

令和3年度放射線対策委託費(内部被ばく
線量評価コードの高度化及び運用・普及促進)事業
成果報告書

令和4年3月31日

国立研究開発法人
日本原子力研究開発機構

本報告書は、国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構が実施した令和3年度放射線対策委託費（内部被ばく線量評価コードの高度化及び運用・普及促進）事業の成果を
取りまとめたものです。

目次

第1章	はじめに	1
第2章	事業の背景及び実施計画	2
2.1	背景	2
2.1.1	開発したコードの概要	2
2.1.2	コード開発の過程で抽出、指摘された課題	3
2.2	実施計画	4
第3章	内部被ばく線量評価コードの高度化に関する情報収集	6
3.1	目的	6
3.2	国際放射線防護委員会の動向	6
3.2.1	刊行物の公開に関する状況	6
3.2.2	OIR part 5 ドラフト文書の調査	6
3.3	今後の課題	13
3.3.1	開発したコードの OIR part 5 ドラフト文書への対応	13
3.3.2	防護基準値見直しの課題及びコードの活用	14
3.4	まとめ	18
第4章	内部被ばく線量評価コードの運用・普及に関する検討	19
4.1	目的	19
4.2	コードの提供に係る体制及び構成	19
4.2.1	令和2年度末における方針	19
4.2.2	原子力機構におけるプログラム等の公開・提供体制に関する調査結果	20
4.2.3	コードの提供に係る限定条件	23
4.2.4	コードの提供に係る構成について	24
4.2.5	検討結果	27
4.3	コード簡易版の仕様に係る検討	28
4.3.1	MONDAL 及びグラフ検索フォームの調査結果	28
4.3.2	コード簡易版の仕様の検討結果	31
4.3.3	ウェブアプリ開発に係る技術調査結果及び採用する技術	33
4.4	まとめ	36
第5章	あとがき	37
	参考文献	38

- 付録 1 RI 数量告示と OIR part 5 ドラフト文書の化学形等の比較
- 付録 2 サブマージョンについて
- 付録 3 Publ. 107 に掲載されている半減期 10 分未満の核種の崩壊データ
- 付録 4 委員会会合及び外部発表
- 付録 5 学会等発表資料

第1章 はじめに

日本国内では、放射線や放射性物質等の利用による放射線障害の発生を防止するとともに、公共の安全を確保することを目的として、「放射性同位元素等の規制に関する法律」[1]（以下、「RI 規制法」とする。）が制定されている。また、放射線や放射性物質の利用を規制する法体系として、RI 規正法の下に政令、規則、告示が定められている。放射線規制に関する法体系は、放射線利用の多様化による実態とのずれの是正、国際放射線防護委員会（ICRP）がその時々を示す勧告の主旨を取り入れるため、度々改正されてきた。現在の国内における放射線規制は ICRP の 1990 年勧告 [2] の主旨を取り入れて制定されたものであるが、ICRP は 1990 年勧告に置き換わる 2007 年勧告 [3] を平成 19 年に公開した。そのため、原子力規制委員会の下に設置されている放射線審議会において、ICRP の 2007 年勧告を国内の放射線規制へ取り入れるための議論が進められている。

国内における放射線規制の中で、外部被ばくや内部被ばくによる放射線障害を防止するための防護基準値等については、告示「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」[4]（以下、「RI 数量告示」とする。）で定められている。このうち、内部被ばくに関する防護基準値として、RI 数量告示の別表第 2 及び別表第 3 で、作業者の防護に関する「空气中濃度限度」、公衆の防護に関する「排気中又は空气中の濃度限度」及び「排液中又は排水中の濃度限度」が定められている。RI 数量告示の別表第 2 では、核種と化学形等の組み合わせで決まる放射性同位元素の種類に応じて防護基準値が定められており、その基礎とした 1990 年勧告に準拠する実効線量係数が示されている。そのため、将来的に国内規制へ 2007 年勧告を取り入れた場合、RI 数量告示の実効線量係数も変更し、これに基づいて空气中濃度限度等の基準値も見直されることが想定される。また、事業所等では、2007 年勧告に準拠した内部被ばく線量評価法に基づいて、被ばく管理を遂行することとなる。

以上の動向を踏まえて、原子力規制庁は平成 29 年度に創設した放射線安全規制研究戦略的推進事業費 [5] において、5 つの重点テーマの一つとして、「内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究」を設定した。このテーマに対し、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」とする。）が平成 29 年度からの 4 か年で実施する研究計画を提案し、これが採択された [6]。同事業の成果として、原子力機構は 2007 年勧告に準拠した線量評価モデルやデータに従い実効線量係数を計算する機能、モニタリング結果に基づいて放射性核種の摂取量を推定する機能を開発し、両者を統合させるとともに操作性や利便性を向上させる機能を整備することで、内部被ばく線量評価コードを完成させた [7-10]。

一方、コードの開発過程で、当該研究テーマのプログラムオフィサー（PO）や評価委員会等より、未公開となっている線量評価モデルやデータへの対応、コードの普及等に関する指摘があった [7-10]。そこで、原子力規制庁は令和 3 年度放射線対策委託費により、コードの高度化及び運用・普及に向けた提供体制の構築を目的とした事業を遂行することとし、これを原子力機構が受託した。本報告書は、令和 3 年度放射線対策委託費（内部被ばく線量評価コードの高度化及び運用・普及促進）事業の成果を取りまとめたもので、本章に続く第 2 章で事業の背景及び実施計画を記し、第 3 章及び第 4 章で関連情報の収集と分析及び運用・普及に関する調査・検討結果、第 5 章で全体のまとめを述べる。

第2章 事業の背景及び実施計画

2.1 背景

2.1.1 開発したコードの概要

平成 29 年度の放射線安全規制研究戦略的推進事業費の公募では、重点テーマ「内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究」に関する成果活用方針として、「国内規制への実効線量係数取入れ」及び「平常時または事故時の放射線防護における内部被ばく評価」が示されていた [5]。そこで、平成 29 年度から令和 2 年度までの 4 か年の事業により、原子力機構は当該テーマの PO、PO 補佐等の助言、ICRP の刊行物や他のコードの調査結果等に基づいて、以下に示す機能を順次開発し、内部被ばく線量評価コードを完成させた [7-10]。

- ・線量係数を計算する機能（以下、「線量係数計算機能」とする。）
- ・核種摂取量を推定する機能（以下、「核種摂取量推定機能」とする。）
- ・ユーザーの操作性や利便性を鑑みた機能

このうち、線量係数計算機能については、2007 年勧告に準拠した線量評価モデルやデータに従い実効線量係数等を導出するもので、令和 2 年度までに ICRP の刊行物として公開済の線量評価モデルやデータ等を実装した。当該機能の妥当性については、職業人の放射性核種摂取シリーズ (Occupational Intakes of Radionuclides、以下「OIR」とする。) の part 2 (ICRP Publ. 134) [11]、part 3 (ICRP Publ. 137) [12] 及び part 4 (ICRP Publ. 141) [13] に掲載されている Rn (ラドン) を除く 53 元素の放射性同位元素に対する実効線量係数を導出し、最新の OIR Data Viewer [14] に含まれているデータと比較することで検証した [10]。

核種摂取量推定機能は、事業所等での内部被ばく線量評価での活用を目的として開発を進めた。ここで、原子力機構の他に大学や研究機関で内部被ばくモニタリングや線量評価に従事する専門家より有益な意見やコメントを聴取し、種々のモニタリング結果から、摂取条件や核種、経過時間等を考慮し、核種摂取量の推定、内部被ばく線量の評価を可能とさせた。特に、種々の摂取条件へ対応させるため、単独摂取、慢性摂取及び複数回摂取の各摂取パターンに対し、摂取量推定で重要となるモニタリングデータのフィッティング方法等を開発した。機能の妥当性は、欧州線量評価委員会 (EURADOS) の内部被ばく線量評価ガイドライン (IDEAS ガイドライン) [15] や国際原子力機関 (IAEA) が与える例題等 [16] を活用し、他のコードによる計算結果と比較することで検証した [9]。

以上の 2 つの機能を統合させるとともに、ユーザーの操作性や利便性を鑑みた機能を整備した。ここでは、線量評価用パラメータや核種の摂取条件、モニタリングの測定値等を入力するグラフィカルユーザーインターフェース (GUI) 画面を整備し、線量係数の評価値や核種の摂取量等をまとめた数表、体内や排泄物中の放射性核種量の時間推移を表すグラフを表示する機能を開発した。この過程で、線量評価コードの β 版を専門家に配付し、その試用に基づく意見やコメントに基づいて β 版を改良し、内部被ばく線量評価コードを完成させた [10]。

一方、開発を進めた期間を通じて、PO との会合、評価委員会、放射線審議会、専門家との意見交換の場で、今後の課題として、コードの高度化、公開や普及等が指摘された。

2.1.2 コード開発の過程で抽出、指摘された課題

令和 2 年度の放射線安全規制研究戦略的推進事業費「内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究」において、当該研究の進捗中に抽出、指摘されたコード完成後の課題を整理した [10]。その概要は下記のとおりである。

(1) コードの高度化

令和 3 年 3 月末の時点で、2007 年に準拠する線量評価モデルやデータのうち、以下のものが未公開であった。

- ・ OIR part 5 に掲載予定の元素に対する全身体内動態モデル（ドラフト文書 [17] は公開）
- ・ 成人以外の年齢群に対する比吸収割合（SAF）データ
- ・ 公衆被ばくに対する全身体内動態モデル

完成させたコードの線量係数計算機能については、平成 30 年度末の時点で全身体内動態モデルを構成するコンパートメント（臓器、組織等）名、物質の種類等を ID 番号で XML データにより表現し、移行係数データと合わせて実装する設計とした [8]。その後、令和 2 年度の事業で、OIR part 4 に掲載されている元素の全身体内動態モデルを実装し、正確に実効線量係数を導出することを検証するとともに、新規データの実装に関するマニュアルを整備した [10]。また、成人の SAF データに関しては変更が禁じられており、成人以外の年齢群に対するデータも同様のフォーマットで提供されることを想定して、コードを整備した。

以上のように、技術的な面では一定の知識を有する者によるコードの更新は可能な状況にあった。一方、ICRP による線量評価モデルやデータの公開スケジュールは不明確で、更新の時期も見通すことはできない。そのため、技術の伝承を鑑みて、効率性、合理性という観点から、2007 年勧告に準拠する線量評価モデルやデータが全て公開される期間は、原子力機構でコードを管理し、高度化を進めるとした [10]。

(2) コードの公開や普及

コードの利用普及、その前提となる公開についても、PO や専門家等より有益な意見やコメントがあった。その中で、利用希望者の専門知識を鑑みることの指摘が多くあった。具体的には、内部被ばく線量評価の専門家にとって、2007 年勧告に準拠する線量評価モデルやデータを確認、編集することは有用となる一方、提供する側が意図しないデータの改変による線量評価での利用に関する懸念が指摘された。そこで、専門知識に応じてエディションを設定させることで、コードを完成させた。さらに、多くの利用者が必要とする情報をより効率的に提供することで、普及が促進される可能性も示唆された。その提供方法として、提供者とユーザーの双方の利便性から、インターネットでコードを公開し、ウェブアクセスもしくはダウンロードにより入手する方法の提案があった。

コード提供に関しては、商用利用における対価の取得、国外提供で生じる輸出管理等への懸念がある一方、公募事業となる放射線安全規制研究戦略的推進事業による成果物を広く普及させることに対する指摘もあった。そこで、コードの著作権を有する原子力規制庁、多くのコードやプログラムを公開、提供している実績を持つ原子力機構で協力して、コードの公開や普及に関する検討を進めることとした [10]。

2.2 実施計画

前節に記したように、放射線安全規制研究戦略的推進事業費（平成 29 年度から令和 2 年度）で開発した内部被ばく線量評価コードについては、今後も RI 数量告示の改正に必要な作業員及び公衆に関する線量評価モデルやデータを実装し高度化する必要がある。また、維持管理、運用、普及、及びこれらを確実かつ効率的に進捗させる体制の構築等も必要となる。そこで、令和 3 年度の放射線対策委託費（内部被ばく線量評価コードの高度化及び運用・普及促進）事業により、下記の項目を進めることとした。

(1) コードの高度化へ向けた情報収集

今後公開される 2007 年勧告に準拠する線量評価モデルやデータへ対応するため、ICRP の関連する活動の進捗状況等の情報を収集する。また、検討中とされている下記の刊行物のドラフト文書が公開された場合、内容を把握、調査、分析し、その結果に基づいてコードで取り入れるべき情報、高度化への課題を具体的に抽出、整理する。

- ・職業人の放射性核種摂取シリーズ（Occupational Intakes of Radionuclides, OIR） part 5（線量係数と全身体内動態モデル）
- ・公衆の線量係数 part 1（線量係数と全身体内動態モデル）
- ・小児の標準ファントムを用いた内部被ばく線量評価のための比吸収割合（SAF）データ
- ・公衆の線量係数 part 2（線量係数と全身体内動態モデル）
- ・妊婦及び胎児のファントム

(2) コードの運用や普及

コードの公開や提供にあたっての課題を解決するとともに、実効性を高めるため、放射線防護及び内部被ばく線量評価に携わる専門家で構成する表 2-1 の内部被ばく線量評価コードの運用に関する検討委員会を設置することとした。同委員会では下記の検討を進め、その結果に基づいて、コードの提供に係る体制や構成の原案を作成するとともに、限定的な機能を有するコード簡易版の仕様を策定することとした。

- ・コード利用許諾の条件（利用者の専門レベル等）と審査方法
- ・コードの運用ルール（付与する技術的な制限を含む）
- ・コードの国外提供
- ・コードの維持管理
- ・試運用で見つかったコードの技術的な問題点・改善点
- ・多くの利用者に対して必要な情報を簡便に提供し、限定的な機能を有する簡易版のコード
- ・コード利用者のための講習会の企画

以下、第 3 章及び第 4 章に本事業の成果を報告する。

表 2-1 令和 3 年度 内部被ばく線量評価コードの運用に関する検討委員会

	氏 名	所 属
委員長	吉田 浩子	国立大学法人東北大学大学院薬学研究科 ラジオアイソトープ研究教育センター
委 員	高橋 知之	国立大学法人京都大学複合原子力科学研究所
〃	谷 幸太郎	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構放射線医学研究所 計測・線量評価部
〃	福田 直子	国立大学法人長崎大学原爆後障害医療研究所 アイソトープ診断治療学研究分野
〃	細田 正洋	国立大学法人弘前大学大学院保健学研究科 放射線技術科学領域
幹 事	高橋 史明	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 安全研究センター
事務局	真辺 健太郎	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 安全研究センター

第3章 内部被ばく線量評価コードの高度化に関する情報収集

3.1 目的

令和2年度までに完成させたコードについては、ICRPが既に刊行物として公開済の2007年勧告に準拠する線量評価モデル・データへ対応していることを検証していた[10]。一方、ICRPは2007年勧告に準拠する線量評価モデルやデータの検討を進めており、その結果を順次刊行物として公開する予定としている。近年、ICRPでは、ホームページ(HP)で公開予定の刊行物に関する検討状況を周知するとともに、パブリックコメントを募集する目的で刊行物のドラフト文書を公開するプロセスを採用している。そこで、ICRPのHP等を調査し、コードの高度化に関する情報を収集するとともに、RI数量告示における防護基準値の見直しを見据えて、国内で検討すべき課題の抽出やコードの活用策を検討する。

3.2 国際放射線防護委員会の動向

3.2.1 刊行物の公開に関する状況

ICRPの2007年勧告に準拠する内部被ばく線量評価モデルやデータについては、ICRPの第2専門委員会(Committee 2, C2)の下に設置されている内部線量係数に関する第95タスクグループ(TG95)、及び数学人体モデル及び放射線挙動に関する第96タスクグループ(TG96)で検討が進められている。これら2つのTGに関する最新の動向については、ICRPのHPで公開されている2021年5月に開催されたICRP C2のバーチャルミーティングの議事録で確認できる(令和4年3月現在)[18]。

この議事録では、TG95の活動に関して、ドラフト文書が公開されているOIR part 5が主委員会(Main Commission, MC)に承認され、2021年中に公開予定とされていた。しかしながら、2021年末(令和3年末)の時点で、OIR part 5は正式な刊行物として公開されていない。また、公衆の放射性核種の摂取に関する検討を進めるとし、刊行物としてEnvironmental Intakes of Radionuclides (EIR) part 1、part 2及びpart 3を公開する予定が記載されている。このうち、EIR part 1及びpart 2については、OIRシリーズで公開済みのpart 1からpart 4の内容を含み、EIR part 3はOIR part 5の内容を含むとされている。さらに、EIR part 3に続いて、妊娠中の女性、胚/胎児及び乳児(母乳で育てられている子供)に関する刊行物の公開も示唆されている。

一方、TG96の活動に関しては、小児のSAFのドキュメントの本文が2021年中にICRP C2のメンバーへ配付されるスケジュールが示されている。また、具体的な課題として、小児と成人のSAF(Publ. 133)[19]とのいくつかの不連続性、提案された解決策に関する記述がある。なお、EIRシリーズで公開が想定される実効線量係数の導出等においては、小児のSAFデータが必要不可欠となる。

3.2.2 OIR part 5 ドラフト文書の調査

令和4年3月現在、今後コードに実装すべき2007年勧告に準拠する線量評価モデル・データを含む刊行物の中で、OIR part 5のドラフト文書[17]がICRPのHPで公開されている(令和

2年（2020年）10月に公開、その後一部の内容は更新）。そこで、OIR part 5 ドラフト文書にある全身体内動態モデルの調査を進めた。また、ドラフト文書と RI 数量告示別表第 2 を照合し、考慮されている放射性同位元素の種類（核種と化学形等）を比較した。さらに、ドラフト文書では、体内で壊変する核種及びサブマージョンに関する取扱いが付録（ANNEX A）として掲載されており、この情報もコードの高度化や防護基準値の見直しに関係するため調査した。

(1) 元素

OIR シリーズでは、放射線防護上で重要な 28 元素、ランタノイド及びアクチノイドの実効線量係数等を part 2 から part 4 で掲載し、他の元素に関する実効線量係数等を OIR part 5 で掲載するとしていた。OIR part 5 ドラフト文書の本文では、公開済の OIR part 2 から OIR part 4 に含まれず、RI 数量告示で実効線量係数が掲載されている 38 元素が確認された。また、サブマージョンのみが考慮されている元素のうち、Ar、Kr 及び Xe がドラフト文書の付録（ANNEX A）に含まれ、RI 数量告示にない Ne も ANNEX A に掲載されている。

OIR シリーズへの元素の掲載状況を表 3-1 にまとめた。RI 数量告示に掲載され OIR シリーズに未掲載の元素はサブマージョンの N 及び O（Cl のサブマージョンは RI 数量告示で考慮されている一方で ANNEX A に未掲載）、原子番号が 101 の Md の 3 元素である。このうち、アクチノイドの Md は part 4 に含まれず、崩壊データを編集した Publ. 107 [20] も原子番号 100 以下の元素のみを対象としているため、2007 年勧告に準拠する全身体内動態モデル及び実効線量係数が与えられない可能性が高い。

表 3-1 OIR シリーズにおける元素の掲載状況

刊行物	各刊行物へ掲載されている（または該当する）元素
OIR part 2 (ICRP Publ. 134) 主要となる 14 元素 (その 1)	H, C, P, S, Ca, Fe, Co, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc
OIR part 3 (ICRP Publ. 137) 主要となる 14 元素 (その 2)	Ru, Sb, Te, I, Cs, Ba, Ir, Pb, Bi, Po, Rn, Ra, Th, U
OIR part 4 (ICRP Publ. 141) (ランタノイド及びアクチノイド)	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
OIR part 5 (ドラフト文書、本文) (上記以外の 38 元素)	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
OIR part 5 (ドラフト文書、ANNEX A) (サブマージョン)	Ne*, Ar, Kr, Xe

*RI 数量告示には未掲載

(2) 全身体内動態モデル

OIR part 5 ドラフト文書の本文に掲載されている 38 元素については、個別に全身体内動態モデルが与えられている。この中で、Hg に関しては、図 3-1 に示すように複雑なモデルとなっており、蒸気または二価、もしくは両者の混合物として、無機物の血液への表現を表している。一方で、他の元素のモデルは、これまでに公開されている元素と大きく異なるものではなく、特に Cl、Br 及び Fr の 3 元素は移行係数データの数値のみで表現される単純なモデルとなっている。他に、OIR part 5 ドラフト文書の付録（ANNEX B）では、摂取後に体内で崩壊して生成される系列核種の体内動態を表現するモデルの説明がある。

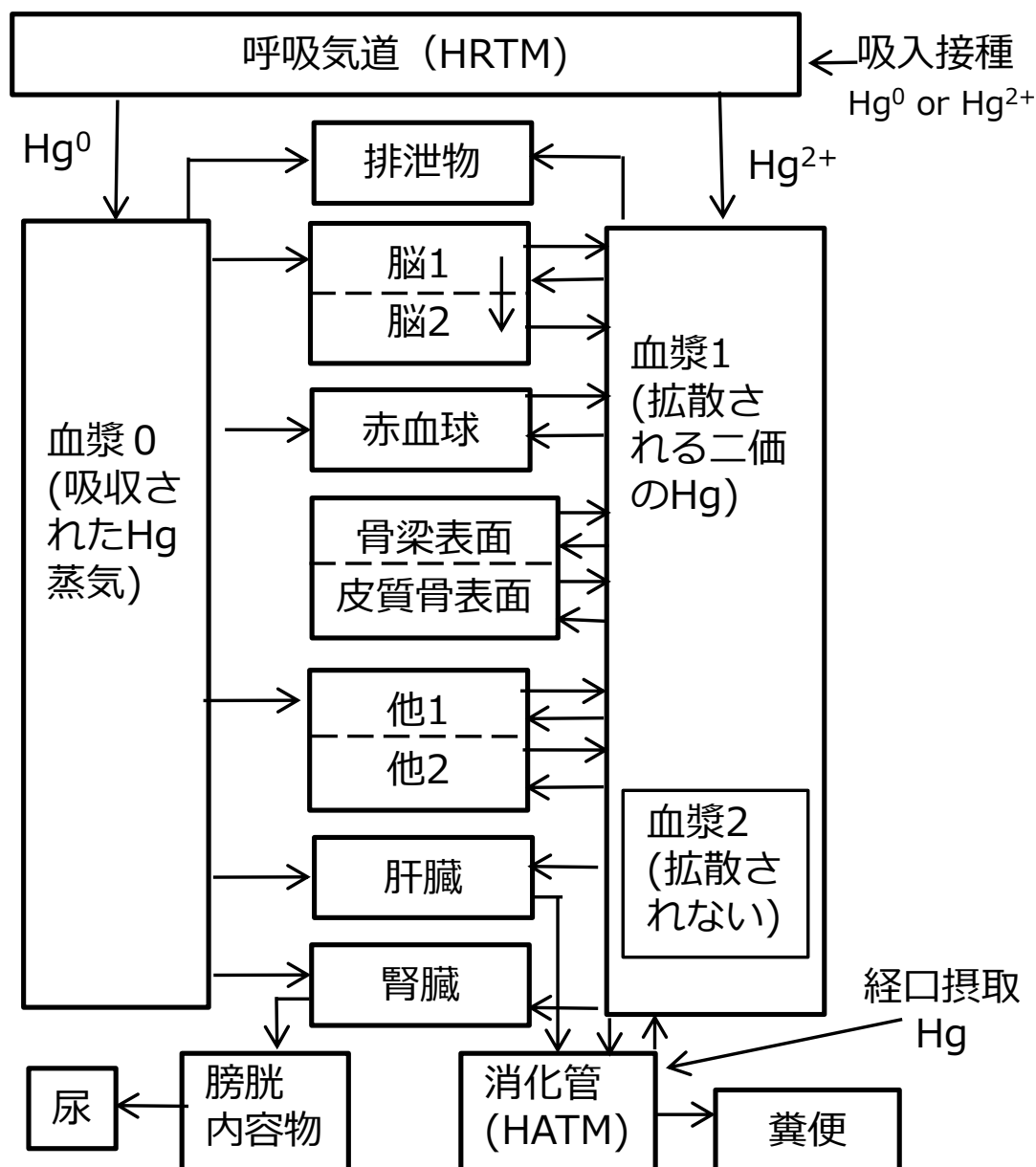


図 3-1 OIR part 5 ドラフト文書中の Hg に対する全身体内動態モデル
(参考文献 [17] の Fig.を和訳、一部改変)

(3) 放射性同位元素の種類

RI 数量告示別表第 2 においては、核種と化学形等の組み合わせで決まる放射性同位元素に応じて、防護基準値が与えられている。そこで、OIR part 5 ドラフト文書の本文に含まれる元素について、核種及び化学形等の調査を進めた。

① 核種

OIR part 5 ドラフト文書では、本文中の 38 元素については、Publ. 107 に掲載されている半減期 10 分以上の核種が掲載されている。そこで、Publ. 107 に崩壊データが掲載されている核種について、OIR part 5 ドラフト文書及び RI 数量告示への掲載の有無を表 3-2 及び表 3-3 に取りまとめた。

表 3-2 Publ. 107 に崩壊データが掲載されている核種における RI 数量告示及び OIR part 5
ドラフト文書への掲載状況 (1) -Be から Rb-

元 素	RI 数量告示に掲載		RI 数量告示に未掲載
	OIR に掲載	OIR に未掲載	
ベリリウム (Be: Z = 4)	⁷ Be, ¹⁰ Be		
フッ素 (F: Z = 9)	¹⁸ F		¹⁷ F
ナトリウム (Na: Z = 11)	²² Na, ²⁴ Na		
マグネシウム (Mg: Z = 12)	²⁸ Mg	²⁷ Mg	
アルミニウム (Al: Z = 13)	²⁶ Al	²⁸ Al, ²⁹ Al	
ケイ素 (Si: Z = 14)	³¹ Si, ³² Si		
塩素 (Cl: Z = 17)	^{34m} Cl, ³⁶ Cl, ³⁸ Cl, ³⁹ Cl	³⁴ Cl, ⁴⁰ Cl	
カリウム (K: Z = 19)	⁴⁰ K, ⁴² K, ⁴³ K, ⁴⁴ K, ⁴⁵ K	³⁸ K	⁴⁶ K
スカンジウム (Sc: Z = 21)	⁴³ Sc, ⁴⁴ Sc, ^{44m} Sc, ⁴⁶ Sc, ⁴⁷ Sc, ⁴⁸ Sc, ⁴⁹ Sc		^{42m} Sc, ⁵⁰ Sc
チタン (Ti: Z = 22)	⁴⁴ Ti, ⁴⁵ Ti	⁵¹ Ti	⁵² Ti
バナジウム (V: Z = 23)	⁴⁷ V, ⁴⁸ V, ⁴⁹ V, ⁵⁰ V	⁵² V, ⁵³ V	
クロム (Cr: Z=24)	⁴⁸ Cr, ⁴⁹ Cr, ⁵¹ Cr	⁵⁵ Cr	⁵⁶ Cr
マンガン (Mn: Z = 25)	⁵¹ Mn, ⁵² Mn, ^{52m} Mn, ⁵³ Mn, ⁵⁴ Mn, ⁵⁶ Mn	⁵⁷ Mn	^{50m} Mn, ^{58m} Mn
ニッケル (Ni: Z = 28)	⁵⁶ Ni, ⁵⁷ Ni, ⁵⁹ Ni, ⁶³ Ni, ⁶⁵ Ni, ⁶⁶ Ni		
銅 (Cu: Z = 29)	⁶⁰ Cu, ⁶¹ Cu, ⁶⁴ Cu, ⁶⁷ Cu	⁵⁷ Cu, ⁶² Cu, ⁶⁶ Cu	⁵⁹ Cu, ⁶⁹ Cu
ガリウム (Ga: Z = 31)	⁶⁵ Ga, ⁶⁶ Ga, ⁶⁷ Ga, ⁶⁸ Ga, ⁷⁰ Ga, ⁷² Ga, ⁷³ Ga		⁶⁴ Ga, ⁷⁴ Ga
ゲルマニウム (Ge: Z = 32)	⁶⁶ Ge, ⁶⁷ Ge, ⁶⁸ Ge, ⁶⁹ Ge, ⁷¹ Ge, ⁷⁵ Ge, ⁷⁷ Ge, ⁷⁸ Ge		
ヒ素 (As: Z = 33)	⁶⁹ As, ⁷⁰ As, ⁷¹ As, ⁷² As, ⁷⁴ As, ⁷⁶ As, ⁷⁷ As, ⁷⁸ As	⁶⁸ As, ⁷⁹ As	
セレン (Se: Z = 34)	⁷⁰ Se, ⁷² Se, ⁷³ Se, ^{73m} Se, ⁷⁵ Se, ⁷⁹ Se, ⁸¹ Se, ^{81m} Se, ⁸³ Se	⁷¹ Se, ^{77m} Se	^{83m} Se, ⁸⁴ Se
臭素 (Br: Z = 35)	⁷⁴ Br, ^{74m} Br, ⁷⁵ Br, ⁷⁶ Br, ⁷⁷ Br, ⁸⁰ Br, ^{80m} Br, ⁸² Br, ⁸³ Br, ⁸⁴ Br	⁷⁸ Br, ^{84m} Br	⁷² Br, ⁷³ Br, ^{76m} Br, ^{77m} Br, ^{82m} Br, ⁸⁵ Br
ルビジウム (Rb: Z = 37)	⁷⁸ Rb, ⁷⁹ Rb, ⁸¹ Rb, ^{81m} Rb, ⁸² Rb, ⁸³ Rb, ⁸⁴ Rb, ^{84m} Rb, ⁸⁶ Rb, ⁸⁷ Rb, ⁸⁸ Rb, ⁸⁹ Rb	⁷⁷ Rb, ⁸⁰ Rb, ⁸² Rb, ⁹⁰ Rb	^{78m} Rb, ^{86m} Rb, ^{90m} Rb

