

論文の内容の要旨

論文題目 放射性物質で汚染した物品の再生利用に関する

放射線防護上の考え方と安全評価手法の開発

氏名 三輪 一爾

本研究は、人類が地球において持続的に発展していく上で考慮すべき課題のひとつである廃棄物に着目した。現在の日本において対策が必要と考えられる廃棄物の一つに、放射性物質で汚染した廃棄物があげられる。2011年3月に発生した福島第一原子力発電所(1F)事故により環境中に大量の放射性物質が放出され、福島県内外において放射性物質で汚染したがれきや土壌等が発生した。これらの放射性物質で汚染した土壌やがれきの物量は大量であり、全量をそのまま放射性廃棄物として扱い最終処分することは、環境負荷の観点や最終処分場の確保の観点から実現性が乏しいであろう。放射性物質で汚染した物品についても一般的な廃棄物と同様に、最終処分が必要な物量の低減に関する検討の社会的要請が強くなっている。

そこで本研究では、最終処分が必要な、放射線災害で発生した汚染物品の物量低減策として、循環型社会の観点からも注目が高い再生利用の可能性を、放射線防護の観点から検討を行った。

第1章では、本研究の背景と論点の整理をした。

第2章では、現存被ばく状況下にある公衆の放射線防護に用いる参考レベルの考え方を整理した。現状ではその具体的な現場適用の方法について国際的なコンセンサスはなく、複数の解釈が可能となっていたが、ここでは放射性物質の環境拡散で発生した汚染物品等の再生利用を想定するケースでの、放射線防護の考え方の多様性を5通りで整理した(図1)。この5つの整理は、「現存被ばく状況における公衆の防護には参考レベルを用いる」という3通りの考え方と、「現存被ばく状況においても計画的に線源を扱う場合は、計画被ばくの考え方を適用し線量限度および線量拘束値を用いる」という2通りの考え方の、2群に分類

される。前者は参考レベルの設定対象となる線源の範囲をどのように定義するか、で3つに区分され、後者は、再生利用による追加の被ばく線量を防護体系の中の被ばくとして容認するか否か、で2つに区分される。再生利用を想定した防護のための線量規準の可能性を検討するために、既存のICRPの勧告やIAEAの安全基準を精査し、線源関連の管理に用いられる基準値を被ばく状況と被ばくのカテゴリに応じて整理した。

5 通りに整理した放射線防護の考え方の、具体的な事例に対する適用性を確認するため、1F事故後に我が国の法令や指針で示された、除染の実施や除去土壌の再生利用に関する防護の基準値について、本研究で提案した整理に沿った解釈を試みた。1F事故後の我が国が経験した環境汚染のレベルと、これまでに積み上げてきた放射線防護の歴史的な整理を総合的に考慮して、対象となる環境がいかなる被ばく状況であっても、検討の対象となる線源を計画的に扱う場合には、計画被ばくに対応した防護の方針を適用するのが適切であると判断した。

本研究での防護の考え方の整理を、想定される再生利用事例へ適用することを検討した。再生利用の事例として、ここではオフサイトにおける除去土壌の再生利用とオンサイトにおける敷地内に使用を限定した汚染がれきの再生利用の2つのケースを想定した。再生利用を実施する現場として、1F事故後に我が国が経験した線量レベルの汚染環境を仮定した。2つの再生利用の事例において、再生利用に至るまでの各段階における公衆と再生利用作業員に関して適用できる基準値の範囲を考察し、想定されるステークホルダーの意見も考慮しつつ、実際に適用する上で合理的とみなされる値を提案した。また、定められた基準値の運用に関して、公衆の防護の履行が適切に行われていることの現場での確認方法についても提案した。

第3章では、第2章で整理した放射線防護上の考え方をオフサイトおよびオンサイトにおける具体的な再生利用事例へ適用することを想定し、作業員や公衆、環境への放射線影響について検討した。そのために、環境システム学的な観点を規制科学の領域に取り込みつつ、一般的な環境における再生利用にかかる被ばくの線量を、社会環境、日常生活の態様等を考慮し、標準的な人を対象として精度よく、合理的かつ保守的に評価できるようにした。

