

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)

内閣府（原子力防災担当）

日本原子力研究開発機構 安全研究・防災支援部門

目次

はじめに	2
概要	4
1. 「屋内退避」とは	5
(1) 原子力災害発生時における防護措置の基本的な考え方	5
(2) 屋内退避の有効性	6
(3) 避難することの弊害	7
2. 屋内退避による被ばく線量の低減効果	8
(1) 基本事項	8
(2) サイトからの距離に応じた7日間の積算被ばく線量の試算	9
(3) 建屋内での屋内退避による被ばく線量低減効果	13
(4) 屋内退避による被ばく線量低減効果のまとめ	18
3. 放射線防護対策施設における屋内退避の際の運用上の留意点	19
4. 参考資料等	20
参考情報 1 評価で用いた放射能の放出量	21
参考情報 2 相当隙間面積、建蔽率、自然換気率、浸透率及び建屋内沈着率等を考慮し た、屋内退避中の放射性ヨウ素等の放射性物質による内部被ばくの低減効果	22
参考情報 3 避難することの弊害	23
参考情報 4 本冊子事故シナリオでの試算による評価で用いた主な放射性物質の影響	24
参考情報 5 環境中に放出された放射性物質による7日間の時系列による被ばくのイメージ	25
参考情報 6 評価で用いた建屋モデルと壁、屋根、床に使用される材料と厚み	26
参考情報 7 建築材料のガンマ線透過率	28
参考情報 8 建屋規模に応じた外部被ばく線量低減効果	29
参考情報 9 鉛のガンマ線透過率	30
参考情報 10 放射性プルーム通過後の換気による被ばく線量低減効果	31
参考情報 11 放射線防護対策施設と陽圧化	32
参考情報 12 車両による被ばく低減効果	34
参考情報 13 原子力災害発生時における防護措置の基本的考え方と屋内退避の位置づけ	36
参考情報 14 建屋の建築年区分別の内部被ばくの低減係数	37
参考情報 15 OIL2を超えない区域における積算被ばく線量の推計	38

はじめに

平成 23 年（2011 年）3 月に東京電力福島第一原子力発電所事故が発生した際、高齢者や傷病者等の要配慮者の中には、十分な準備等が整わない中での急な避難行動により亡くなられた方がおられました。このことを教訓の一つとして、避難よりも屋内退避を優先すべき場合があること、放出源から比較的離れた区域ではまずは屋内退避を実施すること等が、原子力規制委員会が策定する原子力災害対策指針[1]に取り入れられました。

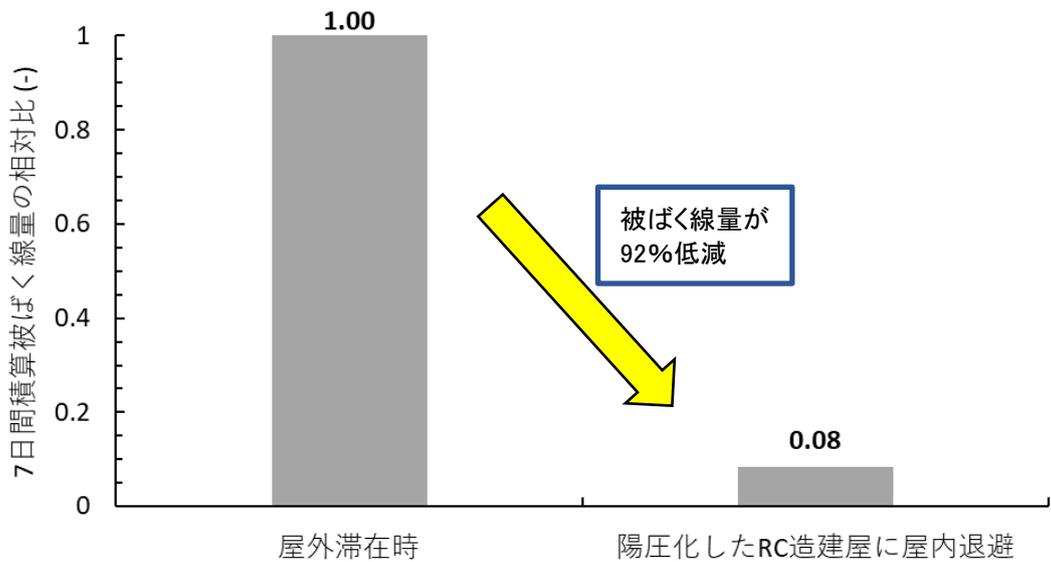
内閣府（原子力防災担当）では、原子力防災研究事業[2]–[7]を通して、屋内退避の防護効果について検討を進めてきました。この冊子は、その成果を基に、屋内退避についての基本的考え方や被ばく線量の低減効果、放射線防護対策施設における運用上の留意点等を整理・取りまとめたものです。

屋内退避は、放射性物質を含む空気の塊が煙のように流れる放射性プルームや地表面等に沈着した放射性物質からの被ばくを低減するための、原子力災害時に比較的容易に実施出来る有効な防護措置の一つです。

上記研究事業では、原子力規制委員会が取りまとめた「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」（平成 30 年（2018 年）10 月 17 日 原子力規制委員会）[8]を参考に、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シナリオ（以下「本冊子事故シナリオ」といいます。）に対するシミュレーション計算を行って、屋内退避による被ばく線量（実効線量）の低減効果を評価しました。その結果、陽圧化した鉄筋コンクリート造建屋に屋内退避することによって、積算被ばく線量は屋外滞在時に比べ 9 割以上低減できること等が分かりました。

本冊子は、関係自治体の担当者や施設管理者の方々に、屋内退避についての理解を深めて頂くために作成したものです。

今後は、原子力災害時の防護措置に関する新たな科学的・技術的な知見等が得られた場合に、本冊子の改定等をしていく予定です。



放出源からの距離2.5km地点における屋外滞在時の被ばく線量を1として比較

図 放射線防護対策が講じられた建屋への屋内退避による被ばく線量低減効果
 (放出源からの距離 2.5 km 地点における、屋外滞在時と陽圧化した鉄筋コンクリート造 (RC 造) の建屋での屋内退避時の外部被ばくと内部被ばくを合計した被ばく線量(実効線量)を比較した評価例)

概要

原子力災害発生時には、PAZ（Precautionary Action Zone: 予防的防護措置を準備する区域のことで、原子力発電所から概ね 5 km 圏）内のように原子力発電所に近い地域の住民は、放射性プルームによる被ばくを避けるため、予防的に避難することとなっています。しかし、病院の入院患者や福祉施設の入所者等のうち、避難のための移動・搬送により健康リスクが高まるおそれのある人は、避難よりも屋内退避した方がよい場合があります。特に、原子力発電所に近いところで屋内退避を行う場合には、放射線の遮へい効果や気密効果の高い鉄筋コンクリート造で、放射性物質の侵入を防止するために陽圧化対策を講じた建屋に屋内退避することとします。

内閣府の原子力防災研究事業では、建屋構造の違いや陽圧化設備の有無等様々な条件の建屋において屋内退避を行った場合の被ばく線量低減効果の試算等を行っています。本冊子は、その結果の概略を以下の点についてまとめたものです。

最初に、原子力発電所からの距離に応じた被ばく線量（実効線量）の試算を行い、原子力発電所からの距離が遠くなるに従って放射性プルームの拡散が進むことにより、被ばく線量が低減することを示しました。

次に、建屋構造の違いや陽圧化設備の有無等様々な条件の建屋において屋内退避を行った場合の被ばく線量低減効果について評価を行いました。例えば、鉄筋コンクリート造（以下「RC 造」といいます。）建屋に屋内退避する場合には、屋外滞在時と比較して、外部被ばく線量が 9 割弱低減することが分かりました。内部被ばく線量については、陽圧化等の放射線防護対策が講じられた建屋に屋内退避する場合には、屋外滞在時に比べて 99%低減することが分かりました。

さらに、適切な陽圧化を行うための圧力設定について検討を行いました。評価結果から、屋外風速の増大に伴い、屋外の風圧力（風が建屋壁面を押し力）が陽圧化によって設定した室内圧力を超えた場合は、屋外から屋内へ放射性物質がわずかに流入することになりますが、屋外風速の増大に伴い空気中の放射性物質の濃度は低下するため、結果的に被ばく線量の増加はごくわずかであることが分かりました。このことから、建屋の条件等を考慮する必要はあるものの、陽圧化の圧力設定は 20 Pa が目安となることが分かりました。

最後に、放射線防護施設への屋内退避に関し、運用上で管理者が留意すべき点として、災害広報等で適切な情報収集を行うこと、陽圧化設備や換気扇等に設置されているモーターダンパ等の設備を適切に稼働・運用すること、不要な外出や放射線防護能力を低下させるような行動（窓を開ける等）は行わないこと、複合災害時（地震や津波等）には生命の安全確保が優先されること（地震や津波等の場合は避難を優先すること）等を示しました。

1. 「屋内退避」とは

(1) 原子力災害発生時における防護措置の基本的な考え方

原子力規制委員会が策定している原子力災害対策指針[1]では、屋内退避については以下の通りとなっています（以下の四角囲みは該当部分を抜粋）。

屋内退避は、住民等が比較的容易に採ることができる対策であり、放射性物質の吸入抑制や中性子線及びガンマ線を遮蔽することにより被ばくの低減を図る防護措置である。屋内退避は、避難の指示等が国等から行われるまで放射線被ばくのリスクを低減しながら待機する場合や、避難又は一時移転を実施すべきであるが、その実施が困難な場合、国及び地方公共団体の指示により行うものである。特に、病院や介護施設においては避難よりも屋内退避を優先することが必要な場合があり、この場合は、一般的に遮蔽効果や建屋の気密性が比較的高いコンクリート建屋への屋内退避が有効である。

具体的な屋内退避の措置は、原子力災害対策重点区域の内容に合わせて、以下のとおり講ずるべきである。

- ・PAZにおいては、原則として、施設敷地緊急事態に至った時点で施設敷地緊急事態要避難者に対して、また、全面緊急事態に至った時点で全ての住民等に対して避難を実施するが、避難よりも屋内退避が優先される場合に実施する必要がある。
- ・UPZにおいては、段階的な避難やOILに基づく防護措置を実施するまでは屋内退避を原則実施しなければならない。
- ・UPZ外においては、UPZ内と同様に、事態の進展等に応じて屋内退避を行う必要がある。このため、全面緊急事態に至った時点で、必要に応じて住民等に対して屋内退避を実施する可能性がある旨の注意喚起を行わなければならない。

前記の屋内退避の実施に当たっては、プルームが長時間又は断続的に到来することが想定される場合には、その期間が長期にわたる可能性があり、屋内退避場所への屋外大気の流入により被ばく低減効果が失われ、また、日常生活の維持にも困難を伴うことから、避難への切替えを行うことになる。特に、住民等が避難すべき区域においてやむを得ず屋内退避をしている場合には、医療品等も含めた支援物資の提供や取り残された人々の放射線防護について留意するとともに、必要な情報を絶えず提供しなければならない。

なお、地域防災計画（原子力災害対策編）の作成に当たっては、気密性等の条件を満たす建屋の準備、避難に切り替わった際の避難先及び経路の確保等について検討し、平時において住民等へ情報提供しておく必要がある。

補足) OIL (Operational Intervention Level): 運用上の介入レベル

また、原子力災害発生時における防護措置については、平成 28 年（2016 年）3 月 16 日の原子力規制委員会において、原子力災害発生時の防護措置の考え方[9]が示されています（以下の四角囲みは関係部分を抜粋）。

- 原子力災害発生時における防護措置の基本的な考え方は、重篤な確定的影響を回避するとともに、確率的影響のリスクを合理的に達成可能な限り低く保つことである。
- このためには、放射性物質の吸入による内部被ばくをできる限り低く抑えることが重要である。施設の近くでは、プルームや沈着核種からの高線量の外部被ばくも避けなければならない。
- 一方で、東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓から、避難行動には、それによって避けられる放射線影響と比較しても無視できない健康影響を、特に高齢者や傷病者等の要配慮者にもたらす可能性が高い。また、避難渋滞やパニックに伴う事故等も考えると、避難行動には常に危険が伴うことを認識すべきである。
- PAZ 圏内のような施設の近くの住民は、プルームによる内部被ばくだけでなく、プルームや沈着核種からの高線量の外部被ばくを含めた影響を避けるため、放射性物質が放出される前から予防的に避難することを基本として考えるべきである。ただし、この場合であっても、避難行動に伴う健康影響を勘案して、特に高齢者や傷病者等の要配慮者については、近傍の遮へい効果や気密性が高いコンクリート建屋の中で屋内退避を行うことが有効である。一方で、比較的施設から距離の離れた UPZ 圏内においては、吸入による内部被ばくのリスクをできる限り低く抑え、避難行動による危険を避けるためにも、まずは屋内退避をとることを基本とすべきである。

補足) UPZ (Urgent Protective Action Planning Zone): 緊急防護措置を準備する区域のことで、原子力発電所から概ね 30 km 圏

(2) 屋内退避の有効性

原子力災害対策指針[1]では、「PAZ においては、原則として、施設敷地緊急事態に至った時点で施設敷地緊急事態要避難者に対して、また、全面緊急事態に至った時点で全ての住民等に対して、避難を即時に実施しなければならない。」とされています。しかし、避難のための移動がかえって危険を伴う場合（例えば、社会福祉施設や医療機関において、移送先の受入準備の問題を含む搬送に伴うリスクがある場合）は、避難より屋内退避を優先すべきです。また、特に原子力施設に近いところで屋内退避を行う場合には、放射線の遮へい効果や気密効果が高い鉄筋コンクリート造建屋に屋内退避することが有効です。

なお、本冊子事故シナリオでは、環境中に放出された放射能（ベクレル）はキセノン 133 (Xe-133) 等の希ガスが大部分を占めます（参考情報 1）。Xe-133 に代表される希ガス類から放出される比較的低エネルギーのガンマ線は建物の建材によって大きな遮へい効果が期

