総 説

海外諸国の低中レベル放射性廃棄物の処分[†]

山本正史

(財)原子力環境整備センター研究第一部
105 東京都港区虎ノ門2-8-10 第15森ビル4階

Key Words: low- and intermediate-level radioactive waste,
repository, siting, operation

1. はじめに

現在、海外各国で定常的な処分が行われているのは、全体の放射性廃棄物のうちの一部、比較的放射能レベルが低く、比較的短寿命（TRU核種等の長半減期核種を有意量含有しない）の廃棄物、すなわち、低中レベル短寿命放射性廃棄物のみである。ここでは、海外での低中レベル放射性廃棄物の処分の実施あるいは準備の動向、現在から将来にかけての傾向やそれらの背景などについて整理する。

低中レベル放射性廃棄物の定常的な処分が行われているとはいえ、一部の国あるいは処分場に限ってのことで、多くの国／処分場の場合には、まだ処分の準備段階にある。準備段階の処分場の場合には、予定どおりに計画が進行することはまれで、多くはスケジュールに遅れがみられる。また、状況は変化しており、定常的な操業に入るまでには曲折があることも想定される。

2. 低中レベル放射性廃棄物の範囲

低中レベル放射性廃棄物の範囲については、IAEAの安全シリーズ No. 111-G-1.1 (RAD-WASS シリーズ)¹⁾ で、規制除外 (clearance)

廃棄物から高レベル放射性廃棄物に至る、あらゆるレベルの放射性廃棄物の半定量的な定義と、それぞれに適した処分方法が示されている。

●カテゴリ 1. 規制除外廃棄物 (EW)

IAEA 安全シリーズ (出版予定) で示される放射能レベル (規制除外廃棄物の処分あるいは再利用を想定して、公衆の構成員個人の年間線量が、規制除外線量 0.01 mSv を超えないような放射性核種濃度として算出される) 以下のもの。ここで言われている出版予定の IAEA 安全シリーズは、今年出版された IAEA-TECDOC-855 (「固体物質中の放射性核種のクリアランスレベル—規制除外原則の適用—コメント用中間報告書」) を基礎に、約 3 年後に出版が予定されているものである。

規制除外廃棄物の処分は、含まれる放射性核種濃度がきわめて低く、処分や再利用の方式を決める場合に、放射線防護の観点からの規制を必要としないものである (無条件規制除外)。なお、一定の条件で処分または再利用することを前提に個別のケースごとに特定の濃度限度が適用される場合もある (条件付き規制除外)。

●カテゴリ 2. 低中レベル放射性廃棄物 (LILW)

IAEA 安全シリーズ (出版予定) で示される規制除外レベルを超え、発熱量が約 2 kW/m³ 未満のもの。後に定義される高レベル放射性廃棄物を除くすべての放射性廃棄物がこのカテゴ

[†] Low-Level Radioactive Waste Disposal in Overseas Countries. Masafumi YAMAMOTO: First Research Division, Radioactive Waste Management Center, No. 15 Mori Bldg., 2-8-10, Toranomon, Minato-ku, Tokyo 105, Japan.

りに分類される。処分方法としては、以下のサブカテゴリに応じて、浅地中処分～地層処分が適用できる。浅地中処分は、一般に地下数十 m の地中に処分する方法であり、地層処分は地下数百 m に至る安定な地層に処分する方法とされている。

●サブカテゴリ 2・1 短寿命廃棄物
(LILW-SL)

長寿命核種濃度が一定以下のもの。長寿命 α 核種濃度限度は、個々の廃棄体に対しては 4 000 Bq/g、廃棄体の総体平均で 400 Bq/g のもの。処分方法としては、浅地中処分または地層処分が適合する。浅地中処分は、このカテゴリの廃棄物についてのみ適合する処分方法として挙げられており、狭義には浅地中処分が可能な廃棄物を低レベル放射性廃棄物ということもある。この場合、処分方法を決定づけているのは、放射能レベルではなく、長寿命核種の濃度であることに注目すべきである。

●サブカテゴリ 2・2 長寿命廃棄物
(LILW-LL)

長寿命核種濃度が短寿命廃棄物の限度を超えるもの。処分方法としては、地層処分が適合する。

●カテゴリ 3. 高レベル放射性廃棄物
(HLW)

発熱量が約 2 kW/m³ を超え、長寿命核種濃度が短寿命廃棄物の限度を超えるもの。処分方法としては、地層処分が適合する。

わが国の廃棄物の分類では、中レベルという分類は一般には行われておらず、IAEA のカテゴリ 2. が低レベル廃棄物の範囲に入る。ただし、超ウラン元素 (TRU 元素) を一定以上含む廃棄物については、TRU 廃棄物という分類も行われる。

安全シリーズ No. 111-G-1.1 では、低レベル廃棄物の処分方法として、浅地中処分または地層処分が推奨されており、各国は、いずれかの処分方法を選択して実施または計画している。

3. 低レベル放射性廃棄物の処分方法

低レベル放射性廃棄物の処分方式としては、浅地中処分～地層処分の幅広い方式を採り得る。もっとも単純な処分方式としては、地面に溝を掘り、そこに埋設するといういわゆるトレンチ処分方式から、地下数百 m の地層中のトンネルあるいは鉱石の採掘跡の空洞等に廃棄物を定置して埋め戻すような方式まで広い範囲にわたる。

表 1²⁾ に、IAEA がとりまとめた 1994 年における各国の低中レベル放射性廃棄物の処分施設の現状を示す。これらの処分施設は、個別にはそれぞれ異なるものであるが、対象とする廃棄物が基本的に同類のものであるため、いくつかの類似した処分施設形態に分類できる。ここでは、米国の原子力規制委員会 (NRC)、エネルギー省 (DOE) 等の分類例にならって、いくつかの類型にまとめて整理したものを以下に示す。

