総 説

放射性廃棄物の処分

—廃棄物処分における自然放射性核種としてのウランの取り扱い—

麓 弘道[†]

三菱原子燃料株式会社

319-1197 茨城県那珂郡東海村舟石川622-1

[†]hiromichi_fumoto@mnf.co.jp

放射性廃棄物を処分する場合に、自然環境中に存在する自然放射性核種との関係をどのように考えればよいか、その観点から諸外国における放射性廃棄物の取り扱いをまとめた。また、1980年代にDe Minimisとして世界が概念を共有していた、取るに足らない放射能に対する考え方、及び、それを世界が合意した免除、クリアランスといった概念の構築についてまとめた。さらに、放射性廃棄物の処分や免除、クリアランスについて、各国がどのように制度化したのか、そして、この制度化に当たり、ウラン核種を代表とする自然放射性核種がどのように関係しているか確認する。

Key Words: naturally occurring radioactive nuclide, uranium, Naturally Occuring Radioactive Materials (NORM), radioactive waste, exemption, clearance, De Minimis

目次

まえがき	641	4・1 諸外国における鉍さいの取り扱い	677
1. はじめに	642	4・2 諸外国におけるNORMの取り扱い	
1・1 放射性廃棄物の発生と考慮すべき視点	642	4・3 我が国における自然放射性核種の取り扱い	679
1・2 放射性廃棄物	643	5. 劣化ウランの取扱	681
1・3 自然放射性物質の取り扱い	645	6. まとめ	681
1・4 本総説で取り扱う廃棄物	646	6・1 環境放射能と放射性廃棄物処分の関係	681
2. 世界の放射性廃棄物処分の歴史	646	6・2 放射性廃棄物処分と放射線防護の関係	683
2・1 海洋投棄とDe Minimisの概念	647	あとがき	684
2・2 陸地処分の制度化までの道のり	649	付録	684
2・3 De Minimisから免除概念の成立まで	659	まえがき	
2・4 クリアランス制度	667	本総説は放射性廃棄物処分と自然放射性核種との関係に焦点を当てている。放射性廃棄物に関する総説あるいは解説となると通常は線量評価結果からどの濃度まで処分可能かという議論であると予想されるだろう。期待に反して、本総説では、米国が決めた長寿命TRU核種を含	
3. 我が国の放射性廃棄物処分の歴史	672		
3・1 低レベル放射性廃棄物処分制度化の歴史	672		
3・2 制度化が進まないウラン含有廃棄物の考え方	674		
4. 自然放射性核種の考え方	677		

む放射性廃棄物の浅地中処分の濃度上限値の考え方をまず紹介する。次にその考え方がどのように欧州にもたらされたかを確認する。自然放射性物質を含む廃棄物の処分については、天然環境中に存在する自然放射性物質との関係で、免除やクリアランスの考え方も重要であり、海外埋設処分の先進国での免除やクリアランスの考え方について確認する。これらの分析では、自然放射性核種として地殻に広く存在するウラン核種に焦点を当て、廃棄物処分におけるウラン核種の取り扱いの歴史を理解するとともに、我が国における議論と海外での議論が合致しない、あるいはできない理由についても分析する。なお、ここで対象とする自然放射性核種は主にウラン及びその子孫核種である。

近年の地球内部から放出する「地球ニュートリノ」を観測することで、我々が享受している地熱の半分くらいは地球内部に含まれる放射性物質が崩壊して発生する熱であると推定された^{注1}。我々が自然放射性核種と共存している事実が示されており、放射性廃棄物は自然放射性核種とともに我々と共存できる家族の一員である。

冒頭に記したように、本論文は自然放射性核種を含む放射性廃棄物に焦点を当てるが、第1章から第3章までは放射性廃棄物全般に係る事項を記述することで、放射性廃棄物の処分に関する理解を助け、第4章で自然放射性物質との関係を述べる。第5章では現在処分の制度化の議論が進み始めた劣化ウランについて言及し、第6章で議論を取りまとめる。

1. はじめに

1・1 放射性廃棄物の発生と考慮すべき視点

放射性廃棄物は、当初、軍事目的の研究開発で発生し、1960年代に入り、軍拡競争が次第に手詰まりとなる時代を経てその安全確保の重要性が認識されるようになった。また、時代的には軍事研究の時代と重なるが、民間の原子力

発電の利用の拡大とともに大量の放射性廃棄物が発生することとなり、やがて、その処分に関して、環境への影響や一般公衆の健康被害を回避することが重要な課題となった。

我が国では原子力研究施設で放射性廃棄物は発生していたが、原子力発電の本格的な導入により、多くの市民が放射性廃棄物の存在を知ることとなった。

放射性廃棄物を考える場合、2つの観点を議論しなければならない。

1つは放射線の健康影響である。放射線の健康影響について世界の科学者がしきい値のない直線仮説（Linear Non-Threshold：LNT 仮説）を採用した。これは、原子爆弾が我々の想像よりもはるかに早く完成して、実戦に使われたことに起因すると考えられる。つまり、本来ならば放射線影響を受けるのは研究者か放射線を取り扱う医師・技師に特定されていたはずが、突然一般市民を巻き込んで、広範な地域の住民全員が放射線影響を受けるという状況が、1938年の核分裂生成物バリウムの発見からわずか7年で現実になってしまったのである。第二次大戦の時点ですでに実施されていた放射線の規準は識別できるような放射線影響を防止するのに効果はあった。しかし1954年には、がんが体細胞の突然変異によって起こるという考え方が主流となりはじめ、それとともに閾値はないかもしれないこと、すなわち線量が減るに従って、がんを生じる確率は減るにしても、効果がゼロになるような線量はないとする仮設が主力を占めはじめた¹⁾。

2つ目の重要な観点は自然放射線の存在である。我々の周りには、宇宙線や自然放射性物質から発生する地上からの放射線等が満ち満ちている。大気中には放射性のラドンが存在し、食品にも放射性物質が含まれている。これらの自然放射線バックグラウンドの上に研究開発や原子力発電の利用で新たに発生した人工放射性核種やNORM（Naturally Occurring Radioactive Materials）、TENORM（Technologically Enhanced

^{注1} 鎌田浩毅著、「地球の歴史(上) 水惑星の誕生」、中央公論新社刊、2016年

NORM) と称される自然放射性核種であるがその濃度が濃縮された物質が加わることでなる。NORMとは自然界に存在するよりも有意に超えて存在する物質をいう。この「有意」の定義は規制による決定事項である²⁾。NORMには人工的に自然放射性核種の濃度が高められた物質がある。これらの物質はTENORMと呼ばれることがある。TENORMとの比較からNORMは時として人工的に濃度が高められていない物質に限定して用いられる場合がある²⁾。

一般にフォールアウトと呼ばれる大気圏内核実験に起因して世界の環境中に拡散した人工放射性核種がある。フォールアウトによる線量は環境中の自然放射線により我々が受ける線量をはるかに下回ることから、通常これらの人工核種は環境中のバックグラウンドの一部として評価している。我が国では中国で大気圏内核実験が実施された1960年代に放射性物質を含む塵が降り注いだ。放射能を含む塵は中国から来るので日本海側で高放射能の沈着が確認された。当時はこれらを強放射能粒子と呼ぶが(放射性巨大粒子—ジャイアントパーティクルとも呼ぶ)、公園のベンチなどでもガイガーカウンターで見つかった³⁾。当時ホールボディカウンターで測定すると人工放射性核種であるSr, Csが必ず検出されていた。なお、本総説ではフォールアウトは考慮しない。

放射性廃棄物の処分を考える時、この2つの観点を総合的に勘案する必要がある。処分したものは基本的に取り出すことはないし、跡地として人々の記憶に残るのも限界があると考えられる。特段の事情がなければ、廃棄物はそのまま処分場に定置され続けることとなるが、その時に放射能は基本的に自然環境中に広く分布しているということと、放射線影響はどんなに線量が低くても存在するという仮定、見方によっては背反する2つの考え方を整合させて不必要に恐れることなく、今を生きることが人類の知恵として求められている。

1・2 放射性廃棄物

放射性廃棄物とはどのような意味合いを持つものであろうか。環境中に自然放射性物質があるのであれば、その放射能レベルを超えたものを放射性廃棄物と呼ぶのであろうか。廃棄物とはそれ以上利用する価値がないものをいう。それに放射性という形容詞を付けても内容は変わらない。これ以上利用する予定のないものであるが放射能を持つものである。しかし、自然放射性物質はどの廃棄物にも含まれるものであるから、放射性と形容詞を付けない廃棄物も放射能を持つこととなる。このように考えると放射性廃棄物とは、単に、放射性物質を含む廃棄物ではなく、放射性物質を放射性物質と認識して利用した場合に発生した廃棄物であることがわかる。自然放射性物質を放射性物質と認識しないで利用して発生した廃棄物は放射性廃棄物とするかどうかは課題である。詳細は次節以降の免除の概念で議論する。

さて、我が国では、どのような放射性廃棄物が発生しているのであろうか。図1に資源エネルギー庁がホームページに掲載している放射性廃棄物の種類と処分の分類を示す⁴⁾。まず思いつくのは高レベル放射性廃棄物である。トイレなきマンションと揶揄される原子力発電で発生する使用済燃料、及びその使用済核燃料を再処理して使用済燃料からウラン、プルトニウムを回収した後、残った高レベル廃液をガラス固化した廃棄物を指すと理解してよい。核燃料の分裂で発生する放射性の核分裂生成物の大部分がこの廃棄物に含まれる。

次に、原子力発電所で発生する廃棄物で放射能濃度が高い廃棄物としては、今議論されている炉内構造物がある。炉内構造物は炉心を取り囲んでいるので高い中性子束にさらされて放射化が進むことにより放射能が高いという特徴がある。その他、原子力発電所の運転で発生する低レベル放射性廃棄物は、既に国内で処分が実施されている。

先程触れた炉内構造物も原子力発電所がその

図1 放射性廃棄物の種類と処分の分類⁴⁾ (Color online)

運転を終え、廃止措置に進む場合に発生する。原子力発電所の廃止措置では鉄筋コンクリートの建屋や直接放射性物質と接触しない機器類を解体することから放射能が極めて低い廃棄物が大量に発生する。これらの廃棄物は、極低レベル放射性廃棄物として、処分するか、一般市場に廃材としてリサイクルすることが世界的には標準となっている。我が国はこれからその時代に入る。

ここまでは原子力発電所から発生する廃棄物を示した。我が国のように核燃料サイクルを標榜する国々では再処理、ならびにMOX燃料加工施設から廃棄物が発生する。再処理施設からは高レベル廃液をガラス固化した高レベル廃棄物が発生することは前に紹介したが、それ以外に切断した核燃料被覆管の残存物である放射能濃度の極めて高いハル・エンドピースといった廃棄物から比較的放射能濃度の低い使用済グローブ等まで様々な廃棄物が発生する。これらの廃棄物にはウランの核反応によって生成した超ウラン (TRU) 核種が含まれる。TRU核種は半減期が長いものが多いことから、これらの廃棄物はTRU廃棄物として他の原子力発電か

ら発生する廃棄物とは区別している。TRU廃棄物は我々がわずかに数十年前に作り出したものであり、必要なだけ長期の年代にわたって生ずる地球化学的なプロセスを考えるのは不可能である。そこで自然に存在し、これらのTRU核種と似た性質をもつ元素について研究すれば、信頼できる移行モデルが作れるのではないかと考えられる¹⁾。我が国でも放射性廃棄物の処分を提案する黎明期にはTRU廃棄物と後述するウラン含有廃棄物^{注2}を1つのカテゴリーでまとめてTRU廃棄物の安全性を天然に存在しているウランとの関係で説明することを考えていたが、現在まで明確な考え方は示されていない。

以上が原子力発電、あるいは原子力関連の技術開発に伴って発生する廃棄物である。原子力発電以外に放射性物質や放射線は様々な利用形態があり、それらの利用に伴い放射性廃棄物が発生する。身近なものでは煙探知機に検出器として利用されているAmや放射性物質を用いた医療診断や放射線治療でもその機器は寿命がく

^{注2} 本総説では「ウラン含有廃棄物」を、従前から用いられてきた「ウラン廃棄物」あるいは、「ウランを含んだ廃棄物」を包含する用語として用いる。

●処分方法別

	処分方針 (原子力委員会)	安全規制 関係法令	安全審査指針 (原子力安全委員会)	備考
高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体) 【地層処分】	整備済	整備済	未整備	NUMO(原子力発電環境整備機構)が 立地活動を実施中。
低レベル放射性廃棄物 (うち【地層処分】相当の廃棄物)	整備済	整備済	未整備	NUMOが、立地活動を実施中。
【余裕深度処分】対象 放射性廃棄物	整備済	整備済	整備済	電事連及び日本原燃協が処分につ いて調査・検討中。
【浅地中(ピット)処分】対象 放射性 廃棄物	整備済	整備済	整備済	日本原燃協が青森県六ヶ所村で平成 4年に操業を開始。
【浅地中(トレンチ)処分】対象 放射 性廃棄物	整備済	整備済	整備済	JAEA(日本原子力研究開発機構)の 廃棄物埋設実地試験施設で実績あり。

●処分方法共通

	処分方針 (原子力委員会)	安全規制 関係法令	安全審査指針 (原子力安全委員会)	備考
低レベル放射性廃棄物 (うち【地層処分】相当の廃棄物)	整備済	一部整備済	整備済	電事連等が事業構想を検討中であり、 その検討結果を踏まえ、関係法令を 整備。
研究施設等廃棄物 (ウラン廃棄物を除く)	整備済	一部整備済	整備済	JAEAが、概念設計及び立地基準等 について検討中。
ウラン廃棄物	整備済	未整備	未整備	

出典：内閣府作成

図2 我が国の廃棄物分類の考え方と規制の検討状況⁶⁾ (Color online)

れば放射性廃棄物となる。RI協会で供給しているRI物質も利用が終了すれば廃棄物となる。核燃料加工施設からはウラン含有廃棄物が発生する。我が国では、原子力発電所から発生する放射性廃棄物については、受け入れる処分場があるが、これらの原子力発電所以外の施設から発生する放射性廃棄物については、現状受け入れる処分場がない。国立研究開発法人日本原子力研究開発機構で、これらの廃棄物を処分する研究所等廃棄物の処分場の計画が進められているが、まだ立地には至っていない⁵⁾。

我が国の廃棄物分類の考え方と規制の検討状況を図2に示す。本総説で焦点を当てるウラン含有廃棄物については安全規制が検討されていないことがわかる⁶⁾。

1.3 自然放射性物質の取り扱い

自然放射性物質を含む廃棄物は放射性であるという事実のみで自動的に放射性廃棄物となるものではない。例えば本総説で焦点を当てて議論するウラン元素は天然に広く存在しているが放射性である。従って、ウランを微量でも含む廃棄物を放射性としては、全ての廃棄物が放射

性廃棄物となってしまうが、我々の日常ではウランによる放射線被害を認識していない。

歴史を見ると、ラジウム産業とともに放射性廃棄物という分類が認識されてきたものと推察される。それが大きな問題となったのは、軍拡競争に伴い発生した大量のウラン鉱さいが野放しとされた状況にあった⁷⁾。米国は鉱さいを放射性廃棄物と区分しているが、通常我々が認識している低レベル放射性廃棄物とは別の分類としている。同様にフランスでも鉱さいの堆積場をその総放射能インベントリを判断基準とすれば、放射エネルギーが大きいことから当然原子力施設と分類されてしまうものを、原子力施設としては取り扱わないこととしている⁸⁾。

上記の例は、ウラン鉱さいとウラン含有廃棄物を統一した基準で取り扱うことが困難であることを示している。ここに放射性廃棄物を扱うに当たり、ローマ法におけるDe Minimisの概念を世界のコンセンサスとしてIAEAが導入しようとした理由がある。詳細は後述するが、ローマ法では些細なことは法律に反映しない、また、些細なことは取り締まらないという決まりがあった⁹⁾。ここで、些細なことが放射エネルギー

あった時代には問題なかったものが、線量に変換されてから混乱が生じたとされる⁹⁾。些細な放射エネルギーはあるが、些細な線量はない。それが法律の世界に入った時に、放射線被ばく以外の世界であれば些細な量として制度が確立するのであるが、Gonzalez氏によれば、法律家は些細な線量が定義できないことを理解せず、最終的に廃棄物の問題を解決できないでいるとしている⁹⁾。これが現在の日本も含めIAEA加盟国で混乱を招いている要因であると考えられる。

最後に原子力産業以外で放射性物資を取り扱っている事例を見てみる。肥料産業がその典型の1つである。原料であるリン鉱石にウランが含まれている。その他、モナザイトからレアメタルを採掘・製錬するに当たり、放射性物質を取り扱っている。その他、石炭灰や石油掘削時のスケールなど放射性物質を含む廃棄物は様々の産業で発生している¹⁰⁾。

これらの原子力産業とは別の発生源は自然起源の放射性廃棄物 (Naturally Occurring Radioactive Material, NORM) の残渣と呼ばれている¹⁰⁾。これらの廃棄物を原子力産業と同様に、放射性廃棄物として管理することは現実的ではない。しかしながら、自然起源の放射性物質を含む廃棄物として、管理していく方向で国際機関等で検討が進んでいる。

この先数百年間は放射線防護において、自然放射性核種の取り扱いについて混乱は避けられないと筆者は考えている。例えば、現行の規制制度が決まる前に処分場として稼動し、閉鎖されたフランスのラマンシュ処分場は、現在の法律に記載されている300年後に敷地を解放することができない。しかし、フランス国民はラマンシュ処分場をどうするかを300年後の世代に委ねた¹¹⁾。現代世代の責務は300年経過後にすぐに放射線防護の機能が失われない措置をすることであるとしている¹¹⁾。筆者は、当面保健物理の専門家は、事例ごとに判断が求められることになると考えている。

1・4 本総説で取り扱う廃棄物

前節で説明したように、一般公衆が放射線被ばくの被害を被った経験を持つ現世代では、人工核種からの線量と自然放射性核種からの線量の区別が付かないので、線量に基づく放射線防護の考え方のみで全ての自然放射性核種を含む廃棄物管理を統一的に説明することは、困難と考える。そこで、本総説では、我々の環境中に広く存在しているとともに、核燃料として利用されるウラン核種を取り上げ、その取り扱いに、世界がどのように取り組んで解決してきたのか確認することとする。その過程で冷戦時代に大量に核兵器の原料として精製されたウランが廃棄物となり、再び数10万年の時を経て持続平衡となり、線量による放射線防護を考える上で、単一の線量基準を適用するには矛盾を与える自然現象について、どのように考えるべきかのヒントが見つかるのではないかと期待する。

2. 世界の放射性廃棄物処分の歴史

米国では1962年にネバダ州のベアティで民間の放射性廃棄物処分場が開設された。その後、1960年代に6つの民間処分場が開設されたが、U. S. Ecology社が操業するワシントン州のリッチランド処分場、サウスカロライナ州バーンウェル処分場を除いていずれも現在までに閉鎖されている⁹⁾。これらの閉鎖された処分場では、地下水管理の問題や廃棄体の規定違反や輸送の問題が発生し、また、立地条件にも配慮して閉鎖を選択した¹²⁾。

フランスではラマンシュに処分場を設置して1969年から操業を開始した。当初は判断の基準としてMPC (Maximum Permissible Concentration) を用いてMPC以下であればコンクリートで固化してトレンチに処分できるというような基準で操業を続けた。1976年にはトリチウムの汚染が確認され、フランスにおいても放射性廃棄物の処分制度の確立が早急に求められた¹³⁾。

図3 ロンドン条約の概要¹⁸⁾

英国では1959年にドリッグ処分場が操業された。ここで取り上げるウラン含有廃棄物に係る事項について述べると、BNFL（英国原子燃料公社）は廃棄物処分を自己の事業として事業許可を得て、ドリッグ処分場に近いクリフトンマーシュ処分場に処分していた¹⁴⁾。時を経て、英国の廃棄物政策が変わり、全ての放射性廃棄物の処分をNDA（英国原子力廃止措置機関）が管轄するようになると、BNFLがクリフトンマーシュに処分した全ての廃棄物が所有権も含めてNDAのもとでクリフトンマーシュの操業を行っているSITA社に移管された¹⁴⁾。

ドイツでは1967年に旧岩塩鉱山を処分場としてアッセIIが研究開発として操業を開始した。その閉鎖については、①放射性廃棄物を回収する。②より深い岩塩ドームの方に移動させる。③廃棄物をそのまま定置し、完全に埋め戻す、という選択肢を検討して、現在回収する方向で進んでいる¹⁵⁾。

以下では、海洋投棄の時代から放射性廃棄物、特に極めて放射能の低い廃棄物や自然放射性核種を含む廃棄物をどのように取り扱ってきたかを中心に見てみる。

2・1 海洋投棄とDe Minimisの概念

最初の固体放射性廃棄物の投棄は1946年に米国で実施された¹⁶⁾。その後、1972年に批准された廃棄物その他の物の投棄による海洋汚染の防止に関する条約（以下、ロンドン条約と呼ぶ）により、1993年の投棄で海洋処分は終了したが、それまでに85PBqの廃棄物が処分された¹⁶⁾。海洋処分について記載することが本総説の目的ではないが、その中で、IAEAがDe Minimisの概念を導入して、放射能量の極めて低い廃棄物は放射性物質とせずに、海洋投棄できるように働きかけていた事実に着目すべきと考える¹⁷⁾。

ロンドン条約の概要を図3に示す¹⁸⁾。附属書Iの④に放射性廃棄物の投棄禁止が書かれている。ここで放射性でない環境汚染物については、ロンドン条約は「トレース濃度」とか「有意でない物質質量」を適用して、これらについては条約の保護対象から免除している。ロンドン条約で個別に適用除外を申請することは可能であるが、実際には現実的ではないことから、1979年にIAEAはロンドン条約の一般許可条件としてDe Minimisを制定するよう提案した¹⁷⁾。

ロンドン条約締結はロシアの原子力潜水艦や砕氷船の海洋投棄が問題とされていたことに起因すると推察するが、IAEAは以下の3項目を放射性物質ではないと判断する根拠としていた¹⁹⁾。

- ①海水の放射能濃度が人工的に増加されていないこと
- ②海水中の放射性物質は商業用、あるいはその他の目的の自然放射性物質の原料とはならないこと。
- ③②において、自然放射能であろうと人工放射能であろうと放射性同位元素として濃縮されないこと。

放射性同位体の濃縮まで記載されており、当時の放射性物質の海洋投棄に対する大きな社会の抗議があったものと推察される。

IAEAは海洋投棄に対してDe Minimisを提案するとともに、1983年には一般廃棄物の焼却や処分に対するDe Minimisも提案している¹⁷⁾。ここでIAEAの提案内容を紹介する前にDe Minimisの考え方を説明する。

De Minimisはローマ法では次のように適用されている⁹⁾。

“DE MINIMIS NON CVRAT LEX” (Cause of no-concern for the LAW)

「法は些事に関せず」

“DE MINIMIS NON CVRAT PRAETOR” (Cause of no-concern for the regulator)

「プラエトル（法務官）は些事に関せず」

「法は些事に関せず」は放射線防護という除外の概念と理解される。宇宙線等を放射線防護の対象としないことに相当する。

「プラエトル（法務官）は些事に関せず」は規制当局によって免除することに相当する。

De Minimisという場合には上記の2つの考え方が並存する。

De Minimisの紹介が終わったところで、再びIAEAがDe Minimisをどう捕らえていたかを確認する。最初に海洋投棄に関する考察でIAEAがDe Minimisをどう考えていたかを説明する。

