

D. 実用基準ガンマ線源による サーベイメータの確認校正

①実用基準ガンマ線源を所定の位置に設置しサーベイメータを照射し、線量率を読み取る



実用基準ガンマ線源



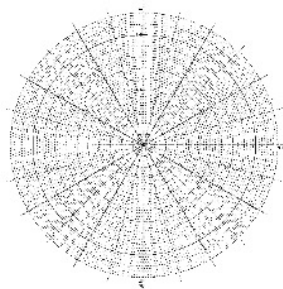
線源をスタンドに設置

下欄C

測定器番号: _____ 照射時刻: ____年__月__日
 照射位置(中心入射点)の座標(緯度経度): _____

照射計器名	角度(°)	線量率値($\mu\text{Sv/h}$)	角視角に対する割合
1	20		
2	50		
3	90		
4	120		
5	150		
6	180		

角視角に対する割合 = 線量率値 \times 中間 2 乗での校正定数 / 照射線量率値



予備実験結果 手順A

2018.10.2の線量率（線源とラドコン線量計との距離：2m）

気温：18.0 °C、湿度：44.0 %、気圧：1.010 hPa
5.54GBq線源 ラドコン線量計の読取値 2.82 $\mu\text{Gy}/\text{min}$
53.45GBq線源 ラドコン線量計の読取値 26.72 $\mu\text{Gy}/\text{min}$

指示値＝読取値×(273.5+T/295.5)×(1013.3/P)×0.869

T：気温(°C)、P：気圧(hPa)、0.869：ラドコン線量計の校正定数

指示値(吸収線量率) 5.54GBq線源：2.43 $\mu\text{Gy}/\text{min}$
指示値(吸収線量率) 53.45GBq線源：22.98 $\mu\text{Gy}/\text{min}$

予備実験結果 手順A

線量当量率＝吸収線量率×1.213

線量当量率($\mu\text{Sv}/\text{min}$)、吸収線量率(指示値($\mu\text{Gy}/\text{min}$))、

1.213：0.66MeVの γ 線のエネルギーにおける個人にかかわる

1cm線量当量換算係数

線量当量率 5.54GBq線源：2.942 $\mu\text{Sv}/\text{min}$
線量当量率53.45GBq線源：27.875 $\mu\text{Sv}/\text{min}$

実習当日の線量率

線量当量率 5.54GBq線源：2.94 $\mu\text{Sv}/\text{min}$
線量当量率 53.45GBq線源：27.83 $\mu\text{Sv}/\text{min}$

予備実験結果 手順B

個人線量計：PDM-222B 照射時間：1分

照射線量当量：27.83 μ Sv

線量計番号	線量当量 (指示値) (μ Sv)	校正定数
1	24	1.16
2	24	1.16
3	24	1.16
4	24	1.16
5	24	1.16
6	25	1.11

予備実験考察 手順B

予備実験手順Bにおいてはアロカ社製半導体式電子ポケット線量計PDM-222Bを用いて、線量計を適切に装着した形を模擬しており手順Cにおける角度0を意味している。

校正定数は6本のうち5本が1.16、1本が1.11となっており10~20%低い線量当量を示した。この原因は不明であるが本体に校正定数を記載しておくことにより使用者に線量が低く示されることを意識させることが可能である。

なお、初期に販売されていたPDM-102で現在使用可能な物の校正定数は0.95~1.05となっており指示誤差 \pm 5%となっていた。

予備実験結果 手順C

個人線量計：PDM-222B 照射時間：1分

照射線量当量：27.83 μ Sv

線量計番号	角度 (°)	線量当量 (指示値) (μ Sv)	角度0に対する割合
1	30	24	1.00
2	60	24	1.00
3	90	24	1.00
4	120	20	0.83
5	150	20	0.83
6	180	20	0.83

予備実験考察 手順C

予備実験手順Cにおいては手順Bと同様にアロカ社製半導体式電子ポケット線量計PDM-222Bを用いて、線量計の線源に対する角度を30°から180°まで30°間隔で変化させて照射を行った。

角度0に対する割合は30°から90°までは角度0と同様の値が示されたが、120°から180°では17%程度低い値が示された。この原因は定かではないが、線量計内部で半導体素子が遮蔽されていることが考えられる。この結果より線量計が適切に装着されていなくても比較的正しい値を示すことが確認できた。

大阪大学での確認校正結果（2019.3実施） 手順D

2019年3月に実施したNaIシンチレーション式サーベイメータの確認校正結果の一部を以下に示した。

番号	購入年月	0.60 μ Sv /h照射	1.34 μ Sv /h照射	5.38 μ Sv /h照射	21.50 μ Sv /h照射	平均
N-1	2010/3	1.13	1.12	1.11	1.17	1.13
N-2	2010/3	0.97	0.99	1.00	0.96	0.98
N-3	2017/3	1.02	1.07	1.10	1.07	1.07

2019年3月に実施した電離箱式サーベイメータの確認校正結果の一部を以下に示した。電離箱式サーベイメータの確認校正では、5 μ Sv/hから7,000 μ Sv/hの間で7種類の線量率を照射しているが、今回は低線量率側の結果を示した。

番号	購入年月	5.38 μ Sv/h 照射	21.50 μ Sv/h 照射	77.00 μ Sv/h 照射	7種類の線量 率照射の平均
I-1	2005.3	0.94	0.96	1.09	1.02
I-2	2016.12	0.91	0.87	1.14	1.02
I-3	2017.2	1.08	1.01	1.15	1.08

大阪大学での確認校正結果 (2019.3実施) 手順D

NaIシンチレーション式サーベイメータ

2019年3月に9台のNaIシンチレーション式サーベイメータの確認校正を実施した。照射した線量当量率は0.60、1.34、5.38、21.50 μ Sv/hで、すべての線量当量率について高い値を示す物や低い値を示す物があった。確認校正においては校正定数に変化がないと容認される範囲は 1 ± 0.1 とされており、9台中4台がその範囲になかった。原因は経年変化による基板やフォトマルの劣化などが考えられる。

大阪大学での確認校正結果 (2019.3実施) 手順D

電離箱式サーベイメータ

2019年3月に8台の電離箱式サーベイメータの確認校正を実施した。照射した線量当量率は5.38、21.5、77、174、695、1,644、6,57 μ Sv/hで、8台すべてが校正定数に変化がないと容認される範囲内にあった。

電離箱式サーベイメータは測定器内の空気の電離電流を直接測定を行い線量率を求める構造となっており構造上湿気を嫌う。大阪大学では電離箱式サーベイメータは乾燥箱に保管するか、乾燥剤とともに保管するように指導しており、その効果により良い確認校正結果が得られた可能性がある。



実習I 概要説明

京都大学 戸崎充男

実習I

サーベイメータの校正 ($\mu\text{Sv/h}$) と GMサーベイメータ (TGS-133) の換算係数

1. 目的

放射線管理でのサーベイメータの使用において、空間線量測定に着目してサーベイメータの校正の方法を学び、汚染検査に着目して広口GMサーベイメータの β 線計数率のエネルギー特性を理解することを目的とする。

2. 実施課題 (2つ)

実習課題1 : サーベイメータの校正の方法
(京大の簡易校正の紹介とデモ測定)

実習課題2 : 標準 β 線源使用し、広口GMサーベイメータの機
器効率を求め計数率(cpm)から放射能(Bq)への換算係数 (Bq/cpm) を算出する。

3. 実施方法

3.1 班分け：

受講生36人を、3人一組で班を作る。全部で12班となり、班名をA,B,C.....,Lとする。さらに、二つのグループ（6班ずつ）に分けて実習課題ごとに別々の実験室で行い入れ替える。したがって、それぞれグループの班は、グループI：A, B, C, D, E, F、グループII：G, H, I, J, K, Lとする。

3.2 並行し2つの実習を実施

2つの実習課題（校正と換算係数）を各25分（移動5分）で、グループIとIIを入れ替えて並行して別々の実習室（管理区域）で実施する。

4. 実施場所

実習課題1（校正）：教育訓練棟地下1階特殊実習室（管理区域）

実習課題2（換算係数）：教育訓練棟2階実習室（管理区域）

5. 実習内容

実習I-1

サーベイメータの簡易校正の方法の紹介およびデモ測定

京大で実施している簡易校正（確認校正、比較校正）を紹介し、デモ測定する。

デモ測定（照射場の強さと線量測定値）の結果を記録・整理する。

測定（デモ）内容：

対象サーベイメータ

細口GM、NaIシンチ、電離箱式サーベイメータ

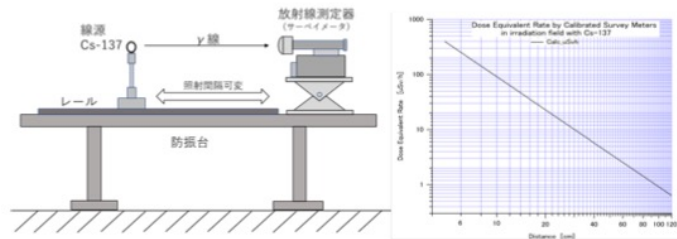
Cs-137(基準線量線源)を用いて照射場を作り、各サーベイメータで測定する。

下記の各サーベイメータの指示値（設定レンジ）について、その照射場（強度）の距離を決め、記録する。

1. 細口GM：1.5 (3)、15 (30)、150 (300) uSv/h
2. NaIシンチ：1.5 (3)、5 (10)、15 (30) uSv/h
3. 電離箱：15、100 uSv/h

この実習では、京大で実施している校正を紹介し、受講生はデモ測定に参加する。各サーベイメータの測定結果(照射場の強度とその距離)を記録し、データ整理(照射場と距離の関係をプロット)をする。

実習I-1								
測定：照射場強度(uSv/h)と線源からの距離(cm)								
GM	照射場強度	線源からの	Nalシンチ	照射場強度	線源からの	電離箱	照射場強度	線源からの
TGS-121	線量当量率	距離	TCS-161	線量当量率	距離	ICS-311	線量当量率	距離
設定Range	uSv/h	cm	設定Range	uSv/h	cm	設定Range	uSv/h	cm
3	1.5		3	1.5				
			10	5		10	5	
30	15		30	15		30	15	
						100	50	
300	150					300	150	



実習I-2 広口GMサーベイメータ(TGS-133) 機器効率の測定し換算係数を算出する

表面汚染密度を求めるために、標準 β 線源を用いて、計数率 (cpm) から放射能 (Bq) への換算係数を求める。この結果を用いて、実習IIIの表面汚染密度を評価する。

標準 β 線源(最大エネルギーと電子線放出率)

- 1 Pm-147 (224keV) A:1.99k cpm/2 π , B:2.05k cpm/2 π 2個
- 2 Cl-36 (710keV) 123 cps/2 π /100x100cm 1個
- 3 U₃O₈ (2.29MeV) 1020 cps/2 π 1個

測定：

各班ごとに実習IIIで使用するために準備されているGMサーベイメータ (TGS-133) を用いて、バックグラウンドおよび各標準線源の計数率を測定する。標準線源 (3核種4個) を順番に回して測定する。線源 (試料皿) の上にGMプローブを乗せ、時定数10secで1回測定し記録する。

標準β線源(最大エネルギーと電子線放出率)

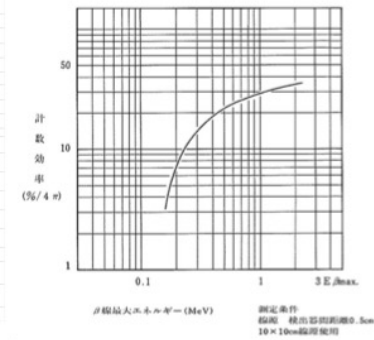
- 1 Pm-147 (224keV) A:1.99k cpm/2π、B:2.05k cpm/2π 2個
- 2 Cl-36 (710keV) 123 cps/2π/100x100cm 1個
- 3 U₃O₈ (2.29MeV) 1020 cps/2π 1個



実習I-2 測定、データ整理：

測定した線源核種ごとの機器効率 (%/4π) および換算係数を求め記録する。TGS-133の機器効率対β線エネルギーの関係を見るために、使用書にある計数効率の図(引用)に機器効率の結果をプロットする。(機器効率を計数効率は同じ意味)

広口GMサーベイメータ (TGS-133)			
シリアルNo.	型番: 5 cm		
BG	面積: 20 cm ²		
時定数	cpm		
	sec		
β線源	Pm-147	U ₃ O ₈	Cl-36
電子放出率 (1/2π)	1,994,205cpm	1020cps	123cps/(10x10cm)
最大エネルギー	224 keV	2.29 MeV	710 keV
	計数率(cpm)	計数率(cpm)	計数率(cpm)
測定 1			
測定 2			
測定 3			
平均			
正味			
計数効率 (%/4π)			
換算係数(Bq/cpm)			



資料 6. 実習資料 (VI)

実習 II 「非密封放射性同位元素の取扱実習プログラムの検討」

[目的]

最近の法改正により、初めて管理区域に立ち入る前に行わなければならない教育及び訓練の時間数が大きく改正された。またこれに伴って行われた放射線規制庁の説明会でも、それぞれの放射線施設の実態に合う形で教育訓練を実施することが肝要である旨が説明され、各事業所においてもこれらへの対応で、教育訓練プログラムの見直しを図られていることであろうと思われる。

大学等の教育研究機関においては、ここで初めて放射線に携わる学生や研究者を対象に教育訓練を実施することが多い。また、特に密封されていない放射性物質を扱う施設においては、これらの取り扱い方法を効果的に学習させるため、実習を伴う形での教育訓練講習会を開催しているところまた、これから取り入れたいと計画しているところも多くあると思われる。

こうした背景を踏まえ、今回の研修会〔実習 2〕においては、新人教育における非密封 RI を使用した実習プログラムはどうあるべきかを、京都大学での例を題材に、実際に実習プログラムを実行した上で、必要な要素と実習の効果を検証し検討する。また、この検討結果をもとに全国に向けた実習ガイドの公開を目指して教材作成のワンステップとしていきたいと考えている。

[方法]

実習プログラム『非密封放射性同位元素の取扱実習』（Ver.2.8）を検討対象教材として、実際に体験するとともに、その中での課題点を検討する。本講習は通常、京都大学における新規教育訓練プログラムの一部として行われている。受講生 2 人 1 組で実施される。今回の検討では実施者 2 名と観測者 1 名の 3 名を 1 班とし、プログラムの評価を行う。

[評価ポイント]

- テキストの記述
 - ・ 受講者への指示内容は的確か
 - ・ テキストのステップは適切か
 - ・ 内容の過不足はないか
- 安全上の観点
 - ・ 被ばくの恐れへの気づき
 - ・ 汚染の恐れへの気づき
 - ・ その他の危険への気づき

- 内容量と所要時間
 - ・作業量に対し掛かる時間は適切か
 - ・無駄な空き時間ができていないか
 - ・事前・事後処理にかかる負担は
- 総合的な評価
 - ・実習の効果が認められるか
 - ・新人講習として習得すべき事項が体験できる構成となっているか
 - ・実習プログラム教材としての改良点は
- 教育プログラムの実習コンテンツとして提供することの評価
 - ・公開の可否（著作権等の確認）
 - ・公開の可否（閲覧利用権限の範囲）
 - ・公開の可否（公開後のフォローの可否）

[実習]

概要説明

- ・実習場所：京都大学放射性同位元素総合センター教育訓練棟 2 階実習室
- ・実習時間：60分

実習テキスト

- ・『非密封放射性同位元素の取扱実習』（Ver.2.8）
- ・講習を実施する側のガイド

< 研修用変更点 >

1. サーベイメータの取扱 -> 省略（実習 1 で実施済みとする）
2. 非密封 R I の希釈操作 -> 3 人 1 組、2 人はテキストの記載の通りに課題をこなす、1 名はその様子を観察し、気づいた点をメモする
3. 距離と遮蔽の効果 -> 課題 A に変更

課題 A：表面汚染試料の作成

床材シート、アクリル板のどこかに、実習 2 の中で使用した R I 液体を 2 箇所各 1 滴付着させ乾燥する

材料	床材シート (30 cm × 30 cm)	2 種類	グループ各 1
	アクリル板 (30 cm × 30 cm)		グループ各 1

A-1-1 ステンレスバットに床材シートを置く

A-1-2 シートの左下隅に実習グループ記号をマジックで記載する

A-1-3	使用する R I 液体は、原液、サンプル A、サンプル B のいずれか
A-1-4	付着させる場所は、シートを 3 × 3 に区切ったマスのどこか
A-1-5	汚染源となる液体にガラス棒の先端を浸し、ガラス棒に付着した液体を床材シートに点付けする。
A-1-6	汚染したシートをステンレスバットごとフード内に互い違いに積み重ね、一晩乾燥させる
A-1-7	『汚染箇所メモ』用紙に使用した R I 液体、汚染箇所を記入し、担当講師に提出する

4. 放射性廃棄物の分類と後始末 -> テキスト通りに実施
5. 実験結果の評価 -> 省略（時間があれば触れる程度）
6. 実習プログラムの評価、検討 -> 実習 2 のまとめ

[考察]

教育訓練の受講者にとって、実習は知識・技能の習得・確認が目的であり、研究課題ではないので、実習課題の達成度を数的に評価することは二の次に置くべきである。実習の操作を通じて、一連の操作を思い返すことで、特に RI の操作でどこに危険があったか、その危険をいかにして回避すべきかといった体験を印象付けるような事後考察が重要であることを再認識されたい。

また、実習は教材があればできるというものではない。実習の開催を重ねていくほどに、実習の現場を指揮する講師の手腕によるところが非常に大きいことが実感できる。すなわち、実習を開催しようとする放射線管理担当者は実習の内容や教材に対して十分な理解と現場での対応力を鍛えておくこと、加えて実習の目的を見失わないで内容のブラッシュアップを継続していくマネジメント力が必要であると言えよう。

これらを踏まえて、各施設での新人講習として実習プログラムを行うことについて、テーマ、教材、実施要領などについて、全国に向けての実習ガイドとしての公開について、検討、議論してください。

講習を実施する側のためのガイド

新規 R I 講習会にて実習を行う際に習得してほしい件

過剰に恐れない／急がない／侮らない

身なりの整備

実験着（汚染防護；前のボタンを全てきちんと留める）

スリッパ（汚染拡大防止；履き替え時に要注意）

ポケット線量計（個人被ばくモニタリング；装着部位と線量計の向き／検出面が外向き）

実験開始前に器具・機の汚染検査

汚染発見時の発生責任の明確化

汚染の判断基準を示すこと（B G の 2 倍超を汚染とする）

実験操作は座って行うこと

立って遮へい板の上から覗き込んだのでは意味が無い

R I を持ち出す前に器具の準備を最大限に

スミア検査用の紙片を準備

メスフラスコをガラスピーカー内に立てる

フラスコの蓋の置き場所を確保（ポリろ紙片）

こまごめピペットを試験管内に立てる

測定用バイアルをシャーレ内に立てる

バイアルのキャップにラベル記入

すべての器具類に手が届くかどうかのチェック

リン酸と水をプラピーカーに取り分ける

あらかじめ蒸留水を入れておく器具には入れておく

ピペットの先端等汚染箇所をバット内でハンドリングすること

ピペットの先端が袖に付かないように

先端が自身の側に向かないように

置き方、置き場所にも注意

器具はできるだけ両手で扱う

「右手にピペットを持ち、原液バイアル容器を左手で持ち、左手の指でキャップを開ける操作」は、まず不安定であるし、左手は至近距離での被ばくをしていることを認識すべき

容器に液を入れる際には片方の手はピペット操作、もう片方の手で容器を支える

蓋をあける→蓋をおく→ピペットを持つ→液を操作する→チップを捨てる→ピペット

を置く→蓋をする

液は器壁に沿わせて（飛沫が散らないように）そっと注入する

メスフラスコの転倒混和も両手で支持して

マイクロピペットは規定量を正確に分取するための器具である
スポイト代わりではない
攪拌棒の代わりでもない
チップの無駄遣いを防ぐ＝廃棄物の減量
R Iが入る前は、液をビーカーからフラスコへ直接注いでよい
ピペットでちまちま入れる必要は無い
作業の合間に手指の汚染検査を励行
液シンバイアルは表面の汚染を除去すること
距離と線量率の測定では、測定環境を正しく構築すること
バックグラウンド要因の除去 {メスフラスコ内のR I /隣接実験班のR I}
特にB1Fの実習は隣の班とのレイアウトによる干渉を充分考慮することが必要
廃棄物の処理手順
無機廃液の処理が完了するまで手袋を外さない、バット内のポリろ紙も捨てない
液体の廃棄物が完全に処理し終えたら、バット内のポリろ紙を除去してよい→可燃物
手袋の汚染検査の有無の確認後、サーベイメータのラップも外してから難燃物の口を
閉じる
実験終了後の器具・機の汚染検査／実験台の整理整頓
実習開始前の状態へ完全に戻すこと
実習開始前は器具の汚染も無かったはずなので、器具の汚染が無いことも復元作業の
一環
退出時の汚染検査
まず洗面流しで手を洗う
ハンドフットクロスモニタはスリッパのまま乗る
手を差し入れ、一番奥の壁がスイッチなので、押したまま5秒キープ→判定結果
台から降りて、衣服の汚染検査（前身ごろ、袖の下側などをチェック）
退出時の忘れ物チェック
特にカードと線量計
汚染検査ができる人になること
汚染を起こしそうな操作
汚染しそうな箇所
汚染の有無の確認
汚染検査（サーベイによる測定）の技術
既知の線源の除去（遮へい）
ヘッド走査
汚染に対して配慮する心が育てば、自身が汚染を起こすことへの注意意識も向上する

資料 7. 実習資料 (VII)

実習 III

非密封 RI による汚染発生時の対応技能研修及び討論

1 放射性表面汚染

1.1 放射性表面汚染に関する基礎事項

物品などの表面の放射性汚染のことを放射性表面汚染という。物品の材質や性状、汚染源となる RI の化学形や溶媒の特性などによって、固定性（固着性）の表面汚染（fixed surface contamination）と遊離性の表面汚染（removable surface contamination）がある。固定性の場合、除染が困難なことが多いが、その反面汚染が拡大するリスクは低い。一方、遊離性の場合、蒸発や揮発、または人為的な行為（接触、塗り広げ等）による汚染箇所の移動や拡散、高い湿度や薬品等による腐食を介した拡散なども念頭において、起点となる汚染箇所よりも広範囲の汚染をあらかじめ想定しておくなど、臨機応変な対処が求められる。

表面汚染箇所を発見したら、まずは汚染の程度と汚染の範囲を特定する必要がある。現場の状況によっては、汚染拡大（二次汚染）を防ぐためにも、迅速に汚染の程度と範囲の評価を行い、適切な除染を実施しなければならない。汚染の程度と汚染の範囲を特定する際の指標となるのが『表面汚染密度（activity per unit area）[Bq/cm²]』である。

本実習は、表面汚染密度の算出方法に慣れ、除染の際に留意すべき事項を体験的に整理することを主たる目的とする。

1.2 表面汚染密度の測定

表面汚染密度は「直接測定法（direct measurement of surface contamination）」または「間接測定法（indirect measurement of surface contamination）」により測定する。後者はふき取り法またはスミア（smear）法とも呼ばれる。

直接測定法は、固定性および遊離性の汚染の和を測定することができるが、測定時に外部放射線の影響を受けやすい。一方、間接測定法は外部放射線の影響はないが、遊離性の汚染のみ測定可能であり、また「ふき取り効率」を考慮する必要がある。

なお、表面汚染密度を求める際に使用する測定器類は、放射能検出限界が表面汚染の密度限度の $1/10^3$ 以下であることが必須となる。

^a 「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」（平成十二年十月二十三日号外 科学技術庁告示第五号、最終改正：令和元年六月一日 原子力規制委員会告示第一号）第十六条（管理区域から持ち出す物に係る表面の放射性同位元素の密度）

※ 以下の測定方法及び表面汚染密度の計算方法は、国際規格 ISO 7503-1 を基に作成された JIS 規格 4504「放射性表面汚染の測定方法 - β 線放出核種（最大エネルギー0.15MeV以上）及び α 線放出核種」（2008年発行）に準拠している。

1.2.1 直接測定法の手順と表面汚染密度の計算方法

直接測定法では、測定器を汚染箇所に行き届けて計数率を測定する。

1.2.1.1 直接測定法の手順と留意事項

- ① 測定対象物の表面上を、ゆっくりと一定の速度で検出器を移動させながら汚染箇所を探索する。
- ② 汚染を検出したら、測定器をできるだけ近づけて（測定点と測定器との幾何学的配置を実習 I の標準線源と検出器との配置と同じにする）、その場所で十分な時間（測定器の時定数の3倍以上）静止し、計数率を読み取る。

1.2.1.2 直接測定法の計算方法

表面汚染密度 A_s (Bq/cm^2) を求めるための計算式は以下のとおり^b。

ただし、汚染面積は測定器の有効窓（入射窓）の面積と同等または広いものとし、有効窓面積における表面汚染密度は均一とみなす。

$$A_s = (N - N_b) / (\epsilon_i \times W \times \epsilon_s)$$

N	:	計数率 (cps)
N_b	:	バックグラウンド計数率 (cps)
ϵ_i	:	機器効率 instrument efficiency ^c
W	:	測定器の有効窓面積 (cm^2)
ϵ_s	:	線源効率 efficiency of a source ^d

なお、機器効率 ϵ_i は、表面放出率がわかっている標準線源を用いて、以下の式により求める。

$$\epsilon_i = A / N_s$$

A	:	計数率 (cps)
N_s	:	表面放出率

^a 距離を一定に保つために、スペーサなどを用いる場合もある。

^b 計算式右辺中の $\epsilon_i \times W \times \epsilon_s$ が実習 I の「表面汚染密度換算係数 [$\text{Bq}/\text{cm}^2/\text{cpm}$]」に相当する。ただし、この係数を用いる場合は $N - N_b$ の単位を cpm にすること。

^c 機器効率：線源の表面放出率（線源の表面から単位時間に放出される粒子数）に対する測定器の正味計数率の比。

^d 線源効率：線源中の放射線放出率（線源から単位時間あたりに放出される粒子数）に対する表面放出率の比。

また、線源効率 ϵ_s は線源の性状によって変化するため、実験的に求めることが困難な場合がある。その場合は安全側の数値として次の値を用いて安全側に評価する。

$$\epsilon_s = 0.5 \quad [\beta \text{線放出核種} (E_{\beta\max} \geq 0.4 \text{ MeV})]$$

$$\epsilon_s = 0.25 \quad [\beta \text{線放出核種} (0.15 \text{ MeV} < E_{\beta\max} < 0.4 \text{ MeV}) \\ \text{および} \quad \alpha \text{線放出核種}]$$

1.2.2 間接測定法（ふき取り試験、ふき取り法、スミア法）の手順と表面汚染密度の測定方法

間接測定法では、測定対象となるものの表面をふき取りろ紙（スミアろ紙）などで擦り、ろ紙へ移行した放射能を測定器で測定することで遊離性表面汚染を評価する。測定器を測定箇所近づけることが物理的に困難な場合や、外部放射線量が高い場合などに有効な測定法である。

1.2.2.1 間接測定法の手順と留意事項

- ① 乾式、または湿式（ふき取りろ紙を適切な液体で湿らせてふき取る）^aでふき取りを行う。
- ② ふき取る対象物（試験対象物）が平滑な場合はふき取りろ紙を使用し、平滑でない場合はキムワイブや綿布などを用いるとよい。
- ③ ふき取り面積は『100 cm²』^bとし、この範囲内を一樣にふき取る。
- ④ 測定面を適切な強さの力でふき取る。均一で一定の力となることが望ましい。このため、通常は指で押さえられる大きさの円形ろ紙が用いられる。
- ⑤ ふき取りの強さは、通常の作業等において接触する場合と同程度の強さが望ましい。1回のふき取りで遊離性表面汚染の全部をふき取ることはしない。
- ⑥ 対象物をふき取ったろ紙を測定器で計測する。

1.2.2.2 間接測定法の計算方法

ふき取ったろ紙上の単位面積あたりの遊離性表面汚染の放射能 A_{sr} (Bq/cm²) を求めるための計算式は以下のとおり。

$$A_{sr} = (N - N_b) / (\epsilon_i \times F \times S \times \epsilon_s)$$

$$N \quad : \quad \text{計数率 (cps)}$$

^a 湿式の場合は、ろ紙などから液体がにじみ出ないようにする。また、ふき取り後にろ紙が水分を含んでいる場合は、放射能の損失に注意しながら乾燥させてから計測する。とくに α 線放出核種の湿式ふき取り試験の場合は、汚染のろ紙内面への侵入やろ紙の残存水分により過小評価となりやすいことに注意する。

^b ふき取る面積は検出器の有効面積と等しいか、または小さくなければならない。

- N_b : バックグラウンド計数率 (cps)
- ϵ_i : 機器効率 instrument efficiency
- F : ふき取り効率 removal factor
- S : ふき取り面積 (cm²)
- ϵ_s : 線源効率 efficiency of a source

機器効率 ϵ_i および線源効率 ϵ_s は、1.2.1.2 の値に同じ。

ふき取り効率 F は、「ふき取り試験 (smear test)」を実施して実験的に求めることができる、(本実習ではふき取り効率を実験的に求める)。

$$F = A_b / A_r$$

- A_b : 1回のふき取り試験でふき取った放射能
- A_r : 試験を行う前の遊離性表面汚染の放射能

たとえば、ある床材のふき取り効率を求めようとする場合は以下のように求める。

$$F = \frac{(\text{床材上でのスミア前の計数率} - \text{床材上でのスミア後の計数率})}{(\text{床材上でのスミア前の計数率} - \text{バックグラウンド計数率})}$$

ふき取り効率の精度を高めたい場合は、ふき取り試験を何回もくりかえしてふき取り効率を算出する。

また、ふき取り効率を実験的に求めることが困難な場合は、安全を考慮して「0.1」を用いることが国際規格や JIS 規格で推奨されている。しかしこの値は過剰に安全側の値であり、一般的な放射線施設においては、ふき取り効率が汚染表面の材質や状態に依存することを考慮して、以下の数値が用いられる。

汚染表面の材質	ふき取り効率
非浸透性固体表面 (ポリ塩化ビニル製の板やシート、ガラス板など)	0.5
浸透性固体表面 (木製板、表面無処理のコンクリートなど)	0.05
非浸透性・浸透性の区分をしない場合	0.1

2 放射性表面汚染の除染方法

2.1 表面汚染の除染の基礎

- ① 汚染箇所が発見されたら、まずは汚染箇所に印をつけて（マジックなどで広めにマークする）、立入禁止等の措置をとる。次いで、汚染箇所の周辺を広範囲にサーベイし、周辺への汚染拡大がないかを追跡調査する。
- ② 汚染源となった RI の核種と放出線種、エネルギー、化学形などの情報を可能なかぎり集めておくと、安全かつ効率的な除染計画を立てることができる。
- ③ RI を含む溶液の場合、溶媒の性質（有機溶媒か無機溶媒か、揮発性の有無等）や、汚染されたものの材質との関係を考慮して、効果的かつ効率的な除染計画を立案する。
- ④ ③が不明で、非浸透性の固体表面の場合は、以下の順番で除染を試みる。
 - (1) 乾いた紙や布などでふき取る（乾式ふき取り）。
 - (2) 湿らせた紙や布などでふき取る（湿式ふき取り）。
 - (3) 薄めた中性洗剤を塗布した後に、乾いた紙や布などでふき取る。
 - (4) キレート形成剤（EDTA やシュウ酸など）を含む水溶液や市販の除染剤を塗布した後に、乾いた紙や布などでふき取る。
- ⑤ ワックスが十分に塗布された床面の場合、アルコールなどでワックスごとふき取るだけで除染できることがある。
- ⑥ 浸透性固体表面の汚染の場合は、汚染部分を削り取って表材を張り替える等の措置をとる。
- ⑦ 床面の除染は、履物等により除染者が汚染を拡大してしまうことがある。除染する部屋の出入り口で履物の履き替えを徹底すると二次的な汚染拡大範囲を限定することができる。
- ⑧ 広範囲の除染の場合は、複数名（除染を行う者、除染により発生する廃棄物等を回収する者、測定者の三人体制など）で除染作業を実施すると安全である。
- ⑨ 短半減期核種による汚染で除染が容易ではない場合は、十分な時間をおいて減衰を待つのも有効である。

2.2 除染係数・除染率

以下の手順で除染係数または除染率を求め、除染の効果を評価する（本実習では省略）。

除染係数 = 除染前の表面放射能 (Bq) / 除染後の表面放射能 (Bq)

除染率 = (除染前 (Bq) - 除染後 (Bq)) / 除染前 (Bq) × 100 (%)

3 実習Ⅲ 「表面汚染箇所の特定とスミア法によるふき取り効率の算定」

3.1 本実習で用いる物品等（準備するもの）

- ・実習Ⅰで表面汚染密度換算係数 ($\text{Bq}/\text{cm}^2/\text{cpm}$) を求めた広口GMサーベイメータ
- ・実習Ⅱで他の班が汚染をさせた床材 (c, g) とアクリル板 (a)
- ・ふき取りろ紙 (スミアろ紙/スプーン型) 10枚 ・紙製ウェス (キムワイブ等)
- ・スプレーボトル ・廃棄物用ポリ容器とビニル袋 (可燃物用・難燃物用)
- ・油性マジック ・ラップ ・手袋

3.2 実習の手順

3.2.1 準備

- ① GMサーベイメータのプロープ前面をラップで覆う。
- ② スプレーボトルに水道水を入れる。
- ③ 廃棄物用ポリ容器にビニル袋をかぶせ、放射性廃棄物の一時的な置き場を準備する。
- ④ 手袋を装着する。

3.2.2 汚染箇所の特定、直接測定法および間接測定法による表面汚染密度の測定

- ① アクリル板 (a) を実験台の上に置く。
- ② GMサーベイメータで汚染箇所を特定し、油性マジックで印をつける (係数値が高い部分を中心に広めに囲む)。
- ③ 油性マジックで囲んだ部分でGMサーベイメータを静止させ、直接測定法 (1.2.1.1 参照) により汚染箇所の計数率を測定する。
* 時定数の三倍以上の時間をかけて測定すること。
- ④ 間接測定法によるふき取り (1.2.2.1 参照) を行う (乾式ふき取り)。
* 汚染箇所を中心とする 10cm 四方 (100cm^2) を、スミアろ紙をアクリル板に一定の強さで押しつけながらふき取る (力を無理に加えないこと)。
- ⑤ ふき取り後の汚染箇所の計数率を、③と同様の方法で測定する。
- ⑥ スミアろ紙を、アクリル板を擦った面を上にして机上に置き、③と同様の方法でスミアろ紙へ移行したRIの計数率を測定する^a。
- ⑦ 床材 (クリーム色の床材 (c) と灰色の床材 (g)) についても①～⑥の操作を行う。
* ふき取りの際には、アクリル板のときと同じくらいの強さでふき取ること。

^a 本実習ではGMサーベイメータを用いた簡易測定だけに留めるが、正確に測定する場合は 2π ガスフローカウンターや液体シンチレーションカウンターが適している。

記録（直接計測法と間接計測法）

GMサーベイメータのバックグラウンド計数率 N_b : _____cpm
 : _____cps

アクリル板 (a)

★		

汚染箇所	ふき取り前 (ア)	ふき取り後 (イ)	スミアろ紙 (ウ)
A - 1	cpm	cpm	cpm
A - 2	cpm	cpm	cpm

床材 (クリーム色、c)

★		

汚染箇所	ふき取り前 (ア)	ふき取り後 (イ)	スミアろ紙 (ウ)
B - 1	cpm	cpm	cpm
B - 2	cpm	cpm	cpm

床材 (灰色、g)

★		

汚染箇所	ふき取り前 (ア)	ふき取り後 (イ)	スミアろ紙 (ウ)
C - 1	cpm	cpm	cpm
C - 2	cpm	cpm	cpm

3.2.3 水を用いたふき取り

- ① スプレーボトルの水を汚染箇所付近に噴霧し、キムワイブでふき取る(湿式ふき取り)。
- ② ふき取ったキムワイブに付着したR I を GM サーベイメータで測定し、汚染がふき取られていた場合は可燃性放射線廃棄物の袋に入れる。バックグラウンドレベルの場合は、非R I 用のゴミ箱(各実験台の足元付近に置いてある)に廃棄する。
- ③ 湿式ふき取り後の汚染箇所付近の計数率を直接測定法で測定する。

記録(湿式ふき取りの効果)

アクリル板 (a)		床材 1 (c)		床材 2 (g)	
汚染箇所	ふき取り後 (工)	汚染箇所	ふき取り後 (工)	汚染箇所	ふき取り後 (工)
A - 1	cpm	B - 1	cpm	C - 1	cpm
A - 2	cpm	B - 2	cpm	C - 2	cpm

3.2.4 かたづけ

- ① 測定に用いたアクリル板 (a) や床材 (c, g) はそのまま置いておく。
- ② ふき取りに使用したスミアろ紙やキムワイブ等をGMサーベイメータで測定し、汚染がある場合は可燃物放射性廃棄物の袋へ入れる。ない場合は非R I 用のゴミ箱へ。
- ③ 手袋に汚染がないかGMサーベイメータで確認する。汚染がある場合は難燃物放射性廃棄物の袋へ入れる。ない場合は非R I 用のゴミ箱へ。
- ④ 放射性廃棄物の袋の中の空気をなるべく抜いて、口をしぼる。
- ⑤ 実験台周辺(アクリル板や床材、廃棄物の袋の周辺は除く)に汚染がないかGMサーベイメータで確認する。
- ⑥ GMサーベイメータのプロープを覆っていたラップを外してゴミ箱に捨てる。

※ 以上で管理区域内での実習は終了です。
講義室に戻り、次ページ以降の計算を実施してください。

京都大学 実習準備マニュアル

実習Ⅰ 「放射線測定器の校正について」

実習Ⅱ 「非密封RIの取扱に関する実習」

実習Ⅲ 「非密封RIによる汚染発生時の
対応技能研修」

京都大学環境安全保健機構放射性同位元素総合センター

実習Ⅰ 「放射線測定器の校正について」

I-1. サーベイメータの校正

I-2. GMサーベイメータ (TGS-133) の換算係数

1. 校正場の準備

2. ベータ線源の準備

実習I-1 サーベイメータの校正

—京大の簡易校正の紹介とデモ測定—

準備：Cs-137(基準線量線源：図-1)を用いて照射場（図-2）を作る。

- ・しっかりした机を準備し、その上に約1mのレールを敷く。
- ・線源Cs-137をレール上に設置したスタンドに固定する。
- ・ラボジャッキの上に検出器を固定し高さを線源に合わせる。
- ・検出器の実効中心と線源のあいだの距離をレールに沿って変更する。

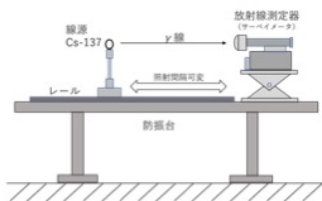


図-1 線源



図-2 照射場

実習I-2 広口GMサーベイメータ(TGS-133)

機器効率を測定し換算係数を算出する

線源の準備

放出ベータ線の最大エネルギーが異なる3種類の標準線源を準備する。

標準β線源(最大エネルギーと電子線放出率)

- | | | |
|--|--------------------------------|----|
| 1. Pm-147 (224keV) | A:1.99k cpm/2π, B:2.05k cpm/2π | 2個 |
| 2. Cl-36 (710keV) | 123 cps/2π /100 x100cm | 1個 |
| 3. U ₃ O ₈ (2.29MeV) | 1020 cps/2π | 1個 |



1. Pm-147



2. Cl-36



3. U₃O₈

- ・標準線源Pm-147の強度が強いため、4mm径の穴（ステン板1mm厚）でコリメートし、2πガスフローカウンターで強度の校正をしたものを用いた。

実習Ⅱ「非密封RIの取扱に関する実習」

1. 実習準備物一覧

2. 実習準備（セットアップ）

実習Ⅱ-1. 実習準備物一覧（1/2）

◆試薬、薬品

- ・ P-32 オルトリン酸 (NEX-054、P-32 Phosphorus-32 ($H_3^{32}PO_4$))
500 k Bq/50 μ Lとして調整、ガラスバイアルに入れ、鉛遮へい容器に入れて貯蔵室に保管しておく（グループ数+予備1つ）。
- ・ リン酸水素ナトリウム溶液 (NaH_2PO_4)
- ・ 蒸留水（ポリ洗浄びん）

◆実験用品（各班ごとの数量）

- | | |
|-----------------------------|--------------------|
| ・ マイクロピペット (1mL) ×1 | ・ 試験管 ×1 |
| ・ マイクロピペット用チップ (1mL) ×4 | ・ 試験管立て ×1 |
| ・ メスフラスコ (25mL) ×2 | ・ ピンセット ×1 |
| ・ ガラスビーカー (50mL) ×2 | ・ ハサミ ×1 |
| ・ プラスチックビーカー (150mL) ×2 | ・ ビニルテープ ×1 |
| ・ 測定バイアル (20mL) ×2組 | ・ 油性マジック ×1 |
| ・ シャーレ ×1組 | ・ プラスチックトレイ ×1 |
| ・ こまごめピペット ×1 | ・ プラスチックメッシュトレイ ×1 |
| ・ こまごめピペット用ゴム帽 ×1 | |
| ・ アクリル板 (1cm遮へい体と同じ厚さの板) ×1 | |
| ・ スケール板 (プラスチック製：GM測定用) ×1 | |
| ・ GM管用枕 ×1 (今回説明のみ) | |

実習Ⅱ-1. 実習準備物一覧 (2/2)

◆放射線防護用品 (各班ごとの数量)

- ・アクリル遮へい板 (利用者前面用×1、GMサーベイメータ用×1)
- ・ポリエチレンろ紙 (バット内敷き用) ×1
- ・ポリエチレンろ紙片 (小片ふき取り用等) ×数枚
- ・ステンレス製バット×1
- ・ポリ袋 (RI廃棄物用)
- ・ラップフィルム×1
- ・放射性廃液容器 (広口ポリ瓶ふた付) ×1
- ・GMサーベイメータ (TGS-133) ×1
- ・手袋
- ・ペーパータオル×1
- ・キムワイプ×1
- ・放射性廃棄物容器 (ポリ) ×2

◆その他

- ・放射性廃棄物記録表 可燃物、難燃物、無機液体 ×各1
- ・中性洗剤×1
- ・洗浄用ブラシ×1

◆測定機器

- ・液体シンチレーションカウンタ (測定室：日立LSC-8000)

実習Ⅱ-2. 実習準備 (セットアップ) (1/2)



■準備 (実験台)

- ・実験台、わき机、フード表面を、ポリろ紙で養生する。
- ・実験台にステンレスバットを置き、プラスチックトレイとプラスチックメッシュトレイを置いた上に、試験管立て、メスフラスコ、ビーカー、シャーレ、ガラスパイアル、ハサミ、油性マジック、こまごめピペット等、準備物を並べて数を確認する。
- ・マイクロピペット用チップ4個、ポリエチレンろ紙片 (小片ふき取り用等) 数枚、廃棄物記録シールもプラスチックトレイの中に準備しておく。
- ・遮へい体、キムワイプ、ペーパータオル、ラップ、リン酸水素ナトリウム溶液の入った容器、蒸留水の入ったポリ洗浄びん、アクリル板 (1cm遮へい体と同じ厚さの板、ステンレスバットが傾かないようにする)、マイクロピペット (1mL)、GMサーベイメータ等をそれぞれ配置する。

実習Ⅲ 「非密封RIによる汚染発生時の対応技能研修」

1. 実習準備物一覧

2. 実習準備（セットアップ）

実習Ⅲ-1. 実習準備物一覧（1/2）

◆RI

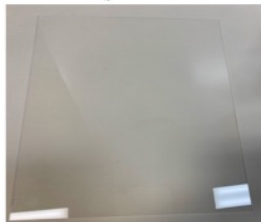
- ・RIは、実習Ⅱで各班が調整した希釈サンプル（P-32水溶液）を使用

◆器具・機器類（汚染スポット作成用）

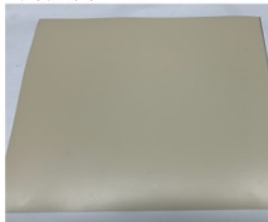
- ・ステンレスパット×3
- ・ガラス棒×1
- ・試験管（プラスチック）×1
- ・ガラス棒用試験管立て×1

- ・床材（アクリル板×1、床材（クリーム色×1、灰色×1））

アクリル板



床材 (c)



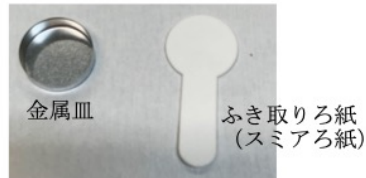
床材 (g)



実習Ⅲ-1. 実習準備物一覧 (2/2)

◆器具・機器類 (ふき取り実習用)

- ・GMサーベイメータ (TGS-133) ×1
実習Ⅰで表面汚染密度換算係数 (Bq/cm²/cpm) を求めたもの
実習開始時にラップでプローブを覆っておく。
- ・マーキング用油性マジック
- ・スプレーボトル (水道水を入れておく) ×1
- ・ふき取りろ紙×10
- ・紙製ウェス (キムワイブ等)
- ・ピンセット
- ・金属皿 (ふき取りろ紙用) ×10
- ・はさみ
- ・手袋



◆その他

- ・放射性廃棄物容器 (ポリ) ×2
- ・ポリ袋 (RI廃棄物用) ×2

実習Ⅲ-2. 実習準備 (セットアップ)



■準備

- ・実習Ⅱと同様にポリろ紙で養生する。
- ・各ステンレスパットに、アクリル板、床材(c)、床材(g)を置く (左写真)。
- ・試験管立てに試験管をセットし、ガラス棒をさしておく。
- ・スプレーボトルに水道水を入れておく。

その他必要となる物品等については
実習Ⅱと同様の準備をしておく。

直接測定法による表面汚染密度の算定

$$A_s = (N - N_b) / (\varepsilon_i \times W \times \varepsilon_s)$$

- N : 計数率 (cps)
- N_b : バックグラウンド計数率 (cps)
- ε_i : 機器効率 instrument efficiency
- W : 測定器の有効窓面積 (cm²)
- ε_s : 線源効率 efficiency of a source

間接測定法による表面汚染密度の算定

$$A_{sr} = (N - N_b) / (\varepsilon_i \times F \times S \times \varepsilon_s)$$

- N : 計数率 (cps)
- N_b : バックグラウンド計数率 (cps)
- ε_i : 機器効率 instrument efficiency
- F : ふき取り効率 removal factor
- S : ふき取り面積 (cm²)
- ε_s : 線源効率 efficiency of a source

放射線安全規制研究戦略的推進事業費
(放射線防護研究分野における課題解決型ネットワーク
とアンブレラ型統合プラットフォームの形成)事業

令和 3 年度事業成果報告書

令和 4 年 3 月

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構

本報告書は、原子力規制委員会令和3年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成）事業による委託業務の成果を、代表機関である量子科学技術研究開発機構が、分担機関である日本原子力研究開発機構および原子力安全研究協会とともに、協力機関である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・災害医学会、日本保健物理学会の協力を得て取りまとめたものである。

