

原子力発電所廃止措置調査検討委員会
技術レポートシリーズ Vol.5

原子力発電所廃止措置に伴い発生する解体物の
クリアランスの合理化に向けた取り組みについて

令和 5 年 3 月

原子力発電所廃止措置調査検討委員会

原子力発電所廃止措置調査検討委員会について

2011年3月11日に発生した福島第一原子力発電所事故を契機に、我が国の原子力発電を巡る環境は大きく変化し、事故前の計画よりも早い時点で廃止措置段階への移行を選択するプラントが出てきている（2022年2月末時点で、女川1号、福島第二1～4号、東海、浜岡1・2号、敦賀1号、美浜1・2号、大飯1・2号、島根1号、伊方1・2号、玄海1・2号、の18基の商業用原子力発電プラントが廃止措置実施中）。このような傾向は今後も続く予想される。

しかしながら、欧米諸国の状況と比較し、我が国では、現時点において、廃止措置を合理的に進めていくための環境条件（地元自治体を含めたステークホルダーとの関係等）や廃棄物処分施設等のインフラ、規制制度等の対応態勢が十分に整っているとは言いがたい。このような現状は、円滑な廃止措置活動に直接的な影響を及ぼすことから、早期の対応が喫緊の課題となる。

上述の背景のもと、廃止措置を推進するためには、関係者間で現時点における課題を共有し、海外の良好事例等を参考として社会から受け入れられる廃止措置に向けた対応が一層重要となる。そこで、これらの課題を早期に解決することを目的に第三者的な立場で検討を深めると共に、検討の成果をもとにステークホルダーとの議論、共有の橋渡しの役割を務め、社会に貢献することを目的として、平成30年度に（一財）エネルギー総合工学研究所に「原子力発電所廃止措置調査検討委員会（以下、「委員会」という）」を設置した。

委員会の構成員は次の通りである（敬称略、令和4年12月末現在）。

飯本 武志 東京大学 環境安全本部 教授

井口 哲夫 名古屋大学 名誉教授

岡本 孝司 東京大学 大学院工学系研究科原子力専攻 教授（委員長）

斉藤 拓巳 東京大学 大学院工学系研究科原子力専攻 教授

新堀 雄一 東北大学 大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻 教授

柳原 敏 福井大学 客員教授

また、委員会は、次の各号に掲げる事項について、審議・検討を行うこととしている。

- （１） 原子力発電所の廃止措置の課題とその解決方法に関する事項
- （２） 原子力発電所の廃止措置の課題解決に向けた技術レポートに関する事項
- （３） その他、前各号に付帯する事項

ここで、技術レポートの作成にあたっては、次の事項に留意することとしている。

- 国際基準やガイド等に則した事実、論拠に基づくこと
- 国内外における技術の進歩、新たな経験を踏まえた効果的、効率的な知見の情報発信を行うこと

- 廃止措置の安全確保の一義的責任は、事業者にあることから、事業者の安全確保の取組がベースにあることを基本として、ステークホルダーの理解に向けた情報発信を行うこと
- 安全確保が最優先の下で、効率的及び効果的な廃止措置の完遂について論じること
- 安全で安心な持続的社會を目指す視点に基づき、国民にとってより良い方向に向けての提言を行うこと
- 規制制度との関係については、より合理的な廃止措置規制を目指す観点とするため、事業者の取組についても言及すること

効率的かつ円滑な廃止措置を推進するために、廃止措置に係る技術的、社会的諸課題の解決に取り組むとともに関係機関でのコンセンサス形成に向けて取り組むことが重要である。この一助として、委員会の活動成果を、科学的、技術的観点から技術レポートとして策定するとともに、社会に向けた情報発信として（一財）エネルギー総合工学研究所のホームページで公表・公開することとしている。

エグゼクティブサマリー

今後、我が国でも本格化する原子力発電所廃止措置を円滑に実施するためには、確実かつ効率的なクリアランスプロセスの確立が必要である。

海外ではクリアランス前の金属を受入れ、溶融後に放射能評価を行うことで、測定の不確かさを低減させ、クリアランスできる物量を増加させている事例がある。

また、対象物や使用用途を限定した特定クリアランスが制度化され、一定の放射能濃度以下の廃棄物を、産業廃棄物処分施設で処分している事例や、さらに多くの資材をクリアランスしている事例がある。

当委員会では、海外の先行実績等を参考に、金属溶融後の放射能評価や特定クリアランス制度の適用に向けた取り組みについて検討し、下記の提言を行うことにした。

提言 1 集中処理による金属溶融リサイクルの実現に向けた取り組み

集中処理による金属溶融リサイクルの実現に向けて、以下の３点について関係機関が連携して取り組むべきである。

① 合理的な放射能評価手法の確立について

合理的な放射能評価手法の確立に向けて、プラント単位等での核種組成比の設定やクリアランス検認前の混合・希釈の許容範囲の明確化について、電気事業者がデータに基づく安全評価への影響等を整理したうえで、学協会とも連携して、規制当局との対話を実施する。

② ステークホルダーの理解促進について

国、集中処理事業者、電気事業者がオープンな姿勢で議論して関係間の堅固な協力体制を構築することが重要。また、その過程を広く公開することで、社会受容性の向上にもつながる。

福井県嶺南 E コースト計画の「原子力リサイクルビジネス」における、国、電気事業者、地元企業も一体となった取り組みは、その試金石となり得るので、情報をオープンにしつつ、実現させる。

そのうえで、この活動で得られた知見や成果を関係者で共有し、我が国の複数の地点で同様な活動を繰り返し広げていく必要がある。

③ 法制上の制度整備について

技術レポート「原子力発電所から発生する大型機器の処理について」において提言した「リサイクル可能な放射性物質」の定義の創設、又は米国と同様に、「リサイクル可能な放射性物質」を放射性廃棄物に該当しないとするものの検討を進めるとともに、集中処理事業を行う際の炉規正法における合理的な規制の在り方について、集中処理で扱われる廃棄物の性状や量等の具体的な計画、返還される廃棄物の量や頻度を想定したうえで、早い段階で、集中処理事業者、電気事業者が規制当局と議論を行うべき。

提言 2 特定クリアランス制度導入に向けた取り組み

特定クリアランス制度は、対象や用途を限定することで、無拘束クリアランスと同じ $10\mu\text{Sv/y}$ を遵守しつつも、クリアランスレベルを無拘束クリアランスより大きく設定できる可能性があり、資源リサイクルや、放射性廃棄物埋設施設の容量確保の観点から有用であり、その制度構築に向けて、現時点から計画的に取り組むべき。

特に非原子力施設での埋立処分を前提とする特定クリアランス制度は、VLLW 処分場の多様性を確保することで廃止措置の円滑な実施に大きく寄与する可能性があることから、優先して取り組むべき。

特定クリアランス制度を導入するためには、その安全性と有用性に関する丁寧な説明を積み重ねることによって、社会受容性を高めていくことが必要。具体的には、クリアランス後の用途に応じて以下のような取り組みを進めていくことが考えられる。

- ・非原子力施設での埋立処分を前提とした特定クリアランスについては、JPDRL3 施設、原電 L3 施設等で得られた安全性に関するデータを踏まえ、産学官で、その安全性と必要性についてオープンな議論を行い、社会受容性を高めていく。
- ・金属溶融リサイクルや建屋再利用を対象とした特定クリアランスについては、海外の事例や、鉄鋼メーカー等でのクリアランス物の利用実績等を踏まえ、導入の必要性や効果について検討を進めるべきである。なお、敷地解放にかかる特定クリアランスについても、廃棄措置完了の見通しが得られる時期に合わせて導入できるよう検討を進めることが重要である。

目次

1. 背景
2. 目的
3. 金属溶融リサイクルに関する海外の状況
 3. 1 海外の状況
 3. 2 クリアランスに関するステークホルダーの理解促進に向けた取り組み
4. 我が国における金属溶融リサイクルの状況と課題
 4. 1 金属溶融リサイクルの意義
 4. 2 我が国における金属溶融リサイクルの状況
 4. 3 効率的な金属溶融リサイクル実現に向けた課題
5. 特定クリアランスにかかる海外の状況について
 5. 1 特定クリアランスとは
 5. 2 海外の制度整備状況
 5. 3 EU 技術文書における特定クリアランスレベル導出の例
6. 我が国における特定クリアランス制度の状況と課題
 6. 1 特定クリアランス制度の意義
 6. 2 我が国における特定クリアランス制度の状況
 6. 3 特定クリアランス制度導入に向けた課題
7. わが国の廃止措置に伴い発生する解体物等のクリアランスの合理化に向けた提言
8. あとがき

参考文献

参考資料 1 クリアランス検認における不確かさの取り扱いに関する検討経緯

1. 背景

2022 年 9 月時点で世界中で廃止している炉は 203 基。稼働している炉は 433 基あるが、そのうち 7 割弱（287 基）が 30 年以上、3 割（128 基）が 40 年以上経過している【1】。IAEA によれば、2020 年の原子力発電容量の 12% から 25% が 2030 年までに廃止されると予想されている【2】。廃止措置に伴い多量の廃棄物が発生するが、クリアランスプロセスによってリスクの少ない廃棄物の管理を免除し、放射性廃棄物として処分すべき量を適切に管理することは、廃止措置プログラムの成功に不可欠の要素であることは、国際的な共通認識である。

