

「遮蔽ハンドブック」研究専門委員会 終了報告

I. 経緯

1984年に竹内清氏を主査として発足した「放射線施設遮蔽」研究専門委員会は、ガンマ線遮蔽設計法ワーキンググループを設け、1988年1月に「ガンマ線遮蔽設計ハンドブック」を刊行し、次いで主査が中村尚司氏に交代した委員会が、1993年4月に「中性子遮蔽設計ハンドブック」を出版した。これらのハンドブックの刊行から経過した間の特筆すべき第1の変化は、計算機の飛躍的発展である。従来は放射線輸送計算を行うには限られた大学や研究所、企業が所有する大型計算機が必要であり、比較的計算時間が短い決定論的方法（ S_N 法など）によっても、2次元あるいは3次元計算では長時間の占有が必要であった。しかし近年は、比較的小型の構造物ならば、卓上で気軽にモンテカルロ計算を行えるようになった。また簡易計算法による手計算においても、Excelなどの表計算ソフトを用いて、少し込み入った計算でも短時間で行えるようになった。第2の変化は、モンテカルロコードの発展である。多群モンテカルロコードは姿を消し、現在主に使われるのは連続エネルギーモンテカルロコードである。また以前は中性子と光子だけを扱うというように、限られた用途のコードが主流であったが、現在は中性子、光子を始めとして、加速されたイオン、電子なども含め、放射線を総合的に扱うコードが複数開発されている。これによって、小規模のRI施設から原子力施設、高エネルギー加速器施設までを一つのコードで計算できるようになりつつある。我が国においてもPHITSやEGS5コードなどが開発され、広く世界的に利用されるようになってきた。

2008年には平山英夫氏を主査として「放射線遮蔽」研究専門委員会が発足し、放射線遮蔽分野に係る技術課題を整理し、技術ロードマップが作成された。その中では下記の3つの重要課題が指摘された。

- ①許認可を見据えた遮蔽計算手法（含むコード、核データライブラリ）の標準化
- ②国産遮蔽コード開発を含む遮蔽計算手法の高精度化
- ③人材育成を含む技術伝承

上記の内、特に③の「技術伝承」に重点をおき、2012年に「遮蔽ハンドブック」研究専門委員会を発足させ、前記2冊の遮蔽ハンドブックを最新の知見をもとに大幅改定することとなった。これは放射線遮蔽分野での技術知見の「見える化」を図るとともに、作成の活動を通じて若手委員を含めた放射線遮蔽分野の人材育成も見据えている。またハンドブックの作成は、必然的に遮蔽計算手法の標準化、高精度化に繋がるものである。

II. 編集方針

委員会で議論を重ねた結果、以下の方針で出版することとなった。

- 1) 遮蔽計算の方法論を説明する基礎編と、実際の施設への適用例を示す応用編の2部構成とする。本書はそのうちの基礎編である。
- 2) 高エネルギー γ 線は光中性子を発生させ、また中性子は2次 γ 線を生ずることから、中性子と γ 線を分けずに扱う。

- 3) 医療分野など、加速器の応用が急速に広がっていることから、対象を高エネルギー加速器まで広げる。また原子力分野においても、再処理施設なども範疇に含める。
- 4) 本書に新しい技術の紹介を取り込むことは自明であるが、近年使われることが少なくなった技術については、項目と文献を紹介する程度にとどめる。
- 5) 計算コードについては、学術的ではなく、また流動的ではあるが、読者の利便のために入手方法などの項目も示す。
- 6) 放射化は遮蔽とは異なる。しかし系統的に扱っている文献が少ないこと、遮蔽設計技術者が放射化も扱うことが多いこと、また放射化は γ 線源を生じ、それは遮蔽の対象であることから、本書に含める。
- 7) 線量換算係数やビルドアップ係数のように、学会等で別途標準化されているものは、積極的にそれらを引用することとする。
- 8) 本書の扱う分野は広く、分野によって若干用語の使い方が異なるため、本書全体での用語の統一は図らない。
- 9) 技術の進歩に合わせて本書の改訂が容易に行われるように留意して編集し、今後常に最新状態に維持されるように努める。

