

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密あるいは防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所工事計画審査資料	
資料番号	工認-066 改2
提出月日	平成30年4月6日

V-1-9-3-2 緊急時対策所の居住性に関する説明書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 緊急時対策所の居住性を確保するための防護措置	2
3.1 換気設備等	2
3.2 生体遮蔽装置	6
3.3 酸素濃度計及び二酸化炭素濃度計	6
3.4 資機材及び要員の交代等	6
3.5 代替電源	6
4. 緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価	8
4.1 線量評価	8
4.2 酸素濃度及び二酸化炭素濃度評価	46
4.3 緊急時対策所の居住性評価のまとめ	52
5. 熱除去の検討	59
5.1 緊急時対策所遮蔽壁入射線量の設定方法	59
5.2 温度上昇の計算方法	59
5.3 温度上昇のまとめ	59
別添 1 緊急時対策所非常用フィルタ装置のフィルタ除去性能の維持について	
別添 2 緊急時対策所遮蔽に係るストリーミングの考慮について	
別紙 1 計算機プログラム（解析コード）の概要	

1. 概要

本説明書は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第46条及び第76条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に基づく緊急時対策所の居住性について、居住性を確保するための基本方針、居住性に係る設備の設計方針、放射線防護措置の有効性を示す評価等を含めて説明するものである。

2. 基本方針

緊急時対策所の居住性を確保する観点から、以下の機能を有する設計とする。

- (1) 緊急時対策所は、一次冷却系統に係る発電用原子炉施設の損壊その他の異常（以下「一次冷却材喪失事故等」という。）に対処するために必要な指示を行うための要員等を収容することができるとともに、それら関係要員が必要な期間にわたり滞在できる設計とする。
- (2) 緊急時対策所は、重大事故等が発生した場合においても当該事故時に対処するために必要な指示を行う要員に加え、原子炉格納容器の破損等による発電所外への放射性物質の拡散を抑制するための対策に対処するために必要な数の要員を含め、重大事故等時に対処するために必要な数の要員を収容することができるとともに、当該事故等時に対処するために必要な指示を行う要員がとどまることができるよう、適切な遮蔽設計及び換気設計を行い、緊急時対策所の居住性を確保する。

緊急時対策所は、放射線管理施設の換気設備（以下「緊急時対策所非常用換気設備」という。）及び生体遮蔽装置（以下「緊急時対策所遮蔽」という。）により居住性を確保する。

緊急時対策所の居住性を確保するためには換気設備を適切に運転し、緊急時対策所内への希ガス等の放射性物質の侵入を低減又は防止する必要がある。このため、放射線管理施設の放射線管理用計測装置により、大気中に放出された放射性物質による放射線量を監視、測定し、換気設備の運転・切替えの確実な判断を行う。

その他の居住性に係る設備として、緊急時対策所内の酸素濃度が活動に支障がない範囲にあることを正確に把握するため、可搬型の酸素濃度計を保管するとともに、二酸化炭素濃度も酸素濃度同様、居住性に関する重要な制限要素であることから、可搬型の二酸化炭素濃度計を保管する。また、緊急時対策所非常用換気設備は、代替電源設備である緊急時対策所用発電機からの給電が可能な設計とする。

これら、居住性を確保するための設備及び防護具の配備、着用等運用面の対策を考慮して被ばく評価並びに緊急時対策所内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度評価

を行い、その結果から、緊急時対策所の居住性確保について評価する。

居住性評価のうち被ばく評価に当たっては、「実用発電用原子炉に係る重大事故時の制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に関する審査ガイド」（以下「審査ガイド」という。）を参照して放射性物質等の評価条件及び評価手法を考慮し、居住性に係る被ばく評価の判断基準を満足できることを評価する。

また、居住性評価のうち緊急時対策所内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度評価に当たっては、「鉱山保安法（昭和24年法律第70号）鉱山保安法施行規則」（平成16年9月27日経済産業省令第96号，最終改正平成26年6月24日経済産業省令第32号）の労働環境における酸素濃度及び二酸化炭素濃度の許容基準に準拠し、許容基準を満足できることを評価する。

3. 緊急時対策所の居住性を確保するための防護措置

緊急時対策所は、必要な要員を収容できるとともに、重大事故等時において、緊急時対策所の気密性並びに換気設備及び生体遮蔽性能とあいまって、想定する放射性物質の放出量等を東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故と同等とし、かつ、緊急時対策所内でのマスク着用，交代要員体制及び安定よう素剤の服用がなく，仮設設備を考慮しない要件においても，緊急時対策所にとどまる要員の実効線量が事故後7日間で100 mSvを超えない設計とする。

居住性に係る被ばく評価では、放射性物質が大気中へ放出されている間は、緊急時対策所換気設備の使用により緊急時対策所内を加圧し、フィルタを通らない空気流入量は考慮しないこととしている。このため、緊急時対策所の建屋（遮蔽含む。）及び緊急時対策所換気設備の性能を維持・管理することで、被ばく評価条件を満足するようにする。また、被ばく評価条件並びに酸素濃度及び二酸化炭素濃度評価条件を満足するよう、緊急時対策所換気設備の機能・性能試験を実施する。

資機材の保管，管理等については，添付資料「V-1-9-3-1 緊急時対策所の機能に関する説明書」に，チェンジングエリアの詳細については，添付資料「V-1-7-2 管理区域の出入管理設備及び環境試料分析装置に関する説明書」に示す。

緊急時対策所の居住性を確保するための設備及び防護具の配備，運用面の対策を以下のとおり講じる。

3.1 換気設備等

緊急時対策所換気設備（緊急時対策所非常用送風機，緊急時対策所非常用フィルタ装置及び緊急時対策所加圧設備）は，重大事故等が発生した場合において，緊急時対策所内及び緊急時対策所内への希ガス等の放射性物質の侵入を低減又は防止し，「3. 緊急時対策所の居住性を確保するための防護措置」に示す居住性に係る被ばく評価の

判断基準を超えない設計とするとともに、緊急時対策所内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度が重大事故等時の対策のための活動に支障がない濃度を確保できる設計とする。

換気設計に当たっては、緊急時対策所の気密性に対して十分な余裕を考慮した設計とするとともに、緊急時対策所内にとどまる要員は、収容する最大人数である100名として設計する。

また、緊急時対策所は、緊急時対策所外の火災により発生するばい煙や有毒ガス及び降下火砕物に対して、外気からの空気の取り込みを一時停止することにより、対策要員を防護する。

重大事故等時に大気中に放出された放射性物質の状況に応じ、緊急時対策所換気設備の確実な運転・切替操作ができるよう、緊急時対策所内にて放射線量を監視できるようにする。

3.1.1 緊急時対策所非常用換気設備

緊急時対策所非常用換気設備（緊急時対策所非常用送風機、緊急時対策所非常用フィルタ装置及び緊急時対策所加圧設備）は、重大事故等時に大気中に放出された放射性物質による放射線被ばくから緊急時対策所内にとどまる要員を防護するため、高性能粒子フィルタ及びよう素用チャコールフィルタを通して外気を取り込むことが可能な設計とし、また緊急時対策所内を正圧に加圧することにより、フィルタを通らない空気の流入を防止する設計とする。

緊急時対策所非常用換気設備の構成図を図4-10に示す。

緊急時対策所非常用換気設備の強度に関する詳細は、添付資料「V-3-5-1-3-1 緊急時対策所換気系加圧設備の強度計算書」に示す。

(1) 居住性確保のための換気設備運転

a. 事故時運転

緊急時対策所非常用送風機及び緊急時対策所非常用フィルタ装置により放射性物質を低減しながら外気を取り入れることができる。

また、緊急時対策所非常用送風機により緊急時対策所内は加圧されるため、緊急時対策所非常用フィルタ装置を通らない空気の流入はない。

b. 空気ポンベによる加圧

緊急時対策所用加圧設備空気ポンベにより緊急時対策所内は加圧されるため、プルーム通過中に緊急時対策所内へ外気が侵入することはない。

(2) 緊急時対策所非常用送風機

緊急時対策所非常用送風機は、緊急時対策所内にとどまる要員の被ばくを低減し、かつ、酸素濃度及び二酸化炭素濃度を活動に支障がない濃度に維持でき、1台で緊急時対策所内を換気するために必要な容量を有する設計とする。容量の設計に当たっては、緊急時対策所内の正圧維持並びに酸素濃度及び二酸化炭素濃度

を維持・抑制するために必要な流量に余裕を考慮する。また、緊急時対策所非常用送風機は、緊急時対策所との接続が速やかに行えるよう、緊急時対策所付近に配備し、一般的に使用される工具を用いて容易かつ確実に接続が可能なようにするとともに、交換ができる設計とする。更に、外気中の放射性物質の濃度に応じて緊急時対策所用加圧設備空気ボンベとの切替えができるよう、緊急時対策所内の操作スイッチによる操作が可能な設計とする。

(3) 緊急時対策所非常用フィルタ装置

緊急時対策所非常用フィルタ装置は、緊急時対策所非常用送風機と同様、1台で必要な容量を有する設計とするとともに、身体汚染検査及び作業服の着替え等を行うための区画（以下「チェンジングエリア」という。）を含め、緊急時対策所内に対し、放射線による悪影響を及ぼさないよう、十分な放射性物質の除去効率及び吸着能力を確保するため、高性能粒子フィルタとよう素用チャコールフィルタを直列2段に配列することで、除去効率を高める設計とする。また、緊急時対策所との接続が速やかに行えるよう、緊急時対策所付近に配備し、一般的に使用される工具を用いて容易かつ確実に接続が可能な設計とするとともに、交換ができる設計とする。

緊急時対策所非常用フィルタ装置の除去効率を表4-14に、緊急時対策所非常用フィルタ装置概略図を図4-11に示す。

a. フィルタ除去効率

緊急時対策所非常用フィルタ装置の高性能粒子フィルタによるエアロゾルの除去効率は、99.99 %以上（フィルタ直列2段構成）となるように設計し、よう素用チャコールフィルタによる除去効率は、有機及び無機よう素99.75 %以上（フィルタ直列2段構成）となるように設計する。

b. フィルタ除去性能の維持等

(a) 除去性能（効率）については、以下の性能検査を定期的実施し、確認する。

- ・よう素除去効率検査
- ・漏えい率検査及び総合除去効率検査

(b) フィルタ仕様（使用環境条件）の範囲内の場所で使用する必要があることから、温度や湿度が通常時に比べて大きく変わることがないように、原子炉格納容器から離れた屋内の適切な場所にて使用する。

(c) 原子炉格納容器破損による放射性物質の想定放出量のうち緊急時対策所への影響量（フィルタ捕集量）に対し、緊急時対策所非常用フィルタ装置は十分な保持容量及び吸着容量を有する設計とする。

(d) 原子炉格納容器から放出され、緊急時対策所非常用フィルタ装置のフィルタに付着する核分裂生成物の崩壊熱により、その性能（除去効率）が低

下しない設計とする。

- (e) 緊急時対策所非常用送風機の入口に「前置フィルタ」及び「中性能フィルタ」を設置することで、粉塵などの影響により、緊急時対策所非常用フィルタ装置が目詰まりし、フィルタの差圧が過度に上昇しない設計とする。

緊急時対策所非常用フィルタ装置のフィルタ除去性能の維持については、別添1「緊急時対策所非常用フィルタ装置のフィルタ除去性能の維持について」に示す。

- c. チェン징ングエリアへの影響

緊急時対策所非常用フィルタ装置は、フィルタ装置自体が放射線源になることを踏まえ、緊急時対策所へ出入りする要員等の被ばく防護を考慮した位置に設置する。

- (4) 緊急時対策所加圧設備

放射性物質放出時、緊急時対策所内に希ガス等の放射性物質が流入することを防ぐため、緊急時対策所用加圧設備空気ポンベにより緊急時対策所内を加圧し、緊急時対策所内にとどまる要員の被ばくの低減を図る。

緊急時対策所用加圧設備空気ポンベは、線量評価における放射性物質の放出継続時間が10時間であることを踏まえ、正圧に加圧でき、かつ、酸素濃度及び二酸化炭素濃度を活動に支障がなく維持するために必要な容量を確保するだけでなく、余裕を含めて14時間の緊急時対策所の加圧を可能とする容量として、320本以上（1本当たりの空気容量が46.7 Lのもの）を配備するものとする。緊急時対策所内の正圧化された室内と周辺エリアとの差圧を監視できる計測範囲として0～100 Paを有する緊急時対策所用差圧計を1個設置する。また、緊急時対策所用加圧設備空気ポンベは、速やかに系統構成できるように、緊急時対策所付近に配備するとともに、容易に交換ができる設計とする。

また、系統に作用する圧力の過度の上昇を適切に防止するため、加圧設備出口に安全弁を設ける設計とする。

3.1.2 放射線管理用計測装置

緊急時対策所内への希ガス等の放射性物質の侵入を低減又は防止するため、換気設備の操作に係る確実な判断ができるように放射線管理施設の放射線管理用計測装置（可搬型モニタリング・ポスト及び緊急時対策所エリアモニタ）により、大気中に放出された放射性物質による放射線量を監視、測定する。

緊急時対策所付近に可搬型モニタリング・ポスト（加圧判断用）を、緊急時対策所内に緊急時対策所エリアモニタを設置し、各々監視することにより、プルーム通過時における換気設備等の操作（換気設備操作、空気ポンベ加圧等）を実施する。

放射線管理用計測装置の仕様の詳細は、添付書類「V-1-7-1 放射線管理用計測装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書」に示す。

なお、可搬型モニタリング・ポストは、放射線管理施設の放射線管理用計測装置を緊急時対策所の設備として兼用する。

3.2 生体遮蔽装置

緊急時対策所遮蔽は、緊急時対策所内にとどまる要員を放射線から防護するための十分な遮蔽厚さを有する設計とし、「3. 緊急時対策所の居住性を確保するための防護措置」に示す居住性に係る被ばく評価の判断基準を超えない設計とする。

緊急時対策所遮蔽の放射線の遮蔽及び熱除去の評価については、「5. 熱除去の検討」に示す。緊急時対策所出入口開口の設計については、別添2「緊急時対策所遮蔽に係るストーリーミングの考慮について」に示す。

3.3 酸素濃度計及び二酸化炭素濃度計

緊急時対策所には、室内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度が重大事故等時の対策のための活動に支障がない範囲にあることを正確に把握できるように酸素濃度計及び二酸化炭素濃度計を保管する。

酸素濃度計及び二酸化炭素濃度計の詳細については、添付書類「V-1-9-3-1 緊急時対策所の機能に関する説明書」に示す。

3.4 資機材及び要員の交代等

緊急時対策所にとどまる要員やプルーム通過後に屋外作業を行う対策要員の被ばく低減措置を行う場合に備えたマスク、安定よう素剤等の防護具類やチェンジングエリアを運営するために必要な資機材を配備する。

重大事故等が発生し、緊急時対策所の外側が放射性物質により汚染したような状況下において、状況に応じて交代する要員や屋外作業を行った対策要員が緊急時対策所内へ汚染を持ち込まないようにチェンジングエリアにて汚染管理を行う。

チェンジングエリアは、原子力災害対策特別措置法第10条特定事象が発生し、災害対策本部長の指示があった場合、あらかじめ配備している資機材により運用する。

資機材の保管、管理等については、添付書類「V-1-9-3-1 緊急時対策所の機能に関する説明書」に、チェンジングエリアの詳細は、添付書類「V-1-7-2 管理区域の出入管理設備及び環境試料分析装置に関する説明書」に示す。

3.5 代替電源

緊急時対策所非常用送風機は、常用電源設備からの給電が喪失した場合においても

代替電源設備である「緊急時対策所用発電機」から給電できる設計とする。

代替電源の詳細については、添付書類「V-1-9-1-1 非常用発電装置の出力の決定に関する説明書」及び添付書類「V-1-9-3-1 緊急時対策所の機能に関する説明書」に示す。

4. 緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価

4.1 線量評価

4.1.1 評価方針

(1) 判断基準

重大事故等時の緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に当たっては、審査ガイドに基づき、評価を行う。

判断基準は、解釈の第76条の規定のうち、以下の項目を満足することを確認する。

第76条（緊急時対策所）

1 第1項及び第2項の要件を満たす緊急時対策所とは、以下に掲げる措置又はこれらと同等以上の効果を有する措置を行うための設備を備えたものをいう。

e) 緊急時対策所の居住性については、次の要件を満たすものであること。

① 想定する放射性物質の放出量等は東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故と同等とすること。

② プルーム通過時等に特別な防護措置を講じる場合を除き、対策要員は緊急時対策所内でのマスクの着用なしとして評価すること。

③ 交代要員体制、安定ヨウ素剤の服用、仮設設備等を考慮してもよい。ただし、その場合は、実施のための体制を整備すること。

④ 判断基準は、対策要員の実効線量が7日間で100 mSvを超えないこと。

(2) 想定事故

想定する事故については、審査ガイドに従い「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故と同等」とする。

(3) 被ばく経路

緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価では、次の被ばく経路による被ばく線量を評価する。図4-1に、緊急時対策所の居住性に係る被ばく経路を示す。

a. 被ばく経路① 原子炉建屋内の放射性物質からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による外部被ばく

b. 被ばく経路② 放射性雲中の放射性物質からのガンマ線による外部被ばく（クラウドシャイン）

- c. 被ばく経路③ 地表面に沈着した放射性物質からのガンマ線による外部被ばく（グラウンドシャイン）
- d. 被ばく経路④ 緊急時対策所内へ外気から取り込まれた放射性物質からのガンマ線による外部被ばく及び放射性物質の吸入摂取による内部被ばく

なお、本評価においては、対策要員の交代は考慮しないものとする。

(4) 大気中への放出量評価

大気中に放出される放射性物質の量は、審査ガイドに従い設定する。

a. 事故直前の炉内蓄積量

事故直前の炉内蓄積量の計算には、燃焼計算コードORIGEN2コードを使用する。計算に当たっては、9×9燃料炉心の代表的な燃焼度、比出力、初期濃縮度及び運転履歴を考慮して炉心内蔵量を計算する。

- ・燃焼度 : 55000 MWd/t（燃焼期間は、5サイクルの平衡炉心を想定）
- ・比出力 : 26 MW/t
- ・初期濃縮度 : 3.8 %
- ・核データライブラリ : JENDL3.2（BWR STEP-3 VR=0 %, 60 GWd/t）

以上により計算した標準9×9燃料炉心の単位熱出力当たりの炉内蓄積量を表4-1に示す。

事故直前の炉内蓄積量は、この値に原子炉熱出力である3293 MWを掛け合わせて計算する。

b. 大気中への放出量

事故直前の炉心内蔵量に対する放射性物質の大気中への放出割合は、原子炉格納容器が破損したと考えられる福島第一原子力発電所事故と同等と想定する。

ここで、放射性物質の大気中への放出開始時刻は、事故（原子炉スクラム）発生24時間後と仮定する。

希ガス類 : 97 %

よう素類 : 2.78 %

(C s I : 95 %, 無機よう素 : 4.85 %, 有機よう素 : 0.15 %)

C s 類 : 2.13 %

T e 類 : 1.47 %

B a 類 : 0.0264 %

R u 類 : 7.53×10^{-8} %

C e 類 : 1.51×10^{-4} %

L a 類 : 3.87×10^{-5} %

以上により計算した大気中への放出量を表4-2に示す。

c. 原子炉建屋内の存在量

NUREG-1465*の炉心内蔵量に対する原子炉格納容器内への放出割合を基に原子炉建屋内に放出された放射性物質を設定する。

ここで、放射性物質の炉内蓄積量に対して、事故発生後24時間後に以下の0.3倍の放射性物質が原子炉建屋内へ放出されるものとする。

希ガス類 : 100 %

よう素類 : 61 %

C s 類 : 61 %

T e 類 : 31 %

B a 類 : 12 %

R u 類 : 0.5 %

C e 類 : 0.55 %

L a 類 : 0.52 %

なお、希ガス類については大気中への放出分を考慮し、炉内蓄積量の97 % (福島第一原子力発電所事故と同等と想定)が大気中へ放出されるものとし、残りが原子炉建屋内に浮遊するものとする。

以上により計算した原子炉建屋内の放射性物質の存在量を表4-3に示す。

注記 * : "Accident Source Terms for Light-Water Nuclear Power Plants", NUREG-1465, 1995/02

(5) 大気拡散の評価

重大事故等時の緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に使用する相対濃度及び相対線量は、旧原子力安全・保安院、平成21・07・27原院第1号「原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法について(内規)」(平成21年8月12日)及び「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針(昭和57年1月28日原子力安全委員会決定、一部改訂平成13年3月29日原子力安全委員会)」(以下「気象指針」という。)に基づき評価する。

a. 放射性物質の大気拡散

(a) 放射性物質の空気中の濃度は、放出源高さ及び気象条件に応じて、空間濃度が正規分布になると仮定したガウスプルームモデルを適用して計算する。

(b) 風向、風速、大気安定度及び降雨の観測項目は、現地において1年間(2005年4月～2006年3月)観測して得られた気象資料を用いる。

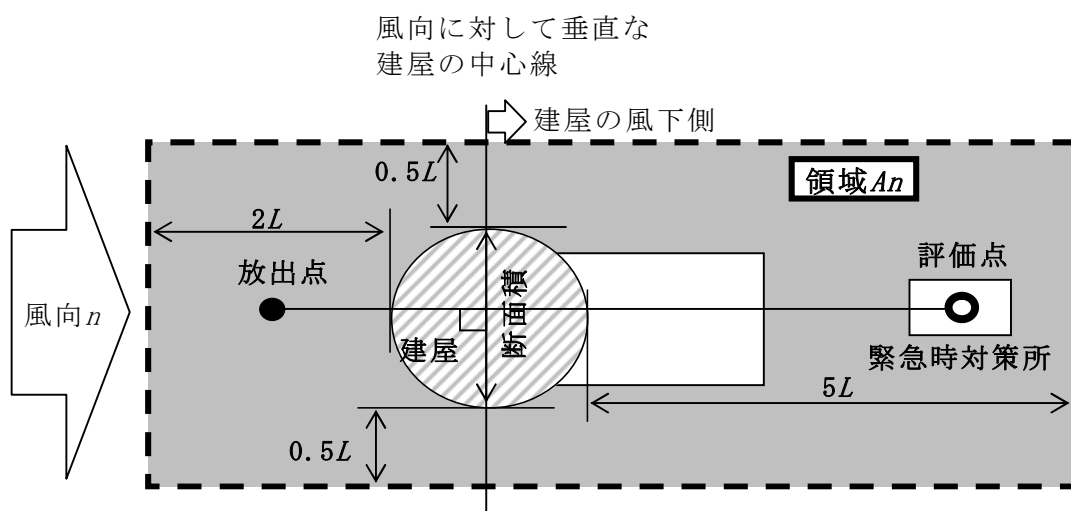
(c) 緊急時対策所の居住性評価で特徴的な放出点から近距離の建屋の影響を受ける場合には、建屋による巻き込み現象を考慮した大気拡散による拡散

