

放射線の健康影響に係る研究調査事業 令和4年度研究報告書

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
令和4年度研究期間	令和4年4月1日～令和5年2月28日
研究期間	令和4年度 ～ 令和6年度（1年目）

	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 安全研究センター 原子炉安全研究ディビジョン 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		

キーワード	原子力事故、住民被ばく線量、再浮遊、屋内退避、被ばく低減効果
-------	--------------------------------

本年度研究成果
<p>I 研究背景</p> <p>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。特に、福島事故の経験を経て、原子力防災分野においては、事故後初期に自宅への屋内退避が防災計画の主軸の一つとして位置付けられている。また、福島事故後に避難指示を受けた地域についても、避難指示の解除が進み帰還した住民の日常生活が開始されようとしている。このような社会的な背景を踏まえると、事故後初期において屋内退避をした場合にどのくらいの被ばくが想定されるのか（または、どのくらいの被ばく低減効果が見込まれるか）ということと、帰還後の生活においてどのくらいの被ばくが想定されるのかという情報は、原子力防災計画や帰還後の住民に対する放射線防護対策を策定する国・自治体や住民にとって重要な情報である。</p> <p>II 目的</p> <p>本研究では、上記のような研究背景のもとで、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と、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実施することを目的とする。</p> <p>III 研究方法</p> <p>上記の目的に記載した目的を達成するためには、再浮遊に係る現象論的モデルの開発に加え、地域や季節による社会条件や気象条件の変動を考慮した確率論的な影響評価を実施する必要がある。これらの方法を実現するため、初年度となる、令和4年度は、令和4年度は、目的①に関連して、1) 各サ</p>

イトの地域性・季節性及び社会状況に関するデータの整備を実施する。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する。なお、確率論的事故影響評価は、既に原子力機構が開発した確率論的事故影響評価コード OSCAAR (Off-Site Consequence Analysis code for Atmospheric Release in Reactor Accident)¹⁾ を用いて実施する。OSCAAR は、国際比較計算への参加等する等して移行モデルに関する検証等を行い、適用性能の確認や機能の検証が行われてきたコードである²⁾。なお、本事業の成果発表会において、OSCAAR で同心円メッシュを利用することの妥当性について、委員から指摘を受けた。この点について、過去に OSCAAR と直交格子メッシュを採用している他のコードの結果を比較した経験があり、これによると両者において距離別の被ばく線量の統計値に大きな違いは見られておらず、メッシュの違いによる解析の結果への影響はないことが確認されているところである³⁾。

IV 研究結果、考察及び今後の研究方針

研究方法①-1) の作業では、OSCAAR での解析を実施するため、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、気象庁が提供している数値予報モデルを利用して算出された Grid Point Value (GPV)⁴⁾ をもとに、風速、風向及び降雨量を整備した。また、建蔽率は、2分の1地域メッシュ全体の面積を、同メッシュに含まれる建物面積で除して算出した。2分の1地域メッシュ全体の面積は統計局の市区町村メッシュ・コード一覧⁵⁾ をもとに算出した。また、建物面積は、国土地理院ベクトルタイル⁶⁾ を用いて算出した。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。

研究方法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。再浮遊係数は、沈着が発生した時点での表面濃度と評価対象時点での空气中濃度の比で定義され、複数の先行研究^{7) 8) 9)} が知られている。しかし、これらの研究は国外での研究に限定されており、福島事故後の沈着状況かつ我が国の環境状況に適した再浮遊係数を見出すための研究開発が求められていた。そこで、本研究では、福島事故の影響を踏まえて開発された再浮遊係数を利用した解析を実施することにした。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、早期成分は福島事故後の実測に基づくモデル¹⁰⁾ を採用し、後期成分には JAEA が作成した室外再浮遊モデル¹¹⁾ を利用した。なお、高原¹⁰⁾ によれば、事故後の早期(1か月程度)にて再浮遊核種の吸入による被ばく線量は全体の約数%程度を占めており、無視できない経路であることが示されている。

研究方法②-2) の作業では、室内での再浮遊モデルを開発するにあたり、第一に、令和5年度以降の実験の設計及び 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^{12) ~23)} 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 $1\mu\text{m}$ ~ $250\mu\text{m}$ の TiO_2 と標準粉体を利用することにした。また、第二に、実験装置の開発を行うため、既存装置に対する改良点の抽出を行った。今回の実験では、粒子の浮遊に関して、粒子の浮遊初速度と高さ毎の粒径分布を測定する必要がある。また、実験の際の室内条件(室内表面材、気流の外乱源)についても令和5年度以降の実験条件を検討しておく必要がある。これらに関して、令和4年度の実験では、パーティクルサイザーと 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。この結果、次年度以降の実験系の改良点として、(i) 既存の模擬装置について、サンプル交換効率的に行える機工、上面と側面を可能な限り平滑にする、レーザーの反射を抑

