

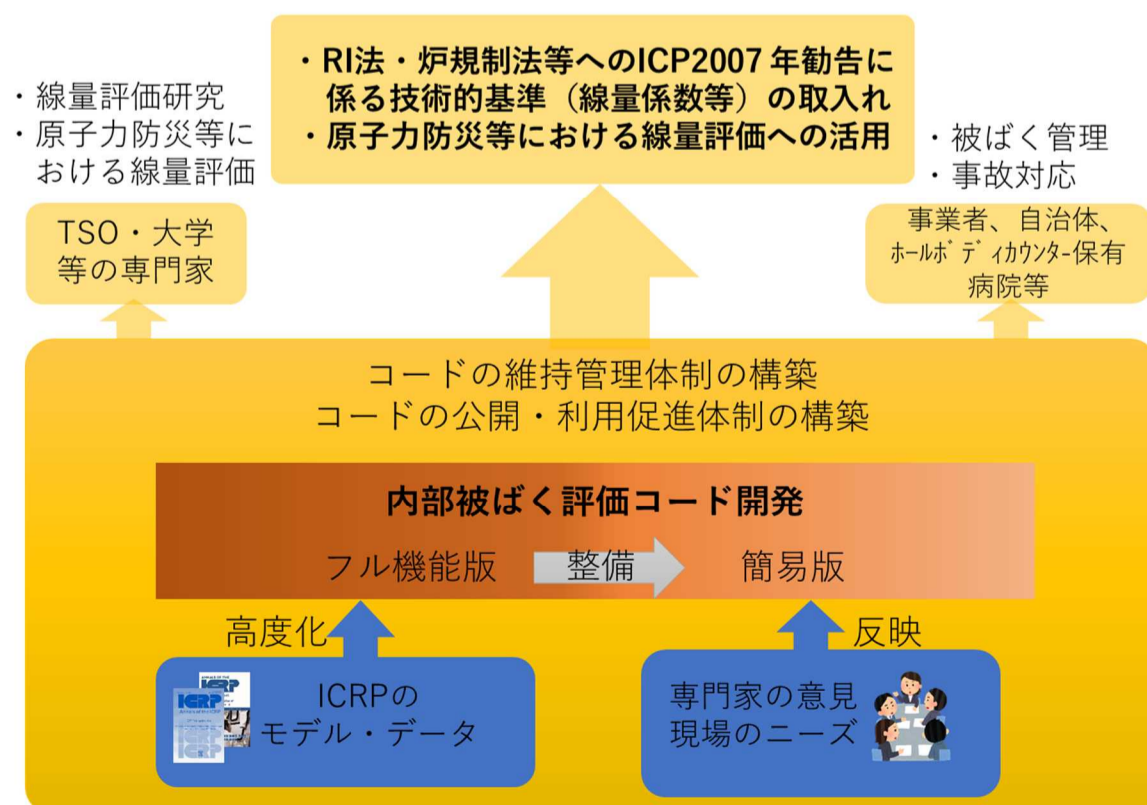
## 研究計画（案）

1. プロジェクト	21. 放射線防護のための線量及び健康リスク評価の精度向上に関する研究	担当部署	技術基盤グループ 環境・放射線研究部門（仮称） 放射線防護研究班（仮称）構築準備チ ーム / 技術基盤課
		担当責任者	遠山 真 チーム長
2. カテゴリー・ 研究分野	(4) 原子力災害対策・放射線防護等 放射線防護	主担当者	大町 康 副チーム長 荻野 晴之 チーム員
3. 背景	<p>平成 28 年に行われた国際原子力機関（IAEA）による総合規制評価サービス（IRRS）において、放射性同位元素に係る規制の再構築、一層の資源配分を行う必要性が指摘されたことを踏まえ、平成 29 年度から提案型公募による研究事業の「放射線安全規制研究戦略的推進事業」を開始し、これまで放射線障害防止に掛かる規制及び放射線防護措置の改善に資する調査研究を体系的・効率的に推進してきた。同事業において、放射線防護に関する知見を一定程度蓄積できたことから、令和 4 年度以降は、国内外で実施されている研究を踏まえ、主体的に研究を推進し、安全規制における放射線防護分野の知見を更に蓄積する必要があるとされ、令和 4 年度から技術基盤グループ環境・放射線研究部門（仮称）において放射線防護研究を実施する予定である。</p> <p>放射線防護においては、被ばくによる線量と、その線量に対する健康リスクを適正に評価することが重要であり、現在の科学的水準及び国際動向を踏まえ、これらの評価に関する精度の向上に継続的に取り組み、得られた知見を放射線規制関連法令等や原子力災害対策指針等に適切に反映させることが重要である。このような観点から本プロジェクトにおいては、被ばく線量評価に関する研究として、国際放射線防護委員会（ICRP）2007 年勧告の国内法令等への取入れ等において必要とされる内部被ばく評価コードの開発を、放射線健康リスクの評価に関する研究として、緊急時における放射線防護措置判断に必要とされる防護措置対象集団のリスクの精緻な評価を行うための放射線健康リスク評価コードの開発を行う予定である。</p> <p><b>被ばく線量評価コードの開発</b></p> <p>現在、ICRP の最新の勧告である 2007 年勧告を国内法令等へ取り入れるための審議が放射線審議会において進められている。国内の放射線規制においては、被ばく評価法に係る技術的基準が告示「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」（以下「RI 数量告示」という。）（放射性同位元素等の規制に関する法律）及び線量限度に関する告示（核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律）等により与えられているが、これらはいずれも 1990 年勧告に準拠する刊行物の線量係数や線量換算係数を基本としている。そのため、2007 年勧告を国内法令等へ取り入れる場合、RI 数量告示を改正する必要がある。ICRP の 2007 年勧告では、放射線加重係数及び組織加重係数並びに放射性核種ごとの体内動態モデルが見直されるとともに、医学診断画像に基づく精緻な標準ファントムが導入された。