

令和3年3月10日 原規規発第2103109号 原子力規制委員会決定

ウラン廃棄物のクリアランス及び埋設に係る規制の考え方を次のように定める。

令和3年3月10日

原子力規制委員会

ウラン廃棄物のクリアランス及び埋設に係る規制の考え方の策定について

原子力規制委員会は、ウラン廃棄物のクリアランス及び埋設に係る規制の考え方を別添のとおり定める。

別添

ウラン廃棄物のクリアランス及び埋設に係る規制の考え方

令和3年3月10日

原子力規制委員会

目次

1. はじめに.....	1
2. ウラン及びウラン廃棄物の特徴.....	1
3. ウラン廃棄物の規制におけるウランの取扱い.....	2
3. 1 クリアランスにおけるウランの取扱い.....	2
3. 2 廃棄物埋設におけるウランの取扱い.....	3
4. ウラン廃棄物のクリアランスの規制の考え方.....	3
4. 1 ウラン廃棄物に対するクリアランスレベルの設定.....	3
(1) クリアランスレベル導出に係る線量基準.....	3
(2) クリアランスレベル導出に係る評価シナリオの選定.....	4
(3) 産廃処分シナリオによる評価結果.....	4
(4) ウラン廃棄物のクリアランスレベル.....	5
5. ウラン廃棄物の廃棄物埋設の規制の考え方.....	5
5. 1 ウラン廃棄物の浅地中処分に係る安全確保の考え方.....	5
(1) 現行の規制の枠組みにおける取扱い.....	5
(2) ウランに対する「十分に低い放射能濃度」の検討.....	6
5. 2 ウラン廃棄物の浅地中処分に係る規制規準の考え方.....	7
(1) 「十分に低い放射能濃度」に係る基準.....	7
(2) 評価シナリオに係る基準.....	8
(3) 人工バリアの設置に係る基準.....	8
5. 3 中深度処分におけるウラン廃棄物の取扱い.....	8
用語解説.....	9
参考文献.....	11
(参考1)	12
(参考2)	15
(参考3)	20
(参考4)	22

1. はじめに

我が国のウランの製錬、転換、濃縮、再転換、成型加工等の工程によって生じる、専らウラン及びその子孫核種によって汚染された物（以下「ウラン廃棄物」^{※1}という。）は、主に雑固体、使用済みフィルタ、スラッジ、焼却灰などであり、2050年頃までに約11万トンの発生が見込まれる⁽¹⁾。（参考1）

ウラン廃棄物に係る、放射性物質の放射能濃度が放射線による障害の防止のための措置を必要としないものを核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和32年法律第166号。以下「原子炉等規制法」という。）の対象から外すこと（以下「クリアランス」という。）ができる放射能濃度の基準（以下「クリアランスレベル」という。）については、工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射性物質の放射能濃度が放射線による障害の防止のための措置を必要としないものであることの確認等に関する規則（令和2年原子力規制委員会規則第16号。以下「クリアランス規則」という。）において、金属くずを対象として、U-234、U-235及びU-238に対しそれぞれ1Bq/gが規定されているが、金属くず以外の物については規定されていない。

ウラン廃棄物の埋設については、原子力安全委員会が平成22年に策定した第二種廃棄物埋設事業の安全審査の基本的考え方⁽²⁾の中で、「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、天然起源の放射性物質を主たる組成とする放射性廃棄物であり、長期にわた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」とし、適用対象外とした。また、核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則（昭和63年総理府令第1号。）は、令和元年12月5日の改正により、埋設の対象となる放射性廃棄物の発生施設の範囲を拡大したが、引き続きウラン廃棄物は同規則の対象から除かれている。

上記を踏まえ、金属以外のウラン廃棄物のクリアランス及びウラン廃棄物の埋設に係る規制基準等を整備するため、ウラン廃棄物に係る規制の考え方について検討を行った。

2. ウラン及びウラン廃棄物の特徴

ウランは地球上のどこにでも有意に存在する天然起源の放射性核種であり、その半減期の長さ（U-234：25万年、U-235：7億年、U-238：45億年）から、実質的に減衰せず、放射線を発生する能力は小さい。日本における土壌中のU-238の平均濃度は0.029 Bq/gであり、天然のウラン濃度（同位体合計）の高い場所では約1Bq/g程度で存在するとされている。（参考2）

ウラン廃棄物に含まれるウランは、原子力利用を目的とした製錬等の処理を経て子孫

※1 本資料では、クリアランスされた後再利用される資材及び産業廃棄物として処分されるもの、並びに放射性廃棄物として埋設処分されるものを指す。

核種が除去されており、天然に存在するウラン及びその子孫核種を含む鉱物や残渣とは核種組成が異なる。このため、時間の経過とともに子孫核種が生成し、これらを含めた総放射エネルギーが増大（以下「ビルドアップ」という。）していく特徴を有する（1万年程度以降に顕著となる。）。（参考2）

ビルドアップの影響を評価する場合は、子孫核種の挙動及び被ばく形態を考慮する必要がある。子孫核種のうちラドン（U-238の場合はRn-222、半減期3.8日）以外のは固体であり、地下水による移行や廃棄物埋設地の直上への居住等の経路を想定し、それらに伴う外部被ばく又は内部被ばくを評価する。他方、ラドンは希ガスであり、その挙動及び被ばくへの寄与は他の子孫核種とは異なる。ラドンによる被ばくを評価するには、地中から地表へのラドンガスの散逸、床下等から家屋内へのラドンの侵入、家屋内と家屋外との換気といった評価が必要であり、評価の不確かさが大きい。

3. ウラン廃棄物の規制におけるウランの取扱い

3. 1 クリアランスにおけるウランの取扱い

国際原子力機関（以下「IAEA」という。）一般安全要件「放射線防護及び放射線源の安全：国際基本安全基準」（以下「IAEA GSR Part 3」という。）では、クリアランスの一般的な判断基準（the general criteria）は、次のいずれかとしている。（参考3）

- (a) クリアランスされる物質による個人の放射線リスクが、規制上の管理が正当化されないほど十分に低く、クリアランスの一般的な判断基準（the general criterion）を満たさないことにつながる可能性があるシナリオが発生する明らかな見込みがない。
- (b) 個人線量又は健康上のリスクを低下させる上で、価値ある見返りが得られる合理的な管理対策がないという点で、物質の継続的な規制上の管理が正味の便益をもたらさない。

ウラン廃棄物のクリアランスについては、(b)に基づき天然起源核種として取り扱う考え方、及び(a)に基づき人工起源核種と同様に取り扱う考え方の二通りの考え方が存在する。

天然起源核種として取り扱う考え方については、鉱物や残渣等のいわゆる NORM^{※2}と同様に取り扱う考え方であり、IAEA GSR Part 3では、ウラン及びその子孫核種全てに対して1Bq/gというクリアランスレベルが設定されている。

一方、人工起源核種と同様に取り扱う考え方については、ウラン廃棄物に含まれるウランは、ウランの製錬等の工程を経て子孫核種が除かれ、原子力利用のために同位体比を変化させ、工業製品として利用し便益を得た結果として発生する廃棄物に含まれるものであり、それから受ける被ばくは計画被ばく状況と解することができるという考え方

※2 天然起源核種以外の放射性核種をほとんど含まない放射性物質

に基づいている。欧州理事会指令（以下「EU Council Directive」という。）⁽³⁾では、原子力利用のために天然起源核種を処理する行為によって生じたものについては、人工起源核種を含む物質と同様にクリアランスレベルを設定すべきであるとしている。

ウラン廃棄物のクリアランスに係る規制基準の策定に当たっては、クリアランスされたものが国際的に流通することがあり得るため、国際基準及びクリアランス制度を導入している EU 諸国の規制基準との共通性・協調性を確保することは重要である。

また、我が国においては、金属に限定してウラン廃棄物のクリアランスが規定されているが、そのクリアランスレベルを設定した際、原子力安全委員会は、「自然線源の放射性核種という特徴を踏まえ（略）規制除外の考え方から評価された 1Bq/g とする考え方が（略）重要である。」とした上で、「線量のめやす値を 10 μ Sv/年とした場合のクリアランスレベルを算出」という人工起源核種のクリアランスレベルの算出と同様の方法を採用している⁽⁴⁾。

以上を踏まえると、ウラン廃棄物のクリアランスの規制においては、ウランを人工起源核種と同様に取り扱うことが適当である。

3. 2 廃棄物埋設におけるウランの取扱い

廃棄物埋設におけるウランの取扱いについても、基本的な考え方は、上記に示したクリアランスと同様であり、人工起源核種と同様に取り扱うことが適当である。ただし、ウランは地球上のどこにでも有意に存在する放射性核種であることから、天然起源核種としての性格を併せ持つことを考慮することが考えられる。

4. ウラン廃棄物のクリアランスの規制の考え方

4. 1 ウラン廃棄物に対するクリアランスレベルの設定

(1) クリアランスレベル導出に係る線量基準

人工起源核種に対するクリアランスレベルを設定する場合には、線量基準を設定し、その基準を満足するクリアランスレベルを導出するという手法が国際的に共通しており、IAEA GSR Part 3 においてもその手法がとられている。

IAEA GSR Part 3 は、その際の線量基準に関し、合理的に予測可能なシナリオに対し 10 μ Sv/年オーダー又はそれ以下、発生確率の低いシナリオ（以下「低確率シナリオ」という。）に対しては 1mSv/年を超えないという判断基準^{※3}を示している。また、両方のシ

※3 クリアランスすることができる判断基準の考え方について、国際放射線防護委員会（ICRP）Publication 46 は、「個人が行動を決定する際に考慮に入れないリスクレベル（10⁻⁶/年）」や「些細なリスクとして許容できるレベル」に相当する線量として、年間 100 μ Sv という線量を示している。さらに、規制免除されたいくつかの物（線源）から 1 人の個人が受ける年線量の合計は、最も大きな個人線量を与える 1 つの免除された線源からの寄与分の 10 倍よりも低いことはほとんど確実であるとして、1 つの線源からの線量を年間 100 μ Sv の 1/10 である年間 10 μ Sv とする考え方を示している。同様の考え方として、IAEA Safety Report Series No.44 では、仮に複数の線源（クリアランス物）による異なる被ばく経路を介した被ばくの重畳が

ナリオに基づいて算出されたクリアランスレベルが異なる場合には、小さい方（すなわち基準として厳しい方）の値を採用するとしている。

我が国におけるウラン廃棄物のクリアランスレベルについても、これらの線量基準に基づき評価を行った上で設定することが適当である。

（２）クリアランスレベル導出に係る評価シナリオの選定

クリアランスレベルの導出に係る評価シナリオは、大別して、資源・資材等として再利用されるシナリオ（以下「再利用シナリオ」という。）と産業廃棄物として最終処分されるシナリオ（以下「産廃処分シナリオ」という。）に分けられる。

クリアランス規則では、ウラン廃棄物のクリアランスレベルは金属くずを対象としてU-234、U-235及びU-238について規定されている。金属は、環境法令に基づき、その多くが再利用されていることから、同クリアランスレベルの算定の根拠となっている原子力安全委員会報告書⁽⁴⁾では、合理的に予測可能なシナリオとして、再利用シナリオに基づいた評価が行われている。再利用シナリオでは、再利用される過程において、クリアランス対象物以外のものと混合・希釈され、再利用を繰り返すことによって放射能濃度が下がることを想定し、評価期間を100年としている。

