

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。

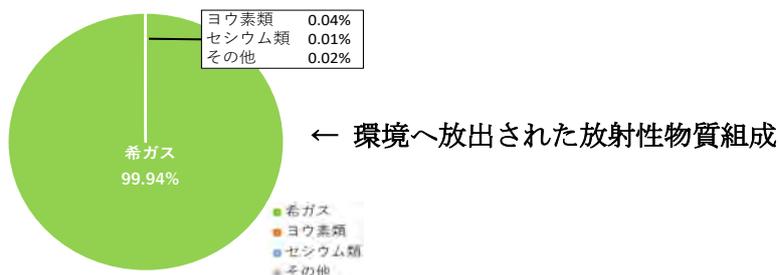
以上のように、十分な準備等が整わない中での急な避難は、それ自体が健康上のリスクであり、その要因としては、例えば、避難先でのケアが不十分であること（きめ細やかなケアが提供できないこと（引継が十分でないことを含む。）、人員配置と体制）や適切な移動手段が確保できないこと等が考えられます。いずれにせよ、福祉施設の入所者等については、十分な準備が整わない中での急な避難は健康状態を悪化させる可能性が高いことを念頭に置く必要があります。

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]

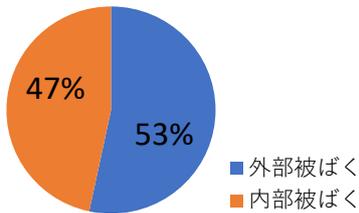
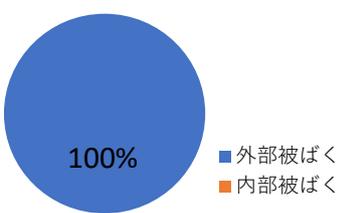
- Nomura, S., Stuart, G., Tsubokura, M., Yoneoka, D., Sugimoto, A., Oikawa, T., Kami, M., and Shibuya, K., 2013. "Mortality risk amongst nursing home residents evacuated after the Fukushima Nuclear Accident: a retrospective cohort study. PLOS ONE 8 (3): e60192. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060192>
- 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



