

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

研究代表者 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所 平尾好弘

プログラムオフィサー(PO) 中村尚司

1

課題名 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
研究期間: 令和2年～3年(2年間)

背景・目的

ICRP2007年勧告等(以下、新勧告と呼ぶ。)の国内法令取入れで求められる実効線量換算係数等の改訂に対応するため、遮蔽計算で使用されるデータを適切に見直し、最新の知見に基づいて遮蔽線量評価法を拡張する。また遮蔽安全評価における同勧告取入れの効率的な運用に資するガイドラインを作成する。

実施状況

研究期間は2年間で、令和2年度の実績と令和3年度の目標は次のとおり。

- ・令和2年度: 海外の新勧告取入れと遮蔽線量計算の実態を把握するため、米国で規制利用される遮蔽計算コードの仕様調査を行い、国内での実用性や重要度の点から各仕様の受容性を評価した。更に研究協力者ら専門家の意見も踏まえて、新勧告取入れで求められる遮蔽計算法と使用されるデータの見直し範囲を決定した。その見直し範囲に従い、適切なデータの作成手順の検討を行った。実用性の高い遮蔽材料(単元素6種、混合物7種)のうち、鉄と鉛に対して、新勧告に対応した遮蔽計算用データライブラリ(組成・密度、減衰係数、各種線量ビルドアップ係数(遮蔽厚<80MFP))を整備した。出力線量として実効線量、皮膚及び眼の水晶体の等価線量、空気カーマ率に対応し、また高エネルギーガンマ線(<30MeV)に対応するため、光核反応による中性子の線量寄与を簡易に評価するためのデータを整備した。並行して、新勧告に対応したガンマ線遮蔽計算コードの開発を進めており、基本仕様に対してテキストベースの入出力で動作を確認した。
- ・令和3年度: 引き続き、残りの材料に対する遮蔽計算用データの整備と遮蔽計算法の適用性拡張を行い、計算コードの開発が一通り済んだ段階で、それらの見直しの妥当性を評価する。最後に、見直しの手順と根拠をまとめて、新勧告取入れの理解と運用に資するガイドラインを作成する。

期待される成果

- ・ 新勧告に対応した遮蔽計算用データライブラリ(単元素6種、混合物7種)
組成・密度、減衰係数、ビルドアップ係数(実効線量、皮膚・眼の水晶体等価線量、空気カーマ)等
- ・ 新勧告に対応したガンマ線遮蔽線量計算コード(高エネルギー線(<30MeV)対応) → 公開して広く利用

2

研究体制

情報セキュリティ最高責任者

(国研) 海上・港湾・航空技術研究所理事長

情報セキュリティ責任者、担当者

・海上技術安全研究所所長
・同研究所 海洋リスク評価系系長

規制庁担当

・プログラムオフィサー
・プログラムオフィサー補佐
・担当調査官

研究主任者（研究全体管理）

平尾好弘（海洋リスク評価系 システム安全技術研究Gr）
担当：勧告取入れ海外対応調査、遮蔽計算法の適用性拡張

研究参加者

・大西世紀（同Gr）・鎌田創（同Gr）・西村和哉（同Gr）
担当：遮蔽線量計算用データの作成手順検討
遮蔽線量計算用データの整備と妥当性評価

人材育成を兼ねた研究協力

（日本原子力学会 放射線工学部会）
簡易遮蔽計算コードレビューWGの若手メンバー
担当：遮蔽計算法の適用性拡張
遮蔽線量計算用データの整備

海上技術安全研究所 研究業務管理方

・研究品質保証主体：研究関係主幹
・業務管理責任者：企画部
・経理担当：会計課

研究レビュー委員会

委員（研究協力者）：成果レビュー
・上養義朋（日本アイソトープ協会）
・横山須美（藤田医科大学）
・保田浩志（広島大学）
・中島 宏（北海道大学）
・吉田昌弘（原子力安全技術センター）
・波戸芳仁（高エネルギー加速器研究機構）
・助川篤彦（量子科学技術研究開発機構）
・坂本幸夫（アトックス）
・延原文祥（東京ニュークリアサービス）
・松居祐介（テブコシステムズ）
・高田祐太（三菱重工業）
・吉岡健太郎（東芝エネルギーシステムズ）

