

原環センター トピックス

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT CENTER TOPICS

1991.3.NO.18

目次

ソビエト連邦における放射性廃棄物管理	①
廃棄物処分の長期放射線防護規準	⑥
センターのうごき	⑧

ソビエト連邦における放射性廃棄物管理

1. 連邦とその原子力活動

ソビエト連邦は人口2.8億人で、世界の陸地の1/6 (2240万km²) を占める大国であり、また**世界有数のエネルギー資源国**でもある。原油の生産量は世界の22%を占めて第1位、石炭は16%で第3位、天然ガスは38%で第1位を誇っている (1988年)。しかし生産地の多くが需要地から離れており、社会体制の未整備もあってその供給は円滑を欠いている。

一次エネルギー消費は石油29%、天然ガス41%、石炭27%、電力3.1% (1987年) となっている。1989年の全発電量は世界第2位の17200億kWhで、その76%が火力、13%が水力、12%が原子力によるものである。

米国とならぶ核軍事大国であり、1954年には世界で最初に原子力発電所の運転をはじめたが、1979年チェルノブイリ原子力発電所において大事故を起し、自国だけでなく全世界の原子力活動に

ブレーキをかけることになった。国内の政治改革もあり、原子力開発利用計画は混乱と停滞を余儀なくされている。

1989年末現在で運転中の発電炉は50基、3760万kWであり、**米国、フランスにつづく第3の原子力発電国**である。開発初期の炉を別にして標準化が進んでおり、特有の黒鉛チャンネル炉では100万kWのRBMK-1000が14基、150万kWのRBMK-1500が2基、加圧水型炉では44万kWのVVER-440が8基、100万kWのVVER-1000の16基が運転されている。ほかに中型のRBMK炉、沸とう水型炉およびナトリウム冷却高速炉がある。大事故を起したRBMK型炉はその後改良されたが、今後新設の計画はすべて打ち切られており、建設中の19基、1900万kWはすべてVVER-1000型である。

連邦はそれを構成する主要な民族に従って15の共和国より成っているが、**原子力施設は最大のロシア共和国** (人口は全連邦の51%、面積76%) と

少数の共和国に所在するだけである。運転中の原子力発電所は約2/3 (9サイト、約30基) がロシア共和国に、約1/3 (5サイト、約15基) がウクライナ共和国 (人口は2位の18%、面積3%弱) にあり、他にバトル3国の一つのリトアニア共和国に1発電所2基が、カザフ共和国 (面積2位) のカスピ海沿いに高速炉発電所が運転されている (図1)。

これまで原子力の管理は連邦で一元化された体制の下で行われてきたが、最近では各共和国政府の発言が強まる傾向にある。1989年には長らく原子力開発利用の中心となってきた**原子力利用国家委員会GKAE**が原子力発電省その他と合併再編されて**単一の原子力発電・産業省**が設けられた。各省と同格の国家委員会は20余あり、国家保安委員会KGB、国家計画委員会GOSPLANが有名であるが、2つあった安全監視国家委員会が統合されて**産業・原子力発電安全監視国家委員会**が設けられた。

原子力発電・産業省は原子炉・原子炉製造関係の11局と核燃料・国防産業関係の11局、および直轄の経済管理と国際協力の2局より成っている。全ソ無機材料研究所 (モスクワ)、フローピン・ラジウム研究所 (レニングラード) 等をもつ核燃料サイクル研究開発局、産業複合体マヤク (チェリアピンスク)、電気化学工場 (クラスノヤルスク)

等をもつ同位体分離・再処理・同位体生産局や核燃料サイクル施設安全規制局が核燃料関係局のなかで注目される。

2. 廃棄物管理にかかわる規制

原子力活動にかかわる環境・保健関係の基本は**放射線安全基準NRB-76/87**と**放射性物質・電離放射線取扱い衛生基本規則OSP-72/87**に定められている。前者はICRP勧告や内外の研究成果に基づいて定められた放射線の影響対策レベルに関する基本法令であり、天然および人工の放射性物質、その他の電離放射線線源の生産・利用・貯蔵にかかわるすべての機関に適用されるものである。年間の最大線量 (限度) の値のほか、各核種の年間許容摂取量、大気中・水中の許容濃度の値が定められている。