目 次

I. 事業の目的	1
II. 事業遂行の実施体制	3
III. 5年間のロードマップと第5年度の事業の位置づけ	5
IV. 本事業の概要	7
1. 課題解決型ネットワークによるアウトプット創出	14
(1) 国内の放射線防護対策の推進に関する検討	14
(2) 緊急時放射線防護に関する検討	28
(3) 職業被ばくの最適化推進に関する検討	36
(4) 放射線防護分野のグローバル若手人材の育成	43
2. 放射線防護アンブレラによる情報共有と合意形成	45
(1) 国際動向に関するアンブレラ内の情報共有	45
(2) 放射線防護に関するアンブレラ内の意思決定	50
(3) アンブレラから社会への情報発信	57
V. 今年度の成果の概要	60
1. 成果の概要	60
(1) アンブレラ型プラットフォームとしての成果	60
(2) 課題解決型ネットワークによる成果と波及効果	64
(3) 本事業内での活動の限界	66
2. 事業の実績	68
VI. 今後の活動の継続について	70
1. 放射線防護アカデミアの活動の継続について	70
2. 緊急時放射線防護ネットワークの活動の継続について	71
3. 職業被ばくの最適化ネットワークの活動の継続について	72
VII. 付属資料リスト	73

I. 事業の目的

「放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成事業」（以下、「アンブレラ事業」という。）は、平成 29 年度に放射線防護研究ネットワーク形成推進事業の一課題として採択された事業である。主には以下のような活動を行う。

- ①放射線規制の課題解決を目的としたネットワーク（以下、課題解決型ネットワーク、あるいはネットワーク）を複数立ち上げる。ネットワークでは、放射線安全規制研究の重点テーマの提案や産学連携による調査や議論を行う。
- ②各ネットワークのアウトプット創出を支援するとともに、異分野間での議論を可能にするため、アンブレラ型統合プラットフォーム（以下、放射線防護アンブレラ、あるいはアンブレラ）を形成する。アンブレラ活動として、ネットワークへの国際動向の最新情報の提供や、ネットワークによる放射線防護の国内状況に関する調査をまとめる。

こうしたアンブレラ事業の目的は、放射線規制の喫緊の課題の速やかな解決に、放射線防護の専門家集団が適切に関与する仕組み作りにある。そのために、放射線防護の喫緊の課題の解決に適したネットワークを形成しながら、放射線防護に関連する学術コミュニティと放射線利用の現場をつなぐ活動を行うこととしている。

ここでいう「専門家集団の適切な関与」とは、従来のように個別の専門領域の視点で様々な課題解決案を国等に提案するだけでなく、より幅広い専門家集団の総意として現実的な 1 つの提案をする、あるいはステークホルダー間での合意形成や施策の実施に協力することを意味している。こうした関与を可能にするためには、日常的に国際動向に関する情報や問題意識を共有する環境、異なる分野の専門家やステークホルダーが互いの立場や考え方を尊重しあいながら、共通の課題の解決に向けて連携・協調をする関係が必要である。そこで 5 年間かけてこうした環境の整備や連携・協調関係の構築をするのが、アンブレラ事業の柱である。

さらに将来的には、原子力規制委員会や放射線審議会での審議において、必要と思われる調査、議論のテーマ設定及びネットワークの設置等の運営を、学術コミュニティが自主的に行う体制への移行を事業目標として掲げている。

初年度である平成 29 年度には、放射線安全規制研究の重点テーマの提案、緊急時対応人材の確保及び職業被ばくの国家線量登録制度構築を目指す 3 つのネットワークを立ち上げ、それぞれが抱える課題解決に適した運営を行い、放射線安全規制研究の重点テーマの提案や、産学連携による放射線防護の課題解決に向けた調査や議論を実施した。また各ネットワークのアウトプット創出を支援するとともに、異分野間での議論を可能にする「アンブレラ」の原型を形成し、その有用性の一部を確認した。

第2年度にあたる平成30年度には、放射線安全規制研究の重点テーマに関する議論を通じて、科学的知見の規制への取り込みにおけるアカデミアの役割について明確化した。また緊急時対応人材の確保並びに職業被ばくの国家線量登録制度構築を目指すネットワークは、それぞれ関係するステークホルダーを巻き込む形でネットワークを広げ、議論を進めた。

第3年度にあたる平成31年度は、先の2年間の検討において、「分野横断研究の推進」や「研究成果と規制への取り入れのつなぎ」「放射線防護人材の確保・育成」などに関して本格的に取り組む必要があることが明らかになったので、放射線防護アカデミアに参加する学会が積極的なアクションを行った。また2つのネットワークはそれぞれ緊急時対応人材の確保並びに職業被ばくの国家線量登録制度構築のための方策を提案した。

第4年度にあたる令和2年度には、①アカデミアが課題を抽出⇒②課題解決に取り組む部隊を組織化⇒③解決策を検討⇒④ステークホルダーと調整⇒⑤解決策を実施あるいは解決策を実施すべき主体に提言する、という各プロセスを一通り経験し、それぞれに必要な仕組みづくりが完了した。また医療・原子力・リスクなど放射線防護に関与する学会と連携して分野横断的取り組みを行うとともに、コロナ禍においてオンラインを活用した情報発信を行った。さらに2つのネットワークはそれぞれが提案した緊急時対応人材の確保並びに職業被ばくの国家線量登録制度構築緊のための方策案に関して、多くのステークホルダーからの意見を聴取し、方策案に反映した。

第5年度にあたる令和3年度には、放射線防護アカデミアに参加している4学会と代表者会議が連名で「提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて」を取りまとめ、代表者会議の下部組織である実効線量と実用量に関わるワーキンググループが「放射線に関する線量の現状と課題 -課題解決に向けた提言-」を取りまとめた。この過程において、アカデミア内の合意形成のための複数のプロセスを確立した。また緊急時放射線防護ネットワークは、緊急時モニタリングセンターが実施する環境モニタリング活動を支援する専門家及び避難退域時検査を支援する専門家を育成するための「原子力緊急事態対応ガイド」を作成し、具体的な人材育成を試行するとともに、ネットワークの理想的なあり方と現実的な当面の活動案を整理・提案した。一方、職業被ばくの最適化推進ネットワークでは実態調査を実施し、特に個人の被ばく線量管理が必要と思われる医療現場のために現実的な線量登録フローを作成し、医療関係者や行政との意見交換を行った。

本報告書では、第5年度の事業を報告するとともに、5年間の実績を総括し、今後の自立したネットワークの活動に関する議論の結果についても記載する。

II. 事業遂行の実施体制

ネットワーク形成推進事業では、①代表機関は国際的機関や国際会議における議論について情報の収集及び把握をし、国際的な最新の知見を取り入れることができる体制となっていること、②国際的な最新知見を国内の関係研究者と共有し、国内における課題について検討できる体制になっていることが採択時の要件となっている。

実施体制 1：事業の運営主体である「代表機関と分担機関」

アンブレラ事業は、放射線防護に関連する代表的な国際的機関(UNSCEAR、ICRP、IAEA、WHO、OECD/NEA/CRPPH等)と関連が深い量子科学技術研究開発機構(以下、量研)、日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)、原子力安全研究協会(以下、原安協)が受託し、この3機関が、国内の関係研究者間の国際動向情報の共有、自立的な議論や調査、アウトプットの創出等を支援する役割を担っている(図1)。

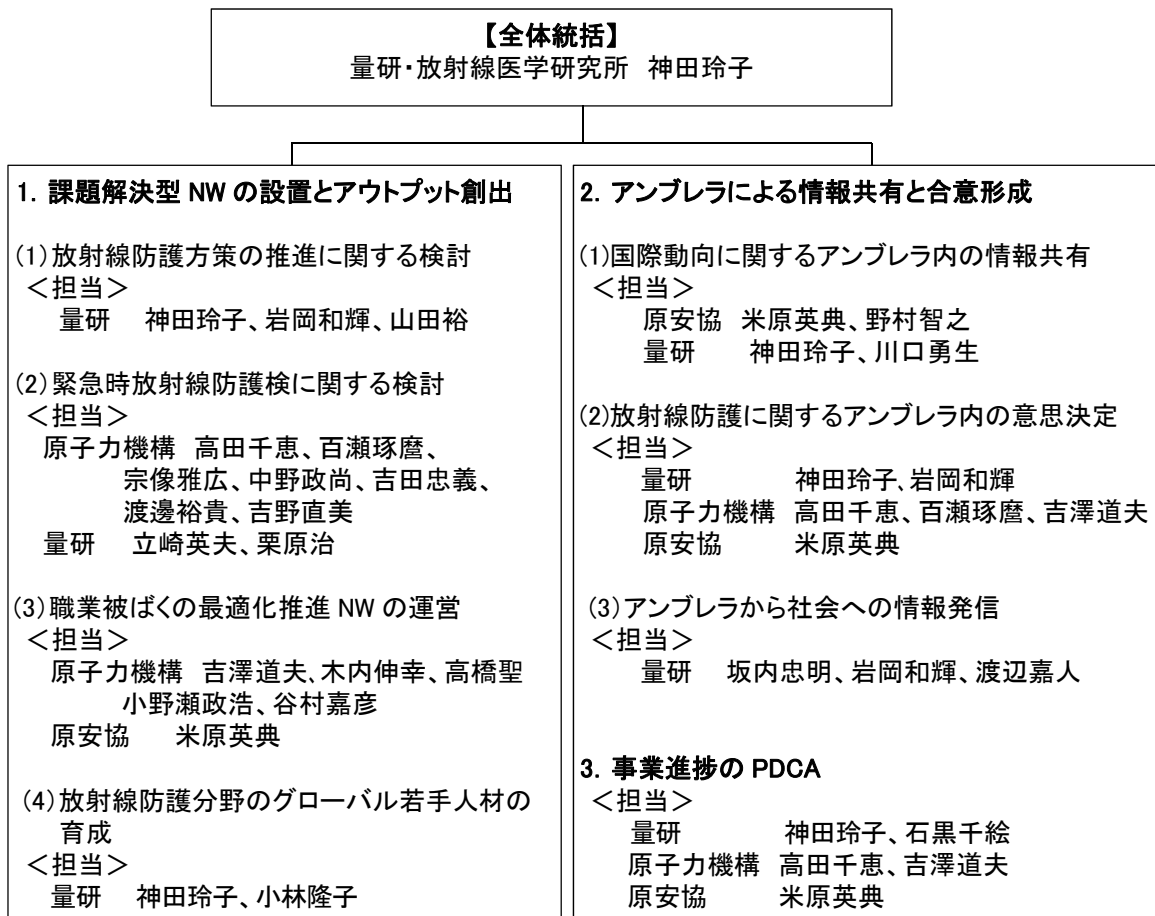


図 1. 令和 3 年度 アンブレラ事業の実施体制

実施体制 2：議論や調査の主体である「課題解決型ネットワーク」

平成 29 年度に放射線防護の研究推進や課題抽出を検討するネットワークとして「放射線防護アカデミア」を組織し、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・災害医学会、日本保健物理学会および放射線影響・防護の専門家グループである「放射線リスク・防護研究基盤」(PLANET、量研内設置委員会)が参加した。令和 2 年度からは、日本リスク学会と連携して社会科学的要素がある研究分野の議論を行う等、ネットワークの内外にこだわらず、分野横断的な議論を推進した。

平成 29 年度に組織化した緊急時放射線防護ネットワークと職業被ばくの最適化推進ネットワークにはアカデミア参加学会関係者に加え、大学関係者、日本産業衛生学会、電力会社、研修事業者、線量登録機関等、主要なステークホルダーがメンバーとして参加した。今年度、医療現場の職業被ばく管理の問題についてエビデンスベースの議論が進めるために、医療放射線防護連絡協議会の年次大会や日本学術会議の下部組織、日本学術振興会の産学協力研究委員会等、放射線防護アカデミアの外に議論の場を設け、より広範囲のステークホルダーと意見交換を行った(図 2)。

実施体制 3：事業の情報共有や合意形成の枠としての「アンブレラ」

「国際的な最新知見を国内の関係研究者と共有し、国内における課題について検討する」仕組みとして考えているのが、学術コミュニティと課題解決型ネットワークをつなぐアンブレラ型のプラットフォーム、いわゆるアンブレラである。アンブレラ参加団体に対し、テーマ別の報告会の開催等、関係者間の情報共有や横断的議論の場を提供するとともに、ネットワークの代表者で構成された「代表者会議」がアンブレラの運営全般に関与することで、放射線防護分野の全ステークホルダーが、個別の課題の解決といった共通の目的に向けて「情報共有」「連携」「協調」を進めた。今年度は昨年度に引き続きコロナ禍において、Web を活用して情報配信や議論を実施した。参加者は放射線防護アカデミアに限定せず、実施体制のボーダーレス化が進んだ。

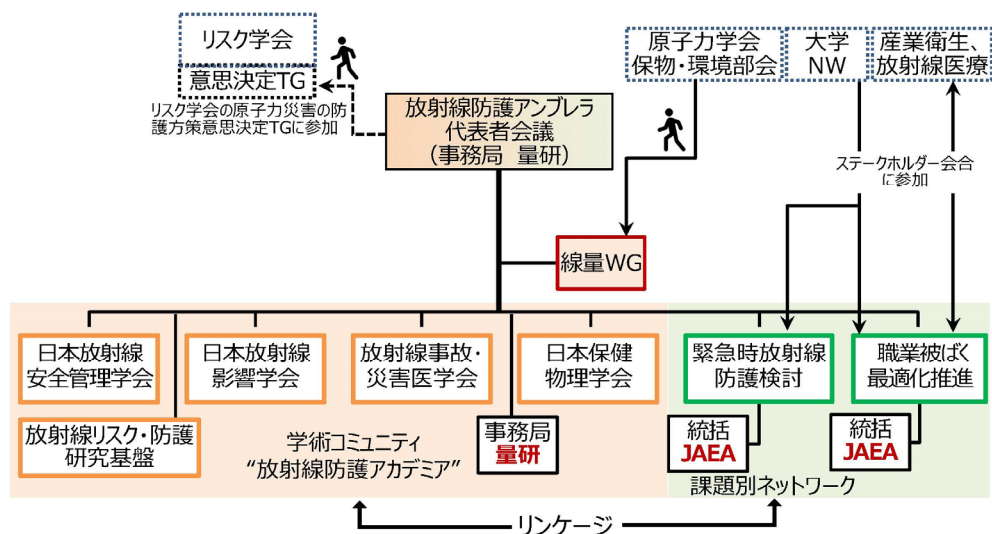


図 2. 放射線防護アンブレラの構成(令和 4 年 3 月現在)

Ⅲ. 5年間のロードマップと第5年度の事業の位置づけ

アンブレラ事業の事業内容は I. 課題解決型ネットワークによるアウトプット創出と II. 放射線防護アンブレラによる情報共有と合意形成の 2 つに大別される。I のアウトプットが、放射線防護に係る課題解決のための提案およびその根拠となる調査結果であるのに対し、II の成果は、提案や調査結果の取りまとめに至った合意形成の仕組み作りとなっている。この事業の縦糸と横糸が連結するように、本事業応募時に作成したロードマップ（図 3）に沿って 5 年間、事業を運営した。

第 1 年度（平成 29 年度）には、放射線防護関連 4 学会が安全規制研究の重点テーマの提案を行った。またネットワークを 2 つ設置し、緊急時対応人材確保の方策や職業被ばく管理制度に関する検討を始めた。さらに情報共有の場として国際動向報告会を、議論や合意形成の場としてネットワーク合同報告会を開催し、事業の基礎を形成した。

第 2 年度（平成 30 年度）においては、学会内での議論や行政と専門家の議論を深めるために調査機能を強化し、国際動向報告会のテーマを「国際機関における研究動向やニーズ」として、アカデミアの活動とリンクさせた。また放射線防護人材の年齢や専門性の分布の調査・分析を実施した。さらには、職業被ばくの最適化推進ネットワークに日本産業衛生学会が参加し、ネットワークの拡充も達成した。

第 3 年度（平成 31 年度）においては、中間評価の年次であることから、これまでの活動や議論を集約してアウトプットを出すことに注力した。その過程において、調査や議論、合意形成のプロセスの一部を確立した。成果の一部は、放射線審議会や厚生労働省の検討会等で発表した。国際動向報告会では、円卓討議とフロアからの Web ベースでの意見聴取を試み、放射線防護の課題を抽出する機能を強化した。人材育成に関しては現状調査による問題点の抽出と方策の検討の両面から取り組んだ。

第 4 年度（令和 2 年度）は、ネットワークによる①緊急時対応人材の確保・育成および②職業被ばくの一元管理、放射線防護アカデミアによる③放射線安全規制研究の重点テーマの提案と実施、④放射線防護人材の育成・確保、⑤新たな線量に関する諸問題、⑥原子力・放射線事故対応の問題抽出に取り組み、課題解決のためのプロセスの定型化（各段階での適切な主体による関与を含む）を完了した。

第 5 年度（令和 3 年度）は、上記の 6 つの課題それぞれの解決策を取りまとめ、一部アンブレラ事業内で実施した。また報告書案へのパブリックコメントや学会間の相互レビューなど、アカデミア内の合意形成に新プロセスを導入した。さらに Webinar を多用し、アカデミア内の情報共有を進めるとともに、学会による Webinar 企画・運営や人材育成イベントの比重を増やし、事業終了後の自主運営に向けた準備を行った。事業終了後も、放射線防護アカデミア、緊急時放射線防護検討ネットワークならびに職業被ばくの最適化推進ネットワークの活動を継続するために、それぞれに対して、現実的な活動プランや枠組み案を取りまとめた。

実施項目	担当者* (所属機関)	平成 29 年度				平成 30 年度				平成 31 年度				平成 32 年度				平成 33 年度			
		第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期
目標：①課題解決型 NW の設置とアウトプット創出 ②放射線防護アンブレラによる情報共有と合意形成																					
①	山田・中島 立崎・栗原 神田・赤羽 (量研)	①-1：放射線防護アカデミアの立ち上げと運営 事業応募 → 関連4学会の参画 → 他学会の参画によるアカデミアの拡充 → アカデミアの自発的政策提言や調査機能強化 ¹ 3回/年の会合を開催し、検討。詳細は団体毎に決定。 ・研究の重点テーマ提案 ・放射線防護研究の国内状況調査結果報告 ・自発的共同研究の提案と実践 ² ・NW 合同報告会での発表																			
①	吉澤・百瀬 (JAEA) 神田・古場 立崎 (量研)	①-2：課題解決型 NW の立ち上げと運営 事業応募 → PLANET の参画 新規 NW の設置 → 「医療被ばく研究情報 NW」「物理学的線量評価 NW 会議」との連携検討 → NW の自主的運営の検討 3回/年の会合を開催し、検討。 (放射線防護アカデミアの活動と協調) ・緊急時対応人材確保の具体的な目標を提案 ・線量データの信頼性確立等職業被ばく管理の標準的要領を提案 ³ ・NW 合同報告会での発表																			
②	神田 (量研) 吉澤・百瀬 (JAEA) 杉浦 (原安協)	②-1：代表者会議、ステークホルダ会議の運営 事業応募 → 代表者会議 → 代表者会議 → 代表者会議 → 代表者会議 → 代表者会議 NW の検討結果まとめ/ 翌年の活動方針決定 NW の検討結果まとめ/ 翌年の活動方針決定 運営の見直し/ 新規 NW 設置 NW のアウトプットの実現に向けた議論や合意形成のためのステークホルダ会合 (1 回/年以上開催) ⁴ 国際イベントの企画 ⁵ 自主的運営に向けた議論 ⁶ 事業の総括																			
②	杉浦 (原安協) 山田・中島 (量研)	②-2：国際動向報告会、NW 合同報告会の企画運営、報告書作成 事業応募 → NW 関係者対象とした UNSCEAR、ICRP、IAEA、WHO、OECD-NEA-CRPPH の活動に関する「国際動向報告会」開催 NW 合同報告会 (想定テーマ) (放射線安全規制研究の課題提案) (放射線防護研究の国内状況調査) (緊急時対応人材確保策提案等) (職業被ばく管理の標準的要件提案) (5 年間の総括)																			

¹アカデミアの自発的政策提言や調査機能強化：昨年度アカデミア参加学会が実施した放射線事故予防や緊急時対応に関する調査や検討、および実効線量と実用量に関する WG による情報収集や課題の整理を基に、アカデミアとしての提言を取りまとめた。参加学会と代表者会議の連名により今年度中に公表する。

²自発的共同研究の提案と実践：平成 29～令和 2 年度までに原子力規制委員会・研究推進委員会からヒアリングを受け、41 の重点テーマを提案した。これまでに、重点テーマの採択、本事業内での学会連携等での実施 (例：原子力防災の意思決定の検討) や推進提言を含め、全体の 7 割に当たる 29 のテーマの推進を実施した。

³線量データの信頼性確立等職業被ばく管理の標準的要領を提案：職業被ばく最適化推進 NW において線量登録フローを取りまとめた。また医療従事者の線量データの信頼性に関する意見交換を医療現場と実施した。

⁴NW のアウトプットの実現に向けた議論や合意形成のためのステークホルダ会合 (1 回/年以上開催)：両 NW が、第 3 回放射線安全管理学会・保健物理学会の合同年次大会 (令和 3 年 12 月) でステークホルダ会合を開催した。また成果報告会では両 NW のステークホルダが指定発言者として議論に加わった。

⁵国際イベントの企画：第 7 回 ICRP 国際シンポジウム (ICRP2023) の開催にあたり、アカデミア参加学会による年次大会の同時開催およびサテライトイベントの企画について情報共有と議論を行った。

⁶自主的運営に向けた議論：事業内活動の中で自己評価が高かった学会連携による調査・検討と Webinar 開催に適した「放射線防護・健康科学アカデミア」の新設を念頭に、会則や主幹事業に関する議論を行った。緊急時の人材育成や職業被ばくの一元化に関して、引き続き検討する場を提供する。

図 3. 本委託事業のロードマップと令和 3 年度の進捗

IV. 本事業の概要

この章では、事業計画の構成に沿って、実施した事業内容の概要を記載する。また本事業では、事業分担機関による成果報告書や事業内に設置した組織や複数学会の連名による報告書など、個別の報告書がいくつか存在する。こうした個別報告書は本報告書の付属資料として巻末に添付した。表1は今年度の事業計画と実績概要、付属資料を一覧にしたものである。

表 1. 令和3年度事業計画と実績の対照

令和3年度事業計画	令和3年度実績	付属資料 (クレジット)
1. 課題解決型ネットワークによるアウトプット創出 (1) 国内の放射線防護対策の推進に関する検討 ①放射線防護アカデミアによる放射線防護対策の推進に関する提言		
<p>日本保健物理学会、日本放射線安全管理学会、日本放射線影響学会及び日本放射線事故・災害医学会が、昨年度に実施した放射線防護に係る海外の最新知見の収集や国内の放射線規制の課題に関する調査結果に基づき、放射線事故や緊急時対応に関する課題と提言を放射線防護アカデミアの見解としてまとめる。また国際動向報告会や Webinar、学会の調査など、本事業で収集した情報に基づき、放射線防護における実効線量や実用量に関する課題を整理し、提案をまとめる。</p> <p>また上記4学会は、年次大会やシンポジウムなど学会が主催するイベント並びに学会内での人材育成等に関する取り組み等の情報を代表者会議に提供し、学会間で共有する。放射線防護関連研究の推進や若手人材の育成という観点において極めて重要な取り組みに関しては、放射線防護アカデミアとして支援する。</p> <p>学会は、代表者会議を通じて、アンブレラとしての取りまとめや放射線防護アカデミアとしての合意形成の議論に参加する。</p>	<p>放射線防護アカデミア(以下、アカデミア)に参加している学会は、放射線事故や緊急時対応に関して昨年度中に取りまとめた報告書を互いにレビューし、国内外での実態や課題解決に関するコンセンサスをアカデミアの見解として取りまとめた。また代表者会議の下部組織である「実効線量と実用量に関するワーキンググループ(線量 WG)」は、放射線防護における実効線量や実用量に関する課題、特に現在、国際機関等で検討されている線量の新概念を国内に導入する際に生じる課題とその解決に関して情報収集と検討を継続し、「放射線に関する線量の現状と課題 -課題解決に向けた提言-」を取りまとめた。本報告書は令和4年2月にアンブレラ事業のHPで公開した。</p> <p>アカデミアに参加する4学会は、年次大会やシンポジウムなど学会が主催するイベント並びに学会内での人材育成等に関する取り組み等の情報を代表者会議に提供し、学会間で共有した。また過去において放射線安全規制研究の重点テーマとして提案した41課題のうち、5課題についてはアカデミアが作成した提言(後述)やアカデミアが企画した Webinar の中で取り上げ、研究の実施を支援した。</p> <p>放射線事故や緊急時対応に関するアカデミアの見解と線量 WG の提言に基づき、「提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて」を作成した。この提言は、アカデミアの4学会と代表者会議の承認を得て、5者の連名でアンブレラ事業のHP上で令和4年3月に公開した。また英訳版を作成した。</p>	<p>付属資料 1-1 (線量 WG)</p> <p>付属資料 1-2 (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・災害医学会、日本保健物理学会、代表者会議)</p>

<p>加えて日本原子力研究開発機構及び量子科学技術研究開発機構が連携して、必要に応じて放射線防護アカデミアを拡張し、より広範囲の情報収集を行う。</p>	<p>原子力機構及び量研が連携して、職業被ばくの個人線量管理について、医療放射線防護連絡協議会や日本学術会議臨床医学委員会内放射線・臨床検査・病理分科会、日本学術振興会の産学協力研究委員会などアカデミア外に議論の場を作り、より広範囲の情報収集と意見交換を行った。</p>	
<p>(2) 緊急時放射線防護に関する検討 ① 緊急時放射線防護にネットワークの活動</p>		<p>付属資料 2-1 (原子力機構)</p>
<p>i) 放射線防護専門家向け緊急事態対応手引きの作成 昨年度実施した緊急時環境モニタリング、避難退域時検査を支援する専門家が備えるべき力量と教育素材に関する調査結果を踏まえて手引きを作成するとともに防災訓練に派遣される要員を対象に教育訓練の試験的实施を行う。また防災訓練の参加、視察等により得られた知見を手引きに反映する。</p> <p>ii) 防災体制を支援する専門家ネットワークのあり方に関する提言 昨年度提案した東京電力福島第一原子力発電所事故等過去の原子力事故を教訓とした防災体制に適應したネットワーク活動の全体像に基づき人材の登録・認定・管理方法の提案を行う。 こうした実施に当たっては、実施方針等の適切性確保のため、日本原子力研究開発機構及び量子科学技術研究開発機構以外の外部機関の専門家を6名程度招集し、3回程度の検討会(Webによる会合または面談)を開催する。また、進捗状況の確認等のため月一回以上の頻度で緊急時放射線防護ネットワークの責任者と担当者等でWeb会議システム等による打合せを行う。 上記の会議・会合に係る準備及び手配、会計処理、文書作成支援等の業務を行うために派遣により事務処理を行う人材が必要である。</p>	<p>i) 放射線防護専門家向け緊急事態対応手引きの作成 緊急時モニタリングセンターが実施する環境モニタリング活動を支援する専門家及び避難退域時検査を支援する専門家を対象とした教育用手引きとして「原子力緊急事態対応ガイド」を作成した。昨年度までに実施したネットワーク検討会、ステークホルダー会合及びグッドプラクティス把握活動(関係者への聞き取り調査やアンケート等)の結果から、人材確保・育成における共通的な課題を把握し、活動者として求められる力量の目安を整理し、ガイドの素案とした。このガイド案をテキストとして、原子力機構、量研、電力事業者、大学等の若手を対象とした教育(研修会)を試行した。そして参加者アンケートをもとにさらなる改善を図りガイド案「原子力緊急事態対応ガイド ver.0」として完成した。</p> <p>ii) 防災体制を支援する専門家ネットワークのあり方に関する提言 i)と同様、関係者の意見等をもとに、前年度に整理したネットワークの理想的なあり方を再整理・改良した。この理想像が将来にわたり、高い有効性をもって継続するためには防災関連省庁での予算確保等が必須であることから、当面、関係機関や専門家個人が従来の活動の範囲で実施可能と考えられる現実的活動案についても整理・提案した。 こうした活動に当たり、実施方針等の適切性確保のため、外部有識者7名を招聘して緊急時放射線防護ネットワーク検討会(以下、検討会)を開催した(令和3年9月3日、令和3年10月5日、令和4年2月24日、いずれもオンライン会議)。</p>	<p>付属資料 2-2 (原子力機構)</p>
<p>② ステークホルダー会合の開催</p>		
<p>日本保健物理学会等の年次大会において</p>	<p>ステークホルダー会合として令和3年12</p>	

<p>専門家と行政機関関係者を結ぶネットワークのあり方について引き続き国内専門家から意見集約を行い、実効性のある持続的な仕組みの検討を行う。</p>	<p>月1日の第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においてシンポジウムを開催するとともに、Web アンケートを実施し、幅広い意見収集に努め、①の活動に反映した。</p>	
<p>(3) 職業被ばくの最適化推進に関する検討</p>		<p>付属資料 3-1 (原子力機構)</p>
<p>課題解決型ネットワークの一つとして、職業被ばくの最適化推進を目的としたネットワークを運営する。本ネットワークは、日本原子力研究開発機構を事務局とした二つのサブネットワーク(以下、サブネットワーク)で構成され、以下の事業を行う。両サブネットワークは、日本原子力研究開発機構を中心に有機的に結合して全体目標を共有しつつ検討を進める。検討を進めるにあたり、事業担当者間の打合せ(2 回程度@量研千葉地区)並びに本事業に関する打合せ・成果報告(3 回程度@東京)を行う。</p>	<p>国家線量登録の確立に向けた具体策を関係機関が共同して検討するため、昨年度に引き続き、職業被ばくの最適化推進ネットワークの下に、原子力機構を運営主体とした「国家線量登録制度検討グループ」を立ち上げた。検討グループの会合は、令和3年7月8日、令和3年10月5日および令和4年1月26日の3回、オンライン会議を開催した。事業担当者間の打合せは頻繁にメールや Web で行った。</p>	
<p>① 国家線量登録制度の検討</p>		
<p>国家線量登録制度に関し、これまでの検討結果に基づき、複数の制度案とその展開について、ステークホルダーの視点からの実現に向けた課題の検討・整理を行い、新たな実態調査結果と合わせて成果をまとめる。検討に当たっては、国家線量登録制度検討グループ(構成員7名、うち3名は量研および原子力機構、検討の必要性に応じて関係者を追加)による検討会合をオンライン会議で2回程度開催する。また、検討内容を関係団体(医療放射線防護連絡協議会等)の会合(東京、京都、オンライン)等で報告し、ステークホルダーへの制度構築に向けた働きかけを行う。</p>	<p>これまでの国家線量登録制度検討グループの検討結果に基づき、複数の制度案とその展開について、ステークホルダーの視点からの実現に向けた課題の検討・整理を行った。検討結果は新たな実態調査結果と合わせて報告書の形にまとめた。特に個人の被ばく線量管理が必要と思われる医療現場のために、線量登録フローを作成した。その結果を第3回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同発表会(令和3年12月1日)、医療放射線防護連絡協議会年次大会(令和3年12月10日)で発表し、制度構築に向け、ステークホルダーに対して働きかけを行った。</p>	<p>付属資料 3-2 (原子力機構)</p>
<p>② 線量測定機関認定制度の検討</p>		
<p>日本適合性認定協会(JAB)が事務局を務める「放射線モニタリングタスクフォースグループ(TFG)」と連携して、令和元年度に改定した認定基準・技能試験等の具体的な運用・解釈に関する検討を継続する。この検討のため、これまで技能試験に関する基礎データが少ない末端部用線量計(リングバッジ)に対する照射試験を外注により行うとともに、これまでの結果と合わせて成果をまとめる。また、認定分野の環境放射線モニタリング等への拡大の方向性については、規制庁検討チームの動向に応じて検討する。検討に当たっては、JAB「放射線モニタリング TFG」メンバー(7名、必要に応じて関係者を追加)により、必要に応じて TFG 会合に合</p>	<p>線量測定サービス機関の認定制度の発足には、認定基準・技能試験等の具体的な運用・解釈に関する検討が不可欠である。そこでデータの少ない末端部用線量計(リングバッジ)の技能試験に関する基礎データ収集の作業を行った。そして5年間の調査結果と合わせた成果を取りまとめた。また、国際標準化機構(ISO)の原子力専門委員会(TC85)/放射線防護分科会(SC2)/中性子サブグループ会合(オンライン会合)に専門家1名を派遣し、放射線標準校正等に係る最新動向を調査した。</p>	<p>付属資料 3-3 (原子力機構)</p>

<p>わせて開催する(TFG 会合と同時開催又はオンライン開催のため旅費等不要)。また、令和2年度に引き続き、①の調査と合わせて、国際標準化機構(ISO)の原子力専門委員会(TC85)/放射線防護分科会(SC2)/中性子サブグループ年次会合及び同中性子サブグループ会合(どちらもストックホルムで10月開催予定。ただし、オンラインとなる可能性あり)等の会合に専門家1名が参加(出張の場合4泊5日を予定)し、個人線量モニタリング・放射線標準校正等に係る最新動向を調査する。</p>		
<p>(4)放射線防護分野のグローバル若手人材の育成 ①国際的機関の活動への参加の推進</p>		
<p>放射線防護に関する国際的な機関や委員会が開催する国際的イベントに放射線防護アカデミアに所属する若手専門家の参加を支援する(3名程度)。</p> <p>また放射線防護に関する国際的な機関や委員会が保有する若手研究者の受け入れ制度を紹介する。必要に応じて、個別の相談や対応を行う。</p>	<p>代表者会議が派遣先として OECD/NEA 主催第4回国際放射線防護スクール、ICRP 主催第6回放射線防護体系に係る国際シンポジウム(ICRP2021)、IRPA 主催第6回アジアオセアニア放射線防護に関わる地域会合(AOICRP-6)の3イベントを提示し、派遣希望者を募ったが、コロナ禍において対象イベントが中止になるなどの原因もあり、応募はなかった。</p> <p>第1回 Webinar(令和3年7月30日)として「国際的機関で活躍するためには」を開催した。WebinarではICRPで活躍している講師2名が、国際的機関の研究者受け入れの枠組みについて、経験談を交えて講演した。国際的志向性を持つ若手に対する教員や職場の助言やサポートについても話題提供した。視聴した若手1名がICRPのMenteeを希望し、TGメンバーに問い合わせなどの波及効果があった。</p>	
<p>②若手研究者の主体的活動の支援</p>		
<p>若手研究者の発想を放射線防護上の諸課題の解決に活かすため、放射線防護アカデミアの若手が連携して行う活動を支援する。</p>	<p>日本放射線影響学会の若手研究者が企画した「第1回若手放射線影響研究会」の開催(令和3年8月28日オンライン開催)を支援した。</p>	
<p>2. 放射線防護アンブレラによる情報共有と合意形成 (1)国際動向に関するアンブレラ内の情報共有</p>		
<p>①国際動向報告会の企画運営・報告書作成</p>		
<p>アンブレラ関係者を対象に、ICRPなどの放射線影響・防護に係る国際的機関等の動向に関する報告会を開催する。報告会では、2名程度の専門家を招聘し、資料や映写されたスライドを用いながら講演や討論を行う。東京都内で、マイク設備のある100名程度の会場を基本とするが、令和2</p>	<p>国際動向報告会の開催にあたり令和3年6月9日に企画会議を実施し、「最新科学や経験を取り入れた放射線防護体系の改訂に関する論点」をテーマに決定し、令和3年12月23日にWeb形式での国際動向報告会を開催した。報告会ではICRPの主委員会の国内委員が、ICRPが次期主報告に向けて</p>	<p>付属資料4 (原安協)</p>

<p>年度にコロナ禍にあつて Web 形式に変更して幅広い参加者が得られたことから、令和 3 年度もビデオ会議ツール「Zoom」によるライブ配信での会議参加方式を併設する。報告会の企画にあたり、ICRP 関係者 1 名程度を参集し、都内で企画会議を開催し、配布資料を用いて検討を行う。</p> <p>報告会で報告された内容と議論は、報告書にまとめて、公表する。また報告会に関する記録(報告書ならびに報告会の画像や音声等)は全て電子媒体の形にして事業担当者間で共有・保存する。</p> <p>上記企画会議と国際動向報告会の開催準備・運営・開催後の整理事務、報告書作成事務等を行うために、非常勤の勤務形態で、英語に精通しかつ本事業の専門用語にも対応できる専門性を有する研究参与を含めた 4 名の職員を必要とする。</p>	<p>論点を整理した論文の内容を解説した。その後「ICRP 新勧告に向けての論点と関連する国際動向」をテーマとしてパネル討論を行った。パネル討論では、ICRP の各専門委員会のメンバーである国内専門家が各専門委員会での検討状況や対象分野での論点についての見解を紹介した後に、国際機関等(UNSCEAR、IAEA、OECD/NEA、WHO、NCRP)に関連する専門家が、それぞれの立場から各機関における検討状況を紹介し、最後に全体討論を行った。90 人が参加し、発表や議論を視聴した。報告会での報告内容と議論は、報告書にまとめられ、アンブレラ事業の HP 上で公開した。</p>	
<p>②国際的機関からの専門家との意見交換</p>		
<p>放射線防護関連の国際的機関の専門家と国内の専門家が、科学的知見の規制への取り込みや研究ニーズに関して意見交換する場を設ける。</p>	<p>ICRP 事務局クリストファー・クレメント氏と日本放射線影響学会(2名)、日本保健物理学会(2名)、量研の研究者(3名)が、ICRP の活動に対する日本の今後の貢献の在り方について議論を行った(令和 3 年 5 月 11 日、オンライン会議)</p>	
<p>(2)放射線防護に関するアンブレラ内の意思決定 ①ネットワーク合同報告会の企画運営・報告書作成</p>		<p>付属資料 5 (量研)</p>
<p>放射線防護アカデミアや、緊急時対応人材ネットワークや職業被ばくの最適化推進ネットワークの活動に関して、アンブレラ内の合意形成や異分野連携に向けたオープンな議論を行うために、報告会を開催し、Web システム(Cisco Webex Events)によるライブ配信を行う。具体的には、アンブレラに所属するネットワーク(放射線防護アカデミアを含む)が活動を報告するとともに、2名程度の指定発言者が今後の取り組みに関してコメントを発表する。また、報告会での発表内容と議論は、報告書にまとめ、公表する。</p>	<p>アンブレラ内での情報共有や合意形成に向けたオープンな議論を行うために、令和 4 年 1 月 25 日に第 5 回ネットワーク合同報告会を Web 形式で開催した。本報告会では、事業担当者や線量 WG の主査が登壇し、事業概要、アカデミアや線量 WG による提言、国際動向報告会、ネットワーク活動等の報告を行った。各ネットワークの活動に関しては、指定発言者がコメントを述べた。その後のパネルディスカッションでは、代表者会議メンバーが 5 年間の事業を振り返った。また指定発言者が今後の学術コミュニティのネットワークへの要望を述べた。大学、研究所、省庁、事業者、一般の方など 80 名が参加した。報告会での発表内容と議論は報告書にまとめ、アンブレラ事業の HP 上で公表した。</p>	
<p>②代表者会議の運営</p>		
<p>アンブレラの構成団体の代表者からなる会議(代表者会議)を年に 4 回程度開催し、放射線防護対策の推進に関する調査と提言に関する検討結果をまとめるとともに、委</p>	<p>第 17 回～21 回代表者会議を Web 形式で開催し(回数は平成 29 年度からの通し番号)、速やかに議事概要を原子力規制庁に提出した。第 17 回会合では議長として児玉</p>	<p>付属資料 6-1 (量研)</p>

<p>託期間の活動の総括や放射線防護アカデミアの今後の活動について議論する。会議開催後は、発言者名及びその意見を記録した議事録を作成し、速やかに原子力規制庁に提出する。なお代表者会議にあたっては、Web システムを活用するが、最終年度の取りまとめとして必要な場合は対面会合を1回程度行う。</p>	<p>靖司氏(日本放射線影響学会)を選出し、アンブレラで支援する人材育成の取り組みや Webinar のテーマの決定、線量 WG の提言骨子案に関する議論、国際動向報告会企画とネットワークの活動計画に関する議論を行った(令和3年6月15日)。第18回会合では、アカデミア並びに線量 WG が作成した提言案を検討するとともに、アカデミアのネットワークとしての在り方についての審議を行った(令和3年10月15日)。第19回 W 会合では、Webinar 開催の総括や国際動向報告会の準備状況の確認、アンブレラ事業の個々の取り組みのゴールについて審議した(令和3年12月10日)。第20回会合では、アンブレラ事業の総括、ネットワーク合同報告会の打ち合わせ、線量 WG の報告書の承認を行うとともに、アカデミアの自主運営の形態について審議した(令和4年1月18日)。第21回会合では、アカデミアの提言の承認、研究評価委員会の評価結果を踏まえた本事業の取りまとめ、および事業終了後の学術コミュニティの連携について議論した(令和4年3月4日)。当初、対面形式での議論を予定していたが、蔓延防止等重点措置期間内となったため、オンライン会議となった。</p>	<p>付属資料6-2 (量研)</p>
<p>(3)アンブレラから社会への情報発信</p>		
<p>学会が主催する年次大会等や HP を介してアンブレラの活動やアカデミアの見解等を紹介する。</p> <p>また国内の放射線防護に関する諸制度と国際的な放射線防護等に関する知見等を WEB 上で閲覧できる「放射線影響・放射線防護ナレッジベース」の整備を行い、10 件程度の新規項目を追加する。</p> <p>さらに広く社会一般や若手研究者の関心の高いテーマを選び Webinar を5回程度開催し、学術コミュニティ内の情報共有を進める。</p>	<p>日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会第3回合同大会(令和3年12月1日)および日本原子力学会2022年春の大会(令和4年3月17日)のそれぞれの企画セッションでアンブレラ事業について報告した。また HP 上で、アンブレラ事業内の活動や国際機関のイベントを紹介した。</p> <p>昨今の社会的関心等を考慮し、放射線影響・放射線防護ナレッジベース“Sirabe”の追加コンテンツとして、トリチウムの性質や健康影響等に関する基本解説4件、質問集1件、用語集2件ならびに論文解説2件を新規に作成した。また放射線影響・防護ナレッジベース運用委員会(メール会議、令和4年1月27日~2月21日)および同委員会編集部会(メール会議、令和3年12月23日~令和4年1月17日)において、新規・更新項目の承認を行った。</p> <p>昨年度に引き続き、代表者会議が企画した Webinar を5回開催した(令和3年7月30日、8月20日、9月17日、10月25日、11月26日)。第1回は、グローバル人材の</p>	<p>付属資料7 (量研)</p>

	<p>育成の点から「国際的機関で活躍するためには」を開催した。第2～5回のテーマは、事前にアンケート調査をして希望があったものから選び「低線量放射線リスクに関するコンセンサス(1)(2)」「放射線防護のイロハ(初心者向けの放射線防護入門)」「放射線防護の各論:放射性物質の合理的管理と廃棄」を開催した。5回合計でのべ603名が参加し、大学・研究機関からの参加が2/3、残りは企業、病院、一般の方であった。</p>	
<p>3. 事業進捗のPDCA</p>		
<p>本委託契約期間において、事業担当者である量子科学技術研究開発機構、日本原子力研究開発機構および原子力安全研究協会は、Webを活用して事業進捗に関する打合せを6回程度行う(都内もしくはWeb会合)。また、原子力規制庁及び同庁が任命するプログラムオフィサーに対し、進捗報告を月に1回程度行うほか、事業実施内容について疑問が生じた場合、その都度助言を仰ぐ。</p> <p>本事業における検討会その他の会合の委員を選定するときは、あらかじめ原子力規制庁担当官の確認を受けるほか、会合を開催する際には原子力規制庁に通知し、その職員の出席を認めることとする。</p> <p>こうした事業の遂行にあたり、事業代表者である量研では、再委託先や学会の活動が活発化する時期には委託事業経費管理等業務を行う常勤職員が、量研が主催する会合開催や謝金の清算などの大量の事務作業が生じる期間は本事業の庶務・経理・契約業務に専任する非常勤職員がそれぞれ必要となる。</p>	<p>本委託契約期間において、事業担当者である量研、原子力機構、原安協は、代表者会議(5回開催)や緊急時放射線防護ネットワーク検討会(3回開催)、国家線量登録制度検討グループ会合(3回開催)、国際動向報告会の企画会議(1回開催)を活用して、事業進捗に関する打合せを行うとともに、メール等で密接に連絡を取り合った。</p> <p>原子力規制庁担当官とプログラムオフィサーに対し、代表者会議やネットワーク合同報告会、成果報告会準備等の機会を活用して進捗報告や相談を行った。また随時プログラムオフィサーに対してメール等での相談や報告を行った。</p> <p>放射線防護アンブレラ代表者会議、実効線量と実用量に関するWG、緊急時放射線防護ネットワーク検討会、国家線量登録制度検討グループの構成員について原子力規制庁担当官の確認を受けた。またこれらの会合には、原子力規制庁担当官とプログラムオフィサーが出席した。</p>	

1. 課題解決型ネットワークによるアウトプット創出

(1) 国内の放射線防護対策の推進に関する検討

①放射線防護アカデミアによる放射線防護対策の推進に関する提言

本事業において、放射線安全規制研究の重点テーマの提案（平成 29 年度）、国内の放射線防護研究の推進に関する検討（平成 30-31 年度）、国内の放射線防護対策の推進に関する検討（令和 2-3 年度）を行う放射線防護関連学会等のネットワークとして、「放射線防護アカデミア（以下、アカデミア）」を組織した。この構成団体は以下の 5 団体である。

- ・一般社団法人 日本放射線安全管理学会
- ・一般社団法人 日本放射線影響学会
- ・日本放射線事故・災害医学会
- ・一般社団法人 日本保健物理学会
- ・放射線リスク・防護研究基盤（PLANET、量研放医研設置委員会）

上記の構成団体から推薦された者 2 名は代表者会議に参画し、本事業全般の運営に関わることで、アンブレラ事業内での取り組み全てにアカデミアの関与を担保する仕組みとなっている。

(ア) 重点テーマ研究の提案とフォロー・実施

(昨年度までの検討)

平成 29 年度、アカデミア参加団体である日本保健物理学会、日本放射線安全管理学会、日本放射線影響学会及び日本放射線事故・災害医学会および放射線リスク・防護研究基盤（PLANET）は、個別に放射線安全規制研究の重点テーマ候補を提案した。続く平成 30 年度、平成 31 年度には、安全研究に関する原子力規制委員会の方針や放射線審議会での議論を踏まえて、令和 2 年度には ICRP2007 年勧告の国内法令取り入れ状況や中長期的な視点から、それぞれ重点テーマを提案した。こうした追加提案を加えると、4 年間で 41 のテーマを提案したことになる（表 2）。そのうち重点テーマの決定に配慮されたものが 14 件、原子力規制委員会以外の省庁に情報提供したものが 2 件である。

代表者会議では提案された 41 課題のいずれもが放射線防護上の重要な研究であることから、学会単独あるいは学会連携で実施可能な課題に関しては、本事業で推進を支援することとした。平成 30 年度には「放射線安全規制の基盤となる放射線科学とその認識に関するコンセンサス」を重点テーマとして共同提案した日本放射線影響学会と日本保健物理学会では、この課題の遂行のために合同委員会を設置し、平成 31 年度には「低線量リスクに関するコンセンサスと課題」を取りまとめた。また「防護措置の正当化、意思決定の正当化」に関しては、このテーマで放射線安全規制研究として実施された課題とは別に、日本リスク学会と共同で「原子力災害の防護方策の意思決定に関する検討 TG」を立ち上げ、Well-being を指標にした意思決定などの議論を行った。こうした活動により昨年度までに 11 件は本事業内で実施や着手した。