(1) 従来のトレンチ処分方式 (SLB)³⁾

米国で従来行われてきた、地表に掘削した人工の内貼等を設置しないトレンチ (素掘りトレンチ) に廃棄物を定置して埋め戻す方式。コンクリートピット等の人工バリアは適用されないが、透水性の低い覆土や排水の工夫等によって、埋設された廃棄物層に雨水ができるだけ浸透しないようにされる。リッチランド処分場、バーンウェル処分場等の米国の既設の処分場、あるいは英国のドリッグ処分場のかつての処分方式がその事例と考えられる (図 1)。

現在、各国で新規立地が進められている処分場では、以下の人工バリアを備えた方式が設計の主流となっている。しかし、放射能レベルが非常に低い廃棄物に対しては、現在もスウェーデン等で採用されている処分方式である。

(2) 地下コンクリートピット処分方式 (BGV)³⁾

全面的に地下に建設されるコンクリートピット等の人工構造物内に処分する方式。フランス

表1 1994年における各国のLILW 処分施設の現状

状 況	国 名	処分場/サイト名	処 分 方 法
サイト選定 手続中	オーストラリア		工学浅地層施設
	ベルギー		工学浅地層施設
	ブルガリア		工学浅地層施設
	カナダ		工学浅地層施設
	中国(東部)		工学浅地層施設
	ルーマニア		工学浅地層施設
	米国(イリノイ) (ペンシルベニア)		工学浅地層施設 工学浅地層施設
サイト選定済	ブラジル	アバシアデゴイアス	工学浅地層施設
	中 国	ゴビ, 甘肅	工学浅地層施設
		広東省	工学浅地層施設
	エジプト	インシャス	工学浅地層施設
	韓 国	掘業島	鉱山空洞
	メキシコ	ラグナベルデ	工学浅地層施設
	ノルウェー	ヒムドファーレン	鉱山空洞
	ス イ ス	ベレンベルグ	鉱山空洞
許 認 可 中	英 国	セラフィールド近郊	地層貯蔵所
	カナダ	チョークリバー	工学浅地層施設
建 設 中	ド イ ツ	コンラッド	鉱山空洞
	米 国	ボイド郡, ネブラスカ	工学浅地層施設
		ファッキンランチ, テキサス	工学浅地層施設
		ワードバレー, カリフォルニア	工学浅地層施設
操 業 中	フィンランド	ロビーサ	鉱山空洞
操 業 中	アルゼンチン	エゼイザ	工学浅地層施設
	ブルガリア	ノビハン	工学浅地層施設
	チ ェ コ	リチャード (1964-)	鉱山空洞
		ドコバニ (1994-)	工学浅地層施設
	フィンランド	オルキルオト (1992-)	鉱山空洞
	フランス	ローブセンター (1992-)	工学浅地層施設
	ド イ ツ	モルスレーベン (1981-)	鉱山空洞
	ハンガリー	RHFT プスポキジラギー	工学浅地層施設
	イ ン ド	トロンベイ (1954-)	工学浅地層施設
		タラブール (1968-)	工学浅地層施設
		ラジャスタン (1972-)	工学浅地層施設
		カルバカム (1974-)	工学浅地層施設
		ナローラ (1991-)	工学浅地層施設
		カクラパー (1992-)	工学浅地層施設
	日 本	六ヶ所村 (1992-)	工学浅地層施設
	ノルウェー	ケラー (1970-)	工学浅地層施設
	パキスタン	カナップ (1971-)	簡単な浅地層施設
		ピンステッチ	簡単な浅地層施設
	ポーランド	ローザン	工学浅地層施設
	ルーマニア	バイタステイ	地層貯蔵所
	ロ シ ア	セルギエフボサド	工学浅地層施設
	南アフリカ	パールプッツ (1986-)	簡単な浅地層施設
	スペイン	エルカブリル (1992-)	工学浅地層施設
	スウェーデン	フォルスマルク (1988-)	鉱山空洞
	英 国	ドリッグ (1959-)	簡単な工学浅地層施設
	米 国	バーンウェル, サウスカロライナ (1971-)	簡単な浅地層施設
		ハンフォード, ワシントン (1965-)	簡単な工学浅地層施設
	ベトナム	ダラト	工学浅地層施設
閉 鎖 中	フランス	ラマンシュセンター (1969-1994)	工学浅地層施設
閉 鎖	チ ェ コ	アルカザール, ホスティン (1953-1965)	鉱山空洞
	米 国	ビーティ, ネバダ (1962-1992)	工学浅地層施設

図 1 トレンチ処分施設概念図

の新規のローブ処分場や、わが国の六ヶ所埋設センターで行われている処分が、この方式の事例と考えられる（図2）。

(3) 地上コンクリートピット処分方式 (AGV)³⁾

処分施設の閉鎖後、少なくとも一部分が地表面より上にあるコンクリートピット等の人工構造物内に処分する方式。米国の新規処分場の施設概念の候補の一つとなっているが、新規の処分場の立地は遅れており、実施された事例でよく知られているものはない（図3）。

(4) ラマンシュ処分場処分方式 (EMCB)³⁾

地下部のコンクリートピット内に比較的放射能濃度の高い廃棄物を定置処分し、その上部には、比較的濃度の低い廃棄物を定置し、土砂等で土盛りして埋め戻す処分方式。コンクリートピット内はモルタルで充填されて一体的なコンクリート塊となり、この部分をモノリス（一枚岩の意）といい、その上部の土盛りの部分を

図 2 地下コンクリートピット処分施設概念図

図 3 地上コンクリートピット処分施設概念図

図 4 ラマンシュ処分場方式処分施設概念図

チュムリ（土塚の意）という（図4）。フランスのラマンシュ処分場で採用されていた処分方式であるが、ラマンシュ処分場の後継処分場として操業されているローブ処分場では、チュムリ部は採用されず、(2)の地下コンクリートピット処分方式のみとなっている。

