

実測された放射性物質濃度による被ばく線量の評価

1. 現状の空気中の放射性物質濃度に相当する放出率

ガウス拡散モデル（下記解説 1 参照）により予め作成された濃度の分布グラフ（単位放射能当たりで大気安定度毎に作成）により、評価地点での、濃度を読み取り、現状の敷地周辺での測定値と比較した。

（分布グラフの条件）

気 象： 風向 風下 1 方位、風速 1.0m/sec、大気安定度 D

放出率： 1Bq/sec

放出点： 地上高

濃度の分布グラフ（図 地表面空気中放射能濃度分布 参照）より、1km 地点、大気安定度 D における濃度は約 $7E-5\text{Bq}/\text{m}^3$ と読み取れ、これより放出率 1 Bq/sec あたり約 $7E-11\text{Bq}/\text{cm}^3$ となる。

現状の西門付近（原子炉建屋より西側 1km）における空気中の放射性物質濃度の測定値が、保守的に全て発電所由来とすると、Cs-137 の実測値である $1E-5\text{Bq}/\text{cm}^3$ となる放出率（1,2,3号機原子炉建屋合計）は、上記の 1 Bq/sec あたりの濃度より、以下の計算により $1.4E+5\text{Bq}/\text{sec}$ となる。

$$1E-5(\text{Bq}/\text{cm}^3) \div 7E-11(\text{Bq}/\text{cm}^3 \cdot (\text{Bq}/\text{sec})) = 1.4E+5(\text{Bq}/\text{sec})$$

<解説 1 >

ガウス拡散モデル

（基本式）

ガウスの拡散計算式は、大気条件が一定かつ地形が平坦であるという条件のもとで、物質が定常的に放出された場合の定常状態の濃度分布を表すもので、原子力発電所の安全審査でも用いられている基本拡散式であり、以下の通りである（注 1 参照）。なお、この式は、地表面で放出物が完全に反射すると仮定している。

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

χ : 点 (x, y, z) における濃度 (Bq/m^3)

Q : 放出率 (Bq/sec)

U : 風速 (m/sec)

σ_y : y 方向の濃度分布の拡がりのパラメータ (m)

σ_z : z 方向の濃度分布の拡がりのパラメータ (m)

H : 放出高さ (m)

(分布グラフを作成するための計算条件)

$$Q = 1 \text{ Bq/sec}$$

$$U = 1 \text{ m/sec}$$

$$\sigma_{y,0} = (1/3.0) \times \text{原子炉建屋長さ (80m)}$$

$$\sigma_{z,0} = (1/2.15) \times \text{原子炉建屋高さ (60m)}$$

$$H = 0 \text{ m}$$

大気安定度 D

2. 現状の放射性物質濃度から推定した放出率による被ばく線量の評価

上記で求めた放出率が、事故直後に放出された放射性物質が存在せず（バックグラウンド放射能がなく）、再浮遊もない状態での放出率であると仮定して、南側敷地境界（安全審査における被ばく線量評価で最大値となる地点）における線量を求めた（下記解説2参照）。

(算出条件)

気象： 風向、風速、大気安定度 年間平均（1979/4～1980/3 観測高 10m）

放出率： 1 Bq/sec（実効エネルギー 1MeV）

放出点： 地表面

評価地点： 1, 2, 3号原子炉建屋より 1.35km～1.13km（南側敷地境界）

上記条件により指針の計算方法に基づき算出した単位放出あたりの年間被ばく線量、年間平均濃度から、次の経路による被ばく線量を算出し、年間の被ばく線量の合計を求めた。

(別紙 被ばく線量の評価 参照)

- (1) 放射能雲による外部全身被ばく線量（実効線量）
- (2) 地表面に沈着した放射性物質による外部全身被ばく線量（実効線量）
- (3) 吸入摂取による内部被ばく線量（預託実効線量）

Cs-134、Cs-137 合計の放出率を上記 1. の 2 倍の $2.8E+5 \text{ Bq/sec}$ ($1.0E+9 \text{ Bq/hr}$) とすると、安全審査における年間の平均気象の条件による被ばく線量は、 $1.7E+0 \text{ mSv/年}$ となる。

