

核燃料施設内エアロゾル挙動解析計算コードの開発

Analysis of Aerosol Behavior in Nuclear Fuel Cycle Facilities

1983年7月

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

計画管理部技術情報室

Enquires about copyright and reproduction should be adressed to:

Technical Information Service

Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo, Japan

©動力炉・核燃料開発事業団 1983

核燃料施設内エアロゾル挙動解析計算コードの開発
Analysis of Aerosol Behavior in Nuclear Fuel Cycle Facilities

著者名 金盛正至*, 江花 稔*
関 昭雄*

要 旨

安全管理部では、昭和52年よりUF₆が作業環境中に漏洩した場合に①空気汚染を迅速に検出し安全確保の対策がとれること、②放射性エアロゾルの挙動性状を把握し作業者の内部被ばく管理に役立てること、③施設管理及び放射線管理上の基礎データを得ることの3点を目的として放射性エアロゾルの挙動解析試験を行ってきた。今回、施設内の放射性エアロゾルの挙動解析を行う計算コードを開発し、実際の試験結果と良い一致をみたので報告する。本計算コードでは初期データとして、エアロゾルの濃度及び粒径分布、発生時間等を入力することにより、初期にエアロゾルの発生した室を含めて10室までの範囲でエアロゾルの濃度の変化、粒径分布の変化及び壁・床等への付着量を計算することができる。エアロゾルの粒径分布は、対数正規分布を仮定し、ブラウン運動と重力凝集によりエアロゾル数が減少し、1粒の体積が増加するとして計算している。その他重力沈降、拡散沈着、熱泳動沈着による壁・床等への沈着及び、各室から他室（外部を含む）への漏れを計算することによりそれぞれの室のエアロゾル濃度変化及び粒径分布変化を計算している。サンプル計算としてUF₆エアロゾル濃度変化及び粒径分布変化を計算した。UF₆エアロゾル挙動試験結果と、計算結果とはは良く一致した。

Analysis of Aerosol Behavior in Nuclear Fuel Cycle Facilities

Masashi Kanamori, Minoru Ebana, Akio Seki

Abstract

Purposes of this analysis of aerosol behavior are the following three points. ① Detecting air contamination quickly and make fast response. ② Estimate the internal dose of the workers by investigating the aerosol behavior. ③ Collect data of controlling facilities. Factors used in this computer analysis are the following factors.

- ① the production of aerosol particles.
- ② the disappearance of aerosol particles due to coagulation.
- ③ the removal effects due to settling, diffusion and thermophoresis.
- ④ the effect of aerosol leakage from the room.

The test data of UF_6 radioactive aerosols which is performed in the glove box ($2.9 \times 10^7 \text{ cm}^3$) are in good agreement with the computer analysis data.

Keywords Nuclear Fuel Cycle Facilities. Nuclear Aerosol. Aerosol.
Safety Analysis.

目 次

1. 概 要	1
2. エアロゾルの挙動について	2
2.1 エアロゾル粒子の凝集	2
2.2 エアロゾル粒子の沈着現象	3
2.3 初期条件	5
2.4 エアロゾルの連続的発生項	6
2.5 第2室へのエアロゾル漏洩量	6
2.6 エアロゾル粒子数の減衰	6
2.7 等比体積増分による mesh の作成	7
2.8 等比体積系計算における濃度の計算	8
2.9 形状係数	9
3. プログラム上の制約	10
4. ABR-D 入力説明	11
5. ABR-D 出力説明	20
6. プログラム実行時のファイル	21
7. サンプル計算	22
7.1 容器及び初期データ	22
7.2 サンプルケース1	25
7.2.1 C1, C2の漏洩率	25
7.2.2 サンプル計算入力カード及び出力データ	28
7.3 サンプルケース2	38
8. エアロゾルの実測濃度変化	42
8.1 C1ウランエアロゾルの場合	42
9. ICRP 内部被ばく計算コード	50
9.1 預託線量当量 (H_{50})	50
9.2 内部被ばく線量の計算コード	53
10. ま と め	71
11. 参 考 文 献	72
附録1. エアロゾル関係試験実績	73
附録2. エアロゾル関係試験年表	78

1. 概 要

安全管理部では、昭和52年より、UF₆が作業環境中に漏洩した場合に、①空気汚染を迅速に検出し安全確保の対策がとれること、②放射性エアロゾルの挙動を把握し作業者の内部被ばく管理及び評価に役立てること、③施設管理及び放射線管理上の基礎データを得ること、の3点を目的として、放射性エアロゾルの挙動試験を行ってきた。その結果、基礎的データは多数得られたものの相互のデータに関連させ、判断することはデータ数が膨大であり手計算では、不可能な状態であった。そこで、放射性エアロゾル発生源のデータ、空气中放射性物質濃度のデータ及び、壁、床、等の汚染データを相互に関連づけ、いずれか1つあるいは、2つのデータから残りのデータを計算する、計算コードの開発、整備を行うこととした。

本プログラムは、以下の目的から核燃料施設の室内における放射性エアロゾルの挙動解析を行い、さらに作業者の放射性エアロゾルによる内部被ばくを計算評価するためのものである。

エアロゾルの挙動解析は、一室内の挙動解析及び、多室にわたるエアロゾルの流れも解析できるようになっている。

まず初期においては、stokesの見掛け密度が一定に達していると仮定し、エアロゾルが対数正規分布となっているとする。エアロゾル粒子の衝突は、Brown運動と重力凝集を考える。また粒子は、重力沈降、拡散沈着、熱泳動沈着により、床、壁面に沈着し室中の濃度は減少する。エアロゾルの発生については、初期分布と同じ仮定をプログラム中で扱えるようになっている。

各室雰囲気温度、圧力、壁温度は、それぞれ時間依存値として入力し、粒子の沈降速度、拡散速度、熱泳動速度は、温度、圧力の関数として計算される。

エアロゾルの粒径分布の時間変化は、連立常微分方程式で表わされる基礎方程式をRunge-Kutta法または、Simpson法により解く。

放射性エアロゾルによる作業者の内部被ばく線量は、粒径別の放射性エアロゾル濃度から、ICRP Pub 30の計算に使用されている。プログラムを基礎として直接算出するものである。

以上の結果、放射性エアロゾルの実測データと計算結果に良い一致が見られた。例えば、初期の放射性エアロゾルの発生量及び時間帯エアロゾル粒径分布を入力することにより、放射性エアロゾルの濃度、粒径分布、壁、床、等への付着量が時間的にどのように変化していくかを計算した結果と、実験結果とが良く一致しており、いずれかの値を知りたい場合算出することができることが分かった。この結果、換気回数を変化させると、放射性物質濃度がどのように変化するかを計算したり、床汚染濃度から、空气中濃度を計算したりできるようになった。

2. エアロゾルの挙動について

2.1 エアロゾル粒子の凝集

室の気体は、室内温度差に伴う熱対流で一様に攪拌され、①エアロゾル粒子はブラウン運動による衝突、②粒子相互の沈降速度の違いにもとづく重力凝集、③空気の乱流場における粒子相互の運動が粒径等によって異なることから生ずる乱流凝集等によって、その粒子数は減少し粒子径は増大する。

ブラウン運動にもとづく粒子の衝突確率

ブラウン運動にもとづく粒子相互の衝突確率を考える。今、単位体積あたりに分散している*i* 番目のエアロゾル粒子の数を N_i (粒子数/cm³)、その半径を r_i (cm)、拡散係数を D_i (cm²/sec) とすれば、*i* と *j* 番目の粒子間のブラウン運動にもとづく衝突係数 K_B は次式で示される。

$$K_B = 4\pi(D_i + D_j)(r_i + r_j) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 D_i は Stokes - Einstein の拡散係数で次式で定義される。

$$D_i = \frac{k_o(273 + [T]_t)}{6\pi[\mu]_t r_i} \left(1 + \frac{A_i[\lambda]_t}{r_i} \right)$$

A_i は Cunningham の補正係数で、

$$A_i = 1.257 + 0.4 \exp\left(-\frac{1.10 r_i}{[\lambda]_t}\right)$$

- ここで、 k_o = Boltzman 定数 (g cm²/sec² °k)
- T = ガス温度 (°C)
- μ = 空気の粘性係数 (g/cm sec = poise)
- ρ_o = 空気の密度 (g/cm³)
- λ = 空気分子の平均自由行程 (cm)

をあらわす。なお、 $[\mu]_t$ 、 $[\rho_o]_t$ 、そして $[\lambda]_t$ は次式であらわされる。

$$[\mu]_t = 183.0 \times 10^{-6} - 4.83 \times 10^{-7} (23.0 - [T]_t)$$

$$[\rho_o]_t = \frac{9.7 \times 10^{-8}}{1 - 3.67 \times 10^{-3} [T]_t} \frac{[P]_t}{76.0}$$

$$[\lambda]_t = \frac{3[\mu]_t}{2\sqrt{2}[\rho_o]_t} \sqrt{\frac{1.1 \times 10^{-6}}{[T]_t}}$$

但し、 $[]_t$ は時間に対する区間をあらわす。

粒子相互の重力凝集確率

粒子相互の重力沈降速度の違いにもとづく重力凝集確率を考える。

i 番目粒子と j 番目粒子の衝突確率 K_G は次式で示される。

$$K_G = \pi (r_i + r_j)^2 |V_i - V_j| \dots\dots\dots (2)$$

ここで、

V_i = i 粒子の沈降速度

V = j 粒子の沈降速度

i 番目の粒子における沈降速度 V_i (cm/sec) は、次の Stokes-Cunningham の式で示される。

$$V_i = \frac{2\rho g}{9[\mu]_t} r_i^2 \left(1 + \frac{A_i [\lambda]_t}{r_i} \right)$$

ここで ρ は、エアロゾル粒子自身の比重 (g/cm^3)、 g は重力加速度 (cm/sec^2)
 乱流凝集効果は、一般的に小さいと考えられているため ABC-K コードでは取り入れていない。
 したがってエアロゾル粒子の衝突係数 K は

$$K = K_B + K_G \dots\dots\dots (3)$$

により与える。

2.2 エアロゾル粒子の沈着現象

(1) 重力沈降

凝集によって生長したエアロゾルは、重力沈降によってその粒子数 (粒子数/cm³) ならびに重量濃度 (g/cm^3) を減少させる。i 番目粒子の沈降速度 V_s (cm/sec) は、(9)式と同様に

$$V_s(r_i) = \frac{2\rho g}{9[\mu]_t} r_i^2 \left(1 + \frac{A_i [\lambda]_t}{r_i} \right) \dots\dots\dots (4)$$

で与えられる。

(2) 拡散による壁への付着

室内に浮遊するエアロゾル粒子は、ブラウン運動にもとづく拡散で壁面に付着する。粒子の拡散による壁面への沈着速度 $V_d(r_i)$ (cm/sec) は Fick の式から

$$V_d(r_i) = \frac{D}{\delta_d} = \frac{K_o(273 + [T]_t)}{6\pi[\mu]_t r_i \delta_d} \left(1 + \frac{A_i [\lambda]_t}{r_i} \right) \dots\dots\dots (5)$$

δ_d (cm) は、エアロゾル粒子の物質移行に関与した壁と室の境膜の厚さである。

(3) 熱泳動による壁への付着

室内の気温が何らかの原因で上昇した場合、任意時間における気体温度を $T(t)$ 、壁の温度を $T_w(t)$ 、また、その時点における圧力を $P(t)$ とすれば、エアロゾル粒子は、その温度勾配 $(T(t) - T_w(t)) / \delta_T$ にしたがって次式で示される速度 V_T (cm/sec) で壁へ付着する (Brock の式)。

$$V_T(r_i) = \frac{3[\mu]_t}{2[\rho_o]_t(273 + [T]_t)} \left(\frac{1 + A_i[\lambda]_t/r_i}{1 + 3.75([\lambda]_t/r_i)} \right) \left(\frac{(kg/k_p) + 2.1([\lambda]_t/r_i)}{1 + 2(kg/k_p) + 4.2([\lambda]_t/r_i)} \right) \left(\frac{[T]_t - [T_w]_t}{\delta_T} \right) \dots\dots\dots (6)$$

ここで、

kg : 空気の熱伝導率 (dyne/sec °C)

k_p : エアロゾル粒子の熱伝導率 (dyne/sec °C)

$P(t)$: 室内の圧力 (dyne/cm²)

δ_T : 自然対流における空気と壁との温度境界層の厚さ (cm)

壁の高さが H_1 (cm) で横方向に無限の広がりをもつとすれば、自然対流熱の実験式、即ち Nusselt 数は次式によってあらわされる。

$$N_u = \frac{hH_1}{kg} = 0.129 (Gr \cdot Pr)^{1/3}$$

ただし $(10^{12} > (Gr \cdot Pr) > 10^9)$ である。

ここで

h : 気体と壁面間の熱伝達係数 (cal/cm²sec °C)

$$Gr : \text{Grashof 数} = \frac{980 \ell^3 ([T]_t - [T_w]_t) ([\rho_o]_t)^2}{(273 + [T]_t) ([\mu]_t)^2}$$

$$Pr : \text{Prandtl 数} = \frac{C_p}{kg} \mu$$

ℓ : 代表長さ

ℓ^3 としては室の体積をとり、 $Gr/Pr \geq 10^{12}$ の時は $Gr = 10^{12} Pr$ をとり、 $Gr/Pr \leq 10^9$ の時は $Gr = 10^9 Pr$ をとる。

壁とガス相間の x 方向の伝熱にもとづく温度勾配は次式で与えられる。

$$\frac{T_\infty - T}{T_\infty - T_w} = \left(1 - \frac{x}{\delta_T} \right)^2$$

ここで、 δ_T は温度境界層厚さであり、 T_∞ は境界層から十分に離れた点のガス温度である。

一方、壁とガス相間の熱収支式は次式で示される (Q : cal/cm²・sec)

$$Q = -kg \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} = \frac{2 kg}{\delta_T} ([T]_t - [T]_w) = h ([T]_t - [T]_w)$$

したがって、温度境界層の厚さ δ_T は

$$\delta_T = \frac{2 kg}{h} = \frac{2 H_1}{Nu}$$

となる。

2.3 初期条件

核燃料施設の室内では種々の原因で sub-micron の初期粒子が形成される。この初期粒子は、ただちに凝集し、対数正規分布をもったエアロゾル粒子を形成する。今、この分布をエアロゾル粒子の半径を基準とした粒子数 (粒子数/cm³) であらわせば、以下のように示される。

$$N_k(O) = \frac{N_o}{\sqrt{2\pi} \ell_n \rho_g} \exp \left[- \frac{\ell_n^2 (r_k / r_g)}{2 \ell_n^2 \sigma_g} \right] \frac{dr}{r_k} \dots\dots\dots (8)$$

ここで

r_g = エアロゾル粒子の平均半径 (cm)

σ_g = 幾何標準偏差

r_k = K番目の粒子の半径 (cm)

dr = エアロゾル粒径分布を半径基準で表わした時の最小単位体積 (cm)

である。

N_o は $t = 0$ における全粒子数密度であり、次式であらわされる。

$$N_o = \frac{3 C_o}{4 \pi \sigma r_g^3 \exp(4.5 \ell_n^2 \sigma_g)}$$

ここで、

C_o = 初期エアロゾル濃度 (g/cm³)

である。

エアロゾル粒子径基準の粒度分布式(8)は、エアロゾル粒子の体積基準分布式に変換できる。即ち、

$$N(V) dV = 4 \pi r^2 N(V) dr = N(r) dr$$

の関係を用いれば、

$$N_k(O) = \frac{N_o}{3\sqrt{2\pi} \ell_n \sigma_g} \exp \left[- \frac{\ell_n^2 (r_k / r_g)}{2 \ell_n^2 \sigma_g} \right] \frac{dV}{V_k} \dots\dots\dots (9)$$

が導出される。

2.4 エアロゾルの連続的発生項

エアロゾル粒子は対数正規分布をもっと仮定すれば発生項 $S_k(t)$ は次式であらわされる。

$$S_k(t) = \frac{[B]_t}{\sqrt{2\pi} \ell_n \rho_g} \exp\left(-\frac{\ell_n^2 (r_k/r_g)}{2 \ell_n^2 \sigma_g}\right) \frac{4r}{r_k}$$

$$[B]_t = \frac{3 [S_{OR}]_t}{4\pi \rho r_g^3 \exp(4.5 \ell_n^2 \sigma_g)} \dots\dots\dots (10)$$

但し単位時間に発生するエアロゾル粒子の重量濃度を $[S_{OR}]_t$ ($g/cm^3 \cdot sec$) とする。

2.5 他室へのエアロゾルの漏洩量

空気中に分散しているエアロゾルは非常に微細な粒子であるので、貫通時にその粒子数ならびに濃度を減少させることなく他室にまで移行する。漏洩速度 $L_1(t)$ (cm^3/sec) は、入力で与える。

$$L_1(t) = [L_1]_t$$

今、時間間隔が $t_i \leq t \leq t_{i+1}$ の間に第2室に移行する K 粒子の単位体積あたりの平均粒子数 Q_k (粒子数/ cm^3) は次式であらわされる。

$$Q_k = \frac{1}{2} \{N_k(t_i) + N_k(t_{i+1})\} \dots\dots\dots (11)$$

($i = 0, 1, 2, 3, 4, \dots\dots\dots$)

ここで、 $N_k(t_i)$ (粒子数/ cm^3) は時間 t_i における第1室の K 粒子の数であり、 $N_k(t_{i+1})$ は次の時間ステップにおける K 粒子の数である。したがって、第2室へのエアロゾル漏洩量は $[L_1]_t Q_k$ で与えられる。以下、第3室～第7室への移行についても同様である。

2.6 エアロゾル粒子数の減衰

室内に浮遊しているエアロゾルは凝集、沈降、拡散付着、熱沈着によって粒子数を減少させるとともに他室への移行、室内換気によっても減少する。

衝突確率の式および減衰速度式(1), (2)~(10)を用いると、容器内の k 番目の粒子に対する基礎方程式は次式であらわされる。

$$\frac{dN_k}{dt} = \frac{1}{2} \sum_{\substack{j=1 \\ i=k-j}}^{i=k-1} K_{ij} N_i N_j - N_k \sum_{j=1}^{\infty} K_{kj} N_j$$

$$- \left\{ \frac{V_s(r_k)}{H_1} + \frac{V_d(r_k) S_1}{V_1} + \frac{V_T(r_k) S_1}{V_1} - \frac{[L_1]_t}{V_1} \right\} N_k + [S_k]_t \dots\dots\dots (12)$$

ただし

$$K_{ij} = \frac{2k(273 + [T]_t)}{3[\mu]_t} (r_i + r_j) \left(\frac{r_i + A_i[\lambda]_t}{r_i^2} + \frac{r_j + A_j[\lambda]_t}{r_j^2} \right)$$

$$+ \frac{2\pi\rho g}{9[\mu]_t} (r_i + r_j)^2 \left| r_i(r_i + A_i[\lambda]_t) - r_j(r_j + A_j[\lambda]_t) \right|$$

- ここで
- H_1 : 室の高さ (cm)
 - V_1 : 室の体積 (cm³)
 - S_1 : 室の壁面積 (cm²)
 - S_F : 室の床面積 (cm²)
 - $\{S_k\}_t$: エアロゾルの時間的に連続した発生項 (粒子数/sec)

である。

(12)式右辺の第1項は凝集に起因したk粒子の生成項, 第2項は, その消滅項である。第3項から第5項はk粒子の沈着項であり, それぞれ沈降, 拡散付着, 熱沈着をあらわし第6項は壁面から他室への移行及び換気に起因したk粒子の消滅項, そして第7項は発生項をあらわす。

2.7 等比体積増分による mesh の作成

粒径別のエアロゾル粒子群の分布を表現するには, 次の3種類の方法がある。

① 等差半径による方法

$$N_k = \frac{N_0}{\sqrt{2\pi} \ell_n \sigma_g} \exp \left\{ -\frac{\ell_n^2 (r_k/r_g)}{2 \ell_n^2 \sigma_g} \right\} \frac{dr}{r_k}$$

② 等差体積による方法

$$N_k = \frac{N_0}{3\sqrt{2\pi} \ell_n \sigma_g} \exp \left\{ -\frac{\ell_n^2 (r_k/r_g)}{2 \ell_n^2 \sigma_g} \right\} \frac{dV}{V_k}$$

③ 等化体積による方法

$$V_{\max} = V_{\min} \times x^n$$

とし V_{\min} , x , n を入力する。

式は(2)に

$$\begin{aligned} \frac{dV}{V_k} &= \frac{V_{\min} x^{k-1} - V_{\min} x^{k-2}}{V_{\min} x^{k-1}} \\ &= \frac{x-1}{x} \end{aligned}$$

を代入して

$$N_k = \frac{N_0}{3\sqrt{2\pi} \ell_n \sigma_g} \exp \left\{ -\frac{\ell_n^2 (r_k/r_g)}{2 \ell_n^2 \sigma_g} \right\} \frac{x-1}{x} \dots\dots\dots (13)$$

xの値				
$\frac{V_{max}}{V_{min}}$				
n		$(50)^3$	$(75)^3$	$(100)^3$
50		1.26456	1.29570	1.31826
75		1.16939	1.18851	1.20226
100		1.12452	1.13829	1.14815

