗岩(O)	砂礫岩(AB) ラテライト(紅土)+砂岩(AN)	青銅、亀甲、獣骨(I) 日干煉瓦、焼煉瓦(M) 不明(T)	砂漠状台地(N) 黒色玄武岩(R)
保存環境	砂漠気候(リビア砂漠)(P、S、O)	砂漠気候(リビア砂漠)(AB) 熱帯モンスーン気候の密林(AN) 亜熱帯乾燥気候(B)	地中(I; 出土品) 温帯モンスーン気候-夏季には猛烈な砂嵐(M)	高山気候であるが、年に一度雨が降るか降らないか程度である。(N)
保存システム	なし	なし(不明)	損壊時の修復(M)	なし(N,R)
その他の要因	媒体の大きさと単純な形状(P、O) 媒体の大きさ(S)	閉鎖空間(洞窟)(AB) 居住した仏教徒による修復?(AN)		媒体の大きさ(N)
-2 自己主張				
-3 内在する価値				記録表示形式に対する好奇心(研究の対象となった)(N,R)
2. 情報が伝達された要因			記録が表意文字に始まる多くの形態で書かれていたため、解読に寄与した。(I)	複数言語による記述(R)
3. 記録が保存されなかった要因	異民族の価値観の相違により一部破壊された。(S) 異民族に持ち去られた。(O)	ダム建設計画に伴い、全施設が移動された。(AB) 他宗教勢力により破壊された。(B)	焼煉瓦が再利用され、大規模な破壊につながった。	
4. 記録保存システム研究に生かされる要素	材質(良質な石灰岩、花崗岩) 媒体の大きさと単純な形状 媒体の形状によっては、破壊や略奪の対象となる。	閉鎖空間(洞窟) 維持管理システム 目的が理解されない場合、移設されることもあり得る。 宗教的シンボルは破壊の対象となることがある。	記録表示方法の多様性、冗長性 再利用されやすい媒体の大きさ、形状を考慮する必要がある。	媒体の大きさ 巨大すぎる記録は、高度な文明社会でないと認識されない可能性がある。

P:ピラミッド
S:スフィンクス
O:オベリスク

AB:アビシネル大神殿
AN:アンコール・ワット
B:パーミヤン

I:殷墟
M:モヘンジョダロ、ハラッパー
T:トロイ

N:ナスカ地上絵
R:ロゼッタストーン

表 5-3 海外の放射性廃棄物処分の記録保存方策に見られる特質と適用性

取りまとめ項目	IAEA (IAEA, 1999)	米国WIPP (SNL, 1993)	北欧諸国 (KAN-1.3, 1993)
記録保存の目的	人間侵入の防止・抑制 将来世代の意思決定に資する情報提供	人間侵入の防止・抑制(規制側からの要求がある)	人間侵入の防止・抑制 将来世代の意思決定に資する情報提供
記録保存の時間枠		10,000年間(マーカー保存)	最初の1,000年間が重要 氷期の到来を考慮
文書記録の長期保存媒体	紙 マイクロフィルム	紙 マイクロフィルム	紙 マイクロフィルム
文書記録の保存場所	国内外の公文書館	連邦政府機関 国内外の公文書館、図書館 他の専門組織	記録保管所(新設) 国際的な記録保管所
その他の記録保存方策	初期段階からの記録管理システムの構築	辞書、百科事典 教科書 地図等	廃棄体そのものへの記録転写 処分場内での文字資料の設置 教育体系、伝説・神話
文書記録の記録の内容	基礎レベルの情報(PLI) ・処分事業の全期間に収集されるすべての情報 中位レベルの情報(IL) ・主に許認可及び法的要件を満足するため必要な情報 高位レベルの情報(HLI)	処分場の所在(地図) 安全評価書、環境影響評価書、許認可申請書 環境、生態系データ 廃棄物に関する情報 廃棄物定置、処分場解体の方法 制度的管理の設計情報	処分場の地理的位置 廃棄物に関する情報 処分場の設計、バリアシステム 安全評価に使用されたデータ及びすべての背景情報 安全評価結果 一般的社会背景情報、等
文書記録の階層区分	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凝縮された情報(記録保管場所、サイトデータ、廃棄物情報、処分システム等)		すべての情報(1次レベル) 最重要情報の抜粋(2次レベル) 最重要情報概要及び他の情報の所在(3次レベル)
マーカー配置の原則	IAEA TECDOC1097では、能動的な管理期間までに視点を置いた記録管理システム(RMS)のあり方が扱われており、記録保存を受動的管理の一環と位置付けていた従来の考え方を進めた考え方を提示している。	巨大マーカーによる対象区域の表示 様々な要素から構成マーカーシステム	記録保管所への注意を喚起する位置への設置
マーカーの言語学的原則		複数言語の使用 冗長性と簡易性	複数言語の使用 冗長性(図、シンボルの併用)
マーカーの素材特性	またIAEA TECDOC1097では、マーカーシステム等による記録保存は受動的管理の一環として位置付けられているが、同時にこのような方策は、制度的管理期間を超えて存続することを目的とするとも記述されている。	耐久性 反応性 好ましさ	
メッセージレベル		人造物の存在を知らせるパターン 警告を意味する絵文字等 What, Why, When, Where, Who, Howに関する情報	注意を喚起するシンボル情報 警告を意味する1行メッセージ What, Why, When, Where, Who, Howに関する情報(1枚の紙、石碑等)
マーカー検討の専門分野		詳細な複合メッセージ 地形学、材料科学、工学 デザイン、建築学 考古学、人類学、言語学、記号学 天文学、情報科学	処分場の詳細情報(100ページ) 歴史学、考古学 記号学
その他の観点		マーカーを設置しないオプションに対する検討委員会の反対表明	マーカーを設置しないことは、現実的には不可能(大量の金属、放射性物質の存在自体が永久標識となる)
今後の研究課題		現在の条件下での素材の耐久性 情報の転写・刻印のメカニズム 素材と風、砂、水との相互作用 文化に依存しない絵文字等の解釈 文化に依存しない記述メッセージの解釈	記録の重要度に関する国際的ガイドラインの設定 記録の定期的見直しと将来の低減 記録媒体の開発 記録保存手段の費用対効果、等

表 5-4 国内外の社会制度に見られる記録保存の特質と適用性

取りまとめ項目	戸籍・登記制度(日本)	文化財保護制度(日本及び諸外国)	公文書館等における文書保存制度
法による規定	保存年限を書類ごとに規定 永久保存の項目あり(登記簿、地図等) 当該部署からの持ち出し禁止	国、地方公共団体による文化財の指定、選定、登録(文化財保護法)	歴史資料として重要な公文書等の保存に関する国、地方公共団体の責務(公文書館法、国立公文書館法)---日本
記録保存方策			
記録保存媒体	紙(例:上質美濃紙-大正4年戸籍法)、マイクロフィルム 電子媒体	文化財は基本的に原本、原物そのものが保存の対象となり、それらの材質は紙、陶器等の無機材料、金属材料など様々である。	紙、マイクロフィルム
記録保存場所	施設のある耐火性の書箱、倉庫等	所有者の施設 管理団体の施設(防火等の方策の義務) 博物館、美術館	温度、湿度等が管理され、防消火設備等が完備された書庫等
記録保存システム	副本制度(分散保存) 分散処理型電子情報システム(登記制度)	補助制度に基づく保存・修復技術の継承 文化財保護審議委員会 学校教育その他による啓蒙活動 私設財団等による保護---英国、米国等	記録管理の総括的な権限を有する行政庁による管理---米国(国立公文書記録管理庁) 専門職(アーキビスト)による管理 管理のための詳細な目録作成 保存・修復技術の継承
その他特記事項	戸籍制度は、人間の寿命を尺度としている。例えば、マイクロフィルムが正本となった後に原書類を廃棄できるとしているが、これは基本的に永久保存ではないためと考えられる。	有形文化財は、美術工芸品等の基本的に貯蔵して保存するもの、建造物のようにサイトで修理・保存するもの、史跡・名勝のように環境保護方策によって保存するもの等、多義にわたる。	記録の重要度に関する評価基準に基づく、保存記録の評価・選別---米国 中間貯蔵施設(記録管理センター)の保有---米国
記録保存システム研究に生かされる要素	記録の分散保存	記録の保存・修復技術の継承 専門家による審議委員会の設置 教育体系への取り込み	記録の保存環境 専門職による管理 記録の評価・選別基準の整備

