解	説
---	---

TRU 廃棄物の処理処分

森 山 昇^{*1}

(1988 年 10 月 13 日受理)

Management of TRU Waste

Noboru MORIYAMA^{*1}

KEY WORDS : TRU waste, treatment, disposal concept, shallow land burial, geologic formation

1. はじめに

超ウラン元素を含む TRU 廃棄物は、現在は発生量、発生場所が限られており、当面は十分安全に貯蔵できるものの、今後、民間再処理工場の運転、プルトニウム燃料利用が本格化するにつれ、発生量の増加が見込まれるものであり、処理処分対策の推進が必要である。

低レベル廃棄物および高レベル廃棄物の処理処分については、すでに方針も決っており、各国のコンセンサスも得られている。具体的にいえば、低レベル廃棄物の場合、減容処理等を実施し、固化安定化を行った後浅地中に処分する方針である。一方高レベル廃棄物の場合、ガラス固化を行った後深地層に処分する方針であり、それぞれの処分概念も具体的に固まりつつある。しかしながら、TRU 廃棄物は性格的に低レベル廃棄物に近いものもあれば、また高レベル廃棄物に近いものもあり、処理処分の観点からみて、低レベル廃棄物および高レベル廃棄物との相違を明確にすることは難しい。強いていえば、処理面では低レベル廃棄物に用いられている方法が適用でき、処分面では一定量以下の TRU 核種を含むものは浅地層処分概念の適用が可能である。一定量以上の TRU 核種を含むものは浅地層処分以外の処分概念を考

えるのが通常の考え方であり、その処分概念もいまだはっきり固まっていない。このように TRU 廃棄物は、その性格付けがあいまいであり、処理処分法もコストとベネフィットの最適化、すなわち経済性と安全性のバランスで考えなければならない性格のものである。

なお、ここでいう TRU 廃棄物とは TRU 核種を含む廃棄物でかつ再処理施設から発生する高レベル廃棄物以外の廃棄物および MOX 燃料加工施設から発生する廃棄物を念頭に置いている。

2. TRU 廃棄物の処理

TRU 廃棄物は、放射線レベルは低く、発熱量も少ないものの、長半減期の TRU 核種を含むものであり、また放射性廃棄物の性状も多様で種類も多く、現状における試算によれば、再処理施設の場合、高レベル廃棄物に対し 20 倍程度とかなり発生量が多いという特徴を有している。したがって TRU 廃棄物の処理に関しては、発生量の低減化（除染などによる TRU 核種の分離除去または分離回収）、減容、長期にわたって安定な固化法の開発が重要な課題である。このような観点から再処理施設および MOX 燃料加工施設で実施されている処理法の現状について述べる。

2-1. 再処理施設からの廃棄物

(1) 廃 AgX 吸着材

仏国 UP-2 では封缶処理を、UP-3 ではセメント固化を行う予定である。

(2) アルカリ濃縮廃液

UP-3 では高レベル廃棄物に含めガラス固化を予定し

*1 日本原子力研究所東海研究所環境安全研究部；茨城県那珂郡東海村（〒319-11）

Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai Research Establishment, Department of Environmental Safety Research; Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11.

ている。

(3) 低レベル濃縮廃液

UP-3 ではアスファルト固化を、西独 WA-350 および英国 THORP ではセメント固化を採用する予定である。その他西独ではセラミック固化の、わが国では水熱固化の研究がなされている。

(4) 廃溶媒

ドデカンと TBP を分離する方法は化学分離法と蒸留法に分類され、蒸留法に関してはアイダホ、マルクール、サバンナリバーで実用規模のプラントが建設された。化学分離法はカールスルーエ、ユーロケミックで実用化されている。西独では乾留法の研究が、我国では高压酸素、過酸化水素、リン酸等による湿式酸化分解法の研究および液中燃焼による研究が行われている。

(5) 廃イオン交換樹脂

UP-3 ではアスファルト固化を、THORP ではセメント固化を行う予定であり、研究としては乾留、焼却、湿式酸化、酸消化等が実施されている。

(6) ハル・エンドピース

UP-3, THORP ではセメント固化を予定している。その他フランスでは溶融塩除染法を、西独およびベルギーでは高圧縮法を、スウェーデンでは熱間静水加圧法(HIP)を、米国ではインダクトスラグ溶融法および深冷破碎法を、わが国ではHIP法、深冷破碎法、エレクトロスラグ法を研究開発している。

