

JAERI-M
90-229

対話型高エネルギー電子加速器遮蔽
計算コード
QAD-SOR

1991年1月

笹本 宣雄・黒坂 範雄*

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）
あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1991

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 日立高速印刷株式会社

QAD-SOR : An Interactive Shielding Calculation Code for
High Energy Electron Accelerators

Nobuo SASAMOTO and Norio KUROSAKA^{*}

Office of Synchrotron Radiation Facility Project
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 4, 1990)

QAD-SOR, an interactive code of personal computer version is developed for shielding design of high energy electron accelerators, starting from the point kernel shielding code QAD-CG. It calculates dose equivalent values around accelerator shields of complicated geometry and results are graphically displayed. This report gives detailed descriptions about how to use QAD-SOR code.

Keywords: QAD-CG, QAD-SOR, Shielding Code, Accelerator, Electron,
Jenkins, Swanson, ESRF, Personal Computer, Contour

* On leave from Nikki Co. Ltd.

対話型高エネルギー電子加速器遮蔽計算コード
QAD-SOR

日本原子力研究所大型放射光施設計画推進室
笹本 宣雄・黒坂 範雄*

(1990年12月4日受理)

加速器遮蔽設計上、施設内外の放射線分布の把握が重要である。点減衰核遮蔽コードQAD-CGをもとに、パソコン版の高エネルギー電子加速器遮蔽計算コードQAD-SORを開発した。本コードは、対話形式により3次元形状遮蔽体周辺の線量率分布を計算し、結果をパソコン上に画面表示することができる。本レポートは、QAD-SORの使用法を説明するものである。

目 次

1. はじめに	1
2. 遮蔽計算手法	2
2.1 点減衰核計算コード QAD-CG	2
2.2 光子計算式	2
2.3 中性子計算式	3
2.4 μ 粒子計算式	4
2.5 QAD-SOR のアルゴリズム	5
2.6 形状のモデル化	5
3. QAD-SOR システム	9
3.1 システムの流れ	9
3.2 システムのファイル構成	9
4. QAD-SOR の使用方法	13
4.1 QAD-SOR の起動	13
4.2 入力データの作成・変更	14
4.3 計算体系の図形表示	24
4.4 線量計算の実行	25
4.5 2次元図の図形出力	26
4.6 等高線図の図形出力	27
5. まとめ	60
文 献	61

Contents

1. Introduction	1
2. Method of Shielding Calculation	2
2.1 Point Kernel Code QAD-CG	2
2.2 Photon Calculation	2
2.3 Neutron Calculation	3
2.4 Muon Calculation	4
2.5 Algorithm for QAD-SOR	5
2.6 Modelling of Configuration	5
3. QAD-SOR System	9
3.1 Flow of the System	9
3.2 Data File Structure of the System	9
4. How To Run QAD-SOR	13
4.1 Start-up of QAD-SOR	13
4.2 Generation and Modification of Input Data	14
4.3 Graphical Display of Computational Geometry	24
4.4 Radiation Dose Calculation	25
4.5 Display of 2-Dimensional Dose Distribution	26
4.6 Display of Contour Dose Distribution	27
5. Summary	60
References	61

1. はじめに

現在、原研—理研共同チームにより、高エネルギー電子加速器複合体施設である大型放射光施設（SPring-8）の建設計画が進められており、その一環として施設の遮蔽設計が行われつつある。高エネルギー電子加速器の遮蔽設計は、通常、Jenkinsの式¹⁾、Swansonの式²⁾に代表される点減衰核法に基づいて行われる。これらの計算式は本来1次元形状を前提として導出されたものであるが、現実の加速器施設は、SPring-8を例にとると、加速器からシンクロトロン、シンクロトロンからストレージリングへの入射部、電子/陽電子コンバータ室等複雑な形状で構成されており、また、加速器建屋を断面方向から見ると、矩形の建屋内にビームダクトを軸とする補助遮蔽体が局所的に配置されている。これら複雑形状を対象とした遮蔽設計では、特定の評価点における評価だけでなく、連続的な線量当量率の空間分布を評価することが重要である。

他方、複雑形状を含む原子炉や放射性物質取扱い施設等ガンマ線遮蔽設計には、従来から点減衰核法とビルドアップ係数を組み合わせたQAD-CGコード³⁾が一般的に使用されている。本コードは内蔵する3次元形状ユニット（球、円柱、直方体、円錐など）を適当に組み合わせることにより任意の3次元形状を定義することができる。

そこで、点減衰核法に基づくJenkinsの式、Swansonの式をQAD-CGコードに組み込み、放射線源の角度依存性を考慮し、且つ複雑形状に対応できる高エネルギー電子加速器の遮蔽設計コードQAD-SORを開発した。なお本コードは、パソコンの持つグラフィックス機能、対話型計算機能を活用するために、パソコン版プログラムとして作成した。本コードはディスプレイ上に2つの方向の座標軸より見た2次元体系図、あるいは任意の方向から見た3次元体系図を表示することができるため、線源、遮蔽体形状の入力をパソコン上のグラフィックス画面で確認しながら計算作業を行うことができる。さらに、得られた線量当量の計算結果を、ユーザが指定する任意の平面における等高線分布あるいは指定する断面における遮蔽体深さ方向の分布で表示することができる。

このレポートはQAD-SORコードの入力マニュアルと本コードの使用方法を説明するものである。

2. 遮蔽計算手法

2.1 点減衰核計算コードQAD-CG

ガンマ線遮蔽計算コードQAD-CGは、点減衰核法に基づいて体系内のガンマ線透過計算を実行するプログラムであり、非散乱線と、散乱成分を表現するビルドアップ係数を組み合わせて、評価点におけるガンマ線線量を計算することができる。任意の点におけるガンマ線線量の評価式は、単位体積当たり、毎秒S個のガンマ線を放出する等方線源に対して、以下の式で与えられる。

$$D(\bar{r}) = K \int_V dV \frac{S(\bar{r}') \cdot B(\mu|\bar{r}-\bar{r}'|, E) \cdot \exp(-\mu|\bar{r}-\bar{r}'|)}{4\pi|\bar{r}-\bar{r}'|^2} \quad (2.1)$$

ここで、

\bar{r} : 線量評価点

\bar{r}' : 線源領域内位置

V : 線源領域

μ : 減衰係数

$B(\mu|\bar{r}-\bar{r}'|, E)$: 線量ビルドアップ係数

K : 線束-線量率変換係数

である。

なお本コードは、3次元形状ユニット（球、円柱、直方体、円錐等）を内蔵しており、これらを座標系上で適当に組み合わせることにより、計算体系を任意の3次元形状で表現できるという特徴を有する。

2.2 光子計算式

1) DESYの式¹⁾

$$\dot{H} = 7.2 \times 10^{-11} \cdot J \cdot E_e \cdot D_t(\theta) \cdot A_t \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \exp\left(-\frac{d}{\lambda_0 \sin \phi}\right) \quad (2.2)$$

2) Swansonの式²⁾

$$\dot{H} = 1.6 \times 10^{-13} \cdot (J + G_\rho) \cdot E_e \cdot \dot{H}_1 \cdot P_r \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \exp\left(-\frac{d}{\lambda_0 \sin \phi}\right)$$

$$G\ell = 5.12 \times 10^8 \cdot Z_g (Z_g + 1) \cdot P_{rs} \cdot \frac{273}{T} \cdot X_{en} \cdot X_j$$

$$\times \left\{ \ln \left(\frac{183}{Z_g} \right) + \frac{1}{18} \right\} \quad (2.3)$$

Longitudinal: $\dot{H}_1 = 3 \times 10^5 \cdot E_e [(Sv/h) / (kW \cdot m^2)]$

Transverse : $\dot{H}_1 = 50.0 [(Sv/h) / (kW \cdot m^2)]$

3) Jenkins の式¹⁾

$$\dot{H} = 3.6 \times 10^{-14} \cdot J \cdot E_e \cdot \frac{1}{r^2}$$

$$\times \left[\frac{133 \cdot \exp\left(-\frac{d}{\lambda_0 \sin \phi}\right)}{(1 - 0.98 \cos \theta)^{1.2}} + \frac{f_1 \times 0.267 \cdot \exp\left(-\frac{d}{\lambda_1 \sin \phi}\right)}{(1 - 0.72 \cos \theta)^2} \right] \quad (2.4)$$

$$30^\circ < \theta < 130^\circ$$

4) ESRF の式⁵⁾

$$\dot{H} = P_r \cdot S_r \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \exp\left(-\frac{d}{\lambda_r \sin \phi}\right) \quad (2.5)$$

2.3 中性子計算式

1) Jenkins の式¹⁾

$$\dot{H} = 3.6 \times 10^{-14} \cdot J \cdot E_e \cdot \frac{1}{r^2} \times \left[\frac{f_1 \cdot \exp\left(-\frac{d}{\lambda_1 \sin \phi}\right)}{(1 - 0.72 \cos \theta)^2} \right.$$

$$\left. + \frac{f_2 \times 10 \cdot \exp\left(-\frac{d}{\lambda_3 \sin \phi}\right)}{(1 - 0.75 \cos \theta)} \right] + 3.79 \times Z^{0.73} \cdot \exp\left(-\frac{d}{\lambda_2 \sin \phi}\right) \quad (2.6)$$

$$30^\circ < \theta < 130^\circ$$

2) ESRF の式⁵⁾

$$\dot{H} = P_r \sum_{i=1}^2 \left[S_i \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \exp\left(-\frac{d}{\lambda_i \sin \phi}\right) \right] \quad (2.7)$$

$$\begin{pmatrix} i = 1 & \text{低エネルギー中性子} \\ i = 2 & \text{高エネルギー中性子} \end{pmatrix}$$

2.4 μ 粒子計算式

1) Swanson の式²⁾

$$\dot{H} = 8 \times 10^{-15} \times (J + G_{\ell}) \cdot E_e \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \left(\frac{25}{25 + \frac{d}{\lambda_4 \sin \phi}} \right) \times \left(1 - \frac{d}{\lambda_5 \sin \phi} \right) \quad (2.8)$$

光子計算式，中性子計算式を多重層体系に適用する場合，単層減衰カーネル

$$\exp \left(1 - \frac{d}{\lambda \sin \phi} \right)$$

を，多重層減衰カーネル

$$\prod_{i=1}^{\text{MAX}} \exp \left(- \frac{d}{\lambda_i \sin \phi} \right)$$

に置き換える。

μ 粒子計算式を多重層体系に適用する場合，

$$\frac{d}{\lambda_4 \sin \phi} \quad , \quad \frac{d}{\lambda_5 \sin \phi}$$

を，それぞれ

$$\sum_{k=1}^{\text{MAX}} \left(\frac{d}{\lambda_4^{(k)} \sin \phi} \right) \quad , \quad \sum_{k=1}^{\text{MAX}} \left(\frac{d}{\lambda_5^{(k)} \sin \phi} \right)$$

に置き換える。

上記の記号の意味は以下の通りである。

- P_{rs} : 残留ガス圧 (Torr)
- T : 残留ガス温度 (T)
- X_{en} : 軌道直線部長さ (cm)
- X_j : ビーム電流 (A)
- Z_g : 残留ガス実効原子番号 (=10)
- J : 点状ビーム損失割合 (e/s)
- E_e : 電子ビームエネルギー (GeV)
- $D_L(\theta) \cdot A_i$: 5 GeV, 10^{11} のビーム損失による θ 方向の 1 m 位置での線源強度 (rad)
- P_r : 電子ビーム出力 (kW)
- f_1 : 高エネルギー中性子の線源低減補正係数
- f_2 : 中間エネルギー中性子の線源低減補正係数
- r : 線源 - 評価点間の距離 (cm)
- d : 遮蔽体厚さ (cm)

- θ : ビーム進行方向に対する角度
 λ_0 : 光子減弱距離 (cm) (表 2.1)
 λ_1 : 高エネルギー中性子減弱距離 (cm) [π 生成中性子] (表 2.1)
 λ_2 : 低エネルギー中性子減弱距離 (cm) [巨大共鳴中性子] (表 2.1)
 λ_3 : 中間エネルギー中性子減弱距離 (cm) [擬似重陽子壊変中性子] (表 2.1)
 λ_4 : 放射長 (cm) (表 2.2)
 λ_5 : 最大 μ 粒子飛程 (cm) (表 2.2)
 λ_7 : 光子減弱距離 (cm) [ESRF 計算式] (表 2.3)
 λ_n : 低エネルギー中性子減弱距離 (cm) [ESRF 計算式] (表 2.3)
 λ_N : 高エネルギー中性子減弱距離 (cm) [ESRF 計算式] (表 2.3)
 S_r : 線源項 ($\text{Sv} \cdot \text{hr}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kW}$) [ESRF 計算式] (表 2.4)

2.5 QAD-SORのアルゴリズム

前節で記述した高エネルギー加速器の遮蔽評価式はすべて、既存の高エネルギー加速器での実測値に基づいて導出された式であり、これらの式にもとづく線量率減衰挙動は、ビルドアップ効果も含めた実効的な減衰係数を用いた点減衰核により表現されるものである。したがって、QAD-CGコードからスタートして加速器遮蔽計算コードQAD-SORを作成するためには、QAD-CGの基本式である(2.1)式において、一律に

$$B(\mu|\bar{r}-\bar{r}'|, E) = 1.0 \quad (2.9)$$

とした上で、被積分関数

$$\frac{S(\bar{r}') \cdot B(\mu|\bar{r}-\bar{r}'|, E) \cdot \exp(-\mu|\bar{r}-\bar{r}'|)}{4\pi|\bar{r}-\bar{r}'|^2} \quad (2.10)$$

の代わりに、(2.2)~(2.8)式で与えられる線量当量評価式Hを代入すれば良いことが分かる。すなわち、QAD-SORは、基本的にはQAD-CGで使用している点減衰核とビルドアップ係数部分の変更だけで作成することができる。したがって、QAD-SORコードには、3次元複雑形状対応のQAD-CGの特徴がそのまま引き継がれている。

2.6 形状のモデル化

QAD-CGコードは原則的に任意の3次元形状を取り扱うことができるが、任意形状の入力データを用意するのは大変手間のかかる作業である。しかも、入力した任意の形状を3次元図形表示させるためのプログラムは煩雑であり、そのための必要記憶容量も大量となり、パソコン演算上大きな制約条件になりかねない。SPring-8の計算体系を分析し類型化してみると、想定すべき計算体系の種類はそれほど多くないことが分かる。そこで、SPring-8を念頭に入れて、遮蔽計算の対象となる体系を可能な限りパターン化し、必要に応じてパラメータの値を変えるだけで、現実の体系をモデル化する方式を用いることとした。

遮蔽計算のための線源は、軌道を走る電子（陽電子）が軌道を逸脱し、周囲のビームダクト壁に衝突し、そこで発生する高エネルギー中性子、制動放射線あるいは μ 粒子等の2次放射線、あるいは、ビームダクト内の残留ガス原子と電子が衝突して生成する制動放射線を考える。したがって、計算上必要な線源形状として、ビームダクト上の点状線源あるいはビームダクトに沿った線状線源の2種類を想定する。ビームダクトは、リニアックに対しては直線、シンクロトロン、ストレージリングに対しても、遮蔽計算の対象とする局所的な領域に着目すれば、それらの曲率を考えると十分直線とみなすことができる。したがって、基本的な体系としては、線源となるビームダクトを中心軸として、それを単層あるいは多重層の矩形断面遮蔽体を取り囲む構成を考えれば良いことが分かる。

SPring-8 では電子/陽電子コンバータ室が設置されるが、ここは放射線レベルが高くなり、通常の遮蔽壁の他にビームダクト近傍の周囲に補助遮蔽体を設置することを考えている。また、局所的な高線量領域に対応するためにも補助遮蔽体の設置が必要である。そのため、通常の遮蔽体の他にビームダクト主軸と同心円環の遮蔽領域を設けることとした。

SPring-8 の遮蔽設計上、ビーム損失が大きく、そのために線源強度が強く、かつ形状が複雑な領域として、リニアックからシンクロトロン、シンクロトロンからストレージリングへのビーム入射領域がある。これらに対応するために、ビームダクト主軸をZ軸とした遮蔽体領域に対して任意の角度で円筒形の入射管が挿入され、入射管中心軸がビームダクト主軸と交差する点を3次元(x, y, z)座標の原点とする形状モデルを設定した。

表 2.1 Swanson の式, Jenkins の式で使用する光子,
中性子減弱距離 (cm)

material		ρ (g/cm ²)	λ_0	λ_1	λ_2	λ_3
1	Earth	1.3	40.0	90.0	22.3	40.8
2	O. Concrete	2.4	18.3	50.0	12.5	22.9
3	H. Concrete	3.7	12.3	34.6	9.2	16.8
4	Iron	7.8	4.4	21.3	6.8	12.3
5	Lead	11.3	2.1	22.7	10.0	18.3

表 2.2 μ 粒子計算用パラメータ^{2),6)}
(放射長 λ_4 ・最大 μ 粒子飛程 λ_5)

material		λ_4	λ_5
1	Sand (Soil)	19.8	3655
2	O. Concrete	10.9	2010
3	H. Concrete	7.35	1374
4	Iron	1.76	708
5	Lead	0.56	590

表 2.3 ESRF の式で使用する光子, 中性子の
減弱距離 (cm) - 前方・側方⁵⁾

material		ρ (g/cm ³)	λ_{γ}		λ_{n}		λ_N	
			L ¹⁾	T ²⁾	L	T	L	T
1	Earth	1.6	40.0	40.0	20.4	20.4	58.8	55.6
2	L. Concrete	2.3	18.2	18.2	16.9	16.9	40.0	37.0
3	Bar. Conc.	3.8	9.6	13.0	13.3	13.3	32.3	30.3
4	Iron. Conc.	5.25	7.1	7.1	14.3	14.3	32.3	30.3
5	Iron	7.8	4.5	4.5	18.5	18.5	58.8	41.7
6	Lead	11.3	1.5	2.1	23.8	23.8	66.7	66.7

¹⁾ L : Longitudinal , ²⁾ T : Transverse

表 2.4 ESRF の式で使用する線源項⁵⁾
(Sv · m² / hr · kW)

	Source term S	
	Longitudinal	Transverse
γ	1.7×10^7	50
n	22.7	22.7
N	4.0	1.3

3. QAD-SORシステム

3.1 システムの流れ

大型放射光施設の遮蔽計算コードQAD-SORのシステムの流れ図を図3.1に示す。本システムの処理は大別して以下の5種類となる。

- | | |
|-----|----------------------|
| (1) | 入力データの作成または変更 |
| (2) | 計算体系の図形出力 |
| (3) | 線量計算の実行 |
| (4) | 計算結果の図形出力（2次元図，等高線図） |
| (5) | 計算結果のデータ出力 |

ここで2次元図とは、遮蔽体深さ方向の線量分布図を意味する。それぞれの作業は、パソコンの特性を活用して、対話型方式の環境下で処理される。

3.2 システムのファイル構成

本システムで使用されるファイル群のリストを以下に示す。これらのファイルの内容を直接変更したり、また、これらのファイルと同一名のファイルを作成することは避けなければならない。

- | | | |
|-----|----------------------|-------------------------------------|
| (1) | バッチファイル | |
| | SOR. BAT | : システム起動ファイル |
| | SORG. BAT | : 線量計算プログラム起動ファイル
(初期メニュー画面より呼出) |
| (2) | 実行ファイル (ディレクトリ¥Mに格納) | |
| | QADSRV. EXE | : 入力データ作成・変更プログラム |
| | SORT. EXE | : 線量計算実行プログラム |
| | PLOT2. EXE | : 2次元図出力プログラム |
| | TK. EXE | : 等高線図出力プログラム |
| | G3DSR. EXE | : 計算体系出力プログラム |
| | ATOM. COM | : 初期メニュー出力プログラム |
| (3) | データファイル | |
| | SYMBOL. COD | : グラフィックス用文字ベクトルファイル |
| | 2. MEN | : 初期メニューデータファイル
(ディレクトリ¥Mに格納) |

SOR. IN	: 最新線量計算用入力データファイル
SOR. OUT	: 線量計算結果格納ファイル (変更可)
SOR. FIG	: 図形出力プログラム用データファイル (変更可)
BAS. DAT	: 入力データ作成・変更プログラム用コメントデータファイル
SOR. TMP	: 線量計算一時ファイル
FT16. TMP	: 線量計算一時ファイル
(4) ライブラリー	
N88 BASIC. LIB	: BASICプログラム・ライブラリー

(注) 一時ファイルは線量計算実行後に自動的に削除される。この場合、修飾子に「.TMP」を付けたファイルは全て削除の対象となるため、この修飾子の使用は避けなければならない。

