

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

## 報告書

日本原子力研究開発機構

2018 年 3 月



## 正誤表

令和 4 年 11 月

日本原子力研究開発機構

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）事業報告書において、誤記がありましたので、下記の通り訂正いたします。

正誤箇所	誤				正			
P3-22 表 3.3  放出場所： チェルノブ イリ  測定場所： 日本	I <sub>2</sub>	HOI	CH <sub>3</sub> I	粒子状ヨ ウ素	I <sub>2</sub>	HOI	CH <sub>3</sub> I	粒子状ヨ ウ素
	<u>19±9</u>	<u>5±2</u>	<u>6±3</u>	<u>70±11</u>	<u>5±2</u>	<u>6±3</u>	<u>70±11</u>	<u>19±9</u>
P3-22 表 3.3  放出場所： 福島第一	測定場所				測定場所			
	測定期間				測定期間			
	茨城				茨城			
	<u>2016/3/14-16</u>				<u>2011/3/14-16</u>			
	福島第一				福島第一			
	<u>2016/3/19-26</u>				<u>2011/3/19-26</u>			
	福島第二				福島第二			
<u>2016/3/19-26</u>				<u>2011/3/19-26</u>				
茨城				茨城				
<u>2016/3/19-26</u>				<u>2011/3/19-26</u>				
福島第一、二				福島第一、二				
<u>2016/3/29-31</u>				<u>2011/3/29-31</u>				
茨城				茨城				
<u>2016/3/29-31</u>				<u>2011/3/29-31</u>				

以上

## 目次

1. 実施計画	1-1
1.1 事業名	1-1
1.2 事業の目的	1-1
1.3 事業の内容	1-1
1.3.1 吸入被ばくの低減効果の評価	1-1
1.3.2 車による避難時の吸入被ばくの評価	1-2
1.3.3 外部被ばくの低減効果の評価	1-2
1.3.4 概要版の作成	1-2
1.4 実施方法	1-2
2. 屋内退避による吸入被ばくと外部被ばくに関連する低減効果評価のパラメータ	2-1
2.1 建物分類	2-1
2.1.1 対象建物	2-1
2.1.2 住宅家屋の建築年数、構造等の調査	2-1
2.2 事故シナリオ	2-10
2.2.1 外部被ばく経路	2-10
2.2.2 放射線のエネルギー	2-10
2.3 第2章の参考文献	2-23
3. 屋内退避による吸入被ばくの低減効果	3-1
3.1 吸入被ばくの低減効果の評価するためのパラメータ	3-1
3.1.1 自然換気率	3-3
3.1.2 屋内での沈着率	3-16
3.1.3 浸透率	3-18
3.1.4 24時間換気	3-19
3.1.5 過去の原子力発電所事故時に放出された放射性物質の形態	3-19
3.1.6 プルーム通過継続時間	3-28
3.2 ラボ実験	3-29
3.2.1 ラボ実験概要	3-29
3.2.2 実験設備	3-29
3.2.3 実験・導出方法	3-33
3.2.4 ラボ実験結果	3-37
3.3 実家屋実験	3-41
3.3.1 実家屋実験概要	3-41
3.3.2 実験対象家屋	3-41
3.3.3 実験方法と自然換気率、沈着率、及び浸透率の導出方法	3-41
3.3.4 測定結果	3-42
3.3.5 変動要因の検討	3-45
3.3.6 ラボ実験結果との比較	3-54
3.4 吸入被ばく低減効果の解析	3-56
3.4.1 条件設定	3-56
3.4.2 解析結果	3-59
3.5 車の吸入被ばく低減効果の検討	3-74

3.5.1	実験方法	3-74
3.5.2	実験結果	3-74
3.5.3	車両による吸入被ばく低減効果の解析	3-82
3.6	吸入被ばく低減効果に係るパラメータと低減効果のまとめ	3-84
3.7	第3章の参考文献	3-89
4.	屋内退避による外部被ばくの低減効果	4-1
4.1	建物による被ばく低減効果の検討	4-1
4.1.1	外部被ばく低減効果に関するパラメータ等の調査	4-1
4.1.2	外部被ばくの低減効果の解析	4-15
4.2	車による外部被ばく低減効果の検討	4-80
4.2.1	車両モデルの開発	4-80
4.2.2	車両モデルの妥当性確認	4-85
4.2.3	クラウドシャイン及びグラウンドシャインに対する車両の低減効果の検討	4-92
4.2.4	バスによる外部被ばくの低減効果を評価するためのパラメータ	4-98
4.2.5	バスによる外部被ばくの低減効果の解析	4-100
4.3	外部被ばく低減効果に係るパラメータと低減効果のまとめと課題	4-102
4.4	第4章の参考文献	4-107
付録1	ヒヤリング調査、海外調査	A-1
付録2	原発立地付近の風速、温度調査の詳細	A-8
付録3	実家屋実験の詳細	A-22
付録4	吸入被ばく低減係数の解析の詳細	A-40
付録5	外部被ばく低減効果の解析に関する補足資料	A-41
付録6	木造住宅の被ばく低減係数の補足（12 mm厚 窯業系サイディング材の結果）	A-43
付録7	代表的なケースに対する被ばく低減係数の分布	A-44

## 1. 実施計画

### 1.1 事業名

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

### 1.2 事業の目的

原子力災害時には、原子力施設から異常な水準で放射線または放射性物質が放出される前に屋内退避を実施することにより、被ばく線量を低減することができる。

この屋内退避の実効性を向上させるため、屋内退避による被ばく線量の低減効果に関する技術的知見をより詳しく整備する必要がある。屋内退避時の被ばく経路には、屋外からもたらされる外部被ばくと、屋内に侵入した放射性物質によりもたらされる吸入被ばくがあり、本事業では、この双方における被ばく線量の低減効果に関する技術的知見を整備する。

### 1.3 事業の内容

本委託事業は、平成 27 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技術的知見の整備）事業及び平成 28 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）事業において得られた成果等を踏まえ、必要な文献調査を追加的に実施するとともに、吸入被ばくの低減効果の定量的な効果に資するラボ実験及び実家屋実験、並びに外部被ばくの低減効果の定量的な評価のための解析等を進める。また、併せて、本年度までに得られた成果について整理する。

なお、これら作業の実施に当たっては、必要に応じて専門家へのヒヤリング等を実施する。

#### 1.3.1 吸入被ばくの低減効果の評価

吸入被ばくの低減効果の定量的な評価のため、平成 28 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）事業で整理した、残されている課題や不明点・問題点を解決するとともに、必要な根拠等を得ることを目的として、以下の項目についてのラボ・実家屋実験等を行う。

##### ① ラボ実験

吸入被ばくの低減効果に影響を与える以下の因子について、ラボ実験を実施する。

###### a. 室内沈着率

物理・化学形状／壁面と床面の材質／壁面と床面の電荷／体積表面積比／換気率／粒径等

###### b. 浸透率

物理・化学形状／隙間の材質／隙間の形状／隙間の電荷／換気率／粒径等

また、上記 a 及び b 以外に重要な影響因子があれば、その影響特性を把握するためのラボ実験を追加して行う。同時に、事故中の物理・化学形状を把握するため、事故により環境中へ放出された放射性ヨウ素の化学・物理形態に関する情報の収集、および、可能ならばそのための実験を行う。

得られた知見については、平成 28 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）事業に示した建屋分類に対応させた吸入被ばくの低減係数として整理する。

##### ② 実家屋実験

吸入被ばくの低減係数に影響を与える自然換気率については、建屋分類、建築年、季節、室

内外温度差、風速等を考慮した実家屋実験を行う。また、ラボ実験で得られた結果の実家屋への適用可能性を検討するため、エアロゾル（粒子状物質想定）を対象に室内での沈着率及び浸透率の実家屋実験を行う。

### 1.3.2 車による避難時の吸入被ばくの評価

車による避難時の吸入被ばくを評価するため、必要な根拠等を得ることを目的として、以下の項目についての実験等を行う。

a. 換気率

車の速度／エアコン稼働の有無／内気/外気モード／車種等

b. 車内での沈着率

車の速度／エアコン稼働の有無／内気/外気モード／車種等

c. 浸透率

車の速度／エアコン稼働の有無／内気/外気モード／車種等

上記以外の重要な影響因子があれば、その影響特性を把握するための実験を追加して行う。

### 1.3.3 外部被ばくの低減効果の評価

外部被ばくの低減効果に関して、平成 28 年度までに分類した住宅家屋及び公共施設の壁材に使用される材料に加えて、壁面汚染や、屋根汚染の影響に関して文献調査を追加的に実施すると共に、得られた知見を踏まえて、これらの汚染の影響に関する解析を実施する。

### 1.3.4 概要版の作成

本年度の事業までに得られた成果を基に、吸入被ばく、外部被ばくの低減効果の定量的な評価結果について、主な変動要因・変動幅等を中心に概要版として整理する。<sup>1</sup>

その際、本年度までに得られた知見等を基に、防護効果をより高める観点から屋内退避中に取りることが望ましい行動や注意事項等があれば、併せて整理する。

## 1.4 実施方法

### 1) 計画書の策定

受注者は、「1.3 事業の内容」を具体的に進めるにあたっての計画書（作業体制、実施スケジュール、管理方法等）を作成し、事前に原子力規制庁担当者の了解を得る。

### 2) 専門家による検討の場の設定

委託事業を効率的に進めるため、実施に当たって建築等の専門家による検討の場を設定し、仕様書に記載の事業目的に合致した調査、解析、実験等の進め方の検討を行うとともに、その進捗状況、成果の評価及びその後の進め方について検討を行う。

---

<sup>1</sup> 規制庁からの依頼された仕様書中の要求事項として、「本年度の事業までに得られた成果を基に、吸入被ばく、外部被ばくの低減効果の定量的な評価結果について、代表値と主な変動要因・変動幅等を中心に概要版として整理する。」との旨が記載されているが、防護効果は種々のパラメータに大きく依存し、それらのパラメータは事故のシナリオ等に大きく依存するものであり、さらに各パラメータは単独で防護効果に影響を及ぼすものではなく、相互に関連を持つものであるため、代表値を得るために各パラメータを一定の値に定めることは不可能であることが明らかとなった。従って、概要版や報告書においては代表値を求めず、各パラメータに対する防護効果の変動幅を示すこととする。

### 3) 事業の進捗報告

委託事業の進捗について、原子力規制庁担当者に定期的に報告を行う（報告の頻度は、2ヶ月に1回程度）。報告方法については、原子力規制庁担当者と調整する。

### 4) 事業成果報告書の作成

上記「1.3 事業の内容」の結果を事業成果報告書としてまとめる。



## 2. 屋内退避による吸入被ばくと外部被ばくに関連する低減効果評価のパラメータ

第2章では、屋内退避による吸入被ばくと外部被ばくに共通する低減効果評価のパラメータを記載する。屋内退避の対象となることが想定される原子力発電所及び再処理施設（以下、原子力関連施設）周辺の住宅家屋の構造、建築年度、建築面積などの建築分類、及び事故時の被ばく経路、放出核種、放射線エネルギーを調査した結果を記載する。

### 2.1 建物分類

屋内退避による吸入被ばくと外部被ばくの低減効果は、建物の構造、建築年、建築面積等によって変動すると考えられる。ここでは、外部被ばく低減効果の検討対象とする建物を提示するとともに、吸入被ばくと外部被ばくに関連する低減効果の検討に先立って原子力関連施設の周辺自治体を対象として、当該自治体の住宅家屋の構造、建築年度、建築面積を調査した。

#### 2.1.1 対象建物

本事業では、原子力事故後の屋内退避施設として、(i) 住宅家屋、(ii) 集合住宅、(iii) 教育施設、(iv) 病院、(v) 体育館を対象とした（表 2.1）。それぞれの建物をモデル化するために必要な幾何形状と建材の情報は、先行研究（古田・高橋, 2014）を利用した。ただし、この先行研究は福島県の建物事情を反映して構築されているため、本事業では、原子力関連施設周辺の自治体の建物事情に合わせて修正した。

表 2.1 本事業で対象とする建物

建物の用途	階数	主要建材	先行研究 <sup>(1)</sup> との対応	
			名称	ID
住宅家屋	2 階建	木材、日本瓦	一戸建て・在来工法（市街地 1）	hj1
集合住宅	5 階建	コンクリート	共同住宅・マンション（鉄筋造）	am1
教育施設	3 階建	コンクリート	中学校	gs3
病院	6 階建	コンクリート	病院 2	ph2
体育館	1 階建	重量鉄骨造	体育館	gg1

<sup>(1)</sup> 古田・高橋（2014）

#### 2.1.2 住宅家屋の建築年数、構造等の調査

原子力関連施設の立地都道府県、または周辺の都道府県において原子力防災関連の地域防災計画を作成している自治体を対象に、住宅家屋の建築年、構造等のデータを調査した。調査には、平成 25 年度住宅土地統計調査（統計局, 2013）を利用した。なお、住宅土地統計調査結果の町村別データは、人口 1 万 5 千人以上の町村を対象（市は全て）としているため、原子力関連施設の周辺の全て町村が含まれていない。また、建築面積の調査対象は各都道府県の県庁所在地と代表的な都市部のみであるため、立地とその周辺都道府県のデータで代用した。住宅家屋の築年、構造等の調査対象とする市町村を以下にまとめる。

##### (1) 調査対象地域

###### (a) 北海道

北海道の原子力関連施設は古宇郡泊村に位置する北海道電力（株）泊原子力発電所である。北海道地域防災計画（原子力防災計画編）（北海道, 2015）では、原子力災害対策を重点的に実施すべき地域の範囲として、泊原子力発電所から概ね 5 km の範囲で設けられる「予防的防護措置を

準備する区域(PAZ)」と概ね 30km の範囲で設けられる「緊急時防護措置を準備する区域(UPZ)」の 2 つが指定されている。

地域防災計画を作成すべき市町村として、泊発電所を中心とした半径 30 km 以内の UPZ に含まれる 13 町村が指定されている。これらの町村を表 2.2 に示す。この中で、平成 25 年度住宅土地統計調査の対象となっている町村は倶知安町、余市町の 2 つである。

#### (b) 青森県

青森県の原子力関連施設は日本原燃(株)の再処理工場と東北電力(株)東通原子力発電所である。青森県地域防災計画(原子力防災計画編)(青森県, 2014)では原子力災害対策を重点的に実施すべき区域を含む市町村として、表 2.2 の市町村を指定している。この中で、平成 25 年度住宅土地統計調査の対象となっている市町村は、むつ市である。

#### (c) 宮城県

宮城県の原子力関連施設は東北電力(株)女川原子力発電所である。宮城県地域防災計画(原子力災害対策編)(宮城県, 2016)では、原子力災害対策を重点的に実施すべき区域を含む市町村として、表 2.2 の市町村を指定している。この中で、平成 25 年度住宅・土地統計調査の対象となっている市町村は、石巻市、登米市、東松島市、涌谷町、美里町、南三陸町の合計 6 市町である。

#### (d) 福島県

福島県の原子力関連施設は東京電力(株)福島第一原子力発電所と福島第二原子力発電所である。福島県地域防災計画(原子力災害対策編)(福島県, 2016)では、原子力災害対策重点区域を有する市町村と地域防災計画(原子力災害対策編)を作成すべき市町村として、表 2.2 の市町村を指定している。一方、平成 25 年度の住宅・土地統計調査では、福島第一原子力発電所事故により避難地域等に指定されている地域は抽出の対象外としている。その市町村は以下となっている。

- 全ての地域を除外

楡葉町、富岡町、大熊町、双葉町、浪江町、葛尾村、飯館村

- 一部の地域を除外

田村市、南相馬市、川俣町、広野町、川内村

表 2.2 の市町村からこれらの市町村を除外すると、平成 25 年度の住宅・土地統計調査の対象となっている市町村は、いわき市、南相馬市、田村市、川俣町である。

#### (e) 茨城県

茨城県の原子力関連施設は、日本原子力発電(株)東海第二原子力発電所を始めとして、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が所有する原子炉施設等があり、これらは東海村、大洗町、銚田市、那珂市に位置する。茨城県地域防災計画(原子力災害対策計画編)(茨城県, 2015)では、原子力災害対策を重点的に実施すべき区域内には、表 2.2 の市町村が含まれている。この中で、平成 25 年度の住宅・土地統計調査の対象となっている市町村は、東海村、水戸市、日立市、常陸太田市、高萩市、笠間市、ひたちなか市、常陸大宮市、那珂市、銚田市、茨城町、大洗町、城里町、大子町である。

(f) 新潟県

新潟県の原子力関連施設は東京電力（株）柏崎刈羽原子力発電所である。新潟県地域防災計画（原子力災害対策編）（新潟県, 2014）では、同発電所の PAZ と UPZ に含まれる市町村として表 2.2 の市町村が含まれている。この中で、平成 25 年度の住宅土地統計調査の対象となっている市町村は、柏崎市、長岡市、小千谷市、十日町市、見附市、燕市、上越市である。

(g) 静岡県

静岡県の原子力関連施設は中部電力（株）浜岡原子力発電所である。静岡県の地域防災計画（静岡県, 2017）では、同発電所の PAZ と UPZ に含まれる市町村として表 2.2 の市町村が含まれている。この中で、平成 25 年度の住宅・土地統計調査の対象となっている市町村は、御前崎市、牧之原市、菊川市、掛川市、吉田町、袋井市、焼津市、藤枝市、島田市、森町、磐田市である。

(h) 石川県と富山県

石川県の原子力関連施設は北陸電力（株）志賀原子力発電所である。石川県の地域防災計画（石川県, 2015）において「発電所に係る原子力防災に関して、県、関係市町及び防災関係機関が処理すべき事務又は業務の大綱」にて規定されている関係市町を石川県における対象市町とした。これらは志賀原子力発電所から半径 30km 圏内に含まれている市町であり、富山県氷見市も含まれる（富山県, 2017）。これらの市町村を表 2.2 に示す。この中で、平成 25 年度の住宅・土地統計調査の対象となっている市町村は、石川県志賀町、七尾市、輪島市、羽咋市、かほく市、中能登町、富山県氷見市である。

(i) 福井県と京都府

福井県の原子力関連施設は、敦賀原子力発電所、美浜原子力発電所、大飯原子力発電所及び高浜原子力発電所に加えて、複数の原子力関連施設が立地している。福井県の地域防災計画（福井県, 2016）では、同発電所の PAZ と UPZ に含まれる市町村として表 2.2 の市町村が含まれている。さらに、大飯原子力発電所の UPZ 関係市町及び高浜原子力発電所の PAZ と UPZ の関係市町には一部京都府の自治体も含まれているため、京都府の地域防災計画（京都府, 2017）に基づいて、これらの情報も併せて表 2.2 に整理した。この中で、平成 25 年度の住宅・土地統計調査の対象となっている市町村は、福井県：福井市、敦賀市、越前市、小浜市、鯖江市、越前町、若狭町、京都府：京都市、舞鶴市、綾部市、南丹市、宮津市、福知山市、京丹波町である。

(j) 島根県と鳥取県

島根県の原子力関連施設は松江市に立地する島根原子力発電所である。島根県の地域防災計画（島根県, 2017）及び隣接県である鳥取県（鳥取県, 2015）において島根原子力発電所の PAZ と UPZ に含まれる自治体として表 2.2 が含まれている。この中で、平成 25 年度の住宅・土地統計調査の対象となっている市は、鳥取県：境港市、米子市、島根県：松江市、出雲市、安来市、雲南市である。

(k) 愛媛県

愛媛県の原子力関連施設は伊方原子力発電所である。愛媛県の地域防災計画（愛媛県, 2017）では、表 2.2 に示した自治体が原子力災害対策重点区域に指定されている。この中で、平成 25 年度の住宅・土地統計調査の対象となっている市町は、八幡浜市、大洲市、西予市、宇和島市、伊予

市、内子町である。

(l) 佐賀県、福岡県及び長崎県

佐賀県の原子力関連施設は玄海原子力発電所である。佐賀県の地域防災計画（佐賀県,2017）では、同原子力発電所の PAZ と UPZ として、玄海町全域、唐津市全域、伊万里市全域が指定されている。さらに、福岡県には原子力関連施設は存在しないものの玄海原子力発電所を中心とする 30km 圏内に糸島市が含まれており、福岡県の地域防災計画（福岡県,2016）では、防災対策を重点的に充実すべき地域として糸島市が対象となっている。また、長崎県の地域防災計画（長崎県,2017）では、玄海原子力発電所に関する UPZ に含まれる市町村として、佐世保市、平戸市、松浦市、壱岐市が含まれている。これらをまとめて、玄海原子力発電所に関連して防災計画を作成すべきとされている自治体を表 2.2 に示す。この中で、平成 25 年度の住宅・土地統計調査の対象となっている自治体は佐賀県玄海町を除いた 7 市である。

(m) 鹿児島県

鹿児島県の原子力関連施設は九州電力（株）川内原子力発電所である。鹿児島県の地域防災計画（鹿児島県,2017）に記載されている同原子力発電所の PAZ と UPZ に含まれる自治体を表 2.2 に示す。この中で、平成 25 年度の住宅・土地統計調査の対象となっている市町は、薩摩川内市、いちき串木野市、阿久根市、鹿児島市、出水市、日置市、姶良市、さつま町である。

## (2) 調査項目

地域防災計画の調査結果から得られた自治体を対象に、平成 25 年度の住宅・土地統計調査（統計局,2013）を基に、建物構造、建築年度、及び建築面積を調査した。住宅・土地統計調査の対象家屋は、居住を目的とする住宅であり、商店、飲食店等の店舗と居住用の部分とが結合している住宅も含まれる。建物の構造の区分は以下に記載する通りである。なお、二つ以上の構造からなる場合には、床面積の広い方の構造に分類される（統計局,2008）

・木造（非防火木造）

建物の主な構造部分のうち、柱・はりなどの骨組みが木造のもの。ただし、「防火木造」に該当するものは含めない。以下、非防火木造家屋と書く。

・防火木造

柱・はりなどの骨組みが木造で、屋根と外壁などに、モルタル、サイディングボード、トタンなどの防火性能を有する建材を利用した建物。

・鉄筋・鉄骨コンクリート造

建物の骨組みが鉄筋コンクリート造、鉄骨コンクリート造、または鉄筋・鉄骨コンクリート造のもの。

・鉄骨造

建物の骨組みが鉄骨造（柱・はりが鉄骨のもの）の建物。

・その他

上記以外のもので、例えば、ブロック造、レンガ造など。

### (3) 調査結果

#### (i) 住宅家屋の構造の割合

全国の集計結果として、本稿で対象とした原子力施設立地とその周辺道府県別の住宅家屋構造の割合を表 2.3 と図 2.1 に示す。全ての道府県に対して、木造家屋（防火木造＋非防火木造）の割合が 60%以上を占めている。最大は富山県、石川県の 94%であった。非防火木造と防火木造家屋の割合は地域によって異なり、北の方で防火木造の割合が多くなる傾向である。対象とした道府県全体で見ると、非防火木造家屋の割合が大きい。

#### (ii) 家屋構造別の建築年度分布

##### ① 非防火木造家屋

非防火木造家屋に対する建築年度別分布を図 2.2 に示す。平成 2 年度までに建築された築 20 年以上の住宅の割合が 60%以上の割合を占めている。

##### ② 防火木造家屋

防火木造家屋に対する建築年度別分布を図 2.3 に示す。平成 2 年度までに建築された築 20 年以上の住宅の割合は 60%以下であり、非防火木造家屋と比較して少ない傾向である。一方、平成 13 年以降に建築された住宅の割合は、非防火木造家屋と比較して多い傾向である。

##### ③ 鉄筋・鉄骨コンクリート造住宅

鉄筋・鉄骨コンクリート造住宅に対する建築年度別分布を図 2.4 に示す。平成 2 年度までに建築された住宅の割合は、およそ 20-50%の割合である。

##### ④ 鉄骨造住宅

鉄骨造住宅に対する建築年度別分布を図 2.5 に示す。平成 2 年度までに建築された住宅は少なく、平成 3 年以降に建築された住宅が対象としたほとんどの道府県で 60%以上である。

#### (iii) 一戸建て住宅の建築面積

本調査で対象となる全ての市町村について、一戸建て住宅（借家は除く）の建築面積分布及び 1 住宅当たりの建築面積の平均値を表 2.4 に示す。全ての都府県に対して、50-99 m<sup>2</sup> の間に建築面積の最頻値があり、1 住宅当たりの建築面積の平均値は 93 m<sup>2</sup> であった。

表 2.2 原子力関連施設立地県及び隣接県における地域防災計画を作成すべき自治体

道府県名	原子力事業所	自治体名 <sup>①</sup>
北海道	泊原子力発電所	泊村、共和町、岩内町、神恵内村、寿都町、蘭越町、ニセコ町、 <b>倶知安町</b> 、積丹町、古平町、仁木町、 <b>余市町</b> 、赤井川村
青森県	東通原子力発電所 その他原子力関連施設	東通村、 <b>むつ市</b> 、野辺地町、横浜町、六ヶ所村
宮城県	女川原子力発電所	女川町、石巻市、 <b>登米市</b> 、 <b>東松島市</b> 、 <b>涌谷町</b> 、 <b>美里町</b> 、 <b>南三陸町</b>
福島県	福島第一原子力発電所 福島第二原子力発電所	<b>いわき市</b> 、 <b>田村市</b> 、 <b>南相馬市</b> 、 <b>川俣町</b> 、 <b>広野町</b> 、 <b>楡葉町</b> 、 <b>富岡町</b> 、 <b>川内村</b> 、 <b>大熊町</b> 、 <b>双葉町</b> 、 <b>浪江町</b> 、 <b>葛尾村</b> 、 <b>飯館村</b>
茨城県	東海発電所 東海第二発電所 原子力研究開発関連施設等	<b>東海村</b> 、 <b>水戸市</b> 、 <b>日立市</b> 、 <b>常陸太田市</b> 、 <b>高萩市</b> 、 <b>笠間市</b> 、 <b>ひたちなか市</b> 、 <b>常陸大宮市</b> 、 <b>那珂市</b> 、 <b>鉾田市</b> 、 <b>茨城町</b> 、 <b>大洗町</b> 、 <b>城里町</b> 、 <b>大子町</b>
新潟県	柏崎刈羽原子力発電所	<b>柏崎市</b> 、刈羽村、 <b>長岡市</b> 、 <b>小千谷市</b> 、 <b>十日町市</b> 、 <b>見附市</b> 、 <b>燕市</b> 、 <b>上越市</b> 、 <b>出雲崎町</b>
静岡県	浜岡原子力発電所	<b>御前崎市</b> 、 <b>牧之原市</b> 、 <b>菊川市</b> 、 <b>掛川市</b> 、 <b>吉田町</b> 、 <b>袋井市</b> 、 <b>焼津市</b> 、 <b>藤枝市</b> 、 <b>島田市</b> 、 <b>森町</b> 、 <b>磐田市</b>
石川県・ 富山県	志賀原子力発電所	石川県： <b>志賀町</b> 、 <b>七尾市</b> 、 <b>輪島市</b> 、 <b>羽咋市</b> 、 <b>かほく市</b> 、 <b>宝達志水町</b> 、 <b>中能登町</b> 、 <b>穴水町</b> 富山県： <b>氷見市</b>
福井県・ 京都府	敦賀原子力発電所 大飯原子力発電所 高浜原子力発電所 美浜原子力発電所	福井県： <b>福井市</b> 、 <b>敦賀市</b> 、 <b>美浜町</b> 、 <b>南越前町</b> 、 <b>越前市</b> 、 <b>越前町</b> 、 <b>若狭町</b> 、 <b>小浜市</b> 、 <b>池田町</b> 、 <b>鯖江市</b> 、 <b>高浜町</b> 、 <b>おおい町</b> 、 京都府： <b>京都市</b> 、 <b>福知山市</b> 、 <b>舞鶴市</b> 、 <b>綾部市</b> 、 <b>宮津市</b> 、 <b>南丹市</b> 、 <b>京丹波町</b> 、 <b>伊根町</b>
島根県・ 鳥取県	島根原子力発電所	島根県： <b>松江市</b> 、 <b>出雲市</b> 、 <b>安来市</b> 、 <b>雲南市</b> 鳥取県： <b>境港市</b> 、 <b>米子市</b>
愛媛県	伊方原子力発電所	伊方町、 <b>八幡浜市</b> 、 <b>大洲市</b> 、 <b>西予市</b> 、 <b>宇和島市</b> 、 <b>伊予市</b> 、 <b>内子町</b>
佐賀県・ 福岡県	玄海原子力発電所	佐賀県： <b>玄海町</b> 、 <b>唐津市</b> 、 <b>伊万里市</b> 福岡県： <b>糸島市</b>
長崎県		長崎県： <b>佐世保市</b> 、 <b>平戸市</b> 、 <b>松浦市</b> 、 <b>壱岐市</b>
鹿児島県	川内原子力発電所	<b>薩摩川内市</b> 、 <b>いちき串木野市</b> 、 <b>阿久根市</b> 、 <b>鹿児島市</b> 、 <b>出水市</b> 、 <b>日置市</b> 、 <b>始良市</b> 、 <b>さつま町</b> 、 <b>長島町</b>

① 平成 25 年度の住宅・土地統計調査の対象となる自治体は自治体名を太字で表した

表 2.3 住宅家屋の構造の割合

道府県	非防火木造	木造	鉄筋・鉄骨 コンクリート造	鉄骨造	その他
北海道	19%	65%	12%	2%	2%
青森県	29%	63%	6%	2%	0%
宮城県	44%	40%	6%	7%	2%
福島県	31%	42%	11%	13%	3%
茨城県	38%	37%	15%	10%	<1%
新潟県	37%	48%	9%	6%	<1%
静岡県	39%	34%	15%	12%	<1%
石川県・富山県	70%	24%	4%	2%	<1%
福井県・京都府	48%	26%	18%	8%	<1%
島根県・鳥取県	51%	22%	19%	7%	<1%
愛媛県	62%	21%	15%	2%	<1%
佐賀県・福岡県	60%	22%	13%	4%	1%
鹿児島県	28%	33%	33%	5%	<1%
合計	41%	34%	17%	8%	<1%

表 2.4 住宅家屋の建築面積の分布及び1住宅当たりの建築面積の平均値

道府県	住宅家屋の建築面積の分布									1住宅当たり 建築面積の 平均値 (m <sup>2</sup> )
	<19 m <sup>2</sup>	20-29 m <sup>2</sup>	30-39 m <sup>2</sup>	40-49 m <sup>2</sup>	50-74 m <sup>2</sup>	75-99 m <sup>2</sup>	100-124 m <sup>2</sup>	125-149 m <sup>2</sup>	>150 m <sup>2</sup>	
北海道	<1%	1%	2%	5%	46%	31%	9%	4%	3%	79
青森県	<1%	<1%	1%	3%	28%	30%	16%	11%	11%	99
宮城県	<1%	1%	1%	3%	31%	28%	15%	10%	11%	97
福島県	<1%	<1%	1%	3%	26%	29%	17%	11%	13%	102
茨城県	<1%	1%	2%	4%	35%	27%	14%	9%	9%	92
新潟県	<1%	<1%	1%	3%	27%	27%	16%	11%	14%	104
静岡県	<1%	1%	2%	6%	38%	28%	12%	7%	6%	86
石川県・富山県	<1%	<1%	1%	3%	24%	25%	15%	12%	20%	111
福井県・京都府	<1%	4%	9%	12%	32%	19%	10%	6%	9%	82
島根県・鳥取県	<1%	1%	2%	4%	22%	23%	17%	12%	19%	110
愛媛県	<1%	1%	3%	6%	35%	27%	13%	7%	8%	88
佐賀県・福岡県	<1%	<1%	1%	3%	24%	28%	18%	12%	14%	105
鹿児島県	<1%	1%	2%	4%	28%	31%	17%	11%	6%	92
合計	<1%	1%	2%	5%	33%	27%	14%	9%	10%	93

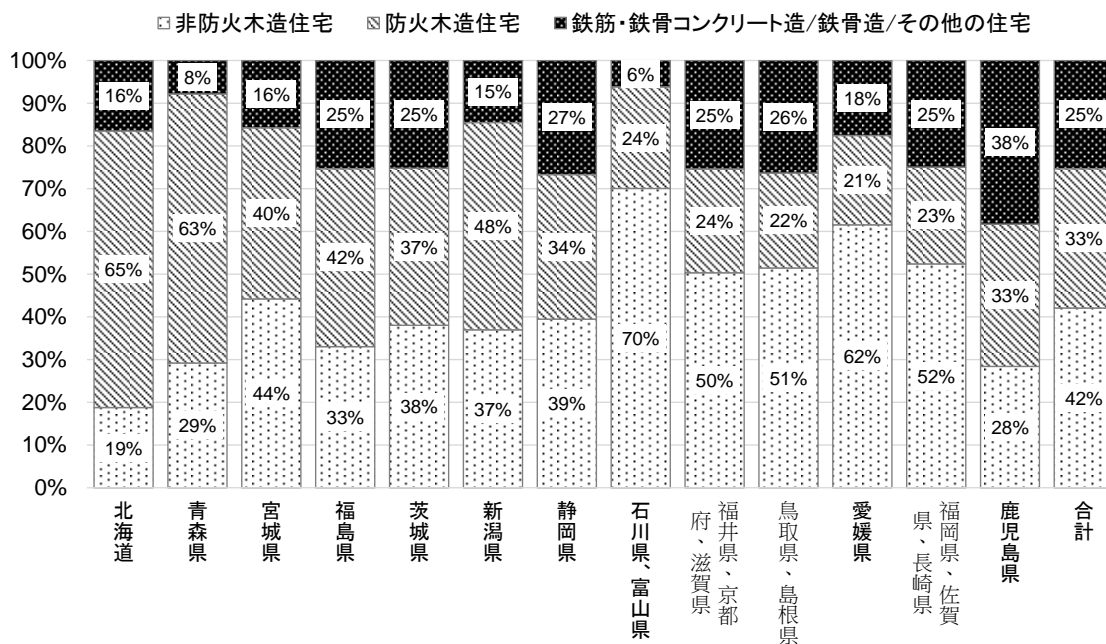


図 2.1 住宅家屋の構造の割合図

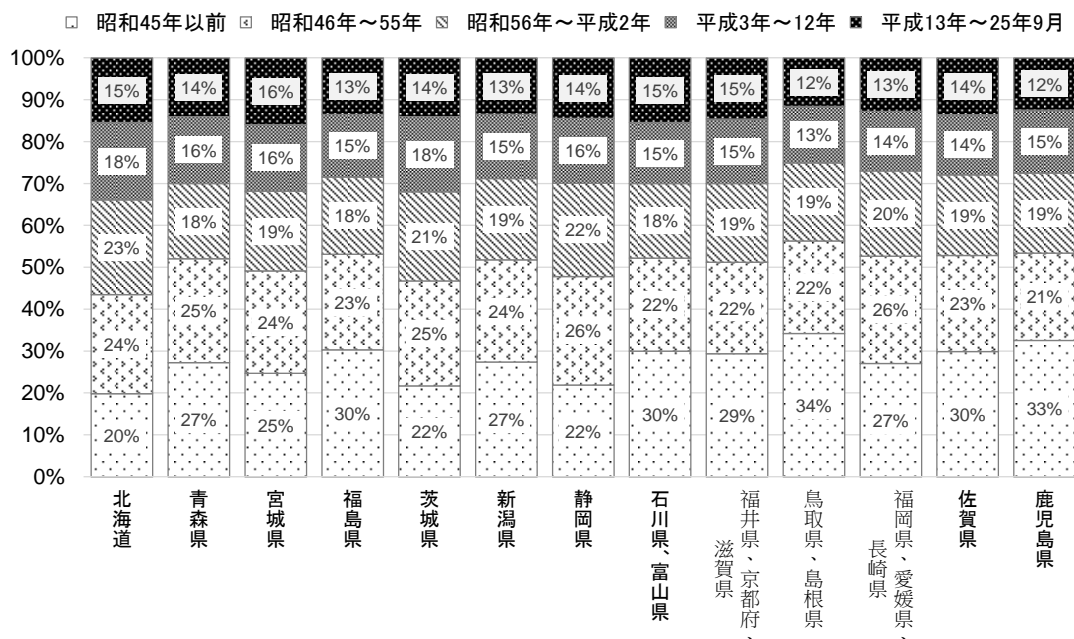


図 2.2 非防火木造家屋の建築年度別分布



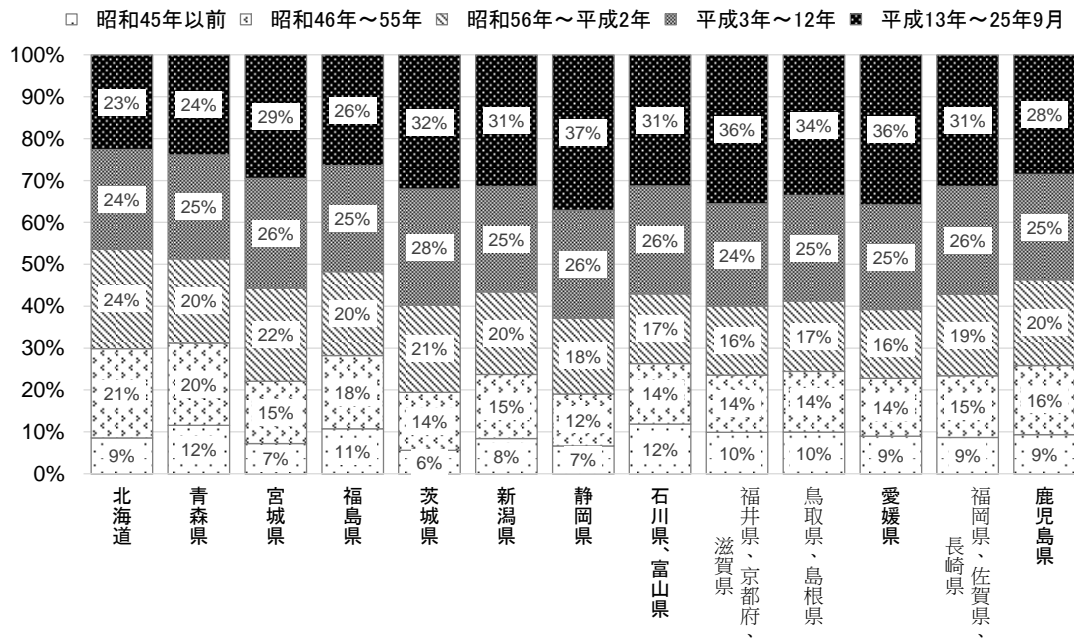


図 2.3 防火木造家屋の建築年度別分布

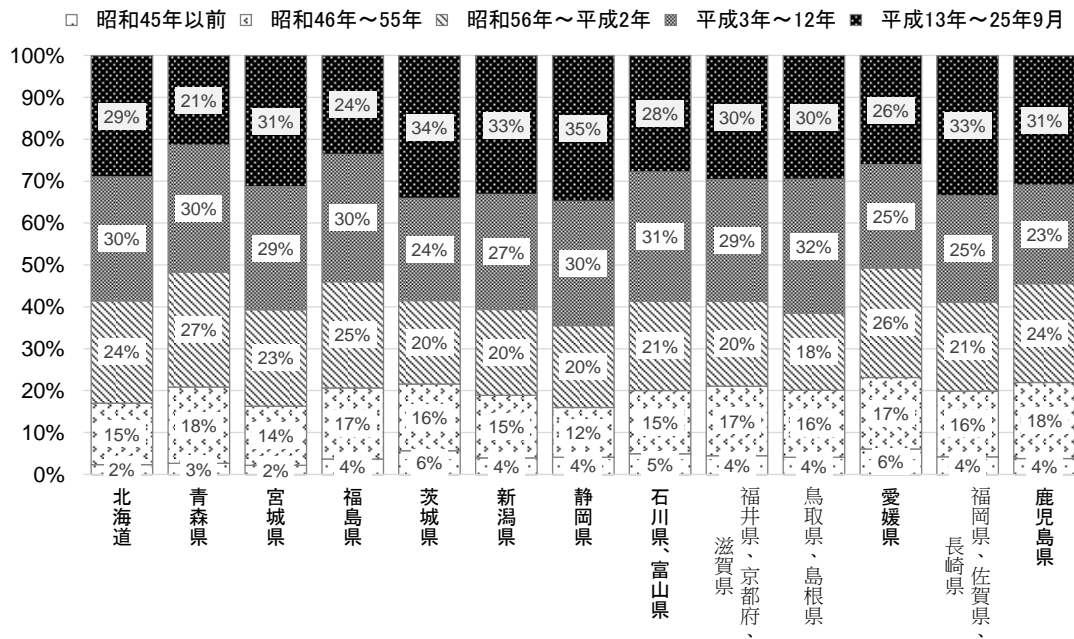


図 2.4 鉄筋・鉄骨コンクリート造住宅の建築年度別分布

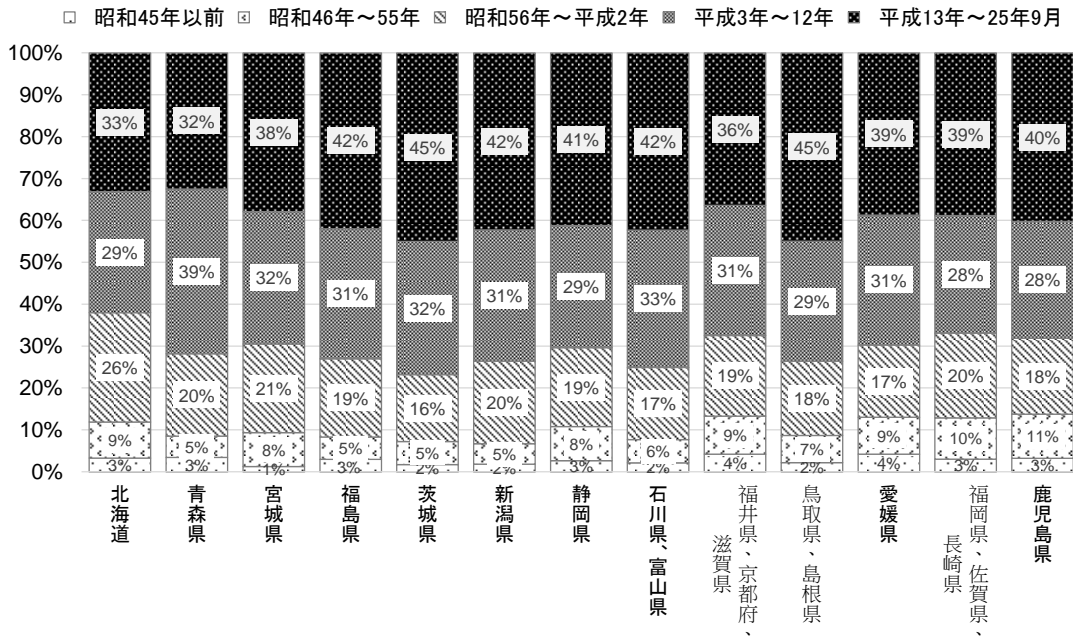


図 2.5 鉄骨造住宅の建築年度別分布

## 2.2 事故シナリオ

### 2.2.1 外部被ばく経路

本事業では、外部被ばく経路として、(i) 事故時に飛来した放射性物質からの被ばく（以下、クラウドシャイン）と (ii) 飛来したものが沈着した放射性物質からの被ばく（以下、グラウンドシャイン）を考える。なお、本事業においてクラウドシャインからの被ばくを考慮する際には、PAZ 外での屋内退避を想定するものとし、頭上を通過するプルーム状態ではなく、地上近傍にも放射性物質が広がったサブマージョンの状態を仮定した。また、グラウンドシャインからの被ばくを考慮する際には、基本的には地表面に沈着した核種からの寄与のみを考慮する。ただし、一部の解析においては建物の屋根と壁からの寄与による被ばく低減効果の変動を評価するため、これらの沈着表面からの影響も考慮することにした。

### 2.2.2 放射線のエネルギー

屋内退避による外部被ばくの低減効果は、被ばくに寄与する放射線のエネルギーに依存する。被ばくに寄与する放射線のエネルギーは放出核種の組成に依存し、核種組成は原子炉停止から放出されるまでの猶予期間とプルームの通過時間によって変動する。そこでここでは、被ばく低減効果に用いる放射線エネルギーを決定するため、1F 事故時の知見と代表的な事故影響評価での核種組成を調査した。

原子力事故時には多種の放射性核種が放出され、それらの放射性核種は複数の放射線を放出する。本事業では、複数の放射線を縮約されたエネルギー（平均エネルギー）を持つ一本の放射線として扱うこととした。

原子力事故時に放出された核種全体からの平均エネルギーを評価するためには、(i) クラウドシャイン、グラウンドシャインからの空間線量率に対する核種別の寄与割合、(ii) 核種  $i$  から放出される放射線の平均エネルギー  $E_i$  を定める必要がある。まず、原子炉停止から時間  $t$  だけ経

過した後、クラウドシャインからの空間線量率に対する各核種の寄与割合  $C_{i,cloud}$  とグラウンドシャインからの空間線量率に対する各核種の寄与割合  $C_{i,ground}$  は以下の式で表される。

$$C_{i,cloud}(t) = \frac{k_{i,cloud} \cdot A_i(t)}{\sum_i k_{i,cloud} \cdot A_i(t)} \quad (2.1)$$

$$C_{i,ground}(t) = \frac{k_{i,ground} \cdot A_i(t)}{\sum_i k_{i,ground} \cdot A_i(t)} \quad (2.2)$$

ここで、

$A_i$  : 核種  $i$  の放射能

$k_{i,cloud}$  : 核種  $i$  からのクラウドシャインに関する実効線量への換算係数

$k_{i,ground}$  : 核種  $i$  からのグラウンドシャインに関する実効線量への換算係数

である。

核種  $i$  から放出される  $j$  番目の放射線エネルギー  $E_{i,j}$  について、その放出率を  $r_{i,j}$  とすると、核種  $i$  から放出される放射線の平均エネルギー  $E_i$  は以下のように表される。

$$E_i = \frac{\sum_j r_{i,j} \cdot E_{i,j}}{\sum_j r_{i,j}} \quad (2.3)$$

核種  $i$  の空間線量率に対する核種  $i$  の寄与割合を  $C_i$  とすると、放出核種全体からの平均エネルギー  $E(t)$  は以下のように表すことができる。

$$E(t) = \frac{\sum_i C_i(t) \cdot E_i}{\sum_i C_i(t)} \quad (2.4)$$

#### (1) 放出核種の平均エネルギーと組成

原子力事故時に放出される核種組成の違いによって平均エネルギーがどのくらい変動するかを調べるためには、放出核種の平均エネルギーと組成が必要である。放出核種からのガンマ線エネルギーと放出割合、及び親核種に対して半減期の短い子孫核種からのガンマ線の放出割合の計算は IAEA TECDOC 1162 (IAEA, 2000) とアイソトープ手帳 (日本アイソトープ協会, 2011) を参考にした。子孫核種から放出されるガンマ線の放出割合  $r_{i,j}$  はアイソトープ手帳を参考にして、子孫核種の放出割合に親核種のベータ壊変率を掛けた値とした。本評価で利用した主要核種からの平均エネルギーを表 2.5 に示す。

本事業の解析に用いた放出核種の組成を算出するためには、(i) 放射性核種の炉内内蔵量、

(ii) 炉内内蔵量に対する核種の放出割合が必要である。本事業では、これらの値として 1F 事故時のデータと代表的な事故シナリオに基づくデータを利用した。1F 事故時のデータとして、各号機の炉内内蔵量と放出割合を、それぞれ西原他 (2012) と IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書 (原子力災害対策本部, 2011) を参照した。また、代表的な事故シナリオにおける炉内内蔵量と放出割合として本間他 (2000) の値を利用した。これらの放出割合の値を表 2.6 と表 2.7 に示す。それらの放出割合を基に Takahara et al. (2018) が計算した各事故シナリオの放出された核種の相対値を表 2.8 に示す。炉内内蔵量の値についてはそれぞれの文献を参照されたい。

#### (2) 原子炉停止からの経過時間による放出核種全体からの平均エネルギー $E(t)$ の変動

これらの値を式 (2.1) から式 (2.4) に代入して放出核種全体からのエネルギー  $E(t)$  を計算した。1F 事故時の放出条件及び代表的な事故シナリオでの放出条件による平均エネルギー  $E(t)$  を原子炉

停止からの経過時間の関数としてそれぞれ図 2.6 と図 2.7 に示す。なお、この図に示した平均エネルギー $E(t)$ は各 24 時間での平均値である。

原子炉が停止すると短半減期核種の壊変により、クラウドシャインとグラウンドシャインのいずれについても、被ばくに寄与する平均エネルギー $E(t)$ は時間とともに変化する。クラウドシャインの場合、1F 事故時の放出条件と代表的な事故シナリオのいずれについても、平均エネルギー $E(t)$ は原子炉停止後に約 1.6 MeV であった。その後の数日から 1 週間までの期間では、1F2 号機の放出条件で 0.5 MeV 程度、管理放出での放出条件で 0.1 MeV 未満となったのを除いて、平均エネルギー $E(t)$ は 0.3–0.4 MeV 程度で推移した。

クラウドシャインからの被ばくに対する各核種の寄与割合の時間変化を図 2.8 と図 2.9 に示す。1F 事故時の放出条件と代表的な事故シナリオのいずれにおいても、原子炉停止直後に最も大きく寄与する核種はガンマ線エネルギーの高い Kr-88 ( $E_i=2.3$  MeV,  $T_{1/2}=2.8$  h) である。特に、1F 事故時の 1 号機と 3 号機、並びに管理放出においては Kr-88 の寄与は 60%以上に達する。このため、平均エネルギー $E(t)$ も他の条件と比べて高く 1.7 MeV 程度となっている。Kr-88 は半減期が 2 時間程度と非常に短く、同核種の壊変とともに、エネルギーの低い Xe-133 ( $E_i=0.066$  MeV,  $T_{1/2}=5.3$  d) を中心に放射性ヨウ素と放射性セシウムの寄与が大きくなることで、1F2 号機と管理放出を除く放出条件では数日目以降、約 0.4 MeV 程度で推移した。

1F2 号機の放出条件の場合、Te-132 とその子孫核種 I-132 ( $E_i=0.66$  MeV,  $T_{1/2}=3.3$  d) の寄与に加え、I-131 ( $E_i=0.37$  MeV,  $T_{1/2}=8.1$  d) と放射性セシウムの寄与が他の条件よりも大きくなることで、Xe-133 が支配的な状況よりも平均エネルギー $E(t)$ が高くなっている。また、管理放出においては、希ガス以外の核種の放出はほとんどないので、Xe-133 の寄与が 90%以上であり、他の放出条件よりも高い。これによって放出核種全体からの平均エネルギー $E(t)$ はほぼ Xe-133 の平均エネルギーと等しくなり、他の条件での平均的な 0.4 MeV を下回って 0.1 MeV 未満になった。

グラウンドシャインの場合、平均エネルギー $E(t)$ は 1F 事故時の放出条件と代表的な事故シナリオのいずれの放出条件についても、原子炉停止直後の約 0.8–0.9 MeV であり、その後の期間で約 0.6 MeV 程度となった。グラウンドシャインからの被ばくに対する各核種の寄与を図 2.10 と図 2.11 に示す。原子炉停止直後の平均エネルギー $E(t)$ が 0.8–0.9 MeV となるのは、I-135 ( $E_i=1.2$  MeV,  $T_{1/2}=6.6$  h) の寄与が大きいためである。その後、同核種の壊変とともに平均エネルギー $E(t)$ は低下し、I-131、Te-132 (子孫核種である I-132 の寄与含む) 及び Cs-134 の寄与が増えることで、これらの核種の平均エネルギーである約 0.6 MeV 程度で推移することになる。特に後期大規模放出については、Te 類の放出割合が小さいので Te-132 とその子孫核種である I-132 の寄与が小さくなり、I-131 の寄与が他の放出条件よりも大きくなっている。I-131 の平均エネルギーは 0.37 MeV であり 0.6 MeV と比べて低めとなるものの、平均エネルギーが高い Cs-136 ( $E_i=0.94$  MeV,  $T_{1/2}=13$  d) の寄与が大きくなることで最終的には 0.6 MeV 程度で平均エネルギー $E(t)$ が推移する。

### (3) 本事業で屋内退避効果の計算に利用するガンマ線のエネルギー

原子炉事故時に各経路から被ばくする放射線エネルギーは、(i) 放出条件と (ii) 原子炉停止後の経過時間に依存して変化する。クラウドシャインの場合、図 2.6 (a)と図 2.7 (a)よりガンマ線のエネルギーは特に原子炉停止後の経過時間に依存して、1.6 MeV 程度から 0.1 MeV 程度まで大きく変動することが示された。本事業では、原子炉停止から放出までの時間と放射性プルームが屋内退避該当地域まで移行するまでの時間を考慮したうえで、原子炉停止後数時間以降程度の範囲においてこれらのエネルギーの変動を包絡できるように、0.4 MeV、1 MeV 及び 1.5 MeV のガンマ線に対して屋内退避効果を計算することにした。

グラウンドシャインの場合、ガンマ線のエネルギーは、クラウドシャインの場合と比べて原子

炉停止後の経過時間にあまり依存せず、約 0.9 MeV から約 0.6 MeV 程度まで変動する (図 2.6 (b) と図 2.7 (b))。グラウンドシャインに対する屋内退避はプルームに対する場合よりも長期間を考えるべきであり、OIL2 の判断や一時移転の実施猶予などを考慮すれば、2 日間から 1 週間を考える必要がある。したがって、同経路に対する低減効果を評価する際には、既存データの多く存在する Cs-137 のエネルギーを使用するのが良いと考えられる。また、グラウンドシャインに対する屋内退避効果の放出核種全体からの平均エネルギーによる変動はエネルギーの変化幅が大きくないため、あえて考慮しなくて良いと考えられる。

再処理施設における放射性物質の放出事故の場合、実用炉のような時間による変化は考える必要は無いが、屋内退避による防護効果の評価において、上記の実用炉のケースとの違いを明確に理解しておかなければならない。再処理施設における重畳事故時に放出される放射性核種の割合は Pu-241 が 64%、Cs-137 + Ba-137m が 17%、Sr-90 + Y-90 が 12% であり、被ばく経路としては吸入被ばくによる実効線量が主たる問題となる。クラウドシャインやグラウンドシャインからの線量寄与は小さいが、それらの被ばくに対する屋内退避の防護効果を検討するには、Cs-137 とその子孫核種である Ba-137m からのガンマ線のエネルギー 0.662 MeV を考慮すると良い。

したがって、再処理施設の屋内退避の防護効果を考える時、吸入被ばくに対しては粒子状の物質としてフィルタリングを考慮できるのが望ましい。一方、クラウドシャインとグラウンドシャインからの被ばくに対しては Cs-137 のエネルギーを考慮すれば良い。

表 2.5 主要核種に関するガンマ線平均エネルギー

核種名 i	半減期 $T_{1/2}$	主なガンマ線エネルギー $E_{ij}$ (keV)					平均エネルギー $E_i$ (keV)	
		(放出割合 (%))						
Kr-85m	4.4 h	150 (74%)	305 (13%)				201	
Kr-87	1.3 h	403 (87%)					403	
Kr-88	2.8 h	2195 (13%)	2392 (35%)				2343	
Xe-133	5.3 d	30.9 (41%)	81 (38%)				66	
Xe-135	9.2 h	250 (90%)	608 (2.9%)				280	
Zr-95 <sup>(1)</sup>	65.2 d	236 <sup>(1)</sup> (0.27%)	724 (44.3%)	757 (54.4%)			742	
Nb-95	35 h	766 (99.8%)					766	
Mo-99 <sup>(2)</sup>	2.8 d	141 <sup>(2)</sup> (82.7%)	740 (12.1%)				482	
Ru-103 <sup>(3)</sup>	39.5 d	497 (91.0%)	610 (5.8%)				506	
Sb-127	3.9 d	473 (25.8%)	686 (36.8%)	784 (15.1%)			659	
I-131	8.1 d	365 (81.7%)					365	
I-133	21 h	530 (87%)					530	
I-134	0.9 h	595 (11.1%)	622 (10.6%)	847 (95.4%)	884 (64.9%)	1073 (14.9%)	1136 (9.1%)	878
I-135	6.6 h	527 (13.4%)	1132 (22.6%)	1260 (28.7%)	1678 (9.6%)			1226
Te-131m	1.3 h	334 (12.5%)	774 (49.9%)	794 (18.1%)	852 (27.0%)	1125 (14.9%)	1207 (12.7%)	888
Te-132 <sup>(4)</sup>	3.3 d	228 (88.0%)	668 (98.7%)	773 (75.6%)				662
Cs-134	2.1 y	569 (15.4%)	605 (97.6%)	796 (85.5%)				699
Cs-136	13 d	818 (99.7%)	1048 (79.7%)					935
Cs-137	30.1 y	662 (85.1%)						662
Ba-140 <sup>(5)</sup>	12.8 d	329 (20.3%)	487 (45.5%)	537 (24.4%)	816 (23.3%)	1596 (95.4%)		1285
Np-239	2.4 d	103 (39.9%)	106 (27.2%)	118 (11.5%)	228 (10.8%)	278 (14.4%)		191

<sup>(1)</sup> 子孫核種 Nb-95m、<sup>(2)</sup> 子孫核種 Tc-99m、<sup>(3)</sup> 子孫核種 Rh-103m、<sup>(4)</sup> 子孫核種 I-132、<sup>(5)</sup> 子孫核種 La-140

表 2.6 1F 事故時における核種の放出割合 (原子力災害対策本部, 2011)

	放出割合 <sup>(1)</sup>							
	希ガス	I 類	Cs 類	Te 類	Ba 類	Ru 類	Ce 類	La 類
1 号機	9.5E-01	6.6E-03	2.9E-03	1.1E-02	4.0E-05	9.0E-10	1.4E-07	1.2E-07
2 号機	9.6E-01	6.7E-02	5.8E-02	3.0E-02	2.6E-04	5.4E-10	4.0E-06	8.4E-07
3 号機	9.9E-01	3.0E-03	2.7E-03	2.4E-03	4.3E-04	8.6E-10	5.0E-08	1.3E-07

<sup>(1)</sup> 炉内内蔵量に対して放出された割合

表 2.7 代表的な事故シナリオにおける核種の放出割合 (本間他, 2000)

シナリオ	放出開始時間 <sup>(1)</sup>	放出割合 <sup>(2)</sup>							
		希ガス	I 類	Cs 類	Te 類	Ba 類	Ru 類	Ce 類	La 類
早期大規模	3	1.0E-00	7.9E-02	1.1E-02	2.6E-02	1.1E-08	1.0E-02		1.0E-02
後期大規模	27	9.5E-01	3.3E-02	2.8E-02	2.9E-04	1.6E-08	3.8E-11	<sup>(3)</sup>	6.4E-12
管理放出	12	8.7E-01	9.1E-04	7.5E-04	3.2E-04	2.0E-08	3.4E-11		6.5E-12

<sup>(1)</sup> シャットダウンからの経過時間に等しい

<sup>(2)</sup> 炉内内蔵量に対して放出された割合。本間他 (2000) を引用

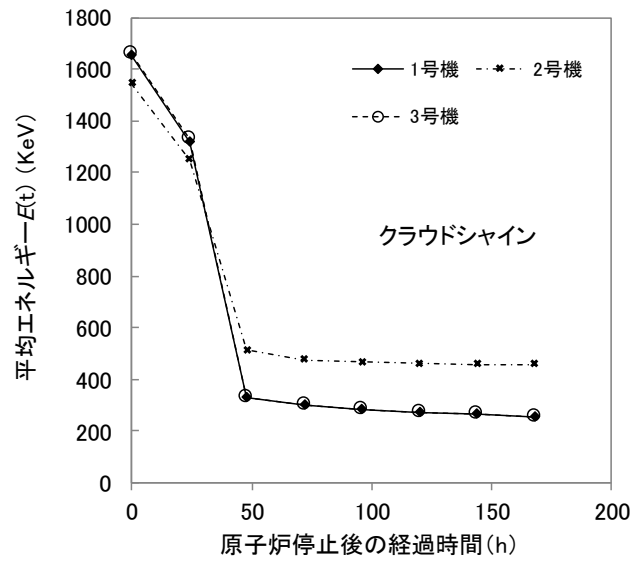
<sup>(3)</sup> Ce 類は La 類に含まれる

表 2.8 各事故シナリオにおける放出された核種の相対値 (Takahara et al., 2018)

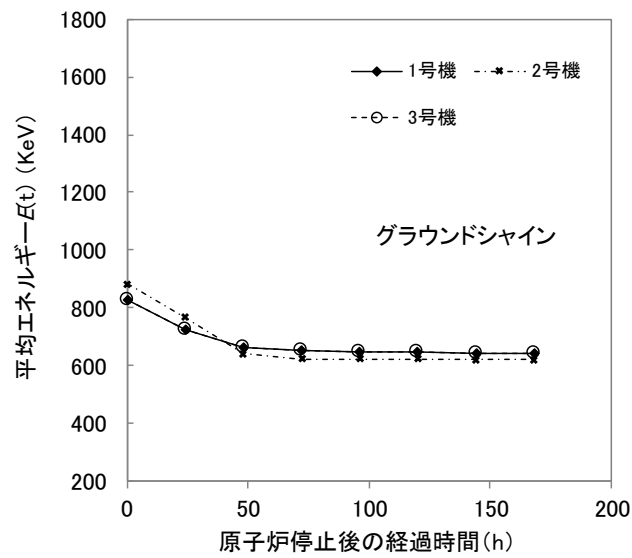
核種	放出された放射能の相対値					
	早期大規模	後期大規模	管理放出	1F1 号機	1F2 号機	1F3 号機
Kr-85m	$7.68 \times 10^1$	$7.68 \times 10^1$	$2.67 \times 10^3$	$8.64 \times 10^2$	$5.93 \times 10^1$	$1.29 \times 10^3$
Kr-87	$1.48 \times 10^2$	$1.48 \times 10^2$	$5.07 \times 10^3$	$1.24 \times 10^3$	$8.67 \times 10^1$	$1.86 \times 10^3$
Kr-88	$2.14 \times 10^2$	$2.14 \times 10^2$	$7.33 \times 10^3$	$1.69 \times 10^3$	$1.20 \times 10^2$	$2.57 \times 10^3$
Xe-133	$6.07 \times 10^2$	$6.07 \times 10^2$	$2.07 \times 10^4$	$4.41 \times 10^3$	$3.00 \times 10^2$	$6.29 \times 10^3$
Xe-135	$1.71 \times 10^2$	$1.71 \times 10^2$	$5.87 \times 10^3$	$1.69 \times 10^3$	$1.00 \times 10^{-7}$	$2.29 \times 10^3$
Zr-95 <sup>(1)</sup>	$1.00 \times 10^{-4}$	$3.39 \times 10^{-9}$	$1.27 \times 10^{-7}$	$4.24 \times 10^{-4}$	$1.93 \times 10^{-4}$	$6.29 \times 10^{-4}$
Nb-95	$1.02 \times 10^{-4}$	$3.39 \times 10^{-9}$	$1.33 \times 10^{-7}$	$3.73 \times 10^{-4}$	$1.60 \times 10^{-4}$	$5.57 \times 10^{-4}$
Mo-99 <sup>(2)</sup>	$2.68 \times 10^{-4}$	$2.14 \times 10^{-8}$	$7.33 \times 10^{-7}$	$3.90 \times 10^{-6}$	$1.60 \times 10^{-7}$	$5.71 \times 10^{-6}$
Ru-103 <sup>(3)</sup>	$2.32 \times 10^{-4}$	$1.79 \times 10^{-8}$	$6.13 \times 10^{-7}$	$2.88 \times 10^{-6}$	$1.07 \times 10^{-7}$	$4.14 \times 10^{-6}$
Sb-127	$2.32 \times 10^{-1}$	$9.64 \times 10^{-3}$	$3.93 \times 10^{-1}$	$8.64 \times 10^{-1}$	$1.53 \times 10^0$	$3.00 \times 10^0$
I-131	$9.46 \times 10^0$	$1.02 \times 10^1$	$1.07 \times 10^1$	$1.51 \times 10^1$	$1.07 \times 10^1$	$2.14 \times 10^1$
I-133	$1.96 \times 10^1$	$2.14 \times 10^1$	$2.13 \times 10^1$	$3.22 \times 10^1$	$2.20 \times 10^1$	$4.57 \times 10^1$
I-134	$2.14 \times 10^1$	$2.32 \times 10^1$	$2.33 \times 10^1$	$3.56 \times 10^1$	$2.47 \times 10^1$	$5.14 \times 10^1$
I-135	$1.79 \times 10^1$	$1.96 \times 10^1$	$2.00 \times 10^1$	$3.05 \times 10^1$	$2.07 \times 10^1$	$4.43 \times 10^1$
Te-131m	$3.04 \times 10^{-1}$	$1.32 \times 10^{-2}$	$5.40 \times 10^{-1}$	$5.76 \times 10^0$	$1.07 \times 10^0$	$8.43 \times 10^0$
Te-132 <sup>(4)</sup>	$3.04 \times 10^0$	$1.29 \times 10^{-1}$	$5.27 \times 10^0$	$3.56 \times 10^1$	$6.67 \times 10^0$	$5.29 \times 10^1$
Cs-134	$1.18 \times 10^0$	$1.18 \times 10^0$	$1.20 \times 10^0$	$9.32 \times 10^{-1}$	$1.07 \times 10^0$	$1.04 \times 10^0$
Cs-136	$4.11 \times 10^{-1}$	$4.11 \times 10^{-1}$	$4.07 \times 10^{-1}$	$2.71 \times 10^{-1}$	$3.13 \times 10^{-1}$	$3.43 \times 10^{-1}$
Cs-137	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ba-140 <sup>(5)</sup>	$3.75 \times 10^{-2}$	$8.75 \times 10^{-6}$	$4.07 \times 10^{-4}$	$1.69 \times 10^{-1}$	$7.33 \times 10^{-2}$	$2.43 \times 10^{-1}$
Np-239	$1.23 \times 10^{-3}$	$4.11 \times 10^{-8}$	$1.60 \times 10^{-6}$	$5.08 \times 10^{-9}$	$1.67 \times 10^{-9}$	$4.86 \times 10^{-9}$

<sup>(1)</sup> 子孫核種 Nb-95m、<sup>(2)</sup> 子孫核種 Tc-99m、<sup>(3)</sup> 子孫核種 Rh-103m、<sup>(4)</sup> 子孫核種 I-132、<sup>(5)</sup> 子孫核種 La-140



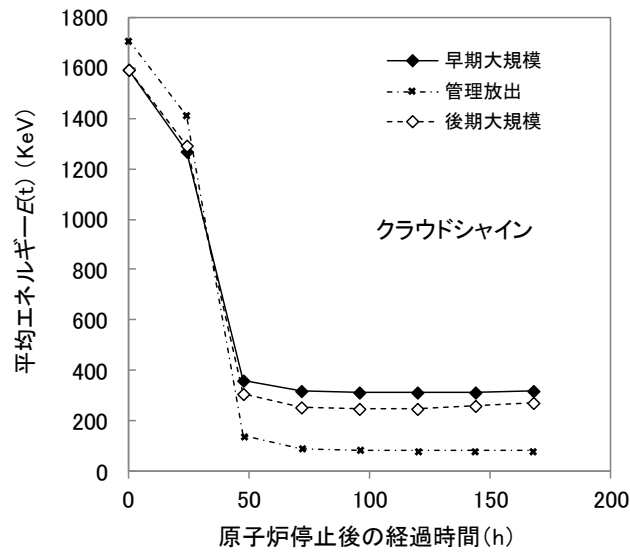


(a) クラウドシャインからの平均エネルギー $E(t)$

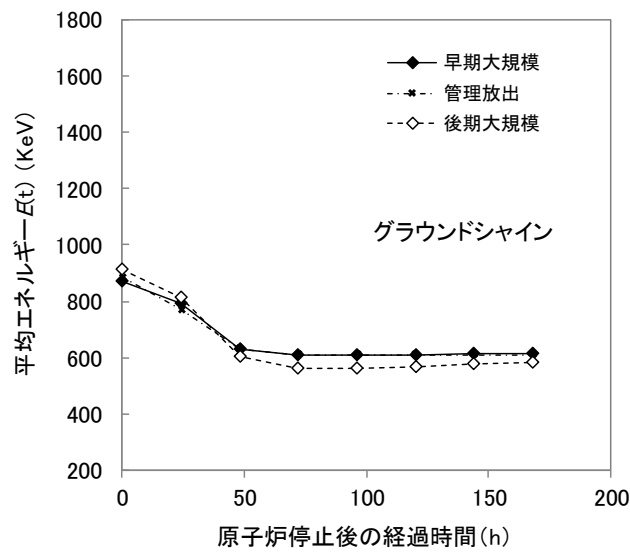


(b) グラウンドシャインからの平均エネルギー $E(t)$

図 2.6 福島原子力発電所事故時の放出核種組成に基づく放出核種全体からの平均エネルギー $E(t)$ の変化

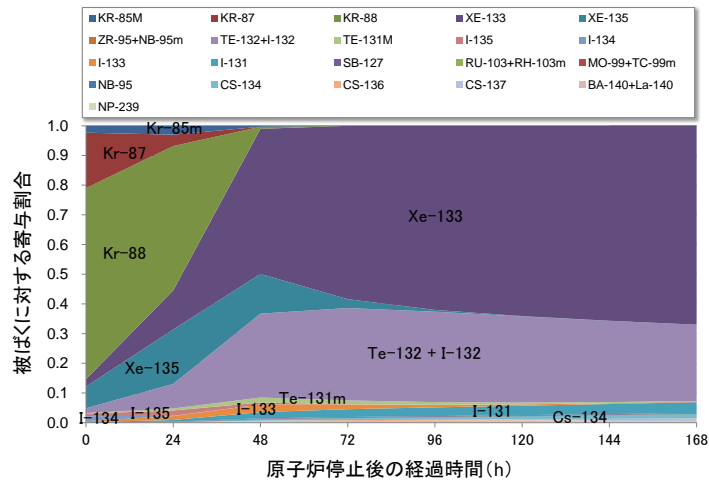


(a) クラウドシャインからの平均エネルギー $E(t)$

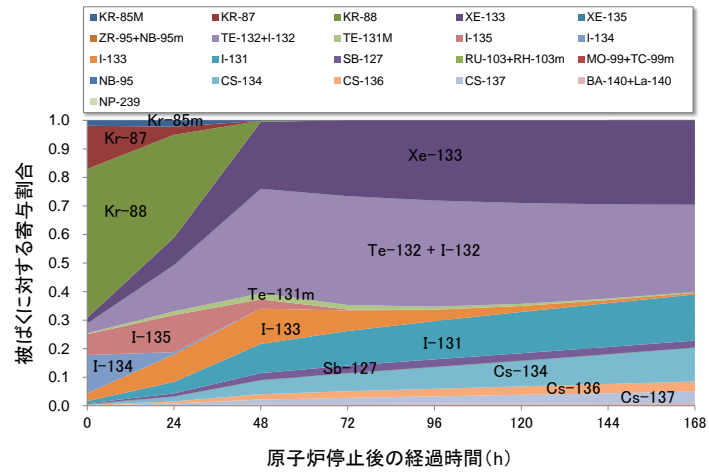


(b) グラウンドシャインからの平均エネルギー $E(t)$

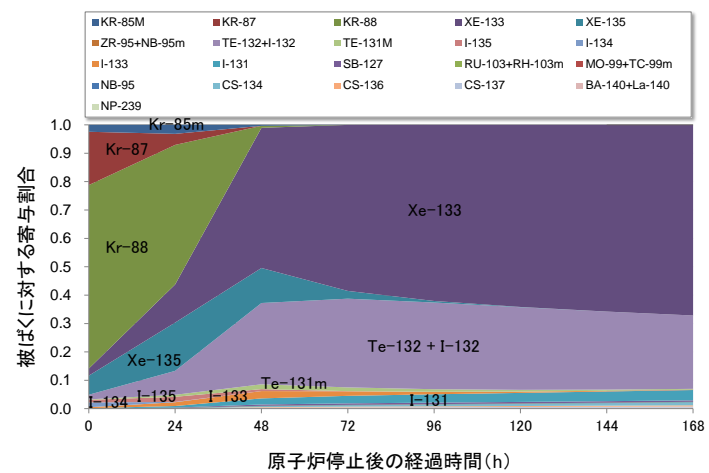
図 2.7 代表的な事故シナリオの放出核種組成に基づく放出核種全体からの平均エネルギー $E(t)$ の変化



(a) 1号機からの放出の場合

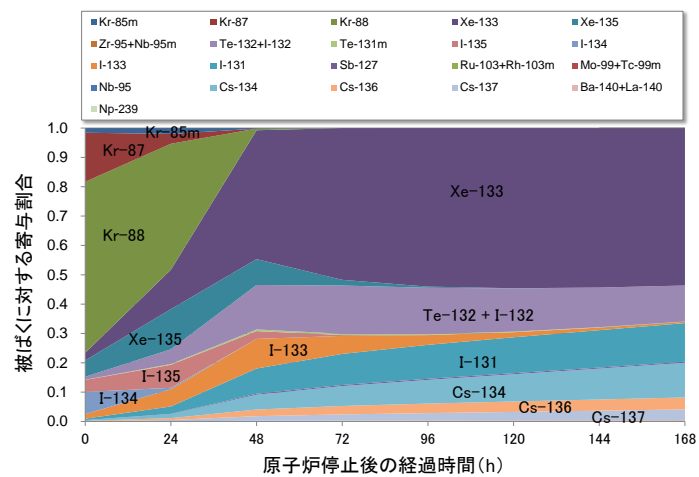


(b) 2号機からの放出の場合

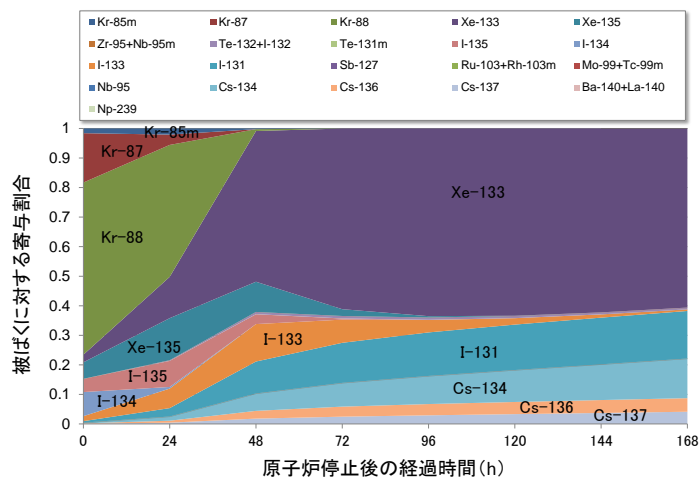


(c) 3号機からの放出の場合

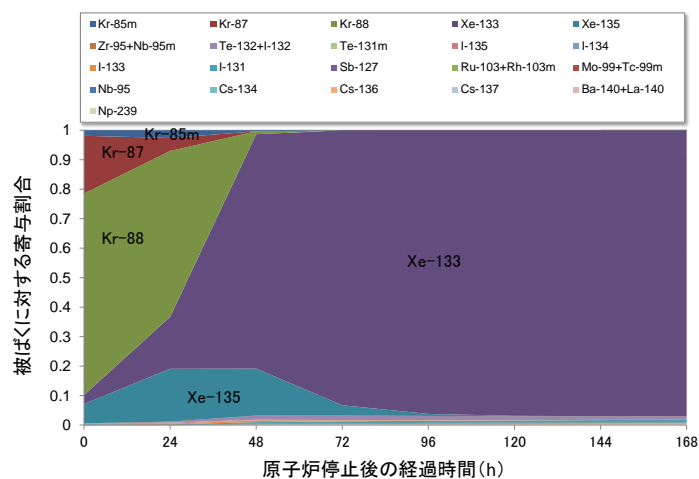
図 2.8 1F 事故時の放出核種組成による各核種の被ばくへの寄与割合 (クラウドシャイン)



(a) 早期大規模放出の場合

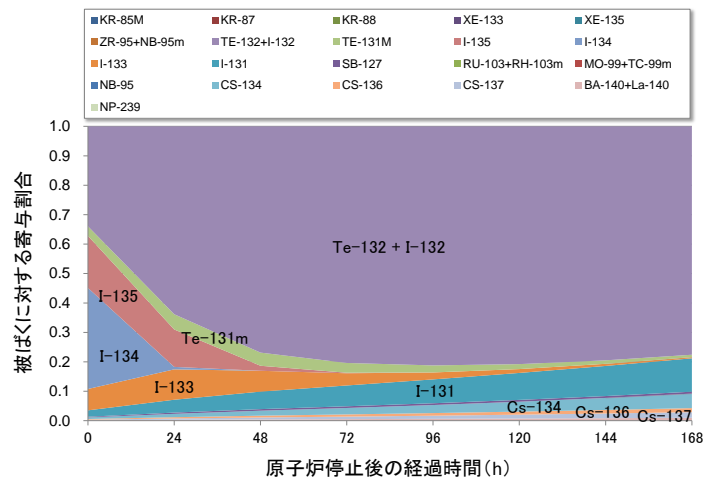


(b) 後期大規模放出の場合

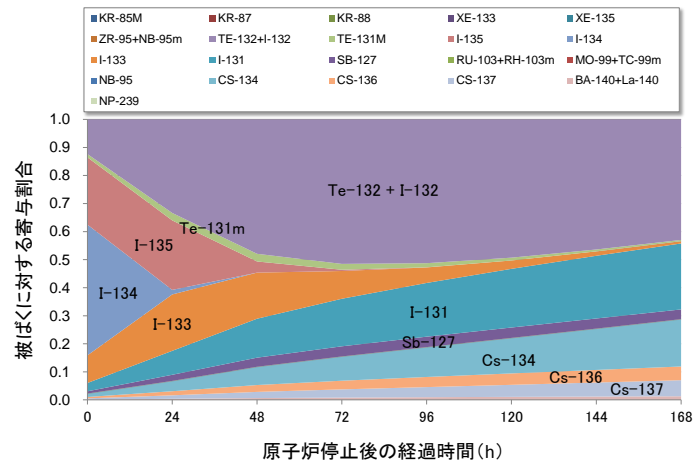


(c) 管理放出の場合

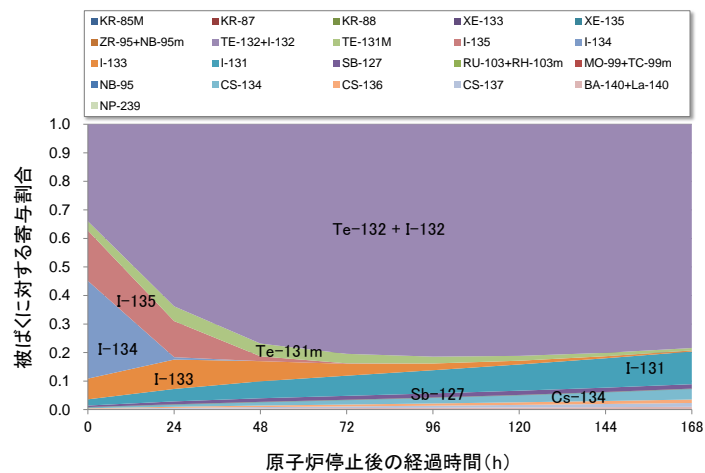
図 2.9 代表的シナリオの放出核種組成による各核種の被ばくへの寄与割合 (クラウドシャイン)



(a) 1号機からの放出の場合

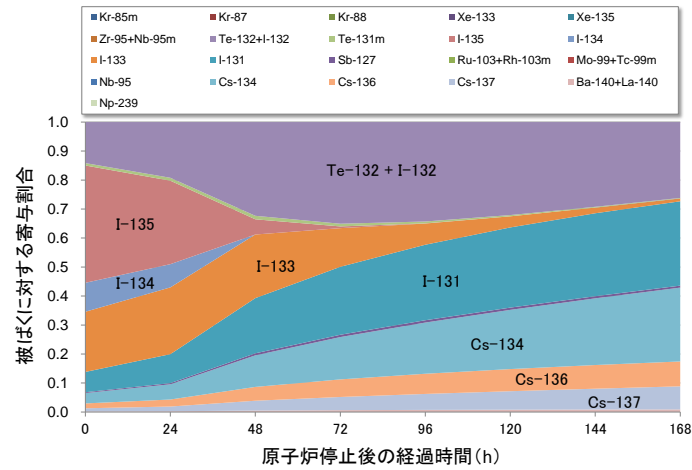


(b) 2号機からの放出の場合

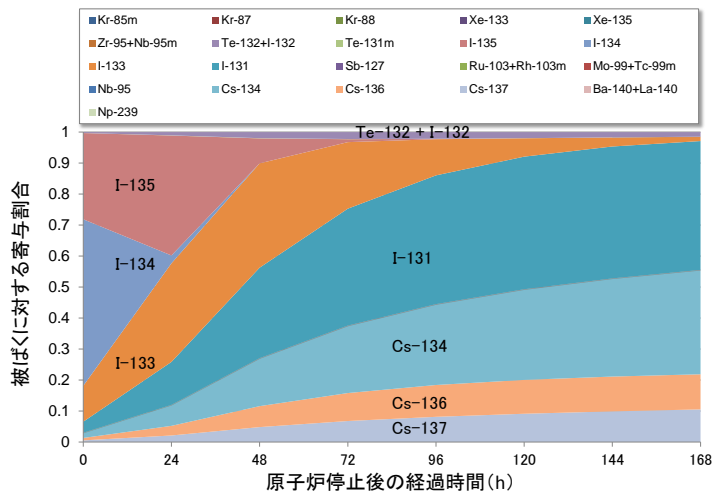


(c) 3号機からの放出の場合

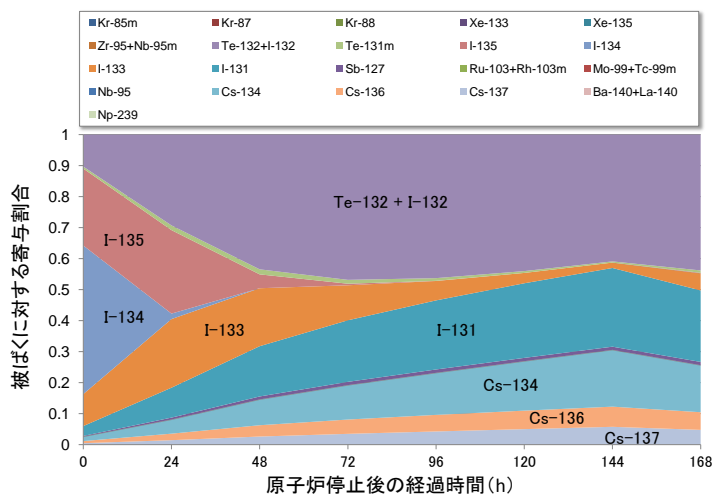
図 2.10 1F 事故時の放出核種組成による各核種の被ばくへの寄与割合 (グラウンドシャイン)



(a) 早期大規模放出の場合



(b) 後期大規模放出の場合



(c) 管理放出の場合

図 2.11 代表的シナリオの放出核種組成による各核種の被ばくへの寄与割合 (グラウンドシャイン)

## 2.3 第2章の参考文献

- IAEA, Generic Procedures for Assessment and Response during a Radiological Emergency, IAEA-TECDOC-1162 (2000).
- Takahara S., Watanabe M., Hirouchi J., Iijima M. and Munakata M. (2018): Dose-reduction effects of vehicles against gamma radiation in the case of a nuclear accident, *Health Phys.*, **114**, pp. 64–72.
- 青森県 (2014) : 青森県地域防災計画—原子力編—、平成 26 年 2 月 25 日修正。  
<http://www.pref.aomori.lg.jp/nature/kankyo/bousaikeikaku.html> (最終閲覧日:2018年3月13日)
- 石川県 (2015) : 石川県地域防災計画 原子力防災計画編、平成 27 年修正。  
[http://www.pref.ishikawa.lg.jp/bousai/bousai\\_g/bousaikeikaku/index.html](http://www.pref.ishikawa.lg.jp/bousai/bousai_g/bousaikeikaku/index.html)  
(最終閲覧日:2018年3月13日)
- 茨城県 (2015) : 茨城県地域防災計画 (原子力災害対策計画編)、昭和 38 年 10 月作成  
(平成 27 年 3 月最終修正)。  
<http://www.pref.ibaraki.jp/seikatsukankyo/bousaikiki/bousai/bosaikeikaku.html>  
(最終閲覧日:2018年3月13日)
- 愛媛県 (2017) : 愛媛県地域防災計画 (原子力災害対策編) 平成 29 年度修正。  
<http://www.pref.ehime.jp/h15550/keikaku/bousaikeikaku.html> (最終閲覧日:2018年3月13日)
- 鹿児島県 (2017) : 鹿児島県地域防災計画 原子力災害対策編 (鹿児島県原子力防災計画) , 平成 29 年 4 月修正。 <http://www.pref.kagoshima.jp/bosai/sonae/keikaku/index.html>  
(最終閲覧日 : 2018 年 3 月 13 日)
- 京都府 (2017) : 京都府地域防災計画 原子力災害対策編、平成 29 年 5 月。  
[http://www.pref.kyoto.jp/kikikanri/k\\_ato.html](http://www.pref.kyoto.jp/kikikanri/k_ato.html) (最終閲覧日 : 2018 年 3 月 13 日)
- 原子力災害対策本部 (2011) : 原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書—東京電力福島原子力発電所の事故について—; 添付 IV-2 東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に係る 1 号機、2 号機及び 3 号機の炉心の状態に関する評価のクロスチェック解析, 平成 23 年 6 月。  
[http://www.kantei.go.jp/jp/topics/2011/iaea\\_houkokusho.html](http://www.kantei.go.jp/jp/topics/2011/iaea_houkokusho.html). (最終閲覧日:2016年3月7日)
- 佐賀県 (2017) :佐賀県地域防災計画 第4編 原子力災害対策 (平成 29 年 3 月 22 日修正版)  
<http://www.pref.saga.lg.jp/kiji0031011/index.html> (最終閲覧日 : 2018 年 3 月 13 日) .
- 静岡県 (2017) :静岡県地域防災計画 原子力災害対策の巻、平成 29 年 8 月修正。  
<http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/kakushitsu/antai-keikaku.html> (最終閲覧日 : 2018 年 3 月 13 日) .
- 島根県 (2017) : 島根県地域防災計画 (原子力災害対策計画編) 平成 29 年 10 月。  
<http://www.pref.shimane.lg.jp/genan/> (最終閲覧日 : 2018 年 3 月 13 日) .
- 統計局 (2008) : 平成 20 年 住宅・土地統計調査, 2008。  
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=000001028768> (最終閲覧日 : 2016 年 3 月 6 日) .
- 統計局 (2013) : 平成 25 年住宅・土地統計調査, 2013。  
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=000001063455> (最終閲覧日 : 2016 年 3 月 6 日)
- 富山県 (2017) : 富山県地域防災計画 原子力災害編 平成 29 年 3 月修正。  
[http://www.pref.toyama.jp/cms\\_sec/1004/kj00004459-004-01.html](http://www.pref.toyama.jp/cms_sec/1004/kj00004459-004-01.html) (最終閲覧日 : 2018 年 3 月 13 日) .
- 鳥取県 (2015) : 鳥取県地域防災計画 (原子力災害編) 平成 27 年 8 月

- <http://www.genshiryoku.pref.tottori.jp/index.php?view=5214> (最終閲覧日:2018年3月13日).
- 長崎県 (2017):長崎県地域防災計画 原子力災害対策編 平成 29 年 6 月 9 日修正版  
<https://www.pref.nagasaki.jp/sb/preparation/001/manual/plan.html>  
(最終閲覧日:2018年3月13日)
- 新潟県 (2014):新潟県地域防災計画 (原子力災害対策編) 平成 26 年 3 月修正.  
<http://www.pref.niigata.lg.jp/bosaikikaku/1348002103309.html> (最終閲覧日:2018年3月13日).
- 西原健司, 岩本大樹, 須山賢也 (2012): 福島第一原子力発電所の燃料組成評価, JAEA-Data/Code 2012-018.
- 日本アイソトープ協会, アイソトープ手帳 11 版, 丸善出版 (2011).
- 福井県 (2016): 福井県原子力防災計画 (福井県地域防災計画・原子力災害対策編), 平成 28 年 3 月.  
<http://www.pref.fukui.lg.jp/doc/kikitaisaku/bousaieikaku.html> (最終閲覧日:2018年3月13日).
- 福岡県 (2016): 福岡県地域防災計画 (原子力災害対策計画編) 平成 28 年 3 月 22 日.  
<http://www.pref.fukuoka.lg.jp/contents/bousaieikaku.html> (最終閲覧日:2018年3月13日).
- 福島県 (2016): 福島県地域防災計画 原子力災害対策編、平成 28 年 2 月修正.  
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16025b/chiikibousaieikaku.html> (最終閲覧日:2018年3月13日).
- 古田琢哉、高橋史明、環境に沈着した事故由来の放射性セシウムからのガンマ線に対する建物内の遮蔽効果及び線量低減効果の解析、JAEA-Research 2014-003 (2014)
- 北海道 (2017): 北海道地域防災計画 (原子力防災計画編)、平成 29 年 5 月修正.  
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sm/gat/bousai/bousai.htm> (最終閲覧日:2018年3月13日).
- 本間俊充, 石川淳, 富田賢一, 村松健 (2000): 軽水炉モデルプラントの広範な事故シナリオに対する環境影響評価, JAERI-Research 2000-060.
- 宮城県 (2016): 宮城県地域防災計画 (原子力災害対策編)、平成 28 年 2 月 4 日  
<http://www.pref.miyagi.jp/soshiki/gentai/bousaieikaku.html> (最終閲覧日:2018年3月13日).



### 3. 屋内退避による吸入被ばくの低減効果

第3章では屋内退避による吸入被ばくの低減効果を検討する。始めに吸入被ばくの低減効果を評価するために必要なパラメータに関して文献調査とヒヤリング調査した結果を示す。文献調査とヒヤリング調査で十分に情報を得られなかったパラメータに対して、ラボ実験と実家屋実験した結果を示す。ラボ実験と実家屋実験で得られたパラメータを用いて解析した吸入被ばくの低減効果を示す。最後に車両による吸入被ばく低減効果の評価に必要なパラメータ調査と解析結果を示す。

#### 3.1 吸入被ばくの低減効果を評価するためのパラメータ

屋内の放射能濃度の時間変化を把握するために、多くの研究者が放射性物質の挙動を模擬したコンパートメントモデル（以下、CPモデル）を作成した（Brenk and Witt, 1987; Roed, 1991; Hussein et al., 2015; Thornburg et al., 2001）。これらの文献を基にCPモデルを作成した（図3.1）。このモデルは屋外空気、屋内空気、及び屋内壁面の3つのCPから成る。屋外と屋内の空気交換は自然換気と強制換気のみであるとした。ここでは、空気交換の移行速度をそれぞれ自然換気率 $\lambda_e$ 、強制換気率 $\lambda_f$ と表す。屋外からの侵入は隙間、亀裂、換気扇のフィルターなどへの沈着による放射性物質のフィルタリングを考慮した。本事業ではフィルタリングを表す物理量として浸透率 $P$ を用いる。浸透率の定義は屋外から侵入する物質の量に対する、隙間の壁面等に付着せずに実際に屋内に侵入した物質の割合である。屋内の空間と壁面の放射性物質の交換は沈着と再浮遊のみであるとした。それぞれの移行速度を沈着率 $\lambda_d$ 、再浮遊速度 $\lambda_r$ と表す。なお、屋内の再浮遊速度 $\lambda_r$ は他の移行速度に比べて2桁以上小さいため、ほとんどの文献で再浮遊の寄与は無視されており、本事業でも無視する。

You and Wan (2015)は屋内への感染症の取り込みに対する新たなリスク評価手法としてCPモデルを利用した。このCPモデルは図3.1に示したCPモデルに加えて、強制換気口からの再浮遊と呼吸が考慮されている。このうち強制換気口からの再浮遊は、事故以前から換気口に放射性物質が付着している場合には考慮する必要がある。しかし本事業で扱うシナリオでは事故以前には換気口に放射性物質が付着していないとしており、換気口からの再浮遊は他の経路に比べて屋内濃度への影響が十分に小さいため、本事業ではこの項を無視する。屋内外での呼吸率を同じと仮定すると、呼吸率を考慮してもしなくても屋内外の積分濃度比と屋内外での放射性物質吸入量の比は同じである。そのため、図3.1に示したパラメータのみで吸入被ばくの低減効果を十分に評価することは可能である。

吸入被ばく低減効果を求める上で必要な屋内放射能濃度に係るパラメータをまとめたものを図3.2に示す。この図は3.1.1-3.1.6項に記載されている各パラメータの文献調査とヒヤリング調査結果を基に作成した。屋内の放射能濃度を決定するパラメータは自然換気率、屋内での沈着率、浸透率、強制換気、再浮遊、屋内ソースである。このうち、再浮遊と屋内ソース（換気口からの再浮遊も含む）は前述したように事故初期時では他のパラメータに比べて屋内濃度への影響が十分に小さいため、本事業では無視する。図3.2に示したパラメータのうち、建屋分類の違いによって、異なりうるパラメータは自然換気率に係る隙間相当面積、沈着率に係る摩擦速度、浸透率に係る流速である。

3.1.1-3.1.6項に図3.2に示された各パラメータの変動要因と変動幅に関して文献調査とヒヤリング調査した結果を記載する。換気率に関するヒヤリング調査は建築を専門とする大学教授、建築メーカーに対して行い、文献調査は主に日本建築学会論文集、日本建築学会技術報告集、空気調和・衛生工学会論文集に対して行った。沈着率、浸透率に関する文献調査は主に Indoor air、Aerosol Science and Technology、Atmospheric Environment を対象に行った。ヒヤリング調査結果の

詳細を付録1に示す。

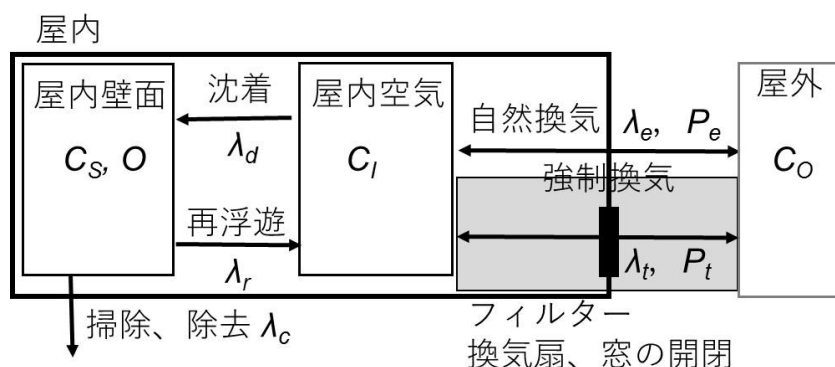


図 3.1 屋内放射性物質の挙動を表した CP モデルの概要図。C は各 CP の空気中濃度、O は壁面上濃度、λ は各 CP 間の移行速度、P は浸透率。

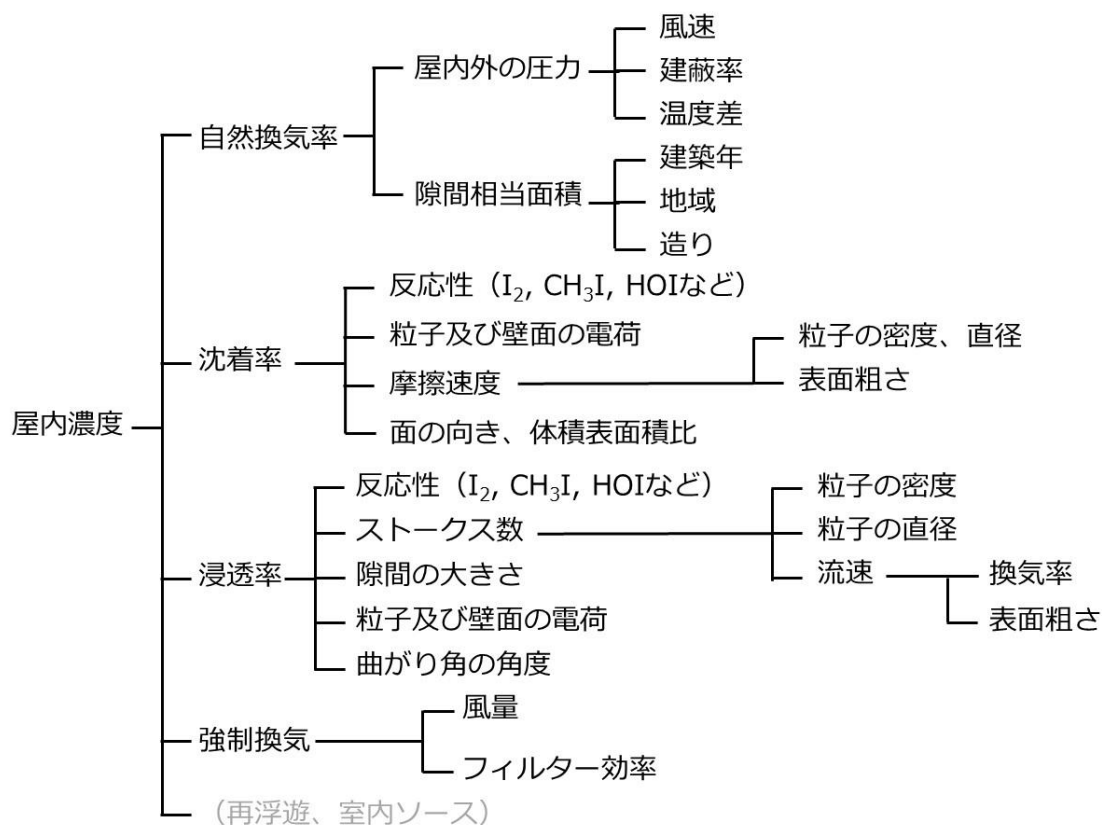


図 3.2 屋内濃度に係るパラメータのまとめ

### 3.1.1 自然換気率

図 3.2 より、自然換気率は住宅の隙間相当面積<sup>1</sup>（C 値とも呼ばれる）と屋内外の圧力差に依存する。隙間相当面積は建築年、地域、建屋分類に依存し、屋内外の圧力差は屋外の風速と屋内外の温度差に依存する（吉野他, 1984, 1987; 赤林他, 1994）。赤林他 (1994) は自然換気率と隙間相当面積、風速、グロス建蔽率<sup>2</sup>（以下、単純に建蔽率と示す）の関係図（図 3.3）を作成した。この関係図は風洞実験を基に作成された。ヒヤリング調査により、図 3.3 を使用する際の注意点として、戸建住宅にしか適用できず、マンションなどの集合住宅には適用できないことを赤林は指摘した。さらに、図 3.3 では屋内外の温度差が考慮されておらず、温度差を考慮する場合は吉野他 (1984) の関係図（図 3.4）を基に考慮しても良いことを赤林は指摘した。

次に図 3.3 を用いる上で必要な戸建住宅の隙間相当面積と屋内外の圧力差に係るパラメータ（風速、屋内外の温度差、建蔽率）の調査結果を示し、調査結果を基に推定した自然換気率と文献調査で得られた自然換気率を示す。

#### (1) 隙間相当面積

建築年毎の隙間相当面積は、建築学会の報告書（村上他, 1982; 吉野他, 1987; 吉野, 1990; 吉野他, 1995; 村上他, 2006; 謝他, 2007; 藤原他, 2008; 吉野他, 2009; 三原他, 2004; 藤川他, 2010; 鳥海他, 2016; 林・大澤, 2012; 林他, 2015; 齋藤他, 2008 など）に多くまとめられている。建築年毎の戸建住宅と集合住宅の隙間相当面積を図 3.5 に示す。図 3.5 に示されるように、戸建住宅の隙間相当面積は年々小さくなっており、特に旧省エネルギー基準が告示された 1980 年と新省エネルギー基準が告示された 1992 年の翌年に隙間相当面積が小さくなっており、それ以降はほぼ横ばいである。戸建住宅と集合住宅を比較すると、1995 年までは集合住宅の隙間相当面積が小さい傾向であり、それ以降では集合住宅と戸建住宅で大きな差異はない。

戸建住宅に対して、建築分類ごとに示した隙間相当面積と建築年の関係を図 3.6 に示す。木造以外の建築分類のデータ数は少ないものの、建築分類の違いによる隙間相当面積の違いはない。それ故、本事業では建築分類の違いによる隙間相当面積の違いはないとした。

戸建住宅に対して、地域ごとに示した隙間相当面積と建築年の関係を図 3.7 に示す。ここで、北海道、東北、北陸地方を北地域、その他を南地域と分類した。どの年代においても、北地域の隙間相当面積が南地域よりも小さい傾向である。北地域と南地域で建築年毎に隙間相当面積をまとめると、北地域では 1980 年以前に建築された住宅の隙間相当面積は約  $15 \text{ cm}^2 \text{ m}^{-2}$ 、1980–1992 年に建築された住宅で約  $5 \text{ cm}^2 \text{ m}^{-2}$ 、1993 年以降に建築された住宅で約  $2 \text{ cm}^2 \text{ m}^{-2}$  であり、南地域では 1980 年以前に建築された住宅の隙間相当面積は約  $17 \text{ cm}^2 \text{ m}^{-2}$ 、1980–1992 年に建築された住宅で約  $8 \text{ cm}^2 \text{ m}^{-2}$ 、1993 年以降に建築された住宅で約  $5 \text{ cm}^2 \text{ m}^{-2}$  である。

#### (2) 屋内外の圧力差

##### ① 風速

屋内外の圧力差に影響を与えるパラメータは風速、建蔽率、屋内外の温度差である。この中で、風速は自然換気率に最も影響を与えるパラメータである。そこで日本での原子力施設周辺の自治体における風速を調査した。期間は 2011–2015 年である。使用した風速は、アメダス（地上高さ

<sup>1</sup> 隙間相当面積は建築面積あたりの隙間の面積として定義される。住宅の気密性能の尺度の一つとして使用される。

<sup>2</sup> 空き地、道路、公園なども含めたある地域全体の面積に対して、建物の建築面積の総合計が何パーセントを占めているのかを表している建蔽率。

10 m) で測定された 1 時間の平均風速である。各市町村の風速の頻度分布を図 3.8 に示す。付録 2 には季節ごとの風速の頻度分布を示す。風速の中央値は自治体によって異なり、1-4 m s<sup>-1</sup>であった。どの年、季節においても御前崎と敦賀で風速が大きく、唐津、浪江、六ヶ所で風速が小さい傾向は変わらなかった。対象地域全体での風速の中央値は 2 m s<sup>-1</sup>、風速の大きい御前崎と敦賀での中央値は 4 m s<sup>-1</sup>、風速の小さい唐津、浪江、六ヶ所での中央値は 1 m s<sup>-1</sup>であった。

## ② 屋内外温度差

屋内外の温度差を調査するために、風速の調査と同じ地点・期間で屋外温度の調査を行った。使用した屋外温度はアメダスで測定された 1 日間の平均温度である。屋内外の温度差が大きくなるのは、冷暖房を使用する夏と冬である。各市町村の夏 (7-9 月) と冬 (1-3 月) の屋外温度の頻度分布を図 3.9 と図 3.10 に示す。付録 2 には春、秋の屋外温度の頻度分布も示す。屋外温度の最頻値は自治体によって異なり、夏で 19-28℃、冬で -3-8℃であった。

張他 (2009) が全国の屋内温度を調査しており、夏季 (7、8 月) における屋内温度は北部 (北海道、東北、北陸) で平均 25℃、南部 (北部以外) で平均 27.5℃、冬季 (1、2 月) における屋内温度は北部で平均 20℃、南部で平均 16.5℃であった。

以上より、屋内外の温度差は夏季に 5℃程度、冬季に最大で 20℃程度である。

## ③ 建蔽率

建蔽率を調査するために、Google map を用いて各原子力施設周辺の自治体の建蔽率の調査を行った。本事業では Urban (駅近く、市街地など住宅が込み入っている場所)、Suburban (市街地から離れた場所、公園または学校近くなど住宅が込み入っていない場所)、Rural (散村) に分類して調査した。各原子力施設につき、Urban と Suburban に対して無作為に 9 つの対象家屋を選び、その対象家屋の建蔽率を調査した (図 3.11)。周囲の建物が対象家屋に及ぼす影響の範囲はヒヤリング調査結果から、建物高さの約 3 倍とした。一般家屋の高さは 6 m 程度であるため、ここでは対象家屋から 20 m 離れたエリア内で建物の建築面積が占める割合を求めた (式(3.1))。Rural のように家屋が散在するエリアでは建蔽率がほとんど 0%となるため、調査を行わなかった。

$$\text{建蔽率} = \frac{\text{エリア内に存在する建物の総建築面積 (図中の青面積)}}{\text{対象家屋を除いたエリア面積 (図中の太線内の面積-赤面積)}} \quad (3.1)$$

調査した結果、Suburban での建蔽率は約 20%、Urban では約 40%であった。Urban では建蔽率が 40%を超える地点も存在した。しかし建蔽率が 40%以上では、建蔽率が増加しても対象家屋に及ぼす影響はほとんど変わらないため、建蔽率が 40%を超える家屋では建蔽率を全て 40%とした。

## (3) 自然換気率推定値と文献調査結果

上述した自然換気率に係るパラメータのまとめを表 3.1 に示す。表 3.1 に示した値と赤林の関係図 (図 3.3) を用いて、戸建住宅の自然換気率を推定した (表 3.2)。文献調査により、自然換気率と建築年の両方が記載されている戸建住宅と集合住宅の自然換気率と建築年の関係を図 3.12 に示す。集合住宅で自然換気率を測定した例がほとんどなく、今回の調査では建築年 1975 年と 2003 年の集合住宅しか見つからなかった。

表 3.1 文献調査した各パラメータのまとめ

		備考
隙間相当面積の平均値	15 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	1980 年以前、北
	17 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	1980 年以前、南
	5 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	1980-1992 年、北
	8 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	1980-1992 年、南
	2 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	1993 年以降、北
	5 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	1993 年以降、南
風速の中央値	2 m s <sup>-1</sup>	対象地域全体
	4 m s <sup>-1</sup>	最大地点 (御前崎、敦賀)
	1 m s <sup>-1</sup>	最小地点 (唐津、浪江、六ヶ所)
屋内外温度差	0 °C	春、秋
	5 °C	夏
	20 °C	冬、北
建蔽率	0%	散村地域
	20%	市街地から離れた町部など
	40%	市街地など

表 3.2 自然換気率推定値 (h<sup>-1</sup>)のまとめ

建蔽率	隙間相当面積	温度差なし			温度差 20 °C		
		1 m s <sup>-1</sup>	2 m s <sup>-1</sup>	4 m s <sup>-1</sup>	1 m s <sup>-1</sup>	2 m s <sup>-1</sup>	4 m s <sup>-1</sup>
0%	2 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	0.05	0.1	0.3	0.15	0.2	0.4
	5 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	0.1	0.3	0.8	0.4	0.5	1.0
	8 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	0.2	0.4	1.2	0.7	0.8	1.6
	15 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	0.4	0.8	2.0	1.1	1.5	3.5
	17 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	0.5	1.0	3.0	-	-	-
20%	2 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>		0.05	0.1		0.15	0.2
	5 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>		0.1	0.3		0.4	0.45
	8 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>		0.2	0.4		0.7	0.8
	15 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>		0.4	0.8		1.1	1.3
	17 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>		0.5	1.0		-	-
40%	2 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>		0.05			0.15	
	5 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>		0.1			0.4	
	8 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>		0.2			0.7	
	15 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>		0.4			1.1	
	17 cm <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>		0.5			-	

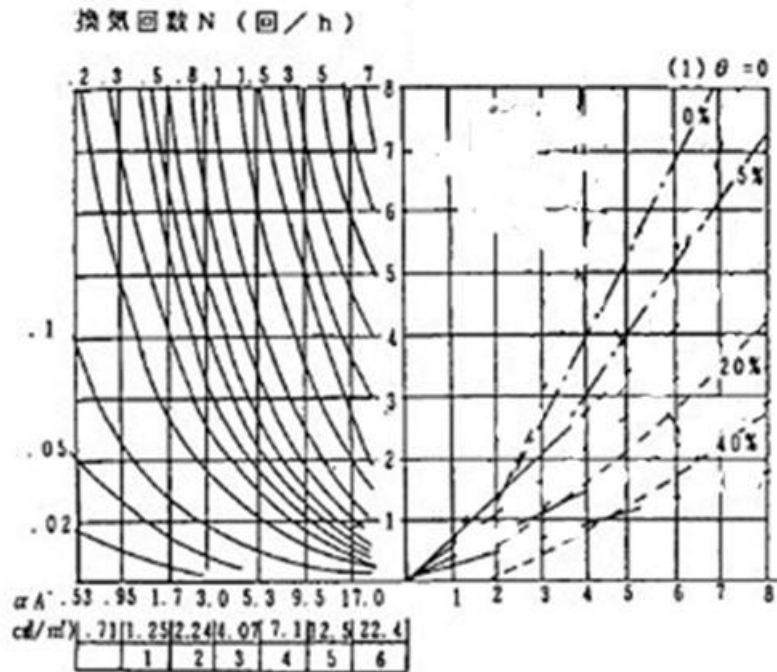


図 3.3 隙間相当面積と自然換気率の関係。自然換気率と換気回数は同義。右側の値はグロス建蔽率を表している (引用：赤林他, 1994)。

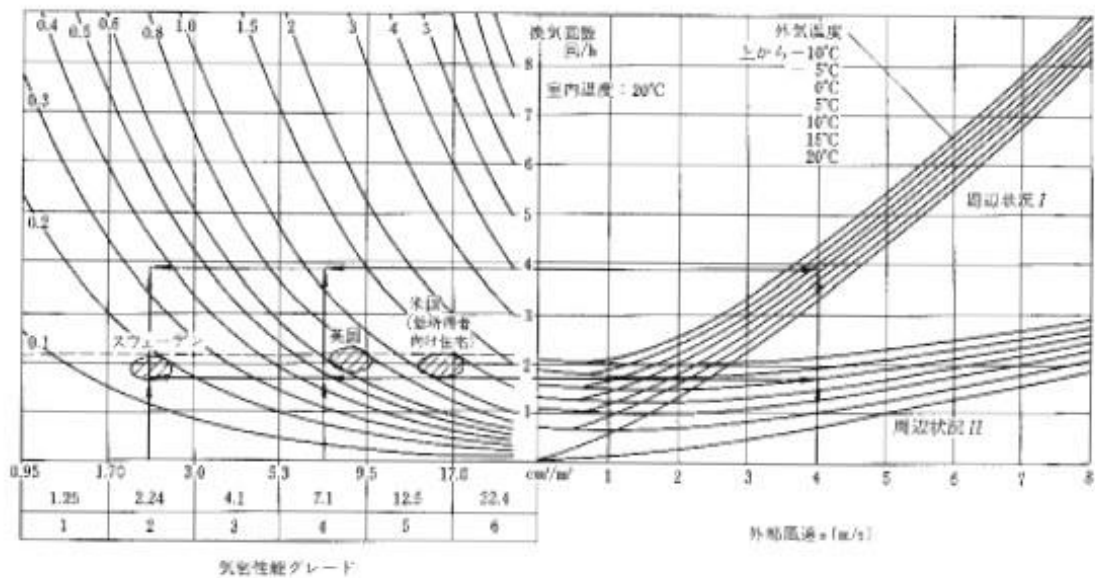


図 3.4 隙間相当面積と自然換気率の関係。自然換気率と換気回数は同義。周辺状況 I は風上側に障害物がない場合、周辺状況 II は周囲に建物が立て込んでいる場合 (引用：吉野他, 1984)。

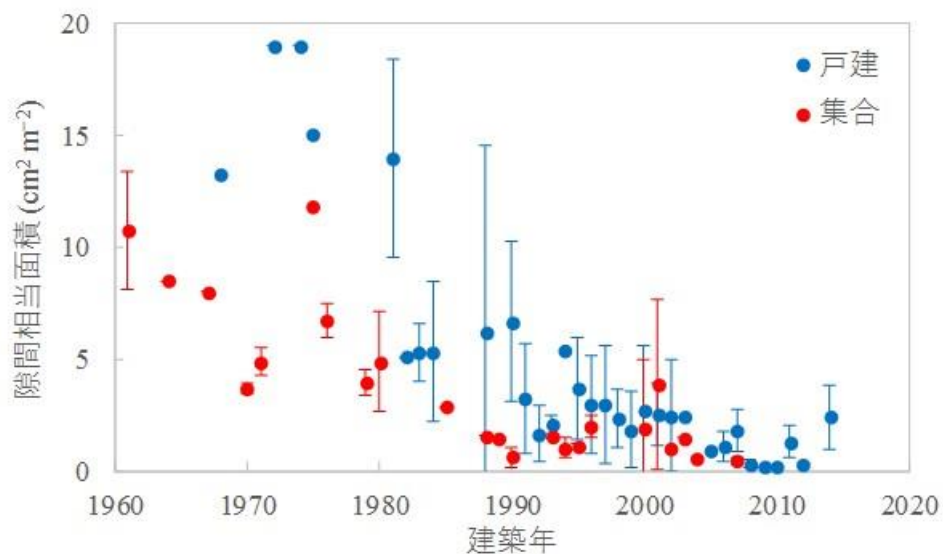


図 3.5 隙間相当面積と建築年の関係。隙間相当面積は各年の平均値と標準偏差を示す。

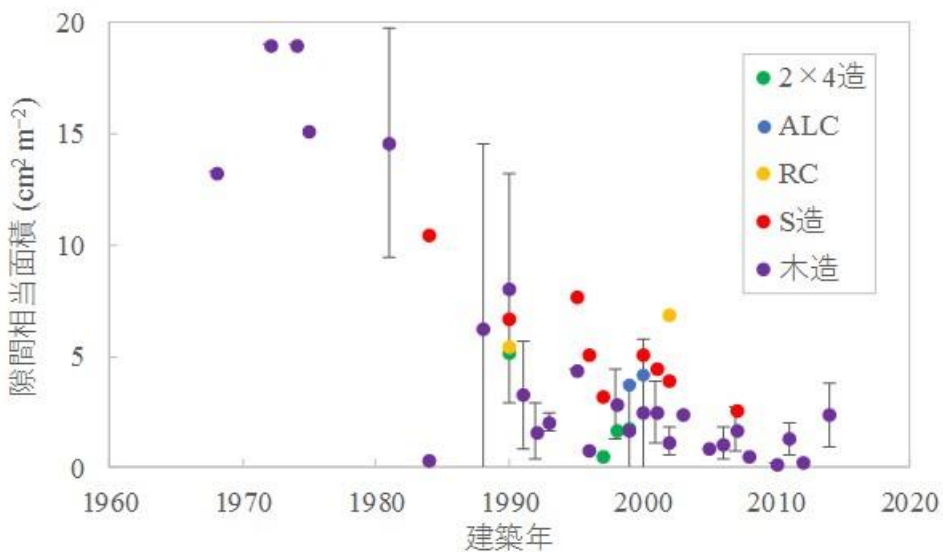


図 3.6 建築分類ごとに示した戸建住宅の隙間相当面積と建築年の関係。隙間相当面積は各年の平均値と標準偏差を示す。図 3.5 または図 3.6 の一方にしか示されていない点は、分類するための情報が得られなかったことによる。