外注作業

・新勧告取入れを反映した遮蔽線量計算用データの作成支援作業
担当：遮蔽計算用データの作成全般支援
・新勧告を反映した簡易遮蔽計算コード開発支援作業
担当：遮蔽線量計算コードの開発全般支援

3

今年度の研究概要

実施項目	令和2年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
(1) 遮蔽線量評価への新勧告取入れに係る海外対応調査	海外規制利用コードの仕様調査、及び新勧告取入れの海外実態調査 ←──────────────────→★ 新勧告取入れで求められる遮蔽計算法とデータの見直し範囲の決定			
(2) 新勧告取入れによる遮蔽線量評価法の見直し手順の開発	(1)で決定した見直し範囲に対して遮蔽計算用データの見直し手順検討 ←──────────────────→ 新勧告取入れを反映した遮蔽計算用データの作成(外注) ←──────────────────→			
(3) 新勧告を踏まえた遮蔽線量評価法の適用性拡張に係る研究	(1)で決定した見直し範囲に対して遮蔽評価法の適用性拡張の手順検討 ←──────────────────→ 新勧告を反映した簡易遮蔽計算コードの開発(外注) ←──────────────────→			
(4) 成果の公表	学会発表★			
(5) 事業の進捗管理等	研究班会議 ★	★	★	★
	人材育成活動(学会WG)★		年次報告★	★
	研究協力者による研究レビュー委員会 ★			★

4

研究概要(1) 遮蔽線量評価への新勧告取入れに係る海外対応調査

調査項目	概要 (主な成果)
海外で規制利用されるガンマ線遮蔽計算法の調査	米国で規制利用されるガンマ線遮蔽計算コードを調査 最新の遮蔽計算法とデータの仕様、及びV&V手法を確認
遮蔽安全評価における海外の新勧告取入れ実態調査	遮蔽国際会議に参加して、欧米の新勧告取入れの動向について実態調査 → 同会議が次年度に延期されたため、代わりに欧米の当局へ取入れ状況のアンケート調査を申し入れた。
計算仕様に対する受容性評価	上の調査で得られた遮蔽計算の仕様に対して、本研究の見直し対象として受け入れることが適切か、受容性を評価 (新勧告取入れに求められる遮蔽計算法とその使用データの見直し範囲を決定)
研究レビュー委員会による見直し範囲の確認と意見収集	放射線防護に係る法規と安全性向上の観点から、研究協力者らに幅広く意見を求め、見直し範囲が適切か討議した。

5

研究概要(2) 新勧告取入れによる遮蔽線量評価法の見直し手順の開発

新勧告に係る検討項目	小項目
遮蔽材料の遮蔽計算用データ整備 (ICRP Pub.116の線量換算係数に対応)	遮蔽材料の選定 各材料の組成・密度の見直し " 減弱係数の整備 " ビルドアップ係数を出力線量種類毎に整備
出力する線量種類の選定 線束から各線量への換算係数データ整備	<ul style="list-style-type: none"> ・実効線量 (ICRP116, 照射体系6種全て) ・皮膚等価線量(ICRP116、AP照射、男女別) ・眼の水晶体等価線量(ICRP116, AP照射) → 外部被ばく評価に関して、実用量の考慮検討 ・空気カーマ率 (ICRP74, <10MeV)
最新RI核種ライブラリのRI線源データ利用	ICRP Pub.107 (DECDC2)からRI核種のイールドを直接参照
高エネルギーガンマ線への対応	高エネルギーガンマ線(<30MeV)に対応(PET施設等想定) 光核反応による光中性子の線量寄与を考慮