分布の違い

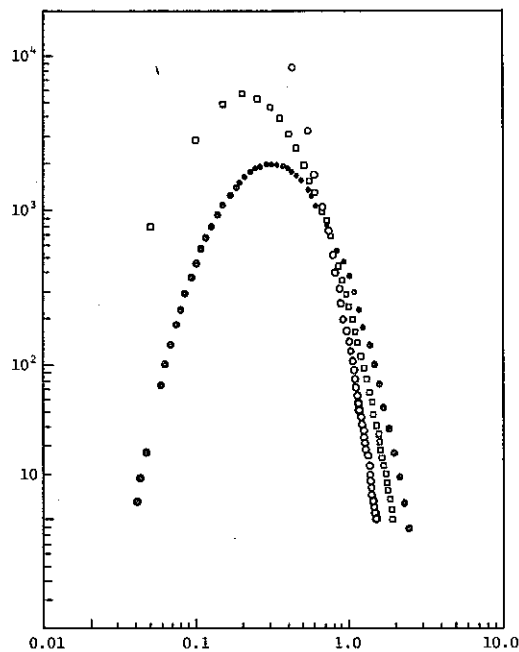


図-1 異った分類法による粒子対数正規分布の違い

2.8 等比体積系計算における濃度の計算

等差半径, 等差体積系では次の式を使う。

$$C = \sum_{k=Kmin}^{Kmax} \rho x_{nk} V_k \dots\dots\dots (14)$$

これに対して等化体積系では積分を行い次の式を使用する

$$C = \sum_{k=Kmin}^{Kmax} \rho x_{nk} \int_{k-1}^k Vdv \dots\dots\dots (15)$$

2.9 形状係数

形状係数(r)とは、粒子の質量から求められた粒子径が実際の粒子形状の違いにより見かけ上空気力学的粒子径がずれることを補正するために用いる係数であり

$$r = \Gamma \left(\frac{\delta}{\delta_m} \right)^{-1/3}$$

であらわされる。ここで ρ_m は、物質の密度である。計算上は、 Γ が式(1)及び(2)の中で、

$$K_B = 4\pi(D_i + D_j)(R_i + R_j)\Gamma$$

$$K_G = \pi(R_i + R_j)^2 |V_i - V_j| \Gamma^2$$

という形で用いられる。今回の計算においては、形状係数は、1で計算している。

3. プログラム上の制約

3.1 leakが多室に及ぶ時の計算について

計算上の制約条件は以下のとおりである。

- 1) エアロゾルの発生する室は1つのみ
- 2) 隣接する室は漏洩で結びつきを与える。
- 3) leak率は入力データですべて与える。

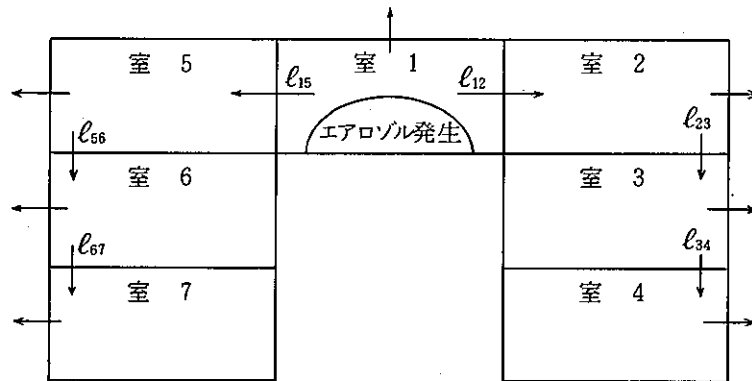


図2 leak path

- 4) l_{ij} は室 $i \rightarrow j$ の leak 率とする, l_{ij} が与えられた時逆の流れの l_{ij} は存在しないものとする。
- 5) 配列の大きさについて

最大粒径群数 150

最大室数 10

4. ABR-D 入力説明

次ページ以降を次のように入力する。

1. タイトルカード
 2. オプションカード
 3. エアロゾル分布カード
 4. " の物性カード

 5. 室カード (その1)
 6. " (その2)
 7. 時間依存データのテーブル長さ
 8. " のテーブル
- } 室数くり返す
- (9. 漏洩係数カード) (58. 12. 18 削除)
 10. プロットスケールカード
 11. リーク路カード
 12. タイムステップカード
 13. 計算回数カード

1. タイトル・カード

10	20	30	40	50	60	70	80
TIT(I), I = 1, 10							
10 A 8							
TIT(T), I = 1, 10 : タイトル (任意の英数字)							

10	20	30	40	50	60	70	80

2. オプション・カード

10	20	30	40	50	60	70	80
KL	NSTOP	NCL	LDT	INPABC	NPRI	IPLOT	NLEAK
I 5	I 5	I 5	I 5	I 5	I 5	I 5	I 5
<p>KL : 計算粒子群数 (≤ 150)</p> <p>NSTOP : 計算打ち切り回数 (カード4の TMAX と先に到達した方で打ち切られる)</p> <p>NCL : 室の総数 (≤ 10)</p> <p>LDT : タイム・ステップ・テーブル長さ (= 0 の時 default time step あり, タイムステップカード参照) (≤ 50)</p> <p>INPABC : 計算オプション = 1 : 等差半径系計算 ($r_{i+1} = r_i + \Delta r$) = 2 : 等差体積系計算 ($v_{i+1} = v_i + \Delta v$) = 3 : 等比体積系計算 ($v_{i+1} = x \cdot v_i$)</p> <p>NPRI : プリント間隔 (= 0 の時毎回詳しいプリント)</p> <p>IPLOT : プロットオプション (= 0 の時プロットなし, = 1 の時プロットあり)</p> <p>NLEAK : 室と室のリーク・パスの総個数</p>							

3. エアロゾル分布カード

10	20	30	40	50	60	70	80
CO	RG	SIGG	DR	DV			
E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0			
<p>CO : 第一室の初期濃度 [g/cm³]</p> <p>RG : 分布の幾何平均半径 [cm]</p> <p>SIGG : " 幾何標準偏差 [-]</p> <p>DR : 等差半分系の時最小半径, 等比体積系の時公比 [cm または -]</p> <p>DV : 等差体積系, 等比体積系の時最小体積 [cm³]</p> <p>(すなわち等比体積系の時は $V_{min} = DV$, $V_{max} = DV \cdot DR^{KL-1}$ となるので, $DR = (V_{max}/V_{min}) \frac{1}{KL-1}$ を入力すること。)</p>							

4. エアロゾルの物性及びオプションの一部のカード

10	20	30	40	50	60	70	80
AKG	AKP	RO	EPSKG	EPST	DELTI	TMAX	
E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0	
<p>AKG : 室内ガスの熱伝導率 [cal/cm·sec·°C]</p> <p>AKG : エアロゾル粒子の伝導率 ["]</p> <p>RO : エアロゾル粒子の密度 [g/cm³]</p> <p>EPSKG : 重力凝集係数に乗じるファクター [-]</p> <p>EPST : 自動タイムステップ・ファクター 但し EPST または DELTI が 0 の時は入力による Δt (後述) を使う。 [-]</p> <p>DELTI : " (初期値) また DELTI が 正の時は最初から自動決定し, 負の時は第 1 室の濃度 [sec]</p> <p style="padding-left: 20px;">度が減少し始めてから自動決定する。</p> <p>TMAX : 現象最大時間 (ブランクの時 1.2×10^5 sec) [sec]</p>							

5. 室カード (その1)

5.~8.まではNCL組くり返して入力すること

10	20	30	40	50	60	70	80
HH (I)	VV (I)	SS (I)	SF (I)	PR (I)	DELD (I)	HANT (I)	HANT2 (I)
E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0
HH (I) : 室高さ VV (I) : " 体積 SS (I) : " 表面積 SF (I) : " 床面積 PR (I) : 室内プラントル数 DELD (I) : " 温度境界層厚さ HANT (I) : " 小粒径側打ち切り数 HANT 2 (I) : " 大 "						[cm] [cm ³] [cm ²] [cm ²] [-] [cm] [ヶ] [ヶ]	

6. 室カード (その2)

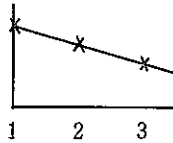
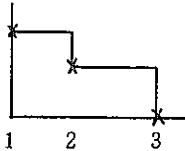
10	20	30	40	50	60	70	80
FL 2 (I)	O 1 (I)	O 2 (I)	O 3 (I)	O 4 (I)	O 5 (I)	O 6 (I)*	
E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0	
FL 2 (I) : 室 I より外部への漏洩率 O : 基礎式オプション $\frac{dN_R}{dt} = O 1 \cdot \frac{1}{2} \sum K_{ij} N_i N_j - O 2 \cdot N_R \sum K_{ik} N_i - [O 3 \cdot \frac{V_s}{H} + O 4 \cdot \frac{V_d S}{V} + O 5 \cdot \frac{V_t S}{V} + O 6 \cdot \frac{FL 2}{V}] N_R + S_R$ (* O 6 (I) が負の時カード 9 の漏洩係数カードが入力される)							

7. 時間依存データのテーブル長さ

	10	20	30	40	50	60	70	80
KNT(I)								
I 5								
KNT(I) : 次の 8. でよみ込む時間依存データの枚数								

8. 時間依存データ

KNT(I) 枚くり返す

	10	20	30	40	50	60	70	80
TIM(J, I)	TL (J, I)	TW (J, I)	PL (J, I)	SORCE				
E10.0	E10.0	E10.0	E10.0	E10.0				
<p>TIM(J, I) : 時刻</p> <p>TL (J, I) : 室内ガス温度</p> <p>TW (J, I) : " 壁 "</p> <p>PL (J, I) : " 圧力 "</p> <p>SORCE : 第一室にのみ有効, エアロゾル生成率, sorcl は TIM(J+1, I) まで持続する。</p>							<p>[min]</p> <p>[°C]</p> <p>[°C]</p> <p>[dyne/cm²]</p> <p>[g/cm³·sec]</p>	
<p>TIM (1, I) は 0 分, TIM (last, I) は現象時間をこえてなければいけない。</p>								

9. 漏洩係数カード

(58.12.18 削除)

10	20	30	40	50	60	70	80
FTR (1, I)	FTR (2, I)						
E 1 0.0	E 1 0.0						
FTR (J, I) : 粒径群 J の漏洩係数 (0. ~ 1. の数值)							[-]

10	20	30	40	50	60	70	80

10. プロットスケール・カード

XMINT	XMAXT	YMINC	YMAXC	XMINR	XMAXR	YMINX	YMAXX	
E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0	E 10.0	
XMINT :	(C-time) 曲線の	時間最小値						
XMAXT :		" 最大値						
YMINC :		濃度最小値						
YMAXC :		" 最大値						
XMINR :		(r-x) 曲線の	半径最小値		これはブランクの時は自動的に決定する。			
XMAXR :			" 最大値					
YMINR :			粒子数最小値					
YMAXR :			" 最大値					

11. リーク路カード

NLEAK 枚入力する

LEKFM	LEKTO	FLEAK	
I 5	I 5	I 5	
LEKFM :			
LEKTO :	LEKFM室より LEKTOへ FLEAK だけ leak する。		
FLEAK :			{ cm ³ /sec }

12. タイムステップカード

LDT ≥ 1 のとき

10	20	30	40	50	60	70	80
DT (1)	DT (2)	くり返し					
E 10.0	E 10.0	...					
DT (I), I = 1, LDT : タイムステップ							[sec]

13. 計算回数カード

LDT ≥ 1 のとき

10	20	30	40	50	60	70	80
MDT (1)	MDT (2)	くり返し					
I 10	I 10	...					
MDT (I), I = 1, LDT : タイムステップ DT (I) で計算する回数							
(すなわち 最終 time = $\sum_{\ell=1}^{LDT} MDT_{\ell} \cdot DT_{\ell}$ である。)							

5. ABR-D 出力説明

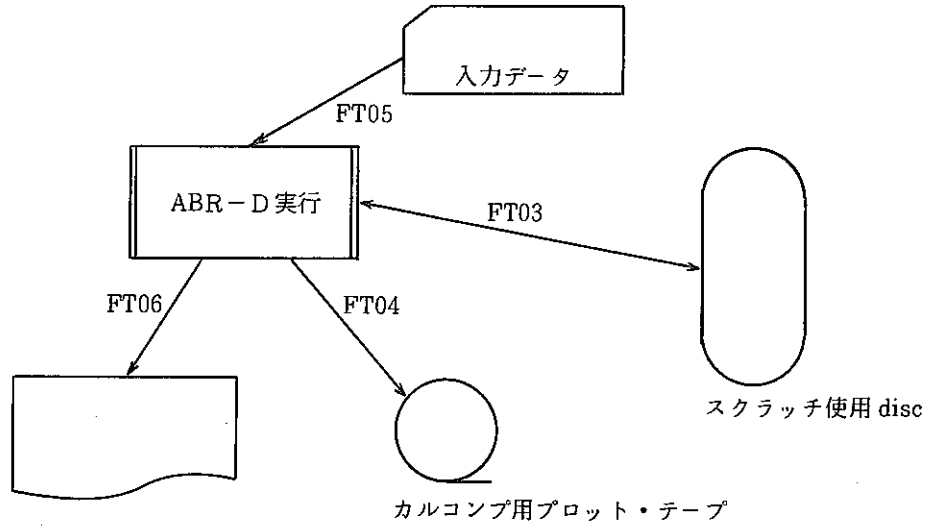
室毎の詳細いプリント

R : 粒半径 [cm]
V : 粒体積 [cm³]
NEWNK : 個数 [ヶ/cm³]
CONC : 室濃度 [g/cm³]
FLOOR : 沈降量 (この時刻までの総量) [g]
WALL : 付着量 (") [g]
AMAD : 等価空気力学的径 [cm]
(= 9 × 質量平均径)

簡易プリント

各時刻 [sec] 毎に各室 i の濃度 C_i [g/cm³] が出力される。

6. プログラム実行時のファイル



7. サンプル計算

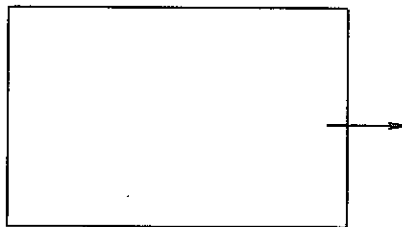
7.1 容器及び初期データ

ABC-K コードによるサンプル計算は実測データのある容器に対して行った。

容器1. 図7.1 容器1データで示すように、1室タイプの試験用グローブボックスで、W350 cm, L 350 cm, h 240 cm, 総容積 $2.97 \times 10^7 \text{ cm}^3$ の大型グローブボックスであり、ウランエアロゾル放出口からウランエアロゾルを放出しエアロゾルの拡散、沈着を測定できる。

容器2. 図7.2 容器2データで示すように、6室タイプの容器で、それぞれ、 $1.64 \times 10^8 \text{ cm}^3$, $1.2 \times 10^9 \text{ cm}^3$, $2.40 \times 10^9 \text{ cm}^3$ の容積を持つ容器であり、空気流線に示す換排気系統を持つ。

表7.1には計算上使用する各種パラメータを示した。この中で、初期濃度 C_i , 粒子径 α_p , σ_g 及び、各室間のリーク率ソースタームを変化させて各種の計算を行い、実測データとの比較を行っている。粒子の熱伝導率、比重、プラントル数、ガス温、壁温度、圧力については、表7.1に示すデータをすべてのケースに使用している。



	Vol cm^3	W cm	L cm	h cm
室の大きさ	2.94×10^7	350	350	240

$$\text{リーク率} \begin{cases} \text{①} & 0 \\ \text{②} & 2.1 \times 10^{-11} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3 \cdot \text{sec}} \rightarrow (1.63 \times 10^4 \frac{\text{cm}^3}{\text{sec}}) \end{cases}$$

図7.1 容器 C1 室の大きさとリークパス (leak path) データ

表 7.1 容器 C 2 室の形状データ

室No.	V (cm ³)	H (cm)	W (cm)	L (cm)	S _S (cm ²)	S _F (cm ²)
①②③④	1.64×10^8	374	5400	810	$1,447 \times 10^6$	$4,374 \times 10^5$
⑤	1.20×10^9	374	5940	540	$8,055 \times 10^6$	$3,208 \times 10^6$
⑥	2.40×10^9	748	5940	540	$1,290 \times 10^7$	$3,208 \times 10^6$

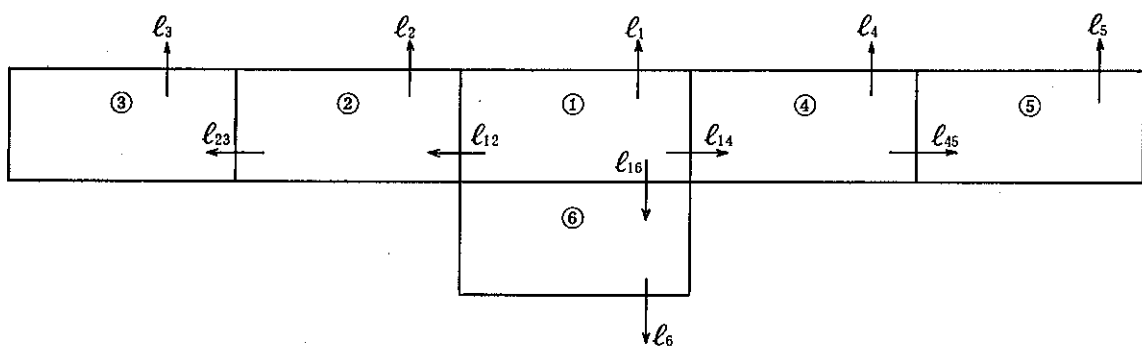


図 7.2 容器 C 2 室の大きさとしークパス (leak path) データ

表 7.2 容器 1, 2 におけるエアロゾル計算データ

		容器 C 1	容器 C 2
室 数		1	6
初期濃度 C_i		$3.8 \times 10^{-8} \text{ g/cm}^3$ ($1 \times 10^{-8} \mu\text{Ci/cm}^3$)	$6.6 \times 10^{-13} \text{ g/cm}^3$ ($2.7 \times 10^{-8} \mu\text{Ci/cm}^3$)
粒子径	r_p	$0.38^{*3} \mu\text{m} (0.35)^{*1}$	$0.03 (\approx 0.02 \sim 0.05 \mu\text{m})$
	σ_g	1.7 (1.4)	1.7
	粒径範囲	$0.05 \mu\text{m} \sim 5 \mu\text{m}$	$0.01 \mu\text{m} \sim 1 \mu\text{m}$
熱伝導率	空 気	空気 20°C $6.14 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$	同 左
	エアロゾル	$8.89 \times 10^{-3} \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}}$	$8.33 \times 10^{-4} \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}}$ $0.3 \text{ kcal/m} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$
比 重	(みかけ)	2.9 g/cm^3	(1.2)
	(真)	—	1.2 g/cm^3
室 体 積 等		☒ 1	☒ 2
Prand + 1 number		(0.7)	
D-Sub layer		(0.01)	
各室のリーク		☒ 1	☒ 2
ガ ス 温 度		20°C	
壁 温 度		20°C	
圧 力		$1 \text{ atm} \rightarrow 10^6 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2}$	
ソ ー ス タ ー ム		—	$4.4 \times 10^{-16} \frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{sec}}$ ($t=0$ から 600 sec まで)
計 算 時 間		10 h	(2 h)
注：酸化物便監 $\text{UO}_3 \text{ w/m} \cdot \text{deg}$ $\left\{ \begin{array}{ll} 28.052 & 298 - 423^\circ\text{K} \\ 26.377 & 423 - 613^\circ\text{K} \\ 25.539 & 583 - 873^\circ\text{K} \end{array} \right.$			

7.2 サンプルケース1

7.2.1 C1, C2の漏洩率

(1) 容器C1の場合

- ① 室体積 $V = 2.94 \times 10^7$ [cm³]
- ② 初期濃度 $C_0 = 3.8 \times 10^{-8}$ [g/cm³]
- ③ リーク率 $\ell = 2.1 \times 10^{-11}$ [g/cm³・sec]

④ 入力リーク率 $F_1 = \frac{V}{(C_0/\ell)}$

$$= \frac{2.94 \times 10^7}{3.8 \times 10^{-8}} \times 2.1 \times 10^{-11}$$

$$= 1.63 \times 10^4 \text{ [cm}^3/\text{sec]}$$

(2) 容器C2の場合

- ① 初期濃度 (室①) $C_0 = 6.6 \times 10^{-13}$

- ② leak 率 $\frac{\text{cm}^3}{\text{sec}}$

$\ell_{12} = \ell_{23} = 6.04 \times 10^4$	$\ell_{23} = \ell_{12} = 3.4 \times 10^{-16}$
$\ell_{14} = 1.69 \times 10^4$	$\ell_{14} = 9.5 \times 10^{-17}$
$\ell_{45} = 391$	$\ell_{45} = 2.2 \times 10^{-18}$
$\ell_{16} = 604$	$\ell_{16} = 3.4 \times 10^{-18}$
$\ell_1 = 88.9$	$\ell_1 = 5 \times 10^{-19}$
$\ell_2 = 0$	$\ell_2 = 0$
$\ell_3 = 302$	$\ell_3 = 1.7 \times 10^{-16}$
$\ell_4 = 3380$	$\ell_4 = 1.9 \times 10^{-17}$
$\ell_5 = 78.2$	$\ell_5 = 4.4 \times 10^{-19}$
$\ell_6 = 120$	$\ell_6 = 6.8 \times 10^{-19}$

