



Japan Atomic Energy Agency

放射線防護対策を施した屋内退避施設における 被ばく線量評価及び技術的知見の整備

日本原子力研究開発機構
安全研究・防災支援部門
安全研究センター

石崎 梓

令和二年度 安全研究センター報告会
令和二年11月27日

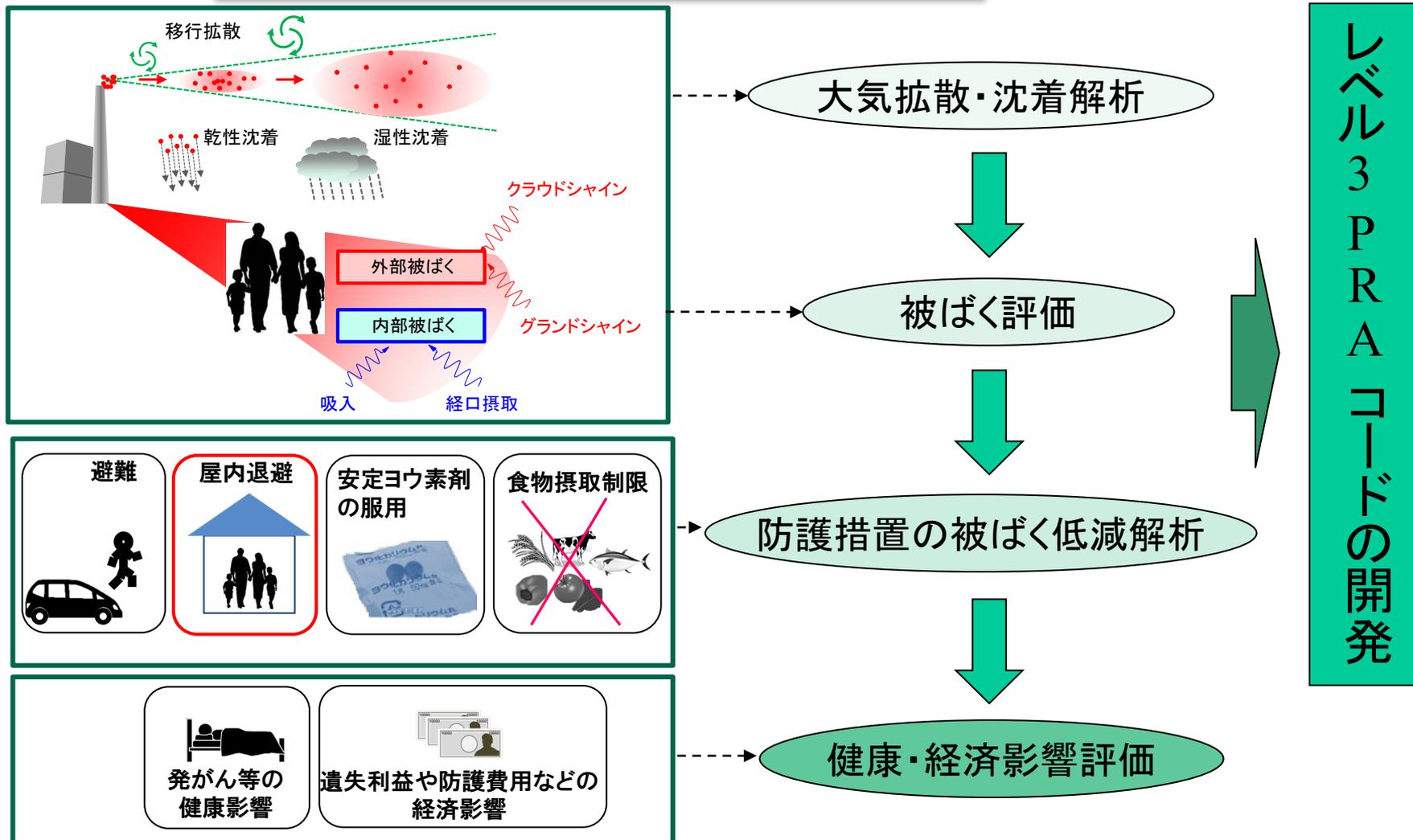
※ 本発表は平成29年度～平成31年度に実施した内閣府「原子力防災研究事業」において得られた結果を再構成して使用している。