後者の放射線取扱い衛生基本規則 (保健省) では放射線源にかかわる作業区分、取扱い手続等が具体的に定められており、放射性廃棄物の処理処分についても規制されている。**許容濃度以上の廃液、比放射能が一定値** (β では 2×10^{-6} Ci/kg、 α では 2×10^{-7} Ci/kg、超ウラン元素では 1×10^{-8} Ci/kg、 γ では 1×10^{-7} g 当量ラジウム/kg) をこえる固体は放射性廃棄物として取扱わなければならない。液体廃棄物の場合、総廃棄量が許容摂取量の水準をこえない限り、許容濃度の10倍までの放射性廃液は集水装置において許容濃度以下



図1 ソビエト連邦(ヨーロッパ部分)の主要原子力施設

に希釈して排水することが認められている。これら放射性廃棄物の集荷、一時貯蔵、処理、最終処分については**国立の集中的管理システム**を設けてそこにそれぞれの地域を担当させることとしている。現在全国に34の管理システム網があり、**原子力発電所以外の主としてラジオアイソトープ(RI)廃棄物の集中的管理**にあたっている。

チェルノブイリ原子力発電所の事故を契機として活発な原子力論議を行ってきた連邦議会では1990年に、これまで技術的に低い水準で行われてきた放射性廃棄物管理を見直して国内の全廃棄物管理施設の点検を行い、**放射性廃棄物管理の国家計画案を'91年6月までにつく**ることを求める決議が採択された。そしてこの国家計画がきめられない限り、**'91年1月以降新規の原子力計画をはじめること、また廃棄物を他共和国から持ちこみ処分することが禁止されること**になった。決議の法律的立場は必ずしも明らかでないが、ソ連国内でも欧米諸国と同様の課題をかかえているものようである。

原子力発電所についてはその**設計・運転に関する保健省規則SPAES-79**がある。原子力発電所から環境へ放出される放射エネルギーは、100~600万kWの発電所では不活性気体は一昼夜平均500Ci以下、ヨウ素0.01Ci以下、液体では1ヵ月平均⁹⁰Sr1.5Ci以下、⁸⁹Sr・¹³⁷Cs・⁵¹Cr・⁵⁴Mn・⁶⁰Co各15Ci以下に保たなければならない。

放射性廃液は所内の処理施設で処理し、許容濃度の10倍以下であり所内で再使用できない場合のみ、非放射性下水や水域へ排水することが認められている。**廃液の処理から生ずる濃縮物、廃樹脂、廃溶媒**はタンクに一時貯蔵の後、脱水されあるいは**アスファルト**(または**セメント**、**プラスチック**)により**固化**され、固体廃棄物とともにサイト内またはサイト外に特別に設けられた処分施設に埋設される。処分後はコンクリート製の蓋をしあるいは覆土した上にアスファルトを流し1mの地点でγ線が2.8ミリレム/hr以下になるようにしなければならない。

3. 核燃料サイクル事業とその廃棄物管理

ウラン資源国としてウラル地域、カザフ共和国等でウラン鉱を採掘製錬し、ウラル地域、東カザフ地域、中央シベリア等において核燃料の製造加

工(容量1500t/年)を行っており、**自給体制**ができてい**る**。ウラン濃縮の容量は5,000~10,000tSWU/年以上あり、国内・東欧諸国の需要を賄い、一部は西側諸国へも輸出されている。

使用済燃料は**再処理して残存ウランとプルトニウムを回収利用する**のが国の方針であり、そのための**再処理工場(400t/年)**が南ウラルのチュリアピンスク地区のキシュティムのマヤク基地にある。はじめ軍事用プルトニウム回収のため1948年に建設されたが、その後船舶動力炉、高速炉および研究炉の燃料、VVER-440型発電炉燃料(東ヨーロッパに輸出した炉の燃料も含めて)の再処理も行われるようになった。RBMK型炉は生成プルトニウム量も少ないので約50年冷却貯蔵してから処理することとされている。VVER-1000型炉からの使用済燃料も発生しており、処理容量が不足するためシベリア中央部のクラスノヤルスク地区に**1500t/年規模の第2再処理工場をつくる計画**がたてられたが、困難な経済情勢のため現在は建設が中止されている。ただ**使用済燃料の貯蔵施設はほぼ完成**して受入れを待っている。ソ連では原則として**プール貯蔵方式**が採用されているが、輸送容器をつかった乾式貯蔵方式の検討も行われている。