(7) 可燃性雑固体

可燃性廃棄物の処理は焼却が主流で、国内外の原子力施設において実規模で運転されている。米国に於ては、ロス・アラモス研究所で空気調整式焼却が 45 kg/h のホット運転で 1979 年より行われており、ロッキーフラットでは炭酸ナトリウムを流動媒体とした流動層焼却が容量 82 kg/h で稼動している。マウンド研究所では、サイクロン式焼却の実証装置 (27 kg/h) で微量プルトニウム含有廃棄物を焼却している¹⁾。英国 BNFL では 1973 年以来、処理量 5 kg/h の抑制燃焼方式のパイロット焼却炉が運転されている¹⁾。ベルギー SCK/CEN では 50 kg/h の高温スラグ焼却プロセスを、ユーロケミックでは酸消化 (ALONA) 法を採用している。

(8) 不燃性雑固体

UP-3, THORP ではセメント固化を予定しているが、その他に高圧縮処理、切断技術の開発、溶融法の開発 (マイクロ波溶融, エレクトロスラグ溶融) が行われている。

2-2. MOX 燃料加工施設からの廃棄物

(1) フィルター

木枠とメディアに分解し、木枠は焼却処理し、メディアは圧縮または溶融処理を行っている。また、そのまま専用容器に収納貯蔵している場合もあり、圧縮処理後セメント固化している場合もある。

(2) 可燃性雑固体および不燃性雑固体

再処理施設の場合と同様である。

(3) ダーティスクラップ

動燃のプルトニウム燃料研究棟では回収したスクラップは、焙焼還元して粉碎し分析後、混合工程にリサイクルしている。

また動燃で建設した PWTF (Plutonium Waste Treatment Facility) では、金属類は金属溶融設備でインダクトスラグ溶融を、可燃物は可燃物焼却設備で焼却を、難燃物は酸消化またはサイクロン焼却炉で焼却を、焼却灰はマイクロ波で溶融を実施している。PWTF の基本工程を第 1 図に示す²⁾。

3. TRU 廃棄物の処分

原子力委員会、放射性廃棄物対策専門部会は昭和 60 年10月 8 日付「放射性廃棄物処理処分方策について」の「TRU 核種を含む放射性廃棄物」の項にて、TRU 廃棄物の処分方策に関し次のように述べている。

(1) TRU 核種の特徴は、その多くが極めて長い半減期を有するということである。このため、TRU 核種を多く含む放射性廃棄物の処分に当たっては、ベータ・ガンマ核種を専ら含む低レベル放射性廃棄物の処分の場合のように、比較的短い時間で放射能が減衰することを前提とした安全確保の考え方を適用することが困難である。しかしながら、TRU 核種を含む放射性廃棄物についても、含まれる核種、その放射能レベル等を勘案して、適切な区分を行い、その区分に応じた合理的な処分方法を採用することが重要である。

(2) TRU 核種の濃度等があるレベルを超える廃棄物の処分に当たっては、適切な天然バリアの層をとること、長期間にわたって堅固に存在する人工バリアを採用することなどの手段を講じた地層処分を行うことによって、後世代の人々が廃棄物に直接的かつ持続的な関与、接触を行う可能性が無視できるようにすることが考えられる。

また、TRU 核種の濃度等があるレベルを下回る廃棄物は、処分する固化体の性状、人工バリアの強固さなどが廃棄物と人間とを隔離する上でどのような効果を持つかにつき十分評価した上で、浅地中処分等の合理的な処分を行うことも可能と考えられる。

(3) 以上のような区分、処分方法等について、今後所要の研究開発および評価を進め、国際的な動向を見極め

第1図 PUTF の基本工程

ながら、TRU 核種を含む放射性廃棄物の具体的な処分方策を、実態に即して確立して行く必要がある。

また、TRU 核種を含む放射性廃棄物の中の TRU 核種を測定・評価するための技術の研究開発を一層推進する必要がある。

このように TRU 廃棄物の処分については、TRU 廃棄物を適切に区分し、その区分に応じた合理的な処分方法を採用し、処分の安全性を確保することが重要である。処分の安全性を評価するには処分環境における TRU 核種の移行挙動を把握する必要がある。地中の地下水に伴われる核種の移行式は、基本的には下記の分散方程式で表される。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{D}{R_d} \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} - \frac{V_w}{R_d} \frac{\partial C}{\partial Z} - \lambda C$$