	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

		被ばくの状態															
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

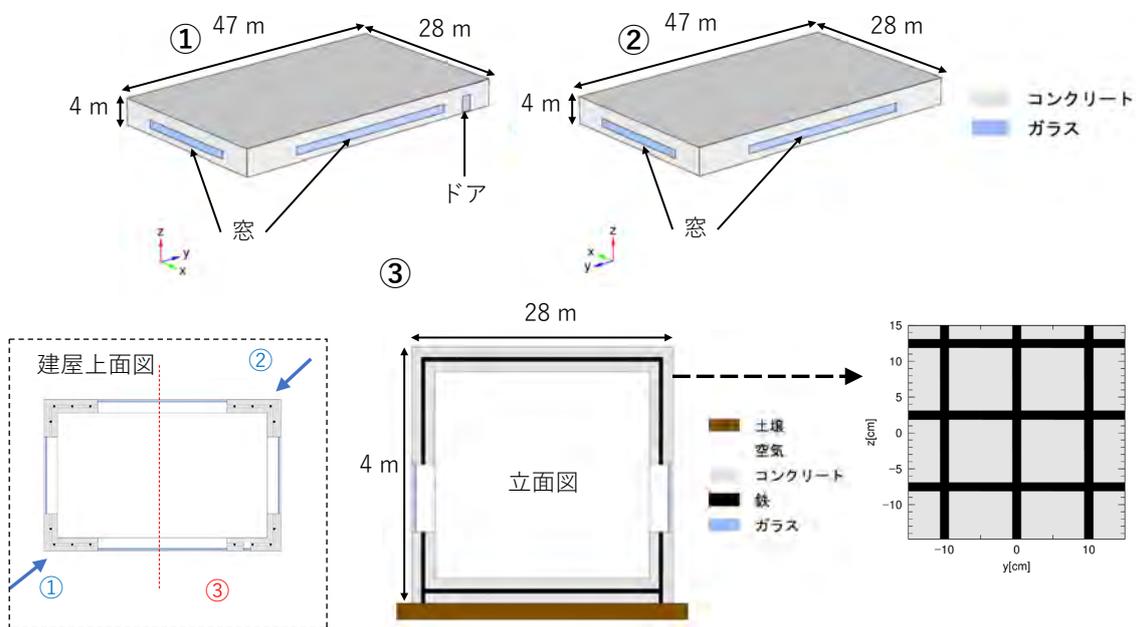


図 6-1 RC 造建屋モデル

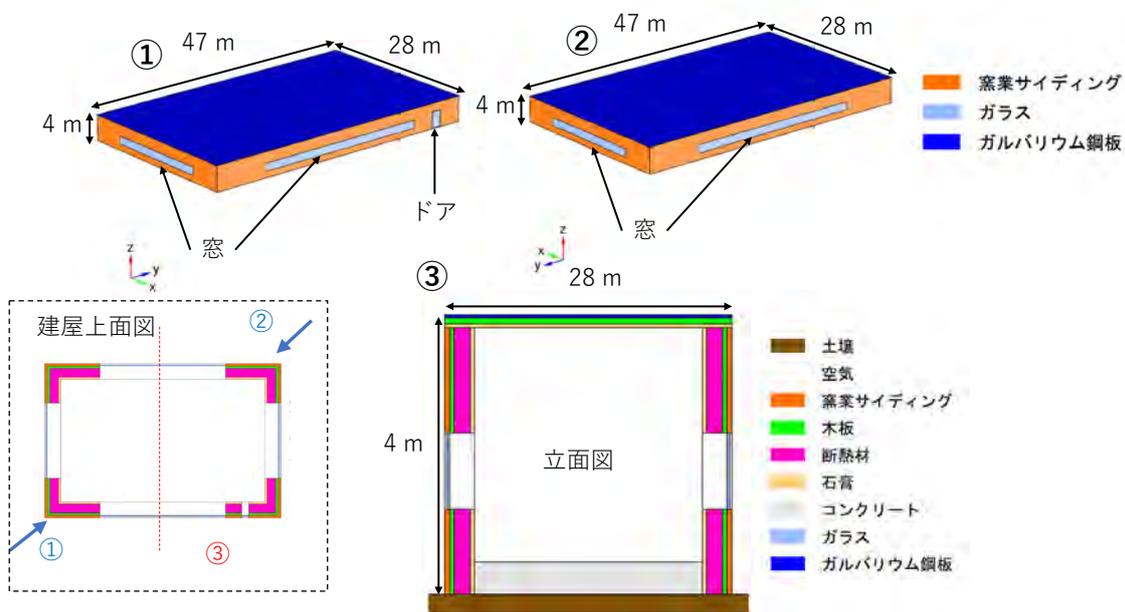


図 6-2 非 RC 造建屋モデル

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

*) 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。

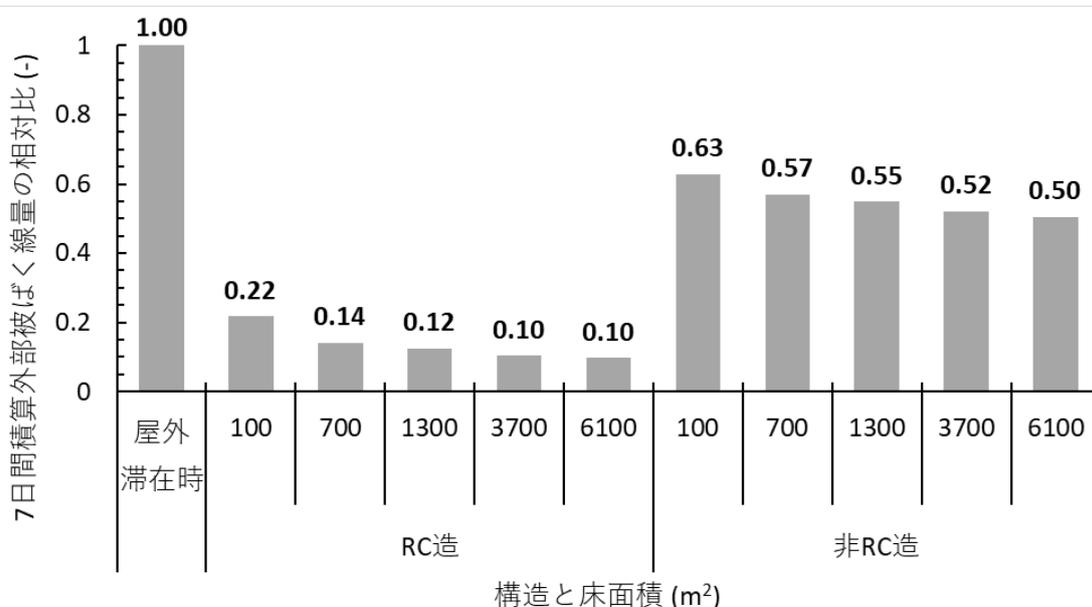


図 8-1 屋外滞在時の外部被ばく線量に対する、様々な床面積の RC 造及び非 RC 造建屋の中央付近に屋内退避した場合の外部被ばく線量の相対比*)

