



パソコン版遮蔽計算コードの開発

鳥居 達男 荻沼 宏樹*
黒沢 直弘** 桜井 直行***

本社安全部 *ふげん発電所安全管理課

**株式会社・インフォメーション・センター

***大洗工学センター安全管理部

資料番号：70-10

Development of a Gamma-Ray Shielding Code for Using
on a Personal Computer

Tatsuo Torii Hiroki Ogizuma* Naohiro Kurosawa**
Naoyuki Sakurai***

(Safety Division,

* Fugen Nuclear Power Station,

** Visible Information Center Co. Ltd.

***Health and Safety Division, Q-arai Engineering
Center.)

パソコン上で動作する遮蔽計算コード QAD-PC の開発を行った。本コードでは、データ入力の簡便化および誤入力の防止を図るために、会話形式によるデータ入力および幾何形状のグラフィックス化を行った。

本稿では、コードの概要とサンプル計算の結果について報告する。

1. はじめに

放射線を取り扱う施設や設備の設計から放射線管理の業務までの様々な段階で、作業員や機器・構造物等を放射線から防護するために、種々の遮蔽計算が行われる。その方法も簡便な手計算から、大型計算機を長時間使用しなければならないものまで、多岐にわたっている。

原子力施設で一般的に見られる放射線は、数10 keV から数 MeV 程度までのガンマ線である。このようなガンマ線の遮蔽計算は、線源や遮蔽体の形状が簡単で数も少ないときは手計算も可能であるが、それらが少し複雑になると手計算では困難となり、計算機の使用が不可欠となる。

計算機を使った遮蔽計算の方法としては、輸送方程式を数値計算で解く方法や確率論を用いたモンテカルロ法などがあるが、上記のようなガンマ線の遮蔽計算の場合、手計算と基本的に同様な原理を用いた点減衰核積分法が比較的良く使用される。点減衰核積分法を用いた計算コードとしてSPAN、QAD、そして点減衰核積分法に1回散乱を考慮したG-33

などのコードが有名である。しかしながら、これらのコードを含め、一般的に遮蔽計算に用いられる計算コードのほとんどは大型計算機用であり、誰でも簡便に扱えるとはいえない。

近年、エレクトロニクスの急速な進歩により、パーソナルコンピュータ（以下、パソコンという）も一世代前の大型計算機並の性能を持つまでに至っている。この進歩に伴って、従来大型計算機用に開発された計算コードも、若干の改造を加えることにより、パソコン上で動作するものも少なくないと思われる。また、パソコンの優れたユーザーインターフェースを生かせば、より使い易い計算コードとして開発することも可能である。

今回、点減衰核積分法による遮蔽計算コードとして比較的良く用いられているQAD-CGコード¹⁾を、日本電気製のパソコンPC-9800シリーズ上で動作させるとともに、パソコンのグラフィックス機能を生かして、計算体系を3次元表示を可能とし、入力データのチェックが容易にできるように改良した。また、計算の入出力データおよび計算体系図をデー

データベース化することにより、過去の計算結果を参照することができるようにした。

本稿は、その概要についてまとめたものである。

2. QAD-CG コードについて

本コードを含め、点減衰核積分法をその計算手法とするコードでは、様々な形をした体積線源を等方点線源の集合と見なし、個々の点線源から測定点(評価点)までの透視線の距離を計算する。そして、遮蔽体を貫く距離と遮蔽体の減衰特性から遮蔽体透過後の直接線成分を求め、さらにビルドアップ係数を乗じることにより散乱成分を含めたガンマ線束を得る。このガンマ線束に線量率換算係数を乗ずることにより、遮蔽体透過後の線量率を求めている。