表 3-3 Publ. 107 に崩壊データが掲載されている核種における RI 数量告示及び OIR part 5
ドラフト文書への掲載状況 (2) -Rh から Fr-

元 素	RI 数量告示に掲載		RI 数量告示に未掲載
	OIR に掲載	OIR に未掲載	
ロジウム (Rh: Z = 45)	⁹⁷ Rh, ^{97m} Rh, ⁹⁹ Rh, ^{99m} Rh, ¹⁰⁰ Rh, ¹⁰¹ Rh, ^{101m} Rh, ¹⁰² Rh, ^{102m} Rh, ^{103m} Rh, ¹⁰⁵ Rh, ^{106m} Rh, ¹⁰⁷ Rh	⁹⁸ Rh, ¹⁰⁶ Rh	⁹⁴ Rh, ⁹⁵ Rh, ^{95m} Rh, ⁹⁶ Rh, ^{96m} Rh, ^{100m} Rh, ¹⁰⁴ Rh, ^{104m} Rh, ¹⁰⁸ Rh, ¹⁰⁹ Rh
パラジウム (Pd: Z = 46)	⁹⁸ Pd, ⁹⁹ Pd, ¹⁰⁰ Pd, ¹⁰¹ Pd, ¹⁰³ Pd, ¹⁰⁷ Pd, ¹⁰⁹ Pd, ¹¹¹ Pd, ¹¹² Pd		⁹⁶ Pd, ⁹⁷ Pd, ^{109m} Pd, ¹¹⁴ Pd
銀 (Ag: Z = 47)	¹⁰¹ Ag, ¹⁰² Ag, ¹⁰³ Ag, ¹⁰⁴ Ag, ^{104m} Ag, ¹⁰⁵ Ag, ¹⁰⁶ Ag, ^{106m} Ag, ^{108m} Ag, ^{110m} Ag, ¹¹¹ Ag, ¹¹² Ag, ¹¹³ Ag, ¹¹⁵ Ag,	^{105m} Ag, ¹⁰⁸ Ag, ^{109m} Ag, ¹¹⁰ Ag, ^{111m} Ag, ^{113m} Ag	⁹⁹ Ag, ^{100m} Ag, ^{102m} Ag, ^{104m} Ag, ¹¹⁴ Ag, ¹¹⁶ Ag, ¹¹⁷ Ag,
カドミウム (Cd: Z = 48)	¹⁰⁴ Cd, ¹⁰⁵ Cd, ¹⁰⁷ Cd, ¹⁰⁹ Cd, ^{111m} Cd, ¹¹³ Cd, ^{113m} Cd, ¹¹⁵ Cd, ^{115m} Cd, ¹¹⁷ Cd, ^{117m} Cd, ¹¹⁸ Cd		¹⁰¹ Cd, ¹⁰² Cd, ¹⁰³ Cd, ¹¹⁹ Cd, ^{119m} Cd
インジウム (In: Z = 49)	¹⁰⁷ In, ¹⁰⁸ In, ^{108m} In, ¹⁰⁹ In, ¹¹⁰ In, ^{110m} In, ¹¹¹ In, ¹¹² In, ^{112m} In, ^{113m} In, ^{114m} In, ¹¹⁵ In, ^{115m} In, ^{116m} In, ¹¹⁷ In, ^{117m} In, ^{119m} In	^{109m} In, ^{111m} In, ¹¹⁴ In, ¹¹⁸ In, ¹¹⁹ In	¹⁰³ In, ¹⁰⁵ In, ¹⁰⁶ In, ^{106m} In, ^{118m} In, ¹²¹ In, ^{121m} In
スズ (Sn: Z = 50)	¹⁰⁸ Sn, ¹⁰⁹ Sn, ¹¹⁰ Sn, ¹¹¹ Sn, ¹¹³ Sn, ^{113m} Sn, ^{117m} Sn, ^{119m} Sn, ¹²¹ Sn, ^{121m} Sn, ¹²³ Sn, ^{123m} Sn, ¹²⁵ Sn, ¹²⁶ Sn, ¹²⁷ Sn, ¹²⁸ Sn	^{125m} Sn	¹⁰⁶ Sn, ^{127m} Sn, ¹²⁹ Sn, ¹³⁰ Sn, ^{130m} Sn
ハフニウム (Hf: Z = 72)	¹⁷⁰ Hf, ¹⁷² Hf, ¹⁷³ Hf, ¹⁷⁴ Hf, ¹⁷⁵ Hf, ^{177m} Hf, ^{178m} Hf, ^{179m} Hf, ^{180m} Hf, ¹⁸¹ Hf, ¹⁸² Hf, ^{182m} Hf, ¹⁸³ Hf, ¹⁸⁴ Hf	¹⁶⁹ Hf	¹⁶⁷ Hf
タンタル (Ta: Z = 73)	¹⁷² Ta, ¹⁷³ Ta, ¹⁷⁴ Ta, ¹⁷⁵ Ta, ¹⁷⁶ Ta, ¹⁷⁷ Ta, ^{178m} Ta, ¹⁷⁹ Ta, ¹⁸⁰ Ta, ¹⁸² Ta, ^{182m} Ta, ¹⁸³ Ta, ¹⁸⁴ Ta, ¹⁸⁶ Ta	¹⁷⁸ Ta	¹⁷⁰ Ta
タングステン (W: Z = 74)	¹⁷⁷ W, ¹⁷⁸ W, ¹⁷⁹ W, ¹⁸¹ W, ¹⁸⁵ W, ¹⁸⁷ W, ¹⁸⁸ W, ¹⁹⁰ W	^{179m} W, ^{185m} W	
レニウム (Re: Z = 75)	¹⁷⁸ Re, ¹⁷⁹ Re, ¹⁸¹ Re, ¹⁸² Re, ^{182m} Re, ¹⁸³ Re, ¹⁸⁴ Re, ^{184m} Re, ¹⁸⁶ Re, ^{186m} Re, ¹⁸⁷ Re, ¹⁸⁸ Re, ^{188m} Re, ¹⁸⁹ Re	¹⁸⁰ Re, ¹⁹⁰ Re	^{190m} Re
オスミウム (Os: Z = 76)	¹⁸⁰ Os, ¹⁸¹ Os, ¹⁸² Os, ¹⁸³ Os, ^{183m} Os, ¹⁸⁵ Os, ¹⁸⁶ Os, ^{189m} Os, ¹⁹¹ Os, ^{191m} Os, ¹⁹³ Os, ¹⁹⁴ Os, ¹⁹⁶ Os	^{190m} Os	
白金 (Pt: Z = 78)	¹⁸⁴ Pt, ¹⁸⁶ Pt, ¹⁸⁷ Pt, ¹⁸⁸ Pt, ¹⁸⁹ Pt, ¹⁹⁰ Pt, ¹⁹¹ Pt, ¹⁹³ Pt, ^{193m} Pt, ^{195m} Pt, ¹⁹⁷ Pt, ^{197m} Pt, ¹⁹⁹ Pt, ²⁰⁰ Pt, ²⁰² Pt		
金 (Au: Z = 79)	¹⁸⁶ Au, ¹⁹⁰ Au, ¹⁹¹ Au, ¹⁹² Au, ¹⁹³ Au, ¹⁹⁴ Au, ¹⁹⁵ Au, ¹⁹⁶ Au, ^{196m} Au, ¹⁹⁸ Au, ^{198m} Au, ¹⁹⁹ Au, ²⁰⁰ Au, ^{200m} Au, ²⁰¹ Au	^{195m} Au, ²⁰² Au	¹⁸⁷ Au, ^{193m} Au
水銀 (Hg: Z = 80)	^{191m} Hg, ¹⁹² Hg, ¹⁹³ Hg, ^{193m} Hg, ¹⁹⁴ Hg, ¹⁹⁵ Hg, ^{195m} Hg, ¹⁹⁷ Hg, ^{197m} Hg, ^{199m} Hg, ²⁰³ Hg	²⁰⁶ Hg	¹⁹⁰ Hg, ²⁰⁵ Hg, ²⁰⁷ Hg
タリウム (Tl: Z = 81)	¹⁹⁴ Tl, ^{194m} Tl, ¹⁹⁵ Tl, ¹⁹⁶ Tl, ¹⁹⁷ Tl, ¹⁹⁸ Tl, ^{198m} Tl, ¹⁹⁹ Tl, ²⁰⁰ Tl, ²⁰¹ Tl, ²⁰² Tl, ²⁰⁴ Tl	²⁰⁶ Tl, ²⁰⁷ Tl, ²⁰⁸ Tl, ²⁰⁹ Tl, ²¹⁰ Tl	¹⁹⁰ Tl, ^{190m} Tl, ^{206m} Tl
アスタチン (At: Z = 85)	²⁰⁵ At, ²⁰⁷ At, ²⁰⁸ At, ²⁰⁹ At, ²¹⁰ At, ²¹¹ At	²¹⁵ At, ²¹⁶ At, ²¹⁸ At	²⁰⁴ At, ²⁰⁶ At, ²¹⁷ At, ²¹⁹ At, ²²⁰ At
フランシウム (Fr: Z = 87)	²¹² Fr, ²²² Fr, ²²³ Fr	²¹⁹ Fr, ²²⁰ Fr, ²²¹ Fr	²²⁴ Fr, ²²⁷ Fr

また、ドラフト文書の本文に掲載されている元素の核種の中で、 ^{110}In 、 ^{178}Ta 及び ^{182}Re の 3 核種は RI 数量告示で半減期の違いで識別されているが、Publ. 107 では表 3-4 のように一方が核異性体として定義されている。

表 3-4 Publ. 107 に掲載されている核種のうち RI 数量告示で名称の異なるもの

Publ. 107 での核種名	RI 数量告示での名称
^{110}In	^{110}In (物理的半減期が 4.90 時間のもの)
$^{110\text{m}}\text{In}$	^{110}In (物理的半減期が 1.15 時間のもの)
^{178}Ta	^{178}Ta (物理的半減期が 9.31 分のもの)
$^{178\text{m}}\text{Ta}$	^{178}Ta (物理的半減期が 2.2 時間のもの)
^{182}Re	^{182}Re (物理的半減期が 2.67 日のもの)
$^{182\text{m}}\text{Re}$	$^{182\text{m}}\text{Re}$ (物理的半減期が 12.7 時間のもの)

現在の RI 数量告示別表第 2 の第 2 欄及び第 3 欄にある実効線量係数は、ほとんどの核種で Publ. 68 [21] の数値を参照している。また、1990 年勧告を放射線安全基準へ取り入れる際の RI 数量告示の改正において、既に防護の対象としていた核種その他、当時の国内での調査研究に基づき、高エネルギー加速器施設等で発生が想定される核種を含めた [22-26]。ここで、参照した調査研究の知見や成果は Publ. 107 の編集でも参照されており [27,28]、OIR part 5 ドラフト文書に含まれ、RI 数量告示に未掲載の核種は下記の 3 つに限定される (半減期は Publ. 107 [20])。

・ $^{190\text{m}}\text{Re}$ (3.2 時間) ・ ^{190}Hg (20.0 分) ・ ^{206}At (30.6 分)

OIR シリーズは Publ. 107 に掲載されている核種のうち、半減期 10 分以上のものを対象として実効線量係数等を与えている。ここで、OIR part 5 ドラフト文書本文に含まれる 38 元素について、RI 数量告示に掲載されている半減期 10 分未満の核種が 59 個存在する。他に、下記の 5 つの核種は RI 数量告示に掲載されているが、崩壊データが Publ. 107 でも与えられていない (表 3-3 に含まれていない)。

・ ^{116}In ・ $^{180\text{m}}\text{Ta}$ ・ ^{176}W ・ $^{183\text{m}}\text{W}$ ・ ^{177}Re

また、OIR part 5 ドラフト文書本文に含まれる 38 元素について、Publ. 107 に掲載されている一方、RI 数量告示に含まれていない半減期が 10 分未満の核種も 79 個存在する。これらの核種のほとんどは、質量数が各元素の中で大きい、または小さいことが確認できる。

② 化学形等

・ 吸入摂取

エアロゾル粒子の吸入摂取に関して、血液への吸収タイプを表す Type F、Type M または Type S の何れかに通常は分類される。この分類に関しては、ICRP のサポートガイダンス [29] で議論が進められ、OIR シリーズでは以下のように明示された。

- ・ Type F は急性摂取の 30 日後において、理想的な環境下での血液への吸収割合が、一定の吸収速度 0.069 d^{-1} (生物学的半減期 10 日に相当) を持つ仮想的な物質による吸収量と比較して、同じ期間で大きくなる場合が該当する。
- ・ Type S は急性摂取の 180 日後において、理想的な環境下での血液への吸収割合が、一定の吸収速度 0.001 d^{-1} (生物学的半減期 700 日に相当) を持つ仮想的な物質による吸収量と比

較して、同じ期間で小さくなる場合が該当する。

- Type M は、Type F と Type S の間に位置付けられ、吸収タイプの割り当ての情報がない場合を想定している。多くの元素で特定されない化学形等もここに含まれ、OIR では「デフォルトの物質」と表現している。

OIR part 5 ドラフト文書の本文に掲載されている 38 元素の約 2/3 となる 26 元素に対し、血液への吸収タイプとして Type F を明確なエビデンスなしに推測してはならないと注意書き (NB) がある。化学形等が明確に与えられている元素は、Al、Ni、Se、Ag、Cd、W、Au 及び Hg の 8 元素のみに限定される。特に、Al 及び Ni に関しては、表 3-5 及び表 3-6 に示す通り、新しい知見の反映により多くの化学形等が考慮されている。

表 3-5 RI 数量告示及び OIR part 5 ドラフト文書のエアロゾル吸入で考慮されている Al の化学形等

経路	化学形等	吸収タイプ
RI 数量告示	不特定の化合物	Type F
	酸化物、水酸化物、炭化物、ハロゲン化物、硝酸塩及び金属 Al	Type M
OIR part 5 ドラフト文書	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F
	金属 Al	Type M
	酸化物、フッ化物、ボーキサイト、塩酸塩、硫酸塩、他の特定されないすべての化学形 (default)	Type S

表 3-6 RI 数量告示及び OIR part 5 ドラフト文書のエアロゾル吸入で考慮されている Ni の化学形等

経路	化学形等	吸収タイプ
RI 数量告示	不特定の化合物	Type F
	酸化物、水酸化物及び炭化物	Type M
OIR part 5 ドラフト文書	塩化ニッケル、硫酸塩、一硫化物及び亜硫化物	Type F
	金属ニッケル、default	Type M
	酸化物	Type S

一方、約 8 割に当たる 30 元素では、一つの血液への吸収タイプに“Default”の標記のみが与えられている。この中で、Na、K、Sc、As、Rb、Pt、Tl 及び Fr の 8 元素を除く 22 元素に関しては、RI 数量告示では複数の吸収タイプを考慮して、実効線量係数や濃度基準値が与えられている。そのため、正式な刊行物において、より詳細に化学形等が明記、あるいは追加される可能性もある。他に、ガス、気体の吸入摂取に関し、OIR part 5 ドラフト文書では従来の Ni 及び Hg の 2 つの元素に加えて、Cl (塩素ガス)、Br (臭素ガス) 及び At (アスタチンガス) も新たに考慮されている。

・経口摂取

多くの元素では、全ての化学形等に一つの実効線量係数を適用することが示唆されている。ただし、Al、Si、Ni、As 及び Pt の 5 元素については、現在の RI 数量告示で全ての化学形等へ一つの実効線量係数を適用しているが、OIR part 5 ドラフト文書では複数の実効線量係数が与えられている。一方、Hg は RI 数量告示で複数の実効線量係数が与えられているが、OIR part 5 ドラフト文書では全ての化学形等に一つの実効線量係数を適用するとされている。

付録 1 として、RI 数量告示及び OIR part 5 ドラフト文書の化学形等の比較をまとめた。

(4) サブマージョン核種

OIR part 5 ドラフト文書では、ANNEX A としてガスのサブマージョンに対する作業者の実効線量を計算するための係数が与えられている。この ANNEX A では、RI 数量告示にない Ne の 2 核種 (^{19}Ne 及び ^{24}Ne) 及び ^{43}Ar が含まれている。一方、RI 数量告示及び Publ. 107 に含まれる ^{10}C 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{16}N 、 ^{14}O 、 ^{15}O 、 ^{19}O 及び $^{34\text{m}}\text{Cl}$ の 8 核種については、ドラフト文書の ANNEX A へ掲載されていない。さらに、RI 数量告示別表第 2 でサブマージョン核種として考慮されている ^{90}Kr 、 $^{125\text{m}}\text{Xe}$ 及び ^{139}Xe の 3 つの核種については、ドラフト文書の ANNEX A のみならず、Publ. 107 にも含まれていない。

ICRP は、半無限球状の環境に分布した気体・ガス状の核種による外部被ばくに対し、実効線量等を評価するための線量率係数データ（単位：(Sv/h)/(Bq/m³)）を Publ. 144 [30] として公開した。ただし、RI 数量告示に掲載されている核種のうち、Publ. 107 に含まれない 3 核種 (^{90}Kr 、 $^{125\text{m}}\text{Xe}$ 及び ^{139}Xe) に対しては、線量率係数データを与えていない。また、OIR part 5 ドラフト文書 Annex A で与えられているデータを導出した計算体系は下記の天井や壁、床を含む 3 種類の作業環境（オフィス、研究室及び倉庫）を模擬 [31] したもので、Publ. 144 にある環境中の公衆外部被ばくに対する換算係数を導出した半無限球状の環境とは異なる。他に、 β 線被ばくによる実効線量への寄与の大きな皮膚の線量を計算するモデルについても、Publ. 144 とは異なっていることが確認できる。

・ オフィス	Size: 5.8 (m) × 5.8 (m) × 3.0 (m)	Volume: 100.92 m ³
・ 研究室	Size: 10 (m) × 20 (m) × 3.0 (m)	Volume: 600 m ³
・ 倉庫	Size: 15 (m) × 15 (m) × 5.3 (m)	Volume: 1192 m ³

付録 2 として、ドラフト文書 ANNEX A の日本語訳を記載し、サブマージョン核種一覧をまとめた。

3.3 今後の課題

3.3.1 開発したコードの OIR part 5 ドラフト文書への対応

OIR part 5 ドラフト文書に掲載されている全身体内動態モデルが公開された場合、順次コードへ実装する必要がある。全身体内動態モデルは、核種の体内における動態を移行元、移行先のコンパートメント、両者間の移行係数（単位：d⁻¹）で与えることが想定されるが、多くの元素で実装済のモデルとほぼ同等の構造を持つことを確認した。この中で、図 3-1 に示す Ag の全身体内動態モデルについては、化学形を考慮した移行が与えられているため、化学形に応じたフラグを立てる等の対応が必要になる可能性がある。

体内で崩壊した子孫核種の取り扱いについて、OIR part 5 ドラフト文書の ANNEX B で与えられている。ただし、その内容は OIR part 1 (Publ. 130) [32] で既に説明されており、新たに追加される核種に対しても現状のコードで対応できると考えられる。また、Publ. 107 で提供される核種の崩壊データを利用する場合、改変しないことが条件とされているため [20]、OIR part 5 ドラフト文書に含まれる元素の核種の崩壊データは既に実装されている。

この他、2021 年 5 月に開催された ICRP C2 のバーチャルミーティングの議事録では、公衆

被ばくに関する線量評価モデルやデータの検討状況が示されている [18]。ここでは、公衆被ばくに関する刊行物シリーズ (EIR シリーズ) については、OIR シリーズの内容を踏襲することも想定される。また、成人以外の SAF データについては、Publ. 133 [19] の成人に対するデータと同様に改変が許可されない可能性が高い。ただし、年齢群の考慮等、成人の SAF データとの差異に留意し、データの実装やプログラムの改変を行うことが想定される。

3.3.2 防護基準値見直しの課題及びコードの活用

令和 2 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費 (内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究) で、開発したコードの防護基準値の見直しにおける活用の検討を進めた [10]。また、公開済みの OIR シリーズ (part 2 から part 4) の調査結果等については、JAEA 報告書 (JAEA-Review 2020-068) [33] として令和 3 年 3 月に公開した。そこで、OIR part 5 ドラフト文書の調査結果を踏まえて、防護基準値の見直しの課題並びにコードの活用策を改めて検討した。

(1) 現行の内部被ばく評価法に係る技術的基準 (RI 数量告示)

現在の RI 数量告示で、放射性同位元素の種類が明らかで、かつ一種類である場合の濃度限度を与える別表第 2 は、下記のように 6 つの欄で構成されている [4]。

- ・ 第 1 欄 放射性同位元素の種類 (核種、化学形等)
- ・ 第 2 欄 吸入摂取した場合の実効線量係数 (mSv/Bq)
- ・ 第 3 欄 経口摂取した場合の実効線量係数 (mSv/Bq)
- ・ 第 4 欄 空气中濃度限度 (Bq/cm³)
- ・ 第 5 欄 排気中又は空气中濃度限度 (Bq/cm³)
- ・ 第 6 欄 排液中又は排水中濃度限度 (Bq/cm³)

また、放射性同位元素の種類が明らかで、かつ、当該放射性同位元素の種類が別表第 2 に掲げられていない場合の空气中濃度限度等については、下記の 4 つの欄で構成される別表第 3 で与えられている [4]。

- ・ 第 1 欄 放射性同位元素の区分 (α 線放出の有無、半減期)
- ・ 第 2 欄 空气中濃度限度 (Bq/cm³)
- ・ 第 3 欄 排気中又は空气中濃度限度 (Bq/cm³)
- ・ 第 4 欄 排液中又は排水中濃度限度 (Bq/cm³)

何れも放射性同位元素の種類や区分に応じて、3 つの濃度限度 (空气中濃度限度、排気中又は空气中濃度限度及び排液中又は排水中濃度限度) が制定されている。これら別表のフォーマットは、平成 11 年 4 月に放射線審議会基本部会が公開した技術的指針 [22] で定められた。また、日本原子力研究所が 2000 年 (平成 12 年) に公表した JAERI-Data/Code 2000-001 [34] 及び JAERI-Data/Code 2000-033 [26] の中で、RI 数量告示の別表第 2 及び第 3 表と同じデータを含む数表が掲載されており、空气中濃度限度の算出方法等の説明がある。そこで、これらの技術的指針及び報告書を調査し、今後の技術的基準の見直し作業を想定し、課題を抽出するとともに、コードの活用策等を検討した。

(2) 放射性同位元素の種類または区分

RI 数量告示の別表第 2 では、核種及び化学形等の組み合わせで決まる放射性同位元素の種類に応じて、空气中濃度限度等が定められている。また、サブマージョンを除いて、第 2 欄及び第 3 欄で空气中濃度限度等の導出の基礎となる実効線量係数が掲載されており、そのほとんどが 1990 年勧告に準拠した作業者の放射性核種の摂取による線量係数等をまとめた Publ. 68 を参照している。

放射性核種について、OIR シリーズでは Publ. 107 に崩壊データが掲載されている半減期 10 分以上の核種に対する実効線量係数等が公開されている。そのため、開発したコードにより実効線量係数の数値を検証したうえで、これを参照して空气中濃度限度等を定めることができる [10]。また、ICRP が実効線量係数を与えない半減期 10 分未満の核種についても、コードに崩壊データが実装されているため、国内で独自に実効線量係数を導出することができる。なお、サブマージョン核種を除き、Publ. 107 に崩壊データが掲載されている半減期 10 分未満の核種数は 307 個で、このうち 107 個が RI 数量告示に掲載されている。付録 3 として、Publ. 107 に崩壊データが掲載されている半減期 10 分未満の核種を一覧表としてまとめた。

平成 11 年 4 月に放射線審議会基本部会が公開した指針では、原則として当時の技術的基準で規定されている核種及び Publ. 68 に掲載されている核種を現行の RI 数量告示別表第 2 の掲載対象としていた。ここで、現行の RI 数量告示別表第 2 への掲載核種のうち、表 3-7 にある 15 核種は Publ. 107 でも未掲載となっている。

表 3-7 RI 数量告示に含まれ Publ. 107 に掲載されていない核種一覧

核種	半減期 [35]*1	壊変後の核種[35]*1,*2	崩壊様式 [35]*1	Publ. 38
⁸⁴ Y	4.6 s	⁸⁴ Sr	EC, β ⁺	
^{97m} Nb	52.7 s (60 s)	⁹⁷ Nb (⁹⁷ Nb)	IT (IT)	○
¹¹⁶ In	14.10 s	¹¹⁶ Sn: >9.99E-1, ¹¹⁶ Cd: 6.00E-4	β ⁻ , EC	
¹⁴⁶ Ce	13.52 m	¹⁴⁶ Pr	β ⁻	
¹⁵⁸ Ho	11.3 m	¹⁵⁸ Dy	EC, β ⁺	
^{180m} Ta	>1.2E+15 y (8.1 h)	¹⁸⁰ Ta (¹⁸⁰ Hf: 8.70E-1, ¹⁸⁰ W: 1.30E-1)	IT (EC, β ⁻)	○
¹⁷⁶ W	2.5 h (2.3 h)	¹⁷⁶ Ta (¹⁸⁰ Ta)	EC, β ⁺ (EC, β ⁺)	○
^{183m} W	5.2 s	¹⁸³ W	IT	
¹⁷⁷ Re	14 m (14.0 m)	¹⁷⁷ W (¹⁷⁷ W)	EC, β ⁺ (EC, β ⁺)	○
¹⁹⁷ Ir	5.8 m	¹⁹⁷ Pt	β ⁻	
²²⁹ Ac	62.7 m	²²⁹ Th	β ⁻	
²³¹ Np	48.8 m	²³¹ U: 9.80E-1, ²²⁷ Pa: 2.00E-2	EC, β ⁺ , α	
²⁵⁶ Cf	12.3 m	SF, ²⁵² Cm: <1.00E-8	SF, α	
²⁵⁷ Md	5.52 h (5.2 h)	²⁵⁷ Fm: 8.50E-1, ²⁵³ Es: 1.50E-2, SF: <1.00E-2 (²⁵⁷ Fm: 9.00E-1, ²⁵³ Es: 1.00E-1)	EC, β ⁺ , α, SF (EC, β ⁺ , α)	○
²⁵⁸ Md	51.5 d (55 d)	²⁵⁴ Es, SF: <3.00E-3 (²⁵⁴ Es)	α, SF (α)	○