これらを踏まえ、ICRP から順次、内部被ばく実効線量係数の計算結果等が発表されているが、ICRP の計算に用いられる評価コードは非公開であり、検証及び追加核種に対する計算を行うために、わが国独自の評価コードの開発が必要とされている。また、福島第一原子力発電所事故の経験から、特定の個人あるいは集団に対する線量評価においては、モデルのパラメータを柔軟に設定できる機能が望まれている。</p> <p>このような問題意識の下、放射線安全規制研究戦略的推進事業の一環として、これまでに線量評価コードの開発を行ってきた。体内動態モデル及び実効線量係数は、今後も ICRP から順次示される予定であり、放射線安全規制研究戦略的推進事業において開発した評価コードの改定を継続する必要がある。また、ICRP の 2007 年勧告においては、内部被ばく評価の対象とする核種、外部被ばく評価の対象とする放射線の種類やエネルギーも見直されており、放射線審議会における被ばく線量評価に係る技術的基準の改正及び関連する技術指針の改正の審議並びに RI 数量告示及び線量限度に関する告示の改正を円滑に進めるため、これら技術的基準の改訂も必要である。</p> <p><b>放射線健康リスク評価コードの開発</b></p> <p>防護基準の根拠として用いられるリスク係数は、単位線量を被ばくした場合に、がんになる（がんで死亡する）リスクがどの程度増加するかを、集団全体に対する平均的な値として計算したものである。しかし実際には、性別・年齢・生活習慣因子（喫煙等）によって放射線発がんのリスクは大きく変化するため、緊急時のように、小児や妊婦、高齢者等、特定の集団に対する防護措置を考える場合には当該集団の属性に基づいてリスクを精緻に推定する必要がある。</p> <p>放射線被ばくに伴うがんリスクは、疫学を基礎にして種々のモデルを用いて計算されている。我が国においては、専ら研究者レベルでリスク計算が行われてきたために、汎用の計算コードが整備されておらず、最新知見に基づき不確かさも含めたリスク評価ができていないのが現状である。上述のリスク評価を可能とするために、最新の放射線疫学調査に関する知見及び日本の保健統計・がん統計を踏まえた、様々な条件に対して放射線発がんリスクを計算評価するコードの開発が強く望まれている。</p>		
4. 目的	<p><b>被ばく線量評価コードの開発</b></p> <p>規制基準の策定並びに万が一の事故時における内部被ばく線量評価に活用するため、ICRP2007 年勧告を踏まえた最新の知見に基づき、かつ評価対象集団に対する固有のパラメータが設定できる内部被ばく評価コードを開発する。また、ICRP2007 年勧告の国内法令への取入れのために、内部被ばくとともに外部被ばくに係る実効線量係数を整備する。</p> <p><b>放射線健康リスク評価コードの開発</b></p> <p>緊急時における放射線防護措置の判断等にあたり定量的な放射線発がんリスク評価を提供するために、最新の放射線がんリスクの知見に基づき、年齢・性別・健康状態などの様々な条件に対して放射線発がんリスクの評価手法を開発する。</p>		