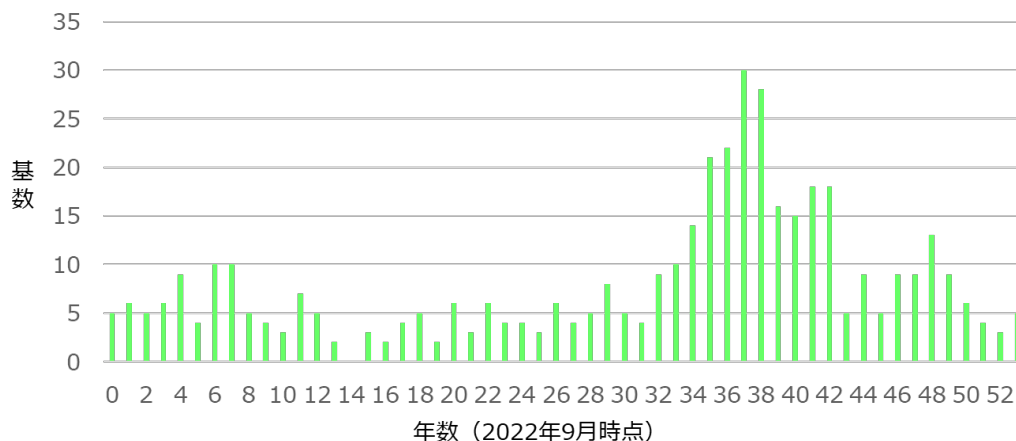


図 1 稼働中の原子炉の年代別分布（2020 年 1 月時点）【1】

我が国においては、原子炉の運転は原則 40 年で、1 回だけ最大 20 年の延長が可能である。現時点で 40 年を超えるプラントのうち、延長申請を行っているのは 4 プラントのみで残りの炉は廃止措置中であり、さらに、あと 10 年で 17 基のプラントが運転期間 40 年を超えることになる。現在、国では運転期間を最長 60 年に制限する枠組みは残しつつ、安全規制に係る法令等の制定や改正、運用の変更に対応したため運転を停止した期間等を 60 年の運転期間のカウントから除外することについて制度化の検討が進められていることから【3】、廃止措置プラントの増加ペースは多少鈍るかもしれないが、運転延長には相応のコストがかかるうえ、福島第一を除いても、既に 18 基のプラントが廃止措置に入っている状況であるため、廃止措置に伴い発生する廃棄物の処分量を適切に管理することは喫緊の課題である。また、運転期間を延長するために大型機器の交換等も発生する可能性があり、その処理処分を適正に行うことも重要である。

本委員会は、2018 年 11 月に技術レポート「原子力施設及び RI 施設の解体物等のリサイクルに向けて」を作成し、その中で、①検認行為に関する規制の見直しとして、クリアランスに係る学協会標準の承認と、同標準に基づき事業者が適切に評価・測定を行っていることを、原子力規制検査で包括的に監査すること、②再利用制約の解除として、原子力施設由来のものであることを理解した業者等での再利用のみに限定されている制約を、速やかに解除すること、の 2 点について提言を行った。

現状、①については、学協会標準の承認は行われていないが、NRA の意向により、電気事業者が自主的に作成した「クリアランスの認可申請書の標準記載要領」に基づき申請書記載事項を標準化することで、審査の効率化を目指す動きがある。しかし、本要領は、規制庁のクリアランス審査基準が制定されたあとの 3 件の審査実績に基づくものであり、クリアランス対象物も単一部位の物品に限定されており、今後、本格化する廃止措置に伴い発生する多種多様な機器等のクリアランスに対して、十分に効率的なものとは言えない。一方、2018 年頃から検討が進められていた、IAEA のクリアランスにかかる安全指針（RS-G-1.7）の改訂については、不確かさの等の扱いで多くの議論が交わされ計画よりは遅れたものの、現時点ではほぼ完成している状態である。

また、②については 2018 年以降、日本原子力発電のクリアランス材で製作されたベンチを福井県内の高校、大学等で展示する動きがあった他【4】、浜岡発電所から発生したクリアランス金属を静岡県内で側溝用蓋に加工する事業が今年度より開始された【5】。また、福井県では、県内の複数の原子力発電所の廃止措置に伴い発生するクリアランスに相当する廃棄物を受け入れ、集中処理を行う事業の検討が、経済産業省、電気事業者も巻き込む形で検討されており【6】、再利用先の拡大に寄与することが期待される。

2. 目的

今後、我が国でも本格化する原子力発電所廃止措置を円滑に実施するためには、確実かつ効率的なクリアランスプロセスの確立が必要である。

クリアランスの判断を行うためには、不確かさを考慮してクリアランスレベルを満足することが必要であるが、現時点では、放射能評価手法説明のための調査や放射能濃度測定が煩雑となる場合があり、不確かさの考慮の仕方によっては、クリアランスできる量が極めて小さくなる可能性が考えられる。

この点について、海外ではクリアランス前の金属を受入れ、溶融後に放射能評価を行うことで、測定の不確かさを低減できるとともに、放射能濃度の異なる部分が混合され均質化される効果と相まって、クリアランスできる物量が増加している事例がある。

また、対象物や使用用途を限定した特定クリアランスが制度化され、金属再溶融時の一般部材との希釈率を担保することで、さらに多くの資材をクリアランスしている事例や、一定の放射能濃度以下の廃棄物を、産業廃棄物処分施設で処分することで、放射性廃棄物処分場の負荷を低減している事例もある。

このような状況を踏まえ、当委員会では、我が国の原子力発電所廃止措置の円滑な実施のため、解体物等のクリアランスの合理化に資することを目的として、海外の先行実績等を参考に、金属溶融後の放射能評価や特定クリアランス制度の適用に向けた取り組みについて検討し、社会に向けて提言を行う。

3. 金属の溶融リサイクルに関する海外の状況

3. 1 海外の状況

現在、原子力施設の解体等により発生する金属をクリアランスする前に溶融リサイクルを実施している主な施設は、ドイツの Krefeld にある CARLA 炉 (Siempelkamp)、スウェーデンの Nyköping の施設 (Cyclife Sweden)、フランスの Codolet にある CENTRACO (Cyclife France)、アメリカの Bear Creek にある施設 (Energy Solution) である。Cyclife France と Energy Solution の施設では溶融した金属は原子力用途のみで再利用されており【7】【8】、ここでは、溶融した金属について、クリアランスに至るオプションも提供している Siempelkamp と Cyclife Sweden の施設について述べる。

a. CARLA 炉【9】【10】【11】

CARLA 炉は、世界的な鋳造メーカーである Siempelkamp 社が、ドイツの Krefeld にある年間 60,000 トンの鋳鉄の生産能力を持つ鋳造工場のサイトに、原子力施設の運転および廃止措置から発生するわずかに汚染された金属のリサイクルのために設置した。Siempelkamp 社は、顧客のニーズに応じて、ドイツの放射線防護令 (StrlSchV) に基づく基準濃度に従い、リリース、一般産廃への処分等を行うとともに、基準を超過するものであっても、GNS 社 (Gesellschaft für Nuklear-Service mbH) 等との連携により容器等に再加工し原子力用途で用いるオプションも提供している。

i) 施設の概要

旧放射線防護令の 7 条に基づく認可施設で、1889 年に 200Bq/g 以下の放射性物質の取扱許可を得て操業を開始し、2008 年に 1,000Bq/g (全 α 、 β 、 γ) までの取扱認可を取得した。 β 放出核種である Fe-55、Ni-63、C-14、H-3 については、合計 10,000Bq/g までの追加が可能である。なお、核分裂性核種は 15g/100kg に制限されている。

溶融金属については、環境影響保護法 (BImSchG) に基づく、4,000t/年の認可を取得しており、炭素鋼、ステンレス鋼といった鉄系金属の他、アルミニウム、銅、真鍮、鉛といった非鉄金属の処理も可能である。

CARLA 炉は、中周波誘導加熱炉で、容量は 3.2t/batch、溶解速度は 2t/h である。なお鉛については、ガスバーナー加熱による溶解炉で処理しており、50t/年の鉛を処理可能である。

同サイトにおいて、Siempelkamp 社は CARLA 炉の他に NORM や有害物で汚染された物質を処理するための GRETA 炉も所有している。GRETA 炉は作業員の年間被ばくが少ないため、旧放射線防護令に基づく規制は受けていない。

ii) 処理の流れ

【受入】

処理対象物は、一般的には、20 フィートコンテナを用いて、車両または鉄道にて運搬されてくるが、Krefeld のライン港経由で船便での輸送も可能である。処理対象物は、通常、20 フィートコンテナ内の

ドラム缶、角形容器に、顧客によってあらかじめ溶融に適した状態に分別されて収納されている。これらは溶融前に目視で確認され必要に応じて再分別される。

なお、処理対象物の核種別放射能濃度は配送前に顧客より提出される。

【前処理】

仕分け解体エリアでは、標準的に 40 フィートコンテナサイズの処理対象物まで解体される。より大きなサイズの処理対象物も対応可能である。処理対象物は種類ごとに分けられ、溶融炉への投入に適した 500 mm x 500 mm x 1,500 mm 未満のサイズとなるよう切断される。

まず、非金属部分が仕分けされドラム詰めされる。このドラム缶は後に顧客に返還される。さらに、金属部分は鉄及び非鉄金属の種類ごとに分類され、中間コンテナに保管され、番号によって元のコンテナとの関連付けが行われる。

また、溶解後にクリアランスされることが求められる対象物の場合には、スチールビーズによるブラスト除染も行われる。

【溶融】

炉への処理対象物の投入はマニピレータを介して行われる。このマニピレータは、また、溶湯表面からのスラグの回収にも用いられる。しかしながら、温度の測定やサンプルの採取は通常手作業で行われる。

主に鉄系金属の溶融が行われるが、専用のろつぽに交換することで、非鉄金属の溶融も可能である。

溶融物は、冷却金型に流し込まれるが、金型の寸法は、金属インゴットが 200 ℓ ドラム缶にそのまま収納できるようなサイズになっている。金型は、取扱いのためのトラニオンを備えた鋼製シェルと、焼成耐火ろつぽのインサートから構成される。このインサートは少なくとも 80 – 100 回の casting に使用できる。溶融物からスラグを取り除いたのち、鉄製のあぶみを挿入し、溶融バッチと照合できるよう番号をつける。金型内で 1 日冷却したのち、金属インゴットは金型から引き抜かれ、残ったスラグはブラストで除去される。金属インゴットの平均重量は約 1t で、表面汚染は無いが、すべての金属インゴットは放射線防護部門で測定された後、屋外保管される。金属インゴットの品質はそのままでは再利用には耐えないが、そのことが他のスクラップと混合して再溶解する以外の用途を除外する受動的な安全要因となっている。

なお、鋳物の製造に適していない SUS のような金属の場合には、溶湯は 1.5 t ずつ取り分けられ、造粒ステーションで最大 8mm の球形の顆粒状に加工される。この鉄の顆粒は、重コンクリート容器の骨材等に用いられる。

【溶融後の対応】

溶融後の金属については、StrSchV の基準に従って無制限あるいは二次溶融される条件下でリサイクルされる。なお、最終的な内部管理として大型検出器（ゲートディテクタ）によるインゴットの最終確認が行われている。

インゴットの購入者がいない場合は、同社が持つもう一つの溶融炉である GERTA が使用される（年間 250 t まで）。長年の鉄及び非鉄金属の様々な市場分野のスクラップ業者との協力により、鋼鉄や精錬所の顧客へのルートが開かれて、それを長期にわたり維持・管理していることから、毎年 300～600 トンの鋳物が Siempelkamp 社でリリースされる。

