資 料

放射性プルームからの γ 線照射線量率計算コード
「GAMMA-CLOUD」について杉本 脩^{*1}, 澤口祐介^{*2}, 金子正人^{*3}

(1978 年 10 月 17 日受理)

GAMMA-CLOUD—A Computer Code for Calculating Gamma-Exposure
due to a Radioactive Cloud Released from a Point SourceOsamu SUGIMOTO^{*1}, Yusuke SAWAGUCHI^{*2} and Masahito KANEKO^{*3}

A computer code, designated GAMMA-CLOUD, has been developed by specialists of electric power companies to meet requests from the companies to have a unified means of calculating annual external doses from routine releases of radioactive gaseous effluents from nuclear power plants, based on the Japan Atomic Energy Commission's guides for environmental dose evaluation.

GAMMA-CLOUD is written in FORTRAN language and its required capacity is less than 100 kilobytes.

The average γ -exposure at an observation point can be calculated within a few minutes with comparable precision to other existing codes.

KEY WORDS: GAMMA-CLOUD, computer code, Gamma-exposure, radioactive cloud, point source, electric power company, Japan Atomic Energy Commission, nuclear power plant, gaseous effluent, guide

I 序

原子力発電所から放出される放射性希ガスからのガンマ線による全身被曝線量の計算については、わが国では STDOSE^{1,2)}, ANGLO-CLOUD³⁾ などのコードが開発

されており、実用に供されてきた。

昭和 50 年 5 月に原子力委員会は、“As Low As Practicable” の考え方に基づき、原子力発電所の通常運転時の周辺における被曝線量の目標値を設定するとともに、各発電所ごとに放出管理目標値を定めこれを越えた場合には、被曝評価を行なうことを要求した「ALAP 指針⁴⁾」を発表した。その後同委員会は、被曝評価手法の統一をはかるため「評価指針⁵⁾」および「気象指針⁶⁾」を発表した。

これによって、原子力発電所設置者は、これらの指針で定められた手法に沿って随時被曝評価を行なうことが必要となるが、指針に要求された被曝計算を各設置者が別々のコードで行なうことは無用の混乱を招く原因となるので、統一したコードの使用が望まれる状況となった。このため、九電力会社および日本原子力発電㈱のこの分野での専門家が共同で、主として指針との整合性に着眼

^{*1} 中国電力株式会社原子力部; 広島市小町 4-33 (〒730)
Division of Atomic Power, Chugoku Electric Power Co., Ltd.; 4-33, Komachi, Hiroshima.

^{*2} 東京電力株式会社福島第一原子力発電所; 福島県双葉郡大熊町 (〒979-13)
Tokyo Electric Power Co., Inc., Fukushima Daiichi Nuclear Power Station; Okuma-machi, Futaba-gun, Fukushima-ken.

^{*3} 東京電力株式会社原子力保健安全センター; 東京都千代田区内幸町 1-1-3 (〒100)
Radiological Health and Safety Centre, Tokyo Electric Power Co., Inc.; 1-1-3, Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku, Tokyo.

した計算コードを開発した。以下にこのコードの概要を示す。

II 全身被曝線量の計算

指針に示された全身被曝線量の計算は次のとおりである。

1. 基本計算式

「評価指針」に示されている基本計算式によると、計算地点 $(x, y, 0)$ における照射線量率は、次式により計算できる。

$$D = K_1 \cdot E \cdot \mu_a \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_0^\infty \frac{e^{-\mu r}}{4\pi r^2} B(\mu r) \times \chi(x', y', z') dx' dy' dz' \quad (1)$$

ここで、

D : 計算地点 $(x, y, 0)$ における照射線量率 (mR/hr)

K_1 : 照射線量率への換算係数 (dis $\cdot$ m³ $\cdot$ mR/MeV $\cdot$ Ci $\cdot$ hr)

E : ガンマ線の実効エネルギー (MeV/dis)

μ_a : 空気に対するガンマ線の真吸収係数 (m⁻¹)

μ : 空気に対するガンマ線の全吸収係数 (m⁻¹)

r : 放射性ブルーム中の点 (x', y', z') から計算地点 $(x, y, 0)$ までの距離 (m)

$B(\mu r)$: 空気に対するガンマ線の再生係数

なお、 $B(\mu r)$ は次式から求める。

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

$\chi(x', y', z')$: 放射性ブルーム中の点 (x', y', z') における濃度 (Ci/m³)