*1 カッコ内は Publ. 38 の崩壊データ [36]

*2 斜字は安定核種、: 以下の数値は生成割合 (有効数字 3 桁)

表 3-7 の崩壊データは崩壊図を確認できる Table of Radioisotopes (8th edition) [35] を参照しているが、IAEA が公開している最新の評価済核構造データファイル ENSDF [37] のデータと大きな差異はない。また、^{97m}Nb、^{180m}Ta、¹⁷⁶W、¹⁷⁷Re、²⁵⁷Md 及び ²⁵⁸Md については、崩壊データを取りまとめた以前の刊行物の Publ. 38 に掲載されている [36]。そこで、これら 6 核種については、Publ. 38 の崩壊データを表 3-7 にカッコ書きで付記した。この中で、Publ. 38 と Table of Radioisotopes (8th edition) の間で ^{180m}Ta の崩壊データに大きな差異が確認されたが、Publ. 38 では ¹⁸⁰Ta 及び ^{180m}Ta の崩壊データは以下のように与えられている。

- ・ ¹⁸⁰Ta 半減期：1.0E+13 y、生成核種：¹⁸⁰Hf、崩壊様式：EC
- ・ ^{180m}Ta 半減期：8.1 h、生成核種：¹⁸⁰Hf-87%及び¹⁸⁰W-13%、崩壊様式：EC, β⁻

Publ. 38 にある ^{180m}Ta の崩壊データは、Publ. 107 に掲載されている ¹⁸⁰Ta のデータ（半減期：8.152 h、生成核種：¹⁸⁰Hf-86%、¹⁸⁰W-14%、崩壊様式：EC, β⁻）と近く、Table of Radioisotopes (8th edition) でも、¹⁸⁰Ta の崩壊データは Publ. 107 とほぼ同じものとなっている。RI 数量告示別表第 2 の実効線量係数を参照している Publ. 68 においても、これら 2 つの核種の半減期は Publ. 38 と同じ値が記されている。一方で、Publ. 38 の ¹⁸⁰Ta と同様に長半減期 (>1.2E+10¹⁵ y) を持つ ^{180m}Ta が Table of Radioisotopes (8th edition) [35] (IAEA の ENSDF では、^{180m}Ta の半減期は>7.1E+10¹⁵ y [37]) で確認されるが、Publ. 107 には ¹⁸⁰Ta の核異性体は存在しない。以上より、Publ. 38 (RI 数量告示) で ^{180m}Ta とされていた核種は Publ. 107 では ¹⁸⁰Ta と扱われ、長半減期を持つとされていた ¹⁸⁰Ta の崩壊データは Publ. 107 に掲載されていないと考えられる。このように、表 3-4 に示した半減期で識別されている核種その他、現状の RI 数量告示から Publ. 107 で名称が変更されている核種が存在する可能性もあり、今後の防護基準値の見直しでは注意が必要となる。

なお、表 3-7 の 15 核種に関しては、崩壊データが開発したコードに含まれていない。さらに、Publ. 107 の核種崩壊データの利用にあたっては、改変も認められていない。そのため、今後の RI 数量告示の見直しで、現行の掲載核種を含める方針が示された場合、15 核種の崩壊データを別途用意し、これを読み込む方法を検討する必要がある。

RI 数量告示別表第 3 においては、放射性同位元素が α 線放出の有無（2 区分）及び物理的半減期の長さ（4 区分）の組合せにより、8 つの区分が与えられている。

- α 線放出の有無
 - ・ α 線を放出する放射性同位元素
 - ・ α 線を放出しない放射性同位元素
- 物理的半減期
 - ・ 物理的半減期が 10 分未満のもの
 - ・ 物理的半減期が 10 分以上 1 日未満のもの
 - ・ 物理的半減期が 1 日以上 30 日未満のもの
 - ・ 物理的半減期が 30 日以上のもの

JAERI-Data/Code 2000-001 [34] 及び JAERI-Data/Code 2000-033 [26] では、RI 数量告示別表第 3 と同じ数値を持つ表が与えられている。ここでは、空气中濃度限度等に関しては、各区分に該当する核種に対する値のうち、最も厳しい条件となる数値が掲載されたという説明があり、各区分での該当核種を確認できる [26]。

現行の RI 数量告示別表第 2 の化学形等については、Publ. 68 の付属書 E に掲載されている経口摂取の線量係数の計算に用いた化合物、及び付属書 F の作業者についての吸入摂取線量係数の計算に用いた化合物に基づいて定義されている [22, 26]。そのため、今後の改正でも Publ. 68 に置き換わる OIR シリーズを参照して、化学形等が見直されることが想定される。なお、OIR シリーズでは、実効線量係数を与えている一方で、化学形等が明示されていない摂取条件（エアロゾル粒子の吸入における吸収タイプ）がある。RI 数量告示別表第 3 の放射性同位元素の区分で、化学形等が明示されていない条件が最も厳しい値を与える可能性もある。

(3) 空气中濃度限度

RI 数量告示別表第 2 の第 4 欄及び別表第 3 の第 2 欄に掲載されている空气中濃度限度は、作業者の放射性核種の摂取による内部被ばく防護のための基準値となる。そのため、2007 年勧告を国内の放射線安全規制に取り入れた場合、OIR シリーズの実効線量係数等を参照して、空气中濃度限度が見直されることとなる。現行の空气中濃度限度と同じ値を与える表を含む JAERI-Data/Code 2000-001 [34] では、Publ. 68 に掲載された実効線量係数（付属書 B 及び付属書 C）に基づく空气中濃度の算出方法として、以下のプロセスが記載されている。今後の RI 数量告示の空气中濃度限度の見直しで同様の方法を採用し、呼吸率や作業条件、算出される空气中濃度の有効数字が提示された場合、開発したコードへ簡単なアルゴリズムを追加することで、効率的な作業の進捗が期待できる。

- ・ 粒子状物質及び可能性または反応性ガス及び蒸気状物質に対する濃度

空气中濃度 (Bq/m³)

$$= 1 \text{ (mSv/週)} / [\text{線量係数 (mSv/Bq)} \times \text{呼吸率 (cm}^3/\text{時間)} \times \text{作業時間 (時間/週)}]$$

ここで、線量係数 (mSv/Bq) : 粒子状物質 (AMAD: 5 μm)、可溶性または反応性ガス及び蒸気状物質に対する吸入摂取による線量係数 (第 2 欄に掲載)

呼吸率 (cm³/時間) : 作業者の呼吸率、1.2 × 10⁶ (cm³/時間)

作業時間 (時間/週) : 作業時間、40 (時間/週)

サブマージョンによる不活性ガス等に対する空气中濃度限度を与える核種については、第 2 欄及び第 3 欄は空欄となっている。一方、JAERI-Data/Code 2000-001 では、Publ. 68 の付属書 D のデータ等を用いて、以下のように空气中濃度を算定した経緯が確認される [34]。

- ・ 不活性ガス等に対する濃度

空气中濃度 (Bq/m³)

$$= 1 \text{ (mSv/週)} / [\text{線量率係数 ((mSv/時間) / (Bq/cm}^3)) \times \text{作業時間 (時間/週)}]$$

ここで、線量率係数 ((mSv/時間) / (Bq/cm³)) : 不活性ガス等に対する線量率係数

作業時間 (時間/週) : 作業時間、40 (時間/週)

Publ. 68 の付属書 D では、付属書 A (ガス及び上記の取扱い) の中で、クラス SR-0 (不溶性ガスでかつ非反応性: (呼吸気道で) 無視できる沈着) とされたガスや蒸気に関する線量率係数が掲載されている。また、JAERI-Data/Code 2000-001 より、付属書 D に含まれていない一方で掲載対象となった核種に関して、Publ. 68 を参照して半無限空間に一様分布した核種

による外部照射及び肺中の放射性ガスによる被ばくを考慮して、線量率を国内で独自に算出した経緯が確認される [34]。さらに、具体的な方法として、外部照射による線量率係数は米国の Federal Guidance Report No.12 [38] の Table 11.4 及び Fig. 15 のデータに基づく計算、肺中の放射性ガスによる肺の等価線量率は Bailey らの方法 [39] に基づき Jarvis らによる LUDEP [40] による計算も示されている。

OIR part 5 ドラフト文書の ANNEX A にあるサブマージョン核種に対する線量率係数データは、3.2.2 節に記したように作業環境を模擬して導出されており、Publ. 68 や Publ. 144 で考慮されている半無限空間に分布した核種による被ばく体系とは異なる。また、肺中の放射性ガスによる線量については、2007 年勧告に準拠して導出した解析例を現時点では確認できていない。そのため、現行の RI 数量告示の制定で考慮した被ばく条件を引き続き採用して、2007 年勧告に準拠して不活性ガス等の空气中濃度限度を算出する場合、国内で独自に線量率係数を整備する必要がある。さらに、Publ. 107 にデータが掲載されていない ^{90}Kr 、 $^{125\text{m}}\text{Xe}$ 及び ^{139}Xe については、参照すべき崩壊データの調査や整備も必要となる（付録 2 の付表 2-1、Table of Radioisotopes (8th edition) [35] 中の ^{90}Kr 、 $^{125\text{m}}\text{Xe}$ 及び ^{139}Xe の崩壊データを掲載）。

3.4 まとめ

令和 4 年 3 月現在、職業被ばく（作業者の放射性核種の摂取）による内部被ばく線量評価に対し、54 元素の全身体内動態モデルや実効線量係数等が OIR part 2 から part 4 で公開されている。このうち、ICRP が特別な取扱いをしている Rn を除く 53 元素の核種については、開発したコードで実効線量係数を正確に導出することを既に検証していた [10]。一方、ICRP による 2007 年勧告に準拠した線量評価モデルやデータの開発や検討は継続しており、今後もコードへ順次公開される線量評価モデル・データを実装する必要がある。本事業では、残りの元素に対するモデル等を含む OIR part 5 もドラフト文書の調査結果も踏まえて、内部被ばく評価の技術的基準（RI 数量告示の別表）の見直しに関して、今後の検討課題の抽出、コードの高度化や活用策の検討を進めた。

ICRP は OIR part 1 で示した方針 [32] に基づいて、半減期が 10 分以上の核種のみ 2007 年勧告に準拠した内部被ばく線量評価に用いる実効線量係数を提供している。一方、RI 数量告示では半減期 10 分未満の核種の摂取に対しても、空气中濃度限度等を定めている。開発したコードは、半減期 10 分未満の核種を含めて、Publ. 107 の崩壊データを実装している。そのため、Publ. 107 に掲載されている半減期 10 分未満の核種に関しては、国内で独自に 2007 年勧告に準拠する実効線量係数を算出し、空气中濃度限度等を制定することは可能である。一方で、現行の RI 数量告示に掲載され、Publ. 107 に崩壊データのない 15 核種を引き続き掲載対象とする場合、評価済みの核データライブラリに基づいて崩壊データを整備する必要がある。サブマージョンによる不活性ガス等に対する空气中濃度限度値については、現行の基準値で考慮した被ばく体系を継続して採用する場合、基礎データを 2007 年勧告に準拠する線量評価モデルや手法に基づいて整備する必要がある。

他に、開発した線量評価コードへ簡単なアルゴリズムを追加することで、空气中濃度限度の算出を効率的、かつ高い信頼性を持って進めることが期待できる。

第4章 内部被ばく線量評価コードの運用・普及に関する検討

4.1 目的

令和2年度の放射線安全規制研究戦略的推進事業で完成させた内部被ばく線量評価コードについては、将来的なコードの更新を見据えた維持管理体制、今後の公開や提供にあたっての利用許諾条件、普及促進の方法等を検討する必要性が指摘された[10]。そこで、2.2節に述べたとおり、放射線防護及び内部被ばく線量評価に携わる専門家で構成する「内部被ばく線量評価コードの運用に関する検討委員会」を設置し、コードの提供に係る体制及び構成の構築について検討することとした。

また、令和2年度までに開発した内部被ばく線量評価コードは、計算の都度、モデルやデータを参照して複雑な処理を逐次実行するため、利用にあたっては計算機に相応の処理能力が求められる。一方で、モデルやデータの編集や複雑な摂取条件の設定を必要としない簡易的な事前評価や事後評価、及び大学における講義等の内部被ばく線量評価に関する教育等では、より簡便に利用できるツールが求められる。そこで、ICRPの既定条件のみ考慮可能なコード簡易版を今後開発する計画を立案し、本年度は基本的な仕様の検討を進めた。この検討にあたっては、事業の効果を高めることを目的として、上記委員会において意見交換を行うこととした。

4.2 コードの提供に係る体制及び構成

コードの提供に係る体制及び構成（提供のためのHP等）については、まず、原子力機構における規程類やシステム、先行例を調査した。調査結果を基に体制の基本案を作成して第1回検討委員会において審議し、これを受けて検討結果を取りまとめ、第2回検討委員会において了承を得た。本節では、コードの提供に係る体制及び構成について調査した内容及び検討結果について記す。

4.2.1 令和2年度末における方針

令和2年度までの事業で、コードの公開・維持管理や普及・利用促進の方法及びその計画について、事業のPO及びPO補佐、β版を試用提供した専門家と意見交換を行い、以下のとおり方針をまとめた。

コードの維持管理体制については、今後公開される線量評価モデル・データの実装によるコードの更新が必須であるものの、モデル等の公開時期及び更新作業の時期が見通せない状況にあった。一方で、開発主体である原子力機構では、自身で開発コードやデータベース等を管理、公開するための体制が整備されている。以上の点を鑑み、効率性や合理性の観点から、コードの更新が必要な期間においてコードの開発主体である原子力機構が管理することとした。

コードの公開及び普及・利用促進については、原子力機構において整備されているコードの提供制度を活用するとしつつも、提供のための条件や商用利用への対応については、引き続き検討することとした。

4.2.2 原子力機構におけるプログラム等の公開・提供体制に関する調査結果

原子力機構は、これまでに様々な原子力関連の計算コードやデータベース（以下、「プログラム等」とする。）を開発し、公開している。原子力機構が開発したプログラム等は、原子力機構システム計算科学センターのプログラム等管理システム PRODAS（PROgram and DAtabase retrieval System）が整備されており、その HP（<https://prodas.jaea.go.jp/PRAD1000>）において原子力機構の内外に登録コードの情報を公開している（図 4-1）。この中で、機構外に提供可としたものについては、原子力機構と高度情報科学技術研究機構（RIST）間の協定に基づき、RIST 原子力コードセンター（以下、「コードセンター」とする。）を通じて提供している（図 4-2）。また、提供にあたって限定条件を付すことも可能である。以下に、コード提供に係る原子力機構の規程の概要や提供フローについてまとめる。

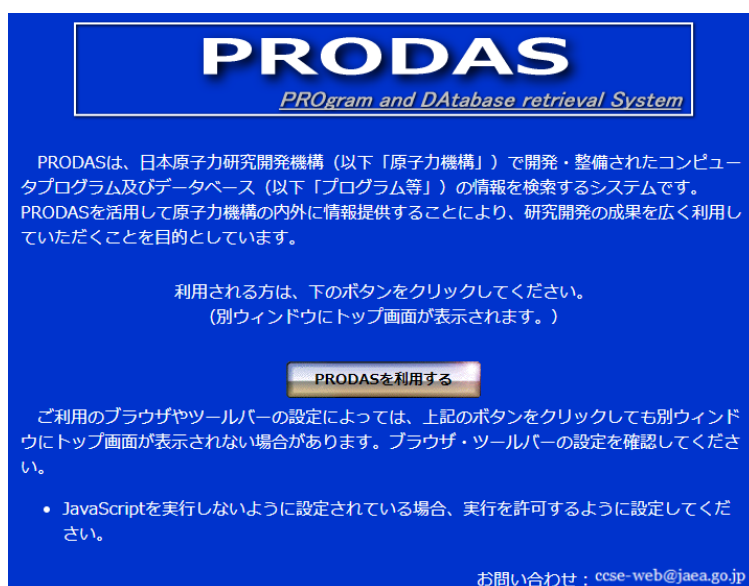


図 4-1 PRODAS 画面

PRODAS の HP（<https://prodas.jaea.go.jp/PRAD1000>）より

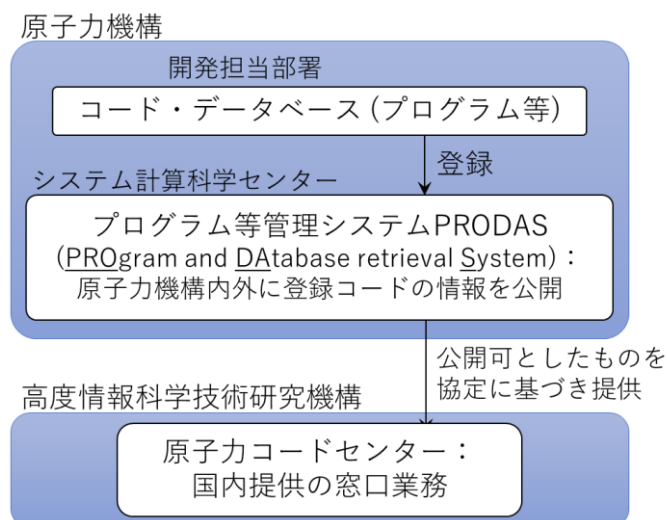


図 4-2 原子力機構が開発したプログラム等の公開体制

・原子力機構におけるプログラム等の提供に関する規定

原子力機構では、プログラム等の提供に関する規定を定めている。提供の体制を検討するにあたり、関連する項目は以下のとおり。

1. 機構外へのプログラム等の提供は、基本的に有償とする。
2. プログラム等が以下の条件に該当する場合、オープンソース（被提供者が二次配布及び改変を自由に行えること）化することができる。
 - a) 原子力計算科学技術の発展にとって不可欠な基本プログラム等
 - b) 機構にとっての対外的な協定の履行のために必要なプログラム等
 - c) 多数の外部ユーザーが利用することにより、当該分野における機構の影響力の向上に資するプログラム等
 - d) オープンソース化により、改良が著しく促進されるプログラム等
 - e) その他、システム計算科学センター長が特に必要と認めたプログラム等
3. 上記条件に該当する又はオープンソース化されたプログラム等は、無償又は時価より低い価格で提供可とする。
4. 利用目的が以下の条件に該当する場合は、当該単一利用に限り無償又は時価より低い価格で提供可とする。
 - a) 機構の事業に関する施策の普及のために必要があるとき。
 - b) 試験、研究その他機構の業務遂行のために必要があるとき。
 - c) 公共又は学術研究の用に供する必要があるときで、機構の業務遂行にとって有用と判断されるとき。
5. 個人に対して利用許諾し、使用に係る責任は利用申請者の代表者とする。

コードを提供するにあたっては、4. b) の項目を根拠に、利用目的が試験、研究に該当することを確認することにより、無償提供とすることが可能である。また、コードは原子力規制庁からの委託事業として開発しており、2. b) に該当することから、将来的なオープンソース化についても支障がないことを確認した。なお、利用許諾は、原子力機構の定めるプログラム利用条件を遵守することを誓約した個人に対して行われる。また、利用申請者の代表者（所属機関）に使用に係る責任が求められることとなっていることから、利用者の所属が変更となった場合は改めて許諾を得る必要がある。

・提供先が国内（居住者）の場合の提供フロー

コードの提供が輸出に該当しない場合、すなわち利用希望者が国内（居住者）の場合の提供フローを図 4-3 に示す。具体的な内容は以下のとおり。ただし、コードの提供にあたって限定条件がない場合は②及び③の手順は省略される。対応に要する期間は1週間程度となる。

- ① 利用希望者は、**PRODAS** 登録内容を確認し、コードセンターに利用を申請する。
- ② コードの提供に限定条件が付されている場合、コードセンターは原子力機構の開発チームに提供の可否判断を依頼する。
- ③ 開発チームは、申請内容を提供条件と照合し、提供可否をコードセンターに回答する。
- ④ 提供可の場合、コードセンターは利用申請者にコードを配付する。
- ⑤ 利用申請者は、コード1件につき、コードセンターに配付手数料 13,420 円（税込）を支払

う。なお、手数料は配付に係る事務手数料であって、コードの提供に係る対価ではない。

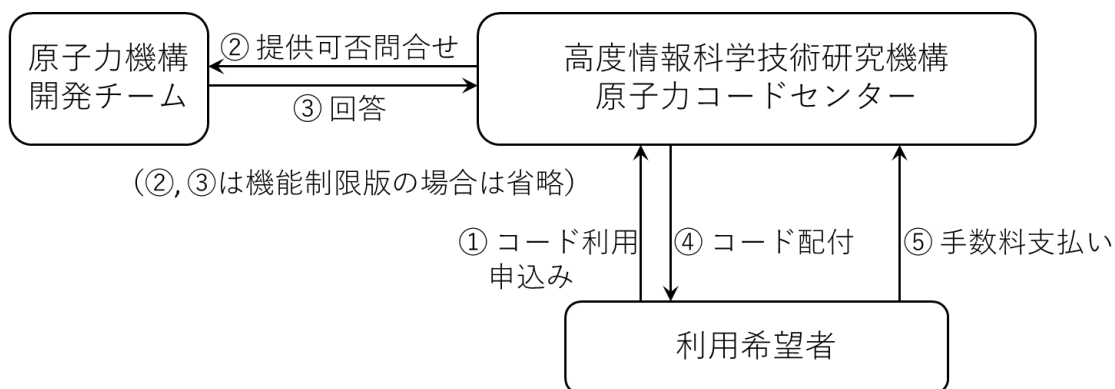


図 4-3 国内への提供フロー

・提供先が国外（非居住者）の場合の提供フロー

コードの提供が輸出に該当する場合、すなわち利用申請者が国外（非居住者）の場合は、輸出管理に対する注意が必要となる。PRODAS やコードセンターには国外向けの窓口が用意されていないため、利用申請に対しては開発チームが直接対応する。具体的な提供フローは図 4-4 に示すとおりで、対応に要する期間としては数ヶ月程度が見込まれる。

- ① 利用申請者が開発チームに直接連絡する。
- ② 開発チームが輸出管理手続きを行う。
- ③ 原子力機構内の審査の結果、提供可と判断されれば利用申請者に提供する。

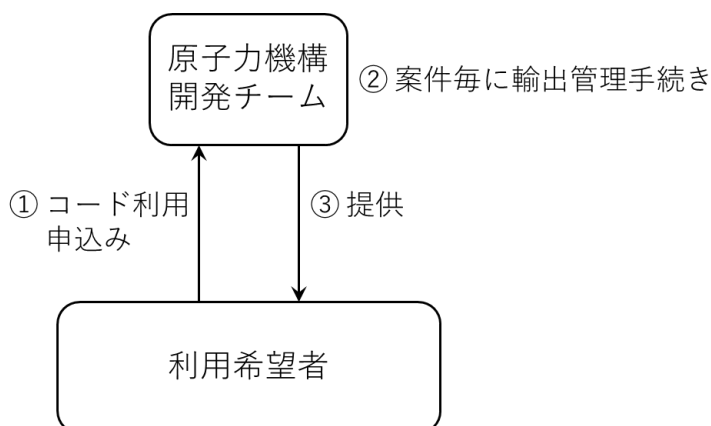


図 4-4 国外への提供フロー

・コード提供に係る特例

プログラム等の配付は、基本的にコードセンターを通じて行われる。しかしながら、一定程度のニーズがあり、コードの利用方法等に関する講習会の開催を通じて提供する場合は、コードセンターを介さずに直接開発チームから提供することが可能である。この場合は、講習会開催の 1 ヶ月程度前までに受講（提供）希望申込みを受け付け、利用目的を確認することとなる。ただし、この特例条件を受けるにあたっては、別途審査が必要となる。

4.2.3 コードの提供に係る限定条件

原子力機構が公開しているプログラム等のうち、被ばく評価に関連したものとして PHITS 及び OSCAAR を抽出し、提供に係る条件を調査した。

・ PHITS

PHITS (Particle and Heavy Ion Transport code System) とは、あらゆる物質中での様々な放射線挙動を核反応モデルや核データ等を用いて模擬するモンテカルロ計算コードである。被ばく評価等の放射線防護研究に加え、放射線施設の設計、宇宙線・地球科学等、様々な分野で利用されている。PHITS は、提供にあたって限定条件を設定しておらず、利用目的や利用条件を遵守することを確認したうえで提供される (図 4-5)。ただし、対価を伴う商用利用においては、他に原子力機構との契約締結等の手続きが発生する。また、コード利用方法に関する講習会を定期的に開催し、講習会を通じた提供も行っている。さらに、大学の講義やゼミ等での活用を想定し、講義目的に限定して大学、学部等のサイト単位で利用を許諾するバージョン、PHITS-Edu が用意されている。なお、許諾がサイト単位であり利用者個人が特定できないため、原子力セキュリティの観点から PHITS-Edu では一部計算機能が除外されている。

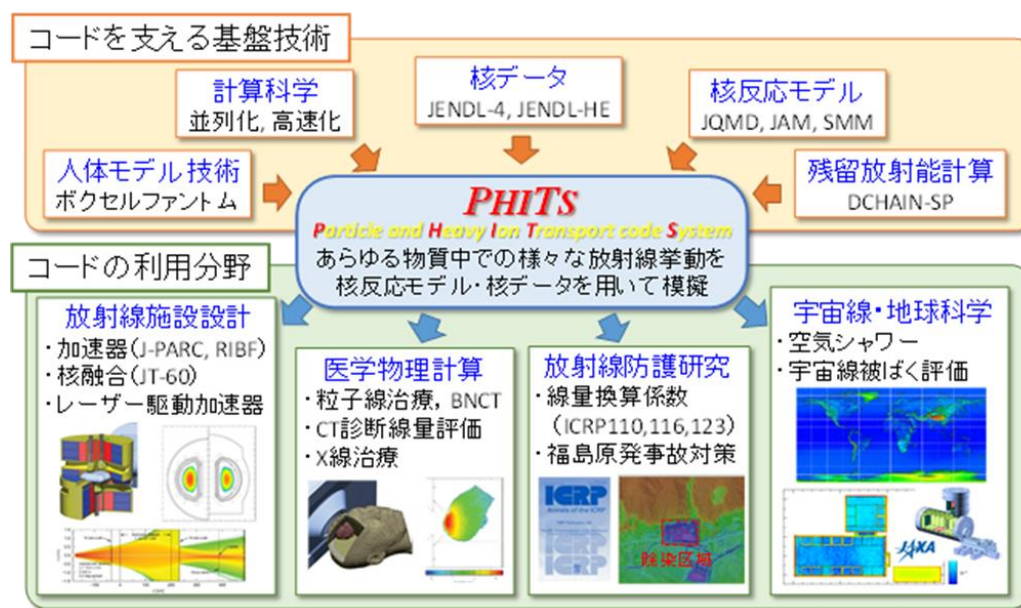


図 4-5 PHITS の概要

PHITS の HP (<https://phits.jaea.go.jp/indexj.html>) より

・ OSCAAR

OSCAAR (Off-Site Consequence Analysis code for Atmospheric Release in reactor accident) とは、環境中に放出される放射性物質の大気拡散あるいは沈着の過程で生じる被ばく線量の確率分布を評価するレベル 3PRA (Probabilistic Risk Assessment) コードである (図 4-6)。様々な気象条件に対して計算することで、気象条件の違いが被ばく線量に及ぼす影響について確率を用いて評価することができる。OSCAAR は、実際のサイトを指定して有事の際の線量を算出するため、出力される結果のインパクトが大きい。そこで、提供にあたっては利用者に技術的な裏付けを求める必要があるため、「レベル 3PRA に関する技術的能力があること」が限定条件とされている。