まず自己の意思、あるいは意志によらない種々の活動で生じるリスクを年間死亡確率でまとめた。まとめた結果を表1に示す¹⁷⁾。意志による活動のリスクは $10^{-3} \sim 10^{-5}$ /年の範囲と考えられた。そして受け入れられるリスクを 10^{-7} /年として線量基準 $10 \mu\text{Sv}/\text{年}$ を導出している¹⁷⁾。当時から自然バックグラウンドが $1 \text{ mSv}/\text{年}$ であり、変動幅が一般的に $0.5 \text{ mSv}/\text{年}$ から $2 \text{ mSv}/\text{年}$ であることを考慮すべき事項として記載してある。また、超長期経過後の将来世代に対して、現代世代と同程度の防護を確実にすべきとする考え方を必要不可欠としている。超長期間の操業を提供する場合、長寿命核種について大きな影響があるとしている。まず、今日想定しているものが、例えば地質化学的リサイクルや気候要因で海洋の大きさや性状が変わり、さらに将来の人口がどのようになり、どのような資源を利用しているかも影響するので、最終的に将来に亘って通用しないのではないかと考えられるとしている。対象は海洋投棄であったが、1979

表1 能動的、受動的人間諸活動に係るリスク¹⁷⁾ (年当たりの死亡確率)

従事作業		娯楽		自然災害	
鉱山作業	10^{-3}	レース	10^{-3}	世界の洪水	$10^{-6} \sim 10^{-7}$
商用飛行	6×10^{-4}	スキー	7×10^{-5}	地震	10^{-6}
工学作業	10^{-5}	喫煙(1日20本)	5×10^{-3}	落雷	5×10^{-7}
		航空会社の航空機搭乗者 (年間20時間搭乗)	10^{-5}	自然災害(盛年期)	10^{-3}

年当時から超長期経過後に現在の想定を持ち込むことの難しさを認識していた¹⁷⁾。

次に焼却と産廃処分におけるDe Minimisの取り扱いでどのような議論があったかを示す。海洋投棄と比較すると陸地環境においては、規制は国内規制に依存するものであり、海洋規制のように国際規制ではないということである¹⁹⁾。IAEAは既に1967年のBSSで免除の量を決めている。当時の報告によると、いくつかの国において、1967年時点でDe Minimisを引用していないものの、既に陸地環境で処分を実施している¹⁹⁾。また、いくつかの国では自然放射性核種についてDe Minimisの概念でそれ以上規制当局の管理を受けないである種の放射性廃棄物を処分しようと考えている¹⁹⁾。別のある国ではDe Minimisの濃度レベルをいくつかの自然放射性核種に定義するレビューに入っている¹⁹⁾。当然、決まってくる濃度は自然環境で発生する放射性核種の濃度と同等となる¹⁹⁾。また、別の国では廃棄物分類と結びついたレベルを設定することにより、ある濃度以下であれば、放射性でない廃棄物として取り扱うことができるように制度を開発していると報告している¹⁹⁾。

また、脚注として「De Minimis線量レベル」あるいは「De Minimis線量」について解説が記載されている。なぜなら一般公衆は、ICRPが述べている低線量では効果と線量との間に直線関係を示すモデル¹⁾で閾値が存在しないという文書との関係に疑問を持つと思われるからである。健康影響の評価を考えると集団線量の計算では切り捨てできる線量はなくなることとなる。しかし、IAEAが示すDe Minimisの概念は線量比例、閾値なしのLNT仮説と矛盾するものではない。わずかの害も取り切れないということにはならない。さらに言えば、個人線量も集団線量もいずれもとても低くて、規制の関心の対象外であるという状況が必ずあるはずである。これがDe Minimisの概念であると

している¹⁹⁾。

なお、ロンドン条約は96年議定書附属書Iに「低レベル放射性廃棄物投棄の25年後の見直し規定」が定められたことから、2021年に低レベル放射性廃棄物投棄の見直しが行われる可能性がある¹⁸⁾。

2・2 陸地処分の制度化までの道のり

世界はロンドン条約批准以降に陸地処分に転換した訳ではなく、各国とも海洋投棄とともに陸地処分も実施してきた。図4に海洋投棄を実施した放射能割合を国別に示す¹⁶⁾。米国、ロシア、英国が海洋投棄を進めていたことがわかる。北極海では旧ソ連とロシアが投棄している。我が国も少量であるが海洋投棄を実施したことがわかる。

以下では1960–1970年代の陸地処分の黎明期から放射性廃棄物処分の制度化がどのように進められたかについて、また、その制度化に当たって、環境に存在する自然放射性核種をどのように取り扱ってきたかに焦点を合わせて議論する。

2・2・1 放射性廃棄物処分の黎明期

先にも触れたように、1960年代から放射性廃棄物の処分が始まった。当初はいずれもトレンチ処分が中心であったことから、放射性核種の漏洩が相次いだ。米国とフランスについて以下に概要をまとめる。

▶米国

1960年代に入り、海洋投棄は経済的にも魅力がなくなり、1970年には完全に終了した。海洋投棄が減少した第一の理由は公衆の海洋汚染に対する反対の意向にあるが、他に55ガロン（208L）のドラム缶当たり48.75ドルとの報告があり、陸地処分のドラム缶当たり5.15ドルに比べて高額であることも海洋投棄が減少した理由である¹²⁾。こうした背景を受けて、DOEは廃棄物処分について、民間処分施設でのDOE廃棄物処分を許可する政策変更を行った。この政策は民間で処分場に適した立地を行い、

図4 海洋投棄を実施した、海洋別、国別放射能割合¹⁸⁾ (Color online)

民間廃棄物と同様な処分をより安価な価格で提供できるであろうという見通しのもとで取られたものである¹⁰⁾。当時は放射性廃棄物が発生している場所で処分することを考えていた。当時、海洋投棄よりも規模の大小を含み16の連邦所有の土地で処分が実施されていた¹²⁾。

1960年にAEC (Atomic Energy Commission) は処分場の長期間に亘る制度的管理の有効性に対する関心から、AECは民間処分施設を連邦所有地に立地して、規制と許可を連邦政府から受けるという提案をした。そして、1963年にはMaxey FlatsのBeattyに民間廃棄物処分場が設立された。AECは公正で合理的な価格で処分ができれば、民間処分場の利用を進めるという公告も行った¹²⁾。

1971年までに、6つの浅地中低レベル放射性廃棄物処分場が許可を受け操業を開始した。これらの処分場は米国内で発生する民間放射性廃棄物を処分するものであり、多くは大規模なAEC施設の立地する敷地内かその隣地に立地していた。これらの処分施設と1991年に操業

開始したClive処分場の概要を表2に示す¹²⁾。

操業開始後数年でWest Valley, Maxey Flats, Sheffieldの処分場は地表水や地下水の管理に問題が生じた。予期しない放射性核種の移行や流出が生じた結果、当面操業を停止して1970年代には閉鎖することを決定した¹²⁾。

その他の処分場は上記とは異なる問題に遭遇していた。ネバダ州とワシントン州は1979年に暫定的に、廃棄体容器の規制違反、輸送の安全に関する問題で、BeattyとRichlandの処分場の操業を停止させた。これらの廃棄物処分場の閉鎖やトラブルにより、スリーマイルアイランドの事故に伴う低レベル放射性廃棄物の発生量の増加も重なって、サウスカロライナ州が国内の民間放射性廃棄物を一手に引き受けることとなり、サウスカロライナ州に輸送される放射性廃棄物が急増した。その結果、1979年にサウスカロライナ州知事は受け入れる廃棄物量を2年間に亘り50%に下げよう命令した¹²⁾。

浅地中処分の実施について、1973年にDOEは米国NAS (National Academy of Science) に

表2 過去及び現在の米国における民間低レベル放射性廃棄物処分場（1994年のEG&G Idaho, Inc. による。）^{12) *}

処分場	操業期間	操業開始時の 許可機関	現状(1994 年当時)	面積 (エーカー) ^a	処分容量 (10 ⁶ ft ³)	廃棄体の特徴		
						副生成物(10 ⁶ Ci)	核原料物質 (10 ⁶ ボント)	核燃料物 質(ボント)
ベアティ、ネ バダ州	1962-199 2	原子力委員会 (1962)	閉鎖	80(60) (32(24)万 m ²)	4.7 (13 万 m ³)	0.64 (2.4 万 TBq)	4.0 (1.8 千 t)	605 (274kg)
マクシ-フラッグ、ケン タッキー州	1963-197 7	州政府(1962)	閉鎖	280 (113 万 m ²)	4.7 (13 万 m ³)	2.4 (8.9 万 TBq)	0.533 (0.24 千 t)	950 (431kg)
ウェストバレー、 NY 州	1963-197 5	州政府(1963)	閉鎖	3345(22) ^b (1,354(8.9)万 m ²)	2.5 (7.1 万 m ³)	1.3 (4.8 万 TBq)	1 (0.45 千 t)	125 (57kg)
リッチランド、ワシ ントン州	1965-現 在	原子力委員会 (1965)	操業中	100 ^c (40 万 m ²)	13.6 (39 万 m ³)	36.1 (134 万 TBq)	13.5 (6.1 千 t)	351 (159kg)
バーンウェル、サウス カロライナ州	1965-現 在	州政府(1971)	操業中	300 (121 万 m ²)	24.8 (70 万 m ³)	12.8 (4.7 万 TBq)	33.6 (15.2 千 t)	6739 (3,057kg)
シェフィールド、イ リノイ州	1968-197 8	原子力委員会 (1967)	閉鎖	170(20) (69(8.1) 万 m ²)	+3 (8.5 万 m ³)	3 (1.1 万 TBq)	0.06 (0.03 千 t)	126 (57kg)
クライブ、ユ タ州	1991-現 在	州政府(1991)	操業中	540 (219 万 m ²)	25.0 (71 万 m ³)	11.3 (42 万 TBq)	未公開	未公開

注 a) 実際の処分面積は0で示す。処分場の面積より小さくなる。

b) ニューヨーク州が所有している処分場サイトには複数の放射性廃棄物管理区域がある。

c) ハンフォード原子力区域は 1000 エーカー以上の面積である。

注*) 1994 年以降に操業開始したテキサスの WCS 社の処分場は記載されていない。

原典記載のコメント欄、およびデータの出典に関する注記は削除した。

独立したレビューを委託し、1976年にNASはAEC施設の固体低レベル放射性廃棄物の管理実務についてレビューを受けた勧告を報告した¹²⁾。

これ以降は10CFR61の制定に向かっていくので詳細は後項で説明する。

▶ フランス

米国の処分場操業開始と同時期に、フランスでは、ラマンシュ処分場が操業している。ラマンシュの操業期間は、1969年～1994年である。1976年にサンエレナ川の近傍で規制値よりは低いが高濃度のトリチウムが検出された。これは古いコンクリートトレンチで廃棄物は砂で充填していた。廃棄物は取り出して、再コンディショニングしてトリチウムの流出は低減したが、今日でもトレースレベルのトリチウムが地下水に残存している¹¹⁾。

2.2.2 ウラン鉱さいの処分・環境対策

前節では低レベル放射性廃棄物処分場の黎明期の様子を紹介した。ここでは一度低レベル放射性廃棄物から離れて、ウラン鉱さいの処分・環境対策を紹介する。その理由は放射性廃棄物の処分、とりわけ自然放射性核種としてのウランの処分に極めて関連することから、ここで一

度ウラン鉱さいの取り扱いを確認する。以下の議論では主に米国の状況を中心に説明する。

先にも触れたように冷戦時代の核開発競争で大量のウラン鉱さいが放置され、健康被害が顕在化していたため、米国政府としては、最優先に解決すべき課題であった。1978年にはウラン鉱さい放射線管理法（Uranium Mill Tailings Radiation Control Act, 通称UMTRCA法）が成立し、NRCはモデル的な鉱さい堆積場を想定して堆積場から発生するラドンによる環境影響を評価した²⁰⁾。

評価の詳細についてはここでは議論しないが、その過程の中で、ウラン含有廃棄物についての考え方が示されているので以下に紹介する。

最初に我が国でも一部の専門家が指摘しているようにウラン鉱さいを高レベルと同様に地層処分すべきではないかとする議論である。NRCは鉱さいを地層処分してはどうかという考え方に以下のように反論している²⁰⁾。

- ① 鉱さいは放射能濃度の低い廃棄物が大量に発生している。
- ② 鉱さいの放射線影響は急性ではなく、慢性の影響であり、それに対応する十分な時間的余裕がある。

③ウラン鉱さいが侵食により地表に露出することについては、同様に侵食が自然環境中の鉱石の表土を侵食して露出させることもありうる。こう考えると、鉱山活動によって人間への放射線影響が増加するものでないことがわかる。ウラン鉱さいが侵食により地表に露出することは、単にウランと子孫核種が地表に到達して、人間を被ばくさせる時期が異なるだけであると結論している。

④鉱さいは大量に発生し、放射性物質が拡散し、基本的に期間が区切られていない領域線源である。これは、期間が決まっている、機械的に漏洩を防止することができる点線源とは異なる。鉱さいの放射能は長期間存続するので、閉じ込め性は同様に耐久性が要求される。それゆえ、短期間、環境への放出を防止する場合と異なり、長期間の隔離性能については非常に大きな不確実性がある。鉱さいは地層に処分されるのではなく、閉じ込め性能について時間とともに影響する条件に囲まれている浅地中に処分されるのである。処分条件でお互いに拮抗するものもある。ラドンバリアを強固にするには廃棄物を深く埋設してラドンカバーの厚さを確保することが重要であるが、そうすると廃棄物層が地下水に近づくこととなり、地下水経路の防護がより困難になる。別の観点から1つの目的のための施工が他の目的にも合致する場合がある。鉱さいのカバーはラドンの放出の抑制ばかりではなく、人間侵入の阻止にも役立ち、その結果跡地の誤利用を防止することにもつながる。このようにそれぞれの費用をかける対応が関連していることから、現実的な費用-便益の最適化を実施することは困難である。従って、最低限必要なカバーの厚さとその他の防護方策を規制から示して、鉱さいのカバーの長期間の安定性について、保守性を持った方策とする。

①②については我が国では実感として感じる場所がないが、世界で見ると、アメリカの他、

ドイツのヴィスマート鉱山跡地といった核開発の歴史廃棄物で汚染された場所があり、これらの場所でも住民と当局が信頼感を保って生活をしていることが確認される。これらのいわゆる歴史廃棄物の取り扱いについて簡単に触れる。

旧東ドイツのヴィスマート鉱山は冷戦時代に旧ソ連の核兵器開発のためにウランを供給した鉱山である。東西ドイツの統合の後しばらくして、経済的に引き合わないとして閉山した²²⁾。その跡地には環境修復を必要とする鉱さい堆積場、捨石堆積場、鉱山跡地が残された。東西ドイツの統合の後、公社として新設されたヴィスマート社は鉱山跡地を整理して環境修復を実施している。鉱山跡地や堆積場等が近接している住宅地に影響を与えないよう、廃水放射能やラドン濃度等の監視をしている。鉱山跡地は整備して公園として、市民に開放するとともに、不動産販売も手がけている。一部は建売住宅地としても販売している。

アメリカ以外では、他にカナダのポートホープがある。ポートホープはマンハッタン計画でカナダ奥地からウラン鉱石を運び、ウランの精製を行った場所である。ウラン生産製錬にともない発生する鉱さいの管理が不十分であり、また、一部鉱さいを運搬した幹線道路の脇等が汚染されていた状況にあったが、環境修復活動の結果、鉱さい等廃棄物も適切な管理下に収まり、住民は通常の生活を過ごしている²¹⁾。

なお、我が国では天然に賦存するウランの含有量はせいぜい0.1%程度と理解しているが、アインシュタインがルーズベルト大統領に当てた原爆開発提案の手紙にも登場する旧ベルギー領コンゴの鉱石では最大ウラン含有量が65%のものもある²³⁾。米国はこの高濃度の鉱石を輸入してウランを取り出したが、それに伴い発生した鉱さいの²²⁶Raの放射能濃度は平均477,000pCi/g(17,649Bq/g)に達している²³⁾。しかしながら米国内では議論の末、旧ベルギー領コンゴの鉱石から発生する鉱さいについては、他の鉱さいとのクロスコンタミを避けて、隔離

図5 ウランの永続平衡 (核燃料としての精製分離前, 精製分離後)

して取り扱ってはいたものの、特別な分類はせずに、法規制上は米国内で発生する鉱さいと同様に取り扱うこととした²³⁾。

③について、分離したウランについての適用を考える。子孫核種の生成について、簡単な概念図を図5にまとめた。ウランを精製分離した側から見ると子孫核種が次第に生成していくように見受けられるが、実際にはウランは常に崩壊を繰り返して自然の営みを続けていることが理解される。燃料サイクルの上流を考えると、最初に鉱山活動によりウランが分離され、地表にウランの子孫核種が保管される。次に、分離したウランは核燃料として加工され、その際にウラン含有廃棄物が発生する。発生したウラン含有廃棄物は浅地中処分され、処分から数10万年後に、子孫核種が生成して地表に保管される。侵食の影響について、③の考え方を展開すると、発現する時間が数10万年ずれるだけで、人間の活動として見ると、ウラン採鉱の活動による子孫核種の地表への接近の影響も、ウ

ラン含有廃棄物から生成して数10万年後に地表に接近する子孫核種の影響も、いずれもウラン鉱石が地表に露出して人間を被ばくさせる事象と、発現時期が違うだけで、同一の結果をもたらすと考えれば、鉱山活動やウラン含有廃棄物の処分は、鉱山活動が行われなかったり、ウラン含有廃棄物の処分がなされなかったとしても、健康への有意な影響は与えないという結論になると予想される。ただし、侵食の場所が鉱山とウラン含有廃棄物処分場では違うので同一といえないとの指摘もあろう。数10万年後という時間との関係も議論となる。いうまでもなく、ウラン鉱石の鉱さいは特殊な廃棄物である²⁴⁾ ことについては、その発現時期も含めて考察する必要があるが、人間活動に伴う廃棄物の発生という、別の観点からは、ウラン含有廃棄物の発生量は鉱さいに比べればはるかに少量であることにも配慮する必要がある。

なお、図5には欧州委員会報告で²³⁸Uについて、免除・クリアランスを取り扱う場合に行為に適用するウラン子孫核種と自然放射線源に適用する子孫核種を記載している^{25, 26)}。^{234m}Pa以下の子孫核種は行為においては除外されていることが知れる。行為を人間の手がかかったものと理解すると、図の右と左でウランが崩壊していく過程には何も変わらないことが知れる。ウラン核種の子孫核種の生成は人間の手がかかったものではなく、自然の摂理と理解される。

最後に線量基準との関連を確認する。個人被ばく線量について、NRCは実際の基準となる鉱さい堆積場を調査して、敷地から風下2km離れた場所に住む住民を近隣に住む住民と設定して、線量評価を行った。モデル計算では近隣住民の被ばく線量が25mrem/年(250μSv/年)となる、風下の距離は2.7kmと評価された。NRCがモデル鉱さい堆積場で算出した評価例を図6に示す²⁰⁾。この報告書はジェネリックな評価であり、実際には、サイトスペシフィックに近隣住民を設定して、被ばく評価を行い、線量基準に合致することを確認するものと思われる。

図6 モデル鉱さい堆積場最終操業年における最大個人被ばく線量²⁰⁾

る²⁰⁾。

次に集団線量について確認する。NRCはモデル鉱さい堆積場による評価と比較するために、別の観点からカナダ、米国、メキシコを含めた北米地域の国民線量への影響を評価している²⁷⁾。具体的には北米に4つの鉱さい堆積場を想定してそれぞれに1,000Ci(37TBq)のラドン線源を置いたと仮定し、北米の国民線量を評価した²⁷⁾。天然土壌から発生するラドンによる国民線量と比較して、1つは鉱さい堆積場から発生するラドンによる国民線量、もう1つは、屋内インテリアからのラドンと農用地の耕作によるラドンを除いた、米国国内のNORM(鉱さいは除く)から発生するラドンによる国民線量を比較検討した。評価結果は、天然土壌から発生するラドンによる国民線量を基準として、NORM(鉱さいは除く)から発生するラドンによる国民線量は天然土壌からの国民線量の2桁下、4つの鉱さい堆積場にそれぞれ設置した、1,000Ci(37TBq)のラドン線源からの国民線量は天然土壌からの国民線量の3桁下となっている²⁷⁾。この評価結果は最終的に米国、フランスの廃棄物処分場の制限値として転用されている。詳細は後述する。

2・2・3 放射性廃棄物処分の制度化に向けた努力

前述したように、1960年～1970年代に操業

を開始した放射性廃棄物処分場ではいずれも放射性物質の漏洩を経験した。当時、放射性廃棄物処分の制度化は比較的急いでいたと推察される。制度化の基本的な考え方を提示したのは米国であり、処分場の評価を実施しながら、具体的な法律の整備を進めた。フランスは米国同様に国内で制度化を求められており、最終的に米国の制度化の考え方を参考として制度を確立したと考えられる。

英国は一部米国の考え方も取り入れつつ、産廃処分場へ処分する政策を取った。

ドイツは本総説で焦点を当てているウラン含有廃棄物に関して、産廃処分場への払出しを実施し、基本的に放射性廃棄物に分類する廃棄物については浅地中処分の概念を想定していない。

以下、制度化までの歩みを概観する。

2・2・3・1 米国

米国ではNRCが10CFR61(放射性廃棄物の浅地中処分のための許可要件)を1982年12月27日に制定している²⁸⁾。これに先立ってジェネリックな評価を実施し、放射性廃棄物の陸地処分に関する規制要件として環境影響評価書を作成している²⁹⁾。当時の環境影響報告書に記載されていた廃棄物分類のための制限値の案を表3に示す²⁹⁾。ここでウラン核種については²³⁵UについてクラスA(最もレベルの低い放射性廃棄物の分類)の制限値を $0.04 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ($1,480 \text{ Bq}/\text{cm}^3$)、²³⁸Uについて制限値を $0.05 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ($1,850 \text{ Bq}/\text{cm}^3$)と設定して環境評価を実施していた。しかしながら最終的に制定された10CFR61ではウラン核種の濃度制限値は記載されず、制度上ウラン核種については低レベル放射性廃棄物としての濃度上限値は存在しないこととなった。この条件は近年、劣化ウランの処分の制度化が要求されることとなってから見直しされる予定であるが、廃棄物分類の表では混乱をさけるために、依然としてウランの濃度上限値は記載されない予定である。