なお、 $\chi(x', y', z')$ は「気象指針」により次式から求める。

$$\chi(x', y', z') = Q / (2\pi\sigma_y\sigma_z U) \cdot \exp(-y'^2 / 2\sigma_y^2) \cdot [\exp\{-(z'-H)^2 / 2\sigma_z^2\} + \exp\{-(z'+H)^2 / 2\sigma_z^2\}] \quad (3)$$

ここで、

Q : 放出率 (Ci/s)

U : 放出源高さを代表する風速 (m/s)

σ_y : 濃度分布の y 方向の拡がりのパラメータ (m)

$$\sigma_y = 0.67775\theta_{0.1} \cdot (5 - \log_{10} x) \cdot x \quad (4)$$

(x の単位は km)

σ_z : 濃度分布の z 方向の拡がりのパラメータ (m)

$$\sigma_z = \sigma_1 x^{a_1} + a_2 \log_{10} x + a_3 (\log_{10} x)^2 \quad (5)$$

(x の単位は km)

なお、実用上 1,000m をこえる σ_z については 1,000 m として扱う。

H : 放出源の有効高さ (m)

2. 計算地点における年間全身被曝線量の算出

「評価指針」によれば、計算地点における年間の全身被曝線量は、計算地点を含む方位 (22.5° セクタ) および、隣接方位に向う放射性ブルームからの照射線量の年間積算値を合算して、次式で計算できる。

$$\bar{D} = K_2 \cdot f_h \cdot f_0 (\bar{D}_m + \bar{D}_n + \bar{D}_{n'}) \quad (6)$$

$\bar{D}$: 計算地点における全身被曝線量 (mrem/y)

K_2 : 照射線量から全身被曝線量への換算係数 (mrem/mR)

f_h : 家屋のしゃへい係数

f_0 : 居住係数

$\bar{D}_m, \bar{D}_n, \bar{D}_{n'}$: 計算地点を含む方位 (m) およびその隣接方位 (n および n') に向う放射性ブルームによる年間の平均ガンマ線照射線量であり、これらは (1) 式から得られる照射線量率 D を放出モード、大気安定度別風向分布および風速分布を考慮して年間について積算して求める。

III GAMMA-CLOUD コード

本コードでは、基本的な計算として (1) 式において、 $Q=1$ Ci/s および $U=1$ m/s とし、計算地点を方位の軸上にとり、この方位内 (主方位) を風下軸が一様に変動した時の平均照射線量率および隣接方位内を風下軸が一様に変動するとしたときの主方位軸上の平均照射線量率を求めることとしている。

年間の平均全身被曝線量の算出は、上記の基本計算結果を利用して、年間の風向別大気安定度別風速逆数の総和および、年間の放射能の放出率等を用いて別途計算することとしている。

1. 計算式 (1) の解法

(1) 基本計算式の座標

(1) 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 軸とする直交座標であるが、本コードでは III. 2 で述べる方位内 (22.5° セクタ) の平均が放出源を中心とした弧に沿ったものである。これにあわせて濃度 χ の計算にあたっては、 Y 方向は Fig. 1 のとおり弧の座標としている。これによって、厳密には (1) 式の基本式の計算結果とは違うことになるが、その差はわずかである。一方これによって、計算は簡単になり計算時間は短くなっている。

(2) 具体的な計算方法

(1) 式の無限空間積分に対し、照射線量率の計算結果に有意に寄与する有限空間を積分範囲として選ぶ必要があり、 X 方向は、計算地点 $(x, y, 0)$ から 500m 以内の

Fig. 1 Co-ordinate system in the equation of concentration $\chi(x', y', z')$ (See Eq. (1)).

We assumed y' is the arc's length from x axis for the convenience of the calculation.

領域を考え、また、 Y 、 Z 方向については、計算地点からとも500m以内でかつプルーム中心軸上濃度の1/50以上の濃度という2条件が同時に成立する領域（以下、主要積分領域という）を積分範囲とする。

なお、 Y 、 Z 方向については、計算地点 $(x, y, 0)$ がプルーム中心軸から離れて、計算地点が主要積分領域に含まれていない場合には、計算地点近傍と主要積分領域を包絡する範囲を積分範囲*4とする（Fig. 2 参照）。

このような積分範囲を、計算精度と計算時間さらには計算上の特異点*5をさけるために、下記（Fig. 3 参照）のような区分に分割する。

X方向……4区間

通常は、計算地点を中心として、その風下2区間、風上2区間の計4区間とする。ただし、計算地点が放出点に接近した場合には、放出点から風下500m内を4区間に分ける。

このように区間を選定し、その区間をガウス積分すると、ガウス積分の性質上区間の端で計算を行わないため、放出源の極近傍の特異点の処理をさせて計算することが可能である。

Y方向……2区間

通常は、 Y 方向の主要積分領域を2区間に分ける。た

Fig. 2-1 Y-range of integration usually selected.