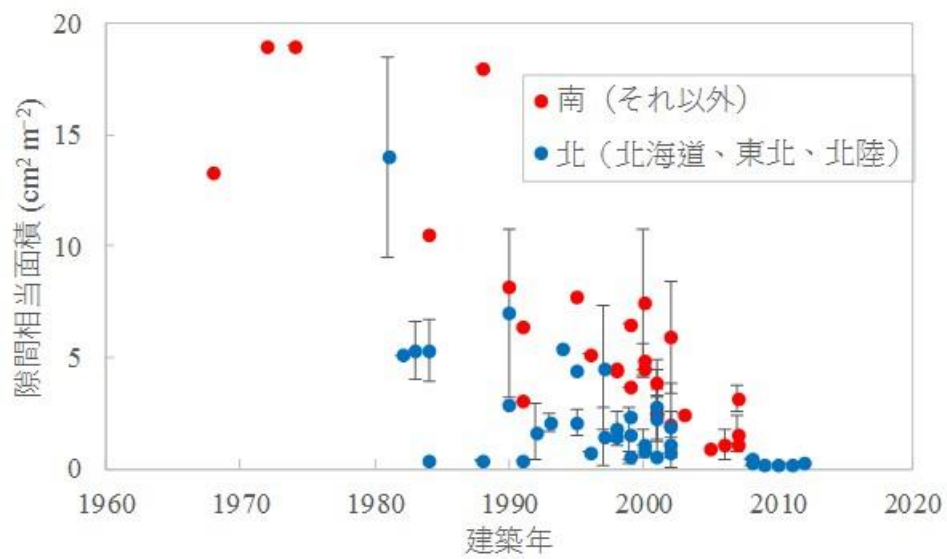


図 3.7 地域ごとに示した戸建住宅の隙間相当面積と建築年の関係。隙間相当面積は各年の平均値と標準偏差を示す。



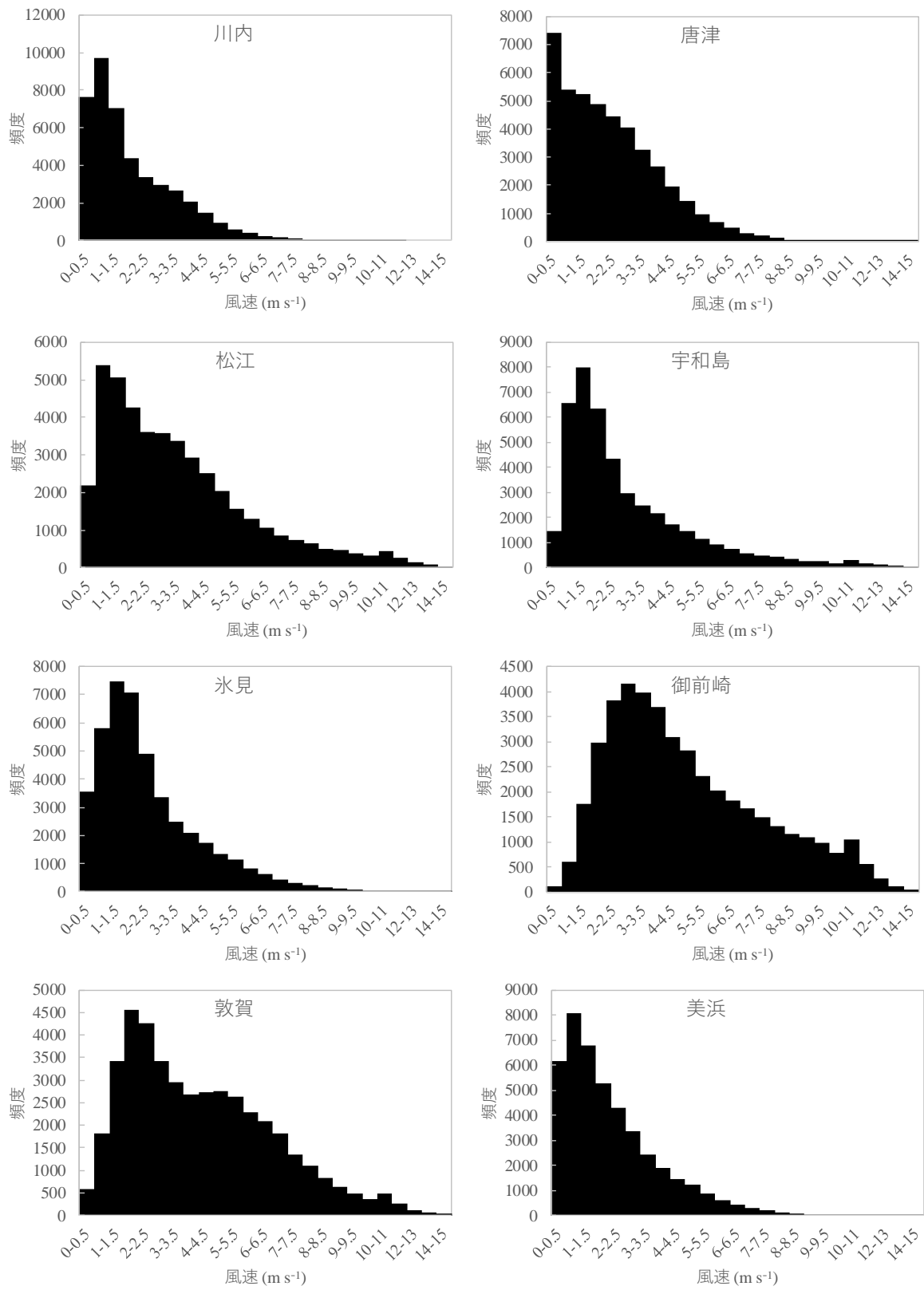


図 3.8 各市町村の 1 時間平均風速の頻度分布 (1/2)

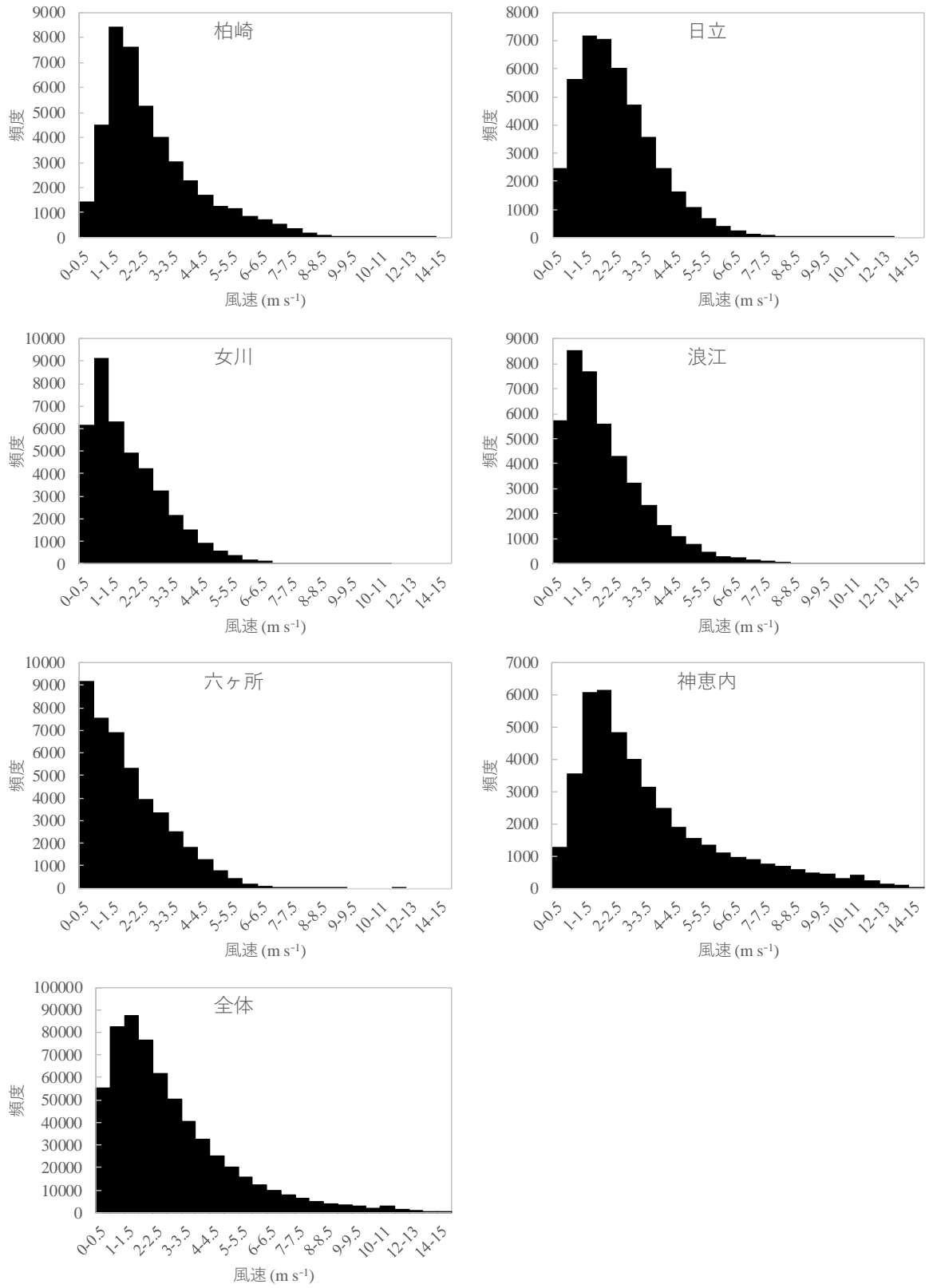


図 3.8 各市町村の 1 時間平均風速の頻度分布 (2/2)。全体は対象地域の合計である。

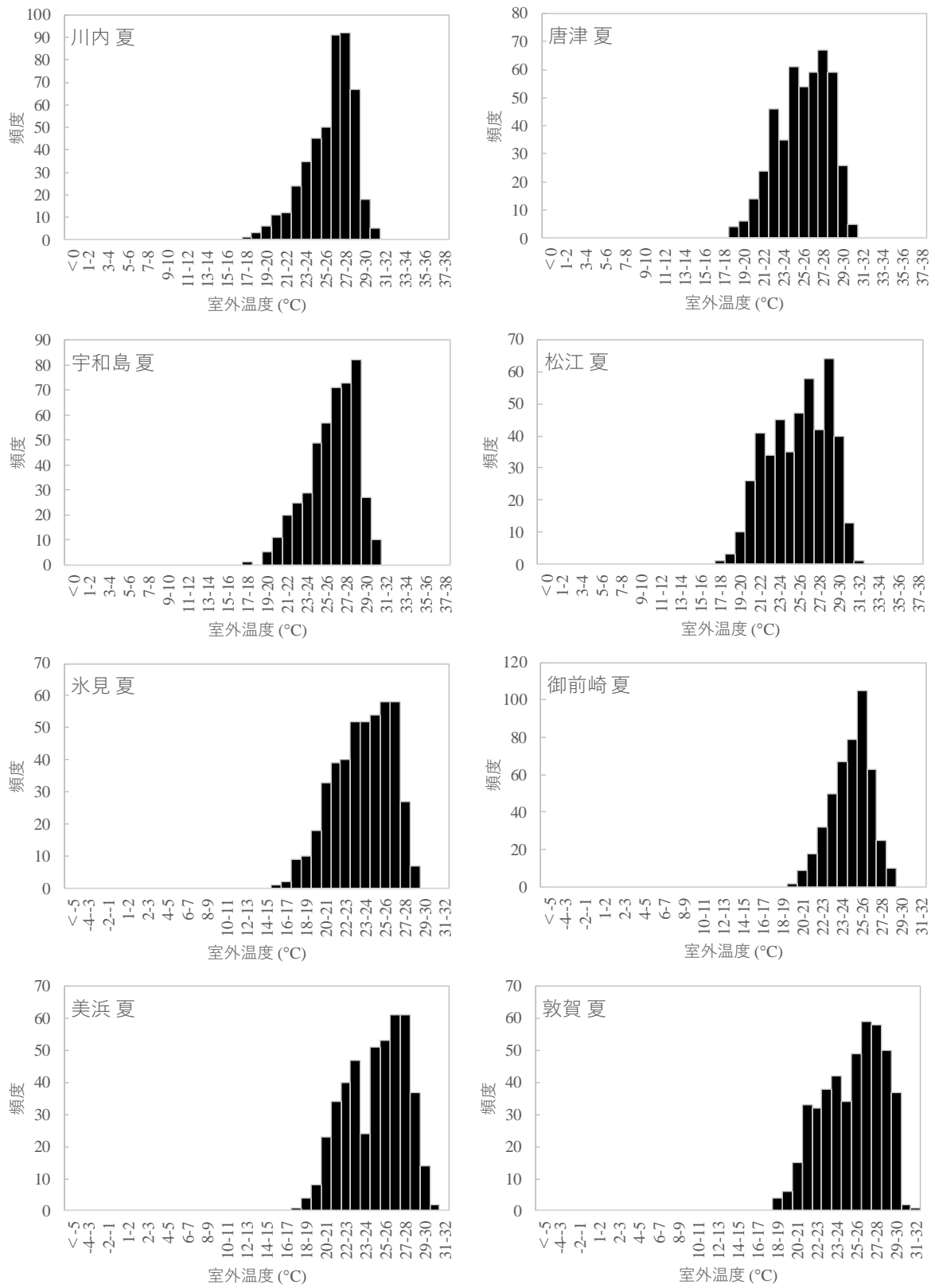


図 3.9 夏季 (7-9 月) における各市町村の 1 日間平均温度の頻度分布 (1/2)。

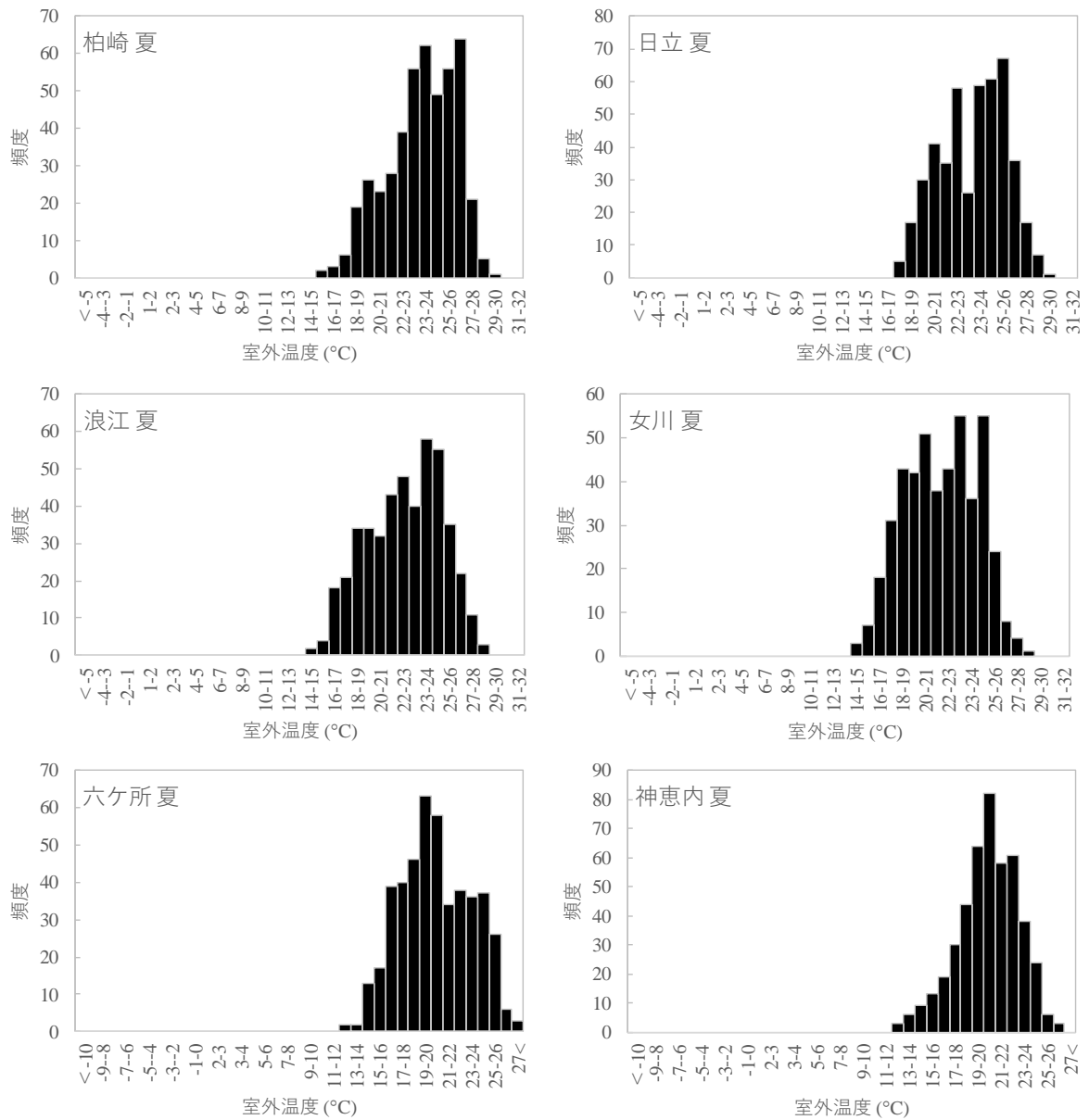


図 3.9 夏季（7-9月）における各市町村の1日間平均温度の頻度分布（2/2）。

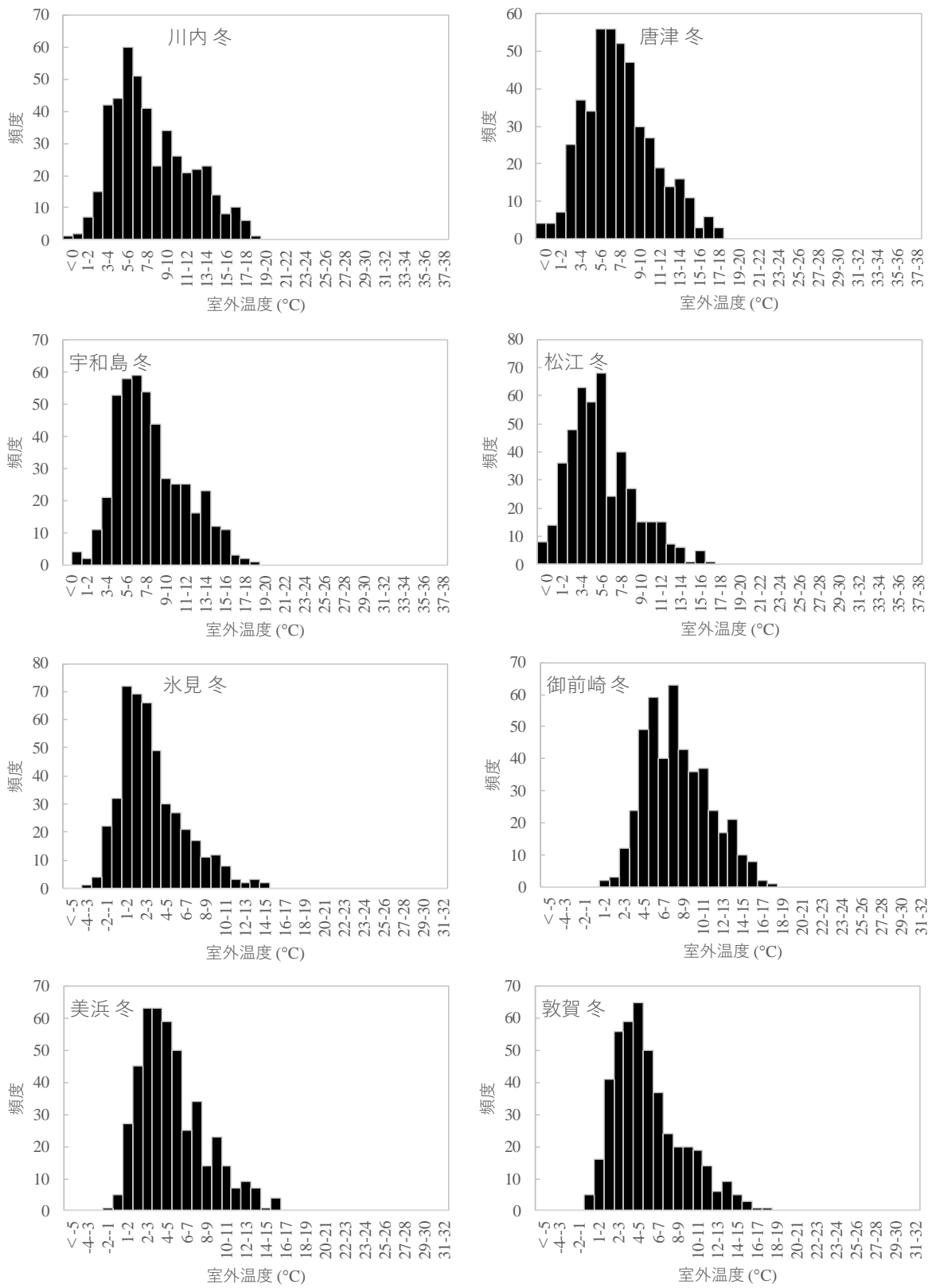


図3.10 冬季(1-3月)における各市町村の1日間平均温度の頻度分布(1/2)。

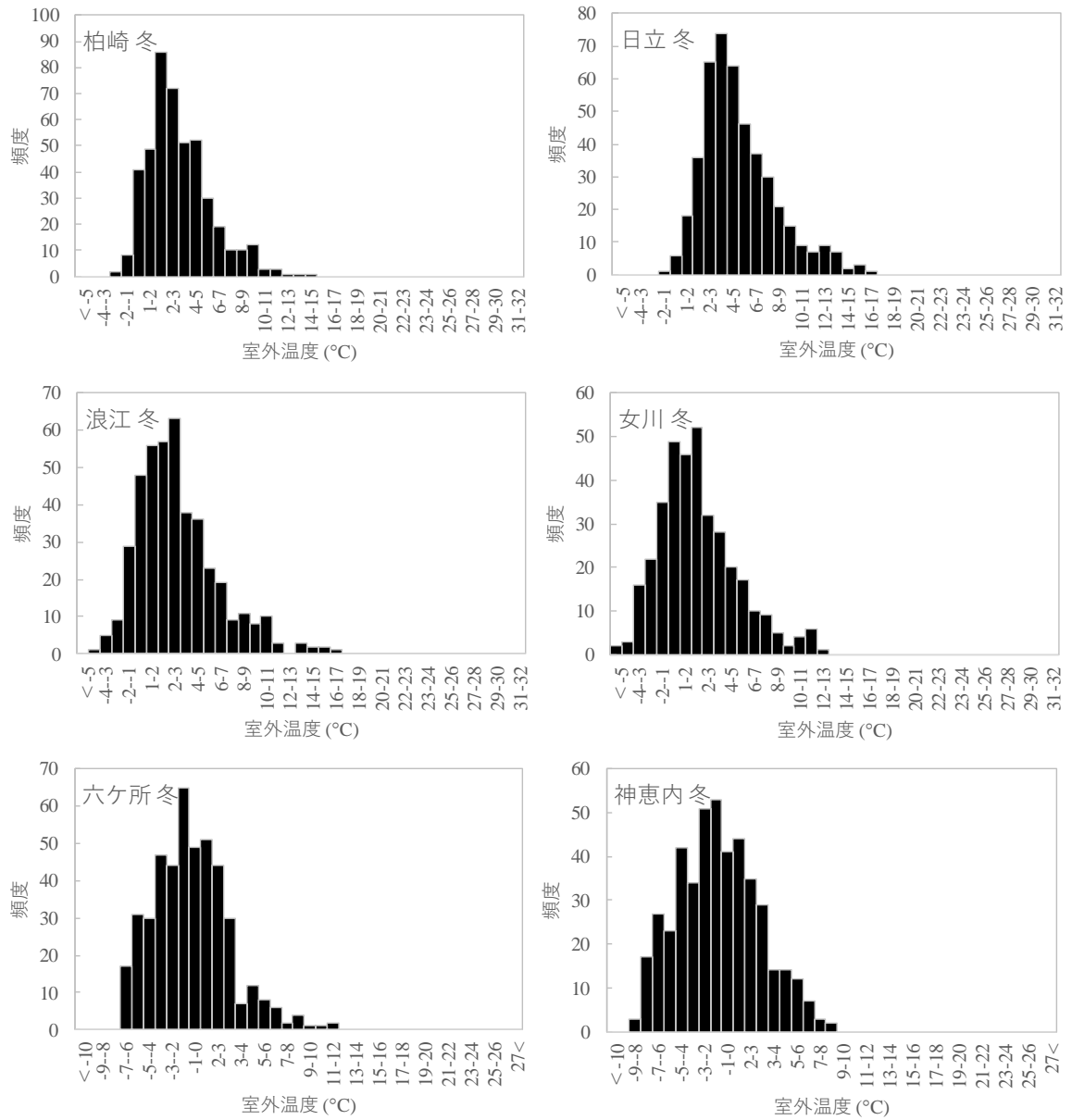


図 3.10 冬季（1-3 月）における各市町村の 1 日間平均温度の頻度分布（2/2）。

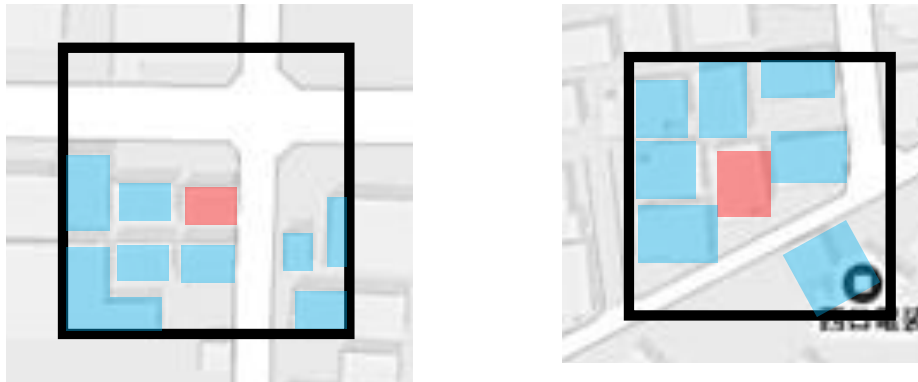


図 3.11 建蔽率算出例（左：Suburban 建蔽率 20%、右：Urban 建蔽率 40%）。赤は対象家屋、青はエリア内に存在する建物、黒枠は対象家屋から 20 m 離れた位置。

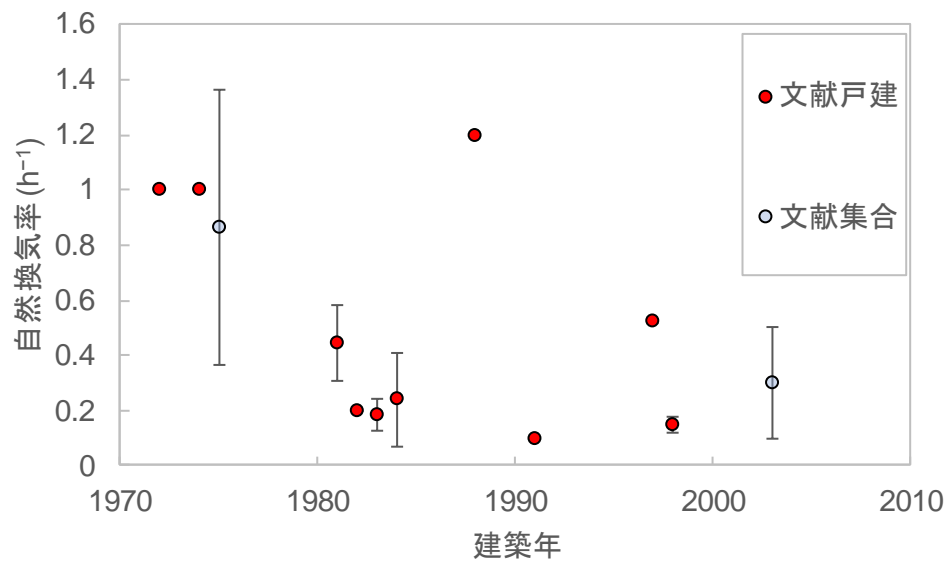


図 3.12 文献調査で得られた戸建住宅と集合住宅の自然換気率実測値と建築年の関係

### 3.1.2 屋内での沈着率

屋内の沈着率は放射性物質の化学的性質と粒径、壁面材質、及び体積表面積比に依存する。原子力発電所事故時に放出される核種のうち、甲状腺被ばくに最も寄与するヨウ素の放出形態は元素状ヨウ素 ( $I_2$ )、有機状ヨウ素 ( $CH_3I$  など)、粒子状ヨウ素の3つに大別される。元素状ヨウ素と有機状ヨウ素はともにガス状であるものの、それぞれ異なった挙動を示す。元素状ヨウ素は反応性が高く、空気中の水分や粒子、屋内の壁面等に付着しやすく、一方で有機状ヨウ素は反応性が低く、屋内の壁面等に付着しにくいと報告されている (Bunch, 1968; Sehmel, 1980; Roed, 1988, 1990; EPA, 1978)。Sehmel (1980)、Nakamura and Ohmomo (1980a, b)、Maqua et al. (1987)は過去の原子力発電所事故時の測定値を基にヨウ素の物理・化学形状ごとに屋外での沈着速度を求めた。粒子状物質 (粒子状ヨウ素、粒子状セシウム) の沈着速度は  $0.01\text{--}10\text{ cm s}^{-1}$  程度<sup>3</sup>、 $I_2$  の沈着速度は  $0.02\text{--}20\text{ cm s}^{-1}$ 、 $CH_3I$  の沈着速度は  $10^{-4}\text{--}10^{-2}\text{ cm s}^{-1}$  と推定された。屋内での沈着率に関する文献はエアロゾルなどの粒子状を対象としたものが主であり、 $I_2$ 、 $CH_3I$  などのガス状を対象としたものは見つからなかった。そこで本事業では、ガス状の沈着率を導出するため、3.2 節に示すラゴ実験を行う。

放射性物質が周囲のエアロゾルと付着した状態 (以下、粒子状放射性物質) の挙動はエアロゾルの挙動と類似していると報告されている (Voillelque, 1979; Jost et al., 1986)。エアロゾルの沈着率は主に粒径に依存する (原子力発電所事故時に測定された粒子状放射性物質の粒径は 3.1.5(2)で示す)。理論的には粒径  $0.2\text{ }\mu\text{m}$  以下では粒径が小さいほどブラウン運動が激しくなることにより沈着率が大きく、粒径  $1\text{ }\mu\text{m}$  以上では粒径が大きいほど重力沈降の影響が大きくなることにより沈着率が大きく、粒径が  $0.2\text{--}1\text{ }\mu\text{m}$  の粒子の沈着率は他の粒径よりも小さいことが報告されている (Sehmel, 1973; Byrne, 1994; Schnerider et al., 1994; Reist, 1984)。この傾向はエアロゾルの沈着率を求める実験でも再現されており、屋内での沈着率は粒径が  $0.01\text{--}1\text{ }\mu\text{m}$  の粒子では  $0.1\text{--}1\text{ h}^{-1}$  であり、 $1\text{ }\mu\text{m}$  以上の粒子では  $0.2\text{--}3\text{ h}^{-1}$  である (図 3.13)。

実家屋で沈着率を導出した例として、Thatcher et al. (2003)は実家屋でエアロゾル環境を変えて屋内での沈着率を導出する実験を行った。粒径が  $0.1\text{--}1\text{ }\mu\text{m}$  の粒子の沈着率は  $0.1\text{--}1\text{ h}^{-1}$  の値を示し、 $1\text{ }\mu\text{m}$  以上の粒子では粒径が大きいほど沈着率が大きい傾向を示した。注意点として、実験では屋内でファンを動かしていたため、沈着率が他の実験よりも高い可能性が指摘されている。

Lai and Nazaroff (2000)、野口他 (2011)は沈着率に依存するパラメータを把握するために、粒子の沈着過程をモデル化した。彼らの計算によると、摩擦速度が沈着率において重要であることを示した。さらに粒径が  $0.1\text{ }\mu\text{m}$  未満の粒子では面の向きに沈着率は依存しないものの、 $0.1\text{ }\mu\text{m}$  以上の粒子では床面以外への沈着はほとんど起こらないことを示した。

Lai (2004)、伊藤他 (2011)は過去に報告された沈着速度のレビューを行った (図 3.14)。今までの知見をまとめると、強制対流がある場合に沈着速度は大きく、表面粗さが粗いほど沈着速度が大きい傾向であった。これらの傾向が  $0.1\text{ }\mu\text{m}$  未満の粒子ほど顕著に見られることを示した。

Otani et al. (1989)、Opiolka et al. (1994)、山下他 (1991)は粒子の電荷による沈着速度への影響をモデル計算と実験により調査した。電荷が大きいほど沈着速度が大きい傾向を示した (図 3.15)。この傾向は  $1\text{ }\mu\text{m}$  未満の粒子で顕著であり、 $1\text{ }\mu\text{m}$  以上の粒子では重力沈降が支配的であるため、電荷による影響が小さいことを示した。

<sup>3</sup> これら文献で用いられている沈着速度は大気中から地面方向へ落下する速度を表しているため、単位に長さの次元が含まれている。なお、長さの次元が含まれているものを「沈着速度」、含まれていないものを「沈着率」と区別している。



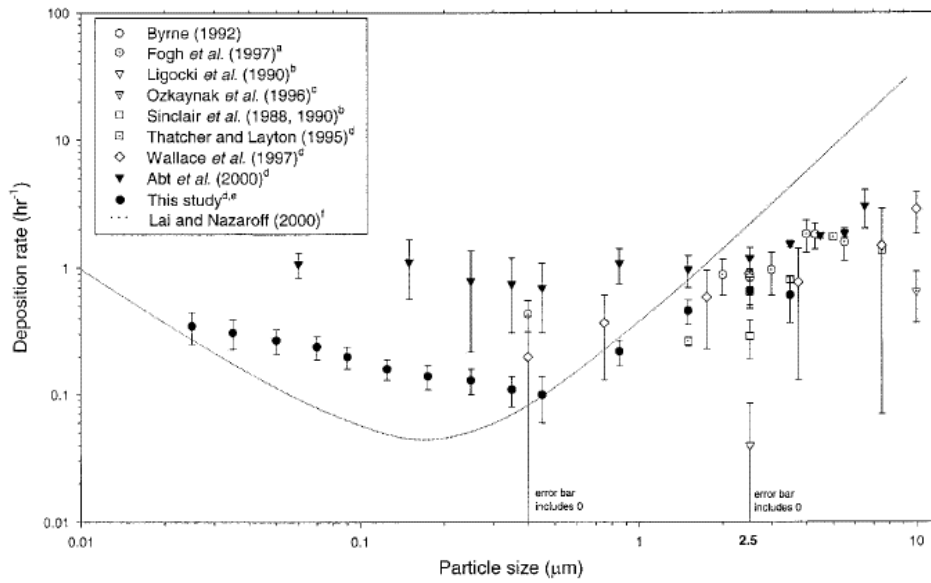


図 3.13 粒径と沈着率の関係 (引用 : Long et al. (2001))

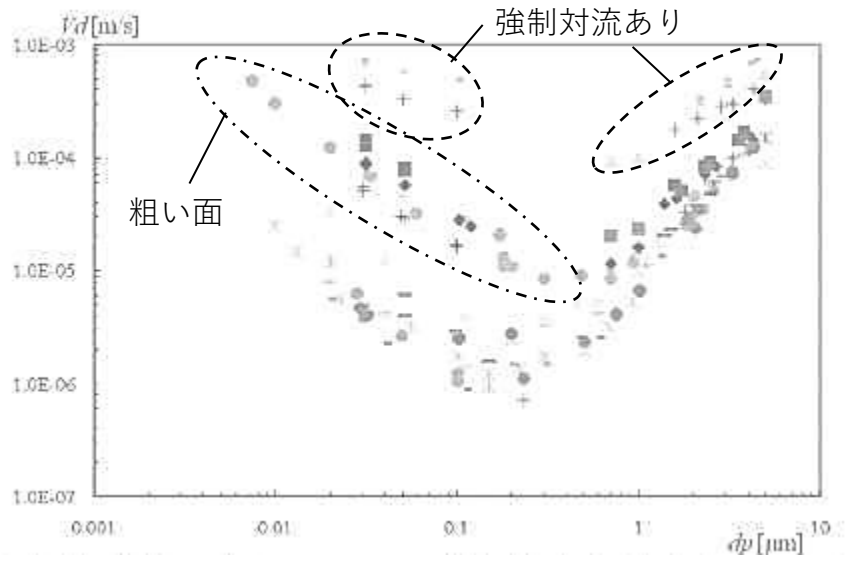


図 3.14 粒子状物質の沈着速度と粒径の関係図 (引用 : 伊藤他 (2011))。

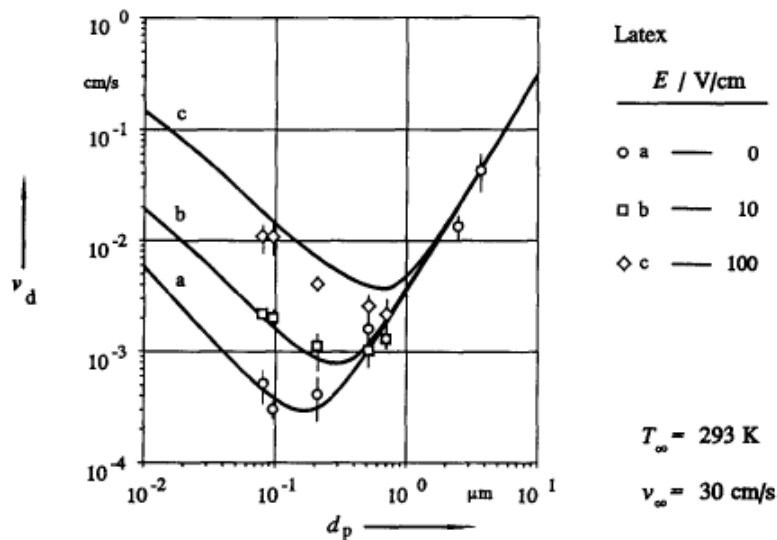


図 3.15 粒子の電荷の違いによる沈着速度への影響 (引用 : Opiolka et al. (1994))

### 3.1.3 浸透率

屋外に存在する放射性物質が屋内に侵入する場合、その全てが屋内に侵入せず、一部は屋内に侵入する過程で壁等に付着する可能性がある。ここでは、実際に屋内に侵入した放射性物質の割合を浸透率と定義した。浸透率は放射性物質の化学的性質と粒径、隙間の材質に依存すると考えられるものの、浸透率に関する知見は少ない。特にガス状ヨウ素の浸透率の知見は無い。そこで本事業では、浸透率を導出するため、3.2 節と 3.3 節に示すラボ実験と実家屋実験を行う。

Mcfarland et al. (1997)、Mosley et al. (2001)、Liu and Nazaroff (2001, 2003)はチャンバーを用いて、チャンバーから隙間を通して排出されるエアロゾル濃度を測定することによって、浸透率を導出するラボ実験を行った。ラボ実験により、隙間間の圧力差が大きいほど浸透率が大きく、特に粒径が  $0.1 \mu\text{m}$  未満の粒子と  $1 \mu\text{m}$  以上の粒子ではその傾向が顕著であることを示した。隙間の材質を変えた実験では、粒径が  $0.1\text{--}0.4 \mu\text{m}$  の粒子で浸透率の違いが見られたものの、他の粒径では違いが顕著ではなかった。粒径が  $0.1\text{--}0.4 \mu\text{m}$  の粒子でのみに、表面粗さが浸透率に影響を与えることを示した。隙間の形状を変えた実験では、隙間の大きさが小さいほど、隙間の長さが長いほど、浸透率が小さい傾向を示した。この傾向は反応性の高いガスでも同じであることを示した。

Thatcher et al. (2003)は実家屋でエアロゾル環境を変えて浸透率を導出する実験を行った。粒径  $0.05\text{--}2 \mu\text{m}$  の粒子の浸透率は  $0.6\text{--}1$  の値を示し、 $0.05 \mu\text{m}$  未満の粒子では粒径が小さいほど、 $2 \mu\text{m}$  以上の粒子では粒径が大きいほど浸透率が小さい傾向を示した。

Chen and Zhao (2011)は実家屋での実験値とラボでの実験値を比較し、類似点と相違点をまとめた (図 3.16)。ラボと実家屋での実験値は似た傾向を示したものの、 $0.4 \mu\text{m}$  以上の粒子ではラボ実験と実家屋での実験値に差異が生じた。この原因として、隙間形状、圧力差がラボ実験と実家屋で異なるためと考察された。一方、 $0.4 \mu\text{m}$  未満の粒子では、隙間形状に浸透率は依存しないため、ラボと実家屋の実験値がよく一致した可能性が指摘された。

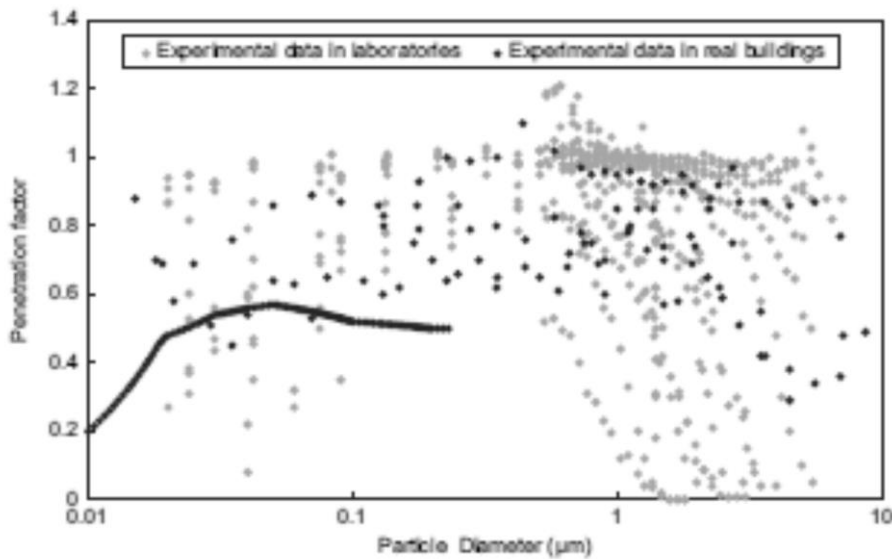


図 3.16 浸透率と粒径の関係図 (引用 : Chen and Zhao (2011))

#### 3.1.4 24 時間換気

24 時間用換気扇の実装割合と稼働率についてヒヤリング調査を行った。その結果、最近の家では 24 時間用換気扇を実装することが義務化されているものの、常時運転している家は 3 割程度であると指摘された。稼働率が低い理由として、騒音、冷気の侵入などが挙げられる。また、24 時間用換気扇を稼働していなくても法令上違反になることはないため、運転するか判断は住民に依存していることも稼働率が低い原因であると指摘された。

文献調査を行った結果、24 時間用換気扇の稼働中の換気率は  $0.3\text{--}0.7\text{ h}^{-1}$  程度である (服部他, 2008 など)。24 時間換気の設定は 2003 年 7 月の建築基準の改正により義務付けられたものの、一部例外として設置が免除されるものもある (倉淵, 2008)。24 時間換気の使用状況について、鳥海他 (2012) が行った東京の集合住宅 330 家屋に対する聞き取り調査によると、認知度は 90%、常時使用は 67% (戸建住宅では 26%)、給気口の開閉状況について常に全居室で開は 50%、常に全居室で閉は 17% であった。萬羽他 (2013) が行った関西の戸建住宅 24 家屋に対する聞き取り調査によると、常時使用は 29-42% (冬に低く、夏に高い)、給気口の開閉状況について常に全居室で開は 54%、常に全居室で閉は 27% であった。

#### 3.1.5 過去の原子力発電所事故時に放出された放射性物質の形態

##### (1) 物理・化学形状の組成

上述したように、沈着率と浸透率は核種の物理・化学形状によって異なる (特にヨウ素)。そのため、屋内退避による吸入被ばくの低減効果を求めるためには物理・化学形状の情報が必要である。本事業では、スリーマイルアイランド事故時、チェルノブイリ事故時、福島第一原子力発電所事故時、ハンフォードでのヨウ素放出を対象に文献調査し、その結果を示す (表 3.3)。

##### ① スリーマイルアイランド事故

Bellamy (1981) はスリーマイルアイランド事故時に原子炉補助建屋で浮遊ヨウ素の物理・化学形

状の組成を測定した。その結果、 $I_2$ が25.1%、HOIが18.0%、 $CH_3I$ が29.6%、粒子状ヨウ素が27.3%であった。

## ② チェルノブイリ事故

IAEAのEMRASワーキンググループはモデルの妥当性とチェルノブイリ事故評価を行うために、チェルノブイリ事故時にヨウ素の濃度を物理・化学形状別に測定した結果を収集した(IAEA, 2012)。その結果を図3.17-図3.19に示す。モデルの妥当性確認のために入力されたヨウ素の物理・化学形状の組成比を表3.4に示す。

ワルシャワでは比較的細かくヨウ素濃度が収集されており、濃度が $1\text{ Bq m}^{-3}$ 以上での物理・化学形状の組成比は粒子状： $I_2$ ： $CH_3I$ =60：40：<1、濃度が $0.01\text{--}1\text{ Bq m}^{-3}$ での物理・化学形状の組成比は粒子状： $I_2$ ： $CH_3I$ =30-50：40-50：10-20、濃度が $0.01\text{ Bq m}^{-3}$ 未満での物理・化学形状の組成比は粒子状： $I_2$ ： $CH_3I$ =20-40：20-30：30-60であった。

プラハでは1日ごとに濃度が示されており、 $I_2$ と $CH_3I$ は区別されずにガス状と識別されていた。プラハでの物理・化学形状の組成比は粒子状：ガス状( $I_2+CH_3I$ )=20-40：60-80であった。

スロバキアでは1日ごとに濃度が測定されていたものの、濃度の絶対値は示されていない。 $I_2$ 、 $CH_3I$ 、粒子状に加えて、無機状ヨウ素(HOI)も測定されていた。スロバキアでの物理・化学形状の組成比は粒子状： $I_2$ ： $CH_3I$ ：HOI=20-30：20-40：30-60：<1であった。

モデルに入力された値を見ると(表3.4)、モデル創設者により入力値は異なるものの、粒子状とガス状( $I_2+CH_3I$ )の比は概ね1:1または1:2である。ガス状のうち $I_2$ の割合は概ね50-100%である。

IAEA以外にも、Noguchi and Murata (1988)はチェルノブイリ事故時に日本でヨウ素の物理・化学形状の組成を測定した。その結果、 $I_2$ が平均で5%、HOIが平均で6%、 $CH_3I$ が平均で70%、粒子状ヨウ素が平均で19%であった。

## ③ 福島第一原子力発電所事故

Lebel et al. (2016)は福島第一原子力発電所事故時に茨城県、福島第一、福島第二で測定されたヨウ素の物理・化学形状の組成をまとめた。彼らはシビアアクシデント時に環境中に放出されるヨウ素の形態はガス状( $I_2$ 、有機ヨウ素)と粒子状( $CSi$ などのヨウ素塩)として、セシウムはほとんどが粒子状であることを示した。 $I_2$ は放出時にはヨウ素の大半を占めているものの、沈着率が速いため、遠方地域では有機状ヨウ素または粒子状ヨウ素が主となる。測定された物理・化学形状の組成比はガス状の割合は日によって異なり、15~70%であることを示した。

## ④ ハンフォードのヨウ素放出

ハンフォードは原子力発電所事故ではないが、スタックからの距離ごとに物理・化学形状の組成比がまとめられている。また、スタック放出時のヨウ素の形態は $I_2$ がほぼ100%であり、炉の解析で示された福島第一原子力発電所事故時の形態(Ishikawa et al., 2015)と類似している。各文献で示された形態を表3.5-表3.7に示す。BIOMASSプロジェクトでモデルに入力された物理・化学形状の組成比を表3.8に示す(IAEA, 2003)。

スタックでのヨウ素の物理・化学形状はほとんどが $I_2$ である。スタックからの距離が遠いほどガス状の割合が少なくなり、粒子状の割合が多くなる傾向を示している。これは輸送されるうちに $I_2$ が周囲のエアロゾルに付着することに起因しているのではないかと指摘されている。スタックから30 km付近では、粒子状は全体の30%程度、 $I_2$ は40%程度である。

## (2) 粒径

上述したように、粒子状放射性物質の沈着率と浸透率は粒径によって異なる。そのため、屋内退避による吸入被ばくの低減効果を求めるためには粒径の情報が必要である。本事業では、過去の原子力発電所事故時に放出され、環境測定が行われたものを対象に文献調査した結果を示す(表 3.9)。

福島第一原子力発電所事故時に Kaneyasu et al. (2012)はつくば(福島第一原子力発電所から南西に 170 km)でセシウムの放射能粒径分布を測定した。その結果、2011年4月28日-5月12日までの測定では粒径が 0.2  $\mu\text{m}$  と 0.6  $\mu\text{m}$  付近にピークが見られ、同年5月12日-26日の測定では 0.6  $\mu\text{m}$  付近にのみピークが見られる粒径分布であった(図 3.20)。同時に測定されたエアロゾルの各成分の粒径分布は、非海塩性硫酸塩<sup>4</sup>とアンモニウムイオンで約 0.6  $\mu\text{m}$  にピークが見られ、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Si}$ 、及び  $\text{Ca}$  で約 8  $\mu\text{m}$  にピークが見られた(図 3.21)。セシウムのピークが 0.6  $\mu\text{m}$  付近に見られたことから、福島原子力発電所事故では一般環境に存在する非海塩性硫酸塩が輸送の媒体である可能性を指摘した。

チェルノブイリ事故時には、多くの研究者が 30 km 圏内を含む多地点で放射能粒径分布を測定した(Tschiersch and Georgi, 1987; Ogorodnikov et al., 1994; Baltensperger et al., 1987)。測定されたセシウム、テルル、及びルテニウムの粒径分布は 0.7-1  $\mu\text{m}$  付近にピークを持つ分布であった(図 3.22)。ヨウ素は 0.3-1  $\mu\text{m}$  にピークを持つ分布であり、他の核種と比べて小さい粒径にもピークが見られる傾向であった。 $^{131}\text{I}$ のみ分布形状が異なる理由として、 $^{131}\text{I}$ はほとんどがガス状であるため、測定地点周辺のエアロゾルの影響を受けたと考察された。一方  $^{131}\text{I}$ 以外の核種は、チェルノブイリ付近のエアロゾルに付着し、凝集・除去プロセスを経て測定地点まで到達した放射性エアロゾルを測定したと考察された。原子力発電所付近ではホットパーティクルが観測され、それらの粒径は 25-50  $\mu\text{m}$  であった。

---

<sup>4</sup> 非海塩性硫酸塩は二酸化硫黄が大気中で気層・液層反応を経て生成されたものであり、海水の飛沫を起源としないものである。

表 3.3 放出された  $^{131}\text{I}$  の物理・化学形状の組成比 (%)

放出場所	測定場所 測定期間	$\text{I}_2$	HOI	$\text{CH}_3\text{I}$	粒子状ヨウ素
ハンフォード	スタック	30-90	-		0-6
	スタックから 5km まで	49-82	-	残りが	10-30
	スタックから 5-10km	35-48	-	$\text{CH}_3\text{I}$ か?	5-14
	スタックから 10km 以上	≈40	-		≈35
TMI-2	TMI 原子炉補助建 屋	25.1	18.0	29.6	27.3
チェルノブイリ	日本 1986/5/6-19	19±9	5±2	6±3	70±11
	ワルシャワ 1986/4/27-6/15	20-40	-	0-60	20-60
	プラハ 1986/4/29-5/8	60-80 (ガス状として分類)			20-40
	スロバキア 1986/5/1-12	20-30	≈0	30-60	20-30
福島第一	茨城 2016/3/14-16	50 (ガス状として分類)			50
	福島第一 2016/3/19-26	60 (ガス状として分類)			40
	福島第二 2016/3/19-26	15 (ガス状として分類)			85
	茨城 2016/3/19-26	50 (ガス状として分類)			50
	福島第一、二 2016/3/29-31	30 (ガス状として分類)			70
	茨城 2016/3/29-31	70 (ガス状として分類)			30

表 3.4 モデルに入力された大気中  $^{131}\text{I}$  の物理・化学形状の組成比

場所	粒子状	$\text{I}_2$	$\text{CH}_3\text{I}$
	100	0	0
プラフスク	1	1	1
	1	1	2
	60	40	0
ワルシャワ	50	40	10
	40	30	30
	40	50	10
プラハ	1	1	1

\*同じ場所での組成比の違いはモデル創設者の入力値の違いによる

表 3.5 ハンフォードの  $^{131}\text{I}$  放出時に測定された大気中  $^{131}\text{I}$  の物理・化学形状の組成比 (引用 : Ramsdell et al., 1994)

スタックからの距離 (km)	粒子状	反応性の高いガス状 $\text{I}_2$
0	0-6	30-90
0.2-3.2	10-30	49-82
5-8	5-14	35-48
2-40	4-42	?

表 3.6 ハンフォードの  $^{131}\text{I}$  放出時に測定された大気中  $^{131}\text{I}$  の粒子状の割合 (%) (引用 : Parkins, 1963)

スタックからの距離 (km)	粒子状
1	12
3	8
5	20
10	34
20	38
25	34

表 3.7 ハンフォードの  $^{131}\text{I}$  放出時に測定された大気中  $^{131}\text{I}$  のガス状の割合 (%) (引用 : Parkins, 1964)

スタックからの距離 (km)	ガス状
0	>99
1	73
3	90
5	92
10	92
25	96±10
0	>99
1	82
3	82
5	81
10	58±20

\*二つはサンプル日時が異なる

表 3.8 モデルに入力された大気中  $^{131}\text{I}$  の組成比 (引用 : IAEA, 2003)

粒子状	$\text{I}_2$	$\text{CH}_3\text{I}$
5-45	40-60	≈35

表 3.9 原子力発電所事故時に放出された粒子状放射性物質の空気力学的放射能中央径 (AMAD:  $\mu\text{m}$ )

事故場所	測定場所 測定期間	ヨウ素 AMAD	セシウム AMAD	参考文献
チェルノブイリ	ミュンヘン 1986/5/6	0.3-1	0.7-1	Tschiersch and Georgi, 1987
	チェルノブイリ 30km 圏内	0.3-0.5	0.6-0.7	Ogorodnikov et al., 1994
	チューリッヒ、シ ュピーツ	0.35	0.7-1	Baltensperger et al., 1987
	1986/4/30-5/13			
チェルノブイリ	ヘルシンキ 1986/5/7-9	0.33-0.57	0.65-0.93	Kaupplen et al., 1986
	チェコ 1986/5/3-20	0.25-0.48	0.15-1.00	Mala et al., 2013
	つくば 2011/4/28-5/26	-	0.53-0.63	Kaneyasu et al., 2012
福島第一	チェコ 2011/3/24-4/13	0.35-0.53	0.25-0.71	Mala et al., 2013



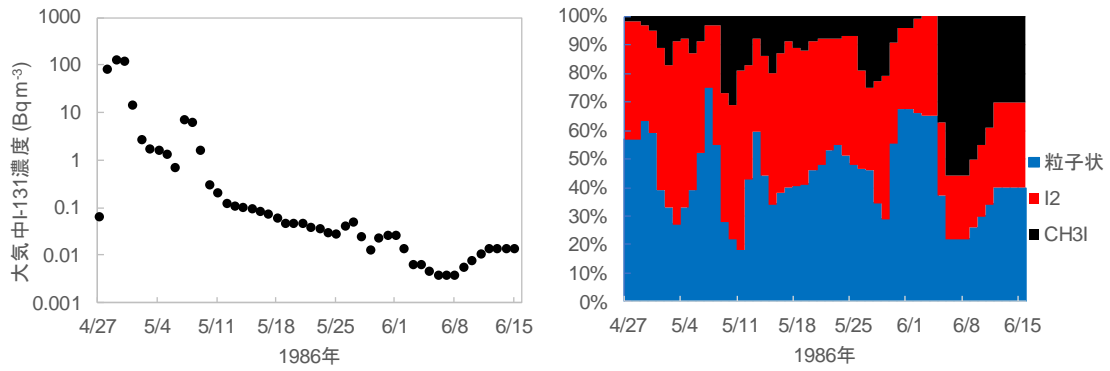


図 3.17 ワルシャワで測定された大気中  $^{131}\text{I}$  濃度 (左) とその組成比 (右)

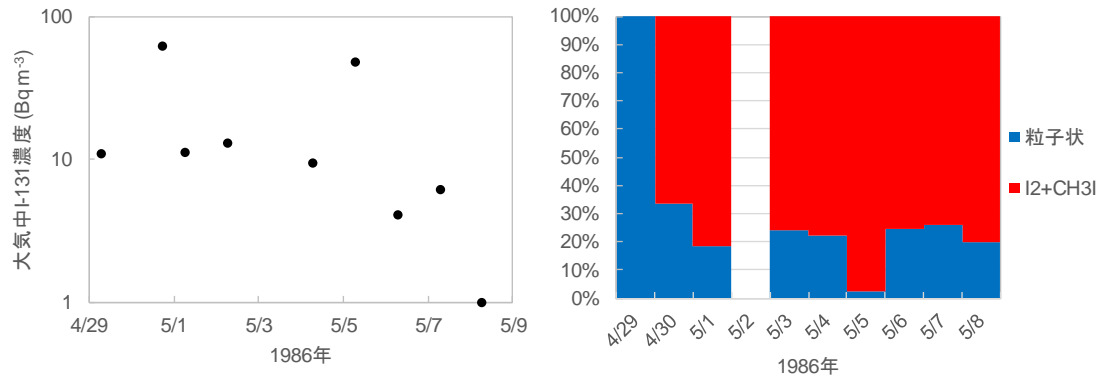


図 3.18 プラハで測定された大気中  $^{131}\text{I}$  濃度 (左) とその組成比 (右)

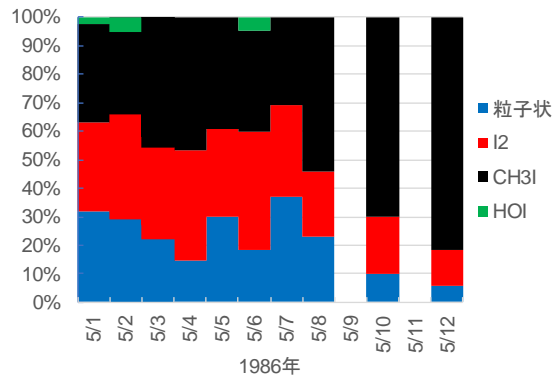


図 3.19 スロバキアで測定された大気中  $^{131}\text{I}$  の組成比

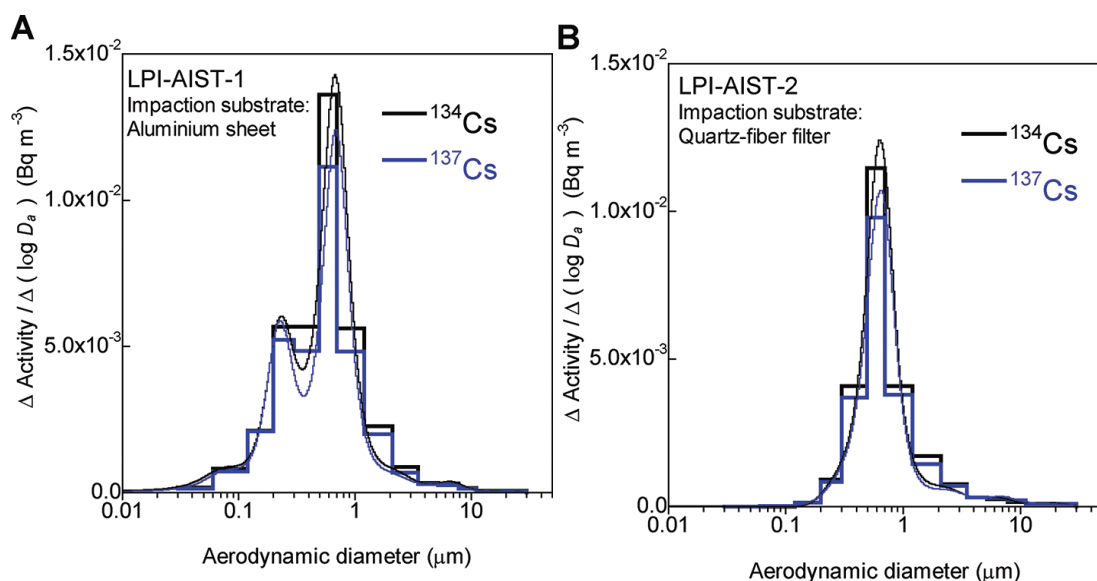


図 3.20 福島原子力発電所事故後につくばで測定されたセシウムの粒径分布 (A : 2011 年 4 月 28 日-5 月 12 日、B : 2011 年 5 月 12 日-同月 26 日、引用 : Kaneyasu et al., 2012)

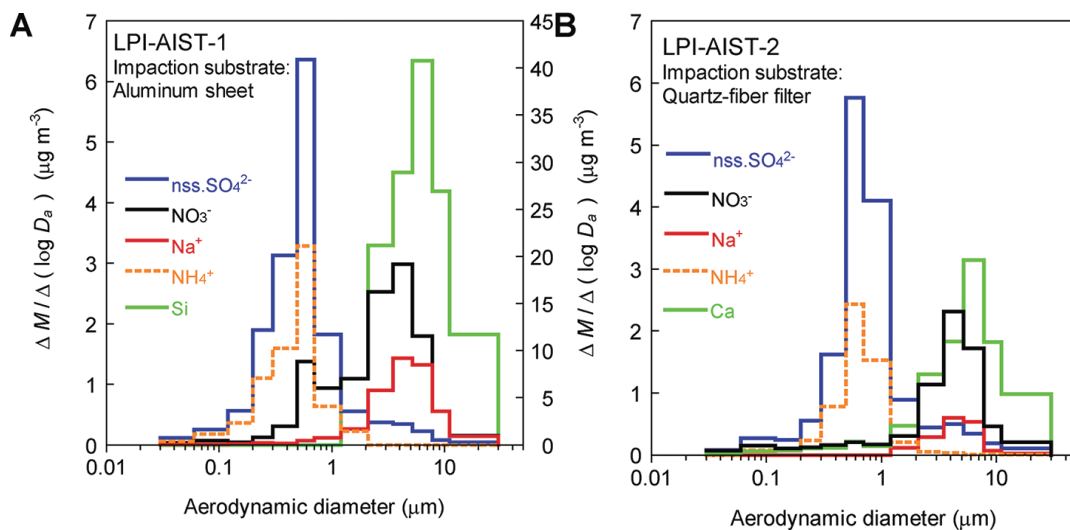


図 3.21 福島原子力発電所事故後につくばで測定されたエアロゾルの各成分の粒径分布 (A : 2011 年 4 月 28 日-5 月 12 日、B : 2011 年 5 月 12 日-同月 26 日、引用 : Kaneyasu et al., 2012)

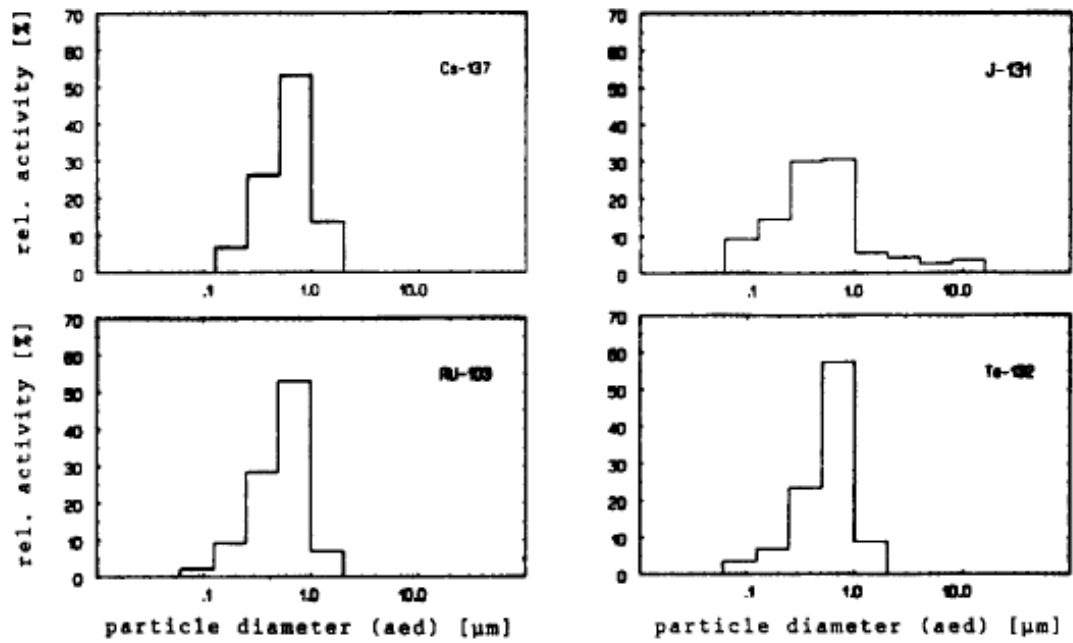


図 3.22 チェルノブイリ原子力発電所事故後に Munich で測定された粒径分布 (引用: Tschiersch and Georgi, 1987)

### 3.1.6 プルーム通過継続時間

プルーム通過継続時間はプルームの大きさ、風速、及び風向に依存する。福島第一原子力発電所事故時に 1F から 30 km 圏内に設置されているモニタリングポストで観測された空間線量率の時間変化（図 3.23）を用いると、プルーム通過継続時間は 15 から 60 分程度と考えられる。

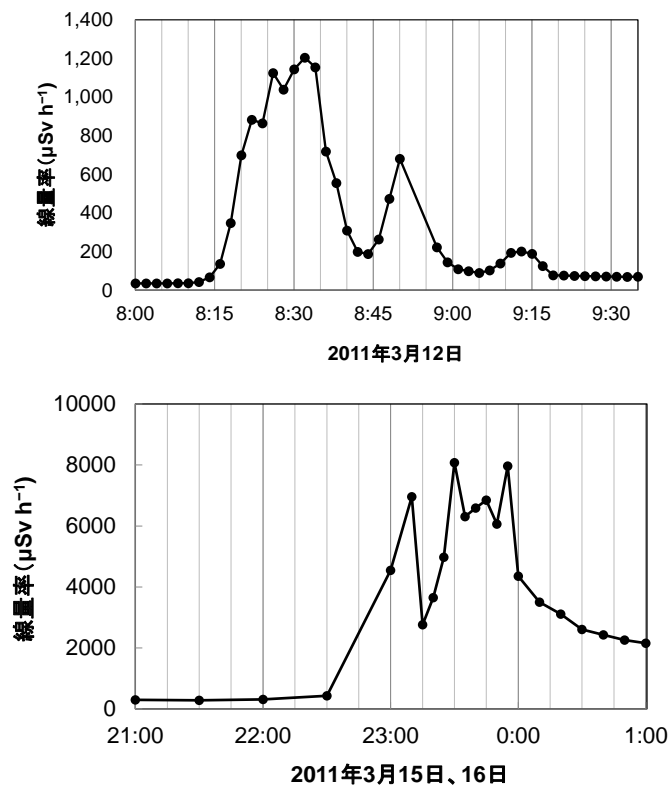


図 3.23 福島第一原子力発電所の空間線量率測定値例（上：MP4、下：正門付近）

## 3.2 ラボ実験

### 3.2.1 ラボ実験概要

ラボ実験の目的は、吸入被ばくの低減効果の評価に必要なガス状ヨウ素と粒子状物質の沈着率と浸透率を得ることである。前節で述べたようにガス状ヨウ素の沈着率と浸透率に関する知見は少なく、吸入被ばくの低減効果を正確に求めることができない。ラボ実験を行うことにより、ガス状ヨウ素の沈着率と浸透率に関する知見を得ることで吸入被ばく低減効果の評価が可能となる。

しかしながら、ラボ実験値を実家屋にそのまま適用できるとは限らない。ラボ実験の環境と実家屋の環境が異なるため、その相違によってラボ実験値と実家屋での値が異なる可能性がある。本事業では、その相違を調査するため、粒子状物質に対してはラボ実験と 3.3 節で述べる実家屋実験を行った。それらの結果を相互に比較することによって、ラボ実験値を実家屋に適用する際の注意点についてまとめた (3.3.6 節)。

### 3.2.2 実験設備

実験設備は仮想屋外と仮想屋内を想定した二つのチャンバーを用意し、その二つのチャンバー間に隙間を模擬した試験体を設置した。チャンバー内の対象物質の濃度を連続的に測定することにより、沈着率と浸透率を導出した。以下では、実験設備と装置の詳細を述べる。

#### (1) チャンバー

チャンバーは、中央に設置する試験体ユニットを境に屋外を模擬する空間と屋内を模擬する空間に分けられる (図 3.24)。外部からチャンバー内の粒子の動きを観測できるように、チャンバーは透明なアクリル製となっている。チャンバー内壁面は帯電による沈着率の影響を抑えるために、帯電しにくい材質となっている。チャンバー両端にはポンプを取り付けており、チャンバー内の気体の流量を調整できる。屋外を模擬する空間は、上流用ポンプによる加圧口 (図 3.24 のチャンバーの左端) から軸方向に 307.5 mm のスペースに粒子のコンタミネーションを防ぐプレフィルターとバグフィルターを設置した。同じくフィルターから 205 mm の間隔で押し込み側の空気の流れを整える整流板を 2 ヶ所設置した。上流側には 7 ヶ所のポートが設けられており、試験粒子や試験ガスを導入できる。605 mm の長さの空間が試験粒子と試験ガスを混合する空間であり、7 ヶ所のサンプリング口が上流側と下流側に設置されている。試験体ユニットを挟んで下流の 1007.5 mm が家屋屋内を模擬した空間である。7 ヶ所のサンプリング口が 5 列設けられている。後ろ側から 310 mm の空間は排気時に粒子を除去するためのプレフィルターとバグフィルターが備えられている。チャンバーの断面積は 800 mm×800 mm であり、屋内を模擬した空間は 0.645 m<sup>3</sup> ある。仮想屋外と仮想屋内チャンバーそれぞれに攪拌器を設置しており、攪拌器を稼働させることによりチャンバー内の濃度を均一化させることができる。

隙間を模擬した試験体ユニットは変更することができ、様々な隙間に対して同じチャンバーを用いて浸透率の実験が可能である。本事業では、粒子状物質の屋外から屋内への主たる侵入経路と考えられる窓枠を設置した壁を試験体ユニットとして採用した。

#### (2) 粒径分布及び粒子濃度測定器

チャンバー内の粒径分布は Scanning Mobility Particle Spectrometer (SMPS, TSI Model3938) と Optical Particle Sizer (OPS, TSI Model 3330)、粒子濃度は Condensation Particle Counter (CPC, TSI Model 3775)を用いて測定した。

SMPS は粒子の電気移動度を利用した測定機器である。サンプリングする粒子を中和器と呼ばれる両極イオンにより電気量的に中和し、静電気力と空気抵抗の関係を利用した二重円筒の分級

器 Differential Mobility Analyzer (DMA) でスキャンしながら粒子カウンターでスキャン中の粒子濃度を計測することで粒径分布を得る。SMPS は測定条件に依存するが、粒径 2.5 nm から 1  $\mu\text{m}$  までの粒子の濃度を粒径ごとに測定することができ、本事業で対象とする粒径ごとの浸透率と沈着率を導出することができる。

OPS はレーザー散乱を利用した測定機器である。吸引されたエアロゾルはレーザーと交差させることで光パルスを検出させ、光の強度によりカウントと粒子サイズを求め、粒径分布を得る。OPS は 0.3–10  $\mu\text{m}$  の粒径範囲を測定することができ、SMPS よりも大粒径の粒子の濃度を粒径ごとに測定することができる。

CPC はレーザー散乱を利用した測定機器である。OPS とは異なり、吸引されたエアロゾルはアルコールとともに凝集させ、粒子濃度を得る。2.5 nm の微小な粒子も測定できる装置であるものの、粒径ごとに粒子濃度を測定することはできない。現状では、SMPS が 1 台しかないため、もう一台必要である SMPS の代用品として CPC を利用した。測定精度を高めるため、仮想屋外チャンバーの濃度を SMPS で測定し、粒径が単一であることを確認し、仮想屋内チャンバーの濃度を CPC で測定した。

### (3) 気中分子濃度測定器

気中分子濃度を測定するため、ICP (Inductively Coupled Plasma) を用いた。高周波誘導結合プラズマをイオン源あるいは光源とする分析法である。アルゴンガスに高電圧をかけプラズマ化し、プラズマに導入された試料の質量あるいは発光分光の波長から元素の定性・定量を行う。元素に依存するが、1 ppt 以上の濃度を測定することができる。

ICP はアルゴン以外のガスを直接プラズマに導入することができないため、ガス中の微粒子の成分分析を行うために前処理が必要であり、本実験では気体試料導入装置を設置した。本装置のガス交換器は、多孔質膜を内部にもつガラス製二重管で構成され、導入されたサンプルガスは二重管の中心を形成する多孔質膜の内側のガスの分圧 (濃度) 差が推進力となり、多孔質膜の外側に拡散する。一方、外管と多孔質膜の間に導入される高純度アルゴンガスは、内側に拡散することで、サンプルガスに含まれる微粒子の拡散速度は相対的に遅く、多孔質膜を通過せずにアルゴンガスと共にガス交換器から排出される。この装置を使用することで、試料ガス中の微粒子をアルゴンガス中に移動することができ、ICP で気中分子濃度を測定できるようになる。

### (4) 粒子発生装置

本事業では任意の粒径のエアロゾルを発生させるため、2 種類の粒子発生装置を使用した。本事業で対象とする粒径は文献調査で過去の原発事故に測定された 0.1–1  $\mu\text{m}$  であり、2 種類の粒子発生装置を使用することにより、対象範囲をカバーする。

#### ① 6-Jet アトマイザー (TSI Model 9306)

この粒子発生装置は霧吹きと同しく、発生器にキャリアガスの圧力をかけることで負圧を発生させて液を吸い上げるチューブから、試験粒子の溶液を吸い上げ噴霧する。発生できる粒径は数百 nm から数  $\mu\text{m}$  である。6-Jet アトマイザーで使用した液体は、超純水と各粒径の  $\text{SiO}_2$  粒子 ( $10 \text{ mg mL}^{-1}$ ) の水分散体またはポリスチレンラテックス粒子の懸濁液を体積比 20:1 で混合したものである。

#### ② エレクトロスプレー (TSI Model 3480)

この粒子発生器は、先端のつながった容器に高電圧を加えることで、電解集中により液体をスプ

レーする。発生できる粒径は数十 nm から数百 nm である。エレクトロスプレーで使用した液体は、20 mM になるよう希釈した酢酸アンモニウムと各粒径の SiO<sub>2</sub> 粒子の水分散体を体積比 5:1 で混合したものである。

#### (5) CO<sub>2</sub> センサー

CO<sub>2</sub> 濃度を測定するために、非分散型赤外線吸収 (Non Dispersive InfraRed, NDIR) 法を用いた。選択されたガス種 (分子) の共振波長と一致するごく狭いスペクトル領域内で、吸収される光の量を検出することにより、そのガス種固有の分子数を他のガス種による干渉を受けることなく測定することができる。測定範囲は 0–5000 ppm である。

#### (6) 温湿度センサー

温度は、高精度な微細熱電対を用いたサイクロメーターによる wet および dry 温度計で測定した。湿度は、サイクロメーターを通して結露による露点レベルを塩化リチウムセンサー (生理食塩水の平衡によるポリマーの誘電体の変化を捉える静電容量センサー) で温度計測と同時に測定した。測定範囲は相対湿度が 0–100%RH、温度が–30–70°C である。

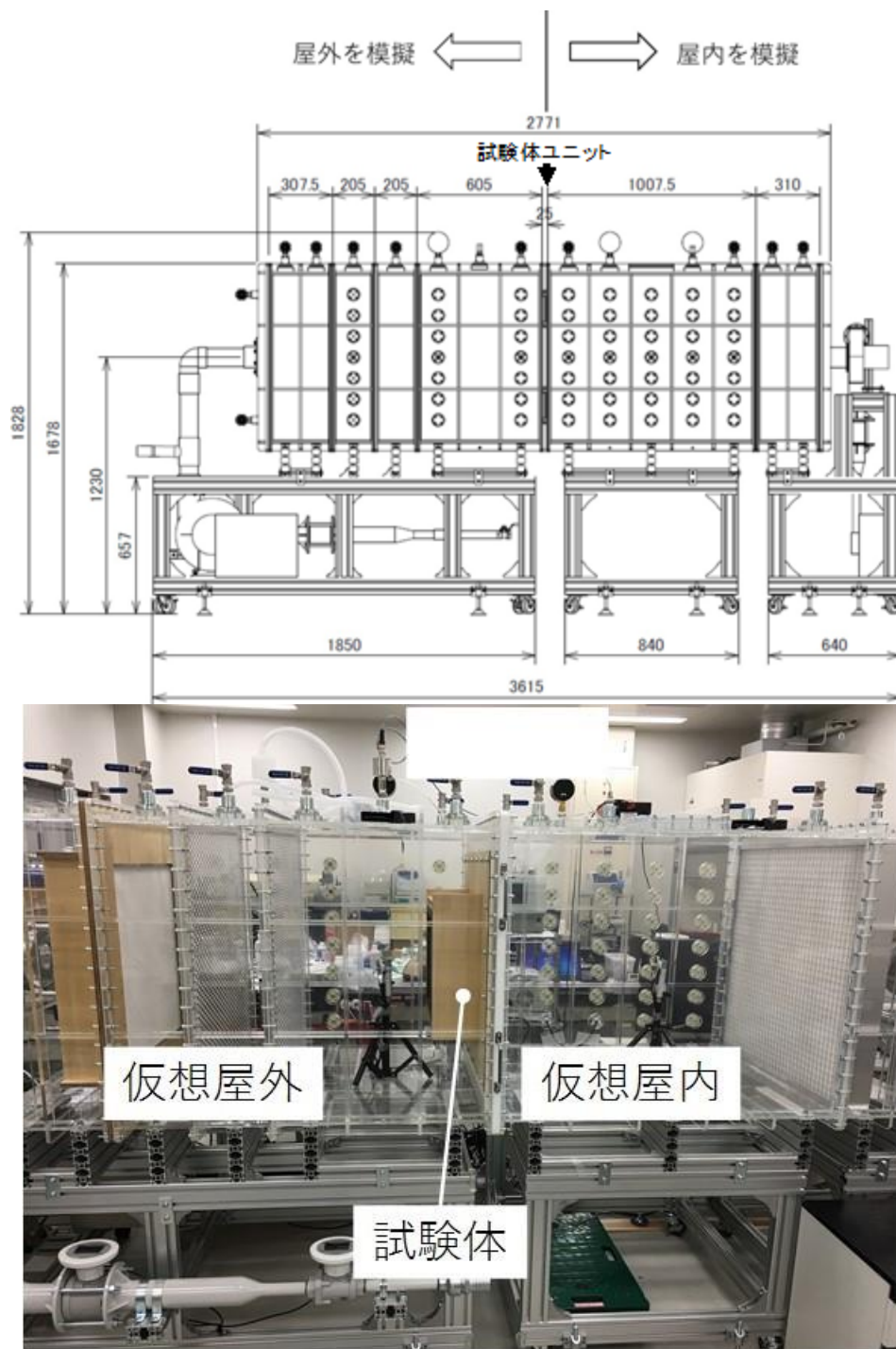


図3.24 チャンバー全体図 (上) と写真 (下)



### 3.2.3 実験・導出方法

#### (1) 粒子状物質の沈着率

実験体系を図 3.25 に示す。本実験では、粒子の荷電状態による沈着率への影響を合わせて調査した。粒子発生装置から発生した粒子から単一の荷電状態の粒子を抽出するため、DMA、中和器<sup>5</sup>、電気集塵装置<sup>6</sup>を用いた。今回対象とした粒子の荷電状態は+1 価、-1 価、0 価、中和<sup>7</sup>である。その粒子を仮想屋内チャンバーに一定時間注入した。粒子を注入する際、チャンバー内で粒子の凝集が起これないように、チャンバー内の粒子濃度を  $10^4$  個  $\text{cm}^{-3}$  を超えないように粒子の注入量を調整した。粒子を注入している間、チャンバー内の粒子濃度を均一にするために攪拌器を稼働させた。粒子濃度が時間によらず一定になったタイミングで粒子の注入をやめ、攪拌器を止めた。その後の粒子濃度の時間変化を 30 分間連続的に測定した。30 分間測定した後、チャンバー内の粒子をポンプによって排出し、再度同様の手順で粒子の注入を行った。1 つの粒径、荷電状態につき、5 回の測定を行った。

粒子状物質の沈着率は、粒子の注入を止め、攪拌器を止めた後の粒子濃度の時間変化を用いた。仮想屋内チャンバーの粒子濃度の時間変化は次式で表される。

$$\frac{dC_I}{dt} = -(\lambda_d + \lambda_e)C_I \quad (3.2)$$

ここで、 $C_I$ は仮想屋内チャンバー内の粒子濃度 ( $\text{m}^{-3}$ )、 $\lambda_d$ は沈着率 ( $\text{h}^{-1}$ )、 $\lambda_e$ はチャンバーからの空気の漏れを含む換気率 ( $\text{h}^{-1}$ ) である。 $\lambda_e$ は事前に  $\text{CO}_2$ を用いてチャンバーからの空気の漏れをほとんど無いことを確認しており、この実験では 0 とした。測定された粒子濃度の時間変化と式 (3.2) の計算値の差の二乗和が最小になるように沈着率  $\lambda_d$ を決定した。

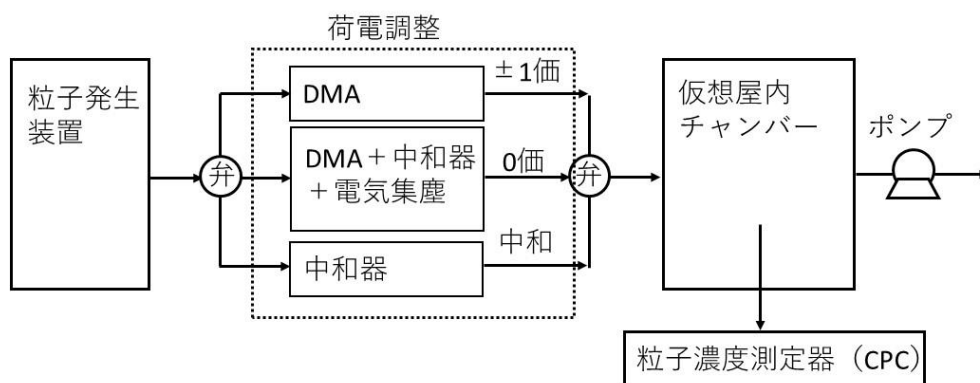


図 3.25 粒子状物質の沈着率導出実験の概要図

<sup>5</sup> 内蔵された Am-241 から  $\alpha$ 線が放射され、導入されたガスを電離することで正および負のイオンが同濃度で発生し、発生した両極イオンが粒子と付着することで安定した既知の帯電量分布を与える。

<sup>6</sup> 二重円筒の電極間に中和した粒子を導入し、電極間に電界を与えることで帯電した粒子を電極で捕集し、無帯電の粒子が通過する。

<sup>7</sup> 粒径ごとの価数分布が正規分布になった状態を中和状態と呼ぶ。

## (2) 粒子状物質の浸透率

実験体系を図 3.26 に示す。本実験では、換気率と粒径による浸透率への影響を合わせて調査した。今回対象とした換気率は  $0.3\text{h}^{-1}$ 、 $0.7\text{h}^{-1}$ 、 $1.0\text{h}^{-1}$  である。チャンバー内の換気率が対象とした換気率になるように、実験中常にポンプを稼働させた。今回対象とした粒径は  $0.4\ \mu\text{m}$  と  $1\ \mu\text{m}$  である。粒子発生装置から発生した粒子から中和状態の粒子を抽出するため、中和器を用いた。その粒子を仮想屋外チャンバーに一定時間注入した。粒子を注入する際、チャンバー内で粒子の凝集が起こらないように、チャンバー内の粒子濃度を  $10^4$  個  $\text{cm}^{-3}$  を超えないように粒子の注入量を調整した。さらに、仮想屋外チャンバーに注入した粒子の仮想屋内チャンバーへの侵入量をなるべく少なくするため、注入時間を 5 分程度とした。粒子を注入している間、仮想屋外チャンバー内の粒子濃度を均一にするために攪拌器を稼働させた。粒子注入後約 5 分で粒子の注入をやめ、攪拌器を止めた。その後の仮想屋外と屋内チャンバー内の粒子濃度の時間変化を 30 分間連続的に測定した。30 分間測定した後、チャンバー内のエアロゾルを排出し、再度同様の手順で粒子の注入を行った。1 つの粒径、換気率につき、3 回の測定を行った。

粒子状物質の浸透率は、粒子の注入を止め、攪拌器を止めた後の粒子濃度の時間変化を用いた。仮想屋内チャンバーの粒子濃度の時間変化は次式で表される。

$$\frac{dC_I}{dt} = -(\lambda_e + \lambda_d)C_I + P\lambda_e C_O \quad (3.3)$$

ここで、 $C_I$  は仮想屋内チャンバー内の粒子濃度 ( $\text{m}^{-3}$ )、 $C_O$  は仮想屋外チャンバー内の粒子濃度 ( $\text{m}^{-3}$ )、 $\lambda_e$  は換気率 ( $\text{h}^{-1}$ )、 $\lambda_d$  は沈着率 ( $\text{h}^{-1}$ )、 $P$  は浸透率 (-) である。測定された粒子濃度の時間変化と式 (3.3) の計算値の差の二乗和が最小になるように浸透率  $P$  を決定した。ここで、沈着率  $\lambda_d$  は前述の沈着率導出実験で得られた値を用いた。

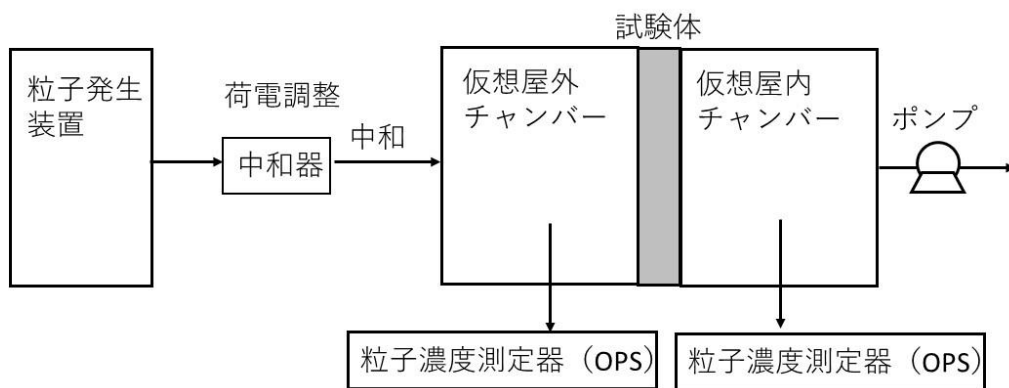


図 3.26 粒子状物質の浸透率導出実験の概要図

### (3) ヨウ素 (I<sub>2</sub>) の沈着率と浸透率

本実験は高橋(1967)による拡散チューブ法を基にし、ICP を用いてヨウ素を検出できるように設計した。実験体系を図 3.27 に示す。I<sub>2</sub> は反応性が高く、一回の実験で測定系に多くの I<sub>2</sub> が付着し、測定精度に影響を及ぼす可能性がある。本実験では、粒子状物質での実験で用いたチャンバーを使用せずに、より小さな系で I<sub>2</sub> の沈着率と浸透率の導出実験を行った。小さな系を使用していることと I<sub>2</sub> の高い反応性のため、I<sub>2</sub> 濃度を連続的に測定しても系内の I<sub>2</sub> 濃度がすぐに検出限界以下になる。そこで本実験では、基準ルートと対照ルートの I<sub>2</sub> 濃度を測定し、相互に比較した。さらに他の実験で沈着率と浸透率が既知である粒子状物質を用いて同じ系で同様の実験を行い、その結果と相互に比較することにより I<sub>2</sub> の沈着率と浸透率を導出することにした。

基準ルートには、透過率が  $99.25 \pm 0.023\%$  ( $n=6$ ) とほぼ 100% である内径 3 mm、長さ 50 cm のテフロンチューブを用いた。この基準となるチューブを元に、様々なチューブや容器、テフロンバッグを比較対象のルートに取り付け、相対比較を行った。対照ルートのリストを表 3.10 に示す。ヨウ素ガス流量はチューブと容器については  $0.1 \text{ L min}^{-1}$  で行った。テフロンバッグについては、容積が 5 L あるため封入に時間を要することから、 $0.2 \text{ L min}^{-1}$  とした。ICP でヨウ素を検出するため、ICP の出力値が安定するまで待ち、安定したところで測定値を得た。

I<sub>2</sub> ガスの発生には固体ヨウ素が封入された ICP 用標準ガス発生器を用いた。アルゴンガスをキャリアガスとして、室温環境下で昇華したヨウ素ガスを実験で使用し、ヨウ素の検出には ICP を利用した。

粒子は 20 mM 酢酸アンモニウム溶液に混合した 300 nm の SiO<sub>2</sub> 粒子 (300  $\mu\text{L}$ -SiO<sub>2</sub>/1000  $\mu\text{L}$ -酢酸アンモニウム溶液) をエレクトロスプレーを用いて発生させた。発生させた SiO<sub>2</sub> 粒子は残渣などを排除するため DMA を用いて分級を行い、帯電量を中和するために中和器を通して比較を行うラインに粒子を輸送した。粒子数の検出には CPC を利用した。また、ヨウ素ガスと滞留時間を等しくするため、CPC 入口で  $0.2 \text{ L min}^{-1}$  の清浄空気を加え、試験流路には  $0.1 \text{ L min}^{-1}$  となるよう制御した。

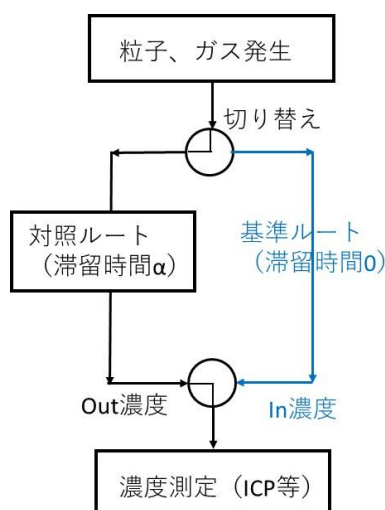


図 3.27 ヨウ素 (I<sub>2</sub>) の沈着率と浸透率の導出実験の概要図

表 3.10 対照ルートサンプル

		体積 (cm <sup>3</sup> )	表面積 (cm <sup>2</sup> )	流速 (cm s <sup>-1</sup> )	滞留時間 (s)
基準	テフロンチューブ (長さ 50 cm、内径 φ3 mm)	3.53	47.27	0.04	2.12
対照	テフロンチューブ (長さ 50 cm、内径 φ3 mm)	3.53	47.27	0.04	2.12
	テフロンチューブ (長さ 90 cm、内径 φ3 mm)	6.36	85.11	0.02	3.82
	テフロンチューブ (長さ 40 cm、内径 φ6 mm)	12.02	85.53	0.02	7.21
	テフロンチューブ (長さ 80 cm、内径 φ6 mm)	23.33	160.93	0.01	14.00
	テフロンチューブ (長さ 40 cm、内径 φ8 mm)	20.81	111.10	0.02	12.49
	テフロンチューブ (長さ 80 cm、内径 φ8 mm)	40.92	211.63	0.01	24.55
	100 mL ポリエチレンボトル	130.57	162.38	0.01	78.34
	250 mL ポリエチレンボトル	301.99	276.66	0.01	181.19
	500 mL ポリエチレンボトル	605.74	438.64	0.004	363.44
	5 L ポリフッ化ビニリデン バッグ	5000	1909	0.002	1500
	塩化ビニル管 (長さ 40 cm、内径 φ6 mm)	12.02	85.53	0.02	7.21
	塩化ビニル管 (長さ 80 cm、内径 φ6 mm)	23.33	160.93	0.01	14.00

### 3.2.4 ラボ実験結果

#### (1) 粒子状物質の沈着率

ラボ実験で得られた粒子状物質の沈着率と粒径の関係を図 3.28 に示す。沈着率は今回対象とした粒径範囲では  $0.1\text{--}1\text{ h}^{-1}$  であり、図 3.13 に示された過去の実験結果と同様の値であった。沈着率の粒径依存性を見ると、沈着率は粒径が  $0.1\text{--}1\text{ }\mu\text{m}$  付近で最小値をとり、その粒径よりも小さいまたは大きくなるほど沈着率が大きくなった。この沈着率と粒径の関係は過去の文献調査結果と同様であった。沈着率の電荷依存性を見ると、沈着率は電荷にほとんど依存していない。電荷依存性が現れなかった要因のひとつとして、チャンバー内壁面に導電性フィルムを貼付しており、チャンバー壁面に電場が生じなかったためであると考えられる。実際の家屋では、壁面に電場が生じる可能性があるため、今後電荷依存性について詳細に検討する必要がある。

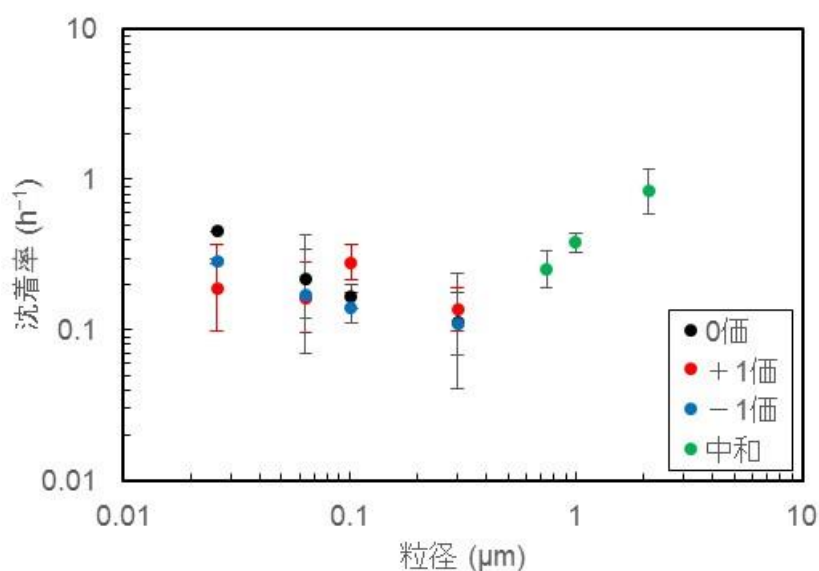


図 3.28 沈着率と粒径の関係。プロットは各粒径、電荷での沈着率の幾何平均値であり、エラーバーは幾何標準偏差である。

## (2) 粒子状物質の浸透率

ラボ実験で得られた粒子状物質の浸透率と換気率の関係を図 3.29 に示す。浸透率は今回対象とした粒径及び換気率の範囲では 0.3–0.9 であった。浸透率の粒径依存性を見ると、粒径 1  $\mu\text{m}$  の粒子の浸透率が粒径 0.4  $\mu\text{m}$  の粒子よりも小さい傾向である。過去の文献によると、粒径 0.1–1  $\mu\text{m}$  付近で浸透率は最大値をとり、それより粒径が大きくなるほど浸透率は小さくなると報告され、その傾向と同様であった。浸透率の換気率依存性を見ると、両粒径ともに換気率が大きいほど浸透率が大きい傾向であった。過去の文献では、隙間間の圧力差が大きい（換気率が大きい）ほど浸透率が大きく、特に粒径が 0.1  $\mu\text{m}$  未満の粒子と 1  $\mu\text{m}$  以上の粒子ではその傾向が顕著であると報告されている。本実験結果から、この浸透率と換気率の傾向は粒径 0.1–1  $\mu\text{m}$  付近でも見られることを示した。

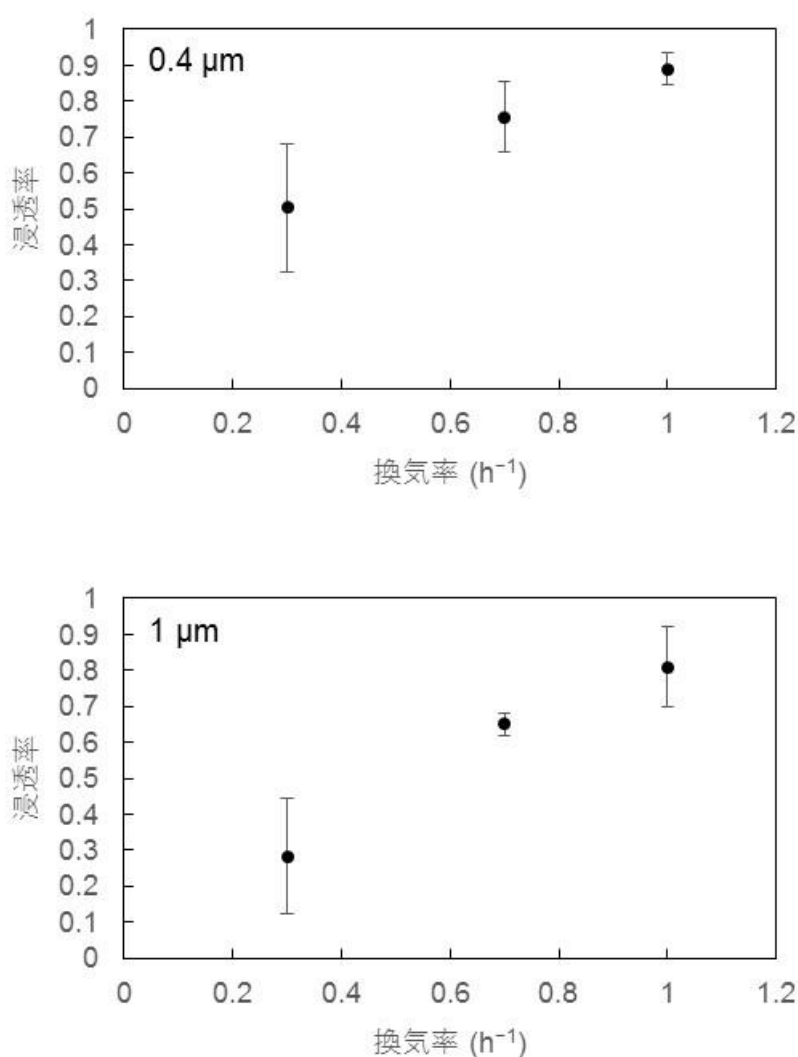


図 3.29 浸透率と換気率の関係。プロットは各換気率での浸透率の平均値であり、エラーバーは標準偏差である。

### (3) ヨウ素 (I<sub>2</sub>) の沈着率と浸透率

ラボ実験で得られた I<sub>2</sub> と粒子状物質の基準ルート (In) と参照ルート (Out) の濃度比 (Out/In 比) を滞留時間ごとに図 3.30 に示す。滞留時間が長いほど、I<sub>2</sub> と粒子状物質の Out/In 比が小さい。I<sub>2</sub> のほうが粒子状物質よりも Out/In 比の減少速度が早いことが分かる。

物質の沈着による濃度の時間変化は次式で表される。

$$C(t) = C(0)\exp(-\lambda_d t) \quad (3.4)$$

ここで、 $C(t)$  は時刻  $t$  の物質の濃度 ( $\text{m}^{-3}$ )、 $\lambda_d$  は沈着率 ( $\text{h}^{-1}$ ) である。図 3.30 から I<sub>2</sub> の沈着率は粒子状物質の 3-4 倍程度であることが推定できる<sup>8</sup>。それ故、粒径 0.3  $\mu\text{m}$  の粒子状物質の沈着率が 0.1  $\text{h}^{-1}$  であったため、I<sub>2</sub> の沈着率は 0.3  $\text{h}^{-1}$  と推定される。

浸透率の定義は、屋外から侵入する物質の量に対する、隙間の壁面等に付着せずに実際に屋内に侵入した物質の割合である。図 3.30 に示した Out/In 比は浸透率と同義である。そこで、同じ滞留時間のときの I<sub>2</sub> の Out/In 比と粒子状物質の Out/In 比の関係をプロットしたものを図 3.31 に示す。沈着率の結果から分かるように、I<sub>2</sub> は粒子状物質よりも沈着しやすいため浸透率も粒子状物質よりも小さい。

本実験は I<sub>2</sub> の付着しにくいテフロンで行ったものである。材質を塩化ビニルに変えた実験結果を含めたものを図 3.32 に示す。I<sub>2</sub> では塩化ビニルに変えた場合と同じ滞留時間であっても Out/In 比は 0.1 以下と小さい。一方、粒子状物質は塩化ビニルに変えた場合でも Out/In 比に違いが見られなかった。この結果は I<sub>2</sub> の付着効率は材質に大きく依存していることを示している。実際の家屋への侵入経路、壁面はアルミ、木材などでできており、実際の家屋内での I<sub>2</sub> の挙動を調査するためにはこれらの材質に対する I<sub>2</sub> の付着効率を調査する必要がある。本事業では、被ばく低減係数の結果が保守的になるが、その他材質に関するデータが不足しているため I<sub>2</sub> が付着しにくいテフロンでの実験結果で推定した沈着率と浸透率を被ばく低減係数の計算に使用する。

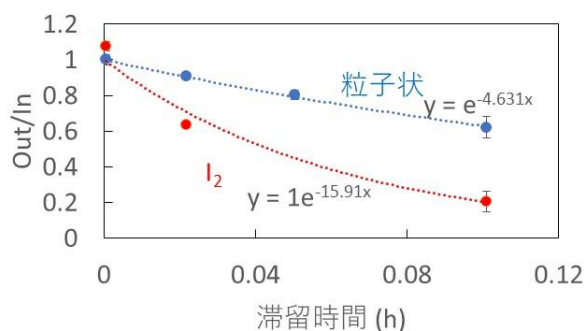


図 3.30 I<sub>2</sub> と粒子状物質の基準ルートと参照ルートの濃度比 (Out/In)

<sup>8</sup> 実験結果では粒子状物質の沈着率が 4.6  $\text{h}^{-1}$  となっているが、体積表面積比の大きなチューブでの実験結果であるため、ヨウ素実験で得られた沈着率をそのまま適用することはできない。

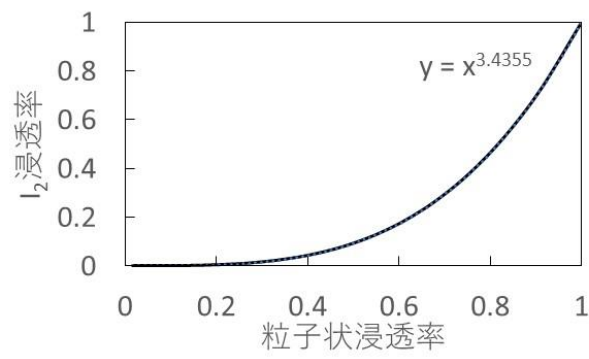


図 3.31 I<sub>2</sub>と粒子状物質の浸透率の関係

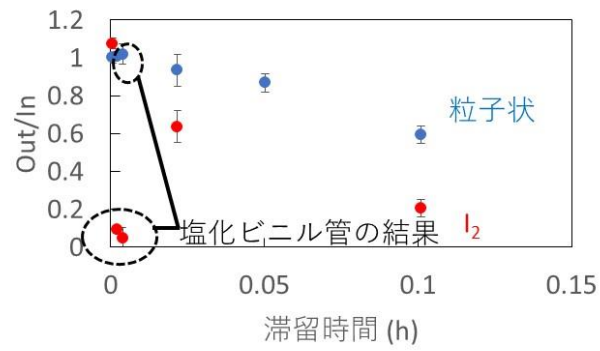


図 3.32 I<sub>2</sub>と粒子状物質の基準ルートと参照ルートの濃度比 (Out/In)。塩化ビニル管のケースも含む。



### 3.3 実家屋実験

#### 3.3.1 実家屋実験概要

屋内退避の吸入被ばくの低減効果を導出するために必要な自然換気率、沈着率、及び浸透率を実家屋実験によって導出した。戸建住宅に対する自然換気率の調査はあるものの、集合住宅の調査は少なく、赤林は隙間相当面積から自然換気率を推定する手法を集合住宅に適用できないことを指摘した。そこで建築年数の異なった集合住宅をメインに自然換気率の調査を行った。さらにラボ実験で得られた沈着率と浸透率を実家屋に適用できるかを検証するため、実家屋での沈着率と浸透率を導出した。本事業では、粒子状物質のみを対象に行った。

#### 3.3.2 実験対象家屋

対象は集合住宅（茨城県那珂郡東海村）、戸建住宅（茨城県常陸太田市、福島県大熊町、双葉町）であり、表 3.11 にそれらの簡単な特徴を示す。集合 A と C では、自然換気率調査を 1 ヶ月以上行い、自然換気率と風速または屋内外温度差の依存性を詳細に調査した。集合 E は今回対象とした部屋の中で最も容積が小さく、エアコンの影響が最も大きく現れると考え、エアコン稼働による自然換気率への影響を調査した。

表 3.11 各住宅の特徴のまとめ

住宅名	建築年	造	備考
集合 A	1994	鉄筋コンクリート造	メゾネット
集合 B	1994	鉄筋コンクリート造	メゾネット
集合 C	1975	鉄筋コンクリート造	
集合 D(1)	1999	鉄筋コンクリート造	
集合 D(2)	1999	鉄筋コンクリート造	
集合 E(1)	1983	鉄筋コンクリート造	1F, 6 畳の 1R
集合 E(2)	1983	鉄筋コンクリート造	4F, 6 畳の 1R
常陸太田 1	2001	木造戸建	常陸太田市
福島 1*	1993	木造戸建	大熊町
福島 2*	2001	木造戸建	大熊町
福島 3*	1995	木造戸建	双葉町

\*福島県の家屋は地震等による損傷（ひび、窓の損傷）を目視では確認できなかった。

#### 3.3.3 実験方法と自然換気率、沈着率、及び浸透率の導出方法

##### (1) 実験方法

自然換気率導出実験は JIS1406(1974)に基づいて CO<sub>2</sub> を用いた。各住宅の各階の中央付近で CO<sub>2</sub> を散布し、その後の CO<sub>2</sub> 濃度の時間変化を計測した。

沈着率と浸透率導出実験は Thatcher et al. (2003) の実験手法を基に行った。沈着率を求める場合、CO<sub>2</sub> 散布と同時にホウキで約 1 分間床を掃き、粒子を再浮遊させ、屋内のエアロゾル濃度が高い環境を作り、その後約 3 時間のエアロゾル濃度の時間変化を計測した。浸透率を求める場合、CO<sub>2</sub> 散布と同時に空気清浄機を稼働させ（風量：5.3 m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>）、屋外よりも屋内のエアロゾル濃度を大幅に低減させた。空気清浄機はタイマーにより 1 時間で電源が切れるようにし、その後約 3 時間のエアロゾル濃度の時間変化を計測した。なお、沈着率導出実験は集合 C と福島 1～3、浸透率導出実験は集合 A、C と福島 1～3 の家屋で行った。

屋内外の CO<sub>2</sub> 濃度は T&D 社製のおんどとり TR-76Ui（以下、おんどとり）、屋内外のエアロ

ゾル濃度は日本カノマックス社製のレーザーパーティクルカウンタ MODEL3886 と TSI 社製のオプティカルパーティクルサイザー (OPS) を用いて測定した。環境因子として、屋外の風速、屋外の風向、屋内外の温度も同時に測定した。風向風速計はなるべく周囲に建物、樹木がない場所を選んだ。部屋の間取り、測定器の配置、測定環境の写真を付録 3 に示す。地上高さ 10m の風速は、東海村での測定の場合には、日本原子力研究開発機構原子力科学研究所敷地内の風速計、常陸太田市と福島県での測定の場合には、付近のアメダスのデータを用いた。

実験を行う間は人の出入りが無く、人の行動による実験値への影響は無い。

## (2) 自然換気率の導出方法

屋内の CO<sub>2</sub> 濃度の時間変化は以下の式で表される。

$$\frac{dC_I}{dt} = \lambda_e(C_O - C_I) \quad (3.5)$$

ここで、 $C_I$  は屋内の CO<sub>2</sub> 濃度 (ppm)、 $C_O$  は屋外の CO<sub>2</sub> 濃度 (ppm)、 $\lambda_e$  は自然換気率 (h<sup>-1</sup>) である。測定された CO<sub>2</sub> 濃度変化と式 (3.5) の計算値の差の二乗和が最小になるように自然換気率  $\lambda_e$  を決定した。

## (3) 沈着率の導出方法

屋内のエアロゾル濃度の時間変化は以下の式で表される。

$$\frac{dC_I}{dt} = -(\lambda_e + \lambda_d)C_I + P\lambda_e C_O \quad (3.6)$$

ここで、 $C_I$  は屋内のエアロゾル濃度 (m<sup>-3</sup>)、 $C_O$  は屋外のエアロゾル濃度 (m<sup>-3</sup>)、 $\lambda_e$  は換気率 (h<sup>-1</sup>)、 $\lambda_d$  は沈着率 (h<sup>-1</sup>)、 $P$  は浸透率 (-) である。

沈着率  $\lambda_d$  を導出する際、自然換気率  $\lambda_e$  は CO<sub>2</sub> を用いて導出した値とした。再浮遊により屋内のエアロゾル濃度が高い環境を作ったため、エアロゾル濃度の時間変化は屋内での沈着項が支配的になり、外からの侵入項 (式 (3.6) の右辺第 2 項) の影響は小さくなる。そのため、外からの侵入項を 0 とし、測定されたエアロゾル濃度変化と式 (3.6) の計算値の差の二乗和が最小になるように沈着率  $\lambda_d$  を決定した。

## (4) 浸透率の導出方法

浸透率  $P$  を導出する際、自然換気率  $\lambda_e$  は CO<sub>2</sub> を用いて導出した値とした。空気清浄機を用いて屋内のエアロゾル濃度を屋外よりも大幅に低減させたため、エアロゾル濃度の時間変化は外からの侵入項が支配的になり、屋内での沈着項 (式 (3.6) の  $\lambda_d C_I$ ) の影響は小さくなる。そのため、 $\lambda_d=0$  とし、測定されたエアロゾル濃度変化と式 (3.6) の計算値の差の二乗和が最小になるように浸透率  $P$  を決定した。

### 3.3.4 測定結果

#### (1) 自然換気率

測定結果の例として、集合 C での CO<sub>2</sub> 濃度、風速、風向、温度の時間変化を図 3.33 に示す。屋内での CO<sub>2</sub> 濃度 (おんどり I) は放出時間に鋭いピークを持ち、そのあとは時間とともに指数関数的に減少した。屋外での CO<sub>2</sub> 濃度 (おんどり O) はどの期間も概ね 400 ppm であった。これらの傾向はほかの住宅でも同様であった。

本実験ではほとんどの場合、エアコンなどの空調機を使用していないため、屋内外の温度差は

小さかった。屋内外の温度差は平均 5°C程度であった。集合 E でエアコンを使用した際、屋内外の温度差は最大で 20°Cであった。

## (2) 沈着率

測定結果の例として、集合 C でのエアロゾル濃度の時間変化を図 3.34 に示す。屋内でのエアロゾル濃度 (エアロゾル I) は再浮遊時間直後に鋭いピークを持ち、そのあとは時間とともに指数関数的に減少した。OPS で測定した結果を見ると、粒径 0.4 μm 以上のエアロゾル濃度は再浮遊により上昇したものの、粒径 0.4 μm 未満のエアロゾル濃度は上昇しなかった。そのため、沈着率の導出は粒径 0.4 μm 以上の粒子のみを対象に行った。

## (3) 浸透率

測定結果の例として、集合 C でのエアロゾル濃度の時間変化を図 3.35 に示す。屋内でのエアロゾル濃度 (エアロゾル I) は空気清浄機を稼働させることにより減少し、空気清浄機の電源が切れた後は時間とともにエアロゾル濃度が上昇した。空気清浄機によるエアロゾルの捕集効率が不明であるため、本事業では空気清浄機の効果を考慮する必要の無いエアロゾル濃度の立ち上がり部分 (空気清浄機の電源が切れた後) を用いて浸透率を導出した。