発表の流れ

1. リスク評価防災研究グループにおけるレベル3PRAコードの開発について
2. 研究の背景
3. 研究の目的
4. 被ばく線量低減効果の評価方法
5. 被ばく線量低減効果の評価条件
6. 被ばく線量低減効果の評価結果(標準条件)
7. 標準条件を基にした感度解析
8. まとめ

1. リスク評価防災研究グループにおけるレベル3PRAコードの開発について

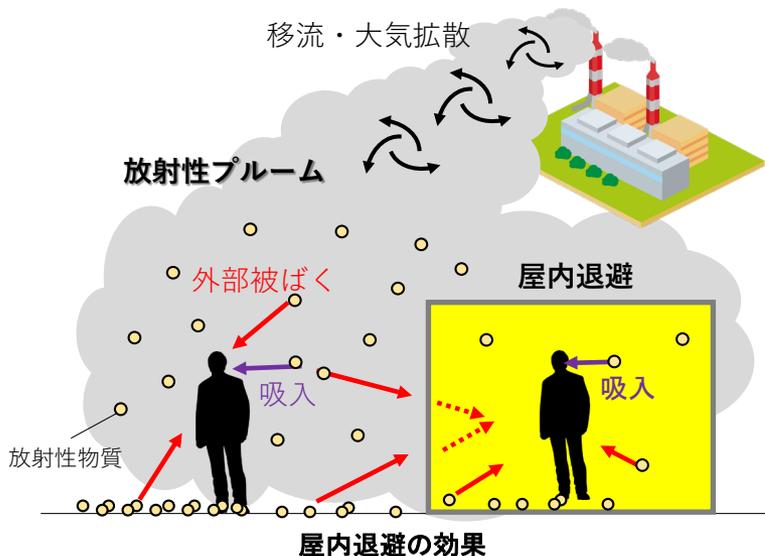
事故影響評価手法の開発



2. 研究の背景

＜原子力災害対策重点区域ごとの屋内退避の措置＞

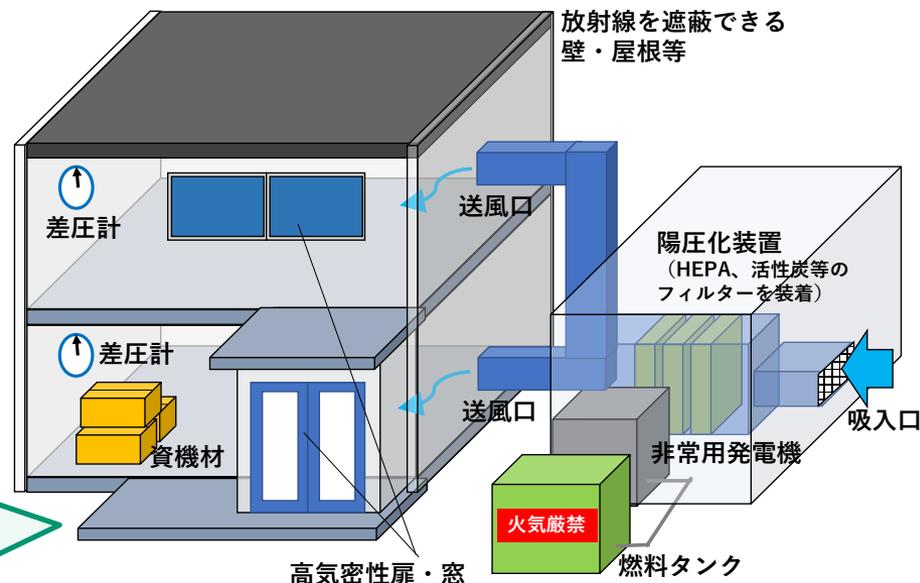
- サイト近傍の予防的防護措置準備区域 (PAZ) については、全面緊急事態に至った時点で原則として避難するが、避難よりも屋内退避が優先される場合に屋内退避を実施する。
 - 高齢者や傷病者等の要配慮者について、無理な避難による健康リスクの増大が懸念される場合には避難よりも屋内退避を優先する場合がある。
- (原子力災害対策指針)



