

平成21・07・27原院第1号  
平成21年8月12日

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)

原子力安全・保安院

# 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)

## 目次

1. 適用範囲	1
2. 定義	1
3. 評価項目(評価の手順, 判断基準含む)	3
3.1 想定事故	3
3.2 評価項目	3
3.3 判断基準	4
4. 大気中への放出量の評価	7
4.1 BWR型原子炉施設	7
4.1.1 原子炉冷却材喪失	7
4.1.2 主蒸気管破断	9
4.2 PWR型原子炉施設	11
4.2.1 原子炉冷却材喪失	11
4.2.2 蒸気発生器伝熱管破損	13
5. 大気拡散の評価	15
5.1 放射性物質の大気拡散	15
5.1.1 大気拡散の計算式	15
5.1.2 原子炉施設周辺の建屋影響による拡散	18
5.1.3 濃度分布の拡がりのパラメータ $\sigma_y$ 及び $\sigma_z$	27
5.2 相対濃度( $\chi/Q$ )	29
5.2.1 実効放出継続時間内の気象変動の扱いの考え方	29
5.2.2 実効放出継続時間に応じた水平方向濃度の扱い	30
5.3 相対線量( $D/Q$ )	32
6. 建屋内の放射性物質からのスカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線	34
6.1 スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の線源の計算	34
6.2 スカイシャインガンマ線の計算	35
6.3 直接ガンマ線の計算	37
7. 中央制御室居住性に係る被ばく評価	39
7.1 建屋内の放射性物質からのガンマ線による中央制御室内での被ばく	39
7.1.1 建屋内の放射性物質からのスカイシャインガンマ線による中央制御室内での被ばく	40
7.1.2 建屋内の放射性物質からの直接ガンマ線による中央制御室内での被ばく	43
7.2 大気中へ放出された放射性物質のガンマ線による中央制御室内での被ばく	46

7.3 室内に外気から取り込まれた放射性物質による	
中央制御室内での被ばく	48
7.3.1 中央制御室が属する建屋周辺の放射性物質の濃度	49
7.3.2 中央制御室内の放射性物質濃度	50
7.3.3 室内に外気から取り込まれた放射性物質の吸入摂取による	
中央制御室内での被ばく	51
7.3.4 室内に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	
中央制御室内での被ばく	53
7.4 建屋内の放射性物質からのガンマ線による	
入退域時の被ばく	55
7.4.1 建屋内の放射性物質からのスカイシャインガンマ線による	
入退域時の被ばく	56
7.4.2 建屋内の放射性物質からの直接ガンマ線による	
入退域時の被ばく	59
7.5 大気中へ放出された放射性物質による入退域時の被ばく	62
7.5.1 大気中へ放出された放射性物質からのガンマ線による	
入退域時の被ばく	63
7.5.2 大気中へ放出された放射性物質の吸入摂取による	
入退域時の被ばく	65
8. 文書化	67
8.1 文書化の対象	67
8.2 要求事項への適合性の文書化	67
8.3 除外事項などの適用妥当性の文書化	67
8.4 文書の構成	67
参考文献	69
解説	
【解説 3.1】想定事故	71
【解説 3.2】判断基準	71
【解説 4.1】「定格出力に余裕を見た出力」及び「十分長時間運転」の想定	71
【解説 4.2】フィルタ除去効率	71
【解説 4.3】原子炉格納容器からの漏えい	71
【解説 4.4】再循環水漏えいによる放出	72
【解説 5.1】建屋の影響がない場合の拡散	72
【解説 5.2】建屋の影響がある場合の拡散	72
【解説 5.3】建屋の影響がある場合の濃度の計算	73
【解説 5.4】鉛直方向の最大濃度	76
【解説 5.5】鉛直方向の最大濃度の濃度減衰項の扱い	77
【解説 5.6】巻き込みを生じる建屋の選定	78
【解説 5.7】評価する方位	78
【解説 5.8】評価点又は放出点と建屋との位置関係	80
【解説 5.9】矩形状の建屋の場合の評価対象方位の決定方法	80
【解説 5.10】評価する方位数の合理化	82
【解説 5.11】建屋投影面積	82

【解説 5.12】地表面高さが方位によって異なる場合の投影断面積の選定	83
【解説 5.13】相対濃度の具体的な計算方法	84
【解説 5.14】建屋の影響がない場合の長時間平均の処理式を、 建屋の影響がある場合に適用することが適切でない理由	85
【解説 6.1】原子炉格納容器からのスカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線	87
【解説 6.2】解析の対象にする核種の例	87
【解説 7.1】線量を評価すべき被ばく経路	88
【解説 7.2】中央制御室内の雰囲気中に浮遊する放射性物質量の時間変化	88
【解説 7.3】蒸気発生器伝熱管破損時の直交替を考慮した線量評価	89
【解説 7.4】スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線による 入退域時の被ばく計算	89
【解説 7.5】入退域時の被ばく評価点	90
別添資料 原子力発電所の中央制御室の空気流入率測定試験手法	91



# 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)

## 1. 適用範囲

「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)」(以下「内規」という。)は、発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令(昭和40年通商産業省令第62号)第24条の2第3項の規定のうち放射線防護に係る技術基準への適合性を評価する手法を定めたものである。

本内規は、BWR及びPWR型原子力発電所の中央制御室居住性の評価のうち、放射性物質による被ばく評価に着目し、評価を実施する場合の要件及びそれを満たす具体的方法を実施の手順を踏まえて評価手法として規定したものである。

本内規は、既設炉の被ばく評価が対象であるが、新增設の設計の場合の評価についても使用できる。

## 2. 定義

### a) アニュラス部

PWR型原子炉施設における原子炉格納容器と原子炉建屋の間の気密性の高い円環状空間のこと。

### b) 空気流入量

別添の「原子力発電所の中央制御室の空気流入率測定試験手法」において定められた空気流入率に、中央制御室バウンダリ内体積(容積)を乗じたものである。

### c) 原子炉格納容器

原子炉、原子炉冷却設備及びその関連設備を格納する容器のこと。

### d) 原子炉建屋

原子炉格納容器及びその関連施設を収容する建屋のこと。

### e) 実効線量

放射線による組織ごとの影響の起こりやすさを勘案して、全身が均等に被ばくした場合と同一尺度で被ばくの影響を表す量のこと。

### f) 線源

放射線の発生源のこと。本内規では、想定事故時に原子炉施設内で放射性物質が存在している場所のことをいう。

### g) 相対線量

方位別の着目地点の単位放出率当たりの線量率のこと。

### h) 相対濃度

単位放出率当たりの方位別の着目地点の放射性物質の空气中濃度のこと。

- i) 想定事故  
中央制御室居住性に係る運転員の被ばくを評価するために設定した事故のこと。
- j) 中央制御室  
反応度制御系統及び原子炉停止系統に係る設備を操作する装置，非常用炉心冷却設備等非常時に原子炉の安全を確保するための設備を操作する装置，原子炉及び一次冷却系統に係る主要な機械器具の動作状態を表示する装置，主要計測装置の計測結果を表示する装置，その他の原子炉を安全に運転するための主要な装置を運転操作する施設。
- k) (中央制御室)バウンダリ  
想定事故時に，中央制御室換気空調設備によって，給・排気される区域。
- l) 二次格納施設  
BWR型原子炉施設で，原子炉格納容器から漏えいした放射性物質が直接外部に放出されないように機能する原子炉建屋のこと。
- m) 被ばく経路  
原子力施設から放出される，又は，滞留する放射性物質によって，人の放射線被ばくをもたらす経路のこと。
- n) プルーム  
大気中に放出された煙の流れのこと(煙流)。原子炉施設の安全評価では，大気中に放出される放射性物質をプルームという。
- o) 放出源  
想定事故時に放射性物質が施設から大気中へと放出されるとき，放出場所のこと。
- p) 入退域  
運転員が直交替のために，中央制御室に入域及び中央制御室から退域すること。
- q) 流入  
活性炭フィルタを経由しないで中央制御室に流入する空気のこと。

### 3. 評価項目(評価の手順, 判断基準含む)

#### 3.1 想定事故

##### (1) 想定事故の種類

原子炉施設の構造, 特性及び安全上の諸対策から, 放射性物質の放出の拡大の可能性のある事故の態様として, 原子炉格納容器内放出と原子炉格納容器外放出の 2 種類を考える【解説 3.1】。

- a) BWR 型原子炉施設の原子炉格納容器内放出は原子炉冷却材喪失, 原子炉格納容器外放出は主蒸気管破断とする。
- b) PWR 型原子炉施設の原子炉格納容器内放出は原子炉冷却材喪失, 原子炉格納容器外放出は蒸気発生器伝熱管破損とする。
- c) 原子炉格納容器内放出及び原子炉格納容器外放出は, 一方の事故で包含できる場合は, いずれかで代表してもよい。

#### 3.2 評価項目

##### (1) 被ばく経路

中央制御室内及び入退域時において, 次の被ばく経路による被ばくを評価する(図 3.1)。

- a) 中央制御室内での被ばく評価
  - 1) 建屋内の放射性物質からのガンマ線による被ばく  
建屋に存在する放射性物質から放射されるガンマ線による中央制御室内での被ばくを, 次の二つの経路を対象にして計算する。
    - 建屋内の放射性物質からのスカイシャインガンマ線による外部被ばく
    - 建屋内の放射性物質からの直接ガンマ線による外部被ばく
  - 2) 大気中へ放出された放射性物質による被ばく  
大気中へ放出された放射性物質から放射されるガンマ線による被ばくを計算する。
  - 3) 外気から取り込まれた放射性物質による中央制御室内での被ばく  
中央制御室内へ取り込まれた放射性物質による被ばくを, 次の二つの被ばく経路を対象にして計算する。
    - 中央制御室内へ外気から取り込まれた放射性物質の吸入摂取による内部被ばく
    - 中央制御室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
- b) 入退域時の被ばく評価
  - 4) 建屋内の放射性物質からのガンマ線による被ばく  
建屋に存在する放射性物質から放射されるガンマ線による入退域時の被ばくを, 次の二つの経路を対象にして計算する。
    - 建屋内の放射性物質からのスカイシャインガンマ線による外部被ばく
    - 建屋内の放射性物質からの直接ガンマ線による外部被ばく
  - 5) 大気中へ放出された放射性物質による被ばく  
大気中へ放出された放射性物質による入退域時の被ばくを, 次の二つの被ばく経路を対象にして計算する。
    - 大気中へ放出された放射性物質の吸入摂取による内部被ばく



- 大気中へ放出された放射性物質からのガンマ線による外部被ばく

## (2) 評価の手順

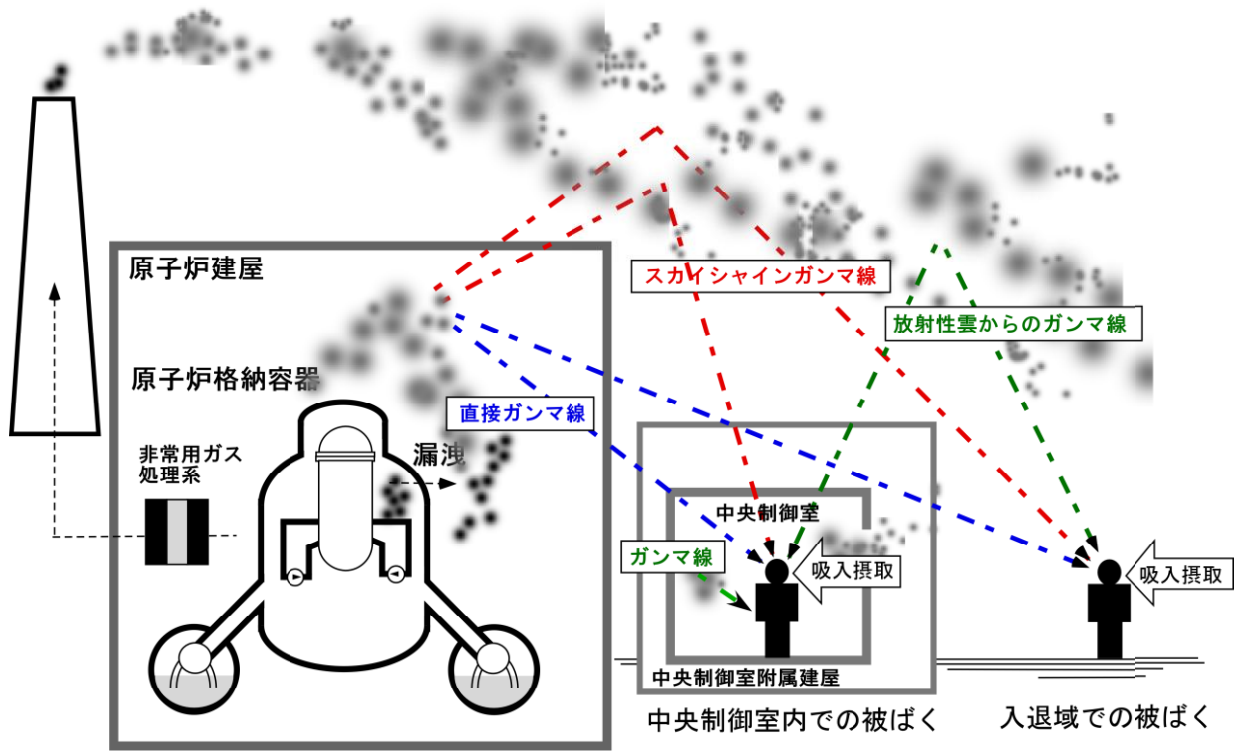
評価の手順を図 3.2 に示す。

- a) 大気中への放出量の計算及び放射性物質の施設内分布  
想定事故に対して、大気中への放射性物質放出量を計算する。また、放射性物質の施設内の存在量分布を計算する。(「4.大気中への放出量の評価」)
- b) 原子炉施設周辺の気象データを用いて、大気拡散を計算して相対濃度及び相対線量を計算する。(「5.大気拡散の評価」)
- c) 放射性物質の施設内の存在量分布から建屋内の線源強度を計算する。(「6.建屋からのスカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の評価」)
- d) 中央制御室室内での運転員の被ばくを計算する。
  - 1) 前項 c)の結果を用いて、建屋内の放射性物質からのガンマ線(スカイシャインガンマ線、直接ガンマ線)による被ばくを計算する。(「7.1 建屋内の放射性物質からのガンマ線による中央制御室内での被ばく」)
  - 2) 前項 a)及びb)の結果を用いて、大気中へ放出された放射性物質による被ばくを計算する。(「7.2 大気中へ放出された放射性物質のガンマ線による中央制御室内での被ばく」)
  - 3) 前項 a)及び b)の結果を用いて、中央制御室内に外気から取り込まれた放射性物質による被ばく(ガンマ線及び吸入摂取)を計算する。(「7.3 室内に外気から取り込まれた放射性物質による中央制御室内での被ばく」)
- e) 入退域時の運転員の被ばくを計算する。
  - 1) 前項 c)の結果を用いて、建屋に存在する放射性物質から放射されるガンマ線(スカイシャインガンマ線、直接ガンマ線)による被ばくを計算する。(「7.4 建屋内の放射性物質からのガンマ線による入退域時の被ばく」)
  - 2) 前項 a)及び b)の結果を用いて、大気中へ放出された放射性物質による被ばく(ガンマ線及び吸入摂取)を計算する。(「7.5 大気中へ放出された放射性物質による入退域時の被ばく」)
- f) 文書化  
評価条件及び評価結果を文書化する。
- g) 評価の手順の a)から c)までのうち、b)は他の評価と並列に進めてもよい。また d)及び e)は、並列に進めてもよい。

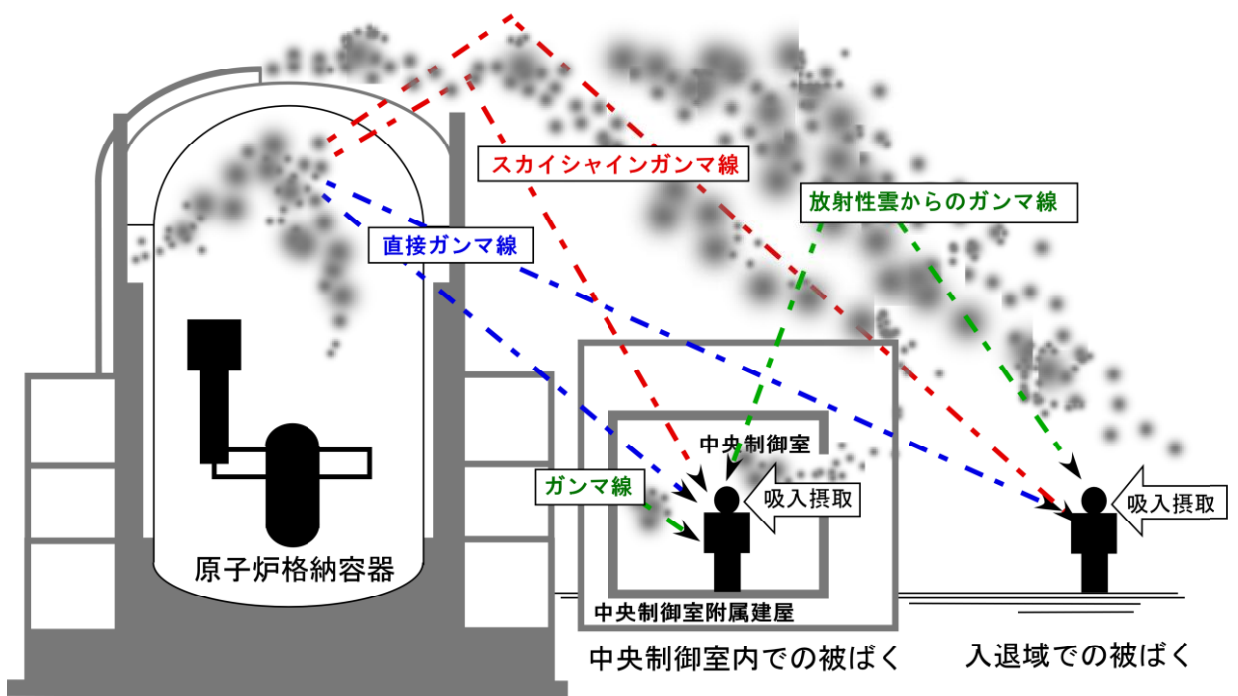
## 3.3 判断基準

「3.1 想定事故」に対して、「3.2 評価項目」の(1)a)中央制御室内での被ばく評価及び(1)b)入退域時の被ばく評価で計算した線量の合計値が、次の判断基準を満足すること。

- 1人あたりの被ばく経路ごとの実効線量の合算値が、100mSvを超えない<sup>(参1)</sup>【解説 3.2】。



(a) BWR型原子炉施設



(b) PWR型原子炉施設

図3.1 中央制御室居住性に係る被ばく経路

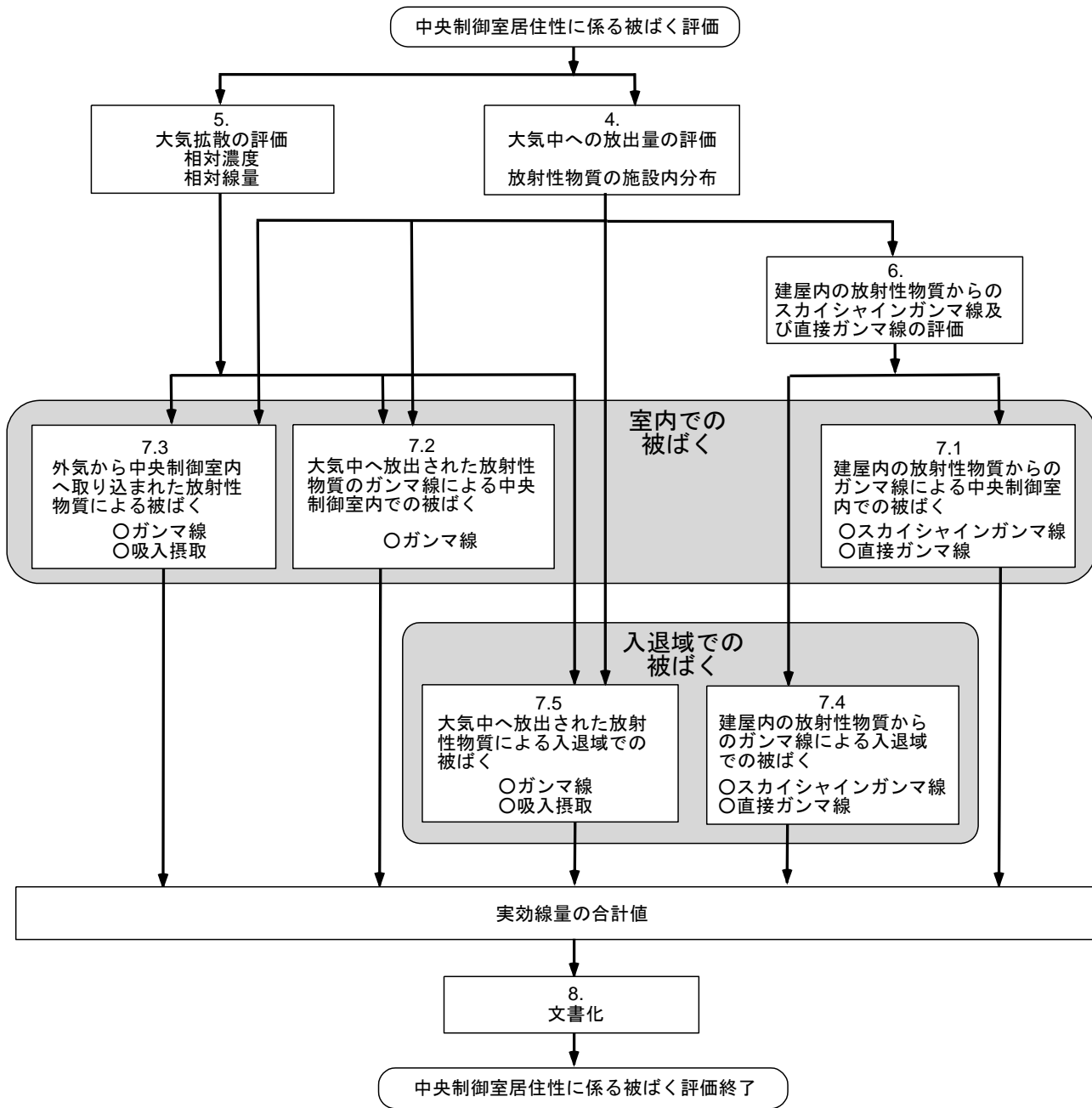


図 3.2 評価の手順

## 4. 大気中への放出量の評価

### 4.1 BWR 型原子炉施設

原子炉冷却材喪失及び主蒸気管破断を対象とする。原子炉冷却材喪失及び主蒸気管破断は、一方の事故で包絡できる場合は、いずれかで代表してもよい。

#### 4.1.1 原子炉冷却材喪失

(1) 原子炉は、定格出力に余裕を見た出力で十分長時間運転していたとする【解説 4.1】。

#### (2) 大気中への放出量の計算

- a) 希ガスは図 4.1, よう素は図 4.2 に示す放出経路で大気中へ放出されるとする。
- b) 事象発生後, 原子炉格納容器内に放出される放射性物質の量は, 炉心内蓄積量に対して希ガス 100%, よう素 50%の割合とする。
- c) 原子炉格納容器内に放出されたよう素のうち, 有機よう素は 10%とし, 残りの 90%は無機よう素とする。
- d) 原子炉格納容器内に放出されたよう素のうち, 無機よう素は, 50%が原子炉格納容器内及び同容器内の機器等に沈着し, 原子炉格納容器からの漏えいに寄与しないとする。有機よう素及び希ガスは, この効果は無視する。
- e) サプレッションプール水に無機よう素が溶解する割合は, 分配係数で 100 とする。有機よう素及び希ガスは, この効果は無視する。
- f) 希ガス及びよう素は, 原子炉格納容器からの漏えいを計算する。原子炉格納容器からの漏えいは, 原子炉格納容器の設計漏えい率及び原子炉格納容器内の圧力に対応した漏えい率に余裕を見込んだ値とする。
- g) 原子炉建屋の非常用換気系等(フィルタを含む。)は, 起動するまでの十分な時間的余裕を見込む。非常用換気系等の容量は, 設計で定められた値とする。フィルタのよう素除去効率は設計値に余裕を見込んだ値とする【解説 4.2】。原子炉建屋における沈着による放射性物質の除去効果は無視し, 自然崩壊のみを考える。
- h) ECCS が再循環モードで運転され, 原子炉格納容器内の水が原子炉格納容器外に導かれる場合には, 原子炉格納容器外において設計漏えい率に余裕を見込んだ漏えい率での再循環水の漏えいがあると仮定する。再循環水中には, 事象発生直後, よう素の炉心内蓄積量の 50%が溶解するとし, ECCS の再循環系から原子炉建屋に漏えいしたよう素の気相への移行率は 5%, 原子炉建屋内でのよう素の沈着率は 50%と仮定する。
- i) 原子炉格納容器から原子炉建屋内に漏えいした放射性物質は, 原子炉建屋内非常用ガス処理系で処理された後, 排気筒を經由して環境に放出されるとする。

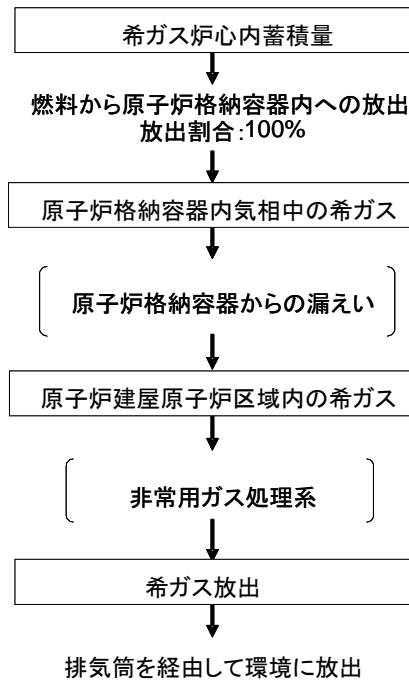


図 4.1 原子炉冷却材喪失の希ガスの放出経路 (BWR 型原子炉施設)

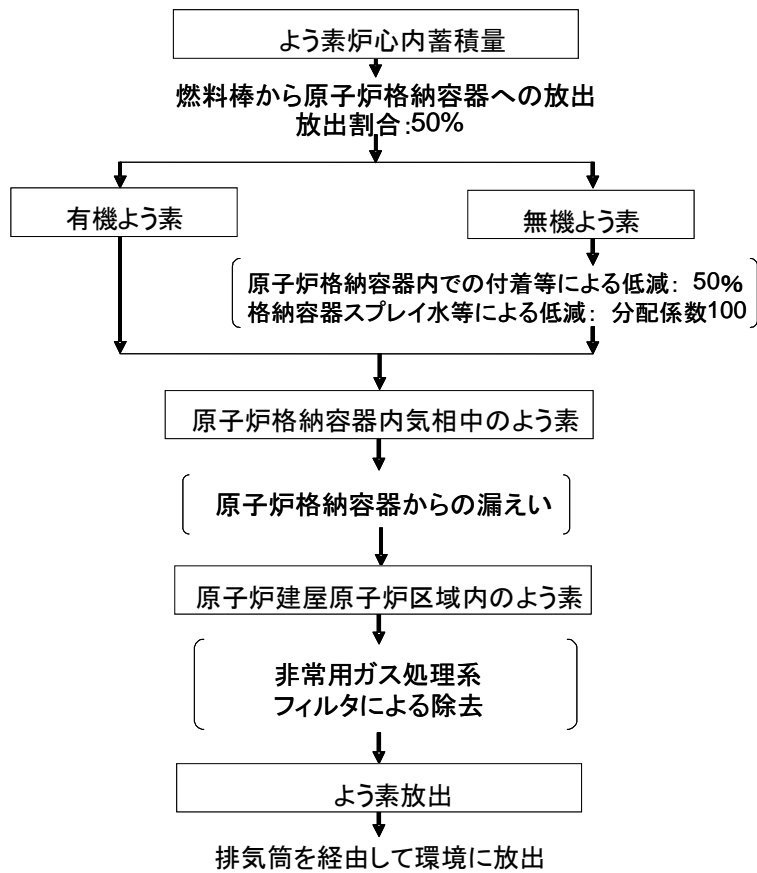


図 4.2 原子炉冷却材喪失のよう素の放出経路 (BWR 型原子炉施設)

#### 4.1.2 主蒸気管破断

- (1) 原子炉は、定格出力に余裕を見た出力で十分長時間運転していたとする【解説 4.1】。
- (2) 原子炉の出力運転中に、主蒸気管 1 本が、原子炉格納容器外で瞬時に両端破断すると仮定する。
- (3) 主蒸気隔離弁は、設計上の最大の動作遅れ時間及び閉止時間で全閉する。
- (4) 原子炉冷却材の流出流量の計算に当たっては、流量制限器の機能を考慮することができる。ただし、主蒸気隔離弁の部分において臨界流が発生するまでは、弁による流量制限の効果は考えない。
- (5) 事象発生と同時に、外部電源は喪失すると仮定する。
- (6) 事象発生後、原子炉圧力は、長時間、逃がし安全弁の設定圧に保たれる。
- (7) 大気中への放出量の計算
  - a) 希ガスは図 4.3、ハロゲン等は図 4.4 に示す放出経路で大気中へ放出されるとする。
  - b) 事象発生前の原子炉冷却材中の放射性物質の濃度は、運転上許容される I-131 の最大濃度に相当する濃度とし、その組成は拡散組成とする。蒸気相中のハロゲン濃度は、液相の濃度の 1/50 とする。
  - c) 原子炉圧力の減少に伴う燃料棒からの追加放出量を、I-131 は先行炉等での実測データに基づく値に安全余裕を見込んだ値とし、その他の放射性物質はその組成を平衡組成として求める。希ガスはよう素の 2 倍の放出量とする。
  - d) 主蒸気隔離弁閉止前の燃料棒からの放射性物質の追加放出割合は、主蒸気隔離弁閉止前の原子炉圧力の低下割合に比例するとし、追加放出された放射性物質の 1% が破断口から放出する。
  - e) 主蒸気隔離弁閉止後の燃料棒からの放射性物質の追加放出は、主蒸気隔離弁閉止直後に、これらすべての放射性物質が瞬時に原子炉冷却材中へ放出する。
  - f) 燃料棒から放出されたよう素のうち、有機よう素は 10% とし、残りの 90% は無機よう素とする。有機よう素のうち 10% は瞬時に気相部に移行する。残りのよう素及びその他のハロゲンが気相部にキャリーオーバーされる割合は、2% とする。希ガスは、すべて瞬時に気相部に移行する。
  - g) 主蒸気隔離弁閉止前に放出された原子炉冷却材は、完全蒸発し、同時に放出された放射性物質を均一に含む蒸気雲になるとする。隔離弁閉止後に放出された放射性物質は、大気中に地上放散する。
  - h) 主蒸気隔離弁は、1 個が閉止しないとす。閉止した隔離弁からは、蒸気が漏えいする。閉止した主蒸気隔離弁の漏えい率は設計値に余裕を見込んだ値とし、この漏えい率は一定とする。

- i) 主蒸気隔離弁閉止後は、残留熱除去系又は逃がし安全弁等を通して、崩壊熱相当の蒸気が、サプレッションプールに移行する。

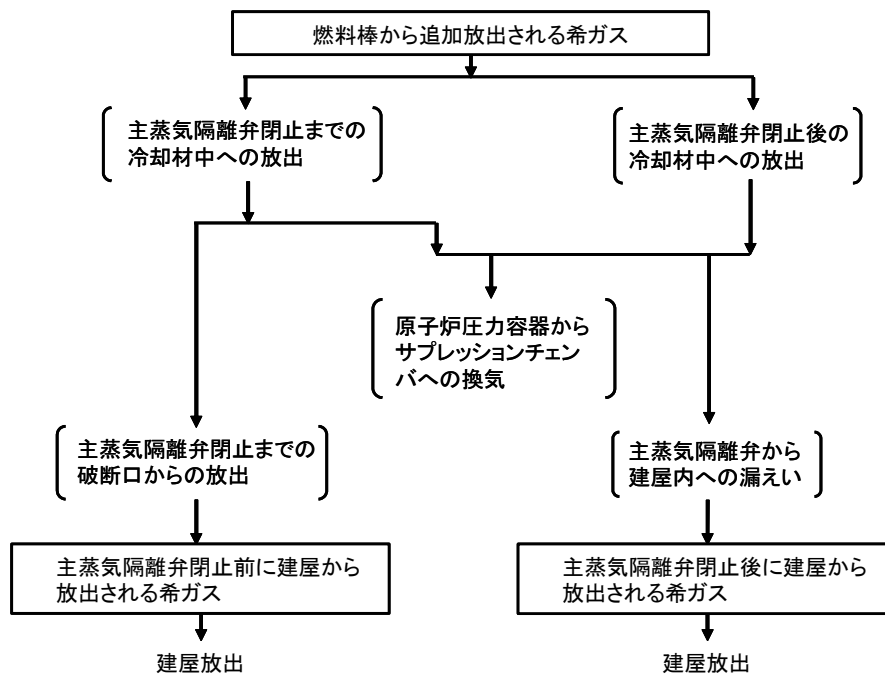


図 4.3 主蒸気管破断の希ガスの放出経路 (BWR 型原子炉施設)

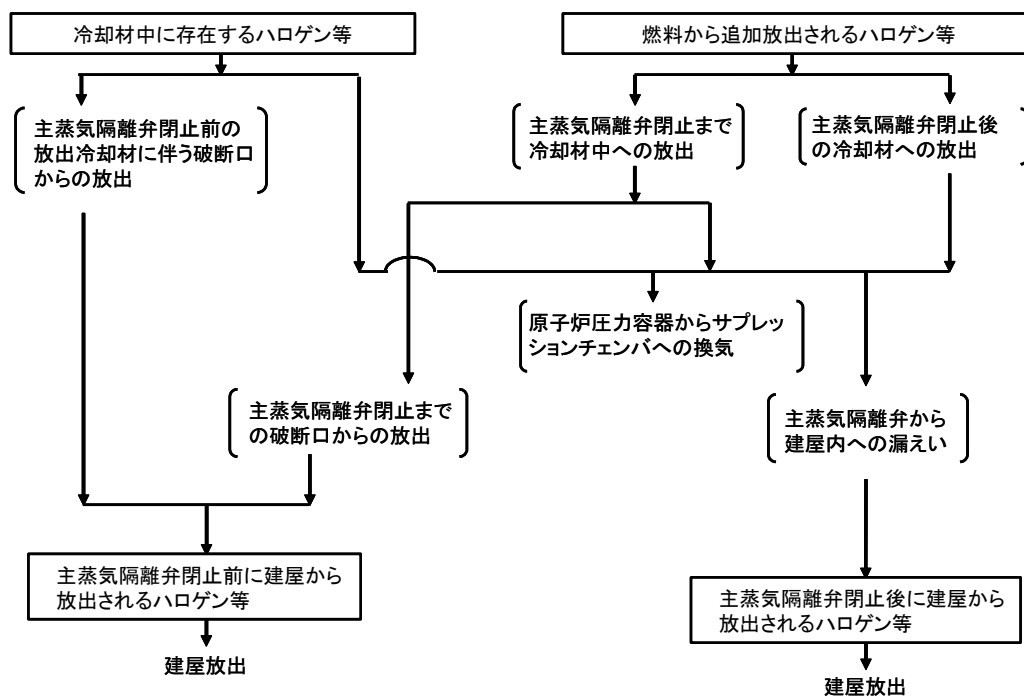


図 4.4 主蒸気管破断のハロゲン等の放出経路 (BWR 型原子炉施設)

## 4.2 PWR 型原子炉施設

原子炉冷却材喪失及び蒸気発生器伝熱管破損を対象とする。原子炉冷却材喪失及び蒸気発生器伝熱管破損は、一方の事故で包含できる場合は、いずれかで代表してもよい。

### 4.2.1 原子炉冷却材喪失

- (1) 原子炉は、定格出力に余裕を見た出力で十分長時間運転していたとする【解説 4.1】。
- (2) 大気中への放出量の計算
  - a) 希ガスは図 4.5, よう素は図 4.6 に示す放出経路で大気中へ放出されるとする。
  - b) 事象発生後、原子炉格納容器内に放出される放射性物質の量は、炉心内蓄積量に対して希ガス 100%, よう素 50%の割合とする。
  - c) 原子炉格納容器内に放出されたよう素のうち、有機よう素は 10%とし、残りの 90%は無機よう素とする。
  - d) 原子炉格納容器内に放出されたよう素のうち、無機よう素は、50%が原子炉格納容器内及び同容器内の機器等に沈着し、原子炉格納容器からの漏えいに寄与しないとする。有機よう素及び希ガスは、この効果は無視する。
  - e) 原子炉格納容器スプレイ水による無機よう素の除去効率は、実験に基づいて評価された値に余裕を見込んだ値とする。例えば、設計によって評価された等価半減期が 50 秒以下の場合において等価半減期を 100 秒とすることは妥当と認められるということは、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」(以下、「安全評価審査指針」という。)に示されており、その考え方を準用する<sup>(参2)</sup>。有機よう素及び希ガスは、スプレイによるこの効果は無視する。
  - f) 希ガス及びよう素は、原子炉格納容器からの漏えいを計算する【解説 4.3】。原子炉格納容器からの漏えいは、原子炉格納容器の設計漏えい率及び原子炉格納容器内の圧力に対応した漏えい率に余裕を見込んだ値とする。
  - g) アニュラス空気再循環設備(フィルタを含む)は、起動信号を明らかにし、かつ、十分な時間的余裕を見込んで、その機能を期待することができる。フィルタのよう素除去効率は設計値に余裕を見込んだ値とする【解説 4.2】。
  - h) ECCS が再循環モードで運転され、原子炉格納容器内の水が原子炉格納容器外に導かれる場合には、原子炉格納容器外において設計漏えい率に余裕を見込んだ漏えい率での再循環水の漏えいがあると仮定する。例えば、設計漏えい率を下回らない値に対し 2 倍の余裕を見込んだ設定を仮定する。

再循環水中には、事象発生直後、よう素の炉心内蓄積量の 50%が溶解するとし、ECCS の再循環系から補助建屋に漏えいしたよう素の気相への移行率は 5%, 補助建屋内でのよう素の沈着率は 50%と仮定する。
  - i) ECCS の再循環系が設置される補助建屋内換気系によるよう素用フィルタが設備される場合には、その除去効率は設計値に余裕を持った値とする【解説 4.2】。



j) すべての放射性物質は、排気筒から放出されるとする【解説 4.3 及び 4.4】。

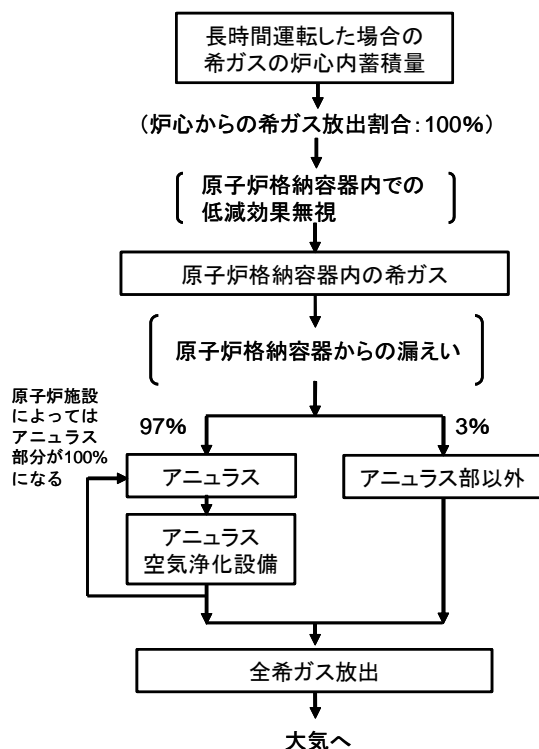


図 4.5 原子炉冷却材喪失の希ガスの放出経路 (PWR 型原子炉施設)

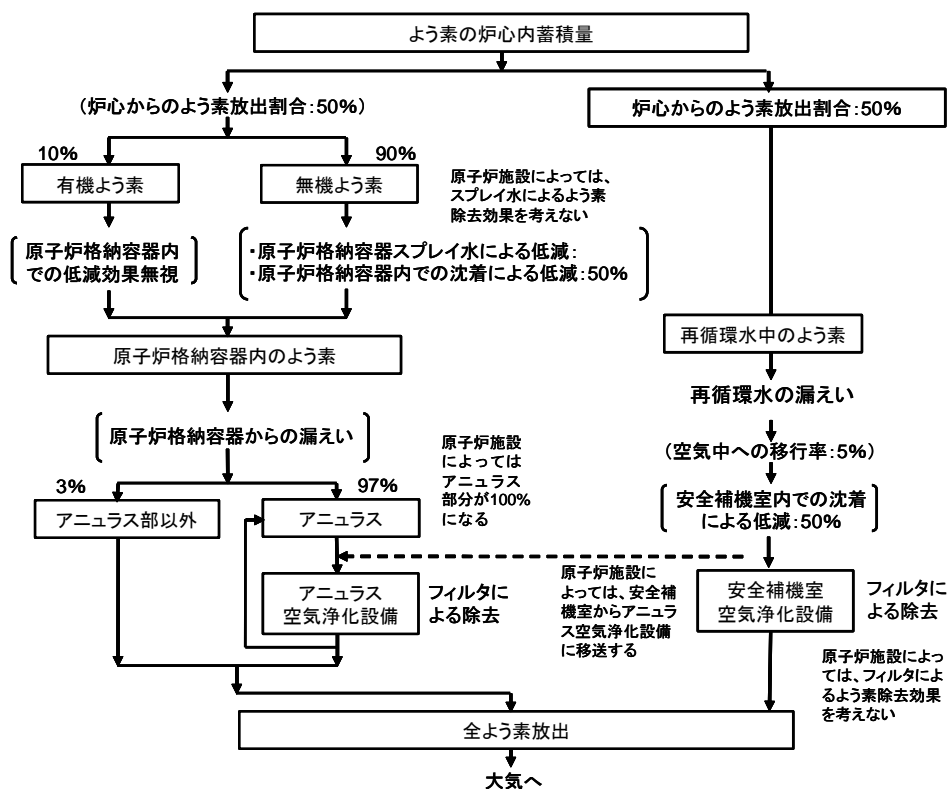


図 4.6 原子炉冷却材喪失のよう素の放出経路 (PWR 型原子炉施設)