また、北、北西、西、南西、南の各方位で原子炉より 5km、10km、15km、20km、30km 離れた地点における年間被ばく線量を算出した。（別紙 被ばく線量の評価 参照）

<解説 2>

単位放出あたりの年間被ばく線量、年間平均濃度の算出

(1) 地表空気中濃度の計算（注1参照）

放射性物質の空気中濃度は、風向、風速、その他の気象条件が全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された拡散式を基礎として計算する。

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。

線量計算に用いる地表空気中濃度 ($z = 0$) は次式で計算する。

$$\chi(x, y, 0) = \frac{Q}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

$\chi(x, y, 0)$: 点 $(x, y, 0)$ における放射性物質の濃度 (Bq/m³)

Q : 放出率 (Bq/sec)

U : 風速 (m/sec)

σ_y : y 方向の濃度分布の拡がりのパラメータ (m)

σ_z : z 方向の濃度分布の拡がりのパラメータ (m)

H : 放出高さ (m)

(2) 年間平均濃度の計算 (注 1 参照)

- a. 着目地点を含む方位に向かう場合及びその隣接方位に向かう場合の寄与を合算する。
- b. 風向別大気安定度別風速逆数の総和を用いる。
- c. 風向が 1 方位内で一様に変動するとして濃度の平均化を行う。

(3) 年間被ばく線量の計算 (注 2 参照)

実効線量の計算を次により行う。

- a. 計算地点における空気カーマ率の計算

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

D : 計算値 $(x, y, 0)$ における空気カーマ率 (uGy/h)

空気カーマ率 : 非荷電粒子 (光子、中性子等) と空気との相互作用で放出された荷電粒子の運動エネルギーの和を空気の質量で割った値 (吸収線量にほぼ等しい)

K_1 : 空気カーマ率への換算係数 (dis · m³ · μGy) / (MeV · Bq · h)

E : ガンマ線の実効エネルギー (MeV/dis)

μ_{en} : 空気に対するガンマ線の線エネルギー吸収係数 (m⁻¹)

μ : 空気に対するガンマ線の線減衰係数 (m⁻¹)

r : 放射性雲中の点 (x', y', z') から計算地点 $(x, y, 0)$ までの距離 (m)

B(μr) : 空気に対するガンマ線の再生係数

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

b. 計算地点における実効線量の計算

計算地点における年間の実効線量は、計算地点を含む方位及びその隣接方位に向かう放射性雲のガンマ線からの空気カーマを、大気安定度別風向分布及び風速分布を考慮して年間について積算して求める。

$$H_r = K_2 \cdot f_h \cdot f_0 (\overline{DL} + \overline{DL}_{-1} + \overline{DL}_{+1})$$

H_r : 計算地点における実効線量 ($\mu\text{Sv/y}$)

K_2 : 空気カーマから実効線量への換算係数 ($\mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}$)

f_h : 家屋の遮蔽係数 (=1)

f_0 : 住居係数 (=1)

\overline{DL} 、 \overline{DL}_{-1} 、 \overline{DL}_{+1} : 計算地点を含む方位(L)及びその隣接方位に向かう放射性雲による年間平均のガンマ線による空気カーマ ($\mu\text{Gy/y}$)

注1 : 「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」原子力安全委員会

注2 : 「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」原子力安全委員会

以 上

CONCENTRATION (Bq/m³)