StrSchV のリサイクルの基準を満足しない場合には、最大 20 年まで減衰保管を行うことも可能であ

る。

どのようにしても、無拘束リリースあるいは二次溶融される条件下におけるリリースの基準を満たさない場合には、StrSchV における埋立処分する条件下でのリリースの基準値をもちいて、産廃処分場で処分することも可能（年間 100t まで）である。また、スラグ、ダスト等については、リサイクルあるいは産廃処分場で処分も可能である（処分については年間 30t まで）。

【測定】

一つの溶融バッチから、一度のサンプリングが行われ、コイン状サンプルに成形され、γ分光検出器で放射能が測定される。コイン状サンプルは予備も作成され、規制当局、外部専門家、顧客が管理目的で使用できる。

なお、スラグやダストもサンプリングされ、測定が行われている。

iii)処理実績

1989 年から 2014 年までに CARLA 炉は 29,000t の金属を処理してきた。そのうち、27,250t は鉄系の金属、1,625t が非鉄金属であり、複合材が 125t である。溶融後には、15,000 トンが原子力業界でリサイクルされ、10,500t がクリアランスされ原子力業界外で再利用、1,500t は顧客に返却している。

なお、顧客はドイツ国内からの他、英国、オランダ、イタリア、ベルギー、オーストリア、スイス、フランスからも受け入れているが、2009 年時点までのドイツ以外からの引受量は、全体（25,000t）の約 7 % であった。

また、2009 年時点までに原子力業界外で再利用された用途の実績は、鑄造容器向けが 9,500 t、遮へい体向けが 3,000t、重コンクリート容器向けが 2,000t であった。

iv)その他

CARLA 炉では、炉周りと、分別解体エリア等との換気の分離や、処理対象物の炉への投入にマニピレータを使うなどの被ばく低減対策を実施しており、作業員の総被ばく量は 0.4mSv/y 前後で推移している。

b. Nykoping 施設【12】【13】【14】【15】【16】【17】

スウェーデンの Nykoping にある施設は、Cyclife Sweden（旧 Studsvik 社）によって 1987 年に設置され、分別、除染、金属溶融等を行っている。Cyclife Sweden は、英国の Workington にある Cyclife UK の金属リサイクル施設（MRF）で処理される金属の溶融等も実施するとともに、ドイツ GNS 社の集中処理施設で処理される金属の溶融処理を行う会社の一つにもなっている。

i)施設の概要

1987 年に年間 900t の許可を得て操業を開始し、その後、2000 年より年間 2500t、2007 年より年間 5000t と順次処理能力を拡大してきた。今後、さらなる拡大も検討されている。処理対象となる

金属は、炭素鋼、SUS、アルミ、鉛、真鍮、銅で、初期濃度として 100Bq/g までの金属がクリアランスを目的とした処理の対象とされている。

3.5t 容量の 2 基の誘導溶融炉を有し、1 基は炭素鋼、SUS 用で溶解速度は 2t/h、もう一基はアルミ、真鍮、銅用で容量は 600kg/batch（アルミの場合）、溶解速度は 250kg/h（アルミの場合）である。この二つの炉は、溶融炉内壁のライナーが異なる。

ii)処理の流れ

【受入】

処理対象物は、一般的には、20 フィートコンテナを用いて、車両または船で持ち込まれる。大型の廃棄物は、長さ 30m、重量 400t まで対応可能である。なお、施設の位置する Studsvik Tech Park 内には、ロールオンロールオフ可能な専用港があり、直接 Nykoping 施設に搬入可能である。

【前処理】

処理対象物は、溶融炉に投入可能サイズ（直径 0.5m 以下、長さ 2m 以下）に切断され、必要に応じてブラスト除染が行われる。

液体等の不適切な物質が混入していないかについての検査や、溶融仕様に適合していることを確認するための放射線測定も行われる。この段階で、溶融に適さないと判断されたものは、スラグやダスト等の 2 次廃棄物と共に顧客に返却される。

処理対象物は、異なる顧客からのスクラップが混ざらないように、バッチ単位で前処理、溶融が行われる。

【溶融】

大型の金属片は天井クレーンを用いて、小さな金属片は、送り台または振動台を用いて作業員が手動で投入する。溶湯の表面よりスラグを取り除いたのち、サンプルを採取し、溶湯を型に流し込んでインゴットを作成する。鉄系金属の場合、1 回のバッチから約 600kg のインゴットが 5～6 個作成される（アルミの場合、約 150kg のインゴットが 4 個）

各バッチ及び作成されたインゴットには固有の ID 番号が付され、当該バッチの溶融日、作成されたインゴットの数、顧客情報等のデータベースと紐づけられる。

【溶融後の対応】

クリアランス基準を満足するインゴットは、Cyclife Sweden に所有権が移転され、Sweden の鉄鋼業界で再溶融されるか、またはスクラップ業者に販売される。減衰保管が必要な場合は、最大 20 年まで保管される。

20 年以内にクリアランス基準を満足することができないインゴットは、スラグやダスト等の 2 次廃棄物と共に顧客に返却される。

無拘束クリアランスの基準は、SSM2018:3 の第 12 条、13 条で規定され、Co-60 の場合は、表面汚染密度 40kBq/m²、質量濃度 0.1Bq/g となっている。再溶融を伴う特定クリアランスの基準は SSM2018:3 に基づき個別に基準が定められるが、Co-60 の場合は、質量濃度 1Bq/g であり、インゴットの再溶融時に 10 倍に希釈することを求めている。なお、放射能濃度が 0.5Bq/g の場合は 5 倍

以上、0.2Bq/g の場合は 2 倍以上の希釈でも良いと認められている。

【測定】

一つの溶融バッチから、一度のサンプリングが行われ、直径 50mm、高さ 30mm のコイン状鋳型に流し込んで成形される。サンプルは 3 個作成され、社内の分析に使用されるほか、必要に応じて国、顧客にも提供される。サンプルにはインゴットと同じ ID が付与され、インゴットがクリアランスされるまで保管される。

分析は専門の研究所で実施され、原子力発電所に由来するスクラップ金属の場合には、ガンマ分光分析のみが実行され、他の種類の施設や活動に由来する場合やその他必要な場合には、アルファ分析が実施される。

iii)処理実績

1987 年から 2015 年の間に、32,000 t の炭素鋼、5,200t の SUS、2,033t のアルミニウム、1,153t の鉛等をクリアランスした。

また、1987 年から 2020 年までの間に処理した 50,000t 以上の金属からの 2 次廃棄物の発生量は、スラグが 2-3%、ダストは 0.2%のオーダーであった。

なお、大型金属の処理実績として以下のような実績がある。

(英国バークレイ発電所 (Magnox 炉) のボイラー)

- ・処理量 310 t ×15 基

- ・処理実績 289 t / 基がリサイクルされ、処理残渣は 19 t / 基

(Sweden リングハルス発電所 (PWR) の蒸気発生器)

- ・処理量 300 t ×9 基

- ・処理実績 処理量の 70%以上がリサイクルされ、放射性廃棄物として処分する体積は 1/10 以下に低減

(Sweden フォルクスマルク発電所 (BWR) タービン建屋の機器)

- ・処理量 1,320 t (熱交、タービン、弁、パイプ)

- ・処理実績 処理量の 95%がリサイクルされ、処理残渣は 5%

放射性廃棄物として処分する体積は 1/20 以下に低減

iv)その他

2003 年の作業員の被ばく線量は、最大 3.2mSv、平均 0.77mSv となっている。

3. 2 クリアランスに関するステークホルダーの理解促進に向けた取り組み

我が国で廃止措置で発生した解体物の溶融リサイクルを実現するためには、溶融物が広く産業界で受入れられる必要があるが、現状は国民を含めたステークホルダーの十分な理解を得ているとはいえず、電力関連業界内の限定的な再利用にとどまっている状況である。ここでは、解体物の溶融リサイクルが商業的に行なわれている、ドイツとスウェーデンの状況について整理するとともに、OECD/NEA 報告書に

おける解体物のリサイクルに関するステークホルダーの理解促進に関する分析結果について簡単に述べる。

a. ドイツの事例

ドイツでは、すべての放射性廃棄物は地層処分する方針であることもあり、放射性廃棄物として処分される量を最小限にする観点から、廃止措置においてクリアランスを積極的に推進している。

1960 年に制定された放射線防護令には、既に、認可機関が特定の廃棄物を放射性廃棄物として処分しないことを許可する権限の規定があり、1975 年のニーダーライヒバッハ原子力発電所の廃止措置ライセンスには、放射性廃棄物の量を可能な限り小さく保つことを目的にしたクリアランスの規定が含まれていた。

ESK (ENTSORGUNGSKOMMISSION、廃棄物管理委員会) が 2018 年に発行 (2022 年に改定) した「原子力発電所解体から発生する放射性物質のクリアランスと非放射性物質の除去」【18】によれば、クリアランスの概念は「些細な事項は基準で規制されないという法の基本原則 (「de minimis non curat lex」) に基づくもので、 $10\mu\text{Sv/y}$ の基準は適切であり、主に以下のような理由から、原子力発電所解体に不可欠な措置として、クリアランスを使用することを意図的に決定した、としている。

- ・解体に伴い発生する物質の大部分は汚染も放射化もされてなく、表面のみの汚染は簡単な方法で除去できる。
- ・クリアランスを行わず、放射性廃棄物処分場を増やすことは、経済的にも環境影響の観点からも適切でない
- ・放射性廃棄物を処理・処分することで安全レベルは向上するので、これを遅らせるべきでない。
- ・資源の持続可能な利用に貢献する。
- ・公共の場で議論された、建屋を再利用あるいは解体せずに長期保管することや、敷地内に埋め立てすることには、安全性の観点から利点が無い。

上記のような国の方針の明確化に加え、クリアランスの手続きに責任をもつ州政府も、クリアランスの実施に積極的で、国民から寄せられた質問への回答やクリアランス手続きに関する詳細な情報をホームページ等で積極的に公開している。【19】

なお、廃止措置が進むにつれて、一般産廃の処分施設にクリアランス物を処分することについては、かなりの国民の反対があり、バーデン・ビュルテンベルク州でも、独自に追加的な規制を加えて管理することで理解を取得している。【20】【21】

b. スウェーデンの事例【13】

3.1b でも述べたように、Cyclife Sweden の有する Nyköping 施設は、1987 年より分別、除染、金属溶融等を行い、金属をフリーリリースしている。当初、スウェーデンの鉄鋼業界はスタズビック社で処理したフリーリリースしたインゴットを受け入れなかったが、規制当局が鉄鋼業界に可能な限りフリーリリースし