#### 4.2.2 蒸気発生器伝熱管破損

- (1) 原子炉は、定格出力に余裕を見た出力で十分長時間運転していたとする【解説 4.1】。
- (2) 原子炉の出力運転中に、蒸気発生器の伝熱管 1 本が、瞬時に両端破断し、二次冷却系を介して一次冷却材が原子炉格納容器外に放出される事象とする。
- (3) 外部電源は、喪失する場合と喪失しない場合のいずれか厳しい場合を仮定する。また、ECCS が自動起動する場合には、その動作は、一次冷却材の流出量を大きくするように仮定する。
- (4) 大気中への放出量の計算
  - a) 希ガス類は図 4.3、よう素類は図 4.4 に示す放出経路で大気中へ放出されるとする。
  - b) 事象発生前の一次冷却材中の放射性物質の濃度は、設計上想定した燃料被覆管欠陥率を用いて計算された値とする。
  - c) 設計上想定した欠陥を有する燃料棒のギャップから、希ガス及びよう素が、事故発生直後一次冷却系に追加放出される。
  - d) この一次冷却材内放射性物質のうち、蒸気発生器を隔離するまでの間に一次冷却系から二次冷却系へ流出する放射エネルギーの割合は、その時流出する一次冷却材量の全保有水量に対する割合と同じとする。
  - e) 二次冷却系に流出してきたよう素のうち、有機よう素は 1%とし、残りの 99%は無機よう素とする。有機よう素は、全量が大気中に放出される。無機よう素は、気液分配係数 100 で蒸気とともに大気中に放出される。二次冷却系に流出した希ガスは、全量が大気中に放出される。
  - f) 破損した蒸気発生器の隔離までの放出率を、放出量を隔離時間で除した値で一定であると仮定することができる。また、二次側弁の開閉状況を考慮して放出率を時間依存値で設定してもよい。
  - g) 破損した蒸気発生器の隔離後は、二次側弁からの蒸気の漏えいによって、無機よう素が大気中へ放出される。弁からの蒸気漏えい率は、設計値に余裕を見込んだ値で 30 日間続くものとする。

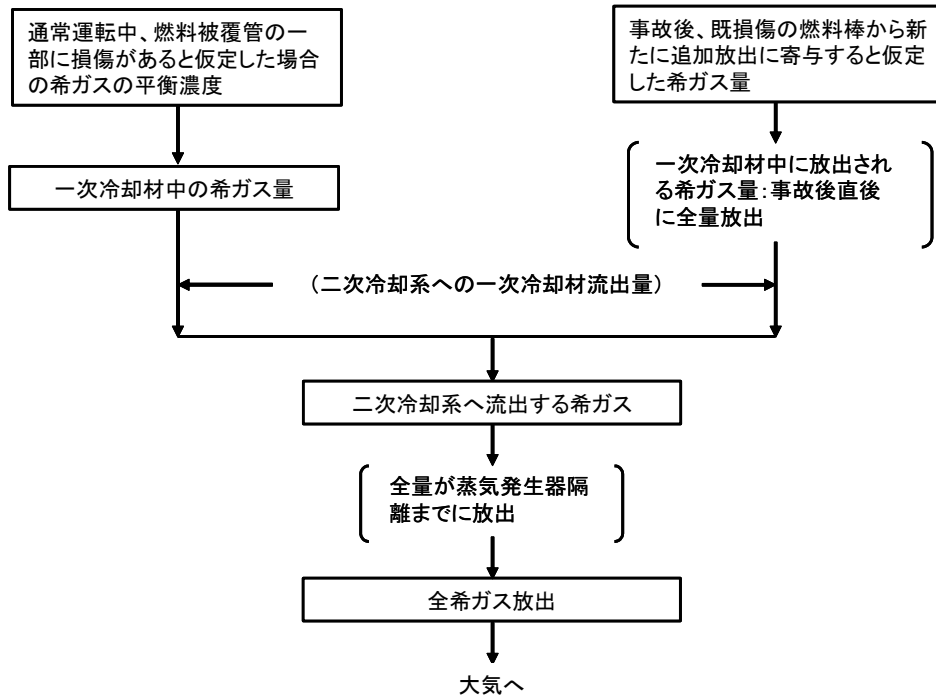


図 4.7 蒸気発生器伝熱管破損の希ガスの放出経路 (PWR 型原子炉施設)

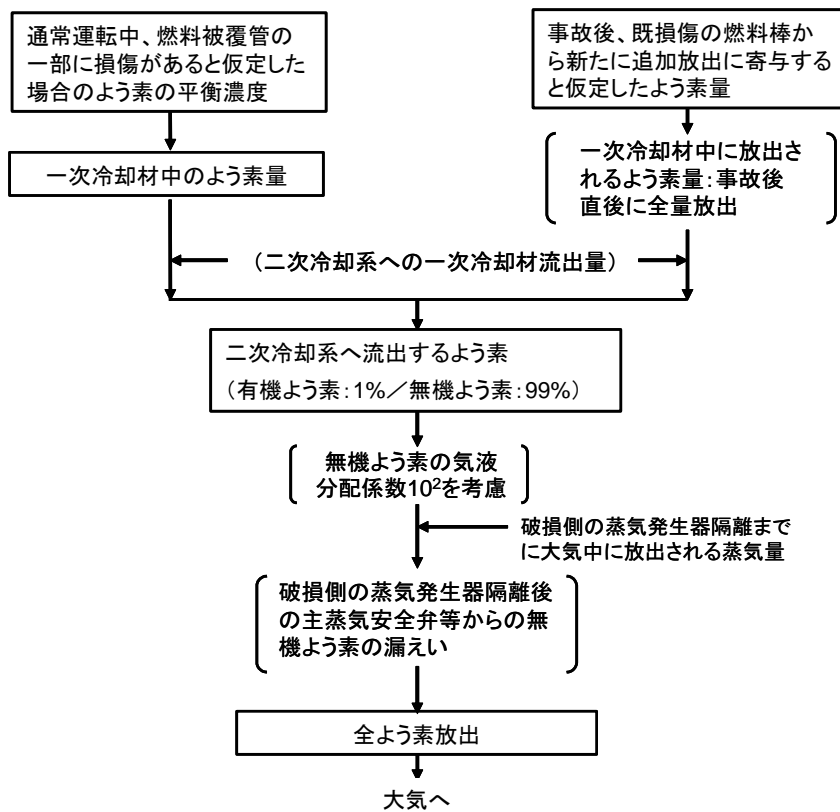


図 4.8 蒸気発生器伝熱管破損のよう素の放出経路 (PWR 型原子炉施設)

## 5. 大気拡散の評価

### 5.1 放射性物質の大気拡散

#### 5.1.1 大気拡散の計算式

大気拡散モデルについては、国内の既存の中央制御室と大きく異なる設計の場合には適用しない。

##### (1) 建屋の影響を受けない場合の基本拡散式【解説 5.1】

###### a) ガウスプルームモデルの適用

###### 1) ガウスプルームモデル

放射性物質の空气中濃度は、放出源高さ、風向、風速、大気安定度に応じて、空間濃度分布が水平方向、鉛直方向ともに正規分布になると仮定した次のガウスプルームモデル<sup>(参3)</sup>を適用して計算する。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left(-\lambda \frac{x}{U}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \times \left[ \exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right] \dots\dots\dots (5.1)$$

$\chi(x, y, z)$	: 評価点 $(x, y, z)$ の放射性物質の濃度	$(Bq/m^3)$
$Q$	: 放射性物質の放出率	$(Bq/s)$
$U$	: 放出源を代表する風速	$(m/s)$
$\lambda$	: 放射性物質の崩壊定数	$(1/s)$
$z$	: 評価点の高さ	$(m)$
$H$	: 放射性物質の放出源の高さ	$(m)$
$\sigma_y$	: 濃度の $y$ 方向の拡がりのパラメータ	$(m)$
$\sigma_z$	: 濃度の $z$ 方向の拡がりのパラメータ	$(m)$

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。

###### 2) 保守性を確保するために、通常、放射性物質の核崩壊による減衰項は計算しない。すなわち、(5.1)式で、核崩壊による減衰項を次のとおりとする。

$$\exp\left(-\lambda \frac{x}{U}\right) = 1 \dots\dots\dots (5.2)$$

###### b) $\sigma_y$ 及び $\sigma_z$ は、中央制御室が設置されている建屋が、放出源から比較的近距離にあることを考えて、5.1.3 項に示す方法で計算する。

c) 気象データ

風向，風速，大気安定度等の観測項目を，現地において少なくとも1年間観測して得られた気象資料を拡散式に用いる。放出源の高さにおける気象データが得られている場合にはそれを活用してよい。

(2) 建屋影響を受ける場合の基本拡散式【解説 5.2】

a) 中央制御室評価で特徴的な近距離の建屋の影響を受ける場合には，(5.1)式の通常の大気拡散による拡がりのパラメータである $\sigma_y$ 及び $\sigma_z$ に，建屋による巻込み現象による初期拡散パラメータ $\sigma_{y0}$ ， $\sigma_{z0}$ を加算した総合的な拡散パラメータ $\sum_y$ ， $\sum_z$ を適用する。

1) 建屋影響を受ける場合は，次の(5.3)式を基本拡散式とする。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \sum_y \cdot \sum_z U} \exp\left(-\lambda \frac{x}{U}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2\sum_y^2}\right) \times \left[ \exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\sum_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\sum_z^2}\right\} \right] \dots\dots\dots (5.3)$$

$$\sum_y^2 = \sigma_{y0}^2 + \sigma_y^2 \quad , \quad \sum_z^2 = \sigma_{z0}^2 + \sigma_z^2$$

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

$\chi(x, y, z)$	: 評価点 $(x, y, z)$ の放射性物質の濃度	$(Bq/m^3)$
$Q$	: 放射性物質の放出率	$(Bq/s)$
$U$	: 放出源を代表する風速	$(m/s)$
$\lambda$	: 放射性物質の崩壊定数	$(1/s)$
$z$	: 評価点の高さ	$(m)$
$H$	: 放射性物質の放出源の高さ	$(m)$
$\sum_y$	: 建屋の影響を加算した 濃度の y 方向の拡がりのパラメータ	$(m)$
$\sum_z$	: 建屋の影響を加算した 濃度の z 方向の拡がりのパラメータ	$(m)$
$\sigma_y$	: 濃度の y 方向の拡がりのパラメータ	$(m)$
$\sigma_z$	: 濃度の z 方向の拡がりのパラメータ	$(m)$
$\sigma_{y0}$	: 建屋による巻込み現象による y 方向の初期拡散パラメータ	$(m)$
$\sigma_{z0}$	: 建屋による巻込み現象による z 方向の初期拡散パラメータ	$(m)$
$A$	: 建屋などの風向方向の投影面積	$(m^2)$
$c$	: 形状係数	$(-)$

- 2) 保守性を確保するために、通常、放射性物質の核崩壊による減衰項は計算しない。すなわち、(5.3)式で、核崩壊による減衰項を次のとおりとする。これは、(5.2)式の場合と同じである。

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

- b) 形状係数  $c$  の値は、特に根拠が示されるもののほかは原則として  $1/2$  を用いる。これは、Gifford により示された範囲 ( $1/2 < c < 2$ ) において保守的に最も大きな濃度を与えるためである。
- c) 中央制御室の評価においては、放出源又は巻き込みを生じる建屋から近距離にあるため、拡散パラメータの値は  $\sigma_{y0}$ ,  $\sigma_{z0}$  が支配的となる。このため、(5.3)式の計算で、 $\sigma_y = 0$  及び  $\sigma_z = 0$  として、 $\sigma_{y0}$ ,  $\sigma_{z0}$  の値を適用してもよい。
- d) 気象データ  
建屋影響は、放出源高さから地上高さに渡る気象条件の影響を受けるため、地上高さに相当する比較的低風速の気象データ(地上 10m 高さで測定)を採用するのは保守的かつ適切である。
- e) 建屋影響を受ける場合の条件については、「5.1.2 原子炉施設周辺の建屋影響による拡散」に従う。

(3) 建屋影響を受ける場合の基本拡散式の適用について

- a) (5.3)式を適用する場合、「5.1.2 原子炉施設周辺の建屋影響による拡散」の(1),a)の放出源の条件に応じて、原子炉施設周辺の濃度を、次の b)又は c)の方法によって計算する。
- b) 放出源の高さで濃度を計算する場合  
1) 放出源と評価点で高度差がある場合には、評価点高さを放出源高さとして ( $z=H$ ,  $H > 0$ )、(5.4)式で濃度を求める【解説 5.3】【解説 5.4】。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \sum_y \cdot \sum_z U} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sum_y^2}\right) \cdot \left[1 + \exp\left\{-\frac{(2H)^2}{2\sum_z^2}\right\}\right] \cdots \cdots (5.4)$$

$\chi(x, y, z)$	: 評価点 $(x, y, z)$ の放射性物質の濃度	$(Bq/m^3)$
$Q$	: 放射性物質の放出率	$(Bq/s)$
$U$	: 放出源を代表する風速	$(m/s)$
$H$	: 放射性物質の放出源の高さ	$(m)$
$\sum_y$	: 建屋の影響を加算した 濃度の $y$ 方向の拡がりのパラメータ	$(m)$
$\sum_z$	: 建屋の影響を加算した 濃度の $z$ 方向の拡がりのパラメータ	$(m)$

2) 放出源の高さが地表面よりも十分離れている場合には、地表面からの反射による濃度の寄与が小さくなるため、右辺の指数減衰項は1に比べて小さくなることを確認できれば、無視してよい【解説 5.5】。

c) 地上面の高さで濃度を計算する場合

放出源及び評価点が地上面にある場合 ( $z=0, H=0$ )、地上面の濃度を適用して、(5.5)式で求める【解説 5.3】【解説 5.4】。

$$\chi(x, y, 0) = \frac{Q}{\pi \sum_y \cdot \sum_z U} \exp\left(-\frac{y^2}{2 \sum_y^2}\right) \dots\dots\dots (5.5)$$

$\chi(x, y, 0)$	: 評価点 (x, y, 0) の放射性物質の濃度	(Bq/m <sup>3</sup> )
$Q$	: 放射性物質の放出率	(Bq/s)
$U$	: 放出源を代表する風速	(m/s)
$\sum_y$	: 建屋の影響を加算した 濃度の y 方向の拡がりのパラメータ	(m)
$\sum_z$	: 建屋の影響を加算した 濃度の z 方向の拡がりのパラメータ	(m)

### 5.1.2 原子炉施設周辺の建屋影響による拡散

(1) 原子炉施設の建屋後流での巻き込みが生じる場合の条件

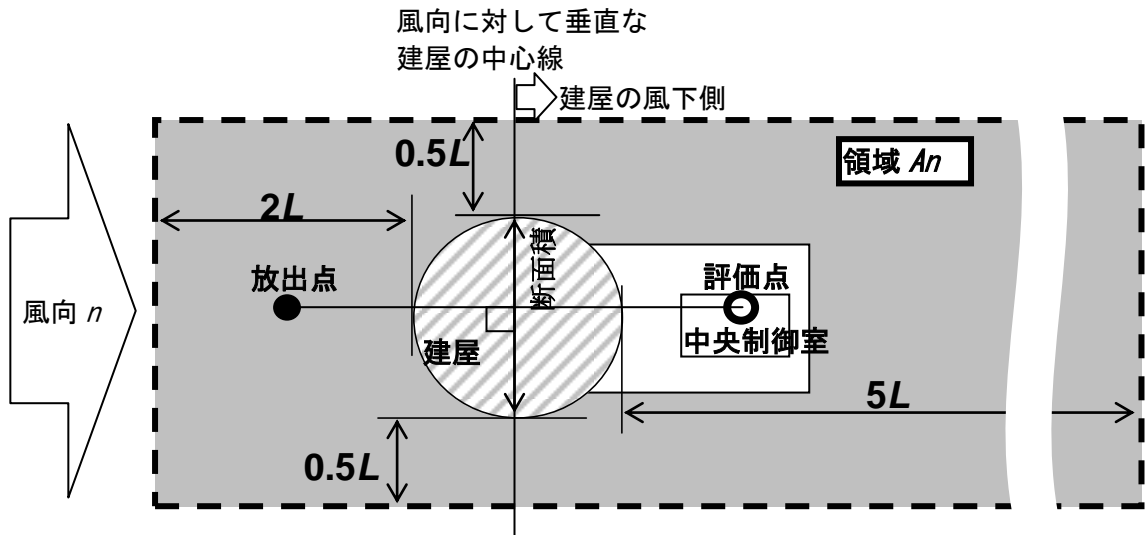
a) 中央制御室のように、事故時の放射性物質の放出点から比較的近距離の場所では、建屋の風下側における風の巻き込みによる影響が顕著となると考えられる。そのため、放出点と巻き込みを生じる建屋及び評価点との位置関係によっては、建屋の影響を考慮して大気拡散の計算をする必要がある。

中央制御室の被ばく評価においては、放出点と巻き込みを生じる建屋及び評価点との位置関係について、以下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。放出点から評価点までの距離は、保守的な評価となるように水平距離を用いる。

- 1) 放出点の高さが建屋の高さの 2.5 倍に満たない場合
- 2) 放出点と評価点を結んだ直線と平行で放出点を風上とした風向 n について、放出点の位置が風向 n と建屋の投影形状に応じて定まる一定の範囲(図 5.1 の領域 An)の中にある場合
- 3) 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(参4)。

ただし、放出点と評価点が隣接するような場合の濃度予測には適用しない。建屋の影響の有無の判断手順を、図 5.2 に示す。



注:L 建屋又は建屋群の風向に垂直な面での高さ又は幅の小さい方

図 5.1 建屋影響を考慮する条件(水平断面での位置関係)

- b) 実験等によって、より具体的な最新知見が得られた場合、例えば風洞実験の結果から建屋の影響を受けていないことが明らかになった場合にはこの限りではない。



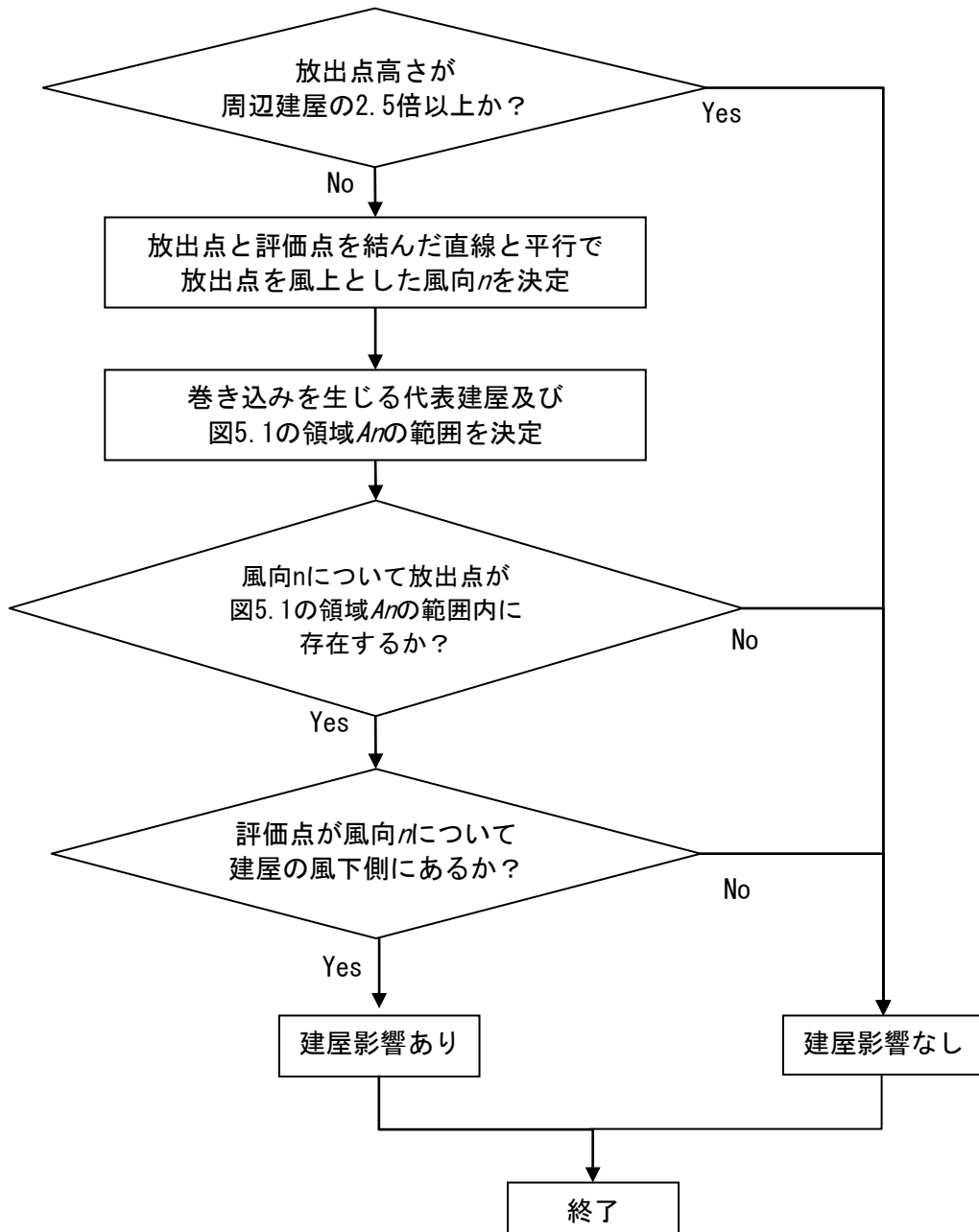


図 5.2 建屋影響の有無の判断手順

(2) 建屋後流の巻き込みによる放射性物質の拡散の考え方

- a) 「5.1.2 原子炉施設周辺の建屋影響による拡散」(1)a)項で、建屋後流での巻き込みが生じると判定された場合、プルームは、通常の大気拡散によって放射性物質が拡がる前に、巻き込み現象によって放射性物質の拡散が行われたと考える。  
 このような場合には、風下着目方位を 1 方位のみとせず、複数方位を着目方位と見込み、かつ、保守的な評価となるよう、すべての評価対象方位について風下中心軸上の最大濃度を用いる。
- b) この場合の拡散パラメータは、建屋等の投影面積の関数であり、かつ、その中での濃度分布は正規分布と仮定する。  
 建屋影響を受けない通常の大気拡散の基本式(5.1)式と同様、建屋影響を取入れた基本拡散式(5.3)式も正規分布を仮定しているが、建屋の巻き込みによる初期拡散効果によって、ゆるやかな分布となる。(図 5.3)

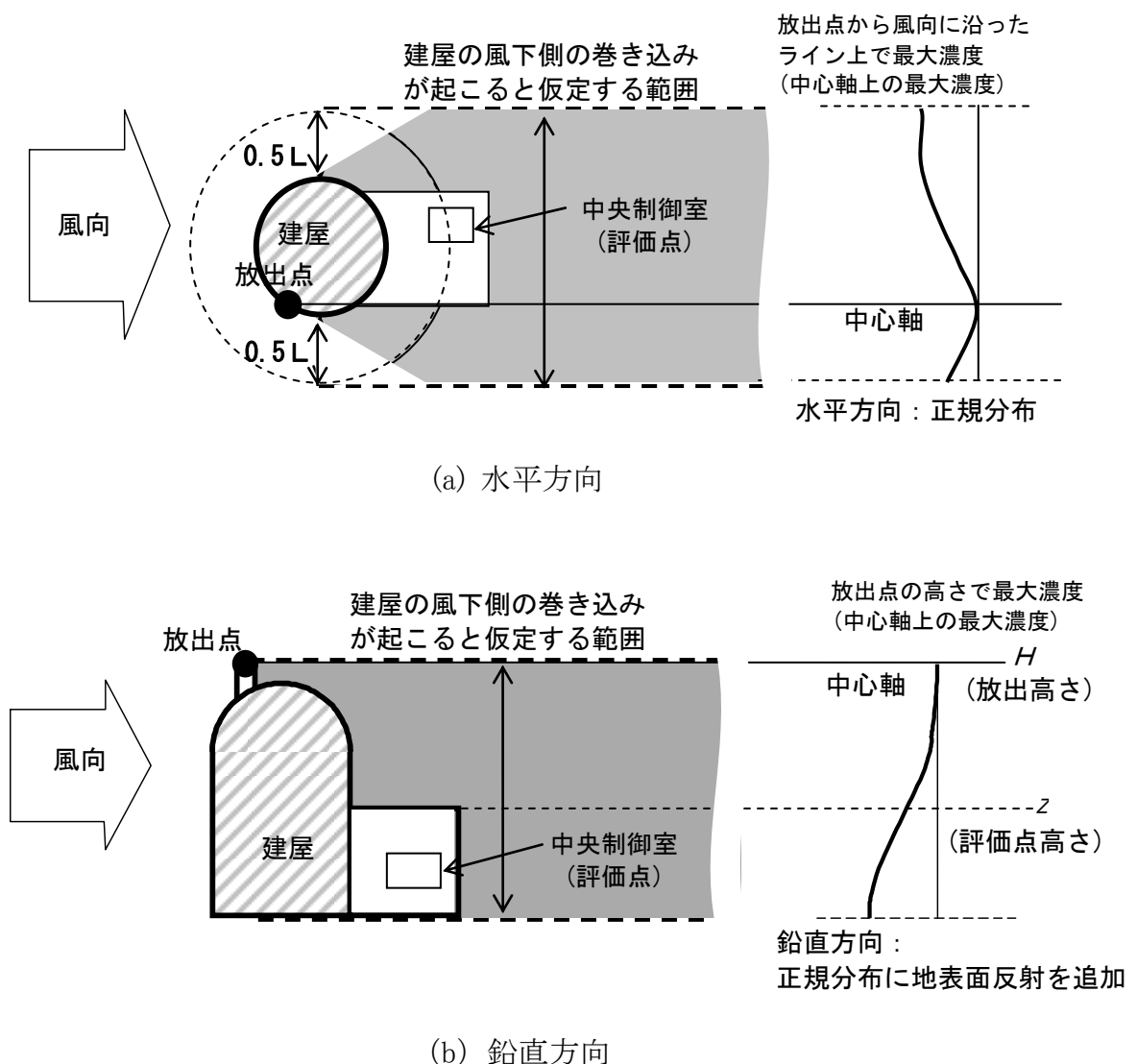


図 5.3 建屋による巻き込み現象を考えた建屋周辺の濃度分布の考え方

- (3) 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
- 1) 原子炉施設の近辺では、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ているものとする。
  - 2) 巻き込みを生じる建屋として、原子炉格納容器、原子炉建屋、原子炉補助建屋、タービン建屋、コントロール建屋、燃料取り扱い建屋等、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として相対濃度を算出することは、保守的な結果を与える【解説 5.6】。
  - 3) 巻き込みを生じる代表的な建屋として、表 5.1 に示す建屋を選定することは適切である。

表 5.1 放射性物質の巻き込みの対象とする代表建屋の選定例

原子炉施設	想定事故	建屋の種類
BWR 型原子炉施設	原子炉冷却材喪失	原子炉建屋(建屋影響がある場合)
	主蒸気管破断	原子炉建屋又はタービン建屋(結果が厳しい方で代表)
PWR 型原子炉施設	原子炉冷却材喪失	原子炉格納容器(原子炉格納施設)、 原子炉格納容器(原子炉格納施設)及び 原子炉建屋
	蒸気発生器伝熱管破損	原子炉格納容器(原子炉格納施設)、 原子炉格納容器(原子炉格納施設)及び 原子炉建屋

- b) 放射性物質濃度の評価点
- 1) 中央制御室が属する建屋の代表面の選定  
中央制御室内には、中央制御室が属する建屋(以下、「当該建屋」)の表面から、事故時に外気取入を行う場合は主に給気口を介して、また事故時に外気を取入れを遮断する場合には流入によって、放射性物質が侵入するとする。
  - 2) 建屋の影響が生じる場合、中央制御室を含む当該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、中央制御室換気設備の非常時の運転モードに応じて、次の i)又は ii)によって、当該建屋の表面の濃度を計算する。
    - i) 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当該建屋の表面とする。
    - ii) 評価期間中は外気を遮断することを前提とする場合は、中央制御室が属する当該建屋の各表面(屋上面又は側面)のうちの代表面(代表評価面)を選定する。

- 3) 代表表面における評価点
- i) 建屋の巻き込みの影響を受ける場合には、中央制御室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、例えば中央制御室の中心点を評価点とするのは妥当である。
  - ii) 中央制御室が属する当該建屋とは、原子炉建屋、原子炉補助建屋又はコントロール建屋などが相当する。
  - iii) 代表評価面は、当該建屋の屋上面とすることは適切な選定である。また、中央制御室が屋上面から離れている場合は、当該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。
  - iv) 屋上面を代表面とする場合、評価点として中央制御室の中心点を選定し、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、 $\sigma_{y0}$ 、 $\sigma_{z0}$  の値を適用してもよい。

c) 着目方位

- 1) 中央制御室の被ばく評価の計算では、代表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、放射源と評価点と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、図 5.4 に示すように、代表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【解説 5.7】。

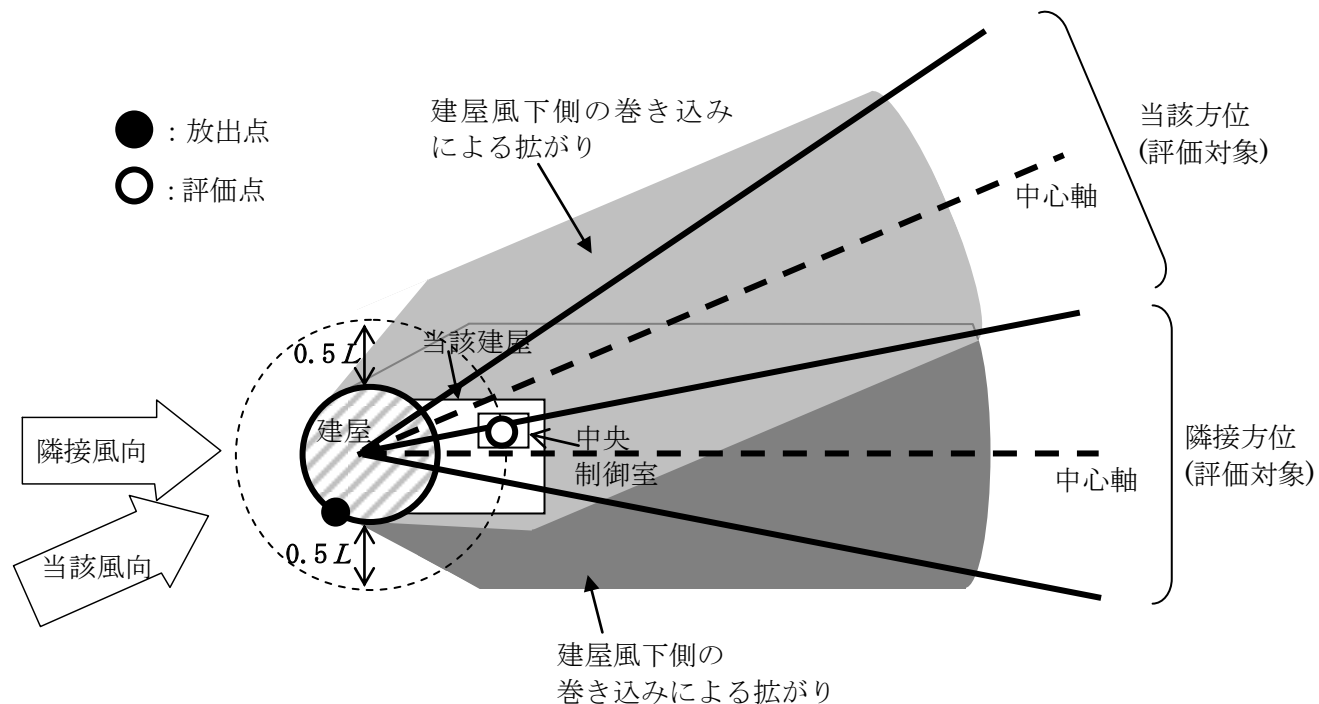


図 5.4 建屋後流での巻き込み影響を受ける場合の考慮すべき方位

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。

- i) 放出点が評価点の風上にあること
- ii) 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、放出点が存在すること。この条件に該当する風向の方位 $m_1$ の選定には、図 5.5 のような方法を用いることができる。図 5.5 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(図 5.5 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  $180^\circ$  が対象となる【解説 5.8】。

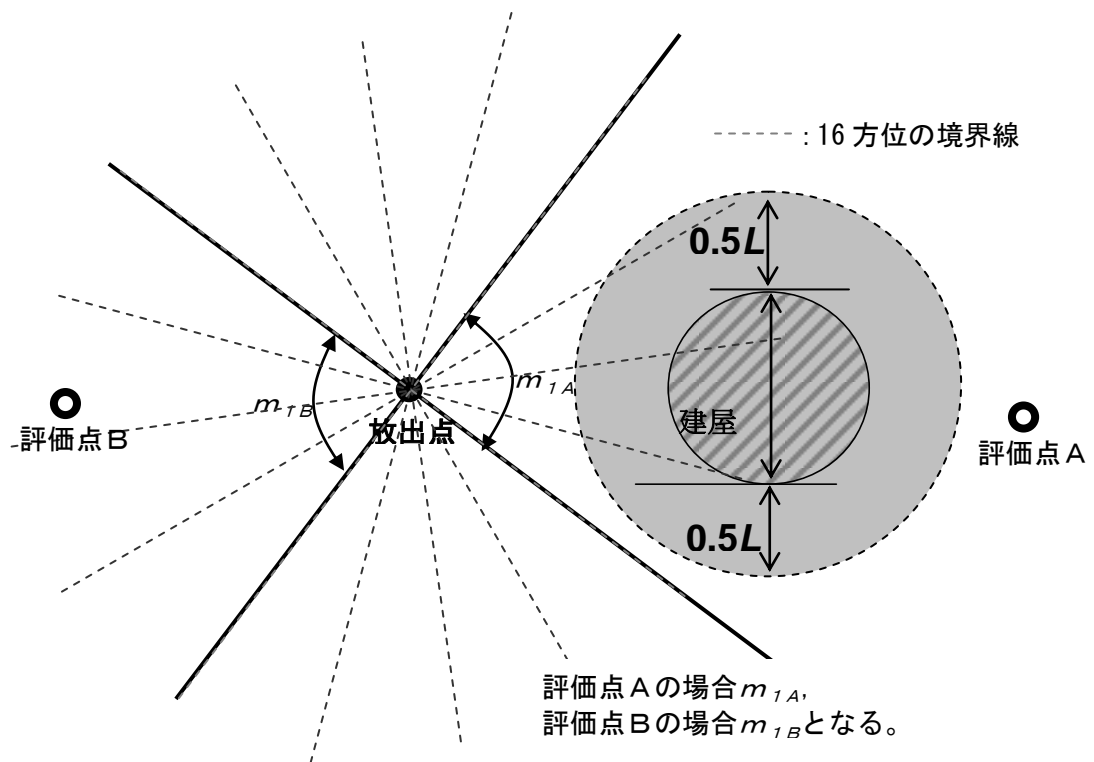
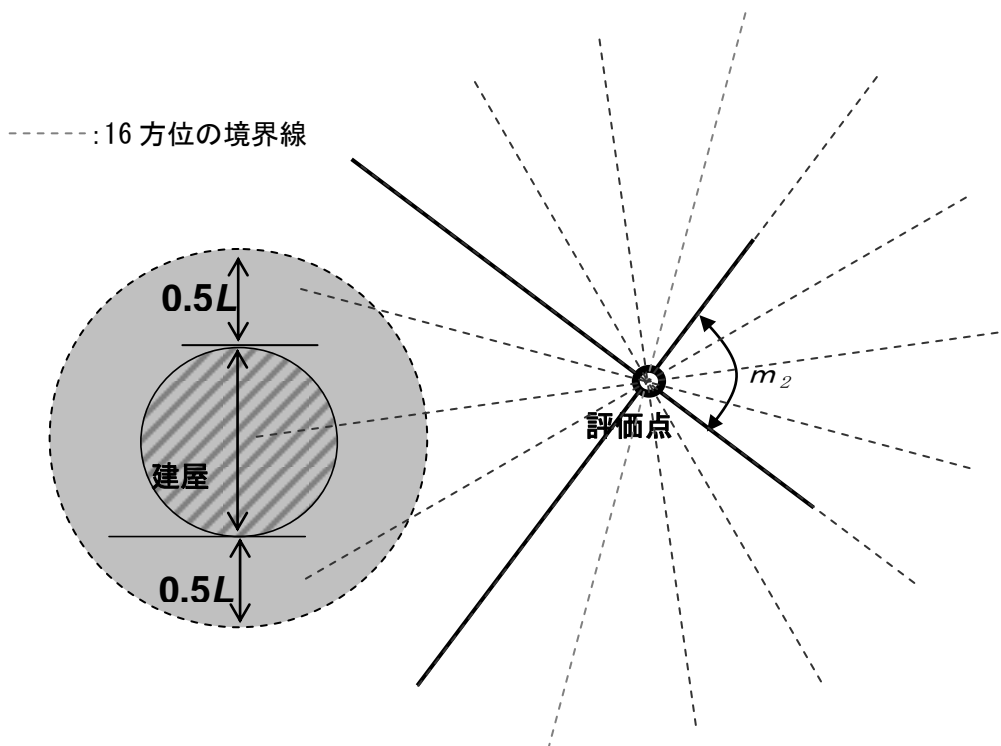


図 5.5 建屋の風下側で放射性物質が巻き込まれる風向の方位 $m_1$ の選定方法  
(水平断面での位置関係)

- iii) 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、図 5.6 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(図 5.6 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  $180^\circ$  が対象となる【解説 5.8】。



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小さい方

図 5.6 建屋の風下側で巻き込まれた大気が評価点に到達する風向の方位 $m_2$ の選定方法(水平断面での位置関係)

図 5.5 及び図 5.6 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【解説 5.9】。建屋の影響がある場合の評価対象方位選定手順を、図 5.7 に示す。

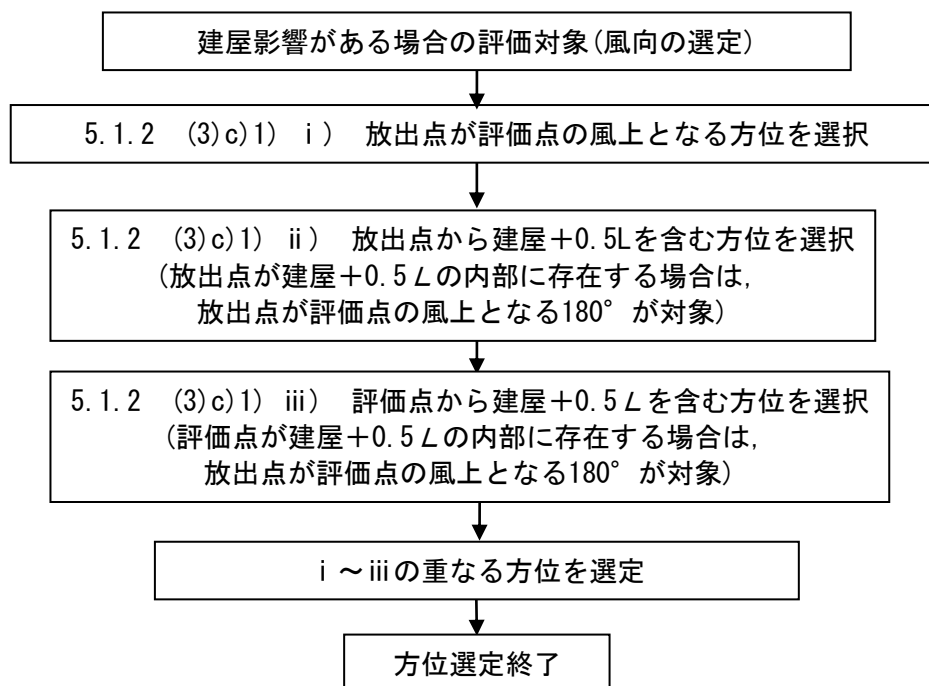


図 5.7 建屋の影響がある場合の評価対象方位選定手順

- 2) 具体的には, 図 5.8 のとおり, 当該建屋表面において定めた評価点から, 原子炉施設の代表建屋の水平断面を見込む範囲にあるすべての方位を定める。【解説 5.7】幾何学的に建屋群を見込む範囲に対して, 気象評価上の方位とのずれによって, 評価すべき方位の数が増加することが考えられるが, この場合, 幾何学的な見込み範囲に相当する適切な見込み方位の設定を行ってもよい【解説 5.10】。

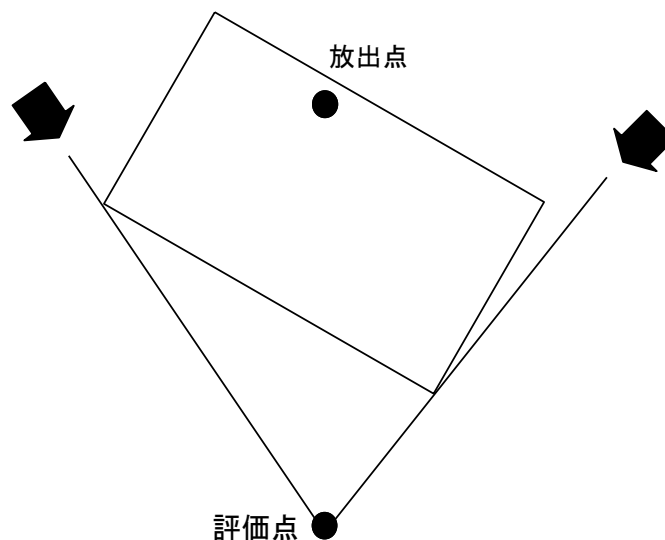


図 5.8 評価対象方位の設定

d) 建屋投影面積

- 1) 図 5.9 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【解説 5.11】。
- 2) 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。
- 3) 風下側の地表面から上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, 原則地表面から上の代表建屋の投影面積を用いる【解説 5.12】。