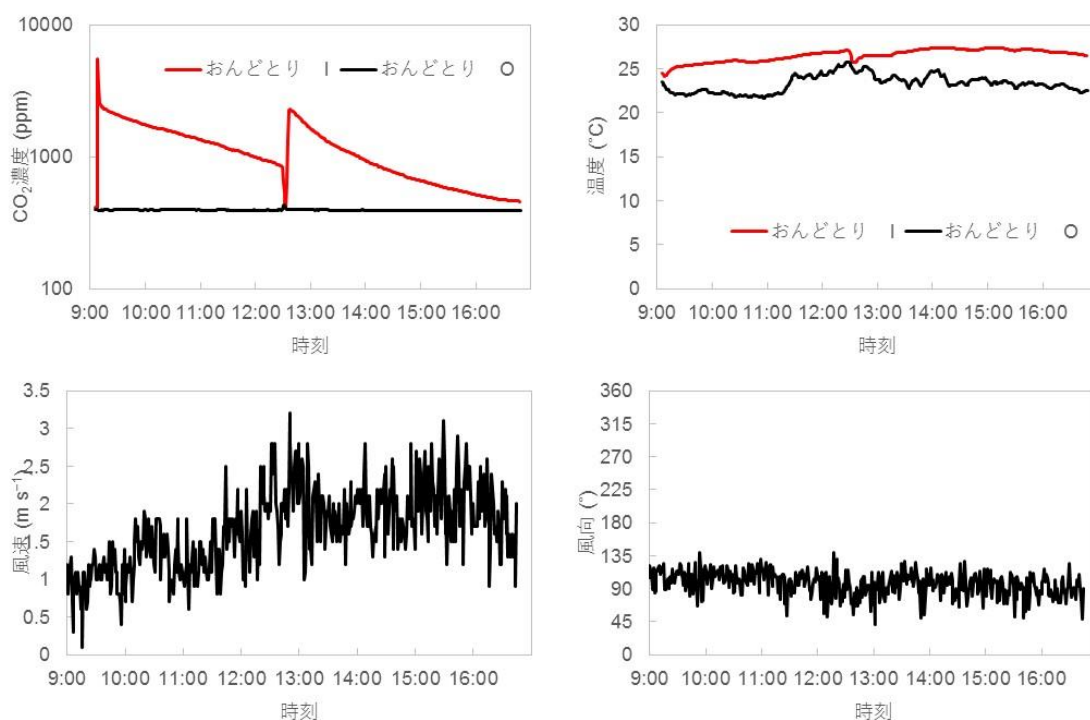


図 3.33 集合 C (2017 年 6 月 1 日) での CO<sub>2</sub> 濃度、温度、風向風速の時間変化

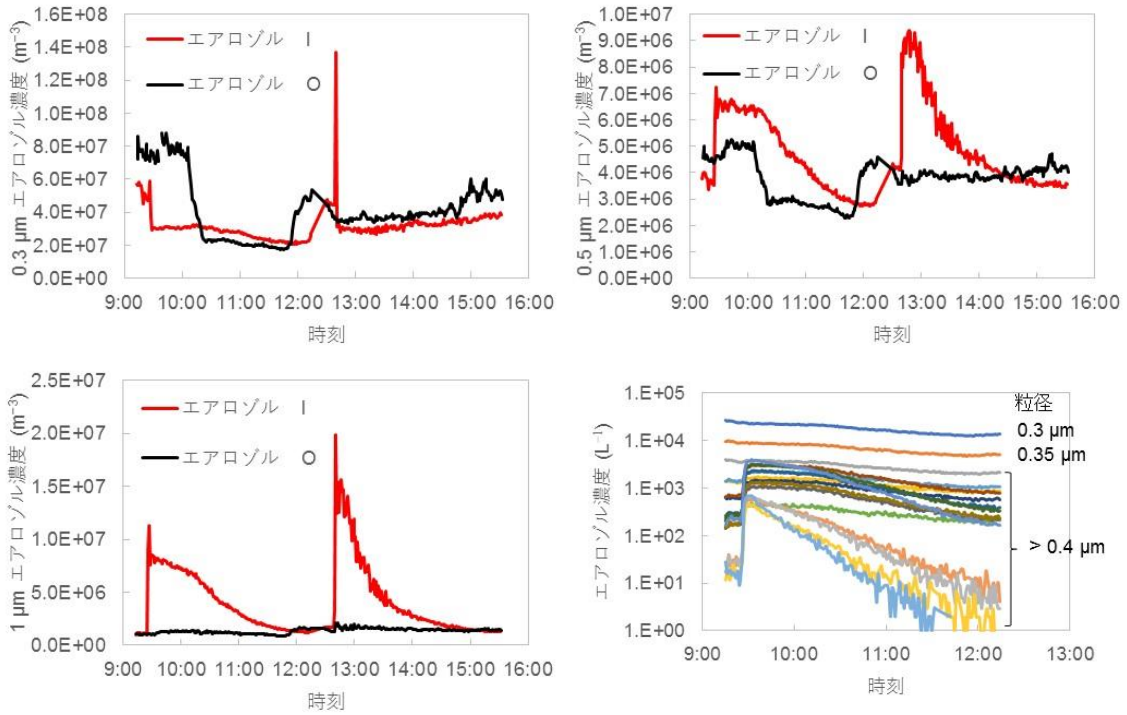


図 3.34 集合 C (2017 年 11 月 15 日) での沈着率導出時のエアロゾル濃度の時間変化。右下の図は OPS で測定した結果、それ以外はパーティクルカウンターで測定した結果。9 時 30 分と 12 時 45 分に粒子を再浮遊させた。

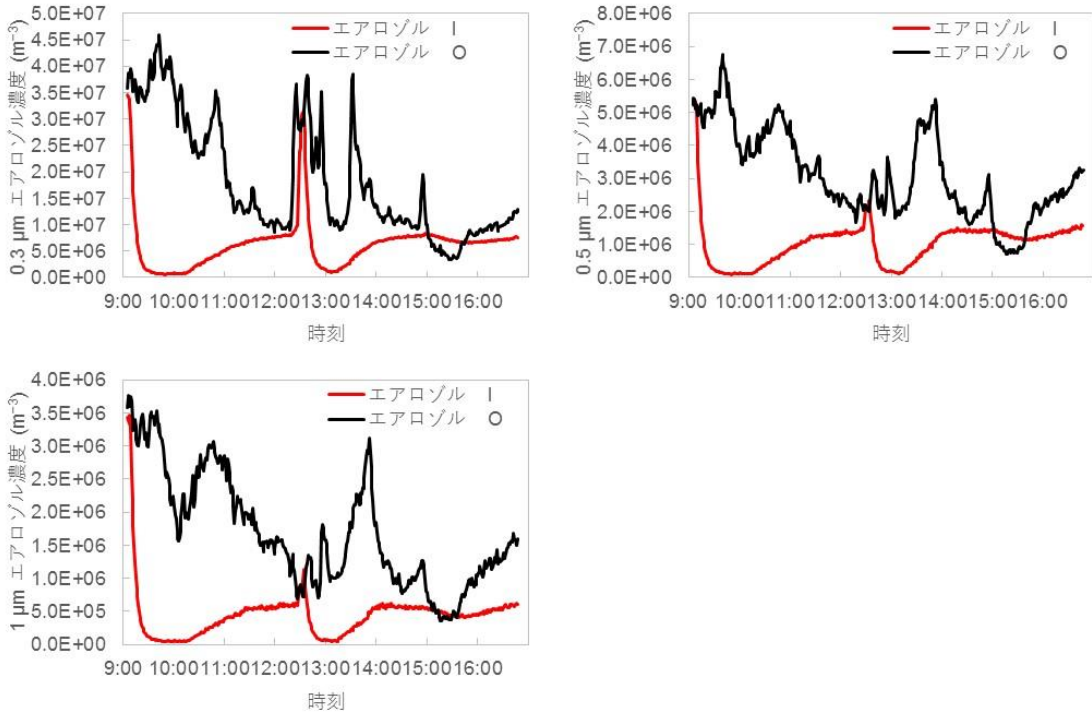


図 3.35 集合 C (2017 年 6 月 1 日) での浸透率導出時のエアロゾル濃度の時間変化。9 時 10 分から 10 時 10 分と 12 時 20 分から 13 時 20 分は空気清浄機を稼動。

### 3.3.5 変動要因の検討

#### (1) 自然換気率

実験により求めた自然換気率及び文献調査で得られた自然換気率と建築年の関係を図 3.36 に、対象家屋全体、集合 A、C での自然換気率と風速の関係及び自然換気率と屋内外温度差の関係をそれぞれ図 3.37 と図 3.38 に示す。次に自然換気率に係るパラメータの建築年、風速、屋内外温度差、建築分類（戸建住宅または集合住宅）による自然換気率への影響を示す。

##### ① 建築年

図 3.36 に示されるように、集合住宅において建築年が新しいほど自然換気率が小さい。これは戸建住宅と同様の結果であり、集合住宅の場合でも、建築年が新しいほど住宅の気密性能が上昇し、自然換気率が小さくなったと考えられる。

今回の実験で得られた自然換気率は過去の実験値及び赤林の関係図からの推定値と同様の値を示した。1980 年以前の集合住宅では今回の実験値のほうが低いが、文献では外部風速の条件が記されておらず、風速による差異であるか、住宅の気密性能の差異であるかは調査できなかった。

##### ② 風速

図 3.37 に示されるように、風速が強いほど自然換気率が大い。これは赤林の関係図で示された戸建住宅の傾向と同様の結果である。さらに建築年が古い集合 C のほうが風速の変化による自然換気率の変化が大きく、この傾向も赤林の関係図で示された戸建住宅の傾向と同様の結果である。

##### ③ 屋内外温度差

図 3.38 に示されるように、今回の実験では屋内外温度差による自然換気率への影響がほとんど表れなかった。

##### ④ 戸建住宅と集合住宅

図 3.36 と図 3.37 に示されるように、戸建住宅と集合住宅では、建築年が新しいほど、または風速が弱いほど自然換気率が小さい傾向は同様であった。1980 年以前に建築された家屋では集合住宅のほうで自然換気率が小さい傾向であるものの、1981 年以降に建築された家屋では集合住宅と戸建住宅の自然換気率はほぼ同等であった。

1980 年以前に建築された戸建住宅の自然換気率は概ね  $1 \text{ h}^{-1}$  であり、1992 年以前に建築された集合住宅と 1981–1992 年に建築された戸建住宅の自然換気率は概ね  $0.3 \text{ h}^{-1}$  であり、1993 年以降に建築された家屋の自然換気率は概ね  $0.12 \text{ h}^{-1}$  である（図 3.36）。自然換気率は建築年と家屋によって大きく異なるものの、3 種の家屋に大別されうることが示されている。

##### ⑤ エアコン稼働

集合 E で行ったエアコン稼働有無による自然換気率への影響調査の結果を図 3.39 に示す。図 3.39 に示されるように、エアコン稼働は自然換気率にほとんど影響しなかった。今回使用したエアコンは外部空気を取り入れないものである。現在ではほとんど普及していないものの、一部機種では外部空気を取り入れるものもあり、このエアコンを使用した場合の自然換気率への影響は異なる可能性がある。

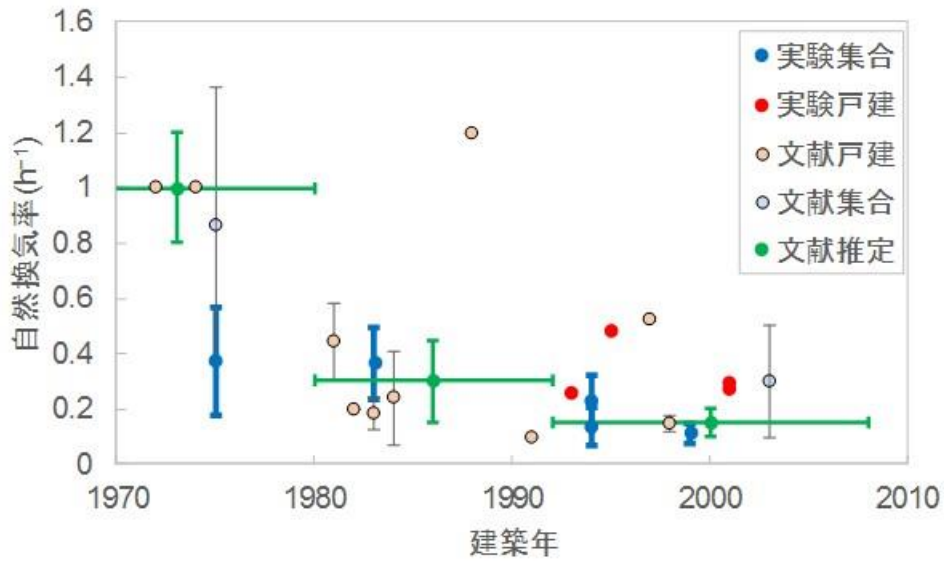


図 3.36 自然換気率と建築年の関係。縦軸のエラーバーは実験または文献調査で得られた標準偏差、横軸（建築年）のエラーバーは隙間相当面積の平均値を算出するために使用した範囲を表している。文献戸建と文献集合は自然換気率が文献にそのまま記載されているものを使用（図 3.12）。文献推定は文献調査で得た戸建住宅の隙間相当面積から赤林の関係図を用いて推定した自然換気率を示している。実験戸建と実験集合は表 3.11 に示した家屋で行った自然換気率実験の結果を示している。風速の自然換気率への影響をなるべく小さくするため、地上 10m での風速が  $3 \text{ ms}^{-1}$  を超えるものは除いた。文献戸建の 1988 年に 1 点飛び出ている点は、隙間相当面積が同年代の他の家屋と比べて高い ( $18 \text{ cm}^2 \text{ m}^{-2}$ ) ことに起因するものと考えられる。しかしながら、隙間相当面積が高い原因は文献調査で得られなかった。

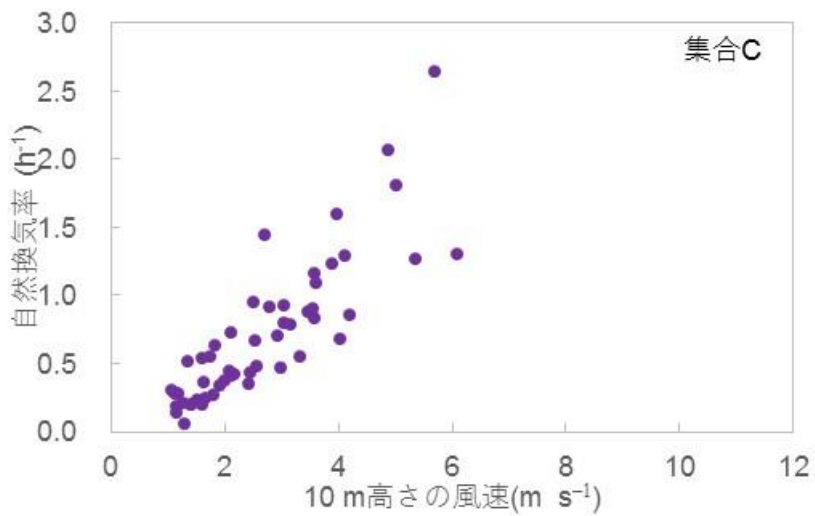
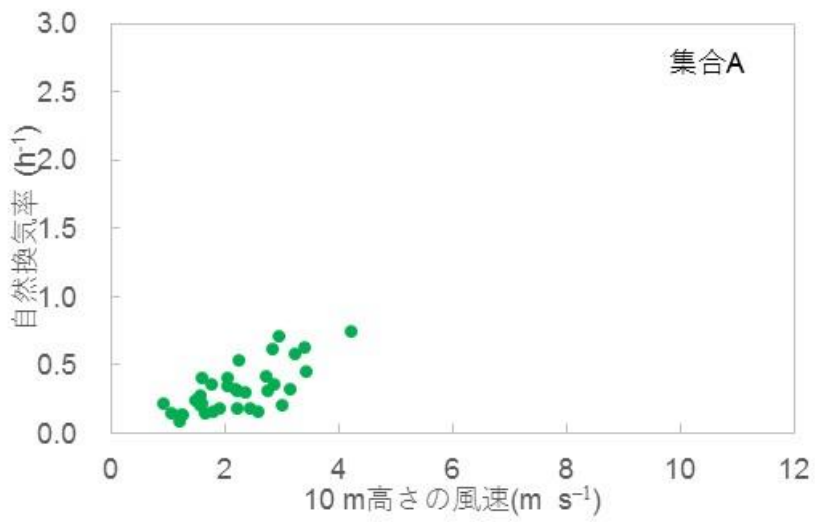
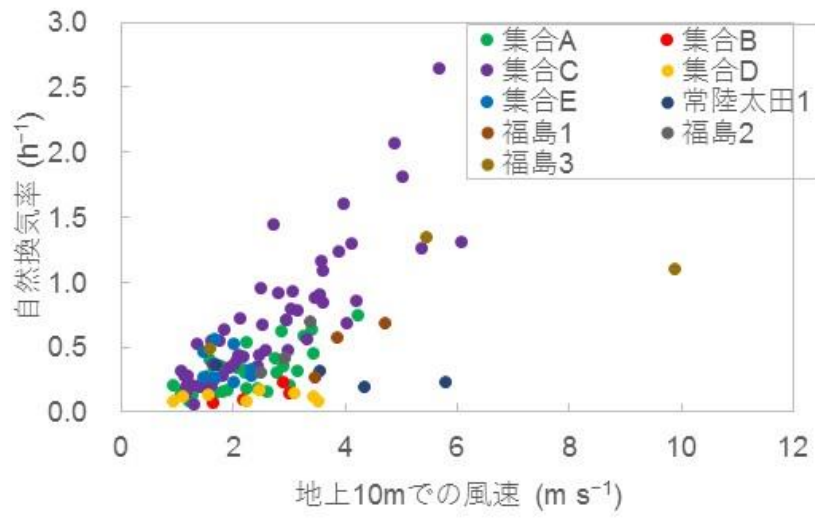


図 3.37 実験で導出した自然換気率と風速の関係

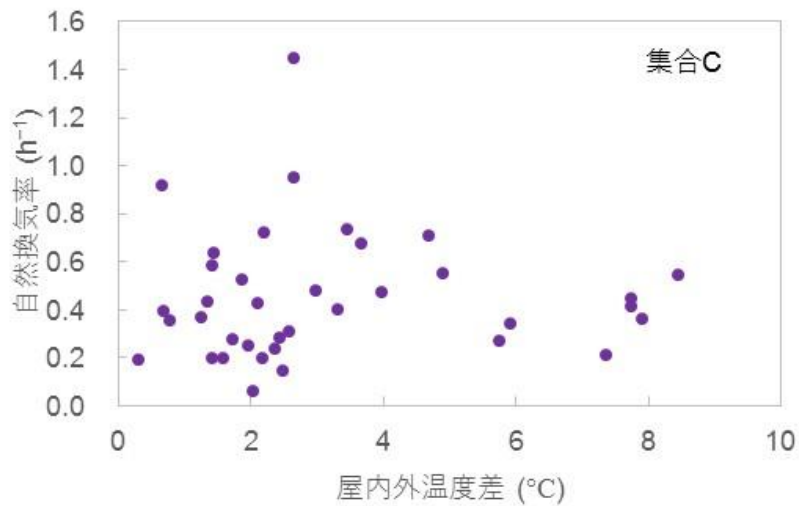
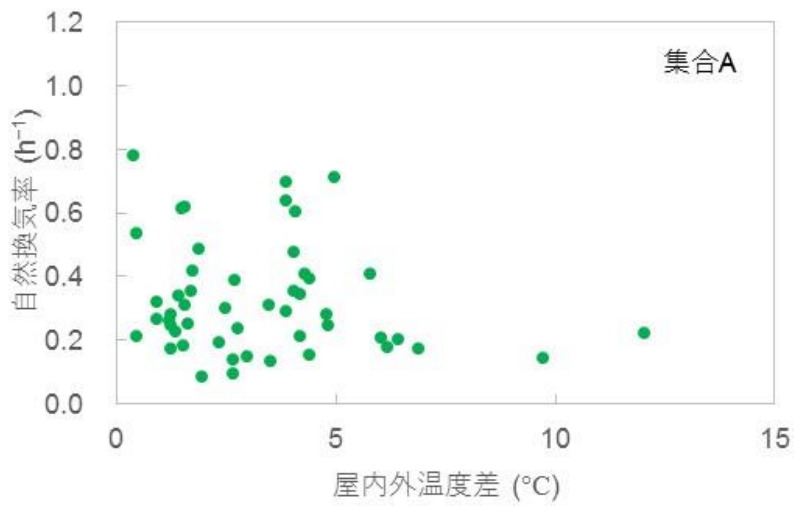
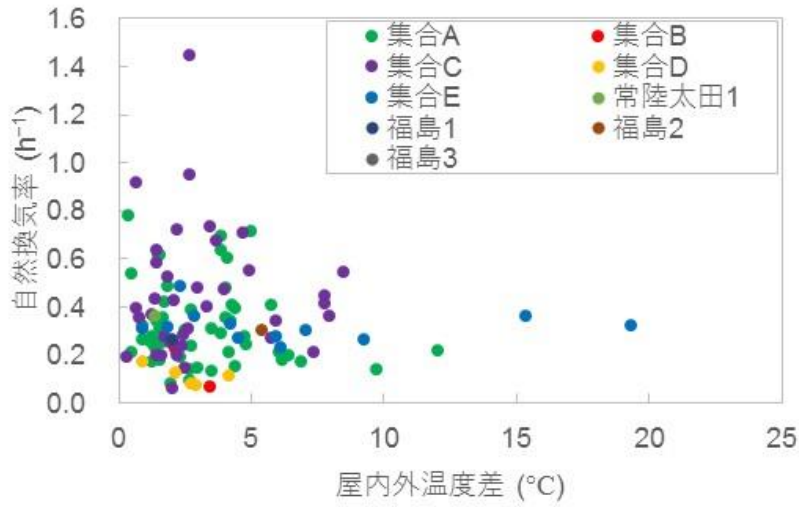


図 3.38 実験で導出した自然換気率と屋内外温度差の関係。風速の影響を小さくするため、地上 10 m での風速が  $3 \text{ m s}^{-1}$  以上のものは除外した。



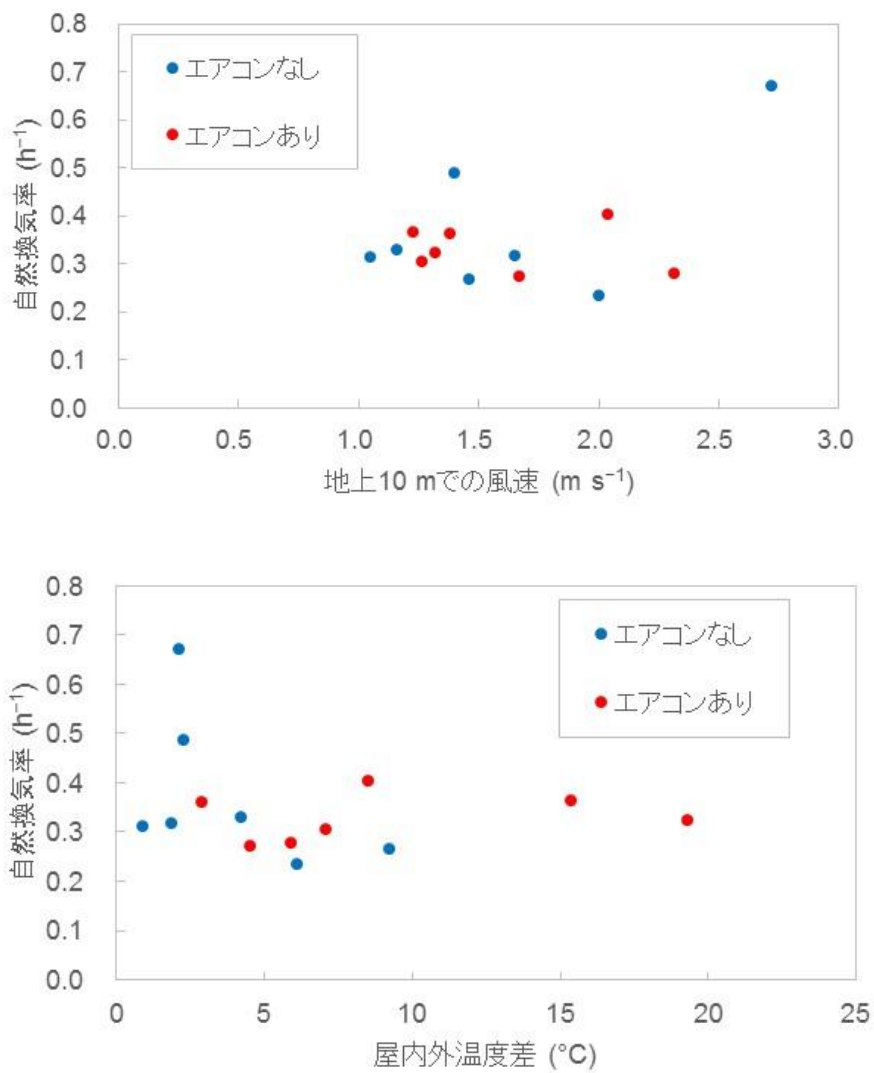


図 3.39 集合 E での自然換気率と風速（上）、自然換気率と屋内外温度差（下）の関係

## (2) 沈着率

集合 C で行った沈着率導出実験の沈着率と粒径の関係を図 3. 40 に示す。福島 1-3 で行った沈着率導出実験の沈着率と粒径の関係を図 3. 41 に示す。集合 C で行った沈着率導出実験の沈着率と自然換気率の関係を図 3. 42 に示す。

集合 C では、沈着率は  $1\ \mu\text{m}$  未満の粒子では概ね  $0.1\ \text{h}^{-1}$  であり、粒径が大きくなるほど、沈着率は大きくなった。福島の戸建住宅では、沈着率は  $1\ \mu\text{m}$  未満の粒子では概ね  $0.4\ \text{h}^{-1}$  であり、粒径が大きくなるほど、沈着率は大きくなった。これら沈着率と粒径の関係は過去の実験結果と同様の結果であった。

福島の戸建住宅で沈着率が集合住宅よりも大きい要因の一つとして、粒子の凝集が考えられる。Yu et al. (2013)は、エアロゾル濃度が  $10^4\ \text{cm}^{-3}$  を超えると、粒子の凝集が顕著になり、沈着率が見かけ上大きくなると示した。集合 C での実験中のエアロゾル濃度は  $10^4\ \text{cm}^{-3}$  未満であり、エアロゾルの凝集の効果は小さいと考えられる。一方、福島戸建住宅での実験中のエアロゾル濃度は  $10^4\ \text{cm}^{-3}$  以上であり、エアロゾルの凝集の効果により、沈着率が大きく推定されたと考えられる。今後沈着実験を行う際には、凝集効果の影響を小さくするため、再浮遊させた後のエアロゾル濃度に留意する必要がある。

図 3. 42 に示されるように、今回測定された範囲内では、沈着率と自然換気率に相関はなかった。

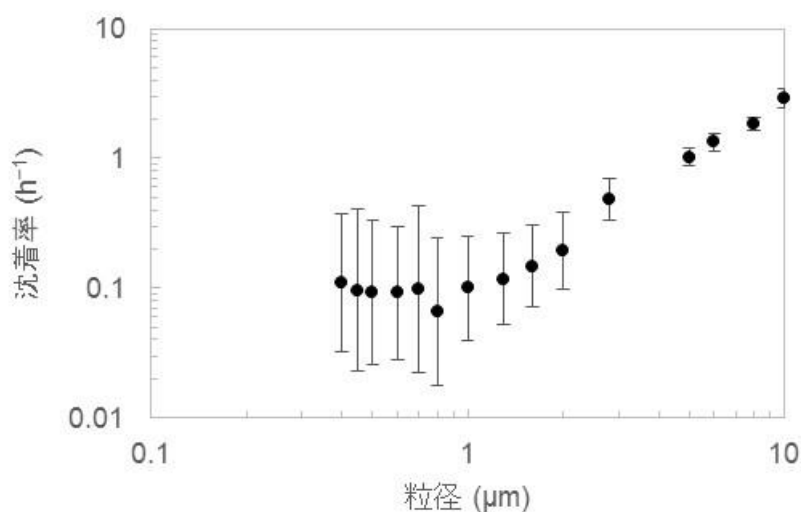


図 3. 40 集合 C での沈着率と粒径の関係

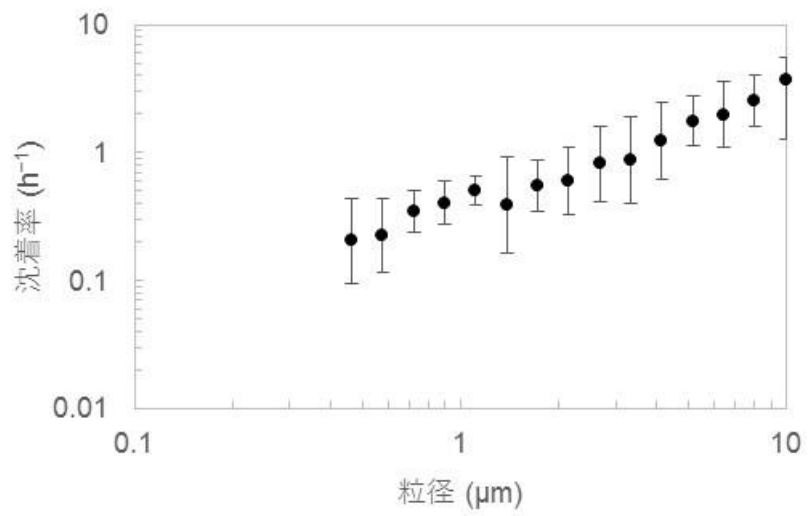


図 3.41 福島戸建住宅での沈着率と粒径の関係

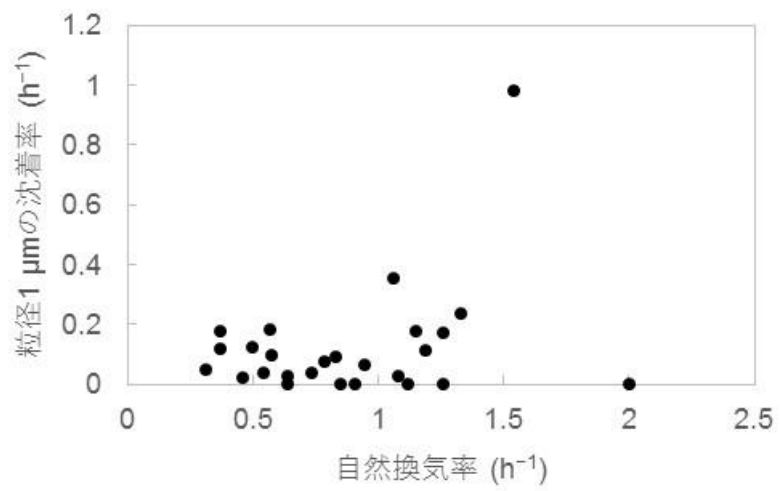


図 3.42 集合 C での粒径 1 μm の沈着率と自然換気率の関係

### (3) 浸透率

図 3.43 に浸透率と自然換気率の関係を示す。福島 1-3 で行った浸透率導出実験の浸透率と粒径の関係を図 3.44 に示す。

粒径  $0.3\text{--}1\ \mu\text{m}$  の粒子では、浸透率は自然換気率によって異なり、 $0.5\text{--}1$  の値であった。浸透率と自然換気率の関係をみると、自然換気率が  $1\text{h}^{-1}$  以上では浸透率が概ね  $1$  であり、 $1\text{h}^{-1}$  以下では自然換気率が小さくなるにつれ、浸透率も小さい。家屋が異なっても、上述した浸透率と自然換気率の関係に顕著な違いがなかった。ただし、戸建住宅に関しては自然換気率が小さい場合 ( $0.8\text{h}^{-1}$  以下) のケースがなく、戸建住宅に対しても同様の傾向があるかは確かではない。

図 3.44 に示されるように、自然換気率が比較的大きい場合のみであるものの、粒径が  $0.3\text{--}1\ \mu\text{m}$  で浸透率は最大値をとり、 $1\ \mu\text{m}$  以上では粒径が大きいくほど浸透率が小さい。この浸透率と粒径の関係は Thatcher et al. (2003) の実家屋実験での結果、他の研究者によって行われたラボ実験結果 (Mcfarland et al., 1997 など) と同様の傾向であった。これらの結果より、浸透率に影響を与える主な因子として自然換気率と粒径が挙げられる。

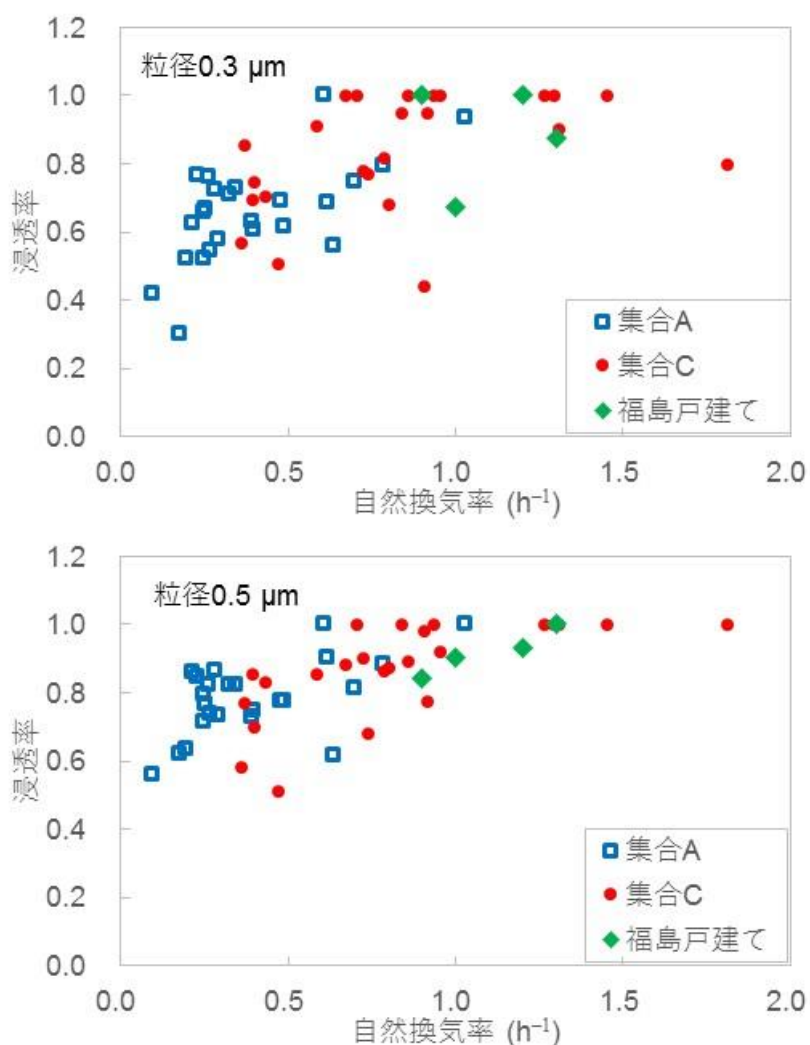


図 3.43 浸透率と自然換気率の関係 (1/2)

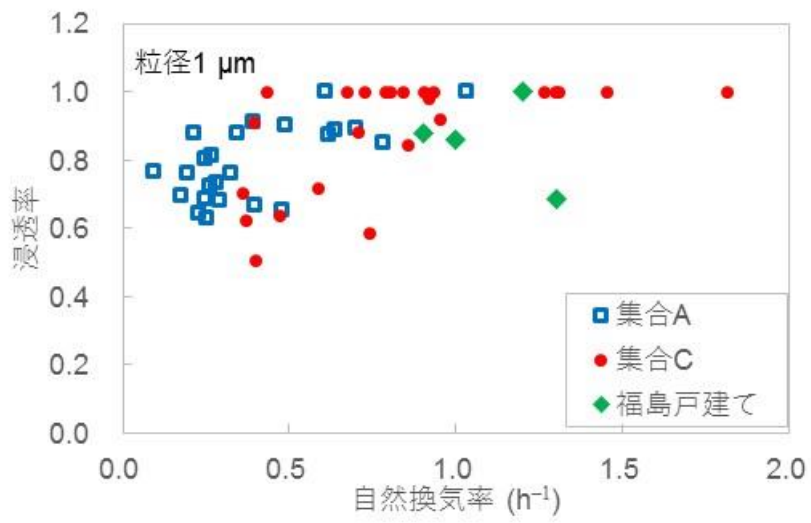


図 3.43 浸透率と自然換気率の関係 (2/2)

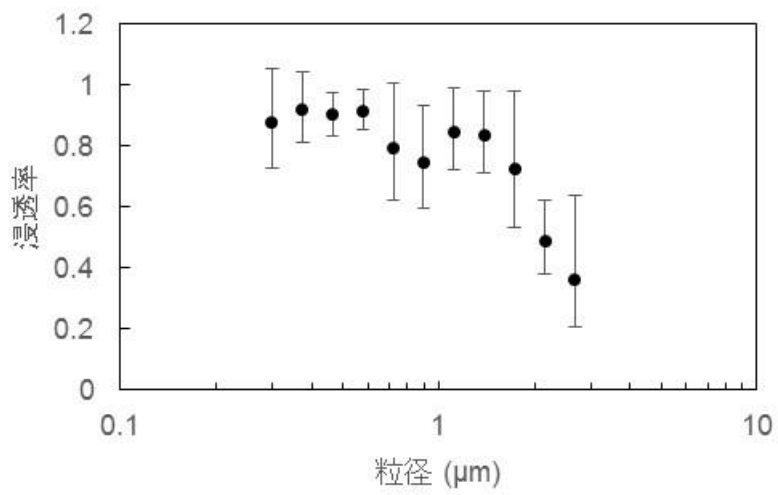


図 3.44 福島戸建てでの浸透率と粒径の関係

### 3.3.6 ラボ実験結果との比較

#### (1) 沈着率

ラボ実験と実家屋実験（福島戸建住宅での実験を除く）で得られた沈着率と粒径の関係を図 3.45 に示す。両方の実験結果のある粒径 0.4–2  $\mu\text{m}$  の範囲を見ると、実家屋実験値は誤差が大きいものの、その平均値はラボ実験値の 3 分の 1 程度である。沈着率は粒径が大きいほど大きい傾向は同様であった。

ラボ実験値と実家屋実験値が異なった要因の一つとして体積表面積の違いが挙げられる。沈着率の理論式 (Okuyama et al., 1985) によると、沈着率は部屋の体積表面積比に依存する。ラボ実験のチャンバーの体積表面積比は  $7 \text{ m}^{-1}$ 、実家屋の体積表面積比は約  $2.1 \text{ m}^{-1}$  であり、体積表面積比は約 3.5 倍異なる。そこで、ラボ実験値を 3.5 で割ることで実家屋と同じ体積表面積比に換算した結果 (図 3.46)、ラボ実験値と実家屋実験値は実験誤差の範囲内で一致した。

以上の結果より、小さなチャンバーでのラボ実験で得られた沈着率を実家屋に適用するには、体積表面積比を考慮する必要性が示された。

#### (2) 浸透率

ラボ実験と実家屋実験で得られた沈着率と自然換気率の関係を図 3.47 に示す。両実験とも浸透率は自然換気率が大きいほど 1 に近づく傾向は同様であった。ラボ実験値は実家屋実験値と誤差の範囲で一致しているものの、自然換気率が小さくなるにつれ、ラボ実験値は実家屋実験値よりも小さい値を取り、その差は大きくなっている。この要因の一つとして、実家屋ではラボ実験で考慮していない隙間からの粒子の侵入があったと考えられる。浸透率は様々な隙間からの平均で表されると考えられる。ラボ実験で対象とした窓枠の浸透率は実家屋で考慮していない隙間の浸透率よりも小さかったため、ラボ実験値は実家屋よりも小さくなった可能性がある。

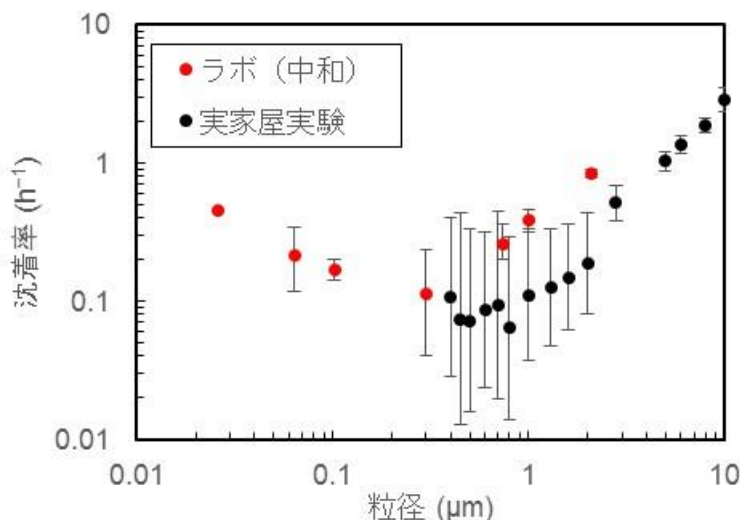


図 3.45 ラボ実験と実家屋実験で得られた沈着率と粒径の関係の比較

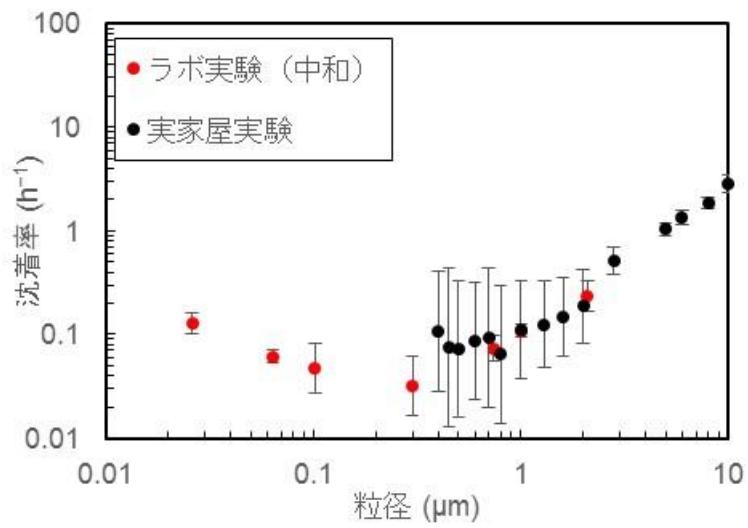


図 3.46 ラボ実験と実家屋実験で得られた沈着率と粒径の関係の比較。ラボ実験値を実家屋と同様の体積表面積比に換算するため、全体を 3.5 で除した。

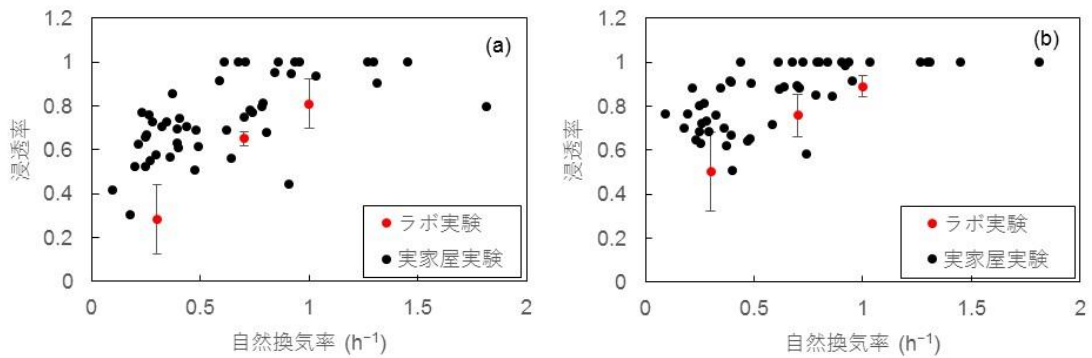


図 3.47 ラボ実験と実家屋実験で得られた浸透率と自然換気率の関係の比較。(a) 粒径  $0.3 \mu\text{m}$  と  $0.4 \mu\text{m}$ 、(b) 粒径  $1 \mu\text{m}$ 。

### 3.4 吸入被ばく低減効果の解析

#### 3.4.1 条件設定

本事業では、CP モデルで十分に空気交換を表せることから、そのモデルを用いて屋内退避による吸入被ばく低減効果の解析を行った。想定する核種は主に I-131 であり、ヨウ素の物理・化学形状を元素状ヨウ素 ( $I_2$ )、有機状ヨウ素 ( $CH_3I$ )、粒子状ヨウ素の三種類に分類して解析を行った。さらに表 2.8 に示した核種組成についても解析を行った。表 2.8 に示した核種組成に関して解析を行った場合と I-131 のみの場合の被ばく低減係数の差異は 0.02 程度であったため、本稿では I-131 のみの場合を示す。付録 4 に表 2.8 に示した核種組成を使用した場合の解析結果を示す。

本事業では屋内退避による吸入被ばくの低減効果を表す尺度として線量比 (以下、被ばく低減係数) を用いた。被ばく低減係数の定義は核種  $i$  の空气中放射能濃度のプルーム通過開始から時刻  $t$  までの積分値 ( $S_i(t)$ ) に吸入摂取による甲状腺等価線量への換算係数 ( $e_i$ ) をかけた値の屋内と屋外の比  $D_{in}(t)/D_{out}(t)$  である。なお、プルーム通過開始時から常に窓等は閉め切った状態を保った場合の計算である。

$$\frac{D_{in}(t)}{D_{out}(t)} = \frac{\sum_i S_{i,in}(t) \cdot e(i)}{\sum_i S_{i,out}(t) \cdot e(i)} \quad (3.7)$$

各核種の  $e_i$  は ICRP Publ. 119 の値を用いた (表 3.12)。本事業では、1 歳児の甲状腺等価線量の比を計算したが、大人の甲状腺等価線量の比を計算しても、線量比の差異は 0.01 程度であった。屋内の放射能積分値  $S_{i,in}(t)$  と屋外の放射能積分値  $S_{i,out}(t)$  は以下の手順で導出される。

CP モデルから屋内の放射能濃度  $C_I$  は次式で表される。

$$\frac{dC_I}{dt} = P\lambda_e C_0 - (\lambda_e + \lambda_d + \lambda) \cdot C_I \quad (3.8)$$

ここで、

$C_0$  : 屋外の放射能濃度 ( $Bq\ m^{-3}$ )

$\lambda_e$  : 自然換気率 ( $h^{-1}$ )

$\lambda_d$  : 屋内での沈着率 ( $h^{-1}$ )

$\lambda$  : 壊変定数 ( $h^{-1}$ )

$P$  : 浸透率 (-)

である。式 (3.8) の解析解は

$$C_I = \frac{\lambda_{in} \cdot C_0}{\lambda_{out}} [1 - \exp(-\lambda_{out} t)] \quad (\text{プルーム通過時: } 0 \leq t \leq T_1) \quad (3.9)$$

$$C_I = \frac{\lambda_{in} \cdot C_0}{\lambda_{out}} [1 - \exp(-\lambda_{out} T_1)] \cdot \exp[-\lambda_{out}(t - T_1)] \quad (\text{プルーム通過後: } T_1 \leq t) \quad (3.10)$$

$$\lambda_{in} = P\lambda_e \quad (3.11)$$

$$\lambda_{out} = \lambda_e + \lambda_d + \lambda \quad (3.12)$$

と表せる。ここで、 $t=0$  はプルーム通過開始時刻、 $T_1$  はプルーム通過継続時間 (h) である。プルーム通過時の屋内の積算放射能濃度  $S_I$  (式 (3.9) を時間 0 から  $T_1$  まで積分した値) は

$$S_1 = \frac{\lambda_{in} \cdot C_0}{\lambda_{out}} \left[ T_1 - \frac{1}{\lambda_{out}} (1 - \exp(-\lambda_{out} T_1)) \right] \quad (3.13)$$

と表せ、プルーム通過後の屋内の積算放射能濃度  $S_2(t)$  (式 (3.10) を時間  $T_1$  から  $t$  まで積分した



値) は

$$S_2(t) = \frac{\lambda_{in} \cdot C_0}{\lambda_{out}^2} [1 - \exp(-\lambda_{out} T_1)] [1 - \exp(-\lambda_{out}(t - T_1))] \quad (3.14)$$

と表せる。式 (3.13) と式 (3.14) の和より、プルーム通過による屋内の積算放射能濃度  $S_{in}(t)$  は次式で表せる。

$$S_{in}(t) = S_1 + S_2(t) = \frac{\lambda_{in} \cdot C_0}{\lambda_{out}} T_1 + \frac{\lambda_{in} \cdot C_0}{\lambda_{out}^2} [\exp(-\lambda_{out} t) - \exp(-\lambda_{out}(t - T_1))] \quad (3.15)$$

プルーム通過時の屋外の積算放射能濃度  $S_{out}$  は、

$$S_{out} = C_0 T_1 \quad (3.16)$$

と表される。

被ばく低減係数を求めるために、屋内の放射能濃度の時間変化が必要である。屋内の放射能濃度を導出するために必要な自然換気率、沈着率、浸透率は以下の手順で導出した。

自然換気率の導出手順は以下の通りである。①日本の原子力発電所立地付近の実際の風速をランダムに 1 日間抜き出した。②1 時間ごとに風速の 1 時間平均値から赤林他 (1994) の関係図を用いて自然換気率を導出した。③1 時間ごとに求めた自然換気率の 1 日間の平均値を被ばく低減係数導出のために使用した。ここで実験調査と文献調査の結果から、自然換気率は大きく分けて 3 タイプに分類される。①建築年が 1980 年以前の木造家屋 (以降、1980 年以前の木造家屋)、②建築年が 1981-1992 年の木造家屋と、建築年が 1992 年以前のコンクリート家屋、集合住宅 (以降、1981-1992 年の家屋)、③建築年が 1993 年以降の木造家屋、コンクリート家屋、集合住宅 (以降、1993 年以降の家屋)。本事業では、この 3 種の家屋について被ばく低減係数の評価を行う。

沈着率は粒子状物質の場合、実家屋実験で得られた粒径  $0.3 \mu\text{m}$  の沈着率の幾何平均値 ( $0.1 \text{h}^{-1}$ ) を用いた。 $\text{CH}_3\text{I}$  は、反応性の低いガス状物質と扱われるため、沈着率は  $0 \text{h}^{-1}$  とした。 $\text{I}_2$  の場合、ラボ実験で粒子状物質に比べて沈着率が約 3 倍と示されたため、 $0.3 \text{h}^{-1}$  を用いた。

浸透率は粒子状物質の場合、実家屋実験で得られた粒径  $0.3 \mu\text{m}$  の浸透率と自然換気率の実験式 (浸透率 =  $0.5 \times$  自然換気率 +  $0.5$ ) から求めた。 $\text{CH}_3\text{I}$  は、反応性の低いガス状物質と扱われるため、浸透率は 1 とした。 $\text{I}_2$  の場合、ラボ実験で示された浸透率の粒子状物質と  $\text{I}_2$  の関係図 (図 3.31) を用いて、粒子状物質の浸透率から  $\text{I}_2$  の浸透率を求めた。

その他の条件として、プルーム通過継続時間は福島第一原子力発電所事故時のモニタリングポストの線量率の時間変化から 15-60 分とした。

プルーム中ヨウ素の物理・化学形状の組成は 3.1.5(1) に示されるように事故シナリオ、事故からの経過時間、測定地点によって異なる。本事業では極端な例として全て粒子状の場合と全て不活性なガス状の場合を計算した。さらに  $\text{I}_2$  が含まれる例として、過去の原子力発電所事故時に測定された範囲内である  $\text{I}_2:\text{CH}_3\text{I}$ :粒子状 = 1:1:1 についても計算した。

屋外の放射能濃度はプルーム通過期間中では計算上常に全て合わせて一定濃度の  $1 \text{Bq m}^{-3}$  とし、プルーム通過後瞬時に  $0 \text{Bq m}^{-3}$  になるとした。

表 3.12 各核種の半減期と放射能から吸入摂取による甲状腺等価線量への換算係数（1 歳児、粒径 0.3 μm）（ICRP, 1995, 2012）

核種	壊変定数 (h <sup>-1</sup> )	粒子状のタイプ*または化学形態	甲状腺等価線量 (Sv Bq <sup>-1</sup> )
Zr-95	4.5 × 10 <sup>-4</sup>	M	2.5 × 10 <sup>-9</sup>
Nb-95m	8.0 × 10 <sup>-3</sup>	M	1.3 × 10 <sup>-10</sup>
Nb-95	8.2 × 10 <sup>-4</sup>	M	1.0 × 10 <sup>-9</sup>
Mo-99	1.1 × 10 <sup>-2</sup>	M	1.4 × 10 <sup>-10</sup>
Tc-99m	1.2 × 10 <sup>-1</sup>	M	5.7 × 10 <sup>-11</sup>
Ru-103	7.4 × 10 <sup>-4</sup>	M	1.0 × 10 <sup>-9</sup>
Rh-103m	7.4 × 10 <sup>-1</sup>	M	8.0 × 10 <sup>-14</sup>
Sb-127	7.5 × 10 <sup>-3</sup>	M	2.0 × 10 <sup>-10</sup>
Te-131	1.7	M	4.6 × 10 <sup>-10</sup>
Te-132	8.9 × 10 <sup>-3</sup>	M	5.3 × 10 <sup>-8</sup>
I-131	3.6 × 10 <sup>-3</sup>	CH <sub>3</sub> I	2.5 × 10 <sup>-6</sup>
I-131	3.6 × 10 <sup>-3</sup>	I <sub>2</sub>	3.2 × 10 <sup>-6</sup>
I-131	3.6 × 10 <sup>-3</sup>	F	1.4 × 10 <sup>-6</sup>
I-132	3.0 × 10 <sup>-1</sup>	CH <sub>3</sub> I	3.3 × 10 <sup>-8</sup>
I-132	3.0 × 10 <sup>-1</sup>	I <sub>2</sub>	3.8 × 10 <sup>-8</sup>
I-132	3.0 × 10 <sup>-1</sup>	F	1.6 × 10 <sup>-8</sup>
I-133	3.3 × 10 <sup>-2</sup>	CH <sub>3</sub> I	6.3 × 10 <sup>-7</sup>
I-133	3.3 × 10 <sup>-2</sup>	I <sub>2</sub>	8.0 × 10 <sup>-7</sup>
I-133	3.3 × 10 <sup>-2</sup>	F	3.5 × 10 <sup>-7</sup>
I-134	7.9 × 10 <sup>-1</sup>	CH <sub>3</sub> I	7.3 × 10 <sup>-9</sup>
I-134	7.9 × 10 <sup>-1</sup>	I <sub>2</sub>	7.3 × 10 <sup>-9</sup>
I-134	7.9 × 10 <sup>-1</sup>	F	3.1 × 10 <sup>-9</sup>
I-135	1.0 × 10 <sup>-1</sup>	CH <sub>3</sub> I	1.3 × 10 <sup>-7</sup>
I-135	1.0 × 10 <sup>-1</sup>	I <sub>2</sub>	1.6 × 10 <sup>-7</sup>
I-135	1.0 × 10 <sup>-1</sup>	F	7.0 × 10 <sup>-8</sup>
Cs-134	3.8 × 10 <sup>-5</sup>	F	6.3 × 10 <sup>-9</sup>
Cs-136	2.2 × 10 <sup>-3</sup>	F	3.9 × 10 <sup>-9</sup>
Cs-137	2.6 × 10 <sup>-6</sup>	F	4.4 × 10 <sup>-9</sup>
Ba-140	2.3 × 10 <sup>-3</sup>	M	1.4 × 10 <sup>-9</sup>
La-140	1.7 × 10 <sup>-2</sup>	M	3.0 × 10 <sup>-10</sup>
Np-239	1.2 × 10 <sup>-2</sup>	M	4.2 × 10 <sup>-11</sup>

\*粒子状の場合、Type F, M, S の 3 タイプに分類されている。本事業では ICRP が推奨しているタイプ、または保守的な結果となるタイプを対象とした。

### 3.4.2 解析結果

被ばく低減係数の時間変化を図 3. 48 に示す。各条件で求めた被ばく低減係数と風速の関係を図 3. 49–図 3. 58 に示す。各条件で求めたプルーム通過開始からの経過時間ごと被ばく低減係数を表 3. 13–表 3. 15 に示す。次に、プルーム通過継続時間、プルーム通過開始からの経過時間、風速、屋内外の温度差、建蔽率、物理・化学形状の組成の違いによる低減効果への影響について解析した結果を記す。

#### (1) プルーム通過継続時間とプルーム通過開始からの経過時間

図 3. 48 と図 3. 49 に示されるように、自然換気率が  $0.1\text{--}1.0\text{ h}^{-1}$  の変動幅を持ったとしても、プルーム通過開始から 3 時間以上経過すれば、プルーム通過継続時間が異なっても、被ばく低減係数は変わらない。被ばく低減係数はプルーム通過継続時間にあまり依存しないので、仮に 30 分とした場合の値を表 3. 13–表 3. 15 に示す。

図 3. 48 に示されるように、プルーム通過開始からの経過時間が長くなるにつれ、被ばく低減係数はある一定値に近づく。この一定値を決定するのは、自然換気率、沈着率、浸透率の値である。一定値に近づくまでの時間は自然換気率が大きいほど短い。自然換気率が  $0.5\text{ h}^{-1}$  程度であれば、被ばく低減係数はプルーム通過開始から 6 時間後で、ある一定値に収束する。自然換気率が  $0.1\text{ h}^{-1}$  の場合、プルーム通過開始から 6 時間後での被ばく低減係数はある一定値の半分程度である。

#### (2) 風速

風速が大きいほど、家屋内外の圧力差が大きくなり、自然換気率が大きくなり、ともに浸透率も大きくなる。建築年の新しい家屋では、風速の違いによる自然換気率の差異は小さいものの、自然換気率が  $1\text{ h}^{-1}$  を下回っており、風速の違いによる浸透率の差異が大きくなる。そのため、新しい家屋ほど風速の違いによる被ばく低減係数への影響は大きくなる。ヨウ素の組成比を  $\text{I}_2:\text{CH}_3\text{I}$  粒子状=1:1:1、温度差  $0^\circ\text{C}$ 、建蔽率 0% の条件で、風速が地域による風速中央値の変動幅である  $1\text{--}4\text{ m s}^{-1}$  異なった場合、建築年 1980 年以前の木造家屋 (図 3. 50 (a)) では、被ばく低減係数は  $0.5\text{--}0.9$  の値をとり、1981–1992 年の家屋 (図 3. 50 (b)) では、被ばく低減係数は  $0.2\text{--}0.7$  の値をとり、1993 年以降の家屋 (図 3. 50 (c)) では、被ばく低減係数は  $0.1\text{--}0.4$  の値をとる。

#### (3) 屋内外の温度差

温度差が大きいほど、家屋内外の圧力差が大きくなり、自然換気率が大きくなる。特に風速が弱いほど、温度差による自然換気率への影響が大きい。さらに建築年が新しい家屋ほど、温度差による自然換気率への影響が大きい。ヨウ素の組成比を  $\text{I}_2:\text{CH}_3\text{I}$  粒子状=1:1:1、建蔽率 0%、風速  $2\text{ m s}^{-1}$  の条件で温度差が  $0\text{--}20^\circ\text{C}$  異なった場合、建築年 1980 年以前の木造家屋 (図 3. 50 (a)) では、被ばく低減係数は約 0.9 であり、温度差による差異はほとんどなく、1981–1992 年の家屋 (図 3. 50 (b)) では、被ばく低減係数は  $0.4\text{--}0.6$  の値をとり、1993 年以降の家屋 (図 3. 50 (c)) では、被ばく低減係数は  $0.2\text{--}0.4$  の値をとる。

#### (4) 建蔽率

建蔽率が大きくなるほど、住宅の高さでの風速がより小さくなるため、自然換気率が小さくなり、ともに浸透率も小さくなる。温度差  $0^\circ\text{C}$ 、風速  $2\text{ m s}^{-1}$  の条件で建蔽率が  $0\text{--}40\%$  異なった場合、建築年 1980 年以前の木造家屋 (図 3. 50–図 3. 52 (a)) では、被ばく低減係数は  $0.2\text{--}0.9$  の値をとり、1981–1992 年の家屋 (図 3. 50–図 3. 52 (b)) では、被ばく低減係数は  $0.1\text{--}0.4$  の値をとり、1993 年以降の家屋 (図 3. 50–図 3. 52 (c)) では、被ばく低減係数は  $0.1\text{--}0.3$  の値をとる。なお、温度

差  $20^{\circ}\text{C}$ 、風速  $2\text{ m s}^{-1}$  の条件で建蔽率が  $0\text{--}40\%$  異なった場合、建築年 1980 年以前の木造家屋 (図 3.50–図 3.52 (a)) では、被ばく低減係数は約 0.9 であり、建蔽率による差異はほとんどなく、1981–1992 年の家屋 (図 3.50–図 3.52 (b)) では、被ばく低減係数は  $0.5\text{--}0.6$  の値をとり、1993 年以降の家屋 (図 3.50–図 3.52 (c)) では、被ばく低減係数は  $0.3\text{--}0.4$  の値をとり、被ばく低減係数の差異が小さくなる。

#### (5) 物理・化学形状の組成

不活性なガス状の割合が多くなると、床面等への沈着とフィルタリングの影響を受けないため、低減係数は大きくなる。温度差  $0^{\circ}\text{C}$ 、風速  $2\text{ m s}^{-1}$ 、建蔽率  $0\%$  の条件では、建築年 1980 年以前の木造家屋 (図 3.50、図 3.53、図 3.56 (a)) では、核種組成の違いにより被ばく低減係数は  $0.8\text{--}1$  の値をとり、1981–1992 年の家屋 (図 3.50、図 3.53、図 3.56 (b)) では、被ばく低減係数は  $0.4\text{--}0.8$  の値をとり、1993 年以降の家屋 (図 3.50、図 3.53、図 3.56 (c)) では、被ばく低減係数は  $0.2\text{--}0.5$  の値をとる。なお、全て不活性なガス状の場合、放射性物質がいったん屋内に侵入し、プルーム通過後に窓を開ける等をしなければ、いずれ被ばく低減係数は 1 になる。

表 3.13 I<sub>2</sub>:CH<sub>3</sub>I:粒子状=1:1:1 としたときの、プルーム通過開始からの経過時間ごとの被ばく低減係数。プルーム通過継続時間 30 分。

建蔽率 (%)	屋内外温度差 (°C)	風速 (m s <sup>-1</sup> )	プルーム通過開始からの経過時間 (h)														
			1980 年以前の木造家屋					1981-1992 年の家屋					1993 年以降の家屋				
			1	3	6	12	24	1	3	6	12	24	1	3	6	12	24
0	0	1	0.17	0.41	0.52	0.55	0.55	0.03	0.09	0.17	0.26	0.35	0.02	0.07	0.13	0.22	0.31
		2	0.50	0.84	0.87	0.88	0.88	0.11	0.30	0.42	0.48	0.49	0.04	0.14	0.23	0.33	0.40
		4	0.76	0.93	0.94	0.94	0.94	0.34	0.64	0.71	0.71	0.71	0.11	0.30	0.42	0.48	0.49
	20	1	0.55	0.86	0.89	0.89	0.89	0.15	0.37	0.48	0.52	0.53	0.06	0.18	0.29	0.38	0.43
		2	0.65	0.91	0.91	0.91	0.91	0.23	0.51	0.59	0.61	0.61	0.09	0.24	0.36	0.44	0.47
		4	0.87	0.95	0.95	0.95	0.95	0.50	0.84	0.87	0.88	0.88	0.20	0.45	0.55	0.57	0.57
20	0	1	0.08	0.22	0.34	0.43	0.46	0.02	0.06	0.11	0.19	0.28	0.02	0.06	0.11	0.19	0.28
		2	0.16	0.39	0.50	0.54	0.54	0.04	0.14	0.23	0.33	0.40	0.02	0.07	0.13	0.22	0.31
		4	0.42	0.74	0.79	0.79	0.79	0.11	0.30	0.42	0.48	0.49	0.04	0.12	0.20	0.30	0.38
	20	1	0.54	0.86	0.89	0.89	0.89	0.16	0.39	0.50	0.54	0.54	0.05	0.17	0.27	0.37	0.42
		2	0.56	0.87	0.89	0.89	0.89	0.16	0.39	0.50	0.54	0.54	0.06	0.18	0.29	0.38	0.43
		4	0.62	0.89	0.91	0.91	0.91	0.20	0.45	0.55	0.57	0.57	0.08	0.23	0.35	0.44	0.46
40	0	1	0.02	0.07	0.13	0.22	0.31	0.02	0.06	0.11	0.19	0.28	0.02	0.06	0.11	0.19	0.28
		2	0.06	0.18	0.29	0.38	0.43	0.03	0.09	0.17	0.26	0.35	0.02	0.06	0.11	0.19	0.28
		4	0.15	0.37	0.48	0.52	0.53	0.05	0.15	0.25	0.35	0.41	0.02	0.07	0.13	0.22	0.31
	20	1	0.50	0.84	0.87	0.88	0.88	0.16	0.38	0.49	0.53	0.53	0.05	0.17	0.27	0.37	0.42
		2	0.50	0.84	0.87	0.88	0.88	0.16	0.38	0.49	0.53	0.53	0.05	0.17	0.27	0.37	0.42
		4	0.50	0.84	0.87	0.88	0.88	0.16	0.40	0.51	0.54	0.54	0.06	0.19	0.30	0.39	0.44

表 3.14 核種を全て粒子状としたときの、プルーム通過開始からの経過時間ごとの被ばく低減係数。プルーム通過継続時間 30 分。

建蔽率 (%)	屋内外温度差 (°C)	風速 (m s <sup>-1</sup> )	プルーム通過開始からの経過時間 (h)														
			1980 年以前の木造家屋					1981-1992 年の家屋					1993 年以降の家屋				
			1	3	6	12	24	1	3	6	12	24	1	3	6	12	24
0	0	1	0.19	0.45	0.56	0.58	0.58	0.03	0.09	0.15	0.21	0.23	0.02	0.07	0.12	0.17	0.19
		2	0.50	0.86	0.91	0.91	0.91	0.13	0.32	0.44	0.48	0.48	0.05	0.14	0.22	0.28	0.30
		4	0.77	0.95	0.95	0.95	0.95	0.37	0.70	0.77	0.77	0.77	0.13	0.32	0.44	0.48	0.48
	20	1	0.56	0.89	0.92	0.92	0.92	0.16	0.40	0.51	0.54	0.54	0.06	0.18	0.28	0.34	0.35
		2	0.66	0.93	0.94	0.94	0.94	0.26	0.56	0.65	0.66	0.66	0.09	0.25	0.36	0.42	0.42
		4	0.88	0.97	0.97	0.97	0.97	0.50	0.86	0.91	0.91	0.91	0.22	0.50	0.60	0.61	0.62
20	0	1	0.08	0.23	0.34	0.40	0.41	0.02	0.06	0.10	0.14	0.17	0.02	0.06	0.10	0.14	0.17
		2	0.18	0.43	0.53	0.56	0.56	0.05	0.14	0.22	0.28	0.30	0.02	0.07	0.12	0.17	0.19
		4	0.44	0.79	0.84	0.85	0.85	0.13	0.32	0.44	0.48	0.48	0.04	0.12	0.19	0.25	0.27
	20	1	0.55	0.89	0.92	0.92	0.92	0.18	0.43	0.53	0.56	0.56	0.06	0.17	0.26	0.32	0.34
		2	0.57	0.90	0.92	0.92	0.92	0.18	0.43	0.53	0.56	0.56	0.06	0.18	0.28	0.34	0.35
		4	0.63	0.92	0.93	0.93	0.93	0.22	0.50	0.60	0.61	0.62	0.09	0.24	0.35	0.41	0.42
40	0	1	0.02	0.07	0.12	0.17	0.19	0.02	0.06	0.10	0.14	0.17	0.02	0.06	0.10	0.14	0.17
		2	0.06	0.18	0.28	0.34	0.35	0.03	0.09	0.15	0.21	0.23	0.02	0.06	0.10	0.14	0.17
		4	0.16	0.40	0.51	0.54	0.54	0.05	0.15	0.23	0.29	0.31	0.02	0.07	0.12	0.17	0.19
	20	1	0.50	0.86	0.91	0.91	0.91	0.17	0.42	0.53	0.56	0.56	0.06	0.17	0.26	0.32	0.34
		2	0.50	0.86	0.91	0.91	0.91	0.17	0.42	0.53	0.56	0.56	0.06	0.17	0.26	0.32	0.34
		4	0.50	0.86	0.91	0.91	0.91	0.18	0.43	0.54	0.57	0.57	0.07	0.19	0.29	0.35	0.36

表 3.15 核種を全てガス状としたときの、プルーム通過開始からの経過時間ごとの被ばく低減係数。プルーム通過継続時間 30 分。

建蔽率 (%)	屋内外温度差 (°C)	風速 (m s <sup>-1</sup> )	プルーム通過開始からの経過時間 (h)														
			1980 年以前の木造家屋					1981-1992 年の家屋					1993 年以降の家屋				
			1	3	6	12	24	1	3	6	12	24	1	3	6	12	24
0	0	1	0.28	0.70	0.92	0.99	0.99	0.06	0.20	0.37	0.60	0.83	0.04	0.15	0.29	0.50	0.74
		2	0.52	0.93	0.99	1.00	1.00	0.20	0.56	0.82	0.96	0.99	0.09	0.28	0.49	0.74	0.92
		4	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	0.43	0.87	0.98	1.00	1.00	0.20	0.56	0.82	0.96	0.99
	20	1	0.57	0.96	1.00	1.00	1.00	0.25	0.65	0.88	0.98	0.99	0.11	0.35	0.60	0.84	0.96
		2	0.68	0.99	1.00	1.00	1.00	0.34	0.79	0.96	0.99	0.99	0.16	0.47	0.73	0.92	0.98
		4	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	0.52	0.93	0.99	1.00	1.00	0.30	0.74	0.94	0.99	0.99
20	0	1	0.14	0.44	0.70	0.90	0.98	0.04	0.13	0.25	0.44	0.67	0.04	0.13	0.25	0.44	0.67
		2	0.26	0.67	0.90	0.98	0.99	0.09	0.28	0.49	0.74	0.92	0.04	0.15	0.29	0.50	0.74
		4	0.48	0.91	0.99	1.00	1.00	0.20	0.56	0.82	0.96	0.99	0.07	0.24	0.43	0.68	0.88
	20	1	0.56	0.95	1.00	1.00	1.00	0.26	0.67	0.90	0.98	0.99	0.11	0.34	0.57	0.82	0.95
		2	0.59	0.96	1.00	1.00	1.00	0.26	0.67	0.90	0.98	0.99	0.11	0.35	0.60	0.84	0.96
		4	0.65	0.98	1.00	1.00	1.00	0.30	0.74	0.94	0.99	0.99	0.15	0.45	0.71	0.91	0.98
40	0	1	0.04	0.15	0.29	0.50	0.74	0.04	0.13	0.25	0.44	0.67	0.04	0.13	0.25	0.44	0.67
		2	0.11	0.35	0.60	0.84	0.96	0.06	0.20	0.37	0.60	0.83	0.04	0.13	0.25	0.44	0.67
		4	0.25	0.65	0.88	0.98	0.99	0.09	0.30	0.52	0.77	0.93	0.04	0.15	0.29	0.50	0.74
	20	1	0.52	0.93	0.99	1.00	1.00	0.26	0.66	0.89	0.98	0.99	0.11	0.34	0.57	0.82	0.95
		2	0.52	0.93	0.99	1.00	1.00	0.26	0.66	0.89	0.98	0.99	0.11	0.34	0.57	0.82	0.95
		4	0.52	0.93	0.99	1.00	1.00	0.27	0.68	0.91	0.99	0.99	0.12	0.37	0.62	0.85	0.96

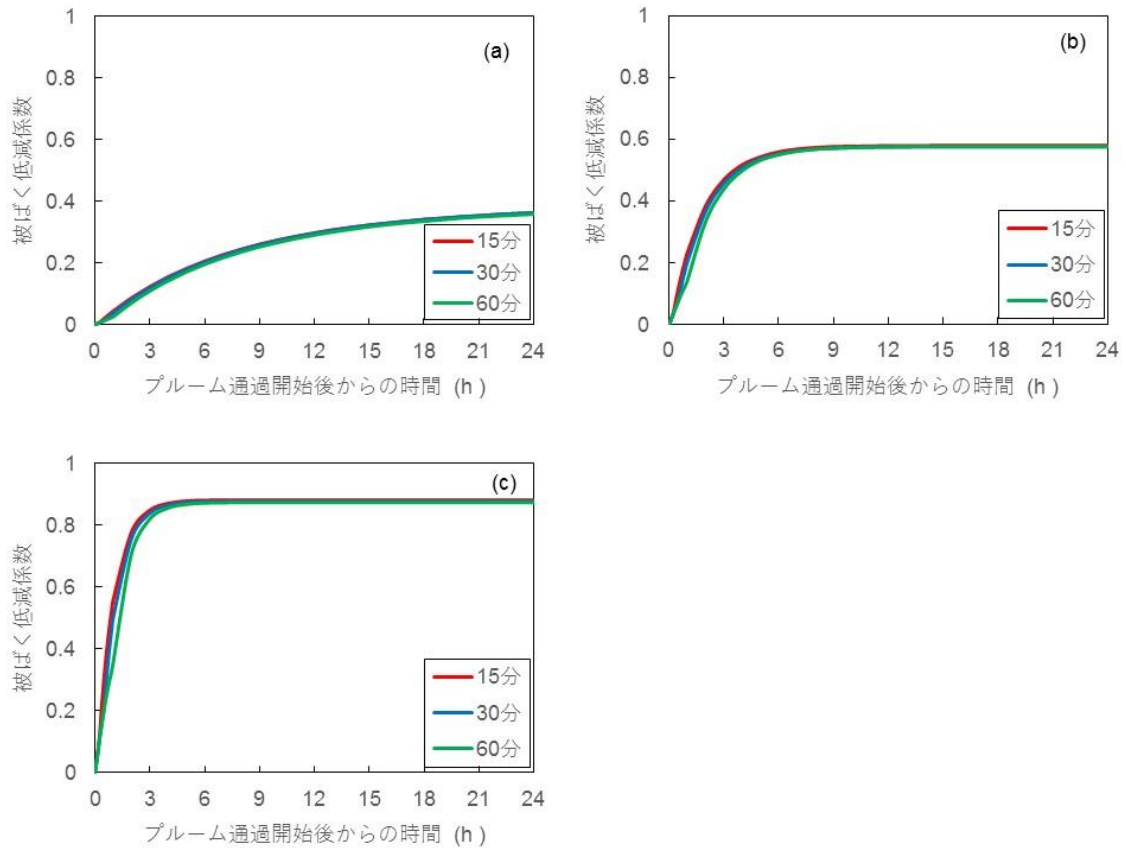


図 3.48 被ばく低減係数の時間変化。(a) 自然換気率=0.1 h<sup>-1</sup>、(b) 自然換気率=0.5 h<sup>-1</sup>、(c) 自然換気率=1.0 h<sup>-1</sup>。ヨウ素の物理・化学形状の組成は I<sub>2</sub>:CH<sub>3</sub>I:粒子状=1:1:1。凡例の時間はプルーム通過継続時間を表す。

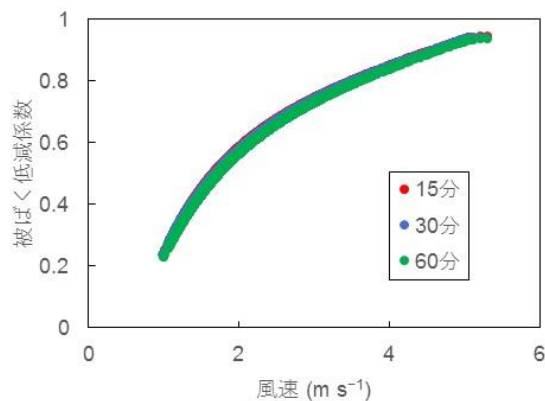


図 3.49 3つの異なるプルーム通過継続時間に対するプルーム通過開始から6時間後の被ばく低減係数と風速の関係。ヨウ素の物理・化学形状の組成は I<sub>2</sub>:CH<sub>3</sub>I:粒子状=1:1:1。1981-1992年の家屋、屋内外温度差0℃、建蔽率0%の条件で導出したもの。



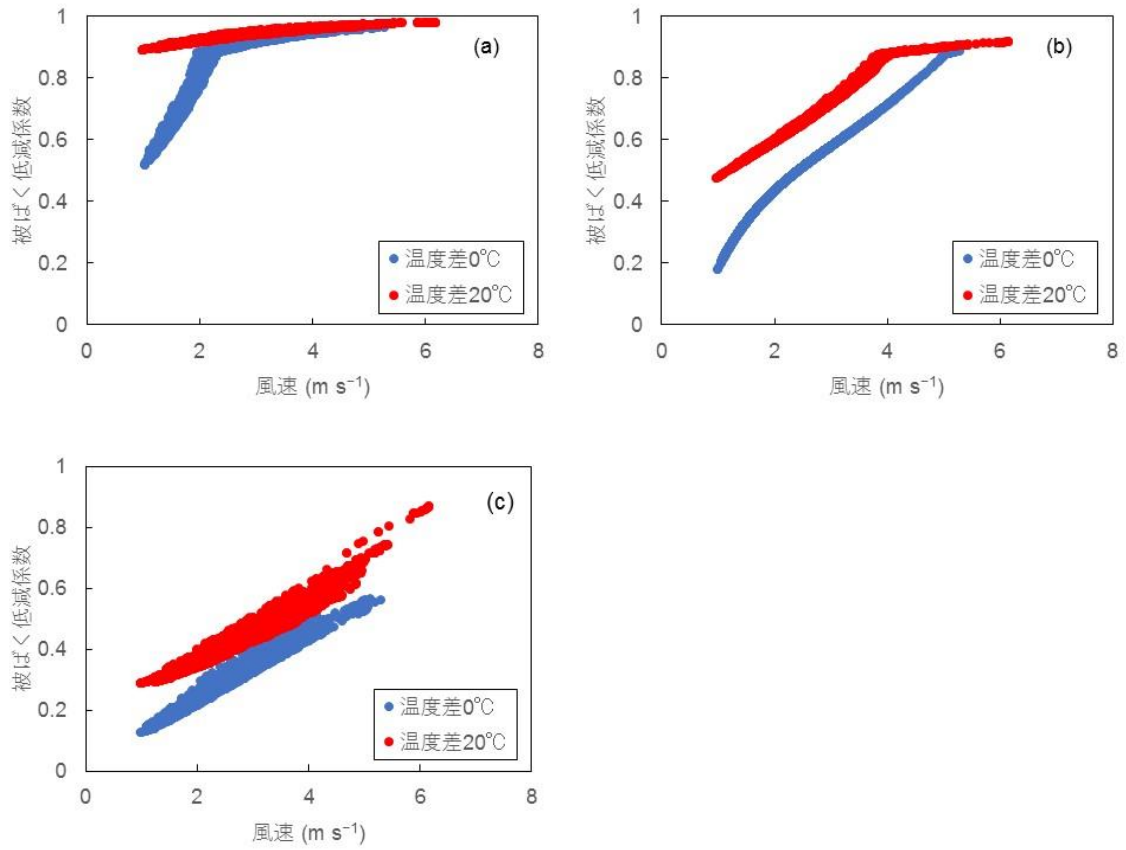


図 3.50 ヨウ素の物理・化学形状の組成を  $\text{I}_2:\text{CH}_3\text{I}$  粒子状=1:1:1、建蔽率 0%、プルーム継続時間 30 分としたときの、温度差ごとのプルーム通過開始から 6 時間後の被ばく低減係数と風速の関係。(a) 1980 年以前の木造家屋、(b) 1981-1992 年の家屋、(c) 1993 年以降の家屋。

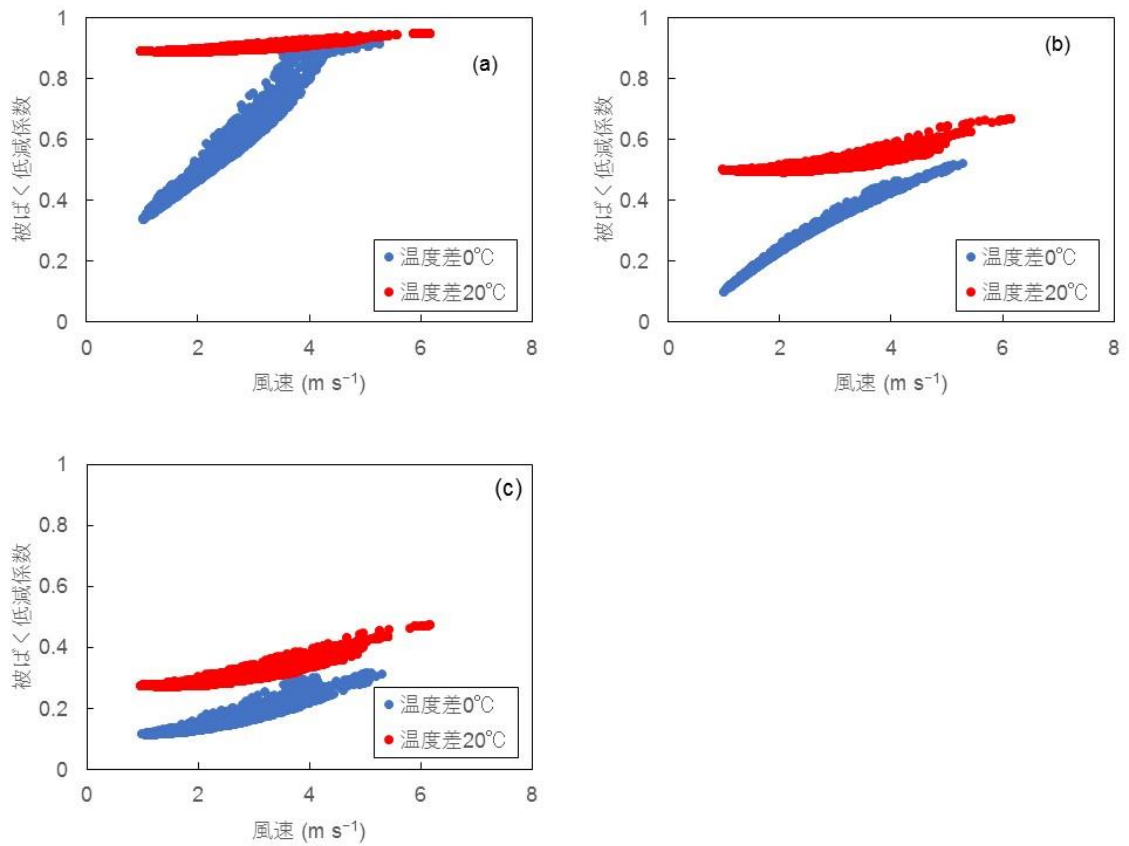


図 3.51 ヨウ素の物理・化学形状の組成を  $\text{I}_2:\text{CH}_3\text{I}$  粒子状=1:1:1、建蔽率 20%、プルーム継続時間 30 分としたときの、温度差ごとのプルーム通過開始から 6 時間後の被ばく低減係数と風速の関係。(a) 1980 年以前の木造家屋、(b) 1981-1992 年の家屋、(c) 1993 年以降の家屋。

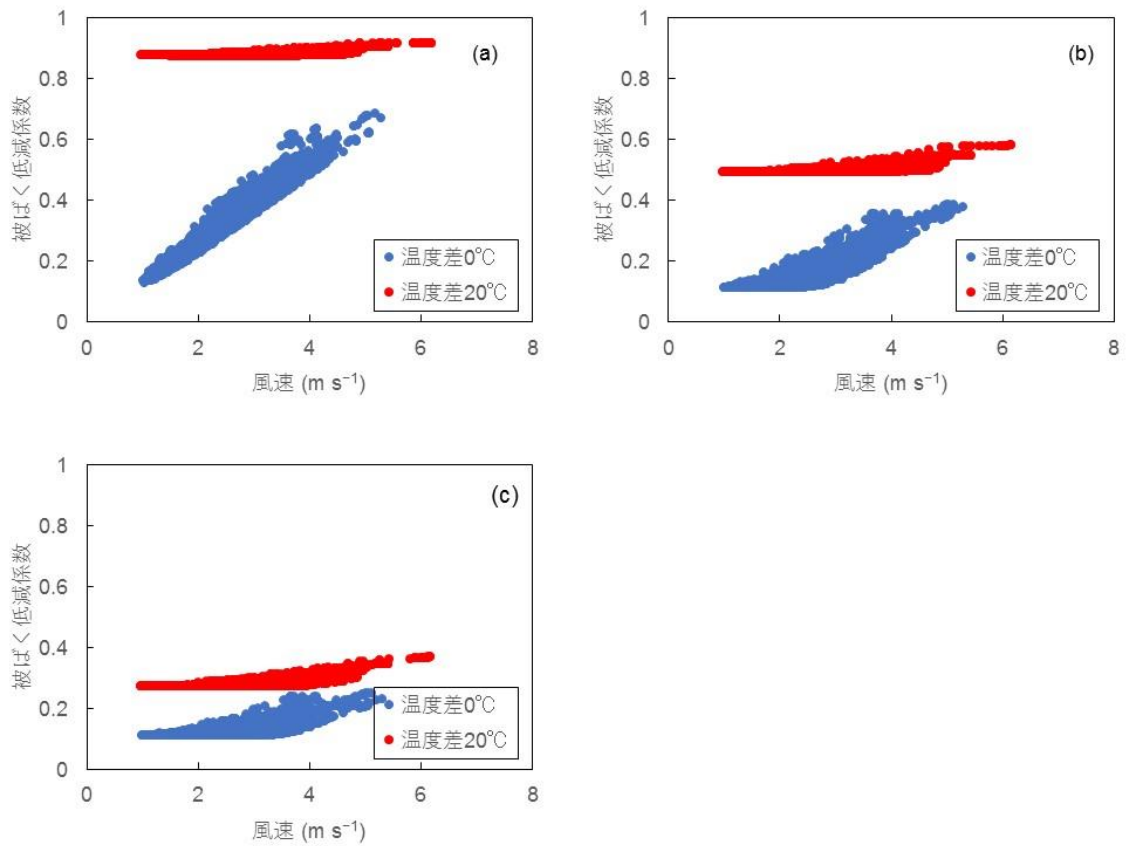


図 3.52 ヨウ素の物理・化学形状の組成を  $\text{I}_2:\text{CH}_3\text{I}$ 粒子状=1:1:1、建蔽率 40%、プルーム継続時間 30 分としたときの、温度差ごとのプルーム通過開始から 6 時間後の被ばく低減係数と風速の関係。(a) 1980 年以前の木造家屋、(b) 1981-1992 年の家屋、(c) 1993 年以降の家屋。

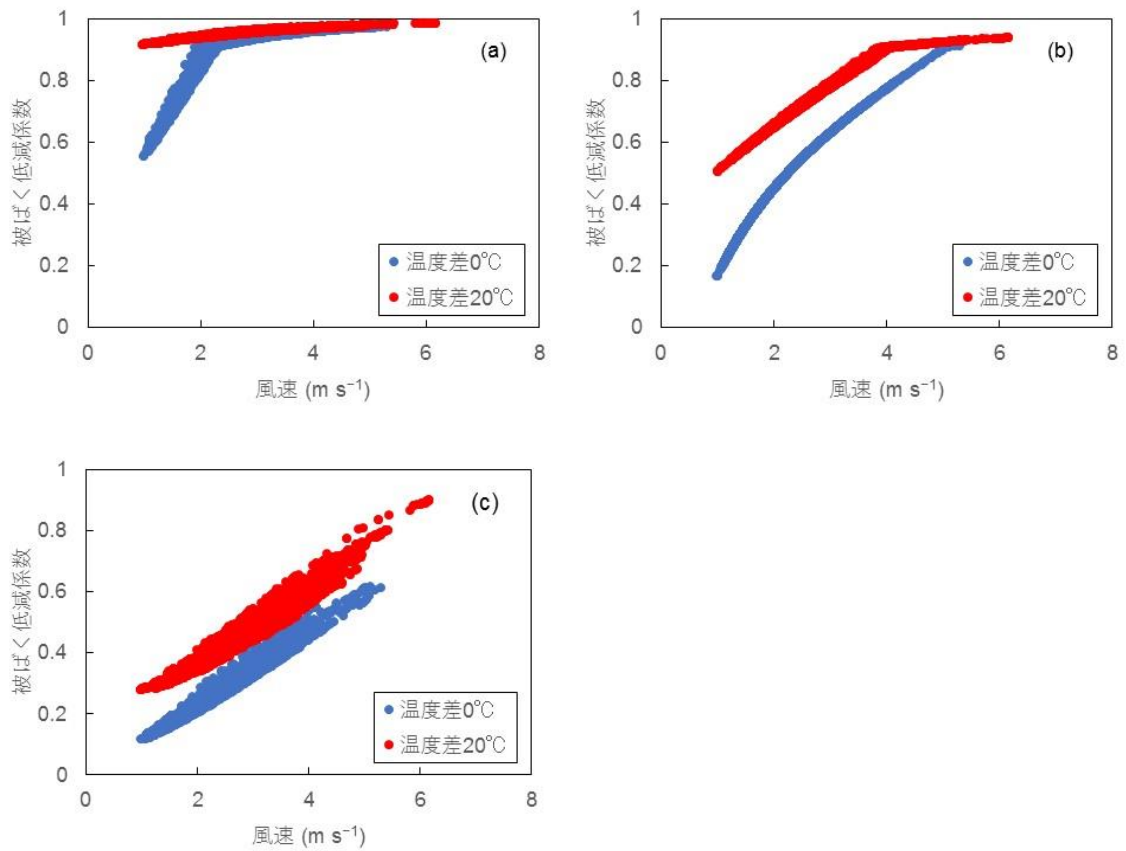


図 3.53 核種を全て粒子状、建蔽率0%、プルーム継続時間30分としたときの、温度差ごとのプルーム通過開始から6時間後の被ばく低減係数と風速の関係。(a) 1980年以前の木造家屋、(b) 1981–1992年の家屋、(c) 1993年以降の家屋。

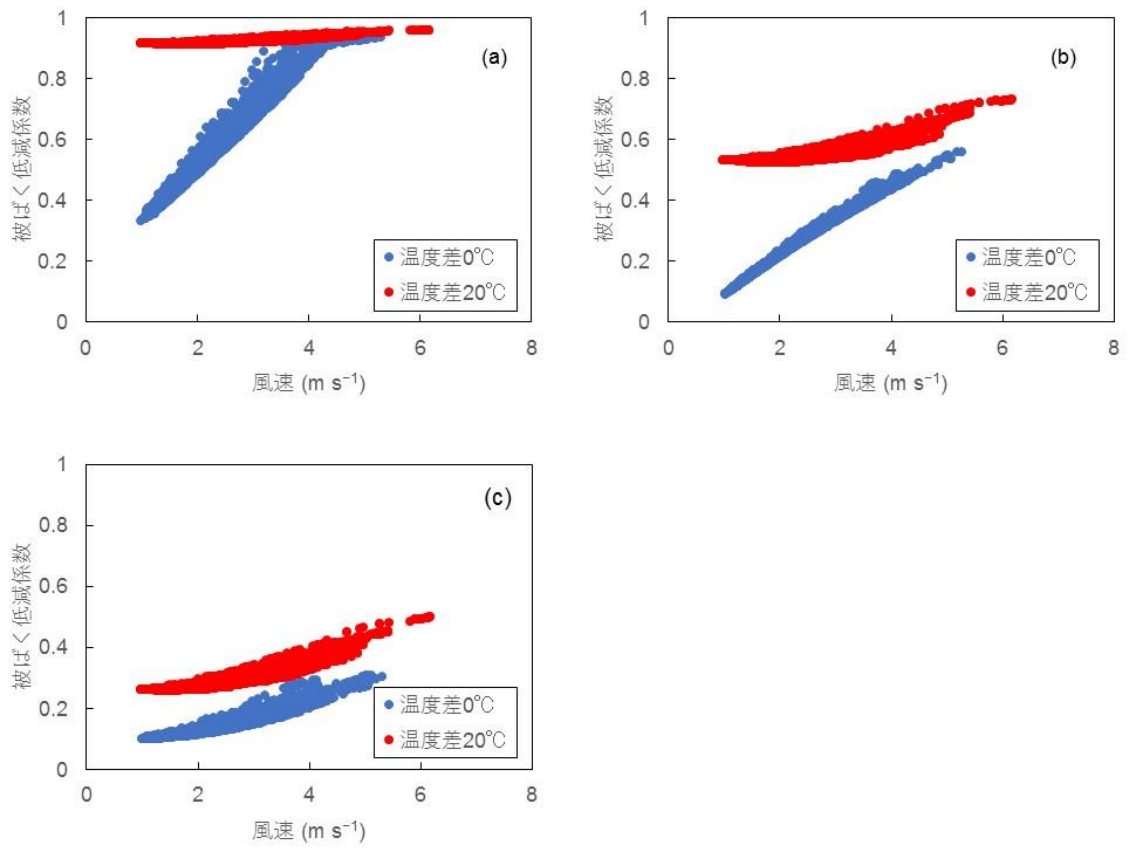


図 3.54 核種を全て粒子状、建蔽率 20%、プルーム継続時間 30 分としたときの、温度差ごとのプルーム通過開始から 6 時間後の被ばく低減係数と風速の関係。(a) 1980 年以前の木造家屋、(b) 1981–1992 年の家屋、(c) 1993 年以降の家屋。

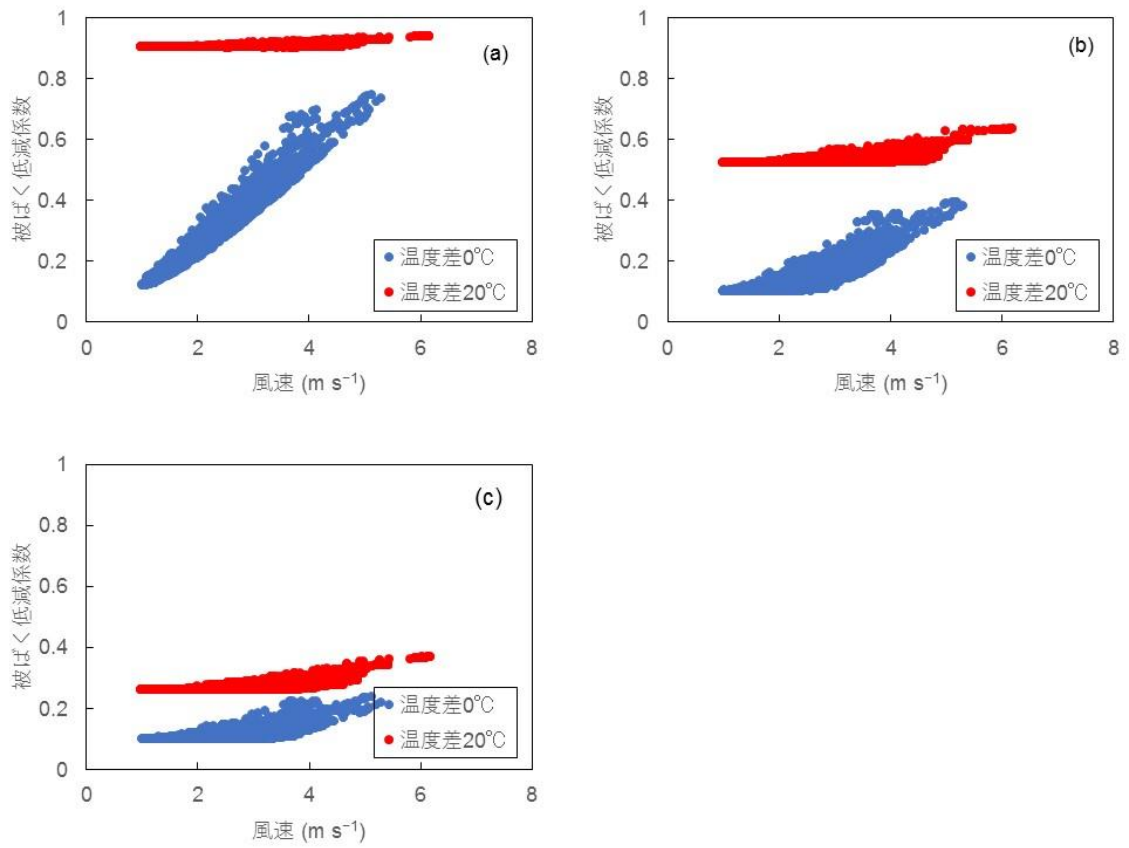


図 3.55 核種を全て粒子状、建蔽率 40%、プルーム継続時間 30 分としたときの、温度差ごとのプルーム通過開始から 6 時間後の被ばく低減係数と風速の関係。(a) 1980 年以前の木造家屋、(b) 1981-1992 年の家屋、(c) 1993 年以降の家屋。

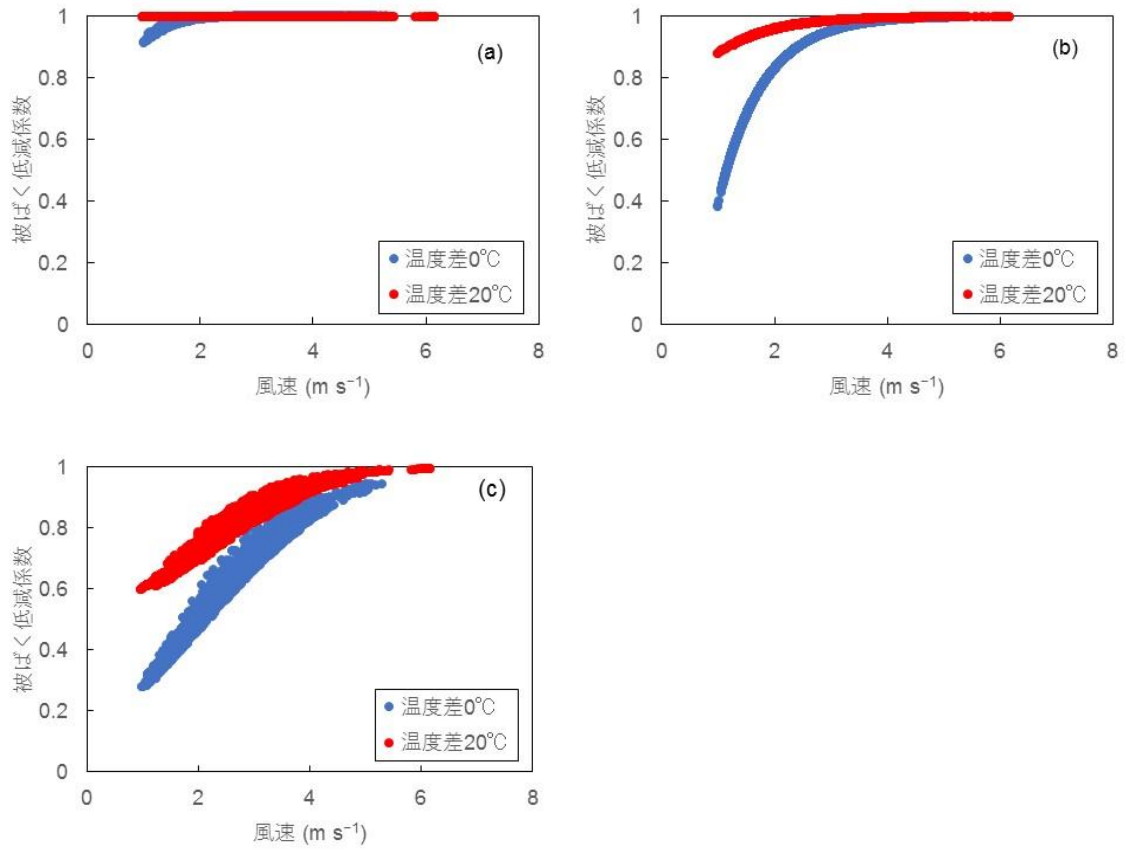


図 3.56 核種を全てガス状、建蔽率0%、プルーム継続時間30分としたときの、温度差ごとのプルーム通過開始から6時間後の被ばく低減係数と風速の関係。(a) 1980年以前の木造家屋、(b) 1981–1992年の家屋、(c) 1993年以降の家屋。

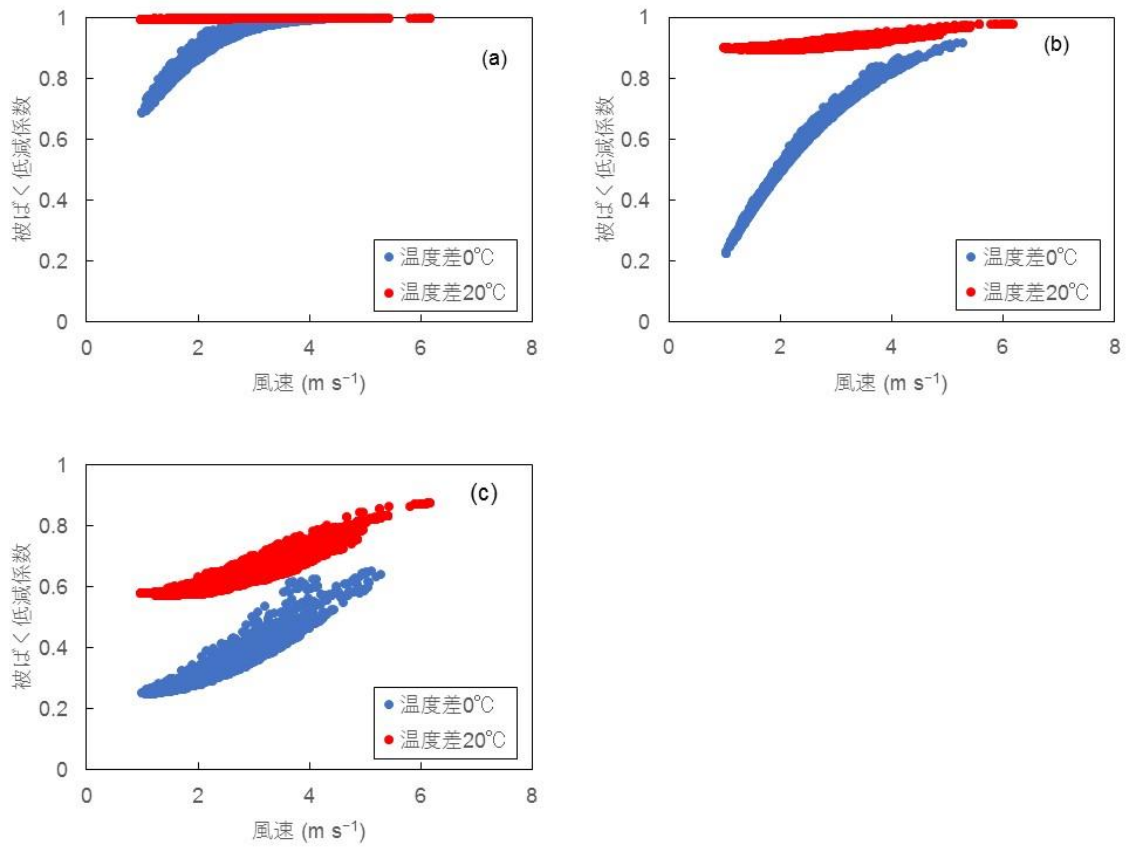


図 3.57 核種を全てガス状、建蔽率 20%、プルーム継続時間 30 分としたときの、温度差ごとのプルーム通過開始から 6 時間後の被ばく低減係数と風速の関係。(a) 1980 年以前の木造家屋、(b) 1981–1992 年の家屋、(c) 1993 年以降の家屋。



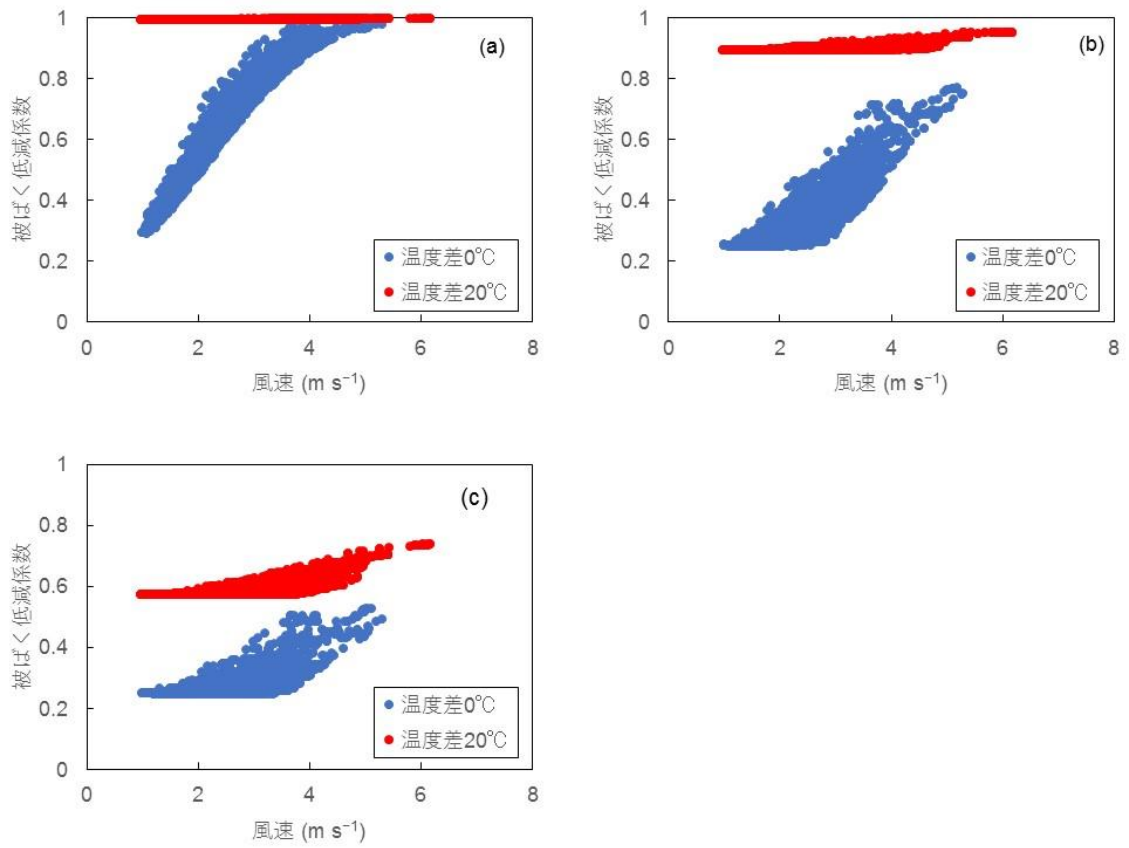


図 3.58 核種を全てガス状、建蔽率 40%、プルーム継続時間 30 分としたときの、温度差ごとのプルーム通過開始から 6 時間後の被ばく低減係数と風速の関係。(a) 1980 年以前の木造家屋、(b) 1981-1992 年の家屋、(c) 1993 年以降の家屋。

### 3.5 車の吸入被ばく低減効果の検討

車<sup>9</sup>の吸入被ばく低減効果に係るパラメータは屋内退避による吸入被ばく低減効果に係るパラメータと同様である。しかしながら、材質の違いによる沈着率、浸透率の違い、車の走行による換気率の違いが生じる。本事業では、車走行時の吸入被ばく低減係数を導出するために必要なパラメータ（換気率、沈着率、浸透率）を実験的に導出した。実験的に求めた値を用いて車走行時の吸入被ばく低減係数を導出した。

#### 3.5.1 実験方法

実験方法は家屋で行った実験とほとんど同様である。換気率を導出するために、CO<sub>2</sub>を車内に散布した。その後のCO<sub>2</sub>濃度の時間変化から換気率を導出した。沈着率を導出するために、CO<sub>2</sub>を散布した後、車内のシートを約1分間たたくことにより、粒子を再浮遊させ車内のエアロゾル濃度が高い環境とした。その後のエアロゾル濃度の時間変化から沈着率を導出した。浸透率を導出するために、CO<sub>2</sub>を散布した後、空気清浄機を稼働させ、車内のエアロゾル濃度が車外のエアロゾル濃度よりも低い環境とした。空気清浄機を10分程度稼働させ、その後のエアロゾル濃度の時間変化から浸透率を導出した。それぞれの値の導出方法は3.3.3節で記載されている実家屋実験と同様である。

左右からの風による換気率への影響を小さくするため、左右に壁がある場所で実験を行った。車走行時を模擬するため、車の前にサーキュレーターを設置した（図3.59）。時速は車前の風速計の指示値から換算した。風速はサーキュレーターの強度、車とサーキュレーター間の距離を変えることによって調整した。なお、本事業では渋滞を想定し、速度は0-15 km h<sup>-1</sup>の範囲で行った。本事業では速度、内気/外気、エンジンの稼働の有無、エアコンの稼働の有無、車種の依存性について調査した。ただし、沈着率と浸透率を導出する際、エアコンフィルター等による除去と区別するため、エンジンとエアコンを稼働させなかった。本事業で対象とした車種はコンパクトカー（NOTE）、セダン（プリウス）、ミニバン（フリード）である。

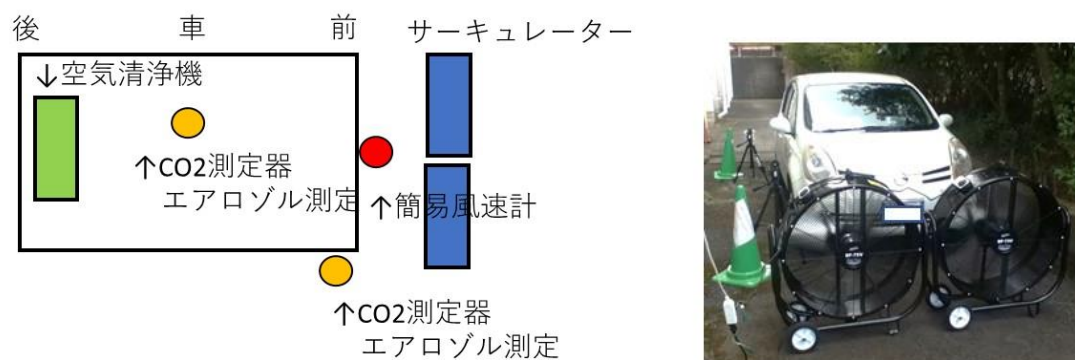


図3.59 実車実験概要図（左：上から見た図、右：実験写真）

#### 3.5.2 実験結果

##### (1) 換気率

実験結果例を図3.60に示す。実家屋での実験と同様に、CO<sub>2</sub>を散布した直後は高濃度空気塊を

<sup>9</sup> 本事業での車は、自家用車とバスを意味する。吸入被ばく低減効果の調査の対象は自家用車のみであるが、外部被ばく低減効果の調査の対象は自家用車とバスの両方である。

捕らえたことにより、スパイク上に濃度が上昇し、その後は指数関数的に濃度が減少している。

図 3. 61 に換気率と速度の関係を各条件でまとめたものを示す。図 3. 62 はコンパクトカーで、内気モード、エンジン未稼働、エアコン未稼働、速度 0-4 km h<sup>-1</sup> を基準とした場合の各条件での換気率の比を示す。外気モードでエンジンとエアコンをともに稼働させた条件を除けば、換気率は 0.1-1.5 h<sup>-1</sup> 程度であり、外気モードでエンジンとエアコンをともに稼働させた条件では換気率は 30 h<sup>-1</sup> 以上であった。速度依存性についてみると、速度が大きくなるにつれ、換気率が大きくなっており、外気モードのほうが速度依存性は顕著である。エンジン稼働による換気率依存性を見ると、エンジン稼働による換気率の有意な差はなかった。エアコン稼働による換気率依存性を見ると、エアコンを稼働させることにより、換気率が大きくなった。特に外気モードでは換気率が 10 倍以上大きくなった。換気モードによる換気率依存性を見ると、外気モードのほうが内気モードよりも換気率が大きい傾向であった。車種による換気率依存性を見ると、車種による換気率の有意な差はなかった。

## (2) 沈着率

粒径と沈着率の関係を図 3. 63 に、沈着率と時速の関係を図 3. 64 に示す。コンパクトカーでは、沈着率は 0.3 μm の粒子で約 1 h<sup>-1</sup>、0.5 μm の粒子で約 1.5 h<sup>-1</sup>、1 μm の粒子で約 2.5 h<sup>-1</sup> であった。セダンでは、沈着率は 0.3 μm の粒子で約 0.7 h<sup>-1</sup>、0.5 μm の粒子で約 1 h<sup>-1</sup>、1 μm の粒子で約 2 h<sup>-1</sup> であった。ミニバンでは、沈着率は 0.3 μm の粒子で約 0.7 h<sup>-1</sup>、0.5 μm の粒子で約 1 h<sup>-1</sup>、1 μm の粒子で約 1.7 h<sup>-1</sup> であった。これらの値は家屋内に比べて約 5~10 倍大きい値である。車体が大きい車種ほど、沈着率が小さい傾向であり、この原因の一つとして車内の体積表面積比の違いが考えられる。内気と外気モードによる沈着率平均値の違いはあるものの、誤差が大きく優位な差ではなかった。図 3. 64 に示されるように、沈着率の換気率依存性はなかった。

## (3) 浸透率

粒径と浸透率の関係を図 3. 65 に、浸透率と時速の関係を図 3. 66 に示す。粒径 0.3-1 μm の粒子では、浸透率の平均値はどの車種でも約 0.9 であるが、図 3. 66 に示されるようにほとんどの場合に浸透率は 1 であった。浸透率の時速依存性、車種依存性、及び外気/内気モードの違いはなかった。

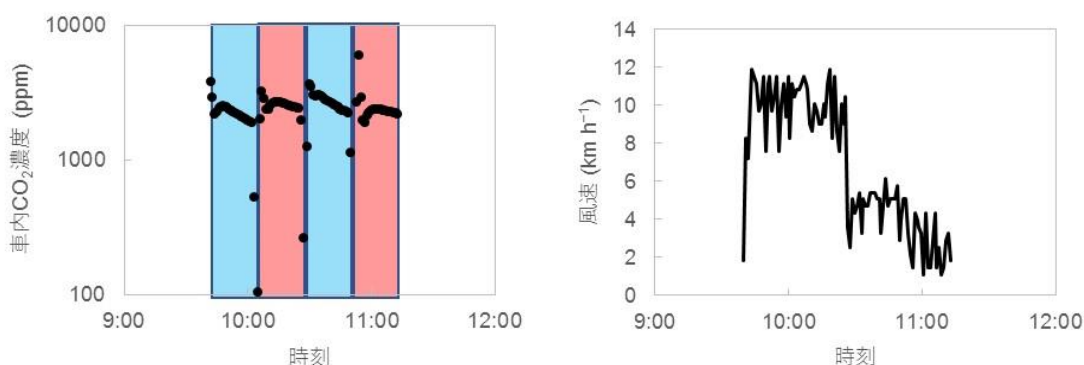


図 3. 60 CO<sub>2</sub>濃度と風速の測定結果例 (2017 年 9 月 27 日)。エンジン未稼働、エアコン未稼働、青背景が外気モード、赤背景が内気モード。