5. 知見の活用先	<p>被ばく線量評価コードの開発</p> <p>本研究で整備する内部被ばく評価コード等は、5年後程度に見込まれる放射性同位元素等規制法及び原子炉等規制法へのICRP2007年勧告の取入れに際し、濃度限度等の数値基準の改正に活用される見込みである。また、原子力災害対応の訓練・研修において、より現実的な内部被ばく評価を踏まえた防護措置検討のツールとして活用されることが期待される。</p> <p>放射線健康リスク評価コードの開発</p> <p>原子力災害対策の継続的な改善を図る上で、本研究で開発する放射線健康リスク評価コードは、放射線リスクに関する定量的根拠を提供するツールとして活用される見込みであり、これを用いてオフサイト防護戦略の検証及び見直しに資することが期待される。</p>
-----------	--

6. 安全研究概要 (始期：R4年度) (終期：R8年度)	<p>本プロジェクトの研究は、「原子力規制委員会における安全研究の基本方針」(令和元年5月29日原子力規制委員会決定)における安全研究のうち以下の分類に基づき実施する。</p> <p>規制基準等の整備に活用するための知見の収集・整備(以下「分類」)</p> <p>規制活動に必要な手段の整備(以下「分類」)</p> <p>技術基盤の構築・維持(以下「分類」)</p> <p>放射線防護措置の科学的基盤である線量及び健康リスクの評価の精度向上を図ることを目的とし、線量評価分野として被ばく線量評価コードの開発を、また健康リスク分野として放射線健康リスク評価コードの開発を行う。</p> <p>被ばく線量評価コードの開発については、ICRP2007年勧告の放射線規制関係法令への取り込みを図るため、(1)ICRP2007年勧告を踏まえた内部被ばく評価コードの開発を進め、同コードを用いて、ICRPから順次公表される実効線量係数の検証計算を行うとともに、法令改正に必要な内部被ばく及び外部被ばく評価に関する一連の数値基準の整備を行う。また、(2)放射線健康リスク評価コードの開発については、最新の放射線疫学調査に関する知見及び日本の保健統計・がん統計を精査し、放射線リスクを定量的に評価する際の共通基盤となり、また、対象集団の様々な条件に対して放射線リスクを推定が可能な計算コードの開発を行う。</p> <p>(1)被ばく線量評価コードの開発【分類】</p> <p>a. 内部被ばく評価法に係る研究</p> <p>ICRPから順次刊行される内部被ばく実効線量係数(Occupational Intakes of Radionuclides (OIR) part 5等)に対し、検証計算を行い、数値基準の整備を行う。</p> <p>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などを与える刊行物、現行のRI数量告示を参照し、被ばく評価の対象とする核種や化学形・物質等を整理する。また、1990年勧告を基本とする現行のRI数量告示の改正経緯を調査し、様々な年齢群で構成される公衆被ばくのシナリオを検討する。これらの結果に基づき、令和2年度までに開発した内部被ばく評価コードを改良し、濃度限度等の数値基準を導出できる技術基盤を確立するとともに、RI数量告示の改正に対して基本となる数値基準を整備する。さらに、ユーザーの目的や専門知識レベルに応じて機能を制限したエディションや、様々な環境で使用できるよう計算負荷を低減した簡易版(簡易版等)を整備するとともに公開体制を構築する。</p> <p>b. 外部被ばく評価法に係る研究</p> <p>ICRP2007年勧告に準拠する外部被ばく線量評価に用いる線量換算係数などを与える刊行物、現行のRI数量告示の改正経緯を調査する。国内における高エネルギー放射線(20MeVを超える中性子等)を含む施設の放射線管理の状況等を調査し、被ばく評価の対象としている放射線の線質(種類やエネルギー)を整理する。</p>
-------------------------------------	---