図 3.2 に、QAD-SORにおける計算処理の流れと、関連するファイルの使用状況を示す。

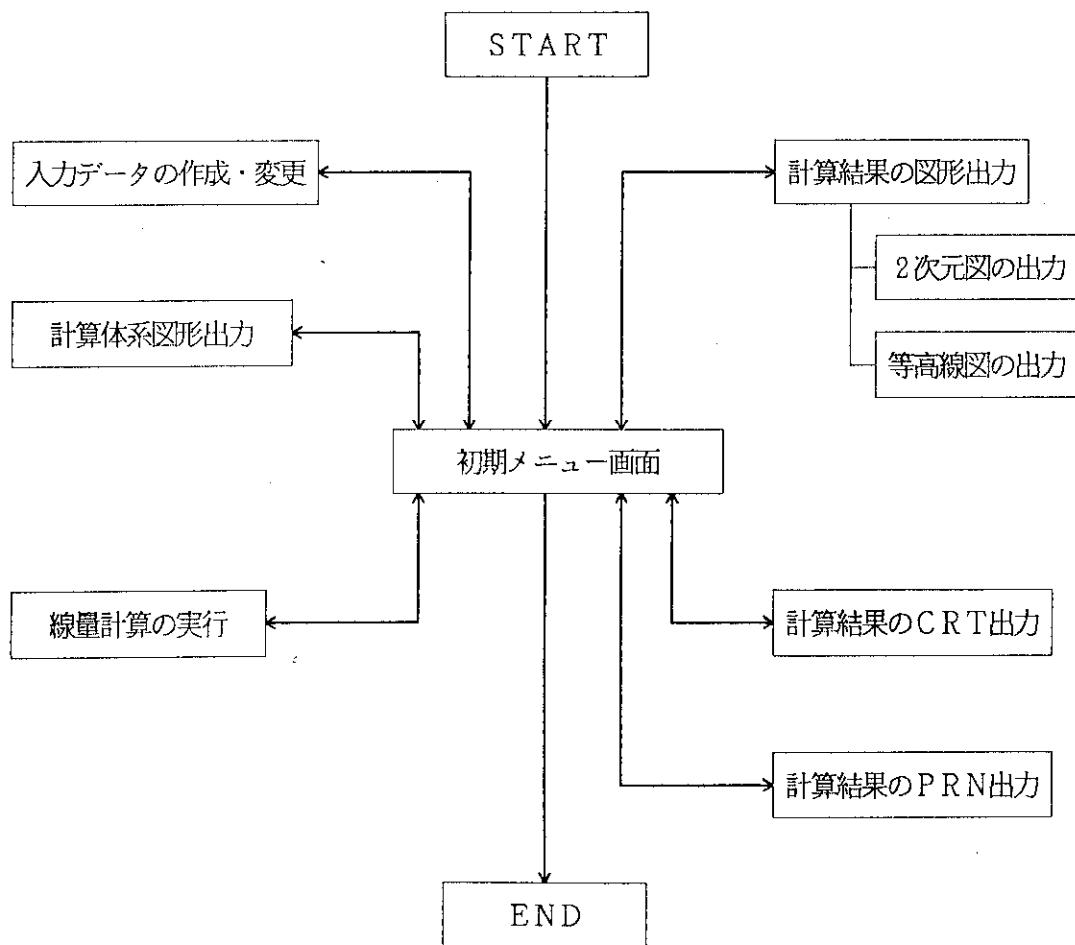


図 3.1 QAD-SOR のシステム流れ図

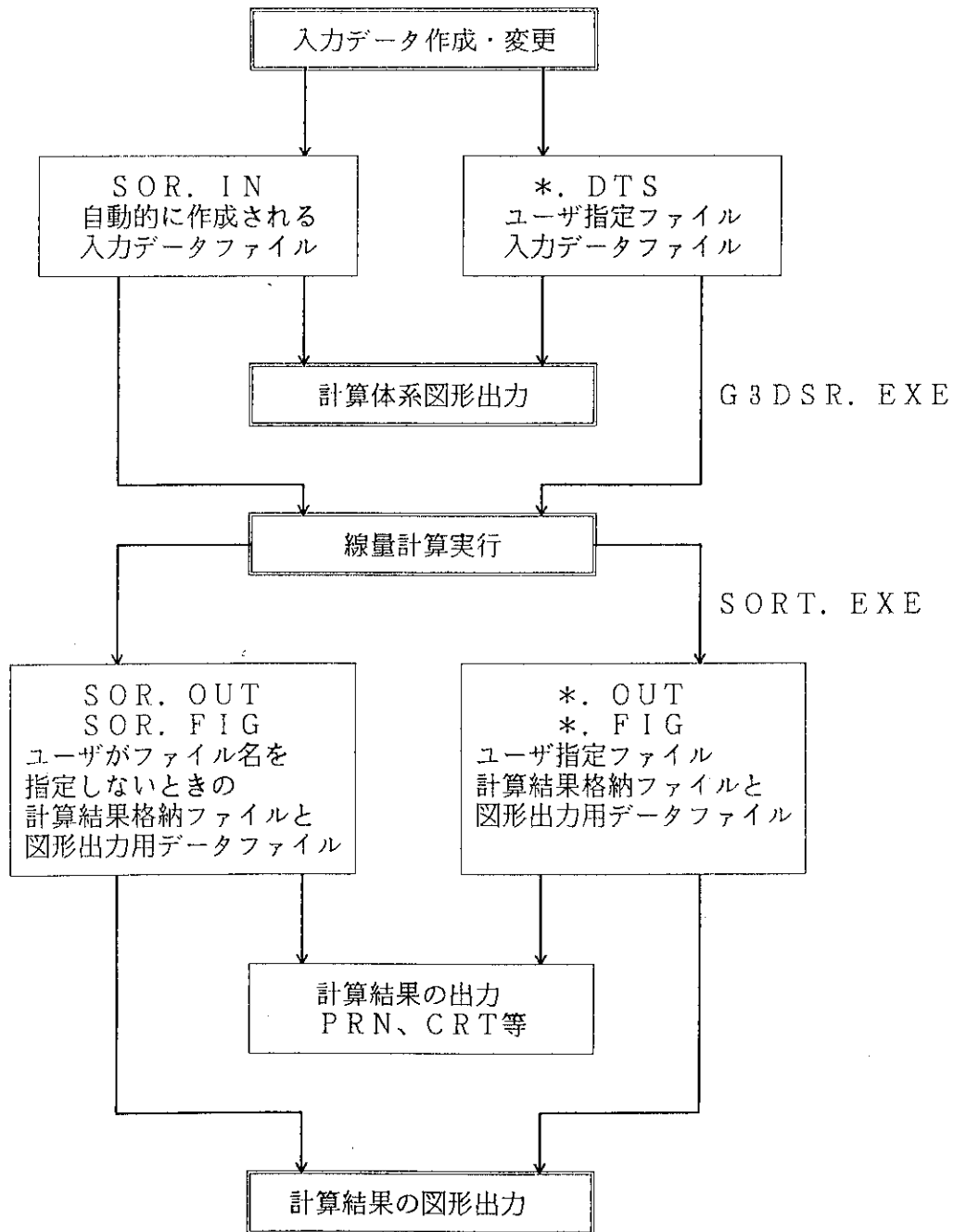


図 3.2 QAD-SOR内ファイル使用状況

4. QAD-SORの使用方法

4.1 QAD-SORの起動

QAD-SORを起動するには、そのための環境設定が必要である。以下に、必要とするソフトウェアとハードウェアを示し、実際の起動操作の記述を行う。

〔必要なソフトウェアとハードウェア〕

- (1) パーソナルコンピュータPC-9801相当品
(ディスクドライブは最低1台必要。2台が望ましい)
- (2) オペレーティングシステムMS-DOS V.3.1
- (3) 数値演算プロセッサ8087相当品
(PC-9801RAの場合、80387相当品)
- (4) メモリ-640KB以上

数値演算プロセッサは無くても起動は可能であるが、約10倍の演算時間を必要とする。また、プリンターを使用する場合は、PRINT.SYS、ラムディスク使用の場合は、RAMDISK.SYS等をCONFIG.SYSに組み込む必要がある。

〔起動操作方法〕

MS-DOSをたちあげ、プロンプトが表示されたら本システムの格納されているフロッピーディスクをディスクドライブに挿入する。カレントディレクトリを本システムの入っているドライブに変更する。ディレクトリの変更の後、次の様に入力する(カレントディレクトリはB)。

B>SOR [リターンキー]

本プログラムが起動されると、まず図4.1に示す表紙画面が表示される。ここで任意のキーを押すと画面に初期メニュー画面が表示される(図4.2参照)。ここで、実行すべき作業項目を矢印キーまたはファンクションキーで選択してジョブが実行される。矢印キーの場合は選択後リターンキーを押す必要があり、ファンクションキーではその必要はない。ジョブ終了後は画面は自動的に初期メニュー画面にもどる。以下に、初期メニュー画面に表示されたファンクション番号とジョブ内容の対応関係を示す。

- 1 : 入力データの作成・変更
- 2 : 入力データの計算体系図形出力
- 3 : 線量計算の実行
- 4 : 線量計算結果の2次元図の出力

- @ [1] または [2] を選択すると、それぞれの数式に必要な各パラメータの入力画面が図 4.8, 図 4.9 に表示される。
- @ [3] を入力すると 6 個の数式の選択画面 (図 4.10 参照) となり、番号入力により数式を選択する。以下に評価式の識別番号を示す。

1.	DES Y の式
2.	Swanson の式
3.	Jenkins の式
4.	ESRF の式
5.	Jenkins の式
6.	ESRF の式

ここで、[1] から [4] までは光子の評価式、[5],[6] は中性子の評価式である。

- @ 使用する数式の番号を入力すると、画面下部に確認のために入力された番号とメッセージを出力する。入力した番号で良ければ Y, 訂正する時は N を入力する。N を入力すると別の数式を選択することができる。
 - @ 使用する数式が決定すると、各数式に必要なパラメータの入力画面となる (図 4.11 ~ 図 4.16 参照) ので、画面に表示される各パラメータの説明に従ってデータを入力する。1 つのデータを入力し終わると、カーソルは自動的に次の入力位置に移動するので、順次入力する。
 - @ 入力終了後、確認のためのメッセージが表示される。入力データに誤りがなければ Y, 訂正するときは N を入力する。N を入力すると、最初のパラメータからデータを入力し直すことができる。
- (2) タイトルの入力
- @ 75 文字以内の半角文字で任意のタイトルを入力する (図 4.17 参照)。タイトルの前 5 カラムには、“SOR+数式番号” が付加される。ただし、このタイトルは線量分布の図形出力時のタイトルとしても使用されるので、半角文字で 30 字以内で使うことが望ましい。前方評価式及び側方評価式には数式ナンバーが与えられていないため、便宜上、前方評価式を 7 番、側方評価式を 8 番とした。タイトル入力後、形状データの入力画面に移行する。

[例]	
入力データ (前方計算) :	QAD-SOR TEST DATA
作成タイトル	: SOR7:QAD-SOR TEST DATA

(3) 幾何形状の入力

本システムはグラフィックスによる図形表示を容易にするために、計算体系を大型放射光施設に則して一定の標準体系に固定している。図 4.18, 図 4.19 に標準体系の定義図を示す。本図から明らかなように、本体系は、ビームダクト主軸をビーム進行方向を正方向とする Z 軸とし、建屋を直方体と箱、補助遮蔽を円筒形状を用いて定義する。座標原点は、入射管壁の中心軸と Z 軸の交点に定義する。建屋構造体を兼ねる主遮蔽壁は、10 層を限度として任意の多重層を定義する事が可能である。計算上、図 4.18, 図 4.19 に示された体系を包含する領域の定義が必要となるが、本システムは評価点も含め全計算体系を含む最小の領域を直方体で自動的に与え、これを包含領域としている。また、図中の斜線部や定義領域以外の外部領域はシステム内部で自動的にボイドと定義する。

幾何形状の入力では、ストレージリング、シンクロトロン建屋を直方体で、入射管を箱で表現する。また、ビームダクトを取り囲む補助遮蔽体は円筒形状である。幾何形状のデータ入力画面を図 4.20 に示す。ここで、X 軸は入射管側が正方向、Y 軸は建屋高さ方向が正方向、Z 軸は電子ビームの進行方向が正方向である。図 4.21 には幾何形状パラメータを図示してある。

〔建屋寸法の入力〕

- ① 電子蓄積リング建物の幅と高さを入力すると、この建物を Z 軸と Y 軸方向から見た図形を画面右側に描く。便宜上、画面では電子蓄積リング建物としているが、これはリニアック、シンクロトロンを含む加速器建屋全般を代表した記述であり、以後建屋あるいは建物と言う。
- ② 画面下部で描かれた図形のスケールの大きさが妥当であるかどうかを聞いてくるので、良ければ Y, 変更したいときは適切な倍率を入力する。
- ③ 倍率を入力するとその倍率に合わせた図形を描き、再び良いかどうか聞いてくる。これらの操作を繰り返し行い、適切な大きさの図形を得たところで Y を入力する。

〔遮蔽厚さの入力〕

- ① 電子蓄積リング建物の第 1 壁の側方厚さと高さ方向厚さを入力する。
- ② 確認のためにその入力が良いかどうか聞いてくるので、良ければ Y, 訂正の場合は N を入力する。N を入力すると、別の値を入力することができる。Y を入力すると、入力データに対応して右側の図形に建物の第 1 層の厚さが書き加えられ、第 2 層の側方の厚さの入力待ち状態となる。以上の繰り返しにより必要な数だけ層を入力することができる。
- ③ 層の入力終了後、次に層の側方の厚さを聞いてきたところで E を入力すると、入射管のデータ入力へ移行する。

〔入射管データの入力〕

- ① カーソルが自動的にデータ入力位置に移動するので、順次入射管データを入力する。
- ② 入射管のデータ入力終了すると確認のためのメッセージを出すので、良ければ Y, 訂正のある時は N を入力する。N を入力した場合、入射管のすべてのデータを入力しなおすことができる。Y を入力すると入力されたデータに対応した図形を右側の図形に書き加える。次に補助遮蔽体のデータ入力へ移行する。

〔補助遮蔽体データの入力〕

- @ カーソルが自動的にデータ位置に移動するので、順次補助遮蔽体データを入力する。
- @ 補助遮蔽体データ入力の終了後、データに対応した補助遮蔽体の図形を右側の図形に書き加え、確認のためのメッセージを出す。良ければY、訂正のある時はNを入力する。Nを入力した場合、すべてのデータを入力しなおすことができる。Yを入力すると(4)の線源設定のステップへ移行する。図 4.22 に全データを入力したときの画面を示す。

(注1) 補助遮蔽体の内径と厚さの合計は、建物の幅の半分以上または建物の高さを越えてはならない。越えた場合は入力データは無視され、カーソルの移動は行われない。

(注2) データを入力した場合、必ずリターンキーを押す必要がある。

矢印キーでのカーソルの移動は行っていない。

(4) 線源の設定

線源領域の設定方法としては、採用する座標軸により以下に示す3つの方法がある。ここでは入力したデータに基づき3次元図形が画面右側に描かれる(図 4.23参照)。

1. 円柱座標による入力
2. 直交座標による入力
3. 極座標による入力

- @ 線源領域を定義する座標系を選択する。
- @ 各座標系に必要なパラメータおよび線源領域分割数を入力する。線源分割数は最大で49個である。以下に座標系毎のパラメータを示す。

円柱座標	1 : 距離 R (cm)
	2 : 高さ Z (cm)
	3 : 方位角 Φ (度)
直交座標	1 : X座標の値 (cm)
	2 : Y座標の値 (cm)
	3 : Z座標の値 (cm)
極座標	1 : 距離 R (cm)
	2 : 天頂角 θ (度)
	3 : 方位角 Φ (度)

④ 線源領域の入力が終わると、画面右側の計算体系図形上に線源領域が重ね書きされる。ここで確認のためのメッセージを出すので、良ければY、訂正する場合はNを入力する。Nを入力した場合、線源領域の座標系データから入力し直すことができる。Yを入力した場合は、評価式により次の2通りに分かれる。

(a) 電子ビームの進行方向を表わすベクトルの入力

④ 評価式として個別評価式の〔3〕,〔5〕あるいは側方評価式が選択されると、図4.24のベクトルの入力画面が表示される。ベクトルは方向余弦によりXYZの各座標軸に対して入力する。ただし、これらのベクトルは必ずしも単位ベクトルである必要はない。

(b) 線源領域の分割数のデータ変更

④ 評価式として個別評価式の〔1〕,〔2〕,〔4〕,〔6〕あるいは前方評価式が選択されると、線源区分データの変更画面が表示される(図4.25参照)。線源領域の分割値は必要があれば変更可能である。

(注) F・3が押されると、カーソルは左先頭のデータ位置へ移動する(この状態を便宜上データ入力モードとし、これに対してコマンド入力が行なえる状態をコマンドモードとする)。データ入力モードで変更するデータの位置へカーソルを移動させるには、F・3またはリターンキーを押す。F・3キーを押すと、カーソルは次の列の先頭のデータ位置へ移動する。リターンキーを押すと、カーソルは次の行へ移動する。カーソルがあるデータの位置にあるときに、リターンキーのみ押した場合、そのデータは変更されない。データ入力モードからコマンドモードへ移行させるには、F・10キーを押す。データ入力モードでの矢印キーによるカーソルの移動は行ってはならない。

(5) 領域の物質指定

使用する評価式により次の2通りの物質指定データセットが用意されている。

① 評価式〔4〕または〔6〕の場合。	
1 : Earth	2 : L. Concrete
3 : Bar. Concrete	4 : Iron Concrete
5 : Iron	6 : Lead
7 : Void	
② 評価式が上記以外の場合。	
1 : Earth	2 : Ord. Concrete
3 : Heavy Concrete	4 : Iron
5 : Lead	6 : Void

これらの物質は選択された評価式の識別番号により画面上部に表示される(図4.26参照)。カーソルは遮蔽第1層の位置へ移動し、入力待ち状態となる。

④ 表示された識別番号の中から必要な物質番号を入力する。

(6) 検出器の入力

検出器を設定する空間位置を入力する。入力の種類は、等高線図用、2次元図用および個々の検出器の3種類である（図 4.27 参照）。検出器の入力は番号により行う。以下に各入力方法を示す。

① 等高線図用検出器の入力

@ 等高線図用検出器の入力〔1〕が選択されると、画面に図 4.28が表示され、ここで検出器の設定される平面を選択する。選択方法は、固定する座標に対応する番号を入力することにより、XY平面、YZ平面、XZ平面のうちから1つを検出器設定面と定める。固定する座標とは、等高線図用の面を構成しない座標である。例えば、固定する座標をX座標、座標上の位置を100cmと入力すると、このときの検出器設定面はYZ平面となり、この平面はX軸とX = 100 cm の位置で直交する。

@ 次に平面を構成する各座標の最小値、最大値および分割数を入力し、その範囲を入力した分割数で等分割して検出器の設定座標が決められる。従って、検出器の個数は各座標軸に沿って（分割数+1）個であり、平面上に格子状に設定すると（分割数+1）×（分割数+1）個となる。

@ パラメータの入力終了後、確認のためのメッセージを出力する。良ければY、訂正の必要がある時はNを入力する。Nを入力した場合、固定座標の選択データから入力し直すことができる。

（注1）領域の境界線上に設定した検出器位置での計算は不可能なため、実際の設定位置は等分割で決められる位置から1mmずらして設定される。

（注2）分割数の最大値は100である。

② 2次元図用検出器の入力

@ 2次元図用検出器の入力オプションが選択されると、画面には図 4.29が表示される。検出器は、評価する座標を選択することによりX、Y、Z軸のうちの1つの軸に平行な直線上に設定される。検出器の設定座標は、入力した設定座標の最小値、最大値で定まる範囲を、入力した分割数により等分割することにより決定される。

@ 次に設定する直線の位置を入力する。

〔例〕

評価座標 X座標（1を入力）

最小値 -1000 最大値 1000 分割数 30

Y座標 = 100

Z座標 = 200

この場合の検出器設定直線は、Y = 100 cm、Z = 200 cmでYZ平面に直交する直線でありその直線上の-1000 cm ~ 1000 cmの範囲で等間隔に31個の検出器を設定する。

③ 個々の検出器の入力

個々の検出器入力オプション〔3〕が選択されると、画面に図 4.30が表示される。検出器の設定位置は以下の3種類の座標系のいずれかを用いて定義される。

円柱座標	1 : 距離 R (cm)
	2 : 高さ Z (cm)
	3 : 方位角 Φ (度)
直交座標	1 : X座標の値 (cm)
	2 : Y座標の値 (cm)
	3 : Z座標の値 (cm)
極座標	1 : 距離 R (cm)
	2 : 天頂角 θ (度)
	3 : 方位角 Φ (度)

④ 1個の検出器のデータ入力を終了すると、つぎの検出器用座標を聞いてくるので、指示に従って最大15個までの検出器の設定が可能である。

④ 座標入力箇所を入力無しにリターンキーを入力すると、検出器の入力が終了する。ただし、検出器が1つも入力されない場合は終了しない。

(7) 詳細情報出力の有無

④ 線源から検出器までのパス（直線経路）の情報等を入力するかどうかを入力する。等高線図、2次元図用の検出器設定の場合、パス情報の出力量は膨大となるため、デフォルトでは出力せず、Yを入力する時のみ出力する。

以上で新規入力データの作成は終了し、作成されたデータは入力したファイル名のファイルに格納される。

4.2.2 既存データの変更

初期メニュー画面で既存データの変更オプションが選択されると、画面に本システムが入っているディレクトリ内のファイルの一覧表が表示され、ファイル名の入力待ち状態となる（図 4.31参照）。

(1) 既存データファイル名の選択方法

④ 図 4.31の状態では任意の矢印キーを押すと、ファイル名の箇所が赤枠で囲まれ、このファイルが読込対象ファイルとなる。この赤枠は矢印キーで移動させることができる。ただし、ここで読込ができるのは、修飾子が「.D.T.S」のファイルだけであり、これ以外の修飾子のファイルを赤枠で囲みリターンキーを入力した場合、画面下部に「ファイル名不适当。D.T.Sを選択して下さい」のメッセージを出力する。新規入力データ作成オプションにより作成されたファイルには全て「.D.T.S」が付けられているので、上記の

方法により選択できる。ただし、本プログラムは、「D T S」以外の修飾子ファイルに対しても、以下に示す方法により入力データとすることができる。入力データの修飾子が「D T S」以外の場合は、使用ファイル名の箇所にファイル名を入力すればよい（カーソルは常に使用ファイルの入力位置にある）。ただし、この場合、「SOR. IN」は内部使用ファイルのため、入力ファイル名として使用してはならない（入力した場合はエラーとなる）。

使用ファイルが別のディレクトリにある場合は、使用ファイル名の箇所でディレクトリ名を入力する。画面には入力されたディレクトリのファイル一覧表が表示されるので、矢印キーにより選択できる。また、画面に表示されているファイルで修飾子が「D T S」以外の場合の入力ではディレクトリ名の入力の必要はない。画面に表示されていない別のディレクトリにあるファイルであっても、ディレクトリを一緒に入力することにより選択することができる。

(2) メニュー画面

@ 7種類の変更メニューが用意されており、変更したい項目を番号で選択する（図 4.32 参照）。画面下部には使用中のデータファイル名が表示されている。〔8〕の終了オプション以外どの項目を選択しても、データ変更終了後はこのメニュー画面に戻る。

(3) 数式の変更

数式の変更オプションが選択されると、画面に図 4.33 が表示される。画面中央には、現在入力されている数式が番号で表示されており、変更は数式の識別番号により行う。数式を変更しない時はリターンキーのみ入力する。〔1〕または〔2〕が選択された場合、数式のパラメータ入力画面に移行する。〔3〕が選択された場合は6個の数式の変更画面に移行する。

@ 図 4.33 で、〔3〕が入力されているか、または選択されたときは、画面は図 4.34 に変わる。ここでは、現在入力されている数式番号を変更するかどうかを聞いてくるので、変更する場合は新しい数式番号を入力し、変更しないときはリターンキーを入力する。以上の操作が終了するとパラメータ変更画面に移行する。

@ パラメータ変更画面では、数式の変更が無ければ現在入力されているデータを表示し、このデータを変更するかどうかを聞いてくる。また、数式が変更された場合はデータ入力画面となる（新規入力データ作成の数式選択の項を参照）。パラメータの変更画面でデータを変更する場合は、「変更しますか」の箇所でYを入力し、変更しない場合はNを入力する。データを入力せずにリターンキーのみ入力する場合、データは変更されない。

@ データの変更または入力が終了すると確認のためのメッセージを出力する。良ければY、訂正のある時はNを入力する。Nを入力した場合、パラメータの最初から入力し直すことができる。