III. 出版

前記の方針に基づき、委員および協力者の努力によって執筆と編集作業が行われ、2015年3月3日に「放射線遮蔽ハンドブック – 基礎編 –」(ISBN 978-4-89047-161-4)を上梓することができた。低価格(税別 5,000 円)のこともあり、ハンドブックは好評を博し、2015年末までに 260 部を販売した。

以下に目次を示す。全体は 1 章から 10 章に分類した項目で構成されている。一つ下の分類である節(2.1 など)まで太字で示した。さらに詳細な細区分(2.1.1 など)については括弧内に示した。

目次

はしがき

1. 概説

1.1 刊行の経緯 **1.2 編集方針** **1.3 本書使用上の注意点** **1.4 委員名簿と各章の執筆者**

2. 線源

2.1 概要 **2.2 アイソトープ線源** (γ 線源、 β 線源、中性子線源) **2.3 商業用軽水型原子炉施設における線源** (線源の概要、BWR、PWR) **2.4 核融合炉** (磁場閉じ込め DT 核融合炉、DT 核融合中性子及び γ 線の発生、核融合炉における中性子発生量と遮蔽の目的) **2.5 核燃料再処理施設等における線源** (施設の概要と線源、線源強度への影響因子、線源強度の算出法) **2.6 電子線加速器** (考慮すべき放射線と主な発生源、電磁カスケードに対する遮蔽設計、中性子の生成と遮蔽設計、ミューオンの生成と遮蔽設計、ガス制動放射線) **2.7 陽子線、重イオン加速器** (背景、陽子線・重イオン加速器の概要、 γ 線生成、中性子生成)

3. 断面積とライブラリー

3.1 概要 **3.2 断面積** (定義、種類、断面積データライブラリー) **3.3 群定数ライブラリー** (群定数ライブラリーの定義、群定数処理、群定数処理コード、群定数ライブラリーセット) **3.4 連続エネルギー断面積ライブラリー** (連続エネルギー断面積ライブラリーの定義、断面積処理、断面積処理コード、連続エネルギー断面積ライブラリーセット) **3.5 線量換算係数** (実効線量、計測実用線量、照射線量、遮蔽計算に用いる線量換算係数の標準値)

4. 輸送計算法

4.1 概要 **4.2 ボルツマン輸送方程式の基礎概念** (緒言、位相空間と分布関数、輸送方程式の導出、遮蔽計算コードで用いる輸送方程式、境界条件、基本形状に対するドリフト項の表現、積分表現、多群近似) **4.3 離散座標法** (序論、基本式、差分近似式、数値解法、中性子・ γ 線結合計算、離散座標法における注意点、計算コード) **4.4 モンテカルロ法** (概要、乱数と疑似乱数、確率分布、アナログモンテカルロ法による標本抽出、誤差の評価、アナログモンテカルロ法を使用した具体的な計算例、非アナログモンテカルロ法、位相空間内における粒子の追跡、計算形状、CADIS法、計算コード) **4.5 随伴計算** (概要、輸送計算と随伴結合計算による遮蔽設計、輸送計算と随伴計算による断面積感度解析) **4.6 Invariant Embedding 法** (序論、反射・透過関数の基本式、IE法コード GTIET5)

5. バルク遮蔽の簡易計算手法

5.1 概要 **5.2 単純形状線源に対する計算式** (点減衰核法、実効線量等の透過率を使用した各種計算法) **5.3 簡易計算コード** (γ 線計算コード、高エネルギーイオン加速器計算コード)

6. ストリーミングの簡易計算手法

6.1 概要 **6.2 簡易計算法** (放射線ストリーミングの計算原理、直円筒ダクト、遮蔽体を部分的に貫通した直円筒ダクト、屈曲円筒ダクト、直円環ダクト、直スロット、屈曲スロット、補償遮蔽設計法、アルベドデータ、簡易式の適用における問題点、) **6.3 簡易計算コード**

7. スカイシャインの簡易計算手法

7.1 概要 **7.2 γ 線スカイシャイン** (一回散乱計算法、Line-beamを用いた計算法、 γ 線スカイシャイン簡易計算コード) **7.3 中性子スカイシャイン** (空気の実効減弱距離を用いた計算法、中性子スカイシャイン簡易計算コード)