待されます。また、建物には一定の気密性があるため、放射性プルーム中の放射性物質の屋内への侵入も防ぐことができます。放射性物質は、Xe-133 のような希ガスのほか、多くの核種が粒子状物質で存在しています。特に、放射性ヨウ素については、希ガスと同様に反応性の低い有機ヨウ素のガスに加え、元素状のガス及び粒子状物質として環境中に存在することが知られています。これらの物理化学的形態の違いによって屋内へ侵入する程度は異なるものの（参考情報 2）、放射性物質の放出時には、屋内退避して放射性物質が通過するのを待つことで、被ばく線量を低減できます。

（3）避難することの弊害

原子力施設から離れることを目的とした避難は、放射性物質の放出前に行えば被ばくを防ぐことができるため、特に放出源から近い概ね 5 km 圏内では被ばく線量の低減効果が大きい一方で、以下の弊害が考えられます（参考情報 3）。

- 社会福祉施設の入所者や医療機関の入院患者等が避難する場合には、避難先での受入準備が必要なこと、移動・搬送にストレッチャー等を搭載する特別な車両が必要なことから、しっかりとした準備が整わない段階で無理に避難をすると、健康状態が悪化するおそれがあります。
- 地震や台風等との複合災害の際には、それまでに把握できた状況を超えた道路の寸断等で避難／移動が困難となることや、避難時の混乱・交通渋滞によりスムーズな避難が困難になる可能性があります。それによって、当初想定していたよりも避難先への移動に時間がかかり、その間に放射性物質が放出される事態となった場合には、避難中に車両内で被ばくすることになります。また、避難渋滞やパニックに伴う事故等も考えると、避難行動には危険が伴います。

2. 屋内退避による被ばく線量の低減効果

(1) 基本事項

1) 原子力災害発生時に生じる被ばくの経路

原子力発電所事故が発生し、放射性物質が放出されると、これら放射性物質は、放射性プルームとなって、周辺地域へ拡散しながら流れていきます（降雨等の影響により地表面等に沈着することもあります）。屋外滞在時と屋内退避時に想定される被ばく経路（どこからどのように被ばくするか）を図1に示します。屋外滞在時の被ばく経路としては、屋外の空気中の放射性物質及び地表面等に沈着した放射性物質からの放射線による外部被ばくと、屋外空気中の放射性物質を吸入することによる内部被ばくがあります。屋内退避時の被ばく経路は以下の5経路が想定されます。

- 屋外空気中の放射性物質からの外部被ばく
（以下「屋外クラウドシャイン」といいます。）
- 屋外地表面等に沈着した放射性物質からの外部被ばく
（以下「屋外グラウンドシャイン」といいます。）
- 屋外から流入してきた屋内空気中の放射性物質からの外部被ばく
（以下「屋内クラウドシャイン」といいます。）
- 屋外から流入して屋内床面等に沈着した放射性物質からの外部被ばく
（以下「屋内グラウンドシャイン」といいます。）
- 流入してきた屋内空気中の放射性物質を吸入することによる内部被ばく
（以下「内部被ばく」といいます。）

屋内退避した場合は、屋外の空気中の放射性物質と地表面等に沈着した放射性物質からの放射線は建物によって遮へいされ、外部被ばく線量が低減します。また、建物の気密性によって、屋内空気中の放射性物質濃度は屋外よりも低くなるため、吸入による内部被ばく線量も低減します（参考情報4及び5）。

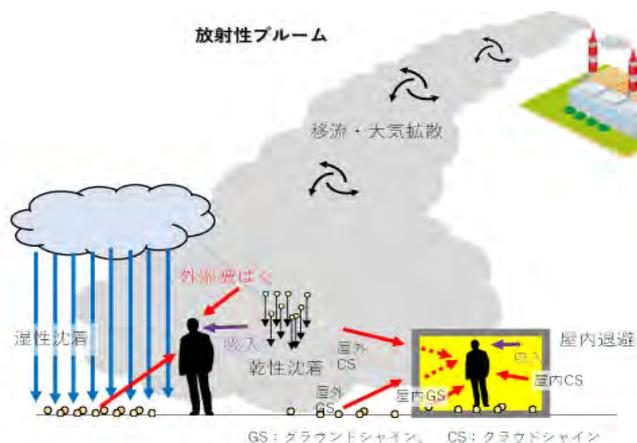


図1 原子力事故時に想定される被ばく経路

2) 放射線防護対策が講じられた建屋内への屋内退避

屋内退避をすることにより、前記の屋外クラウドシャインと屋外グラウンドシャインによる外部被ばくは、壁や屋根の遮へい効果によって低減されます。また、吸入による内部被ばくは、気密性の確保や陽圧化によって低減することができます。

原子力発電所近傍の地域においては、避難行動に伴う健康影響を勘案して、無理な避難により健康リスクが高まると考えられる方については、これらの機能を強化した建屋（図2：以下「放射線防護対策が講じられた建屋」といいます。）に屋内退避し、被ばくの低減を図ることにしています。

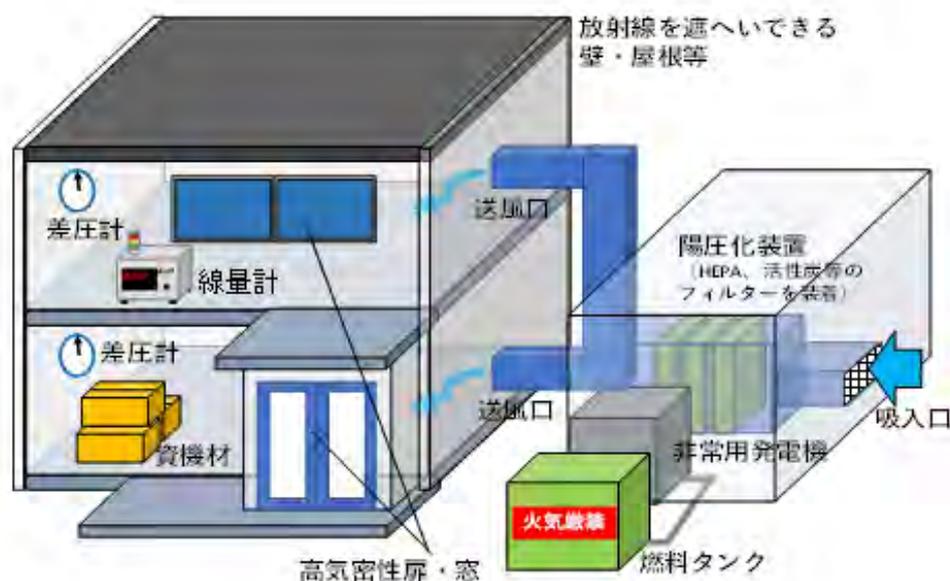


図2 放射線防護対策が講じられた建屋のイメージ

3) 内閣府（原子力防災担当）において実施している事業

内閣府（原子力防災担当）において実施している原子力防災研究事業では、建屋の遮へい効果や気密性について代表的条件で計算シミュレーションを行い、屋内退避の効果を評価しました。具体的には、屋内退避や一時集合場所等の建屋の構造部材等を調査・解析して遮へい効果を求めました。また、気密性については建屋の特性を考慮しつつ、陽圧化装置のフィルターによる放射性物質の除去の効果も考慮して評価しました。

(2) サイトからの距離に応じた7日間の積算被ばく線量の試算

1) 計算条件（基本シナリオ）

本冊子事故シナリオでの試算条件は、原子力規制委員会の試算に用いられた条件[10]を基本とし、セシウム 137 (Cs-137) の放出量を 100 TBq、その他核種がセシウムと同じ割合で換算された量、さらに希ガス類が全量、環境中に放出されるような事故を仮定しました。た

だし、原子炉停止から放出までの時間を 24 時間として各核種の環境への放出量を算出しました（参考情報 1）。気象条件については、原子力規制委員会試算の気象サンプリングで使用された茨城県東海地区の気象データの平均風速の最頻値である 1.0 m/s の風速で、風向は建屋に向かって一定としました。また、大気安定度は同地域の最頻値である D としました。大気安定度は大気の混合や拡散のしやすさを表す指標であり、A～C：不安定、D：中立、E～F：安定と分類されます。

建屋モデルは、RC 造及び非 RC 造（鉄骨造や木造等の RC 造以外の建屋）の 2 種類の構造を模擬しました（参考情報 6）。建屋規模は、各自治体において屋内退避を行うために放射線防護対策が講じられた建屋 110 件の建築図面等を参考に、床面積 1,300 m²、1 階建て、建物高さ 4 m としました。その他のパラメータとして、窓面積/壁面積比（窓面積を壁と窓を合算した面積で除した値）は、前述の建屋図面の統計値から、中央値である 0.2 を採用しました。換気率は 0.07 h⁻¹ を採用しました（参考情報 2）。

建屋まで到達した放射性物質のうち、建屋内に流入する放射性物質の割合を浸透率と呼び、自然換気率等との関係を用いて実験的に算出されます。その値は放射性物質の物理化学的形態等によって異なり、ここでは、粒子状の放射性物質（無機ヨウ素を含む）に対して 0.5 と仮定しました（参考情報 2）。

陽圧化装置の設定差圧については、屋外に対する屋内の圧力差は+20 Pa として評価しました。本試算では、屋内退避期間を 7 日間とし、その間は放射性プルームが通過後も窓の開放等は実施しないものとした。

上述した計算条件を、以降の基本シナリオとして評価を行いました。

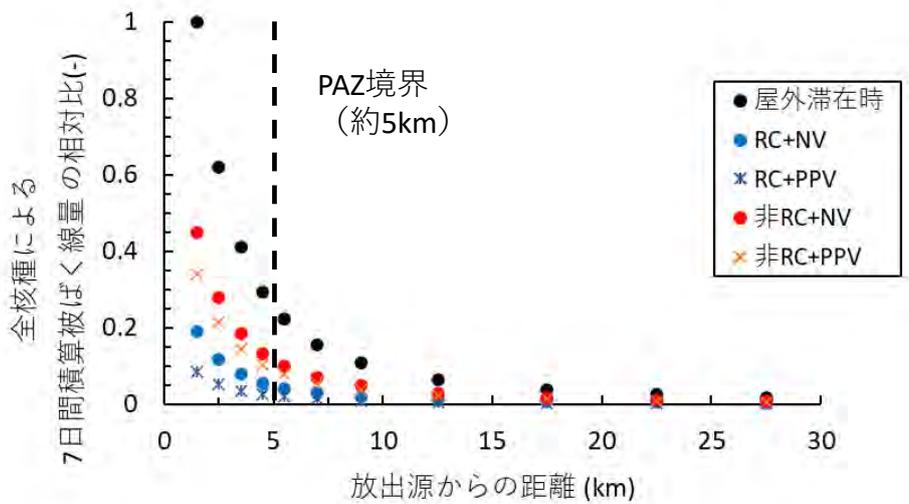
2) 計算方法

屋外の空气中放射性物質濃度はガウスパフモデル（放射性物質の放出を適切な時間間隔で区切り、瞬間放出による独立のものと仮定し、風速によって移流・拡散を表現したモデル）を使用して算出しました。算出された空气中放射性物質濃度から、放射性物質の物理化学的形態等に応じた沈着速度を用いて地表面への放射性物質の沈着量を算出しています。屋内の空气中及び床表面の放射性物質濃度は、屋外と屋内の圧力差によって建屋内に放射性物質が流入するものとしたコンパートメントモデルを用いて算出しました[5]。屋外及び屋内の放射性物質からの外部被ばく線量は、放射線輸送計算コード（放射線源の形状、エネルギー、強度等を入力し、任意の位置での線量を計算するもの）で評価しました[5]。対象領域は水平方向には屋外の場合は建物を中心とした半径 500 m、屋内の場合は建屋内全体（ただし、壁から 50 cm 以内は除外）とし、高さは床から 0.75～1.25 m の範囲としました。内部被ばく線量は、成人男性を想定した呼吸率、線量換算係数を用いて評価しました。

3) 試算結果

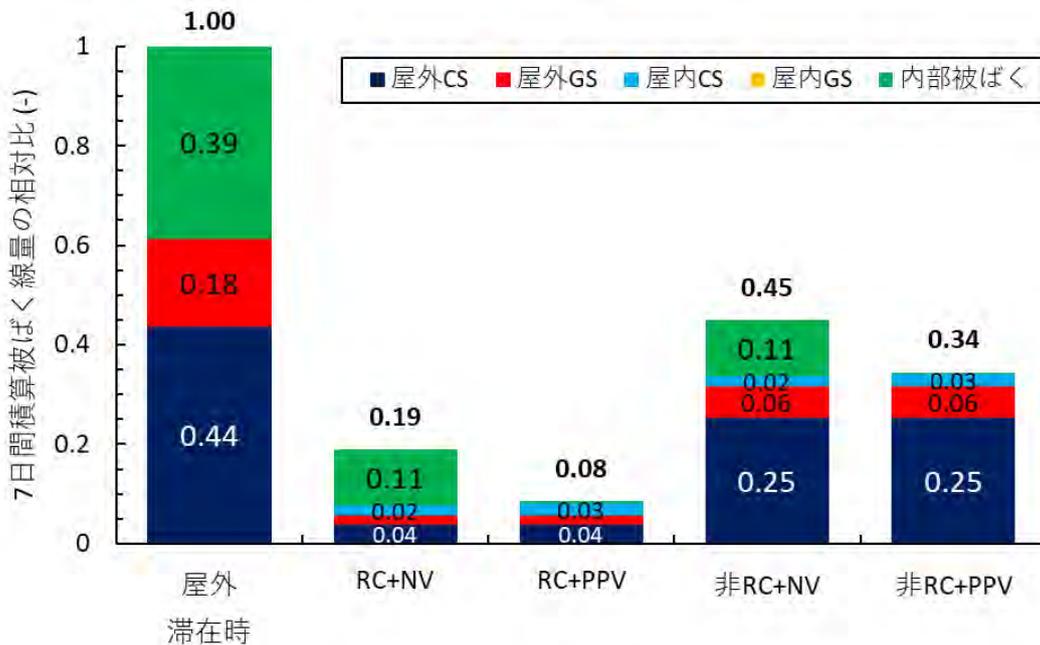
試算結果を図 3 及び図 4 に示します。図 3 は放射源からの距離に応じた 7 日間積算被ばく線量の相対値を示しています。図 4 は放射源からの距離が 2.5 km 地点における、屋外滞在時の被ばく線量を 1 とした場合の建屋種類ごとの換気別（自然及び陽圧化）の 7 日間積算被ばく線量の相対値を示しています。