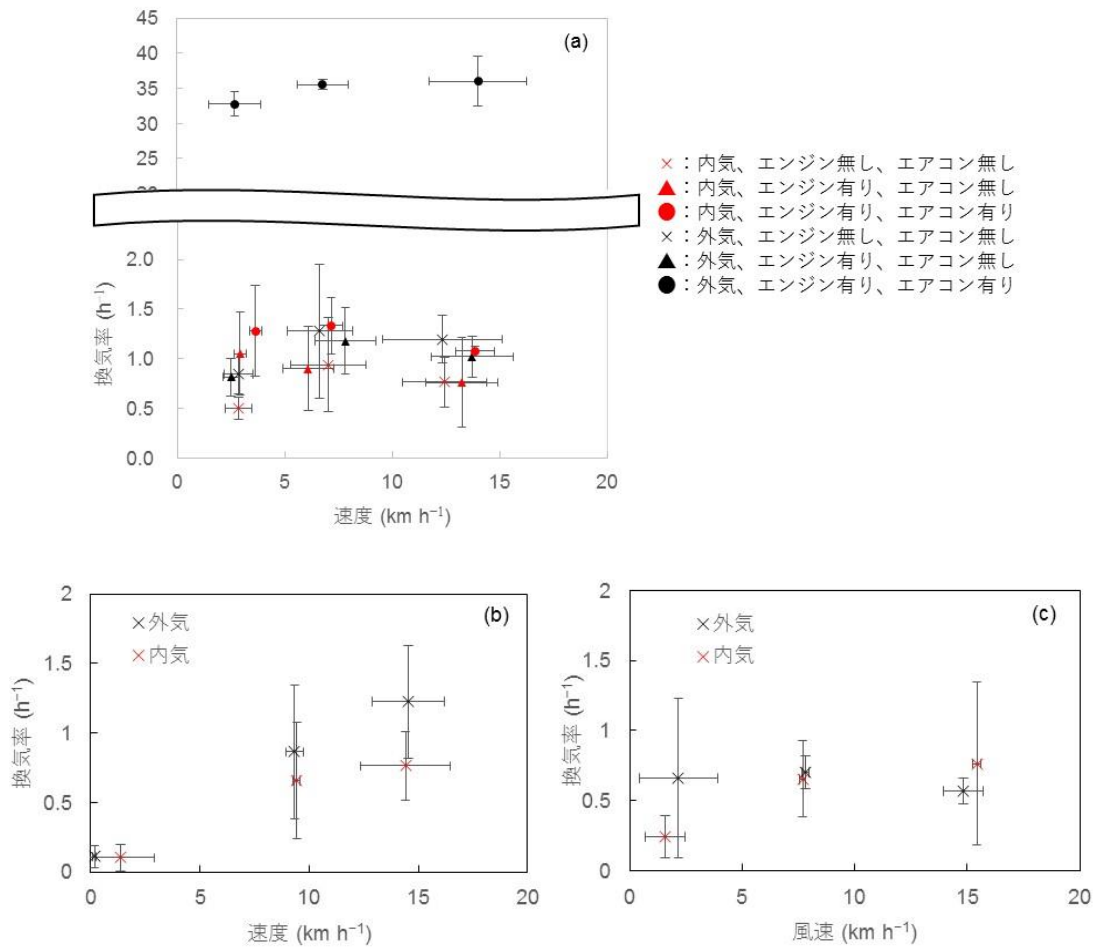


図 3.61 速度と換気率の関係。(a) コンパクトカー、(b) セダン、(c) ミニバン。

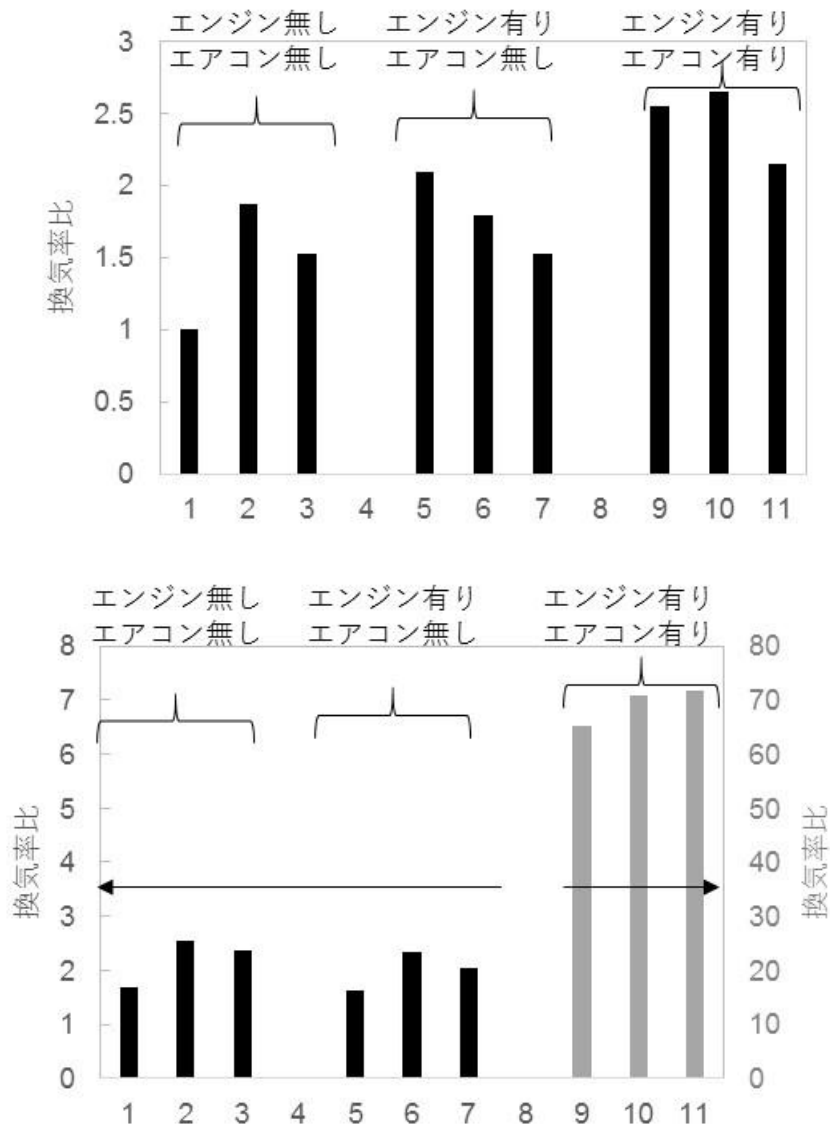


図 3. 62 コンパクトカーでエンジン未稼働、エアコン未稼働、内気モード、速度 0~4 km h<sup>-1</sup> を基準とした場合の各条件の換気率の比。上図：内気モード、下図：外気モード。横軸の番号 1、5、9 は速度 0~4 km h<sup>-1</sup>、番号 2、6、10 は速度 4~10 km h<sup>-1</sup>、番号 3、7、11 は速度 10 km h<sup>-1</sup> 以上。

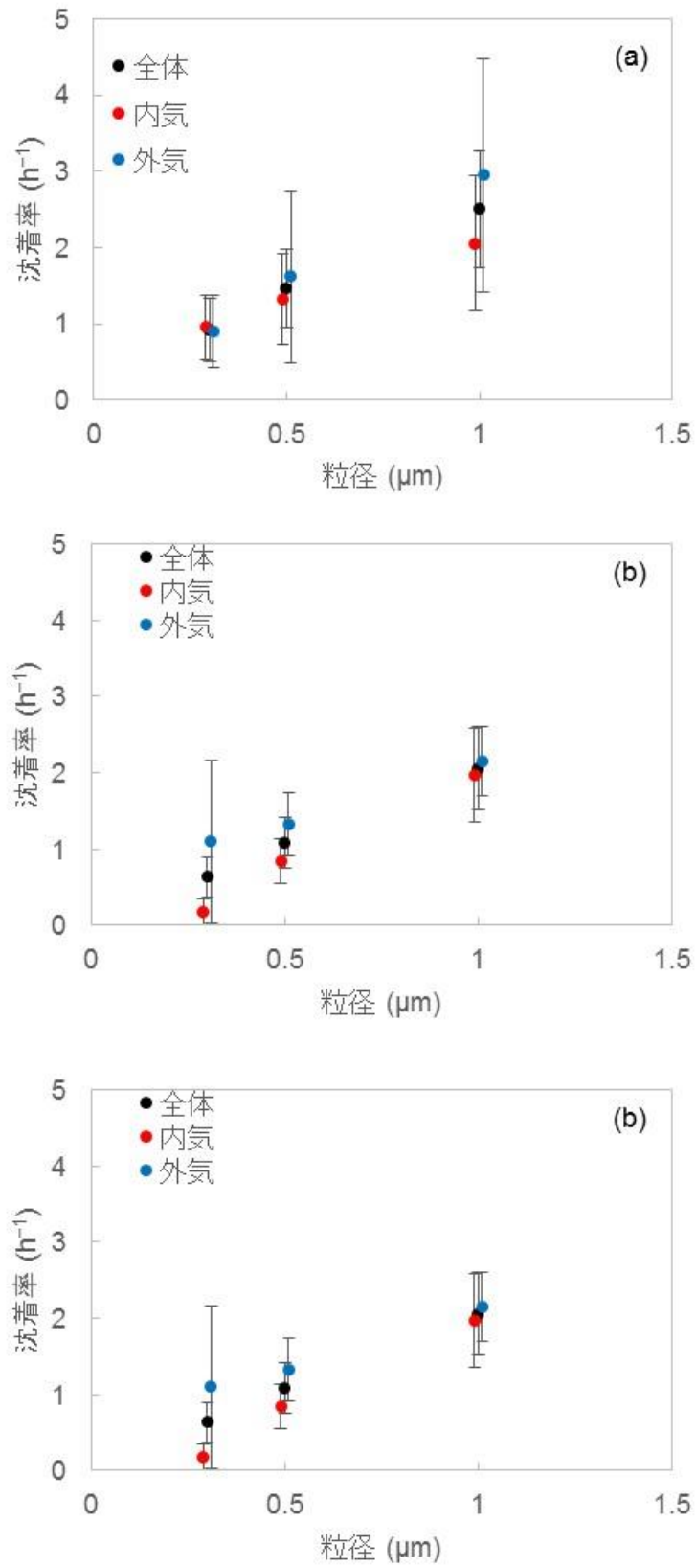


図 3.63 粒径と沈着率の関係 (内気と外気の粒径を $\pm 0.1 \mu\text{m}$  ずらして表示)。沈着率は平均値と標準偏差を示す。(a) コンパクトカー、(b) セダン、(c) ミニバン。

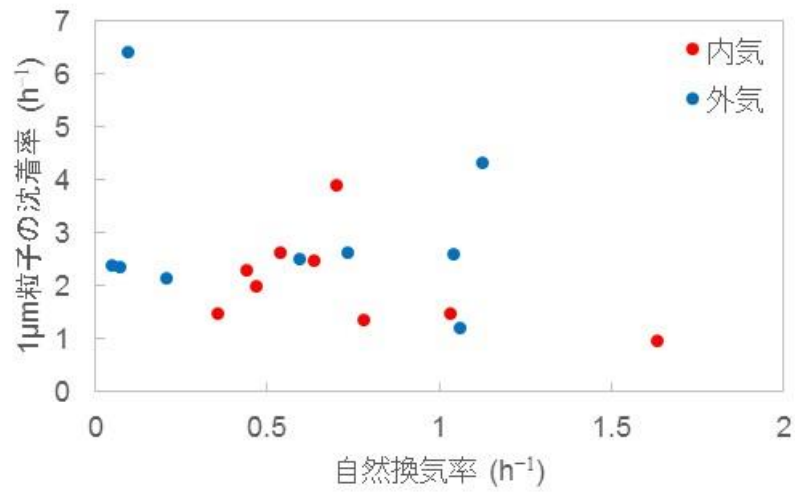


図 3.64 沈着率と換気率の関係。全車種に対して実験毎の値をプロットした。

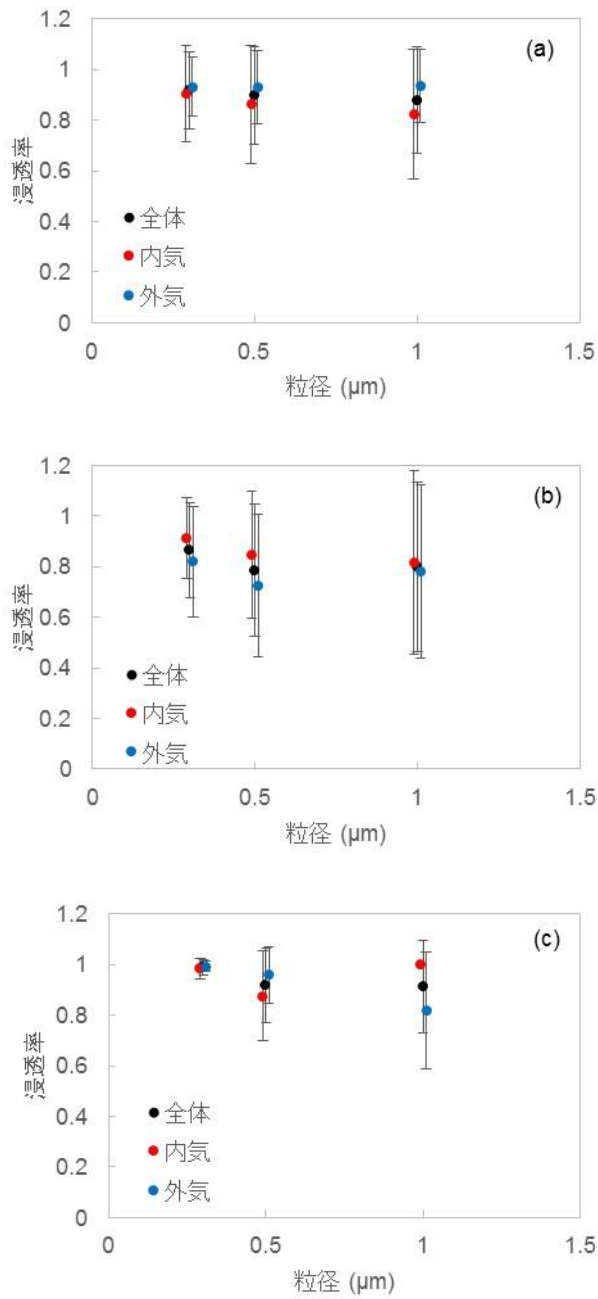


図 3.65 粒径と浸透率の関係（内気と外気の粒径を $\pm 0.1 \mu\text{m}$  ずらして表示）。浸透率は平均値と標準偏差を示す。(a) コンパクトカー、(b) セダン、(c) ミニバン。



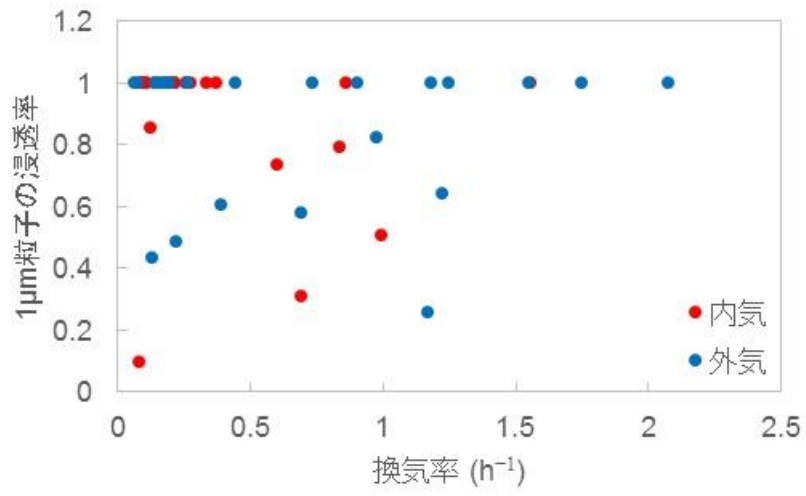


図 3.66 浸透率と自然換気率の関係。全車種に対して実験毎の値をプロットした。

### 3.5.3 車両による吸入被ばく低減効果の解析

被ばく低減係数を求めるために、家屋を対象にした場合と同様に、車内の放射能濃度の時間変化が必要である。車内の放射能濃度を導出するために必要な換気率、沈着率、浸透率は以下の値を入力した。

換気率は、外気モード、エンジンとエアコン稼動時を除く、時速 0–15 km h<sup>-1</sup> で測定された範囲として 0.1–1.5 h<sup>-1</sup> とした。

沈着率は粒子状物質の場合、実車実験で得られた粒径 0.3 μm が取りうる範囲として 0.5–1.5 h<sup>-1</sup> を用いた。CH<sub>3</sub>I は、反応性の低いガス状物質と扱われるため、沈着率は 0 h<sup>-1</sup> とした。I<sub>2</sub> の場合、ラボ実験で粒子状物質に比べて沈着率が約 3 倍と示されたため、1.5–4.5 h<sup>-1</sup> を用いた。

浸透率は粒子状物質の場合、実車実験で得られた粒径 0.3 μm の浸透率 1 を用いた。CH<sub>3</sub>I は、反応性の低いガス状物質と扱われるため、浸透率は 1 とした。I<sub>2</sub> の場合、粒子状物質の浸透率が 1 であるため、浸透率を 1 とした。

その他の条件として、仮にプルーム通過継続時間を 30 分とした場合の値を表 3.16 から表 3.18 に示す。物理・化学形状の組成は家屋の場合と同様に全て粒子状、全てガス状、または I<sub>2</sub>:CH<sub>3</sub>I:粒子状ヨウ素=1:1:1 とした。

屋外の放射能濃度はプルーム通過期間中では計算上常に全て合わせて一定濃度の 1 Bq m<sup>-3</sup> とし、プルーム通過後瞬時に 0 Bq m<sup>-3</sup> になるとした。

物理・化学形状の組成比を I<sub>2</sub>:CH<sub>3</sub>I:粒子状=1:1:1 とした場合の車での避難時間ごとの被ばく低減係数を表 3.16 に、全てガス状とした場合を表 3.17 に、全て粒子状とした場合を表 3.18 に示す。物理・化学形状の組成比が I<sub>2</sub>:CH<sub>3</sub>I:粒子状=1:1:1 の場合（表 3.16）、車での避難時間が仮に 6 時間としたときの被ばく低減係数は沈着率と換気率の違いにより 0.2–0.7 の値をとる。全てガス状の場合（表 3.17）、車での避難時間が 6 時間時に被ばく低減係数は換気率の違いにより 0.4–1.0 の値をとる。全て粒子状の場合（表 3.18）、車での避難時間が 6 時間時に被ばく低減係数は沈着率と換気率の違いにより 0.1–0.8 の値をとる。

表 3.16 車での避難時間ごとの被ばく低減係数。I<sub>2</sub>:CH<sub>3</sub>I粒子状=1:1:1 の場合。プルーム通過継続時間 30 分。

車での避難時間 (h)	粒子状物質の沈着率 0.5 h <sup>-1</sup>					粒子状物質の沈着率 1.0 h <sup>-1</sup>					粒子状物質の沈着率 1.5 h <sup>-1</sup>					
	1	3	6	12	24	1	3	6	12	24	1	3	6	12	24	
換気率(h <sup>-1</sup> )	0.1	0.05	0.12	0.19	0.28	0.36	0.04	0.10	0.17	0.25	0.33	0.04	0.09	0.15	0.24	0.32
	0.5	0.22	0.44	0.53	0.56	0.56	0.19	0.37	0.45	0.48	0.48	0.17	0.33	0.41	0.44	0.44
	1.0	0.38	0.62	0.66	0.66	0.66	0.33	0.53	0.56	0.56	0.56	0.30	0.48	0.51	0.51	0.51
	1.5	0.50	0.71	0.72	0.72	0.72	0.44	0.61	0.62	0.62	0.62	0.40	0.55	0.56	0.56	0.56

表 3.17 車での避難時間ごとの被ばく低減係数。全てガス状の場合。プルーム通過継続時間 30 分。

車での避難時間 (h)	1	3	6	12	24	
換気率(h <sup>-1</sup> )	0.1	0.06	0.20	0.38	0.61	0.84
	0.5	0.26	0.68	0.90	0.99	0.99
	1.0	0.46	0.90	0.99	1.0	1.0
	1.5	0.60	0.96	1.0	1.0	1.0

表 3.18 車での避難時間ごとの被ばく低減係数。全て粒子状の場合。プルーム通過継続時間 30 分。

車での避難時間 (h)	粒子状物質の沈着率 0.5 h <sup>-1</sup>					粒子状物質の沈着率 1.0 h <sup>-1</sup>					粒子状物質の沈着率 1.5 h <sup>-1</sup>					
	1	3	6	12	24	1	3	6	12	24	1	3	6	12	24	
換気率(h <sup>-1</sup> )	0.1	0.05	0.12	0.16	0.17	0.17	0.04	0.08	0.09	0.09	0.09	0.04	0.06	0.06	0.06	0.06
	0.5	0.23	0.45	0.49	0.50	0.50	0.20	0.32	0.33	0.33	0.33	0.18	0.25	0.25	0.25	0.25
	1.0	0.40	0.64	0.66	0.67	0.67	0.35	0.49	0.50	0.50	0.50	0.31	0.40	0.40	0.40	0.40
	1.5	0.53	0.74	0.75	0.75	0.75	0.47	0.60	0.60	0.60	0.60	0.42	0.50	0.50	0.50	0.50

### 3.6 吸入被ばく低減効果に係るパラメータと低減効果のまとめ

第1章に示したように、規制庁からの依頼された仕様書中の要求事項として、「本年度の事業までに得られた成果を基に、吸入被ばく、外部被ばくの低減効果の定量的な評価結果について、代表値と主な変動要因・変動幅等を中心に概要版として整理する。」との旨が記載されている。しかし、防護効果は種々のパラメータに大きく依存し、それらのパラメータは事故のシナリオ等に大きく依存するものであり、さらに各パラメータは単独で防護効果に影響を及ぼすものではなく、相互に関連を持つものであるため、代表的な被ばく低減係数を得るために各パラメータを一定の値に定めることは不可能であることが明らかとなった。したがって、本報告書においては代表的な被ばく低減係数を求めずに、各パラメータに対する防護効果の変動を示す。前節までに示したように、得られた被ばく低減係数の変動幅に各パラメータが及ぼす影響を評価するためには、一部のパラメータを固定する必要がある、その値を以下の記載では「パラメータの評価値」と表現した。

屋内退避による吸入被ばく低減係数に係るパラメータの評価値、取りうる範囲、変動要因を表3.19に、各建屋に対して屋内退避による吸入被ばく低減係数の年代別、物理・化学形状別、プルーム通過開始からの経過時間に対する変動幅を表3.20に、避難に車を用いた時の吸入被ばく低減係数に係るパラメータの評価値、取りうる範囲、変動要因を表3.21に、避難に車を用いた時の吸入被ばく低減係数の物理・化学形状別、車での避難時間に対する変動幅を表3.22に示す。屋内退避による吸入被ばく低減効果に係るパラメータは自然換気率、沈着率、浸透率、物理・化学形状、プルーム通過継続時間、プルーム通過開始からの経過時間である。避難に車を用いた時の吸入被ばく低減係数に係るパラメータは換気率、沈着率、浸透率、物理・化学形状、プルーム通過継続時間、車での避難時間である。

家屋での自然換気率は風速、屋内外の温度差、建蔽率に依存する。原子力発電所立地付近での風速の中央値は場所によって異なり、 $1\text{--}4\text{ m s}^{-1}$ の値をとる。風速の評価値は全原子力発電所立地付近での風速の中央値である $2\text{ m s}^{-1}$ とした。屋内外の温度差は季節と場所によって異なり、 $0\text{--}20^\circ\text{C}$ の値をとる。屋内外の温度差の評価値は1年の中で期間が最も長い $0^\circ\text{C}$ とした。建蔽率は場所によって異なり、 $0\text{--}40\%$ の値をとる。建蔽率の仮の評価値は $0\%$ とした。これら条件では、自然換気率は1980年以前の木造家屋では $0.06\text{--}3.5\text{ h}^{-1}$ の値をとり、評価値は $1.0\text{ h}^{-1}$ 、1981–1992年の家屋では $0.05\text{--}1.0\text{ h}^{-1}$ の値をとり、評価値は $0.30\text{ h}^{-1}$ 、1993年以降の家屋では $0.05\text{--}0.5\text{ h}^{-1}$ の値をとり、評価値は $0.12\text{ h}^{-1}$ とした。家屋での粒子状物質の沈着率の評価値は実験で求めた粒径 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ の平均値である $0.10\text{ h}^{-1}$ とした(図3.46)。 $\text{CH}_3\text{I}$ は反応性の低いガスであるため、沈着率は $0\text{ h}^{-1}$ とした。 $\text{I}_2$ の沈着率は実験結果より粒子状物質よりも約3倍大きいことが示された(図3.30)ため、 $0.30\text{ h}^{-1}$ とした。家屋内への粒子状物質の浸透率は実験で得られた浸透率と自然換気率の関係図(図3.47)を用いると、1980年以前の木造家屋では $0.55\text{--}1$ の値をとり、評価値は $1.0$ 、1981–1992年の家屋では $0.5\text{--}1$ の値をとり、評価値は $0.65$ 、1993年以降の家屋では $0.5\text{--}0.75$ の値をとり、評価値は $0.56$ とした。 $\text{CH}_3\text{I}$ は反応性の低いガスであるため、浸透率は $1.0$ とした。 $\text{I}_2$ の浸透率は実験で求めた粒子状物質の浸透率と $\text{I}_2$ の浸透率の関係図(図3.31)を用いると、1980年以前の木造家屋では $0.1\text{--}1$ の値をとり、評価値は $1.0$ 、1981–1992年の家屋では $0.1\text{--}1$ の値をとり、評価値は $0.23$ 、1993年以降の家屋では $0.1\text{--}0.4$ の値をとり、評価値は $0.14$ とした。物理・化学形状の組成は、地表面への沈着率、降雨による除去率がヨウ素の物理・化学形状によって異なるため、距離に応じて異なる。ハンフォードのヨウ素放出でスタックから $10\text{ km}$ 離れた場所で測定された $\text{I}_2:\text{CH}_3\text{I}$ 粒子状=1:1:1や粒子状のみ、ガス状のみの組成に対して計算した。プルーム通過継続時間はプルーム形態、風速等によって異なり、 $15\text{--}60$ 分の値をとる。

上記条件で求めた被ばく低減係数は自然換気率、浸透率の違いによって $0.1$ 未満から $1$ と幅広

に値をとる。どのケースでもプルーム通過からの経過時間が短いほど、被ばく低減係数が小さく、時間が経つにつれてある一定値に近づく。全てガス状の場合、隙間・床面等への付着がないため、新しい家屋の場合でも条件によってはプルーム通過開始から6時間後で被ばく低減係数は1程度になる。一方粒子状または $I_2$ が含まれる場合、隙間・床面等への付着により、被ばく低減係数は1よりも小さくなる。ただし、古い家屋では隙間への付着の効果がほとんど見込まれなく、被ばく低減係数は1に近い値をとる。

避難に車を用いた時の換気率は車のスピード、換気モード、エアコンの稼働の有無に依存する。時速0-15 km $h^{-1}$ （ただし、外気モードでエンジンとエアコンをともに稼働させた場合は除く）では、換気率は0.1-1.5 h $^{-1}$ の値をとる（図3.61）。換気率の評価値は内気モードでエンジンのみを稼働させた場合の平均値である0.85 h $^{-1}$ とした。車内での沈着率を実験で求めた結果（図3.63）、粒径0.3  $\mu m$ の粒子状物質の沈着率は0.5-1.5 h $^{-1}$ の値をとり、評価値は平均値である1.0 h $^{-1}$ とした。CH<sub>3</sub>Iは不活性ガスであるため、沈着率は0 h $^{-1}$ とした。 $I_2$ の沈着率は実験結果より粒子状物質よりも約3倍大きいことが示されたため、評価値は3.0 h $^{-1}$ とした。粒子状物質の浸透率を実験で求めた結果（図3.65）、概ね1.0の値をとっており、評価値として1.0を用いた。CH<sub>3</sub>Iは反応性の低いガスであるため、浸透率は1.0とした。 $I_2$ の浸透率は粒子状物質と同じく1.0とした。上記条件で求めた被ばく低減係数は換気率、沈着率の違いによって0.1未満から1と幅広く値をとる。

課題点として、今回評価した値の信頼性向上のために、各パラメータの精緻化が必要である。例えば、ヨウ素の浸透率に関して材質依存性がラボ実験で示され、実際の家屋での浸透率を得るために材質依存性を評価する必要がある。また、防護効果をより高めるための行動に関して、その行動を講じた場合の防護効果を定量的に評価する必要がある。例えば、本ラボ実験で $I_2$ の反応性の高さが示されたものの、マスク、集塵機等への吸着率について評価したものはなく、それらについて評価する必要がある。

表 3.19 屋内退避による吸入被ばく低減係数に係るパラメータの評価値と変動幅。自然換気率と浸透率の評価値は風速を  $2\text{ m s}^{-1}$ 、温度差を  $0^\circ\text{C}$ 、建蔽率を  $0\%$ と設定したときの値である。() 内の数字は変動幅を示し、自然換気率と浸透率の場合は風速を  $1\text{--}4\text{ m s}^{-1}$ 、温度差を  $0\text{--}20^\circ\text{C}$ 、建蔽率を  $0\text{--}40\%$ と変動させた時の最小値と最大値を示す。

パラメータ	評価値 (変動幅)	条件	変動要因、備考
自然換気率	$1.0\text{ h}^{-1}$ ( $0.06\text{--}3.5\text{ h}^{-1}$ )	1980 年以前の木造家屋	風速、屋内外の温度差、 建蔽率、建築年
	$0.30\text{ h}^{-1}$ ( $0.05\text{--}1.0\text{ h}^{-1}$ )	1981–1992 年の家屋	
	$0.12\text{ h}^{-1}$ ( $0.05\text{--}0.5\text{ h}^{-1}$ )	1993 年以降の家屋	
沈着率	$0.10\text{ h}^{-1}$	粒子状物質	粒径、物理・化学形状、 体積表面積比、壁の材質
	$0\text{ h}^{-1}$	$\text{CH}_3\text{I}$ などの不活性なガス	
	$0.30\text{ h}^{-1}$	$\text{I}_2$	
浸透率	$1.0$ ( $0.55\text{--}1.0$ )	粒子状物質、 1980 年以前の木造家屋	粒径、物理・化学形状、 隙間の材質、流速（換気 率）
	$0.65$ ( $0.5\text{--}1.0$ )	粒子状物質、 1981–1992 年の家屋	
	$0.56$ ( $0.5\text{--}0.75$ )	粒子状物質、 1993 年以降の家屋	
	$1.0$	$\text{CH}_3\text{I}$ などの不活性なガス	
	$1.0$ ( $0.1\text{--}1.0$ )	$\text{I}_2$ 、1980 年以前の木造家屋	
	$0.23$ ( $0.1\text{--}1.0$ )	$\text{I}_2$ 、1981–1992 年の家屋	
	$0.14$ ( $0.1\text{--}0.4$ )	$\text{I}_2$ 、1993 年以降の家屋	
物理・化学形 状の組成	$1 : 1 : 1$	$\text{I}_2$ 、 $\text{CH}_3\text{I}$ 、粒子状の比率-	事故シナリオ、シャット ダウンからの経過時間
	$0 : 0 : 1$ (粒子状のみ)		
	$0 : 1 : 0$ (ガス状のみ)		
プルーム通過 継続時間	( $15\text{--}60$ 分)	-	気象条件、放出継続時間

表 3.20 各建屋の被ばく低減係数の変動幅。風速を  $1\text{--}4\text{ m s}^{-1}$ 、温度差を  $0\text{--}20^\circ\text{C}$ 、建蔽率を  $0\text{--}40\%$  と変動させた時の被ばく低減係数の最小値と最大値を示す。プルーム通過継続時間は全ての条件で仮に 30 分とした場合である。

物理・化学 形状の組成	建屋	プルーム通過開始からの経過時間 (h)				
		1	3	6	12	24
I <sub>2</sub> :CH <sub>3</sub> I:粒子 状=1:1:1	1980年以前の 木造家屋	0.02~0.87	0.07~0.95	0.13~0.95	0.21~0.95	0.31~0.95
	1981-1992年 の家屋	0.02~0.50	0.06~0.84	0.11~0.87	0.19~0.88	0.28~0.88
	1993年以降の 家屋	0.02~0.20	0.06~0.45	0.11~0.55	0.19~0.57	0.28~0.57
粒子状のみ	1980年以前の 木造家屋	0.02~0.88	0.07~0.97	0.12~0.97	0.17~0.97	0.19~0.97
	1981-1992年 の家屋	0.02~0.50	0.06~0.86	0.10~0.91	0.14~0.91	0.17~0.91
	1993年以降の 家屋	0.02~0.22	0.06~0.50	0.10~0.60	0.14~0.61	0.17~0.62
ガス状のみ	1980年以前の 木造家屋	0.04~0.90	0.15~1.00	0.29~1.00	0.50~1.00	0.74~1.00
	1981-1992年 の家屋	0.04~0.52	0.13~0.93	0.25~0.99	0.44~1.00	0.67~1.00
	1993年以降の 家屋	0.04~0.30	0.13~0.74	0.25~0.94	0.44~0.99	0.67~0.99

表 3.21 避難に車を用いた時の吸入被ばく低減係数に係るパラメータの評価値と変動幅。( ) 内の数字は変動幅を示す。

パラメータ	評価値 (変動幅)	条件	変動要因、備考
換気率	0.85 h <sup>-1</sup> (0.1-1.5 h <sup>-1</sup> )	時速 0-15 km h <sup>-1</sup> の値。 内気モード、エンジンのみ稼 動時。	車のスピード、内気/外 気、エンジンとエアコン の稼働の有無
沈着率	1.0 h <sup>-1</sup> (0.5-1.5 h <sup>-1</sup> )	粒子状物質 (粒径 0.3 μm)	粒径、物理・化学形状、 体積表面積比 (車種)
	0 h <sup>-1</sup> 3.0 h <sup>-1</sup> (1.5-4.5 h <sup>-1</sup> )	CH <sub>3</sub> I などの不活性なガス I <sub>2</sub>	
浸透率	1.0	-	-
物理・化学形状 の組成	1 : 1 : 1	I <sub>2</sub> :CH <sub>3</sub> I:粒子状の比率-	事故シナリオ、シャット ダウンからの経過時間
	0 : 0 : 1 (粒子状のみ) 0 : 1 : 0 (ガス状のみ)		
プルーム通過継 続時間	(15-60 分)	-	気象条件、放出継続時間

表 3.22 避難に車を用いた時の吸入被ばく低減係数の変動幅。換気率を  $0.1\text{--}1.5\text{ h}^{-1}$ 、粒子状物質の沈着率  $0.5\text{--}1.5\text{ h}^{-1}$ 、 $\text{I}_2$  の沈着率  $1.5\text{--}4.5\text{ h}^{-1}$  と変動させた時の被ばく低減係数の最小値と最大値を示す。プルーム通過継続時間は全ての条件で仮に 30 分とした場合である。

物理・化学形状の組成	車での避難時間 (h)				
	1	3	6	12	24
$\text{I}_2\text{:CH}_3\text{I}$ :粒子状=1:1:1	0.04~0.50	0.09~0.71	0.15~0.72	0.24~0.72	0.32~0.72
粒子状のみ	0.04~0.53	0.06~0.74	0.06~0.75	0.06~0.75	0.06~0.75
ガス状のみ	0.06~0.60	0.20~0.96	0.38~1.00	0.61~1.00	0.84~1.00



### 3.7 第3章の参考文献

- Baltensperger U., Gaggeler H.W., Jost D.T., Zinder B. and Haller P. (1987): Chernobyl radioactivity in size-fractionated aerosol, *J. Aerosol Sci.*, **18**(6), pp.685–688.
- Bellamy R.R. (1981): Investigation into the air cleaning aspects of the Three Mile Island Accident, 16<sup>th</sup> DOE Nuclear Air Cleaning Conference, CONF-801038, **2**, pp. 1427–1441.
- Brenk H.D. and Witt H.D. (1987): Indoor inhalation exposure after nuclear accidents, *Radiat. Prot. Dosimet.*, **21**(1/3), pp.117–123.
- Bunch D.F. (1968): Controlled Environmental Radioiodine Tests, Progress Report 4, Rep. IDO-12063.
- Byrne M.A. (1994): An experimental study of the deposition of aerosol on indoor surfaces, Ph. D. dissertation, Imperial College, London.
- Chen C. and Zhao B. (2011): Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor. *Atmos. Environ.*, **45**, pp. 275–288.
- EPA (1978): Protective Action Evaluation Part I, The effective of sheltering as a protective action against nuclear accidents involving gaseous releases, U.S. Environmental Protection Agency, EPA-520/1-78-001 A.
- Hussein T., Wierzbicka A., Londahl J., Lazaridis M. and Hanninen O. (2015): Indoor aerosol modeling for assessment of exposure and respiratory tract deposited dose, *Atmos. Environ.*, **106**, pp.402–411.
- IAEA. (2003): Testing of environmental transfer models using data from the atmospheric release of Iodine-131 from the Hanford site, USA, in 1963. Report of the Dose Reconstruction Working Group of the Biosphere Modelling and Assessment (BIOMASS) Programme, Theme 2.
- IAEA. (2012): The Chernobyl I-131 release: Model validation and assessment of the countermeasure effectiveness. Report of the Chernobyl <sup>131</sup>I Release Working Group of EMRAS Theme 1.
- ICRP (1995): Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 4 inhalation dose coefficients, ICRP Publication 71, *Ann. ICRP* **25** (3–4).
- ICRP (2012): Compendium of dose coefficients based on ICRP Publication 60, ICRP Publication 119, *Ann. ICRP* **41**.
- Ishikawa J., Kawaguchi K. and Maruyama Y. (2015): Analysis for iodine release from unit 3 of Fukushima Dai-ichi nuclear power plant with consideration of water phase iodine chemistry. *J. Nucl. Sci. Technol.*, **52**, pp. 308–314.
- Jost D.T., Gaggerler H.W., Baltensperger U., Zinder B. and Haller P. (1986): Chernobyl fallout in size-fractionated aerosol, *Nature*, **324**, pp.22–23.
- Kaneyasu N., Ohashi H., Suzuki F., Okuda T. and Ikemori F. (2012): Sulfate aerosol as a potential transport medium of radiocesium from the Fukushima nuclear accident, *Environ. Sci. Technol.*, **46**(11), pp.5720–5726.
- Kaupplen E.I., Hillamo R.E., Aaltonen S.H. and Sinkko K.T.S. (1986): Radioactivity size distributions of ambient aerosols in Helsinki, Finland, during Mya 1986 after Chernobyl accident: preliminary report. *Environ. Sci. Technol.*, **20**(12), pp. 1257–1259.
- Lai A.C.K. (2004): Particle deposition indoors: a review. *Indoor Air*, **12**, pp. 211–214.
- Lai A.C.K. and Nazaroff W.W. (2000): Modeling indoor particle deposition from turbulent flow onto smooth surfaces. *J. Aerosol Sci.*, **31**(4), pp. 463–476.
- Lebel L.S., Dickson R.S. and Glowa G.A. (2016): Radioiodine in the atmosphere after the Fukushima Dai-ichi nuclear accident. *J. Environ. Radioact.*, **151**, pp. 82–93.
- Liu D.L. and Nazaroff W.W. (2001): Modeling pollutant penetration across building envelopes. *Atmos.*

- Environ.*, **35**, pp. 4451–4462.
- Liu D.L. and Nazaroff W.W. (2003): Particle penetration through building cracks. *Aerosol Sci. Technol.*, **37**, pp. 565–573.
- Long C.M., Suh H.H., Catalano P.J. and Koutrakis P. (2001): Using time- and size-resolved particulate data to quantify indoor penetration and deposition behavior, *Environ. Sci. Technol.*, **35**(10), pp.2089–2099.
- Mala H., Rulik P., Beckova V., Mihalik J. and Slezakova M. (2013): Particle size distribution of radioactive aerosols after the Fukushima and the Chernobyl accidents. *J. Environ. Radioact.*, **126**, pp. 92–98.
- Maqua M., Bonka H. and Horn H.G. (1987): Deposition velocity and washout coefficient of radionuclides bound to aerosol particles and elemental radioiodine. *Radiat. Prot. Dosimet.*, **21**(1/3), pp. 43–49.
- Mcfarland A.R., Gong H., Muyschondt A., Wentz W.B. and Anand N.K. (1997): Aerosol deposition in bends with turbulent flow. *Environ. Sci. Technol.*, **31**, pp. 3371–3377.
- Mcfarland A.R., Gong H., Muyschondt A., Wentz W.B. and Anand N.K. (1997): Aerosol deposition in bends with turbulent flow. *Environ. Sci. Technol.*, **31**, pp. 3371–3377.
- Mosley R.B., Greenwell D.J., Sparks L.E., Guo Z., Tucker W.G., Fortmann R. and Whitfield C. (2001): Penetration of ambient fine particles into the indoor environment. *Aerosol Sci. Technol.*, **34**, pp. 127–136.
- Nakamura Y. and Ohmomo Y. (1980a): Factors used for the estimation of gaseous radioactive iodine intake through vegetation-I; uptake of methyl iodine by spinach leaves, *Health Phys.*, **38**, pp. 307–314.
- Nakamura Y. and Ohmomo Y. (1980b): Factors used for the estimation of gaseous radioactive iodine intake through vegetation-II; uptake of elemental iodine by spinach leaves, *Health Phys.*, **38**, pp. 315–320.
- Noguchi H. and Murata M. (1988): Physicochemical speciation of airborne <sup>131</sup>I in Japan for Chernobyl, *J. Environ. Radioact.*, **7**, pp. 65–74.
- Ogorodnikov B.I., Budyka A.K. and Skitovitch V.I. (1994): Radioactive aerosols near Chernobyl in 1986–1992, *J. Aerosol Sci.*, **25**, suppl. 1, pp.S269–S270.
- Okuyama K., Kousaka Y., Yamamoto S. and Hosokawa T. (1986): Particle loss of aerosols with particle diameters between 6 and 2000 nm in stirred tank. *J. Colloid Interface Sci.*, **110**, pp. 214–223.
- Opiolka S., Schmidt F. and Fissan H. (1994): Combined effects of electrophoresis and thermophoresis on particle deposition onto flat surfaces. *J. Aerosol Sci.*, **25**(4), pp. 665–671.
- Otani Y., Emi H., Kanaoka C. and Kato K. (1989): Determination of deposition velocity onto a wafer for particles in the size range between 0.03 and 0.8 μm. *J. Aerosol Sci.*, **20**(7), pp. 787–796.
- Perkins R.W. (1963): Studies of radioiodine and other fallout radionuclides in air. Hanford Radiological Sciences Research and Development Annual Report for 1962, HW-77609, pp.3.36–3.48.
- Perkins R.W. (1964): Physical and chemical forms of <sup>131</sup>I from fallout and chemical processing plants. Hanford Radiological Sciences Research and Development Annual Report for 1963, HW-81746, pp.3.55–3.58.
- Ramsdell J.V., Simonen C.A. and Burk K.W. (1994); Regional atmospheric transport code for Hanford emission tracking (RATCHET). Hanford Environmental Dose Reconstruction Project.
- Reist P.C. (1984): Introduction to aerosol science, Macmillan Publishing Company, New York.
- Roed J. (1988): Parameters used in consequence calculations for an urban area, In Proc. Joint OECD(NEA)/CEC Workshop of Recent Advances in Reactor Accident Consequence Assessment, Rome (Italy), 25-29 January 1988. Report CSNI 145, OECD.
- Roed J. (1990): Deposition and removal of radioactive substances in an urban area, Final Report of the NKA Project AKTU-245. Nordic Liaison Committee for Atomic Energy, Riso, Denmark.

- Roed J. (1991): Ingress of radioactive material into dwellings, *Radiat. Prot.*, **1**, pp.433–450.
- Schneider T., Bohgard M. and Gudmundsson A. (1994): A semi-empirical model for particle deposition onto facial skin and eyes. Role of air currents and electrical fields, *J. Aerosol Sci.*, **25**(3), pp.583–593.
- Sehmel G.A. (1973): Particle eddy diffusivities and deposition velocities for isothermal flow and smooth surfaces, *J. Aerosol Sci.*, **4**, pp.125–138.
- Sehmel G.A. (1980): Particle and dry gas deposition, A review, *Atmos. Environ.*, **14**, pp.983–1011.
- Thatcher T.L., Lunden M.M., Revzan K.L., Sextro R.G. and Brown N.J. (2003): A concentration rebound method for measuring particle penetration and deposition in the indoor environment. *Aerosol Sci. Technol.*, **37**, pp. 275–288.
- Thornburg J., Ensor D.S., Rodes C.E., Lawless P.A., Sparks L.E. and Mosley R.B. (2001): Penetration of particles into buildings and associated physical factors. Part I: Model development and computer simulations, *Aerosol Sci. Technol.*, **34**, pp.284–294.
- Tschiersch J. and Georgi B. (1987): Chernobyl fallout size distribution in urban areas, *J. Aerosol Sci.*, **18**(6), pp.689–692.
- Voillelque P.G. (1979) : Iodine species in reactor effluents and in the environment, EPRI-NP-1269, Electric Power Research Institute.
- You S. and Wan M.P. (2015): A risk assessment scheme of infection transmission indoors incorporating the impact of resuspension, *Risk Anal.*, **35**(8), pp.1488–1502.
- Yu M., Koivisto A.J., Hameri K., and Spinenbusch M. (2013): Size dependence of the ratio of aerosol coagulation to deposition rates for indoor aerosols. *Aerosol Sci. Technol.*, **47**, pp. 427–434.
- JIS1406 (1974): 屋内換気量測定方法（炭酸ガス法）, 日本規格協会.
- 赤林伸一, 村上周三, 水谷国男, 高倉秀一 (1994) : 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.
- 伊藤一秀, 成川潤, 李坐 (2011) : ナノスケール気中分散粒子の壁面沈着モデルの概要と感度解析 室内環境中のナノスケール気中分散粒子を対象とした CFD 解析用の壁面沈着モデル第 1 報, 日本建築学会環境系論文集, **76**(669), pp.973–979.
- 倉渕隆 (2008) : シックハウス対策としての 24 時間換気システムの現状, エアロゾル研究, **23**(4), pp.235–240.
- 齋藤宏昭, 服部哲幸, 松島加奈, 桑沢保夫, 石崎竜一, 澤地孝男, 瀬戸裕直, 井上隆 (2008) : 温暖地の木造住宅における部分断熱改修による熱性能改善効果の検証, 日本建築学会環境系論文集, **73**(632), pp.1163–1169.
- 謝静超, 吉野博, 菅原華子, 三田村輝章, 長谷川謙一, 源城かほり, 千葉 智成 (2007) : 東北地方の住宅 9 戸における 2 年間にわたるエネルギー消費量等の詳細分析, 日本建築学会環境系論文集, **618**, pp.17–22.
- 高橋幹二 (1967): ガスおよびエアロゾル粒子混合物の性状解析への拡散チューブ法の応用, 保健物理, **2**, pp.115–120.
- 張会波, 吉野博, 村上周三, 坊垣和明, 田中俊彦, 赤林伸一, 阿部恵子 (2009) : 全国の住宅における室内湿度環境に関する分析, 日本建築学会技術報告集, **15**(30), pp.453–457.
- 鳥海吉弘, 倉渕隆, 小寺定典 (2012) : 集合住宅における常時換気システムを中心とした設備機器の使用実態に関するアンケート, 日本建築学会環境系論文集, **77**(674), pp.293–301.
- 鳥海吉弘, 倉渕隆, 兼重るり子 (2016) : 集合住宅における隙間の評価法に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, **81**(722), pp.385–391.
- 服部哲幸, 坂本雄三, 福田秀朗 (2008) : 戸建住宅の熱損失係数に関する実用的現場実測法の開発

- と実測例, 日本建築学会技術報告集, **14**(28), pp.491-496.
- 林基哉, 大澤元毅 (2012) : 内部健在からの化学物質の室内侵入経路に関する測定 木造軸組構法と木造枠組壁構法の戸建住宅の隙間ネットワーク, 日本建築学会環境系論文集, **77**(675), pp.375-382.
- 林基哉, 本間義規, 長谷川兼一, 金勲 (2015) : 東日本大震災復興戸建住宅の簡易気密性能確認法レンジファンと燃焼ガスの炭酸ガスを用いた 1 点法, 日本建築学会環境系論文集, **80**(716), pp.1013-1020.
- 藤川光利, 吉野博, 高木理恵, 奥山博康, 林基哉, 菅原正則 (2010) : 居住者の呼気を用いた多数室換気量測定法に関する実験的研究, 日本建築学会環境系論文集, **75**(652), pp.499-508.
- 藤原陽三, 絵内正道, 鈴木憲三, 羽山広文 (2008) : 北海道の高断熱・高気密住宅におけるセントラル暖房システムの運転実態に関する調査, 日本建築学会環境系論文集, **73**(628), pp.767-774.
- 萬羽郁子, 東実千代, 阿部弘明, 池田浩己 (2013) : 関西における 24 時間換気システムの運用に関する実態調査—居住者の運用状況に影響を及ぼす要因の検討—, 日本建築学技術報告集, **19**(42), pp.665-670.
- 三原邦彰, 吉野博, 三田村輝章, 鈴木憲高, 熊谷一清, 奥泉裕美子, 野口美由貴, 柳沢幸雄, 大澤元毅 (2004) : 居住状態の住宅 34 戸における換気量測定, 日本環境管理学会誌, **52**, pp.166-169.
- 村上周三, 吉野博 (1982) : 住宅の機密性能に関する調査研究, 日本建築学会論文報告集, **325**, pp.104-115.
- 村上周三, 坊垣和明, 田中俊彦, 羽山広文, 吉野博, 赤林伸一, 井上隆, 飯尾昭彦, 鉾井修一, 尾崎明仁, 石山洋平 (2006) : 全国の住宅 80 戸を対象としたエネルギー消費量の長期詳細調査 対象住宅の属性と用途別エネルギー消費量, 日本建築学会環境系論文集, **603**, pp.93-100.
- 山下礼二, 島田学, 植林信一 (1991) : 気中浮遊粒子の沈着に及ぼす静電気力の影響の評価, 空気調和・衛生工学会論文集, **45**, pp.13-18.
- 吉野博, 長谷川房雄, 内海康雄 (1984) : 住宅における自然換気量の予測に関する研究 その 2. 単室の場合の予測手法の検証及び気密性能と換気量との対応関係について, 日本建築学会学術講演梗概集.
- 吉野博, 長谷川房雄, 松本博, 内海康雄, 赤林伸一, 牧田一志 (1987) : 仙台市の枠組み壁工法による戸建住宅における温度・空気環境およびエネルギー消費量の実態調査, 日本建築学会計画論文報告集, **375**, pp.17-27.
- 吉野博 (1990) : 住宅の気密性能とその基準に関する動向調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 4281.
- 吉野博, 長友宗重, 石川善美, 松本真一 (1995) : 戸建住宅 8 棟の熱損失係数に関する同時測定と設計値との比較, 日本建築学会計画系論文集, **473**, pp.7-14.
- 吉野博, 中村安季, 池田耕一, 野崎淳夫, 角田和彦, 北條祥子, 天野健太郎, 石川哲 (2009) : シックハウスにおける室内環境と居住者の健康に関する調査研究 -その 1 宮城県内の 62 軒の住宅における調査結果-, 日本建築学会環境系論文集, **74**(641), pp.803-809.

## 4. 屋内退避による外部被ばくの低減効果

第4章では屋内退避による外部被ばくの低減効果を検討する。始めに外部被ばくの低減効果を評価するために必要なパラメータに関して文献調査、ヒヤリング調査した結果を示す。それら調査結果を用いて解析した外部被ばく低減効果を示す。最後に車両による外部被ばく低減効果の評価に必要なパラメータ調査と解析結果を示す。

### 4.1 建物による被ばく低減効果の検討

#### 4.1.1 外部被ばく低減効果に関するパラメータ等の調査

##### (1) 戸建住宅の分類

2章で報告した平成25年度住宅・土地統計調査（総務省統計局, 2013）の建屋分類に基づいて外部被ばく低減効果の検討では、戸建住宅を、防火木造住宅、非防火木造住宅、鉄骨造住宅、鉄筋コンクリート造住宅に分類した。防火木造住宅に関しては、建築物の外壁や軒裏の構造に、建築基準法第二条第八号に記載されている構造基準に適合している材料が使用されていれば、その住宅は防火住宅と見なすことが出来る。外装材が上記の技術基準に適合しているか否かの確認方法は、具体的に以下の2つがある。

- ・国土交通大臣が定めた構造方法

防火構造の構造方法を定める件（平成12年5月24日 建設省告示1359号）を参照して、外装材あるいは外装材と内装材の組み合わせが、防火構造基準に適合しているかを確認する。

- ・国土交通大臣の認定

外装材メーカーのカタログを参照し、防火構造基準に関する国土交通大臣の認定を受けているかを確認する。国土交通大臣が定めた構造方法と同様、外装材単独で認定を受けるのではなく、防火構造基準を満たす外装材と内装材の組み合わせがある。

上記の基準を満たさない木造住宅が非防火構造の木造住宅と考えられる。

以下に記載するカタログ等の調査では、防火構造に関する国土交通大臣認定を取得していることが確認できた場合には防火木造住宅の外装材と考える。一方、非防火木造住宅に関して、外部被ばく評価上保守側になるように、内装材を板張りとした。

##### (2) 戸建住宅の外壁構造

外部被ばく低減効果の評価対象の一つとなる戸建住宅に関する外壁の構造を調査した。外壁の構造は、外部被ばく低減効果を左右すると考えられる。日本における代表的な木造住宅の工法である木造軸組み工法における外壁を図4.1に示す（住宅金融支援機構, 2015）。住宅の軸組み工法に対する外壁は、柱を挟んで屋外側に外装材、室内側に内装材、外装材と内装材の間に断熱材が挟まれる構造が基本である。

外装材として、後述する窯業系サイディング材、モルタル、軽量気泡コンクリート（ALC）パネル等が挙げられ、これらは胴縁と呼ばれる下地板の上に施工される。また、耐震性を強化するなどの目的で、構造用合板が柱と胴縁の間に張られる場合がある。外装材がモルタル塗りの場合、胴縁の上にラス下地面材及びメタルラスが張られ、その上にモルタルが塗られることが多い。

鉄骨造住宅の場合、鉄骨製の柱の屋外側に外装仕上げ材及び外装下地材、屋内側に内装材が配置され、木造住宅と基本的な構造は同一である。鉄筋コンクリート造の場合、外装材に相当する部分が鉄筋コンクリートとなり、壁となる鉄筋コンクリートの内側に断熱材と仕上げ材が貼り付

けられる構造が代表的である（建築環境・省エネルギー機構, 1999）。

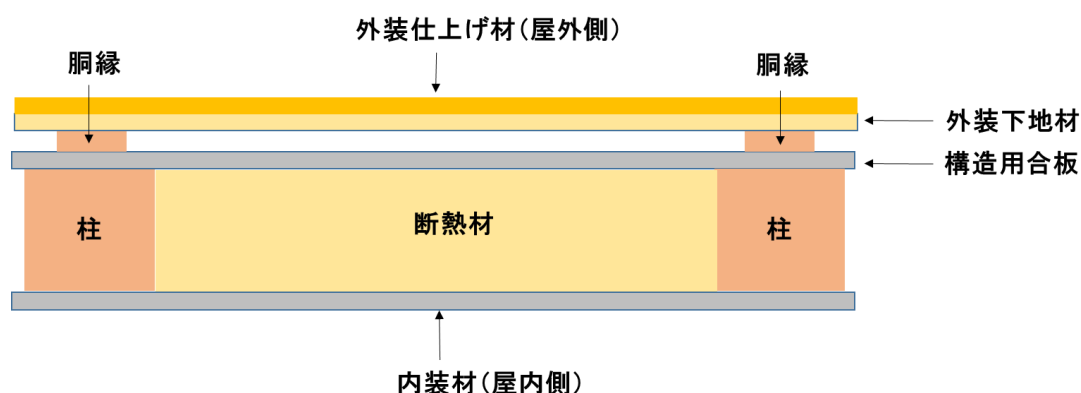


図 4.1 住宅の外壁構造の一例（木造住宅 軸組み工法）

### (3) 外装材の種類に関する統計調査

#### ① 外装材の統計

日本サッシ協会は沖縄県を除く全国 3,000 戸の新築住宅に対して建材の使用頻度の統計調査を実施している（日本サッシ協会, 2016）。なお、この調査の対象住宅は木造軸組み工法、枠組壁工法、及びプレハブ建築で建設された住宅である。

日本サッシ協会が行った平成 27 年度調査の新築の外装仕上げの構成比を表 4.1 に示す。なお、表 4.1 の集合・長屋建て住宅は木造と鉄骨造のみであり、コンクリート造は含まれていない。戸建住宅で最も多く占めている仕上げ材は窯業系サイディング材であり、78.8%であった。次に、モルタルの 8.2%、アルミサイディング、スチールサイディング、木、軽量気泡コンクリート（ALC）の順となっている。また、古いデータとして、住宅金融支援機構が整理した平成 11 年度のデータ（住宅金融支援機構, 1999）を表 4.2、昭和 62 年に整理したデータ（住宅金融支援機構, 1987）を表 4.3 に示す。古い家屋でも窯業系サイディング材、モルタル、ALC、金属サイディング材が多い。昭和 62 年の調査では他の年の調査と比較して土壁の割合が多い。

<sup>1</sup> 「長屋建て」と「集合住宅」は、住宅・土地統計調査で用いられている用語であり、以下のように定義されている。長屋建て：二つ以上の住宅を一棟に建て連ねたもので、各住宅が壁を共通にし、それぞれ別々に外部への出入口をもっているもの。いわゆる「テラスハウス」と呼ばれる住宅も含まれる。集合住宅：一棟の中に二つ以上の住宅があり、廊下・階段などを共用しているものや二つ以上の住宅を重ねて建てたもの。1 階が商店で、2 階以上に二つ以上の住宅がある場合も「集合住宅」とした。

表 4.1 平成 27 年度における新築戸建住宅と集合住宅の外装仕上げ材の構成比 (日本サッシ協会, 2016)

名称	割合(%)	
	戸建住宅	集合住宅
窯業系サイディング	78.8	82.1
モルタル	8.2	4.9
複合金属サイディング(スチール+アルミ)	8.8	8.6
木材	1.0	0.8
軽量気泡コンクリート	0.6	1.9
その他	2.6	1.8

表 4.2 平成 11 年における新築戸建住宅の外装仕上げ材と下地材の構成比 (住宅金融支援機構, 1999)

外装下地材		外装仕上げ材	
名称	割合(%)	名称	割合(%)
構造用合板	28.9	窯業系サイディング	56.9
構造用合板以外の ボード類	18.0	リシン吹きつけ	14.0
軽量気泡コンクリート	7.7	吹きつけタイル	7.0
モルタル	7.4	タイル張り	3.0
小舞土壁	2.2	金属系サイディング	2.0
コンクリートブロック	0.2	プラスターまたは 漆喰塗り	1.0
その他	28.9	板張り	1.0
無回答	6.7	その他	13.0
—	—	無回答	2.0

表 4.3 昭和 62 年における新築戸建住宅の外装仕上げ材の構成比 (住宅金融支援機構, 1987)

	名称	割合(%)
乾式	サイディング張り	36
	軽量気泡コンクリート板	5.2
	板張り	1.5
	その他	8.3
湿式	モルタル	34
	土壁	7.0
	プラスター	1.9
	その他	0.9
	なし	3.9
	不明	0.5

## ② 外装材の選択

上述した統計調査結果に基づき、本事業で評価対象とした外装材を以下に示す。

- ・窯業系サイディング材
- ・複合金属サイディング材（金属サイディング材）
- ・軽量気泡コンクリート（ALC）
- ・モルタル
- ・セラミックタイル
- ・土壁
- ・漆喰塗り

外装材の詳細について以下に記述する。

### A. 窯業系サイディング材

窯業系サイディング材は、主原料としてセメント、ケイ酸質原料、繊維質原料、混和材料などを用いて板状に成形された建築物の外装材に使用されるものである（JIS A 5422, 2014）。

### B. 複合金属サイディング材（金属サイディング材）

複合金属サイディング材は、屋外側に用いる金属材料の成形板である表面材、表面材と複合されて強度を保持する材料で作られた芯材、及び芯材を被覆する裏面材を複合した製品である（JIS A 6711, 2004）。表面材の代表的な材料として、表面処理鋼板、アルミニウム合金塗装板、塗装ステンレス鋼板が挙げられる。芯材の代表的な材料として、石膏ボード、ロックウール化粧吸音板、硬質プラスチックフォームが挙げられる。なお、JIS では複合金属サイディング材と呼ばれているが、本報告書では金属サイディング材と呼ぶ。

### C. 軽量気泡コンクリート（ALC）

セメント、石灰質原料、及びケイ酸質原料を主原料とし、高温高圧蒸気養生されたコンクリートのことを軽量気泡コンクリートと呼ばれる（ALC 協会, 2013）。英語では Autoclaved Lightweight aerated Concrete と呼ばれ、その略称で ALC と呼ばれることも多いため、以下、本報告書では ALC と呼ぶ。

ALC はパネルと呼ばれる板状に加工される。日本工業規格（JIS A 5416, 2016）によると、厚さ 75 mm 以上 180 mm 以下の厚形パネルと厚さ 35 mm 以上 75 mm 未満の薄形パネルに分類されている。厚形パネルは、鉄骨造、鉄筋コンクリート造などに使用され、外壁用の厚さは 100 mm 以上 180 mm 以下とされている。一方、厚さ 75 mm 未満の薄形パネルの規格として、代表的なものは 50 mm、35 mm、37 mm の三種類があり、厚さ 50 mm は鉄骨造と木造建築物に、厚さ 35 mm と 37 mm は木造建築物に使用される（ALC 協会, 2013）。

JIS A 5416 によると、ALC の品質に関して、圧縮強度は  $3.0 \text{ N mm}^{-2}$  以上、密度は  $450 \text{ kg m}^{-3}$  を超え、 $550 \text{ kg m}^{-3}$  未満としなければならないと規定されている。

### D. モルタル

モルタルは、セメントモルタルと軽量セメントモルタルに大別される。木造住宅用には軽量セメントモルタルが主に使用され、ラスを下地としていることからラスモルタル、またはラス下地用既調合軽量セメントモルタルなどと呼ばれる。セメント約 50 wt% に、ケイ砂や寒水石等の砂、



パラーイト等の軽量骨材、繊維、増粘剤等の混和剤が工場で調合され、現場で水が加えられて使用される（日本建築仕上材工業会, 2005）。

#### E. セラミックタイル

セラミックタイルは、主に壁・床の装飾または保護のための仕上げ材料として用いられ、粘土またはその他の無機質原料を成形し、高温で焼成した厚さ 40 mm 未満の板状の不燃材料とされている（JIS A 5209, 2014）。

#### F. 土壁

日本における伝統的な木造住宅の壁に使用されてきた。小舞下地の上に砂とわずさを混入させ、練り置きした荒木田土に代表されるような土を塗り壁とするものである（住宅金融支援機構, 2015）。近年では、土壁を用いた住宅の建設比率は減少している。

#### G. 漆喰塗り

漆喰塗りは、石灰・砂・のり・すさを主な材料として、これらを水でよく練って塗られたものである。古くからある壁塗り工法である（住宅金融支援機構, 2015）。

### (4) 各外装材の密度と厚さに関する調査

上述した外装材の厚さと密度に対して、国内の住宅での使用頻度等の実態に関する統計結果はない。専門家へのヒヤリングにおいても同様の旨が指摘された。このため、建材メーカーのカタログ調査、建築基準法等の法令、及び JIS 規格を調査することにより、厚さと密度の傾向を把握することにした。また、鉄筋コンクリート造の建屋も対象とするため、コンクリート壁に対する調査結果も示す。

#### ① 窯業系サイディング材

窯業系サイディング材に関して、4 社（ニチハ株式会社、ケイミュー株式会社、旭トステム外装株式会社、東レ ACE 株式会社）合計 36 データを収集した。厚さと密度の分布を図 4.2 に示す。

カタログ調査の結果、窯業系サイディング材の厚さは厚いものでは 21 mm、25 mm の 2 製品が存在したものの、おおむね 14–18 mm の間であった。算術平均値と最頻値はともに 16 mm であった。日本窯業外装材協会に問い合わせたところ、2015 年において出荷量が最も多い厚さは 15–16 mm であるとの回答を得た。

密度は  $0.85\text{--}1.2\text{ g cm}^{-3}$  の間であった。算術平均値と最頻値はともに  $1.1\text{ g cm}^{-3}$  であった。また、木造下地あるいは鉄骨下地に対して内装材が石膏ボードの場合に防火造認定を受けていることを確認した。解析では、窯業系サイディング材は防火木造住宅と鉄骨住宅に対して採用し、その厚さを 16 mm、密度を  $1.1\text{ g cm}^{-3}$  とした。

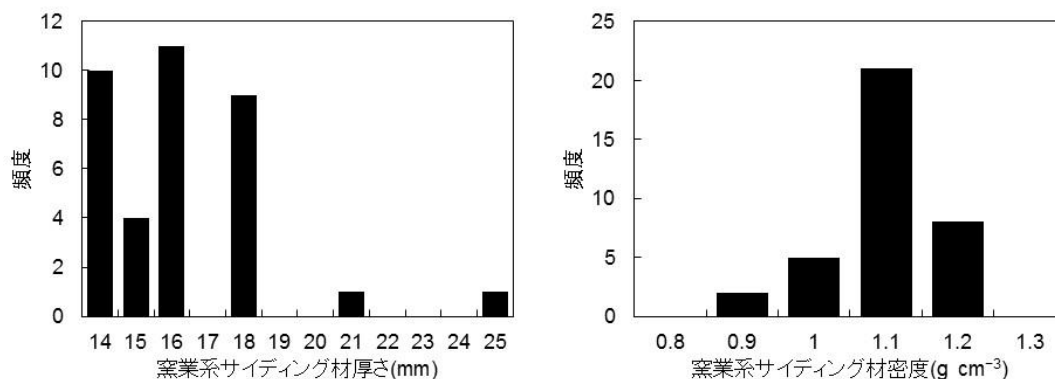


図 4.2 窯業系サイディング材の厚さ（左）と密度（右）の分布

## ② 金属サイディング材

1 社（ニチハ株式会社）のカタログによると、金属サイディング材は表面材として塗装高耐食 GL めっき鋼板が使用されており、その厚さは 0.27–0.35 mm、芯材は硬質ウレタンフォームまたはイソシアヌレートフォームであり、軽量の材質である。また、内装材が石膏ボードの場合にその組み合わせで防火造認定を受けていることを確認した。解析では、金属サイディング材は防火木造住宅と鉄骨住宅に対して採用し、その厚さを 0.3 mm、密度を鉄の密度である  $7.6 \text{ g cm}^{-3}$  とした。

## ③ モルタル

モルタルには、セメントモルタルと軽量セメントモルタルの二種類がある（日本建築仕上材工業会,2005）。住宅用とされている軽量モルタルに関して 7 社（株式会社豊運、太平洋マテリアル株式会社、昭和電工建材株式会社、株式会社トクヤマエムテック、秩父コンクリート工業株式会社、二瀬窯業株式会社、日本化成株式会社）のカタログ調査を実施した。なお、カタログには密度が記載されていない場合が多いため、その場合には、カタログに記載されている「練りあがり量」を、「標準施工面積×標準塗り厚」で除した値をモルタルの密度とした。その結果、軽量セメントモルタルの密度は  $1.2\text{--}1.4 \text{ g cm}^{-3}$  の間であった。

建設省告示第 1359 号によると、屋外側がモルタル塗り単一層の場合、防火構造となる最小厚さは鉄骨住宅の場合に 15 mm、木造住宅の場合に 20 mm とされている。屋内側に関しては、木造住宅、鉄骨住宅ともに厚さ 9.5 mm 以上の石膏ボードを張る、または厚さ 75 mm 以上のグラスウールもしくはロックウールを充填した上に、厚さ 4 mm 以上の合板、構造用パネル、パーティクルボードもしくは木材を張ることで防火構造認定を受けることができる。一方、軸組み防火構造の国土交通大臣認定条件一覧（NPO 法人 湿式仕上げ技術センター）によると、防火構造認定の基準は外装材の最小厚さ 15 mm、内装材として石膏ボード（9.5–15 mm）、または強化石膏ボード（12.5–25 mm）とされている。鉄骨造では建設省告示第 1359 号に準じた基準であった。

## ④ 木製サイディング材

木製サイディング材に関して、3 社（株式会社ナガイ、チャンネルオリジナル株式会社、中本造林株式会社）の合計 20 データを収集した。厚さの分布を図 4.3 に示す。大きく分けて、10 mm の製品と 18 mm の製品の 2 つに分類される。一部 11 mm、14 mm、15 mm、及び 19 mm の製品が存在した。10 mm の製品は和風の木造住宅用であり、18 mm の製品は洋風住宅用であった。解析では、厚さを最頻値の 18 mm、密度を後述するようにスギの気乾比重に相当する  $0.38 \text{ g cm}^{-3}$  とした。

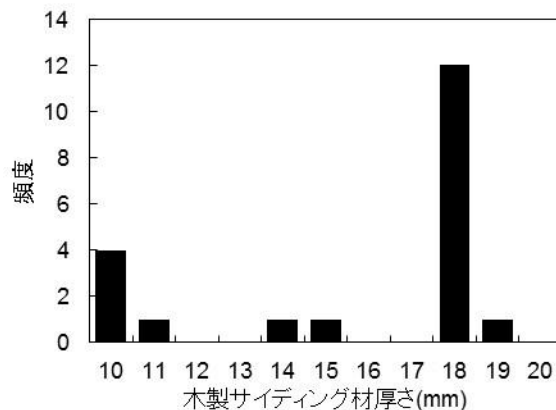


図 4.3 木製サイディング材の厚さ分布

### ⑤ セラミックタイル

セラミックタイルに関して、2社（株式会社 LIXIL グループ、株式会社アイコットリョーフ）合計 29 データを収集した。厚さと密度の分布を図 4.4 に示す。

厚さは、7-20 mm の間であり、算術平均値は 11 mm、最頻値は 8 mm であった。密度は、1.6-2.4 g cm<sup>-3</sup> の間であり、算術平均値は 1.9 g cm<sup>-3</sup>、最頻値は 2.1 g cm<sup>-3</sup> であった。解析では、厚さを最頻値の 8 mm、密度を最頻値の 2.1 g cm<sup>-3</sup> とした。また、内装材が石膏ボードの場合にその組み合わせで防火造認定を受けていることを確認した。

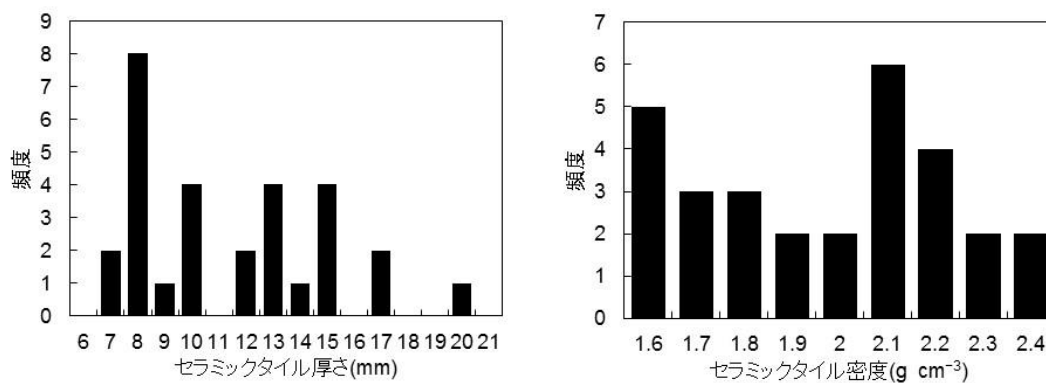


図 4.4 セラミックタイルの厚さ (左) と密度 (右) の分布

### ⑥ 漆喰

木造住宅工事仕様書（住宅金融支援機構, 2015a）、枠組壁工法住宅工事仕様書（住宅金融支援機構, 2015b）、及び鉄骨造等住宅工事仕様書（住宅金融普及協会, 2011）によると、標準塗厚は 15 mm とされている。建築基準法告示 1359 号によると、塗厚 20 mm 以上（+石膏ボードとの組み合わせ）が防火構造のための条件となっている。

本年度調査した漆喰メーカーの情報（株式会社井助商店）によると、漆喰の密度は 1.4±0.1 g cm<sup>-3</sup>、下地材の比重が 1.0±0.1 g cm<sup>-3</sup> と示されている。本事業では密度を保守側となる下地材の比重である 1.0 g cm<sup>-3</sup> とした。

## ⑦ 土壁

鈴木（2004）の報告では、断熱した土壁外壁構造の例として土壁 60 mm が挙げられていた。住宅の平成 25 年省エネルギー基準の解説（一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構, 2015）には、土壁造住宅の外壁躯体内部に 60–70 mm 程度の土壁が施工され、その密度は  $1.28 \text{ g cm}^{-3}$  と記述されている。カタログ等による厚さなどの規定はない。

建築基準法告示 1359 号によると、土塗真壁造で、塗厚が 40 mm 以上のもの、もしくは屋内側で塗厚が 30 mm 以上のものかつ屋外側が 20 mm 以上（下見板をはったものを含む）の土塗り壁の場合に、防火構造基準を満たすとされている。これらのことから、土壁の厚さを 60 mm、密度を  $1.28 \text{ g cm}^{-3}$  とした。

## ⑧ 鉄筋コンクリート壁

本事業で対象とする鉄筋コンクリート造建屋に関する壁厚に関する統計データは無かった。一方、国土交通省告示第 1026 号「壁式鉄筋コンクリート造の建築物又は建築物の構造部分の構造方法に関する安全上必要な技術的基準を定める件」（国土交通省, 2001）において、コンクリート造建物の耐力壁に関して構造耐力上安全となるための最小厚さが示されており、1 階建の建築物が 12 cm、2 階建の建築物が 15 cm、3 階建以上の建築物が 18 cm（但し建築物最上階は 15 cm）とされている。本事業では全ての鉄筋コンクリート建物に対して、鉄筋コンクリートの壁厚を、上述した告示中の 2 階建建物の最小厚さに相当する 15 cm とした。

## (5) 木材の密度

木造住宅の壁材には、風圧、地震等の荷重に耐えるための構造用合板が使用される場合がある。構造用合板の手引き（日本合板工業組合連合会）によると、構造用合板に使用される樹種として、以下の樹種があげられる。

表 4.4 構造用合板に使用される樹種（日本合板工業組合連合会）

国産材	スギ、カラマツ、アカマツ、トドマツ、ヒノキ	これらの樹種の複合 例) カラマツ-スギ など
外国産材	ラーチ、ベイマツ、ラジアータパイン、ラワン	

平成 26 年木材統計（農林水産省）によると、平成 26 年の木材の素材供給量は、国産材が全体の 77.8% を占めている（表 4.5）。国産材の樹種別素材供給量を見ると、合板で使用される国産の樹種として、スギが国産全体の 66.2% を占めている（表 4.6）。

以上のことから、モデルに使用する木材としてスギを選定した。密度はスギの気乾比重の平均値である  $0.38 \text{ g cm}^{-3}$  とした（林業試験場, 1958）。

表 4.5 平成 26 年の木材素材供給量

区分	全国 (千 m <sup>3</sup> )	対前年比 (%)	構成比 (%)
国産材	19,913	101.4	77.8
外材	5,669	88.8	22.2
合計	25,582	98.3	100.0

表 4.6 平成 26 年の国産材の樹種別供給量

	合計	針葉樹						広葉樹		
		小計	あかまつ・くろまつ	すぎ	ひのき	からまつ	えぞまつ・とどまつ		その他	
供給量 (千 m <sup>3</sup> )	合計	19,913	17,741	674	11,193	2,395	2,369	958	152	2,172
	製材用	12,211	12,116	176	7,872	2,039	1,270	704	55	95
	合板用	3,191	3,177	152	2,111	126	681	94	13	14
	木材チップ用	4,511	2,448	346	1,210	230	418	160	84	2,063
対前年比 (%)	合計	101.4	102.9	108	102.7	104.1	104.7	94.7	104.8	90.5
	製材用	101.3	101.5	128.5	100.6	104.4	110.1	87.5	94.8	75.4
	合板用	105.8	105.7	107	109.8	121.2	92.9	103.3	92.9	140
	木材チップ用	98.7	106.1	100.3	104.8	94.7	111.2	137.9	115.1	91.1
構成比 (%)	合計	100.0	89.1	3.4	56.2	12	11.9	4.8	0.8	10.9
	製材用	100.0	99.2	1.4	64.5	16.7	10.4	5.8	0.5	0.8
	合板用	100.0	99.6	4.8	66.2	3.9	21.3	2.9	0.4	0.4
	木材チップ用	100.0	54.3	7.8	26.8	5.1	9.3	3.5	1.9	45.7

## (6) 屋根

### ① 下地野地板

木造住宅工事仕様書（住宅金融支援機構, 2015a）と枠組壁工法住宅工事仕様書（住宅金融支援機構, 2015b）では、合板野地板（屋根下張材）の最小厚みは 9 mm と規定されている。このことから、屋根の下地材である野地板の厚さは 9 mm とした。

### ② 屋根厚さ

既往研究（古田・高橋, 2014）の設定では、木造住宅では 20 mm 厚の粘土瓦（密度 2.2 g cm<sup>-3</sup>）、鉄骨造住宅では 20 mm 厚のサイディング材（密度 1.1 g cm<sup>-3</sup>）としていた。「フラット 35 住宅仕様実態調査報告」（住宅金融支援機構）によると、木造住宅の屋根葺き材の種類として、粘土瓦、スレート瓦、金属板の 3 種類が挙げられており、平成 24 年 4 月 1 日以降に設計検査申請・合格した木造軸組み工法による新築住宅のうち、全国で最も多く占めている屋根葺き材はスレート瓦であり、全体の 39.3% を占めていた。この他に屋根材の分布に関するデータは無かった。技術資料スレートボード（せんい強化セメント板協会, 2015）によると、スレート平板の標準厚さは 5 mm とされている。JIS A 5430 (2013) によると、平板スレートの密度は 1.5 g cm<sup>-3</sup> とされている。本報告書では、木造住宅と鉄骨造住宅の屋根をともに既往研究よりも保守側の設定となるスレート屋根とした。組成は、窯業系サイディング材と同じとした。

## (7) 天井

既往研究の設定（古田・高橋, 2014）では、木造戸建住宅の天井板を 6 mm 厚の木材、鉄骨造戸建住宅と鉄筋コンクリート造住宅では 9.5 mm 厚の石膏ボードとしていた。天井板の厚さの例として、化粧張り天井板の厚さは 5.5–6.3 mm 程度（日本木材総合情報センター）が挙げられているものの、鉄骨造住宅の天井材に関しての新たな情報を得ることができなかった。このことから、木造住宅の天井を 6 mm 厚の化粧天井板張り、鉄骨造住宅と鉄筋コンクリート造住宅の天井を昨

年度の既往研究の設定を踏襲した 9.5 mm 厚の石膏ボードとした。

#### (8) 床

既往研究（古田・高橋, 2014）の設定では、木造戸建住宅と鉄骨造戸建住宅の床板を 15 mm 厚の木材、鉄筋コンクリート造住宅では 35 mm 厚のコンクリートとしていた。木造住宅工事仕様書（古田・高橋, 2014）によると、普通床板として厚さ 15 mm 以上と規定されている。本年度調査したカタログ（中本造林）によると、床板用の板として 3 データが得られ、その厚さは全て 15 mm であった。これらのことから床板の厚さを、木造住宅と鉄骨造住宅では 15 mm 厚の板とした。鉄筋コンクリート造住宅では新たな情報は得られなかったため、既往研究の設定を踏襲した 35 mm 厚のコンクリートとした。

#### (9) 窓ガラス

ガラス工学ハンドブック（丸善, 1999）では、板ガラスの密度は  $2.5 \text{ g cm}^{-3}$  が挙げられている。建築工事標準仕様書 17 番・ガラス工事（日本建築学会, 2003）では、ガラス厚さの最小値は 3 mm である。このことから全ての住宅に対して、窓ガラスの厚さを 3 mm、密度を  $2.5 \text{ g cm}^{-3}$  とした。

#### (10) 戸建住宅、集合住宅、長屋建て、及び公共施設の建築面積に関する統計調査

##### ① 戸建住宅の建築面積

平成 25 年住宅・土地統計調査では、一戸建住宅の建築面積に対する階層別内訳（1 階建て、2 階建て）、建屋構造別（木造住宅、鉄骨造住宅、鉄筋・鉄骨コンクリート造等）は示されておらず、表 2.4 はこれら全てを包含した集合に対する建築面積の分布である。外部被ばく低減効果の解析では、戸建住宅の建築面積は階層、建屋構造によらず一律に表 2.4 に示した全国平均である  $93 \text{ m}^2$  とした。

##### ② 長屋建てと集合住宅の建築面積

平成 25 年住宅・土地統計調査に基づき、長屋建てと集合住宅の建築面積の分布を表 4.7 と表 4.8 にそれぞれ示す。なお、戸建住宅とは異なり、長屋建てと集合住宅の建築面積の平均値は示されていない。

長屋建ては建築面積が  $199 \text{ m}^2$  未満で最頻値をとっており、 $199 \text{ m}^2$  未満の家屋は 8 割程度である。集合住宅は建築面積が  $100\text{--}199 \text{ m}^2$  で最頻値をとっており、全体の 4 割程度である。木造・鉄骨造の集合住宅と長屋建て住宅は、既往研究（古田・高橋, 2014）に基づいたモデルを採用し、建築面積は木造、鉄骨造ともに既往研究と同じ  $130 \text{ m}^2$  とした。

表 4.7 長屋建て住宅の建築面積の分布

都道府県	長屋建て住宅の建築面積の分布 (%)								
	99㎡以下	100～199㎡	200～299㎡	300～399㎡	400～499㎡	500～699㎡	700～999㎡	1,000～1,499㎡	1,500㎡以上
北海道	26.7%	54.5%	15.2%	2.8%	0.5%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
青森県	44.0%	38.0%	14.0%	4.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
宮城県	42.7%	42.7%	10.7%	4.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
福島県	40.3%	43.5%	12.9%	3.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
茨城県	36.9%	49.2%	9.2%	4.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
新潟県	32.5%	45.0%	15.0%	5.0%	0.0%	2.5%	0.0%	0.0%	0.0%
静岡県	54.8%	35.6%	8.2%	1.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
石川県、富山県	35.1%	40.5%	16.2%	2.7%	2.7%	2.7%	0.0%	0.0%	0.0%
福井県、京都府、滋賀県	44.9%	38.2%	10.3%	4.4%	2.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
鳥取県、島根県	47.1%	37.3%	11.8%	3.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
愛媛県	43.9%	42.1%	10.5%	1.8%	0.0%	1.8%	0.0%	0.0%	0.0%
福岡県、佐賀県、長崎県	52.4%	39.7%	6.3%	1.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
鹿児島県	34.0%	52.0%	12.0%	2.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
合計	38.1%	45.8%	12.0%	3.1%	0.6%	0.4%	0.1%	0.0%	0.0%

表 4.8 集合住宅の建築面積の分布

都道府県	集合住宅の建築面積の分布 (%)								
	99㎡以下	100～199㎡	200～299㎡	300～399㎡	400～499㎡	500～699㎡	700～999㎡	1,000～1,499㎡	1,500㎡以上
北海道	18.2%	48.7%	16.9%	6.1%	3.6%	3.4%	1.7%	0.9%	0.5%
青森県	20.6%	49.4%	18.9%	5.6%	2.8%	1.7%	0.6%	0.6%	0.0%
宮城県	17.5%	48.4%	16.3%	7.9%	3.7%	2.7%	1.7%	1.2%	0.5%
福島県	16.8%	45.7%	19.1%	8.6%	4.7%	3.1%	1.2%	0.4%	0.4%
茨城県	17.2%	46.8%	19.2%	8.2%	4.2%	2.7%	1.0%	0.5%	0.2%
新潟県	20.0%	45.3%	18.1%	7.2%	4.2%	2.6%	1.5%	0.8%	0.4%
静岡県	21.7%	43.2%	18.0%	7.5%	3.5%	3.0%	1.7%	0.8%	0.5%
石川県、富山県	12.7%	40.9%	23.6%	9.7%	5.9%	3.4%	2.5%	0.8%	0.4%
福井県、京都府、滋賀県	15.3%	36.9%	21.0%	10.8%	5.5%	4.9%	2.8%	1.5%	1.1%
鳥取県、島根県	20.1%	41.0%	18.0%	9.4%	5.0%	2.9%	2.9%	0.7%	0.0%
愛媛県	18.5%	42.2%	18.5%	9.2%	5.2%	4.0%	1.7%	0.6%	0.0%
福岡県、佐賀県、長崎県	28.2%	41.2%	14.4%	6.5%	3.7%	3.2%	1.9%	0.5%	0.5%
鹿児島県	24.1%	41.6%	17.1%	8.2%	4.3%	2.3%	1.2%	0.8%	0.4%
合計	19.0%	43.7%	18.1%	8.0%	4.4%	3.6%	1.9%	0.9%	0.5%

### ③ 体育館の床面積

平成 20 年度体育・スポーツ施設現況調査（総務省統計局）に基づき、体育館の床面積の分布を表 4.9 に示す。なお、上記調査の対象とされた体育館は、学校・スポーツ施設、大学・高専体育施設、公共スポーツ施設、及び民間スポーツ施設に分類されているものである。本事業では、4.1.1 (11)に記述するように、運動場部分がバスケットコート一面分に相当する建築面積が 900 m<sup>2</sup> の体育館に対する解析を実施する。

表 4.9 体育館の床面積の分布（平成 20 年度 体育・スポーツ施設現況調査より抜粋）

都道府県	床面積			計
	132 m <sup>2</sup> 以上 659 m <sup>2</sup> 未満	660 m <sup>2</sup> 以上 1299 m <sup>2</sup> 未満	1300 m <sup>2</sup> 以上	
北海道	711	1,686	557	2,954
青森	225	487	142	854
宮城	214	537	234	985
福島	330	699	231	1,260
茨城	261	657	230	1,148
新潟	352	762	267	1,381
富山	135	346	85	566
石川	167	326	177	670
福井	94	249	159	502
静岡	257	697	208	1,162
滋賀	94	312	117	523
京都	294	498	107	899
鳥取	129	260	47	436
島根	195	252	91	538
愛媛	232	338	134	704
福岡	269	893	246	1,408
佐賀	85	228	89	402
長崎	269	473	87	829
鹿児島	481	482	155	1,118
合計	4,794	10,182	3,363	18,339



#### ④ 病院の建築面積

平成 17 年度医療施設実態調査（総務省統計局）から抜粋した病院総数の建物の面積の分布を表 4.10 に示す。既往研究（古田・高橋, 2014）の鉄筋コンクリート造の病院モデルを採用する。建物面積（建築面積）は 1482 m<sup>2</sup> であり、表 4.10 で示した分布の中で小さめの面積であるが、線量評価上保守側となるため、本事業では建築面積は変更せず 1482 m<sup>2</sup> を用いた。

表 4.10 病院の建物面積の分布

	病院総数	建物面積								
		1~1999m <sup>2</sup>	2000~3999m <sup>2</sup>	4000~5999m <sup>2</sup>	6000~7999m <sup>2</sup>	8000~9999m <sup>2</sup>	10000~19999m <sup>2</sup>	20000~39999m <sup>2</sup>	40000m <sup>2</sup> 以上	不詳
北海道	620	46	175	130	84	55	84	36	8	2
青森	109	8	24	21	14	10	22	7	3	-
宮城	151	14	38	28	17	12	25	13	4	-
福島	147	7	37	34	14	17	27	7	4	-
茨城	205	46	57	23	25	12	26	12	4	-
新潟	139	4	19	16	20	20	40	18	2	-
富山	115	16	27	35	5	6	17	4	5	-
石川	109	16	23	17	5	11	24	9	4	-
福井	86	19	22	14	9	6	9	3	4	-
静岡	189	7	31	43	32	17	30	19	8	2
滋賀	63	5	6	11	6	9	15	6	5	-
京都	177	29	36	32	19	11	29	11	6	4
鳥取	45	1	6	6	10	5	11	5	1	-
島根	58	9	7	7	7	9	12	5	2	-
愛媛	153	24	43	28	13	11	21	10	3	-
福岡	478	56	119	74	66	46	79	26	9	3
佐賀	111	17	37	17	19	7	9	4	1	-
長崎	168	12	44	36	28	16	21	9	2	-
鹿児島	279	55	87	57	24	21	29	5	1	-
合計	3402	391	838	629	417	301	530	209	76	11

#### ⑤ 学校の建築面積

平成 28 年度文部科学統計要覧（文部科学省）から抜粋した平成 27 年度の全国の学校建物面積と学校数を表 4.11 に示す。表には学校建物面積と学校数から計算した 1 学校当たりの建物面積も合わせて示す。一方、本事業では、既往研究（古田・高橋, 2014）の鉄筋コンクリート造の学校モデルを採用する。このモデルの床面積は 3024 m<sup>2</sup> であり、表 4.11 に示した 1 学校当たりの建物面積よりもやや小さいが線量評価上保守側となるため、本事業では建築面積は変更しない。

一方、鉄筋コンクリート校舎の標準設計（文部省, 1950）によると、1 教室あたりの標準面積は 63 m<sup>2</sup> であり、本事業で採用したモデルでも 1 教室あたりの面積は 63 m<sup>2</sup> であり同一である。

表 4.11 平成 27 年度 学校建物面積、学校数と 1 学校当たりの建物面積  
(平成 28 年度文部科学統計要覧)

	小学校	中学校	高等学校
学校建物面積(単位：千m <sup>2</sup> )	102,105	63,826	63,717
学校数	20,601	10,484	4,939
学校建物面積及び学校数から推定した 1 学校当たりの建物面積(単位：m <sup>2</sup> )	4,956	6,088	12,901

#### (11) 体育館の天井高さ、屋根材、外壁材、内壁材、床板

体育館に関しては、JAEA が島根県から受託した先行研究結果（高原他,2016）に基づき、古田・高橋（2014）のモデルをリバイスした多く使用される物質が複数あると認められた場合、平均の厚さ密度が小さい物質とした。

##### ● 天井高さ

体育館の天井高さ（床基準）は 14 施設に対して調べられており、その算術平均値は 1028 cm であった。このことに基づいて、体育館の天井高さを 10 m とした。

##### ● 屋根材

体育館の屋根材は 12 施設に対して調べられている。12 施設中 10 施設にステンレス鋼が使用されており、このうち 6 施設ではステンレス鋼+木毛セメント板+アスファルトルーフィングの 3 層であり、これが 12 施設中で最も多い組み合わせである。ただし、アスファルトルーフィングの厚さは 1 mm、密度は  $1.06 \text{ g cm}^{-3}$  であることから、外部被ばくに対する遮へい効果に大きな影響はない。このことに基づいて、屋根材をステンレス鋼+木毛セメント板の二層構造として、厚さをこれらの総和の算術平均値である 3.1 cm とした。

##### ● 外壁材

外壁材は 14 施設中 13 施設で普通コンクリートが使用されており、このうち 11 施設ではコンクリート単層であり、14 施設中で最も多い。普通コンクリートの厚さの算術平均値は 15 cm であった。このことに基づいて、体育館の外壁材を厚さ 15 cm のコンクリートとした。

##### ● 内壁材

内壁材について、ラワン合板 ( $0.45 \text{ g cm}^{-3}$ ) が使用されている施設は 14 施設中 5 施設、シナ合板 ( $0.5 \text{ g cm}^{-3}$ ) が使用されている施設も 14 施設中 5 施設あり、その中でラワン合板とシナ合板の二層構造となっているものは 5 施設中 4 施設であった。これらのことから、内壁材の材質は密度が小さいラワン合板とした。内装材の密度を  $0.45 \text{ g cm}^{-3}$ 、厚さを二層の厚さの平均値である 1.4 cm とした。

##### ● 床板

床板は 14 施設中 8 施設で木材フローリングが使用されており、14 施設中で最も多い。木材フローリングの厚さの算術平均は 1.5 cm、密度は  $0.38 \text{ g cm}^{-3}$  であった。このことから、床材を厚さ 1.5 cm の木材フローリングとし、密度を  $0.38 \text{ g cm}^{-3}$  とした。

#### 4.1.2 外部被ばくの低減効果の解析

##### (1) パラメータの検討

###### ① 計算体系

本事業では、屋内退避による外部被ばくの低減効果を表す尺度として以下の式で定義される線量率比（以下、被ばく低減係数）を用いた。

$$\text{被ばく低減係数} = \frac{\text{家屋内の床上 1 m における空間線量率}}{\text{家屋外の地表面上 1 m における空間線量率}}$$

解析コードは、先行研究でも用いられたモンテカルロによる輸送計算コード PHITS ver. 3.02 (Sato et al., 2018) を利用した。断面積ライブラリには Los Alamos 国立研究所のライブラリ (White, 2003) を利用した。

本事業における解析の精度を検討するため、地表面または大気中に Cs-137 が単位濃度ある場合の空間線量率を他の先行研究と比較した (表 4.12)。本事業の解析では空間線量率<sup>2</sup>を計算したのに対して、Beck et al. (1972) では空気カーマ率、EPA (1993) では実効線量率が与えられていたので、ICPR Publ 72 (ICRP, 1996) の換算係数を用いて空間線量率に統一して掲載した。換算の際に Cs-137 からのガンマ線エネルギーである 0.662 MeV に対して直接利用可能な値がなかったので、0.6 MeV に対する値を代用した<sup>3</sup>。このようにして換算して比較したところ、本事業での計算結果は従来の結果と数%以内で一致しており、その妥当性を検証することができた。

外部被ばく低減効果の評価に想定する被ばく経路として、クラウドシャインとグラウンドシャインを想定した。クラウドシャインからの被ばくを考慮する際には、PAZ 外での屋内退避を想定するものとし、頭上を通過するプルーム状態では無く、地上近傍にも放射性物質が広がったサブマージョンの状態を仮定した。クラウドシャインからの被ばく低減効果を解析する際には、建物を中心とした半径 1,000 m の半球状の空気領域に線源が一様に分布するものとし、建物の内部には線源が存在しないものと仮定した。なお、空気の密度は  $1.205 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$  とした。

グラウンドシャインからの被ばく低減効果を解析する際には、クラウドシャインと比較して影響の範囲が限定されるため、建物を中心とする半径 500 m の円板上の土壌 (密度:  $1.6 \text{ g cm}^{-3}$ ) の表面に線源が一様に分布するものとし、建物の下には線源がないと仮定した。

表 4.12 単位 Cs-137 当たりの空間線量率 (地表 1 m 高さ) の比較

出典	単位地表面濃度当たりの 空間線量率 (( $\mu\text{Sv h}^{-1}$ )/(Bq m <sup>-2</sup> ))	単位体積当たりの 空間線量率 (( $\mu\text{Sv h}^{-1}$ )/(Bq m <sup>-3</sup> ))
本解析	$3.11 \times 10^{-6}$	$1.73 \times 10^{-4}$
Becket al. (1972)	$3.24 \times 10^{-6}$	—
EPA (1993)	$3.14 \times 10^{-6}$	$1.83 \times 10^{-4}$
佐藤他 (2014)	$3.12 \times 10^{-6}$	—

<sup>2</sup> 本報告書では、1F 事故後の慣習に倣って、周辺線量当量のことを空間線量と呼ぶことにする。

<sup>3</sup> 換算に用いた値は、実効線量  $E$  と空気カーマ  $K_a$  との間での換算 ( $E/K_a$ ) について、回転ジオメトリー (ROT) 及び当方ジオメトリー (ISO) に対してそれぞれ 0.814 及び 0.684 を利用した。また、周辺線量当量  $H^*(10)$  と空気カーマとの間での換算 ( $H^*(10)/K_a$ ) には 1.21 を利用した。

## ② 対象建物

評価対象とした建物は、戸建住宅（木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造）、木造、鉄骨造集合・長屋建て住宅、鉄筋コンクリート造集合住宅、学校、病院及び体育館である。これらの建物の概観と間取りに関しては、外部被ばく低減効果に関する先行研究（古田・高橋,2014）を基本とした。建築面積、壁の厚さ・組成は本調査結果を基に設定した。モデルで設定した建築面積、壁・屋根の材質を表 4.13 に示す。対象とした建屋のモデル概観図を図 4.5-図 4.13 に示す。各建物の平面図中に示してある部屋の略号の意味については付録 5 に記載した。

建物による被ばく低減効果を計算する際に必要となる建物の部材や建材に関する情報（元素組成及び密度）は、付録 5 に示した。

表 4.13 各建物の評価モデルの設定条件の概要

建物名	階数	建築面積	壁材質	屋根
木造建屋	1階,2階	93 m <sup>2</sup>		
鉄骨造建屋	1階,2階	93 m <sup>2</sup>		
鉄筋コンクリート造建屋	2階	93 m <sup>2</sup>	4.1.2③参照	
集合・長屋建住宅 (木造、鉄骨造)	1階,2階	130m <sup>2</sup>		
鉄筋コンクリート造集合住宅	5階	369 m <sup>2</sup>	外壁：厚さ 15 cm のコンクリート 室内隔壁：厚さ 2.5 cm の石膏ボード	厚さ 20 cm のコンクリート
教育施設	3階	1008 m <sup>2</sup>	外壁：厚さ 15 cm のコンクリート 室内隔壁：厚さ 15 cm のコンクリート	厚さ 14 cm のコンクリート
病院	6階	1482 m <sup>2</sup>	外壁：厚さ 15 cm のコンクリート、 厚さ 1.25 cm の石膏ボード 室内隔壁：厚さ 15 cm のコンクリート、 厚さ 1.25 cm の石膏ボード	厚さ 15 cm のコンクリート
体育館	1階	900 m <sup>2</sup>	外壁：厚さ 15 cm のコンクリート+ 厚さ 1.44cm のラワン合板 室内隔壁：厚さ 2.5 cm の石膏ボード	厚さ 0.05 cm のステンレス鋼+ 厚さ 3 cm の木毛セメント板

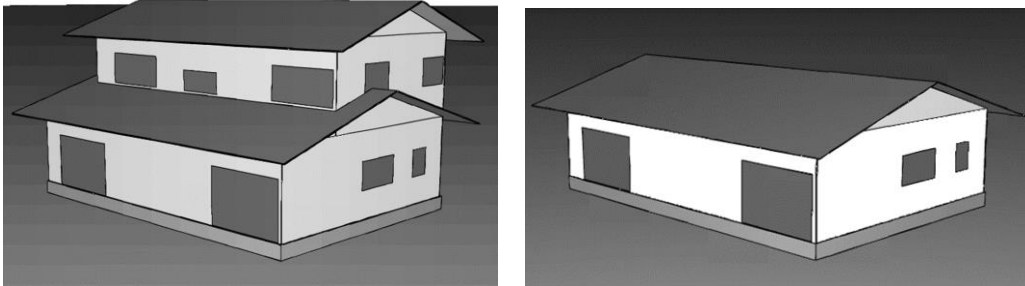


図 4.5 木造戸建住宅のモデル概観図（左：2階建て、右：平屋建て）

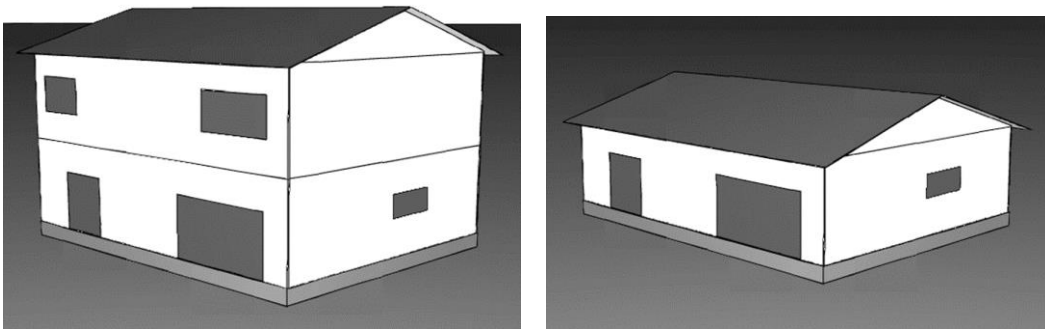


図 4.6 鉄骨造戸建住宅のモデル概観図（左：2階建て、右：平屋建て）

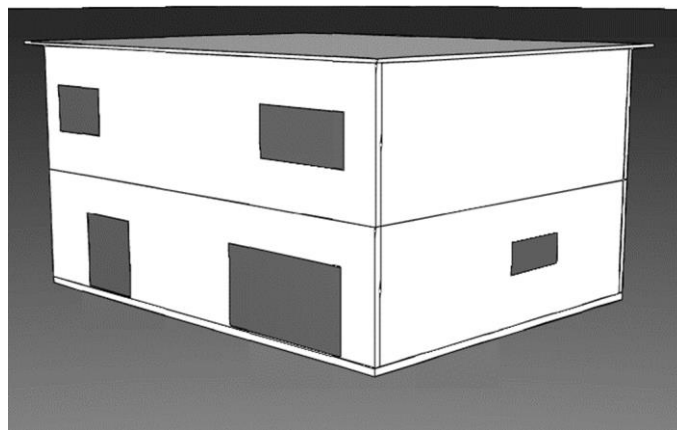


図 4.7 鉄筋コンクリート造戸建て住宅のモデル概観図

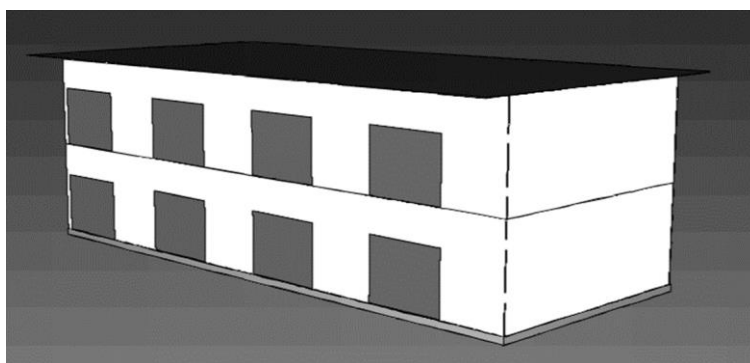


図 4.8 2階建て集合住宅（木造、鉄骨造共通）のモデル概観図

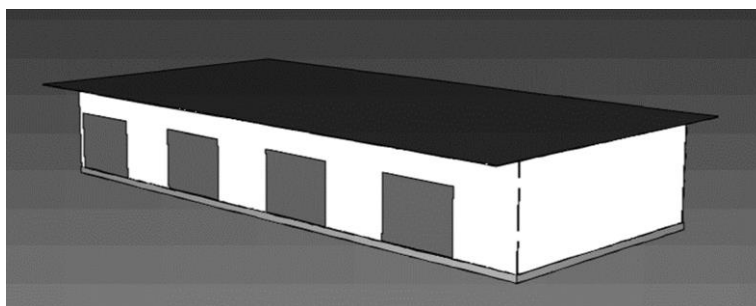


図 4.9 平屋建て集合住宅（木造、鉄骨造共通）のモデル概観図

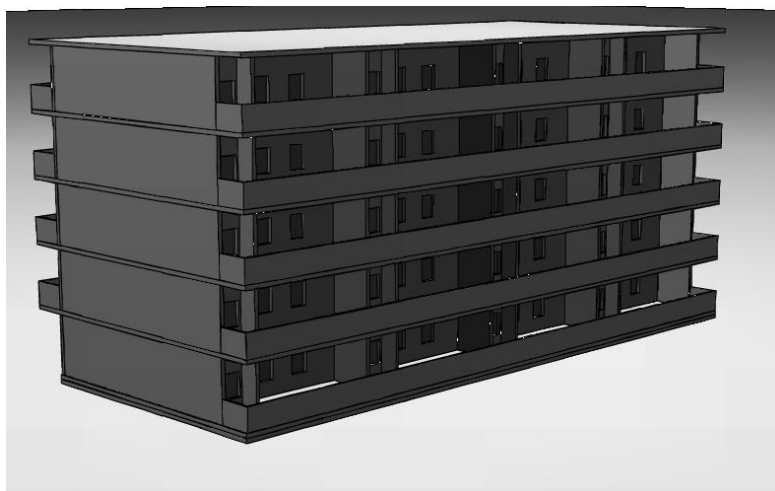


図 4.10 鉄筋コンクリート造集合住宅のモデル概観図

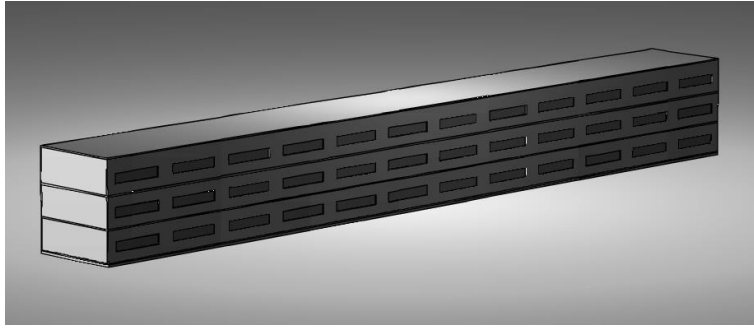


図 4.11 学校のモデル概観図

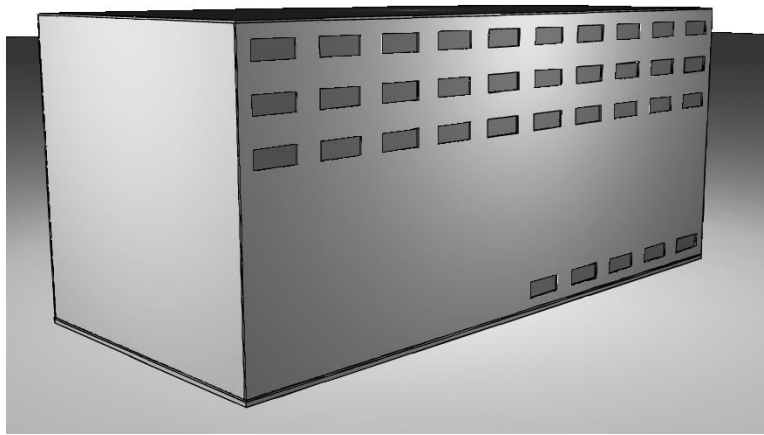


図 4.12 病院のモデル概観図

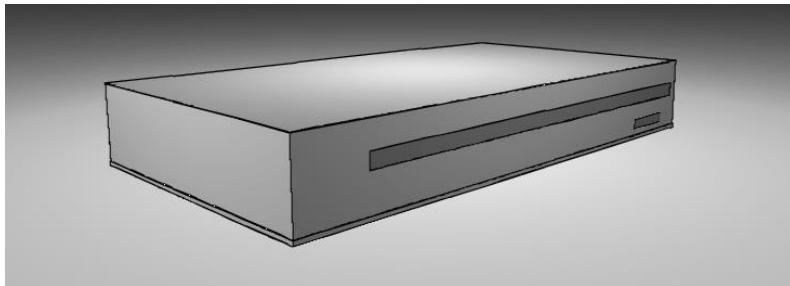


図 4.13 体育館のモデル概観図

### ③ 住宅の外装材と内装材の組み合わせ

4.1.1 の調査に基づいて設定したパラメータを整理する。戸建住宅の解析で設定した外装材と内装材の厚さと密度を表 4.14 に示す。集合住宅及び長屋建て住宅の解析で設定した外装材と内装材の厚さと密度を表 4.15 と表 4.16 に示す。

表 4.14 戸建住宅の解析で設定した外装材・内装材の厚さと密度

対象建屋				外装材			内装材		
非防火 木造	防火 木造	鉄骨造	鉄筋 コンクリ ート造	名称	厚さ (cm)	密度 (g cm <sup>-3</sup> )	名称	厚さ (cm)	密度 (g cm <sup>-3</sup> )
×	○	○	×	窯業系サイディ ング材	1.6	1.1			
×	○	○	×	金属サイディン グ材	0.03	7.86			
×	○	○	×	モルタル	1.5	1.3	石膏 ボード張 り	0.95	0.7
×	○	×	×	軽量気泡コンク リート	3.5	0.5			
×	×	○	×		5.0				
×	○	○	×	セラミック タイル	0.8	2.1			
×	○	×	×	漆喰	2.0	1.0			
×	○	×	×	土壁	6.0	1.28			
○	×	×	×	木製サイディン グ材	1.8	0.38	板張り	1.2	0.38
×	×	×	○	コンクリート	15.0	2.1		—	



表 4.15 木造集合・長屋建て住宅の解析で設定した外装材・内装材の厚さと密度

外装材			内装材		
名称	厚さ (cm)	密度 (g cm <sup>-3</sup> )	名称	厚さ (cm)	密度 (g cm <sup>-3</sup> )
窯業系サイディング材	1.6	1.1			
金属サイディング材	0.03	7.86			
モルタル	1.5	1.3			
軽量気泡コンクリート	3.5	0.5	板張り	1.2	0.38
セラミックタイル	0.8	2.1			
木製サイディング材	1.8	0.38			

表 4.16 鉄骨造集合・長屋建て住宅の解析で設定した外装材・内装材の厚さと密度

外装材			内装材		
名称	厚さ (cm)	密度 (g cm <sup>-3</sup> )	名称	厚さ (cm)	密度 (g cm <sup>-3</sup> )
窯業系サイディング材	1.6	1.1			
金属サイディング材	0.03	7.86			
モルタル	1.5	1.3	石膏 ボード張り	0.95	0.7
軽量気泡コンクリート	5.0	0.5			
セラミックタイル	0.8	2.1			

#### ④ 屋根汚染割合と壁汚染割合

本稿では、特に断らない限り放射性物質が地表面にのみ沈着したことを仮定した評価を実施する。しかし実際の事故時においては、家屋の屋根及び外壁に付着した核種からの放射線による影響も考慮する必要がある。これらの表面への核種の沈着量は、核種の物理的及び化学的性状に依存する。英国公衆衛生庁（Public Health England: PHE）がチェルノブイリ後の経験をもとにまとめた報告書（Jones et al., 2009）によると、チェルノブイリ事故時に放出された放射性物質の粒径は揮発性に応じて2つに分類することができる。比較的揮発性の高いセシウム、テルル、ルテニウム及びヨウ素については、吸入被ばくの項も示したように、1 μm 程度の粒径が観察され、難溶性物質であるランタン、バリウム、セリウム、ジルコニウム、モリブデン、アンチモン、ストロンチウム、ニオブ、プルトニウム及びキュリウムについては、2-5 μm 程度の粒径が観察されている。Jones et al. (2009) による各種表面等への粒径別の沈着量を整理して表 4.17 に示す。

また、福島第一原子力発電所事故における汚染影響として、吉村他(2017)によって大熊町と富岡町の市街地における 11 件の家屋に対して、屋根 212 箇所（傾斜 6-24 度：釉薬瓦・金属スレート・樹脂モルタル）、壁 468 箇所の事故後 4 年の時点での汚染調査が実施されている。核種は Cs-137<sup>4</sup>である。それによると、屋根汚染に関しては、舗装面に対する相対濃度が 1%から 6%の

<sup>4</sup> 以降、0.66MeV は Cs-137 相当を示し、Cs-137 と記載した場合の γ 線エネルギーは 0.66 MeV である。

間に分布しており、平均値はおよそ2%であった。一方、壁の汚染は家屋によらずほぼ1%であり分布幅は非常に小さい。吉村他の測定結果に対して、事故直後の放射能濃度を推定するためには、日本家屋の屋根材及び壁材にセシウムが付着した際の洗い流し効果について明らかにする必要がある。この点は今後の課題である。

Roed and Jacob (1990)、Andersson et al. (2002)は、チェルノブイリ事故後に家屋の屋根や壁の汚染濃度を調査している。これらの測定に基づくと、事故直後の屋根汚染の草地に対する濃度比は12%から88%の間に分布していた。なお、これは草地に対する比である。これらを比較したものを図4.14に示す。

壁汚染に対して、Roed and Jacob (1990)、Andersson et al. (2002)は1%前後と報告しており、経過時間に対する汚染割合の大きな変動はみられなかった。吉村他(2017)の福島事故後4年における測定は1%程度でありRoed and Jacob (1990)、Andersson et al. (2002)の測定結果と大きな違いはみられなかった。本事業ではこれらの沈着表面のうち、家屋内への寄与が特に大きいと考えられる屋根及び外壁に放射性物質が沈着した際に、被ばく低減係数がどの程度変化するかを含めて計算した。

表 4.17 各種表面への放射性物質の初期沈着量（土壌・草地を基準点とした場合の相対値）

		地表面に対する相対沈着量 (Jones et al., 2009)		
		元素状ヨウ素	AMAD < 2 μm	AMAD 2-5 μm
乾性沈着	舗装面	0.2	0.3	0.7
	屋根	1.5	0.7	4
	外壁	0.14	0.05	0.1
	樹木・低木	0.4	2.5	5
	雑草	0.8	1.5	1.5
	裸地	0.6	0.3	0.3
	土壌・草地	1.0	1.0	1.0
湿性沈着	舗装面	1.0	1.0	1.0
	屋根	0.85	0.85	0.85
	外壁	0.01	0.01	0.01
	樹木・低木	1.0	1.0	1.0
	雑草	1.0	1.0	1.0
	裸地	1.0	1.0	1.0
	土壌・草地	1.0	1.0	1.0