表 2. 放射線安全規制研究の重点テーマの提案とその後のフォローアップ

	平成 30 年度～令和 2 年度のフォロー	令和 3 年度の追加フォロー
I. 放射線の生物学的影響とリスク研究		
低濃度トリチウム水による内部被ばく影響に関する調査研究 (影響学会と保健物理学会から H31 年度に再提案)		影響・防護ナレッジベースで解説文作成
低線量放射線の長期的影響とバイオマーカーの検索		
がんゲノム医療時代における放射線防護の基準策定		
動物実験データを用いた放射線影響リスク解析と疫学への橋渡し方策の検討	PLANET が着手	
線量率効果係数(DREF)推定に必要なデータベース整備と生物学的分析からの洞察	PLANET が提案の一部に着手	
放射線業務従事者・放射線治療患者を対象としたバイオバンク構築に関する検討 (影響学会が H31 に再提案)		
放射線安全規制の基盤となる放射線科学とその認識に関するコンセンサス	保物学会・影響学会が合同で遂行	
放射線被ばくによるがんリスク表現の検討		
II. 放射線安全利用		
新しい利用形態への対応-短半減期核種の放射線安全評価法の確立-	H31 の重点テーマ研究として採択可	
多種多様な所属の研究者の放射線業務従事者管理についての検討	H31 の重点テーマと研究して採択可	
ICRP/ICRU の新しい線量概念の導入に関わる課題への対応研究	R3 の重点テーマ研究として採択可	線量 WG が提言を取りまとめ
放射線安全管理方法の最新の知見のサイトの構築	量研が影響・防護ナレッジベースを構築	
医療分野の職業被ばくにおける防護の最適化(保健物理学会から H31 年度に新規提案)	R3 の重点テーマ研究として採択可	職業 NW が検討結果を関係者と対話
III. 原子力・放射線事故対応		
福島第一原子力発電所事故汚染地域における動植物データ相互解析および試料収集 組織の構築	原子力規制庁より環境省に情報提供	放射線影響機関協議会(量研が事務局)が試料のアーカイブ化を検討
放射線事故被ばくに対応できる生物学的線量評価の自動化モデルケースの構築	H30 の重点テーマ研究として採択可	4 学会と代表者会議が提言を作成
放射線緊急時の EPR によるトリアージ手法の研究	H31 の重点テーマ研究として採択可	4 学会と代表者会議が提言を作成
原子力災害・テロ等における放射線障害の治療の標準化/マニュアル化に関する調査 研究	H31 の重点テーマ研究として採択可	
内部被ばく線量評価と早期治療介入の手法と体制の開発・調査研究	H31、R2 の重点テーマ研究として採択可	
緊急時モニタリング体制の整備に関する調査研究(保健物理学会から H31 に再提案)	保物学会の臨時委員会で実施	
防護措置の正当化、意思決定の正当化 (H31 年度の NW 合同報告会にて規制庁から提案)	R2 の重点テーマ研究として採択可	リスク学会と連携して実施
アクチニド分析技術プラットフォームの形成(R2 年度に提案)	R3 の重点テーマ研究として採択可	
クライシスコミュニケーションのための情報収集・集約・発信の体制整備(R2 年度に提案)		

IV. 環境放射線と放射性廃棄物		
短半減期核種での減衰保管の導入の是非をどう考えるか？ -放射性廃棄物の課題に皆で向き合う-	H31 重点テーマ研究として採択可	
短寿命核種 (Ra-223、Ga-68) の廃棄に関する研究 (放射線安全管理学会から H31 年度に新規提案)		
短半減期核種の排気濃度限度管理に関する研究 (放射線安全管理学会から H31 年度に新規提案)		廃棄物に関する Webinar を実施
NORM の利用や被ばくに関する国内の実態把握 (R2 年度に提案)	R3 重点テーマ研究として採択可	R3 安全規制研究として実施
V. 放射線測定と線量評価		
放射線の検出技術の施設管理への応用	H31 重点テーマ研究として採択可	
自然放射線・医療被ばくによる線量評価データベースの設計 (保健物理学会から H31 年度に再提案)		
粒子線治療施設における作業従事者のための実用的粒子線被ばく防護基準策定を目指すデータ集積	保物学会の臨時委員会で実施	
幅広い分野での放射線管理における線量拘束値の活用のあり方に関する研究		
水晶体の医療被ばく管理と合理的な被ばく低減の提案 (保健物理学会から H31 年度に新規提案)		量研の共同研究等で一部実施
妊婦である職業人の現行基準値と ICRP 勧告の数値の関係性の検討 (R2 年度に提案)	R2、R3 の重点テーマとして採択可	
VI. 放射線教育、リスクコミュニケーション		
放射線業務従事者に対する放射線教育の充実と不安軽減評価の調査研究		
e-learning を基盤とした放射線業務従事者教育訓練の全国標準オンラインプラットフォーム開発	安全管理学会の委員会で検討	
N 災害対応のための消防署員への放射線教育プログラム開発と教育教材の提供		
教育現場における放射線安全管理体制の確立	保健物理学会の専門研究会で検討	
義務教育での放射線教育カリキュラム導入を目指した放射線教育担当教員人材育成のモデルケースの構築		
放射線診療における実践的な放射線防護教育に関する研究	R2 より厚生労働省が着手	線量 WG 報告書にて提言
放射線に関する PR 活動の国際状況調査		
トリチウム問題の国際的視点からのアプローチ:各国学会との対話 (保健物理学会から H31 年度に新規提案)	保健物理学会のシンポジウムで検討	
自然科学と社会科学との融合:サイエンスと防護実務に結び付ける研究 (R2 年度に提案)	リスク学会と連携して実施	
VII. 国際的な放射線防護課題の解決のための研究 = 若手育成のための研究 (R2 年度に提案)		

(今年度の進捗)

本事業を通じて以下の7件に関連する検討や情報発信を行った(後述を参照のこと)。

- NORMの利用や被ばくに関する国内の実態把握：令和3年度の放射線安全規制研究として実施された
- 短半減期核種の排気濃度限度管理に関する研究：第5回 Webinar「放射線防護の各論：放射性物質の合理的管理と廃棄」で排気濃度限度管理に関する課題等について紹介した。
- ICRP/ICRUの新しい線量概念の導入に関わる課題への対応、放射線診療における実践的な放射線防護教育に関する研究：代表者会議内に設置された「実効線量と実用量に関するワーキンググループ(以下、線量WG)」が新しい線量概念導入の際に直面する課題と解決策を整理し、報告書をまとめて公表した。その中で、放射線診療現場の教育についても言及した。
- 放射線事故被ばくに対応できる生物学的線量評価の自動化モデルケースの構築、放射線緊急時のEPRによるトリアージ手法の研究：放射線防護アカデミア4学会と代表者会議が連名で生物学的線量評価やトリアージに関する課題と解決策を取りまとめて公表した。
- 低濃度トリチウム水による内部被ばく影響に関する調査研究：放射線影響・防護ナレッジベース“Sirabe”の新規コンテンツとして、トリチウムに関連するコンテンツを4件作成した。

また以下の2件に関しては、事業代表機関である量研が保有する国内のネットワークにおいて検討や研究が行われた。

- 福島第一原子力発電所事故汚染地域における動植物データ相互解析および試料収集組織の構築：放射線影響研究機関協議会(大学・研究所等10団体が加盟、量研が事務局)が放射線影響研究の現場が保有するバイオサンプル(ヒト、実験動物、環境試料)のアーカイブについての検討を開始し、アカデミア内での問題意識の共有と方向性の検討を開始した。
- 水晶体の医療被ばく管理と合理的な被ばく低減の提案：量研ではCTによる患者の臓器線量評価システムを開発し無料配布している。共同研究によりこのシステムを用いて医療機関ごとに水晶体被ばく状況が把握・管理できることが確認された。

量研が行った検討や研究まで加えると、重点テーマとして提案した41件中29件は、この5年間の間に本事業により何らかの進展があったこととなる。

(イ) 放射線防護人材の育成・確保

(昨年度までの検討)

上記重点テーマの検討において、アカデミアから、研究者/技術者の枯渇している特定領域があるとの懸念が示された。そこで平成30年度にはアカデミアに参加する4学

会が、それぞれの学会員に関する調査を実施した。また平成 31 年度には 4 学会合同の学会員を対象としたアンケート調査を実施した。その結果、専門家数が 10-20 年前に比べて 2 割程度減少していること、学会員の分布は高齢化側にシフトしているが、それは必ずしも若手が減っているわけではなく、40-50 代が減少しているといった実態が明らかになった。こうした調査の結果、若手がアカデミックポストを得る段階や中堅としてキャリアアップする段階にハードルがあり、この年代の会員の割合が減少していることや、若手が情報不足に対して不安を抱いており、研究職以外の仕事の紹介・斡旋、就活の体験談や 35 歳前後におけるキャリアパスに関する情報提供を求める声が寄せられた。

そこで、各学会では、年次大会やシンポジウムなど学会が主催するイベントを通じて、放射線防護人材の確保・育成に関連するセッションを企画・開催し、若手のポストマッチングや中堅のキャリアアップを支援する場を提供した。また本事業に若手を参画させることで、若手の活性化を行った。

令和 2 年度には、アカデミア参加学会の会員を対象とした Web による進路等個別相談会を実施したが、利用者は 1 名のみであった。積極的なアクションを必要とする企画は、若手にとって心理的ハードルが高いと思われる。

またグローバル人材育成の取り組みとして、平成 30 年度以降は国際的機関が主催するイベントへの 45 歳未満の若手派遣を実施した。

(今年度の進捗)

若手の主体的な活動の支援として、日本放射線影響学会の若手研究者が企画した以下のイベントを支援した。

- イベント名：第 1 回 若手放射線影響研究会
- 主催：日本放射線影響学会若手部会
- 概要：放射線の生物影響を理解する上で極めて重要な事象であるがんと細胞周期制御機構をテーマとした講演を企画するとともに、放射線防護を含めた放射線影響研究に関する幅広い分野の学生を含めた若手研究者の研究発表の場を提供し、意見交換と情報交換の活性化を図る。
- 期間：2021 年 8 月 28 日（土）（オンライン開催）
- 支援方法：招待講演者 3 名への謝金の援助

また放射線防護を理解するための Webinar シリーズ（全 5 回）では、若手の研究者や技術者、学生を対象としたテーマを選択し、以下の Webinar を開催した。

- Webinar シリーズ第 1 回「国際的機関で活躍するためには」
講師：藤田博喜（国際放射線防護委員会）、高田モモ（産業技術総合研究所）

現在、ICRP で、事務局及び Mentee として活躍する講師が国際的機関の研究者受け入れの枠組みについて、経験談を交えて講演した。主な対象者：放射線防護分野の研究者・実務者および当該分野の学生を持つ教員や若手を抱える PI

(Principal Investigator)

• Webinar シリーズ第 4 回「放射線防護のイロハ」

講師：占部逸正（福山大学名誉教授）、島田義也（環境科学技術研究所）

被ばく線量の定義や低線量影響の知見と防護基準等の関係は概してわかりにくい。また科学技術のみならず社会的、経済的側面への考慮が必要である点も放射線防護をより一層複雑に見せている。そこで放射線防護に関する背景や初歩的な知識から解説をはじめ、低線量影響についての最新の知見を紹介した。主な対象者：放射線防護を専門としない、特に若手の研究者や技術者や学生。

一方で、放射線防護人材の確保に係る根本的な問題に関しては、特定分野や確保・育成する人物像の明確化し、時宜を得た関係機関間の連携や分担が必要である。そこで、緊急時における生物学的線量評価や環境モニタリング及び避難退域時検査を支援する専門家の確保・育成に関しては、それぞれアカデミアおよび緊急時放射線防護ネットワークが検討し、具体策を取りまとめた（付属資料 1-2、2-1）。

(ウ) 実効線量と実用量に関する課題抽出と検討（付属資料 1-1）

（昨年度までの検討）

実効線量、実用量等の線量に関連した個々の課題は、放射線防護、放射線管理、医療、放射線影響等の学会活動などを通じ、また国内外の様々な立場の声によって、これまで長きにわたって指摘されてきた。ICRP2007 年勧告前後から指摘されていた課題は対応されたものもいくつかあるが、引き続き対応の必要がある課題もある。現時点では 2007 年勧告以降の国際的な基準化（IAEA、ISO 等）及び国内への取り入れ（国内法令、JIS 等）、現場適用、それらに対する課題の洗い出しは十分なレベルに達していない。

そこで平成 31 年度の国際動向報告会「実効線量と実用量-改定の概要となお残る課題」では、日本として今後取り組むべき課題の整理と ICRP を中心とした活動報告が行われ、具体的に以下の論点が整理された。

- 確定的影響を吸収線量で評価するため、線質の異なる放射線への RBE が必要となる。
- 年齢別標準ファントムによる年齢別の実効線量の評価や個別化する上での線量係数についての研究の進捗が必要である。またデトリメントの不確かさおよびデトリメントを基礎とした実効線量の意味や制約などについて、整理する必要がある。
- 実効線量を便利なツールとしての線量として今後も活用するためには、その制約等の考え方を整理して、広く共有する必要がある。
- 実効線量をベースにした実用量の実務上の課題を明らかにして、対応の準備をする必要がある。

続く令和 2 年度には、代表者会議の下部組織として線量 WG（表 3）を立ち上げ、線量に関する諸問題の整理と問題解決に向けた検討を引き継いだ。

表 3. 実効線量と実用量に関する WG メンバー 括弧内は推薦母体団体

佐々木 道也(主査)	一般財団法人 電力中央研究所 (日本保健物理学会)
保田 浩志	国立大学法人 広島大学(日本放射線安全管理学会)
床次 眞司	国立大学法人 弘前大学(日本放射線影響学会)
細井 義夫	国立大学法人 東北大学(日本放射線事故・災害医学会)
橋本 周	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 (日本原子力学会 保健物理・環境科学部会)
岩岡 和輝	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構(事業代表機関)

線量 WG では、実効線量と実用量に関する Webinar (全 5 回シリーズ) を企画・開催して、①シーベルトの課題 (発がんリスクに関する誤解、実効線量の正しい使い方)、②線質の異なる放射線ごとの RBE、③ドトリメントと組織加重係数、④緊急時に用いる吸収線量と実効線量、⑤実用量の変更による実務上の課題に関する情報収集とアカデミア内での情報共有を行った。また Webinar 開催完了後、WG は実効線量と実用量の新たな概念を国内に導入するにあたり、国内での検討が特に必要な観点として、1) 実効線量の評価、2) 放射線管理で用いる線量、3) リスクの説明の問題の 3 つを抽出した。こうした観点ごとに、国内外の現状や課題と提言 (提言先、提言内容) をまとめた報告書骨子案の作成を開始した。

(今年度の進捗)

➤ 「放射線に関する線量の現状と課題—課題解決に向けた提言—」作成の経緯

2020 年 12 月から 2021 年 7 月にかけて、国際的なガイドラインとして重要な ICRU 報告書 95 (Operational Quantities for External Radiation Exposure) や ICRP 刊行物 147 (Use of Dose Quantities in Radiological Protection)、ICRP の次期主勧告の検討に関する論文 (Keeping the ICRP Recommendations Fit for Purpose) が次々に公表された。そこで線量 WG では、平成 31 年度の国際動向報告会、令和 2 年度のアカデミア参加学会による調査や提言、他団体からの情報に加え、こうした最新情報を踏まえて、実効線量と実用量に関する国際動向を整理した。

一方、我が国では ICRP2007 年勧告の国内法令取り入れ途上にあり、水晶体の新しい線量限度が取り入れられたところである。よって、国際的な動向と国内法令取り入れの動きが絡み合い、線量の新概念の現場への適用も見通されていない状況下である。そこで、わが国特有の背景や現状を整理し、将来的アクションに結び付けるための提言を検討し、「放射線に関する線量の現状と課題—課題解決に向けた提言—」を取りまとめた。

この取りまとめに当たり、線量 WG は代表者会議及びアカデミア参加学会や関連団体等、放射線防護に関連するステークホルダーに確認を受けた。また報告書案をアンブレラ事業の HP で開示し、パブリックコンサルテーションのプロセスにより専門家から意見を聴取し、放射線防護研究分野の学術コミュニティ内での合意形成を行った。

代表者会議は、線量 WG が示した骨子案 (第 17 回代表者会議)、パブリックコンサル

テーション前の報告書案（第 18 回）、コンサルテーション後の報告書案（第 19 回）についての審議を行い、第 20 回代表者会議にて最終案を承認した。その後、報告書は線量 WG のクレジットで本事業の HP 上において公開された。

➤ 「放射線に関する線量の現状と課題—課題解決に向けた提言—」の内容

上記報告書では、提言の背景と現状として、ICRP2007 年勧告前後の動向、ICRU 報告書や ICRP 刊行物、原子力規制庁平成 30 年度放射線対策委託費事業の調査結果と国際動向報告会での指摘、医療及び放射線防護専門家の指摘、日本放射線影響学会の ICRP 論文に関する分析等を紹介した。そして提言として、①実効線量、年齢別の実効線量の使い方、②放射線管理で用いる線量、③リスクの説明の 3 点について、関連学会及び規制関連省庁、研究開発機関や専門家、放射線管理・医療の実務者それぞれの役割をまとめた。概略を表 4 に示す。

表 4. 「放射線に関する線量の現状と課題—課題解決に向けた提言—」の内容

①実効線量、年齢別の実効線量の使い方	<ul style="list-style-type: none"> i. 関連学会は、ICRP 等が示す実効線量の意味合い、年齢別の実効線量の意図する使い方を、内部被ばくと外部被ばく、あるいは放射線管理、医療被ばくの側面からそれぞれの現場での使われ方を横並び整理し、認識を共通化できる報告書を協働して作成すべきである。 ii. 関連学会及び規制関連省庁は、上記報告書の作成においては、学術大会、シンポジウム、HP での意見募集、セミナー、勉強会等を通じたブラッシュアップをステークホルダーも交えて検討すべきである。 iii. 規制関連省庁は、学会等によって整理された共通認識の報告書に基づき、実効線量の意味合いと意図する使い方を社会に広く普及させるための資料、素材を、一般公衆が理解しやすい型式で提供すべきである。なお ICRP 次期主勧告の策定に向けて議論が進みつつあるため、国際的なコンセンサス、国際動向や方向性を考慮しつつ、社会に広めるタイミングを十分に検討する必要がある。
②放射線管理で用いる線量	<ul style="list-style-type: none"> i. 研究開発機関、専門家、放射線管理の実務者、関連学会及び規制関連省庁は、実用量の定義が変わり、さらに組織反応に対する線量限度が等価線量から吸収線量になる場合、あるいは個々の組織ごとに異なる線量限度が設定された場合の課題について特に放射線管理に及ぼす影響を整理する必要がある。 ii. 関連学会及び放射線管理の実務者は、日本放射線影響学会が取りまとめた放射線の種類等に依存した吸収線量と組織反応の生物学的効果比(RBE)の情報を整理し、現場実務への影響について取りまとめる必要がある。具体的には、RBE は同じエンドポイントでも線量率、線質、放射線エネルギーによって大きな幅があること、実験の条件によって大きく異なる等を整理し、呼称も含め実務での扱いに関する課題を把握する。 iii. 現在 ICRP はタスクグループ 118 において、RBE、線質係数及び放射線加重係数の検討を行っている。我が国は世界的にも重粒子治療をリードしていることから、研究開発機関及び専門家、RBE の結果が線量率、線質、放射線エネルギーによって大きな幅があること等を国際的組織に対して情報発信を行うべきである。また、治療分野と防護のリスク評価の違いを整理し、RBE、線質係数及び放射線加重係数の扱いを含め放射線防護の取り決めに資するべきである。
③リスクの説明	<ul style="list-style-type: none"> i. 関連学会及び医療現場の実務者は、実効線量の医療利用とリスクの意味合い（例えば被ばく時年齢による違い）を医療現場が理解し、問題を整理し、患者に適切な説明が可能となるような資料を用意すべきである。

医療現場や緊急時においては、患者や住民に線量を説明する必要があることから、線量に関する国民の理解を着実に進める必要があるが、説明の方法、目的、タイミングには十分に留意する必要がある。そこで具体的な方策を提言するなど、社会への説明に比重を置いている点が本提言の特徴である。これは学会連携で議論を行った成果と言える。今後、提言内容に関するステークホルダーとの意見交換は、アカデミアの後継ネットワークが自主活動として実施する。この後継ネットワークについては後述する。

(エ) 原子力災害・放射線事故時の緊急時対応に関する課題抽出と検討（付属資料 1—2）
（昨年度までの検討）

令和2年度、アカデミア参加学会は「原子力災害・放射線事故対応」に関して、それぞれの専門性と関心にあったテーマを選択して、海外の知見収集と国内の実態把握調査を行い、我が国が解決すべき課題の抽出に取り組んだ（各学会のテーマは図4に記載）。

原子力や医療放射線の分野に比べて、放射線防護の関連学会が規制への貢献が限られているが、その原因の1つとして、放射線防護関連の学会が専門性と問題意識により細分化されており、専門家の見解統一が困難であることが考えられる。そこで、各学会が取りまとめた報告書は代表者会議メンバーが確認するとともに、他学会が読んでコメントする「相互レビュー」を行い、ブラッシュアップと学会間の合意形成を行うこととした。

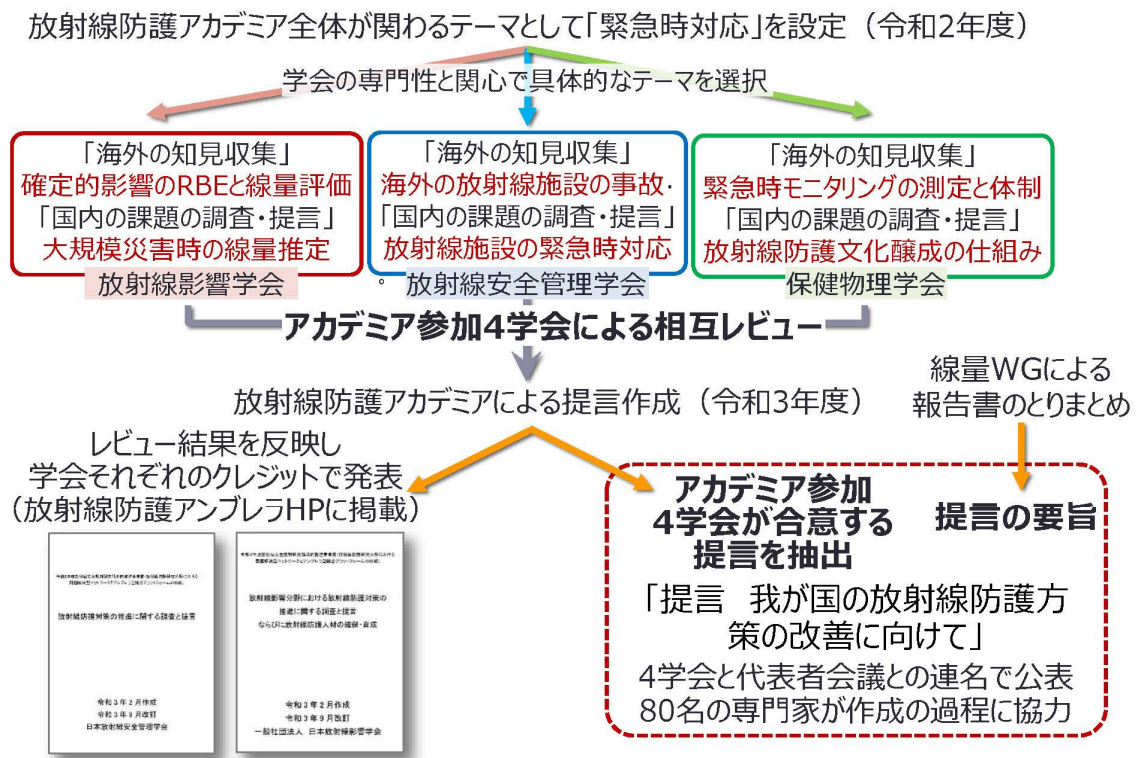


図4. 「提言 我が国の放射線防護の改善に向けて」の作成プロセス

(今年度の進捗)

➤ 「提言 国内の放射線防護の改善に向けて」の作成の経緯

令和2年度に学会が作成した報告書は、半年かけて、学会間での相互レビューとコメントの反映を行った。この過程によりブラッシュアップされた報告書は各学会のウェブサイト上で本事業のHP上で公表した。

また相互レビューを経て、代表者会議では、アカデミア参加4学会が合意できる事実認識と提言内容を絞り込んだ。このアカデミア参加4学会による審議結果と線量WGの提言のサマリーと合わせて「提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて」を作成した(図4)。昨年度に線量WGが企画・開催したWebinarの講師から数えると、この提言の取りまとめには総勢80名の専門家が協力したことになる。

提言案は、第19回代表者会議で審議されたのち、放射線防護アカデミアの4学会の各理事会で議論され、最終的には全ての学会から承認された。また第21回代表者会議では、各学会からのコメントが提言最終案に適切に反映されていることを確認したのち、代表者会議も承認して、4学会と代表者会議の連名で本事業HP上において公表した。また事業代表機関が英訳版(付属資料1-3)を作成した。

表5. 「提言 国内の放射線防護の改善に向けて」の主な提言内容

我が国の放射線防護方策の改善のための緊急提言

(1)放射線施設における事故・事象発生の予防および収束に向けた方策

事業者に対する提言:

- ・新照射機器の新規導入やヒヤリハット事例発生の際、作業工程や訓練内容、マニュアルを見直すなど、きめ細かい規程やマニュアルを整備する
- ・事故の原因究明や影響の検証ができるように常に情報共有する

規制当局に対する提言:

- ・事故の情報公開や専門機関による分析や検証を進め、結果を全事業者へフィードバックする

(2)大規模放射線災害発生時の線量推定の高度化に向けた方策

高度被ばく医療支援センターに対する提言(主に生物学的線量評価分野):

- ・センター同士の連携体制の強化。設備や人員に不足があれば、人材育成や交流による底上げ、支援センター以外との機関レベルの連携を行う
- ・多数のトリージング手法について引き続き検討する。多様な被ばくに対応できるように準備する
- ・全国の専門家が協力して正確かつ迅速な線量評価を行えるネットワークを再構築する

専門家に対する提言:

- ・高度被ばく医療支援センターの制度とリンクした技術開発に協力する

国・地方自治体に対する提言:

- ・原子力防災訓練に線量評価の訓練を組み込む
-

我が国の放射線防護方策のグローバル化に向けた中長期的提言

(1)実効線量と実用量に関する新概念の国内導入に向けた方策

研究開発及び放射線管理の実務者に対する提言:

- ・メーカーやサービス機関と連携して、線量計や校正手法等の規格化に取り組む

放射線防護と放射線診療に関わる学会に対する提言:

- ・実効線量の意味や制約等に関する共通認識を形成する

放射線関係行政機関に対する提言:

- ・実効線量の意味や制約等に関する共通認識を社会全体で共有させる
-

➤ 「提言 国内の放射線防護の改善に向けて」の内容

放射線防護関連の学会は、専門性と問題意識、放射線利用や被ばく状況により細分化しており、専門家の見解を統一することが難しい。そこで学会間で「相互レビュー」を行い、事実や課題認識の合意形成を行ったうえで、名宛先を明確にして提言を取りまとめた。内容は表5の通り。

今後は、アカデミアの後継ネットワークの自主活動として、提言の名宛先である規制者、事業者、あるいは国際的機関の関係者との意見交換を行っていく予定である。

なお名宛先の一つである高度被ばく医療支援センターとは提言の作成中から情報共有をしており、センターでは提言の内容の一部に着手済みである。令和4年1月11日に開催された高度被ばく医療支援センター連携会議線量評価部会では、生物学的線量評価のためのサンプル輸送や染色体異常の検量線の共通化、染色体画像の迅速な授受のための情報共有システム構築、画像解析研修プログラムの整備などが議論されている。

(オ) 事業終了後の放射線防護関連学会の連携活動について

(昨年度までの議論)

令和2年末に代表者会議メンバーにアンケートを実施し、平成29年度から令和2年度に行った本事業で行った個々の取り組みについての自己評価を行った。このアンケート結果をベースに、第4回ネットワーク合同報告会において、これまでの活動を振り返るパネルディスカッションを行った。学会からは、学会連携に関する学会側のメリットとしては、交流自体が刺激となり、例えば国際化の推進力として働いたといった意見があった。また代表者会議メンバーから評価が高かった取り組みは以下の5つであった。

1) 学会単位あるいは共同での同じテーマでの検討や調査

学会単位で行ったテーマ:重点テーマ提案、学会員調査、事故・災害対応

学会が共同で行ったテーマ:低線量コンセンサス、線量に関わる諸問題

2) 国際動向報告会

3) 若手の国際的機関のイベントへの派遣

4) Webinar 開催

5) 規制庁との対話

なお第4回ネットワーク合同報告会では、原子力規制庁から、こうした学会連携により、学会員と行政・規制側の双方にとってメリットを得ることが理想であるとのコメントがあった。

(今年度の進捗)

➤ 代表者会議での議論

昨年度の議論において、評価が高かった取り組みのうち、学会の活動や目的と合致しやすく、コスト面で学会に負担が少ないためものは、1) 学会単位あるいは共同での同じテーマでの検討や調査と 4) Webinar 開催であることから、これらを本事業終了後も

自主的に継続するとした場合、どのような連携の形態が適切か検討することとなった。

昨今のトレンドとして各研究分野で学会連携が進む中、学会間のネットワークに関しては、様々な良好事例が存在する。そこで典型的な学会等の連合体の形態を以下のように分類し、それぞれの特徴について調べた。

- 1) 学会同士の関係がピラミッド的階層構造（例：医学会連合）
- 2) 統合したネットワーク自体が巨大な学会として機能（例：地球惑星科学連合）
- 3) 学会同士はフラットな関係でのネットワーク（例：防災学術連携体）
- 4) 研究目的のネットワークで、構成団体は学会に限らない（例：リスク研究ネットワーク）

このうち 1)～2)は法人化されているケースが多い。3)は防災学術連携体のように法人化されているものもあるが、医療被ばく研究情報ネットワーク（J-RIME）のように、現状、法人化はせず、会費も徴収せず、参加する学協会が手弁当で活動している例もある。4)は一番緩やかな連携であるが、縛りが少ない分、活動の実施の継続は参加団体の動機や意欲、事務局の-effortに左右されやすい。

現アカデミアには、法人格を持つ学会、持たない学会、研究機関の委員会相当の団体などいろいろな性質の団体が参加している。今後も様々な学術団体の参加を可能にすることを優先し、事業終了後の放射線防護関連の学術コミュニティのネットワークは、当面法人化や会費徴収は行わず、4)に近い形態が妥当と第19回代表者会において合意を得た。そこで第20回および第21回代表者会議では、具体的なネットワークの形態と活動内容を議論した。

具体的なネットワークの形態の議論は、「放射線防護・健康科学アカデミア」の会則案として取りまとめた（資料6-2）。要点は以下の通り。

- 1) 名称を「放射線防護・健康科学アカデミア」とし、放射線防護を主な目的としない学術団体の参加も可能にし、すそ野を広げる
- 2) 活動の範疇を定める
 - (i) 低線量被ばく（公衆、職業被ばく）ならびに緊急時被ばくの科学的知見の創出と収集
 - (ii) 防護体系・安全基準の策定の提言
 - (iii)放射線防護の人材育成
- 3) 参加は団体のみとし、資格を定める
 - (i) 国内の学術団体*、またはその下部組織
 - (ii) 国内外の研究・教育機関、またはその下部組織
 - (iii)国内外の行政機関、またはその下部組織

*日本学術会議協力学術研究団体もしくはこれに準ずる組織

- 4) 目的を達成するために、参加団体が連携して行う主な事業を定める
 - (i) 行事協力、(ii) プロジェクト協力、(iii) 情報発信
- 5) 参加団体が推薦した者により構成される「連絡者会議」が運営を行う。

また第 21 回代表者会議では、この新たなネットワークが行うべき活動について審議を行った。過去 5 年間に於ける本事業内での学会による取り組みの多くはアドホックな活動である。今後、緩やかな連合体を継続的に維持・運営するためには、全ての参加団体が関心を持ち、関与しうる事業を実施し、ネットワークの求心力となることが望ましい。

こうした議論に先立ち、第 5 回ネットワーク合同報告会の参加者には、参加登録にあたって自由筆記により「放射線防護関連学会が連携して行ったらいいと思う活動」について意見を求めた。また同報告会のパネルディスカッションで、指定発言者に対してコメントを求めた。こうした意見を参考にして、第 21 回代表者会議では、具体的な柱事業の提案がなされた（表 6）。しかし優先順位をつけるまでには至らなかった。

➤ 研究評価委員会委員からのコメント

令和 4 年 2 月 14 日に開催された令和 3 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業）では、本事業の成果報告に加え、事業終了後の自主的活動の枠組みについて説明した。中でも放射線防護関連学会のネットワークに関しては、研究評価委員会委員から質問や助言があった。主な意見は以下に列挙する。

- 事務局、中核となる機関、予算要求をする組織などが明確にすべきである。
- 取り組みへの費用支援を受けるためには、コストパフォーマンスが明らかである必要がある。Webinar であれば、参加者数等の実績を示し、社会への発信力をアピールすべきである。
- 5 年間の活動は、参加学会の会員全体までは伝わっていないという印象がある。今後、予算といった求心力がなくなり、どのように事業を継続するのか不安。
- 取り組みのステークホルダーにとってのメリットについて明確にすることが、予算獲得や新たな協働関係構築の鍵になる。

アカデミア参加学会の役員交代の時期に配慮し、放射線防護・健康科学アカデミアへの参加の意思確認や 4 学会以外の学協会への声かけの時期は令和 4 年 6 月以降とし、3 機関以上から参加意思が確認された時点で発足を確定することや、会則や具体的な活動に関する代表者会議での審議は、今後、新体制のキックオフ会合等に引き継ぐことで合意を得た。

表 6. 新たな放射線防護関連学会のネットワークが行うべき活動

-
- 1) 第 21 回代表者会議メンバーからの提案(令和 4 年 3 月 4 日)
- 関連知識の体系化
 - ・放射線影響・放射線防護のナレッジベース(量研運営)の構築やコンテンツの執筆、利用推進を実施
 - 緊急時の専門家の認定制度の議論
 - 国際的な動き(例;ICRP 次期主勧告、ICRP2023)や東電福島原発事故への我が国のアカデミアとしての一体的対応
 - 人材育成
 - ・放射線防護の若手人材
 - ・消防、警察組織等、初動対応者への放射線防護教育支援
 - Webinar の活用
 - ・幅広い放射線防護の活動や現場が相互作用
 - ・若手への幅広い知識の提供
 - ・若手による開催(人材育成の観点から)
 - ・線量の歴史
 - 様々な学会による合同シンポジウムの開催
 - 規制当局とアカデミアとの意見交換を行う場合の窓口
-
- 2) 第 5 回ネットワーク合同報告会パネルディスカッションにおける指定発言者からの提案(令和 4 年 1 月 25 日)
- 佐々木康人氏
 - ・放射線の生物影響の機構解明研究の推進とその知見の周知、教育
 - ・高線量被ばくの治療法の開発を行う研究環境の整備、予算獲得、専門家育成
 - 岩岡和輝氏
 - ・放射線関連の若手人材不足のように解決が難しい課題等、様々な情報の共有
-
- 3) 第 5 回ネットワーク合同報告会の参加者からの提案(令和 4 年 1 月 5~24 日)
- 活動の分野
 - ・特定のテーマ、目的に絞ったシンポジウムや研究会の実施など
 - ・関連知識の体系化
 - ・国の事業への応募
 - ・人材育成(緊急時対応、環境モニタリング)
 - 活動のテーマ
 - ・ICRP 次期主勧告に対する意見集約・情報発信
 - ・原子力緊急時における甲状腺モニタリング
 - ・11 年経過した福島第一原発事故に関わる住民の被ばく線量評価とリスク評価(心理面を含む)の再検討
 - ・NDR(国家線量登録) 制度の実践に向けた、各ステークホルダーの受益と対価の公平性について理解(納得)するための協議
 - ・身動きができない程の過剰な防護にならないようにするための議論
 - ・あまり放射線の知識がない職種の方への教育支援
 - ・放射線施設の周辺での反対派市民との対立の解消
 - ・消防、警察組織等への放射線防護教育支援
-

(2) 緊急時放射線防護に関する検討 (付属資料 2-1)

緊急時放射線防護ネットワークは、放射線に関して相応の知識を持った者が、日常の業務・研究活動等を通じて原子力緊急時に専門家としてその力を発揮するための知識やスキルを獲得できる活動を平常時に行うための枠組みである。

原子力規制委員会が原子力災害時における医療体制の整備を進めていることから、本ネットワークの議論でも、緊急時対応機能も持つネットワークが必要との意見は多くあった。しかし現段階では、原子力緊急事態となった場合の支援活動は範囲外としてネットワークの構築を目指すこととした。

①緊急時放射線防護に関する検討の枠組み

(ア) 緊急時放射線防護ネットワーク検討会の設置

原子力機構、量研、大学等の放射線防護分野の専門家及び緊急時放射線防護ネットワーク（以下「緊急時防護ネットワーク」という。）のサブグループ(Gr)の主査や幹事等から構成される緊急時放射線防護ネットワーク検討会（以下「検討会」という。）を設置した（表 7）。令和 3 年度は 3 回の Web 検討会を開催し、緊急事態対応ガイドの作成や構成員向け教育の試行、ステークホルダー会合やネットワークのあり方や活動等について検討を行った。外部有識者 6 名からは、原子力緊急事態対応ガイド、教育研修、ネットワーク構築等について、個別に意見を聴取した（聴取された意見は後述する）。

表 7. 令和 3 年度緊急時放射線防護ネットワーク検討会構成員

外部有識者	松田尚樹(長崎大)、渡部浩司(東北大)、床次眞司(弘前大)、立崎英夫(量研)、栗原治(量研)、宮澤晃(東電 HD)、佐藤将(原安協)、谷口和史(千代田テクノル;オブザーバ)、小野欽也(川崎市立病院;オブザーバ)
アンブレラ事業関係者	高橋知之(京大/PO)、神田玲子(量研/アンブレラ事業代表者)、大町康(原子力規制庁)、野島久美恵(原子力規制庁・内閣府)
原子力機構	高田千恵(核サ研)、百瀬琢磨(福島)、宗像雅広(NEAT)、中野政尚(福島)、吉田忠義(核サ研)、渡邊裕貴(核サ研)、木内伸幸(原科研)、住谷秀一(核サ研)、清水勇(大洗)、石川敬二(敦賀)、石森有(敦賀)、中根佳弘(JPARC)、山田純也(大洗)、前田英太(大洗)、横須賀美幸(原科研)、富岡哲史(核サ研)、渡辺文隆(NEAT)

(イ) ステークホルダー会合

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・放射線防護アンブレラと大学ネットワークによるジョイント企画セッション「我が国の放射線防護の課題を解決するためのネットワーク」において、多様なステークホルダーに対して、ネットワークの活動の紹介と報及び今後のあり方等に対する幅広い意見の聴取を行った（令和3年12月1日）。また第5回ネットワーク合同報告会において、アカデミア参加学会や大学ネットワークの代表者と意見交換を行った（令和4年1月25日）。さらに日本原子力学会2022

年春の年会にて保健物理・環境科学部会企画セッション「放射線防護に関する学会連携活動と今後の展開」が開催され、当該学会員との意見交換を行った（令和4年3月17日）。

②放射線防護専門家向け手引き「原子力緊急事態対応ガイド」の作成

(ア)「原子力緊急事態対応ガイド」の作成の経緯

昨年度までに、原子力災害対策指針等に基づく災害対策において、緊急時モニタリングセンターで実施する「環境モニタリング」及びUPZ内の住民が一時移転などを行う際に実施される「避難退域時検査」での対応に必要な力量の目安と、その力量を付与するために必要な教材のリストを整理した。ガイド作成に当たっては、福島県緊急時モニタリングセンター活動訓練（令和3年11月24日）に参加した5名にヒアリングを実施し、ガイドに反映すべき観点を抽出した。主な点は以下の通り。

- ・ 野外・半野外作業では何時もベストコンディションとは限らないことを念頭に、季節や天候に応じた作業マニュアルの整備や注意点をまとめておくことも必要。
- ・ 支援者の誰もが間違いなく使えるよう機材には注意事項を記載しておく。
- ・ 班のリーダーが班同士の連携の重要性を意識して全体打ち合わせを行うことが必要。
- ・ 避難退域時検査は、多種多様な住民との共同作業になるため、本番や訓練における住民の反応や行動について共有することが重要。避難退域時検査の経験者にできるだけ多くの体験談を提供してもらうようにする。
- ・ 本番や訓練における住民の反応や行動を念頭にした設営や人員配置にして、住民のストレスにならないような運営も重要。

今年度はこうした観点にも配慮し、放射線防護専門家向け手引きを完成させた。なお従来「力量の目安及び教材リスト」と呼んでいた手引きの名称を「原子力緊急事態対応ガイド」（以下「ガイド」という。）、「力量」をよりわかりやすい「スキル」と言い換えることとした。

ガイドの作成は、昨年度までのサブグループ体制を継承して、環境モニタリンググループが緊急時モニタリングセンター活動関係を、放射線管理グループが避難退域時検査活動関係を担当し、個人線量評価グループが全体を統括した。

(イ) 作成したガイドについて（付属資料2-2）

ガイドは、更新の容易さを考慮し、①知識獲得・自己研鑽・情報更新の手段となる教材（「学習素材」と呼ぶ。）のリストと、②学習素材の解説で構成することとした（図5）。学習素材はインターネット上で無料入手できるものを中心にリストアップした。また、各利用者の専門分野や目指すレベル（活動先での立場による）をもとにしたスキルの目安と学習すべき範囲を示している。共通編と分野別（緊急時モニタリングセンター活動者編及び避難退域時検査活動者編）から構成され、共通編は、個人線量評価や環境影響評価の専門家を含む、放射線防護分野の専門家全般が利用できるものとなっている。

大分類		小分類		大分類	共通編		
共通編	1. 法令 (共通編)	1.1	原子炉等規制法及び下部規則	2.1	国内指針 (緊急時、平常時)		
		1.2	原災法及び下部規則	文書番号	2.1.2 発行/改訂日(法令は施行日) 2019/7/5		
		2. 指針類 (共通編)	2.1	国内指針 (緊急時、平常時)	文書名	緊急時モニタリングについて(原子力災害対策指針補足参考資料)	
	3. 災害対応における放射線管理、リスク管理、コミュニケーションに関する知識、スキル	3.1	一般的知識 (被ばく管理含む)	3.2	過去の事故事例	リンク	https://www.nsr.go.jp/data/000276389.pdf
		3.2	過去の事故事例	3.3	国内報告書 (過去の教訓)	緊急時モニタリングについて (原子力災害対策指針補足参考資料)	
		4. 環境モニタリング、放射線影響に関する知識、スキル	4.1	EMCに関する知識	4.2	緊急時モニタリングの知識・経験	緊急時モニタリングについて (原子力災害対策指針補足参考資料)
緊急時モニタリングセンター (EMC) 活動者編	4. 環境モニタリング、放射線影響に関する知識、スキル	4.1	EMCに関する知識	4.3	国の防災資機材、緊急時モニタリング資機材取扱	緊急時モニタリングについて (原子力災害対策指針補足参考資料)	
		4.2	緊急時モニタリングの知識・経験	4.4	緊急時における線量率測定・環境試料分析手法	緊急時モニタリングについて (原子力災害対策指針補足参考資料)	
		4.3	国の防災資機材、緊急時モニタリング資機材取扱	4.4	緊急時における線量率測定・環境試料分析手法	緊急時モニタリングについて (原子力災害対策指針補足参考資料)	
	5. 立地県特有の防災・避難・モニタリング等のマニュアル類	5.1	自治体のモニタリング計画、要領等	5.2	立地県の環境放射能測定設備、手法の把握	緊急時モニタリングについて (原子力災害対策指針補足参考資料)	
		5.2	立地県の環境放射能測定設備、手法の把握	5.3	立地県の平常時モニタリング結果の習熟	緊急時モニタリングについて (原子力災害対策指針補足参考資料)	
		5.3	立地県の平常時モニタリング結果の習熟	5.4	立地県地域特性 (気候、地理的特性、道路事情) の把握	緊急時モニタリングについて (原子力災害対策指針補足参考資料)	
避難退域時検査 活動者編	6. 避難退域時検査に関する知識、スキル	5.1	立地県要素訓練でのOJT経験 (関係性の構築)	5.2	立地県要素訓練でのOJT経験 (関係性の構築)	緊急時モニタリングについて (原子力災害対策指針補足参考資料)	
		5.2	立地県要素訓練でのOJT経験 (関係性の構築)	5.3	立地県要素訓練でのOJT経験 (関係性の構築)	緊急時モニタリングについて (原子力災害対策指針補足参考資料)	
		5.3	立地県要素訓練でのOJT経験 (関係性の構築)	5.4	立地県要素訓練でのOJT経験 (関係性の構築)	緊急時モニタリングについて (原子力災害対策指針補足参考資料)	
	5.4	立地県要素訓練でのOJT経験 (関係性の構築)	5.5	立地県要素訓練でのOJT経験 (関係性の構築)	緊急時モニタリングについて (原子力災害対策指針補足参考資料)		
	5.5	立地県要素訓練でのOJT経験 (関係性の構築)	5.6	立地県要素訓練でのOJT経験 (関係性の構築)	緊急時モニタリングについて (原子力災害対策指針補足参考資料)		
	5.6	立地県要素訓練でのOJT経験 (関係性の構築)	5.7	立地県要素訓練でのOJT経験 (関係性の構築)	緊急時モニタリングについて (原子力災害対策指針補足参考資料)		

大分類	小分類	文書番号	学習素材例 (※: 発災施設に適用されるものに限る。)	(2) 企画調整グループ (3) 情報収集管理グループ (4) 測定分析担当												避難退域時検査担当			
				発行/改訂日 (法令は施行日)	① 企画調整班	② 総括・調整班	③ 収集・確認班	④ 連絡・連絡班	⑤ 情報共有システム等	⑥ 総括・調整班	⑦ 測定・採取班	⑧ 分析班	⑨ 測定・採取班	⑩ 分析班					
共通編	1. 法令 (共通編)	1.1 原子炉等規制法及び下部規則	1.1.1 核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示	2016/4/1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
			1.1.2 原子力災害対策特別措置法	2019/6/27	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			1.1.3 原子力災害対策特別措置法施行令	2019/12/16	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		2. 指針類 (共通編)	2.1 国内指針 (緊急時、平常時)	2.1.1 原子力災害対策指針	2021/7/21	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
				2.1.2 緊急時モニタリングについて	2019/7/5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
				2.1.3 平常時モニタリングについて	2018/4/4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	3. 災害対応における放射線管理、リスク管理、コミュニケーションに関する知識、スキル	3.1 一般的知識 (被ばく管理含む)	3.1.1 JAEA-Review 2013-015 我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について-原子力防災実務関係者のための解説-放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料 (上巻:放射線の基礎知識と健康影響)	2021/9/1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
			3.1.2 安定ヨウ素剤投与による甲状腺ブロック〜放射線災害および原子力災害への計画と対応における利用ガイドライン	2017	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			3.1.3 UNSCEAR2013 Annex A (福島第一原子力発電所事故) 放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料 (下巻:東京電力福島第一原発事故とその後の推移)	2013	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		3.2 過去の事故事例	3.2.1 UNSCEAR2000 Annex J (チェルノブイリ原発事故) 英語	2000	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			3.2.2 UNSCEAR2008 Annex C (その他の原子力事故) 英語	2008	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			3.2.3 UNSCEAR2020 Annex B (福島第一原子力発電所事故) 英語	2021/3/9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	3.3 国内報告書 (過去の教訓)	3.3.1 福島第一原子力発電所事故に関する放射線防護上の課題と提言	2014	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		