図 3 を見ると、放射源からの距離が遠くなるに従って、被ばく線量が減少していることが分かります。図 4 では、RC 造建屋に屋内退避することにより、被ばく線量は、屋外滞在時と比較して大きく減少していることが分かります。また、RC 造建屋を陽圧化することによって、内部被ばく線量が更に大きく低減しています。非 RC 造は、RC 造に比べて屋外線源からの外部被ばくの寄与が大きく、遮へい効果は小さくなります。



RC：RC造建屋に屋内退避、非RC：鉄骨造など、RC造以外建屋に屋内退避
 NV：自然換気、PPV：陽圧化換気（差圧20 Pa）
 放出源からの距離1.5 km地点における屋外滞在時の7日間積算被ばく線量を1として比較

図3 放出源からの距離と7日間積算被ばく線量の相対比の関係（全核種）



RC：RC造建屋に屋内退避、非RC：鉄骨造など、RC造以外建屋に屋内退避
 NV：自然換気、PPV：陽圧化換気（差圧20Pa）
 放出源からの距離2.5km地点における屋外滞在時の7日間積算被ばく線量を1として比較

図4 建屋種類ごとの換気別（自然及び陽圧化）の7日間積算被ばく線量の相対比（全核種）

*) 棒グラフ上側の数値は屋外滞在時の総被ばく線量を1とした場合の各条件での線量の相対比を示し、棒グラフ内部の数値は屋外滞在時の総被ばく線量を1とした場合の各要素の被ばく線量の相対値を示します。ただし、四捨五入の関係で合計値が1にならない場合もあります。

(3) 建屋内での屋内退避による被ばく線量低減効果

1) 外部被ばく線量の低減効果

屋外滞在時の被ばく線量に対して、様々な構造の建屋に屋内退避した場合の外部被ばく線量比を図5に示します。屋外滞在時に対して、外部被ばく線量は、RC造建屋に屋内退避した場合は9割弱の減、非RC造建屋に屋内退避した場合は4～5割程度の減となりました。これは、それぞれの構造に使用されている壁や屋根等の材料によって放射線の遮へい効果が異なるためです(参考情報7)。また、建屋規模によっても遮へい効果は異なり、建屋面積が大きいほど、外部被ばくの低減効果は大きくなります(参考情報8)。

なお、屋外滞在時では外部被ばく線量全体の7割程度、屋内退避時には外部被ばく線量全体の8割程度が希ガスによります。

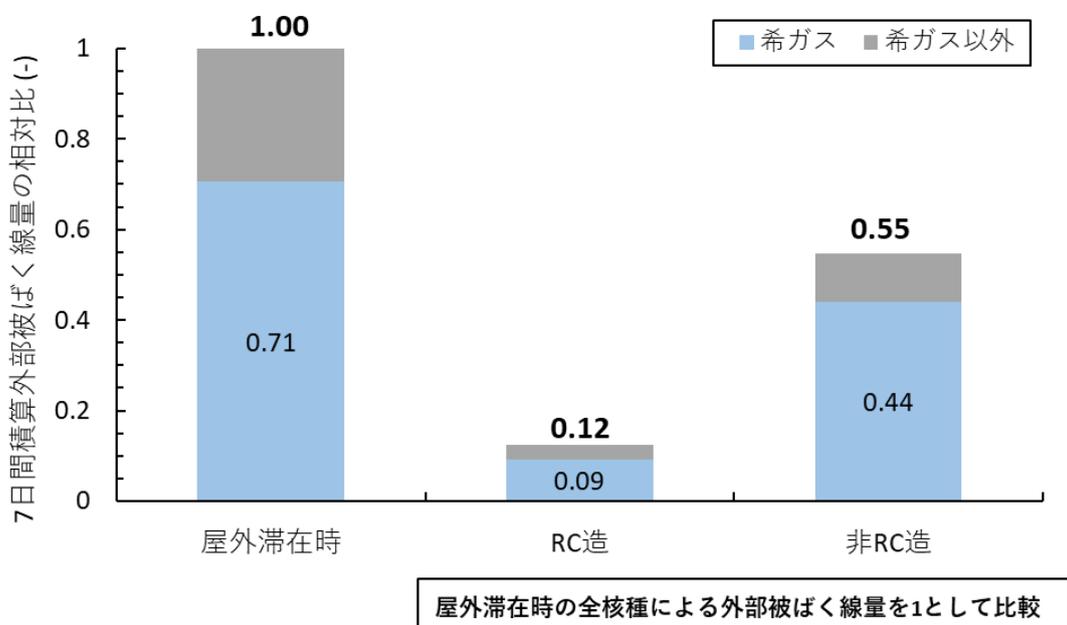


図5 屋外滞在時の外部被ばく線量に対する様々な建屋に屋内退避した場合の外部被ばく線量の相対比*)

*) 2(2)1)の基本シナリオに基づき、放出源からの距離2.5km地点において参考情報6に示したRC造及び非RC造の建屋モデルに屋内退避した場合の評価例であり、屋外滞在時の外部被ばく線量と比較しています。

図5に示すように、非RC造の建屋はRC造の建屋に比べて、外部被ばく線量低減効果が小さくなりますが、鉛等の遮へい体を壁、天井、窓等に設置する追加対策を行うことによって、放射線の遮へい効果を高めることができます。非RC造建屋の壁・天井・窓へ遮へい体設置の追加対策を施した場合について、外部被ばく線量低減効果を比較しました(図6)。屋外滞在時と比較して、参考情報6に整理した非RC造の建屋への屋内退避の場合には被ばく線量が4～5割程度の減、追加対策として建屋の壁に厚さ2mmの鉛を設置する場合には

被ばく線量が5割強の減、天井に鉛0.5mmを設置する場合には6~7割程度の減となりました。さらに、窓・壁・天井全てに鉛を設置する場合には8割弱程度の減となりました。

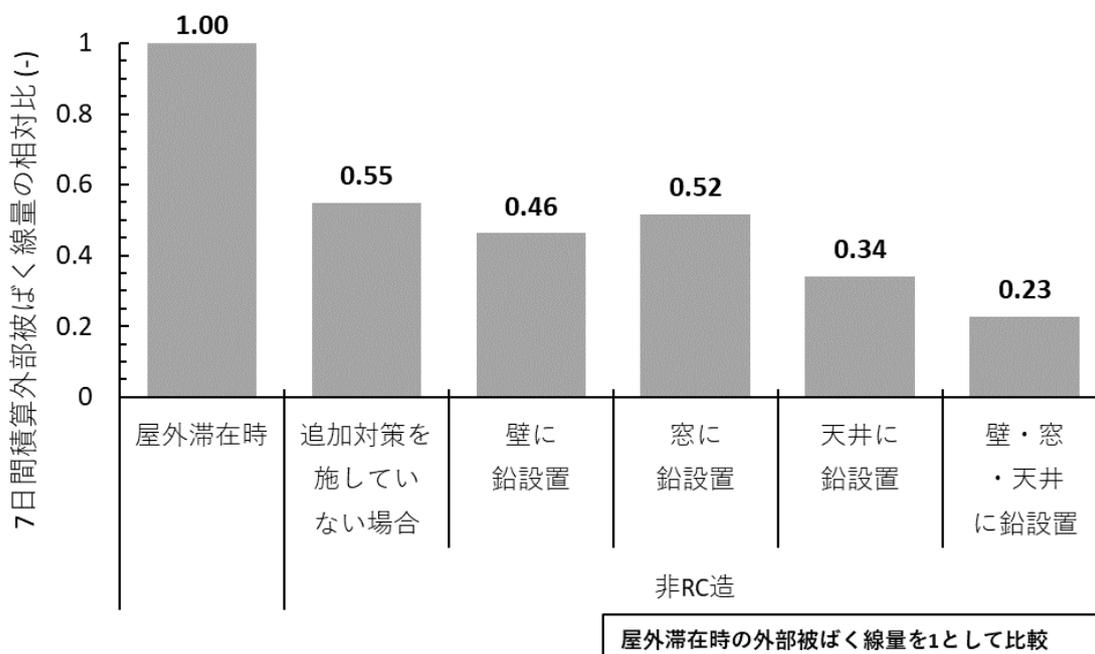


図6 屋外滞在時の外部被ばく線量に対する、様々な追加対策等を施した非RC造建屋に屋内退避した場合の外部被ばく線量の相対比*)

*)2(2)1の基本シナリオに基づき、放出源からの距離2.5km地点において参考情報6に示した非RC造建屋モデルに対して建屋構成部材を変えるなどの追加対策を施した場合の評価例であり、屋外滞在時の外部被ばく線量と比較しています。

壁、屋根、窓等に遮へい体を設置する追加対策によって、外部被ばく線量低減効果を高めることができることを図6に示しましたが、その他にも、例えば、鉛カーテンを窓や間仕切りのように使用することによって被ばく線量を低減することができます(参考情報9)。

2) 内部被ばく線量の低減効果

空気中に浮遊する放射性ヨウ素等の放射性物質を呼吸によって体内に取り込むことで生じる内部被ばくを防ぐには、気密性が高く、外気の流入を防ぐことのできる建屋への屋内退避が有効です。陽圧化をしていない(自然換気)一般の建屋では、施設の気密性に応じて外気に含まれる放射性物質の一部が建屋内に流入します。一方、放射線防護対策が講じられた建屋においては、屋内退避時には建屋の陽圧化が行われます。陽圧化とは、施設内の気圧を屋外より高めることで、放射性物質を含む屋外の空気が屋内へ流入することを防ぐ措置です。また、放射線防護対策が講じられた建屋の陽圧化装置には、屋外空気から放射性物質を除去する放射性物質除去フィルターが装着されています。これによって、粒子状の放射性物質や放射性ヨウ素の大部分が除去された空気を屋内に大風量で送風することで屋内の気圧

を屋外よりも高め、屋外からの放射性ヨウ素や粒子状の放射性物質の流入を大幅に防ぐことが可能となります（図7）。

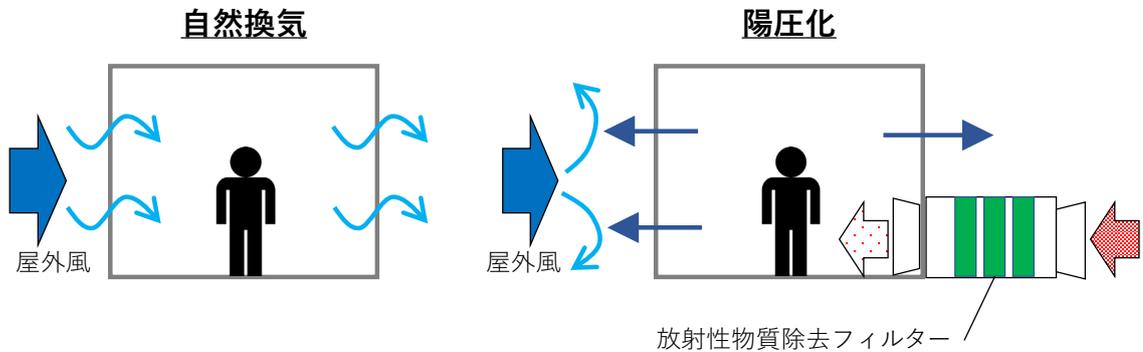


図7 陽圧化の概念図

放射線防護対策が講じられた建屋の陽圧化装置には一般的に以下の3種類の放射性物質除去フィルターが装荷されています（図8）。

- プレフィルター：空気中のゴミ、粉塵等を取り除きます。
- HEPA フィルター：粒子状の放射性物質を取り除きます。捕集効率は99.97%以上（粒径 $0.3 \mu\text{m}$ の粒子の場合）です。
- 活性炭フィルター：放射性ヨウ素を取り除きます。活性炭フィルターには粒状活性炭や活性炭素繊維を用いたものがあり、フィルター単体の捕集効率は99.5%以上です。

各フィルターは通常7日間以上の連続使用が可能です。

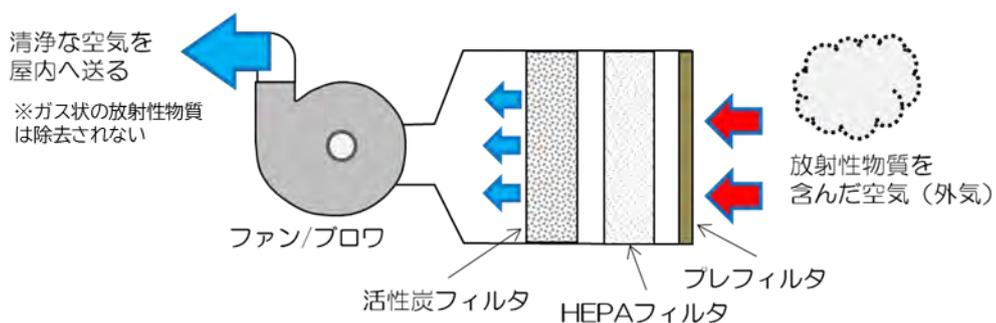


図8 陽圧化装置に装荷されているフィルター例

2 (2) 1) の基本シナリオに基づき、建屋内を陽圧化した場合と陽圧化しない場合（自然換気）の7日間積算内部被ばく線量の屋外滞在時に対する相対比を図9に示します。陽圧化した場合には、屋外滞在時と比較して内部被ばく線量が99%低減します。陽圧化しない

場合（自然換気）は7割の低減となります。このことから陽圧化を行うことによって、内部被ばく線量を大幅に低減できることが分かります。

また、自然換気の場合に、放射性プルーム通過後に窓開放等による換気を行うことによって、室内に滞留している放射性物質を排出し、内部被ばく線量をさらに低減する効果があります（参考情報 10）が、換気のタイミングの判断等運用上の課題があるため、本試算では2 (2) 1) の基本シナリオに示した通り、窓の開放を実施しないとしました。