6

研究概要(3)新勧告を踏まえた遮蔽線量評価法の適用性拡張研究

最新の線量計算法に係る検討項目	概要
新勧告に対応したガンマ線遮蔽計算コードの開発	(2)で整備した新勧告対応データを用いた遮蔽計算コードを開発する。次年度、実際に計算を行って妥当な結果が得られるか評価する。
下記について、遮蔽計算法の適用性拡張を試み、計算コードに取り込んで妥当性を確認する。	
高エネルギーガンマ線の光核反応による光中性子の線量計算	光中性子をガンマ線と分けて遮蔽計算用データを整備しておき、個別に線量寄与を計算して合算する。
特定の二重層遮蔽対応	次年度予定。コンクリートと鉄板等、特定の頻出材料を重ねた二重層遮蔽体の透過線量を計算する。
スラブ遮蔽に対する斜め透過線量計算	次年度予定。スラブ遮蔽体に対して、従来の垂直入射だけでなく、斜め方向に透過する場合の線量を計算する。

7

研究進捗(1)新勧告取入れによる適切な遮蔽計算法の見直し範囲決定

新勧告取入れの海外対応調査と専門家意見を踏まえて、遮蔽計算法とデータの見直し範囲を決定

大項目	中項目	概要	GUIのサポートツール
動作・開発環境	プラットフォーム、言語等	WindowsPC、オンプロミス設計、OpenMP対応、C系言語(C++)	—
計算入力作成	遮蔽体系入力	体系要素(線源・遮蔽体・線量評価点)の形状と座標を定義し、各要素に線源情報と材料情報を割り当てる。 体系要素の空間投影図を対話的に表示しながら入力	CGによる形状設定 体系の投影図表示
	材料情報入力	体積線源・遮蔽体に割り当てる材料情報(組成、密度、減弱係数、ビルドアップ係数(制動放射含む))を定義する。 任意の組成から成るカスタム材料を定義して、材料情報を自動生成	組込材料データ作成 カスタム材料データ作成
	線源情報入力	線源情報(RI核種、エネルギー毎放出率)を直接入力 または RI核種ライブラリから選択参照して読み込む 。 体積線源のメッシュ分割手法の選択(ガウス積分の採用)	線源データ作成 RI核種インポート
各入力データは、個別にファイルで管理し、再利用	ビルドアップ係数レファレンス 材料選択	散乱ビルドアップ計算する遮蔽体を、線源と線量評価点の間に引いた透過線上に存在する遮蔽体の中から選択する。 透過線上に存在する体系要素の情報を表示して、体系要素の位置関係や、使用される材料情報が想定どおりか確認する。	透過線の通過領域情報
	遮蔽計算法の適用性拡張	<ul style="list-style-type: none"> 高エネルギーγガンマ線に対応、光中性子の寄与考慮 特定の二重層遮蔽に対応 スラブ遮蔽の斜め透過に対応 	関係するデータの作成
計算出力表示	計算出力のサマリー	非衝突線フルエンス、各線量種類の出力、 計算に用いたデータや自動作成した情報の表示・グラフ化	—