表 5-5 関連技術の調査結果に見られる特質と適用性

取りまとめ項目	紙及びマイクロフィルム	電子情報システム	金属材料・無機材料	情報伝達及び心理学的検討
技術の現状 (得られた知見)	<p>現状の紙の分類と保存技術 ・上質紙、和紙、板紙の製造方法と保存技術</p> <p>墨の長期耐久性</p> <p>現状のマイクロフィルムの保存条件と耐久性</p>	<p>アナログからデジタルデータへの変換技術</p> <p>データベース管理システム ・SGML^[1]、GIS^[2]、マルチメディアデータベース等の多角的利用、画像を含む様々なデータの統合化</p> <p>サーバの分散管理によるシステム安全性向上、情報共有効率化</p> <p>セキュリティ技術 ・認証、アクセス制御、データ完全性の実現等</p> <p>データのバックアップ技術</p>	<p>現状の工学素材の長期耐久性</p> <p>・鉄鋼、ステンレス鋼、銅、チタン、ニッケル、各種合金の耐食・耐熱・力学特性</p> <p>・アルミナ、ジルコニア、窒化ケイ素、炭化ケイ素の耐食・耐熱・力学特性</p>	<p>表意文字(漢字など)を使用することは、将来においてメッセージの解読作業を容易にする。</p> <p>画像や音声等の非言語メッセージは、無人探査機に搭載され宇宙空間に送られた事例がある。</p> <p>数学等の基本概念を符号化して宇宙言語が考案された事例があるが、実用化されていない。 2進法の0と1の組合せを画像化するアイデアが、アレシボ天文台から宇宙空間にメッセージを送る手段として利用された。</p> <p>人種を問わず、警告を喚起するシンボルは有効である。禁忌は文化や宗教等に根ざすものであり、本能はDNAに蓄積された情報に基づくものである。これらを解明することにより、人類共通の警告を理解できる可能性がある。</p>
技術の適用事例	<p>高級出版物、商業用印刷物等(上質紙)</p> <p>古文書等の修復(和紙) Expo'70におけるタイムカプセルに絵巻物サンプルとして収納(なるこ和紙) 種々の保存文書の複製(マイクロフィルム)</p>	<p>製品マニュアル等(SGML) 地図データベース(GIS) 戸籍システム(文字、画像データ、AD変換)</p> <p>登記情報システム(文字、画像データ、AD変換、分散管理) 電子図書館(文字、画像、音声データ等) デジタルミュージアム(文字、画像、音声データ等)</p>	<p>エンジン、ポンプ、研磨材等</p> <p>耐熱材(スペースシャトル等)</p>	
その他特記事項	<p>耐久性洋紙の製造規格として、ASTM(米国)等がある。</p>	<p>クライアントサーバシステムの利点^[3] マルチメディア編集機能の整備^[4]</p>		
記録保存システム研究に生かされる要素	<p>長期保存を目的とした耐久性の高い印刷用紙も開発されている。インクの耐久性に関する研究例は見当たらず、その評価方法について研究課題がある。</p>	<p>記録の管理・運用段階において、現状の技術は適用可能と考えられる。</p> <p>情報の読み取り可能性、記録媒体の耐久性から、長期保存には大きな課題がある。</p>	<p>現状では、炭化ケイ素等をはじめとする有力な候補材料が考えられるが、記録を転写・刻印する媒体としての機能については、今後の試験・研究により確認していくことが必要となる。</p>	<p>いずれも現代の言語が通じない将来世代に対する意思疎通の手法として考えられる。しかし、これらの手法が、将来世代に対するメッセージ伝達の目的で効果の実証がなされた事例は見当たらず、今後の地道な研究が必要となる。</p>

1. SGML: Standard Generalized Markup Language = 文書データの多角的利用と異機種間の文書交換を目的とした文書の表現形式

2. GIS: Geographic Information System = 地理情報システム

3. 記録保存に際してはAD変換等を行うことが考えられるが、その場合はクライアントに共通して必要な機能をサーバに持たせ、システム全体の不可を分散し、システムの最適化や拡張性に優れたクライアントサーバシステムを構築することが有効と考えられる。

4. データの品質保証、システムの透明性向上のため、孤立した情報を組み合わせて一定の価値基準でつないでいく編集作業を促すマルチメディア編集機能を整備することが重要と考えられる。

第6章 記録保存システムの検討

本章では、記録保存にかかわる要件や課題等を提示することを目的として、「記録保存システム」の試検討を行った。検討の手順はまず、将来世代の処分場への接近の抑制及び将来世代の意思決定という記録保存の目的のために、保存する記録の内容と方策を検討した。次に記録を長期間保存するために、記録保存システムが備えるべき要件をまとめた。これらの検討内容を踏まえて記録保存システムを例示的に検討した。

6.1 保存する情報の内容と保存方策

本節では、将来世代の処分場への接近・侵入行為の抑制及び将来世代の意思決定のために、保存すべき記録の内容について検討した。本検討では、北欧の KAN-1.3(1993)あるいは米国 WIPP における研究 (SNL, 1993) に示された情報のレベル区分の概念を参考にした。

情報のレベル区分は、これらを記録する媒体の数やバリエーションとともに記録保存システムに冗長性を与える要素となる。米国 WIPP の検討事例では、保存すべき情報のレベルを次のように区分している。

レベル 1 : 初歩的情報 「何か、人造物がそこに存在する」

レベル 2 : 警告情報 「何か人造物が存在し、それは危険である」

レベル 3 : 処分場に関する基本情報 (What, Why, When, Where, Who, How に関する情報)

レベル 4 : 処分場に関する総合情報 (詳細な記述、図表、グラフ、地図、ダイヤグラム等)

レベル 5 : さらに詳細な情報

上記のレベル区分のうち、レベル 1 からレベル 3 は処分場直上及び周辺の地表部等に設置するマーカー・モニュメント、並びに強固な物理的媒体等により作られる「情報センター」として残されるもので、レベル 4 ではさらに詳細な情報を文書により公文書館等に保存するとされている。

表 6-1 に示すように、本研究ではレベル 1 からレベル 5 までの情報を、主として強固な物理的媒体を用いたマーカー・モニュメントにより残すことを考えた。また、レベル 4 及び 5 の情報は文書で残されるものであり、とくにレベル 5 (SNL, 1993 で示された「情報センター」に

相当する施設)では、長期耐久性ある人工材料を記録媒体として用いることが考えられる。

6.1.1 処分場への接近・侵入行為抑制のための情報(レベル ~)

(1) 最初に遭遇すべき情報(レベル 及びレベル)

SNL(1993)のレベル区分では、処分場の存在を知らない将来世代がサイトで何かの行動を起こした場合、マーカー・モニュメントに示された最も初歩的なレベル の情報、すなわち「何か人間の造ったものがそこに存在する」というメッセージに遭遇する。さらに、将来世代がレベル の情報に接することにより、「それが人工的かつ危険なものである」ことを知ることになる。

将来世代が現世代と同じ価値観を持っていると想定した場合は、上記のような順序でメッセージを理解できると考えられる。一方、例えば、考古学的価値や歴史的価値が彼らの興味や敬意を払う対象ではなく、マーカー・モニュメント等がさしあたり重要ではないと判断されたならば、レベル の記録は意味を失うと共に、レベル 以上の情報は無視される可能性もある。したがって、「人造物の存在を伝える情報」及び「それが危険であることを伝える情報」は同時に伝達できることが望ましいと考えられる。