- ③ 発生頃 (600 sec まで) $S_0 = 4.4 \times 10^{-16}$

$$\begin{aligned} \text{室①のエアロゾル総量 } m_1 &= C_0 + S_0 \times 600 \text{ sec} \\ &= 6.6 \times 10^{-13} + 4.4 \times 10^{-16} \times 600 \\ &= 9.24 \times 10^{-13} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{室①のリーク総量 } L_1 &= l_1 + l_{12} + l_{16} + l_{14} \\ &= 5 \times 10^{-19} + 3.4 \times 10^{-16} + 3.4 \times 10^{-18} + 9.5 \times 10^{-17} \\ &= 4,389 \times 10^{-16} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{室①の排出時間 } T_1 &= m_1 / L_1 \\ &= 2105 \text{ sec} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{室①の排出率} &= V_1 / L_1 \\ &= 1.64 \times 10^8 / 2105 \\ &= 7.8 \times 10^4 \quad [\text{cm}^3 / \text{sec}] \end{aligned}$$

以上の準備よりまず室①について、入力リーク率を求めると

$$\begin{aligned} F_1 &= \frac{k_1 l_1}{L_1} \\ &= 88.9 \end{aligned}$$

$$F_{1i} = \frac{k_i l_{1i}}{L_1} \quad (i = 2, 4, 6)$$

$$F_{12} = 6.04 \times 10^4$$

$$F_{14} = 1.69 \times 10^4$$

$$F_{16} = 604$$

次に室②については $l_{12} = l_{23}$ より

$$F_{23} = F_{12} = 6.04 \times 10^4$$

$$\begin{aligned} \text{室③では } F_3 &= F_{23} \times \frac{l_3}{l_{23}} \\ &= 3.02 \times 10^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{室④ } F_{45} &= F_{14} \times \frac{l_{45}}{l_4 + l_{45}} \\ &= 391 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_4 &= F_{14} \times \frac{l_4}{l_4 + l_{45}} \\ &= 3380 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{室⑤ } F_5 &= F_{45} \times \frac{l_5}{l_{45}} \\ &= 78.2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{室⑥} \quad F_6 &= F_{16} \times \frac{l_6}{l_{16}} \\ &= 120 \end{aligned}$$

以上のような漏洩率計算のもとで、容器1及び2について以下のような具体的漏洩率をとり計算を行った。

容器1

- | | | | |
|---|-----------------|------------------|---------|
| ① | $\gamma_g = 38$ | $\sigma_g = 1.7$ | leak なし |
| ② | " | " | leak あり |
| ③ | $\gamma_g = 35$ | $\sigma_g = 1.4$ | leak あり |

容器2

- | | |
|---|------------------|
| ④ | $\gamma_g = 0.2$ |
| ⑤ | $\gamma_g = 0.3$ |
| ⑥ | $\gamma_g = 0.5$ |

以下の表に計算結果を示す。

7.2.2 サンプル計算入力カード及び出力データ

ABCK CASE-1 SINGLE CONTAINMENT									
50	300	1	8	3	50	1	0		
3.8-8	.38-4	1.7			1.38318	5.23598-16			
8.89-3	8.33-4	2.9				0.	0.	36000.	
2.4+2	2.94+7	3.36+5			1.23+5	.7	.01	.1	.1
1.63+4	1.	1.			1.	1.	1.	1.	
UP 5									
ABCK CASE-1 SINGLE CONTAINMENT									
L #	30								
ABCK CASE-1 SINGLE CONTAINMENT									
50	300	1	8	3	50	1	0		
3.8-8	.38-4	1.7			1.38318	5.23598-16			
8.89-3	8.33-4	2.9				0.	0.	36000.	
2.4+2	2.94+7	3.36+5			1.23+5	.7	.01	.1	.1
1.63+4	1.	1.			1.	1.	1.	1.	
2									
0.	20.	20.			1.013+6				
1.+10	20.	20.			1.013+6				
2.	5.	10.			20.	30.	60.	120.	150.
	5	6			8	6	6	13	40
									300
ABCK CASE-2 MULTI-CONTAINMENT									
50	100	6	8	3	10	1	5		
6.6-13	.03-4	1.7			1.32571	4.18879-18			
8.33-4	6.14-4	1.2				0.	0.	7200.	
374.	1.64+8	1.447+6			4.374+5	.7	.01	.01	.01
88.9	1.	1.			1.	1.	1.	1.	
3									
0.	20.	20.			1.013+6	4.4-16			
10.	20.	20.			1.013+6	0.			
100000.	20.	20.			1.013+6	0.			
374.	1.64+8	1.447+6			4.374+5	.7	.01	1.-4	1.-4
0.	1.	1.			1.	1.	1.	1.	
2									
0.	20.	20.			1.013+6	0.			
100000.	20.	20.			1.013+6	0.			
374.	1.64+8	1.447+6			4.374+5	.7	.01	1.-7	1.-7
302.	1.	1.			1.	1.	1.	1.	
2									
0.	20.	20.			1.013+6	0.			
100000.	20.	20.			1.013+6	0.			
374.	1.64+8	1.447+6			4.374+5	.7	.01	1.-4	1.-4
3380.	1.	1.			1.	1.	1.	1.	
2									
0.	20.	20.			1.013+6	0.			
100000.	20.	20.			1.013+6	0.			
374.	1.2+9	8.055+6			3.208+6	.7	.01	1.-10	1.-10
78.2	1.	1.			1.	1.	1.	1.	
2									
0.	20.	20.			1.013+6	0.			
100000.	20.	20.			1.013+6	0.			
748.	2.4+9	1.290+7			3.208+6	.7	.01	1.-7	1.-7
120.	1.	1.			1.	1.	1.	1.	
2									
0.	20.	20.			1.013+6	0.			
100000.	20.	20.			1.013+6	0.			
1	2	6.04+4							
1	4	1.69+4							
1	6	604.							
2	3	6.04+4							
4	5	391.							
2.	5.	10.			20.	30.	60.	120.	150.
	5	6			8	6	6	13	40
									300

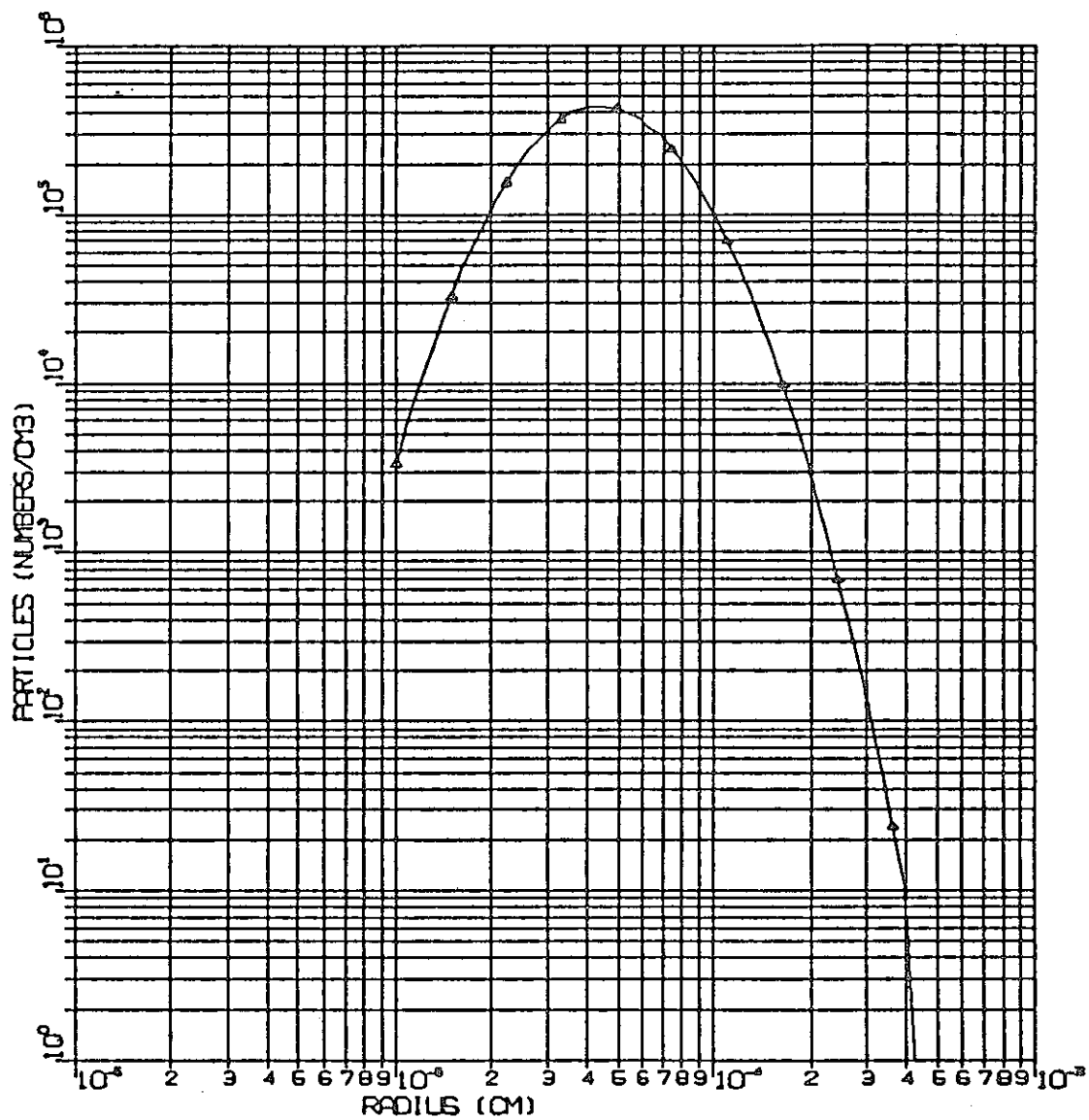


図 7.3 サンプル計算エアロゾル粒度分布

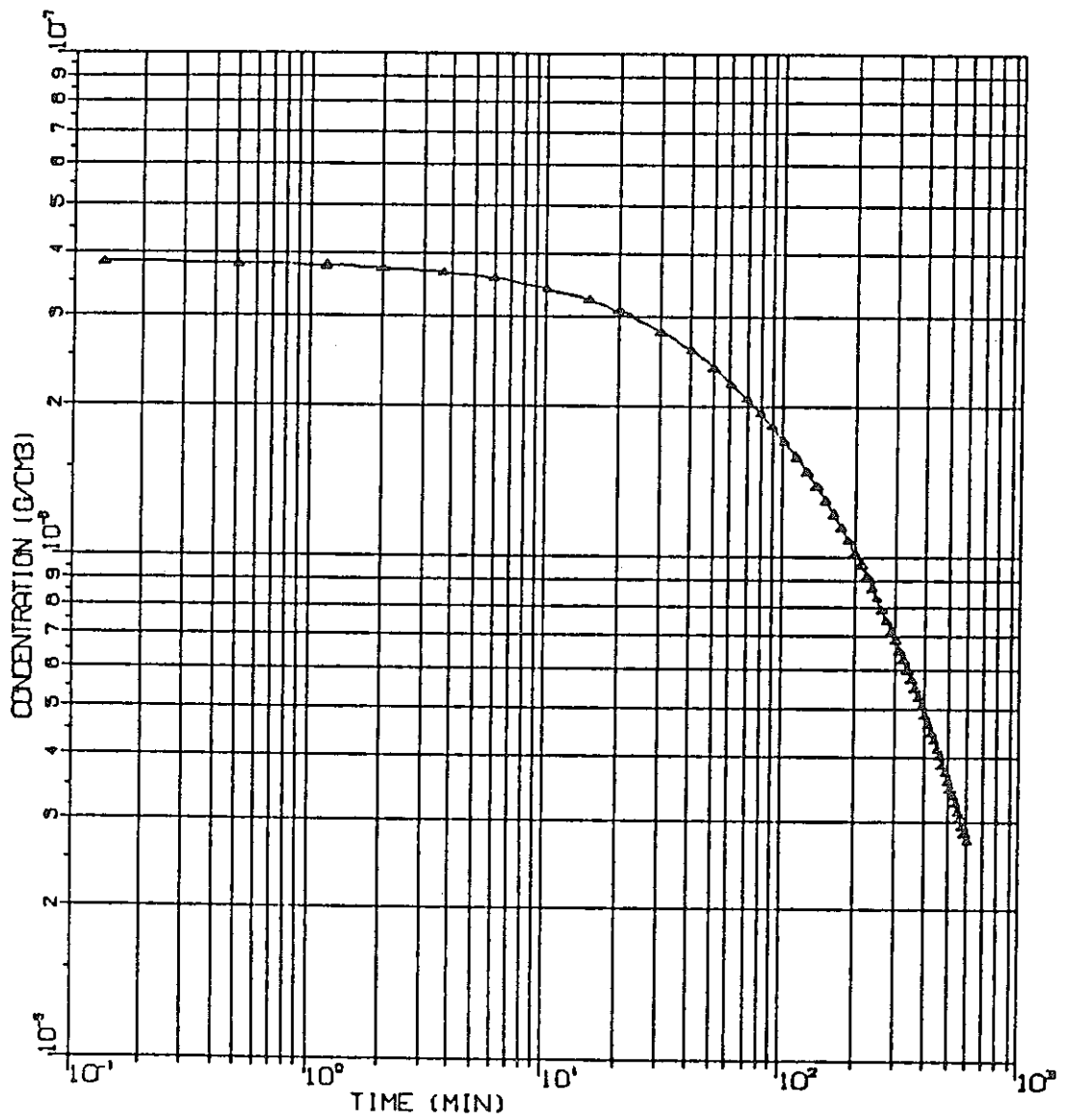


図 7.4 リークなしとありの時の濃度の変化の比較・リークなしの場合 (図 7.5 参照)

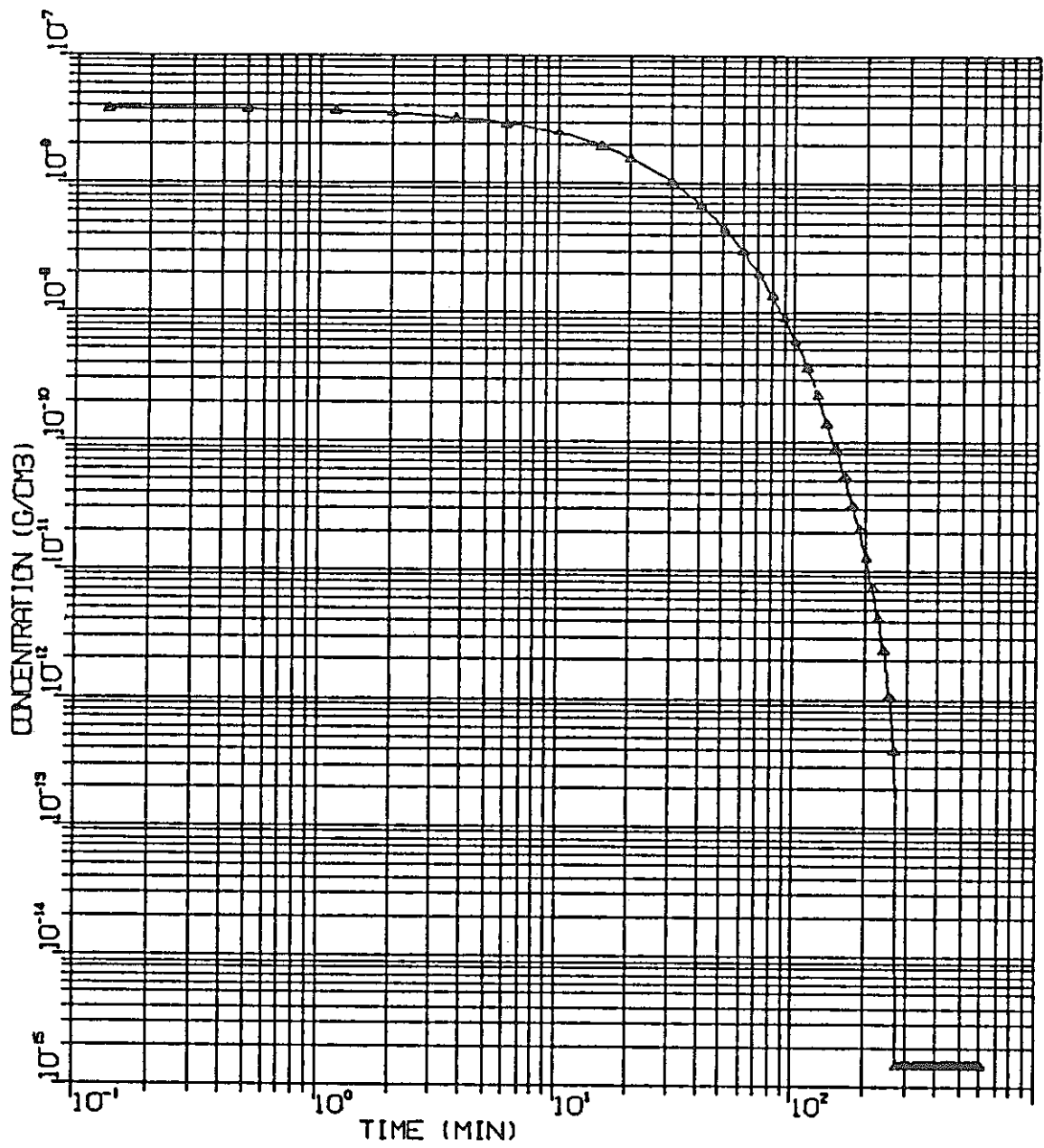


図 7.5 リークなしとありの時の濃度の変化の比較・リークありの場合 (図 7.4 参照)

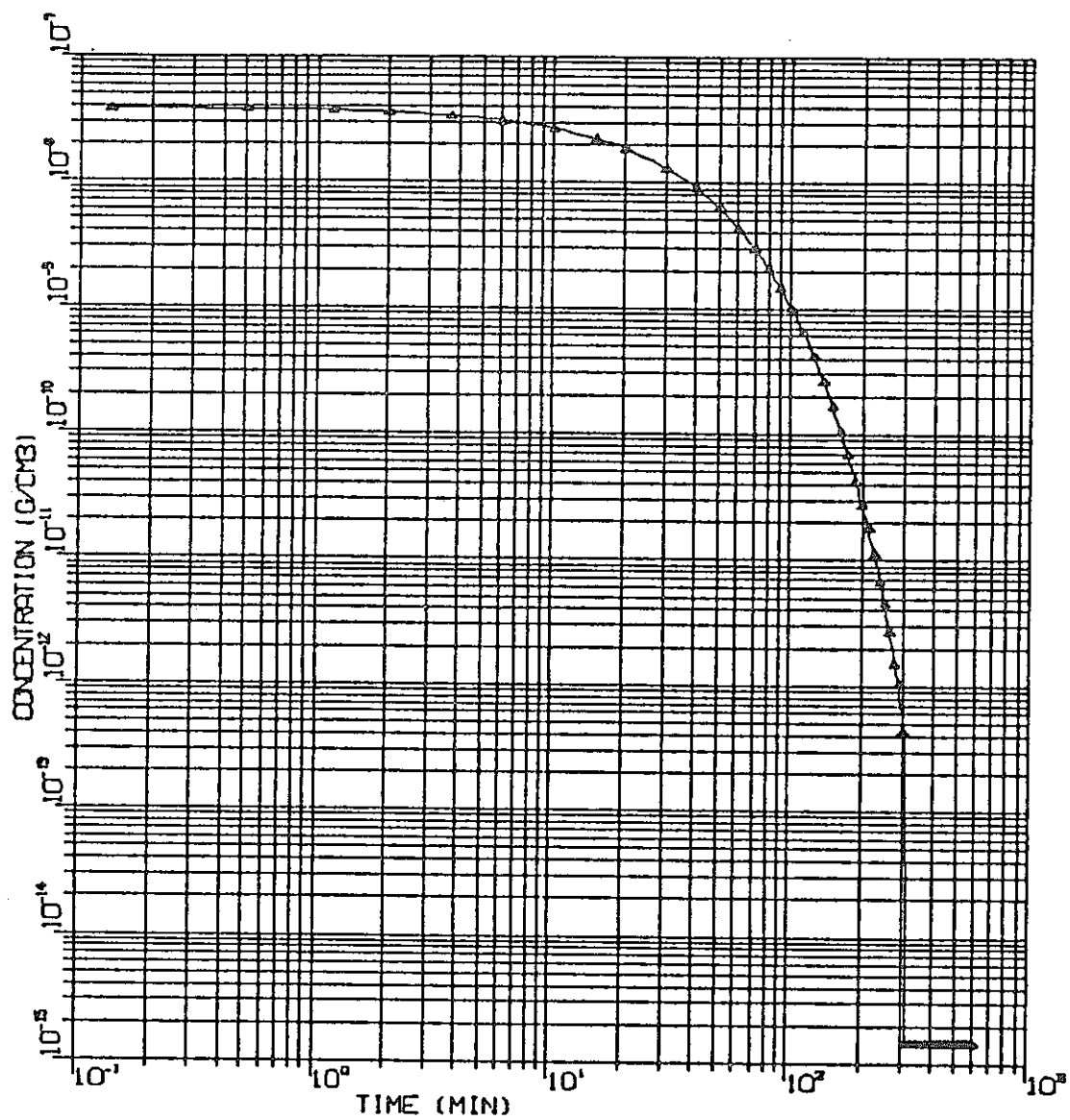
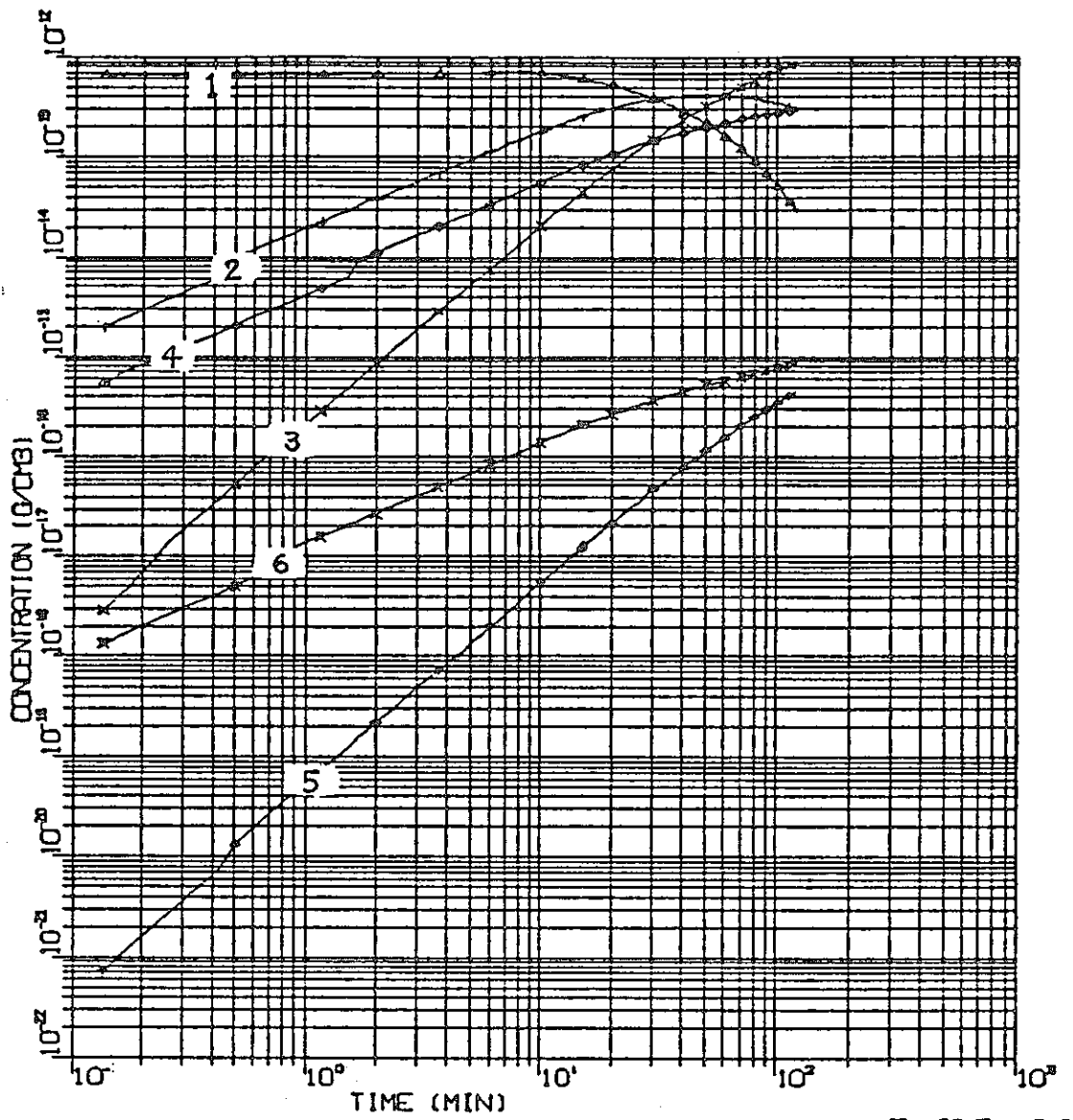


