

企画セッション | 合同セッション：合同セッション3（保健物理・環境科学部会，バックエンド部会）

■ 2018年9月6日(木) 13:00～14:30 | 会場 G会場 A棟 A37

[2G_PL] クリアランスの現状と課題(2) 国際動向と再利用の検討状況

座長: 占部 逸正(福山大)

[2G_PL01] IAEA安全指針RS-G-1.7改訂の動向と主な論点

*服部 隆利¹ (1. 電中研)

[2G_PL02] 福島第一原子力発電所における低線量がれきの限定的な再利用の考え方

*島田 太郎¹ (1. JAEA)

[2G_PL03] 使用済核燃料から回収した有用元素の再利用とクリアランスの考え方

*高橋 知之¹ (1. 京大)

保健物理・環境科学部会、バックエンド部会 合同セッション

クリアランスの現状と課題(2)-国際動向と再利用の検討状況-

Current status and issues on the implementation of clearance (2)

- International trends on clearance and relevant studies for recycle -

(1) IAEA 安全指針 RS-G-1.7 改訂の動向と主な論点

(1) Overview of the revision of the Safety Guide RS-G-1.7 and its issues in discussion

*服部 隆利¹¹ 電中研

1. はじめに

IAEA（国際原子力機関）のCSS（安全基準委員会）は、2017年11月、日本のクリアランスレベルの引用元である安全指針 RS-G-1.7「除外、規制免除及びクリアランスの概念の適用」^[1]の改訂を開始するための2つのDPP(文書準備計画)を承認した。これらのDPPでは、IAEA GSR Part3 (BSS:国際基本安全基準、2014)^[2]に新しい概念として取込まれた「緊急時、現存、計画の3つの被ばく状況別の放射線防護」に対応してRS-G-1.7を改訂することが計画され、規制免除についてはDS499、クリアランスについてはDS500として、それぞれIAEAのRASSC（放射線安全基準委員会）及びWASSC（廃棄物安全基準委員会）の主管の下で、検討を進めることが規定された。また、DS500については、従来の放射能濃度（Bq/g）の値に変更を加えず、新たに表面汚染（Bq/cm²）の値を与えること、既存の無条件クリアランスレベル（再利用の方法、範囲等に制限を設けないクリアランスレベル）に加え、条件付クリアランスレベル（クリアランス後の再利用等に一定の制限条件を課したクリアランスレベル）を与えること、並びに気体や液体のクリアランスを扱うこと、が定められた。

このような背景のもと、IAEAは、DS500については、2018年2月中旬及び6月初旬の2回にわたって改訂ドラフト作成のための専門家会合を開催し、そのドラフトの準備を開始した。本発表では、専門家会合の概要と改訂にあたって議論となった論点について紹介する。

2. 安全指針 RS-G-1.7 のポイント

RS-G-1.7は、天然起源及び人工起源の放射性核種の両方に対して、大量の物質を規制除外、規制免除またはクリアランスする際の「放射能濃度値（Bq/g）」を示すことを目的に2004年に策定され、2014年に出版されたIAEA GSR Part3 (BSS: 国際基本安全基準)にも取り入れられた。それらの放射能濃度値は、人工起源の放射性核種の場合、全ての固体状物質を対象に、外部被ばく、ダスト吸入及び経口摂取（直接及び間接）を包含するように選定された典型的な被ばくシナリオの線量評価に基づき、算出された。なお、基準線量が10 μ Sv/yの場合は現実的なパラメータ値が、基準線量が1mSv/yの場合は低確率なパラメータ値が用いられた。また、皮膚被ばくの等価線量に対する基準線量については50mSv/yが用いられた。

人工起源の放射性核種に対して算出された放射能濃度値については、クリアランスレベルに適用可能とされ、2005年、我が国はクリアランスレベルとしてこの値を引用するに至っている。なお、RS-G-1.7では、段階的なアプローチを採用し、その放射能濃度値を数倍（例えば10倍まで）超える場合であっても、IAEA加盟国の国内の規制の枠組みによっては、規制機関は規制要件を適用しないことを決定できるとしている。

3. 改訂のための主な論点

DS500のドラフト作成のための専門家会合は、IAEA本部において、2018年2月19～23日と6月4～8日に開催された。改訂にあたっての主な論点は下記のとおり。