たインゴットを再利用するよう要求したり、さらに、放射能に対する理解向上のためのスタズピック社と鉄鋼業界の情報交換の場などを支援したりすることで、この抵抗は徐々に減少していった。

また、規制当局―鉄鋼業界―処理施設のトライアングルの間でオープンな姿勢で共に作業し、正確な情報(たとえマイナスな場合でも)を提供し、テスト・開発・実証していけば、建設的な協力、教育が確立し、このプロセスが一般公衆の理解につながっていくとしたうえで、フリーリリースの成功に至る要素として、以下のようなものを挙げている。

- ―規制当局とのオープンな関係(事前通報と正確な通報)
- ―鉄鋼業界に対する啓発的な関係(放射能に関する教育)
- ―顧客との良好で“建設的”な関係の維持
- ―試験・開発のたゆまない実施と客先に対する実証
- ―職員に対する QA と安全規則の遵守
- ―チェックリストの作成と継続的改良…そしてその通知
- ―作業従事者の健康維持のためのツール(遠隔支援)の適用と導入
- ―可能な限りの被ばく線量低減努力と目標設定
- ―テストケースから始め、易しいものから漸次複雑なものへ
- ―試験施設の使用(例えば、小型試験溶融設備など)
- ―可能な限りのドキュメント化と、統合データベースの構築

c.国際シンポジウム報告書における分析

OECD/NEA の報告書「Recycling and Reuse of Materials Arising from the Decommissioning of Nuclear Facilities」【14】では、加盟国アンケート結果より、「原子力施設からの材料のリサイクルと再利用」に影響を与えるステークホルダーとして、市民団体、個人、政府、規制当局、環境団体、雇用者、株主、リサイクル事業者を挙げるとともに、政府、規制当局からの影響が最も高く、リサイクル事業者、市民団体からの影響が次いで高いとしている。

そのうえで、成功への鍵として、利害関係者の関与、リサイクルと再利用の政策を促進するインセンティブ、段階的なクリアランス基準、公共/業界/規制当局の対話、信頼できるリサイクル業者を挙げ、「利害関係者の関与」では、国際放射線防護協会 (IRPA)で 2015 年に策定された「放射線防護に関する決定に至るプロセスへの利害関係者の関与を促進することを目的とした 10 の指針」を示すとともに、「公共/業界/規制当局の対話」では、業界、規制当局、一般市民の間で建設的な双方向のコミュニケーションの重要性をうたっている。

4. 我が国における金属溶融リサイクルの状況と課題

4. 1 金属溶融リサイクルの意義

金属溶融リサイクルを実現しているドイツ、スウェーデンでは金属溶融リサイクルの意義について下記のようなものを挙げている。【9】【16】【23】【24】【25】

- 埋設処分する放射性廃棄物量の減量
- 金属インゴット中の α 核種、Cs,Sr 等の除染
- 金属インゴット中の放射性核種の均質化による
放射能評価の簡素化／クリアランス対象物量の拡大/比表面積の低減
- 金属の再溶融時における一般金属による希釈

【処分／長期保管する廃棄物の減容】

3.1b で示したように、リングハルス発電所の蒸気発生器については、処理量の 70%以上がリサイクルされ、放射性廃棄物として処分する体積が、1/10 以下に低減。フォルクスマルク発電所タービン建屋の機器では、処理量の 95%がリサイクルされ、放射性廃棄物として処分する体積は 1/20 以下に低減している。また、溶融プロセスだけでも 1/5 に低減できるとの報告もある。欧州各国では、埋設処分施設の容量確保が重要な課題であり、特にすべての放射性廃棄物を地層処分する方針であるドイツでは積極的にクリアランスを進めている。

我が国においても、廃止措置に伴う解体物を処分できる埋設施設は現存せず、解体物の保管場所の確保は、廃止措置の円滑な実施に向けた課題の一つであるため、金属溶融リサイクルの実現による解体物の低減の意義は極めて高いと考えられる。

【金属インゴット中の α 核種、Cs,Sr 等の除染】

CARLA 炉の実績では、 α 核種、Cs,Sr の 99%が金属インゴットから除去され、スラグやダストといった 2 次廃棄物中に移行するという報告【9】がある。このことによって、インゴット中の放射能評価が単純化され、金属の汚染状況によっては、クリアランス対象となる金属の量を増やすことにつながる可能性がある。

我が国においても、福島第一の廃炉廃棄物の処理や、核燃料サイクル施設の廃止措置においては、極めて有効であると考ええる。

【金属インゴット中の放射性核種の均質化】

金属インゴット中の均質性は極めて高く、溶融体中の放射能濃度の変動係数は数%以内という報告【26】【27】もある。そのことから、3.1a,b で示したように、溶融バッチ(約 3t)あたりの金属インゴットの放射能評価を 1 個のサンプルの評価で代表させることができる。

また、溶融対象物の中にわずかにクリアランスレベルを超過する部分があったとしても、溶融することによって他の部分と混合され均質化するとともに、上記除染の効果とも相まって、クリアランスレベル以下になるため、リサイクルに回す金属の量を増加させることも期待できる。

さらに、ドイツやスウェーデンの規制においては、測定可能な表面がある場合には表面汚染のクリアランスレベルの確認も行うことになっているために、溶融により比表面積が低減し、さらに遊離性の表面汚染もなくなることで、クリアランス検認の手間も低減する。

我が国においても、クリアランス検認には多くの手間がかかっていることや、リサイクル金属を増加させることは持続可能な社会の実現に寄与することから、放射性核種の均質化の意義は大きいと考えられる。

【金属の再溶融時における一般金属による希釈】

金属が、外部の鉄鋼メーカーで処理される際には、非原子力由来の金属で希釈されることが期待できることから、より大きなクリアランスレベルを設定することが可能で、リサイクル金属を増加させる効果がある。但し、この効果を得るためには、特定クリアランスの導入に関する法令上の対応が必要である。特定クリアランスの詳細と、その我が国の導入に向けた取り組みについては、5.及び6.で述べる。

4. 2 我が国における金属溶融リサイクルの状況

我が国においては、クリアランス前の金属を溶融リサイクルしている事例はなく、日本原子力発電（株）東海発電所で発生したクリアランス検認済みの金属（約 240t）を、東海村の伊藤鑄造鉄工所においてベンチ、テーブル等に加工した事例や、中部電力（株）浜岡原子力発電所で発生したクリアランス検認済みの金属（約 80t）を、御前崎市の木村鑄造所で側溝用のグレーチングに加工している事例がある。一方、東海発電所及び浜岡原子力発電所には、約 1 万 t のクリアランス対象物（うち、検認済みは約 1900 t）があり、更なる利用用途や利用規模の拡大が必要となっている【28】。

このような状況下で、福井県は嶺南 E コースト計画の一環として検討されている「原子力リサイクルビジネス」において、福井県内の原子力発電所等の廃止措置により発生したクリアランス相当物を集中的に受け入れ処理を行う事業の検討を進めており、検討範囲には、クリアランス検認前に溶融を行うことや、大型廃棄物も受け入れるといった、3.1 で述べた Siempelkamp と Cyclife Sweden の施設相当のケースも含まれている【29】。なお、本事業を進めるうえでの課題として、福井県は、原子炉等規制法に基づく許認可の取得（これまで実績のない検認前の溶融への対応が課題）、イニシャルコストへの対応、クリアランス制度に関する理解促進（フリーリリースの実現）を掲げている【6】。

4. 3 効率的な金属溶融リサイクル実現に向けた課題

4.1 でも述べたように、金属溶融リサイクルには多くの利点があるが、これを個々の発電所で行うのは資源の有効活用、廃止措置工程の促進という観点から合理的ではない。また、当委員会が作成した技術レポート「原子力発電所から発生する大型機器の処理について」でも、中長期的な取り組みとして「原子力事業者が共同利用可能な集中処理施設を導入すること」を提言している。

ここでは、Siempelkamp と Cyclife Sweden で行われているような、集中処理による効率的な金属溶融リサイクルの実現に向けた課題について整理する。

a. 合理的な放射能評価手法の確立について

【より効率的な核種組成比の設定方法】

2019年に原子力規制委員会が策定したクリアランス審査基準【30】においては、測定、核種組成比その他の不確実性を考慮のうえ、評価単位における評価に用いる放射性物質の $\Sigma D/C$ の95%信頼上限値が1を超えないことを確認するものとされた。不確実性には、多くの要因によるものが含まれるが、なかでも核種組成比の不確実性が最も大きい。2019年以降に認可されたクリアランス申請では、いずれも限定された対象物について、個別の評価結果に基づき核種組成比を求めたうえで、評価対象核種を選定している。

集中処理による金属溶融リサイクルにおいては、核種組成比の同一の対象別ごとに溶融バッチの区分を行う必要があると考えられるが、処理対象物の個別の評価結果に基づき核種組成比を求める慣行を継続することは、集中処理の円滑な遂行に支障をきたす可能性がある。L2 廃棄体の放射能評価で用いられているように、原子力発電所を炉型（BWR,PWR,GCR）や構成材料（従来材料、低Co材料等）でグルーピングしたうえで、それぞれのグループに統一的な核種組成比を定める等のより効率的な方法を検討する必要がある。

【クリアランス検認前の混合・希釈の許容範囲の明確化】

海外では、クリアランス検認において、クリアランスレベルを満たすことのみを目的とした部材の意図的な混合は禁止されている。一方で、金属溶融プロセス管理上の必要性から生じる混合は禁止の対象ではなく、リサイクルのための非放射性物質との混合はその正当性を示すことで規制機関によって許可されるとされている【31】【32】。

4.1で述べた「金属インゴット中の放射性核種の均質化」といった特質を踏まえれば、廃止措置によって発生する一定の放射能濃度以下の金属を「混合」して溶融することは、廃止措置作業の効率、金属資源の再利用範囲拡大という観点から有用性が認められるものとする。但し、どの程度の放射能濃度まで許容されるべきかという点に関して、検討が必要である。

なお、金属溶融時に金属インゴットの品質管理のため、非放射性物質との「希釈」を行うことも考えられるが、その許容基準についても検討しておく必要がある。

b.ステークホルダーの理解促進について

集中処理による金属溶融リサイクルの実現のためには、クリアランスされた資材の再利用に対する理解取得が最重要課題である。そのため、3.2で示したように、国（推進側、規制当局）の積極的な方針表明や働きかけが重要であり、さらに、福井県の推進する「原子力リサイクルビジネス」への協力を通じて、クリアランス資材発生者と製鋼事業者との良好な関係性の構築を行い、それを踏まえて広く国民の理解を取得していく必要がある。