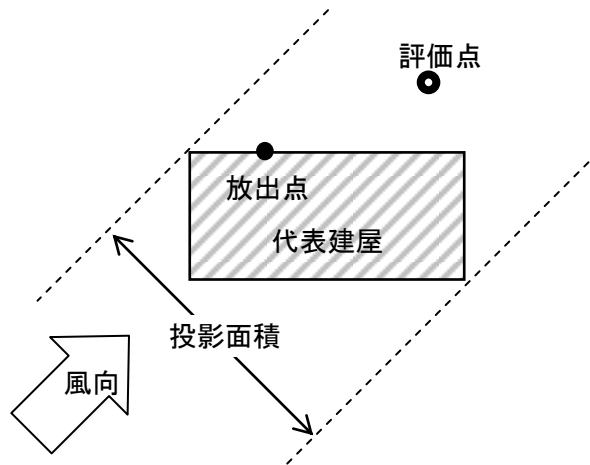


図 5.9 風向に垂直な建屋投影面積の考え方

(4) 建屋の影響がない場合の計算に必要な具体的な条件

a) 放射性物質濃度の評価点の選定

建屋の影響がない場合の放射性物質の拡がりのパラメータは  $\sigma_y$  及び  $\sigma_z$  のみとなり，放出点からの風下距離の影響が大きいことを考慮して，以下のとおりとする。

1) 非常時に外気を取入れを行う場合

外気取入口の設置されている点を評価点とする。

2) 非常時に外気を取入れを遮断する場合

当該建屋表面において以下を満たす点を評価点とする。

- ① 風下距離: 放出点から中央制御室の最近接点までの距離
- ② 放出点との高度差が最小となる建屋面

b) 風向の方位

建屋の影響がない場合は，放出点から評価点を結ぶ風向を含む 1 方位のみについて計算を行う。

5.1.3 濃度分布の拡がりのパラメータ  $\sigma_y, \sigma_z$

(1) 風下方向の通常の大気拡散による拡がりのパラメータ  $\sigma_y$  及び  $\sigma_z$  は，風下距離及び大気安定度に応じて，図 5.10 又はそれに対応する相関式によって求める。

(2) 相関式から求める場合は，次のとおりとする<sup>(参<sup>3</sup>)</sup>。

$$\log \sigma_z = \log \sigma_1 + \{a_1 + a_2 \log x + a_3 (\log x)^2\} \log x \quad \dots \dots \dots (5.6)$$

$$\sigma_y = 0.67775 \theta_{0.1} x (5 - \log x) \quad \dots \dots \dots (5.7)$$

$x$  : 風下距離 (km)  
 $\sigma_y$  : 濃度の水平方向の拡がりパラメータ (m)



$\sigma_z$  :濃度の鉛直方向の拡がりパラメータ (m)  
 $\theta_{0.1}$  : 0.1kmにおける角度因子の値 (deg)

- a) 角度因子 $\theta$ は、 $\theta(0.1km)/\theta(100km) = 2$ とし、図 5.10 の風下距離を対数にとった片対数軸で直線内挿とした経験式のパラメータである。 $\theta(0.1km)$ の値を表 5.2 に示す。
- b) (5.6)式の $\sigma_1, a_1, a_2, a_3$ の値を、表 5.3 に示す。

表 5.2  $\theta_{0.1}$ : 0.1kmにおける角度因子の値(deg)

大気安定度	A	B	C	D	E	F
$\theta_{0.1}$	50	40	30	20	15	10

表 5.3(1/2) 拡散のパラメータ $\sigma_1, a_1, a_2, a_3$ の値

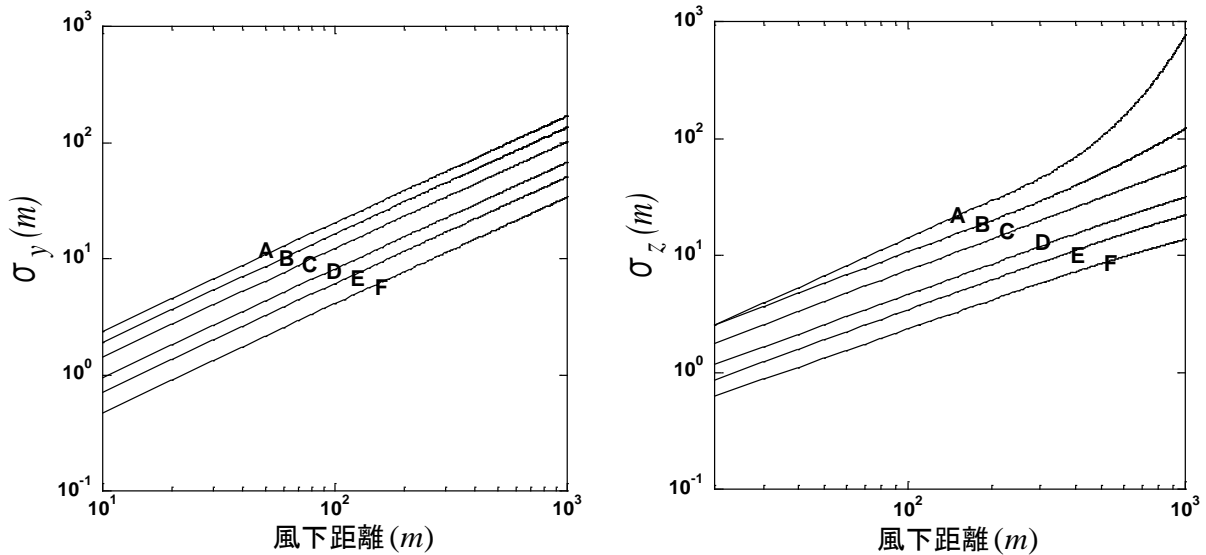
(a) 風下距離が0.2km未満  
( $a_2, a_3$ は0とする)

大気安定度	$\sigma_1$	$a_1$
A	165.	1.07
B	83.7	0.894
C	58.0	0.891
D	33.0	0.854
E	24.4	0.854
F	15.5	0.822

表 5.3(2/2) 拡散のパラメータ $\sigma_1, a_1, a_2, a_3$ の値

(b) 風下距離が0.2km以遠

大気安定度	$\sigma_1$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
A	768.1	3.9077	3.898	1.7330
B	122.0	1.4132	0.49523	0.12772
C	58.1	0.8916	-0.001649	0.0
D	37.1	0.7626	-0.095108	0.0
E	22.2	0.7117	-0.12697	0.0
F	13.8	0.6582	-0.1227	0.0



(a) y 方向の拡がりのパラメータ( $\sigma_y$ ) (b) z 方向の拡がりのパラメータ( $\sigma_z$ )

図 5.10 濃度の拡がりのパラメータ

図 5.10 は, Pasquill-Meade の, いわゆる鉛直 1/10 濃度幅  $h$  の図及び水平 1/10 濃度幅を見込む角  $\theta$  の記述にほぼ忠実に従って作成したもので, 中央制御室の計算に適用できる。

$h$  及び  $\theta$  は, 次のとおりである<sup>(参<sup>3</sup>)</sup>。

$$h = 2.15\sigma_z \quad \dots\dots\dots (5.8)$$

$$\frac{1}{2}\theta = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{2.15\sigma_y}{x} \quad \dots\dots\dots (5.9)$$

- $h$  : 濃度が 1/10 になる高さ (m)
- $\theta$  : 角度因子 (deg)
- $x$  : 風下距離 (m)

## 5.2 相対濃度 ( $\chi/Q$ )

### 5.2.1 実効放出継続時間内の気象変動の扱いの考え方

事故後に放射性物質の放出が継続している時間を踏まえた相対濃度は, 次のとおり計算する。

- (1) 相対濃度は, 毎時刻の気象項目と実効的な放出継続時間(放射性物質の放出率の時間的変化から定めるもので, 以下実効放出継続時間という)をもとに, 評価点ごとに計算する。
- (2) 評価点の相対濃度は, 毎時刻の相対濃度を年間について小さい方から累積した場合, その累積出現頻度が 97% に当たる相対濃度とする【解説 5.13】。

5.2.2 実効放出継続時間に応じた水平方向濃度の扱い

(1) 相対濃度  $\chi/Q$  は, (5.10)式<sup>(参3)</sup>によって計算する【解説 5.13】。

$$\chi/Q = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (\chi/Q)_i \delta_i^d \quad \dots\dots\dots (5.10)$$

$\chi/Q$	: 実効放出継続時間中の相対濃度	( $s/m^3$ )
$T$	: 実効放出継続時間	( $h$ )
$(\chi/Q)_i$	: 時刻 <i>i</i> の相対濃度	( $s/m^3$ )
$\delta_i^d$	: 時刻 <i>i</i> で, 風向が評価対象 <i>d</i> の場合	$\delta_i^d = 1$
	時刻 <i>i</i> で, 風向が評価対象外の場合	$\delta_i^d = 0$

- a) この場合,  $(\chi/Q)_i$ は, 時刻*i*における気象条件に対する相対濃度であり, 5.1.2 項で示す考え方で計算するが, さらに, 水平方向の風向の変動を考えて, 次項に示すとおり計算する。
- b) 風洞実験の結果等によって $(\chi/Q)_i$ の補正が必要なときは, 適切な補正を行う。

(2)  $(\chi/Q)_i$ の計算式

- a) 建屋の影響を受けない場合の計算式  
建屋の巻き込みによる影響を受けない場合は, 相対濃度は, 次の 1)及び 2)のとおり, 短時間放出又は長時間放出に応じて計算する。

1) 短時間放出の場合

短時間放出の場合,  $(\chi/Q)_i$ の計算は, 風向が一定と仮定して(5.11)式<sup>(参3)</sup>によって計算する。

$$(\chi/Q)_i = \frac{1}{2\pi\sigma_{yi}\sigma_{zi}U_i} \cdot \left[ \exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_{zi}^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_{zi}^2}\right\} \right] \quad \dots\dots\dots (5.11)$$

$(\chi/Q)_i$	: 時刻 <i>i</i> の相対濃度	( $s/m^3$ )
$z$	: 評価点の高さ	( $m$ )
$H$	: 放出源の高さ(排気筒有効高さ)	( $m$ )
$U_i$	: 時刻 <i>i</i> の風速	( $m/s$ )
$\sigma_{yi}$	: 時刻 <i>i</i> で, 濃度の水平方向の 拡がりパラメータ	( $m$ )
$\sigma_{zi}$	: 時刻 <i>i</i> で, 濃度の鉛直方向の 拡がりパラメータ	( $m$ )

2) 長時間放出の場合

実効放出時間が8時間を超える場合には、 $(\chi/Q)_i$ の計算に当たっては、放出放射性物質の全量が一方位内のみに一様分布すると仮定して(5.12)式<sup>(参3)</sup>によって計算する。

$$(\chi/Q)_i = \frac{2.032}{2\sigma_{zi}U_ix} \cdot \left[ \exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_{zi}^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_{zi}^2}\right\} \right] \dots\dots (5.12)$$

$(\chi/Q)_i$	:時刻 <i>i</i> の相対濃度	( $s/m^3$ )
$H$	:放出源の高さ(排気筒有効高さ)	( $m$ )
$x$	:放出源から評価点までの距離	( $m$ )
$U_i$	:時刻 <i>i</i> の風速	( $m/s$ )
$\sigma_{zi}$	:時刻 <i>i</i> で、濃度の鉛直方向の 拡がりパラメータ	( $m$ )

b) 建屋の影響を受ける場合の計算式

5.1.2 項の考え方にに基づき、中央制御室を含む建屋の後流側では、建屋の投影面積に応じた初期拡散による拡がりをもつ濃度分布として計算する。また、実効放出継続時間に応じて、次の1)又は2)によって、相対濃度を計算する。

1) 短時間放出の場合

建屋影響を受ける場合の濃度分布は、風向に垂直な建屋の投影の幅と高さに対応する拡がりの中で、放出点からの軸上濃度を最大値とする正規分布として仮定する。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中央制御室評価点に存在し風向が一定であるものとして、(5.13)式<sup>(参3)</sup>によって計算する。

$$(\chi/Q)_i = \frac{1}{2\pi \sum_{yi} \cdot \sum_{zi} \cdot U} \left[ \exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\sum_{zi}^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\sum_{zi}^2}\right\} \right] \dots\dots (5.13)$$

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

$(\chi/Q)_i$	:時刻 <i>i</i> の相対濃度	( $s/m^3$ )
$H$	:放出源の高さ	( $m$ )
$z$	:評価点の高さ	( $m$ )
$U_i$	:時刻 <i>i</i> の風速	( $m/s$ )
$A$	:建屋等の風向方向の投影面積	( $m^2$ )
$c$	:形状係数	(-)
$\sum_{yi}$	:時刻 <i>i</i> で、建屋等の影響を入れた 濃度の水平方向の拡がりパラメータ	( $m$ )
$\sum_{zi}$	:時刻 <i>i</i> で、建屋等の影響を入れた	

- 濃度の鉛直方向の拡がりパラメータ (m)
- $\sigma_{yi}$  : 時刻*i*で、濃度の水平方向の  
拡がりパラメータ (m)
- $\sigma_{zi}$  : 時刻*i*で、濃度の鉛直方向の  
拡がりパラメータ (m)

2) 長時間放出の場合

- i) 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方位内で平均した濃度として求めてもよい。
- ii) 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(5.12)式のような、放射性物質の拡がりの全量を計算し1方位の幅で平均すると、短時間放出の(5.13)式で得られる最大濃度より大きな値となり不合理な結果となることがある【解説 5.14】。
- iii) ii)の場合、1方位内に分布する放射性物質の量を求め、1方位の幅で平均化処理することは適切な例である。
- iv) ii)の場合、平均化処理を行うかわりに、長時間でも短時間の計算式による最大濃度として計算を行うことは保守的であり、かつ計算も簡便となる。

5.3 相対線量(D/Q)

- (1) 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しての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。
- (2) 空気カーマから全身に対しての線量への換算係数は、1Sv/Gyとする。
- (3) 評価点(x, y, 0)における空気カーマ率は、(5.14)式<sup>(参5)</sup>によって計算する。

$$D = K_I E \mu_a \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{e^{-\mu r}}{4\pi r^2} B(\mu r) \chi(x', y', z') dx' dy' dz' \dots\dots\dots (5.14)$$

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

- D : 評価点(x, y, 0)における空気吸収線量率 (μGy / s)
- $K_I$  : 空気吸収線量率への換算係数  $\left( \frac{dis \cdot m^3 \cdot \mu Gy}{MeV \cdot Bq \cdot s} \right)$
- E : ガンマ線の実効エネルギー (MeV / dis)
- $\mu_a$  : 空気に対するガンマ線の線エネルギー吸収係数 (1/m)
- $\mu$  : 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

$\chi(x',y',z') : (x',y',z')$  の濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

$\mu_a, \mu, \alpha, \beta, \gamma$  は, 0.5MeV のガンマ線に対する値を用いる。

- (4) 建屋影響を受ける場合は,  $\chi(x',y',z')$  の計算において, 建屋影響の効果を取入れてもよい。  
(「5.2.2(2)b)建屋の影響を受ける場合の計算式」参照)
- (5) 評価点を放出点と同じ高さ(風下軸上)に設定し,  $\chi(x',y',z')$  を計算する場合の建屋の巻き込み効果を見込まずに計算することは, 合理的かつ保守的である。  
ただし, 建屋影響を受ける場合は, この影響を見込んだ複数方位を, 着目方位とする必要がある。(「5.1.2(3)c)着目方位」参照)

## 6. 建屋内の放射性物質からのスカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線

- (1) 次の a), b)及び c)を, 6.1 から 6.3 までに示す方法によって計算する。
  - a) スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の線源となる建屋内放射エネルギー線源の計算
  - b) スカイシャインガンマ線の計算
  - c) 直接ガンマ線の計算
- (2) PWR 型原子炉施設の蒸気発生器伝熱管破損のように, 建屋内に放射性物質が滞留することなく系統から直接環境へ放出されるような事象については, 建屋からのスカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の評価は不要である。
- (3) 地形及び施設の構造上の理由によって, スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線による線量が大气中に放出された放射性物質による線量に対し明らかに有意な寄与とならない場合には, 評価を省略することができる。

### 6.1 スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の線源の計算

- (1) 原子炉冷却材喪失(BWR 型原子炉施設)
  - a) 事故の想定は, 「4.1.1 原子炉冷却材喪失」とする。
  - b) 事故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の漏えいによって原子炉建屋(二次格納施設)に放出される。この二次格納施設内の放射性物質をスカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の線源とする。
  - c) 二次格納施設内の放射性物質は自由空間容積に均一に分布するものとする。
  - d) 二次格納施設内の放射性物質の崩壊による減衰及び非常用ガス処理系による除去効果を計算する。
  - e) スカイシャインガンマ線の線源は, 原子炉建屋運転階に存在する放射性物質とする【解説 6.1】。
  - f) 計算対象とする核種は希ガス及びヨウ素とし, 核分裂収率が小さく半減期の極めて短いもの及びエネルギーの小さいものは, 計算の対象としなくてもよい【解説 6.2】。
  - g) 希ガス及びヨウ素の原子炉格納容器内に放出される放射性物質の量の炉心内蓄積量に対する割合は, 希ガス 100%, ヨウ素 50%とする。
  - h) 事故後 30 日間の積算線源強度は, 二次格納施設内の放射性物質によるガンマ線エネルギーをエネルギー範囲によって区分して計算する。
- (2) 主蒸気管破断(BWR 型原子炉施設)
  - a) 事故の想定は, 「4.1.2 主蒸気管破断」とする。
  - b) 事故時に主蒸気管破断口からタービン建屋内に放出された放射性物質は, 全量がター

ビン建屋から漏えいすることなく、タービン建屋の自由空間容積に均一に分布するものとする。このタービン建屋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。

- c) タービン建屋内の放射性物質の崩壊による減衰を計算する。
- d) 計算対象とする核種は希ガス及びハロゲン等とし、核分裂収率が小さく半減期の極めて短いもの及びエネルギーの小さいものは、計算の対象としない【解説 6.2】。
- e) 計算対象とする核種及びタービン建屋内への放出量の計算条件は、タービン建屋からの漏えいを見做す以外は、大気中へ放出量の計算条件（「4.1.2 主蒸気管破断」参照）と同じとする。
- f) 事故後 30 日間の積算線源強度は、タービン建屋内の放射性物質によるガンマ線エネルギーをエネルギー範囲別に区分して計算する。

### (3) 原子炉冷却材喪失 (PWR 型原子炉施設)

- a) 事故の想定は、4.2.1「原子炉冷却材喪失」とする。
- b) 事故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、すべて原子炉格納容器内に均一に分布するものと仮定し、原子炉格納容器からの漏えいによる減少効果及び格納容器スプレイ水による除去効果は見做す。この原子炉格納容器内の放射性物質をスカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の線源とする。
- c) 原子炉格納容器内に放出される放射性物質の量の炉心内蓄積量に対する割合は、希ガス 100%、ハロゲン 50%、その他 1%とする。
- d) 計算対象とする核種は希ガス、ハロゲン及び固形分とし、核分裂収率が小さく半減期の極めて短いもの及びエネルギーの小さいものは、計算の対象としない【解説 6.2】。
- e) 事故後 30 日間の積算線源強度は、原子炉格納容器内浮遊放射性物質及びアニュラス部内浮遊放射性物質によるガンマ線エネルギーを、エネルギー範囲によって区分して計算する。
- f) PWR 型原子炉施設のプレストレストコンクリート型原子炉格納容器のように、アニュラス部が外部遮へい壁の外側に存在する場合は、アニュラス部内に漏えいした希ガス及びヨウ素によるガンマ線も含めて計算する。原子炉格納容器からアニュラス部内に漏えいしてきた放射性物質は、アニュラス部内に均一に分布するものと仮定する。

## 6.2 スカイシャインガンマ線の計算

- (1) 原子炉施設の建屋内に放出された放射性物質に起因するスカイシャインガンマ線による全身に対する線量は、施設の位置、建屋の配置、形状及び地形条件から計算する。



- (2) 空気カーマから全身に対しての線量への換算係数は、ガンマ線エネルギーに依存した実効線量への換算係数又は1Sv/Gyとする。
- (3) PWR型原子炉施設のプレストレストコンクリート型原子炉格納容器のように、外部遮へいのドーム部と円筒部の遮へい厚とがほぼ同等であり、どちらか小さい厚さで代表させて計算する場合は、6.2(4)項の方法によってスカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の双方を計算できる。  
さらに、アニュラスの構造壁の遮へい効果を計算しない場合も、6.2(4)項の方法によってスカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の双方を計算できる。
- (4) スカイシャインガンマ線の計算方法
- a) スカイシャインガンマ線の計算は一回散乱計算法を用いるものとし、必要に応じて輸送計算コードを適宜組み合わせて用いる。ただし、(6.1)式の内容と同等で技術的妥当性が認められる場合には、特に使用する計算方法を制限するものではない。
- b) 基本計算式を(6.1)式(参6, 参7, 参8)とする。

$$H_S = \int_0^T D_S dt$$

$$D_S = \sum_E \sum_{E'} \int_V \Phi(E, x) K(E') \frac{d\sigma}{d\Omega}(E, \theta) \frac{N}{r^2} B(E', b) \exp\left(-\sum_l \sum_m \mu_l' X_m\right) dV \dots\dots\dots (6.1)$$

$H_S$	: 実効線量	(Sv)
$T$	: 計算期間	(s)
$D_S$	: ガンマ線の空気カーマ率	(Gy/s)
$\Phi(E, x)$	: 散乱点に於けるガンマ線束	( $\gamma/(m^2s)$ )
$\mu_l'$	: 散乱エネルギー $E'$ に於ける物質 $l$ の線減衰係数	(1/m)
$K(E')$	: 散乱エネルギー $E'$ の線量率換算係数	(Gy/( $\gamma/m^2$ ))
$B(E', b)$	: 散乱エネルギー $E'$ のガンマ線の散乱点から計算点までの $b$ に対するビルドアップ係数	(-)
$X_m$	: 領域 $m$ の透過距離	(m)
$r$	: 散乱点から計算点までの距離	(m)
$V$	: 散乱体積	( $m^3$ )
$N$	: 空気中の電子数密度	(electrons/ $m^3$ )
$\frac{d\sigma}{d\Omega}(E, \theta)$	: Klein-Nishina の微分散乱断面積	( $m^2 / steradian$ )
$\theta$	: 散乱角	(radian)

- c) 散乱点におけるガンマ線束は、次の i) 又は ii) のいずれかの方法によって計算する。
- i) 遮へいの影響を、ビルドアップ係数を用いて求める場合(参8)

$$\Phi(E, x) = \frac{S(E)}{4\pi\rho^2} B(E, b^0) \exp\left(-\sum_i \sum_j \mu_i X_j\right) \dots\dots\dots (6.2)$$

$$b^0 = \sum_k \sum_n \mu_k X_n$$

$\mu_i$	: 線源エネルギー $E$ の物質 $i$ の線減衰係数	(1/m)
$S(E)$	: 線源エネルギー $E$ の線源強度	( $\gamma/s$ )
$B(E, b^0)$	: 線源エネルギー $E$ のガンマ線の線源点から 散乱点までの空気以外の遮へい体の $b^0$ に 対するビルドアップ係数	(-)
$X_j$	: 領域 $j$ の透過距離	(m)
$\rho$	: 線源点から散乱点までの距離	(m)
$\mu_k$	: 線源エネルギー $E$ の空気以外の物質 $k$ の線減衰係数	(1/m)
$X_n$	: 空気以外の物質の領域 $n$ の透過距離	(m)

ii) 遮へいの影響を、輸送計算で求める場合<sup>(参6, 参7)</sup>

$$\Phi(E, x) = \frac{S_p(E)}{4\pi\rho^2} \exp\left(-\sum_i \mu_i x_i\right) \dots\dots\dots (6.3)$$

$$S_p(E) = \Phi(\theta) A_c \cos\theta$$

$\mu_i$	: 線源エネルギー $E$ に於ける領域 $i$ の線減衰係数	(1/m)
$x_i$	: 領域 $i$ の透過距離	(m)
$\rho$	: 線源点から散乱点までの距離	(m)
$S_p(E)$	: 線源エネルギー $E$ の線源強度	( $\gamma/s$ )
$\theta$	: 鉛直上方向とガンマ線の進行方向がなす角	(radian)
$\Phi(\theta)$	: 輸送計算式によって求めた $\theta$ 方向の角度束	( $\gamma/m^2s \cdot weight$ )
	$weight = \frac{\Delta\Omega}{4\pi}$	
$\Omega$	: ガンマ線の放出立体角	(steradian)
$A_c$	: 天井面積	( $m^2$ )

### 6.3 直接ガンマ線の計算

- (1) 原子炉施設の建屋内に放出された放射性物質に起因する直接ガンマ線による線量の計算のために、線源、施設の位置関係、建屋構造等から計算の体系モデルを構築する。
- (2) 空気カーマから全身に対する線量への換算係数は、ガンマ線エネルギーに依存した実効線量への換算係数又は  $1Sv/Gy$  とする。

(3) 直接ガンマ線の計算方法

a) 直接ガンマ線の計算は、点減衰核積分法を用いる。ただし、(6.4)式の内容と同等で、技術的妥当性が認められる場合には、使用する計算方法を制限するものではない。

b) 基本計算式は(6.4)式<sup>(参6, 参7, 参9)</sup>とする。

$$H_d = \sum_E K(E) \int_V \frac{S(E, x, y, z) e^{-b} B(E, b)}{4\pi R^2} dV \dots\dots\dots (6.4)$$

$$b = \sum_i \mu_i l_i$$

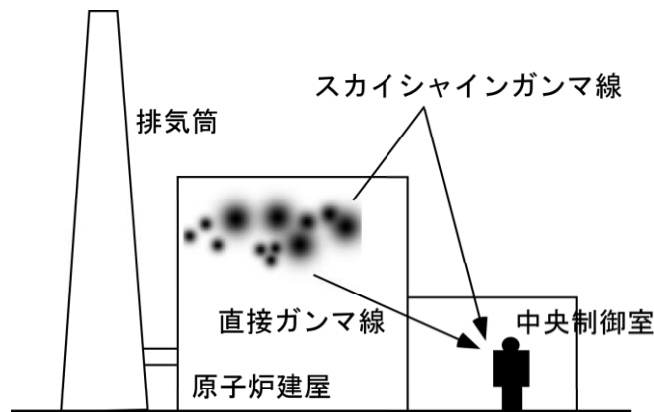
$H_d$	: 実効線量	(Sv)
$K(E)$	: 線源エネルギー $E$ に対する線量換算係数	(Sv/( $\gamma/m^2$ ))
$S(E, x, y, z)$	: 積算線源強度	( $\gamma/m^3$ )
$B(E, b)$	: 線源エネルギー $E$ でガンマ線減衰距離 $b$ に対する ビルドアップ係数	(-)
$\mu_i$	: 線源エネルギー $E$ に対する物質 $i$ の線減衰係数	(1/m)
$l_i$	: 物質 $i$ の透過距離	(m)
$R$	: 微小体積 $dV$ から計算点までの距離	(m)
$V$	: 線源体積	( $m^3$ )

## 7. 中央制御室居住性に係る被ばく評価

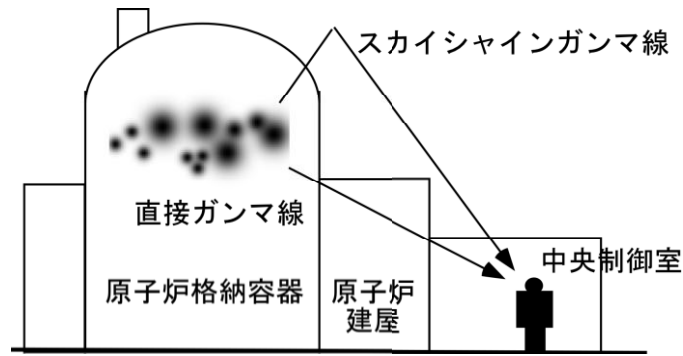
- (1) 中央制御室居住性に係る運転員の被ばくを、3.2(1)に示した被ばく経路について、7.1 から7.5 までに示す方法によって計算する。
- (2) 次の a)及び b)のとおり、想定事故に対し、すべての被ばく経路の評価が必要となるものではない【解説 7.1】。
  - a) PWR 型原子炉施設の蒸気発生器伝熱管破損のように、建屋内に放射性物質が滞留することなく系統から直接環境へ放出されるような事象については、建屋からのスカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の評価は不要である。
  - b) BWR 型原子炉施設の主蒸気管破断時の半球状雲の放出及び PWR 型原子炉施設の蒸気発生器伝熱管破損時の二次系への漏えい停止までの放出など、事故発生直後の時間に集中して放出される放射性物質に対しては、入退域時の線量の評価は不要である。
- (3) 運転員の勤務状態については、平常時の直交替を基に設定する。ただし、直交替の設定を平常時のものから変更する場合、事故時マニュアル等に当該の運用を記載することが前提である。

### 7.1 建屋内の放射性物質からのガンマ線による中央制御室内での被ばく

- (1) 次の a)及び b)の被ばく経路について、運転員の被ばくを、7.1.1 から 7.1.2 までに示す方法によって計算する(図 7.1)。
  - a) 建屋内の放射性物質からのスカイシャインガンマ線による中央制御室内での被ばく
  - b) 建屋内の放射性物質からの直接ガンマ線による中央制御室内での被ばく



(a) BWR 型原子炉施設



(b) PWR 型原子炉施設

図 7.1 建屋内の放射性物質からのガンマ線による中央制御室内での被ばく経路

### 7.1.1 建屋内の放射性物質からのスカイシャインガンマ線による中央制御室内での被ばく

- (1) 原子炉冷却材喪失時の線量評価(BWR 型原子炉施設)
- 原子炉冷却材喪失発生後30日間, 原子炉建屋(二次格納施設)内に存在する放射性物質を線源としたスカイシャインガンマ線による, 中央制御室内における積算線量を計算する(図7.2)。
  - スカイシャインガンマ線の線源強度は, 「6.1スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の線源の計算」で解析した結果を用いる。
  - 線源から中央制御室に至るまでの遮へい効果を, 構造物の配置, 形状及び組成から計算する。建屋等の構造壁や天井に対して, 配置, 形状及び組成を明らかにして, 遮へい効果を見込んでよい。
  - 線量の評価点は, 中央制御室内の中心点, 操作盤位置等を代表点とする。室内の複数点の計算結果から線量が最大となる点を評価点としてもよい。
  - 中央制御室内の滞在期間を, 運転員の勤務状態に即して計算し, 30日間の積算線量を滞在期間の割合で配分する。
  - スカイシャインガンマ線による運転員の外部被ばく線量は, 次のとおり計算する。

$$\text{外部被ばく線量} = \text{室内作業時スカイシャインガンマ線積算線量} \\ \times \text{直交替による滞在時間割合}^{*1}$$

\*1) 例:4直3交替勤務の場合  $0.25 = (8\text{h}/\text{直} \times 3\text{直} \times 30\text{日} / 4) / (24\text{h} \times 30\text{日})$

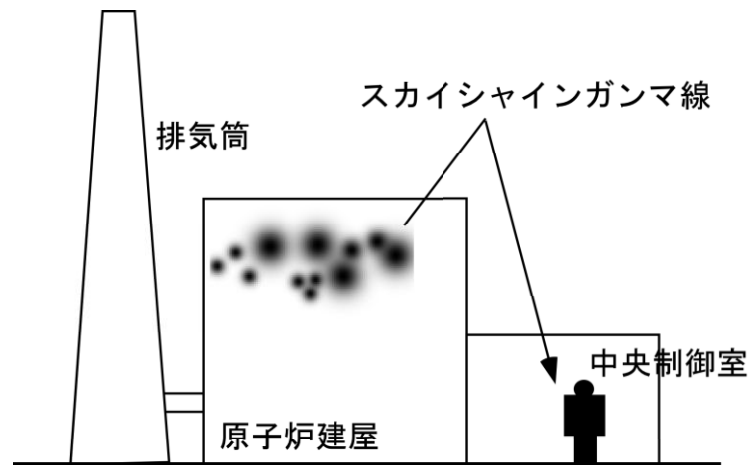


図7.2 原子炉冷却材喪失のスカイシャインガンマ線の計算  
(BWR型原子炉施設)

- (2) 原子炉冷却材喪失時の線量評価(PWR型原子炉施設)
- a) 原子炉冷却材喪失発生後30日間、原子炉格納容器内及びアニュラス内に存在する放射性物質を線源としたスカイシャインガンマ線による、中央制御室内における積算線量を計算する(図7.3)。
  - b) スカイシャインガンマ線の線源強度は、「6.1スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の線源の計算」で解析した結果を用いる。
  - c) 線源から中央制御室に至るまでの遮へい効果を、構造物の配置、形状及び組成から計算する。建屋等の構造壁又は天井に対して、配置、形状及び組成を明らかにして、遮へい効果を見込んでよい。
  - d) 線量の評価点は、中央制御室内の中心、操作盤位置等の代表点とする。室内の複数点の計算結果から線量が最大となる点を評価点としてもよい。
  - e) 中央制御室内の滞在期間を、運転員の勤務状態に即して計算し、30日間の積算線量を滞在期間の割合で配分する。
  - f) アニュラス部が原子炉格納容器外部遮へいの内側にある場合には、アニュラス部内の線源を原子炉格納容器内に存在するとして計算してもよい。
  - g) スカイシャインガンマ線による運転員の外部被ばく線量は、次のとおり計算する。

$$\text{外部被ばく線量} = \text{室内作業時スカイシャインガンマ線積算線量} \\ \times \text{直交替による滞在時間割合}^{*1}$$

\*1) 例:4直3交替勤務の場合  $0.25 = (8\text{h}/\text{直} \times 3\text{直} \times 30\text{日} / 4) / (24\text{h} \times 30\text{日})$

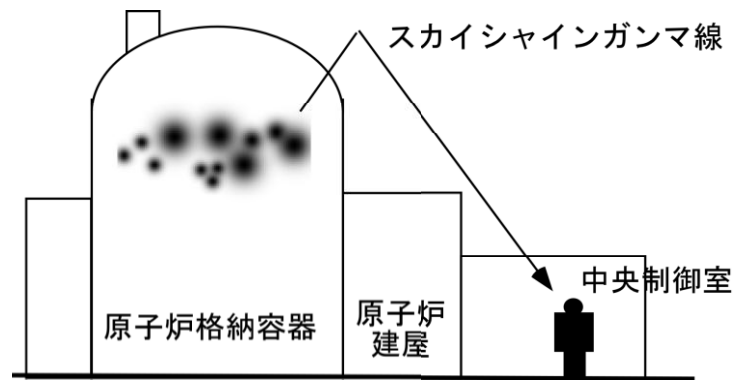


図7.3 原子炉冷却材喪失のスカイシャインガンマ線の計算  
(PWR型原子炉施設)

(3) 主蒸気管破断時の線量評価(BWR型原子炉施設)

- a) 主蒸気管破断発生後30日間、タービン建屋内に存在する放射性物質を線源としたスカイシャインガンマ線による、中央制御室内における積算線量を計算する(図7.4)。
- b) スカイシャインガンマ線の線源強度は、「6.1スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の線源の計算」で解析した結果を用いる。
- c) 線源から中央制御室に至るまでの遮へい効果を、構造物の配置、形状及び組成から計算する。建屋等の構造壁又は天井に対して、配置、形状及び組成を明らかにして、遮へい効果を見込んでよい。
- d) 線量の評価点は、中央制御室内の中心、操作盤位置等の代表点とする。室内の複数点の計算結果から線量が最大となる点を評価点としてもよい。
- e) 中央制御室内の滞在期間を、運転員の勤務状態に即して計算し、30日間の積算線量を滞在期間の割合で配分する。
- f) スカイシャインガンマ線による運転員の外部被ばく線量は、次のとおり計算する。

$$\text{外部被ばく線量} = \text{室内作業時スカイシャインガンマ線積算線量} \\ \times \text{直交替による滞在時間割合}^{*1}$$

\*1) 例:4直3交替勤務の場合  $0.25 = (8\text{h}/\text{直} \times 3\text{直} \times 30\text{日} / 4) / (24\text{h} \times 30\text{日})$

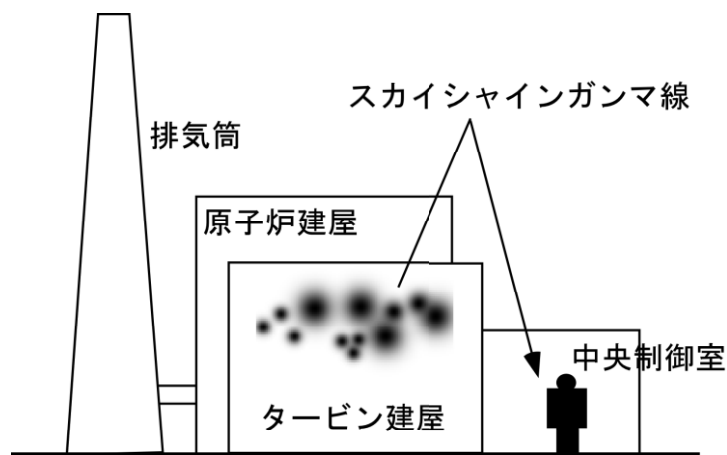


図7.4 主蒸気管破断のスカイシャインガンマ線の計算  
(BWR型原子炉施設)

### 7.1.2 建屋内の放射性物質からの直接ガンマ線による中央制御室内での被ばく

#### (1) 原子炉冷却材喪失時の線量評価(BWR型原子炉施設)

- a) 原子炉冷却材喪失発生後30日間，原子炉建屋等(二次格納施設)内に存在する放射性物質を線源とした直接ガンマ線による，中央制御室内における積算線量を計算する(図7.5)。
- b) 直接ガンマ線の線源強度は，「6.1スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の線源の計算」で解析した結果を用いる。
- c) 線源から中央制御室に至るまでの遮へい効果を，構造物の配置，形状及び組成から計算する。建屋等の構造壁又は天井に対して，配置，形状及び組成を明らかにして，遮へい効果を見込んでよい。
- d) 線量の評価点は，中央制御室内の中心，操作盤位置等の代表点とする。室内の複数点の計算結果から線量が最大となる点を評価点としてもよい。
- e) 中央制御室内の滞在期間を，運転員の勤務状態に即して計算し，30日間の積算線量を滞在期間の割合で配分する。
- f) 直接ガンマ線による運転員の外部被ばく線量は，次のとおり計算する。

$$\text{外部被ばく線量} = \text{室内作業時直接ガンマ線積算線量} \\ \times \text{直交替による滞在時間割合}^{*1}$$

\*1) 例:4直3交替勤務の場合  $0.25 = (8\text{h}/\text{直} \times 3\text{直} \times 30\text{日} / 4) / (24\text{h} \times 30\text{日})$



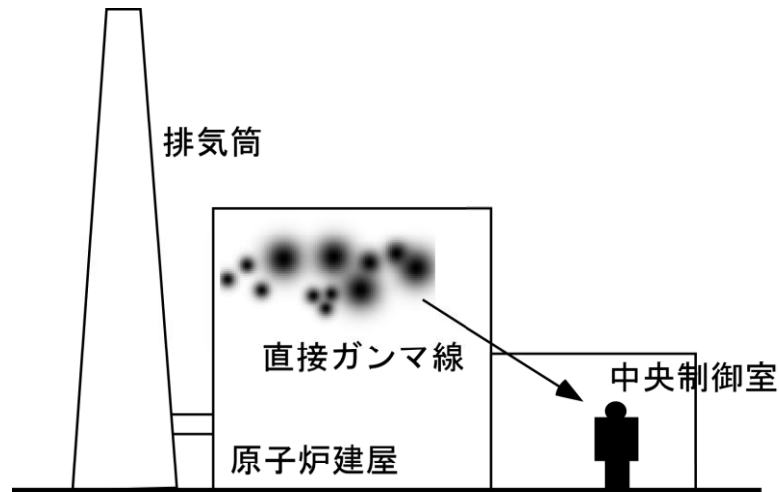


図7.5 原子炉冷却材喪失の直接ガンマ線の計算  
(BWR型原子炉施設)

- (2) 原子炉冷却材喪失時の線量評価(PWR型原子炉施設)
- a) 原子炉冷却材喪失発生後30日間, 原子炉格納容器内及びアニュラス内に存在する放射性物質を線源とした直接ガンマ線による, 中央制御室内における積算線量を計算する(図7.6)。
  - b) 直接ガンマ線の線源強度は, 「6.1スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の線源の計算」で解析した結果を用いる。
  - c) 線源から中央制御室に至るまでの遮へい効果を, 構造物の配置, 形状及び組成から計算する。建屋等の構造壁又は天井に対して, 配置, 形状及び組成を明らかにして, 遮へい効果を見込んでよい。
  - d) 線量の評価点は, 中央制御室内の中心, 操作盤位置等の代表点とする。室内の複数点の計算結果から線量が最大となる点を評価点としてもよい。
  - e) 中央制御室内の滞在期間を, 運転員の勤務状態に即して計算し, 30日間の積算線量を滞在期間の割合で配分する。
  - f) アニュラス部が原子炉格納容器外部遮へいの内側にある場合には, アニュラス部内の線源を原子炉格納容器内に存在するとして計算してもよい。
  - g) 直接ガンマ線による運転員の外部被ばく線量は, 次のとおり計算する。

$$\text{外部被ばく線量} = \text{室内作業時直接ガンマ線積算線量} \\ \times \text{直交替による滞在時間割合}^{*1}$$

\*1) 例: 4直3交替勤務の場合  $0.25 = (8\text{h}/\text{直} \times 3\text{直} \times 30\text{日} / 4) / (24\text{h} \times 30\text{日})$