(5) 立坑処分方式 (SD)⁴⁾

立坑または立孔内に廃棄物を定置処分する方式（図5）。

(6) 岩盤空洞処分方式 (MCD)

鉱山の廃坑または新規に地下の岩盤内に掘削された空洞あるいは坑道（トンネル）に廃棄物を定置処分する方式。ドイツの岩塩鉱山跡地のモルスレーベン処分場，鉄鉱山跡地のコンラッド処分場候補地（許認可手続き中）等がこの方式の事例と考えられる（図6）。

(7) 中深度処分方式 (IDD)³⁾

中程度の深さへの処分方式であり、深度的に

図5 立坑処分施設概念図

図7 中深度処分施設概念図

図8 廃棄体モジュール処分施設概念図

図6 鉱山空洞処分施設概念図

は(6)の方式よりは浅く、地下100m程度と考えられる。この方式の特徴は、処分施設の設計概念にあると考えられており、スウェーデン、フィンランドで採用されている地下サイロ型処分施設等がその事例と考えられる(図7)。

(8) 廃棄体モジュール処分方式(MCC)³⁾

中規模のコンクリート容器(2001ドラム缶5-10本程度収納)で、容器自体がコンクリー

トピット等と同様に、廃棄物からの放射性物質の環境への移行を防止する人工バリアとして機能するもの。容器にバリア機能を持たせるため、処分方式はトレンチ処分が想定されているようである(図8)。

(9) 改良型浅地中処分(ISLB)

従来のトレンチ処分方式を改良した処分方式。たとえば、難透水性のカバー、トレンチのコンクリート内貼り等が考えられる。英国のドリッグ処分場の現行の処分方式(1990年頃からトレンチにコンクリートの土台および隔壁が設置され、トレンチからの排水も集中的にモニターされている)が、この方式の事例にあたりと考えられる(図9)。

以前には、低レベル放射性固体廃棄物について

図 9 改良型トレンチ処分施設概念図

ては、米国、欧州諸国による海洋処分が行われていた。低レベル放射性廃棄物の海洋処分は、廃棄物その他の物の投棄による海洋の汚染の防止に関する条約（ロンドン条約）による国際的規制の下に実施されてきたが、1983年の第7回ロンドン条約締約国協議会議のモラトリウム決議により自粛が続いていた。これによって影響を受けた国は、当時海洋処分を定常的に実施していた英国、オランダ、ベルギー、スイスの4か国と、海洋処分を予定していた日本、台湾などである。その後、1993年の第16回ロンドン条約締約国協議会議で、放射性廃棄物の海洋投棄を原則的に禁止する条約付属書の改正が行われ、現在はすべての放射性廃棄物の海洋処分が禁止されている。なお、米国は経済的に陸地処分の方が優位であるとして、1970年を最後に海洋処分を停止していた。

4. 各国の処分場と処分方法^{7)~9)}

OECD/NEAの放射性廃棄物公報⁷⁾等から、海外諸国の低レベル放射性廃棄物の処分場（候補）の状況を概観すると以下のとおりである。なお、処分場の準備段階にある国では、状況はときに流動的であり、予定のキャンセルや変更等が行われることも考えられる。

(1) アルゼンチン¹⁰⁾

処理済みの低レベル放射性廃棄物は、ブエノスアイレス郊外のエゼイザ原子力センターのトレンチに処分されている。第1トレンチの処分は1975～1988年にかけて行われ、200 lドラム缶約3500本相当の処分が行われた。アスファルトやポリエチレンの防水層を含む多層のカバーが施されて、現在は閉鎖されている。第2トレンチは、コンクリート囲壁を持つ工学トレンチで、200 lドラム缶約3500本相当の処分容量を持っている。

(2) オーストラリア

浅地中処分場選定の第2段階ということで、8か所の地域が候補に上がっている。処分の対象とされているのは、医療、工業等のRI廃棄物およびウラン採鉱等により発生する低レベル放射性廃棄物とされている。サイト選定の第2段階の討議用資料が1994年半ばに公表され、これに対する公衆のコメントおよびその回答が1995年11月に公表されている。

サイト選定の次の段階は、1996年4月の上院委員会の勧告を踏まえて実施されることとなっている。上院委員会の勧告では、代替処分方策として地層処分の可能性を検討すること、極低レベル放射性廃棄物のウラン鉱山への処分の可能性を検討すること等が挙げられている。

(3) ベルギー

低レベル、短寿命放射性廃棄物の浅地中処分サイト選定を目的とした、地質、放射線防護、環境規準に関する研究が、ベルギー放射性廃棄物・核物質管理機関（ONDRAF/NIRAS）によって、1994年に開始され、既存の地質データに基づき、98か所の候補サイトが挙げられた。低レベル、短寿命廃棄物であれば、国内に浅地中処分サイトを選定することは可能とされているが、一方、そのような廃棄物の割合は60%と推定され、浅地中処分以外の処分方策もいずれば必要になると考えられる。浅地中処分サイトは、最速2年で選定できるとし、2000年以降の早い時期の操業開始を目標としている。

(4) ブラジル¹¹⁾

1987年にゴイアニア市で起こった¹³⁷Cs汚染事故の除染作業により、50.9 TBqの¹³⁷Csを含む約3500 m³の廃棄物が発生し、ゴイアニアから約23 kmのアバシアデゴイアスのオープンコンクリートピットに現在貯蔵中である。これの最終処分のための計画があり、現在の貯蔵サイトの近隣で処分される予定であるという。

(5) カナダ

カナダの主な低レベル放射性廃棄物の発生源は、オンタリオハイドロ社の原子力発電所からのものと、カナダ原子力公社のチョークリバー研究所からのものがある。前者では、現在、ブルース発電所の集中貯蔵サイトおよび一部の発電所サイトで貯蔵が行われており、処分の差し迫った必要性はないものの、将来的には処分が必要であるとの認識である。オンタリオハイドロ社では、2015年の処分開始が実行可能な目標としている。