えるため、黒色に塗装する。さらに、使用する機器を精度よく設置できる機工を設ける、(ii) 表層の粒子を観測するための専用チャンバーを作成する、(iii) PIV システムを連続照射可能なレーザーと超高速カメラの組み合わせに変更することが見いだされた。

V 結論

令和4年度の作業は、滞りなく予定通り完遂した。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と再浮遊モデルのOSCAARへの実装を完了するとともに、室内環境での再浮遊モデル開発のための実験装置の整備を完了することができた。

引用文献

1. JAEA, OSCAAR コードパッケージの使用マニュアル, JAEA-Testing 2020-001; 65 Pages.
2. 本間俊充, レベル 3PSA の現状, 第 3 回 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 原子力の自主的安全性向上に関するワーキンググループ, 資料 3. (https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/genshiryoku_jishuteki/pdf/003_03_00.pdf (最終閲覧日 2023 年 5 月 23 日))
3. 日本原子力研究開発機構, 令和 2 度原子力規制庁委託成果報告書「原子力施設等防災対策等委託費(被ばく解析手法の整備)に関する研究」(<https://www.nra.go.jp/data/000359619.pdf> (最終閲覧日 2023 年 5 月 23 日))
4. 気象業務支援センター, オンライン気象情報. (<http://www.jmbse.or.jp/jp/online/online.html> (最終閲覧日 2023 年 4 月 21 日))
5. 総務省統計局, 市区町村メッシュ・コード一覧. (https://www.stat.go.jp/data/mesh/m_itiran.html (最終閲覧日 2023 年 4 月 21 日))
6. 国土交通省国土地理院, ベクトルタイルとその提供実験について. (<http://maps.gsi.go.jp/development/vt.html> (最終閲覧日 2023 年 4 月 21 日))
7. L.R. Anspaugh, J.H. Shinn, P.L. Phelps, et al., Resuspension and Redistribution of Plutonium in Soils. *Health Phys.* 1975; 29; 571–582.
8. K.R. Lassey, The possible importance of short-term exposure to resuspended radionuclides. *Health Phys.* 1980; 38; 749–761.
9. Wicker, J.J., Breshears, D.D., McNaughton, M. et al., Radionuclide resuspension across ecosystems and environmental disturbances. *J. Environ. Radioact.*, 2021; 233; 106586.
10. 高原 省五, 原子力発電所事故後の汚染地域における住民の被ばく線量評価と管理に関する研究. 京都大学, 2016, 博士論文.
11. M. Ota, S. Takahara, K. Yoshimura et al., Soil dust and bioaerosols as potential sources for resuspended ¹³⁷Cs occurring near the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, *J Environ Radioact* (Accepted)
12. T. L. Thatcher and D. W. Layton, Deposition, resuspension, and penetration of particles within a residence, *Atmos Environ*, 1995; 29; 1487-1497.
13. R. D. Edwards, E. J. Yurkow, and P. J. Lioy, Seasonal deposition of housedusts onto household surfaces, *Sci Total Environ*. 1998; 224; 69-80.
14. C. M. Long, H. H. Suh, and P. Koutrakis, Characterization of indoor particle sources using continuous mass and size monitors, *J Air Waste Manage Assoc*, 2000; 50; 1236–1250.
15. C. He, L. Morawska, J. Hitchins, and D. Gilbert, Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses, *Atmos Environ*, 2004; 38; 3405–3415.
16. R. J. Kopperud, A. R. Ferro, and L. M. Hildemann, Outdoor versus indoor contributions to indoor particulate matter (PM) determined by mass balance methods, *J Air Waste Manage Assoc*, 2004; 54; 1188–1196.
17. J. Qian and A. R. Ferro, Resuspension of dust particles in a chamber and associated environmental factors, *Aerosol Sci Tech*, 2008; 42; 566–578.
18. J. Qian, A. R. Ferro, and K. R. Fowler, Estimating the resuspension rate and residence time of indoor particles, *J Air Waste Manage Assoc*, 2008; 58; 502–516.

19. Y. Kubota and H. Higuchi, Aerodynamic particle resuspension due to human foot and model foot motions,” *Aerosol Sci Tech*, 2013; 47; 208–217.
20. A. Benabed and K. Limam, Resuspension of Indoor Particles Due to Human Foot Motion, in *Energy Procedia*, 2017; 139; 242–247.
21. C. Lanzerstorfer, Variations in the composition of house dust by particle size,” *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng*, 2017; 52; 770–777.
22. N. Shinohara and H. Yoshida-Ohuchi, Radiocesium contamination in house dust within evacuation areas close to the Fukushima Daiichi nuclear power plant, *Environ Int*, 2018; 114; 107–114.
23. L. Li, Y. Oiu, A. Gustafsson et al., Characterization of residential household dust from Shanghai by particle size and analysis of organophosphorus flame retardants and metals, *Environ Sci Eur*, 2019; 31; 94.