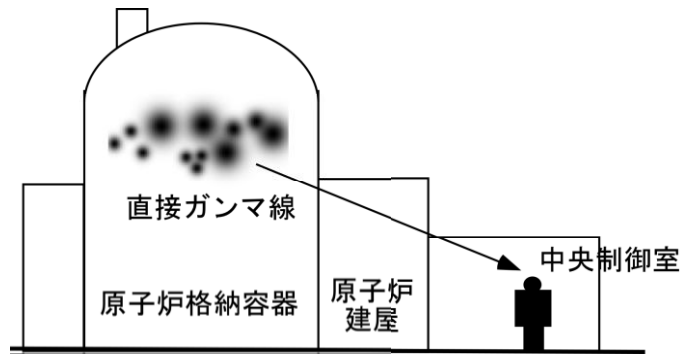


図7.6 原子炉冷却材喪失の直接ガンマ線の計算  
(PWR型原子炉施設)

(3) 主蒸気管破断時の線量評価(BWR型原子炉施設)

- a) 主蒸気管破断発生後30日間、タービン建屋内に存在する放射性物質を線源とした直接ガンマ線による、中央制御室内における積算線量を計算する(図7.7)。
- b) 直接ガンマ線の線源強度は、「6.1スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の線源の計算」で解析した結果を用いる。
- c) 線源から中央制御室に至るまでの遮へい効果を、構造物の配置、形状及び組成から計算する。建屋等の構造壁又は天井に対して、配置、形状及び組成を明らかにして、遮へい効果を見込んでよい。
- d) 線量の評価点は、中央制御室内の中心、操作盤位置等の代表点とする。室内の複数点の計算結果から線量が最大となる点を評価点としてもよい。
- e) 中央制御室内の滞在期間を、運転員の勤務状態に即して計算し、30日間の積算線量を滞在期間の割合で配分する。
- f) 直接ガンマ線による運転員の外部被ばく線量は、次のとおり計算する。

$$\text{外部被ばく線量} = \text{室内作業時直接ガンマ線積算線量} \\ \times \text{直交替による滞在時間割合}^{*1}$$

\*1) 例:4直3交替勤務の場合  $0.25 = (8\text{h}/\text{直} \times 3\text{直} \times 30\text{日} / 4) / (24\text{h} \times 30\text{日})$

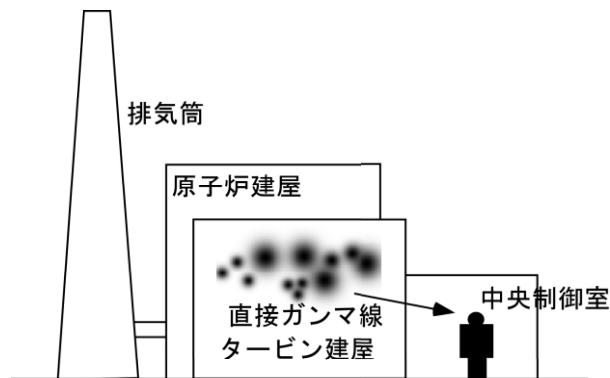
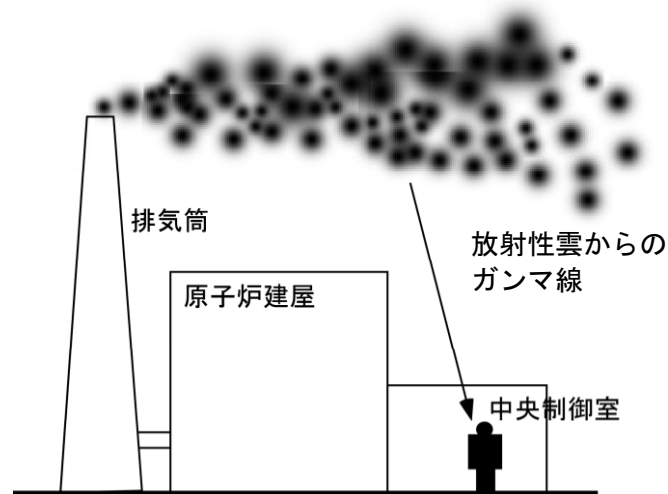


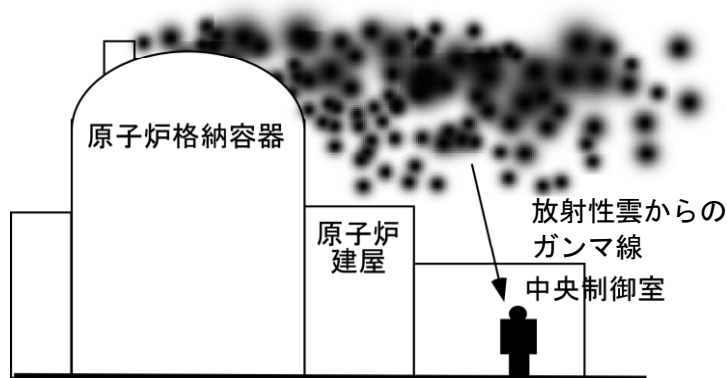
図7.7 主蒸気管破断の直接ガンマ線の計算  
(BWR型原子炉施設)

## 7.2 大気中へ放出された放射性物質のガンマ線による中央制御室内での被ばく

- (1) 大気中へ放出された放射性物質から放射されるガンマ線による運転員の被ばくを、次の(2)から(5)によって計算する(図 7.8)。



(a) BWR 型原子炉施設



(b) PWR 型原子炉施設

図 7.8 大気中へ放出された放射性物質のガンマ線による中央制御室内での被ばく経路

- (2) 建屋から大気中へ放出された放射性物質からのガンマ線による中央制御室内作業時の運転員の被ばく線量を計算する。
- (3) 相対線量  $D/Q$  の評価点は、中央制御室内の中心、操作盤位置等の代表点とする。室内の複数点の計算結果から線量が最大となる点を評価点としてもよい。
- (4) 中央制御室の天井・側壁によるガンマ線 ( $E_\gamma \geq 1.5\text{MeV}$  以上) の遮へい効果を計算する。
- (5) ガンマ線による運転員の外部被ばく線量は、次のとおり計算する。

外部被ばく線量 = 大気中へ放出された希ガス等 (BWRプラントの主蒸気管破断では、ハロゲン等を含む) のガンマ線による実効線量  $\times$  直交替による滞在時間割合<sup>\*1</sup>

\*1) 例:4直3交替勤務の場合  $0.25 = (8\text{h}/\text{直} \times 3\text{直} \times 30\text{日} / 4) / (24\text{h} \times 30\text{日})$

- a) 主蒸気管破断時には、半球状雲中の放射性物質のガンマ線による線量寄与を加算する。

外部被ばく線量 = 放出希ガス等のガンマ線(BWRプラントの主蒸気管破断では、ハロゲン等を含む)による実効線量  
 $\times$  直交替による滞在時間割合<sup>\*1</sup> + (半球状雲による線量)

- b) 蒸気発生器伝熱管破損時には、大気中へ放出された放射性物質のガンマ線による中央制御室内での被ばくの線源となる希ガスは、破損側蒸気発生器の1次系から2次系への漏えいが停止するまでの短時間に全量が放出されるため、事故発生時に勤務している直がすべての線量を受けるとして、直交替による滞在時間割合を「1.0」とする。

外部被ばく線量 = 放出希ガスのガンマ線による実効線量  $\times 1.0$

- c) 大気中へ放出された放射性物質のガンマ線による中央制御室内滞在時の実効線量は、次の1)及び2)に示す方法によって計算する。

1) 原子炉冷却材喪失時及び蒸気発生器伝熱管破損時

$$H_{\gamma} = \int_0^T K(D/Q)Q_{\gamma}(t)B \exp(-\mu' X') dt \quad \dots\dots\dots (7.1)$$

$H_{\gamma}$  : 希ガスのガンマ線の外部被ばくによる実効線量 (Sv)  
 $K$  : 空気カーマから実効線量への換算係数 (Sv/Gy,  $K = 1$ )  
 $D/Q$  : 相対線量 (Gy/Bq)  
 $Q_{\gamma}(t)$  : 時刻  $t$  における核種の環境放出率 (Bq/s)  
 (ガンマ線  $0.5\text{MeV}$  換算)  
 $B$  : ビルドアップ係数 (-)  
 $\mu'$  : コンクリートに対するガンマ線の線減衰係数 ( $1/m$ )  
 $X'$  : 中央制御室コンクリート厚さ (m)  
 $T$  : 計算対象期間(30日間) (s)  
 (注)30日間連続滞在の場合の値である。

上式のうちコンクリートによる減衰効果  $B \exp(-\mu' X')$  は、テーラー型ビルドアップ係数を用いて計算してもよい。

2) 主蒸気管破断時

i) 半球雲通過時の線量<sup>(参5)</sup>

$$H_{\gamma} = 6.2 \times 10^{-14} \frac{Q_{\gamma}}{V} E_{\gamma} \frac{R}{U} \left( 1 - \exp\left(-\mu' \frac{R}{2}\right) \right) B \exp(-\mu' X') \quad \dots\dots\dots (7.2)$$

$H_{\gamma}$  : 希ガスのガンマ線の外部被ばくによる実効線量 (Sv)  
 $Q_{\gamma}$  : 半球雲中の放射性物質質量 ( $\gamma$ 線  $0.5\text{MeV}$  換算) (Bq)

$V$	: 半球雲体積	$(m^3)$
$E_\gamma$	: ガンマ線の実効エネルギー (0.5MeV)	$(MeV / dis)$
$\mu$	: 空気に対するガンマ線の線エネルギー吸収係数	$(1/m)$
$R$	: 半球雲直径	$(m)$
$U$	: 半球雲の移動速度	$(m/s)$
$B$	: ビルドアップ係数	$(-)$
$\mu'$	: コンクリートに対するガンマ線の線減衰係数	$(1/m)$
$X'$	: 中央制御室コンクリート厚さ	$(m)$

ii) 主蒸気隔離弁からの漏えい, 放出放射能による線量

$$H_\gamma = \int_0^T K(D/Q)Q_\gamma(t)B \exp(-\mu'X')dt \quad \dots\dots\dots (7.3)$$

$H_\gamma$	: 希ガスのガンマ線の外部被ばくによる実効線量	$(Sv)$
$K$	: 空気カーマから実効線量への換算係数	$(Sv/Gy, K=1)$
$D/Q$	: 相対線量	$(Gy/Bq)$
$Q_\gamma(t)$	: 時刻 $t$ における核種の環境放出率 ( $\gamma$ 線0.5MeV換算)	$(Bq/s)$
$B$	: ビルドアップ係数	$(-)$
$\mu'$	: コンクリートに対するガンマ線の線減衰係数	$(1/m)$
$X'$	: 中央制御室コンクリート厚さ	$(m)$
$T$	: 計算対象期間(30日間)	$(s)$

(注)30日間連続滞在の場合の値である。

### 7.3 室内に外気から取り込まれた放射性物質による中央制御室内での被ばく

(1) 次のa)及びb)について, 7.3.1から7.3.2までに示す方法によって計算する。

- a) 建屋表面の空気中の放射性物質濃度
- b) 室内に外気から取り込まれた放射性物質による中央制御室内の放射性物質濃度

なお, 中央制御室の空気流入率については, 「原子力発電所の中央制御室の空気流入率測定試験手法」に従うこと。

(2) 次のa)及びb)の被ばく経路による運転員の被ばくを, 7.3.3から7.3.4までに示す方法によって計算する。(図7.9)

- a) 室内に外気から取り込まれた放射性物質の吸入摂取による中央制御室内での被ばく
- b) 室内に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中央制御室内での被ばく

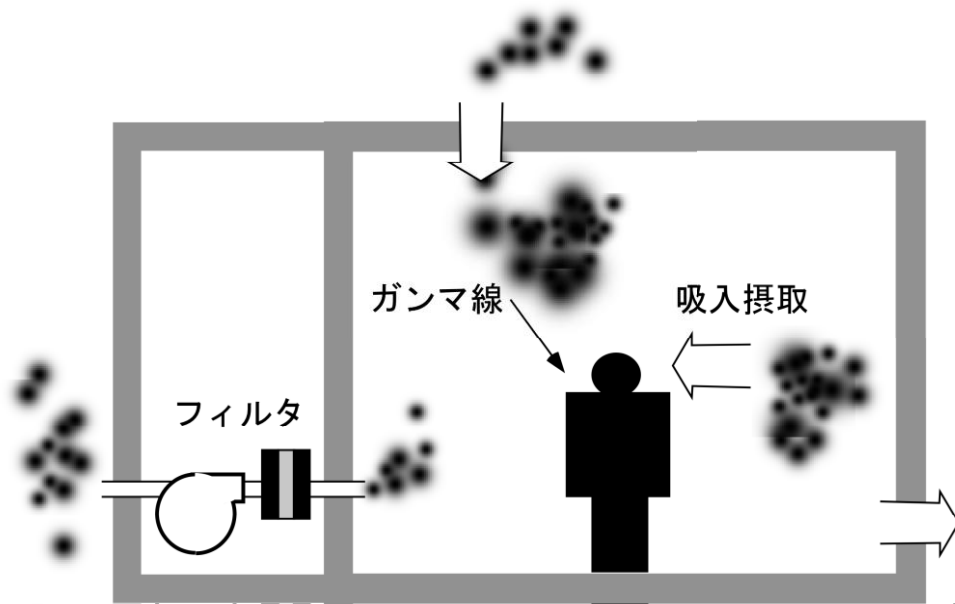


図7.9 外気から取り込まれた放射性物質による中央制御室内での被ばく経路

### 7.3.1 中央制御室が属する建屋周辺の放射性物質の濃度

(1) 大気中に放出された放射性物質が大気中を拡散し、放出源付近の建屋の巻き込み影響を受ける場合にはその効果を計算したうえで(5.大気拡散の評価), 中央制御室を含む当該建屋の周辺の放射性物質の濃度を計算する。

a) 建屋影響を考慮しない場合

建屋の影響を考慮しない場合は, 5.1.1(1)の方法で計算した建屋周辺の濃度分布の結果を用いる(図7.10)。

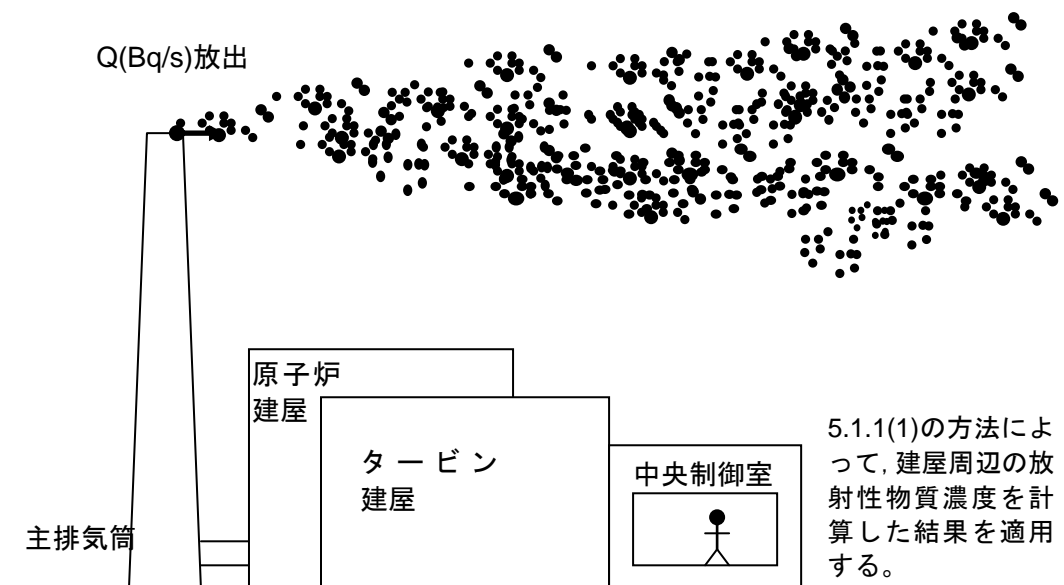
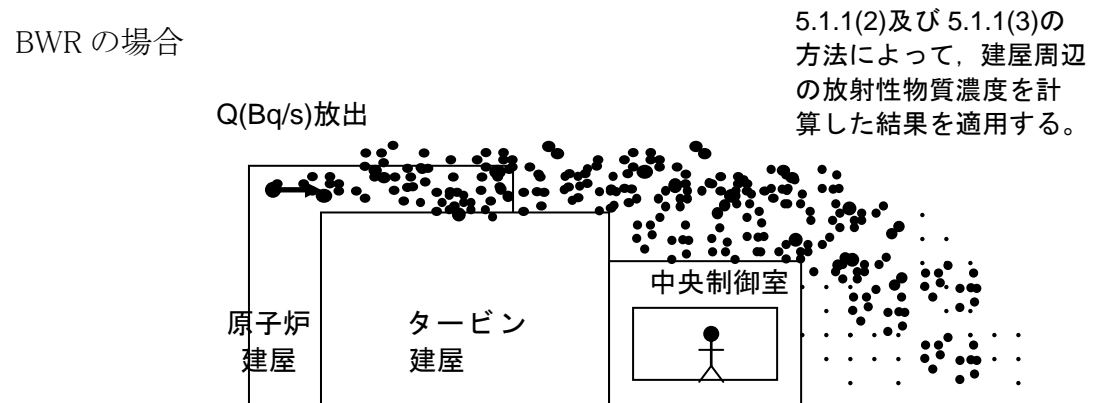


図7.10 中央制御室建屋付近への放射性物質の拡散

- b) 建屋影響を考慮する場合  
 建屋の影響を考慮する場合は、5.1.1(2)及び(3)の方法で計算した建屋周辺の濃度分布の結果を用いる(図 7.11)。

1) BWR の場合



2) PWR の場合

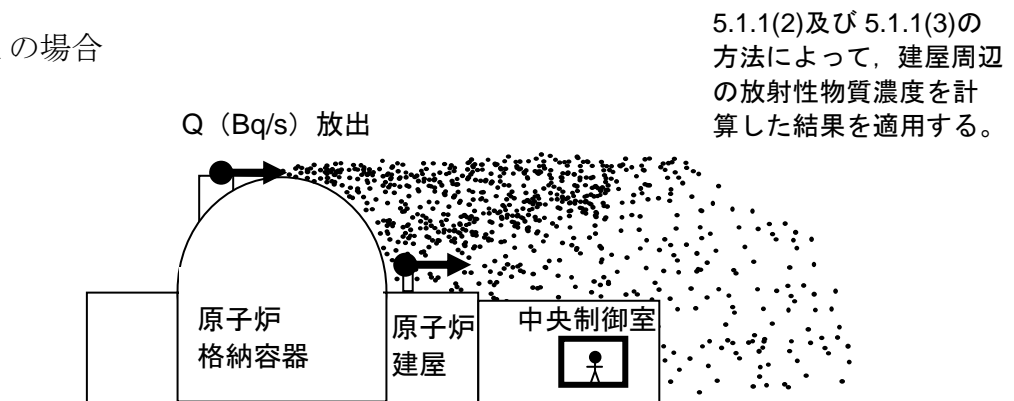


図7.11 中央制御室建屋付近への放射性物質の拡散

7.3.2 中央制御室内の放射性物質濃度

- (1) 建屋の表面空気中から、次の a)及び b)の経路で放射性物質が外気から取り込まれることを想定する。
  - a) 中央制御室の非常用換気空調によって室内に取り入れること
  - b) 中央制御室内に直接、流入すること
- (2) 中央制御室内の雰囲気中で、放射性物質は一様混合すると仮定する。
- (3) 中央制御室換気系フィルタの効率、設計値又は管理値を用いる。
- (4) 中央制御室への外気取入及び空気流入による放射性物質の取り込みに対して、時刻  $t$  における核種  $i$  の外気中濃度を用いる。
- (5) 相対濃度  $\lambda/Q$  の評価点は、外気取入れを行う場合は中央制御室の外気取入口とする。また、外気を遮断する場合は中央制御室の中心点とする。((7.4)式の中央制御室の区画の濃度とする。)

- (6) 中央制御室の自動隔離を期待する場合には、その起動信号を明確にするとともに隔離に要する時間を見込む。また、隔離のために手動操作が必要な場合には、隔離に要する時間に加えて運転員が事故を検知してから操作を開始するまで10分以上の時間的余裕を見込んで計算する。
- (7) 中央制御室内の雰囲気中に浮遊する放射性物質量の時間変化は、次のとおり計算する。
- a) 中央制御室内への取り込み空気放射能濃度に基づき、空調システムの設計に従って中央制御室内の放射能濃度を求める【解説7.2】。

$$\frac{dM_i^k(t)}{dt} = -\lambda^k M_i^k(t) - \sum_{j=1}^n \frac{G_{ji}}{V_i} M_j^k(t) + \sum_{j=1}^n (1-E_{ij}^k) \frac{G_{ij}}{V_j} M_j^k(t) + \sum_{l=1}^N (1-E_{il}^k) \alpha_l S_l^k(t) + \alpha_l S_l^k(t)$$

$$S_l^k(t) = (\chi/Q)_l Q^k(t)$$

$$S_l^k(t) = (\chi/Q)_l Q^k(t)$$

..... (7.4)

$M_i^k(t)$	: 時刻 $t$ における区画 $i$ の核種 $k$ の放射性物質の量	(Bq)
$V_i$	: 区画 $i$ の体積	( $m^3$ )
$E_{ij}^k$	: 区画 $j$ から $i$ の経路にあるフィルタの除去効率	(-)
$G_{ij}$	: 区画 $j$ から $i$ の体積流量	( $m^3/s$ )
$\lambda^k$	: 核種 $k$ の崩壊定数	( $1/s$ )
$S_l^k(t)$	: 時刻 $t$ における外気取入口 $l$ での核種 $k$ の濃度	( $Bq/m^3$ )
$\alpha_l$	: 外気取入口 $l$ からの外気取入量	( $m^3/s$ )
$(\chi/Q)_l$	: 評価点 $l$ の相対濃度	( $s/m^3$ )
$Q^k(t)$	: 放射性物質の放出率	( $Bq/s$ )
$\alpha_l$	: 空気流入量 空気流入量 = 空気流入率 × 中央制御室バウンダリ内体積(容積)	( $m^3/s$ )
$S_l^k(t)$	: 空気流入を計算する核種 $k$ の濃度	( $Bq/m^3$ )
$(\chi/Q)_l$	: 空気流入に対する評価点 $l$ の相対濃度	( $s/m^3$ )

- b) 中央制御室に相当する区画の容積は、中央制御室バウンダリ内体積(容積)とする。

### 7.3.3 室内に外気から取り込まれた放射性物質の吸入摂取による中央制御室内での被ばく

- (1) 放射性物質の吸入摂取による運転員の被ばく線量を、次の(2)から(5)までの方法によって計算する(図7.12)。
- (2) 線量の計算にあたっては、運転員の勤務状態に即して、中央制御室内の滞在期間を計算し、



30日間の積算線量を滞在期間の割合で配分する。

- (3) 被ばく低減方策として、防護マスク着用による放射性よう素の吸入による内部被ばくの低減をはかる場合には、その効果及び運用条件を適切に示して評価に反映してもよい。
- (4) 吸入摂取による運転員の内部被ばく線量は、次のとおり計算する。

内部被ばく線量 = 室内に外気から取り込まれた放射性物質の吸入摂取による実効線量  
 × 直交替による滞在時間割合<sup>\*1</sup>

\*1) 例: 4直3交替勤務の場合  $0.25 = (8\text{h}/直 \times 3直 \times 30日 / 4) / (24\text{h} \times 30日)$

ここで、外気から取り込まれた放射性物質の吸入摂取による運転員の実効線量は、(7.5)式によって計算する。

$$H_I = \int_0^T RH_{\infty} C_I(t) dt \quad \dots\dots\dots (7.5)$$

- $H_I$  : よう素の吸入摂取の内部被ばくによる実効線量 (Sv)
- $R$  : 呼吸率(成人活動時) ( $m^3 / s$ )
- $H_{\infty}$  : よう素 (I-131) 吸入摂取時の成人の実効線量への  
換算係数 ( $Sv / Bq$ )
- $C_I(t)$  : 時刻  $t$  における中央制御室内の放射能濃度 ( $Bq / m^3$ )  
(I-131等価量)
- $T$  : 計算期間(30日間) (s)  
(注) 30日間連続滞在の場合の値である。

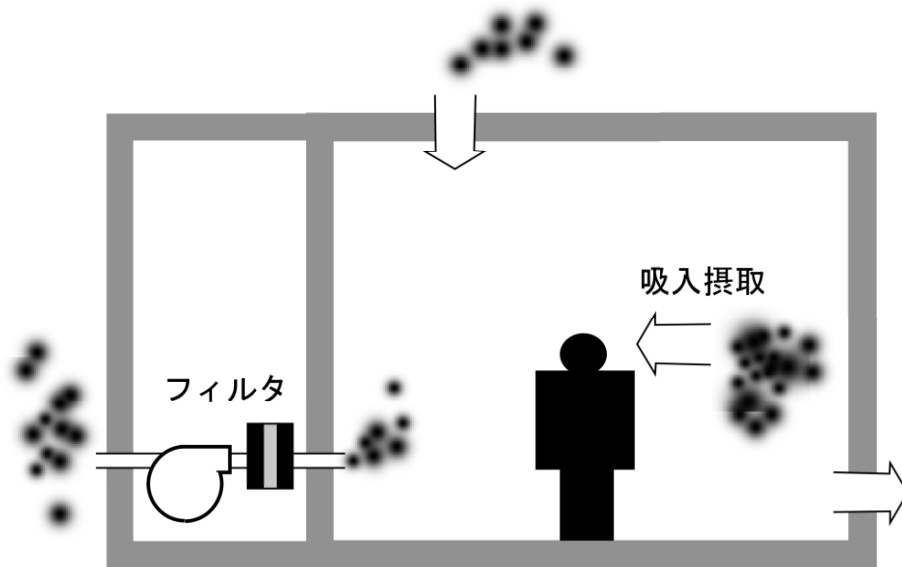


図7.12 放射性物質取り込みによる中央制御室内での吸入摂取による被ばく

- (5) 主蒸気管破断時は、前項の線量に半球状雲通過時の放射性物質の室内取込による線量寄与を加算する。

内部被ばく線量 = 室内に外気から取り込まれた放射性物質の吸入摂取による実効線量  
 × 直交替による滞在時間割合

+ (半球状雲による線量)

ここで、半球状雲に伴う運転員の吸入摂取による実効線量は(7.6)式によって計算する。

$$H_I = \int_0^T RH_\infty C_{IP}(t) dt \quad \dots\dots\dots (7.6)$$

- $H_I$  : よう素の吸入摂取の内部被ばくによる実効線量 (Sv)
- $R$  : 呼吸率(成人活動時) ( $m^3 / s$ )
- $H_\infty$  : よう素 (I-131) 吸入摂取時の成人の実効線量への換算係数 (Sv / Bq)
- $C_{IP}(t)$  : 半球状雲通過時の室内取込み放射性物質に基づく時刻  $t$  における中央制御室内の放射能濃度 (I-131等価量) ( $Bq / m^3$ )
- $T$  : 計算期間(30日間) (s)  
(注)30日間連続滞在の場合の値である。

- (6) 蒸気発生器伝熱管破損時は、二次系への漏えい停止までの短時間に、よう素放出量のうちの大部分が放出される。そのため、二次系への漏えい停止までに受けるすべての線量は、事故発生時に勤務している直が受けるものとして、次のように計算する【解説7.3】。

内部被ばく線量 = 二次系への漏えい停止までに受ける、  
 室内に外気から取り込まれた放射性物質の吸入摂取による実効線量  
 +  
 二次系への漏えい停止後に受ける、  
 室内に外気から取り込まれた放射性物質の吸入摂取による実効線量  
 × 直交替による滞在時間割合

7.3.4 室内に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中央制御室内での被ばく

- (1) 放射性物質からのガンマ線による運転員の被ばく線量を、次の(2)から(6)までの方法によって計算する(図7.13)。
- (2) 中央制御室は、容積が等価な半球状とする。そして、半球の中心に運転員がいるものとする。
- (3) 中央制御室の容積は、中央制御室バウンダリ内体積(容積)とする。
  - a) ただし、エンベロープの一部が、ガンマ線を遮へいできる躯体で区画され、運転員がその区画内のみに立入る場合には、当該区画の容積を用いてもよい。
  - b) ガンマ線による被ばくの計算では、中央制御室と異なる階層部分のエンベロープについて、階層間の天井等による遮へいがあるので、中央制御室の容積から除外してもよい。
- (4) 線量の計算にあたっては、運転員の勤務状態に即して、中央制御室内の滞在期間を計算し、30日間の積算線量を滞在期間の割合で配分する。
- (5) ガンマ線による運転員の外部被ばく線量は、次のとおり計算する。

外部被ばく線量 = 室内に外気から取り込まれた放射性物質のガンマ線による実効線量  
 × 直交替による滞在時間割合<sup>\*1</sup>

\*1) 例:4直3交替勤務の場合  $0.25 = (8\text{h}/\text{直} \times 3\text{直} \times 30\text{日} / 4) / (24\text{h} \times 30\text{日})$

- a) 外気から取り込まれた放射性物質のガンマ線による運転員の実効線量は, (7.7)式<sup>(参5)</sup>によって計算する。

$$H_{\gamma} = \int_0^T 6.2 \times 10^{-14} E_{\gamma} (1 - e^{-\mu R}) C_{\gamma}(t) dt \quad \dots\dots\dots (7.7)$$

- $H_{\gamma}$  : 希ガスのガンマ線の外部被ばくによる実効線量 (Sv)  
 $E_{\gamma}$  : ガンマ線の実効エネルギー (0.5MeV) (MeV / dis)  
 $\mu$  : 空気に対するガンマ線の線エネルギー吸収係数 (1/m)  
 $R$  : 中央制御室半球換算時等価半径 (m)  
 $C_{\gamma}(t)$  : 時刻tにおける中央制御室内の放射能濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)  
 (ガンマ線0.5MeV換算)  
 $T$  : 計算期間(30日) (s)  
 (注)30日間連続滞在の場合の値である。

- b) また, (7.7)式以外に, (7.8)式<sup>(参5)</sup>によって計算することも妥当である。

$$H_{\gamma} = \int_0^T \frac{1}{2} \frac{K}{\mu'} \left[ \frac{A}{1 + \alpha_1} \{1 - \exp(-(1 + \alpha_1)\mu' R)\} + \frac{1 - A}{1 + \alpha_2} \{1 - \exp(-(1 + \alpha_2)\mu' R)\} \right] \frac{E_{\gamma}}{0.5} C_{\gamma}(t) dt \quad \dots\dots\dots (7.8)$$

- $H_{\gamma}$  : 希ガスのガンマ線の外部被ばくによる実効線量 (Sv)  
 $K$  : 線量率換算係数 (Sv/(γ/m<sup>2</sup>))  
 $A, \alpha_1, \alpha_2$  : テーラー型ビルドアップ係数 (空気中0.5MeVガンマ線) (-)  
 $\mu'$  : 空気に対するガンマ線の線減衰係数 (1/m)

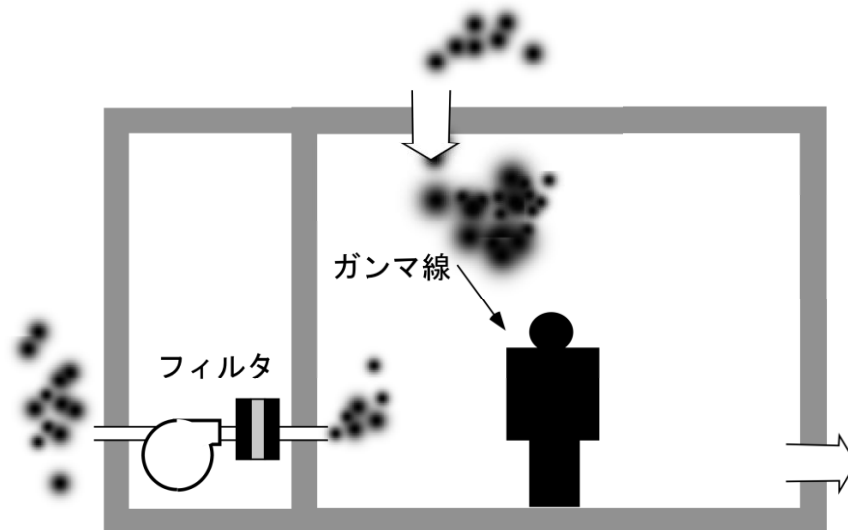


図7.13 放射性物質取り込みによる中央制御室内でのガンマ線による被ばく

- (6) 主蒸気管破断時は, 7.3.4(4)a)の計算式に, 次の半球状雲通過時の放射性物質の室内取込による線量寄与を加算する。

外部被ばく線量＝室内に外気から取り込まれた放射性物質の外部ガンマ線による  
 実効線量×直交替による滞在時間割合  
 ＋（半球状雲による線量）

ここで、半球状雲によるガンマ線の線量は(7.9)式<sup>(参5)</sup>によって計算する。

$$H_{\gamma} = \int_0^T 6.2 \times 10^{-14} E_{\gamma} (1 - e^{-\mu R}) C_{\gamma p}(t) dt \quad \dots\dots\dots (7.9)$$

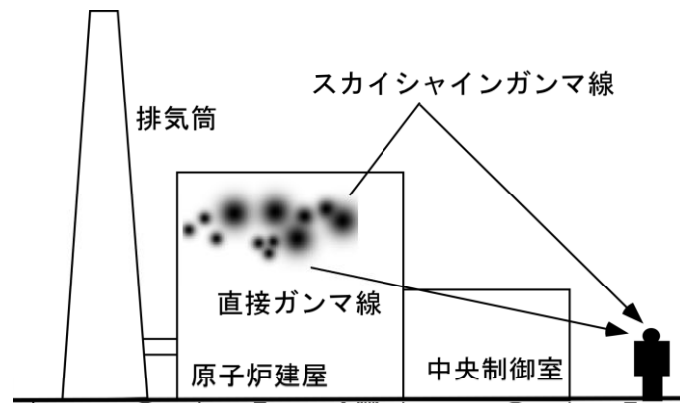
- $H_{\gamma}$  : 希ガスのガンマ線の外部被ばくによる実効線量 (Sv)
  - $E_{\gamma}$  : ガンマ線の実効エネルギー (0.5MeV) (MeV / dis)
  - $\mu$  : 空気に対するガンマ線の線エネルギー吸収係数 (1/m)
  - $R$  : 中央制御室半球換算時等価半径 (m)
  - $C_{\gamma p}(t)$  : 半球状雲通過時の室内取込み放射性物質に基づく  
 時刻tにおける中央制御室内の放射能濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)  
 (ガンマ線0.5MeV換算)
  - $T$  : 計算期間(30日) (s)
- (注) 30日間連続滞在の場合の値である。

- (7) 蒸気発生器伝熱管破損時は、二次系への漏えい停止までの短時間に、希ガスの放出量の全量が放出される。そのため、二次系への漏えい停止までに受けるすべての線量は事故発生時に勤務している直が受けるとして、以下のように計算する【解説7.3】。

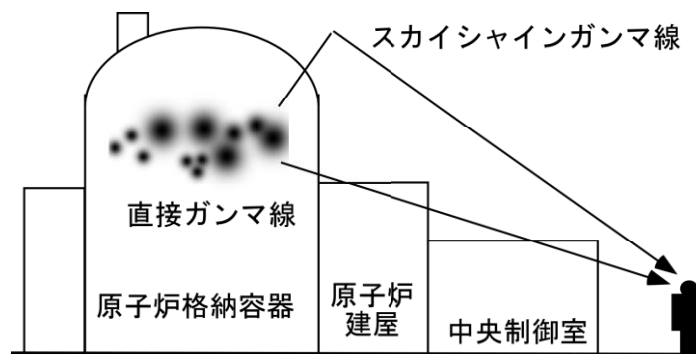
外部被ばく線量＝ 二次系への漏えい停止までに受ける、  
 室内に外気から取り込まれた放射性物質の外部ガンマ線による  
 実効線量  
 ＋  
 二次系への漏えい停止後に受ける、  
 室内に外気から取り込まれた放射性物質の外部ガンマ線による  
 実効線量×直交替による滞在時間割合

#### 7.4 建屋内の放射性物質からのガンマ線による入退域時の被ばく

- (1) 次の a) 及び b) の被ばく経路からの運転員の被ばくを、7.4.1 から 7.4.2 までに示す方法によって計算する(図 7.14)。
- a) 建屋内の放射性物質からのスカイシャインガンマ線による入退域時の被ばく
  - b) 建屋内の放射性物質からの直接ガンマ線による入退域時の被ばく
- (2) 蒸気発生器伝熱管破損(PWR型原子炉施設)のように、建屋内に放射性物質が滞留することなく系統から直接環境へ放出されるような事象については、建屋からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の評価は不要である。



(a) BWR 型原子炉施設



(b) PWR 型原子炉施設

図7.14 建屋内の放射性物質からのガンマ線による入退域時の被ばく経路

#### 7.4.1 建屋内の放射性物質からのスカイシャインガンマ線による入退域時の被ばく

- (1) 原子炉冷却材喪失時の線量評価(BWR 型原子炉施設)
  - a) 原子炉冷却材喪失発生後30日間, 原子炉建屋(二次格納施設)内に存在する放射性物質を線源としたスカイシャインガンマ線による, 入退域時の評価点における積算線量を計算する(図7.15)。
  - b) スカイシャインガンマ線の線源強度は, 「6.1スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の線源の計算」で解析した結果を用いる。
  - c) 線源から評価点に至るまでの遮へい効果を, 構造物の配置, 形状及び組成から計算する。
  - d) 入退域での所要時間を, 運転員の勤務状態に即して計算し, 30日間の積算線量を所要時間の割合で配分する【解説7.4】。
  - e) 計算に当たっては, 次の1)又は2)のいずれかの仮定を用いる。
    - 1) 管理建屋の入口を代表評価点とし, 入退域ごとに評価点に15分間滞在するとする。
    - 2) 入退域時の移動経路及び入退域に要する時間をプラントごとに計算し, 移動経路に

従った適切な評価点及び滞在時間を設定する。この場合、移動に伴って、複数の評価点を設定してもよい。【解説7.5】

- f) スカイシャインガンマ線による運転員の外部被ばく線量は、次のとおり計算する。

$$\text{外部被ばく線量} = \text{入退域時スカイシャインガンマ線積算線量} \\ \times \text{直交替による所要時間割合}^{*1}$$

\*1) 例: 4直3交替勤務・片道15分の場合

$$0.015625 = (0.25\text{h}/\text{直} \times 2 \times 3\text{直} \times 30\text{日} / 4) / (24\text{h} \times 30\text{日})$$

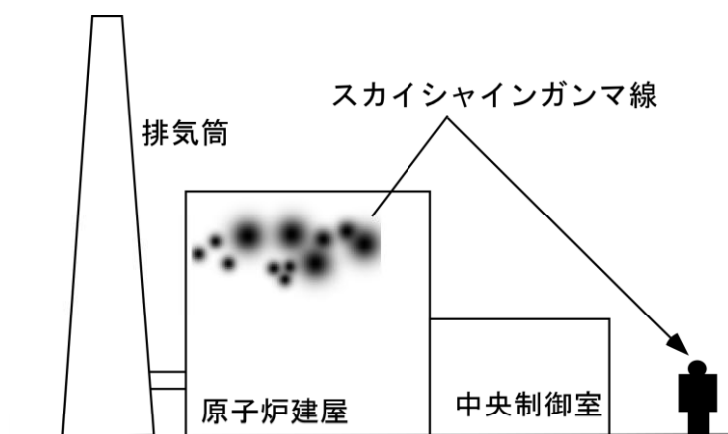


図7.15 原子炉冷却材喪失時の建屋内の放射性物質からのスカイシャインガンマ線による入退域時の被ばく(BWR型原子炉施設)

- (2) 原子炉冷却材喪失時の線量評価(PWR型原子炉施設)
- 原子炉冷却材喪失発生後30日間、原子炉格納容器内及びアニュラス内に存在する放射性物質を線源としたスカイシャインガンマ線による、入退域時の評価点における積算線量を計算する(図7.16)。
  - スカイシャインガンマ線の線源強度は、「6.1スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の線源の計算」で解析した結果を用いる。
  - 線源から評価点に至るまでの遮へい効果を、構造物の配置、形状及び組成から計算する。
  - 入退域での所要時間を、運転員の勤務状態に即して計算し、30日間の積算線量を所要時間の割合で配分する【解説7.4】。
  - 計算に当たっては、次の1)又は2)のいずれかの仮定を用いる。
    - 管理建屋の入口を代表評価点とし、入退域ごとに評価点に15分間滞在するとする。
    - 入退域時の移動経路及び入退域に要する時間をプラントごとに計算し、移動経路に従った適切な評価点及び滞在時間を設定する。この場合、移動に伴って、複数の評価点を設定してもよい【解説7.5】。
  - アニュラス部が原子炉格納容器外部遮へいの内側にある場合には、アニュラス部内の線

源を原子炉格納容器内に存在するとして計算してもよい。

- g) スカイシャインガンマ線による運転員の外部被ばく線量は、次のとおり計算する。

$$\text{外部被ばく線量} = \text{入退域時スカイシャインガンマ線積算線量} \\ \times \text{直交替による所要時間割合}^{*1}$$

\*1) 例:4直3交替勤務・片道15分の場合

$$0.015625 = (0.25\text{h}/\text{直} \times 2 \times 3\text{直} \times 30\text{日} / 4) / (24\text{h} \times 30\text{日})$$

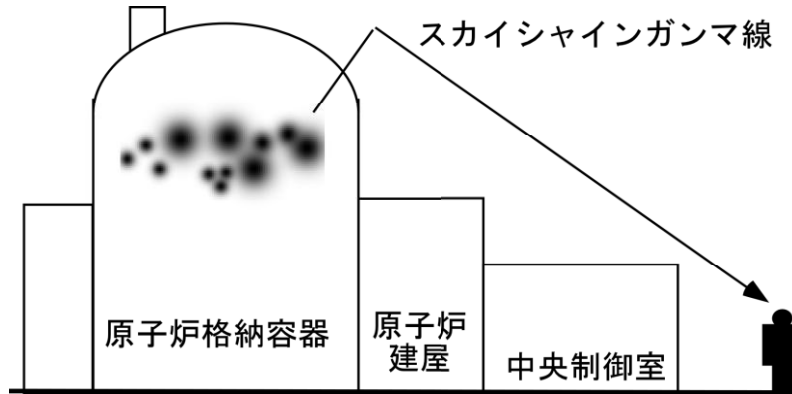


図7.16 原子炉冷却材喪失時の建屋内の放射性物質からのスカイシャインガンマ線による入退域時の被ばく(PWR型原子炉施設)