金属以外の物のうちコンクリートについては、建設リサイクル法によりその多くが再利用されることが想定される。コンクリートの再利用については、金属と同様に、子孫核種の影響が出るよりも先に希釈による濃度の低下が顕著となり、評価期間によらず、クリアランス直後が最も放射能濃度及び線量が高くなるものと考えられ、金属の再利用シナリオに包含されると考えられる。

一方、コンクリート以外の非金属については、主として産業廃棄物として最終処分されることが想定される。この場合は、再利用を繰り返すことによる濃度の低下は想定されないものの、クリアランス対象物以外の産業廃棄物と混合されることが想定される。

以上のことから、産廃処分シナリオによる評価結果と、既存の再利用シナリオによるクリアランスレベルを比較し、両者のうち厳しい値を新たなクリアランスレベルとすることにより、金属くず以外の物についても適用可能なクリアランスレベルが設定できると考えられる。

（３）産廃処分シナリオによる評価結果（参考４）

産廃処分シナリオに係る線量基準については、IAEA GSR Part 3に従い、合理的に予測可能なシナリオに対し10 μSv/y、低確率シナリオに対し1mSv/yを適用する。評価に用いるモデルとパラメータについては、ウランのクリアランスに関する原子力安全委員

あったとしても、人の被ばく線量の合計が年間100 μSv以下に抑えられるよう、1つのクリアランス物に含まれる放射性物質に起因する人の被ばく線量については「現実的シナリオについて年間10 μSv以下」という線量基準に基づいて放射性物質の放射能濃度（単位：Bq/g）を算出している。

会の報告書⁽⁴⁾及び原子炉施設等から発生する廃棄物のクリアランスレベルを導出した原子力安全委員会の報告書⁽⁵⁾で用いられている方法に準拠する。

産廃処分シナリオによる評価は、跡地利用と地下水移行の二つのシナリオに分けられる。そのうち、跡地利用のシナリオについては、ウランの流出の有無に分けられる。

地下水移行シナリオ及びウランの流出があるとした跡地利用シナリオを合理的に予測可能なシナリオとし、線量基準 10 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ に相当するウランのクリアランスレベルを試算すると、1Bq/g となる。

また、ウランの流出がないとした跡地利用シナリオについては、降水や風化作用等の地表付近における自然現象による産廃処分場の擾乱、比較的溶解度が高くなる大気平衡下の地表付近におけるウランの漏出の可能性等を考慮すると、産廃処分場に含まれるウランとその子孫核種の全てが 20 万年間その場に留まり続けるとの想定は、科学的に合理的とは考えられない。しかし、このような保守的に流出を考慮しない跡地利用シナリオを低確率シナリオとし、線量基準 1mSv/y に相当するウランのクリアランスレベルを試算すると、ラドンの影響を考慮したとしても、1Bq/g となる。

(4) ウラン廃棄物のクリアランスレベル

上記(3)の評価により試算された1Bq/gという値は、EU Council Directiveを国際基準とする欧州諸国でU-234、U-235及びU-238に対して規定している値と同値であり、この値を採用すればEU諸国との共通性は確保される。また、我が国の規制基準でU-234、U-235及びU-238について金属くずを対象として規定されているクリアランスレベルである1Bq/gよりも小さい(厳しい)値とはならなかった。

以上のことから、金属以外の物も対象としたU-234、U-235及びU-238のクリアランスレベルを1Bq/gとすることが適当である。

5. ウラン廃棄物の廃棄物埋設の規制の考え方

5. 1 ウラン廃棄物の浅地中処分に係る安全確保の考え方

(1) 現行の規制の枠組みにおける取扱い

我が国の現行のピット処分の廃棄物埋設地に係る規制基準では、人工バリアを設置する方法により、放射性廃棄物の受入れの開始から埋設の終了までの間は廃棄物埋設地の限定された区域からの放射性物質の漏出を防止する機能、埋設の終了から廃止措置の開始までの間(300~400年以内)は廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する機能をそれぞれ有することを要求している。また、トレンチ処分の廃棄物埋設地に関しては、廃止措置の開始までの間(埋設の終了後50年程度)は廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する機能を有することを要求している。これらの規制基準は、公衆の被ばくを低減するため、原子炉等規制法に基づき事業者が規制を受ける廃止措置の終了までの期間(以下「規制期間」という。)中に、廃棄物埋設地内において放射性廃棄物に

含まれる放射性物質の放射能を十分に減衰させるためのものである。

放射性廃棄物の埋設に関する IAEA 等の国際基準においては、ウランを他の放射性核種と区別し、ウラン廃棄物に特化した基準を設けているものは見当たらず、ウランを特別視せず長寿命核種のひとつとして捉えているものと考えられる。また、IAEA 個別安全指針 SSG-29「放射性廃棄物の浅地中処分施設」⁽⁶⁾においては、限られた量の長寿命放射性核種を含む場合のみ浅地中処分が適しているとされている。

これらを踏まえると、規制期間中に減衰しないウラン廃棄物に対しては、埋設当初からウラン濃度を十分に低い放射能濃度に抑えることによって公衆の被ばくを低減することが可能であることから、浅地中処分の対象とすることが適当であると考えられる。

(2) ウランに対する「十分に低い放射能濃度」の検討

ウラン廃棄物を現行の浅地中処分の枠組みで取り扱うに当たってのウランに係る「十分に低い放射能濃度」を検討する。

ウランは天然起源の放射性核種であり、バックグラウンドとして自然界に一定以上の濃度で存在する。そのような天然に存在する放射性核種の埋設に当たっては、IAEA 個別安全要件 SSR-5「放射性廃棄物の処分」⁽⁷⁾では、線量基準に代わる付加的指標として、自然のウラン濃度を基準として比較することは有効であるとしている。また、埋設されたウラン廃棄物中のウランは、やがて移動・拡散することで、自然界において元々存在しているウランに混ざっていくことが想定されること、ウランは天然起源核種としての性格を併せ持つことから、ウランに対する「十分に低い放射能濃度」は自然界の濃度を考慮して設定することができると考えられる。

我が国における土壤中のウラン濃度の調査によれば、日本の天然ウランの濃度は高い場所で 1Bq/g 程度（同位体合計）であり、国際的な土壤中のウラン濃度の調査によれば、1Bq/g 程度又はそれ以上である地域が世界中に多く存在する。

以上を踏まえ、ウランに対する「十分に低い放射能濃度」として、廃棄物埋設地におけるウランの平均放射能濃度（廃棄物埋設地に埋設した全てのウラン廃棄物中の U-234、U-235 及び U-238 の総放射能量を廃棄物埋設地（放射性廃棄物、人工バリア及び埋め戻しに用いる土壌等を含む）の重量で除した値）を 1Bq/g 程度とした場合の影響の程度について、ビルドアップの影響も含め確認した。

確認に当たっては、平成 19 年度の原子力安全委員会によるトレンチ処分の濃度上限値の算出方法⁽⁸⁾を参照し、廃棄物に含まれるウラン及びその子孫核種からの直接的な被ばくの寄与が大きい居住シナリオについて、ウランが地下水等によって廃棄物埋設地から流出するとした現実的な想定及び数万年以上にわたりウラン及びその子孫核種の全量が流出せず廃棄物埋設地にそのまま留まるとした仮想的な状況を想定した評価シナリオを用いて被ばく量を算出した。

その結果、ウランの流出を考慮しラドンを除く子孫核種による被ばくを考慮した評価

シナリオにおいては、廃棄物処分における線量拘束値である 0.3mSv/年より低い値となり、仮想的な評価として保守的にウランの流出を考慮しない評価シナリオにおいては、ラドンによる被ばくを含めたとしても、世界保健機関（WHO）等が屋内におけるラドンによる被ばくの基準としている 10mSv/y より低い値となった。（参考4）

以上のことから、浅地中処分において、廃棄物埋設地におけるウランの平均放射能濃度が 1Bq/g という状態は、埋設したウラン廃棄物を起因とする放射線による公衆への影響の観点から、「十分に低い放射能濃度」と判断でき、埋設当初から廃棄物埋設地のウランの平均放射能濃度を 1Bq/g 程度以下に抑えることによって、ウラン廃棄物を現行の浅地中処分の枠組みで取り扱うことができると考えられる。

5. 2 ウラン廃棄物の浅地中処分に係る規制規準の考え方

前述のとおり、ウラン廃棄物に対しては、埋設当初からウランの平均放射能濃度を十分に低く抑えるという措置を講じることで、現行の第二種廃棄物埋設の安全確保の考え方を適用することにより公衆の被ばくを低減することは可能と考えられる。従って、現行の第二種廃棄物埋設に係る規制基準等については、埋設の対象がウラン廃棄物のみである場合も、ウラン廃棄物とそれ以外の放射性廃棄物と併せて埋設する場合でも、基本的に大きな枠組みの変更を行うことなく適用することができる。

その上で、ウラン廃棄物を第二種廃棄物埋設の対象とするに当たっての規制基準の考え方は、次のとおりである。

（1）「十分に低い放射能濃度」に係る基準

廃棄物埋設地におけるウランの平均放射能濃度が埋設当初において 1Bq/g を超えないことを規制基準として要求する。また、廃棄物埋設地において局所的にウラン濃度が極端に高い場所が存在する場合、1Bq/g の導出に用いた 5. 1（2）の評価において前提としている状態（廃棄物埋設地においてウランが均一に分布）から乖離する可能性があることから、廃棄物埋設地においてウラン濃度が著しく高い領域がないように埋設することを規制基準として要求する。

また、実際の埋設事業の運用においては、埋設事業者が、埋設しようとするウラン廃棄物とそれ以外の放射性廃棄物との割合や廃棄物埋設地を埋め戻す際の土砂等の量を考慮し、埋設する放射性廃棄物のウラン濃度の制限等の対応をすることも想定される。このため、埋設事業者に対し、保安規定に規定する「放射性廃棄物の受入れ基準（WAC）」において、受け入れる放射性廃棄物に含まれるウラン濃度の上限を定め、上記基準に適合することについて埋設事業者自ら確認した上で、放射性廃棄物及び廃棄物埋設施設について原子力規制委員会の確認^{※4}を受けることを求めることとする。

※4 原子炉等規制法第 51 条の 6 第 2 項

(2) 評価シナリオに係る基準

第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成 25 年原子力規制委員会規則第 30 号）では、「廃止措置の開始までに廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態に移行する見通しがあるものであること」を要求している。また、当該規則の解釈において、「自然事象シナリオ」及び「人為事象シナリオ」による評価を行い、それぞれの線量基準を超えないことを規定している。

このうち人為事象シナリオは、規制期間終了後における廃棄物埋設地の掘削を伴う土地利用を考慮したシナリオであり、廃棄物埋設地における放射性物質の放射能濃度に大きく依存する。このため、埋設当初からウラン廃棄物のみを対象とし、廃棄物埋設地におけるウランの平均放射能濃度を十分に低く抑えている場合は、人為事象シナリオの評価を求める必要はない。ただし、ウラン廃棄物以外の放射性廃棄物を併せて埋設する場合はこの限りではない。