我が国においては、2005年のクリアランス制度の法制化の際に、「制度が定着するまでの間、事業者が自主的に搬出ルートを把握・業界内で再生利用」とされている。クリアランス制度の社会定着の判断を得るためには、業界内での再利用実績を積む必要があるが、これまでの実績は鋳造による限定的な事例にとどまっており、今後、製鋼事業者との関係をさらに強化していくことが先決である。

c.集中処理における法制上の課題について

集中処理による金属溶融リサイクルを行う場合、集中処理を行う事業者は、放射性物質を取り扱うことになること、クリアランス認可申請の主体となる必要があることから、原子炉等規制法あるいは RI 法に基づくなんらかの許認可が必要と考えられる。現行の法体系に従えば、原子炉等規制法の廃棄の事業の規定に基づき、放射性廃棄物管理の許可を受けることが、最も近い概念であると考えられる。

但し、クリアランスレベルに近い極めて低レベルの放射性物質を取り扱い、その大半をクリアランスすることを主業務とする事業は、立法段階で想定されておらず、また、そのような事業者が、放射性廃棄物管理の許可を受けることが合理的であるかについては検討の余地がある。そのために、本委員会が 2020 年 1 2 月に作成した技術レポート「原子力発電所から発生する大型機器の処理について」において提言した「リサイクル可能な放射性物質」の定義の創設、又は米国と同様に、「リサイクル可能な放射性物質」を放射性廃棄物に該当しないとするものの検討を議論のきっかけにすることが考えられるが、集中処理により発生する 2 次廃棄物の扱い等については、別途検討する必要がある。

さらに、集中処理で発生した 2 次廃棄物等を発生者に返還する場合には、その炉規正法上での対応についても検討する必要がある。

5. 特定クリアランスにかかる海外の状況について

5. 1 特定クリアランスとは

IAEA のクリアランスにかかる安全指針 (RS-G-1.7) の改訂案 (DS500) において、クリアランスとは「規制機関による、通知または許可された施設および活動内の放射性物質または放射性物体からの規制管理の除去として定義」され、さらに、「ここでの規制管理からの除外とは、放射線防護の目的で適用される規制管理を指す」とされ、クリアランスの主なオプションとして、以下の二つを考慮すると記載されている。【33】

無拘束クリアランス (Generic clearance)

材料の種類、量、さらなる管理、再利用、リサイクル、またはその最終用途に制限のないクリアランスを目的として、GSR part3 付則 Iで提供されるクリアランス レベル、または加盟国の国内規則で定義された一連の値に基づくもの。

特定クリアランス (Specific clearance)

特定の状況、物質、およびクリアランスされた物質の用途に対して導き出されたクリアランスレベルに基づくもの。

特定クリアランスの例としては、非原子力施設での処理・処分、金属溶融リサイクル、建物の再利用・処分、敷地の解放等が挙げられる。また、対象や用途（被ばく評価シナリオ）を限定することで、無拘束クリアランスと同じ $10\mu\text{Sv/y}$ を遵守しつつも、クリアランスレベルを無拘束クリアランスより大きく設定できる可能性がある。

特定クリアランスでは、クリアランスレベル導出の前提とした条件が担保される必要があることから、クリアランスレベルを下回ることの確認に加え、前提条件が満たされることの見通しや、条件が満たされたという証拠の提供が必要になる場合がある。

5. 2 海外の制度整備状況

特定クリアランスは、ドイツ、スウェーデン、英国、ベルギー等での適用事例があるが、ここではドイツ、スウェーデンの状況について述べる。

a. ドイツの状況

ドイツでは、放射線防護令の第 31 条～第 42 条にクリアランスに係る規制が整備【34】されている。第 36 条に特定クリアランスにかかる規定があり、特定クリアランスレベルは附属書 4 の表 1 の 6 欄から 14 欄に示されている。特定クリアランスレベルは、その定義から無拘束クリアランスレベルより大きくなると考えられるが、ドイツの規制においては 1000t を超える瓦礫のクリアランスレベル（6 欄）は、無拘束クリアランスレベル（3 欄）より小さな値になっている核種もある。

表 1 ドイツ放射線防護令におけるクリアランスレベル（附属書 4, 一部核種抜粋）

		欄	単位	H 3	C 14	Co 60	Sr 90 +	Cs 137 +	Eu 152
免除レベル		2	Bq	1x10 ⁹	1x10 ⁷	1x10 ⁵	1x10 ⁴	1x10 ⁴	1x10 ⁶
固体、液体の免除レベル、 無拘束クリアランス		3	Bq/g	100	1	0.1	1	0.1	0.1
表面汚染		5	Bq/cm ²	100	100	1	1	1	1
特定 クリア ランス	1,000t/年を超える瓦礫	6	Bq/g	60	10	0.09	0.6	0.4	0.2
	土地	7	Bq/g	3	0.04	0.03	0.002	0.06	0.07
	再利用する建物	12	Bq/cm ²	1,000	1,000	0.4	30	2	0.8
	解体する建物	13	Bq/cm ²	4,000	6,000	3	30	10	6
	一般の埋立地で処分する 固体状物質(100t/年まで)	8	Bq/g	6x10 ⁴	4,000	6	6	10	10
	同上 (1000t/年まで)	10	Bq/g	6x10 ³	400	2	0.6	8	4
	焼却処理する固体状物質 (100t/年まで)	9	Bq/g	1x10 ⁶	1x10 ⁴	7	40	10	10
	同上 (1000t/年まで)	11	Bq/g	1x10 ⁶	1x10 ⁴	2	4	3	4
	リサイクルするスクラップ金属	14	Bq/g	1,000	80	0.6	9	0.6	0.5

特定クリアランス適用に際しての個別条件等は附属書 8 に示されており、例えば、8 欄から 11 欄にしたがってクリアランスされるものを産廃施設で焼却または埋立処分する場合には、10,000t/年以上、あるいは 7,600m³/年以上の施設で行う必要があると規定されている。また、14 欄に従って金属をリサイクルする場合には、クリアランスされる金属と他の金属との混合比が 1:10 以上であることを保証できるか、40,000t/以上の処理能力がある製錬所で処理をすることを求められる。

このような条件が担保されるかどうかは、第 41 条に基づく所管官庁による手順決定のプロセスの中で確認されるとともに、担保されなくなった場合には第 42 条に基づき申請者は直ちに所管官庁に報告する必要がある。

10t を超えるクリアランス物を埋立処分する場合には、所管官庁は処分の実施責任を有する当局との事前の合意が必要であり（39 条）、焼却、埋立処分、金属リサイクルを実施する場合には、申請者は受入施設から受入れの合意書を所管官庁に提出するとともに、その写しを受入施設を所管する当局に提出する必要がある（40 条）。

なお、また第 37 条には、申請者が線量基準を満足することを自ら証明することで認められる個別クリアランスの規定もある。

なお、埋立処分を行う場合には放射線防護令の措置に加えて追加の措置が必要となる場合があり、バーデン ヴュルテンベルク州の例では、州当局の専門家によるより詳細な検査（必要に応じ埋立業者の専門家も参加）、対象物の保管場所の封印と、輸送時の封印等を実施している【35】

なお、2022 年に ESK が公表した資料【36】によれば、ドイツの原子力発電所の廃止措置に伴い管理区域から発生する解体物量の平均は約 20 万トンで、そのうち約 90%は建物の解体・再利用にかかる特定クリアランス、約 5%が無拘束クリアランス、約 3%が埋立、焼却にかかる特定クリアランスで、放射性廃棄物として処分されるものは約 2%とのこと。なおこれらの物量に関しては、日本では「放射性廃棄物でない廃棄物（NR）」に相当するものも含まれることに留意する必要がある。

b. スウェーデンの状況

スウェーデンでは、「放射線防護法からの免除、および材料、建物構造、エリアの機密解除に関する放射線安全局の規制（SSMFS 2018:3）」【37】第3章の、第14条（焼却する廃油、埋設・焼却する有害物）、第15条（引き続き利用する工具等）、第16条（建物）、第17、18条（土地解放）、第19条（特別の場合のクリアランス）に特定クリアランスに関する記載がある。第14条、第15条、第16条のクリアランスレベルはSSMFS 2018:3に規定されているが、第17、18条及び第19条のクリアランスレベルはSSMによって別途定められることになっている。なお、第16条のクリアランスレベルはEU RP113に記載の値と同じである。

クリアランスレベルの算定根拠となる基準線量について、土地解放は0.1mSv/年、それ以外は10μSv/年となっている。

材料				建物構造		エリア	
0.01mSv/y						0.1mSv/y	
特定用途 （例： 溶融金属）	廃油、 有害物の埋設、 焼却	工具等 のフリー リユース	その他材 料のフリー ユース	建物の フリー ユース	建物の 解体	サイト解 放	制限付き サイト解 放
SSMが決定	SSMFSに規定されたクリアランスレベル					SSMが決定	
申請者によってクリアランス判断				SSMによってクリアランス判断			

図2 スウェーデンにおけるクリアランスレベルの適用状況

表2 SSMFS 2018:3 に規定されたクリアランスレベル（一部抜粋）

	単位	H 3	C 14	Co 60	Sr 90+	Cs 137+	Eu 152
無拘束クリアランス (付録2)	kBq/kg	100	1	0.1	1	0.1	0.1
焼却する廃油、焼却・ 埋設する有害物 (付録3)	kBq/kg	1,000	100	1	10	10	1
使用する建物構造 (付録4)	kBq/m ²	100,000	10,000	10	1,000	10	10
解体する建物構造 (付録4)	kBq/m ²	100,000	100,000	10	1,000	100	100

埋設・焼却については、廃油の場合100t/年未満、その他有害物は10t/年未満という制限がある。また、土地解放については、申請者が必要な情報を収集し、解放後の公衆の受ける線量が基準値を下

回することを示す必要があり、クリアランス後に一定期間土地利用用途の制約をかける必要がある場合には、あらかじめ関係当局および地元の利害関係者と協議して合意を得る必要があるとされている。

なお、溶融による金属リサイクルに関するクリアランスは、3.1bでも述べたように、第19条に基づきSSMによって設定されることになる。

5. 3 EU 技術文書における特定クリアランスレベル導出の例

EU では、クリアランスに関する最初の技術文書(RP43,1988 年発行：クリアランスレベルが全 $\beta\gamma$ 、 α 濃度で示されている)を置き換えるために、1997 年より検討を開始。まずは金属リサイクル等に関する検討(RP117)と金属製品の再利用に関する検討(RP101)が行われ、金属のクリアランスレベル(RP89)として取りまとめられた。次に建物および建物のがれきに関する検討(RP114)が行われ、クリアランスレベルとして取りまとめられた(RP113)。最後に、無拘束のクリアランスレベルに関する評価シナリオが検討され、RP122 part1 として取りまとめられた【38】。