図 7.6 leak ありで、粒径の変化した場合



X	88999	22222
+	88999	22222
o	88999	22222
X	88999	22222
+	88999	22222
△	88999	22222

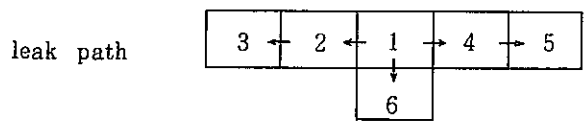
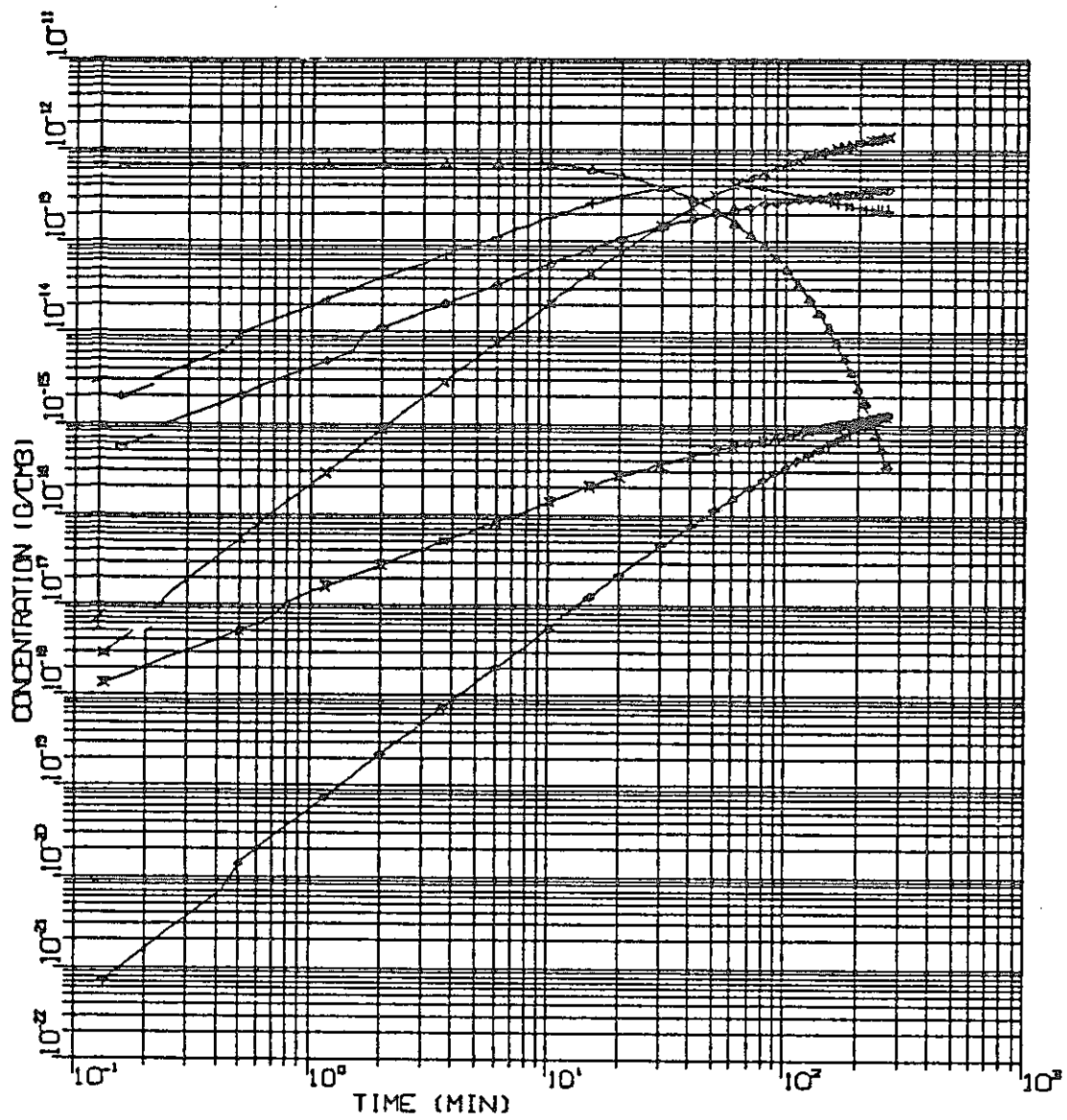
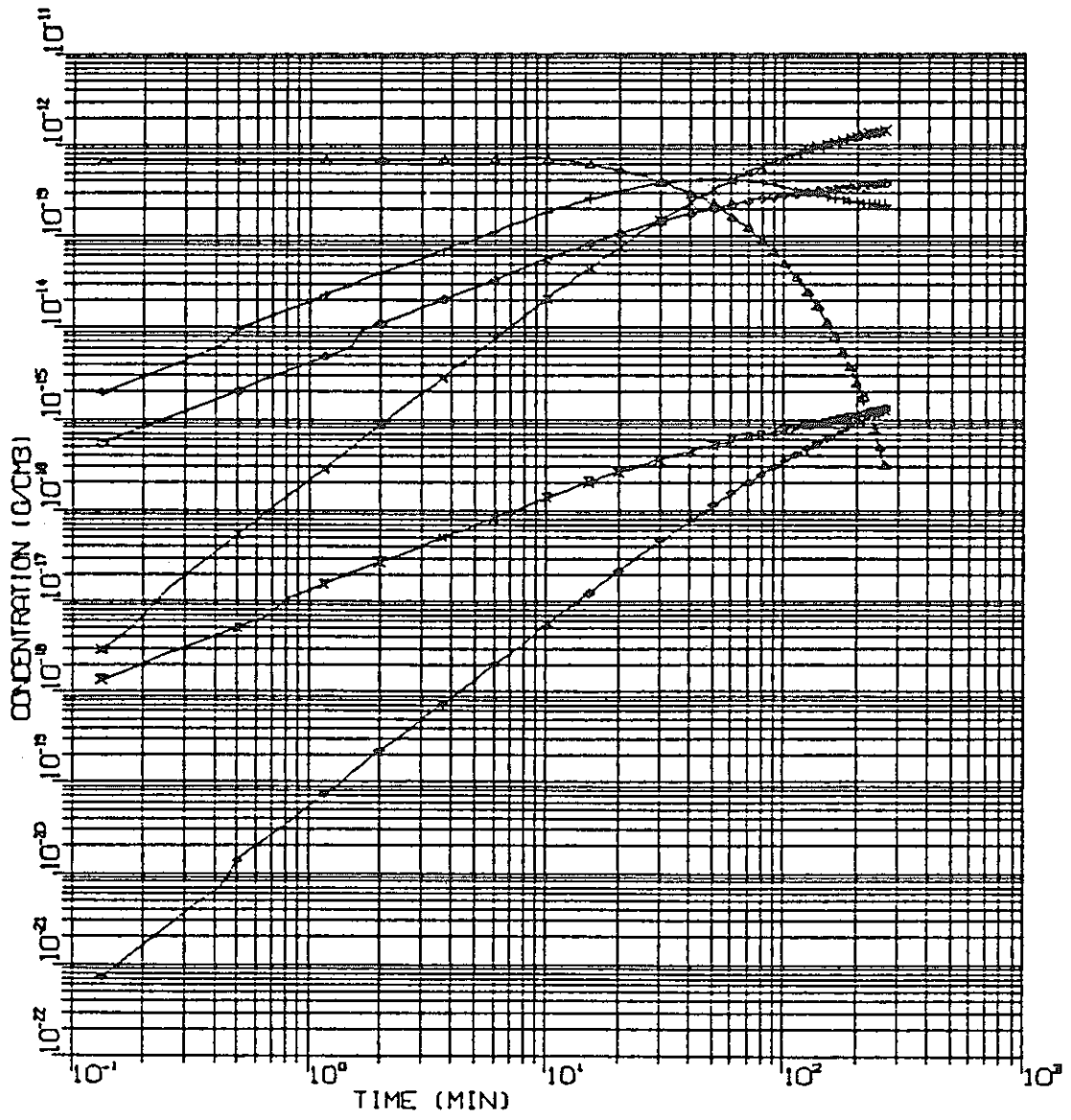


図 7.7 各室の濃度の変化 (容器 2, ④)



X- 55555
 +- 88888
 X- 88888
 +- 88888
 Δ- 22222

図 7.8 各室の濃度の変化 (容器 2, ④)



x 1-1-1
 + 1-1-1
 o 1-1-1
 Δ 1-1-1
 888888
 555555
 666666
 1-23456

図 7.9 各室の濃度の変化 (容器 2, ⑤)

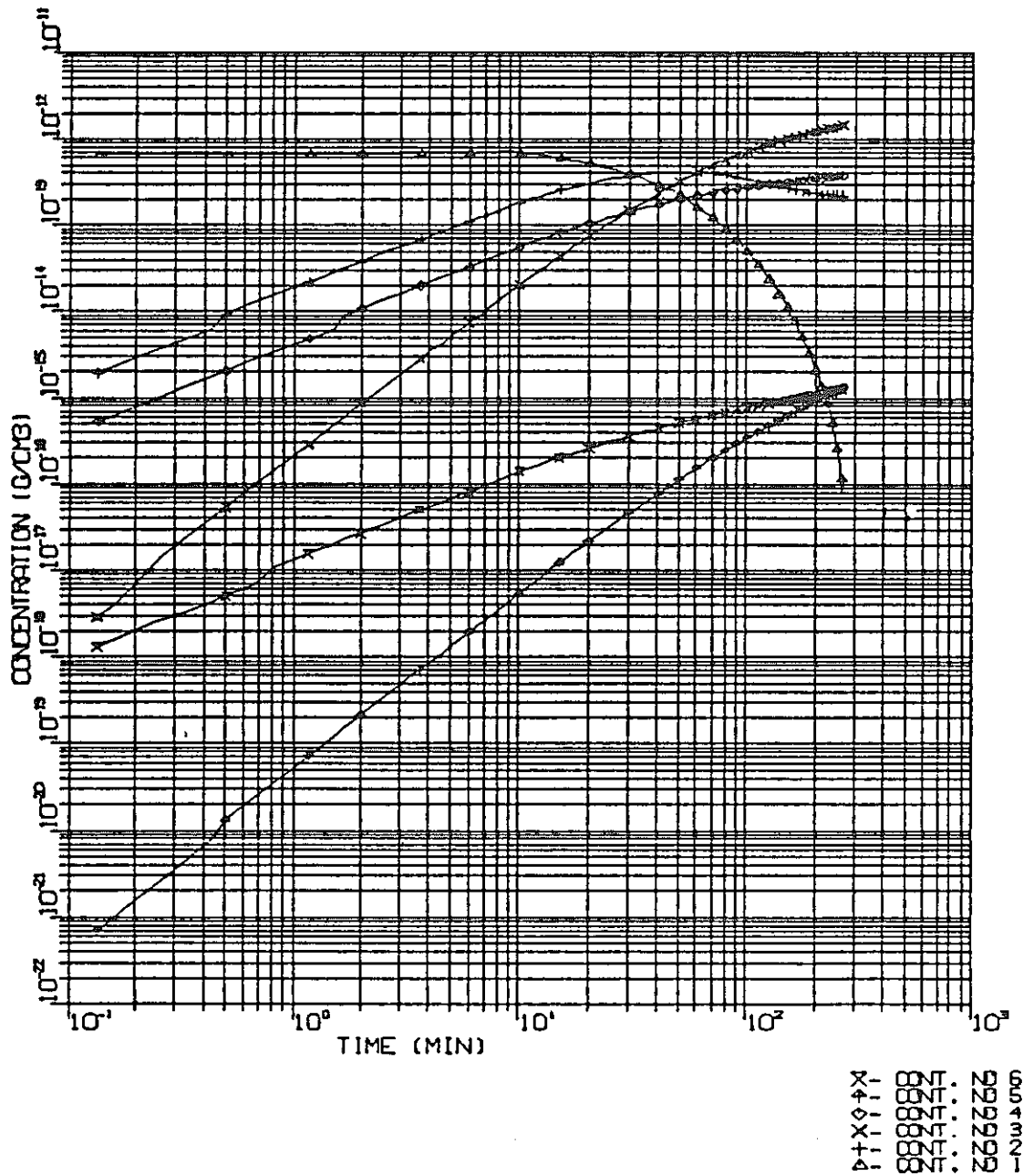


図7.10 各室の濃度の変化(容器2, ⑥)