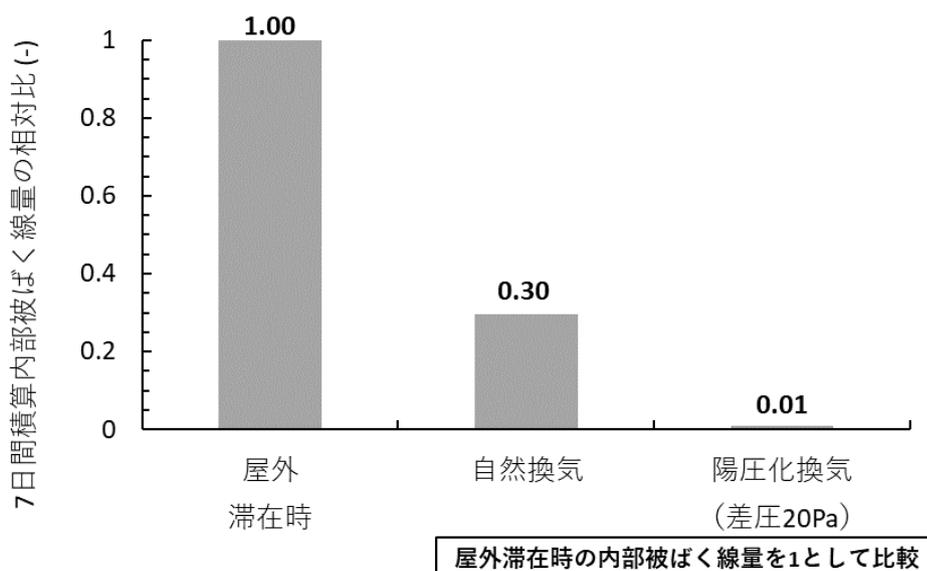


図 9 屋外滞在時の内部被ばく線量に対する建屋内を陽圧化した場合と陽圧化しない場合（自然換気）との7日間積算内部被ばく線量の相対比^{*)}

^{*)}2 (2) 1) の基本シナリオに基づき、放出源からの距離 2.5km 地点における、参考情報 6 に示した建屋モデルで陽圧化した場合と陽圧化しない場合（自然換気）の評価例であり、屋外滞在時の内部被ばく線量と比較しています。

3) 陽圧化の設定圧について

圧力 20 Pa で陽圧化した、参考情報 6 に示した RC 造の建屋モデルに屋内退避した場合の風速と7日間積算被ばく線量の関係を図 10 に示します。評価は2 (2) 1) の基本シナリオを基にして、風速を変えて行いました。その結果、屋外風速の増大に従い、被ばく線量は低減することが分かります。風圧力が屋内の圧力より大きくなった場合には、屋外の空気が屋内に流入するため、被ばく線量がわずかに増加します。しかし、風速が大きくなると、大気中での拡散によって放射性プルーム中の放射性物質濃度が低下するため、被ばく線量が大きく増加することにはなりません。例えば、図 10 において風圧力が 20 Pa 相当となる風速の 7.8 m/s の時の被ばく線量の相対値と風圧力が室内圧を超える風速である 10 m/s の時の相対値を比較すると、その増加分は全体に比べわずかです。このことから、ある程度以上に設定圧力を高めることの効果は小さいと言えます。

陽圧化の設定差圧とその効果について例を示します。ある施設周辺における過去の平均風速が図 11 のような頻度分布であったとすると、平均風速の 95 パーセンタイル値は 6~7 m/s になります。一方、図 10 に示している被ばく線量の微増が始まるのは 20 Pa 相当の風圧力となる風速 7.8 m/s を超えた場合です。風速が大きくなると、放射性プルームの拡散効果により空気中の放射性物質濃度も同時に低下するため、被ばく線量の増加はごくわずかにとどまる結果となりました。したがって、陽圧化の設定差圧を 20 Pa とした場合も屋外風速の増大に伴う屋外放射性物質の屋内への流入の影響はごくわずかであることが分かりました（参考情報 11）。そのため、建屋の条件等を考慮する必要はあるものの、陽圧化設定値は 20 Pa が目安となると考えられます。以上のことから、放射線防護対策が講じられた建屋の陽圧化設定値は、必要以上に差圧を高める必要は無いと考えられます。

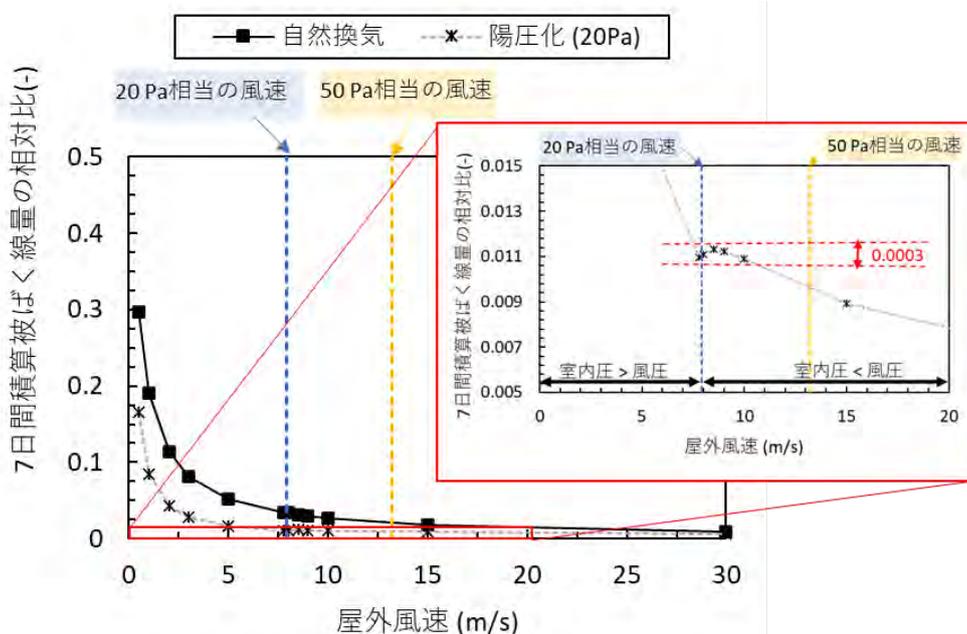


図 10 RC 造建屋における屋外風速と 7 日間積算被ばく線量の相対比の関係*)

*) 2 (2) 1) の基本シナリオに基づき、放出源からの距離 2.5km 地点において陽圧化した参考条件 6 に示した RC 造建屋モデルに屋内退避した場合に、風速が変化した場合の外部及び内部被ばく線量の評価例を示しています。合わせて、陽圧化しない場合（自然換気）の評価例も加えています。グラフの縦軸は風速 1.0 m/s での放出源からの距離 2.5km 地点における屋外滞在時の 7 日間積算被ばく線量を 1 とした場合の相対比を示します。

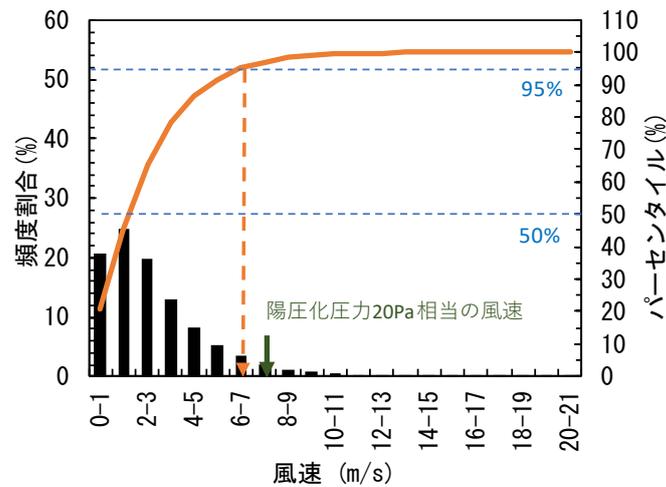


図 11 ある原子力発電所近傍の気象観測所における平均風速頻度分布

(4) 屋内退避による被ばく線量低減効果のまとめ

放射線防護対策が講じられた建屋等へ屋内退避した場合の被ばく線量の試算結果をまとめると以下のようになります。

- ・ 外部被ばく線量は、RC 造建屋に屋内退避することで屋外滞在時に比べて 9 割弱低減します。非 RC 造建屋については、4~5 割程度低減します。
- ・ 内部被ばく線量（7 日間の積算）は、陽圧化することで 99 % 低減します。
- ・ 外部被ばくと内部被ばくの合計した 7 日間の積算被ばく線量は、陽圧化対策が講じられた RC 造建屋への屋内退避により屋外滞在時に比べ 9 割以上低減できるため、陽圧化対策が講じられた RC 造建屋には、大きな被ばく低減効果があることが分かります。

ただし、本冊子では建屋の床面積を 1,300 m² として試算しており、仮に床面積がこれよりも小さい場合（参考情報 8）や、屋根や壁等の材料が異なり厚さ密度がより小さい場合（参考情報 7）には、外部被ばくの低減効果がより小さくなります。

例えば、原子力規制庁の受託事業において取りまとめられた成果[11]によると、クラウドシャイン及びグラウンドシャインのエネルギー別、階層別（1 階と 2 階）の外部被ばくの低減係数は、それぞれ 0.68~0.95 及び 0.48~0.63 とされています。これらの値は、国内の木造住宅を対象に行われた調査をもとに、床面積 93 m²、屋根及び壁の厚さ密度をそれぞれ 0.75 g cm⁻² 及び 2.425 g cm⁻² として計算してされたもので、本冊子と比べて小規模かつ厚さ密度が小さい場合の一例となっています。

また、車両による被ばく低減効果については、参考情報 12 として取りまとめています。

3. 放射線防護対策施設における屋内退避の際の運用上の留意点

放射線防護施設において屋内退避を行うに当たっての主な留意点は以下の通りです（参考情報 13）。

- 災害広報、インターネット等の手段により、事故の進展状況を把握します。
- 国・自治体等から屋内退避の指示があった場合には、事前に準備してあるマニュアル等に従い、陽圧化装置を起動します。
- 窓枠、玄関等の出入口、換気扇等の空調機器設置箇所等の空気の出入りの多い場所では、外気の流入を防ぐ対策（ダンパ設置、二重扉等）が有効に機能することを確認します。
- 空調管理のために内部循環式のエアコンを使用することは可能です（現在、住居等の建屋において一般的に使用されているエアコンはほとんどが内部循環式です）。
- 国・自治体等から屋内退避解除の指示があった場合には、陽圧化装置を停止します。
- 屋内退避中は、屋外からの放射線と外気の屋内への流入を防ぐことが重要であるため、不用意に窓を開けない、不必要な外出を避ける等の行動をとります。
- 複合災害時には被ばく低減よりも生命の安全確保を優先します（例えば、津波警報時は屋内退避よりも高台への避難を優先します。） [12]。

なお、放射線防護対策が実施されていない一般の住宅における屋内退避時の建屋内への放射性物質の流入に起因する吸入による内部被ばくの評価については、日本における一般的な住宅の種類や構造、自然環境条件、対象放射性物質の特性等を考慮した評価モデルが必要となります（参考情報 14）。例えば、放射性ヨウ素は建物の隙間や壁面等に吸着しやすく、また、粒径によって沈着する度合も異なっており、放射性ヨウ素による内部被ばく線量を精度良く評価するためには、建物への浸透率や沈着率を求めることが不可欠となります（参考情報 2）。日本原子力研究開発機構では、これら課題を解決するため、日本家屋の自然換気率、ヨウ素の化学形を考慮した沈着速度・家屋内への浸透率等の評価パラメータを実験的に取得しています。

4. 参考資料等

- [1] 原子力災害対策指針（原子力規制委員会、平成 24 年 10 月 31 日制定）
(<https://www.nsr.go.jp/activity/bousai/measure/index.html>)
- [2] 日本原子力研究開発機構, 2017, 「平成 28 年度一時退避施設等の放射線防護対策に係る技術的知見の整備事業（内閣府受託報告書）」
- [3] 日本原子力研究開発機構, 2018, 「平成 29 年度原子力防災事業（内閣府受託報告書）第二分冊 放射線防護対策を講じた屋内退避施設における技術基準（案）の整備」
- [4] 日本原子力研究開発機構, 2019, 「平成 30 年度原子力防災事業（内閣府受託報告書）第二分冊 放射線防護対策を講じた屋内退避施設の技術仕様要件（案）の整備及び維持向上」
- [5] 日本原子力研究開発機構, 2020, 「平成 31 年度原子力防災研究事業（内閣府受託報告書）放射線防護対策に係る調査研究の実施及び施策への反映のための知見の整理 第二分冊（その 1）」
- [6] 日本原子力研究開発機構, 2021, 「令和 2 年度原子力防災研究事業（内閣府受託報告書）放射線防護対策に係る調査研究の実施及び施策への反映のための知見の整理 第二分冊（その 1）」
- [7] 日本原子力研究開発機構, 2022, 「令和 3 年度原子力防災研究事業（内閣府受託報告書）放射線防護対策に係る調査研究の実施及び施策への反映のための知見の整理 第二分冊（その 1）」
- [8] 原子力規制委員会, 2018, 「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」（平成 30 年 10 月 17 日）(<https://www.nsr.go.jp/data/000249587.pdf>)
- [9] 原子力規制委員会, 2016, 「原子力災害発生時の防護措置の考え方」（平成 28 年 3 月 16 日）(<https://www.nsr.go.jp/activity/bousai/measure/00000217.html>)
- [10] 原子力規制委員会, 2014, 「緊急時の被ばく線量及び防護措置の効果の試算について（案）」（第 9 回原子力規制委員会資料 2）（平成 26 年 5 月 28 日）
(<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11118514/www.nsr.go.jp/disclosure/committee/kisei/h26fy/20140528.html>)
- [11] 日本原子力研究開発機構, 2018, 「平成 29 年度原子力施設等防災対策等委託費（防護措置の実効性向上に関する調査研究）事業」
- [12] 原子力災害対策関係府省会議第三分科会, 2017, 「原子力災害時における情報提供の在り方について～複合災害も想定した避難・屋内退避の実効性向上に向けて～」（平成 29 年 7 月 24 日）(https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/pdf/05_shiryoku0823.pdf)