QAD-CG コードの特長として、線源や遮蔽体の形状入力の簡便化と遮蔽体の複雑な立体構造に対処できるように、立体組合せ幾何構造(Combinatorial Geometry)のサブルーチンを有していることが挙げられる。これは、遮蔽体の幾何学的構造を記述する手法として、複雑な形状を示す立体構造物でも直方体、球、円柱、楕円柱、円錐台、楕円体、直交くさび等のシンプルな立体の組み合わせで表現しようとするものである(ただし、線源については、直方体、円柱、球の3形状に限られる)。

QAD-CG コードは、上記の幾何形状の入力など、データの入力が比較的簡単であること、短時間で計算できることなどの点から、設備の設計から運用までの各段階において最も良く使われる遮蔽計算コードの1つである。しかし、入力データは数字の羅列であり、誤入力による計算ミスも免れない。そこで、今回 QAD-CG コードをパソコン化するにあたって、

誤入力防止を図るために入力の会話形式化と図形表示による計算体系の視覚化を行った。

以下、オリジナルの QAD-CG コードとパソコン用に開発したコードを区別するために、パソコン用のコードを QAD-PC という。

3. QAD-PC の開発

QAD-PC は、基本的に次の4つの部分から構成される。

(1) 入力データ作成コード

ここで会話形式によりデータ入力を行い、入力データファイルを作成する。線源や遮蔽体の形状、配置等の幾何体系のデータ入力時には、ディスプレイ上のグラフィックスで確認しながら作業を進められるようになっている。また、作成されたファイルは QAD-CG コードとほぼ同様なフォーマットであり、エディタを用いることによりデータをチェックすることも可能である。なお、図1に示した QAD-PC とオリジナルの QAD-CG の入力データの項目の比較から明らかなように、入力データの数も核種ライブラリ等の利用により必要最小限になっている。