オフサイトにおける再生利用事例では、海洋中の核種形態を考慮した被ばく評価方法の開発を行った。オンサイトにおける再生利用事例では、線量管理がなされた環境中において再生利用を可能とする再生資材中の濃度(めやす濃度)の設定に関する考え方を提案した。

オフサイトにおける放射線防護上の考え方の適用例として、福島県内に一時保管されている除去土壌を、海面埋立地を造成する際の資材に再生利用する場合を想定した。被ばく評価を行う評価経路は、既存の除去土壌の再生利用に関する安全評価と海面埋立地造成に係る事例調査を参考に設定した。海面埋立地への再生利用に特有の現象として、施工による海洋への粒子に付着した核種の流出が考えられる。既存の除去土壌の再生利用に関する安全評価では、海洋中の核種からの被ばくとして溶存した核種からの被ばくのみを考慮していた。しかし、海産物の体内への核種濃縮には粒子に付着した核種も影響することが報告され

ている。

そこで本研究では、海洋中の核種移行を溶存した核種と粒子に付着した核種を考慮して評価できる Sediment model を既存被ばく線量評価コード PASCLR2 に取り込み、海洋中の核種の形態を考慮して被ばく線量を評価できるようにした。Sediment model を取り込む際は、本研究で独自に設定したパラメーターである海底土の分配係数の妥当性の確認を、1F 事故後の福島沿岸における放射性セシウム分布の再現計算により行った。海産物摂取による内部被ばく線量を評価する際は、海産物の生態を考慮した評価とするため、懸濁態が多く存在する海底付近に生息する海産物については粒子に付着した核種の体内濃縮の影響を考慮した。

本研究で開発した評価方法を用いて海洋へ流出した核種からの被ばく評価を実施したところ、既存の安全評価よりも保守的な評価となった。一方、開発した評価方法で評価しても、評価経路全体では海洋へ流出した核種からの被ばく線量は小さいことが示された。

評価経路全体での決定経路は、海面埋立地造成時の埋立材の敷均し・締固め作業者の外部被ばくであり、放射性セシウムの 1 mSv/y 相当濃度は 4000 Bq/kg であった（埋立材に再生利用した場合）。また、災害時についても被ばく評価を行い、一般公衆の線量限度から導かれる線量拘束値の 1mSv/y を超えないことを確認した。

オンサイトにおける放射線防護上の考え方の適用例として、1F 敷地内に一時保管されている放射性物質で汚染したがれきを 1F 敷地内に限定して再生利用（限定再生利用）する場合を想定した。限定再生利用の防護は、第 2 章の検討内容に沿って計画被ばくの考え方で行うこととした。1F 敷地内のすべての作業者は被ばく線量が管理されており、限定再生利用が行われても線量限度を超えるおそれはないが、限定再生利用された汚染がれきにより受ける被ばく線量が大きければ、本来の廃止措置に向けた作業に充てられる作業時間が減少することになる。したがって、1F 敷地内での限定再生利用による追加被ばく線量を一定程度抑制する必要があるが、これまでに線量管理がされた環境において再生利用物からの追加線量の管理に関する考え方は明記されていない。

そこで本研究では、再生利用を可能とする再生資材中のめやす濃度設定の考え方と、めやす濃度の妥当性確認の考え方を新しく提案した。再生利用を可能とするめやす濃度は、再生利用物による追加線量により敷地内の作業が大きく制限されることを防ぐため、環境中の空間線量を大きく上昇させない程度の追加線量に相当する濃度とした。1F 敷地内の屋外作業を考えた場合には、モニタリングに用いられている電離箱のディテクションリミットである 1 μ Sv/h を環境中の空間線量率を大きく上昇させない程度の追加線量として設定した。めやす濃度の妥当性は、再生利用を実施した際に 1F 敷地内で行われている放射線管理の運用に影響を与えないことを確認することで担保した。具体的には 1F 内の限定再生利用において「従事者被ばく線量」「敷地境界における評価線量」「海洋へ放出される地下水中核種濃度」について現在の運用を満たしているかを確認した。