一方、自然事象シナリオは、地下水を介した生活環境への放射性物質の移動のように廃棄物埋設地から漏出した放射性物質による被ばくを考慮したシナリオであり、廃棄物埋設地における放射性物質の放射能濃度よりも放射エネルギーに大きく依存するため、ウラン廃棄物の有無に拘わらず、自然事象シナリオに係る基準は適用する必要がある。

(3) 人工バリアの設置に係る基準

規制期間中における人工バリアによる放射性物質の漏出の防止・低減の措置は、廃棄物埋設地内において放射性廃棄物に含まれる放射性物質の放射能を十分減衰させることを目的としたものである。他方、ウランは実質的に減衰しないことを考えれば、埋設当初からウラン廃棄物のみを対象とし、廃棄物埋設地におけるウランの平均放射能濃度を十分に低く抑えている場合は、人工バリアの設置に係る基準を適用する必要はない。

ただし、ウラン廃棄物以外の放射性廃棄物を併せて埋設する場合には、人工バリアの設置に係る基準を適用する。

5. 3 中深度処分におけるウラン廃棄物の取扱い

中深度処分においても、ウランを長半減期核種の一つとして取り扱うことにより、ウラン廃棄物を対象にできると考えられる。中深度処分の廃棄物埋設地について、10 万年にわたり地表から 70 メートル以上の深度が確保される場所に設置することを求めた場合、当該深度が確保される期間においてウランの子孫核種（ラドンも含む）による被ばくは小さいことが想定されることから、「十分に低い放射能濃度」に係る基準を適用する必要はない。

用語解説

自然線源

天然起源の線源。例えば星、岩石、土壌その他事実上天然起源核種由来の放射能しかない物質（例えば鉱石の処理によって生じる製品又は残さ）。ただし、ウラン・トリウム鉱山及び放射性廃棄物処分施設以外の原子力施設で用いられる放射性物質又は排出される放射性廃棄物は除く。

natural source

A naturally occurring source of radiation, such as the sun and stars (sources of cosmic radiation) and rocks and soil (terrestrial sources of radiation), or any other material whose radioactivity is for all intents and purposes due only to *radionuclides of natural origin*, such as products or residues from the processing of minerals; but excluding *radioactive material* for use in a *nuclear installation* and radioactive waste generated in a *nuclear installation*.

- ① Examples of natural sources include naturally occurring radioactive material (NORM) associated with the processing of raw materials (e.g. feedstocks, intermediate products, final products, co-products, waste).

天然起源核種

地球上で天然に相当量存在する放射性核種。一般的には、地球創世時に生成された核種である ^{40}K , ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U とそれらの子孫核種。

radionuclides of natural origin

Radionuclides that occur naturally on Earth in significant quantities.

- ① The term is usually used to refer to the primordial radionuclides ^{40}K , ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th and their *radioactive* decay products.
- ① Contrasted with *radionuclides of artificial origin*, anthropogenic radionuclides and human made radionuclides (which all mean the same), and also with artificial radionuclides (which exclude radionuclides of artificial origin that are also naturally occurring).

! *Radionuclides of artificial origin* may include radionuclides that are also naturally occurring but may not include *radionuclides of natural origin*.

人工起源核種

天然起源核種に当てはまらない、人工的に生成された核種。人工起源核種には天然由来の放射性核種を含むこともあるが、“天然起源核種”は含まない。

NORM

天然起源核種以外の放射性核種をほとんど含まない放射性物質

naturally occurring radioactive material (NORM)

Radioactive material containing no significant amounts of radionuclides other than *naturally occurring radionuclides*.

- ① The exact definition of ‘significant amounts’ would be a regulatory decision.
- ① Material in which the activity concentrations of the *naturally occurring radionuclides* have been changed by a process is included in naturally occurring radioactive material (NORM).
- ① Naturally occurring radioactive material or NORM should be used in the singular unless reference is explicitly being made to various materials.

クリアランス

IAEA の定義では、規制を受けている放射性物質を規制の対象から外すこと。

clearance

Removal of regulatory control by the regulatory body from radioactive material or radioactive objects within notified or authorized facilities and activities.

- ① Removal from regulatory control in this context refers to regulatory control applied for radiation protection purposes.
- ① Conceptually, clearance — freeing certain materials or objects in authorized facilities and activities from further control — is closely linked to, but distinct from and not to be confused with, exemption — determining that controls do not need to be applied to certain sources and facilities and activities.
- ① Various terms (e.g. ‘free release’) are used in different States to describe this concept.
- ① A number of issues relating to the concept of clearance and its relationship to other concepts were resolved in RS-G-1.7.

原子力施設

核燃料サイクルの一部に位置付けられ、許認可を受けた原子力施設。ウラン鉱又はトリウム鉱の採鉱及びその工程に係る施設並びに放射性廃棄物の埋設施設は除く。

nuclear installation

1. Any *nuclear facility* subject to *authorization* that is part of the *nuclear fuel cycle*, except facilities for the mining or processing of *uranium* ores or thorium ores and *disposal facilities* for *radioactive waste*.
- ① This definition thus includes: nuclear power plants; *research reactors* (including subcritical and *critical assemblies*) and any adjoining radioisotope production *facilities*; *storage facilities* for *spent fuel*; *facilities* for the enrichment of *uranium*; *nuclear fuel* fabrication *facilities*; conversion *facilities*; *facilities* for the *reprocessing* of *spent fuel*; *facilities* for the *predisposal management* of *radioactive waste* arising from *nuclear fuel cycle facilities*; and *nuclear fuel cycle* related research and development facilities.

※各用語の英語の定義は、IAEA Safety Glossary Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection 2018 Edition (2019)より抜粋

参考文献

- (1) 一般社団法人日本原子力学会「東京電力福島第一原子力発電所事故以降の低レベル放射性廃棄物処理処分の在り方」特別専門委員会：低レベル放射性廃棄物処分におけるウランの扱いについて－浅地中トレンチ処分に係る規制への提言－平成 26 年度報告書、平成 27 年 3 月。
- (2) 原子力安全委員会：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、平成 22 年 8 月 9 日。
- (3) European Union: Council Directive 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 (2013).
- (4) 原子力安全委員会：ウラン取扱施設におけるクリアランスレベルについて、平成 21 年 10 月 5 日。
- (5) 原子力安全委員会：原子炉施設及び核燃料施設の解体等に伴って発生するもののうち放射性物質として取り扱う必要のないものの放射能濃度について、平成 16 年 12 月 16 日（平成 17 年 3 月 17 日一部改訂及び修正）。
- (6) IAEA: Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste. Specific Safety Guide No. SSG-29 (2014).
- (7) IAEA: Disposal of Radioactive Waste. Specific Safety Requirements No. SSR-5 (2011).
- (8) 原子力安全委員会：低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について、平成 19 年 5 月 21 日。

ウラン廃棄物の現状

我が国のウランの製錬、転換、濃縮、再転換、成型加工等の工程によって生じる、専らウラン及びその子孫核種で汚染された物（以下「ウラン廃棄物」という。）は、主に雑固体、使用済みフィルタ、スラッジ、焼却灰などであり、2050年頃までに約11万トンの発生が見込まれ、各事業者等によって保管管理されている[1]。これらウラン廃棄物は、クリアランス又は埋設処分（以下「埋設」という。）が検討されており、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が原子炉等規制法上の廃棄物埋設事業（未申請）としてその一部を埋設するための廃棄物埋設施設を設計・検討している[2]。

ウラン廃棄物のクリアランスについては、原子力安全委員会が平成21年に報告書を取りまとめ[3]（以下「ウランクリアランス報告書」という。）、対象物を金属に限り、その再利用に係る我が国の状況を考慮した評価を行い、U-234、U-235及びU-238について、それぞれ1 Bq/gというクリアランスレベルを導出した。同報告書を基に、クリアランスに関する規則[4][5]において、金属に限定して、U-234、U-235及びU-238に対し1 Bq/gというクリアランスレベルが規定された。一方、金属以外の対象物のクリアランスレベルは、現行のクリアランスに関する規則[6]においても規定されていない。これは、再利用以外のシナリオ、特に産業廃棄物として最終処分するシナリオにおける子孫核種の影響について整理されていなかったことが背景にあると推察される。

ウラン廃棄物の埋設については、原子力安全委員会が平成22年に策定した第二種廃棄物埋設事業の安全審査の基本的考え方[7]の中で、「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、天然起源の放射性物質を主たる組成とする放射性廃棄物であり、長期にわた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」とし、適用対象外とした。また、核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則は、令和元年12月5日の改正により、埋設の対象となる廃棄物の発生施設の範囲を拡大したが、引き続きウラン廃棄物は対象から除かれている。

-
- [1] 一般社団法人日本原子力学会「東京電力福島第一原子力発電所事故以降の低レベル放射性廃棄物処理処分の在り方」特別専門委員会：低レベル放射性廃棄物処分におけるウランの扱いについて－浅地中トレンチ処分に係る規制への提言－平成26年度報告書、平成27年3月。
 - [2] 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構：バックエンドロードマップ、2018年12月26日。
 - [3] 原子力安全委員会：ウラン取扱施設におけるクリアランスレベルについて、平成21年10月5日。
 - [4] 製錬事業者等における工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射性物質の放射能濃度についての確認等に関する規則（平成17年経済産業省令112号）、令和2年8月13日廃止。
 - [5] 試験研究の用に供する原子炉等に係る放射能濃度についての確認等に関する規則（平成17年文部科学省令第49号）、令和2年8月13日廃止。
 - [6] 工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射性物質の放射能濃度が放射線による障害の防止のための措置を必要としないものであることの確認等に関する規則（令和2年原子力規制委員会規則第16号）、令和2年8月13日制定。
 - [7] 原子力安全委員会：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、平成22年8月9日。



日本原子力研究開発機構、日本原燃(株)、(株)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)、原子燃料工業(株)、(株)ジェー・シー・オー提供

図 1 ウランを含む廃棄物の例 ([1]より抜粋)