屋内退避による放射線防護効果

- ① 建屋の材料による放射線を遮蔽
(外部被ばく線量の低減)
- ② 建屋の気密性による放射性核種の屋内への侵入抑制
(内部被ばく線量低減)

- 放射線遮蔽効果が高い構造 (鉄筋コンクリート構造、鉄骨構造のコンクリート壁又はコンクリート壁相当)
- 放射線防護に必要な気密性が確保できる構造 (高气密サッシ、ダンパー等)
- 放射線防護設備による放射性物質の除去率が99.5%以上 (陽圧化装置、放射線除去フィルター)



屋内退避施設の概要

3. 研究の目的

- 科学的な技術的知見の基づいた屋内退避施設の技術基準を整備
- 緊急時の効果的な屋内退避実現のために住民や自治体の担当者等が屋内退避についての理解を深めるための情報整備

研究の目的

- 原子力発電所近傍の屋内退避施設への屋内退避による被ばく線量低減効果を様々な条件に対して評価し、技術的な知見を取りまとめることによって、技術基準の策定に資する
 - ⇒ 屋内退避施設の被ばく線量低減効果を核種組成や建屋の詳細な条件に応じて評価
 - ⇒ 陽圧化換気を評価するコンパートメントモデルを開発
 - ⇒ 屋内退避施設の被ばく線量低減効果を総合的に評価するプログラムツールを開発
- 住民や自治体の担当者等が屋内退避への理解を深められるように知見を整理し、冊子を作成

4. 被ばく線量低減効果の評価方法

③ 吸入被ばく線量計算

$$H = C \cdot K \cdot M \cdot dt$$

H : 吸入被ばく線量 (mSv)
 C : 線量換算係数 (mSv Bq⁻¹)
 K : 室内体積 (m³)
 M : 呼吸率 (m³ h⁻¹)
 dt : 滞在時間 (h)

GS: グラウンドシャイン、CS: クラウドシャイン
被ばく線量評価方法

① 屋外空气中放射能濃度・沈着量計算 (ガウスパフモデル)

移流距離の増大に従って拡散が進む

連続して放出されるプルームを断続的に放出されるパフとして移流・拡散を計算

K : 空气中放射能濃度 (Bq/m³)
 χ_i : i 番目パフの空气中放射能濃度 (Bq/m³)
 Q : パフに含まれる放射能濃度 (Bq)
 (x_{pi}, y_{pi}, z_{pi}) : i 番目パフ中心座標
 (x, y, z) : 評価点座標
 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$: x, y, z 方向の拡散パラメータ (m)
 N_p : 放出パフ数

パフ内の放射能濃度分布は3次元ガウス分布に従う

$$\chi_i(x, y, z) = \frac{2Q}{(2\pi)^{1.5}} \exp\left(-\frac{x-x_{p,i}}{2\sigma_x^2}\right) \exp\left(-\frac{y-y_{p,i}}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{z-z_{p,i}}{2\sigma_z^2}\right)$$

$$K(x, y, z) = \sum_{i=0}^{N_p} \chi_i$$

② 屋内空气中放射能濃度・沈着量 (コンパートメントモデル)

壁面風圧力: $P = 0.5 C \rho v^2$

空気流量計算

$$F_i = \alpha A \sqrt{\frac{2(P_B - P_A)}{\rho}}$$

実効開口面積 αA (m²)

建屋の風圧係数分布

空気流量の合計が0になるように逐次計算で求める $\sum_{i=0}^N F_i = 0$

モデル検証試験風景

V : 室内体積 (m³), dt : 時間ステップ (h), ρ : 空気密度 (kg/m³)
 F_{in}, F_{out}, F_{ppv} : 屋内への流入空気流量、屋内からの流出空気流量と陽圧化装置による空気給気量 (m³/h)