(2) 入力幾何体系図形表示コード

(1)で作成されたデータを基に、ディスプレイ上に体系図を表示する。表示図形は、3面展開図と任意の方向から見た3次元体系図の2つから選択できるようになっている。

(3) 遮蔽計算コード

本計算コードの本体であり、QAD-CG コードをパソコン PC-9800 シリーズ用に移植したものである。

(4) 核種ライブラリ

放射線として考えられる主な核種の核種名、ガン

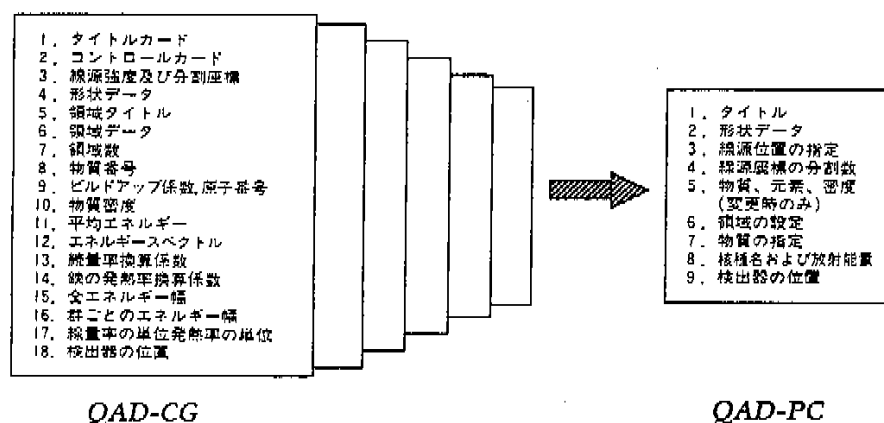


図1 QAD-CGおよびQAD-PCの入力データ項目の比較

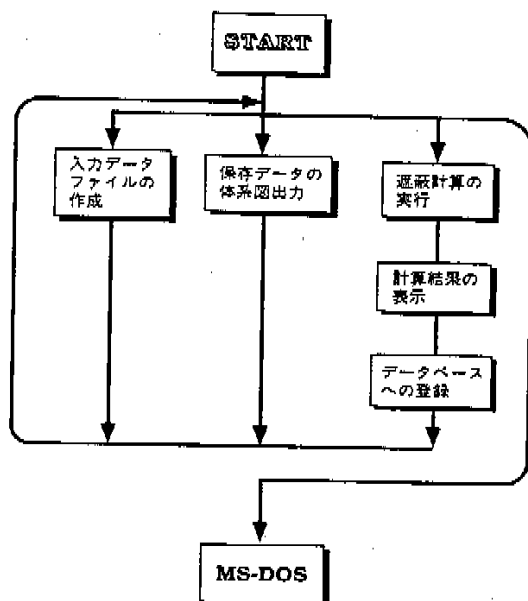


図2 QAD-PCの構成とその流れ

マ線エネルギーおよびその放出率からなるファイルであり、入力データ作成時に核種名と放射線量を入れれば、(3)の計算時に自動的にこのライブラリを参照する。なお、本ライブラリには181核種が登録されているが、新たな核種の追加や削除も可能である。

QAD-PCは、このようなコード群およびデータライブラリからなっており、PC-9800シリーズのパソコンのMS-DOS上で動作する。(1)と(2)のコードは、Naa-BASIC(MS-DOS版)²⁾で作成し、BASICコンパイラでコンパイルした。また、(3)のコード本体は、FORTRAN77で書かれたオリジナルのQAD-CGコードをPC-9800シリーズ上で動作させるために

表1 放出ガンマ線エネルギーおよび強度

ガンマ線エネルギー (MeV)	ガンマ線強度 (photon/cm ² -sec)	備考
0.4	4.0×10^5	廃液量： $8.07 \times 10^6 \text{ cm}^3$
0.6	7.6×10^5	
1.3	2.8×10^6	
1.7	8.2×10^5	
2.2	4.0×10^4	
2.5	3.0×10^4	
3.5	1.2×10^4	

一部を改造した。さらに、出力の日本語化、そして(1)や(4)のファイルとリンクさせるために改造を行い、MS-FORTRAN(V4.0)³⁾を用いてコンパイルした。QAD-PCの構成とその流れを図2に示す。

4. サンプル計算

QAD-PCを用いた遮蔽計算の例として、米国原子力学会(ANS)のガンマ線遮蔽ベンチマーク問題⁴⁾から、廃液タンク(円筒形、縦置き)を線源とするガンマ線の線量率を求めた。計算条件は、以下のとおりである。

- (1) 放出ガンマ線エネルギーおよび強度：表1参照
- (2) 幾何体系図：図3、4参照
- (3) 評価点：図3、4参照。タンク中心よりの距離は、以下のとおり。
D1：219cm (コンクリート壁内側)
D2：312cm (コンクリート壁外側)

本コードによる計算結果を表2に示す。併せて表2には、大型計算機による他のコードを用いた計算結果⁵⁾も示したが、それらと比べても本計算コードはほぼ等しい結果を与えている。なお、同様なコードを使用しても計算値がそれぞれ若干異なっているのは、線源分割数、データライブラリの値が若干異

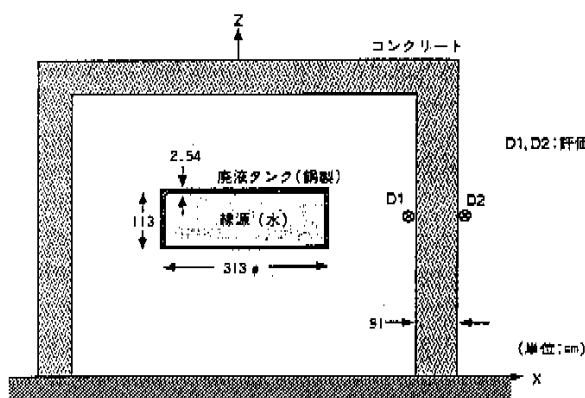


図3 サンプル計算の幾何体系図

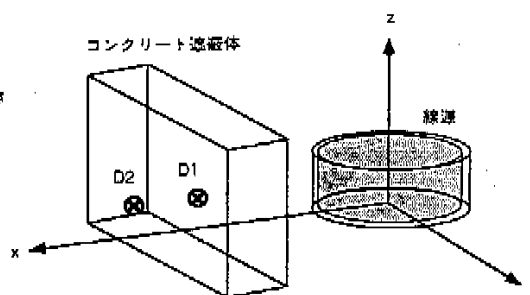


図4 モデル化したサンプル計算の3次元体系図 (GRT出力例より)