- ・現存被ばく状況下でクリアランスをどのように位置づけるか？

計画被ばく状況におけるクリアランスの線量基準：10 μ Sv/y（現実的な被ばくシナリオの時）

現存被ばく状況における参考レベル（1～20mSv/y の下方から選定）

- ・表面汚染に対する新しいクリアランスレベル（Bq/cm²）はどのように規定するか？

クリアランスレベル（無条件）のよう統一した値を提示するのか？

表面とは？（土壌やコンクリートがら等の扱い）

重量濃度と表面密度の2つの基準の適用方法は？

物品持ち出し基準との関係は？

- ・新しい条件付クリアランスレベル（Bq/g）はどのように規定するか？

クリアランスレベル（無条件）のよう統一した値を提示するのか？

- ・どのように過剰に保守的な評価を避けるか？

TECDOC 1000^[3]における平均化の10倍ルール

平均してクリアランスレベルを満足していれば、部分的に平均値より10倍高くても許容できる
クリアランス判断における測定と核種組成比の不確実性の取扱い

日本原子力学会標準「クリアランスの判断方法: 2005」の考え方

IAEA Safety Report No. 67、ICRP Pub.104 の考え方

4. おわりに

今回の DS500 ドラフト作成に係る専門家会合は、2018 年 10 月以降に、DS499 に係る専門家会合と同時に開催する方向で調整されており、その後、専門家会合のほか IAEA 技術会合や WASSC 会合等での審議を経て、2022 年 8 月の発行を目指して作業が進められる見込みである。

参考文献

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, IAEA Safety Standards Series, No. RS-G-1.7, IAEA, Vienna (2004).
- [2] EUROPEAN COMMISSION, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, IAEA, Vienna (2014).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Clearance of Materials Resulting from the Use of Radionuclides in Medicine, Industry and Research, IAEA-TECDOC-1000, IAEA, Vienna (1998).

*Takatoshi Hattori¹

¹CRIEPI

保健物理・環境科学部会、バックエンド部会 合同セッション

クリアランスの現状と課題(2) -国際動向と再利用の検討状況-

Current status and issues on the implementation of clearance (2)

- International trends on clearance and relevant studies for recycle -

(2) 福島第一原子力発電所における低線量がれきの限定的な再利用の考え方

(2) Concept of restricted use of contaminated rubbles in the Fukushima Daiichi NPS

* 島田 太郎¹, 三輪 一爾¹, 武田 聖司¹¹ 日本原子力研究開発機構 安全研究センター

1. はじめに

福島第一原子力発電所(1F)敷地内に保管されている汚染がれきのうち、表面線量率 $5\mu\text{Sv/h}$ 以下の屋外集積がれきを資源化物として敷地内である特定の用途に限定して再利用することが検討されている⁽¹⁾。本研究では、安全を確保し適切な規制の下で再利用可能なめやす濃度設定とその妥当性確認の考え方を提案する。そして 1F 敷地内での道路及びコンクリート構造物基礎への再利用を想定し、再利用可能な資源化物中の放射性セシウム濃度のめやす値を用途別に試算するとともに、そのめやす濃度の妥当性を確認した。