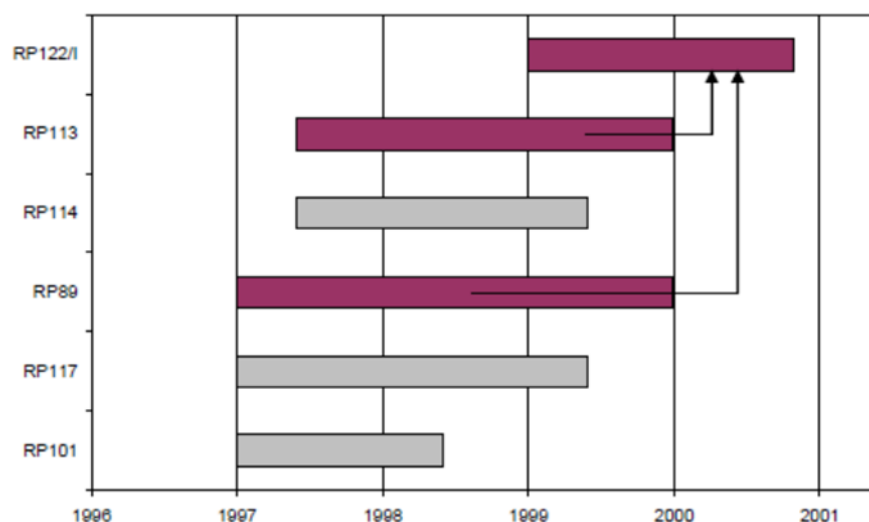


図3 ECのクリアランスに係るガイダンス文書開発の流れ

以下では、RP117に記載された金属リサイクル時のクリアランスレベル導出のための評価結果について概説する。なお、RP117では、金属として鉄鋼、銅、アルミニウムの評価を行っているが、ここでは鉄鋼の評価事例について述べる【39】。

a. 主な前提条件

年間の解体金属発生量、鑄造工場の能力、スラグ、ダストの発生量は以下の表の通り想定している。したがって、鑄造工場あたりの解体金属の投入割合は0.01となる。

また、1溶融バッチあたりの解体金属の投入割合についても、鋼材品質管理の観点からアーク炉の場合0.1と想定しており、誘導加熱炉の場合は、炉が比較的小規模なので、0.2と想定している、

表 3 解体金属発生量、鑄造工場の能力、スラグ、ダストの発生量

鋼材の種類	炉型	解体金属発生量(t/y)	鑄造工場の能力 (t/y)	スラグ発生量 (t/y)	ダスト発生量 (t/y)
炭素鋼	アーク炉	4,000	400,000	60	600
合金orステンレス	誘導加熱炉	2,000	200,000	3	40

b. 評価シナリオ

鉄鋼リサイクルにおける評価シナリオは表 4 のとおり。

c. 評価結果

Co-60,Cs-137 に関する評価結果は、表 5 の通り。なお、表中の「希釈率」は使用金属中の解体金属の割合で定義されている。Co-60 については、製品利用のシナリオが支配的で、したがって 1 溶融バッチあたりの希釈率(アーク炉で 0.1、誘導加熱炉で 0.2)が重要になる。また、Cs-137 については、金属インゴット中にほとんど残存せず、多くはダスト中に移行すると想定されることから、ダストの処分場に関するシナリオが支配的で、この場合には鑄造工場当たりの希釈率 (0.01) が重要となる。

表 4 鉄鋼リサイクルにおけるクリアランスレベル導出のための評価シナリオ

シナリオ	経路	被ばく形態	概要
スクラップヤード	輸送	外部	原子力施設からスクラップヤード、鑄造工場への輸送時の運転手の被ばく
	切断	吸入	溶融前の切断時の作業者の被ばく (α核種のみ考慮)
鑄造工場	保管	外部	鑄造工場に運び込まれたあとの一時保管中の被ばく
	溶融	吸入	溶融・精製時に発生するダストの吸入、摂取による被ばく
大気放出		外部、吸入、摂取	鑄造工場から放出されたダストやガスによる周辺住民の被ばく
2次加工工場	加工	外部	処理または組み立てを行う作業者の被ばく
	金属処理	吸入	金属処理に発生したダストの吸入による被ばく
製品利用 (職場)	大型機械	外部	炭素鋼で製作された大型機械から作業者がうける被ばく
	キッチン	外部	ステンレス鋼で製作されたキッチンから料理人が受ける被ばく
	処理容器	外部	化学工場などのステンレス鋼で製作された処理容器の近傍で働く作業者の被ばく
	船	外部	炭素鋼で製作されたトロール船から船員が受ける被ばく
製品利用 (家庭)	鉄筋	外部	建物中の鉄筋から居住者が受ける被ばく
	暖房機	外部	寝室の暖房機から居住者が受ける被ばく
2次生成物の処分、使用	処分場作業	外部、吸入、摂取	2次生成物 (スラグ、ダスト) の産廃処分時に作業者が受ける被ばく
	処分場跡地居住	外部、吸入、摂取	上記処分場の跡地に住む居住者が受ける被ばく (大人と 10歳児と 1歳児を考慮)
	球場利用	吸入	スラグを利用した球場で受ける被ばく (サッカー選手と審判を考慮)

表 5 鉄鋼リサイクル評価シナリオにおける 10μSv/y 相当濃度(Co-60, Cs-137)

シナリオ	経路	希釈率	被ばく形態	10 μ/y相当濃度(Bq/g)(Co-60)		10 μ/y相当濃度(Bq/g)(Cs-137)	
				アーク炉	誘導加熱炉	アーク炉	誘導加熱炉
スクラップヤード	輸送	1	外部	1.15E+00		6.49E+00	
	切断	0.1	吸入	—		—	
鑄造工場	保管	0.01	外部	1.08E+01		5.62E+01	
	溶融・精錬	0.01	吸入	5.41E+04	1.36E+04	6.90E+02	1.72E+02
			摂取	2.60E+04	2.60E+03	3.40E+01	3.40E+00
大気放出		0.01	外部、吸入、 摂取	9.35E+04		5.08E+02	
2次加工工場	加工	0.01	外部	2.22E+01		1.15E+05	
	金属処理	0.01	吸入	2.72E+04		6.90E+07	
製品利用（職場）	大型機械	0.1	外部	1.37E+00		6.99E+03	
	キッチン	0.2	外部	6.76E+00		2.78E+04	
	処理容器	0.2	外部	2.93E+00		1.19E+04	
	船	0.1	外部	5.75E-01		2.38E+03	
製品利用（家庭）	鉄筋	0.025	外部	6.76E+00		3.65E+04	
	暖房機	0.1	外部	1.36E+01		5.59E+04	
2次生成物の処分・ 利用	処分場作業（スラグ）	0.01	外部	3.68E+01	2.46E+01	1.73E+01	1.16E+01
			吸入	3.62E+06	2.43E+06	9.17E+05	6.17E+05
			摂取	4.88E+06	3.27E+06	1.28E+05	8.55E+04
	処分場作業（ダスト）	0.01	外部	2.45E+01	4.90E+01	7.14E-01	1.15E+00
			吸入	2.42E+06	4.82E+06	3.07E+04	6.13E+04
			摂取	3.25E+06	6.49E+06	4.26E+03	8.47E+03
	処分場跡地居住（大人）	0.01	外部、吸入、 摂取	4.59E+03	3.07E+03	7.19E+02	4.83E+02
	同上（10歳児）			1.83E+03	1.23E+03	2.90E+02	1.95E+02
	同上（1歳児）			7.41E+03	4.98E+03	1.18E+03	7.94E+02
	処分場跡地居住（大人）	0.01	外部、吸入、 摂取	4.24E+04	8.47E+04	3.82E+01	7.63E+01
	同上（10歳児）			1.69E+04	3.39E+04	1.54E+01	3.07E+01
	同上（1歳児）			6.85E+04	1.38E+05	6.25E+01	1.25E+02
	球場利用（選手）	0.01	吸入	7.14E+05	9.62E+04	5.68E+04	7.63E+03
	同上（審判）			9.62E+06	1.29E+06	5.99E+05	8.00E+04

（表中の黄色枠の値は、最小値を示している）

6. 我が国における特定クリアランス制度の状況と課題

6. 1 特定クリアランス制度の意義

5. でも述べたように、特定クリアランス制度は、クリアランス対象の物質の種類あるいはその用途のいずれかもしくは双方を限定することで、線量評価シナリオを限定することができ、無拘束クリアランスより高いクリアランスレベルを設定できる。特定クリアランスの例としては、非原子力施設での処理・処分、金属溶融リサイクル、建物の再利用・処分、敷地の解放等が挙げられる【33】。

ドイツでは放射性廃棄物はすべて地層処分する方針ということもあり、特定クリアランスの活用を積極的に推進している。例えば、5.2a)でも述べたようにドイツの原子力発電所の廃止措置に伴い管理区域から発生する解体物量の約3%が埋立、焼却にかかる特定クリアランスとして処理されている。また、英国でも、一定濃度以下の放射性廃棄物については、産廃処分場で処分することを制度化しており、放射性廃棄物処分場の容量確保に寄与している【40】。

我が国でも、廃止措置が今後本格化する中、廃止措置から発生する放射性廃棄物の約8割を占めるVLLWの処分を確実にすすめることは、廃止措置の確実な遂行に必須の要素である【41】。しかしながら、20基の原子力発電所が廃止措置中であるにもかかわらず、VLLW処分場が立地できているのは日本原子力発電（株）東海発電所のみである。VLLWの一部について産廃処分場で処分する前提でのクリアランスという概念を構築することで、処分場の多様性を確保でき、VLLW処分の促進につながる事が期待できる。

また、金属溶融リサイクルにおいても、4.1で述べたように、金属溶融リサイクルプロセスそのものが有する、減容、除染、均質化といった利点によるクリアランス促進に加えて、特定クリアランス制度が整備されれば、リサイクル金属をさらに増加させる効果がある。RP89では、溶融リサイクルする金属に関するクリアランスレベルは、無拘束クリアランスレベルより高く設定し得ることを示しており【42】、ドイツやスウェーデンでは実際に運用されている。