表3でTRU核種の閾値がクラスAとクラスB

表3 10 CFR Part 61 制定の検討時に想定された廃棄物分類の制限値²⁹⁾

放射性同位元素	区分別放射能限度 ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$)		
	クラス A	クラス B	クラス C
H-3	4.0E+1* (1.5E+6 Bq/cm ³)	**	**
C-14#	8.0E-1 (3.0E+4 Bq/cm ³)	8.0E-1 (3.0E+4 Bq/cm ³)	8.0E+0 (3.0E+5 Bq/cm ³)
Fe-55	7.0E+2 (2.6E+7 Bq/cm ³)	**	**
Ni-59#	2.2E+0 (8.1E+4 Bq/cm ³)	2.2E+0 (8.1E+4 Bq/cm ³)	2.2E+1 (8.1E+5 Bq/cm ³)
Co-60	7.0E+2 (2.6E+7 Bq/cm ³)	**	**
Ni-63#	3.5E+0 (1.3E+5 Bq/cm ³)	7.0E+1 (2.6E+6 Bq/cm ³)	7.0E+2 (2.6E+7 Bq/cm ³)
Nb-94#	2.0E-3 (7.4E+1 Bq/cm ³)	2.0E-3 (7.4E+1 Bq/cm ³)	7.0E+2 (2.6E+7 Bq/cm ³)
Sr-90	4.0E-2 (1.5E+3 Bq/cm ³)	1.5E+2 (5.5E+6 Bq/cm ³)	7.0E+3 (2.6E+8 Bq/cm ³)
Tc-99	3.0E-1 (1.1E+4 Bq/cm ³)	3.0E-1 (1.1E+4 Bq/cm ³)	3.0E+0 (1.1E+5 Bq/cm ³)
I-129	8.0E-3 (3.0E+2 Bq/cm ³)	8.0E-3 (3.0E+2 Bq/cm ³)	8.0E-2 (3.0E+3 Bq/cm ³)
Cs-135	8.4E+1 (3.1E+6 Bq/cm ³)	8.4E+1 (3.1E+6 Bq/cm ³)	8.4E+2 (3.1E+7 Bq/cm ³)
Cs-137	1.0E+1 (3.7E+5 Bq/cm ³)	4.4E+1 (1.6E+6 Bq/cm ³)	4.6E+3 (1.7E+8 Bq/cm ³)
U-235***	4.0E-2 (1.5E+3 Bq/cm ³)	4.0E-2 (1.5E+3 Bq/cm ³)	4.0E-1 (1.5E+4 Bq/cm ³)
U-238***	5.0E-2 (1.85E+3 Bq/cm ³)	5.0E-2 (1.85E+3 Bq/cm ³)	5.0E-1 (1.85E+4 Bq/cm ³)
TRU	1.0E+1## (3.7E+2 Bq/cm ³)	1.0E+1## (3.7E+2 Bq/cm ³)	1.0E+2## (3.7E+3 Bq/cm ³)
Pu-241	3.5E+2## (1.3E+4 Bq/cm ³)	3.5E+2## (1.3E+4 Bq/cm ³)	3.5E+3## (1.3E+5 Bq/cm ³)

* 4.0E+1 の表記は 4.0×10^1 を意味する。

** これらの放射性同位元素について、制限値は設定されていない。

放射化された金属については、これらの放射性同位元素の制限値は 10 倍される。

これらの放射性同位元素については、制限値は $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ではなく、 nCi/g で表記している。

注*** 最終的にウラン核種の上限值は 10 CFR Part 61 に記載されなかった。(原典に追記)

では 10nCi/g (370Bq/g)、クラス C では 100nCi/g ($3,700\text{Bq/g}$) と記載されている。クラス A 及びクラス B における、この値の選定には自然放射性核種の存在が係っており、またクラス C では ALARA の精神が反映されている。これらの制限値の設定は環境に広く賦存する自然放射性核種をどのように考えるかが反映されているので、以下、詳細を説明する。

(1) 浅地中処分できる TRU 核種について 10nCi/g (370Bq/g) を提案した経緯

10nCi/g (370Bq/g) は数字としては、1962 年の IAEA-BSS に固体の自然放射性物質で 10nCi/g (370Bq/g) を超えない物質を取り扱う場合には放射性物質を取り扱う登録も許可も必要と

しない閾値として登場している³⁰⁾。当時の議論については記録も残っていないので、この IAEA での 10nCi/g (370Bq/g) の取り扱いと米国で制度化された浅地中処分できる TRU 核種の制限値である 10nCi/g (370Bq/g) については、本総説では偶然一致していることとし、両者の関係は問わないこととした。

前置きが長くなったが、時代背景として時期は確定できないが、米国において、TRU 核種を含む廃棄物を恐らくオンサイトにて浅地中処分する必要性が生じた。実際に浅地中処分するには浅地中処分してよい濃度の上限值が必要となる。当時、時間的余裕もなく早急に決める必要があったため、上司から依頼を受けた

Alex Perge氏がHarvey Soule氏を担当に任命した。Harvey Soule氏はJack Healy氏やBill Reinig氏ら数人と黒板で議論して、米国西海岸で採鉱される高品質のラジウムに伴うハザードを概算して、それと大略同等な濃度として10nCi/g (370Bq/g)を選定した³¹⁾。しかしながら、Harvey Soule氏は死ぬまで、この数字に関わりたくなかった。彼は時間的制限からあらゆる観点から検討することができなかったことを残念に思い、自分の職業観からこの数字は自分の評価を下げるものと考えていた³¹⁾。

当時の目的は、今すぐに使える大体のスクリーニングに用いる数字を決めることであったが、研究者は常により科学的な根拠に基づいて決めることがよりよいと期待していた³¹⁾。Alex Perge氏が感じていたことはこのレベル以下の廃棄物のみを浅地中処分することは全ての廃棄物を浅地中処分するよりもはるかによいというものである³¹⁾。

このような経緯で決まった10nCi/g (370Bq/g)であるがその後、海を越えて欧州のフランス、英国で低レベル放射性廃棄物の埋設制度に反映された。

(2) クラスCで浅地中処分できるTRU核種の上限値として100nCi/g (3,700Bq/g)を採用した背景

(1)で説明したように、1973年にDOEは浅地中処分できるTRU核種を含む廃棄物を長寿命の α 核種を10nCi/g (370Bq/g)以上含む廃棄物とマニュアルに記載した³²⁾。しかし、1982年の会議で浅地中処分できるTRU核種を含む廃棄物を100nCi/g (3,700Bq/g)以上と定義することを勧告され、1982年にDOEは100nCi/g (3,700Bq/g)以上を浅地中処分できないTRU核種を含む廃棄物とした³²⁾。これには当時開設を予定していた連邦施設から発生する高レベル廃棄物を処分するWIPP (Waste Isolation Pilot Plant)での受入基準が関係している。発生する廃棄物を全て10nCi/g (370Bq/g)以下に除染することは困難であったことから、浅地中処分

できるTRU核種を含む低レベル放射性廃棄物の閾値を10nCi/g (370Bq/g)とするとWIPPで受け入れる廃棄物量が増大してしまう³³⁾。そこで、浅地中処分できるTRU核種を含む廃棄物の閾値を100nCi/g (3,700Bq/g)として、WIPPでは100nCi/g (3,700Bq/g)を超えるTRU核種を含む廃棄物のみ受け入れることとした³³⁾。

このように、放射性廃棄物の閾値は単に技術的検討で決まるものではなく、経済的な面も考慮して決定されるものであることが確認される。

最終的に上記の経緯で定まった浅地中処分できるTRU核種を含む廃棄物の閾値、100nCi/g (3,700Bq/g)は今日では、フランスや英国で浅地中処分する廃棄物の α 核種の最大値として事実上世界の標準となっている。

上記の考え方で濃度上限値は定まったが、民間放射性廃棄物処分施設が10CFR61に従って申請するために、NRCは2000年に処分場の性能評価を行うガイダンスを発行した。このガイダンスでは処分場の評価期間を最大1万年とした³⁴⁾。本総説で扱う自然放射性廃棄物であるウランについては、当然1万年以上の期間で子孫核種の生成が顕著となるが、当該ガイダンスのパブコメにおいてNRCは1,000Ci (37TBq)未満のウランについて、特別な例外として1万年以上の子孫核種の評価は不要であると回答している³⁴⁾。既に、「2.2.2 ウラン鉱さいの処分・環境対策」で触れたように、1,000Ci (37TBq)までのラドン線源を4ヶ所米国に設置したと仮定してもカナダ、米国、メキシコを含めた北米の国民線量の増加は天然土壤から発生するラドンの寄与の3桁下であることを確認している²⁷⁾。10CFR61と鉱さいを管理する40CFR192には直接の関係はないが、インベントリー量として1,000Ci (37TBq)という量を持っていることから、数10万年後のラドンの発生は国民線量の顕著な増加を発生しないことを参考に1万年以降の子孫核種の生成は不要とパブコメで回答したのではないかと推察さ

れる。

2・2・3・2 フランス

フランスでは米国の10CFR61の整備に合わせるように、制度化の準備が進んだ。1984年6月19日に「短・中寿命で低中レベルの放射性廃棄物の浅地中処分に関する安全目標と基本設計」とする安全基本規則（RFS I-2）を発行した。基本的な考え方は10CFR61を踏襲しており、10nCi/g(370Bq/g)は米国ではクラスA廃棄物の長寿命TRU核種の制限値であったが、フランスでは廃棄物処分場全体の α 核種の平均濃度として取り入れられている。受け入れる廃棄物の α 核種の最大濃度は平均濃度である10nCi/g(370Bq/g)の10倍として、100nCi/g(3,700Bq/g)としている³⁵⁾。

米国では1,000Ci(37TBq)の処分場インベントリー量は、1万年を超えるウラン子孫核種の評価を不要とする条件を示していたが、フランスでは当該施設を原子力施設とすることかどうかの判断に適用した。わかりづらいのでフランスの制度を解説する。フランスでは当該施設が原子力施設となるかどうかを当該施設で放射性物質を取り扱うかどうかで判断するのではなく、当該施設に滞留する放射性物質のインベントリーで判断している。当然、核燃料物質加工施設のように受け入れて払い出す場合にはインベントリーは低くなり、処分施設のように受入のみで払出しがない場合にはインベントリーは高くなる。フランスの場合、放射性核種は4つに分類されているが、施設の種類ごとに各放射性核種の分類ごとの核種のインベントリーを足し合わせたインベントリーの総量に閾値を設定している。その閾値の最小値が1,000Ci(37TBq)であり、これを基準値としてその10倍、100倍という形で閾値が設定されている³⁶⁾。概念的に捉え難いが、実際にこの1,000Ci(37TBq)を適用したのがモリビリエの処分場であることから、米国の1,000Ci(37TBq)をフランスが基準値として導入したことが知れる。モリビリエは極低レベル放射性廃棄物処分場である³⁷⁾。受け入

れる α 核種の大部分はウランであることが毎年公表される受入廃棄物のインベントリー報告から推察される³⁸⁾。モリビリエは受入最大放射エネルギーを37TBq(1,000Ci)として環境保護指定施設(ICPE)として操業許可を得ている³⁹⁾。環境保護指定施設とは特定有害物質を処分する施設であるが、原子力施設(INB)と比べると閉鎖後の管理が簡素であり、例えば閉鎖後の管理期間が原子力施設の300年に比べて環境保護指定施設(ICPE)では30年となっている³⁷⁾。

米国では1,000Ci(37TBq)を鉱さいから発生するラドンの国民線量への影響から見た影響のない上限値として確認していたものをフランスでは原子力施設と環境保護指定施設の閾値として導入したことが知れる。

本総説の議論の中心であるウラン核種の取り扱いについてフランスは固有の取り扱いをしている。詳細は後に説明するが、上記で説明した環境保護指定施設(ICPE)や原子力施設(INB)で取り扱うウランを含む廃棄物とはウラン核種の濃度として500Bq/g以上のものと定義されている³⁶⁾。フランスでは法律で500Bq/g以下の自然放射性核種を含む物質については放射性廃棄物と見なさないと規定しており、さらにウラン・トリウムについては子孫核種を全て除外して親核種の放射能のみでこの基準で判断してよいと行政裁判所で裁定していることから500Bq/gがそのままウラン核種の放射能濃度と読むことができる⁴⁰⁾。

この結果、大量にモリビリエ処分場に存在しているウランは放射性物質としては取り扱われていないということとなる。同様に先に説明したフランスの浅地中処分に関する規則、短・中寿命で低中レベルの放射性廃棄物の浅地中処分に関する安全目標と基本設計」とする安全基本規則(RFS I-2)に従って設置されたオープン処分場にもウランが受け入れられているが、これらのウランは放射性物質としては取り扱われていないのである。ここにフランスがウラン核種に対して規制制度をいかに柔軟に適用

しているかが示されている。法律で記載されている「500Bq/g以下の自然放射性核種を含む物質」についてウラン含有廃棄物の受け入れ処分場では500Bq/gを上限とはしていない。環境保護指定施設（ICPE）であるモリビリエでは受入ロットあたり最大1,000Bq/g、平均100Bq/gのウラン含有廃棄物を受け入れている³⁹⁾。最大放射能濃度は法の定める500Bq/gを超えているが、平均濃度は下回っている。「短・中寿命で低中レベルの放射性廃棄物の浅地中処分に関する安全目標と基本設計」とする安全基本規則（RFS I-2）の記載によれば³⁵⁾、濃度基準値を設定すると工学的に安全余裕を見込むので、最大濃度を10倍高い濃度に設定するとの記載があり、最大1,000Bq/gとの記載は実績としては平均100Bq/gが確実に担保されることを意味すると理解される。このように理解すれば、受入ロットあたり最大1,000Bq/g、平均100Bq/gのウラン含有廃棄物を放射性物質としないでモリビリエ処分場で受け入れることはフランスでは妥当であると考えられる。

次にオーブ処分場での受入について考察する。オーブ処分場は安全基本規則（RFS I-2）に従う処分場であるので、当然受け入れる廃棄物は短・中寿命で低中レベルの放射性廃棄物である。従って、ウラン含有廃棄物は個別申請で受け入れることとなる。我が国の感覚からすれば、ウラン核種は長寿命核種であるからオーブ処分場に受け入れられるわけがないと考えるが、実際には受け入れている。従って、ウランは長寿命放射性核種であり、その線量影響をピークである数10万年までフランスで確認したのかと素朴な疑問が思い浮かぶ。現実には、オーブ処分場でも500Bq/g以下の自然放射性核種については、放射性物質とは扱わないとする規定が適用されている。ただし、受け入れるウラン含有廃棄物の最大濃度は安全基本規則（RFS I-2）で規定されている α 核種の最大値3,700Bq/gとしている⁴¹⁾。そして、オーブで受け入れる廃棄物全体の自然放射性物質の平均

濃度が500Bq/g以下であれば受け入れ可能としている⁴¹⁾。

2・2・3・3 英国・EU

英国でも低レベル放射性廃棄物の α 最大濃度は4,000Bq/g（実際の記載は4GBq/t）である⁴²⁾。この4,000Bqは米国で定めたクラスCのTRU核種の最大濃度100nCi/g(3,700Bq/g)を丸めたものと推定される。

英国では低レベル放射性廃棄物について平均濃度についての記載はないが、EUには短・中寿命で低中レベルの放射性廃棄物について、長寿命 α 核種の平均放射能濃度を400Bq/g以下に制限している⁴²⁾。この400Bq/gは米国で定めたクラスA、クラスBのTRU核種の最大濃度10nCi/g(370Bq/g)を丸めたものと推察される。そして、この規定を適用すれば、フランスと同様にEUでも長寿命 α 放射性核種について、廃棄物全体の平均濃度が400Bq/g以下であれば、その廃棄物全体は短・中寿命廃棄物となり、ウラン含有廃棄物について適用すれば、短・中寿命廃棄物処分場にウラン核種を処分したとしても平均濃度が400Bq/g以下となれば規制上は、受け入れは可能となる⁴²⁾。

このようにフランスと同様に英国やEUでもウラン含有廃棄物を代表とする自然放射性核種を含む廃棄物を浅地中処分する道が開かれているのである。

最後に英国固有の事情について解説する。1つは英国にはウラン鉱山がないということである。正確には1903年に閉山したウラン鉱山がある⁴³⁾が、その後、英国国内でウラン鉱石を採鉱することはなかった。ウラン鉱山があるフランスやドイツではラドンの取り扱いを他の核種とは別に取り扱っている。例えばドイツでは放射線防護令で居住のラドンについては放射線防護令の対象としていない⁴⁴⁾。これに対し、英国ではラドンについても線量として評価する制度としている⁴⁵⁾。

2つ目は、英国では放射性廃棄物となったところで、環境省が監督することとなることで

ある。これはフランスのように環境保護指定施設（IPCE）と原子力施設（INB）の閾値が不要であることを意味しており、非常に放射能の低い処分場から浅地中処分の α 上限値である4,000 Bq/gまでの廃棄物を処分する処分場まで連続して環境省傘下で規制されていることとなる。英国では政府支出を削減するために、 α , β , γ を問わず200 Bq/g以下の放射性廃棄物は低レベル放射性廃棄物全体の89%を占めており⁴⁶⁾、これらの廃棄物を産廃処分場に処分することで放射性廃棄物処分場の寿命を延長するとともに費用を削減するという大胆な政策ができる背景にも、産廃処分場から放射性廃棄物処分場まで、連続して取り扱うことができる英国固有の制度が貢献している。

2・2・3・4 ドイツ

ドイツでは短・中寿命廃棄物の定義はなく、放射性廃棄物は発熱性廃棄物と非発熱性廃棄物に分類されている⁴⁷⁾。本総説で議論の中心であるウラン核種を含有する廃棄物は濃度の低いものは基本的に産廃処分場に処分している。ドイツでは国内のクリアランス制度が整備される前に既に10 μ Sv/年を基準としてウラン含有廃棄物を産廃処分場に処分している⁴⁸⁾。ドイツの産廃処分場での処分については後述する。

本稿でとりあげる浅地中処分とは異なるがドイツでは廃鉱山に放射性廃棄物を処分する政策を取っているので、廃鉱山への処分とウラン核種の係りについて概略説明する。先にも述べたように居住のラドンは放射線防護令では取り扱っていないので、放射性廃棄物処分場での安全評価ではラドンは解放条件での評価となる⁴⁴⁾。コンラッドの処分場は深度800mから1,300mに設置されている。ここに ^{238}U を 1.9×10^{12} Bq処分したとして評価がなされた⁴⁹⁾。10 μ Sv/年オーダーの線量が870万年～1,600万年の間 ^{238}U の子孫核種である ^{226}Ra により生じることが試算されている。

ドイツでは浅地中処分ではなく廃鉱山に処分されるため、超長期経過後のウラン子孫核種の

線量評価が可能であり、ラドンについて居住の評価は放射線防護令の対象となっていないので⁴⁴⁾、長期間経過後でも処分場から流出するウラン子孫核種による線量影響は小さいと考えられる⁴⁹⁾。

2・3 De Minimisから免除概念の成立まで

De Minimisの概念については、既に「2.1 海洋投棄とDe Minimisの概念」で説明した。欧州各国はそれぞれ放射性廃棄物から自然放射性核種を免除する規定を制定していた。例えば、フランスでは1966年6月20日に成立した法令66-450で一般の放射性物質について100 Bq/g以下、自然固体物質については500 Bq/g以下については放射性物質としての届出や許可は不要であるとしていた⁵⁰⁾。この翌年の1967年にIAEAは一般の放射性物質について74 Bq/g以下、自然固体物質については370 Bq/g以下については放射性物質としての届出や許可は不要であるとしていた1962年のIAEA-BSSの規定を再度確認しており⁵¹⁾、フランスの閾値とIAEAの閾値が異なる結果となっていた。この違いはIAEAがあくまでも環境中の放射能濃度を参考とした閾値にこだわったが、各国、特に欧州は自国内のラジウム産業等自然放射能を取り扱う産業に大きな影響を与えないことを確認していたためと考えられる⁵²⁾。英国は放射性物質法（Radioactive Substance Act）を1960年に整備したが、主に自然放射性物質を用いる産業に適切な免除を適用することが困難であったため、施行は1963年まで延期されている⁵²⁾。実際、IAEAの報告でも高温での発熱反応を用いるニオビウムの生産過程で発生するダストで500 Bq/g程度のラジウムが検出されている¹⁰⁾。このような背景から1980年に発効したユーラトムの放射線防護指令では、一般の放射性物質について100 Bq/g以下、自然固体物質については500 Bq/g以下については放射性物質としての届出や許可は不要であるというフランス国内の法令と同様な記載が盛り込まれた⁵³⁾。1982年のIAEA-BSS No. 9で

は正式に免除という概念を導入したが、同報告書の原則に従った評価がなされるまでは、1980年に発効したユーラトムの放射線防護指令は欧州地域では有効であるとの注釈が書き込まれた⁵⁴⁾。

免除については、ユーラトムとOECD/NEAが意見交換しながら作業を進め事実上、1988年にNRCがワシントンで主催（OECD/NEA共催）した規制からの免除のためのワークショップで概要が固まった⁵⁵⁾。このワークショップでDe Minimisを免除と呼ぶことが国際社会で承認された⁵⁵⁾。

最終的に免除についてはIAEAが1989年に刊行した規制からの放射線源と行為の免除の原則で国際的に確定した⁵⁶⁾。

以下、免除の概念がどのように各国で適用されてきたのか状況を概観する。

2.3.1 米国

米国の10CFR61には免除の規定がある²⁸⁾。それに基づいて10CFR40には核原料物質と劣化ウランについては、重量%で0.05%の規定がある。その他、航空機のバランサーとして利用された劣化ウランや遮蔽体として利用されている劣化ウランについては、免除対象とすると明記されている⁵⁷⁾。

米国では上記の免除概念以外に、10CFR20（放射線防護の標準）のサブパートK（廃棄物処分）に従い処分されるものがある⁵⁸⁾。これらの廃棄物はLow Active Waste (LAW) と呼ばれるもので特に定義はされていないが、一般にNORMを含む残存放射能を多少含有する廃棄物を意味する⁵⁹⁾。過去30年間でNRCは10CFR20による100以上の処分の申請を受けて承認している。その内の2/3はオンサイト処分であったが、このごろはサイト外処分の申請が増えている⁵⁹⁾。2000年からは20の申請を受けているがその内17はサイト外での処分である。LAWは危険物処分場ないし、自治体の産廃処分場に安全に処分することができる。過去の10CFR20に基づく処分では、大量（数10万立

法フィート）の極低レベルの放射能を持つ廃棄物を、許可を得た産廃処分場に処分したり、許可取得者の敷地に処分したり、石油井戸に短寿命の廃棄物を処分したり、大学や研究所から発生する焼却灰を産廃処分場に処分したり、核原料物資を含むフィルターケーキをセメントキルンの原材料に供給したりしている⁵⁹⁾。線量はもしその材料が無制限利用でクリアランスされた場合に管理を外れ、どのように利用されても1mrem (0.01 mSv) / 年を以下となるレベルである⁵⁹⁾。

2.3.2 フランス

フランスでは免除について、国際機関の定める条件を無条件で免除する概念としている。フランスにおけるウランに関する免除の考え方を表4に示す⁶⁰⁾。表4で行は総量として10⁴Bqを超えるか超えないか、列は濃度として10Bq/gを超えるか超えないかで分類している。濃度については、表4の脚注に示すように、対象物の重量が1トン以下であれば無条件に免除可能で、この条件を満たさなくても許可を得てケースバイケースで免除が可能としている。なお、フランスでは免除に「無条件」や「無拘束」といった修飾語は付けず、単に「免除」と表現している。そして、濃度が10Bq/gを超えたり、放射エネルギーが10⁴Bqを超えたり、濃度は10Bq/g以下であるが、対象物の重量が1トンを超える場合には「免除」に許可が必要としている。免除に「無条件」や「無拘束」という修飾語を付けないことから、免除の語感として、「大目に見てやる」、「特別に許してやる」という意味合いがないことがわかる。