5.被ばく線量低減効果の評価条件

被ばく線量評価条件の範囲及び平均的な条件として、評価標準条件を設定した

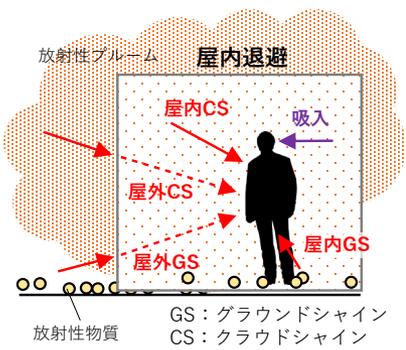
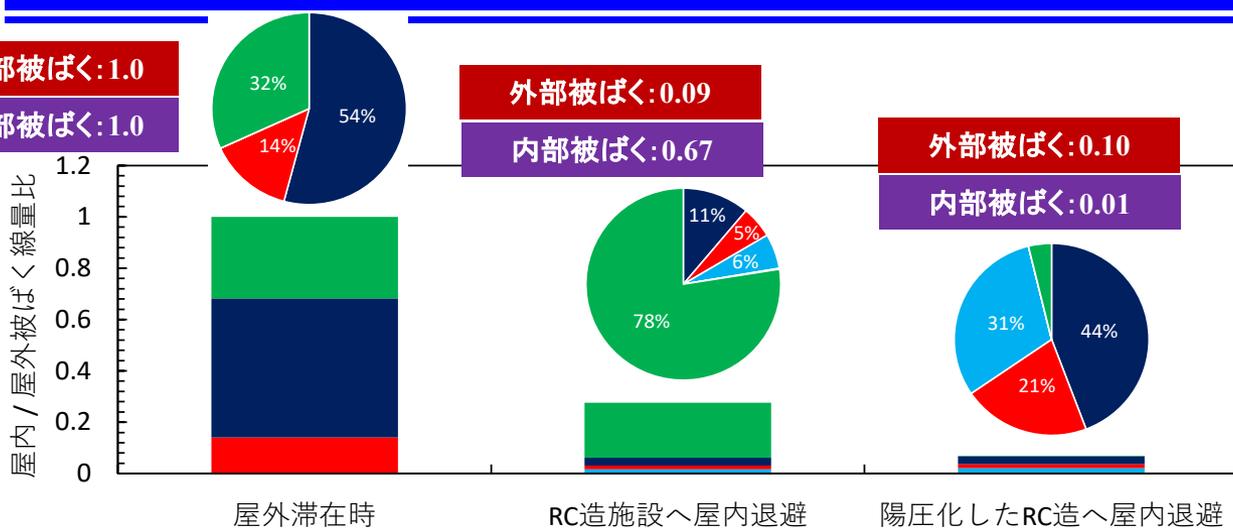
項目	評価幅	評価標準条件 ※4
建屋条件 ※1 <ul style="list-style-type: none"> 壁厚 床面積 窓面積比(窓面積/壁面積) 相当隙間面積(隙間面積/床面積) 防護区画設置階 放出源からの距離 	12cm ~ 21.5 cm 100 m ² ~ 6100 m ² 0.1 ~ 0.4 0.1 ~ 10.0 cm ² /m ² 1F建(1F)、2F建(1F, 2F)、3F建(1F, 2F, 3F) ~ 30 km	15 cm 1300 m ² 0.2 2.0 cm ² /m ² 1F建 2.5 km
気象条件 ※2 <ul style="list-style-type: none"> 風速 大気安定度 降水量 	~ 30 m/s A, B, C, D, E, F (A~C: 不安定、D: 中立、E~F: 安定) 0 mm/h ~ 50 mm/h	1.0 m/s ※3 D 0 mm/h
ソースターム <ul style="list-style-type: none"> NRA-100TBq:「原子力災害事前対策の策定において参照すべき線量のめやすについて」(原子力規制委員会、平成30年10月)に記載の「事前対策において備えておくことが合理的であると考えられる事故」についての記述 軽水炉モデルプラントに対する炉心損傷事故シナリオに応じた想定ソースターム: 日本原子力研究所で過去に実施された軽水炉モデルプラントのレベル2PRAの結果から分類された5つの事故シーケンスグループを代表する事故シーケンスについて、ソースターム評価コード THALES-2によって解析されたもの。本間ら(2000)にて被ばく線量評価された。 	<ul style="list-style-type: none"> NRA-100TBq TW-DWF TW-WWF TQUV1W-DWF TQUV1W-WWF TQUV1W-CV TQUV1W-SPR TQUV-DWF TQUV-WWF TQUV-CV TQUV-SPR TB-DWF TB-WWF TB-CV TB-SPR TC-DWF 	NRA-100TBq