なお、特定クリアランス制度が実現すれば、クリアランスできる資材の範囲を拡大させることが期待できるとともに、用途が限定されることで社会の受容性確保の一助になることも考えられる。

6. 2 我が国における特定クリアランス制度の状況

わが国において、一般的な意味で特定クリアランス制度に相当する定めは無い。しかし、「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」において、当該事故に起因するCs-134とCs-137の放射能濃度の合計が8000Bq/kgを超えない廃棄物（上下水道の堆積物等）は特別な管理は必要なく、一般的な処理方法（分別、焼却、埋立処分等）により安全に処理できるとしている【43】。本件について、国の示した文書では、原子炉等規制法に基づくクリアランス基準（100Bq/kg）は廃棄物を安全に再利用できる基準、上記特措法に基づく基準は廃棄物を安全に処理するための基準との説明を行っており、極めて限定された状況下ではあるが、特定クリアランス的な考え方が導入されている事例とみなすことができる。

6.3 特定クリアランス制度導入に向けた課題

我が国では、無拘束クリアランス制度についても、法制化時における国会答弁に基づきその社会定着まで業界内での利用に限定されている。制度上、用途等が限定される特定クリアランスについては、社会の受容性確保の一助になることも考えられるが、無拘束クリアランスより大きなクリアランスレベルが設定されることから、公衆に対して安全性の確保が確実に行われることや、社会全体のメリットにつながることに、丁寧な説明が必要である。

なお、安全性の確保に関しては、特定クリアランスレベルの導出の前提となる条件が、自明若しくは何らかの方法で担保されることが確認できることについて説明が必要である。

例えば、処理や産廃処分を目的とした特定クリアランスにおいて、ドイツやスウェーデンでは、法律上処理・処分場の規模等を規定し、確実に処理処分が行われることを確認している。

7. わが国の廃止措置に伴い発生する解体物等のクリアランスの合理化に向けた提言

わが国の廃止措置に伴い発生する解体物等のクリアランスを合理的に実施するため、欧米各国の取り組みや、国内の検討状況を踏まえ、以下の通り提言を行う。

提言 1 集中処理による金属溶融リサイクルの実現に向けた取り組み

集中処理による金属溶融リサイクルの実現に向けて、以下の3点について関係機関が連携して取り組むべき。

① 合理的な放射能評価手法の確立について

合理的な放射能評価手法の確立に向けて、プラント単位等での核種組成比の設定やクリアランス検認前の混合・希釈の許容範囲の明確化について、電気事業者がデータに基づく安全評価への影響等を整理したうえで、学協会とも連携して、規制当局との対話を実施する。

② ステークホルダーの理解促進について

国、集中処理事業者、電気事業者がオープンな姿勢で議論して関係間の堅固な協力体制を構築することが重要。また、その過程を広く公開することで、社会受容性の向上にもつながる。

福井県嶺南 E コースト計画の「原子力リサイクルビジネス」における、国、電気事業者、地元企業も一体となった取り組みは、その試金石となり得るので、情報をオープンにしつつ、実現させる。

そのうえで、この活動で得られた知見や成果を関係者で共有し、我が国の複数の地点で同様な活動を繰り広げていくことが必要である。

③ 法制上の制度整備について

技術レポート「原子力発電所から発生する大型機器の処理について」において提言した「リサイクル可能な放射性物質」の定義の創設、又は米国と同様に、「リサイクル可能な放射性物質」を放射性廃棄物に該当しないとするものの検討を進めるとともに、集中処理事業を行う際の炉規正法における合理的な規制の在り方について、集中処理で扱われる廃棄物の性状や量等の具体的な計画、返還される廃棄物の量や頻度を想定したうえで、早い段階で、集中処理事業者、電気事業者が規制当局と議論を行うべきである。

提言 2 特定クリアランス制度導入に向けた取り組み

特定クリアランス制度は、対象や用途を限定することで、無拘束クリアランスと同じ $10\mu\text{Sv/y}$ を遵守しつつも、クリアランスレベルを無拘束クリアランスより大きく設定できる可能性があり、資源リサイクルや、放射性廃棄物埋設施設の容量確保の観点から有用であり、その制度構築に向けて、現時点から計画的に取り組むべきである。

特に非原子力施設での埋立処分を前提とする特定クリアランス制度は、VLLW 処分場の多様性を確保することで廃止措置の円滑な実施に大きく寄与する可能性があることから、優先して取り組むべきである。

特定クリアランス制度を導入するためには、その安全性と有用性に関する丁寧な説明を積み重ねることによって、社会受容性を高めていくことが必要。具体的には、クリアランス後の用途に応じて以下のような

取り組みを進めていくことが考えられる。

- ・非原子力施設での埋立処分を前提とした特定クリアランスについては、JPDRL3 施設、原電 L3 施設等で得られた安全性に関するデータを踏まえ、産学官で、その安全性と必要性についてオープンな議論を行い、社会受容性を高めていく。
- ・金属溶融リサイクルや建屋再利用を対象とした特定クリアランスについては、海外の事例や、鉄鋼メーカー等でのクリアランス物の利用実績等を踏まえ、導入の必要性や効果について検討を進めるべきである。なお、敷地解放にかかる特定クリアランスについても、廃止措置完了の見通しが得られる時期に合わせて導入できるよう検討を進めることが重要である。

8. あとがき

わが国が進める GX（グリーントランسمーション）は、産業革命以来の化石燃料中心の経済・社会、産業構造をクリーンエネルギー中心に移行させ、経済社会システム全体の変革を行うものである。第 211 回通常国会の施政方針演説で岸田総理は、GX を進めるための具体的な取り組みの一つとして、「廃炉となる原発の次世代革新炉への建て替え」を掲げている。これを実現するためには、廃止措置を着実にすすめることが必要である。

廃止措置からは多くの廃棄物が発生するが、そのほとんどが放射性物質を含まないか、ごくわずかに含む廃棄物物である。これらの廃棄物を、廃棄物ヒエラルキーに従って、再使用やリサイクルを行ったり、合理的な方法で処分することが、廃止措置を着実にすすめるための最大の課題である。

このような背景のもと、当委員会では廃止措置に伴い発生する解体物等のクリアランスの合理化について議論を行い、集中処理による金属溶融リサイクルの実現や特定クリアランス導入に関する提言を行った。

今後とも、廃止措置の方法、放射性廃棄物の処理処分方法に関する世界各国との情報共有を推進するとともに、我が国としての将来にわたる、放射性廃棄物を含めた廃止措置に関する戦略策定を、適宜、環境の変化を取り入れて議論を進める必要がある。本報告書及び提言が、我が国及び世界での議論の場において、活用されることを願うものである。

参考文献

- 【1】 IAEA Power Reactor Information System (PRIS) より集計、作図;
<https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>
- 【2】 IAEA, Digitalization Supports Safe and Effective Nuclear Facility Decommissioning, <https://www.iaea.org/newscenter/news/digitalization-supports-safe-and-effective-nuclear-facility-decommissioning>, 21 Sep 2021
- 【3】 資源エネルギー庁, 資料 4 今後の原子力政策の方向性と実現に向けた行動方針(案), 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会第 35 回会合, 2022 年 12 月 8 日
- 【4】 日本原子力発電株式会社, ホームページ (発電所情報/東海発電所の廃止措置/クリアランス制度の適用) , http://www.japc.co.jp/tokai/haishi/clearance_results2.html
- 【5】 中部電力株式会社, プレスリリース (浜岡原子力発電所 1,2 号機 廃止措置に伴い発生したクリアランス金属の再利用について, 2022 年 5 月 24 日) ,
<https://www.chuden.co.jp/resource/ham/220524CLkinzokusairiyou.pdf>
- 【6】 福井県, 資料 3 における原子力リサイクルビジネスの取組について, 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会廃炉等円滑化 WG 第 2 回会合, 2022 年 8 月 31 日
- 【7】 Cyclife France, Rapport annuel d'information du public relatif à l'installation nucléaire CENTRACO (2020)
- 【8】 TENNESSEE DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND CONSERVATION, Metal Melt License (R-73016-K32, Amendment 124), 14 Nov. 2022.
- 【9】 U. Quade and W. Müller, Recycling of radioactively contaminated scrap from the nuclear cycle and spin-off for other application, Rev, Metah Madrid Vol Extr, (2005) 23-28
- 【10】 U. Quade und T. Kluth, Recycling metallischer Reststoffe - 20 Jahre Betrieb der Schmelzanlage CARLA durch Siempelkamp Nukleartechnik GmbH, Internationale Zeitschrift für Kernenergie Jahrgang LIV (2009), Heft 10 Oktober
- 【11】 T. Kluth, "Utilization of External Capacities as an Integral Component of Concepts for Residues and Dismantling Using the Example of the CARLA-Plant", Symposium on Recycling of Metals arising from Operation and Decommissioning of Nuclear Facilities (2014)
- 【12】 L. Andersson, RECYCLING OF CONTAMINATED METALS FOR FREE RELEASE, WM'99 CONFERENCE, FEBRUARY 28 – MARCH 4, 1999
- 【13】 J. ローレンツェン, 欧州における放射性金属廃棄物のフリーリリース - スウェーデン・スタズピック社

での 17 年間のフリーリリース経験, 日本原子力学会誌, Vol. 46 , No. 9 (2004)

- 【14】 OECD/NEA, Recycling and Reuse of Materials Arising from the Decommissioning of Nuclear Facilities, NEA No.7310 (2017)
- 【15】 SSM, Friklassning av metallgöt, 19 JUN. 2019
- 【16】 A. Larsson(2021), Sweden Melting of Contaminated Metals for Clearance and Recycling - 30 + Years of Practical Experience, International Conference on Radioactive Waste Management: Solutions for a Sustainable Future
- 【17】 Cyclife Sweden, <https://www.cyclife-edf.com/en/cyclife/governance/cyclife-sweden>
- 【18】 ESK, Clearance of radioactive material and removal of non-radioactive material from the dismantling of nuclear power plants, 1 Sep. 2022
- 【19】 Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Freigabe, <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/kernenergie-und-strahlenschutz/entsorgung/freigabe/>
- 【20】 B. Bugenhagen and J. Aign, Radioactive Waste Minimization – Clearance for Reuse, Recycling & Disposal, WM2019 Conference, March 3 – 7, 2019
- 【21】 Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Leitfaden zur Freigabe nach Teil 2 Kapitel 3 der Strahlenschutzverordnung (2020)
- 【22】 D. Myerscough, Rapporteurs report of the Symposium on Recycling of Metals Arising from Operation and Decommissioning of Nuclear Facilities, 8-10 Apr. 2014
- 【23】 B. Westerwinter, Gained experience concerning the treatment of radioactive metal scrap from German nuclear power plants, Symposium on Recycling of Metals Arising from Operation and Decommissioning of Nuclear Facilities, 8-10 Apr. 2014
- 【24】 P. LIDAR and P. VREEDE, CLEARANCE AND RECYCLING DURING DECOMMISSIONING OF SEVEN SWEDISH NPPS - CURRENT STATUS, つるが国際シンポジウム, 10 Feb. 2021
- 【25】 A. Larsson, et al., Management of Metals from Decommissioning of Nuclear Facilities, WM2018 Conference, March 18 – 22, 2018
- 【26】 小畑政道 他, 高周波誘導加熱方式による溶融体製作時の核種挙動, 原子力バックエンド研究 Vol.4 No.2 (1998)
- 【27】 安井普示 他, 低レベル放射性雑固体廃棄物処理へのプラズマ溶融法の適用性評価 ―溶融固化体の物性と溶融時の核種挙動に与える炉内雰囲気ガス条件の影響, 電気事業連合会, 国内の廃止措置に係る取り組み状況、日本原子力学会学会誌 Vol.41 No.1 (1999)