図 5. 原子力緊急事態対応ガイド

ガイドの構成(左上)、学習素材カード(右上)、学習素材リスト(下)

(ウ) ガイド案の有効性の検証

➤ 教育訓練の試験的実施

ガイド案の有効性を確認するため、上記のガイド案を用いた試行教育を実施した。コロナ禍のため、基礎編は事前学習 (基本事項を自習し、テスト) のみとし、緊急時モニタリングセンター/避難退域時検査編は選択制で、事前学習と 2 時間程度の Webinar (講師による講義又はその録画の視聴ののち、理解度テスト) から成る。

試行教育対象者の目安として、年齢は 30 代半ばまで、放射線に関する知識としては第 2 種放射線取扱主任者、診療放射線技師程度以上として、事務局から原子力機構、量研の他、関連する大学、電力会社、医療機関にネットワーク関係者を通じて募集をかけた。その結果、共通編及び緊急時モニタリングセンター活動者編は 67 名、共通編及び避難退域時検査活動者編は 78 名 (緊急時モニタリングセンター活動者編と避難退域時

検査活動者編の両方の受講者は 29 人) が参加した。そのうち、理解度確認テストや受講者アンケートの回答者は 8 割強だった。

理解度確認テスト正答率により、試行教育には一定の効果が認められた。一方、一部設問では正答率が低く、今後は注意すべき問題については、テキスト内での記載を目立たせる、説明の際によりクローズアップする等、受講者の関心を引くような工夫が必要であることが明らかになった。受講者アンケートからは、緊急時モニタリングセンター編、避難退域編ともに、各講義内容は理解しやすく時間も適切との評価を得るなど、試行教育全体的に高い評価をした受講者がほとんどであった。講師へのアンケートからは、核心に絞った講義や動画の活用など、今後教育をよりよくしていくために留意すべき点が明確になった。

▶ 緊急時放射線防護ネットワーク検討会の外部有識者の評価

令和 4 年 2 月 7 日から 22 日にかけて、外部有識者 6 名から、Web 会議システムを用いて、個別にガイド案と試行教育について説明し意見を聴取した。主な意見は以下の通り。

- 非常によい「ガイド」案となっている。公開前にはピアレビューを受けること、今後も適切に維持・管理されることが必須である。
- 若手を対象とした教育は今後もぜひ続けてほしい。興味を維持するうえでも、教育方法の改善には継続して取り組むことが望まれる。
- ガイドのレビュー、教育参加、資格認定等においては、学会と連携できる可能性が高い。

③ ネットワーク構築のあり方についての提言検討

(ア) ネットワーク制度の設計検討の概要

昨年度までの活動において、ネットワークと原子力防災対策組織の関係について整理し、ネットワーク活動の理想像と当面の活動、さらには継続して取り組むべき活動項目を明確にしてきた。今年度は、実現可能性に配慮した検討をさらに重ね、当事業の成果として最終提案するネットワークのあり方をまとめた。全体像を図 6 に示す。

ネットワーク全体が担う役割として、以下の 3 点が期待される。

- 原子力緊急事態、または緊急事態に備えた防災訓練や指針・マニュアル等の策定プロセスにおいて、適切に活動できる放射線防護分野の専門家を育成・確保する。
- 専門家に必要なスキル及びスキル獲得の方法を明確化し、必要な活動を実施する。
- 技術的な課題に対して、主体的又は関係する放射線防護分野の学会・団体等と連携し、課題解決を図る（必要に応じ研究体制を編成し、研究公募等の仕組みを利用して予算を獲得する）。

実際のネットワークの活動は、緊急時環境モニタリング、放射線管理（避難退域時検査）、個人被ばく線量測定・評価等といったグループ別での活動が中心となる。こうし

た専門別の活動については、本事業での活動がひな型となりうる。一方で、ネットワーク活動の基盤となる機能や運営に関しては、理想的なあり方と当面の現実的な対応とを区別して検討を行った。

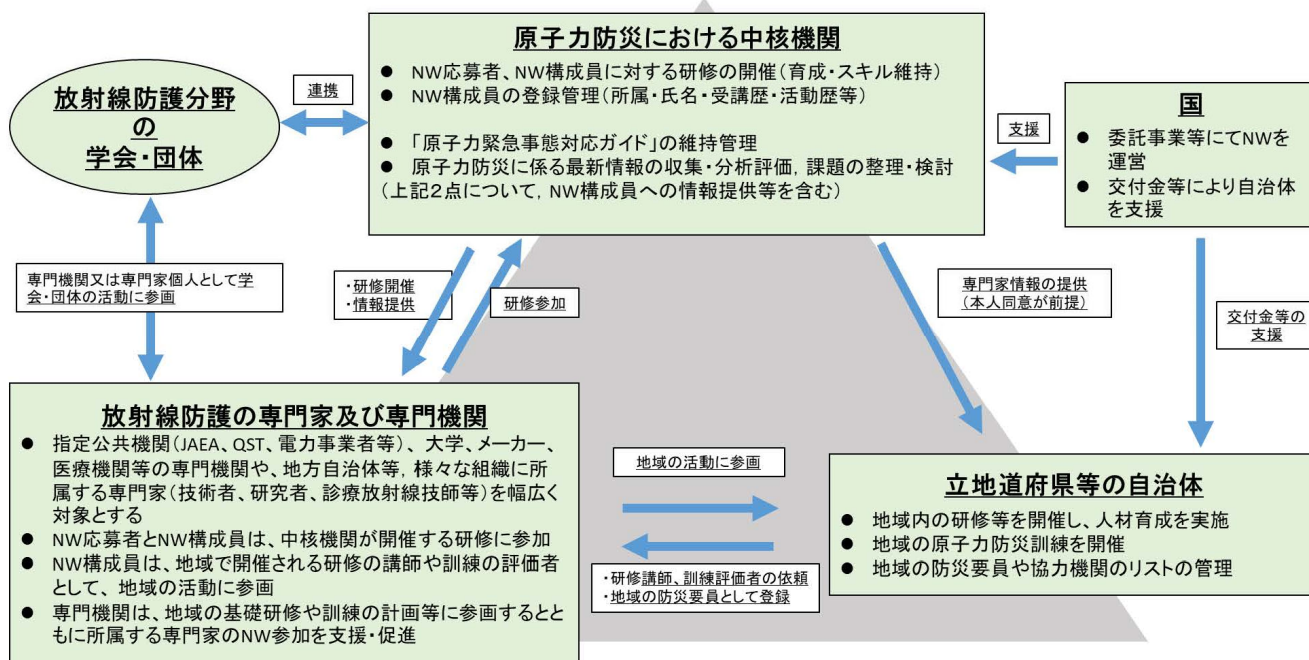


図 6. 緊急時放射線防護ネットワーク制度の全体像

(イ) 理想的なネットワークの運営体制

上記に記載したネットワークの役割を担うためには、原子力防災における中核機関が先導する方法、関連学会等が実務を行い中核機関はその状況をフォローする方法等が考えられる。いずれの方法が適切であるかは、個別の実施内容や中核機関の資源(予算・人員)確保の状況等による。以下に、関係する組織・個人それぞれの役割及び組織間での連携ポイントを示す。

➤ 原子力防災における中核機関の役割

ネットワーク活動を主体的かつ継続的に支えるため、主に事務局機能を担う中核機関が設置され、適切な方法によりそこに資源(予算・人員)が確保される必要がある。この中核機関の主な役割は以下の3点である。なおネットワークへの登録を希望する者を「応募者」、専門家としての要件の確認を経てネットワークに登録される者を「構成員」と呼ぶこととする。

- ・ネットワークの応募者・構成員に対する研修の開催
 - ・ネットワークの応募者に対して登録に必要なスキルを獲得させるための研修等を、登録された構成員に対して、スキルを維持するための研修等を開催する。
 - ・他機関が実施する教育・研修・訓練の代替による登録の可否等を検討・整理する。

- ネットワーク構成員の登録管理
 - 構成員の所属・氏名及び教育研修受講歴や訓練参加歴をリスト化して管理する。
 - 登録情報の公開について予め本人の同意を得ておき、地方自治体等から依頼があった場合には、要件に該当する構成員の情報開示（専門家の紹介）を行う。
 - 原子力防災に係る最新情報の収集
 - 原子力緊急事態対応ガイドの学習素材リストに記載された文書の改定の反映や定期的なレビューを行い、ガイドの更新を行う。
 - 原子力防災に係る最新情報を収集・分析評価し、HP、SNS、メーリングリスト等のうち適切な手段によりネットワーク構成員へ提供する。
 - 原子力緊急事態発生時においては、事故及びその対応に係る最新情報を随時収集し、ネットワーク構成員間での情報共有に資する。
 - 平常時・緊急時とも情報収集を確実かつ適切に実施するため、関係する省庁・部署と情報交換等の体制を構築する。
- 放射線防護の専門機関及び専門家
- 指定公共機関、大学、メーカー、医療機関等：組織として中核機関や国・地方自治体が開催する研修・訓練等に参画するとともに、所属する専門家のネットワーク活動を支援・促進する。
 - 上記専門機関に所属する技術者、研究者、診療放射線技師、そのOB・OG：自身の専門分野等に応じた学会・団体等に入会し、その活動に協力する。
 - ネットワーク応募者：中核機関が開催する研修に参加する。
 - ネットワーク構成員：中核機関が開催する研修に参加する。また地域で開催される研修の講師や訓練の評価者として、地域の活動に参画する。
- 立地道府県等の自治体
- 国からの交付金等により予算を確保し、地域の原子力防災体制を整備する。
 - 防災要員の育成・確保のための基礎研修、緊急時対応体制の確認・維持・向上のための防災訓練等を開催する。
 - 地域内の防災要員や協力機関をリスト化し、維持・管理する。
 - 中核機関から提供を受けた情報により、地域内及び近傍に所在するネットワーク構成員を把握し、研修講師、訓練評価者等としての協力依頼、地域の防災要員への登録等に資する。
- 放射線防護分野の学会・団体等：中核機関からの依頼やネットワーク構成員の発案等により以下の活動を行う。
- 原子力防災に係る放射線防護の技術的課題等に対し、委員会等を設置し課題解決に向けた活動を行う。また関連するシンポジウム、講演会等を開催する。

- 中核機関が実施する、ガイドの維持管理、国内外の情報収集・分析等において、各関連学会等が専門性を活かして協力する。
- ネットワーク構成員としての登録に対するモチベーション・インセンティブの供与のため、関連学会等による資格認定制度を確立し、運営する。

こうしたネットワークのコンセプト及びあり方の案について、検討会の外部有識者6名から意見を聴取したところ、概ね賛同という意見を得た。また「当初から緊急時の活動を主眼にしたネットワーク作りは障壁が多く難しいので、平常時の活動であると整理できたことの意義は大きい」「国からの支援（指定）による中核機関の設置は必須である」との意見があった。

(ウ) 事業終了後の当面のネットワークの在り方活動の検討

国が整備した枠組みにおいて、原子力機構は十分な技術的支援を行うための体制を維持している。しかし原子力機構が独自の取り組みとして、ネットワークの中核機関としての役割を担い、外部の人材育成を行うことは難しい。当面の現実的な対応としては、原子力機構内の人材育成を一層充実させるために、専門分野別のWeb研修会とWebミーティングの開催や原子力緊急事態対応ガイドの活用を進め、その中で人材育成手法やツールの維持・改善を行い、国内の専門家に幅広く提供することを検討している。具体的な活動案は以下の通り。

- 原子力機構内で実施する分野別Web研修・Webミーティングに、指定公共機関である量研や電力各社や学会・職能団体（診療放射線技師会等）がオブザーバ参加。
- 緊急時モニタリングセンターや避難退域時検査の要員向け研修時に、ネットワークの検討状況を含めた原子力機構の取り組みを紹介。ネットワーク活動の認知度、実効性に対する関係者の期待度・信頼度を上げる。
- 「原子力緊急事態対応ガイド」のレビュー及び認定資格制度の創設に向けた検討を関連学会または学会のネットワーク等に働きかける。

こうした当面のネットワーク活動の実現可能性について、検討会やステークホルダー会合においては以下のような課題が指摘された。

- 指定公共機関、学会、職能団体等、様々な形態の組織・団体が関係するが、いずれにおいてもネットワーク活動の意義・メリットはあるものの、どの組織・団体も資源（人・予算）の減少に苦慮している状況であり、各々の自助努力に頼った活動では継続性は望めない。
- ネットワークの構築・維持のための活動の中心となる組織（中核機関）については、国がネットワーク運営を事業化して指定することが望まれるが、担当省庁・部署等は不明。国の側に組織間のコンフリクトやボイドがあるのではないかと？
- 人材の育成・確保の点において、既存の人材育成事業等との整理（体系化や全体

像の見える化及び広報)が必要ではないか。より合理的な実施体系が実現すれば、ネットワークの中核機関の設置等に資源が配分できるようになる可能性がある。

これらを踏まえ、将来にわたり有効に持続するネットワークのあり方については、国及び指定公共機関の関係者が中心となり、今後もそれぞれの立場で取り組みを継続するとともに、国や地方自治体との対話をする事が望まれる。

(3) 職業被ばくの最適化推進に関する検討 (付属資料 3-1)

①国家線量登録制度の検討 (付属資料 3-2)

(ア) 国家線量登録機関検討グループによる線量登録制度案の検討

放射線防護の最適化(ALARA)は、ICRP が勧告する線量低減の精神として広く浸透している。しかし、最適化施策検討の基礎データとなる職業被ばくの実態(放射線業務従事者の人数、線量分布等)については、原子力分野以外は明らかでない。日本学術会議は、これら職業被ばくの実態を把握するとともに我が国全体の放射線業務従事者の個人線量管理を一元的に実施する必要があることから、国家線量登録制度の確立について提言を出している。しかし、その実現に向けた活動が進んでいない。このため、この制度確立に向けての具体策を関係機関が共同して検討・提案することにより、放射線安全規制への効果的活用が可能となる。

▶ 国家線量登録機関検討グループの設置

国家線量登録の確立に向けての具体策を関係機関が共同して検討するため、日本原子力研究開発機構(原子力機構)を運営主体とした「国家線量登録制度検討グループ」での検討を昨年度に引き続き実施した。検討グループのメンバーを表8に示す。

表 8. 国家線量登録機関検討グループの構成員

	氏名	所属
主査	吉澤 道夫	日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所
委員	飯本 武志	東京大学環境安全本部
委員	浅野 智宏	放射線影響協会 放射線従事者中央登録センター
委員	岡崎 龍史	産業医科大学 産業生態科学研究所
委員	渡部 浩司	東北大学 サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター
委員	神田 玲子	量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所
委員	百瀬 琢磨	日本原子力研究開発機構 福島研究開発拠点

▶ 国家線量登録機関検討グループの検討結果

当該検討グループでは、今年度の活動計画、医療現場を対象としたアンケートの実施内容、医療分野への国家線量登録制度の説明とアプローチ、ステークホルダー会合の開催、報告書の内容、事業終了後の活動の進め方等について議論した。また ISO (国際標準化機構) の TC85 (原子力) / SC2 (放射線防護) の WG19 (外部被ばく個人モニタリング) において、職業被ばくの統計的記録の書式等の標準化や線量測定機関への要求事項に関する検討状況が情報提供された (表 9)。

検討グループでは、4年間の検討結果を総括して、現実的な対応を重視することを決定した。すなわち、ネットワークとしては、医療分野における業界・分野別の管理の構築を中心に進め、大学等では放射線管理記録等の標準化を進めることを基本路線とするという結論を得た。ただし将来的には、全分野共通の一元管理を目指すことが理想であ

ることから、個人識別番号の付与、登録する線量の標準化、個人情報管理（事前同意等）などを共通とすることをネットワークとして働きかけることとした。

表 9. 被ばく線量登録制度に関係する国際規格(ISO)の動向

①職業被ばくの統計的記録の書式等の標準化

ISO 24426 Radiological protection — Format of input data for the statistical description of occupational exposure to ionizing radiation (『放射線防護—電離放射線による職業被ばくの統計的記述用入力データの書式』)

- 状況 ・ 2020 年 4 月の国際投票で規格策定が了承(賛成 12、反対 1、棄権 13)。取りまとめはフランス IRSN の P. Lestaevel 氏。
・ 複数の原案(CD, DIS, FDIS)に対する国際投票を経て、数年後(2023 年)に発行予定。ただし、6 月予定の CD 原案が未回付であり、作業遅延の見込み
- 書式 ・ 職業被ばくデータの評価と長期間にわたる傾向の評価は線量低減のための最適化において重要である
・ 当該規格の目的は、集計データと職業被ばくデータ書式を一致・整合させることである。ESOREXやUNSCEARなど、世界的な線量調査用データにも有用である
・ 対象分野は原子力、医療、一般産業、研究・教育、その他(自然放射線源)
・ 外部被ばく、内部被ばくの両方を対象。外部被ばくは、実効線量の他に皮膚・末端部線量及び水晶体線量も含まれる

②線量測定機関への要求事項

ISO 24424 Recommendations on the overall treatment process of the dosimetry laboratory (『線量測定機関における全般的な処理方法に関する要求事項』)

- 状況 2021 年 6 月に新規規格提案の原案として WG19 内に回付。今後のスケジュールは未確認
- 書式 ・ 外部被ばくの個人線量モニタリングにおける技術的、管理的側面でのガイドを目的とし、すでにある各国の規制要求にとって代わるものではない
・ 当該規格では全身被ばく、末端部被ばく、水晶体被ばくの線量測定を対象とする
・ 職業被ばく管理において、線量の記録や線量限度超過の確認に用いる受動型、能動型の両方の線量計を対象とする
・ 校正方法、コントロール(B.G.)線量、フェーディング等の補正、線量計算法、線量計の特性、不確かさ、ブラインド試験、異常時の措置、妊婦や遮蔽エプロン着用者、報告方法等を含むことを検討中

また検討グループでは、現在又は 1 年以内に放射線診療を行った医師を対象としたアンケートを設計・実施した。251 名の回答結果から医療現場における職業被ばく管理の必要性を明らかにした。主な結果は以下の通り（図 7、表 10、11 も参照のこと）

- ・ 放射線診療を複数施設で実施している割合が多い（現在又は 1 年間では 22%、5 年間では 43%）。
- ・ 使用している個人線量計は施設数よりも少ない（1 個）場合が多い。
- ・ 放射線診療に従事していても個人線量計を使用していない医師がいる。今回の調査では、26 人（12%）の医師が個人線量計を使用していない。（内科：13 人、外科：3 人、整形外科：2 人、小児科：6 人、精神科：2 人）

- 有意な被ばく（検出限界以上）の割合は個人線量計使用者の30%
- しかし、有意な被ばくをしているかどうか不明な者が8%いる。
- 有意な被ばく有の回答者で数値を把握している者は30%しかいない。

表 10. 放射線診療(補助を含む)を実施している施設数及びそれ以外を含めた勤務先数

期間	放射線診療を実施している施設数		放射線診療以外を含めた勤務先	
	1年間	5年間	1年間	5年間
1施設のみ	167人(78%)	123人(57%)	113人(53%)	58人(27%)
複数施設	48人(22%)	92人(43%)	102人(47%)	157人(73%)

表 11. 個人線量計の使用数

個人線量計使用数	人数	割合
0	26	12%
1	164	76%
2	19	9%
3	4	2%
4	1	0.5%
5	1	0.5%
合計	215	100%

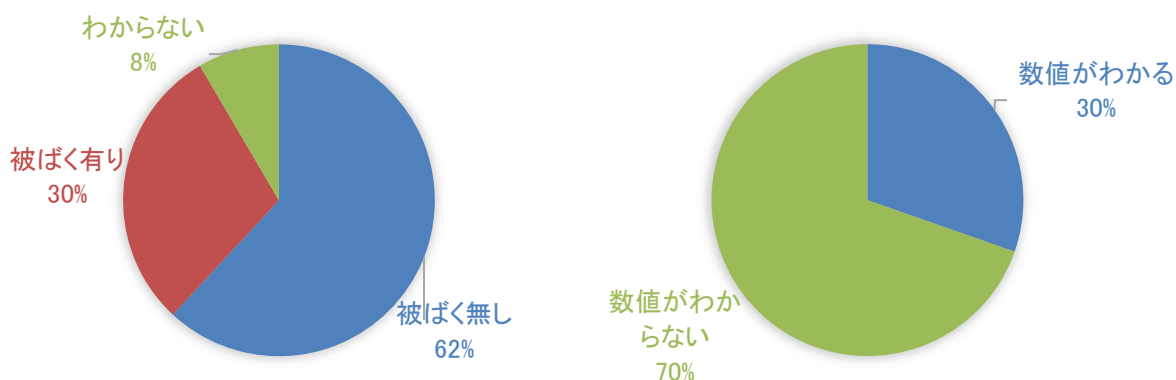


図 7. 医師(回答者数 251 人)のアンケート結果

検出限界以上の被ばくの有無(左)と、有りと回答した者のうち数値がわかる割合(右)

さらに検討グループでは以下を前提に医療従事者向けの線量登録フローを作成した(図 8)。これは全職種に適用可能である。

- 登録管理制度の対象は線量データのみ。電離則や RI 規制法で求められる放射線管理記録や電離健康診断記録等の紙媒体の記録は医療機関で継続して保管。
- 線量登録の頻度は1回/年。実効線量と等価線量(眼の水晶体、皮膚、女子腹部)とする。医療従事者個人の最新の線量データの確認は、線量測定サービス機関の管理支援サービス(ブラウザ)を利用して日常の線量確認・管理を行う。
- 個人識別情報は医療機関の施設管理者が本人同意を得た上で、登録する仕組みを想定し、この際、共通の登録番号を運用する。

線量登録フローの提案(フロー図)

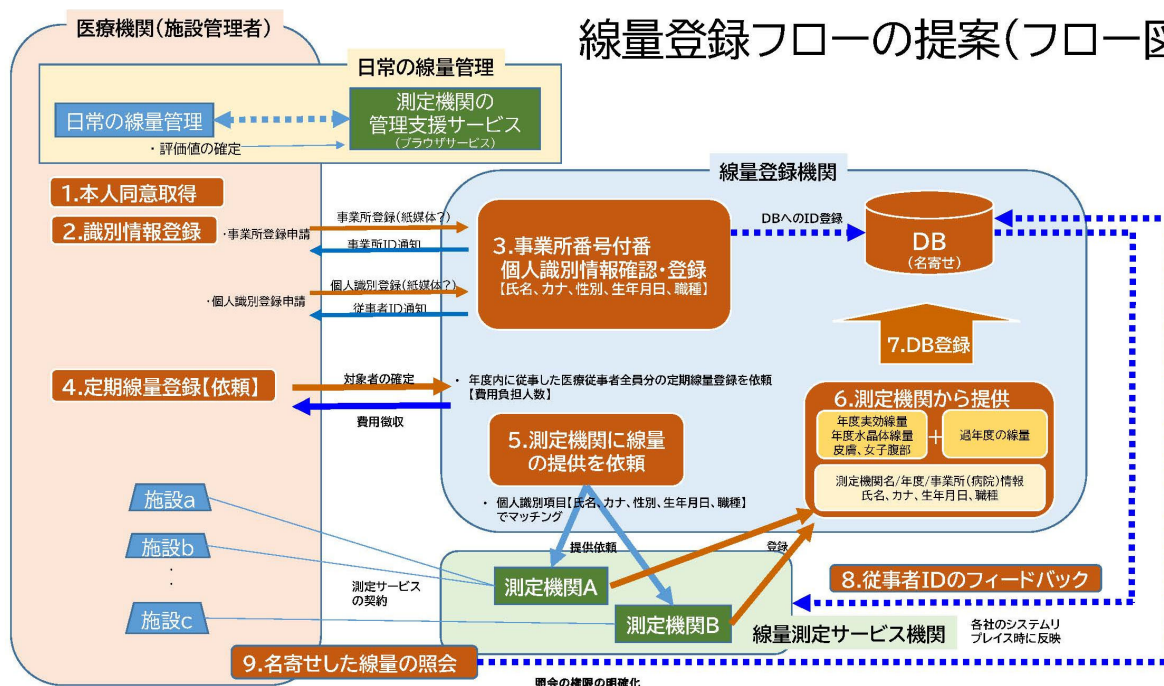


図 8. 医療分野を対象とした線量登録フロー

- ① 医療機関は、従事者本人に対して、線量登録機関での個人情報の取扱いの同意を取得する。
- ② 医療機関は線量登録機関に事業所と従事者の識別情報を登録する。
- ③ 線量登録機関は医療機関に事業所 ID 及び従事者 ID を通知するとともに、識別情報を DB に登録する。
- ④ 医療機関は線量登録機関に対して、対象者を明確にして、線量測定機関からのデータの取得を依頼する(過年度データも合わせて)。
- ⑤ 線量登録機関は線量測定サービス機関に対象者のデータ提供を依頼する。
- ⑥ 線量測定サービス機関は線量登録機関に線量等のデータを提供する。
- ⑦ 線量登録機関は登録内容を確認し、DB に登録する(名寄せ等を実施)。
- ⑧ 線量登録機関の DB から従事者 ID を線量測定サービス機関にフィードバックし、将来の運用に向けてデータを蓄積する。
- ⑨ 医療機関あるいは線量測定サービス機関は、線量登録機関に名寄せした線量結果を照会することができる。

検討グループは、こうした制度設計に係る費用についても審議を行った。

全事業者の一元的な登録管理システムに比べ、業界・分野別のシステムの構築はある程度コンパクトなシステムとすることが可能で、コストは削減できる。しかしオンラインシステムかオフラインシステムか、ハードウェア・ミドルウェアの要求性能、セキュリティの堅牢度、アプリケーションソフトウェアの整備範囲、システム開発要員のスキル、線量測定サービス機関のシステム改修範囲によって、システム整備費は大きく変動する。

事業運営費については、先行システムを運用する放射線影響協会・放射線従事者中央登録センターのこれまでのノウハウを活用することによりコストダウンできる。運営に要する費用は、業務量に応じた人件費、システムリース・保守費用、事務所借料、一般管理費、システム更新引当費などであり、これを線量登録者数で除することになるので、業界・分野内の対象人数が多ければ一人当たりの負担金は少なくなる。

(イ) 検討結果に関するステークホルダーとの意見交換や情報発信

検討グループの検討結果は以下の会合において報告された。

- ・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企画セッション
(令和3年12月1日)
- ・医療放射線防護連絡協議会年次大会(令和3年12月10日)
- ・アンブレラ事業ネットワーク合同発表会(令和4年1月25日)
- ・日本原子力学会2022年春の年会 保健物理・環境科学部会企画セッション「放射線防護に関する学会連携活動と今後の展開」(令和4年3月17日)

こうしたステークホルダー会合では、概ね検討会の基本方針や提案は受け入れられたが、今後の活動継続と実現に向けた働きかけの必要性について意見があった。そこで日本学術会議臨床医学委員会放射線・臨床検査・病理分科会の下部ワーキンググループ会合(令和3年12月21日)や日本学術振興会 産学協力研究委員会「放射線の利用と生体影響 第195委員会」(令和4年3月5日)にて、医療従事者の職業被ばくの実態や管理の必要性、具体的な方策について説明し、意見交換を行った。

また本検討グループは、上記の検討結果とグループが提案する制度の実現に向けた課題を取りまとめて、本検討グループのクレジットで公表した。

原子力分野に関しては、国と事業者の両方が線量登録管理制度の必要性を強く認識し、費用負担を受容したことに言及し、医療分野に関しても、国と業界・分野の両方が線量登録管理制度構築の必要性を認識し、検討を進めることが重要であるとした。また業界・分野別の制度については、参加事業者が負担することを想定せざるを得ず、運用費は人数規模、線量登録の方法などに強く依存するので、コストダウンの検討が重要であるとした。

②線量測定機関認定制度の検討

(ア) 線量測定機関認定制度検討グループによる検討の設置

個人線量測定の信頼性確保に係る認定制度の検討については、昨年度と同様に、日本適合性認定協会(JAB)が運営主体である「放射線モニタリングタスクフォースグループ(TFG)」(以下、「TFG」と言う。)と一本化して検討を進めた。線量測定機関認定制度検討グループのメンバー(TFGメンバーと同じ)を表12に示す。

個人線量測定の信頼性確保に係る認定制度については、審査基準（ISO/IEC 17025「試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項」）に追加される個人線量測定についての補足要求事項（JAB RL380）にしたがって、個人線量測定サービス機関の認定が実施された。今年度は、JAB RL380 の改訂を必要とする事項はなかったため、基礎データ収集作業及び過去5年間の成果の取りまとめを行った。

表 12. 線量測定機関認定制度検討グループ

	氏名	所属
主査	吉澤 道夫	日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所
委員	辻村 憲雄	日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所
委員	黒澤 忠弘	産業技術総合研究所 計量標準センター
委員	柚木 彰	産業技術総合研究所 計量標準センター
委員	當波 弘一	放射線計測協会
委員	中村 吉秀	株式会社千代田テクノ
委員	寿藤 紀道	個人線量測定機関協議会
オブザーバ	小口 靖弘	個人線量測定機関協議会

(イ) 基礎データ収集作業

個人線量測定機関の認定においては技能試験が義務づけられている。この技能試験では、測定機関の個人線量計に放射線の種類、エネルギー、入射角度等の様々な条件を変えて照射を行い、測定機関には照射に関する情報は与えずに測定機関から測定値を報告してもらい、その測定値と基準照射量を比較して、一定の許容範囲に入っているかを試験する。現在の許容範囲は、我が国における基礎データが少ないことから、個人線量測定機関の認定を先行して運用している米国自主試験所認証プログラム（NVLAP）を参考に設定しているが、その妥当性は確認されていない。このため、基礎データの収集を行ってきた。

昨年度までは、体幹部用線量計を対象として X 線及びβ線に対するデータを取得した。今年度は、末端部用線量計（リングバッジ）を対象に、X 線及びβ線の入射角度を変えた照射について基礎データの収集を行った。照射は、国家標準とトレーサビリティを有する（JCSS 登録機関）で行った。また、関連する JIS の基準及び技能試験の判定基準との比較を行うデータ解析も実施した。

末端部用線量計（リングバッジ）については、技能試験で角度を変える照射は規定されていないが、仮に実施したとしても、今回の試験範囲の X 線及びβ線に対しては、現在の技能試験の判定基準を満足することがわかった。

(ウ) 成果の取りまとめ

基礎データ収集作業は今年度が最終年度となることから、これまでの成果を取りまとめて報告書を作成した。5年間の主な成果は以下の通り：

- 個人線量測定機関の認定基準 (JAB RL380) に定める技能試験において、米国 NVLAP の基準を適用していることの妥当性を検証するための基礎データ収集を行った。体幹部用線量計及び末端部用線量計に対して、単独照射の照射カテゴリを対象として、今までデータが少ないと考えられる X 線及びβ線の角度を変えた照射を対象にし、データを収集した。
- その結果、今回の照射試験の範囲 (X 線：体幹部用線量計 N-100 及び N-80、末端部用線量計 N-60、β線： ^{90}Sr - ^{90}Y で角度を変えた照射) では、体幹部用線量計の L 値は 0.00~0.29、末端部用線量計の L 値は 0.14~0.32 であり、各々の判断基準 (体幹部用線量計 L=0.3 及び末端部用線量計 L=0.4) を満足した。また、正面又は角度が少ない場合は十分な余裕があるが、角度を振った場合には、エネルギーによっては判断基準ギリギリになることから、現在の判定基準が緩いということはないことが明らかになった。
- 事業規模及び校正場の条件から、単独照射でも ^{85}Kr β線及び中性子線について、並びに混合照射については、基礎データ収集を行うことはできなかったが、今後このような試験を行い、データを蓄積する必要があると考えられる。

当該報告書は、日本適合性認定協会 (JAB) 「放射線モニタリングタスクフォースグループ」会合 (令和 4 年 3 月 9 日) にて報告した。

(エ) 外国調査

技能試験等において重要な放射線標準校正技術に関する最新情報を調査するため、国際標準化機構 (ISO) 放射線防護分科会 (TC85/SC2) 基準中性子場に係るサブグループ (WG2/SG3) 専門家会合 (令和 3 年 4 月 27 日~28 日：オンライン会議) に専門家 1 名を参加させ、校正技術関連の国際規格の情報を収集した。

サブグループ会合では中性子標準場における中性子線の発生方法に関する規格 (ISO 8529-1) の最終ドラフト案について、各国から出されたコメントの取扱いが議論された。中性子放出率の 5 年毎の再校正について、絶対測定が実施可能な機関が少なく困難となっていることから、代替手法が規定されることとなった。中性子標準場において個人線量計や中性子モニタを校正するときに必要となるフルエンスから線量当量への換算係数等を規定した ISO8529-3 の改訂ドラフトについては、他の関連規格との整合 (重複用語の整理等) が議論されたが、次回に更に議論されることになった。

(4) 放射線防護分野のグローバル若手人材の育成

①国際的イベントへの若手専門家の派遣

(昨年度までの進捗)

平成 29 年度より、放射線防護人材の確保や若手の育成の必要性が議論されており、様々な若手の活性化方策が提案される中、平成 30、31 年度は、国際的イベントへの若手専門家派遣事業を行い、放射線防護分野のグローバル若手人材育成のために具体的なアクションを行った。一方、令和 2 年度は平成 31 年度に見直した「国際的機関が主催するイベントへの若手派遣事業」の選考の手順と基準に従い、応募者 1 名を選考したが、コロナ禍のため当該イベントが Web 開催となり、若手派遣および派遣者による報告は行われなかった。

(今年度の進捗)

第 16 回代表者会議において、令和 3 年度の「国際的機関が主催するイベントへの若手派遣事業」は、事務局が応募要領を作成し、メール審議を行うこととした。その結果、OECD/NEA 主催 International Radiological Protection School (IRPS)、ICRP 主催 The 6th International Symposium on the System of Radiation Protection (ICRP2021)、IRPA 主催 6th Asian and Oceanic IRPA Regional Congress on Radiation Protection (AOCRP-6) の 3 つの会合を若手派遣対象会合として決定し、公募を行ったが、応募者はいなかった。その後 IRPS は Web 開催となり、ICRP2021 と AOCRP-6 の開催は 1 年延期になった。

また放射線防護に関する国際的な機関や委員会が保有する若手研究者の受け入れ制度を紹介する目的で、第 1 回 Webinar「国際的機関で活躍するためには」を開催した(令和 3 年 7 月 30 日)。ICRP 事務局の科学秘書官補佐の藤田氏および Task Group 114 (Reasonableness and Tolerability in the System of Radiological Protection) の Mentee として活躍している高田氏が、国際的機関の研究者受け入れの枠組みについて、経験談を交えて講演した。国際的志向性を持つ若手に対し、教員や職場の助言やサポートについても話題提供した。参加者数は 82 名で、大学 (24 人) および研究所 (37 人) からの参加が多かった。視聴した若手 1 名が ICRP の Mentee に応募することを希望し、事業代表者に相談の上、国内の TG メンバーに問い合わせるなどのアクションを行った。

②若手研究者の主体的活動の支援

(昨年度までの進捗)

平成 30 年度のネットワーク合同報告会では、若手の組織の代表 2 名が若手を活性化させる具体的方策として、若手同士の交流の支援や表彰、博士号取得への支援、競争的資金の若手枠の設置などを提案した。こうした提案の実現について代表者会議で議論を行い、学会単位での検討を依頼するとともに、アンブレラ事業としてはアンケート調査を通じて、実態把握や若手の声を集めることとした。また平成 31 年度から学会による若

手の支援や若手を交えた検討や若手研究者の主体的活動の支援を開始した。令和2年度からは、学会内での若手の活動や若手を交えた学会活動を推進し、若手研究者の主体的活動を支援した。

(今年度の進捗)

第17回代表者会議では、日本安全管理学会、日本放射線影響学会、日本保健物理学会から、若手が主体的に行う活動が提案され、本事業で支援すべき活動について審議した。その結果、若手の関与の比重が高く、コロナ禍においても開催が確実であることから、日本放射線影響学会の若手研究者が企画した以下のイベントを支援することを決定した。

- イベント名：第1回 若手放射線影響研究会
- 主催：日本放射線影響学会若手部会
- 概要：放射線の生物影響を理解する上で極めて重要な事象であるがんと細胞周期制御機構をテーマとした講演を企画するとともに、放射線防護を含めた放射線影響研究に関する幅広い分野の学生を含めた若手研究者の研究発表の場を提供し、意見交換と情報交換の活性化を図る。
- 期間：：2021年8月28日（土）（オンライン開催）
- 支援方法：招待講演者3名への謝金の援助

2. 放射線防護アンブレラによる情報共有と合意形成

(1) 国際動向に関するアンブレラ内の情報共有

①国際動向報告会の企画運営・報告書作成（付属資料4）

「最新科学や経験を取り入れた放射線防護体系の改訂に関する論点」をテーマに第5回放射線防護に関わる国際動向報告会を開催した（令和3年12月23日、ZOOMウェビナー）。企画会議（令和3年6月9日）は、ICRP主委員会の甲斐委員を招へいして開催され、「最新科学や経験を取り入れた放射線防護体系の改訂に関する論点」をテーマとすることを決定した。またパネル討論では、ICRPの各専門委員会のメンバーである専門家が各専門委員会での検討状況や対象分野での論点についての考えを紹介した後、続いて国際機関等（UNSCEAR、IAEA、OECD/NEA、WHO、NCRP）に関連する専門家が、それぞれの立場から各機関における検討状況を紹介したのち、全体討論を行うこととした。本報告会は新型コロナウイルス感染防止のため、登壇者はそれぞれ離れた場所からビデオ会議システムに接続し、一般参加者への報告会のライブ配信を行った。登壇者は13名で、一般参加者は90名であった。以下に報告会の概要をまとめる。

(ア) 開会挨拶 三橋康之（原子力規制庁 放射線防護グループ 放射線防護企画課）

開会にあたり本報告会開催の経緯として、ネットワーク形成事業の一つである本事業が説明された。また国際機関の動向を踏まえて、放射線防護の専門家に、最新科学や抱えている課題等について闊達に意見交換していただきたいとのコメントがあった。

(イ) 講演「ICRPの新勧告に向けての論点」 甲斐倫明（日本文理大学）

2021年8月にICRPから出された次期主勧告に向けての論点を整理した論文「ICRP勧告を目的に適ったものに保つために」（Clement, et al. JRP, 2021）が解説された。当該論文の発表は、今後数年かけて、防護体系を改訂するプロセスの始まりであり、オープンで透明性の高い取り組みを行うためのものであること、内容は防護体系の中核的要素についての考察であるとの説明があった。

続いて、具体的な改訂の論点として以下が挙げられた。

- 人の防護における確率的影響と組織反応の区別や確率的影響の表現
- 人の防護と環境防護の統合やSDGsの文脈での環境防護のアプローチ
- 正当化、最適化及び線量限度や被ばく状況の概念
- 防護の倫理的観点、コミュニケーションとステークホルダー関与、教育と訓練

また線量における問題や影響とリスクに関する論点もリストアップされた（表13）。結論として、放射線防護体系は、社会の発展や科学的理解の進展、放射線の用途の増大に合わせて目的に適うように進歩する必要があること、そのために、防護体系は、最高の科学的知識と強固な倫理原則に忠実であると同時に実践的でなければならないこと、また防護体系の仕組みが放射線防護に関心のある誰もが理解できるように明確にする必要があることが述べられた。

表 13. ICRP 勧告改訂に向けた論点整理

観点	論点
防護体系	現状で順調に機能しているが、社会の発展、科学的理解、放射線の新用途に合わせて進歩すべき
課題(リスク)	ヒトの防護における確率的影響と組織反応の区別や確率的影響の表現、一般公衆への説明
課題(線量)	RBE を加重した吸収線量を用いた線量限度、医療での個人線量評価の精緻化
論点(リスク)	リスクモデルによる線量反応関係、DDREF・RBE・放射線感受性・デトリメントの評価
論点(線量)	個人線量評価の精緻化とシステムとしての単純化との折り合い
防護の実践	DRL 以外も必要(医療被ばく)、RAP、DCRL を用いた防護の実践(環境防護)、Well-being の指標化

(ウ) パネルディスカッション「ICRP 新勧告に向けての論点と関連する国際動向」

専門委員会委員から、それぞれの分野での課題に関する説明があった。以下に ICRP 勧告の改訂に関わる部分のみ記載する。

- 第一専門委員会での課題（小笹晃太郎、島田義也）
 - ・放射線の健康影響は組織反応と確率的影響に分類されているが、この分類の定義が現象によるものか機序によるものかによって、放射線影響の分析が異なる。
 - ・循環器疾患影響は、線量によって病態が異なり、機序については不明な点が多い。
 - ・DDREF や RBE など値の取得や、交絡因子や複合ばく露の影響の評価、線量効果関係など、疫学研究だけでは解決できない課題がある。
 - ・最近、放射線はイニシエーションだけでなく、プロモーションにも関与していることが明らかになり、がん化プロセスにおいて、確率的プロセスだけではなく組織反応的なプロセスにも関与していることが判明した。
- 第二専門委員会での課題（佐藤達彦）
 - ・今後、組織反応の線量限度は等価線量を用いないことになるが、RBE を加重した吸収線量 (Gy) が重要となり、新たに TG118 が設立された。
 - ・炭素線治療では細胞生存率とマイクロドジメトリモデルを組み合わせて RBE を評価している。この方法を様々な組織応答の防護指針に応用できないか検討中。
 - ・患者個人のリスク評価に適用可能な医療分野専用の実効線量のコンセプトも必要。他の専門委員会との歩調を合わせて必要なデータを整備していきたい。
- 第三専門委員会 (C3) での課題（甲斐倫明）
 - ・正当化について、ステークホルダーの期待、参加、要求が拡大している。
 - ・動物の防護を取り入れた獣医療向けの新たな勧告が検討されている。
 - ・医療の現場で確立された価値観をより幅広い価値観に発展させ、医療従事者の教育・訓練のためのケーススタディに役立てるための検討を行っている。

- 遺伝的要因やライフスタイルなどの潜在的な影響を評価する。
 - 医療被ばくでは診断参考レベルが唯一最適化の手段であったがそれだけでは不十分。様々なツールを使い、積極的にリスク情報を提供することが重要な課題。
- 第四専門委員会 (C4) での課題 (伴信彦、吉田浩子)
 - これまで RAPs (標準動植物) や DCRL (誘導考慮参考レベル) などのツールを整備してきたが、今後はこうしたツールを使ってどのように環境防護を実践するか、SDGs とどのように整合をとるかを議論している。
 - 放射線防護ではこれまで線量の制御を重視してきたが、ICRP の防護体系を現代的価値観に合わせるには well-being が重要なキーワードになるのではないかと。
 - 福島事故の現存被ばく状況についての防護体系の適用に鑑みると、Sv が等価線量、実効線量、周辺線量当量、個人線量当量に使われることによる混乱、LNT モデルに関する誤解、空間線量率から個人線量を評価する際の換算のわかりにくさ、制限値の一人歩きが問題であった。今も事故前からフォールアウトや自然放射線と事故の汚染を切り分ける意味について説明が必要。
- UNSCEAR の動向 (川口勇生)

ICRP 勧告改訂に関連した課題としては、特に放射線とがんの疫学、非がん影響が重要と考えられるが、その他全般に勧告改訂に関連する課題を扱っている。
- IAEA/RASSC の動向 (荻野晴之)

2021 年 10 月に、放射線防護の将来に関する ICRP デジタルワークショップが開催され、このワークショップにおいて、IAEA の放射線安全課長が ICRP の防護体系について安定性は最も重要であると述べた。加盟国の課題は、放射線防護体系そのものというよりも、放射線安全基準の実施や解釈に関連している。
- OECD/NEA/CRPPH の動向 (本間俊充)

ICRP 防護体系改訂については EGIR を立ち上げ、今後、EGIR メンバー及びその他の専門家グループからの放射線防護体系についての見解を集約し、それらをまとめて報告書を作成する。また必要に応じて、特定の課題についての専門家グループやワークショップを提案するというプロセスで活動を開始する。
- WHO の動向 (神田玲子)

医療被ばくについては、ICRP と共同でワークショップを開催して双方で成果をまとめている。またコミュニケーションに関する ICRP の防護体系をサポートする活動として、事故後の食品安全に関するハンドブックの作成の活動を行っている。
- NCRP の動向 (浜田信行)

NCRP は ICRP と同様に非政府機関で相互にリエゾン関係にある。ICRP が 2 編の論文 (Clement et al 2021 と Laurrier et al Reb 2021) を刊行した後に、それらに特化した議論は実施していない。ICRP の次期主勧告が出された後に、NCRP の

主勧告の検討を開始することになると考えられる。また NCRP は、詳細な基準等において ICRP と異なる基準や先取りした勧告を出している部分がある。

(エ) 全体討論

全体討論では各登壇者から種々の意見が出たが、以下の 2 点に集約できる。

1) 科学的ベースとしての精緻化と防護体系としての単純化：ICRP2007 年勧告の改訂にあたり、線量やリスク評価を精緻化して個人線量を評価するという方向と、システムの単純化で平均値での基準で制限するという相反する方向の 2 つが目指されている。

- ・年齢や性別で吸収線量や臓器線量を精緻化することと、個々の患者のリスクを評価することとは異なる議論ではないか。
- ・それぞれの性別、年齢別でリスクが異なるので、基準値を性別、年齢別に決めることは、あり得ることであるが、それについては主委員会が決めること。
- ・宇宙飛行士については、個人ごとにリスクを評価して管理するアプローチが主流であるが、NASA は一律の線量に基づく管理を新たに提唱している。
- ・制限値として線量とリスクの値のどちらが良いのかについても議論が必要。
- ・年齢や性別、喫煙などにより、異なる制限値を設定する場合は差別に繋がることから倫理的考察がより一層重要となってくると考える。
- ・線量やリスクの精緻化によりどのようなメリットがあるかについて検討すべき。

2) 線量から Well-being に重要なキーワードが変わる可能性がある。

- ・WHO は放射線の健康影響だけでなく Well-being の考慮 や holistic なアプローチをとっているが、ICRP もこのような点において連携することが重要である
- ・CRPPH でもオールハザードアプローチのように放射線以外の間接的影響も検討している。ICRP 勧告にどのように組み込まれていくのかについて注目したい。

(オ) 閉会挨拶

閉会にあたり、プログラムオフィサーである高橋知之氏（京都大学）から、参加者への感謝と学会連携による ICRP の次期主勧告の改訂への関与、特に幅広い世代による貢献が依頼された。

(カ) 参加者からの質問及び意見

講演やパネルディスカッション中の一般参加者からの質問については、Zoom ウェビナーの質問機能で受け付ける予定であったが、システム上の問題があったので、報告会中および終了後の質問は、Web 上で公表された。

また報告会終了時のアンケートには、参加者の 74%が回答した。参加者の 3 分の 1 は研究者であり、50-60 代が 6 割以上を占めていた。事業終了後も同様の報告会開催を望む意見が認められた。

