

令和2年度放射線安全規制研究戦略的推進事業 -内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究-

事後評価用資料

(研究期間：平成29年度～令和2年度)

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
安全研究・防災支援部門 安全研究センター
原子炉安全研究ディビジョン リスク評価・防災研究グループ



(研究代表者) 高橋 史明

【全体概要】 内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究 (平成29年度～令和2年度、4年間)

【背景・目的】

- 国際放射線防護委員会(ICRP)の2007年勧告の国内の放射線規制への取入れに伴い、新しい実効線量係数に基づき、内部被ばくの防護基準値も改正
- 各事業所等でも2007年勧告に従い、核種の摂取量を推定して内部被ばく線量を評価

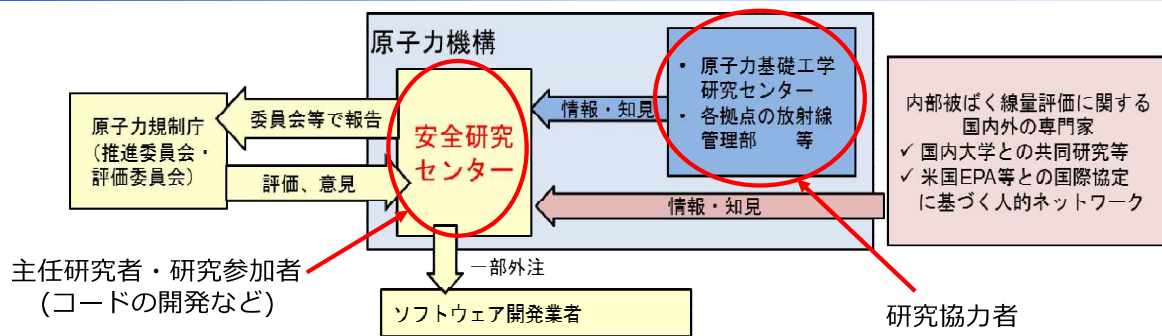
我が国の放射線規制への2007年勧告の取入れ、事業所等における内部被ばく防護に対し、有益な技術基盤となる線量評価コードを開発

【実施状況】 ロードマップに従い、当初の計画通りに進捗

実施項目	平成29年度	平成30年度	平成31/令和元年度	令和2年度
1) 線量係数計算機能の開発	ICRP刊行物の調査 計算機能の開発及び検証 基本機能の完成 ▲	機能の設計 機能の完成 ▲	ICRPの線量評価モデルの調査	
2) 核種摂取量推定機能の開発	機能のニーズ調査 解析法検討・概念設計	推定機能の開発 基本機能の完成 ▲	機能の検証 機能の完成 ▲	
3) コードの開発等		パラメータ設定法の検討	GUI等の開発 β版の完成 ▲	試用意見収集・改良 マニュアル整備等 コード完成、公開 ▲
各年度の達成状況	平成29年度：線量係数計算機能の基本機能の完成 平成30年度：線量係数計算機能の完成、核種摂取量推定機能の基本機能の完成 平成31/令和元年度：核種摂取量推定の完成、コードβ版の完成 令和2年度：コードの完成、管理・公開の体制を決定(見込み)			

【期待される成果】

- 空気中濃度限度等の内部被ばくの防護基準値の改正におけるICRPの新しい線量係数の検証
- 各事業所等における平常時や事故時のモニタリングに基づく線量評価に活用



主任研究者：高橋史明、研究参加者：真辺健太郎、佐藤薫(原子力機構 安全研究センター)

研究協力者：原子力機構 原子力基礎工学研究センター(1名)、
核燃料サイクル工学研究所及び原子力科学研究所の職員(3名)