パラメータを用いる。

- (d) 原子炉建屋の建屋後流での巻き込みが生じる条件としては、放出点と巻き込みが生じる建屋及び評価点との位置関係について、次に示す条件すべてに該当した場合、放出点から放出された放射性物質は建屋の風下側で巻き込みの影響を受け拡散し、評価点に到達するものとする。

イ. 放出源の高さが建屋の高さの2.5倍に満たない場合

- ロ. 放出源と評価点を結んだ直線と平行で放出源を風上とした風向 n について、放出源の位置が風向 n と建屋の投影形状に応じて定まる一定の範囲（領域 A_n ）の中にある場合



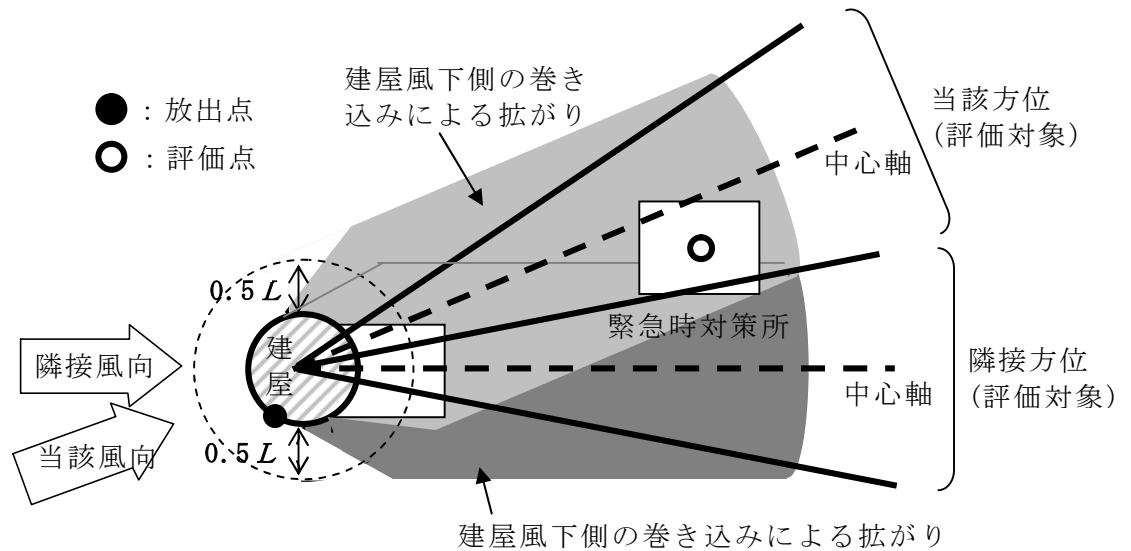
注： L は風向に垂直な建屋又は建屋群の投影面高さ又は投影幅の小さい方

- ハ. 評価点が、巻き込みを生じる建屋の風下側にある場合

上記の三つの条件のうちの一つでも該当しない場合には、建屋の影響はないものとして大気拡散評価を行うものとする。

緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価においては、放射性物質の放出源として原子炉建屋を仮定することから、建屋の影響があるものとして評価を行う。

- (e) 緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価では、建屋の風下後流側での広範囲に及ぶ乱流混合域が顕著であることから、放射性物質濃度を計算する当該着目方位としては、放出源と評価点を結ぶラインが含まれる1方位のみを対象とするのではなく、次の図に示すように、建屋の後流側の拡がりの影響が評価点に及ぶ可能性のある複数の方位を対象とする。



b. 建屋による巻き込みの評価条件

(a) 巻き込みを生じる代表建屋

- イ. 原子炉建屋の近辺では、隣接する複数の建屋の風下側で広く巻き込みによる拡散が生じるものとする。
- ロ. 巻き込みを生じる建屋として、原子炉建屋、タービン建屋、サービス建屋及び廃棄物処理建屋等、原則として放出源の近隣に存在するすべての建屋が対象となるが、巻き込みの影響が最も大きいと考えられる一つの建屋を代表建屋とすることは、保守的な結果を与える。

(b) 放射性物質濃度の評価点

- イ. 緊急時対策所内には、次の(イ)又は(ロ)によって、緊急時対策所が属する建屋の表面から放射性物質が侵入するとする。

(イ) 事故時に外気取入れを行う場合は、主に給気口を介しての外気取入及び室内への直接流入

(ロ) 事故時に外気の入りを遮断する場合は、室内への直接流入

- ロ. 建屋による巻き込みの影響が生じる場合、緊急時対策所が属する建屋の近辺ではほぼ全般にわたり、代表建屋による巻き込みによる拡散の効果が及んでいると考えられる。

このため、緊急時対策所換気設備の非常時の運転モードに応じて、次の(イ)又

は(ロ)によって、緊急時対策所が属する建屋の表面の濃度を計算する。

- (イ) 評価期間中も給気口から外気を取入れることを前提とする場合は、給気口が設置されている緊急時対策所が属する建屋の表面とする。
- (ロ) 評価期間中は外気を遮断することを前提とする場合は、緊急時対策所が属する建屋の各表面（屋上面又は側面）のうちの代表面（代表評価面）を選定する。

ハ. 代表面における評価点

- (イ) 建屋の巻き込みの影響を受ける場合には、緊急時対策所の属する建屋表面での濃度は風下距離の依存性は小さくほぼ一様と考えられるので、評価点は厳密に定める必要はない。

屋上面を代表とする場合、例えば緊急時対策所の中心点を評価点とするのは妥当である。

- (ロ) 代表評価面を、緊急時対策所が属する建屋の屋上面とすることは適切な選定である。

また、緊急時対策所が屋上面から離れている場合は、緊急時対策所が属する建屋の側面を代表評価面として、それに対応する高さでの濃度を対で適用することも適切である。

- (ハ) 屋上面を代表面とする場合は、評価点として緊急時対策所の中心点を選定し、対応する風下距離から拡散パラメータを算出してもよい。

また、 $\sigma_y=0$ 及び $\sigma_z=0$ として、 σ_{y0} 、 σ_{z0} の値を適用してもよい。

(c) 着目方位

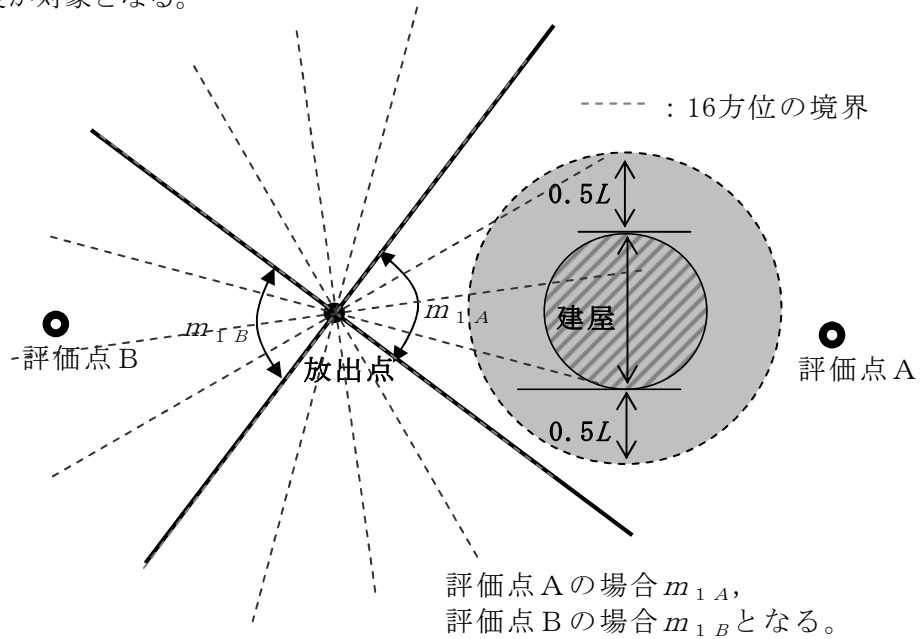
緊急時対策所の被ばく評価の計算では、建屋の風下後流側での広範囲に及ぶ乱流混合域が顕著であることから、放射性物質濃度を計算する当該着目方位としては、放出源と評価点を結ぶラインが含まれる 1 方位のみを対象とするのではなく、4.1.1 (5) a. (e) 項の図に示すように、建屋の後流側の拡がりの影響が評価点に及ぶ可能性のある複数の方位を対象とする。

評価対象とする方位は、放出された放射性物質が建屋の影響を受けて拡散すること及び建屋の影響を受けて拡散された放射性物質が評価点に届くことの両方に該当する方位とする。

具体的には、全 16 方位について以下の三つの条件に該当する方位を選定し、すべての条件に該当する方位を評価対象とする。

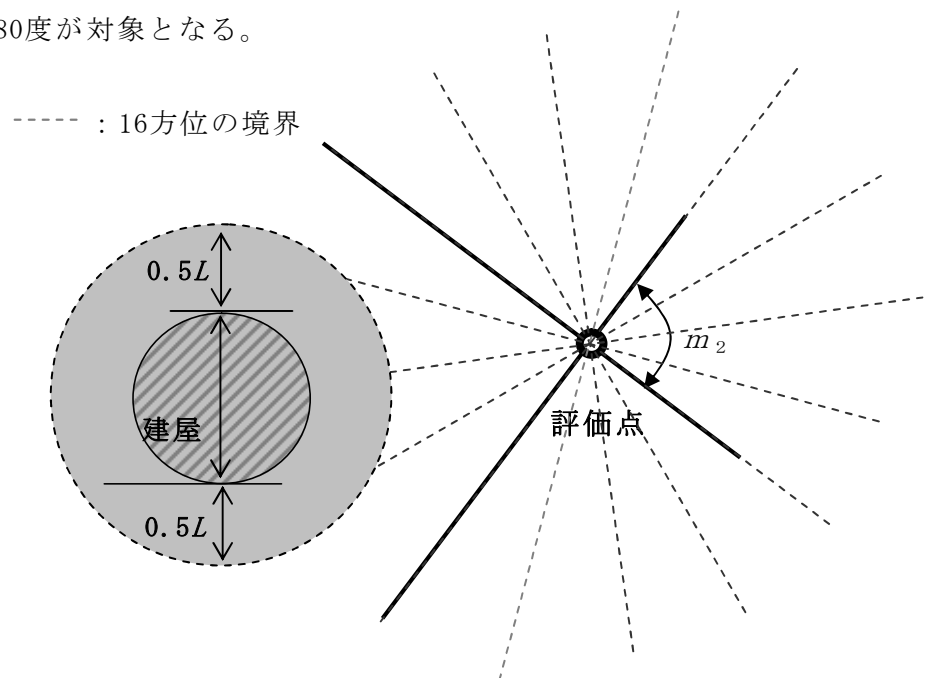
- イ. 放出点が評価点の風上にあること。
- ロ. 放出点から放出された放射性物質が、建屋の風下側に巻き込まれるような範囲に、評価点が存在すること。この条件に該当する風向の方位 m_1 の選定には、次の図のような方位を用いることができる。本図の対象となる二つの風向の方位の範囲 m_{1A} 、 m_{1B} のうち、放出点が評価点の風上となるどちらか一方の範囲が評価の対象となる。放出点が建屋に接近し、0.5L の拡散領域（次の図のハッチング

部分) の内部にある場合は、風向の方位 m_1 は放出点が評価点の風上となる180度が対象となる。



注：Lは風向に垂直な建屋の投影面の高さ又は投影面の幅のうちの小さい方

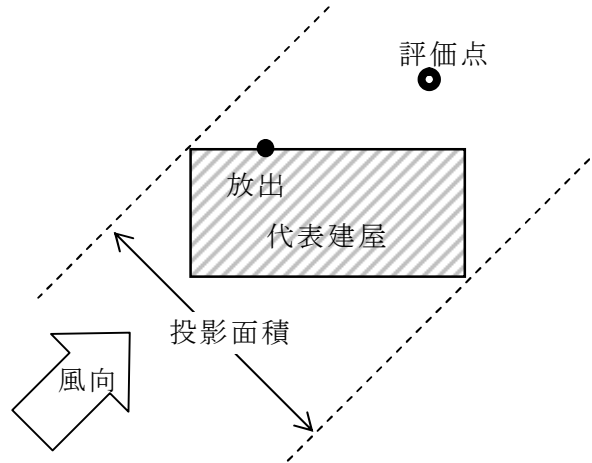
ハ. 建屋の風下側で巻き込まれた大気が評価点に到達すること。この条件に該当する風向の方位 m_2 の選定には、次の図に示す方法を用いることができる。評価点が建屋に接近し、0.5Lの拡散領域(次の図のハッチング部分)の内部にある場合は、風向の方位 m_2 は放出点が評価点の風上となる180度が対象となる。



注：Lは風向に垂直な建屋の投影面の高さ又は投影面の幅のうちの小さい方
上図は、断面が円筒形状の建屋を例として示しているが、断面形状が矩形の建屋についても、同じ要領で評価対象の方位を決定することができる。

(d) 建屋投影面積

イ. 下図に示すとおり，風向に垂直な代表建屋の投影面積を求め，放射性物質の濃度を求めるために大気拡散式の入力とする。



ロ. 建屋の影響がある場合の多くは複数の風向を対象に計算する必要があるので，風向の方位ごとに垂直な投影面積を求める。ただし，対象となる複数の方位の投影面積の中で，最小面積を，すべての方位の計算の入力として共通に適用することは，合理的であり保守的である。

ハ. 風下側の地表面から上側の投影面積を求め大気拡散式の入力とする。方位によって風下側の地表面の高さが異なる場合は，方位ごとに地表面高さから上側の面積を求める。また，方位によって，代表建屋とは別の建屋が重なっている場合でも，原則地表面から上側の代表建屋の投影面積を用いる。

c. 相対濃度及び相対線量の評価方法

(a) 大気拡散の基本式

放射性物質の大気拡散の計算式は，気象指針に記載の計算式を適用する。

イ. 建屋の影響がない場合の基本拡散式

放射性物質の空气中濃度 (χ) 又は放出源における放出率で規格化した相対濃度 (χ / Q) は，放出源の高さ，風速及び大気安定度に応じて，空間濃度分布が水平方向及び鉛直方向ともに正規分布になると仮定したガウスプルームモデルを適用して計算する。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \cdot \exp\left(-\lambda \frac{x}{U}\right) \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right] \quad \dots (4.1)$$

ここで，

$\chi(x, y, z)$: 評価点 (x, y, z) における放射性物質の空气中濃度 (Bq/m³)

- Q : 放射性物質の放出率 (Bq/s)
 U : 風速 (m/s)
 λ : 放射性物質の崩壊定数 (1/s)
 H : 放出源の高さ (m)
 z : 評価点の高さ (m)
 σ_y : 平地での濃度分布の y 方向の拡がりパラメータ (m)
 σ_z : 平地での濃度分布の z 方向の拡がりパラメータ (m)

拡散式の座標は、放出源直下の地表を原点に、風下方向を x 軸、その直角方向を y 軸、鉛直方向を z 軸とする直角座標である。

ここで通常、放射性物質の放射性崩壊による減衰項は考慮しない。すなわち、(4.1)式で、放射性崩壊による減衰項を次のとおりとする。

$$\exp\left(-\lambda \frac{x}{U}\right) = 1$$

以上より、放射性崩壊による減衰項を 1 とすると、(4.1)式は以下のようになる。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[\exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right\}\right] \quad \dots (4.2)$$

なお、濃度分布の拡がりパラメータ σ_y 及び σ_z は、気象指針のとおりとする。

ロ. 建屋の影響がある場合の基本拡散式

建屋の影響がある場合には、放射性物質の空气中濃度 (χ) 又は放出源における放出率で規格化した相対濃度 (χ/Q) は、平地における大気拡散による拡がりパラメータである σ_y 及び σ_z に、建屋の風下側の巻き込みによる初期拡散パラメータ σ_{y0} 及び σ_{z0} を加えた総合的な拡散パラメータである Σ_y 及び Σ_z を適用して計算する。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \cdot \Sigma_y \cdot \Sigma_z \cdot U} \cdot \exp\left(-\lambda \frac{x}{U}\right) \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\Sigma_y^2}\right) \cdot \left[\exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\Sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\Sigma_z^2}\right\}\right] \quad \dots (4.3)$$

$$\Sigma_y^2 = \sigma_{y0}^2 + \sigma_y^2 \quad , \quad \Sigma_z^2 = \sigma_{z0}^2 + \sigma_z^2$$

$$\sigma_{y0}^2 = \sigma_{z0}^2 = \frac{cA}{\pi}$$

ここで、

Σ_y : 建屋の影響を加えた濃度分布の y 方向の拡がりパラメータ (m)

Σ_z : 建屋の影響を加えた濃度分布の z 方向の拡がりパラメータ (m)

σ_{y0} : 建屋の風下側の巻き込みの影響による y 方向の初期拡散パラメータ (m)

σ_{z0} : 建屋の風下側の巻き込みの影響による z 方向の初期拡散パラメータ (m)

A : 建屋の風向方向の投影面積 (m²)

c : 形状係数 (-)

ここで、(4.1)式の場合と同様に、放射性崩壊による減衰項を 1 とすると、(4.3)式は次のようになる。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \cdot \Sigma_y \cdot \Sigma_z \cdot U} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\Sigma_y^2}\right) \cdot \left[\exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\Sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\Sigma_z^2}\right\} \right] \quad \dots (4.4)$$

また、(4.4)式において、放射源と評価点での高度差による濃度の相違を考えないで、保守的に鉛直方向の最大濃度で計算する場合は、次式を用いる。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \cdot \Sigma_y \cdot \Sigma_z \cdot U} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\Sigma_y^2}\right) \cdot \left[1 + \exp\left\{-\frac{(2H)^2}{2\Sigma_z^2}\right\} \right] \quad \dots (4.5)$$

(4.5)式は、(4.4)式で、 $z = H$ とすれば得られる。

(b) 相対濃度の計算方法

相対濃度 (χ / Q) は、気象指針に基づき、次式により計算する。

$$\chi / Q = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (\chi / Q)_{i \cdot d} \delta_i \quad \dots (4.6)$$

ここで、

χ / Q : 実効放出継続時間中の相対濃度 (s/m³)

T : 実効放出継続時間 (h)

$(\chi / Q)_i$: 時刻 i における相対濃度 (s/m³)

${}_d\delta_i$: 時刻 i において風向が当該方位 d にあるとき ${}_d\delta_i = 1$
 時刻 i において風向が他の方位にあるとき ${}_d\delta_i = 0$

この場合、 $(\chi / Q)_i$ は、実効放出継続時間の長短、建屋等の影響の有無に応じて、次により計算する。なお、気象指針に基づき、実効放出継続時間が 8 時間を超える場合は長時間放出として取り扱う。

イ. 建屋の影響がない場合の計算式

(イ) 短時間放出の場合

短時間放出の場合、 $(\chi / Q)_i$ は、風向が方位内で一定であり、かつ、放出

源から評価点を結ぶライン上が水平方向の濃度分布の最大値となると仮定して、次式により計算する。

$$(\chi/Q)_i = \frac{1}{2\pi \cdot \sigma_{yi} \cdot \sigma_{zi} \cdot U_i} \cdot [\exp\{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_{zi}^2}\} + \exp\{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_{zi}^2}\}] \dots (4.7)$$

ここで、

σ_{yi} : 時刻 i における濃度分布の y 方向の拡がりパラメータ (m)

σ_{zi} : 時刻 i における濃度分布の z 方向の拡がりパラメータ (m)

U_i : 時刻 i における風速 (m/s)

(ロ) 長時間放出の場合

長時間放出の場合、 $(\chi/Q)_i$ の計算に当たっては、放射性物質の全量が 1 方位内に一様に分布すると仮定して次式により計算する。

$$(\chi/Q)_i = \frac{2.032}{2\sigma_{zi} \cdot U_i \cdot x} \cdot [\exp\{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_{zi}^2}\} + \exp\{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_{zi}^2}\}] \dots (4.8)$$

ここで、

x : 放出点から着目地点までの距離 (m)

ロ. 建屋の影響がある場合の計算式

建屋の影響がある場合には、評価点を含む建屋の風下側では、放射性物質の濃度が建屋の投影面積に応じた拡がりをもって分布するものとして計算する。

(イ) 短時間放出の場合

建屋の影響がない場合と同様、短時間放出の計算の場合には保守的に水平濃度分布の中心軸上に評価点が存在し風向が一定であるものとして、次式によって濃度分布の最大値を計算する。

$$(\chi/Q)_i = \frac{1}{2\pi \cdot \Sigma_{yi} \cdot \Sigma_{zi} \cdot U_i} \cdot [\exp\{-\frac{(z-H)^2}{2\Sigma_{zi}^2}\} + \exp\{-\frac{(z+H)^2}{2\Sigma_{zi}^2}\}] \dots (4.9)$$

$$\Sigma_{yi} = \sqrt{\sigma_{yi}^2 + \frac{cA}{\pi}} \quad , \quad \Sigma_{zi} = \sqrt{\sigma_{zi}^2 + \frac{cA}{\pi}}$$

ここで、

Σ_{yi} : 時刻 i における建屋の影響を加えた濃度分布の y 方向の拡がりパラメータ (m)

Σ_{zi} : 時刻 i における建屋の影響を加えた濃度分布の z 方向の拡がりパラメータ (m)

A : 建屋の風向方向の投影面積 (m²)

c : 形状係数 (-)

なお、(4.9)式において、放出源と評価点での高度差による濃度の相違を考えないで、保守的に鉛直方向の最大濃度で計算する場合は、次式を用いる。

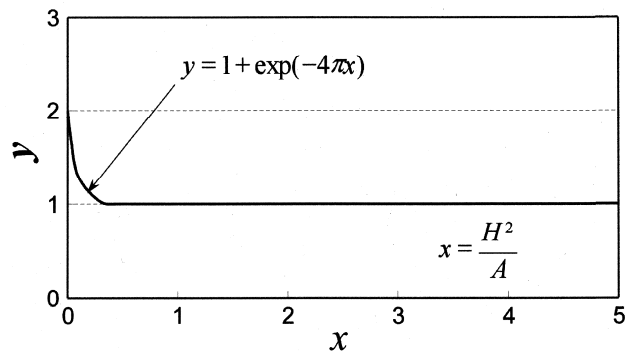
$$(\chi/Q)_i = \frac{1}{2\pi \cdot \sum y_i \cdot \sum z_i \cdot U_i} \cdot [1 + \exp\{-\frac{(2H)^2}{2\sum z_i^2}\}] \dots (4.10)$$

(4.10)式は、(4.9)式で、 $z = H$ とすれば得られる。

更に、放出源高さが地表面と比較して十分高い場合、地表面からの反射による濃度の寄与は小さくなるため、(4.10)式において地表面の反射効果を示す右辺の指数減衰項を無視することができる。よって、(4.10)式は、次式に簡素化することができる。

$$(\chi/Q)_i = \frac{1}{2\pi \cdot \sum y_i \cdot \sum z_i \cdot U_i} \dots (4.11)$$

放出源の高さでの濃度を評価する場合には、建屋屋上面での評価を含め、下図によって、具体的に減衰項が無視できることが確認できる。この減衰項は、地上面での反射による影響である。



(ロ) 長時間放出の場合

長時間放出の場合には、建屋の影響のない場合と同様に、1方位内で平均化した濃度として求める。

ただし、建屋の影響による拡がりの幅が風向の1方位の幅よりも拡がり隣接の方位にまで及ぶ場合には、建屋の影響がない場合の(4.8)式を用いて放射性物質の拡がりの全量を計算し1方位の幅で平均化処理すると、計算結果は、短時間放出の(4.9)式で得られる最大濃度を超える逆転現象を示す場合がある。

逆転現象が生じたときは、長時間放出の場合でも短時間の計算式によって最大濃度を求める。

(c) 相対線量の計算方法

大気中に放出された放射性物質に起因する放射性雲からのガンマ線による

全身に対する線量を計算するために、空気カーマを用いた相対線量を計算する。

空気カーマから全身に対しての線量への換算係数は、1 Sv/Gy とする。評価点 (x, y, 0) における空気カーマ率は、次式によって計算する。

$$D = K_1 \cdot E \cdot \mu_{en} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-\mu r}}{4\pi r^2} B(\mu r) \chi(x', y', z') dx' dy' dz' \quad \dots \quad (4.12)$$

ここで、

D : 評価点 (x, y, 0) における空気カーマ率 (μ Gy/s)

K_1 : 空気カーマ率への換算係数 $\left(\frac{\text{dis} \cdot \text{m}^3 \cdot \mu \text{ Gy}}{\text{MeV} \cdot \text{Bq} \cdot \text{s}} \right)$

E : ガンマ線の実効エネルギー (MeV/dis)

μ_{en} : 空気に対するガンマ線の線エネルギー吸収係数 (1/m)

μ : 空気に対するガンマ線の線減衰係数 (1/m)

r : (x', y', z') から (x, y, 0) までの距離 (m)

$B(\mu r)$: 空気に対するガンマ線の再生係数 (-)

$$B(\mu r) = 1 + \alpha(\mu r) + \beta(\mu r)^2 + \gamma(\mu r)^3$$

ただし、 μ_{en} , μ , α , β , γ については、0.5 MeVのガンマ線に対する値を用い、以下のとおりとする。

$$\mu_{en} = 3.84 \times 10^{-3} (\text{m}^{-1}), \quad \mu = 1.05 \times 10^{-2} (\text{m}^{-1})$$

$$\alpha = 1.000, \quad \beta = 0.4492, \quad \gamma = 0.0038$$

$\chi(x', y', z')$: 放射性雲中の点 (x', y', z') における濃度 (Bq/m³)

なお、 $\chi(x', y', z')$ は、c. (a)項の大気拡散の基本式に示される「イ.