参考情報 1 評価で用いた放射能の放出量

本文中の評価で用いた放射能の放出量を核種別に表 1-1 に示します。放射能の放出量は以下のように算出しました。まず、平成 30 年(2018 年)度第 29 回原子力規制委員会における資料 6 の参考資料 3 に記載されている表「Cs-137 100 TBq 放出時の各核種放出量」中の環境への放出量を炉停止から放出までの時間 12 時間分の崩壊を逆算し、炉停止直後の炉心内蔵量を求めます。次に、求められた炉心内蔵量に炉停止から放出までの時間を 24 時間として崩壊を考慮して、環境への放出量を算出しました。

表 1-1 環境中に放出された放射能

核種		半減期	環境への放出量 (TBq)	核種		半減期	環境への放出量 (TBq)
希ガス	Kr-85	10.8年	3.98E+04	Ru類	Co-58	71日	5.12E-03
	Kr-85m	4.5時間	2.32E+04		Co-60	5.3年	1.07E-02
	Kr-87	1.3時間	2.87E+00		Mo-99	2.7日	7.72E+00
	Kr-88	2.8時間	5.49E+03		Tc-99m	6.0時間	5.43E-01
	Xe-133	5.2日	4.82E+06		Ru-103	39.3日	8.18E+00
	Xe-135	9.1時間	2.64E+05		Ru-105	4.4時間	1.28E-01
ヨウ素類	I-131	8日	6.99E+02		Ru-106	1.0年	2.76E+00
	I-132	2.3時間	7.87E-01		Rh-105	1.5日	3.13E+00
	I-133	21時間	7.02E+02		Y-90	2.7日	4.35E-01
	I-134	0.9時間	9.58E-06		Y-91	58.5日	7.47E+00
	I-135	6.6時間	1.18E+02		Zr-95	64日	1.03E+01
Cs類	Rb-86	18.7日	2.73E+00		Zr-97	16.7時間	3.87E+00
	Cs-134	2.1年	1.61E+02		Nb-95	35日	1.02E+01
	Cs-136	13.2日	4.44E+01		La-140	1.7日	7.26E+00
	Cs-137	30.2年	1.00E+02	Pr-143	13.6日	8.56E+00	
Sr類	Sr-89	50.5日	1.27E+02	Nd-147	11.0日	3.64E+00	
	Sr-90	28.8年	1.18E+01	Am-241	432.2年	9.21E-04	
	Sr-91	9.6時間	2.83E+01	Cm-242	163日	2.83E-01	
	Ba-140	12.8日	2.20E+02	Cm-244	18.1年	2.22E-02	
Te類	Te-127	9.4時間	4.37E+00	Ce類及びLa類	Ce-141	32.5日	9.55E+00
	Te-127m	109日	1.88E+00		Ce-143	1.4日	5.54E+00
	Te-129	1.2時間	5.95E-05		Ce-144	285日	7.40E+00
	Te-129m	33.6日	1.03E+01		Np-239	2.4日	8.52E+01
	Te-131m	1.3日	4.41E+01		Pu-238	87.7年	1.98E-02
	Te-132	3.2日	3.74E+02		Pu-239	2.41 × 10 ⁴ 年	2.22E-03
	Sb-127	3.9日	2.33E+01		Pu-240	6564年	2.84E-03
	Sb-129	4.4時間	2.35E+00		Pu-241	14.4年	8.17E-01

参考情報 2 相当隙間面積、建蔽率、自然換気率、浸透率及び建屋内沈着率等を考慮した、屋内退避中の放射性ヨウ素等の放射性物質による内部被ばくの低減効果

屋外空气中に浮遊する放射性物質は、建屋表面の隙間（窓サッシや建材の接合面、亀裂やひび割れ等）を介して屋内に流入します。その場合、隙間の床面積に対する割合（相当隙間面積）が大きいほど、短時間で建屋内の空気が入れ替わることになり、屋内への流入量は多くなります。ただし、そこに含まれる放射性物質の一部は隙間等に付着するため、全量が屋内に流入するわけではありません。この屋内へ流入する割合を浸透率と呼びます。

浸透率は実験に基づく自然換気率との関係式（※1）を用いて算出され、放射性物質の物理化学的形態等によって異なるものの、表 2-1 に示した条件では粒子状物質では 0.5~0.6 となります。厳密には、相当隙間面積、建蔽率、風速及び建屋内外の温度差の組み合わせによって自然換気率が変化するので、対応する浸透率の値も異なってきます。

本冊子の本文に示した試算では、風速 1 m/s、建屋内外の温度差なし、建蔽率 15%、相当隙間面積 5 cm²/m²（※1）、自然換気率を 0.07 h⁻¹ と仮定し、ガス状以外の放射性物質の浸透率として 0.5 という値を使用しています。

表 2-1 屋内退避中の放射性ヨウ素等の放射性物質による内部被ばくの低減効果の試算に用いた、相当隙間面積、建蔽率、自然換気率、浸透率及び建屋内沈着率等

相当隙間面積	建蔽率 (1)	自然換気率(2)	浸透率(3)		建屋内 沈着率(5)
			粒子状物質(4)	ガス状(元素状) ヨウ素	
15 cm ² /m ²	15%	0.2 h ⁻¹	0.6	0.04	0.1 h ⁻¹
5 cm ² /m ²	15%	0.07 h ⁻¹	0.5	0.01	0.1 h ⁻¹
2 cm ² /m ²	15%	0.05 h ⁻¹⁽⁶⁾	0.5	0.008	0.1 h ⁻¹

(1) 茨城県東海村（2020年時点での調査）から約700地点を抽出して評価した結果から中央値を利用。

(2) 赤林ら（1994）をもとに、建蔽率15%、風速1 m s⁻¹、室内外温度差なしで計算した結果。

(3) 実験に基づく自然換気率との関係式を用いて算出。

(4) 粒子状のヨウ素も含む。

(5) 沈着率はカーペット・畳・フローリングの評価結果（0.01~0.2）の幾何平均値。

(6) 過去の文献等に基づいて、0.05 h⁻¹を自然換気率の下限值と仮定。

[参考文献]

赤林ら、周辺に建物群のある独立住宅の風圧分布に関する風洞実験および換気量予測その1、日本建築学会計画系論文集、456、pp.17-27(1994).

※1 出典は、令和2年度原子力規制庁委託業務結果報告書：「原子力施設等防災対策等委託費（防災措置の実効性向上に関する調査研究）事業」。また、当該委託事業では、文献調査を基に、相当隙間面積の頻度分布を作成し、1980年以前の建物は15 cm²/m²、1981~1992年の建物は5 cm²/m²、1993年以降の建物は2 cm²/m²を使用しており、本冊子では5 cm²/m²を使用しました。

参考情報 3 避難することの弊害

東京電力福島第一原子力発電所事故の際、老人福祉施設等の入所者が十分な準備等が整わない中での急な避難により死亡するリスクについて問題となりました。この問題については、事故後に様々な検証がなされてきました。

- (1) 例えば、Nomura et al. (2013) は、複数回の避難が繰り返された場合に、一回目の避難後の死亡率がそれ以降の避難後に比べて明らかに高いことを示し、高齢者の健康影響に係るファクターとして、避難先での介護の質、避難方法を挙げています。
- (2) 例えば、Murakami et al. (2015) は、十分な準備が整わない中での急な避難を行った場合と、計画的に避難（90 日後）を行った場合とで、平均余命損失（LLE; 人間が行う食事や日常の行動などに寿命を短くするリスクがどれくらいあるのかを寿命の損失で示したもの）を比較しました。その結果、計画的に避難を行った場合は LLE が 1.6 日から 13 日の範囲であったのに対して、急な避難を行った場合の LLE は 22 日から 140 日でした。また、避難せずに 20 mSv 及び 100 mSv の被ばくが生じた場合の余命損失を、これらの値と比較しています。その結果、十分な準備が整わない中での急な避難に起因する LLE は、避難せず年間に 20 mSv の被ばくが生じた場合の約 10 倍、避難せず年間に 100 mSv の被ばくが生じた場合の約 2 倍でした。この結果から、十分な準備等が整わない中での急な避難によるリスクは、100 mSv 以下の被ばくのリスクよりも高くなると考えられます。

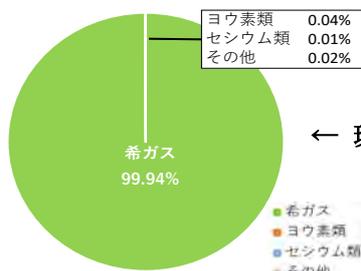
以上のように、十分な準備等が整わない中での急な避難は、それ自体が健康上のリスクであり、その要因としては、例えば、避難先でのケアが不十分であること（きめ細やかなケアが提供できないこと（引継が十分でないことを含む。）、人員配置と体制）や適切な移動手段が確保できないこと等が考えられます。いずれにせよ、福祉施設の入所者等については、十分な準備が整わない中での急な避難は健康状態を悪化させる可能性が高いことを念頭に置く必要があります。

ただし、避難せずに屋内退避する場合は、インフラ、物資、介護体制等について十分な準備が不可欠となります。これらの準備がなされている条件下においては、必ずしも避難が命を守る最良の方法とはならず、高齢者等にとっては、避難によるリスクと放射線被ばくによるリスクのバランスをとることが重要です。

[参考文献]

- Nomura, S., Stuart, G., Tsubokura, M., Yoneoka, D., Sugimoto, A., Oikawa, T., Kami, M., and Shibuya, K., 2013. "Mortality risk amongst nursing home residents evacuated after the Fukushima Nuclear Accident: a retrospective cohort study. PLOS ONE 8 (3): e60192. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060192>
- Murakami, M., Ono, K., Tsubokura, M., Nomura, S., Oikawa, T., Oka, T., Kami, M., and Oki, T., 2015. Was the risk from nursing-home evacuation after the Fukushima Accident higher than the radiation risk? PLOS ONE 10 (9): e0137906. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137906>.

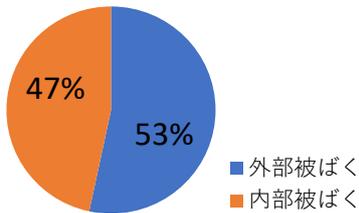
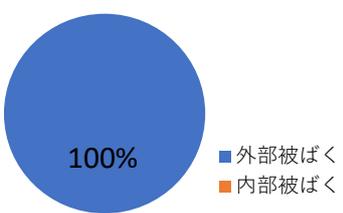
参考情報 4 本冊子事故シナリオでの試算による評価で用いた主な放射性物質の影響



← 環境へ放出された放射性物質組成

	希ガス	ヨウ素	その他 (セシウム等)
核種及び半減期	Kr-85 (10.8 年) Kr-85m (4.5 時間) Kr-87 (76.3 分) Kr-88 (2.8 時間) Xe-133 (5.2 日) Xe-135 (9.1 時間)	I-131 (8.0 日) I-132 (2.3 時間) I-133 (20.8 時間) I-134 (52.5 分) I-135 (6.6 時間)	Cs-134 (2.1 年) Cs-136 (13.2 日) Cs-137 (30.1 年) Rb-86 (18.631 日) Te-132(78.2 時間) Ba-140(12.75 日)
主たる被ばく期間と被ばく経路	○ 放射性プルーム通過中における希ガスによる外部被ばく (体内には吸収されないため、内部被ばくの原因にはなりません)	○ 放射性プルーム通過中：吸入による内部被ばく ○ 放射性プルーム通過後：地表面等に沈着した放射性物質による外部被ばく	
被ばく影響と防護措置等	放射性プルーム通過中における外部被ばく線量寄与の大部分を占める希ガス類によるガンマ線は、非 RC 造建屋への屋内退避により 4 割、RC 造建屋への屋内退避により 9 割遮へいできます。	○ 吸入により甲状腺被ばくを引き起こすため、建屋内での屋内退避や適切なタイミングでの安定ヨウ素剤の服用が有効です。特に陽圧化された建屋内での屋内退避は内部被ばくの低減効果が非常に大きいです (本文中図 9 参照)。 ○ 外部被ばく対策では、建屋内における屋内退避が有効であり、特に RC 造の建屋内での屋内退避は低減効果が大きいです (同左参照)。	○ Cs-134 や Cs-137 は比較的半減期が長く、地表面等に沈着した放射性物質により長期間にわたって外部被ばくが継続します。一定レベル以上の空間線量率の場合には一時移転や避難を実施します。 ○ 外部被ばく対策では、建屋内における屋内退避が有効です。特に RC 造の建屋内での屋内退避は低減効果が大きいです (同左参照)。

