

パソコンで利用が可能な簡易遮蔽計算コード (POKER) について

宮脇 豊
Miyawaki Yutaka

1. はじめに

原子力規制委員会は、放射線安全規制研究戦略的推進事業において「ICRP2007年勧告等を踏まえた遮蔽安全評価法の適切な見直しに関する研究」（以下「研究事業」という。）を実施し、その成果として「ICRP2007年勧告等に基づく遮蔽評価を実施するための技術的なガイドライン」及び「パソコンで利用が可能な簡易遮蔽計算コード（以下「POKER」¹という。）」を得た。筆者は、原子力規制庁において本研究事業の実施に係る技術的な事務を担当したところ、それらの成果のうち、本稿では主にPOKERを取り上げて紹介することとしたい。

2. 原子力規制委員会の研究事業とPOKERの開発について

本研究事業は、令和2年度及び令和3年度の2年間にわたり実施した。研究事業の実施代表者は平尾好弘上席研究員（(国研)海上・港湾・航空技術研究所）であり、その実施に係る技術的な事務は原子力規制庁の放射線規制部門が担当した。

本研究事業では、今後国内法令への取入れが想定されるICRP2007年勧告等（以下「新勧告等」という。）に基づく遮蔽評価を実施するための技術的なガイドライン（以下「技術ガイドライン」という。）を作成することとした。この技術ガイドラインは、「放

射性同位元素等の規制に関する法律」に基づく規制事務において、原子力規制庁の審査官が許可申請者から提出された申請書において示す遮蔽評価の妥当性を確認する際の参考とすることはもとより、許可申請者においても新勧告等取入れ後の法令基準に基づく遮蔽評価を行う際に有用な情報を提供し得るものとなるよう目指して作成したものである。また、作成した技術ガイドラインに従い、光子線源の遮蔽評価に係る線量を分かりやすく、かつ、簡便に算出することができる簡易遮蔽計算コード (POKER) を併せて開発することとした。

現在、原子力規制委員会において新勧告等の取入れに向けた国内法令改正のための具体的な動きはないが、その法令改正が実施されれば、既設の放射線施設に係る遮蔽評価の見直しは必須の対応とされることから、本研究事業の実施は、そうした今後の展開を先見したものである。新勧告等により放射線施設に係る遮蔽評価においてどのような影響等が生じ得るかについて、ご関心のある方は、技術ガイドラインをご覧ください²。なお、この技術ガイドラインは、新勧告等について技術的な情報を収集し、及びそれらについての考察を取りまとめたものではあるが、その位置付けとしては、現在の原子力規制委員会又は原子力規制庁としての公式の見解や、政策等

2 原子力規制委員会の Web サイト

https://www.nra.go.jp/activity/houshasenbougo/kenseika_houkokusyo.html#section7

上記の URL より「ICRP2007年勧告等を踏まえた遮蔽安全評価法の適切な見直しに関する研究」に進み、「成果報告書」のうち、「令和3年度（2/2）【PDF：2MB】」と表示するリンクより「技術ガイドライン」を取得する。

1 本稿では、本研究事業において開発した簡易遮蔽計算コードについて、点減衰核法 (Point-Kernel) の英語表記の綴り字から取って、「POKER」と仮称する。

を必ずしも反映するものではないことを申し添える。

3. 簡易遮蔽計算コード (POKER)³ について

POKER は、前述のとおり技術ガイドラインに則った遮蔽評価を行うことができる簡易なツールを開発することを意図したものであるが、実際に出来上がったものを試用してみたところ、筆者の所見としては当初に想像していた以上に良好な仕上がりとされており、特に計算科学の専門技術的な知識を有さない者であっても、簡便に新勧告等に基づく遮蔽計算を実施することができ、正に「試しに触ってみただけでも価値のあるもの」と感じられた。更に POKER は、Windows をベースとする一般的なパソコンに導入して利用が可能であり、また、計算結果として数値のみならず、線量分布マップ等の図示的な情報も併せて得られることから、放射線遮蔽の学習や、遮蔽物との相互作用による放射線の減衰を視覚的に捉える等、一般的な「点減衰核法に基づく遮蔽評価ツール」としての有用性及び汎用性を具備しているものと考えられる。