建屋の影響がない場合の基本拡散式」の(4.2)式及び「ロ. 建屋の影響がある場合の基本拡散式」の(4.4)式により計算する。

d. 評価結果

重大事故等時の緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に使用する大気拡散評価条件を表 4-4 に示す。

重大事故等時の緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に使用する相対濃度 (χ/Q) 及び相対線量 (D/Q) の評価結果を下表に示す。

項 目		評価条件
緊急時対策所 (滞在時)	χ / Q (s/m ³)	1.1×10^{-4}
	D / Q (Gy/Bq)	6.1×10^{-19}
グランドシャイン	χ / Q (s/m ³)	1.1×10^{-4}

4.1.2 線量計算

(1) 実効線量の評価

- a. 被ばく経路①（原子炉建屋内の放射性物質からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による被ばく）

重大事故等時に原子炉建屋内に浮遊する放射性物質からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による対策要員の実効線量は、施設の位置、建屋の配置、形状等から評価する。以下、評価条件及び評価結果を示す。

(a) 評価条件

イ. 線源強度

線源強度は、「4.1.1(4) 大気中への放出量評価」のc.項に記述する原子炉建屋内の存在量に基づき、次のとおり求める。

- (イ) 重大事故等時に炉心から原子炉格納容器内に放出された放射性物質は、原子炉格納容器から原子炉建屋（二次格納施設）内に放出される。この二次格納施設内の放射性物質を直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の線源とする。

- (ロ) 二次格納施設内の放射性物質は自由空間内に均一に分布するものとする。

以上、表4-5に二次格納施設内に浮遊する放射性物質による事故後7日間の積算線源強度を示す。

ロ. 幾何条件

直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線評価における原子炉建屋の評価モデルを図4-4及び図4-5に示す。直接ガンマ線の線源範囲は、原子炉建屋の地下1階以上*1とし、保守的に各階の二次格納施設の東西南北最大幅をとることとする。スカイシャインガンマ線の線源範囲は、原子炉建屋運転階のみ*2とする。原子炉建屋は保守的に二次遮蔽のみを考慮する。また、中央制御室廻りは、自室の壁、床、天井を考慮する。ここで、壁厚は、各階ごとに東西南北をそれぞれ最小厚さで代表する。

また、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線評価における緊急時対策所の評価モデルを図4-6に示す。二次遮蔽のコンクリート密度は東海第二発電所建設時の骨材（砂，砂利）配合記録より、日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説「原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事（JASS 5N）」に基づき乾燥単位容積質量として評価した 2.0 g/cm^3 とする。緊急時対策所の遮蔽体として、緊急時対策所の壁及び天井を考慮し、緊急時対策所のコンクリート躯体形状を模擬する。評価で考慮する原子炉建屋、緊急時対策所の壁及び天井は、公称値からマイナス側許容差（-5 mm）を

引いた値とする。

注記 *1：地下階は外壁厚さが厚く，地面にも遮られるため十分無視できる。

*2：原子炉建屋運転階の床はコンクリート厚さが厚く，下層階からの放射線を十分に遮蔽している。したがって，建屋天井から放射されるガンマ線を線源とするスカイシャインガンマ線の評価では，下層階に存在する放射性物質からの放射線の影響は十分小さいため，線源として無視できる。

ハ. 評価点

評価点は，緊急時対策所内の作業エリアを想定し，**図4-4から図4-6に示すように，線量結果が厳しくなるよう**原子炉建屋から最短距離として，直接ガンマ線は緊急時対策所の**原子炉建屋側の壁内面**，スカイシャインガンマ線は天井下面とする。

二. 計算コード

直接ガンマ線については，QAD-CGGP2Rコードを用い，スカイシャインガンマ線は，ANISN及びG33-GP2Rコードを用いる。

(b) 評価結果

以上の条件に基づき評価した原子炉建屋内の放射性物質からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による実効線量を表4-6に示す。

b. 被ばく経路②（放射性雲中の放射性物質のガンマ線による被ばく）

大気中に放出された放射性物質からのガンマ線による緊急時対策所内での対策要員の外部被ばく線量を以下に評価する。

(a) 評価条件

イ. 放射性物質の放出量

放射性物質の大気中への放出量は，「4.1.1(4) 大気中への放出量評価」の「b. 大気中への放出量」に基づくものとする。

ロ. 大気拡散条件

線量評価に使用する相対線量（D/Q）は，「4.1.1(5) 大気拡散の評価」の「d. 評価結果」に示した下表の値を使用する。

D/Q (Gy/Bq)	6.1×10^{-19}
----------------	-----------------------

(b) 評価方法

大気中に放出された放射性物質からのガンマ線による室内作業時の外部被ばく線量は，大気中への放出量に相対線量を乗じて計算した値に，遮蔽壁による減衰効果を考慮して計算する。

$$H_{\gamma} = \sum_i \{Q_i \cdot D/Q \cdot K\} \cdot F(x)$$

ここで、

H_{γ} : 放射性物質からのガンマ線による外部被ばく線量 (Sv)

K : 空気カーマから実効線量への換算係数 (1 Sv/Gy)

D/Q : 相対線量 (Gy/Bq)

Q_i : 核種*i*の大気中への放出量 (Bq)

(ガンマ線実効エネルギー0.5 MeV換算値)

$F(x)$: 遮蔽壁厚さ x における減衰率 (-)

ここで、緊急時対策所の遮蔽壁厚さ (コンクリート99 cm*) における減衰率は、大気中への放出量を線源として、QAD-CGGP2Rコードにより計算した下表の値を使用する。

コンクリートの 減衰率	希ガス	2×10^{-5}
	希ガス以外	6×10^{-5}

注記 * : 遮蔽壁厚さは、緊急時対策所外壁 (50 cm) 及び災害対策本部室周囲の遮蔽壁 (-50 cm) の公称値からそれぞれマイナス側許容差 (-5 mm) を引いた値を示す。

(c) 評価結果

放射性雲中の放射性物質からのガンマ線による実効線量を表4-7に示す。

- c. 被ばく経路③ (地表面に沈着した放射性物質のガンマ線による外部被ばく)
- 大気中へ放出され地表面に沈着した放射性物質からのガンマ線 (グランドシヤイン) による緊急時対策所での外部被ばくによる対策要員の実効線量は、評価期間中の大気中への放射性物質の放出量を基に大気拡散効果、地表沈着効果及び4.1.2(1)項の実効線量の評価の「a. 被ばく経路① (原子炉建屋内の放射性物質からの直接ガンマ線及びスカイシヤインガンマ線による被ばく)」で考慮した緊急時対策所の遮蔽体によるガンマ線の遮蔽効果を考慮して評価する。

(a) 放射性物質の地表沈着量

大気中へ放出された放射性物質の地表面への沈着量評価では、地表面への乾性沈着及び降雨による湿性沈着を考慮して地表面沈着濃度を計算する。

イ. 放射性物質の放出量

放射性物質の大気中への放出量は、「4.1.1(4) 大気中への放出量評価」の「b. 大気中への放出量」に基づくものとする。

ロ. 大気拡散条件

線量評価に使用する相対濃度 (χ/Q) は、「4.1.1(5) 大気拡散の評価」の「d. 評価結果」に示した下表の値を使用する。

χ / Q (s/m ³)	1.1×10^{-4}
-----------------------------------	----------------------

ハ. 地表面への沈着速度

沈着速度は、有機よう素はNRPB-R322*¹を参考として0.001 cm/s、有機よう素以外はNUREG/CR-4551*²を参考として0.3 cm/sと設定し、湿性沈着を考慮した沈着速度は、線量目標値評価指針の記載（降水時における沈着率は乾燥時の2～3倍大きい値となる）を参考に、保守的に乾性沈着速度の4倍*³として、有機よう素は0.004 cm/s、有機よう素以外は1.2 cm/sとする。

注記 *1：NRPB-R322：Atmospheric Dispersion Modelling Liaison Committee, Annual Report 1998/99

*2：J.L. Sprung 等：Evaluation of Severe Accident Risks: Quantification of Major Input Parameters, NUREG/CR-4551 Vol.2 Rev.1 Part 7, 1990

*3：降雨沈着における空气中濃度鉛直分布の最大値等を想定した係数

二. 地表面沈着濃度の評価

評価期間中の地表面沈着濃度は、以下により計算する。

$$GC_i = \frac{V_G \cdot \chi / Q \cdot f \cdot Q_i}{\lambda_i} \cdot (1 - e^{-\lambda_i \cdot T})$$

ここで、

GC_i : 核種iの地表面沈着濃度（積算値）（Bq/m²）

V_G : 沈着速度（m/s）

χ / Q : 相対濃度（s/m³）

f : 沈着した放射性物質のうち残存する割合（1.0）

Q_i : 核種iの積算放出量（Bq）

λ_i : 核種iの崩壊定数（1/s）

T : 被ばく評価期間（ 5.184×10^5 s）[当初24時間を除く6日間（24 h～168 h）]

以上により計算した、地表面沈着濃度を表4-8に示す。

(b) 実効線量評価条件

イ. 線源強度

重大事故等時、大気中へ放出され地表面及び建屋屋上に沈着した放射性物質を線源とし、地表面等に均一に分布しているものとする。グランドシヤイン線源強度は表4-9に示す事故後7日間の積算値を用いる。

ロ. 幾何条件

グラウンドシャイン評価モデルを図4-7に示す。線源範囲は、緊急時対策所中心から東西南北400 m*までとする。本評価では、緊急時対策所建屋の屋上面、緊急時対策所建屋の外側の地表面の2つの範囲に分割して評価する。なお、地表面は緊急時対策所屋上下面レベルと同一の高さにモデル化する。

注記 * : JAEA-Technology 2011-026「汚染土壌の除染領域と線量低減効果の検討」において、評価対象から400 m離れた位置の線源が及ぼす影響度は1 %以下である。これより、評価点から片側400 mまでを線源領域とした。

ハ. 評価点

評価点は緊急時対策所を想定し、図4-7に示すように、上下方向は線量結果が厳しくなる緊急時対策所屋上の下面位置を、水平方向は屋外に沈着した放射性物質からの線量が高くなる緊急時対策所の壁内面位置に設定した。

二. 計算コード

グラウンドシャインは、QAD-CGGP2Rコードを用い評価する。

(c) 評価結果

以上の条件に基づき評価したグラウンドシャインによる実効線量を表4-10に示す。

d. 被ばく経路④（室内に外気から取り込まれた放射性物質による被ばく）

外気から取り込まれた放射性物質からのガンマ線による緊急時対策所内での対策要員の外部及び内部被ばく線量を以下に評価する。

(a) 評価条件

イ. 放射性物質の放出量

放射性物質の大気中への放出量は、「4.1.1(4) 大気中への放出量評価」の「b. 大気中への放出量」に基づくものとする。

ロ. 大気拡散条件

線量評価に使用する相対濃度 (χ/Q) は、「4.1.1(5) 大気拡散の評価」の「d. 評価結果」に示した下表の値を使用する。

χ/Q (s/m ³)	1.1×10^{-4}
---------------------------------	----------------------

ハ. 換気設備条件

緊急時対策所の換気設備条件は、表4-11の値を使用する。

(b) 評価方法

外気から取り込まれた放射性物質による緊急時対策所内放射能濃度及び実

効線量は以下により評価する。

イ. 緊急時対策所内放射能濃度の評価

緊急時対策所内の放射能濃度は、次式により評価する。

$$\frac{d(V \cdot C_i(t))}{dt} = (1 - \eta) \cdot C_i^0(t) \cdot f_1 + C_i^0(t) \cdot f_2 - C_i(t) \cdot (f_1 + f_2 + \eta \cdot F_R) - \lambda_i \cdot V \cdot C_i(t)$$

ここで、

$C_i(t)$: 時刻 t における緊急時対策所内の核種 i の濃度 (Bq/m³)

V : 換気設備処理空間容積 (m³)

η : 非常用フィルタの除去効率 (-)

$C_i^0(t)$: 時刻 t における外気取入れ口での核種 i の濃度 (Bq/m³)

$$C_i^0(t) = Q_i(t) \cdot \chi / Q$$

$Q_i(t)$: 時刻 t における大気への核種 i の放出率 (Bq/s)

χ / Q : 相対濃度 (s/m³)

f_1 : 外気取り込み量 (m³/s)

f_2 : 外気リークイン量 (m³/s)

F_R : 再循環装置フィルタ流量 (m³/s)

λ_i : 核種 i の崩壊定数 (s⁻¹)

ロ. 実効線量の評価

緊急時対策所内に取り込まれた放射性物質による実効線量は、次に述べる放射性物質の吸入による内部被ばく及び放射性物質のガンマ線による外部被ばくの和として計算する。

(イ) 放射性物質の吸入による内部被ばく

放射性物質の吸入による内部被ばくは、次式で評価する。

$$H_1^i = \int_0^T R \cdot H_\infty^i \cdot C_i(t) dt$$

ここで、

H_1^i : 核種 i の吸入摂取の内部被ばくによる実効線量 (Sv)

R : 呼吸率 (m³/s) (成人活動時の呼吸率 1.2 m³/h)

H_∞^i : 核種 i の吸入摂取による成人の実効線量係数 (Sv/Bq)

$C_i(t)$: 時刻 t における緊急時対策所内の核種 i の濃度 (Bq/m³)

T : 被ばく評価期間 (5.184 × 10⁵ s) [当初24時間を除く6日間 (24 h ~ 168 h)]

(ロ) 放射性物質のガンマ線による外部被ばく

放射性物質のガンマ線による外部被ばくは、次式で計算する。

$$H_{\gamma}^i = \int_0^T 6.2 \times 10^{-14} \cdot E_{\gamma}^i \cdot \{1 - e^{-\mu r}\} \cdot C_i(t) dt \cdot F(x)$$

ここで、

6.2×10^{-14} : サブマージョンモデルによる換算係数 $\left(\frac{\text{dis} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Gy}}{\text{MeV} \cdot \text{Bq} \cdot \text{s}} \right)$

H_{γ}^i : 核種 i のガンマ線の外部被ばくによる実効線量 (Sv)

E_{γ}^i : 核種 i のガンマ線実効エネルギー (MeV/dis)

μ : 空気に対するガンマ線の線エネルギー吸収係数
($3.9 \times 10^{-3} / \text{m}$)

r : 外部被ばくに係る空間と等価な半球の半径 (m)

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V_s}{2 \cdot \pi}}$$

V_s : 外部被ばくに係る空間容積 (m^3)

$C_i(t)$: 時刻 t における緊急時対策所内の核種 i の濃度
(Bq/m^3)

T : 被ばく評価期間 ($5.184 \times 10^5 \text{ s}$) [当初24時間を除く
6日間 (24 h ~ 168 h)]

$F(x)$: 緊急時対策所遮蔽による減衰率 (-)

ここで、緊急時対策所滞在時の緊急時対策所周囲のコンクリート遮蔽壁 (厚さ 49.5 cm^{*1}) による減衰率は、その他エリア内の放射性物質の最大濃度を線源として、QAD-CGGP2Rコードにより計算した下表の値を使用する。

コンクリートの 減衰率	希ガス	7×10^{-4}
	希ガス以外	1×10^{-2}

注記 *1 : 緊急時対策所周囲の遮蔽壁 (50 cm) の公称値からマイナス側許容差 (-5 mm) を引いた値を示す。

(c) 評価結果

放射性雲中の放射性物質からのガンマ線による緊急時対策所内での実効線量を表4-12に示す。

(2) 評価結果のまとめ

重大事故等時の緊急時対策所の対策要員に及ぼす実効線量の内訳を表4-13に示す。

(3) 判断基準への適合性

重大事故等時の緊急時対策所の対策要員の被ばく評価結果を下表に示す。

これに示すように、重大事故等時の緊急時対策所の対策要員の実効線量は、7日間で約35 mSvである。

したがって、評価結果は判断基準の「対策要員の実効線量が7日間で100 mSvを超えないこと」を満足している。

実効線量 (mSv/7日間)
3.5×10^1

表4-1 放射性物質の炉内蓄積量

核種グループ	単位熱出力当たりの炉心内蔵量 (Bq/MW)	炉内蓄積量 (24時間減衰値) (Bq)
希ガス類	6.6×10^{15}	8.7×10^{18}
よう素類	8.6×10^{15}	1.0×10^{19}
Cs類	3.4×10^{14}	1.1×10^{18}
Te類	2.4×10^{15}	4.8×10^{18}
Ba類	7.3×10^{15}	9.9×10^{18}
Ru類	7.3×10^{15}	1.8×10^{19}
Ce類	2.3×10^{16}	5.7×10^{19}
La類	1.7×10^{16}	3.2×10^{19}

表4-2 放射性物質の大気中への放出量

核種 グループ	炉内蓄積量 (24時間減衰値) (Bq)	大気中への 放出量 (Bq)
希ガス類	8.7×10^{18}	8.4×10^{18}
よう素類	1.0×10^{19}	2.9×10^{17}
Cs類	1.1×10^{18}	2.4×10^{16}
Te類	4.8×10^{18}	7.1×10^{16}
Ba類	9.9×10^{18}	2.6×10^{15}
Ru類	1.8×10^{19}	1.3×10^{10}
Ce類	5.7×10^{19}	8.7×10^{13}
La類	3.2×10^{19}	1.2×10^{13}

表4-3 原子炉建屋内の放射性物質の存在量

核種 グループ	炉内蓄積量 (24時間減衰値) (Bq)	原子炉建屋内の積算 崩壊数* (Bq・s)
希ガス類	8.7×10^{18}	7.3×10^{22}
よう素類	1.0×10^{19}	4.0×10^{23}
Cs類	1.1×10^{18}	1.0×10^{23}
Te類	4.8×10^{18}	1.2×10^{23}
Ba類	9.9×10^{18}	1.6×10^{23}
Ru類	1.8×10^{19}	7.5×10^{21}
Ce類	5.7×10^{19}	2.7×10^{22}
La類	3.2×10^{19}	1.9×10^{22}

注記 * : 事故発生後7日間 (当初24時間を除く6日間) の積算崩壊数を示す。

表 4-4 重大事故等時の緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に使用する
大気拡散評価条件

項目	評価条件	備考
評価点	緊急時対策所外壁	原子炉建屋外壁に対して最近接点とする。
放射性物質の放出源	原子炉建屋外壁	緊急時対策所外壁に対して最近接点とする。
放出源の有効高さ	地上放出を仮定	—
実効放出継続時間	10 時間	—
評価距離	310 m	—
建屋による巻き込み効果	建屋の影響あり	—
評価方位 (同一方位と見なす方位)	ENE, E (2 方位)	放出源から評価点までの距離がある程度確保されていることから、建屋+0.5L の範囲を包絡する方位を対象とする (図 4-2 参照)。
建屋の風向方向の投影面積	3000 m ²	対象となる複数方位の投影面積中の最小面積を使用 (図 4-3 参照)。
建屋の形状係数	0.5	気象指針どおり。
気象データ	2005 年 4 月～2006 年 3 月までに観測された地表付近を代表する標高 18 m 地点 (地上 10 m) の風向, 風速データを使用	建屋影響を受ける大気拡散評価を行うため地上風 (地上約 10 m) の気象データを使用 風洞実験結果が得られており、気象データの代表性が確認された 2005 年 4 月～2006 年 3 月の 1 年間の気象データを使用

表 4-5 原子炉建屋内の放射性物質からの直接ガンマ線及びスカイシャイン
ガンマ線評価用 7日間積算線源強度

群	エネルギー (MeV)	ガンマ線積算線源強度 (-)	群	エネルギー (MeV)	ガンマ線積算線源強度 (-)
1	0.01	1.9×10^{22}	22	1.5	1.5×10^{22}
2	0.02	2.1×10^{22}	23	1.66	1.6×10^{21}
3	0.03	9.9×10^{22}	24	2.0	3.3×10^{21}
4	0.045	5.0×10^{22}	25	2.5	2.1×10^{21}
5	0.06	1.0×10^{22}	26	3.0	1.1×10^{20}
6	0.07	6.7×10^{21}	27	3.5	2.4×10^{17}
7	0.075	5.9×10^{21}	28	4.0	2.4×10^{17}
8	0.1	2.9×10^{22}	29	4.5	6.4×10^{11}
9	0.15	1.7×10^{22}	30	5.0	6.4×10^{11}
10	0.2	4.4×10^{22}	31	5.5	6.4×10^{11}
11	0.3	8.8×10^{22}	32	6.0	6.4×10^{11}
12	0.4	1.3×10^{23}	33	6.5	7.4×10^{10}
13	0.45	6.5×10^{22}	34	7.0	7.4×10^{10}
14	0.51	9.3×10^{22}	35	7.5	7.4×10^{10}
15	0.512	3.1×10^{21}	36	8.0	7.4×10^{10}
16	0.6	1.4×10^{23}	37	10.0	2.3×10^{10}
17	0.7	1.5×10^{23}	38	12.0	1.1×10^{10}
18	0.8	6.7×10^{22}	39	14.0	0.0
19	1.0	1.3×10^{23}	40	20.0	0.0
20	1.33	3.0×10^{22}	41	30.0	0.0
21	1.34	9.2×10^{20}	42	50.0	0.0