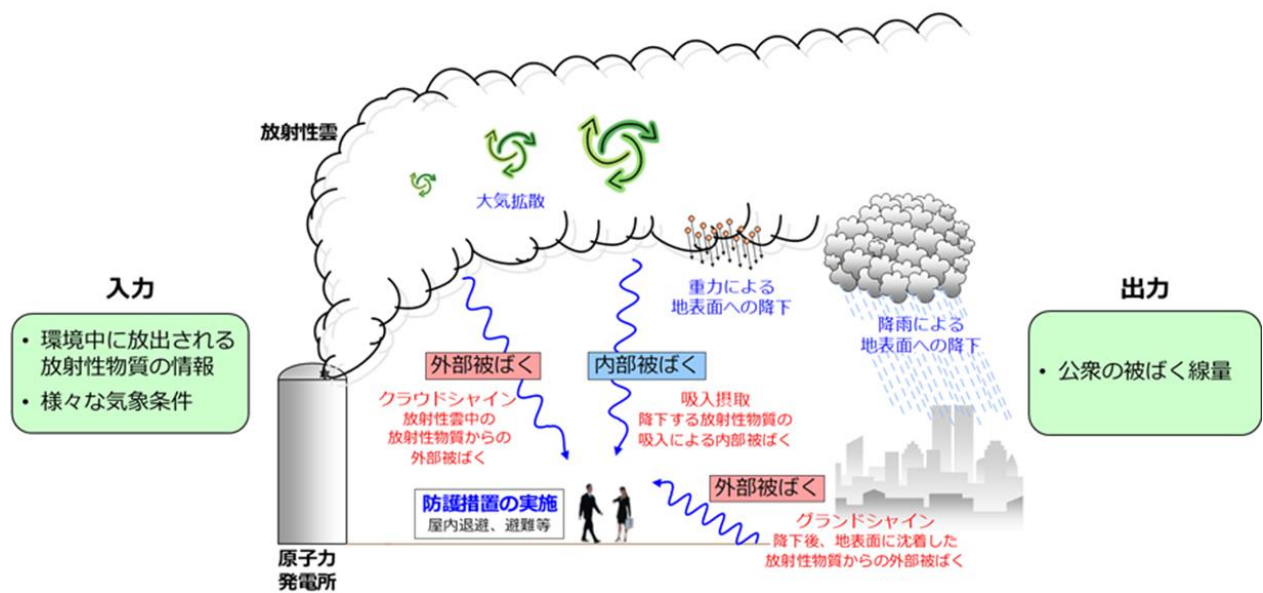


図 4-6 OSCAAR の概要

原子力機構の HP (<https://www.jaea.go.jp/02/press2020/p20042301/>) より

4.2.4 コードの提供に係る構成について

コードの提供に係る HP 等については、原子力機構におけるプログラム等の公開、提供に係る既存の仕組みや制度を利用することができる。以下に、原子力機構の PRODAS においてコードの情報を提供し、コードセンターにおいて利用申請の受付を行う一連の構成について示す。

図 4-1 の画面の「PRODAS を利用する」ボタンをクリックすると図 4-7 に示すウインドウが開き、「利用申込みはこちらから」のリンクからコードセンターのトップページ (図 4-8) に移動する。利用手続きタブから登録コード利用申込みページに進み (図 4-9)、「JAEA コード利用のページはこちらから」のリンクからプログラム等利用申込みの案内ページに移動し、(図 4-10)、具体的な手順が示される。利用希望者はこの手順に基づき、コードセンターにコードの提供を申請する構成となっている。

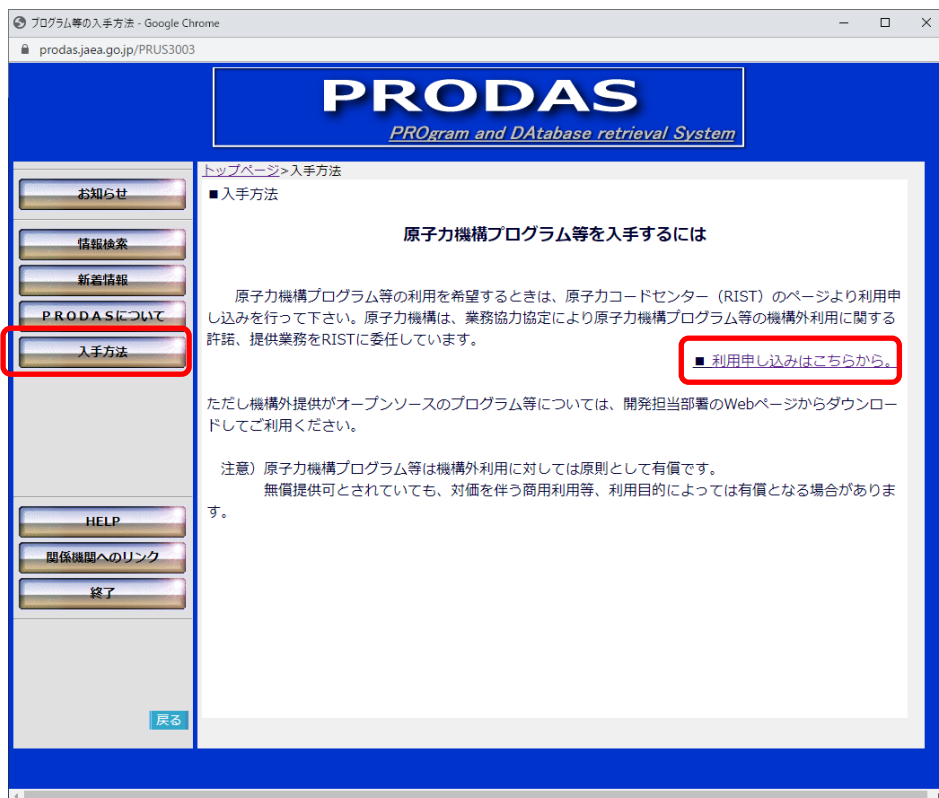


図 4-7 PRODAS : プログラム等の入手方法に係る説明画面
PRODAS の HP (https://prodas.jaea.go.jp/PRUS0001) より



図 4-8 コードセンター : トップページ
コードセンターの HP (https://www.rist.or.jp/nucis/) より



図 4-9 コードセンター：登録コードの利用申込ページ
コードセンターの HP (<https://www.rist.or.jp/nucis/coderequest.html>) より



図 4-10 コードセンター：JAEA プログラム等利用申込みの案内ページ
コードセンターの HP (https://www.rist.or.jp/nucis/request_jaea.html) より

4.2.5 検討結果

・コードの提供体制について

コードの維持管理は、コードの開発を担当した原子力機構が引き続き実施することとし、コードを令和3年8月に PRODAS へ登録した。公開・提供の体制については、図 4-2 に示す既存の原子力機構開発コードの公開体制を利用し、コードセンターを通じて提供することとした。ただし、国外への提供に関しては、コードの開発チームが利用希望者の窓口となり、原子力機構の関係部署の協力を得て対応する方針とした。

・コードの提供に係る構成について

4.2.4 項に示した既存のウェブシステムを利用することとした。

・コードの提供条件について

コードには、線量評価用モデル・データの編集が可能なフル機能版と、編集機能が制限されている機能制限版の二つのエディションが用意されている。ここで、2.1.2 項で述べたように、フル機能版については、提供する側が意図しないデータの改変による線量評価での利用に関する懸念が専門家より指摘されている。そこで、フル機能版の提供にあたっては、利用目的が「試験、研究の用途」であることを確認するとともに、「内部被ばく線量評価に関する技術的能力を有すること」を限定条件として無償提供することとし、具体的な判断基準は「論文や学会発表等、専門的な活動実績があること」とした。この提供可否に係る判断は、コードの開発チームで実施する（図 4-3）。一方、機能制限版については、限定条件は設けず、利用目的が「試験、研究の用途」であることを確認して無償提供することとした。この場合、利用目的の確認は、原子力コードセンターが実施する（図 4-3）。国外への提供については、開発チームが輸出管理手続きに留意し、原子力機構の関係部署の協力を得て、提供に係る審査等の必要な手続きを進めることとなる（図 4-4）。

許諾対象は、原子力機構のプログラム等の提供に係る規定のとおり個人とし、使用に係る責任は利用申請者の代表者とする事とした。なお、大学での講義等を想定した利用については次節で述べるコード簡易版で対応することとし、PHITS-Edu のようなサイト単位の許諾及びこれに類するエディションの開発は行わないこととした。

対価を伴う商用利用については、原子力機構の規定に則り、使用料等について個別に決定して徴収したうえでコードを提供することとした。

・普及促進について

検討委員会において、効率的な普及促進策を立案、実行していくためには、潜在的なユーザー数やコードへのニーズを把握することの重要性が指摘された。そこで、令和4年度以降に、被ばく線量評価に関連のある学協会に対し、コードの利用希望の有無や、普及促進策として実施を構想している講習会への要望等についてアンケートを実施することとした。検討委員会では、以下の学協会を対象とすることの助言があった。

- ・日本アイソトープ協会
- ・日本核医学会
- ・日本核医学技術学会
- ・日本救急医学会
- ・日本原子力学会
- ・日本放射線安全管理学会
- ・日本放射線影響学会
- ・日本放射線事故・災害学会
- ・日本保健物理学会

また、効率的かつ効果的な普及促進策として、講習会の開催についても検討した。検討委員会において、講習会を実施する場合はコードの使い方に関する講義に先立ち、内部被ばく線量評価の技術や手法に関する講義を実施することでユーザーの理解を深められるとのコメントを得た。そこで、上記のアンケート調査の結果を踏まえて講習会の在り方を検討し、開発チームが主体となって講習会を開催することとした。なお、講習会で配付するコードは機能制限版とすることとした。

- ・コードに付与する技術的な制限について

コードの機能制限版については、線量係数計算機能におけるモデルやデータの編集機能の制限に加えて、核種摂取量推定機能における摂取条件の設定範囲にも制限を加える必要があるとのコメントを得た。具体的には、複数のモニタリング手法の同時考慮や複数回の急性摂取等に対する摂取量推定では、モニタリング値の不確かさの取扱いについて専門家の判断が必要となることから、機能制限版の想定ユーザーには正しく使用することが難しいと考えられるとの指摘があった。そこで、令和4年度以降、核種摂取量推定機能に対し、1回の急性摂取のみ対応とする制限を新たに加えることとした。

4.3 コード簡易版の仕様に係る検討

コード簡易版の基本的な仕様の検討にあたっての参考例として、量子科学技術研究開発機構（以下、「量研機構」とする。）が公開している1990年勧告準拠のコードMONDAL（MONitoring to Dose cALculation）[41,42]と、そのウェブ版となるグラフ検索フォーム[43]を調査した。続いて、この結果に基づいて、簡易版の形態や機能に関する仕様の原案を作成し、第1回検討委員会において審議した。さらに、審議により決定した形態に応じた開発関連の技術調査を実施するとともに機能に関する仕様案を策定し、第2回検討委員会において了承を得た。本節では、MONDAL及びグラフ検索フォームについて調査した内容と、コード簡易版の仕様について検討した結果を記す。

4.3.1 MONDAL及びグラフ検索フォームの調査結果

MONDALとは、作業員及び一般公衆による放射性核種の吸入摂取及び経口摂取に対し、体外計測法による全身又は特定臓器中の放射能の測定結果やバイオアッセイ法による尿・糞中の放射能の測定結果を用いて、放射性核種の摂取量及び預託実効線量、並びに異なる積分日数ごとの組織等価線量を計算するパッケージソフトウェア（PCにインストールして利用する形態）である（図4-11）。MONDALでは、代表的な核種及び摂取条件に対する線量係数や体内放射能の経時変化があらかじめデータベース化されており、ソフト上で指定された摂取条件に対応するデータを参照して結果を表示する構造となっており、計算負荷が非常に小さいことが特徴である。また、MONDALは無償で配付されており、開発チームに利用申請を行うことで入手可能となっている。

グラフ検索フォームは、MONDALとほぼ同様の機能を有するウェブアプリ（PC、スマートフォン等の端末のウェブブラウザからHPにアクセスして利用する形態）である（図4-12）。HPに表示されるプルダウンメニューや選択肢により摂取条件を指定することで、体内残留量

や排泄量及びモニタリング値あたりの預託実効線量の経時変化データが表示される (図 4-13)。さらに、摂取からの経過日数をボックスに入力して指定することで、その時点における単位摂取量あたりのデータが表示される (図 4-14)。HP に対するアクセス制限はなく、事前申請不要で誰でも利用可能となっている。

図 4-11 MONDAL : GUI 画面 [42]

グラフ : 体内残留率・排泄率のモデル予想値 24139

このデータベースは、全身計測、バイオアッセイなどの個人モニタリングの計測値から摂取量や預託実効線量を評価する手助けをします。

利用者は、作業者あるいは公衆により、吸入もしくは経口摂取された放射性核種に関し:
 (a)体内残留率や排泄率、あるいは
 (b)モニタリング計測値あたりの預託実効線量
 のグラフを得ることができます。

[グラフ検索フォームへ](#)

図 4-12 グラフ検索フォーム : トップページ

量研機構の HP (<https://www.nirs.qst.go.jp/db/anzendb/RPD/gpmdj.php>) より

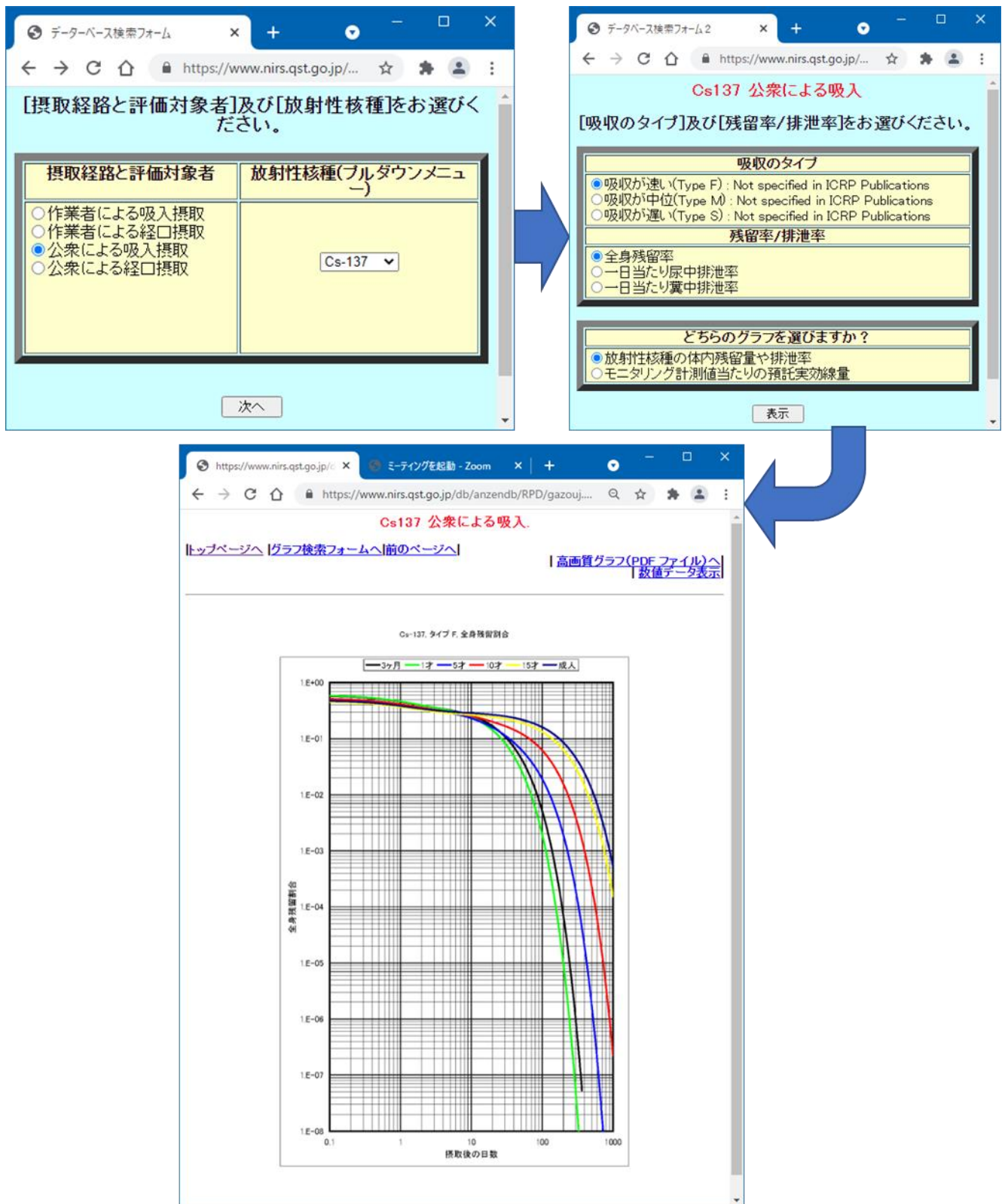


図 4-13 グラフ検索フォーム：画面遷移の様子
 量研機構の HP (https://www.nirs.qst.go.jp/db/anzendb/RPD/gazouj.php) より

Numerical data

https://www.nirs.qst.go.jp/db/anzendb/RPD/numer...

吸入後の日数(1000以下の正の整数)を入れてください。

10 (<1000) 表示

[グラフ表示に戻る](#)

核種	Cs-137
半減期	30.0 y
放射線	gamma of Ba-137m(0.661 MeV)85.1%
Type F (default) :Not specified in ICRP Publications	
Whole body	
吸入後 10 日	

	残留率/排泄率	モニタリング計測値当たりの預託実効線量(Sv/Bq)
3 mo (from 0 to 1 y of age)	2.58E-01	3.411E-8
1 y (from 1 y to 2 y)	2.40E-01	2.250E-8
5 y (more than 2 y to 7 y)	2.31E-01	1.558E-8
10 y (more than 7 y to 12 y)	2.53E-01	1.462E-8
15 y (more than 12 y to 17 y)	2.64E-01	1.667E-8
Adult (more than 17 y)	2.86E-01	1.608E-8

図 4-14 グラフ検索フォーム：数値データ表示
量研機構の HP (<https://www.nirs.qst.go.jp/db/anzendb/RPD/numerj.php>) より

4.3.2 コード簡易版の仕様の検討結果

- ・コード簡易版の形態について

形態については、当初事業の実施計画に基づくウェブアプリ又はモバイルアプリに加え、パッケージソフトウェア（PC ソフト）を候補とした。いくつかの項目について、それぞれの形態のメリット・デメリットの比較を表 4-1 に示す。第 1 回検討委員会において、「PC ソフトの場合、大学での講義では受講者が個々にノート PC を保有していることが前提となり、現実的ではない。」「ウェブアプリで十分であろう。」とのコメントを得た。また、「計算負荷が小さいことは非常に重要である。」との指摘もあった。以上のことから、コード簡易版の形態はウェブアプリとする方針とした。また、MONDAL やグラフ検索フォームのように、主要な摂取条件に対して線量係数や体内放射能推移等の必要な情報をデータベース化しておき、これを参照することで計算負荷の低減を図る方式で開発を進める方針とした。

また、事前申請等は不要とし、任意の端末から HP にアクセスすることで利用可能とする方針とした。ここで、HP の構築環境として、原子力機構が機構外利用者向けに契約しているサーバー環境が候補となり得る。

- ・コード簡易版の機能について

機能に係る仕様のうち、設定可能とする計算条件は、反復摂取等の複雑な条件は不要であるとの検討委員会におけるコメントを踏まえ、急性摂取のみとした。選択できる核種（収録核種）は、MONDAL に収録された核種と OIR part 2 及び part 3 の本文中の表に掲載された主

要な 61 核種とし（表 4-2）、適宜収録核種を拡大していくこととした。核種や化学形の分類については、ICRP が想定している既定条件のみとした。

表 4-1 コード形態の比較

	項目	ウェブアプリ	モバイルアプリ	PC ソフト
ユーザー側	事前対応 (インストール)	○不要	×必要	×必要
	端末の種類	○依存しない	△PC は利用不可	×PC のみ
	利用時のネット 環境	×必要	○不要	○不要
開発者側	開発コスト、 維持管理コスト	○ひとつのコード でよい	×端末の OS 毎のコードが必要、又は OS の制限	×端末の OS 毎のコードが必要、又は OS の制限
	提供コスト	×提供用サーバー が必要	○提供用サーバー は不要 ×OS 毎のアプリ ストアへの登録が 必要	○提供用サーバー は不要 ×提供対応が必要

表 4-2 優先的にデータベース整備を行う収録核種

³ H	¹⁴ C	³² P	³⁵ S	⁴⁵ Ca	⁵¹ Cr	⁵⁴ Mn	⁵⁹ Fe
⁵⁷ Co	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	⁸⁶ Rb	⁸⁵ Sr	⁸⁹ Sr	⁹⁰ Sr
⁹⁰ Y	⁹⁵ Zr	⁹⁵ Nb	⁹⁹ Mo	¹⁰⁶ Ru	^{110m} Ag	¹²⁴ Sb	¹²⁵ Sb
¹²⁹ Te	¹³² Te	¹²⁵ I	¹²⁹ I	¹³¹ I	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³³ Ba
¹⁴⁰ Ba	¹⁴¹ Ce	¹⁴⁴ Ce	¹⁹² Ir	²⁰³ Hg	²¹⁰ Pb	²¹² Pb	²¹⁴ Pb
²¹⁰ Bi	²¹⁴ Bi	²¹⁰ Po	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra	²²⁸ Th	²²⁹ Th	²³⁰ Th
²³² Th	²³⁴ Th	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁸ U	²³⁷ Np	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu
²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am	²⁴² Cm	²⁴⁴ Cm	²⁵² Cf			

出力する項目については、指定された摂取条件に対する線量係数と、全身及び特定の臓器の残留率、尿及び糞への排泄率、並びにモニタリング値あたりの線量の時間変化にグラフとした。なお、残留率等の時間変化するデータについては、その出力期間について様々な意見があった。グラフ検索フォームでは、摂取から最長 1,000 日経過後のデータが出力される。これについて、内部被ばくモニタリングや摂取量評価の実態として不確かさが大きく現実的ではないという意見や、教育上は長期間のデータがあった方がよいという意見が得られた。また、核種によって体内に残留する期間が異なることから、核種によって調整することも有効であるという意見もあった。そこで、当面は、全身の残留率が 1 Bq あたり 10^{-12} Bq を下回るまでの期間のデータを作成し、出力可能とすることとした。さらに、時間変化に関するデー

タは、グラフ表示することに加え、数値データファイルをダウンロードできると有用であるとの意見を受けて、CSV (Comma-Separated Values) ファイルとして取得可能とすることとした。摂取条件に加えて内部被ばくモニタリング値 (摂取後経過日数と放射能値) を合わせて入力することにより、残留率又は排泄率から核種摂取量を推定し、対応する線量係数を乗じることで算出した預託実効線量を出力可能とすることとした。

4.3.3 ウェブアプリ開発に係る技術調査結果及び採用する技術

コード簡易版はウェブアプリとして開発する方針としたため、ウェブアプリ開発に係る技術調査を行った。ウェブアプリの基本的な構造を図 4-15 に示す。ウェブアプリは、フロントエンドとバックエンドの大きく 2 つの部分に分けられる。フロントエンドとはユーザー側が直接関わる部分で、ウェブブラウザ上で条件入力、結果閲覧、データ取得等を行う。バックエンドとはサーバー側の処理を担う部分で、フロントエンドから受信したリクエストに従って情報検索、処理、処理結果の送信等を行う。

フロントエンド側の開発は、実質的にウェブページを作成することである。ウェブページの作成については、CSS (Cascading Style Sheets) フレームワークと呼ばれる開発を効率化するためのウェブデザインテンプレートが公開されている。バックエンド側の開発においても、情報の受信及び送信を担うウェブサーバープログラム、大量のデータを効率的に管理・検索可能なデータベース、データからグラフを作成するグラフ描画プログラム等を統合するバックエンドフレームワークと呼ばれるパッケージが公開されている。これらの各技術要素の代表的な候補について調査し、コード簡易版の開発において最適な技術を抽出した。抽出にあたっては、コード簡易版の開発に必要な十分な機能を備えていること、オープンソースソフトウェア (OSS) であること、利用実績等を重要視した。

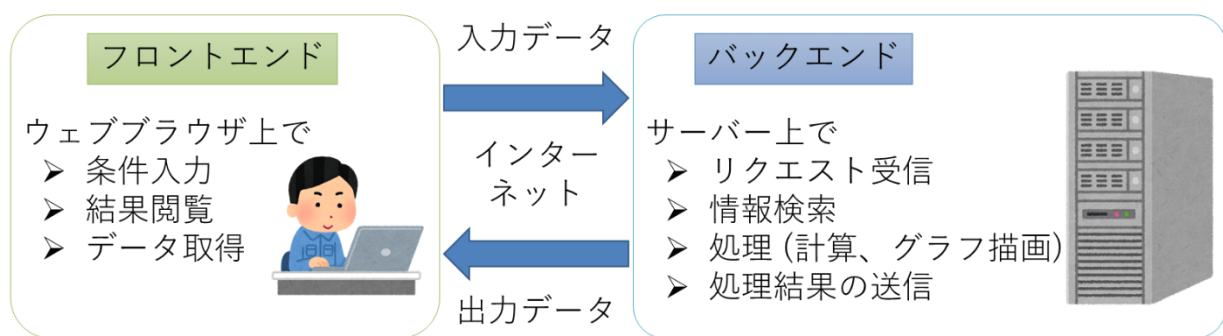


図 4-15 ウェブアプリの基本的な構造

・CSS フレームワーク

CSS とは、ウェブページの構成を表現するスタイルシート言語のひとつである。CSS フレームワークは、簡便かつ効率的にウェブページがデザインできるよう、フォーム、ボタン、メニュー等の部品テンプレートがセットになったものである。

主要な CSS フレームワークとして、Bootstrap [44]、React [45]、Angular [46]、Vue [47] 等が挙げられる。Bootstrap はシンプルな構成であるのに対し、React、Angular 及び Vue は多彩な

機能や高い柔軟性を備えていることが特徴である。

コード簡易版の機能は非常にシンプルであり、画面表示に動きを伴うような演出も不要である。そのため、コード簡易版の開発における CSS フレームワークとしては、Bootstrap の機能で必要十分である。

- ・バックエンドフレームワーク

コード簡易版におけるバックエンド（サーバー側）における処理は、フロントエンドとの情報のやり取り、データベース検索、グラフ描画、並びに 1 個のモニタリング値と単位放射能あたりの残留量又は排泄率からの摂取量評価及び摂取量と線量係数との乗算である。こうした処理で必要となる技術要素は、ウェブサーバープログラム、データベース、グラフ描画プログラムと、単純な四則演算を実行するプログラムである。バックエンドフレームワークは、これらのプログラムやモジュール等を連携させ、バックエンド処理に係る開発を効率的にするパッケージである。

主要なバックエンドフレームワークとして、Bottle [48]、Django [49]、Laravel [50] 等がある。Bottle は、軽量でシンプルなフレームワークである。Django 及び Laravel は複雑な構成の処理が可能な高機能バックエンドフレームワークである。Bottle 及び Django は Python 言語、Laravel は PHP 言語で構築されている。

