

## 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。

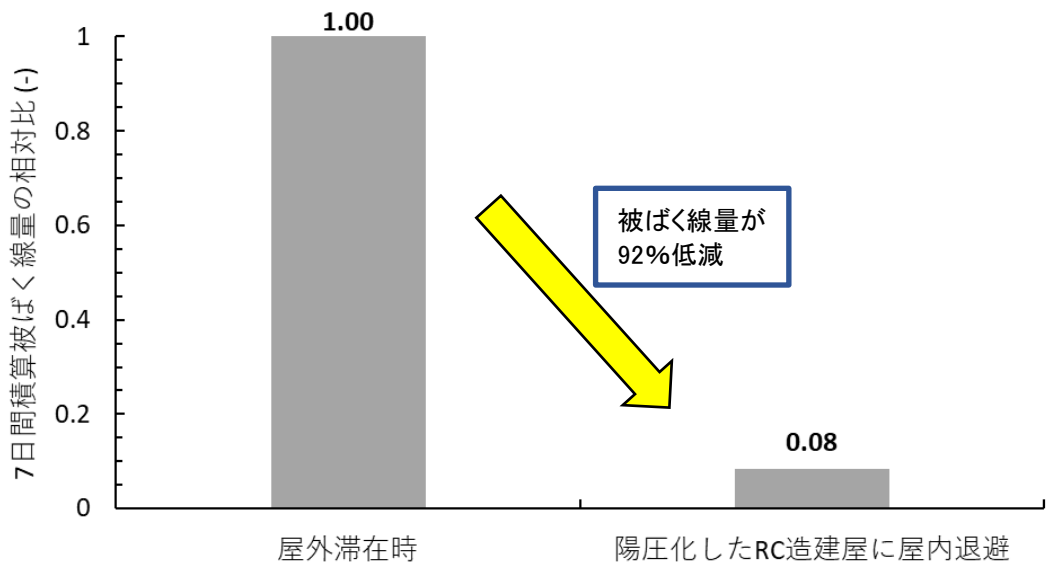
内閣府（原子力防災担当）では、原子力防災研究事業[2]–[7]を通して、屋内退避の防護効果について検討を進めてきました。この冊子は、その成果を基に、屋内退避についての基本的考え方や被ばく線量の低減効果、放射線防護対策施設における運用上の留意点等を整理・取りまとめたものです。