表4-6 原子炉建屋内の放射性物質からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による実効線量

被ばく経路	実効線量 (mSv/7日間)
直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線	1.1×10^{-3}

表4-7 放射性雲中の放射性物質からのガンマ線による実効線量

被ばく経路	実効線量 (mSv/7日間)
クラウドシャイン	4.9×10^{-2}

表4-8 大気中に放出された放射性物質の地表面沈着濃度

核種グループ	大気中への放出量 (Bq)	地表面沈着濃度 (7日間積算値) (Bq・s/m ²)
よう素類	2.9×10^{17}	7.9×10^{16}
Cs類	2.4×10^{16}	1.6×10^{16}
Te類	7.1×10^{16}	2.5×10^{16}
Ba類	2.6×10^{15}	1.5×10^{15}
Ru類	1.3×10^{10}	4.9×10^9
Ce類	8.7×10^{13}	3.2×10^{13}
La類	1.2×10^{13}	6.2×10^{12}

表4-9 グランドシャイン評価用7日間積算線源強度

群	エネルギー (MeV)	ガンマ線積算線源強度 (cm^{-2})	群	エネルギー (MeV)	ガンマ線積算線源強度 (cm^{-2})
1	0.01	1.1×10^{11}	22	1.5	2.7×10^{11}
2	0.02	1.2×10^{11}	23	1.66	2.2×10^{10}
3	0.03	1.7×10^{12}	24	2.0	4.6×10^{10}
4	0.045	3.7×10^{11}	25	2.5	4.4×10^{10}
5	0.06	1.9×10^{11}	26	3.0	9.4×10^8
6	0.07	1.2×10^{11}	27	3.5	7.9×10^3
7	0.075	2.3×10^{10}	28	4.0	7.9×10^3
8	0.1	1.2×10^{11}	29	4.5	2.1×10^{-2}
9	0.15	1.1×10^{11}	30	5.0	2.1×10^{-2}
10	0.2	8.0×10^{11}	31	5.5	2.1×10^{-2}
11	0.3	1.6×10^{12}	32	6.0	2.1×10^{-2}
12	0.4	2.5×10^{12}	33	6.5	2.4×10^{-3}
13	0.45	1.2×10^{12}	34	7.0	2.4×10^{-3}
14	0.51	1.6×10^{12}	35	7.5	2.4×10^{-3}
15	0.512	5.5×10^{10}	36	8.0	2.4×10^{-3}
16	0.6	2.4×10^{12}	37	10.0	7.4×10^{-4}
17	0.7	2.7×10^{12}	38	12.0	3.7×10^{-4}
18	0.8	1.2×10^{12}	39	14.0	0.0
19	1.0	2.4×10^{12}	40	20.0	0.0
20	1.33	5.7×10^{11}	41	30.0	0.0
21	1.34	1.7×10^{10}	42	50.0	0.0

表4-10 グランドシャインによる実効線量

被ばく経路	実効線量 (mSv/7日間)
グランドシャイン	1.8×10^{-1}

項 目		24 h～34 h	34 h～35 h	35 h～168 h	備 考	
放射性物質放出の状況 (○：放出，×：放出なし)	希ガス	○	×	×	放出継続時間は，審査ガイドに従い10時間継続とする。	
	その他核種	○	×	×		
要員の滞在エリア		緊急時対策所	緊急時対策所	その他エリア	—	
緊急時対策所 (加圧エリア)	加圧方式	空気ポンベ		—	<ul style="list-style-type: none"> • プルーフ通過中の10 h (24 h～34 h) 及び通過後の1 h (34 h～35 h) は，空気ポンベにより緊急時対策所を加圧。 • 空気ポンベ加圧終了後は，緊急時対策所の隔離を解除し，その他エリアを含めた浄化エリアとする。 	
	処理空間容積	3000 m ³				
	リークイン量 (m ³ /h)	0 m ³ /h (0 回/h)				
その他エリア (浄化エリア)	処理空間容積	12800 m ³		15800 m ³	<ul style="list-style-type: none"> • 35 h以降は，緊急時対策所とその他エリアの区別なく，外気取入正圧運転とする。 	
	空調 ユニット	作動状態	外気少量取入正圧運転			外気取入正圧運転
		外気取込み量(m ³ /h)	900 m ³ /h	5000m ³ /h		
		よう素用チャコール フィルタ効率	99 %			99 %
		粒子状フィルタ効率	99.9 %			99.9 %
リークイン量 (m ³ /h)	0 m ³ /h (0 回/h)		0 m ³ /h (0 回/h)	—		
緊急時対策所周囲の 遮蔽壁	コンクリート厚さ	49.5 cm		—	—	
	コンクリート密度	2.1 g/cm ³		—	—	
	減衰率	希ガス : 7 × 10 ⁻⁴ 希ガス以外 : 1 × 10 ⁻²		—	—	

表4-12 外気から室内に取り込まれた放射性物質による実効線量

	実効線量 (mSv/7日間)
ガンマ線による外部被ばく	2.3×10^1
吸入による内部被ばく	1.1×10^1
合 計	3.5×10^1

表4-13 重大事故等時の緊急時対策所の対策要員の実効線量の内訳

	実効線量 (mSv/7日間)		
	外部被ばく	内部被ばく	合 計
建屋からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による被ばく	1.1×10^{-3}	—	1.1×10^{-3}
放射性雲中の放射性物質からのガンマ線による被ばく	4.9×10^{-2}	—	4.9×10^{-2}
外気から室内に取り込まれた放射性物質による被ばく	2.3×10^1	1.1×10^1	3.5×10^1
大気中へ放出され地表面に沈着した放射性物質からのガンマ線による被ばく	1.8×10^{-1}	—	1.8×10^{-1}
合 計	2.4×10^1	1.1×10^1	3.5×10^1

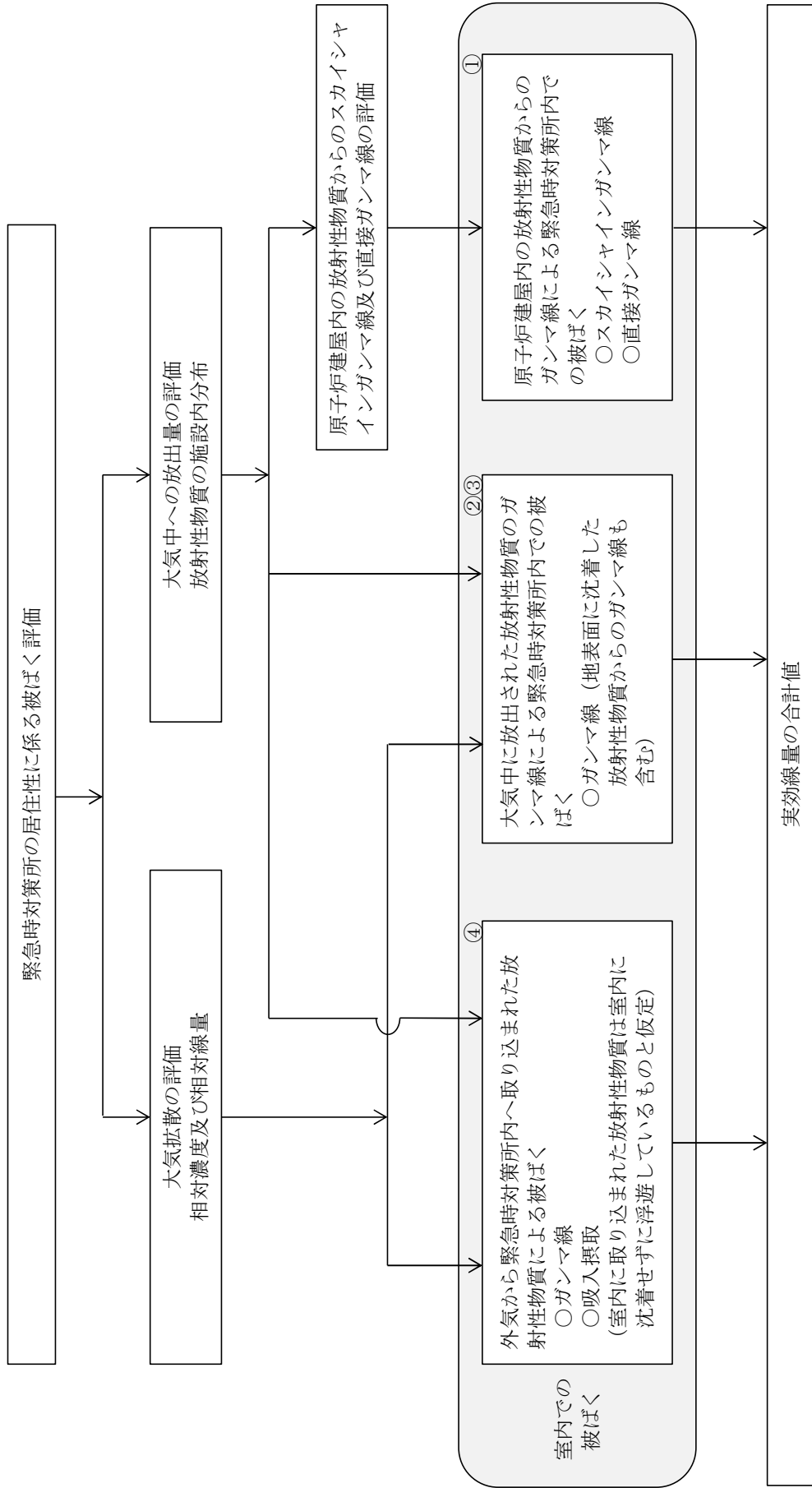


図4-1 重大事故等時の緊急時対策所の対策要員の被ばく経路

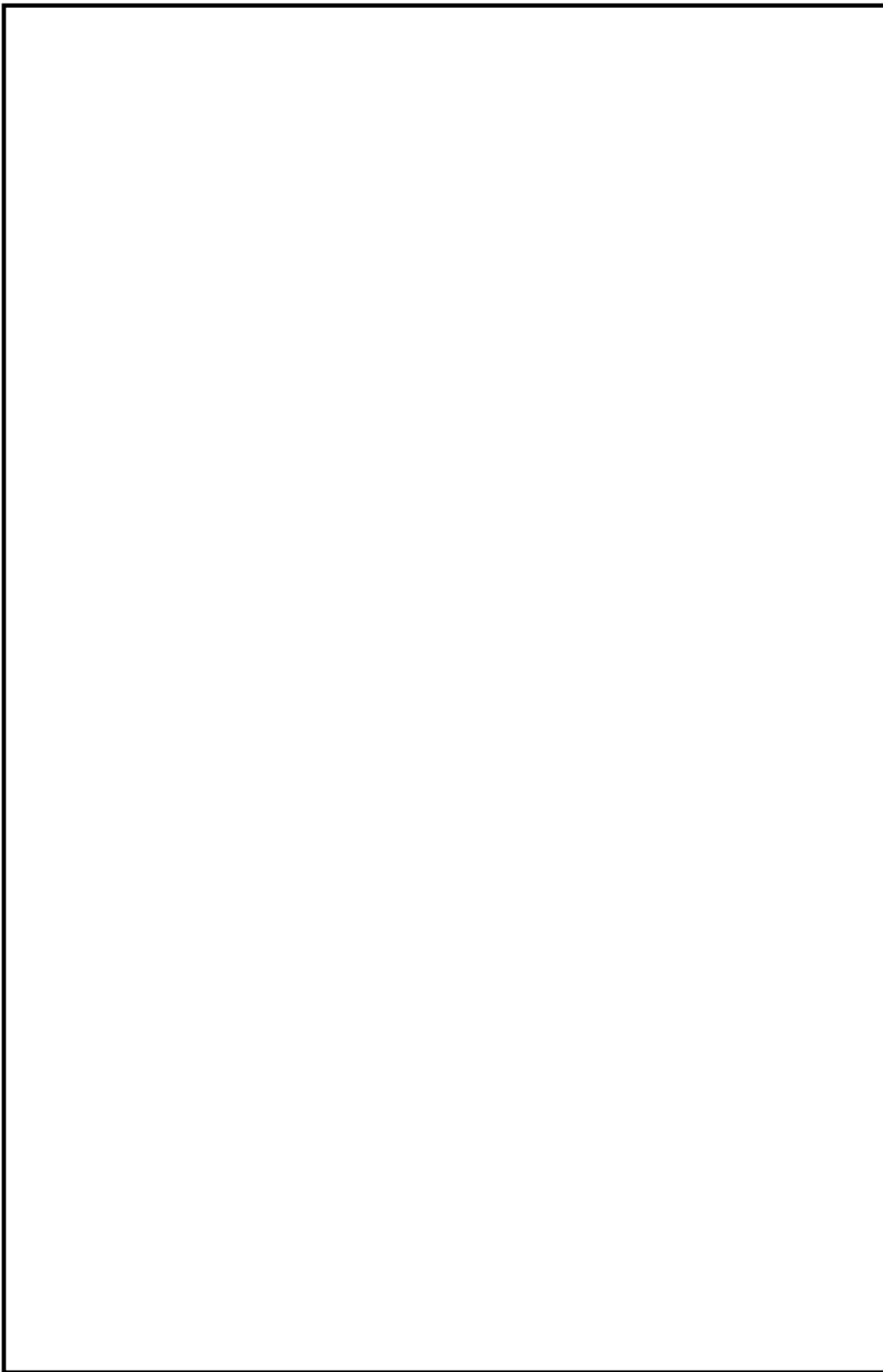


図4-2 重大事故等時の評価方位

注) 単位はm

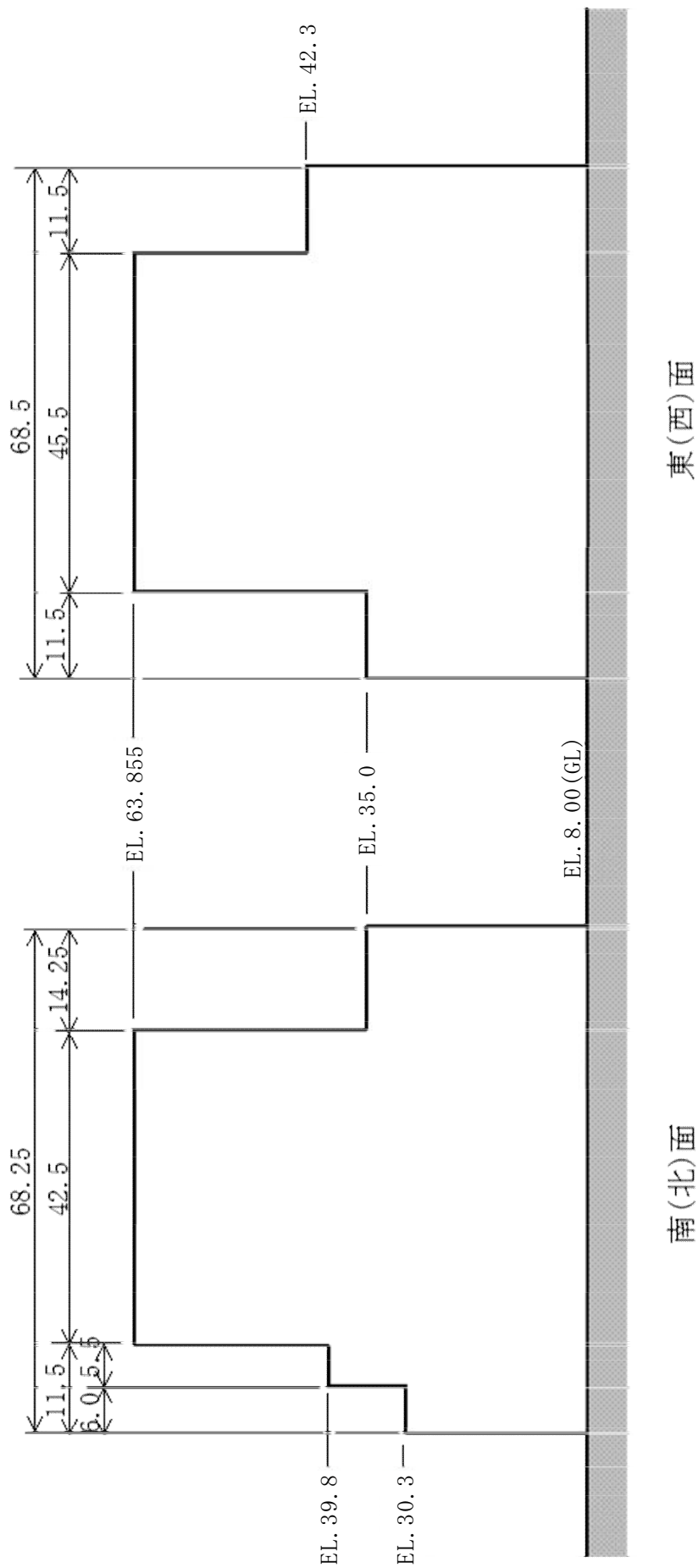


図4-3 原子炉建屋断面面積 (投影面積)

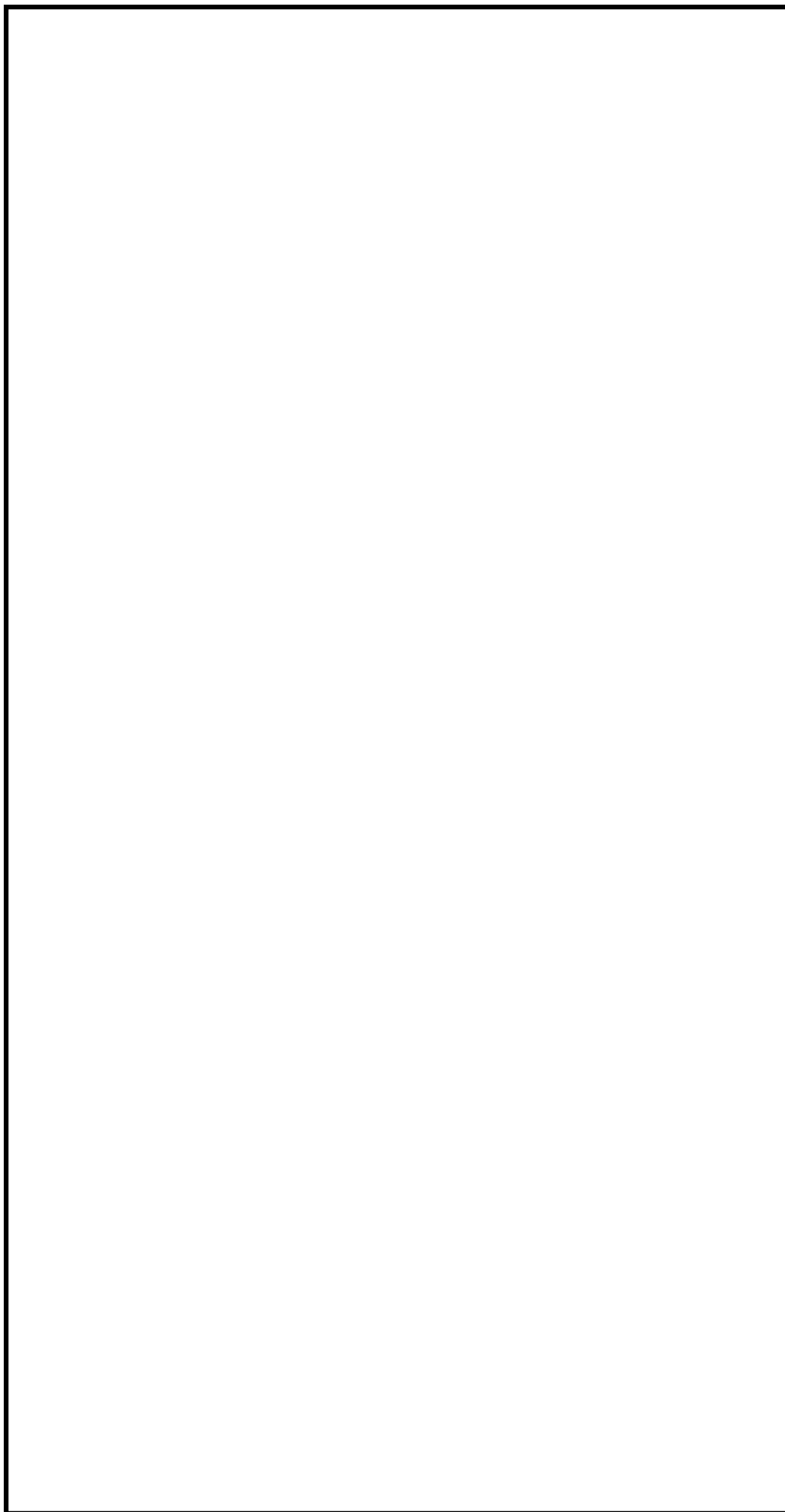


図4-4 緊急時対策所被ばく評価時の直接ガンマ線評価モデル (1/3)

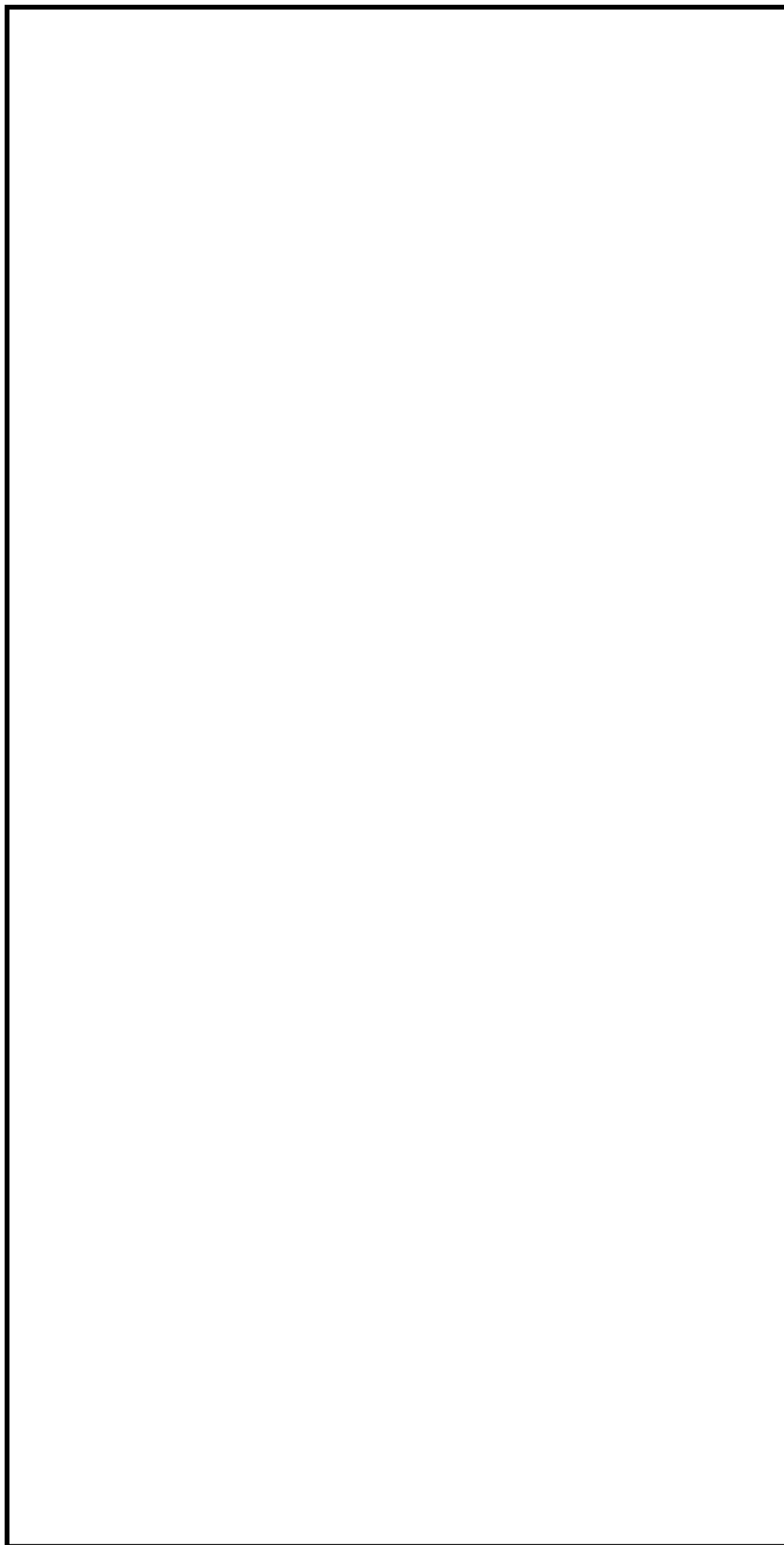


図4-4 緊急時対策所被ばく評価時の直接ガンマ線評価モデル (2/3)