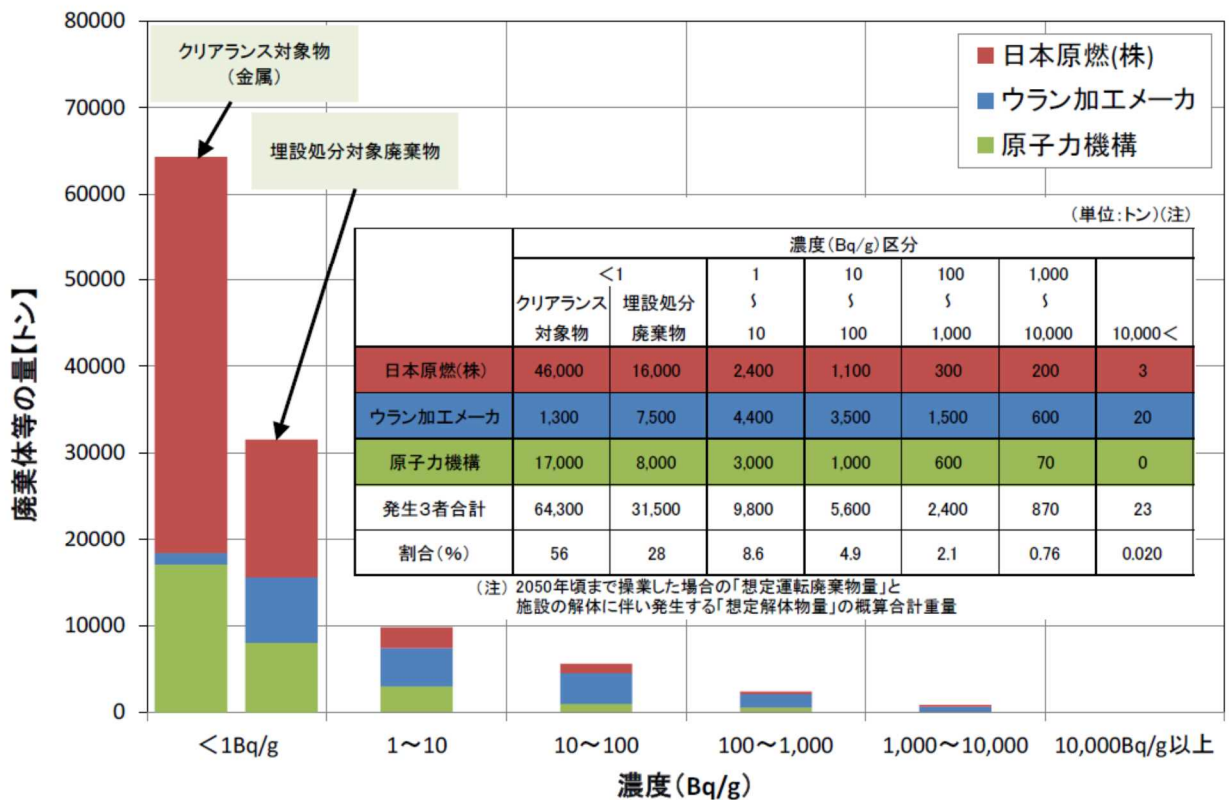


図 2 2050年頃までの廃棄体等の発生量 ([1]より抜粋)

ウラン廃棄物の放射能濃度分布毎の廃棄物発生量^{*1}の評価結果

	濃度 (Bq/g) 区分						
	クリアランス 対象	埋設処分対 象廃棄物	1~10	10~100	100~1,000	1,000~ 10,000	10,000<
ウラン加工メーカ ^{*2}	1,800	5,200	5,000	3,800	400	200	20
原子力機構 ^{*2}	15,300	2,500	10,800	2,100	800	1	1
小計 ^{*2*3}	17,100	7,700	15,900	5,900	1,200	200	30
割合	36%	16%	33%	12%	2.5%	0.4%	0.05%

*1: 除染後の放射能量に
基づく廃棄体化処理前
の廃棄物重量

*2: 50本以上の数値については、10の位で四捨五入、50本未満の数値については、有効数字2桁目を四捨五入している。

*3: 四捨五入により小計が合わないことがある

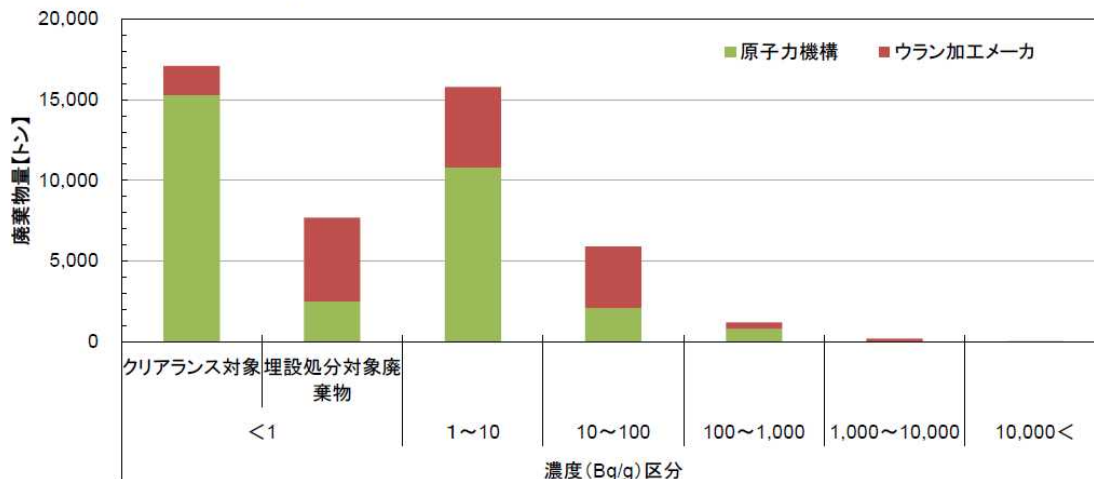
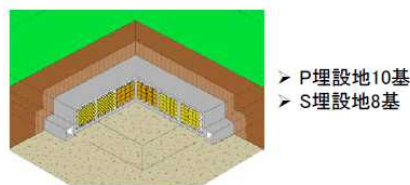
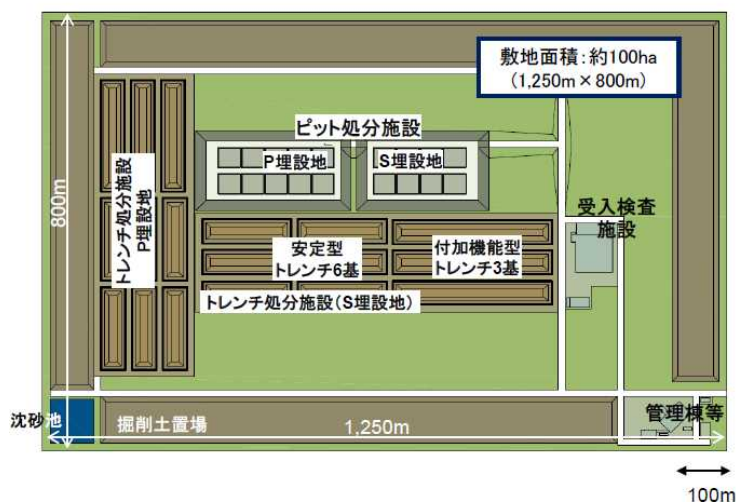


図 3 ウラン廃棄物の放射能濃度分布の試算結果 ([8]より抜粋)

操業期間50年間に於いて操業期間前半と操業期間後半の2段階で埋設
 ・操業前半:P埋設地(Primary :前半25年間の埋設)
 ・操業後半:S埋設地(Secundary:後半25年間の埋設)

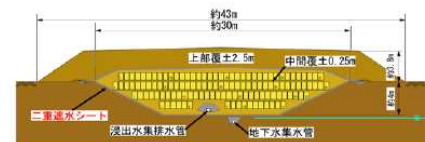


ピット処分 (200Lドラム缶、角形容器等)



トレンチ(安定型)埋設施設

- 金属、コンクリート等安定5品目(フレキシブルコンテナ、角形容器)
- P埋設地 6基、S埋設地 6基



トレンチ(付加機能型)埋設施設

- 雑固体の固化体等安定5品目以外の廃棄物を固型化処理した廃棄体(200Lドラム缶)
- 埋設施設に遮水機能を設置
- P埋設地 3基、S埋設地 3基

図 4 埋設施設の概要 ([8]より抜粋)

[8] 日本原子力研究開発機構埋設事業センター：研究施設等廃棄物の埋設事業の物量の見直しについて、令和元年12月17日面談資料。

ウラン及びウラン廃棄物の特徴

1. ウランの特徴

ウランは地球上のどこにでも有意に存在する天然起源の放射性核種であり、その半減期 (^{234}U : 25 万年、 ^{235}U : 7 億年、 ^{238}U : 45 億年) の長さから、実質的に減衰せず、放射線を発生する能力は小さい。国連科学委員会 (UNSCEAR) によると、日本における土壤中の ^{238}U の平均濃度は 0.029 Bq/g であり、世界の平均濃度は 0.035 Bq/g である (表 1) [1]。また、産業総合技術研究所のデータベースによれば、日本において天然のウラン濃度の高い場所では約 1 Bq/g (図 5 参照) 程度である [2]。

天然に存在するウランは、一般に、その子孫核種 (図 6 参照) と永続平衡状態にあり、ウランとその子孫核種は同じ強さの放射能を有する。このため、仮に、ウランの同位体を合計した濃度が 1 Bq/g だとすると、永続平衡状態にある子孫核種を含めた総放射能濃度は理論上約 7 Bq/g となる (図 7(a) 参照)。また、子孫核種の一つであるラドン (Rn-222) もウラン (正確には親核種であるラジウム) と同じ強さの放射能で天然に存在し、日本における自然放射線による被ばく線量 (約 2mSv/年) のうち、ラドンによる被ばくは約 0.5mSv/年とされている [3]。

ウランの化学的な特徴として、大気平衡下の地表で観察されるような酸化性条件では、ウラン鉱床が生成されるような一般的に深い地中で観察される還元性条件に比べて溶解度が高い。

2. ウラン廃棄物の特徴

ウラン廃棄物に含まれるウランは、原子力利用を目的とした製錬等の処理を経て子孫核種が除去されており、天然に存在するウラン及びその子孫核種を含む鉱物や残渣とは核種組成が異なる。このため、時間の経過とともに子孫核種が生成し、これらを含めた総放射能が増大 (以下「ビルドアップ」という。) していく特徴を有する (1 万年程度以降に顕著となる。図 7 参照)。

ビルドアップの影響を評価する場合は、子孫核種の挙動及び被ばく形態を考慮する必要がある。子孫核種のうちラドン以外のものは固体であり、地下水による移行や埋設地の直上への居住等の経路を想定し、それらに伴う外部被ばく又は内部被ばくを評価する。他方、ラドンは希ガスであり、その挙動及び被ばくへの寄与は他の子孫核種とは異なる。ラドンはガス状で地中から地表へ放出された場合にのみ人への被ばくに寄与することになり、地中にとどまる場合には、被ばくへの寄与は極めて小さい。そのため、ラドンによる被ばくを評価するには特別のモデルが必要となる。ラドンによる被ばくを評価した例がある [1, 4]

-
- [1] 国連科学委員会：放射線の線源と影響，原子放射線の影響に関する国連科学委員会の，総会に対する 2000 年報告書，科学付属書 B，放射線医学総合研究所監訳 (2002)
- [2] 産業技術総合研究所 地質調査総合センター：海と陸の地球化学図 <https://gbank.gsj.jp/geochemmap/index.htm> (濃度データ 更新日：2007 年 1 月 10 日)
- [3] 原子力安全研究協会：新版 生活環境放射線 (国民線量の算定)，平成 23 年 12 月
- [4] 日本原子力研究開発機構：TRU 核種を含む放射性廃棄物及びウラン廃棄物のトレンチ処分に対す

が、地中から地表へのラドンガスの散逸、床下等から家屋内へのラドンの侵入、家屋内と家屋外との換気といった評価が必要であり、評価の不確かさが大きい。

また、家屋内のラドン（ウラン廃棄物に由来するものではなく天然に存在するもの）について、ICRP はラドンによる年間線量のレベルを 10 mSv 程度にすることを基本とし、屋内ラドンガスの参考レベルの上限値を 300 Bq/m³ と規定している[5, 6]。WHO は、屋内ラドン被ばくによる健康障害を最小にするために、100 Bq/m³ という参考レベルを提案しているが、国特有の条件に鑑みても、ICRP が示す 300 Bq/m³ を超えるべきではないとしている[7]。なお、我が国において屋内ラドン濃度に関する規制値（上限値）は現在まで規定されていない。これは、木造家屋が多く床下空間があること等の我が国特有の居住環境により屋内ラドン濃度が高くなりやすいことがその要因にあると推察される。

