

放射線の健康影響に係る研究調査事業 令和 4 年度～令和 6 年度実施総括報告書

研究課題名	原子力事故後の居住環境における室内外の物質移行を考慮した住民の被ばく線量評価に関する研究
研究期間	令和 4 年度～令和 6 年度（3 年間）

	氏名	所属機関・職名
主任研究者	高原 省五	日本原子力研究開発機構原子力安全・防災研究所安全研究センターリスク評価・防災研究グループ・グループリーダー
分担研究者		
若手研究者		

1. 研究の概要

家屋の内外を含む居住環境における放射線被ばくは、原子力事故後の初期から長期間にわたって汚染地域での住民生活を管理するために必要不可欠な情報の一つである。本研究では、居住環境のうち室内における住民の被ばくに着目し、「①事故後の初期における屋内退避時における住民被ばく線量の評価」及び「②事故後の長期における帰還後の居住環境での被ばく線量評価」を目的とした¹⁾。

本研究では、まず、①の目的に関連して、東京電力福島第一原子力発電所（以下、1F）事故後の環境測定をもとに開発された室外再浮遊モデル²⁾及び室外粒子の室内侵入モデル⁴⁾⁵⁾を、当研究グループの有する事故影響評価コード OSCAAR³⁾に実装し、気象データ及び建蔽率データを整備して再浮遊及び室内への侵入を評価できるようにした。改良した OSCAAR を用いて国内全サイトに対する屋内退避時の被ばく低減係数を評価し、原子力規制庁⁶⁾、内閣府（原子力防災）⁷⁾等の既存の研究成果を踏まえて知見を整理した⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。また、屋内退避に関して、住宅の広さや気密性能による被ばく低減係数の違い、屋内退避の低減効果を高くするための行動を整理した資料を作成してアウトリーチ活動を実施した¹¹⁾¹²⁾。

次に、②の目的に関連して、室内での再浮遊モデルを開発した¹³⁾¹⁴⁾。粒径、床材、床面からの高さ及び人の室内における行動による室内再浮遊係数の変動を反映した実験を設計して再浮遊係数を評価し、同係数を組み込んだコンパートメントモデルを作成して室内空気中の放射性物質濃度の時間変化を解析できるようにした。開発したコンパートメントモデルを用いて住民帰還後の被ばく線量評価を行い、(i) 住民帰還後の被ばく線量のうち室内再浮遊の占める割合は極めて小さいこと、(ii) 帰還時に床面を丁寧に掃除することで、再浮遊による被ばくを大幅に低減できることを示すことができた¹⁵⁾。

2. 研究期間内に実施した内容

年目／実施年度	実施した内容
1 年目	令和 4 年度は、目的①に関連して、1) 各サイトの地域性・季節性及び社会状況

令和4年度	に関するデータの整備を実施した。また、目的②に関連して、1) 室外再浮遊モデルの評価への組み込みと、2) 室内再浮遊モデルに関する解析及び実験の設計を実施した。 ①-1) の作業では、国内の原子力発電所を有する全サイトに対して、気象と建蔽率のデータを整備した。気象データとして、風速、風向及び降雨量を整備した。また、2分の1地域メッシュに含まれる建物面積をもとに、建蔽率データを整備した。これにより、各サイトで確率論的事故影響評価及び再浮遊解析を実施するために必要な情報の整備を完了した。 ②-1) の作業では、地表面からの再浮遊を「再浮遊係数」を用いてモデル化することとした。再浮遊は沈着後の経過時間により異なる現象で生ずると考えられることから、事故後の早期と長期に分けて再浮遊係数を評価することにした。早期及び長期のそれぞれについて、福島事故後の実測に基づく経験モデルと現象に基づく理論モデルを採用し、評価への組み込みに必要な情報の整備を完了した。 ②-2) の作業では、第一に、令和5年度以降の実験及びCFD解析における室内の再浮遊粒子性状を決めるための調査を行った。この結果、文献値と整合性があり、吸入被ばくへの寄与の大きな粒径で、かつ、バックグラウンドの影響が小さいとの観点から、粒径$1\mu\text{m}\sim 250\mu\text{m}$の$\text{TiO}_2$と標準粉体を利用することにした。また、第二に、実験装置の改良点を模索するため、TSI社製のOptical Particle SizerとPIV装置での予備的な測定を行う実験系を構築し、ダストの分布や初速度を実験的に評価可能であることを確認するとともに、効率化等に関する課題を抽出した。
2年目	令和5年度は、目的①に関連して、2) 各サイトにおける事故後初期の屋内退避時における被ばく線量評価を実施する。また、目的②に関連して、3) 室内再浮遊モデルに関する解析及び実験を実施した。
令和5年度	①-2) の作業では、屋内退避を実施しない場合と実施した場合のそれぞれについて、外部被ばく及び内部被ばくによる甲状腺等価線量と実効線量を評価し、さらに、屋内退避による被ばく低減係数(= 屋内と屋外での被ばく線量の比)を算出した。国内の全17サイトを対象とし、各サイトの気象条件(風向風速、降雨)、地理条件(地目、建蔽率)及び人口分布を考慮した。原子力機構が開発した確率論的事故影響評価コードOSCAARを利用し、5つの事故シナリオ(福島事故や新規規制基準を踏まえたシナリオ等)に対して評価した。 ②-3) の作業では、室内での再浮遊係数を評価するため、日本の一般住宅と同程度の規模かつ換気設備を備えた実建屋の一室において、フローリングの床面に試験用ダストを散布し、自然換気時、歩行時、掃除機掛け時、エアコン稼働時について、床面から50cm及び150cmにおける粒径別空気中粒子濃度分布を測定した。測定にはTSI社製のOptical Particle Sizerを使用し、室内中心におけるデータを取得した。測定は、自然換気時、人の歩行時、掃除機の稼働時、及び、エアコンの稼働時について実施、それぞれの条件における再浮遊係数を評価した。また、床材による粒子の床材からの離脱率を評価するため、風洞試験を実施した。その結果、床材と試験用ダストの散布濃度により、違いが生じることが分かった。
3年目	令和6年度は、目的①に関連して、3) 屋内退避に関する情報提供資料の作成を