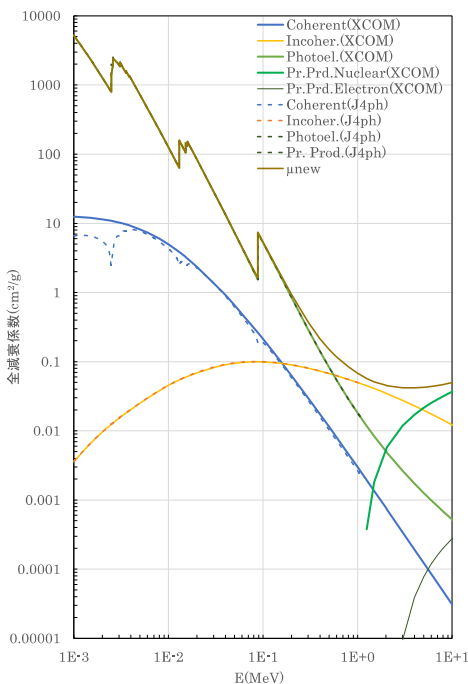
太字は、これまで利用されてきたQAD系の遮蔽計算コードで対応していない新設仕様

8

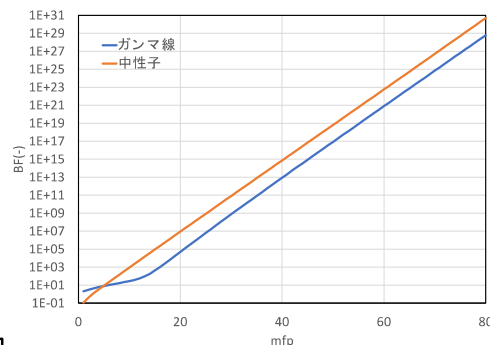
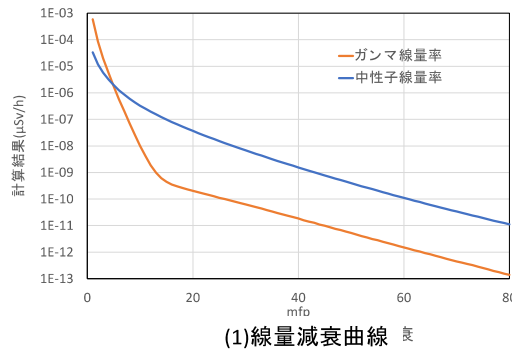
研究進捗(2)新勧告取入れによる遮蔽線量評価法の見直し手順の開発

新勧告に係る検討の小項目	進捗
遮蔽材料の選定 (組込材料リスト) 各材料の組成・密度の見直し // 減弱係数の整備 // ビルドアップ係数を線量種類毎に整備 // 光中性子の線量寄与を整備	実用性の高さから単元素6核種、混合物7種に決定 ・ 空気、水、コンクリ、鉛ガラス、アクリル樹脂、PE、土壌、SUS それらの組成・密度を決定し、根拠資料を作成 減弱係数のデータ整備了 (<30MeV) モンテカルロ法(PHITS-EGS)による計算手順の検討了 鉄と鉛について係数の整備了 (<30MeV、<80MFP) 中性子の線量寄与をガンマ線と分けてデータ整備。捕獲ガンマ線の寄与は一次ガンマ線の寄与と合算して扱う。
線束から各線量への換算係数データ整備	下記の勧告・標準を参照し、ガンマ線の換算係数データ整備了。 (ICRP 116) 実効線量、眼の水晶体及び皮膚の等価線量 (≤ 30MeV) (ICRP 74) 空気カーマ (≤ 10MeV) (IEC62387, JIS4345) 眼の水晶体評価に係る実用量Hp(3)
ICRP 107 (DECDC2ベース)からRI核種のイールドデータを直接参照してRI線源データに変換	今年度中に対応。 計算コードに対する線源等の入力データテーブル設計了。

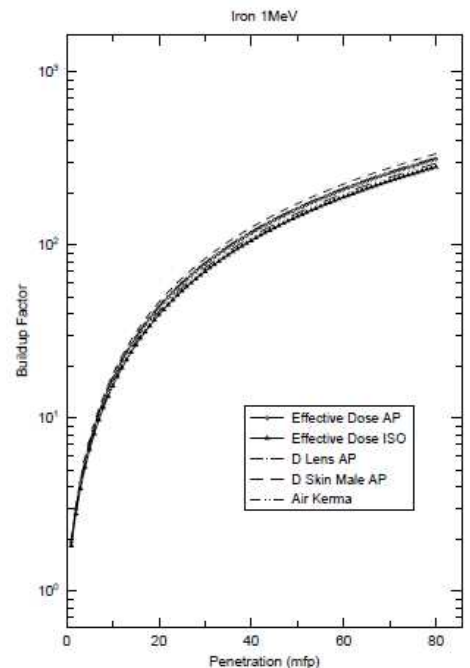
遮蔽計算用データの整備の例 (遮蔽材:鉄、または鉛)



μnew: 減弱係数の整備に使用した鉛の断面積(XCOM) → 吸収端を再現



30MeVのガンマ線に対する鉄のデータ



鉄に対する線量ビルドアップ係数 (PHITS-EGSによる計算、1MeVガンマ線、遮蔽厚<80mfp)