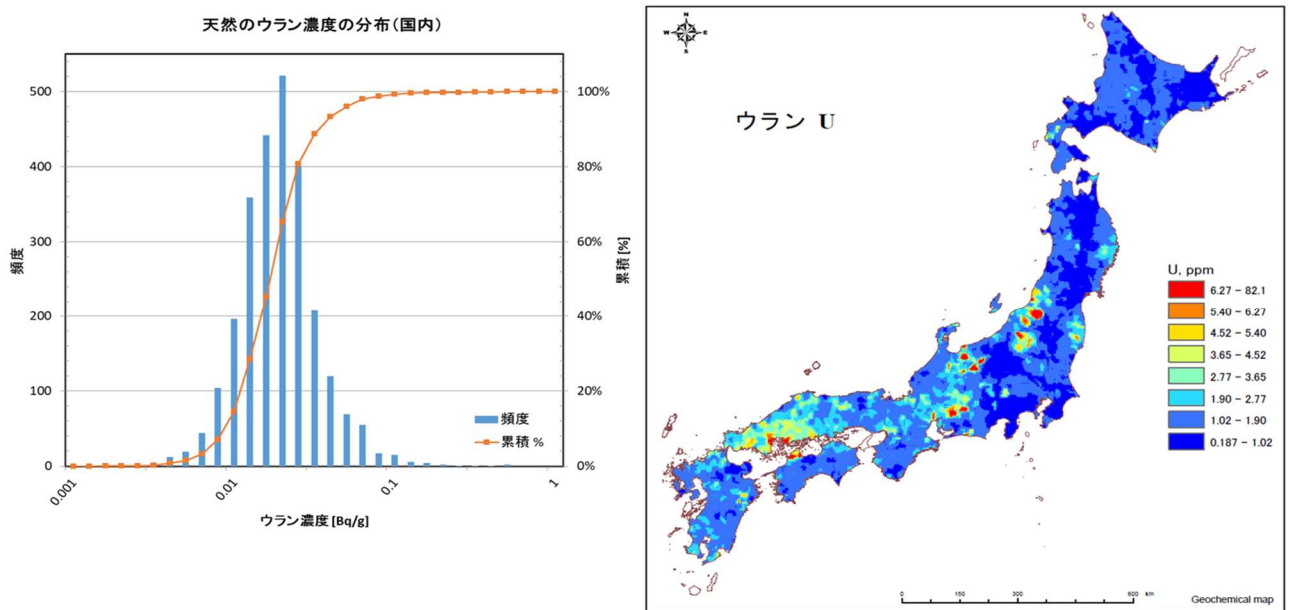


図 5 我が国における天然のウラン濃度

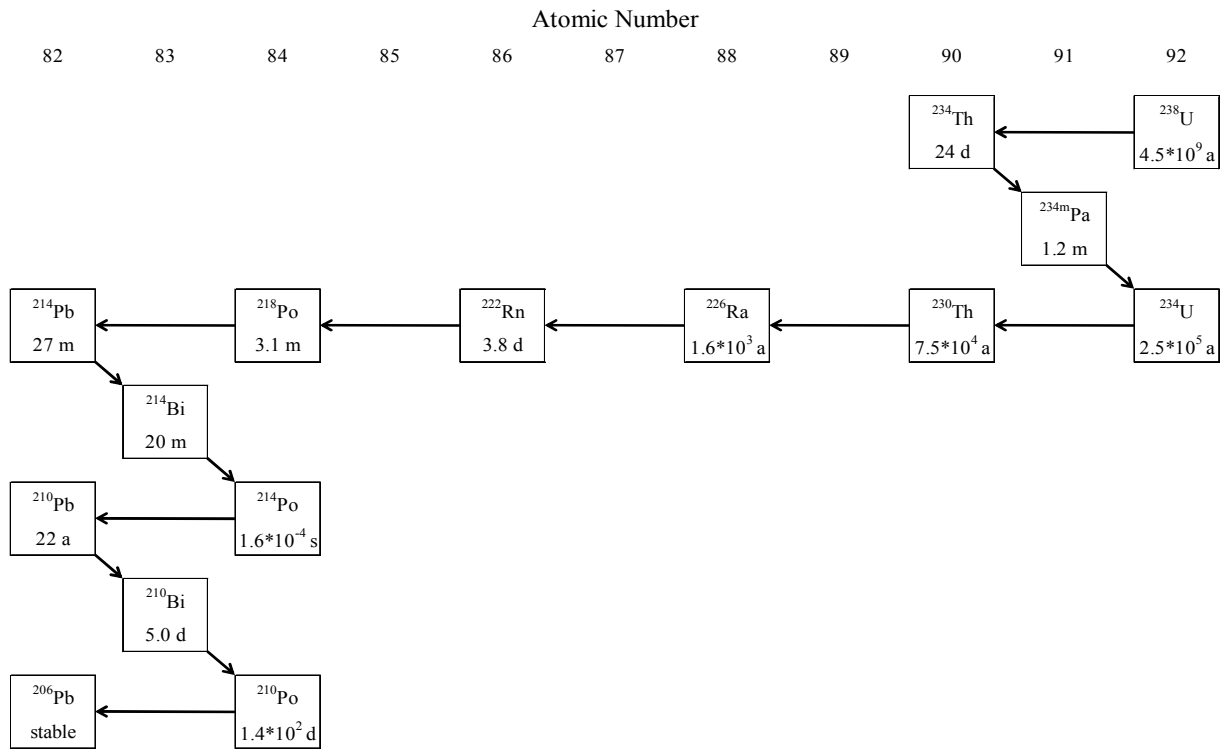
(右：産業技術総合研究所 地質調査総合センター「海と陸の地球化学図」[2]より抜粋
左：同センターから公開されている濃度データから事務局が作図)

る濃度上限値の評価（受託研究），JAEA—Research 2008-044 (2008)

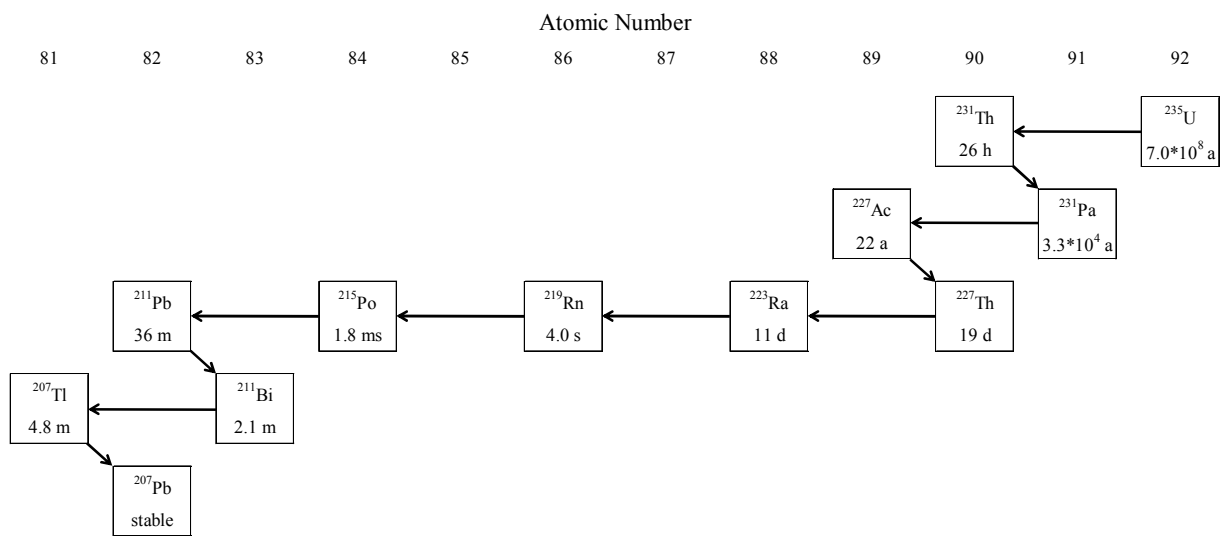
- [5] ICRP, 2010. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115. Ann. ICRP 40(1).
- [6] ICRP, 2014. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43(3).
- [7] World Health Organization: WHO Handbook on Indoor Radon, A Public Health Perspective, ISBN 978 92 4 154767 3 (2009)

表 1 UNSCEAR による各国土壌中の自然放射性核種濃度 (参考文献[1]より抜粋)

地域/国	土壌中濃度 ^{238}U (Bq/kg)	
	平均	範囲
アフリカ		
アルジェリア	30	2 - 110
エジプト	37	6 - 120
北アメリカ		
コスタリカ	46	11 - 130
米国	35	4 - 140
東アジア		
中国	33	2 - 690
香港	84	25 - 130
インド	29	7 - 81
日本	29	2 - 59
カザフスタン	37	12 - 120
マレーシア	66	49 - 86
タイ	114	3 - 370
西アジア		
アルメニア	46	20 - 78
シリア	23	10 - 64
北ヨーロッパ		
リトアニア	16	3 - 30
ノルウェー	50	
西ヨーロッパ		
ドイツ		11 - 330
アイルランド	37	8 - 120
オランダ		5 - 53
スイス	40	10 - 150
英国		2 - 330
東ヨーロッパ		
ブルガリア	40	8 - 190
ハンガリー	29	12 - 66
ポーランド	26	5 - 120
ルーマニア	32	8 - 60
ロシア	19	0 - 67
スロバキア	32	15 - 130
南ヨーロッパ		
アルバニア	23	6 - 96
クロアチア	110	83 - 180
ギリシャ	25	1 - 240
ポルトガル	49	26 - 82
中央値	35	16-110