コード簡易版の機能を考慮すると Bottle の機能で対応可能であり、Bottle の高速性は優位である。また、後述のとおり、グラフ描画プログラムは Python ライブラリを採用するため、組み込むモジュールとの親和性もよい。

- ・ウェブサーバープログラム

ウェブサーバープログラムは、端末から送られてきたリクエストに対し、対応する情報を返す役割を持つソフトウェアである。主要なウェブサーバープログラムとして、Apache [51]、NGINX [52]、IIS [53] 等が挙げられる。Apache 及び NGINX は OSS であり、NGINX は Apache より高負荷への耐性を強めたものである。IIS は Windows に標準装備されたウェブサーバー機能で、Windows 系の開発では主要なプログラムであるが、OSS ではない。

コード簡易版では、大学での講義等において同時に 50 人程度の同時アクセスが想定される。ただし、コード簡易版での処理に係る負荷は十分小さく、ひとつの処理に要する CPU 時間を考慮すると逐次処理でも実用性に影響はないと考えられる。そのため、OSS である Apache 又は NGINX のいずれを採用しても問題はない。なお、原子力機構では、大強度陽子加速器施設の物質・生命科学実験施設に設置した中性子実験装置等の実験制御を行うためのウェブアプリ IROHA2 [54] の開発において、Apache の採用実績がある。

- ・データベース

データベースとは、データの追加、削除や検索が容易にできるよう整理された情報の集まりである。エクセルファイルや CSV ファイル等もデータベースと呼ぶことがある。一方、データベース管理用のソフトウェアであるデータベース管理システムを用いて構築されたデータベースは、データ構造やデータ処理方法が洗練されており、膨大なデータを容易に取り扱うことが可能となる。ここでは、現在主流となっているリレーショナルデータベース (RDB)

の管理システム（RDBMS）について調査した結果を記す。

RDB とは、関係モデルに基づいて構築されたデータテーブル（関係値）の集団であり、SQL といったデータベース言語によりデータ（値）の追加、削除、検索に対応したデータベースである。図 4-16 に、関係モデルにより構築された関係値の概念図を示す。ひとつの関係値は、見出しと本体から成る。見出しとは属性名の集団であり、属性名はそこに属する値の集団名とデータ型（整数型、実数型、文字列型等）を規定する。属性名とそこに属する値（図 4-16 における列に相当）をまとめて属性と呼び、その数を次数と呼ぶ。本体とはその関係値に属する全ての値を指す。次数に対応した一組の値の集団（図 4-16 における行に相当）を組と呼び、組の数を濃度と呼ぶ。図 4-16 では、便宜上、属性名や値に番号を付しているが、RDB の中では属性、組、値そのものの順序づけは為されていない。RDBMS を通じて SQL というデータベース言語を使用することによりデータの操作が容易にできるとともに、必要とするデータを収集して新たな関係値を作成することができる。



図 4-16 関係モデルにより構築された関係値の概念図

主要な RDBMS として、MySQL [55]、MariaDB [56]、SQLite [57] 等がある。この中で MySQL は最もよく利用されているが、商用利用にあたってはライセンス購入が必要となる。MariaDB は MySQL から派生した RDBMS であり、ウェブブラウザによる同時アクセスに対応し、完全に OSS である。SQLite は軽量で高速動作が特徴の RDBMS であり、OSS であるが、多くの RDBMS でサポートされている機能が一部省略されている。コード簡易版はウェブ上で公開することから用途を完全に制限することはできないことから、利用するソフトウェアは OSS であることが望ましい。また、同時アクセスも想定する必要があることから、OSS であり同時アクセスに対応した MariaDB の利用が最適である。

・グラフ描画プログラム

ウェブブラウザ上にグラフを表示するためには、フロントエンドで受信データからグラフに描画する方法と、バックエンドでグラフ描画して画像ファイルに出力したものをフロント

エンドに送信する方法がある。コード簡易版の開発では、ユーザー側の環境に依存しない後者の方法を採用することとした。この場合、Python 言語とその科学計算用ライブラリ NumPy のためのグラフ描画ライブラリである Matplotlib [58] がデファクトスタンダードである。コード簡易版の開発においても、Matplotlib は必要な機能を備えている。

- ・採用する技術

以上の調査結果を基に、コード簡易版の開発において採用する技術要素を以下のとおりとした。なお、グラフ描画プログラム以外については、上述の IROHA2 の開発において採用実績のある組み合わせとなっている。

CSS フレームワーク : Bootstrap

バックエンドフレームワーク : Bottle

ウェブサーバープログラム : Apache

RDBMS : MariaDB

グラフ描画プログラム : Matplotlib

4.4 まとめ

令和 2 年度までに開発した内部被ばく線量評価コードの公開へ向けて、コードの維持管理・公開体制、コードの提供条件等の運用方法、及び普及促進策について検討を行った。本検討にあたっては、国内の専門家による委員会を設置し、審議を行った。

原子力機構では、開発したコードを登録・管理するシステムと、RIST との協定に基づいてコードセンターを通じて提供する体制が構築されている。本コードの提供においても、既存の管理システム及び提供体制を利用可能であることを確認し、利用することとした。提供条件及び判断基準については、被ばく評価に関するコードの出力結果が持つ影響力や他のコードの提供条件等を考慮し、決定した。普及促進については、設置した検討委員会において潜在的なユーザー数やニーズについて調査する必要性が指摘されたことから、令和 4 年度以降にアンケート調査を実施することとした。また、コードの効率的かつ効果的な普及を目的とし、講習会を開催することとした。講習会では、ユーザーの理解を深めることを目的とし、コードの使用法に加えて内部被ばく線量評価に関する講義も実施することとした。

普及促進策の一環として、コード簡易版を開発することとし、基本的な仕様を検討した。コード簡易版の形態について、1990 年勧告に準拠した簡易内部被ばく評価コード MONDAL とそのウェブ版となるグラフ検索フォームについて調査を行った。また、検討委員会での審議により、ウェブアプリとして開発する方針を決定した。機能については、対応する摂取条件を 1 回の急性摂取のみとし、核種や化学形、摂取経路については ICRP の既定条件のみとした。出力項目は、設定した摂取条件に対する線量係数、全身及び特定の臓器の残留率、排泄率、並びにモニタリング値あたりの預託実効線量とし、モニタリング値を適用した預託実効線量の評価も対応することとした。さらに、ウェブアプリを開発するための技術要素についても調査、検討を行い、採用する技術を決定した。

第5章 あとがき

平成 29 年度から令和 2 年度までの放射線安全規制研究戦略的推進事業費により完成させた内部被ばく線量評価コードについては、国内における放射線規制への 2007 年勧告の取入れに伴う内部被ばく防護基準値の見直し、事業所等における被ばく線量評価への活用を想定している。一方で、今後公開予定の 2007 年勧告に準拠する線量評価モデルやデータへの対応に伴う高度化、コードの公開や提供と普及対策、及びこれらを確実かつ円滑に進捗させる体制の構築が課題となっていた。そこで、令和 3 年度放射線対策委託費として、内部被ばく線量評価コードの高度化や普及に関する課題を解決するための検討を進めた。

内部被ばく線量評価コードの高度化に関しては、ICRP における線量評価モデルやデータの検討状況、刊行物の公開予定に関する情報を収集するとともに、OIR part 5 ドラフト文書の調査に基づく対応方針を検討した。ここで、2007 年勧告に準拠する線量評価モデルやデータのうち、公衆の内部被ばく線量評価に関する刊行物はドラフト文書も未公開で、実効線量係数の導出に必須な SAF データの検討も進捗中であることを確認した。一方、OIR シリーズの完結版となる part 5 のドラフト文書の調査を通じて、職業被ばくに対する内部被ばく線量評価に関する大幅な改良は不要で、これまでに得た知見や経験に基づいて、十分に対応できることが確認された。また、RI 数量告示の見直しに対し、簡単なアルゴリズムをコードへ追加することで効率的に作業を進捗することが期待できる一方、Publ.107 に未掲載の核種に関する崩壊データの情報収集や整備等の課題も確認された。他に、現状ではコードでの評価対象としていないが、サブマージョン核種に対する内部被ばく防護基準値の見直しにおける課題等も整理した。

コードの維持管理・公開、提供及び普及促進に関しては、原子力機構の開発してきたコードに関する調査を進めるとともに、国内の専門家からなる委員会で受けた意見や助言を踏まえて、検討を進めた。このうち、コードの維持管理については、2007 年勧告に準拠する内部被ばく線量評価モデルやデータが公開されるまで、原子力機構が担当する方針が示されていた [10]。そこで、今年度に、開発したコードを原子力機構コードとして登録し、公開へ向けた体制を整備した。さらに、今後の公開へ向けては、エディション別に提供条件や判断基準を具体的に明示した。コードの普及促進については、潜在的なニーズ等の掘り起こしが委員会で指摘されたため、今後も調査を実施することとした。他に、委員会での審議を通じて、講習会の内容についても具体化することができた。

普及促進に関する技術的な対策として、コード簡易版を開発することとし、基本的な仕様を検討した。その結果、機能に関して、1 回の急性摂取条件を考慮し、核種や化学形等も限定させる一方、ユーザーの必要とする情報を効率的に提供することとした。また、近年において、ニーズや先例も増加しているウェブアプリの技術に関する調査を行い、今後の開発へ向けた方針を決定した。

以上のように、本事業で得た成果に基づいて、コードの高度化、提供体制の整備、利用普及を促進するための調査や技術開発等を進めることで、内部被ばく線量評価コードの実効性を高めることが期待できる。

参考文献

- [1] 放射性同位元素等の規制に関する法律（昭和三十二年法律第百六十七号）。
- [2] ICRP, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP **21** (1–3), 1991.
- [3] ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, Ann. ICRP **37** (2–4), 2007.
- [4] 放射線を放出する同位元素の数量等を定める件（平成十二年科学技術庁告示第五号）。
- [5] 原子力規制庁, 「平成 29 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費」の実施について, <http://www.nsr.go.jp/data/000185157.pdf>. 最終アクセス日: 令和 4 年 3 月 24 日.
- [6] 原子力規制庁, 平成 29 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費の採択結果について, <http://www.nsr.go.jp/data/000196751.pdf>. 最終アクセス日: 令和 4 年 3 月 24 日.
- [7] 日本原子力研究開発機構, 平成 29 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究）事業成果報告書, 平成 30 年 3 月.
- [8] 日本原子力研究開発機構, 平成 30 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究）事業成果報告書, 平成 31 年 3 月.
- [9] 日本原子力研究開発機構, 平成 31/令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究）事業成果報告書, 令和 2 年 3 月.
- [10] 日本原子力研究開発機構, 令和 2 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究）事業成果報告書, 令和 3 年 3 月.
- [11] ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134, Ann. ICRP **45** (3/4), 2016.
- [12] ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137, Ann. ICRP **46** (3/4), 2017.
- [13] ICRP, Occupational intakes of radionuclides: Part 4. ICRP Publication 141, Ann. ICRP **48** (2/3), 2019.
- [14] ICRP, OIR Data Viewer for P134, P137 and P141 v4010419 2019 July 30, https://journals.sagepub.com/doi/suppl/10.1177/ANIB_48_2-3/suppl_file/OIR_Data_Viewer_for_P134-P137-P141.zip. 最終アクセス日: 令和 4 年 3 月 24 日.
- [15] C.M. Castellani, J.W. Marsh, C. Hurtgen, E. Blanchardon, P. Berard, A. Giussani, and M.A. Lopez, IDEAS Guidelines (Version 2) for the Estimation of Committed Doses from Incorporation Monitoring Data, European Radiation Dosimetry Groupe. V, EURADOS Report 2013-01, 2013.
- [16] IAEA, Methods for Assessing Occupational Radiation Doses Due to Intakes of Radionuclides, IAEA Safety Report Series No. 37, 2004.
- [17] ICRP, Draft Report for Consultation: Occupational Intakes of Radionuclides: Part 5, <https://www.icrp.org/docs/OIR5%20for%20Public%20Consultation%202020-10-05.pdf>. 最終アクセス日: 令和 4 年 3 月 24 日.
- [18] ICRP, Summary of the ICRP Committee 2 Virtual Meeting - May 10-12-14, 2021, https://www.icrp.org/admin/C2_May2021_Summary%20of%20Virtual.pdf. 最終アクセス日:

令和4年3月24日.

- [19] ICRP, The ICRP Computational Framework for Internal Dose Assessment for Reference Adults: Specific Absorbed Fractions. ICRP Publication 133, Ann. ICRP **45** (2), 2016.
- [20] ICRP, Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations. ICRP Publication 107, Ann. ICRP **38** (3), 2008.
- [21] ICRP, Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 68, Ann. ICRP **24** (4), 1994.
- [22] 放射線審議会基本部会, 外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針 (平成11年4月), 1999.
- [23] 柴田徳思, 岩井敏, 大久保徹, 佐藤理, 加速器施設で生成される核種の濃度限度 –ICRP Publ. 30 に記載のない核種–, *Radioisotopes* **41** (2) 93–105, 1992.
- [24] 外川織彦, アスタチン放射性同位体の年摂取限度と濃度限度, JAERI-M 93-022, 1993.
- [25] 日本原子力研究所, 平成9年度原子力発電施設等内部被ばく評価技術調査報告書, 1998.
- [26] 河合 勝雄, 遠藤 章, 現行法令及び ICRP Publ.68, 72 に掲載されていない核種の空气中濃度等の試算 –JAERI-Data/Code 2000-001 補遺–, JAERI-Data/Code 2000-033, 2000.
- [27] A. Endo, T. Tamura and Y. Yamaguchi, Compilation of nuclear decay data used for dose calculations; Data for radionuclides not listed in ICRP Publication 38, JAERI-Data/Code 99-035, 1999.
- [28] K.F. Eckerman, R.J. Westfall, J.C. Ryman and M. Cristy, Nuclear decay data files of the Dosimetry Research Group, ORNL/TM-12350, 1993.
- [29] ICRP, Guide for the Practical Application of the ICRP Human Respiratory Tract Model. ICRP Supporting Guidance 3. Ann. ICRP **32** (1–2), 2002.
- [30] ICRP, Dose coefficients for external exposures to environmental sources. ICRP Publication 144, Ann. ICRP **49**(2), 2020.
- [31] K.G. Veinot, S.A. Dewji, M.M. Hiller, K.F. Eckerman and C.E. Easterly, Organ and Effective Dose Rate Coefficients for Submersion Exposure in Occupational Settings, *Radiat. Environ. Biophys.* **56** 453–472, 2017.
- [32] ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1. ICRP Publication 130, Ann. ICRP **44** (2), 2015.
- [33] 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 (受託研究), JAEA-Review 2020-068, 2021.
- [34] 河合 勝雄, 遠藤 章, 桑原 潤, 山口 武憲, 水田 誠一, ICRP の内部被ばく線量評価法に基づく空气中濃度等の試算, JAERI-Data/Code 2000-001, 2000.
- [35] R.B. Firestone, V.S. Shirley, C.M. Baglin, S.Y.F. Chu, J. Zipkin, Table of Isotopes, the eight edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1996.
- [36] ICRP, Radionuclide Transformations - Energy and Intensity of Emissions. ICRP Publication 38, Ann. ICRP **11–13**, 1983.
- [37] IAEA, Evaluated Nuclear Structure Data File (ENSDF),

- <https://www.iaea.org/resources/databases/evaluated-nuclear-structure-data-file>. 最終アクセス日: 令和4年3月24日.
- [38] K.F. Eckerman and J.C. Ryman, External Exposure to Radionuclides in Air, Water and Soil, Federal Guidance Report No.12, 1993.
- [39] M.R. Bailey, A.Birchall, J.W. Marsh, A.W. Phipps and V. Sacoyannis, Application of the New ICRP Respiratory Tract Model to Gases and Vapours in ICRP Publication 68, NRPB-M688, 1996.
- [40] N.S. Jarvis, A.Birchall, A.C. James, M.R. Bailey and M-D. Dorrian, LUDEP 2.0; Personal Computer Program for Calculation Internal Doses Using the ICRP Publication 66 Respiratory Tract Model, NRPB-SR287, 1996.
- [41] N. Ishigure, M. Matsumoto, T. Nakano, and H. Enomoto, Development of Software for Internal Dose Calculation from Bioassay Measurements, Radiat. Prot. Dosim. **109** (3) 235–242, 2004.
- [42] 量子科学技術研究開発機構, MONDAL3 (MONitoring to Dose cALculation), <https://www.nirs.qst.go.jp/db/anzen/db/RPD/mondal3j.php>. 最終アクセス日: 令和4年3月24日.
- [43] 量子科学技術研究開発機構, グラフ検索フォーム, <https://www.nirs.qst.go.jp/db/anzen/db/RPD/gpmdj.php>. 最終アクセス日: 令和4年3月24日.
- [44] Bootstrap, <https://getbootstrap.jp/>. 最終アクセス日: 令和4年3月24日.
- [45] React, <https://ja.reactjs.org/>. 最終アクセス日: 令和4年3月24日.
- [46] Angular, <https://angular.jp/>. 最終アクセス日: 令和4年3月24日.
- [47] Vue, <https://jp.vuejs.org/index.html>. 最終アクセス日: 令和4年3月24日.
- [48] Bottle, <http://bottlepy.org/docs/dev/>. 最終アクセス日: 令和4年3月24日.
- [49] Django, <https://www.djangoproject.com/>. 最終アクセス日: 令和4年3月24日.
- [50] Laravel, <http://laravel.jp/>. 最終アクセス日: 令和4年3月24日.
- [51] Apache, <https://httpd.apache.org/>. 最終アクセス日: 令和4年3月24日.
- [52] NGINX, <https://www.nginx.co.jp/>. 最終アクセス日: 令和4年3月24日.
- [53] IIS, <https://www.iis.net/>. 最終アクセス日: 令和4年3月24日.
- [54] T. Nakatani, Y. Inamura, T. Ito and K. Moriyama, IROHA2: Standard instrument control software framework in MLF, J-PARC, NOBUGS 2016 Proceedings, 2016.
- [55] MySQL, <https://www.mysql.com/jp/>. 最終アクセス日: 令和4年3月24日.
- [56] MariaDB, <https://mariadb.org/>. 最終アクセス日: 令和4年3月24日.
- [57] SQLite, <https://www.sqlite.org/index.html>. 最終アクセス日: 令和4年3月24日.
- [58] Matplotlib, <https://matplotlib.org/>. 最終アクセス日: 令和4年3月24日.

付録1 RI数量告示とOIR part 5ドラフト文書の化学形等の比較

1) ベリリウム (Be)

付表 1-1A RI数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Be-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type M	0.005
	酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩	Type S	0.005
経口	全ての化合物		0.005

付表 1-1B OIR part 5 での Material -Be-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.005
	Default	Type M	0.001
		Type S	5×10^{-5}
経口	全ての化合物		0.005

2) フッ素 (F)

付表 1-2A RI数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -F-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	結合している陽イオンによる	Type F	1
	結合している陽イオンによる	Type M	1
	結合している陽イオンによる	Type S	1
経口	全ての化合物		1

付表 1-2B OIR part 5 での Material -F-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	Default	Type F	1
		Type M	0.2
		Type S	0.01
経口	全ての化合物		1

3) ナトリウム (Na)

付表 1-3A RI数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Na-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	全ての化合物	Type F	1
経口	全ての化合物		1

付表 1-3B OIR part 5 での Material -Na-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	1
	Default	Type M	0.2
		Type S	0.01
経口	全ての化合物		1

4) マグネシウム (Mg)

付表 1-4A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Mg-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	0.5
	酸化物、水酸化物、炭化物、ハロゲン化物及び硝酸塩	Type M	0.5
経口	全ての化合物		0.5

付表 1-4B OIR part 5 での Material -Mg-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入		Type F	0.5
	Default	Type M	0.1
		Type S	0.005
経口	酸化マグネシウム		0.2
	他の全ての特定されない化学形		0.5

5) アルミニウム (Al)

付表 1-5A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Al-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	0.01
	酸化物、水酸化物、炭化物、ハロゲン化物、硝酸塩及び金属 Al	Type M	0.01
経口	全ての化合物		0.01

付表 1-5B OIR part 5 での Material -Al-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.003
	金属 Al	Type M	0.0006
	酸化物、フッ化物、ボーキサイト、塩酸塩、硫酸塩、他の特定されないすべての化学形(default)	Type S	3×10^{-5}
経口	水溶性		0.003
	不溶性、全ての特定されない化学形		1×10^{-4}

6) ケイ素 (Si)

付表 1-6A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Si-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	0.01
	酸化物、水酸化物、炭化物及び硝酸塩	Type M	0.01
	アルミノケイ酸ガラスのエアロゾル	Type S	0.01
経口	全ての化合物		0.01

付表 1-6B OIR part 5 での Material -Si-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.5
	Default	Type M	0.1
		Type S	0.005
経口	二酸化ケイ素、ケイ酸塩		0.01
	オルトケイ酸		0.5

7) 塩素 (Cl)

付表 1-7A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Cl-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	結合している陽イオンによる	Type F	1
	結合している陽イオンによる	Type M	1
経口	全ての化合物		1

付表 1-7B OIR part 5 での Material -Cl-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	ガスもしくは気体	Type F	1
	Default	Type F	1
		Type M	0.2
		Type S	0.01
経口	全ての化合物		1

8) カリウム (K)

付表 1-8A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -K-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	全ての化合物	Type F	1
経口	全ての化合物		1

付表 1-8B OIR part 5 での Material -K-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	1
	Default	Type M	0.2
		Type S	0.01
経口	全ての化合物		1

9) スカンジウム (Sc)

付表 1-9A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Sc-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	全ての化合物	Type S	1×10^{-4}
経口	全ての化合物		1×10^{-4}

付表 1-9B OIR part 5 での Material -Sc-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.001
	Default	Type M	2×10^{-4}
		Type S	1×10^{-5}
経口	全ての化合物		0.001

10) チタン (Ti)

付表 1-10A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Ti-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	0.01
	酸化物、水酸化物、炭化物、ハロゲン化物及び硝酸塩	Type M	0.01
	チタン酸ストロンチウム	Type S	0.01
経口	全ての化合物		0.01

付表 1-10B OIR part 5 での Material -Ti-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.001
	Default	Type M	2×10^{-4}
		Type S	1×10^{-5}
経口	全ての化合物		0.001

11) バナジウム (V)

付表 1-11A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -V-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	0.01
	酸化物、水酸化物、炭化物及びハロゲン化物	Type M	0.01
経口	全ての化合物		0.01

付表 1-11B OIR part 5 での Material -V-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.2
	Default	Type M	0.004
		Type S	2×10^{-3}
経口	メタバナジン酸ナトリウム		0.2
	全ての化学形		0.01

12) クロム (Cr)

付表 1-12A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Cr-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	0.1
	ハロゲン化物及び硝酸塩	Type M	0.1
	酸化物及び水酸化物	Type S	0.1
経口	6 価の化合物		0.1
	3 価の化合物		0.01

付表 1-12B OIR part 5 での Material -Cr-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.01
	Default	Type M	0.002
		Type S	1×10^{-4}
経口	3 価状態のクロム		0.01

13) マンガン (Mn)

付表 1-13A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Mn-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	0.1
	酸化物、水酸化物、炭化物、ハロゲン化物及び硝酸塩	Type M	0.1
経口	全ての化合物		0.1

付表 1-13B OIR part 5 での Material -Mn-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.05
	Default	Type M	0.01
		Type S	5×10^{-4}
経口	全ての化合物		0.05

14) ニッケル (Ni)

付表 1-14A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Ni-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	ニッケルカルボニル (ガス・気体)	Type F	0.05
	不特定の化合物	Type F	0.05
	酸化物、水酸化物及び炭化物	Type M	0.05
経口	全ての化合物		0.05

付表 1-14B OIR part 5 での Material -Ni-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	ニッケルカルボニル (ガス・気体)	Type F	0.05
	塩化ニッケル、硫酸塩、モノ硫化物及び亜硫化物	Type F	0.05
	金属ニッケル、default	Type M	0.01
	酸化物	Type S	5×10^{-4}
経口	水溶性の物質、特定されない化学形		0.05
	金属ニッケル		0.01
	酸化物		5×10^{-4}

15) 銅 (Cu)

付表 1-15A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Cu-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	0.5
	硫化物、ハロゲン化物及び硝酸塩	Type M	0.5
	酸化物及び水酸化物	Type S	0.5
経口	全ての化合物		0.5

付表 1-15B OIR part 5 での Material -Cu-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.5
	Default	Type M	0.1
		Type S	0.005
経口	全ての化合物		0.5

16) ガリウム (Ga)

付表 1-16A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Ga-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	0.001
	酸化物、水酸化物、炭化物、ハロゲン化合物及び硝酸塩	Type M	0.001
経口	全ての化合物		0.001

付表 1-16B OIR part 5 での Material -Ga-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	Default	Type M	2×10^{-4}
		Type S	1×10^{-5}
経口	全ての化合物		0.001

17) ゲルマニウム (Ge)

付表 1-17A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Ge-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	1
	酸化物、硫化物及びハロゲン化合物	Type M	1
経口	全ての化合物		1

付表 1-17B OIR part 5 での Material -Ge-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	1
	Default	Type M	0.2
		Type S	0.01
経口	全ての化合物		1

18) ヒ素 (As)

付表 1-18A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -As-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	全ての化合物	Type M	0.5
経口	全ての化合物		0.5

付表 1-18B OIR part 5 での Material -As-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	1
	Default	Type M	0.2
		Type S	0.01
経口	水溶性の化合物		1
	不溶性の化合物、土壌中のヒ素		0.3

19) セレン (Se)

付表 1-19A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Se-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の無機化合物	Type F	0.8
	元素状セレン、酸化物、水酸化物及び炭化物	Type M	0.8
経口	不特定の化合物		0.8
	元素状セレン及びセレン化物		0.05

付表 1-19B OIR part 5 での Material -Se-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	二酸化セレン、セレン酸、元素状セレン	Type F	0.8
	Default	Type M	0.2
		Type S	0.008
経口	セレン化物及び元素状セレン		0.05
	不特定の化合物		0.8

20) 臭素 (Br)

付表 1-20A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Br-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	結合している陽イオンによって決まる	Type F	1
	結合している陽イオンによって決まる	Type M	1
経口	全ての化合物		1

付表 1-20B OIR part 5 での Material -Br-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	不特定のガス又は蒸気	Type F	1
	Default	Type F	1
		Type M	0.2
		Type S	0.01
経口	全ての化合物		1

21) ルビジウム (Rb)

付表 1-21A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Rb-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	全ての化合物	Type F	1
経口	全ての化合物		1

付表 1-21B OIR part 5 での Material -Rb-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	1
	Default	Type M	0.2
		Type S	0.01
経口	全ての化合物		1

22) ロジウム (Rh)

付表 1-22A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Rh-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	0.05
	ハロゲン化物	Type M	0.05
	酸化物及び水酸化物	Type S	0.05
経口	全ての化合物		0.05

付表 1-22B OIR part 5 での Material -Rh-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.05
	Default	Type M	0.01
		Type S	5×10^{-4}
経口	全ての化合物		0.05

23) パラジウム (Pd)

付表 1-23A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Pd-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	0.005
	硝酸塩及びハロゲン化物	Type M	0.005
	酸化物及び水酸化物	Type S	0.005
経口	全ての化合物		0.005

付表 1-23B OIR part 5 での Material -Pd-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.005
	Default	Type M	0.001
		Type S	5×10^{-5}
経口	全ての化合物		0.005

24) 銀(Ag)

付表 1-24A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Ag-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物及び金属銀	Type F	0.05
	硝酸塩及び硫化物	Type M	0.05
	酸化物及び水酸化物	Type S	0.05
経口	全ての化合物		0.05