チョークリバー研究所では、改良型浅地中処分に類するIRUS(intrusion-resistant underground structure: プロトタイプの浅地中処分施設)処分が計画されており、1980年代末から許認可の審査が行われており、当初は1990年代半ばには実施される見込みであったが、未だ実施に至っていない。

(6) チェコ^{12),13)}

低中レベル廃棄物のうち、研究所等からのRI廃棄物は、RI開発・生産・利用協会(UUV-VR)が、原子力発電からの廃棄物は、チェコ電力公社(CEZ)が処分の責任を有する。

RI廃棄物は、プラハの南西30 kmのホスティン処分場(石灰石鉱山跡地)にかつて処分されたが、1964年以降プラハの南西約60 kmのリチャード処分場に処分されている。8850 m³の処分容量中60%がすでに使用されている。

原子力発電所からの廃棄物の処分場は、ドコパニ(ブルノの西30 km)にあり、各550 m³の区域に分割されたコンクリートピット構造の施設である。処分容量は、約62000 m³で、5倍までの拡張が可能である。安全評価に10 μSv/年の個人線量限度(規制除外線量)が採用されている。

(7) 中国¹⁴⁾

中国では、1980年代前半から低中レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発が行われてきている。1992年の政府の承認を得た「低中レベル放射性廃棄物の処分に関する環境政策」では、処分は、可能な限り発源地の近くで行われるべきであるとの原則が提案されており、これは、米国の低レベル放射性廃棄物政策法と共通する考え方である。

2か所のサイト(ゴビ砂漠、広東省)が選定されており、選定中のあと1か所では、鉱山廃坑、発電所地下の岩洞等が提案されている。

ゴビ砂漠、甘粛のサイトは、現地の気候条件から底のないコンクリートピット施設に処分する方式であり、現在建設中である。この処分場では、第1期計画として20000 m³、将来的には200000 m³の処分が予定されている。

広東省の処分サイトは、大亜原子力発電所の北東約5 kmの場所で、1997年に建設が開始され、1998年半ばから廃棄物の受け入れを開始する予定である。処分施設は、地上のコンクリートボルト方式で、地下にはボルトを通過

した可能性がある雨水を集水しモニターするための排水システムが施される予定である。広東省の処分場では、第1期計画として80 000 m³、将来的には240 000 m³の処分が予定されている。

(8) フィンランド^{15), 16)}

原子力発電所の運転により発生する低中レベル放射性廃棄物の処分場として、オルキオト発電所サイトの地下の岩洞処分場が1992年5月から操業中である。ロビーサ発電所でも、1993年2月に同様の処分場の建設を開始しており、1996年内に建設および試運転等が終了する予定である。その後、処分場の操業申請が提出される予定である。両処分場とも、発電所の解体廃棄物も処分する予定であり、必要な時期に解体廃棄物処分のための空洞が掘削される予定である。

(9) フランス

低中レベル短寿命放射性廃棄物の処分場として、1969年以来操業されてきたラマンシュ処分場は、1994年7月に最後の廃棄物を受け入れ、総計約52.5万m³の廃棄物を処分した後、閉鎖手続きに入った。処分場を閉鎖して監視段階に移行するためには、公聴会を含む行政的な許認可手続きが必要とされ、現在進行中である。

ラマンシュ処分場の後継処分場として1992年1月から同様の廃棄物を受け入れているローブ処分場は、順調に操業を続けており、1993年以降の年間廃棄物受け入れ量は、8 200、23 000、16 600 m³であった。これは、当初見込みの年間約3万m³を大きく下回り、操業可能期間も当初の見込みでは30年とされていたが、45年以上になると予想されている。その背景には、フランスの廃棄物量減量政策があると考えられ、1991-1994年の3年間で約16%の発生量低減が達成され、1994年の発電所1基当たり平均の固体廃棄物の発生量は124 m³とされている。

(10) ドイツ¹⁷⁾

ドイツで現在操業されている低中レベル放射性廃棄物処分場は、モルスレーベン処分場のみ

である。同処分場は、1990年の東西ドイツ統合までは、旧東ドイツの施設で、バルテンスレーベン岩塩鉱山跡（地下約500 mに処分）を利用して、1978年以来操業されてきた。統合後の1991年2月から1994年1月まで、正規の許認可を欠いているという理由で、裁判所の命令により一時閉鎖された後に操業再開されている。現在の許認可の有効期間は、2000年6月までとされ、許認可更新のための地質調査等が現在行われている。同処分場では、原子力発電所の運転により発生する放射性廃棄物のほか、RIの利用による放射性廃棄物も受け入れている。1995年の年間処分量は約5 000 m³で、2000年6月までに約40 000 m³、20 TBqの低中レベル放射性廃棄物の処分が見込まれている。

コンラッド処分場は、鉄鉱山廃坑に計画されている低中レベル放射性廃棄物の処分場である。現在許認可手続き中で、ニーダザクセン州当局が計画承認に消極的であることから、計画が遅れている。操業開始は、計画承認後約3年を要する見込みである。

ゴアレーベン処分場候補地は、主として高レベル放射性廃棄物（使用済燃料）および α 廃棄物の処分場としての適性調査中である。同サイトもニーダザクセン州内にあり、仮に適性が認められたとしても、必ずしも許認可等がスムーズに進むとは考え難い。

ドイツでは、放射性廃棄物の処分は深い地層に限定して計画、実施されてきており、以上のいずれの処分場（候補地）も深地層処分方式である。1978年までにドラム缶約12.5万本の低中レベル放射性廃棄物を処分したアッセ処分場も、岩塩鉱山廃坑の深地層処分である。