内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究の体制図

- 主任研究者及び研究参加者：線量評価コードの開発を担当(原子力機構、安全研究センター)
- 研究協力者：原子力機構内で、最新の内部被ばく線量評価に関する研究の動向等の情報を入手(原子力基礎工学研究センター)、コードのユーザーとして想定される放射線モニタリングにおけるニーズ調査(主要拠点の放射線管理部に所属)
- 他に、専門知識を有する国内外の専門家に聞き取り調査や情報交換を適宜行い、線量評価コードの開発やその方針の妥当性を確認
- コードのプログラミング、GUIやグラフ表示機能の開発の一部については、ソフトウェア開発を専門とする業者へ外注し、業務を効率化
- 研究開発の状況や関連する情報については、定期的な会合の開催により、PO及びPO補佐と共有

3

【今年度の研究概要】 全体の実施内容及び達成目標

【実施内容】

- 昨年度に開発したコードのプロトタイプ (コードβ版) について、内部被ばく線量に関する知見を有する専門家より意見を聴取
- ICRP Publ. 141 (OIR* part 4)の線量評価モデルの実装
- コードβ版の改良及び操作マニュアルの整備
- 完成後のコードの公開や周知、普及・利用促進の方法などを検討
- ICRP2007年勧告に準拠する線量評価モデル・データの検討状況の情報を収集

*OIR : Occupational Intakes of Radionuclides (職業上における放射性核種の摂取)



【達成目標】 コードの完成、公開

概ね当初計画 (ロードマップ) の通りに研究を進捗

4

【対象者】

国内の大学、研究機関*1及び原子力機構*2

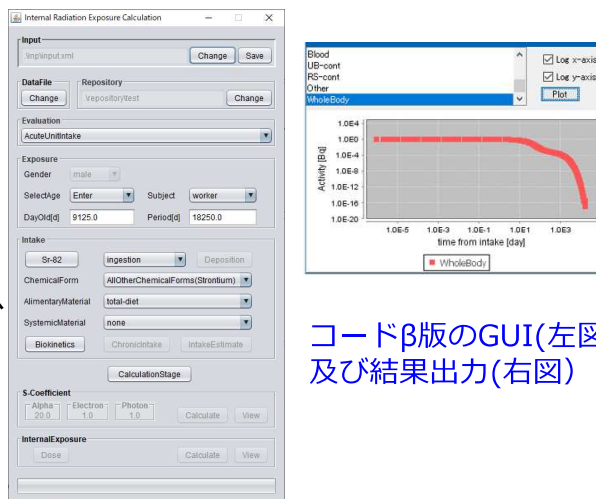
核種摂取量推定機能のニーズ調査等で協力を依頼し、内部被ばくモニタリングや線量評価に関する知見や経験を有する者

*1 弘前大学、長崎大学、福島県立医大、量研機構（放医研）

*2 研究協力者（放射線管理部）

【方法】

コードβ版を例題とともに試用提供し、グラフィカルユーザーインターフェース(GUI)の使い勝手、計算結果の表示や出力方法等について意見聴取



コードβ版のGUI(左図)及び結果出力(右図)



聴取した意見に基づいて、コードβ版を改良(P.7)

【線量評価モデルの実装】

コードβ版：ICRP Publ.134及びPubl.137に掲載されているRnを除く27元素について、職業被ばくにおける実効線量係数を正確に導出

刊行物(Publication)	掲載されている元素
ICRP Publ.134 (OIR part 2)	H, C, P, S, Ca, Fe, Co, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc
ICRP Publ.137 (OIR part 3)	Ru, Sb, Te, I, Cs, Ba, Ir, Pb, Bi, Po, (Rn,) Ra, Th, U



2020年に公開されたICRP Publ. 141 (OIR* part 4)に掲載されているランタノイド及びアクチノイド元素の線量評価モデルを新たに実装

刊行物(Publication)	掲載されている元素
ICRP Publ.141 (OIR part 4)	La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ac, Pa, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm

【関連調査】

- ICRPホームページやパブコメ用ドラフト、ICRPの活動に携わる専門家への問合せ等により情報収集
- 現行の内部被ばくに関する技術基準(RI数量告示)と上記の刊行物を照合し、放射性同位元素の種類(核種・化学形等)及び実効線量係数を比較