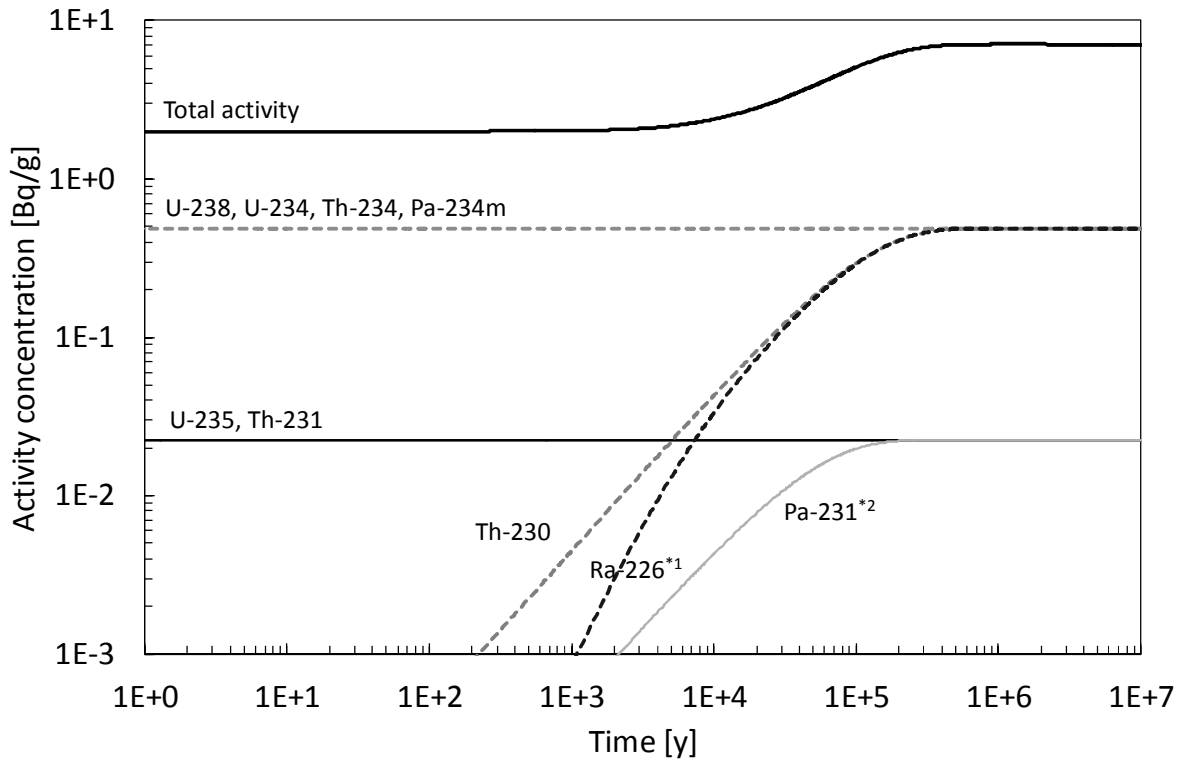
(a) U-238 の壊変系列



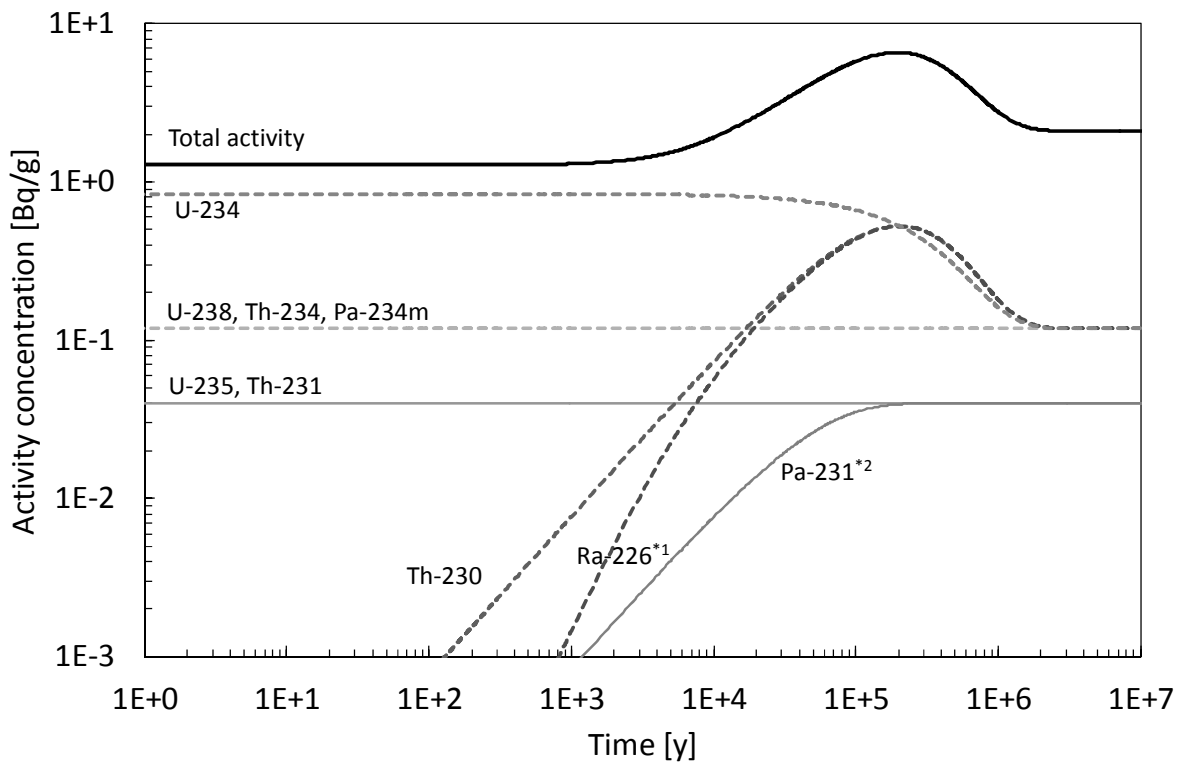
(b) U-235 の壊変系列

図 6 ウランの壊変系列 (主な核種のみ表示。ICRP Pub1. 107 [8]を基に作成)

[8] ICRP: Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations, ICRP Publication 107, Ann. ICRP 38(3), (2008).



(a) 天然ウラン (^{235}U : 0.711%、ウラン同位体合計の初期濃度 1 Bq/g)



(b) 濃縮ウラン (^{235}U : 5%、ウラン同位体合計の初期濃度 1 Bq/g)

図 7 ウラン及びその子孫核種の放射能濃度の時間変化

*1: about the same as Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214, Pb-210, Bi-210, Po-210

*2: about the same as Ac-227, Th-227, Ra-223, Rn-219, Po-215, Pb-211, Bi-211, Tl-207

国際基準及び諸外国におけるウランの取扱い

1. ウラン廃棄物のクリアランス

(1) 国際基準

IAEA GSR Part 3においては、被ばくリスクが十分に小さいこと、又は線量やリスクを低減するに値する合理的な対策がないことから規制を継続するメリットが小さいことであることが、クリアランスの一般的な判断基準である^{※1}としている。クリアランスレベルの設定にあたっては、主に人工起源核種に対して、前者の基準に基づき、合理的に予見可能なシナリオに対し10 $\mu\text{Sv/y}$ オーダー、低確率シナリオに対し1mSv/y という線量基準に相当する放射能濃度を導出している。他方、主に天然起源核種に対しては、後者の基準に基づき、天然に存在する濃度及び線量を考慮して設定している。

専ら天然起源核種を含み、原子力施設から発生するという両者の特徴を併せ持つウラン廃棄物については、EU Council Directive (2013)は人工起源核種を含む物質と同様にクリアランスレベルを設定すべきであると明示しているのに対し、IAEA GSR Part 3はその点が明確ではない。

(2) 諸外国のプラクティス

クリアランスを制度化している国は、子孫核種を含まない^{※2}ウランのクリアランスレベルとして、人工起源核種と同じ線量基準に基づくシナリオ評価による値を採用している。その際、クリアランスされた物質は100年程度の期間のうちには他の汚染のない物質と十分に混ざるとする考え方をとる場合があり、我が国における金属くずに対するウランのクリアランスレベルの設定でも同様の考え方をとっている。ただし、そうしたシナリオ評価の中で、長期的に生成される子孫核種の影響を評価に含めた例は見当たらない。

こうした考え方にに基づき設定された子孫核種を含まないウランのクリアランスレベルは、ウランの同位体のそれぞれに対し1 Bq/g という値を採用している例が多く、結果的に、天然に存在する濃度及び線量を考慮し天然起源核種のクリアランスレベルとして設定したIAEA基準(1 Bq/g)と同じ数値になっている。

なお、一律のクリアランスレベルを規定したクリアランス制度が存在しない米国では、人工起源核種とは異なる基準でウラン廃棄物を産業廃棄物処分場に処分している。

2. ウラン廃棄物の廃棄物埋設

(1) 国際基準

※1 (原文) I.10. The general criteria for clearance are that:

(a) Radiation risks arising from the cleared material are sufficiently low as not to warrant regulatory control, and there is no appreciable likelihood of occurrence for scenarios that could lead to a failure to meet the general criterion for clearance; or

(b) Continued regulatory control of the material would yield no net benefit, in that no reasonable control measures would achieve a worthwhile return in terms of reduction of individual doses or reduction of health risks.

※2 正確には、瞬時平衡の子孫核種(Th-234, Pa-234m, Pa-234)のみ含む。

放射性廃棄物の埋設処分に関する国際基準において、他の放射性核種と区別し、ウランに特化した基準を設けているものはない。即ち、ウランを特別視せず長寿命核種のひとつとして捉えているものと考えられる。IAEA SSR-5「放射性廃棄物の処分」では、ウラン廃棄物を含む放射性廃棄物全般に対して、代表的個人に対する線量拘束値 0.3 mSv/y（又はリスク拘束値 10^{-5} /y）や、人間侵入に対しては 1～20 mSv の範囲で侵入確率の低減又は施設設計の最適化をすべきであると規定している。また、IAEA SSG-29「放射性廃棄物の浅地中処分施設」では、浅地中処分が適しているのは、限られた量の長寿命放射性核種を含む場合のみとしている。

（2）諸外国のプラクティス

＜規制制度＞

ウラン廃棄物を既に埋設（浅地中処分）している国においては、ウラン廃棄物のみを埋設するための埋設施設を設置する例は見当たらず、他の放射性廃棄物とともにウラン廃棄物を浅地中処分している又は計画している例がある。

それらの国の規制制度においては、線量評価を実施する期間（以下「評価期間」という。）に上限を定めている例は見あたらない。他方、浅地中処分に対する長期評価が持つ不確実性を考慮し、評価期間によって異なる線量基準を設定する（例えばベルギー）、線量評価の扱いを変える（例えば米国）といった対応を取る例がある。

制度的管理については、ウラン廃棄物を含む放射性廃棄物全般の埋設に対して、多くの国で数百年程度の期間での物理的な侵入制限を行っており、加えて、処分場の土地を政府が所有すること（例えば米国）や土地の利用制限を課すこと（例えばフランス）といった無期限に人間侵入を防ぐ制度を設けている国が存在する。

＜事業の状況＞

ウラン廃棄物を含む浅地中処分に関し、事業者が実施する閉鎖後の線量評価については、評価期間の上限が設定されている例が多い。また、長期的に生成されるラドン等の子孫核種の影響を特に受ける埋設施設直上での居住や人間侵入の評価について、その影響が顕著となるような 1 万年を超える長期評価を行っている例は見あたらない。その背景として、ウランの濃度が低いためウラン以外の放射性核種の影響に基づき評価期間を設定していること（例えばフランス）又は長期間においては自然のプロセスによってウランが埋設施設から流出することを念頭に置いていること（例えば英国）が挙げられる。なお、多量かつ高濃度の劣化ウランを浅地中処分することを計画している米国では、ラドンの影響も含め、長期評価を行っている。