8. 放射化

8.1 概要 **8.2 核分裂炉と核融合炉における放射化** (放射化のメカニズム、放射化計算の基礎理論、誘導放射能) **8.3 加速器施設における放射化** (放射化のメカニズム、簡易計算手法) **8.4 放射化計算コード** (計算手法、ORIGEN、FISPACT、ACTIVE、DCHAIN-SP) **8.5 低放射化** (低放射化のための考え方、低放射化のための具体例、クリアランス)

9. 遮蔽材

9.1 概要 **9.2 γ 線用遮蔽材** (鉛、タングステン、水) **9.3 中性子用遮蔽材** (水、ポリエチレン、ホウ素、黒鉛、カドミニウム、水素含有材料) **9.4 γ 線・中性子共通の遮蔽材料** (コンクリート、土、鉄) **9.5 各材料の中性子遮蔽特性**

10. 放射線防護の考え方

10.1 いくつかのICRP主勧告を通じた放射線防護の変遷と線量限度 **10.2 線量概念の変遷**

(放射線防護に使用される諸線量の関係、防護量、実用量、放射線加重係数・線質係数及び RBE、組織加重係数) **10.3 遮蔽計算における線量評価と線量測定** (遮蔽計算における線量評価、場の線量測定、個人被曝線量の測定)

IV. 委員と執筆者協力者

研究専門委員会の委員名簿、及び専門家として執筆を分担して下さった協力者の名簿を以下に示す。括弧内は所属の略称である。

主査：上叢義朋（理化学研究所）

幹事：浅見光史（海上技術安全研究所）、今野力（日本原子力研究開発機構）、坂本浩紀（トランスニュークリア）、根本裕二（日立 GE ニュークリア・エナジー）

委員：安納章夫（大成建設）、糸賀俊朗（高輝度光科学研究センター）、岩下充成（IHI）、植木紘太郎（元東海大学）、大石晃嗣（清水建設）、太田雅之（日本原子力研究開発機構）、大西世紀（海上技術安全研究所）、奥野功一（安藤・間）、奥村啓介（日本原子力研究開発機構）、小田野直光（海上技術安全研究所）、黒澤正彦（東芝）、郡司智（東芝）、後神進史（原子力安全基盤機構）、坂本幸夫（アトックス）、佐藤理（三菱総合研究所）、佐藤聡（日本原子力研究開発機構）、杉田武志（有限会社科学システム研究所）、助川篤彦（日本原子力研究開発機構）、高木俊治（三菱総合研究所）、高田真志（防衛大学校）、田中照也（核融合科学研究所）、谷内廣明（トランスニュークリア）、辻政俊（経済産業省商務情報政策局）、坪井孝文（伊藤忠テクノソリューションズ）、中島宏（日本原子力研究開発機構）、中田幹裕（MHI 原子力エンジニアリング）、中根佳弘（日本原子力研究開発機構）、中野秀生（日立 GE ニュークリア・エナジー）、中村尚司（東北大学名誉教授）、鍋本豊伸（IHI）、波戸芳仁（高エネルギー加速器研究機構）、根本誠（ヴィジブルインフォメーションセンター）、播磨良子（元東京工業大学）、伴秀一（高エネルギー加速器研究機構）、平尾好弘（海上技術安全研究所）、平田雄一（NPO 法人放射線線量解析ネットワーク）、平山英夫（高エネルギー加速器研究機構）、森島誠（三菱重工業）、山口勝義（伊藤忠テクノソリューションズ）、山野直樹（福井大学）

執筆協力者：小迫和明（清水建設）、上松幹夫（東芝）、川合將義（高エネルギー加速器研究機構名誉教授）、多田恵子（三菱 FBR システムズ）、浅野芳裕（理化学研究所）、小井辰巳（スタンフォード大学）、佐藤達彦（日本原子力研究開発機構）、佐波俊哉（高エネルギー加速器研究機構）、清水彰直（NPO 法人放射線線量解析ネットワーク）澤田健一（海上技術安全研究所）、増川史洋（日本原子力研究開発機構）、松田規宏（日本原子力研究開発機構）、飯田浩正（元日本原子力研究開発機構）、甲斐哲也（日本原子力研究開発機構）、八島浩（京都大学原子炉実験所）、山内通則（東芝）、岩井敏（一般社団法人原子力安全推進協会）

文責：上叢義朋