【コードの開発】

- 専門家より聴取した意見 (P.5) を反映して、コードβ版を改良
- ICRP Publ. 141が与える線量評価モデルへの対応を検証 (実効線量係数の正確な導出を検証)
- 操作マニュアルを整備し、コードを完成

【公開等に関する検討】

事業完了後におけるコードの公開や周知、普及・利用促進の方法及びそのロードマップについて、PO及びPO補佐、コードβ版を試用提供した専門家と意見交換

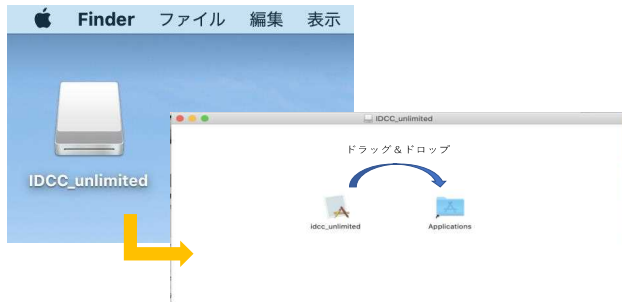
【今年度の進捗】 コードβ版に対する意見聴取

コードβ版に対する意見、コメント及び対応実施方針(主なもの)

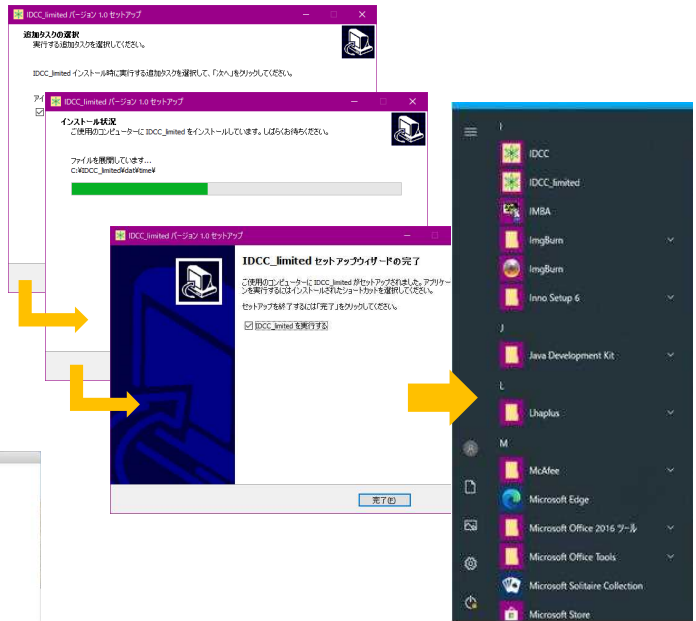
意見、コメント	対応実施方針
起動や核種変更に時間がかかる。	GUIの起動や操作に関する時間を軽減する。
情報を読みやすくしてほしい。(ウィンドウや表示される文字へのコメント)	文字を大きくする。ウィンドウの大きさを可変とする。
摂取時の年齢は、日齢だけではなく、月齢や年齢+月齢で入力できるとよい。	公衆被ばくの対象年齢を年、月、日で設定可能とする。
慢性摂取でも実効線量は必要な情報となるが、表示されない。	慢性摂取と摂取量推定でも実効線量係数をバックグラウンドで計算し、実効線量を表示させる。
一部の条件でしか選択する必要性がない項目は、必要なときのみ表示される方がよい。	不要な入力は非アクティブにする。(例、吸入摂取での消化管に関する入力)
摂取日や測定日は、年月日だけではなく最初の摂取からの経過日数でも入力できるとよい。カレンダー表示は便利である。	経過時間による設定、及びカレンダーによる年月日の指定を可能とする。
変更できるパラメータが多すぎて、ライトユーザーには分かりにくい。	専門知識に応じて、機能を制限する。
コードの導入・実行環境の準備が難しい。	インストーラを用意して導入を簡便化する。