はじめ使用済燃料からプルトニウムを回収するため沈殿法による再処理工場がつけられたが、のちイオン交換法にきりかえられ、1970年代にはリン酸トリブチルを使う**ピュレックス溶媒抽出施設**がつけられた。'48年以降RBMK型類似の軍事生産炉5基が順次運転され、その使用済燃料の再処理がすすめられた。'77年からはVVER-440発電炉の使用済燃料の再処理がはじめられた。なお現在は軍事生産炉はすべて閉鎖され、それからの燃料の再処理も行われていない。

しかしこのような事情のため、組成がマチマチで放射能レベルのちがう大量の放射性廃液が発生し蓄積されることになった。しかも**施設の安全運転と環境保護の問題は十分に追求されないままにおかれた**。

1949~'52年の間、発生する大量の中レベル廃液(1~10⁻⁵Ci/l)が近くのカラチャイ湖(液面26ha、水量1.4×10⁶m³)に流しこまれた。放出された放射エネルギーは1.2×10⁸Ci(4×10¹⁸Bq)にのぼり、そ

の95%は湖底の堆積土に吸着され、 $6 \times 10^6 \text{Ci}$ ($2 \times 10^{17} \text{Bq}$) はテチャ川からオビ河へと流出していった。放射性物質を吸着した堆積土が干上がって乾燥し風で飛散するのを防ぐため、湖の埋め立て工事が1995年を目標にすすめられている。

またタンク貯蔵中の高レベル廃液には、強い放射線と熱による分解ガスの発生、および沈殿による局部過熱の恐れがあったが、1957年には冷却系が故障し過熱から約80m³の廃液の入っていたタンクで**化学爆発**が起きた。 $2 \times 10^6 \text{Ci}$ ($7 \times 10^{16} \text{Bq}$) ほどの放射性物質が放出され15,000km²に及ぶ地域が汚染されて、現在も190km²は禁猟区として隔離され監視が続けられている。**南ウラルの大惨事**といわれるものである。10,200人の地域住民が疎開させられたが死者は発生しなかった。

その後、高レベル廃液貯蔵タンクは改造され、液面ガスの連続抽出、タンク温度の厳密な制御、液酸性度の連続制御による沈殿析出防止等の策がとられることになった。

一方、液体にかわる長期貯蔵に適した安定な固体に転換する技術の開発が、米英諸国とほぼ同じ1950年代から進められている。固化形態としては**リン酸ガラスとホウケイ酸ガラス**が選ばれ、廃液を一たん仮焼してからガラス化する2段階法と、セラミックス製溶融炉中で1段階で脱水-仮焼-ガラス化を行なう方法が追究された。模擬廃液による100 l/hr装置の試験が約10年間行われた後、1987年から500 l/hr装置の運転がはじめられた。'88年までの間に約1000m³の高レベル廃液 ($3.9 \times 10^6 \text{Ci}$ ($1.4 \times 10^{17} \text{Bq}$)) が処理され160tのガラス固化体がつくられた。溶融ガラスは200 l キャンスタに注がれ、冷却固化後は3本づつ金属円筒容器(径0.63m、高さ3.4m)に入れて密封して強制空冷下でピット孔に貯蔵されている。なお現在セラミックス溶融炉は、中レベル廃液を添加溶融剤として利用し高・中レベル廃液を同時処理するために改造中である。

4. 原子炉およびRI施設の廃棄物管理

原子力発電所の運転により低中レベルの廃棄物が発生し、**固体廃棄物 (100万 kW・年あたり200~400 m³発生)** は焼却および圧縮処理され、**廃液は蒸発処理**される。凝縮液はチャーコール、パーライト系フィルタまたはイオン交換樹脂で精製

の後、所内でリサイクル利用される。**濃縮廃液**(塩分200~300g/l、 $1 \times 10^{-3} \sim 10^{-4} \text{Ci/l}$) はろ過助材 ($1 \times 10^{-1} \sim 10^{-4} \text{Ci/l}$) と共にタンク (400~5000m³) に一時貯蔵され、のち**アスファルト**または**セメント**で固化される。最初にレニングラード発電所に500 l/hrのアスファルト固化装置がつくられ、1986年から運転されている。同じタイプの固化装置が他の原子力発電所にも設けられている。セメント固化装置は現在ノボボロネジ発電所で建設中である。固化体は所内のコンクリート製ピットに貯蔵されている。ただ地域暖房用の中型原子炉(建設中)では所内貯蔵施設はつくられず、もよりの地域処分場へ送ることになっている。