Fig. 2-2 Y-range of integration, when the receptor is far from the X axis.

だし、計算地点が含まれていない場合には、主要積分領域を1区間とし計算地点を含む領域を1区間とする。

Z方向……2区間

通常は、 Z 方向の主要積分領域を2区間に分ける。ただし、計算地点である地表が主要積分領域に含まれていない場合には、主要積分領域を1区間とし、地表から主要積分領域までを1区間とする。

このように区間を選定しガウス積分することによって、計算地点近傍の特異点*5の処理をさせて計算することが可能である。

*4 特殊な場合として、主要積分領域が存在しない場合には、計算地点から500mの空間を積分範囲とする。

*5 (1) 式において排気筒吹出し点近傍では χ が無限大に近づいた計算地点近傍の線源については r が0に近づき線量が無限大となる。

Fig. 3 Division of integrated range; In following each range, the 7th Gauss Integration is applied.

X axis 4 ranges; (a_{x1}, a_{x2}) , (a_{x2}, a_{x3}) , (a_{x3}, a_{x4}) , (a_{x4}, a_{x5}) .
 Y axis 2 ranges; (a_{y1}, a_{y2}) , (a_{y2}, a_{y3}) . Z axis 2 ranges; (a_{z1}, a_{z2}) , (a_{z2}, a_{z3}) .

上記の各区間に対し7次のガウス積分を適用し, X 方向 $7 \times 4 = 28$ 個, Y , Z 方向共に $7 \times 2 = 14$ 個の計 $28 \times 14 \times 14 = 5488$ 個の空間の点からの被曝線量を荷重加算することによって積分を行なう。

なお, N 次ガウス積分の一般式は次式で表わされる。

$$\int_a^b f(x) dx = (b-a) \sum_{i=1}^N \{W(i) \cdot f(x_i)\} \quad (7)$$

また,

$$x_i = (a+b)/2 + (b-a) \cdot G(i)/2 \quad (8)$$

ただし $i=1, 2, \dots, N$

ここで,

$W(i)$: 重率⁷⁾ (Table 1 参照)

$G(i)$: 分率⁷⁾ (Table 1 参照)

a, b : x の区間の上, 下限値

x_i : $a \sim b$ 内の分点

N : ガウス積分の次数

(7), (8) 式より, 上記の空間の点に対し, Z 方向, Y 方向, X 方向の順に以下の通り 3 次元積分を行なって照射線量率を算出する。

$$\Delta D(x', y', z') = K_1 \cdot E \cdot \mu_a e^{-\mu r} / 4\pi r^2 \cdot B(\mu r) \cdot \chi(x', y', z') \quad (9)$$

$$\Delta D(x', y') = \sum_{j=1}^2 [(b_{z,j} - a_{z,j}) \times \sum_{i=1}^N \{W(i) \cdot \Delta D(x', y', z'_{z,i})\}] \quad (10)$$

Table 1 $G(i)$ and $W(i)$ values for the 7th Gauss Integration.

i	$G(i)$	$W(i)$
1	∓ 0.9491079	0.0647424
2	∓ 0.7415311	0.1398526
3	∓ 0.4058451	0.1909150
4	0	0.2089795

Data presented in this table is from Reference 7).

$$\Delta D(x') = \sum_{j=1}^2 [(b_{y,j} - a_{y,j}) \times \sum_{i=1}^N \{W(i) \cdot \Delta D(x', y'_{y,i})\}] \quad (11)$$

$$D = \sum_{j=1}^4 [(b_{x,j} - a_{x,j}) \times \sum_{i=1}^N \{W(i) \cdot \Delta D(x_{j,i})\}] \quad (12)$$

なお,

$$z_i = (a_z + b_z)/2 + (b_z - a_z) \cdot G(i)/2 \quad (13)$$

y_i, x_i についても同様に求める。

ここで, 添字 j : X, Y, Z 方向の区間数

a, b : 区間の上, 下限値

N : ガウス積分の次数 (=7)