【インストーラーの作成】

- 2種類のエディション
フル機能版、簡易版
- 3種類のOS
Windows、macOS、Linux



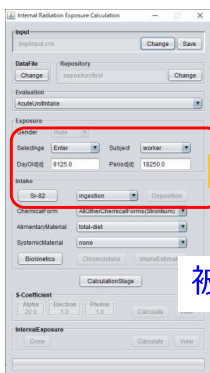
MacOS版インストール



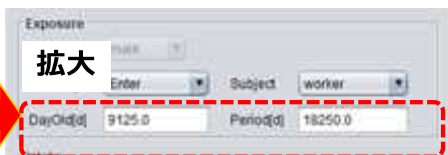
Windows版インストール
(自動的にスタートメニューへ登録)

様々なPC環境へ専門知識に応じたコードパッケージをインストール可能

【今年度の進捗】 コードの開発（GUIの改良）



摂取者の情報を入力する箇所



被ばく者の設定（コードβ版）

改良後

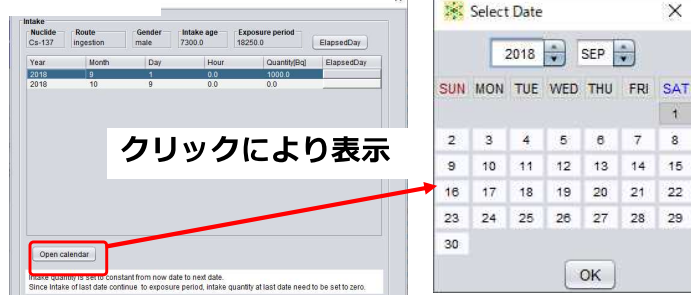


公衆被ばくに関して、摂取時の日齢
だけでなく、年齢でも設定可能に



摂取日や測定日を年月日で指定
核種摂取日の設定（コードβ版）

改良後



経過時間による設定、クリックで表示される
カレンダーによる年月日の指定も可能に

専門家より聴取した意見に基づくGUIの視認性・操作性の改善

【OIR part 4への対応】

OIR part 4 (ICRP Publ. 141)での掲載元素
→ ランタノイド・アクチノイド(25元素)

- 全身体内動態モデルデータの組込み(右図)
- コードによる実効線量係数を計算、最新のOIR Data Viewerの数値との比較検証(288核種、1,632種類の摂取条件)

```
<transfer>
  <intake-element>Pu</intake-element>
  <material-id>0</material-id>
  <kinetic-element>Pu</kinetic-element>
  <flag-kinetic>0</flag-kinetic>
  <gender>male</gender>
  <from-compartment-id>5800</from-compartment-id>
  <to-compartment-id>6002</to-compartment-id>
  <age-id>900</age-id>
  <value>
    <rate>700</rate>
    <halfife>-1</halfife>
    <fraction>-1</fraction>
  </value>
</transfer>
```

Puの全身体内動態モデルを表現するXMLデータ
(物質、コンパートメント名等をID番号で表記)

実効線量係数計算の検証結果(OIR part 4での掲載元素)

結果	ケース数
両者が一致	1,552
有効数字2桁の2桁目が±1*	80

*多数のステップを経る計算過程における端数処理によるもの

最新のOIR Data Viewer (ver. 4.01.04.19)収録核種の実効線量係数を再現

【今年度の進捗】 マニュアル整備

【整備したマニュアル類】

- 内部被ばく線量評価コード取扱説明書
- 内部被ばく線量評価コード（簡易版）取扱説明書
→ 以上、コードのエディションに応じた取扱説明書(操作マニュアル)
- 内部被ばく線量評価コードXML編集マニュアル
→ 今後公開される全身体内動態モデルの実装で活用(前頁参照)
- 例題集
→ 下記の例題を収録(コード操作などを提示)

線量係数計算の例題

核種	摂取条件
Sr-90	急性摂取(経口)
I-131	急性摂取(吸入)
Cs-137	慢性摂取(吸入、2回)