(2) 危険が伝わった後に必要な情報(レベル)

漠然とした危険を認識した次の段階では、将来世代は具体的に「何が、どこに存在するか」に関する情報を求めるであろう。したがってレベル で必要となる情報は「高レベル放射性廃棄物が存在する」ということと、「それは近傍の地下深部に存在する」ことである。将来社会が原子力に関する知識を忘れ去っているような場合は、情報を単純なメッセージから理解することは困難である可能性があるため、「高レベル放射性廃棄物とは何か(what)」、「なぜそれらが存在するのか(why)」、「いつそれが処分されたか(when)」、「誰によって処分されたか(who)」、「どのように情報が保存されているのか(how)」といった情報が補足されていることが必要である^(*)。将来世代による処分場への意図しない侵入を防止するためには、基本的にはレベル までの情報が正しく伝われば十分と考えられる。レベル では、将来世代の情報探索のために、さらに詳細な情報が存在することを記述することが重要である。

^(*) 「現在は当然と考えられている事項を将来社会に理解してもらうためには、それらを理解する鍵となる概念を背景化する試みが必要である。つまり、我々には自分自身に関する最も基本的な事柄を無視する

傾向があり、他の背景の中で生きている人々が、我々の残した記号とコードから我々を理解するためには、こうした鍵となる概念が不可欠である」(KAN-1.3, 1993)

6.1.2 将来世代の意思決定に資する情報（レベル ~ ）

将来世代の意思決定の内容として、諸外国では「廃棄物の回収」、「処分場の修復」あるいは「処分システムの再調査・評価」が考えられている(KAN-1.3, 1993)。これらの行為のためには、地層処分場に関する詳細な情報が必要である。レベル の情報は文書による記録を処分場サイト近傍の記録保管庫に保存することを考えた。地層処分に関するより詳細な記録（レベル ）は、国内外の文書館等に保存される。

本研究では、レベル 及び の情報について考察するため、将来世代による意思決定の内容とそれに必要となる情報の抽出を検討した。その結果、保存する情報の内容として以下が提示された。

- ・ 処分場近辺の地理情報
- ・ 処分場の地理的位置に関する情報
- ・ サイトの地質環境条件に関する情報
- ・ 処分場の位置、深度等に関する情報
- ・ 処分場の施設仕様に関する情報
- ・ 高レベル放射性廃棄物としての特性に関する情報
- ・ 現世代が行った安全評価に関する情報
- ・ 現世代の安全評価の元データに関する情報

表 6-1 情報のレベル区分と内容及び保存方策

記録保存の目的	情報のレベル区分と内容 ^(*)	記録保存方策
処分場への接近・侵入行為抑制	1. 最初に遭遇すべき情報(レベル) 「この近辺に何か人工物が存在し、それは危険である」	↑
	2. 危険が伝わった後に必要な情報(レベル) 「高レベル放射性廃棄物が存在する」 ・高レベル放射性廃棄物とは何か(what) ・何故それらが存在するか(why) ・いつそれが処分されたか(when) ・誰によってそれが処分されたか(who) ・どのように情報が保存されているか(how) 「それは近傍の地下深部に存在する」 ・地下施設の水平位置と深度(when) 「さらに詳細な情報も存在する」 ・マーカーシステムの構成、国内外の保存場所等	↑ ↓ ↑ マーカー・モニタリング
将来世代の意思決定	3. 詳細な情報(レベル) ・処分場近辺の地理情報 ・処分場の地理的位置に関する情報 ・サイトの地質環境条件に関する情報 ・処分場の位置、深度等に関する情報 ・処分場の施設仕様に関する情報 ・高レベル放射性廃棄物としての特性に関する情報 ・現世代が行った安全評価に関する情報 ・現世代の安全評価の元データに関する情報	↑ ↓ ↑ 幅
	4. さらに詳細な情報(レベル)	↓

©RWMC(2002)
RWMC-TR-02001

^(*) KAN-1.3(1993), SNL(1993)等の研究例を参考にした

6.2 記録保存システムの要件

前節までに、記録保存方策には主として文書による保存とマーカー・モニュメントによる保存を考える必要性を示した。また第4章において、予測困難な将来社会にも情報を伝えるためには、効果的と思われる記録保存・伝達方策を組み合わせることが、最善を尽くす立場として妥当であるという考え方を示した。これらの考え方を集約し、本研究では地層処分の記録保存システムの「基本要件」を次のようにまとめた。

「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」

この「基本要件」を支える下位要件として、次の2つの内容をあげた。

記録の保存、更新、伝達を行なう制度を社会の中で維持すること(リレーシステム)
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(永続システム)

文書による保存は上記の両方の要件に、マーカー・モニュメントによる保存は主としての要件に応える方策であると考察した。本研究では上記の要件を支えるさらに下位の詳細要件を検討した。その結果を総括的に図6-1に示す。

基本要件

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

リレーシステム

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

1-1 日々の記録はそれらが発生した時点で記録の元データとして登録すること

1-2 記録の保存・管理・運用において、適切な技術を積極的に利用すること

1-3 記録は伝達すべき将来世代や保存の目的に応じて適切に作成すること

1-3-1 記録はそれを理解する上で必要な背景情報と共に伝達すること(情報のコンテキストを時代を超えて共有すること)

1-3-2 記録は本来の意味を保持しながら、時代の変化に合わせて適時更新すること

1-3-3 記録の原典を確実に保存し、更新されたその時代の記録と適時照合すること

1-3-4 記録は対象となる将来世代や保存の目的に応じて階層的に区分すること

1-4 記録は既存及び新規の施設、機関等に適切に分散させて配置すること

1-5 記録保存システムの外側において、そのようなシステムが存在することを知らせる情報を保存すること

永続システム

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

2-1 記録保管庫や媒体は物理的、化学的に耐久性のある材質で製作すること

2-2 記録保管庫や媒体は、平面的及び空間的に適切に分散して配置すること

2-3 記録には簡潔性及び冗長性の2つの要素を織り込むこと

2-3-1 記録は内容や詳細度にしたがって階層的に区分し作成されること

2-3-2 記録には多様な表示形式を織り込むこと

2-4 記録保存システムの外側において、そのようなシステムが存在することを知らせる情報を保存すること

RWMC-TRJ-02001

図 6-1 記録保存における要件の階層構造

6.3 記録保存システムの事例検討

これまでの検討結果を踏まえ、本節では事例的に記録保存システムを検討した。検討の方法は、将来世代による地層処分の情報探索及び処分場接近のシナリオを描くことにより、記録保存システムの機能と課題について考察した。

6.3.1 将来世代による情報探索及び処分場接近のシナリオ検討

図 6-2 に将来世代による情報探索及び処分場接近のシナリオを例として示した。本図による検討内容について以下に述べる。

(1) リレーシステムが維持されている場合のシナリオ

図 6-2 の上段は、リレーシステムが社会の中で維持されている場合のフローである。本図には人間の行動に関するシナリオのほか、情報の流れも示している。

図に示した記録保存機関等は、現在存在し将来も記録保存を担うことが期待されるもの、及び現在は存在しないが将来の設立等が考えられるものを示した。すなわち、処分事業主体、関係行政部署（登記所、経済産業省等）、国土地理院、国内記録保存機関（図書館、文書館等）、諸外国あるいは国際的な記録保存関連機関（諸外国の図書館、国際公文書館、IAEA 等）及び新規の記録保存専門機関等である。

将来世代による地層処分にに関する情報探索の発端となる事項は、教育体系からの知識の習得、資源探査や地下の開発行為の計画、跡地の所有権にかかわる行為のほか、知らずに処分場を訪れマーカーや記録保管庫に遭遇することなどがあげられる。これらを発端とし、上記の機関等における情報探索により、将来世代が地層処分場に関する詳細情報を得た結果として開発行為を中止したり、あるいは必要な情報を入手し廃棄物の回収等の意思決定を行うまでのシナリオを網羅的に描いた。