ただし、ここで紹介する POKER は、あくまでも現時点では試作段階のものであり、原子力規制委員会はその機能や得られる計算結果等を保証するものではないので、係る点については各位においてあらかじめ了解の上で、その試用をお願いする。

4. POKER の機能及び使用方法

POKER の機能及びその使用方法の概要を以下に紹介する。

4-1 POKER の計算手法と適用範囲

POKER の計算手法は、放射性同位元素又は放射線発生装置から発生する光子の線量ビルドアップ係数を用いる、いわゆる「点減衰核法」を基本としている。POKER で計算できる遮蔽体の材料、線量種類及びエネルギー範囲は、表 1 に示すビルドアップ係数の適用範囲に従う。

遮蔽体の材料及び厚さは、実務において使用が想

表 1 POKER のビルドアップ係数データの範囲と計算条件

事項	内容等
遮蔽体の材料及び厚さ	・遮蔽体の材料：13 種 炭素、アルミ、鉄、銅、タンゲステン、鉛、大気、水、普通コンクリート、アクリル樹脂、ポリエチレン、ホウ珪酸ガラス、土壌 ・遮蔽体の厚さ： 0.5～80 mfp (mfp: 評価に係る光子の平均自由行程長)
線量の種類	・実効線量：全身照射条件 6 種 前方-後方 (AP)、後方-前方 (PA)、左側方 (LLAT)、右側方 (RLAT)、回転 (ROT)、等方 (ISO) ・等価線量：2 種 眼の水晶体、皮膚 (男女) ・その他：3 種 空気カーマ、1 cm 線量当量、3 mm 線量当量
エネルギー	10 keV から 30 MeV まで
線量換算係数	ICRP, Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures. ICRP Publication 116, Ann. ICRP 40 (2-5) (2010). ベース
減衰係数	NIST, XCOM: Photon Cross Sections Database, https://www.nist.gov/pml/xcom-photon-cross-sections-database/ . ベース
光子と遮蔽体の相互作用	光電効果、コンプトン散乱及び電子対生成のほか、干渉性散乱及び高エネルギー領域で発生する光核反応を考慮
ビルドアップ係数算出のための計算体系	・点等方線源を中心に置いた無限球体系の遮蔽体を使用 ・放射線の輸送計算は、モンテカルロ法コード (MCNP [®] Version 6.2 Release Notes, Los Alamos National Laboratory report LA-UR-18-20808 (2018) による

定される 13 種類の材料について 80 mfp までの厚さに対応しており、これはコンクリートを例とすると、線源光子のエネルギーが 0.1 MeV で 218 cm まで、1 MeV で 594 cm までの厚さにそれぞれ相当し、実用的な範囲を十分にカバーしている。線量の種類は、例えば、高エネルギー領域では「前方-後方 (AP)」の照射が必ずしも最大の線量を与えるものとは限られないため、実務において想定される 6 種すべての照射体系に対応している。なお、実効線量以外の線量種類は、参考のために出力できるようにしたものであり、空気カーマ、1 cm 線量当量及び 3 mm 線量当量に係る換算係数は、新勧告等以前の従来値のとおりである。エネルギーは、現行法令において規定する最高値の 10 MeV を超える線量換算係数が新勧