核種グループ	環境への放出量 (TBq)
希ガス	6.10E+06
I類	2.24E+03
Cs類	3.09E+02
その他	1.18E+03
合計	6.10E+06

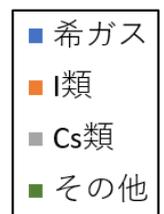
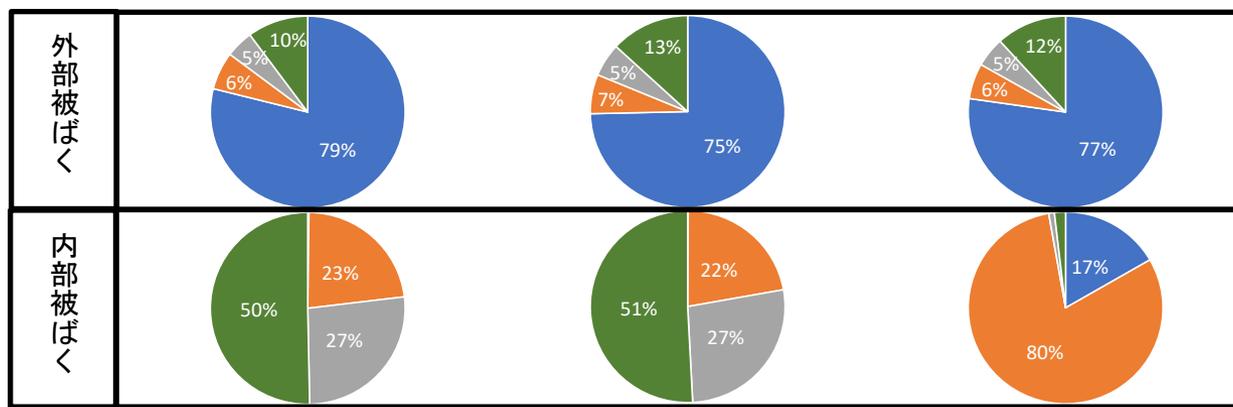
TW: 高圧系作動崩壊熱除去失敗シーケンスグループ
 TQUV1W: 低圧系作動崩壊熱除去失敗シーケンスグループ
 TQUV: 注水失敗シーケンスグループ
 TB: 全交流電源喪失シーケンスグループ
 TC: 原子炉スクラム失敗シーケンスグループ
 DWF: ドライウェル破損、WWF: ウェットウェル破損
 CV: 管理放出、SPR: スプレー

※1: 既存屋内退避施設の建築資料解析結果から幅を設定。
 ※2: 全国の原子力発電所近傍の気象観測所における気象データの解析結果から幅を指定。 ※3: 風向は施設に向かって一定とする。
 ※4: 建屋条件と気象条件の標準条件は評価幅における最頻値を採用。ただし、相当隙間面積については次世代省エネルギー基準における気密住宅の基準を基に設定。

6. 被ばく線量低減効果の評価結果(標準条件)