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）。

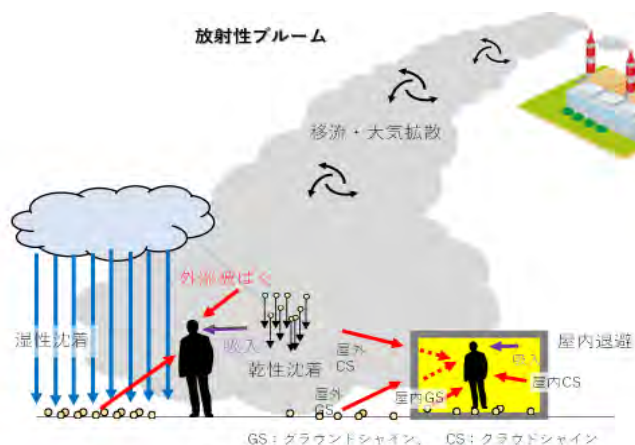


図1 原子力事故時に想定される被ばく経路

## 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。

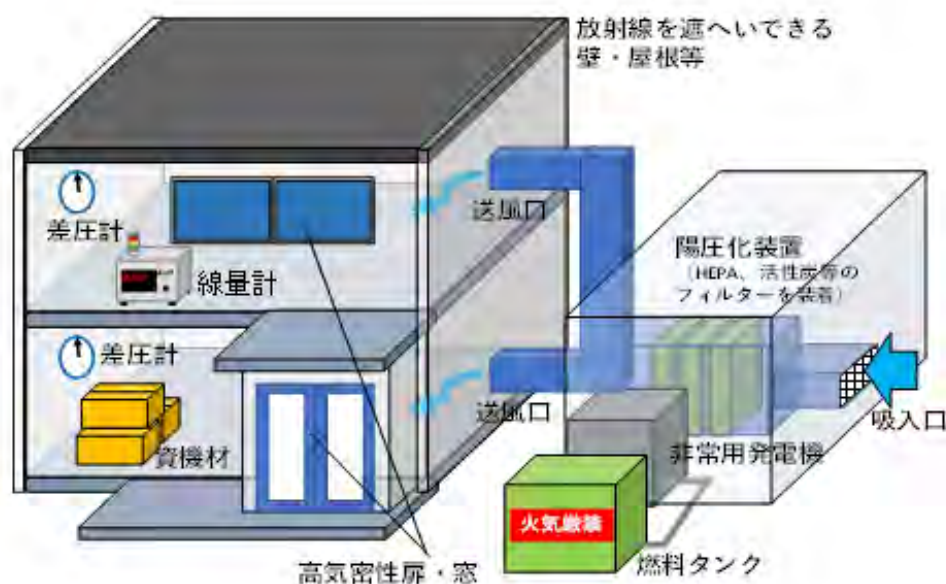


図2 放射線防護対策が講じられた建屋のイメージ

## 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 m<sup>2</sup>、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<sup>-1</sup> 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。

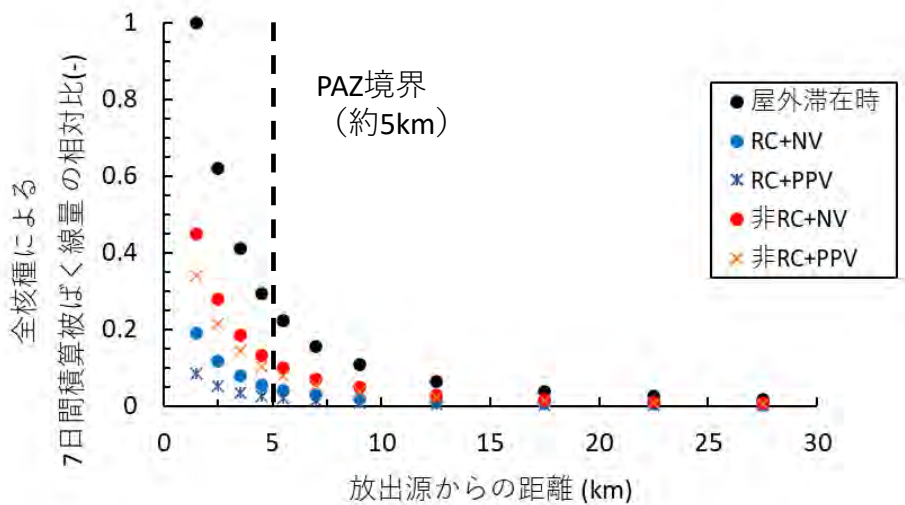
## 2) 計算方法

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

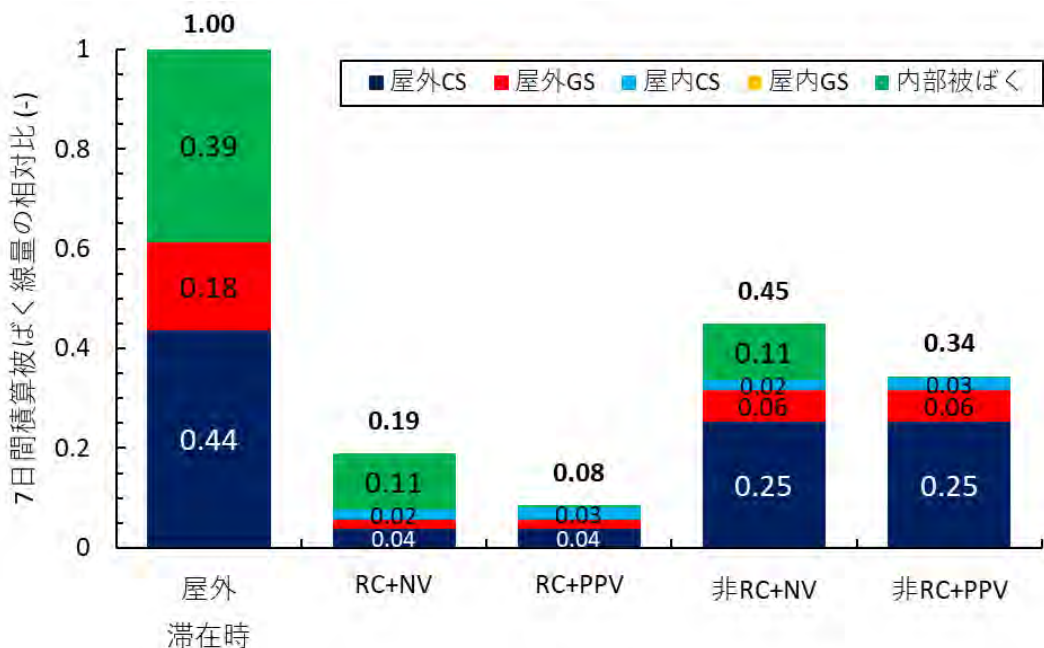
試算結果を図 3 及び図 4 に示します。図 3 は放射源からの距離に応じた 7 日間積算被ばく線量の相対値を示しています。図 4 は放射源からの距離が 2.5 km 地点における、屋外滞在時の被ばく線量を 1 とした場合の建屋種類ごとの換気別（自然及び陽圧化）の 7 日間積算被ばく線量の相対値を示しています。