C : 核種濃度

D : 分散係数

$$R_d : \text{遅延係数} = 1 + \frac{\rho_b \cdot K_d}{\varepsilon}$$

ρ_b : 見かけ密度

K_d : 分配係数

ε : 間隙率

V_w : 平均間隙流速

λ : 崩壊定数

Z : 流れ方向にとった距離

t : 時間

このように核種の移行を把握し、処分の安全性を評価することにより、一定濃度区分の TRU 廃棄物を処分している処分方式の妥当性の判別が可能となり、合理的な処分概念および濃度区分値の確立が期待できる。

諸外国のうち、代表的な国の TRU 廃棄物を中心とした処分の現状を以下に述べる。

3-1. 米 国

米国においては、放射性廃棄物を発生機関に応じて軍用廃棄物(Defense Waste)と商業用廃棄物(Commercial Waste)に分類し、前者はエネルギー省(DOE)管轄機関、連邦政府機関および軍関係施設等から発生し、後者は原子力発電所や核燃料サイクル施設等から発生する。現在 TRU 廃棄物は、ほとんど軍用廃棄物に属するものであり、DOE の管轄下に置かれている。カーター大統領の政策以来、商用再処理工場はすべて閉鎖または計画中止となり、商業用廃棄物に属する TRU 廃棄物は現在ほとんど発生していない。また 1985 年の低レベル放射性廃棄物政策法の改正法において、浅地層処分に適さない廃棄物の処分は、DOE が責任を持つとされたので、

第1表 USNRC における陸地処分の考え方

項 目	分 類		
	A (Segregated Low Activity)	B (Stable Waste)	C (Intruder Protection Waste)
パッケージの条件	廃棄物の化学性以外、包装の厳しい条件はなし。ただし、B、Cとは区別して処分。	<ul style="list-style-type: none"> ・約 4 kg/cm² の圧力に対する変形が 5 % 以内であること。 ・水の含有量が 1 % 以下であること。 ・固化体の耐久性が 150 年はあること。 ・パッケージ内ボイドを最小限にすること。 	同 左
処分場条件	構造物の条件特になし	2 m 以上の土かぶりの処分場へ処分	バリアを補強した処分（5 m 以上の深さまたはそれに相当する処分） バリアの耐久性は 500 年
モデル	侵入者の 100 年後の農耕—建設モデル (main.)	侵入者の 100 年後の建設モデル (sub) と侵入者の 500 年後の農耕—建設モデルの厳しい方。	侵入者の 500 年後の農耕—建設モデル
被曝限界	NRC が濃度規制のために用いた値	500 mrem/year 全身・骨 1500 mrem/year 甲状腺 (INVERSE-code を使用)	

米国官報 47-FR-57446 (1982. 12. 27)

NUREG-0782 (EIS) (1981) : 地下水汚染、火災による大気中移行等のコードが、別途処分量決定のためのコードとして用意されている。

TRU 廃棄物の処分は、DOE で行われることになった。

1970 年以前においては、超ウラン元素を含む廃棄物は低レベル廃棄物とともに浅地中に埋設されていた。しかしながら、1970 年当時の米国の原子力委員会 (AEC) は、超ウラン元素の長寿命性および放射能毒性を考慮して、超ウラン元素をある濃度以上含有している危険性のある廃棄物は、他の低レベル廃棄物と区別してパッケージ化し、最終処分法が確立するまで少なくとも 20 年以上再取出し可能な状態で貯蔵すべきであると決定した。1974 年、10 nCi/g 以上の超ウラン元素を含む廃棄物の浅地中処分の禁止を提案した。ここで 10 nCi/g とは、土壌中に存在する ²²⁶Ra 濃度をもとに、²³⁹Pu 濃度に換算して得られる値である。