評価被ばく経路

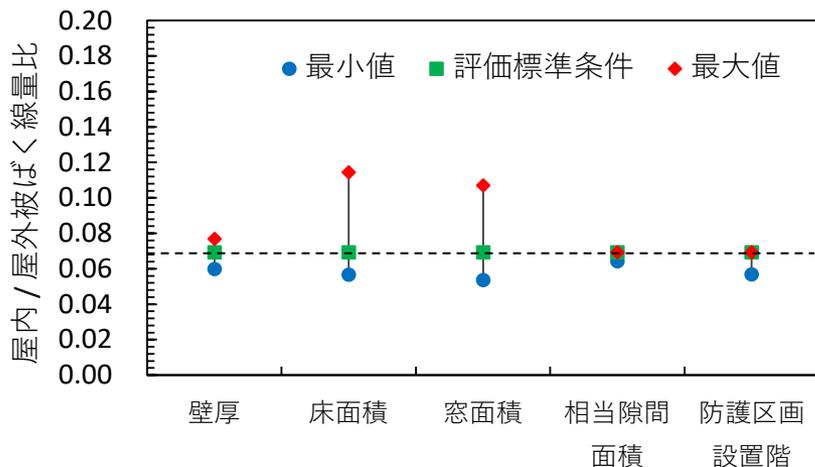


- RC造施設への屋内退避: 外部被ばく線量90%低減、内部被ばく線量33%低減
- 陽圧化したRC造への屋内退避: 内部被ばく線量99%低減、合計線量93%低減
- 外部被ばく線量寄与の75%以上が希ガスによる寄与
- ヨウ素による内部被ばく線量寄与: 自然換気時は場合ヨウ素が22%、陽圧化換気時は80% (放射性物質除去フィルターの捕集効率:ヨウ素類97%、希ガス0%、それ以外の核種99.97%※)

※ ASME. 2017. "Code on Nuclear. Air and Gas. Treatment. AN AMERICAN NATIONAL STANDARD." ASME AG-1-2017.