(11) ハンガリー¹⁸⁾

1977年以来、ブダペストの北東約30 kmのピュスベクシラジ（プスボキジラギー）で浅地中処分が行われている。唯一のパクシュ原子力発電所からの廃棄物も1989年までは受け入れていたが、住民の反対により発電所からの廃棄物の受け入れは中止されている。

1992年以降、300 m までの深さの範囲で、低中レベル放射性廃棄物の処分場の選定が行われ、3 か所の調査候補サイト（浅地中2、深地中1）および3 か所の予備サイトが1995年10月に公表されている。

(12) インド

原子力発電所の運転から発生する低中レベル放射性廃棄物は、ビチューメンまたはセメント固化されて各発電所で処分される。トレンチ、コンクリートボルト、タイルホールの各処分施設が利用されているが、トレンチ処分はレベルのごく低い廃棄物に限って使用されている。

(13) イタリア

1987年の国民投票の結果を受けて、原子力発電所の閉鎖および5年間の新規原子力施設の建設禁止措置がとられた。それまでの原子力発電所の運転等によって発生した放射性廃棄物は、発電所サイト内等に貯蔵されているが、最終的な処分方策等は具体的に示されていない。

2000年以前に海外再処理廃棄物の返還が見込まれること等から、イタリア環境防護庁は、返還廃棄物を含めたすべての放射性廃棄物の処理処分方策の策定、低中レベル放射性廃棄物の処分場の立地、建設、操業等を責任を持って実施する機関の決定が急務であると、1995年7月に指摘している。

(14) 韓国

韓国では、1995年末現在10基の原子力発電炉が運転中であり、建設中6基、計画中12基というきわめて積極的な原子力推進政策が進められている。

1993年末現在の原子力発電所からの低レベル放射性廃棄物の累積量は200 l ドラム缶換算で約43 000本であり、2000年までに約17万本になると予想されている。

低レベル廃棄物処分サイトの選定は、1986年に開始され、東海岸の候補サイトの調査は、地域住民の強い反対により、1989年に中止され、西海岸の候補サイトについても同様に、1990年に白紙化された。1991年から、韓国原子力研究

所（KAERI）による新たなサイト選定が開始され、1995年2月に掘業島に決定されたが、地質調査の結果、同年12月に白紙に戻ることが発表された。処分施設のタイプとしては岩洞処分が提案されている。

1996年には、KAERIに委任されていた低中レベル放射性廃棄物の処分サイトの立地選定、建設、操業のようなプロジェクト的作業は韓国電力公社に引き継がれ、サイト選定は再度仕直しとなっている。

(15) メキシコ¹⁹⁾

1990年に運転開始したラグナベルデ発電所の廃棄物は、1 800 m³の貯蔵容量の貯蔵庫に一時貯蔵されている。規制当局の方針により長期の一時貯蔵は認められていないので、発電所サイトに選定された処分場に処分する計画である。処分の方式は、フランスの処分方式を参考に検討が進められているようである。サイトの調査および処分のフィージビリティ調査の結果により最終的な処分方式等が決定される見込みである。

(16) オランダ

放射性廃棄物管理中央機関（COVRA）が1984年に設立され、すべての放射性廃棄物の貯蔵を行っている。当初ペテンのエネルギー研究所（ECN/SCK）で貯蔵されていたが、1990 - 1992年にかけて、ボルセーレ原子力発電所の隣接工業地域に放射性廃棄物の処理および貯蔵施設が建設され、現在はここですべての放射性廃棄物の貯蔵が行われている。ここでの貯蔵は、50年間以上にわたって行われる予定であり、処分を早期に実施する必要はないと考えられている。

陸地処分のための研究は、OPLA プログラムとして行われ、岩塩層への安全な処分の可能性を見きわめることを目標としている。フェーズ1の机上研究およびその補足研究は1993年に完了し、安全性についての否定要素はないとされた。しかし、ただちに具体的サイトの調査を内容とするフェーズ2研究に移行するのは、時

期尚早と判断され、岩塩層以外の処分媒体の検討等を含めた研究をさらに行うこととされている。

(17) ノルウェー²⁰⁾

低中レベル放射性廃棄物処分場候補地として、エネルギー技術研究所の研究炉があるケラー（オスロの東約 25 km）に近いヒムドファーレン（オスロの東約 40 km）が選定されている。結晶質岩の 50 m 以深に処分空洞が掘削され、貯蔵と処分を組み合わせた方式が計画されている。処分場の建設は、必要な許認可手続き後、政府機関によって行われ、処分場の操業はエネルギー技術研究所によって行われる予定である。2030年までは操業期とし、その後は、300 - 500 年の利用制限および排水のモニタリングを伴う制度的管理期間が続くとされている。

(18) スロベニア²¹⁾

1991年に低中レベル放射性廃棄物処分場立地指針が策定されている。1993年に放射性廃棄物の管理にあたる専門機関が設立され、5か所の処分場候補が発表されたが、地域住民の強い反対により、サイト選定プロセスは中断されている。原子力発電所の廃棄物貯蔵容量を確保するため、貯蔵中の廃棄物の圧縮処理等が行われている。

(19) スロバキア²²⁾

ブラティスラバの西 100 km にあるモホフチェ原子力発電所の北東約 1.5 km の地点に放射性廃棄物処分場を立地することが1981年に承認され、1985 - 1990年にかけて建設作業が行われた。施設の形態は、底部に排水システムを備えたコンクリートピット方式で、底部および側面にバリアとして、透水係数 10^{-9} m/s の圧縮粘土層を設置している。廃棄体とピットとの空隙は、コンクリート充填される。処分容量は、約 44 000 m³ で、5 倍までの拡張が可能である。