しかしこの区分値がコスト面から非常に厳しい値であるとされ、DOE は 1987 年に浅地中処分の制限値を 10 nCi/g から 100 nCi/g に引上げる DOE オーダー 5820 を発表した。原子力規制委員会 (NRC) は、この値を 10 CFR61 として採択した。現在 TRU 廃棄物として、環境保護庁 (EPA) の 40CFR191 において以下のように定義されている。

「TRU 廃棄物とは半減期が 20 年以上の α 線放出の超

ウラン元素がグラム当り 100 nCi 以上含む廃棄物を意味する。しかし次のものは除外する。(1)高レベル廃棄物、(2)DOE が EPA の賛同を得て、ここで必要とされる隔離の程度を必要としないと決定した廃棄物、(3)NRC が 10 CFR 61 に従った基準のもとに処分が認可された廃棄物。」

10CFR61 において、100 nCi/g 以下の超ウラン元素を含む低レベル廃棄物の浅地中処分可能な放射能濃度について規定されている。これによると低レベル廃棄物は含有する放射性核種と濃度に応じ、A、B、C に分類され、それぞれについて第1表のような処分方式が規定されている。

この場合の処分後に受ける被曝線量限度は、侵入者については 500 mrem/y、サイト境界居住者については 25 mrem/y であり、処分後の管理期間については、クラス A および B 廃棄物では 100 年間、クラス C 廃棄物では 500 年間である。

100 nCi/g を越えるいわゆる TRU 廃棄物については、パッケージの表面線量率により 2 mSv/h 以下のものを Contact Handling TRU 廃棄物、2 mSv/h 以上のものを Remote Handling TRU 廃棄物に分け、これらをニ

第2図 WIPP 施設レイアウト

ューメキシコ州カールスバットの東方 40 km の所にある WIPP (Waste Isolation Pilot Plant) 施設³⁾に処分する予定で、本年後半に試験的処分を実施する予定である。WIPP は地下 660 m の岩塩層内にあり、そのレイアウトを第2図に示す。

3-2. 英 国

英国では、TRU 廃棄物は再処理工場、MOX 燃料加工工場および兵器生産工場から発生している。現在操業中の再処理工場は、Sellafield にある英国核燃料公社 (BNFL) の B-205 (天然ウラン燃料用) と Dounreay にある英国原子力公社 (UKAEA) の MTR FRED プラント (MTR 燃料用) および FBR FRED プラント (FBR 燃料用) の3工場である。1990年にはBNFLのTHORP (濃縮ウラン燃料用) 工場が Sellafield に完成する予定であり、この工場は主として海外顧客用として使用される。MOX 燃料加工工場については、Sellafield にある BNFL の工場が操業中である。

放射性廃棄物は α および β - γ 放射能に基づき、極低レベル、低レベル、中レベルおよび高レベルの4つのカテゴリーに分類されている。英国では、TRU 廃棄物という名称は使用されておらず、 α が 4 GBq/ton 以下、 β - γ が 12 GBq/ton 以下のものを低レベル廃棄物とし、それ以上の放射能濃度を有し、かつ発熱の考慮をしなくてよいものを中レベル廃棄物と称している。したがっていわゆる TRU 廃棄物の下限値は 4 GBq/ton ということになろう。第2表に英国における廃棄物の区分を示す。

英国エネルギー省 (UKDOE) によって提案されてい

る英国の政策は、それぞれの廃棄物がそれに最も適切な方法で処分されることであり、このため広範囲にわたって処分場を調査選定している。この中から5つのオプションを対象とし、低中レベル固体廃棄物についての最良で実際の処分環境オプションの事前評価を行った。評価したオプションは、深海洋処分、浅地層処分、深部空洞処分、海洋底下ボアホール、深地層処分であり、浅地層処分において、中レベル廃棄物として α で 0.01 TBq/m³、 β - γ で 10 TBq/m³ と仮定している。また深部空洞処分において中レベル廃棄物の上限値として β - γ で 740 TBq/m³ または 100 W/m³ の発熱量としている。