(2) リレーシステムに依存しない永続システムのシナリオ

図 6-2 の下段は、リレーシステムが失われ、永続システムが残った場合の人間の行動に関するフローである。本図では将来世代が永続的なマーカー・モニュメントや記録保管庫に遭遇することにより処分場の存在を認識し、処分場への接近を止めるまでのフローを示している。一方で、マーカー等の施設が失われたり、将来世代がメッセージの意味を理解

しない結果として、不意の人間侵入につながるという好ましくない（排除すべき）ケースも示している。このような好ましくないケースをできるだけ回避するために、マーカー・モニュメント、文書保管庫等の配置、耐久性、情報伝達技術（言語、記号、心理学的通信手段等）について検討することが課題として示された。

6.3.2 記録保存システム

(1) リレーシステム

リレーシステムが維持されている社会における記録保存方策は、図 6-2 の上段に示したような国内外の記録保存関連機関や関連行政部署等が主として文書記録の保存を担うものと考えられる。

KAN-1.3(1993)も指摘するように、教育体系の中に地層処分の記録が保存されていることは、将来世代への情報伝達にとって大きな鍵となる。将来世代は教育体系から地層処分の概要、その時代の社会背景、関連する法律及び記録の所在等に関する情報を得ることができる。

社会のリレーシステムがいつまで継続するかを予測することは困難であるが、社会における歴史的な記録保存事例から将来への継続可能性を論拠付けることは有益なアプローチであると考えられる。

(2) 永続システム

社会のリレーシステムに依存しない永続システムとして、処分場サイト及び近傍でのマーカー・モニュメント及び文書保管庫等の素材と設置について試検討した。

（素材）

マーカー・モニュメント及び文書保管庫の素材候補として、自然岩石及び工学素材（金属あるいは無機材料）等が考えられる。長期耐久性の観点から、我が国の気候（湿潤、多雨等）及び自然条件（地質、地理等）を考慮した材料選定を行うことが重要である。そのためには、材料学のほか歴史学、考古学、地理学及び地質学等の知見をも考慮して材料選定を行うことが有効と思われる。

人造物の存在を伝えるレベル の情報媒体は、できるだけ大きく、耐久性があり、かつ

人為的に壊されにくいように構築することが理想的である。古代エジプトのピラミッドは石灰岩で作られており、材質的には必ずしも頑強なものとはいえないが、このように巨大な単純形状の構築物は長期間保存される可能性を示している。

「危険であること」を伝えるレベル の情報は、言語あるいは何らかの記号的方法を使用することになる。この情報をレベル の情報と共に伝えるために、レベル の情報を担う構築物上に、レベル の情報を託した自然岩石等からなるモノリスを散在させることが考えられる。このような媒体はレベル の媒体に比べれば小さなものとなり、言語あるいは何らかの記号的メッセージを刻印するために優れた耐久性を有する材料を選定することが必要である。

WIPP の検討の中には、メッセージ・キオスクというアイデアが示されている(SNL, 1993)。これは地面に建てられた花崗岩のメッセージボードをコンクリート等の防護壁で覆うような構造の記録媒体であり、レベル あるいは の情報を格納するとされている。レベル の情報を託す記録媒体は、レベル の媒体と同様に硬質の自然岩石で造るという方法が考えられる。また、自然岩石を土台として、さらに耐久性のある工学材料によるタブレットをはめ込むことも考えられる。

将来世代の意思決定に資する詳細な文書記録を念頭に置いたレベル の情報は、何らかの人工的な閉鎖空間に格納するのがよいと思われる。例えば、堅固な壁と天井で囲まれた記録の保管庫を建造し、その内部に文書情報を配置する。レベル の記録媒体としては、様々な環境の変化に耐え、文書記録を長期間保存できる工学材料を選定することが考えられる。本研究の調査結果からは、強度、耐食性及び耐磨耗性に優れたセラミックス系の素材が有望である(第7章)。この記録保管庫の文書は永続システムとしては最も主要な情報源であることから、多様な保存の方法を試みておくことが望ましい。例えば、他の種類の記録媒体(例えば紙、マイクロフィルム等)を併せて保存しておき、それらの耐久性を試験することも考えられる。

(配置)

以上の検討に基づき、処分場跡地のマーカー・モニュメント及び文書記録を収納する記録保管庫を同一地点に設置する案を検討し、図 6-3 に示した。図においては、レベル の情報を伝える「マーカー」は台形断面を有する連続的な構築物とし、人のたどる通路として処分場跡地の周囲及び中心部に向けた放射状に配置させた。これは処分場跡地を訪れ

た将来世代が、ごく自然に次の記録媒体にたどり着ける1つの案である。レベル の情報を伝える「マーカー」は処分場跡地を周回するマーカー に沿って配置したが、浅い地中部にも配置する。

レベル の情報を伝える「マーカー」は跡地の中央部に向かう通路上の交差点に配置している。ここで情報を得た将来世代の人は、さらに中央部に向かってレベル の情報を伝える「記録保管庫」にたどり着く。マーカー 及び記録保管庫は、人為的に破壊される事態に備え、地表部と地下部の二重構造としておくことも考えられる。したがって、これらの設置場所の選定には地表及び地下の温度、湿度環境等を考慮することが重要である。