付表 1-24B OIR part 5 での Material -Ag-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	硝酸銀	Type F	0.05
	Default、ヨウ化銀	Type M	0.01
		Type S	5×10^{-4}
経口	全ての化合物		0.05

25) カドミウム (Cd)

付表 1-25A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Cd-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	0.05
	硫化物、ハロゲン化物及び硝酸塩	Type M	0.05
	酸化物及び水酸化物	Type S	0.05
経口	全ての無機化合物		0.05

付表 1-25B OIR part 5 での Material -Cd-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.05
	Default, 酸化物、塩化物、硫化物、炭酸塩、テルル化物、特定されない化学形	Type M	0.01
		Type S	5×10^{-4}
経口	全ての化合物		0.05

26) インジウム (In)

付表 1-26A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -In-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	0.02
	酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩	Type M	0.02
経口	全ての化合物		0.02

付表 1-26B OIR part 5 での Material -In-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.005
	Default	Type M	0.001
		Type S	5×10^{-5}
経口	全ての化合物		0.005

27) スズ (Sn)

付表 1-27A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Sn-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	0.02
	4 価スズのリン酸塩、硫化物、酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩	Type M	0.02
経口	全ての化合物		0.02

付表 1-27B OIR part 5 での Material -Sn-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.02
	Default	Type M	0.004
		Type S	2×10^{-4}
経口	全ての化合物		0.02

28) ハフニウム (Hf)

付表 1-28A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Hf-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	0.002
	酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、炭化物及び硝酸塩	Type M	0.002
経口	全ての無機化合物		0.002

付表 1-28B OIR part 5 での Material -Hf-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.002
	Default	Type M	4×10^{-4}
		Type S	2×10^{-5}
経口	全ての化合物		0.002

29) タンタル (Ta)

付表 1-29A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Ta-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type M	0.001
	元素状タンタル、酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、炭化物、硝酸塩及び窒化物	Type S	0.001
経口	全ての化合物		0.001

付表 1-29B OIR part 5 での Material -Ta-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.001
	Default	Type M	2×10^{-4}
		Type S	1×10^{-5}
経口	全ての化合物		0.001

30) タングステン (W)

付表 1-30A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -W-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	全ての化合物	Type F	0.3
経口	不特定の化合物		0.3
	タングステン酸		0.01

付表 1-30B OIR part 5 での Material -W-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.5
	Default	Type M	0.1
		Type S	0.005
経口	タングステン酸		0.01
	他の全ての化合物		0.5

31) レニウム (Re)

付表 1-31A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Re-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	0.8
	酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩	Type M	0.8
経口	全ての無機化合物		0.8

付表 1-31B OIR part 5 での Material -Re-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.9
	Default	Type M	0.18
		Type S	0.009
経口	全ての化合物		0.9

32) オスミウム (Os)

付表 1-32A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Os-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	0.01
	ハロゲン化物及び硝酸塩	Type M	0.01
	酸化物及び水酸化物	Type S	0.01
経口	全ての化合物		0.01

付表 1-32B OIR part 5 での Material -Os-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.01
	Default	Type M	0.002
		Type S	1×10^{-4}
経口	全ての化合物		0.01

33) 白金 (Pt)

付表 1-33A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Pt-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	全ての化合物	Type F	0.1
経口	全ての化合物		0.01

付表 1-33B OIR part 5 での Material -Pt-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.01
	Default	Type M	0.002
		Type S	1×10^{-4}
経口	水溶性の化合物		0.01
	金属、酸化物及び水酸化物		0.001

34) 金 (Au)

付表 1-34A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Au-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	不特定の化合物	Type F	0.1
	ハロゲン化物及び硝酸塩	Type M	0.1
	酸化物及び水酸化物	Type S	0.1
経口	全ての化合物		0.1

付表 1-34B OIR part 5 での Material -Au-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.1
	Default	Type M	0.02
	元素状金及び金ラベルテフロン	Type S	0.001
経口	全ての化合物		0.01

35) 水銀 (Hg)

付表 1-35A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Hg-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	蒸気 (ガス・気体)	Type F	0.02
	硫酸塩	Type F	0.02
	酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、硝酸塩及び硫化物	Type M	0.02
	全ての有機化合物	Type F	0.4
経口	全ての無機化合物		0.2
	メチル水銀		1
	不特定の有機化合物		0.4

付表 1-35B OIR part 5 での Material -Hg-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	水銀蒸気	特殊	0.094
	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	0.1
	酸化物、Default	Type M	0.02
		Type S	0.001
経口	全ての化合物		0.1

36) タリウム (Tl)

付表 1-36A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Tl-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	全ての化合物	Type F	1
経口	全ての化合物		1

付表 1-36B OIR part 5 での Material -Tl-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	1
	Default	Type M	0.2
		Type S	0.01
経口	全ての化合物		1

37) アスタチン (At)

付表 1-37A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -At-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	結合している陽イオンによって決まる	Type F	1
	結合している陽イオンによって決まる	Type M	1
経口	全ての化合物		1

付表 1-37B OIR part 5 での Material -At-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	特定されないガス又は蒸気	Type F	1
	Default	Type F	1
		Type M	0.2
		Type S	0.01
経口	全ての化合物		1

38) フランシウム (Fr)

付表 1-38A RI 数量告示 (ICRP Publ. 68) での化学形等 -Fr-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_i 値
吸入	全ての化合物	Type F	1
経口	全ての化合物		1

付表 1-38B OIR part 5 での Material -Fr-

経路	化学形等	吸収タイプ	f_A 値
吸入	NB (明確なエビデンスがない場合、推測してはならない。)	Type F	1
	Default	Type M	0.2
		Type S	0.01
経口	全ての化合物		1

付録2 サブマージョンについて

OIR part 5 ドラフト文書 付録 (ANNEX A)

「サブマージョンによる職業被ばくの取り扱い」の日本語訳

A.1 緒言

(A.1) エアボーン放射性同位元素は、サブマージョンを介して作業者を照射する可能性がある。被ばく条件は、放出された放射線が壁や天井から散乱し、入射エネルギーや角度のスペクトル変化するため、環境被ばくに対して想定される半無限の形状とは異なる。放出電子や光子は、人体の皮膚や臓器に線量を与える。

(A.2) サブマージョンによるエアボーン希ガスに対する職業被ばくのための実効線量係数は、ICRP Publ. 30及びPubl. 68 [ICRP, 1979, 1994] にまとめられている。Veinotらは [Veinot, 2017]、オフィス、研究室及び倉庫を表現する部屋に置かれたPubl. 110 [ICRP, 2009] のICRP標準ファントムを用いて、希ガスに対する実効線量係数を導出した。これらの計算では、Publ. 103の組織加重係数 [ICRP, 2007] を仮定した。

A.2 モンテカルロ計算

(A.3) これらサブマージョン被ばくのモンテカルロ計算は、MCNP-6.1モンテカルロ計算コードを用いて実行された [Pelowitz, 2013]。Publ. 110のICRP標準ファントムは、皮膚を除く全ての臓器及び組織の計算で用いられた。これらのファントムは、ボクセルで構成される直方体プリズムの中にあった。男性ファントムは720万のボクセルからなり、うち200万のボクセルが組織を表現する。女性ファントムは1,400万のボクセルからなり、うち390万のボクセルが組織を表現する。モンテカルロ計算は、a) 部屋から立方体プリズムを除いた領域、b) 立方体プリズム中の組織でないボクセルの中で均一に分布して、放出された単一エネルギーの電子及び光子に対して実行された。単一エネルギー放射線のエアボーン放射能当たりの吸収線量率を表現するため、これら2つのデータセットは合算された。

(A.4) 部屋のディメンション及び仮定した構造は表A.1(*) に記載した。部屋の大きさは、オフィス (100 m³)、研究室 (300 m³) 及び倉庫 (1,200 m³) である。部屋は、コンクリート床、コンクリート及び石膏ボードの壁及び天井からなる。部屋の部材の元素組成及び密度は、MeCoonJr.ら [MeCoonJr., 2011] によるカタログを引用した。

(A.5) 皮膚の線量係数は、人体を数学的に表現した50から90 μ mに存在する基底細胞で計算した [ICRP, 2007]。多くの核種で、組織加重係数が0.01 [ICRP, 2007] となるため、皮膚線量の寄与は小さかった。ただし、純 β 核種では皮膚線量が実効線量に対して支配的な寄与となった。

A.3 結果

(A.6) 単一エネルギー電子、光子及び陽電子に対する実効線量係数を図A.1、A.2及びA.3に図示する (*)。3つの部屋でのPubl. 107 [ICRP, 2008] にある希ガスに対する実効線量係数を表A.2 (*) に示す。表A.2の最右列にある係数は、Publ. 144 [ICRP, 2020] から引用した半無限球の環境被ばくで、空間地面のインターフェイスに置いたファントムに対する値である。

(A.7) 職業被ばくの³⁹Ar、⁴²Ar及び^{83m}Krに対する実効線量係数は、Publ. 144 [ICRP, 2020] の半無限球環境での数値を超えた。これは、環境中の土壌や空気に代わり、床、壁及び壁における制動放射線のより大きな生成の結果である。加えて、皮膚のターゲット領域も異なる方法でモデル化した。Publ. 144では、皮膚線量がポリゴンメッシュを用いて50から100 μ m深さの組織で皮膚線量を計算した。Veinotらは、50から90 μ mのターゲット領域を有する数学ファントムを用いた。

※ 図表については、本報告書では略

参考文献

- ICRP 1979. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication 30. Pergamon Press, Inc., Elmsford, New York.
- ICRP 1994. Dose Coefficient for Intake of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 68, Ann. ICRP 24(4).
- ICRP 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2–4).
- ICRP 2008. Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations, 9103 ICRP Publication 107. Ann. ICRP 38 (3).
- ICRP 2009. Adult Reference Computational Phantoms, ICRP Publication 110. Ann. ICRP 39 (2).
- ICRP 2020. Dose Coefficients for External Exposure to Environmental Sources, ICRP Publication 144, Ann. ICRP.
- McConn, R.J. Jr., Gesh, C.J. Pagh, R.T., et al., 2011. Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling PIET-43741-TM-963/PNNL-15870, Rev. 1. Pacific Northwest National Laboratory.
- Pelowitz, D. B. Ed., 2013. MCNP6 USER'S MANUAL Version 1.0, LA-CP-13-00634 Rev. 0, Los Alamos National Laboratory Los Alamos, New Mexico.
- Veinot, K.G., Dewji, S.A., Hiller, M.M., et al., 2017. Organ and Effective Dose Rate Coefficients for Submersion Exposure in Occupational Settings, *Radia Environ Biophys* 56: 453–472.

別表 2-1 サブマージョン核種の RI 数量告示、OIR part 5 ドラフト文書及び Publ. 144 への掲載

核種	半減期 (崩壊様式)*1	RI 数量告示	OIR part 5 ドラフト文書	Publ. 144
¹⁰ C	19.255 s (EC, β^+)	○	—	○
¹¹ C	20.39 m (EC, β^+)	○	—	○
¹³ N	9.965 m (EC, β^+)	○	—	○
¹⁶ N	7.13 s (β^-)	○	—	○
¹⁴ O	70.606 s (EC, β^+)	○	—	○
¹⁵ O	122.24 s (EC, β^+)	○	—	○
¹⁹ O	26.464 s (β^-)	○	—	○
¹⁹ Ne	17.22 s (EC, β^+)	—	○	○
²⁴ Ne	3.38 m (β^-)	—	○	○
^{34m} Cl	32.00 m (EC, β^+ , IT)	○	—	○
³⁷ Ar	35.04 d (EC)	○	○	○*3
³⁹ Ar	269 y (β^-)	○	○	○
⁴¹ Ar	109.61 m (β^-)	○	○	○
⁴² Ar	32.9 y (β^-)	○	○	○
⁴³ Ar	5.37 m (β^-)	—	○	○
⁴⁴ Ar	11.87 m (β^-)	○	○	○
⁷⁴ Kr	11.50 m (EC, β^+)	○	○	○
⁷⁵ Kr	4.29 m (EC, β^+)	○	○	○
⁷⁶ Kr	14.8 h (EC)	○	○	○
⁷⁷ Kr	74.4 m (EC, β^+)	○	○	○
⁷⁹ Kr	35.04 h (EC, β^+)	○	○	○
⁸¹ Kr	2.29E+5 y (EC)	○	○	○
^{81m} Kr	13.10 s (IT, EC)	○	○	○
^{83m} Kr	1.83 h (IT)	○	○	○
⁸⁵ Kr	10.756 y (β^-)	○	○	○
^{85m} Kr	4.480 h (β^- , IT)	○	○	○
⁸⁷ Kr	76.3 m (β^-)	○	○	○
⁸⁸ Kr	2.84 h (β^-)	○	○	○
⁸⁹ Kr	3.15 m (β^-)	○	○	○
⁹⁰ Kr	32.32 s (β^-)*2	○	—	—
¹²⁰ Xe	40 m (EC, β^+)	○	○	○
¹²¹ Xe	40.1 m (EC, β^+)	○	○	○
¹²² Xe	20.1 h (EC)	○	○	○
¹²³ Xe	2.08 h (EC, β^+)	○	○	○
¹²⁵ Xe	16.9 h (EC, β^+)	○	○	○
^{125m} Xe	57 s (IT)*2	○	—	—
¹²⁷ Xe	36.4 d (EC)	○	○	○
^{127m} Xe	69.2 s (IT)	○	○	○
^{129m} Xe	8.88 d (IT)	○	○	○
^{131m} Xe	11.84 d (IT)	○	○	○
¹³³ Xe	5.243 d (β^-)	○	○	○
^{133m} Xe	2.19 d (IT)	○	○	○
¹³⁵ Xe	9.14 h (β^-)	○	○	○
^{135m} Xe	15.29 m (IT, β^-)	○	○	○
¹³⁷ Xe	3.818 m (β^-)	○	○	○
¹³⁸ Xe	14.08 m (β^-)	○	○	○
¹³⁹ Xe	39.68 s (β^-)*2	○	—	—

*1: Publ. 107 (本文参考文献[20])のデータ(ただし、⁹⁰Kr、^{125m}Xe 及び ¹³⁹Xe は除く)*2: Table of Radioisotopes, 8th edition (本文参考文献 [35]) を参照

*3:数値は 0 (皮膚の基底細胞に到達する 10 keV を超えるエネルギーを持つ電子の放出がないため)

付録3 Publ. 107 に掲載されている半減期 10 分未満の核種の崩壊データ

付表 3-1 Publ. 107 に掲載されている半減期 10 分未満の核種の崩壊データ (1)

核種	半減期	壊変後の核種*	崩壊様式	Publ. 38	RI 告示
¹⁷ F	64.49 s	¹⁷ O	EC, β ⁺		
²⁷ Mg	9.458 m	²⁷ Al	β ⁻		○
²⁸ Al	2.2414 m	²⁸ Si	β ⁻	○	○
²⁹ Al	6.56 m	²⁹ Si	β ⁻		○
³⁰ P	2.498 m	³⁰ Si	β ⁻	○	○
³⁷ S	5.05 m	³⁷ Cl	EC, β ⁺		○
³⁴ Cl	1.5264 s	³⁴ S	EC, β ⁺		○
⁴⁰ Cl	1.35 m	⁴⁰ Ar	β ⁻		○
³⁸ K	7.636 m	³⁸ Ar	EC, β ⁺	○	○
⁴⁶ K	105 s	⁴⁶ Ca	β ⁻		
⁴⁹ Ca	8.718 m	⁴⁹ Sc	β ⁻	○	○
^{42m} Sc	62.0 s	⁴² Ca	EC, β ⁺		
⁵⁰ Sc	102.5 s	⁵⁰ Ti	β ⁻		
⁵¹ Ti	5.76 m	⁵¹ V	β ⁻		○
⁵² Ti	1.7 m	⁵² V	β ⁻		
⁵² V	3.743 m	⁵² Cr	β ⁻		○
⁵³ V	1.61 m	⁵³ Cr	β ⁻		○
⁵⁵ Cr	3.497 m	⁵⁵ Mn	β ⁻		○
⁵⁶ Cr	5.94 m	⁵⁶ Mn	β ⁻		
^{50m} Mn	1.75 m	⁵⁰ Cr	EC, β ⁺		
⁵⁷ Mn	85.4 s	⁵⁷ Fe	β ⁻		○
^{58m} Mn	65.2 s	⁵⁸ Fe	β ⁻		
⁵³ Fe	8.51 m	⁵³ Mn	EC, β ⁺		○
^{53m} Fe	2.526 m	⁵³ Fe	IT		
⁶¹ Fe	5.98 m	⁶¹ Co	β ⁻		
⁶² Fe	68 s	⁶² Co	β ⁻		
^{54m} Co	1.48 m	⁵⁴ Fe	EC, β ⁺		
⁶² Co	1.50 m	⁶² Ni	β ⁻		○
⁵⁷ Cu	0.1963 s	⁵⁷ Ni	EC, β ⁺		○
⁵⁹ Cu	81.5 s	⁵⁹ Ni	EC, β ⁺		
⁶² Cu	9.673 m	⁶² Ni	EC, β ⁺	○	○
⁶⁶ Cu	5.120 m	⁶⁶ Zn	β ⁻	○	○
⁶⁹ Cu	2.85 m	⁶⁹ Zn	β ⁻		
⁶⁰ Zn	2.38 m	⁶⁰ Cu	EC, β ⁺		
⁶¹ Zn	89.1 s	⁶¹ Cu	EC, β ⁺		
⁷¹ Zn	2.45 m	⁷¹ Ga	β ⁻		
⁶⁴ Ga	2.627 m	⁶⁴ Zn	EC, β ⁺		
⁷⁴ Ga	8.12 m	⁷⁴ Ge	β ⁻		
⁶⁸ As	151.6 s	⁶⁸ Ge	EC, β ⁺		○
⁷⁹ As	9.01 m	^{79m} Se: 9.72E-1, ⁷⁹ Se: 2.81E-2	β ⁻		○
⁷¹ Se	4.74 m	⁷¹ As	EC, β ⁺		○
^{77m} Se	17.36 s	⁷⁷ Se	IT		○
^{83m} Se	70.1 s	⁸³ Br	β ⁻		
⁸⁴ Se	3.1 m	⁸⁴ Br	β ⁻		
⁷² Br	78.6 s	⁷² Se	EC, β ⁺		
⁷³ Br	3.4 m	^{73m} Se: 9.99E-1, ⁷³ Se: 1.19E-3	EC, β ⁺		

* 斜字は安定核種、: 以下の数値は生成割合を有効数字 3 桁で表記

付表 3-2 PubL 107 に掲載されている半減期 10 分未満の核種の崩壊データ (2)

核種	半減期	壊変後の核種*	崩壊様式	Publ. 38	RI 告示
^{76m}Br	1.31 s	$^{76}\text{Br}: 9.97\text{E}-1, ^{76}\text{Se}: 3.00\text{E}-3$	IT, EC, β^+		
^{77m}Br	4.28 m	^{77}Br	IT		
^{78}Br	6.46 m	$^{78}\text{Se}: >9.99\text{E}-1, ^{78}\text{Kr}: 1.00\text{E}-4$	EC, β^+ , β^-		○
^{82m}Br	6.13 m	$^{82}\text{Br}: 9.76\text{E}-1, ^{82}\text{Kr}: 2.40\text{E}-2$	IT, β^-		
^{84m}Br	6.0 m	^{84}Kr	β^-		○
^{85}Br	2.90 m	$^{85m}\text{Kr}: 9.98\text{E}-1, ^{85}\text{Kr}: 2.21\text{E}-3$	β^-		
^{77}Rb	3.77 m	^{77}Kr	EC, β^+		○
^{78m}Rb	5.74 m	$^{78}\text{Rb}: 1.00\text{E}-1, ^{78}\text{Kr}: 9.00\text{E}-1$	EC, β^+ , IT		
^{80}Rb	33.4 s	^{80}Kr	EC, β^+		○
^{82}Rb	1.273 m	^{82}Kr	EC, β^+	○	○
^{86m}Rb	1.017 m	^{86}Rb	IT		
^{90}Rb	158 s	^{90}Sr	β^-		○
^{90m}Rb	258 s	$^{90}\text{Sr}: 9.74\text{E}-1, ^{90}\text{Rb}: 2.60\text{E}-2$	β^- , IT		
^{79}Sr	2.25 m	^{79}Rb	EC, β^+		
^{93}Sr	7.423 m	^{93}Y	β^-		
^{94}Sr	75.3 s	^{94}Y	β^-		
^{81}Y	70.4 s	^{81}Sr	EC, β^+		
^{83}Y	7.08 m	^{83}Sr	EC, β^+		
^{83m}Y	2.85 m	$^{83}\text{Sr}: 6.00\text{E}-1, ^{83}\text{Y}: 4.00\text{E}-1$	EC, β^+ , IT		
^{89m}Y	15.663 s	^{89}Y	IT		
^{85}Zr	7.86 m	$^{85m}\text{Y}: 9.68\text{E}-1, ^{85}\text{Y}: 3.16\text{E}-2$	EC, β^+		○
^{89m}Zr	4.161 m	$^{89}\text{Zr}: 9.38\text{E}-1, ^{89}\text{Y}: 6.23\text{E}-2$	IT, EC, β^+		
^{87}Nb	3.75 m	^{87}Zr	EC, β^+		
^{88m}Nb	7.78 m	^{88}Zr	EC, β^+		
^{94m}Nb	6.263 m	$^{94}\text{Nb}: 9.95\text{E}-1, ^{94}\text{Mo}: 5.00\text{E}-3$	IT, β^-		○
^{99}Nb	15.0 s	^{99}Mo	β^-		
^{99m}Nb	2.6 m	$^{99}\text{Mo}: 9.80\text{E}-1, ^{99}\text{Nb}: 2.00\text{E}-2$	β^- , IT		
^{89}Mo	2.11 m	^{89}Nb	EC, β^+		
^{91m}Mo	64.6 s	$^{91m}\text{Nb}: 5.00\text{E}-1, ^{91}\text{Mo}: 5.00\text{E}-1$	EC, β^+ , IT		
^{91}Tc	3.14m	$^{91}\text{Mo}: 9.93\text{E}-1, ^{91m}\text{Mo}: 6.68\text{E}-3$	EC, β^+		
^{91m}Tc	3.3 m	$^{91m}\text{Mo}: 9.80\text{E}-1, ^{91}\text{Mo}: 2.02\text{E}-2$	EC, β^+		
^{92}Tc	4.25 m	^{92}Mo	EC, β^+		
^{102}Tc	5.28 s	^{102}Ru	β^-		○
^{102m}Tc	4.35 m	$^{102}\text{Tc}: 2.00\text{E}-2, ^{102}\text{Ru}: 9.80\text{E}-1$	β^- , IT		
^{105}Tc	7.6 m	^{105}Ru	β^-		
^{92}Ru	3.65 m	^{92}Tc	EC, β^+		
^{107}Ru	3.75 m	^{107}Rh	β^-		
^{108}Ru	4.55 m	^{108}Rh	β^-		
^{94}Rh	70.6 s	^{94}Ru	EC, β^+		
^{95}Rh	5.02 m	^{95}Ru	EC, β^+		
^{95m}Rh	1.96 m	$^{95}\text{Rh}: 8.80\text{E}-1, ^{95}\text{Ru}: 1.20\text{E}-1$	IT, EC, β^+		
^{96}Rh	9.90 m	^{96}Ru	EC, β^+		
^{98}Rh	8.7 m	^{98}Ru	EC, β^+	○	○
^{100m}Rh	4.6 m	$^{100}\text{Rh}: 9.83\text{E}-1, ^{100}\text{Ru}: 1.70\text{E}-2$	IT, EC, β^+		
^{104}Rh	42.3 s	$^{104}\text{Pd}: 9.96\text{E}-1, ^{104}\text{Ru}: 4.50\text{E}-3$	β^- , EC		
^{104m}Rh	4.34 m	$^{104}\text{Rh}: 9.99\text{E}-1, ^{104}\text{Pd}: 1.30\text{E}-3$	IT, β^-		
^{106}Rh	29.80 s	^{106}Pd	β^-	○	○
^{108}Rh	16.8 s	^{106}Pd	β^-		
^{109}Rh	80 s	^{109}Pd	β^-		

* 斜字は安定核種、: 以下の数値は生成割合を有効数字 3 桁で表記

付表 3-3 Publ. 107 に掲載されている半減期 10 分未満の核種の崩壊データ (3)

核種	半減期	変換後の核種*	崩壊様式	Publ. 38	RI 告示
⁹⁶ Pd	122 s	^{96m} Rh	EC, β^+		
⁹⁷ Pd	3.10 m	⁹⁷ Rh: 9.88E-1, ^{97m} Rh: 1.16E-2	EC, β^+		
^{109m} Pd	4.69 m	¹⁰⁹ Pd	IT		
¹¹⁴ Pd	2.42 m	¹¹⁴ Ag	β^-		
⁹⁹ Ag	124 s	⁹⁹ Pd	EC, β^+		
^{100m} Ag	2.24 m	¹⁰⁰ Pd	EC, β^+		
^{102m} Ag	7.7 m	¹⁰² Ag: 4.90E-1, ¹⁰² Pd: 5.10E-1	EC, β^+ , IT		
^{105m} Ag	7.23 m	¹⁰⁵ Ag: 9.97E-1, ¹⁰⁵ Pd: 3.40E-3	IT, EC, β^+	○	○
¹⁰⁸ Ag	2.37 m	¹⁰⁸ Cd: 9.72E-1, ¹⁰⁸ Pd: 2.85E-2	β^- , EC, β^+	○	○
^{109m} Ag	39.6 s	¹⁰⁹ Ag	IT		○
¹¹⁰ Ag	24.6 s	¹¹⁰ Cd: 9.97E-1, ¹¹⁰ Cd: 3.00E-3	β^- , EC		○
^{111m} Ag	64.8 s	¹¹¹ Ag: 9.93E-1, ¹¹¹ Cd: 7.00E-3	IT, β^-		○
^{113m} Ag	68.7 s	¹¹³ Ag: 6.40E-1, ¹¹³ Cd: 3.60E-1	IT, β^-		○
¹¹⁴ Ag	4.6 s	¹¹⁴ Cd	β^-		
¹¹⁶ Ag	2.68 m	¹¹⁶ Cd	β^-		
¹¹⁷ Ag	73.6 s	¹¹⁷ Cd: 8.47E-1, ^{117m} Cd: 1.53E-1	β^-		
¹⁰¹ Cd	1.36 m	¹⁰¹ Ag	EC, β^+		
¹⁰² Cd	5.5 m	^{102m} Ag: 9.46E-1, ¹⁰² Ag: 5.38E-2	EC, β^+		
¹⁰³ Cd	7.3 m	¹⁰³ Ag	EC, β^+		
¹¹⁹ Cd	2.69 m	^{119m} In: 9.01E-1, ¹¹⁹ In: 9.91E-2	β^-		
^{119m} Cd	2.20 m	¹¹⁹ In: 9.98E-1, ^{119m} In: 2.13E-3	β^-		
¹⁰³ In	60 s	¹⁰³ Cd	EC, β^+		
¹⁰⁵ In	5.07 m	¹⁰⁵ Cd	EC, β^+		
¹⁰⁶ In	6.2 m	¹⁰⁶ Cd	EC, β^+		
^{106m} In	5.2 m	¹⁰⁶ Cd	EC, β^+		
^{109m} In	1.34 m	¹⁰⁹ In	IT		○
^{111m} In	7.7 m	¹¹¹ In	IT		○
¹¹⁴ In	71.9 s	¹¹⁴ Sn: 9.95E-1, ¹¹⁴ Cd: 5.00E-3	β^- , EC, β^+	○	○
¹¹⁸ In	5.0 s	¹¹⁸ Sn	β^-		○
^{118m} In	4.364 m	¹¹⁸ Sn	β^-		
¹¹⁹ In	2.4 m	^{119m} Sn: 9.48E-3, ¹¹⁹ Sn: 9.91E-1	β^-	○	○
¹²¹ In	23.1 s	¹²¹ Sn: 8.87E-1, ^{121m} Sn: 1.14E-1	β^-		
^{121m} In	3.88 m	¹²¹ Sn: 9.88E-1, ¹²¹ In: 1.20E-2	β^- , IT		
¹⁰⁶ Sn	1.92 m	^{106m} In	EC, β^+		
^{125m} Sn	9.52 m	¹²⁵ Sb	β^-		○
^{127m} Sn	4.13 m	¹²⁷ Sb	β^-		
¹²⁹ Sn	2.23 m	¹²⁹ Sb	β^-		
¹³⁰ Sn	3.72 m	^{130m} Sb	β^-		
^{130m} Sn	1.7 m	¹³⁰ Sb: 8.60E-1, ^{130m} Sb: 1.40E-1	β^-		
¹¹¹ Sb	75 s	¹¹¹ Sn	EC, β^+		
¹¹³ Sb	6.67 m	¹¹³ Sn: 7.76E-1, ^{113m} Sn: 2.24E-1	EC, β^+		
¹¹⁴ Sb	3.49 m	¹¹⁴ Sn	EC, β^+		
¹¹⁸ Sb	3.6 m	¹¹⁸ Sn	EC, β^+		○
^{122m} Sb	4.191 m	¹²² Sb	IT		
^{124m} Sb	93 s	¹²⁴ Sb: 7.50E-1, ¹²⁴ Te: 2.50E-1	IT, β^-	○	○
^{130m} Sb	6.3 m	¹³⁰ Te	β^-		
¹³³ Sb	2.5 m	¹³³ Te: 8.27E-1, ^{133m} Te: 1.73E-1	β^-		
¹¹³ Te	1.7 m	¹¹³ Sb	EC, β^+		