表2 計算結果の比較

計算コード	線量率 (mrem/h)	
	D1	D2
QAD-PC	4.29×10^4	5.51×10^{-1}
SDC	3.44×10^4	6.81×10^{-1}
PIPEND	4.32×10^4	4.49×10^{-1}
SPAN	4.61×10^4	4.61×10^{-1}
SPAN	4.63×10^4	5.34×10^{-1}
B. 439	3.32×10^4	5.96×10^{-1}
STARGE	4.12×10^4	4.28×10^{-1}
QAD-P5	3.94×10^4	5.05×10^{-1}
QAD-P5A	4.26×10^4	4.53×10^{-1}
QAD-CG	4.29×10^4	5.23×10^{-1}
QAD-CGF	4.23×10^4	5.68×10^{-1}
QADMDD	4.54×10^4	4.90×10^{-1}
QAD-P5S	5.23×10^4	6.62×10^{-1}

なることに起因しているものと思われる。

本計算に要した時間は、PC-9801UX(cpu: 80286 (10MHz)、数値演算プロセッサ80287 (10MHz) 付)を使用した場合、約2分であった(線源分割数: 24000)。このことから、パソコンを用いた本計算コードは、遮蔽計算の実務に十分適用できるものと思われる。

5. おわりに

QAD-PCでは、ガンマ線束から線量への変換はICRP Pub.21の照射線量率への変換係数を基に作成した近似式をコードに組み込むことにより行い、線量率を算出している。しかしながら、ICRP77年勧告等の国内法への取り入れにより、外部被ばく線量は照射線量ではなく、線量当量で評価することが求

められている。ガンマ線(光子)のエネルギースペクトルは、遮蔽材料の種類、厚さ、線源形状およびそのエネルギーに依存して変化するため、現在のところQADなどの点減衰核積分コードでは、線量当量を正確に求められるには至っていない。そこで、QAD-PCでは、暫定的な方法として、照射線量(R)に0.00873を乗じて空気吸収線量(Gy)を求め、さらに科学技術庁告示第15号(放射線を放出する同位元素の数量等を定める件)別表第4に示されるエネルギーに応じた吸収線量から1cm線量当量への換算係数をコードに組み込む方法を用いた。そして、従来の照射線量率とともに1cm線量当量率を出力するようにした。

また、QAD-PCでは、入出力データのデータベース化を図り、これらのデータファイルから計算値や図形の参照や再計算ができるようになっている。現在、このデータベース等の改良を行うことにより、従来のQADコードではできなかった複数の線源、複雑な形状の線源に対しても計算できるようにコードの拡張を進めている。

参考文献

- 1) V.R. Cain: A Users Manual for QAD-CG, The Combinatorial Geometry Version of the QAD-P5A Point Kernel Shielding Code, Bechtel Computer Code NE007 (1977)
- 2) 日本電気: N₁₀-日本語 BASIC(86) (MS-DOS版) 5.0 ユーザーズマニュアル
- 3) マイクロソフト: マイクロソフト・フォートラン・オブティマイジングコンパイラ・ユーザーズガイド (1987)
- 4) ANS: Specifications for Gamma Ray Shielding Bench mark Applicable to Nuclear Radwaste Facility (Prepared by ANS Standard Committee 6.2.1, 1980)
- 5) 「放射線施設遮蔽」研究専門委員会「ガンマ線遮蔽設計法」ワーキンググループ: ガンマ線遮蔽設計ハンドブック (日本原子力学会, 1988)