研究進捗(3) 新勧告に対応したガンマ線遮蔽計算コードの開発

	項目	詳細項目	進捗	備考
テキストベース (GUI)	計算入力ファイル読込	幾何形状	完了	直方体、球、円筒、組み合わせ立体
		線源	完了	点、直方体、球、円筒
		線量評価点	完了	任意点、2次元メッシュ、3次元メッシュ
	データライブラリ読込	減弱係数ファイル	完了	
		ビルドアップ係数ファイル	完了	
		換算係数ファイル	完了	眼の水晶体の被ばく評価に実用量の考慮が追加
		RI核種ライブラリ	今年度	
	エネルギー補間	材料組成ライブラリ	完了	
		減弱係数、ビルドアップ係数、換算係数	今年度	任意のエネルギー群構造に対してデータを内挿
	線量計算	線源分割	今年度	
		直達線の減弱計算	今年度	
		ビルドアップ係数の散乱寄与	今年度	
		線量計算	今年度	
結果出力	計算入力エコー	今年度		
	使用ライブラリデータ表示	今年度		
	計算結果表示	今年度	グラフ化、可視化は次年度	
グラフィック (GUI)	計算入力編集	幾何形状	完了	直方体、球、円筒、組み合わせ立体
		線源、及び線量評価点	次年度	
	計算結果可視化	2次元、3次元	次年度	
サポートツール			次年度	体系の簡易投影図表示のみ完了

れた線源のある遮蔽体系例¹¹

今年度の成果

- ・ (1) 遮蔽線量評価への新勧告取入れに係る海外対応調査の成果
 - ・ 新勧告取入れで求められる遮蔽計算法、及び使用データの見直し範囲の決定
- ・ (2) 新勧告取入れによる遮蔽線量評価法の見直し手順の開発の成果
 - ・ 新勧告に対応した遮蔽計算用データライブラリの整備（鉄及び鉛から整備、残りの材料については次年度）
 - ・ 高エネルギーガンマ線 (<30MeV) に対応。光核反応による中性子線量寄与を簡易的に考慮
- ・ (3) 新勧告を踏まえた遮蔽線量評価法の適用性拡張に係る研究の成果
 - ・ 新勧告に対応して適用性を拡張したガンマ線遮蔽計算コードの開発
 - ・ 現状、基本仕様に対してテキストベースの入出力による動作を確認(グラフィックスベースの仕様開発は次年度)
- ・ (4) 成果の公表
 - ・ 日本原子力学会2021年春の年会において概要と進捗を発表(2021年3月)
 - ・ 関連論文投稿: 二重層遮蔽に対応するガンマ線簡易透過線量計算法(The forward-transmission spectrum method)
- ・ (5) 事業の進捗管理等
 - ・ 眼の水晶体の外部被ばく評価、及び線量限度に関する講演会(2021年1月)
 - ・ 水晶体の等価線量算定に使用する実用量として、従来のHp(10)又はHp(0.07)に加えて、Hp(3)を法令に位置づけて算定可能にすべき。
 - ・ 研究協力者による研究レビュー委員会の開催(2020年12月及び2021年3月)
 - ・ 日本原子力学会放射線工学部会のワーキンググループを通じた人材育成活動(2020年12月)

今年度の自己評価

研究代表者による自己評価

評価の視点	自己評価	コメント
評価時点までの研究の実施が研究計画に沿って行われているか	1 計画を上回る 2. 概ね計画どおり 3 計画を達成できない 4 計画を達成できないが代替手段によって今年度の目標を達成した	2020年9月に予定されていた放射線遮蔽国際会議がCOVID-19のパンデミックにより2021年9月に延期されたため、同会議に参加して行う調査の一部が未達となった。ただし、その代替として、欧米の当局に対して電子メールによるアンケート調査の申し入れを行い、今年度の目標を概ね達成することができた。
今年度の進捗や達成度を踏まえ、次年度の研究計画に変更が必要か	1 必要ない 2. 軽微な変更が必要 3 大幅な変更が必要	上記のとおり、遮蔽国際会議が次年度に延期されたことから、改めて次年度に同会議に参加して補助的な実態調査を実施する。特に欧州主要国の動向について調査し、今年度に決定した遮蔽計算法とデータの見直し範囲が適切であることを確認する。 全体の研究計画に対する影響はない。

エフォート: 20%