さて、IAEAでは免除レベルは対象物の重量が1トンまで、1トンを超える大量の物質につ

表4 フランスの免除の考え方⁶⁰⁾

放射エネルギー 濃度		
	< 10Bq/g	≥ 10Bq/g
< 10 ⁴ Bq	免除*	免除
≥ 10 ⁴ Bq	免除*	許可が必要

注*) 対象物の重量が1トンを超えない場合

図7 IAEAで議論されているウランの免除・クリアランス概念とフランスで理解されているウランの免除概念との比較⁶⁰⁾

いてはクリアランスレベルを適用するという概念を提示しているが、それとの関係はどうか⁶¹⁾。単純に対象物量1トンでウランの免除レベルとクリアランスレベルを区切って図示すると図7の左の図のようになる。IAEAのモデルの特徴として、現実的なシナリオと低頻度シナリオを区別することと、自然放射性核種と人工放射性核種を完璧に区別することにある。IAEAは自然放射性核種について、世界の自然放射性核種の分布の上限から設定している。一方EUでは、自然放射性核種についても線量評価を実施しており、シナリオ／線量に基づく濃度の導出が自然放射性核種についても必要であるとドイツの放射線防護室では考えている⁶¹⁾。

フランスではケースバイケースの免除レベルが存在するので、図7右に示す概念となり、対象物量が1トンを超えても免除が適用されている。

免除が必ずしも1トン以下でない理由を理解するには免除とはどのような意味があり、クリアランスの概念が何故必要となったのかを知る必要がある。まずは、クリアランスの必要性が議論された、IAEAの免除の原則に立ち返ることが必要である。ここで免除というものは、ある特定の廃棄物がある特定の処分場に処分する時に用いる用語であることが知れる⁵⁶⁾。そして、免除の原則を記載したIAEAのSafety Series

No. 89では、原子力発電所の解体のように大量の廃棄物が発生して自国で処分したり、再利用したりする場合には別の配慮が必要だとしている。例示として不特定の廃棄物が不特定の場所で処分されるならば、特定の場所に国内の全ての廃棄物が集中してしまう可能性もあると指摘している。そしてこのような条件でも成立する制度が必要であると議論を結んでいる⁵⁶⁾。この時点では新しい規制体系の必要性について議論していたが、全体の流れからこの新たな規制枠組みの必要性こそ「クリアランス」制度の導入であると理解される。

改めてまとめ直すと、クリアランスと免除の決定的な違いは免除が「特定の廃棄物を特定の場所で処分ないし再利用する」のに対してクリアランスでは、「大量に発生する放射能の低い廃棄物を国内で流通させ、自由に処分場を見つけたり、自由に再利用する」ことを意味している。両者の違いに量的な閾値は存在しない。強いて言えば、クリアランスは国全体で流通するようなイメージで考えているが、免除はある特定の物量がある特定の処分場に適用するような概念である。

それでは約1トンという免除の上限値はどのように考えればよいか。これを理解するのには1962年、1967年当時のIAEA-BSSに戻る必要がある^{30, 51)}。当時の免除の概念は「届出、登

録, 許可」が免除 (waived) されるという概念であった。まず, 最初の概念は量的なものである。1967年のIAEA-BSSではMPC (Maximum Permissible Concentration) の概念から個人の年間の摂取量や呼吸量で, MPCを仮定した環境での人間の年間摂取量と呼吸による吸引量を算出して, これらの数値から「届出, 登録, 許可」が免除される量を決めていた。そして濃度については線量評価ではなく, 天然の賦存性から自然固体放射性物質については10nCi/g (370Bq/g) 以下は「届出, 登録, 許可」が免除され, 一般の物質については2nCi/g (74Bq/g) まで免除されていたと推察される。この時点では1トンという数字は存在せず, 10nCi/g (370Bq/g) 以下であれば量的な制限はなかった。

1トンは1993年に刊行されたEUのRP-65で算出された, EUで用いる免除濃度と量を算出する原則と方法の記載から始まっている⁶²⁾。ここで1m³の線源から作業員が被ばくする線量を評価している。その想定は, 自然放射性核種を含む鉱石や工程副生成物の保管場所や, 小さな線源を収納した収納ラックを想定している。この1m³の線源からの線量を評価していることから, 免除は1トンまでという概念が生じたものと思われる。現実には表4に記載されているように, ウランの免除レベル10Bq/gは1トンまでは無拘束に利用できると理解すべきと考える。IAEAの規制からの免除の原則を記載したSafety Series 89でも, それ以前に議論されていたDe Minimisの考え方を踏襲しており, 原則として免除は極低レベルの放射性廃棄物の産廃処分 (注: 原典はmunicipal landfills), 焼却施設, 海岸沿いの処分場に適用されるべきであるとしている⁵⁶⁾。そして, 現実には処分等が実施される場所で免除が取り扱われるべきであるとして, このような場合には, 行為は極低レベル放射性廃棄物を特定の産廃処分場, 焼却施設, 海岸沿いの処分場に処分することと定義される⁵⁶⁾。そして, もし同様の処分場がすぐ近傍

に立地するならばその影響も考慮する必要がある。その場合, 法的に同様な処分場の設置を排除するか, その処分場も含めて影響を評価することで解決できるとしている。

さて, 前置きが長くなってしまったが, フランスでは産廃処分場に処分することはなく, 有害物を廃棄する環境保護指定施設 (ICPE) の1つの分類として免除された廃棄物を処分する施設があり, フランス国内では唯一モリビリエ処分場 (現在はCIRESと呼ばれている) が受け入れ処分場である³⁹⁾。先に説明したように, この処分場は受け入れ放射エネルギーを37TBq (1,000Ci) としており, 申請によって原子力施設ではなく環境保護指定施設 (ICPE) として認められている。線量評価も実施されているが, クリティカルグループをヌーダルマンセ川から引いた水を家庭や農業用水に用いるモリビリエ近隣に住む住民として受ける線量を0.1μSv/年以下と評価している³⁹⁾。また, 最も起こりえないような条件でのエアボーンによる影響についても45μSv/年以下としている³⁷⁾。国際会議の質疑で, 30年間の制度的管理の後, 地方自治体によりサイトは開放されるのかとの問いがあったが, ANDRAの発表者は, どの程度跡地を解放するかは地方自治体の判断によるが, そのことは原子力規制者が関与しないということの意味せず, フランスでは放射線防護について原子力規制者も責任を持つと回答している³⁷⁾。

これらの線量評価結果は, モリビリエ処分場でウラン含有廃棄物を受け入れることが前提となっていることを考えれば, 明らかに長期間経過後のウラン核種から生成する子孫核種の線量への影響は考えていない。そこで国際機関の関与も含め, 免除に関するウランの子孫核種の取り扱いを見てみることにする。IAEAの報告書の流れを確認すると, 1982年のBSSのAnnex Iに「届出, 登録, 許可」の要求から放射性物質, 装置, 線源を免除する一般原則が記載され, そこのA.I.3. (b)に放射性物質であって, 自然界で何の準備もなく放射性核種の濃

度を上げる事象で発生する放射性物質（原文：(b)Radioactive substances in the form in which they occur in nature without preparation intended to increase the concentration of radioactive nuclides）は規制当局により、一般免除として考慮されるべきと勧告している⁵⁴⁾。この記載が自然放射性核種で生成する子孫核種は免除すべきとするIAEAにおける最初の記載と筆者は考えている。1989年に刊行された規制からの放射線源と行為を免除する原則を記載したIAEAのSafety Series No. 89でも免除の原則は1982年のIAEA-BSSを引用しており⁵⁶⁾、免除の原則として子孫核種は考慮しないということは今でも生きていて考えている。現実、最新のIAEA-BSSであるGSR-3においてもウランの子孫核種を永続平衡まで評価しない結果が中程度の量に対する濃度として記載されている⁶³⁾。

フランスではウランの子孫核種の取り扱いを確実にするために、行政裁判所で裁定を下している⁴⁰⁾。フランスでは、既に1966年に自然固体放射性核種について500Bq/g以下であれば放射性物質としないとする法令を成立させるとともに、放射性核種を4グループに分けて、それぞれのグループである上限の放射能までは放射性物質としないことを定めた⁵⁰⁾。ウランについてその量は、 5×10^4 Bqであったが、このウランについて、放射性物質から免除する放射能量の評価に当たって、子孫核種もウランの放射能に入れるべきかどうかという議論が常に続いていた。これを1991年12月11日に行政裁判所はウラン、トリウムについては親核種の濃度を持って当該物質の放射能とし、子孫核種の放射能は除外するとの裁定を下した⁴⁰⁾。

AREVAではこの裁定に基づいて、長期間経過後に生成する子孫核種の線量については評価に入れていないとしている⁶⁴⁾。

このようにフランスでは免除されて処分されるウラン含有廃棄物について、子孫核種生成による線量評価は必要ないことを確認している。先にも触れたようにこの考え方はウラン含有廃

棄物を低・中レベル短寿命放射性廃棄物の処分場である、オープン処分場に処分する場合にも適用されている。そのため、オープン処分場の人間侵入の評価は短寿命核種の濃度が最大となる操業終了時に行われ、数mSv/年オーダーとの評価となっている⁵⁰⁾。ウランの子孫核種は免除されているので、超長期経過後のウラン子孫核種が人間侵入シナリオで最大値を与えるものとはならないのである。

2.3.3 英国

英国ではクリアランス制度は見当たらず、免除制度が事実上クリアランスも兼ねている。ただし、その多くは処分場に持ち込むことを前提としている。イングランドとウェールズではEPR2010が成立して、1993年制定の放射性物質法（RSA-93）に置き換わっているが、スコットランドと北アイルランドは放射性物質法（RSA-93）が適用されている⁶⁵⁾。

そのような経緯から事実上の免除の考え方は異なるが、ここでは、EPR2010が定める無拘束免除条件を以下に示す⁶⁶⁾。

固体廃棄物で放射能が 4×10^4 Bq以下である。
最大放射能濃度が 0.1 m^3 当たり 4×10^5 Bq以下である（Bq/cm³に換算すると4Bq/cm³）。
年当たりの最大処分量が 2×10^8 Bq/年以下である。

RSA-93ではウランについて11.1Bq/g以下、ラジウムについて0.37Bq/gについて放射性物質として取り扱う必要はないとしている⁶⁵⁾。

なお、英国では、事前に報告が必要なものを許可と呼んでいる。許可からの免除とは、事前の報告の必要がないことを示す⁶⁶⁾。

英国の免除制度はこのようにRSA-93とEPR2010と2つの法体系があるが、共通のガイダンスが発行されているので、その内容を紹介する⁶⁶⁾。

当該ガイダンスの特徴は同じウラン核種についてNORMと行為での免除を峻別している

ことである。NORM産業の活動については、 $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ を適用し、行為については $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ を適用している。ただし、NORMが核分裂核種の親物質ないし、核分裂物質として利用される場合には $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ を採用するとしている。NORMについては、廃棄物管理やNORMで汚染された跡地の環境修復に $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ を適用するとともに産廃処分場での操業で $1\text{mSv}/\text{年}$ とする別の制限値も設けている⁶⁶⁾。

放射線影響評価について、例えば ^{238}U で表現される $^{234\text{m}}\text{Pa}$ までしか生成していない場合は $^{234\text{m}}\text{Pa}$ までの核種で放射線影響を評価し、 ^{238}U で表現される永続平衡が成立している場合には全ての子孫核種で放射線影響を評価する。例えば行為の濃度の表を見ると ^{238}U では濃度が 1Bq/g と記載されているが、 ^{238}U secでは 0.01Bq/g とされており、放射線影響が最初のウラン子孫核種の状況で評価されていることがわかる⁶⁶⁾。

また、ここで示す免除を処分に適用する場合、環境に対して無条件に廃棄物を処分することを前提として放射線影響を評価しているのではないことを明確としている。つまり処分に関しては、どのような条件でも処分できるというクリアランスの概念は適用していないことがわかる。個々の制約は、免除物質や製品の性状（例えば密封線源であるかどうか）、そして処分ルート（例えば、大量の非放射性廃棄物とともに処分するかどうか）等である。これらの制約は規制制度にて条件として設定される⁶⁶⁾。

話を元に戻して行為としてウランを分離した場合は、ウランの子孫核種は考慮されていないことが確認される。一方、行為として最初から永続平衡が成立しているウランを取り扱う場合には、ウランの子孫核種も行為として取り扱うことが明確となった。その意味するところは、ウランから子孫核種が生成される事象は行為として取り扱ってはいないということである。先に述べたように、1982年のIAEAのBSSのAN-NEX I記載の⁵⁴⁾「放射性物質であって、自然界

で何の準備もなく放射性核種の濃度を上げる事象で発生する放射性物質は規制当局により、一般免除として考慮されるべきである」を筆者はウラン核種の子孫核種生成は免除されるべきという意味であると読んだが、このように英国でも同様の解釈をしていることがわかる。行為が成立するには人間の活動により、その前後で自然環境に変化をもたらせなければならない。ウランを核燃料として使うために鉱石から抽出することは行為であり、鉱石中のウランが精製されたウランとなる。この行為は通常はNORMの生産として英国では行為から除外されているが、核燃料として利用する場合には行為と規定される⁶⁶⁾。この行為の前後でウランの濃度は変わるが、果たしてウランの子孫核種生成の状況は変わるであろうか。図5に示したように、核燃料とするためにウランを精製したとしてもウランを親核種とする子孫核種の生成状況はまったく変わらない。外見上子孫核種が次第に増大していくので、新たな事象が生じているように錯覚するが、子孫の生成は行為の前と後でも何ら変わらずに自然の営みとして継続している。

従って、自然現象である子孫核種の生成は、行為ではないと英国では考えていることが理解される。では、核燃料として分離したウランから生成する子孫核種は免除の対象となるのか除外の対象となるのか。自然界に存在するウラン濃度は、旧ベルギー領コンゴから産出されたウラン鉱石で最大濃度は65%と言われている²³⁾。自然界に存在する濃度までは除外できると仮定すると、最大65%までのウランについてその子孫核種は除外できることとなる。さすがにこのような考え方には異論があり、フランスでは、管理の閾値に用いる放射性物質の濃度については、一般免除レベルと除外レベル（原文のまま）の間のどこかの基準で、平均濃度を考えるべきとの記載がある⁸⁾。

英国・フランスでは、このように考えて産廃処分場で受け入れるウラン含有廃棄物の最大濃

度は1,000Bq/g（英国・フランス共通）、平均濃度は英国で200Bq/g、フランスで100Bq/gと設定したものと考えられる^{39, 67)}。

具体的に英国の免除の例を産廃処分場で確認する。最初に極めて濃度の低い極低レベル廃棄物について確認する。リリーホール処分場は高容積の極低レベル放射性廃棄物の処分場として操業許可を得ている⁶⁸⁾。放射能濃度は4MBq/t(4Bq/g)以下の廃棄物を対象としている。この高容積の極低レベル放射性廃棄物(HV-LLW)はLLWのサブカテゴリーであり、放射性廃棄物ではあるが、産廃処分場（原典はLandfill）での処分を可能としている⁶⁸⁾。Safety Caseの線量基準は固体放射性廃棄物の浅地中処分の許可のためのガイダンス（GRA-2009）から引用している。通常発生すると考えられるシナリオの線量基準は20 μ Sv/年、通常起こらないと考えられるシナリオについては1mSv/年を適用している。GRA-2009では、最も影響を受ける公衆のリスクを10⁻⁶/年以下とするように指示しており、20 μ Sv/年はリスク10⁻⁶/年に相当する線量としている。1mSv/年は放射線防護基準から来ている⁴⁵⁾。

20 μ Sv/年は英国独自に10⁻⁶/年のリスクを線量に換算したもので、国際社会で通用している10 μ Sv/年オーダーと同一と考え、英国の高容積の極低レベル放射性廃棄物(HV-LLW)に対する放射線防護基準はIAEAの免除やクリアランスで採用されている線量基準と同一水準と判断される。IAEA-BSSでは免除する行為あるいは免除する線源による線量が10 μ Sv/年オーダー以下であり、確率が低いシナリオについては1mSv/年以下としている⁶³⁾。なお、英国でも人工核種の免除の基準線量は10 μ Sv/年である⁶⁶⁾。

こうして線量のみを比較すれば、英国でも免除の概念で放射性廃棄物を産廃処分場に処分しているように見えるが、実際には、固体放射性廃棄物の浅地中処分の許可のためのガイダンス（GRA-2009）から引用した線量基準で安全

を確認している⁴⁵⁾。これでわかるようにフランスのように原子力施設から環境保護指定施設(ICPE)を切り離すことはせずに、英国では放射能影響が、もっとも低い領域の廃棄物である極低レベル放射性廃棄物についても、放射性廃棄物として産廃処分場に処分する許可を得て、処分していることとなる。

この発想は1980年代にIAEAでDe Minimisの議論をした内容をそのまま忠実に実行しているものである。先程引用した英国における免除のガイダンスの記載を改めて確認すると⁶⁶⁾、英国では2つの概念が適用されていると説明し、1つは“Out of Scope”の概念、具体的には法制上放射性物質としないとする概念でいかなる法律にも従わないとするものである。もう1つの概念は先程説明した免除の概念である。読者は既に理解されているように、最初の概念は“DE MINIMIS NON CVRAT LEX”（Cause of no-concern for the LAW）「法は些事に関せず」を意味し、後者は“DE MINIMIS NON CVRAT PRAETOR”（Cause of no-concern for the regulator）「プラエトル（法務官）は些事に関せず」を意味する⁹⁾。

実務的に考えれば、英国の免除の法制度化は1980年代のDe Minimisの議論を受けて、放射性廃棄物を一般廃棄物とともに焼却することや、産廃処分場に処分することを想定して法制化したものである。我が国でも放射性廃棄物浅地中処分の黎明期には極低レベル放射性廃棄物という言葉が語られていたが、制度化することなく、いつの間にか誰も言わなくなって今日に至っている⁶⁹⁾。詳細は後述する。

Safety Caseでの線量が1mSv/年を超えると極低レベル放射性廃棄物から放射性廃棄物となる。この項では免除を議論するが、英国では産廃処分場の有効活用が国の基本政策に盛り込まれているので、Lilyhallに続いて、Kings Cliffe処分場を紹介する。Kings Cliffe処分場は有害物処分場として操業していた処分場が、新たに2009年に低レベル放射性廃棄物として申請

したものである⁷⁰⁾。線量基準として固体放射性廃棄物の浅地中処分の許可のためのガイダンス (GRA-2009) で人間侵入に適用されている3–20 mSv/年の下限值である3 mSv/年を適用している⁷¹⁾。

次に紹介するドイツでも免除やクリアランス制度が決まる前に10 μ Sv/年を基準として廃止措置で発生する放射性廃棄物を産廃に処分した実績がある⁴⁸⁾。詳細は次項で説明するが、放射線防護の観点から、免除やクリアランスの制度がなければ規制から外せないのが、産廃処分できないということは海外ではないように思える。線量評価で10 μ Sv/年が担保されれば処分することに何ら抵抗なかったものと推察される。自然放射能はどこにでも存在しており、それがDe Minimisの原点である。

2.3.4 ドイツ

ドイツではクリアランスはFreigabeで免除はAusnahmenである。しかし、ドイツでは廃棄物についてはFreigabeを用い、Ausnahmenは適用していない。Freigabeの意味合いとしては、解放に近い。De Minimisにも通じるものがある。英訳する際に、ドイツ放射線防護庁 (BfS) はクリアランスと翻訳しており⁴⁴⁾、それが、ドイツの条件付クリアランスとして我が国に紹介された。国際機関の表現を借りれば、ドイツの条件付クリアランスは免除であると理解される。具体的に見ると、連邦政府が定めた条件である年間払出し量と濃度を満足する条件に基づいて、州政府は、州に立地している原子力施設から、放射性廃棄物を産廃処分場に払いだすことを許可するものであり、特定された廃棄物を特定の処分場に払いだすことに該当すると判断されるためである。ドイツの放射線防護令の英訳では“Freigabe”を無拘束クリアランス、あるいは条件付クリアランスと英訳している。しかしながら、我が国で過去実施されたドイツの調査で用いられてきた、ドイツ語の英訳をさらに日本語に直訳した、「条件付クリアランス」という訳語は、クリアランスに条件を付けるとい

うことで、誤解を招く原因となると考えられる。そこで、本総説では、廃棄物についての免除制度としてのドイツ語の英訳は“Clearance”を用いるのが慣例であることに配慮して「条件付クリアランス」という言い方をせずに「免除 (条件付クリアランス)」という表現で統一することとした。

ちなみにクリアランスという言葉はフランス語にもスペイン語にもなく、混乱の元となっている⁹⁾。英語を母国語としている米国でも、クリアランスという言葉ではなく、NRCは1980年代に“Below Regulatory Concern (BRC)”という言葉でクリアランスの定着を計画したが、実現せず今日に至っている。英国では処分と関連する分野では全て免除として取り扱われており、クリアランスという言葉は、文献には時々散見されるがあまり認識されていない。

さて、話をドイツに戻すと、ドイツでは放射性廃棄物は全て地下数百m程度の廃鉱山に処分する計画としている。従って、他の国で見られるような浅地中処分で放射性廃棄物を処分するという計画はない。しかしながら、ウランをはじめ極低レベルの放射性廃棄物については、免除制度により産廃処分場に処分する政策が取られている。

ウラン含有廃棄物について例を示すと、カールシュタイン核燃料製造工場の解体の例がある。カールシュタイン核燃料製造工場は1966年に設立され、1995年に操業を停止した。約3,000トンのUO₂を受け入れて、87万本の燃料棒を生産した⁷²⁾。典型的な放射性廃棄物を産廃処分場に処分する評価では、年間の最大量を100トンとして、放射能インベントリーレベルも年間1 GBqとして毎年産廃処分場で受け入れてよいとしている。しかし、実績を参照して、処分場に受け入れようとする放射性廃棄物に残存する放射エネルギーは、10 μ Sv/年の概念から導入されるクリアランスの制限値である15 Bq/g (後に実際の放射性物質の受入に当たって、規制当局は7.5 Bq/gに引き下げた) の数%としなければ

ばならないとされた。最終的に年間の産廃処分場での受け入れ量は年間150トンまで引き上げることが許可され、結果として残渣として残った300トンの残留物は全て施設外に搬出することができた⁷²⁾。

ここで一般公衆は首をかしげるであろう。1990年代と言えば、ドイツでは免除（条件付クリアランス）制度も成立していない時代である。法制度から、このような搬出はできるはずがないと主張するであろう。実際はどうか。ドイツで免除（条件付クリアランス）制度が制定されたのは2001年である。では2001年以前はどのようなになっていたかを表5に示す⁴⁸⁾。まず、判断基準は $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ であり、免除（条件付クリアランス）制度成立前後で共通である。免除（条件付クリアランス）を判断する根拠は免除（条件付クリアランス）制度が成立する前までは放射線防護委員会の勧告に基づいている。免除（条件付クリアランス）制度が成立した後は放射線防護令に基づくものとなっている。この意味するところはまさしく De Minimis の世界であり、「プラエトル（法務官）は些事に関せず」を實踐して、免除（条件付クリアランス）制度がなくても放射性廃棄物の施設から

の搬出を許可しているのである。そして、免除（条件付クリアランス）の許可・監督の責任について、免除（条件付クリアランス）制度が成立する前と後でまったく変更がないことが確認できる。原子力施設が立地する州の規制当局が責任を持ち、通常は独立した専門家と協力して許可・監督するとしている⁴⁸⁾。