1F 敷地内における再生利用の可能性を考慮して、道路材（路盤材、舗装材）、建設用コン

クリート、遮蔽用コンクリート、遮蔽用鉄板を再生利用用途として、めやす濃度の算出とその妥当性確認を行った。めやす濃度は用途により 700~110,000 Bq/kg と大きく異なった。各用途のめやす濃度に基づき、1F 敷地内で行われている放射線管理の運用に影響を与えない条件として敷地境界からの離隔の条件は、最大で 50m になると評価された。

第 4 章は結論である。

本研究では放射性物質で汚染した物品の再生利用を対象として、第 2 章では放射線防護の観点から線源関連の管理の解釈とその適用についての考え方を整理し、第 3 章では既存の規制科学の手法に環境システム学的な観点を加えて、ふたつの適用事例を想定して再生利用を可能とする濃度を算出し関連の線量を評価した。これにより、最終処分が必要な汚染物品の物量低減策のひとつとして、再生利用の可能性を多角的な視点から議論するために必要となる放射線防護上の論点や判断のための材料が整えられたと考える。しかし、放射性物質で汚染した物品の再生利用に関するより深い議論には、ここで検討されたような放射線リスクの視点のみではなく、倫理や心理、リテラシーや経済などを含む社会科学的な視点や整理も欠かすことができないことに十分な留意が必要である。

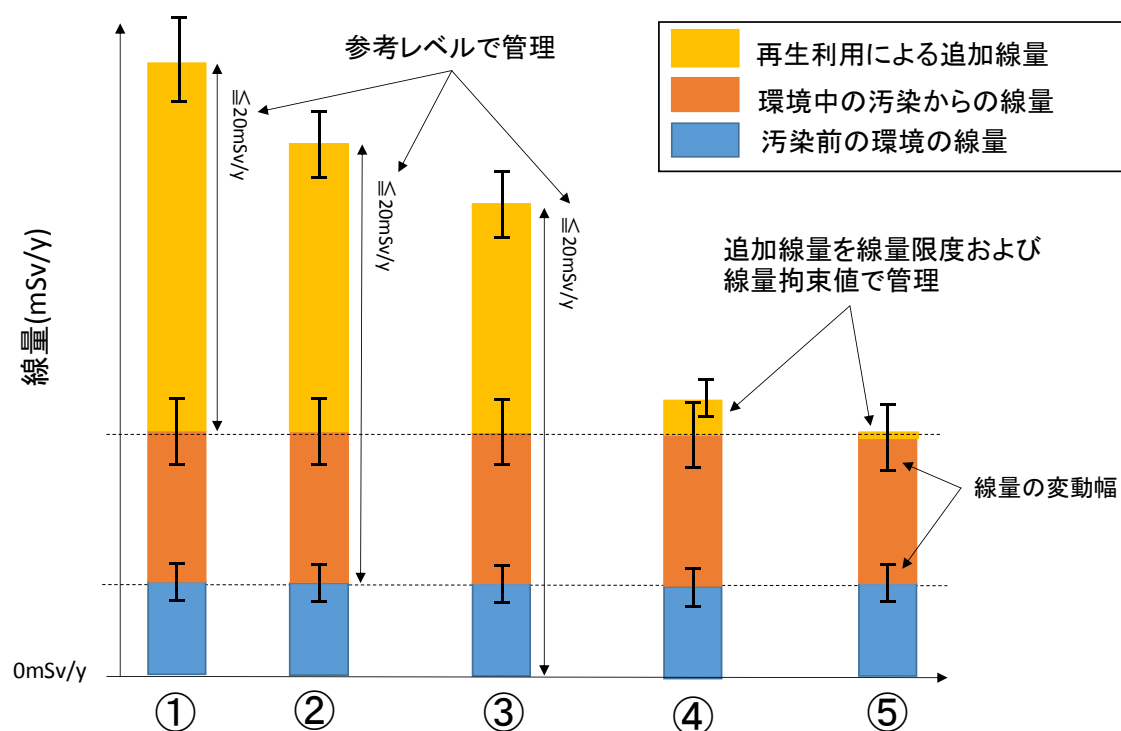


図 1 現存被ばくにおける公衆の防護の考え方の概念図