- (3) 主蒸気管破断時の線量評価(BWR型原子炉施設)

- 主蒸気管破断発生後30日間、タービン建屋内に存在する放射性物質を線源としたスカイシャインガンマ線による、入退域時の評価点における積算線量を計算する(図7.17)。
- スカイシャインガンマ線の線源強度は、「6.1スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の線源の計算」で解析した結果を用いる。
- 線源から評価点に至るまでの遮へい効果を、構造物の配置、形状及び組成から計算する。
- 入退域での所要時間を、運転員の勤務状態に即して計算し、30日間の積算線量を所要時間の割合で配分する【解説7.4】。
- 計算に当たっては、次の1)又は2)のいずれかの仮定を用いる。
  - 管理建屋の入口を代表評価点とし、入退域ごとに評価点に15分間滞在するとする。
  - 入退域時の移動経路及び入退域に要する時間をプラントごとに計算し、移動経路に従った適切な評価点及び滞在時間を設定する。この場合、移動に伴って、複数の評価点を設定してもよい【解説7.5】。
- スカイシャインガンマ線による運転員の外部被ばく線量は、次のとおり計算する。

$$\text{外部被ばく線量} = \text{入退域時スカイシャインガンマ線積算線量} \\ \times \text{直交替による所要時間割合}^{*1}$$

\*1) 例:4直3交替勤務・片道15分の場合

$$0.015625 = (0.25\text{h}/\text{直} \times 2 \times 3\text{直} \times 30\text{日} / 4) / (24\text{h} \times 30\text{日})$$

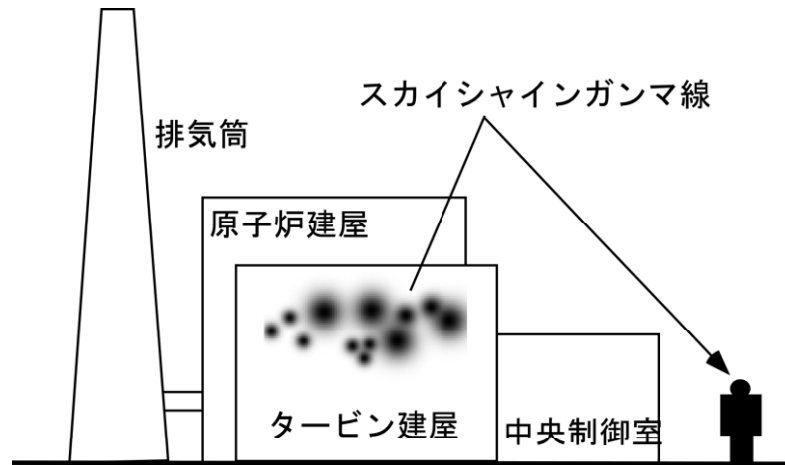


図7.17 主蒸気管破断時の建屋内の放射性物質からのスカイシャインガンマ線による入退域時の被ばく(BWR型原子炉施設)

#### 7.4.2 建屋内の放射性物質からの直接ガンマ線による入退域時の被ばく

- (1) 原子炉冷却材喪失時の線量評価(BWR型原子炉施設)
  - a) 原子炉冷却材喪失発生後30日間, 原子炉建屋(二次格納施設)内に存在する放射性物質を線源とした直接ガンマ線による, 入退域時の評価点における積算線量を計算する(図7.18)。
  - b) 直接ガンマ線の線源強度は, 「6.1スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の線源の計算」で解析した結果を用いる。
  - c) 線源から評価点に至るまでの遮へい効果を, 構造物の配置, 形状及び組成から計算する。
  - d) 入退域での所要時間を, 運転員の勤務状態に即して計算し, 30日間の積算線量を所要時間の割合で配分する【解説7.4】。
  - e) 計算に当たっては, 次の1)又は2)のいずれかの仮定を用いる。
    - 1) 管理建屋の入口を代表評価点とし, 入退域ごとに評価点に15分間滞在するとする。
    - 2) 入退域時の移動経路及び入退域に要する時間をプラントごとに計算し, 移動経路に従った適切な評価点及び滞在時間を設定する。この場合, 移動に伴って, 複数の評価点を設定してもよい【解説7.5】。
  - f) 直接ガンマ線による運転員の外部被ばく線量は, 次のとおり計算する。

$$\text{外部被ばく線量} = \text{入退域時直接ガンマ線積算線量} \\ \times \text{直交替による所要時間割合}^{*1}$$

\*1) 例: 4直3交替勤務・片道15分の場合

$$0.015625 = (0.25\text{h}/\text{直} \times 2 \times 3\text{直} \times 30\text{日} / 4) / (24\text{h} \times 30\text{日})$$



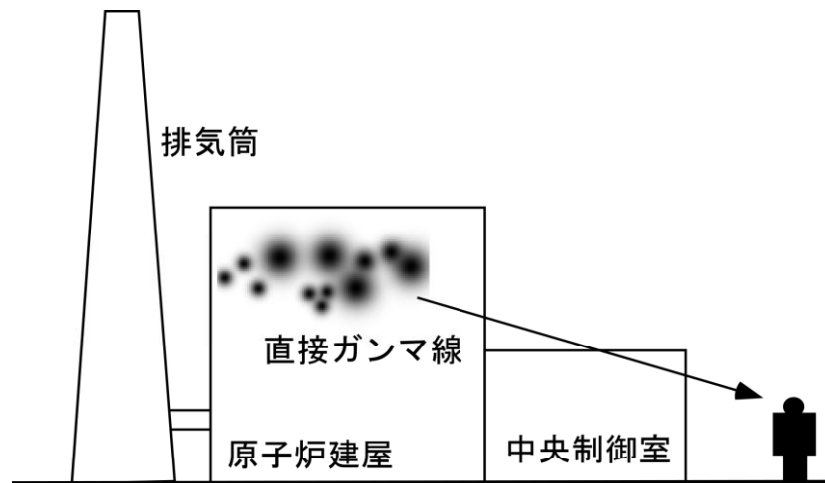


図7.18 原子炉冷却材喪失時の建屋内の放射性物質からの  
直接ガンマ線による入退域時の被ばく(BWR型原子炉施設)

- (2) 原子炉冷却材喪失時の線量評価(PWR型原子炉施設)
- a) 原子炉冷却材喪失発生後30日間, 原子炉格納容器内及びアニュラス内に存在する放射性物質を線源とした直接ガンマ線による, 入退域時の評価点における積算線量を計算する(図7.19)。
  - b) 直接ガンマ線の線源強度は, 「6.1スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の線源の計算」で解析した結果を用いる。
  - c) 線源から評価点に至るまでの遮へい効果を, 構造物の配置, 形状及び組成から計算する。
  - d) 入退域での所要時間を, 運転員の勤務状態に即して計算し, 30日間の積算線量を所要時間の割合で配分する【解説7.4】。
  - e) 計算に当たっては, 次の1)又は2)のいずれかの仮定を用いる。
    - 1) 管理建屋の入口を代表評価点とし, 入退域ごとに評価点に15分間滞在するとする。
    - 2) 入退域時の移動経路及び入退域に要する時間をプラントごとに計算し, 移動経路に従った適切な評価点及び滞在時間を設定する。この場合, 移動に伴って, 複数の評価点を設定してもよい【解説7.5】。
  - f) アニュラス部が原子炉格納容器外部遮へいの内側にある場合には, アニュラス部内の線源を原子炉格納容器内に存在するとして計算してもよい。
  - g) 直接ガンマ線による運転員の外部被ばく線量は, 次のとおり計算する。

$$\text{外部被ばく線量} = \text{入退域時直接ガンマ線積算線量} \\ \times \text{直交替による所要時間割合}^{*1}$$

\*1) 例: 4直3交替勤務・片道15分の場合

$$0.015625 = (0.25\text{h}/\text{直} \times 2 \times 3\text{直} \times 30\text{日} / 4) / (24\text{h} \times 30\text{日})$$

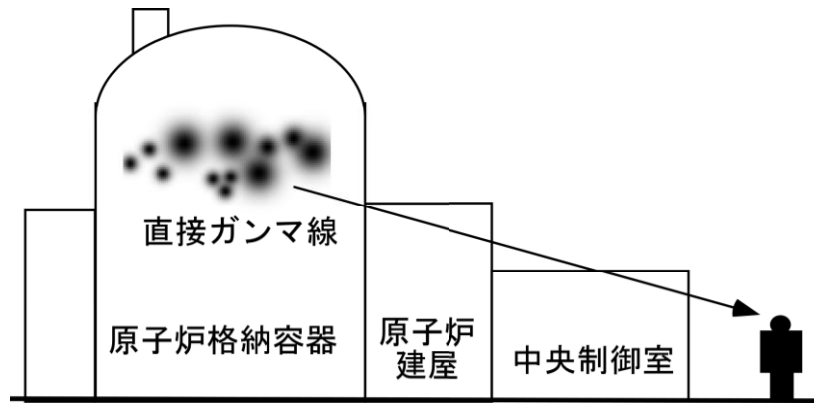


図7.19 原子炉冷却材喪失時の建屋内の放射性物質からの  
直接ガンマ線による入退域時の被ばく(PWR型原子炉施設)

(3) 主蒸気管破断時の線量評価(BWR型原子炉施設)

- a) 主蒸気管破断発生後30日間、タービン建屋内に存在する放射性物質を線源とした直接ガンマ線による、入退域時の評価点における積算線量を計算する(図7.20)。
- b) 直接ガンマ線の線源強度は、「6.1スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の線源の計算」で解析した結果を用いる。
- c) 線源から評価点に至るまでの遮へい効果を、構造物の配置、形状及び組成から計算する。
- d) 入退域での所要時間を、運転員の勤務状態に即して計算し、30日間の積算線量を所要時間の割合で配分する【解説7.4】。
- e) 計算に当たっては、次の1)又は2)のいずれかの仮定を用いる。
  - 1) 管理建屋の入口を代表評価点とし、入退域ごとに評価点に15分間滞在するとする。
  - 2) 入退域時の移動経路及び入退域に要する時間をプラントごとに計算し、移動経路に従った適切な評価点及び滞在時間を設定する。この場合、移動に伴って、複数の評価点を設定してもよい【解説7.5】。
- f) 直接ガンマ線による運転員の外部被ばく線量は、次のとおり計算する。

$$\text{外部被ばく線量} = \text{室内作業時直接ガンマ線積算線量} \\ \times \text{直交替による所要時間割合}^{*1}$$

\*1) 例:4直3交替勤務・片道15分の場合

$$0.015625 = (0.25\text{h}/\text{直} \times 2 \times 3\text{直} \times 30\text{日} / 4) / (24\text{h} \times 30\text{日})$$

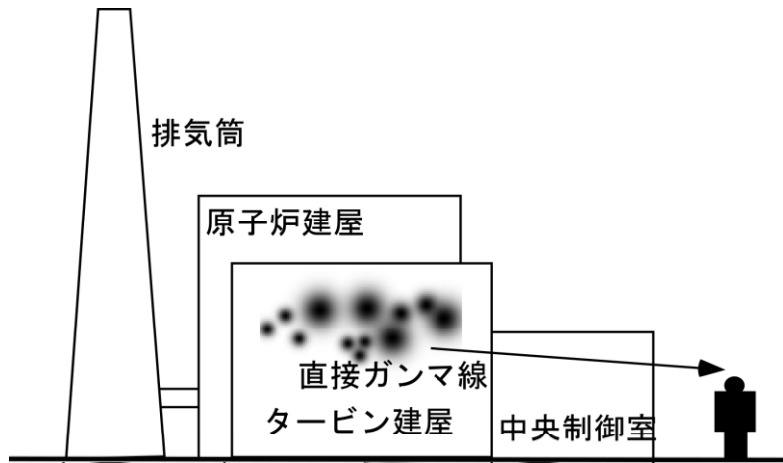


図7.20 主蒸気管破断時の建屋内の放射性物質からの直接ガンマ線による入退域時の被ばく(BWR型原子炉施設)

## 7.5 大気中へ放出された放射性物質による入退域時の被ばく

(1) 次の a) 及び b) の被ばく経路からの運転員の被ばくを, 7.5.1 から 7.5.2 までに示す方法で計算する。

- a) 大気中へ放出された放射性物質からのガンマ線による入退域時の被ばく
- b) 大気中へ放出された放射性物質の吸入摂取による入退域時の被ばく

(2) 大気中に放出された放射性物質が大気中を拡散し, 放出源付近の建屋の巻き込み影響を受ける場合にはその効果を計算したうえで(5.大気拡散の評価), 中央制御室を含む当該建屋の周辺の放射性物質の濃度を計算する。

- a) 建屋影響を考慮しない場合  
建屋の影響を考慮しない場合は, 5.1.1(1)の方法で計算した建屋周辺の濃度分布の結果を用いる(図 7.21)。
- b) 建屋影響を考慮する場合  
建屋の影響を考慮する場合は, 5.1.1(2)及び(3)の方法で計算した建屋周辺の濃度分布の結果を用いる(図 7.22)。

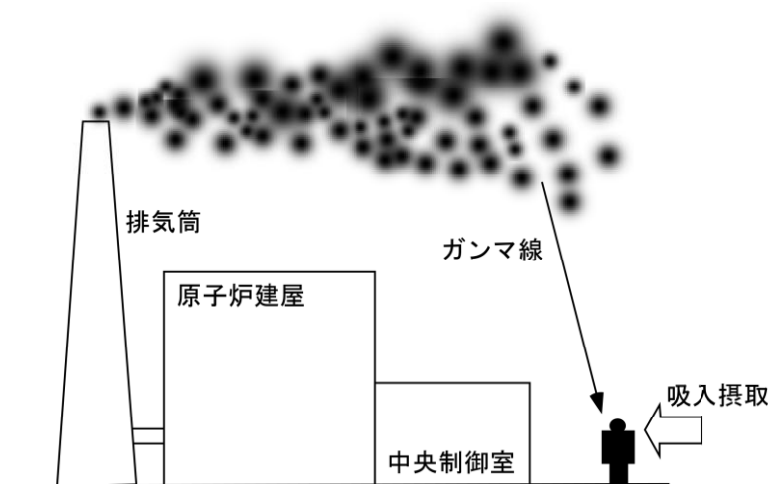


図 7.21 建屋影響がない場合

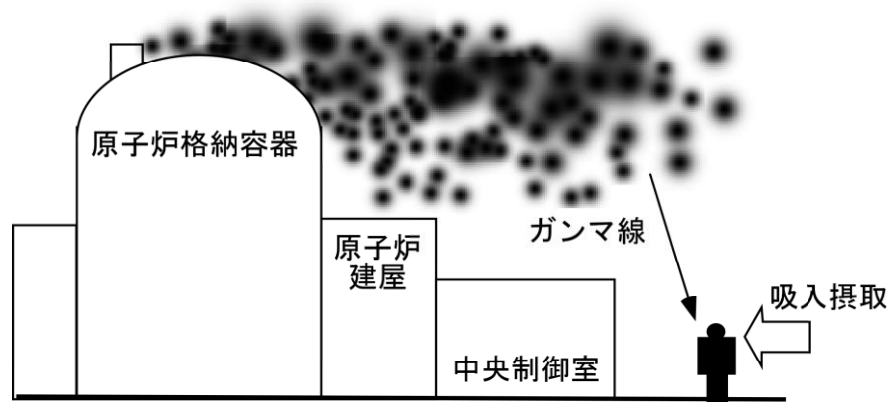


図 7.22 建屋影響がある場合

### 7.5.1 大気中へ放出された放射性物質からのガンマ線による入退域時の被ばく

- (1) 大気中へ放出された放射性物質から放射されるガンマ線による被ばくを計算する(図 7.23)。ただし、事故発生直後の短時間に集中して放出される放射性物質(主蒸気管破断時の半球状雲、蒸気発生器伝熱管破損時の2次系への漏えい停止までの放出など)による線量については、入退域時の線量としては評価しない【解説 7.1】。
- (2) 建屋から大気中へ放出された放射性物質からのガンマ線による運転員の交替のための入退域時の線量を計算する。
- (3) 入退域時の線量は入退域評価点での相対線量  $D/Q$  を求め、これに放射性物質(この場合は、放射能)の放出率を乗じて求める。
- (4) 入退域での所要時間を、運転員の勤務状態に即して計算し、30日間の積算線量を所要時間の割合で配分する。
- (5) 入退域時の計算に当たっては、以下のいずれかの仮定を用いる。
  - a) 管理建屋の入口を代表評価点とし、入退域ごとに評価点に、15分間滞在するとする。
  - b) 入退域時の移動経路及び入退域に要する時間をプラントごとに計算し、移動経路に従った適切な評価点及び滞在時間を設定する。この場合、移動に伴って、複数の評価点を設定してもよい。【解説7.5】
- (6) ガンマ線による運転員の外部被ばく線量は、次のとおり計算する。

$$\begin{aligned} \text{外部被ばく線量} &= \text{放出希ガス等 (BWRプラントの主蒸気管破断では、ハロゲン等を含む) のガンマ線による実効線量} \\ &\quad \times \text{直交替による入退所要時間割合}^{*1} \end{aligned}$$

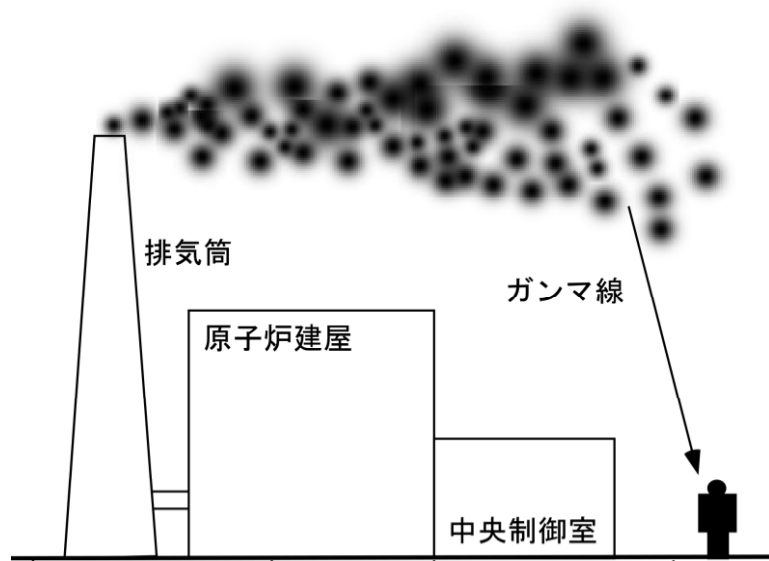
\*1) 例: 4直3交替勤務・片道15分の場合

$$0.015625 = (0.25\text{h}/\text{直} \times 2 \times 3\text{直} \times 30\text{日} / 4) / (24\text{h} \times 30\text{日})$$

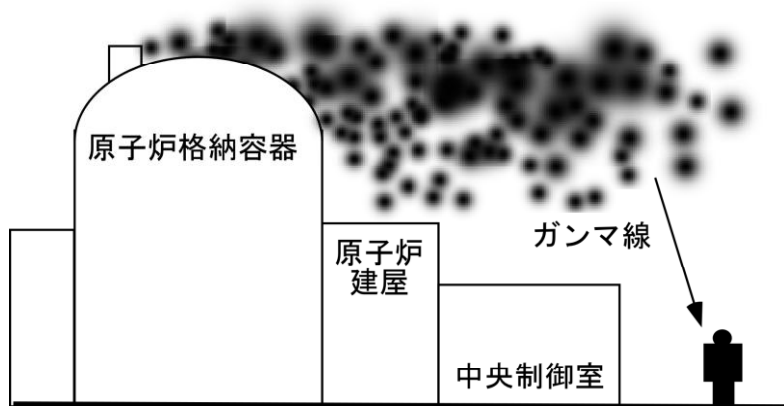
ここで、ガンマ線による運転員の実効線量は、(7.10)式によって計算する。

$$H_{\gamma} = \int_0^T K(D/Q)Q_{\gamma}(t)dt \quad \dots\dots\dots (7.10)$$

- $H_{\gamma}$  : 希ガスのガンマ線の外部被ばくによる実効線量 (Sv)  
 $K$  : 空気カーマから実効線量への換算係数 (Sv/Gy,  $K = 1$ )  
 $D/Q$  : 相対線量 (Gy/Bq)  
 $Q_{\gamma}(t)$  : 時刻  $t$  における核種の環境放出率 (Bq/s)  
 (ガンマ線 0.5MeV 換算)  
 $T$  : 計算期間 (30日) (s)  
 (注) 30日間連続滞在の場合の値である。



(a) BWR 型原子炉施設



(b) PWR 型原子炉施設

図7.23 原子炉冷却材喪失時の放射性雲のガンマ線による入退域時の被ばく

7.5.2 大気中へ放出された放射性物質の吸入摂取による入退域時の被ばく

- (1) 大気中へ放出された放射性物質を吸入摂取することによる被ばくを計算する(図 7.24)。ただし、事故発生直後の短時間に集中して放出される放射性物質(主蒸気管破断時の半球状雲、蒸気発生器伝熱管破損時の2次系への漏えい停止までの放出など)による線量については、入退域時の線量としては評価しない【解説 7.1】。
- (2) 入退域時の線量は入退域評価点での相対濃度  $\chi/Q$  を求め、これに放射性物質の放出率を乗じて求める。線量換算係数、呼吸率を乗じて求める。
- (3) 入退域での所要時間を、運転員の勤務状態に即して計算し、30日間の積算線量を所要時間の割合で配分する。
- (4) 被ばく低減方策として、例えば、防護マスク着用による放射性よう素の吸入による内部被ばくの低減をはかる場合には、その効果及び運用条件を適切に示して評価に反映してもよい。
- (5) 計算に当たっては、以下のいずれかの仮定を用いる。
  - a) 管理建屋の入口を代表評価点とし、入退域ごとに評価点に15分間滞在するとする。
  - b) 入退域時の移動経路及び入退域に要する時間をプラントごとに計算し、移動経路に従った適切な評価点及び滞在時間を設定する。この場合、移動に伴って、複数の評価点を設定してもよい【解説7.5】。
- (6) 吸入摂取による運転員の内部被ばく線量は、次のとおり計算する。

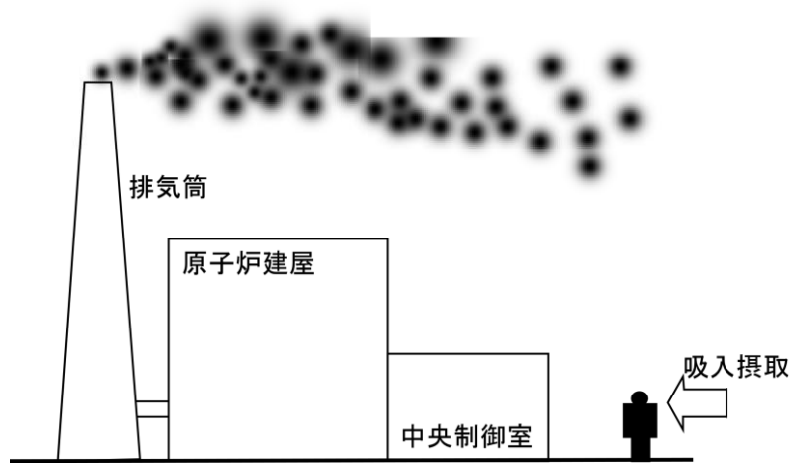
内部被ばく線量 = 放出よう素の吸入摂取による実効線量  
 × 直交替による所要時間割合\*1

\*1) 例: 4直3交替勤務・片道15分の場合  
 $0.015625 = (0.25\text{h}/\text{直} \times 2 \times 3\text{直} \times 30\text{日} / 4) / (24\text{h} \times 30\text{日})$

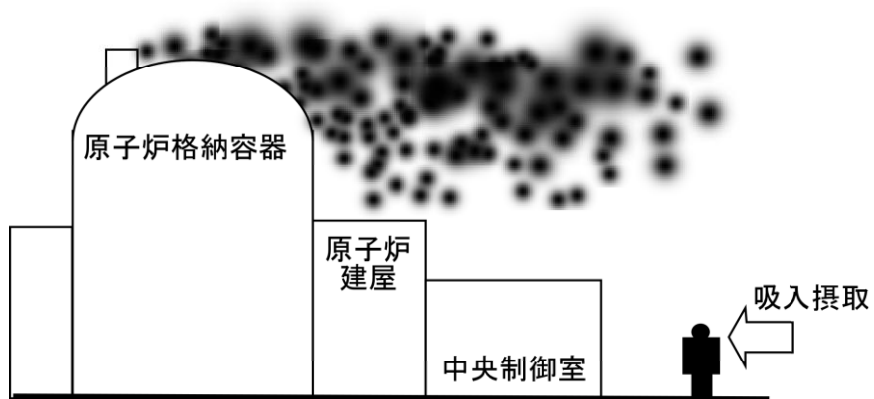
ここで、吸入摂取による運転員の実効線量は、(7.11)式によって計算する。

$$H_I = \int_0^T RH_{\infty}(\chi/Q)Q_I(t)dt \quad \dots\dots\dots (7.11)$$

- |              |                                     |             |
|--------------|-------------------------------------|-------------|
| $H_I$        | : よう素の吸入摂取の内部被ばくによる実効線量             | (Sv)        |
| $R$          | : 呼吸率(成人活動時)                        | ( $m^3/s$ ) |
| $H_{\infty}$ | : よう素(I-131)吸入摂取時の成人の実効線量への<br>換算係数 | (Sv/Bq)     |
| $\chi/Q$     | : 相対濃度                              | ( $s/m^3$ ) |
| $Q_I(t)$     | : 時刻 $t$ におけるよう素環境放出率<br>(I-131等価量) | (Bq/s)      |
| $T$          | : 計算期間(30日間)                        | (s)         |
- (注) 30日間連続滞在の場合の値である。



(a) BWR 型原子炉施設



(b) PWR 型原子炉施設

図7.24 原子炉冷却材喪失時の放射性雲の吸入摂取による  
入退域時の被ばく

## 8. 文書化

### 8.1 文書化の対象

中央制御室居住性に係る被ばく評価の実施にあたり、用いられた手法、条件、データ、評価結果などを記述する。

### 8.2 要求事項への適合性の文書化

「4.大気中への放出量の評価」から「7.原子炉施設における中央制御室居住性に係る被ばく評価」までの具体的な規定を満足していることを示す。

「4.大気中への放出量の評価」において、原子炉格納容器内放出及び原子炉格納容器外放出の二つの想定事故が一方の事故で包含できる場合は、両方の評価結果について報告し、一方の事故で包含できることを示す。また、「7.中央制御室居住性に係る被ばく評価」の実効線量は、外部被ばく及び内部被ばくの両方の被ばく経路による実効線量の内訳についても示す。

### 8.3 除外事項などの適用妥当性の文書化

- (1) 「4.大気中への放出量の評価」から「7.原子炉施設における中央制御室居住性に係る被ばく評価」までの具体的な規定で許容されている除外事項及び例外事項を適用した場合には、その妥当性を示す。
- (2) 「6.建屋内の放射性物質からのスカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線」において、地形及び施設の構造上の理由により評価を省略する場合にあっては、建屋内の放射性物質からのスカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線が大気中に放出された放射性物質による線量に対し明らかに有意な寄与とならないことを示すこと。

### 8.4 文書の構成

文書の構成は、次のとおりとする。

1. 大気中への放出量の評価
2. 大気拡散の評価
3. 建屋からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の評価
4. 中央制御室居住性に係る被ばく評価
  - 4.1 建屋からのガンマ線による中央制御室内での被ばく
  - 4.2 大気中へ放出された放射性物質のガンマ線による中央制御室内での被ばく
  - 4.3 室内に外気から取り込まれた放射性物質による中央制御室内での被ばく
  - 4.4 建屋からのガンマ線による入退域時の被ばく
  - 4.5 大気中へ放出された放射性物質による入退域時の被ばく
5. 評価結果のまとめ





## 参考文献

- (1) 「実用発電用原子炉の設置, 運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示」(平成 13 年 3 月 21 日経済産業省告示第 187 号、最終改正平成 17 年 11 月 22 日経済産業省告示第 295 号)
- (2) 「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」(平成 2 年 8 月 30 日原子力安全委員会決定、平成 13 年 3 月 29 日一部改訂)
- (3) 「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、平成 13 年 3 月 29 日一部改訂)
- (4) EPA-450/4-80-023R, “Guideline for Determination of Good Engineering Practice Stack Height (Technical Support Document for the Stack Height Regulations), ” U.S.ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, (June 1985)
- (5) 原子力安全委員会, 「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」(昭和 51 年 9 月 28 日原子力安全委員会決定、平成 13 年 3 月 29 日一部改訂)
- (6) HLR-021 訂 9「沸騰水型原子力発電所 事故時の被ばく評価手法について」付録 7「事故時直線・スカイシャイン線の評価について」(平成 16 年 1 月)
- (7) TLR-032 改訂 5「沸騰水型原子力発電所 事故時の被ばく評価手法について」AppendixD「事故時の直接線・スカイシャイン線の評価手法について」(平成 18 年 2 月)
- (8) MAPI-1021 改 7「SCATTERING コードの概要」(平成 14 年 3 月)
- (9) MAPI-1049 改 3「SPAN コードの概要」(平成 14 年 3 月)



# 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)

## 解 説

### 【解説 3.1】想定事故

想定事故は、中央制御室居住性に係る被ばく評価のために設定するものである。本内規では、「4.大気中への放出量の評価」の中で、原子炉格納容器内放出及び原子炉格納容器外放出に対して、中央制御室の重要性に鑑み、各種法令に反することなく、安全上十分な保守性を持たせた日本の仮想事故相当のソースタームを想定している。

ソースタームの想定は、米国の NUREG-1465 の更新ソースタームなどの最新知見を反映して、今後、改訂することが望ましい。ここでいう、ソースタームは、原子炉格納容器等に放出される放射性物質の種類、性状、量、放出開始時間、放出継続時間の総称である。

### 【解説 3.2】判断基準

判断基準は、「1 人あたりの被ばく経路ごとの実効線量の合算値が、100mSv を超えない」とこととする。評価期間は、事故発生後 30 日間とする。

### 【解説 4.1】「定格出力に余裕を見た出力」及び「十分長時間運転」の想定

「定格出力に余裕を見た出力」とは、申請されている原子炉の定格熱出力に、計測誤差等を考慮した適切な余裕を加えた出力をいう。例えば、計測誤差が最大 2%であるプラントについて、定格熱出力の 2%の余裕を加える。

「十分長時間運転」とは、原子炉内の出力分布、核分裂生成物の蓄積状況、温度分布等の解析に影響を与える各種の状態量が、運転サイクル等を考慮してほぼ平衡に達している状態をいう。

### 【解説 4.2】フィルタ除去効率

例えば、よう素除去効率の設計値が 99%以上の場合において、よう素除去効率を 95%とすること、及び、よう素除去効率の設計値が 95%以上の場合において、よう素除去効率を 90%とすることは妥当であるということは、「安全評価審査指針」に示されており、その考え方を準用する<sup>(参2)</sup>。

BWRにおいては、原子炉建屋における沈着による放射性物質の除去効果は無視し、自然崩壊のみを考える。

### 【解説 4.3】原子炉格納容器からの漏えい

PWR 型原子炉施設では、アニュラス部が原子炉格納容器外側全域を覆っている設計にあつては、原子炉格納容器からの漏えいの全部がアニュラス部で生ずるものとする事ができる。それ以外の場合には、原子炉格納容器からの漏えいは、97%がアニュラス部で生じ、残り3%はアニュラ

ス部外で生ずるものと仮定することは妥当であるということは、「安全評価審査指針」に示されており、その考え方を準用する<sup>(参2)</sup>。

評価上保守的に想定したアニュラス部外への漏えい分についても、排気筒からの放出として取り扱うことができる。

**【解説 4.4】再循環水漏えいによる放出**

安全補機室空気浄化設備のダンパが1系列で、安全補機室空気浄化設備のよう素フィルタ効率を評価上は見込まない場合でも、実際には放射性物質は排気筒に導かれるため、現実的に放出点を排気筒として取り扱うことができる。

**【解説 5.1】建屋の影響がない場合の拡散**

放射性物質の空气中濃度は、風向、風速、その他の気象条件がすべて一様に定常であって、放射性物質が放出源から定常的に放出され、かつ、地形が平坦であるとした場合に、放射性物質の空間濃度分布が水平方向、鉛直方向ともに正規分布になると仮定した次のガウスプルームモデルを適用して計算する。通常は、本文(5.1)式ではなく、保守的に核崩壊を無視した、(解説 5.1.1)式を適用する。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z U} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[ \exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right] \dots\dots\dots \text{(解説 5.1.1)}$$

- $\chi(x, y, z)$  : 評価点  $(x, y, z)$  の放射性物質の濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)
- $Q$  : 放射性物質の放出率 (Bq/s)
- $U$  : 放出源を代表する風速 (m/s)
- $\lambda$  : 放射性物質の崩壊定数 (1/s)
- $H$  : 放射性物質の放出源の高さ (m)
- $\sigma_y$  : 濃度の y 方向の拡がりのパラメータ (m)
- $\sigma_z$  : 濃度の z 方向の拡がりのパラメータ (m)

**【解説 5.2】建屋の影響がある場合の拡散**

中央制御室評価で特徴的な近距離の建屋の影響を受ける場合には、本文(5.1)式の通常の大気拡散による拡がりのパラメータである  $\sigma_y$  及び  $\sigma_z$  に、建屋による巻込み現象による初期拡散パラメータ  $\sigma_{y0}$ 、 $\sigma_{z0}$  を加算した総合的な拡散パラメータ  $\sum_y$ 、 $\sum_z$  を適用する。

通常は、本文(5.3)式ではなく、保守的に核崩壊を無視した、(解説 5.2.1)式を適用する。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sum_y\sum_z U} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sum_y^2}\right) \left[ \exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\sum_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\sum_z^2}\right\} \right]$$

..... (解説 5.2.1)

$$\sum_y^2 = \sigma_{y0}^2 + \sigma_y^2, \quad \sum_z^2 = \sigma_{z0}^2 + \sigma_z^2$$

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

$\chi(x, y, z)$	: 評価点 $(x, y, z)$ の放射性物質の濃度	$(Bq/m^3)$
$Q$	: 放射性物質の放出率	$(Bq/s)$
$U$	: 放出源を代表する風速	$(m/s)$
$\lambda$	: 放射性物質の崩壊定数	$(1/s)$
$H$	: 放射性物質の放出源の高さ	$(m)$
$\sum_y$	: 建屋の影響を加算した 濃度の $y$ 方向の拡がりのパラメータ	$(m)$
$\sum_z$	: 建屋の影響を加算した 濃度の $z$ 方向の拡がりのパラメータ	$(m)$
$\sigma_y$	: 濃度の $y$ 方向の拡がりのパラメータ	$(m)$
$\sigma_z$	: 濃度の $z$ 方向の拡がりのパラメータ	$(m)$
$\sigma_{y0}$	: 建屋による巻き込み現象による $y$ 方向の初期拡散パラメータ	$(m)$
$\sigma_{z0}$	: 建屋による巻き込み現象による $z$ 方向の初期拡散パラメータ	$(m)$
$A$	: 建屋などの風向方向の投影面積	$(m^2)$
$c$	: 形状係数	$(-)$

**【解説 5.3】建屋の影響がある場合の濃度の計算**

(1) 放出源の高さで濃度を計算する場合

本内規の本文の「5.1.2 原子炉施設周辺の建屋影響による拡散」の(1),a)の条件を満たす場合、次のとおり、保守的に鉛直方向の最大濃度となる放出源の高さに沿った中心軸上で、風下距離に対応する濃度を、(解説 5.3.1)式によって計算する。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \sum_y \cdot \sum_z U} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sum_y^2}\right) \cdot \left[1 + \exp\left\{-\frac{(2H)^2}{2\sum_z^2}\right\}\right] \dots\dots (解説 5.3.1)$$

$\chi(x, y, z)$	: 評価点 $(x, y, z)$ の放射性物質の濃度	$(Bq/m^3)$
$Q$	: 放射性物質の放出率	$(Bq/s)$
$U$	: 放出源を代表する風速	$(m/s)$
$H$	: 放射性物質の放出源の高さ	$(m)$

$\sum_y$  : 建屋の影響を加算した  
 濃度の y 方向の拡がりのパラメータ (m)  
 $\sum_z$  : 建屋の影響を加算した  
 濃度の z 方向の拡がりのパラメータ (m)

(解説 5.3.1) 式は, (解説 5.2.1) 式で, 評価点の高さを,  $z = H$  (最大濃度になる中心軸の濃度) とすれば得られる。

解説 (5.3.1) 式は, 放出源高さ ( $H$ ) が建屋影響による拡がりのパラメータ ( $\sum_z$ ) に比べ十分高く, 右辺の最終項を 1 と見做せる場合には, (解説 5.3.2) 式となる。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \sum_y \cdot \sum_z U} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sum_y^2}\right) \dots\dots\dots \text{(解説 5.3.2)}$$

さらに, 「5.2.2 実効放出継続時間に応じた水平方向濃度の扱い」によって, 短時間放出の場合, 又は長時間放出で 1 方位内の平均化処理を行わずに水平方向の軸上最大濃度を評価濃度とする場合は, 以下の式となる。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \sum_y \cdot \sum_z U} \dots\dots\dots \text{(解説 5.3.3)}$$

解説 (5.3.3) 式において「5.1.1(2)建屋影響を受ける場合の基本拡散式 c) 項」によって, 保守的に大気拡散パラメータ  $\sigma_y, \sigma_z$  を 0 とすると, 最も単純な計算式として表すことができる。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{AU} \dots\dots\dots \text{(解説 5.3.4)}$$

ここで, 形状係数  $c$  は 1/2 としている。

(2) 地上面の高さで濃度を計算する場合

放出源の高さが地上の場合は, 解説 (5.3.1) 式で, 高さ  $H = 0$  としたときの, 次の (解説 5.3.5) 式によって地表面濃度を計算する。(解説 5.3.5) 式の濃度は, (解説 5.3.2) 式の濃度の 2 倍となる。

$$\chi(x, y, 0) = \frac{Q}{\pi \sum_y \cdot \sum_z U} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sum_y^2}\right) \dots\dots\dots \text{(解説 5.3.5)}$$

放出源の高さで濃度を計算する場合と同様に、水平方向の軸上最大濃度を評価濃度とする場合は、(解説 5.3.6)式によって計算する。

$$\chi(x, y, 0) = \frac{Q}{\pi \sum_y \cdot \sum_z U} \dots\dots\dots \text{(解説 5.3.6)}$$

さらに大気拡散パラメータ  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  を保守的に0とすると、(解説 5.3.7)式になる。

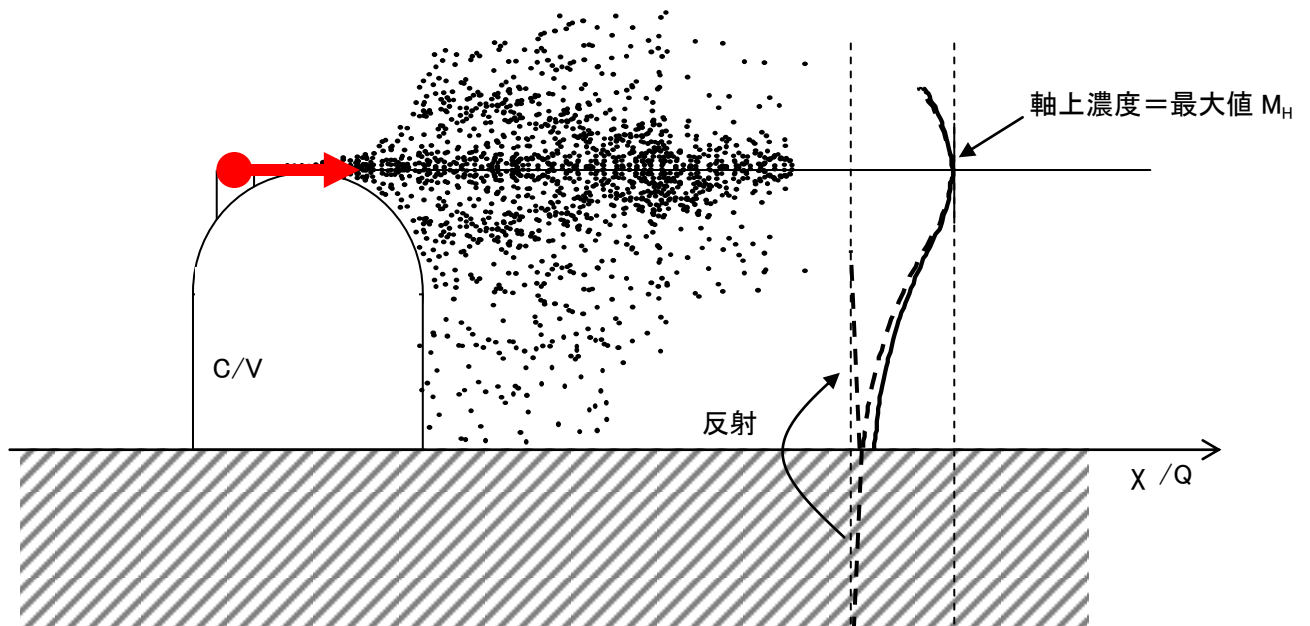
$$\chi(x, y, 0) = \frac{2Q}{AU} \dots\dots\dots \text{(解説 5.3.7)}$$