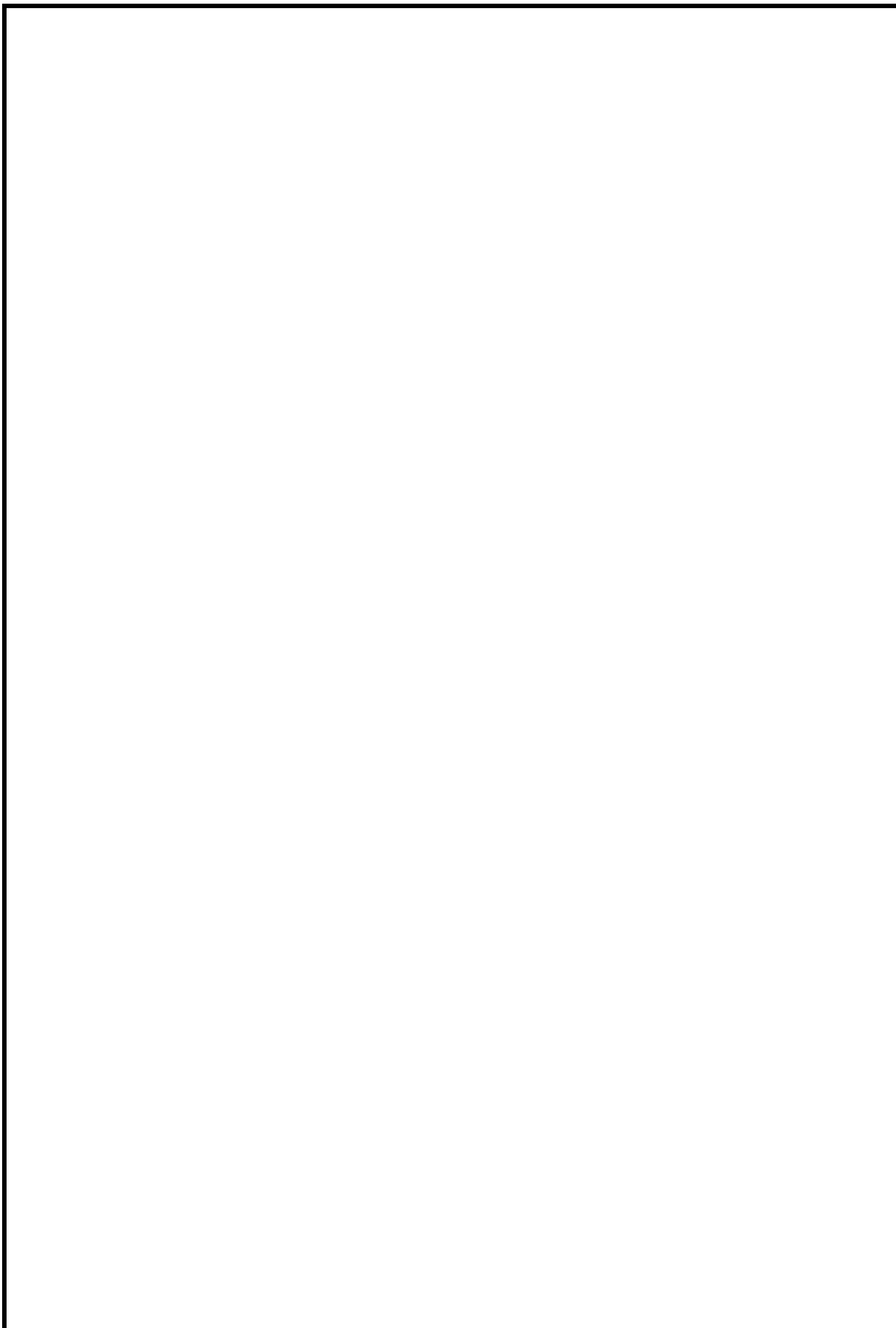


図4-4 緊急時対策所被ばく評価時の直接ガンマ線評価モデル (3/3)

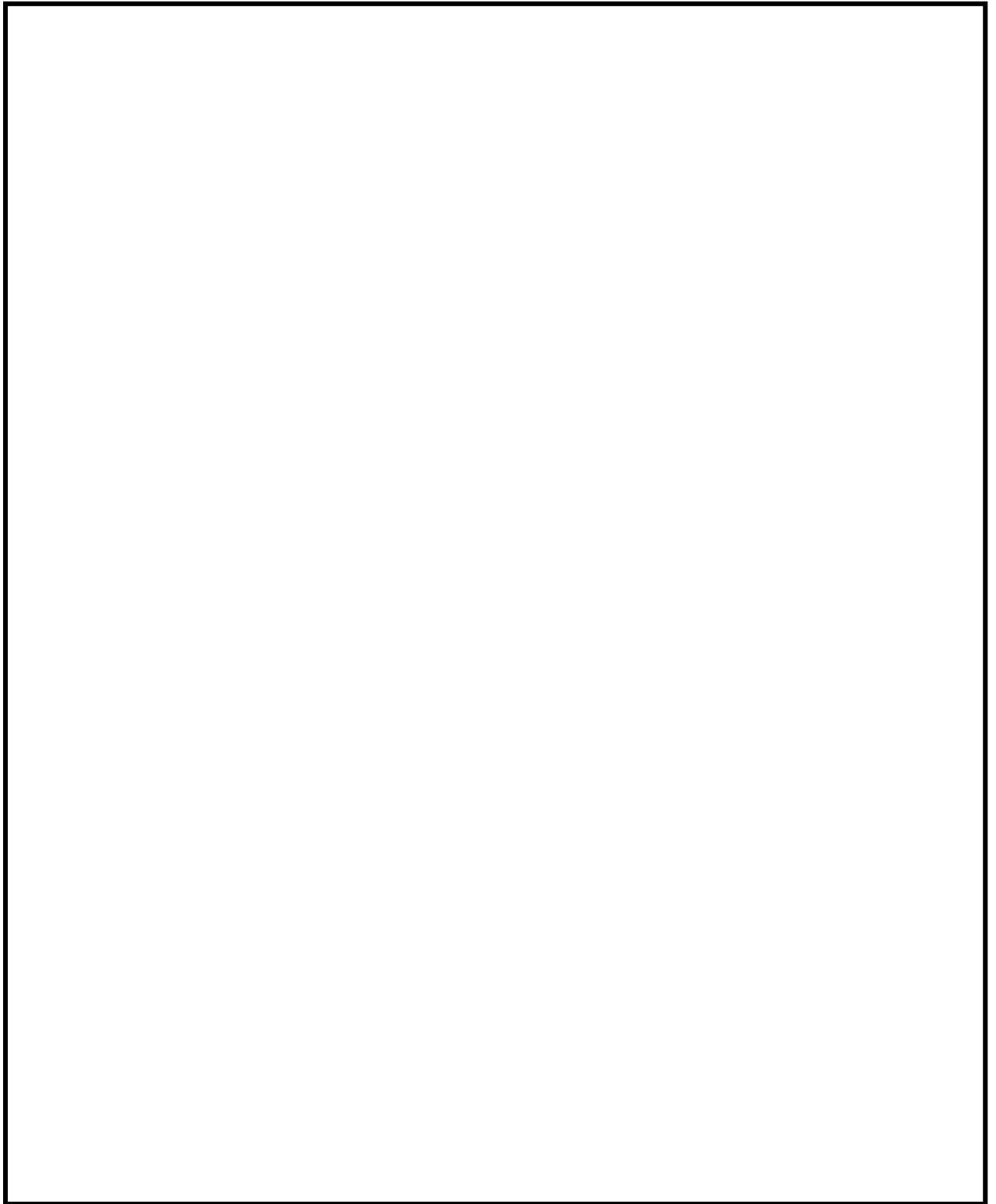


図4-5 緊急時対策所被ばく評価時のスカイシャインガンマ線評価モデル

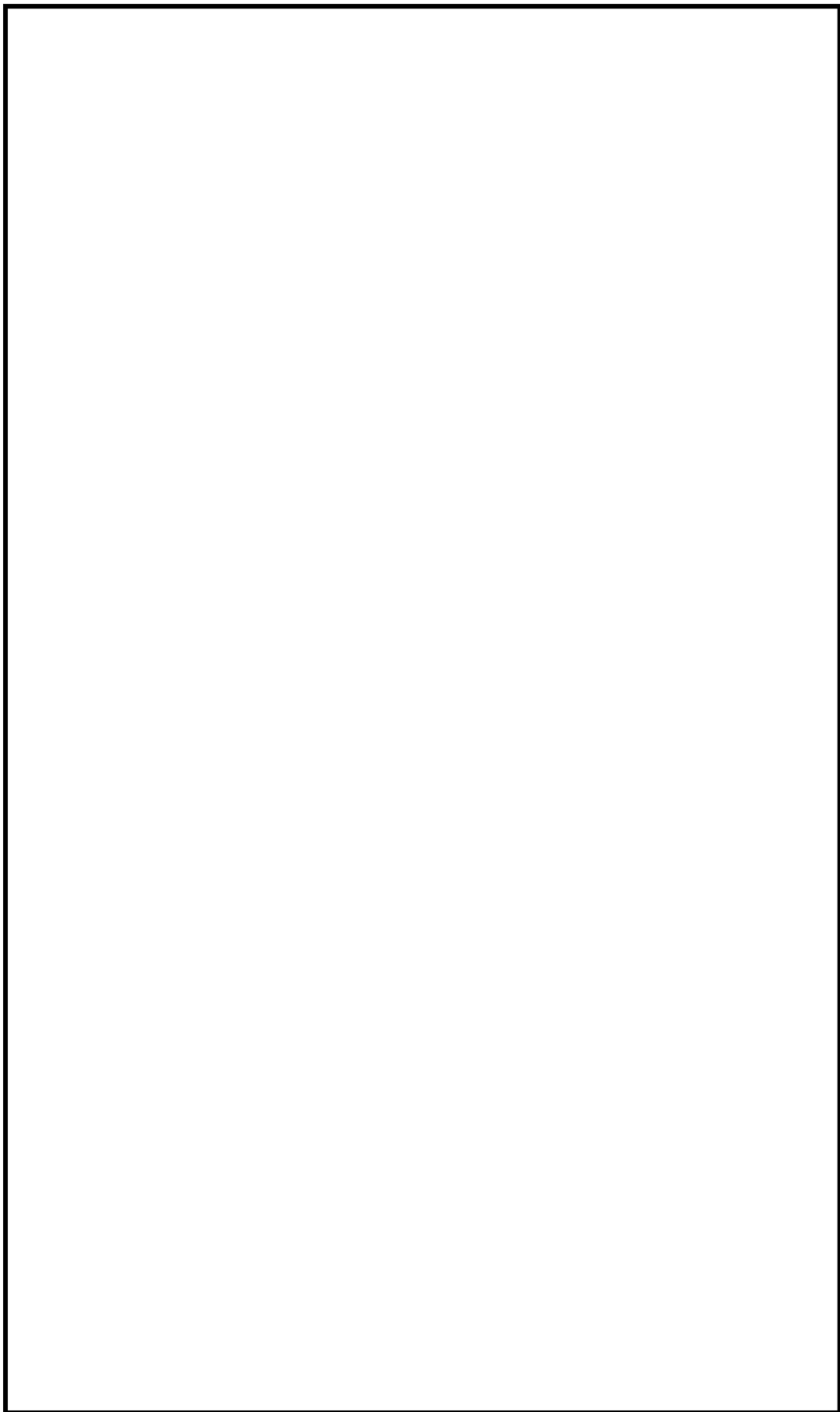


図4-6 緊急時対策所被ばく評価時の直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線評価モデル

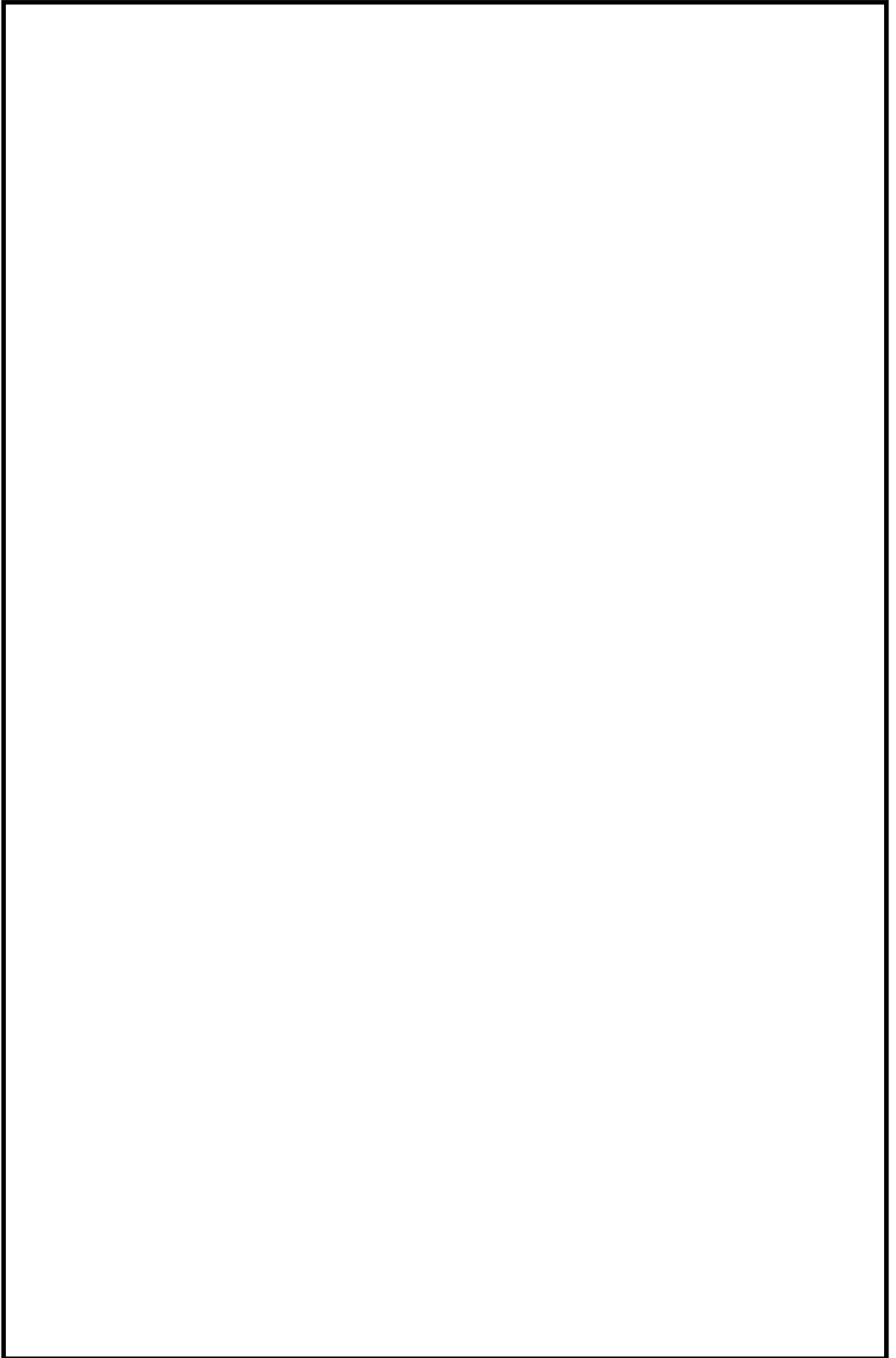


図4-7 グランドシャイン評価モデル (1/2)

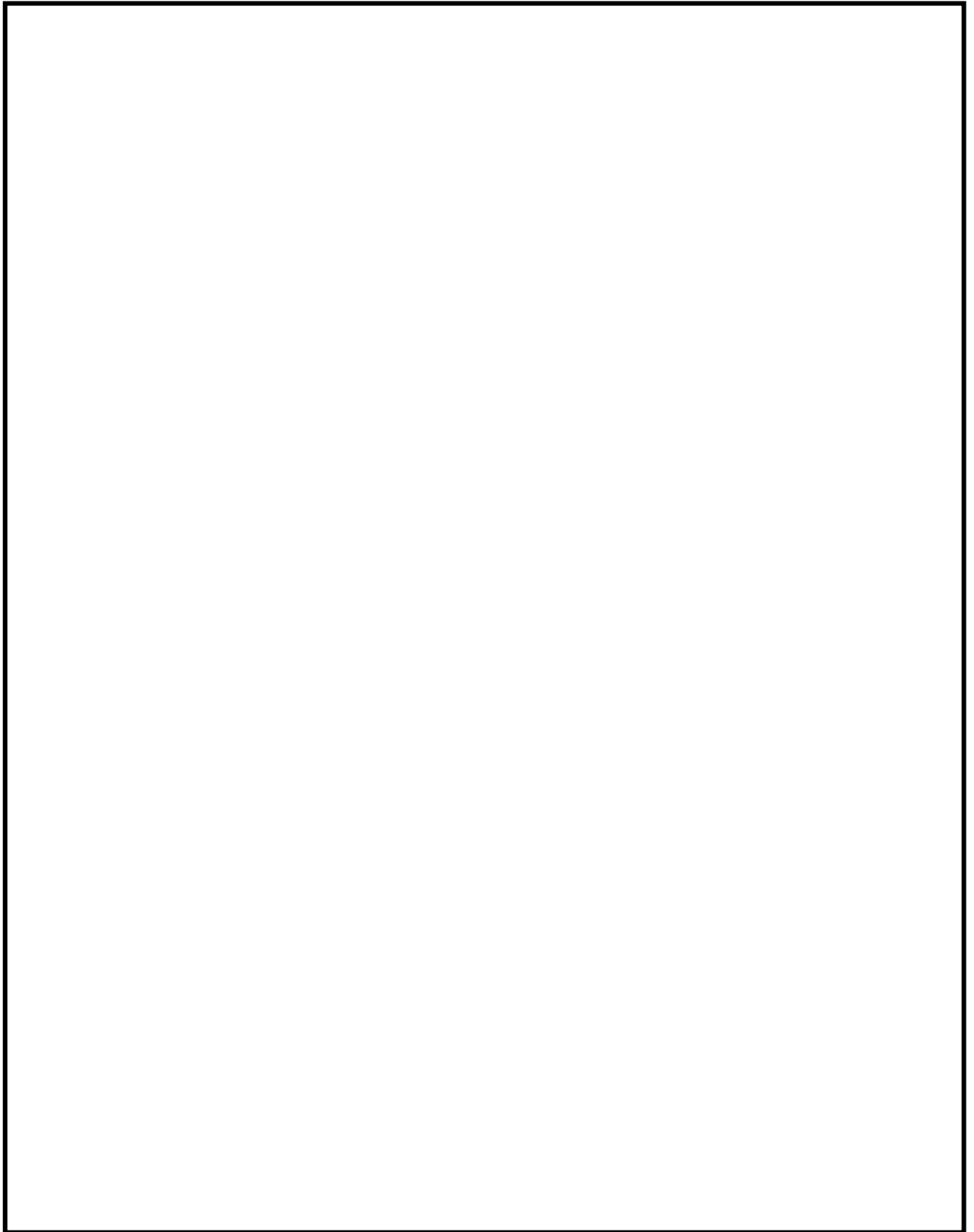


図4-7 グランドシャイン評価モデル (2/2)

4.2 酸素濃度及び二酸化炭素濃度評価

4.2.1 評価方針

(1) 評価の概要

緊急時対策所用加圧設備空気ポンベによる加圧を実施した場合において、緊急時対策所内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度が活動に支障がない濃度（許容濃度未満）であることを評価する。

本評価における滞在人数，体積，評価期間等は，保守的な結果となるよう設定する。また，酸素消費量及び二酸化炭素吐出し量等は，加圧設備の使用時における緊急時対策所内にとどまる要員の活動状況等を想定し，設定する。

(2) 酸素及び二酸化炭素濃度許容濃度の設定

酸素及び二酸化炭素許容濃度は，表4-15に示すとおり，加圧設備使用時の労働環境における酸素濃度及び二酸化炭素濃度の許容基準に準拠する。

緊急時対策所用加圧設備空気ポンベによる加圧は，希ガス等の放射性物質を含む外気が緊急時対策所内に侵入しないように実施する防護措置であり，緊急時対策所用加圧設備空気ポンベによる加圧時は，緊急時対策所出入口扉を閉め，室内を密閉するという限られた環境である。

このため，同様に限られた環境下における労働環境を規定している「鉱山保安法施行規則」に定める酸素濃度及び二酸化炭素濃度許容基準（19%以上及び1%以下）に準拠する。

(3) 酸素濃度維持及び二酸化炭素濃度抑制に必要な流量の計算

緊急時対策所内を加圧し，その圧力を維持するために必要な流量並びに緊急時対策所内の酸素濃度維持及び二酸化炭素濃度抑制に必要な流量を計算し，その結果から酸素濃度及び二酸化炭素濃度の評価を行う。緊急時対策所内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度計算条件を表4-16に示す。なお，計算に使用する，呼吸量，初期酸素濃度，酸素消費量等は「空気調和・衛生工学便覧」から引用する。