②国際的機関からの専門家との意見交換

ICRP 事務局クリストファー・クレメント氏と日本放射線影響学会（2名）、日本保健物理学会（2名）、量研の研究者（3名）が、ICRP の活動に対する日本の今後の貢献の在り方について議論を行った（令和3年5月11日、オンライン会議）。

クレメント氏は、現在2021年のICRPシンポジウムの準備をしており、新型コロナウイルス感染症の状況を除いて順調に進んでいること、Live event としての開催を念頭に準備をしているが、各日程の半分程度を virtual event に変更する案も並行して検討していると説明した。そして、現在、ICRP では勧告の改訂に向けた検討を開始しており、今後数回のICRPシンポジウムにおいて、放射線防護体系の見直し及び改訂を行う予定であるが、2021年のシンポジウムではどのトピックを検討するか、どのように見直しや改定を行っていくか、専門家等の参加をどのように促すかなどの改訂プロセスについても議論する予定であるとして、日本の専門家に積極的な協力を求めた。

(2) 放射線防護に関するアンブレラ内の意思決定

①ネットワーク合同報告会の企画運営・報告書作成（付属資料5）

令和4年1月25日にネットワーク合同報告会をWeb開催し（表14）、大学、研究所、学協会、省庁、事業者など様々なステークホルダーが参加した（総数80名）。開催報告(付属資料5)は、本事業HPにおいて公表した。

表 14. 第 5 回ネットワーク合同報告会プログラム(令和 4 年 1 月 25 日)

14:00-14:05	開会のあいさつ	三橋 康之企画官(原子力規制庁)
14:05-14:45	アンブレラの活動報告Ⅰ ～放射線防護アカデミアと代表者会議の活動～	座長:高田 千恵(原子力機構)
	・今年度の活動全般	神田 玲子(量研)
	・国際動向報告会	米原 英典(原安協)
	・実効線量と実用量に関するWGの活動	佐々木 道也(電中研、WG主査)
	・放射線防護アカデミアと代表者会議の活動の総括	神田 玲子(量研)
	<質疑応答>	
4:45-15:30	アンブレラの活動報告Ⅱ ～緊急時放射線防護ネットワークの活動～	座長:吉澤 道夫(原子力機構)
	・ネットワークの活動のこれまでとこれから	高田 千恵(原子力機構)
	<今後のNWの在り方:ディスカッション>	
	・今後の活動に関する指定発言	渡部 浩司(東北大) 放射線防護アカデミア参加学会
	<質疑応答>	
15:30-15:35	休憩(5分)	
15:35-16:20	アンブレラの活動報告Ⅲ ～職業被ばくの最適化推進ネットワークの活動～	座長:百瀬 琢磨(原子力機構)
	・ネットワークの活動のこれまでとこれから	吉澤 道夫(原子力機構)
	<今後のNWの在り方:ディスカッション>	
	・今後の活動に関する指定発言	佐々木 康人(放影協) 樺田 尚樹(産業医大)
	<質疑応答>	
16:20-16:50	パネルディスカッション: 放射線防護アカデミアの今後	進行:児玉 靖司(大阪府立大、 代表者会議議長) パネリスト:代表者会議メンバー
	今後の活動に関する指定発言	佐々木 康人(放影協) 岩岡 和輝(量研)
16:50-16:55	プログラムオフィサーによる総評	高橋 知之(京都大、本事業PO)
16:55-17:00	閉会のあいさつ	神田 玲子(量研、事業代表者)

(ア) 開会の挨拶

原子力規制庁の三橋氏がネットワーク形成事業の一つである本事業について説明し、今年度は5年間事業の最終年度となることから、抱えている課題等について閣達に意見交換していただきたいと述べた。

(イ) アンブレラの活動報告 I：今年度の活動全般

代表機関の神田氏（量研）が、アンブレラ事業の組織と事業の概略を説明した。昨年度までの検討をベースに、最終年度では、放射線防護アカデミア、緊急時放射線防護ネットワーク、職業被ばくの最適化推進ネットワークそれぞれがこれまでの検討をまとめつつ、事業終了後、どのようにこうした活動を自主的に継続するか議論をしたと報告した。その結果、妥当な事業の進捗とアウトプットの創出が行われ、①アカデミアが課題を抽出して、②課題解決に取り組む部隊を組織して、③解決策を検討して、④ステークホルダーと合意形成して、⑤解決策を実施する、あるいは実施すべき主体に提言する、といったサイクルの各ステップを全て経験し、それに必要な仕組みづくりができたと報告した。

(ウ) アンブレラの活動報告 I：国際動向報告会

本事業分担機関の米原氏（原安協）から、ICRP 主委員会委員の甲斐氏が2021年7月に公表された論文「ICRP の勧告を目的にかなったものに保つために」の内容を紹介したことが報告された。またこの内容を受けて ICRP 専門委員と放射線防護に関係する国際組織で活躍されている国内専門家が、ICRP 次期主勧告に向けての論点と関連する国際動向という内容で、パネルディスカッションを行ったことが報告された。ヒトの防護における確率的影響と組織反応の区別、確率的影響の表現、疫学や実験研究に基づいたリスクモデルによる線量反応関係、DDREF、低線量率と高線量との差、低線量の効果の評価、生物効果比のRBE、放射線感受性の問題、ゲトリメントの評価、医療時の個人線量評価の精緻化といった論点について討議をされたが、こういった論点に関しては他の国際的な組織でも検討を進めており、国際機関等の連携も重要であるとの意見もあったことが紹介された。

(エ) アンブレラの活動報告 I：実効線量と実用量に関するWGの活動

代表者会議線量WG主査で代表者会議メンバーである佐々木道也氏（電中研）が、実効線量・実用量の新概念、緊急時に用いる吸収線量、実効線量、シーベルト、発がんリスクに関する誤解などを扱うワーキンググループとして組織されたことや、Webinar開催を通じて情報収集やアカデミア内の情報共有を進めながら国内外の情勢に鑑み新たな線量概念を国内に導入するための提言を取りまとめた経緯を説明した。そして線量WGが、①実効線量、年齢別の実効線量の使い方、②放射線管理で用いる量、③医療現場での対応に関する提言を取りまとめたことを説明したのち、実効線量や実用量の理解を深

める方法やタイミングについては十分に留意する必要があると述べた。

(オ) アンブレラの活動報告Ⅰ：放射線防護アカデミアと代表者会議の活動の総括

本事業代表者である神田氏（量研）が、放射線防護アカデミアの活動として、①重点テーマ候補研究のフォローアップ、②放射線防護人材育成、③Webinar の企画と開催、④学会による放射線事故・緊急時対応に関する調査と課題抽出、提言取りまとめについて報告した。本事業終了後に、放射線防護関連の学術コミュニティのネットワークの形態と継続すべき活動内容について、代表者会議で議論している内容を紹介した。

(カ) アンブレラの活動報告Ⅱ：緊急時放射線防護 NW の活動のこれまでとこれから

本事業分担機関の高田氏（原子力機構）が、ネットワークの組織、5年間の活動の総括および今後の活動計画を説明した。ネットワークでは、日常の業務・活動等を通じて放射線の知識を持った者が、原子力緊急時に専門家として活躍するために、①分野別ネットワーク内での課題解決の取り組み、②緊急事態対応ガイドの作成、③若手を対象とした試行教育を行ったことが報告された。また将来にわたり有効性の高いネットワーク活動を継続できるようにするため、「ネットワーク」の理想像をまとめた上で、当面、原子力機構内の人材育成をベースに、指定公共機関等への浸み出しや研修受講生や訓練参加者に対しネットワークのプロモーションを行うことを検討していると報告された。

(キ) アンブレラの活動報告Ⅱ：今後の緊急時放射線防護 NW の在り方に関する意見交換

今後のネットワークの在り方について、ステークホルダーである大学関係者や学会代表者が意見を述べた（表 15）。

(ク) アンブレラの活動報告Ⅲ：職業被ばくの最適化推進 NW のこれまでとこれから

本事業分担機関の吉澤氏（原子力機構）が、国家線量登録制度の検討の背景、検討の母体組織や活動経緯、5年間の活動の総括について説明した。これまで職業被ばくの個人線量管理の一元管理が進まなかった理由が、広くステークホルダーを巻き込んだ議論ではなかったことに鑑み、当該ネットワークでは、分野による状況の違いに配慮し、当面は、線量登録管理の必要性は高い医療現場にフォーカスし、アンケートによる実態把握や、制度構築にむけた論点整理、線量登録フロー提案を行ったことが報告された。今後、医療現場や行政との意見交換を行うにあたり、こうした制度構築によるメリットならびに要するコストについて、ネットワークの見解が紹介された。

(ケ) アンブレラの活動報告Ⅲ：今後の職業被ばくの最適化推進 NW の在り方に関する意見交換

吉澤氏（原子力機構）から今後の活動の枠組み案について説明され、その後、指定発言者である樺田尚樹氏（産業医大）が、現在の医療における特殊性と線量管理の必要性

を説明した。また佐々木康人氏（放影協）は、ネットワークの検討結果に賛意を示し、今後は、医療系学会や職種横断的活動に実績のある団体との連携や意見交換を通じて活動を推進してほしいと述べた。

表 15. 緊急時放射線防護ネットワークの今後の活動についてのコメント

<p>大学ネットワーク</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大学ネットワークでは、21 の国立大学のアイソトープ総合センターを物理的につなげて、例えば従事者の情報のやり取りなどを行えるシステムを構築。緊急時に大学ネットワークを緊急時連絡網として使う、所有する敷地・測定器等の貸出サービスを提供する等の可能性あり。 ・平常時にできることの人材育成。緊急時対応人材の育成には大学人が一致団結して、様々な分野の人材を育成する取り組みが必要。しかし大学も人の確保が難しいので、緊急時ネットワークとの連携が不可欠ではないか。
<p>日本保健物理学会</p> <ul style="list-style-type: none"> ・緊急時に「学会として何ができるか」は難しいところ。 ・現在、緊急時モニタリングや安全文化に関する臨時委員会、Public Understanding に関する専門研究会等があり、様々な知識や知見を蓄えてきた。今後緊急時ネットワークに提供可能。
<p>日本放射線安全管理学会</p> <ul style="list-style-type: none"> ・福島原発事故の際には、会長・理事会を中心に事故後 10 日間程度でアドホック委員会や相談窓口等が立ち上がった。今後、同様なことが起こった際には、学会等の連携のネットワークで、新しい情報の迅速かつ幅広い発信が必要。 ・平常時の管理業務等と同様、知識、技術、経験の継承を大きな仕組み、ネットワークの中で続けていくことが望まれる。
<p>日本放射線影響学会</p> <ul style="list-style-type: none"> ・福島原発事故直後は学会員個人の活動が中心で、復旧期になってから様々な対応を行った。今後緊急時が発生した場合は、検討会等を設置して、会員に情報提供して、会員の活動を促進、支援したい。緊急時ネットワークから影響学会に十分な情報提供や意思疎通を希望する。 ・平常時には、緊急時対応ガイドのアップデート作業、若手の教育、自治体向けの研修の講師には、適切な人材を派遣可能。
<p>日本放射線事故・災害医学会</p> <ul style="list-style-type: none"> ・会員の多くは、原子力災害医療に指定されている機関の職員であるので、緊急時に学会としての活動は難しい。 ・会員の多くは、平時、被ばく医療や原子力災害医療の人材育成に関与しているが、これは放射線防護とは別の体系が形成されている。実際に緊急時の避難退域時検査や、今後体制がつけられる甲状腺測定やモニタリング、線量評価では、放射線防護の専門家と被ばく医療の専門家の橋渡しが必要。この分かれている体系の橋渡しや連携について学会としてできることを考えたい。

(コ) パネルディスカッション：放射線防護アカデミアの今後

代表者会議議長の児玉氏（大阪府立大）の進行により、代表者会議のリーダーシップによりアカデミアが実施した各取り組みについて、代表者会議メンバーが振り返った。対象となった活動は①調査と解決の取り組み：放射線防護人材の実態把握と若手への支援、②検討と合意形成：放射線安全規制研究の重点テーマや報告書・提言作成、③情報共有と課題抽出：国際動向報告会や Webinar の活用、④放射線防護や規制にアカデミアが担う役割についての 4 点である。それぞれの改良点については表 16 に取りまとめる。

その後、指定発言者である佐々木康人氏は、今後の学術コミュニティのネットワークの活動として、放射線の生物影響の機構解明研究の推進と知見の周知や教育と、高線量

被ばくの治療法開発の研究環境整備・予算獲得・専門家育成を提案した。また岩岡氏（量研）は、放射線関連の若手人材不足など解決が難しい課題に関する情報共有を要望した。

表 16. 放射線防護アカデミアの活動の振り返り(代表者会議メンバーによる改良提案)

-
- ①アカデミアが行った調査と解決の取り組み:放射線防護人材の実態把握と若手への支援、
- ・若手の確保には、ポスト不足やキャリアパスが明確ではない、あるいは大学での人材育成の問題といった根本的問題があり、そこに関与できなかった。
 - ・国際的機関のイベントに派遣された若手の経験の水平展開には課題があった。
-
- ②アカデミアが行った検討と合意形成:放射線安全規制研究の重点テーマや報告書・提言作成
- ・重点テーマの選定では、アカデミアと政策策定者の間で率直な意見交換ができるとよかった。
 - ・生物系の大学研究者がどのように放射線防護に寄与できるかは、今後の課題。
 - ・提言に関してはフォローが課題。特に名宛先が国や地方自治体レベルの提言に関して、学会が足並みをそろえてできる活動については今後の課題。
 - ・国の制度や基準については「それは国が決めること」といった感覚が強い会員が多い。学会で、もっと活発に制度や基準に関する議論を行い、合意形成をした上で、規制と対話する流れを作る必要がある。
-
- ③アカデミアが行った情報共有と課題抽出:国際動向報告会や Webinar の活用
- ・様々なステークホルダーが参加していることを活用して、行政、アカデミア、ユーザ側、管理川などいろいろな立場の参加者がざっくばらんに話せるような機会があるとよかった。
-
- ④放射線防護や規制にアカデミアが担う役割
- ・アカデミアと研究機関との関係で言うと、相手が働き掛けてくれれば連携する、ではなくて、自分たちはどういうものが差し出せるかといったような考え方が大事である。
-

(サ) プログラムオフィサーによる総評

本事業プログラムオフィサーである高橋氏（京都大学）が、アカデミアの活動について、放射線防護研究重点テーマの提案、人材育成活動、国際動向報告会、Webinar の開催、提言の取りまとめなど、この5年間の活動が極めて有意義だったと述べた。また緊急時放射線防護ネットワークと職業被ばくの最適化推進ネットワークの活動に関しては、5年間の検討により課題が整理されたが、整理された課題の解決に向けて、今後さらなる議論と実践が必要であると述べた。そして、ネットワーク活動の今後のさらなる発展と参加者による今後の学会連携活動への協力を期待すると述べた。

(シ) 閉会のあいさつ

本事業代表者である神田氏（量研）が、放射線防護の課題の本質は、放射線被ばくリスクの低減とそれに伴うコストやエフォートのバランスにあり、どちらを重く見るかで各防護方策に対する意見が分かれる原因であると述べた。こうした判断には、コロナ対応、自然災害、化学物質利用の規制、人文科学などからも学ぶべきことは多く、今後は放射線防護に他の分野の知識や人材を引き入れて、複雑なリスク社会の中での学問としてより成熟させていくことが望ましいと述べた。

②代表者会議の運営（附属資料 6-1）

放射線防護アカデミアに参加する 4 学会と PLANET の代表者、ならびにアンブレラ事業担当者からなる代表者会議を組織し（表 17）、5 回の会合を開催した。

➤ 第 17 回放射線防護アンブレラ代表者会議（令和 3 年 6 月 15 日）

議長の選出ののち、今年度の年間スケジュールを確認した。そしてアカデミア参加学会による相互レビューや Webinar の企画の分担、本事業で支援する若手が主催する活動の選択、線量 WG による提言骨子案、国際動向報告会の企画について審議した。また緊急時放射線防護ネットワークと職業被ばくの最適化推進ネットワークのゴールや国際的機関主催会合への若手派遣事業の公募に関して事業担当者が報告した。

➤ 第 18 回放射線防護アンブレラ代表者会議（令和 3 年 10 月 15 日）

事業担当者から国際動向報告会と Webinar の企画や開催報告を受けた。また線量 WG による提言案に関して審議を行い、提言案の学会への報告や意見募集等、完成までのプロセスについて確認した。また学会と代表者会議の連名による「提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて（素案）」に関する審議を行った。さらにアカデミアと 2 つのネットワークの事業終了後の活動内容について意見交換を行った。

➤ 第 19 回放射線防護アンブレラ代表者会議（令和 3 年 12 月 10 日）

国際動向報告会の開催準備や Webinar 全 5 回の開催、他の学会との連携による活動について事業担当者から報告を受けた。また線量 WG の提言案に関して審議を行い、外部からの意見の反映も含めて妥当であることを確認した。また代表者会議事務局が「提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて（案）」を説明し、指摘された点を修正した後、アカデミア参加 4 学会の承認プロセスに進むことが了解された。さらにネットワークの今後の活動について、学会による協力の観点から議論した。アカデミアの今後の活動の枠組みに関する審議も行った。

➤ 第 20 回放射線防護アンブレラ代表者会議（令和 4 年 1 月 18 日）

国際動向報告会の開催とその後の質問への対応等について事業担当者からの説明を受けた。また線量 WG の提言を承認した。さらに「提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて（案）」に関する学会の承認状況を確認した。ネットワーク合同報告会のパネルディスカッションに関する打ち合わせの後、アカデミアの後継組織の会則案に関する審議を行った。

➤ 第 21 回放射線防護アンブレラ代表者会議（令和 4 年 3 月 4 日、図 9）

「提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて（案）」に関する各学会からのコメントの反映を確認し代表者会議として当該提言を承認した。また事業終了後の活動につい

て、ネットワーク合同報告会を介して集めたコメントや原子力規制委員会の研究評価委員会からのコメントを参考に議論した。放射線防護アカデミアの後継ネットワークとして「放射線防護・健康科学アカデミア」を設置することで合意を得た。実際に発足した場合これまでの代表者会議での議論を引き継ぐこととした。

表 17. 代表者会議 構成員リスト(令和 4 年 3 月 31 日現在)

参加団体	被推薦者	所属
日本放射線安全管理学会	中島 覚	広島大学 自然科学研究支援開発センター
	松田 尚樹	長崎大学 原爆後障害医療研究所
日本放射線影響学会	児玉 靖司	大阪府立大学大学院 理学系研究科
	小林 純也	国際医療福祉大学 成田保健医療学部
日本放射線事故・災害医学会	富永 隆子	量研 放射線医学研究所
	細井 義夫	東北大学大学院 医学系研究科
日本保健物理学会	飯本 武志	東京大学 環境安全本部
	横山 須美	藤田医科大学 研究支援推進本部
放射線リスク・防護研究基盤	甲斐 倫明	日本文理大学
	酒井 一夫	東京医療保健大学

運営母体	担当者	所属
原子力規制委員会 原子力規制庁	高橋 知之	プログラムオフィサー 京都大学 複合原子力科学研究所
	三橋 康之	
	大町 康	原子力規制庁 放射線防護グループ
	荻野 晴之	放射線防護企画課
	滝 剣朗	
量子科学技術研究開発機構	神田 玲子	放医研 放射線規制科学研究部
	岩岡 和輝	放医研 放射線規制科学研究部
	山田 裕	福島再生支援研究部
日本原子力研究開発機構	高田 千恵	核燃料サイクル工学研究所
	百瀬 琢麿	福島研究開発拠点
	吉澤 道夫	原子力科学研究所
原子力安全研究協会	米原 英典	



図 9. 第 21 回代表者会議(令和 4 月 3 月 4 日開催)の様子

(3) アンブレラから社会への情報発信

(ア) 放射線防護アンブレラのHPの活用

令和3年度は、放射線防護アンブレラのウェブサイト (<http://www.umbrella-rp.jp/>) に18件の新着情報を配信した。アンブレラ事業に関するアナウンスが15件、国際的機関主催のイベントのアナウンスが2件、国際的機関の採用情報が1件となっている。特に今年度は、Webinarの登録やアンブレラ事業で作成した刊行物の発信にHPを活用した。

(イ) 放射線影響・放射線防護ナレッジベース“Sirabe”の利用

放射線防護に関する科学的情報の発信にあたっては、放射線影響・放射線防護ナレッジベース“Sirabe” (<http://133.63.23.55/sirabe/index.php/>) を活用した。このシステムは、国内の放射線防護に関する諸制度と国際的な放射線防護等に関する知見等を閲覧できるウェブサイトで、原子力規制委員会からの委託により5年間かけて作成し、平成31年3月に一般公開したものである。

ナレッジベースのコンテンツや機能の追加や更新および運用に関しては、放射線影響・防護に関して幅広い知識を持っている専門家や国際機関活動に参加している専門家、リスクに関する情報発信に経験のある専門家から成る運用委員会とコンテンツの執筆や査読を担当する編集部会が組織されたナレッジベース“Sirabe”のコンテンツの拡充にあたり、今年度は社会的関心等を考慮し、トリチウムに関するコンテンツを多く執筆した(表18)。

放射線影響・防護ナレッジベース運用委員会(メール会議、令和4年1月27日～2月21日)および同委員会編集部会(メール会議、令和3年12月20日～令和4年1月17日)において、新規・更新項目の承認が行われた。

表18. 令和3年度放射線影響・放射線防護ナレッジベース新規作成コンテンツ

大項目	分野	タイトル
論文解説 (2件)	線源	Ninomiya, K., Properties of Radioactive Cs-Bearing Particles Released by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident and Trace Element Analysis, Low-Dose Radiation Effects on Animals and Ecosystems. Fukumoto M. (eds), Springer, Singapore, 195 - 204 (2019)
	影響	Sakane, H. et al. Biological Effects of Low-Dose Chest CT on Chromosomal DNA, Radiology. 295(2), 439-445 (2020)
基本解説 (4件)	線源	トリチウムの物理的・化学的性質
	影響	トリチウム化生化学物質の影響(UNSCEAR2016報告書を中心に)
	防護	人体組織内の有機結合型トリチウム
	防護	告示濃度限度
質問集 (1件)	防護	トリチウム水を大量に飲んでしまった場合、どうしたらよいですか？
用語集 (2件)	防護	年齢別呼吸量
	防護	年齢別摂水量

(ウ) 放射線防護を理解するための Webinar シリーズ (全 5 回) の開催

昨年度、実効線量と実用量に関する WG が企画・開催した Webinar (全 5 回シリーズ) が、アンブレラ内での情報共有に有効であったことから、今年度も放射線防護を理解するための Webinar シリーズ (全 5 回) を開催した (表 19)。

Webinar のテーマにあたっては、昨年度中に、Webinar 参加者からテーマを募集した。その結果、①生物影響、低線量域の影響と防護の問題、②放射線利用現場の防護、放射性廃棄物の取扱い、③医療被ばくの正当化、最適化、ビッグデータの活用といったテーマの要望が多かった。また人材の育成・確保の観点から、若手がグローバル的活動やキャリアアップになる体験を促す Webinar や、分野のすそ野の拡張に向けて難解な放射線防護の世界を魅力的に解説する Webinar を企画することとした。

上記に配慮し、第 17 回代表者会議では 5 回分の Webinar のテーマを決定し、第 2, 3 回は日本放射線影響学会と日本保健物理学会、第 4 回は日本保健物理学会、第 5 回は日本放射線安全管理学会が担当して、企画や運営を行うこととした。

昨年度に比べ、参加者数は減少している (表 20) が、コロナ禍が長引く中、様々な Webinar が開催されていることと関係があると思われる。国内の放射線防護人材の母集団の小ささを考慮すると、延べ人数 603 という数値は十分大きく、情報共有の効果があったと考える。個別の回で比較すると、第 5 回「各論:放射性物質の合理的管理と廃棄」では学協会から参加者が多く、対象を絞った各論の Webinar のニーズも高いことが分かった。

表 19. 放射線防護を理解するための Webinar シリーズ (全 5 回) の概要

	開催日	タイトルと概要	講師	座長
1 回目	令和 3 年 7 月 30 日	国際的機関で活躍するためには ICRP で活躍中の講師が、国際的機関の研究者受け入れの枠組みを、経験談を交えて講演	藤田博喜 (ICRP) 高田モモ (産総研)	酒井一夫 (東京医療 保健大学)
2 回目	令和 3 年 8 月 20 日	低線量放射線リスクに関するコンセンサス(1) コンセンサスレポートの目的・概要と動物実験 での放射線発がんの部分解説	甲斐倫明 (日本文理大) 今岡達彦 (量研)	小林純也 (国際医療 福祉大学)
3 回目	令和 3 年 9 月 17 日	低線量放射線リスクに関するコンセンサス(2) コンセンサスレポートの放射線の疫学および 「放射線がんリスク・放射線防護の部分解説	小笹晃太郎 (放影研) 佐々木道也 (電中研)	吉永信治 (広島大学)
4 回目	令和 3 年 10 月 25 日	放射線防護のイロハ 放射線防護に関する背景や初歩的な知識の 解説、低線量影響についての最新知見の紹介	占部逸正 (福山大) 島田義也 (環境研)	飯本武志 (東京大学) 横山須美 (藤田医科大学)
5 回目	令和 3 年 11 月 26 日	放射線防護の各論:放射性物質の合理的管理 と廃棄 放射線施設での放射性物質の合理的管理と 廃棄物の処理や施設廃止の進め方を解説	桧垣正吾 (東大) 榎本和義 (KEK)	柴和弘 (金沢大学)

表 20. 実効線量と実用量に関する Webinar(全 5 回シリーズ)の参加者数

属性	人数					
	1 回目 国際的機関で活躍するためには	2 回目 低線量リスクに関するコンセンサス(1)	3 回目 低線量リスクに関するコンセンサス(2)	4 回目 放射線防護のイロハ	5 回目 放射性物質の合理的管理と廃棄	全 5 回 合計
大学(病院以外)	24	36	41	30	61	192
企業	6	19	21	12	18	76
研究所(大学以外)	37	43	50	60	20	210
病院(大学病院含む)	4	6	21	7	6	44
学協会(NPO、法人を含む)	5	3	6	0	30	44
行政	2	2	1	1	1	7
その他(一般の人など)	4	7	9	4	6	30
合計	82	116	149	114	142	603

V. 今年度の成果の概要

1. 成果の概要

本事業では、課題解決に向けたプロセスに大きなウェイトを置き、特にステークホルダー間の合意形成を重視した活動をしている。そのため、情報収集や調査、あるいは提案や提言のように“見える”成果ではないが、情報共有・連携・協調のための仕組みづくりも大きな成果の一つと考えている。

(1) アンブレラ型プラットフォームとしての成果

(ア) 課題解決に向けたプロセスの定型化

近年、放射線防護方策の決定に、ステークホルダーの合意形成が必要な場面が増えている。課題が生じた際に、専門家が適切にステークホルダーの合意形成に関与するためには、「情報共有」「連携の場」「協調関係」という条件が整っている必要がある。

本事業では、上記の条件を満たす環境を整えるため、様々な性格のネットワーク（ネットワーク）を統合したアンブレラ型プラットフォーム（＝アンブレラ）を形成するとともに、特定の課題を調査・分析するネットワークを設置し、ステークホルダーとともに議論し、解決案を提示することを目標としている。

この解決策の提示にあたり、当事業では、5年間をかけて、1.放射線防護アカデミアが課題を抽出し、2.課題解決に取り組む部隊を組織化して、3.解決策を検討して、4.ステークホルダーと調整をして、5.解決策を実施するあるいは解決策を実施すべき主体に提言する、というサイクルを回す仕組み作りを完了した（図10）。

事業内では大きく分けて6つの課題に関して解決策の検討を行っているが、全てが課題抽出から着手しているわけではない。課題解決型ネットワークである、緊急時放射線防護検討ネットワークと職業被ばくの最適化推進ネットワークでは、それぞれ「①緊急時対応人材の育成と確保」や「②職業被ばくの個人単位での一元管理」という課題への解決策を検討しているが、これらの課題は事業開始時からの“決めうち”の課題である。

またアカデミアは、学術コミュニティのネットワークの1つとして、これまでに「③放射線安全規制研究の重点テーマの提案と実施」「④放射線防護人材の育成・確保」「⑤実効線量と実用量の新しい概念を国内で取り入れる場合の諸問題」「⑥原子力・放射線事故対応の問題」の解決を目指した。

このうち③④は原子力規制委員会や事業代表者からの依頼で検討を開始しており、アカデミアが抽出した課題ではない。一方⑤は、平成31年度に、国際動向報告会の円卓討議で抽出された課題である。令和2年度に代表者会議内に「実効線量と実用量に関するWG」を設置しこの課題の解決策の検討を引き継ぎ、今年度は、線量の新たな概念を国内制度に取り入れる場合に必要なアクションに結び付けるための提言を取りまとめた。この提言作成にあたり、パブリックコンサルテーションのステップを採用し、ステーク

ホルダー間での合意形成を行った。また⑥もアカデミアに参加する学会が課題抽出から取り組んだ課題である。今年度、学会が取りまとめた調査結果や提言を他学会がレビューをする「相互レビュー」というステップを取り入れ、放射線防護アカデミアとしての合意形成を行い、提言を取りまとめた。

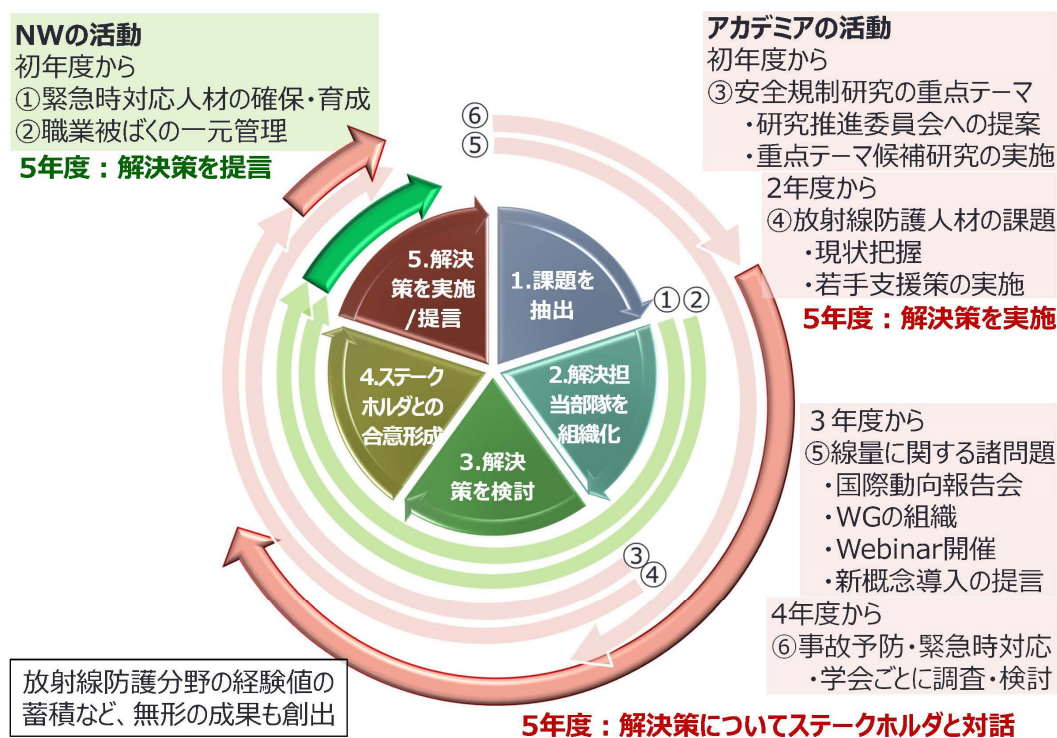


図 10. 定型化された課題解決のためのプロセスと本事業の活動

(イ) アウトプット創出のための仕組みの有効性評価

このように5年間の事業を通じて、課題解決のための各プロセスにおいて必要な仕組みづくりが完了した(表 21)。

平成 29 年度には、代表者会議は「放射線安全規制研究の重点テーマについて～放射線防護アカデミアからの提案～」を取りまとめたが、これは各アカデミア参加団体からの提案を「ホチキス止め」して作成され、学会間での相互作用はなかった。

今年度、取りまとめた「提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて」は、各学会が昨年度に作成した報告書をベースにしているが、相互レビューを実施し、内容に踏み込んだ議論を経て、一つの提言に統合している。また「放射線に関する線量の現状と課題 - 課題解決に向けた提言」の作成に当たっては、学会間の合意形成を念頭に各学会からの被推薦者から成るワーキンググループが組織され、提言案がまとまった段階でパブリックコンサルテーションを実施している。アカデミアが、よりメタな合意形成を実施して、2つの提言を取りまとめたのは、今年度の大きな成果である。またアカデミアが企画した国際動向報告会やWebinarもアンブレラ事業の看板事業として定着した。

表 21. 情報共有、連携、協調に役立った仕組みと適用例

合意形成のための仕組み	具体的な適用例	情報共有	連携	協調
Webinar 開催	線量の新概念、国際機関で活躍できる枠組み、低線量リスクのコンセンサス、RI の管理と廃棄	○		
国際動向報告会(パネルディスカッションを含む)	線量の新概念、放射線リスク評価、ICRP の新勧告に向けての論点	○		
ネットワーク合同報告会	放射線安全研究の重点テーマ、若手人材支援	○	○	
代表者会議(学会ごとの検討結果の結合)	放射線安全規制研究の重点テーマの提案およびフォローアップ		○	
複数学会による合同委員会	低線量放射線リスクのコンセンサスの作成		○	
複数学会からのメンバーから成る検討母体(WG)の設置	線量の新概念を国内導入するための提言作成		○	
代表者会議(学会による検討結果の相互レビューによる統合)	事故の予防及び緊急時対応に関する提言作成		○	○
パブリックコンサルテーション	線量の新概念を国内導入するための提言作成			
ネットワーク(ステークホルダーからなる検討母体の設置)	職業被ばくの個人線量の一元管理の制度提案 緊急時対応人材の確保方策の検討		○	○

一方、ネットワークの活動は、解決担当部隊を組織するところからスタートした。ここで検討母体の設置にあたっては、いろいろな立場の専門家が検討に参加するようにして、現実的で各方面からの同意を得やすい解決策づくりを目指した(表 22)。

表 22. ネットワークの検討に参加した専門家や対話をしたステークホルダー

	緊急時放射線防護検討ネットワーク	職業被ばくの最適化推進ネットワーク 国家線量登録制度検討グループ
検討主体	指定公共機関、大学、大学ネットワーク、高度被ばく医療支援センター、研修実施事業者、原子力機構	産業医、大学、大学ネットワーク、線量登録機関、原子力機構
ステークホルダーとの対話	<ul style="list-style-type: none"> ▶ シンポジウム・パネル討論会で意見聴取 ・放射線事故・災害医学会学術集会(平成 30 年 9 月) ・保健物理学会研究発表会(令和 2 年 6 月) ・放射線安全管理学会学術大会(令和 2 年 10 月) ・安全管理学会・保物学会合同大会(令和 3 年 12 月) ・原子力学会春の大会(令和 4 年 3 月(予定)) ▶ 記述による聴取 ・原子力事業者 ▶ その他 ・原子力規制庁(上席防災専門官含む) ・地方公共団体の関係部署の担当者等 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ シンポジウム・パネル討論会で意見聴取 ・保健物理学会研究発表会(令和 2 年 6 月) ・放射線安全管理学会学術大会(令和 2 年 10 月) ・安全管理学会・保物学会合同大会(令和 3 年 12 月) ・医療放射線防護連絡協議会年次大会(令和 3 年 12 月) ・原子力学会春の大会(令和 4 年 3 月(予定)) ▶ その他 ・関連省庁担当者 ・日本学術会議 放射線・臨床検査・病理分科会(科学的助言を発出する機関)

緊急時放射線防護ネットワークでは、今後、ネットワークの活動に関わる団体が予測できたため、検討当初から関係機関との対話を行い、「原子力緊急事態対応ガイド」の

作成、若手を対象とした教育の試行、若手にシニアの経験やナレッジを継承する取り組みを行った。また体系化された研修やOJTで育成した人材間のネットワークとして理想的な形の提案や、実際の設置や運営のための課題を取りまとめたのは大きな成果である。

同様に、職業被ばくの最適化推進ネットワークにも検討当初からいろいろな立場の専門家が検討に関わっている。検討の結果、医療分野に特化して制度設計することになったが、検討グループには放射線科医や診療放射線技師等が参加していなかったことから、今年度は医療関係者に対するアンケートや医療系学協会との意見交換を実施して、現場に見合った制度案を設計した。5年間の検討結果は「国家線量登録機関検討グループ成果報告書」として取りまとめた。この報告書は、今後、医療系学協会や行政との対話を行うにあたり、大きな助けとなるものである。

このように5年間の活動を通じて、放射線防護アカデミアと2つのネットワークによる課題解決策は、ステークホルダーとの意見交換を経て現実的な形になった。このようにアウトプットが目に見える形となったということは、この間、「情報共有・連携・協調」のために構築してきた仕組みが本事業の目標に合致していたことを意味している。

今後、新たな科学的知見が得られ、規制への取り入れを検討する際、アカデミアが中心となって情報集約や議論を行い、規制に反映する上での論点整理や研究を実施し、オーソライズする、といったステップを踏むことが望ましい（図11）。本事業により、各ステップでのアウトプットとしてどのようなものが得られるか、そうしたアウトプットを得るためにはどのような情報共有・連携・協調の場が必要であるかが明確になった。これは今後のアカデミアと規制側が協力関係を築く上で重要な成果であると考えている。

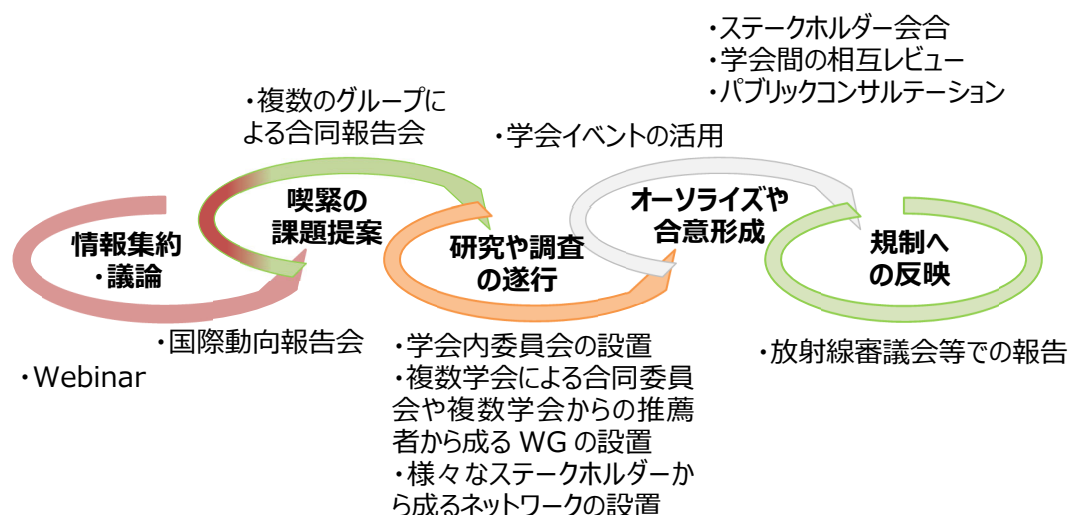


図 11. 科学的知見の規制への取り入れに係るアカデミアの役割と有用な仕組み

(2) 課題解決型ネットワークによる成果と波及効果

5年間で本事業では様々な取り組みに着手し、多様なアウトプットを創出した。こうした成果は放射線規制の改善に役立てられるものであるが、直接法令や指針等の変更に資するものではないものも多く、様々な波及先で放射線安全研究の推進や適切な放射線管理が行われ、放射線規制の基盤が強固になる効果もあると考えている（表23）。

表 23. 課題解決型ネットワークの成果と波及先

個々の取り組み	放射線規制との関係	成果の波及先 (主なステークホルダー)
放射線防護アカデミア(=放射線防護に関わる学術コミュニティのネットワーク)		
重点テーマの提案		
アカデミアによる提案	規制庁からの諮問への答申	当該分野の研究者
重点テーマのフォロー	規制の改善のためエビデンス作成	当該学術コミュニティ、研究機関
放射線防護人材の育成・確保		
若手研究者の主体的活動の支援、若手や学生向けのWebinarの開催	放射線規制の遂行を支える人材確保 放射線防護人材のすそ野の拡充	放射線利用・管理の現場、放射線防護関連の学術コミュニティ
国際的機関が主催するイベントへの若手派遣	放射線規制の国際的枠組みに参加するグローバル人材の育成	上記に加え、派遣者本人と関係者
進路相談等個別相談会開催(キャリアアップ支援)	放射線防護分野からの人材流出予防	
課題の抽出と解決策の提案		
線量の新たな概念を国内に導入する際の諸問題に関する調査と提言発出	放射線規制の改善のための具体的な提案の提示 規制当局が行うべき実用量の取り入れに関する技術的準備を具体的に提案 放射線関係行政機関が行うべき社会全体の理解増進のための方策を提案(学会、研究機関、専門家、放射線管理・診療の実務者の関与も提案)	放射線利用・管理の現場 特に医療放射線の利用現場
放射線事故・緊急時対応に関する諸問題に関する調査と提言発出	規制当局が行うべき、事業者による事故の情報公開推進、専門機関による検証、全事業者への展開を提案 国等に、原子力防災訓練に線量評価要素を組み込むことを提案(事業者や専門機関、専門家の関与に関しても具体的に提案)	放射線利用・管理の現場 原子力災害医療に関わる機関 国民(安全確保の観点で)
国際動向に関する情報共有		
国際動向報告会開催と報告書作成・公開	放射線規制に係る最新の国際動向に関する情報を入手	放射線防護関連の学術コミュニティ 放射線利用・管理の現場
国際的機関からの専門家との意見交換(オープンなシンポジウムの開催)	放射線規制に係る最新情報を入手するとともに、日本の研究成果を国際的枠組みでの議論に提供	放射線防護関連の学術コミュニティ 国民(2019年度に福島原発事故関連のシンポをICRPと共催)
国際的機関からの専門家との意見交換(クローズドなWeb等での意見交換)	国内の喫緊の課題に関する国際的機関の見解を入手。日本の研究成果を国際的枠組みでの議論に提供。	放射線防護関連の学術コミュニティ

緊急時放射線防護ネットワーク		
緊急時対応人材の育成手法確立(放射線防護専門家が対象)	原子力防災を支える人材確保	
緊急時環境モニタリング、避難退域時検査を支援する要員のスキルの明確化	国等が確保すべき緊急時対応要員のスキルを可視化し、研修等での育成目標の均一化が可能に。	原子力事業者、指定公共機関、研修実施事業者、地方公共団体職員、医療機関、大学など国民(安全確保の観点で)
原子力緊急事態対応ガイドと研修会のパッケージ提案	規制当局が放射線防護専門家を育成するためのノウハウを提案	
緊急時対応人材の登録・認定・管理を行う平時のネットワークの提案	国が必要とする、緊急時に必要なスタッフを持つ人材を確保し、動員できる枠組みを提案	同上
職業被ばくの最適化推進ネットワーク		
国家線量登録制度の提案		
国家線量登録制度に関する国際動向や海外の現状および国内の業界・分野別調査	行政機関が、国家線量登録制度の議論をする上でのエビデンス作成	放射線利用の現場(事業者、放射線作業)
現実的な業界・分野別線量登録制度の提案	線量限度の遵守や放射線作業員の安全確保に関する国レベルでの担保 他の先進国並みの被ばく状況の把握	放射線利用の現場(事業者、放射線作業)、放射線影響や防護に関わる学術コミュニティ
上記制度に登録する個人線量の信頼性確保のための線量測定機関認定制度に向けた調査		
個人線量測定機関の認定基準に定める技能試験試験に関する基礎データの収集	JAB RL380に定める技能試験において米国の基準の適用は妥当と報告。	個人線量測定機関、放射線利用の現場(事業者、放射線作業)
放射線標準校正等に係る最新動向調査	規制当局に対し、国内の標準場を国際規格と整合するために継続的に専門家が改訂作業に貢献する必要性を提示	当該分野の研究者・技術者

(3) 本事業内での活動の限界

上記のように本事業では5年間で様々な取り組みを行ったが、全て当初の予想通りの成果を上げたわけではない。

5年間の活動を振りかえり、アカデミアが着手したものの、大きな効果が得られなかったものに若手の育成がある。若手の育成の場合、結果が見えるのに時間がかかるのでPDCAサイクルを回しづらく、5年間の事業で扱うことは不適當といった議論もあった。また若手からの要望は、表彰や博士号取得支援など、本事業内では実施できないものが多かった。一方、放射線防護人材が枯渇するという危機感が強く、以下の取り組みを実施したが、十分な成果を上げたとは言い難い。

- 国際的機関が主催するイベントへの若手派遣：代表者会議の自己評価は高かったが、派遣者による若手への水平展開といった当初期待した短期的効果は見られなかった。
- 若手向けの Webinar：若手の参加は多かったが、若手からのテーマ提案や若手が講師をするような企画といった、若手からの能動的なアクションはなかった。
- 進路等個別相談会（Web）：見えない相手への相談は敷居が高く、相談者がほとんどいなかった。同様の取り組みであれば、対面もしくは学会内での実施が適當と思われる。

このように苦戦を強いられた中、若手が主催する活動への支援は、学会活動を担う若手による自由な発想な中で、学会内での活躍の場を増やす上で意味があったと思われる。

また緊急時放射線防護ネットワーク検討会が提示した課題解決策は原子力機構内での検討がベースとなっている。原子力機構にはたくさんの研究所や拠点があり、研究所や拠点ごとに放射線防護部署があることから、原子力機構自体が巨大なネットワークとなっている。また緊急時の放射線防護人材の最大バンクとなっていることから、原子力機構内で緊急時対応人材を増やすことは、緊急時対応人材の確保としては最も現実的な解決策である。このようにして作られた教材や教育プログラムは概して難易度が高くなりがちで、当該ネットワークが作成した教材や研修、OJTが、他の指定公共機関や大学、診療放射線技師の育成にとっても適切か（難しすぎないか）検証する必要があったが、本事業ではそこまで至らなかった。

職業被ばくの最適化推進ネットワーク国家線量登録機関検討グループが現実的な対応を重視し、医療分野における業界・分野別の管理の構築を中心に進めるといった基本路線に異を唱える専門家もいる。また従来为国家線量登録制度の議論とどこが違うのか、何が進んだかを疑問視する声もある。これは本事業においてステークホルダー間でも問題認識の共有と国と事業者のインセンティブを重視したことによる。そのため、医療現場のように職業被ばくの個人線量管理に関心を示す分野が現れるまで、対話が進まず、

このネットワーク独力で、職業被ばくの個人線量管理への関心を呼び起こすようなムーブメントを生み出すことはできなかった。

事業担当機関では、情報発信に十分なエフォートが割けず、事業の社会への発信力は乏しかった。Webinarのような成功事例はあったものの、ネットワーク合同報告会の参加者は必ずしも多くなく、初年度と最終年度は80名であったが、2年目から4年目までは40-50人程度と低迷した。また緊急時放射線防護ネットワークと職業被ばくの最適化推進ネットワークの活動は、ステークホルダー会合での情報発信に限られたため、その検討状況や進捗は見えにくかったと思われる。さらに、本事業により多くの専門家を勧誘し、活動の裾野を広げる余力もなかった。これは委託事業において成果を創出する活動に注力した結果であるが、学会員間で「ロコミ」を生むような「期待以上」や「サプライズ」もなかったのだろうと自己分析している。