D : 計算点 $(x, y, 0)$ における照射線量率 (mR/hr)

他のパラメータについては (1) 式と同じ

2. 方位内平均照射線量率の計算方法

放出源を中心として 16 方位 (22.5° セクタ) に分割し, その 1 方位 (主方位) に着目して, 主方位内を風下軸が一様に変動するときの主方位軸上の平均照射線量率 ($\bar{D}_m$) および, 隣接方位内を風下軸が一様に変動したとき的主方位軸上の平均照射線量率 ($\bar{D}_n$) を 7 次のガウス積分で求める。

計算にあたっては, 風が変動することと計算地点を動かすこととは等価であるので, 主方位軸上に風下軸を固定し, 計算地点を主方位 $\widehat{AB}$ および隣接方位 $\widehat{BC}$ 上を移動させる。具体的には, (8) 式により各々 7 個の分点を定め, その各点における照射線量率を (9) ~ (13) 式にしたがって算出する (Fig. 4 参照)。この結果を主方位分 $D_{m1}, D_{m2}, \dots, D_{m7}$ および隣接方位分 $D_{n1}, D_{n2}, \dots, D_{n7}$ とする。

次に下式により風下軸が主方位内にある場合, および風下軸が隣接方位内にある場合の平均照射線量率 $\bar{D}_m, \bar{D}_n$ を次式で求める。

$$\bar{D}_m = \sum_{i=1}^7 \{D_{mi} \cdot W(i)\} \quad (14)$$

$$\bar{D}_n = \sum_{i=1}^7 \{D_{ni} \cdot W(i)\} \quad (15)$$

なお, このコードでは計算点が軸上でない場合は, 平均照射線量率の算出は行なっていないが, 前述の $D_{m1} \sim D_{m7}$ および $D_{n1} \sim D_{n7}$ ならびに風下軸上の照射線量率を計算し, Y 方向の照射線量率の変化が分かるように, これらをアウトプットさせるようにしている。

3. 固有パラメータ

本コードでは, 基本計算式に示された固有パラメータを以下のように扱っている。

(1) 照射線量率への換算係数 K_1

$$K_1 = 1.88 \times 10^6 \text{ (dis} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mR/MeV} \cdot \text{Ci} \cdot \text{hr)}$$

これは指針の値と整合している。

(2) 空気に対するガンマ線の全吸収係数 μ および真吸収係数 μ_a

質量全吸収係数 $(\mu/\rho)_E$ および質量真吸収係数 $(\mu_a/\rho)_E$ の値^{8,9)}は, 任意のガンマ線エネルギー E に対して Lagrange の 3 点補間 (両対数の 2 次曲線補間を使用) を用いて, 0.02 MeV から 2 MeV までの範囲でフィットさせており, このエネルギーの範囲で計算を行なうことができる。

全吸収係数 μ は, 上で求めた質量全吸収係数 $(\mu/\rho)_E$ と大気温度 $t^\circ\text{C}$ を用いて下式¹⁰⁾より求める。

$$\mu = (\mu/\rho)_E \times 1.293 \times 10^3 / (1 + 0.00367 \times t) \text{ (1/m)} \quad (16)$$

また, 真吸収係数 μ_a は, 上で求めた質量吸収係数 $(\mu_a/\rho)_E$ を用いて下式より求める。

$$\mu_a = (\mu_a/\rho)_E \times 1.293 \times 10^3 \text{ (1/m)} \quad (17)$$

上記において, ガンマ線エネルギー E と大気温度 t は

Fig. 4 Calculation points for the 7th Gauss Integration to obtain average exposure rates, assuming the wind fluctuates uniformly within the downwind direction.

$$\overline{OA} = X, \quad \widehat{AB} = (\pi/16) X, \quad \widehat{BC} = (2\pi/16) X$$

Table 2 Constant values for diffusion parameter σ_y and σ_z .

Parameter	Atmospheric stability						
	A	B	C	D	E	F	
$\theta_{0.1}$	50	40	30	20	15	10	Constant values for σ_y
σ_1	768.1	122.0	58.1	31.7	22.2	13.8	Constant values for σ_z $X \geq 0.2 \text{ km}$
a_1	3.9077	1.4132	0.8916	0.7626	0.7117	0.6582	
a_2	3.898	0.49523	-0.001649	-0.095108	-0.12697	-0.1227	
a_3	1.7330	0.12772	0.0	0.0	0.0	0.0	
σ_1	165	83.7	58.0	33.0	24.4	15.5	$X < 0.2 \text{ km}$
a_1	1.07	0.894	0.891	0.854	0.854	0.822	
a_2	0	0	0	0	0	0	
a_3	0	0	0	0	0	0	

Data presented in this table is from Reference 6).