国内4000カ所以上で研究・産業および医療用に使われたラジオアイソトープから発生する**RI廃棄物**は、全国34の地域ごとに設けられている地域処理処分施設が責任をもって集荷廃棄にあっている。モスクワの北々東約100kmのザゴルスクの郊外に1957年につくられた**放射線安全中央ステーション**は、その後各共和国(ロシア共和国は15地域に、ウクライナ共和国は6地域にさらに区分され)につくられる地域集中管理システムの**処理処分施設第1号**となった。現在はモスクワ研究・生産協会により運営され、**ラドン(RADON)**の通称で知られている。土地は粘土質砂層で、地下水位は地下

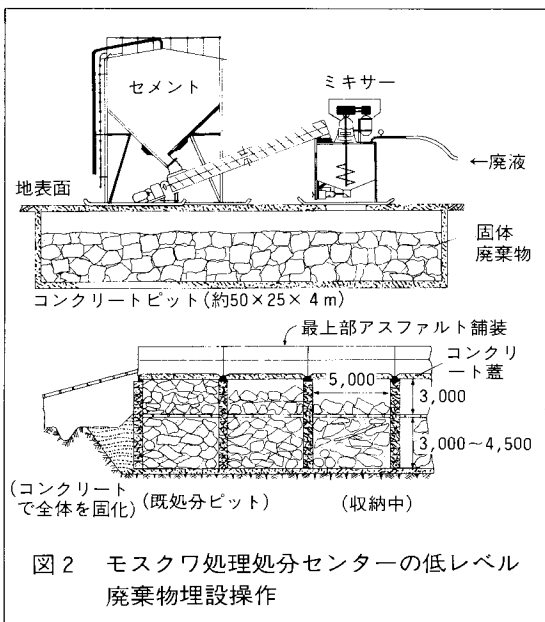


図2 モスクワ処理処分センターの低レベル廃棄物埋設操作

25~40m以深であり、広さ40haを占めている。集荷された固体廃棄物は圧縮あるいは焼却され、廃液は原則として沈殿処理され沈殿はアスファルト固化される。濃縮物や固化体はコンクリート壁でかまれた浅地処分施設に投入され、満杯になれば廃液でねったグラウトが注がれ全体が一体化させられ、のち覆土され墳丘がつくられる(図2)。最近この方式を打切り全部回収することが伝えられている。

許容濃度の10倍以下の処理済み液は河川湖沼に放流されるが、中央ボルガ平原のディミトロフグラードの原子炉科学研究所その他では、地下の隔離された帯水層へ廃液を注入処分する方法が試みられた。米国と同様に1950年代から'80年代にかけて広範な試験研究が行われたが、現段階では安全信頼性が充分でないと判断されている。

5. 高レベル廃棄物の処分

再処理からの高レベル廃液は小容積のガラス固化体にされ、安全な深地層に処分される。固化後20~30年間地表で冷却貯蔵されるが、深地下に埋設後も安全な放射線レベルに減衰するまでモニタリングを継続し、放射性核種が生物圏へ移行する惧れの生じた時には取り出せるようにしておくことが考えられている。

現在、処分候補地層の全国調査が行われており、南ウラルの結晶岩地域や中央ボルガ、カスピ海沿岸の岩塩層地域等、原子力施設の周辺がとくによく調べられている(図3)。広大な国土の中を大量の廃棄物を長距離輸送することは安全上好ましくなく、原則として発生箇所の近くに適切な処分地を確保することに努めている。地層処分場が実際に建設されるのはまだ将来のことであるので、近地表部に一時貯蔵所をつくって貯え、そこから永久的処分場へ移しかえることが認められている。