2. 事業の実績

外部への発信として、提言等 4 件、誌上発表 4 件、口頭発表 11 件、審議会等での報告 2 件、シンポジウムや学会セッション等の企画 5 件等を行った。

➤ 提言等 (4 件)

- ・職業被ばくの最適化推進ネットワーク・国家線量登録機関検討グループ、国家線量登録機関検討グループ成果報告書 職業被ばくの線量登録管理制度に関する検討、2022 年 2 月
- ・実効線量と実用量に関するWG、放射線に関する線量の現状と課題-課題解決に向けた提言- 2022 年 3 月
- ・緊急時放射線防護ネットワーク、原子力緊急時に活躍する放射線防護専門家のための原子力緊急事態対応ガイド 2022 年 3 月
- ・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・災害医学会, 日本保健物理学会、放射線防護アンブレラ代表者会議、提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて、2022 年 3 月

➤ 誌上発表 (4 編)

- ・角山雄一ら、海外の放射線施設の放射線事故に係る最新知見の収集、日本放射線安全管理学会誌 20(2)、68-73 (2021)
- ・桧垣正吾ら、放射線事故が発生した際の放射線施設の緊急時対応の調査と提言、日本放射線安全管理学会誌 20(2)、74-77 (2021)
- ・神田玲子、放射線防護分野を元気にするために、保健物理 5(1)、3-4 (2022)
- ・阿保憲史、国際動向報告会に参加して、日本放射線安全管理学会誌 (印刷中)

➤ 口頭発表 (11 件)

- ・角山雄一、海外の放射線施設の放射線事故に係る最新知見の収集 WG、日本放射線安全管理学会シンポジウム、2021 年 6 月 25 日
- ・桧垣正吾、国内の放射線事故が発生した際の放射線施設の緊急時対応の調査と提言 WG、日本放射線安全管理学会シンポジウム、2021 年 6 月 25 日
- ・神田玲子ら、原子力災害の防護方策の意思決定に関する検討 TG の活動報告、第 34 回日本リスク学会年次大会、2021 年 11 月 21 日
- ・高田千恵ら、緊急時対応の人材の確保と育成に向けて、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、2021 年 12 月 1 日
- ・吉澤道夫ら、職業被ばくの線量登録管理制度の検討、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、2021 年 12 月 1 日
- ・吉澤道夫、個人線量管理の動向、令和 3 年度医療放射線防護連絡協議会年次大会、2021 年 12 月 10 日

- ・神田玲子、医療放射線による被ばくの管理に関する最近の検討状況、日本学術振興会「第195委員会」総会 2022年3月5日
- ・神田玲子、放射線防護アンブレラ事業の概要、日本原子力学会 2022年春の大会、2022年3月17日
- ・吉澤道夫、職業被ばくの線量登録管理制度の検討、日本原子力学会 2022年春の大会、2022年3月17日
- ・高田千恵、原子力緊急時の放射線防護に関する専門家の育成・確保の取り組み、日本原子力学会 2022年春の大会、2022年3月17日
- ・佐々木道也、実効線量と実用量に関するWGの活動、日本原子力学会 2022年春の大会、2022年3月17日
- 審議会での報告（2件）
 - ・神田玲子、放射線防護に関する国際動向報告会の開催について、放射線審議会第153回総会、2021年6月23日
 - ・神田玲子、職業被ばくの線量登録管理制度の検討状況、日本学術会議 放射線・臨床検査・病理分科会WG第2回会合、2021年12月21日
- シンポジウムや学会セッション等の企画（5件）
 - ・セッション「令和2年度放射線防護アンブレラ事業受託事業 最終報告」、日本放射線安全管理学会シンポジウム、2021年6月25日
 - ・第1回 若手放射線影響研究会「がんと細胞周期制御」、2021年8月28日
 - ・セッション「緊急時対応の人材の確保と育成に向けて」、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、2021年12月1日
 - ・セッション「職業被ばくの線量登録管理制度の検討」、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、2021年12月1日
 - ・保健物理・環境科学部会セッション「放射線防護に関する学会連携活動と今後の展開」、日本原子力学会 2022年春の大会、2022年3月17日
- 特記事項
 - ・2021年7月～2021年11月にかけて、放射線防護を理解するためのWebina全5回シリーズ（1時間の講演と30分の質疑）を開催した。参加者数は第1回から第5回合計ではのべ603名であった。
 - ・2021年12月23日に、放射線防護に関する国際動向報告会（「Zoomウェビナー」によるライブ配信）を「最新科学や経験を取り入れた放射線防護体系の改訂」というテーマで開催し、報告書を作成・公開した。参加者は90名であった。
 - ・2022年1月25日に、第5回ネットワーク合同報告会（Web）を開催し、報告書を作成・公開した、参加者は80名であった。

VI. 今後の活動の継続について

本事業の最終ゴールは、委託事業終了後も、1. 放射線防護に関わる学術コミュニティが課題を抽出し、2. 課題解決に取り組む部隊（目的に応じて専門家によるWG、あるいはステークホルダーが参加するネットワーク）を組織化して、3. 解決策を検討して、4. ステークホルダーと調整をして、5. 解決策を実施するあるいは解決策を実施すべき主体に提言する、というサイクルを自主的に回すことができる土台を作ることである。

放射線防護アカデミア、緊急時放射線防護ネットワーク、職業被ばくの最適化推進ネットワークとも、課題に関する解決策を検討し、現実的な策を国等に対して提案し、実現に向けた課題を整理した段階である。そこで、今後さらなる議論や実践に向けた活動が必要のため、以下の形態な内容での事業継続を検討した。

1. 放射線防護アカデミアの活動の継続について（第20、21回代表者会議の決議）

➤ 形態：「放射線防護・健康科学アカデミア」

- ・名称を「放射線防護・健康科学アカデミア」とし、(i) 低線量被ばく（公衆、職業被ばく）ならびに緊急時被ばくの科学的知見の創出と収集、(ii) 防護体系・安全基準の策定の提言、(iii)放射線防護の人材育成を行うため、行事協力、プロジェクト協力、情報発信を行う。
- ・参加団体は (i) 国内の学術団体またはその下部組織、(ii) 国内外の研究・教育機関またはその下部組織、(iii)国内外の行政機関またはその下部組織のいずれかとする、また参加団体が推薦した者により構成される「連絡者会議」が運営を行う。
- ・事業終了後、これまでの議論をベースに、アカデミア立ち上げの趣旨書を作成し、令和4年6月～7月に各学会等に送付し、参加の意向を伺う。参加の意向を示した学会が3つ以上あれば、新しいアカデミア組織の設置に向けて。本格稼働する。

➤ 当面の活動

- ・参加団体間の情報共有
- ・「放射線防護アカデミア」の活動の継続：Webinar＋人材育成、規制側との窓口
- ・国際動向への対応：ICRP次期主勧告対応（ICRP2023への協力を含む）
- ・その他、アカデミアの成立後の検討：関連知識の体系化

2. 緊急時放射線防護ネットワークの活動の継続について

(令和3年度緊急時放射線防護ネットワークの構築事業に係る第3回検討会にて審議)

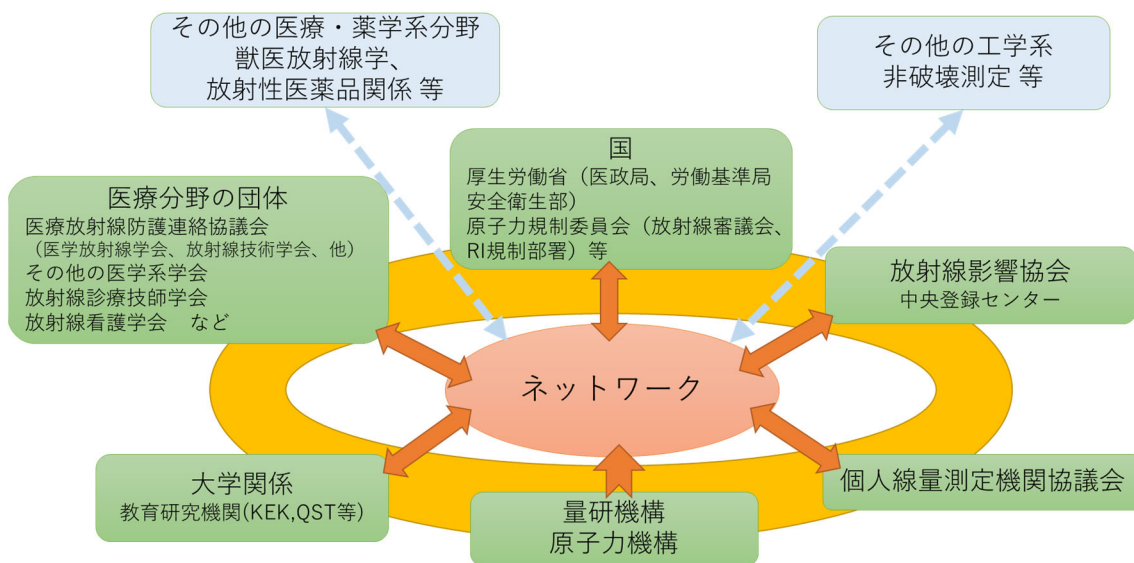
- 形態：原子力機構が中心となって、学会や関係機関の協力を得て実施

- 当面の活動
 - ・原子力機構は自組織の専門家向けに実施する研修の一部を指定公共機関、電事連、関連学会・職能団体（診療放射線技師会等）の関係者に開放し、オブザーバ（的）参加を受け入れる。
 - ・原子力機構は、緊急時モニタリングセンターや避難退域時検査の要員向け研修事業時に自組織の取り組みを紹介し、ネットワークの認知度、実効性に対する関係者の期待度・信頼度をあげる。
 - ・原子力機構は、緊急事態対応ガイドのレビュー及び認定資格制度の創設に向けた検討を関連学会または「放射線防護・健康科学アカデミア」に依頼する。

3. 職業被ばくの最適化ネットワークの活動の継続について

(令和3年度国家線量登録制度検討グループ第3回会合にて審議)

- 形態：量研と原子力機構が協力して情報共有と議論の場を作るためのネットワークを維持・拡大する（図12）。
- 当面の活動：
 - ・量研と原子力機構が協力して、医療関係の学協会や厚生労働省への継続的な働きかけを行い、医療分野での検討をプロモートする
 - ・量研と原子力機構が協力して、大学ネットワークが進めている管理記録等の標準化をはじめ、業界・分野ごとのアクションに注視し、将来、全分野の統合管理が可能になるように必要に応じて、業界間の橋渡しを行う。
 - ・職業被ばく管理に関する情報共有・意見交換の場を提供する。



Ⅶ. 付属資料リスト

令和3年度事業計画書内では、いくつかの活動について、クレジットが異なる個別の報告書を作成している。こうした報告書や代表者会議の議事概要、外部発表資料を、本報告書の付属資料とする。以下一覧を示す。

付属資料番号	資料名	事業計画該当番号
1	1-1 放射線に関する線量の現状と課題 -課題解決に向けた提言-(実効線量と実用量に関するワーキンググループ) 1-2 提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて(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・災害医学会、代表者会議) 1-3 提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて(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・災害医学会、代表者会議)英訳版	1.(1) 2.(2)②
2	2-1 令和3年度「緊急時放射線防護に関する検討」成果報告書(日本原子力研究開発機構) 2-2 原子力緊急時に活躍する放射線防護専門家のための原子力緊急事態対応ガイド(日本原子力研究開発機構)	1.(2)
3	3-1 令和3年度 職業被ばくの最適化推進成果報告書(日本原子力研究開発機構) 3-2 職業被ばくの線量登録管理制度に関する検討結果(職業被ばくの最適化推進ネットワーク国家線量登録機関検討グループ) 3-3 個人線量測定機関認基準に関する基礎データ収集作業の結果(職業被ばくの最適化推進ネットワーク線量測定機関認制度検討グループ)	1.(3)
4	令和3年度 放射線防護に関する国際動向報告会 報告書(原子力安全研究協会)	2.(1)①
5	第5回ネットワーク合同報告会 報告書(量子科学技術研究開発機構)	2.(2)①
6	6-1 放射線防護アンブレラ代表者会議 開催記録(量子科学技術研究開発機構) ・第17回代表者会議議事概要 ・第18回代表者会議議事概要 ・第19回代表者会議議事概要 ・第20回代表者会議議事概要 ・第21回代表者会議議事概要 6-2 放射線防護・健康科学アカデミア会則案	2.(2)② 2.(3)
7	放射線影響・放射線防護ナレッジベース“Sirabe”新規コンテンツ (量子科学技術研究開発機構)	2.(3)
8	令和3年度公表資料集(一般公開されているもののみ) ・角山雄一ら、海外の放射線施設の放射線事故に係る最新知見の収集、日本放射線安全管理学会誌 20(2)、68-73 (2021) ・桧垣正吾ら、放射線事故が発生した際の放射線施設の緊急時対応の調査と提言、日本放射線安全管理学会誌 20(2)、74-77(2021) ・神田玲子、放射線防護分野を元気にするために、保健物理 5(1)、3-4(2022) ・令和3年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成)事業における放射線防護に関する国際動向報告会の開催について(第153回放射線審議会、令和3年6月23日、報告資料) ・放射線安全規制研究戦略的推進事業 成果発表会(令和4年2月14日) 発表資料	

放射線に関する線量の現状と課題

-課題解決に向けた提言-



令和4年（2022年）3月

原子力規制委員会委託事業「放射線安全規制研究戦略的推進事業費
（放射線防護研究分野における課題解決ネットワークとアンブレラ型
統合プラットフォームの形成）」

実効線量と実用量に関するWG

目 次

1.	前書き	2
2.	背景と現状	3
2.1	2007 年 ICRP 主勧告前後の動向	3
2.2	ICRU 報告書 95	4
2.3	ICRP 刊行物 147	6
2.4	原子力規制庁平成 30 年度放射線対策委託費事業の調査結果と国際動向報告会での指摘 ..	7
2.5	医療及び放射線防護専門家の指摘、日本放射線影響学会の活動と ICRP 論文	7
3.	提言の検討	9
4.	課題と提言	10
4.1	実効線量の取扱い	10
4.2	放射線管理で用いる線量	11
4.3	リスクの説明	12
5.	結び	13
6.	参考文献	14
付録		
I.	委員名簿	16
II.	2021 年度の会議と WG 提言の検討	16

1. 前書き

放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成事業（アンブレラ事業）は、原子力規制委員会が平成 29 年度から開始した「放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）」の一課題として採択された事業であり、放射線規制の喫緊の課題の速やかな解決のため、個別の専門領域の視点でさまざまな課題解決案を国等に提案するだけでなく、より幅広い専門家集団の総意として現実的な 1 つの提案をする、あるいはステークホルダー間での合意形成や施策の実施に協力することを目指している。

このような中、令和 2 年度のアンブレラ事業において、アンブレラ代表者会議の直下に、放射線に関わる量に対する正しい理解に向けたとりまとめと提言を目的とした WG を組織することが決定され、実効線量・実用量の新概念が与える影響、緊急時に用いる吸収線量と実効線量、シーベルトと発がんリスクに関する誤解など、放射線防護アカデミア全体にかかわるテーマを扱う「実効線量と実用量に関する WG」（線量 WG）が設置された。

線量 WG は関係者（専門家、実務家、規制当局）の共通理解を深めるための webinar を検討し、令和 2 年度に計 5 回の実効線量と実用量に関する Webinar を開催した。これにより、線量の歴史、リスク評価、国外動向、生物影響、コミュニケーション等様々な情報が改めて示され、課題が共有された。また、平成 31 年度の国際動向報告会、令和 2 年度のアンブレラ事業参画学会（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・災害医学会、日本保健物理学会、日本原子力学会・保健物理・環境科学部会、J-RIME）の調査や提言、他団体からの情報等を踏まえ、実効線量と実用量に関する国際動向の把握、アンブレラ事業としての課題検討を行った。

令和 3 年度の活動は昨年度までに整理された情報、あるいは新たな情報をふまえて背景と現状を今一度整理しつつ、将来的の具体的アクションに結び付けるための提言を検討することとした。提言は、関連学会及び規制関連省庁に対しては新実用量を取入れる場合に必要な検討や準備に関して示し、研究開発機関、専門家及び実務者に対しては、規制ニーズのある研究と放射線管理・医療の実務的課題の整理及びとりまとめに関して示した。さらに国際機関に対して日本から提供可能な情報（粒子線の RBE など）の観点を加えた。また、内容については、アンブレラ代表者会議及び放射線防護に関連するステークホルダーに確認を受けた。以下に実効線量と実用量に関するこれまでの背景と現状の概略を説明し、さらに、具体的な個別の課題と提言について、特に対象を明確に整理した結果を述べる。

2. 背景と現状

2.1 2007年ICRP主勧告前後の動向

「線量(dose、dose quantities)」は、放射線の照射によって単位質量あたりの物質が吸収するエネルギー量である。吸収線量は放射線に関連した基本的な物理量の一つであり、放射線の測定、防護の歴史と発展¹⁾により、吸収線量をベースとして、防護量、実用量が定義されてきた[1](図1)。

日本保健物理学会専門研究会「放射線防護に用いる線量概念の専門研究会」では、2007年に国際放射線防護委員会ICRP及び国際放射線単位測定委員会ICRUの示す線量からなる体系は、人の放射線防護の目的では、十分に合理的なものであるという一定の結論を示した一方で、高エネルギー放射線に対しては、ICRU球の1cm深さを基準とした周辺線量の評価では過小評価になるという課題も示していた[2]。

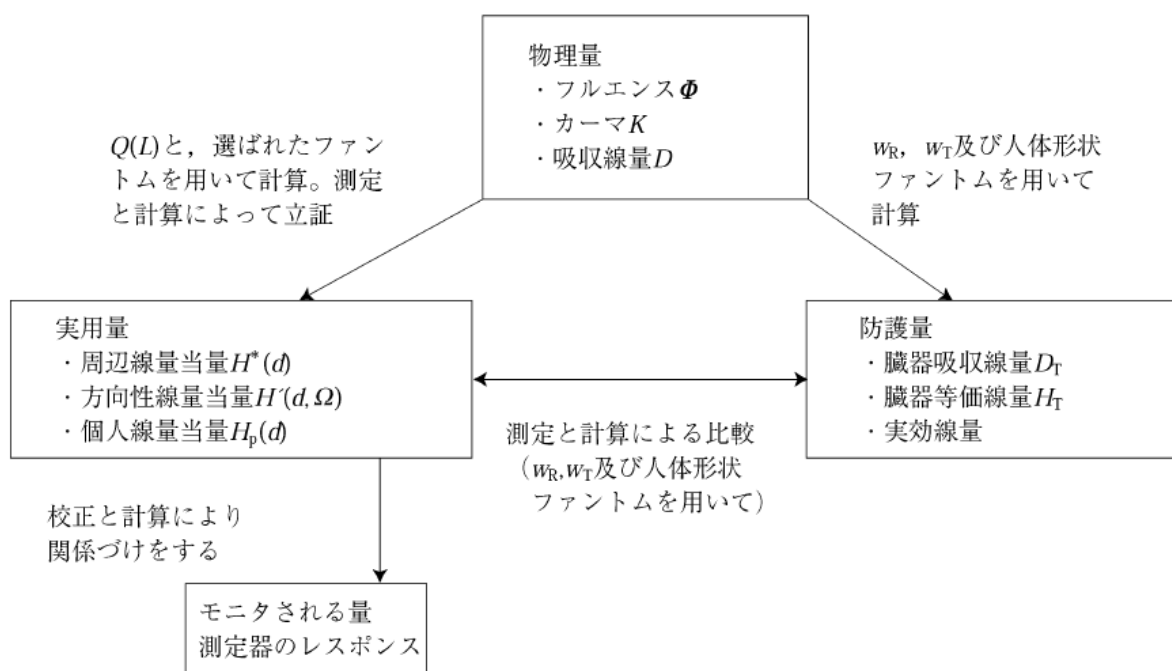


図1 物理量、実用量、防護量の関係(ICRP刊行物74[1]より)

2007年にICRPの主勧告[3]が公表された後、ICRPは2010年にタスクグループ79を設立し線量を取り巻く課題の解決に着手した。医療における放射線利用の拡大もあり、公衆、行政等が放射線(防護)を耳にする機会/理解する必要性が増し、その中でICRP、ICRUは線量の定義と使用について、日本保健物理学会の専門研究会が指摘した課題も含め、さらなるブラッシュアップがなされていった。

このような中、2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故において、放射性物質の放出により、一般公衆が被ばくする状況が発生し、社会に線量に関する数値と情報が多数出

¹⁾ 国際放射線防護委員会ICRPの放射線防護体系は2005年以降環境も防護対象として扱うようになり、線量“率”(mGy/day等)を単位とした誘導考慮参考レベルが基準値として示されている。

現し、これらが人々の不安を引き起こす原因の一つとなった。等価線量 (equivalent dose)、線量当量 (dose equivalent) の名称が類似していること、実効線量と等価線量の単位が同じであること等は、放射線防護に関連して生じた混乱の要因であり、今後検討すべき課題として、2014 年に ICRP のタスクグループ 84 の報告書に示された[4]。ICRP、ICRU は線量に関する議論を継続的に重ね、後述する報告書のドラフトが作成されていくと同時に、国際シンポジウム等を通じて専門家、あるいは社会と線量に関する課題が共有され、検討が進められた。

2.2 ICRU 報告書 95

2020 年 12 月、ICRU は報告書 95「外部放射線被ばくの実用量 (Operational Quantities for External Radiation Exposure)」[5]を公開し、

- ・ ICRU 報告書 39 と 51 の実用量は、核燃料サイクル、ウラン処理、原子力発電所、核廃棄物貯蔵・再処理で発生する光子 (50 keV~3 MeV) と中性子 (熱~20 MeV) のエネルギー範囲に対する防護量の推定値を示した。
- ・ この 20 年の間に、医療や研究、商業飛行の分野で電離放射線にさらされる労働者の数が増え、既存の実用量を使って測定してきた放射線場よりも低いエネルギーや高いエネルギーの場にさらされるようになった。
- ・ 職業上の放射線防護には、防護量の適切な推定値を示す実用量が必要である。
- ・ 防護量とその利用の変化は、ICRU が実用量を再検討する動機となり、防護量の定義と同じファントムに基づいた実用量の定義へと代替するアプローチを推奨しており、それによって実用量は定義上、防護量の良い推定値となる。

ことを述べ、新しい量を紹介するとともに、高エネルギー放射線場でのみ発生する粒子を含む広範囲の粒子とエネルギーに対する換算係数を示した。

また、従来使用されてきた個人線量当量は、身体上の特定の点の深さ d にある軟組織中の線量当量と定義されてきたが、「特定の点」は定量的に定義されていないため、これは概念的な定義に過ぎず、十分な定量的な定義とは言えなかった²。しかし、ICRU 報告書 95 では、個人線量を ICRP の標準人のボクセルファントムから求められる実効線量をベースとしてしっかりと定量的に定義した。このことは、重要な点であろう。

全身、眼の水晶体及び局所皮膚に対して、これまで ICRP の 2007 年主勧告[3]及び ICRU 報告書 39/51[6, 7]にて示された、防護量、実用量と使用されるファントムの関係と、ICRU 報告書 95 が示した防護量、実用量と使用されるファントムの関係をそれぞれ表 1.1~1.4 に示す。いずれの表も ICRU 報告書 95[5]より引用したものである。

² 現在はスラブファントムを用いて個人線量当量の換算係数を定義しているが、これはあくまでも個人線量計の校正等に使用する値の推奨値を示したものであり、個人線量当量の一例にすぎない。

表 1.1 防護量 (ICRP 主勧告 [3]) と ICRU レポート 39/51 の実用量の関係 (ICRU 報告書 95 [5] より)

	全身	眼の水晶体	局所皮膚
防護量	実効線量 E	眼の水晶体の等価線量 H_{lens}	局所皮膚の等価線量 $H_{local\ skin}$
実用量			
エリアモニタリング	周辺線量当量 $H(10)$	方向性線量当量 $H(3, \Omega)$	方向性線量当量 $H(0.07, \Omega)$
個人モニタリング	個人線量当量 $H_p(10)$	個人線量当量 $H_p(3)$	個人線量当量 $H_p(0.07)$

表 1.2 場を特徴付ける量 (フルエンス、空気カーマ) から防護量 (ICRP 主勧告 [3]) 及び ICRU レポート 39/51 の実用量への換算係数を計算するために使用したファントム (ICRU 報告書 95 [5] より、一部改変)

	全身	眼の水晶体	局所皮膚
防護量	全身 ICRP/ICRU 成人標準ファントム	全身ファントムに組み込まれた眼球モデル	100 mm x 100 mm x 100 mm 皮膚組織ファントム
実用量			
エリアモニタリング	ICRU 球, $\phi 300$ mm	ICRU 球, $\phi 300$ mm	ICRU 球, $\phi 300$ mm
個人モニタリング	スラブファントム 300 mm x 300 mm x 150 mm	円柱ファントム $\phi 200$ mm x 200 mm	スラブファントム 300 mm x 300 mm x 150 mm 柱状ファントム $\phi 73$ mm x 300 mm ロッドファントム $\phi 19$ mm x 300 mm

注. 実用量のすべてのファントムは ICRU の 4 元素組織で構成される。

表 1.3 防護量と ICRU 報告書 95 が勧告する実用量の関係 (ICRU 報告書 95 [5] より)

	全身	眼の水晶体	局所皮膚
防護量	実効線量 E	眼の水晶体の等価線量 H_{lens}	局所皮膚の等価線量 $H_{local\ skin}$
実用量			
エリアモニタリング	周辺線量 H	眼の水晶体の方向性吸収線量 $D'_{lens}(\Omega)$	局所皮膚の方向性吸収線量 $D'_{local\ skin}(\Omega)$
個人モニタリング	個人線量 H_p	眼の水晶体の個人吸収線量 $D_{p, lens}$	局所皮膚の個人吸収線量 $D_{p, local\ skin}$

表 1.4 場の量 (フルエンス、空気カーマ) から防護量と ICRU 報告書 95 が勧告する実用量への換算係数を算出するために使用されるファントム (ICRU 報告書 95 [5] より、一部改変)

	全身	眼の水晶体	局所皮膚
防護量	全身 ICRP/ICRU 成人標準ファントム	全身ファントムに組み込まれた眼球モデル	100 mm x 100 mm x 100 mm 皮膚組織ファントム
実用量			
エリアモニタリング	全身 ICRP/ICRU 成人標準ファントム	全身ファントムに組み込まれた眼球モデル	ICRU 球, $\phi 300$ mm
個人モニタリング	全身 ICRP/ICRU 成人標準ファントム	全身ファントムに組み込まれた眼球モデル	スラブファントム ^a 前面が 2mm の皮膚で覆われた 300 mm x 300 mm x 148 mm ICRU 組織 柱状ファントム ^a 円柱表面が 2mm ICRP 皮膚で覆われた $\phi 69$ mm x 300 mm ICRU 組織 ロッドファントム ^a 円柱表面が 2mm ICRP 皮膚で覆われた $\phi 15$ mm x 300 mm ICRU 組織

^a 断面積 1cm² の ICRP 皮膚の円柱で、表面に垂直な軸、深さ 50 μ m から 100 μ m の間で、ファントム面の中心での評点

2.3 ICRP 刊行物 147

2021年3月、ICRPはタスクグループ79の成果としてICRP刊行物147「放射線防護における線量の使用(Use of Dose Quantities in Radiological Protection)」を公表した[8]。その中で、線量を取り巻く課題として

- ・ I-131 などの特定の臓器に集中する内部放出源からの線量を考慮する場合、注意深く区別されていない場合に等価線量と同じ単位 (Sv) で表され、実効線量との混同。
- ・ 手足、眼の水晶体及び皮膚の被ばくの場合の組織反応を回避するための限度を設定する際の等価線量の使用。つまり、臓器や組織への急性障害の発生のしきい値より下の限度が設定されており、作業者と公衆の限度は異なる。
- ・ 外部被ばくを測定するために使用される実用量と防護量との混乱：具体的には、線量当量（実効線量の推定として使用される外部放射線の測定量）と等価線量（実効線量の計算における中間量）。
- ・ すべての低線エネルギー付与 (LET) 放射とアルファ粒子に対しては単純なアプローチであるが、中性子に対してはより複雑であり、実用量に線質係数を使用する別の重み付けアプローチを使用する、放射加重係数の設定における明らかな不整合。
- ・ がんリスクの年齢、性別及び人口に関連する違いが認識されているにもかかわらず、すべての年齢層及び男女の実効線量の計算における単一セットの組織加重係数の使用。
- ・ 男性と女性、子供と大人を別々にではなく、性別平均の標準人の実効線量の計算及び標準人と代表的個人との間の混乱。
- ・ 特に個々の臓器/組織への高吸収線量を伴う可能性のある事故で発生する可能性のあるより高い被ばくを考慮する場合に、実効線量が適用できる線量範囲。
- ・ 内部放出源からの預託線量を計算することの明らかな保守性。つまり、成人の場合は50年間、小児の場合は70歳までの線量が積算される。
- ・ 内部放出源への母親の被ばく後の胎児への実効線量の計算。
- ・ 特に医療処置からの患者の被ばくを評価する際のリスクを推定するための実効線量の使用。
- ・ 集団へのリスクを評価するための集団実効線量の使用。

を具体例として総括した上で、実効線量、吸収線量に関連する主要な点（将来の主勧告に対する提案を含む）として以下を示した。

- ・ 実効線量及び集団実効線量は、職業上及び公衆の被ばくにおける確率的影響、主のがんに対する防護を最適化するために用いる役立つツールである。
- ・ 実効線量は、医療においては、異なる医療行為による線量の比較、正当性の判断、医療研究における介護者やボランティアの制約条件の設定などに用いられる。
- ・ 実効線量は、一般的に100mSv以下の線量で使用される。特に線量の不均一な分布による組織反応の発生の可能性を忘れてはならないが、約1 Svまでの範囲の急性線量での使用は妥当である。
- ・ 吸収線量は、組織反応（確定的影響）を防ぐための臓器・組織線量の限度を設定する際に使用する最も適切な量である。委員会は、新たな一般勧告が出される時点で、臓器・組織線量の限度値を設定するために、等価線量の使用から変更する予定である。

2.4 原子力規制庁平成 30 年度放射線対策委託費事業の調査結果と国際動向報告会での指摘

原子力規制庁は平成 30 年度放射線対策委託費事業として、実用量及び防護量としての実効線量に係る動向調査を行った[9]。この調査では、上述の ICRU 及び ICRP のドラフト段階の文書を参考に、実用量及び実効線量の概念変更に伴う情報収集、我が国への影響整理、導入にあたっての課題整理が詳細になされた。また、平成 31 年度のアンブレラ事業においては国際動向報告会による課題の抽出が行われ、報告書において以下の論点が示された[9]。

- ・ 等価線量は実効線量を計算する過程での中間的な量となり、確率的影響は実効線量で制限するために評価し、確定的影響の防止には吸収線量で評価する。これによって、確定的影響の吸収線量に線質の異なる放射線に対して生物学的効果比 RBE が必要となる。
- ・ デトリメントを基礎にして、年齢、性、がんベースラインの異なる国ごとのリスクを平均化している組織加重係数は、防護の標準化のために定義されている。よって、年齢別標準ファントムによる年齢別の実効線量の評価や個別化する上での線量係数についての研究の進捗が必要である。またデトリメントの不確かさ及びデトリメントを基礎とした実効線量の意味や制約などについて、整理する必要がある。
- ・ 実効線量は防護量であるが、原子放射線に関する国連科学委員会 UNSCEAR は放射線被ばくを包括的に定量する指標として活用してきた歴史がある。防護量であっても便利なツールとしての線量として今後も活用するためには、その制約等の考え方を整理して、広く共有する必要がある。
- ・ 実効線量をベースにした実用量は、防護量として理論的に理解しやすくなったが、実務上の課題を明らかにして、対応の準備をする必要がある。

2.5 医療及び放射線防護専門家の指摘、日本放射線影響学会の活動と ICRP 論文

令和 2 年度に開催された上述の webinar においては、細井義夫教授、甲斐倫明教授より線量に関連した現状と以下の課題が改めて指摘された。

- ・ 放射線診断は一般に 100mSv を超えない。
- ・ 一方、放射線治療では一般に 30-76Gy が照射され、腫瘍内に設定されたリファレンスポイントにおける吸収線量として表記される。
- ・ 核医学も一般に 100mSv を超えないが、投与量 MBq と実効線量 Sv の関係で示される。なお、医療現場での説明では、しばしば実効線量が用いられるが、等価線量が用いられることはほとんどない。
- ・ 緊急被ばく医療では、単位は Gy または GyEq³を用いるべき（急性放射線障害が問題となる場合には通常は 1GyEq 以上の被ばく）。
- ・ X 線、電子線、 β 線、 γ 線の場合には、吸収線量は組織反応（確定的影響）の制限に使用する最適な量。

³ 高線量被ばく時に放射線の種類に応じて急性影響に特有な生物学的な効果を考慮して影響の程度を表す単位

(<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryoy99/siryoy78/siryoy112a.htm>)

- ・ 等価線量は、確率的影響を制限するときの線量（計算目的）として使用。
- ・ 等価線量は実効線量計算の中間的な量とみなすべきである。
- ・ 実効線量は特定年齢の標準人の男女平均で計算される。
- ・ 実効線量は最適化、限度などの基準との比較、コンプライアンスの証明に使用。
- ・ 実効線量は 100mSv 以下で一般的に使用、例外的に緊急時被ばく状況では 1Sv 程度まで使用可とされている。
- ・ 実効線量は医療で異なるモダリティや撮影技術の比較に使用できる。
- ・ 実効線量は医療従事者と患者のリスクの目的に、異なる医療行為を大まかにカテゴリ分けする指標に使用できる。
- ・ 放射線診断における医療被ばくは一般に局所被ばくが多く、そのような場合には実効線量は局所の吸収線量や組織の等価線量よりも小さい数字となる。このため、実効線量を用いることで医療従事者や患者の被ばくに対する印象を過小にってしまう可能性がある点に留意すべきである。
- ・ 実効線量はリスクの近似指標であるが、特定個人のリスク代替にはならない。
- ・ 集団実効線量は、最適化（特に職業被ばく）の有用なツールであるが、リスク予測に使用する場合には注意して扱い、文脈を考慮して、バックグラウンド罹患率との関連で判断されるべきである。

日本放射線影響学会では、放射線の種類等に依存した吸収線量と組織反応の生物学的効果比 (RBE) の情報を整理するとともに、それらを吸収線量の重みづけに用いる際の諸問題とそれらの解決に向けた方向性を示すことに取り組んだ。より具体的には、高線量被ばくがもたらす確定的影響の RBE 値に関する広範な情報を、造血機能障害、皮膚障害、腸機能障害、中枢神経障害、生殖機能障害、白内障等の主要な生物学的エンドポイント毎にとりまとめ、これらの RBE 値を被ばく医療に取り入れる際の課題について考察した[11]。

ICRP は次期主勧告の検討を開始するにあたり 2021 年 7 月に論点を示した「Keeping the ICRP Recommendations Fit for Purpose」を発表した[12]。この論文の中で実効線量については、

- ・ ICRP は、さまざまな年齢の子供の一連の標準ファントムを開発し、妊婦と胎児用の標準ファントムも提供する。
- ・ 実効線量とそれに関連する損害をグループごとに個別に計算し、透明性を高めることができる。たとえば限度のような適切に平均化された線量基準を設定するといった単純化をプロセス全体の最後に行うことができる。
- ・ これにより、防護体系と防護の最適化を駆動する実効線量と確率的リスクとの関連がより明確になる。

と説明し、年齢、性別、個人の特性を含んだ実効線量について述べつつも、組織反応では放射線加重吸収線量 (Gy)、確率的影響では実効線量 (Sv) とそれぞれ別々に検討することによる簡素化にも触れている。また、医療における実効線量については、患者固有の数値に基づく評価について言及している。

3. 提言の検討

以上で示した背景状況に基づき、本線量 WG では放射線防護コミュニティに対して、以下の基本方針に沿って線量に関連した課題を改めて整理し、提言として取りまとめることとした。

- ・ 既存の学会報告書、アンブレラ事業報告書、ICRU 報告書、ICRP 刊行物等で指摘された課題を参考に、線量 WG 会合の議論によって重要とみなされた課題を本提言で取り上げる課題として抽出する。なお、課題数が多いと対象が不明瞭になるため、本線量 WG での提言は 3 つの課題に絞る。
- ・ それらの課題に対し、現状及び問題点を改めて整理した上で、提言先と想定した放射線防護に関連する学会、規制関連省庁等が今後具体的なアクションを起こすことを促進する記述となるよう、記載内容を検討する。具体的には、(1) 関連学会及び規制関連省庁に対して：新実用量を取入れる場合に必要な検討や準備、(2) 研究開発機関、専門家及び実務者に対して：規制ニーズのある研究と放射線管理・医療の実務的課題を整理し、とりまとめる。
- ・ 我が国での議論、整理結果あるいは研究成果等は国際的組織に向けて情報発信する意義があるものも含めることとする。そのため、国際機関に対して日本から提供可能な情報（粒子線の RBE など）の観点も加える。

提言の原案は線量 WG で検討整理し、代表者会議での意見、また国内専門家への意見聴取に基づいてブラッシュアップを図った。これらの会議等の整理検討経緯は付録 II に示す。

4. 課題と提言

4.1 実効線量の取扱い

(1) 現状及び問題点

- ・ ICRP2007 主年勧告によれば、放射線防護の目的のための実効線量は、人体の臓器や組織の平均の線量に基づいている。これは標準人について定義され、推定されたものである。また、臓器・組織の等価線量の計算には、成人の標準男性と成人の標準女性の標準コンピュータファントムが用いられている。
- ・ 近年、外部被ばくについて ICRP は全身被ばくの照射条件を設定して換算係数を評価しており、ICRP 刊行物 144[13]では年齢別(0 歳、1 歳、5 歳、10 歳、15 歳及び成人)のファントムと実効線量(率)係数を提供している。
- ・ 内部被ばくについて ICRP は職業と公衆に対して、それぞれ 50 年及び 70 年で積算した預託線量の線量係数を提供している。職業被ばくに対しては 2007 年主勧告の組織加重係数等に基づく線量係数が提供されつつあるが、公衆被ばくについては今後発行される見込みである。
- ・ 医療に関しては特に放射性薬剤の投与、すなわち内部被ばくに対して年齢別の線量係数がこれまで提供されている。治療、検査等の外部被ばくでは、ICRP が設定する照射条件ではなく、局所被ばくがほとんどである。
- ・ 最近発行された ICRU 報告書 95 及び ICRP 刊行物 147 は、実用量(外部被ばくの周辺線量当量)の換算に ICRU 球ではなく標準コンピュータファントムを用いるなど、大きな変化があった。
- ・ 年齢別の実効線量について ICRP は次期主勧告の改定に関する論文[12]でも触れられており、改良・整理されていく途上にある。また、実効線量の計算においては多くの取り決めが存在し、中心的な防護量ではある一方で、起こりうる健康リスクのおおよその指標であることの認識が必要である。
- ・ また実効線量を細分化することにより、実効線量が特定の個人のリスクを示したものと誤解を生じかねない。実効線量は定められた算出方法があり、また、防護量であるため個人のリスク評価でないことを丁寧に伝え、国、規制当局、学会での理解を深める必要がある。

(2) 提言

- (i) 関連学会は、ICRP 等が示す実効線量の意味合い、年齢別の実効線量の意図する使い方を、内部被ばくと外部被ばく、あるいは放射線管理、医療被ばくの側面からそれぞれの現場での使われ方を横並び整理し、認識を共通化できる報告書を協働して作成すべきである。
- (ii) 関連学会及び規制関連省庁は、同報告書の作成においては、学術大会、シンポジウム、HP での意見募集、セミナー、勉強会等を通じたブラッシュアップをステークホルダーも交えて検討すべきである。
- (iii) 規制関連省庁は、学会等によって整理された共通認識の報告書に基づき、実効線量の意味合いと意図する使い方を社会に広く普及させるための資料、素材を、一般公衆が理解しやすい型式で提供すべきである。なお、2.5 節に示したように、ICRP 次期主勧告の策定に向けて議論が進みつつあるため、国際的なコンセンサス、国際動向、方向性を考慮しつつ社会に広めるタイミングを十分に検討する必要がある。

4.2 放射線管理で用いる線量

(1) 現状及び問題点

- ・ 実効線量は主に確率的影響を管理する目的で使われる。実効線量は直接評価できないため、測定可能(と定義される)実用量を用いて、実用量>防護量であることを踏まえて放射線管理に活用されてきた。
- ・ 実用量である周辺線量当量 $H^*(10)$ あるいは個人線量当量 $H_p(10)$ の評価計算には、ICRU 球及びスラブファントムの深さ 10mm の位置が定義されているが、ICRU 報告書 95 等では標準人ファントムを使った評価計算が推奨され、実効線量(防護量)に近い換算係数が示されている。
- ・ また、ICRP 刊行物 147 において、吸収線量は、組織反応(確定的影響)を防ぐための臓器・組織線量の限度を設定する際に使用する最も適切な量であるとし、将来的に臓器・組織線量の限度値を設定するために、等価線量ではなく、吸収線量の使用変更について言及した。ICRP 論文[12]においても、等価線量は実効線量を計算する中間段階の量として説明されている。
- ・ 組織反応には ICRP 刊行物 118[14]に示されるように対象となる組織・臓器が複数あり、またその反応については、例えば皮膚の場合で初期の一時的紅斑、主な紅斑反応、一時的な脱毛、永久的な脱毛等、様々であり、さらに放射線の種類やエネルギーによって生物学的な効果が変化しうる。

(2) 提言

- (i) 研究開発機関、専門家、放射線管理の実務者、関連学会及び規制関連省庁は、実用量の定義が変わり、さらに組織反応に対する線量限度が、等価線量から吸収線量になる場合、あるいは個々の組織ごとに異なる線量限度が設定された場合の課題について、特に放射線管理に及ぼす影響を整理する必要がある。具体的には、測定器の校正の在り方、測定方法の妥当性確認方法、ISO、IEC、JIS 等の線量計の校正標準化、妥当性が担保できないときの対処、線量の記録の変更に伴う影響(名称や単位の整合性、継続性、評価対象臓器、局所被ばくの扱い、線量登録システムの改修等)の課題を参考文献[9]のまとめをふまえて整理する。この際、メーカ、サービス、規制、ステークホルダーを交えてコミュニケーションを促進し、変更の背景の理解に加え、十分な議論を重ねる必要がある。ICRU 報告書 95 の取り入れは国際的にも大きな変更であることから、国際的な動向の把握、国内検討状況を統括的・長期的に議論する仕組みが重要である。
- (ii) 関連学会及び放射線管理の実務者は、日本放射線影響学会が取りまとめた放射線の種類等に依存した吸収線量と組織反応の生物学的効果比(RBE)の情報を整理し、現場実務への影響についてとりまとめる必要がある。具体的には、RBE は同じエンドポイントでも線量率、線質、放射線エネルギーによって大きな幅があること、実験の条件によって大きく異なる等を整理し、呼称も含め実務での扱いに関する課題を把握する。
- (iii) 現在 ICRP はタスクグループ 118 において、RBE、線質係数及び放射線加重係数の検討を行っている。我が国は世界的にも重粒子治療をリードしていることから、研究開発機関及び専門家は、RBE の結果が線量率、線質、放射線エネルギーによって大きな幅があること等を国際的組織に対して情報発信を行うべきである。また、治療分野と防護のリスク評価の違いを整理し、RBE、線質係数及び放射線加重係数の扱いを含め放射線防護の取り決めに資するべきである。

4.3 リスクの説明

(1) 現状及び問題点

- ・ 実効線量及び集団実効線量は、職業上及び公衆の被ばくにおける確率的影響、主になんに対す防護を最適化するために用いる役立つツールである。実効線量とリスクの関係について、ICRP2007年主勧告では、名目リスク係数として約5%/Svを与えており、これは1Svの被ばくによって集団でのがん死亡が5%程度上昇する評価であることを意味する。
- ・ この名目リスク係数の計算には線量・線量率効果係数 DDREF、組織加重係数 w_T が使われているため、実効線量とリスクの関係では、低線量(率)放射線による全身被ばくが基本となっている。また、線質によるがんへの影響の違いは、放射線加重係数 w_R によって考慮されている。ただし、DDREF、 w_T 及び w_R は ICRP2007年主勧告において、性別、年齢にかかわらず同一の値が与えられており、外部被ばく、内部被ばくに対する実効線量換算係数の算出に用いられている。
- ・ 一方、胎児、妊婦などより詳細なファントムが提供され、年齢区分に応じた精緻な吸収線量評価の開発が進んでいる。
- ・ 医療においては、異なる医療行為による線量の比較、正当性の判断、医療研究における介護者やボランティアの制約条件の設定などに、実効線量が用いられてきた。
- ・ 実効線量は、一般的に100mSv以下の線量で使用される。特に線量の不均一な分布による組織反応の発生の可能性を忘れてはならないが、約1Svまでの範囲の急性被ばくでの使用は妥当とみなされている。
- ・ 医療現場では実効線量を用いた説明がされている事実があり、医療関係者が実効線量の意味や制約を理解して、適切に説明に用いる必要がある。この際、バックグラウンドの放射線レベルを把握することも必要である。

(2) 提言

- (i) 関連学会及び医療現場の実務者は、実効線量の医療利用とリスクの意味合い(例えば被ばく時年齢による違い)を医療現場が理解整理し、患者に適切な説明が可能となるような資料を整理すべきである。

5. 結び

実用量、実効線量等の線量に関連した個々の課題は、放射線防護、放射線管理、医療、放射線影響等の学会活動などを通じ、また、国内外の様々な立場の声によって、これまで長きにわたって指摘されてきたが、近年それらに対応した国際的なガイドラインとして ICRU 報告書 95、ICRP 刊行物 147 が公表された。

いくつかの課題は対応されたものもあるが、引き続き残っている課題もある。また、現時点では、それ以降の国際的な基準化（IAEA、ISO 等）及び国内への取入れ（国内法令、JIS 等）、現場適用、それらに対する課題の洗い出しは十分なレベルに達していないといえる。我が国では ICRP の 2007 年主勧告の国内法令取入れが検討中である一方で、2011 年のソウル声明に基づいて水晶体の新しい線量限度が取入れられ、さらに国際的には ICRP が次期主勧告の検討に着手した。このように、国際的な動向と国内法令取入れのうごきが絡み合っている状況にあり、現場への適用も見通されていないため、関連学会、規制関連省庁、研究開発機関、専門家及び実務者に対する提言は複雑かつ多岐にわたる。また、社会やステークホルダーに対して理解を深めることが重要であるものの、説明の方法、目的、タイミングには十分に留意する必要がある。一方で線量は医療では日々患者への説明に使われ、緊急時への備えは着実に進めなくてはならないのも事実である。

本報告では、実用量、実効線量等の線量に関連した放射線に関わる量に対する正しい理解活動への提言をとりまとめたが、ICRP 次期主勧告の策定に向けて議論が進みつつあるため、国際的なコンセンサス、国際動向、方向性を考慮すべきと考える。これらは、社会に普及させるタイミング、我が国の実状等も踏まえて検討する必要があるだろう。

6. 参考文献

- [1] ICRP, 1996. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP Publication 74. Ann. ICRP 26 (3-4).
- [2] 日本保健物理学会専門研究会報告書シリーズ, Vol.5 No.1, 放射線防護に用いる線量概念の専門研究会, 2007年8月.
- [3] ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).
- [4] Abel J Gonzalez et al., Radiological protection issues arising during and after the Fukushima nuclear reactor accident, 2013 J. Radiol. Prot. 33 497 doi:10.1088/0952-4746/33/3/497.
- [5] ICRU (2020). International Commission on Radiation Units and Measurements. Operational Quantities for External Radiation Exposure, ICRU Report 95, J. ICRU 20(1) (Sage Publishing, Thousand Oaks, CA) (2020).
- [6] ICRU (1985). International Commission on Radiation Units and Measurement. Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources, ICRU Report 39 (International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD).
- [7] ICRU (1993). International Commission on Radiation Units and Measurements. Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry, ICRU Report 51 (International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD).
- [8] ICRP, 2021. Use of dose quantities in radiological protection. ICRP Publication 147. Ann. ICRP 50(1).
- [9] 平成30年度原子力規制庁委託成果報告書, 実用量及び防護量としての実効線量に係る動向調査, 平成31年3月, 公益財団法人原子力安全研究協会.
- [10] 平成31年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成)事業, 放射線防護に関する国際動向報告会報告書, 令和2年2月, 公益財団法人原子力安全研究協会.
http://www.umbrella-rp.jp/H31international_report.pdf
- [11] 一般社団法人日本放射線影響学会: 放射線影響分野における放射線防護対策の推進に関する調査と提言ならびに放射線防護人材の確保・育成, 令和2年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成)報告書, 2021.
- [12] C. Clement et al (MCメンバー), 2021, Keeping the ICRP Recommendations Fit for Purpose J. Radiol. Prot. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/ac1611>
- [13] ICRP, 2020. Dose coefficients for external exposures to environmental sources. ICRP Publication 144. Ann. ICRP 49(2).