データの変更が終了するか変更しなかった場合、現在選択されている数式により、以下に示す2通りのステップに分かれる。

@ 評価式が〔3〕,〔5〕または側方評価式の場合、電子ビームの方向ベクトルの入力画面に移行し、その後タイトル変更画面に移る。

@ 上記の評価式以外の場合は、すぐタイトル変更画面に移る。

(4) タイトルの変更

タイトルの変更は、メニュー画面で選択された時と、数式の選択を行なった時に実行される。

@ タイトルの変更では任意の文字を入力するが、グラフィックスを出力する場合は、ここで入力したタイトルがグラフィックスのタイトルとなるため、使用できる文字は半角文字のみである。変更が終了するとメニュー画面にもどる。

(5) 幾何形状の変更

幾何形状の変更オプションが選択されると、画面は図 4.35 が表示される。この画面は、既に入力されている幾何形状データを表示し、あわせてこのデータに基づいて Z 軸方向と Y 軸方向から見た 2 次元図を描いたものである。画面下部に以下に示す作業内容と記号を表示するとともに、選択する項目を聞いてくる。

C : データ変更 D : 蓄積リングの建物の層の削除 A : 蓄積リングの建物の層の追加 Z : Z 軸方向のスケールの変更 E : 終了
--

@ [C] を入力すると、どのデータを変更するかを聞いてくる (図 4.36 参照) ので、データの先頭に付けられた番号で変更データを指示する。カーソルは、選択された番号のデータ位置に移動しデータを入力することができる。データが入力されると、右側の図形は入力されたデータにあわせた図形に書き直される。

@ [D] を入力すると、どのデータを削除するかを聞いてくる (図 4.37 参照) ので、建物の層を [C] の場合と同様に入力する。ただし、この場合は建物の層が 2 つ以上ある場合に限られる。番号が入力されると削除して良いかどうかを聞いてくるので、良ければ Y, 訂正が必要ならば N を入力する。N を入力すると、指定された建物の層を削除し、その図形を画面両側に描く。N を入力すると最初の変更画面に移行する。

@ [A] を入力すると、現在描かれているリングの建物の層の外側横方向の厚さを聞いてくる (図 4.38 参照)。横方向の厚さを入力すると、続いて縦方向の厚さの入力を行う。データが入力されると、データに合わせた図形を画面の右側に描き、変更画面へ移行する。横方向厚さの入力で、入力せずにリターンキーの入力した場合は、最初の変更画面に移行する。

@ [Z] を入力した場合、Z 軸方向の大きさを聞いてくる (図 4.39 参照)。ここで、Z 軸の長さを原点からの距離で入力する。入力されたデータに合わせて画面右側の図形が書き直される。

@ [E] を入力すると領域物質の指定に移行する。

(6) 線源の変更

線源の変更オプションを選択すると、画面には入力されている幾何形状データと線源領域デ

ータに基づき図 4.40が描かれる。

- @ 線源データを変更するかどうか聞いてくるので、変更の時はY、変更しないときはNを入力する。Yを入力すると、線源の表現座標データから入力し直すことができる。Nを入力すると、線源分割値の変更画面に移行する(図 4.25)。線源分割値の変更は、新規データ作成の場合と同様である。

(7) 領域物質の変更

領域物質の変更は、メニュー画面で選択された場合と、幾何形状の変更を選択した場合の2通りがある。画面では、現在入力されているデータが図 4.41に表示される。

- @ データを変更するときはYを入力し、変更しないときはNを入力する。Nを入力するとメニュー画面に戻る。ただし、幾何形状の変更箇所建物層を追加した場合は、「未定義の領域があります」のメッセージを表示するので、この場合は物質の指定を行わなければならない。指定しない限りメニュー画面には戻らない。Yを入力すると、カーソルは領域物質の入力データ位置(既にデータが表示されている位置)に移動するので、ここで新しいデータを入力する。1つのデータが入力されると、カーソルは自動的に次のデータ入力位置に移動する。データを入力せずにリターンキーを入力すると、データは変更されずにカーソルだけ移動する。ただし、未定義の領域でリターンキーのみの入力では物質番号は0にセットされるため、「その物質はありません」のメッセージを表示し、カーソルの移動は行わない。

(注) カーソルは自動的に次のデータ入力位置に移動する。カーソルの移動を矢印キーで行ってはならない。

(8) 検出器の変更

検出器の変更オプションを選択すると、画面に図 4.42が表示される。ここには現在入力されている検出器の設定方法が番号で表示されている。

- @ 検出器の設定を変更する場合はその番号を入力する。変更しない場合はリターンキーのみ入力する。変更する場合は、新規データの作成と同様に入力する。リターンキーのみ入力の場合、各設定方法のパラメータを表示する。
- @ [1] または [2] を選択すると変更するかどうかを聞いてくるので、変更のときはY、変更しない時はNを入力する。Yを入力した場合は、カーソルはデータ入力位置に移動し、検出器の設定パラメータをすべて入力し直すことができる。入力なしにリターンキーを入力すると、データは変更されずにカーソルは次のデータ入力位置まで移動する。
- @ 入力データが [3] の場合にリターンキーのみ入力すると、画面は図 4.43に移行する。画面下部には、以下に示す作業内容と記号が表示され、その中から記号により作業項目を選択する。

C : 検出器データの変更 D : 検出器の削除 A : 検出器の追加 E : 終了

④ [C]を入力すると、変更する検出器の番号を聞いてくるので、画面に表示されている検出器の中から変更したい検出器を番号で指定する。カーソルは指定されたデータ入力位置に移動し、使用座標データから入力し直すことができる(図 4.44 参照)。

④ [D]を入力すると、削除する検出器の番号を聞いてくるので該当する番号を入力する。入力後確認のために削除してもよいかどうか聞いてくるので、削除して良い場合は Y, そうでなければ N を入力する(図 4.45 参照)。

④ [A]を入力すると、検出器は 1 個追加され、その表現座標を聞いてくる。データの入力方法は、新規データ作成の場合と同じである。

④ 検出器のデータ変更を終了すると、次にパスの詳細情報を出力するかどうかを入力する。検出器の設定が等高線図または 2 次元図の場合、ディスク容量の点から詳細情報を出力することは不可能に近い。そのため、デフォルトでは出力しないようになっており、その場合はリターンキーのみ入力すれば良い。出力する場合は Y を入力する。

(9) 使用ファイルの変更

ここでは、既存データを読み込んだ後で、変更するファイルを別のファイルで行ないたい場合を選択する。

④ このオプションを選択すると、既存データのファイル名の入力に戻る。ここで改めて既存データファイルの読込を行う。方法は既存データファイルの入力と同じである。

(10) 終了

終了オプションが選択されると図 4.46 が表示される。

④ ファイル名の頭の部分を入力すると、修飾子「D T S」が自動的に付加される。ここでリターンキーを入力するとデータはファイルに格納される。同時にこのデータは「S O R. I N」にも自動的に格納され、次の線量計算ステップや、計算体系の図形表示ステップへデータを引き渡すためのデフォルトファイルとして使用される(図 3.2 参照)。

4.3 計算体系の図形表示

初期メニュー画面で [2] を入力すると、図形表示のプログラムが起動する。本プログラムは、入力作成・変更プログラム「Q A D S R」により作成された入力データに基づいて、その幾何形状の 3 次元図及び 2 次元図を出力するプログラムである。

④ 本プログラムが起動すると画面に図 4.47 が描かれる。任意のキー入力でも画面が図 4.48 に移行し、入力データファイル名の入力待ち状態となるので、「Q A D S R」で作成されたデータファイル名を入力する。ただし、入力なしにリターンキーのみ入力すると、デフォ

ルトファイル「SOR. IN」が選ばれる。ファイル名が入力されると、画面は図 4.49に移行し、出力する図形の種類を以下に示す番号で選択する。

- 1 : 3 画面 (XY, YZ, XZ 平面図の表示)
2 : 任意の角度から見た 3 次元図の表示

- @ [1] を入力すると図 4.50 を表示する。
- @ [2] を入力すると図 4.51 を表示するので、視点の方向を天頂角と方位角とで入力する (単位は度)。データが入力されるとその方向から見た 3 次元図を描く (図 4.52 参照)。線源は赤色、検出器位置は黄色の丸印でそれぞれ表示される。
- @ 図形を書き終わるとキー入力待ち状態となりコピーキーで図形のハードコピーをとることができる。ここで、特殊キー (コピーキー等) 以外の任意のキーを押すと画面は一掃され、データファイル名の入力画面に移行する。
- @ 別の入力データファイル名を入力すると、そのデータの幾何形状を表示することができる。
- @ [E] を入力するとジョブは終了し、画面は初期メニュー画面に戻る。

4.4 線量計算の実行

初期メニュー画面で [3] が選択されると、画面に図 4.53 が表示される。

- @ 線量計算用入力データファイル名を入力する。このファイルは「QAD-SOR」で作成されたデータであり、何も入力せずにリターンキーを押すと、「SOR. IN」が自動的に設定される。
- @ 入力データファイル名入力後、画面には図 4.54 が表示される。
- @ 計算結果の格納ファイル名を入力する。修飾子以外のファイル名を入力すると、本プログラムは入力された名前に、「OUT」と「FIG」の修飾子を付けた、プリンター出力用とグラフィックス用の 2 種類のファイルを作成する。

[例 1]

格納ファイルの入力: QAD
作成ファイル : QAD. OUT (プリンター用)
 QAD. FIG (図形用)

[例 2]

格納ファイルの入力: (入力無し)
作成ファイル : SOR. OUT (プリンター用)
 SOR. FIG (図形用)

格納ファイル名の入力が終わると、画面に図 4.55 が表示される。等高線図用検出器の設定オプションが選択されている場合、画面中央に計算経過がパーセント表示される。計算が終了すると初期メニュー画面に戻る。計算に要する時間は、等高線図計算を例にとると、線源分割数を各々の座標軸で 1 とし、検出器の設定分割数を 100×100 とした場合、約 13 分である（PC 9801 RA2, 数値演算プロセッサ使用時）。

4.5 2次元図の図形出力

- @ 表示画面に従ってファイル名を入力する。この入力ファイルは線量計算の箇所では 2次元図用計算結果を格納したデータファイルである。この時、修飾子「FIG」はプログラム内で自動的に付加されるので、入力はファイル名の頭の部分のみで良い。この時、ファイル名を入力せずにリターンキーを押すとプログラム内で自動的に「SOR. FIG」が呼び出される。データが 2次元図用でない場合は、その旨のメッセージを出して終了する。ファイル名の入力の終了で画面は図 4.56 に移行し、評価対象座標に対する線量分布図が表示される。
- @ リターンキーを入力すると、「ハードコピー取りますか」のメッセージを表示する。ハードコピーを取る場合は Y, 取らない場合 Y 以外を入力する（リターンキーも可）。次に記号と作業内容が画面表示されるので、実行する作業内容の記号を入力する。

N : データがあれば次の図形出力。無ければ終了
 S : 図形の部分拡大
 E : 終了

- @ N が入力された場合、ここで使用されるデータは 1 種類のグラフ用データしか格納されていないので、E を入力したのと同じ終了となる。
- @ S を入力すると、表示する縦軸の最大桁数、最小桁数を入力する。入力されたデータが現在表示されている図形の範囲内ならば、その値の位置に水平線を引く。
- @ 次に、表示する横軸の最大桁数、最小桁数を入力する。縦軸と同様、入力値の位置に垂直線を引く。この 4 つの直線で囲まれた範囲が図形の部分拡大対象領域となる。
- @ 入力が終了すると、確認のメッセージを出力する。良ければ Y, 訂正の時は N を入力する。N を入力すると縦軸の表示最大桁数のデータより入力しなおすことができる。Y を入力した時は拡大図を表示する。後はハードコピーの箇所より繰り返しの操作になる。図 4.57 に図 4.56 の部分拡大図の表示画面を示す。

4.6 等高線図の図形出力

初期メニュー画面で〔7〕を選択すると図 4.58が表示される。

- ④ 図形出力用ファイル名を入力する。入力方法は2次元図形の場合と同様である。
- ④ 出力するスケールの種類を入力する。リニアスケールの場合は1を、対数スケールの場合は1以外の値またはリターンキーを入力すると、選択した設定画面に従って、画面に図 4.59, 図 4.60が出力される。図形右端の数値は表示されている等高線の値を示している。
- ④ 図形が描き終わったらリターンキーを入力する。ハードコピーを取るかどうか聞いてくるので2次元図形の場合と同様に入力する。
- ④ 等高線図上に他の等高線とは区別して特に明確な表示をする必要のある数値があれば、その値を実数で入力する。画面は入力された値の等高線図を追加表示した図形に描き直される。特に表示したい値がない場合、リターンキーを入力し画面は初期メニューにもどる。

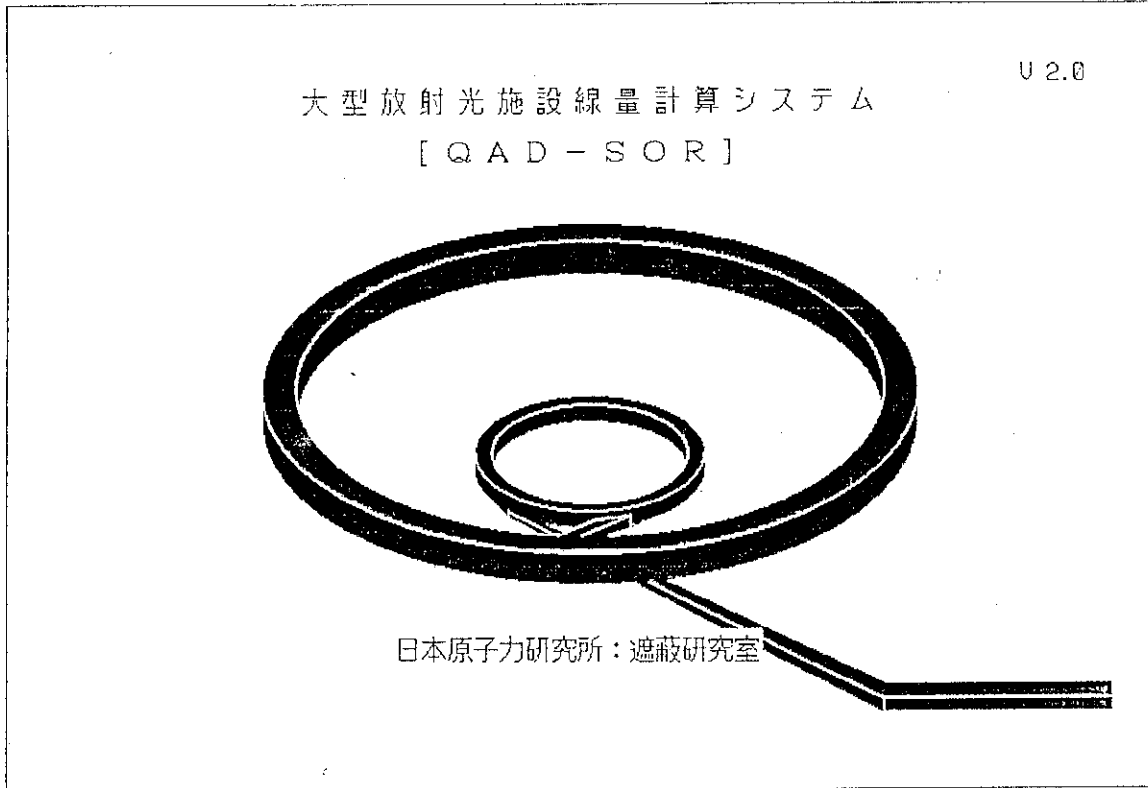


図 4.1 QAD-SORシステムの表紙画面

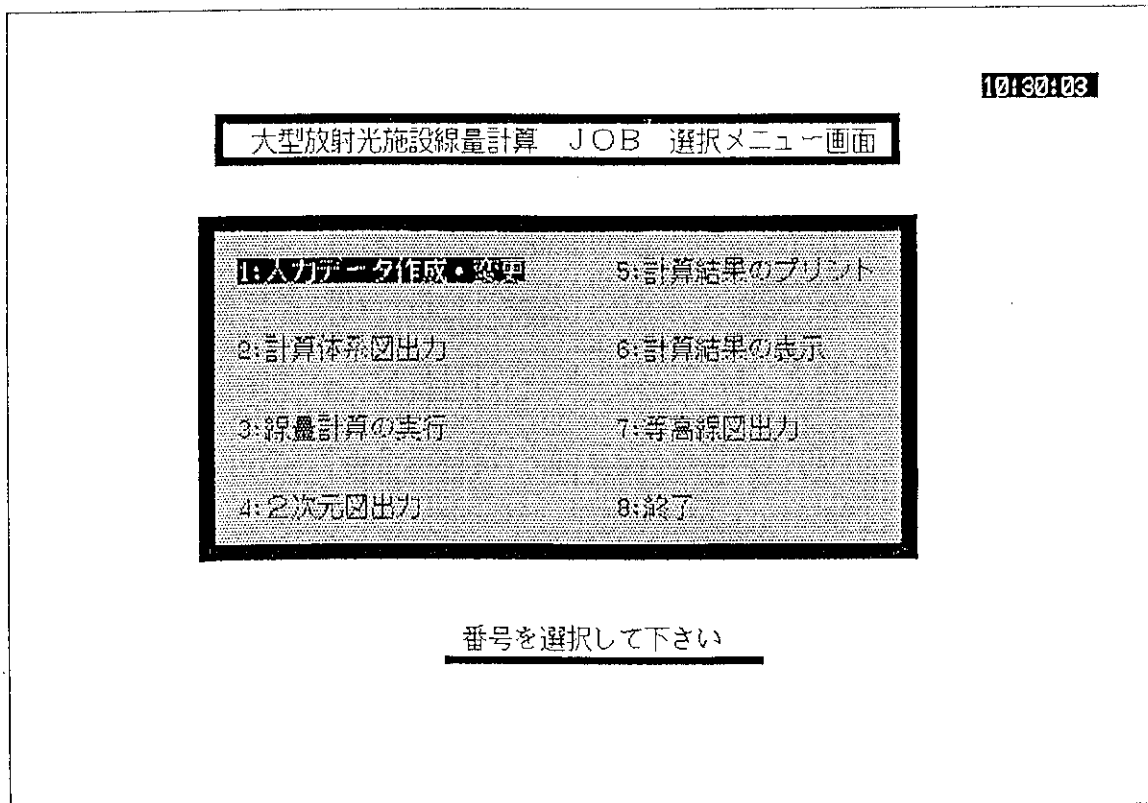


図 4.2 初期メニュー画面

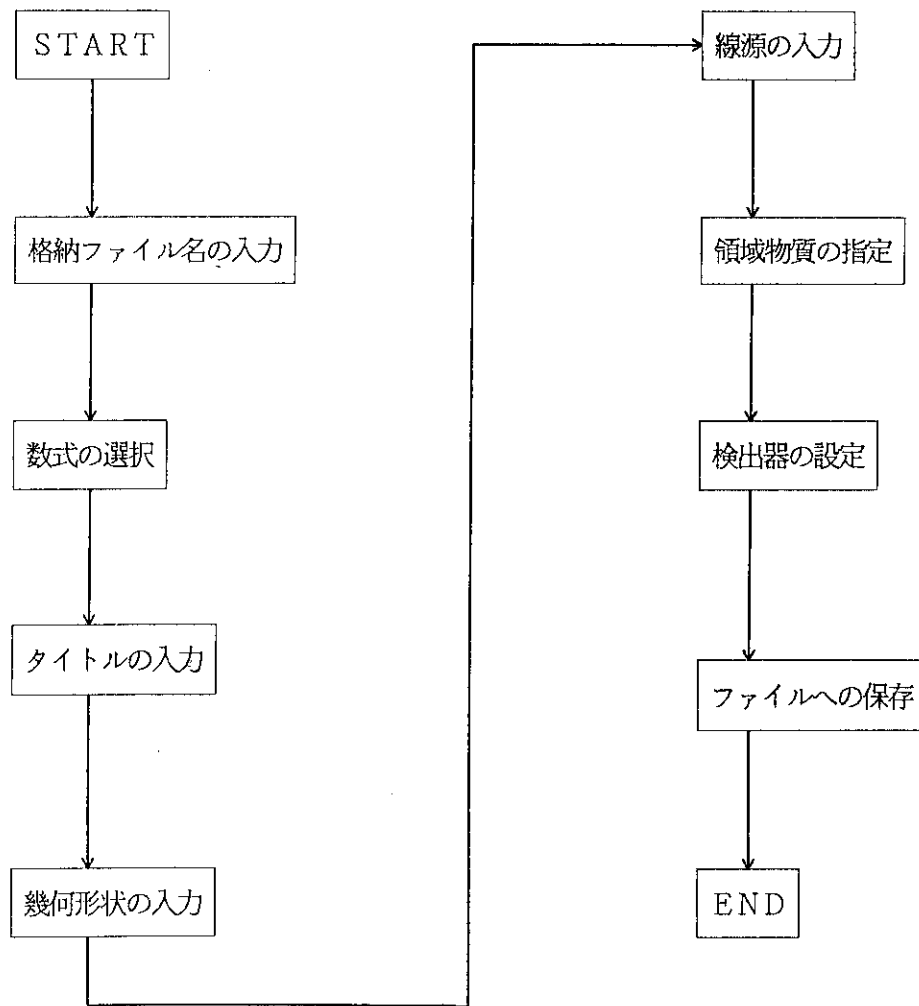


図 4.3 新規入力データ作成の流れ図

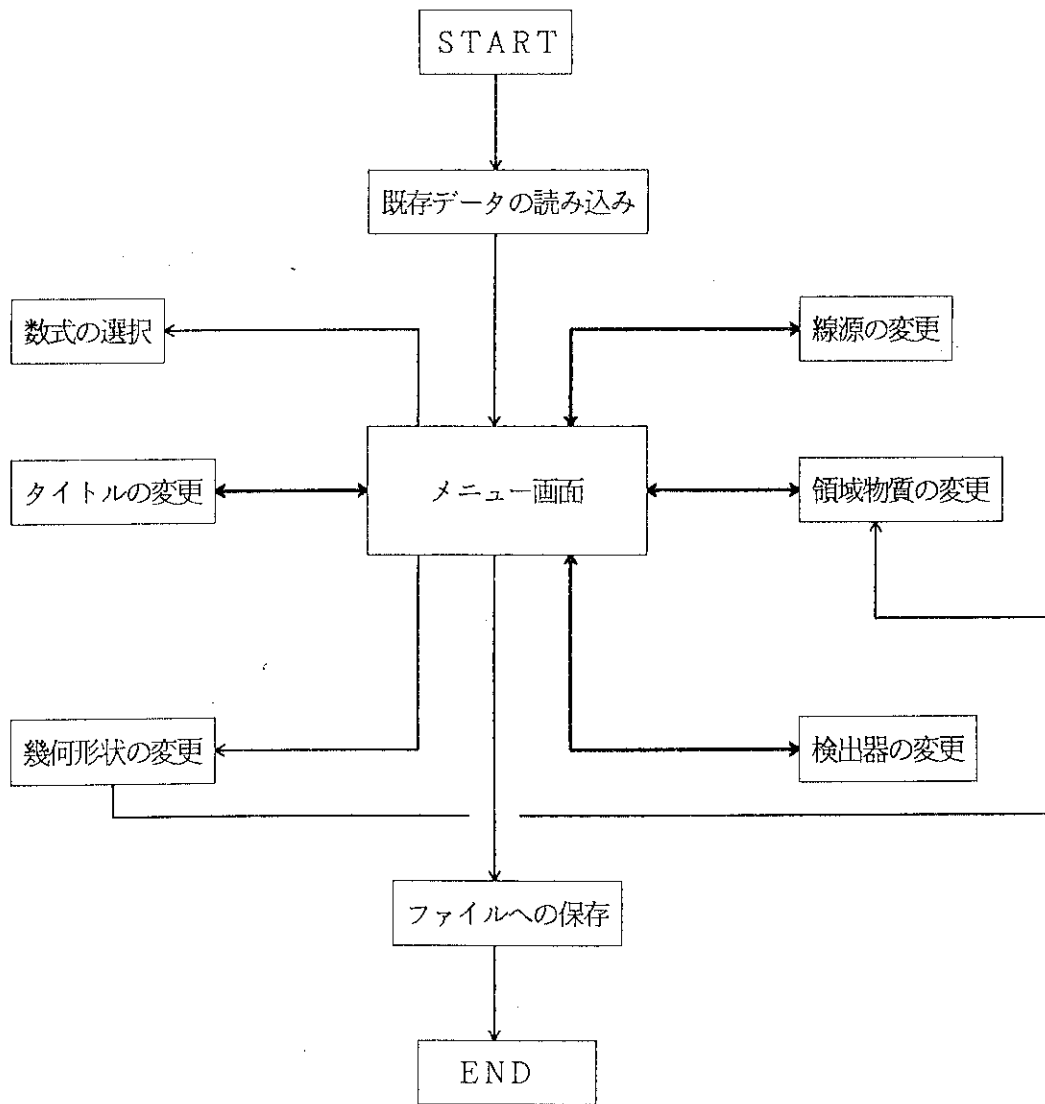


図 4.4 既存入力データ変更の流れ図

放射線遮蔽設計計算 点減衰核コード (QAD-SOR) 用
入力データ作成 および 作図 プログラム

- [1] 新規データの作成
- [2] 既存データの変更

行う JOB を番号で選んで下さい。

図 4.5 新規・既存データ選択画面

QAD入力データ作成進行表

- | | |
|-----------|---------------|
| 1 : 数式の選択 | 5 : 領域物質の設定 |
| 2 : タイトル | 6 : 検出器の設定 |
| 3 : 形状の設定 | 7 : 使用ファイルの変更 |
| 4 : 線源の設定 | 8 : 終了 |