政府の方針では、低レベル廃棄物は可能な限り早急に処分すべきであり、極低レベル廃棄物は土盛りした処分サイトに、低レベル廃棄物はドリグ処分場で厳密な管理のもとに処分を実施するとしている。ドリグ処分場は主として BNFL で発生する廃棄物を処分しており、処分方法の改良のための研究開発がなされているので、21世紀に入っても BNFL およびその他の機関の廃棄物も十分受入れ可能としている。

中レベル廃棄物は現在貯蔵されているが、貯蔵施設の増加を避けるため早急に処分場を選定する必要がある。原子力産業放射性廃棄物管理公社 (NIREX) では目下全力を挙げて深地層処分場の調査選定を行っており、この処分場は低レベル廃棄物も同様に受入れ得るように配慮されている。このため3つの処分概念、すなわち陸地における深地層処分、陸地から通じる沿岸の海洋底下処分および沖合の施設から通じる沿岸の海洋底下処分を提案

第2表 英国における放射性廃棄物の分類

極低レベル廃棄物 (VLLW)	Radioactive Substances Act 1960によって許可された処分場に処分することを要しない、生活廃棄物と共に処分できる (dustbin disposal) $\beta/\gamma < 400$ kBq で体積が 0.1 m^3 未満、またはアイテム当りの β/γ が 40 kBq 未満の物
低レベル廃棄物 (LLW)	VLLW より高いが、 $a < 4 \text{ GBq/ton}$, $\beta/\gamma < 12 \text{ GBq/ton}$ の物
中レベル廃棄物 (ILW)	LLW より高く、HLW よりも低い物
高レベル廃棄物 (HLW)	放射能に起因する温度上昇が著しい物

(注) 1986年6月12日の命令によって、下記の放射性廃棄物の処分に関しては、1960年放射性物質法の規制要求は免除されることになった。

- ① 0.4 Bq/g ($10^{-5} \mu\text{Ci/g}$) を超えない固体廃棄物 (密封線源を除く)。
 - ② C-14 または H-3、もしくはこの両方を含む有機廃液であって、 0.4 Bq/ml ($10^{-5} \mu\text{Ci/ml}$) を超えないもの。
 - ③ 半減期が 100 秒を超えない気体。
- この命令は、1986年7月14日に発効した。

している。1987年11月に“The Way Forward”⁴⁾と題する出版物を発行し、これらの処分に関して国民の意見を徴集している。今後の予定としては、上記意見を集約し、NIREXとしての考え方を政府に提出することになっている。

3-3. フランス

フランスは原子力発電設備容量として 44 GWe を持つ世界第2位の国である。また核燃料サイクル施設を持つ数少ない国の一つであり、核兵器所有国としての歴史も古く、これらを支援するための研究開発機関も充実している。

このような事情から放射性廃棄物の発生量も多い。したがって 1969年にラ・アーク再処理工場に原子力庁の廃棄物のうちの低レベル廃棄物の少量を粘土質土壌中に掘削して素掘りトレンチに埋設することを開始して以来、浅地中埋設による処分に頼っている。その後ラ・アーク再処理工場から分離してラ・マンシュ貯蔵センターとなり、運営主体も当初の原子力庁から 1979年に新設された国立放射性廃棄物管理機関 (ANDRA*) に移管された。このラ・マンシュ貯蔵センターでの TRU 核種の受入れ基準は次のとおりとなっている。すなわち、サイト全体の平均の TRU 濃度は 0.37 GBq/ton 以下であ

第3図 フランスにおける USVL の研究サイト

り、パッケージごとの最大 TRU 濃度は 3.7 GBq/ton 以下である。また例外的に最大 TRU 濃度 18.5 GBq/ton を認めていたが、最近の廃棄物には適用されないようである。これらの数値の決定は、公衆の 70 年間の線量預託から算出されている。しかしながら、ラ・マンシュ貯蔵センターも近い将来には受入れ限度に達するので、これに続く処分場として Centre de L'Aube 計画が進んでいる。

上記の受入れ基準を上廻る TRU 廃棄物は、高レベル廃棄物と同一のサイトで深地層処分される方針である⁵⁾。このため長期的に安定で好ましい水文地質を有する粘土層、花崗岩、片岩、岩塩の主要な 4 種類について調査を行い、将来可能な処分場として選定し得る約 30 個所のサイトからそれぞれの地層に対応する代表的な 4 サイトを選定し、(第3図参照)技術的なフィジビリティ、経済性の検討、予備的な安全性評価を行うため、それぞれのサイトに USVL (Underground Site Validation Laboratory) を建設する。現在までの調査を以下に示す。