参考情報 5 環境中に放出された放射性物質による 7 日間の時系列による被ばくのイメージ

		被ばく状況															
放射性物質放出前		<p>○放射性物質が放出される前であるため被ばくは生じません。</p> <p>○この時期に<u>予防的に避難</u>（十分な準備等が整った段階で避難行動を開始する。）や屋内退避を開始します。</p>															
放射性プルーム通過中 【屋外滞在時】  <table border="1" data-bbox="199 929 558 1131"> <thead> <tr> <th>分類</th> <th>外部被ばく</th> <th>内部被ばく</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>希ガス</td> <td>98%</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>ヨウ素類</td> <td>1%</td> <td>23%</td> </tr> <tr> <td>セシウム類</td> <td>0.4%</td> <td>27%</td> </tr> <tr> <td>その他※1</td> <td>0.5%</td> <td>50%</td> </tr> </tbody> </table>		分類	外部被ばく	内部被ばく	希ガス	98%	0%	ヨウ素類	1%	23%	セシウム類	0.4%	27%	その他※1	0.5%	50%	<p>○空気中の希ガスやその他の粒子状の放射性物質から放出されるガンマ線による外部被ばく（屋外クラウドシャイン）が生じます。また、希ガス以外の放射性物質を吸入すると内部被ばくが生じます。この2経路による被ばくが大部分を占めます。</p> <p>○上記の外部被ばくは、大部分が希ガス由来であり、RC造の建屋内に屋内退避することで屋外滞在時と比較して外部被ばくを9割弱程度低減できます（原子炉の停止から放出までの時間が長くなると希ガスの割合は小さくなります。）。</p> <p>○内部被ばくは、希ガス類以外の放射性物質によるものです。これらはほとんどが粒子状の物質であり、粒子状の物質を除去するフィルターを持つ陽圧化装置のある施設で屋内退避すると、屋外滞在時と比較して内部被ばく線量を99%低減できます。また、通常の建屋内での屋内退避でも、屋外滞在時と比較して内部被ばく線量を7割低減できます。</p> <p>※1：その他の内部被ばくの内訳は、テルルアンチモン類 3%、ストロンチウム-バリウム類 15%、ルテニウム類 1%、ランタン類 31%</p>
分類	外部被ばく	内部被ばく															
希ガス	98%	0%															
ヨウ素類	1%	23%															
セシウム類	0.4%	27%															
その他※1	0.5%	50%															
放射性プルーム通過後 【屋外滞在時】  <table border="1" data-bbox="199 1668 510 1836"> <thead> <tr> <th>分類</th> <th>外部被ばく</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>希ガス</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>ヨウ素類</td> <td>30%</td> </tr> <tr> <td>セシウム類</td> <td>22%</td> </tr> <tr> <td>その他※2</td> <td>48%</td> </tr> </tbody> </table>		分類	外部被ばく	希ガス	0%	ヨウ素類	30%	セシウム類	22%	その他※2	48%	<p>○地表面等に沈着した放射性物質から放出されるガンマ線による外部被ばく（屋外グラウンドシャイン）。</p> <p>○ヨウ素類などの半減期の短い放射性物質は減衰により時間経過とともに外部被ばく線量が減少しますが、セシウム類などの半減期の長い放射性物質は地表面等に沈着し、長期にわたって外部被ばくの影響が残ります。</p> <p>※2：その他は、テルルアンチモン類 29%、ストロンチウム-バリウム類 18%等。</p>					
分類	外部被ばく																
希ガス	0%																
ヨウ素類	30%																
セシウム類	22%																
その他※2	48%																

（注）放射性物質の被ばく経路については、放射性物質を含んだ食物や飲料水からの摂取の経路や地表面に沈着している放射性物質等の再浮遊による摂取の経路もありますが、本表からは除いています。

参考情報 6 評価で用いた建屋モデルと壁、屋根、床に使用される材料と厚み

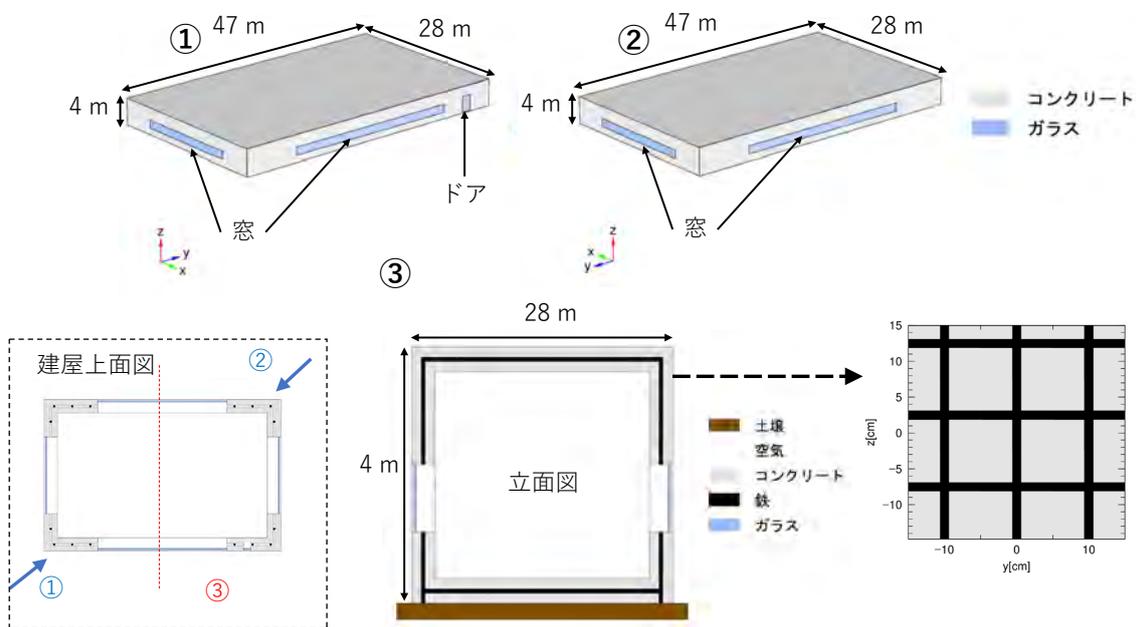


図 6-1 RC 造建屋モデル

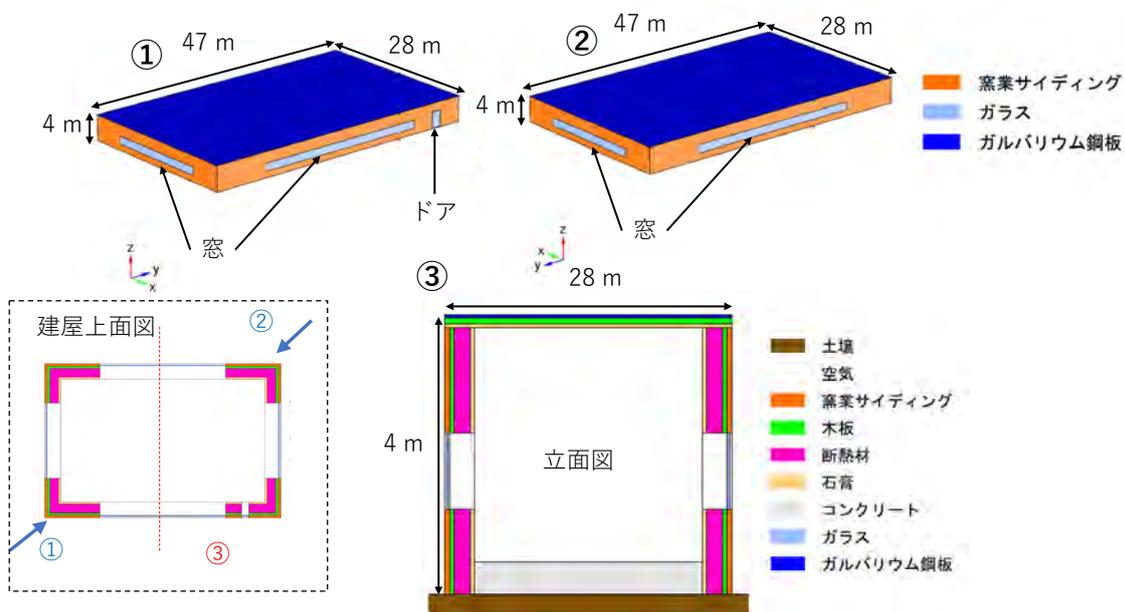


図 6-2 非 RC 造建屋モデル

表 6-1 各構造の壁・屋根・床の材料と厚み

建物構造	壁	屋根	床（基礎）
RC 造	RC 15 cm	RC 15 cm	RC 15 cm
非 RC 造 (※)	窯業系サイディング 1.6 cm 木板 1.2 cm 断熱材 5.0 cm 石膏ボード 1.25 cm	ガルバリウム鋼板 0.04 cm 木板 1.6 cm 石膏ボード 0.95 cm	コンクリート 8.5 cm

※：鉄骨造や木造等の RC 造以外の建屋。

RC 造 97 建屋、非 RC 造 12 建屋の建築図面等を参考に設定しました。

参考情報 7 建築材料のガンマ線透過率

日本国内の建屋に一般的に使用されている建築材料のガンマ線透過率を表 7-1 にまとめています。評価には Cs-137 と Xe-133 から放出されるガンマ線を対象としています。

表 7-1 建築材料のガンマ線透過率*)

材料	密度 (g/cm ³)	厚み (cm)	透過率	
			Cs-137	Xe-133
普通コンクリート	2.3	5	0.64	0.23
		10	0.39	0.04
		15	0.22	0.00
		20	0.11	0.00
鉄筋コンクリート	2.4	5	0.62	0.09
		10	0.37	0.01
		12	0.29	0.00
		15	0.20	0.00
軽量コンクリート 1 種	1.8	20	0.10	0.00
		3.5	0.79	0.48
		6	0.66	0.26
		7.5	0.59	0.17
軽量コンクリート 2 種	1.4	10	0.48	0.08
		3.5	0.84	0.58
		6	0.74	0.36
		7.5	0.67	0.27
ALC (軽量気泡コンクリート)	0.5	10	0.58	0.16
		3.5	0.93	0.83
		6	0.90	0.73
		7.5	0.87	0.67
ECP (押出成形セメント板)	1.1	10	0.83	0.55
		6	0.76	0.48
窯業系サイディング	1.1	10	0.76	0.48
		6	0.75	0.45
		1.4	0.95	0.83
		1.5	0.94	0.82
石膏ボード	0.7	1.6	0.94	0.80
		1.8	0.93	0.78
		0.95	0.98	0.93
		1.25	0.97	0.91
木板	0.5	1.5	0.96	0.89
		0.6	0.97	0.94
		0.9	0.95	0.92
		1.2	0.93	0.90
鉛複合板 (鉛 2mm 厚相当)	1.1	1.5	0.92	0.89
		1.15	0.83	0.01
		0.1	0.97	0.29
		0.2	0.93	0.19
鋼板	7.8	0.4	0.87	0.08
		1.0	0.70	0.01
		0.3	0.97	0.84
ガラス	2.4	0.4	0.96	0.79
		0.4	0.96	0.79

*) Cs-137、Xe-133 を対象とした垂直入射ジオメトリに対する計算値

【材質特性として一般的な密度】

- ・普通コンクリート：2.3 g/cm³ 前後、鉄筋コンクリート：2.4～2.5 g/cm³、軽量コンクリート 1 種：1.8～2.1 g/cm³ (骨材の一部に密度の小さい材料 (軽量骨材) を使用)、軽量コンクリート 2 種：1.4～1.8 g/cm³ (骨材の全てを密度の小さい材料 (軽量骨材) を使用)
- ・ALC (軽量気泡コンクリート)：0.5 g/cm³ 程度 (発泡剤で多孔質化したコンクリート、気泡などの空隙部分が全容積の 80% を占め非常に軽量)
- ・ECP (押出成形セメント板)：素材部分 1.7～1.9 g/cm³、中空部分約 1.1 g/cm³ (主として中高層の鉄骨建築物における外壁および間仕切壁に用いる材料で、セメント・けい酸質原料および繊維質原料を主原料として、中空を有する板状に押出成形したもの)

参考情報 8 建屋規模に応じた外部被ばく線量低減効果

各自治体において屋内退避を行うために放射線防護対策が講じられた建屋 110 件の建築図面を解析した結果、施設の規模は床面積が 100 m² 程度の小規模のものから、6,100 m² 程度の大規模なものまで幅広く存在しました。建屋の大きさによって床面積が変わると、屋外の放射性物質や屋外に沈着した放射性物質からの距離が変化するため外部被ばく線量低減効果も変化します。RC 造と非 RC 造の建屋について、屋外滞在時の外部被ばく線量に対する様々な床面積の建屋内に屋内退避した場合の外部被ばく線量比を図 8-1 に示します。図 8-1 を見ると、床面積が増大するに従って外部被ばく線量比が小さくなっていることが分かります。建屋の規模が大きくなると、建屋内の中央付近では屋外に存在する放射性物質との距離が大きくなるため被ばく線量が小さくなることが分かります。

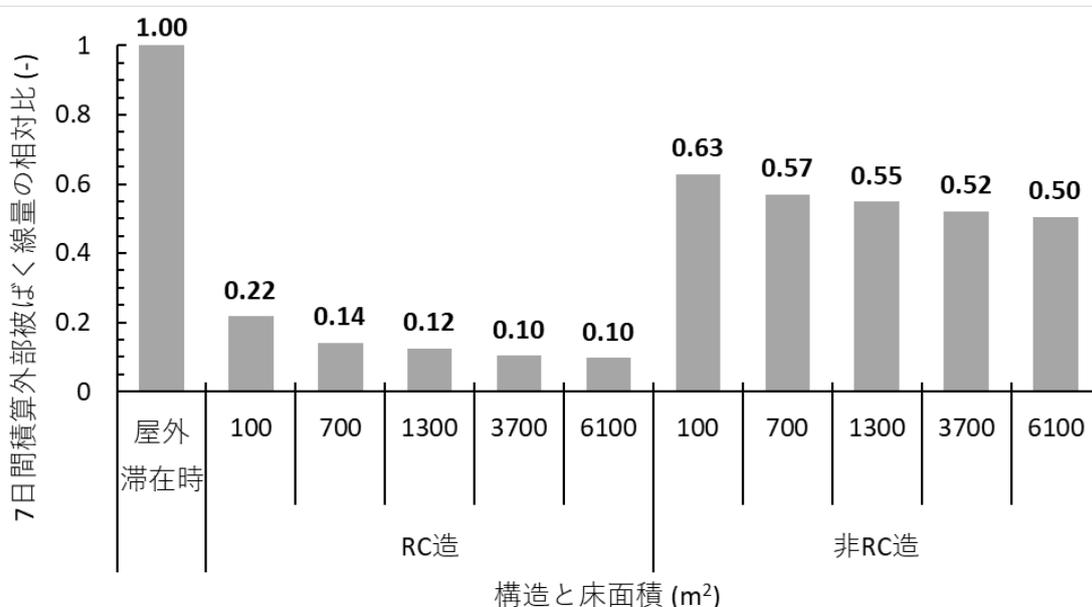


図 8-1 屋外滞在時の外部被ばく線量に対する、様々な床面積の RC 造及び非 RC 造建屋の中央付近に屋内退避した場合の外部被ばく線量の相対比*)