被ばく評価上の空気ポンベ加圧時間は，審査ガイドに基づき，プルーム通過中の10時間及びプルーム通過後の1時間の合計11時間とする。

11時間連続で空気ポンベ加圧した場合における換気流量と酸素濃度及び二酸化炭素濃度との関係は以下のとおりである。

a. 緊急時対策所内の正圧維持について

屋内に設置する緊急時対策所のインリークは，隣接区画との温度差によって生じる圧力差を考慮すれば良い。このインリークを防止するため，緊急時対策所を周囲の隣接区画より高い圧力に加圧する。

緊急時対策所内の加圧は、以下に示すとおり約12.4 Paが必要であるため、緊急時対策所の加圧目標は、余裕を考慮して隣接区画より+20 Pa以上とする。

(a) 温度差を考慮した加圧値

緊急時対策所と隣接区画との境界壁間に隙間がある場合は、両区画に温度差があると図4-8に示すように空気の密度差に起因し、高温区画の上部から低温区画へ空気が流入し、低温区画の下部から高温区画へ空気が流れ込む。これら各々の方向に生じる圧力差の合計 ΔP は次の式で表される。

$$\Delta P = (p_1 - p_2) \times H$$

ここで、

p : 空気密度

H : 緊急時対策所の階層高さ

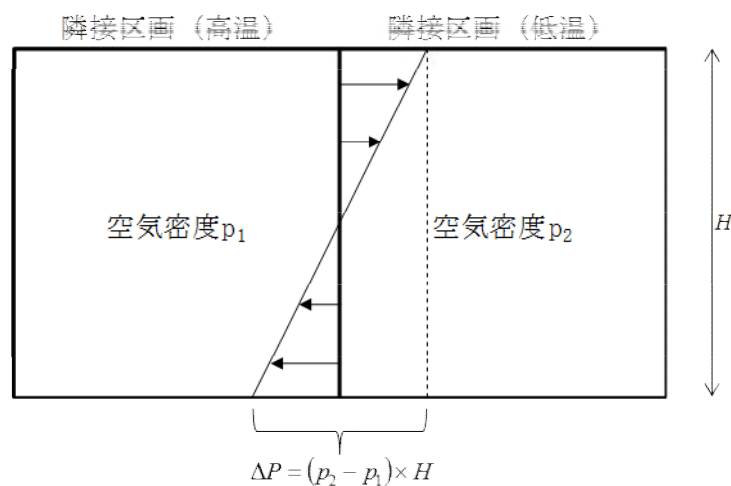


図4-8 温度差のある区画の圧力分布

したがって、緊急時対策所を ΔP だけ加圧することによって、隣接区画との温度差が生じても図4-9に示すように緊急時対策所へのインリークを防ぐことができる。

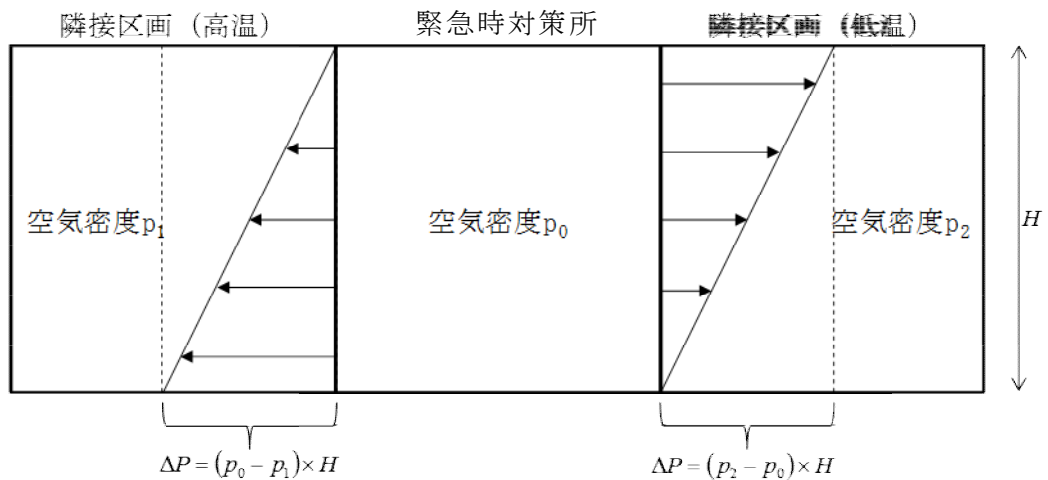


図4-9 温度差のある区画の圧力分布

重大事故等発生時の緊急時対策所及び隣接区画の温度を外気の気象観測データ（水戸地方気象台の過去の観測記録）から38.4℃，-12.7℃とする。緊急時対策所の天井高さは約5.7mであるため，以下のとおり約12.4Pa以上の圧力差があれば温度の影響を受けたとしても，正圧を維持できる。

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= \{(-12.7^\circ\text{Cの乾き空気の密度}) - (38.4^\circ\text{Cの乾き空気の密度})\} \times (\text{高低差}) \\
 &= \{(1.3555) - (1.1332)\} \times (5.7) \\
 &= 1.26711(\text{kg/m}^2) \\
 &= 12.426(\text{Pa})
 \end{aligned}$$

(b) 正圧維持に必要な空気供給量

緊急時対策所はコンクリートの間仕切りで区画されることから，壁の継ぎ目からのリークはないものとする。よって，緊急時対策所のリークポテンシャルは，ドア開口の隙間，壁貫通部（配管，ケーブル，ダクト）である。

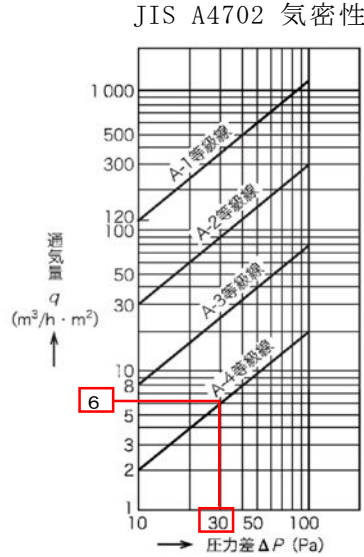
イ. ドア開口リーク量

気密が要求される建屋／部屋に使用されるドアの気密性はJIS A4702にて定義されている。緊急時対策所の隣接区画との差圧は，+20 Paを設計値としていることから，余裕をみて+30 Paにおけるドア開口リーク量を算出する。最も気密性の高い等級A-4のドアにおいては，圧力差+30 Paにおけるドア面積当たりのリーク量は約6 m³/h・m²であることから（下図参照），ドアからのリーク量は以下の式により算出できる。

$$Q_{\text{ドア}} = S \times 6$$

Q_{ドア} : ドアからのリーク量 (m³/h)

S : 緊急時対策所のドアの面積合計 (9.5 m²)



ロ. 壁貫通部のリーク量

壁貫通部のリーク量は、原子炉二次格納施設のリーク率の設計値を参考に0.5 回/dayを用いると、以下の式により算出できる。

$$Q_{\text{貫通部}} = V \times 0.5 \div 24$$

V : 室容積 (2,994 m³)

したがって、緊急時対策所のリーク量は以下の式により120 m³/hとなる。

$$Q = Q_{\text{ドア}} \text{ (m}^3\text{/h)} + Q_{\text{貫通部}} \text{ (m}^3\text{/h)}$$

$$= S \text{ (m}^2\text{)} \times 6 \text{ (m}^3\text{/h} \cdot \text{m}^2\text{)} + V \text{ (m}^3\text{)} \times 0.5 \text{ (回/day)} \div 24 \text{ (day/h)}$$

$$= 9.5 \times 6 + 2,994 \times 0.5 \div 24$$

$$= 120 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

Q : 供給空気供給量 (m³/h)

b. 酸素濃度維持に必要な空気供給量

許容酸素濃度は19 %以上、滞在人数は100名、酸素消費量は成人の呼吸量(静座時)とし、許容酸素濃度以上に維持できる空気供給量は以下のとおりである。

$$Q = \frac{G_a \times P}{(K - K_0)} \times 100$$

$$= \frac{-0.02184 \times 100}{(19.00 - 20.95)} \times 100$$

$$= 112 \text{ m}^3\text{/h}$$

G_a : 酸素発生量 (-0.02184 m³/h/人)

P : 人員 (100 人)

K_0 : 供給空气中酸素濃度 (20.95 %)

K : 許容最低酸素濃度 (19.0 %)

c. 二酸化炭素濃度抑制に必要な空気供給量

許容二酸化炭素濃度は1.0 %以下，空气中的二酸化炭素量は0.03 %，滞在人数100名の二酸化炭素吐出量は，計器監視等を行う程度の作業時（極軽作業）の量とし，許容二酸化炭素濃度以下に維持できる空気供給量は以下のとおりである。

$$\begin{aligned} Q &= \frac{G_a \times P}{(K - K_0)} \times 100 \\ &= \frac{0.022 \times 100}{(1.0 - 0.03)} \times 100 \\ &= 227 \text{ (m}^3/\text{h)} \end{aligned}$$

また，加圧設備運転時間はプルーム放出時間の10時間に，プルーム通過後の加圧設備から非常用換気設備への切替え時間として余裕をみて2時間を加え，さらに2時間の余裕をもたせ14時間分とする。14時間後の時点で二酸化炭素濃度が1.0 %を超えない空気供給量は151 m³/hとなる。

$$K_t = K_0 + (K_1 - K_0) \times e^{-\left(\frac{Q}{V}\right) \times t} + G_a \times P / Q \left(1 - e^{-\left(\frac{Q}{V}\right) \times t}\right)$$

$$K_t = \left(K_1 - K_0 - G_a \times P / Q\right) \times e^{-\left(\frac{Q}{V}\right) \times t} + \left(K_0 + G_a \times P / Q\right)$$

K_t : t時間後のCO₂濃度 (%)

K_1 : 室内初期CO₂濃度 (0.5 %)

K_0 : 供給空気中のCO₂濃度 (0.03 %)

G_a : CO₂発生量 (0.022 m³/(h・人))

P : 滞在人員 (100 人)

Q : 空気供給量 (m³/h)

V : 室容積 (2,994 m³)

4.2.2 評価結果

(1) 酸素濃度維持及び二酸化炭素濃度抑制に必要な**空気供給量**

緊急時対策所を正圧維持するために必要な**空気供給量**は120 m³/hであり，また，酸素濃度維持に必要な**空気供給量**は112 m³/h，二酸化炭素濃度抑制に必要な**空気**

供給量は151 m³/hである。空気ポンベからの空気供給量は、これらに余裕をみた160 m³/hとすれば、空気ポンベによる加圧11時間後の酸素濃度は約20 %，二酸化炭素濃度は約0.9 %となり，被ばく評価上の空気ポンベ加圧時間である11時間においても，緊急時対策所内の正圧維持並びに酸素濃度及び二酸化炭素濃度を維持・抑制するための条件（限られた労働環境における許容酸素濃度19 %以上及び許容二酸化炭素濃度1.0 %以下）を満足することができる。

緊急時対策所非常用送風機を使用した場合及び緊急時対策所用加圧設備空気ポンベを使用した場合における緊急時対策所内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度の推移を図4-13に示す。

(2) 必要空気ポンベ本数

必要な空気ポンベ本数は，1本当たりの空気容量が46.7 Lのもので，使用量を7.1 m³/本とした場合，320本程度となる。この本数は，被ばく評価上の放射性物質の放出継続時間10時間に余裕を加え，14時間の緊急時対策所の加圧を可能とする容量である。

4.3 緊急時対策所の居住性評価のまとめ

緊急時対策所の居住性を確保するための設備を考慮して被ばく評価並びに酸素濃度及び二酸化炭素濃度評価を行い、その結果、それぞれ判断基準を満足していることから、緊急時対策所の居住性を確保できると評価する。

表4-14 緊急時対策所非常用フィルタ装置除去効率一覧

名称		緊急時対策所非常用フィルタ装置		
種類		—	高性能粒子フィルタ	よう素用チャコールフィルタ
効率	単体除去効率	%	99.97以上 (0.15 μm粒子)	99.75以上 (相対湿度70%以下において)
	総合除去効率* (フィルタ2段)	%	99.99以上 (0.5 μm粒子)	99.75以上 (相対湿度70%以下において)

注記*：フィルタを直列2段構成となるように配置

表4-15 酸素及び二酸化炭素許容濃度

項目	許容濃度	備考
酸素濃度	19%以上	「鉱山保安法施行規則」を準拠 (鉱山労働者が作業し、又は通行する坑内は、 当該濃度以下とする通気の確保を要求)
二酸化炭素濃度	1%以下	「鉱山保安法施行規則」を準拠 (鉱山労働者が作業し、又は通行する坑内は、 当該濃度以下とする通気の確保を要求)

表4-16 緊急時対策所内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度計算条件

項目	評価条件	設定理由	備考
人数	100人	プルーム通過時における緊急時対策所にとどまる要員数に余裕を見て設定	
容積 (緊急時対策所 バウンダリ容積)	2994 m ³	緊急時対策所を加圧する範囲のバウンダリ容積として設定	図4-12 参照
評価期間	14時間	プルーム放出時間の10時間に、プルーム通過後の加圧設備から非常用換気設備への切り替え時間を余裕をみて2時間を加え、さらに2時間の余裕をもたせ14時間分とし、緊急時対策所を14時間正圧維持できる空気供給量	
空気流入	なし	保守的な評価となるため考慮しない	
初期酸素濃度	20.51%	空気ボンベによる加圧前の緊急時対策所の外気取入量を基に設定	
初期二酸化炭素濃度	0.5%	空気ボンベによる加圧前の緊急時対策所の外気取入量を基に設定	
酸素消費量	21.84 L/h	「空気調和・衛生工学便覧」より準備を含む現場作業対応がないため「静座」より引用	1人当たりの消費量
二酸化炭素吐出し量	22 L/h	「空気調和・衛生工学便覧」より準備を含む現場作業対応がないため「極軽作業」より引用	1人当たりの吐出し量

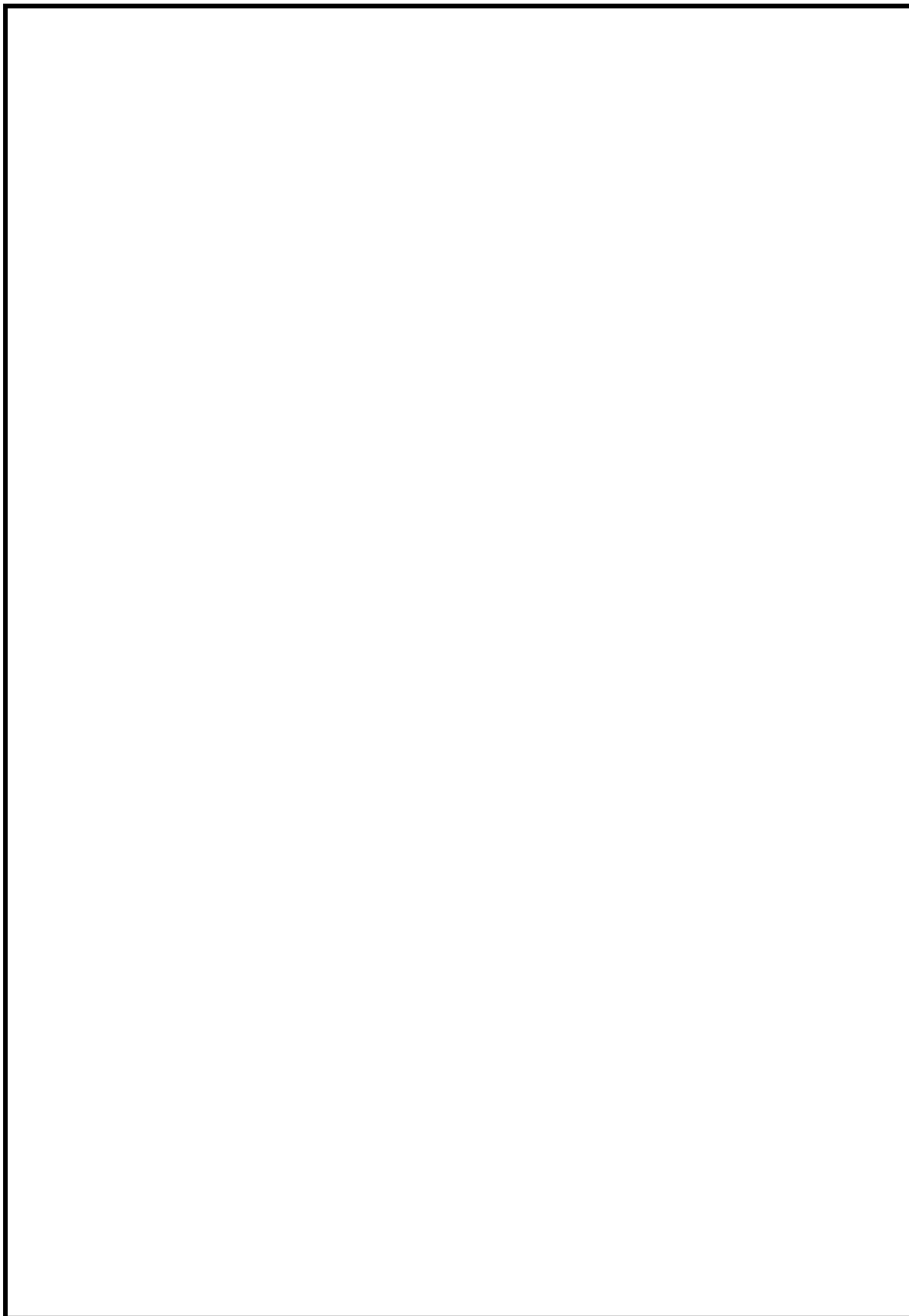


図4-10 緊急時対策所換気設備構成図

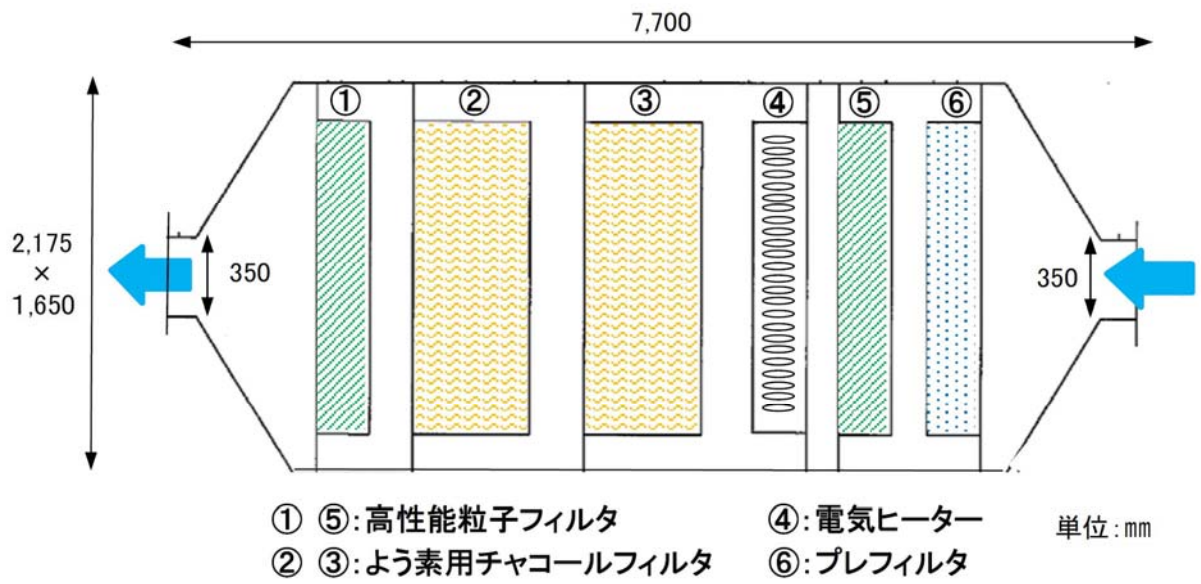


図4-11 緊急時対策所非常用フィルタ装置の概略図

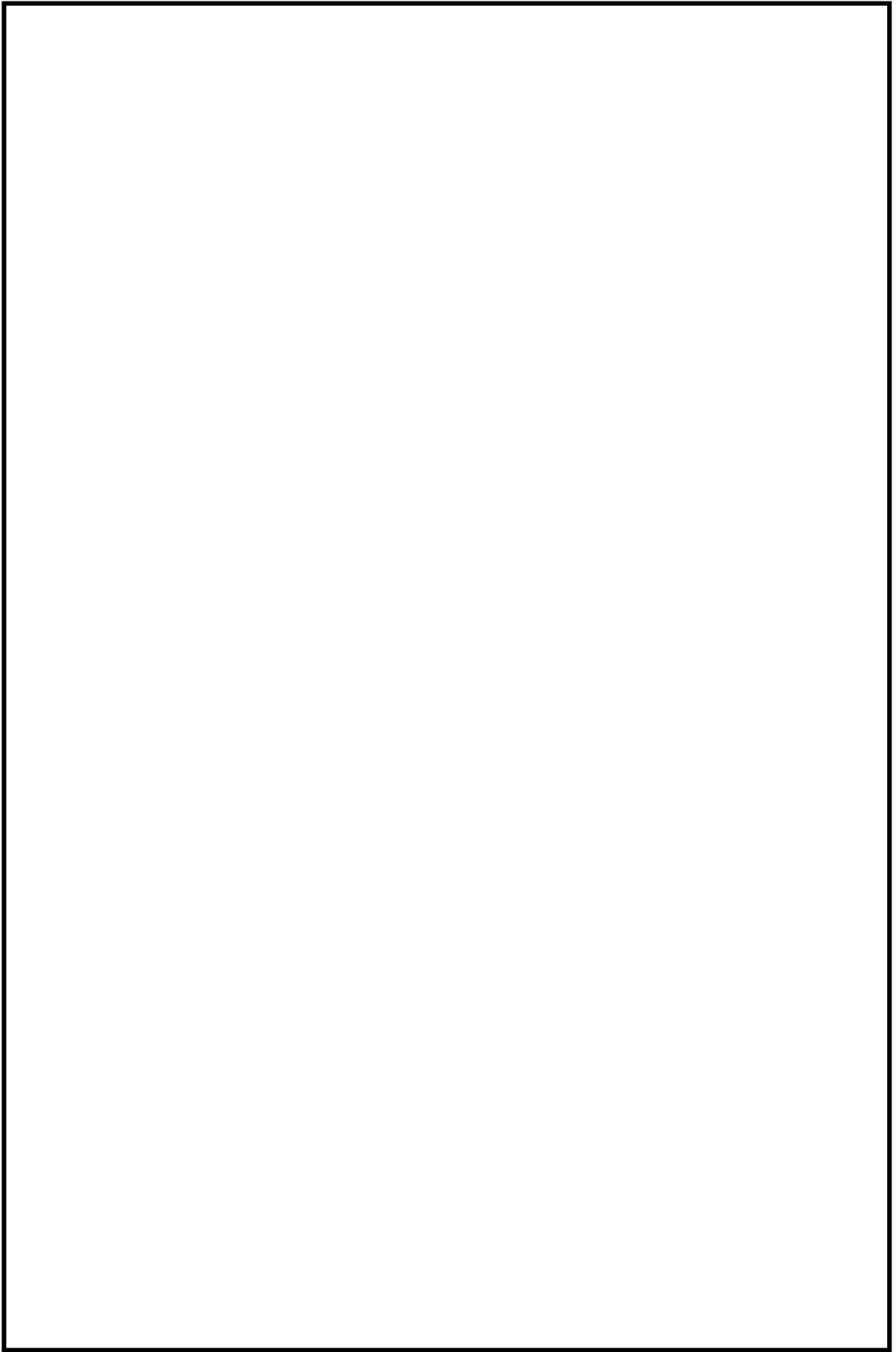
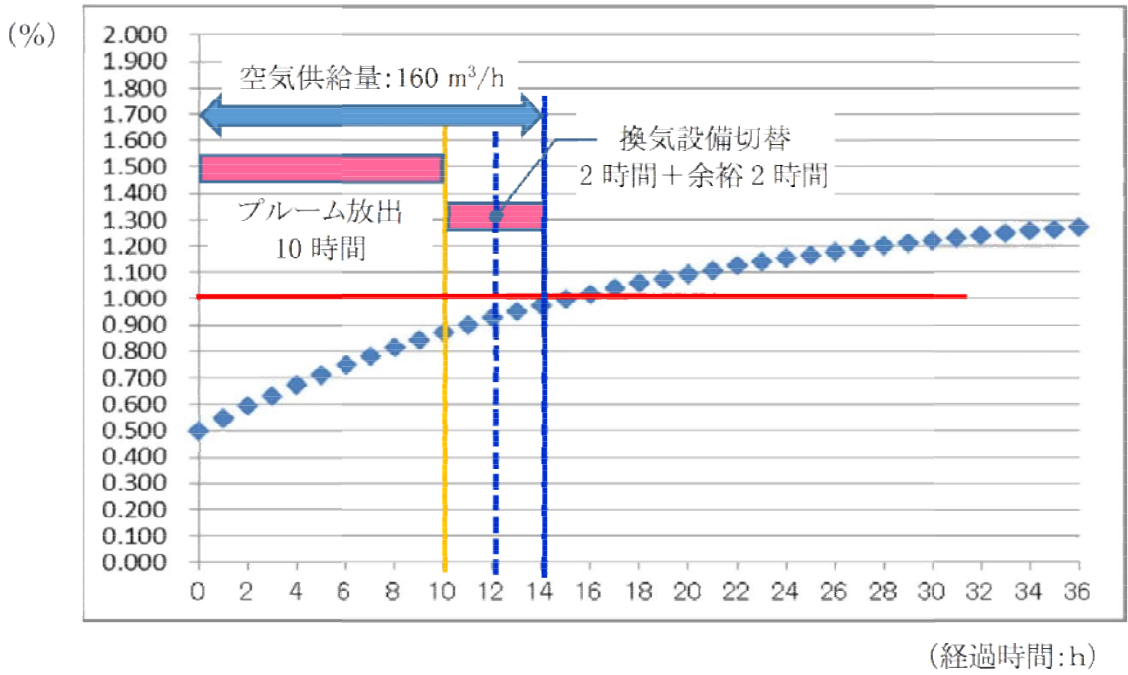