3 POKER の Web サイト (特設サイト) <https://pointkernel.com/>
上記の URL より簡易遮蔽計算コード (POKER)、マニュアル、その他の関連書類を取得する。

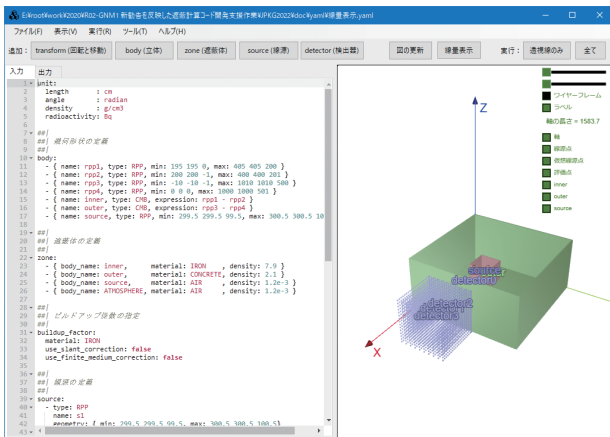


図1 POKERの主画面

放射性同位元素を保管する貯蔵室の壁外の線量を計算する例

告等で示されているため、診療用の放射線発生装置に係る線量評価への適用を念頭に、余裕を見て30 MeVまで対応している。線量換算係数及び減衰係数は、最近のものをベースとしている。光子と物質の相互作用は、従来のビルドアップ係数において考慮されていなかった干渉性散乱並びに高エネルギー領域で起きる光核反応及び電子輸送を考慮できるものとした。このため、光核反応で生ずる光中性子及びその捕獲による二次光子の線量寄与を、線源光子の線量寄与と分けて出力できる機能を有している。また、POKERに実装するビルドアップ係数は、最新の核データに基づき、モンテカルロ法コードを用いて算出したものである。なお、POKERは中性子源に係る遮蔽計算には対応していないが、放射線施設の現況を鑑みると、ほとんどの放射線施設に適用し得るものと考えられる。

4-2 POKERの操作方法

計算条件の入力については、YAMLにより構造化された形式に従ってテキストで編集する方式としている。POKERの主画面左側は構造化されたテキスト入力表示、右側は遮蔽体系の立体表示であり、テキスト入力された内容は即座に立体表示に反映され、対話的に確認しながら入力を行うことができる(図1)。遮蔽計算を行うためには、「線源」、「遮蔽体」及び「線量検出器」をそれぞれテキストにより入力して指定する。テキストの入力規約に慣れていない場合には、主画面の上部に配置されている各ボタンを押すことにより、設定画面が開いてガイドを得ながら入力を行うことができる。

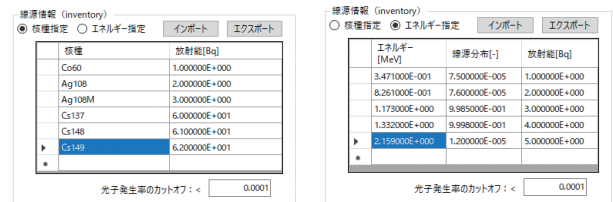


図2 線源ダイアログ画面による線源条件指定例

左: 核種・数量, 右: エネルギー分布

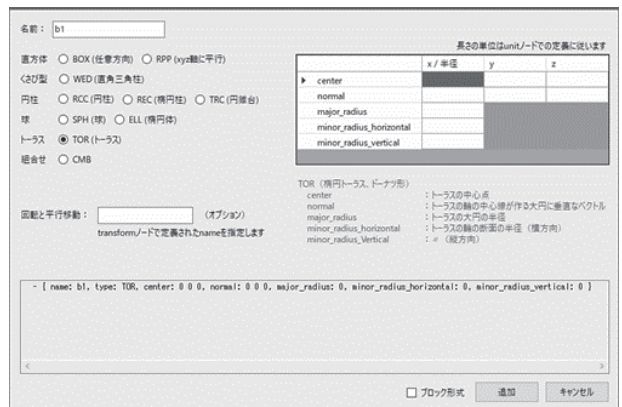


図3 遮蔽体ダイアログ画面による遮蔽体の形状(トラス: 円環形の形状)指定例



図4 遮蔽体として指定できる形状(基本立体と組合せ立体の例)

「線源」については、その形状として、点線源又は体積線源(直方体, 球又は円柱のいずれか)を指定する。その他の線源に係る情報は、核種を選択し、その数量(Bq)を指定するか、又は分布するエネルギーごとにその光子発生率を入力する。これらは、線源設定画面から指定することによっても、核種、数量及びエネルギーが自動的にテキスト入力に反映される機能を有している(図2)。

同様に「遮蔽体」についても、遮蔽体設定画面から、基本立体としてあらかじめ用意されている9種の形状を選択するか、又はそれらを組み合わせた立体を指定することができる(図3及び図4)。遮蔽