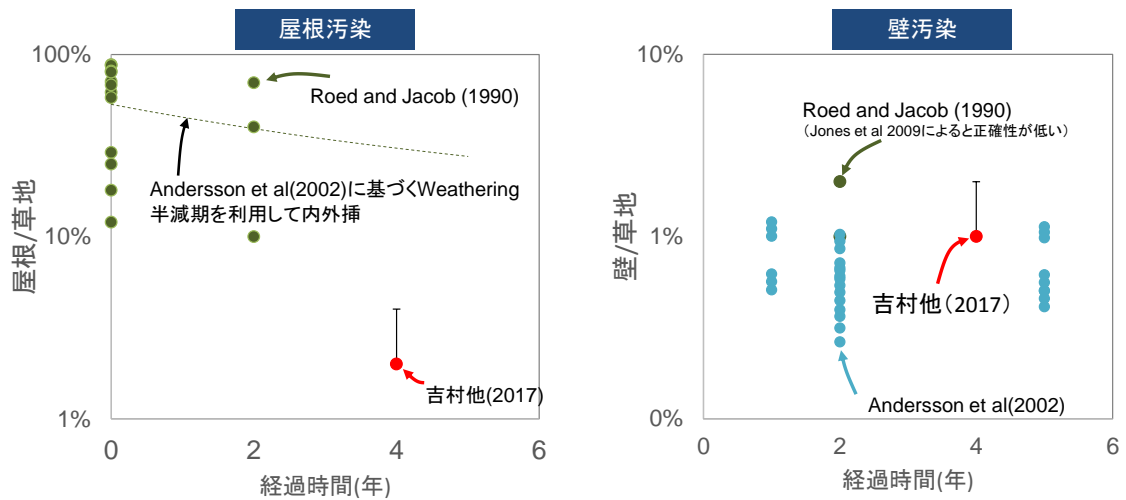


図 4.14 チェルノブイリ事故及び福島事故後における屋根及び壁汚染の比較

## (2) 解析結果

### ① 木造戸建住宅

#### A. 2階建て

2階建て木造住宅の間取り図を図 4.15 に示す。低減係数の分布図を図 4.16 に示す。各外装材と内装材の組み合わせにおけるクラウドシャインとグラウンドシャインに対する視点 1-1 と視点 2-1 上の外部被ばく低減係数を図 4.17 と図 4.18 に示す。各階の床全体に対する外部被ばく低減係数の最小値、最大値、算術平均値、及びフロア中央付近の値を表 4.18 と表 4.19 に示す。

各階における外部被ばく低減係数の分布は、クラウドシャインの場合、各階ともに被ばく低減係数の位置による大きな違いは見られなかった。また、1階と2階との外部被ばく低減係数の大小関係を比較すると、2階の外部被ばく低減係数が大きい傾向であった。2階では屋根と天井の遮へい効果が1階と比較して小さいことと、2階より下の部分(1階部の高さ)に存在する放射性物質からの寄与があるためである。グラウンドシャインの場合、家屋下に放射性物質が存在しないときに、部屋の中央付近ほど外部被ばく低減係数が小さくなる。

クラウドシャインとグラウンドシャインの両方において、最も外部被ばく低減係数の大きい外装材は木製サイディング材と金属サイディング材であり、1階における算術平均値はCs-137のクラウドシャインの場合に0.80-0.82、Cs-137のグラウンドシャインの場合に0.58であった。2階における算術平均値はCs-137のクラウドシャインの場合に約0.90、グラウンドシャインの場合に約0.55であった。

窯業系サイディング材、モルタル、軽量気泡コンクリート、セラミックタイル、漆喰に対する外部被ばく低減係数の差はほとんどなく、1階における算術平均値はCs-137のクラウドシャインの場合に0.74-0.76、Cs-137のグラウンドシャインの場合に0.50-0.52であった。2階における算術平均値はCs-137のクラウドシャインの場合に約0.86、Cs-137のグラウンドシャインの場合に約0.50であった。

最も外部被ばく低減係数が小さいのは土壁のケースであり、1階における算術平均値はCs-137のクラウドシャインの場合に0.61、Cs-137のグラウンドシャインの場合に0.42であった。2階における算術平均値はCs-137のクラウドシャインの場合に0.75、Cs-137のグラウンドシャインの場合に0.39であった。

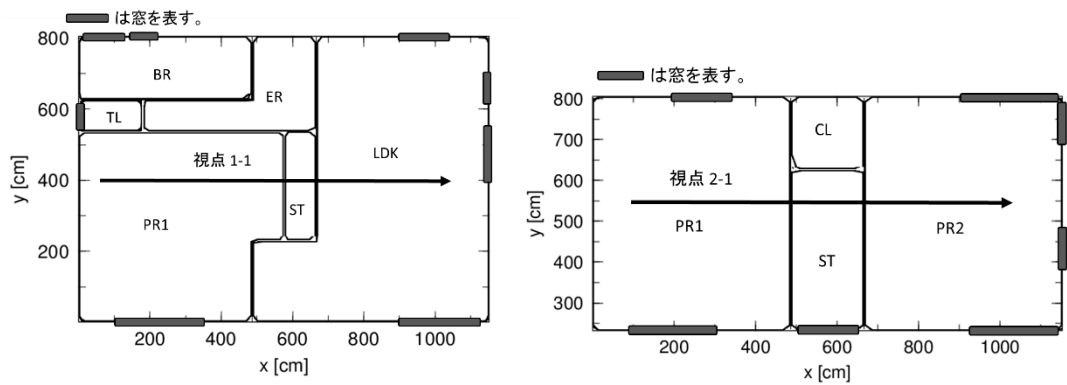


図 4.15 2階建て木造住宅の間取り図 (左:1階、右:2階)

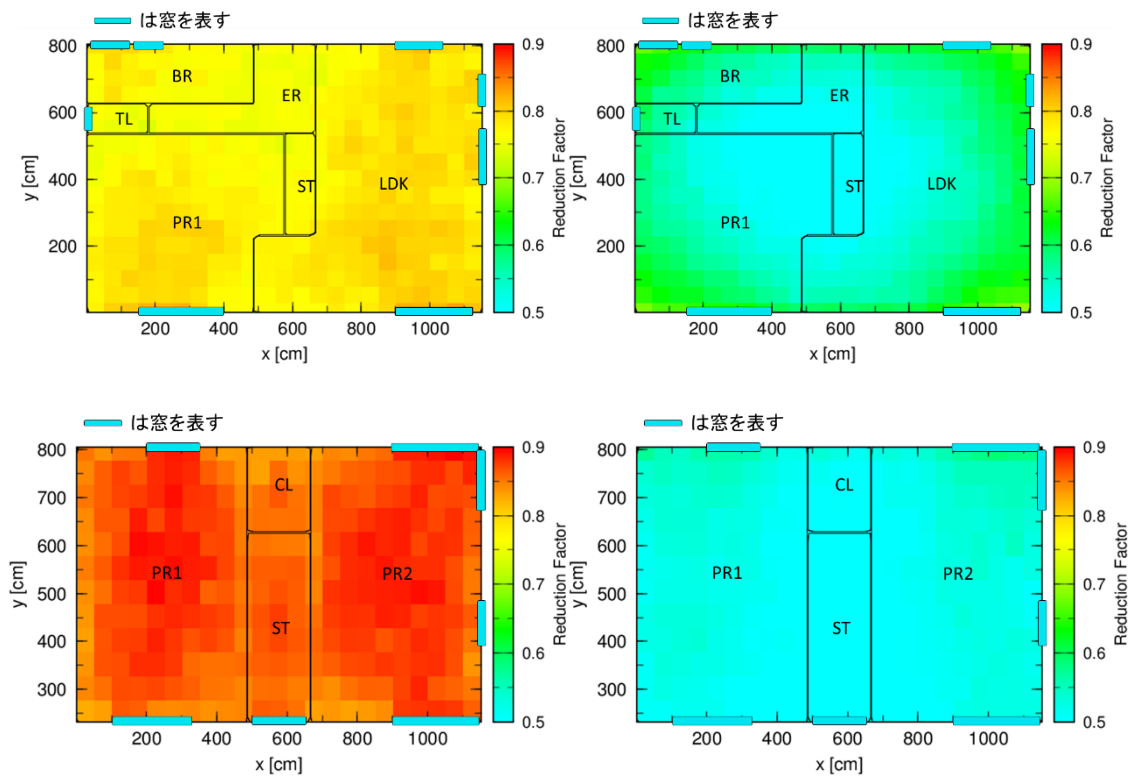


図 4.16 2階建て木造住宅での外部被ばく低減係数の分布図

Cs-137 窯業系サイディング材

左上:クラウドシャイン1階 右上:グラウンドシャイン1階  
 左下:クラウドシャイン2階 右下:グラウンドシャイン2階

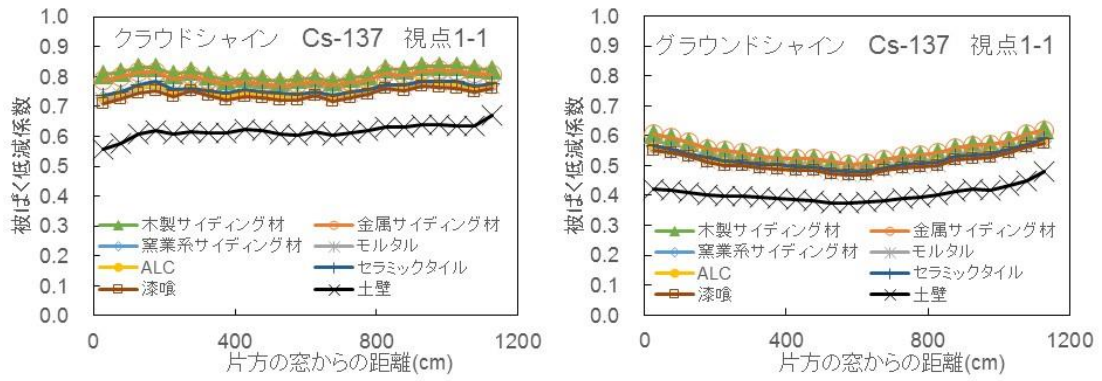


図 4.17 視点1-1 上における Cs-137 の外部被ばく低減係数  
(左：クラウドシャイン 右：グラウンドシャイン)

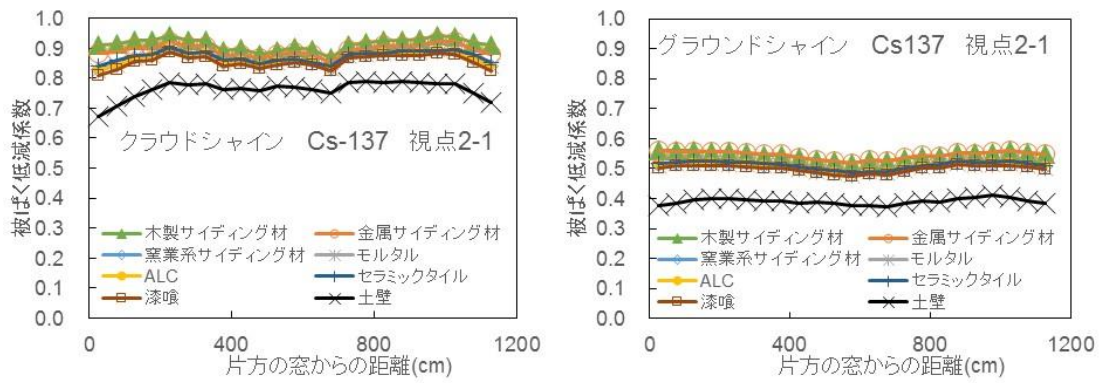


図 4.18 視点2-1 上における Cs-137 の被ばく低減係数  
(左：クラウドシャイン 右：グラウンドシャイン)

表 4.18 2 階建木造住宅(1 階)の被ばく低減係数の算術平均値、最小値、最大値、及びフロアの中央付近の値

		クラウドシャイン				グラウンド シャイン
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV
木製サイディング材	最小値	0.75	0.76	0.79	0.82	0.50
	フロアの中央付近の値	0.76	0.79	0.81	0.82	0.50
	算術平均値	0.80	0.82	0.85	0.87	0.58
	最大値	0.85	0.85	0.89	0.91	0.67
金属サイディング材	最小値	0.72	0.75	0.79	0.81	0.50
	フロアの中央付近の値	0.74	0.78	0.80	0.81	0.50
	算術平均値	0.77	0.80	0.84	0.87	0.58
	最大値	0.81	0.84	0.88	0.91	0.67
窯業系サイディング材	最小値	0.68	0.71	0.74	0.79	0.48
	フロアの中央付近の値	0.70	0.74	0.77	0.79	0.48
	算術平均値	0.72	0.76	0.80	0.83	0.54
	最大値	0.77	0.80	0.83	0.87	0.63
モルタル	最小値	0.68	0.71	0.74	0.78	0.47
	フロアの中央付近の値	0.70	0.73	0.77	0.79	0.47
	算術平均値	0.72	0.75	0.79	0.82	0.53
	最大値	0.77	0.79	0.83	0.87	0.63
軽量気泡コンクリート	最小値	0.68	0.71	0.74	0.79	0.48
	フロアの中央付近の値	0.70	0.74	0.78	0.79	0.48
	算術平均値	0.72	0.76	0.80	0.83	0.54
	最大値	0.77	0.80	0.83	0.88	0.63
セラミックタイル	最小値	0.68	0.72	0.73	0.79	0.48
	フロアの中央付近の値	0.71	0.74	0.77	0.79	0.48
	算術平均値	0.73	0.76	0.79	0.83	0.54
	最大値	0.77	0.80	0.83	0.88	0.64
漆喰	最小値	0.66	0.69	0.72	0.78	0.47
	フロアの中央付近の値	0.68	0.72	0.76	0.78	0.47
	算術平均値	0.70	0.74	0.78	0.82	0.53
	最大値	0.75	0.78	0.82	0.86	0.62
土壁	最小値	0.51	0.55	0.58	0.64	0.37
	フロアの中央付近の値	0.56	0.60	0.65	0.69	0.38
	算術平均値	0.57	0.61	0.66	0.70	0.42
	最大値	0.65	0.69	0.73	0.76	0.54

表 4.19 2 階建木造住宅(2 階)の被ばく低減係数の算術平均値、最小値、最大値、及びフロアの中央付近の値

		クラウドシャイン				グラウンド シャイン
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV
木製サイディング材	最小値	0.87	0.87	0.89	0.91	0.52
	フロアの中央付近の値	0.90	0.90	0.92	0.93	0.52
	算術平均値	0.91	0.91	0.93	0.95	0.55
	最大値	0.95	0.95	0.97	0.98	0.59
金属サイディング材	最小値	0.83	0.85	0.88	0.90	0.52
	フロアの中央付近の値	0.87	0.88	0.91	0.93	0.52
	算術平均値	0.88	0.89	0.92	0.94	0.55
	最大値	0.91	0.93	0.96	0.97	0.58
窯業系サイディング材	最小値	0.79	0.82	0.85	0.87	0.48
	フロアの中央付近の値	0.84	0.86	0.88	0.91	0.48
	算術平均値	0.85	0.86	0.89	0.91	0.51
	最大値	0.89	0.90	0.93	0.95	0.54
モルタル	最小値	0.79	0.81	0.84	0.87	0.48
	フロアの中央付近の値	0.84	0.86	0.88	0.90	0.48
	算術平均値	0.85	0.86	0.89	0.91	0.51
	最大値	0.89	0.90	0.93	0.95	0.54
軽量気泡コンクリート	最小値	0.79	0.82	0.85	0.88	0.48
	フロアの中央付近の値	0.84	0.86	0.88	0.91	0.48
	算術平均値	0.85	0.86	0.89	0.91	0.51
	最大値	0.89	0.90	0.93	0.95	0.54
セラミックタイル	最小値	0.81	0.83	0.84	0.87	0.48
	フロアの中央付近の値	0.85	0.86	0.88	0.91	0.49
	算術平均値	0.85	0.87	0.89	0.92	0.52
	最大値	0.89	0.90	0.93	0.95	0.55
漆喰	最小値	0.76	0.80	0.83	0.86	0.47
	フロアの中央付近の値	0.83	0.85	0.87	0.90	0.48
	算術平均値	0.83	0.85	0.88	0.91	0.50
	最大値	0.87	0.89	0.92	0.94	0.54
土壁	最小値	0.59	0.65	0.68	0.73	0.37
	フロアの中央付近の値	0.74	0.77	0.80	0.84	0.37
	算術平均値	0.72	0.75	0.79	0.82	0.39
	最大値	0.78	0.80	0.84	0.87	0.45

## B. 平屋建て

間取り図は2階建て木造住宅の1階（図4.15）と同じである。被ばく低減係数の分布図を図4.19に示す。各外装材と内装材の組み合わせにおけるクラウドシャイン、グラウンドシャインに対する視点1-1上の外部被ばく低減係数を図4.20に示す。床全体に対する外部被ばく低減係数の最小値、最大値、算術平均値、及びフロアの中央付近の値を表4.20に示す。

平屋建て木造住宅の外部被ばく低減係数の分布の傾向は、2階建て住宅における1階の解析結果とほぼ同等である。クラウドシャインの外部被ばく低減係数は天井方向の遮へい効果が小さくなる分、2階建て住宅の1階の解析結果と比較するとわずかに大きい。一方、グラウンドシャインに関しては2階建て住宅とほとんど差が見られなかった。

クラウドシャインとグラウンドシャインの両方において、最も外部被ばく低減係数の大きい外装材は木製サイディング材と金属サイディング材であり、1階における算術平均値はCs-137のクラウドシャインの場合に0.83-0.84であり、Cs-137のグラウンドシャインの場合に0.56-0.57であった。

2階建木造住宅と同様に、窯業系サイディング材、モルタル、ALC、セラミックタイル、及び漆喰に対する被ばく低減係数の差はほとんどなく、1階の算術平均値はCs-137のクラウドシャインの場合に約0.80、Cs-137のグラウンドシャインの場合に0.52-0.53であった。

最も被ばく低減係数が小さいのは土壁であり、1階の算術平均値はCs-137のクラウドシャインの場合に0.71、Cs-137のグラウンドシャインの場合に0.41であった。

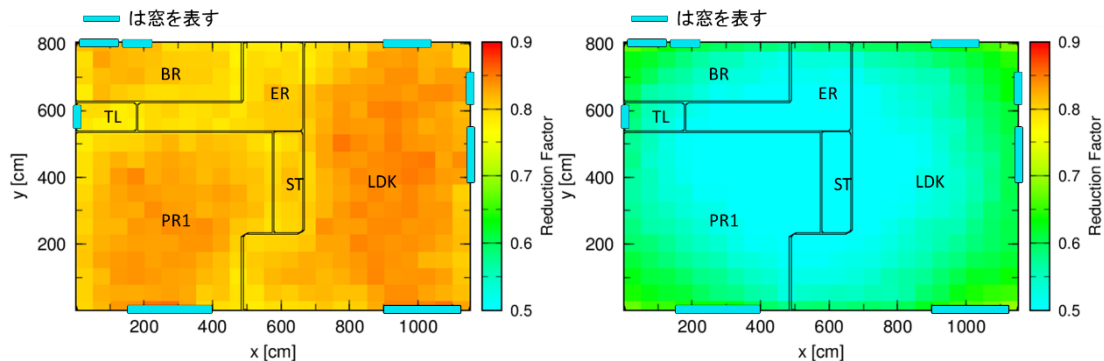


図 4.19 平屋建て木造住宅での外部被ばく低減係数の分布図

Cs-137 窯業系サイディング材

左：クラウドシャイン1階

右：グラウンドシャイン1階

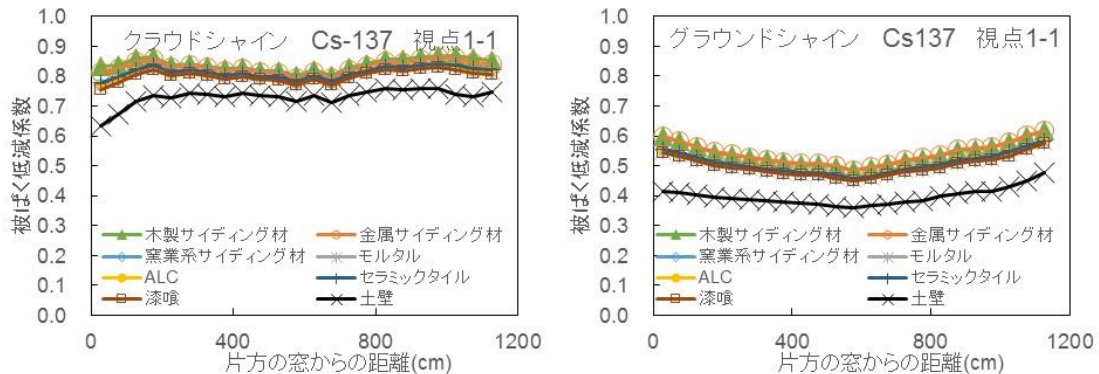


図 4.20 平屋建て木造住宅 視点1-1上の外部被ばく低減係数

(左：クラウドシャイン 右：グラウンドシャイン)



表 4.20 平屋建て木造住宅の被ばく低減係数の算術平均値、最小値、最大値、及びフロアの中央付近の値

		クラウドシャイン				グラウンドシャイン
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV
木製サイディング材	最小値	0.77	0.79	0.80	0.83	0.48
	フロアの中央付近の値	0.79	0.80	0.82	0.84	0.48
	算術平均値	0.83	0.84	0.87	0.89	0.56
	最大値	0.88	0.88	0.91	0.93	0.67
金属サイディング材	最小値	0.76	0.78	0.80	0.82	0.48
	フロアの中央付近の値	0.78	0.79	0.81	0.83	0.48
	算術平均値	0.81	0.83	0.86	0.88	0.57
	最大値	0.86	0.86	0.90	0.93	0.67
窯業系サイディング材	最小値	0.73	0.75	0.78	0.80	0.46
	フロアの中央付近の値	0.76	0.78	0.80	0.82	0.46
	算術平均値	0.78	0.80	0.83	0.86	0.53
	最大値	0.83	0.84	0.87	0.90	0.63
モルタル	最小値	0.73	0.75	0.78	0.80	0.45
	フロアの中央付近の値	0.76	0.78	0.80	0.82	0.45
	算術平均値	0.78	0.80	0.83	0.86	0.52
	最大値	0.83	0.84	0.87	0.90	0.62
軽量気泡コンクリート	最小値	0.73	0.75	0.78	0.80	0.46
	フロアの中央付近の値	0.76	0.78	0.80	0.82	0.46
	算術平均値	0.78	0.80	0.83	0.86	0.53
	最大値	0.83	0.84	0.88	0.90	0.63
セラミックタイル	最小値	0.74	0.76	0.78	0.81	0.46
	フロアの中央付近の値	0.77	0.78	0.80	0.82	0.46
	算術平均値	0.78	0.81	0.84	0.86	0.53
	最大値	0.84	0.84	0.88	0.91	0.63
漆喰	最小値	0.71	0.74	0.77	0.80	0.45
	フロアの中央付近の値	0.75	0.77	0.79	0.82	0.45
	算術平均値	0.76	0.79	0.83	0.85	0.52
	最大値	0.82	0.83	0.87	0.90	0.62
土壁	最小値	0.57	0.62	0.66	0.70	0.36
	フロアの中央付近の値	0.70	0.72	0.75	0.78	0.36
	算術平均値	0.68	0.71	0.75	0.78	0.41
	最大値	0.75	0.77	0.81	0.84	0.53

### C. 屋根及び壁面汚染の影響

屋根及び外壁への付着割合を変化させ、各条件でグラウンドシャインによる被ばく低減係数を計算した。2階建て木造住宅に対する被ばく低減係数のフロア全体の平均値とフロア中央付近の値を表 4.21 に示す。付着割合はセシウムを想定し、表 4.17 に示されている AMAD が 2 $\mu$ m 未満の屋根への付着割合 (70%)、外壁への付着割合 (5%) を包含するように、屋根への付着割合の最大値を 100%、外壁への付着割合の最大値を 10% と設定した。屋根への沈着量が 2 倍になると (表 4.21 の壁の付着割合 10% で屋根の付着割合 50% と 100% と比較すると)、1 階及び 2 階の被ばく低減係数はそれぞれ約 10% 及び 20% 弱大きくなることがわかった。また、外壁への沈着量が 10 倍になると (表 4.21 の外壁の付着割合 1% と 10% を比較すると)、屋根の場合と比較して 1 階及び 2 階の被ばく低減係数の変化量は小さく 5% 以内であった。いずれの場合においても被ばく

低減係数は屋根及び外壁への沈着を考慮しない場合よりも高くなり、最大で、地表面のみの沈着を考慮した場合と比較して1階では最大1.3倍、2階では最大1.6倍大きくなる。

表 4.21 2階建て木造住宅 屋根と壁の汚染を考慮した場合のグラウンドシャイン想定時の被ばく低減係数の算術平均値とフロア中央付近の値(Cs-137 想定)

		屋根及び壁汚染濃度比 (対地表面濃度)				
		汚染なし	屋根：50% 壁：10%	屋根：100% 壁：1%	屋根：100% 壁：10%	
1階	金属サイディング材	フロア中央	0.50	0.59	0.64	0.66
		算術平均値	0.58	0.68	0.72	0.75
	窯業系サイディング材	フロア中央	0.48	0.56	0.61	0.63
		算術平均値	0.54	0.63	0.68	0.70
	モルタル	フロア中央	0.47	0.56	0.61	0.63
		算術平均値	0.53	0.63	0.67	0.70
	軽量気泡コンクリート	フロア中央	0.48	0.56	0.61	0.63
		算術平均値	0.54	0.63	0.68	0.70
	セラミックタイル	フロア中央	0.48	0.57	0.62	0.63
		算術平均値	0.54	0.64	0.68	0.71
	漆喰塗り	フロア中央	0.47	0.56	0.61	0.62
		算術平均値	0.53	0.63	0.67	0.69
	土壁塗り	フロア中央	0.38	0.45	0.50	0.52
		算術平均値	0.42	0.50	0.54	0.56
木製サイディング材	フロア中央	0.50	0.59	0.65	0.66	
	算術平均値	0.58	0.68	0.72	0.74	
2階	金属サイディング材	フロア中央	0.52	0.66	0.74	0.77
		算術平均値	0.55	0.70	0.78	0.81
	窯業系サイディング材	フロア中央	0.48	0.62	0.71	0.73
		算術平均値	0.51	0.66	0.74	0.77
	モルタル	フロア中央	0.48	0.61	0.70	0.72
		算術平均値	0.51	0.65	0.74	0.76
	軽量気泡コンクリート	フロア中央	0.48	0.62	0.71	0.73
		算術平均値	0.51	0.66	0.74	0.77
	セラミックタイル	フロア中央	0.49	0.62	0.71	0.73
		算術平均値	0.52	0.66	0.74	0.77
	漆喰塗り	フロア中央	0.48	0.61	0.70	0.72
		算術平均値	0.50	0.65	0.73	0.76
	土壁塗り	フロア中央	0.37	0.50	0.58	0.60
		算術平均値	0.39	0.52	0.60	0.62
木製サイディング材	フロア中央	0.52	0.65	0.74	0.76	
	算術平均値	0.55	0.70	0.78	0.81	

#### D. 建築面積の影響

木造住宅に対して、建築面積の違いによる被ばく低減係数の変化を調べるため、ベースケース（建築面積 93 m<sup>2</sup>）に対して、建築面積が狭い場合（45 m<sup>2</sup>）と広い場合（150 m<sup>2</sup>）での被ばく低減係数を算出した。外壁材は窯業系サイディング材とした。2 章で示した調査結果によると原子力関連施設の立地都道府県、又は周辺の都道府県において原子力防災関連の地域防災計画を作成している自治体においては、約 90%の住宅がこの範囲に含まれる。建築面積を 45 m<sup>2</sup>及び 150 m<sup>2</sup>の条件で被ばく低減係数を評価して、93 m<sup>2</sup>と比較した結果を表 4.22 に示す。

その結果、クラウドシャインに対しては建築面積の違いの影響はほとんどなかった。一方、グラウンドシャインに対しては、建築面積が大きくなると被ばく低減係数が小さくなる傾向があり、45m<sup>2</sup>と 93m<sup>2</sup>の違いに対して 1 階の被ばく低減係数の平均値は 0.91 倍、93 m<sup>2</sup>と 150 m<sup>2</sup>の違いに対して被ばく低減係数は 0.93 倍であった。2 階に対しては 45 m<sup>2</sup>と 93 m<sup>2</sup>、93 m<sup>2</sup>と 150 m<sup>2</sup>ともに 0.93 倍であった。

表 4.22 2 階建て木造住宅 窯業系サイディング材とした場合の建築面積の違いによる被ばく低減係数の影響

		建築面積	最小値	フロア中央	算術平均値	最大値	
クラウド シャイン	0.4 MeV	1 階	45 m <sup>2</sup>	0.68	0.71	0.73	0.77
			93 m <sup>2</sup>	0.68	0.70	0.72	0.77
			150 m <sup>2</sup>	0.68	0.70	0.72	0.77
		2 階	45 m <sup>2</sup>	0.81	0.83	0.85	0.88
			93 m <sup>2</sup>	0.79	0.84	0.85	0.89
			150 m <sup>2</sup>	0.79	0.84	0.84	0.88
	0.66 MeV	1 階	45 m <sup>2</sup>	0.70	0.74	0.76	0.80
			93 m <sup>2</sup>	0.71	0.74	0.76	0.80
			150 m <sup>2</sup>	0.71	0.73	0.75	0.80
		2 階	45 m <sup>2</sup>	0.82	0.86	0.86	0.90
			93 m <sup>2</sup>	0.82	0.86	0.86	0.90
			150 m <sup>2</sup>	0.81	0.86	0.86	0.89
	1.0 MeV	1 階	45 m <sup>2</sup>	0.74	0.76	0.80	0.84
			93 m <sup>2</sup>	0.74	0.77	0.80	0.83
			150 m <sup>2</sup>	0.75	0.75	0.79	0.83
		2 階	45 m <sup>2</sup>	0.84	0.89	0.89	0.92
			93 m <sup>2</sup>	0.85	0.88	0.89	0.93
			150 m <sup>2</sup>	0.83	0.88	0.89	0.93
1.5 MeV	1 階	45 m <sup>2</sup>	0.79	0.80	0.83	0.87	
		93 m <sup>2</sup>	0.79	0.79	0.83	0.87	
		150 m <sup>2</sup>	0.77	0.78	0.82	0.86	
	2 階	45 m <sup>2</sup>	0.87	0.91	0.91	0.94	
		93 m <sup>2</sup>	0.87	0.91	0.91	0.95	
		150 m <sup>2</sup>	0.87	0.91	0.91	0.94	
グラウンド シャイン	0.66 MeV	1 階	45 m <sup>2</sup>	0.54	0.54	0.59	0.67
			93 m <sup>2</sup>	0.48	0.48	0.54	0.63
			150 m <sup>2</sup>	0.43	0.43	0.50	0.61
		2 階	45 m <sup>2</sup>	0.53	0.54	0.55	0.59
			93 m <sup>2</sup>	0.48	0.48	0.51	0.54
			150 m <sup>2</sup>	0.44	0.44	0.48	0.53

## E. 積雪の影響

1F 事故後の福島県内でも観察されたように（福島県災害対策本部, 2012）、積雪によって地表面が覆われることでグラウンドシャインからの空間線量率は低下することが知られている。地殻に含まれるガンマ線源からの放射線の減衰については過去に複数の研究成果が報告されてきた（Sievert and Hultqvist, 1951; 藤元, 1986; 長岡他, 1988, 1992）。しかしながら、事故時の放射性セシウム等に対する低減係数についてはこれまでに報告されていない。そこでここでは、木造家屋への屋内退避時に周囲への積雪を想定した場合の家屋内での被ばく低減係数を計算した。木造家屋の建屋モデル及び家屋周辺の線源体系についてはこれまでと同様に 4.1.2 で示した体系として、Cs-137 からのグラウンドシャインに対する被ばく低減係数<sup>5</sup>を評価した。この際に積雪は地表面のみとし、家屋の屋根及び壁への積雪は考慮していない。雪の密度は先行研究（Sievert and Hultqvist, 1951）を参考に  $0.10 \text{ g cm}^{-3}$  及び  $0.40 \text{ g cm}^{-3}$  とした。積雪深度は 5 cm 及び 10 cm として計算した。

これらの評価に先立って、計算の妥当性を検証するため、藤元（1986）の結果を再現できるか、同様の条件での計算を行った<sup>6</sup>。再現計算では、藤元（1986）と同様に地殻中ガンマ線源である K-40 を対象として、放射線エネルギーを 1.46 MeV の線源が地中 50 cm まで一様に分布するものとした。雪の密度を  $0.40 \text{ g cm}^{-3}$  とし、積雪深度を 10 cm とした。この結果、地表面から 1 m 高さにおける空間線量率は積雪の無い状態に比べて 0.70 倍となった。これは藤元（1986）による同様の条件に対する 0.68 倍と比べて数%以内での違いとなっており、本事業での計算は先行研究と整合性のある結果となることを確認した。

2 階建て木造住宅で、外装材を窯業系サイディング材とした場合の積雪による被ばく低減係数（グラウンドシャイン）の評価結果として、積雪深度、雪密度に対する算術平均値、フロア中央付近の値、最小値、及び最大値の値を図 4.21 と表 4.23 に示す。ここで積雪水量 ( $\text{g cm}^{-2}$ ) とは、雪密度と積雪深度の積であり、積雪量を水の厚さの等価量として示した値である。この結果から、第一に言えることは地表面に積雪があると被ばく低減係数は低くなることである。これは直観的にも明らかのように、地表面上の放射性物質に対して雪が覆いかぶさることで放射線が遮蔽されることによるものである。

第二に特徴的なのは、木造家屋 1 階と 2 階の被ばく低減係数の大小関係が積雪の有無によって逆転し、2 階の方が 1 階よりも被ばく低減係数が高くなる傾向がみられることである。これは、垂直方向から角度を持った方向にガンマ線が放出されると、空気に比べて遮へい効果の高い積雪層を通過する距離が長くなるためである。地表に線源が分布する場合と地中に線源が分布する場合においても、同様の原因によって 1 階と 2 階の線量低減係数の傾向が逆転することは古田・高橋（2014）においても指摘されている。

<sup>5</sup> 被ばく低減係数の定義はこれまでと同様に、積雪のない場合における地表面から 1 m の高さにおける空間線量率に対する比とした。

<sup>6</sup> 藤元（1986）が指摘しているように Sievert and Hultqvist（1951）の計算は散乱線の寄与を過小評価しており、積雪時の線量が実際よりも低く評価されている。このため、本事業では妥当性の検証に藤元（1986）の結果を参照した。

表 4.23 2階建木造住宅 窯業系サイディング材とした場合の積雪深度の違いによる被ばく低減係数（グラウンドシャイン）の影響

積雪深度 (cm)	雪密度 (g cm <sup>-3</sup> )		最小値	フロアの 中央付近の値	算術 平均値	最大値
0	0.0	1階	0.48	0.48	0.54	0.63
		2階	0.48	0.48	0.51	0.54
5	0.1	1階	0.29	0.29	0.34	0.43
		2階	0.39	0.39	0.42	0.46
10	0.1	1階	0.21	0.21	0.26	0.34
		2階	0.32	0.32	0.35	0.38
5	0.4	1階	0.15	0.15	0.19	0.26
		2階	0.24	0.25	0.27	0.30
10	0.4	1階	0.09	0.09	0.12	0.18
		2階	0.17	0.17	0.19	0.22

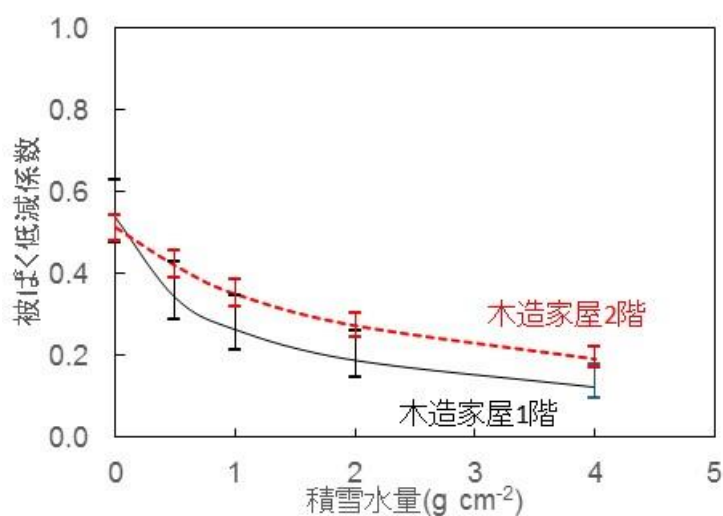


図 4.21 積雪水量に対する木造家屋の階数別の被ばく低減係数（グラウンドシャイン）

#### F. 防火木造住宅の壁材について

防火木造住宅と鉄骨造住宅の壁材を、外装材の分布（表 4.1 に示した平成 27 年度のデータと表 4.3 に示した昭和 62 年のデータ）を用いて検討した。なお、表 4.1 と表 4.3 で「その他」、「なし」、及び「不明」に分類されている外装材を「セラミックタイル」とした。表 4.3 で「サイディング張り」に分類されている壁材を窯業系サイディング材と金属サイディング材の混合とした。その混合割合は平成 27 年度の「窯業系サイディング材：金属サイディング材＝78.8：8.8」とした。

以下の被ばく低減係数は、上記の前提に基づいて重み付け平均したものである。

- ・ 2 階建て防火木造住宅、Cs-137、クラウドシャインの場合  
平成 27 年度のデータ使用時：1 階 → 0.76、2 階 → 0.87  
昭和 62 年度のデータ使用時：1 階 → 0.75、2 階 → 0.86
- ・ 2 階建て防火木造住宅、Cs-137、グラウンドシャインの場合  
平成 27 年度のデータ使用時：1 階 → 0.54、2 階 → 0.51  
昭和 62 年度のデータ使用時：1 階 → 0.53、2 階 → 0.50

この結果、平成 27 年度のデータと昭和 62 年のデータのどちらを用いても、窯業系サイディング材単独のデータとほとんど変わらない結果であった。また、平成 18 年の JIS A 5422「窯業系サイディング」の改正以前では、現在では生産がされていない 12 mm 厚の窯業系サイディング材も使用されていた(日本窯業外装材協会(2007))が、付録 6 に示すように 12 mm 厚の結果も 16 mm 厚の結果と殆ど違いは見られない結果となっている。

さらに、後述するように、鉄骨造住宅の被ばく低減係数は防火木造住宅と同様に外装材間で大きな違いは見られない。以上のことから、防火木造住宅と鉄骨造住宅に関する壁材は、「窯業系サイディング材」とした。

## ② 鉄骨造戸建住宅

### A. 2階建て鉄骨造住宅

2階建て鉄骨造住宅の間取り図を図4.22に示す。被ばく低減係数の分布図を図4.23に示す。各外装材と内装材の組み合わせにおけるクラウドシャインとグラウンドシャインに対する視点1-1上と視点2-1上の外部被ばく低減係数を図4.24と図4.25に示す。各階の床全体に対する外部被ばく低減係数の最小値、最大値、算術平均値、フロアの中央付近の値を表4.24と表4.25に示す。

各階における外部被ばく低減係数の分布は、木造住宅と同じ傾向であった。クラウドシャインの場合、各階ともに中央付近では僅かに低減係数が小さい傾向であり、窓付近で僅かに上昇する。1階と2階の外部被ばく低減係数の大小関係を比較すると、木造住宅と同様に2階の外部被ばく低減係数が大きい。グラウンドシャインの場合、木造住宅と同様に部屋の中央付近ほど外部被ばく低減係数が小さい傾向である。

クラウドシャインとグラウンドシャインの両方において、最も外部被ばく低減係数の大きい外装材は金属サイディング材であり、1階でCs-137のクラウドシャインの場合に算術平均値は0.74、フロア中央付近で0.69、Cs-137のグラウンドシャインの場合に算術平均値は0.55、フロア中央付近で0.47であった。2階でCs-137のクラウドシャインの場合に算術平均値は0.85、フロア中央付近で0.80、Cs-137のグラウンドシャインの場合に算出平均値は0.54、フロア中央付近で0.51であった。

窯業系サイディング材、モルタル、セラミックタイル、及びALCに対する外部被ばく低減係数の差はほとんどなく、1階でCs-137のクラウドシャインの場合に算術平均値は約0.69、フロア中央付近で約0.66、Cs-137のグラウンドシャインの場合に算術平均値は約0.51、フロア中央付近で約0.45であった。2階でCs-137のクラウドシャインの場合に算術平均値は約0.82、フロア中央付近で約0.78、Cs-137のグラウンドシャインの場合に算術平均値は約0.50、フロア中央付近で約0.47であった。

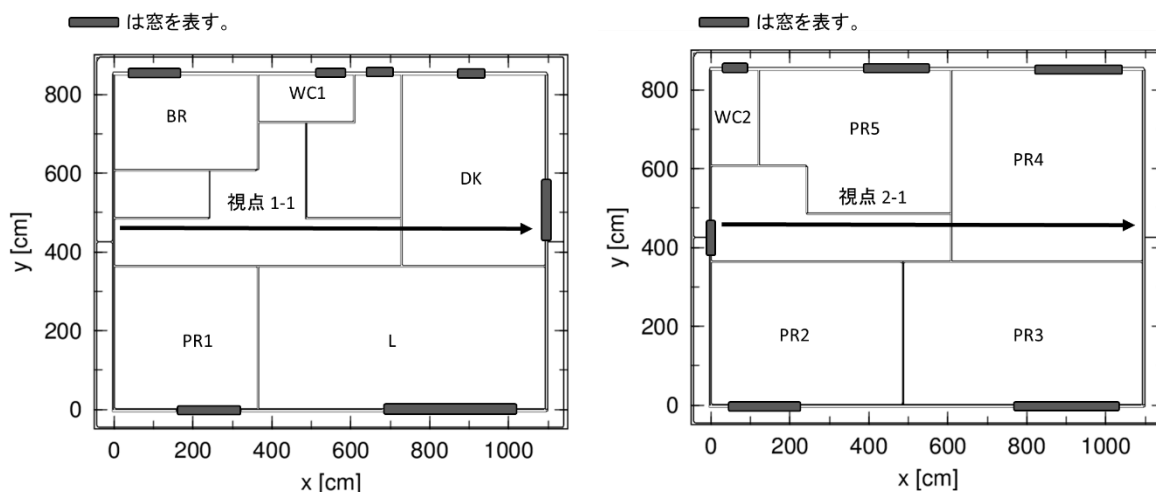


図4.22 2階建て鉄骨造住宅の間取り図 (左:1階、右:2階)

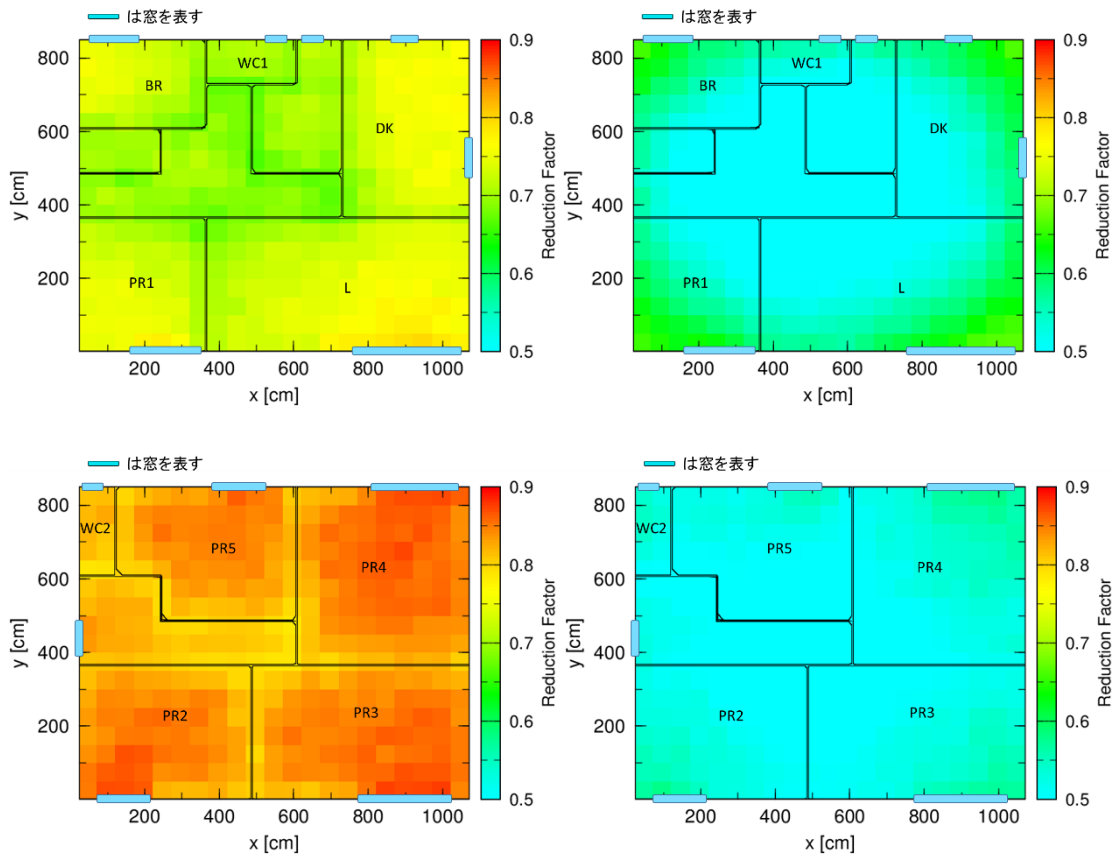


図 4.23 2階建て鉄骨造住宅での外部被ばく低減係数の分布図

Cs-137 窯業系サイディング材

左上：クラウドシャイン1階      右上：グラウンドシャイン1階  
 左下：クラウドシャイン2階      右下：グラウンドシャイン2階

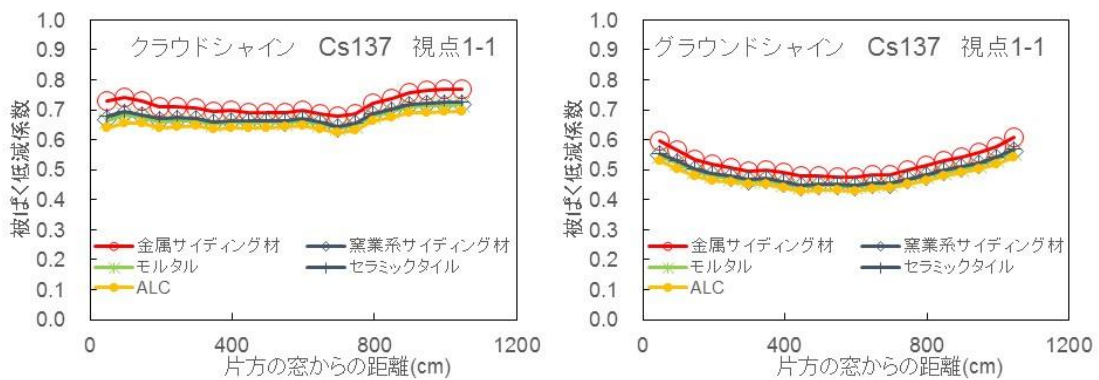


図 4.24 2階建て鉄骨造住宅 視点 1-1 上における Cs-137 の被ばく低減係数  
 (左：クラウドシャイン      右：グラウンドシャイン)



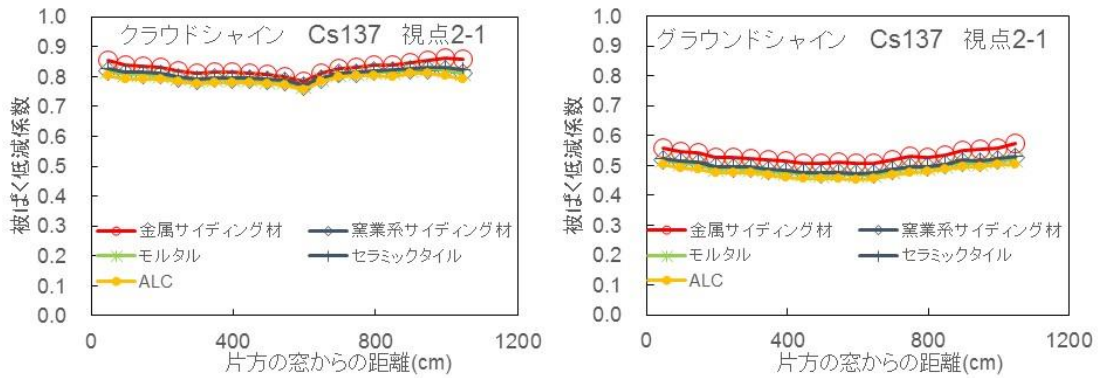


図 4.25 2階建て鉄骨造住宅 視点2-1 上における Cs-137 の被ばく低減係数  
(左図：クラウドシャイン 右図：グラウンドシャイン)

表 4.24 2階建て鉄骨造住宅(1階)の被ばく低減係数の算術平均値、最小値、最大値、フロアの中央付近の値

		クラウドシャイン				グラウンドシャイン
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV
金属サイディング材	最小値	0.62	0.67	0.72	0.76	0.47
	フロアの中央付近の値	0.64	0.69	0.73	0.77	0.47
	算術平均値	0.70	0.74	0.78	0.82	0.55
	最大値	0.77	0.80	0.85	0.88	0.67
窯業系サイディング材	最小値	0.58	0.63	0.68	0.73	0.44
	フロアの中央付近の値	0.60	0.66	0.71	0.74	0.45
	算術平均値	0.65	0.69	0.74	0.78	0.51
	最大値	0.72	0.76	0.80	0.84	0.63
モルタル	最小値	0.57	0.63	0.68	0.73	0.44
	フロアの中央付近の値	0.60	0.66	0.70	0.73	0.45
	算術平均値	0.64	0.69	0.74	0.78	0.51
	最大値	0.72	0.75	0.79	0.83	0.63
セラミックタイル	最小値	0.58	0.64	0.69	0.73	0.44
	フロアの中央付近の値	0.61	0.66	0.71	0.74	0.45
	算術平均値	0.65	0.70	0.75	0.78	0.52
	最大値	0.73	0.76	0.80	0.84	0.64
軽量気泡コンクリート	最小値	0.56	0.61	0.66	0.71	0.43
	フロアの中央付近の値	0.58	0.64	0.69	0.72	0.43
	算術平均値	0.62	0.67	0.72	0.76	0.50
	最大値	0.70	0.74	0.77	0.82	0.61

表 4.25 2 階建て鉄骨造住宅(2 階)の被ばく低減係数の算術平均値、最小値、最大値、フロアの中央付近の値

		クラウドシャイン				グラウンドシャイン
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV
金属サイディング材	最小値	0.73	0.78	0.81	0.84	0.50
	フロアの中央付近の値	0.76	0.80	0.84	0.86	0.51
	算術平均値	0.82	0.85	0.88	0.91	0.54
	最大値	0.88	0.89	0.93	0.96	0.59
窯業系サイディング材	最小値	0.72	0.76	0.80	0.82	0.46
	フロアの中央付近の値	0.74	0.78	0.82	0.85	0.47
	算術平均値	0.79	0.82	0.86	0.89	0.51
	最大値	0.85	0.87	0.89	0.92	0.55
モルタル	最小値	0.71	0.76	0.80	0.82	0.46
	フロアの中央付近の値	0.74	0.78	0.82	0.85	0.47
	算術平均値	0.79	0.82	0.86	0.88	0.50
	最大値	0.85	0.86	0.89	0.92	0.55
セラミックタイル	最小値	0.72	0.76	0.80	0.83	0.47
	フロアの中央付近の値	0.75	0.79	0.82	0.85	0.48
	算術平均値	0.80	0.83	0.86	0.89	0.51
	最大値	0.86	0.87	0.90	0.93	0.56
軽量気泡コンクリート	最小値	0.70	0.74	0.79	0.82	0.45
	フロアの中央付近の値	0.73	0.77	0.81	0.84	0.46
	算術平均値	0.77	0.80	0.84	0.87	0.49
	最大値	0.83	0.85	0.88	0.91	0.53

## B. 平屋建て鉄骨造住宅

間取り図は2 階建て鉄骨造住宅の1 階 (図 4.22) と同じである。被ばく低減係数の分布図を図 4.27 に示す。各外装材と内装材の組み合わせにおけるクラウドシャイン、グラウンドシャインに対する視点 1-1 上の外部被ばく低減係を図 4.26 に示す。各外装材に対する床全体の被ばく低減係数の最小値、算術平均値、最大値、フロアの中央付近の値を表 4.26 に示す。

平屋建て鉄骨造住宅の外部被ばく低減係数の分布の傾向は、2 階建て鉄骨造住宅における1 階の解析結果とほぼ同等である。クラウドシャインの外部被ばく低減係数は天井方向の遮へい効果が小さくなる分、2 階建て住宅の1 階の解析結果と比較するとわずかに大きい。一方、グラウンドシャインに関しては2 階建て住宅とほとんど差が見られなかった。

クラウドシャインとグラウンドシャインの両方において、最も外部被ばく低減係数の大きい外装材は金属サイディング材であり、Cs-137 のクラウドシャインの場合に算術平均値は 0.77、フロア中央付近で 0.75 であり、Cs-137 のグラウンドシャインの場合に算術平均値は 0.53、フロア中央付近で 0.47 であった。

窯業系サイディング材、モルタル、セラミックタイル、ALC に対する被ばく低減係数の違いはほとんどなく、Cs-137 のクラウドシャインの場合に算術平均値は約 0.74、フロア中央付近で約 0.74、Cs-137 のグラウンドシャインの場合に約 0.49、フロア中央付近で約 0.44 であった。

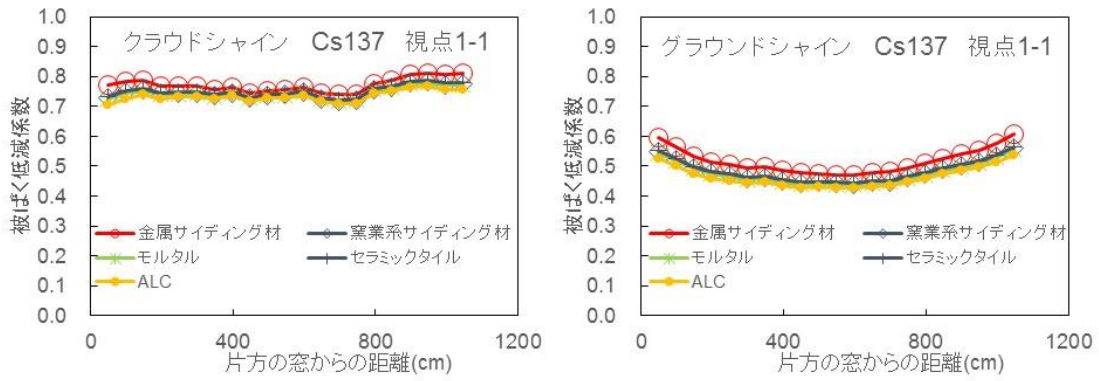


図 4.26 平屋建て鉄骨造住宅 視点 1-1 上における Cs-137 の被ばく低減係数  
(左：クラウドシャイン 右：グラウンドシャイン)

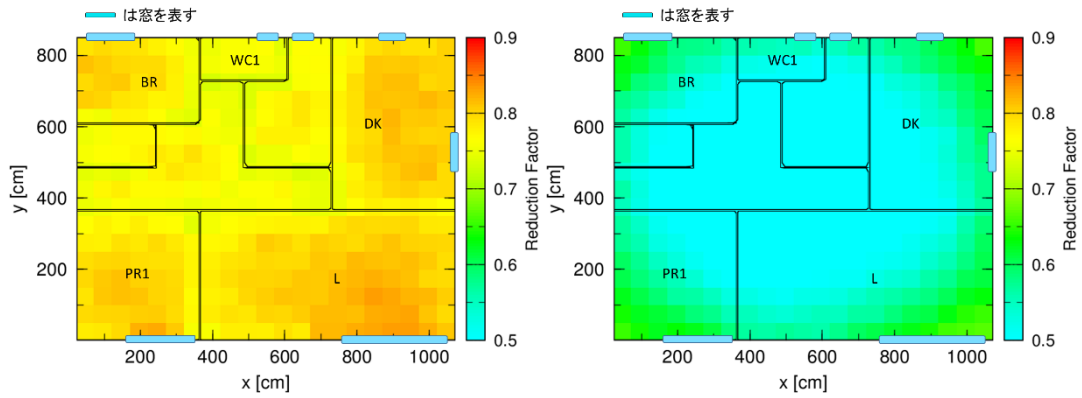


図 4.27 平屋建て鉄骨造住宅での外部被ばく低減係数の分布図  
Cs-137 窯業系サイディング材  
左：クラウドシャイン1階 右：グラウンドシャイン1階

表 4.26 平屋建て鉄骨造住宅の被ばく低減係数の算術平均値、最小値、最大値、フロアの中央付近の値

		クラウドシャイン				グラウンド シャイン
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV
金属サイディング材	最小値	0.67	0.71	0.75	0.79	0.46
	部屋の中央付近の値	0.72	0.75	0.80	0.82	0.47
	算術平均値	0.73	0.77	0.81	0.84	0.53
	最大値	0.80	0.82	0.87	0.89	0.66
窯業系サイディング材	最小値	0.64	0.69	0.73	0.77	0.43
	部屋の中央付近の値	0.70	0.74	0.78	0.81	0.44
	算術平均値	0.70	0.74	0.78	0.82	0.50
	最大値	0.76	0.79	0.84	0.86	0.62
モルタル	最小値	0.65	0.70	0.73	0.77	0.43
	部屋の中央付近の値	0.70	0.74	0.78	0.81	0.44
	算術平均値	0.70	0.74	0.78	0.82	0.49
	最大値	0.76	0.79	0.84	0.86	0.62
セラミックタイル	最小値	0.65	0.70	0.74	0.78	0.43
	部屋の中央付近の値	0.70	0.74	0.78	0.81	0.45
	算術平均値	0.71	0.75	0.79	0.82	0.50
	最大値	0.77	0.80	0.84	0.86	0.63
軽量気泡コンクリート	最小値	0.64	0.69	0.73	0.77	0.41
	部屋の中央付近の値	0.69	0.73	0.77	0.80	0.43
	算術平均値	0.69	0.73	0.77	0.81	0.48
	最大値	0.74	0.78	0.83	0.85	0.61

### C. 壁面汚染の影響

屋根と壁面汚染の影響を、木造住宅と同様に a. 屋根 100%、壁 10%、b. 屋根 100%、壁 1%、c. 屋根 50%、壁 10%の汚染を想定した場合の解析を実施した。表 4.27 に、汚染を想定しない場合と上記の汚染を想定した場合の床全体に対する被ばく低減係数の算術平均値を示す。

最も影響が大きいケースは a. 屋根 100%、壁 10%であり、屋根の影響を受けにくい鉄骨造住宅 2 階の 1 階部分では、汚染を想定しない場合と比較して約 18%程度の低減係数の増加であった。2 階部分では 30%以上の増加を示した。

2 階建て住宅の 1 階と 2 階の比較では、傾向は木造住宅と同じであり、汚染を想定しない場合に被ばく低減係数は 1 階のほうがわずかに大きいですが、このような汚染を想定した場合には特に屋根汚染の影響を受けるため、2 階の低減係数のほうが大きくなる結果となった。

表 4.27 2 階建て鉄骨造住宅 屋根と壁の汚染を考慮した場合のグラウンドシャイン想定時の被ばく低減係数の算術平均値とフロア中央付近の値 (Cs-137 想定)

		屋根及び壁汚染濃度比 (対地表面濃度)					
		汚染なし	屋根 : 50% 壁 : 10%	屋根 : 100% 壁 : 1%	屋根 : 100% 壁 : 10%		
1 階	金属サイディング材	フロア中央	0.47	0.53	0.55	0.57	
		算術平均値	0.55	0.61	0.62	0.64	
	窯業系サイディング材	フロア中央	0.45	0.50	0.52	0.54	
		算術平均値	0.51	0.57	0.58	0.60	
	モルタル	フロア中央	0.45	0.50	0.52	0.54	
		算術平均値	0.51	0.57	0.58	0.60	
	セラミックタイル	フロア中央	0.45	0.51	0.53	0.54	
		算術平均値	0.52	0.58	0.58	0.61	
	軽量気泡コンクリート	フロア中央	0.43	0.49	0.51	0.53	
		算術平均値	0.50	0.55	0.56	0.59	
	2 階	金属サイディング材	フロア中央	0.51	0.61	0.68	0.70
			算術平均値	0.54	0.65	0.70	0.73
窯業系サイディング材		フロア中央	0.47	0.58	0.64	0.66	
		算術平均値	0.51	0.61	0.66	0.69	
モルタル		フロア中央	0.47	0.57	0.64	0.66	
		算術平均値	0.50	0.61	0.66	0.69	
セラミックタイル		フロア中央	0.48	0.58	0.65	0.66	
		算術平均値	0.51	0.61	0.67	0.69	
軽量気泡コンクリート		フロア中央	0.46	0.56	0.63	0.64	
		算術平均値	0.49	0.59	0.65	0.67	

### ③ 鉄筋コンクリート造戸建住宅

#### A. 2階建て

2階建て鉄筋コンクリート造戸建住宅の間取り図を図4.28に示す。被ばく低減係数の分布図を図4.29に示す。視点1-1と視点2-1上における鉄筋コンクリート住宅の外部被ばく低減係数を図4.30に示す。床全体の被ばく低減係数の最小値、算術平均値、最大値、及びフロアの中央付近の値を表4.28に示す。木造住宅や鉄骨造住宅と比較して厚さ密度が大きいので、各階の外部被ばくによる低減係数は小さい。クラウドシャインとグラウンドシャインを比較すると、視点1-1上では、鉄筋コンクリート住宅では外壁に加えて天井の遮へい効果も大きいので、木造と鉄骨造住宅で見られたような被ばく低減係数の差はあまり見られなかった。1階でCs-137のクラウドシャイン場合に算術平均値は0.12、フロア中央付近の値は0.10、Cs-137のグラウンドシャインの場合に算術平均値は0.15、フロア中央付近の値は0.13であった。2階でCs-137のクラウドシャインの場合に算術平均値は0.23、フロア中央付近の値は0.21、Cs-137のグラウンドシャインの場合に算術平均値は0.10、フロア中央付近の値は0.08であった。

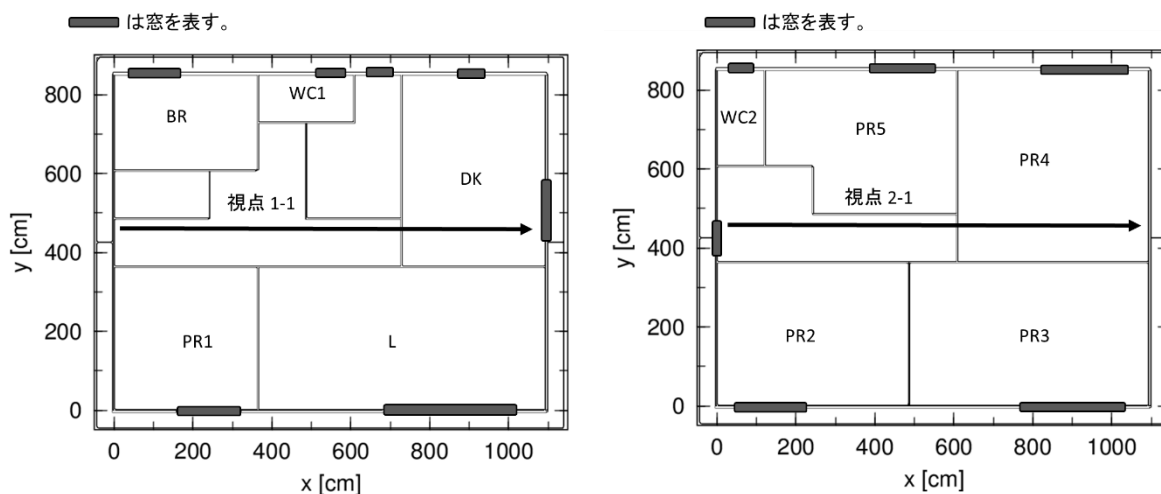


図4.28 2階建て鉄筋コンクリート住宅の間取り図 (左:1階、右:2階)

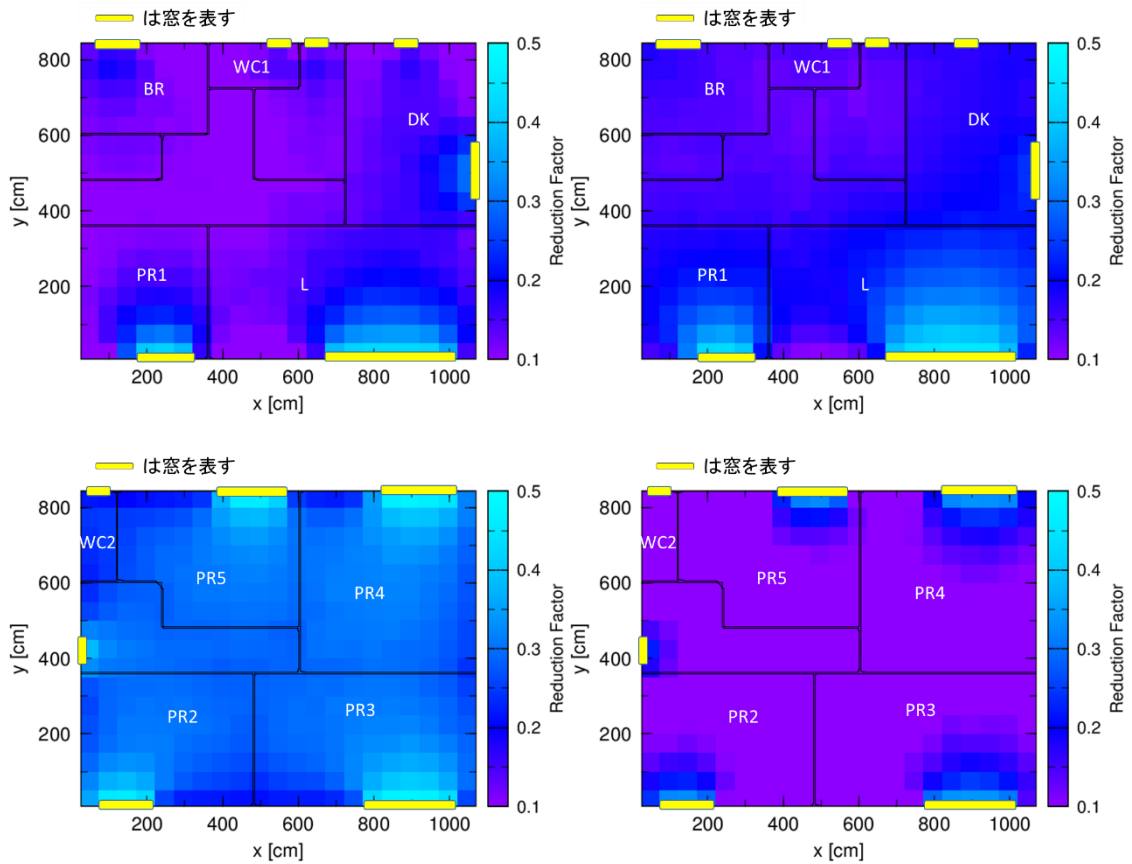


図 4.29 2階建て鉄筋コンクリート造住宅での外部被ばく低減係数の分布図(Cs-137)  
 左上：クラウドシャイン1階 右上：グラウンドシャイン1階  
 左下：クラウドシャイン2階 右下：グラウンドシャイン2階

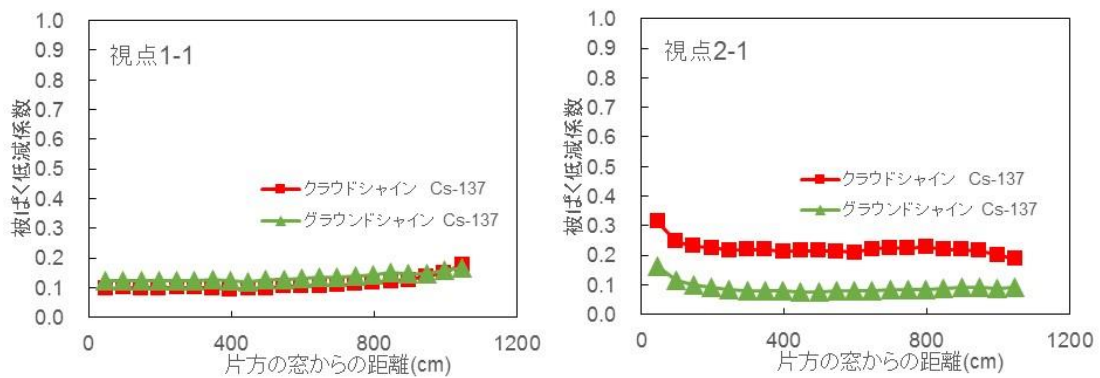


図 4.30 2階建て鉄筋コンクリート住宅 Cs-137 の被ばく低減係数 (左：1階 右：2階)

表 4.28 鉄筋コンクリート造住宅の被ばく低減係数の算術平均値、最小値、最大値、及びフロアの中央付近の値

		クラウドシャイン				グラウンドシャイン
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV
1階	最小値	0.05	0.08	0.12	0.16	0.11
	フロアの中央付近の値	0.06	0.10	0.14	0.18	0.13
	算術平均値	0.09	0.12	0.16	0.20	0.15
	最大値	0.26	0.27	0.30	0.33	0.34
2階	最小値	0.12	0.17	0.21	0.27	0.07
	フロアの中央付近の値	0.18	0.21	0.27	0.33	0.08
	算術平均値	0.17	0.23	0.28	0.34	0.10
	最大値	0.30	0.35	0.39	0.44	0.18

### B. 屋根及び壁面汚染の影響

屋根と壁面汚染の影響を、木造住宅と鉄骨造住宅と同様に a. 屋根 100%、壁 10%、b. 屋根 100%、壁 1%、c. 屋根 50%、壁 10% の汚染を想定した場合の解析を実施した。表 4.29 に汚染を想定しない場合と上記の汚染を想定した場合の床全体の被ばく低減係数の算術平均値を示す。鉄筋コンクリート造住宅の場合、木造住宅や鉄骨住宅とは異なり、コンクリート壁の遮蔽効果により木造や鉄骨造と比較して汚染の影響を受けにくく、被ばく低減係数の増加は数%程度であった。

表 4.29 鉄筋コンクリート造住宅 屋根と壁の汚染を考慮した場合のグラウンドシャイン想定時の被ばく低減係数の算術平均値とフロア中央付近の値 (Cs-137 想定)

		屋根及び壁汚染濃度比 (対地表面濃度)			
		汚染なし	屋根 : 50% 壁 : 10%	屋根 : 100% 壁 : 1%	屋根 : 100% 壁 : 10%
1階	フロア中央	0.13	0.14	0.14	0.14
	算術平均値	0.15	0.16	0.16	0.17
2階	フロア中央	0.08	0.11	0.14	0.15
	算術平均値	0.10	0.13	0.15	0.16



#### ④ 木造集合住宅及び長屋建て住宅

##### A. 2階建て

2階建て木造集合住宅及び長屋建て住宅の間取り図を図4.31に示す。被ばく低減係数の分布図を図4.32に示す。各外装材と内装材の組み合わせにおけるクラウドシャインとグラウンドシャインに対する視点1-1上と視点2-1上の床全体の外部被ばく低減係数を図4.33と図4.34に示す。床全体に対する外部被ばく低減係数の最小値、最大値、算術平均値、部屋中央付近の値<sup>7</sup>を表4.30と表4.31に示す。外部被ばく低減係数の分布は木造戸建住宅と同様の傾向であり、低減係数の絶対値も大きな違いはなかった。

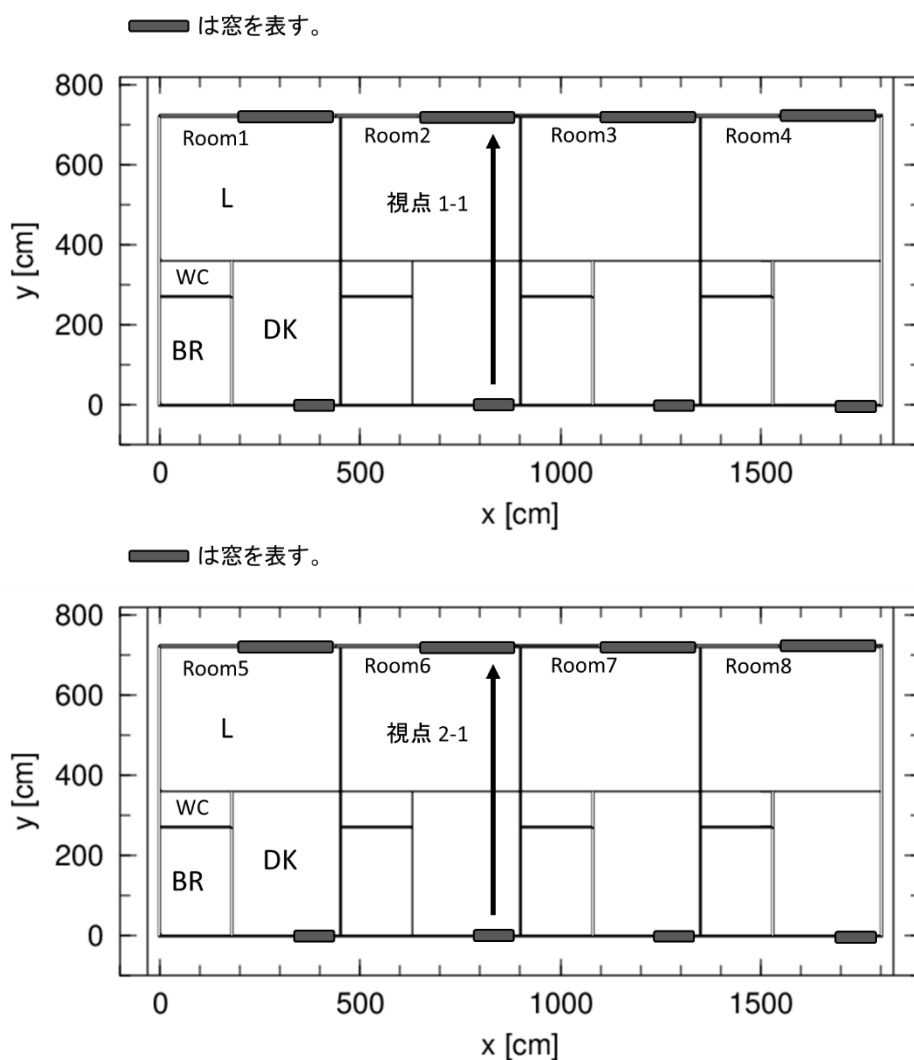


図4.31 2階建て木造集合住宅の間取り図（上：1階、下：2階）

<sup>7</sup> 集合住宅、学校、病院のように複数部屋がある場合、角部屋の中央付近の値を示す。

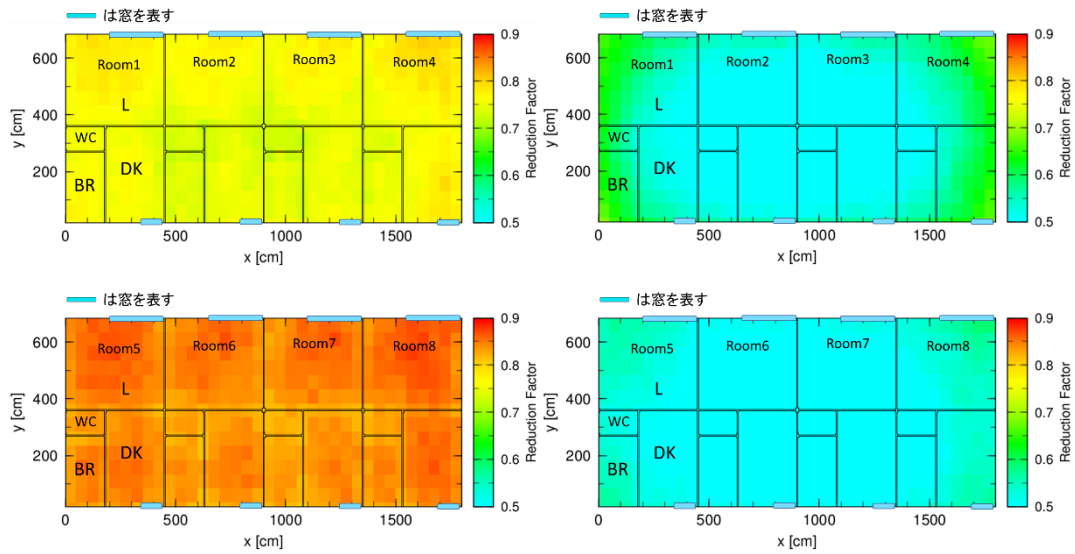


図 4.32 2 階建て木造集合住宅での外部被ばく低減係数の分布図

Cs-137 窯業系サイディング材

左上：クラウドシャイン1階  
左下：クラウドシャイン2階

右上：グラウンドシャイン1階  
右下：グラウンドシャイン2階

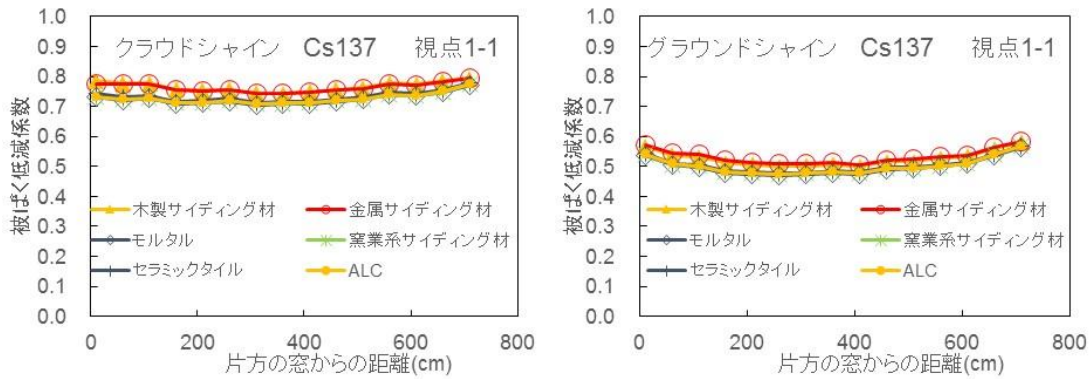


図 4.33 2 階建て木造集合住宅 視点 1-1 上における Cs-137 の被ばく低減係数  
(左：クラウドシャイン 右：グラウンドシャイン)

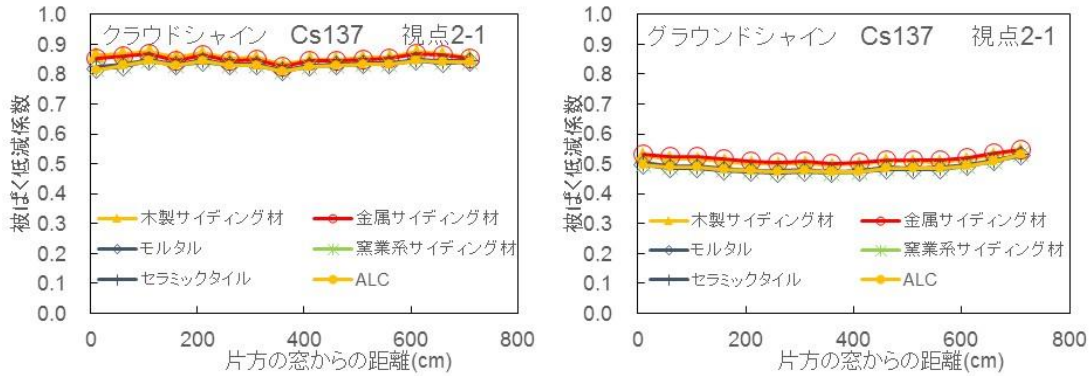


図 4.34 2 階建て木造集合住宅 視点 2-1 上における Cs-137 の被ばく低減係数  
(左：クラウドシャイン 右：グラウンドシャイン)

表 4.30 2階建て木造集合住宅（1階）の被ばく低減係数の算術平均値、最小値、最大値、及び部屋の中央付近の値

		クラウドシャイン				グラウンド シャイン
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV
金属サイディング材	最小値	0.69	0.72	0.76	0.80	0.49
	部屋の中央付近の値	0.74	0.77	0.81	0.84	0.57
	算術平均値	0.75	0.78	0.82	0.84	0.56
	最大値	0.81	0.83	0.87	0.90	0.67
窯業系サイディング材	最小値	0.66	0.69	0.72	0.76	0.46
	部屋の中央付近の値	0.70	0.73	0.77	0.80	0.53
	算術平均値	0.70	0.73	0.77	0.81	0.52
	最大値	0.76	0.78	0.83	0.85	0.64
モルタル	最小値	0.66	0.69	0.72	0.76	0.46
	部屋の中央付近の値	0.69	0.73	0.76	0.80	0.53
	算術平均値	0.70	0.73	0.77	0.80	0.52
	最大値	0.76	0.78	0.83	0.85	0.64
セラミックタイル	最小値	0.66	0.70	0.73	0.76	0.46
	部屋の中央付近の値	0.69	0.73	0.77	0.80	0.53
	算術平均値	0.71	0.74	0.78	0.81	0.53
	最大値	0.77	0.79	0.83	0.86	0.64
軽量気泡コンクリート	最小値	0.66	0.69	0.72	0.76	0.46
	部屋の中央付近の値	0.70	0.73	0.77	0.81	0.54
	算術平均値	0.70	0.73	0.77	0.81	0.52
	最大値	0.76	0.78	0.83	0.85	0.64
木製サイディング材	最小値	0.71	0.73	0.75	0.79	0.49
	部屋の中央付近の値	0.75	0.77	0.81	0.83	0.56
	算術平均値	0.76	0.78	0.81	0.84	0.55
	最大値	0.82	0.84	0.87	0.89	0.66

表 4. 31 2 階建て木造集合住宅（2 階）の被ばく低減係数の算術平均値、最小値、最大値、及び部屋の中央付近の値

		クラウドシャイン				グラウンド シャイン
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV
金属サイディング材	最小値	0.79	0.81	0.84	0.87	0.49
	部屋の中央付近の値	0.83	0.85	0.87	0.91	0.55
	算術平均値	0.84	0.86	0.89	0.91	0.54
	最大値	0.87	0.90	0.93	0.96	0.60
窯業系サイディング材	最小値	0.77	0.79	0.82	0.85	0.46
	部屋の中央付近の値	0.80	0.83	0.86	0.89	0.51
	算術平均値	0.81	0.83	0.87	0.89	0.50
	最大値	0.85	0.87	0.90	0.93	0.57
モルタル	最小値	0.77	0.79	0.82	0.85	0.46
	部屋の中央付近の値	0.80	0.83	0.86	0.89	0.51
	算術平均値	0.81	0.83	0.86	0.89	0.50
	最大値	0.85	0.87	0.90	0.93	0.57
セラミックタイル	最小値	0.78	0.80	0.83	0.86	0.46
	部屋の中央付近の値	0.80	0.83	0.86	0.89	0.51
	算術平均値	0.82	0.84	0.87	0.89	0.51
	最大値	0.86	0.88	0.91	0.93	0.57
軽量気泡コンクリート	最小値	0.77	0.79	0.82	0.85	0.46
	部屋の中央付近の値	0.81	0.83	0.86	0.89	0.52
	算術平均値	0.81	0.83	0.87	0.89	0.50
	最大値	0.85	0.87	0.90	0.93	0.57
木製サイディング材	最小値	0.81	0.82	0.84	0.87	0.48
	部屋の中央付近の値	0.84	0.86	0.88	0.91	0.54
	算術平均値	0.86	0.87	0.89	0.91	0.53
	最大値	0.90	0.91	0.94	0.96	0.60

## B. 平屋建て

間取り図は2階建て木造集合住宅の1階部分（図 4. 31）と同じである。被ばく低減係数の分布図を図 4. 36 に示す。各外装材と内装材の組み合わせにおけるクラウドシャイン、グラウンドシャインに対する視点 1-1 上の外部被ばく低減係数を図 4. 35 に示す。床全体の外部被ばく低減係数の最小値、最大値、算術平均値、部屋の中央付近の値を表 4.32 に示す。外部被ばく低減係数の分布は木造戸建住宅と同様の傾向であり、低減係数の絶対値も大きな違いはなかった。

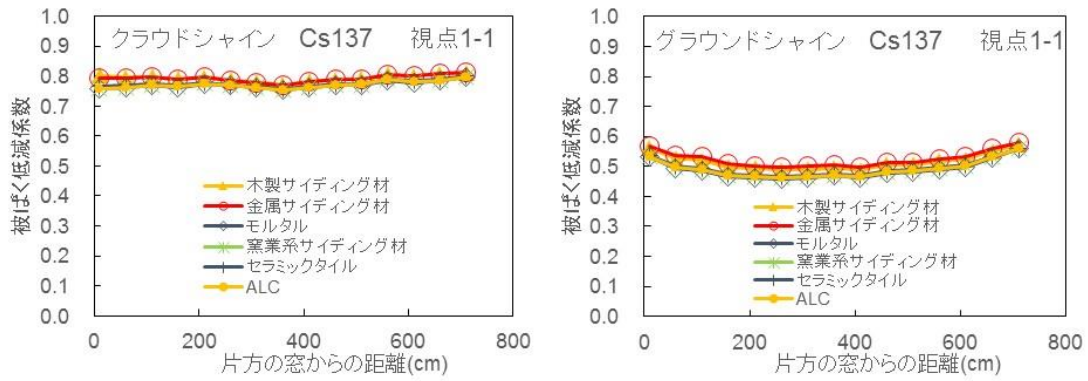


図 4.35 平屋建て木造集合住宅 視点 1-1 上における Cs-137 の被ばく低減係数  
(左：クラウドシャイン 右：グラウンドシャイン)

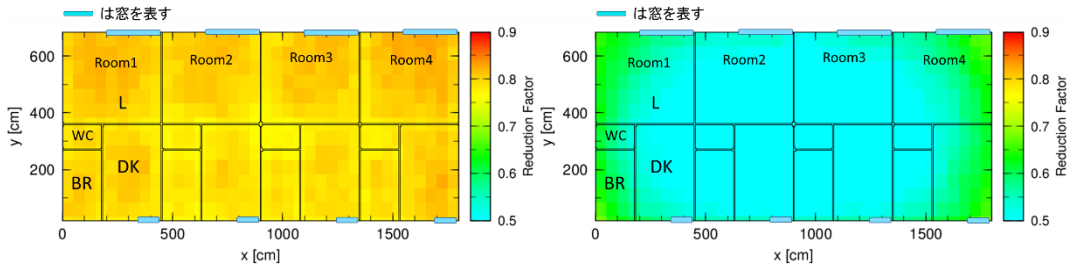


図 4.36 平屋建て木造集合住宅での外部被ばく低減係数の分布図  
(Cs-137、窯業系サイディング材)  
左：クラウドシャイン 右：グラウンドシャイン

表 4.32 平屋建て木造集合住宅の被ばく低減係数の算術平均値、最小値、最大値、及び部屋の中央付近の値

		クラウドシャイン				グラウンド シャイン
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV
金属サイディング材	最小値	0.72	0.76	0.78	0.82	0.48
	部屋の中央付近の値	0.76	0.79	0.83	0.85	0.57
	算術平均値	0.77	0.80	0.84	0.87	0.55
	最大値	0.82	0.85	0.89	0.91	0.67
窯業系サイディング材	最小値	0.70	0.74	0.77	0.80	0.45
	部屋の中央付近の値	0.74	0.77	0.81	0.83	0.53
	算術平均値	0.75	0.78	0.82	0.85	0.51
	最大値	0.78	0.82	0.86	0.88	0.63
モルタル	最小値	0.70	0.74	0.77	0.80	0.45
	部屋の中央付近の値	0.74	0.77	0.81	0.83	0.52
	算術平均値	0.74	0.78	0.81	0.84	0.51
	最大値	0.78	0.81	0.86	0.88	0.63
セラミックタイル	最小値	0.71	0.74	0.77	0.81	0.45
	部屋の中央付近の値	0.74	0.77	0.81	0.83	0.53
	算術平均値	0.75	0.78	0.82	0.85	0.52
	最大値	0.79	0.82	0.87	0.88	0.64
軽量気泡コンクリート	最小値	0.70	0.74	0.77	0.80	0.45
	部屋の中央付近の値	0.74	0.77	0.81	0.84	0.53
	算術平均値	0.75	0.78	0.82	0.85	0.51
	最大値	0.79	0.82	0.86	0.88	0.63
木製サイディング材	最小値	0.73	0.76	0.78	0.82	0.48
	部屋の中央付近の値	0.77	0.79	0.83	0.85	0.56
	算術平均値	0.78	0.81	0.84	0.87	0.54
	最大値	0.83	0.86	0.89	0.91	0.66

### C. 屋根及び壁面汚染の影響

戸建住宅と同様に、屋根と壁面汚染の影響を、a. 屋根 100%、壁 10%、b. 屋根 100%、壁 1%、c. 屋根 50%、壁 10%の汚染を想定した場合の解析を実施した。表 4.33 に、汚染を想定しない場合と上記の汚染を想定した場合の床全体の被ばく低減係数の算術平均値と部屋の中央付近の値を示す。

最も影響が大きいケースは a. 屋根 100%、壁 10%のケースであり、屋根の影響を受けにくい木造住宅 2 階の 1 階部分では汚染を想定しない場合と比較して 3 割弱程度の低減係数の増加であった。2 階部分と平屋建て住宅の 1 階の部分では 4 割以上の増加を示した。

2 階建て住宅の 1 階と 2 階の比較では、汚染を想定しない場合では被ばく低減係数は 1 階でわずかに大きい、このような汚染を想定した場合には屋根汚染の影響を受けるため、2 階の低減係数のほうが大きい結果となった。これは他の木造戸建住宅、鉄骨造戸建住宅と同様である。

表 4.33 2階建て木造集合住宅 屋根と壁の汚染を考慮した場合のグラウンドシャイン想定時の被ばく低減係数の算術平均値と部屋の中央付近の値 (Cs-137 相当)

		屋根及び壁汚染濃度比 (対地表面濃度)				
		汚染なし	屋根 : 50% 壁 : 10%	屋根 : 100% 壁 : 1%	屋根 : 100% 壁 : 10%	
1 階	木製サイディング材	部屋中央	0.56	0.63	0.64	0.66
		算術平均値	0.55	0.62	0.64	0.66
	金属サイディング材	部屋中央	0.57	0.64	0.65	0.67
		算術平均値	0.56	0.63	0.64	0.67
	窯業系サイディング材	部屋中央	0.53	0.60	0.61	0.63
		算術平均値	0.52	0.59	0.61	0.63
	モルタル	部屋中央	0.53	0.59	0.61	0.63
		算術平均値	0.52	0.59	0.60	0.63
	セラミックタイル	部屋中央	0.54	0.60	0.62	0.64
		算術平均値	0.53	0.59	0.61	0.64
	軽量気泡コンクリート	部屋中央	0.53	0.60	0.61	0.63
		算術平均値	0.52	0.59	0.61	0.63
2 階	木製サイディング材	部屋中央	0.54	0.65	0.72	0.74
		算術平均値	0.53	0.65	0.72	0.75
	金属サイディング材	部屋中央	0.55	0.66	0.73	0.75
		算術平均値	0.54	0.66	0.73	0.75
	窯業系サイディング材	部屋中央	0.51	0.62	0.69	0.71
		算術平均値	0.50	0.62	0.69	0.72
	モルタル	部屋中央	0.51	0.62	0.69	0.71
		算術平均値	0.50	0.62	0.69	0.71
	セラミックタイル	部屋中央	0.52	0.63	0.70	0.72
		算術平均値	0.51	0.63	0.70	0.72
	軽量気泡コンクリート	部屋中央	0.51	0.62	0.69	0.71
		算術平均値	0.50	0.62	0.69	0.72

⑤ 鉄骨造集合・長屋建て住宅

A. 2階建て

2階建て鉄骨造集合・長屋建て住宅の間取り図を図4.37に示す。被ばく低減係数の分布図を図4.38に示す。各外装材と内装材の組み合わせにおけるクラウドシャインとグラウンドシャインに対する視点1-1と視点2-1上の外部被ばく低減係数を図4.39と図4.40に示す。また、床全体に対する外部被ばく低減係数の最小値、算術平均値、最大値、部屋中央付近の値を表4.34と表4.35に示す。外部被ばく低減係数の分布は鉄骨造戸建住宅と同様の傾向であり、低減係数の絶対値も大きな違いはなかった。

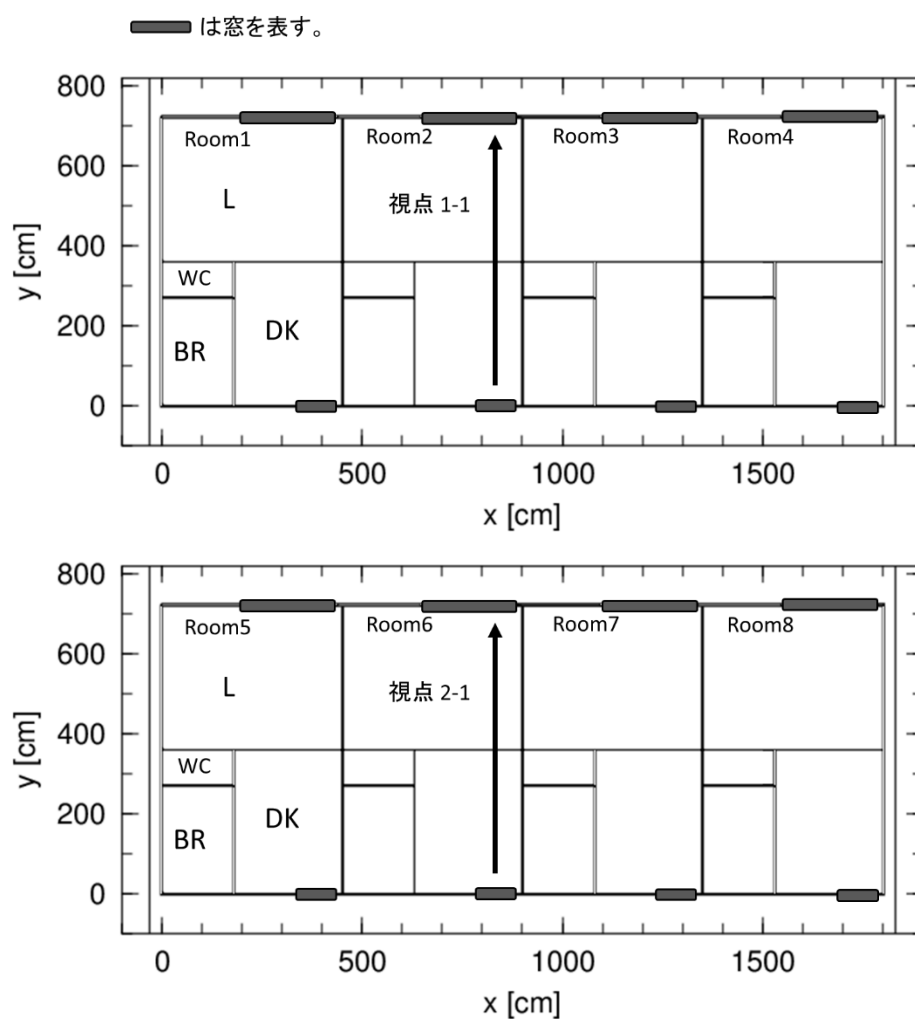


図4.37 2階建て鉄骨造集合住宅の間取り図（上：1階、下：2階）



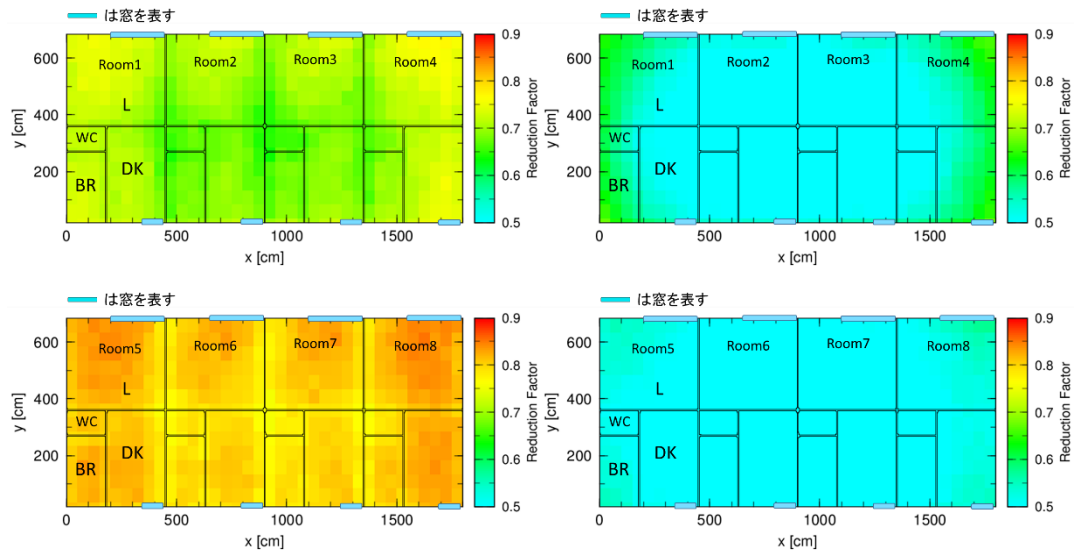


図 4.38 2階建て鉄骨造集合住宅での外部被ばく低減係数の分布図

Cs-137 窯業系サイディング材

左上：クラウドシャイン1階

右上：グラウンドシャイン1階

左下：クラウドシャイン2階

右下：グラウンドシャイン2階

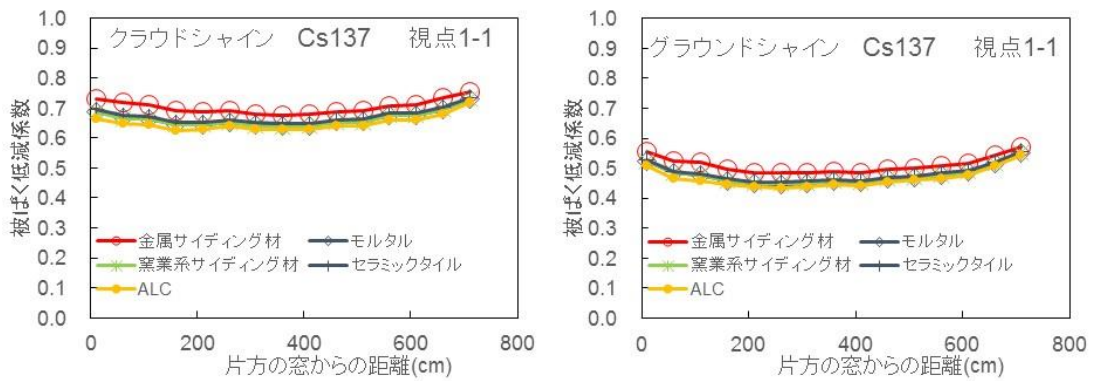


図 4.39 2階建て鉄骨造集合住宅 視点 1-1 上における Cs-137 の被ばく低減係数

(左：クラウドシャイン 右：グラウンドシャイン)

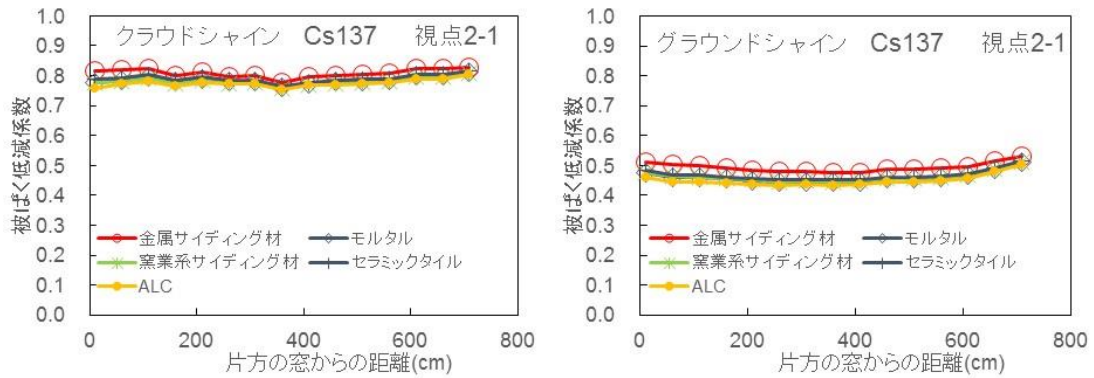


図 4.40 2階建て鉄骨造集合住宅 視点 2-1 上における Cs-137 の被ばく低減係数

(左：クラウドシャイン 右：グラウンドシャイン)

表 4.34 2階建て鉄骨造集合住宅(1階)の被ばく低減係数の算術平均値、最小値、最大値、及び部屋の中央付近の値

		クラウドシャイン				グラウンドシャイン
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV
金属サイディング材	最小値	0.62	0.66	0.71	0.75	0.47
	部屋の中央付近の値	0.69	0.73	0.76	0.80	0.56
	算術平均値	0.69	0.73	0.77	0.80	0.54
	最大値	0.77	0.80	0.84	0.87	0.66
窯業系サイディング材	最小値	0.58	0.63	0.67	0.72	0.44
	部屋の中央付近の値	0.64	0.68	0.72	0.76	0.52
	算術平均値	0.63	0.68	0.73	0.77	0.50
	最大値	0.72	0.75	0.79	0.83	0.63
モルタル	最小値	0.58	0.63	0.67	0.72	0.44
	部屋の中央付近の値	0.64	0.69	0.72	0.76	0.52
	算術平均値	0.64	0.68	0.73	0.76	0.50
	最大値	0.72	0.75	0.79	0.83	0.62
セラミックタイル	最小値	0.59	0.63	0.68	0.72	0.44
	部屋の中央付近の値	0.65	0.69	0.73	0.77	0.53
	算術平均値	0.65	0.69	0.73	0.77	0.51
	最大値	0.73	0.76	0.80	0.83	0.63
軽量気泡コンクリート	最小値	0.56	0.61	0.66	0.70	0.43
	部屋の中央付近の値	0.62	0.67	0.71	0.75	0.50
	算術平均値	0.62	0.66	0.71	0.75	0.49
	最大値	0.70	0.72	0.77	0.81	0.61

表 4.35 2階建て鉄骨造集合住宅(2階)の被ばく低減係数の算術平均値、最小値、最大値、及び部屋の中央付近の値

		クラウドシャイン				グラウンドシャイン
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV
金属サイディング材	最小値	0.74	0.77	0.81	0.83	0.46
	部屋の中央付近の値	0.80	0.82	0.85	0.89	0.53
	算術平均値	0.80	0.82	0.86	0.89	0.52
	最大値	0.85	0.88	0.91	0.94	0.59
窯業系サイディング材	最小値	0.71	0.74	0.79	0.82	0.43
	部屋の中央付近の値	0.76	0.79	0.82	0.87	0.49
	算術平均値	0.76	0.79	0.83	0.86	0.48
	最大値	0.81	0.84	0.88	0.91	0.56
モルタル	最小値	0.72	0.75	0.79	0.82	0.43
	部屋の中央付近の値	0.77	0.80	0.82	0.87	0.49
	算術平均値	0.77	0.80	0.83	0.86	0.48
	最大値	0.82	0.85	0.88	0.91	0.56
セラミックタイル	最小値	0.72	0.76	0.79	0.82	0.44
	部屋の中央付近の値	0.78	0.80	0.83	0.87	0.50
	算術平均値	0.77	0.80	0.84	0.87	0.49
	最大値	0.83	0.85	0.89	0.92	0.56
軽量気泡コンクリート	最小値	0.71	0.74	0.78	0.81	0.42
	部屋の中央付近の値	0.75	0.78	0.82	0.86	0.48
	算術平均値	0.75	0.78	0.82	0.85	0.47
	最大値	0.80	0.83	0.87	0.89	0.54

## B. 平屋建て

間取り図は2階建て集合・長屋建て住宅の1階部分（図4.37）と同じである。被ばく低減係数の分布図を図4.42に示す。各外装材と内装材の組み合わせにおけるクラウドシャイン、グラウンドシャインに対する視点1-1上の外部被ばく低減係数を図4.41に示す。床全体の外部被ばく低減係数の最小値、最大値、算術平均値、及び部屋中央付近の値を表4.36に示す。外部被ばく低減係数の分布は鉄骨造戸建住宅と同様の傾向であり、低減係数の絶対値も大きな違いはなかった。

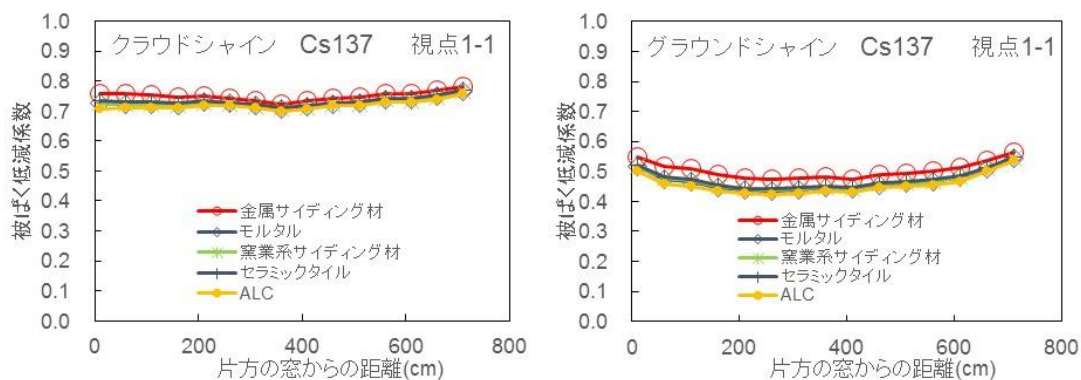


図 4.41 平屋建て鉄骨造集合住宅 視点 1-1 上における Cs-137 の被ばく低減係数  
(左：クラウドシャイン 右：グラウンドシャイン)

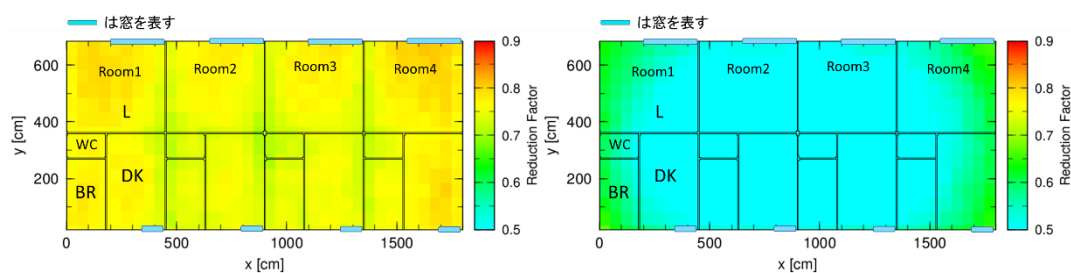


図 4.42 平屋建て鉄骨造集合住宅での外部被ばく低減係数の分布図  
Cs-137 窯業系サイディング材  
左：クラウドシャイン 右：グラウンドシャイン

表 4.36 平屋建て鉄骨造集合住宅の被ばく低減係数の算術平均値、最小値、最大値、及び部屋の中央付近の値

		クラウドシャイン				グラウンド シャイン
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV
金属サイディング材	最小値	0.67	0.71	0.75	0.79	0.46
	部屋の中央付近の値	0.73	0.76	0.80	0.83	0.55
	算術平均値	0.73	0.77	0.81	0.84	0.53
	最大値	0.80	0.82	0.87	0.89	0.66
窯業系サイディング材	最小値	0.64	0.69	0.73	0.77	0.43
	部屋の中央付近の値	0.70	0.74	0.78	0.81	0.51
	算術平均値	0.70	0.74	0.78	0.82	0.50
	最大値	0.76	0.79	0.84	0.86	0.62
モルタル	最小値	0.65	0.70	0.73	0.77	0.43
	部屋の中央付近の値	0.70	0.74	0.78	0.81	0.51
	算術平均値	0.70	0.74	0.78	0.82	0.49
	最大値	0.76	0.79	0.84	0.86	0.62
セラミックタイル	最小値	0.65	0.70	0.74	0.78	0.43
	部屋の中央付近の値	0.71	0.75	0.79	0.82	0.52
	算術平均値	0.71	0.75	0.79	0.82	0.50
	最大値	0.77	0.80	0.84	0.86	0.63
軽量気泡コンクリート	最小値	0.64	0.69	0.73	0.77	0.41
	部屋の中央付近の値	0.69	0.73	0.77	0.81	0.49
	算術平均値	0.69	0.73	0.77	0.81	0.48
	最大値	0.74	0.78	0.83	0.85	0.61

### C. 屋根及び壁面汚染の影響

戸建住宅と同様に、屋根と壁面汚染の影響を、a. 屋根 100%、壁 10%、b. 屋根 100%、壁 1%、c. 屋根 50%、壁 10%の汚染を想定した場合の解析を実施した。表 4.37 に汚染を想定しない場合と上記の汚染を想定した場合の床面全体の被ばく低減係数の算術平均値と部屋の中央付近の値を示す。

最も影響が大きいケースは a. 屋根 100%、壁 10%のケースであり、屋根の影響を受けにくい鉄骨造住宅 2 階の 1 階部分では汚染を想定しない場合と比較して 20%程度の低減係数の増加であった。2 階部分では 40%以上の増加を示した。

2 階建て住宅の 1 階と 2 階の比較では、汚染を想定しない場合では被ばく低減係数は 1 階でわずかに大きいですが、このような汚染を想定した場合には屋根汚染の影響を受けるため、2 階の低減係数のほうが大きい結果となった。これは他の木造戸建住宅、鉄骨造戸建住宅と同様である。

表 4.37 2 階建鉄骨造集合・長屋建て住宅 屋根と壁の汚染を考慮した場合の床面全体のグラウンドシャイン想定時の被ばく低減係数の算術平均値と部屋の中央付近の値 (Cs-137 想定)

		屋根及び壁汚染濃度比 (対地表面濃度)					
		汚染なし	屋根 : 50% 壁 : 10%	屋根 : 100% 壁 : 1%	屋根 : 100% 壁 : 10%		
1 階	金属サイディング材	部屋中央	0.56	0.62	0.64	0.66	
		算術平均値	0.54	0.61	0.62	0.65	
	窯業系サイディング材	部屋中央	0.52	0.58	0.60	0.62	
		算術平均値	0.50	0.57	0.59	0.61	
	モルタル	部屋中央	0.52	0.58	0.59	0.61	
		算術平均値	0.50	0.57	0.58	0.61	
	セラミックタイル	部屋中央	0.53	0.56	0.58	0.60	
		算術平均値	0.51	0.57	0.59	0.61	
	軽量気泡コンクリート	部屋中央	0.50	0.59	0.60	0.62	
		算術平均値	0.49	0.55	0.57	0.59	
	2 階	金属サイディング材	部屋中央	0.53	0.64	0.71	0.73
			算術平均値	0.52	0.64	0.70	0.73
窯業系サイディング材		部屋中央	0.49	0.60	0.67	0.69	
		算術平均値	0.48	0.60	0.66	0.69	
モルタル		部屋中央	0.49	0.60	0.67	0.69	
		算術平均値	0.48	0.60	0.66	0.69	
セラミックタイル		部屋中央	0.50	0.59	0.65	0.68	
		算術平均値	0.49	0.60	0.67	0.69	
軽量気泡コンクリート		部屋中央	0.48	0.61	0.67	0.70	
		算術平均値	0.47	0.58	0.65	0.67	

## ⑥ 鉄筋コンクリート造集合住宅

鉄筋コンクリート造集合住宅に関しては、ガンマ線エネルギーを 0.4 MeV、1 MeV、1.5 MeV 及び Cs-137 とした場合のクラウドシャインと Cs-137 を想定したグラウンドシャインの 5 ケースについて被ばく低減係数を計算した。

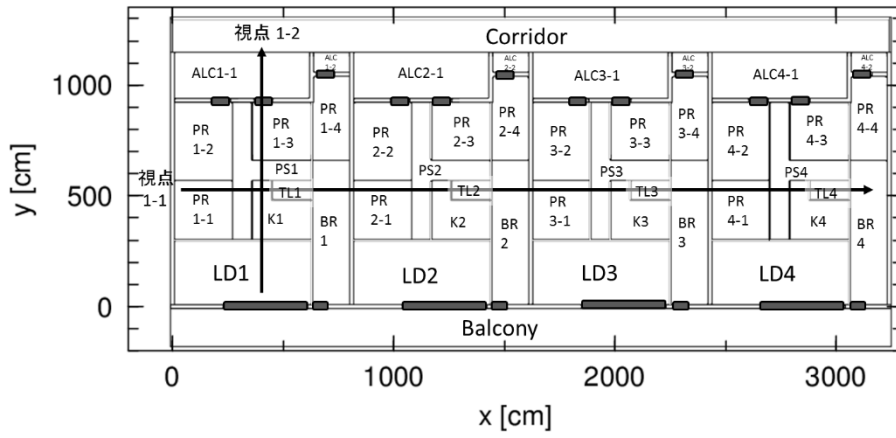
鉄筋コンクリート造集合住宅の間取り図を図 4.43 に示す。また、集合住宅 1 階に対するクラウドシャイン (Cs-137) 及びグラウンドシャインの被ばく低減係数の分布図を図 4.44 に示す。また、1 階の視点 1-1 及び視点 1-2 における被ばく低減係数を図 4.45 に示す。まず、窓からの距離に対する被ばく低減係数の変化をみると、視点 1-2 に示すように、クラウドシャインに対する被ばく低減係数は窓に近い位置で 0.3 程度、窓から離れた建物内中央近辺で 0.1 未満であった。また、グラウンドシャインに対する被ばく低減係数は、窓に近い位置で 0.4 程度、離れた建物内中央近辺で 0.1 未満であった。次に建物内の中央位置 (y 軸で 560 cm) での被ばく低減係数の変化をみると、視点 1-1 に示すように、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係数はいずれの場所においても 0.1 未満であった。