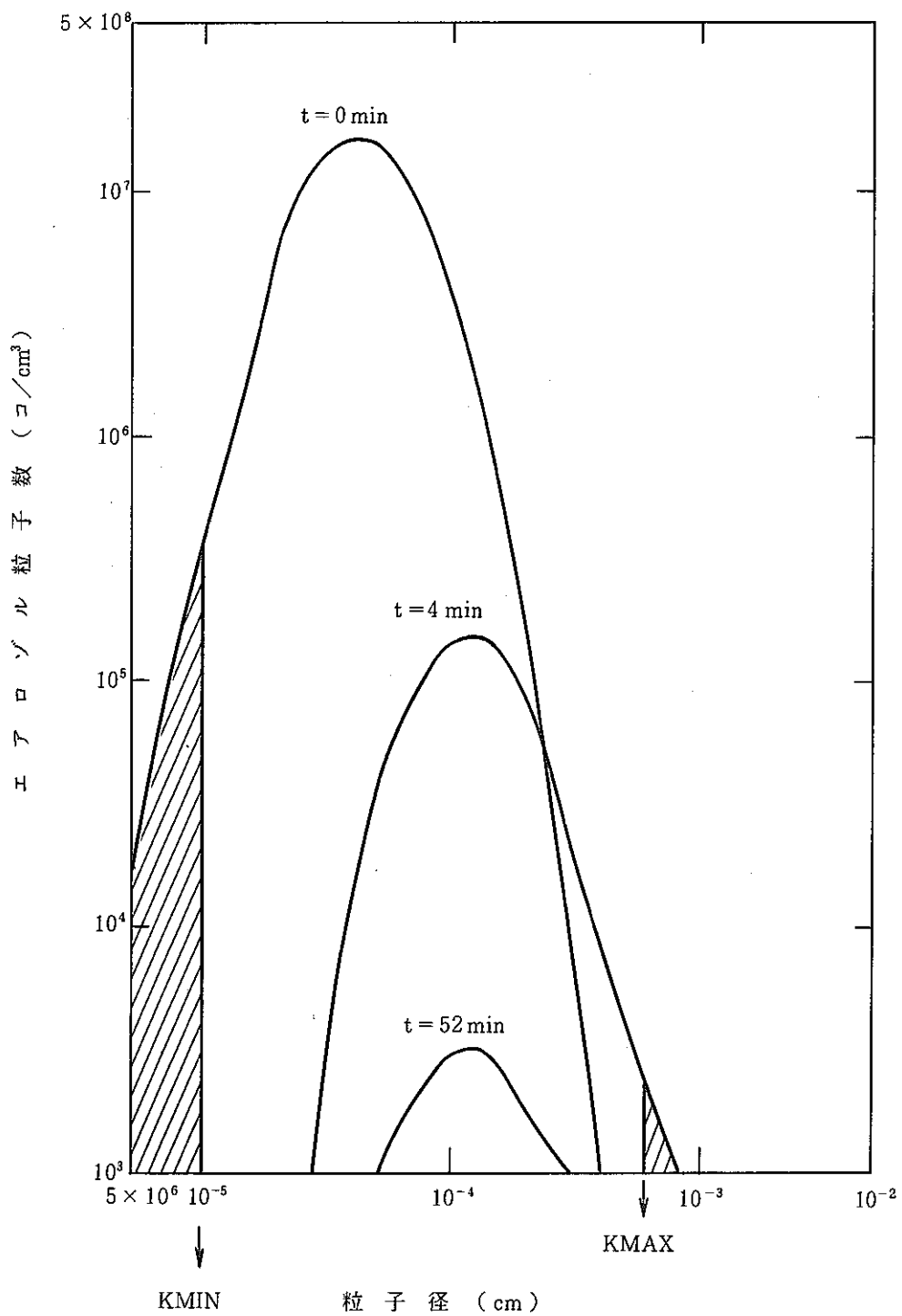


図 7.11 エアロゾル濃度、粒径分布の時間変化の 1 例

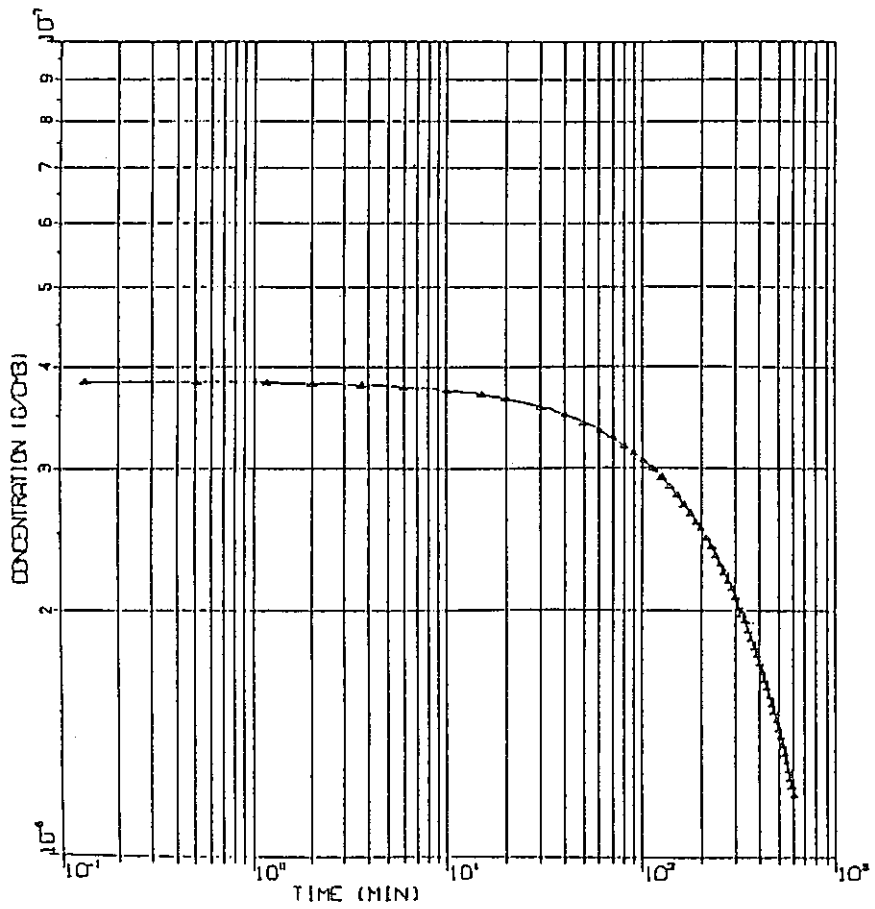
7.3 サンプルケース2

容器1について、リーク率を以下のように変化させた計算を計った。

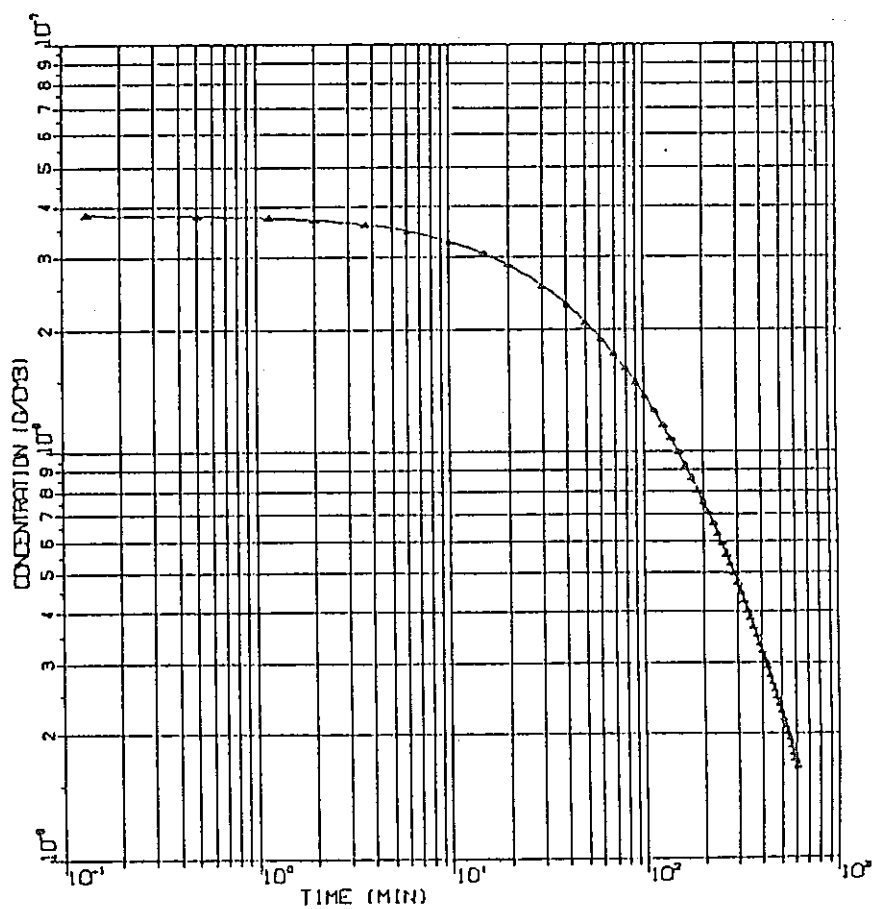
オリジナルデータはP 24 による。

(1)	leak なし	$\gamma g = 0.15 \mu$	
(2)	"	$\gamma g = 0.45 \mu$	
(3)	leak あり	$\gamma g = 0.38 \mu$	leak 率 8.17×10^4
(4)	"	"	8.17×10^3
(5)	"	"	3.27×10^4

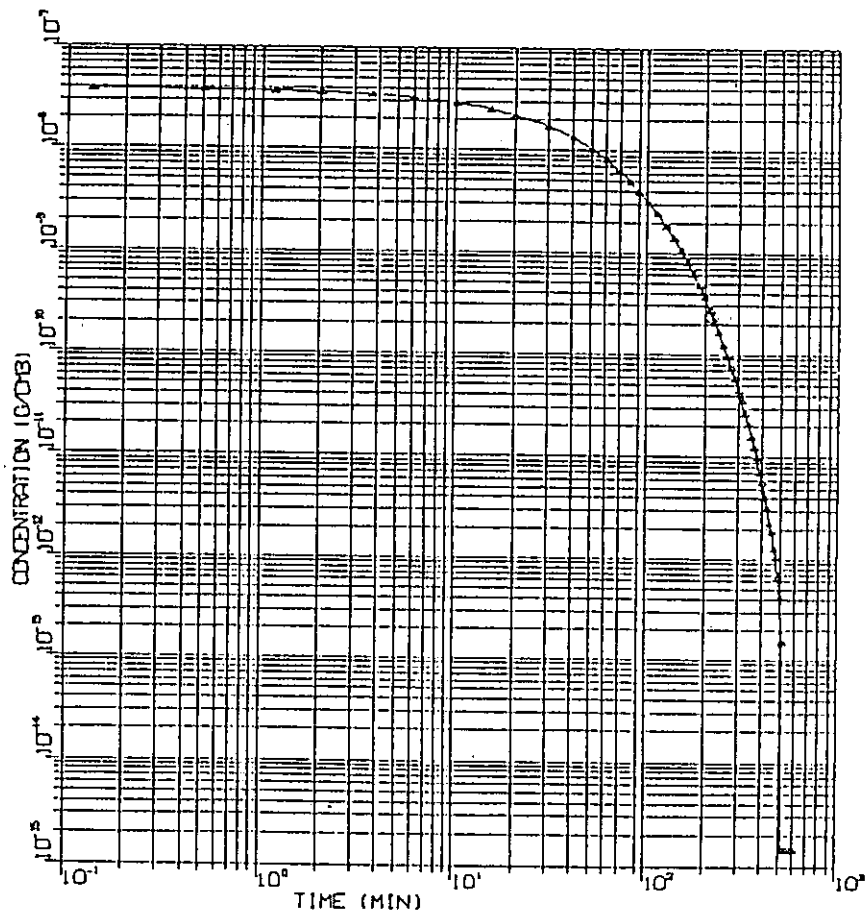
()内番号はプリント及びプロット中の番号に対応している。



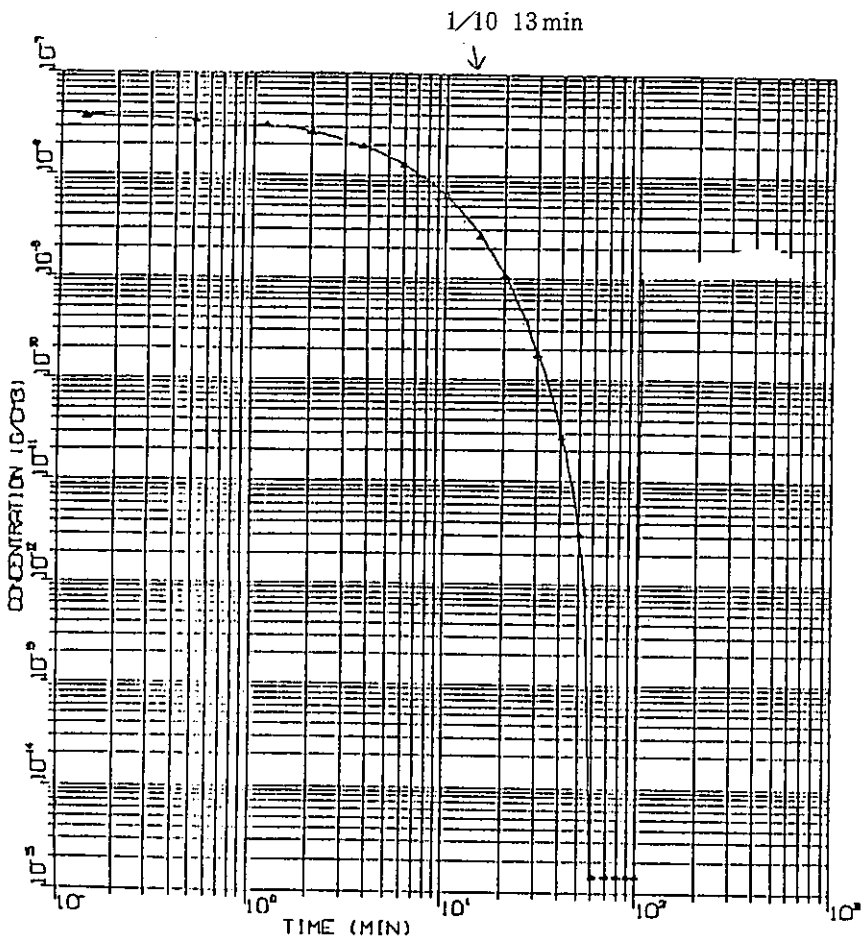
BOX CASE-1 SINGLE CONTAINMENT (1) リークなし $\gamma_g = 0.15 \mu\text{m}$



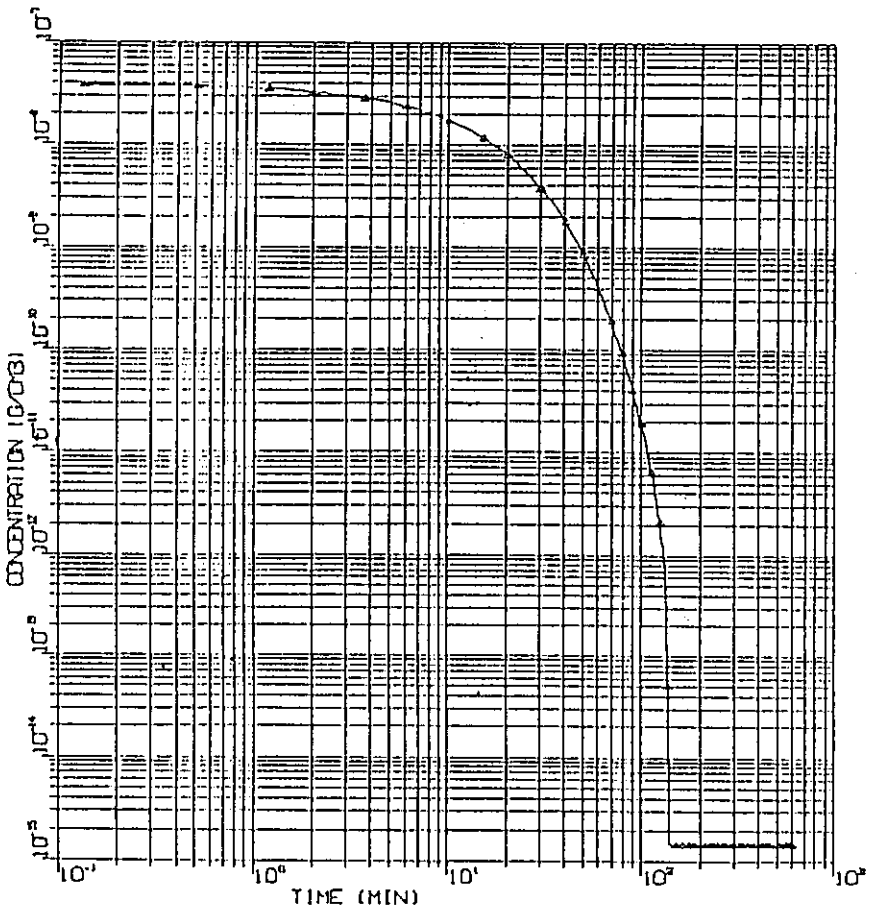
BOX CASE-1 SINGLE CONTAINMENT (2) リークなし $\gamma_g = 0.45 \mu\text{m}$



POCK CASE-1 SINGLE CONTAINMENT 14) リークあり $8.17 \times 10^3 \gamma_g = 0.38 \mu\text{m}$



POCK CASE-1 SINGLE CONTAINMENT 13) リークあり $8.17 \times 10^4 \gamma_g = 0.38 \mu\text{m}$



PACK DYE-1 SINGLE CONTAINMENT (S) リークあり $3.27 \times 10^4 \gamma_g = 0.38 \mu\text{m}$

8. エアロゾルの実測濃度変化

8.1 ウラン (UF₆) エアロゾル拡散実験結果 (C1容器)

実験は、3.5 m × 3.5 m × 2.4 m, 2.94 × 10⁷ cm³⁽¹⁾の立方体グローブボックス内にUF₆エアロゾルを0.5 kg/cm²にて噴出し、換気回数を0～4回/hrの間で変化させて実験を行った結果である。以下に実験結果の具体的データについて述べる。