[14] ICRP, 2012. ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs - Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1/2).

付録

I. 委員名簿

佐々木 道也	一般財団法人 電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部 生物・環境化学研究部門 上席研究員
保田 浩志	国立大学法人 広島大学 原爆放射線医科学研究所 教授
床次 眞司	国立大学法人 弘前大学 被ばく医療総合研究所 所長（教授）
細井 義夫	国立大学法人 東北大学大学院医学系研究科・医学部 教授
橋本 周	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 高速炉・新型炉研究開発部門 大洗研究所 放射線管理部 次長
岩岡 和輝	国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 量子生命・医学部門 放射線医学研究所 放射線規制科学研究部 主幹研究員

事務局：神田 玲子 量子科学技術研究開発機構

II. 2021 年度の会議と WG 提言の検討

5/31 線量 WG 第 4 回会合 骨子案の作成

6/15 第 17 回アンブレラ代表者会議 線量 WG の提言の骨子に関する議論

7 月～9 月末 骨子案の作成（メールによる意見交換）

10/7 線量 WG 第 5 回会合 提言案の作成と検討

10/15 第 18 回アンブレラ代表者会議 線量 WG による提言案の説明

専門家への個別確認、（～11 月中旬）

学会報告と意見募集（10/15 代表者会議後 ～11/20）

コメントの対応整理

12/7 線量 WG 第 6 回会合 提言案へのコメント対応確認

12/10 第 19 回アンブレラ代表者会議 線量 WG による提言案の報告

12/10～12/22 アンブレラ代表者会議からのコメント募集

コメント対応の整理

1/18 第 20 回アンブレラ代表者会議 線量 WG による提言案の最終報告 代表者会議による承認

提言

我が国の放射線防護方策の改善に向けて

令和 4 年 3 月

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・災害医学会

日本保健物理学会

放射線防護アンブレラ代表者会議

この提言は、日本放射線安全管理学会、日本放射線影響学会ならびに放射線防護アンブレラ代表者会議に設置した実効線量と実用量に関するワーキンググループが実施した調査や検討に基づき、我が国の放射線防護対策の推進に必要な方策を放射線防護アンブレラ代表者会議が取りまとめ、放射線防護アカデミアに参加する学会との連名で公表するものである。

目次

1 はじめに.....	1
2 我が国の放射線防護方策の改善のための緊急提言.....	4
(1) 放射線施設における事故・事象発生予防および収束に向けた方策.....	4
①提言の背景	
②現状及び問題点	
③提言	
(2) 大規模放射線災害発生時の線量推定の高度化に向けた方策.....	12
①提言の背景	
②現状及び問題点	
③提言	
3 我が国の放射線防護方策のグローバル化に向けた中長期的提言.....	17
(1) 実効線量と実用量に関する新概念の国内導入に向けた方策	
①提言の背景	
②現状及び問題点	
③提言	
4 まとめ.....	22
5 参考文献.....	23
6 謝辞.....	25

1 はじめに

近年、放射線の災害・事故に関して、我が国の備えの確認の契機となりうる 2 つの社会的出来事があった。

1つ目は、2021 年 5 月 29 日に発生した、X 線を使う測定装置の点検中に起こった被ばく事故である(厚生労働省、2021)。この事故では、装置を点検していた作業員が年間の線量限度の数倍から数十倍に及ぶ被ばくをした可能性があると報道された。通常、点検作業中は電源を切るがなぜ X 線を発生し続ける状態になっていたのか等、この事故の発生には不明点が多く、労働基準監督署が調査を行っているものの、被ばく者個人への配慮もあり、事故の詳細は明らかにされていない。

2つ目は、新型コロナウイルスの感染拡大により医療体制が逼迫する中で、2021 年 7 月 23 日から 8 月 8 日、並びに 8 月 24 日から 9 月 5 日に開催された第 32 回オリンピックと東京 2020 パラリンピックである。このような状況下において万が一の大規模核テロが発生したら、多数の傷病者および被ばく患者の搬送先の確保には、これまでの想定以上の困難が伴うことが予想された。こうした場合、傷病者の外傷や状態をもとにトリアージを行い、適切な医療機関に振り分けつつ、同時に線量評価のための情報や試料の収集を開始する必要があるが、線量評価の専門家の少なさ、また線量評価の技術開発や組織間連携において、解決すべき課題を抱えているのが現状である。

放射線防護アカデミア¹はこれまで専門性や関心が異なる学会が協力して、放射線安全規制研究の重点テーマの提案や放射線防護人材の確保・育成の課題検討に取り組んできた。そして 2020 年度には、各学会の問題意識に応じて、放射線の災害・事故に関連したテーマを選び、海外の最新知見の収集や独自の国内実態調査を行った。こうした学会の調査や検討について代表者会議で検討した結果、以下の 2 点を重要な結論であるとの合意を得た。そこで、国・地方自治体、事業者および専門機関に対して、それぞれの役割を十分に果たすことを具体的に求める緊急提案を行うこととした(本文中に記載)。

- 1) 事故・事象の発生予防や発生後の対応には、事業所のきめ細かい規程やマニュアル整備が肝要である。
- 2) 事故の対応には線量評価が必須であり、特に大規模放射線災害発生時の線量推定に関しては、高度被ばく医療支援センターを中心に制度の改善とリンクした技術開発を急ぐ必要がある。

¹2017 年度に原子力規制委員会の放射線安全規制研究戦略的推進事業において形成された放射線防護研究ネットワークの一つ。放射線防護に関連する 4 つの学会等が参加している。参加団体からの代表者をメンバーとする代表者会議がネットワークの意思決定機関である。

また放射線防護アカデミアでは、国・地方自治体、事業者および専門機関に対して、それぞれの課題解決に必要な方策を緊急提言として提案することに至った。

さらに国際動向に目を向けると、国際放射線防護委員会(ICRP)は 2007 年勧告の更新に向けたレビューに着手し、2021 年 7 月に“Keeping the ICRP Recommendations Fit for Purpose”を発表した(Clement et al., 2021)。これを皮切りに、今後数年をかけて、世界中の専門家が科学の進展と社会の変化に見合った形に放射線防護体系を改善するための議論を行うことになる。上記の文書では、ICRP の新勧告以降に、2020 年に国際放射線単位測定委員会(ICRU)が提案した実用量および防護量の変更(ICRU, 2020)を導入することが明記されている。これにより、日本をはじめ世界中の放射線規制は大きな影響を受けることが予想される。そこで 2020 年より、放射線防護に関する 5 つの学会²から推薦されたメンバーによりワーキンググループを組織して、国内規制に線量の新概念を取入れるために必要な準備について検討した。こうした調査や検討をもとに、放射線関係行政機関、関連学会、研究開発・放射線管理・医療の実務者等に向けた中長期的な提言を行う。

この提言の取りまとめは、放射線防護アカデミアにとって、今後の放射線規制への貢献活動に関するファーストステップである。この分野の専門家にとって、放射線規制・放射線防護の適切な実施や改善に貢献することは、自らの存在意義にも関わることである。しかしながら放射線規制・放射線防護分野では、原子力分野や医療放射線防護分野に比べると、これまでのところ学会等の関与は少なかった。その一つの理由として、放射線防護に関わる領域が広く、学会も専門性と問題意識によって細分化されており³、専門家の見解を統一しにくい状況にあったことによる。そのため、放射線防護アカデミアを連携の場として、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・災害医学会および日本保健物理学会は放射線防護の課題解決に取り組み、日本原子力学会や日本リスク学会、医療被ばく研究情報ネットワーク(J-RIME)と情報共有を行ってきた。

こうした活動の継続には大きな課題も残っている。学会活動は学会員の自発的活動を基本としており、規制や防護への貢献も例外ではない。個々の学会員が放射線規制・放射線防護への貢献を意識しない限り、学会活動として継続していくことは難しい。研究の出口の一つとして、規制の改善への貢献をこれまで以上に意識するため

²日本原子力学会保健物理・環境科学部会、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・医学会、日本保健物理学会の 5 つ。

³日本原子力学会の個人会員数は約 6500 人かつ賛助会員数は約 200 団体、日本医学放射線学会の個人会員数は約 1 万人。一方、放射線防護アカデミア参加学会では、会員数が最も多い日本保健物理学会でも会員数が約 800 人。

には、規制者、事業者および専門家の間の連携を強化する中で、成功体験を積み上げていく必要がある。

その手始めとして、今後、放射線防護に関わる学会が連携して、本提言の実現に向けて、規制者や事業者、さらには国際的機関の関係者との意見交換を行うこととする。こうした規制活動、研究活動、国際連携活動を通じて、専門家が我が国の放射線防護方策の改善に果たす役割を具象化していくこととする。

また、上記の学会は、今後も継続して、(i) 低線量被ばく(公衆、職業被ばく)ならびに緊急時被ばくの科学的知見の創出と収集、(ii) 防護体系・安全基準の策定の提言、(iii)放射線防護の人材育成といった諸問題に対して、協力して検討していくこととする。

令和4年3月4日

日本放射線安全管理学会
会長 中島 覚

日本放射線影響学会
理事長 島田義也

日本放射線事故・災害医学会
代表理事 明石眞言

日本保健物理学会
代表理事(会長) 吉田浩子

放射線防護アンブレラ代表者会議
議長 児玉靖司

2 我が国の放射線防護対策の改善のための緊急提言

(1) 放射線施設における事故・事象発生の予防および収束に向けた方策

① 提言の背景

放射線や放射性物質の不適切な取り扱い、あるいは放射線関連施設管理に関する事故等は海外でも多数報告されており、中には計画外被ばくを伴う事象も散見される。国内では 2021 年 5 月に X 線を使う測定装置の点検中に被ばく事故が発生した。こうした事故・事象発生の予防や速やかな収束のためには、国内外の事故・事象から原因や対処における問題点を明らかにし、その分析結果を広く共有することが重要である。

そこで日本放射線安全管理学会(2021)では、2000 年以降に海外で発生した被ばく事故⁴(国際原子力・放射線事象尺度(INES)のレベル 2 以上)の調査を行い、我が国の被ばく事故対応の参考とするため、I) 作業中の非密封 RI の飛散による被ばく、II) インターベンショナル・ラジオロジー(Interventional Radiology: IVR) 従事者等の職業被ばくの線量限度超え、III) 線量・リスクの過小評価の3つに分類して、事故発生や被ばくに至った過失の事例について分析を行い、教訓を抽出した。また 2013 年以降の国内法令報告事象を類型化し、非密封 RI の所在不明、表示付認証機器の所在不明、破損による漏洩、火災といった 4 分類の中の代表的事例を分析し、事故の要因や問題点を明らかにした。また、それらの事例から抽出した 8 つの問題点に対応するマニュアルの整備状況についてアンケート調査を行った結果、それぞれ国内施設の約 2 ～5 割では同様のトラブルに対応するマニュアルで不十分であることが明らかとなった(日本放射線安全管理学会、2021)。

放射線防護アカデミアでは、上記の日本放射線安全管理学会の分析結果を検証し、被ばく事故発生の予防や収束の対応には、国内の事業所における管理方法や体制の自主的かつ継続的な見直しが必要であり、その実効性を担保することが重要であると判断した。そこで事業者に対して、それぞれの事業所の放射線障害予防規程や緊急時対応マニュアルをより実効性のあるものに改善するために、具体的な提言を行うことにした。また規制者に対しては、再発防止に向けてオールジャパンレベルでの PDCA サイクルを回すことを提言する。

⁴「事故」という用語は、国際原子力・放射線事象尺度(INES)では、JCO 東海村臨界事故のような局地的な影響を伴う事故であるレベル 4 以上の事象を呼ぶこととしているが、本提言内では、想定外の被ばくを伴う INES のレベル 3 以下の異常事象も含めて「被ばく事故」と呼ぶこととする。

②現状及び問題点

【海外で発生した放射線による被ばく事故の現状と課題】

オランダの LAKA (LAndelijk Kernenergie Archief) 財団が公開するデータベース⁵から 2000 年以降に発生した事故に関する情報を網羅的に抽出した結果、海外で発生した INES レベル 2 以上の放射線安全管理関連の事故・事象は 2000 年 1 月 1 日から 2020 年 12 月 4 日までに 473 件報告されており、その多くは欧州や北米からの報告で INES レベル 2 であった。

また地域に関わらず「異常被ばく」に関する報告が多数を占めていた。そのうち RI 施設で発生した INES レベル 2 以上の事故・事象 203 件に関しては、経緯や原因および収束に向けた対応を調査した。調査の結果、日本においても対策を講じる必要があると判断された 3 つの典型的事例については、国内での対応方策を検討した。

I. 作業中の非密封放射性物質の飛散の予防への対応

作業者が不安全な操作により飛散した RI 溶液等をかぶり、目や手などが汚染する事故が世界でも散発的に発生している。

2019 年、スイスの病院で、放射性薬剤を取扱う作業者が Ga-68 溶液を含む密閉バイアルからサンプルを取り出すため、バイアルの開口部に注射器を突き刺したところ、液滴が飛び散り、右目を汚染した (INES 2)。作業者は保護眼鏡をかけておらず、洗眼などの措置を行ったが、眼の水晶体の等価線量は 27 mSv と計算された。

また 2017 年、オーストラリア原子力科学技術機構 (Australian Nuclear Science and Technology Organisation: ANSTO) の傘下の組織において、作業者が Mo-99 を含む溶液の入ったバイアルを誤って落下させ、溶液が飛散し、手を汚染する事故が発生した。作業者は二重の手袋をしていたが、手に紅斑と水泡が発生したことから、手の皮膚の等価線量は 10～20 Sv と評価され、INES 3 (重大な異常事象) と分類された (ARPANSA, 2018)。オーストラリア放射線防護・原子力安全庁 (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency: ARPANSA) は、事故の背景にある要因について分析し、①軽微なトラブルやヒヤリハット事例から効果的に学ぶ組織的仕組みの欠如、②作業者の事故時のリスクに関する不十分な認識、③事業所のマニュアル等における作業中の危険性に対する注意喚起の記載の欠如、④作業の安全性に関する訓練の欠陥を指摘した。また ARPANSA は ANSTO に対して被ばく低減の準備や作業者の教育訓練に係る指導を行った。

我が国においても同様の事故が発生する可能性があり、作業者および事業者は表 1 に記載したような方策の徹底を図る必要がある。

⁵<https://www.laka.org/docu/ines/>

表 1. 作業中の非密封放射性物質の飛散による被ばくの予防や低減のための方策

対象	方策
作業員個人	保護眼鏡等、防護具の着用を徹底する
事業者	ヒヤリハット事例から効果的に学ぶ組織的仕組みを整備する 作業員への適切な訓練を実施する リスク低減のための作業場や作業工程を見直す (例)・ドラフト内の鉛シールドを人間工学に基づいて調整する ・作業員の手動による作業を自動化する ・品質管理サンプル中の放射性物質濃度を低くする 除染等、被ばく医療上の早急の措置を速やかに実行しうる体制を構築する (例)・事業者の産業医や産業保健師への教育 ・被ばく医療実施機関との事前協議など

II. IVR 従事者等、特に職業被ばくの線量限度を超える可能性が高い場合への対応

IVR は、医師らが患者からの散乱 X 線により被ばくするため、IVR 実施件数が多い医師では、特段の過誤がなくても職業被ばくの線量限度を超える被ばくをする可能性がある。

海外では、INES を利用して IVR 従事者の医療従事者の異常被ばくの報告がなされている。2019 年に発生した英国の事例では、水晶体における等価線量が 25.8 mSv と評価されたと報告されている⁶。この線量は、個人用防護具の使用に関する従事者自身の記憶に基づき、現実的な仮定で推定されたものである。

また 2017 年には、フランスのサン・ドニの病院で第 1 四半期に放射線科医の手の被ばくが年間の等価線量限度(500 mSv)を超過した事例が発生した。これは CT 透視下で IVR を行い、医師の手が CT の照射野に入ったためである。フランス原子力安全局(Autorité de sûreté nucléaire:ASN)は、2018 年 1 月 24 日にこの事例を調査し、原因や是正措置、INES の評価結果等を ASN のウェブサイトにて報告している⁷。なお、ASN では、この事故が発生する前に、関係する職能団体や産業界並びに規制当局などと協力をして、新しい機器を設置する際にはオペレータに提供される訓練を強化することを目的とした勧告を発表していた⁸。

我が国では、医療現場においては、個人線量計や防護眼鏡の未装着・未着用がしばしば問題になっている(櫻田、2019; 細野ら、2021)。また実際に職業被ばくの線量限度を超えるケースは医療関係者に多いと推測されている⁹。しかし、労災申請や勤

⁶欧州連合では欧州 Basic Safety Standards(BSS) 指令の法制化を加盟国に求めている。英国では 2017 年に規制整備に向けた規制影響分析を行い、欧州指令の求めに応じて、2018 年 2 月 6 日の期限までに IAEA の General Safety Requirements (GSR) part3 で規定されている眼の水晶体の等価線量限度(100 mSv/5 年)を国の規制に反映していた。

⁷<http://www.french-nuclear-safety.fr/Information/News-releases/A-radiologist-suffers-radiation-overexposure-of-the-hands>

⁸<https://www.asn.fr/espace-professionnels/activites-medicales/radiologie-et-scanographie/guides-de-l-asn/recommandations-relatives-a-la-formation-a-l-utilisation-des-dispositifs-medicaux-emetteurs-de-rayonnements-ionisants>

⁹<http://www.kosenkyo.jp/siryou/gyousyu31.PDF>

務時間管理の問題で労働基準監督署が立ち入り調査をした際に判明することが多く、法令違反として線量限度超えが判明する事例は限られている。

放射線を利用する医療施設が電離則第 44 条を遵守しなければならないことは当然である。厚生労働省では、被ばく線量低減設備改修等補助金事業（厚生労働省、2020）や放射線被ばく管理に関する労働安全衛生マネジメントシステム導入支援事業（原子力安全技術センター、2020）を実施し、医療従事者の被ばく低減のために事業者への幅広い援助を行っているおり、このような事業を継続するとともに、事業者において積極的な活用が望まれる。今後、線量限度の確実な遵守に向けて、規制者や専門家のさらなる協力が求められる（表 2）。

表 2. 特に線量限度を超える可能性の高い医療放射線による被ばくへの対応方策

対象	改善策
作業員個人 (医療従事者)	個人線量計や防護眼鏡等の装着・着用を徹底する
事業者	放射線を取り扱う医療従事者等を対象とした防護研修を実施する 特に新機種導入の際に、防護方策や訓練情報の更新を徹底する
規制者	医療従事者の被ばく低減のための事業者へ援助を継続的に実施する 電離則第 44 条に基づき報告された事例に対して、INES レベルの分類や IAEA への報告、HP 上での公開を行う 全国的に再発防止となるような啓発的情報発信を行う
専門家	報告された事例に対して、専門的な意見を持つ学会等、関係機関が協力して、当該事業所の背景も踏まえて課題解決の援助を行う体制を確立しておく

III. 線量・リスク評価の過小評価への対応

海外での放射線被ばく事故において、発生当初に被ばく線量やリスクを過少に評価していたケースは少なくない。初期に診療した医師が放射線被ばくをアレルギーや虫刺され等と診断し、適切な医学的処置がなされず、被害が増大したケースもある。

I で紹介した作業員の手の汚染の事象（2017 年、オーストラリア）も、線量が過小評価された事例である。当初 ANSTO は、手の等価線量を 0.85 Sv と評価したが、被ばく後 2 週間以上経って作業員の手に紅斑と水泡が発生したことから、10～20 Sv が妥当と上方修正した（ARPANSA、2018）。ARPANSA は、現場が適切に保全されておらず、線量評価に重要な情報が収集できなかったことや線量評価のシステムの準備などにおいて適切な対応が採られていなかったと指摘し、指導を行った。

我が国においても、2021 年 5 月に X 線を使う測定装置の点検中に事故が起き、作業員が線量限度をはるかに超える被ばくをしたと見られているが、最終的な被ばく線量は明らかにされていない。そこで、ANSTO で起きた事象から得られた教訓をもとに、線量・リスク評価に関与する者の役割について表 3 にまとめる。

表 3. 被ばく事故・事象発生時の線量・リスク評価における役割

対象	役割
専門家(線量評価)	局所被ばくに対しては、被ばくした身体部位の吸収線量の分布をできるだけ正確に把握して、重篤度(数週間から数か月以内に起こりうる炎症や壊死などの組織反応の程度)の予測評価に供する。
専門家(被ばく医療)	局所被ばくをしても、痛みや紅斑、水疱などの症状が被ばく直後に明確に現れない場合もあるので、患者の行動や周囲の状況に関する情報を広範に収集し、放射線被ばくの可能性を確認の上、それに応じた医学的処置を判断する。
事業者(経営層)	産業医が被ばくの特徴などの知識を得るための教育を実施する。
事業者(放射線取扱主任者や産業医など)	事象が発生した時点で、線量評価に有用な情報(現場の写真、モニタリングデータ、関係者の供述/行動記録、衣類や爪など遡及的線量推定に役立つ試料等)をできるだけ詳しく収集・保存し、規制当局や独立した専門機関による遡及的検証を容易に行えるようにする。

【国内で発生した放射線施設の事故・事象の現状と課題】

原子力規制庁では、事業者から報告された法令報告事象に該当する事故トラブル情報や危険時の措置の届出を web サイトで公開している。日本放射線安全管理学会は、2013 年 4 月から 2020 年 11 月までに発生した 29 件を類型化し、そのうち多くの放射線施設で起こりうる可能性のあると判断された以下の 4 件の事例を詳細に調査し、問題点を 8 点抽出した(詳細は日本放射線安全管理学会 2021 を参照のこと)。

- 非密封 RI の所在不明(2017 年 12 月 21 日発生、企業)
概要: 滅菌処理後、保管廃棄するまでの間に保管中の C-14 投与動物死体を紛失
問題点 i: 投与動物の使用記録の不備
- 表示付認証機器の所在不明(2019 年 12 月 16 日発生、企業)
概要: 照射線量率標準ガンマ線源 Cs-137 の所在不明
問題点 ii: 表示付認証機器の使用記録の不備
- 破損(経年劣化)による漏洩(2013 年 10 月 29 日発生、大学)
概要: 保管していたトリチウム密封線源から汚染が拡大
問題点 iii: トリチウムや電着線源を含む密封線源の管理に対する認識不足(経年劣化や密封線源施設ならびに通報判断基準等への認識不足、異常事象に対する行動基準の不備)
- 火災(2016 年 7 月 1 日発生、大学病院)
問題点 iv: 線量率測定が不正確

本事例では電離箱式サーベイメータ¹⁰での計測により0.5 μSv/hが計測され、通常時の10倍の線量率であるように見えたが、この計測値は有意ではなく、不正確な値であった。

問題点 v: 核種・数量の使用記録の不徹底

問題点 vi: 原子力規制庁への通報や近隣住民への情報公開の遅れ

本事例では、核種・数量の把握ができず(問題点v)、情報公開が遅れた。

問題点 vii: 複数の管理部署間の連携の不備

本事例では、建屋の管理、RI 室管理、放射線取扱主任者の部局が異なり、緊急時における情報共有や組織的対応が遅れた。

問題点 viii: 放射線取扱主任者不在時の対応の不備

上記4件の事例から抽出された問題点 i~viii に対して、民間・医療・教育機関等の放射線施設に所属する学会員16名が自施設の放射線障害予防規程や緊急時対応マニュアルを調査し、「通常管理業務で予防(発生を制御)可能」な事象について十分な予防方法が規定されているか、「通常管理業務では予防(発生を制御)不可能」な事象については問題なく対応できるように規定されているかを評価した(表4)。

表4. 自施設の放射線障害予防規程や緊急時対応マニュアルの準備状況
(16施設からの回答)

事象	特性	評価項目	評価の視点	規定済みの施設の割合
非密封RIの所在不明	通常管理業務で予防(発生を制御)可能	i.投与動物の使用記録の整備	自施設が整備している放射線障害予防規程では、左の事象に十分に対応できるような規定がなされているか	50%
表示付認証機器の所在不明		ii.表示付認証機器の使用記録の整備		58%
破損(経年劣化)による漏洩		iii.密封線源の管理や正しい認識		50%
火災	通常管理業務では予防(発生を制御)不可能	iv.正確な線量率測定	自施設が整備している緊急時対応マニュアルには、火災に問題なく対応できるような記載がなされているか	73%
		v.核種・数量の使用記録		73%
		vi.適切な情報公開		60%
		vii.管理体制の連携		79%
		viii 主任者の代理者設定		73%

その結果、i 投与動物の使用記録の整備、iii 密封線源の管理や正しい認識、ii 表示付認証機器の使用記録の整備、vi 適切な情報公開の順で、放射線障害予防規程や緊急時対応マニュアルに事態を想定した対応がなされていると回答した施設の割合

¹⁰高い線量率を想定して電離箱式サーベイメータで計測すると、線量率が低い場合(1 μSv/h 未満)、値が不正確になることがある

が低いことが明らかになった。i～viii の項目に関する規定を設けていない施設においては、確認の上、必要に応じて改善することが望ましい。

③ 提言

2000 年以降に海外で発生した被ばく事故ならびに 2013 年以降の国内法令報告事象の分析からは、同様の事故・事象の発生予防や発生後の対応には、規制の強化というよりも、全事業所における管理方法や体制の自主的なかつ継続的な見直しが重要であることが明らかになった。特に事業者には、実施すべき具体的方策の規定化・マニュアル化、さらにはその継続的な実効性の確認及び改善として、以下の遂行を提言する：

1. 放射線を照射する機器の新規導入やヒヤリハット事例の発生のタイミングで、組織として、防護方策や訓練内容の見直しの効果や妥当性を検討したうえで、適切なものは速やかに取り入れる。また規定やマニュアルへの取り入れを行う。また作業者が被ばくリスク低減のために作業場や作業工程の改善を事業者提案した場合、組織としてその効果や妥当性を検討し、取り入れる体制を構築する。
2. 被ばく事故の速やかな対応のため、線量評価やリスク評価の重要性を事業所内で周知し、必要な情報の広範な収集や試料の収集・保存を行うためのマニュアル整備や教育訓練を行う。
3. 放射性廃棄物の帳簿の作成に当たっては、全ての使用を追うために適切な記録が残されているか、投与動物(死体)の保管記録など、盲点となっている取り扱いはないか継続的に確認し、必要に応じて規程やマニュアルを見直す。さらに記録を付けるユーザへの周知を徹底することも規定化・マニュアル化し、仕組みを整備する。
4. 密封線源の健全性が保たれなくなったことによる汚染への備えとして、定期的に漏洩の有無を確認する、もしくは ISO 等で定められたワーキングライフを厳守する。
5. 表示付認証機器は、法令の規制が緩やかなため管理が手薄になりやすい点に配慮し、適切な専用容器への収納の上、施錠付き金庫中で管理されていることを定期的に確認する。
6. 火災等の事故が起こった場合、必要な情報を集約し、遅滞なく原子力規制庁及び地方自治体や関係機関への通報や近隣住民への情報公開ができる体制を構築する。

これらについて確実に実施できるように、必要に応じて規程類を見直すとともに、実施体制を整備する。規程類や体制は定期的に見直して改善を行う。

なお、被ばく事故や放射線施設での事故・事象が発生した場合、規制当局や第 3 者機関による分析や検証は必須である。規制当局は、事業者による情報公開を促し、

専門機関による分析や検証を進め、分析・検証結果を全事業者へフィードバックするといった PDCA サイクルを回すことにこれまで以上に注力すべきである。

また放射線に関する事故・事象に対する PDCA サイクルの結果、規制の強化等について検討する場合には、ポリシーメーカー、研究者、産業界など、さまざまなステークホルダーが協力し、リスクに応じた管理を行い、資源配分を最適化できるように IAEA GSR part 3 (IAEA、2014) や GSG-7 (IAEA、2018) の段階的な放射線管理の規制への導入を目指して検討する、あるいは規制影響分析をベースに、より合理的な規制構築を行うことが望ましい。

(2) 大規模放射線災害発生時の線量推定の高度化に向けた方策

① 提言の背景

東京電力福島第一原子力発電所事故(以下、福島原発事故)の対応では、環境中に放出された放射性核種による空間放射線量率の測定、及びその測定値を用いた外部被ばく線量の推定において、チェルノブイリ事故に比べて大幅な進展がみられた(日本放射線影響学会、2021)。また個人線量の測定・評価の重要性も強く認識された。福島原発事故以前、外部被ばく推定用の個人線量計による実測や内部被ばく推定用の体外計測は、モデルを用いた線量評価結果を検証するために、限定されたケースだけを実施すると位置づけられていた。しかし実際の事故対応では、福島原発事故では急性障害や内部被ばくを含めて、治療を要する者はいなかったが、健康管理とリスクコミュニケーションの観点から多数の住民に対して行われた。

個人線量評価は本来、急性放射線症や内部被ばく等の早期診療あるいは詳細な線量評価の対象者のスクリーニングにおいてより重要な意味を持つ。このような場合には、生物学的線量推定法が有効な手段となりえる。2001年に米国で発生した同時多発テロを契機に、大規模放射線災害発生時の生物学的線量推定法の開発が国際的課題となっており、米国では数万人規模の生物学的線量評価を可能とするハイスループットシステムの開発に着手している(Grace et al., 2011, Wang et al., 2020)。

現在、過去の国内外の事故や災害(テロを含む)を教訓に、我が国の線量評価に関してはさまざまな技術開発と制度の改良が進められているが、効率的な改善や実効性の担保には国・地方自治体、専門機関、専門家、事業者、医療機関等の連携が必須である。2015年に原子力規制委員会が指定した高度被ばく医療支援センターは、こうした連携に重要な役割を果たすとともに専門家集団であるアカデミアとの接点でもある。そこで日本放射線影響学会では、大規模な放射線災害時における線量推定方法に関する国内外の調査を行うとともに、各高度被ばく医療支援センターにアンケートを行い、現状分析を行った(日本放射線影響学会、2021)。

こうした日本放射線影響学会の調査結果を放射線防護アカデミアが検討した結果、我が国では高線量被ばく患者のトリアージや高線量被ばくの可能性がある住民スクリーニングの目的で100~1000人規模の線量評価を行うためには、二動原体染色体頻度、未成熟染色体凝集法(PCC法)、細胞質分裂阻害微小核アッセイ法(CBMN法)などの生物学的線量評価領域での体制整備が不十分であり、早急に対策を講じるべきであると判断した。そこで、国・地方自治体ならびに高度被ばく医療支援センターに対して具体的な提言を行うこととした。

② 現状及び問題点

日本放射線影響学会(2021)の調査によると、大規模な災害に向けた高度被ばく支援センターの準備状況は以下のとおりである。

【大規模放射線災害時に用いる線量評価手法】

高度被ばく医療支援センターでは、物理学的線量評価として、被災者の個人被ばく線量計や環境放射線モニタリング等のリモートで得られる情報から推定される外部被ばく線量、体表面汚染検査(GM サーベイ)、NaI サーベイによる甲状腺モニタリングおよびホールボディカウンターによる内部被ばく検査など、国際規格が整備され、我が国でも国際規格に準拠した技術基準に基づき実施される手法による線量評価が対応可能になっている。福島原発事故で課題となった甲状腺被ばく線量モニタリングに関しては、原子力規制委員会主導で機器の開発とリンクした制度設計並びに関係機関の連携が進められており(原子力規制庁、2021)、近く充実化が図られる。

一方、生物学的線量評価については、これまで高線量被ばくを念頭において、10名以内の線量評価への対応を中心に議論されてきた歴史があり、高度被ばく医療支援センターでは二動原体染色体法(トリアージ法)での対応が可能である。染色体分析による線量評価の欠点は血液細胞培養(~48時間)と染色体異常解析に時間を要することであり、国内外でAI技術等を活用した自動化やハイスループット解析化が進められている。また国内のトレンドとして、自動化・ハイスループット解析化が容易な分析法(例:血液/尿中の代謝物あるいは遺伝子/miRNA発現が指標)の線量評価への応用が進められている。

CBMN法は国際的にも認証されたトリアージ法であり、分析の自動化が最も進んでいる。二動原体染色体法に比べ線量評価の精度は低いものの、数ヶ月以内の線量評価法として使うことができるという利点がある。また血球数の変化は個人差が大きく、推定線量の精度が低いと言われているが、以前よりも少量の血液で分析が可能になってきており、被ばく医療に精通した医師が不在でも要線量評価対象者のスクリーニングが短時間で可能であることから、100~1000人のトリアージ手法としての有用性を今後再検討する余地がある。

JCO事故¹¹や福島原発事故の経験に鑑みると、各高度被ばく医療支援センターが連携して大規模放射線災害の線量評価を担うためには、染色体画像撮影システムの共通化や画像共有システムの構築が必要になる。しかし現状、必要な設備の整備は各高度被ばく医療支援センターに委ねられており、具体的な検討には至っていない。

また福島原発事故以前には、国の三次被ばく医療機関であった放射線医学総合研究所(現 量子科学技術研究開発機構)の主導のもとに染色体分析の専門家による染色体ネットワーク会議が設けられていた。現在は、高度被ばく医療支援センターが連携し、研修による人材育成や線量効果標準曲線の作成等を行っているものの、緊急時において全国の専門家が協力して正確かつ迅速な線量評価を行うネ

¹¹1999年に発生したJCO臨界事故の際には、低線量被ばくをしたJCO職員と消防士、血中のリンパ球数が少なかった住民ら計43名の染色体分析を行ったが、5機関から参加した10人近い専門家が協力して実施しても、全ての解析を終了するまでに半年以上を要した。

ネットワークとしての機能は不十分で、連携体制をより強化する必要がある。

【大規模放射線災害時における線量評価の依頼】

高度被ばく医療支援センターでは、線量評価を依頼されるタイミングとして、①救命のための医療行為に並行した依頼、②救命処置が済んだ後の依頼、③救命処置は不要であるが線量評価が必要、の3つを想定しているとのことであった。

物理学的線量評価では、①～③のいずれに対しても線量評価情報を提供できる可能性があるが、提供までの時間及び精度は線量評価を依頼された時点で利用可能な情報に大きく依存する。

一方、生物学的線量評価の依頼-受け入れは、現場の情報判断を担う医師による患者の被ばく状況の判断や高度被ばく医療支援センター等分析を行うラボの処理能力に依存する。しかしながら、現時点では誰が依頼するのか(診療している医師、医療機関、事業者など)、どこに依頼するのか(ラボ、支援センター、専門機関など)といった具体的な依頼と受入について体制は整備されておらず、各ラボが独自に依頼を受けている状況である。大規模災害時の依頼-受け入れを、ネットワーク等の形成と実施可能な施設の集中化と周知により整備すべきである。

また、線量評価の依頼、検体受け渡しの方法及び線量評価報告様式については、各支援センターが個々に検討している状況である。多数の傷病者の試料の輸送から分析、結果報告を複数のラボが協力して行うのであれば、これらの方法及び様式について、共通ガイドラインを作成する必要がある。

なお、排泄物等分析による内部被ばく線量評価、いわゆるバイオアッセイにおいても、同様の問題があると思われるが、現時点では、試料入手から化学分離を行って定量するバイオアッセイ分析には放射能定量に数日間を要するため、トリアージ及びスクリーニングへの適用は考慮されていない。

【原子力防災訓練における線量評価の関与】

原子力関連施設および半径 30km 圏(UPZ)を含む 24 道府県のほとんどで「福島事故と同規模の RI 放出を想定した原子力防災訓練」が例年開催されている。しかし、これらの訓練は、①関係者の通信訓練、②UPZ 内の住民避難訓練、③オンサイトにおける数名汚染傷病者への医療訓練、④その他、環境モニタリングや参集訓練で構成されており、線量評価に関する内容は訓練に取り入れられていない。

被ばく患者を受け入れる原子力災害拠点病院および高度被ばく医療支援センターにおける大規模放射線災害発生時の実効的な線量評価体制を整備するため、今後の原子力防災訓練において甲状腺モニタリングや住民の線量評価を含めた線量評価に関する訓練を組み込む必要があると思われる。この取り組みにより、上述の線量評価の依頼方法、検体受け渡し方法および線量評価報告様式に関する共通ガイドラインの作成が可能になる。

③ 提言

上記のように、福島原発事故により、個人の被ばく線量評価の重要性が再認識され、外部被ばくについての物理学的線量評価分野においては、100～1000人規模の対象者のモニタリングやトリアージを行う上で技術的に大きな課題はないように思われる。

一方、生物学的線量評価のうち染色体検査等に関しては、まずは原子力防災に関係する行政機関が主導し、大規模放射線災害時において染色体検査の対象とする被災者や職業人の範疇を定め、対処すべき規模感とスピード感を明らかにして、高度被ばく支援センターの機能を強化することが望ましい。具体的には、線量評価手法の技術面に加えて、高度被ばく医療支援センター間の協力のための基盤(ソフト・ハード)および事故現場－医療機関－高度被ばく医療支援センターの分析ラボとの情報共有や連携の面で戦略的に備えを進める必要がある。

そこで、放射線防護アカデミアでは、高度被ばく医療支援センターの生物学的線量評価機能に対して以下の提言を行うとともに、当該分野の専門家には提言遂行のための協力を依頼する。

1. 高度被ばく医療支援センターは、大規模災害で多数の傷病者に対して生物学的線量評価を行う場合に備え、センター同士が協力して実施できるよう、連携体制をより強化する。
 - ・設備の導入、人事交流、技術研修等による二動原体染色体分析技術の標準化
 - ・遠隔分析を可能とする画像共有システムの整備
 - ・各ラボの受け入れ可能検体数の把握と役割分担(分業)の検討
 - ・線量評価の依頼方法、検体受け渡し方法および線量評価報告様式に関する共通ガイドラインの作成など
2. 各高度被ばく医療支援センターにおいて、上記の連携体制を取った上でも設備や人員に不足があれば、人材育成や人事交流による底上げを行う。また高度被ばく医療支援センター以外の機関と契約を結び、緊急時に組織的な支援を受けるなどの方策を行うことが望ましい(民間企業との連携を含む)。
3. 正確な線量評価が可能な二動原体分析法は時間と労力がかかるため、多数の傷病者のトリアージに適した手法については継続的に高度被ばく医療支援センター間で協議を行うとともに、標準的手法に関する情報収集にあたっては国内外の専門家のネットワーク¹²を活用する。
4. 生物学的線量評価法として、5 Gyを超えるような高線量被ばくに対してはPCC法、慢性被ばくの場合には転座染色体の検出やCBMNなど、多様な被ばくに対応でき

¹²WHO が運営する国際的生物学的線量評価ネットワーク(BioDoseNet)は、現在、世界各国の生物学的線量評価ラボの体制や準備状況について、The 3rd WHO BioDoseNet survey を実施している。本調査結果はEPR-BioDose2022(岡山理科大学)にて報告され、我が国のラボや専門家の実態も明らかになる予定である。

るように準備すべきである。

5. 緊急時において全国の染色体分析の専門家が協力して正確かつ迅速な線量評価を行えるネットワークを再構築する

線量評価の専門家の多くはラボでの作業を想定して配置されており、発災現地で傷病者のトリアージ(要線量評価対象者のスクリーニング)に対応する人材については考えられていない。そこで現場の対応者とラボで作業する線量評価の専門家との連携について検証する必要がある。放射線防護アカデミアでは、原子力防災訓練を企画・実施する国・地方自治体に対して、原子力防災訓練に線量評価の訓練を組み込むことを提言する。

また生物学的線量評価ではヒト由来試料を用いるため、機関間で情報交換や検査依頼に際し、個人情報交換、同意取得、血液・標本・顕微鏡画像の提供・共有に関する取り決めが必要となる。こうした取り決めは、高度被ばく医療支援センターによる生物線量評価に関する支援について、各センターと自治体との協議に基づき、行うことが望ましい。なお、高度被ばく医療支援センターは原子力災害対策指針に基づき指定されているため、原子力災害以外のテロ・事故・災害に対応する役割は担っていない。原子力災害以外の緊急時において線量評価を行う枠組みに関しては、国や自治体の対応方針の決定を待つことになるが、組織的に線量評価が可能な機関は限られているので、いずれの放射線災害のケースでも高度被ばく医療支援センターとして指定されている機関が担う可能性が高い。よって、このような事態における高度被ばく医療支援センターの役割を明確化するとともに、もし原子力災害とは異なる指揮系統や被ばく医療体制での対応が採られるのであれば、必要に応じ予め各都道府県または地方単位での自治体と各支援センターとの協定を締結すること等が必要である。

3 我が国の放射線防護方策のグローバル化に向けた中長期的提言

(1) 実効線量と実用量に関する新概念の国内導入に向けた方策

① 提言の背景

放射線防護や放射線規制において、線量の把握が重要になることは言うまでもない。しかしながら放射線防護で用いる線量体系は必ずしもわかりやすいものではない。特に、放射線被ばく事故等が発生し、メディアによる報道がなされる際には、緊急時に用いる吸収線量と実効線量の考え方やシーベルトと発がんリスクの関係について社会に誤解を与えぬよう、平時からアカデミアが意識して情報発信する必要がある。また「1. はじめに」で記載した通り、ICRP が数年後には公表するであろう新主勧告では、2020 年に ICRU が提案した実用量および防護量の変更を導入することが公表されている(Clement et al., 2021)。こうした変更は、日本をはじめ世界中の放射線規制が大きな影響を受けることになると予想される。

そこで令和 2 年度のアンブレラ事業において、アンブレラ代表者会議の直下に「実効線量と実用量に関するワーキンググループ」(線量 WG)を設置し、放射線に関わる量に対する正しい理解に向けた活動と将来的の具体的アクションに結び付けるための提言を検討することとした。線量 WG は実効線量と実用量に関する Webinar(全 5 回シリーズ)の企画・開催を通じて、線量の歴史、リスク評価、国外動向、生物影響、コミュニケーション等様々な情報を収集し、アカデミア内の情報共有を行った。そして以下の 3 点について情報を整理の上、現状分析を行った。

- (1) 実用量の新しい概念を国内で取入れる場合に必要な検討や準備
- (2) 実効線量の利用現場が抱える課題への対応
- (3) 実効線量を用いたリスク評価の限界

また(1)に関しては、規制当局、研究開発機関や専門家および放射線管理の実務者ならびに関連学会に、(2)は放射線防護関連学会と放射線関係行政機関に、(3)は放射線診療関連学会と医療現場の実務者に対し、提言をとりまとめた(実効線量と実用量に関するWG、2022)。代表者会議では、線量 WG による現状分析と提言内容の妥当性を確認し、そのポイントを整理して記載することとした。

② 現状及び問題点

我が国においては、ICRP2007 年勧告の国内法令の取入れや水晶体線量限度の引き下げが行われたが、現場は未だ対応に追われており but workplaces have been busy dealing with the aftermath,しかし国際的には、次期 ICRP 主勧告において、実用量および防護量の変更の導入がほぼ確実なものとなってきている(ICRU, 2020; ICRP, 2020)。

ICRP は 2007 年に主勧告を公表後、2010 年にタスクグループ 79 を設立し、線量を

取り巻く課題の解決に着手した。課題の一つは、現行の周辺線量の評価では、高エネルギー光子の場合、防護量を安全側に評価していないという点である。近年医療や研究、商業飛行の分野において、防護の対象となる放射線の種類やエネルギー領域を拡張する必要が生じたことで、問題が顕在化した。ICRU と ICRP が共同で検討した新たな考え方の概要は以下のとおりである：

①外部被ばくの実用量の定義の変更

実効線量の評価のための実用量として、従来の ICRU 球から標準人体ファントムに変更し、防護量を過小評価しないフルエンスあたりの換算係数を用いて定義される測定量とする。これにより、実効線量と実用量の両方で人体形状ファントムを使うことになる。また多少の機器・手法変更が必要となる。

②組織反応の評価のための線量の変更

白内障や皮膚の急性障害等の組織反応の防止には、等価線量ではなく吸収線量を用いる。これにより、等価線量は実効線量計算の中間的な量であり、防護量という意味合いを持たないことになる。また放射線の種類等に依存した吸収線量と組織反応の生物学的効果比(RBE)の情報が必要となる。

こうした新たな線量とその利用方法に関しては国際的なガイドラインはそろいつつあり、今後、国際原子力機関(IAEA)や国際標準化機構(ISO)による基準化が行われると思われる。

我が国においては、医療における放射線利用の拡大や福島原発事故の発生により、公衆・行政等が放射線の線量を耳にする機会がこの 10 年間で格段に増えた。よって、過去において防護量の単位や組織加重係数に変更された際とは異なり、放射線防護や管理の関係者のみが承知していればいい、あるいは、新実用量を取り入れるための技術的な問題だけに対応すればいい、という状況ではなくなっている。そこで、この実用量と防護量の変更への社会全体への影響を検討し、混乱を最小限にする対応をする必要がある。

【防護量・実用量に関する変更への対応と課題】

実用量の定義が変わる、また組織反応を防止するため線量限度の単位が等価線量から吸収線量に変更されることによる影響については、既にさまざまところで議論されている。例えば、測定機器・校正手順の変更としては、3 MeV 以上の光子もしくは 50 MeV 以上の中性子に対して検出器応答を大きくしたり、水晶体線量をより精度よく測定する検出器を開発したりする必要があると言われている。

原子力安全研究協会(2020)では、実用量の概念変更を国内法令等へ取り入れた場合、実用測定器を用いた実用量の測定と評価が受ける影響について調査した。実用測定器の換算定数の変化のみならず、ISO、国際電気標準会議(IEC)、日本産業規格(JIS)による規格化とその対応、マニュアル類の用語、シンボルの変更まで含め

ると、今後予想される実用量の概念変更への対応には、校正機関、放射線測定器メーカー、放射線管理の現場それぞれが単独で行うことは困難であり、互いに連携した取り組みが必要であるとまとめている。