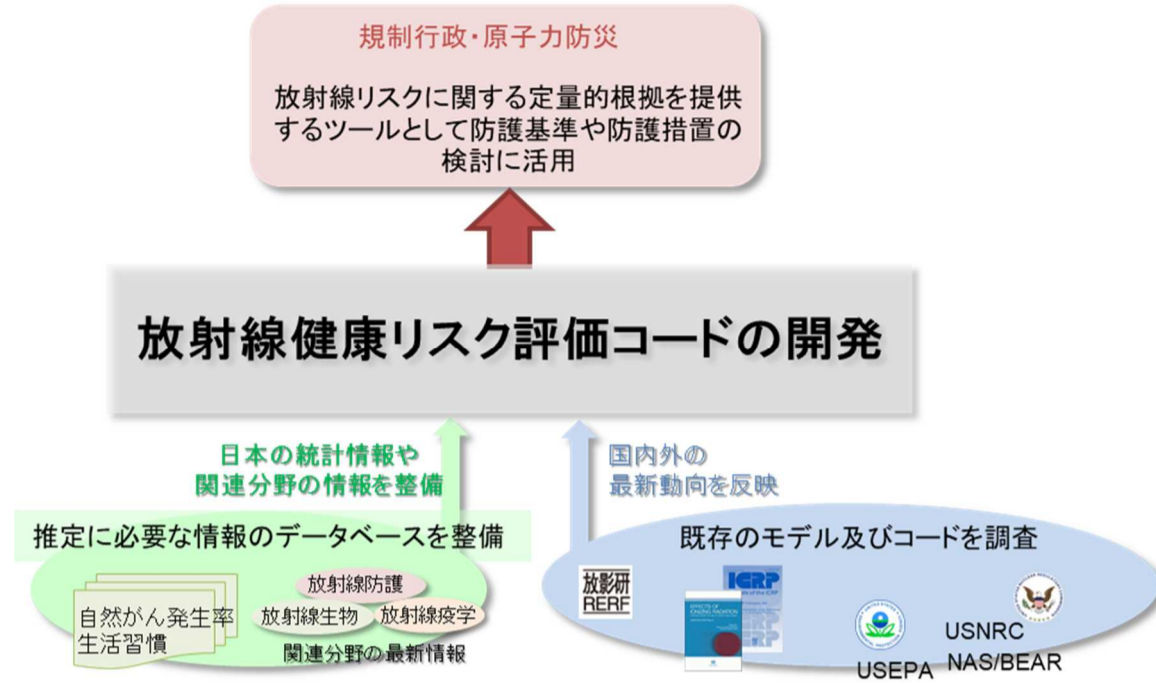
## 被ばく線量評価コードの開発



(2) 放射線健康リスク評価コードの開発【分類】

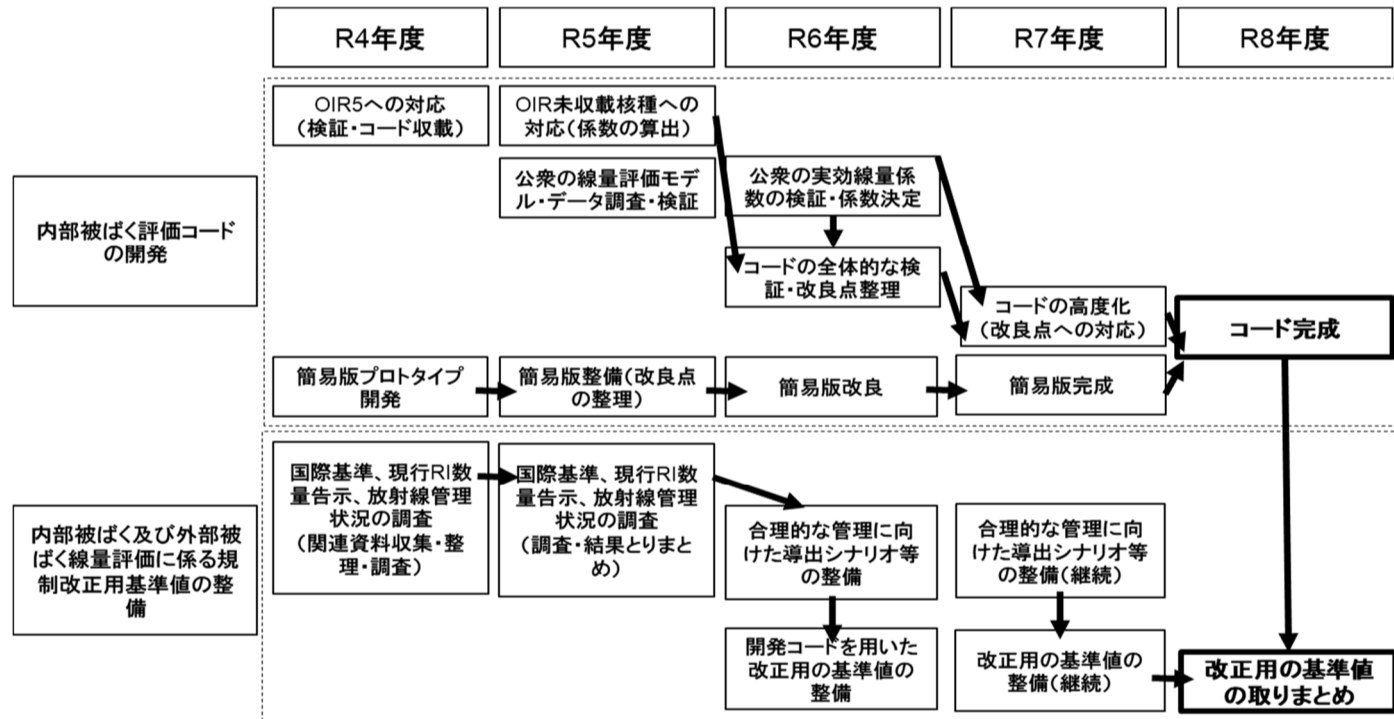
放射線健康リスクを推定する評価コードの開発に先立ち、国内外で開発された放射線健康リスク評価コード及び文献を調査し、リスクモデル、計算の仮定条件、計算指標、ベースラインデータ等について情報を収集する。これらの情報を基にして、放射線健康リスク評価コードの概念設計を行う。評価コードの開発においては、がんの種類別にモデルが存在することを考慮し、固形がん及び白血病のそれぞれについて検討する。