* 斜字は安定核種、: 以下の数値は生成割合を有効数字 3 桁で表記

付表 3-4 Publ. 107 に掲載されている半減期 10 分未満の核種の崩壊データ (4)

核種	半減期	壊変後の核種*	崩壊様式	Publ. 38	RI 告示
¹¹⁵ Te	5.8 m	¹¹⁵ Sb	EC, β^+		
^{115m} Te	6.7 m	¹¹⁵ Sb	EC, β^+		
^{118m} I	8.5 m	¹¹⁸ Te	EC, β^+		
¹²² I	3.63 m	¹²² Te	EC, β^+	○	○
^{130m} I	8.84 m	¹³⁰ I: 8.40E-1, ¹³⁰ Xe: 1.60E-1	IT, β^-		
^{134m} I	3.60 m	¹³⁴ I: 9.77E-1, ¹³⁴ Xe: 2.30E-2	IT, β^-		
¹²¹ Cs	155 s	¹²¹ Xe	EC, β^+		
^{121m} Cs	122 s	¹²¹ Xe: 8.30E-1, ¹²¹ Cs: 1.70E-1	EC, β^+ , IT		
¹²³ Cs	5.88 m	¹²³ Xe	EC, β^+		
¹²⁴ Cs	30.8 s	¹²⁴ Xe	EC, β^+		○
¹²⁶ Cs	1.64 m	¹²⁶ Xe	EC, β^+	○	○
¹²⁸ Cs	3.640 m	¹²⁸ Xe	EC, β^+	○	○
^{130m} Cs	3.46 m	¹³⁰ Cs: 9.98E-1, ¹³⁰ Xe: 1.60E-3	IT, EC		
^{138m} Cs	2.91 m	¹³⁸ Cs: 8.10E-1, ¹³⁸ Ba: 1.90E-1	IT, β^-		
¹³⁹ Cs	9.27 m	¹³⁹ Ba	β^-		○
¹⁴⁰ Cs	63.7 s	¹⁴⁰ Ba	β^-		
^{137m} Ba	2.552 m	¹³⁷ Ba	IT	○	○
¹²⁸ La	5.18 m	¹²⁸ Ba	EC, β^+		
¹³⁰ La	8.7 m	¹³⁰ Ba	EC, β^+		○
¹³⁴ La	6.45 m	¹³⁴ Ba	EC, β^+	○	○
¹³⁶ La	9.87 m	¹³⁶ Ba	EC, β^+		○
¹⁴⁵ Ce	3.01 m	¹⁴⁵ Pr	β^-		
¹³⁸ Pr	1.45 m	¹³⁸ Ce	EC, β^+	○	○
¹⁴⁰ Pr	3.39 m	¹⁴⁰ Ce	EC, β^+		○
^{144m} Pr	7.2 m	¹⁴⁴ Pr: >9.99E-1, ¹⁴⁴ Nd: 7.00E-4	IT, β^-	○	○
¹⁴⁸ Pr	2.29 m	¹⁴⁸ Nd	β^-		
^{148m} Pr	2.01 m	¹⁴⁸ Nd	β^-		
¹³⁴ Nd	8.5 m	^{134m} Pr	EC, β^+		
^{141m} Nd	62.0 s	¹⁴¹ Nd: >9.99E-1, ¹⁴¹ Pr: 3.20E-4	IT, EC, β^+	○	○
¹³⁶ Pm	107 s	¹³⁶ Nd	EC, β^+		
^{137m} Pm	2.4 m	¹³⁷ Nd	EC, β^+		
¹³⁹ Pm	4.15 m	¹³⁹ Nd	EC, β^+		
¹⁴⁰ Pm	9.2 s	¹⁴⁰ Nd	EC, β^+		○
^{140m} Pm	5.95 m	¹⁴⁰ Nd	EC, β^+		
¹⁴² Pm	40.5 s	¹⁴² Nd	EC, β^+	○	○
¹⁵² Pm	4.12 m	¹⁵² Sm	β^-		○
^{152m} Pm	7.52 m	¹⁵² Sm	β^-		○
¹⁵³ Pm	5.25 m	¹⁵³ Sm	β^-		
¹⁵⁴ Pm	1.73 m	¹⁵⁴ Sm	β^-		
^{154m} Pm	2.68 m	¹⁵⁴ Sm	β^-		
¹³⁹ Sm	2.57 m	¹³⁹ Pm	EC, β^+		
¹⁴³ Sm	8.75 m	¹⁴³ Pm	EC, β^+		○
^{143m} Sm	66 s	¹⁴³ Sm: 9.98E-1, ¹⁴³ Pm: 2.40E-3	IT, EC, β^+		
¹⁵⁷ Sm	8.03 m	¹⁵⁷ Eu	β^-		
¹⁴² Eu	2.34 s	¹⁴² Sm	EC, β^+		
^{142m} Eu	1.223 m	¹⁴² Sm	EC, β^+		
¹⁴³ Eu	2.59 m	¹⁴³ Sm: 9.99E-1, ^{143m} Sm: 1.21E-3	EC, β^+		
¹⁴⁴ Eu	10.2 s	¹⁴⁴ Sm	EC, β^+		

* 斜字は安定核種、: 以下の数値は生成割合を有効数字 3 桁で表記

付表 3-5 Publ. 107 に掲載されている半減期 10 分未満の核種の崩壊データ (5)

核種	半減期	壊変後の核種*	崩壊様式	Publ. 38	RI 告示
^{142}Gd	70.2 s	^{142}Eu	EC, β^+		
$^{143\text{m}}\text{Gd}$	110.0 s	^{143}Eu	EC, β^+		
^{144}Gd	4.47 m	^{144}Eu	EC, β^+		
$^{145\text{m}}\text{Gd}$	85 s	$^{145}\text{Gd}: 9.43\text{E}-1, ^{145}\text{Eu}: 5.70\text{E}-2$	IT, EC, β^+		
^{162}Gd	8.4 m	^{162}Tb	β^-		
^{146}Tb	23 s	^{146}Gd	EC, β^+		
$^{147\text{m}}\text{Tb}$	1.87 m	^{147}Gd	EC, β^+		
$^{148\text{m}}\text{Tb}$	2.20 m	^{148}Gd	EC, β^+		○
$^{149\text{m}}\text{Tb}$	4.16 m	$^{149}\text{Gd}: >9.99\text{E}-1, ^{145}\text{Eu}: 2.20\text{E}-4$	EC, β^+, α		
$^{150\text{m}}\text{Tb}$	5.8 m	^{150}Gd	EC, β^+		
$^{151\text{m}}\text{Tb}$	25 s	$^{151}\text{Tb}: 9.34\text{E}-1, ^{151}\text{Gd}: 6.60\text{E}-2$	IT, EC, β^+		
$^{152\text{m}}\text{Tb}$	4.2 m	$^{152}\text{Tb}: 7.88\text{E}-1, ^{151}\text{Gd}: 2.12\text{E}-1$	IT, EC, β^+		
^{162}Tb	7.60 m	^{162}Dy	β^-		
^{164}Tb	3.0 m	^{164}Dy	β^-		
^{165}Tb	2.11 m	$^{165\text{m}}\text{Dy}: 8.90\text{E}-1, ^{165}\text{Dy}: 1.10\text{E}-1$	β^-		
^{148}Dy	3.3 m	^{148}Tb	EC, β^+		
^{149}Dy	4.20 m	$^{149}\text{Tb}: 5.67\text{E}-1, ^{149\text{m}}\text{Tb}: 4.33\text{E}-1$	EC, β^+		
^{150}Dy	7.17 m	$^{150}\text{Tb}: 6.40\text{E}-1, ^{146}\text{Gd}: 3.60\text{E}-1$	EC, β^+, α		
$^{165\text{m}}\text{Dy}$	1.257 m	$^{165}\text{Dy}: 9.78\text{E}-1, ^{165}\text{Ho}: 2.24\text{E}-2$	IT, β^-		
^{167}Dy	6.20 m	^{167}Ho	β^-		
^{168}Dy	8.7 m	^{168}Ho	β^-		
^{150}Ho	76.8 s	^{150}Dy	EC, β^+		
^{153}Ho	2.01 m	$^{153}\text{Dy}: >9.99\text{E}-1, ^{149}\text{Tb}: 5.10\text{E}-4$	EC, β^+, α		
$^{153\text{m}}\text{Ho}$	9.3 m	$^{153}\text{Dy}: 9.98\text{E}-1, ^{149}\text{Tb}: 1.80\text{E}-3$	EC, β^+, α		
$^{154\text{m}}\text{Ho}$	3.10 m	$^{154}\text{Dy}: >9.99\text{E}-1, ^{150\text{m}}\text{Tb}: 1.00\text{E}-5$	EC, β^+, α		
^{168}Ho	2.99 m	^{168}Er	β^-		
$^{168\text{m}}\text{Ho}$	132 s	^{168}Ho	IT		
^{170}Ho	2.76 m	^{170}Er	β^-		
^{154}Er	3.73 m	$^{154}\text{Ho}: 9.95\text{E}-1, ^{150}\text{Dy}: 4.70\text{E}-3$	EC, β^+, α		
$^{167\text{m}}\text{Er}$	2.269 s	^{167}Er	IT		○
^{173}Er	1.434 m	^{173}Tm	β^-		
^{164}Tm	2.0 m	^{164}Er	EC, β^+	○	○
^{174}Tm	5.4 m	^{174}Yb	β^-		
^{176}Tm	1.85 m	^{176}Yb	β^-		
^{165}Yb	9.9 m	^{165}Tm	EC, β^+		○
^{179}Yb	8.0 m	^{179}Lu	β^-		
$^{169\text{m}}\text{Lu}$	160 s	^{169}Lu	IT		○
$^{171\text{m}}\text{Lu}$	79 s	^{171}Lu	IT		
$^{172\text{m}}\text{Lu}$	3.7 m	^{172}Lu	IT		
^{180}Lu	5.7 m	^{180}Hf	β^-		
^{181}Lu	3.5 m	^{181}Hf	β^-		
^{167}Hf	2.05 m	^{167}Lu	EC, β^+		
^{169}Hf	3.24 m	$^{169}\text{Lu}: 9.69\text{E}-1, ^{169\text{m}}\text{Lu}: 3.10\text{E}-2$	EC, β^+		○
^{170}Ta	6.76 m	^{170}Hf	EC, β^+		
^{178}Ta	9.31 m	^{178}Hf	EC, β^+	○	○
$^{179\text{m}}\text{W}$	6.40 m	$^{179}\text{W}: 9.97\text{E}-1, ^{179}\text{Ta}: 2.80\text{E}-3$	IT, EC		○
$^{185\text{m}}\text{W}$	1.597 m	^{185}W	IT		○
^{180}Re	2.44 m	^{180}W	EC, β^+	○	○

* 斜字は安定核種、: 以下の数値は生成割合を有効数字 3 桁で表記

付表 3-6 Publ. 107 に掲載されている半減期 10 分未満の核種の崩壊データ (6)

核種	半減期	壊変後の核種*	崩壊様式	Publ. 38	RI 告示
¹⁹⁰ Re	3.1 m	¹⁹⁰ Os	β^-		○
^{190m} Os	9.9 m	¹⁹⁰ Os	IT	○	○
¹⁸⁰ Ir	1.5 m	¹⁸⁰ Os	EC, β^+		
^{191m} Ir	4.94 s	¹⁹¹ Ir	IT		○
^{192m} Ir	1.45 m	¹⁹² Ir: >9.99E-1, ¹⁹² Pt: 1.75E-4	IT, β^-	○	○
¹⁹⁶ Ir	52 s	¹⁹⁶ Pt	β^-	○	○
¹⁸⁷ Au	8.4 m	¹⁸⁷ Pt: >9.99E-1, ¹⁸³ Ir: 1.00E-5	EC, β^+ , α		
^{193m} Au	3.9 s	¹⁹³ Au: >9.99E-1, ^{193m} Pt: 3.00E-4	IT, EC		
^{195m} Au	30.5 s	¹⁹⁵ Au	IT		○
²⁰² Au	28.8 s	²⁰² Hg	β^-		○
²⁰⁵ Hg	5.2 m	²⁰⁵ Tl	β^-		
²⁰⁶ Hg	8.15 m	²⁰⁶ Tl	β^-		○
²⁰⁷ Hg	2.9 m	²⁰⁷ Tl	β^-		
¹⁹⁰ Tl	2.6 m	¹⁹⁰ Hg	EC, β^+		
^{190m} Tl	3.7 m	¹⁹⁰ Hg	EC, β^+		
²⁰⁶ Tl	4.200 m	²⁰⁶ Pb	β^-	○	○
^{206m} Tl	3.74 m	²⁰⁶ Tl	IT		
²⁰⁷ Tl	4.77 m	²⁰⁷ Pb	β^-	○	○
²⁰⁸ Tl	3.053 m	²⁰⁸ Pb	β^-	○	○
²⁰⁹ Tl	2.161 m	²⁰⁹ Pb	β^-	○	○
²¹⁰ Tl	1.30 m	²¹⁰ Pb	β^-		○
¹⁹⁷ Pb	8 m	¹⁹⁷ Tl	EC, β^+		○
^{201m} Pb	61 s	²⁰¹ Pb	IT		
¹⁹⁷ Bi	9.3 m	¹⁹⁷ Pb: 5.61E-1, ^{197m} Pb: 4.39E-1	EC, β^+		
²¹¹ Bi	2.14 m	²⁰⁷ Tl: 9.97E-1, ²¹¹ Po: 2.76E-3	α , β^-	○	○
²¹²ⁿ Bi	7.0 m	^{212m} Po	β^-		
²¹⁵ Bi	7.6 m	²¹⁵ Po	β^-		
²¹⁶ Bi	2.17 m	²¹⁶ Po	β^-		
²¹¹ Po	0.516 s	²⁰⁷ Pb	α	○	
²¹² Po	2.99E-7 s	²⁰⁸ Pb	α	○	
^{212m} Po	45.1 s	²⁰⁸ Pb	α		
²¹³ Po	4.2E-6 s	²⁰⁹ Pb	α	○	
²¹⁴ Po	1.643E-4 s	²¹⁰ Pb	α	○	
²¹⁵ Po	1.781E-3 s	²¹¹ Pb	α	○	
²¹⁶ Po	0.145 s	²¹² Pb	α	○	
²¹⁸ Po	3.10 m	²¹⁴ Pb: >9.99E-1, ²¹⁸ At: 2.00E-4	α , β^-	○	○
²⁰⁴ At	9.2 m	²⁰⁴ Po: 9.62E-1, ²⁰⁰ Bi: 3.80E-2	EC, β^+ , α		
²¹⁵ At	1.00E-4 s	²¹¹ Bi	α	○	○
²¹⁶ At	3.00E-4 s	²¹² Bi	α	○	○
²¹⁷ At	3.23E-2 s	²¹³ Bi: >9.99E-1	α	○	
²¹⁸ At	1.5 s	²¹⁴ Bi: 9.99E-1, ²¹⁸ Rn: 1.00E-3	α , β^-	○	○
²¹⁹ At	56 s	²¹⁵ Bi: 9.70E-1	α		
²²⁰ At	3.71 m	²²⁰ Rn: 9.20E-1, ²¹⁶ Bi: 8.00E-2	β^- , α		
²¹⁹ Fr	2.0E-2 s	²¹⁵ At	α	○	○
²²⁰ Fr	27.4 s	²¹⁶ At: 9.97E-1, ²²⁰ Ra: 3.50E-3	α , β^-	○	○
²²¹ Fr	4.9 m	²¹⁷ At	α	○	○
²²⁴ Fr	3.33 m	²²⁴ Ra	β^-		
²²⁷ Fr	2.47 m	²²⁷ Ra	β^-		
²¹⁹ Ra	10 ms	²¹⁵ Rn	α		

* 斜字は安定核種、: 以下の数値は生成割合を有効数字 3 桁で表記

付表 3-7 Publ. 107 に掲載されている半減期 10 分未満の核種の崩壊データ (7)

核種	半減期	壊変後の核種*	崩壊様式	Publ. 38	RI 告示
^{220}Ra	1.79E-2 s	^{216}Rn	α	○	○
^{221}Ra	28 s	^{217}Rn	α		
^{222}Ra	38.0 s	^{218}Rn	α	○	○
^{223}Ac	2.10 m	^{219}Fr	α	○	○
^{230}Ac	122 s	^{230}Th	β^-	○	○
^{231}Ac	7.5 m	^{231}Th	β^-		
^{232}Ac	119 s	^{232}Th	β^-		
^{233}Ac	145 s	^{233}Th	β^-		
^{223}Th	0.60 s	^{219}Ra	α		
^{224}Th	1.05 s	^{220}Ra	α		○
^{235}Th	7.1 m	^{235}Pa	β^-		
$^{234\text{m}}\text{Pa}$	1.17 m	$^{234}\text{U}: 9.98\text{E}-1, ^{234}\text{Pa}: 1.60\text{E}-3$	β^-, IT	○	○
^{236}Pa	9.1 m	^{236}U	β^-		○
^{237}Pa	8.7 m	^{237}U	β^-		
^{227}U	1.1 m	^{223}Th	α		
^{228}U	9.1 m	^{224}Th	α		○
$^{240\text{m}}\text{Np}$	7.22 m	$^{240}\text{Pu}: 9.99\text{E}-1, ^{240}\text{Np}: 1.00\text{E}-3$	β^-, IT	○	○
^{242}Np	2.2 m	^{242}Pu	β^-		
$^{242\text{m}}\text{Np}$	5.5 m	^{242}Pu	β^-		

* 斜字は安定核種、: 以下の数値は生成割合を有効数字 3 桁で表記

付録4 委員会会合及び外部発表

1. 内部被ばく線量評価コードの運用に関する検討委員会

・第1回会合

日付：令和3年10月18日

場所：オンライン（ZOOM）

出席者：

（委員長）吉田浩子

（委員）高橋知之、谷幸太郎、福田直子、細田正洋

（幹事）高橋史明

（事務局）真辺健太郎

（オブザーバ）三澤丈治（原子力規制庁）

議題

- (1) 原子力規制庁委託事業令和3年度の計画について
- (2) コードの公開等に係るこれまでの検討状況と今後の方針について
- (3) JAEA 開発コードの公開・提供に関する調査結果について
- (4) コードの公開、維持管理及び普及促進について
- (5) コード簡易版の開発について
- (6) その他

・第2回会合

日付：令和4年3月10日

場所：オンライン（ZOOM）

出席者：

（委員長）吉田浩子

（委員）高橋知之、谷幸太郎、福田直子、細田正洋

（幹事）高橋史明

（事務局）真辺健太郎

（オブザーバ）三澤丈治（原子力規制庁）

議題

- (1) コードの公開、維持管理及び普及促進の方法について
- (2) コード簡易版の仕様について
- (3) ICRP OIR 刊行物の分析について
- (4) その他

2. 外部発表

・学会発表 3件

- (1) 真辺健太郎, 佐藤薫, 高橋史明, 「開発した内部被ばく線量評価コードの全体概要」, 第3回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会, オンライン.
- (2) 高橋史明, 真辺健太郎, 佐藤薫, 「国際放射線防護委員会による職業人の放射性核種摂取に関する刊行物の分析」, 日本原子力学会 2022年春の年会, オンライン.
- (3) 真辺健太郎, 佐藤薫, 高橋史明, 「内部被ばく線量評価コード簡易版の仕様の検討」, 日本原子力学会 2022年春の年会, オンライン.

付録5 外部発表資料

1. 第3回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会 ポスター発表1件

CP36

開発した内部被ばく線量評価コードの全体概要

○奥辺 健太郎、佐藤 薫、高橋 史明
日本原子力研究開発機構 安全研究センター リスク評価・防災研究グループ

開発した内部被ばく線量評価コードの特徴

線量係数計算機能

線量係数計算フロー

- 体内動態モデル
- 核崩壊データ
- SAFデータ
- 放射線加重係数
- 男女別放射線加重S係数
- 体内放射能、男女別等価線量率の常微分方程式 (ODE) 構築
 - * 組織質量当たりの放射線エネルギー吸収割合
 - * 1回線量あたりの等価線量
- 男女別等価線量
- 男女別等価線量率
- 今後、年齢群毎の動態モデル・SAFデータの拡充を進める
- 男女別等価線量
- 性平均等価線量
- 組織加重係数
- 予託実効線量 (線量係数)

ICRPの線量係数を公開しない半減期10分未満の核種にも対応

ICRPの線量係数データベース：OIR Data Viewer ver. 4.01と照合

摂取量推定機能

摂取量推定・被ばく線量評価フロー

- 摂取条件、被験者パラメータ等の設定
- モニタリング結果の入力
- 残留放射能・排泄率推定の計算
- 線量係数計算 (Sv/Bq)
- 放射能推移とモニタリング結果のフィッティング (摂取量 (Bq) 推定)
- 被ばく線量 (Sv) 導出

ICRPの線量係数を公開しない半減期10分未満の核種にも対応

ICRPの線量係数データベース：OIR Data Viewer ver. 4.01と照合

線量係数計算機能

線量係数計算フロー

- 体内動態モデル
- 核崩壊データ
- SAFデータ
- 放射線加重係数
- 男女別放射線加重S係数
- 体内放射能、男女別等価線量率の常微分方程式 (ODE) 構築
 - * 組織質量当たりの放射線エネルギー吸収割合
 - * 1回線量あたりの等価線量
- 男女別等価線量
- 男女別等価線量率
- 今後、年齢群毎の動態モデル・SAFデータの拡充を進める
- 男女別等価線量
- 性平均等価線量
- 組織加重係数
- 予託実効線量 (線量係数)

ICRPの線量係数を公開しない半減期10分未満の核種にも対応

ICRPの線量係数データベース：OIR Data Viewer ver. 4.01と照合

線量係数計算機能

線量係数計算フロー

- 体内動態モデル
- 核崩壊データ
- SAFデータ
- 放射線加重係数
- 男女別放射線加重S係数
- 体内放射能、男女別等価線量率の常微分方程式 (ODE) 構築
 - * 組織質量当たりの放射線エネルギー吸収割合
 - * 1回線量あたりの等価線量
- 男女別等価線量
- 男女別等価線量率
- 今後、年齢群毎の動態モデル・SAFデータの拡充を進める
- 男女別等価線量
- 性平均等価線量
- 組織加重係数
- 予託実効線量 (線量係数)

ICRPの線量係数を公開しない半減期10分未満の核種にも対応

ICRPの線量係数データベース：OIR Data Viewer ver. 4.01と照合

線量係数計算機能

線量係数計算フロー

- 体内動態モデル
- 核崩壊データ
- SAFデータ
- 放射線加重係数
- 男女別放射線加重S係数
- 体内放射能、男女別等価線量率の常微分方程式 (ODE) 構築
 - * 組織質量当たりの放射線エネルギー吸収割合
 - * 1回線量あたりの等価線量
- 男女別等価線量
- 男女別等価線量率
- 今後、年齢群毎の動態モデル・SAFデータの拡充を進める
- 男女別等価線量
- 性平均等価線量
- 組織加重係数
- 予託実効線量 (線量係数)

ICRPの線量係数を公開しない半減期10分未満の核種にも対応

ICRPの線量係数データベース：OIR Data Viewer ver. 4.01と照合

線量係数計算機能

線量係数計算フロー

- 体内動態モデル
- 核崩壊データ
- SAFデータ
- 放射線加重係数
- 男女別放射線加重S係数
- 体内放射能、男女別等価線量率の常微分方程式 (ODE) 構築
 - * 組織質量当たりの放射線エネルギー吸収割合
 - * 1回線量あたりの等価線量
- 男女別等価線量
- 男女別等価線量率
- 今後、年齢群毎の動態モデル・SAFデータの拡充を進める
- 男女別等価線量
- 性平均等価線量
- 組織加重係数
- 予託実効線量 (線量係数)

ICRPの線量係数を公開しない半減期10分未満の核種にも対応

ICRPの線量係数データベース：OIR Data Viewer ver. 4.01と照合

線量係数計算機能

線量係数計算フロー

- 体内動態モデル
- 核崩壊データ
- SAFデータ
- 放射線加重係数
- 男女別放射線加重S係数
- 体内放射能、男女別等価線量率の常微分方程式 (ODE) 構築
 - * 組織質量当たりの放射線エネルギー吸収割合
 - * 1回線量あたりの等価線量
- 男女別等価線量
- 男女別等価線量率
- 今後、年齢群毎の動態モデル・SAFデータの拡充を進める
- 男女別等価線量
- 性平均等価線量
- 組織加重係数
- 予託実効線量 (線量係数)

ICRPの線量係数を公開しない半減期10分未満の核種にも対応

ICRPの線量係数データベース：OIR Data Viewer ver. 4.01と照合

線量係数計算機能

線量係数計算フロー

- 体内動態モデル
- 核崩壊データ
- SAFデータ
- 放射線加重係数
- 男女別放射線加重S係数
- 体内放射能、男女別等価線量率の常微分方程式 (ODE) 構築
 - * 組織質量当たりの放射線エネルギー吸収割合
 - * 1回線量あたりの等価線量
- 男女別等価線量
- 男女別等価線量率
- 今後、年齢群毎の動態モデル・SAFデータの拡充を進める
- 男女別等価線量
- 性平均等価線量
- 組織加重係数
- 予託実効線量 (線量係数)

ICRPの線量係数を公開しない半減期10分未満の核種にも対応

ICRPの線量係数データベース：OIR Data Viewer ver. 4.01と照合

今後の展開

- コード開発
- 今後公開されるモデルやデータの調査、コードへの実装・検証
- 外部専門家の試用・検証に基づくコードの改良
- コードの普及・利用促進
- 高度情報科学技術研究機構・原子力コードセンターを通じてコードを提供 (令和4年度提供開始予定)
- 利用申請不要の簡易版ウェブアプリの開発
- コードの活用 (法令の更新)
- 防護基準値の算出シナリオに関する調査・検討
- 防護基準値の改正に必要なサブマージョン核種の調査