*) 2 (2) 1) の基本シナリオ (床面積:1,300 m²) に基づき、参考情報 6 に示した RC 造及び非 RC 造建屋モデルに対して床面積が変化した場合の評価例であり、放出源からの距離 2.5 km 地点における屋外滞在時の外部被ばく線量と比較しています。

参考情報 9 鉛のガンマ線透過率

壁、屋根、窓等に遮へい体を設置する追加対策によって、外部被ばく線量低減効果を高めることができることを2(3)1)に示しましたが、その他にも、例えば、鉛カーテンを窓や間仕切りのように使用することも効果的です。

鉛厚に応じたガンマ線の透過率を、表 9-1 に示します。核種ごとの透過率を比較すると、セシウム類の Cs-134 及び Cs-137 が最も大きく（透過しやすく）、希ガス類の主要な核種である Xe-133 が最も小さい（透過しにくい）ことが分かります。これは、Xe-133 から放出されるガンマ線のエネルギーが Cs-134 及び Cs-137 から放出されるガンマ線のエネルギーより低いためです。したがって、放射性プルーム中の Xe-133 による外部被ばくを防ぐ目的では、遮へい効果を期待できない窓等に、鉛カーテンを追加設置することが有効です。

表 9-1 核種ごとの鉛厚に応じた透過率

核種	鉛厚 (mm)						
	0.13	0.25	0.35	0.50	0.75	0.85	1.00
Xe-133	0.72	0.51	0.39	0.30	0.16	0.14	0.10
I-131	0.99	0.95	0.93	0.89	0.83	0.82	0.80
I-133	0.78	0.60	0.51	0.43	0.33	0.30	0.26
Cs-134	0.99	0.98	0.97	0.96	0.94	0.94	0.93
Cs-137	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.92

参考情報 10 放射性プルーム通過後の換気による被ばく線量低減効果

自然換気の RC 造建屋に 7 日間屋内退避した場合、放射性プルームが通過した後に窓等を開放し、換気を行うことで一定の被ばく線量低減効果を得ることができます。実際に放出源からの放射性物質の放出が終了し、国又は自治体等から屋内退避施設等へ放射性物質の放出終了の情報が入る時間を 3 時間後、6 時間後、12 時間後と想定し、被ばく線量の試算を行いました。図 10-1 から、放射性プルーム通過後に窓を開放（2 時間）することによって、主に内部被ばく線量が低減することがわかります。窓の開放が無い場合に比べて、内部被ばく線量は 12 時間後に窓を開放した場合は 2 割弱低減（被ばく線量全体としても 1 割強低減）、6 時間後に窓を開放した場合は 3 割 5 分低減（同 3 割弱低減）、3 時間後に窓を開放した場合は 5 割低減（同 4 割弱低減）しました。放射性プルーム通過後から窓開放までの時間が短いほど、室内に滞留した放射性物質を早く屋外へ追い出すことができるため、内部被ばく線量が低減できます。

ただし、放射性物質の放出が不定期に継続して発生している場合には、放射性物質の放出が終了したことの判断は困難であることに加えて、放出終了の情報をタイミング良く周知する必要があり、窓の開放等の換気による防護措置の実施には十分な注意が必要です。

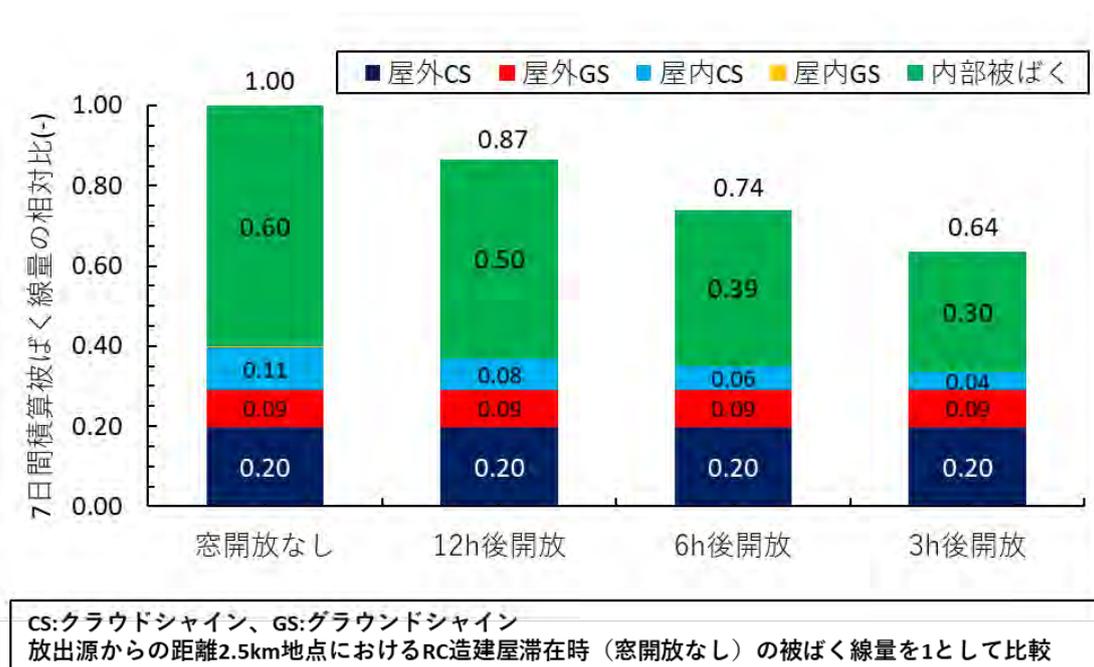


図 10-1 放射性プルーム通過後換気による、自然換気の RC 造建屋に屋内退避した場合の被ばく線量の低減効果*)

*)参考情報 6 に示した RC 造建屋（自然換気）に屋内退避した場合における、放射性プルーム通過後から窓開放までの時間ごとの 7 日間積算被ばく線量の評価例を示しています。棒グラフ上側の数値は屋外滞在時の総被ばく線量を 1 とした場合の各条件での線量の相対比を示し、棒グラフ内部の数値は屋外滞在時の総被ばく線量を 1 とした場合の各要素の被ばく線量の相対値を示します。ただし、四捨五入の関係で合計値が 1 にならない場合もあります。

参考情報 11 放射線防護対策施設と陽圧化

放射線防護対策施設とは、鉄筋コンクリート（RC）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の放射線遮へいが可能（※2）であり、放射線防護に必要な気密性が確保できる構造の建屋において、陽圧化措置（※3）がなされている施設です。

○ 本冊子事故シナリオに基づく試算

放射線防護対策施設（陽圧化されている状態）内で屋内退避をしている場合には、本冊子事故シナリオに基づく試算の場合、陽圧化装置のフィルターによる放射性物質の除去の効果により、屋外滞在時と比較して内部被ばく線量が99%低減（屋外滞在時1に対して放射線防護対策施設内での屋内退避0.01）します（本文図9参照（※3））。

○ 希ガスの影響

放射性物質の1つである希ガスの場合には、上記のフィルターにより除去することは困難です。原子力施設における事故の状況にもよりますが、仮に、本冊子事故シナリオの試算の場合とは異なる、フィルタメント等により除去された後の放射性物質のみが環境中に放出された場合等においては、放出された放射性物質の大部分が希ガスとなることが想定されます。

希ガスのみの場合には、図11-1のとおり、屋内退避中の積算被ばく線量は屋内外の外部被ばくによる影響のみとなります。この場合、屋外の放射性プルーム中の希ガスからの外部被ばくについては、建屋の放射線の遮へい性能によりかなりの割合で低減されます。一方で、建屋内に流入してくる一部の希ガスによる屋内における外部被ばくの影響は残るものの、その寄与率は小さく、陽圧化されている場合と自然換気の場合の積算被ばく線量の差異は僅かです（数%程度）。

建屋に流入してくる希ガスについては、陽圧化により僅かに増加し、それにより積算の外部被ばく線量が僅かに増加するものの、いつ、どの放射性物質がどれくらいの量で、どの程度の期間放出されるかわかりません。また、風向・風速等も複雑に変動する状況下において、その僅かな量の線量を低減すべく、陽圧化装置を停止させたり、稼働させたりすることは、適時適切な情報収集の面、停止／稼働のタイミング等の判断の面、そして実行の面でも、緊急時には容易なことではありません。仮に、希ガス以外に放射性ヨウ素等が放出された場合には、放射性プルームの建屋への流入による内部被ばくが懸念されます。その場合、陽圧

※2 外部被ばく線量については、本冊子事故シナリオに基づく試算の場合、当該施設の建屋の遮へい性能により、屋外で滞在する場合と比較して9割弱低減します（本文の図5参照。）。

※3 自然換気の場合には、7日間の積算内部被ばく線量は、本冊子事故シナリオに基づく試算の場合、屋外で滞在する場合と比較して7割の低減（屋外滞在時1に対して屋内退避0.3）となります（本文の図9参照。）。

化装置を稼働させておけば、稼働させない場合と比較して、内部被ばく線量が大幅に低減することが出来ます（本文の図4参照。）。

そのため、放射線防護対策施設で屋内退避を行う場合には、当該施設の運用及び維持管理を担当する者が必ずしも専門家ではないこと等を勘案すると、「放射線防護施設の運用及び維持管理マニュアル」に基づいて、全面緊急事態になった段階で稼働させ、そのまま継続させることが望ましいと考えます。

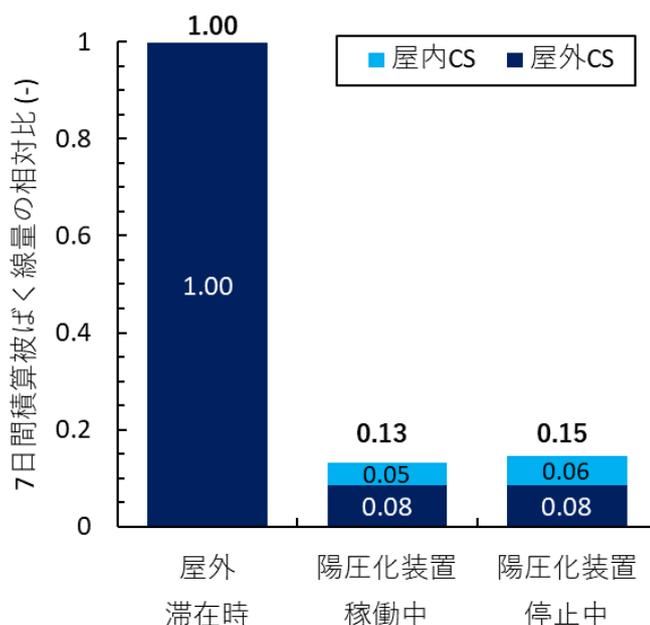


図 11-1 希ガスのみの場合における放射線防護対策施設（RC造）で屋内退避を行う場合の被ばく線量の相対比

*)2 (2) 1) の基本シナリオに基づき、放出源からの距離 2.5km 地点において、参考情報 6 に示した RC 造建屋モデルにおける評価例であり、屋外滞在時の希ガスによる総被ばく線量と比較しています。棒グラフ上側の数値は屋外滞在時の総被ばく線量を 1 とした場合の各条件での線量の相対比を示し、棒グラフ内部の数値は屋外滞在時の総被ばく線量を 1 とした場合の各要素の被ばく線量の相対値を示します。ただし、四捨五入の関係で合計値が 1 にならない場合もあります。

参考情報 12 車両による被ばく低減効果

事故により放射性物質が放出され、放射性プルームが通過している最中に、自動車の中に滞在していた場合の被ばく経路としては、放射性プルームおよび沈着からの外部被ばくと、車両内に流入してくる放射性ヨウ素等の吸入による内部被ばくが考えられます。

外部被ばくについては、表 12-1 に示すとおり、空気中の放射性物質からの外部被ばく（クラウドシャイン）や、地表面等に沈着した放射性物質からの外部被ばく（グラウンドシャイン）に関して、シミュレーションにより評価しました。このシミュレーション結果によると、クラウドシャイン及びグラウンドシャインに対する被ばく低減効果は、それぞれ 4 割弱低減（低減係数は 0.6 程度）及び 2 割程度低減（低減係数は 0.8 前後）となることが示されています。

車両による放射性物質の外部被ばくの低減効果は、RC 造の建屋内での屋内退避（本文の図 5 参照）と比較して相当程度小さくなり、非 RC 造の建屋での屋内退避と比較しても、外部被ばく全体では小さくなります。

表 12-1 屋外滞在時の外部被ばく線量に対する 7 日間積算外部被ばく線量の相対比

	外部被ばく クラウドシャイン	外部被ばく グラウンドシャイン	【参考】 外部被ばく全体
車両内	0.61～0.64 (※)	0.76～0.86 (※)	0.66～0.70 (※)
RC 造の建屋内	0.13	0.10	0.12
非 RC 造の建屋内	0.63	0.36	0.55

※ 2(2)1)の基本シナリオに基づく、大きさの異なる 3 車種に対する評価例です。
なお、建屋内の換気率は参考情報 2 の自然換気率を使用しています。

一方、車内に流入してくる放射性物質の吸入による内部被ばくの低減効果は、換気率によって変化します。換気率とは 1 時間あたりに車内空気が入れ替わる回数で、実際に車両を走行させて測定を行いました。表 12-2 は、エアコン使用の有無、内気循環と外気導入の別、さらには走行速度によって、換気率がどのように変化するかをコンパクトカーについてまとめたものです。表 12-3 は車種による違いを示しています。これらのデータに基づいて、屋外滞在時に対する内部被ばく線量の相対比を算出した結果が表 12-4 です。例えば、コンパクトカーを利用し、走行速度 15km/h で内気循環にしてエアコンを停止した状態で放射性プルーム内を数時間通過したとすると、車外にいた場合に比べて、内部被ばくは 4 割程度になります。しかし、走行速度が 30km/h になると、その他の条件が同じであっても、内部被ばくは 6 割程度までしか減らないことになります。ただし、建屋への屋内退避とは異なり、車両内の空間が狭く、車両による差異もあり、実際の低減効果はかなりばらつくことが予想されます。