入力パラメータであり, これを各々 0.5 MeV, 20°C と入力すれば

$$\mu_a \doteq 3.84 \times 10^{-3} \text{ (1/m)}$$

$$\mu \doteq 1.05 \times 10^{-2} \text{ (1/m)}$$

となり, 指針に示された値となる。

(3) 空気に対するガンマ線の再生係数 $B(\mu r)$ を求める式中の定数 α , β , $\gamma^{11)}$

0.02 MeV から 2.0 MeV までの範囲の任意のガンマ線エネルギー E に対して, Lagrange の 3 点補間 (片対数の 2 次曲線補間を使用) を用いて求める。

ガンマ線エネルギー E は, 入力パラメータであり, これを 0.5 MeV とすれば指針に示された値となる。

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

(4) σ_y および σ_z の近似式 (4), (5) 式中の定数

指針⁶⁾に示されている σ_y および σ_z の近似式中の定数の値を使っている。これを Table 2 に示す。

なお, 指針では σ_y は距離依存となっているが, 水平拡散幅 θ を一定とした次式を入力により指定することもできる。

$$\sigma_y \text{ (m)} = \pi \cdot x \cdot 10^3 / (180 \cdot 2 \sqrt{2 \ln 10}) \cdot \theta \quad (18)$$

(ただし x の単位は km, θ は度)

したがって, 指針に整合させるためには, 距離依存の σ_y に指定する必要がある。

4. 入力要素

コードの入力には次のものがある。

(1) 風速および放出率

風速 U および放出率 Q は, 入力パラメータとなっているが, 通常は基礎的計算を行なうため, 各々 1 m/s, 1 Ci/s としている。

(2) 大気温度およびガンマ線エネルギー

大気温度 t およびガンマ線エネルギー E は, 空気中におけるガンマ線の減衰に関する定数を算出するためのパラメータであり, 指針と整合させるためには $t = 20^\circ\text{C}$, $E = 0.5 \text{ MeV}$ にする必要がある。

(3) σ_z の上限値

(5) 式で求まる σ_z の上限を指定するパラメータであり, 「気象指針」と整合させるためには 1000m にする必要がある。

(4) 風下距離

放出点と計算地点との水平距離

(5) 放出源の有効高さ

風洞実験等から求められる放出源の有効高さ

(6) 大気安定度

大気安定度 A ~ F に対応する σ_y , σ_z を指定するための入力である。

(7) 特殊計算のための指定入力

(a) σ_y に関する特殊計算

角度一定にする σ_y ((18) 式参照) を採用する場合は, 角度を指定する必要がある。

(b) 風下軸上の最大照射線量率だけを求める場合には指定する必要がある。なお, この場合には, 平均照射線量率を求める場合に比べて 1/15 程度の計算時間ですむ。

Fig. 5 Downwind distribution of average exposure-rate.

Wind speed 1 m/s, release-rate of nuclide 1 Ci/s, atmospheric temperature 20°C, gamma-ray energy 0.5 MeV and upper limit of σ_z 1,000 m.

Fig. 6 Downwind distribution of average exposure-rate.

Wind speed 1 m/s, release-rate of nuclide 1 Ci/s, atmospheric temperature 20°C, gamma-ray energy 0.5 MeV and upper limit of σ_z 1,000 m.

5. 計算結果の検討

(1) 計算例

本コードを用いて以下の入力条件で計算した平均照射線量率の代表例を Fig. 5 および Fig. 6 に示す。

入力条件

放出率: 1 Ci/s

ガンマ線エネルギー: 0.5 MeV

風速: 1 m/s

大気温度: 20°C

σ_z の上限側: 1,000 m

放出源の有効高さ: 40 m, 100 m

なお、図中の A, B の大気安定度において、風下距離 1 km 以遠で線量率の低下がゆるやかになっているが、これは、 σ_z が 1,000 m 以上となる場合に 1,000 m 一定としたためである。

(2) 既存のコードとの比較

従来から利用に供されている代表的な計算コードである STDOSE (原研コード) および ANGLO-CLOUD (三菱コード) との比較を Fig. 7 に示す。