① エアロゾル粒径分布

$$\gamma_g = 0.38 \quad (0.35 \sim 0.40) \mu\text{m}$$

$$\sigma_g = 1.7 \quad (1.35 \sim 1.9)$$

$$\text{分布範囲} \quad 0.05 \sim 5 \mu\text{m}$$

② 換気回数

0回/h

1回/h

1.7回/h

4回/h

以下、図8.1に空气中放射性物質濃度の時間変化を示しさらに、図8.3にUF₆エアロゾル個数粒度分布を示す。

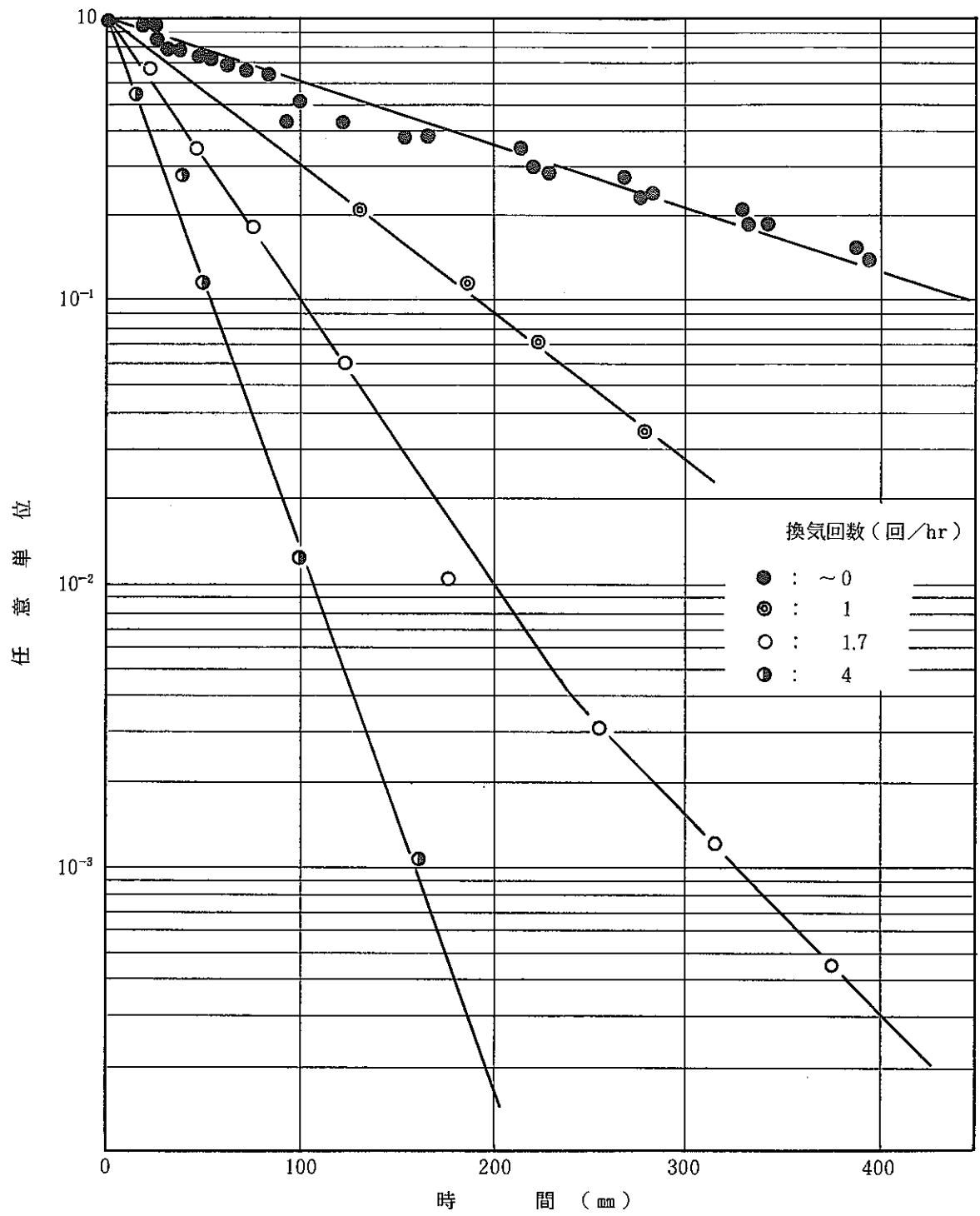


図 8.1 空气中放射性物質濃度の時間変化

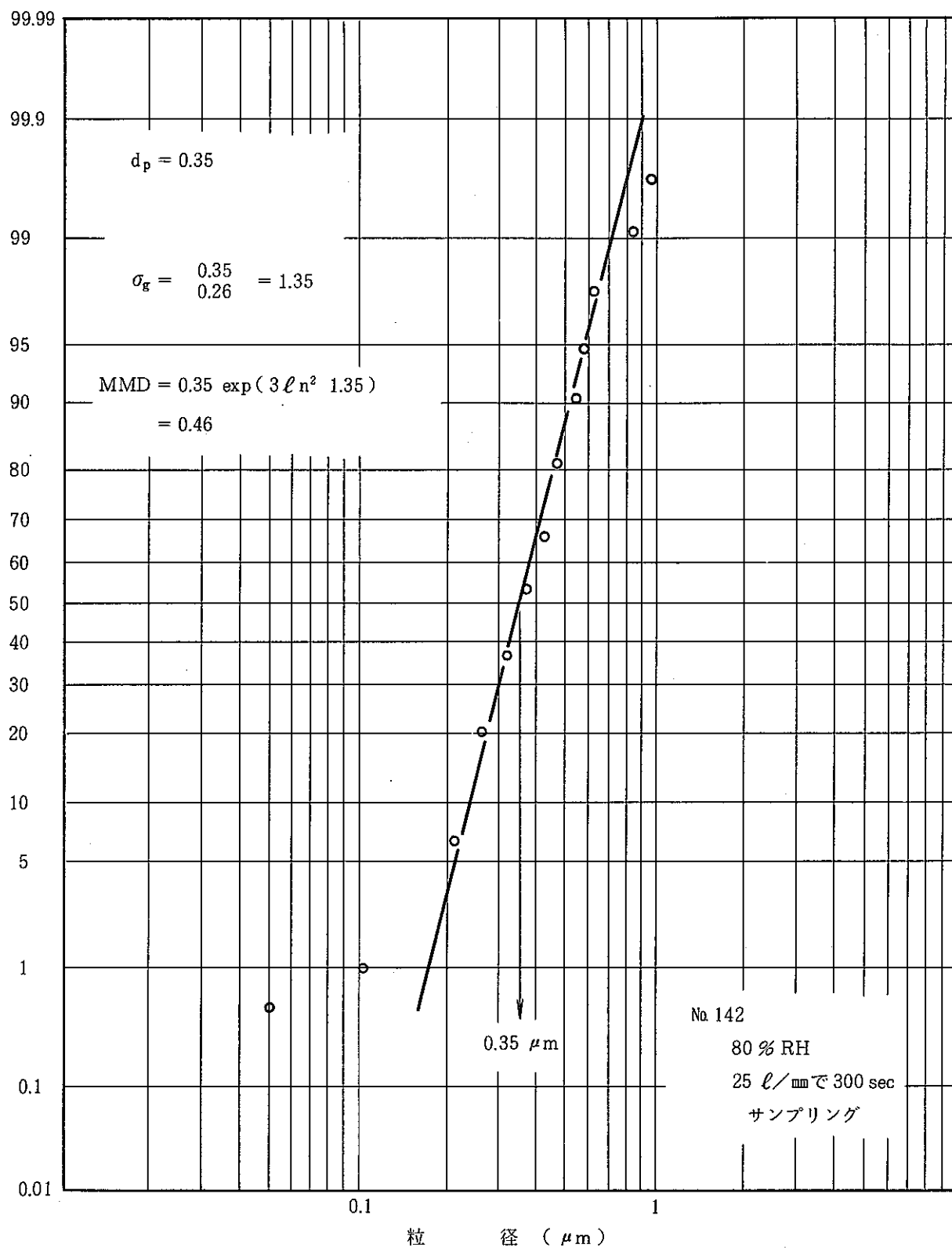


図 8.2 UF₆エアロゾル個数粒度分布

8.2 実測濃度変化と計算値の比較

図8.1に示した、換気回数別のウランエアロゾル濃度減少グラフを横軸に換気回数、縦軸に濃度半減時間を取りその関係を見ると図8.3、図8.4のような関係が見られる。

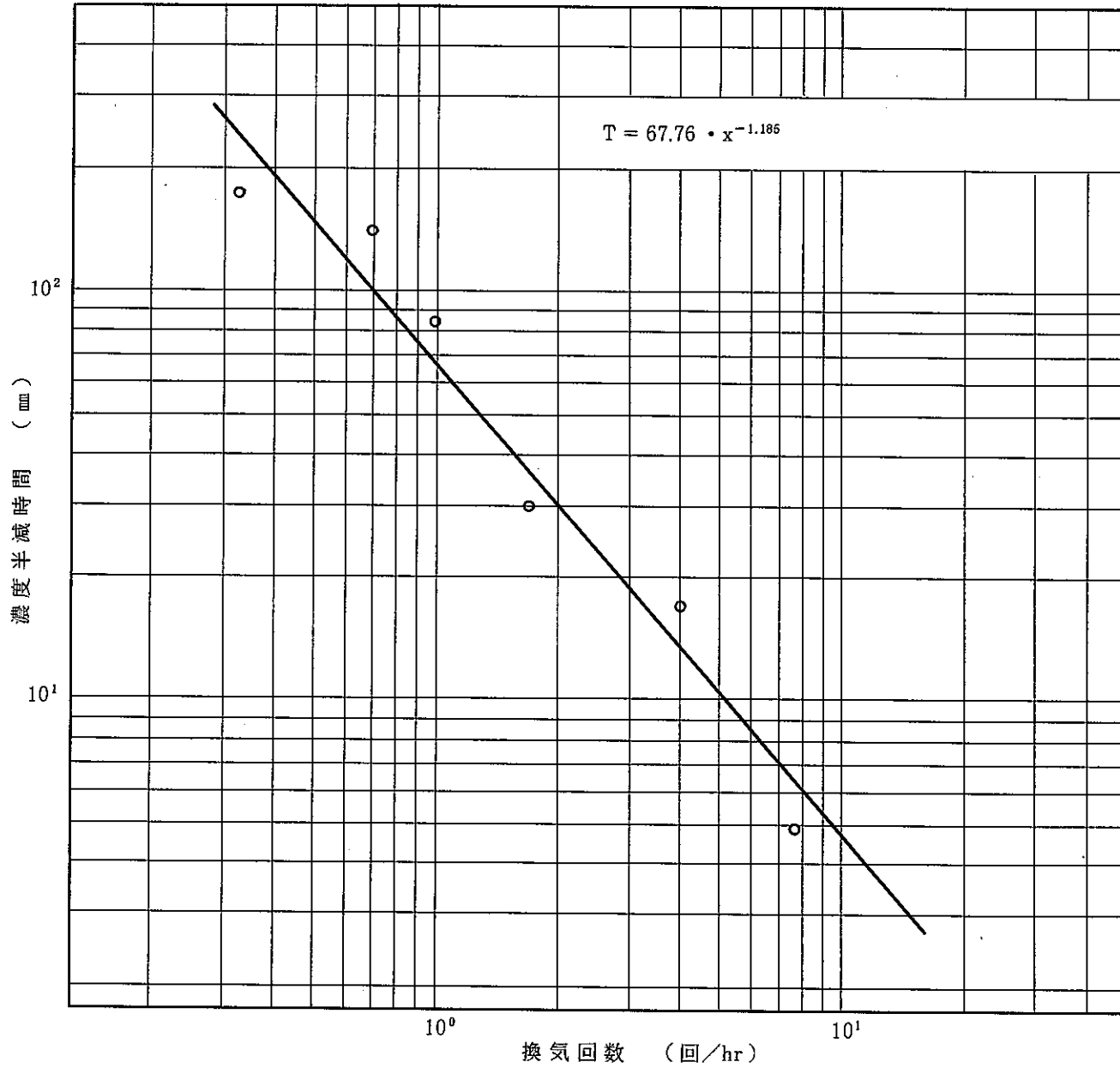
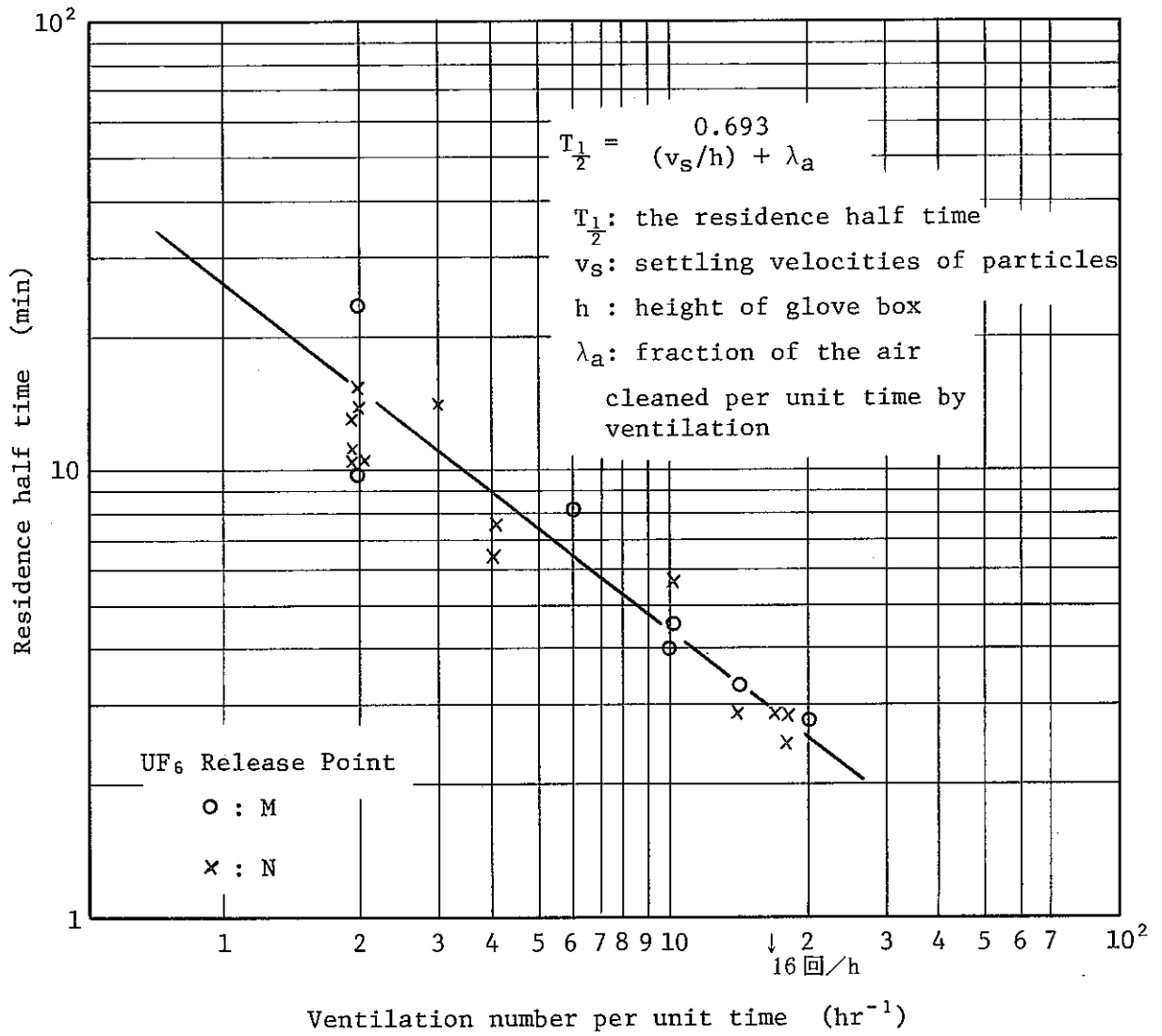


図 8.3 換気回数と空气中放射性物質濃度半減時間の関係



Ventilation number per unit time v.s. Residence half time⁽¹⁾

一方、計算結果は、リーク率別に整理すると下の表 8.1 のようになる。

表 8.1 リーク率別の濃度減少時間

リーク率 (cm^3/sec)	換気回数 (回)	1/2時間 min	1/10時間 min	1/100時間 min
0	0	75	460	—
8.2×10^3	1	27	89	200
1.6×10^4		17	55	110
3.3×10^4	4	9.1	30	60
8.2×10^4	10	4.0	13	27

注 1. $r_g = 0.38$, $\sigma_g = 1.7$

注 2. 1/2時間, 1/10時間, 1/100時間とは, エアロゾル濃度が初期値の 1/2, 1/10, 1/100に減少するまでの時間を言う。

以上の結果を、実測データに書き入れ、表 8.5 に示すと、実測データと計算結果が良く一致していることがわかる。(図 8.5)

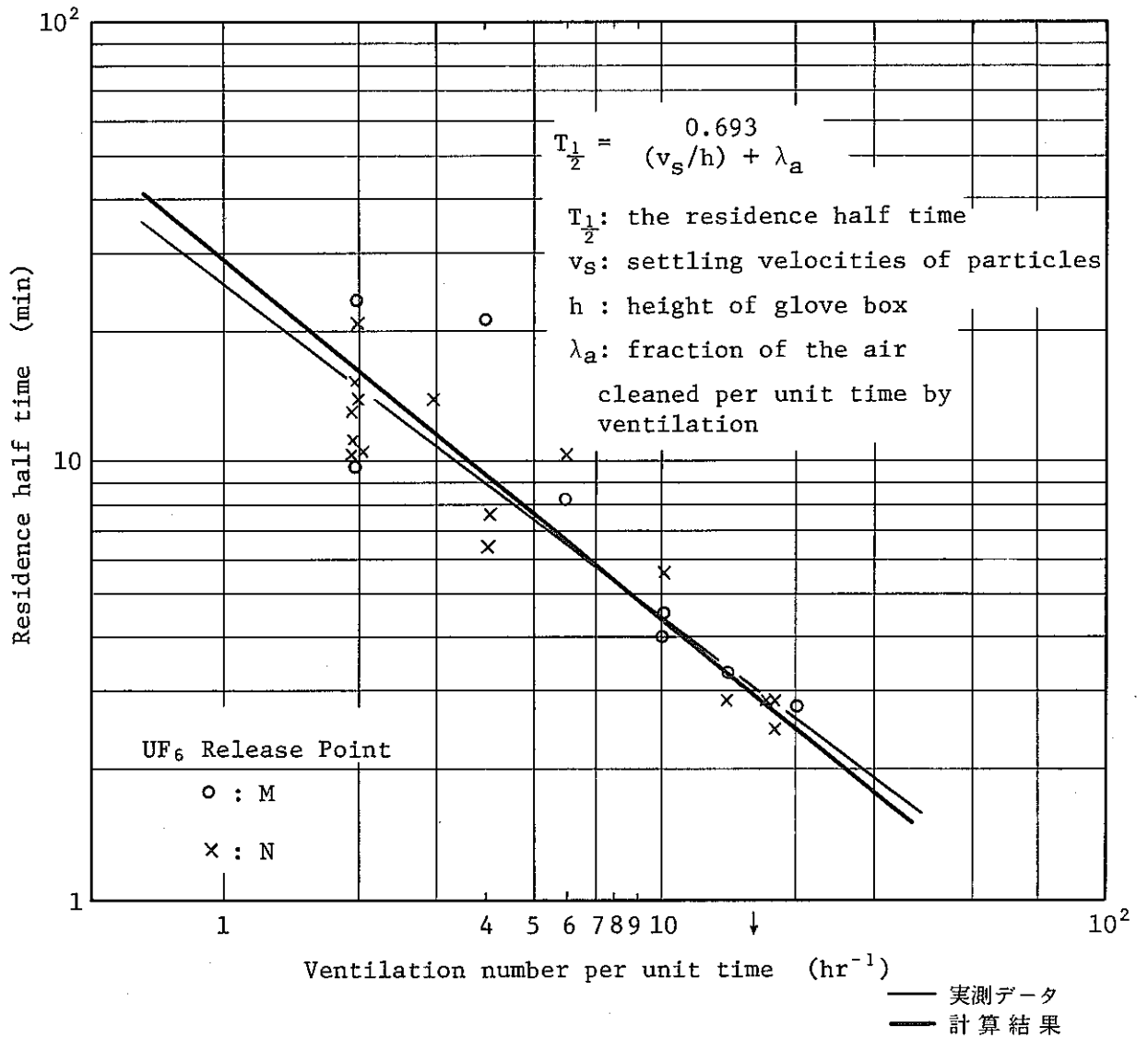


図8.5 Ventilation number per unit time v.s. Residence half time

9. ICRP 内部被ばく計算コード

9.1 預託線量当量 (H_{50})

この H_{50} は、次の2つの仮定に基づいたものである。⁽³⁾

- ① 放射線による影響のリスクは、その線量当量を受けた時間には依存せず、リスクを考えるべき器官または組織の全体について平均した総線量当量によって決まる。
- ② 放射性物質を取り扱う作業の計画のためにICRPは線量当量を積分する適切な期間として50年という就労期間を勧告している。

任意の組織について、ある放射性核種を体内に摂取した後の50年間にわたる、その組織全体で平均した総線量当量は預託線量当量は、 H_{50} とよばれる。そこで H_{50} は以下の式

$$H_{50} = \sum_i \frac{\int^M D_{50,i} Q_i N_i d_m}{\int^M d_m}$$

で与えられる。ここで

M : 特定の器官または組織の質量,

そして、放射線のそれぞれの種類 i に関し、

$D_{50,i}$: 放射性核種を体内に摂取した後の50年という期間内の、その特定の器官または組織の質量素片 d_m における吸収線量の総和

Q_i : 線質係数

N_i : 線量率や分割照射に対する修正係数のような、 Q 以外のすべての修正係数の積,

である。

ここで

$Q = 1$ β 粒子, 電子, および, γ 線, X線ならびに制動放射線を含むすべての電磁放射線。

$Q = 10$ 陽子および自発核分裂で放出される核分裂中性子。

$Q = 20$ 重い反跳粒子, 核分裂片, および核変換から生ずる α 粒子。

$N = 1$

として良いから (ICRP, Pub 26 §18)

$$H_{50} = \sum_i Q_i \overline{D_{50,i}}$$

と簡単になる。ここで、

$D_{50,i}$: 放射性核種を体内に摂取した後の50年間の総吸収線量で、放射線の種類 i

ごとに特定の器官あるいは、組織全体で平均したもの。特定の器官あるいは組織とは、個々の元素に関する代謝データ中で指定した器官および組織の1つをいう。

放射線の種類*i*のそれぞれに関し、線源器官*S*中の放射性核種*j*に起因する標的器官*T*の $H_{50,i}$ は次の2つの因子の積である。

- (a) 摂取した後の50年間にわたる線源器官*S*中の放射性核種*j*の変換の総数
 (b) 線源器官*S*中の放射性核種*j*の変換ごとに放出される種類*i*の放射線による標的器官*T*の*g*あたりに吸収されるエネルギーを、線質係数で適切に修正したもの。
 すなわち、放射性核種*j*からの種類*i*の放射能それぞれに関し

$$H_{50}(T \leftarrow S)_i = Q_i \bar{D}_{50}(T \leftarrow S)_i \\ = U_s \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ SEE}(T \leftarrow S)_i \times 10^3 S_v$$

である。ここで

U_s : 放射性核種*j*を摂取した後の50年間にわたる線源器官*S*中のその核種の変換の数,

1.6×10^{-13} : 1 MeVのジュール数

$\text{SEE}(T \leftarrow S)_i$ (MeVg⁻¹/変換) : 線源器官*S*中の個々の変換により、標的器官*T*に吸収される、種類*i*の放射線に関する比実効エネルギーを線質係数で適切に修正したもの(4.5節参照)

10^3 : g⁻¹からKg⁻¹への換算係数

である。したがって、

$$H_{50}(T \leftarrow S)_i = 1.6 \times 10^{-10} U_s \text{ SEE}(T \leftarrow S)_i S_v$$

また、放射性核種*j*から放出されるすべての種類の放射線に関しては、

$$H_{50}(T \leftarrow S)_j = 1.6 \times 10^{-10} [U_s \sum_i \text{SEE}(T \leftarrow S)_i]_j S_v$$

となる。

一般に、放射性核種の任意の混合物の摂取、すなわち、ある放射性核種とその娘核種および/または他の放射性核種の混合物の摂取に関して、線源器官*S*中の放射能による標的器官*T*の H_{50} は

$$\sum_j H_{50}(T \leftarrow S)_j = 1.6 \times 10^{-10} \sum_j [U_s \sum_i \text{SEE}(T \leftarrow S)_i]_j S_v$$

で与えられる。ここで、*j*についての加算は線源器官に含まれているすべての放射性核種について行う。

標的器官*T*はいくつかの異なった線源器官*S*で生ずる放射線によって、照射されることがある。

このとき、標的器官 T の H_{50} の総和は、

$$H_{50, T} = 1.6 \times 10^{-10} \sum_s \sum_j [U_s \sum_i SEE (T \leftarrow S)_i]_j S_v$$

で与えられる。

9.2 内部被ばく線量の計算

預託線量当量 $H_{50,T}$ を計算するために、ICRP の計算コードを使用した⁽⁴⁾。ICRP のコードは、3 つの計算サブルーチンに分かれている。1 つのモジュールは、SEE プログラムと呼ばれ、比実行エネルギーを計算するものである。2 つ目のモジュールはTIMED プログラムと呼ばれ、呼入から t 時間後の特定蔵器の蓄積放射エネルギーを計算するものである。3 つ目のモジュールは、DOSE プログラムと呼ばれ、SEE の結果及びTIMED の結果から内部被ばく線量を計算するものである。

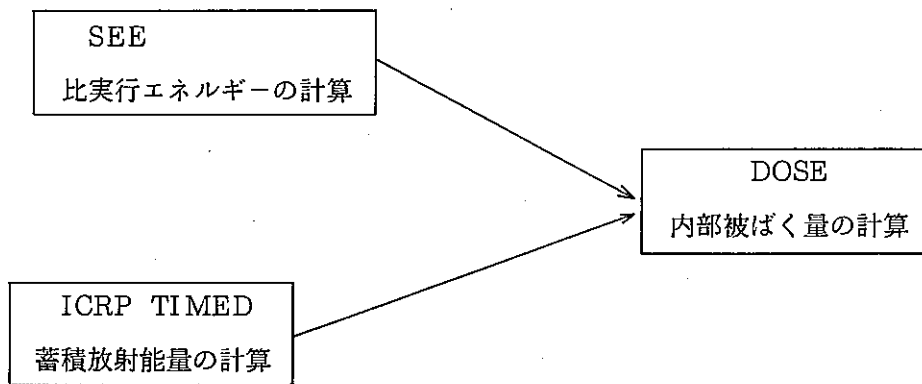


図 9.1 内部被ばく計算コードの構成

以下に、SEE、ICRP TIMED、DOSE のそれぞれのプログラムの入力説明を ORNL のオリジナル説明にのっとり示す。

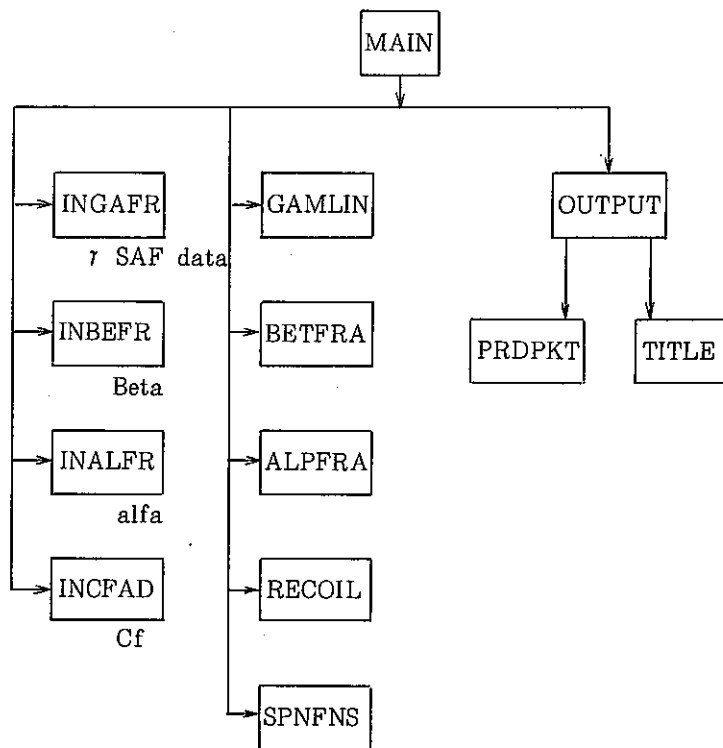


図 9.2 SEE プログラムの構成

表 9.1 SEE プログラム入力説明

Subroutine	Card Number	Columns	Remarks, Variables, etc.
<u>Organ in the Mathematical Phantom</u>			
MAIN	1		FORMAT(214)
		1-4	NSORS - number of source organs in the phantom (NSORS ≤ 30).
		5-8	NTARG - number of target organs in the phantom (NTARG ≤ 40).
	2 to NSORS+1 (one for each source organ)		FORMAT(8A2)
	NSORS+2 to NSORS+NTARG+1 (one for each target organ)		SORG(I,J) - name of source organ I. Since the source organ title will be printed on two lines, the first 8 characters (J = 1,...,4) should be the first line of the name and the next 8 (J = 5,...,8) should be the second line of the name.
			FORMAT(10A2)
			TORG(I,J) - name of target organ I. Since the target organ title will be printed on two lines, the first 10 characters (J = 1,...,5) should be the first line of the name and the next 10 (J = 6,...,10) should be the second line of the name.
<p>The setting of SORG(I,J) and TORG(I,J) implicitly defines the index I associated with a given source or target organ. The source and target organs in the mathematical phantom are given below with their associated source or target index. This ordering is fixed by the SEE input and is used throughout many computer codes which have been written by the authors. The SEE, ICRP-TIMED and DOSE programs rely heavily on this assignment of organ indices even though many source-target pairs are not of interest to ICRP. (see Table 2.1).</p>			
<u>Source Organs</u>		<u>Target Organs</u>	
1. Bladder Content		1. Bladder Wall	26. Spleen
2. ST Content		2. ST Wall	27. Testes
3. SI Content		3. SI Wall	28. Thymus
4. ULI Content		4. ULI Wall	29. Thyroid
5. LLI Content		5. LLI Wall	30. Uterus
6. Kidneys		6. Kidneys	31. Total Body
7. Liver		7. Liver	32. Adrenals
8. Salivary Gland		8. Lungs	33. Bone Surfaces
9. TB Region		9. Salivary Gland	
10. P Region (Lungs)		10. TB Region	
11. Lymph		11. P Region	
12. Muscle (Breast)		12. Lymph	
13. Ovaries		13. Muscle (Breast)	
14. Pancreas		14. Ovaries	
15. Cortical Bone		15. Pancreas	
16. Trabecular Bone		16. Bone	
17. Red Marrow		17. Cortical Bone	
18. Yellow Marrow		18. Trabecular Bone	
19. Skin		19. Red Marrow	
20. Spleen		20. Yellow Marrow	
21. Testes		21. Total Marrow	
22. Thyroid		22. Cortical Endosteal Cells	
23. Total Body		23. Trabecular Endosteal Cells	
24. Cloud		24. Total Endosteal Cells	
25. Adrenals		25. Skin	

表 9.1 つづき

Subroutine	Card Number	Columns	Remarks, Variables, etc.
<u>Gamma Specific Absorbed Fractions</u>			
The two cards described below must be included for each source-target pair in the model (i.e., there must be NSORS*NTARG*2 cards describing the gamma specific absorbed fractions).			
INGAFR	1		FORMAT(7E10.0)
		1-10	G(1) - gamma specific absorbed fraction (SAF) associated with the monenergetic photon 0.01 for a given source-target pair.
		11-20	G(2) - gamma SAF for 0.015 energy.
		21-30	G(3) - gamma SAF for 0.02 energy.
		31-40	G(4) - gamma SAF for 0.03 energy.
		41-50	G(5) - gamma SAF for 0.05 energy.
		51-60	G(6) - gamma SAF for 0.1 energy.
	61-70	G(7) - gamma SAF for 0.2 energy.	
	72-80	Descriptive tag to indicate source organ and target organ - not read by program.	
	2		FORMAT(5E10.0)
		1-10	G(8) - gamma SAF for 0.5 energy.
		11-20	G(9) - gamma SAF for 1.0 energy.
		21-30	G(10) - gamma SAF for 1.5 energy.
		31-40	G(11) - gamma SAF for 2.0 energy.
41-50		G(12) - gamma SAF for 4.0 energy.	
72-80		Descriptive tag to indicate source and target organ - not read by program.	
<u>Target Organ Masses</u>			
MAIN	1		FORMAT(8E10.0)
		1-10	TMASS(1) - mass(g) of first target organ used in extrapolation of gamma SAF's.
		11-20	TMASS(2) - mass(g) of second target organ.
		⋮	⋮
		71-80	TMASS(8) - mass(g) of eighth target organ.
Continue on additional cards until the NTARG masses are listed.			