再処理に際し高レベル廃液を一括的にガラス固化して超長期にわたる貯蔵/処分を行うのではなく、長寿命核種を群分離して別箇に処理あるいは処分を行ない、大半の廃棄物の処分を比較的短期間に終わらせることが考えられてきた。レニングラードにあるフローピン・ラジウム研究所ではチェコスロバキアの原子力研究所と協力してカーボレン錯体溶媒をつかう新分離法を確立し、5 l/hrの中型装置(図4)により数10m³の高レベル廃液から純度99%以上の⁹⁰Srおよび¹³⁷Csの200万Ci以上を分離することに成功した。さらにそのロケット技術を使って、第1段800kg、第2段2000kg容量のゼニットおよびエネルギー・ロケットにより宇宙処分するときのコスト試算も行っている。

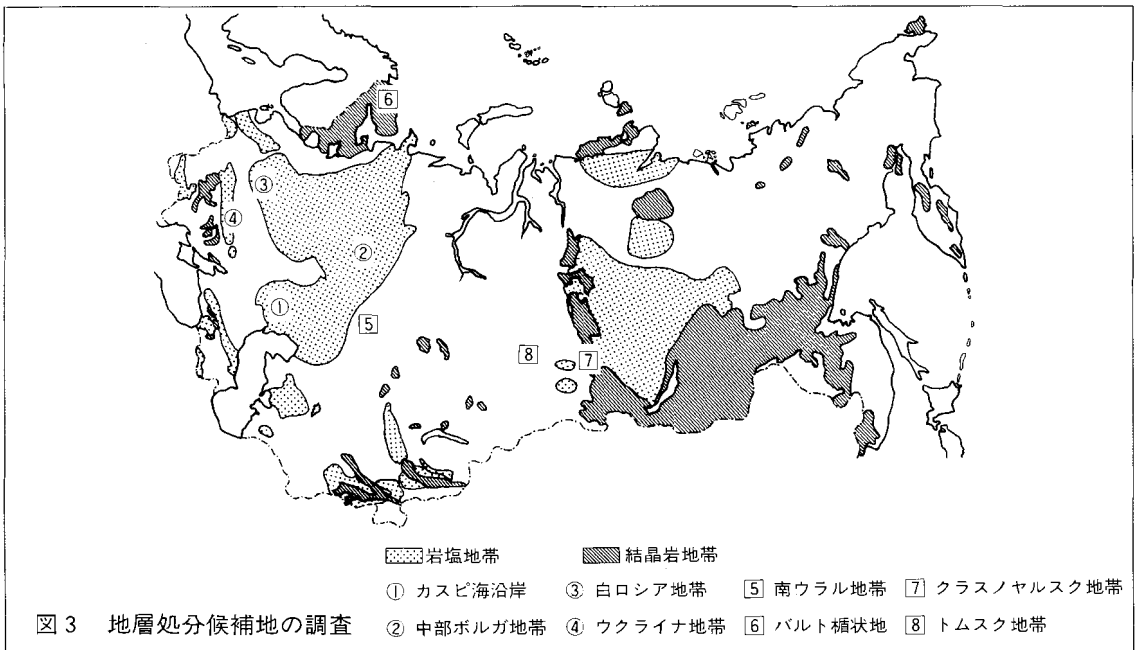


図3 地層処分候補地の調査

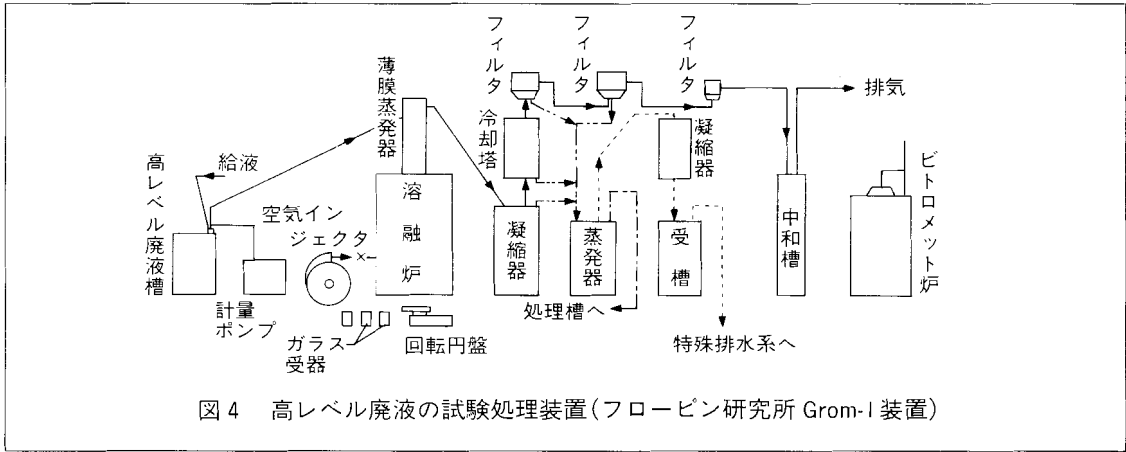


図4 高レベル廃液の試験処理装置(フロービン研究所 Grom-I 装置)