鉄筋コンクリート造集合住宅の各階における被ばく低減係数の変化を表 4.38 に示す。なお、各階の被ばく低減係数は、部屋別の被ばく低減係数を全室にわたって算術平均した値と部屋中央付近の値である。また、図 4.46 に、鉄筋コンクリート造集合住宅における階数別の被ばく低減係数のプロットを示す。ここで、誤差棒は各階の最大値と最小値を示している。クラウドシャインに対する被ばく低減係数は、1.5 MeV の方が 0.4 MeV よりも高いが、1 階から 4 階までは大きな変化は見られない (1.5 MeV の算術平均値は約 0.08、部屋の中央付近の値は約 0.06、0.4 MeV の算術平均値は約 0.05、部屋の中央付近の値は約 0.03)。一方、最上階となる 5 階では 1.5 MeV 及び 0.4 MeV のいずれに対しても被ばく低減係数は低層階よりも大きくなり、1.5 MeV の算術平均値は 0.14、部屋の中央付近の値は 0.12、0.4 MeV の算術平均値は 0.07、部屋の中央付近の値は 0.05 であった。グラウンドシャインに対する被ばく低減係数は 1 階が最も高く、階数とともに低くなっていくことが分かった。最上階となる 5 階での被ばく低減係数の算術平均値は 0.03、部屋の中央付近の値は 0.02 であり、1 階の被ばく低減係数の 4 分の 1 程度であった。

壁面及び屋根汚染の影響に関して、戸建住宅と同様に屋根と壁面汚染の影響を、a. 屋根 100%、壁 10%、b. 屋根 100%、壁 1%、c. 屋根 50%、壁 10% の汚染を想定した場合の解析を実施した。表 4.39 に、汚染を想定しない場合と上記の汚染を想定した場合の床全体の被ばく低減係数の算術平均値と部屋の中央付近の値を示す。

最も影響が大きいケースは 5 階の a. 屋根 100%、壁 10% のケースであるが、鉄筋コンクリート壁の遮蔽効果が大きいいため、顕著な影響は見られない。

■ は窓を表す。



■ は窓を表す。

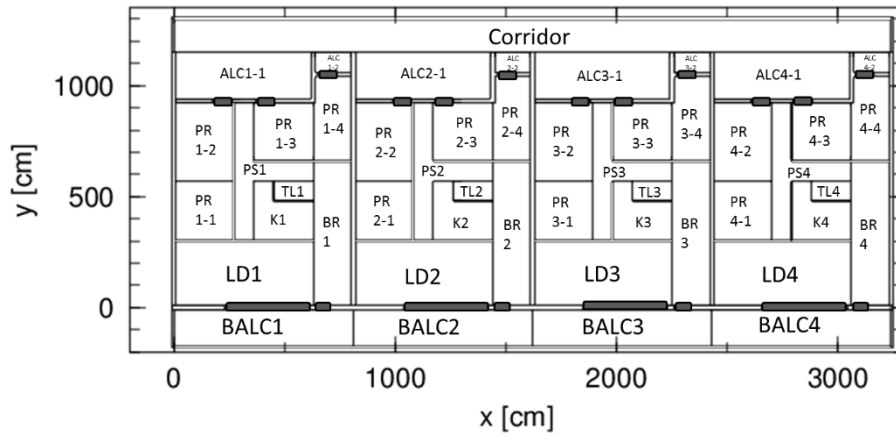


図 4.43 5階建て鉄筋コンクリート造集合住宅の間取り図（上：1階、下：2～5階）

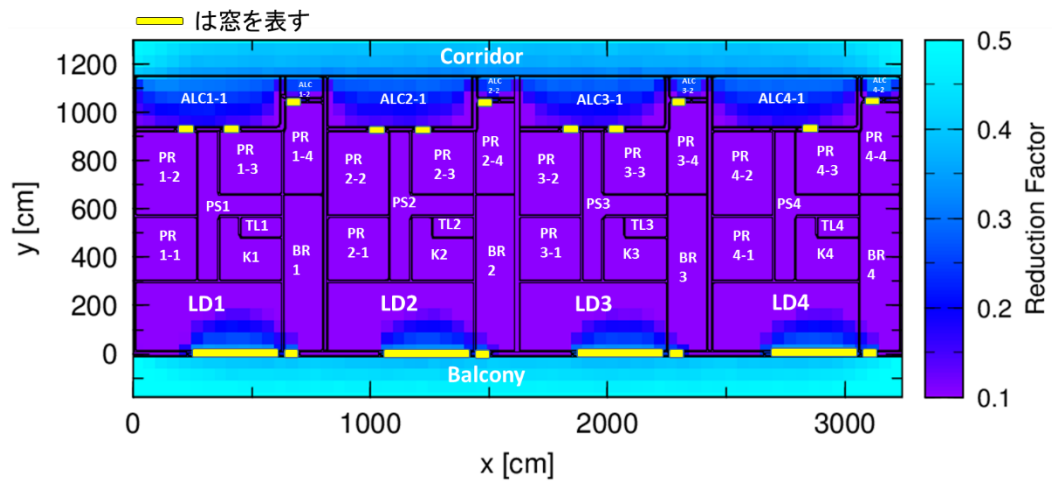
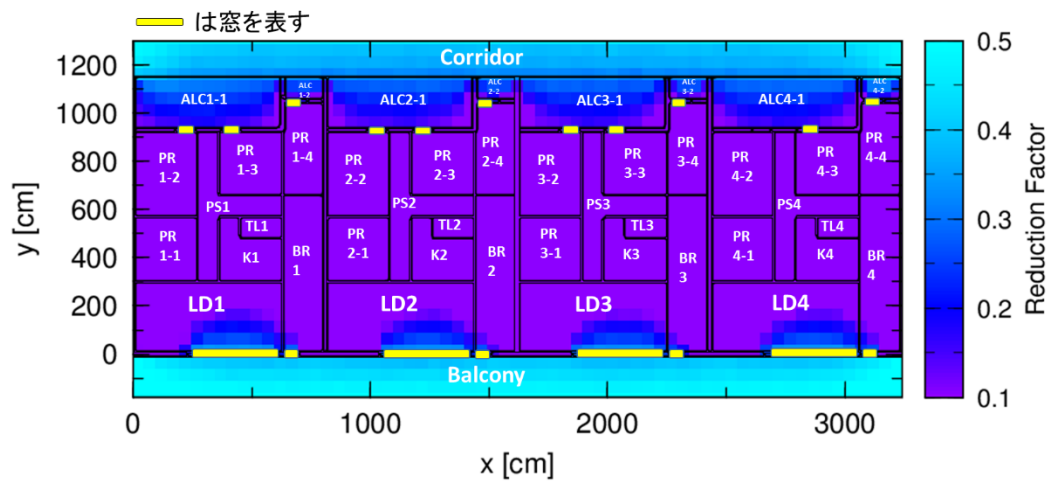


図 4.44 コンクリート造集合住宅での外部被ばく低減係数の分布図

Cs-137 1階

上：クラウドシャイン 下：グラウンドシャイン



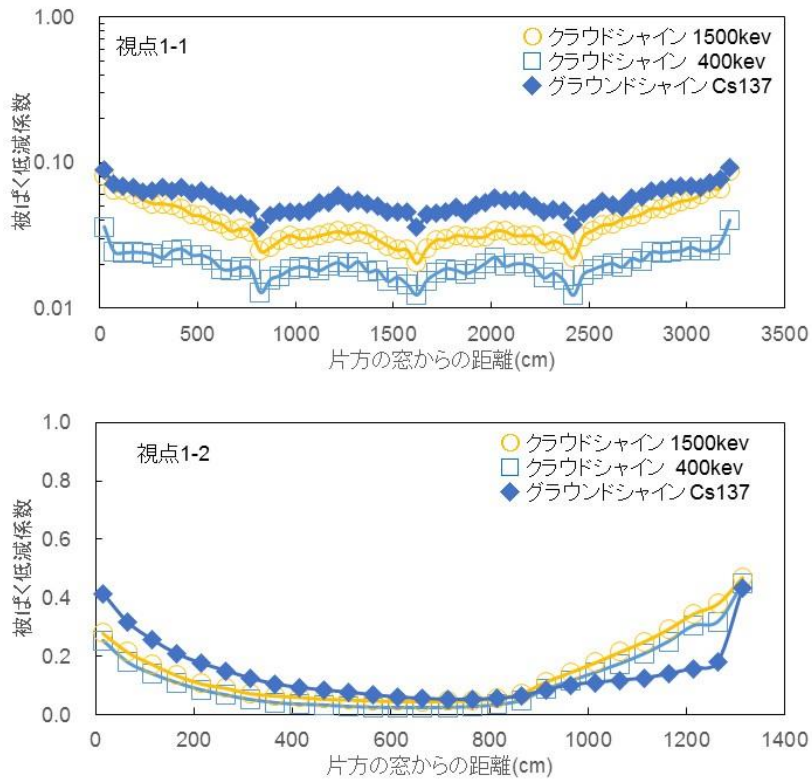


図 4.45 鉄筋コンクリート造集合住宅 1 階、視点 1-1,1-2 上の被ばく低減係数

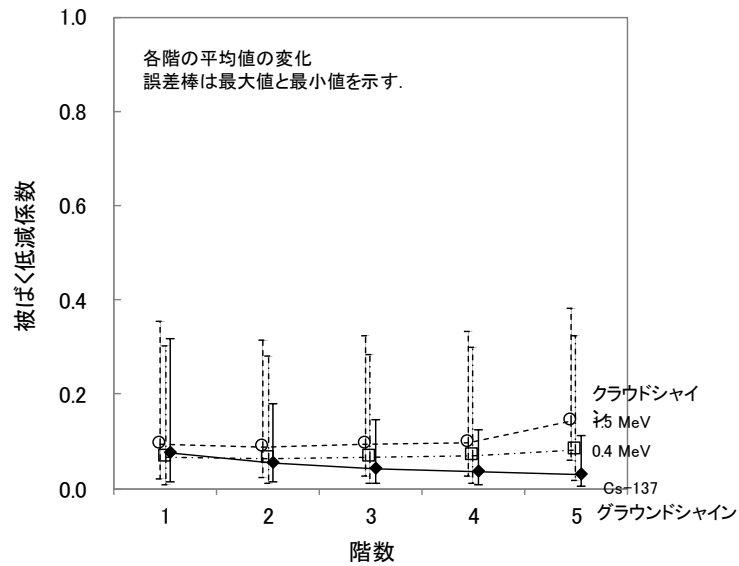


図 4.46 鉄筋コンクリート造集合住宅における階数別の被ばく低減係数

表 4.38 鉄筋コンクリート造集合住宅の被ばく低減係数の算術平均値、最小値、最大値、及び部屋の中央付近の値

		クラウドシャイン				グラウンド シャイン
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV
1階	最小値	0.01	0.02	0.02	0.02	0.04
	部屋の中央付近の値	0.03	0.04	0.04	0.06	0.08
	算術平均値	0.05	0.06	0.07	0.08	0.12
	最大値	0.20	0.21	0.22	0.23	0.35
2階	最小値	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02
	部屋の中央付近の値	0.03	0.04	0.05	0.06	0.04
	算術平均値	0.05	0.06	0.07	0.08	0.05
	最大値	0.20	0.21	0.22	0.24	0.14
3階	最小値	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01
	部屋の中央付近の値	0.03	0.04	0.05	0.07	0.03
	算術平均値	0.05	0.06	0.07	0.08	0.04
	最大値	0.21	0.21	0.23	0.24	0.11
4階	最小値	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01
	部屋の中央付近の値	0.04	0.04	0.06	0.07	0.03
	算術平均値	0.06	0.06	0.08	0.09	0.03
	最大値	0.21	0.22	0.24	0.25	0.10
5階	最小値	0.02	0.03	0.05	0.06	0.01
	部屋の中央付近の値	0.05	0.07	0.09	0.12	0.02
	算術平均値	0.07	0.09	0.11	0.14	0.03
	最大値	0.23	0.26	0.28	0.31	0.08

表 4.39 鉄筋コンクリート造集合住宅 屋根と壁の汚染を考慮した場合の床面全体のグラウンドシャイン想定時の被ばく低減係数の算術平均値と部屋の中央付近の値 (Cs-137 想定)

		屋根及び壁汚染濃度比 (対地表面濃度)			
		汚染なし	屋根 : 50% 壁 : 10%	屋根 : 100% 壁 : 1%	屋根 : 100% 壁 : 10%
1階	部屋中央	0.08	0.08	0.08	0.08
	算術平均値	0.12	0.12	0.12	0.12
2階	部屋中央	0.04	0.04	0.04	0.04
	算術平均値	0.05	0.05	0.05	0.05
3階	部屋中央	0.03	0.03	0.03	0.03
	算術平均値	0.04	0.04	0.04	0.04
4階	部屋中央	0.03	0.03	0.03	0.03
	算術平均値	0.03	0.03	0.03	0.03
5階	部屋中央	0.02	0.03	0.03	0.03
	算術平均値	0.03	0.03	0.04	0.04

## ⑦ 病院

病院に関しては、ガンマ線エネルギーを 0.4 MeV、1 MeV、1.5 MeV 及び Cs-137 とした場合のクラウドシャインと Cs-137 を想定したグラウンドシャインの 5 ケースについて被ばく低減係数を計算した。

病院の間取り図を図 4.47-図 4.49 に示す。病院 2 階、3 階及び 4 階、5 階、6 階はいずれも同じ構造となっているので、被ばく低減係数の分布図及び視点上の被ばく低減係数の変化は、1 階、2 階及び 4 階の結果を示す。被ばく低減係数の分布図を図 4.50-図 4.52 に示す。1 階、2 階、4 階の各視点における被ばく低減係数を図 4.53、図 4.54 及び図 4.55 にそれぞれ示す。

病院 1 階に対して、クラウドシャインに対する被ばく低減係数は 0.4 MeV 及び 1.5 MeV に対して、算術平均値はそれぞれ 0.03 及び 0.07、部屋の中央付近でそれぞれ 0.07 及び 0.13 であった。グラウンドシャインに対する被ばく低減係数の算術平均値は 0.05、部屋の中央付近の値は 0.08 であった。ただし、視点 1-1 と視点 1-2 にも見られるように、窓の近くでは低減係数が 0.3 から 0.4 程度まで高くなる。

病院の 2 階に対して、被ばく低減係数は壁から離れるほど低くなり、クラウドシャインの 1.5 MeV と 0.4 MeV 及びグラウンドシャインのいずれに対しても、室内中央部の被ばく低減係数は壁際の 0.4-0.5 倍程度であった。2 階に対して、クラウドシャインに対する被ばく低減係数は 0.4 MeV 及び 1.5 MeV に対して、算術平均値はそれぞれ 0.02 及び 0.06、部屋の中央付近でそれぞれ 0.03 及び 0.09 であった。グラウンドシャインに対する被ばく低減係数の算術平均値は 0.02、部屋の中央付近の値は 0.04 であった。3 階に対して、クラウドシャインに対する被ばく低減係数は 0.4 MeV 及び 1.5 MeV に対して、算術平均値はそれぞれ 0.02 及び 0.07、部屋の中央付近でそれぞれ 0.03 及び 0.10 であった。グラウンドシャインに対する被ばく低減係数の算術平均値は 0.02、部屋の中央付近の値は 0.03 であった。

図 4.55 には 4 階の被ばく低減係数を示す。この階には病室と個室が複数存在することから複雑な構造となっており、被ばく低減係数も場所によって変動する。ただし、壁から離れると被ばく低減係数が低くなるという基本的な傾向は一貫している。階層の中央に位置するホールには窓が設置されているので、同箇所での低減係数が他の室内位置よりも高くなる傾向であった。4 階における被ばく低減係数は、エネルギーの高低に関わらずクラウドシャイン及びグラウンドシャインいずれの経路に対しても 0.1 よりも低い値であった。

病院の各階の被ばく低減係数の最小値、算術平均値、最大値、病室の中央付近の値<sup>8</sup>を表 4.40 に示す。また、算術平均値に対する病院の各階における被ばく低減係数の変化を図 4.56 に示す。なお、各階の被ばく低減係数は、部屋別の被ばく低減係数を全室にわたって算術平均した値である。また、誤差棒は各階の最大値と最小値を示している。クラウドシャインに対する被ばく低減係数は、1.5 MeV の方が 0.4 MeV よりも高く、集合住宅や学校での階数依存性と同様に、1 階から 6 階にかけて階数とともに高くなる傾向であった。ただし、2 階及び 3 階は他の階と異なり隔壁のない構造となっており窓もないことから、平均値及び最大値ともに 1 階よりも低くなっていた。最上階となる 6 階では 1.5 MeV 及び 0.4 MeV のいずれに対しても被ばく低減係数は最大となり、1.5 MeV に対する算術平均値が 0.15、病室の中央付近の値が 0.22、0.4 MeV に対する算術平均値が 0.07、病室の中央付近の値が 0.11 であった。グラウンドシャインに対する被ばく低減係数は 1 階が最も高く、階数とともに低くなっていくことが分かった。最上階となる 6 階での被ばく低減係数は算術平均値で 0.01、病室の中央付近の値で 0.02 であり、1 階の半分未満であった。

<sup>8</sup> 4 階以上の部屋は PA9 の中央付近の値を用いた。1 階から 3 階までは病室はないが、4 階と同じ座標の値を用いた。

屋根及び壁汚染の影響に関して、これまでと同様に屋根と壁面汚染の影響を、a. 屋根 100%、壁 10%、b. 屋根 100%、壁 1%、c. 屋根 50%、壁 10%の汚染を想定した場合の解析を実施した。表 4.41 に、汚染を想定しない場合と上記の汚染を想定した場合の床全体の被ばく低減係数の算術平均値と病室の中央付近の値を示す。

最も影響が大きいケースは、6階に対数する a. 屋根 100%、壁 10%のケースであるが、鉄筋コンクリート壁の遮蔽効果が大きいいため、木造や鉄骨造住宅と比較して顕著な影響は見られない。

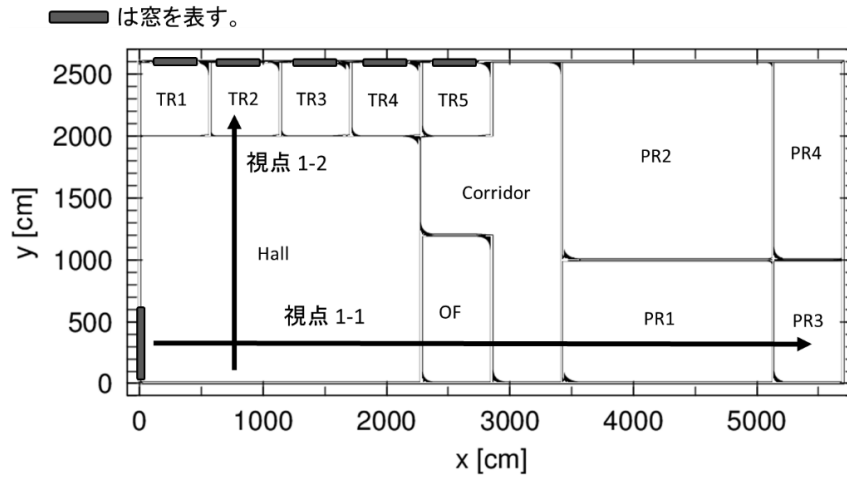


図 4.47 病院の間取り図 (1階)

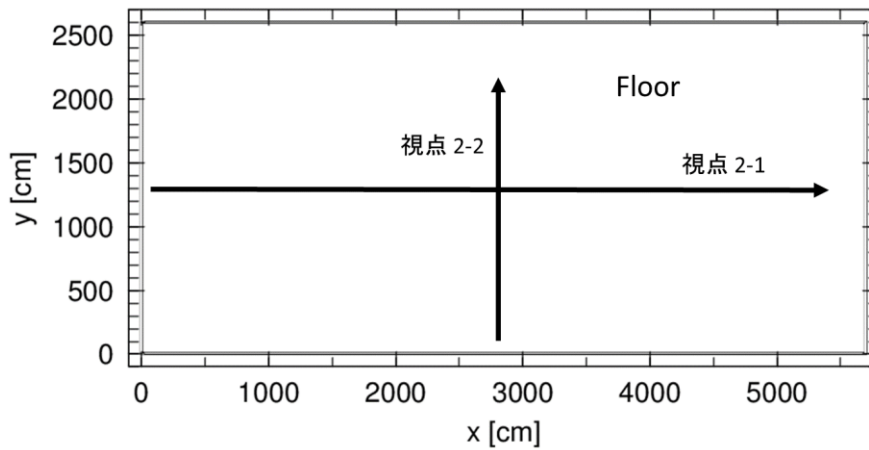


図 4.48 病院の間取り図 (2階-3階)

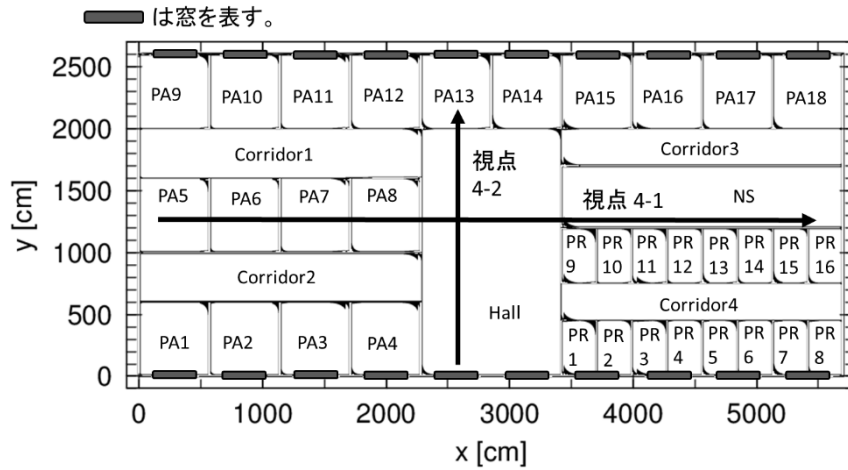


図 4.49 病院の間取り図 (4階-6階)

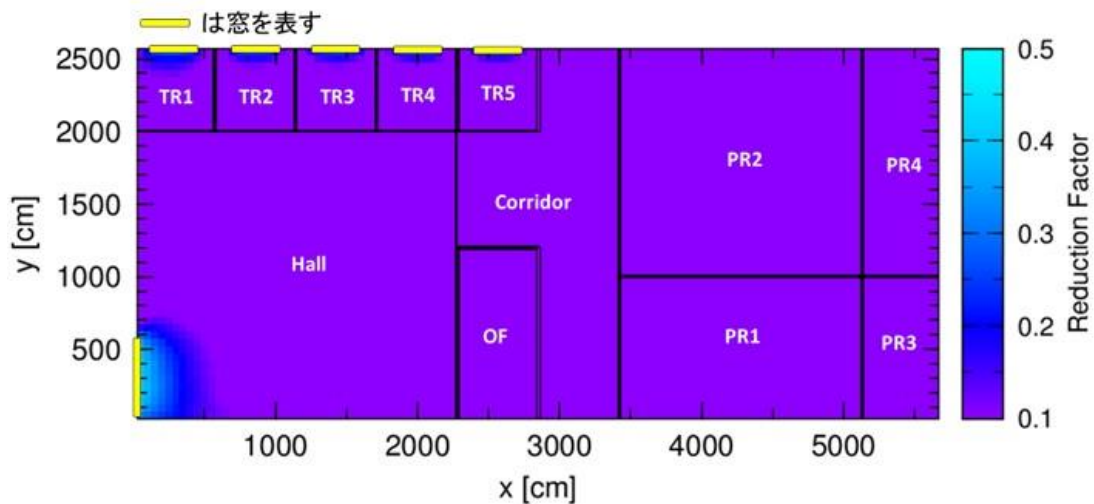
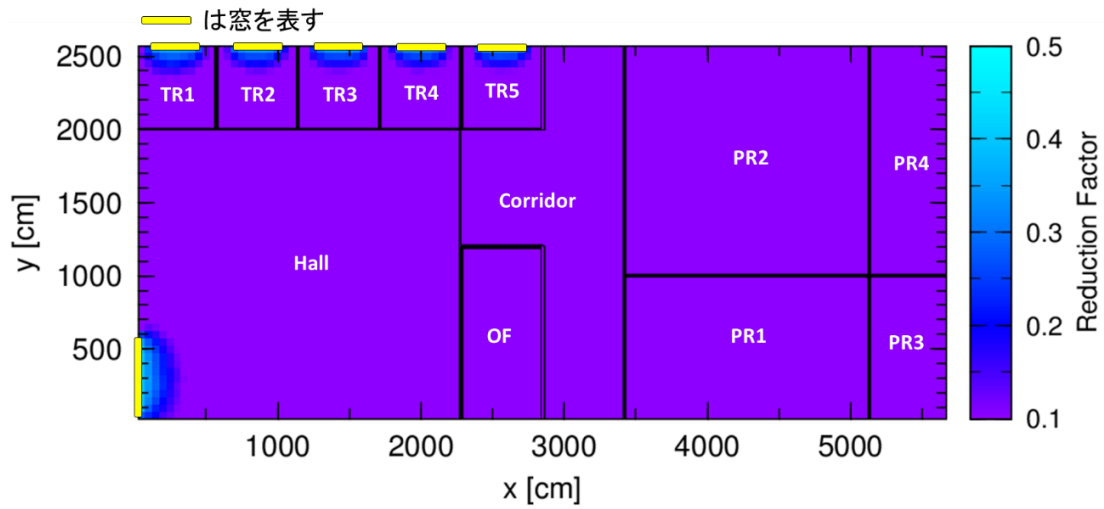


図 4.50 病院での外部被ばく低減係数の分布図

Cs-137 1階

上：クラウドシャイン 下：グラウンドシャイン

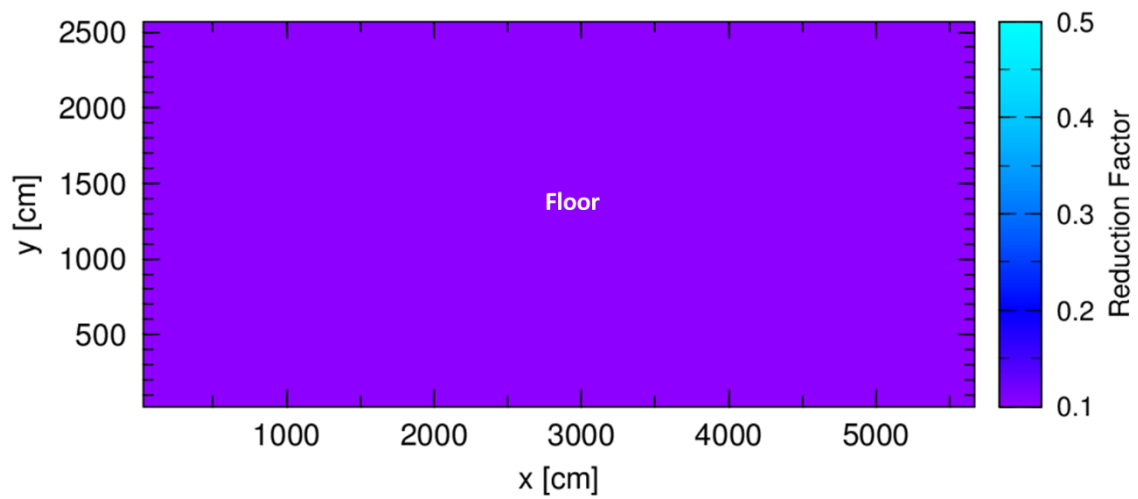
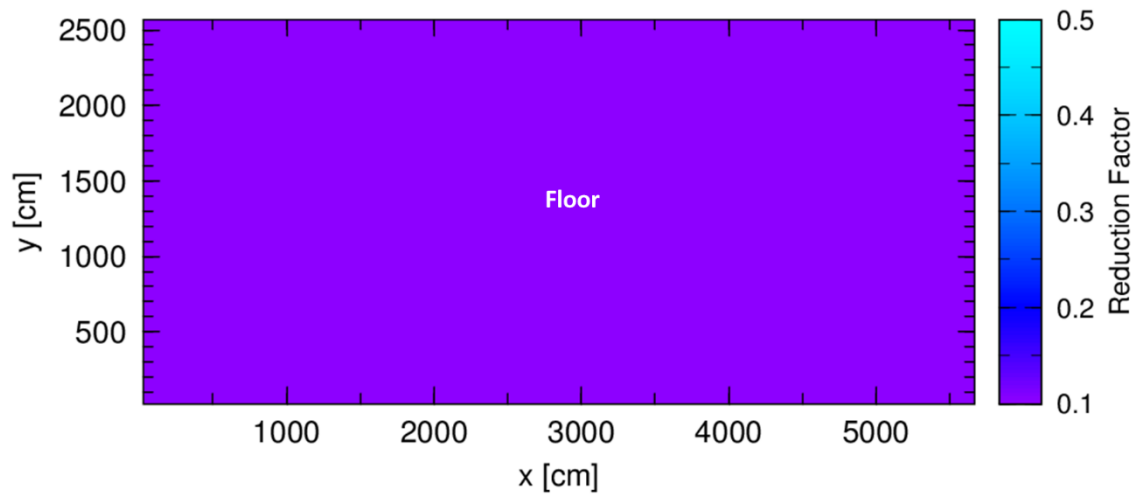


図 4.51 病院での外部被ばく低減係数の分布図  
 Cs-137 2階  
 上：クラウドシャイン 下：グラウンドシャイン

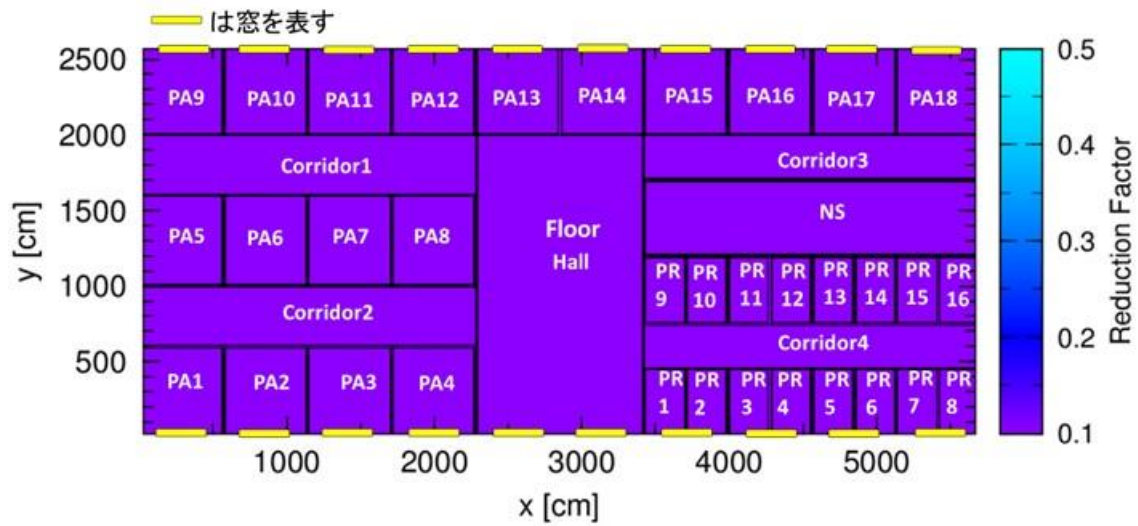
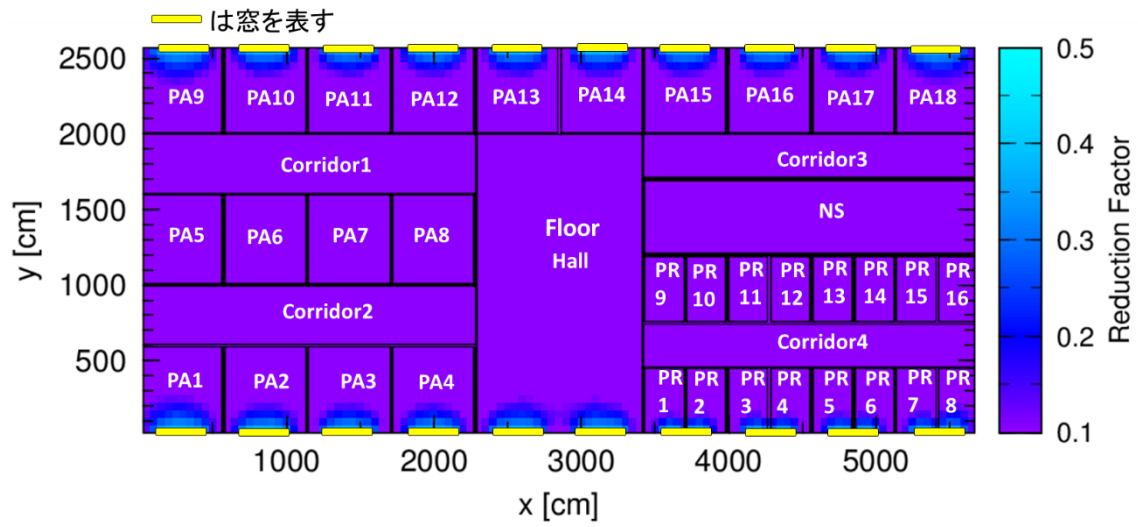


図 4.52 病院での外部被ばく低減係数の分布図  
Cs-137 4階  
上：クラウドシャイン 下：グラウンドシャイン

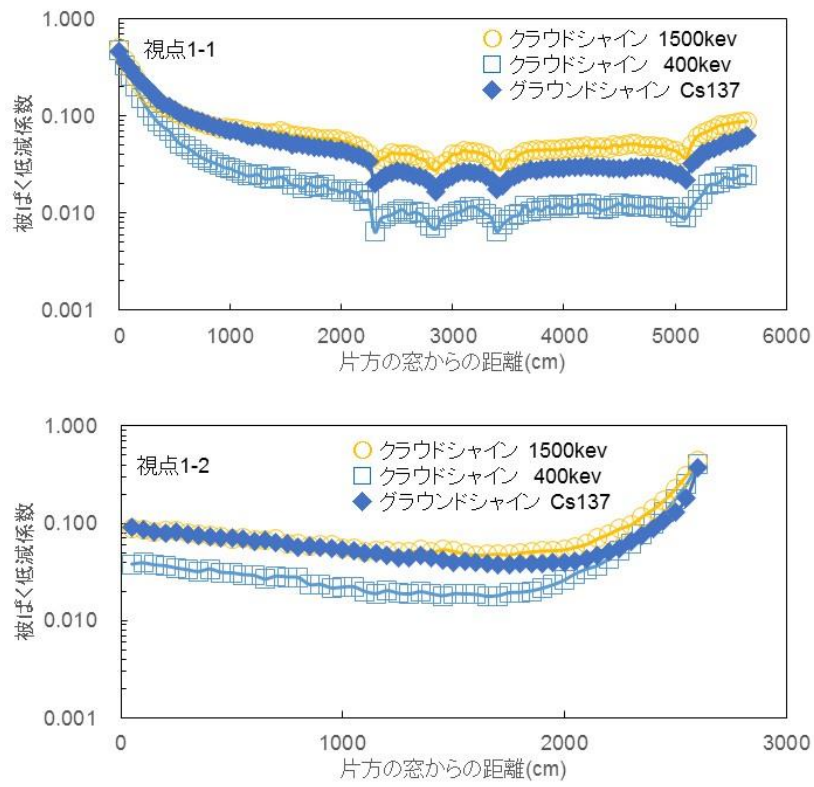


図 4.53 病院 1 階の視点 1-1、視点 1-2 上における被ばく低減係数



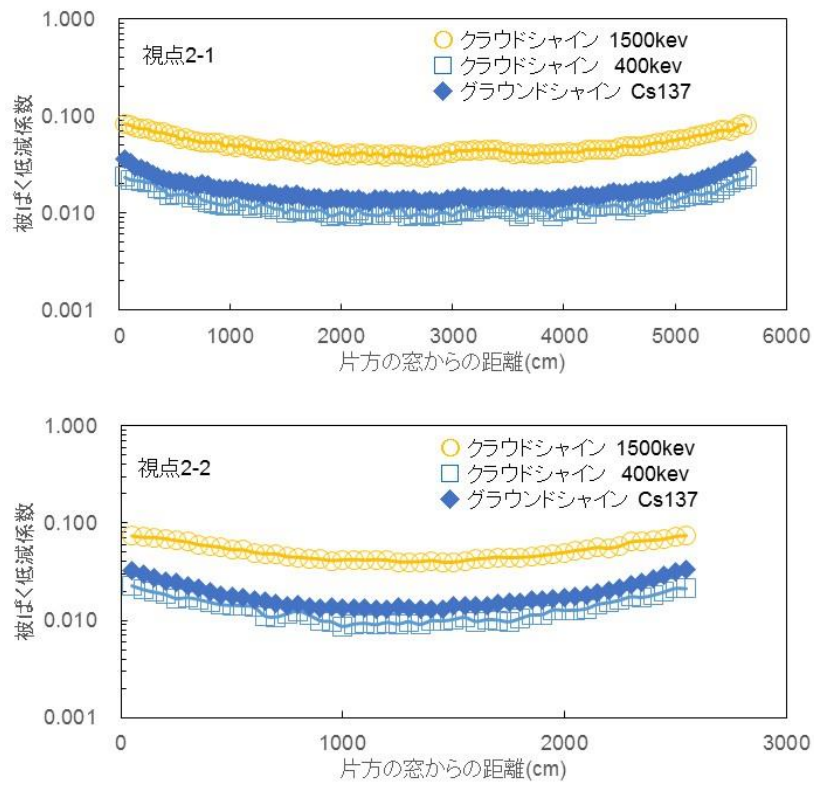


図 4.54 病院 2 階の視点 2-1,視点 2-2 上における被ばく低減係数

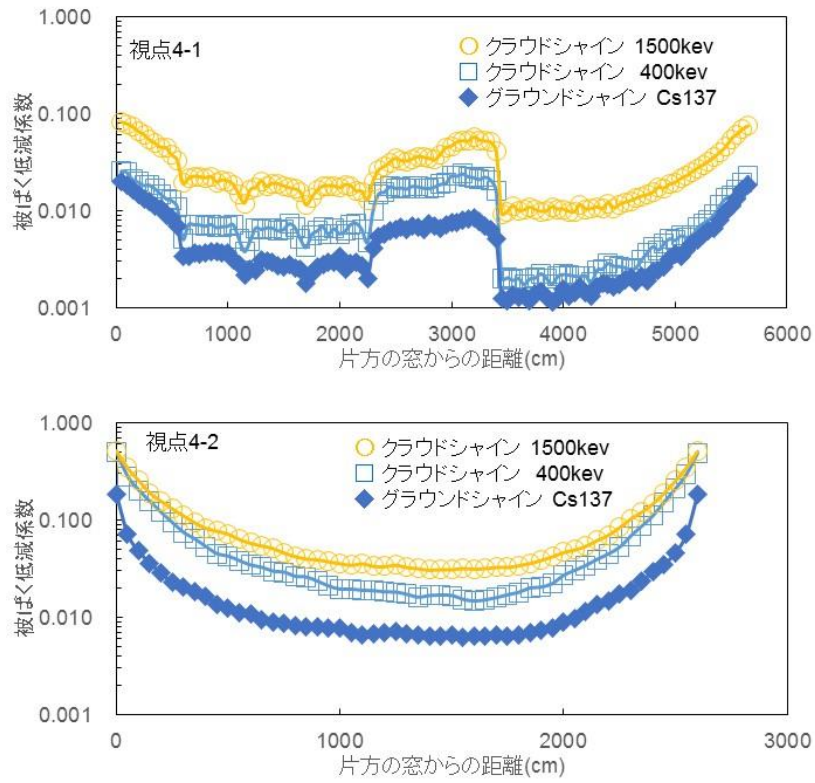


図 4.55 病院 4 階の視点 4-1,視点 4-2 上における被ばく低減係数

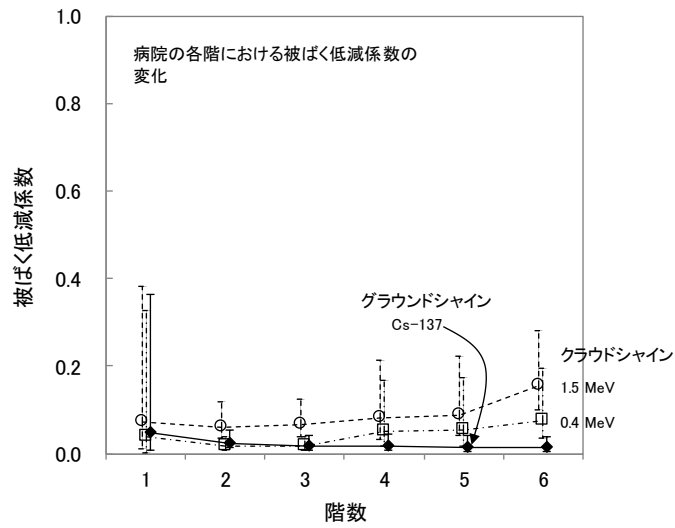


図 4.56 病院における階数別の被ばく低減係数

表 4.40 病院の各階の被ばく低減係数の最小値、算術平均値、最大値、及び病室の中央付近の値

		クラウドシャイン				グラウンド シャイン
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV
1階	最小値	0.002	0.004	0.007	0.01	0.008
	4階病室(PA9)中央と同座標の値	0.07	0.09	0.10	0.13	0.08
	算術平均値	0.03	0.04	0.05	0.07	0.05
	最大値	0.33	0.34	0.36	0.38	0.37
2階	最小値	0.008	0.02	0.02	0.04	0.01
	4階病室(PA9)中央と同座標の値	0.03	0.04	0.07	0.09	0.04
	算術平均値	0.02	0.03	0.04	0.06	0.02
	最大値	0.04	0.06	0.09	0.12	0.05
3階	最小値	0.009	0.02	0.03	0.04	0.009
	4階病室(PA9)中央と同座標の値	0.03	0.05	0.07	0.10	0.03
	算術平均値	0.02	0.03	0.05	0.07	0.02
	最大値	0.04	0.07	0.09	0.13	0.04
4階	最小値	0.002	0.003	0.005	0.01	0.0008
	病室 (PA9) の中央付近の値	0.08	0.09	0.11	0.14	0.03
	算術平均値	0.04	0.05	0.06	0.07	0.01
	最大値	0.30	0.32	0.34	0.37	0.08
5階	最小値	0.002	0.004	0.01	0.01	0.0009
	病室 (PA9) の中央付近の値	0.08	0.10	0.12	0.15	0.03
	算術平均値	0.04	0.05	0.06	0.08	0.01
	最大値	0.31	0.33	0.35	0.38	0.07
6階	最小値	0.01	0.02	0.03	0.04	0.001
	病室 (PA9) の中央付近の値	0.11	0.14	0.18	0.22	0.02
	算術平均値	0.07	0.09	0.12	0.15	0.01
	最大値	0.33	0.36	0.40	0.44	0.07

表 4.41 病院 屋根と壁の汚染を考慮した場合の床面全体のグラウンドシャイン想定時の被ばく低減係数の算術平均値と病室の中央付近の値 (Cs-137 想定)

		屋根及び壁汚染濃度比 (対地表面濃度)			
		汚染なし	屋根 : 50% 壁 : 10%	屋根 : 100% 壁 : 1%	屋根 : 100% 壁 : 10%
1 階	4 階病室(PA9)中央と同座標の値	0.08	0.09	0.08	0.09
	算術平均値	0.05	0.06	0.05	0.06
2 階	4 階病室(PA9)中央と同座標の値	0.04	0.04	0.04	0.04
	算術平均値	0.02	0.02	0.02	0.02
3 階	4 階病室(PA9)中央と同座標の値	0.03	0.03	0.03	0.03
	算術平均値	0.02	0.02	0.02	0.02
4 階	4 階病室(PA9)中央と同座標の値	0.03	0.03	0.03	0.03
	算術平均値	0.01	0.02	0.01	0.02
5 階	4 階病室(PA9)中央と同座標の値	0.03	0.03	0.03	0.03
	算術平均値	0.01	0.02	0.01	0.02
6 階	4 階病室(PA9)中央と同座標の値	0.02	0.04	0.04	0.05
	算術平均値	0.01	0.02	0.03	0.03

## ⑧ 学校

学校に関しては、ガンマ線エネルギーを 0.4 MeV、1 MeV、1.5 MeV 及び Cs-137 とした場合のクラウドシャインと Cs-137 を想定したグラウンドシャインの 5 ケースについて被ばく低減係数を評価した。

学校の間取り図を図 4.57 に示す。被ばく低減係数の分布図を図 4.58 に示す。学校 1 階の視点 1-1 及び視点 1-2 における被ばく低減係数を図 4.59 に示す。視点 1-1 は各教室の中央付近を貫通する方向に沿って被ばく低減係数を示している。各部屋には窓が設置されているので、被ばく低減係数はクラウドシャインとグラウンドシャインのいずれについても周期的な変動を示した。クラウドシャインに対する被ばく低減係数は、0.4 MeV 及び 1.5 MeV に対してそれぞれ 0.1 未満及び 0.15 未満程度の範囲であった。被ばく低減係数は校舎の両端に位置する教室 (CR1 と CR12) で高くなる傾向があり、これらの教室において被ばく低減係数は最大となる。グラウンドシャインに対する被ばく低減係数はほぼ 0.1 未満の範囲であったが、両端に位置する CR1 及び CR12 の廊下では、0.1 を若干上回る値であった。

視点 1-2 は、両端に位置する教室のうち CR1 の中央における被ばく低減係数を y 軸方向に沿って示した値である。被ばく低減係数は教室の窓近辺でもっと高い。窓近辺での被ばく低減係数は、クラウドシャインの 0.4 MeV 及び 1.5 MeV に対してそれぞれ 0.38 及び 0.43、グラウンドシャインに対して 0.31 であった。これらの値は教室の中央へ向かうほど小さくなり、最も低い位置ではクラウドシャインの 0.4 MeV 及び 1.5 MeV に対してそれぞれ 0.082 及び 0.13、グラウンドシャインに対して 0.086 であった。

学校の各階における被ばく低減係数の最小値、算術平均値、最大値、及び教室の中央付近の値を表 4.42 に、CR6 に対する算術平均値の変化を図 4.60 に示す。誤差棒は各階の最大値と最小値を示している。被ばく低減係数の階数に対する変化は他のコンクリート建物 (集合住宅に関する図 4.46 と病院に関する図 4.56 を参照) と同様に、クラウドシャインに対する被ばく低減係数は最上階を除く各階でほぼ同程度となり最上階で高く、グラウンドシャインに対する被ばく低減係数は階数とともに低くなる傾向であった。最上階となる 3 階ではクラウドシャインの 0.4 MeV 及び 1.5 MeV に対してそれぞれ 0.14 及び 0.23、グラウンドシャインに対して 0.04 であった。

屋根及び壁汚染の影響に関して、これまでと同様に屋根と壁面汚染の影響を、a. 屋根 100%、壁 10%、b. 屋根 100%、壁 1%、c. 屋根 50%、壁 10%の汚染を想定した場合の解析を実施した。表 4.43 に、汚染を想定しない場合と上記の汚染を想定した場合の床全体の被ばく低減係数の算術平均値と教室の中央付近の値を示す。

最も影響が大きいケースは 3 階の a. 屋根 100%、壁 10%のケースであるが、鉄筋コンクリート壁の遮蔽効果が大きいため、木造や鉄骨造住宅と比較して顕著な影響は見られなかった。

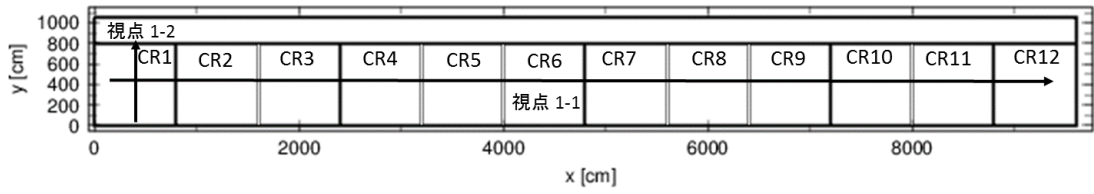


図 4.57 学校の間取り図 (1階-3階)

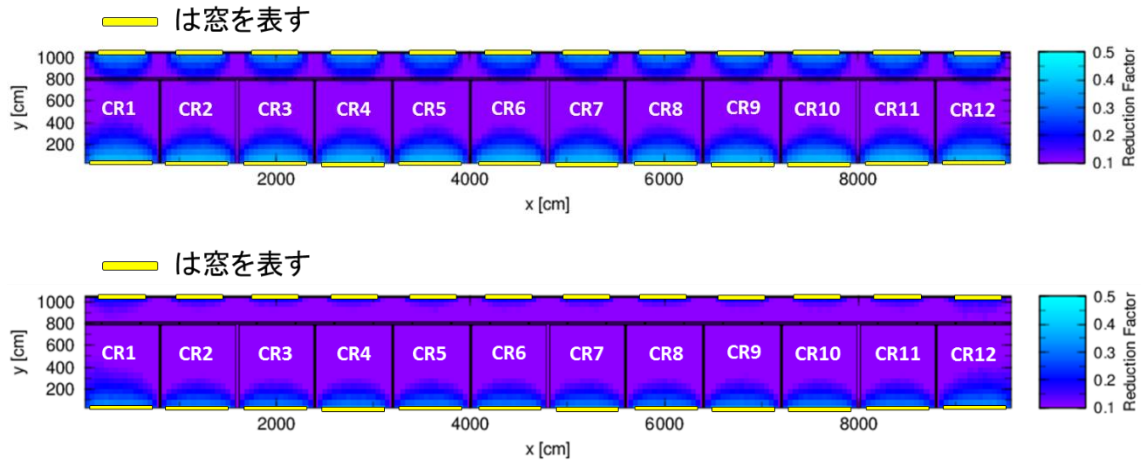


図 4.58 学校での外部被ばく低減係数の分布図  
Cs-137 1階

上：クラウドシャイン 下：グラウンドシャイン

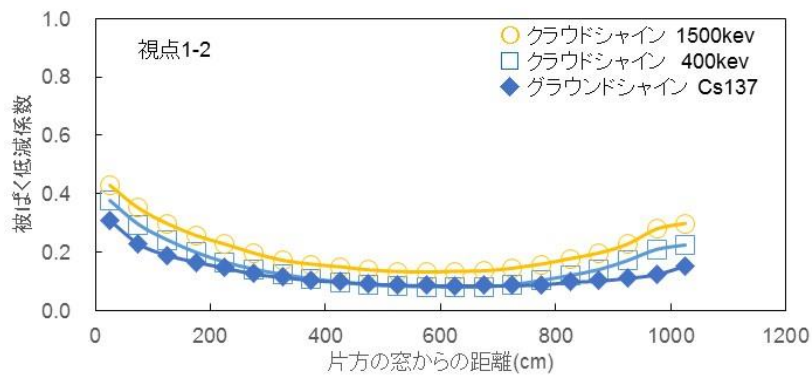
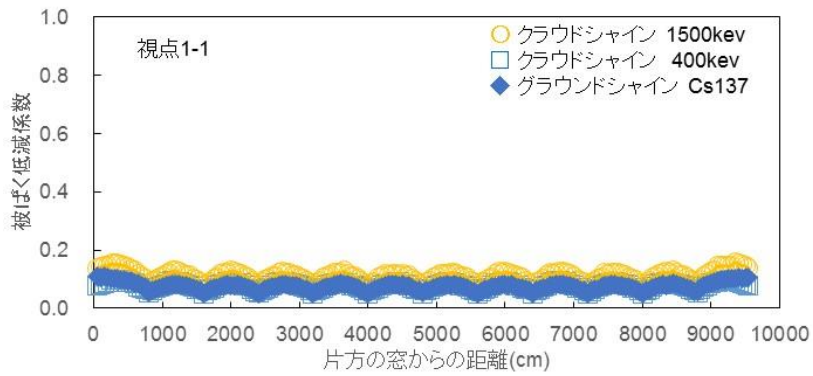


図 4.59 学校 1 階の視点 1-1,視点 1-2 上における被ばく低減係数

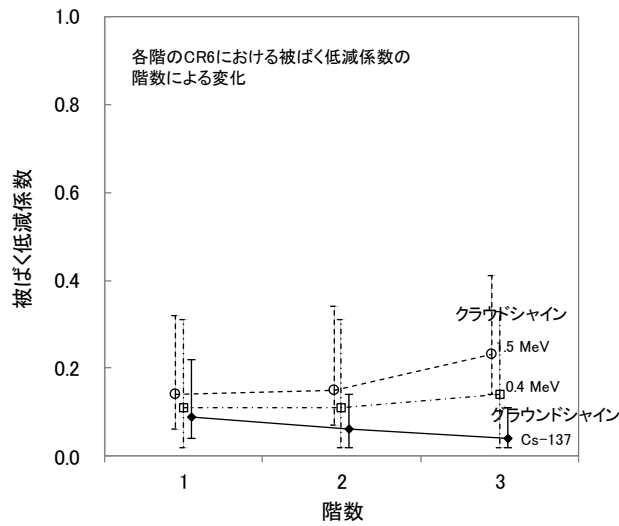


図 4.60 学校における階数別の被ばく低減係数

表 4.42 学校の各階の被ばく低減係数の最小値、算術平均値、最大値、及び教室の中央付近の値

		クラウドシャイン				グラウンド シャイン
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV
1階	最小値	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03
	教室の中央付近の値	0.10	0.12	0.13	0.16	0.10
	算術平均値	0.11	0.12	0.13	0.15	0.09
	最大値	0.30	0.31	0.34	0.36	0.24
2階	最小値	0.02	0.03	0.04	0.04	0.02
	教室の中央付近の値	0.11	0.12	0.14	0.16	0.06
	算術平均値	0.11	0.12	0.14	0.16	0.06
	最大値	0.30	0.33	0.35	0.38	0.16
3階	最小値	0.03	0.05	0.06	0.08	0.01
	教室の中央付近の値	0.14	0.17	0.21	0.26	0.05
	算術平均値	0.14	0.16	0.19	0.23	0.04
	最大値	0.33	0.36	0.40	0.44	0.12

表 4.43 学校 屋根と壁の汚染を考慮した場合の床面全体のグラウンドシャイン想定時の被ばく低減係数の算術平均値と教室の中央付近の値 (Cs-137 想定)

		屋根及び壁汚染濃度比 (対地表面濃度)			
		汚染なし	屋根 : 50% 壁 : 10%	屋根 : 100% 壁 : 1%	屋根 : 100% 壁 : 10%
1階	教室の中央付近の値	0.10	0.11	0.10	0.11
	算術平均値	0.09	0.10	0.09	0.10
2階	教室の中央付近の値	0.06	0.07	0.07	0.07
	算術平均値	0.06	0.06	0.06	0.06
3階	教室の中央付近の値	0.05	0.06	0.07	0.07
	算術平均値	0.04	0.06	0.06	0.07



## ⑨ 体育館

体育館の間取り図を図 4. 61 に示す。低減効果の分布図を図 4. 62 に示す。視点 1-1 上におけるクラウドシャイン(0.4 MeV 及び 1.5 MeV)、グラウンドシャインの外部被ばく低減係数を図 4. 63 に示す。床全体の被ばく低減係数の最小値、算術平均値、最大値、及びフロア中央付近の値を表 4. 44 に示す。

クラウドシャインの場合、入り口 (ENTER) 付近の被ばく低減係数は 0.4-0.5 程度であったものの、運動場 (Floor) に達すると 0.40 程度と僅かに低下する傾向である。被ばく低減係数は 0.4 MeV のケースで算術平均値は 0.30、フロア中央付近の値は 0.36、1.5 MeV のケースで算術平均値は 0.43、フロア中央付近の値は 0.50 であった。Cs-137 のグラウンドシャインの場合、算術平均値とフロア中央付近の値はともに 0.08 であった。

次に、屋根と壁面汚染の影響を、a. 屋根 100%、壁 10%、b. 屋根 100%、壁 1%、c. 屋根 50%、壁 10%の汚染を想定した場合の解析を実施した。表 4. 45 に、汚染を想定しない場合と上記の汚染を想定した場合の被ばく低減係数の算術平均値とフロア中央付近の値を示す。

最も影響が大きいケースはこれまで見てきた住宅、公共施設と同様に a. 屋根 100%、壁 10%のケースであり、汚染を想定しない場合と比較して 2 倍程度の低減係数の増加であった。b.の場合も同程度の増加であった。c.の場合は 5 割程度の増加であった。これは、体育館は住宅と比較して建築面積が大きいこと、壁厚がコンクリート 15 cm と厚いこと、さらに屋根が壁よりも薄いことから、屋根汚染の影響を大きく受けることに起因している。

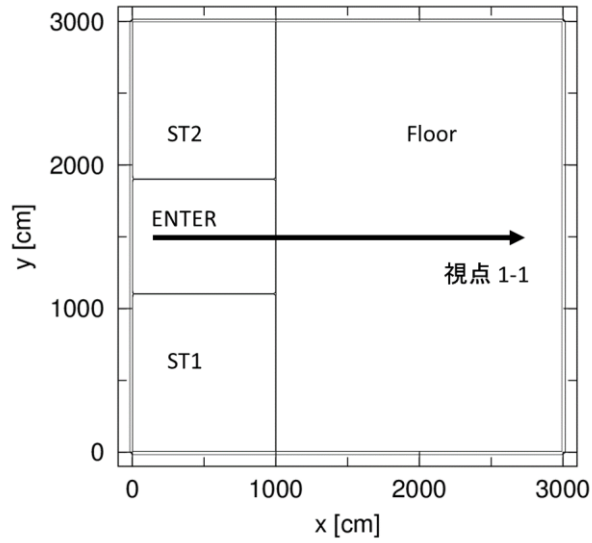


図 4.61 体育館の間取り図

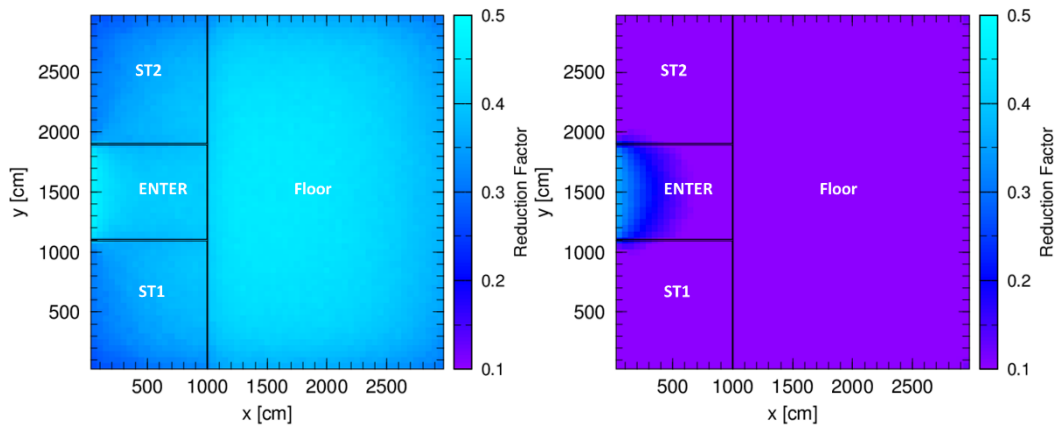


図 4.62 体育館での外部被ばく低減係数の分布図 (Cs-137)  
左：クラウドシャイン 右：グラウンドシャイン

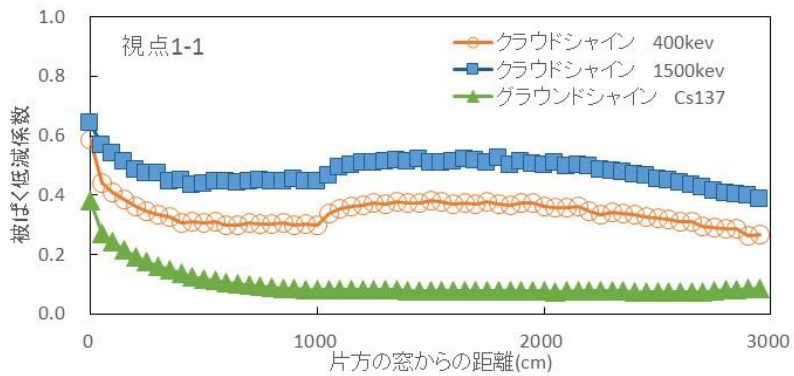


図 4.63 体育館視点 1-1 上における被ばく低減係数

表 4.44 体育館の被ばく低減係数の算術平均値、最小値、最大値、及びフロア中央付近の値

	クラウドシャイン				グラウンド シャイン
	0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV
最小値	0.15	0.20	0.24	0.28	0.07
フロアの中央付近の値	0.36	0.41	0.45	0.50	0.08
算術平均値	0.30	0.34	0.38	0.43	0.08
最大値	0.45	0.49	0.54	0.58	0.28

表 4.45 体育館 屋根と壁の汚染を考慮した場合のグラウンドシャイン想定時の被ばく低減係数の算術平均値とフロア中央付近の値 (Cs-137 想定)

		屋根及び壁汚染濃度比 (対地表面濃度)			
		汚染なし	屋根 : 50% 壁 : 10%	屋根 : 100% 壁 : 1%	屋根 : 100% 壁 : 10%
体育館	運動場の中央付近	0.08	0.15	0.21	0.22
	算術平均	0.08	0.14	0.19	0.19

## 4.2 車による外部被ばく低減効果の検討

自家用車やバスなどに乗車している場合、車体の遮へい等による被ばく低減効果を期待することができる。このような車による外部被ばく低減効果は、車両の大きさ、車両の鋼板の厚さ、窓の位置・面積等に依存する。本事業では、車の外部被ばく低減効果を評価するために被ばく低減係数に関する検討を行う。このために車両の大きさ・厚さ、窓の位置・面積を調査して、車両を模擬した車両モデルを作成した。本モデルの妥当性を検討するため、福島県で車両外と車両内の線量率を実測して被ばく低減効果を評価し、車両モデルでの計算値とを比較した。車両モデルの妥当性を確認した後、原子力緊急事態発生時の条件で解析を行って車の外部被ばく低減係数を評価した。

車避難時の外部被ばく低減係数は家屋と同様に車両内外の空間線量率の比として定義する。ここで、車両外の空間線量率は家屋と同様に屋外における地表面 1 m 高さでの空間線量率である。車両内の空間線量率はシートから 15 cm 上方にあたる部分の空間線量率とした。シートから 15 cm の位置は、着席時に、組織加重係数の大きな組織が多く集まっている位置として先行研究 (Lauridsen and Jensen, 1982) でも測定に利用された位置である。

### 4.2.1 車両モデルの開発

#### (1) 車両モデル

車両に対する外部被ばく低減効果の解析は、MCNP コード (X-5 Monte Carlo Team, 2008) を用いた。MCNP コードは PHITS コードと同等の結果を与えるコードである。車両による被ばく低減効果の評価は住宅モデルと異なり、点に対する線量評価を実施するため、計算時間の観点から有利である MCNP コードを用いることとした。

大きさ、重量の異なる軽自動車、コンパクトカー、ミニバン、大型ミニバン<sup>9</sup>を対象として、車両のモデル化を行った。モデル化においては、(i) 車両の幾何形状に加えて、(ii) 車両の材質と厚さが必要となる。車両の幾何形状については、各車両の車検証等から幾何形状等の情報を収集した。これらの情報を表 4.46 に示す。なお、幾何形状に関わる名称は図 4.64 に示した通りである。図 4.64 に示したように、車両モデルは単純に直方体とした。窓面積は前面・後面及び側面への正射影の面積を利用し、窓は天井面から下方に 10 cm 離れた位置に設置した。モデルの下面は地表面から最低地上高の分だけ離れるようにした。

車両の材質は鉄鋼板 (密度  $7.8 \text{ g cm}^{-3}$ ) と仮定した。車両上面の厚さは 0.08 cm で固定した<sup>10</sup>。上面を除く他の面については、全重量から上面の重量を差し引いた残りの重量がこれらの面に均一に分布するものとして厚さを決めた。その際には、図 4.64 に示した幾何形状に加えて、以下の点を考慮した。①車両の平面図 (図 4.65) において、全幅及び全長から成る長方形と実際の車両では四隅に空隙ができること、②側面図 (図 4.66) において車両前方及び後方において空隙ができること、③前面図及び後方図 (図 4.67) において上部 2 隅の空隙ができることである。

統計調査に基づく全長、全高、全幅から求められる各面の面積から、これらの空隙及び窓面積を差し引いて車両厚さを計算するための面積 (以下、実効面積) とした。各車種について、実効

<sup>9</sup> 現地調査とあわせるため、軽自動車をミラ、コンパクトカーをヴィッツ、ミニバンをウィッシュ、大型ミニバンをアルファードモデルと呼ぶ。

<sup>10</sup> 小型車であるフィットについて生産元のメーカー (HONDA) に問い合わせたところ、ルーフパネルについては 0.06 cm であるとの情報提供を受けた (本田技研工業株式会社, 2015)。車両の上面にはこのほか、ルーフレール、ルーフアーチ、フロントルーフなどが設置されているので、これら部品の寄与も考慮して 0.08 cm とした。

面積の算出に用いた各面積及び空隙等を整理してそれぞれ表 4. 47 から表 4. 50 に示す。天井面以外の面の厚さは、車両重量から天井面に相当する重量を差し引いて、天井面を除く実効面積で割って厚さを算出した。この結果、各車両の厚さは、ミラモデルで 0.70 cm、ヴィッツモデルで 0.78 cm、ウィッシュモデルで 0.86 cm、アルファードで 0.93 cm となった。

表 4. 46 評価モデルの開発に用いた車種とその幾何形状

	ミラ	ヴィッツ <sup>(1)</sup>	ウィッシュ	アルファード
車両重量(kg)	800	1080	1440	1930
全長(mm)	3390	3885	4590	4870
全幅(mm)	1470	1695	1720	1830
全高(mm)	1530	1530	1600	1900
最低地上高 (mm)	160	140	150	160
室内長(mm)	2000	1920	2660	3210
前後窓幅(mm)	1270	1298	1520	1630
平均窓高(mm)	404	418	421	440
窓面面積割合	前面	0.25	0.21	0.26
	側面	0.17	0.14	0.17
	後面	0.28	0.21	0.26

<sup>(1)</sup> 双葉町での実測したヴィッツのタイプ (1.3 L4WD) に該当

表 4. 47 ミラモデルの実効面積と車両厚さ

面	項目	値	
天井面・床面	平面面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	4.98 × 10 <sup>4</sup>	
	空隙 <sup>(2)</sup>	平面四隅 (%)	3.8
		平面窓 (%)	27.6
	実効面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	3.42 × 10 <sup>4</sup>	
側面面積 (片面)	側面面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	天井面	4.79 × 10 <sup>4</sup>
		床下面	4.64 × 10 <sup>4</sup>
	空隙	側面前後隅	15.3
		側面窓	14.2
実効面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	3.27 × 10 <sup>4</sup>		
前面・後面	前後面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	前面窓	2.01 × 10 <sup>4</sup>
		後面窓	20.2
	空隙	前面窓	20.2
		後面窓	20.2
実効面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	1.43 × 10 <sup>4</sup>		
実効面積の合計 (天井面除く)		1.42 × 10 <sup>5</sup>	
厚さ (天井面除く) (cm)		0.703	

<sup>(1)</sup> 各面の空隙を差し引く前の面積は、全長、全幅、全高、室内長、最低地上高から計算される値である。

<sup>(2)</sup> ミラの平面図等が入手できなかったのでヴィッツモデルの値を利用した。

<sup>(3)</sup> 各面の面積から空隙を差し引いた面積

表 4.48 ヴィッツモデルの実効面積と車両厚さ

面	項目	値	
天井面・床面	平面面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	6.59 × 10 <sup>4</sup>	
	空隙	平面四隅 (%)	3.8
		平面窓 (%)	27.6
	実効面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	天井面	4.52 × 10 <sup>4</sup>
		床下面	6.33 × 10 <sup>4</sup>
側面面積 (片面)	側面面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	5.40 × 10 <sup>4</sup>	
	空隙	側面前後隅	15.3
		側面窓	14.2
	実効面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	3.81 × 10 <sup>4</sup>	
前面・後面	前後面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	2.36 × 10 <sup>4</sup>	
	空隙	前面窓	20.2
		後面窓	20.2
	実効面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	1.67 × 10 <sup>4</sup>	
実効面積の合計 (天井面除く)		1.73 × 10 <sup>5</sup>	
厚さ (天井面除く) (cm)		0.780	

<sup>(1)</sup> 各面の空隙を差し引く前の面積は、全長、全幅、全高、室内長、最低地上高から計算される値である。

<sup>(2)</sup> 各面の面積から空隙を差し引いた面積

表 4.49 ウィッシュモデルの実効面積と車両厚さ

面	項目	値	
天井面・床面	平面面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	7.89 × 10 <sup>4</sup>	
	空隙	平面四隅 (%)	2.0
		平面窓 (%)	29.2
	実効面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	天井面	5.43 × 10 <sup>4</sup>
		床下面	7.74 × 10 <sup>4</sup>
側面面積 (片面)	側面面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	6.66 × 10 <sup>4</sup>	
	空隙	側面前後隅	12.0
		側面窓	14.8
	実効面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	4.87 × 10 <sup>4</sup>	
前面・後面	前後面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	2.49 × 10 <sup>4</sup>	
	空隙	前面窓	19.2
		後面窓	19.2
	実効面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	1.79 × 10 <sup>4</sup>	
実効面積の合計 (天井面除く)		2.11 × 10 <sup>5</sup>	
厚さ (天井面除く) (cm)		0.856	

<sup>(1)</sup> 各面の空隙を差し引く前の面積は、全長、全幅、全高、室内長、最低地上高から計算される値である。

<sup>(2)</sup> 各面の面積から空隙を差し引いた面積

表 4.50 アルファードモデルの実効面積と車両厚さ

面	項目	値	
天井面・床面	平面面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	8.91 × 10 <sup>4</sup>	
	空隙	平面四隅 (%)	2.0
		平面窓 (%)	29.2
	実効面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	6.13 × 10 <sup>4</sup>	
	側面面積 (片面)	側面面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	8.47 × 10 <sup>4</sup>
空隙		側面前後隅	10.1
		側面窓	14.4
実効面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>		6.40 × 10 <sup>4</sup>	
前面・後面		前後面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	3.18 × 10 <sup>4</sup>
	空隙	前面窓	19.2
		後面窓	19.2
	実効面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	2.29 × 10 <sup>4</sup>	
実効面積の合計 (天井面除く)		2.61 × 10 <sup>5</sup>	
厚さ (天井面除く) (cm)		0.929	

<sup>(1)</sup> 各面の空隙を差し引く前の面積は、全長、全幅、全高、室内長、最低地上高から計算される値である。

<sup>(2)</sup> 各面の面積から空隙を差し引いた面積

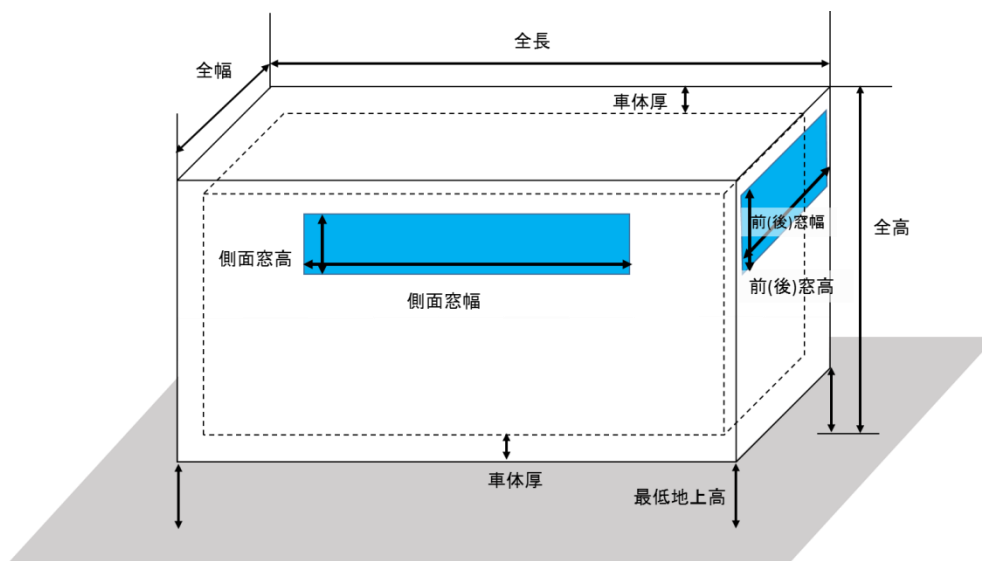


図 4.64 自動車及びバスの幾何形状

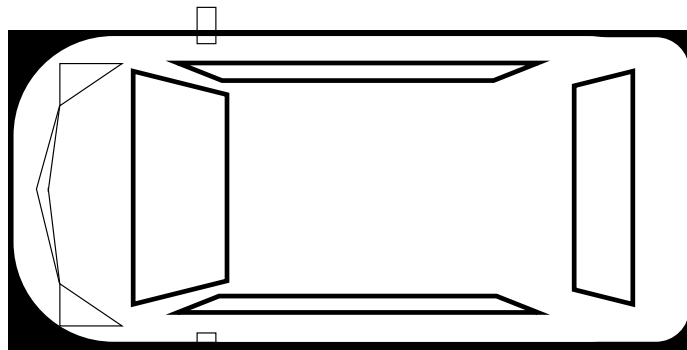


図 4.65 車両の平面概要図

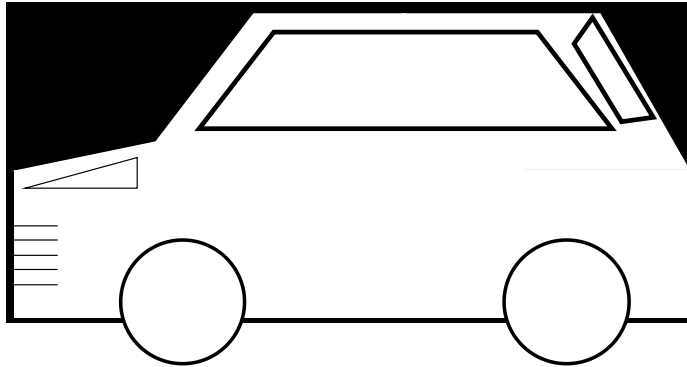


図 4.66 車両の側面概要図

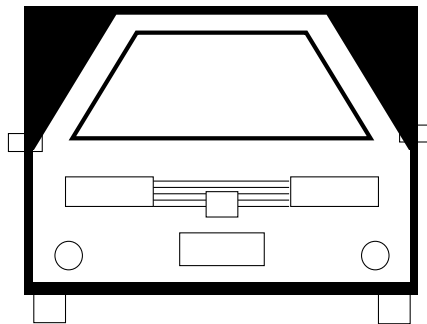


図 4.67 車両の正面概要図



## (2) 車による外部被ばく低減係数の計算

車による外部被ばく低減係数を導出するための計算体系は建屋の計算時と同様で、空気層、土壌層、車両モデルから成る。クラウドシャインからの被ばくを考慮する際には、地上近傍にも放射性物質が広がったサブマージョンの状態を仮定した。クラウドシャインからの被ばく低減効果を解析する際には、車両を中心とした半径 1,000 m の半球状の空気領域に線源が一様に分布するものとし、車両の内部には線源が存在しないものと仮定した。なお、空気の密度は  $1.205 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$  とした。グラウンドシャインからの被ばく低減効果を解析する際には、車両を中心とする半径 500 m の円板上の土壌（厚さ：1 m、密度： $1.6 \text{ g cm}^{-3}$ ）の表面に線源が一様に分布するものとした。建屋の計算とは異なり、車両の下にも線源が存在するものとした。

### 4.2.2 車両モデルの妥当性確認

#### (1) 現地調査の概要

自動車の被ばく低減効果を計算するに当たって作成した車両モデルの妥当性をするため、本調査では、以下の 8 車種について、車両内部の空間線量率実測値と計算結果とを比較した。測定には NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ（Hitachi Aloka Medical Ltd, TCS-171B）を利用した。2015 年 10 月から 11 月にかけて、福島県双葉町で測定した。測定に用いた車種を表 4.51 に示す。測定には、ダイハツ・ミラ、トヨタ・ヴィッツ、トヨタ・ポルテ、トヨタ・プリウス、トヨタ・サクシード、トヨタ・ウィッシュ、トヨタ・アルファード、トヨタ・ヴェルファイアの 8 車種を用いた。

これらの車両を福島県双葉町内のグラウンドに運び、車両内外で空間線量率の測定を行った。測定地点の見取り図を図 4.68 に示す。この場所は 1F 事故以前に野球場として利用されていたグラウンドである。この場所の線量率分布を図 4.69 に示す。原点から方向 1 の方向に進むと、線量率が増加する。これは、約 40 m 地点にはスギ林が存在するためである。また、方向 2 及び方向 4 に進んでも線量率が増加する傾向にある。これはそれぞれ隣接する領域の線量率が高いためである（方向 2 の延長上には畑、方向 4 の延長上は駐車場である）。

車両内部における空間線量率の測定位置は、運転席のシート 15 cm 上方（先行研究に基づく、骨髄想定）とした。

#### (2) 現地調査の結果

現地調査の結果を表 4.52 に示す。被ばく低減係数は車内の位置によって 0.54-0.84 の範囲で変動した。被ばく低減係数が大きくなったのは室内中央である。これは窓による影響であると考えられる。一方、運転席のシート 15 cm 上方は、窓から見込まれる位置ではなくドア等による遮へいがあることから低減係数は小さな値であった。その値は全重量に対して単調に減少する傾向が見られ、重量の重い車両の方が被ばく低減効果は高くなる傾向であった。

#### (3) 妥当性確認

車両モデルの妥当性モデルを確認するため、放射能濃度の深度分布を実測値と同様にする必要がある。放射能濃度の深度分布を再現するため、地表面（0 cm）に加えて地中深さ 0.3 cm、0.6 cm、1.3 cm、1.9 cm、3.1 cm、4.7 cm 及び 6.3 cm に円板線源が分布した場合の低減係数を計算した。空間線量には Cs-134 と Cs-137 が寄与するものとした。沈着発生時にこれらの核種が同量存在することを仮定し（UNSCEAR, 2013）、この値に対して放射性壊変による減衰補正を施し、双葉町での現地調査時（2015 年 10 月から 11 月）の Cs-134 と Cs-137 の存在を 0.23 : 1 とした。被ばく低減係数の評価位置を整理して図 4.70 及び図 4.71 に示す。車内の評価点として、人の骨髄に近似

な場所として、シートから 15 cm 上方に当たる場所（床面 50 cm、車両中心点から 20 cm 下方）を利用した。また、低減係数の変動を確認するため、上下、左右、前後に一定の距離（上下：20 cm、左右：40 cm、前後：50 cm）についても計算した。

双葉町において実測した被ばく低減係数を再現するためには、①土壌中における放射性セシウムの深度分布、②核種組成を考慮する必要がある。これらを考慮した場合の地表面等における空間線量率  $H_{eff}$  の評価式を以下に示す。

$$H_{eff} = \frac{\sum_j \{C_j \cdot (0.23 \cdot H_{Cs134,j} + H_{Cs137,j})\}}{\sum_j C_j} \quad (4.1)$$

ここで、

$C_j$  : 深さ区分  $j$  に存在する放射エネルギー

$H_{Cs134,j}$  : 深さ区分  $j$  に存在する Cs-134 からの線量率

$H_{Cs137,j}$  : 深さ区分  $j$  に存在する Cs-137 からの線量率

である。

この場所では 2013 年 12 月から 2014 年 1 月にかけて天地返しを用いた除染が実施されていた（環境省, 2014）。また、松田・斎藤（2016）によると、除染された場所では、実効的な重量緩衝深度<sup>11</sup> ( $\beta_{eff}$ )  $10 \text{ g cm}^{-2}$  を上回る深さで分布していることが報告されている。本研究ではこれらの知見をもとに、Cs-134 及び Cs-137 が地表面に分布した場合に加えて  $\beta_{eff}=10 \text{ g cm}^{-2}$  でも解析を行った。

「車両内部における評価点での空間線量率」及び「屋外における地表面 1 m 高さでの空間線量率」の両方について Cs-134 及び Cs-137 の深度分布を考慮して被ばく低減係数を計算した。その結果を図 4. 72 に示す。図 4. 72 には Cs-134 及び Cs-137 が地表面に分布した場合に加えて、深さ 6.3 cm ( $\beta_{eff}=10 \text{ g cm}^{-2}$ ) のみに線源が存在する場合の評価結果も併せて示した。なお、この図に示されている誤差範囲は、実測に基づく評価値について 5 回の実測による測定誤差である。モデルによる評価値については評価点を上下に  $\pm 20 \text{ cm}$ 、前後に  $\pm 50 \text{ cm}$  及び左右に  $\pm 40 \text{ cm}$  だけ動かして得られた変動性を誤差範囲として示した。

この結果、モデルによる評価値 ( $\beta_{eff}=10 \text{ g cm}^{-2}$ ) と実測値に基づく評価結果とを比較してみると、評価値は実測された範囲内にほぼ収まっており、被ばく低減効果を評価するための車両モデルを開発することができた。

<sup>11</sup> 地表での空間線量率を再現できるように、土壌中の放射性セシウムを指数関数で分布させた場合に得られる緩衝深度のこと。

表 4.51 測定に用いた車種

No.	メーカー	車種	車両分類
1	トヨタ	ウィッシュ	ミニバン
2	トヨタ	サクシード	ライトバン
3	トヨタ	アルファード	大型ミニバン
4	トヨタ	ヴィッツ	普通小型
5	トヨタ	プリウス	普通
6	トヨタ	ポルテ	普通小型
7	ダイハツ	ミラ	軽自動車
8	トヨタ	ヴェルファイア	大型ミニバン

表 4.52 各車種の全重量と被ばく低減係数（双葉町での実測に基づく）

車種名	全重量 <sup>(1)</sup>	被ばく低減係数
		運転席 15 cm
ウィッシュ	1440	0.59±0.01
サクシード	1090	0.63±0.01
アルファード	1930	0.57±0.01
ヴィッツ	1080	0.62±0.005
プリウス	1350	0.58±0.01
ポルテ	1140	0.62±0.01
ミラ	800	0.65±0.003
ヴェルファイア	1930	0.54±0.01

<sup>(1)</sup> 実測車両の全重量は車検証から記載した。

表 4.53 地表沈着核種からのグラウンドシャインに対する車両モデルの被ばく低減係数計算値

車両モデル	線源深さ (cm)	運転席	運転席からのずれ					
			上下		前後		左右	
			+20 cm	-20 cm	+50 cm	-50 cm	+40 cm	-40 cm
ミラ	0	0.74	0.72	0.77	0.74	0.76	0.73	0.73
	3	0.72	0.72	0.70	0.70	0.71	0.68	0.68
	5	0.69	0.71	0.69	0.69	0.70	0.67	0.67
	10	0.68	0.69	0.66	0.67	0.68	0.65	0.64
ヴィッツ	0	0.71	0.70	0.73	0.72	0.72	0.79	0.79
	3	0.68	0.69	0.66	0.67	0.68	0.74	0.73
	5	0.66	0.68	0.66	0.66	0.67	0.73	0.73
	10	0.64	0.65	0.63	0.65	0.65	0.72	0.71
ウィッシュ	0	0.68	0.66	0.69	0.68	0.68	0.67	0.67
	3	0.65	0.66	0.63	0.65	0.65	0.63	0.63
	5	0.64	0.66	0.63	0.64	0.64	0.62	0.62
	10	0.62	0.63	0.61	0.63	0.63	0.61	0.60
アルファード	0	0.65	0.64	0.66	0.66	0.66	0.65	0.65
	3	0.62	0.63	0.60	0.62	0.62	0.60	0.60
	5	0.60	0.62	0.59	0.61	0.61	0.60	0.59
	10	0.59	0.60	0.57	0.59	0.60	0.57	0.57

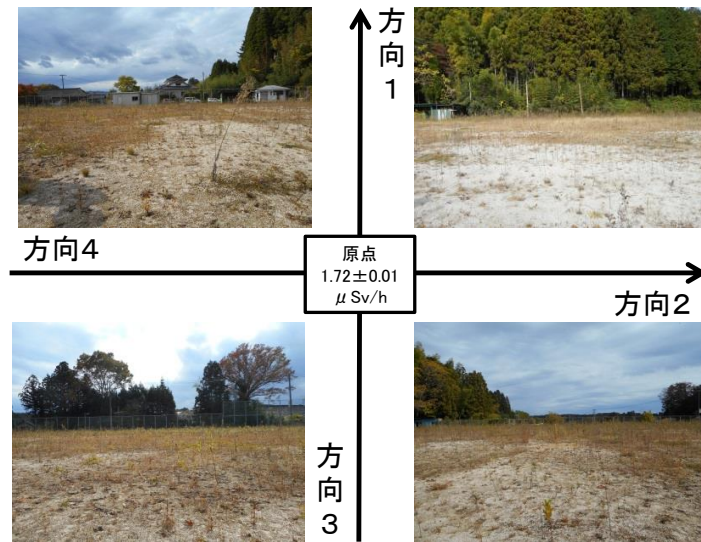


図 4.68 平坦地を想定した照射体系の見取り図

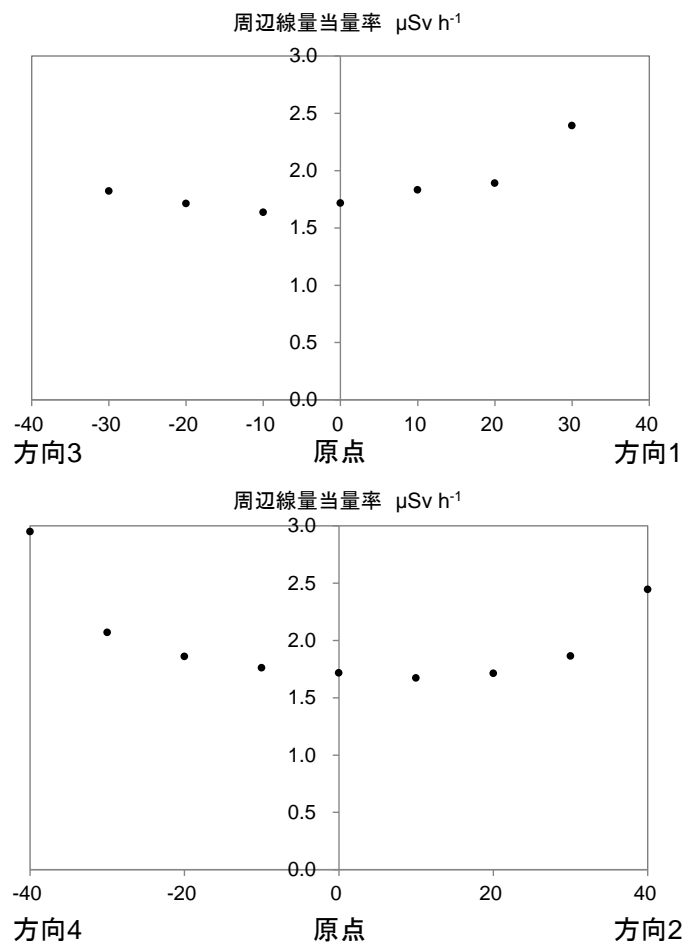


図 4.69 平坦地を想定した照射体系の線量率分布

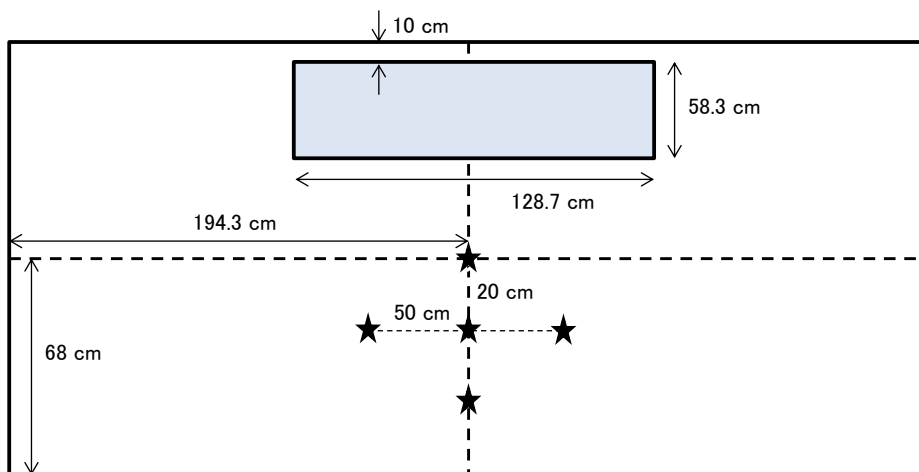


図 4.70 ヴイツモデルの側面図 (図中の★は評価点を示す)

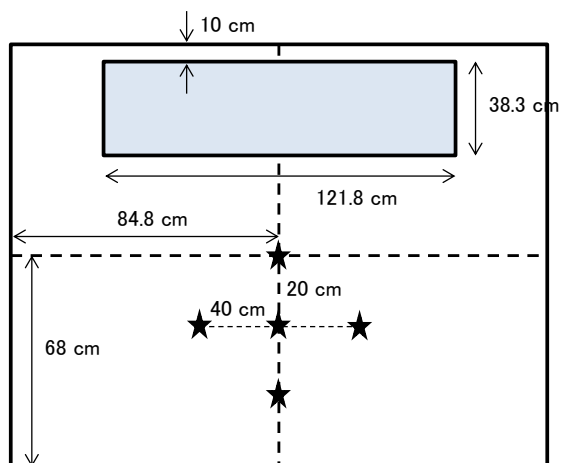


図 4.71 ヴイツモデルの正面・後面図 (図中の★は評価点を示す)

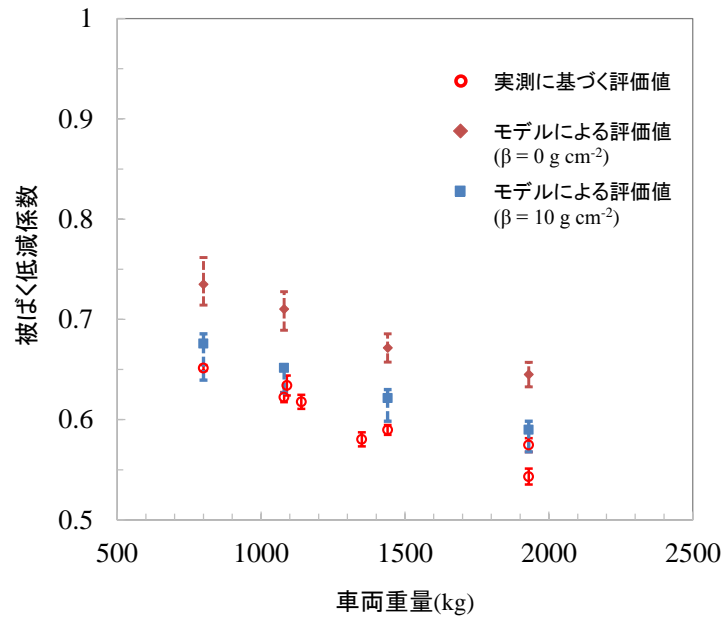


図 4.72 地表面沈着核種からのグラウンドシャインに対する車両の被ばく低減係数の実測値と計算値の比較

### 4.2.3 クラウドシャイン及びグラウンドシャインに対する車両の低減効果の検討

#### (1) 車種及びその幾何形状に関する統計調査

4.2.2 では、車両モデルの妥当性確認のため 4 種類の車種に対する被ばく低減効果の計算値を求めた。

日本自動車工業会の自動車統計月報（日本自動車工業会, 2015）によると我が国における乗用車の保有台数は、2015 年 4 月時点において、普通車：17,714,884 台、小型車：21,729,330 台、軽自動車：21,106,858 台である。この保有台数に基づいて、本研究では、小型車（コンパクトカー）を評価することにした。

小型車及びバスのそれぞれについて、各メーカーの代表的な車種の車両重量、全長、全幅、全高、最低地上高、室内長などを調査した。調査した各寸法の概要は図 4.64 の通りである。調査には、諸元表及び外観寸法図を用いた。寸法図に値が表示されていない場合には、寸法図を実測して縮尺を考慮して値を算出した。統計調査の対象としたメーカー及び車種を表 4.54 に示す。小型車については、9 メーカーから 34 車種の 76 タイプを調査した。バスについては、3 メーカーから 3 車種 27 タイプを調査した。なお、2015 年 1 月から 9 月までの全出荷台数に対して、調査対象メーカーにおける出荷台数の割合は、小型車で 98.1%、バスで 57.5%である。

小型車及びバスに対する統計調査の結果をそれぞれ表 4.55 及び表 4.56 に示す。統計調査の結果はメーカー別に算術平均を求めて整理した<sup>12</sup>。また、この値をメーカー別の売り上げ台数で重み付けて最終的な値を算出した（以下、重み付け車両モデル）。メーカー別売り上げ台数には、日本自動車販売協会連合会の登録車新車販売台数概況 2015 年 1 月から 9 月の値を利用した。

なお、幾何形状及び重量に関する統計値を使ってモデルを作成する際には、4.2.1 に示した方法を利用した。この際に必要な平面図・側面図・前後面図に関する空隙面積は、ヴィッツモデルの値を利用した。小型自動車の重み付け車両モデルに関して実効面積と車両厚さを表 4.57 に示す。小型自動車の重み付け車両モデルは、重量及び実効面積がそれぞれ 1125 kg 及び  $1.80 \times 10^5 \text{ cm}^2$  であり、車両の厚さは 0.783 cm となった。

バスの重み付け車両モデルに関して実効面積と車両厚さを表 4.58 に示す。バスの重み付けモデルは、表 4.56 に示した統計値をもとにモデルを作成する際には、基本的に、4.2.1 に示した方法を利用した。バスの場合、幾何形状は直方体に近似できるものと考えて窓を除く空隙の面積はゼロと仮定した。また、小型車とは違って車体の下面は客室の床面を共有することができないので、車体の下面とは別に同様の客室床面が存在すると仮定した。客室床面は、車体の下面と同じ面積であるとして、これを加えて実効面積を算出した。バスの重み付け車両モデルは、重量及び実効面積がそれぞれ 12,248 kg 及び  $1.20 \times 10^6 \text{ cm}^2$  であり、車両の厚さは 1.27 cm、天井が 0.08cm となった。

<sup>12</sup> 車種別の売り上げ統計がないので、メーカー別に整理した。



表 4.54 本調査で対象としたメーカー・車種・タイプ数

	メーカー	車種	タイプ数	
小型普通乗用車	ダイハツ	ブーン	1	
	ホンダ	フィット	2	
		シャトル	2	
		フリードスパイク	3	
	マツダ	デミオ	2	
	三菱	ミラージュ	1	
	日産	ジューク	3	
		マーチ	6	
		ノート	10	
		キューブ	6	
	スバル	トレージア	2	
	スズキ	スイフト	2	
		ソリオ	2	
		デリカ	1	
	トヨタ	ヴィッツ	11	
		ラクティス	3	
		イスト	2	
		ポルテ	2	
		bB	2	
		アクア	2	
		iQ	2	
		カローラルミオン	3	
		パッソ	2	
		スペイド	2	
		オーリス	2	
		合計		
		メーカー	車種	タイプ数
バス	いすゞ	ガーラ	13	
	三菱ふそう	エアロエース等	11	
	日野	セレガ	3	
合計			27	

表 4.55 小型車の統計分析結果

	重み付け平均	算術平均	最小値	最大値
車両重量(kg)	1125	1111	873	1403
全長(mm)	3974	3959	2985	4400
全幅(mm)	1689	1689	1480	1765
全高(mm)	1581	1576	1455	1765
最低地上高 (mm)	142	144	115	170
室内長(mm)	1907	1914	1560	2515
前後窓幅(mm)	1391	1402	1298	1663
平均窓高(mm)	428	424	321	547
窓面面積割合	前面	0.22	0.22	0.18
	側面	0.14	0.14	0.10
	後面	0.22	0.22	0.15

表 4.56 バスの統計分析結果

	重み付け平均	算術平均	最小値	最大値
車両重量(kg)	12248	12270	9870	13180
全長(mm)	11780	11731	8990	11990
全幅(mm)	2490	2490	2490	2490
全高(mm)	3322	3306	3050	3550
最低地上高 (mm)	200	201	185	210
標準室内 寸法	全長(mm)	10704	10647	7740
	全幅(mm)	2314	2313	2310
	全高(mm)	1931	1925	1840
側面窓幅(mm)	11185	11270	8990	11990
側面窓高(mm)	1033	1028	920	1100
前窓幅(mm)	2480	2482	2460	2490
後窓幅(mm)	2246	2240	1720	2490
前窓高(mm)	1602	1596	1510	1770
後窓高(mm)	767	779	392	1010
平均窓高(mm)	1109	1108	1053	1200
窓面面積割合	前面	0.48	0.48	0.45
	側面	0.31	0.31	0.25
	後面	0.22	0.21	0.09

表 4.57 小型車の重み付けモデルに関する実効面積と車両厚さ

面	項目	値	
天井面・床面	平面面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	6.71 × 10 <sup>4</sup>	
	空隙	平面四隅 (%)	3.8
		平面窓 (%)	27.6
	実効面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	天井面	4.60 × 10 <sup>4</sup>
		床下面	6.46 × 10 <sup>4</sup>
側面面積 (片面)	側面面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	5.72 × 10 <sup>4</sup>	
	空隙	側面前後隅	15.3
		側面窓	14.2
	実効面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	4.03 × 10 <sup>4</sup>	
前面・後面	前後面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	2.43 × 10 <sup>4</sup>	
	空隙	前面窓	20.2
		後面窓	20.2
	実効面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	1.72 × 10 <sup>4</sup>	
実効面積の合計 (天井面除く) (cm <sup>2</sup> )		1.80 × 10 <sup>5</sup>	
厚さ (天井面除く) (cm)		0.783	

<sup>(1)</sup> 各面の空隙を差し引く前の面積は、全長、全幅、全高、室内長、最低地上高から計算される値である。

<sup>(2)</sup> 各面の面積から空隙を差し引いた面積

表 4.58 バスの重み付けモデルに関する実効面積と車両厚さ

面	項目	値	
天井面・床面	平面面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	2.93 × 10 <sup>5</sup>	
	空隙	平面四隅 (%)	0
		平面窓 (%)	0
	実効面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	天井面	2.93 × 10 <sup>5</sup>
		床下面	2.93 × 10 <sup>5</sup>
側面面積 (片面)	側面面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	3.68 × 10 <sup>5</sup>	
	空隙	側面前後隅	0
		側面窓	31
	実効面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	2.55 × 10 <sup>5</sup>	
前面・後面	前後面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	8.27 × 10 <sup>4</sup>	
	空隙	前面窓	48
		後面窓	22
	実効面積 (cm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	1.08 × 10 <sup>5</sup>	
実効面積の合計 (天井面除く) (cm <sup>2</sup> )		1.20 × 10 <sup>6</sup>	
厚さ (天井面除く) (cm)		1.27	

<sup>(1)</sup> 各面の空隙を差し引く前の面積は、全長、全幅、全高、室内長、最低地上高から計算される値である。

<sup>(2)</sup> 各面の面積から空隙を差し引いた面積

## (2) 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係数

### (i) 評価モデルと線源体系

前述したように、重みづけモデルの重量及び実効面積がそれぞれ 1125 kg 及び  $1.80 \times 10^5 \text{ cm}^2$  であり、車両の厚さは 0.783 cm となった。これは、4.2.1 に示したヴィッツモデル(表 4.48)の重量は 1080 kg、実効面積の合計値  $1.73 \times 10^5 \text{ cm}^2$ 、天井を除く厚さが 0.78 cm と殆ど変わらない結果となった。このことから、車両モデルとして、4.2.1 に示したヴィッツモデルを用いた。なお、車両モデルの名称に関しては、表 4.53 ではモデル妥当性の検討に使用した具体的な車名を記載したが、4.2.3 では対応する一般的な呼称を用いることとし、軽自動車、コンパクトカー、ミニバン、大型ミニバンと呼ぶことにする。

ここでは、4.2.1、4.2.2 に示した 4 車種に対するクラウドシャイン、グラウンドシャインの被ばく低減係数を計算した。なお、バスの被ばく低減係数は、4.2.5 に記述する。

この被ばく低減係数の計算では、原子炉事故直後の自動車による避難を想定して、建物モデルと同様にクラウドシャイン時には 0.4 MeV、Cs-137、1 MeV 及び 1.5 MeV に対する被ばく低減係数を算出した。評価体系も建物モデルと同様にサブマージョン状態を仮定して、車両を中心とした半径 500 m の半球状の空気領域に線源が一樣に分布するものと仮定した。車両の内部には線源がないと仮定した。また、グラウンドシャインについては事故直後に地中方向への移行は生じないと仮定して、地表面上に Cs-137 が存在しているものとして被ばく低減係数を算出した。車両を中心とする半径 500 m の円盤状の土壤に線源が一樣に分布するものとした。車両の下にも線源は存在するものと仮定した。クラウドシャイン及びグラウンドシャインのいずれについても、被ばく低減係数の評価位置は 4.2.2 の評価位置 (図 4.70 及び図 4.71 参照) と同様とした。

### (ii) 計算結果

4 車種に対する被ばく低減係数の計算結果を表 4.59 に示す。

コンパクトカーでは、クラウドシャイン(Cs-137)の被ばく低減係数が 0.79、グラウンドシャインの被ばく低減係数が 0.70 であった。

車種の違いによる被ばく低減係数の違いをみると、軽自動車では被ばく低減係数が最も大きく、クラウドシャイン(Cs-137)の運転席に対する値が 0.80、グラウンドシャインに対する値が 0.73 であった。一方、大型ミニバンに対する被ばく低減係数が最も小さく、クラウドシャイン (Cs-137) の運転席に対する値が 0.73、グラウンドシャインに対する値が 0.64 であった。これは、車重が大きくなるに従って、車両の厚みが厚くなり、被ばく低減効果が大きくなるためである。

評価位置の違いによる被ばく低減係数の違いをみると、クラウドシャインを想定した場合、中央から 20 cm 上部の天井方向が最も大きく、20 cm 下部床方向が最も小さい結果であった。Cs-137 を想定した場合には 10%程度の差が生じた。一方、グラウンドシャインを想定した場合、顕著な違いは見られないが、概ね床方向が最も大きく、天井方向がもっと小さく 5%程度の差が生じる。

表 4.59 クラウドシャイン及びグラウンドシャインに対する車両の被ばく低減係数の計算値

車両モデル	線源	運転席	評価位置					
			上下		前後		左右	
			+20 cm	-20 cm	+50 cm	-50 cm	+40 cm	-40 cm
軽自動車	クラウドシャイン							
	0.4 MeV	0.73	0.78	0.69	0.72	0.73	0.70	0.72
	Cs-137	0.80	0.84	0.76	0.81	0.80	0.77	0.77
	1.0 MeV	0.85	0.88	0.81	0.84	0.87	0.81	0.82
	1.5 MeV	0.88	0.91	0.85	0.88	0.87	0.85	0.86
	グラウンドシャイン							
	Cs-137	0.73	0.71	0.75	0.73	0.76	0.72	0.72
コンパクトカー	クラウドシャイン							
	0.4 MeV	0.72	0.76	0.67	0.71	0.72	0.70	0.70
	Cs-137	0.79	0.83	0.75	0.79	0.81	0.76	0.77
	1.0 MeV	0.84	0.88	0.80	0.84	0.83	0.82	0.82
	1.5 MeV	0.87	0.89	0.84	0.86	0.87	0.85	0.85
	グラウンドシャイン							
	Cs-137	0.70	0.68	0.72	0.70	0.71	0.70	0.69
ミニバン	クラウドシャイン							
	0.4 MeV	0.71	0.75	0.66	0.71	0.70	0.68	0.69
	Cs-137	0.78	0.82	0.73	0.78	0.78	0.75	0.77
	1.0 MeV	0.83	0.86	0.79	0.82	0.83	0.80	0.80
	1.5 MeV	0.86	0.89	0.83	0.86	0.86	0.84	0.84
	グラウンドシャイン							
	Cs-137	0.66	0.65	0.68	0.67	0.67	0.66	0.66
大型ミニバン	クラウドシャイン							
	0.4 MeV	0.66	0.69	0.61	0.65	0.68	0.62	0.62
	Cs-137	0.73	0.76	0.69	0.74	0.72	0.69	0.70
	1.0 MeV	0.78	0.82	0.75	0.78	0.80	0.75	0.76
	1.5 MeV	0.82	0.85	0.79	0.82	0.82	0.80	0.80
	グラウンドシャイン							
	Cs-137	0.64	0.63	0.65	0.64	0.64	0.63	0.63

#### 4.2.4 バスによる外部被ばくの低減効果を評価するためのパラメータ

バスモデルには、4.2.2(1)で実施した調査に基づいて開発した重みづけバスモデルを用いた。表 4.60 に解析で使用したパラメータを示す。また、バスの概要図と評価位置を図 4.73 と図 4.74 に示す。なお、運転席と客席のシートのモデル化は行っていない。バスのシートは調査したカタログに基づき大型観光バスに相当する 4×11 列シートを想定した。評価点は運転手席とバス前方、中央、後方に座る乗客の 4 パターン (13 ケース) を想定した。なお、客席の評価点は、国土交通省の資料 (国土交通省, 2007) に基づいて床からの座面高さを 41.5 cm、座面からの評価点位置は、着座状態において重要臓器が多く集まっている箇所を想定した座面中央から 15 cm 上 (床から 56.5 cm) の位置とした。

表 4.60 バスによる外部被ばく低減効果の解析で使用したパラメータ

項目	値	
車重 (kg)	12248	
全長 (mm)	11780	
全幅 (mm)	2490	
全高 (mm)	3322	
最低地上高 (mm)	200	
標準室内寸法	全長 (mm)	10704
	全幅 (mm)	2314
	全高 (mm)	1930
側面窓幅 (mm)	11185	
側面窓高 (mm)	103	
前窓幅 (mm)	2480	
後窓幅 (mm)	2246	
前窓高 (mm)	1602	
後窓高 (mm)	767	
客室の床面高さ(地上基準) (mm)	1391.2	
車体厚さ (mm)	天井	0.8
	天井以外	12.7
床からの座面高さ (mm)	415	
座面中央からの評価点位置 (mm)	150	

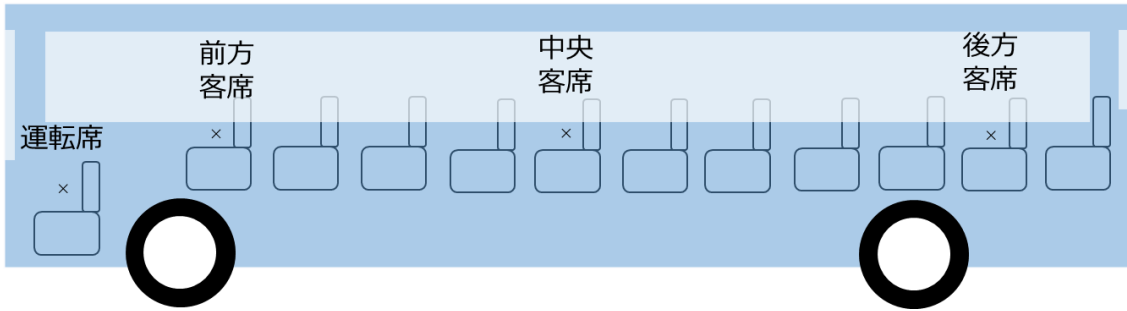


図 4.73 バスの側面概要図と評価位置 (×：評価点)

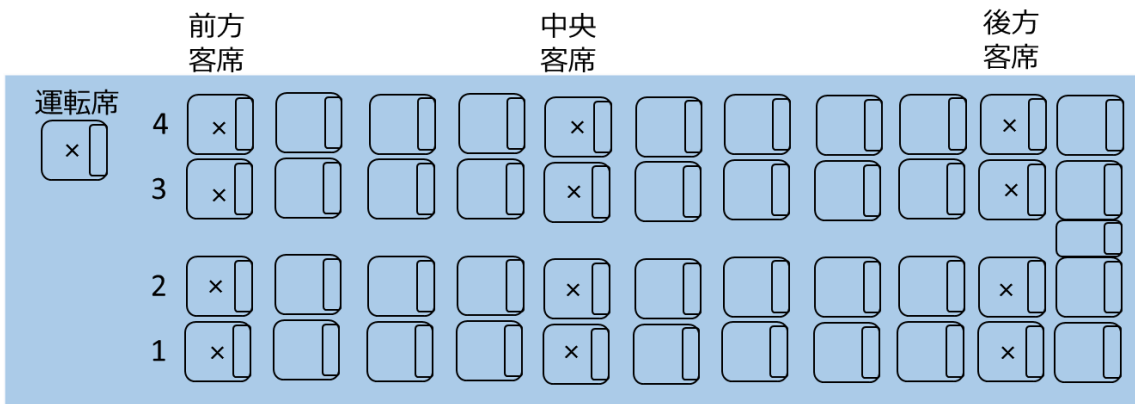


図 4.74 バスの上面概要図と評価位置 (×：評価点)

#### 4.2.5 バスによる外部被ばくの低減効果の解析

クラウドシャインとグラウンドシャインに対するバスの被ばく低減係数の解析結果を表 4.61 に示す。また、図 4.75 に運転席と各客席の 2 列目での被ばく低減係数のプロット図を示す。

クラウドシャインを想定した場合、運転席の被ばく低減係数は 0.52–0.72、客席の被ばく低減係数は 0.70–0.88 であった。運転席の被ばく低減係数は客席よりも小さい傾向である。これは、運転席のほうが客席と比較して地上高さが約 120 cm 低く、下からの放射線の寄与が小さいことに起因している。グラウンドシャインを想定した場合、被ばく低減係数は 0.45–0.53 であり、客席と運転席で大きな差は生じなかった。

前述した自動車モデルの被ばく低減効果とバスの客席の被ばく低減効果を比較する。グラウンドシャインの場合、車両中央の被ばく低減係数は 0.64–0.73 であったのに対して、バスの客席中央部の被ばく低減係数は 0.47 程度であった。グラウンドシャインの被ばく低減効果が自動車と異なるのは、バスは側面及び床部分の厚さが 1.27 cm であり、コンパクトカーの車両厚さ 0.78 cm よりも厚く、遮へい効果が大きいためであると考えられる。

また、クラウドシャイン (Cs-137) の場合、自動車モデルの車両中央の被ばく低減係数は 0.73–0.80 であったのに対して、バスの客席の被ばく低減係数は客席中央部で 0.79 程度であり、自動車モデルとほとんど変わらなかった。これはバスの客席の評価点は自動車よりも高い位置にあるが、バスの側面窓よりも低い位置にあるため、評価点位置の高低差の影響が、バスの側面壁の遮へい効果で相殺され、クラウドシャインの被ばく低減係数に差が生じなかったと考えられる。

表 4.61 クラウドシャインとグラウンドシャインに対するバスの被ばく低減係数

		運 転 席	前方客席				中央客席				後方客席			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
クラウド シャ イン	0.4 MeV	0.52	0.69	0.73	0.73	0.70	0.69	0.72	0.72	0.67	0.67	0.70	0.71	0.67
	Cs-137	0.62	0.78	0.81	0.80	0.77	0.75	0.79	0.79	0.75	0.74	0.77	0.77	0.74
	1 MeV	0.67	0.81	0.84	0.84	0.81	0.80	0.84	0.84	0.81	0.79	0.82	0.83	0.79
	1.5 MeV	0.72	0.85	0.88	0.88	0.85	0.84	0.86	0.87	0.84	0.82	0.85	0.86	0.83
グラウンド シャ イン	Cs-137	0.53	0.49	0.51	0.51	0.49	0.45	0.46	0.47	0.46	0.46	0.47	0.47	0.46



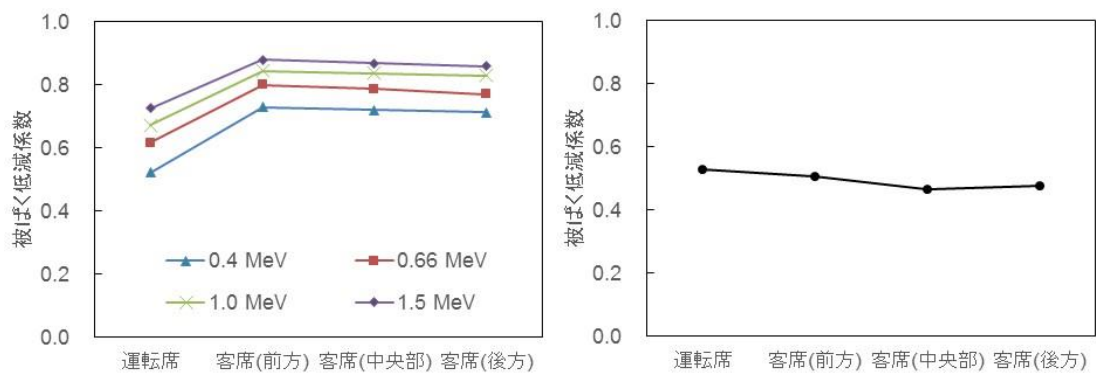


図4.75 クラウドシャイン (左) とグラウンドシャイン (右) に対するバスの被ばく低減係数(運転席と各客席の2列目)

### 4.3 外部被ばく低減効果に係るパラメータと低減効果のまとめと課題

第1章に示したように、規制庁からの依頼された仕様書中の要求事項として、「本年度の事業までに得られた成果を基に、吸入被ばく、外部被ばくの低減効果の定量的な評価結果について、代表値と主な変動要因・変動幅等を中心に概要版として整理する。」との旨が記載されている。しかし、防護効果は種々のパラメータに大きく依存し、それらのパラメータは事故のシナリオ等に大きく依存するものであり、さらに各パラメータは単独で防護効果に影響を及ぼすものではなく、相互に関連を持つものであるため、代表的な被ばく低減係数を得るために各パラメータを一定の値に定めることは不可能であることが明らかとなった。したがって、本報告書においては代表的な被ばく低減係数を求めずに、各パラメータに対する防護効果の変動を示す。

屋内退避による外部被ばく低減係数に係るパラメータの評価値、取りうる範囲、変動要因を表4.62に、各建屋に対して屋内退避による外部被ばく低減係数の各エネルギー、各階に対する変動幅を表4.63に、避難に車を用いたときの外部被ばく低減係数に係るパラメータの評価値、取りうる範囲、変動要因を表4.64に、避難に車を用いたときの外部被ばく低減係数の各エネルギーに対する変動幅を表4.65に示す。屋内退避による外部被ばく低減効果に係るパラメータはエネルギー、壁の厚さ密度、床面積、階数、評価点である。避難に車を用いたときの外部被ばく低減効果に係るパラメータはエネルギー、自動車の壁の厚さ密度、評価点である。付録7に各建屋に対して壁・屋根に汚染した場合の被ばく低減係数の変動幅をまとめている。

$\gamma$ 線エネルギーは事故シナリオと原子炉停止後からの時間によって異なる。シャットダウン後の平均エネルギーの推移を見るとクラウドシャインを想定した場合には0.4-1.5 MeVの値をとり、グラウンドシャインを想定した場合には概ね0.66 MeVの値をとる。壁の厚さ密度は使用される壁材によって異なる。木造住宅に使用される壁材は窯業系サイディング材、木製サイディング材、モルタル、土壁などがあり、壁の厚さ密度は0.9-8.1 g cm<sup>-2</sup>の値をとる。木造住宅に使用される壁材の半数以上が窯業系サイディング材であるため、木造住宅の被ばく低減係数を算出するために窯業系サイディング材を採用し、その厚さ密度は平均値である2.4 g cm<sup>-2</sup>とした。コンクリート造の建屋では壁の厚さに関する統計データがないが、国土交通省告示第1026号により最低厚さが決定されている。そこで、最低厚さ密度(31.5 g cm<sup>-2</sup>)をコンクリート戸建住宅及び集合住宅、学校、病院の被ばく低減係数の変動幅算出に採用した。原子力発電所立地県での住宅家屋の床面積は概ね45-150 m<sup>2</sup>の範囲内である。原子力立地県での1住宅あたりの床面積の平均値である93 m<sup>2</sup>を床面積の評価値とした。

上記条件で求めた被ばく低減係数は壁の厚さ、評価点の位置の違いによって異なる。被ばく低減係数は主に壁の厚さ密度に依存しており、厚さ密度の小さい木造・鉄骨造では被ばく低減係数が大きく、厚さ密度の大きいコンクリート造では被ばく低減係数が小さい。木造・鉄骨造のように壁の厚さ密度が小さい建屋では評価点の位置による違いは0.1程度と小さく、コンクリート造の建屋では窓付近とその他の位置での被ばく低減係数の差異は大きい。どの建屋対してもエネルギーの違いによる被ばく低減係数の差異は0.1程度であった。また、クラウドシャインの場合、階数が高くなるほど被ばく低減係数が大きくなり、グラウンドシャインの場合、階数が低くなるほど被ばく低減係数が大きくなった。

避難に車を用いたときの時のエネルギーは屋内退避と同様にクラウドシャイン時に0.4-1.5 MeV、グラウンドシャイン時に0.66 MeVの値をとる。自動車の壁の厚さ密度は車種によって異なり、5.5-7.3 g cm<sup>-2</sup>の値をとる。バスに関しては、車両の統計調査の結果から壁の厚さ密度を9.9 g cm<sup>-2</sup>とした。評価点は避難中を想定し、着席時に組織加重係数の大きな組織が多く集まっている位置として、シートから上方に15 cmの位置を評価値とした。

上記条件で求めた被ばく低減係数は車種、評価点の違いにより値が異なった。被ばく低減係数は車種が大きいほど壁の厚さが厚くなるため小さい。どの車種に対してもエネルギーの違いによる被ばく低減係数の差異は0.2程度であった。

課題点として、今回評価した値の信頼性向上のために、各パラメータの精緻化が必要である。例えば、本研究で壁面・屋根面への汚染割合が日本と欧米で異なっていたことを示した。壁面・屋根面に汚染がある場合の外部被ばく低減係数を評価するためには、地表面に対する壁面・屋根面への汚染割合について調査する必要がある。また、本研究では主として運転中の原子力発電所での重大事故に対する防護措置として屋内退避及び車での避難を実施したときの被ばく低減係数を評価した。原子力発電所でもその他の形態の事故の場合や、原子力発電所以外の原子力施設の事故に対しては放出される核種組成や事故進展等を考慮して、外部・内部被ばくによる甲状腺等価線量と実効線量を求め、どのような防護措置を講じた場合に防護効果が最も高くなるかの評価が必要である。

表 4. 62 屋内退避による外部被ばく低減係数にかかるパラメータの評価値と変動幅。() 内の数字は変動幅を示す。

パラメータ	評価値 (変動値)	条件	変動要因、備考
エネルギー	0.66 MeV (0.4–1.5 MeV)	クラウドシャイン	事故シナリオの核種の放出割合 の時間変化
	0.66 MeV	グラウンドシャイン	
壁面等の厚さ 密度	2.4 g cm <sup>-2</sup> (0.9–8.1 g cm <sup>-2</sup> )	木造、鉄骨造 戸建住宅	壁材
	31.5 g cm <sup>-2</sup>	鉄筋コンクリート造 戸建住宅	
	31.5 g cm <sup>-2</sup>	鉄筋コンクリート造 集合住宅	
	31.5 g cm <sup>-2</sup>	学校、病院、体育館	
建築面積	93 m <sup>2</sup> (45–150 m <sup>2</sup> )	木造、鉄骨造、 鉄筋コンクリート造 戸建住宅	-
	130 m <sup>2</sup>	木造、鉄骨造 集合住宅	
	370 m <sup>2</sup>	鉄筋コンクリート造 集合住宅	
	3024 m <sup>2</sup>	学校	
	1482 m <sup>2</sup>	病院	
	900 m <sup>2</sup>	体育館	

表 4.63 各建屋の被ばく低減係数の変動幅。各フロアの最小値と最大値を示す。

		クラウドシャイン			グラウンドシャイン (屋根、壁汚染なし)
		0.4MeV	0.66MeV	1.5MeV	0.66MeV
木造戸建住宅 (窯業系サイディング材)	1F	0.68～0.77	0.71～0.80	0.79～0.87	0.48～0.63
	2F	0.79～0.89	0.82～0.90	0.87～0.95	0.48～0.54
鉄骨造戸建住宅 (窯業系サイディング材)	1F	0.58～0.72	0.63～0.76	0.73～0.84	0.44～0.63
	2F	0.72～0.85	0.76～0.87	0.82～0.92	0.46～0.55
鉄筋コンクリート造 戸建住宅	1F	0.05～0.26	0.08～0.27	0.16～0.33	0.11～0.34
	2F	0.12～0.30	0.17～0.35	0.27～0.44	0.07～0.18
木造集合住宅 (窯業系サイディング材)	1F	0.66～0.76	0.69～0.78	0.76～0.85	0.46～0.64
	2F	0.77～0.85	0.79～0.87	0.85～0.93	0.46～0.57
鉄骨造集合住宅 (窯業系サイディング材)	1F	0.58～0.72	0.63～0.75	0.72～0.83	0.44～0.63
	2F	0.71～0.81	0.74～0.84	0.82～0.91	0.43～0.56
鉄筋コンクリート造 集合住宅	1F	0.01～0.20	0.02～0.21	0.02～0.23	0.04～0.35
	5F	0.02～0.23	0.03～0.26	0.06～0.31	0.01～0.08
病院	1F	0.002～0.33	0.004～0.34	0.01～0.38	0.01～0.37
	6F	0.01～0.33	0.02～0.36	0.04～0.44	0.001～0.07
学校	1F	0.02～0.30	0.03～0.31	0.04～0.36	0.03～0.24
	3F	0.03～0.33	0.05～0.36	0.08～0.44	0.01～0.12
体育館		0.15～0.45	0.20～0.49	0.28～0.58	0.07～0.28

表 4.64 避難に車を用いたときの外部被ばく低減係数にかかるパラメータの評価値と変動幅。( )内の数字は変動幅を示す。

パラメータ	評価値 (変動幅)	条件	変動要因、備考
エネルギー	0.66 MeV (0.4–1.5 MeV)	クラウドシャイン	事故シナリオの核種の放出割合の 時間変化
	0.66 MeV	グラウンドシャイン	
自動車壁の 厚さ密度	(5.5–7.3 g cm <sup>-2</sup> )	自動車	車両重量、窓面積
	9.9 g cm <sup>-2</sup>	バス	-
評価点		座席より 15cm	重要臓器の平均的な位置を想定

表 4.65 避難に車を用いたときの外部被ばく低減係数の変動幅。評価点を変えた場合の最小値と最大値を示す。

	クラウドシャイン		グラウンド シャイン	
	400 keV	Cs-137	1500 keV	Cs-137
軽自動車	0.69～0.78	0.76～0.84	0.85～0.91	0.71～0.76
コンパクトカー	0.67～0.76	0.75～0.83	0.84～0.89	0.68～0.72
ミニバン	0.66～0.75	0.73～0.82	0.83～0.89	0.65～0.68
大型ミニバン	0.61～0.69	0.69～0.76	0.79～0.85	0.63～0.65
バス	0.52～0.73	0.62～0.81	0.72～0.88	0.45～0.53

#### 4.4 第4章の参考文献

- Andersson K.G., Roed J. and Fogh C.L. (2002): Weathering of radiocaesium contamination on urban streets, walls and roofs, *J. Environ. Radioact.*, **62**, pp.49–60.
- Beck H.L., DeCampo J. and Gogolak C. (1972) : In-situ Ge(Li) and NaI(Tal) Gamma-ray Spectrometry, HASL-258, Health and Safety Laboratory.
- Burson Z.G. and Profio A.E. (1977): Structure shielding in reactor accidents. *Health Phys. Pergamon Press.* **33**, pp. 287–229.
- EPA (1993): External Exposure to Radionuclides in Air, Water, and Soil, U.S. Environmental Protection Agency, Federal Guidance Report No. 12, EPA-402-R-93-081.
- ICRP (1996): Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation, ICRP Publication 74, *Ann ICRP* **26**.
- Jones A., T. Charnock, L. Singer, J. Roed, K. Andersson, S. T. Nielsen, T. Mikkelsen, P. Astrup, J. C. Kaiser, H. Müller, G. Pröhl, W. Raskob, S. Hoe, L. H. Jacobsen, L. Schou-Jensen and F. Gering (2009) : Description of the Modelling of Transfer and Dose Calculations within ERMIN v1.0 and associated data libraries (all v1.0), EURANOS(CAT2)-TN(05)-04.
- Lauridsen. B. and Jensen P.H. (1983): Shielding factors for vehicles to  $\gamma$ radiation from activity deposited on structures and ground surfaces, *Health Physics*, **45**(6), pp.1039-1045.
- Roed, J., and Jacob, P. (1990). Deposition on urban surfaces and subsequent weathering, *Proceedings of a seminar on methods and codes for assessing the off-site consequences of nuclear accidents* (vol. 1), Athens, Greece, 1990, EUR13013, pp. 335-356.
- Sato T., Iwamoto Y., Hashimoto S., Ogawa T., Furuta T., Abe S., Kai T., Tsai P. E., Matsuda N., Iwase H., Shigyo N., Sihver L. and Niita K. (2018): Features of particle and heavy ion transport code system (PHITS) version 3.02., *J. Nucl. Sci. Technol.* **55**, pp.684–690.
- Sievert R.M. and B. Hultqvist (1952) : Variations in natural gamma radiation in Sweden, *Acta Radiol*, **37**, pp. 388–398.
- White M. C. (2003): Photoatomic data library MCPLIB04: A New Photoatomic Library Based On Data from ENDF/B-VI Release 8, LA-UR-03-1019.
- X-5 Monte Carlo Team.(2008): MCNP—A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, LA-UR-03-1987.
- Yoshimura K., Saito K. and Fujiwara K. (2017): Distribution of  $^{137}\text{Cs}$  on components in urban area four years after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, *J. Environ. Radioact.*, **178-179**, pp.48–54.
- ALC 協会(2013): ALC パネル構造設計指針・同解説 平成 25 年 12 月.
- JIS A 5209(2014): セラミックタイル、日本規格協会.
- JIS A 5416(2016): 軽量気泡コンクリートパネル (ALC パネル) , 日本規格協会.
- JIS A 5430 (2013): 繊維強化セメント板, 日本規格協会.
- JIS A 5422(2014): 窯業系サイディング, 日本規格協会.
- JIS A 6711(2004): 複合金属サイディング, 日本規格協会.
- 旭トステム外装株式会社: 製品案内  
<http://www.asahitostem.co.jp/product/default.php> (最終閲覧日:2017 年 3 月 22 日) .
- 一般財団法人建築環境・省エネルギー機構 (2015) : 住宅の平成 25 年省エネルギー基準の解説.  
一般財団法人日本木材総合情報センター: 木材とその技術

<http://www.jawic.or.jp/tech/qanda/052.php> (最終閲覧日:2017年3月16日) .  
株式会社アイコットリョーワ: 製品紹介

<https://www.ic-ryowa.com/products/> (最終閲覧日:2017年3月22日) .  
株式会社井助商店: 漆喰塗料

<http://www.isuke.co.jp/company/paint/kashinuru/index.html> (最終閲覧日:2017年3月22日) .  
株式会社トクヤマエムテック: 製品情報

<http://www.k-tokuyama.co.jp/product.html> (最終閲覧日:2017年3月22日) .  
株式会社ナガイ: 取扱い商品一覧/WEBカタログ

<https://www.nagai.co.jp/product/index.html> (最終閲覧日:2017年3月22日) .  
株式会社豊運: 製品紹介

<http://www.ho-un.co.jp/product/index.html#01> (最終閲覧日:2017年3月22日) .  
株式会社 LIXIL グループ: タイル建材

<http://www.lixil.co.jp/lineup/tile/> (最終閲覧日:2017年3月22日) .  
環境省, 帰還困難区域における除染モデル実証事業の結果報告 (2014).  
<http://josen.env.go.jp/area/model2.html>. (最終閲覧日:2018年3月2日)

ケイミュー株式会社: 外壁材商品情報  
<http://www.kmew.co.jp/shouhin/siding.html> (最終閲覧日:2017年3月22日) .