以上の順番に進みます (ただし 7: はパス)

使用ファイル名 = TEST.DTS

図 4.6 新規入力データ作成進行表

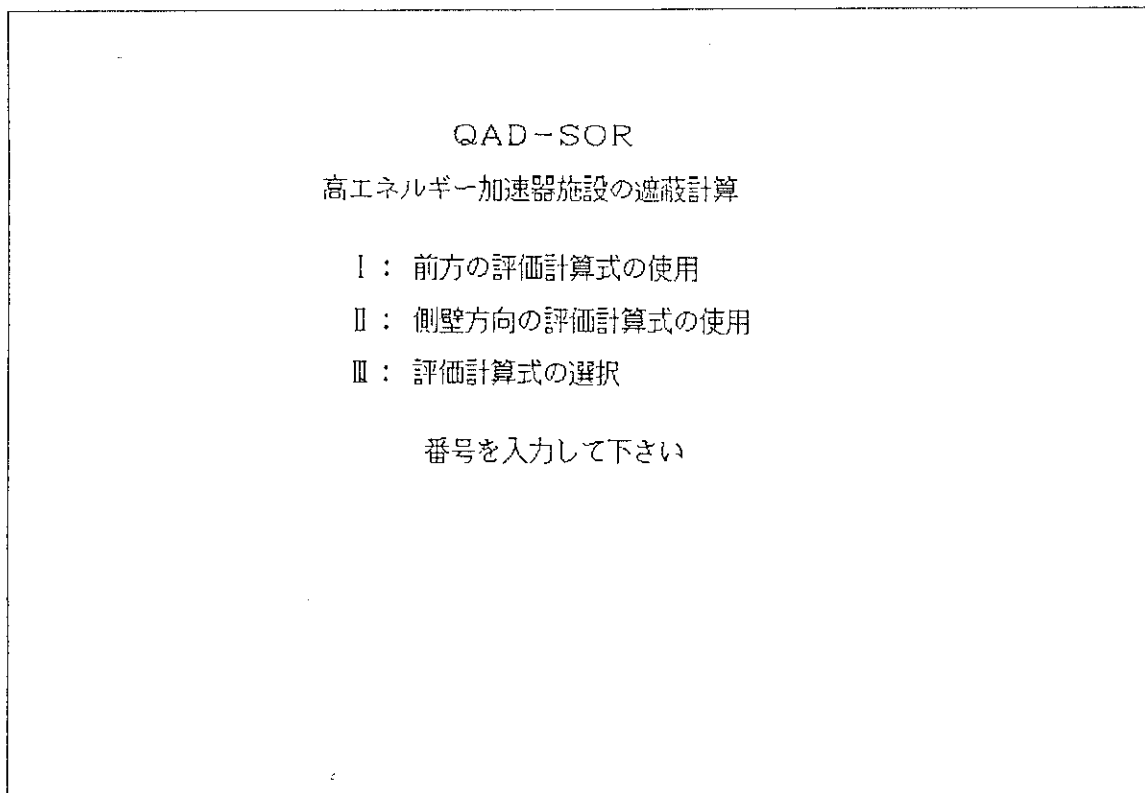


図 4.7 線量評価式選択画面

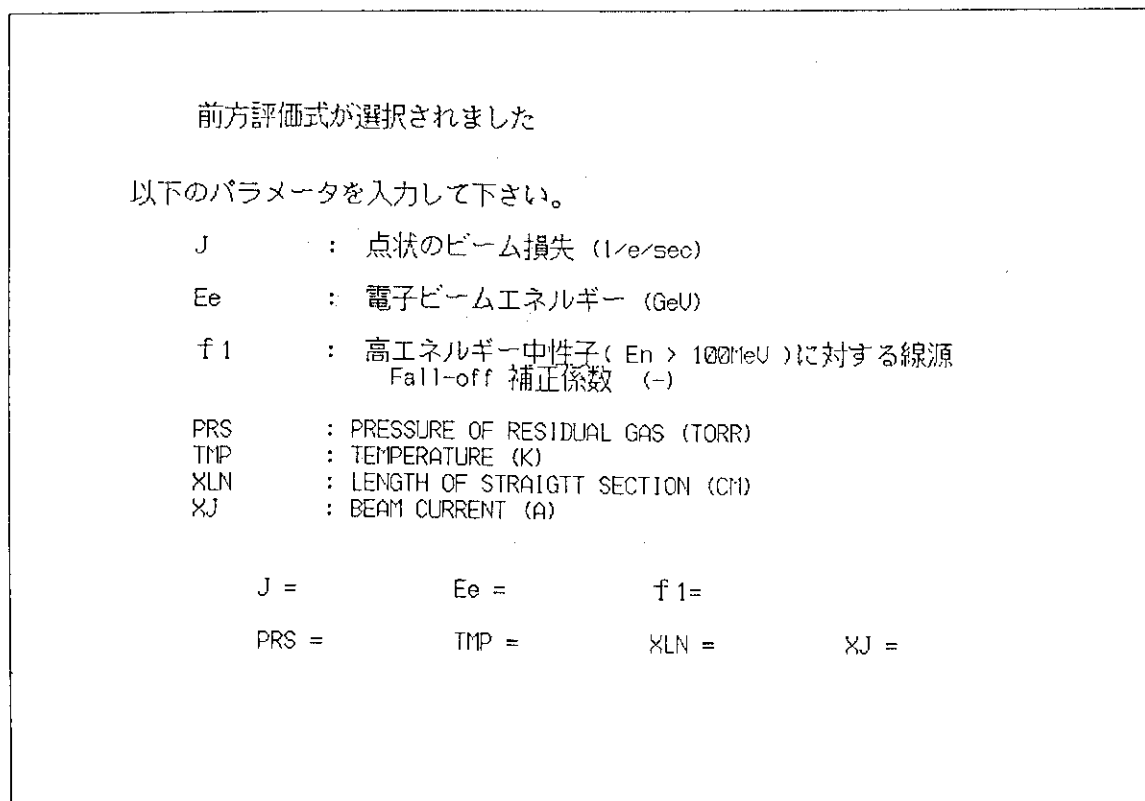


図 4.8 前方評価式パラメータ入力画面

側壁評価式が選択されました

以下のパラメータを入力して下さい。

- J : 点状のビーム損失 (1/e/sec)
 Ee : 電子ビームエネルギー (GeV)
 f1 : 高エネルギー中性子 ($E_n > 100\text{MeV}$) に対する線源
 Fall-off 補正係数 (-)
 f2 : 中間エネルギー中性子に対する線源 Fall-off 補正係数 (-)
 Z : ターゲットの原子番号 (-)

J = Ee = f1 = f2 = Z =

図 4.9 側方評価式パラメータ入力画面

QAD-SOR

高エネルギー加速器施設の遮蔽計算

I. 制動放射線による線量評価

- [1] Desyの式
- [2] Swansonの式
- [3] Jenkinsの式
- [4] ESRFの式

II. 中性子による線量評価

- [5] Jenkinsの式
- [6] ESRFの式

使用計算式の番号を入力して下さい。

図 4.10 個別評価式選択画面

[1] Desyの式が選択されました

以下のパラメータを入力して下さい。

J : 点状のビーム損失 (1/e/sec)
 Ee : 電子ビームエネルギー (GeV)
 Dt(θ)·At : 5 GeV, 1.E+11 の電子損失による角度 θ 方向の1 m位置での線源強度 (rad)

J = Ee = Dt(θ)·At =

図 4.11 DESYの式パラメータ入力画面 (光子)

[2] Swansonの式が選択されました

以下のパラメータを入力して下さい。

J : 点状のビーム損失 (1/e/sec)
 Ee : 電子ビームエネルギー (GeV)
 IL : 1=longitudinal 2=transverse (-)
 PRS : PRESSURE OF RESIDUAL GAS (TORR)
 TMP : TEMPERATURE (K)
 XLN : LENGTH OF STRAIGHT SECTION (CM)
 XJ : BEAM CURRENT (A)

J = Ee = IL =
 PRS = TMP = XLN = XJ =

図 4.12 Swansonの式パラメータ入力画面 (光子)

[3] Jenkinsの式が選択されました

以下のパラメータを入力して下さい。

J : 点状のビーム損失 (1/e/sec)

Ee : 電子ビームエネルギー (GeV)

f1 : 高エネルギー中性子 (En > 100MeV) に対する線源
Fall-off 補正係数 (-)

J = Ee = f1 =

図 4.13 Jenkins の式パラメータ入力画面 (光子)

[4] ESRFの式が選択されました式は

以下のパラメータを入力して下さい。

Pr : 電子ビームの出力損失 (kw)

IL : 1=longitudinal 2=transverse (-)

Pr = IL =

図 4.14 ESRF の式パラメータ入力画面 (光子)

[5] Jenkinsの式が選択されました

以下のパラメータを入力して下さい。

- J : 点状のビーム損失 (1/e/sec)
 Ee : 電子ビームエネルギー (GeV)
 f1 : 高エネルギー中性子 ($E_n > 100\text{MeV}$) に対する線源
 Fall-off 補正係数 (-)
 f2 : 中間エネルギー中性子に対する線源 Fall-off 補正係数 (-)
 Z : ターゲットの原子番号 (-)

J = Ee = f1 = f2 = Z =

図 4.15 Jenkins の式パラメータ入力画面 (中性子)

[6] ESRFの式が選択されました

以下のパラメータを入力して下さい。

- PL : 電子ビームの出力損失 (kw)
 IL : 1=longitudinal 2=transverse (-)

PL = IL =

図 4.16 ESRF の式パラメータ入力画面 (中性子)

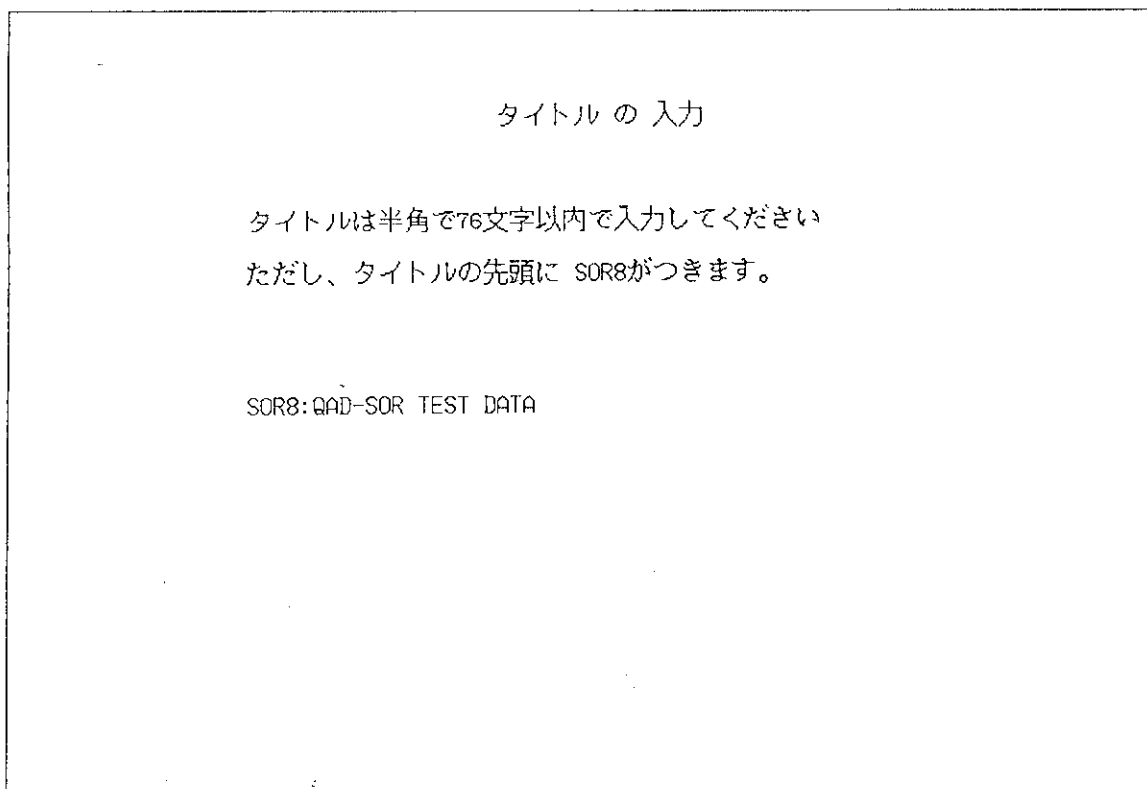


図 4.17 タイトル入力画面

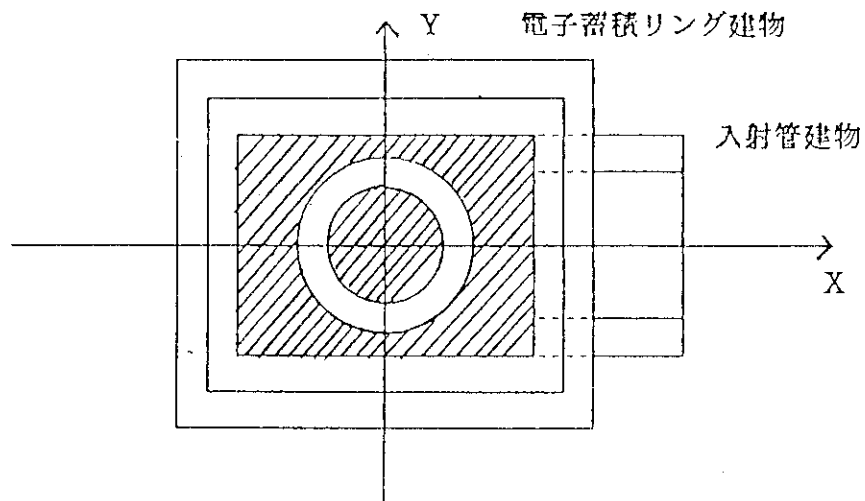


図 4.18 計算体系立面図

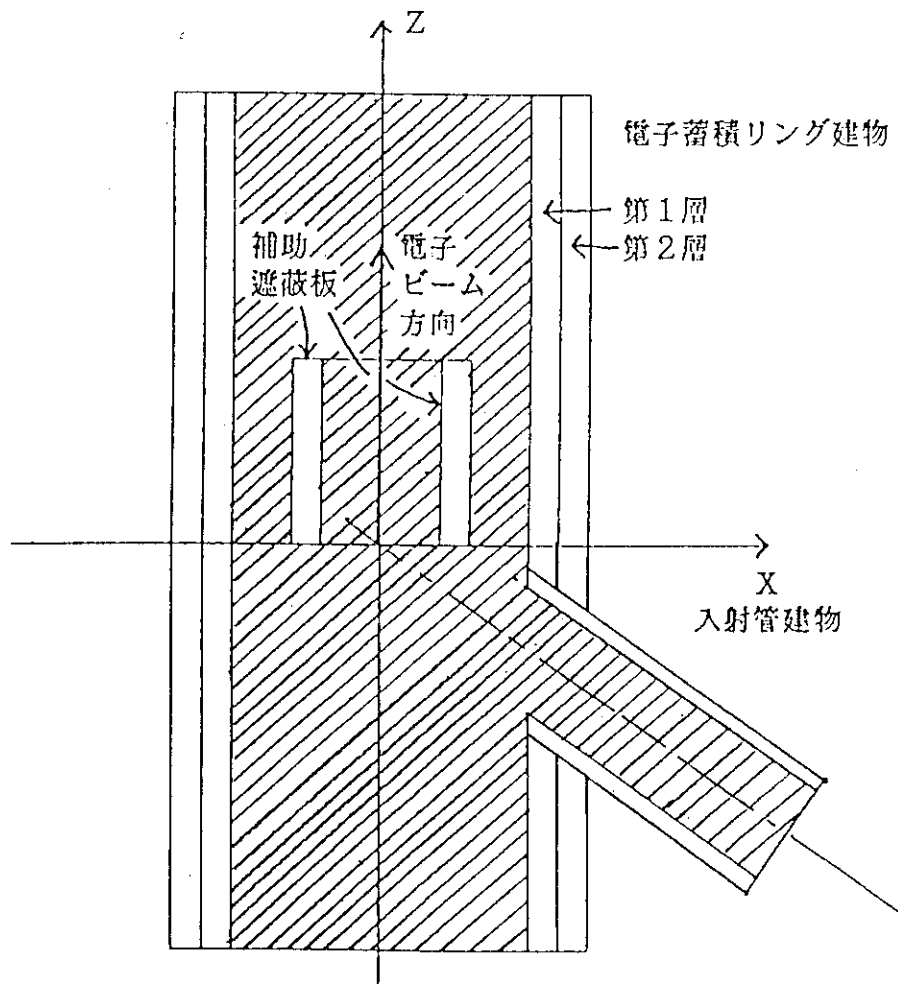


図 4.19 計算体系平面図

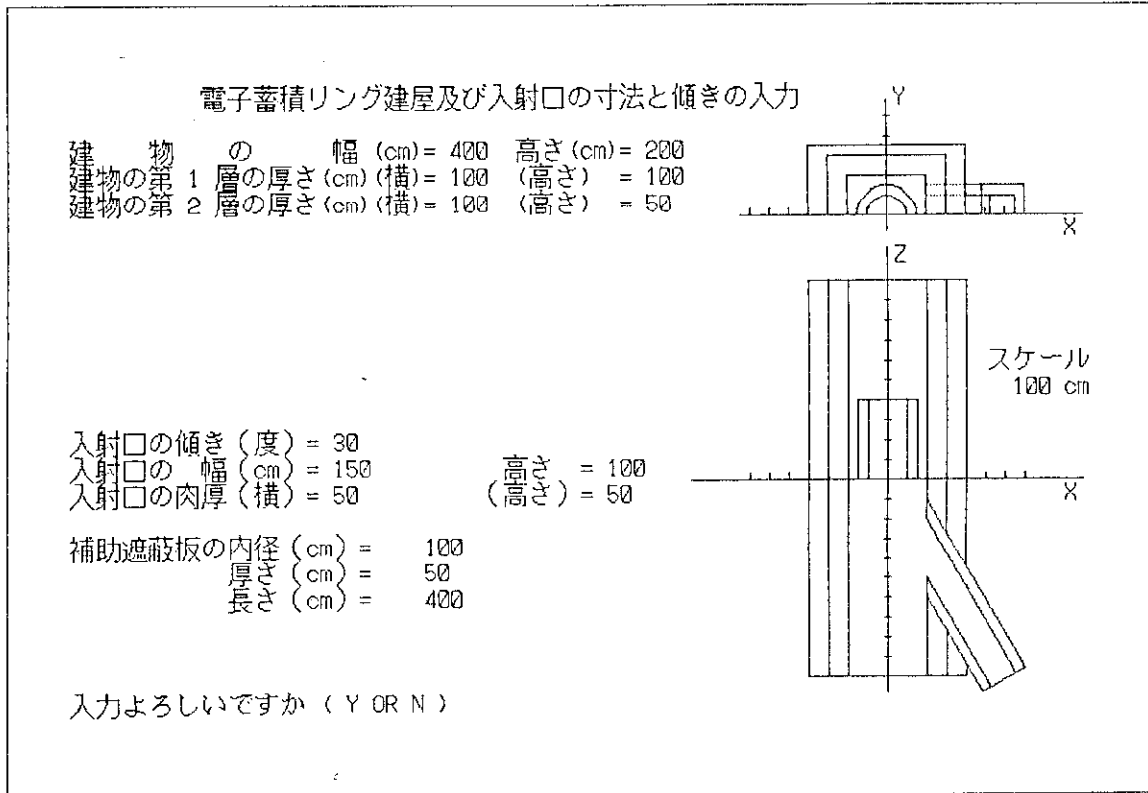


図 4.22 幾何形状入力画面 (完了時)