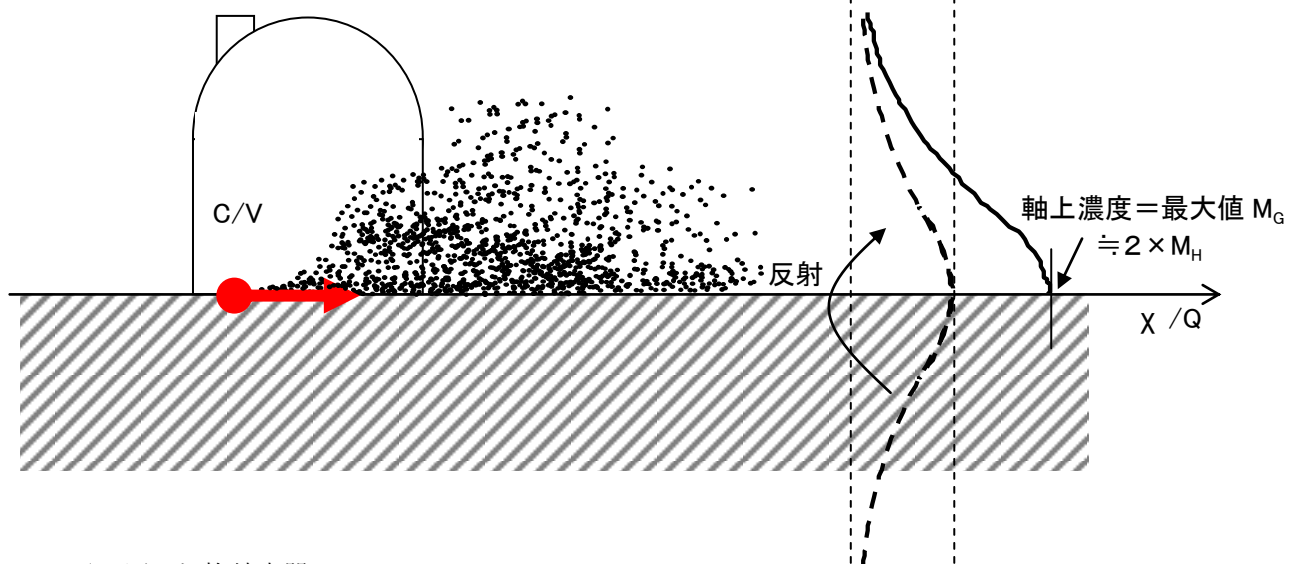
### 【解説 5.4】鉛直方向の最大濃度

建屋の巻き込みの影響があつて、しかも放出源が地上面にある場合には、放出源と評価点との高度差による濃度の違いを考えないで、鉛直方向の最大濃度で評価する。この場合、地面の反射効果によって、本文(5.4)式の放出源の高さが地上から離れている場合に比べて約2倍の濃度になる。これによって、計算結果の保守性が確保される。

#### (1) 放出源の高さから放出された場合



#### (2) 地上面の高さから放出された場合



C/V: 原子炉格納容器

解説図 5.4.1. 原子炉施設周辺の濃度分布

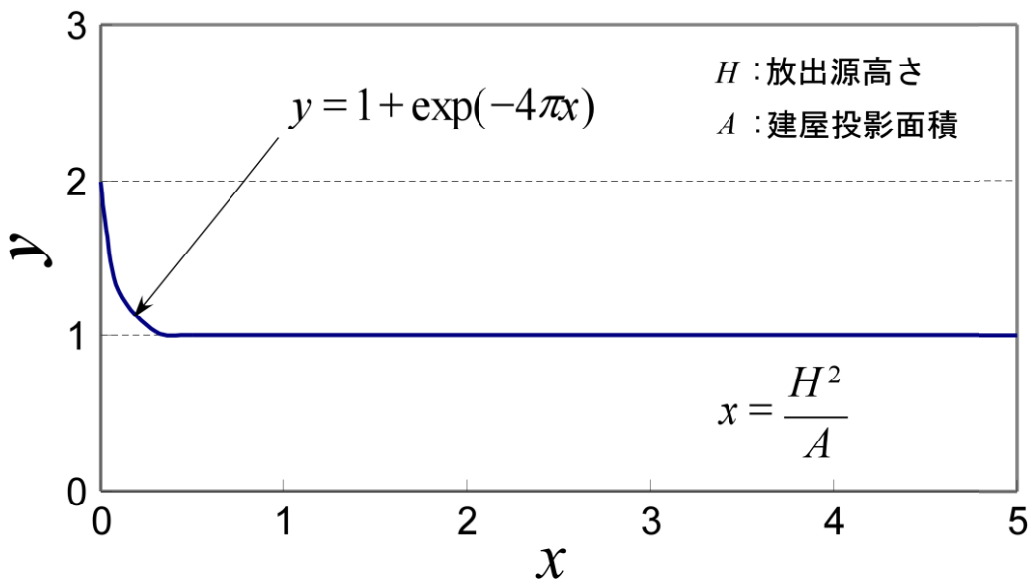
【解説 5.5】鉛直方向の最大濃度の濃度減衰項の扱い

本文(5.4)式(解説 5.5.1 式)の右辺最終項は、巻き込みを生じる建屋の投影面積  $A$  と放出源の高さ  $H$  との関係から、近似的に、解説図 5.5.1 のとおり示すことができる。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \sum_y \cdot \sum_z U} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sum_y^2}\right) \cdot \left[1 + \exp\left\{-\frac{(2H)^2}{2\sum_z^2}\right\}\right] \dots\dots\dots \text{(解説 5.5.1)}$$

- $\chi(x, y, z)$  : 評価点  $(x, y, z)$  の放射性物質の濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)
- $Q$  : 放射性物質の放出率 (Bq/s)
- $U$  : 放出源を代表する風速 (m/s)
- $H$  : 放射性物質の放出源の高さ (m)
- $\sum_y$  : 建屋の影響を加算した  
濃度の  $y$  方向の拡がりのパラメータ (m)
- $\sum_z$  : 建屋の影響を加算した  
濃度の  $z$  方向の拡がりのパラメータ (m)

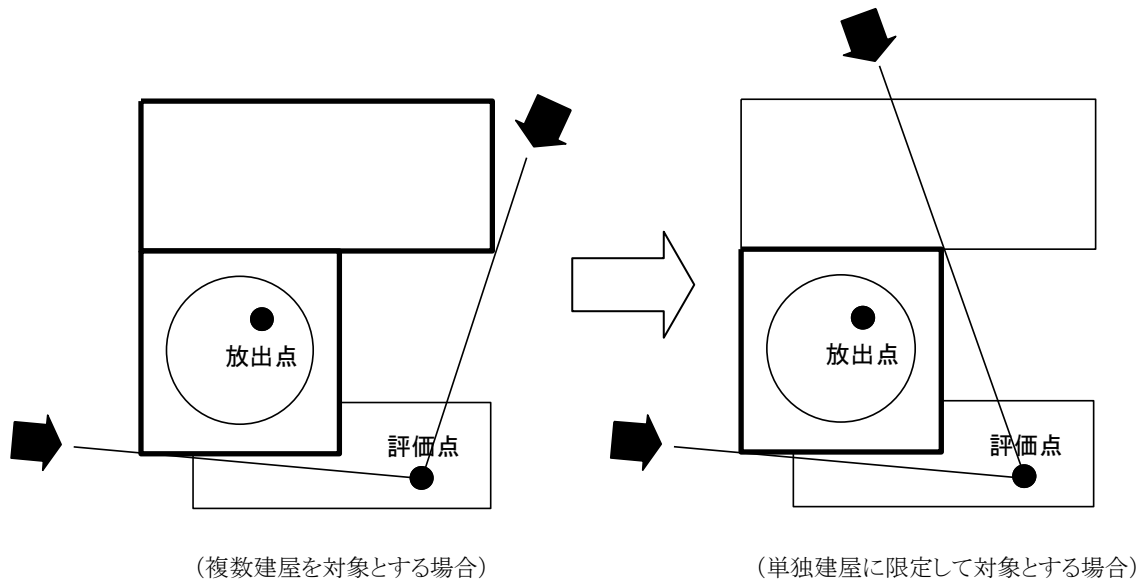
放出源高さでの濃度を評価する場合には、建屋屋上面での評価を含め、解説図5.5.1によって、具体的に減衰項が無視できることが確認できる。



解説図5.5.1 建屋射影面積と濃度分布との関係

## 【解説 5.6】巻き込みを生じる建屋の選定

5.1.2(3)a項の巻き込みを生じる建屋について、代表的な一つの建屋に限定する場合と巻き込みを生じ得るすべての建屋群を対象とする場合、放射性物質の濃度は、投影面積の大小と見込み方位数の多少との競合となる(解説図 5.6.1)。それぞれの方位に応じて投影面積を変えて放射性物質の濃度を評価する原則に従えば、一つの建屋に限定して評価条件とする方が、一般に投影面積が小さい効果が優勢となり、より保守的な結果を与えるので、単独建屋を代表とすることは妥当である。



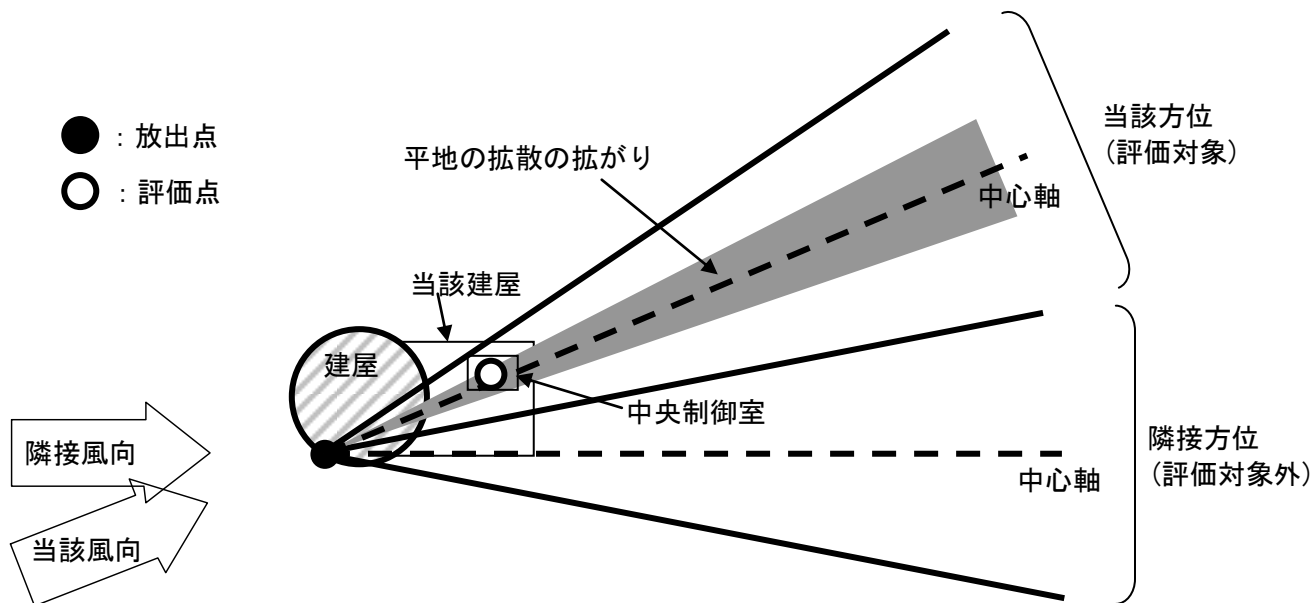
解説図 5.6.1 代表面積及び建屋投影面積の考え方

## 【解説5.7】評価する方位

解説図 5.7.1 及び解説図 5.7.2 に示すとおり、建屋による希釈効果がないか影響が小さく通常の拡散による拡がり支配的な敷地境界での計算と、建屋による後流側での広範囲にわたる強い乱流混合域に放射性物質濃度が希釈・分布している中にある中央制御室の計算とでは、放射性物質の拡散の様子の違うことを踏まえて、当該方位を選定する必要がある。

### (1) 建屋影響を受けない場合の評価の方位の定義

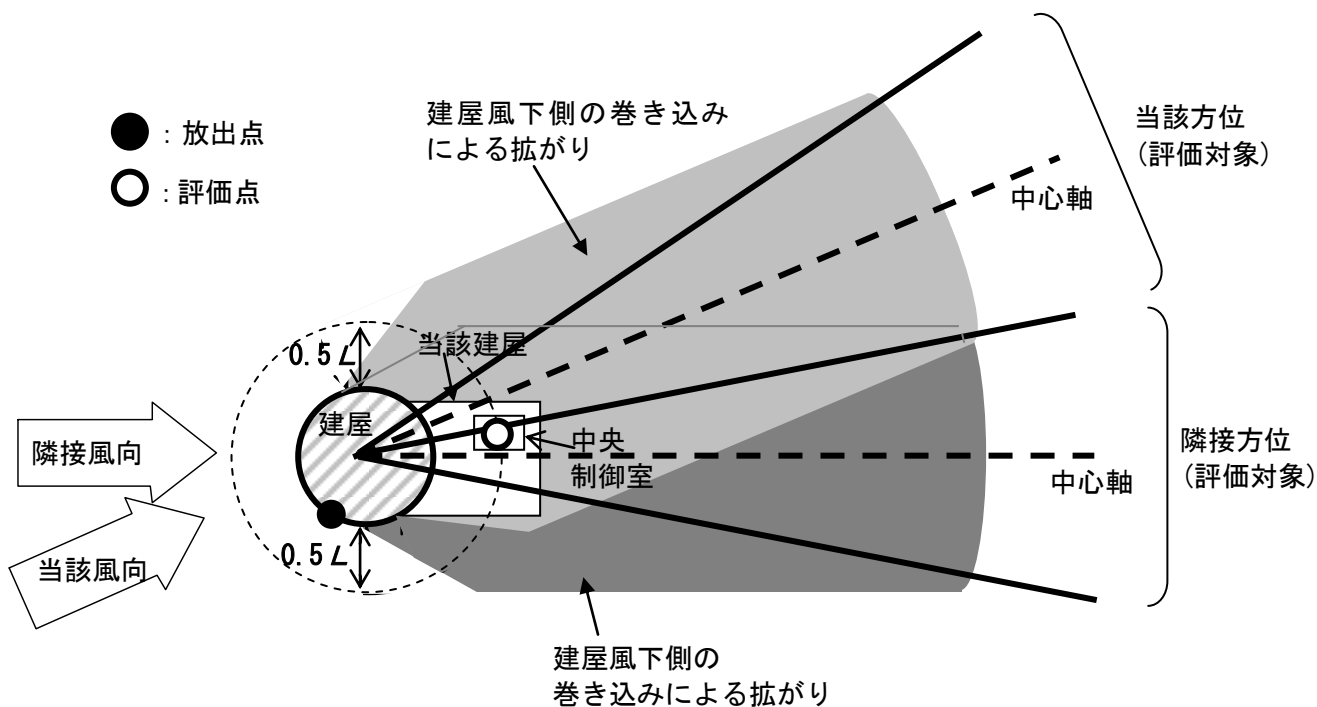
建屋による影響が小さく評価点の濃度の拡がりのパラメータが $\sigma_y$ 、 $\sigma_z$ によって近似できる場合は、当該方位のみを計算してもよい。



解説図 5.7.1 濃度の拡がりのパラメータが  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  で支配される場合の評価

(2) 建屋後流での巻き込みの影響を受ける場合の評価の方位の定義

建屋による巻き込みを考慮する場合には、当該方位に加えて評価点から巻き込みを考慮する建屋を見込む方位を評価方位として計算する。



解説図 5.7.2 濃度の拡がりのパラメータが  $\sigma_{y0}$ ,  $\sigma_{z0}$  で支配される場合の評価

## 【解説 5.8】評価点又は放出点と建屋との位置関係

BWR 型原子炉施設及び PWR 型原子炉施設では、評価点又は放出点が巻き込みを生じる建屋に接近していることが多い。解説表 5.8.1 に、代表的な例を示す。

解説表 5.8.1 評価点及び放出点と建屋との水平断面での位置関係の代表例

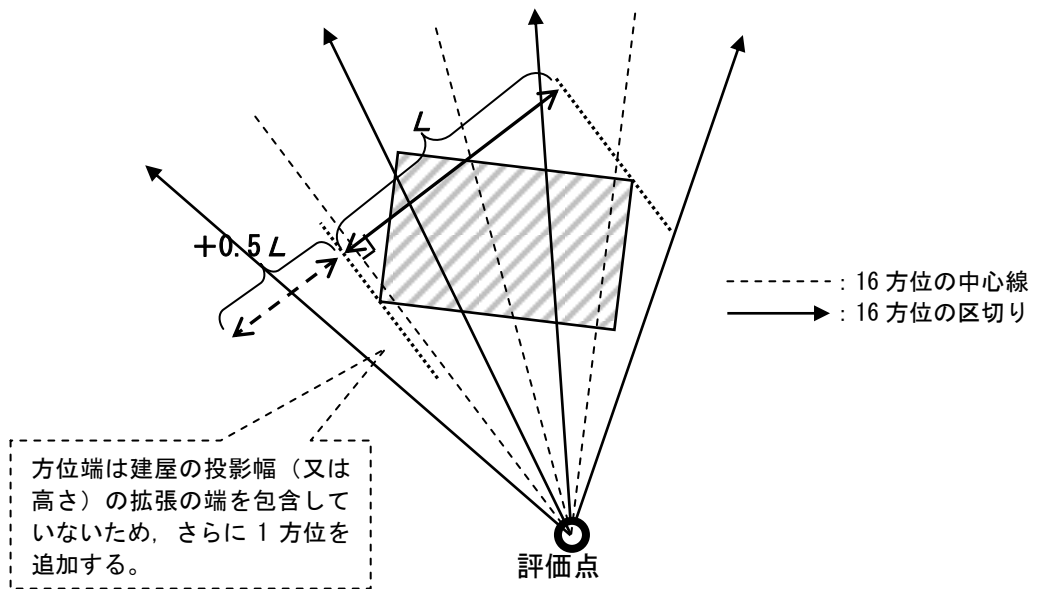
型 式	事 故	放出点の位置	評価点※の位置
BWR 型 原子炉 施設	原子炉冷却材 喪失	建屋+0.5Lの範囲内 (排気筒と原子炉建屋)	建屋+0.5Lの範囲内 (中央制御室評価点と原子炉建 屋)
	主蒸気管破断	建屋+0.5Lの範囲内 (ブローアウトパネルと 原子炉建屋又はタービン建屋)	建屋+0.5Lの範囲内 (中央制御室評価点と 原子炉建屋又はタービン建屋)
PWR 型 原子炉 施設	原子炉冷却材 喪失	建屋+0.5Lの範囲内 (排気筒と原子炉格納容器)	建屋+0.5Lの範囲の外 (中央制御室評価点と 原子炉格納容器)
	蒸気発生器 伝熱管破損	建屋+0.5Lの範囲内 (主蒸気安全弁/逃がし弁と 原子炉格納容器)	建屋+0.5Lの範囲の外 (中央制御室評価点と 原子炉格納容器)

※評価点は、  
 { BWR 型原子炉施設:コントロール建屋の外気取入口  
 { PWR 型原子炉施設:原子炉補助建屋の屋上面で中央制御室中心に相当する点

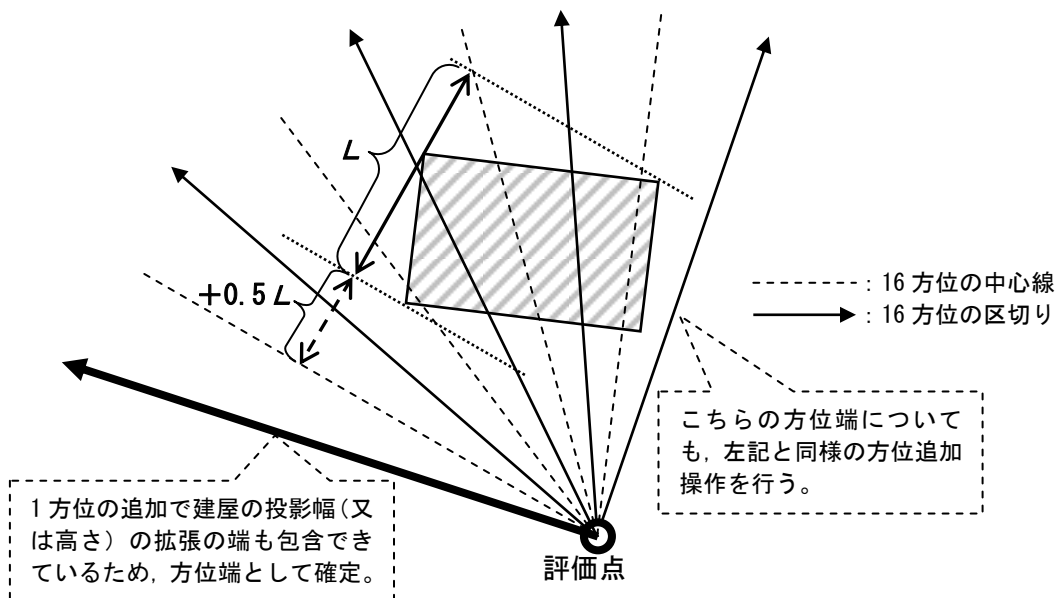
## 【解説 5.9】矩形状の建屋の場合の評価対象方位の決定方法

巻き込みを生じる建屋が矩形状で、評価点又は放出点が建屋+0.5Lの範囲の外にある場合、評価対象となる風向の方位は次のとおり決定する。

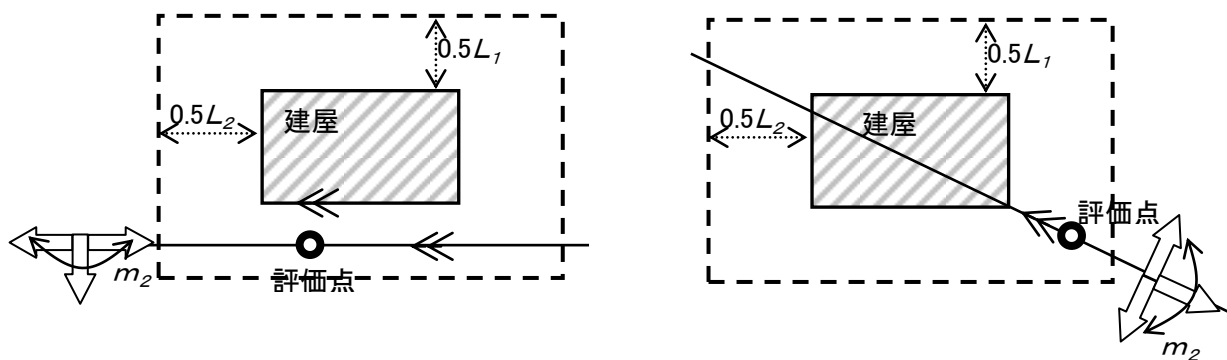
- (1) 建屋のみを対象として、これを見込む方位の範囲を決定する。
- (2) 次にこの範囲の両端の方位が、それぞれの方位に垂直な投影形状の左右に 0.5L だけ幅を広げた部分を見込んでいるのであれば、評価対象方位として確定する。  
 両端の方位が、片側 0.5L だけ幅を広げた部分を包絡して見込むことができなければ、隣接方位を評価対象として追加する。(解説図 5.9.1 を参照)
- (3) 以降(1)及び(2)を繰り返す。(解説図 5.9.2 を参照)  
 また巻き込みを生じる建屋が矩形状で放出点又は評価点が建屋+0.5Lの範囲内にある場合でも、解説図 5.9.3 に示すとおり、評価対象方位を決定する。円筒形状の建屋近傍に評価点又は放出点がある場合と同様、180° の方位となる。



解説図 5.9.1 建屋投影部分のみを包含する方位



解説図 5.9.2 建屋投影部分の幅広げを包含するための方位追加



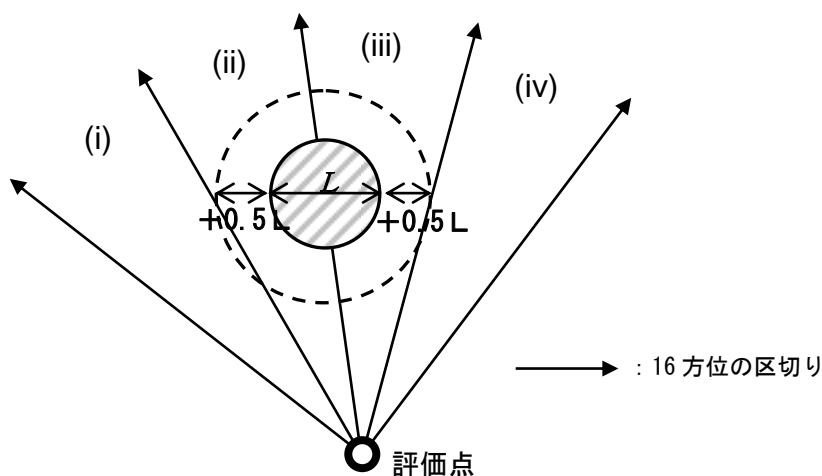
解説図 5.9.3 放出点が矩形上の建屋に近接している場合の評価対象方位

### 【解説 5.10】評価する方位数の合理化

解説図 5.10.1 のとおり、例えば、幾何学的に、評価点から建屋(幅広げを含む)を見込む角度が2方位強(例えば $47^\circ$ )の場合、実態としては1方位の追加で十分と考えられるが、気象上の方位とのずれで、最大2方位を追加した4方位を評価対象とする必要が生じ得る。

この場合、4方位すべてを対象に評価するかわりに、図 5.10.1 に示される左右の連続3方位を対象とする評価を行い、評価を厳しくする方を採用することは、合理的である。

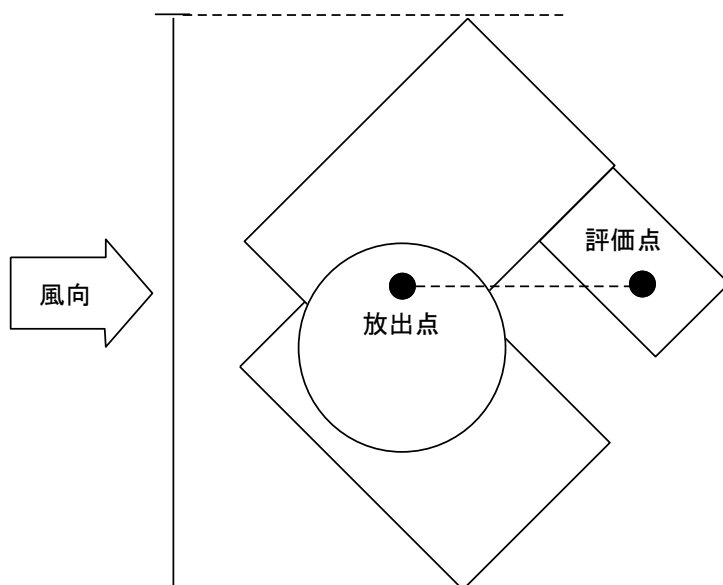
(i)~(iv)の4方位すべてを対象とするかわりに、(i)~(iii)と(ii)~(iv)の(ii), (iii)を含むどちらかの3方位の厳しい評価を与える方を対象とすることができる。



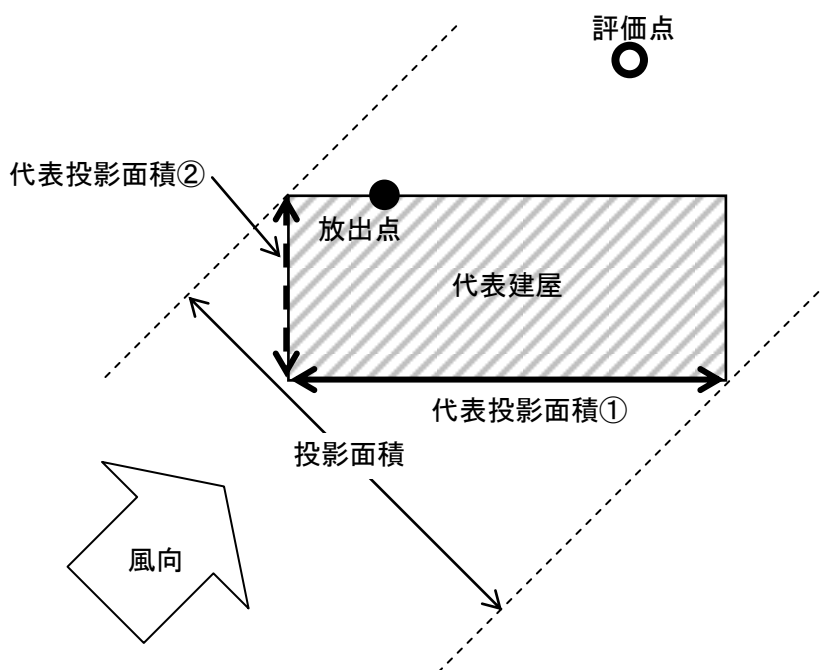
解説図 5.10.1 評価方位の選定の合理化  
(気象方位とのずれの影響が大きい場合の対応)

### 【解説 5.11】建屋投影面積

解説図 5.11.1 の建屋投影面積は、解説図 5.11.2 のとおり、評価点にほぼ正対する建屋長手方向、若しくは建屋短手方向の表面積を代表面積として代用することは妥当である。ただし、この場合には、代表面積は、実際の投影面積より小さい値である必要がある。



解説図 5.11.1 風向に垂直な建屋投影面積の考え方

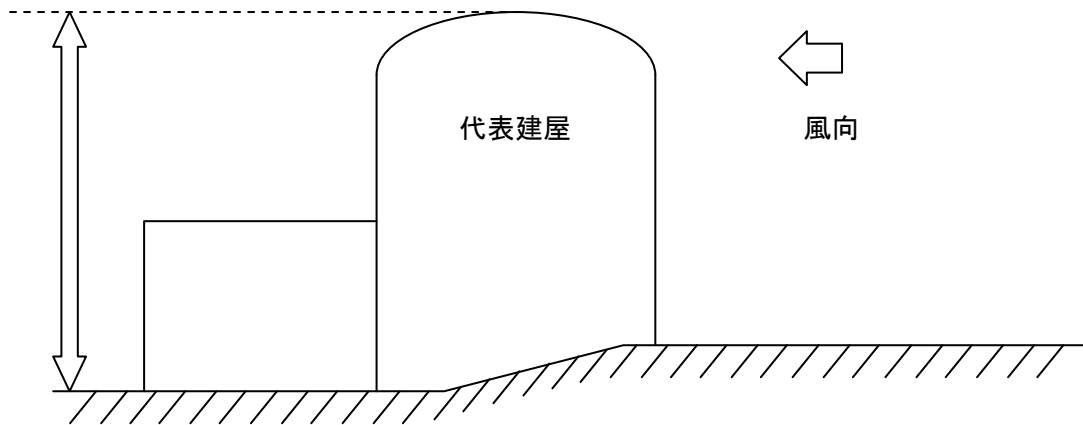
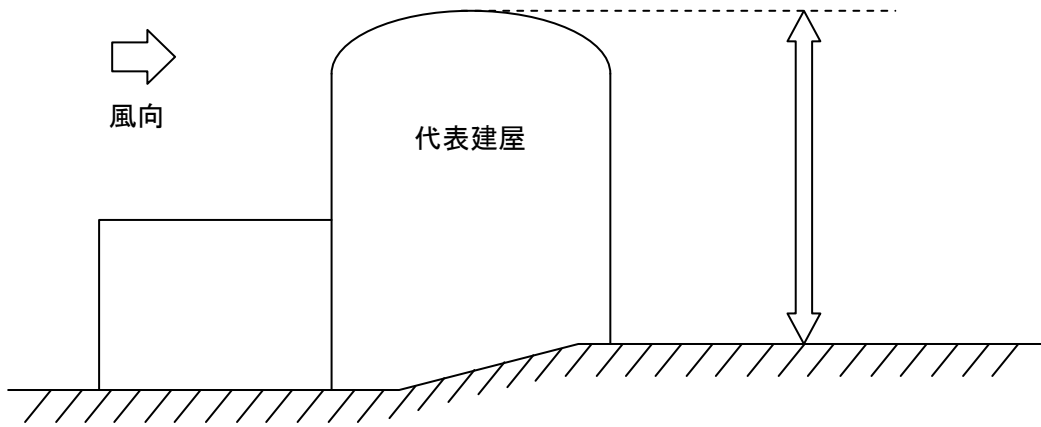


解説図 5.11.2 代表面積及び建屋投影面積の考え方

**【解説 5.12】地表面高さが方位によって異なる場合の投影断面積の選定**

建屋影響がある場合の放射性物質の濃度計算に入力として用いている投影断面積は、地表面高さが方位によって異なる場合、又は近隣の別建屋と重なっている場合でも、解説図 5.12.1 に示すように原則として風下側での地表面から上の代表建屋の投影面積を用いる。





解説図 5.12.1 地表面高さが方位によって異なる場合の投影断面積の選定

【解説 5.13】相対濃度の具体的な計算方法

$\chi/Q$  の具体的な計算は、着目地点に  $\chi/Q$  の最大値があらわれる場合には、実効放出継続時間に応じて次の手順によって行う。

(1) 実効放出継続時間が 1 時間の場合〔例 1〕

実効放出継続時間が 1 時間の場合の  $\chi/Q$  は方位ごとに計算する。

気象データは、風向、風速及び大気安定度の観測項目が 1 時間の単位で得られるので、欠測がない場合には 1 年間の気象データの数 は 8,760 個である。ある方位の 1 時間の  $\chi/Q$  は、(5.1)式に 1 年間の毎時刻の気象データを代入すると得られるが、この中には、風向が他の方位にあって  $\chi/Q$  が 0 となる個数も含まれている。

これらの  $\chi/Q$  を小さい値から並べて整理し、その累積出現頻度が 97% に相当する  $\chi/Q$  を求め、それを当該方位の  $\chi/Q$  値とする。欠測がある場合は、総観測時間から欠測時間を差し引いた時間数を全数とし、その 97% に相当する  $\chi/Q$  を抽出する。同様の手順を各方位につ

いて行い方位ごとの  $\chi/Q$  値を抽出し、各方位において抽出された  $\chi/Q$  値(8 方位を対象とする場合は抽出された数は 8 個である)から最大値を選び、これを線量計算に用いる  $\chi/Q$  値とする。

(2) 実効放出継続時間が 1 時間を超える場合〔例 2〕

実効放出継続時間が 1 時間を超える場合の  $\chi/Q$  は、その時間内における  $\chi/Q$  の平均値を求めるものであるので、その求め方は〔例 1〕と若干異なる。

例えば、実効放出継続時間が 8 時間の場合には、次のようになる。

- a) ある方位の 8 時間の  $\chi/Q$  は、最初に任意の時刻をとり、その時刻から 8 時間の毎時刻の気象データを (5.1) 式に代入して、当該 8 時間の  $\chi/Q$  を計算し、次に 1 時間繰り下げた時刻から 8 時間の毎時刻の気象データを同じ式に代入して、当該 8 時間の  $\chi/Q$  を計算する。
- b) 同様の手順を 1 年間について繰り返す。こうして求められた  $\chi/Q$  のなかには当該 8 時間にわたり風向がすべて他方位にあつて  $\chi/Q$  が 0 となるものも含まれている。これらの  $\chi/Q$  を小さい方から並べて整理し、累積出現頻度が 97% に当たる  $\chi/Q$  を求め、それを当該方位の  $\chi/Q$  値とする。
- c) 同様の手順を各方位について行い、方位ごとの  $\chi/Q$  値を抽出し、それらのうちから最大値を選んで線量計算に用いる  $\chi/Q$  値とする。
- d) 当該 8 時間に欠測時間が含まれる場合の  $\chi/Q$  はその欠測の分布状況を考慮して適切に処理しなければならない。

(3) 実効放出継続時間(T)は、想定事故の種類によって放出率に変化があるので、放出モードを考慮して適切に定めなければならないが、事故期間中の放射性物質の全放出量を 1 時間当たりの最大放出量で除した値を用いることも一つの方法である。

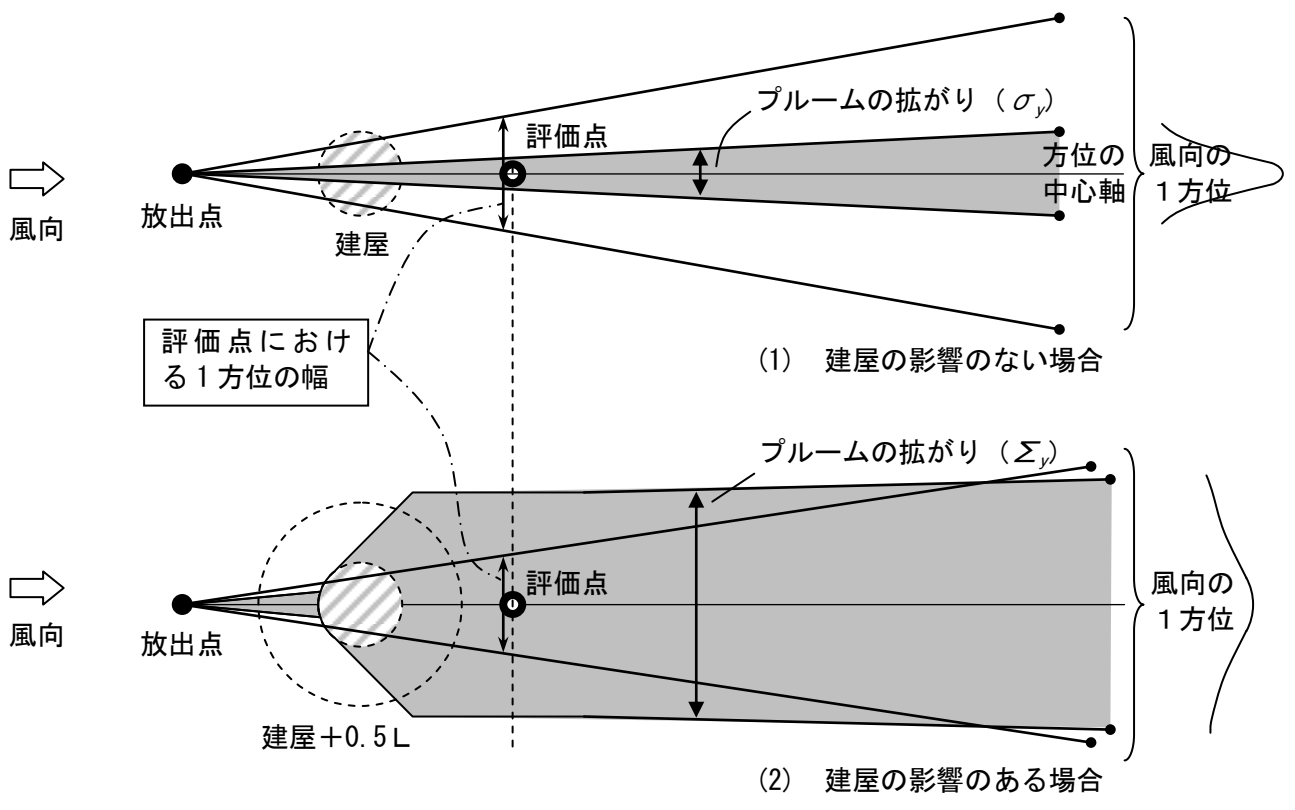
実効放出継続時間が 8 時間を超える場合は、長時間放出とみなして計算する。

【解説 5.14】建屋の影響がない場合の長時間平均の処理式を、建屋の影響がある場合に適用することが適切でない理由

放出点からの放射性物質のプルームは、建屋の影響がある場合には、建屋の風下側で急に拡がることとなる。この拡がりの幅は、建屋の影響がない場合の扇形状に拡がるプルームの幅よりも広くなる。また、16 方位に分割した 1 方位の幅よりも広くなる。

この傾向は、中央制御室を評価点とする場合のような、放出点から評価点までの風下距離が短い場合に顕著となる。

したがって、建屋影響がない場合に用いる(5.12)式のような、プルームの拡がりを積分し 1 方位の幅で平均する長時間の相対濃度を算出する方法を、建屋の影響がありかつ中央制御室のように評価点までの風下距離が短い場合の評価に用いると、プルームの拡がりよりも狭い方位の幅で平均化することになり不適切な結果を与えることとなる。(解説図 5.14.1 を参照)



解説図 5.14.1 放出点から風下方向へのプルームの拡がり幅と風向の1方位との関係

【解説 6.1】原子炉格納容器からのスカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線

BWR 型原子炉施設の原子炉格納容器は十分な厚さの遮へい壁に覆われているため、原子炉格納容器内の放射性物質による放射線の影響は十分に小さく、線源として無視できる。

【解説 6.2】解析の対象にする核種の例

(1) 代表的な核種

希ガス及びハロゲン等は、次の核種が標準的である。

解説表 6.2.1 標準的な核種

核種	半減期	核分裂収率 (%)	ガンマ線実効エネルギー (MeV / dis)
$^{83m}\text{Kr}$	1.83 h	0.53	0.0025
$^{85m}\text{Kr}$	4.48 h	1.31	0.159
$^{85}\text{Kr}$	10.73 y	0.29	0.0022
$^{87}\text{Kr}$	76.3 min	2.54	0.793
$^{88}\text{Kr}$	2.80 h	3.58	1.950
$^{131m}\text{Xe}$	11.9 d	0.040	0.020
$^{133m}\text{Xe}$	2.25 d	0.19	0.042
$^{133}\text{Xe}$	5.29 d	6.77	0.045
$^{135m}\text{Xe}$	15.65 min	1.06	0.0432
$^{135}\text{Xe}$	9.083 h	6.63	0.250
$^{138}\text{Xe}$	14.17 min	6.28	1.183
$^{131}\text{I}$	8.06 d	2.84	0.381
$^{132}\text{I}$	2.28 h	4.21	2.253
$^{133}\text{I}$	20.8 h	6.77	0.608
$^{134}\text{I}$	52.6 min	7.61	2.750
$^{135}\text{I}$	6.61 h	6.41	1.645

(2) その他の核種

代表的な核種以外に追加する場合は、半減期 10 分以上、放出ガンマ線実効エネルギー 0.05MeV 以上をめやすにする。

【解説7.1】線量を評価すべき被ばく経路

各事象で線量を評価すべき被ばく経路を下表に示す。

解説表7.1.1 線量を評価すべき被ばく経路

		中央制御室滞在時			入退域時	
		①建屋からのガンマ線(直接線・スカイシャイン線)による被ばく	②大気中に放出された放射性物質による被ばく	③室内に外気から取り込まれた放射性物質による被ばく	④建屋からのガンマ線(直接線・スカイシャイン線)による被ばく	⑤大気中に放出された放射性物質による被ばく
BWR	原子炉冷却材喪失	○	○	○	○	○
	主蒸気管破断	○	○	○	○	△ <sup>※1</sup>
PWR	原子炉冷却材喪失	○	○	○	○	○
	蒸気発生器伝熱管破損	— <sup>※2</sup>	○	○	—	△ <sup>※1</sup>