国土交通省 (2007): 公共交通機関の車両等に関する移動等円滑化整備ガイドライン (バリアフリー整備ガイドライン (車両等編)), 平成19年7月.  
国土交通省 (2001): 国土交通省告示第千二十六号.  
<http://www.mlit.go.jp/notice/noticedata/pdf/201703/00006515.pdf>  
(最終閲覧日:2018年3月14日)

財団法人住宅金融普及協会 (2011): 【フラット35】【フラット35】S【フラット35】S(20年金利引下げタイプ) 鉄筋コンクリート造等住宅工事仕様書 平成22年改訂 (全国版) .  
佐藤大樹, 古田琢哉, 高橋史明, 遠藤章, C. Lee, W. E. Bolch (2014): 土壌に分布した放射性セシウムによる外部被ばく線量換算係数の計算, JAEA-Research 2014-017.

昭和電工建材株式会社: 電子カタログ  
[http://www.sdk-k.com/?page\\_id=1880](http://www.sdk-k.com/?page_id=1880) (最終閲覧日:2017年3月22日) .

鈴木大陸 (2004): 技術解説 土壁造住宅の断熱技法の開発, 日本建築総合試験所, 29(3), pp2-11.  
せんい強化セメント板協会 (2005): 技術資料 スレートボード.

総務省統計局: 平成17年度医療施設実態調査  
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001048224> (最終閲覧日:2016年12月16日) .

総務省統計局: 平成20年度体育・スポーツ施設現況調査  
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001077159&cycode=0> (最終閲覧日:2016年12月16日) .

総務省統計局 (2013): 平成25年住宅・土地統計調査  
<http://www.stat.go.jp/data/jyutaku/index.htm> (最終閲覧日:2017年3月15日) .

太平洋マテリアル株式会社: カタログ  
<https://www.taiheiyo-m.co.jp/catalog/> (最終閲覧日:2017年3月22日) .

高原省五, 渡邊正敏, 小栗朋美, 木村仁宣, 廣内淳, 宗像雅広, 本間俊充 (2016): 島根県内における原子力災害時の避難施設に関する研究 (受託研究), JAEA-Data/Code 2016-016.

秩父コンクリート工業株式会社: 建築用資材



<http://www.chichicon.co.jp/kenchiku/#a02> (最終閲覧日:2017年3月22日) .  
チャンネルオリジナル株式会社: WILL WALL  
<http://www.channel-o.co.jp/products/willwall.html> (最終閲覧日:2017年3月22日) .  
東レ ACE 株式会社: 製品ラインアップ  
<http://www.toray-ace.com/products/index.html> (最終閲覧日:2017年3月22日) .  
特定非営利活動法人湿式仕上げ技術センター: 防火材料検索  
<http://www.npo-stc.jp/data/bouka/> (最終閲覧日:2017年3月22日) .  
独立行政法人住宅金融支援機構 (2015a) : 【フラット 35】対応 木造住宅工事仕様書 平成 27 年度版.  
独立行政法人住宅金融支援機構 (2015b) : 【フラット 35】対応 枠組壁工法住宅工事仕様書 平成 27 年度版.  
独立行政法人住宅金融支援機構: 公庫融資を利用した一戸建住宅の建築的事項の調査(過去分)  
[http://www.jhf.go.jp/about/research/tech\\_h11old\\_kodate.html](http://www.jhf.go.jp/about/research/tech_h11old_kodate.html) (最終閲覧日:2017年3月16日) .  
独立行政法人住宅金融支援機構: フラット 35 住宅仕様実態調査報告—在来木造工法の戸建て住宅—  
[http://www.jhf.go.jp/about/research/tech\\_flat35\\_siyou.html](http://www.jhf.go.jp/about/research/tech_flat35_siyou.html) (最終閲覧日:2017年3月16日) .  
独立行政法人住宅金融支援機構: 平成 11 年度 公庫融資を利用した一戸建住宅の建築的事項  
[http://www.jhf.go.jp/about/research/tech\\_h11\\_kodate.html](http://www.jhf.go.jp/about/research/tech_h11_kodate.html) (最終閲覧日:2017年3月16日) .  
長岡鋭, 坂本隆一, 斎藤公明, 堤正博, 森内茂 (1988) : 積雪による地殻 $\gamma$ 線線量率の減衰, 保健物理, **23**, pp. 309–315.  
長岡鋭, 坂本隆一, 堤正博, 斎藤公明, 森内茂 (1992) : 積雪による地殻 $\gamma$ 線線量率の減衰 (II) — 平坦地における実地調査—, 保健物理, **27**, pp. 113–121.  
中本造林株式会社: 取扱商品一覧 外装用  
<http://www.nakamotozourin.co.jp/lineup2/exterior/> (最終閲覧日:2017年3月22日) .  
ニチハ株式会社: 金属製外壁材 センターサイディング  
<http://www.nichiha.co.jp/wall/center/index.html> (最終閲覧日:2017年3月22日) .  
ニチハ株式会社: 窯業系サイディング  
<http://www.nichiha.co.jp/wall/yogyo/index.html> (最終閲覧日:2017年3月22日) .  
日本化成株式会社: 左官用工事材  
<http://www.nihonkasei.co.jp/products/plastering.html> (最終閲覧日:2017年3月22日) .  
日本建築学会 (2003) : 建築工事標準仕様書 17 番・ガラス工事.  
日本建築仕上材工業会 (2005) : 外壁モルタル仕上げの改修マニュアル-木造住宅偏-平成 18 年 10 月.  
日本合板工業組合連合会: 構造用合板の手引き  
<http://jpma.jp/data/index.html> (最終閲覧日:2017年3月22日) .  
日本サッシ協会 (2016) : 住宅用建材使用状況調査 平成 28 年 3 月.  
日本自動車工業会 (2015) : 自動車統計月報 [http://www.jama.or.jp/stats/m\\_report/index.html](http://www.jama.or.jp/stats/m_report/index.html)  
(最終閲覧日:2018年3月14日)  
農林水産省: 平成 26 年木材統計  
[http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokuzai/pdf/mokuzai\\_14.pdf](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokuzai/pdf/mokuzai_14.pdf) (最終閲覧日:2017年3月22日) .  
福島県災害対策本部 (2012) : 冬期の空間線量率の低下について, 平成 24 年 2 月 13 日.  
[http://www.pref.fukushima.lg.jp/sec\\_file/monitoring/etc/toukinosenryouteika0213.pdf](http://www.pref.fukushima.lg.jp/sec_file/monitoring/etc/toukinosenryouteika0213.pdf) (最終閲覧日:2017年3月22日)

覧日：2016年3月16日)

藤元憲三 (1986)：大地からの $\gamma$ 線に対する雪の遮蔽効果, 保健物理, **21**, pp. 3-8.

二瀬窯業株式会社: カタログ・許可書一覧

[http://futaseyogyo.co.jp/catalogue\\_honsya.html](http://futaseyogyo.co.jp/catalogue_honsya.html) (最終閲覧日:2017年3月22日) .

古田琢哉, 高橋史明 (2014)：環境に沈着した事故由来の放射性セシウムからのガンマ線に対する建物内の遮蔽効果及び線量低減効果の解析, JAEA-Research 2014-003.

本田技研工業株式会社 (2015)：Personal Communication.

松田規宏, 斎藤公明 (2016)：土壌中の放射性セシウムの深度分布調査, 「平成27年度原子力規制庁委託事業「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約」成果報告書」. <http://fukushima.jaea.go.jp/initiatives/cat03/entry08.html>.

(最終閲覧日：2018年3月2日)

丸善 (1999)：ガラス工学ハンドブック.

文部科学省: 平成28年度 文部科学統計要覧

[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/toukei/002/002b/1368900.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/002/002b/1368900.htm) (最終閲覧日：2016年12月16日) .

林業試験場 (1958)：木材工業ハンドブック, 丸善株式会社

## 付録1 ヒヤリング調査、海外調査

- (1) 訪問先 欧州委員会  
面談者 欧州委員会エネルギー総局 放射線防護ユニット:Michael KUSKE (Deputy Head of Unit), Vesa TANNER (Head of Sector), Michel HERZEELE (Head of Sector), Kevin JACKSON (Scientific Technical Officer), Bharat PATEL  
調査項目 欧州の原子力緊急時計画における屋内退避位置付け及びその効果の評価

同部署は、オフサイトでの緊急事態時対応に関して EU 内での近況を把握しているため、EU 内での緊急事態時対応における屋内退避の位置づけに関する聞き取りを行った。EU 加盟国内において屋内退避は緊急事態時に行われる確実で実効的な防護措置として位置づけられている。ただし、対策の考え方、家の建築タイプ及び建築年数等に応じて屋内退避の適用範囲が加盟国ごとに異なっている。例えば、イギリスの適用範囲は EU 国内で最も狭い 3.5 km であり、一方でブルガリア、ハンガリーの適用範囲は最も広い 30 km である（EU 内での屋内退避の範囲やその根拠等についてレビューした文献について紹介を受けた ENER/D1/2012-474）。また、EU 内ではチェルノブイリ事故後に開発されたモニタリングデータ収集システム EURDEP(European Radiological Data Exchange Platform)に加えて、放射線又は原子力緊急事態の通報システム ECURIE(European Community Urgent Radiological Information Exchange)が備わっており、その説明を受けた。

- (2) 訪問先 デンマーク工科大学 リゾ国立研究所  
面談者 Kasper G. ANDERSSON (Professor)  
調査項目 屋内退避による吸入・外部被ばくの低減効果に影響する要因の調査低減効果評価に関する実験の調査

リゾ研究所はチェルノブイリ事故の経験を踏まえて、屋内退避による被ばく低減効果に関して様々な実験及び評価が行われており、それらに関する文献が多数報告されている。それ故、ラボ実験について説明し、意見交換を行った。主な聴取内容及び提供していただいた報告書 (Andersson et al., 2004) から実験に有用な内容は以下のとおりである。

- グラウンドシャインからの外部被ばくを評価する場合、地面に沈着している放射性物質だけでなく、屋根への沈着、家屋周辺の樹木への沈着を考慮したほうが良い。この点については PHE でも同じ指摘を受けており、PHE の報告書 (Jones et al., 2009) に取りまとめられた知見を本事業でも活用したところである (4.1.2 (1) ④の屋根汚染割合と壁汚染割合を参照)。なお、具体的な内容の例は以下の通り：
  - 沈着条件に応じて樹木に放射性物質が沈着した場合、放射性物質の鉛直分布がグラウンドシャインの評価に重要である。
  - チェルノブイリ事故後の経験によると、乾性沈着では、木、葉、屋根への沈着が主であり、湿性沈着は地面への沈着が主である。
- 室内環境に関する浸透・沈着において、本事業では事故時の放射性物質の粒径を過去の原発事故時 (例えば、チェルノブイリ、福島) に測定されたものを代表値として用いているが、他の事故シナリオでは必ずしもそのような粒径ではない可能性がある。
- 放射性物質の浸透・沈着実験で、粒子状セシウムの発生手法が実験結果に影響する。

- 本事業の吸入被ばく線量評価モデルでは、床・壁面への沈着しか考慮していない。しかしリゾで行われた実験結果によると、人及び室内に沈着した線源は室外に沈着した線源と同程度の被ばくをもたらすため、人の皮膚、髪、及び衣類への沈着も考慮したほうが良い。
- これらの線源からの寄与は部屋のサイズに依存しない。
- 放射性物質の家屋内外の挙動に関して、家屋による放射性物質のフィルタリング効果はあまり重要ではなく（浸透率がほぼ1）、放射性物質の沈着が一番重要である。
- この知見は汚染物の粒径に依存するため、原子力事故後に生じる粒径を見定めたうえで、実験に反映すべきである。

#### 沈着率の変動要因に関する知見

- 粒径が1  $\mu\text{m}$  未満の粒子では、表面の電荷が大きいほど沈着率が大きく、1  $\mu\text{m}$  以上の粒子では、表面の電荷に沈着率は依存しない。
- 人の皮膚への沈着率は皮膚の湿気に依存し、湿っているほど付着効率が高まるため沈着率が大きい。

#### 元素状ヨウ素を用いた沈着実験に関する知見

- リゾでは、ラットの皮膚、衣類、水面、フィルターペーパーへの元素状ヨウ素の付着実験が行われた。30 cm×20 cm×30 cm のガラス製のチャンバー内にラット、衣類の切れ端、水、フィルターペーパー、及びヨウ素結晶が置かれた。衣類の切れ端とフィルターペーパーは天井、床、側面の全ての面に置かれた。ヨウ素結晶の昇華によって、チャンバー内のヨウ素濃度は即座に上昇し、ある一定期間後一定濃度になる。

#### 実験時の再浮遊による影響に関する知見

- リゾで行われた沈着、再浮遊実験は2つの放射性物質（Dy と In）がトレーサーとして使われた。Dy は粒径 2.5  $\mu\text{m}$  の粒子、In は粒径 0.7  $\mu\text{m}$  の粒子のトレーサーとして使われた。
- 沈着する前の粒径分布と再浮遊した粒子の粒径分布は異なっており、再浮遊した場合に粒径分布が大粒径側にシフトする傾向がある。これは小粒径ほど表面への保持力が強いことを示している。
- 木、プラスチック、ウール面で再浮遊実験を行った結果、プラスチック面で粒径分布がより大粒径側にシフトすることから、小粒径粒子はプラスチック面にくっつきやすいことが示唆されている。
- ウール面では他の面よりも再浮遊しにくく、家の中をうろつく程度では粒子はほとんど再浮遊しないことが示唆された。

2017年9月にドイツのベルリンで開催された 4th International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity, ICRER4 にて Andersson が放射性物質の屋根・壁に対する保持力の評価について報告した。①屋根ではCsの除去は初期の降水に大きく依存すること、②ガラス、金属、木製上では、セシウムのウェザリング効果が早いこと、③ストロンチウムなどの他の核種では、屋根にあまり保持されないこと、④壁と道路上では、物質の違いはあまり見られなかったことが報告された。

屋内退避による外部被ばくの低減効果を評価するうえで、初期沈着量の比の設定が課題となっている。今後、保持力及び初期沈着の物質による違いに関する実験を行う予定であり、Andersson と実験について議論した。議論の中で、①欧米で使われる物質に対しては英国公衆衛生庁（PHE）

で実験が行われているものの、日本特有の物質に対しては行われていないため、日本特有物質（例えば瓦）に対する実験は重要であること、②初期のウェザリング評価では降水強度が重要であり、同時に降水量を測定することが望ましいことが述べられた。今回 Andersson が発表した内容は論文として公表されておらず、論文としてまとめられた時にその論文を提供していただける、今後情報交換しても良いとのことであった。

- (3) 訪問先 英国公衆衛生庁（PHE）  
面談者 Stephanie HAYWOOD, Tom CHARNOCK, Joanne BROWN, 他 2 名  
調査項目 屋内退避による外部・吸入被ばくの低減効果に影響する要因の調査低減効果評価に関する実験の調査

同庁には緊急時計画等に関する専門家が所属すると同時に、チェルノブイリ事故後の経験等を通じて、居住地域における線量評価モデル（ERMIN モデル）を開発している。以下、外部被ばく及び吸入被ばくの低減効果の評価に関する項目をそれぞれ記載する。

(i) 外部被ばくの評価関連

- 外部被ばくの評価に関して、PHE はチェルノブイリ事故後の経験をもとに、さまざまな沈着表面(屋根、壁、地表など)からの寄与を考慮して住民の被ばく線量を評価するモデル（ERMIN モデル）を開発している。
- 屋内退避による外部被ばく低減効果の評価においては、地表面だけでなく屋根や壁等からの寄与も考慮すべきであり、今後、これらの沈着表面からの寄与を考慮する際に有用なウェザリング等の知見を得ることができた。ただし、イギリスでは日本と異なり、ブロック、コンクリート造が主であるので、両者の違いを反映して評価を進めるべきである（日本は木造が主）。

(ii) 吸入被ばくの評価関連

- 家屋の換気率について、英国建築研究院（BRE）が都市部の化学物質によるハザードを対象とする研究を行い、風洞を用いて外部風速と温度の換気率への影響が検討されている。
- 都市部では建物が密集して外部風速が小さくなるという報告がされている。
- これらの結果から、実験において、外部風速と温度の測定をすべきである。風速を測定する地点も重要であり、一つの案としてどのような周辺環境でも同じような風速が得られる建物の上で測定することが提示された。
- 物質の沈着、浸透は物質の物理・化学形状、壁の材質、ファンの有無、部屋の大きさ（体積/表面積比）に依存するため、実験ではこれらの因子と沈着または浸透の依存性を調査すべきである。
- 本事業で行ったコンパートメントモデルの解析では、単発放出を仮定していた。しかし実際の事故は複数回の放出がある。
- 換気率は先に示したように、外部風速と温度によって変化するため、本事業で仮定した「換気率は常に一定である」ことはなく、換気率は時間によって変化する。

(4) 訪問先 建築を専門とした大学教員  
調査項目 自然換気率及び壁材に関する調査

訪問した研究室では、自然換気に関して様々な実験及びシミュレーションを行っており、それらに関する文献が多数報告されている。それ故、自然換気率の実験方法、自然換気に係るパラメータについて意見交換を行った。また、外部被ばくを計算する上で壁材などの情報を提供していただいた。有用な内容は以下のとおりである。

自然換気に関する知見

- 平成 27 年の報告書で使用した吉野他 (1984) の関係図は古いので、新しいものを使用したほうが良い (赤林他, 1994)。この文献では、風洞実験を基にグラフを作成したものであり、関数の一つとして建蔽率が備わっている。この関係図を使用する上での注意点は、一戸建て住宅にしか適用できなく、マンションなどの集合住宅には適用できない。また、風速は高度 10 m の値である。なお、赤林の関係図では温度差を考慮していないため、温度差を考慮する場合は吉野の関係図を用いても良い。
- グロス建蔽率を求める際、対象家屋の高さの 3 倍程度の範囲を考えればよい。また、建蔽率が 40% 以上になると、それ以上建蔽率が増加しても風圧が変わらないため、建蔽率を 40% と見なしても良い。
- 住宅の隙間はいたるところにある。例えば、天井と壁面の継ぎ目、壁面同士のつなぎ目などである。赤林研究室で行っているシミュレーション計算の場合、隙間を等間隔に配置して計算を行うことが多い。
- 自然換気に関する調査はシミュレーションでほとんど計算できるため、現在あまり行われていない。
- 最近の家屋では 24 時間換気を実装することが義務化されている。しかし、常時運転している家は 3 割程度。実装しても、騒音、寒さなどが原因で運転していない家庭が多い。また、運転させていなくても法令上違反になることはないので、運転するか否かの判断は住民に依存している。
- 外気を取り込む型のエアコンはダイキンが販売しているが、コストが他のエアコンと比べて高い等の理由によりほとんど売れていない。
- 実家屋試験では、対象家屋の屋上で風速を測定し、その風速と付近で周りの影響を受けない場所 (例えば JAEA) で測定した風速と比較し、風速の相関関係を調査し、もし相関があれば、周りの影響を受けない場所の風速を用いたほうが風速の精度としては良い。室内の CO<sub>2</sub> 濃度は均一にすべきであり、そのために CO<sub>2</sub> 放出点を増やす、扇風機を駆使するなどをしたほうが良い。CO<sub>2</sub> 測定は各階で家の中心付近で行ったほうが良い。簡易風速計をベランダで測定してもほとんど 0 となり、データとしては意味がない。温度測定は日向で行うべきではない。エアコンによる換気率の違いは出るかもしれないが、それは部屋の空気循環が異なるだけで、エアコンから外部空気が侵入することはほとんど考えられない。

外部被ばくに関する知見

- 石膏ボードは入れるべき。石膏ボードが発明されてからどの家屋でも使われている。窓ガラスは 3mm が普通。最近のペアガラスは窓 (3mm) + 空気 (6mm) + 窓 (3mm) である。厚さ等は木造住宅工事仕様書を参考にすると良い。これは地域ごとに厚さの仕様がまとめられている。

- 外装材、内装材はメーカーにどの厚さが一番売れているかを聞けばよいのではないか。
- 建築学会標準住宅があるので、それを建屋モデルに使ってはどうか。集合住宅はアイベックが標準の集合住宅を提案している。

#### その他

- 古い家は改修している可能性がある。ただし改修によって建築基準法を満たす家になったかは分からない。またそういったエビデンスを得ることは難しい。

- (5) 訪問先 建築関連法人 1  
調査項目 住宅の壁厚等に関する調査

訪問した法人では、各メーカーの住宅の検定のために、見取り図を持っていると伺い、外部被ばくを計算する上で必要な壁材に関する情報を提供していただいた。有用な内容は以下のとおりである。

- 本法人において対象としているのは基準法の4号建築物であるため、建築確認が不要な住宅（1-3号建築物）に関する情報は把握していない。
- 木造住宅の柱の断面寸法は12 cm×12 cmが標準。木造住宅工事仕様書に記載がある。壁厚はそのプラス $\alpha$ である13.5-15 cm（石膏ボード+断熱材+耐力壁+外壁）程度が普通である。
- 木造住宅の外壁に関する政府統計はない。メーカーのカタログを当たってみるとよい。（→ 社団法人 日本サッシ協会刊行の「住宅用建材使用状況調査」に住宅外壁に関する統計データあり）
- 窓面積が大きすぎると壁の地震に対する耐力が失われてしまう。一方、居室の採光という観点からも建築基準法に規定があり、住宅に関しては床面積の1/7以上という規定がある。また「採光補正係数」という考え方がある。
- 既製品の窓の大きさは1 m×2 m（大体畳の大きさ）が基準になるが、詳細はサッシメーカーのカタログをあたってみるとよい。
- 軽量鉄骨（プレハブ）住宅の壁に関する情報は、「プレハブ建築協会」がもしかしたら情報を持っているかもしれない。
- 鉄筋コンクリートに対しては壁厚に規定があるが、大体的場合は規定よりも厚く施工される。
- 家の土台はほとんどが鉄筋コンクリートで出来ており、その厚さの最低基準は120 mmであるが、ほとんどが150 mm程度となっている。
- 木造、鉄骨造の場合、柱が等間隔（大体1 m）存在しており、ところどころで筋かい（斜めの柱）がされている。
- 隙間相当面積を測定したデータは最近ほとんど見ない。

- (6) 訪問先 建築メーカー 1  
調査項目 建屋モデルに関する調査

訪問した建築メーカーでは、建築のモデル化を行った実績があり、外部被ばくを計算するための建築モデルについて情報を提供していただいた。有用な内容は以下のとおりである。

- グラウンドシャインの線源半径を 500 m の無限平板としているが、200 m 程度以内からの寄与がほとんどではないか。
- 無限線源中に建物が 1 軒建っている場合を想定しているが、実際には壁表面（木造住宅、コンクリート建物共に）への汚染があった場合、隣接する建屋がある場合、平板ではなく斜面があった場合、線源が埋まっている場合には 1 階よりも 2 階のほうが高くなる等の問題がある。
- 上記の観点で、単純なモデルで感度解析を実施すべきである。モデルが複雑すぎるし何を見ているかがよく分からない。

(7) 訪問先 建築メーカー 2  
調査項目 建屋モデルに関する調査

訪問した建築メーカーでは、建築のモデル化を行った実績（JAEA-Research 2014-003 の建屋モデル検討に携わった）があり、外部被ばくを計算するための建築モデルについて情報を提供していただいた。有用な内容は以下のとおりである。

- 体育館の一例として、丸昇彦坂建設 HP から取得したカタログを頂いた。
- 設計に関する参考資料として、新建築設計ノート「学校」、「住宅」（彰国社）を紹介頂いた。ただし、一般的なものではなく特殊な建造物に偏っている。
- コンクリート建造物については、厚さは大体決まっているが、体育館の壁、天井の構造材の材質、厚さに関する一般的な公開資料はない。建屋主が持っている設計図面を当たってみるしかない。体育館に用いられている建材の材質は、設計者、発注者の好みによる所が大きく幅広いため、一般化のためにはある程度エイヤで決めなければならない箇所もあるだろう。
- 国土交通省の HP には、教育施設の建築に関する制約事項が載っている。
- 木材、石膏ボード等、建材に使われる材料の密度も大きな幅がある。代表的なものを採用するしかない。

(8) 訪問先 建築メーカー 3  
調査項目 建屋モデルに関する調査

訪問した建築メーカーでは、実際の建設業者の一つとして、外部被ばくを計算するために必要な情報を提供していただいた。有用な内容は以下のとおりである。

- ドアの大きさは 90 cm×180 cm など、建造物のサイズの単位は大体決まっている。
- 体育館の材質、厚さはまちまちである。設計図面を所有者に問い合わせるしかない。建設会社、設計事務所から図面を開示することは無い（コンプライアンス上の問題）



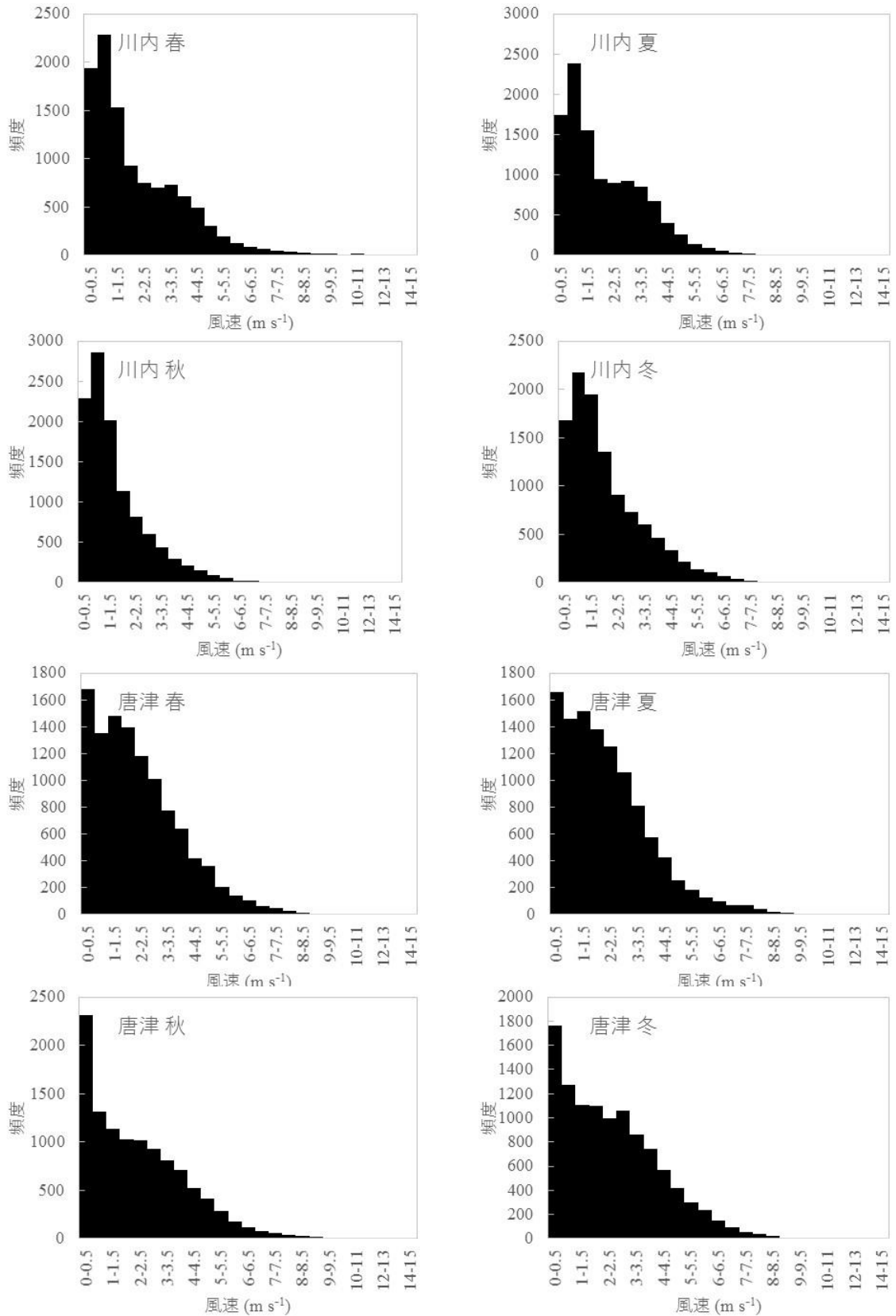
(9) 訪問先 建築関連法人 2  
調査項目 建屋モデルに関する調査

訪問した法人では、プレハブ建築に関する調査研究、広報等の業務を行っており、建屋モデルに関する有用な情報を提供していただいた。有用な内容は以下のとおりである。

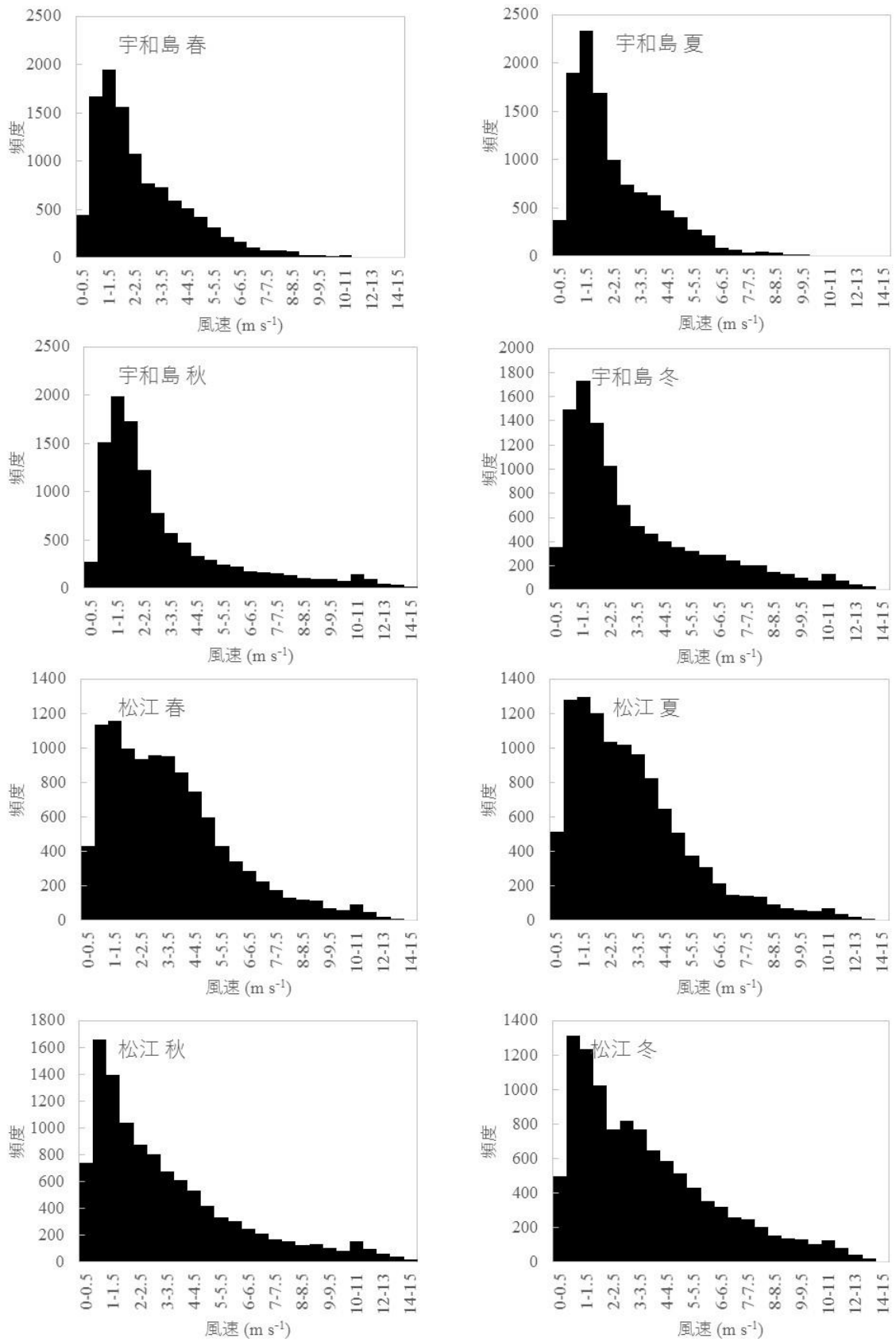
- プレハブ住宅の壁構造は、木造住宅の構造と一緒に、石膏ボード+断熱材+外壁材が基本構造。ただし、外壁材に使用される材料としてALC（軽量気泡コンクリート製）もある。ALC製プレハブは旭化成建材。
- 石膏ボード厚さは12.5 mmが標準。
- 外壁材としては、窯業サイディング材がもっとも多く使われている。その厚さは大体16 mmぐらい。外壁材のメーカーは、ニチハ株式会社、KMEU（ケイミュー）の二社。これらのカタログを当たってみるとよい。
- 断熱材の材質はグラスウールが普通であるが、発泡スチロール製のものもある。地域によって厚さは異なる。
- 密度はJIS規格で規定されているものが多いので要確認。
- 壁材は決まった大きさ（面積）で加工され、その組み合わせで建築される。建築面積に応じて柱の数も変化するが、柱の間隔は壁材の大きさに応じて決まる。
- 筋交いで地震に対する耐力を持たせるので、壁自身に耐力を持たせることはない。
- 住宅展示場に足を運んでみるとよい。調査目的での訪問でも対応してくれるのではないかな？

## 付録2 原発立地付近の風速、温度調査の詳細

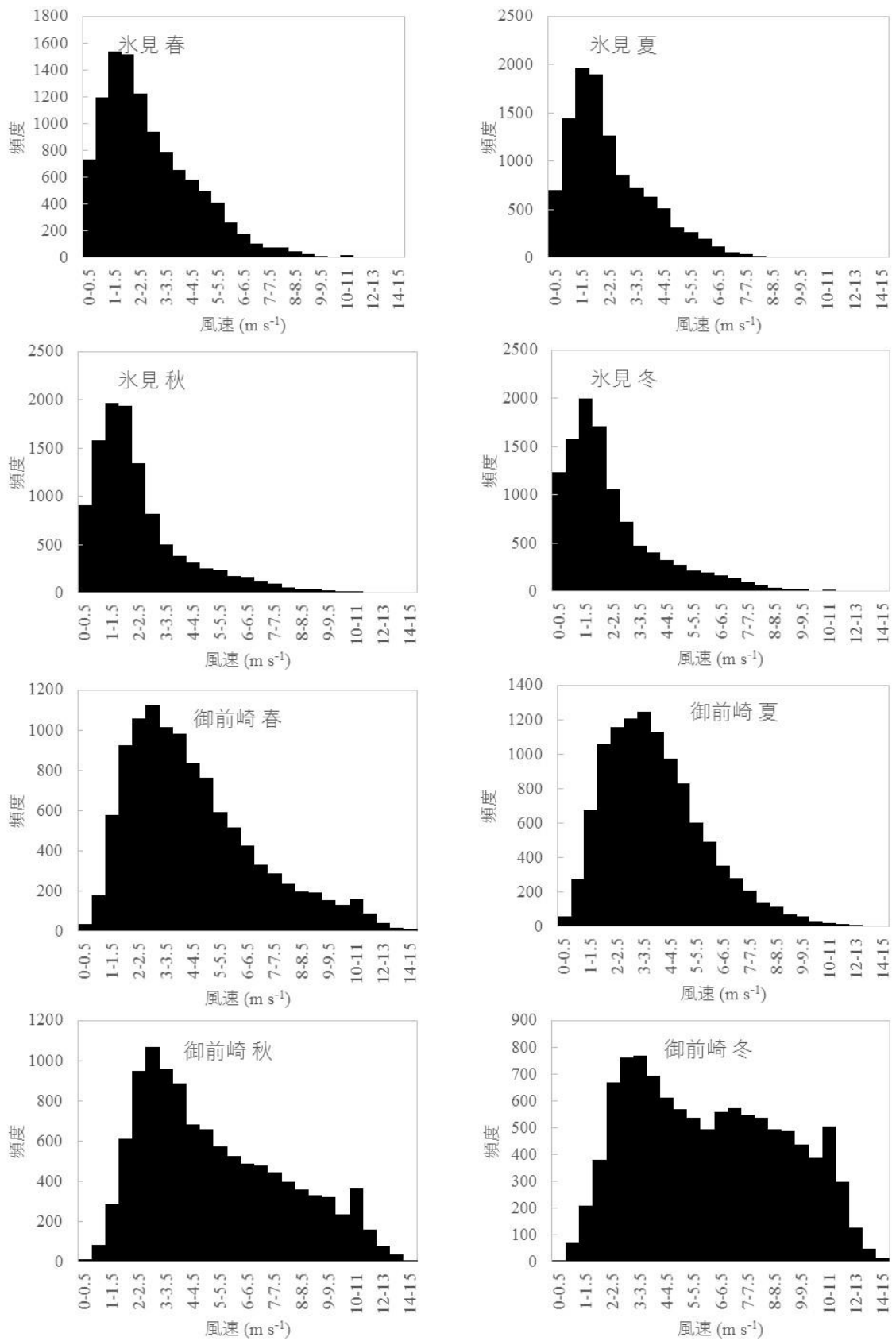
原発立地付近の季節ごとの風速（付録図 2.1）と温度（付録図 2.2）を示す。



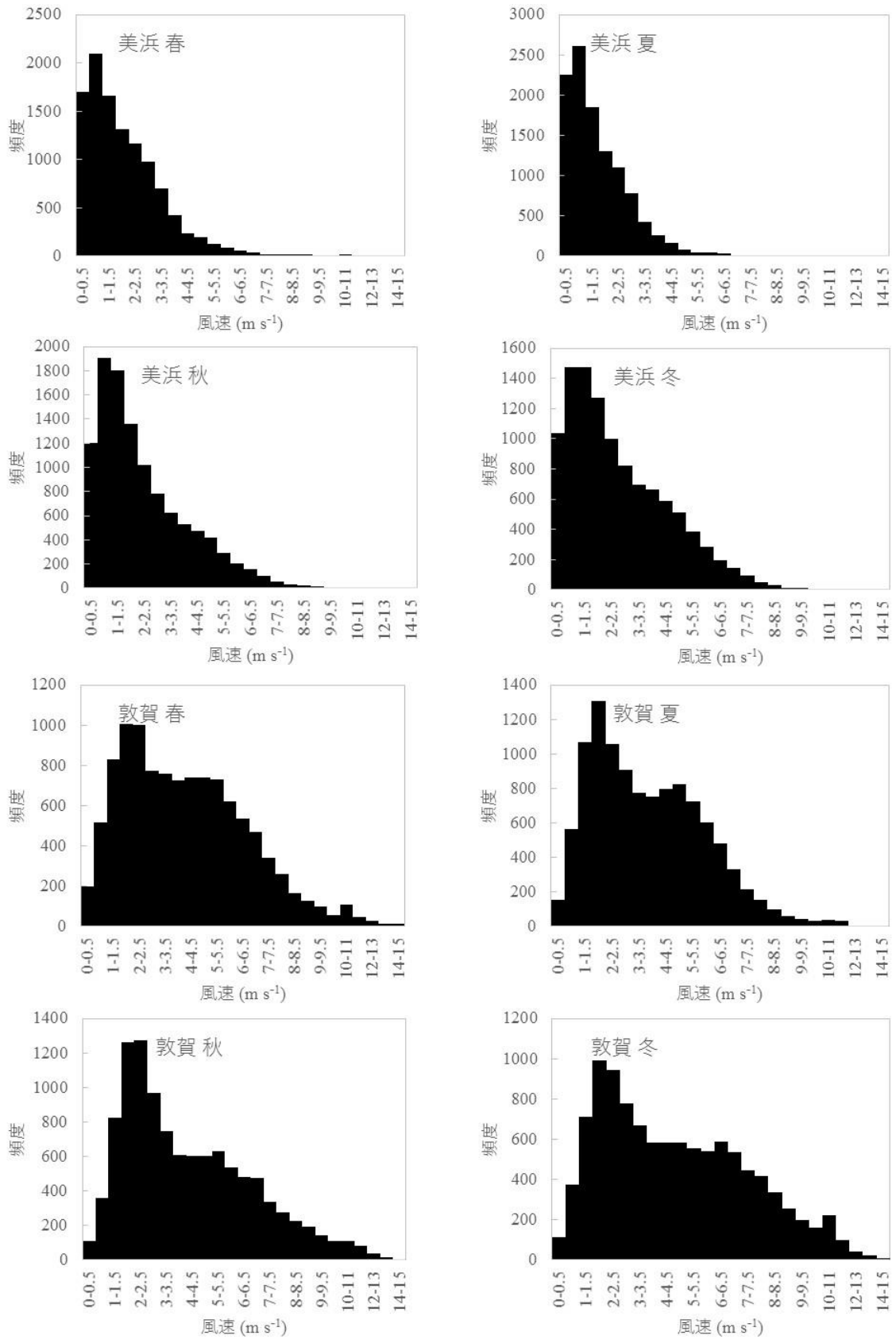
付録図 2.1 原発立地付近の季節ごとの風速の頻度分布 (1/7)



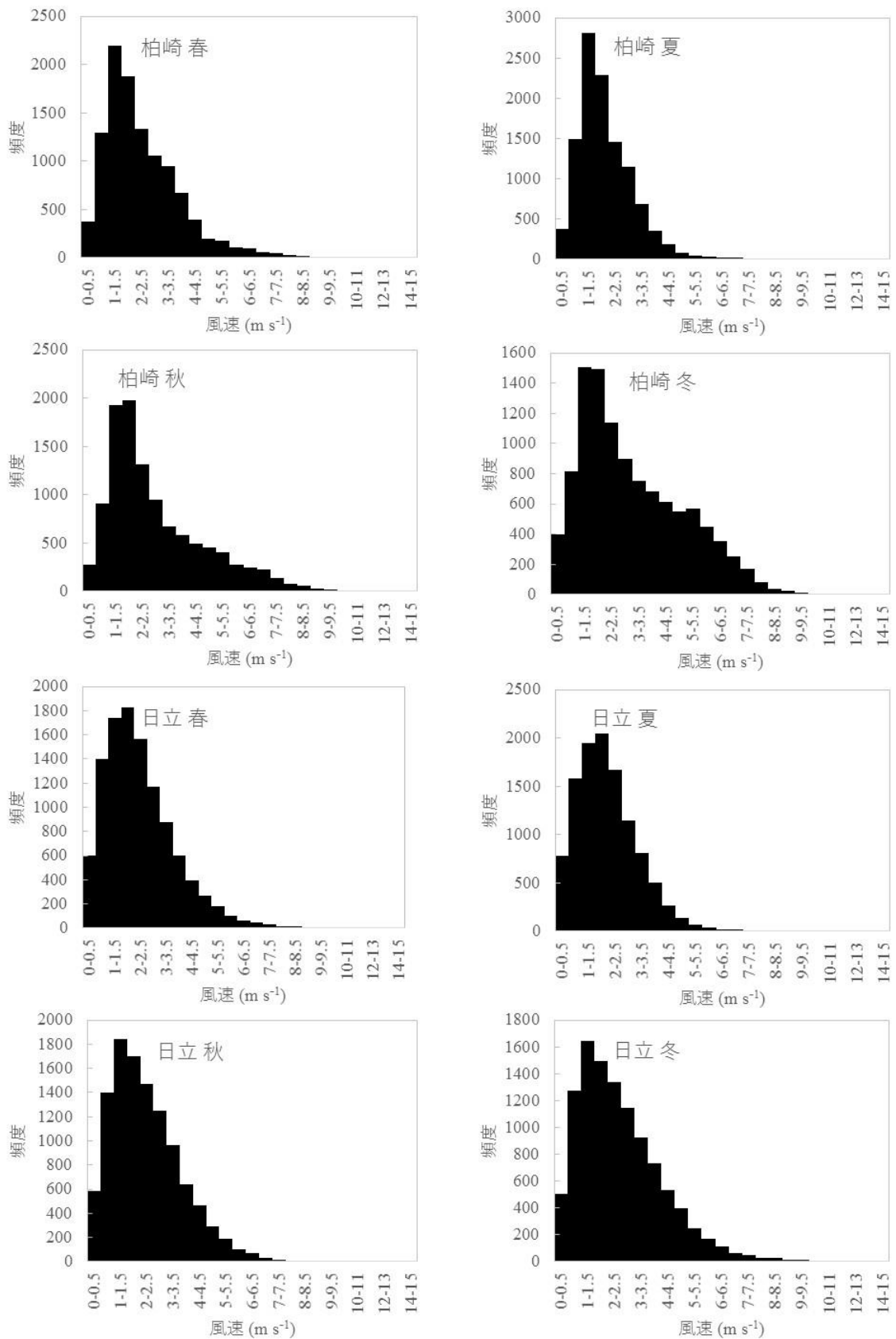
付録図 2.1 原発立地付近の季節ごとの風速の頻度分布 (2/7)



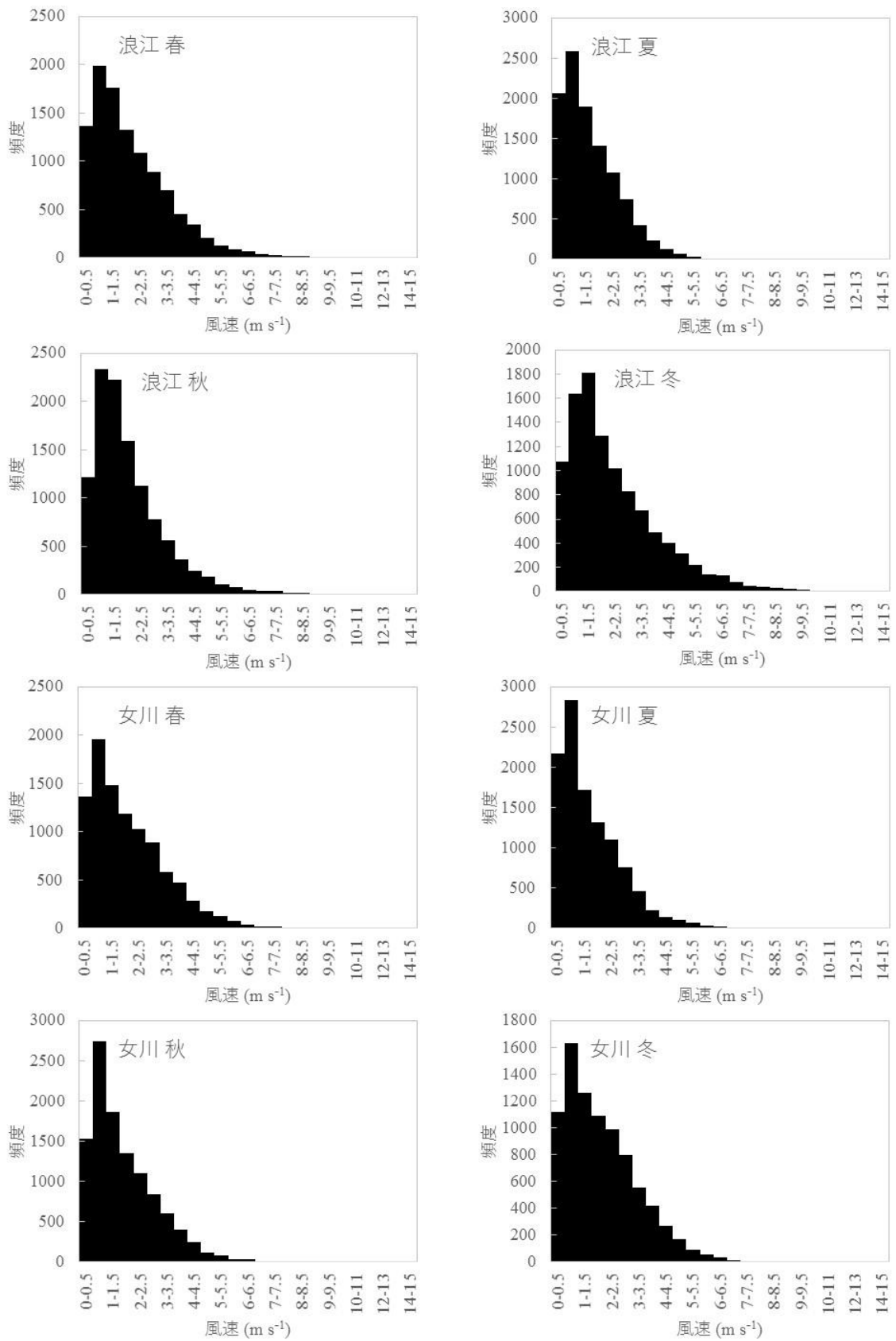
付録図 2.1 原発立地付近の季節ごとの風速の頻度分布 (3/7)



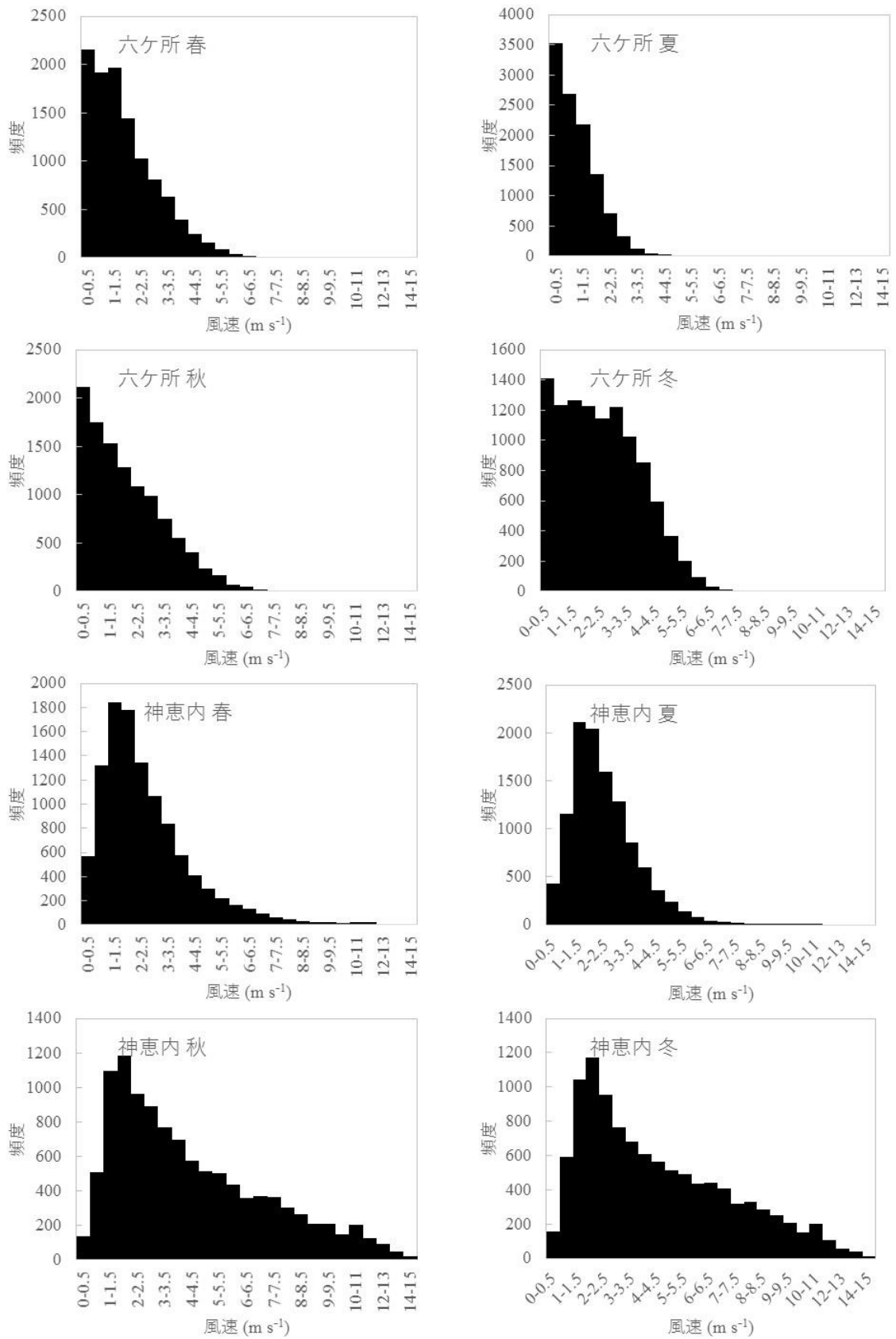
付録図 2.1 原発立地付近の季節ごとの風速の頻度分布 (4/7)



付録図 2.1 原発立地付近の季節ごとの風速の頻度分布 (5/7)

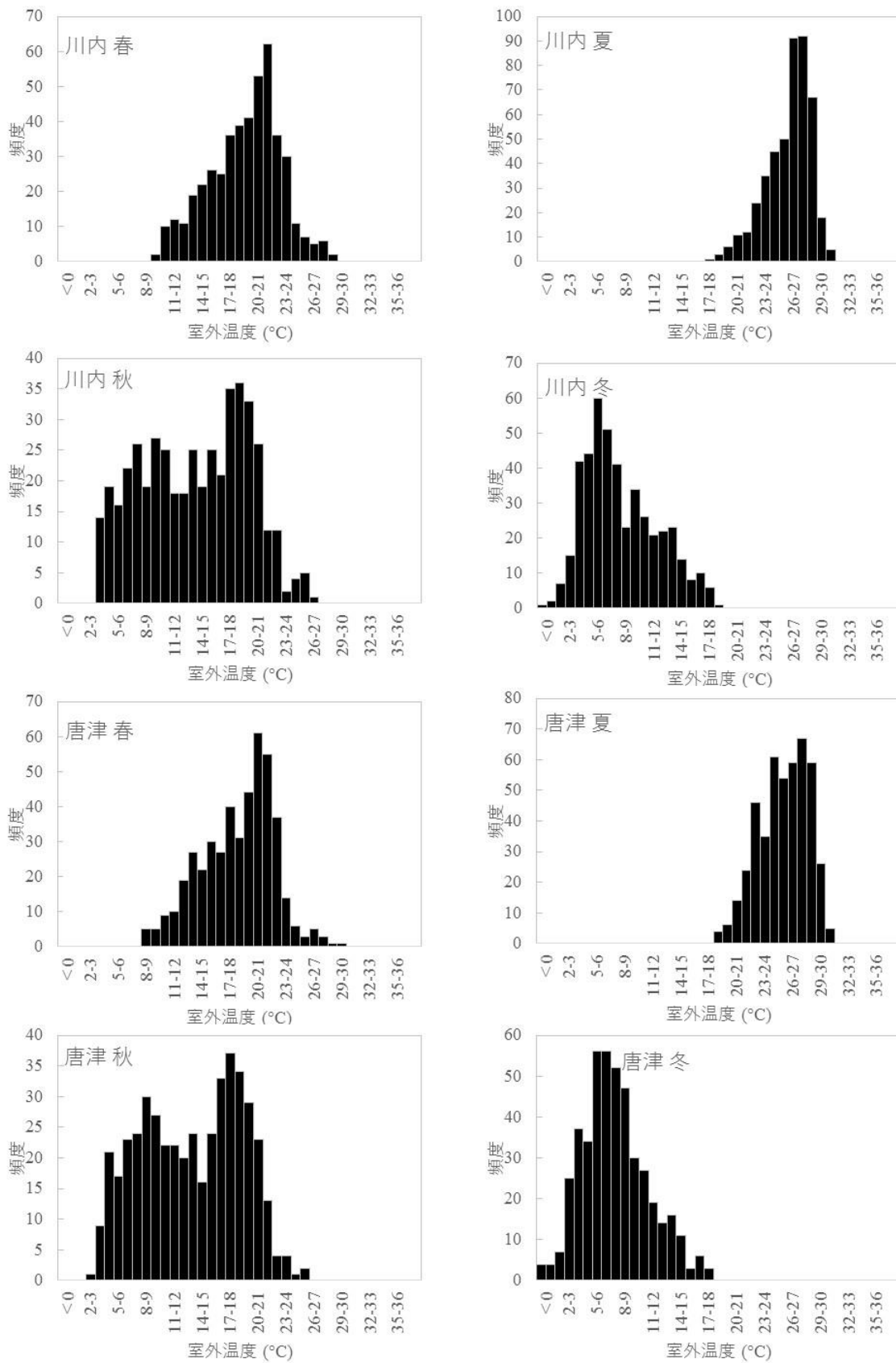


付録図 2.1 原発立地付近の季節ごとの風速の頻度分布 (6/7)

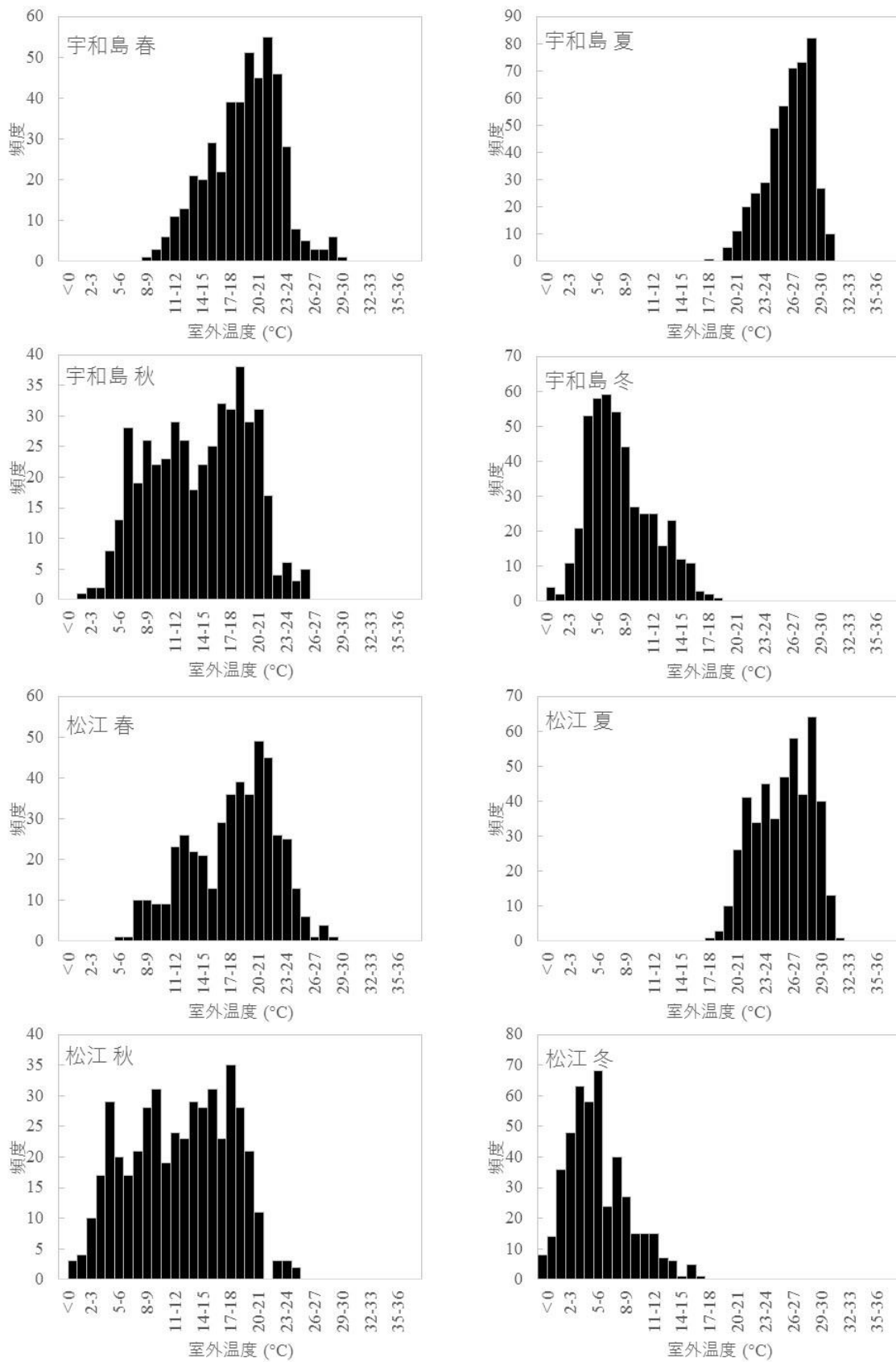


付録図 2.1 原発立地付近の季節ごとの風速の頻度分布 (7/7)

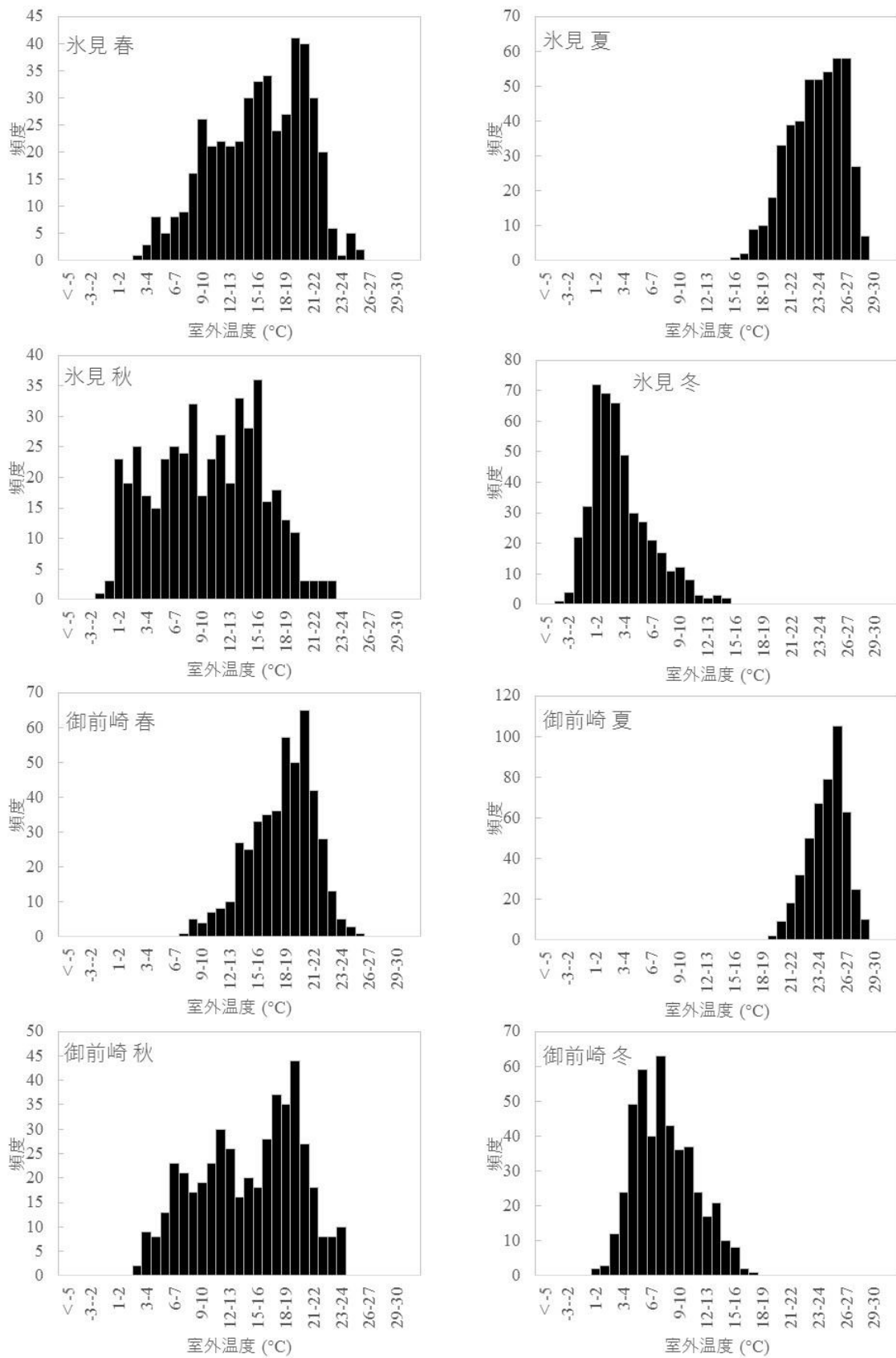




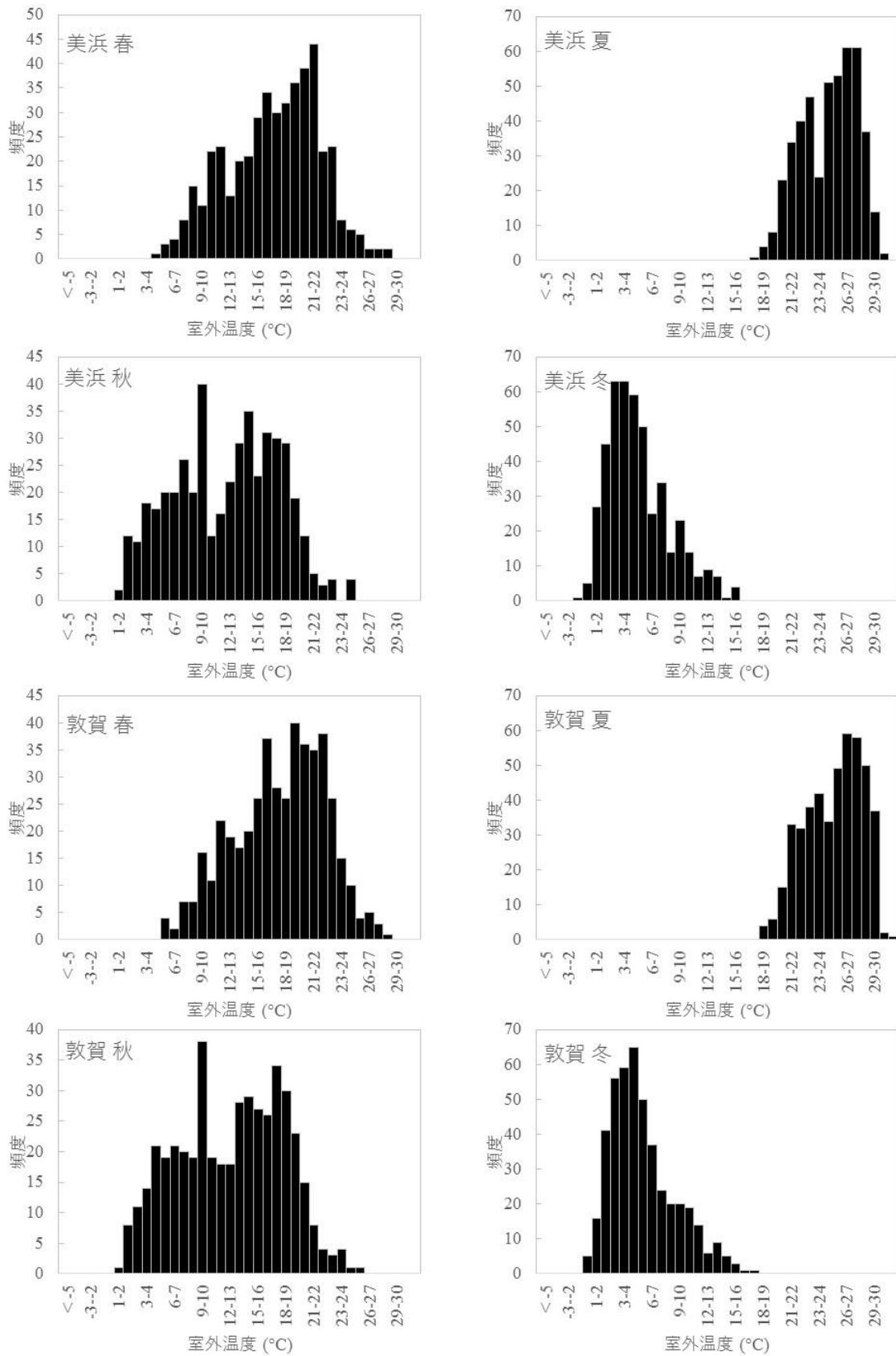
付録図 2.2 原発立地付近の季節ごとの温度の頻度分布 (1/7)



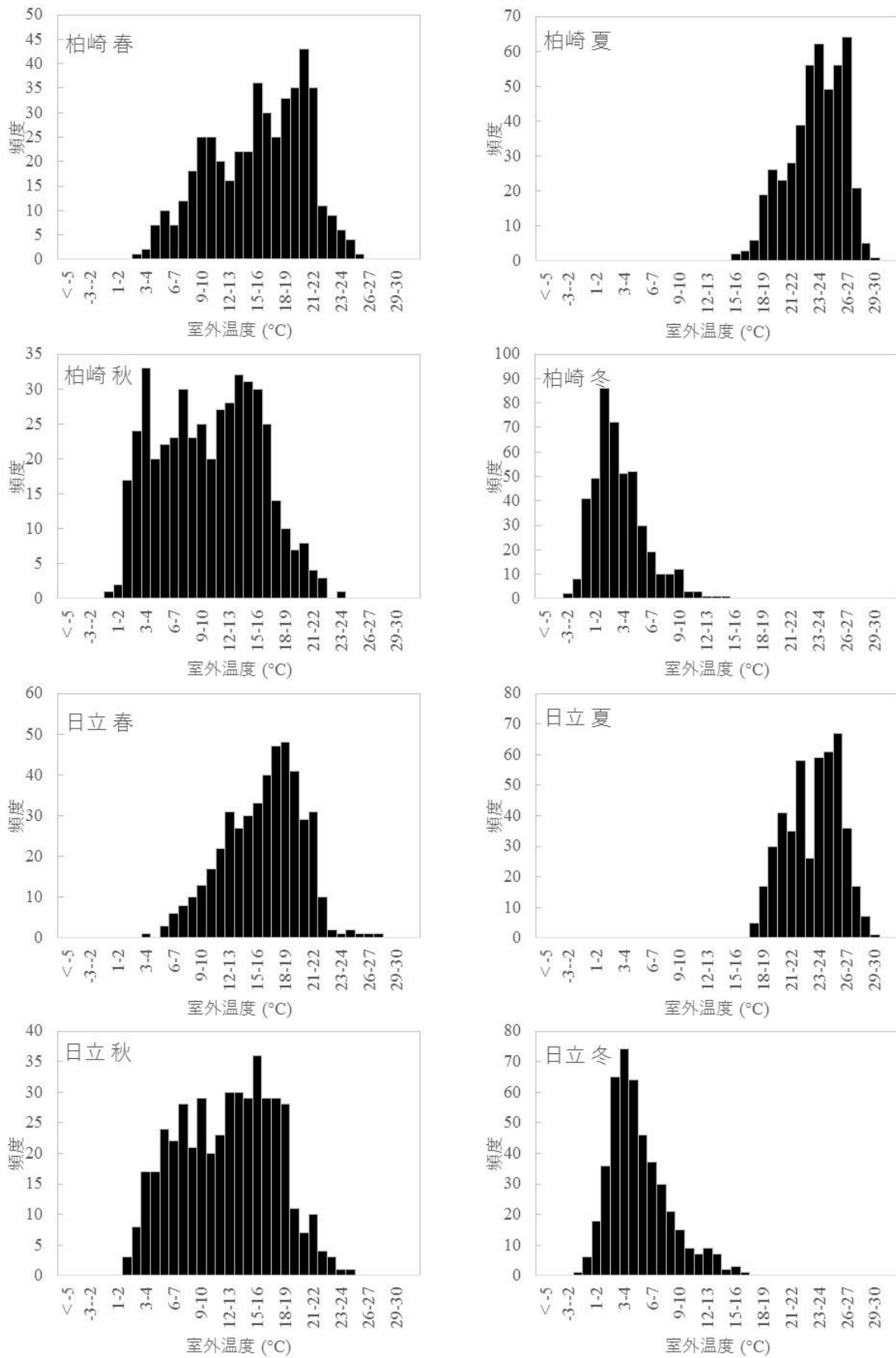
付録図 2.2 原発立地付近の季節ごとの温度の頻度分布 (2/7)



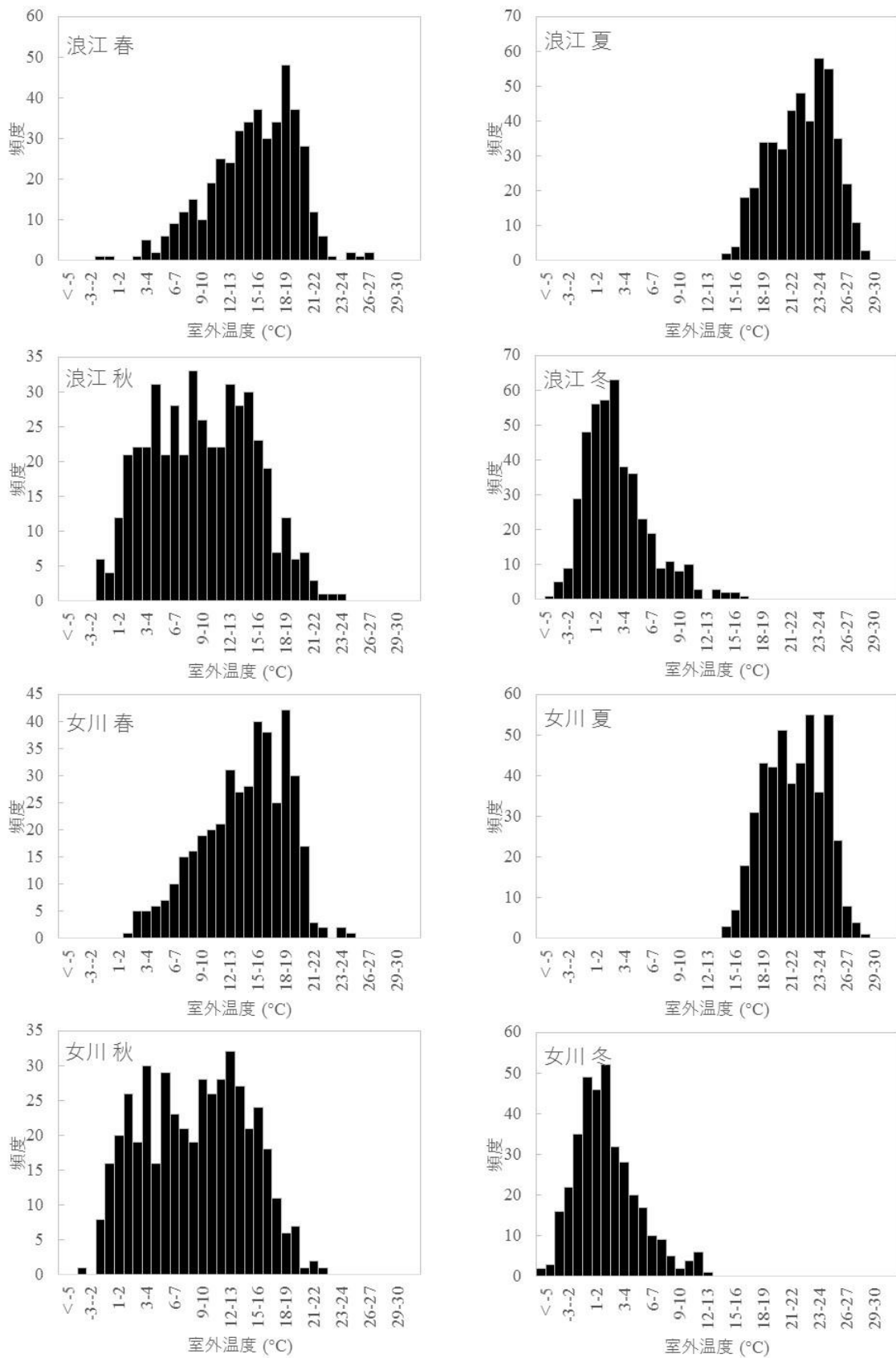
付録図 2.2 原発立地付近の季節ごとの温度の頻度分布 (3/7)



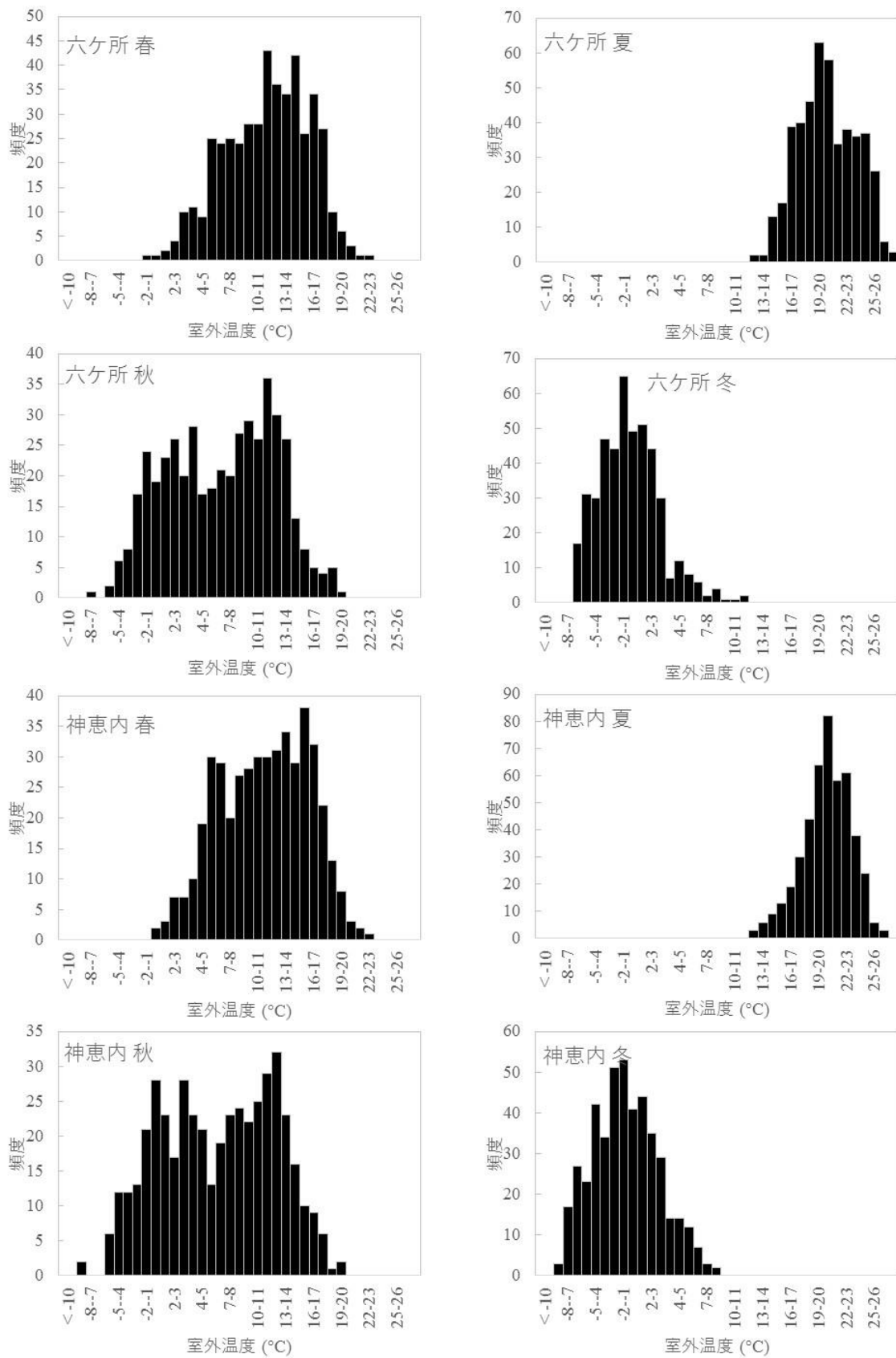
付録図 2.2 原発立地付近の季節ごとの温度の頻度分布 (4/7)



付録図 2.2 原発立地付近の季節ごとの温度の頻度分布 (5/7)



付録図 2.2 原発立地付近の季節ごとの温度の頻度分布 (6/7)

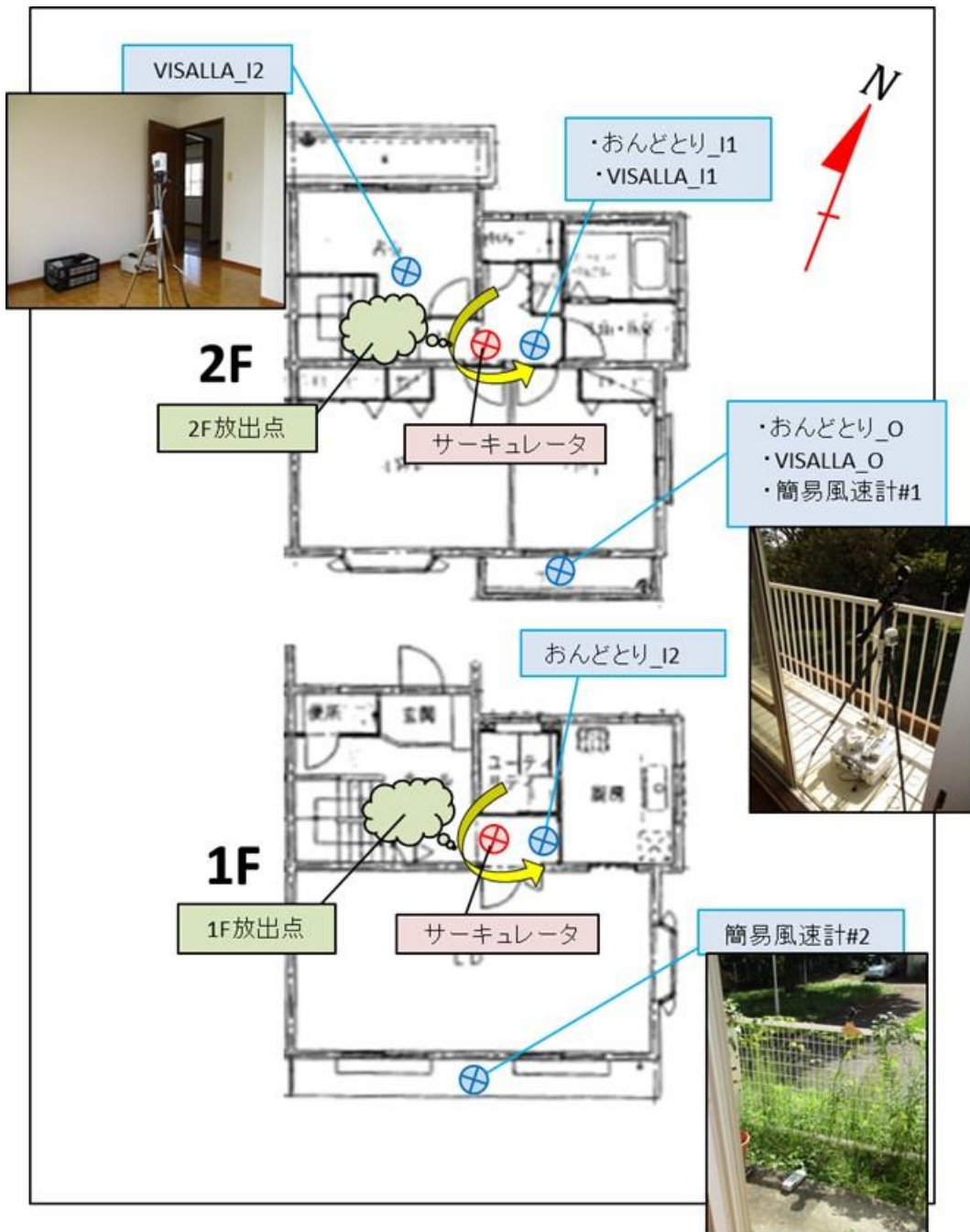


付録図 2.2 原発立地付近の季節ごとの温度の頻度分布 (7/7)

### 付録3 実家屋実験の詳細

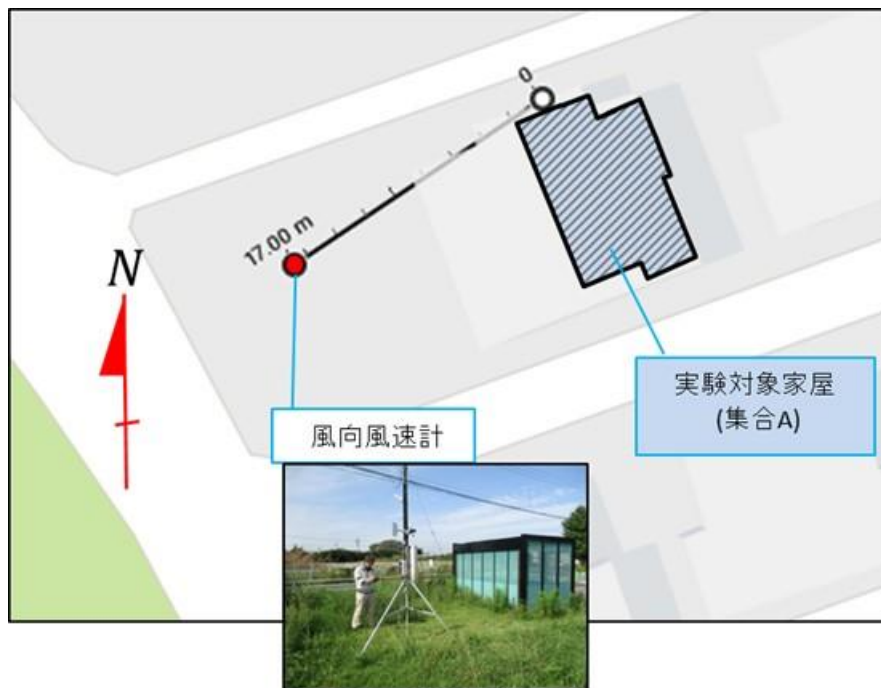
実家屋実験家屋の間取り図と測定機器の配置を示す。温湿度計は T&D 社製のおんどとり TR-76Ui (以下、おんどとり)、CO<sub>2</sub>濃度測定器はおんどとりとヴァイサラ社製の GM70 ハンディタイプ CO<sub>2</sub>計測器 (以下、VISALLA)、ベランダに設置した風速計はマザーツール社製のデジタル風速計 AM-4207SD (以下、簡易風速計)、実験家屋から少し離れた場所に設置した風向風速計はフィールドプロ社製の風向風速ログーFieldLog-Wind C (以下、風向風速計) を用いた。

実験対象家屋の間取り図と測定機器の配置 (集合 A)

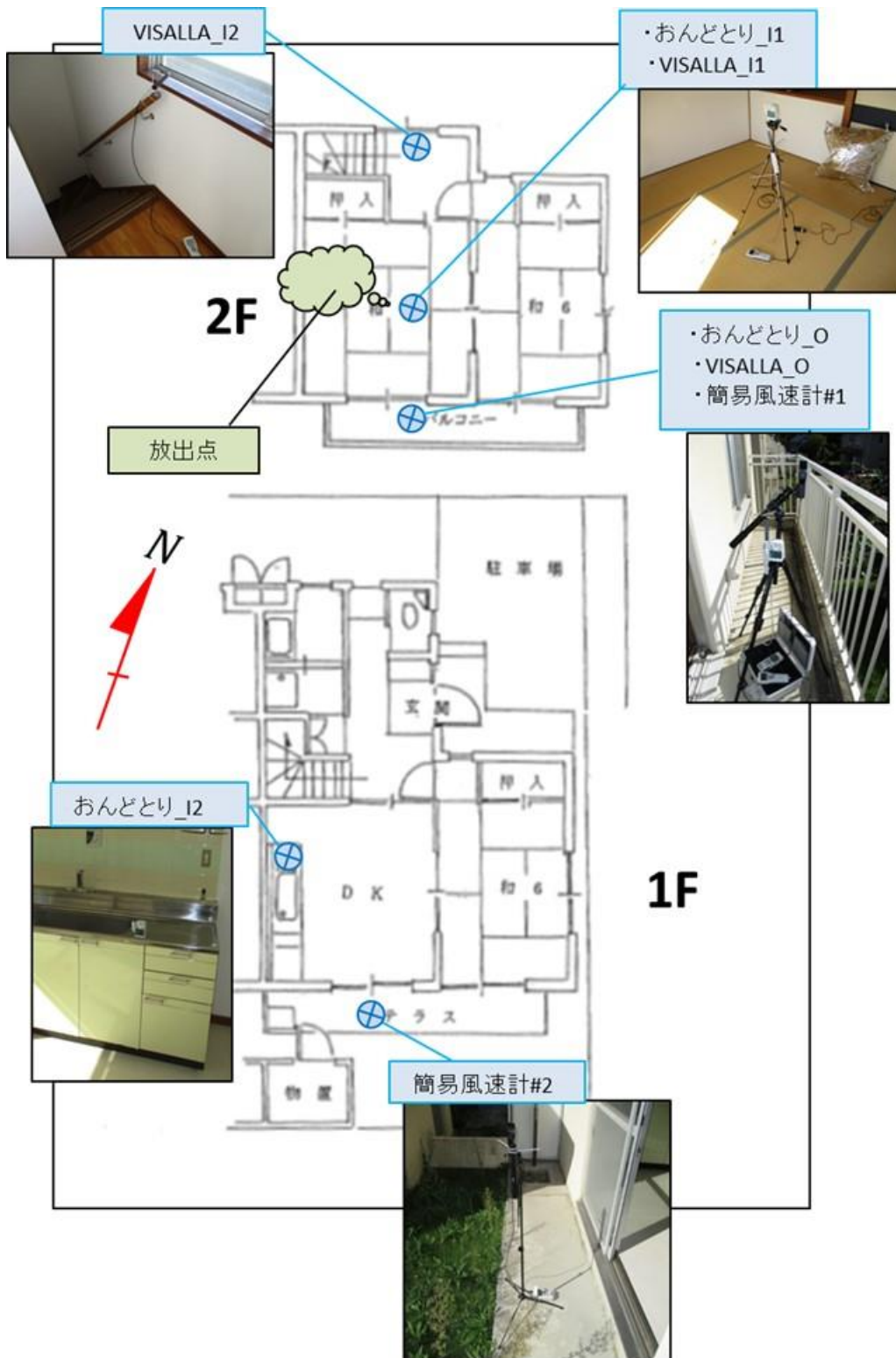




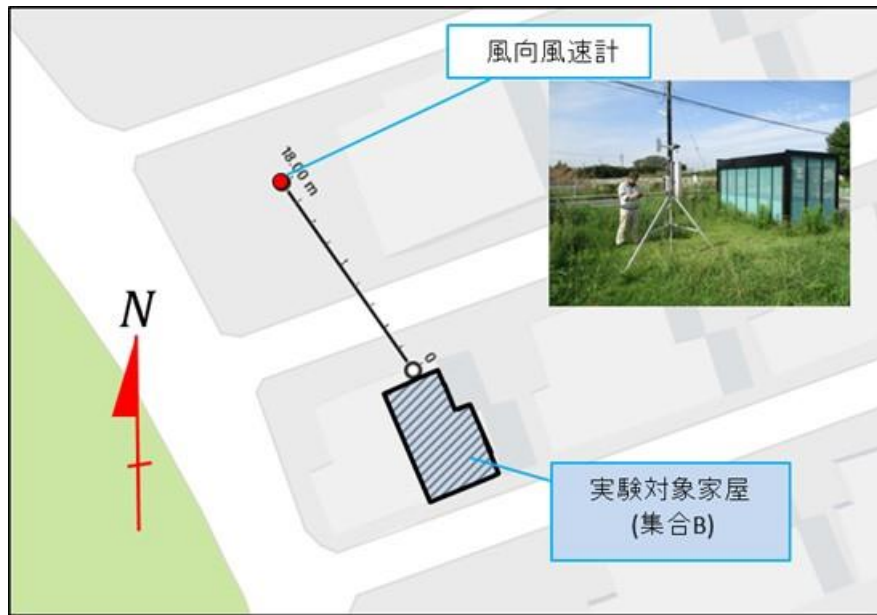
実験対象家屋と風向風速計の位置関係（集合A）



実験対象家屋の間取り図と測定機器の配置 (集合B)

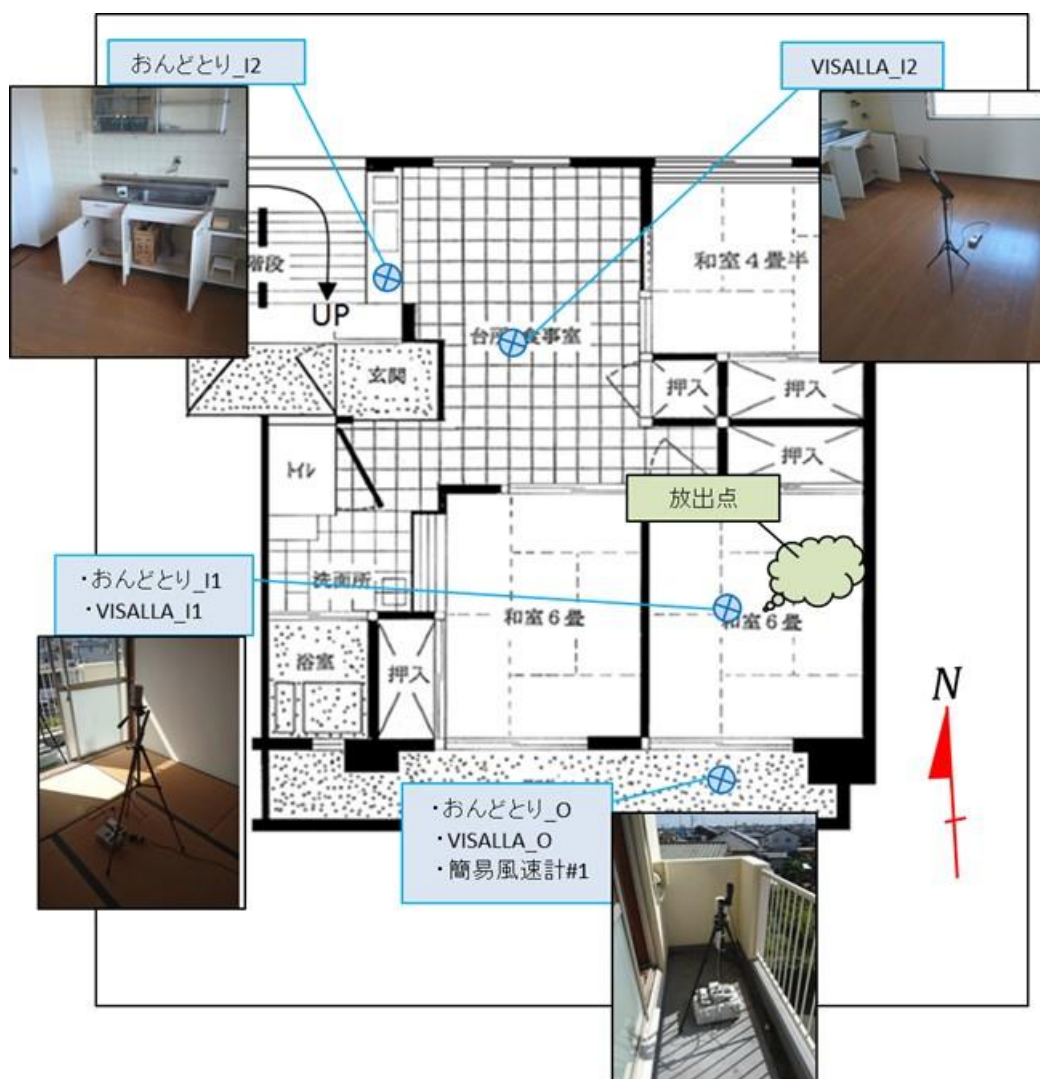


実験対象家屋と風向風速計の位置関係（集合B）

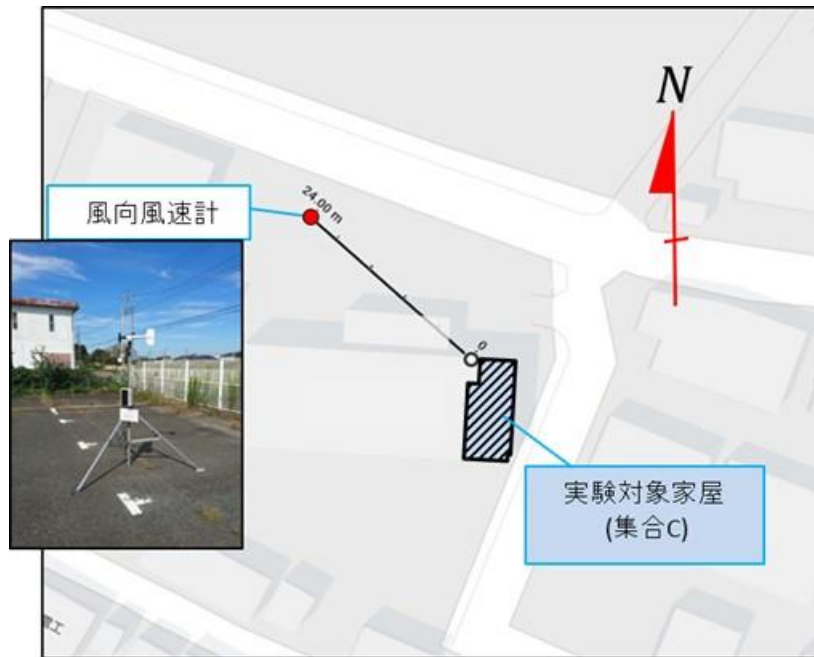


※集合Bの風向風速計位置は集合Aと同じ。

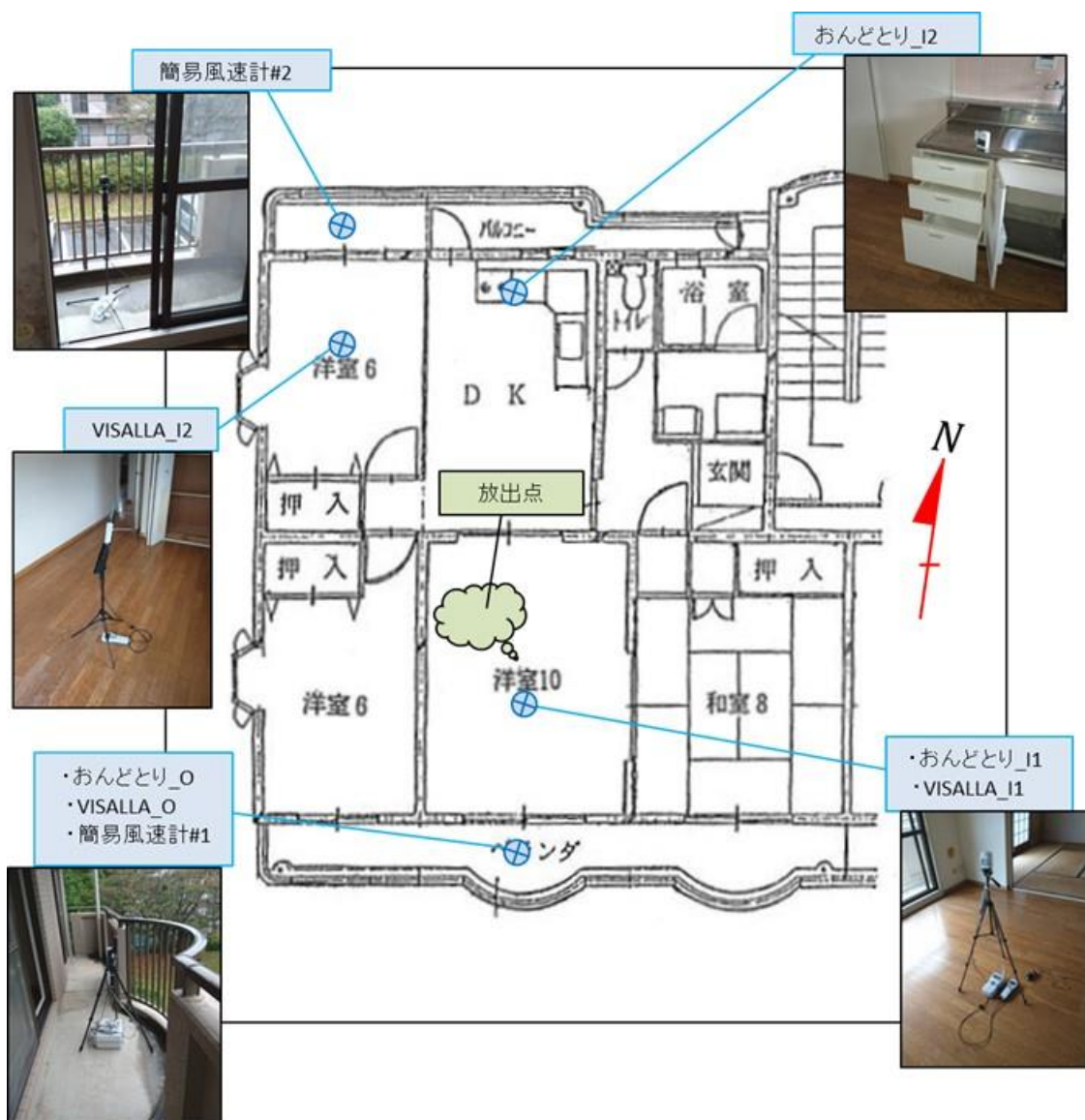
実験対象家屋の間取り図と測定機器の配置 (集合C)