令和 6 年度	実施した。また、目的②に関連して、4) 床材・行動別の室内再浮遊係数を評価するとともに、5) 各サイトにおける事故後初期の屋内退避時における被ばく線量評価を実施した。 ①-3) の作業では、国・自治体・住民に向けての屋内退避に関する情報を提供する資料を作成した。資料には、令和 5 年度に評価した屋内退避による被ばく低減係数（事故シナリオごと、国内のサイトごと）と当グループの有する屋内退避に関する知見（原子力規制庁受託及び内閣府受託）を組み合わせ、屋内退避の被ばく低減効果の依存性及び屋内退避時の行動に関する知見を整理した。 ②-4) に関して、室内床面に沈着した放射性物質の再浮遊による被ばくを評価するためのモデルを開発した。室内再浮遊係数は粒径、床材、床面からの高さ、人の室内における行動により生じる風速場等の条件によって異なることが考えられるため、本研究ではこれらの条件ごとに室内再浮遊係数を実家屋内における実験によって求めた。 また、目的②-5) に関して、実験的に得られた室内再浮遊係数を用いて、室内再浮遊放射性物質による吸入被ばく線量評価モデルを開発した。開発したモデルを用いて、事故発生から 1 年間自宅を離れて再度居住開始した場合の被ばく線量評価を行い、屋外グランドシャイン等の居住環境下における総被ばく線量に対する室内再浮遊による被ばく線量の寄与割合を評価した。
---------	---

3. 研究終了時に得られた結果・結論

① 研究結果・結論（総括）・成果など

季節性・地域性と社会状況を考慮して、国内のサイトごと、事故シナリオごとに屋内退避時の被ばく低減効果を評価した。その結果、サイト間の被ばく低減効果の違いに関して、風速が弱いサイトほど被ばく低減効果が高くなる傾向が見られた。この結果より、サイト間の地目や建蔽率などの違いよりも風速の違いが被ばく低減効果に大きな影響を与えることが明らかとなった。事故シナリオ間の被ばく低減効果の違いに関して、特に大気中に放出された放射性物質中のヨウ素・セシウムに対する希ガスの割合によって被ばく低減効果が異なることが示された。このような情報は、原子力防災計画を策定する国・自治体にとって重要な情報となる。さらに、本事業での成果と今までの原子力規制庁事業と内閣府事業で得られた屋内退避に関する知見を組み合わせ、事故後初期における屋内退避に関する情報を提供するための資料を作成した。この資料では、屋内退避の低減効果のみならず、住宅の広さ・建築年の違い、屋内退避の低減効果を高くするための行動をまとめており、住民にとって有用な情報を提供できる資料となっている。 室内床面に沈着した放射性物質の再浮遊係数を粒径・床材・床面からの高さ・人の室内における動作により生じる風速場ごとに実家屋を用いた実験により取得することができた。得られた室内再浮遊係数を用いて、室内滞在時の様々な条件下における室内再浮遊による被ばく線量評価を行うことができるようになった。家屋の換気率や事故後一定期間自宅を離れて居住を再開した場合等様々な条件に関して室内再浮遊を考慮した居住環境下における被ばく線量評価の結果、室内再浮遊による被ばく線量は居住環境下で影響を及ぼす全ての被ばく経路の総被ばく線量に対して数パーセント以下になることがわかった。 これらの結果を取りまとめて、査読付論文 1 報¹⁰⁾、原子力機構報告書 1 報⁹⁾、国内発表 6 件¹⁾⁵⁾⁸⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾、
--