※1 事故発生直後の短時間に集中して放出される放射性物質(主蒸気管破断時の半球状雲, 蒸気発生器伝熱管破損時の二次系への漏えい停止までの放出など)による線量については, 入退域時の線量としては評価しない。

※2 放射性物質が建屋をバイパスするような放出経路になる場合は, その建屋には放射性物質が存在しないため, スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線の線源がない。

【解説7.2】中央制御室内の雰囲気中に浮遊する放射性物質量の時間変化

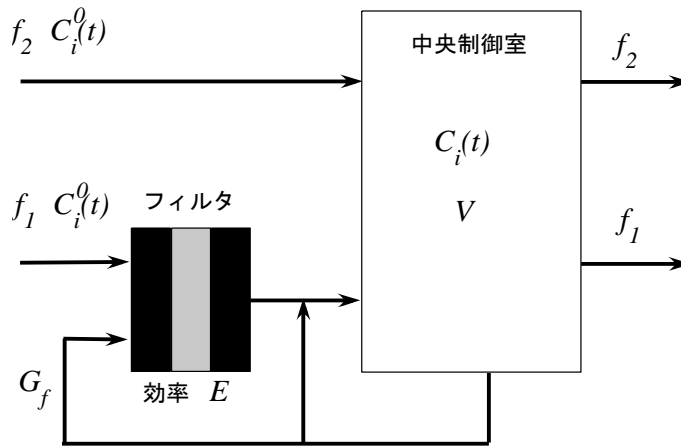
本文(7.4)式に示した中央制御室内の放射性物質量の計算を, 解説図7.2.1のタイプについて具体例を示す。原子炉施設によって中央制御室に係る空調システムの設計が異なるので, システムの特徴を取入れて, (7.4)式を適用すればよい。

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

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

$V$	: 中央制御室体積	$(m^3)$
$C_i(t)$	: 時刻 $t$ における中央制御室内の核種 $i$ の濃度	$(Bq/m^3)$
$E$	: フィルタの除去効率	(-)
$C_i^0(t)$	: 時刻 $t$ における空気取入口での核種 $i$ の濃度	$(Bq/m^3)$
$f_1$	: 中央制御室への外気取入量	$(m^3/s)$
$f_2$	: 中央制御室への空気流入量	$(m^3/s)$
$G_f$	: 再循環のうちフィルタを通る流量	$(m^3/s)$

- $\lambda_i$  :核種  $i$  の崩壊定数 (1/s)
- $\chi/Q$  :相対濃度 ( $s/m^3$ )
- $Q_i(t)$  :時刻  $t$  における放出源からの核種  $i$  の放出率 ( $Bq/s$ )

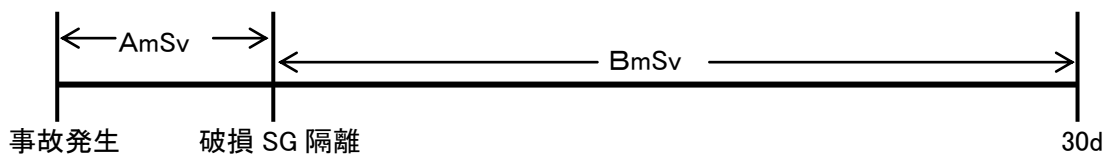


解説図 7.2.1 中央制御室内の放射性物質の存在量を計算する例

【解説 7.3】蒸気発生器伝熱管破損時の直交替を考慮した線量評価

PWR 型原子炉施設における蒸気発生器伝熱管破損の場合、一次冷却材の二次系への漏えい停止(以下、破損 SG 隔離という。)には運転員の操作が必要なため、破損 SG 隔離前に運転員が交替することが困難である。また、破損 SG 隔離までに全放出放射エネルギーの大半が放出される。したがって、蒸気発生器伝熱管破損時の直交替を考慮した線量については、事故発生から破損 SG 隔離までの線量全量に、破損 SG 隔離以降から 30 日までの線量の各直の平均値を加算して評価することとする。

(4直3交替の例) 直交替考慮の線量 = A + B ÷ 4 (直数)



解説図 7.3.1 蒸気発生器伝熱管破損時の直交替を考慮した線量評価

【解説 7.4】スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線による入退域時の被ばく計算

建屋内の放射性物質からのスカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線による入退域時の被ばくを計算する場合に使用する 30 日積算線量は、30 日積算の線源強度を用いて線量を計算することによって求める(解説図 7.4.1 の縦線部分)。解説図 7.4.1 のように、線量率の時間変化を下回らないようステップ状に積分することも、保守的であり、妥当と認められる。

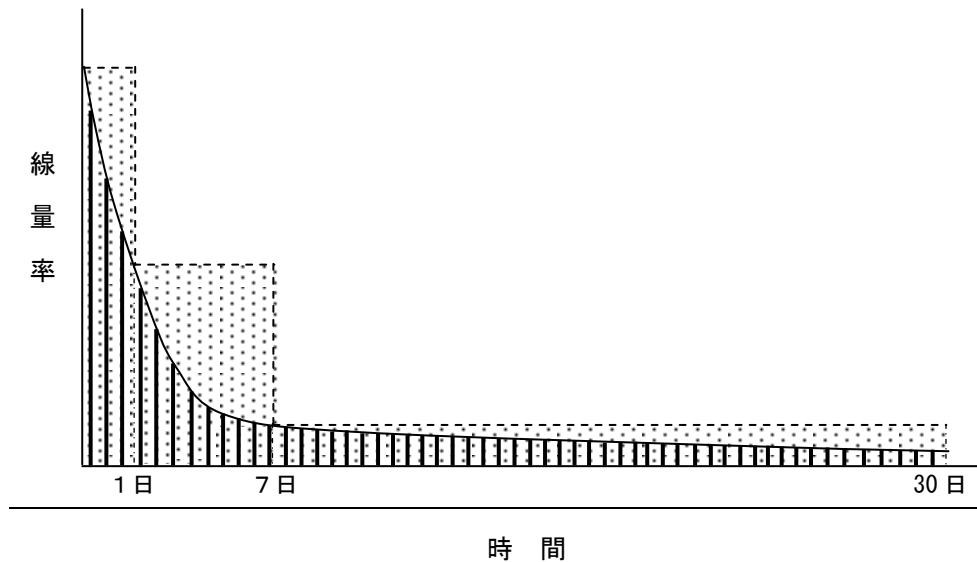
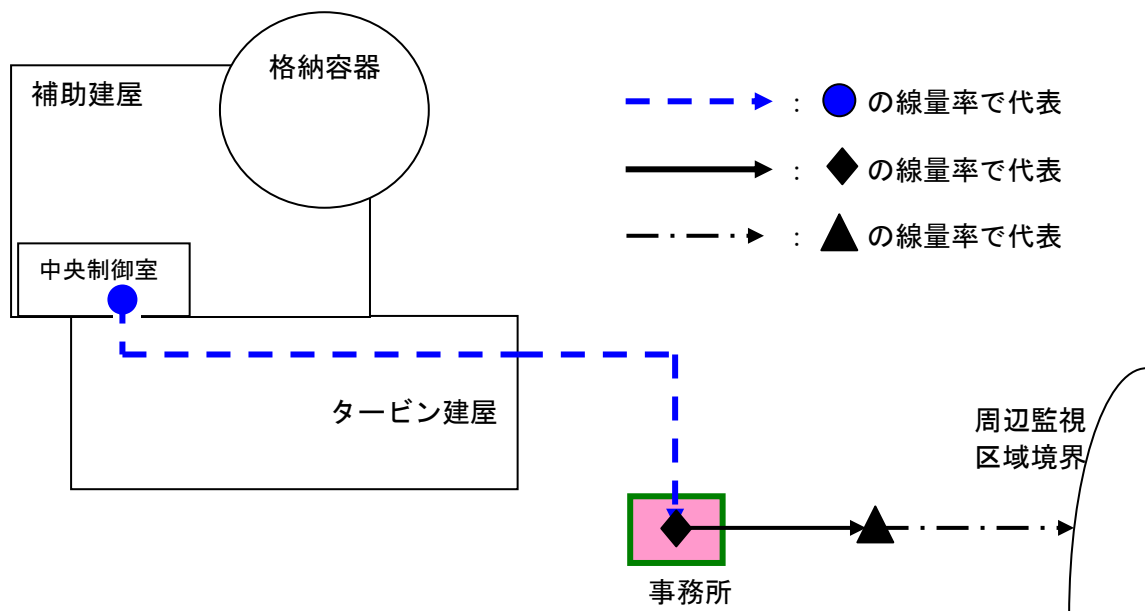


図 7.4.1 入退域時における被ばく線量の計算方法の例

【解説 7.5】入退域時の被ばく評価点

建屋内の放射性物質からのスカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線による入退域時の被ばく及び、大気中へ放出された放射性物質による入退域時の被ばくを計算する場合には、入退域時の移動経路及び入退域に要する時間をプラントごとに計算し、移動経路に従った適切な評価点及び滞在時間を設定する場合、移動に伴って、解説図 7.5.1 のように複数の評価点を設定してもよい。



解説図 7.5.1 入退域時の評価点の設定の例

## 原子力発電所の中央制御室の空気流入率測定試験手法

## 目次

1.はじめに .....	93
1.1 目的 .....	93
1.2 適用範囲 .....	93
1.3 記載範囲 .....	93
1.4 用語の定義 .....	93
2. 中央制御室の空気流入率測定試験 .....	95
2.1 試験目的 .....	95
2.2 試験対象範囲 .....	95
2.3 計測器 .....	95
2.4 試験前必要条件 .....	95
2.4.1 機器の状態 .....	95
2.4.2 試験に当たっての遵守事項 .....	95
2.5 試験方法 .....	96
2.6 試験の実施 .....	96
2.6.1 事前準備 .....	96
2.6.2 試験前準備 .....	96
2.6.3 試験条件の決定 .....	97
2.6.4 試験手順 .....	98
2.7 試験記録 .....	99
3. 参考文献 .....	101
解説	
【解説 1.1】中央制御室換気空調設備 .....	102
【解説 1.2】中央制御室バウンダリ .....	106
【解説 1.3】空気流入率 .....	107
【解説 1.4】トレーサガス .....	107
【解説 2.1】試験目的 .....	108
【解説 2.2】トレーサガス濃度の測定装置 .....	108
【解説 2.3】測定者の資格、技量 .....	110
【解説 2.4】隣接する部屋の換気空調設備 .....	110
【解説 2.5】試験方法 .....	111
【解説 2.6】濃度減衰法の原理 .....	111
【解説 2.7】中央制御室空気流入率測定試験手順のフロー .....	112



【解説 2.8】サンプリング点 .....	114
【解説 2.9】トレーサガスの混合 .....	114
【解説 2.10】試験員の時計、試験装置の時刻合わせ .....	114
【解説 2.11】トレーサガスのサンプリング開始のタイミング .....	115
【解説 2.12】トレーサガス濃度の均一化の目安 .....	115
【解説 2.13】測定時間、サンプリング間隔、注入量の決定 .....	115
【解説 2.14】全サンプリング点による試験手順の適用範囲・条件 .....	116
【解説 2.15】回帰直線の傾きとその誤差 .....	117
【解説 2.16】試験時の参考記録 .....	119

## 1. はじめに

### 1.1 目的

「原子力発電所の中央制御室の空気流入率測定試験手法」(以下「本測定試験手法」という。)は、発電用原子力設備の中央制御室の空気流入率の測定試験に関する事項を規定することを目的とする。

### 1.2 適用範囲

本測定試験手法は、発電用原子力設備の中央制御室の空気流入率測定試験に適用する。

### 1.3 記載範囲

本測定試験手法の記載範囲は以下のとおりである。

- (1) 試験目的
- (2) 試験対象範囲
- (3) 計測器
- (4) 試験前必要条件
- (5) 試験方法
- (6) 試験の実施
- (7) 試験記録

### 1.4 用語の定義

#### (1) 中央制御室

反応度制御系統及び原子炉停止系統に係る設備を操作する装置、非常用炉心冷却設備等非常時に原子炉の安全を確保するための設備を操作する装置、原子炉及び1次冷却系統に係る主要な機械器具の動作状態を表示する装置、主要計測装置の計測結果を表示する装置その他の原子炉を安全に運転するための主要な装置を運転操作及び監視する施設のことをいう。

#### (2) 中央制御室エンベロープ

中央制御室換気空調設備【解説 1.1】により事故時に空調される部屋をいう。発電所によっては、給湯室や洗面所等、運転員が中央制御室にとどまるための居住設備や事故時に中央制御室換気空調設備で空調されるリレー室、廃棄物処理制御室や中央制御室換気空調機械室等が含まれる。

#### (3) 中央制御室バウンダリ

中央制御室換気空調設備により事故時に空調される範囲の境界のことをいう。すなわち、中央制御室エンベロープの境界と中央制御室エンベロープ内空気を内包する空調機器で中央制御室エンベロープ外に設置されている部分の境界のことをいう。【解説 1.2】

(4) 空気流入率

中央制御室換気空調設備のチャコールフィルタを通らずに中央制御室バウンダリ内に流入する単位時間あたりの空気量と中央制御室バウンダリ内の体積との比をいう。【解説 1.3】

(5) トレーサガス

空気の移動を確認するため、空気に混合して濃度を測定するガスのことをいう。トレーサガスには一般に環境条件により状態変化しにくく、測定装置で検出しやすい、人体に影響のないガスが使用される。【解説 1.4】

## 2. 中央制御室の空気流入率測定試験

### 2.1 試験目的

原子炉冷却材喪失等の事故が発生した場合においても中央制御室が「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」(省令 62 号)に適合していることを評価するにあたって、運転員の被ばく評価の入力条件の1つとして中央制御室の空気流入率が必要であり、この空気流入率を求めることが本試験の目的である。【解説 2.1】

### 2.2 試験対象範囲

中央制御室バウンダリ内を試験対象範囲とする。【解説 1.1】【解説 1.2】

### 2.3 計測器

試験に使用する計測器については、本測定試験手法において要求している性能が確認され、かつ、保証できるよう、適切な校正及び管理を実施しなければならない。【解説 2.2】 また、トレーサガス濃度の測定は、ガス分析に精通している者、【解説 2.3】 又は、その管理、指導のもとに行わせる。

### 2.4 試験前必要条件

#### 2.4.1 機器の状態

試験は、原則として、原子炉冷却材喪失等の事故時における中央制御室換気空調設備の作動状態及び中央制御室バウンダリ内に対して行わなければならない。つまり、事故時に中央制御室換気空調設備の機器が自動起動する場合は起動状態、機器が自動停止する場合は停止状態、自動的に閉となる隔離ダンパは閉止状態、自動的に開となる隔離ダンパは開放状態とする。ただし、事故時に連続的に外気を少量取り込む場合又は間欠的に外気を取り込む場合は、外気取入口のダンパ又は手動弁を閉止して試験を実施し、被ばく評価において連続少量取込み又は間欠取込みを考慮することとする。

また、中央制御室バウンダリに隣接する部屋の換気空調設備についても、事故時と同等の状態ですべて試験を実施することが望ましい。【解説 2.4】

#### 2.4.2 試験に当たっての遵守事項

##### (1) 試験前の中央制御室バウンダリの構成方法

中央制御室バウンダリを構成するダンパの閉止は、原則として、事故時の作動方式により閉止しなければならない。事故時に作動すべきダンパは、試験に向けたバウンダリ構成の際に、試験時のみにおける空気流入を減少させることを目的とした増締め、調整を実施してはならない。

##### (2) 気密性を向上するための諸対策の実施

試験に先立ち、扉のシール(パッキン)を交換する、ケーブル貫通部のシール補修(コーキング)をするといった気密性を向上するための諸対策を講じることは差し支えない。ただし、試験のための一時的な対策であってはならない。

### (3) トレーサガスの特性の確認

トレーサガスの物理的、化学的な特性を確認し、必要な措置を講じる。例えば、高温条件で有毒物質が発生する場合は中央制御室バウンダリ内での火気作業を禁止する、トレーサガス濃度が異常に上昇すると酸欠のおそれがある場合は試験を中止する濃度を定めるといった試験時の措置をあらかじめ定めておかなければならない。【解説 1.4】

### (4) 測定結果へ影響を与える作業の規制

測定結果に影響を与えるおそれのある事項、例えば、有機溶剤を使用する作業の扱いや中央制御室エンベロープへの入退域の扱いについて事前に検討し、必要な措置を講じるようにしなければならない。【解説 1.4】

## 2.5 試験方法

試験は、米国材料試験協会規格 ASTM E741-00(2006)及び空気調和・衛生工学会規格 SHASE-S 116-2003 に規定された「濃度減衰法」に準拠して実施する。【解説 2.5】

### (濃度減衰法)

中央制御室バウンダリ内へのトレーサガス注入終了後、適切な時間間隔で濃度測定を行う。トレーサガス濃度の対数をサンプリング時間に対してプロットし、その傾きを中央制御室の空気流入率とする。【解説 2.6】

## 2.6 試験の実施【解説 2.7】

### 2.6.1 事前準備

- (1) 中央制御室バウンダリを構成する躯体及びその貫通口に異常が無いことを確認する。
- (2) 中央制御室バウンダリを貫通する他系統ダクト(排煙設備ダクトを含む)に異常が無いことを確認する。
- (3) トレーサガス濃度測定装置【解説 2.2】の校正が完了していることを確認する。なお、トレーサガス濃度の測定は、ガス分析に精通している者【解説 2.3】、又は、その管理、指導のもとに行わせる。

### 2.6.2 試験前準備

- (1) 中央制御室バウンダリ内のサンプリング点を決定する。【解説 2.8】
- (2) 中央制御室バウンダリに隣接する部屋の換気空調設備が事故時と同等な状態を模擬する。【解説 2.4】
- (3) 中央制御室バウンダリ内全体にトレーサガスが混合するよう、必要に応じて天井及び床に仮開口部を設ける。【解説 2.9】
- (4) 中央制御室バウンダリ内全体にトレーサガスが混合するよう、必要に応じて攪拌機を設置し、起動する。【解説 2.9】

- (5) 中央制御室バウンダリを構成するドア等を閉鎖するとともに、必要に応じて中央制御室エンベロープ内のドア及び制御盤扉、保管庫扉(書類ロッカーを含む)を可能な範囲で開放する。【解説 2.9】
- (6) 中央制御室バウンダリ内のトレーサガスのバックグラウンドを測定し、その濃度を確認する。
- (7) トレーサガス注入設備が準備され、中央制御室バウンダリ内に注入可能なことを確認する。トレーサガスの目標濃度を定め、必要な量のトレーサガスが用意されていることを確認する。
- (8) 中央制御室換気空調設備が動作可能なことを確認する(予備機への運転切り替え及び非常用再循環モードへの運転切り替えを含む)。
- (9) トレーサガス濃度測定装置でトレーサガスの標準ガスを測定し、濃度測定精度が 5%以内に入っていることを確認する。これは、試験の前後で実施する。
- (10) 各試験員の時計及び試験装置の時刻を合わせ、それぞれの誤差がサンプリング期間(初回サンプリングから最終サンプリングまでの時間)の 1%以下となるようにする。【解説 2.10】

### 2.6.3 試験条件の決定

中央制御室の空気流入率測定試験に先立ち、試験時間、サンプリング方法(サンプリング開始時間、サンプリング間隔、サンプリング回数)、トレーサガス注入方法(注入量、注入速度、注入箇所)等の試験条件を決定するために事前に予備試験を実施し、トレーサガスの濃度減衰率及びトレーサガスの中央制御室バウンダリ内での混合状態について確認する。ただし、ガスモニタ【解説 2.2】のようなトレーサガス濃度を連続監視できる装置(以下「試験状態監視用測定装置」という。)により、トレーサガスの濃度変化をすみやかに知ることができる場合や過去の試験実績から試験条件を決定可能な場合、必ずしも本過程を必要としない。

- (1) 「2.6.2 試験前準備」が完了した状態で、中央制御室換気空調設備を通常運転モードから非常用再循環モードに切り替える。
- (2) トレーサガス注入設備(ボンベ、エアバッグ)により、中央制御室バウンダリ内が「2.6.2 試験前準備」で決定した目標濃度となるトレーサガス量をダクト又は室内へ直接注入する。
- (3) 中央制御室バウンダリ内へのトレーサガス注入終了後、各サンプリング点のトレーサガス濃度の減衰率が安定した以降に「2.6.2 試験前準備」で決定したトレーサガスのサンプリング点より 1 回目のサンプリングを開始する。【解説 2.11】
- (4) 1 回目のサンプリングから、30 分～1 時間後<sup>(注)</sup>に 2 回目のサンプリングを開始する。
- (5) 同様に 3 回目のサンプリングを実施する。

<sup>(注)</sup> 試験状態監視用測定装置を使用する場合には、1 回目のサンプリング時の濃度の約 80%を目安とする。ただし、最長 1 時間とする。

- (6) 3回以上のサンプリング実施後、中央制御室換気空調設備を非常用再循環モードから通常運転モードに切り替え、中央制御室バウンダリのドア等を開放し、トレーサガスをパージする。
- (7) 得られたデータをもとに、試験時のサンプリング点の最終決定を行う。基本的には中央制御室バウンダリ内全域から実施するものとするが、中央制御室バウンダリ内全域について均一化の目安【解説 2.12】を満足している場合、代表点によるサンプリング及び空気流入率評価を行うことも認める。（「2.6.4(1) 基本的な試験手順」）
- (8) 中央制御室バウンダリ内でトレーサガス濃度のバラツキが大きい場合、その要因として中央制御室バウンダリ構造や換気空調設備・攪拌機による混合不十分、中央制御室各エンベロープの空気流入率と換気空調設備の循環率の割合の大小及び複数箇所からトレーサガスを注入する場合の注入量、注入時間のアンバランスが考えられるが、必要に応じて対策を講じる。【解説 2.12】
- (9) 得られたデータをもとに、トレーサガスの濃度減衰率を推定し、最終サンプリング時の濃度が1回目の約20～60%となるように試験時のサンプリング間隔を決定する。ただし、中央制御室バウンダリの気密性が高く、トレーサガス濃度の減衰に時間を要する場合、サンプリング間隔上限を1時間とする。また、得られたデータから、サンプリング開始時間及びトレーサガスの注入方法（注入量、注入時間、注入箇所）を決定する。【解説 2.13】

#### 2.6.4 試験手順

##### (1) 基本的な試験手順【解説 2.7】

中央制御室バウンダリ内に注入したトレーサガスが十分に混合され、均一化の目安を満足する場合は、任意のサンプリング点を代表点としてトレーサガス濃度測定及び空気流入率評価を行うことが許容される。ただし、均一化の目安を満足した場合でも(2)の全サンプリング点による試験手順にて実施することを妨げるものではない。

試験手順は以下のとおりである。

- ① 「2.6.3 試験条件の決定」で決定した試験条件に基づき試験前準備を行い、試験前準備が完了した状態で、中央制御室換気空調設備を通常運転モードから非常用再循環モードに切り替える。
- ② 「2.6.3 試験条件の決定」で決定した注入方法に基づき、目標濃度となるよう中央制御室バウンダリ内へトレーサガスの注入を行う。
- ③ 中央制御室バウンダリ内へのトレーサガス注入後、「2.6.3 試験条件の決定」で決定したサンプリング開始時間、サンプリング間隔及び各サンプリング点にてサンプリングを実施する。
- ④ 各サンプリング点で得られたサンプルに対してトレーサガスの濃度測定を行い、中央制御室バウンダリ内のトレーサガス濃度が均一化の目安（各サンプリング点の測定濃度が平均値に対して、±10%の範囲内）を満足していることを確認する。【解説 2.12】

- ⑤ ④にて均一化の目安を満足していることが確認できた時点から測定開始とし、以降、「2.6.3 試験条件の決定」で決定したサンプリング間隔で代表点のサンプリングを実施し、トレーサガス濃度を測定する。
- ⑥ ⑤におけるサンプリングのうち、最終サンプリングについては、全サンプリング点にてサンプリングを実施し、④と同様に中央制御室バウンダリ内のトレーサガス濃度が均一化の目安を満足していることを確認する。【解説 2.12】
- ⑦ 代表点測定結果の対数をサンプリング時間に対してプロットし、回帰分析により、回帰直線を求める。回帰直線の傾きから空気流入率とその誤差を算出する。【解説 2.15】
- ⑧ 最終サンプリングの完了後、中央制御室換気空調設備を非常用再循環モードから通常運転モードに切り替え、中央制御室バウンダリのドア等を開放し、トレーサガスをパーージする。

(2) 全サンプリング点による試験手順【解説 2.7】【解説 2.14】

「2.6.3 試験条件の決定」で均一化の目安を満足しなかった場合の試験手順は、以下のとおりとする。

- ① 「2.6.3 試験条件の決定」で決定した試験条件に基づき試験前準備を行い、試験前準備が完了した状態で、中央制御室換気空調設備を通常運転モードから非常用再循環モードに切り替える。
- ② 「2.6.3 試験条件の決定」で決定した注入方法に基づき、目標濃度となるよう中央制御室バウンダリ内へトレーサガスの注入を行う。
- ③ 中央制御室バウンダリ内へのトレーサガス注入後、「2.6.3 試験条件の決定」で決定したサンプリング開始時間、サンプリング間隔及び各サンプリング点にてサンプリングを実施する。
- ④ 各サンプリング点で得られたサンプルに対して、トレーサガスの濃度測定を行う。
- ⑤ ④にて得られた各サンプリング点での全測定結果の対数をサンプリング時間に対してプロットし、回帰分析により、回帰直線を求める。回帰直線の傾きから空気流入率とその誤差を算出する【解説 2.15】とともに相関係数 $R$  (決定係数 $R^2$ )を求める ( $|R| \geq 0.95$  又は  $R^2 \geq 0.90$ )。
- ⑥ 最終サンプリングの完了後、中央制御室換気空調設備を非常用再循環モードから通常運転モードに切り替え、中央制御室バウンダリのドア等を開放しトレーサガスをパーージする。

## 2.7 試験記録

本試験に関係するデータはもれなく記録用紙に記載するとともに、試験結果として以下の項目を記録する。【解説 2.16】

(1) 試験条件

- ① 試験対象の範囲図
- ② 天井及び床の仮開口部の位置



- ③ 攪拌機設置場所
- ④ 隣接する部屋の換気空調設備の運転状態(運転台数)
- ⑤ 機器の動作状況(中央制御室バウンダリを構成する弁又はダンパの開閉及びファンの運転状態)
- ⑥ トレーサガスの注入量、注入時間及び注入点
- ⑦ 均一化の程度
- (2) トレーサガス濃度の測定装置の校正記録
- (3) トレーサガス測定結果  
    サンプリング点の位置、高さ、測定日時、測定濃度、バックグラウンド
- (4) 中央制御室の空気流入率とその誤差
- (5) 相関係数R(決定係数 $R^2$ ) (「2.6.4(2) 全サンプリング点による試験手順の場合」)

### 3.参考文献

- (1) 空気調和・衛生工学会規格 SHASE-S 116-2003 「トレーサガスを用いた単一空間の換気量測定法」
- (2) 米国材料試験協会規格 ASTM E741-00(2006) “Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution”
- (3) 日本工業規格 JIS K 0055:2002 「ガス分析装置校正方法通則」
- (4) 日本工業規格 JIS K 0114:2000 「ガスクロマトグラフ分析通則」

解説

【解説 1.1】中央制御室換気空調設備

中央制御室換気空調設備は、一般的に、空調装置(空調ユニット)、送風機、排風機、非常用の再循環フィルタ装置(非常用循環フィルタユニット)、再循環送風機(非常用循環ファン)、ダンパ及びダクトで構成される。

中央制御室換気空調設備の再循環フィルタ装置(非常用循環フィルタユニット)内にはチャコールフィルタがあり、事故時に中央制御室エンベロープに取り込まれた放射性よう素を吸着し、運転員の被ばく線量を低減させる。中央制御室換気空調設備には、以下の運転モードがある。

(1) 通常運転モード

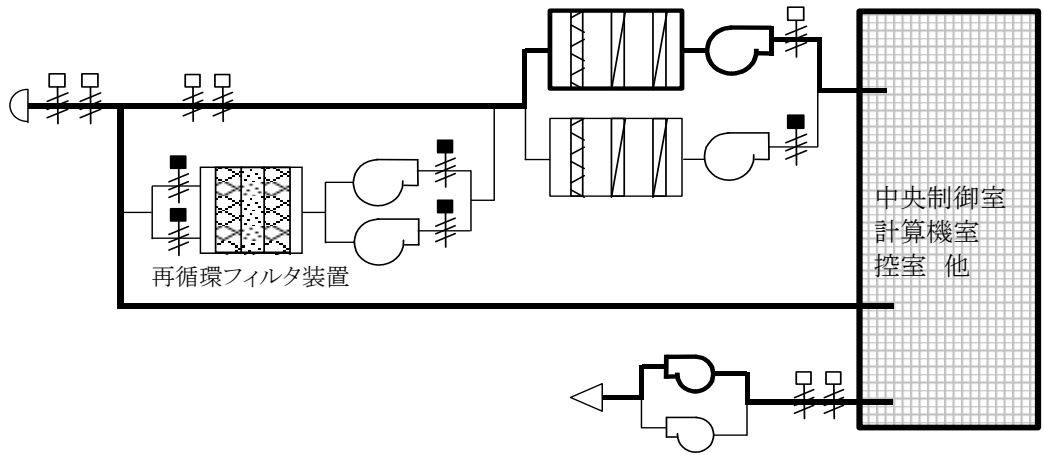
一部外気を取り入れながら、送風機にて中央制御室エンベロープの空気を再循環し、空調装置にて温湿度調整を行う運転モード(解説図 1.1.1a、1.1.2a)。

(2) 非常用再循環モード

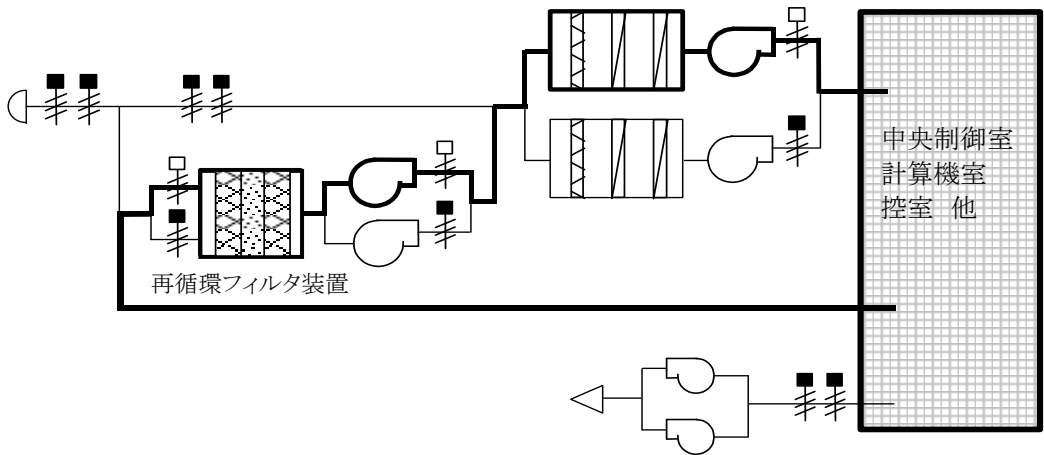
通常の外気取入ライン及び排気ラインを隔離すると同時に、中央制御室バウンダリ内の空気の全量を再循環させる運転モード。このとき、再循環空気の一部又は全量を非常用の再循環フィルタ装置にて放射性よう素を低減した後、空調装置に戻るよう運転する(解説図 1.1.1b、1.1.2b)。

(3) 事故時外気取入モード

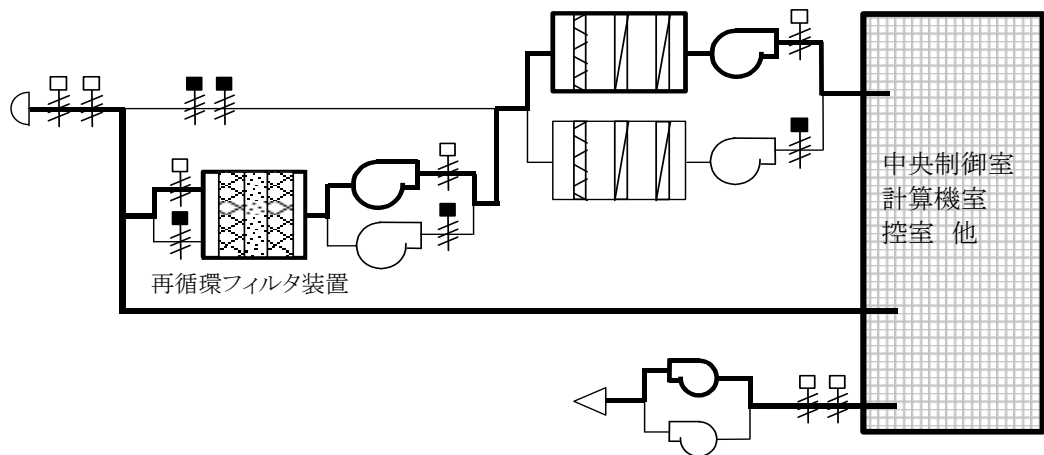
通常の外気取入ライン及び排気ラインを隔離した後、連続的に又は間欠的に外気を取り入れる運転モード(解説図 1.1.1c)。










解説図 1.1.1a 中央制御室換気空調設備概略系統図の例(BWR型原子炉施設)(通常運転モード)

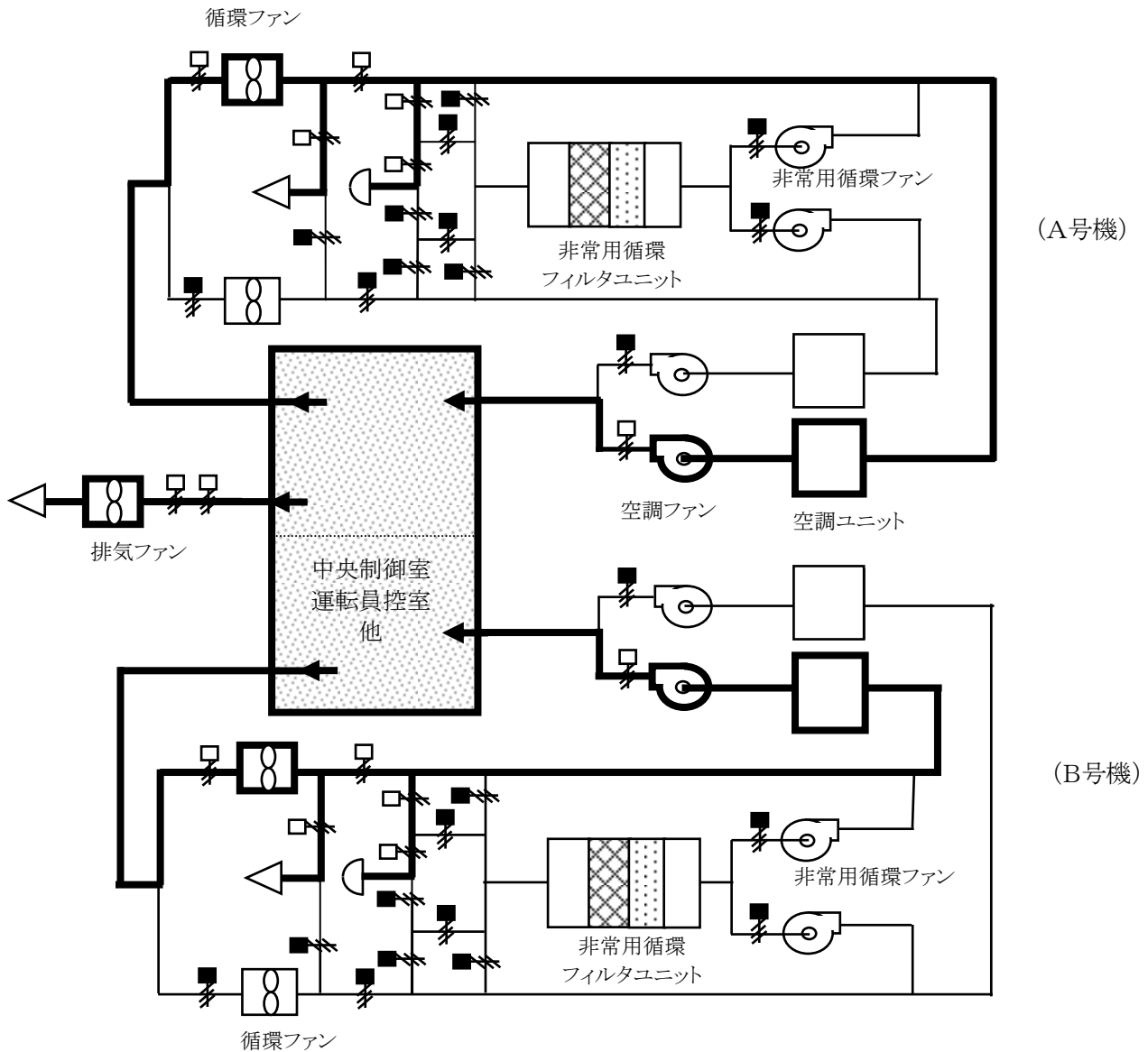


解説図 1.1.1b 中央制御室換気空調設備概略系統図の例(BWR型原子炉施設)(非常用再循環モード)

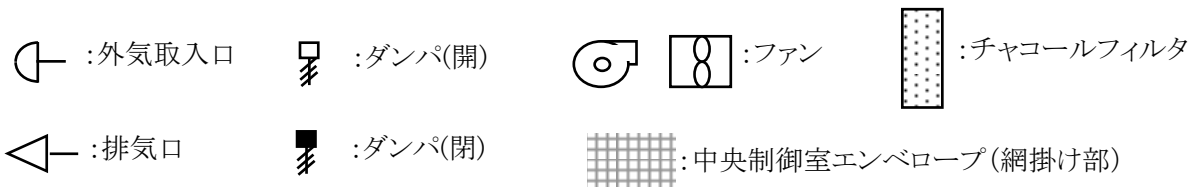


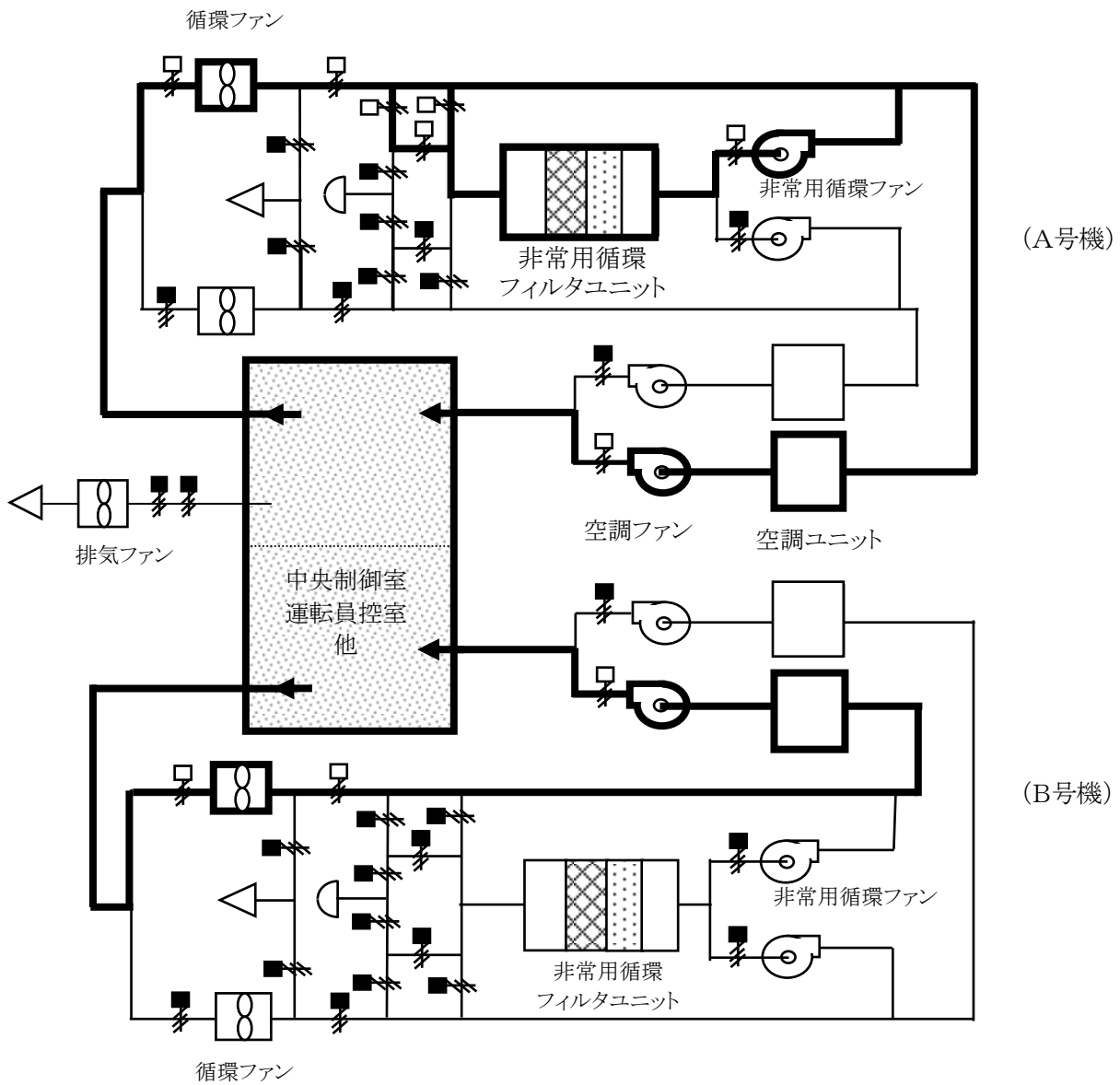
解説図 1.1.1c 中央制御室換気空調設備概略系統図の例(BWR型原子炉施設)(事故時外気取入モード)