図より、三者の計算結果は、必要とされる計算精度か

らみて、非常に良く一致していることが分かる。

(3) その他の検討

計算精度の妥当性の判断の目安とするために、上記 2 の既存コードとの比較に加えて以下の比較を行なった。

放出源の有効高さが比較的高く、プルームが大きく広がっていない放出源の近傍における照射線量率は、ラインソースを仮定した場合の計算結果に近づくものと予想されるので両者の比較を行なった。この結果を Fig. 8 に示す。

また、放出源の遠方における照射線量率は、遠方になればなるほど半無限の均一濃度を想定した場合 (サブマージョン) の計算結果に近づくものと予想されるので、両者の比較を行なった結果を Fig. 9 に示す。

なお、サブマージョンの計算には風下軸上の地表空气中濃度を使っている。

上の図より、放出源の近傍および遠方の照射線量率に対するコードの計算結果は、ラインソースおよびサブマージョンの計算結果と比較的によく一致していることが分かる。

Fig. 7 Comparison of GAMMA-CLOUD Code with other two codes.
Release height 60 m, wind speed 1 m/s, release-rate of nuclide 1 Ci/s, atmospheric temperature 20°C, gamma-ray energy 0.5 MeV and upper limit of σ_z 1,000 m.

Fig. 9 Comparison between GAMMA-CLOUD Code and submersion model far from the release point.
Wind speed 1 m/s, release-rate of nuclide 1 Ci/s, atmospheric temperature 20°C, gamma-ray energy 0.5 MeV and upper limit of σ_z 1,000 m.

Fig. 8 Comparison between GAMMA-CLOUD Code and Line-Source model near the release point.
Wind speed 1 m/s, release-rate of nuclide 1 Ci/s, atmospheric temperature 20°C and gamma-ray energy 0.5 MeV.

IV む す び

GAMMA-CLOUD コードの特長は以下のとおりである。

(1) 入力条件として、ガンマ線エネルギー 0.5 MeV, 大気温度 20°C および σ_z の上限値 1,000 m に設定すれば指針に整合した計算を行なうことができる。

(2) 22.5° セクタ内を風下軸が一様に変動した場合の平均照射線量率が直接計算できる。

(3) HITAC 8700 の計算機で 1 ケース当たり (1 つの風下距離における平均照射線量率の計算) 数分の計算時間で既存のコードとほぼ等価な精度を得ることができる。

本コードは、昭和 51 年末に完成し、それ以降、原子力発電所周辺の被曝解析に電力各社とも使用している。

本稿を終るにあたり、このコードの開発に際し、御指導、御教示を賜った日本原子力研究所の飯嶋敏哲氏およびコードの作成に当たった電力会社の専門家各位に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) K. IMAI and T. IJIMA; Assessment of gamma-exposure due to a radioactive cloud released from a point source, *Health Phys.*, 18, 207 (1970).
- 2) 今井和彦, 飯嶋敏哲, 角田道生; 点源から放出される放射性雲からの γ 線照射分布計算図, JAERI-1189 (1970).
- 3) 三菱原子力工業(株); ANGLO-CLOUD の概要, MAPI-1007 改 1, (昭和 50 年 7 月).
- 4) 原子力委員会; 発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針について (昭和 50 年 5 月 13 日), 原子力委員会月報, Vol. 20, No. 5 (1975).
- 5) 原子力委員会; 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), 原子力委員会月報, Vol. 21, No. 9 (1976).
- 6) 原子力委員会; 発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針 (昭和 52 年 6 月), 原子力委員会月報, Vol. 22, No. 6 (1977).
- 7) 山内二郎, 宇野利雄, 一松 信; “電子計算機のための数値計算法Ⅲ”, p. 139 (昭和 47 年), 培風館, 東京.
- 8) Bureau of Radiological Health and the Training Institute, Environmental Control Administration; “Radiological Health Handbook,” p. 139 (1970), U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Rockville, Maryland.
- 9) Argonne National Laboratory; “Reactor Physics Constants”, ANL-5800, p. 652, 654 (1963), United States Atomic Energy Commission, Chicago.
- 10) 日本化学会; “化学便覧 基礎編Ⅱ”, p. 431 (昭和 41 年), 丸善, 東京.
- 11) G.E. CHABOT, Jr., K.W. SKRABLE and H.L. WEDLICK; Notes on buildup factors and utilization of a power function analytical representation of the buildup factor, *Health Phys.*, 21, 471 (1971).