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。

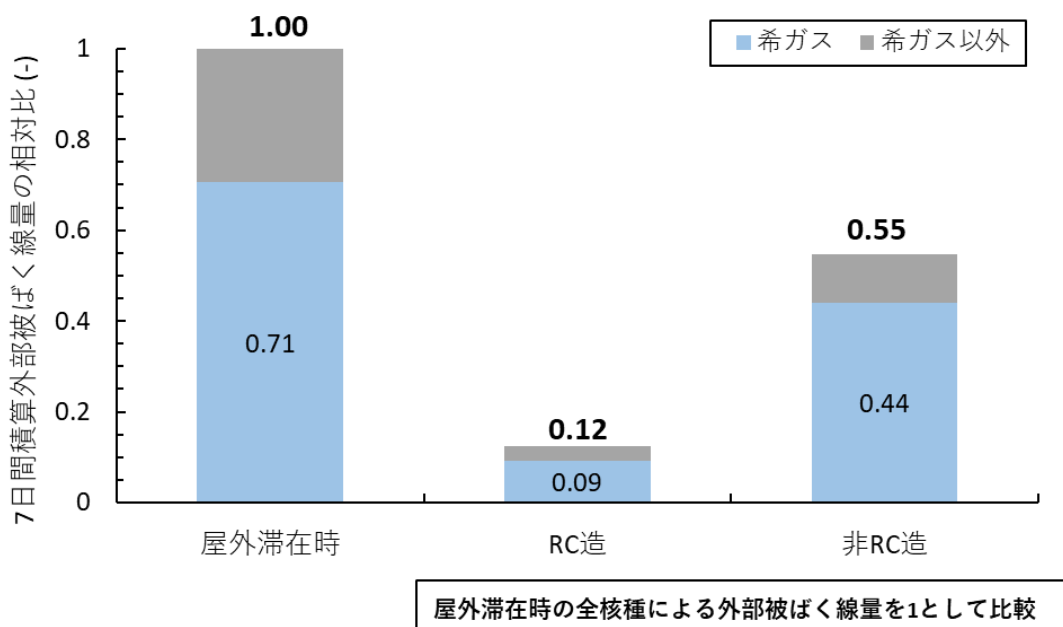


図5 屋外滞在時の外部被ばく線量に対する様々な建屋に屋内退避した場合の外部被ばく線量の相対比<sup>\*)</sup>

<sup>\*)</sup> 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。

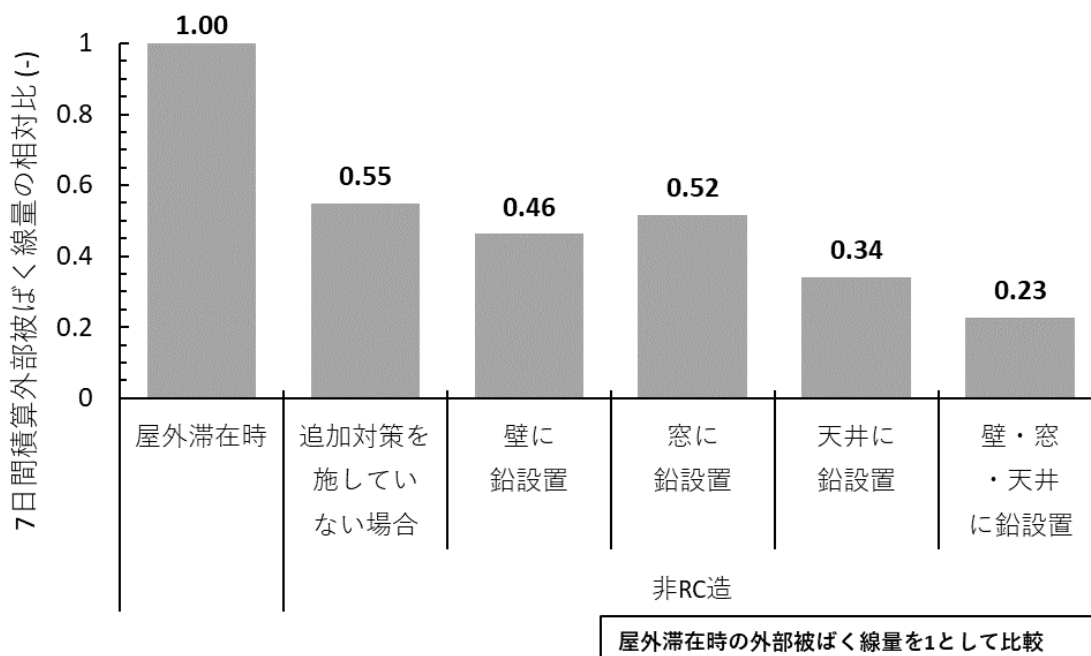


図6 屋外滞在時の外部被ばく線量に対する、様々な追加対策等を施した非RC造建屋に屋内退避した場合の外部被ばく線量の相対比\*)