日本における保健統計・がん統計を踏まえがんの自然発生率（ベースラインリスク）や生活習慣に関する情報を、また最新の放射線疫学、放射線生物学及び放射線防護をはじめとする関連分野の知見を調査・分析し、データベースとして整備する。また、計算されたリスクの不確かさを評価するとともに、不確かさに主に寄与する要因を明らかにする。さらに、上記評価コードのさらなる高度化として、がん以外（白内障、循環器系疾患等）の放射線健康リスク予測等の検討を行う。



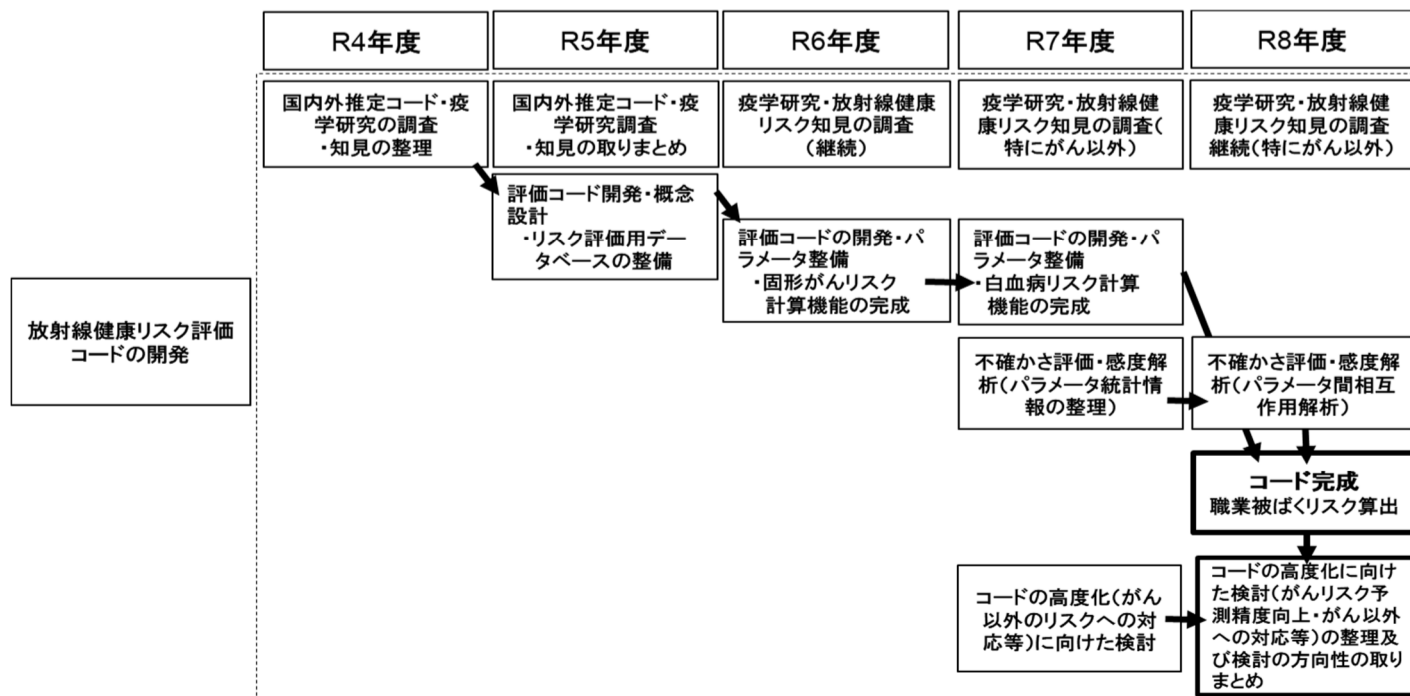
行程表

(1) 被ばく線量評価コードの開発【分類】



成果については、毎年度学会発表を、最終年度に論文を発表する。

(2) 放射線健康リスク評価コードの開発【分類】



成果については、毎年度学会発表を、3年目及び最終年度に論文を発表する。

## 【R4年度の実施内容】

## (1) 被ばく線量評価コードの開発

01R part 5 に記載される核種の実効線量係数の検証計算を行い、コードの改良・高度化を図るとともに、R3年度までの成果を踏まえ、コード簡易版のプロトタイプを開発する。