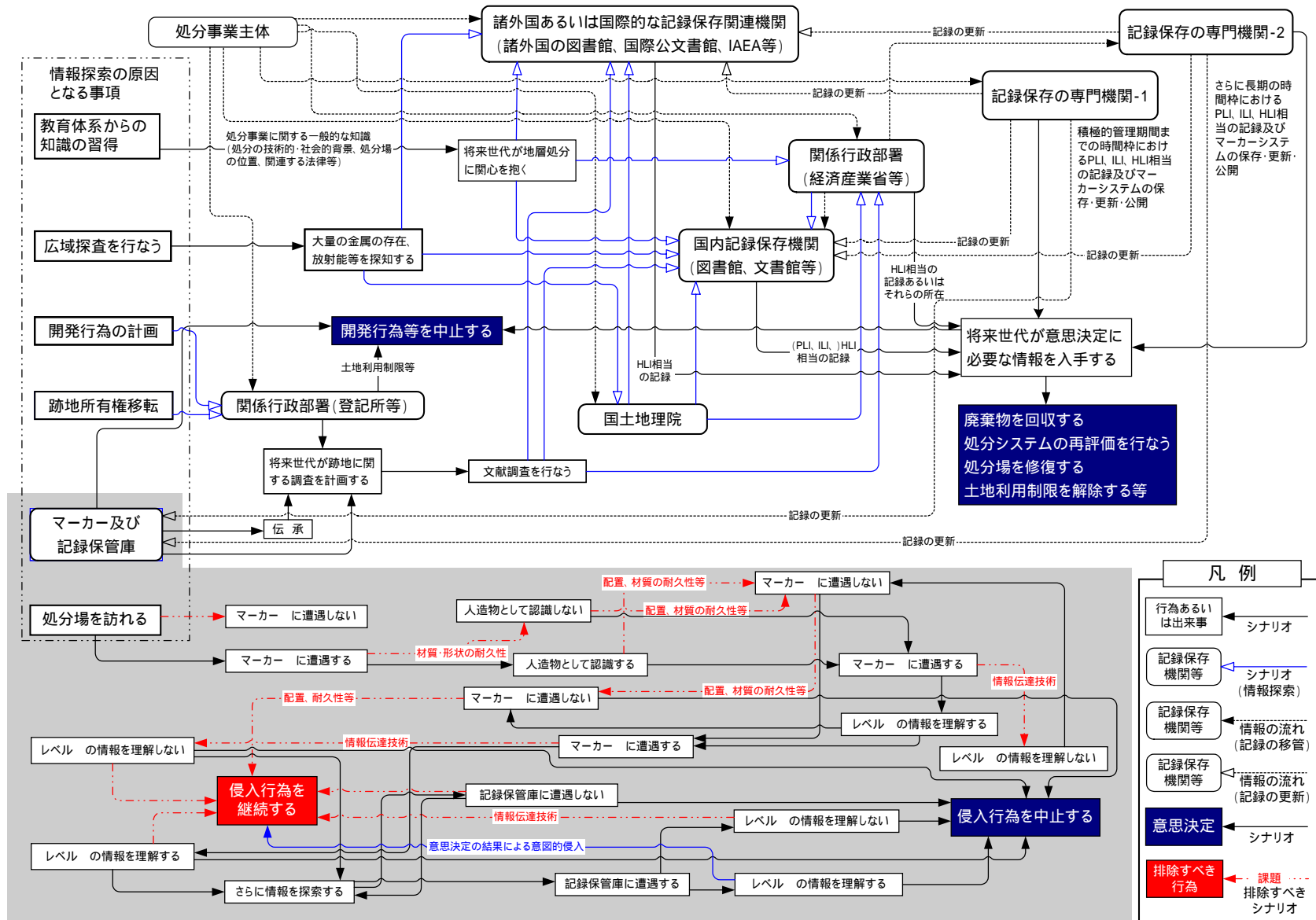
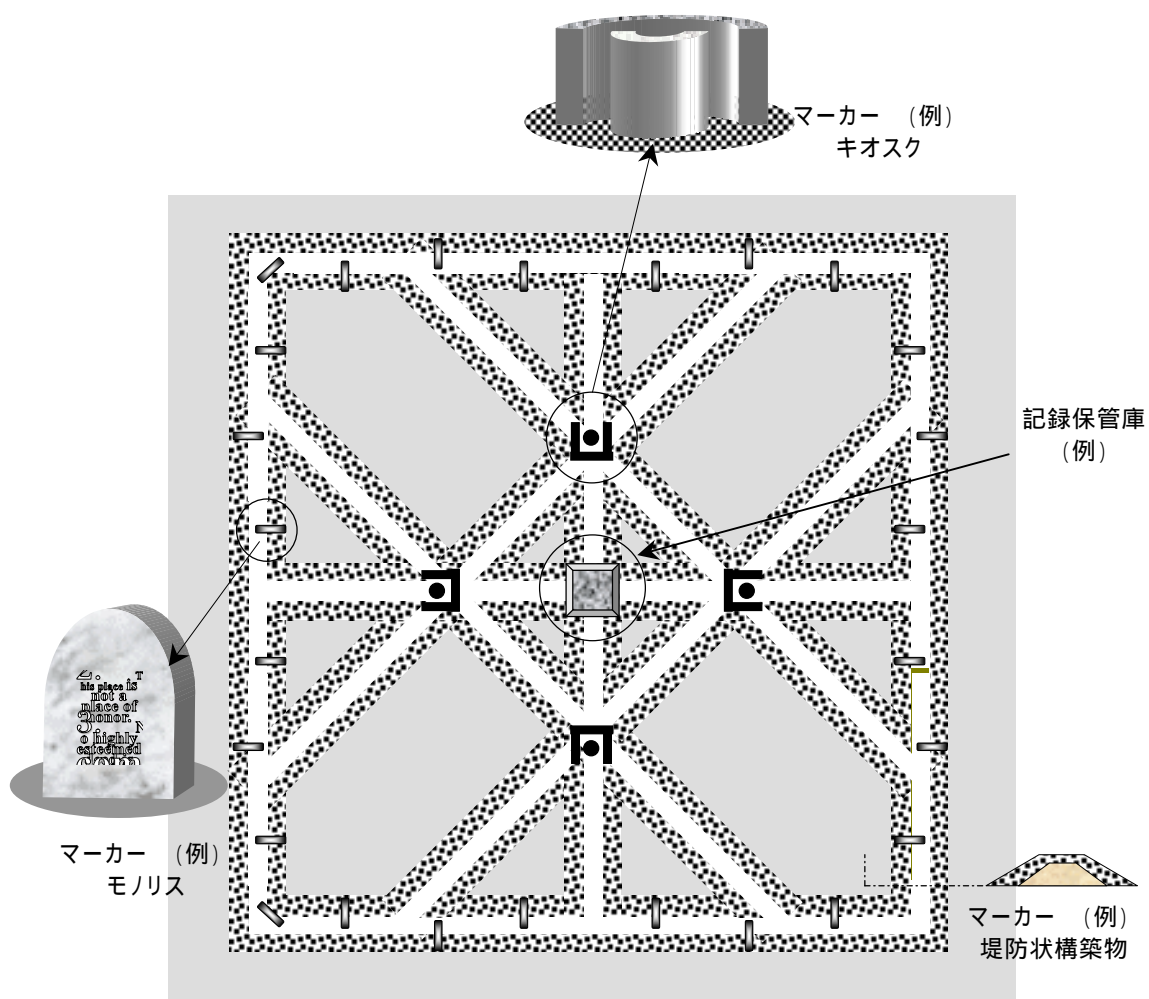


図 6-2 将来世代による情報探索と処分場接近のシナリオ (例)

RWMC-TRJ-02001



RWMC-TRJ-02001

図 6-3 マーカー・モニュメント及び記録保管庫の配置例

第7章 耐久性ある記録媒体の開発

記録の長期保存のため、保存環境への依存性が低く耐久性ある記録媒体の開発を目指し、工学材料への文字や模様等の刻印試験を実施した。

7.1 全体計画

文書保存のための媒体の耐久性は、保存環境が良好であれば電子媒体で数十年程度、紙及びフィルムで数百年～千年程度であると考えられる。本研究では既存の記録媒体よりさらに長期耐久性が期待でき、かつ保存環境の影響を受けにくい記録媒体を開発するための基礎試験を行った。本試験の全体計画は以下の通りである。

材料の選定

長期耐久性の観点から、記録媒体としての材料選定を行う。選定に際しては、素材の純度、表面仕上げ仕様、成形等も考慮する。

加工技術の検討

刻印・加工を行う対象として、線、文字、図形等があげられる。文字の場合は印字可能な精度も検討する。その他、図形の濃淡やグラデーション、写真の刻印可能性、カラーの実現性等を検討する。刻印方法としては、除去加工、酸化皮膜、エッチング、物理蒸着法、化学蒸着法等を視野に入れる。

刻印試験

選定された材料及び加工技術により、刻印試験を行う。

評価

記録媒体としての適切な材料、刻印可能な記録形態及び精度等について評価する。また、加工効率（コスト、時間等）も視野に入れる。

製作

以上に基づき、長期保存のための刻印記録を製作する。

7.2 実施内容

上記の全体計画の内、選定した材料に対する線、文字、図形の刻印試験を実施した結果について記述する。

7.2.1 選定材料、加工対象及び加工方法

選定した材料は金属材料と無機材料であり、金属材料としてはハステロイ(C22)を、無機材料としてはアルミナ、ジルコニア、炭化ケイ素の焼結体及び炭化ケイ素のCVD^(*)を選定した。これらの材料の一覧を表 7-1 に示す。供試体は入手及び試験の容易さを考慮し、ハステロイ及びセラミック焼結体は 100mm×100mm×5mm の板材、炭化ケイ素CVD 材は直径 12.5cm 厚さ 1mm の円盤状とした。これらの材料に線、文字及び図形を刻印した。また、濃淡やグラデーションの実現性も試験の対象とした。加工方法としては、レーザーを使用した溝加工とドット加工を行った。刻印する文字の言語は、複雑な字画を伴いかつ情報伝達において優位といわれる表意文字として、漢字を含む日本語を選んだ。

(*) Chemical Vapor Deposition (化学気相析出)