表 9.1 つづき

Subroutine	Card Number	Columns	Remarks, Variables, etc.
<u>Beta Specific Absorbed Fractions</u>			
<p>A card is present for each beta specific absorbed fraction that is non-zero. (See the section "Electrons and Beta Rays"). For purposes of this data set, the fraction on the cards will contain the quality factor and modifying factor for beta radiations.</p>			
INBEFR			FORMAT(215,3E10.0)
		1-5	I - source organ index.
		6-10	K - target organ index.
		11-20	BETFR(I,K,1) - beta specific absorbed fraction for source organ I, target organ K. If I and K are a source-target pair given in Table 2.2, BETFR(I,K,1) is the SAF for a beta emitter uniform in volume.
		21-30	BETFR(I,K,2) - beta SAF for source-target pairs in Table 2.2 for beta emitter on bone surfaces and $E_{\beta} > 0.2$ MeV.
31-40	BETFR(I,K,3) - beta SAF for source-target pairs in Table 2.2 for beta emitters on bone surfaces with $E_{\beta} \leq 0.2$ MeV.		
End of beta SAF data is indicated by a card where I = 30 and K = 40.			
<u>Alpha Specific Absorbed Fractions</u>			
<p>A card is present for each alpha specific absorbed fraction that is non-zero. (See the section "Alpha Particles and Recoil Nuclei"). For purposes of this data set, the fraction on the cards should contain the quality factor and modifying factors for alpha radiations.</p>			
INALFR			FORMAT(215,2E10.0)
		1-5	I - source organ index.
		6-10	K - target organ index.
		11-20	ALPFR(I,K,1) - alpha specific absorbed fraction for source organ I, target organ K. If I and K are a source-target pair given in Table 2.3, ALPFR(I,K,1) is the SAF for an alpha emitter uniform in volume.
		21-30	ALPFR(I,K,2) - alpha SAF for source-target pairs in Table 2.3 for alpha emitters on bone surfaces.
End of alpha SAF data is indicated by a card with I = 30 and K = 40.			
<u>Neutron Dose for a ²⁵²Cf Source</u>			
INDFAD	1		FORMAT(12,3X,7F10.0/(10X,710.0))
		1-2	K - target organ index.
		11-20	CFAD(1,K) - neutron dose for the first source organ, K th target organ.

表 9.1 つづき

Subroutine	Card Number	Columns	Remarks, Variables, etc.
		21-30	CFAD(2,K) \bar{E}_n neutron dose for the second source organ, K^{th} target organ.
		⋮	⋮
		71-80	CFAD(7,K) \bar{E}_n neutron dose for the seventh source organ, K^{th} target organ.
<p>Continue on additional cards until the neutron doses for the NSORS source organs are listed for target organ K.</p> <p>A group of the previous description is present for each of the NTARG target organs in the model. End of neutron data is indicated by a group of cards with $K = 40$.</p>			
<u>Output Information</u>			
MAIN	1	1-4	FORMAT(14) IP0 = 1 write SEE values to disk data set; # 1 write SEE values to both disk and tape.
		2	FORMAT(212)
	2	1-2	NPRS - the number of source organs for which SEE values will be printed.
		3-4	NPRT - the number of target organs for which SEE values will be printed.
	3	1-2	FORMAT(4012)
		1-2	IPRS(1) - the index of the first source organ to be printed.
		3-4	IPRS(2) - the index of the second source organ to be printed.
		⋮	⋮
		(2*NPRS-1) - (2*NPRS)	IPRS(NPRS) - the index of the NPRS source organ to be printed.
		Continuing on the same card	
(2*NPRS+1) - (2*NPRS + 2)	IPRT(1) - the index of the first target organ to be printed.		
⋮	⋮		
		IPRT(NPRT) - the index of the NPRT target organ to be printed.	
Indices may require more than one card.			

表 9.1 つづき

Subroutine	Card Number	Columns	Remarks, Variables, etc.
MAIN	1		<u>Decay Data</u>
			FORMAT(2I4)
	2	1-4	IVOL = 1 radionuclide is a volume seeker.
		5-8	ISURF = 1 radionuclide is a surface seeker.
			FORMAT(F4.0,A1,1X,3A4,F4.0,E11.0,1X,2A4,I4, 3(1X,A3),14X,A2)
		1-4	AHQ - mass number of the radionuclide.
		5	EXCH - M indicated metastable state of the radionuclide; otherwise EXCH is blank.
		7-18	LEME - name of the element.
		19-22	ZHQ - atomic number of the radionuclide.
		23-33	HLIFE - half-life of the radionuclide.
		35-42	UNITS - units in which the half-life is given.
		43-46	NRAD - the number of radiations associated with the radionuclide.
		48-50	TY(1) - first type of decay.
		52-54	TY(2) - second type of decay.
56-58	TY(3) - third type of decay.		
	72-74	CHEM - chemical symbol of element.	
<p>There should be NRAD cards of the following form to describe the radiations of the radionuclide.</p>			
			FORMAT(2I2,4E13.0)
		1-2	ICODE - stores the code number for the type of radiation. 1 - gamma rays 2 - x-rays 3 - annihilation quanta 4 - beta plus 5 - beta minus 6 - internal conversion electrons 7 - auger electrons 8 - alpha particles 9 - spontaneous fission radiations
		3-4	INDEX - stores various indexing information depending on the value of ICODE - not used.
		5-17	P - percent per decay intensity value for the radiation.
		18-30	E - energy in MeV (average energy for beta plus or beta minus) except for spontaneous fission (ICODE = 9) in which case the average number of neutrons per spontaneous fission is stored.
		31-43	EM - is only used when ICODE = 4 or 5, in which case it is the value of the beta endpoint energy in MeV, or when ICODE = 8, in which case it is the value of the recoil nucleus energy in MeV.
<p>If SEE values are to be calculated for more than one radionuclide, a group of "Decay Data" cards is included for each radionuclide, and these cards follow any other "Decay Data."</p>			
<p>Data in the form described in the "Decay Data" grouping is produced by the computer code described refs. 6 and 7.</p>			

表 9.2 ユニット 14 のデータセット形式

Subroutine	Record Number	Remarks, Variables, etc.	Internal Form of Data
PRKDPT	1	AHØ -- mass number of the radio-nuclide.	real (4)
		EXCH -- indication of metastable state.	alphanumeric(4)
		LEME(I), I=1,3 -- name of the element.	real (4)
		ZHØ -- atomic number of the radionuclides.	real (4)
		NSØRS -- number of source organs in phantom.	integer (4)
		NTARG -- number of target organs in phantom.	integer (4)
		TØDAY -- date of run.	alphanumeric (8)
	NTARG records	GEFE(I,K), I = 1, NSØRS -- gamma SEE value from each source organ I to a target organ K.	real (4)
	NTARG records	BEFE(I,K), I = 1, NSØRS -- beta SEE values for each source organ I to a target organ K.	real (4)
	NTARG records	AEFE(I,K), I = 1, NSØRS -- alpha SEE values for each source organ I to a target organ K.	real (4)
	NTARG records	REFE(I,K), I = 1, NSØRS -- alpha recoil SEE values for each source organ I to a target organ K.	real (4)
5*NTARG records	(SPEFE(J,I,K), I = 1, NSØRS), J = 1,5 spontaneous fission SEE values for each source organ I to a target organ K for the 5 types of spontaneous fission.	real (4)	
NTARG records	TEFE(I,K), I = 1, NSØRS -- total SEE values for each source organ I to a target organ K.	real (4)	

表 9.3 出力テープ説明

Subroutine	Record Number	Columns	Remarks, Variables, etc.		
PRKOPT	1		FORMAT(F5.0,A1,IX,3A4,F5.0,IPE11.4,IX,2A4,3I3,A8)		
		1-5	AH0 - mass number of the radionuclide.		
		6	EXCH - indication of metastable state.		
		8-19	LEME - name of the element.		
		20-24	ZH0 - atomic number of the radionuclide.		
		25-35	HLIFE - half-life of the radionuclide.		
		37-44	UNITS - units in which the half-life is given.		
		45-47	NPRS - the number of source organs for which SEE values will be printed.		
		48-50	NPRT - the number of target organs for which SEE values will be printed.		
		51-53	IG - the number of modes of decay of the radionuclide.		
		54-51	TODAY - date program is run.		
		2			FORMAT(65I2)
			1-2	IPRS(1) - index of the first source organ printed.	
			3-4	IPRS(2) - index of the second source organ printed.	
	⋮		⋮		
(2*NPRS - 1) - (2*NPRS)	IPRS(NPRS) - the index of the NPRS source organ to be printed.				

表 9.3 つづき

Subroutine	Record Number	Columns	Remarks, Variables, etc.
		Continuing on the same record	
	NPRT Records		IPRT(1) - the index of the first target organ to be printed. ⋮ IPRT(NPRT) - index of the NPRT target organ to be printed. FØRMAT(1P12E11.3)
	NPRT Records		GEFE(IPRS(I),IPRT(K)), I=1,NPRS - gamma SEE values. FØRMAT(1PE11.3)
	NPRT Records		BEFE(IPRS(I),IPRT(K)), I = 1,NPRS - beta SEE values. FØRMAT(1PE11.3)
	NPRT Records		AEFE(IPRS(I),IPRT(K)), I = 1,NPRS - alpha SEE values. FØRMAT(1PE11.3)
	5*NPRT Records		REFE(IPRS(I),IPRT(K)), I = 1,NPRS - alpha recoil SEE values. FØRMAT(1PE11.3)
	NPRT Records		(SPEFE(J,IPRS(I),IPRT(K)), I = 1,NRPS), J = 1,5 - spontaneous fission SEE values for the 5 types of spontaneous fission. TEFE(IPRS(I),IPRT(K)), I = 1,NPRS - total SEE values.

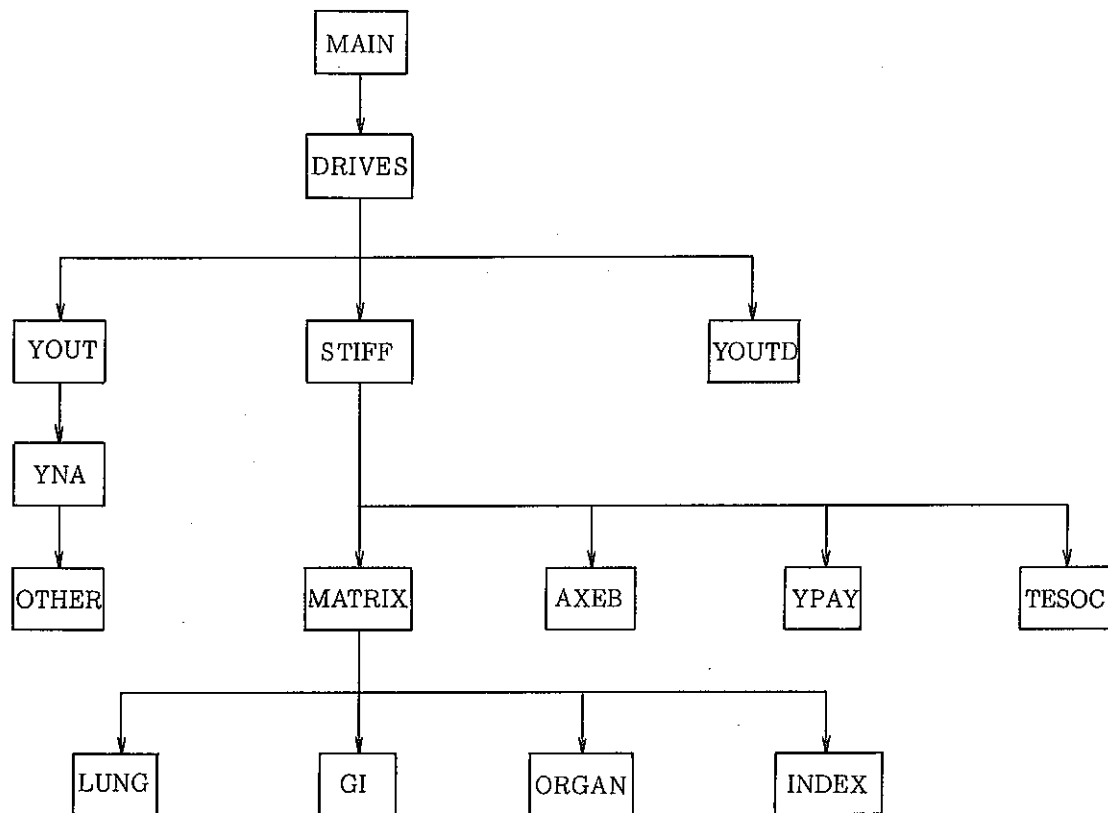


図9.3 ICRP TIMED の構成

表 9.4 ICRP TIMED 入力説明

Subroutine	Card Number	Columns	Remarks, Variables, etc.
<u>Information Concerning the Differential Equations</u>			
MAIN	1		FORMAT(15,7E10.0)
		1-5	NØ - order of lower triangular matrix A, i.e., the number of differential equations.
		6-15	TLAST - integrate $\dot{Y}(t) = AY(t) + X(0)$ from $t = 0$ to $t = TLAST$. TLAST given in units of days.
		16-25	H1 - initial step size for the integration procedure. If left blank, then default is $H1 = 10^{-7}$.
		26-35	EPS - controls the local truncation error during the integration procedure. If left blank, then default is $EPS = 10^{-6}$.
	2		FORMAT(15)
		1-5	NPRT - number of print intervals, $NPRT \leq 10$.
			FORMAT(2E10.2,15)
		1-10	TPRL(I) - first print time in this print interval.
		11-20	DTPR(I) - print time step for this interval.
	2 + I, I = 1, ..., NPRT	21-25	NARPR(I) - number of time steps to use in the current interval.
<p>TPRL, DTPR, and NARPR are defined by:</p> $DØ 10 I = 1, NPRT$ $10 TPRINT = TPRL(I) + Q * DTPR(I) \quad Q = 0, \dots, NARPR(I)$ <p>The values assumed by TPRINT must form an increasing sequence.</p> <p>For the ICRP runs TLAST = 18,262.5 days = 50 years, NPRT = 1, TPRL(1) = 18,262.5, DTPR(1) = 0, and NARPR(1) = 0.</p>			
<u>General Information for Chain of Radionuclides</u>			
MATRIX	1		FORMAT(110,3F10.0,E1.0)
		1-10	NISØ - number of isotopes in the chain, $NISØ \leq 15$.
		11-20	D3 - fraction of intake deposited in the NP region.
		21-30	D4 - fraction of intake deposited in the TB region.
		31-40	D5 - fraction of intake deposited in the P region.
		41-50	NØRG - number of organs (excluding lungs and GI tract), $NØRG \leq 10$.
		51-60	IØPT - mode of intake. 0 - inhalation 1 - ingestion 2 - injection
61-70	NØRAL - number of ingestion cases to be run (used only with ICRP work). Leave blank if IØPT ≠ 1.		

表 9.4 つづき

Subroutine	Card Number	Columns	Remarks, Variables, etc.
	1 + I, I = 1, ..., NISØ		FORMAT(A8,2X,F10.0,8X,A2, F10.0,6I2,5F5.0,I3)
		1-8	TAG(I) - atomic symbol and mass number of I th member of the chain.
		11-20	TR(I) - half-life of I th member of chain in days.
		29-30	ICLASS(I) - inhalation class of I th member of chain. Should be one of the characters O, W, or Y right justified in the field. Leave blank if IØPT = Ø.
		31-40	LAMAB(I,2) - absorption coefficient in the small intestine (SI) $\lambda_{ab} = \frac{6 \cdot f_1}{1 - f_1}$
		41-42	NBRNCH(I) - the number of nuclides in the chain that have member I as an immediate daughter, NBRNCH(I) ≤ 5.
		43-44	IBRNCH(1) - the index of the 1 st nuclide that has member I as an immediate daughter.
		45-46	IBRNCH(2) - the index of the 2 nd nuclide that has member I as an immediate daughter.
		⋮	⋮
		51-52	IBRNCH(5) - the index of the 5 th radionuclide that has member I as an immediate daughter.
The array IBRNCH should form an increasing sequence.			
		53-57	P(1) - the branching ratio of nuclide IBRNCH(1) to nuclide I.
		⋮	⋮
		73-77	P(5) - the branching ratio of nuclide IBRNCH(5) to nuclide I.
<p>The setting of the NBRNCH, IBRNCH, and P arrays assumes that members in the chain of radionuclides have been ordered in some logical fashion and an index associated with each member, e.g., given the chain</p> <div style="text-align: center;"> <pre> graph TD A -- 30% --> B A -- 70% --> C B -- 50% --> D B -- 50% --> E C -- 50% --> D C -- 50% --> E D -- 50% --> E E --> F["F(stable)"] </pre> </div> <p>a logical ordering might be 1-A, 2-B, 3-C, 4-D, and 5-E so that for nuclide B, NBRNCH(2) = 1, IBRNCH(1) = 1, P(1) = 0.3, and for nuclide E, NBRNCH(5) = 2, IBRNCH(1) = 3, P(1) = .5, IBRNCH(2) = 4, P(2) = 1. Values for NBRNCH, IBRNCH, and P must be set for C and D.</p>			
		77-80	ILAB - switch to indicate if there is absorption in some section of the GI tract other than the small intestine (SI). 0 - absorption only in small intestine. 1 - absorption in stomach (S), upper large intestine (UL), or lower large intestine (LL) in addition of small intestine absorption.

表 9.4 つづき

Subroutine	Card Number	Columns	Remarks, Variables, etc.
	$2 \times I + 1$ $I = 1, \dots, NIS0$ Card required only if ILAB = 1.		FORMAT(3F10.0) 1-10 LAMAB(I,1) - adsorption coefficient for S. 11-20 LAMAB(I,3) - adsorption coefficient for UL. 21-30 LAMAB(I,4) - adsorption coefficient for LL.
<u>Description of Retention</u>			
This set of cards describes retention in those organs other than the lungs and GI tract. These cards must be included for each radionuclide in the chain.			
	1		FORMAT (10.0) TRANS - the rate of clearance in the transfer compartment
	2	1-2	FORMAT(I2,A8,I2) ISORS(I) - index of organ I taken from the following list. ISORS(I) is used for indexing purposes when calculating dose.
	1. Bladder Contents 2. Stomach Contents 3. SI + Content 4. Upper Lower Intestine Contents 5. Lower Large Intestine Contents 6. Kidneys 7. Liver 8. Salivary Gland 9. TB Region 10. P Region 11. Lymph 12. Muscle		13. Ovaries 14. Pancreas 15. Cortical Bone 16. Trabecular Bone 17. Red Marrow 18. Yellow Marrow 19. Skin 20. Spleen 21. Testes 22. Thyroid 23. Total Body (used for Other Tissues, also) 25. Adrenals
(24. Cloud should not be used as a source organ in this code. In addition, ICRP restricts the list of source organs to those included in Table 2.1).			
		3-10	ORGM(I) - <u>name of organ I</u> (at most 8 characters).
		11-12	ICOM(K,I) - number of <u>compartments</u> for organ I, radionuclide K (number of terms in the retention function), $ICOM(K,I) \leq 10$.
	3		FORMAT(8F10.0) This card describes the retention function and contains the coefficients of the exponential, $AS(JJ,I)$, $JJ = 1, \dots, ICOM(K,I)$, and the exponential constants, $TBS(JJ,I)$, $JJ = 1, \dots, ICOM(K,I)$, respectively. Obviously, for more than four compartments (i.e., terms in the retention function, another card is needed.) In reference to cards 2 and 3, cards describing Total Body or "Other Tissues" should be placed last. For each nuclide, the organs and associated information must appear in the same order.