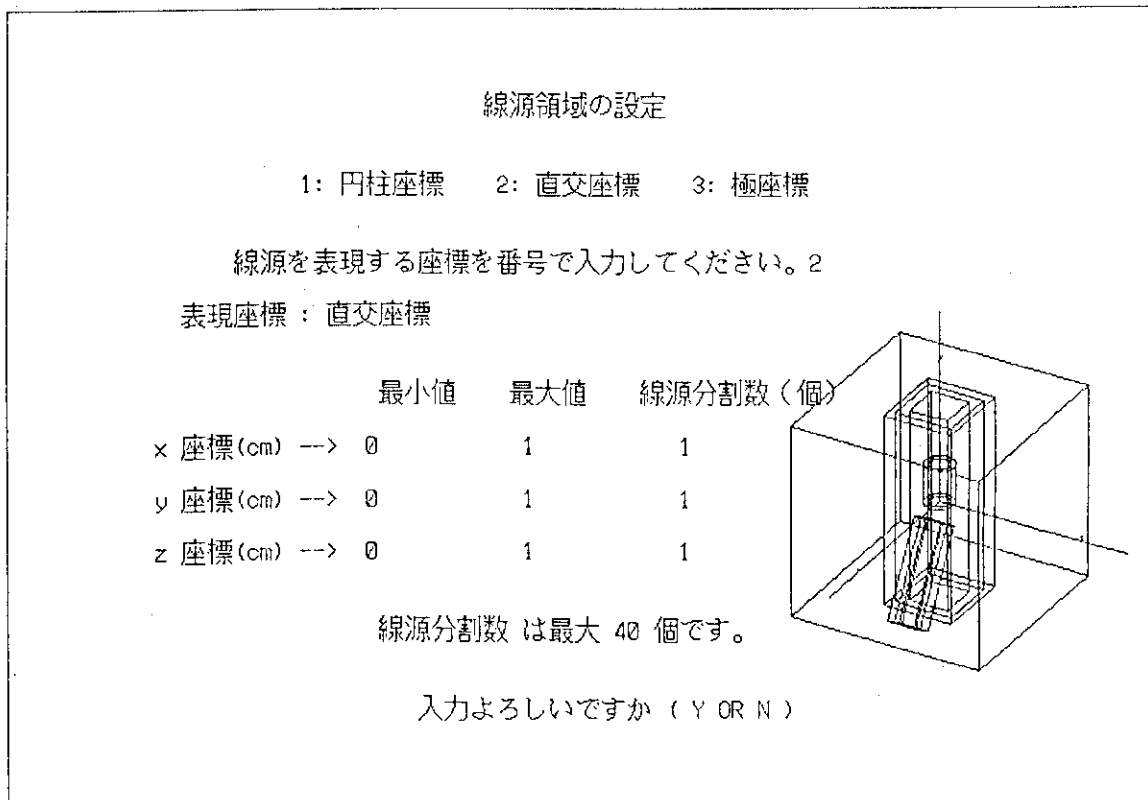


図 4.23 線源領域設定画面 (完了時)

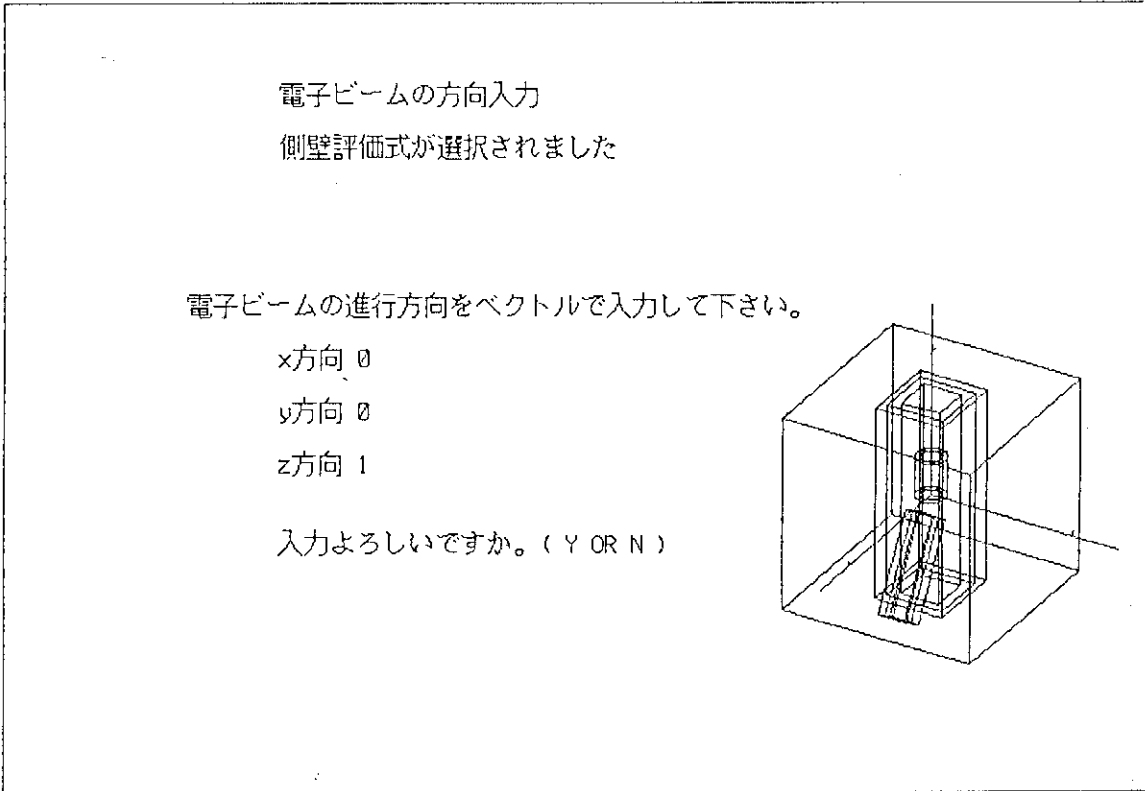


図 4.24 電子ビーム進行方向入力画面 (完了時)

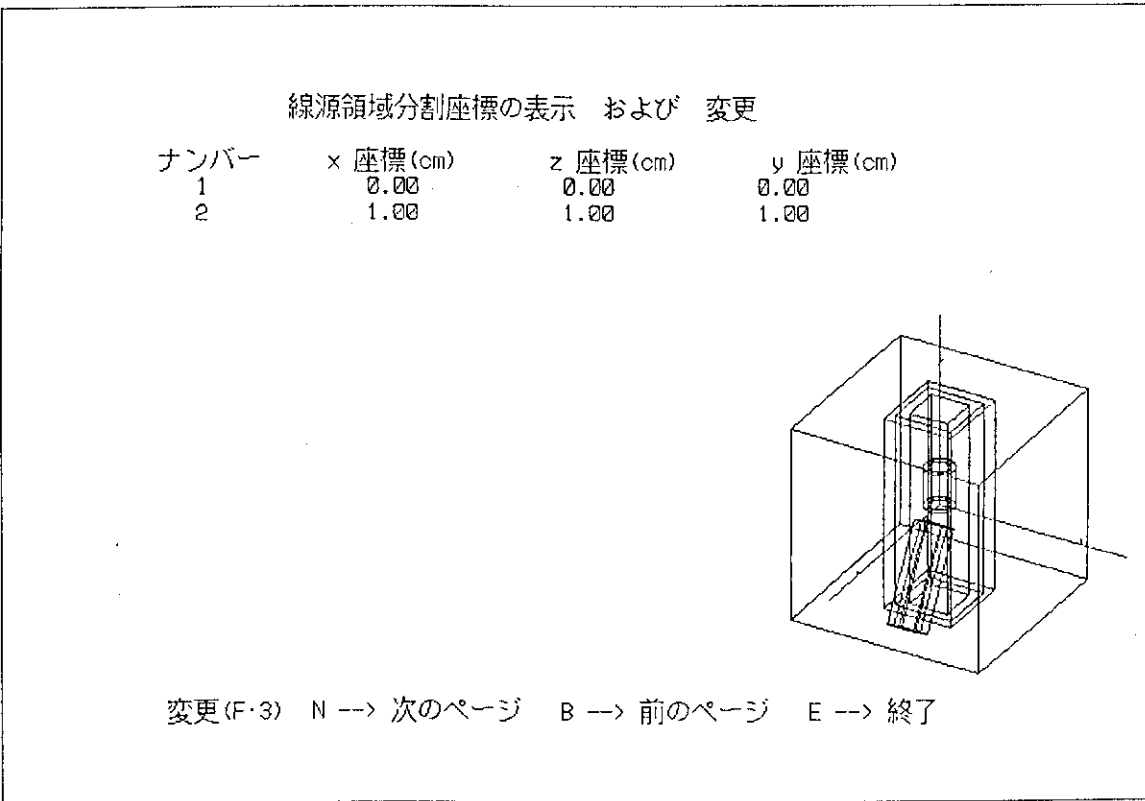


図 4.25 線源領域分割値の表示または変更画面 (完了時)

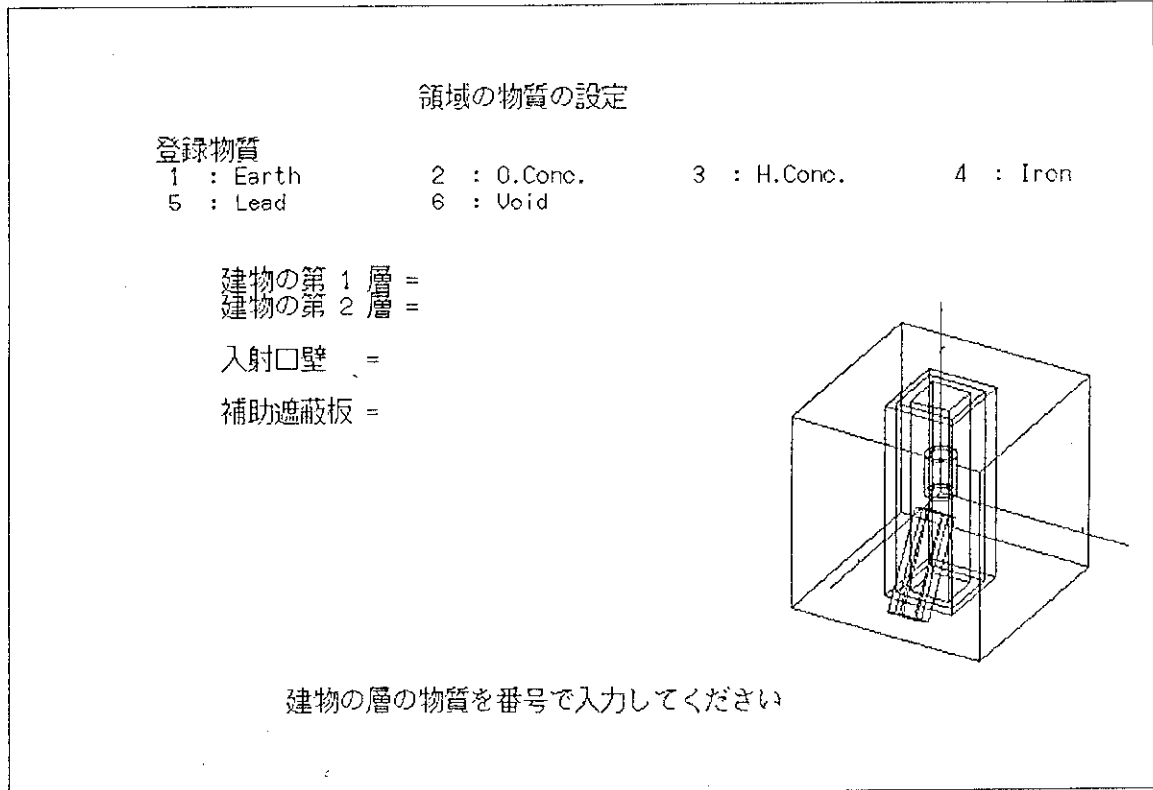


図 4.26 領域物質入力画面（初期）

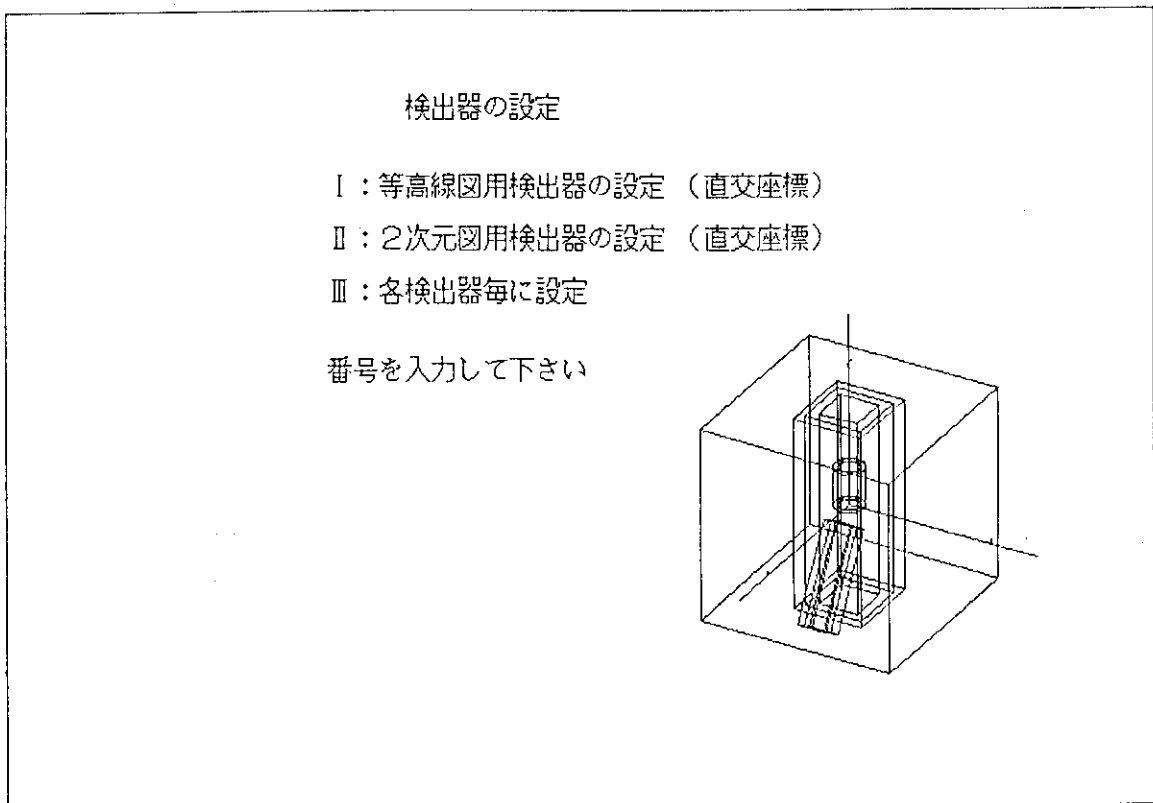


図 4.27 検出器設定方法選択画面

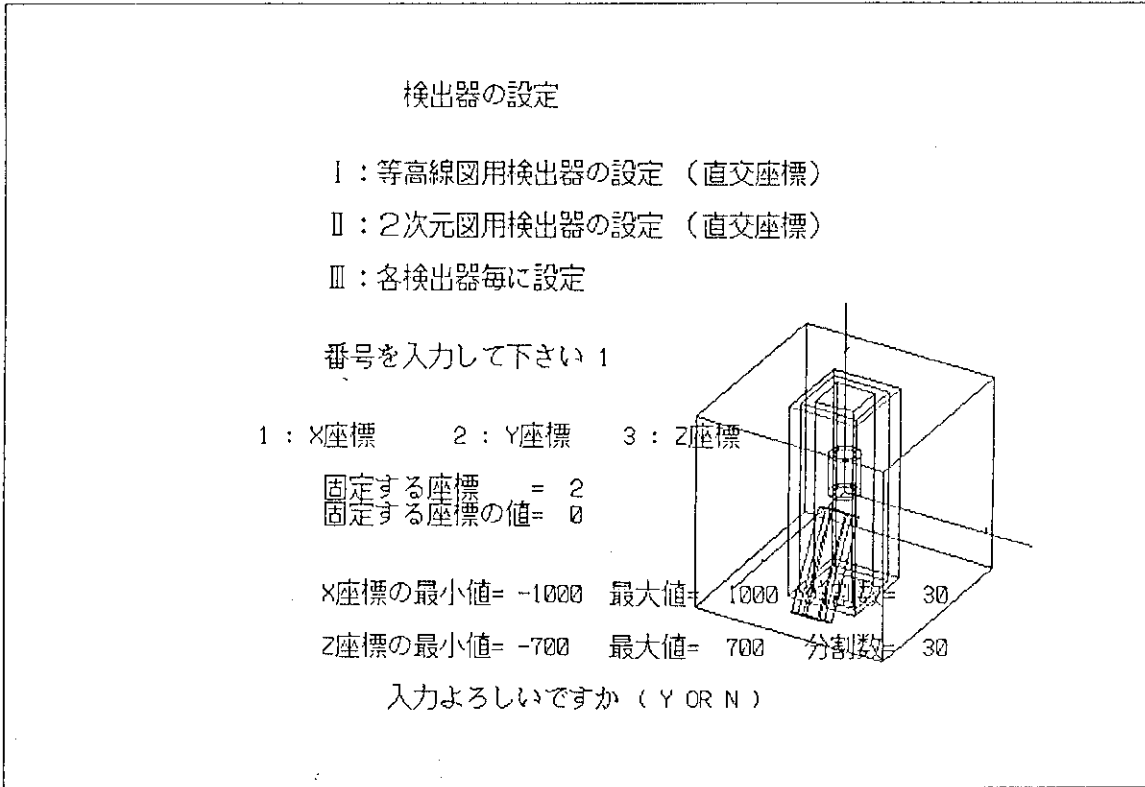


図 4.28 等高線図用検出器設定画面 (完了時)

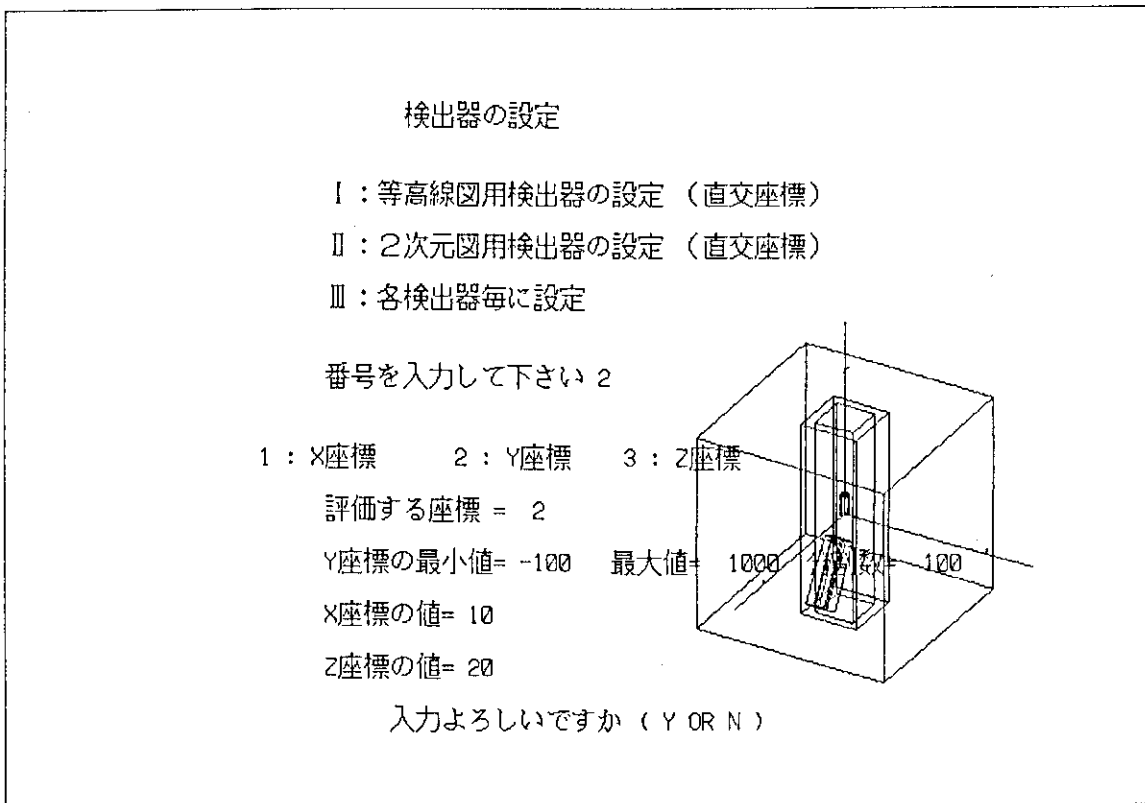


図 4.29 2次元図用検出器設定画面 (完了時)

検出器の設定

1: 円柱座標 2: 直交座標 3: 極座標

検出器	1	使用座標	2	x座標 (cm)	300	z座標 (cm)	0	y座標 (cm)	0
検出器	2	使用座標	2	x座標 (cm)	0	z座標 (cm)	100	y座標 (cm)	300
検出器	3	使用座標	1	距離 (cm)	300	高さ (cm)	400	方位角 (度)	0

検出器 3 の入力よろしいですか。(Y OR N)

図 4.30 点状検出器データ入力画面 (完了時)

ドライブ A: のディスクのボリュームラベルはありません。
ディレクトリは A:¥

COMMAND	COM	N88BASIC	LIB	SYMBOL	COD	M	CONFIG	SYS
AUTOEXEC	BAT	SOR	IN	SOR	DTS	S	BAT	OUT
SOR	FIG	TEST	DTS	TEST3	DTS	TEST4	DTS	TEST2