2. 限定再利用の考え方

1F 敷地内は平成 23 年 12 月 15 日に緊急時被ばく状況から現存被ばく状況に移行して、その状況が継続されている。また、1F 敷地全体が管理対象区域に設定されており、敷地に立ち入る人員はすべて被ばく線量が管理されている。上記のような現存被ばく状況下において、限定的に再利用される資源化物のめやす濃度を設定した例は国際的にもない。こうした場合、限定再利用を実施することによって廃止措置に向けた作業に影響を与えないこと、及び、周辺公衆への影響を抑制することを考えるべきである。そこで、本研究では現存被ばく状況である現状の 1F 敷地内の空間線量率分布に着目し、汚染がれきから取り出された放射能を含む資源化物を、汚染されていない資材の代わりに使用することによって上昇する空間線量率が、敷地サーベイでの線量率の低いほうとすることを必要条件とした。具体的には平成 30 年 1 月の測定では、1F 敷地内の空間線量率は原子炉建屋周辺を除き多くの測定点で $1\mu\text{Sv/h}$ 程度であることから追加の線量率を $1\mu\text{Sv/h}$ と設定した。また、評価されためやす濃度での再利用によって 1F 敷地内で運用されている目標などに影響を与えないことを確認する必要がある。そこで、図 1 に示すように、めやす濃度で各用途へ適用する際に①資源化物を再利用する放射線業務従事者の追加的な被ばく線量②1F 敷地境界の空間線量率への影響③地下水への核種漏洩の影響を評価し、それぞれ① 20mSv/y (5 年で 100mSv 、 50mSv/y より) に対して影響が小さいと判断される 10%以下であること②限定再利用からの寄与を合算しても評価上の目標値 1mSv/y を超えないこと③排水の運用目標値を超えないことを確認することにより、試算されためやす濃度の妥当性を確認することとした。建屋外で採取されたがれきの分析結果では Cs-137, Cs-134, Sr-90, Co-60, H-3 が検出されているが、Co-60 濃度は Cs-137 に対して 0.01%以下、H-3 濃度はクリアランスレベルより 2 桁程度低いことから除外した。めやす濃度対象核種はガンマ線放出核種である放射性セシウムとし、Sr-90 濃度は Cs-137 濃度に対して 1%とした。

3. 放射性セシウムめやす濃度の試算

汚染コンクリートがれきから取り出した資源化物を、道路及びコンクリート構造物基礎部に適用する場合について評価した。道路の場合、道路幅 9m、長さ 100m を想定し、舗装材あるいは路盤材として利用した場合の道路中央高さ 1m の位置における線量率が $1\mu\text{Sv/h}$ となるように資源化物中の放射性セシウムのめやす濃度を試算した。評価条件および試算結果を表 1 に示す。めやす濃度はコンクリート道路の路盤材では 10 万 Bq/kg、コンクリート構造物基礎部では 16 万 Bq/kg となった。

4. 試算しためやす濃度の妥当性確認

図1に示した①～③の妥当性確認の評価方法を以下に示す。①は1F敷地内の廃止措置作業の中で再利用物に最も接近する可能性のある作業者を想定し、道路上作業者および基礎直上に位置する地下2階での作業者を評価対象とした。外部被ばく評価では、作業空間における作業者位置における線量率を計算し、1F敷地内での作業条件（時間、遮蔽等）を基に被ばく線量を求めた。道路表面の舗装材に再利用した際は、舗装面の摩耗により発生する粉塵の吸入による内部被ばく線量も評価した。②では1F敷地内で再利用された資源化物（道路、建造物）からの距離ごとの空間線量率を計算し、目標値1mSv/yを満たすために必要な敷地境界からの離隔距離を評価した。③では再利用物に降雨または地下水が浸透することにより核種を含んだ浸透水が帯水層へ流入し、核種が帯水層中を海洋側へ移行することを想定した。海洋出口における地下水中核種濃度が、東京電力が定める排水運用目標値 Cs-134: 1Bq/L, Cs-137: 1Bq/L, Sr-90: 5Bq/L 以下となる必要となる。評価は1F敷地内に設置した再利用物（道路、建造物）からの距離ごとの地下水中核種濃度を評価し、運用目標値を満たすために必要な敷地境界（海洋出口）からの離隔距離を評価した。核種の流出および帯水層中の移行は分配平衡を仮定しており、帯水層中の核種移行は JAEA が開発したクリアランスレベル評価コード PASCLR2 を用いて評価した。

その結果、①では両用途の被ばく線量はともに1.3mSv/yとなり条件(20mSv/yの10%以下)を満足した。②は道路へ再利用した場合、図2に示すように、敷地境界まで25m以上の離隔をとれば従来の評価上の敷地境界線量率(0.6mSv/y)を考慮しても目標値1mSv/y以下となった。また、構造物基礎へ再利用した場合は、図3に示すように、Sr-90濃度は離隔なしに運用目標5Bq/L以下となるが、Cs-137については5m以上の離隔により運用目標値以下となった。以上のように①～③の評価から1F敷地内で試算しためやす濃度で安全な再利用を行うための離隔距離を提示することにより、めやす濃度の妥当性を確認した。