(1) Aisne (粘土) : 150 km に及ぶ高感度な地震調査を行いそのために 250 本のボアホールを掘った。

(2) Deux-Sèvres (花崗岩) : 1500 km の範囲で浮遊性放射能の測定を行った。

(3) Maine-et-Loire (片岩) : 13 km に及ぶ地中の磁気抵抗、電気抵抗および極低周波測定を行った。

(4) Ain (岩塩) : 比重の測定により西方の岩塩底の終点を確認した。また地表から帯水層の詳細な調査を行った。

* Agence Nationale pour la Gestion des Dechet Radioactifs.

第4図 ゴアレーベン処分場

処分スケジュールに関しては、1996年から2000年の間に高レベル廃棄物の地上貯蔵施設の建設を行う。TRU 廃棄物の処分開始は2000年から、高レベル廃棄物の処分は2010年から予定されている。

3-4. 西ドイツ

連邦政府は1965年に廃棄物を岩塩に処分する方針を打出し、Asse 岩塩鉱を購入した。1974年には再処理を含めた燃料サイクル構想と廃棄物処分概念を一緒にした Integrated Nuclear Fuel Cycle Center を提案し、再処理施設と廃棄物処分場を同一サイトに設立する構想を打出した。1977年には Gorleben を最初に検討するサイトとし、再処理は DWK* が、処分場は PTB** が許可を申請することとなった。しかしながら1979年には、再処理に関するプロジェクトは当分見合わせるべきとし、上記 Center を Concept に変更し、個々の燃料サイクル事業を種々のサイトで実施し得るように配慮した。その後の結論として、(1)DWK は2000年までに処理量 350 ton/y の再処理施設を Wackersdorf に建設することとし、この施設には廃棄物処理施設を付属させ、処分可能な形態に処理する、(2)Gorleben がすべての廃棄物の処分場に適している否かの調査を行う。地表面からの調査は終了し、目下2本の縦坑を掘って地下の調査を実施中である、(3)Asse 岩塩鉱は Gorleben の実現に必要な開発を実施する施設として使用する。一部を処分場として使用するか否かは1989年頃決定する、(4)非発熱性廃棄物の処分場として廃鉱となった Konrad を使用する認可申請を行う、(5)使用済燃料を直接処分するためのフィージビリティ調査を行い、使用済燃料の直接処分

* Deutsch Gesellschaft für wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen.

** Physikalisch-Technische Bundesanstalt.

第5図 コンラッド処分場概念図

をどの程度適用すべきかの検討を行う。

このように放射性廃棄物の処分は、Gorleben および Konrad で処分される予定であり、分類は非発熱性か発熱性かで区別している。Gorleben 処分場では発熱性、非発熱性のすべての廃棄物が対象であり、Konrad 処分場では非発熱性廃棄物のみを対象としている。

Gorleben における処分の概念を第4図に示す。発熱性廃棄物は300~600 mの深さのボアホール (BT) へ処分する。他の非発熱性廃棄物は放射能レベルに応じて、トップローディングチェンバー (AT)、遠隔積上げ (ST)、投込み (VT) 技術で処分する。

Konrad 処分場の概念を第5図に示す。廃棄物は40 m²の断面積を持つ貯蔵室に積み上げられる。

なお Gorleben は岩塩であるが、Konrad は魚卵状石灰岩である。

西ドイツでなされている安全性評価は⁶⁾、処分する廃棄物の総量と全放射能の考慮を第一としており、TRU 濃度の上限値は臨界管理面から決定される。安全性評価を行う場合、個人の受ける被曝量は、如何なる時点においても0.3 mSv/yの制限値を越えてはならないとしている。また処分した廃棄物のバリア系は1000年間放射能を完全に閉じ込めていることが必要であるということをも前提としている。

3-5. スイス

1980年、連邦原子力施設安全委員会 (KSA) および連邦エネルギー省原子力安全部 (HSK) による指針には、処分場の果すべき防護目的として以下のように規定されている⁷⁾。