ICRP2007年勧告、同勧告に基づく内部被ばく及び外部被ばくの評価法を調査するとともに、1990年勧告を基本とする現行のRI数量告示とその改正経緯を調査し、改正後のRI数量告示に搭載すべきデータを整理する。調査結果については必要に応じて放射線審議会の審議に提供する。

最新の国際基準を国内法令等へ取り入れた際の放射線管理の現場へのインパクトとして、公衆被ばく防護のための濃度限度の導出シナリオの在り方、高エネルギー放射線施設の管理状況を中心に調査を行い、導出シナリオの検討をはじめとする合理的な管理に向けた取入れのための考え方について検討する。

ICRP 01R part 5 の発刊状況により研究スケジュールは影響を受けうる。

## (2) 放射線健康リスク評価コードの開発

国内外の推定コード及び疫学研究の調査として、既存コードの調査及び疫学研究の調査を行う。

## 既存コードの調査

国内外で開発された既存のコード及び文献を調査する。リスクモデル、計算の仮定及び計算指標に加え、入力データとして必要なベースラインリスク等の情報を収集する。また、既存のコードの予測精度についても調査し、開発コードに求められる精度について調査を行う。調査結果をもとに既存コードの実用上の課題を明確にするとともに、放射線防護基準の策定、緊急時の防護措置の立案、事故後の評価等、それぞれの目的に応じたリスク評価のあり方について検討する。

## 疫学研究の調査

放射線リスク評価に関して、既存の疫学研究を調査する。原爆被ばく者のLSS(Life Span Study)に加え、国内外の放射線業務従事者に関する調査等、最新の研究について広く情報を収集する。

## 【R5年度の実施内容】

## (1) 被ばく線量評価コードの開発

R4年度に引き続き、以下について検討を進める。

ICRPより公開される公衆のための線量評価用モデル・データを調査してコード実装上の課題を整理するとともに、必要となるコードの改良を行うことにより、コードの高度化を引き続き図る。

簡易版プロトタイプを国内専門家に試用提供し、改良のための仕様を策定することにより、簡易版の整備を引き続き進める。

ICRP2007年勧告、同勧告に基づく内部被ばく及び外部被ばくの評価法を調査するとともに、1990年勧告を基本とする現行のRI数量告示とその改正経緯を調査し、改正後のRI数量告示に搭載すべきデータを整理する。調査結果については必要に応じて放射線審議会の審議に提供する。

最新の国際基準を国内法令等へ取り入れた際の放射線管理の現場へのインパクトとして、公衆被ばく防護のための濃度限度の導出シナリオの在り方、高エネルギー放射線施設の管理状況を中心に調査を行い、導出シナリオの検討をはじめとする合理的な管理に向けた取入れのための考え方について検討する。

ICRPからの公衆のための線量評価用モデル・データ及び実効線量係数の発刊状況により研究スケジュールの変更があり得る。

## (2) 放射線健康リスク評価コードの開発

評価コードの概念設計及びデータベースの整備を行う。

## 評価コードの概念設計

利用者の利便性及びコードの保守管理を考慮したユーザーインターフェース等の概念設計を行う。また、喫煙などの生活習慣が放射線リスクに影響を与えることが報告されていることから(Shimada and Kai, 2021)、その影響を考慮した推定モデルについても検討する。

## データベースの整備

R4年度の調査結果に基づき、放射線リスク評価のためのデータベースを作成する。入力データとして必要なバックグラウンドリスクとして、国内のがん罹患率及び死亡率、並びに5年・10年生存率等を、部位別、地域別、年齢別及び性別にデータベース化する。また、日本人の生活習慣の情報もデータベースとして整備する。