その後、IAEA の廃棄物管理評価・技術検討プログラムの国際的な検討や国内の専門家の勧告を取り入れるための改善等が行われ、廃棄物

の受け入れが可能となるのは、1997年になると見込まれている。

(20) 南アフリカ²³⁾

ケープタウンの北約 100 km にある政府によって運営されるバールプッツ処分場で1986年以来クバーク原子力発電所からの放射性廃棄物が素掘りのトレンチに処分されている。処分場の操業は原子力公社が行い、規制当局は、独立の組織である原子力安全評議会である。

(21) スペイン

1984年に設立された放射性廃棄物公社（ENRESA）は、政府の承認を得た放射性廃棄物総合計画に基づいて、低中レベル放射性廃棄物の処分をエルカブリル処分場において実施している。同処分場は、閉鎖されたウラン鉱山の跡地にあり、1961年以来放射性廃棄物の貯蔵が行われていたが、1992年に ENRESA が処分の操業許可を取得し、1995年末までに約 5 200 m³ の廃棄物を処分している。処分方式は、フランスのローブ処分場で採用されているものほとんど同じである。

(22) スウェーデン^{24), 25)}

原子力発電所の運転から発生する低中レベル放射性廃棄物の処分場として、SFR 処分場がフォルスマーク発電所沿岸沖の海底下に建設され、原子力発電所の運転により発生する低中レベル放射性廃棄物の処分用に、サイロ 1 基、トンネル 4 本、合計約 6 万 m³ の処分容量を持つ空洞が掘削されている。1988年以来操業中であり、これまでに約 19 000 m³ が処分されている。原子力発電所の解体から発生する放射性廃棄物の処分の際には、さらに約 3 万 m³ の処分容量が増設される予定である。

極低レベル廃棄物については、サイト内の浅地中処分場に処分されている。最初の処分は、1986年にオスカーシャム原子力発電所で行われ、コンクリート床の上に廃棄物が定置され、砂利や砂で空隙が埋め戻され、遮水のためのプラスチックシートや覆土が施された。規則では 1 サイト当たり 10 TBq を超えないこととされ

ているが、オスカーシャムでは、5年以上の半減期の核種について 300 Bq/kg 以下、総量 100 GBq までとの運用がなされている。

(23) スイス²⁷⁾

1972年にスイスの電力会社等によって設立されたスイス放射性廃棄物管理共同組合(NAGURA)が処分サイトの選定にあっており、4か所の候補地があげられ、調査の結果ベレンベルグ処分場候補地が最終的に選定され、処分場の建設と操業を実施するベレンベルグ放射性廃棄物管理会社(GNW)が設立された。GNWは、1994年6月に一般許認可申請を提出した。

ベレンベルグのサイト周辺の地元住民による投票では処分場プロジェクト賛成となったが、1995年6月に実施された州民投票では、僅差(52%対48%)でプロジェクト反対となった。現在、この投票結果を踏まえた今後の方向について、連邦および州当局、NAGURA、GNWによる検討が1996年にかけて実施される予定である。

(24) 台湾²⁸⁾

3基の原子力発電炉およびRIの利用などから発生する低レベル放射性廃棄物は、本島南東約75kmの海上にある蘭嶼(Lan-Yu)島で、1972年以来一時的に貯蔵されている。これはあくまで一時的な貯蔵であり、最終的には処分される予定である。55ガロンドラム缶約97600本の貯蔵容量は1996年内に満杯になる見込みであり、59000本分の増設計画がある。

一方、最終処分に関しては、1996年までに候補地を選定し、サイト調査等の後、2001年に建設許可申請、2002年に操業開始という、すべてが順調に進んだ場合のスケジュールが想定されている。

(25) 英国

1959年以来、低中レベル放射性廃棄物の処分場として、イギリス原子燃料公社(BNFL)のセラフィールド再処理工場の南東約7kmにあるドリッグ処分場が操業されている。当初の処

分方式は、素掘りのトレンチに廃棄物を収納して埋め戻すという方式であったが、1986年の下院環境委員会からの改良勧告により、1989年から現在のコンクリートボルト方式に変更され、並行して排水管理システムや覆土の改良も行われている。また、廃棄物の圧縮処理施設の導入により処分容量の効率化が図られている。

ドンレイにも小規模の浅地中処分施設があるが、これは同サイト研究施設で発生する放射性廃棄物の処分専用の施設である。

このような浅地中処分方式では処分できない一部の中レベル廃棄物が存在すること等から、新規の処分場は深地下に限定してサイト選定を行うという方針が確立され、1982年に設立されたNIREX(原子力産業放射性廃棄物管理会社)が1987年以来のサイト選定作業を行い、1991年にセラフィールドが詳細調査の対象として選定された。21本のボーリング調査が行われ、地下岩盤の特性をさらに詳細に調査するための岩盤特性評価施設の建設許可が1994年に申請された。これをめぐる公聴会が1995年9月から1996年1月にかけて行われ、1997年前半に政府の決定が行われるとされている。肯定的な決定が行われれば、サイト適性を実証するための調査が行われ、2012年には操業開始が可能とされているが、NIREXは、政府の決定までは目標期日を設定する意思を持っていない。

(26) 米国

米国では、民間企業によって運営される低レベル放射性廃棄物の処分場が6か所操業されていたが、内4か所はすでに閉鎖されている。現在も操業されている処分場は、ワシントン州のリッチランド処分場とサウスカロライナ州のバーンウェル処分場であるが、全米の低レベル放射性廃棄物が限られた数の処分場に集中することを避け、一定の地域内で発生したものは同地域内で処分すべきであるとの趣旨の立法(低レベル放射性廃棄物政策法、1980、1985年改正)が行われた。それによると、州または州間コンパクトによって連合協定を締結した州の連