15 個のファイルがあります。
124928 バイトが使用可能です。

使用ファイル名=

図 4.31 既存データファイル選択画面

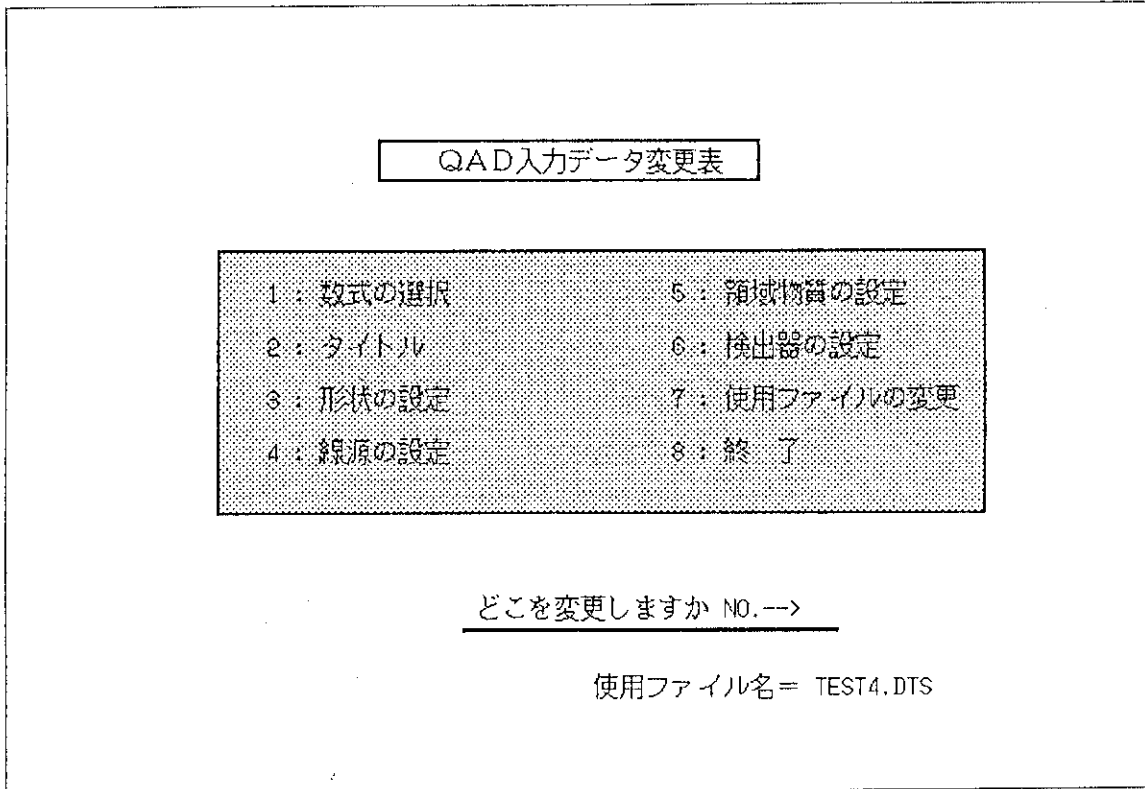


図 4.32 既存データ変更メニュー画面

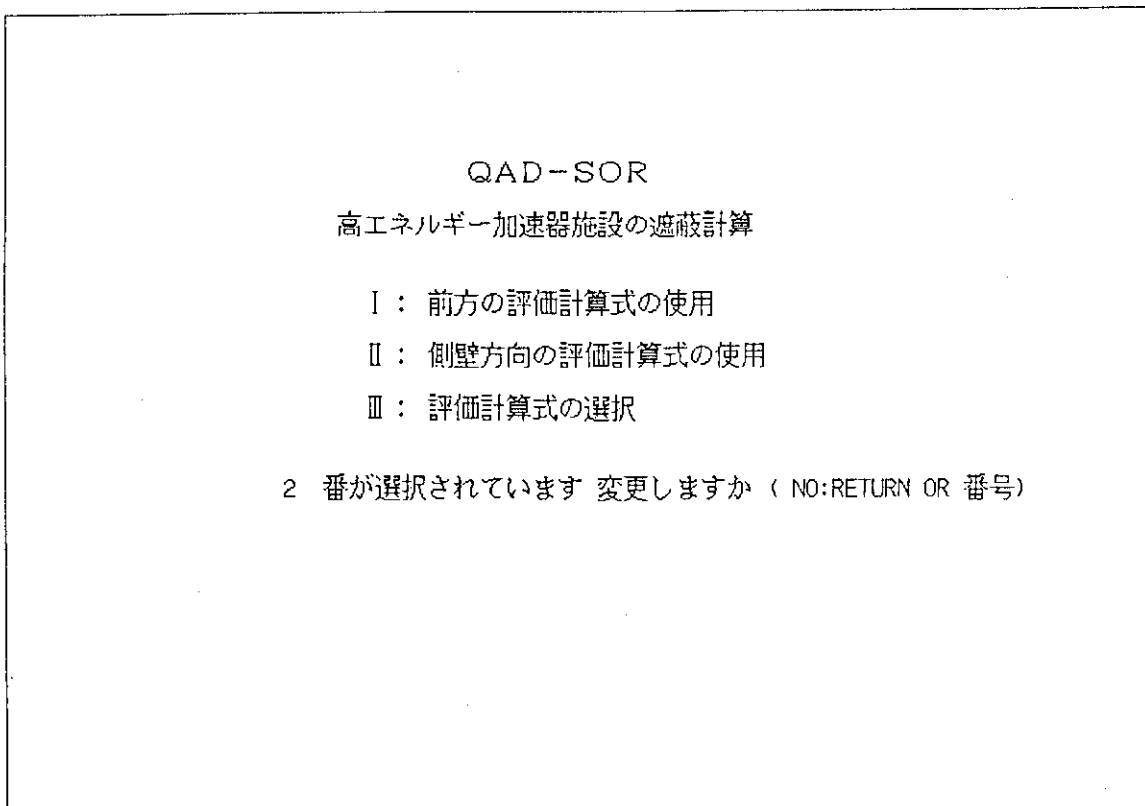


図 4.33 線量評価式変更画面

QAD-SOR

高エネルギー加速器施設の遮蔽計算

I. 制動放射線による線量評価

- [1] Desyの式
- [2] Swansonの式
- [3] Jenkinsの式
- [4] ESRFの式

II. 中性子による線量評価

- [5] Jenkinsの式
- [6] ESRFの式

8番が選択されています 変更しますか (NO:RETURN OR 番号)

図 4.34 個別線量評価式変更画面

電子蓄積リング建屋及び入射口の寸法と傾きの入力

1: 建物の幅 (cm) = 400 高さ (cm) = 200

2: 建物の第1層の厚さ (cm) (横) = 100 (高さ) = 100

3: 建物の第2層の厚さ (cm) (横) = 100 (高さ) = 50

4: 入射口の傾き (度) = 30

5: 入射口の幅 (cm) = 149.996

6: 入射口の肉厚 (横) = 50.0043 (高さ) = 100 (高さ) = 50

7: 補助遮蔽板の内径 (cm) = 100

8: 厚さ (cm) = 50

9: 長さ (cm) = 400

スケール
100 cm

記号を入力して下さい (変更=C 削除=D 追加=A Z軸=Z 終了=E)

図 4.35 幾何形状変更指定画面

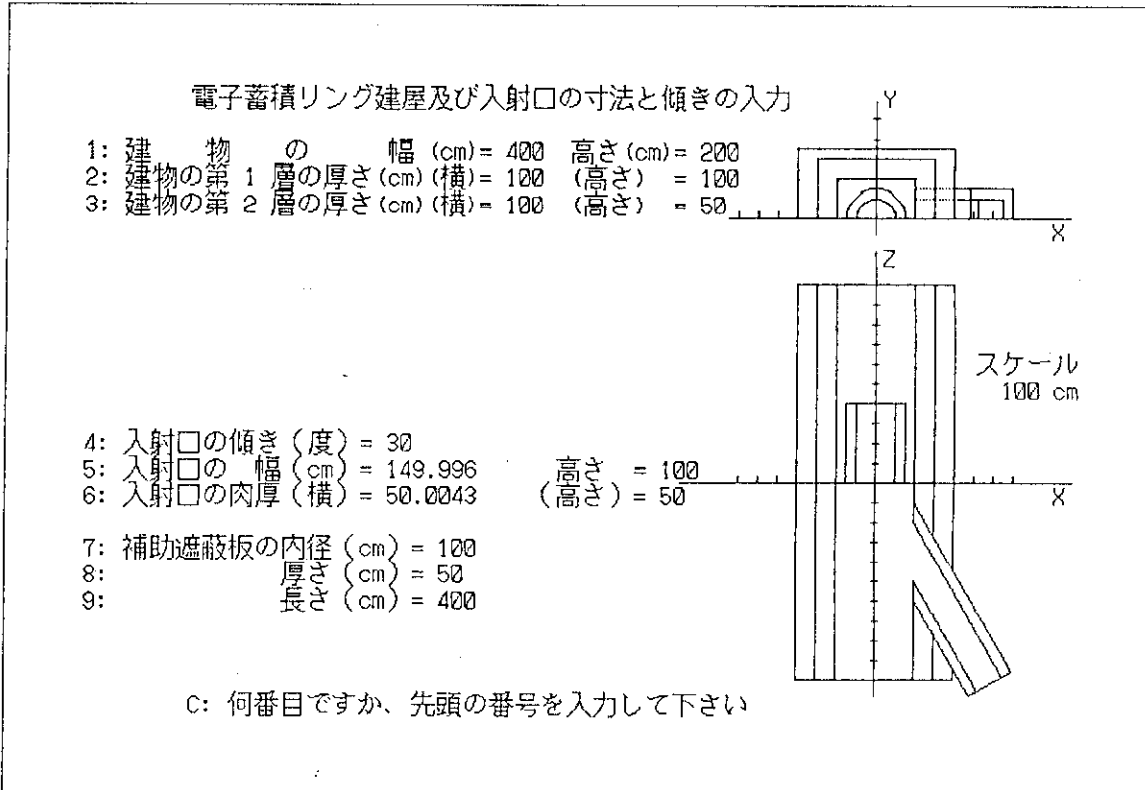


図 4.36 幾何形状データ変更画面

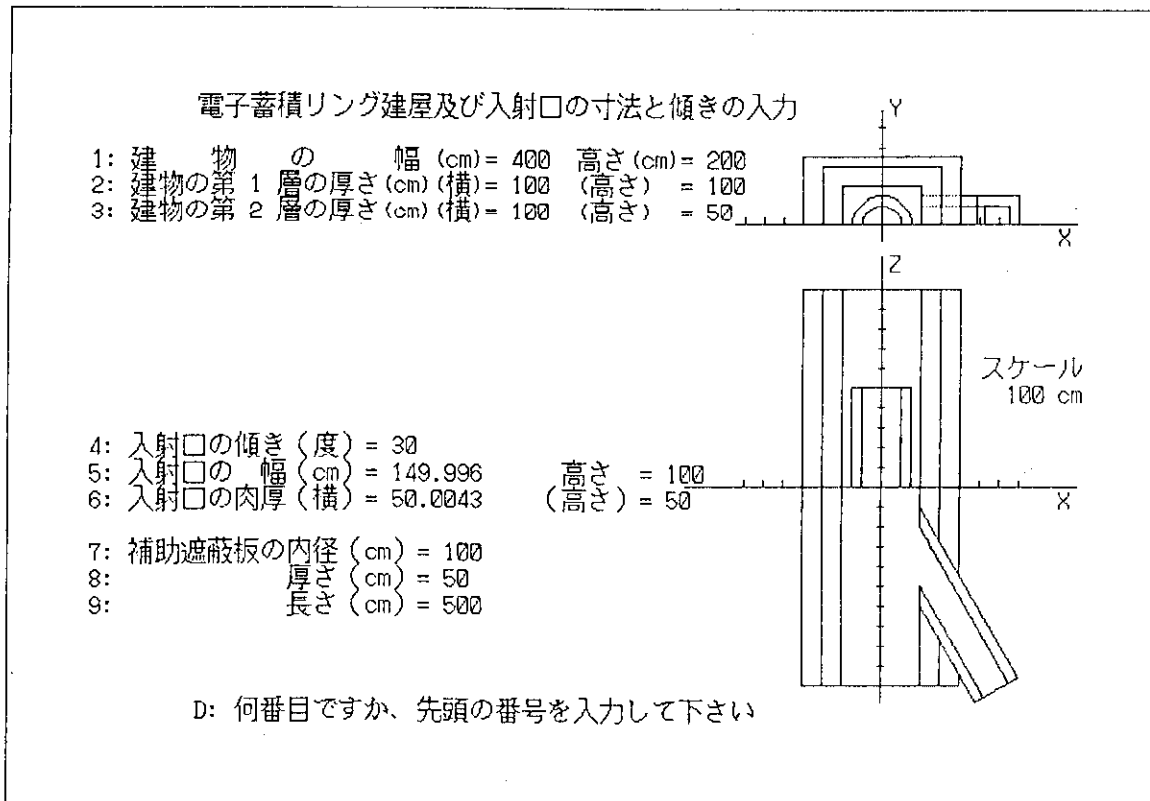


図 4.37 幾何形状データ削除画面

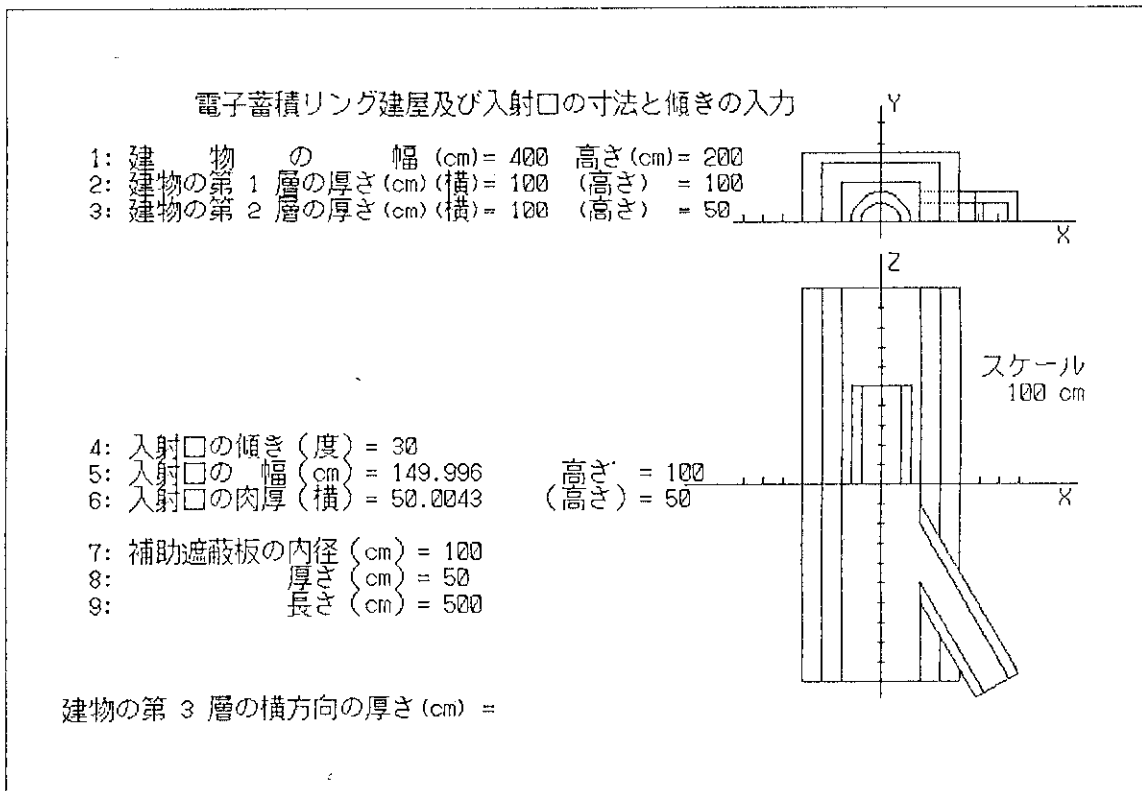


図 4.38 幾何形状データ追加画面

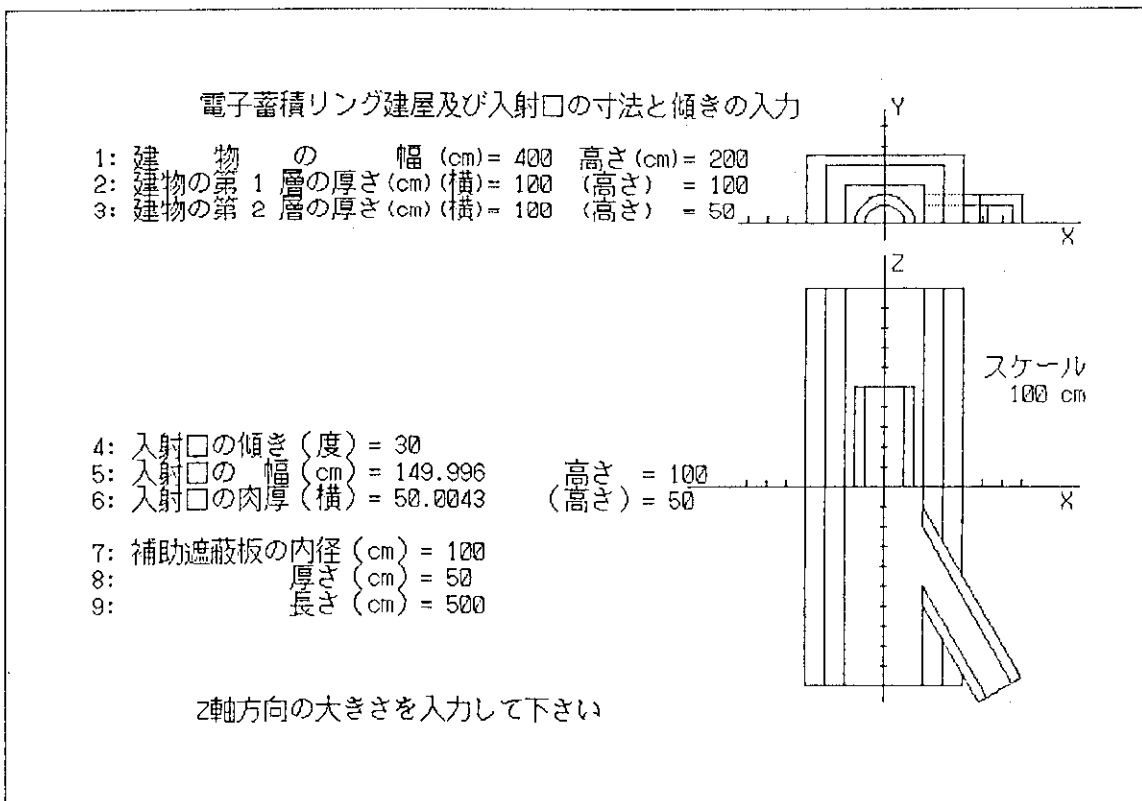


図 4.39 幾何形状Z軸長さ変更画面

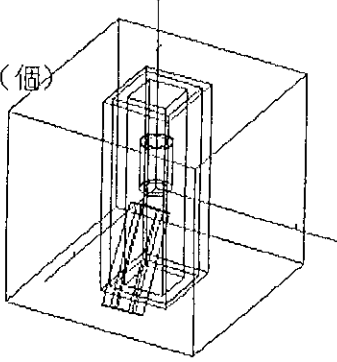
線源領域の設定

1: 円柱座標 2: 直交座標 3: 極座標

線源を表現する座標の番号は 2 です。

表現座標 : 直交座標

	最小値	最大値	線源分割数 (個)
x 座標 (cm) -->	0	1	1
y 座標 (cm) -->	0	1	1
z 座標 (cm) -->	0	1	1



スケール= 15 m

変更しますか (Y OR N)

図 4.40 線源領域変更画面

領域の物質の設定

登録物質

1 : Earth	2 : O.Conc.	3 : H.Conc.	4 : Iron
5 : Lead	6 : Void		

建物の第 1 層 = 2
建物の第 2 層 = 1

入射口壁 = 2

補助遮蔽板 = 4

物質の変更しますか (Y OR N)

図 4.41 領域物質変更画面

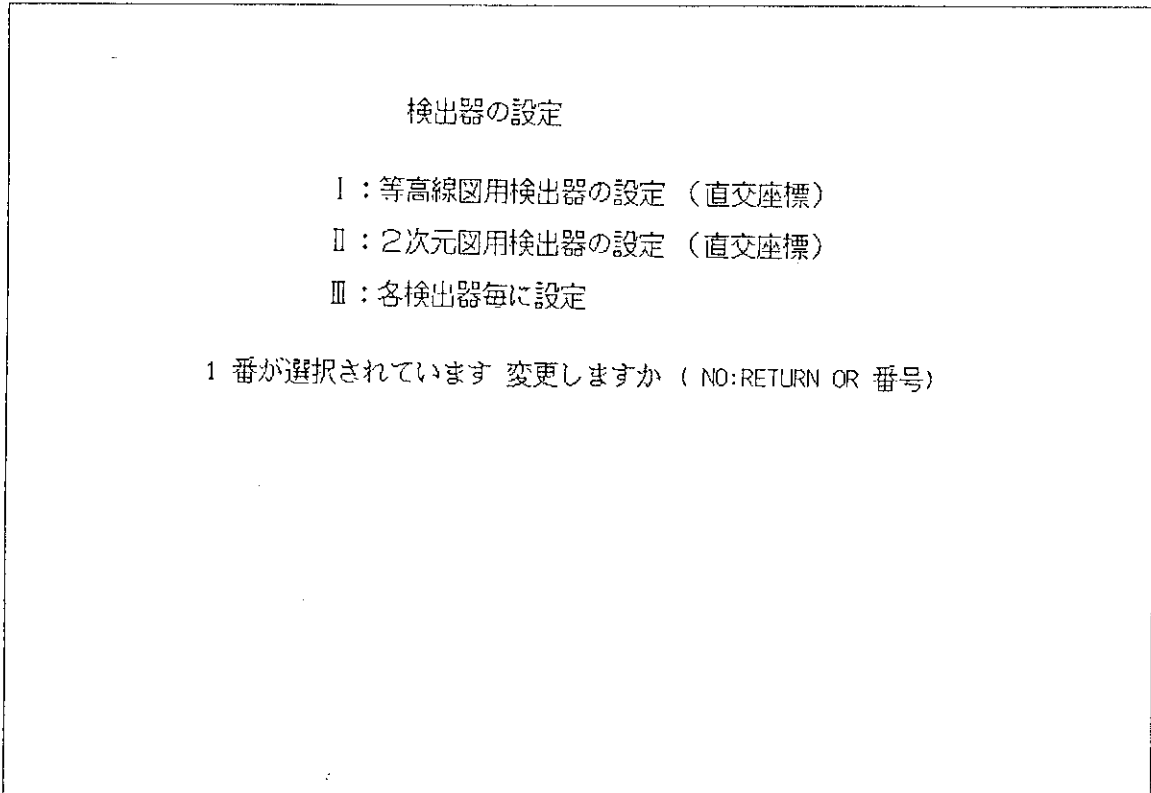


図 4.42 検出器設定方法変更画面

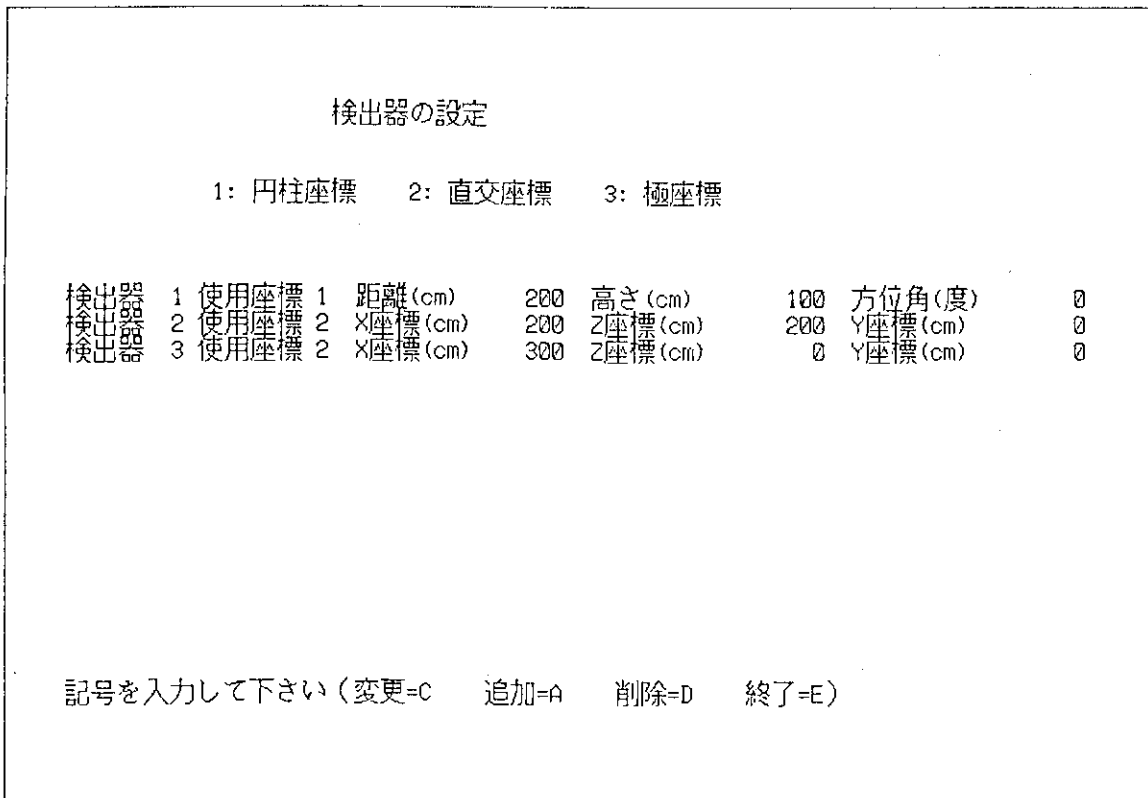


図 4.43 点状検出器設定変更画面

検出器の設定

1: 円柱座標 2: 直交座標 3: 極座標

検出器	1	使用座標 1	距離 (cm)	200	高さ (cm)	100	方位角 (度)	0
検出器	2	使用座標 2	X座標 (cm)	200	Z座標 (cm)	200	Y座標 (cm)	0
検出器	3	使用座標 2	X座標 (cm)	300	Z座標 (cm)	0	Y座標 (cm)	0