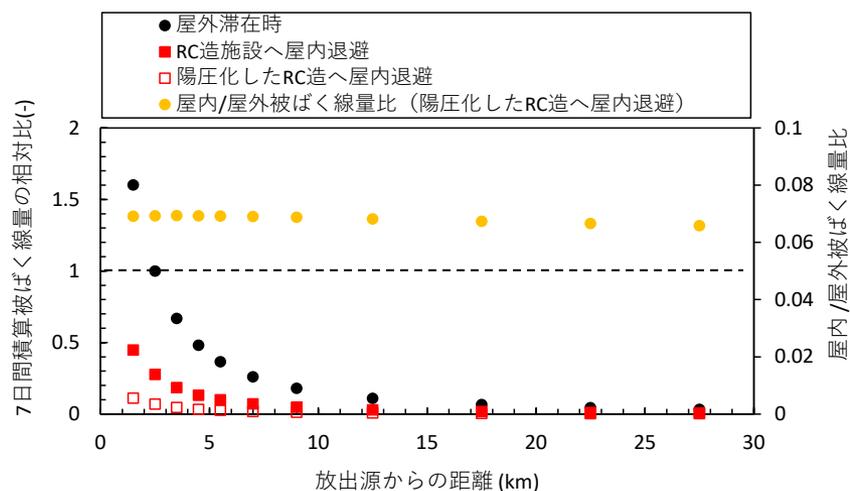
7. 標準条件を基にした感度解析

建屋条件に対する感度解析



建屋条件に関する感度解析パラメータ

建屋条件に関する屋内/屋外被ばく線量比の感度解析結果

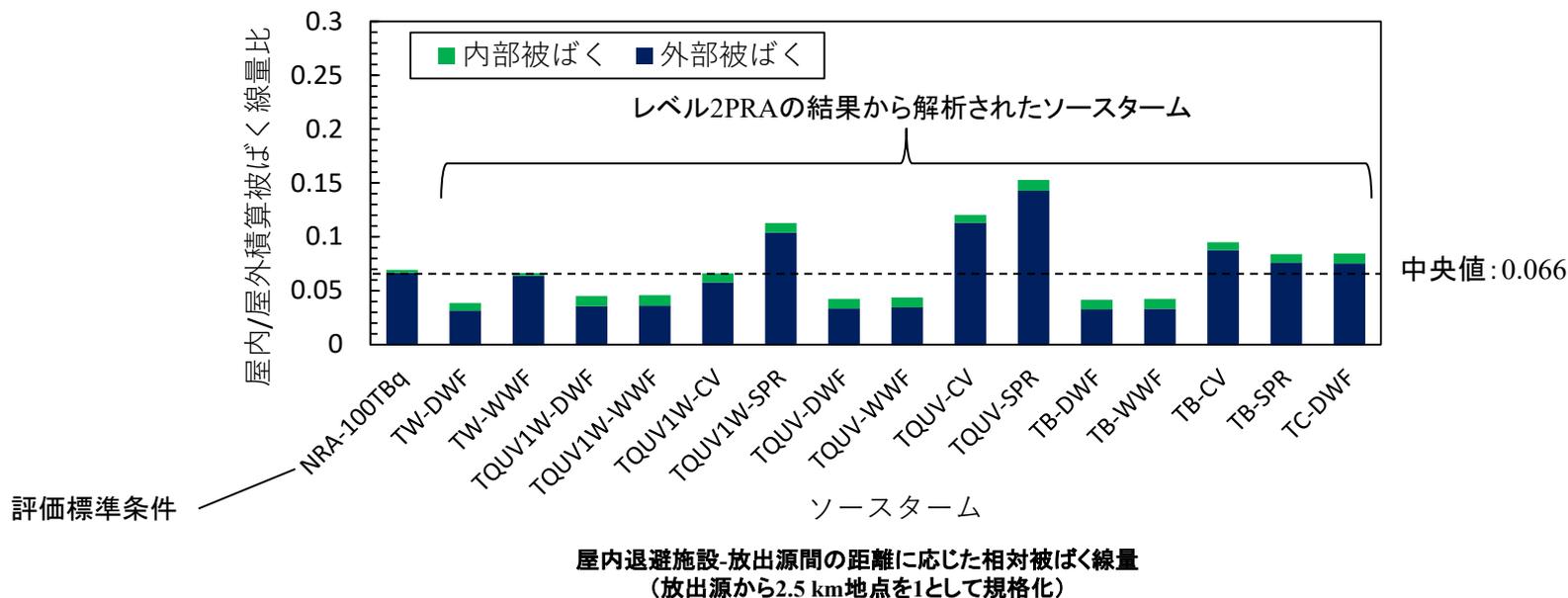


屋内退避施設-放出源間の距離に応じた相対被ばく線量
(放出源から2.5 km地点を1として規格化)

- 床面積と窓面積による影響が比較的大きく、相当隙間面積と防護区画設置階による影響は小さい
- RC壁厚が12cm以上では線量低減効果は大きく変化しない
- 屋内退避施設-放出源間の距離が増加するに従って被ばく線量は指数関数的に減少するが、被ばく線量比はほぼ一定

7. 標準条件を基にした感度解析

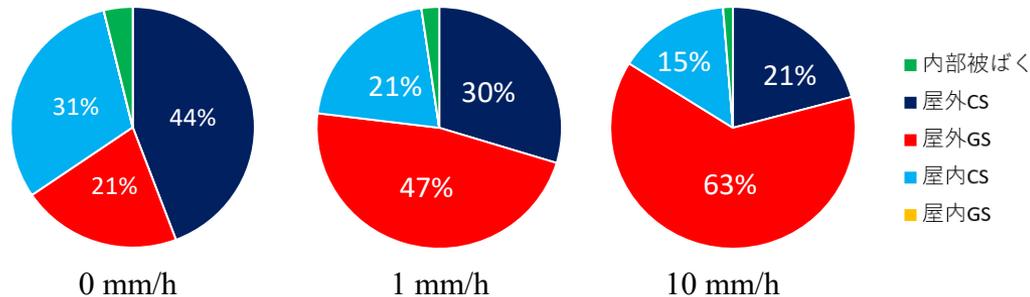
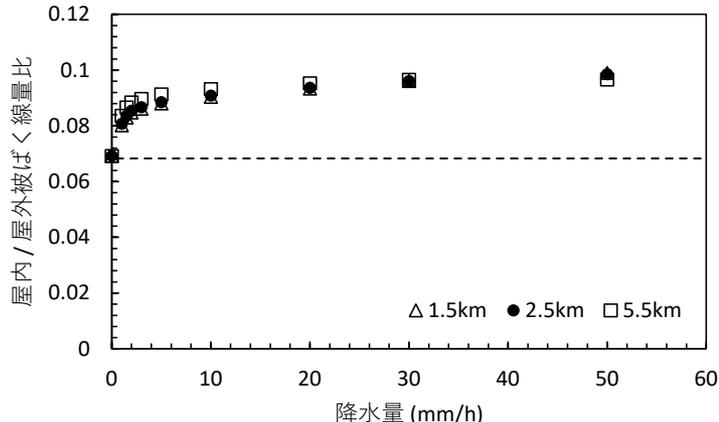
ソースタームに関する条件