摂取量推定の例題

核種	摂取条件	モニタリング (方法、回数)
Cs-137	経口、2回	全身、7回
U-235	吸入、1回	肺モニタ及び尿分析、5回
I-131	吸入、3回	甲状腺モニタ、2回

コード操作、新しいデータの実装方法を含むマニュアルを整備

マニュアル整備を含め、内部被ばく線量評価コードを完成

【課題の整理】

- ・ コードの維持管理並びに更新
(ICRP2007年勧告に準拠する線量評価モデルやデータの一部が未公開)
- ・ コードの配付体制(受付窓口) や配付先(国内外の提供)
- ・ 普及や利用促進への取組

【当面の実施方針】 (JAEAにおけるコード開発、公開・提供の経験を参照)

- ・ JAEA開発コードとして登録(JAEAで管理)
- ・ 配布については規制庁と協議(条件付きで配布、例：β版に対する意見聴取で協力頂いた大学、研究機関)
- ・ 講習会開催による利用促進、より使いやすいコードの整備について、今後も継続して検討

関係機関などへの配布や公開の見通しを得た
→ **現状、P.18の評価委員会コメントへの対応**

【今年度の進捗】 線量評価モデルなどの調査

【ICRPによる線量評価モデルやデータの検討状況】

- ・ 刊行物の公開
ICRP Publication 143: Paediatric Reference Computational Phantoms
⇒ 令和2年10月に公開、成人以外の年齢群の比吸収割合(SAF)データの計算に利用
- ・ ドラフト文書に対する意見募集
OIR part 5 のドラフト文書に対する意見募集の開始(令和2年10月)
⇒ 作業者が37元素(下記)を摂取した場合の実効線量係数等を掲載予定

	掲載されている元素
OIR part 5	Be, F, Na, Mg, Al, Si, Cl, K, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Hf, Ta, W, Re, Os, Pt, Au, Hg, Tl, At, Fr

「RI数量告示」に掲載され、OIRシリーズに未掲載の元素： N*, O*, Ar*, Kr*, Xe*, Md
(*印：RI数量告示でサブマージョンのみ考慮)

【公開済の2007年勧告に準拠する実効線量係数の分析】

ICRP Publ.134 (OIR part 2), Publ.137(OIR part 3)及び Publ.141 (OIR part4)と

- 「RI数量告示」を照合し、放射性同位元素の種類(核種、化学形等)、実効線量係数を分析
- ・ 結果を技術報告書(JAEA-Review)として取りまとめ(「RI数量告示」第1欄にある放射性同位元素の種類との比較、第2欄の実効線量係数が顕著に増加する種類を提示)
 - ・ コード活用策を検討(例、OIRに含まれない半減期10分未満の核種の実効線量係数の計算)

○ 成果発表

・ 技術報告書

高橋史明、真辺健太郎、佐藤薫、ICRP2007年勧告に準拠する内部被ばく線量評価に用いる実効線量係数（JAEA-Review 2020-068）、**令和3年3月公開**

・ 国内学会

高橋史明、真辺健太郎、佐藤薫、ICRP2007年勧告に準拠する内部被ばく線量評価コード、第53回日本保健物理学会研究発表会（令和2年6月、オンライン開催）

高橋史明、真辺健太郎、田窪一也、佐藤薫、ICRP 2007年勧告に基づく内部被ばく線量評価コードの開発：コードの全体概要、日本原子力学会2021年春の年会（令和3年3月、オンライン開催）

○ ソフトウェア開発

ICRP2007年勧告に準拠する内部被ばく線量評価コード（**令和3年3月完成**）

【コードの開発】

- ・ 内部被ばく線量に関する知見を有する専門家より聴取した意見に基づいて、必要な計算機能を有し、操作性や利便性の高いコードを開発
- ・ ICRP Publ. 141 (OIR part 4)の線量評価モデルを実装し、実効線量係数の正確な導出を検証（今後公開されるデータの実装に係る見直し）
- ・ 操作マニュアルの整備