図4-12 緊急時対策所のバウンダリ容積

二酸化炭素 濃度変化



酸素 濃度変化

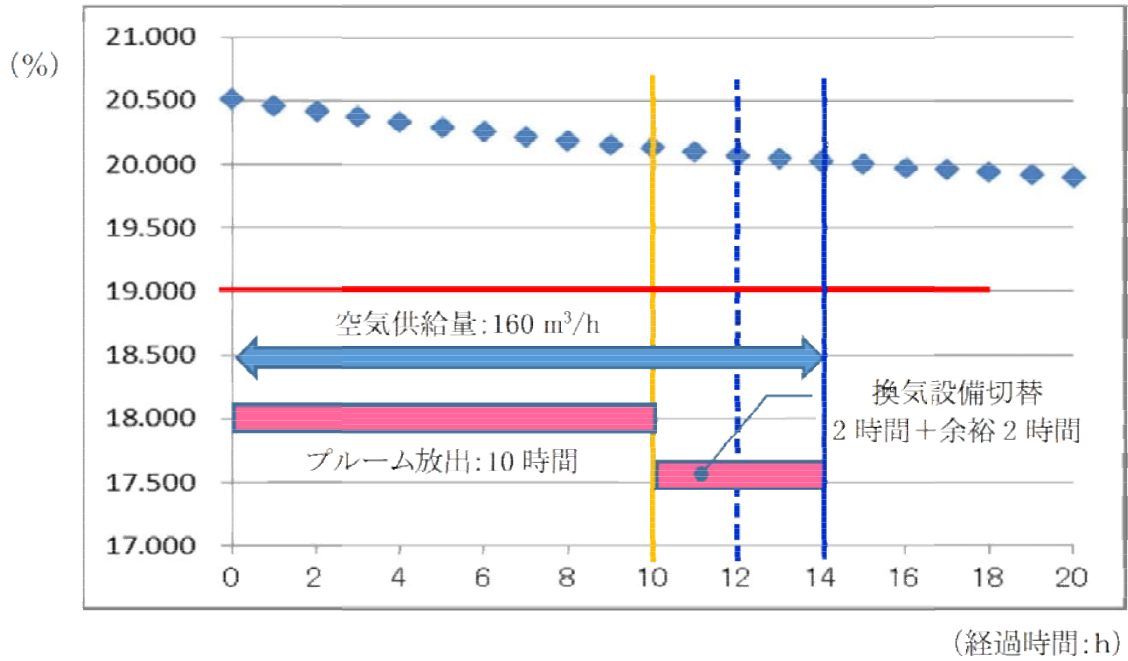


図4-13 緊急時対策所内酸素濃度及び二酸化炭素濃度推移

5. 熱除去の検討

熱除去の検討では、伝熱理論に基づいた解析手法により遮蔽体中の温度上昇が最も厳しい箇所において評価する。

5.1 緊急時対策所遮蔽壁入射線量の設定方法

緊急時対策所遮蔽の表面に入射するガンマ線は、直接ガンマ線、スカイシャインガンマ線、クラウドシャイン及びグランドシャインがある。緊急時対策所遮蔽体を透過するガンマ線はグランドシャインが支配的であることから、遮蔽体表面に入射するガンマ線としてグランドシャインの入射線量を設定する。

評価点は入射線量が最大となる緊急時対策所中心の天井上面とする。

5.2 温度上昇の計算方法

遮蔽体は主にコンクリートで構成されており、評価上、コンクリートのみとして評価する。

重大事故等時における7日間積算のグランドシャイン線源に基づく、緊急時対策所遮蔽壁への入射線量は約 1.5×10^2 Gyであり、当該入射線量から緊急時対策所遮蔽壁表面の7日間積算のガンマ発熱量を求めると、約 3.1×10^{-4} kJ/cm³となる。これによる温度上昇は、次式で算出する。

$$\Delta T = Q \times 1000 / (c \cdot \rho)$$

ΔT : 温度上昇 (°C)

Q : 7日間積算のガンマ発熱量 (約 3.1×10^{-4} (kJ/cm³))

c : コンクリートの比熱 (1.05 (kJ/(kg・°C))) *

ρ : コンクリートの密度 (2.1 (g/cm³))

これより、緊急時対策所遮蔽の外側及び内側表面の熱伝達を保守的に断熱状態としても、遮蔽体 (コンクリート) の温度上昇は0.1 °C以下となる。

注記 * : 2007年制定 コンクリート標準示方書 構造性能照査編, 土木学会

5.3 温度上昇のまとめ

緊急時対策所のコンクリート遮蔽体表面でのガンマ線による温度上昇は0.1 °C以下となり、コンクリートのガンマ線に対する温度制限値以下であることを確認した。

緊急時対策所非常用フィルタ装置のフィルタ除去性能の維持について

緊急時対策所非常用フィルタ装置のフィルタ除去性能の維持について

緊急時対策所非常用フィルタ装置は、除去効率（性能）を維持するよう、十分な保持容量及び吸着容量を有する設計とするとともに、フィルタに付着する核分裂生成物の崩壊熱により性能が低下しない設計とする。

1. フィルタ捕集量

緊急時対策所非常用フィルタ装置のフィルタ捕集量は、別添表-1に示す炉心内蓄積質量及び別添図-1に示す過程による評価の結果、放射性微粒子量は約 1.0×10^{-1} g、よう素量は約 1.8×10^{-2} gである。

高性能粒子フィルタの粉塵保持容量は、375 g/枚であり、高性能粒子フィルタの枚数は、8枚/基のうちチャコールより前置している枚数は4枚/基となり、保持容量は1500 gとなる。

よう素用チャコールフィルタの保持容量は、保守的に考え保持容量の小さいヨウ化カリウム添着炭の $100 \mu\text{g/g}$ を保持できるものとする。活性炭充填量は17.3 kg/トレイであり、18トレイ/基設置しているため、保持容量は31.14 gとなる。

緊急時対策所非常用フィルタ装置の捕集量並びに保持容量及び吸着容量を別添表-2に示す。

2. フィルタに付着した核分裂生成物崩壊熱による温度上昇

(1) フィルタに付着した核分裂生成物崩壊熱による発熱量

フィルタの発熱量 Q_F Wは、線量評価における割合で大気に放出された核分裂生成物（希ガス除く）が、緊急時対策所非常用フィルタ装置のフィルタにより全量捕集されるものとし、フィルタに蓄積する最大放射能とアルファ、ベータ、ガンマ線の全吸収エネルギーを乗じて全吸収による発熱量 Q_F を、下式により計算する。

フィルタに蓄積する最大放射能及び最大発熱量を別添表-3に示す。

$$Q_F = q_F \times (\text{アルファ線全吸収エネルギー} + \text{ベータ線全吸収エネルギー} + \text{ガンマ線全吸収エネルギー}) \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$q_F = \int^T q_1(t) \cdot \chi / Q \cdot L_F \cdot F(t) dt$$

ここで

q_F : フィルタに蓄積する最大放射能 (Bq)

$q_1(t)$: 事故後t時間における放出量 (Bq)

χ / Q : 緊急時対策所における相対濃度 (s/m^3)

L_F : 送風機稼動中の風量 900 (m^3/h)

$F(t)$: 減衰率 (ORIGEN2により計算)

T : 送風機稼動時間 (h)

以上から $Q_F = \text{約} 2.1 \text{ W}$ となり, 保守的に 10 W として温度評価を行う。

(2) フィルタに付着した核分裂生成物崩壊熱による温度上昇

崩壊熱による発熱量 ($Q_F = 10 \text{ W}$) と, 非常用フィルタ装置 (ケーシング) の放熱量 q がバランスするときの温度上昇を求める。

ケーシングからの放熱量 q は一般的に下式により求められる。

$$q = K \times A \times \Delta T$$

ここで

ΔT : ケーシングの上昇温度 ($^{\circ}\text{C}$)

K : 熱貫流率 $4.5 \text{ (W / (m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C))}$

$$(K = 1 / (1 / \alpha_i + d / \lambda + 1 / \alpha_o))$$

α_i : 表面熱伝達率 (内側) $9 \text{ (W / (m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C))}$

α_o : 表面熱伝達率 (外側) $9 \text{ (W / (m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C))}$

d : ケーシング板厚 0.006 (m)

λ : ケーシング熱伝達率 $16.3 \text{ (W (m} \cdot ^{\circ}\text{C))}$

A : ケーシング伝熱面積 $36 \text{ (m}^2)$

この式と, 発熱量と放熱量のバランス ($Q_F = q$) より, $\Delta T \cong 6.2 \times 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}$ となる。

緊急時対策所非常用フィルタ装置のフィルタに付着する核分裂生成物の量は, 「フィルタ捕集量」より約 $1.2 \times 10^{-1} \text{ g}$ であり, この核分裂生成物の発熱量とフィルタユニット (ケーシング) から屋外への放熱量とのバランスを考慮すると, 核分裂生成物による温度上昇は約 $6.2 \times 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}$ となり, 温度上昇は殆どない。

フィルタ装置の使用可能温度は設計上 $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ であること, 核分裂生成物による温度上昇は殆どないことから, 除去効率 (性能) が低下することはない。

別添表-1 炉心内蓄積量（安定核種を含む）

核種グループ	炉心内蓄積量 (kg)
よう素類	2.4×10^1
C s 類	1.5×10^2
S b 類	3.2×10^{-2}
T e 類	5.9×10^{-1}
S r 類	6.8×10^1
B a 類	2.2×10^0
R u 類	1.9×10^1
C e 類	8.0×10^2
L a 類	2.8×10^1
合計	1.1×10^3

別添表-2 緊急時対策所非常用フィルタ装置の捕集量並びに保持容量
及び吸着容量（1段当たり）

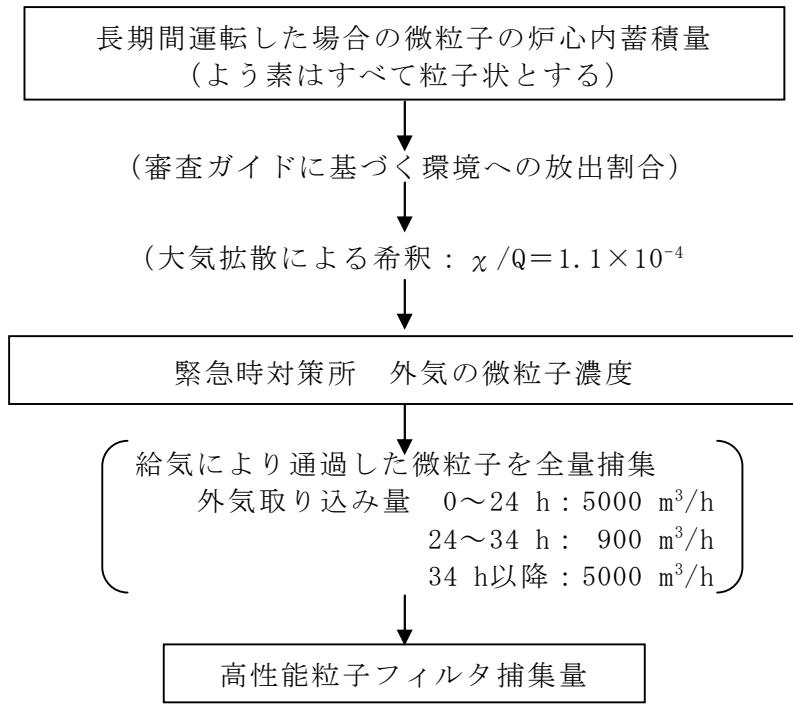
	捕集量	保持容量/吸着容量*1
放射性微粒子	1.0×10^{-1} g	1500 g
よう素	1.8×10^{-2} g	31.14 g

*1：緊急時対策所非常用フィルタ装置の保持容量（高性能粒子フィルタ）
及び吸着容量（よう素用チャコールフィルタ）

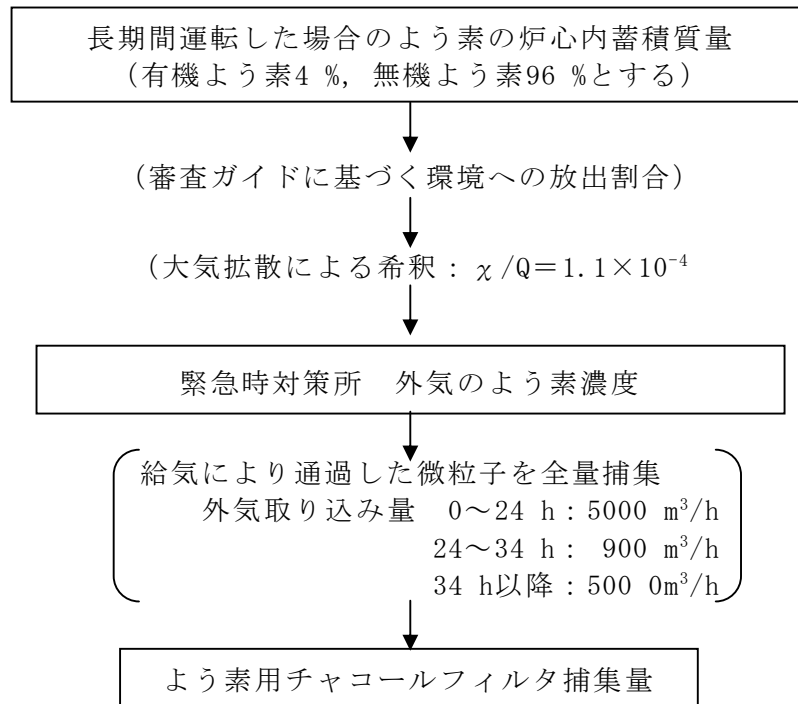
別添表-3 フィルタに蓄積する最大放射能及び最大発熱量

核種	蓄積放射能 (Bq)	アルファ線 エネルギー* (eV)	ベータ線 エネルギー* (eV)	ガンマ線 エネルギー* (eV)	発熱量 (W)
I-131	2.2×10^{12}		1.9×10^5	3.8×10^5	2.0×10^{-1}
I-132	2.7×10^{12}		4.9×10^5	2.3×10^6	1.2×10^0
I-133	2.0×10^{12}		4.1×10^5	6.1×10^5	3.2×10^{-1}
I-134	1.6×10^4		6.3×10^5	2.6×10^6	8.2×10^{-9}
I-135	2.3×10^{11}		3.4×10^5	1.6×10^6	7.2×10^{-2}
Rb-86	4.4×10^9		6.7×10^5	9.3×10^4	5.3×10^{-4}
Cs-134	3.1×10^{11}		1.6×10^5	1.6×10^6	8.5×10^{-2}
Cs-136	8.0×10^{10}		1.3×10^5	1.4×10^6	2.0×10^{-2}
Cs-137	2.5×10^{11}		2.5×10^5	5.9×10^5	3.4×10^{-2}
Sb-127	8.8×10^{10}		3.1×10^5	6.9×10^5	1.4×10^{-2}
Sb-129	4.3×10^9		4.0×10^5	1.4×10^6	1.2×10^{-3}
Te-127	9.2×10^{10}		2.2×10^5	4.9×10^3	3.4×10^{-3}
Te-127m	7.4×10^9		7.6×10^4	1.1×10^4	1.0×10^{-4}
Te-129	3.5×10^{10}		5.4×10^5	6.2×10^4	3.4×10^{-3}
Te-129m	4.0×10^{10}		2.7×10^5	3.7×10^4	2.0×10^{-3}
Te-131m	1.5×10^{11}		1.6×10^5	1.4×10^6	3.8×10^{-2}
Te-132	1.4×10^{12}		9.7×10^4	2.3×10^5	7.5×10^{-2}
Sr-89	2.3×10^{10}		5.8×10^5	0.0	2.2×10^{-3}
Sr-90	2.3×10^9		2.0×10^5	0.0	7.3×10^{-5}
Sr-91	3.6×10^9		6.5×10^5	7.1×10^5	7.9×10^{-4}
Sr-92	2.4×10^7		2.0×10^5	1.3×10^6	6.0×10^{-6}
Ba-139	5.5×10^4		9.0×10^5	4.6×10^4	8.3×10^{-9}
Ba-140	4.0×10^{10}		3.2×10^5	1.8×10^5	3.2×10^{-3}
Co-58	1.9×10^3		3.4×10^4	9.7×10^5	3.0×10^{-10}
Co-60	8.0×10^2		9.7×10^4	2.5×10^6	3.3×10^{-10}
Mo-99	9.1×10^4		3.9×10^5	1.5×10^5	7.9×10^{-9}
Tc-99m	8.6×10^4		1.5×10^4	1.3×10^5	2.0×10^{-9}
Ru-103	9.7×10^4		6.7×10^4	5.0×10^5	8.7×10^{-9}
Ru-105	8.0×10^2		4.1×10^5	7.4×10^5	1.5×10^{-10}
Ru-106	3.4×10^4		1.0×10^4	0.0	5.4×10^{-11}
Rh-105	4.0×10^4		1.5×10^5	7.7×10^4	1.5×10^{-9}
Ce-141	2.2×10^8		1.7×10^5	7.7×10^4	8.6×10^{-6}
Ce-143	1.1×10^8		4.3×10^5	2.8×10^5	1.3×10^{-5}
Ce-144	1.7×10^8		9.1×10^4	1.9×10^4	3.0×10^{-6}
Np-239	1.7×10^9		2.6×10^5	1.8×10^5	1.2×10^{-4}
Pu-238	3.5×10^5	5.5×10^6	1.1×10^4	2.1×10^3	3.0×10^{-7}
Pu-239	4.5×10^4	5.1×10^6	7.5×10^3	1.1×10^3	3.7×10^{-8}
Pu-240	5.0×10^4	5.2×10^6	1.1×10^4	1.9×10^3	4.1×10^{-8}
Pu-241	1.8×10^7	1.2×10^2	5.2×10^3	1.8×10^0	1.5×10^{-8}
Y-90	3.5×10^6		9.3×10^5	1.3×10^0	5.2×10^{-7}
Y-91	4.4×10^7		6.0×10^5	3.1×10^3	4.3×10^{-6}
Y-92	6.4×10^5		1.5×10^6	2.5×10^5	1.7×10^{-7}
Y-93	7.4×10^6		1.2×10^6	9.6×10^4	1.5×10^{-6}
Zr-95	5.8×10^7		1.2×10^5	7.3×10^5	7.9×10^{-6}
Zr-97	1.8×10^7		7.1×10^5	1.9×10^5	2.5×10^{-6}
Nb-95	5.9×10^7		4.5×10^4	7.6×10^5	7.6×10^{-6}
La-140	6.2×10^7		5.4×10^5	2.3×10^6	2.8×10^{-5}
La-141	4.2×10^5		9.6×10^5	2.7×10^4	6.7×10^{-8}
La-142	2.9×10^2		8.7×10^5	2.4×10^6	1.5×10^{-10}
Pr-143	5.1×10^7		3.2×10^5	9.0×10^{-3}	2.6×10^{-6}
Nd-147	2.1×10^7		2.7×10^5	1.4×10^5	1.4×10^{-6}
Am-241	5.6×10^3	5.5×10^6	3.7×10^4	2.9×10^4	5.0×10^{-9}
Cm-242	1.8×10^6	6.1×10^6	9.6×10^3	2.0×10^3	1.7×10^{-6}
Cm-244	1.1×10^5	5.8×10^6	7.9×10^3	1.7×10^3	1.1×10^{-7}
					2.1×10^0

* : JAEA-Data/Code 2011-025「JENDL FP Decay Data File 2011 and Fission Yields Data File 2011」 2012.3 日本原子力研究開発機構 JAERI-1347 Nuclear Decay Data for Dosimetry Calculation Revised Data of ICRP Publication 38 February2005 日本原子力研究所



緊急時対策所非常用フィルタ装置の高性能粒子フィルタ捕集量評価の過程



緊急時対策所非常用フィルタ装置のよう素用チャコールフィルタ捕集量評価の過程

別添図-1 緊急時対策所非常用フィルタ装置 (高性能粒子フィルタ及びよう素用チャコールフィルタ) 捕集量評価の過程

緊急時対策所遮蔽に係るストリーミングの考慮について

緊急時対策所遮蔽に係るストリーミングの考慮について

緊急時対策所に設置する出入口開口部又は配管その他の貫通部から、緊急時対策所遮蔽を透過せず、散乱等によるストリーミングが加圧エリアに影響を与えないよう、放射線の漏えい防止措置を講ずる。