表 7-1 試験に用いた材料一覧

材料	密度 (g/cm ³)	硬さ (MPa)
ハステロイ C22 (Ni 基合金)	8.7	0.6
アルミナ焼結体 (Al ₂ O ₃ 99.9%)	4.0	19
ジルコニア焼結体 (ZrO ₂ 94.7%)	5.5-6.1	12-14
炭化ケイ素焼結体 (-SiC 98%)	3.2	25-31
炭化ケイ素-CVD	3.2	34

物性データは文献値

7.2.2 溝加工試験

ハステロイ及びセラミクス焼結体材料に対して、レーザーを使用した単純な図形の溝加工を行ない、刻印深さ、刻印部分の最小間隔等を検討した。また、単純な文字を刻印し、突起部の安定性を確認して溝加工試験に供する文字のフォントサイズを決定した。図 7-1 に試験で採用したレーザー・ウォータージェットハイブリット加工のイメージを示す。この加工方法では、レーザーが水柱内に閉じ込められ、微小スポット内に集光される。また、水によって冷却されているため、切断面の熱影響、熱変形が抑制され、加工屑をウォータージェットで洗い流すことにより、加工の邪魔をしない。



図 7-1 レーザー・ウォータージェットハイブリッド加工

予備的な試験の結果、ハステロイと炭化ケイ素については、この加工方法により良好な精度で加工を行なうことができ、顕微鏡観察によっても加工部分の顕著な変質は認められなかった。刻印は最小 0.3mm の間隔で、溝深さ 0.15mm (炭化ケイ素の場合) ~ 0.8mm (ハステロイの場合) の線を良好な精度で加工することが可能であった。これに対して、アルミナとジルコニアについては、同方法による加工結果が思わしくなかったため、通常のレーザー (YAG 基本波) 加工機で刻印し、その後ウォータージェット洗浄を行う方法を試みたが、顕著な効果が見られなかった。

上記の結果に基づき、ハステロイと炭化ケイ素を対象として、文章の刻印を実施した (図 7-2)。加工方法はレーザー・ウォータージェットハイブリッド加工とした。

試験の結果、文字中の多くの字画が重なる部分では、局所的に溝の最小間隔が 0.3mm 以下となり、溝幅が大きくなっている部分が観察された。ただし、これらは文字を構成する要素のごく一部であり、これらの溝幅の広がりや文字の加工性や判読のし易さに及ぼす影響は無視できた。

7.2.3 ドット加工試験

ドットマトリクス法による精度の高い刻印試験は、ハステロイ、アルミナ、ジルコニ

ア、炭化ケイ素（焼結体）に加え、化学気相析出(CVD)で製作した高純度の炭化ケイ素を使用して、文字の精度、図形の濃淡、グラデーションの精度を確認した。図 7-3 は、12 ポイントから 1 ポイントまでの文字（漢字及びアルファベット）の様相及び濃淡（グラデーション）を表現するための加工試験のイメージを示した。図 7-4 は炭化ケイ素焼結体における試験結果である。12 ポイントから徐々に文字を小さくした加工結果では、全ての材料で最小 2 ポイントまでは肉眼で認識可能であり、特に Hastelloy、炭化ケイ素焼結体及び炭化ケイ素 CVD は顕微鏡での観察で 1 ポイントの文字も識別可能であった。図 7-4 の右側の図に示すように、模様やグラデーションも表現可能であることがわかった。

図 7-5 は各材料に刻印した 11 ポイントの大きさの文字を比較した。アルミナ、ジルコニアについては、マーキング部分の発色に多少のムラ、輪郭のにじみが観察された。これらの材料の加工部分をルーペで観察したところ、Hastelloy、炭化ケイ素（焼結体、CVD）ほどは緻密なドットが形成されていないことが確認された。

図 7-6 にドット加工（ドットマトリクス法）による炭化ケイ素（焼結体）への刻印結果を示す。左側の図は本報告書の図 3-1 を刻印したものである。右側の図は 10cm × 10cm の炭化ケイ素の板材に A4 サイズの文章を縮小して 6 ページ分を転写したものである。このときの文字の大きさは 2 ポイントであるが、肉眼あるいは天眼鏡等を用いることにより文章を読むことが可能である（図 7-7）。

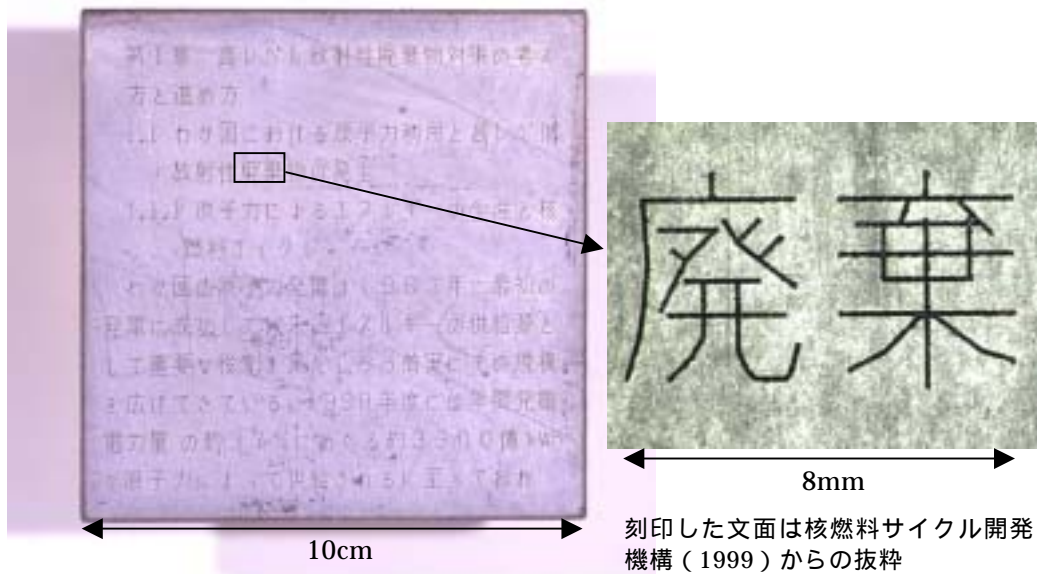


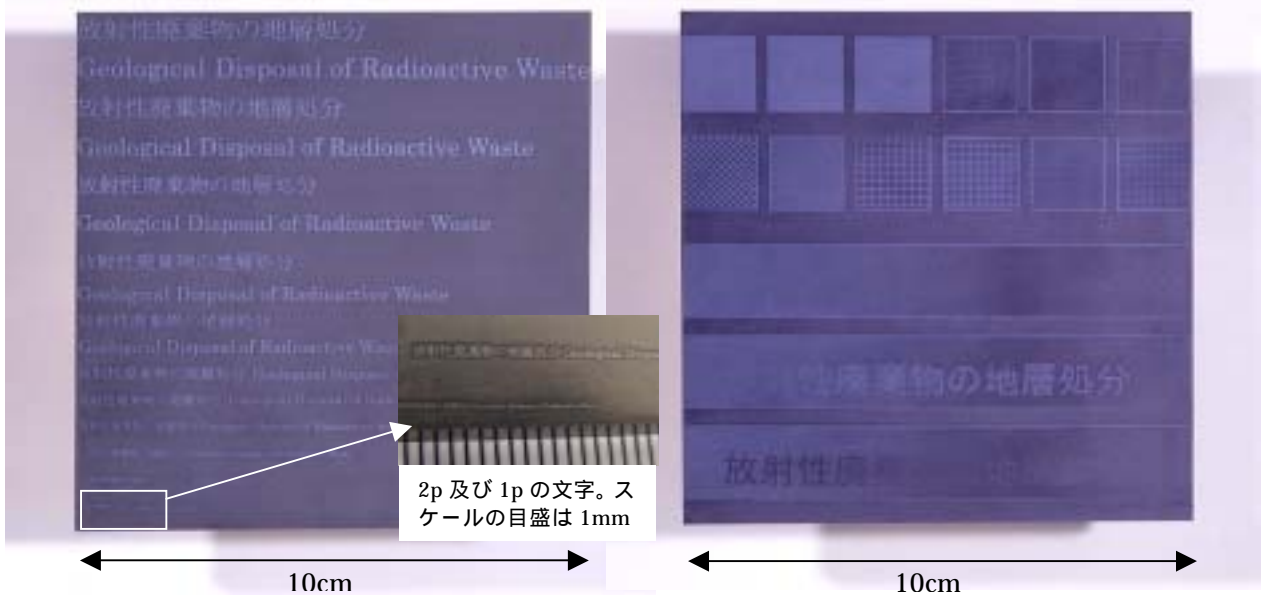
図 7-2 溝加工結果の例 (ハステロイ)