車両による放射性物質の内部被ばくの低減効果は、RC 造や非 RC 造の建屋内への屋内退

避と比較して小さくなっています（本文の図9参照）。

表 12-2 換気率測定結果（コンパクトカー・エアコン稼働状況別）（回/時間）

	0 km/h		15 km/h		30 km/h		50 km/h	
	外気導入	内気循環	外気導入	内気循環	外気導入	内気循環	外気導入	内気循環
エアコン停止	0.33	0.19	1.75	0.72	3.85	1.75	6.72	2.18
エアコン稼働（最弱）	29.24	0.42	30.77	0.79	30.11	1.61	30.79	2.39
エアコン稼働時/停止時の比	87.5	2.2	17.5	1.1	7.8	0.9	4.6	1.1

表 12-3 換気率測定結果（車両別）（回/時間）

	外気導入				内気循環			
	0 km/h	15 km/h	30 km/h	50 km/h	0 km/h	15 km/h	30 km/h	50 km/h
コンパクトカー	0.33	1.75	3.85	6.72	0.19	0.72	1.75	2.18
ミニバン	0.73	1.55	3.29	7.73	0.52	1.02	1.41	2.47
軽自動車	1.01	1.01	2.70	5.09	0.86	1.15	1.99	3.45

※ エアコンは停止

表 12-4 屋外滞在時被ばく線量に対する車両内滞在時の7日間積算内部被ばく線量の相対比^{*)}

車両	車速 (km/h)	内部被ばく線量の相対比	
		内気循環	外気導入
コンパクトカー	15	0.38	0.61
	30	0.61	0.81
	50	0.67	0.92
ミニバン	15	0.47	0.58
	30	0.55	0.78
	50	0.71	0.94
軽自動車	15	0.50	0.46
	30	0.65	0.73
	50	0.79	0.87

^{*)} 2 (2) 1) の基本シナリオに基づき、放出源からの距離 2.5km 地点における車両内滞在時の評価例であり、屋外滞在時の内部被ばく線量と比較しています。

参考情報 13 原子力災害発生時における防護措置の基本的考え方と屋内退避の位置づけ

本文中に記載されているとおり、原子力災害発生時における防護措置の基本的な考え方は、重篤な確定的影響を回避するとともに、確率的影響のリスクを合理的に達成可能な限り低く保つことです。大規模な事故の場合、PAZ（原子力発電所から概ね 5km 圏）内のような施設の近くの住民は、放射性プルームによる内部被ばくに加えて、放射性プルームや地表面に沈着した放射性物質から高線量の外部被ばくを受けるおそれがあるため、事故を起こした原子力発電所から放射性物質が大量に放出される前に予防的に避難することが基本です。ただし、この場合であっても、避難行動に伴う健康影響を勘案して、特に高齢者や傷病者等の要配慮者については、十分な準備が整うまでは、近傍の遮へい効果や気密性が高いコンクリート建屋の中で屋内退避を行うことが有効です。一方で、比較的距離の離れた UPZ（原子力発電所から概ね 5km～30km 圏）内では、吸入による内部被ばくのリスクをできる限り低く抑えることが重要であり、避難そのものの弊害も考慮すると、「まずは屋内退避をすること」を基本とすべきです。

屋内退避に際して留意すべき事項として、本文中には、「屋内退避中は、屋外からの放射線と外気の屋内への流入を防ぐことが重要であるため、不用意に窓を開けない、不必要な外出を避ける等の行動をとります。」と記載されています。また、放射性物質の放出後は、放射性プルームと接触した可能性ある飲食物（井戸水や露地野菜等）の摂取を避けることも重要です。

一方で、同じく本文中に、「複合災害時には放射線による被ばく低減よりも生命の安全確保を優先します（例えば、津波警報時は屋内退避よりも高台への避難を優先します。）」という記載もあります。これは、屋内退避中であっても、即時に生命が脅かされる状況、例えば救急搬送が必要となった場合や地震や津波の影響により家屋の倒壊等の危険がある場合には、放射性物質の放出の如何にかかわらず、差し迫った危険から生命を守ることを優先すべきだということです。その際、マスクを着用する等、可能な範囲で被ばくを減らす工夫をすることが望まれます。

なお、屋内退避は一時的な措置であるため、原子力発電所の状況等を踏まえて解除あるいは避難への移行が指示されます。また、放出された放射性物質が地表面に沈着した結果、放射性プルーム通過後も一定のレベルを超える線量率が観測される場合には、屋内退避の解除後に当該区域の住民等に対して避難や一時移転の指示が出されます。いずれの場合も、指示に従って行動することが重要です（参考情報 15）。

参考情報 14 建屋の建築年区別の内部被ばくの低減係数

建屋の建築年区別の内部被ばく（吸入被ばく）の低減係数については、令和2年度原子力規制庁委託業務結果報告書「原子力施設等防災対策等委託費（防災措置の実効性向上に関する調査研究）事業」において、「1980年以前」「1981～1992年」「1993年以降」「高気密住宅」に区分して評価されており、表14-1のとおり、建築年が新しく、より高気密になっている建屋ほど甲状腺等価線量の試算に基づく被ばく低減係数（7日間積算線量の比）が小さくなっています。

表 14-1 甲状腺等価線量の試算に基づく被ばく低減係数（7日間積算被ばく線量の比）

	建築年区分			
	1980年以前	1981～1992年	1993年以降	高気密住宅
被ばく低減係数 (吸入) ※	0.56	0.33	0.24	0.22

※ 距離別に低減係数を算出し平均したもの

一方、本冊子では、「屋外滞在時に対する建屋内を陽圧化した場合と陽圧化しない場合（自然換気）との7日間積算内部被ばく線量の相対比」について本冊子事故シナリオに基づいて試算しており、屋外滞在時に対する建屋内を陽圧化しない場合（自然換気）との7日間積算内部被ばく線量の相対比は「0.30」となっています（本文の図9）。

これら数値が一致しないのは、本冊子では必ずしも特定の建築年区分の建屋モデルを使用していないこと、本冊子における試算の際の条件の一部と差異があること等によるものと考えられます。

また、本冊子では、防護措置を行う住民の実効性の観点から、試算の対象期間である屋内退避期間の7日間は放射性プルームが通過後も窓の開閉等は実施しないものとしており、平成26年（2014年）5月28日の原子力規制委員会で紹介された海外研究成果である「緊急時の被ばく線量及び防護措置の効果の試算について」における「木造家屋への屋内退避での放射性プルーム中の放射性物質を呼吸による摂取する影響」としての「内部被ばく（密閉効果）」での低減係数「0.25」と比較して、本冊子での低減係数「0.30」の方が大きく（低減効果が小さく）なっています。

これは、ここでの海外研究では、放射性物質の放出継続時間等の差異もありますが、屋内退避している時間がプルームの通過時間の数時間内となっており、通過後は直ちに避難することとして評価されていること、すなわち、木造建屋内に流入してきた放射性物質が換気（窓開放）を行わないことにより建屋の中に残留し、それを7日間吸入し続けることとした本冊子での試算との差異が主な原因であると考えられます。

参考情報 15 OIL2 を超えない区域における積算被ばく線量の推計

原子力規制委員会は、一般公衆の被ばくがその水準以下に納まるように緊急時計画を策定するためのめやす（事前対策めやす線量）として、原子力災害発生初期（1週間以内）について実効線量で 100 mSv という水準を示しています。

また、同委員会が策定する原子力災害対策指針においては、地表面に沈着した放射性物質からの被ばくを防止する観点から、OIL2 として 20 μ Sv/h という値が定められ、これを超える区域では一時移転をすることとされています。この数値未満であれば、一時移転や避難を行う必要はなく、食品の摂取制限等はあったとしても、事故前と同じように生活を続けることが可能です。

日本原子力研究開発機構の安全研究センターでは、東京電力福島第一原子力発電所事故における実測データに基づいて、OIL による一時移転等の対象とならない区域の住民が初めの1年間及び60年間に、最大でどの程度の被ばくを受けるか試算しています（※4）。OIL2 を超えたかどうかの判断は、放射性プルームが通過してから約1日後に行われることから、その時点での空間線量率が OIL2 と同じ 20 μ Sv/h であったと仮定し、自宅滞在者、屋内作業員、屋外作業員のそれぞれについて、実効線量を試算した結果を表 15-1 に示しました。これらは、地表面からの放射線による外部被ばくと再浮遊した放射性物質の吸入による内部被ばくを合算した値です。

表 15-1 空間放射線量率を 20 μ Sv/h と設定した場合の積算の実効線量の試算※

	初めの1年間の線量 [mSv]	60年間の線量 [mSv]
自宅滞在者 ⁽¹⁾	3.0	9.6
屋内作業員 ⁽²⁾	2.4	7.5
屋外作業員 ⁽³⁾	3.9	12

(1) 1日当たりの滞在時間として、屋外 2h、木造 22h を仮定

(2) 1日当たりの滞在時間として、屋外 0.3h、RC造 6.1h、木造 17.6h を仮定

(3) 1日当たりの滞在時間として、屋外 7.3h、RC造 0.6h、木造 16.1h を仮定

※：自宅滞在者は、高原省五ほか、福島第一原子力発電所事故後の汚染地域における外部被ばく線量の決定論的評価手法の開発、JAEA-Research 2014-024(2014)における屋外滞在時間を利用。屋内作業員及び屋外作業員は、S Takahara et al., Assessment model of radiation doses from external exposure to the public after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, Health Physics, 118(6), pp. 664–677 (2020)における屋外及び木造での滞在時間を利用して計算。核種組成は、UNSCEAR(2013)より引用。

⁴ 本冊子における様々な試算は原則として実効線量で行っていますが、試算の根拠となっている事故当時の線量は、サーベイメーターや個人線量計で測定された値を使用しており、それらの測定値は厳密には実効線量とは異なります。特に、サーベイメーターで測定された周辺線量当量は、実効線量に比べて 30～40%程度大きな値となります。

放出される核種の組成等によって値は変化しますが、物理的な減衰及びウェザリング（雨水や風等の自然要因による拡散減衰等）等によって線量率は時間とともに減っていくため、積算線量は 20 $\mu\text{Sv/h}$ と時間の掛け算にはならず、60 年間でも 10 mSv 前後にとどまります。

一方、東京電力福島第一原子力発電所事故（以下「事故」という。）時には、上記のような放射性プルームの通過後 1 日程度経った時点ではなく、短半減期核種が減衰した後で、空間線量率の推計値を基にして様々な区域の設定が行われました。例えば、事故から約 1 か月後の 2011 年 4 月 22 日には、事故後 1 年以内に積算線量が 20 mSv に達するおそれのある地域が計画的避難区域として設定されました。また、事故から約 1 年後の 2012 年 4 月 1 日からは、5 年間を経過してもなお年間の積算線量が 20 mSv を下回らないおそれのある、2012 年 3 月時点で年間の積算線量が 50 mSv を超えると見込まれた地域が帰還困難区域に設定されました。

帰還困難区域から避難した住民の帰還に当たっての判断の目安の一つは、「空間線量率から推定される年間の積算線量が 20 mSv 以下の地域となることが確実であること」とされています。一例として、帰還困難区域に含まれる一部の区域について、年間の積算の実効線量が 20 mSv 未満になるまでの経過年数と、その後に帰還して 60 年間生活した場合の積算の実効線量を試算すると、表 15-2 のようになります。なお、本計算では、当該区域における土壌表面の Cs-137 の濃度として、区域内全域の平均値である $1.53 \times 10^6 \text{ Bq/m}^2$ （文部科学省、土壌の核種分析結果（Cs-134、Cs-137）について、放射線量等分布マップの作成等に係る検討会（平成 23 年（2011 年）8 月 29 日、第 7 回）配布資料、2011 年 3 月 15 日時点に補正）を利用しました。

表 15-2 年間の積算の実効線量が 20mSv 未満となるまでの経過年数と経過後の 60 年間の実効線量での線量*

職種等	減衰補正	事故後 初めの 1 年間の線量 [mSv]	20mSv 未満になる 事故後からの 経過年数	20mSv 未満になって 帰還後の 60 年間の線量 [mSv]
自宅滞 在者	物理減衰及びウェザリ ング等を考慮	35	1.3 年	73
屋内作 業者	物理減衰及びウェザリ ング等を考慮	28	1.1 年	59
屋外作 業者	物理減衰及びウェザリ ング等を考慮	45	1.5 年	90

※ 職種等別の滞在時間と、核種組成は表 15-1 と同値を利用。

この計算によれば、沈着が発生した 2011 年 3 月 15 日時点における空間放射線量率は 233 $\mu\text{Sv/h}$ であったと推定され、事故から 1 年間での積算の実効線量は 28～45 mSv と計算されました。また、年間の積算の実効線量が 20 mSv 未満となるまでに必要な経過年数は、1.1～

1.5 年であり、その後の 60 年間当該区域内で生活した場合の実効線量は、自宅滞在者が 73 mSv、屋内作業者が 59 mSv、屋外作業者が 90 mSv 程度になるものと推定されます。

また、このうち大部分は地表面からの放射線による外部被ばくによるものであり、再浮遊した放射性物質の吸入によるものは僅かです（その寄与割合は、初めの 1 年間では数%、帰還後の 60 年間ではほぼゼロとなっています。）。

なお、ここでの線量は沈着した放射性物質等からの追加的なものであり、上記とは別に、日本人の平均値で、1 年間に、自然放射線として、「宇宙から」約 0.3mSv、「大地から」約 0.33mSv、「ラドン等の吸入」約 0.48mSv 及び「食物から」約 0.99mSv の合計約 2.1mSv、60 年間では約 126mSv の被ばくが見込まれます（「放射線の基礎知識と健康影響」環境省放射線健康管理担当参事官室・国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構より抜粋）。