C: 番号を入力して下さい

図 4.44 点状検出器パラメータ変更画面

検出器の設定

1: 円柱座標 2: 直交座標 3: 極座標

検出器	1	使用座標 1	距離 (cm)	200	高さ (cm)	100	方位角 (度)	0
検出器	2	使用座標 2	X座標 (cm)	200	Z座標 (cm)	200	Y座標 (cm)	0
検出器	3	使用座標 2	X座標 (cm)	300	Z座標 (cm)	0	Y座標 (cm)	0

D: 番号を入力して下さい

図 4.45 点状検出器データ削除画面

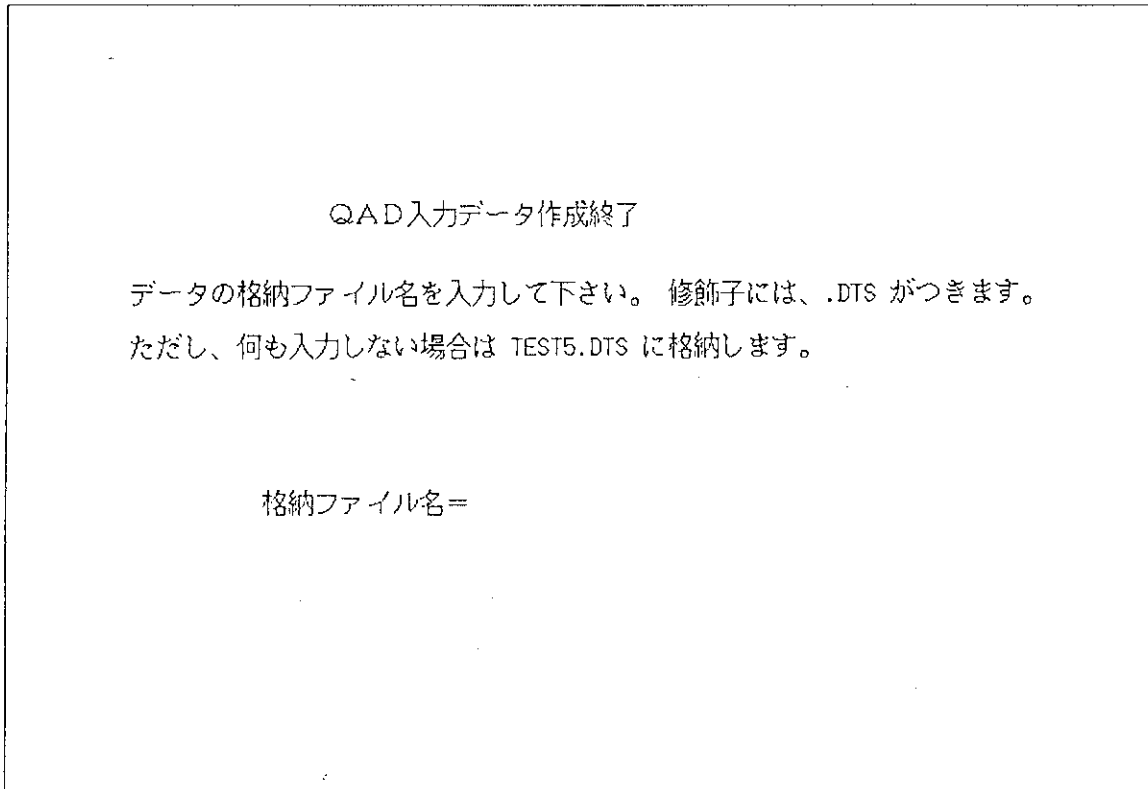


図 4.46 データ変更後の格納ファイル名入力画面



図 4.47 計算体系図形出力プログラム表紙画面

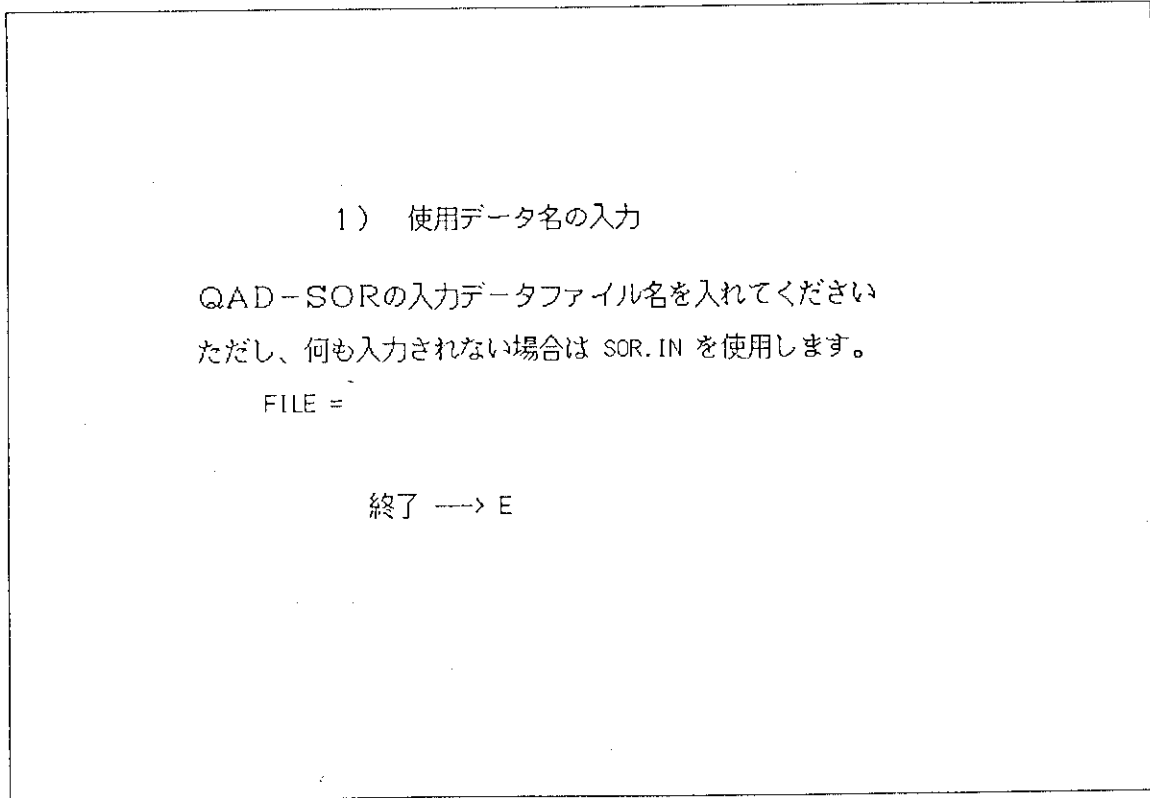


図 4.48 入力データファイル名入力画面

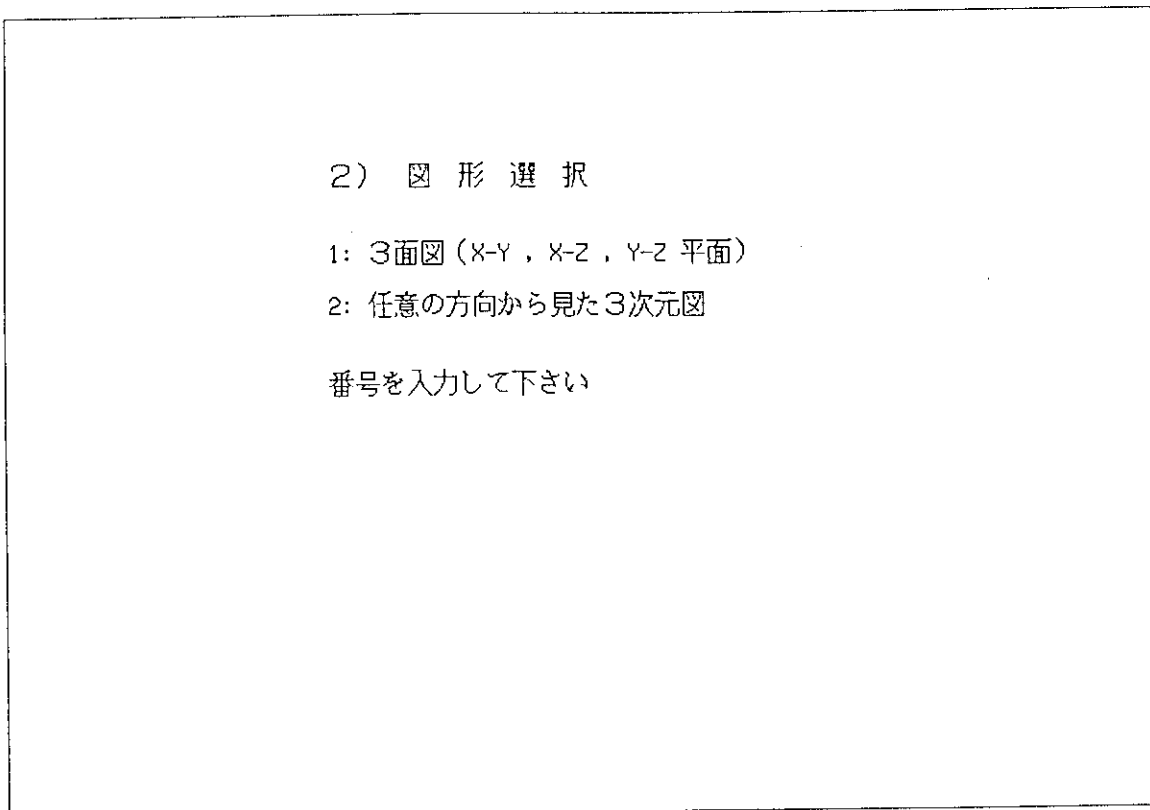


図 4.49 出力図形選択画面

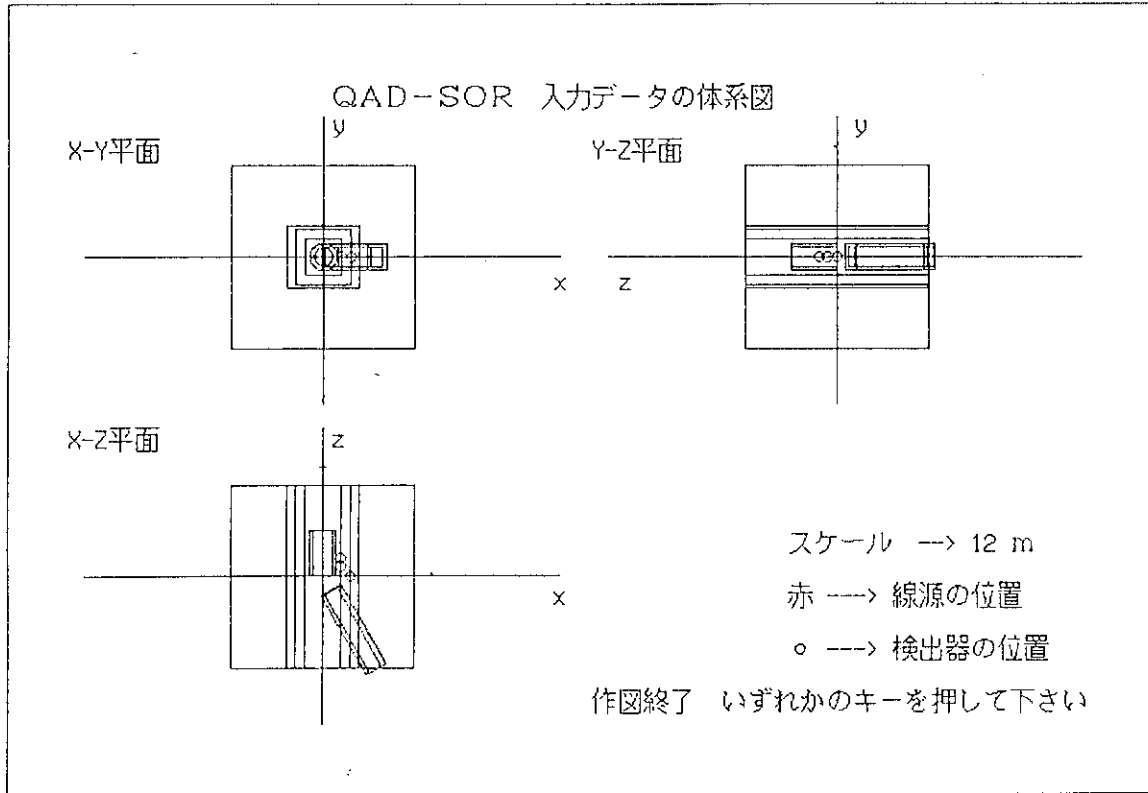


図 4.50 体系図形出力画面例 - 2次元図

2) 図形選択

1: 3面図 (X-Y, X-Z, Y-Z 平面)
2: 任意の方向から見た3次元図

番号を入力して下さい 2

視点の方向

天頂角 (度) = 60 方位角 (度) =

図 4.51 3次元図形の視点方向入力画面

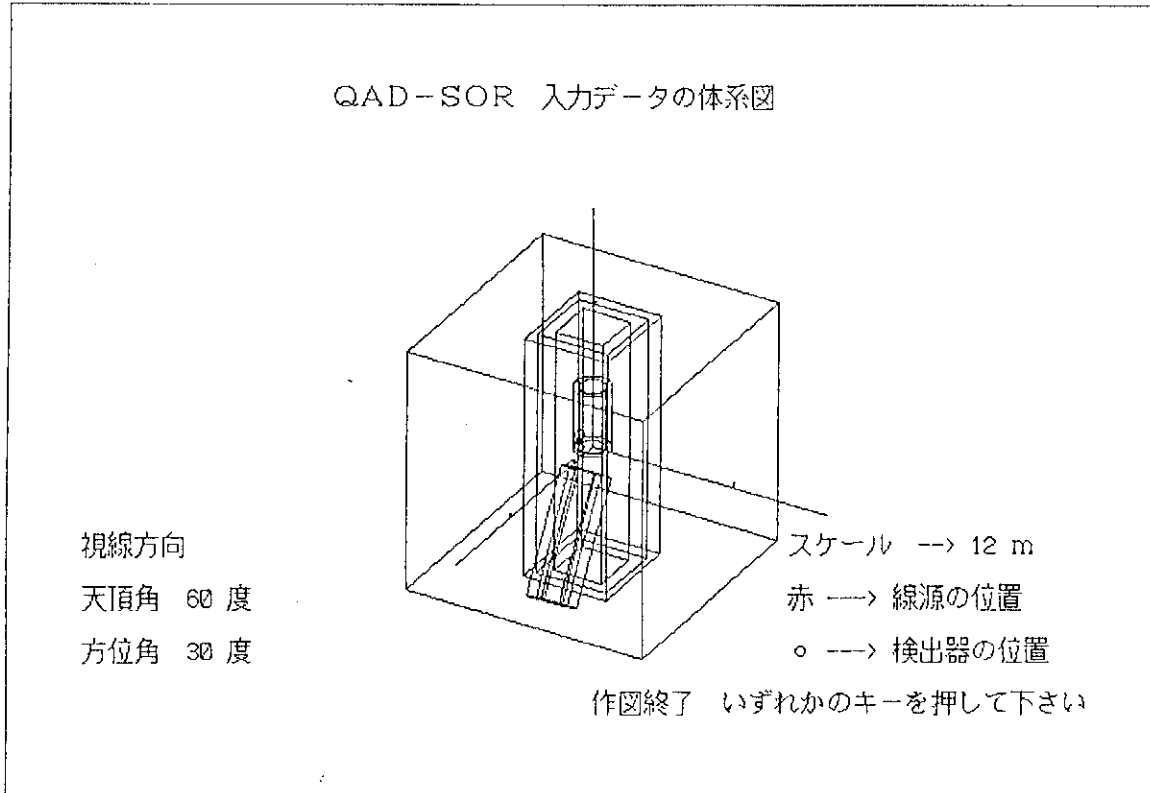


図 4.52 体系図形出力画面例 - 3次元図

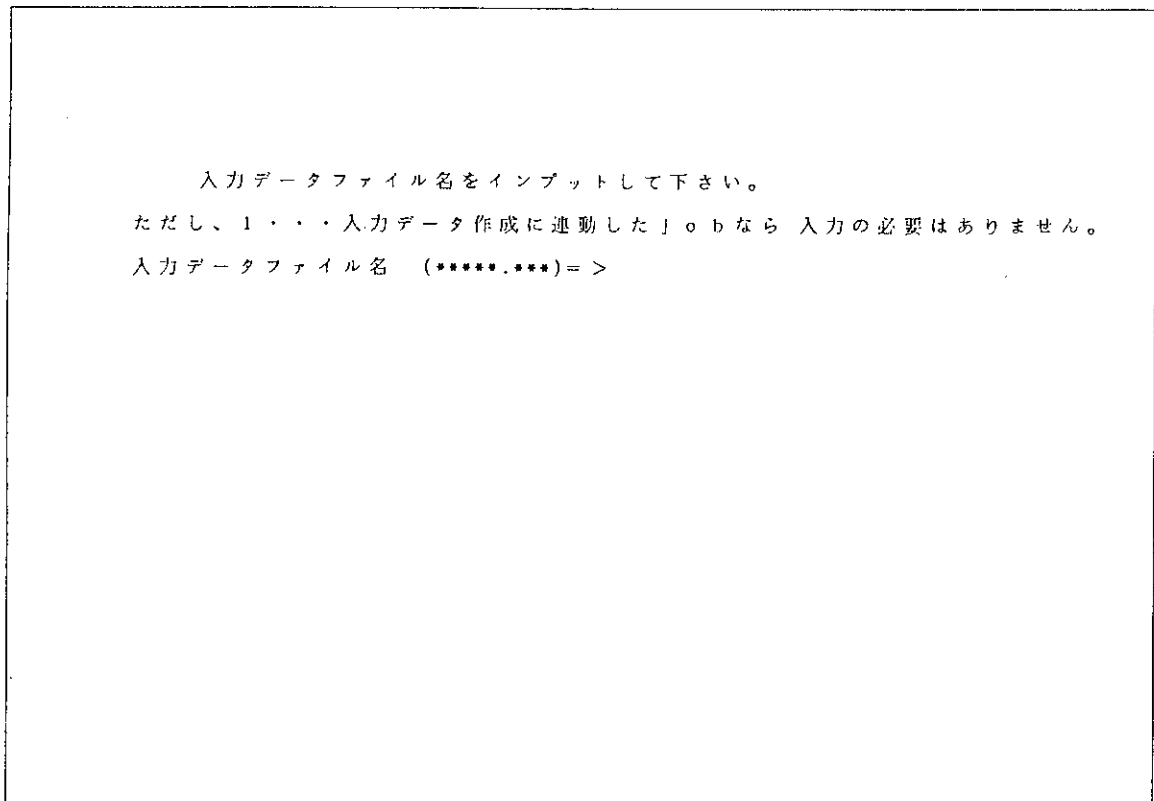


図 4.53 線量計算用入力データファイル名入力画面

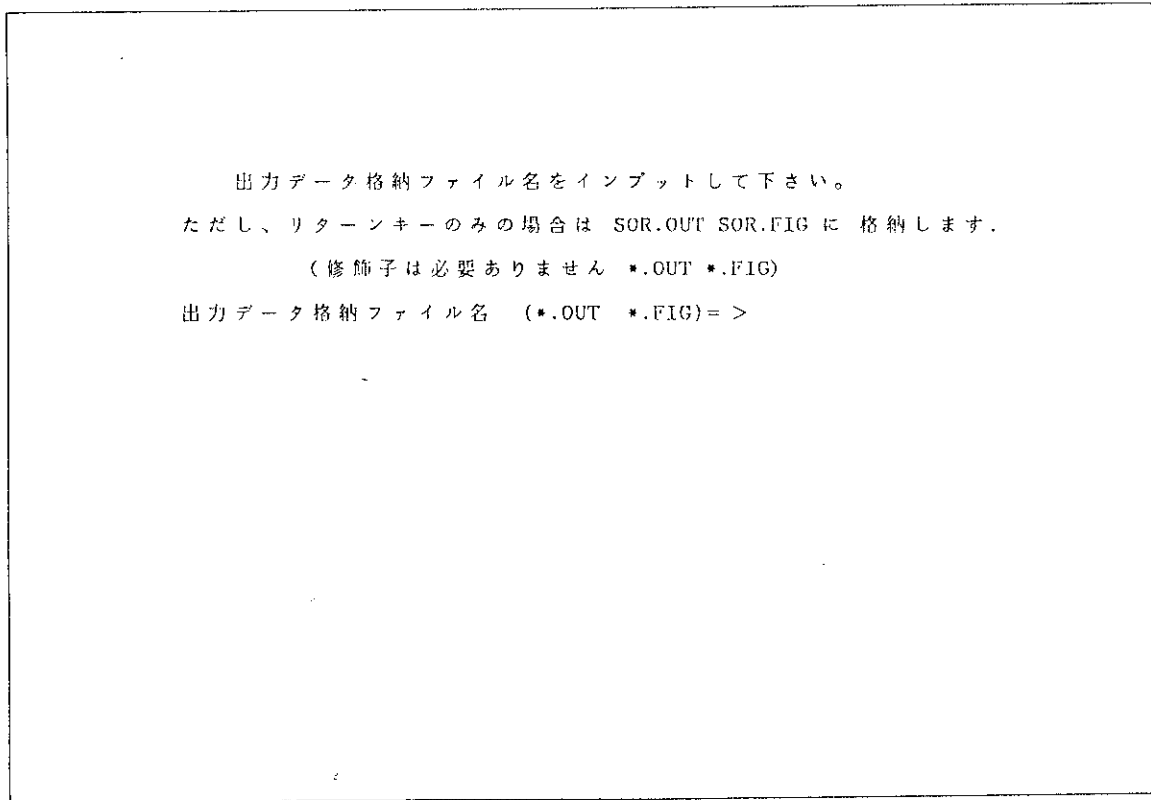


図 4.54 線量計算結果格納ファイル名入力画面

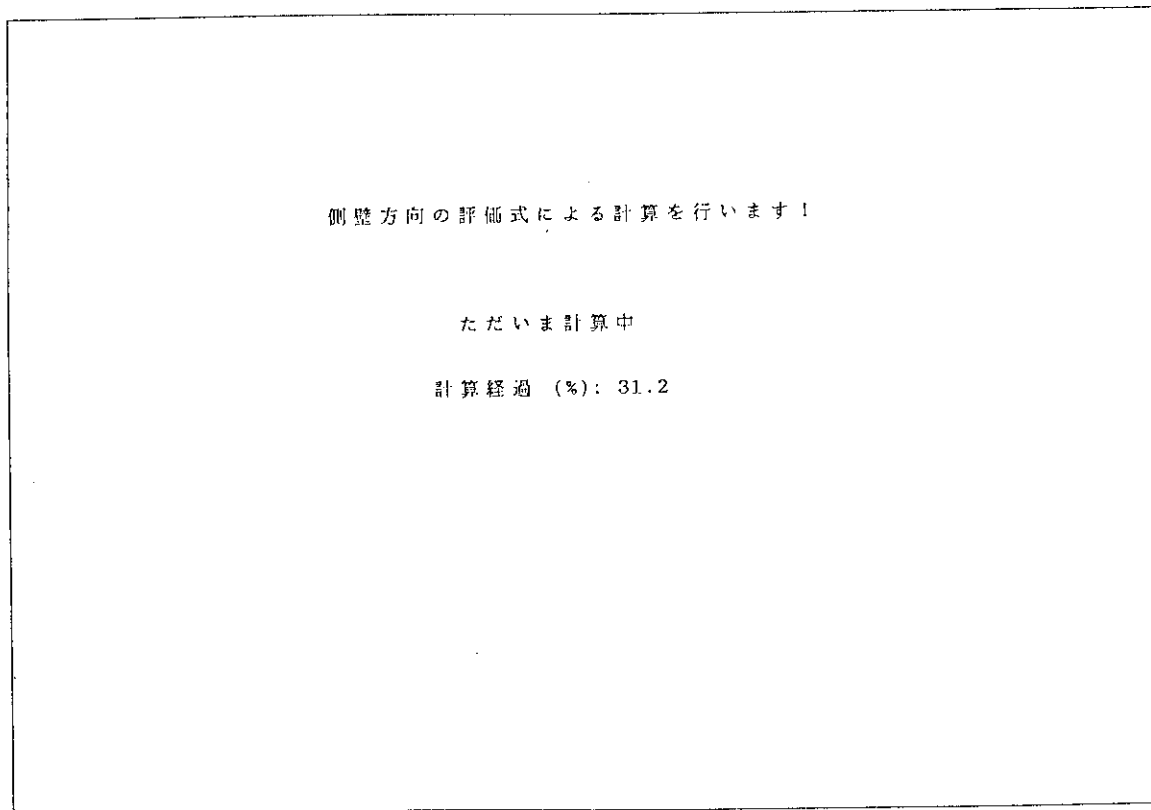


図 4.55 線量計算中の表示画面

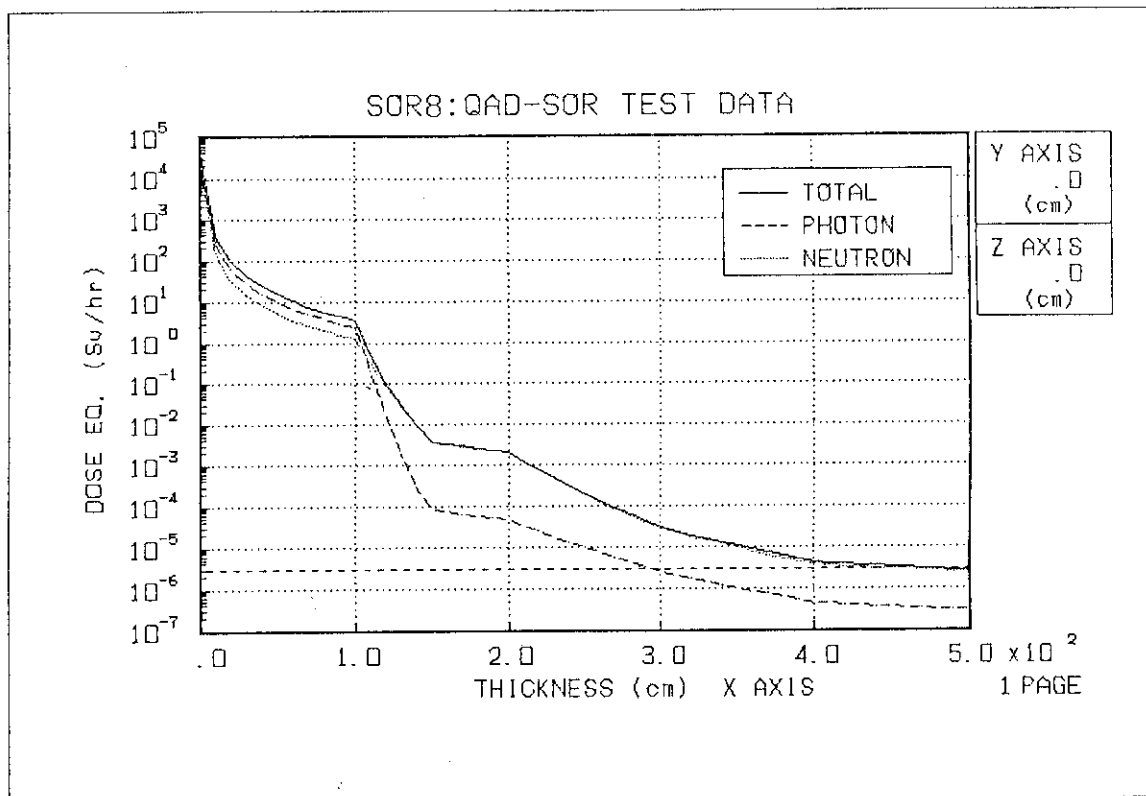


図 4.56 線量計算結果の2次元表示画面

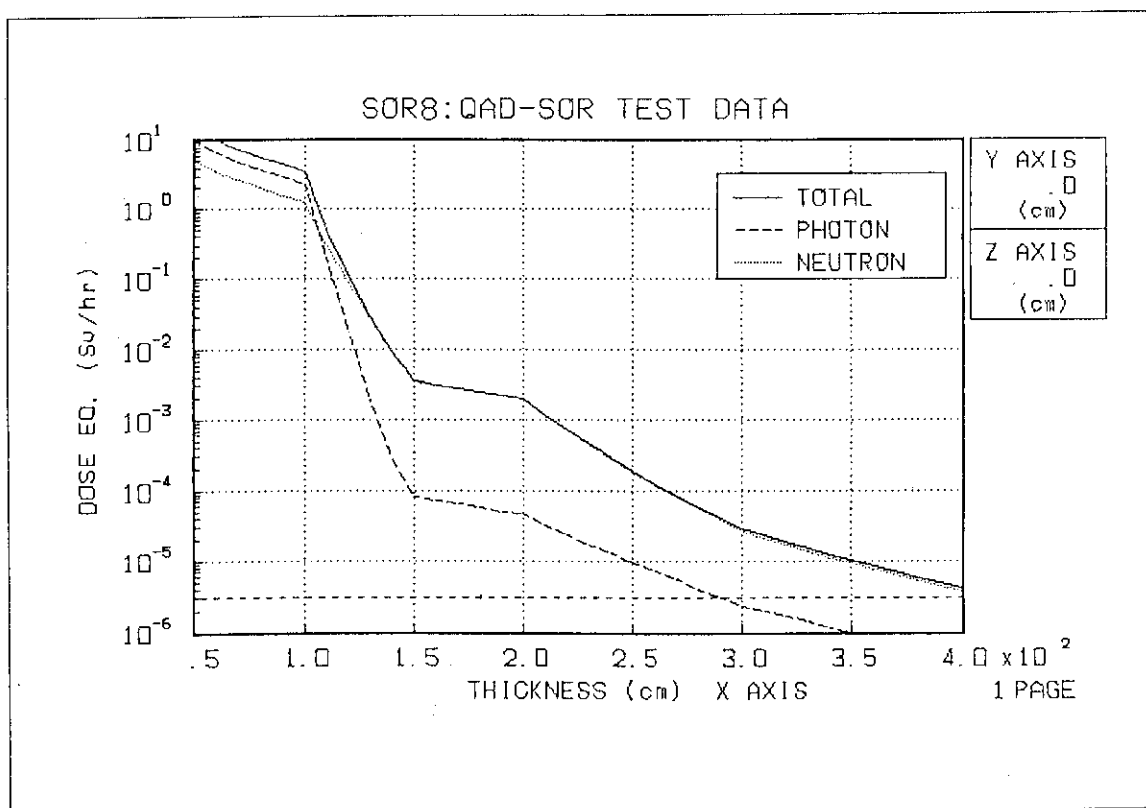


図 4.57 2次元図形の部分拡大図画面

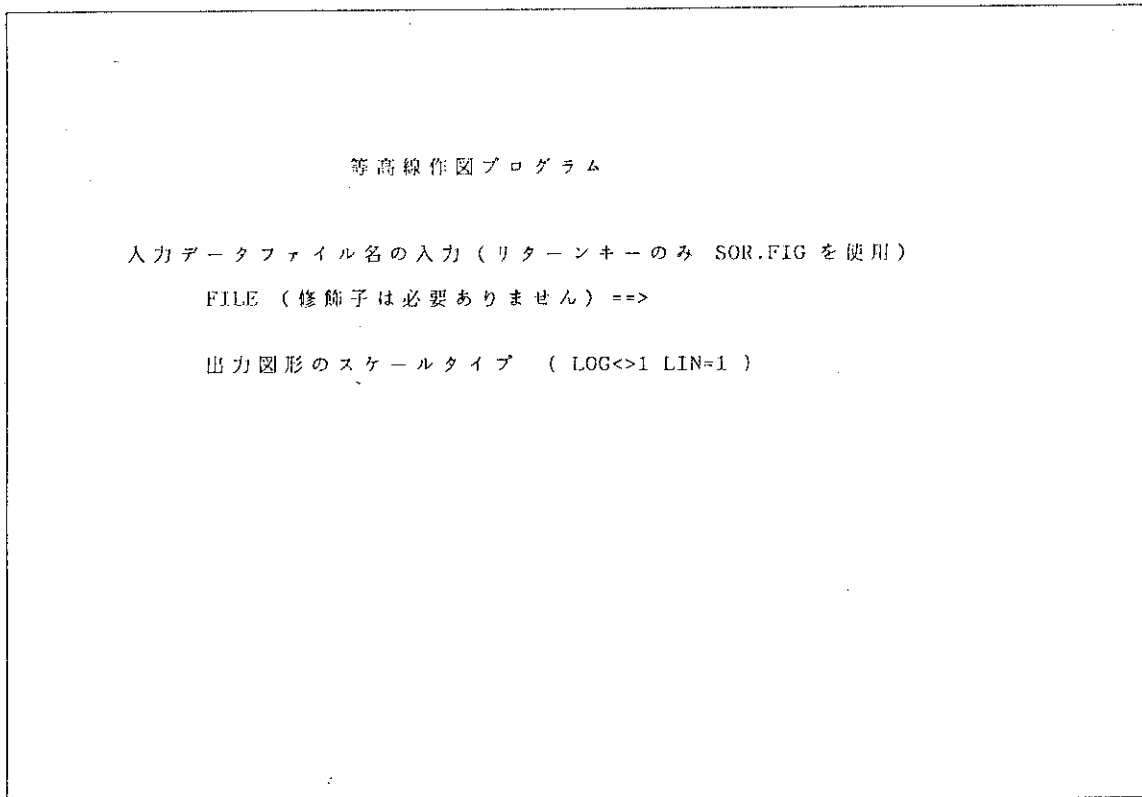


図 4.58 等高線図出力用データファイル名入力画面

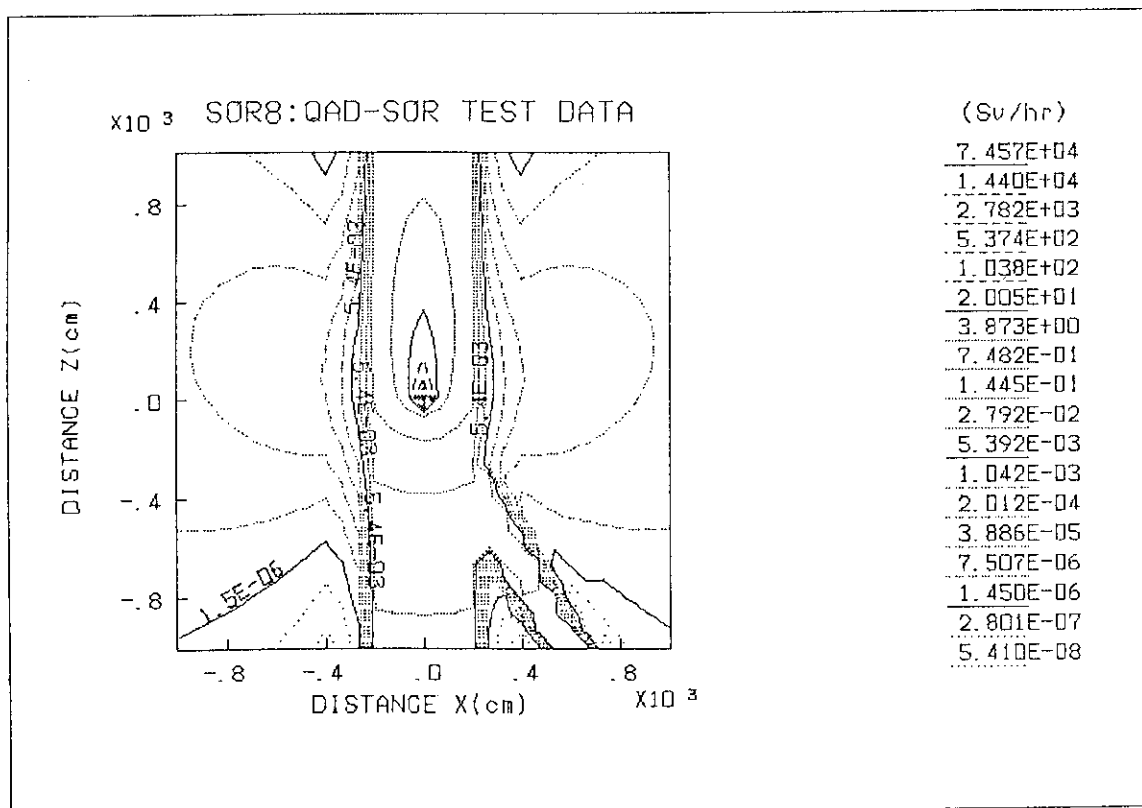


図 4.59 線量計算結果の等高線図画面 (X-Z 平面)

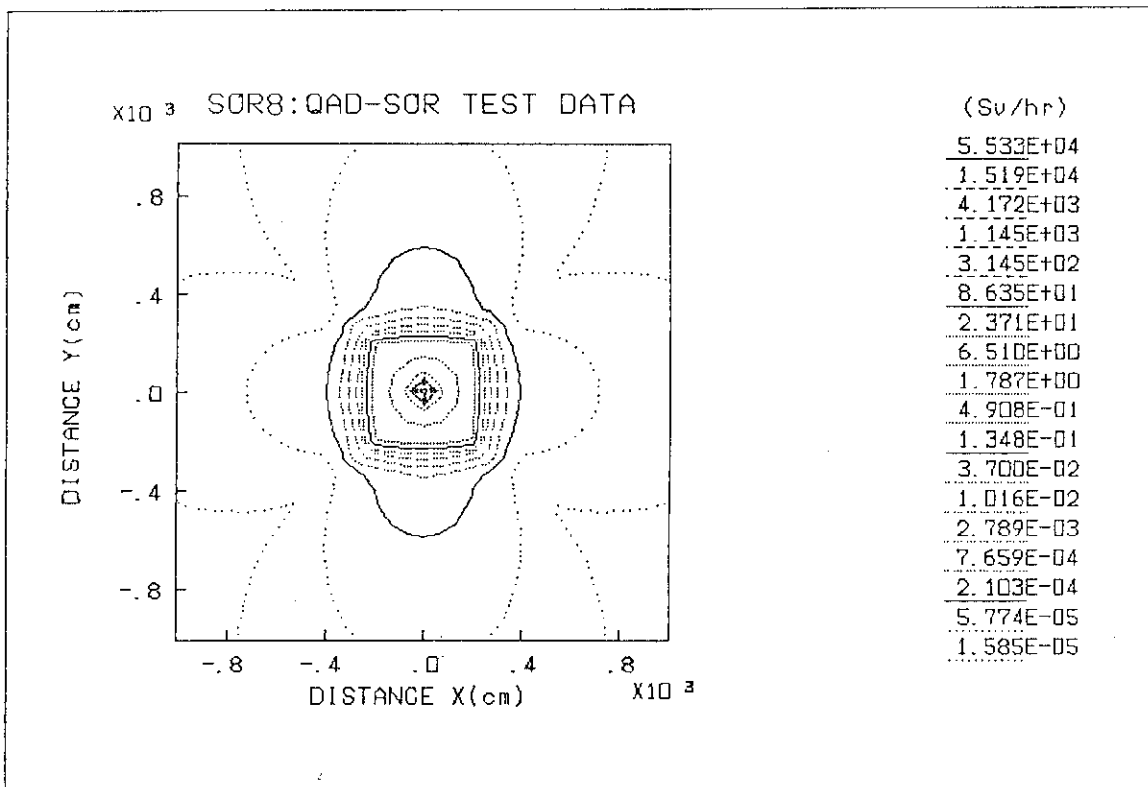


図 4.60 線量計算結果の等高線図画面 (X - Y 平面)

5. ま と め

本システムは、パソコン上で高エネルギー電子加速器の遮蔽計算の入力データの作成から計算結果の表示までを、対話形式による一連の操作で実行するものである。QAD-SORの特徴は、点減衰核法に基づく高エネルギー電子加速器の線量評価式を、三次元遮蔽計算コードQAD-CGに組み込んだ点であり、本システムを用いて加速器収納建屋となる三次元形状の遮蔽壁内外の線量空間分布を計算することができる。さらに、線源形状を自由に定義できるため、線源条件の検討のための適用も考えられる。必要とする計算時間は短く、数値演算プロセッサ付の32ビットマシンを用いると、点線源問題で、 100×100 点の検出器を想定した等高線図の計算にかかる計算時間は13分程度である。