RWMC-TRJ-02001



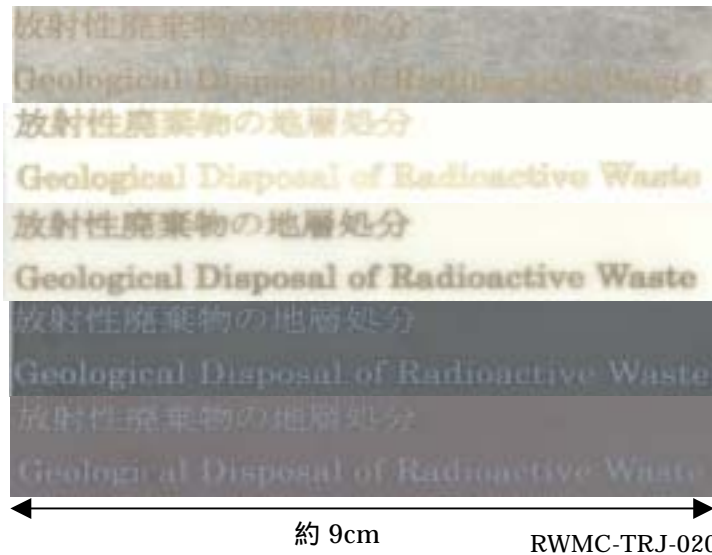
RWMC-TRJ-02001

図 7-3 高精度のドット加工刻印試験の成果イメージ



RWMC-TRJ-02001

図 7-4 ドット加工刻印試験結果 (炭化ケイ素焼結体)



(上から順に、ハステロイ、アルミナ、ジルコニア、炭化ケイ素焼結体、炭化ケイ素(CVD)

図 7-5 ドット加工による試験結果 (11 ポイント) の比較

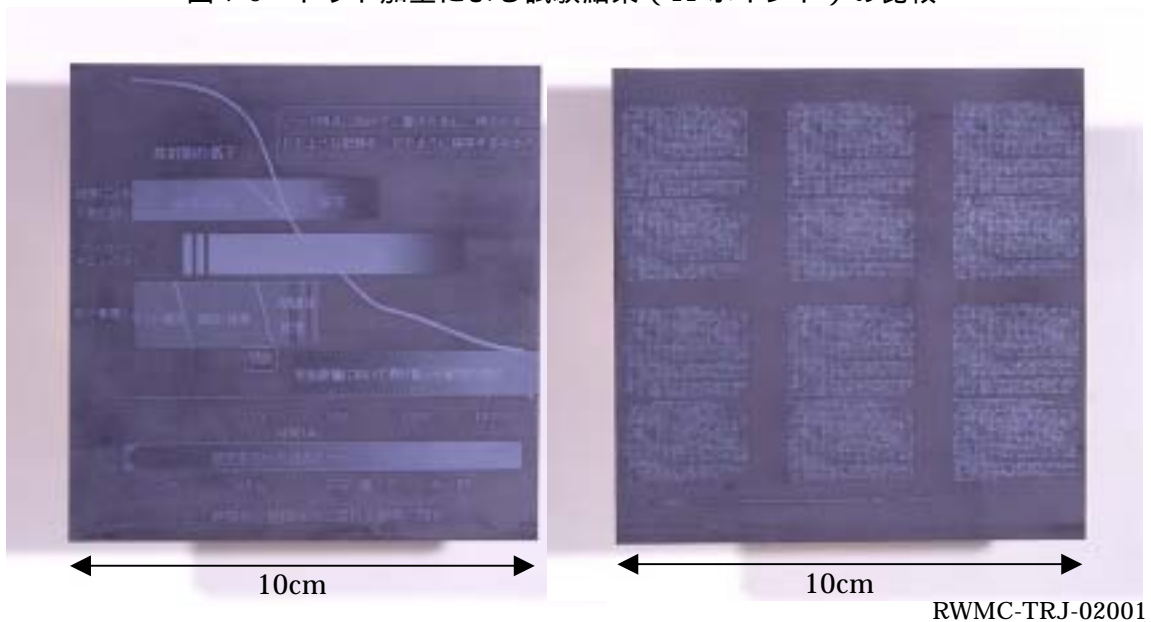


図 7-6 炭化ケイ素 (焼結体) に刻印した図及び縮小した文章



(スケールの目盛は 1mm)

RWMC-TRJ-02001

図 7-7 2 ポイントで刻印された文字 (図 7-6 右写真の拡大)

7.3 評価

耐久性のある人工材料に文字等を刻印する試験を行ない、その結果として長期間記録を保存する技術的可能性を示した。加工試験の結果、適切な材料と試験方法を選定することにより、文字及び模様の変現が可能であり、濃淡やグラデーシヨンも変現できるものと評価された。このような技術は、文書記録にもマーカー・モニュメントにも適用できると考えられ、とくに強度、耐食性、耐磨耗性等に優れた炭化ケイ素セラミクス材料は、今回の試験の結果刻印精度も良好であったことから、文書記録の長期保存媒体として有力な候補である。

ドット法による文字記録の密度については、文字の大きさを 2 ポイントとした場合、10cm 四方程度の材料に A4 用紙で約 6 ~ 8 ページ分相当の情報が刻印可能と試算された。

今後の課題としては、刻印された文字や模様の耐久性評価、刻印媒体の薄層化等に関する技術的検討があげられる。また、このような技術は社会に広く提示することが重要であることから、実証やデモンストレーシヨンを目的とした、実際の記録媒体の製作を行う。さらに、カラー及び写真等の技術的可能性についても検討を行う。

第8章 まとめと今後の課題

本研究において、記録保存の意義、目的、方策及び技術的可能性に関する基礎的な検討を行ない、下記の成果が得られた。

(意義)

- ・ 地層処分に対する社会的合意に向けた方策として、社会的・倫理的観点から記録保存は重要な位置付けを持つという考えを示した。

(目的)

- ・ 記録保存の目的として、「将来世代の処分場への接近・侵入行為の抑制」及び「将来世代の意思決定に資する情報提供」の2つをあげた。

(方策)

- ・ 異なる複数の方策を組み合わせ、情報伝達に冗長性を持たせ、部分的な損傷があっても全体の機能が保たれる頑強性を保持し、将来の背景条件の変化にも対応し得る柔軟性を持った記録保存システム概念を示した。
- ・ 上記の記録保存システムを構築するために、記録保存・伝達を社会制度の中に維持する「リレーシステム」と、社会制度や人間の管理に依存しない記録保管庫や媒体などに委ねる「永続システム」により、記録を保存する考えを示した。
- ・ 上記の考えのもと、文書及びマーカー・モニュメントにより記録を保存するための具体的内容について検討した。

(技術的可能性)

- ・ 将来の記録保存可能性の予測は困難であるが、社会における歴史的・考古学事例等からの傍証により、長期の記録保存の可能性を論拠付けることがアプローチとして妥当であるという考えを示した。
- ・ 記録媒体としては上質紙の技術開発が進んでおり、保存環境に配慮することにより数百年～千年程度の耐用年数が期待できることがわかった。一方、インクについては耐久性の評価に関する研究例が見当たらず、今後の研究課題が示された。
- ・ 記録の長期保存媒体として、強度、耐食性、耐磨耗性等に優れ、刻印精度も良好な炭化ケイ素が有望な材料であることを示した。