【公開等に関する検討】

- ・ コードの維持管理、配布に関する課題に対する解決策を提案するとともに、専門機関などへの配布や公開の見直しを得た（完成後、必要な準備を進捗）。

他、ICRP2007年勧告に準拠する線量評価モデル・データの検討状況の情報を収集するとともに、公開済の実効線量係数に係る分析(技術報告書を作成)

自己評価：概ね当初の計画通りに進捗

「平成29年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）」の公募要領において記載された本テーマに係る成果の活用策

- ・ 継続的に改良が検討される内部被ばく実効線量係数取り入れへの対応
- ・ 平常時・事故時の放射線防護における内部被ばく評価手法として活用



ICRP2007年勧告に基づく内部被ばく線量評価を可能とするコードの完成

- ・ 内部被ばく防護基準値（空气中濃度限度等）の見直しにおいて、**基礎となる実効線量係数の検証や導出を可能とする技術基盤**
- ・ 様々な放射性核種の摂取条件、モニタリングの遂行状況に対応して、放射性核種の摂取量、内部被ばく線量評価を可能とし、**事業所等における被ばく管理、事故時対応に有効な技術基盤**

自己評価：当初の目標を達成

17

【年次評価コメントへの対応】

【研究評価委員会 総合コメント】

内部被ばく線量評価コード（コード操作マニュアルを含む）の開発という目標は、期待通り達成できたものと判断する。特に、ICRP Pub.134及びPub.137で公表された実効線量係数を再現できることが確認されている点、及び専門家による意見を参考にβ版の操作性や利便性の改良が行われている点は高く評価できる。原子力規制庁と相談の上、今後の維持管理体制の整備に協力されたい。



- ・ 原子力機構で管理するための手続きを進捗中（開発コードとしての登録申請）
- ・ 原子力規制庁と協力し、コードの公開、利用普及促進（ホームページの整備による情報発信、コードの講習会開催など）に関する戦略を検討中
- ・ コード開発に関する研究成果を公表する論文を準備

18

【放射線規制への活用方針】

内部被ばく防護基準値（空气中濃度限度等）の見直しにおける活用

刊行物(Publication)	掲載されている元素
ICRP Publ.134 (OIR part 2)	H, C, P, S, Ca, Fe, Co, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc
ICRP Publ.137 (OIR part 3)	Ru, Sb, Te, I, Cs, Ba, Ir, Pb, Bi, Po, (Rn,) Ra, Th, U
ICRP Publ.141 (OIR part 4)	La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ac, Pa, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm

半減期10分以上の核種のみ、OIR Data Viewer に収録（Rnは特別な取り扱い）

OIR Data Viewer に収録されている核種数	OIR Data Viewer に収録されていない核種数	
	「RI数量告示」に掲載	「RI数量告示」に未掲載
566	49	126

開発したコードにより、国内で独自に検証可能

開発したコードにより、実効線量係数を国内で独自に導出可能

【放射線防護分野への活用方針】

事業所等における被ばく線量管理、放射線事故等の緊急時対応における線量評価へ活用

→ 必要な戦略として、コードの利用普及を促進（前ページ参照）

【参考資料】 研究経費の支出(平成29年度～令和2年度)

研究経費の支出

(単位：円)

年度	平成29年度	平成30年度	平成31/令和元年度	令和2年度	
経費合計	14,053,770	19,533,159	19,822,770	8,842,403	
直接経費	設備備品費	714,776	0	571,450	0
	消耗品費	1,533,588	1,945,836	249,150	40,260
	人件費	2,234,478	5,242,422	6,476,497	4,569,069
	謝金	0	50,000	0	50,000
	旅費	895,351	674,136	857,421	41,520
	外注費	5,400,000	7,020,000	6,930,000	2,090,000
	その他(学会参加費等)	32,400	93,113	163,767	11,000
間接経費	3,243,177	4,507,652	4,574,485	2,040,554	

再委託費等、他の項目の支出なし