このように、本システムは、使用上多少の制約あるものの、短かい計算時間で三次元形状における放射線線量分布の評価が可能であり、大型計算機による設計計算と本コードによるサーベイ計算を組み合わせることで、高エネルギー電子加速器の遮蔽設計計算に十分対応できると考えられる。

ただし、等高線図作成に関しては次の点を注意が必要である。QAD-SORで用いられている線量評価式は、前方評価式と側方評価式に分類される。電子ビームの進行方向からの偏位角度を θ とすると、前方は $\theta = 0^\circ$ 、側方はJenkinsの式の場合は、 $30^\circ < \theta < 130^\circ$ が適用範囲、それ以外の式は $\theta = 90^\circ$ を想定したものであるが、計算の結果得られる等高線図は θ 方向に関係なく全領域にわたる線量分布である。したがって、この等高線図は各々の評価式で前提となる θ 方向のみが意味のある領域であり、それ以外は無視すべき領域となる。

文 献

- 1) T. M. Jenkins : "Neutron and Photon Measurements through Concrete from a 15 GeV Electron Beam on a Target - Comparison with Models and Calculations", Nucl. Instrum. Meth. 159, 265(1979).
- 2) W. P. Swanson : "Radiological Safety Aspects of the Operation of E Electron Linear Accelerators", Technical Report Series No. 188, IAEA (1979).
- 3) V. R. Cain : "A User's Manual for QAD-CG, The Combinatorial Geometry Version of the QAD-P5A Point Kernel Shielding Code", Bechtel Computer Code NE007 (1977).
- 4) H. Dinter, K. Tesch : "Dose and Shielding Parameters of Electron-Photon Stray Radiation from a High Energy Electron Beam", Nucl. Instrum. Meth. 143, 349(1977).
- 5) E. Braeuer : "Radiation Shielding for the 6 GeV ESRF", ESRF/SHIELD/88-04 (revised) (1988).
- 6) E. Braeuer, K. Tesch : "Data on Muon Doses Behind Thick Shielding at Electron Accelerators", DESY D3-62 (1987).