合体は、それぞれの地域内に処分場を1993年1月1日までに開設しなければならない、となっている。これができない場合は、州が地域内で発生する低レベル放射性廃棄物の責任をすべて引き受けるか、処分に際して徴収されている上乘せ料金の25%相当を返還しなければならない、さらに1996年1月1日以降は低レベル放射性廃棄物の責任をすべて引き受けなければならない。1996年以降は州が低レベル放射性廃棄物の責任を引き受けるべきであるという条項については違憲であるとの判断が最高裁判所によって下されているが、いずれの州あるいは州の連合もいまだに新規処分場を開設できるに至っていない。

リッチランド処分場は、1965年以来処分操業中である。ただし、ノースウェストおよびロッキーマウンテンのコンパクト地域外からは1993年1月以降廃棄物を受け入れていない。

バーンウェル処分場は、1971年以来処分操業中である。1994年7月以降サウスイーストコンパクト地域外の廃棄物の受け入れを停止したが、翌年7月には、サウスイーストコンパクトを離脱し、ノースカロライナ州を除く全州からの廃棄物を受け入れることとしている。

連邦の軍事および研究活動から発生する低レベル放射性廃棄物は、エネルギー省の敷地の国有処分サイトに処分されている。

以上の民間および国有の現行の処分サイトはすべて素掘りトレンチ処分方式であるが、新規に計画されている低レベル放射性廃棄物政策法下の処分候補サイトではコンクリートトレンチ等の人工バリアを備えた処分施設形態が計画されている。

5. 各国の処分の実施および準備状況

浅地中処分を実施している国は、おおむね短寿命廃棄物に限った処分を行っており、長寿命廃棄物の処分が課題として残る。

フィンランドおよびスウェーデンの処分場は深さが60～百数十m程度で地下岩盤に掘削さ

れた空洞（トンネルまたはサイロ型）内への処分方式であり、浅地中処分と地層処分の中間的なものとなっている。このため、原子炉の解体廃棄物に含まれる炉内構造物などの長寿命核種も相当量含む廃棄物の処分も可能と考えられている。

たとえばドイツのように、低レベル廃棄物について地下数百m以深の地層への処分を行っている国もあり、長寿命廃棄物を含めて処分可能という利点等から、英国、スイスでも今後採用される見込みである。

いくつかの国に共通してみられる特徴をあげると、以下のとおりである。

- 処分場の新規立地には長期間を要し、必ずしも計画どおりスムーズには進行していない。立地地域を含めた社会の理解を得るために、情報提供、公聴会、住民参加の意思決定等の方策がとられている。

- 廃棄物の発生量の低減化、減容処理が積極的に求められ、処分量の低減化、処分が必要な時期の遅延化が図られている。処分場の立地が必ずしも計画どおり進まないことが、発生量低減化の必要性をさらに強いものとしている。

- 条件が許せば、廃棄物の発生場所あるいは中間貯蔵場所の近隣に処分場が求められる。これは、輸送に伴う被曝、リスクおよび費用等を回避できるため、合理的なオプションとなり得る。

- 浅地中処分方式では、コンクリートピット等の人工構築物を備えた処分施設が素掘りトレンチ処分施設より優先されるようになってきている。これは、必ずしも安全性のみの要求からでなく、パブリックアクセプタンス（PA）の観点からの要求でもあったと考えられている。

- 低レベル放射性廃棄物の処分場に関しては、一部で分散立地の傾向がみられる。特に、短寿命の放射性廃棄物は、比較的短い期間の隔離を確実に行えば、放射能が減衰して放射線の影響がきわめて低いレベルになるため、処分場立地の自由度が大きいと考えられる。

6. 最新の情報の入手方法

低中レベル放射性廃棄物の処分は、処分の方策／概念の検討、安全規制方策／基準の検討、処分場の設計／立地／建設／操業に関する許認可申請および実施という手順で一般的には進行する。各段階で着目される事項は、処分対象廃棄物の発生量、放射能濃度、核種組成、処分の深度、処分場（候補地）の水文地質条件、人口密度、土地の利用状況、周辺環境条件、立地に係る広報、処分場の設計と処分費用見積、廃棄物の輸送条件等である。国際会議等で報告される論文ではこれらの情報が断片的にとりあげられる場合が多く、また、国によっては情報がきわめて少なく、全体の概況を把握することは必ずしも容易ではない。特に、処分場の準備段階では、状況が変化しつつある時間の流れの中で理解する必要がある。

定期的にこのような情報を提供している資料としては、文献^{2),4)}等（ツーソンWM会議論文集^{7),9)}、の他に、日本原子力産業会議編集発行の「原子力年鑑」各年版等がある。

ここに紹介している処分の実施あるいは準備を担当している機関²⁹⁾、あるいは国の安全規制当局等³⁰⁾のいくつかはインターネットにホームページを公開しており、最新の情報がかなり早く得られる場合もあると考えられる。また、各国の概況をまとめて紹介しているもの³¹⁾や、米国の低レベル放射性廃棄物新規処分場の最新の立地状況を報告しているもの³²⁾もみられる。

原子力環境整備センターが四半期ごとに刊行している「原環センタートピックス」でも海外の状況が特集的に紹介されている。

6. ま と め

低中レベル放射性廃棄物の処分に対して、浅地中処分から深地層処分まで、幅広い処分方式が適用あるいは予定されている。しかしながら、基本的な安全基準はICRP等の権威ある国際機関の勧告に拠っており、安全性が確保され

る範囲における処分サイトの立地選定および施設設計の違いと考えられる。基本的には、陸地における処分サイトは、それぞれ、地質、地下水、気候等の条件が異なり、個々のサイトの固有の条件を基に処分施設が設計されることとなる。同じような施設形態でも、放射性核種の閉じ込めのバリアとして用いられる人工バリア、天然バリアの組合せは、処分場ごとに最適なものが検討・採用され、その結果、各国で行われている処分の深度や施設形態には多様性がみられる。