内部被ばく線量評価の技術的基盤の整備

国内法令の更新・内部被ばく研究の推進に貢献

問合せ先

コードへの要望・質問・試問・検証チームへの参加希望等、ご連絡ください。

E-mail: manabe.kentaro@jaea.go.jp
電話: 029-282-6025

本件は、原子力規制庁令和3年度放射線対策委託費(内部被ばく線量評価コードの高度化及び運用・普及促進)事業によるものです。

①

2F07

国際放射線防護委員会による 職業人の放射性核種摂取に関する刊行物の分析

本発表は、原子力規制庁「令和3 年度放射線対策委託費(内部被ばく線量評価コードの高度化及び運用・普及促進)事業」により得られた成果を含みます。



高橋 史明, 真辺 健太郎, 佐藤 薫 (原子力機構)

日本原子力学会2022年春の年会 (令和4年3月16日-3月18日、web開催)

②

背景

国際放射線防護委員会(ICRP)の2007年勧告の主旨を反映して、国内の放射線安全基準を改正する検討が進捗

放射性同位元素の種類が明らかで、かつ、一種類である場合の空气中濃度限度等
(告示「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」(RI数量告示)別表第2、一部改変)

第1欄		第2欄	第3欄	第4欄	第5欄	第6欄
放射性同位元素の種類	化学形等	吸入摂取した場合の実効線量係数(mSv/Bq)	経口摂取した場合の実効線量係数(mSv/Bq)	空气中濃度限度(Bq/cm ³)	排気中又は空气中の濃度限度(Bq/cm ³)	排液中又は排水中の濃度限度(Bq/cm ³)
核種	化学形等					
137Cs	全ての化合物	6.7×10 ⁻⁶	1.3×10 ⁻⁵	3×10 ⁻³	3×10 ⁻⁵	9×10 ⁻²

1990年勧告に従う数値
(Publ.68等に掲載)

内部被ばく防護のための基準
(第4欄：職業、第5欄及び第6欄：公衆)

ICRP2007年勧告の取入れ ⇒ 内部被ばく防護基準値も見直し

職業被ばくに対する2007年勧告に準拠した線量評価に用いるデータ等

OIR(Occupational Intakes of Radionuclides)*のPart 2、Part 3及びPart 4を公開、
完結版のPart 5のドラフト文書も公開

*職業上の放射性核種の摂取



日本原子力学会2022年春の年会 (令和4年3月16日-3月18日、web開催)

本分析の目的及び方法

(目的)

内部被ばくに対する防護基準値のうち、空气中濃度限度(職業被ばくの基準値)のICRP2007年勧告の取入れに伴う改正における課題を抽出・整理

(方法)

- ① 現行の内部被ばく評価に用いる技術的基準(RI数量告示)の制定経緯を調査
 - ・1990年勧告に準拠する線量評価モデル・データを与える刊行物
 - ・放射線審議会基本部会「外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針(H11年)」
 - ・「JAERI-Data/Code2000-001」及び「JAERI-Data/Code2000-033」
(日本原子力研究所による報告書、RI数量告示の別表第2及び別表第3とほぼ同じ表を含む。)
- ② 想定される防護基準値の見直しにおける課題を抽出・整理
 - ・公開済の2007年勧告に準拠する線量評価モデル・データを与える刊行物
 - ・OIR part 5のドラフト文書



日本原子力学会2022年春の年会 (令和4年3月16日-3月18日、web開催)

RI数量告示の空气中濃度限度

別表第2：放射性同位元素の種類が明らかで、かつ、一種類である場合の空气中濃度限度等

第1欄		第2欄	第3欄	第4欄	第5欄	第6欄
放射性同位元素の種類		吸入摂取した場合の実効線量係数(mSv/Bq)	経口摂取した場合の実効線量係数(mSv/Bq)	空气中濃度限度(Bq/cm ³)	排気中又は空气中の濃度限度(Bq/cm ³)	排液中又は排水中の濃度限度(Bq/cm ³)
核種	化学形等					
137Cs	全ての化合物	6.7×10 ⁻⁶	1.3×10 ⁻⁵	3×10 ⁻³	3×10 ⁻⁵	9×10 ⁻²

次頁に示す方法

別表第3：放射性同位元素の種類が明らかで、かつ、当該放射性同位元素の種類が別表第2に掲げられていない場合の空气中濃度限度等

第1欄	第2欄	第3欄	第4欄
放射性同位元素の区分	空气中濃度限度(Bq/cm ³)	排気中又は空气中の濃度限度(Bq/cm ³)	排液中又は排水中の濃度限度(Bq/cm ³)
α線放出の有無、物理学的半減期(4区分)の組み合わせで、8種類に区分

各区分に該当する核種の中で、別表第2で最も厳しくなる条件



日本原子力学会2022年春の年会 (令和4年3月16日-3月18日、web開催)

空气中濃度(限度)の算定方法

・粒子状物質及び可溶性または反応性ガス及び蒸気状物質

空气中濃度(Bq/m³) = 1(mSv/week) / [線量係数(mSv/Bq) × 呼吸率(cm³/h) × 作業時間(h/week)]

線量係数(mSv/Bq) : 粒子状物質(5μmAMAD)、可溶性または反応性ガス及び蒸気状物質に対する吸入摂取による実効線量係数(第2欄に掲載),

呼吸率 : 1.2 × 10⁶(cm³/h) , 作業時間:40(h/week)

・不活性かつ非反応性のガス・蒸気(サブマージョン核種)

空气中濃度(Bq/m³) = 1(mSv/week) / [線量率係数((mSv/h)/(Bq/cm³))* × 作業時間(h/week)]

線量率係数((mSv/h)/(Bq/cm³)) : 不活性かつ非反応性のガス及び蒸気性物質に対する線量率係数(RI数量告示に未掲載:第2欄は空欄),

作業時間:40(h/week)

「JAERI-Data/Code2000-001」(2000)より

2007年勧告に準拠する内部被ばく線量評価

- ・ 摂取した核種の量(放射能)に実効線量係数を乗じるプロセスを継続して採用
- ・ OIR part 5(ドラフト) : サブマージョン核種の被ばく評価に用いるデータを提示

⇒ 線量係数または線量率係数を用いて、空气中濃度(限度)を導出可能



日本原子力学会2022年春の年会(令和4年3月16日-3月18日、web開催)

実効線量係数

OIRの実効線量係数, e(50):Publ.68のデータに置き換わるもの

Publ.68(RI数量告示)に掲載されている⁶⁰Coの実効線量係数(吸入摂取)

物質名(化学形等)	f ₁ 値	血液への吸収タイプ (エアロゾル吸入)	e(50) (mSv/Bq)
酸化物、水酸化物及び無機化合物以外の化合物	0.1	Type M	7.1E-6
酸化物、水酸化物及び無機化合物	0.05	Type S	1.7E-5

OIRに掲載されている⁶⁰Coの実効線量係数(吸入摂取)

物質名(化学形等)	f _A 値	血液への吸収タイプ (エアロゾル吸入)	e(50) (mSv/Bq)
硝酸塩、塩化物	0.1	Type F	4.2E-6
全ての特定されていない化合物	0.02	Type M	6.2E-6
結合アルミノケイ酸塩(FAP)、 ポリエスチレン(PSL)、酸化物	0.004	Type S	3.1E-5

放射性核種 : ICRP Publ. 107中の半減期が10分以上の核種

物質(化学形等)やf_A値 : 新たに得た知見を反映してPubl.68から見直し

血液への吸収タイプ : ICRPサポートガイダンス(Ann. ICRP 32 (1/2), (2002))を参照



日本原子力学会2022年春の年会(令和4年3月16日-3月18日、web開催)

放射性同位元素の種類(1) -放射性核種-

「外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針(平成11年4月)」

原則、当時の技術的基準で規定されている核種、及びPubl.68に掲載されている核種を現行のRI数量告示別表第2で掲載する方針

OIR : Publ. 107にある半減期10分以上の核種に対する実効線量係数を提供
⇒ 実効線量係数が正確に導出されていることを検証する必要

Publ.107に含まれる半減期10分未満の核種のRI数量告示への掲載

総数	掲載の核種数	未掲載の核種数
307	107	200

Publ.107の崩壊データを用いて、独自に実効線量係数を導出可能

RI数量告示に掲載され、かつPubl.107に未掲載の15核種

^{84}Y , $^{97\text{m}}\text{Nb}$, ^{116}In , ^{146}Ce , ^{158}Ho , $^{180\text{m}}\text{Ta}$ (※), ^{176}W , $^{183\text{m}}\text{W}$, ^{177}Re , ^{197}Ir , ^{229}Ac ,
 ^{231}Np , ^{256}Cf , ^{257}Md , ^{258}Md ※ Publ.107では、 ^{180}Ta として取扱いの可能性

実効線量係数の導出に必須な崩壊データを調査・整備することが必要



日本原子力学会2022年春の年会(令和4年3月16日-3月18日、web開催)

放射性同位元素の種類(2) -化学形等-

Publ.68(RI数量告示): Csの吸入摂取では、全ての化合物に1つの実効線量係数を適用
⇒ ^{137}Cs の実効線量係数: $6.7\text{E-}6$ (mSv/Bq)

OIRに掲載されている ^{137}Cs の実効線量係数(吸入摂取)

物質名(化学形等)	f_A 値	血液への吸収タイプ (エアロゾル吸入)	$e(50)$ (mSv/Bq)
塩化物、硝酸塩及び硫酸塩	0.99	Type F	$9.3\text{E-}6$
照射された燃料片、全ての特定されない化学形	0.2	Type M	$5.6\text{E-}6$
(明記されている物質なし)	0.01	Type S	$5.1\text{E-}5$

RI数量告示別表第2の改正

OIRでは、Publ.68から「物質名」と「血液への吸収タイプ」の対応も変更
⇒ 新たに物質名(化学形等)と実効線量係数を正確に整合して基準値を導出

RI数量告示別表第3の改正

物質名(化学形等)が空欄の摂取条件が、最も厳しい実効線量係数を与える可能性
(Publ.68: 掲載されている全ての実効線量係数に対して該当する物質名が明示)

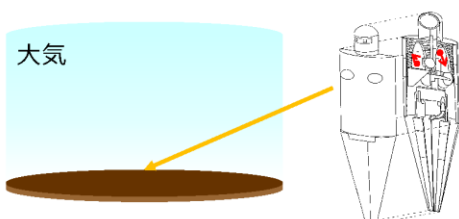


日本原子力学会2022年春の年会(令和4年3月16日-3月18日、web開催)

サブマージョン（不活性ガス等）

RI数量告示の基準値の算定で基礎とした線量率係数の解析で考慮した被ばく条件

半無限空間に分布した核種による外部照射*¹
及び肺中の放射性ガスによる被ばく*²

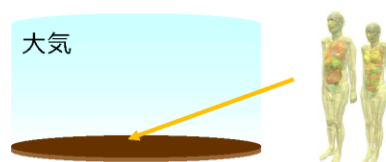


*1 Federal Guidance Report No.12 (1993)
*2 NRPB-M688 (1996)

1990年勧告に準拠した線量評価法で解析

ICRP Publ.144 (2020)

半無限空間に分布した核種による外部照射



OIR part 5 Annex A (ドラフト)

作業環境に分布した核種による外部照射*

・ オフィス (100.92 m³) ・ 研究室 (600m³)
・ 倉庫 (~1192 m³)

*Veinot, K.G et al, *Radia Environ Biophys* 56 (2017)

2007年勧告に準拠した線量評価法で解析

現行の空气中濃度限度の算定で考慮した条件や核種を引き続き採用する場合

- ・ 2007年勧告に準拠する線量評価法(モデル・データ)を用いて、**線量率係数を整備**
- ・ RI数量告示に掲載、かつPubl. 107 に未掲載の⁹⁰Kr、^{125m}Xe及び¹³⁹Xeの崩壊データを用意



日本原子力学会2022年春の年会（令和4年3月16日-3月18日、web開催）

まとめ

ICRP2007年勧告の取入れに伴う空气中濃度限度の改正における課題を抽出・整理

- **粒子状物質及び可能性または反応性ガス及び蒸気状物質の吸入に伴う被ばく**
 - ・ OIRで提供される実効線量係数を検証のうえ、空气中濃度限度を算定可能
 - ・ Publ.107に掲載されている半減期10分未満の核種は、実効線量係数を独自に導出のうえ、空气中濃度限度を算定可能
- 放射線安全規制研究戦略的推進事業費（平成29年度～令和2年度）で開発した内部被ばく線量評価コード（2021年原子力学会春の年会にて報告）の活用
- **不活性ガス等による被ばく(サブマージョン核種)**
 - ・ 2007年勧告準拠の線量評価法により、線量率係数を独自に整備する必要
 - **RI数量告示に掲載、かつPubl. 107 に未掲載の核種に対する防護基準値の算定**
 - ・ 崩壊データを用意し、実効線量係数や線量率係数を独自に整備する必要

謝辞

本発表は、原子力規制庁「令和3年度放射線対策委託費(内部被ばく線量評価コードの高度化及び運用・普及促進)事業」により得られた成果を含みます。



日本原子力学会2022年春の年会（令和4年3月16日-3月18日、web開催）

2F08

内部被ばく線量評価コード簡易版の仕様の検討

○真辺 健太郎、佐藤 薫、高橋 史明



日本原子力研究開発機構

未来へげんき
To the Future / JAEA

本発表は、原子力規制庁「令和3年度放射線対策委託費（内部被ばく線量評価コードの高度化及び運用・普及促進）事業」により得られた成果を含みます。

日本原子力学会2022年春の年会 オンライン 令和4年3月17日（木）

1

背景

我が国の放射線安全基準に国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007年勧告を取入れ

- 内部被ばくに対する防護基準値（濃度限度）の見直し
⇒ 2007年勧告に準拠した線量係数*が必要
*放射性核種 1 Bq摂取あたりの預託実効線量
- 事業所等における2007年勧告に準拠した被ばく線量評価・管理
⇒ 同勧告に基づく被ばく評価が可能なツールが必要

H29～R2年度 原子力規制庁 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を開発

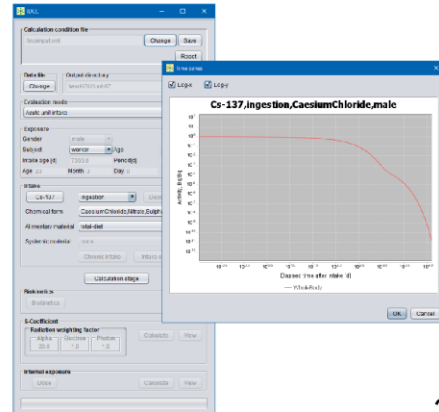
2

内部被ばく線量評価コード（フル機能版）

- 線量係数計算機能
 - 任意の摂取条件に対する線量係数の計算
 - 線量評価用モデル・データの編集が可能
- 核種摂取量推定機能
 - 内部被ばくモニタリングの結果から摂取量を推定
 - 様々な摂取シナリオ、複数のモニタリング手法の同時考慮に対応
- グラフィカルユーザインタフェース (GUI)
 - 両機能を統合

- ✓ 高機能・専門家向け
- ✓ 利用許諾が必要*

*R4年度中、高度情報科学技術研究機構
原子力コードセンターを通じて提供開始予定



3

コード簡易版の開発

よりシンプルで容易に利用可能な簡易版へのニーズ

- 線量限度遵守の確認、防護計画の立案
 - ✓ 線量係数評価：ICRPの既定条件のみ計算可能
 - ✓ 核種摂取量推定：1回の急性摂取に対し、1個のモニタリング結果からの線量評価
- 線量評価・放射線防護に関する大学講義等での活用

内部被ばく線量評価に関する国内の専門家に意見聴取、
コード簡易版の仕様について検討

4

コード簡易版：形態に関する検討

形態の候補

- ウェブアプリ
- モバイルアプリ
- パッケージ版 (PC用アプリ)

開発チームからの提案

- モバイルアプリはネット環境がなくても利用可能
アンドロイド・iOS等のモバイル用OS毎のアプリ (バージョン) が必要
提供窓口 (ストア) への登録基準が不明確であること等が課題
⇒ ウェブアプリ または パッケージ版

専門家からの意見

- 大学の講義での使用を想定すると、ノートPCが必須となるパッケージ版の利用は厳しい。
- ウェブアプリであれば、スマホ、タブレット、ノートPCと多様な端末で利用できて便利。
- ウェブアプリで十分である。

5

コード簡易版：機能に関する検討 参考例

このデータベースは、全身計測、バイオアッセイなどの個人モニタリングの計測値から摂取量や預託実効線量を評価する手助けをします。

利用者は、作業あるいは公衆により、吸入もしくは経口摂取された放射性核種に関して：
(a)体内残留率や排泄率、あるいは
(b)モニタリング計測値当たりの預託実効線量のグラフを得ることができます。

[グラフ検索フォームへ](#)

QSTホームページより
<https://www.nirs.qst.go.jp/db/anzendb/RPD/gpmjdj.php>

データベース検索フォーム

[摂取経路と評価対象者]及び[放射性核種]をお選びください。

摂取経路と評価対象者	放射性核種(プルダウンメニュー)
<input type="radio"/> 作業による吸入摂取 <input type="radio"/> 作業による経口摂取 <input checked="" type="radio"/> 公衆による吸入摂取 <input type="radio"/> 公衆による経口摂取	Cs-137

次へ

データベース検索フォーム2

Cs137 公衆による吸入

[吸収のタイプ]及び[残留率/排泄率]をお選びください。

吸収のタイプ

- 吸収が速い (Type F) : Not specified in ICRP Publications
- 吸収が中位 (Type M) : Not specified in ICRP Publications
- 吸収が遅い (Type S) : Not specified in ICRP Publications

残留率/排泄率

- 全身残留率
- 一日当たり尿中排泄率
- 一日当たり糞中排泄率

どちらのグラフを選びますか？

- 放射性核種の体内残留量や排泄率
- モニタリング計測値当たりの預託実効線量

表示

Cs-137 タイプF、全身残留率

以下の経時変化グラフを表示

- 体内残留量、排泄率
- モニタリング値当たりの預託実効線量

6

コード簡易版：機能に関する検討

開発チームからの提案

- 計算負荷低減のため、代表的な核種・摂取条件について線量係数、体内放射能、排泄率等をあらかじめ計算してデータベース化し、指定された条件に対するデータやグラフ等を表示する。

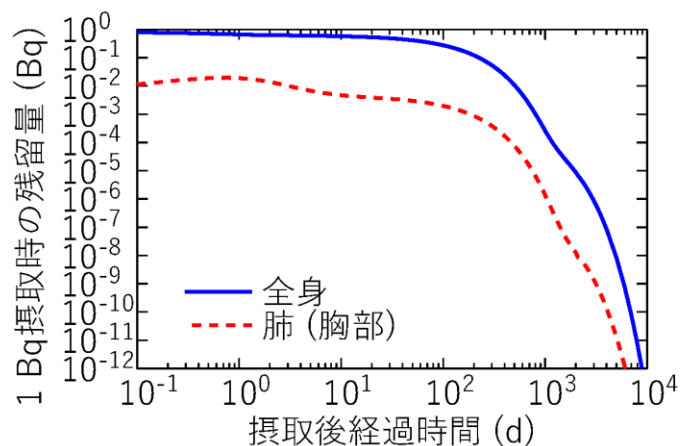
専門家からの意見

- 計算負荷の低減は重要。
- 誰でも利用できるのであれば、反復摂取等の複雑な摂取条件は不要。
- 出力項目は以下が必要。
 - A) 線量係数、B) 全身及び特定臓器の残留量、
 - C) 尿及び糞への排泄率、D) モニタリング値あたりの線量
- 時間変化の数値データファイルが取得可能であるとよい。

7

出力項目 B) 全身及び特定臓器の残留量

例： ^{134}Cs , 吸入摂取, タイプ F (塩化物, 硝酸塩, 硫酸塩)

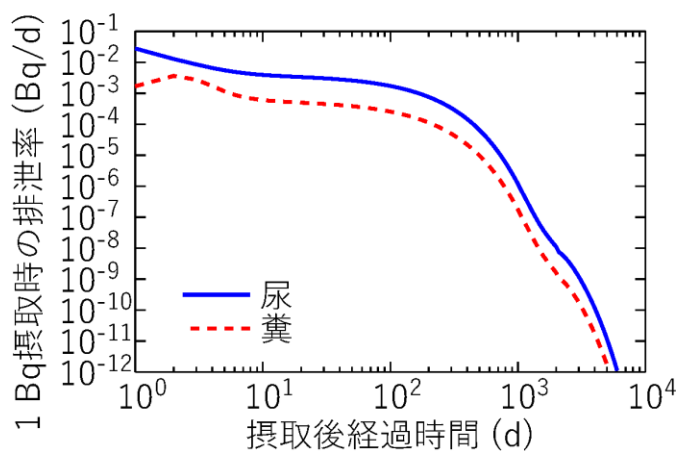


- 内部被ばくモニタリング (体外計測) の結果から摂取量を推定するためのデータ

8

出力項目 C) 尿及び糞への排泄率

例： ^{134}Cs , 吸入摂取, タイプ F (塩化物, 硝酸塩, 硫酸塩)

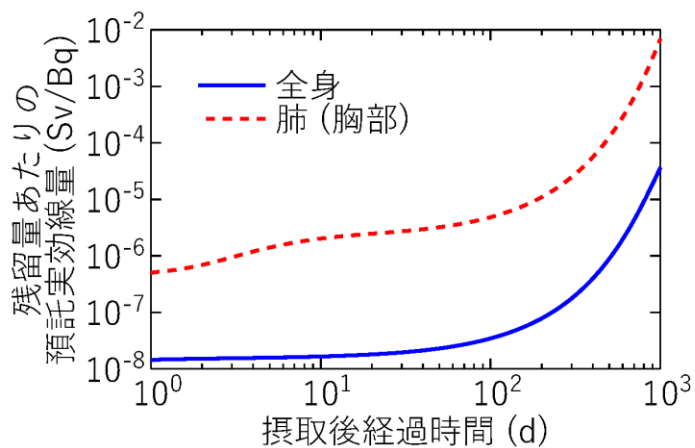


- 内部被ばくモニタリング (バイオアッセイ) の結果から摂取量を推定するためのデータ

9

出力項目 D) モニタリング値あたりの線量①

例： ^{134}Cs , 吸入摂取, タイプ F (塩化物, 硝酸塩, 硫酸塩)

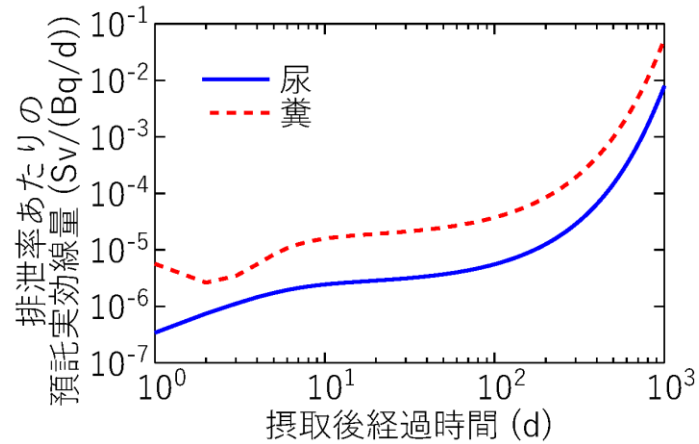


- 内部被ばくモニタリング (体外計測) の結果を預託実効線量に直接変換するためのデータ

10

出力項目 D) モニタリング値あたりの線量②

例： ^{134}Cs , 吸入摂取, タイプ F (塩化物, 硝酸塩, 硫酸塩)



- 内部被ばくモニタリング (バイオアッセイ) の結果を預託実効線量に直接変換するためのデータ

11

コード簡易版の形態

- ウェブアプリとする。
- PC、スマートフォン、タブレットから利用可能とする。
- 使用にあたっての事前申請等は不要とし、ウェブページにアクセスすることで利用可能とする。
- JAEAが機構外利用者向けに契約しているサーバ環境を利用する。

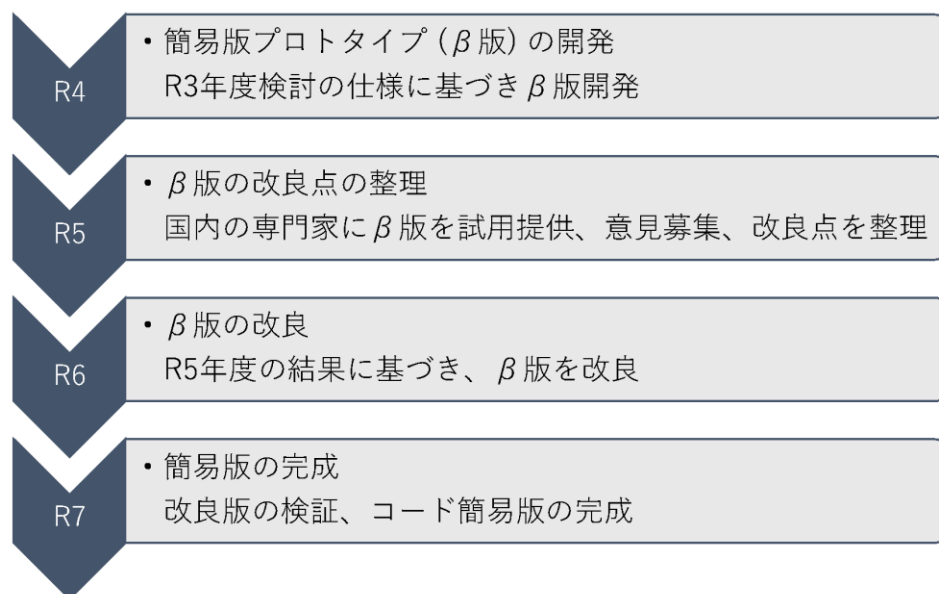
12

コード簡易版の機能

- プルダウンメニュー等で指定された摂取条件（核種、摂取経路、化学形）に対し、あらかじめ整備されたデータ（線量係数、特定臓器・全身の残留率、排泄率、モニタリング値あたりの線量）を出力する。
 - 選択できる条件はデフォルト設定のみとする。
 - 核種は主要なものを優先して整備する。
 - 時間変化する残留率等は、核種（半減期）によって出力期間を調整する。
⇒ すべての出力項目が1 Bq摂取あたり 10^{-12} Bqを下回るまで。
 - 時間依存データはグラフも出力する。
- 摂取シナリオは急性摂取のみとする。
- 摂取後経過日数の入力に対し、該当する残留率、排泄率、モニタリング値あたりの線量データを出力する。
- 摂取後経過日数及びモニタリング値の入力に対し、該当する残留率、排泄率、モニタリング値あたりの線量データ、預託実効線量を出力する。
- 数値データをCSVデータファイルとしてダウンロード可能とする。

13

コード簡易版の開発計画



14

まとめ

- 内部被ばく線量評価コード フル機能版
 - R4年度中に提供開始予定。
- 内部被ばく線量評価コード 簡易版
 - ウェブアプリとして開発する。
 - 使用にあたっての事前申請等は不要とする。
 - 主要な摂取条件に対し、線量係数、特定臓器・全身の残留率、排泄率、モニタリング値あたりの線量を出力する。
 - 摂取後経過日数の入力に対し、該当する残留率、排泄率、モニタリング値あたりの線量データを出力する。
 - 摂取後経過日数及びモニタリング値の入力に対し、該当する残留率、排泄率、モニタリング値あたりの線量データ、預託実効線量を出力する。
 - 数値データをCSVデータファイルとしてダウンロード可能とする。
 - R7年度に完成させる。