- |   |  |   |  |
|---|--|---|--|
|  : 外気取入口 |  : ダンパ(開) |  : ファン               |  : チャコールフィルタ |
|  : 排気口   |  : ダンパ(閉) |  : 中央制御室エンベロープ(網掛け部) |  |



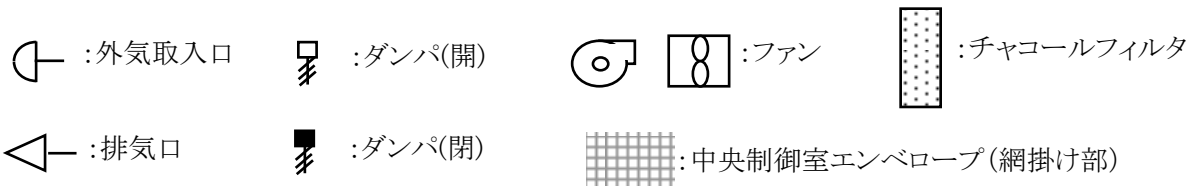
解説図 1.1.2a 中央制御室換気空調設備概略系統図の例(PWR型原子炉施設)(通常運転モード)





【A号機で事故が発生した場合】

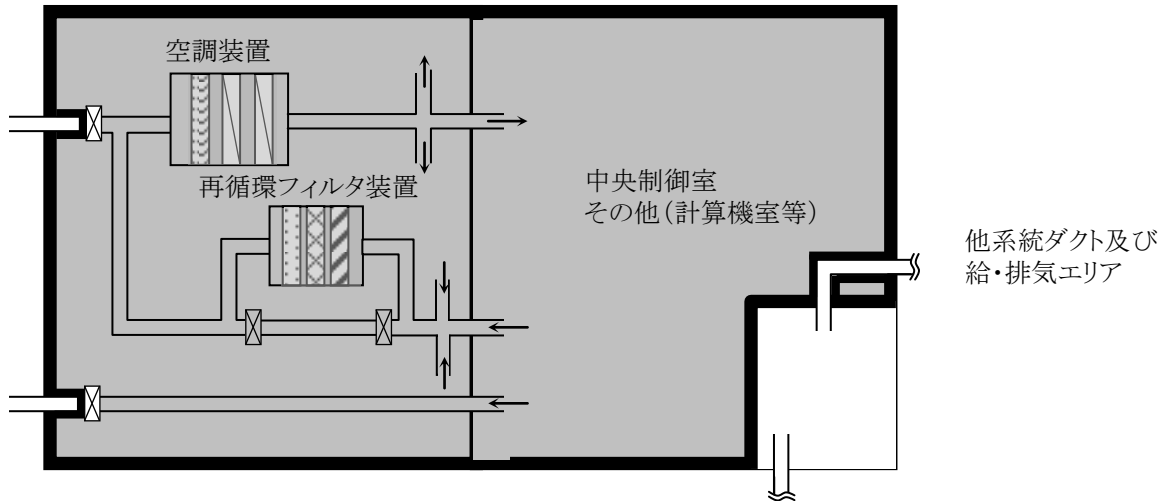
解説図 1.1.2b 中央制御室換気空調設備概略系統図の例(PWR型原子炉施設) (非常用再循環モード)



【解説 1.2】中央制御室バウンダリ

(1) 中央制御室エンベロープ内に中央制御室換気空調設備を設置している場合は、中央制御室エンベロープとそれ以外の空調設備により空調されている部屋又は屋外との境界部分がバウンダリとなる(下図太線部分)。

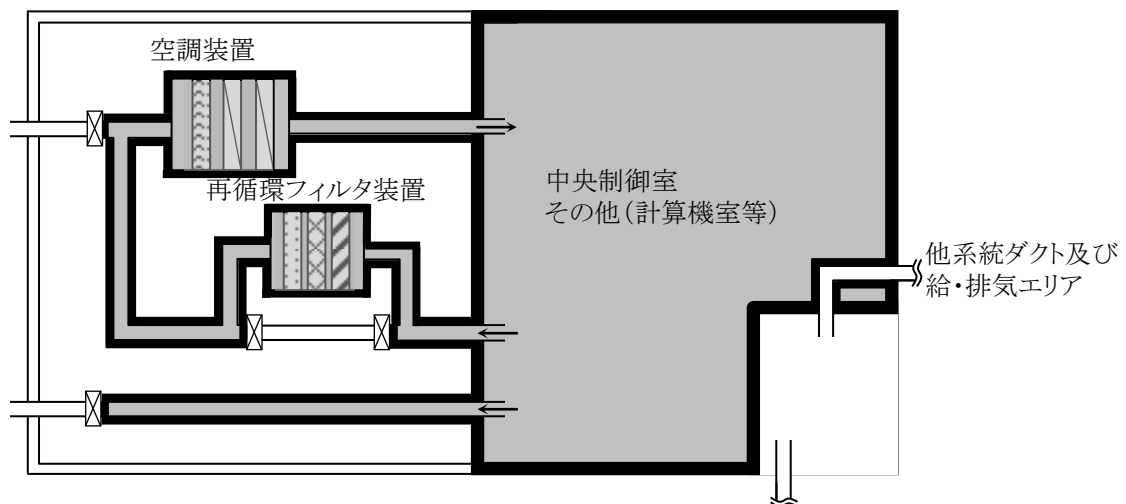
なお、他システムダクト(排煙ダクト、ケーブルダクト、配管系を含む)が中央制御室バウンダリを貫通している場合、そのダクトそのものが中央制御室バウンダリとなる。



解説図 1.2.1 中央制御室バウンダリ図(例 1)

(2) 中央制御室エンベロープ外に中央制御室換気空調設備を設置している場合は、中央制御室エンベロープ及び中央制御室換気空調設備と、中央制御室換気空調設備以外の空調設備により空調されている部屋又は屋外との境界部分がバウンダリとなる(下図太線部分)。

なお、他システムダクト(排煙ダクト、ケーブルダクト、配管系を含む)が中央制御室バウンダリを貫通している場合、そのダクトそのものが中央制御室バウンダリとなる。



解説図 1.2.2 中央制御室バウンダリ図(例 2)

### 【解説 1.3】空気流入率

事故時における運転員被ばく評価を行うに当たり、中央制御室バウンダリ内への空気流入率は重要な前提条件となる。このため、中央制御室バウンダリ内の平均換気率を測定し、その測定結果を空気流入率とする。

これは、中央制御室バウンダリ内への空気流入があれば、それに相当する量が中央制御室バウンダリ外へ出て行くと仮定し、換気率を測定すれば間接的に空気流入率がわかるという考え方である。

### 【解説 1.4】トレーサガス

濃度の変化を測定するため、中央制御室換気空調設備における空気の流れに影響を与えないほど少量を中央制御室バウンダリ内に放出し、平均の空気流入率を測定する。

米国材料試験協会規格 ASTM E741-00(2006)及び空気調和・衛生工学会規格 SHASE-S 116-2003 において挙げられているトレーサガスのうち、比較的人体に対する毒性の小さいものとしては、ヘリウム(He)、メタン(CH<sub>4</sub>)、エチレン(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)、エタン(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、六フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>)、パーフルオロカーボン(CF<sub>4</sub>(PFC-14)、C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>(PFC-116)等)、一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)があるが、人体及び機器への影響、検出性、取扱易さ等から適切なものを選定する必要がある。

これまで我が国で実施した中央制御室の空気流入率測定試験では、いずれも米国を含めた過去の試験実績をもとに、トレーサガスとして六フッ化硫黄を用いている。六フッ化硫黄以外のガスをトレーサガスとして使用する場合には、その安全性をあらかじめ実証する必要がある。

トレーサガスの使用に際しては、使用するガスの特性を考慮し、注入濃度や注入条件を決定する。例えば、六フッ化硫黄をトレーサガスとして使用する場合、中央制御室バウンダリ内を火気厳禁(500℃以上で有毒ガスを発生するため、直火はもちろん電気ヒータも使用厳禁とする)とし、室内及び隣接する部屋での塗装、PT(Penetrant Testing: 浸透探傷検査)を含む溶剤使用作業を禁止(溶剤がガスクロマトグラフによる測定に影響を与えるため)するといった注意が必要である。

また、六フッ化硫黄は温暖化係数が高いため、極力使用量は抑えるべきである。これまで実施した国内の試験実績では、初回サンプリング時の濃度が数十 ppb から 1ppm 程度となるよう中央制御室バウンダリ内の体積に応じて注入量を決定している。



## 【解説 2.1】試験目的

「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」第 24 条の 2(原子炉制御室等)の第 3 項において、「原子炉制御室及びこれに連絡する通路等には、一次冷却系統に係る施設の故障、損壊等が生じた場合に原子炉の運転の停止等の措置をとるため、従事者等が支障なく原子炉制御室に入り、かつ、一定期間とどまることができるように、遮へいその他の適切な放射線防護措置及び制御室外の火災等により発生した有毒ガスに対する換気設備の隔離その他の適切な防護措置を講じなければならない。」と性能要求されており、「遮へいその他の適切な放射線防護措置」等の観点から、中央制御室換気空調設備の新設、改造及び定期的に空気流入率を測定する必要がある。このため、空気流入率測定のための標準的な試験手順を規定する必要がある。

## 【解説 2.2】トレーサガス濃度の測定装置

トレーサガス濃度の測定装置は、トレーサガスの種類及び想定される濃度に適合していなければならない。一般的に、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)用として非分散型赤外線濃度計、炭化水素用として FID 式炭化水素濃度計、多くのガスに対応する光音響式濃度計が使われる。

トレーサガスとして六フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>)を用いる場合、測定装置としては、検出器として熱伝導度検出器(TCD)や電子捕獲検出器(ECD)を用いたガスクロマトグラフ(解説図 2.2.1)や、光音響式濃度計を用いたガスモニタ(解説図 2.2.2)がある。電子捕獲検出器を用いたガスクロマトグラフが最も測定検出限界の低いことが知られている。

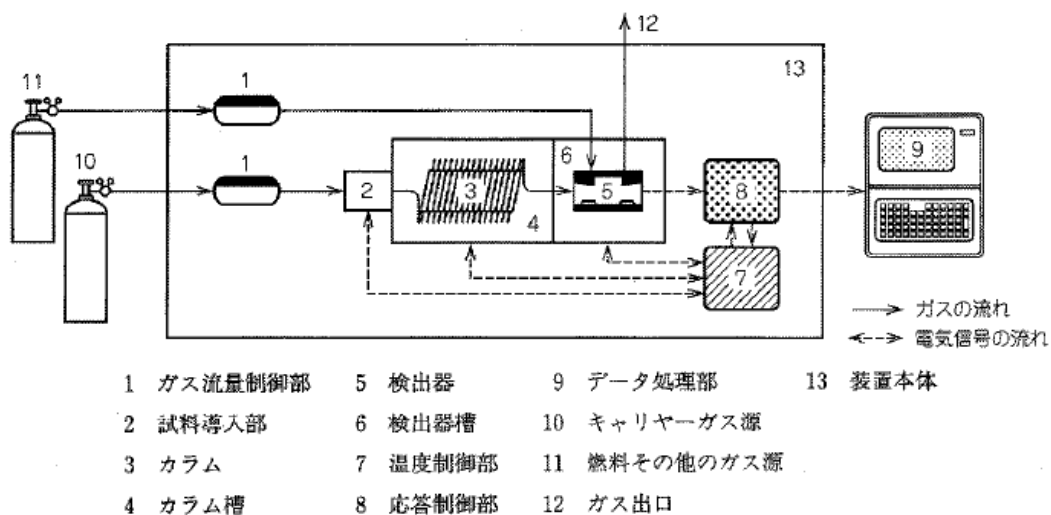
測定装置にガスクロマトグラフを使用する場合には、JIS K0055-2002「ガス分析装置校正方法通則」に従って測定器の校正を実施する。計量法に定める「標準物質」がない物質をトレーサガスとして用いる場合は、計量法に基づく標準物質製造事業により標準物質と同様の作成方法で作成された標準ガスを用いて校正を実施する。この標準ガスによりガスクロマトグラフのトレーサビリティを確保する。また、複数台のガスクロマトグラフを使用する場合には、標準ガスのボンベより直接シリンジでガスを採取する等標準ガスの採取方法を含めて校正方法を統一して実施する必要がある。

なお、ガスクロマトグラフ以外の測定器を使用する場合にはガスクロマトグラフの校正に準じて校正を行う。

(関連規格)

JIS K0055-2002「ガス分析装置校正方法通則」

JIS K0114-2000「ガスクロマトグラフ分析通則」

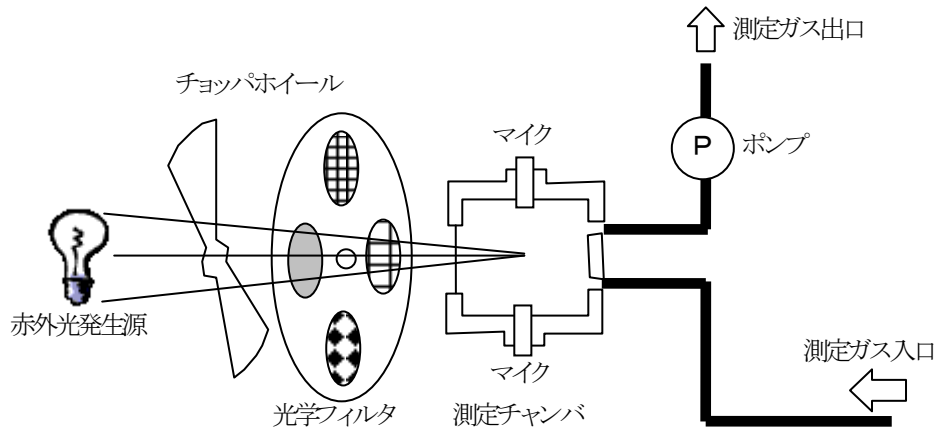


ガスクロマトグラフ (Gas Chromatograph) は、試料中の各成分の含有量を測定する分析装置で、通称“ガスクロ”と省略される。

図は装置の基本構成で、ガス流量制御部、試料導入部、カラム、カラム槽、検出器、データ処理部等からなる。キャリヤーガスにはヘリウム、窒素等が使われ、高压ガスボンベより減圧弁を介して装置に供給される。さらに、圧力、流量が調整され、一定流量で試料導入部、カラムと呼ばれる分離管へ送られる。試料は気体用サンプラー又は気体又は液体用シリンジを用いて導入される。キャリヤーガスとともにカラムに導入された試料は個々の成分に分離され、カラムから出てきた成分は検出器でその量が測定される。検出器からの信号はデータ処理部で処理される。

未知濃度の試料を測定する際には、既知濃度の標準試料を注入して、ピークの保持時間(出現時間)や面積を、標準試料のそれと比較して濃度計算を行う。

解説図 2.2.1 ガスクロマトグラフの原理図 (JIS K0114-2000 「ガスクロマトグラフ分析通則」より引用)



1. ポンプは測定チャンバ内の測定ガスを入れ替える。
2. 赤外光は、パルス光を機械的に作るチョップホイールを通り、そのあとフィルタホイールの光学フィルタの一つを通過する。
3. 光学フィルタを通過した赤外線は測定チャンバ内の測定ガスで吸収され、ガス温度が上昇する。ガス温度は、パルス光のため上昇下降する。このことは、密閉したセル内のガス圧(音響信号)の増減を生じる。
4. セルの壁に取り付けたマイクは、セル内のガス濃度に比例した圧力波を測定する。
5. 光学フィルタホイールが回転すると、赤外光が次のフィルタを通り、新しい信号を測定する。

解説図 2.2.2 ガスモニタの原理図

### 【解説 2.3】測定者の資格、技量

ガス分析に精通している者とは、環境計量士(濃度)の資格を有している者又は社内資格を含む技量認定(ガス分析業務に1年以上携わったことがある等)を受けた者のことをいう。

なお、環境計量士(濃度)とは、計量法第 122 条において、計量器の検査その他の計量管理を的確に行うために必要な知識経験を有する者として経済産業大臣が登録するものを計量士といい、このうち、ガスクロマトグラフ等大気中の物質の濃度測定に対する計量士を環境計量士(濃度)という。

### 【解説 2.4】隣接する部屋の換気空調設備

中央制御室バウンダリに隣接する部屋の換気空調設備は、事故時と同等の動作状態にする

のが望ましい。しかし、点検のため運転が困難な場合や、停止することによってプラントへ悪影響を及ぼすおそれがあり、停止が困難な換気空調設備もあるため、可能な限り事故時の状態を模擬するように努める。

### 【解説 2.5】試験方法

国内外の規格では、濃度減衰法以外に一定注入法及び一定濃度法がある。

一定注入法は、トレーサガスの時間あたりの注入量を一定として濃度変化がほぼなくなった時点(平衡状態)での濃度を求め、注入量と濃度の比から換気量を求める手法である。

一定濃度法は、測定対象の空間濃度を常時一定とするようにトレーサガスの供給量を制御し、供給量から換気量を求める手法である。

濃度減衰法以外の方法を採用する場合には、これまで、国内の原子力発電所での適用例がないため、その妥当性を試験に先立ちあらかじめ実証する必要がある。

### 【解説 2.6】濃度減衰法の原理

中央制御室バウンダリ内の体積を  $V$ 、中央制御室バウンダリ内の時刻  $t$  におけるトレーサガスの濃度を  $C(t)$ 、単位時間あたりに中央制御室バウンダリ内へ注入されるトレーサガスの量を  $S(t)$ 、単位時間あたりに中央制御室バウンダリ外へ出て行く空気量を  $f$  とすると、トレーサガスの質量バランスは、次式で表せる。

$$V \times dC(t) / dt = S(t) - f \times C(t)$$

濃度減衰法では、トレーサガスの注入終了後に濃度変化を測定するので、 $S(t)=0$  である。また、中央制御室内への空気流入率  $N$  は  $N=f/V$  であるから、 $t_0$  を最初のサンプリング時刻とすると、

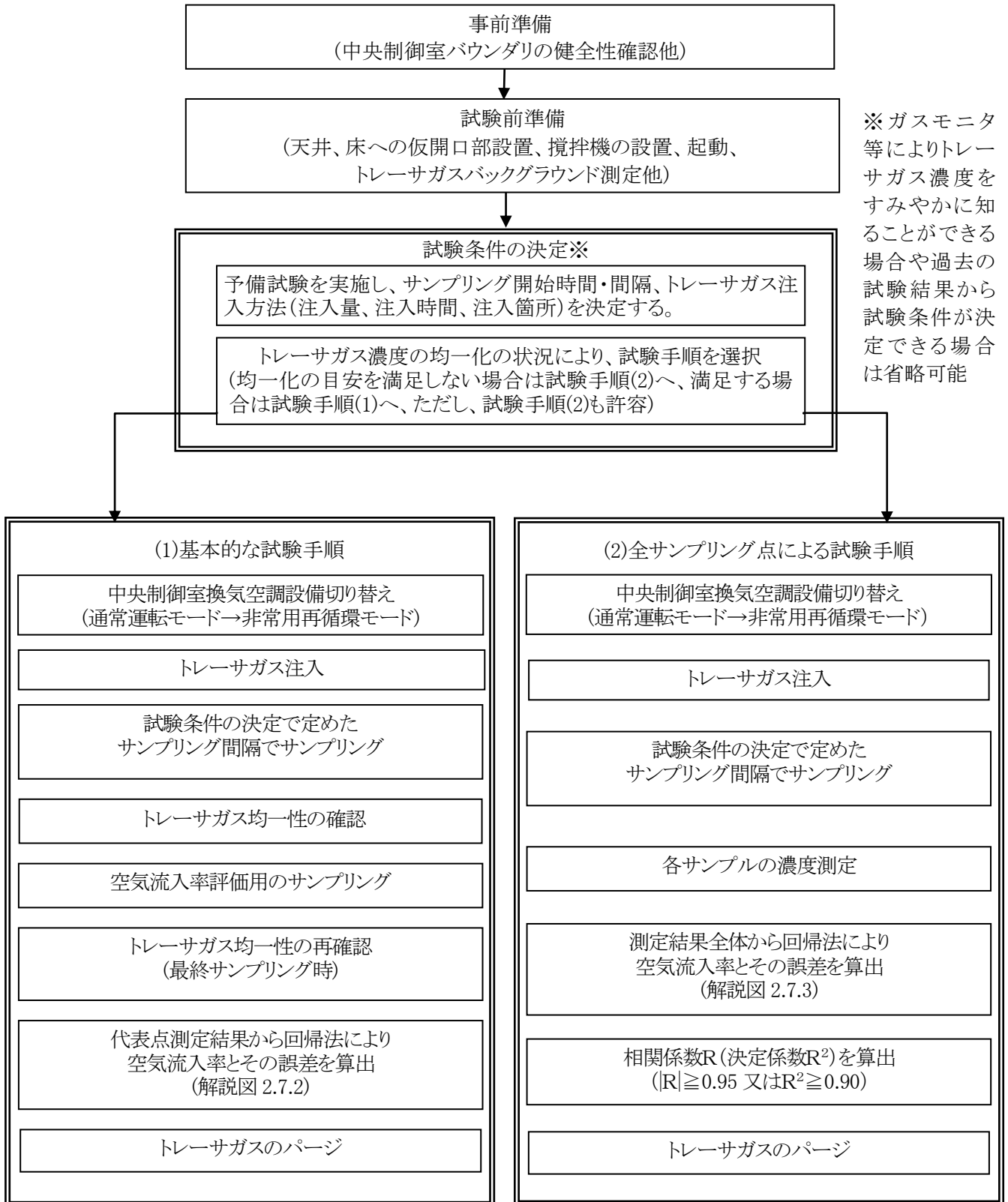
$$\ln C(t) = -N(t-t_0) + \ln C(t_0)$$

となり、トレーサガス濃度の対数をサンプリング時間に対してプロットし、その傾きとして空気流入率を得ることができる。

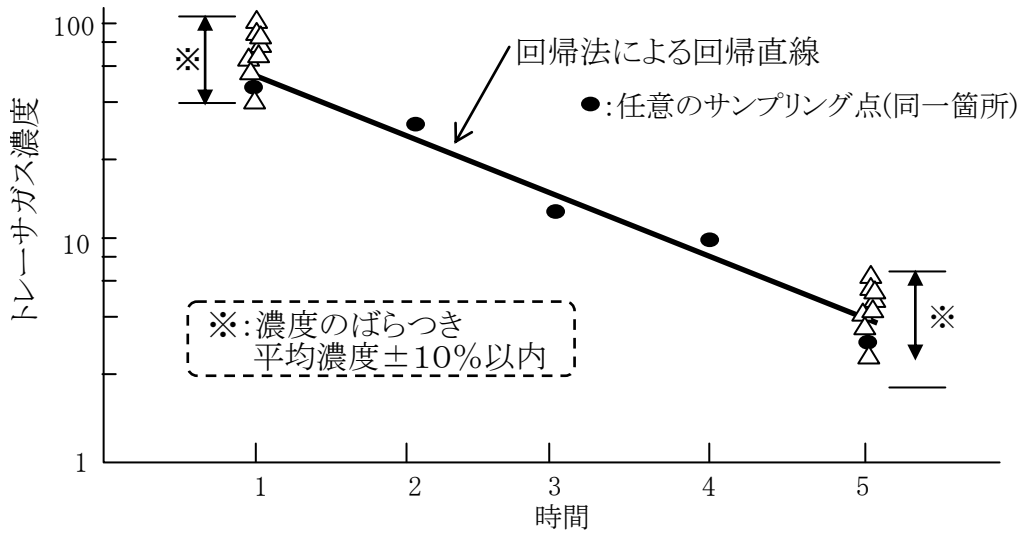
$$N = -(\ln C(t) - \ln C(t_0)) / (t - t_0)$$

【解説 2.7】中央制御室空気流入率測定試験手順のフロー

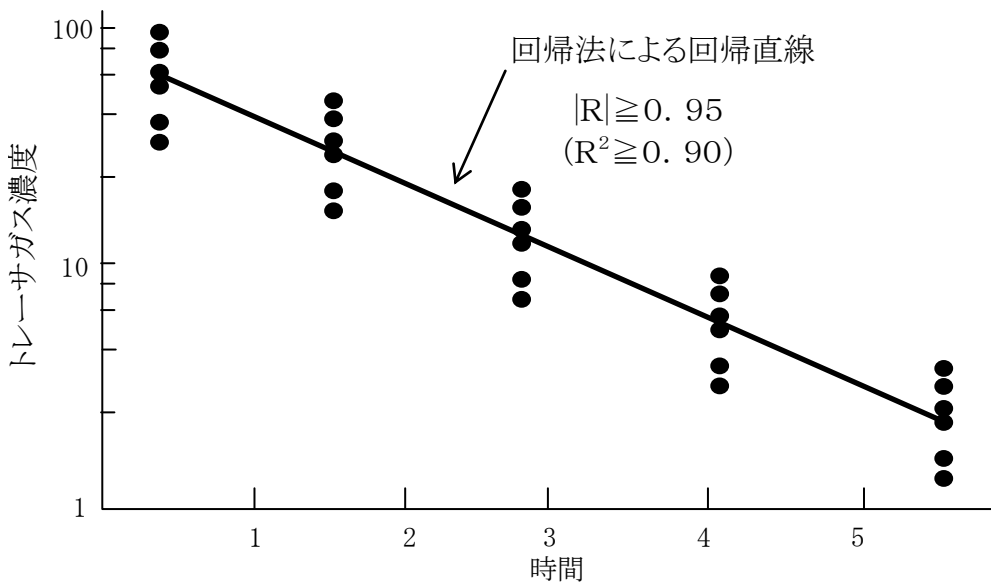
中央制御室空気流入率測定試験手順の標準的なフローを解説図 2.7.1 に示す。



解説図 2.7.1 中央制御室の空気流入率試験の手順



解説図 2.7.2 基本的な試験手順



解説図 2.7.3 全サンプリング点による試験手順

## 【解説 2.8】サンプリング点

サンプリング点は、対象とする部屋の大きさや形状、中央制御室換気空調設備による給・排気の流れ、トレーサガスと空気の密度の差を考慮し、中央制御室エンベロープにおけるトレーサガス濃度の混合状態を確認できるよう選定する。

具体的には、原則、対象とする部屋毎に重心及び重心から離れた2点を選定することとするが、小空間(例:トイレ等の換気している小部屋)であって、各サンプリング点の距離が近い、中央制御室換気空調設備や攪拌機によってトレーサガスが均一に混合していると判断できる部屋や、空気流入率の測定の実験と同様な状態において、トレーサガスが均一に混合されていることが確認されている部屋については、重心のみのサンプリングでも構わない。サンプリング点数の目安は、以下のとおりである。

トレーサガスと空気の密度の差が大きい場合、上下方向についても3点(天井付近、中間高さ、床付近)サンプリングを実施し、混合されていることの確認を行うこととするが、過去の試験結果や「2.6.3 試験条件の決定」により上下方向に濃度分布に差異がないことが明らかな場合は中間高さだけでも構わない。トレーサガスとして六フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>)を用いる場合、これまでの国内代表プラント試験結果からは上下方向の濃度分布のないことが確認されている。よって、空調設備や攪拌機による空気の循環があれば、上下方向濃度分布は生成されないため、ある部屋に対して対角線上に3点のサンプリング点を設定するだけでも十分と考えられる。

また、サンプリング点の選び方により、結果に影響を及ぼす可能性がある。米国材料試験協会規格 ASTM E741-00(2006)において「サンプリング開口部をゾーンのその他の部分と異なる空気移動、湿分又は温度の発生源の近くに設置することは避けること。」との記載があり、サンプリング点を他の部分とは異なる空気移動のあるところ、例えば、空気流入箇所付近を避けるといった工夫が必要である。

なお、中央制御室エンベロープである各部屋からの空気が集合するダクト内は、中央制御室バウンダリ内全体の傾向を把握するのに適したサンプリング点として位置づけられる可能性があることから、参考データとして蓄積していくことが望ましい。

## 【解説 2.9】トレーサガスの混合

トレーサガスとして六フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>)を用いる場合、当該ガスは空気よりも重いため、部屋の下部に滞留する可能性がある。トレーサガスが滞留しないように、必要に応じて、攪拌機を設置し混合を促進する。また、中央制御室バウンダリ内全体にトレーサガスが分布するように、必要に応じて、仮開口部の設置、中央制御室エンベロープ内のドア及び制御盤扉等を可能な範囲で開放する。

攪拌機としては、可搬式の扇風機又は送風機等を用い、通常の換気状態を乱さない程度に小さく、かつ攪拌に必要な最低限の個数とする。

## 【解説 2.10】試験員の時計、試験装置の時刻合わせ

空気調和・衛生工学会規格 SHASE-S 116-2003 の 4.5(6)a「タイミング装置」で以下のとおり、測定者の時計、データ収録用パソコンや時刻を持った測定装置の時刻を観測時間の1%以内に合わせることが規定されている。

「タイミング装置は、計測手順に関するガス注入、サンプリング、気象観測に対して共通の基準時間を提供する時計や装置。事象間の時間誤差は、タイミング装置で観測時間の1%以内に収めなければならない。」

### 【解説 2.11】トレーサガスのサンプリング開始のタイミング

ガスモニタ等によるトレーサガス濃度を連続監視することにより、各サンプリング点のトレーサガス濃度の減衰率が安定する時間又はトレーサガス濃度を推定し、サンプリングを開始することとしている。

これまでの国内の試験実績では、中央制御室バウンダリの構造・体積、中央制御室換気空調設備による循環量が異なる場合であっても、概ね、トレーサガス注入終了後、30分～1時間30分程度でトレーサガス濃度の減衰率が安定している。

### 【解説 2.12】トレーサガス濃度の均一化の目安

トレーサガス濃度のバラツキが大きい場合、空気流入率(濃度減衰率)を評価する際の評価誤差(信頼区間)が大きくなってしまふことから、精度良く空気流入率を評価するためには、バラツキを小さく抑える必要がある。具体的な方法としては、攪拌機の追設や設置位置の変更、各中央制御室エンベロープの体積や換気空調設備による循環量を考慮し、サンプリング開始時間を遅らせる、複数箇所からトレーサガスを注入する又は注入量を変えるといった方法がある。また、中央制御室バウンダリ内のトレーサガス濃度分布からリークしている可能性の高い部屋を特定し、気密対策を講じるといったことも方法の一つである。

均一化の目安は、米国材料試験協会規格 ASTM E741-00(2006)を参考に各サンプリング点の測定濃度が全サンプリング点の測定濃度の平均値に対し10%以下の相違であることとしている。

### 【解説 2.13】測定時間、サンプリング間隔、注入量の決定

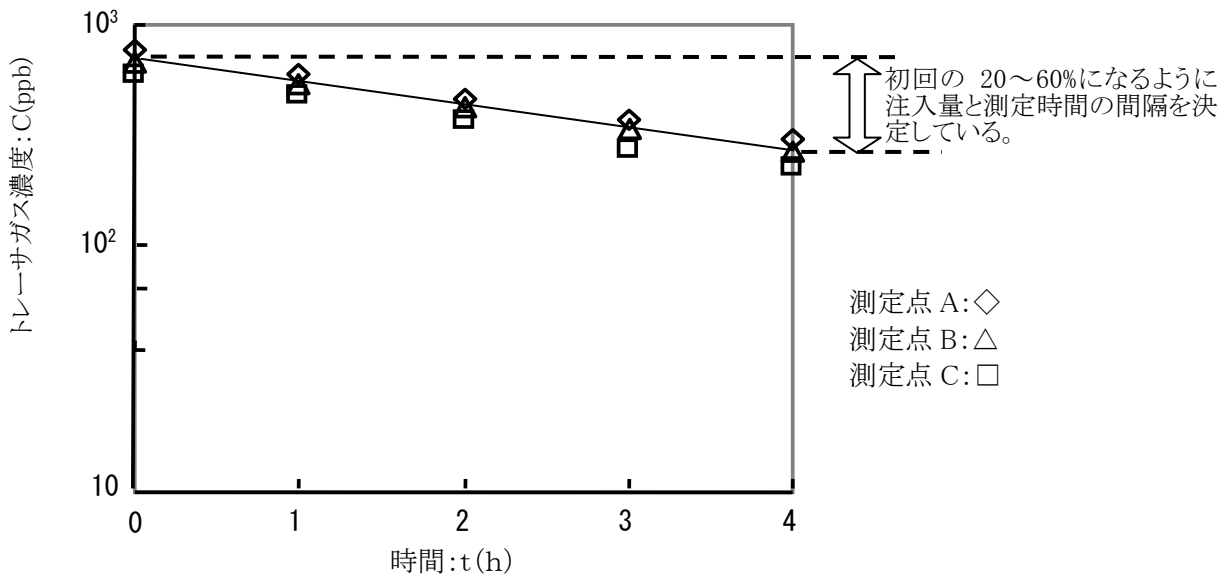
最終測定濃度が、初期濃度(試験開始濃度)に対し約20～60%となるように、測定時間及び測定間隔を決定することとし、サンプリングは、測定時間内で少なくとも5回、おおよそ均等に割り当てるようにしている。ただし、中央制御室バウンダリの気密性が高く、トレーサガス濃度減衰に時間を要する場合は、測定間隔上限を1時間とすることは妥当と考えられる。

また、六フッ化硫黄をトレーサガスとして使う場合、1000ppm以上となると酸素濃度が低下して酸素欠乏状態となること、トレーサガスの濃度減衰を考慮しても、試験中を通してトレーサガス濃度が測定装置の測定限界を下回らないことに留意して初期注入量を決定する必要がある。

トレーサガスの注入設備(SF<sub>6</sub>ボンベ等)は、中央制御室バウンダリ内が試験目標濃度となるように、ダクト及び必要に応じて中央制御室エンベロープにも直接注入する方法が考えられる。

これまで実施した国内の試験実績では、初回サンプリング時の濃度が数十ppbから1ppm程度となるよう中央制御室バウンダリ内の体積に応じて注入量を決定している(解説図 2.13.1)。





解説図 2.13.1 注入量の決定方法

【解説 2.14】全サンプリング点による試験手順の適用範囲・条件

全サンプリング点による試験手順については、以下の適用範囲・条件が満足される場合に適用できることとする。

・適用範囲

相関係数の絶対値 $|R|$ が0.95以上であること(決定係数 $R^2$ が0.90以上であること)。

$$\text{相関係数 } R = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})(T_i - \bar{T})}{\sqrt{\sum (Y_i - \bar{Y})^2 \sum (T_i - \bar{T})^2}}, \text{ 決定係数 } R^2 = \frac{(\sum (Y_i - \bar{Y})(T_i - \bar{T}))^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2 \sum (T_i - \bar{T})^2}$$

ここで、  
 $Y_i$  :  $\ln C_i$  の実測値  
 $\bar{Y}$  :  $\ln C_i$  の平均値  
 $C_i$  : トレーサガス濃度  
 $T_i$  : 各標本の測定時刻(時間)  
 $\bar{T}$  : 各標本の測定時刻(時間)の平均値

・適用条件

- ① 全サンプリング点による試験手順は、中央制御室エンベロープ内で、中央制御室の空気流入率が小さい(気密性がある)ことを前提としていることから、この手順を用いる場合、中央制御室の空気流入率が別区画に比べて小さいことを理論的又は実験に基づき説明できること。
- ② 測定濃度データのうち、試験環境条件(ファン設置向き等)が必ずしも十分でないことや出入口扉の開閉等により、ごく一部の測定濃度データに特異なものが含まれる可能性がある。

この場合、その特異性が説明できるものであれば、1 時点の全測定データ個数の10%を上限として、測定データを除外することができるものとする。

- ③ 空気流入率がどの程度大きいかわからないため、中央制御室以外の空気流入率が大きい区画に、事故時に運転員が立ち入らない等の管理的措置を各種マニュアル等に明記し、運転員に周知すること。

### 【解説 2.15】回帰直線の傾きとその誤差

基本的な試験手順及び全サンプリング点による試験手順において、回帰直線の傾きから空気流入率を求めるとともに、その誤差項を求めることとしており、これらの求め方は、米国材料試験協会規格 (ASTM E741-00(2006)) 及び空気調和・衛生工学会規格 (SHASE-S 116-2003) に記載の方法によっている。

#### (1)回帰直線の傾きと空気流入率

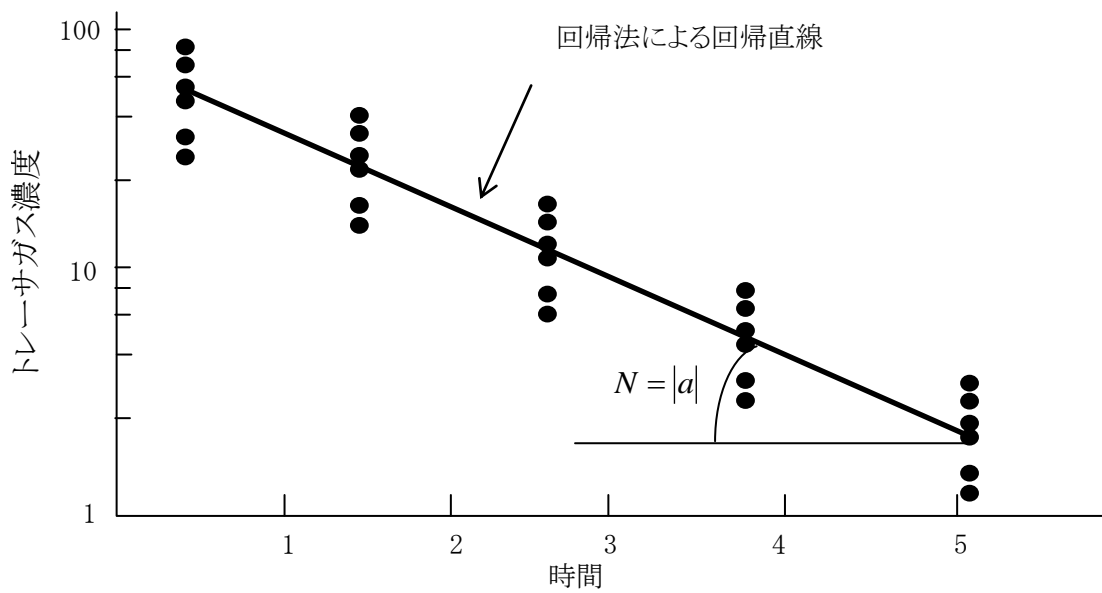
空気流入率測定試験により得られたデータを用い、回帰法により、回帰直線を求める。回帰直線を  $Y = aT + b$  とすれば、回帰直線の傾き  $a$  及び切片  $b$  は、

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})(T_i - \bar{T})}{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}, \quad b = \bar{Y} - a\bar{T}$$

となる。

したがって、空気流入率  $N$  は、回帰直線の傾きの絶対値、すなわち、 $N = |a|$  で与えられる(解説図 2.15.1 参照)。

ここで、	$Y_i$	: $\ln C_i$ の実測値
	$\bar{Y}$	: $\ln C_i$ の平均値
	$C_i$	: トレーサガス濃度
	$T_i$	: 各標本の測定時刻(時間)
	$\bar{T}$	: 各標本の測定時刻(時間)の平均値
	$n$	: 全測定データ個数



解説図 2.15.1 回帰直線の傾きとしての空気流入率の説明図

## (2)回帰直線の傾きの誤差項と空気流入率

(1)で求めた回帰直線に基づいて、回帰直線の傾きの誤差項、すなわち、空気流入率の誤差項を求める。

回帰直線の傾き  $a$  は、トレーサガス濃度のデータ等と同じように、サンプリング点の取り方等によりその値が異なってくる統計量であるため、分布を持っている。その分布は、平均  $\bar{a}$ 、標準

偏差  $\sqrt{\sigma^2 / \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}$  の正規分布となることが知られている。したがって、

$\frac{a - \bar{a}}{\sqrt{\sigma^2 / \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}}$  は、平均0、標準偏差1の正規分布に従う。

ここで、残差平方和を自由度  $n-2$  で割った  $s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-2}$  により分散  $\sigma^2$  を置き換えた

$\frac{a - \bar{a}}{\sqrt{s^2 / \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}}$  は、自由度  $n-2$  の  $t$  分布に従う。ただし、 $\hat{Y}_i$  は、 $Y_i$  の予測値で、 $aT_i + b$  により得られる。

このことから、 $100(1-\alpha)\%$  を信頼率、 $\phi_\alpha$  を自由度  $n-2$  とすれば、 $\frac{a - \bar{a}}{\sqrt{s^2 / \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}}$  が

$\pm t(\phi_\alpha, \alpha)$  の範囲内にある確率は、以下により表される。

$$\Pr \left\{ -t(\phi_e, \alpha) \leq \frac{a - \bar{a}}{\sqrt{s^2 / \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}} \leq t(\phi_e, \alpha) \right\} = 1 - \alpha$$

この確率の括弧内を変形すると、

$$\Pr \left\{ \bar{a} - t(\phi_e, \alpha) \sqrt{s^2 / \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2} \leq a \leq \bar{a} + t(\phi_e, \alpha) \sqrt{s^2 / \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2} \right\} = 1 - \alpha$$

となる。すなわち、 $a$  が  $\bar{a} - t(\phi_e, \alpha) \sqrt{s^2 / \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}$  と  $\bar{a} + t(\phi_e, \alpha) \sqrt{s^2 / \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}$  の範囲内にあ  
る確率は、 $1 - \alpha$  となり、回帰直線の傾き  $a$  の誤差項は、 $t(\phi_e, \alpha) \sqrt{s^2 / \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}$  により得ること  
ができる。

なお、信頼率  $100(1 - \alpha)\%$  については、統計学で一般的に使われている  $95\%$  とする。すなわ  
ち、 $\alpha = 0.05$  とする。

また、試験で得られた空気流入率  $N$  に誤差項を加えたものを  $N'$  とすると、理論的には、 $N'$  を  
運転員の事故時被ばく評価等の入力条件としての空気流入率にすることができるが、試験条  
件の違いによる試験結果への影響等が考えられるため、 $N'$  にさらに余裕を加えたものを使用  
することが望ましい。

#### 【解説 2.16】試験時の参考記録

試験記録には、試験結果が従来実施したものと異なった場合の原因として考えられる環境  
条件[室温、湿度、気象関連データ(外気温、気圧、風向、風速(中央制御室付近の 10 分平均  
値等))及び測定時刻]についても記録しておくことが望ましい。