## 【R6年度の実施内容】

## (1) 被ばく線量評価コードの開発

公衆の実効線量係数の検証計算を行うとともに、コードの全体的な検証を基に改良点を整理し、改良作業の仕様を策定することにより、コードの改良・高度化を引き続き図る。

R5年度に策定した仕様に基づき、簡易版プロトタイプの改良を行う。

R4～5年度の検討結果及び放射線審議会の検討状況を踏まえ、内部被ばく防護のための濃度基準値の導出シナリオを整備する。

R4～5年度の検討結果及び放射線審議会の検討状況を踏まえ、RI数量告示の別表の改正の基準値の整備を行う。

ICRPからの公衆のための実効線量係数の発刊状況により研究スケジュールの変更があり得る。

## (2) 放射線健康リスク評価コードの開発

評価コードの開発及びパラメータセットの整備(主な固形がん)

放射線リスク評価コードの開発

	<p>R 5 年度に検討した概念設計に基づいて、放射線リスク評価コードの開発を行う。固形がん（食道、胃、結腸、肝臓、胆のう、肺、膀胱、卵巣、甲状腺、乳房等）に関する評価コードの開発を行う。コードの開発に当たっては、国立研究開発法人原子力研究開発機構が開発した健康影響のリスク計算コード HEINPUT（外川他，1999；高原他，2009；2015）をベースとする。放射線リスクの指標として、死亡・罹患だけでなく、余命損失や生活の質の低下を考慮した指標（Shimada and Kai，2015）の導入を検討する。</p> <p>リスク評価モデルのパラメータセットの整備</p> <p>において検討対象としている固形がんのリスク評価に必要なパラメータセットの整備を行う。パラメータの整備に当たっては、R 4 年度に実施した疫学研究の調査結果をもとにパラメータの統計情報も整理し、R 8 年度に検討する不確かさ評価に向けた準備を行う。</p>
	<p>【R 7 年度の実施内容】</p> <p>( 1 ) 被ばく線量評価コードの開発</p> <p>R 6 年度に策定した仕様に基づき、コードを改良することにより、コードの高度化を引き続き図る。改良した簡易版に必要なデータを実装して検証を行い、簡易版を完成させる。</p> <p>R 6 年度に引き続き、内部被ばく防護のための濃度基準値の導出シナリオを整備する。</p> <p>R 6 年度に引き続き、RI 数量告示の別表の改正の基準値の整備を行う。</p> <p>R 9 年度以降のコード改良に係る検討を行う。</p> <p>( 2 ) 放射線健康リスク評価コードの開発</p> <p>放射線リスク評価コードの開発及びパラメータセットの整備（白血病）</p> <p>放射線リスク評価コードの開発</p> <p>概念設計に基づいて、引き続き評価コードの開発を行う。放射線誘発がんのうち、白血病に関する放射線リスク評価コードの開発を行う。コードの開発に当たっては、R 6 年度に実施するコードの開発と同様に HEINPUT をベースにし、余命損失や生活の質の低下を考慮した指標の導入を検討する。</p> <p>リスク評価モデルのパラメータセットの整備</p> <p>のリスク評価に必要なパラメータセットの整備を行う。パラメータの整備に当たっては、R 4 年度に実施した疫学研究の調査結果をもとにパラメータの統計情報も整理し、R 8 年度における不確かさ評価に向けた準備を行う。また、がん以外のリスク予測への対応及び予測の高精度化を含むコードの高度化に向けた準備として情報収集等の検討を開始する。</p>
	<p>【R 8 年度の実施内容】</p> <p>( 1 ) 被ばく線量評価コードの開発</p> <p>ICRP2007 年勧告を踏まえた技術的基準を反映させた内部被ばく評価コードを完成させる。</p> <p>RI 数量告示の改正用の基準値をとりまとめる。</p> <p>R 9 年度以降のコード改良の準備を進める。</p> <p>( 2 ) 放射線健康リスク評価コードの開発</p> <p>放射線リスク評価の不確かさ評価及び感度解析と今後実施すべき研究の特定</p> <p>放射線リスク評価の不確かさ評価及び感度解析</p> <p>R 7 年度までに開発した評価コードを用いて、リスク評価モデルのパラメータの分布に起因する放射線リスク評価の不確かさ評価及び感度解析を実施する。R 6 ～ 7 年度に整備したパラメータの統計情報を用いて、モンテカルロシミュレーションにより放射線リスク評価の不確かさを評価するとともに、パラメータの独立性を前提とした従来の手法ではなくパラメータ間の相互作用を考慮可能なグローバル感度解析等を行いリスク評価の結果に影響の大きなパラメータを特定する。</p> <p>今後実施すべき研究の特定</p> <p>放射線リスク評価コードの放射線安全規制及び放射線リスク研究への活用方法を検討する。</p> <p>( i ) 放射線安全規制への活用方法</p> <p>R 4 年度に実施した国内外のコードの調査結果をもとに、リスク評価の結果を放射線安全規制へ活用する方法について検討する。例えば、日本の放射線業務従事者の被ばくの実情と非放射線業務に就業している場合のリスクを比較して職業被ばくの線量限度（ICRP，1991）に関する最新のリスク情報を提供する。</p> <p>また、放射線リスク評価コードの対象を組織反応（USNRC，1993；JAERI，2000）への拡張を検討する。</p> <p>( ii ) 放射線リスク研究への活用方法</p> <p>グローバル感度解析（劉他，2010）等の手法を用いて放射線リスク評価結果に対するパラメータの影響を評価し、不確かさの低減に向けて優先順位の高いパラメータを同定する。この分析をもとに放射線リスク評価の高精度化に向けて、実施すべきリスク研究の優先順位等の情報をまとめる。</p>
8 . 実施体制	<p>【環境・放射線研究部門（仮称）における実施者（主担当者には を記載）】</p> <p>遠山 真 チーム長</p> <p>萩沼 真之 副チーム長</p> <p>大町 康 副チーム長</p> <p>萩野 晴之 チーム員</p> <p>伊豆本幸恵 チーム員</p>