ストリーミングに対する防止措置の概要図を別添図-2に示す。

1. 出入口開口部に対する考慮

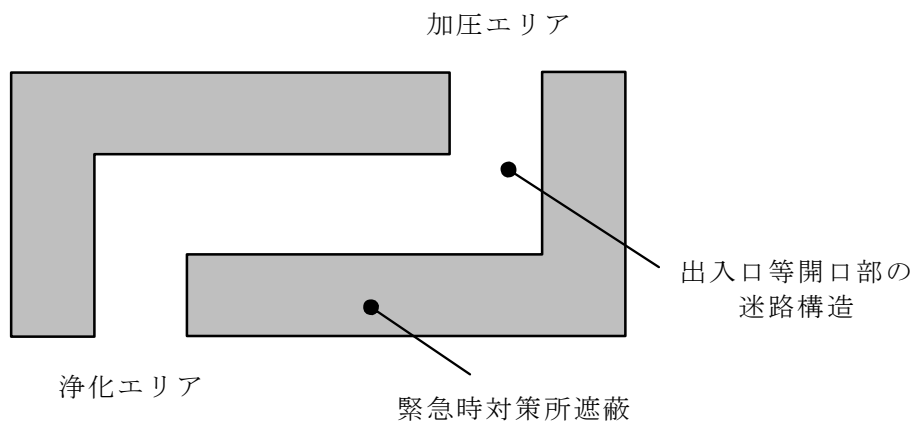
緊急時対策所の出入口開口部からのストリーミングが加圧エリアに影響を与えないよう以下の放射線の漏えい防止措置を講ずる。

- (1) 出入口開口部は、原則として開口部を通して線源が直接見通せないよう迷路構造とする。
- (2) 出入口開口部の大きさは、可能な限り小さくする。

2. 配管その他の貫通部に対する考慮

緊急時対策所の配管その他の貫通部からのストリーミングが加圧エリアに影響を与えないよう以下の放射線の漏えい防止措置を講ずる。

- (1) 貫通部は、原則として床上2 m以上の位置に設置する。
- (2) 貫通部は、原則として貫通部を通して線源が直接見通せない位置に設置する。
- (3) 隣接する貫通部は、可能な限り間隔を開ける。
- (4) 貫通部の大きさは、可能な限り小さくする。



別添図-2 出入口等開口部に対する放射線漏えい防止措置の概要図

計算機プログラム（解析コード）の概要

目 次

1. はじめに	別紙1-1
2. 解析コードの概要	別紙1-2
2.1 QAD-CGGP2R	別紙1-2
2.2 ANISN	別紙1-5
2.3 G33-GP2R	別紙1-7
2.4 ORIGEN2	別紙1-10

1. はじめに

本資料は、V-1-9-3-2「緊急時対策所の居住性に関する説明書」において使用した計算機プログラム（解析コード）について説明するものである。

2. 解析コードの概要

2.1 QAD-CGGP2R

このコード*¹は、点減衰核積分法に基づく高速中性子及びガンマ線に対する遮蔽計算用コードである。別紙1-図1にQAD-CGGP2Rコードの計算体系を示す。

一般に点減衰核積分法では、線源領域を細かく分割し、細分化された各線源領域を点線源で近似する。そして各点線源から計算点までの媒質の通過距離を計算して非散乱ガンマ線束を求める。次に個々の点線源について求められた非散乱ガンマ線束にビルドアップ係数を掛け、これを線源領域全空間について積分した後、線量率換算係数を掛けて計算点での線量率を求める。エネルギーEのガンマ線を等方に放出する強度Sの線源による線量率は次式のとおりである。

$$D(r) = F \cdot \int_V \frac{S(r', E) \cdot B(\mu \cdot |r - r'|, E) \cdot e^{-\mu |r - r'|}}{4 \cdot \pi \cdot |r - r'|^2} dv \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

- r : 線量率を計算する位置
- r' : 個々の点線源の位置
- D(r) : r点での線量率
- S(r', E) : r'点におけるエネルギーEのガンマ線源強度
- μ : エネルギーEのガンマ線の線吸収係数
- B(μ · |r - r'|, E) : エネルギーEの線量ビルドアップ係数
- V : 線源領域全空間
- F : エネルギーEの線量率換算係数

ガンマ線ビルドアップ係数は、無限均質媒質中での非散乱ガンマ線による線量に対する散乱ガンマ線を含む全線量比である。

ガンマ線ビルドアップ係数は、米国で整備されたモーメント法*²に基づく計算結果を基礎としており、GP (Geometrical Progression) 式による多項式近似を使ってガンマ線ビルドアップ係数に対するフィッティングパラメータが適用されている。

多項式近似式では、ビルドアップ係数として、水、コンクリート、鉄及び鉛に対するデータを準備しており、これらのもので近似的にいろいろな物質を代表させている。GP法による近似式は、以下のとおりである。

注記*1 : R I S T NEWS No. 33 「実効線量評価のための遮蔽計算の現状」
2002. 3. 31, (財) 高度情報科学技術研究機構

注記*2 : C.M.Eisenhauer and G.L.Simmons, “Point Isotropic Gamma-Ray Buildup Factors in Concrete, Nul. Sci. Eng., 56, 263(1975)”

$$B(x,E) = 1 + (B - 1) \cdot \frac{K^x - 1}{K - 1} \quad : K \neq 1 \text{ のとき}$$

$$= 1 + (B - 1) \cdot x \quad : K = 1 \text{ のとき}$$

ここで、Eはガンマ線エネルギーであり、B及びKは減衰係数x（平均自由行程(mfp)）で決まる値であり、このときKは、次式で与えられる。

$$K = c \cdot x^a + d \cdot \frac{\tanh(x/X_k - 2) - \tanh(-2)}{1 - \tanh(-2)} \quad : x \leq 40$$

$$= 1 + (K_{35} - 1) \cdot \left| \frac{K_{40} - 1}{K_{35} - 1} \right|^{\zeta(x)} \quad : x > 40 \text{ かつ } 0 < \left| \frac{K_{40} - 1}{K_{35} - 1} \right| < 1$$

$$= 1 + K_{35} \cdot \left| \frac{K_{40}}{K_{35}} \right|^{\zeta(x)^{0.8}} \quad : x > 40 \text{ かつ}$$

$$\left| \frac{K_{40} - 1}{K_{35} - 1} \right| \leq 0 \text{ 又は } \left| \frac{K_{40} - 1}{K_{35} - 1} \right| \geq 1$$

ここで、

- K_{35}, K_{40} : 減衰係数xが35 mfp又は40 mfpのときのパラメータKの値
- B : 物質及びガンマ線エネルギー依存のビルドアップ係数を近似するパラメータ
- c : 物質及びガンマ線エネルギー依存のビルドアップ係数を近似するパラメータ
- a : 物質及びガンマ線エネルギー依存のビルドアップ係数を近似するパラメータ
- X_k : 物質及びガンマ線エネルギー依存のビルドアップ係数を近似するパラメータ
- d : 物質及びガンマ線エネルギー依存のビルドアップ係数を近似するパラメータ

また、 $\zeta(x)$ は次式で与えられる。

$$\zeta(x) = \frac{\left(\frac{x}{35}\right)^{0.1} - 1}{\left(\frac{x}{40}\right)^{0.1} - 1}$$

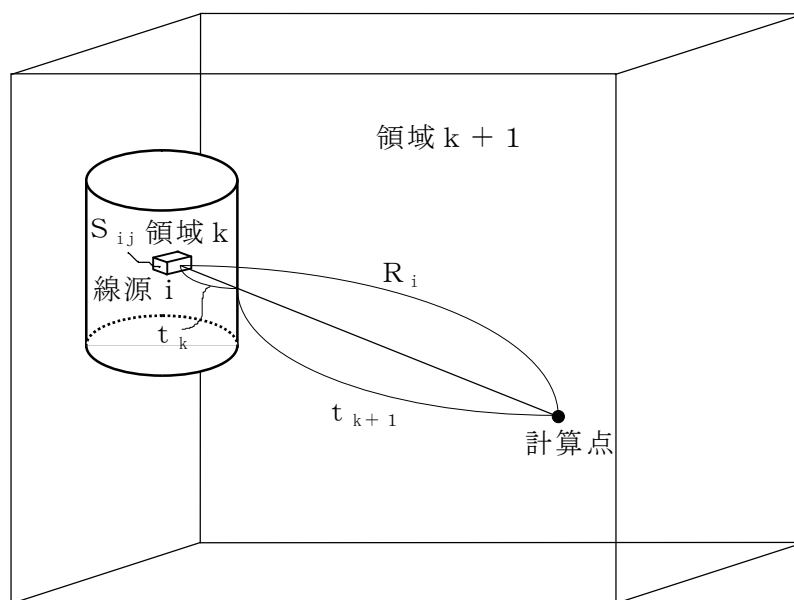
QAD-CGGP2Rコードでは、エネルギー第j群の線量率を求めるのに(1)式を近似的に次式で計算する。

$$D_j = \sum_i F_j \cdot \frac{S_{ij}}{4 \cdot \pi \cdot R_i^2} \cdot e^{\left(-\sum_k \mu_{jk} \cdot t_k\right)} \cdot B_{ij}$$

ここで、

- j : エネルギー群番号
- i : 線源点番号
- k : 領域番号
- F_j : 線量率換算係数
- S_{ij} : i 番目の線源点で代表される領域の体積で重みづけされたエネルギー j 群の点線源強度
- R_i : i 番目の線源点と計算点の距離
- B_{ij} : ビルドアップ係数
- μ_{jk} : 領域 k における, エネルギー j 群のガンマ線に対する線吸収係数
- t_k : 領域 k をガンマ線が透過する距離

このようにして求められた線量率 D_j から, すべての線源エネルギー群について加えることにより全線量率が計算される。



別紙1-図1 QAD-CGGP 2Rコードの計算体系

2.2 ANISN

ANISNコード⁽¹⁾は、米国オークリッジ国立研究所で開発された線型ボルツマン輸送方程式を、Sn法を用いて解く計算プログラムである。本コードの計算形状は、一次元形状（無限平板、球、無限円柱）であり、中性子、ガンマ線の輸送問題等を解くことができる。計算には次のデータの入力が必要である。

① 線源データ

体積分布線源，境界線源，初回衝突線源の3つの形式で入力が可能。体積分布線源では，各空間メッシュにおける中性子発生数を与える。方法としては，各メッシュ各エネルギー群ごとに発生個数を与える方法と，空間分布とエネルギースペクトルを分離して入力する方法がある。

② 体系データ

空間メッシュ分割のデータであり，座標とともに領域番号の指定を通じて，各メッシュ点での媒質が指定される。

③ 断面積データ（群定数）

断面積データは，評価済核データより作成した群定数を用いる。

④ 角度分点

⑤ 計算条件

繰り返し計算の収束条件，境界条件等を指定する。

2.2.1 計算方法

中性子，ガンマ線の放射線束分布は，基本式であるボルツマンの輸送方程式を解くことにより求められる。

$$\begin{aligned} & \Omega \cdot \nabla \varphi(r, E, \Omega) + \Sigma_t(r, E) \cdot \varphi(r, E, \Omega) \\ & = \iint \Sigma_s(r, E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega) \cdot \varphi(r, E', \Omega') dE' d\Omega' + S(r, E, \Omega) \end{aligned}$$

$$\phi(r, E) = \int \varphi(r, E, \Omega) d\Omega$$

ここで，

E	: エネルギー (MeV)
Ω	: 進行方向の単位ベクトル
$\varphi(r, E, \Omega)$: 中性子及びガンマ線の角度分布束（位置rで単位ベクトル Ω 方向の単位立体角あたりに進む Ω に垂直な面を単位時間に通過する粒子の数）（ $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ）

$\Sigma_t(r,E)$: マクロ全断面積 (cm^{-1})

$$\Sigma_t(r,E) = \sum_i N_i(r) \cdot \sigma_{ti}(E)$$

ここで,

$N_i(r)$: 核種*i*の原子数密度 (10^{24} cm^{-3})

$\sigma_{ti}(E)$: 核種*i*の全断面積 (10^{-24} cm^2)

$\Sigma_s(r,E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega)$: $\Sigma_s(r,E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega)$

$$= \sum_i N_i(r) \cdot \sigma_{si}(E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega)$$

ここで,

$N_i(r)$: 核種*i*の原子数密度 (10^{24} cm^{-3})

$\sigma_{si}(E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega)$

: 核種*i*のエネルギーが*E'* から*E*, 進行方向ベクトルが Ω' から Ω に変化する散乱断面積, あるいは中性子による捕獲ガンマ線及び非弾性散乱ガンマ線の生成断面積 (10^{-24} cm^2)

$S(r, E, \Omega)$: 中性子及びガンマ線の発生量 ($\text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$)

$\phi(r,E)$: 中性子及びガンマ線の線束 ($\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

2.2.2 主要な出力

出力する主要なデータは, ①線束及び角度依存線束, ②領域ごとのバランス表である。①で出力された各メッシュ点での線束に線量率換算係数を乗じることで, 各メッシュ点での中性子, ガンマ線の線量率を算出することができる。

2.2.3 引用文献

- (1) W. W. Engle, Jr., A USERS MANUAL FOR ANISN: A One Dimensional Discrete Ordinates Transport Code with Anisotropic Scattering, K-1693 (1967)

2.3 G33-GP2R

G33-GP2Rコード⁽¹⁾は、Los Alamos Scientific Laboratoryで開発されたガンマ線多群散乱計算プログラムである。本コードは、点等方線源からの一回散乱を計算する。散乱は、クライナー仁科の式に基づき計算する。散乱が起こる領域は直角、球、円筒座標により指定し、遮蔽体は平板、球、円筒又は二次曲面により入力することができる。このコードには質量減衰係数のライブラリが入っている。

出力として、評価点でのエネルギー別の直接線及び散乱線による線量率が得られる。

2.3.1 計算方法

別紙1-図2に、線源、散乱点、評価点により形成される三角形を示す。

(1) 直接線

エネルギーEのガンマ線を等方に放出する強度Sの線源による直接線の線量率は次式で与えられる。

$$D_1(E) = \frac{S(E)}{4\pi\rho_d^2} \cdot K(E) \cdot B(x, E) \cdot e^{-x}$$

ここで、

$D_1(E)$: 評価点での直接線による線量率

$S(E)$: 線源強度

ρ_d : 線源から評価点までの距離

$K(E)$: 線量率換算係数

$B(x, E)$: ビルドアップファクタ

x : 実効透過距離 (平均自由行程)

$$x = \sum_m \mu_m \cdot \rho_m$$

μ_m : 物質mの線減衰係数

ρ_m : 物質mの透過距離

(2) 散乱線

散乱点でのガンマ線束は、次式で与えられる。

$$\phi(E) = \frac{S(E)}{4\pi\rho^2} \cdot e^{-x}$$

ここで、

$\phi(E)$: 散乱位置でのガンマ線束

ρ : 線源から散乱点までの距離

散乱後，評価点に到達するガンマ線の線量率は次式で与えられる。

$$D_2(E) = \frac{\phi(E)}{\rho_s} \cdot K(E') \cdot B(x, E') \cdot N \cdot \frac{d\sigma}{d\Omega}(E, \theta) \cdot e^{-x}$$

ここで，

$D_2(E)$: 評価点での散乱線による線量率

ρ_s : 散乱点から評価点までの距離

$K(E')$: 散乱後のエネルギー E' のガンマ線線量率換算係数

$B(x, E')$: ビルドアップファクタ

N : 散乱体の原子数密度

$\frac{d\sigma}{d\Omega}(E, \theta)$: 微分散乱断面積 (クライン-仁科の式)

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(E, \theta) = \frac{r_0^2}{2} \cdot \frac{(1 + \cos^2\theta)}{[1 + \alpha(1 - \cos\theta)]^2} \left\{ 1 + \frac{\alpha^2(1 - \cos\theta)^2}{(1 + \cos^2\theta)[1 + \alpha(1 - \cos\theta)]} \right\}$$

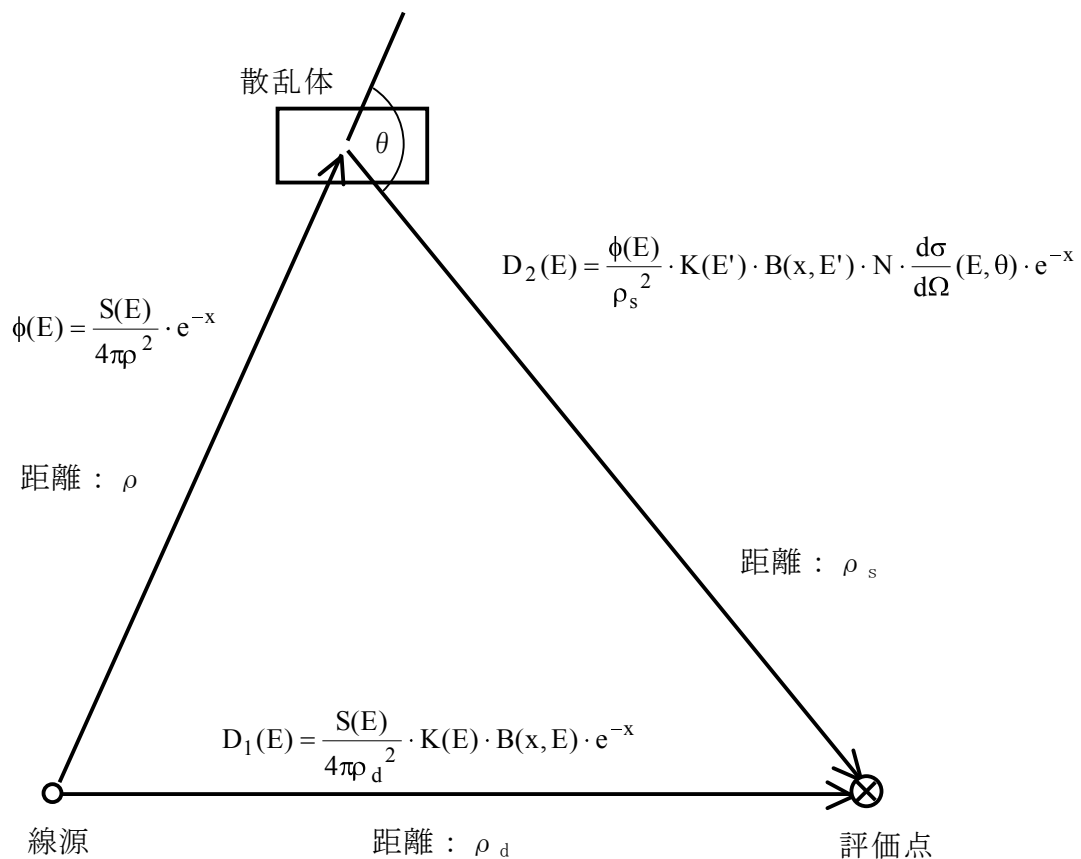
r_0 : 古典的電子半径

θ : 散乱角度

α : コンプトン波長の逆数

2.3.2 引用文献

- (1) R I S T NEWS No. 33 「実効線量評価のための遮蔽計算の現状」
2002. 3. 31, (財) 高度情報科学技術研究機構



別紙1-図2 G33-GP2Rの計算方法

2.4 ORIGEN2

2.4.1 概要

ORIGEN2コードは、米国のオークリッジ国立研究所（ORNL）で開発された汎用計算プログラムで、多数の同位元素の崩壊チェーンを考慮した生成及び壊変量を計算できる。ORIGEN2コードでは、同位元素の核特性データライブラリを用いて、中性子スペクトル（1群近似）と断面積データから、当該核種の放射化及び核壊変による生成量を計算する。このライブラリには、放射化生成物の崩壊データ、放出ベータ線、 γ 線エネルギーと放出割合等が格納されており、被照射材の放射線源強度、発熱量の計算に用いることができる。

2.4.2 機能

ORIGEN2コードは、燃焼計算に際し以下の機能を有している。

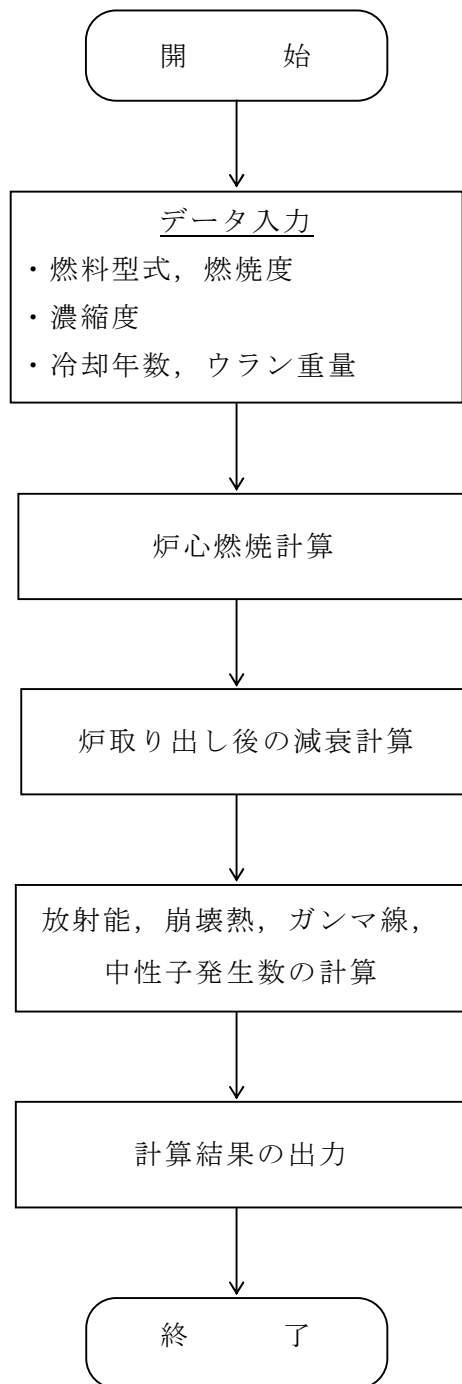
- a. 燃料の炉内での燃焼計算，炉取り出し後の減衰計算により，冷却期間に対応した崩壊熱，放射線の強度，各核種の初期内蔵量等が求められる。
- b. 原子炉の炉型と燃料の組合せに対し，中性子エネルギースペクトルの違いにより重みをつけた断面積ライブラリデータが内蔵されており，任意に選択できる。
- c. 計算結果は，放射化生成物，アクチニド，核分裂生成物に分類して出力される。
- d. 燃焼計算に必要な放射性核種のデータ（崩壊熱，ガンマ線のエネルギー分布，自発核分裂と (α, n) 反応により発生する中性子線源強度等）は，ライブラリデータとしてコードに内蔵されている。

2.4.3 計算フロー

ORIGEN2コードの計算フローを別紙1-図3に示す。

2.4.4 引用文献

A. G. Croff, "A User's Manual for the ORIGEN2 Computer Code", ORNL/TM-7175, Oak Ridge National Laboratory, (1980)



別紙1-図3 ORIGEN2コードの計算フロー図