参考文献(1) 原子力規制委員会第5回特定原子力施設放射性廃棄物規制検討会 資料1

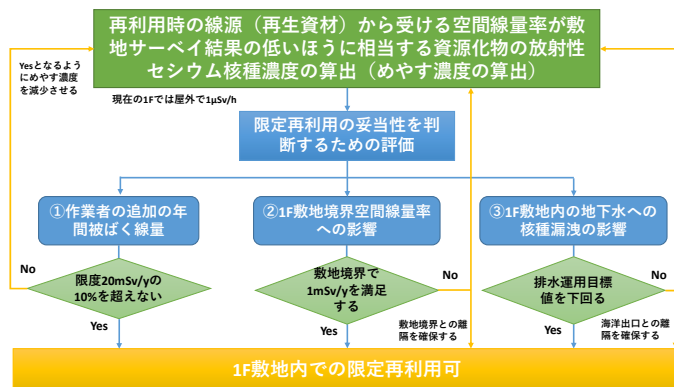


図1 めやす濃度設定と妥当性確認の考え方

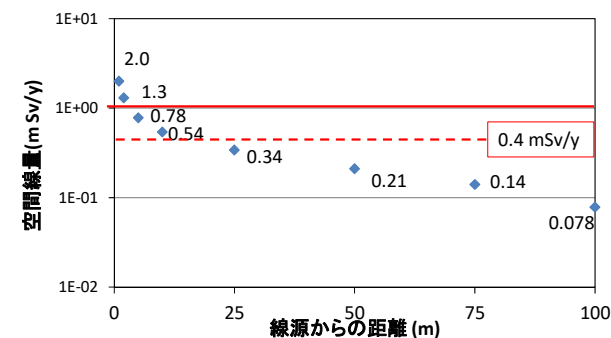


図2 道路に再利用した際の敷地境界への空間線量率寄与

表1 用途別資源化物の放射性セシウムめやす濃度

再利用先	用途	舗装厚さ	路盤厚さ	放射性セシウムめやす濃度
アスファルト道路	路盤材	5 cm	80 cm	13,000 Bq/kg
	舗装材	20 cm	-	7,400 Bq/kg
コンクリート道路	路盤材	15 cm	80 cm	100,000 Bq/kg
	舗装材	30 cm	-	8,100 Bq/kg
コンクリート構造物	基礎部	20 cm 床スラブ厚	200 cm 基礎部厚	160,000 Bq/kg

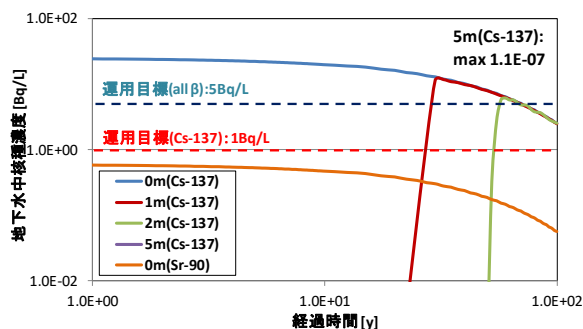


図3 構造物基礎に再利用した際の地下水中濃度

*Taro Shimada¹

¹Nuclear Safety Research Center, Japan Atomic Energy Agency

本研究は原子力規制委員会原子力規制庁「平成29年度廃棄物の限定再利用に関する検討」として実施したものである。

保健物理・環境科学部会、バックエンド部会合同セッション

クリアランスの現状と課題(2)-国際動向と再利用の検討状況-

Current status and issues on the implementation of clearance (2)

- International trends on clearance and relevant studies for recycle -

(3) 使用済核燃料から回収した有用元素の再利用とクリアランスの考え方

(3) Reuse of useful elements recycled from spent nuclear fuels, and concept of their clearance

*高橋知之¹, 高橋千太郎¹¹ 京都大学

1. 概要

高レベル放射性廃棄物に含まれる核分裂生成物の分離・変換は、環境への負荷低減の観点から、各国で研究開発が進んでいる。我が国では、革新的研究開発推進プログラム ImPACT (Impulsing Paradigm Change through disruptive Technologies) の「核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化(藤田玲子プログラムマネージャー)」において、研究開発が進められている。このテーマは、高レベル放射性廃棄物(HLW)から回収した長寿命核分裂生成物(LLFP)を、加速器を用いて短半減期核種や安定核種に変換し、有用なものはリサイクルして再利用することを目的としている。