*) 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分かります。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。

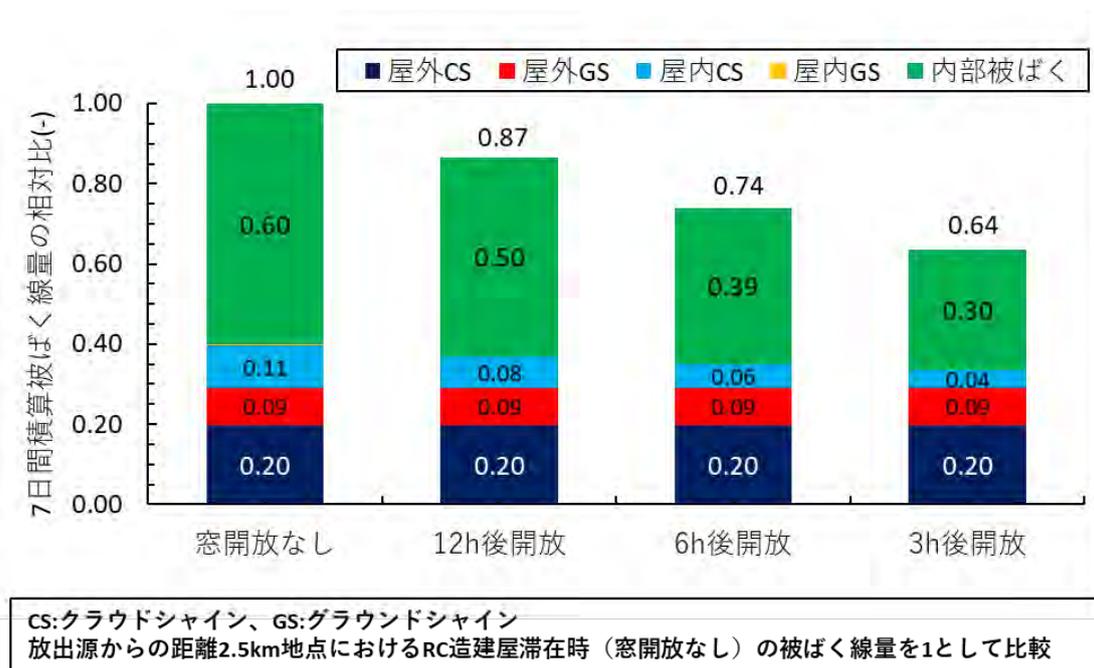


図 10-1 放射性プルーム通過後換気による、自然換気の RC 造建屋に屋内退避した場合の被ばく線量の低減効果*)

*)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。

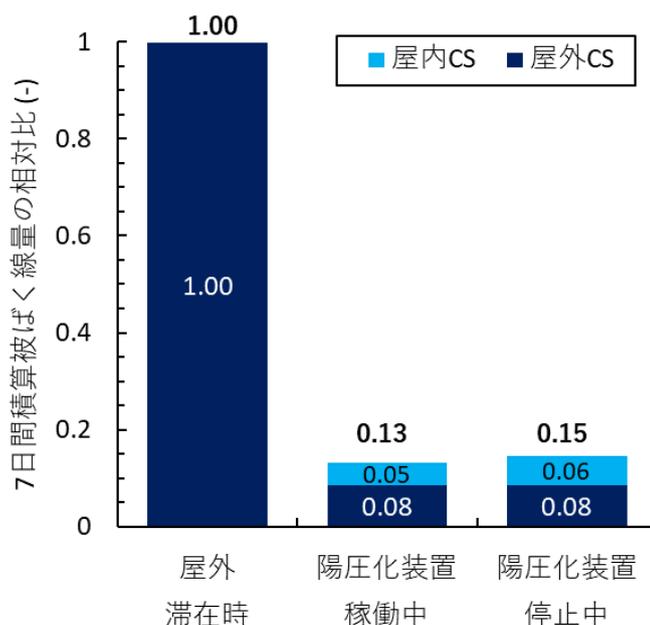


図 11-1 希ガスのみの場合における放射線防護対策施設（RC造）で屋内退避を行う場合の被ばく線量の相対比

*)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 20 mSv 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]	20 mSv 未満になる 事故後からの 経過年数	20 mSv 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 $28 \sim 45 \text{ mSv}$ 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、 $1.1 \sim$

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）。