一処分場は数年以内に閉鎖され得よう設計されなけ

第6図 スイスにおける廃棄物管理の概要

ればならない。閉鎖後は安全措置、監視措置の不必要なものではなければならない。

一現実的に認容し得る過程およびでき事によって閉鎖した処分場から生態圏へ到達する放射性核種は、如何なる場合にも個人に 0.1 mSv/y を越える被曝を与えてはならない。

現在原子力発電プラント 5 基 $3,000 \text{ MW}$ が稼動中であり、全発電量の約 40% を占めている。廃棄物管理の仮定として、今後 25 年間で原子力発電量が 2 倍になり、各発電プラントが 40 年間稼動するとする。その結果 240 GWe・年の発電量となり、使用済燃料をすべて再処理するという現在の方針が維持されるならば、 $1,200 \text{ m}^3$ のガラス固化体が発生する（再処理は現在すべて海外に委託している）。

高レベル廃棄物はいまだ 6% 程度しか生じていないが、処理および中間貯蔵計画によると、高レベル廃棄物の処分場を 2020 年頃までに用意せねばならず、また 2020 年が処分開始の目標となる年である。低中レベル廃棄物については、1995 年以降に処分開始が考えられている。スイスにおける廃棄物管理の流れを第 6 図に示す。

放射性廃棄物は適当な地層に処分される予定であり、三つの型の処分場が考えられている。

① A タイプ処分場

地表面近傍の洞くつで、100 年間の隔離期間を必要とする廃棄物を対象とする。

② B タイプ処分場

低中レベル廃棄物を対象とする。必要な隔離期間は

1000 年間で、地下数 100 m より浅い深地層中の適当な洞くつである。

③ C タイプ処分場

深さ 600~2,500 m の深地層における洞くつまたは掘削穴で、隔離期間を 10,000 年以上とする。

上記の三つの処分概念のうち、現時点で必要とされる概念は、高レベルおよびある種の TRU 核種を含有する中レベル廃棄物のための C タイプ処分場と、上記以外の中レベルおよび低レベル廃棄物のための B タイプ処分場である。A タイプ処分場が必要となる否かの決定は、B タイプ処分場に対するプロジェクトが終了するときに行う。

3-6. ベルギー

ベルギーにおける TRU 廃棄物の発生源は主として次の 3 カ所である。

① Mol-Dessel にあり、軽水炉および高速炉用の燃料の製造加工を行っている Belgonucléaire 社の MOX 燃料製造加工施設および通常の軽水炉燃料を製造している FBFC 社である。

② Mol-Dessel にある以前のユーロケミック再処理施設で、現在ベルゴプロセス社の管理下におかれ、再処理再開か否かの決定が下りるまで待機状態にある。

③ 発電炉からの使用済燃料の再処理は、原則としてフランスの COGEMA 社のラ・アーグプラントに委託されることになっており、いわゆる返還廃棄物が将来返還されることになっている。

1981 年の王令によって設立された放射性廃棄物と核

第3表 廃棄物の分類

分 類	核 種 含 有 量		略 称	主発生源
	半減期30年程度までの β/γ	長寿命と α		
A	低	極低か、なし	LLWnon- α	全 部
B	な し	顕 著	α -waste	燃料加工
	顕 著	顕 著	MLW- α	再 処 理
C	高	高	HLW- α	再 処 理

第4表 処分方式による分類

処分方式	分 類	略 称	処理廃棄物の濃度 (Ci/ton)		備 考
			β/γ	α	
非地層処分	A	LLWnon- α	$\leq 10^{-1} \sim 1$	$\leq X_{ja}$	X_{ja} は追って決定 将 来
廃棄物 (NGW)	B	α -waste	$\leq 10^{-1} \sim 1$	$X_{ja} \leq 2$ (又は $\leq 10^{-2}$)	
地層処分	B	α -waste, MLW- α	$1 \leq \leq 10^4$	> 2 (又は $> 10^{-2}$)	
廃棄物 (GW)	C	HLW- α	$> > 10^4$	$> > 2$