ウラン廃棄物に係る線量評価の試算

1. ウラン廃棄物のクリアランスに係る線量評価の試算

1. 1 試算の方針と前提条件

【試算の方針】

- 今回のウラン廃棄物のクリアランスに係る試算は、我が国のクリアランスレベルの算出においてこれまで用いられてきた方法に準拠する。具体的には、以下のものを参照する。
 - ・ 原子力安全委員会「原子炉施設及び核燃料施設の解体等に伴って発生するもののうち放射性物質として取り扱う必要のないものの放射能濃度について（平成16年）」[1]（以下「クリアランス報告書」という。）^{※2}
 - ・ 原子力安全委員会「ウラン取扱施設におけるクリアランスレベルについて（平成21年）」[3]（以下「ウランクリアランス報告書」という。）^{※4}
- また、上記の方法で足りない部分（例：低確率シナリオの設定）については、IAEA基準で用いられている方法を参照する。
- 試算の対象核種はU-234、U-235及びU-238とし、それぞれについて試算する。
- クリアランスの試算は、再利用シナリオと産廃処分シナリオに大別される。コンクリートの再利用は、ウランクリアランス報告書で評価した金属の再利用シナリオに包含される。それら以外の物は、再利用される法令がなく物量も少ないため、産廃処分される可能性が高い。従って、今回の試算はクリアランス対象物を限定せず、またそれらが産廃処分されるとして試算する。
- 産廃処分シナリオにおける試算は、跡地利用と地下水移行の二つのシナリオに分ける。本試算ではこの跡地利用と地下水移行のシナリオについて評価し、更に、跡地利用のシナリオは、ウランの流出の有り無しに分ける。なお、産廃処分の埋立てに伴う作業については、ウランクリアランス報告書において、金属の再利用に伴いウランが凝縮されるスラグの埋立てを評価しており、これが最も厳しくなるため、本試算では評価していない。
- 上記の二つの報告書では取り扱われていないラドンによる影響については、ラドンによる影響が顕著に現れ始めるのが数千年後以降であり不確実性が大きいことを踏まえ、参考までに低確率シナリオとして評価する。

【試算の前提条件】

- 試算における線量基準については、IAEA基準の考え方（GSR Part 3）に従い、合理的に予見可能なシナリオに対し10 μ Sv/y、低確率シナリオに対し1 mSv/yを適用する。

[1] 原子力安全委員会：原子炉施設及び核燃料施設の解体等に伴って発生するもののうち放射性物質として取り扱う必要のないものの放射能濃度について、平成16年12月16日（平成17年3月17日一部訂正及び修正）

※2 原子力施設等から発生するクリアランス物の埋設処分（産業廃棄物処分）と再利用について評価したものであり、評価の対象にウランは含まれていない。

[3] 原子力安全委員会：ウラン取扱施設におけるクリアランスレベルについて、平成21年10月5日

※4 金属の再利用に限定してU-234、U-235及びU-238等のクリアランスレベルを評価したものであり、これに基づき金属くずに係るウランのクリアランスレベルの基準が設定された。

- ウランの流出の程度は、ウランクリアランス報告書で示されているものと同様に、英国の廃棄物処分場で計算された浸出水中と廃棄物中との物質濃度の比の平均値（ウランは $3E-4$ ）と我が国の平均年間地下水流出量 0.4 m/y から算定する。
- 試算に用いるパラメータは、クリアランス報告書及びウランクリアランス報告書に記載されているパラメータを用いる。これら報告書では U-234 等について評価されていないが、人工核種である U-232 及び U-236 について評価されている。これら報告書に記載されていない U-234 等に関するパラメータについては、U-236 の評価のために引用されているレポート（例えば IAEA TSR 364 等）のものを参照する。
- 跡地利用と地下水移行のシナリオ評価における産業廃棄処分施設の大きさ等のパラメータについては、クリアランス報告書とウランクリアランス報告書（スラグの埋立て）とで差異があるが、本試算ではクリアランス報告書に準拠することとする。

1. 2 評価結果

上記の方針及び前提条件を基に試算した結果の整理は、次のとおり。

- 表 1 は、U-234、U-235 及び U-238 のそれぞれについて、金属くずのクリアランスレベルが 1 Bq/g であることを踏まえ、全てのクリアランス対象物の濃度を 1 Bq/g とした場合の被ばく線量を算出したもの。
- 表 2 は、表 1 の計算結果から、線量基準を合理的に予見可能なシナリオに対し $10 \text{ } \mu\text{Sv/y}$ 、低確率シナリオに対し 1 mSv/y に設定した場合のウランの濃度を算出したもの。
- 表 3 は、表 2 を基に、クリアランスレベルの設定で一般に用いられる対数丸めを行った後のウラン濃度を記載したもの。これによれば、U-234、U-235 及び U-238 のそれぞれについて最も厳しい数値をとると、いずれも 1Bq/g となる。なお、金属くずに対して設定されているウランのクリアランスレベルは、U-234、U-235 及び U-238 のそれぞれについて、これと同じく 1Bq/g である。

表 1 クリアランス対象物の濃度を単位濃度（ 1 Bq/g ）としたときの評価結果

シナリオの特徴		U-234	U-235	U-238
流出を考慮		$21 \text{ } \mu\text{Sv/y}$	$17 \text{ } \mu\text{Sv/y}$	$3.2 \text{ } \mu\text{Sv/y}$
保守的に流出を考慮せず		$40 \text{ } \mu\text{Sv/y}$	$46 \text{ } \mu\text{Sv/y}$	$69 \text{ } \mu\text{Sv/y}$
【参考】 ラドンによる被ばく (跡地居住)	流出を考慮	$100 \text{ } \mu\text{Sv/y}$	$85 \text{ } \mu\text{Sv/y}$	$15 \text{ } \mu\text{Sv/y}$
	流出を考慮せず	$330 \text{ } \mu\text{Sv/y}$	$240 \text{ } \mu\text{Sv/y}$	$560 \text{ } \mu\text{Sv/y}$

表 2 線量基準を満足する放射能濃度

シナリオの特徴		適用する 線量基準	U-234	U-235	U-238
流出を考慮		10 μ Sv/y	0.48 Bq/g	0.59 Bq/g	3.1 Bq/g
保守的に流出を考慮せず		1 mSv/y	25 Bq/g	22 Bq/g	14 Bq/g
【参考】 ラドンによる被 ばく（跡地居住）	流出を考慮	1 mSv/y	10 Bq/g	12 Bq/g	66 Bq/g
	流出を考慮せず		3.0 Bq/g	4.2 Bq/g	1.8 Bq/g

表 3 線量基準を満足する放射能濃度（対数丸め後）

シナリオの特徴		適用する 線量基準	U-234	U-235	U-238
流出を考慮		10 μ Sv/y	1 Bq/g	1 Bq/g	1 Bq/g
保守的に流出を考慮せず		1 mSv/y	10 Bq/g	10 Bq/g	10 Bq/g
【参考】 ラドンによる被 ばく（跡地居住）	流出を考慮	1 mSv/y	10 Bq/g	10 Bq/g	100 Bq/g
	流出を考慮せず		10 Bq/g	10 Bq/g	1 Bq/g

2. ウラン廃棄物の埋設（浅地中処分）に係る線量評価の試算

2. 1 試算の方針と前提条件

【試算の方針】

- 今回のウラン廃棄物の埋設（浅地中処分）に係る試算は、平成 19 年度の原子力安全委員会によるトレンチ処分の濃度上限値の算出[5]（以下「濃度上限値報告書」という。）を参照して行う。
- 廃棄物埋設における被ばく線量評価は、図 1 に示すとおり、大別して、地下水による流出に伴う被ばく（地下水シナリオ）及び廃棄物埋設地の直上での居住に伴う被ばく（居住シナリオ）がある。ウランの場合は、濃度上限値報告書で示されているように、地下水を介した被ばくよりも廃棄物に含まれるウラン及びその子孫核種からの直接的な被ばくの方が大きいため、今回は居住シナリオについて試算する。
- 今回は、現実的な想定として、ウランが地下水等によって廃棄物埋設地から流出するとして試算する。更に、数万年以上に亘り、ウラン及びその子孫核種の全量が流出せず廃棄物埋設地にそのまま留まり、また廃棄物埋設地の状態が埋設の時点から変化せず、更にその直上に建屋を建築して居住するとの仮想的な状況を想定して被ばく量を算出する。
- 上記に加え、ラドンによる被ばくを含まない場合と含む場合に分けて試算する。なお、ラドンの被ばく評価のモデルでは、地中から地表へのラドンガスの散逸、床下等から家屋内へのラドンの侵入、家屋内と家屋外との換気といった評価が必要であり、評価の不確かさが大きい。

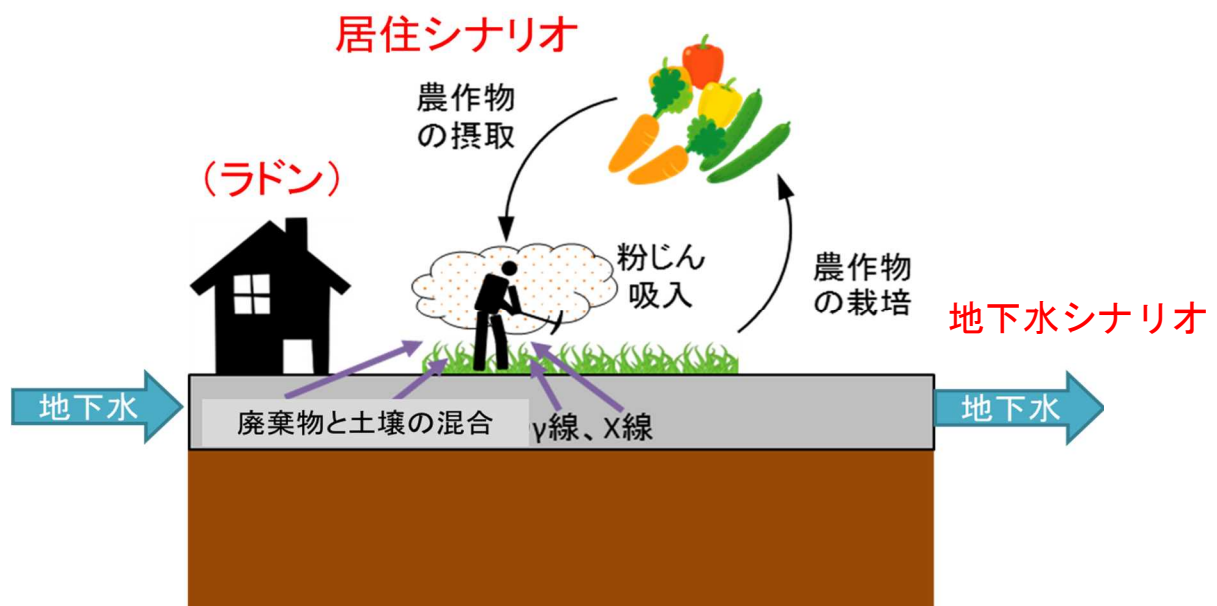


図 1 ウラン廃棄物の埋設における被ばく評価シナリオ

【試算の前提条件】

- 地下水シナリオでは廃棄物埋設地内の総放射エネルギーが支配的になるが、居住シナリオではある一定の広さからの直接線及び粉じん吸入等による被ばく評価を行うことになるため

[5] 原子力安全委員会：低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について、平成 19 年 5 月 21 日

放射能濃度が支配的となる。今回の居住シナリオの試算では、5%濃縮ウランが1 Bq/g (U-234、U-235、及び U-238 のそれぞれの濃度の合計) で廃棄物埋設地内に一様に分布するものとする。