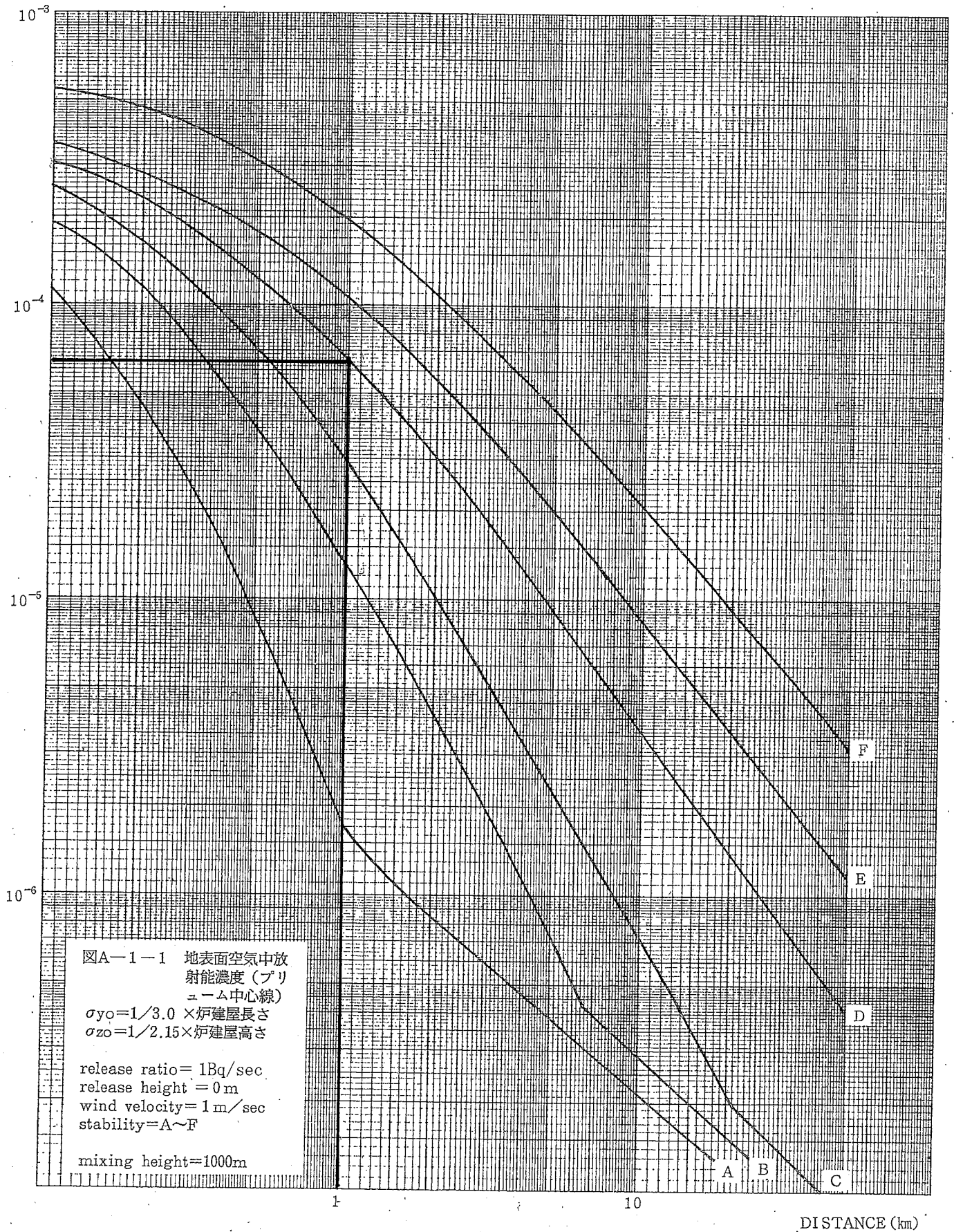


図 地表面空气中放射能濃度分布

被ばく線量の評価

安全審査における年間平均気象を用い、審査指針に準じて、地上放出による1年間の公衆の被ばく線量(暫定値)を以下により算出した。

1. 単位放出当たりの年間被ばく線量、年間平均濃度の算出

下記条件で単位放出率あたりの線量、濃度を算出

	年間被ばく線量(μSv/y)	年間平均濃度(Bq/cm ³)
1号機	5.2E-7	8.8E-13
2号機	5.8E-7	1.0E-12
3号機	6.7E-7	1.2E-12

算出条件

気象： 風向、風速、大気安定度 年間平均(1979/4~1980/3 観測高 10m)

放出率： 1 Bq/sec(実効エネルギー 1MeV)

放出点： 地表面

評価地点： 1,2,3 原子炉建屋より 1.35km~1.13km(南側敷地境界)

2. 年間被ばく線量(暫定値)の算出

(1)放射能雲による外部全身被ばく線量(実効線量)