IAEAの技術報告書(IAEA, 1999)にも述べられているように、適切なデータを収集し、

維持し、将来世代へ残していくために、処分事業の初期段階から記録管理システムを構築することが必要と考えられている。諸外国の検討状況を見ると、記録媒体等の技術基盤が整っていないことが大きな課題と考えられたが、今般の研究において極めて有望な記録媒体が存在することを明らかにした。今後は、これらの材料を用いた記録媒体の試作を行うとともに、我が国の状況に即した記録保存場所、方法、マーカ―及びモニユメント等、記録保存システム構築に向けた具体的な課題について検討を行う。さらに、記録保存システムのコストと効果に関する評価も重要である。

参考文献

- 相田 二郎: 日本の古文書, 岩波書店 (1959)
- 安藤 正人: 記録史科学と現代 - アーカイブズの科学をめざして, 吉川弘文館 (1998)
- 新井 智: 聖書・その歴史的事実, NHK ブックス, 日本放送出版協会 (1992)
- 文化庁: 我が国の文化と文化行政, ぎょうせい (1988)
- 藤縄 謙三: ホメロスの世界, 新潮選書 (1996)
- 学習研究社: 最新地球外生命論, 最新科学論シリ - ズ (1993)
- 原子力環境整備促進・資金管理センター(原環センター): 平成 12 年度高レベル放射性廃棄物処分事業推進調査報告書(第 3 分冊) - モニタリング機器技術高度化調査 - (2/2 地層処分記録保存システムの開発)(2001)
- 原子力環境整備促進・資金管理センター(原環センター): 平成 13 年度高レベル放射性廃棄物処分事業推進調査報告書(第 3 分冊) - モニタリング機器技術高度化調査 - (その 3) 地層処分記録保存システムの開発 (2002)
- 原子力安全委員会: 高レベル放射性廃棄物の処分に関わる安全規制の基本的考え方について」 - 第 1 次報告 - (2000)
- IAEA: The Principles of Radioactive Waste Management, IAEA Safety Series No.111-F (1995)
- IAEA: Maintenance of records for radioactive waste disposal, IAEA-TECDOC- 1097. (1999)
- 自由国民社: 古代文明と遺跡の謎/失われた歴史を辿る世界の古代遺跡探訪, 改訂版(1998)
- 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 次とりまとめ - 」(1999)
- 旧約新約聖書大事典編集委員会: 旧約新約聖書大事典, 教文館 (1989)
- 松岡 正剛: 情報の歴史を読む - 世界情報文化史講義, NTT 出版 (1997)
- National Research Council (NRC): Rethinking High Level Radioactive Waste Disposal - A Position Statement of the Board on Radioactive Waste Management - (1990)
- Nordic Nuclear Safety Research Project KAN-1.3: Conservation and Retrieval of Information - Elements of a Strategy to Inform Future Societies about Nuclear Waste Repositories. (1993)
- OECD/NEA: The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal of Long-Lived Radioactive Wastes, A Collective Opinion of the Radioactive Waste Management Committee of the OECD Nuclear Energy Agency. (1995)

小川 千代子: 世界の文書館、岩田書院、東京 (2000)

王子製紙株式会社: OK NEWS, 2001 16 号 (2001)

Sandia National Laboratories: Expert Judgment on Markers to Deter Inadvertent Human Intrusion into the Waste Isolation Pilot Plant, SAND92-1382. (1993)

Sangmin Lee: History of Korean Archives and the GARS, A Country Report to the EASTICA: The 3rd General Conference in Tokyo, Japan (1997)

佐藤 進一: 新版古文書学入門, 法政大学出版局 (1997)

佐藤 輝夫: 叙事詩と説話文学 研究余滴, 早稲田大学出版部 (1985)

高橋 正彦 (代表編集): 今日の古文書学 第 12 卷 史料保存と文書館、雄山閣出版、東京 (2000)

詫摩武俊: 基礎心理学講座 「基礎心理学」, 八千代出版 (1989)

The US EPA Regulation 40CFR 194. (1998)

「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 (2000)

「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画」, 平成 12 年 9 月 29 日, 閣議決定 (2000)

都竹秀雄: 一問一答・戸籍の知識, レジストラ - ・ブックス(新版), 日本加除出版 (1991)

東京法経学院: 詳細登記六法, 東京法経学院出版 (1993)

謝辞

東京大学大学院 新領域創成科学研究科の松原 望教授には「地層処分記録保存システム検討委員会」の主査を務めていただくとともに、研究の進め方等に関し日頃より有益な御意見を頂いた。

別頁に示す「地層処分記録保存システム検討委員会」では、研究内容に対し委員の方々から毎回活発な議論を交わしていただいた。とりわけ本委員会は様々な研究分野の専門家に集まっただき、各分野の先端的な知見とアドバイスをいただくことができた。

三菱マテリアル(株)の景山 仁志氏、佐々木 良一氏、(株)大林組の納多 勝氏、佐藤 晶子氏、(財)エネルギー総合工学研究所の蛭沢 重信氏には本研究の調査の一部を担当していただくとともに、報告書のとりまとめに向けた議論の中で貴重な御意見を寄せていただいた。

スウェーデン原子燃料廃棄物管理会社 (SKB) の Per-Eric Ahlstrom 氏、Torsten Eng 氏、Pernilla Friberg 氏、及びスウェーデン放射線防護機関 (SSI) の Mikael Jensen 博士及びスタッフの方々との議論は、北欧諸国における記録保存の取り組み状況の理解と、本研究の位置付け等を考える上で有意義であった。また、フランス放射性廃棄物管理機関 (ANDRA) の Jan-Marie Poiter 氏、Lise Graffault 氏、Jean-Philippe Mouronval 氏ほかスタッフの方々との議論からは、記録保存研究の進め方に関し大変参考になる知見を得ることができた。

以上の方々に深く感謝申し上げます。

モニタリング機器技術高度化調査

地層処分記録保存システム検討委員会 委員（敬称略、主査以外は50音順）

（主査）松原 望（東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境学専攻 教授）

赤坂 秀成^(*)（原子力発電環境整備機構 技術部 部長）

安達 文夫（国立歴史民俗博物館 情報資料研究部 情報システム研究部門 教授）

植田 浩義（東京電力株式会社 原子力技術部 サイクル技術センター 副長）

大賀 妙子（独立行政法人 国立公文書館 公文書専門官）

北山 一美^(*)（原子力発電環境整備機構 技術部長）

後藤 孝（東北大学 金属材料研究所 溶解凝固制御工学研究部門 教授）

田中 知（東京大学大学院 工学系研究科 システム量子工学専攻 教授）

谷 正和（九州芸術工科大学 芸術工学部 環境設計学科 助教授）

帆足 養右（富士常葉大学 図書館長）

宮原 要（核燃料サイクル開発機構 バックエンド推進部 研究主幹）

室井 尚（横浜国立大学 教育人間科学部 メディア研究講座 助教授）

^(*) 平成13年8月から ^(*) 平成13年8月まで

（委員会オブザーバ）

高橋 美昭^(*)（原子力発電環境整備機構 技術部 技術企画グループ 課長代理）

竹内 光男^(*)（原子力発電環境整備機構 技術部 安全管理グループマネージャー）

田沼 進（関西電力株式会社 原子力事業本部 原子力環境技術グループマネージャー）

^(*) 平成13年8月から ^(*) 平成13年8月まで

本報告書のとりまとめ責任は（財）原子力環境整備促進・資金管理センターにある。

【問合せ先】

〒105-0001 東京都港区虎ノ門2丁目8番10号(第15森ビル4階)
財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター(原環センター)
電話 03-3504-1081 ファックス 03-3504-1297

Radioactive Waste Management Funding and Research Center (RWMC)
No.15. Mori Bldg, 2-8-10, Toranomom, Minato-ku, Tokyo, 105-0001, Japan

本体価格 2,500 円