(石原健彦)

廃棄物処分の長期放射線防護規準

1990年11月にOECD/NEA主催で規制関係者による「高レベル放射性廃棄物処分における放射線防護及び安全規準に関するワークショップ」が開催された。そこでの各国代表の報告及び討議に基づき、処分の長期放射線防護に関する規準の現状と各国で行なわれている議論の動向を紹介する。

1. 規制の現状

1) 個人被ばく線量あるいはリスク限度

いずれの国も現代社会での安全規準を将来にも適用するとの原則では一致しているものの、具体的適用方法には多少の相違がある。現代社会でのリスクをベースとしたICRP勧告のリスクあるいは被ばく線量限度をそのまま適用している国と環境の自然放射能レベルに有意な変化を与えないとの原則に置き変えて適用している国がある。

前者の国はフランス、カナダ、英国、スウェーデン、スイス、オランダ、スペイン等である。そのうちフランスはICRP勧告にある 1mSv/年 そのものを上限値とし、その他の国は廃棄物処分以外の線源の寄与を考え、 $1/10$ の 0.1mSv/年 を処分に割り当てている。わが国では地層処分についての規準はない。

後者の国としてはドイツが挙げられる。自然放射能の変動幅をベースに 0.3mSv/年 の値を採用している。米国は原子炉燃料製造に必要なウラン鉱石中の自然放射能をベースに処分場から生態圏

への放射性核種の漏出限度を決めており、後者の国と考えてよい。

2) 時間に関する規準

処分後の経過時間を安全規準の立場から議論する場合、回収可能性の維持期間、人工バリアによる閉じ込め期間および漏出の影響を定量的に評価する期間の3つが話題となる。これらの期間及びそれぞれの期間内での要件を法律で規制しているのは米国のみである。その他の国では処分概念の作成に当たっては考え方はまとめられているものの法律では決めていない。

回収可能性を維持する期間については、米国NRCが廃棄物を処分場に定置後50年の回収可能性を維持することを求めている。その他の国では制度的な管理期間は法律で決めている国はない。処分場を閉鎖し、回収が実質的に出来なくなつてからについては、米国を含め将来世代がモニタリングをし、異常に対処しなければ安全が保てないような処分であつてはならないとの原則で一致している。しかし、何時の時点で処分場を閉鎖するかについては多くの議論がある。将来の世代に負担をできるだけ残さないとの原則を守りつつ、将来世代の人類にも処分方法について良否を判断する余地を残すべきであるとの考え方が出てきている。例えば、将来技術の進歩が期待されるので、50~100年間は回収可能性を維持すべきであると

の議論がなされていることが、スウェーデンの代表から紹介された。

閉じ込め期間については、米国NRCがパッケージ（人工バリア）による閉じ込め期間を天然バリアの性能に応じて、300～1,000年間としている。その他の国は法律では規制していないが処分担当機関がまとめた安全性評価に関する報告書をみる限りこの程度の閉じ込め期間は保証できるよう設計されていることがうかがわれる。

漏出の影響の定量的評価については、表現は多少異なるもののいずれの国も放射性核種の生態圏への漏出による影響が現代の安全規準（被ばく線量あるいはリスク）を越すものであってはならないことを法律で決めている。時間の経過とともにデータに不確実性が増し、被ばく線量あるいはリスク評価の信頼性が下がる。そこで、カナダ及びドイツは被ばく線量を評価する期間を10,000年間と決めている。米国も10,000年間での漏出量を評価することを決めている。その他の国は評価期間に限度は設けていない。