第7図 モルにおける地下実験施設

分裂性物質のための国家機関 (NIRAS/ONDRAF) は、1985年にその総合計画の一環としてベルギーの放射性廃棄物の推計を初めて実施した。そこで用いられている放射性廃棄物の分類を第3表および第4表に示す。第5表中の分類Aは、低レベル廃棄物であって第6表中の α 放射能濃度下限値 (X_{ja}) を超えないものである。 X_{ja} の値は浅地層処分の安全性検討を待って確定するものである。分類Bは α 廃棄物と中レベル廃棄物からなり、分類Cは高レベル廃棄物である。第6表は処分方式による分

類である。この表では分類Bをさらに二つに分けて、地層処分以外の処分方法を適用する廃棄物 (非地層処分廃棄物) と地層処分廃棄物としている。

処分概念を上記分類に従って地層処分以外の処分方式と地層処分とを考えている。低レベル廃棄物と α 放射能濃度の低い廃棄物は 1982 年まで海洋投棄で処分されていたが、1984 年からは浅地層埋設による処分方式が精力的に開発されている。NIRAS/ONDRAF は原子力研究所 (SCK/CEN) 等の協力を得て、サイト探索と安全解

析評価手法の開発を進めている。高レベル廃棄物、中レベル廃棄物、 α 廃棄物等の地層処分廃棄物に対しては、他の国で処分地層の候補に挙げられている岩塩層、花崗岩等の地層はないが、モルを含むベルギー東北部の地下に存在するボーム粘土層内への処分が考えられている。ベルギーの地層処分計画は、高放射能処分実験サイト (HADES) と呼ばれ⁸⁾、モル原子力研究所のサイトのボーム粘土層に建設された地下実験所にて研究開発がなされている。研究開発および試験の概略は次のとおりである。

i) 種々の廃棄物パッケージ (固化材, 容器, キャニスター) および構造材 (コンクリート, 鉄) の粘土環境における腐食。

ii) 放射性核種, 腐食生成物, 放射線分解生成物およびその他の変成物の粘土との地質化学的反応および粘土中での移行。

iii) 地下構造に関連した地質力学的研究。

iv) 掘削孔および空隙の密封及び埋戻し技術の研究。

地下実験所の概略を第 7 図に示す。この研究開発は、1994 年まで実施され、1995 年から実廃棄物を用いた試験が予定されている。処分の実施は 2020 年から予定されている。

4. ま と め

TRU 廃棄物処理処分の現状について簡単に述べた。処理に関しては、発生量の低減化, 減容, 長期的に安定な固化に関する研究が重要である。処分に関しては、区分を行い区分に応じた合理的な処分概念を確立することが重要である。ここでいう区分とは、浅地層処分が許容される TRU を含む廃棄物中の TRU 濃度の上限値を指している。したがって、浅地層処分を考えていない西独やスイスでは、区分値はあまり重要な意味をなさないであろう。また、TRU 廃棄物は高レベル廃棄物に比べて

発生量が多いので、高レベル廃棄物よりも処分時期が早いと考えられる。TRU 廃棄物処理処分法の確立が早急に望まれるゆえんである。

参 考 文 献

- 1) "Management and Disposal of Alpha-contaminated Wastes," EUR-8574 (1983).
- 2) "放射性廃棄物の処理 3. 低レベル廃棄物対策", 動燃技報, No. 59, 100 (1986).
- 3) W.D. WEART; Radioactive Waste (Proceedings of the 21st Annual Meeting of the National Council on Radiation Protection and Measurement) (1985).
- 4) UK NIREX Limited; The Way Forward—a discussion document, The development of a repository for the disposal of low- and intermediate-level radioactive waste (1987).
- 5) R. ANDRÉ-JEHAN; Point des recherches et experimentation *in situ*-stockage en profondeur, Presented at the First Meeting of the NEA Advisory Group on *in situ* Research and Investigation for Geologic Disposal (ISAG), Paris, 28-29 October (1986).
- 6) E. MERZ. *et al.*; Implementation of the Federal Republic of Germany's strategy of radioactive waste disposal, IAEA-SM-289/6, 77-86 (1986).
- 7) H. ISSLER; Strategies and Safety Assessment of Radioactive Waste Management in Switzerland, 原子力学会特別講演 (1986).
- 8) SCK/CEN, *In situ* research and demonstration plans in the HADES Project (1987).