- 【28】 原子力規制委員会, クリアランス制度の実績, https://www.nra.go.jp/activity/regulation/nuclearfuel/haiki4_jisseki.html, 2022 年 9 月
- 【29】 福井県地域戦略部 電源地域振興課 嶺南 E コースト計画室, 資料 1 原子力リサイクルビジネスの検討状況について, 令和 3 年度 嶺南 E コースト計画推進会議、2021 年 11 月 22 日
- 【30】 原子力規制委員会, 放射能濃度についての確認を受けようとする物に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法に係る審査基準, 11 Sep. 2019
- 【31】 EU, COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM of 5 December 2013
- 【32】 SSM, Vägledning med bakgrund och motiv till Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter (SSMFS 2018:3) om undantag från strålskyddslagen och om friklassning av material, byggnads-strukturer och områden, 4 Jul. 2018
- 【33】 IAEA, Draft Safety Guide DS500 (Revision of Safety Guide RS-G-1.7), Application of the Concept of Clearance, 19 Oct. 2022
- 【34】 Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV), 29 Nov. 2018
- 【35】 Baden-Württemberg, Leitfaden zur Freigabe nach Teil 2 Kapitel 3 der Strahlenschutzverordnung, 2020
- 【36】 ESK, Comparison of the mass flows from decommissioning of nuclear power plants in Germany and France, 15 June 2022
- 【37】 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om undantag från strålskyddslagen och om friklassning av material, byggnadsstrukturer och områden; (SSMFS2018:3), 24 May 2018
- 【38】 EC, Comparative Study of EC and IAEA Guidance on Exemption and Clearance Levels (RP157), 2010
- 【39】 EC, Methodology and models used to calculate individual and collective doses from the recycling of metals from the dismantling of nuclear installations (RP117), 1999
- 【40】 Department of Energy and Climate Change, UK Strategy for the Management of Solid Low Level Waste from the Nuclear Industry February 2016
- 【41】 電気事業連合会, 資料 2-1 原子力発電所等の廃止措置及び運転に伴い発生する放射性廃棄物の処分について, 第 2 回廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム会合, 2015 年 2 月 15 日
- 【42】 EC, Recommended radiological protection criteria for the recycling of metals from the dismantling of nuclear installations (RP89), 1998
- 【43】 環境省廃棄物・リサイクル対策部, 100Bq/kg と 8,000Bq/kg の二つの基準の違いについて

参考資料 1 クリアランス検認における不確かさの取り扱いに関する検討経緯

1 SRS No.67【1】

2012 年に発行された IAEA の SAFETY REPORTS SERIES No. 67「MONITORING FOR COMPLIANCE WITH EXEMPTION AND CLEARANCE LEVELS」では、5.3 において、そのばらつきが大きい核種組成比を用いる場合の不確かさの扱いについて、測定の不確かさと核種組成比による不確かさを 97.5%の確率で $\Sigma C/CL$ の 10 倍にしないことを求めている。

なお、2005 年に発行された原子力学会標準「クリアランスの判断方法」にも同様の記載があり、同標準で示されたモンテカルロ計算コードは、核種組成比による不確かさを扱う手法の一例として、SRS No.67 でも引用されている。

2 原子力規制委員会のクリアランス審査基準

2019 年に原子力規制委員会が策定したクリアランス審査基準【2】においては、測定、核種組成比その他の不確かさを考慮のうえ、評価単位における評価に用いる放射性物質の $\Sigma D/C$ の 95%信頼上限値が 1 を超えないことを確認するものとされている。同審査基準の解説 2 には、核種組成比を用いる場合の具体的な考慮方法として以下のような記載がある。

「難測定核種の放射能濃度の評価に核種組成比法を用いる場合は、クリアランス対象物に含まれる基準核種と基準核種との核種組成比で評価した難測定核種のそれぞれについての D_j の値とその確率密度分布から $\Sigma(D_j / C_j)$ の値とその確率密度分布をそれぞれ求め、 $\Sigma(D_j / C_j)$ の 95 % 上限値が 1 を超えないことを確認する。」

同審査基準の策定に係るパブコメにおいては、不確かさの取り扱いについて、SRS No.67 にも採用された日本原子力学会標準の採用を求める意見がよせられた【3】が、規制庁は不確かさの扱いに関する規制庁と日本原子力学会の考え方が異なるので採用できないという回答であった。本件に関し規制庁はその理由について、安全研究成果報告（2021 年 6 月）【4】で以下のような説明を行っている。

- ・不確かさの影響を考慮して基準値への適合性の判断を行うと、過度な保守性をもたせることになるという意見もあるが、計量及び計測の分野での標準的な手法に基づく考え方とは必ずしも一致しない。
- ・ISO 11929 シリーズを踏まえ、クリアランス確認における放射能濃度評価結果の基準値への適合を判断する際には、包含区間の上限が基準値を超えないことを求めることになる。
- ・ドイツの放射線防護委員会は放射線防護分野において、上記考え方にに基づき適合性評価を行うように勧告している。クリアランス制度への適用に関しても、スウェーデン SKB のマニュアル、イギリスの業界団体が発行するガイド、ドイツ工業規格（DIN）で求められている。

また、Applied Radiation and Isotopes に投稿された論文【5】では以下のようにも述べている。

- ・IAEA GSR part3 では、核種別のクリアランスレベルが指定され、その値は、年間 10 μ Sv 以下のオーダーの線量基準を満たすように導出される。ただし、クリアランス前の測定の不確かさは考慮されていない。
- ・線量基準自体は、もともと安全と危険を分ける閾値として確立されたものではないため、測定の不確かさを厳密に考慮する必要はないという主張もあるが、放射能濃度の単位で与えられるこれらの制限は、汚染された物質と汚染されていない物質を区別するための操作上のしきい値として扱われる。
- ・事業者がクリアランス測定を行う場合、放射能濃度が限界を超える物質を誤って放出する可能性を確実に抑えるために、確立された方法論が採用されることを国民は期待している。
- ・したがって、測定の不確かさは、一般的な計量実務で運用されている標準化され、受け入れられている方法論に従って、公衆の期待を満たすために適用されるべき。

3 DS500

2004 年発行の IAEA 安全指針文書 RS-G-1.7 : 「除外、免除、クリアランスの概念の適用」は、その上位文書である安全要件文書 SS-115 : 「電離放射線に対する防護と放射線源の安全のための国際基本安全基準」が、2014 年に GSR part 3 : 「放射線防護と放射線源の安全」に改定されたのを受け、2017 年より改定作業が行われている。その際、DS499 : 「免除の概念の適用」と、DS500 : 「クリアランスの概念の適用」に文書を分けることとなった。

DS500 の作成に際し、クリアランスにおける測定・評価の不確かさについても、信頼区間の上限値で判断すべきという意見と、クリアランスレベル自体に保守性が含まれているため更なる保守性を持ち込むべきでないという意見があり、議論が行われた。本件に関する IAEA 事務局の見解は、適合性評価は標準化された方法に従って行うべきであるというもので、信頼区間の上限が基準値を下回ることを求めるというものであった。また、クリアランスプロセスにあまりにも保守的なものがある場合には、適合性評価プロセスではなく、クリアランスレベルそのものの見直しが考慮されるべきであるとの立場であった【6】。

最新の案【7】では、まず、本文（4.57,4.58）において、クリアランスプロセス、特に測定プログラムには考慮すべき多くの不確実性があることを示したうえで、具体的な対処の詳細は附属書 VII で示している。附属書 VII「クリアランス測定における不確かさの取り扱い」では、「測定結果の信頼度の上限は、すべての重要な不確実性の原因を考慮に入れ、クリアランスレベルを下回る必要がある」としたうえで、そのアプローチの例として NUREG-1575(MARSAME)、ISO 11929、DIN 25457-1 を挙げている。

一方で、「クリアランスレベルに固有の全体的な保守性に注意し、可能な限り、適切な測定技術と測定設定を選択することや、適切な測定時間を選択すること等によって、このメカニズムを通じて重要な追加の保守性を導入しないように注意する必要がある」とも述べており、過度な保守性の導入には慎重な立場を示している。

なお、クリアランスプロセスの保守性について述べた附属書 IX では、過度の保守性を回避するための

手段として、特定クリアランスの活用を挙げている。

参考文献

- 【1】 IAEA, Monitoring for Compliance with Exemption and Clearance Levels (SRS67), 2012
- 【2】 原子力規制委員会, 放射能濃度についての確認を受けようとする物に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法に係る審査基準, 11 Sep. 2019
- 【3】 原子力規制庁, 資料 1 クリアランスの測定及び評価の方法に係る審査基準の制定及び制定案に対する意見募集の結果について, 令和元年 28 回原子力規制委員会, 2019 年 9 月 11 日
- 【4】 原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ, 安全研究成果報告「放射性廃棄物等の放射能濃度評価技術に関する研究」(RREP-2021-3001), 2021 年 6 月
- 【5】 H. Sakai, et al., Derivation of uncertainty propagation for clearance measurement, Applied Radiation and Isotopes, Vol. 170, 2021
- 【6】 服部, クリアランスレベルの考え方と国際動向について, 日本原子力学会福島第一原子力発電所廃炉検討委員会ワークショップ, 2021 年 2 月 6 日
- 【7】 IAEA, Draft Safety Guide DS500 (Revision of Safety Guide RS-G-1.7), Application of the Concept of Clearance, 19 Oct. 2022