文 献

被ばく線量評価コードの開発

- (1) ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4). 2007.
- (2) ICRP, Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations. ICRP Publication 107. Ann. ICRP 38 (3). 2008.
- (3) ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1. ICRP Publication 130. Ann. ICRP 44(2). 2015.
- (4) ICRP, The ICRP computational framework for internal dose assessment for reference adults: specific absorbed fractions. ICRP Publication 133. Ann. ICRP 45(2), 1 74. 2016.
- (5) ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134. Ann. ICRP 45(3/4), 1 352. 2016.
- (6) ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46(3/4). 2017.
- (7) ICRP, Occupational intakes of radionuclides: Part 4. ICRP Publication 141. Ann. ICRP 48(2/3). 2019.
- (8) 真辺健太郎, 遠藤章, ICRP2007 年勧告の組織加重係数等に基づく内部被ばく線量係数,濃度限度等の試算(受託研究), JAEA-Data/Code 2010-020. 2010.
- (9) Manabe, K., et al., Development of a function calculating internal dose coefficients based on ICRP 2007 Recommendations. Bio Conf. 14: 03011. 2019.
- (10) 高橋史明他, 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.

放射線健康リスク評価コードの開発

9 . 備考

- (1) 高原省五他, 放射線による晩発性健康影響を推定する計算コード HEINPUT の改良と GUI 作成, JAEA-Data/Code 2009-001, 2009.
- (2) 高原省五他, 放射線に起因する晩発性健康影響を推定する計算コード HEINPUT-GUI ver. 2.0 の開発, JAEA-Data/Code 2015-001. 2015.
- (3) 外川織彦他, 放射線による晩発性身体的影響と遺伝的影響を推定するための計算コード HEINPUT, JAERI-Data/Code 99-02, 1999.
- (4) 劉峭他, グローバル感度解析コード GSALab の開発, JAEA-Data/Code 2010-001. 2010.
- (5) Grant, E.J., et al., Solid Cancer Incidence among the Life Span Study of Atomic Bomb Survivors: 1958 2009. Radiat Res, 187(5): p. 513-537, 25. 2017.
- (6) ICRP, The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21. 1991.
- (7) ICRP, Use of dose quantities in radiological protection. ICRP Publication 147. Ann. ICRP 50(1). 2021.
- (8) JAERI, 原子炉事故時放射線影響解析で用いるための健康影響モデル(II), JAERI-Review 2000-029, 2000.
- (9) Laurier, D., et al., The International Nuclear Workers Study (Inworks): A Collaborative Epidemiological Study to Improve Knowledge About Health Effects of Protracted Low-Dose Exposure. Radiation Protection Dosimetry, 173(1-3): p. 21-25. 2016.
- (10) Shimada, K. and Kai, M, Calculating disability-adjusted life years (DALY) as a measure of excess cancer risk following radiation exposure. Journal of Radiological Protection, 35(4): p. 763-775. 2015.
- (11) Shimada, K. and Kai, M, Lifetime Risk Assessment of Lung Cancer Incidence for Non-smokers in Japan Considering the Joint Effect of Radiation and Smoking Based on the Life Span Study of Atomic Bomb Survivors. J Radiat Prot Res., 2021. (in press).
- (12) U.S.NRC, Health Effects Models for Nuclear Power Plant Accident Consequence Analysis, in NUREG/CR-4214 Rev. 2, Part I. 1993: Washington, DC