算出方法

放出率×年間被ばく線量(単位放出率あたり)

(2)地表面に沈着した放射性物質による外部全身被ばく線量(実効線量)

算出方法

放出率×年間平均濃度(単位放出率あたり)×沈降速度×365day×残存割合×換算係数×365day

沈降速度*1: 1 cm/sec

残存割合*1: 0.5

換算係数*2: Cs-134 1.5E-15 (Sv/sec)/(Bq/m²)

Cs-137 5.8E-16

(出典)
*1: 発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について
*2: Federal Guidance Report No.12 (EPA-402-R-93-081)

(3)吸入摂取による内部被ばく線量(預託実効線量)

算出方法

放出率×年間平均濃度(単位放出率あたり)×呼吸率×365day×実効線量係数(吸入摂取)

呼吸率*3: 2.22E+7 cm³/day(成人)

実効線量係数*4: Cs-134 2.0E-5 mSv/Bq

Cs-137 3.9E-5

(出典)
*3: 緊急時環境放射線モニタリング指針(ICRP Publication 71)
*4: 環境放射線モニタリングに関する指針(ICRP Publication 72)

(4)放出率(暫定値)

単位:Bq/sec

	Cs-134	Cs-137	計
1号機	7.0E+2	7.0E+2	1.4E+3
2号機	7.0E+4	7.0E+4	1.4E+5
3号機	7.0E+4	7.0E+4	1.4E+5
計	1.4E+5	1.4E+5	2.8E+5

3. 号機毎の算出結果

3-1. 安全審査の評価地点(南側敷地境界)における線量

(1)放射能雲による外部全身被ばく線量(実効線量) 単位:mSv/y

	Cs-134	Cs-137	計
1号機	3.7E-7	3.7E-7	7.4E-7
2号機	4.1E-5	4.1E-5	8.2E-5
3号機	4.7E-5	4.7E-5	9.4E-5
計	8.9E-5	8.9E-5	1.8E-4

(2)地表面に沈着した放射性物質による外部全身被ばく線量(実効線量) 単位:mSv/y

	Cs-134	Cs-137	計
1号機	4.6E-3	1.8E-3	6.4E-3
2号機	5.2E-1	2.0E-1	7.3E-1
3号機	6.2E-1	2.4E-1	8.6E-1
計	1.1E+0	4.5E-1	1.6E+0

(3)吸入摂取による内部被ばく線量(預託実効線量) 単位:mSv/y

	Cs-134	Cs-137	計
1号機	1.0E-4	1.9E-4	2.9E-4
2号機	1.1E-2	2.2E-2	3.4E-2
3号機	1.4E-2	2.6E-2	4.0E-2
計	2.5E-2	4.9E-2	7.4E-2

(4)合計線量(実効線量) 単位:mSv/y

	Cs-134	Cs-137	計
1号機	4.7E-3	2.0E-3	6.7E-3
2号機	5.4E-1	2.2E-1	7.6E-1
3号機	6.4E-1	2.7E-1	9.0E-1
計	1.2E+0	4.9E-1	1.7E+0

3-2. 各地点における被ばく線量

各方位で、5km~30kmの各地点における年間被ばく線量を算出した。

単位:mSv/y

	敷地境界*2	5km	10km	15km	20km*3	30km*3
北	-(約1.9km)	2.6E-1	9.1E-2	5.1E-2	3.2E-2	1.8E-2
北西	-(約0.9km)	5.2E-2	1.8E-2	1.0E-2	6.5E-3	3.6E-3
西	-(約1.2km)	3.5E-2	1.7E-2	9.8E-3	6.2E-3	3.4E-3
南西	-(約1.0km)	3.8E-2	1.3E-2	7.3E-3	4.6E-3	2.6E-3
南*1	1.7E+0(約1.3km)	1.6E-1	5.4E-2	3.0E-2	1.9E-2	1.1E-2

*1: 安全審査における敷地境界の最大値地点の方位

*2: ()内は原子炉からの距離

*3: 20km、30kmについては、敷地境界、5km~15kmの結果より外挿して求めた。