免除（条件付クリアランス）の制度化の前の選択肢は、

- ① 無拘束免除（クリアランス）
- ② 処分のための免除
- ③ 再利用のための金属のリサイクル

に限られていたが、制度化後は適用範囲が広がったとしている⁴⁸⁾。

我が国と比較すると、免除（条件付クリアランス）に関する監督責任が、連邦政府（我が国で言えば中央政府）ではなく、州政府（我が国で言えば地方自治体）にあるということが大きな違いである。産廃処分場が地方自治体により管轄されていることを考慮すると、ドイツの制度は最初から産廃処分場に極低レベルの放射性廃棄物を処分することを想定しており、2001年までは De Minimis の概念である「プラエトル（法務官）は些事に関せず」で、2001年以降は免除（条件付クリアランス）制度により、極低レベルの放射性廃棄物の搬出は、継続的に実施されてきたと考えられる。

表5 2001年の放射線防護令（RPO）発行前と発行後におけるクリアランスの運用について⁴⁸⁾

事項/特記事項	2001年放射線防護令前	2001年放射線防護令後
放射線防護の基礎	全てのクリアランスオプションで $10\mu\text{Sv}/\text{年}$	全ての対象物と行く先に対して1つの選択肢
クリアランス選択肢	3つの選択肢に限定 ・無拘束クリアランス ・処分のためのクリアランス ・再利用に限定される金属のクリアランス	全ての対象物と行く先に対して1つの選択肢 建物、建物の瓦礫、サイト、液体を含む
法的基礎	クリアランスは原子力法や法令の一部ではなく、ドイツ放射線防護委員会の勧告に基づくものである。	クリアランスは放射線防護令の一部に取り込まれた。
ドイツ連邦の監督機関による運用	いくつかのクリアランス制度が混在する申請、特に州政府間の処分のためのクリアランス	ドイツ国内で同じ内容のクリアランス制度があらたな許可に適用される。
サイト固有のクリアランス導入の可能性	あり	あり
制度の柔軟性	上記のクリアランス選択肢に限定される。	制定されたクリアランス選択肢の中で、最大限に柔軟性を持つ。
許可と監査の責任	原子力施設を持つ州政府の監督機関が通常独立した専門家と協力して実施する。	
特定の対象物に対してクリアランスの選択と全体の進め方の決定		事業者
クリアランスの選択肢の選択と全体の進め方の決定の基礎	ドイツ放射線防護委員会の勧告。選択肢については法的な基礎はない。	ドイツ放射線防護令が法的な基礎となる。

2・4 クリアランス制度

既に「2.3 De Minimisから免除概念の成立まで」で述べたように、一般公衆はクリアランス制度を正確に理解していない。ともすれば、線量基準が、通常発生すると考えられるシナリオで $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ 、通常起こらないと考えられるシナリオで $1\text{mSv}/\text{年}$ と免除とクリアランスとも同じ基準であるので⁶³⁾、取り扱う量が1トン以下なら免除、1トン以上ならクリアランスと理解している一般公衆が大多数と理解される。クリアランスの必要性はIAEAで免除制度を制定した際に明確に記載されている⁵⁶⁾。

まず、免除は極低レベルの放射性廃棄物を産廃処分場に処分することや、焼却するのに適用するのが妥当であるとしている。そして、この場合の行為は特定の産廃処分場に極低レベルの廃棄物を処分することが行為であるとしている。この行為は特定の処分場で極低レベルの廃棄物の処分を一度停止した場合でも、残余年の操業には適用できるとしているが、この特定の処分場のすぐ近傍に処分場が立地する場合には、同じクリティカルグループに線量が加算されるかもしれないことから、これらの複数の処分場からの線量評価をしなければならないとしている⁵⁶⁾。つまり、特定の廃棄物を特定の処分場に処分することが、免除の適用の条件であることが知れる。

これに対して、ある一国で発生する全ての低レベル放射性廃棄物を対象とする行為に対して、免除を考えるという提案がある。この場合、線源はある国で処分される放射性廃棄物の総量である。このように行為を定義すると、確かに免除についての提言をより厳格に満足することとなるが、当該行為により、免除のための規制の評価や方策を実務的に適用して、下記の5つの特徴的な性質を満たすことは不可能であろうとしている⁵⁶⁾。

- ①行為を形成する活動は連携しており、共通の目的に向かっていること。
- ②その行為の対象である線源は、明確に特定されていること。
- ③その行為に連動している特定のクリティカルグループが、特定されること。
- ④当該行為による、クリティカルグループに属する個人線量または、当該行為により線量を受ける全人口が、他の同様な行為（例えば同じ地域に立地する他の処分場）により、有意な線量を受けないこと。
- ⑤行為を構成する活動が、その場所や時間について、容易に特定され、その行為が十分に定義されて、影響評価や規制による評価ができることが必要で、そのために規制から免除す

るために、必要な複雑な手順を最小とすること。

実際上記の①と②は満足させるよう努力するが、③を満足させることは大変困難で、一国の複雑な処分場について共通のクリティカルグループが特定されるとは考え難い。④は単なる免除ではないので何ら関係がなくなる。⑤は実際に達成するのは極めて困難である。

こうした議論を通じて、免除の概念では適用できないクリアランスの概念の必要性が出てきたものと考えられる。そして、各国ともに1990年代にクリアランスの議論が行われている。

2・4・1 米国

米国では、1988年にIAEAが刊行したSafety Series 89,「規制からの線源と行為の免除の原則」を受けて、NRCがクリアランスの制度化を進めた。1990年には最終的にBelow Regulatory Concern (BRC) 政策としてクリアランスの推進を提案した。同じ1990年にDOEは内部指令5400.5を発行したが、その2章及び4章で、100 μ Sv/年から最大500 μ Sv/年を基準として、物品を搬出することや、DOEの管理から外すことができるとした。1999年には米国保健物理学会 (Health Physics Society) が事務局となり、米国規格協会 (ANSI) が容積濃度によるクリアランスの標準を刊行したが、制度化には至らなかった^{73, 74)}。

このようにNRCのBRC政策が行き詰まる中、DOEは2000年2月14日に体積濃度による物品の再利用やリサイクルを停止する旨のモラトリウム（停止）を発行した⁷⁵⁾。NRCはBRC政策の実現に向けて努力を続け、最終的に2009年1月にDOE, DOD, NRC, EPAの4省庁で放射性の土壌、機器、物品を搬出する方策をMulti-Agency Radiological Survey and Assessment of Materials and Equipment Manual, MARSAMEとして発行したが⁷⁶⁾、BRC政策が定着することはなく、2011年8月25日に、再びDOEは容積濃度による物品の再利用やリサイクルを停止

する旨のモラトリウムを発行した⁷⁷⁾。このモラトリウムでは明確に「クリアランスによる再利用・リサイクル」と明記され、クリアランス制度による物品の搬出は当面停止することが確認された。

このように米国の例を見てもクリアランスの制度化は極めて困難であることが理解される。免除からクリアランスへの要求の変遷は、既に記載したように、特定の放射性物質を特定の産廃処分場に処分する行為のように行為の対象となる線源とこの行為の結果が明確である場合から、一国で発生する放射性廃棄物をその一国でどのように流通させるかという行為に拡大したことから生じる社会受容性の問題に変身しているのである。「国際機関がクリアランスを制定したから、クリアランスすればよいではないか」という簡単に割り切れる問題ではないことを十分認識する必要がある。

クリアランスの本質は規制にかからないことである。BRC政策が示すように、規制にかかる必要もないほど放射能レベルが低いものである。例えば、英国では、クリアランスに相当すると考えられる免除レベルのVLLWの運用について、事業者が免除以下であると判断すれば、何ら行政手続きなしで放射性物質ではないとして取り扱ってよいと指導している⁷⁸⁾。しかし、我が国では、一つ一つ、放射性物質ではないと確認している。この日本の状況を、フランスでは、下手に制度化すると大変なこととなる例として紹介している。詳細を付録に示す⁷⁹⁾。

2・4・2 フランス

フランスにはクリアランス制度はない。ゾーン分けをして、汚染のないゾーンから発生した廃棄物はクリアランスと同様に汚染されていないと判断するとしている。となると一般公衆はフランスでは汚染の可能性のあるゾーンにある物品は一切搬出できないと考えるであろう。しかし、汚染された部分を除去すれば汚染のないゾーンが確保されるのである。図8に示すよう

図8 フランスにおけるゾーン法の適用例⁸⁰⁾

に、汚染部分を除去すれば汚染のないゾーンを確保できるのである⁸⁰⁾。建屋の解体では通常汚染された内壁表面を削って、躯体はクリアランスするのが常であるが、同様の適用がフランスでもできることがわかる。そして、我が国のクリアランス制度では、汚染の可能性のある表面を削除した後の面に汚染がないことを確認する必要があるが、ゾーンで汚染がないと判断されれば必ずしも測定で汚染の有無を確認する必要はないと考えられる。

フランスの国会科学技術選択評価委員会（Claude Birraux 委員長）は「原子力施設の安全と安全保障について」報告書をまとめている。その「第二分冊、ANNEX」に、「極低レベル放射性廃棄物（TFA）と鉱業残渣放射性廃棄物の処分」というテーマで議論が記録されている。その中に原子力分散廃棄物^{注3}に関する議論がされている。議論の中に免除を考える上で参考となる内容があるので、以下に委員の発言の要旨を示す⁷⁹⁾。

注3 原子力分散廃棄物（Nucléaire diffus）：医療から発生する放射性元素、低レベルの放射能を含む部品を使う装置から発生する放射性元素、測定機器に使用されている密封線源から発生する放射性元素、あるいは、その他、放射性物質を利用することが活動の主目的ではなく放射性元素を利用する全ての活動から発生する放射性元素を総称するもの⁸¹⁾。

国会科学技術選択評価委員会 公開議事録より発現要旨を作成
「極低レベル放射性廃棄物（TFA）と鉱業残渣放射性廃棄物の処分」

1995年11月16日（火）

Pr. Roland MASSE, Président (OPRI) (電離放射線防護局長)

Hubert Nouguier, Directeur delegue (Cogema) (コジェマ社 専務)

Claude Birraux, Depute, Office Parlementaire D' Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques
(国会科学技術選択評価委員会委員長)

Michel Ganivet, Directeur (IQS) (市民防護高等委員会)

(各氏の分散原子力廃棄物に関する発言要旨)

Masse氏：放射性廃棄物は原子力産業からと医療機関からの2種類あって対処の方法が違っているので、統一的に適用できる免除レベルを決めることはできない。したがって、全ての廃棄物を包括する規制基準は無理と考える。フランスでは、医療目的のために、年間20,000人の患者に、15TBqの¹³¹Iを投与している。患者を経由する一般公衆の被ばくを制限するには、患者を入院させる必要があるが、それは現実的ではない。規制の基本は健康リスクの管理である。

Birraux委員長：Masse氏の意見は、2つの異なる基準が必要であるということ意味しているが、これは論理的に矛盾のない制度の構築に対する問題につながる。

Nouguier氏：原子力分散廃棄物（ヨウ素、金属スクラップ、瓦礫など）について、真に分散であるものとそうでないもの^{注4}ともう一度区分するのであれば、原子力分散廃棄物に異なる規制を適用することには合意できない。

Birraux委員長：スクラップ業者は、規制があるとわかった段階で、規制基準以内であるという保証書を求めることになる。

Ganivet氏：極低レベル放射性廃棄物に伴うリスクは、どのようなシナリオであっても影響の範囲は10μSv/年から1mSv/年であり、これらは自然放射能、宇宙線、放射線診断によって受ける0.5mSv/年と同程度の値であるから、健康への影響は無視できる程度である。健康被害が無視できる程度であると理解すれば、直面する問題は心理的にこの種の廃棄物を受け入れられるかどうかである。原子力施設から払い出して通常の廃棄物として取り扱う場合に、追跡能力が確保されれば、クラス2の産廃処分場にVLLWを処分することに特別な制限は必要としないであろう。

上記の議論は医療用の放射性物質や金属をリサイクルする場合の放射性物質の混入に関するものであるが、本総説で取り扱う自然放射性核種との関係では、規制からの免除と関連すると

考えられる。筆者は、本総説の論点と上記の議論の内容を比較検討して、以下のように理解した。

Masse氏はフランスでは、医療目的のために、年間20,000人の患者に、15TBqの¹³¹Iを投与している。患者を経由する一般公衆の被ばくを制限するには、患者を入院させる必要がある

注4（筆者注）原子力施設で発生する一般リサイクルするスクラップ金属を指していると考えられる。

が、それは現実的ではないと説明している。つまりこの例では法規制からの免除が妥当としている。

これに対して、Birraux 委員長は、相互に矛盾のない論理的な制度の構築をしなければならないとしている。

Nouguier 氏は規制免除のような制度を作る場合には、原子力分散廃棄物（定義は前ページ脚注を参照）を真に原子力分散廃棄物であるものと、その他のものと分類するのであれば、原子力分散廃棄物に別制度を適用することは問題であるとしている。

これに対して、Birraux 委員長は、合理的に規制を適用することは、容易ではないとしている。

最後に Ganivet 氏は免除物質の埋設処分に言及し、問題は公衆が心理的に免除物質を受け容れるかどうかであり、原子力施設から払い出した免除廃棄物が産廃処分場で受け入れられるまで追跡可能であれば、産廃処分場で処分することは妥当であろうとしている。

Ganivet 氏の発言を見ると、フランスでは原子力施設の払出しから産廃処分場での受け入れまで、正確に追跡可能であれば、公衆は免除物質の産廃処分場での受入を容認すると考えられる。

2.4.3 英国

英国では、過去、カーペンハーストの濃縮施設の解体では、金属スクラップの回収が実施され、金属は溶融してリサイクルされた⁸²⁾。本総説とは多少ずれるが、金属クリアランスを当時、どのように考えていたか紹介する。ウランについては、RSA-93で免除レベル 11,100 Bq/kg が指定されていて、それ以上の濃度の廃棄物は全てドリッグ処分場で受け入れるとされていた⁸²⁾。ドリッグに持ち込む廃棄物量を削減するため、高濃度の廃棄物をできるだけ出さないように、施設解体で発生する金属とコンクリートの 99.5%は無拘束でリサイクルされた⁸²⁾。ウランを含む溶融インゴットについては、測定検出限界を 0.1 Bq/g であることを確認し、当時クリアランスレベルは定まっていなかったために、自然界でのレベルを参考に解放した。

話を処分のクリアランスに戻すと、放射性廃棄物を処分する場合には、最新の EPR-2010 により、LV-VLLW（低容量極低レベル廃棄物）と HV-VLLW（高容量極低レベル廃棄物）の二種類の極低レベル廃棄物についての考え方がある。LV-VLLW は濃度と放射能インベントリ量が制限されることにより、どこかの産廃処分場についても処分が可能であり、個別の許可が不要である。「2.3.3」で述べたように、HV-VLLW

表6 ドイツ放射線防護令に記載の免除（条件付クリアランス）レベル（抜粋）⁴⁴⁾

核種	免除レベル 比放射能濃度	年間 100 トンまで固体廃 棄物を処分する場合	年間 1,000 トンまで固体 廃棄物を処分する場合
^{234}U	10	6	0.6
$^{235}\text{U}+$	10	3	0.3
$^{238}\text{U}+$	10	6	0.6
^{238}U sec	1	0.3	0.03

$^{235}\text{U}+$: (子孫核種) ^{231}Th

$^{238}\text{U}+$: (子孫核種) ^{234}Th , $^{234\text{m}}\text{Pa}$, ^{234}Pa

^{238}U sec: (子孫核種) ^{234}Th , $^{234\text{m}}\text{Pa}$, ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Pb , ^{210}Bi ,

^{210}Po , ^{214}Po

は産廃処分場へ許可を得て処分が可能となる。

いずれも制度上は免除という言葉を用いているが、LV-VLLWはどこの産廃処分場にも持ち込めることから事実上クリアランス制度と考えてよい。

英国では、免除レベルが複数あり、例えば NORMについては5Bq/g、または10Bq/gを免除レベルとしている⁶⁶⁾。

2・4・4 ドイツ

ドイツではクリアランス制度として無拘束クリアランスの他に条件付きクリアランスが整備されている。放射線防護令にあるウランのクリアランス制度を表6に示す⁸³⁾。ドイツの考え方として、条件付きクリアランスを定義することで、クリアランスレベルと免除レベルの間の値で条件付きクリアランスレベルを定めている⁸⁴⁾。再利用、処分ともに年間の取扱量を定めて、取扱量に応じてクリアランスレベルを定めている。ウランのレベルについて確認すると、年間100トンまで払いだす場合には、ウランのクリアランスレベルは6Bq/gとなる⁸³⁾。

これらの条件付きクリアランスの詳細については「2.3.4」の免除の項で説明した。

3. 我が国の放射性廃棄物処分の歴史

この章の3.1節では、低レベル放射性廃棄物全般について述べ、3.2節でウラン含有廃棄物について述べる。

3・1 低レベル放射性廃棄物処分制度化の歴史

我が国では、1984（昭和59）年8月7日の原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会中間報告書「放射性廃棄物の処理処分方策について」にまとめられ、ウラン含有廃棄物は低レベル放射性廃棄物として扱われていた⁶⁹⁾。報告書に掲載された、低レベル廃棄物の発生予測を図9に示す。低レベル放射性廃棄物発生量の予測で、ウラン燃料加工施設からの廃棄物を、低レベル放射性廃棄物に分類していた。

しかしながら、1985（昭和60）年10月8日

低レベル放射性廃棄物7発生量予測
(極低レベル放射性廃棄物を含む) (200tドラム缶換算)

図9 1984（昭和59）年原子力委員会報告掲載の低レベル放射性廃棄物発生量予測⁶⁹⁾

に報告された原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会報告書「放射性廃棄物の処理処分方策について」では、ウラン含有廃棄物は低レベル放射性廃棄物ではなく、TRU廃棄物を記載する「第2章TRU廃棄物等の処分の基本的考え方」に「3. ウラン等を含む放射性廃棄物」として記載された⁸⁵⁾。その中でウラン含有廃棄物は、TRU核種を含む廃棄物とは別に、検討を進めることが適当と考えられるとも記載されていた。つまり、人工放射性核種で構成される、低レベル放射性廃棄物にはウラン核種は入らないが、TRU廃棄物とひとくくりに分類するものの、天然賦存性から疑問が残るというような扱いであったのではないかと推察される⁸⁵⁾。

この原子力委員会報告を受けて、原子力安全委員会は、1985（昭和60）年10月24日に「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基本的考え方」をまとめた⁸⁶⁾。基本的考え方として、段階的管理、規制基準としてICRPの無拘束限界値を適用、低レベル、極低

レベル放射性固体廃棄物の濃度上限値を定めていく、という方針が確認された。ウラン含有廃棄物はTRU廃棄物側に分類されており、放射能が減衰しない廃棄物であり、段階的管理が適用されない廃棄物は対象とならないとの考え方が広がった。

原子力安全委員会の諮問を受けて、1987（昭和62）年12月15日に開催された第55回放射線審議会基本部会は、放射性固体廃棄物の処分に関する規制除外について、 $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ を適用することを妥当とした⁸⁷⁾。

これを受けて、1988（昭和63）年3月17日に、原子力安全委員会は「放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方について」を決定した⁸⁸⁾。

こうして $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ を超えないこと、発生頻度が小さいと考えられる事象については $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ を著しく超えないことを目安とし、管理期間として300年～400年を考える我が国の安全審査の基本的考え方が成立した⁸⁸⁾。

2000（平成12年）年9月14日に、原子力安全委員会は「現行の政令濃度上限値を超える低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」を取りまとめた⁸⁹⁾。同報告書には、「浅地層（原文のまま）処分の対象とすることのできる低レベル放射性固体廃棄物の濃度上限値、及び極低レベル放射性固体廃棄物についての適正な処分の対象とすることのできる放射能濃度上限値は、処分されるこれらの放射性廃棄物の放射能濃度が、無拘束限界値以下に低減することが有意に期待できることを基本として導かれるものであるから、……（以下略）」とあり、この時点では「現行の政令濃度上限値を超える低レベル放射性廃棄物の処分」についても、段階管理を安全確保の原則として、線量については規制基準としてICRPの無拘束限界値を適用できるのではないかと考えていた⁸⁹⁾。

2000（平成12）年12月14日には、原子力委員会のバックエンド対策専門部会が「ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について」をまと

めた⁹⁰⁾。この報告書の「終わりに」には、「被ばく管理の観点からは管理することを必要としない低い線量（ $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ ）に代わる線量目標値（例えばICRPが勧告している $0.3\text{mSv}/\text{年}$ ）を設定した場合の処分の可能性を示した。」との記載があり、 $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ を意識した内容となっている⁹⁰⁾。同報告書の位置付けは次節で説明する。

2010（平成22）年1月19日に放射線審議会は、放射線審議会基本部会報告「放射性固体廃棄物埋設処分及びクリアランスに係る放射線防護に関する基本的考え方について」をまとめた⁹¹⁾。国際的な考え方として $1\text{mSv}/\text{年}$ を基準に最適化していることとし、公衆の線量規準は線量拘束値である $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ としている。この線量拘束値 $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ は、長寿命核種による潜在被ばくを考慮した規準としても妥当であるとしている。さらに、人間侵入の基準は $20\text{mSv}/\text{年}$ を上限とすること、また、 $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ は引き続きクリアランスに適用すると報告した⁹¹⁾。

2010年8月9日に、原子力安全委員会決定として原子力安全委員会は「第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方」を取りまとめ、線量基準として基本シナリオ $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ 、変動シナリオ $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ 及び人為・希頻度シナリオ $10\sim 100\text{mSv}/\text{年}$ を示した⁹²⁾。同決定の解説には、「なお、ウラン系列核種が主な核種となるいわゆるウラン廃棄物については、自然起源の放射性物質を主たる組成とする廃棄物であり、長期に亘り放射能の減衰が期待できず、かつ安全性の判断に当たり自然環境中の放射能との関連等も考慮する必要があると考えられることから、本基本的考え方の適用対象外とする。」との記載があり、ウラン含有廃棄物は対象外であることが示されている⁹²⁾。

現在、放射性廃棄物埋設処分の制度については、規制庁にて「廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム」と「廃棄物埋設の放射線防護基準に関する検討チーム」で議論が進んでいる。

本総説は、放射性廃棄物の埋設制度そのもの

を議論するものではなく、放射性廃棄物埋設に当たって、自然放射性核種がどのように取り扱われているのか、またどのように参照されているかを論点としているので、次節では、我が国で一向に制度化の議論が進まないウラン含有廃棄物の取り扱いに焦点を当てることとする。

3.2 制度化が進まないウラン含有廃棄物の考え方

我が国でウラン含有廃棄物がどのように取り扱われてきたか、どの時点でその方向がずれたのかを確認する。先にも述べたように、原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会は、1984（昭和59）年8月7日に「放射性廃棄物処理処分方策について」中間報告を提出したが、図9に示したように、ウラン含有廃棄物を低レベル放射性廃棄物に分類していた⁶⁹⁾。つまり、同時期の米国や欧州におけるウラン含有廃棄物の取り扱いと同様に取り扱っていたのである。それが、翌年1985（昭和60）年10月8日にまとまった最終報告ではウラン含有廃棄物の記載は「第1章 放射性廃棄物処理処分の実施体制及び責任分担のあり方について」の「3. 低レベル放射性廃棄物」の項から外れ、「第2章 TRU廃棄物等の処理の基本的考え方」に移動し「3. ウラン等を含む放射性廃棄物」として掲載された。記載内容を下記に示す⁸⁵⁾。