アウトリーチ活動 2 件¹¹⁾¹²⁾の成果を挙げることができた。

② 計画・目標通り実施できなかった事項とその理由

計画・目標通り実施できなかった事項はない。

③ 当初の計画で予定した成果以外（以上）に得られた事項

当初の計画で予定した成果以外（以上）に得られた事項はない。

4. 研究成果の活用方策の提案

本研究をさらに発展させる新たな研究や事業化の提案

事故初期時の評価において、屋内退避のみならず避難などの防護措置の低減効果をまとめ、本事業の成果と合わせて防護措置を最適に組み合わせた戦略の立案につながる研究が必要と考えられる。また、このような戦略を実効的なものとするためには、事故対応において主体となる住民の防護措置に対する理解や知識の向上が不可欠である。そのためには、戦略全体の効果や措置の流れなどを網羅した資料や、住民との効果的なリスクコミュニケーションに関する検討も必要と考えられる。さらに、そのような資料を用いた取り組みやリスクコミュニケーションの結果として、住民の防災リテラシーがどの程度向上したのかを評価するための方法も必要である。例えば、社会調査を継続的に実施し、様々な教育の機会や災害等の経験の前後において、防護戦略に対する住民の認知率がどの程度変化するかを把握することで、そのような評価につなげていくことが可能ではないかと考えている。

引用文献

- 1) 高原省五, 長久保梓, 廣内淳, 林奈穂, 松井康人, 米田稔, 原子力事故後の居住環境における物質移行を考慮した住民の被ばく線量評価に関する研究その 1—研究の概要—, 日本原子力学会 2023 秋の大会, 2023 年 9 月 6-8 日.
- 2) M. Ota, S. Takahara, K. Yoshimura, et al., Soil dust and bioaerosols as potential sources for resuspended ^{137}Cs occurring near the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant Journal of Environmental Radioactivity, 264 (2023) 107198.
- 3) JAEA, 2020, OSCAAR コードパッケージの使用マニュアル, JAEA-Testing 2020-001.
- 4) J. Hirouchi, S. Takahara, H. Komagamine, et al., Penetration factor and indoor deposition rate of elementary and particulate iodine in a Japanese house for assessing the effectiveness of sheltering for radiation exposures, J Radiol Prot. 41, (2021), S139-S149.
- 5) 廣内淳, 渡邊正敏, 林奈穂, 長久保梓, 松井康人, 米田稔, 高原省五, 原子力事故後の居住環境における物質移行を考慮した住民の被ばく線量評価に関する研究その 2—屋外で再浮遊した物質の屋内への侵入—, 日本原子力学会 2023 秋の大会, 2023 年 9 月 6-8 日.
- 6) NRA, 2021, 屋内退避による被ばく低減効果に係る委託研究の成果（概要報告）（第 49 回技術情報検討会資料 49-1）.
- 7) 内閣府, 2022, 原子力災害発生時の防護措置—放射線防護対策が講じられた施設等への屋内退避—, 令和 4 年 10 月 27 日.
- 8) 廣内淳, 渡邊正敏, 林奈穂, 長久保梓, 松井康人, 米田稔, 高原省五, 原子力事故後の居住環境における物質移行を考慮した住民の被ばく線量評価に関する研究その 4—原子力事故初期時の屋内退避による低減効果の評価—, 日本原子力学会 2024 秋の大会, 2024 年 9 月 11-13 日.
- 9) 廣内淳, 渡邊正敏, 林奈穂, 長久保梓, 高原省五, 各事故シナリオにおける原子力サイトごとの被ばく線量と屋内退避時の被ばく低減係数の評価, JAEA-Research 2024-015
- 10) Jun Hirouchi, Masatoshi Watanabe, Naho Hayashi, Azusa Nagakubo, Shogo Takahara, Effects of different accident scenarios and sites on the reduction factor used for expressing sheltering effectiveness, J. Radiol. Prot. 45, 011506.
- 11) 高原省五, 原子力災害時の屋内退避に関する考察について—被ばく線量シミュレーションの結果より—, 令和 6 年度鳥取県原子力防災講演会, 2024 年 12 月 10 日.
- 12) 高原省五, 福島第一原子力発電所事故の教訓—原子力災害時の対応について—, 令和 6 年度ラジエーションカレッジセミナー, 2025 年 1 月 28 日.
- 13) 長久保梓, 林奈穂, 松井康人, 廣内淳, 米田稔, 高原省五, 原子力事故後の居住環境における物質移行を考慮した住民の被ばく線量評価に関する研究その 3—屋内沈着粒子の再浮遊—, 日本原子力学会 2023 秋の大会, 2023 年 9 月 6-8 日.
- 14) 長久保梓, 林奈穂, 廣内淳, 松井康人, 米田稔, 高原省五, 原子力事故後の居住環境における物質移行を考慮した住民の被ばく線量評価に関する研究その 5—室内粒子再浮遊係数の実験を基にした評価, 日本原子力学会 2024 秋の大会, 2024 年 9 月 11-13 日..
- 15) 林奈穂, 長久保梓, 廣内淳, 松井康人, 米田稔, 高原省五, 原子力事故後の居住環境における物質移行を考慮した住民の被ばく線量評価に関する研究その 6—室内再浮遊粒子を考慮した室内滞在時の被ばく線量評価, 日本原子力学会 2024 秋の大会, 2024 年 9 月 11-13 日..