2. 議論の動向

1) 長期間経過後の安全目標

現代の個人被ばく線量限度を放射線防護規準として長期にも適用しようとする長期経過後の個人の被ばく線量を評価しなければならない。廃棄物を処分し、長い期間経過後の生態圏の状態および人間社会の様子を予測することは困難で、被ばく評価の信頼性が低下する。そこで、別の尺度によった方がよいとの考え方から人間社会や生態圏の変化の影響を受けない尺度として、自然放射能をベースにしてはどうかとの考え方がある。

その一つとして、北欧5ヶ国の規制関係者の提案がある。岩石の風化による岩石中に含まれる自然の放射性核種の生態圏への年間移動量をベースに、廃棄物からの放射性核種の移動量を規制しようとの提案である。

既に、ドイツの放射線防護規準および米国EPAの高レベル放射性廃棄物の処分規準は自然の放射能をベースにしており、生態圏あるいは人類社会には左右されない規準といえる。

2) 生態圏の類型化モデル

長期評価の生態圏モデルは必ずしも当該処分サイトの現在の状態に忠実である必要はない。むしろ、世界の生態系をいくつかの種類分類し、当該

処分場がどの種類に属するかを判断し、その種類のモデルを使うべきであるとの考え方から、モデルの国際的な検討が進められている。

3) 人間の侵入

深地層処分は人類活動が及ばない領域に処分することにより人間侵入の確率が無視できる程度にまで低めた処分概念であるといつてよい。技術の進歩により、人類が利用する深地層の深さは時代とともに深くなることも考えられ、人間侵入を考えなくてよい深さを決めることは難しい。深地層処分の深さは200m～1,000mの深さであり、この深さに到達するボーリングには相当の技術と経費が必要である。従って、個人が行う工事でこのような深さに到達する可能性は無視できる程度であるとの見解がワークショップでも話題となった。掘削を行う技術のある人類は廃棄物を発見し、対策を講ずることは容易に予測されるので、深地層処分では人間侵入は重要な評価シナリオではないとの主張が多いように感じた。

4) 発生確率の取扱い

一世代を考えればめったにおきない自然現象等の事象についても、長い期間について考える場合には考慮する必要がある。長期の評価で用いるリスクは発生確率と被ばく線量(Sv)及び1Svで人間が影響を受ける(死亡)確率の積で決まる。発生確率を定量的に表すことが困難な場合が多く、実際に評価する場合には色々な工夫がなされる。例えば、フランスでは安全性評価で年間の発生確率を $1,10^{-2},0$ の3ランクに分けている。スイス及びスウェーデンの代表者からは、 10^{-3} 以上は1として取り扱い被ばく線量のみで評価し、 $10^{-3} \sim 10^{-7}$ の範囲ではリスクのみで評価する方法が提案され、また、リスク限度は一つの値を使うのではなく、自然界でのラドンによる被ばく線量と被ばく人口との関数を使った分布関数を使うことを検討しているとの紹介があった。

ワークショップでの議論を聞いて、長期の放射線防護規準には社会的変化に左右されない自然の放射能をベースにしようとの動きがあるように感じられた。このことは長半減期核種を多く含んでいる高レベル放射性廃棄物やTRU廃棄物の処分の安全性を検討する上で着目すべき点であると思われる。

(中村治人)

センターのうごき

平成2年度調査研究受託状況

平成2年度の事業として平成2年12月1日以降2月末までの間に、次の受託契約が行われました。

委託者	調査研究課題	契約年月日及び主たる内容
科学技術庁	<ul style="list-style-type: none">放射性廃棄物の処理処分に関する広報素材の作成等天然バリア安全性実証試験	2, 12, 3 低レベル放射性廃棄物の埋設とその段階的管理をテーマとするビデオソフト等を作成し、知識の普及を図る 3, 1, 16 天然バリアの核種移行阻止能力を調査するための試験方法等についての検討及び試験施設の設計、建設
通商産業省	<ul style="list-style-type: none">放射性廃棄物有効利用システム開発調査ウラン廃棄物処理処分システム開発調査	2, 12, 12 放射性廃棄物の除染性能の評価手法等及び製品化技術の確証試験施設の設計、建設 2, 12, 12 ウラン廃棄物の処分技術に関するシステムについての検討及び処理技術確証試験設備の設計、製作

編集発行

財団法人 原子力環境整備センター
〒105 東京都港区虎ノ門2丁目8番10号 第15森ビル
TEL03-504-1081(代表) FAX 03-504-1297