3. ウラン等を含む放射性廃棄物

ウラン燃料加工工場等で発生する廃棄物に含まれるウラン等は、自然界に極めて広範に存在するものであり、比放射能も低いことなどから、このような廃棄物の処分の具体的なあり方、放射性物質としての特殊性を考慮に入れる必要がないものの範疇等についてはTRU核種を含む廃棄物とは別に検討を進めていくことが適当と考えられる。

低レベル放射性廃棄物と切り離したが、TRU廃棄物とは同列には検討すべきでないとし、免

除ないし除外の適用を想定した閾値の検討を示唆する内容となっている。

なお、同報告の「第2章 TRU廃棄物等の処理の基本的考え方」の「2. TRU核種を含む放射性廃棄物」に、TRU廃棄物の濃度があるレベルを下回る廃棄物の取り扱いについて、ウラン含有廃棄物が引用されているので当該部分を下記に示す⁸⁵⁾。

2. TRU核種を含む放射性廃棄物

(1) 略

(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、……(中略)……。

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。

他方、TRU核種の濃度と同様にアルファ放射線を放射するウラン等が天然にもある程度の濃度で存在しており、それらの影響との比較から、TRU核種の濃度等が十分に低い廃棄物は、放射性物質としての特殊性を考慮に入れる必要がないと考えられる。

いずれも諸外国でのウランをはじめとする自然放射性核種の取り扱いと、米国での浅地中処分におけるTRU核種の取り扱いを、念頭においた記載であると考えられる。

最初に「3. ウラン等を含む放射性廃棄物」の記載を見ると、ウランは放射性廃棄物ではなく、免除廃棄物として取り扱いなさいと指摘している。時代背景として米国で10CFR61が成立し、フランスで安全基本規則（RFS I-2）が発行してすぐの時期である。米国ではウラン核種の濃度上限の記載はなく、フランスでは α 核種の上限值3,700 Bq/gまで、ウランは処分できる状況にあった。英国ではウラン燃料加工工場

の廃棄物が産廃処分場で処分されており、EU委員会とOECD/NEAでDe Minimisの基準を、濃度から線量に変換する作業がなされていた時期である。

このような時代背景を考えると、「3. ウラン等を含む放射性廃棄物」の記載は、ウランについては、まず免除の考え方を導入すべきであると記載されていると理解される。

次に「2. TRU核種を含む放射性廃棄物」の記載を見ると、TRU廃棄物の浅地中処分の基準については、ウランを参考としなさいと記載していると理解される。「TRU核種の濃度と同様にアルファ放射線を放射するウラン等が天然にもある程度の濃度で存在しており、それらの影響との比較から、TRU核種の濃度等が十分に低い廃棄物は、放射性物質としての特殊性を考慮に入れる必要がない」という表現は、一見ウランの免除の考え方を、TRUに適用するようにも読めるが、「放射性物質としての特殊性」を半減期が長いウランやTRU核種と読み直せば、浅地中処分できるTRU廃棄物の基準について、ウランを参考としてはどうかと示唆しているとも考えられる。

時代としては、1982年8月に米国メリーランドで開催されたシンポジウム「Alpha Contaminated Waste Management Workshop」で、TRU核種の浅地中処分の濃度上限値は、米国西海岸の鉱石に含まれるラジウムの高い濃度範囲から、10nCi/g(370Bq/g)としたという事実が報告されて³¹⁾から3年後である。10nCi/g(370Bq/g)は、IAEA-BSSにおいても、自然放射性核種について、放射性廃棄物として取り扱う必要のない濃度の上限でもあること^{30, 51)}から、当時ウラン含有廃棄物の濃度を決めて、それをTRUに適用しようとする人がいても当然と考えられる。

このように理解すると、1994(平成6)年6月24日に原子力委員会がまとめた「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画(通称原子力長計)」にある下記の記載が、極めて自然

に感じられる⁹³⁾。

7. バックエンド対策

(1)放射性廃棄物の処理処分

③ サイクル廃棄物の処理処分

(ハ)ウラン廃棄物の処理処分

ウラン廃棄物については……(中略)。ウラン濃度が比較的低い大部分の廃棄物については、段階管理(放射能の減衰に応じて、保安のための措置を段階的に変更する管理方法)を伴わない簡易な方法による浅地中処分を行うことが可能と考えられ、今後、具体的な方法の検討を行った上で、基準の整備等を図っていくこととします。

「簡易な方法による浅地中処分を行うことが可能と考えられ」を海外の産廃処分場への処分を示していると考えれば、本原子力長計は我が国においても、ウラン含有廃棄物は産廃処分場に処分すべきであると示唆していると理解される。

しかしながら、この長期計画を受けて、原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会が、2000(平成12)年12月14日にまとめた「ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について」では、「簡易な方法による浅地中処分」という表現はなくなり、報告書は先に説明したように、「線量目標値(例えばICRPが勧告している0.3mSv/年)を設定した場合の処分の可能性を示した。」で終わっている⁹⁰⁾。

この6年間の間に、1994(平成6)年6月24日の原子力長計の考え方が否定されたこととなる。その理由について、筆者は次のように考える。典型的な例で見ると、ドイツでは「簡易な方法による浅地中処分」を実施する産廃処分場は州政府が管理している。これは我が国も同様であるが、この産廃処分場に、極低レベル放射性廃棄物を受け入れようとする場合、どのような問題が生じるか考えて見る。ドイツの放射線防護委員会で、2001年のクリアランス制度成

立前は、ドイツでは、連邦政府は大まかな考え方を勧告として示すのみで、実際の審議は該当する原子力施設が立地する州政府が、専門家に依頼して許可申請を受け付けて審査し、操業を許可していた。事業者は、許可を受けて指定した産廃処分場に、極低レベル放射性廃棄物を処分することができたと推察される。2001年のクリアランス成立以降は、連邦政府は条件付クリアランス制度を制定し、実際の許可は、やはり該当する原子力施設が立地する州政府が、専門家の意見を聞きながら進めていた。英国も同様である。

我が国で同様な行政手続きができるかと言えば、産廃処分場は地方自治体が管轄しているが、放射性廃棄物は極低レベルとはいえ中央政府が管轄している。このような状況で、ドイツで実施しているように、地方自治体が極低レベル放射性廃棄物を受け入れることができるかと言えば、誰でも、日本では無理であると理解するであろう。

恐らく地方行政への影響を考えて、当時の担当者が「簡易な方法による浅地中処分」は事実上不可能であると判断し、2000（平成12）年の原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会報告「ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について」では、まったく記載されなかったものと推察する。

それでは、原子力委員会が2000（平成12）年12月24日にまとめた「ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について」が線量目標値とした $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ という線量基準とは、どのような意味を持つ数字であろうか。多くの一般公衆は、処分施設の線量拘束値である $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ ではないかと、また、他に意味があるのかいぶかる向きもあると理解する。この報告書がウラン含有廃棄物の処理処分に関するものでなければ、当然のことながら、 $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ は線量拘束値と理解するであろう。しかしながらこの報告書はウランに関するものである。まず、最初にどのようなウランの子孫核種との平衡条件

について、 $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ を適用しているかを確認する必要がある。我が国の通常の線量評価で考えると、ウランの永続平衡が成立する数10万年後のウラン線源について $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ を適用することとなろう。国際機関の報告にはないが、欧州委員会報告RP-122のPart 2には自然放射性核種のクリアランスレベルの線量基準として $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ が提案されている²⁶⁾。RP-122のPart 1は人工核種に対するクリアランスレベルを $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ から導出する報告書であり、長期間経過後の子孫核種の生成を外すために、長寿命の子孫核種は考慮しないとしている²⁵⁾。RP-122のPart 1では、例えば ^{238}U について子孫核種は、 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ までを線量評価の対象としている。RP-122 Part 2が自然放射線核種のクリアランスに関する線量基準を $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ と設定してクリアランスレベルを評価していたことから、欧州委員会はドラフトとして自然放射性核種のクリアランスの線量基準を $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ とするEU-BSSとなるEU指令書を準備していたが、最終的に $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ は記載されなかった⁹⁴⁾。

既に示したように、英国では、この $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ が自然放射性物質のクリアランスの線量基準として、免除のガイダンスに記載している⁶⁶⁾。しかし、産廃処分については、上限を $1\text{mSv}/\text{年}$ としてIAEAのGSR-Pt 3との整合を取っている⁶⁶⁾。

話を「ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について」に戻すと、上記の欧州での議論を参照して、 $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ を永続平衡のウランについて適用していると仮定すると、ウラン核種について、クリアランス基準となる線量を埋設処分の基準として提案しているという構図となってくる。RP-122 Part IIを参照すれば、一般免除による極低レベルの放射性廃棄物の産廃処分場への受け入れとして、永続平衡となったウラン核種のクリアランスレベルの線量として、 $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ を記載しているのではないかと推察される。しかしながら、核燃料として分離精製したウランにより汚染された「ウラン廃

棄物」への適用を考えると、核燃料物質であるウラン核種（ ^{238}U であれば $^{234\text{m}}\text{Pa}$ までの子孫核種と平衡となっている）について、免除レベルの線量は $10\mu\text{Sv/年}$ である。そして $300\mu\text{Sv/年}$ を線量拘束値として、ウラン含有廃棄物の処分に適用している例としては、米国のNUREG-1573や、ワシントン州リッチランドの商業放射性廃棄物処分場の環境影響評価書に記載されている、1万年経過後の線量評価結果である^{34, 95)}。正確には米国NRC指定による $250\mu\text{Sv/年}$ が適用されているが、原子力委員会報告「ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について」で永続平衡となったウラン含有廃棄物を想定しているならば、米国で基準として適用されている $250\mu\text{Sv/年}$ は、ウランが永続平衡となった時の線量評価値ではないことに留意すべきである。NUREG-1573では、評価期間として1万年以上に亘るウラン核種の子孫核種の評価は、特定の例外として評価する必要はないとしている³⁴⁾。

結論として、「ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について」に記載されている、 $300\mu\text{Sv/年}$ という線量基準は、その適用先として、永続平衡状況におけるウラン含有廃棄物の評価に適用する基準とするならば、クリアランスに適用する線量基準であり、処分対象に適用する線量ではないということになる。

当時はウラン含有廃棄物に対する理解が不十分であったと推察されるが、原子力委員会が1994（平成6）年に制定した原子力長計で正確に記載していたウラン含有廃棄物の取り扱いについて、単に日本の行政システムに合致しないという理由で、同長計のウラン含有廃棄物処分に関する表現「簡易な方法による浅地中処分」を排斥してしまったのは極めて残念である。我が国で中央政府の関与が不可欠であるならば、ウラン含有廃棄物の取り扱いを日本流に焼き直すことも模索すべきであったと筆者は考える。

4. 自然放射性核種の考え方

4・1 諸外国における鉱さいの取り扱い

本総説では、既に米国を中心に鉱さいの管理の安全について議論して来ているので、現在の鉱さいの安全の考え方を、米国を中心に確認する。ここではEnergySolutions社が運営しているクライブ処分場の安全評価を取り上げる。鉱さいには、ウランのミルテリングと、その他のプロセス残渣が含まれている。鉱さいと一口で言っても様々な鉱山活動における副生成物から構成されている。元々の鉱石の濃度やウランの抽出では放射性核種の濃度は $12,000\text{pCi/g}$ (444Bq/g) 以下であり、大規模な鉱山で平均放射能濃度は 100pCi/g (7.4Bq/g) から大略 $1,000\text{pCi/g}$ (37Bq/g) の間にある⁹⁶⁾。

EnergySolutions社は毎年500,000トンの鉱さいを受け入れ、この鉱さいには、ウラン系列とトリウム系列の放射性核種が、それぞれ総量 227Ci (8.4TBq) 含有されていると仮定して、線量評価を実施している。線量評価は、唯一想定される平均濃度のみに基づいて実施している。境界での線量評価結果によると、南側の境界で線量が高くなり、 116.1mrem/年 (1.161mSv/年) という線量が推算された。近傍の一般公衆で、一番被ばく量が高いとされたのは、Clean Harborで働く従業員（EnergySolutions社員）で、 5.2mrem/年 (0.052mSv/年) と評価された。

クライブでは、廃棄物の搬入される輸送条件である、天然ウラン濃度と ^{226}Ra 系列の核種の放射能濃度が $4,000\text{pCi/g}$ (148Bq/g) 以下の廃棄物を受け入れている。

2005年の計画ではそれぞれの放射性核種の濃度が 500pCi/g (18.5Bq/g) 以下である年間500,000トンの廃棄物を受け入れるとしている。 500pCi/g (18.5Bq/g) を超過する廃棄物を短期間受け入れる場合には線量を推算することはできない。作業被ばく線量は基本的にその年に処分した放射エネルギーに依存するものである。そ

のため、 500pCi/g (18.5Bq/g) を有意に超過する廃棄物を受け入れる場合には作業者の内部・外部被ばくを監視し、被ばく線量をALARAの考え方で最小に保つこととし、全ての場合で10CFR20.1201に示される年当たりの基準を超えないことを確認するとしている⁹⁵⁾。

ラドンについては、クライブではラドンバリアにより、散逸率が $20\text{pCi/m}^2/\text{s}$ ($0.74\text{Bq/m}^2/\text{s}$) 以下となるように低減している。ラドンの散逸率 $20\text{pCi/m}^2/\text{s}$ ($0.74\text{Bq/m}^2/\text{s}$) 以下は40CFR192に指定されている⁷⁾。1980年に発行したジェネリックな鉱さい堆積場のモデルでは、 $2\text{pCi/m}^2/\text{s}$ ($0.074\text{Bq/m}^2/\text{s}$) 以下が提案されていた²⁰⁾。最終的にラドン評価の不確実性を配慮して規制の数値は $20\text{pCi/m}^2/\text{s}$ ($0.74\text{Bq/m}^2/\text{s}$) となった。 $20\text{pCi/m}^2/\text{s}$ ($0.74\text{Bq/m}^2/\text{s}$) というような低いレベルのラドンの評価の信頼性は極めて低く、実際の散逸率は $20\text{pCi/m}^2/\text{s}$ ($0.74\text{Bq/m}^2/\text{s}$) よりも低い $2\sim 6\text{pCi/m}^2/\text{s}$ ($0.074\sim 0.22\text{Bq/m}^2/\text{s}$) 程度になると判断された⁷⁾。このように実証することができない極めて不確実性の高い技術を取り扱える設計者が必要となるとの記載もある⁷⁾。

次にフランスでの鉱さいの取り扱いについて紹介する。フランスでは1990年の鉱山法の改正で鉱山活動、特にウラン鉱山について、環境保護の第二部に電離放射線の項目が追加され、公衆への追加線量限度と明記された⁸⁾。また、0.03%以上のウラン鉱石や鉱さいについて、居住域への移行を防止する管理計画を立案するように指示がある。この制限値である、0.03%は放射能濃度として約 30Bq/g に相当する⁸⁾。

なお、フランスではラジウムの取扱について、 $1,000\text{Ci}$ (37TBq) を閾値として、原子力施設となるかどうか判断している⁸⁾。どのような経緯で $1,000\text{Ci}$ (37TBq) を閾値としたかの説明はないが、米国で評価した $1,000\text{Ci}$ (37TBq) までのラドンの発生では、北米の国民線量に影響はないとの解析結果が参照されたものと推察される。

4・2 諸外国におけるNORMの取り扱い

NORM発生者では、肥料産業がその典型の1つである。原料が放射性物質である。その他、過去モナザイトからレアメタルを算出していた時代にも放射性物質を取り扱っていた。また、石炭灰や石油掘削時のスラッジがある。本総説では、体系的にまとまっている、米国石油産業のNORM廃棄物の通常の産廃処分場への処分に関する評価について紹介する。

以下の解説は、オクラホマのDOE国立石油技術オフィスが、1999年にまとめた報告書に基づいている⁹⁷⁾。

石油・天然ガスの生産に当たっては、時として副生成物にNORM濃度が上昇した副生成物を生じる場合がある。線源核種は ^{238}U や ^{232}Th であり、石油・ガスを生産する井戸の上部に天然に存在している。NORM副生成物は、通常2種類の区分に分類される。1つ目はラジウム線源を持つ副生成物であり、2つ目は ^{210}Pb を含む副生成物である⁹⁷⁾。

ラジウム含有廃棄物は、 ^{238}U の崩壊系列にある ^{226}Ra が大きな関心となる。生産に伴う廃棄物のストリームでは、ラジウム濃度の上昇があり、これは、発生する水やスケール、スラッジに存在する。水経路では、ラジウムはわずかに水溶性であり、中深層から表層に移行して水相に存在する。溶解したラジウムは、そのまま水相に残ることもあるし、条件によっては沈殿してスケールやスラッジに残留する⁹⁷⁾。

上記以外のNORMの区分もある。この区分の廃棄物は、ラジウムを含まず、 ^{226}Ra の子孫核種である ^{210}Pb を含むものである。この区分の廃棄物は、ガスプロセス系の配管に析出するか、金属として機器の金属に析出する⁹⁷⁾。

多くの州は、NORMとして取り扱う特別の規制を持っている。ルイジアナ州では、 30pCi/g (1.1Bq/g) までのラジウムを含む廃棄物は、石油産業からの廃棄物を受け入れる許可を持つ、商業埋設処分場で受け入れ可能である。ミシガン州は、唯一石油産業で発生するラジウム

含有廃棄物を、通常の産業廃棄物処分場で受け入れることを許可している。ミシガンでは、環境品質局でラジウム濃度が50pCi/g(1.85Bq/g)以下の土壌や瓦礫の処分を許可するガイドラインを発効している⁹⁷⁾。

次にラジウム含有NORMの性状を確認する。スケールについてラジウム濃度は検出限界レベルから通常数1,000pCi/g(185Bq/g)の範囲とされるが、1993年のEPAの報告によると、410,000pCi/g(15,000Bq/g)という高濃度のスケールが報告されている。ラドンの散逸率については通常の土壌では0.25程度と言われているが、スケールでは0.02から0.06の間とされる⁹⁷⁾。

スラッジについて見ると、典型的なラジウム濃度は検出限界レベルから300pCi/g(11Bq/g)程度と言われているが、700,000pCi/g(25,900Bq/g)という高濃度が記録されている。ラドンの散逸率はスケールに比べると高く、0.2が評価に使われている。実際の散逸率は計測されていない⁹⁶⁾。

NORMを処分した産廃処分場の跡地利用については、線量評価として跡地居住を考える。評価に用いられる計算コードはHELPやRESRADであり、DOEの環境修復で用いられる評価コードと同一である。ラジウム含有廃棄物については、跡地居住を図10に示す⁹⁷⁾。6フィート(1.8m)の覆土は1.5フィート(46cm)の表層土、1.5フィート(46cm)の砂利層、3フィート(91cm)の圧縮粘土で構成されてい

図10 基本ケースで産廃処分場に処分するNORMの定置概念図⁹⁷⁾

る。基本ケースでは全ての経路で線量の最大値は7.4mrem/年(0.074mSv/年)であり、リスクの増加で見ると 4×10^{-6} に呼応する。1,000年後の屋内ラドンの吸入による線量は3.1mrem/年(0.031mSv/年)と評価された⁹⁷⁾。

なお、当該報告によれば、線量評価の比較対象として自然放射性核種による被ばくを考えると約300mrem/年(3mSv/年)であり、その内200mrem/年(2mSv/年)が²²²Rnとその子孫核種による線量であり100mrem/年(1mSv/年)はその他の自然核種による被ばく線量であるとしている⁹⁶⁾。ICRPによる公衆に対するリスク係数を適用すると、バックグラウンド放射線による生涯致死がんリスクは 2×10^{-4} となると報告している⁹⁷⁾。

4.3 我が国における自然放射性核種の取り扱い

我が国の自然放射性核種との遭遇は、1955(昭和30)年11月の人形峠のウラン鉱床の露頭発見であると考えられる。原子燃料公社(当時)は当初、1956(昭和31)年施工の「核原料物質開発促進臨時措置法」に基づいて探鉱作業を行い、1957(昭和32)年9月頃から鉱山法に定められた探鉱作業に移行する方針であった⁹⁸⁾。1959(昭和34)年までに原子燃料公社(当時)が実施した、探鉱坑道の長さは16,500mに達していた。当時から、ラドンガスの希釈排除が必要なので、通気対策には特に気を使っていた。人形峠鉱山中津河地区では、坑道から地表までの高低さが130mあり、坑道延長も、坑口から着鉱まで1,300mで、沿層坑道の掘新は4,000m以上となることから、通気専用の堅抗を開さくすることとしていた⁹⁸⁾。このように、ラドンの管理には当初から細心の注意を払っていた。

昭和37年にはラドンの濃度をICRP勧告に従い $10^{-8} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ (370Bq/m³)とする検討を行った⁹⁹⁾。そのためには排風機の能力を上げる必要があるが、その場合、粉じんの巻上げが想

定されることから、当面 $10^{-7}\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ($3,700\text{Bq}/\text{m}^3$) で管理することとしている⁹⁹⁾。

この検討結果を受けたと推察されるが、昭和38年2月8日の通商産業省告示第29号を見ると、空気中の ^{222}Rn の基準濃度は $10^{-8}\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ($370\text{Bq}/\text{m}^3$) と記載されているが、坑内に関する適用については、 $10^{-7}\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ($3,700\text{Bq}/\text{m}^3$) との注記がなされている¹⁰⁰⁾。

1989(平成1)年度にウラン鉱山跡地の管理の概念として、鉱山保安法にICRP勧告に基づく管理区域や周辺監視区域及び周辺監視区域の外側における $1\text{mSv}/\text{年}$ 以下の管理の考え方が新たに導入され、これに準じ捨石堆積場などは敷地境界に柵などを設けて維持管理することとなった¹⁰¹⁾。

また、鉱山について、放射能濃度が記載されたのは、時期は特定できなかったが、少なくとも平成元年9月の金属鉱山等保安規則には、「核原料物質(1gにつき 74Bq 未満のものを除く。)ならびに、核燃料物質、および核燃料物質によって汚染された物の貯蔵、運搬その他の取り扱いに関すること。」とあり、放射能濃度が1gにつき 74Bq を超える場合には保安規定にその細目を明記する必要がある¹⁰²⁾。ここで確認されたのが、核原料物質、核燃料物質に対して、国際機関が自然放射性固体物質に対して定めてきた、放射性物質として扱う必要がないレベルである $370\text{Bq}/\text{g}$ ではなく、核種一般に適用される $74\text{Bq}/\text{g}$ を引用していたことである。どのような経緯で $74\text{Bq}/\text{g}$ が採用されたかは不明であるが、この金属鉱山等保安規則を引き継いだ、鉱山保安規則に、「核原料物質(1gにつき 74Bq 未満のものを除く。)」の記載は継承された。しかしながら、その鉱山保安規則を引き継いだ鉱山保安法施行規則で、「核原料物質(1gにつき 74Bq 未満のものを除く。)」の記載は削除され、現在に至っている。

1989年に刊行されたIAEAのSafety Series No. 89を受けて、1993年に発行したIAEAのBSSで一般免除レベルが記載された。これを受けて、

我が国法令へのBSS免除レベルの取り入れの検討が、放射線審議会基本部会で1999年4月に開始された。そして、放射線審議会基本部会は「自然放射性物質の規制免除について」(2004(平成16)年7月22日修正)を報告した¹⁰³⁾。同報告には「単体の比放射能がBSS免除レベルを超えるSm-147, Th-232系列核種、U-238系列核種を含むものについて規制のあり方を検討する。」とある。ただし、「放射線を放出する性質等を意図して利用するために精製された核燃料物質やラジウム線源など放射線源として使用されるものは、すでに法規制の体系があるため今回の検討対象から除く。」とあり、本総説で取り扱ってきたウラン含有廃棄物の免除は同報告の対象ではなく、別の審議が必要であることを示唆している¹⁰³⁾。