このプログラムは、以下の5つのプロジェクトから構成されている。

- ・PJ1: HLW から LLFP の回収技術
- ・PJ2: 核変換データの取得と核反応実証試験
- ・PJ3: 理論モデルの構築とシミュレーション
- ・PJ4: 加速器の要素技術およびシステム開発
- ・PJ5: 廃棄物低減および資源化シナリオの策定とプロセス概念

回収した有用元素のクリアランスの考え方は、PJ5 において検討されている。すなわち、再利用される有用元素には、回収・資源化の過程において微量ながら放射性核種が含まれることになり、この放射性核種による被ばくが懸念される。このため、再利用される元素に含まれる放射性核種による被ばく線量を評価し、この評価結果から、基準となる被ばく線量に相当する放射性核種濃度を算出してクリアランスレベルを提示することにより、最終的にこのプログラムを実現するプラントの概念設計に寄与することとしている。

2. 本評価の特徴

原子炉施設から発生する廃棄物のクリアランスは法制化され、既にいくつかの原子炉施設に対して適用がなされているが、使用済核燃料から回収した有用元素の再利用におけるクリアランスの考え方は、このような廃棄物のクリアランスレベルの評価と比べた場合、以下のような特徴が挙げられる。

- ・原子炉施設から発生する廃棄物はコンクリートや金属であり、その廃棄物中に混入している放射性核種濃度をクリアランスレベルとして設定しているのに対し、有用元素の再使用においては、当該元素単位重量あたりの放射性核種濃度として設定される。
- ・コンクリートや金属は廃棄物として埋設処分されるかあるいは再利用され、再利用における用途は比較的明確であるのに対し、使用済核燃料から回収される有用元素の再利用は、希少金属を対象としているため、元素毎に用途が大きく異なり、かつ多様多様である。よって、利用経路の詳細な把握及びシナリオの設定に関する十分な検討が必要である。
- ・耐熱ジルコニウム質レンガのように、使用後に廃棄物として処分される経路については、再利用された後に埋設処分されることによる被ばく線量も把握する必要がある。
- ・これまで被ばく線量評価上重要とみなされていなかった放射性核種を対象とするため、環境移行パラメータに関する知見が少ない。

3. 評価手法

使用済核燃料から回収される有用元素としてジルコニウム (Zr) とパラジウム (Pd) を対象として、その中に含まれる Zr-93 及び Pd-107 に起因する被ばく線量評価を進めている。なお、評価手法は、主な原子炉施設におけるクリアランスレベルの設定手法[1]に準拠した。

まず、わが国における Zr および Pd の利用形態やその量、年度ごとの変動等については(独)石油天然ガス金属鉱物資源機構のマテリアルフローを、一般公衆における摂取量等については国際保健機関の調査報告書を中心に調査した。また、線量評価の観点から必要な情報を個別の学術論文等から取得した。これらの情報に基づき、Zr および Pd が資源化されて一般環境において再利用された際に、公衆に被ばくを与えられと考えられる経路を列挙した。列挙したシナリオのうち、評価すべき重要シナリオを確定し、簡易なモデルによって被ばく線量評価を実施した。なお、評価に用いられるパラメータの一部は実験的に取得することにより、線量評価の妥当性の向上を図った。この被ばく線量の評価結果に基づき、年間 10 マイクロシーベルトに相当する放射性核種濃度を算出し、これらの核種のクリアランスレベルについて検討した。

4. 結論

高レベル放射性廃棄物に含まれる核分裂生成物の分離・変換し、再利用するという原子力の新しい領域において、クリアランスレベルを策定することは必要不可欠である。今後、線量評価に関する技術的な研究を更に進めるとともに、社会科学的な観点を含めた多方面からの研究もあわせて進めることにより、社会的受容性の観点も含めた検討を進める必要がある。

(付記) 本研究は、総合科学技術・イノベーション会議が主導する 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) の一環として実施したものです。

参考文献

[1] 原子力安全委員会放射性廃棄物安全基準専門部会：主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて(1999).

*Tomoyuki Takahashi¹ and Sentaro Takahashi¹

¹Kyoto Univ.