\*)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）。

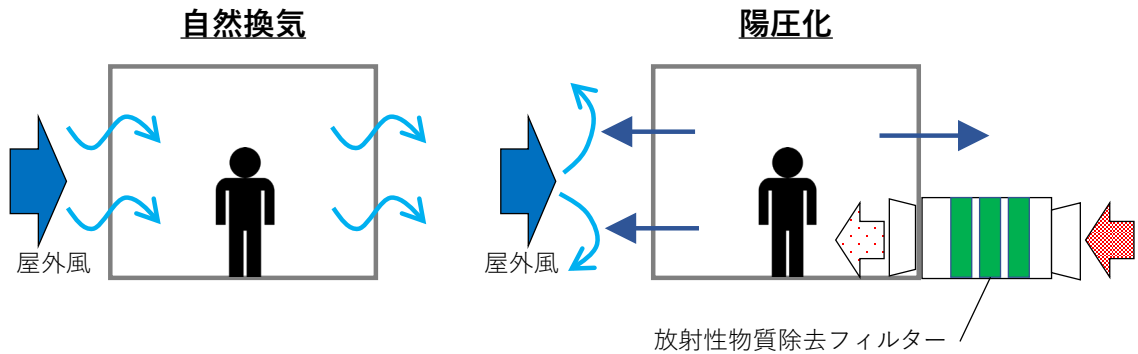


図7 陽圧化の概念図

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。

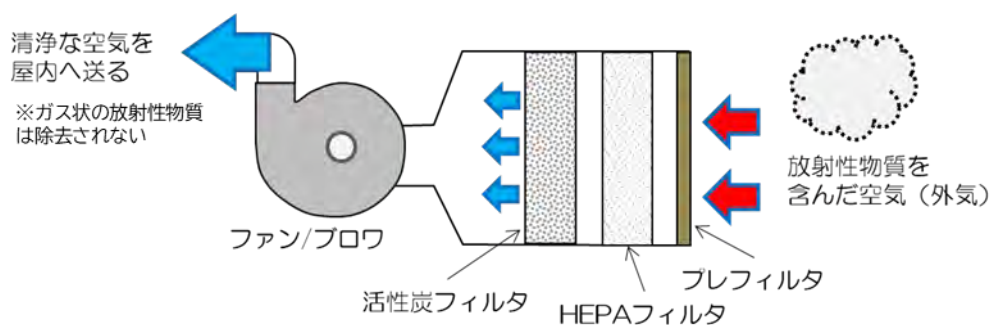


図8 陽圧化装置に装荷されているフィルター例

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。

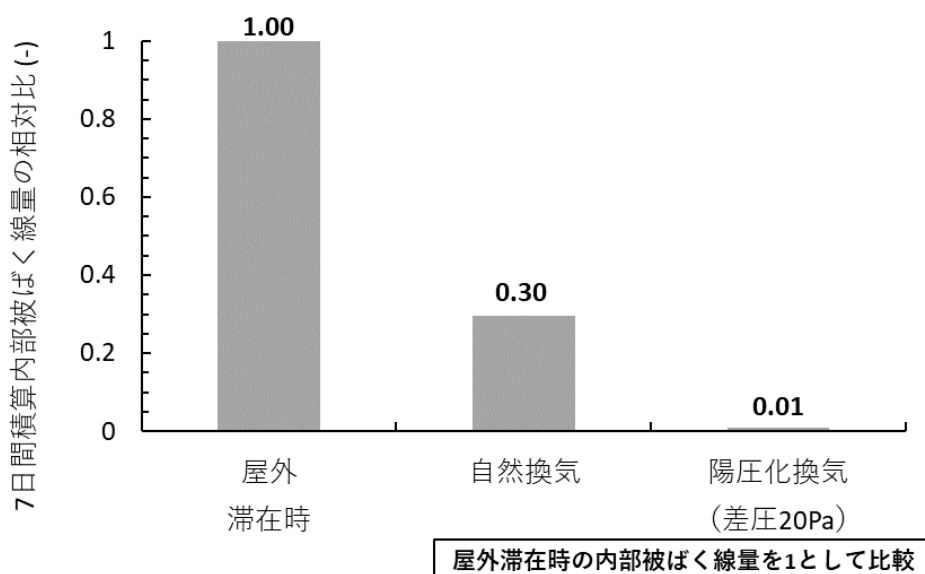


図 9 屋外滞在時の内部被ばく線量に対する建屋内を陽圧化した場合と陽圧化しない場合（自然換気）との7日間積算内部被ばく線量の相対比<sup>\*)</sup>

<sup>\*)</sup>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。

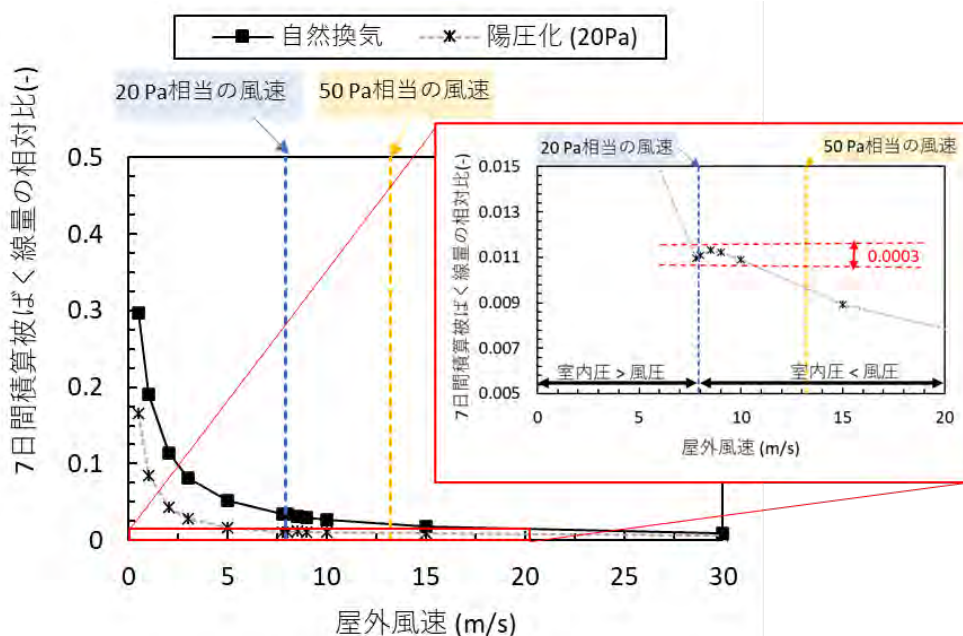