また、ラドンについては、「なお、Th-232系列核種、U-238系列核種に属するRn-220, Rn-222については、規制下にあるラジウム線源から発生するラドンは現行法による規制下であり、また、住居等におけるラドンについては、介入対象として対策レベルを今後検討することとなっているため、今回の検討対象から除く。」とある。なお、ラドンについては、日本保健物理学会の標準化委員会でガイドラインをまとめている¹⁰⁴⁾。

本総説で既に示したように、鉱さいから発生するようなラドンについて、その国民線量への影響評価という観点から、米国では $1,000\text{Ci}$ (37TBq) までは処分場に存在してもよいものと判断した^{27, 34)}。フランスでも、ラドンの親核種であるラジウムのインベントリーとして $1,000\text{Ci}$ (37TBq) までは、処分場は原子力施設ではなく環境保護指定施設に区分するとしている⁶⁾。

処分場に処分される廃棄物から発生するラドンについて、上記の米国、フランスの考え方も参照されよう。

5. 劣化ウラン^{注5}の取扱

近年新たに制度化の動きがある廃棄物として劣化ウランがある。劣化ウランは濃縮ウランの製造の過程で発生する。5%の濃縮ウラン1kgを生産するのに9.4kgから10.4kgの天然ウランが必要といわれており、1トンの5%濃縮ウランの生産で9トン程度の劣化ウランが発生する計算となる¹⁰⁷⁾。従って、濃縮ウランを使う場合、利用する濃縮ウランの重量で10倍近い劣化ウランが発生していることとなる。

米国では濃縮施設の民間移転に際し、劣化ウランを廃棄物と認定した。従って、民間濃縮施設の操業には廃棄物である劣化ウランの処分方策を示す必要がある。また、DOEは連邦政府の劣化ウランを民間の放射性廃棄物処分場で処分する計画を立ち上げている¹⁰⁸⁾。

このような状況を背景に2007年には劣化ウランをサバンナリバーからユタ州のクライブ処分場に輸送する計画を立てたが、ユタ州の反対で列車が停止される騒ぎとなった¹⁰⁹⁾。これを受け、NRCは劣化ウランの処分のために10CFR61の改訂を進めた。検討では現行の廃棄物のクラス分類には変更を加えず、劣化ウランをユニークストリームとしてサイトスペシフィックに評価していくこととした¹¹⁰⁾。

劣化ウランの処分を検討する前は、米国でのウランの取り扱いは1万年以降の子孫核種の生成を考慮しない方針で安全評価を実施していた³⁴⁾。基本的に1万年経過時点まで、線量250 μ Sv/年を確認した後はウランの子孫核種生成による線量の増加は考えないという考え方で

ある。これに対して、劣化ウランを処分する場合には、1万年経過時点で250 μ Sv/年を担保することが、どこでも可能ではないことから、処分場個別のサイトスペシフィックな評価を行い、有意な量の劣化ウランを含む廃棄物については、1万年経過以降についても定性的な評価を実施することとした¹¹⁰⁾。

米国のように制度化に向けた検討には着手していないが、フランスにおいても、劣化ウランの処分は検討されている¹¹¹⁾。また、回収ウランについても深度の浅い地層処分での処分という概念で概念検討が行われている¹¹²⁾。

6. まとめ

6・1 環境放射能と放射性廃棄物処分の関係

以下に、今まで述べた内容を取りまとめる。

- (1) 事実上、米国で決めた基準が世界の基準となっている。米国の10nCi/g(370Bq/g)という濃度基準が天然のラジウム濃度を参考にTRU核種の浅地中処分の指標となり、その基準が欧州に入ってから、 α 核種の濃度として定着した^{31, 35, 42)}。
- (2) 自然界に存在するウランについて見ると米国では、ウラン核種の浅地中処分濃度上限値は定まっていない。劣化ウランの処分を考えるまで、10CFR61におけるウラン核種の取り扱いは、1万年経過後の線量として250 μ Sv/年を満足することを要求していた³⁴⁾。そして1万年以降に生成する子孫核種による線量評価は例外として評価は不要とされていた³⁴⁾。
- (3) 現在改訂予定の10CFR61改定案では、ガイダンス案にウランを含む長半減期の核種について、その処分場の平均濃度で10nCi/g(370Bq/g)を閾値として、1年以上の性能評価期間が必要であるかどうかのスクリーニングに利用することが記載されている¹¹³⁾。
- (4) フランスと英国では、短寿命低中レベル放射性廃棄物処分場に、ウラン核種につ

^{注5} 劣化ウランは天然ウランの²³⁵Uの含有率0.7%を下回るウランを意味し、通常、含有率は0.2～0.3%である。2006年以来、NRCは4つの民間濃縮工場の許可申請の審査を行ったが、これらの濃縮工場は大量の劣化ウランを排出するので、NRCはその処分の検討をはじめている。劣化ウランは、NRCの低レベル廃棄物（放射性廃棄物で、使用済核燃料でも、TRU廃棄物でも、鉱さいでも、高レベル放射性廃棄物でもないもの）に合致している^{105, 106)}。

- いて最大3,700 Bq/g（英国では4,000 Bq/g）処分することが可能である^{35, 42)}。平均濃度はフランスが500 Bq/gであるのに対し、英国は400 Bq/gである^{41, 42)}。安全の考え方は両国で異なる。
- (5) フランスでは短寿命低中レベル放射性廃棄物処分場に、ウラン含有廃棄物は免除された廃棄物として処分されている⁴¹⁾。受け入れのウラン核種の最大濃度は3,700 Bq/gであるが、廃棄物の平均濃度で500 Bq/gを満足すれば、受け入れ可能としている。人間侵入は、操業が終了した時点での評価をしており⁵⁰⁾、少なくとも数10万年後のウランの子孫核種のピークによる人間侵入の線量評価については実施していないか、実施していてもウラン量が少ないので線量に寄与しないかのどちらかであると推定される。
- (6) 英国では、短寿命低中レベル放射性廃棄物処分場に、ウラン含有廃棄物は放射性核種として処分され、生成する子孫核種の線量評価も1万年まで実施されている¹¹⁴⁾。居住によるラドンの吸引についても線量評価が実施され、その結果を人間侵入の線量基準である3–20 mSv/年と比較評価している^{45, 114)}。
- (7) 産廃処分場への処分について、米国ではLAW（Low Active Waste）と呼ばれる廃棄物名があるが、特に定義のようなものではなく、ケースバイケースで線量基準10 μ Sv/年をクリアするものを対象として10CFR20のSubpart Kの処分の項により処分することができる。
- (8) 欧州では免除制度として放射性廃棄物を産廃処分場に処分している。ウラン核種について見ると、先に述べたように英国、フランスとも最大濃度1,000 Bq/gまでの廃棄物を英国では産廃処分場で、フランスでは環境保護指定施設に処分している。平均濃度は英国では200 Bq/g、フランスでは100 Bq/gである^{39, 67)}。
- (9) フランス、英国とも、通常発生すると考えられるシナリオの線量基準として10 μ Sv/年、通常起こらないと考えられるシナリオについて1 mSv/年を満足する場合に、ケースバイケースで免除が適用できる。ウラン核種の免除を考える場合、分離精製したウランについて、例えば²³⁸Uの場合、^{234m}Paまで評価し、その下の子孫核種は線量評価の対象としていない^{64, 66)}。
- (10) なお、フランスの場合、インベントリーの総量が核種区分ごとに指定されており、環境保護指定施設であるモリビリエ処分場の場合は前述したように放射能総量が37 TBq以下としている³⁹⁾。
- (11) EUでは産廃処分場への放射性廃棄物の払出しについては地方自治体が権限を持っていると推察され、フランスのように特別な環境保護指定施設を指定しない英国やドイツでは、各地方自治体の判断で免除の取り扱いが異なることもありうると推察される。
- 我が国では、ウラン含有廃棄物は子孫核種の生成があり、とんでもない線量が数10万年後に出現するとして、過去50年間近く処分の対象とはならなかった。しかし、放射線防護の最大の目的は健康リスクの管理であり、海外では国民の理解を得て安全にウラン含有廃棄物は処分されてきた。2000年頃、日本の科学者とジャーナリストの団体が、自然放射線レベルが高くて有名なブラジルのガラパリを訪問した際に、あたかも大きな災害か、放射能汚染が発生したかのように、全身を防護して、マスクもつけ、町に車で乗り込んできたことをガラパリの住民は覚えていた¹¹⁵⁾。この事例は、ここに行った日本人が、自然放射線レベルを杓子定規に考えて放射線利用の場合と同様に放射線防護をしなければならないと考えて行動したと思われるが、日本人は放射線防護レベルの意味や日常生活における自然放射線の影響をよく理解する必要がある。

図11 浅地中処分における分野別の不確実性の大きさに関連するプロセスや事象¹¹⁷⁾ (図は概念的な表記であり、定量的な記載ではない) (Color online)

り、そのために放射線防護の専門家は国民意識の啓発に真剣に取り組まなければならない。

6・2 放射性廃棄物処分と放射線防護の関係

放射性廃棄物の処分については、一般に以下のことが言われている。

- ①生物学的影響評価は数百年以上はあまり意味がない。
- ②1万年以上の評価について線量評価の定量的な意味合いは低い

生物学的影響評価が数百年と考えるのは社会的な分析と考えられる。英国のJ. R. Cooper氏はICRP Publication 77, Publication 81に関連した廃棄物処分に係るガイダンスのまとめで、「現在の線量と健康影響の因果関係に関する判断は将来世代には通用しないかも知れない。このような議論の結果、ICRPは数千年を超える集団線量の予測や数百年を超える健康影響については批判的に調査すべきである。」としている¹¹⁶⁾。

また、フランスのラマンシュ処分場は300年

後に解放することができないことが確認されているが、ラマンシュ処分場の300年以降の取り扱いの判断は、300年後の世代に託している。そして、現在世代が担うべきことは、300年経過後にすぐに処分場が損壊しないように手当てすることであると結論している¹¹⁾。

米国の10CFR61の改訂に関する報告では、図11に示すように不確実性の評価では社会科学的な不確実性は300年程度で大きくなるとしている¹¹⁷⁾。

これらの英国、フランス、米国の社会科学的な考察に鑑みると、放射線の生物学的影響に関して、今のように放射線を過剰に恐れる社会的現象は数百年後にはないと、多くの研究者は理解しているのではないかと推察する。先に示した国会科学技術選択評価委員会 公開議事録「極低レベル放射性廃棄物 (TFA) と鉱業残渣放射性廃棄物の処分」のGanivet氏の発言にあるとおり、問題なのは心理的に放射性廃棄物を受け入れられるかどうかにある⁷⁹⁾。社会学的

なアプローチが必要であるが、300年後には放射線影響に関する常識が変っていることを前提に、研究者が自信を持つことも重要ではないかと考える次第である。

2.2.3.1～2.2.3.3で廃棄物処分の濃度上限は、歴史的に自然放射能の濃度から策定してきたことを示した。それをIAEAの文書で確認すると、1994年の時点でいくつかの国で浅地中処分において、廃棄体当たりの長寿命 α 核種の濃度上限を400Bq/gとしているとの解説がある¹¹⁸⁾。既に説明したように処分の基準は国際的に統一する必要はないのであるから、この濃度上限400Bq/gを参照するかどうかは各国の判断に委ねられており、我が国でも自然環境中で自然放射性物質をどう考えるか自由に議論してみることも重要と考える。

ここからは、IAEAが線量評価で浅地中処分の濃度上限値を算出した例を示して筆をおくこととする。

2003年にIAEAは浅地中処分の濃度上限値を算出している¹¹⁹⁾。その中で定量評価は1万年までとしている。1万年については農耕の起源が1万年前であり、現在の生活条件が今後1万年続くとしても不合理であるとは言えないとしている¹²⁰⁾。

評価結果は人間侵入の線量基準を1mSv/年として、全ての核種について500年経過までを評価対象期間とすることを標準としている。

結果やシナリオの詳細は省くが、粘土層で温帯の条件でウラン核種の濃度上限値は500年経過後で1,000Bq/gオーダー程度と評価されている。つまり、公衆の被ばく線量を1mSv/年とする場合、トレンチ処分で1,000Bq/gオーダー程度の濃度が算出されていることとなる。

これはIAEAの免除で記載されている「通常起こらないシナリオについて1mSv/年」を適用すると濃度上限値は1,000Bq/gオーダーとなることを示しており、英国、ならびにフランスでウラン含有廃棄物を産廃処分場で受け入れる基準である1,000Bq/gと合致していることがわかる。

なお、1万年まで評価した結果はボルトの処分中についてのみ参考として脚注に記載されている。その場合の濃度上限値は数10Bq/g程度となっている。

こうしてIAEAの報告を参照すると、欧州で免除制度により産廃処分場で受け入れるウラン含有廃棄物の濃度上限値は、500年の評価期間で基準線量1mSv/年より導かれていることがわかり、英国での評価例と合致している⁶⁶⁾。

あとがき

かれこれ10年間位に収集した、ウラン核種に焦点を当てた世界の廃棄物処分の文献を取りまとめて総説とし、米国を中心とする海外で自然核種を含む廃棄物、特にウラン含有廃棄物についてどのように考えて、その浅地中埋設を実現してきたかを紹介した。皆様の忌憚ないご意見をいただければ幸いです。

第五福竜丸の船員が被ばくしたビキニ事件の調査にAEC保健安全研究所の所長として米国から参加されたMerril Eisenbud氏は1985年に再び訪日し、ビキニ事件について講演され、追想録を残している^{注6)}。その中でかなりの部分を放射性廃棄物管理に割いていて、自然界から類推によってどれだけ学びうるかと自ら問いかけて、いかにして廃棄物を安全に貯蔵できるかを自然が語ってくれとまとめている。

我々も謙虚に自然界から学ぶべきではないかと考える次第です。

付録

フランスの国会科学技術選択評価委員会(Claude Birraux委員長)は「原子力施設の安全と安全保障について」報告書をまとめている。その「第二分冊、ANNEX」に日本の制度が制度化に失敗した例として引用されている。フランス特有のジョークも交えた批評となっているが、ここではあえてその前後の関連する全発言、ならびに関連するMasse氏の全発言を紹介する⁷⁹⁾。

^{注6)} Merrill Eisenbud ビキニ事件の追憶と今後の放射線安全問題(1), (2), Isotope News 1985年2月号

国会科学技術選択評価委員会 公開議事録（部分）

「極低レベル放射性廃棄物（TFA）と鉱業残渣放射性廃棄物の処分」

1995年11月16日（火）

Pr. Roland MASSE, Président（OPRI）（電離放射線防護局局長）

Hubert Nouguiér, Directeur delegue（Cogema）（コジェマ社 専務）

Claude Birraux, Depute, Office Parlementaire D' Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques
（国会科学技術選択評価委員会委員長）

Michel Ganivet, Directeur（IQS）（市民防護高等委員会）

（前略）

Masse氏：Lacoste氏の示してくれた論点について満足するとともに、私もまったく同感である。

同氏のプレゼンの後で、大規模事業者が扱う原子力とそれ以外の分散型の原子力を統合して、同じ袋に（筆者注：「同じ規制体系に」の意か？）入れようという試みがあった。この二つはまったく異なる問題である。原子力発電に係るものは、殆ど最終段階に入っているが、その他の原子力についてはまだまだ大きな進展が望まれる。数週間に渡って、我々はスクラップ業者の通常ではないとする信号で警戒を高めている。少し前から、そのようなことはなくなった。これは情報が十分に伝えられたということだと思われる（まさか測定器を切っているのではないことを期待する）。このことは、我々の規制は常に必要ではないとしても時として役に立っていることを証明している。この観点から我々の安全が強力に守られていることはよいことである。

原子力分散廃棄物^{注7}については、公共サービスとして、予算措置も含めてANDRAが責任を果たす方向で熟考が必要である。現状、ストックヤードに数ヶ月貯蔵する汚染したスクラップを処理する支払い能力もないスクラップ業者以外には、誰も費用を負担しようとしないう問題に直面している。このような事態はフランスのどこかで起こっている。この問題は、大規模な原子力企業が簡単に自らの努力で解決するようには、弱小の発生者は解決できない。

まだ、誰も触れていないが、私が重要と思うのは、現状では、警報が来るのは、市町村の廃棄物でヨウ素が見つかった場合に、産廃処分場や焼却施設から来る。我々はまず、それは病院が医療廃棄物を管理できないからだろうと考える。しかしながら良く調べてみるとそれは必ずしも真実ではないことがわかる。

フランスでは現在20,000人の患者が15TBqに相当する¹³¹Iを投与されて帰宅している。もし、現在大規模事業者に課せられているトレーサビリティを適用すれば、とんでもないことである。それはUntel氏がゴミ箱に入れたクリネックスを処分場で発見する理由を探すようなものである。これは医療行為を根本から変えるようなものではない。もし、この医療行為が済むまで入院することとなると、150日かそれ以上の入院期間となる。

同様に現時点で全てに統一的に適用できる免除レベルに我々が合意することはできない。規制の

^{注7} 原子力分散廃棄物（Nucléaire diffus）：医療から発生する放射性元素、低レベルの放射能を含む部品を使う装置から発生する放射性元素、測定機器に使用されている密封線源から発生する放射性元素、あるいは、その他、放射性物質を利用することが活動の主目的ではなく放射性元素を利用する全ての活動から発生する放射性元素を総称するもの⁸¹⁾。

基準は全ての廃棄物を包括するものではない。

Birraux 委員長：それは長期的に見ると手続きの一貫性の問題につながって行くと思う。2つの速度の異なる規制，あるいは2つの速度の異なる事業者ができてしまうのではないか。この2種類の規制，異なった制約の中で，完全に統率された事業者と自然に放置される事業者ができてしまうのではないか。

Masse 氏：規制の基本は健康リスクの管理にある。現在，健康リスクの管理とは別の多くの優先順位がある。もし，私が人間への線量のバランスについて判断をするならば，それは自然放射線と病院で受ける医療被ばくである。

(中略)

Nouguier 氏：Masse教授の原子力分散廃棄物のコメントに戻りたい。今日中に原子力分散廃棄物とは何か特定する必要があるだろう。原子力分散廃棄物と考えられるのはヨウ素の問題であり，その影響は何らかの方法で評価できる。その他に世界のどこかからでも放射性の廃棄物が原子力分散廃棄物として来る可能性がある。他の国では原子力基本施設の運転から生じる廃棄物は普通の物質として扱われる。欧州だけではなく，世界規模の屑鉄の市場がある。

Rousson氏は欧州の水準で管理されるべきと話していたが，それでは十分ではない。スクラップを積んだ船はフランスの港に世界中から来訪しており，スクラップを積んだ列車は欧州のEC以外の地域からも到着している。これらの船や列車，トラックを国境に留め置くことは困難である。又，外国の原子力施設から来たスクラップを，フランスの原子力施設から来た同じような性質の廃棄物と同じように扱わないということは，もっと困難なことである。

私は，フランス外から入るスクラップ金属や瓦礫，金属類が，我が国の公害の一因になっており，これについてはLacoste氏の規制当局とともに何らかの建設的な措置を講じることによって，それに対抗していかなくてはならないので，これらの原子力分散廃棄物については後ほどもう一度話し合うことを希望している。

私は，原子力分散廃棄物を真に分散であるものと，そうでないもの，我々が直面する問題から目を背けさせるようなものとに区分できないのであれば，分散廃棄物には異なる規制があるというMasse氏の考え方に全面的に合意するものではない。

Birraux 委員長：あなたは規制を弁護している。その話を聞くと，私は日本人が要求するプレスチキンを思い出す。日本人は，放射能レベルが日本で課している基準以下であるという保証書をプレスチキンに付けると要求している。いつの日か，規制があると皆が知ると，スクラップの取引業者は，日本人がプレスチキンに求める保証書と同様の保証書を，求めなければならないことを知る。それは規制に向かって，関係者が進む道である。そこに規制があるとわかった時点で。

Ganivet 氏：私はフランスの市民防護高等委員会の立場から発言する。市民防護高等委員会は国民を技術的，自然リスクから防護することを主務とする組織である。

我々は放射性廃棄物の問題の中で，極低レベル放射性廃棄物に伴うリスクについて考えてきた。IPSNやORPIの研究を読むと，どのようなシナリオであれ，健康への影響は無視できる程度であると思われる。この健康影響の評価では，どの評価であれ，影響の範囲は $10\mu\text{Sv/年}$ から 1mSv/年 であり，これらは自然放射能，宇宙線，放射線診断によって受ける 0.5mSv/年 と比

較できる値である。

健康被害が無視できる程度であると理解すれば、我々が直面する問題は心理的にこの種の廃棄物を受け入れられるかどうかである。これについて、DSINが中心に進めている方策は全般的により方向である。

管理の品質と追跡能力は保証されるべきである。人々が、原子力操業者に始まり、他の事業者に至るまでの全ての企業が、廃棄物の一部を非放射性廃棄物として分類するような、つまり通常の廃棄物として扱うような機能不全が発生しないような方策をきちんと取っていることを理解すれば、多くの懸念は次第に消えていくであろう。確かに、既に見た通り、機能不全というのはいつでも起こる可能性があるものである。

追跡能力が確保されれば、最終的に処分場の技術水準として産廃処分場のクラス2を超えない貯蔵場の認可を行うことが望ましい。健康影響が無視できるほどであるので、追加の処分費用をかける理由もないし、将来好ましくない影響がでる恐れがある追加的な制限を課す必要もない。こうしたクラス2の産廃処分場は正式に認定され、極低レベル放射性廃棄物を受け入れる許可を得るであろうが、特別な技術的制約は受けないであろう。

解体により発生する資材は家庭用でなく、食料に関連しなければ再利用することは可能であるが。ただ、様々な国で特に金属廃棄物が受けた多種多様な加工処理を考えると、今日ドイツで洗濯機を購入する場合には再生した鋼板が利用されているかも知れなく、検査装置をもし通していれば、驚きの結果がでるかも知れない。我々のやり方としては、家庭用でなく、食品には関係しないことを勧告する。

コンクリートについては、一般家庭の一戸建ての建築に使うことは避ける必要がある。しかし、産業施設や高速道路の下部構造等には使ってもよい。極低レベル放射性廃棄物で専用の処分場をつくるのではなく、現行のクラス2産業廃棄物の規制に従う処分場に認可を与えることが重要だと考える。そうすれば、処分費用は合理的な範囲に納まり、原子力産業にペナルティーを課すことにはならない。人為的なペナルティーを作るということは、他国を有利にして、我が国の雇用を犠牲にすることである。

(後略)

一般公衆は委員長発言の「プレスチキンの保証書」が理解できないと推察されるので、解説する。プレスチキンはフランスのプレス地方で飼育されているチキンで最上のチキンとして知られている。1591年には既に贈答用にプレスチキンが用いられていた。アンリ4世国王がプレスチキンの魅力に触れたとの話もあるが真偽は不明である。鉄道の発達とともに欧州中でプレスチキンの名声が高まった。プレスチキンの保護がさげばれ、地域を限定するとともに、プレスチキンに関連する業界関係者でプレスチキン委員会が設立された。1957年にはフラン