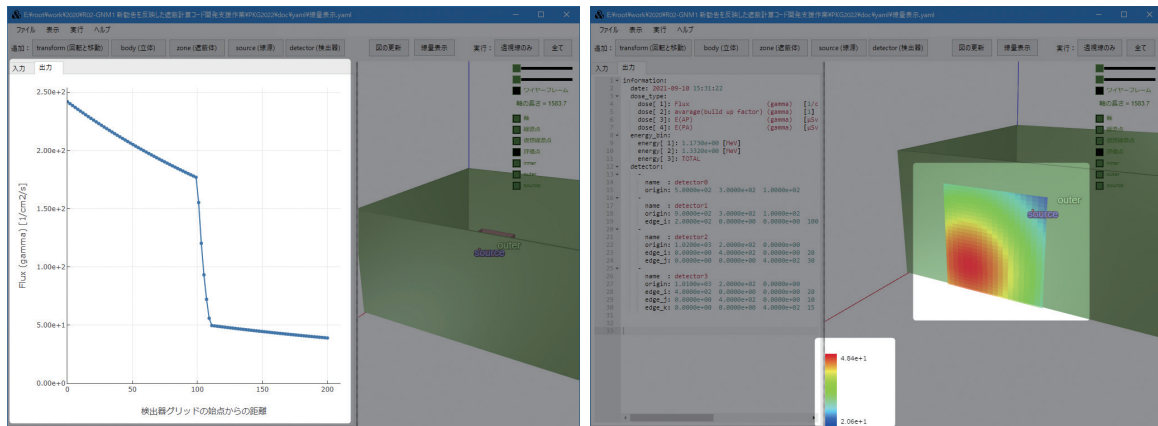


図5 計算結果の図示化例(左:線に沿った線量減衰, 右:平面上の二次元線量マップ)

体の配置は、局所回転と平行移動を用いて指定し、各遮蔽体の材料は表1で示した材料の中から選択して指定する。また、放射線が平板遮蔽体に垂直に入射する場合だけでなく、角度を付けて斜めに入射する場合(いわゆる「斜め入射」)を指定することも可能である。

「線量検出器」については、線量を算出したい位置を指定する。その位置には、点、線、平面及び立体の空間領域を指定することができる。線量検出器の位置を空間領域とした場合は、その計算結果について指定した線に沿った線量をグラフで、また、指定した平面又は立体の切断面の線量分布をカラーマップ画像で表示する機能を有している(図5)。その際に出力する線量種類は、表1に示したものから複数のものを選択することができる。

入力を作成したら計算を実行し、「線量検出器」で指定した点の位置の線量値を確認する。計算結果には、計算で用いたデータやエラーも併せて示される。「線量検出器」を線、平面又は立体の空間領域で指定した場合は、先述のとおり、その線量分布をカラーマップ画像としても示される。

なお、既存の計算コードであるQADにあっては、指定できる遮蔽体、線源及び線量検出器の個数に制約があるが、POKERではそうした制約はなく、必要な個数を指定可能である。

5. おわりに

放射線施設の遮蔽評価に用いる遮蔽計算コードは、使用実績を蓄積し、多くの検証と評価を得て、また、必要に応じ改良を加えつつ、その信頼性を高

めることが肝要である。

本研究事業の成果であるPOKERに係る法的なすべての権利は原子力規制委員会が有しており、事務的な調整は必要であるが、将来的には、コードの改良等を自由に行うことができるものとするを念頭に必要な情報を公開し、かつ、コードの利用は無料とし、広くこの知的資産を社会に共有できるようにすることを意図している。こうした活動は一朝一夕に実現できることではないが、POKERが多くの関係者に試用され、それらの評価等を基に社会的にも有用なツールとして発展することを本研究事業の担当者の一人として切に希望するものである。

翻って見ると、この類の計算コードとして筆者自身が身近に見聞するものとしては、米国で開発されたQADくらいであるが、その開発時期は1960年代と古く、最近ではメンテナンスも十分に行われていない状況にあると聞く。筆者は、そうした現実からすると、POKERが我が国の放射線施設に係るすべての関係者に広く利用され、また、研究者や専門家による知見等とあいまってその完成度と信頼性が高められることとなれば、「QADに代わる我が国発の汎用遮蔽計算コードを輩出することとなるのではないか」という大いなる期待も抱くところである。

最後に、原子力規制庁において筆者と共に本研究事業の実施に係る技術的な事務に当たった中村尚司技術参与、益子真一上席放射線安全審査官、高田桂介技官の各担当官名をここに記して本稿の筆を置くこととする。

(原子力規制庁長官官房放射線防護グループ放射線規制部門 安全管理調査官(放射線安全担当))