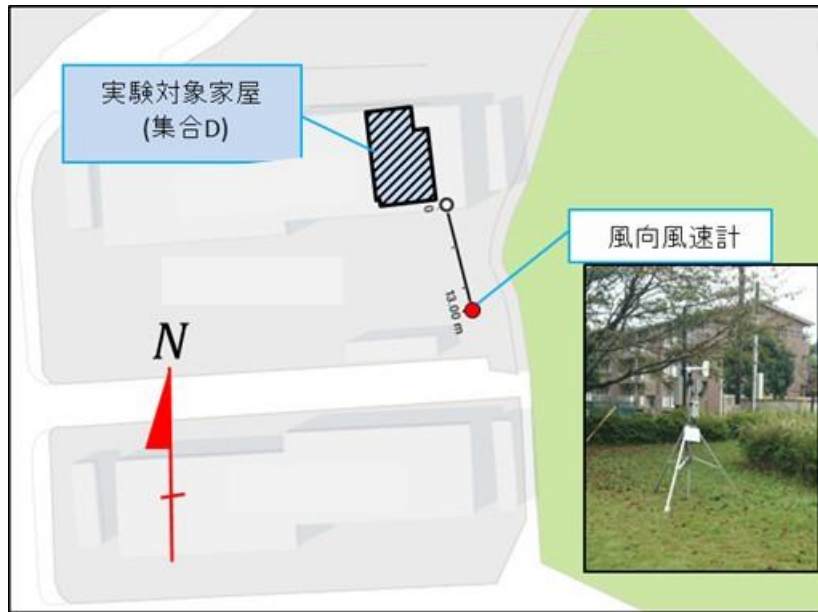
実験対象家屋と風向風速計の位置関係（集合C）



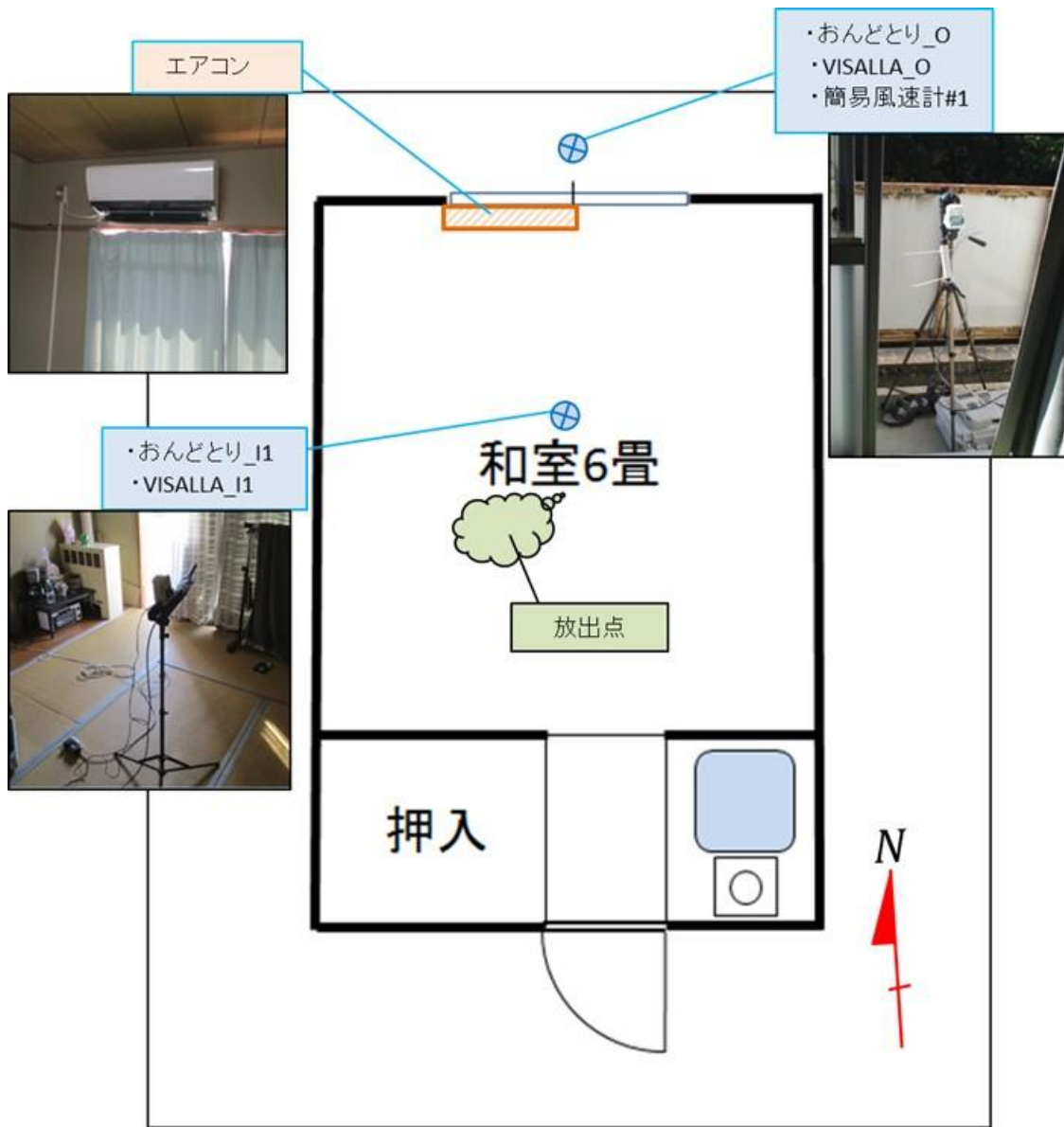
実験対象家屋の間取り図と測定機器の配置（集合D）



実験対象家屋と風向風速計の位置関係（集合D）

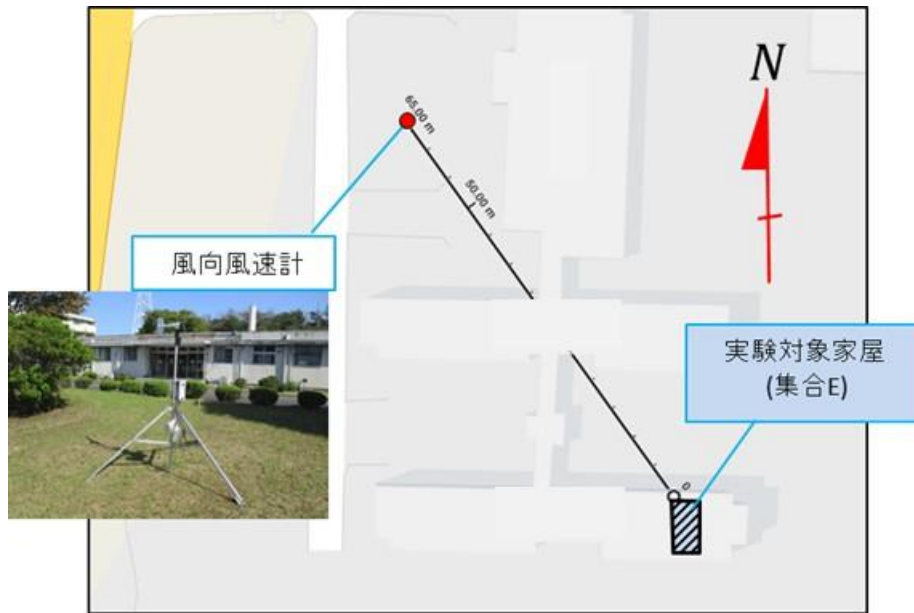


実験対象家屋の間取り図と測定機器の配置 (集合E)

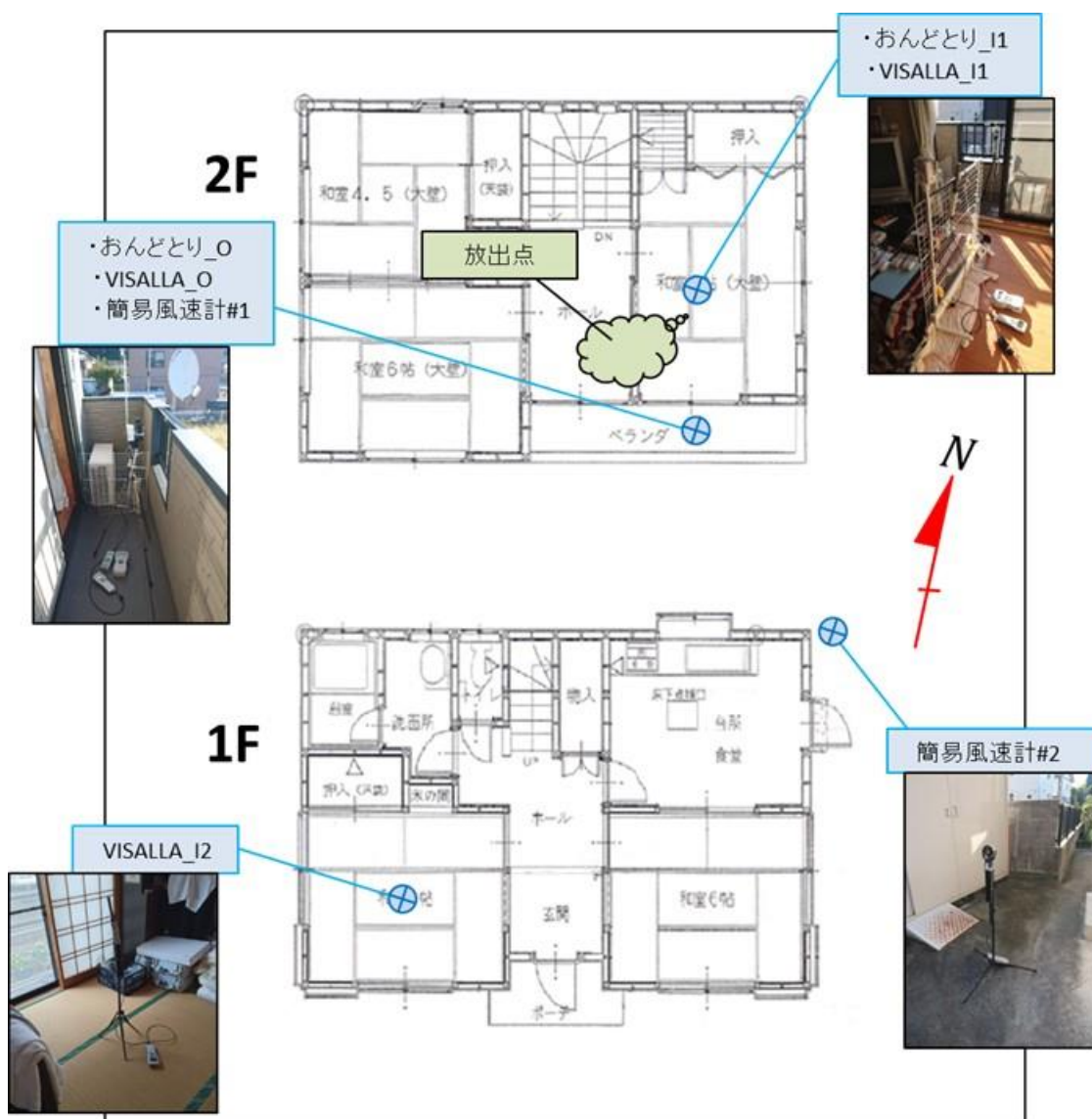




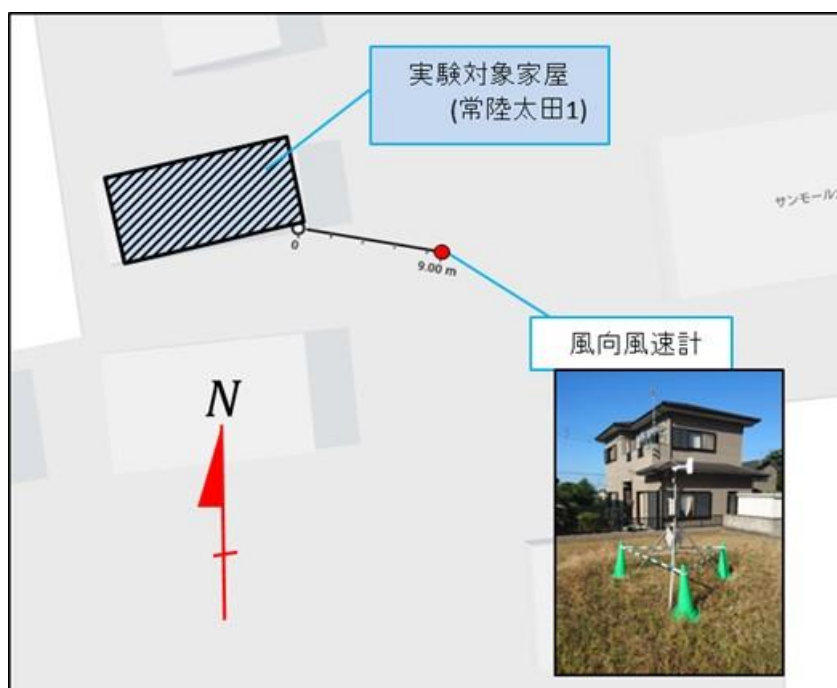
実験対象家屋と風向風速計の位置関係（集合E）



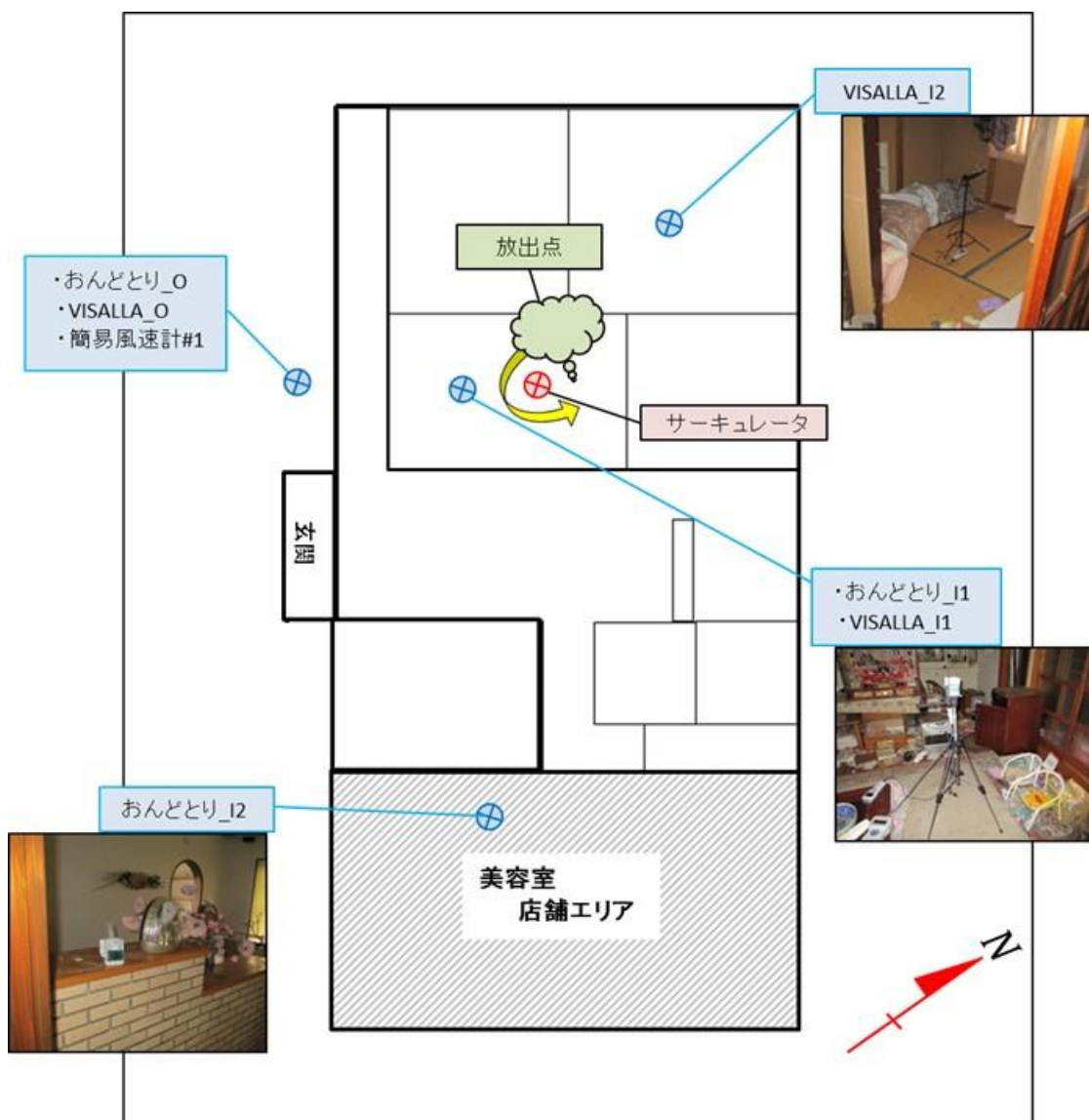
実験対象家屋の間取り図と測定機器の配置（常陸太田1）



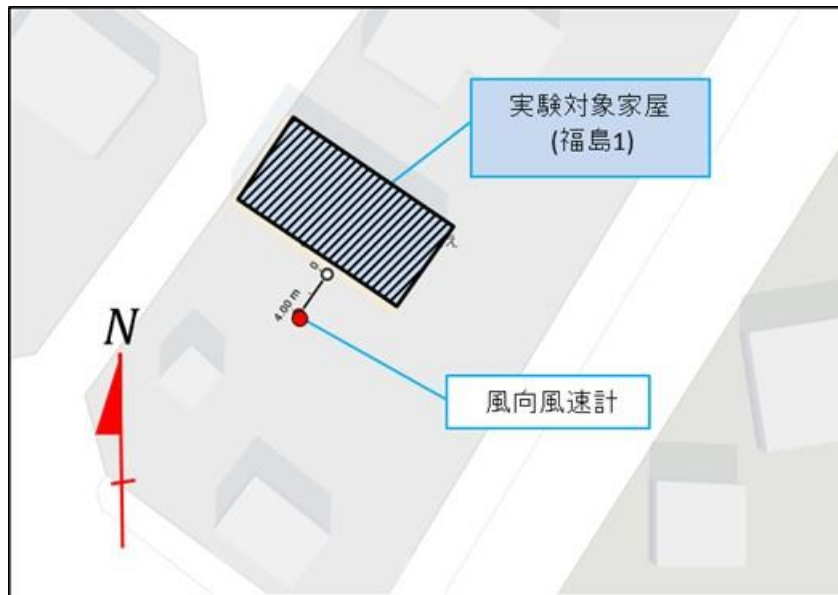
実験対象家屋と風向風速計の位置関係（常陸太田1）



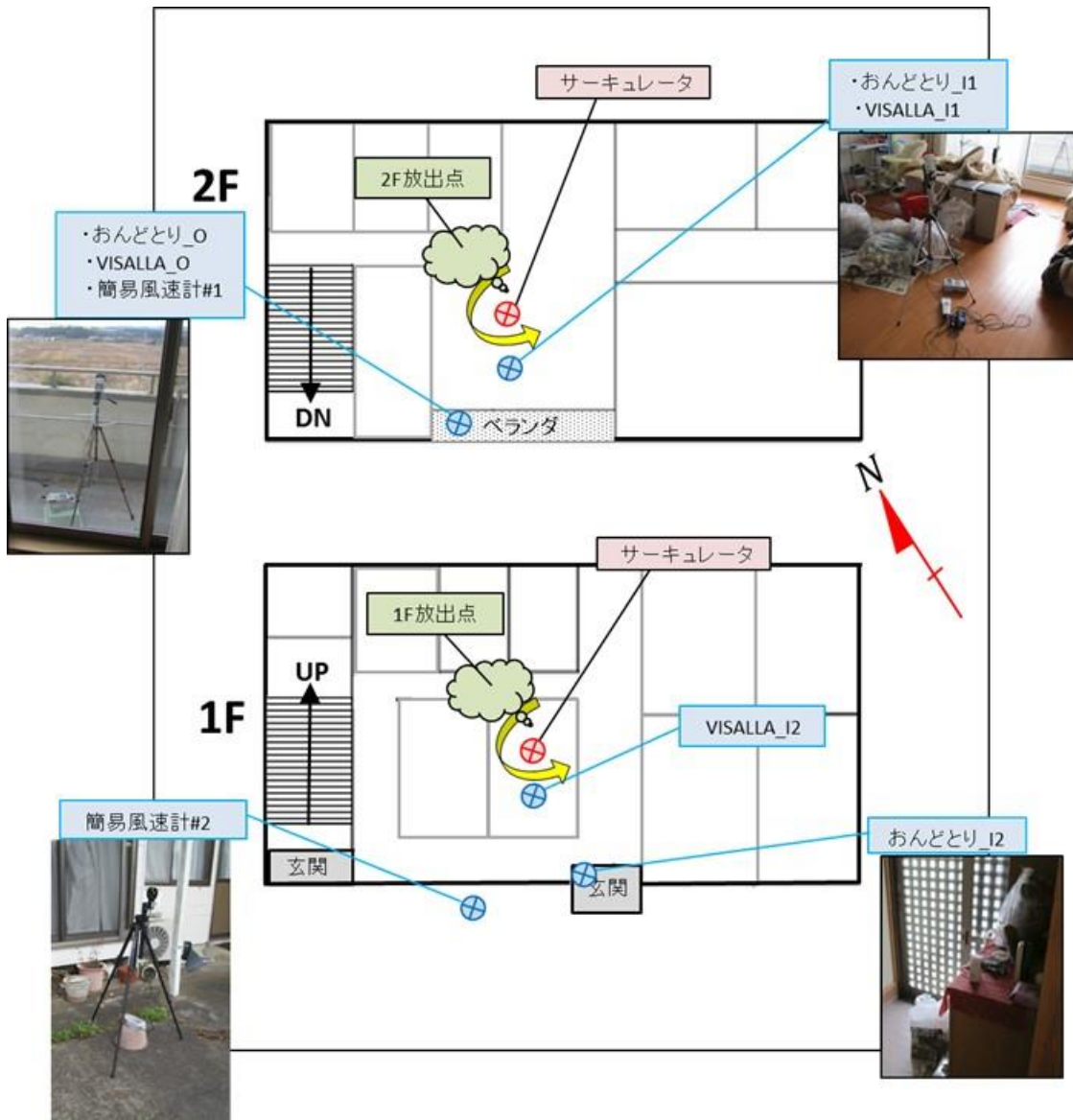
実験対象家屋の間取り図と測定機器の配置（福島 1）



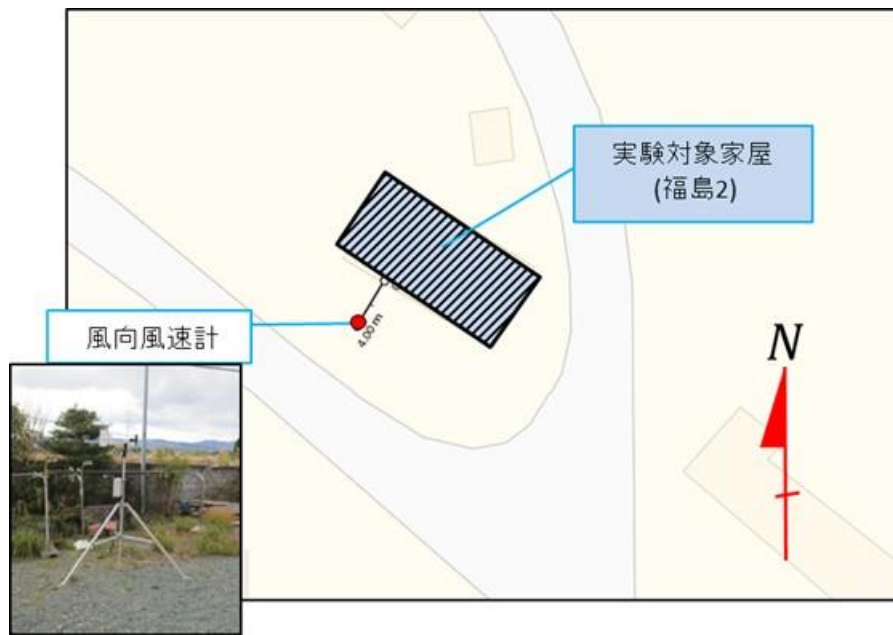
実験対象家屋と風向風速計の位置関係（福島1）



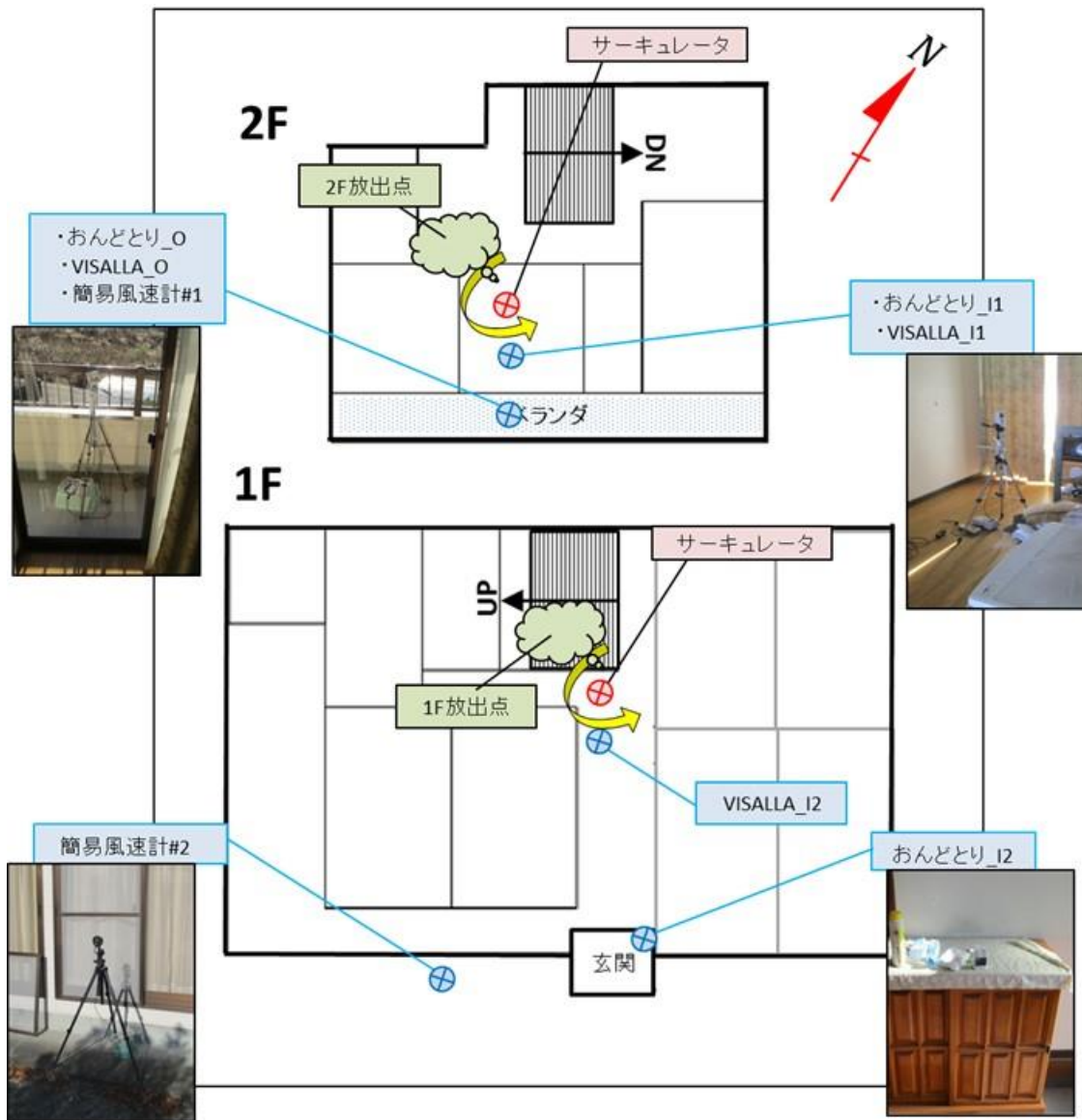
実験対象家屋の間取り図と測定機器の配置 (福島2)



実験対象家屋と風向風速計の位置関係（福島2）

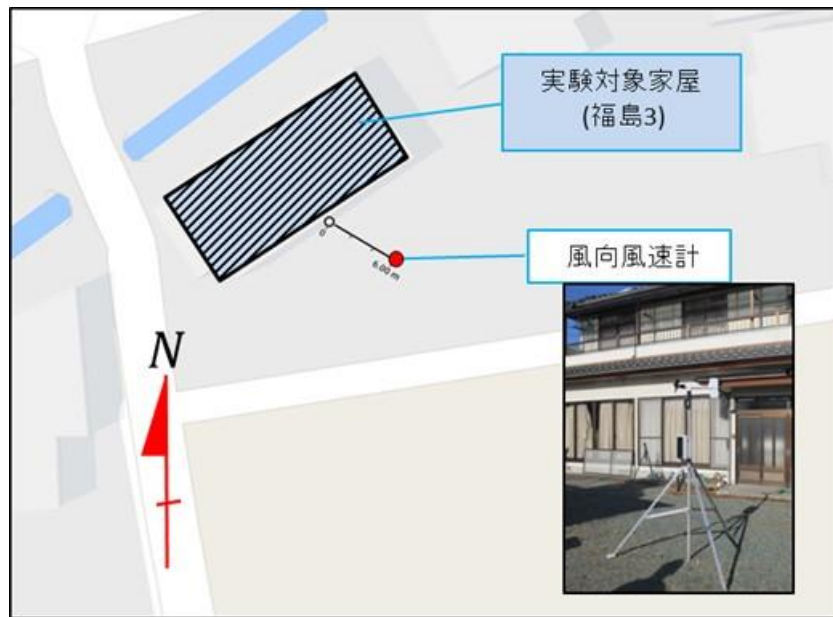


実験対象家屋の間取り図と測定機器の配置 (福島3)





実験対象家屋と風向風速計の位置関係（福島3）



#### 付録4 吸入被ばく低減係数の解析の詳細

本文ではヨウ素のみを対象に解析を行った。実際の原子力事故時には表 2.8 に示されるようにセシウムなども放出される。ここでは例として表 2.8 記載の 1F 事故時の 1 号機の核種組成を使用し、 $I_2:CH_3I$ :粒子状=1:1:1 としたときの被ばく低減係数を付録表 4.1 に示す。

付録表 4.1 表 2.8 記載の 1F 事故時の 1 号機の核種組成を使用し、プルーム通過継続時間を 30 分、 $I_2:CH_3I$ :粒子状=1:1:1、甲状腺等価線量を考慮したときの、プルーム通過からの経過時間ごとの被ばく低減係数

建蔽率 (%)	屋内外温度差 (°C)	風速 (m s <sup>-1</sup> )	プルーム通過からの経過時間 (h)														
			1980 年以前の木造家屋					1981-1992 年の家屋					1993 年以降の家屋				
			1	3	6	12	24	1	3	6	12	24	1	3	6	12	24
0	0	1	0.17	0.41	0.52	0.54	0.55	0.03	0.09	0.17	0.25	0.32	0.02	0.07	0.13	0.20	0.28
		2	0.50	0.84	0.88	0.88	0.88	0.11	0.30	0.42	0.47	0.48	0.04	0.14	0.23	0.32	0.37
		4	0.77	0.94	0.94	0.94	0.94	0.34	0.65	0.71	0.71	0.71	0.11	0.30	0.42	0.47	0.48
	20	1	0.55	0.87	0.89	0.89	0.89	0.15	0.37	0.48	0.52	0.52	0.06	0.18	0.28	0.37	0.41
		2	0.66	0.91	0.92	0.92	0.92	0.24	0.51	0.59	0.61	0.61	0.09	0.24	0.36	0.43	0.45
		4	0.87	0.96	0.96	0.96	0.96	0.50	0.84	0.88	0.88	0.88	0.20	0.45	0.55	0.57	0.57
20	0	1	0.08	0.23	0.34	0.42	0.44	0.02	0.06	0.11	0.18	0.25	0.02	0.06	0.11	0.18	0.25
		2	0.16	0.39	0.50	0.53	0.53	0.04	0.14	0.23	0.32	0.37	0.02	0.07	0.13	0.20	0.28
		4	0.42	0.75	0.79	0.80	0.80	0.11	0.30	0.42	0.47	0.48	0.04	0.12	0.20	0.29	0.35
	20	1	0.54	0.86	0.89	0.89	0.89	0.16	0.39	0.50	0.53	0.53	0.06	0.17	0.27	0.36	0.40
		2	0.56	0.87	0.89	0.89	0.89	0.16	0.39	0.50	0.53	0.53	0.06	0.18	0.28	0.37	0.41
		4	0.62	0.90	0.91	0.91	0.91	0.20	0.45	0.55	0.57	0.57	0.08	0.23	0.35	0.42	0.45
40	0	1	0.02	0.07	0.13	0.20	0.28	0.02	0.06	0.11	0.18	0.25	0.02	0.06	0.11	0.18	0.25
		2	0.06	0.18	0.28	0.37	0.41	0.03	0.09	0.17	0.25	0.32	0.02	0.06	0.11	0.18	0.25
		4	0.15	0.37	0.48	0.52	0.52	0.05	0.15	0.24	0.33	0.38	0.02	0.07	0.13	0.20	0.28
	20	1	0.50	0.84	0.88	0.88	0.88	0.16	0.38	0.49	0.53	0.53	0.06	0.17	0.27	0.36	0.40
		2	0.50	0.84	0.88	0.88	0.88	0.16	0.38	0.49	0.53	0.53	0.06	0.17	0.27	0.36	0.40
		4	0.50	0.84	0.88	0.88	0.88	0.17	0.40	0.50	0.53	0.54	0.06	0.19	0.29	0.38	0.42

### 付録5 外部被ばく低減効果の解析に関する補足資料

各建物の平面図中に示してある部屋の略号の意味を付録表 5.1 に、建物による被ばく低減効果を計算する際に必要となる建物の部材や建材に関する情報（元素組成及び密度）を付録表 5.2 に示す。

付録表 5.1 各建物の平面図中に示している部屋の略号の意味

建屋名	部屋略号	意味
木造住宅 鉄骨造住宅	BR	浴室
	TL, WC(部屋番号)	トイレ
	PR(部屋番号)	居室
	ER	玄関
	LDK	リビングダイニングキッチン
	L	リビング
	DK	ダイニングキッチン
	CL	押入れ
鉄筋コンクリート造 集合住宅	LD (部屋番号)	リビングダイニング
	PR (大部屋番号)-(小部屋番号)	居室
	ALC (大部屋番号)-(小部屋番号)	アルコブ
	PS (部屋番号)	通路
	BR (部屋番号)	浴室
	Balcony, BALC(部屋番号)	ベランダ
	Corridor	廊下
病院	TR (部屋番号)	治療室
	OF	事務室
	PR (部屋番号)	居室(1階)、個室(4~6階)
	Hall	ホール
	Floor	フロア
	PA (部屋番号)	病室
	NS	ナースステーション
	Corridor (番号)	通路
学校	CR(部屋番号)	教室
体育館	Floor	運動場
	ST(部屋番号)	倉庫
	ENTER	入り口

付録表 5.2 被ばく低減効果の評価に使用した材料や物質の組成<sup>1</sup>

使用した材料、物質	主要元素組成(単位:wt%)														設定根拠、参考文献		
	H	C	N	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Ar	K	Ca	Ti		Mn	Fe
空気	0.012	-	76.0	23.0	-	-	-	-	-	-	1.3	-	-	-	-	-	J.H.Hubbel and S. M. Seltzer(1995)
木製サイディング材	6.0	50.0	0.5	43.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RJ McConn Jr et al.(2011)
窯業系サイディング材及びスレート板	2.6	20.0	0.1	40.0	0.1	0.8	1.5	5.8	0.1	0.6	-	0.3	27.0	0.1	-	1.1	古田・高橋(2014)
コンクリート及びモルタル	0.4	-	-	51.0	-	0.1	0.5	39.0	-	0.1	-	-	6.9	-	-	2.7	小山他(1977)
軽量気泡コンクリート	1.4	-	-	48.0	-	-	-	23.0	-	-	-	-	27.0	-	-	-	ALC固相の主成分であるトバモライト $\text{Ca}_3(\text{Si}_6\text{O}_{18}\text{H}_2) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ を設定 (寺村(2008))
セラミックタイル	-	-	-	48.0	0.8	1.1	12.0	29.0	0.0	-	-	2.0	1.9	0.5	6.4E-03	3.7	RJ McConn Jr et al.(2011)
漆喰	2.7	-	-	43.0	-	-	-	-	-	-	-	-	54.0	-	-	-	漆喰の主成分である消石灰 ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) を設定(住宅金融支援機構(2015))
土壁及び土壌	0.1	0.9	-	44.0	-	-	6.4	36.0	-	-	-	2.4	7.8	-	-	2.9	EPA(1995)
石膏ボード	2.3	-	-	56.0	-	-	-	-	-	19.0	-	-	23.0	-	-	-	RJ McConn Jr et al.(2011)
窓ガラス	-	-	-	46.0	9.6	-	-	34.0	-	-	-	-	11.0	-	-	-	RJ McConn Jr et al.(2011)

<sup>1</sup> Eckerman K.F. and Ryman J.C. (1993) : EFDERAL GUIDANCE REPORT NO. 12 EXTERNAL EXPOSURE TO RADIONUCLIDES IN AIR WATER AND SOIL. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY . EPA-402-R-93-081.

Hubbel J.H. and Seltzer S.M. (1995): Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients 1 keV to 20 MeV for Elements Z=1 to 92 and 48 Additional Substances of Dosimetric Interest, U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE Technology Administration National Institute of Standards and Technology Physics Laboratory Ionizing Radiation Division, NISTIR 5632.

McConn. R.J. Jr., Gesh C.J., Pagh R.T., Rucker R.A. and Williams R.G. III (2011): Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling Revision 1, Pacific Northwest NATIONAL LABORATORY, PIET-43741-TM-963 PNNL-15870 Rev. 1.

小山謹二他 (1977): 遮蔽材料の群定数 - 中性子 100 群・ガンマ線 20 群・P5 近似 -, 日本原子力研究所, JAERI-M 6928.

寺村敏史 (2008): セラミックスアーカイブス ALC (軽量気泡コンクリート)(1963年~現在), セラミックス, **43**, pp. 126-129.

独立行政法人住宅金融支援機構 (2015): 【フラット 35】対応 木造住宅工事仕様書 平成 27 年度版.

古田琢哉、高橋史明 (2014): 環境に沈着した事故由来の放射性セシウムからのガンマ線に対する建物内の遮蔽効果及び線量低減効果の解析、JAEA-Research 2014-003.

## 付録6 木造住宅の被ばく低減係数の補足（12 mm 厚 窯業系サイディング材の結果）

本事業では、木造、鉄骨造戸建て住宅の代表的な壁材である窯業系サイディング材の厚さは、カタログ調査等に基づいて 16 mm と設定した。

しかしながら、平成 18 年の JIS A 5422 「窯業系サイディング」の改正以前では、現在では生産がされていない 12 mm 厚の窯業系サイディング材も使用されていた(日本窯業外装材協会(2007)<sup>2</sup>)。このため、代表値の設定に影響がないか否かの確認のため、2 階建木造住宅に対して、窯業系サイディング材を 12 mm とした場合の被ばく低減係数の解析結果と、本文で示した 16 mm の結果とを比較した結果表を付録表 6.1 に示す。なお、エネルギーは 0.4 MeV、0.66 MeV (Cs-137)、1.5 MeV で、その他の計算条件は本文で実施した条件と同一である。

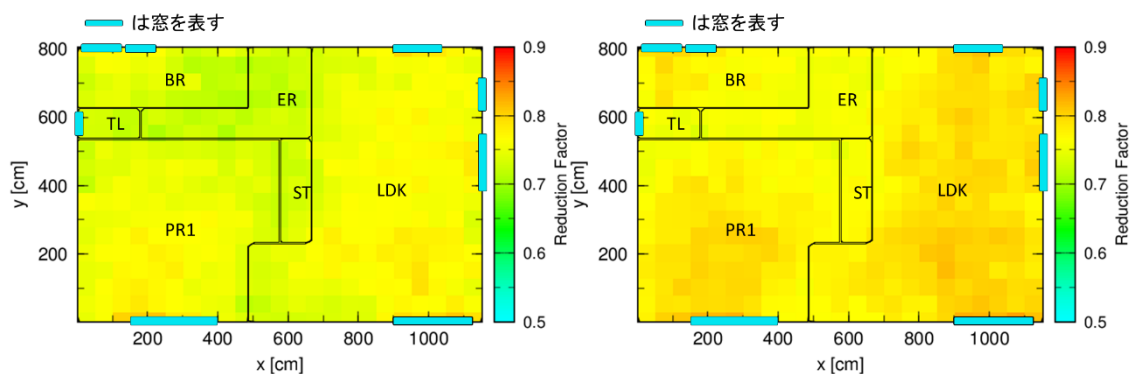
付録表 6.1 に示すとおり、12 mm の結果と 16 mm の被ばく低減係数に殆ど違いは見られない結果となった。

付録表 6.1 木造住宅 2 階 窯業系サイディング材の壁厚を 12 mm とした場合と 16 mm とした場合の被ばく低減係数の比較

	最小値				算術平均値				最大値			
	クラウドシャイン		グラウンドシャイン		クラウドシャイン		グラウンドシャイン		クラウドシャイン		グラウンドシャイン	
	0.4MeV	0.66MeV	1.5MeV	0.66MeV	0.4MeV	0.66MeV	1.5MeV	0.66MeV	0.4MeV	0.66MeV	1.5MeV	0.66MeV
12mm-1階	0.69	0.73	0.79	0.48	0.74	0.77	0.84	0.55	0.78	0.81	0.88	0.64
16mm-1階	0.68	0.71	0.79	0.48	0.72	0.76	0.83	0.54	0.77	0.80	0.87	0.63
12mm-2階	0.82	0.83	0.88	0.49	0.86	0.87	0.92	0.52	0.90	0.91	0.95	0.55
16mm-2階	0.79	0.82	0.87	0.48	0.85	0.86	0.91	0.51	0.89	0.90	0.95	0.54

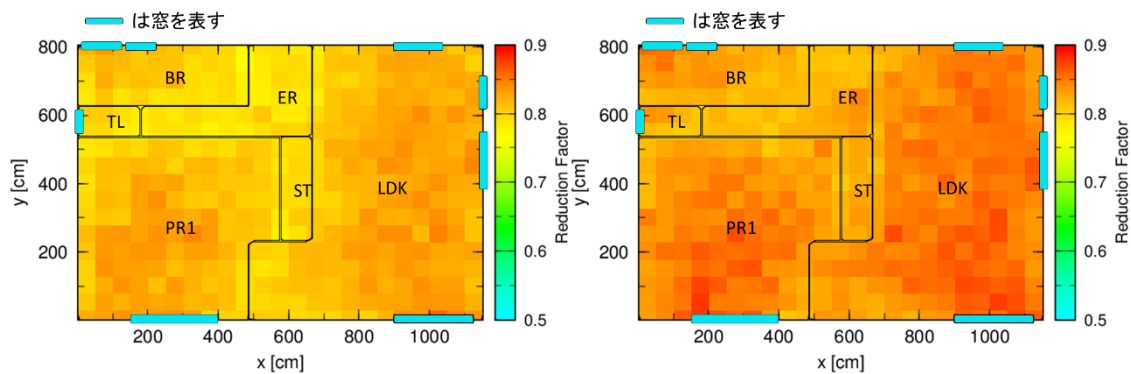
<sup>2</sup> 日本窯業外装材協会(2007): JIS 規格改正のしおり, 住宅外装 長寿命化をめざして。

## 付録7 代表的なケースに対する被ばく低減係数の分布



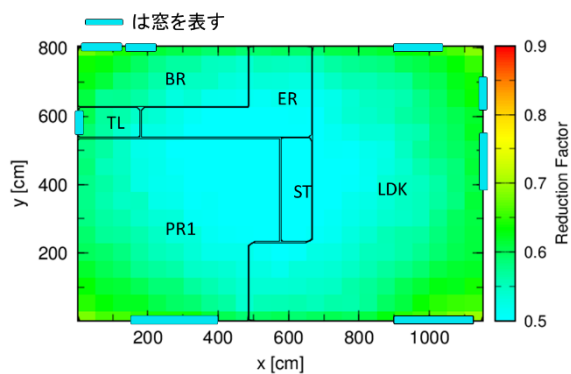
クラウドシャイン (0.4 MeV)

クラウドシャイン (0.66 MeV)



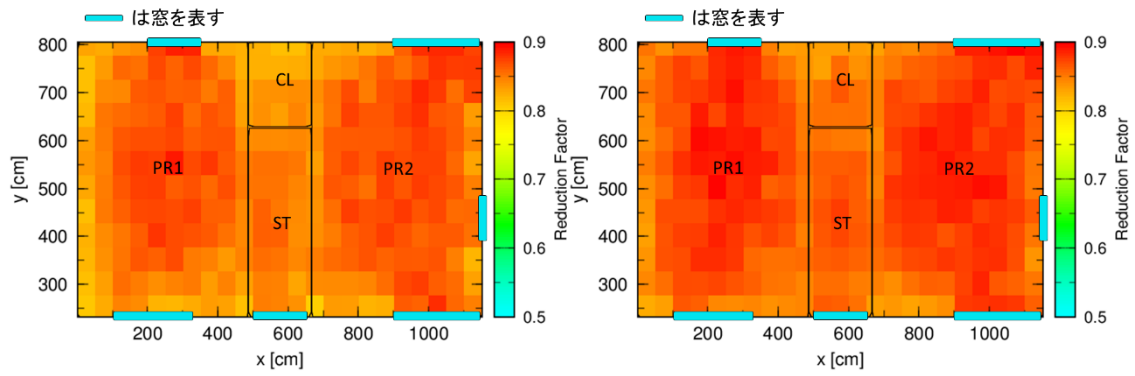
クラウドシャイン (1.0 MeV)

クラウドシャイン (1.5 MeV)



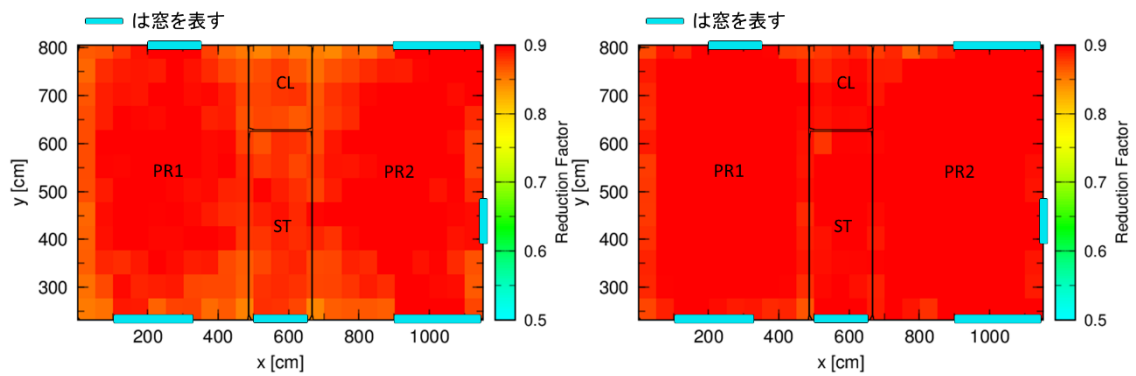
グラウンドシャイン (0.66 MeV)

付録図 7.1 木造2階建て住宅 1階の被ばく低減係数の分布 (窯業系サイディング材)



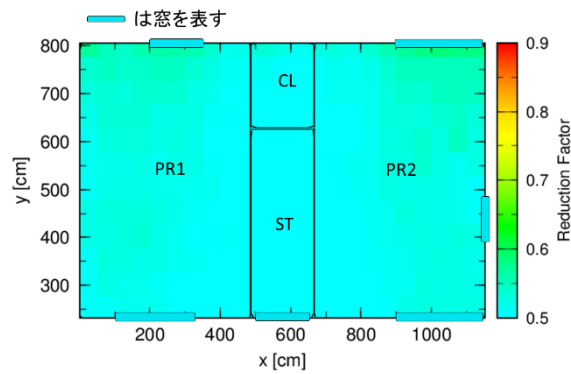
クラウドシャイン (0.4MeV)

クラウドシャイン (0.66 MeV)



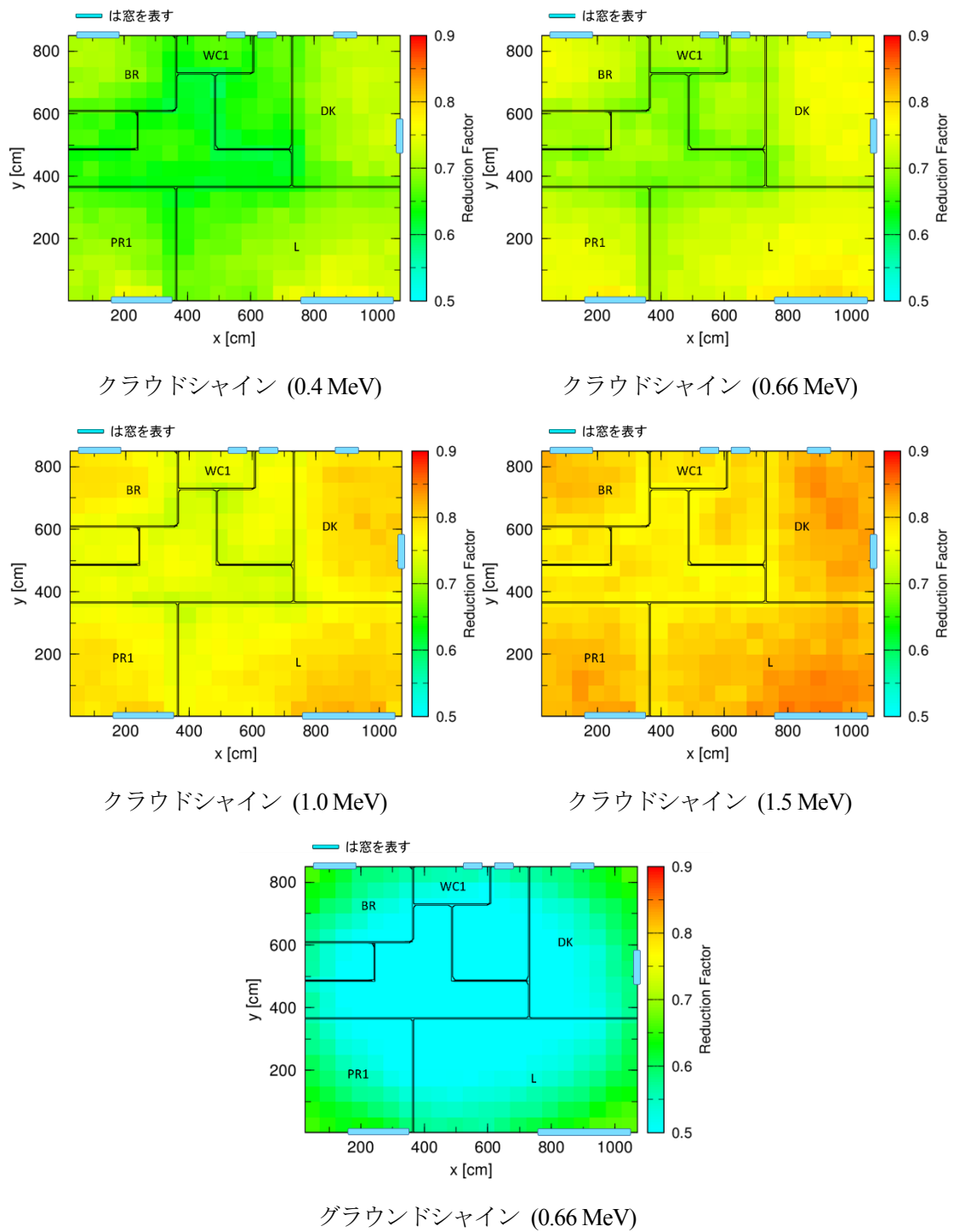
クラウドシャイン (1.0 MeV)

クラウドシャイン (1.5 MeV)



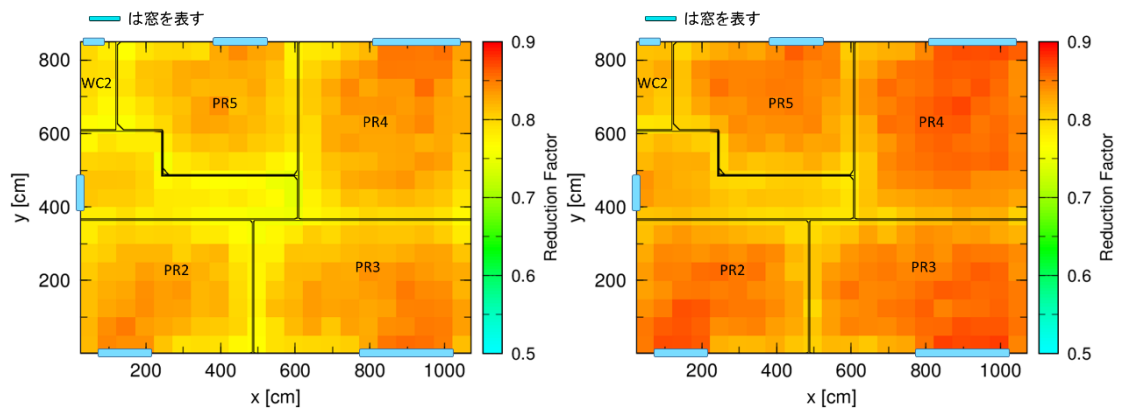
グラウンドシャイン (0.66 MeV)

付録図 7.2 木造2階建て住宅 2階の被ばく低減係数の分布 (窯業系サイディング材)



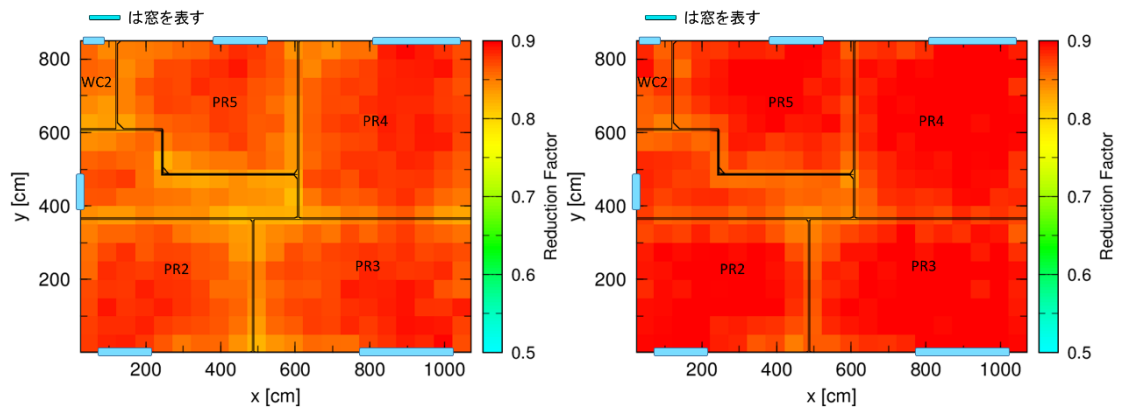
付録図 7.3 鉄骨造 2 階建て住宅 1 階の被ばく低減係数の分布 (窯業系サイディング材)





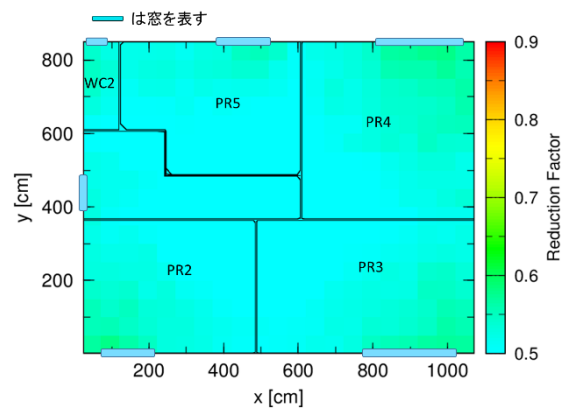
クラウドシャイン (0.4 MeV)

クラウドシャイン (0.66 MeV)



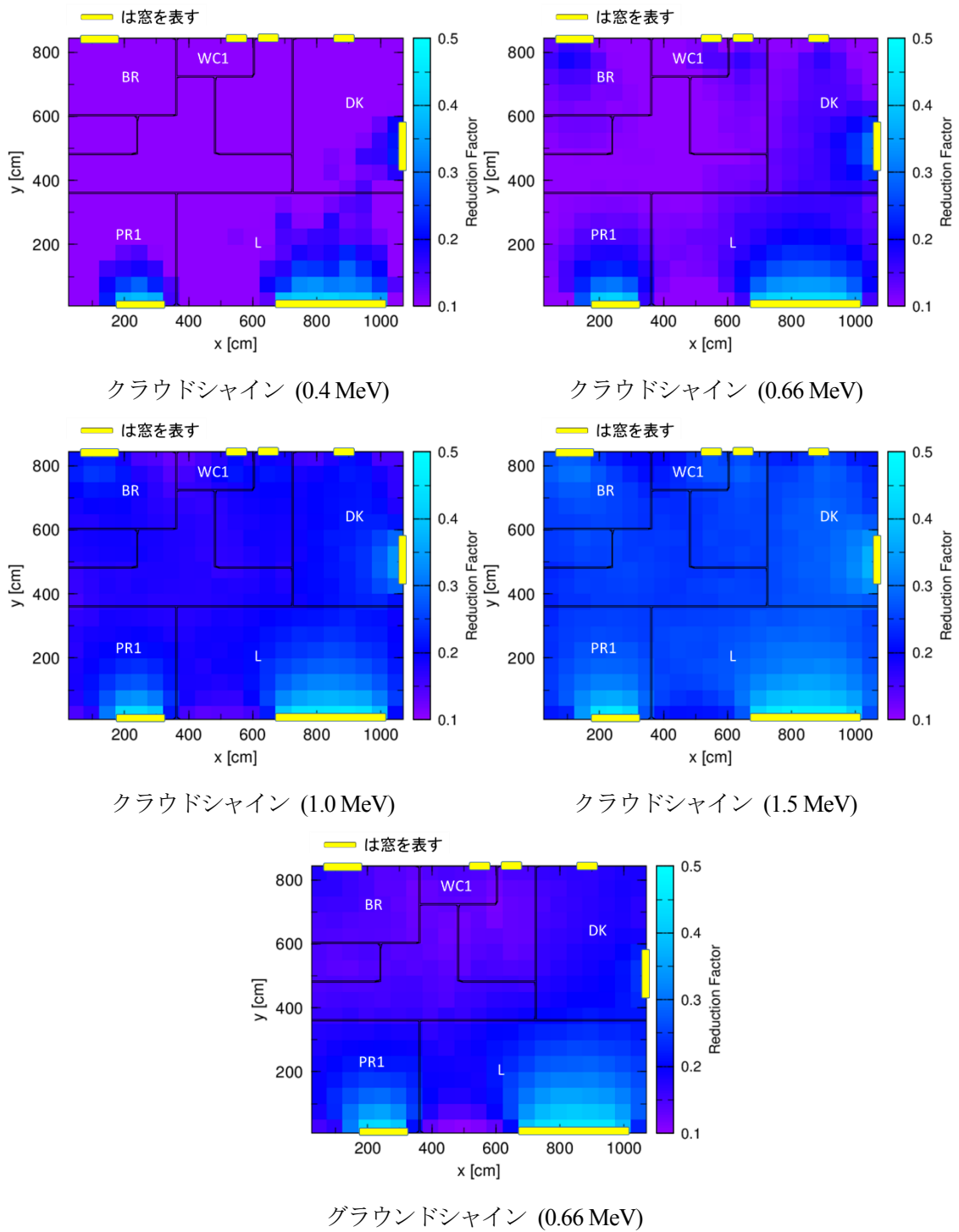
クラウドシャイン (1.0 MeV)

クラウドシャイン (1.5 MeV)

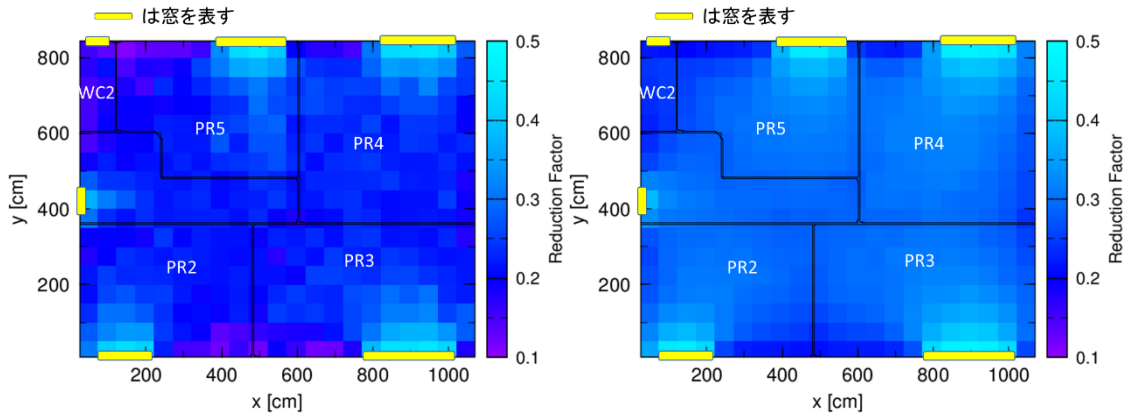


グラウンドシャイン (0.66 MeV)

付録図 7.4 鉄骨造2階建て住宅 2階の被ばく低減係数の分布 (窯業系サイディング材)

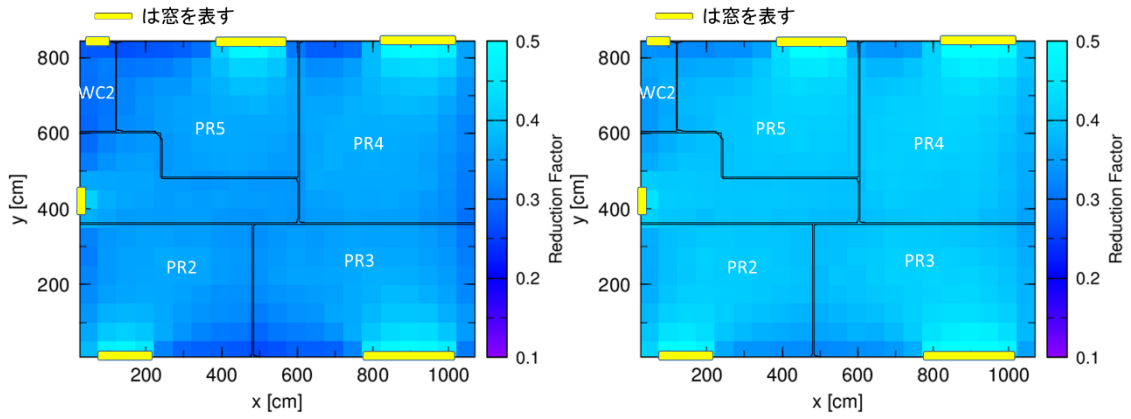


付録図 7.5 鉄筋コンクリート造 2 階建て住宅 1 階の被ばく低減係数の分布



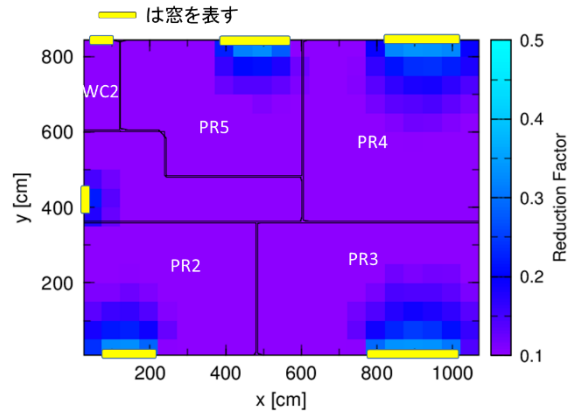
クラウドシャイン (0.4 MeV)

クラウドシャイン (0.66 MeV)



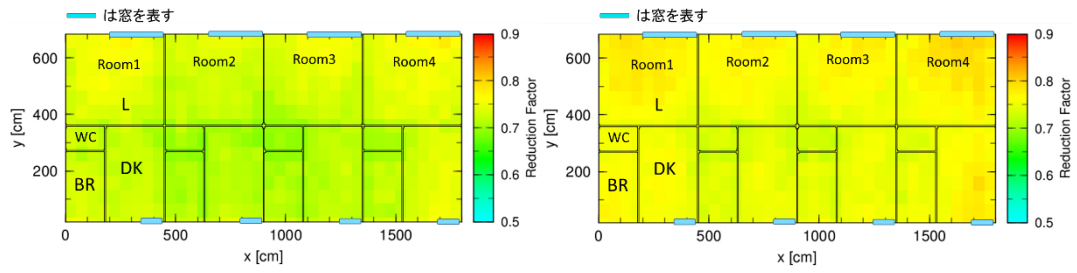
クラウドシャイン (1.0 MeV)

クラウドシャイン (1.5 MeV)



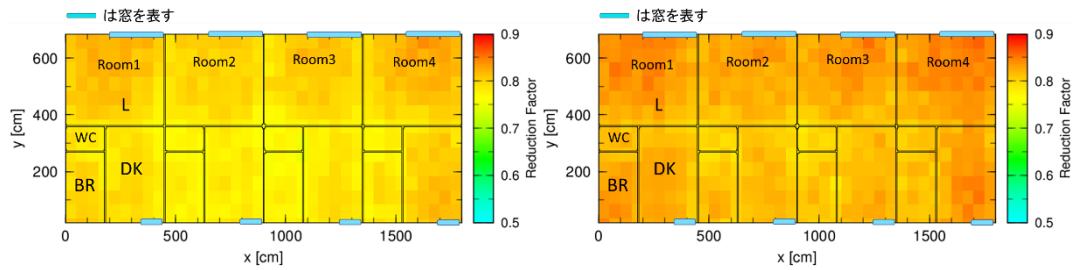
グラウンドシャイン (0.66 MeV)

付録図 7.6 鉄筋コンクリート造2階建て住宅 2階の被ばく低減係数の分布



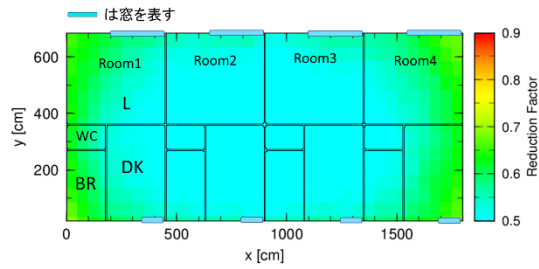
クラウドシャイン (0.4 MeV)

クラウドシャイン (0.66 MeV)



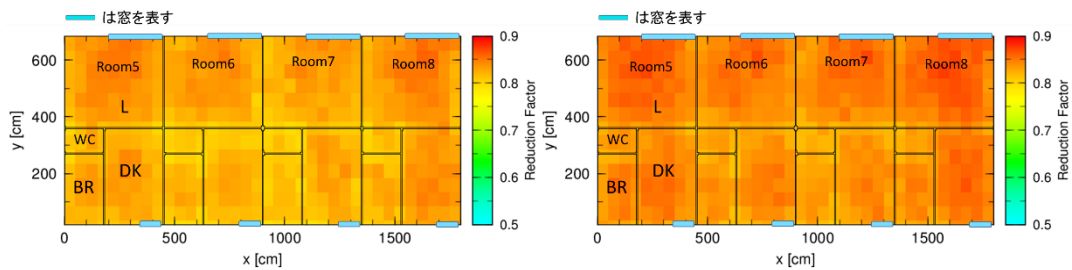
クラウドシャイン (1.0 MeV)

クラウドシャイン (1.5 MeV)



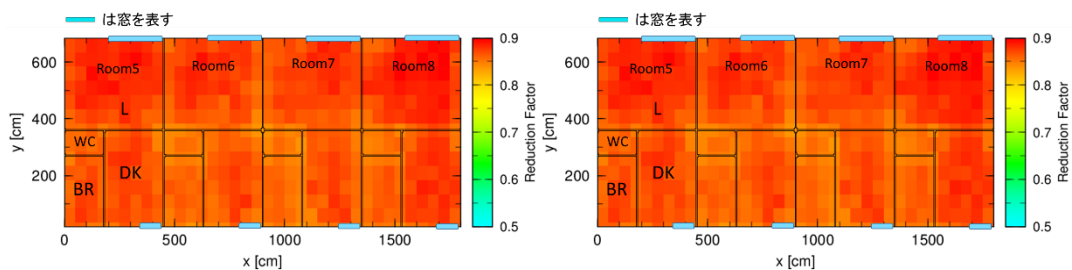
グラウンドシャイン (0.66 MeV)

付録図 7.7 木造集合・長屋建て住宅 1階の被ばく低減係数の分布 (窯業系サイディング材)



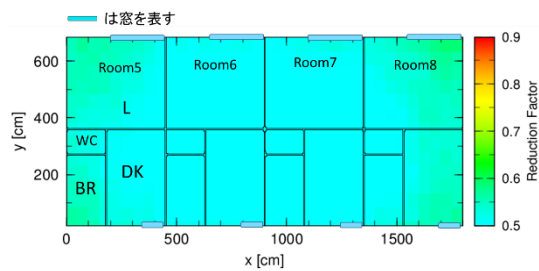
クラウドシャイン (0.4 MeV)

クラウドシャイン (0.66 MeV)



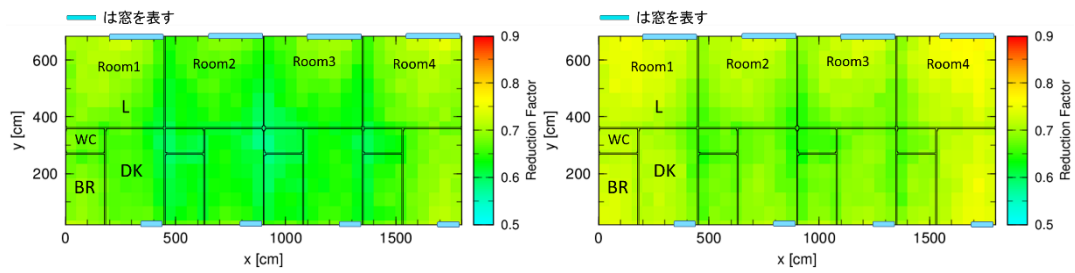
クラウドシャイン (1.0 MeV)

クラウドシャイン (1.5 MeV)



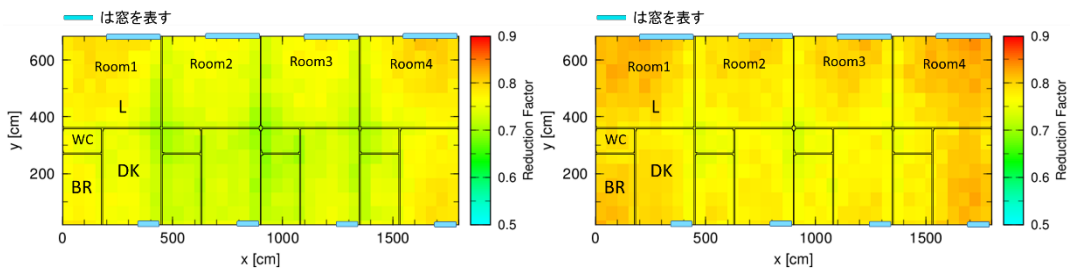
グラウンドシャイン (0.66 MeV)

付録図 7.8 木造集合・長屋建て住宅 2階の被ばく低減係数の分布 (窯業系サイディング材)



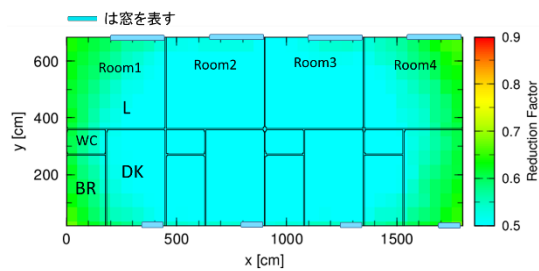
クラウドシャイン (0.4 MeV)

クラウドシャイン (0.66 MeV)



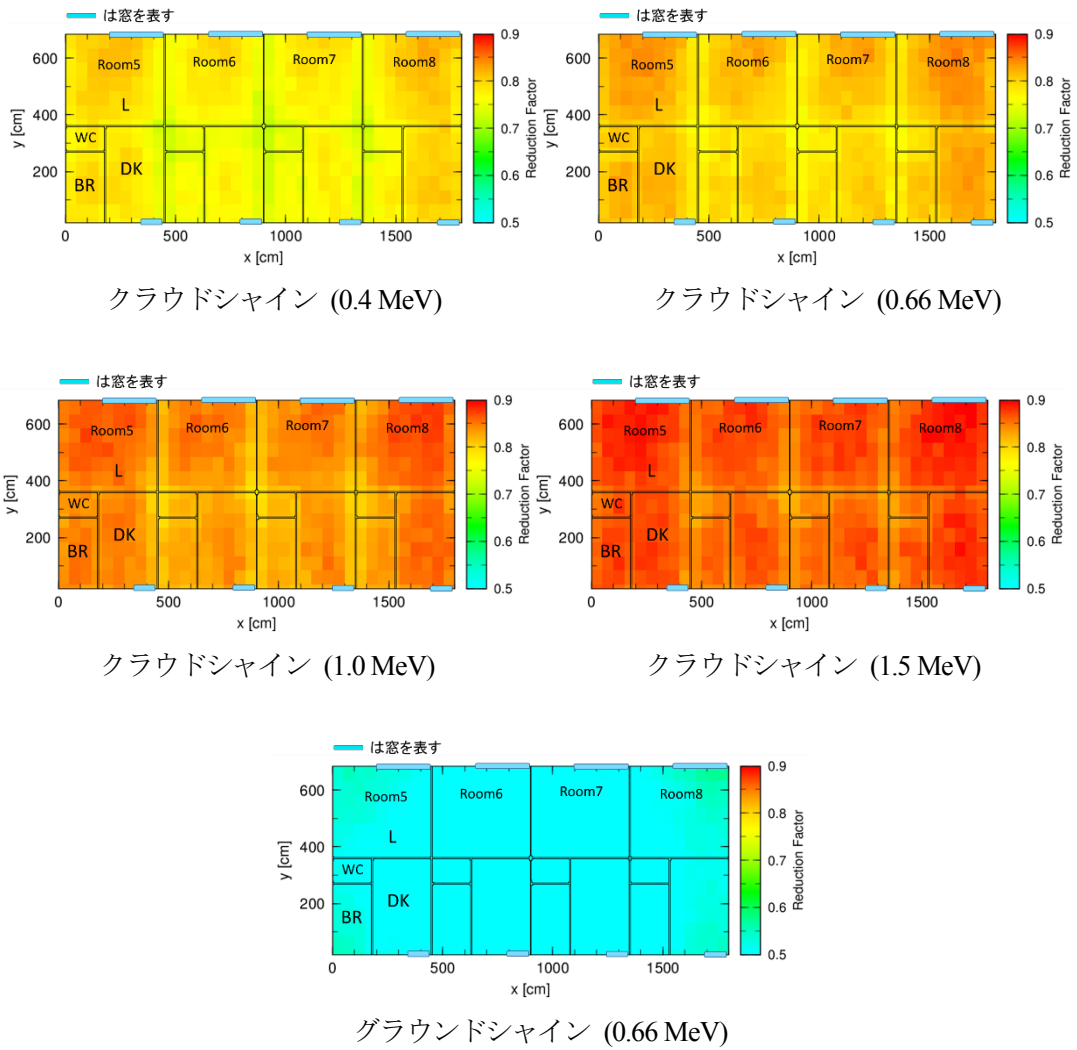
クラウドシャイン (1.0 MeV)

クラウドシャイン (1.5 MeV)

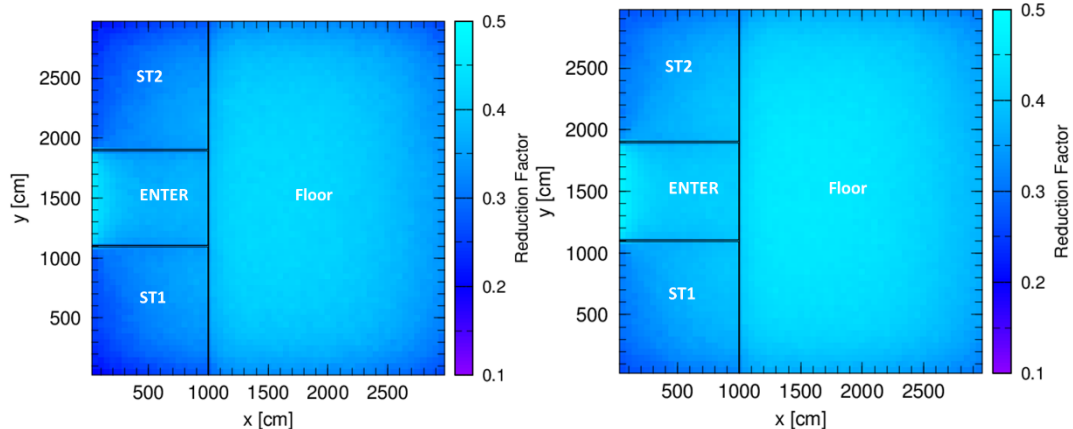


グラウンドシャイン (0.66 MeV)

付録図 7.9 鉄骨造集合・長屋建て住宅 1階の被ばく低減係数の分布 (窯業系サイディング材)

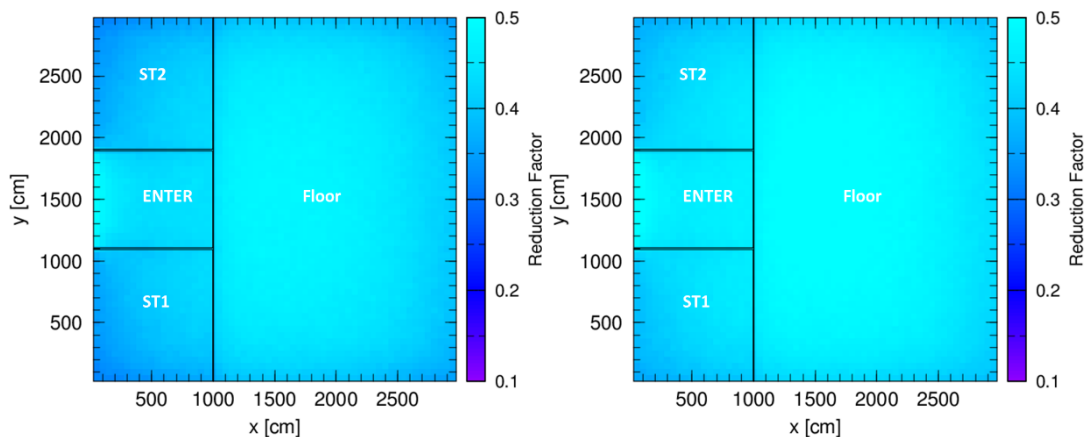


付録図 7.10 鉄骨造集合・長屋建て住宅 2階の被ばく低減係数の分布 (窯業系サイディング材)



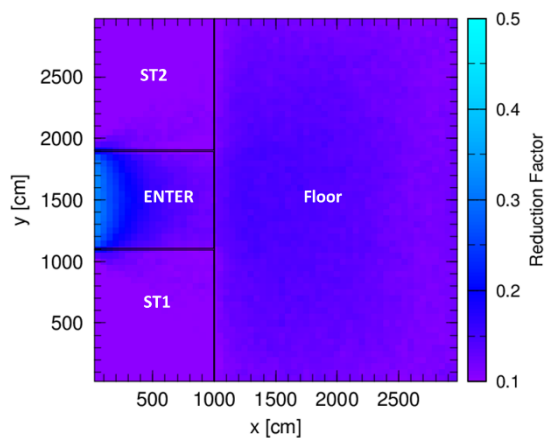
クラウドシャイン (0.4 MeV)

クラウドシャイン (0.66 MeV)



クラウドシャイン (1.0 MeV)

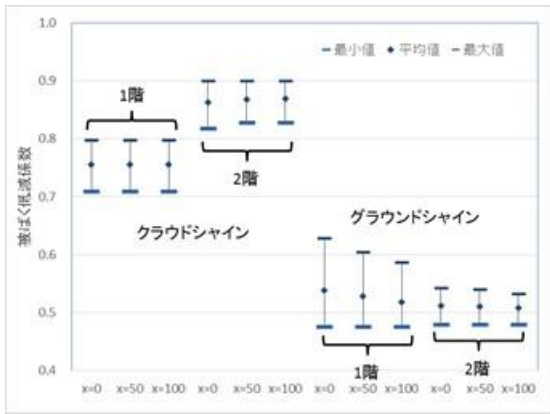
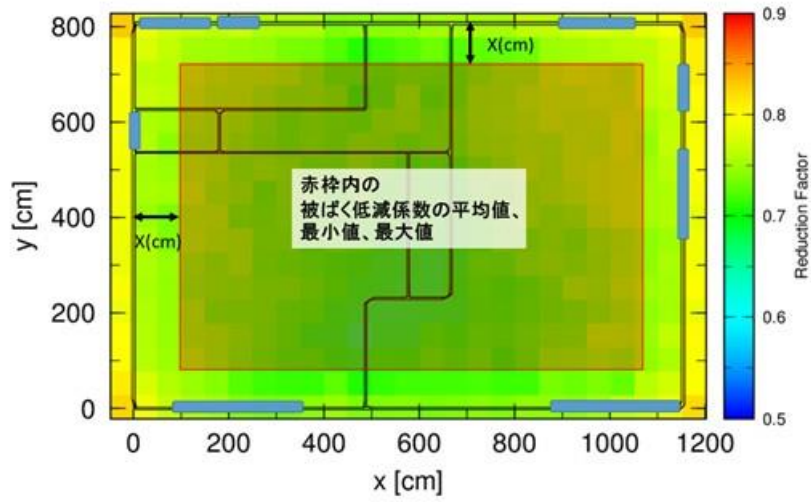
クラウドシャイン (1.5 MeV)



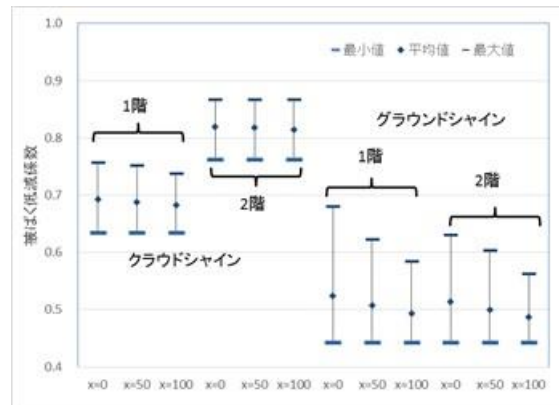
グラウンドシャイン (0.66 MeV)

付録図 7.11 体育館 被ばく低減係数の分布

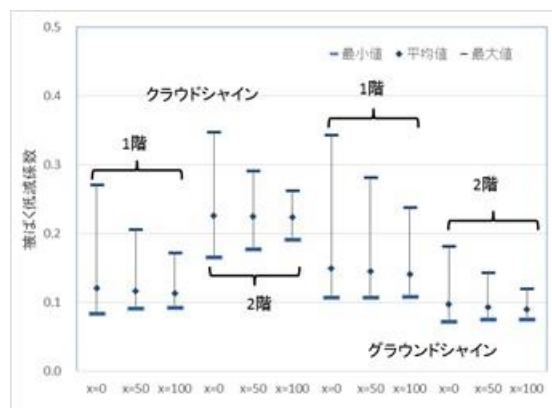




木造住宅



鉄骨住宅



鉄筋コンクリート住宅

付録図 7.12 住宅の壁から 0.5 m、1 m 離れた領域における平均値、最小値、及び最大値の例

付録表 7.1 2 階建て木造住宅に対する被ばく低減係数のフロア中央付近の値。( ) 内は最小値～最大値を表す。

		クラウドシャイン				グラウンドシャイン						
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV						
						屋根及び壁汚染濃度比 (対地表面濃度)						
						汚染なし	屋根：50% 壁：10%	屋根：100% 壁：1%	屋根：100% 壁：10%			
1階	防火木造住宅	金属サイディング材	0.74 (0.72~0.81)	0.78 (0.75~0.84)	0.80 (0.79~0.88)	0.81 (0.81~0.91)	0.50 (0.50~0.67)	0.59 (0.59~0.79)	0.64 (0.64~0.81)	0.66 (0.66~0.85)		
		窯業系サイディング材	0.70 (0.68~0.77)	0.74 (0.71~0.80)	0.77 (0.74~0.83)	0.79 (0.79~0.87)	0.48 (0.48~0.63)	0.56 (0.56~0.74)	0.61 (0.61~0.77)	0.63 (0.63~0.81)		
		モルタル	0.70 (0.68~0.77)	0.73 (0.71~0.79)	0.77 (0.74~0.83)	0.79 (0.78~0.87)	0.47 (0.47~0.63)	0.56 (0.56~0.73)	0.61 (0.61~0.77)	0.63 (0.63~0.80)		
		軽量気泡コンクリート	0.70 (0.68~0.77)	0.74 (0.71~0.80)	0.78 (0.74~0.83)	0.79 (0.79~0.88)	0.48 (0.48~0.63)	0.56 (0.56~0.74)	0.61 (0.61~0.77)	0.63 (0.63~0.81)		
		セラミックタイル	0.71 (0.68~0.77)	0.74 (0.72~0.80)	0.77 (0.73~0.83)	0.79 (0.79~0.88)	0.48 (0.48~0.64)	0.57 (0.57~0.75)	0.62 (0.62~0.77)	0.63 (0.63~0.81)		
		漆喰塗り	0.68 (0.66~0.75)	0.72 (0.69~0.78)	0.76 (0.72~0.82)	0.78 (0.78~0.86)	0.47 (0.47~0.62)	0.56 (0.56~0.73)	0.61 (0.60~0.76)	0.62 (0.62~0.80)		
		土壁塗り	0.56 (0.51~0.65)	0.60 (0.55~0.69)	0.65 (0.58~0.73)	0.69 (0.64~0.76)	0.38 (0.37~0.54)	0.45 (0.45~0.63)	0.50 (0.49~0.67)	0.52 (0.51~0.70)		
		非防火木造住宅	木製サイディング材	0.76 (0.75~0.85)	0.79 (0.76~0.85)	0.81 (0.79~0.89)	0.82 (0.82~0.91)	0.50 (0.50~0.67)	0.59 (0.59~0.79)	0.65 (0.65~0.81)	0.66 (0.66~0.85)	
		2階	防火木造住宅	金属サイディング材	0.87 (0.83~0.91)	0.88 (0.85~0.93)	0.91 (0.88~0.96)	0.93 (0.90~0.97)	0.52 (0.52~0.58)	0.66 (0.65~0.76)	0.74 (0.74~0.86)	0.77 (0.76~0.91)
				窯業系サイディング材	0.84 (0.79~0.89)	0.86 (0.82~0.90)	0.88 (0.85~0.93)	0.91 (0.87~0.95)	0.48 (0.48~0.54)	0.62 (0.61~0.70)	0.71 (0.70~0.80)	0.73 (0.72~0.84)
モルタル	0.84 (0.79~0.89)			0.86 (0.81~0.90)	0.88 (0.84~0.93)	0.90 (0.87~0.95)	0.48 (0.48~0.54)	0.61 (0.61~0.70)	0.70 (0.70~0.80)	0.72 (0.72~0.84)		
軽量気泡コンクリート	0.84 (0.79~0.89)			0.86 (0.82~0.90)	0.88 (0.85~0.93)	0.91 (0.88~0.95)	0.48 (0.48~0.54)	0.62 (0.61~0.70)	0.71 (0.70~0.80)	0.73 (0.72~0.84)		
セラミックタイル	0.85 (0.81~0.89)			0.86 (0.83~0.90)	0.88 (0.84~0.93)	0.91 (0.87~0.95)	0.49 (0.48~0.55)	0.62 (0.62~0.70)	0.71 (0.70~0.80)	0.73 (0.72~0.84)		
漆喰塗り	0.83 (0.76~0.87)			0.85 (0.80~0.89)	0.87 (0.83~0.92)	0.90 (0.86~0.94)	0.48 (0.47~0.54)	0.61 (0.60~0.69)	0.70 (0.69~0.79)	0.72 (0.71~0.83)		
土壁塗り	0.74 (0.59~0.78)			0.77 (0.65~0.80)	0.80 (0.68~0.84)	0.84 (0.73~0.87)	0.37 (0.37~0.45)	0.50 (0.49~0.58)	0.58 (0.56~0.65)	0.60 (0.58~0.67)		
非防火木造住宅	木製サイディング材			0.90 (0.87~0.95)	0.90 (0.87~0.95)	0.92 (0.89~0.97)	0.93 (0.91~0.98)	0.52 (0.52~0.59)	0.65 (0.65~0.76)	0.74 (0.74~0.86)	0.76 (0.76~0.90)	

付録表 7.2 平屋建て木造住宅に対する被ばく低減係数のフロア中央付近の値。( ) 内は最小値～最大値を表す。

	クラウドシャイン				グラウンドシャイン				
	0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV				
					屋根、壁汚染汚染なし	屋根：50% 壁：10%	屋根：100% 壁：1%	屋根：100% 壁：10%	
1階	金属サイディング材	0.79 (0.76～0.86)	0.80 (0.78～0.86)	0.82 (0.80～0.90)	0.84 (0.82～0.93)	0.48 (0.48～0.67)	0.59 (0.59～0.79)	0.66 (0.66～0.81)	0.67 (0.68～0.85)
	窯業系サイディング材	0.78 (0.73～0.83)	0.79 (0.75～0.84)	0.81 (0.78～0.87)	0.83 (0.80～0.90)	0.48 (0.46～0.63)	0.59 (0.56～0.74)	0.66 (0.64～0.77)	0.68 (0.65～0.80)
	モルタル	0.76 (0.73～0.83)	0.78 (0.75～0.84)	0.80 (0.78～0.87)	0.82 (0.80～0.90)	0.46 (0.45～0.62)	0.56 (0.55～0.73)	0.64 (0.63～0.77)	0.65 (0.64～0.80)
	軽量気泡コンクリート	0.76 (0.73～0.83)	0.78 (0.75～0.84)	0.80 (0.78～0.88)	0.82 (0.80～0.90)	0.45 (0.46～0.63)	0.55 (0.56～0.74)	0.63 (0.64～0.77)	0.64 (0.65～0.80)
	セラミックタイル	0.76 (0.74～0.84)	0.78 (0.76～0.84)	0.80 (0.78～0.88)	0.82 (0.81～0.91)	0.46 (0.46～0.63)	0.56 (0.56～0.74)	0.64 (0.64～0.77)	0.65 (0.65～0.81)
	漆喰塗り	0.77 (0.71～0.82)	0.78 (0.74～0.83)	0.80 (0.77～0.87)	0.82 (0.80～0.90)	0.46 (0.45～0.62)	0.56 (0.55～0.74)	0.64 (0.62～0.80)	0.65 (0.63～0.83)
	土壁塗り	0.75 (0.57～0.75)	0.77 (0.62～0.77)	0.79 (0.66～0.81)	0.82 (0.70～0.84)	0.45 (0.36～0.53)	0.55 (0.46～0.63)	0.63 (0.53～0.68)	0.64 (0.55～0.70)
	木製サイディング材	0.70 (0.77～0.88)	0.72 (0.79～0.88)	0.75 (0.80～0.91)	0.78 (0.83～0.93)	0.36 (0.48～0.67)	0.46 (0.59～0.78)	0.54 (0.66～0.81)	0.55 (0.67～0.85)

付録表 7.3 2階建て木造集合住宅に対する被ばく低減係数の部屋の中央付近の値。( )内は最小値～最大値を表す。

		クラウドシャイン				グラウンドシャイン			
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV			
						屋根及び壁汚染濃度比 (対地表面濃度)			
						汚染なし	屋根：50% 壁：10%	屋根：100% 壁：1%	屋根：100% 壁：10%
1階	金属サイディング材	0.74 (0.69~0.81)	0.77 (0.72~0.83)	0.81 (0.76~0.87)	0.84 (0.80~0.90)	0.56 (0.49~0.67)	0.63 (0.56~0.75)	0.64 (0.59~0.74)	0.66 (0.61~0.78)
	窯業系サイディング材	0.70 (0.66~0.76)	0.73 (0.69~0.78)	0.77 (0.72~0.83)	0.80 (0.76~0.85)	0.57 (0.46~0.64)	0.64 (0.53~0.71)	0.65 (0.56~0.70)	0.67 (0.57~0.74)
	モルタル	0.69 (0.66~0.76)	0.73 (0.69~0.78)	0.76 (0.72~0.83)	0.80 (0.76~0.85)	0.53 (0.46~0.64)	0.60 (0.52~0.71)	0.61 (0.55~0.70)	0.63 (0.57~0.74)
	セラミックタイル	0.70 (0.66~0.77)	0.73 (0.70~0.79)	0.77 (0.73~0.83)	0.81 (0.76~0.86)	0.53 (0.46~0.64)	0.59 (0.53~0.71)	0.61 (0.56~0.71)	0.63 (0.58~0.74)
	軽量気泡コンクリート	0.69 (0.66~0.76)	0.73 (0.69~0.78)	0.77 (0.72~0.83)	0.80 (0.76~0.85)	0.54 (0.46~0.64)	0.60 (0.53~0.71)	0.62 (0.56~0.70)	0.64 (0.57~0.74)
	木製サイディング材	0.75 (0.71~0.82)	0.77 (0.73~0.84)	0.81 (0.75~0.87)	0.83 (0.79~0.89)	0.53 (0.49~0.66)	0.60 (0.55~0.74)	0.61 (0.58~0.73)	0.63 (0.60~0.77)
2階	金属サイディング材	0.83 (0.79~0.87)	0.85 (0.81~0.90)	0.87 (0.84~0.93)	0.91 (0.87~0.96)	0.54 (0.49~0.60)	0.65 (0.61~0.72)	0.72 (0.70~0.75)	0.74 (0.72~0.78)
	窯業系サイディング材	0.80 (0.77~0.85)	0.83 (0.79~0.87)	0.86 (0.82~0.90)	0.89 (0.85~0.93)	0.55 (0.46~0.57)	0.66 (0.58~0.68)	0.73 (0.66~0.71)	0.75 (0.68~0.75)
	モルタル	0.80 (0.77~0.85)	0.83 (0.79~0.87)	0.86 (0.82~0.90)	0.89 (0.85~0.93)	0.51 (0.46~0.57)	0.62 (0.58~0.68)	0.69 (0.66~0.71)	0.71 (0.68~0.74)
	セラミックタイル	0.81 (0.78~0.86)	0.83 (0.80~0.88)	0.86 (0.83~0.91)	0.89 (0.86~0.93)	0.51 (0.46~0.57)	0.62 (0.59~0.68)	0.69 (0.67~0.72)	0.71 (0.69~0.75)
	軽量気泡コンクリート	0.80 (0.77~0.85)	0.83 (0.79~0.87)	0.86 (0.82~0.90)	0.89 (0.85~0.93)	0.52 (0.46~0.57)	0.63 (0.58~0.68)	0.70 (0.66~0.71)	0.72 (0.68~0.75)
	木製サイディング材	0.84 (0.81~0.90)	0.86 (0.82~0.91)	0.88 (0.84~0.94)	0.91 (0.87~0.96)	0.51 (0.48~0.60)	0.62 (0.61~0.71)	0.69 (0.69~0.74)	0.71 (0.71~0.78)

付録表 7.4 平屋建て木造集合住宅に対する被ばく低減係数の部屋の中央付近の値。( ) 内は最小値～最大値を表す。

	クラウドシャイン				グラウンドシャイン				
	0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV				
					屋根及び壁汚染濃度比 (対地表面濃度)				
					汚染なし	屋根：50% 壁：10%	屋根：100% 壁：1%	屋根：100% 壁：10%	
1階	金属サイディング材	0.76 (0.72～0.82)	0.79 (0.76～0.85)	0.83 (0.78～0.89)	0.85 (0.82～0.91)	0.57 (0.48～0.67)	0.68 (0.61～0.78)	0.76 (0.71～0.82)	0.77 (0.72～0.85)
	窯業系サイディング材	0.74 (0.70～0.78)	0.77 (0.74～0.82)	0.81 (0.77～0.86)	0.83 (0.80～0.88)	0.53 (0.45～0.63)	0.64 (0.57～0.74)	0.72 (0.67～0.78)	0.73 (0.68～0.81)
	モルタル	0.74 (0.70～0.78)	0.77 (0.74～0.81)	0.81 (0.77～0.86)	0.83 (0.80～0.88)	0.52 (0.45～0.63)	0.63 (0.57～0.74)	0.71 (0.67～0.78)	0.73 (0.68～0.81)
	セラミックタイル	0.74 (0.71～0.79)	0.77 (0.74～0.82)	0.81 (0.77～0.87)	0.84 (0.81～0.88)	0.53 (0.45～0.64)	0.64 (0.58～0.74)	0.72 (0.68～0.78)	0.74 (0.69～0.81)
	軽量気泡コンクリート	0.74 (0.70～0.79)	0.77 (0.74～0.82)	0.81 (0.77～0.86)	0.83 (0.80～0.88)	0.53 (0.45～0.63)	0.64 (0.57～0.74)	0.72 (0.67～0.78)	0.73 (0.68～0.81)
	木製サイディング材	0.77 (0.73～0.83)	0.79 (0.76～0.86)	0.83 (0.78～0.89)	0.85 (0.82～0.91)	0.56 (0.48～0.66)	0.67 (0.60～0.77)	0.75 (0.70～0.81)	0.76 (0.71～0.84)

付録表 7.5 2 階建て鉄骨造住宅に対する被ばく低減係数のフロア中央付近の値。( ) 内は最小値～最大値を表す。

		クラウドシャイン				グラウンドシャイン			
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV			
						屋根及び壁汚染濃度比 (対地表面濃度)			
						汚染なし	屋根：50% 壁：10%	屋根：100% 壁：1%	屋根：100% 壁：10%
1階	金属サイディング材	0.64 (0.62～0.77)	0.69 (0.67～0.80)	0.73 (0.72～0.85)	0.77 (0.76～0.88)	0.47 (0.47～0.67)	0.53 (0.52～0.74)	0.55 (0.54～0.73)	0.57 (0.56～0.77)
	窯業系サイディング材	0.60 (0.58～0.72)	0.66 (0.63～0.76)	0.71 (0.68～0.80)	0.74 (0.73～0.84)	0.45 (0.44～0.63)	0.50 (0.50～0.69)	0.52 (0.51～0.68)	0.54 (0.53～0.72)
	モルタル	0.60 (0.57～0.72)	0.66 (0.63～0.75)	0.70 (0.68～0.79)	0.73 (0.73～0.83)	0.45 (0.44～0.63)	0.50 (0.49～0.69)	0.52 (0.51～0.68)	0.54 (0.53～0.72)
	セラミックタイル	0.61 (0.58～0.73)	0.66 (0.64～0.76)	0.71 (0.69～0.80)	0.74 (0.73～0.84)	0.45 (0.44～0.64)	0.51 (0.50～0.70)	0.53 (0.52～0.69)	0.54 (0.53～0.73)
	軽量気泡コンクリート	0.58 (0.56～0.70)	0.64 (0.61～0.74)	0.69 (0.66～0.77)	0.72 (0.71～0.82)	0.43 (0.43～0.61)	0.49 (0.48～0.67)	0.51 (0.50～0.66)	0.53 (0.52～0.70)
2階	金属サイディング材	0.76 (0.73～0.88)	0.80 (0.78～0.89)	0.84 (0.81～0.93)	0.86 (0.84～0.96)	0.51 (0.50～0.59)	0.61 (0.60～0.70)	0.68 (0.67～0.73)	0.70 (0.68～0.76)
	窯業系サイディング材	0.74 (0.72～0.85)	0.78 (0.76～0.87)	0.82 (0.80～0.89)	0.85 (0.82～0.92)	0.47 (0.46～0.55)	0.58 (0.56～0.65)	0.64 (0.63～0.69)	0.66 (0.65～0.73)
	モルタル	0.74 (0.71～0.85)	0.78 (0.76～0.86)	0.82 (0.80～0.89)	0.85 (0.82～0.92)	0.47 (0.46～0.55)	0.57 (0.56～0.65)	0.64 (0.62～0.69)	0.66 (0.64～0.72)
	セラミックタイル	0.75 (0.72～0.86)	0.79 (0.76～0.87)	0.82 (0.80～0.90)	0.85 (0.83～0.93)	0.48 (0.47～0.56)	0.58 (0.57～0.66)	0.65 (0.63～0.70)	0.66 (0.65～0.73)
	軽量気泡コンクリート	0.73 (0.70～0.83)	0.77 (0.74～0.85)	0.81 (0.79～0.88)	0.84 (0.82～0.91)	0.46 (0.45～0.53)	0.56 (0.55～0.63)	0.63 (0.61～0.68)	0.64 (0.63～0.71)

付録表 7.6 平屋建て鉄骨造住宅に対する被ばく低減係数のフロア中央付近の値。( ) 内は最小値～最大値を顕す。

		クラウドシャイン				グラウンドシャイン			
		0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV			
						屋根及び壁汚染濃度比（対地表面濃度）			
						汚染なし	屋根：50% 壁：10%	屋根：100% 壁：1%	屋根：100% 壁：10%
1階	金属サイディング材	0.72 (0.68～0.81)	0.75 (0.72～0.84)	0.80 (0.77～0.88)	0.82 (0.80～0.91)	0.47 (0.47～0.67)	0.56 (0.56～0.76)	0.63 (0.63～0.79)	0.64 (0.64～0.82)
	窯業系サイディング材	0.70 (0.65～0.78)	0.74 (0.70～0.82)	0.78 (0.74～0.85)	0.81 (0.78～0.88)	0.44 (0.44～0.63)	0.53 (0.53～0.72)	0.61 (0.60～0.75)	0.62 (0.61～0.77)
	モルタル	0.70 (0.65～0.78)	0.74 (0.70～0.82)	0.78 (0.74～0.85)	0.81 (0.78～0.88)	0.44 (0.43～0.62)	0.53 (0.52～0.71)	0.60 (0.59～0.74)	0.61 (0.60～0.77)
	セラミックタイル	0.70 (0.66～0.79)	0.74 (0.71～0.82)	0.78 (0.74～0.85)	0.81 (0.79～0.89)	0.45 (0.44～0.63)	0.54 (0.53～0.72)	0.61 (0.60～0.75)	0.62 (0.61～0.78)
	軽量気泡コンクリート	0.69 (0.64～0.76)	0.73 (0.69～0.80)	0.77 (0.73～0.83)	0.80 (0.77～0.87)	0.43 (0.42～0.61)	0.52 (0.51～0.69)	0.59 (0.58～0.73)	0.60 (0.59～0.76)

付録表 7.7 2階建て鉄骨造集合住宅に対する被ばく低減係数の部屋の中央付近の値。( )内は最小値～最大値を表す。

	クラウドシャイン				グラウンドシャイン				
	0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV				
					屋根及び壁汚染濃度比 (対地表面濃度)				
					汚染なし	屋根：50% 壁：10%	屋根：100% 壁：1%	屋根：100% 壁：10%	
1階	金属サイディング材	0.69 (0.62~0.77)	0.73 (0.66~0.80)	0.76 (0.71~0.84)	0.80 (0.75~0.87)	0.56 (0.47~0.66)	0.62 (0.54~0.73)	0.64 (0.56~0.72)	0.66 (0.58~0.76)
	窯業系サイディング材	0.64 (0.58~0.72)	0.68 (0.63~0.75)	0.72 (0.67~0.79)	0.76 (0.72~0.83)	0.52 (0.44~0.63)	0.58 (0.50~0.69)	0.60 (0.53~0.69)	0.62 (0.55~0.72)
	モルタル	0.64 (0.58~0.72)	0.69 (0.63~0.75)	0.72 (0.67~0.79)	0.76 (0.72~0.83)	0.52 (0.44~0.62)	0.58 (0.50~0.69)	0.59 (0.53~0.69)	0.61 (0.54~0.72)
	セラミックタイル	0.65 (0.59~0.73)	0.69 (0.63~0.76)	0.73 (0.68~0.80)	0.77 (0.72~0.83)	0.53 (0.44~0.63)	0.56 (0.51~0.70)	0.58 (0.53~0.69)	0.60 (0.55~0.73)
	軽量気泡コンクリート	0.62 (0.56~0.70)	0.67 (0.61~0.72)	0.71 (0.66~0.77)	0.75 (0.70~0.81)	0.50 (0.43~0.61)	0.59 (0.49~0.68)	0.60 (0.52~0.67)	0.62 (0.53~0.71)
2階	金属サイディング材	0.80 (0.74~0.85)	0.82 (0.77~0.88)	0.85 (0.81~0.91)	0.89 (0.83~0.94)	0.53 (0.46~0.59)	0.64 (0.58~0.70)	0.71 (0.67~0.73)	0.73 (0.68~0.77)
	窯業系サイディング材	0.76 (0.71~0.81)	0.79 (0.74~0.84)	0.82 (0.79~0.88)	0.87 (0.82~0.91)	0.49 (0.43~0.56)	0.60 (0.55~0.66)	0.67 (0.63~0.69)	0.69 (0.65~0.73)
	モルタル	0.77 (0.72~0.82)	0.80 (0.75~0.85)	0.82 (0.79~0.88)	0.87 (0.82~0.91)	0.49 (0.43~0.56)	0.60 (0.55~0.66)	0.67 (0.63~0.69)	0.69 (0.65~0.73)
	セラミックタイル	0.78 (0.72~0.83)	0.80 (0.76~0.85)	0.83 (0.79~0.89)	0.87 (0.82~0.92)	0.50 (0.44~0.56)	0.59 (0.56~0.67)	0.65 (0.64~0.70)	0.68 (0.66~0.73)
	軽量気泡コンクリート	0.75 (0.71~0.80)	0.78 (0.74~0.83)	0.82 (0.78~0.87)	0.86 (0.81~0.89)	0.48 (0.42~0.54)	0.61 (0.54~0.65)	0.67 (0.61~0.68)	0.70 (0.64~0.71)



付録表 7.8 平屋建て鉄骨造集合住宅に対する被ばく低減係数の部屋の中央付近の値。( ) 内は最小値～最大値を表す。

	クラウドシャイン				グラウンドシャイン				
	0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV				
					屋根及び壁汚染濃度比（対地表面濃度）				
					汚染なし	屋根：50% 壁：10%	屋根：100% 壁：1%	屋根：100% 壁：10%	
1階	金属サイディング材	0.73 (0.67～0.80)	0.76 (0.71～0.82)	0.80 (0.75～0.87)	0.83 (0.79～0.89)	0.55 (0.46～0.66)	0.66 (0.58～0.76)	0.74 (0.68～0.80)	0.75 (0.69～0.83)
	窯業系サイディング材	0.70 (0.64～0.76)	0.74 (0.69～0.79)	0.78 (0.73～0.84)	0.81 (0.77～0.86)	0.51 (0.43～0.62)	0.62 (0.55～0.72)	0.70 (0.64～0.76)	0.71 (0.65～0.79)
	モルタル	0.70 (0.65～0.76)	0.74 (0.70～0.79)	0.78 (0.73～0.84)	0.81 (0.77～0.86)	0.51 (0.43～0.62)	0.62 (0.54～0.72)	0.70 (0.64～0.76)	0.71 (0.65～0.79)
	セラミックタイル	0.69 (0.65～0.77)	0.73 (0.70～0.80)	0.77 (0.74～0.84)	0.81 (0.78～0.86)	0.49 (0.43～0.63)	0.63 (0.55～0.73)	0.70 (0.65～0.77)	0.72 (0.66～0.80)
	軽量気泡コンクリート	0.71 (0.64～0.74)	0.75 (0.69～0.78)	0.79 (0.73～0.83)	0.82 (0.77～0.85)	0.52 (0.41～0.61)	0.60 (0.53～0.71)	0.68 (0.63～0.75)	0.69 (0.64～0.78)

付録表 7.9 2階建て鉄筋コンクリート造住宅に対する被ばく低減係数のフロア中央付近の値。()内は最小値～最大値を表す。

	クラウドシャイン				グラウンドシャイン			
	0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV			
					屋根及び壁汚染濃度比（対地表面濃度）			
				屋根、壁汚染 汚染なし	屋根：50% 壁：10%	屋根：100% 壁：1%	屋根：100% 壁：10%	
1階	0.06 (0.05～0.26)	0.10 (0.08～0.27)	0.14 (0.12～0.30)	0.18 (0.16～0.33)	0.13 (0.11～0.34)	0.14 (0.12～0.36)	0.14 (0.12～0.35)	0.14 (0.12～0.37)
2階	0.18 (0.12～0.30)	0.21 (0.17～0.35)	0.27 (0.21～0.39)	0.33 (0.27～0.44)	0.08 (0.07～0.18)	0.11 (0.10～0.22)	0.14 (0.12～0.23)	0.15 (0.12～0.24)

付録表 7.10 鉄筋コンクリート造集合住宅の被ばく低減係数の部屋の中央付近の値。( ) 内は最小値～最大値を表す。

	クラウドシャイン				グラウンドシャイン			
	0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV			
					屋根及び壁汚染濃度比（対地表面濃度）			
				汚染なし	屋根：50% 壁：10%	屋根：100% 壁：1%	屋根：100% 壁：10%	
1階	0.03 (0.01～0.20)	0.04 (0.02～0.21)	0.04 (0.02～0.22)	0.06 (0.02～0.23)	0.08 (0.04～0.35)	0.08 (0.04～0.36)	0.08 (0.04～0.35)	0.08 (0.04～0.36)
2階	0.03 (0.01～0.20)	0.04 (0.02～0.21)	0.05 (0.02～0.22)	0.06 (0.03～0.24)	0.04 (0.02～0.14)	0.04 (0.02～0.15)	0.04 (0.02～0.15)	0.04 (0.02～0.15)
3階	0.03 (0.02～0.21)	0.04 (0.02～0.21)	0.05 (0.02～0.23)	0.07 (0.03～0.24)	0.03 (0.01～0.11)	0.03 (0.01～0.12)	0.03 (0.01～0.11)	0.03 (0.01～0.12)
4階	0.04 (0.02～0.21)	0.04 (0.02～0.22)	0.06 (0.02～0.24)	0.07 (0.03～0.25)	0.03 (0.01～0.10)	0.03 (0.01～0.11)	0.03 (0.01～0.10)	0.03 (0.01～0.11)
5階	0.05 (0.02～0.23)	0.07 (0.03～0.26)	0.09 (0.05～0.28)	0.12 (0.06～0.31)	0.02 (0.01～0.08)	0.03 (0.01～0.10)	0.03 (0.01～0.09)	0.03 (0.01～0.10)

付録表 7.11 公共施設に対する被ばく低減係数の病室、教室、運動場の中央付近の値。( )内は最小値～最大値を表す。

	クラウドシャイン				グラウンドシャイン				
	0.4MeV	0.66MeV	1.0MeV	1.5MeV	0.66MeV				
					屋根及び壁汚染濃度比（対地表面濃度）				
				汚染なし	屋根：50% 壁：10%	屋根：100% 壁：1%	屋根：100% 壁：10%		
病院	1階	0.07 (0.002～0.33)	0.09 (0.004～0.34)	0.10 (0.01～0.36)	0.13 (0.01～0.38)	0.08 (0.01～0.37)	0.09 (0.01～0.39)	0.08 (0.01～0.37)	0.09 (0.01～0.39)
	2階	0.03 (0.01～0.04)	0.04 (0.02～0.06)	0.07 (0.02～0.09)	0.09 (0.04～0.12)	0.04 (0.01～0.05)	0.04 (0.01～0.06)	0.04 (0.01～0.05)	0.04 (0.01～0.06)
	3階	0.03 (0.01～0.04)	0.05 (0.02～0.07)	0.07 (0.03～0.09)	0.10 (0.04～0.13)	0.03 (0.01～0.04)	0.03 (0.01～0.05)	0.03 (0.01～0.04)	0.03 (0.01～0.05)
	4階	0.08 (0.002～0.30)	0.09 (0.003～0.32)	0.11 (0.005～0.34)	0.14 (0.01～0.37)	0.03 (0.001～0.08)	0.03 (0.001～0.09)	0.03 (0.001～0.08)	0.03 (0.001～0.09)
	5階	0.08 (0.002～0.31)	0.10 (0.004～0.33)	0.12 (0.01～0.35)	0.15 (0.01～0.38)	0.03 (0.001～0.07)	0.03 (0.001～0.09)	0.03 (0.001～0.07)	0.03 (0.001～0.09)
	6階	0.11 (0.01～0.33)	0.14 (0.02～0.36)	0.18 (0.03～0.40)	0.22 (0.04～0.44)	0.02 (0.001～0.07)	0.04 (0.01～0.09)	0.04 (0.01～0.08)	0.05 (0.01～0.09)
学校	1階	0.10 (0.02～0.30)	0.12 (0.03～0.31)	0.13 (0.03～0.34)	0.16 (0.04～0.36)	0.10 (0.03～0.24)	0.11 (0.03～0.26)	0.10 (0.03～0.24)	0.11 (0.03～0.26)
	2階	0.11 (0.02～0.30)	0.12 (0.03～0.33)	0.14 (0.04～0.35)	0.16 (0.04～0.38)	0.06 (0.02～0.16)	0.07 (0.02～0.17)	0.07 (0.02～0.16)	0.07 (0.02～0.17)
	3階	0.14 (0.03～0.33)	0.17 (0.05～0.36)	0.21 (0.06～0.40)	0.26 (0.08～0.44)	0.05 (0.01～0.12)	0.06 (0.02～0.14)	0.07 (0.02～0.14)	0.07 (0.02～0.15)
体育館	0.36 (0.15～0.45)	0.41 (0.20～0.49)	0.45 (0.24～0.54)	0.50 (0.28～0.58)	0.08 (0.07～0.28)	0.15 (0.11～0.34)	0.21 (0.14～0.36)	0.22 (0.15～0.37)	