図 10 RC 造建屋における屋外風速と 7 日間積算被ばく線量の相対比の関係\*)

\*) 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。

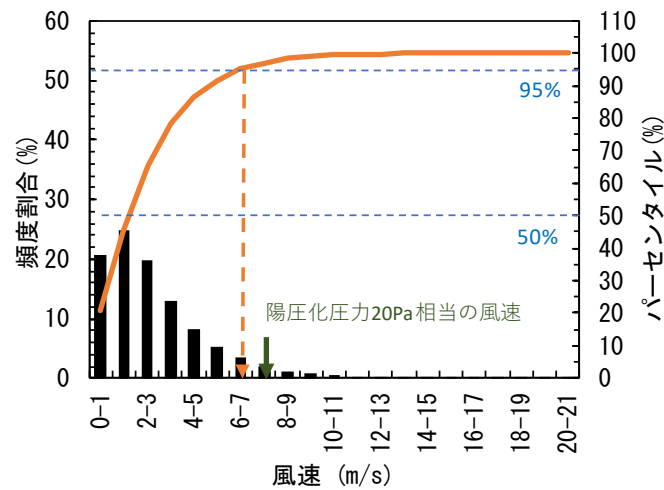


図 11 ある原子力発電所近傍の気象観測所における平均風速頻度分布

(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 m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup>、屋根及び壁の厚さ密度をそれぞれ 0.75 g cm<sup>-2</sup> 及び 2.425 g cm<sup>-2</sup> 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](https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/pdf/05_shiryoku0823.pdf))