表 9.4 つづき

Subroutine	Card Number	Columns	Remarks, Variables, etc.
<u>Other Tissues Transformation</u>			
If one of the source organs is "Other Tissues," a card must be included for each print interval of the form:			
ØTHER	1		FØRMAT(1012)
		1-2	NØTØP - nonzero integer
		3-4	IØTHER(1) - ISØRS(1)
		5-6	IØTHER(2) - ISØRS(2)
		⋮	⋮
Do not include 23 as a source number on this card.			
If you do not wish this option, include a blank card for each print interval.			
<u>Solving Same ØDE - Different Initial Conditions</u>			
If the user wishes to solve the same system of differential equations with a different set of initial conditions, the following cards should be included:			
1. All cards in the group <u>Information Concerning the Differential Equations</u> should be repeated. Card 1 should have a 1. in columns 44-45.			
2. Card #1 in the group <u>General Information for the Chain of Radionuclides</u> with the new values of D3, D4, and D5. The values NISØ, NØRG, IØPY, and NØRAL are ignored at this reading of the card and may be left blank.			
3. The card in the group <u>Other Tissues Transformation</u> .			

表 9.5 ユニット 16.7 のデータセット形式

Subroutine	Record Number	Remarks, Variables, etc.	Internal Form of Data	Format Descriptor
MATRIX	1	NISØ - number of radionuclides in the chain. NØRG - number of organs (excluding lung and GI tract). IØPT - mode of intake. 0 - inhalation 1 - ingestion 2 - injection	integer (4) integer (4) integer (4)	I5 I5 I5
MATRIX	2	NØRAL - number of oral (or inhalation) intakes.	integer (4)	I5
MATRIX	3	TAG(IO), IO = 1, ..., NISØ - atomic symbol and mass number for each member of the chain.	alphanumeric (8)	10A8
MATRIX	4	ISØRS(IO), IO = 1, ..., NØRG + 8 - indices for organs in the order NP, TB, P, L, S, SI, UL, LL, other organs in their order of input.	integer (4)	16I5
YNA	1	For each time period read: NØTØP - switch to indicate "other tissues" as source organ. 0 - total body source 1 - other tissues source IØTHER(1) - ISØRS(1) IØTHER(2) - ISØRS(2) : : IØTHER(NØRG - 1) = ISØRS(NØRG)	integer (4) integer (4)	I2 I2 : : I2
YNA	2	TIME(ITM) - right end point of the total interval	real (4)	1PE10.3
YNA	1	For each radionuclide read: VECTØR(IO), IO = 1, ..., NØRG + 8 - cumulated activity for each of the organs in the order stated in ISØRS. TRANS - cumulated activity in the transfer compartment.	real (8) real (8)	1P8E10.3 1P8E10.3
YNA	2	If IØPT = 0 read: F(I), I = 1, 2, 3. F(1) - activity entering blood from lungs. F(2) - activity entering GI tract from lungs. F(3) - activities entering blood from GI tract.	real (8)	1P8E10.3

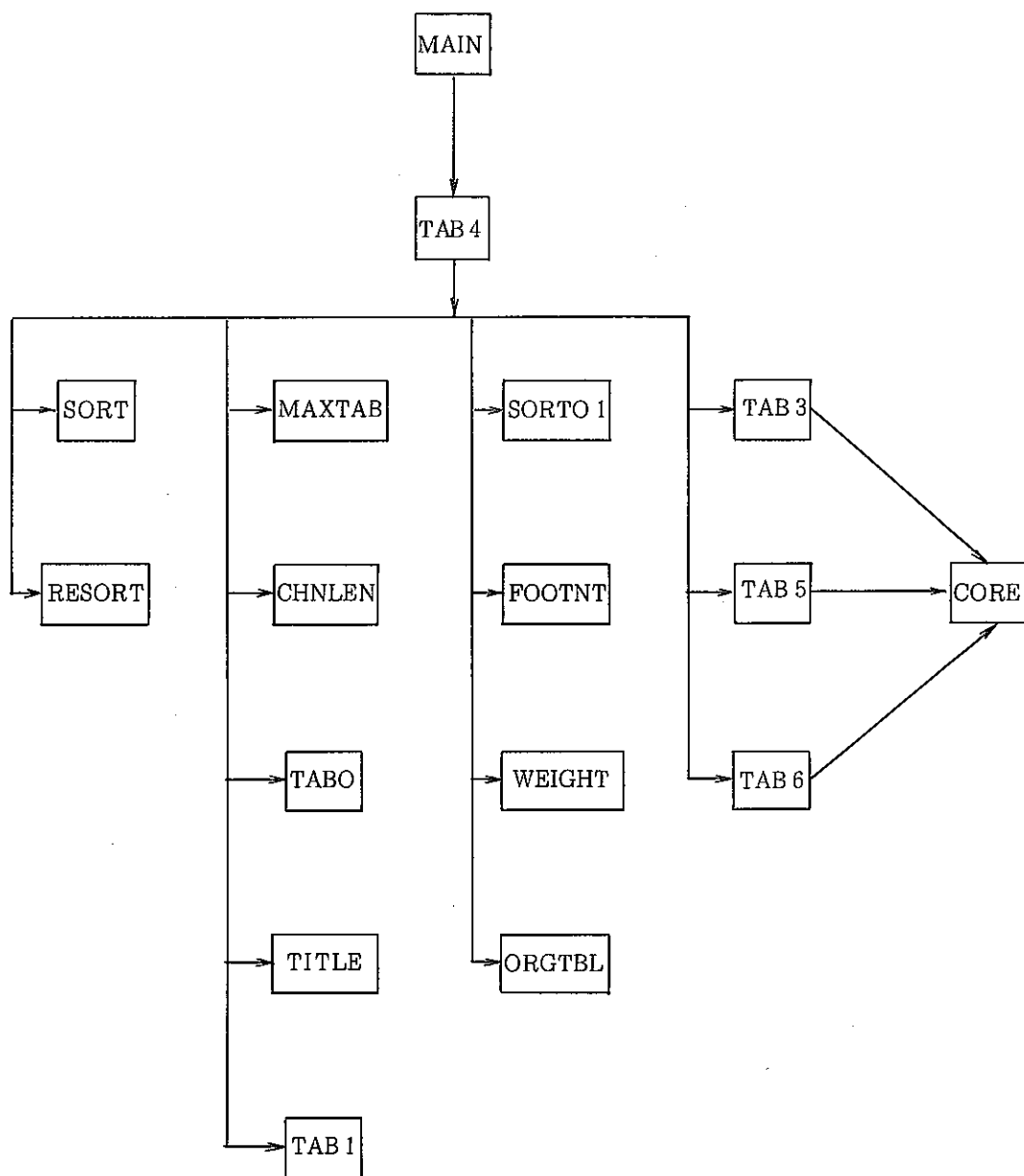


図9.4 DOSE プログラムの形式

表 9.5 DOSE への入力説明

Subroutine	Card Number	Columns	Remarks, Variables, etc.
MAIN	one card for each source organ		FORMAT(10A2)
		1-2	SORGO(I,1) - first two letters of the name of the i-th source organ.
		3-4	SORGO(I,2) - second two letters of the name of the i-th source organ.
		.	.
		19-20	SORGO(I,10) - tenth two letters of the name of the i-th source organ.
<p>The SORGO array of source organ names is used in the table of specific effective energies. The source organ names are put on two lines in this table, so the first line of the name should be centered in columns 1-10 on the card and the second line of the name should be centered in columns 11-20 of the card. Thus, these source organ titles can be 20 characters. The ordering of organs must be the same as for the input to the SEE code.</p>			
MAIN	one card for each source organ		FORMAT (3A4)
		1-4	SORGI(I,1) - first four letters of the name of the i-th source organ.
		5-8	SORGI(I,2) - second four letters of the name of the i-th source organ.
		9-12	SORGI(I,3) - third four letters of the name of the i-th source organ.
<p>The SORGI array of source organ names is used in the table of number of nuclear transformations. The name is only one line and must be restricted to twelve characters. The ordering of organs must be the same as for SORGO.</p>			
MAIN	one card for each target organ		FORMAT(5A2)
		1-2	TARGO(I,1) - first two letters of the name of the i-th target organ.
		9-10	TARGO(I,5) - fifth two letters of the name of the i-th target organ.
<p>The TARGO array of target organs is used in the tables of specific effective energy, committed dose, weighted committed dose and annual limit on intake. The name is one line and is restricted to ten characters. The ordering of the organs must be the same as the input for the SEE code.</p>			
MAIN	1 card for each member of the chain		FORMAT(I5)
		1-5	NTIME - number of time intervals (for ICRP, NTIME = 1).
			FORMAT(F4.0,A1,I,3A6,F6.0,6X,3A1,3X,3F6.0,2X, F5.0,3F4.0)
		1-4	AM0 - mass number.
		5	EXH - H or blank to indicate metastable state.
		7-18	ELEM - element name.
		19-24	ZNO - atomic number
		31	ICLASS(1) - first inhalation class.
		32	ICLASS(2) - second inhalation class.
		33	ICLASS(3) - third inhalation class.
		37-40	F1(1) - f_1 corresponding to first inhalation class.
		41-44	F1(2) - f_1 corresponding to second inhalation class.
		45-48	F1(3) - f_1 corresponding to third inhalation class.
51-55	FRAC - percent decay (daughters only).		
56-59	F1(4) - f_1 corresponding to first oral class.		
60-63	F1(5) - f_1 corresponding to second oral class.		
64-67	F1(6) - f_1 corresponding to third oral class.		

10. ま と め

エアロゾルの挙動解析プログラムは、エアロゾルが対数正規分布となっていると仮定し、かつ Stokes の見掛け密度も一定に達しているとしてエアロゾルが、

- ① Brown 運動による重力凝集
- ② 重力沈降
- ③ 拡散沈着
- ④ 熱泳動沈着

の4つの効果により、濃度が減少し、粒度分布が変化していく様子を模擬解析するプログラムである。

一番最初に発生したエアロゾルのみの場合は、上記①～④の効果及び発生した室内から外部への漏れの状況により、エアロゾル粒径分布の時間変化及び、エアロゾル濃度変化を時々刻々計算することができる。また、初期発生エアロゾル以外に、エアロゾルの発生が続く場合も、エアロゾル発生時間、エアロゾル発生量等を与えることにより計算できる。また、壁面、床面、天井面に付着したエアロゾル量も計算できる。この結果、次の項目に対して実験値と計算値の整合性を確認できる。

- ① ある時刻のエアロゾル濃度
- ② する時刻のエアロゾル粒径分布
- ③ ある時刻までの壁面、床面等へのエアロゾル付着量

計算コードにより、計算した値と、大型グローブボックス及び室内における UF₀ エアロゾル実測値、プルトニウムエアロゾル実測値の変化値を比較した結果、第1室のエアロゾル挙動について良い一致が確認できた。この結果、壁面、床面等のエアロゾル付着量（スミヤチェック値）、エアロゾル濃度変化等からエアロゾル粒径分布を推定したり、スミヤチェック値の変化からエアロゾル濃度変化、粒径分布変化を計算することができると考えられる。多室の場合には、各室からのエアロゾル漏洩量即ち換気回数等がどの程度かということが計算結果に大きく影響するため、室数が多くなる程評価が難しくなってくるのがわかった。

今後、より多くの実測値と、計算値の一致を確認する等、実際の計算、現場適用等を行っていく必要がある。

11. 参 考 文 献

- (1) PNCT 831-79-01, Investigation of the UF_6 Aerosol Behavior in Air (111),
Jinzo KATO et al
- (2) N841-79-16, 空気中における六フッ化ウランエアロゾルの挙動に関する研究Ⅲ,
平山昭生他
- (3) ICRP Publication 30 part 1・作業者による放射性核種の摂取の限度, 日本アイソトープ
協会
- (4) ORNL/TM-6980. A USER'S MANUAL TO THE ICRP CODE -A SERIES
OF COMPUTER PROGRAMS TO PERFORM DOSIMETRIC CALCULATIONS
FOR THE ICRP COMMITTEE 2 REPORT, by S. B. Watson

付録1 エアロゾル関係試験実績

51年度実績

1. UF₆ 空気中挙動試験

1) 放射性物質濃度とフッ化水素濃度の関係

- ① 放射性物質濃度測定のための種々のフィルタのUF₆エアロゾルに対する捕集効率測定

Millipore-AA : 99%以上

GB-100 : "

HE-40T : 97%以上

実験には表面捕集効率のよいMillipore-AAを使用することに決定

- ② フッ化水素濃度を測定するためにアルカリ口紙法の捕集効率を求めた。

口紙 : 東洋口紙No.51A

アルカリ : CHCOONa

効率 : 92.8%以上

2) UF₆エアロゾルの粒度分布測定

電子顕微鏡法 0.2 ~ 1 μm (MMD ≈ 0.46 μm)

静電型微粒子分析装置 0.04 ~ 0.4 μm (MMD ≈ 0.1 μm)

3) UF₆加水分解生成物定性分析

X線回析法ではUO₂F₂は確認できなかった。

2. 排気監視装置性能評価試験

1) サンプリング管粒子沈着率測定

試験条件は配管材質、口径、形状、流量等の変化に対して行った。

2) スタック総排気量測定試験

トレーサーにHeを用いての試験

52年度実績

1. UF₆ 空気中挙動試験

1) 前年度試験に対する報告書作成

- 項目
- ・ UF₆ 白煙目視下限値測定
 - ・ UF₆ エアロゾルに対する口紙捕集効率測定
 - ・ アルカリ口紙の HF に対する捕集効率測定
 - ・ 放射性物質濃度とフッ化水素濃度の測定
 - ・ 換気回数 VS 空気中濃度
 - ・ 空気汚染濃度 VS 表面汚染密度
 - ・ 粒度分布

2) 粒度分布測定

- パラメータ : 湿度, 濃度, 時間
サンプラー : アンダーセンサンプラー, 電子顕微鏡
AMAD \approx : 0.6 ~ 1.8 μm

3) UF₆ 漏洩検知警報計性能テスト

ダストモニタ, HF 検知警報計, 火災報知器を試験した。HF 検知警報計が応答が最も速い。
(10 ppm, ウラン濃度 $2 \times 10^{-8} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ 以上で)

2. UF₆ 空気中挙動試験

1) UF₆ 室内漏洩時の挙動

- ・ 換気なし - 床面 (70%) 壁面 (29%) 天井面 (1%) 沈着
- ・ 換気 (2回/hr 以上) 漏洩量の 90%程度がダクト系へ導かれる。

2) UF₆ 白煙概念把握

白煙中央では AMAD 1.7 ~ 2.2 μm , 端部で 1.2 ~ 1.4 μm

53年度実績

1. UF₆ 空気中挙動試験

1) ダストモニタの性能試験

(1) サンプリング配管での沈着率

UF₆エアロゾルを対象として、塩ビSUSの直管を用いて、沈着率測定試験、沈着率最小となるサンプリング流量率が存在する。(レイノルズ数1000~2000)

1μm以上の粒子の沈着率に関する文献は多いが、1μm以下の粒子沈着に関する例は少ない。

(2) 空気汚染迅速測定—ラドン等娘核種の分離

① 機械的分離—動燃型アンダーセンサンプラーの仕様検討、発注、製作、2/27納入

UF₆エアロゾルの粒子分布：1.0~1.8μm (AMAD)

Rn-Tnエアロゾルの粒度分布：0.6μm以下のものが全体の80~90%

この機械的分離については早稲田大学に研究委託項目

② 電気的な分離—BG減算型ダストモニタの仕様検討、発注、製作、3/2納入

サンプリング濾紙上でのラドン等娘核種α線スペクトル(4~6月, 12~3月)着目核種、ウインドウへの寄与分の経時変化

2) スタック総排気量測定試験

ヘリウムをトレーサとして、URI全施設のスタックサンプリング系の代表性試験を行った、ヘリウムと放射性物質の挙動の間の相関性については今後検討の要あり

2. 防護具性能評価試験

1) 小型HEPAフィルタの耐HF性試験

54, 55年度の実施状況

1. 放射性ダストのサンプリング及び測定

- (1) 放射性ダストのサンプリング及び測定について基準ならびに問題点の整理
測定法の基準を提示し、新しく空気汚染を測定しようとする際の指針となり得るものを作成する。また、測定法について現時点で問題点があればそれを指摘し、実験等によりフォローできる様、その問題点を明確化する。
- (2) ラドン等娘核種の α 線スペクトルの経時変化
(I) 問題提起及びその背景 (II) 建家内実測定及び迅速測定法へのフィードバック
- (3) UF₆安全工学試験のエアロゾル技術
粒子発生法, サンプリング法, 粒度分布解析法等
- (4) 室内容器中でのエアロゾル挙動について数値解析法を検討し, 室内で汚染が発生した場合のエアロゾル拡散に応用できる様にする。— 文献サーベイ及び方法論検討
- (5) HEPA フィルターの減容問題
各所で行われている減容方法について文献サーベイ(予定)

2. 実験及び測定

- (1) 空気汚染迅速測定法
機械的な分離, 電気的な分離を合せて検討
後者については, MCA, BG 補償モニタをサンプリング用紙等を変えて連続運転し, その性能評価を行った。
- (2) 現場設置のモニタのサンプリング代表性について
① (1)に基づいて, 設置されたモニタが実際にどれだけのサンプリング代表性をもって運転されているかを調べる技術は現在のところない。53年度1, 2)と合せて, 適当なトレーサガスを選択し, 測定法を確立する。

報告書類

1. UF₆等空气中挙動試験

- 1) 空气中における六フッ化ウランエアロゾルの挙動に関する研究 (I)
(分解生成物の化学形等)
- 2) 空气中における六フッ化ウランエアロゾルの挙動に関する研究 (II)
(ウラン漏洩検知のための警報器特性)
- 3) 空气中における六フッ化ウランエアロゾルの挙動に関する研究 (III)
(六フッ化ウランエアロゾル粒度分布等)
- 4) 多段 HEPA フィルタの空气中微粒子 (特に Pu 微粒子) 捕集効率に関する文献調査
- 5) HEPA フィルタ現場試験法 (現状調査と試験法の検討)
- 6) 原子力施設の空気浄化システムのテスト (翻訳) (ANSI N 510 - 1975)
- 7) 原子力施設におけるエアロゾル及び HEPA フィルタに関する文献リスト
- 8) HEPA フィルタの耐フッ化水素 (HF) 性に関する調査と基礎試験

2. 防護具試験等

- 9) 浮遊放射性物質に対する呼吸防護のマニュアル (翻訳)
- 10) NaCl エアロゾルによる防護マスクの装着試験

3. 排気風量関係

- 11) 再処理施設からの排気風量の比較測定とサンプリングの検討
- 12) 再処理施設以外の施設 (M.F 等) からの排気風量の比較測定とサンプリングの検討 (試験済み, 報告書作成中)

4. 空気汚染迅速測定関係

- 13) 核燃料物質使用施設等における空気汚染測定法の基礎試験 (委託実施)

その他, 1, 3, 4 に全体の結論を体系的に整理した最終報告書の作成を考えている。

付録2 エアゾル関係試験年表

	昭 50			昭 51			昭 52			昭 53			昭 54			昭 55		
	4	8	12	4	8	12	4	8	12	4	8	12	4	8	12	4	8	12
UF ₆ 空中挙動試験 1) 自煙の概念把握	UF ₆ 使用許可(D棟) └─┬─┘ 目視8ミリ			UF ₆ エアロゾル発生法確立 └─┬─┘			大型GB据付 └─┬─┘ 白煙と目視の関係 目視8ミリによる白煙の拡散状況把握											
2) 加水分解生成物について 組成				X線回析														
空气中のウラン濃度 " の HF "	サンプリング方法検討 測定法検討			サンプリング用紙の捕集効率 濃度測定						小型HEPAの耐HF性								
粒度分布				検査課TEM SEM使用法			アンタセンサンプラーによる粒径密度 パラメータ粒度、濃度、時間			測定法のみまとめ								
3) 室内挙動 空気汚染と表面汚染	小型GBでの濃度 経時変化			表面ふきとり 効率			小室BGでのU, HFの減衰			大型GBでのU, HF 減衰拡散			数値解析法検討					
4) スタック総排気量測定				He He(測定器に問題) 再処理 スタック			装置改造			URI 施設スタック								
5) モニタリング (1) サンプリング管粒子沈着率測定 (2) UF ₆ 漏洩検知警報計性能テスト (3) 空気汚染迅速測定法 ① 機械的分離 ② 電気的分離				DOP, NaCl, UF ₆ (測定法に問題有) D棟からF棟への移転 (実験は一時休止)			直管 ダストモニタ HFモニタ等			ラドン等粒度分布, インマクによる分離 連続モニタリング			α線スペクトル測定 α線スペクトル ラドン等, 娘核種の組成, パラメーター気象データ					