- 被ばく線量比の最小値は0.038、最大値は0.153、中央値は0.066
- 被ばく線量比の違いは核種組成(核種、化学形態)の違いによる

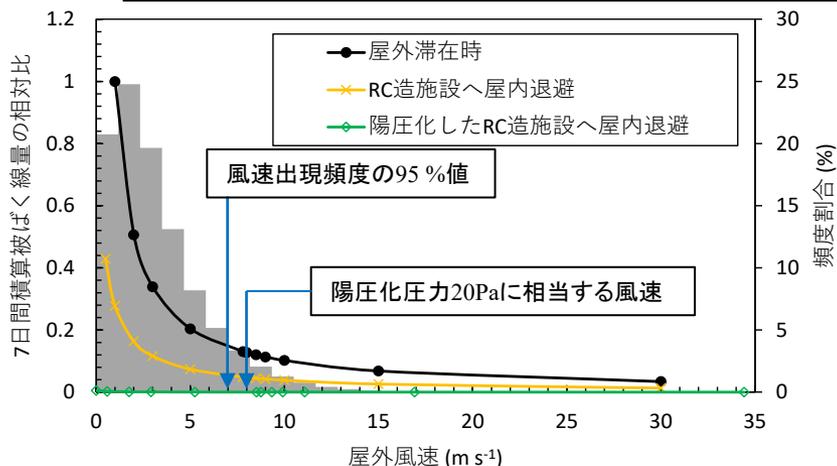
7. 標準条件を基にした感度解析

気象条件に対する感度解析



降水量と屋内退避施設-放出源距離に応じた屋内/屋外被ばく線量比

- 降水量の増大に従い、線量比が0.07から0.10まで増大
- 降水量の増大に従い、湿性沈着により屋外GSの寄与が増大(屋外GSはCsやI、屋外CSは希ガスによる寄与が主)
- 被ばく線量に寄与する被ばく経路の割合の変化により線量比が変化



- 屋外風速の増大に従う放射性プルームの拡散によって、被ばく線量が減少
- 風速が出現事象の95%は風速7 m/s以下
- 屋外風速の増大によって風圧力が陽圧化圧力を超える場合に屋外から放射性核種の侵入による線量増加が懸念されていたが、影響は非常に小さい
- 必要以上に高い陽圧化圧力の設定による装置規模やコストの増大及び居住の快適性の低下(騒音等)にもつながる

陽圧化圧力は20 Pa程度が妥当であると考え

8. まとめ

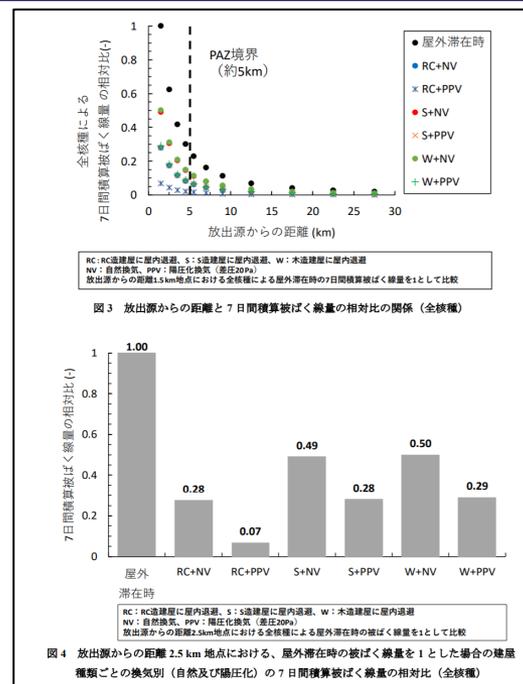
- 屋内退避施設への屋内退避による被ばく線量低減効果を様々な条件に対して評価した。
- 被ばく線量低減効果の評価結果を基に、屋内退避施設への退避に関する知見を整備した。本結果を基に、屋内退避への理解を深めるための冊子(「原子力災害発生時の防護措置－放射線防護対策が講じられた施設等への屋内退避－について」)が作成されており、内閣府ホームページにて公開※されている。今後も知見の収集、冊子の更新を行い、情報を充実していく。

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—
について [暫定版]

内閣府 (原子力防災担当)
日本原子力研究開発機構 原子力緊急時支援・研修センター
令和2年3月

内閣府ホームページより転載

※ https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/pdf/02_okunai_zantei_r.pdf



- 本研究で開発したモデルや係数は将来的にレベル3PRAコードOSCAARへの適用を進めていく。