現在は、すべての低中レベル廃棄物（短寿命廃棄物および長寿命廃棄物）の処分が行われているわけではなく、主として長寿命核種の含有量が有意でない低レベル廃棄物（最も量が多い）に対して定常的な処分が行われている過渡的な段階と考えられる。いずれは長寿命廃棄物を含めた低中レベル放射性廃棄物の処分が必要となり、浅地中よりも深い位置への処分も、さらに多くの国で行われるようになると考えられる。

文 献

- 1) IAEA, Classification of Radioactive Waste, Safety Report Series No.111-G-1.1, 8-18 (1994)
- 2) 日本原子力産業会議, 「原子力発電, 核燃料サイクル廃棄物管理の現状—IAEA'95イヤーブックから」, 原子力資料, No.288, 85-86 (1996)/ 原文: IAEA, IAEA Yearbook 1995 Part C—Nuclear Power, Nuclear Fuel Cycle and Waste Management, IAEA, Vienna (1995)
- 3) DOE/LLW-60T, Conceptual Design Report Alternative Concepts for Low-Level Radioactive Waste Disposal, National Low-Level Radioactive Waste Management Program (1987)
- 4) Cerven, F.: Evaluation of Alternatives to Shallow Land Burial at the Radioactive Waste Management Complex, WM '88, Vol. 1, 1031-1046 (1988)
- 5) Hedman, T.: An Underground Repository for Radioactive Waste in Sweden, *ibid.*, 853-859 (1988)

- 6) BNFL : Future Vault Design Work, The Drigg Low-Level Waste Site, 8-9 (1991)
- 7) OECD/NEA : Update on Waste Management Policies and Programmes, Nuclear Waste BULLETIN, No. 11 (1996), No. 10 (1995), No. 9 (1994)
- 8) Gerton, R. E. et al. : Storage/Disposal Strategies in UN Member States, WM '95, Session 19-3 (1995)
- 9) ENS : Nuclear Europe Worldscan, World Nuclear Status Report '95 (1996), '94 (1995), '93 (1994), '92 (1993), '91 (1992)
- 10) Pahissa-Campa, J. et al. : Argentine Experience Related to the Final Disposal of Low Level Wastes, WM '93, Vol. 1, 137-141 (1993)
- 11) Pschoa, A. S. et al. : Waste Management in Brazil : Basis to Build the Final Repository for the Radioactive Waste from the Goiania Accident, WM '92, Vol. 1, 133-138 (1992)
- 12) Nachmilner, L. : Waste Acceptance Criteria for Shallow Land Repositories, WM '93, Vol. 1, 377-379 (1993)
- 13) Nachmilner, L. : An Overview of Czechoslovak Approach to Radioactive Waste Management, WM '93, Vol. 1, 143-145 (1993)
- 14) Zhangru, C. : Site Characterization of Disposal Site for Low and Intermediate Level Radioactive Waste in China, SPECTRUM '96, Vol. 1, 101-103 (1996)
- 15) Hrkonen, H. T. : LLW Management by Finnish Power Companies, WM '87, Vol. 3, 33-37 (1987)
- 16) Tusa, E. H. et al. : Practice to Minimize Nuclear Waste Amounts in Loviisa NPS, *ibid.*, 23-26 (1987)
- 17) Brennecke, P. et al. : Final Disposal in Germany, *Kerntechnik*, 59, (1-2), 23-27 (1994)
- 18) Pellet, S. et al. : Status of the Radioactive Waste Program in Hungary, WM '93, Vol. 1, 155-157 (1993)
- 19) Vera, A. : Laguna Verde Station Approach to Nuclear Waste, WM '93, Vol. 1, 121-125 (1993)
- 20) Sorlie, A. : Final Disposal of Low and Intermediate Level Waste, The Norwegian Concept : A Combined Storage and Disposal, WM '96, Session 10-7 (1996)
- 21) Fink, K. : Radioactive Waste Management in Slovenia, WM '96, Session 24-5 (1996)
- 22) Salzer, P. : The Disposal Facility Mochovce — Status and Issues, WM '95, Session 17-49 (1995)
- 23) Moore, P. F. and Hambleton-Jones, B. B. : Planning and Operation of Vaalputs — The South African National Radioactive Waste Management Facility, Extended Synopses 67-68, IAEA-SM-341 International Symposium on Experience in the Planning and Operation of Low Level Waste Disposal Facilities (1996)
- 24) Carlsson, L. S. : The Swedish Final Repository — SFR for Low and Intermediate Level Radioactive Waste, WM '93, Vol. 1, 151-154 (1993)
- 25) Bergman, C. et al. : Shallow Land Disposal of Low Level Wastes in Sweden : Principles and Applications, Proceedings of IAEA-SM-303 : Management of Low and Intermediate Level Radioactive Wastes 1988, Vol. 2, 176-178 (1989)
- 26) Rometsch, R. et al. : Swiss Projects for Geological Disposal of LLW/ILW in Mined Caverns, WM '86, 47-53 (1986)
- 27) Kowalski, E. et al. : Status of the Swiss Underground L/ILW Repository Wellenberg after the Negative Vote of the Canton, Extended Synopses 76, IAEA-SM-341 International Symposium on Experience in the Planning and Operation of Low Level Waste Disposal Facilities (1996)
- 28) Liu, T. D. S. and Chiou, S. -T. : Regulatory Control of Low Level Radioactive Waste in Taiwan, SPECTRUM '96, 141-146 (1996)
- 29) たとえば, 英国 NIREX ホームページ, <http://www.nirex.co.uk/>
- 30) たとえば, 米国 NRC ホームページ, <http://www.nrc.gov/>
- 31) たとえば, Phil Richardson, Virtual Repository of Radwaste Information, <http://www.publicshelter.com/richardson/index.html>
- 32) <http://www.acuri.com/nationalsiting.html>
- 33) たとえば, 阪田貞弘 : 米国の放射性廃棄物処分に關する状況, 原環センタートピックス, No. 1 (1986)