- 廃棄物埋設地の大きさや処分場容量に対する廃棄物総量の割合は濃度上限値報告書に準拠した設定とする。濃度上限値報告書では、廃棄物埋設地の上部に1.8 mの覆土をし、さらに居住シナリオでは0.3 mの客土(廃棄物埋設地外から持ち込まれる汚染されていない土壌)をすることを想定しているが、本試算では、より長期的な評価であり不確かさも大きいことから、保守的な設定として覆土及び客土がない状態を想定する。
- 現実的な想定として地下水によりウランが流出するものとし、流出の程度は、英国の廃棄物処分場で計算された浸出水中と廃棄物中との物質濃度の比の平均値(ウランは $3E-4$)とシルト層を仮定した年間浸透水量0.3 m/yから算定する。なお、この流出の程度は、比較的低い数値であると言われている。
- 居住シナリオの被ばく経路は、直接線による外部被ばく、粉塵吸入による内部被ばく及び農作物摂取による内部被ばくの3つであり、これらの合算で被ばく量を算出する。なお、濃度上限値報告書では居住時の客土を想定していることから、粉塵吸入による内部被ばくを含めていないが、本試算では客土がない想定で評価を行うことから、粉塵吸入による被ばくも考慮する。
- ラドンの評価については、土壌中のラジウムの濃度に応じて希ガスであるラドンが生成し、地中から地表へのラドンガスの散逸、床下等から家屋内へのラドンの侵入、家屋内と家屋外との換気を考慮したモデル[6]とする。
- 評価期間については、浅地中処分の場合は地表面近くの環境変化が大きく、1000年を超えるような評価は確実性が乏しいと考えられるが、今回は期間を限定せず試算を行う。

2. 2 試算結果

- 図2は、ウランの流出を考慮した場合と考慮しない場合、更にそれぞれにラドンの影響を含む場合と含まない場合に分けて試算をした居住シナリオの評価結果をグラフで示したものである。
- 表4は、廃止措置後のビルドアップする前の被ばく線量、及びラドンによる被ばくを含まない場合と含む場合の被ばく線量のピークの数値とその出現時期を整理したものである。

【ウランの流出を想定した試算の結果】

- U-238と瞬時平衡の子孫核種による被ばく線量は約0.01 mSv/yである。なお、これは、ウランの流出の想定の有無とは関係しない。
- ラドンを除く子孫核種を含む場合の被ばく線量は約0.18 mSv/y、ラドン等子孫核種を全て含む場合の被ばく線量は約1.3 mSv/yである。また、ラドンによる被ばくの有無を問わず、線量ピークが出現するのは、約4万年後である。

[6] 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構：TRU核種を含む放射性廃棄物及びウラン廃棄物のトレンチ処分に対する濃度上限値の評価(受託研究)、JAEA-Research 2008-044 (2008).

【保守的にウランの流出を考慮しない試算の結果】

○ ラドンを除く子孫核種を含む場合の被ばく線量は約 0.82 mSv/y、ラドン等子孫核種を全て含む場合の被ばく線量は約 5.9 mSv/y である。また、ラドンによる被ばくの有無を問わず、線量ピークが出現するのは、約 20 万年後である。

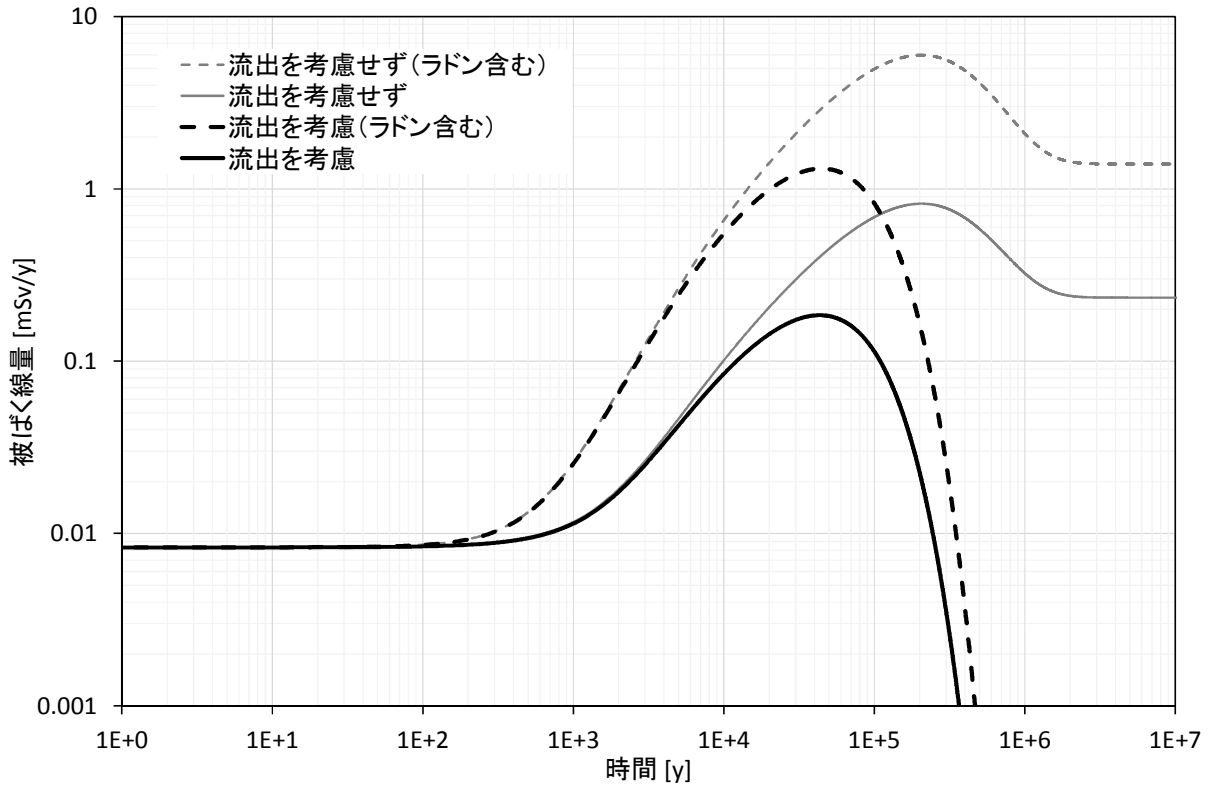


図 2 ウラン廃棄物の埋設に係る線量評価の経時変化

(5%濃縮ウランの廃棄物埋設地における平均濃度が埋設直後に 1 Bq/g (U-234、U-235 及び U-238 のそれぞれの濃度の合計))

表 4 ウラン廃棄物の埋設に係る線量評価結果のまとめ

	居住シナリオ		
	ウラン及び瞬時平衡の子孫核種による被ばく	ラドンを除く子孫核種による被ばくを含む	ラドンによる被ばくを含む
流出を考慮	0.010 mSv/y (~1000 年後)	0.18 mSv/y (約 4 万年後 [※])	1.3 mSv/y (約 4 万年後 [※])
保守的に流出を考慮せず		0.82 mSv/y (約 20 万年後 [※])	5.9 mSv/y (約 20 万年後 [※])

※ 括弧内の数値は被ばく線量のピークの出現時期

【ウランの流出に係る感度解析】

○ ウランの流出を考慮した評価では、流出の程度によってウラン及びその子孫核種の濃度

が変化し、被ばく線量に変化する。そのため、流出の割合（漏出率 η ）をパラメータとした感度分析を行った（図 3 及び表 5）。

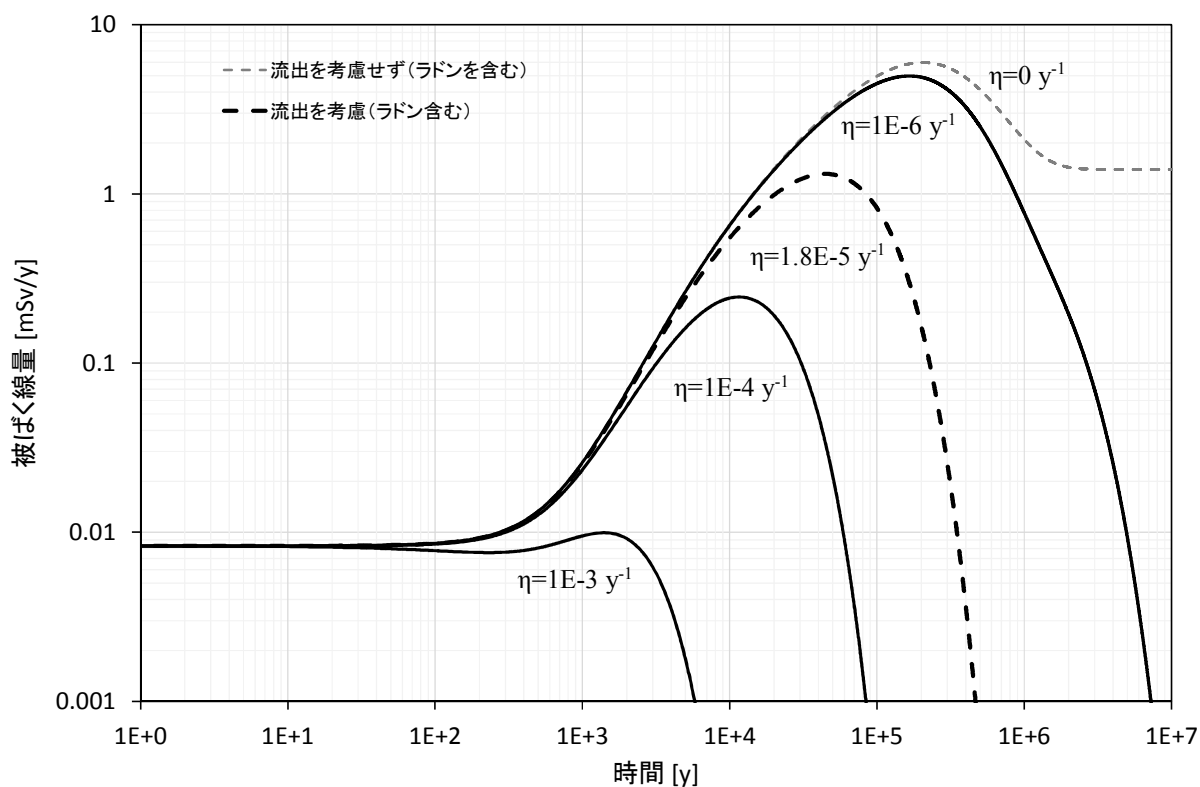


図 3 ウランの流出に係る感度解析

表 5 ウランの流出に係る感度解析の結果

放射性核種の 漏出率 η [y^{-1}]	流出を考慮				流出を考慮せず
	1E-3	1E-4	1.8E-5	1E-6	0
最大線量 (ラドンによる被ばく含む)	0.010 mSv/y	0.25 mSv/y	1.3 mSv/y	5.0 mSv/y	5.9 mSv/y
備考	砂の分配係数 33 ml/g 及び平均的な浸透水量 0.3 [$m^3/m^2/y$] を設定した場合の漏出率に相当	我が国の代表的な侵食速度数 m/1 万年で削られる廃棄物埋設地の割合を漏出率と見なした場合に相当	英国の放出係数 3E-4 [-] 相当の分配係数 1670 ml/g 及び平均的な浸透水量 0.3 [$m^3/m^2/y$] を設定した場合の漏出率に相当	我が国の代表的な風化速度数 cm/1 万年で削られる廃棄物埋設地の割合を漏出率と見なした場合に相当	(現実には想定されない)