スの公的な食品品質保証制度の一つである統制原産地呼称(AOC)に登録され、世界最高品質のチキンとの評判を得ている¹²¹⁾。プレスチキンと名乗るためには、えさの種類やその与える期間について詳細に指定されている指示に従わなければならない。

Birraux委員長は、日本の制度を引き合いに出してプレスチキンに例えることにより、制度化をうまくしないと、隔離された区域で、指定された処理を行い、一切他の廃棄物と接触させないで、放射能を含まないことを証明した、わずかの廃棄物のみがリサイクル市場に出ること

を示唆したものと推察される。

謝 辞

本総説を取りまとめる機会をお与えいただいた、藤田保健衛生大学下道國客員教授に、心より感謝申し上げます。また、原子燃料公社時代の人形峠におけるラドンの管理やその後の進展について情報をご提供いただいた、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の佐藤和彦氏に心より御礼申し上げます。そして、IAEAの文書を検索するのに、何一ついやな顔をせずご協力いただいた、公益財団法人原子力安全研究協会の立川博一氏に御礼申し上げます。

文 献

- Merril Eisenbud, 「ビキニ事件の追想と今後の放射線安全問題(2)」, Isotope News, 1985年3月号, pp. 22, 1985
- IAEA Glossary, N, <https://www.iaea.org/ns/tutorials/regcontrol/intro/glossaryn.htm>
- 安藤芳明「北海道における放射能汚染に関する調査(VII) 中共核実験(第三回)に由来する強放射能粒子の探索」, 北海道立衛生研究所報 第17集, <http://www.iph.pref.hokkaido.jp/Kankobutsu/Shoho/annual17/shoho170124.pdf>
- 「放射性廃棄物の種類に応じた処分方法」, 資源エネルギー庁ホームページ, http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/gaiyo/gaiyo02.html
- 「原子力科学技術委員会研究施設等廃棄物作業部会(第13回)議事録」, 平成27年7月27日, http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/057/gijiroku/1362775.htm
- 「放射性廃棄物の処理・処分を巡る取組の現状について」, 資料第3-1号, 原子力委員会 第5回新大綱策定会議, pp. 10, 平成23年3月8日
- "Final Environmental Impact Statement for Standards for the Control of Byproduct Materials for Uranium Ore Processing" (40CFR192), Vol. 1, EPA 520/183-008-1, pp. 2-6, 1983
- "Rapport présenté au Conseil Supérieur d'Information Nucléaire en Octobre 1991 Résumé des recommandations", Rapport Desgraupes, Extraits pages 3 à 23 puis 35 à 36, pp. 21, Juillet 1991
- Abel, J., Gonzalez, "Exclusion, Exemption and Clearance in the frame of the control and management of inadvertent radioactive material in scrap metal," International Conference on Control and Management of Inadvertent Radioactive Material in Scrap Metal, Autoridad Regulatoria Nuclear, Argentine, pp. 18, Feb., 2009
- "Assessing the Need for Radiation Protection Measures in Work Involving Minerals and Raw Materials", Safety Report Series No. 49, IAEA, pp. 11, 2006
- "A.6. France: Improvement Measures Implemented at the Centre de la Manche", Upgrading of Near Surface Repositories for Radioactive Waste, Technical Reports Series no. 433, IAEA, pp. 65, 2005
- History and Framework of Commercial Low-Level Radioactive Waste Management in the United States, NUREG-1853, 10 (2007)
- Michel Dutzer, et al., "40 years of operation of surface disposal facilities", ANDRA, Proceedings of Global 2009, pp. 812, Sept., 2009
- "Application for RSA Disposal Authorisation Clifton March Landfill Site", SITA, pp. 3, July, 2009
- Joint Convention on the Safety of Radioactive Waste Management, pp. 84, May 2015]
- "Inventory of radioactive waste disposals at sea", IAEA-TECDOC-1105, pp. 12, Aug., 1999, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1105_prn.pdf
- "Considerations Concerning "De Minimis" Quantities of Radioactive Waste Suitable for Dumping at Sea under a General Permit", IAEA-TECDOC-244, pp. 7, 1981
- 「ロンドン条約及びロンドン条約96年議定書の概要」, https://www.env.go.jp/council/toshin/t063-h1506/ref_01.pdf
- De Minimis Concepts in Radioactive Waste Disposal, Considerations in Defining de Minimis Quantities of Solid Radioactive Waste for Uncontrolled Disposal by Incineration and Landfill, IAEA-TECDOC-282, pp. 14, 1983
- "Final Generic Environmental Impact Statement on uranium milling, project M-25" NUREG-0706, Vol. 1, pp. 17, Sept., 1980
- 長谷川信, et al., 「北米地域のウラン廃棄物処分に関する調査—米国ユタ州, テキサス州及びカナダ オンタリオ州における処分及び規制の現状—」, JAEA-Review 2013-043, pp. 8, Dec., 2013
- 音村圭一郎, et al., 「旧東独 WISMUT 社ウラン

- 鉱業汚染の浄化修復現地調査報告書」, PNC-TN7420 92-018, 1992 年 6 月
- 23) EnergySolutions, LLC, Science Applications International Corporation, "Waste Disposal Options and Fernald Lessons Learned Technical Memorandum for the Niagara Falls Storage Site Lewiston, NY", US Army Corps of Engineers Buffalo District, pp. xiii, July, 2011
 - 24) "Radiation Protection Principles for the Disposal of Solid Radioactive Waste", ICRP Publication 46, 1985
 - 25) "Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption, Part I: Guidance on General Clearance Levels for Practices", RP-122 Part I, European Commission, Annex 1 pp. 3, 2000
 - 26) "Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption, Part II: Application of the concepts of exemption and clearance to natural radiation sources", RP-122 Part II, European Commission, Annex 1 pp. 3, 2000
 - 27) C. C. Travis, et al., "A Radiological Assessment of Radon-222 Released from Uranium Mills and Other Natural and Technologically Enhanced Sources", Final Report, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/NUREG-55, pp. 204, Feb., 1979
 - 28) "Licensing Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste", 10CFR Part 61, Dec., 1982
 - 29) "Final Environmental Impact Statement on 10CFR Part 61 "Licensing Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste", NUREG-0945, Vol. 1, pp. 4-27, Nov., 1982
 - 30) "Basic Safety Standards for Radiation Protection", Safety Series No. 9, IAEA, pp. 23, 1962
 - 31) Proceedings of Alpha-Contaminated Waste Management Workshop, pp. 29. Aug., 1982
 - 32) Clifton R. Holman, et al., "Assessing the Impacts of Lowering the Radioactivity Limit Definition of TRU Waste from 100 nCi/g to 10 nCi/g", DOE, Waste Management '99 Conference, pp. 4, Feb.-March, 1999
 - 33) T. L. Eddy, et al., "Thermal Processing System Concepts and Considerations for RWM Buried Waste", Idaho National Engineering Laboratory, EG&G Idaho, Inc., EGG-WTD-10058, DE92 018049, pp. xxvi, Feb., 1992
 - 34) "A Performance Assessment Methodology for Low-Level Radioactive Waste Disposal Facilities", Recommendations of NRC's Performance Assessment Working Group, NUREG-1573, NRC, pp. B-17, Oct., 2000
 - 35) "Conception generale et principes generaux applicable a l'ensemble de l'installation, I.2. Principes generaux de conception et d' installation", Regle No. I-2, Juin 1984
 - 36) "Arrete du 11 mars 1996 fixant les limites au-dela desquelles les usines de preparation, de fabrication ou de transformation de substances radioactives, ainsi que les installations destinees au stockage ou depot ou a l'utilisation de substances radioactives, y compris nucleaires de base", NOR: EN-VP9540332A, Version consolidee au fevrier 2016
 - 37) M. Dutzer, et al., "Disposal of Very Low Level Waste and Safety Assessment", Disposal of Low Activity Radioactive Waste, Proceedings of an International Symposium, Cordoba, Spain, 13-17, pp. 163, Dec., 2004
 - 38) "Inventaire national des matieres et dechets radioactifs", Catalogue descriptif des familles 2015, ANDRA, 2015
 - 39) "I-4. Long Term Management of the Waste Resulting from Dismantling Operations, Disposal of VLLW at Morvilliers, France", Managing Low Radioactivity Material from the Decommissioning of Nuclear Facilities, Technical Safety Report Series no. 462, IAEA, pp. 127, March, 2008
 - 40) Avis du Conseil d'Etat du 11/12/91 (Section des Travaux publics n° 351.043 relatif au regime juridique des stockages des residus radioactifs), Dec., 1991
 - 41) "Plan National de Gestion des Matieres et des Dechets Radioactifs 2007-2009", l'Inventaire national des dechets radioactifs et des matieres valorisables a un bilan et une vision prospective des filieres de gestion a long terme des dechets radioactifs en France, pp. 75, 2009
 - 42) "The 2010 UK Radioactive Waste Inventory: A Summary of Information for International Reporting", NDA, DECC, URN 10D/987, NDA/ST/STY (11)006, pp. 1, Feb., 2011
 - 43) "South Terras Mine, Cornwall", ホームページ, <http://www.cornwall-calling.co.uk/mines/st-austell/south-terras.htm>
 - 44) "Ordinance on the Protection against Damage and Injuries Caused by Ionizing Radiation (Radiation Protection Ordinance), Edition 02/12 (bilingual)", pp. 6, 2012
 - 45) "Near-surface Disposal Facilities on Land for Solid Radioactive Wastes", Guidance on Requirements

- for Authorization, Feb., 2009
- 46) "Low Activity Low Level Waste Capacity Assessment", National Waste Programme, NWP/REP/011 - Issue 3 - March 2013, pp. 9, March 2013
 - 47) "Report 1: National waste class definitions versus the IAEA's proposed waste classes", pp. 4, March, 2000, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/rwmp-3/Report_1.pdf
 - 48) "Clearance Levels in Germany and their Application in D&D Projects", ICEM03-4904, Proceedings of ICEM '03, pp. 2, Sept., 2003
 - 49) "Planfeststellungsbeschluss für die Errichtung und den Betrieb des Bergwerkes Konrad in Salzgitter" als Anlage zur Endlagerung fester oder verfestigter radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung vom 22. Mai 2002, pp. C II. 2.1.2.9-16, Mai, 2002
 - 50) "RAPPORT SUR LES CONSÉQUENCES DES INSTALLATIONS DE STOCKAGE DES DÉCHETS NUCLÉAIRES SUR LA SANTÉ PUBLIQUE ET L' ENVIRONNEMENT", OFFICE PARLEMENTAIRE D' ÉVALUATION DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES, Tome I, pp. 17, <http://www.assemblee-nationale.fr/rap-oecst/stockanuc/r2257-1.asp>
 - 51) "Basic Safety Standards for Radiation Protection", Safety Series No. 9, 1967 Edition, IAEA, pp. 20, 1967
 - 52) Steve Chandler, "Radioactive Waste Legislation and the Exemption and Clearance Framework in the UK", Department of Energy and Climate Change, Release of Radioactive Materials from Regulatory Requirements, Provisions for Exemption and Clearance, Wiesbaden, Germany, pp. 1, Sept., 2009
 - 53) "amending the Directives laying down the basic safety standards for the health protection of the general public and workers against the dangers of ionizing radiation", Council Directive of 15 July 1980, (80/836/Euratom), 1980
 - 54) "Basic Safety Standards for Radiation Protection", Safety Series No. 9, 1982 Edition, IAEA, pp. 29, 1982
 - 55) "Workshop on Rules for Exemption from Regulatory Control", NUREG/CP-0101, NRC NEA/OECD, pp. 291, Oct., 1988
 - 56) "Principles for the Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control", Safety Series No. 89, IAEA Safety Guides, IAEA, 1988
 - 57) "Unimportant quantities of source material", 10CFR40.13
 - 58) "Waste Disposal", 10CFR20 Subpart K
 - 59) "Low-Level Waste Disposal Under 10 CFR 20.2002", <https://www.nrc.gov/waste/llw-disposal/10cfr20-2002-info.html>
 - 60) "Radioprotection: Radionuclides Uranium naturel", IRSN, pp. 7, http://www.irs.fr/FR/professionnels_sante/documentation/Documents/IRSN-fiche_uranium-naturel.pdf
 - 61) Liebertraud Hornung, "The IAEA Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption, Clearance-An Analysis of Numerical Values and Open Questions", Federal Office for Radiation Protection, Germany, Provisions for Exemption and Clearance, Wiesbaden, Germany, Sept., 2009
 - 62) M. Harvey, et al., "Principles and Methods for Establishing Concentrations and Quantities (Exemption Values) Below which Reporting is not Required in the European Directive", RP-65, Commission of the European Communities, pp. 42, 1993
 - 63) "Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards", GSR Part 3, July, 2014
 - 64) Jean-Marie Lavie, 「フランスにおける α 廃棄物の浅地処分及びクリアランスの考え方と現状」, ANDRA, デコミッショニング技報 第36号, pp. 17, 2007
 - 65) Radioactive Substance Act, 1993
 - 66) "Guidance on the scope of and exemptions from the radioactive substances legislation in the UK", Guidance Document, defra, Sept., 2011
 - 67) 佐藤和彦, et al., 「欧州地域のウラン廃棄物処分に関する調査—フランス, 英国及びスウェーデンにおける処分及び規制の現状—」, JAEA-Review 2014-006, pp. 33, Dec., 2013
 - 68) "Disposal of High Volume Very Low Level Radioactive Waste at the Lillyhall Landfill Site, operated by Waste Recycling Limited at Joseph Noble Road, Lillyhall, Workington", Environmental Permitting (England and Wales) Regulations 2010, Decision Document, Environment Agency, April, 2011
 - 69) 「放射性廃棄物処理処分方策について」, 放射性廃棄物対策専門部会中間報告書, 原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会, pp. 6, 昭和59年8月7日
 - 70) "Non Technical Summary Preliminary Environmental Information for the Proposals for an Extension in Time and Area for the Landfill Disposal of Hazardous Waste and Low Level Radioactive

- Waste and an Extension in Time for the Operation of the Soil Treatment Facility at the East Northants Resource Management Facility, Stamford Road, Northamptonshire”, Report reference: AU/KCE/MM/156/01, Augan PLC, April, 2011
- 71) “Application for Disposal of LLW Including HV-LLW under the Radioactive Substance Act 1993 for the East Northants Resource Management Facility Supporting Information Appendix D”, Augan PLC, April, 2011
 - 72) Dr. Helmut Rupar, et al., “Decommissioning of Four German Fuel Cycle Facilities”, Siemens AG, Power Generation Group, Waste Management Conference, pp. 10, Feb., 2000
 - 73) P. S. Stansbury, et al., “Uses of ANSI/HPS N13.12-1999, “Surface and Volume Radioactivity Standards for Clearance” and Comparison with existing Standards”, PNNL-13484, April, 2001
 - 74) Kevin Konzen, MS., CHP, “Idaho Cleanup Project Clearance Limits for Personal Property”, CH2M · WG, IDAHO. LLC, [https://energy.gov/sites/prod/files/2014/08/f18/Konzen-DOE%20Clearance%20Limits%20\(5-27-14\).pdf](https://energy.gov/sites/prod/files/2014/08/f18/Konzen-DOE%20Clearance%20Limits%20(5-27-14).pdf)
 - 75) “Release of Materials for Re-use and Recycle”, Memorandum for Heads of All Departmental Elements, DOE, Feb., 2000
 - 76) “Multi-Agency Radiation Survey and Assessment of Materials and Equipment Manual (MARSAME)”, NUREG-1575, Supplement 1, Jan., 2009
 - 77) “Clearance for Recycle of Scrap Metal and Materials from Radiological Areas”, Memorandum for the Secretary, DOE, Aug., 2011
 - 78) “Exemption guidance Very low level radioactive waste”, Radioactive Substances Act 1993, the Environmental Permitting (England and Wales) (Amendment), Regulation 2011, VLLW guidance Version 1.0 Sept., 2011, pp. 3, 2011
 - 79) “La gestion des déchets radioactifs de très faible activité (TFA) et des résidus miniers”, AUDITION OUVERTE À LA PRESSE, OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES, Nov., 1995
 - 80) “Methodologies d' assainissement complet acceptable dans les installations nucléaires de base en France”, Projet de GUIDE No. 14, pp. 11/24, June, 2010
 - 81) “l' Environnement en Poitou-Charentes, Glossaire, Nucléaire diffuse”, http://www.environnement-poitou-charentes.org/spip.php?page=mot_glossaire&id_article=1263
 - 82) D. W. Clements, “Decontamination and Melting of Low Level Waste A complete Environmental Package”, British Nuclear Fuel plc, Radioactive Waste Management and Environmental Remediation, ASME 1995
 - 83) 「ウラン廃棄物の処分及びクリアランスに関する海外の状況」, 独立行政法人日本原子力研究開発機構, 電気事業連合会, 日本原燃株式会社, 株式会社グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン, 三菱原子燃料株式会社, 原子燃料株式会社, 株式会社ジェー・シー・オー, pp. 31/93, 平成26年6月, <https://www.jaea.go.jp/04/maisetsu/reference/download/uranhaikibutsu-sankou-2014-06.pdf>
 - 84) D. J. Feinhals, “Global Experience with Implementation of Clearance”, DMT, IAEA International Experts' Meeting on Decommissioning and Remediation after a Nuclear Accident, <http://www-public.iaea.org/iaea-meetings/IEM4/30Jan/Feinhals.pdf>
 - 85) 「放射性廃棄物処理処分方策について」, 放射性廃棄物対策専門部会報告書, 原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会, pp. 10, 昭和60年10月8日
 - 86) 「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基本的考え方について」, 原子力安全委員会決定, 昭和60年10月24日
 - 87) 「放射性固体廃棄物の浅地中処分における規制除外線量について」, 第55回放射線審議会基本部会, 昭和62年12月15日, <http://www.rwmc.or.jp/law/d2/no4.html>
 - 88) 「放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方について」, 原子力安全委員会決定, 昭和63年3月17日
 - 89) 「現行の政令濃度上限値を超える低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」, 原子力安全委員会, 平成12年9月14日
 - 90) 「ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について」, 原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会, 平成12年12月14日
 - 91) 「放射性固体廃棄物埋設処分及びクリアランスに係る放射線防護に関する基本的考え方について」, 放射線審議会基本部会報告書, 平成22年1月19日
 - 92) 「第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方」について, 原子力安全委員会決定, 平成22年8月9日

- 93) 「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」, 原子力委員会, 平成6年6月24日
- 94) "Draft Euratom Basic Safety Standards Directive Version 24 February 2010 (final)", pp. 58, Feb., 2010, https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2010_02_24_draft_euratom_basic_safety_standards_directive.pdf
- 95) "Final Environmental Impact Statement Appendix II Radiological Risk Assessment Commercial Low-Level Radioactive Waste Disposal Site, Richland Washington", DOH 320-031, Vol. 1, pp. 84, May, 2004
- 96) "State of Utah 11e.(2) Byproduct Material License Renewal Application (UT 2300478), Revision 5, June, 2012
- 97) Karen P. Smith, et al., "An Assessment of the Disposal of Petroleum Industry NORM in Nonhazardous Landfills", Final Report, Sept., 1999
- 98) 三沢英勝, 「原子燃料公社ウラン鉱山開発業務の現況」, Vol. 2, No. 12, pp. 28, 1960
- 99) 「原子力局 通商産業大臣に対する放射線審議会の答申」, 昭和37年 原子力委員会月報 7(11), 昭和37年10月22日
- 100) 「金属鉱山等保安関係法令集」, 通商産業省立地公害局監修, 昭和58年3月10日発行
- 101) 松村敏博, et al., 「人形峠環境技術センターにおける鉱山跡の措置に関する基本計画—捨石たい積場及び鉱さいたい積場を中心に—」, サイクル機構, サイクル機構技報 No. 16, 2002, pp. 52, 2002
- 102) 「金属鉱山等保安関係法令集」, 通商産業省立地公害局監修, 平成元年10月5日発行
- 103) 「自然放射性物質の規制免除について」放射線審議会基本部会, 平成16年7月22日修正
- 104) 「ラドンに関する防護のガイドライン」, 放射線防護のための標準, 日本保健物理学会 放射線防護標準化委員会, 平成21年3月第2版
- 105) NRC Glossary, Depleted Uranium, <https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/glossary/depleted-uranium.html>
- 106) NRC Fact Sheets, "Backgrounder on Updating Disposal Rules for Low-Level Waste", <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/du-other-waste-disposal.html>
- 107) "Uranium Enrichment", World Nuclear Association, <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/uranium-enrichment.aspx>
- 108) "Frequently Asked Questions About Gas Centrifuge Enrichment Plants", NRC, <https://www.nrc.gov/materials/fuel-cycle-fac/faq.html>
- 109) "Management Alert Environmental Management's Select Strategy for Disposition of Savannah River Site Depleted Uranium Oxides", Audit Report, OAS-RA-10-07, April, 2010
- 110) R. W. Borchardt, "RESPONSE TO COMMISSION ORDER CLI-05-20 REGARDING DEPLETED URANIUM", SECY-08-0147, Oct., 2008
- 111) "Plan national de gestion des matieres et des dechet radioactifs", 2010-2012, pp. 81/146
- 112) "Plan national de gestion des matieres et des dechet radioactifs", 2013-2015, pp. 81
- 113) "Guidance for Conducting Technical Analyses for 10 CFR Part 61", Draft Report for Comment, NUREG-2175, March, 2015
- 114) "Assessment of Long-term Radiological Impacts", The 2011 Environmental Safety Case, LLWR/ESC/R(11)10028, LLW Repository Ltd, May 2011
- 115) Bruno Comby, 麓・石井訳「エコロジスト ブルーノ コンビ 原子力を語る」, 株式会社ERC出版, 2002年4月21日
- 116) J. R. Cooper, "ICRP Guidance on Radioactive Waste Disposal", NRPB, United Kingdom, IAEA, pp. 15, http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/33/037/33037847.pdf
- 117) "Technical Analysis Supporting Definition of Period of Performance for Low-Level Waste Disposal", NRC, <https://www.nrc.gov/docs/ML1110/ML111030586.pdf>
- 118) "Classification of Radioactive Waste", A Safety Guide, Safety Series No. 111-G-1.1, IAEA, pp. 16, 1994
- 119) "Derivation of activity limits for the disposal of radioactive waste in near surface disposal facilities", IAEA-TECDOC-1380, Dec., 2003
- 120) "Safety indicators in different time frames for the safety assessment of underground radioactive waste repositories", First report of the INWAC Subgroup on Principles and Criteria for Radioactive Waste Disposal, IAEA-TECDOC-767, 1994
- 121) "La Volaille de Bresse", <http://www.pouletdebresse.fr/>

Abstract

Radioactive Waste Disposal

—Uranium as Natural Radioactive Substances in Waste Disposal—

Hiromichi FUMOTO[†]: Mitsubishi Nuclear Fuel Co., LTD.,
622-1, Funaishikawa, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki Pref.
319-1197 Japan [†]hiromichi_fumoto@mnf.co.jp

Radioactive waste disposal scheme was reviewed in

terms of practice in waste disposal with regards to the naturally occurring radioactive materials, which exist in our natural environment. Moreover, the De Minimis concepts once we shared with as trivial activities in 1980's, which discussed in international community to be a concept of exemption and later of clearance. Finally, the legislation in foreign countries in waste disposal, exemption, clearance was reviewed in comparison to the nature of uranium and other naturally occurring radioactive materials in environment.