また個人線量に関する影響としては、個人線量計の設計、個人線量測定サービス機関による線量算出や利用者による被ばく管理も影響を受ける。中でも眼の水晶体及び皮膚の線量限度が等価線量(Sv)から吸収線量(Gy)と変わること、中性子・光子混在場では、中性子のRBEを考慮した加算が必要になる。

なお、組織反応には対象となる組織・臓器が複数あり、またその反応については、例えば皮膚の場合で初期の一時的紅斑、主な紅斑反応、一時的な脱毛、永久的な脱毛等、様々であり、さらに放射線の種類やエネルギーによって生物学的な効果が変わりうる(ICRP、2012)。そのため、RBE、線質係数及び放射線加重係数の検討は国際的な課題であり、世界的に粒子線治療をリードしている我が国の貢献が期待されている。

【実効線量、年齢別の実効線量の使い方と課題】

放射線防護の目的のための実効線量は、人体の臓器・組織の平均の線量に基づいている(ICRP、2007)。また臓器・組織の等価線量の計算には、成人の標準男性と成人の標準女性の標準コンピュータファントムが用いられている。近年、外部被ばくについてICRPは全身被ばくの照射条件を設定して換算係数を評価しており、ICRP Publication 144では年齢別(0歳、1歳、5歳、10歳、15歳及び成人)のファントムと実効線量(率)係数を提供している(ICRP、2020)。また放射性薬剤の投与といった内部被ばくに対する年齢別の線量係数も提供されている。このように年齢別の実効線量は改良の途上ではあるが、次期の主勧告までには整理されていくと思われる。

一方で、実効線量の使い方の見直しが行われている。例えば、医療被ばくはほとんど局所被ばくであるため、実効線量の使用は不相当と見られがちであるが、モダリティや撮影技術の比較やリスクコミュニケーションの目的で使うことは認められている(ICRP、2021)。また一般的に100 mSv以下の線量で使用されるが、約1 Svまでの範囲の急性線量での使用は妥当とみなされている。

実効線量は、起こりうる健康リスクのおおよその指標であることから社会的には最も浸透しているが、計算ならびに使用については多くの取り決めが存在する。放射線関係行政機関が作成している一般向けの放射線に関する資料には、実効線量あるいはシーベルトの説明が含まれているものの¹³、時には誤った使用もあるため、関係者が実効線量の意味合いと意図する使い方に関して共通認識を持つことが重要であ

¹³ 現在も省庁が更新している資料の例を以下に列挙する：内閣府 消費者庁 復興庁 外務省 文部科学省 厚生労働省 農林水産省 経済産業省 環境省 原子力規制庁による「放射線のリスクに関する基礎的情報」、文部科学省作成の「放射線副読本」、環境省作成の「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料」、消費者庁作成の「食品と放射能 Q&A」

る。特に年齢別の実効線量は、改良・整理の途上で社会的関心を集める可能性があることに鑑み、その普及に備えるべきである。

【実効線量を用いたリスクの説明と課題】

実効線量とリスクの関係について、ICRP2007 年勧告では、名目リスク係数として約 5%/Sv を与えている。これは 100 mSv の被ばくによって集団でのがん死亡が 0.5%程上昇すると評価することを意味する。この名目リスク係数の計算には、線量・線量率効果係数 DDREF、組織加重係数 w_T が使われているため、低線量(率)放射線による全身被ばくが基本となっている。よって福島原発事故のリスクコミュニケーションでも用いられ、このリスク係数は国内で広く広まった。

これまで DDREF、 w_T 、及び放射線加重係数 w_R は性別、年齢にかかわらず同一の値を用いてきた。しかし胎児、妊婦などより詳細なファントムが提供され、年齢区分に応じた精緻な吸収線量評価の開発が進み、年齢別実効線量の改良が進んでいることは上述の通りである。

一方、国内の状況に鑑みると、福島原発事故から 10 年が経過し、がんの潜伏期間を超えると、被災者個人の被ばく量とがんの誘発の因果関係が問題視されることになる。そこで、放射線影響・防護の専門家は、福島原発事故による放射線被ばくのがん寄与率を説明する必要性に迫られる。こうした緊急事態対応時のリスクコミュニケーションのみならず、日常的に行われる放射線診療の現場でも、様々な被ばくのシナリオに整合したリスクの説明が求められる。

ICRP は健康へのリスクに関連した線量の使用を明確にするため、Publication 147 を公表した(ICRP、2021)。これまでも医療においては、異なる医療行為による線量の比較、正当性の判断、医療研究における介護者やボランティアの制約条件の設定などに、実効線量を用いられてきた。医療被ばくのリスクを患者や臨床医に説明する場合、引き続き注意が必要で、「特定個人の実効線量が当該個人のリスク値の代替になる」といった誤解を招かないようにする必要がある。そこで ICRP(2021)では、一般的な用語(無視できる、最小限、非常に低いなど)や「30 歳代での被ばくのリスクと比較して 0-9 歳では約 2 倍」といった表現の利用を推奨している。

また実効線量は例外的に緊急時被ばく状況では 1 Sv 程度まで使用可とされている。しかし 2017 年に発生したプルトニウム内部被ばく事故では、預託実効線量が 12 Sv¹⁴ と報道されたため、全身被ばくの 12 Sv と混同され、1999 年に発生した JCO 臨界事故並みの被ばくであると誤解された。

医療現場では実効線量の値がリスクに直結して受け止められがちであるため、医療関係者が実効線量の意味や制約を理解して、適切に説明に用いる必要がある。

¹⁴日本原子力研究開発機構は「大洗研究開発センター燃料研究棟における汚染について(続報)」(6月9日)を公表し、「鼻スミア・肺モニタ測定値」の測定結果の表に、「 2.2×10^4 Bq の Pu-239 を吸入摂取した場合、預託実効線量約 12 Sv に相当する。」と記述した。

③ 提言

上記のように、防護量・実用量に関する変更が国際的にも大きな変更であることから、国際的な動向の把握、国内検討状況を統括的・長期的に議論する仕組みが重要である。放射線アカデミアでは、規制当局や研究開発機関や専門家及び放射線管理の実務者に対して、新実用量に対応した測定器の校正の在り方、測定方法の妥当性の確認方法、ISO、IEC、JIS等の線量計の校正標準化、妥当性が担保できないときの対処、線量の記録の変更に伴う影響等の課題を整理することを提言する。この際、メーカー、サービス、規制、ステークホルダーを交えてコミュニケーションを促進し、変更の背景の理解に加え、十分な議論を重ねることが望ましい。さらに関連学会や放射線管理の実務者には RBE の情報を収集・整理し、実務への影響について取りまとめること、研究開発機関や専門家には、RBE の科学的データや実務への影響予測に関して国際的組織へ情報発信することを期待する。

また医療での放射線利用の拡大や放射線リスクへの社会的関心の増大といった社会的背景に鑑みると、放射線防護関係者のみならず、広く実効線量、年齢別の実効線量の使い方に正しい理解が必要である。そこで、放射線防護に関連する学会に対し、内部被ばくと外部被ばく、放射線管理や医療被ばくの側面から用語解説といった理解の土台となる情報も含めて構造的に整理し、ICRP 等が示す実効線量の意味合い、年齢別の実効線量の意図する使い方が認識を共通化できる報告書を協働して作成することを提言する。こうした共通認識を効率的に社会に普及するために、放射線関係行政機関に対しては、学会が作成した報告書の内容をそれぞれが発行する一般向け資料等に反映することを提言する。学会の報告書の作成や省庁による資料の更新にあたり、ステークホルダーを交えたブラッシュアップや社会への浸透のため、省庁と学会が協力して学術大会、シンポジウム、セミナー、勉強会等の開催や HP の意見募集を行うことが望ましい。

さらに、放射線診断適用の正当化について説明する場合、実効線量を用いて健康リスクを説明する場合がある。そこで医療関係者は実効線量の意味や医療利用する場合の制約を十分理解する必要がある。そこで放射線防護アカデミアでは、放射線診療系学会は放射線防護関連学会と協力して、実効線量の医療利用とリスクの意味合いを整理し、医療関係者に周知するとともに、患者に適切な説明が可能となるような標準資料を整備することを提言する。また医療現場の実務者からのフィードバックや放射線診断技術の進歩に合わせて、患者への説明手法を継続的に更新することを放射線診療系学会の業務と位置付けることを期待する。

4 まとめ

放射線利用の安全と安心の確保の根幹は、計画外被ばくの予防にある。しかし、ヒューマンエラーを完全に防ぐことは不可能で、作業中の非密封 RI の飛散や、IVR 作業中の作業者の被ばくは起こりうる。こうした事象が発生した際、適切な措置を行い、被ばくを最小限に抑えるため、作業者の線量計や防護具の着用は当然であるが、事業者が照射機器の新規導入やヒヤリハット事例発生タイミング等で、作業工程や訓練内容、マニュアルなどの見直しを行い、PDCA を回すこと、事故の原因究明や影響の検証ができるように常に情報共有を行うことが重要である。また 2013 年に国内で発生したトリチウム密封線源の汚染や、2017 年に発生した RI 投与動物死体の紛失に関しては、今も国内放射線施設の半数で、こうした事態への対応が放射線障害予防規程や緊急時対応マニュアルに定められていない、という調査結果が出た。そこで、放射線防護アカデミアでは、事業者に対して、事故予防と速やかな収束のための具体的な提言を行った。また規制当局には、事業者による事故・事象の情報公開を促し、専門機関による分析や検証を進め、その結果を全事業者へフィードバックするといった PDCA サイクルを回すことを期待する。

また大規模な放射線・原子力災害や核テロの際には、多数の被ばく患者が発生する可能性がある。福島原発事故により、個人の被ばく線量評価の重要性が再認識され、物理学的線量評価分野においては、100～1000 人規模のモニタリングやトリアージを行う上での課題は解決されつつある。一方、生物学的線量評価には様々な手法があり、それぞれが長所・短所を持っている。そこで、多数者のトリアージに適した線量評価手法を開発しつつ、現時点では専門機関間の協力により、二動原体法が持つ短所をカバーする必要がある。そこで、放射線防護アカデミアは、高度被ばく医療支援センターに対して、支援センター間の協力のための基盤の整備を具体的に提言するとともに、専門家に協力要請を行う。また原子力防災訓練を企画・実施する国・地方自治体に対して、原子力防災訓練に線量評価の訓練を組み込むことを提言する。

実効線量と実用量の変更と国内への導入は数年以上先の話であり、上記の 2 つの提言に比べ、緊急性はないものの、放射線防護アカデミアは、研究開発及び放射線管理の実務者に対して、メーカーやサービス機関と連携して、線量計や校正手法等の規格化に取り組むよう、提言する。また福島原発事故以降、放射線への社会的関心が高い我が国においては、実効線量の使い方、特に実効線量を用いた健康リスクの適切な説明は、現在進行形の課題である。改良途上の年齢別実効線量が、特定個人のリスク指標と誤解されないように、放射線防護と放射線診療に関わる学会が協力し、実効線量の意味や制約等に関する共通認識を形成することを提言する。また放射線関係行政機関の協力を得て、これを社会全体で共有することを期待する。

5 参考文献

【1. はじめに】

厚生労働省 労働基準局安全衛生部労働衛生課長: エックス線装置の点検作業等における被ばく防止の徹底について、2021年6月1日

<https://www.mhlw.go.jp/content/000787485.pdf>

Clement, C, Rühm, W, Harrison, J et al: Keeping the ICRP Recommendations Fit for Purpose, J. Radiol.Prot. doi: 10.1088/1361-6498/ac1611, 2021

International Commission on Radiation Units & Measurements(ICRU): Operational Quantities for External Radiation Exposure, Journal of the ICRU, 20(1), 2020

【2. 我が国の放射線防護方策の改善のための緊急提言】

日本放射線安全管理学会: 放射線防護対策の推進に関する調査と提言, 2021年2月作成/9月改訂 http://www.umbrella-rp.jp/R2JRSM_report.pdf

Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA): Report to Parliament – Radiation exposure of a worker at ANSTO Health, Lucas Heights on 22 August 2017, Tabled in Parliament 26 February 2018 <https://www.arpansa.gov.au/about-us/corporate-publications/reports-parliament/report-parliament-radiation-exposure-worker-ansto>

<https://www.arpansa.gov.au/about-us/corporate-publications/reports-parliament/report-parliament-radiation-exposure-worker-ansto>

樺田尚樹:十分な放射線防護を行っても、なお高い被ばく線量を眼の水晶体に受ける可能性のある労働者に関する実態調査について(第5回 眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会用資料 2)、2019年6月20日

<https://www.mhlw.go.jp/content/11201000/000519683.pdf>

細野真ら:医療分野の放射線業務における被ばく実態と被ばく低減に関する調査研究(労災疾病臨床研究事業費補助金研究 放射線防護分野研究班合同連絡会議用資料)、2021年5月31日

http://www.radher.jp/J-RIME/report/rousaijigyou_siryoushou_20210531.pdf

厚生労働省 労働基準局安全衛生部: 被ばく線量低減設備改修等補助金(間接補助金)に係る補助事業者(執行団体)の公募について(公募要領), 2020年2月

<https://www.mhlw.go.jp/content/11300000/000599446.pdf>

原子力安全技術センター: 令和2年度厚生労働省委託事業放射線被ばく管理に関するマネジメントシステム導入支援のご案内 募集要項, 2020年7月

<https://ms.nustec.org/wp-content/uploads/2020/07/boshuyoukou.pdf>

International Atomic Energy Agency(IAEA) et al: Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards No. GSR Part 3, 2014

International Atomic Energy Agency(IAEA): Occupational Radiation Protection, IAEA Safety Standards Series No. GSG-7, 2018

日本放射線影響学会: 放射線影響分野における放射線防護対策の推進に関する調査と提言ならびに放射線防護人材の確保・育成, 2021年2月作成/9月改訂

http://www.umbrella-rp.jp/R2JRR_report.pdf

Grace, M. B., Cliffer, K. D., Moyer, B. R. et al: The U.S. government's medical countermeasure portfolio management for nuclear and radiological emergencies: Synergy from interagency cooperation. Health Physics: 101(3), 238-247, 2011

Wang, Q., Lee, Y., Shuryak, I. et al: Development of the FAST-DOSE assay system for high-throughput biodosimetry and radiation triage. Scientific Reports 10, 12716, 2020.

原子力規制庁: 「緊急時の甲状腺被ばく線量モニタリングに関する検討チーム」からの報告(令和3年度第34回原子力規制委員会資料2)、令和3年9月22日
<https://www.nsr.go.jp/data/000365637.pdf>

【3. 我が国の放射線防護方策のグローバル化に向けた中長期的提言】

Clement, C, Rühm, W, Harrison, J et al: Keeping the ICRP Recommendations Fit for Purpose, J. Radiol.Prot. doi: 10.1088/1361-6498/ac1611, 2021

実効線量と実用量に関するWG: 放射線に関わる量に対する正しい理解に向けたとりまとめと提言、2022年3月

International Commission on Radiation Units & Measurements(ICRU): Operational Quantities for External Radiation Exposure, Journal of the ICRU, 20(1), 2020

International Commission on Radiological Protection(ICRP): Dose coefficients for external exposures to environmental sources. ICRP Publication 144. Ann. ICRP 49(2), 2020

原子力安全研究協会: 令和元年度放射線対策委託費事業報告書 放射線管理に係る実用量の測定等の実態調査、2020年3月
<https://www.nsr.go.jp/data/000319356.pdf>

International Commission on Radiological Protection(ICRP): ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1/2), 2012

International Commission on Radiological Protection: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4), 2007

International Commission on Radiological Protection(ICRP): Use of dose quantities in radiological protection. ICRP Publication 147. Ann. ICRP 50(1), 2021

6 謝辞

本提言作成に協力、助言いただいた関係各位に感謝の意を表する。

明石 眞言氏	黒澤 忠弘氏	辻口 貴清氏	前川 和彦氏
赤羽 恵一氏	児玉 靖司氏	角山 雄一氏	松田 尚樹氏
赤羽 正章氏	小林 純也氏	寺東 宏明氏	三浦 太一氏
阿部 悠氏	古渡 意彦氏	床次 眞司氏	三浦 富智氏
飯塚 裕幸氏	斎藤 公明氏	富田 悟氏	百瀬 琢麿氏
飯本 武志氏	酒井 一夫氏	富永 隆子氏	保田 浩志氏
岩井 敏氏	佐々木道也氏	中島 覚氏	山口 一郎氏
岩岡 和輝氏	佐瀬 卓也氏	永田 健斗氏	山田 崇裕氏
馬田 敏幸氏	眞田 哲也氏	長谷川 有史氏	山田 裕氏
大森 康孝氏	島田 義也氏	橋本 周氏	山本 尚幸氏
岡村 泰治氏	志水 陽一氏	濱崎 幹也氏	横山 須美氏
小田 啓二氏	数藤 由美子氏	桧垣 正吾氏	吉澤 道夫氏
折田 眞紀子氏	杉浦 紳之氏	平尾 茂一氏	吉田 浩子氏
甲斐 倫明氏	鈴木 元氏	廣井 朋子氏	吉田 光明氏
笠井 篤氏	高田 千恵氏	廣橋 伸之氏	吉田 由香里氏
加藤 眞介氏	高橋 昭久氏	二ツ川章二氏	吉野 浩教氏
神田 玲子氏	高橋 賢臣氏	古澤 哲氏	米内 俊祐氏
久下 裕司氏	武田 晃氏	外間 智規氏	米原 英典氏
工藤 輝氏	立崎 英夫氏	細井 義夫氏	王 冰氏
栗原 治氏	谷 幸太郎氏	細田 正洋氏	(五十音順)

Advisory Opinions for Improving Radiation Protection Measures in Japan

March 2022

Japan Health Physics Society

Japanese Association for Radiation Accident/Disaster Medicine

Japanese Society of Radiation Safety Management

The Japanese Radiation Research Society

The Representatives' Council of the Japanese Umbrella-structured
Platform for Radiation Protection

These advisory opinions are based on surveys and studies conducted by the Japanese Society of Radiation Safety Management, Japanese Radiation Research Society, and a working group on the effective doses and operational quantities of radiation established by the Representatives' Council of the Japanese Umbrella-structured Platform for Radiation Protection. Some measures required for the promotion of radiation safety measures in Japan were compiled by the Representatives' Council of the Japanese Umbrella-structured Platform and are published jointly by the academic societies participating in the *Radiation Protection Academia*.

Contents

1 Introduction.....	1
2 Urgent advisory opinions for improving radiation protection measures in Japan.....	4
(1) Measures for preventing accidents and adverse events from occurring at radiation facilities and for handling the aftermath.....	4
1) Background of the advisory opinions	
2) Current situation and problems	
3) Advisory opinions	
(2) Measures for improving the radiation dose estimation in cases of large-scale radiation disasters.....	16
1) Background of the advisory opinions	
2) Current situation and problems	
3) Advisory opinions	
3 Mid- and long-term advisory opinions for the globalization of radiation protection measures in Japan.....	23
(1) Measures for the adoption of new concepts regarding effective dose and operational quantities in Japan	
1) Background of the advisory opinions	
2) Current situation and problems	
3) Advisory opinions	
4 Conclusion.....	30
5 References.....	32
6 Acknowledgments.....	34

1 Introduction

In recent years, two events that had a social impact have occurred; these provided opportunities to review Japan's preparedness for accidents at radiation facilities and radiation disasters.

The first event, an accident resulting in radiation exposure, occurred on May 29, 2021 during the inspection of a measuring device that uses X-rays (Ministry of Health, Labour and Welfare, MHLW, 2021). According to media reports, the workers inspecting the device may have been exposed to anywhere from several times to several tens of times the annual radiation dose limit for workers; however, many aspects of this accident remain unknown. For example, normally, the power switch on such devices is turned off during inspection, but in this case, for some reasons, the device continued to emit X-rays. Although the Labor Standards Inspection Office investigated this accident, the details have not been disclosed, partially because the authority might consider the privacy of the individuals who were exposed to radiation.

The second event was the 32nd Summer Olympic and Paralympic Games held in Tokyo from July 23, 2021 to August 8, 2021 and August 24, 2021 to September 5, 2021. These games were held when the Japanese medical system was under intense pressure owing to the novel coronavirus disease 2019 pandemic. If a major terrorist attack were to occur under such circumstances, the difficulty in securing medical facilities that can admit large numbers of injured and exposed patients would have been expected to greatly surpass current hypothetical scenarios. In such a case, it is necessary to triage the victims according to their injuries and health conditions and allocate them to appropriate medical facilities while simultaneously starting the collection of information and samples for dosimetry. However, there are numerous problems associated with these activities that need to be solved. These problems include the small number of experts/specialists who are able to perform radiation dose assessments, the need to develop technologies for radiation dose assessments, and the need for cooperation between various relevant organizations.

In *Radiation Protection Academia*¹, academic societies with various interests and specialties have cooperated to propose the priority topics for radiation safety and regulation studies and discussed the problems related to securing and training human

¹ One member body of the Radiation Protection Research Network formed by the Radiation Safety Regulation Research Strategic Advancement Project of the Nuclear Regulatory Authority, Japan. Four academic societies related to radiation protection participate in *Radiation Protection Academia*. A representatives' council composed of representatives from the participating organizations of the Japanese Umbrella-structured Platform for Radiation Protection makes decisions on the activities of this network.

resources in the field of radiation protection. In fiscal year 2020, academic societies selected themes related to radiation accidents and disasters in response to each concern, collated new knowledge from countries other than Japan, and conducted surveys on domestic circumstances regarding each selected theme. These surveys and studies conducted by the academic societies resulted in two important conclusions detailed below. Thus, we decided to propose urgent advisory opinions requiring specific roles to be played by the national government, local government, private industries, and specialized organizations (described in this paper).

- 1) It is of vital importance that organizations establish detailed regulations and manuals for preventing accidents and incidents from occurring and for handling the aftermath in case they occur.
- 2) Dose assessment is an essential part of dealing with accidents, and therefore there is a need for Advanced Radiation Emergency Medical Support Centers (AREMSCs) and related institutions to rapidly develop technologies that improve and link their systems, particularly for performing dose estimates during large-scale radiation disasters.

In addition, the *Radiological Protection Academia* has proposed urgent measures for the national government, local government, private industries, and specialized institutions to solve various related problems.

With an eye toward global trends, the International Commission on Radiological Protection (ICRP) began conducting reviews for revising its 2007 recommendations, and in July 2021, it released “Keeping the ICRP Recommendations Fit for Purpose” (Clement et al., 2021). Beginning with this and continuing over the next several years, experts from around the world will conduct discussions to improve the radiation protection system and bring it in line with scientific advancements and societal changes. The abovementioned document specifies the adoption of changes in operational and protection quantities, which were proposed by the International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) in its 2007 recommendations (ICRU, 2020). The changes in operational and protection quantities are expected to have a major influence on radiation regulations worldwide. Thus, in 2020 a working group (WG) consisting of members recommended by five academic societies² related to radiation protection was formed.

² The five are the Japan Health Physics Society, Japanese Association for Radiation Accident/Disaster Medicine, Japanese Radiation Research Society, Japanese Society of Radiation Safety Management, and the subcommittee of Health Physics and Environmental Science of the Atomic Energy Society of Japan.

This WG examined the preparations necessary to adopt new concepts of operational and protection quantities into Japanese regulations. Based on these surveys and studies, mid- and long-term advisory opinions were to be made to radiation-related ministries, radiation-related academic societies/associations, and those engaged in radiation-related research and development (R&D), management, and medicine.

For the *Radiation Protection Academia*, summarizing these advisory opinions is the first step toward activities that will contribute to future radiation regulations. For experts in this field, contributing to the improvement and appropriate application of radiation regulations and protection is part of their *raison d'être*. Nevertheless, the involvement of academic societies/associations in the field of radiation protection is less than in the fields of nuclear power and medical use of radiation. This may be attributable to the fact that radiation protection covers a wide range of areas such that academic societies/associations are generally segmented by the field of expertise and specific issues³. This shows that, as a practical matter, it is difficult to consolidate the various views of experts and specialists. Therefore, the Japan Health Physics Society, Japanese Association for Radiation Accident/Disaster Medicine, Japanese Radiation Research Society, and Japanese Society of Radiation Safety Management have been working toward solving problems related to radiation protection and have shared their information and awareness of the issues with the Atomic Energy Society of Japan, Society for Risk Analysis Japan, and Japan Network for Research and Information on Medical Exposure (J-RIME).

Some major challenges remain for the continuation of these activities. The activities of the academic societies/associations are primarily based on the voluntary activities of its members, and their contributions to regulation and protection are no exception. Unless each individual member of the academic societies/associations is aware of their contribution to radiation regulation and protection, it will be difficult to continue these activities as part of their contributions. For raising awareness among experts that one of the goals of his/her researches is contribution to the improvement of regulations, it is important to satisfy the need to strengthen the collaboration among regulators, private industries, and experts while simultaneously experiencing repeated successes.

As the first step in this direction, the academic societies/associations involved in radiation protection will collaborate in the future to exchange opinions with regulators,

³ The Atomic Energy Society of Japan has approximately 6,500 individual members and approximately 200 groups that are supporting members. The Japan Radiological Society has approximately 10,000 individual members. The member body of the *Radiation Protection Academia* with the highest number of members is the Japan Health Physics Society, with approximately 800 members.

business operators, and even concerned international organizations in order to realize these advisory opinions. Through these regulatory activities, research activities, and global cooperative activities, experts will solidify the roles to be played in improving radiation protection measures in Japan.

The abovementioned bodies will continue to cooperate and study various issues such as (i) the creation and collection of scientific knowledge on low-dose exposure (public and occupational exposure) and emergency exposure, (ii) proposals for the formulation of protection systems and safety standards, and (iii) human resource development for radiation protection.

March 4, 2022

Japan Health Physics Society
President: Hiroko YOSHIDA

Japanese Association for Radiation Accident/Disaster Medicine
President: Makoto AKASHI

Japanese Society of Radiation Safety Management
President: Satoru NAKASHIMA

The Japanese Radiation Research Society
President: Yoshiya SHIMADA

The Representative Council of the Japanese Umbrella-structured
Platform for Radiation Protection
Chair: Seiji KODAMA

2 Urgent advisory opinions for improving radiation protection measures in Japan

(1) Measures for preventing accidents and adverse events from occurring at radiation facilities and for handling the aftermath

1) Background of the advisory opinions

Numerous incidents of mishandling of radiation and radioactive materials or accidents at facilities that handle them have been reported in Japan and abroad. Among these, cases of unplanned exposure to radiation have also been reported. In May 2021, an accident involving radiation exposure occurred during the inspection of a measuring device that uses X-rays in Japan. To prevent such accidents and incidents from occurring and to deal with them swiftly when they do occur, it is important to elucidate the causes of such accidents and incidents both in Japan and abroad, identify problems with the way they were handled, and share the results of such analyses widely.

Therefore, the Japanese Society of Radiation Safety Management (2021) conducted a survey on radiation exposure accidents⁴ that occurred in countries other than Japan since 2000 (International Nuclear and Radiological Event Scale [INES] level 2 and above). To use the results of the survey as reference material for responses to accidents involving radiation exposure in Japan, these accidents and incidents were classified into the following three categories: I) radiation exposure due to the dispersal of unsealed radioisotopes (RI) during work-related tasks, II) exposure of those engaged in interventional radiology (IVR) to radiation doses exceeding dose limits for workers, and III) underestimation of the dose and/or risk. The cases of errors resulting in the accidents and exposure were analyzed and the lessons learned were extracted.

The Japanese Society of Radiation Safety Management (2021) also categorized incidents that occurred in Japan since 2013 that were required to be reported by law. Typical cases of the following four categories were analyzed to identify the causes of the incidents and problems: 1) missing unsealed RI, 2) missing “Approved Device with Certification Label,” i.e., design-certified RI instrument, 3) leakage of RI due to damage, and 4) fire. A questionnaire survey was also conducted on the state of preparation of manuals on how to handle eight problems that were identified based on these incidents. The results showed that approximately 20%–50% of the facilities in Japan had inadequate manuals for dealing with similar problems (Japanese Society of Radiation Safety Management, 2021).

⁴ The term “accident” refers to an event of level 4 and above according to the International Nuclear and Radiological Event Scale (INES) that has a local impact such as the nuclear accident that occurred at Tokai-mura, Japan, in 1999. However, in this document, the term “radiation exposure accident” refers to serious incident of INES 3 or higher that is associated with unusual radiation exposure.

The Radiation Protection Academia verified the aforementioned report provided by the Japanese Society of Radiation Safety Management and determined that in order to prevent the occurrence of accidents involving radiation exposure and handle the aftermath in the event that they do occur, the following are important and thus required: a) an independent and continuous review of radiation management methods and systems in place at workplaces throughout Japan, and b) guaranteeing the effectiveness of these methods and systems. Thus, it was decided that specific advisory opinions would be issued for improving the radiation hazard prevention regulations and measures provided in emergency response manuals followed at workplaces. In addition, advisory opinions would be made to the regulatory authority to enforce the Plan-Do-Check-Act (PDCA) cycle throughout Japan to prevent recurrences of accidents that occurred in the past.

2) Current situation and problems

The current situation and problems related to accidents involving radiation exposure that occurred in countries other than Japan

The Japanese Society of Radiation Safety Management extracted comprehensive data pertaining to accidents that occurred since 2000 across countries other than Japan from public databases of the Landelijk Kernenergie Archief Foundation (LAKA) in the Netherlands⁵. There were 473 cases of accidents/incidents related to radiation safety management, graded as INES level 2 and above, reported between January 1, 2000 and December 4, 2020. Many of them occurred in Europe and North America and were graded as INES level 2.

In addition, there have been numerous reports of “unusual exposure” worldwide. Among all accidents/incidents graded as INES level 2 or above that occurred in RI facilities, the history, cause, and handling of the aftermath of 203 accidents/incidents were surveyed. Based on the survey results, the Japanese Society of Radiation Safety Management judged that the countermeasures for the following three cases might be insufficient in many facilities in Japan and consequently further examined each domestic countermeasure.

I. Measures to prevent the dispersion of unsealed RI during work

Accidents have occasionally occurred around the world in which workers have been exposed to splashed RI solution due to unsafe operation, resulting in the contamination of eyes and hands. In 2019, the following happened in a hospital in Switzerland. When a worker handling a radiopharmaceutical inserted a syringe into the mouth of a vial containing Ga-68 solution to draw out a sample, droplets of the solution scattered and

⁵ <https://www.laka.org/docu/ines/>

contaminated the worker’s right eye (INES 2). The worker was not wearing protective eyeglasses at the time, and although the worker followed measures such as eye washing, the lens of the eye was judged to have been exposed to an equivalent dose of 27 mSv.

In 2017, a worker at an organization affiliated with the Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO) accidentally dropped a vial of a solution containing Mo-99. The solution dispersed and contaminated the worker’s hands. Although the worker was wearing double gloves at the time, erythema and blisters appeared on the worker’s hands. This indicates that the skin of the hands had been exposed to a radiation dose equivalent to 10–20 Sv, meaning that the accident was graded as INES level 3, i.e., a serious incident. The Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA) analyzed the causes behind the incident and pointed out i) the lack of organizational systems that would have allowed the learning of effective lessons from minor and near-miss incidents, ii) the insufficient recognition of the risk of accidents among the workers, iii) the insufficient notations alerting the workers about hazards during work-related tasks in workplace manuals and so on, and iv) the shortcomings in the training related to the safe performance of work-related tasks (ARPANSA, 2018). ARPANSA provided guidance to ANSTO regarding its preparations to reduce radiation exposure and the training of its workers.

Similar accidents might occur in Japan as well; therefore, there is a need for workers and workplaces to ensure that the measures shown below in Table 1 are fully implemented.

Table 1. Measures to prevent and reduce radiation exposure due to the dispersion of unsealed RI during work-related tasks

Target	Measure
Individual workers	Ensure to wear protective eyeglasses and other protective gear
Business operators	<p>Prepare an organizational system that facilitates effective learning from near-miss accidents</p> <p>Provide appropriate training to workers</p> <p>Review workplaces and work procedures for reducing radiation risk e.g.,</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Adjust lead shields in drafts based on ergonomics ▪ Automate tasks that are currently performed manually by workers ▪ Reduce the concentration of RI in quality control samples <p>Establish systems that facilitate the early implementation of decontamination and other emergency medical measures for radiation exposure e.g.,</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Educate occupational health physicians and health nurses ▪ Conduct prior consultation with the organization implementing the medical treatment for radiation exposure

II. Countermeasures for IVR physicians and others who are at high risk of being exposed to doses exceeding the dose limits for workers

During IVR procedures, physicians are exposed to radiation from X-rays that scatter from patients. Thus, physicians who perform higher numbers of IVR procedures are likely to be exposed to doses that exceed the dose limits for workers even if no particular accidents have occurred.

There have been reports from outside Japan of medical practitioners being exposed to unusual doses of radiation during IVR procedures when classified using INES. An incident that occurred in the UK in 2019 reported that the estimated equivalent doses to the lens of the eye were 25.8 mSv.⁶ This dose was considered a realistic assumption based on the worker's recollection of their use of personal protective equipment (PPE).

In 2017 in a hospital in Saint-Denis, France, an incident occurred in which the equivalent dose of radiation that the hand of a radiologist was exposed to in one quarter exceeded the annual limit (500 mSv). This occurred due to the fact that the physician's hand entered the irradiation field when performing IVR under computed tomography fluoroscopy. The Autorité de sûreté nucléaire (ASN) in France surveyed this incident on January 24, 2018 and reported the results of its assessment of the cause, measures to make improvements, and assessment of INES on its website.⁷ Prior to this incident, ASN announced that they cooperated with related professional associations, industries, and regulatory authorities for improving training provided to operators when installing new equipment.⁸

One frequent problem in medical settings in Japan is the failure to use personal dosimeters or wear PPE (Kunugita, 2019; Hosono et al., 2021). In addition, it is estimated that many of the cases in which occupational radiation exposure exceeds the dose limits are in the medical field.⁹ Most of them, however, are discovered only when the Labor Standards Inspection Office conducts on-site inspections to investigate reports of occupational accidents and problems in work schedule management. Therefore, there are limited number of cases in which exposure exceeding the dose limits is found as a violation of the established laws and regulations.

⁶ In the European Union, member nations are required to legislate directives for Basic Safety Standards (BSS). In the United Kingdom, an analysis of the effects of regulations for the development of laws was conducted in 2017. In accordance with the demands in the EU directive, national regulations that reflect the equivalent dose limitation (100 mSv/5 years) for the lenses of the eyes that are stipulated in Part 3 of the General Safety Requirements (GSR) of the IAEA were to come into effect by February 6, 2018.

⁷ <http://www.french-nuclear-safety.fr/Information/News-releases/A-radiologist-suffers-radiation-overexposure-of-the-hands>

⁸ <https://www.asn.fr/espace-professionnels/activites-medicales/radiologie-et-scanographie/guides-de-l-asn/recommandations-relatives-a-la-formation-a-l-utilisation-des-dispositifs-medicaux-emetteurs-de-rayonnements-ionisants>

⁹ <http://www.kosenkyo.jp/siryou/gyousyu31.PDF>

Medical facilities that use radiation must comply with Article 44 of the Regulation on Prevention of Ionizing Radiation Hazards. The MHLW has implemented the Subsidy Project for the Renovation of Facilities to Reduce Radiation Exposure (MHLW, 2020) and the Project to Support the Adoption of Occupational Safety and Health Management Systems Related to the Management of Radiation Exposure (Nuclear Safety Technology Center, 2020).

Thus, a wide range of support programs for workplaces have been implemented for reducing the exposure of medical practitioners to radiation. Along with the continuation of these programs, it is hoped that workplaces will actively work toward this goal. In the future, increased cooperation between regulators and experts to ensure strict adherence to radiation dose limits is necessary (Table 2).

Table 2. Measures for handling exposure to medical radiation that is of particularly high likelihood to exceed dose limits

Target	Improvements, etc.
Individual workers (medical practitioners)	Ensure that personal dosimeters and PPE are used
Business operators	Conduct trainings on radiation protection for medical practitioners handling radiation and RI Ensure that protective measures and training information is updated particularly when new devices are introduced
Regulators	Provide continuous assistance to workplaces for reducing medical practitioners' radiation exposure Classify the INES level, report to the International Atomic Energy Agency (IAEA), and release reports on the website regarding incidents in accordance with Article 44 of the Regulation on Prevention of Ionizing Radiation Hazards Provide educational information to help prevent the recurrence of accidents/incidents throughout the nation
Experts	Establish a system in which academic societies/associations that have expert opinions on the reported cases can cooperate to provide assistance for problem solving based on the background conditions of the workplace in question

III. Dealing with underestimated doses and risk assessments

In many cases of radiation exposure accidents that occurred overseas, the exposure dose and risks were initially underestimated. In addition, there have been cases in which the doctors who conducted the medical examinations initially diagnosed the symptoms as allergies or insect bites, resulting in serious illnesses due to the lack of appropriate treatments.

The event in which the hand of a worker was contaminated (mentioned in Section I above; Australia, 2017) was also a case in which the exposed dose was underestimated. At first, ANSTO estimated an equivalent dose to the hand of 0.85 Sv; however, as erythema and blisters appeared on the worker's hand > 2 weeks after the accident, the estimate was revised to between 10 and 20 Sv, which was considered more valid under the circumstances (ARPANSA, 2018). ARPANSA identified the following problems and provided guidance to ensure that they would not occur again: the scene of the radiation exposure was not appropriately preserved, which made it impossible to collect data that were important to estimate the dose, and preparations for the dose assessment system, among other things, were not appropriately handled.

Table 3. Roles of those who estimate the dose and risks in the occurrence of radiation exposure accidents/incidents

Target	Role
Experts (radiation dose assessment)	In cases of local exposure, the experts ascertain the dose and distribution of the exposed part on the body as accurately as possible and estimate the severity of damage (the degree of tissue reaction, such as inflammation or necrosis, that may occur within several weeks to several months of exposure).
Experts (radiation emergency medicine)	In some cases of local exposure, symptoms such as pain, erythema, and blisters do not appear immediately after exposure. Thus, experts collect a wide range of information regarding the patient's positions, behaviors, and surrounding circumstances, confirm the possibility of radiation exposure, and determine medical treatment based on this information.
Business operators (management)	Provides education to occupational health physicians regarding the aspects of radiation exposure.
Business operators (e.g., radiation protection supervisors and occupational health physicians)	When an event occurs, experts collect and preserve data useful for dose estimation (photos of the site of exposure, monitoring data, descriptions/records of behaviors, and available samples that could be useful in retrospective dosimetry, such as clothing, nail clippings, etc.) in as much detail as possible so that the regulatory authorities and specialized organizations are able to easily perform retrospective verification.

In May 2021, a radiation exposure accident occurred in Japan during an inspection of a measuring device that used X-rays. The workers were believed to have been exposed to a dose that vastly exceeded the established limits, but the final result of the estimated dose was not disclosed. Instead, based on the lessons learned from the ANSTO incident, the roles of those involved in estimating doses and risks have been summarized as shown in Table 3.

Current status of and problems related to accidents/incidents that occur at radiation facilities in Japan

The Nuclear Regulation Authority publishes information on accidents and notifications of measures to be taken in case of danger on its website, which correspond to legal reporting events reported by business operators. Among 29 cases that occurred between April 2013 and November 2020, the Japanese Society of Radiation Safety Management categorized and surveyed four cases in detail and summarized the following four incidents that could potentially occur at many radiation facilities. They identified eight problems (for details, see Japanese Society of Radiation Safety Management, 2021).

- Missing unsealed RI (occurred on December 21, 2017, corporation)
Summary: In the time between sterilization and proper disposal, animal carcasses in storage that had been administered C-14 were lost.
Problem i. Records on the use of the RI-administered animals were inadequate.
- Missing “Approved Device with Certification Label” (occurred on December 16, 2019, corporation)
Summary: The location of a Cesium-137 gamma ray source for standardizing exposure rate was unknown.
Problem ii: Records on the use of “Approved Device with Certification Label” were inadequate.
- Leakage of RI due to damage (degradation over time) (occurred on October 29, 2013, university)
Summary: The contamination spread from a sealed source of tritium in storage.
Problem iii: Insufficient awareness regarding the management of sealed radioactive sources, including tritium and electroplated radiation sources; i.e., insufficient awareness regarding degradation over time, sealed radiation source equipment, and the criteria for urgent reporting as well as insufficient details on the code of conduct in terms of responding to unusual events.
- Fire (occurred on July 1, 2016, university hospital)

Problem iv: Inaccurate radiation rate estimates. In this case, measurements taken using an ion chamber survey meter¹⁰ indicated a radiation rate of 0.5 $\mu\text{Sv/h}$, which appeared to be 10 times the usual radiation rate; however, this measured value was insignificant and inaccurate.

Problem v: Incomplete records on the quantity and species of the radionuclides.

Problem vi: Delays in urgent reporting to the Nuclear Regulation Authority and releasing information to neighboring residents. In this case, the quantity and species of the radionuclides could not be ascertained (cf. Problem v), which delayed the public release of information.

Problem vii: Insufficient cooperation between multiple management departments. In this case, the departments involved in building management, RI room management, and radiation handling were different, which delayed information sharing and systemic response to emergencies.

Problem viii: Insufficient response to the absence of personnel in charge of radiation handling.

Sixteen individuals affiliated with private companies, medical, and educational facilities that use radiation conducted a survey on emergency response manuals and regulations for the prevention of radiation damage at the facilities of their affiliation in response to problems i through viii extracted from the abovementioned four incidents. They assessed whether measures designed to prevent “preventable incidents,” i.e., incidents whose occurrence can be controlled in the course of normal management tasks, were sufficient, and whether “nonpreventable incidents,” i.e., incidents whose occurrence cannot be controlled in the course of normal management tasks, could be responded to without any problems (Table 4).

As a result, it was found that the percentages of facilities that had established regulations for the prevention of radiation and emergency response manuals describing responses to deal with some of the eight abovementioned problems were low. They lacked in the following aspects (in the given order from the lowest): Problem i: completeness of the records on animals administered radioactive substances, problem iii: appropriate awareness and management of sealed radioactive sources, problem ii: completeness of the records on the use of “Approved Device with Certification Label,” and problem vi: appropriate release of information. It is hoped that facilities that do not have established regulations covering problems i through viii will check their regulations and make the necessary improvements.

¹⁰ If an ion chamber survey meter is used assuming a high dose rate but the actual dose rate is low ($<1 \mu\text{Sv/h}$), an accurate value may not be obtained.

Table 4. State of preparing emergency response manuals and regulations for the prevention of radiation hazards at the respective facilities (responses from 16 facilities)

Incident	Category	Problems assessed	Assessment perspective	%*
Missing unsealed RI	Preventable incidents	i: Completeness of the records on animals administered radioactive substances	Do the radioactivity hazard prevention regulations at your facility include sufficient response instructions for the cases listed on the left?	50%
Missing “Approved Device with Certification Label”		ii: Completeness of the records on the use of “Approved Device with Certification Label”		58%
Leakage of RI due to damage (degradation over time)		iii: Appropriate awareness and management of sealed radioactive sources		50%
Fire	Nonpreventable incidents	iv: Accurate measurements of dose rate	Does the emergency response manual at your facility include instructions for a smooth response to fire?	73%
		v: Records on the use of nuclides and their quantities		73%
		vi: Appropriate release of information		60%
		vii: Cooperation between management systems		79%
		viii: Selecting a representative for the responsible individuals		73%

*Percentage of facilities that have implemented the regulations

3) Advisory opinions

Analysis of the accidents/incidents involving radiation exposure that occurred outside Japan since 2000 and events in Japan that were legally required to be reported since 2013 revealed the following: continuous and independent reviews of a facility's own systems and management methods are more important in workplaces than tightening regulations to prevent the occurrence of such accidents/incidents and respond to them in the event that they do occur. In particular, the following actions are recommended for establishing regulations and manuals that cover specific measures that should be implemented and for confirming and improving the continued efficacy of these measures:

1. When devices that emit radiation are newly adopted or when “near-miss” incidents occur, the effectiveness and validity of reviewing protective measures and the details of training should be examined on an organizational level and appropriate changes

should be made as soon as possible. These changes should then be included in regulations and manuals. When a worker makes a proposal to a workplace to make improvements to their working sites and work processes for reducing the risk of radiation exposure, the workplace should consider the effectiveness and validity of such proposals as an organization and establish a system to facilitate their implementation.

2. To ensure a swift response to any incidents involving radiation exposure, information/education should be provided to ensure that everyone at the workplace is aware of how important dose and risk assessments are. Further, manuals should be prepared/updated and training must be held for collecting and storing samples as well as various necessary data.
3. When creating a ledger for radioactive waste, checks should be continuously made to determine any potential blind spots, such as whether appropriate records are being kept for tracking all uses or whether records are being stored with regard to animals (carcasses) administered radioactive substances. When necessary, revisions should be made to the regulations and manual. The regulations and manual should also include entries ensuring that all users who create records are aware of all updates and revisions, and mechanisms to ensure the same must be established.
4. To prevent contamination due to the loss of integrity of sealed radiation sources, it is necessary to periodically check for leakages or comply with the working life as stipulated by the International Organization for Standardization (ISO).
5. The legal regulations for “Approved Device with Certification Label” are not particularly strict. Hence, management practices tend to be insufficient. Therefore, regular checks should be performed to ensure “Approved Device with Certification Label” are stored in appropriate and dedicated containers and that those containers are kept stored in locked safes.
6. In cases in which fire or other accidents occur, a system should be established that allows the necessary data to be compiled, enables prompt reporting to the Nuclear Regulation Authority, local governments, and related organizations, and facilitates announcements to the residents of local communities.

To ensure that the aforementioned advisory opinions are followed, the rules and regulations will be reviewed and the implementation system will be improved as necessary. Rules and systems will be periodically reviewed for improvement.

In cases in which radiation exposure following an accident/incident occurs at a radiation-related facility, it is essential for analysis and verification to be conducted by the regulatory authority and a third-party organization. The regulatory authority will

particularly encourage the workplace to release information regarding the accident/incident and ensure that analysis and verification is performed by a specialized organization as well as that the PDCA cycle is carefully followed to provide feedback about the results of the analysis and verification process to all employees. In cases in which an examination on reinforcing regulations is performed following the implementation of the PDCA cycle after an accident/incident involving radiation, it is desirable to ensure cooperation among various stakeholders, such as policy makers, researchers, and those in the industry in order to ensure risk-based management for optimizing resource distribution by introducing the graded approach of radiation management into regulations recommended in IAEA GSR part 3 (IAEA, 2014) and GSG-7 (IAEA, 2018). Alternatively, more reasonable regulations should be established based on an analysis of the effects of the regulations.

(2) Measures for improving the estimation of radiation doses in cases of large-scale radiation disasters

1) Background of the advisory opinions

In response to the Tokyo Electric Power Company's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident (Fukushima Nuclear Accident), the air radiation dose rates were measured based on the release of radionuclides into the environment and the external exposure dose was estimated using those measured values. These estimates were far beyond what was in place at the time of the Chernobyl Nuclear Power Plant accident (the Japanese Radiation Research Society, 2021). There was also greater awareness on the importance of measuring and assessing individual doses. Prior to the Fukushima Nuclear Accident, actual measurements using personal dosimeters for estimating external exposure and direct measurements for estimating internal exposure had been thought to be necessary mainly for validating the results of dose assessment using models. Hence, they had been assumed to be conducted in a limited number of cases. However, from the perspective of health management and risk communication, these measurements were performed on a large number of residents during the Fukushima Nuclear Accident, although there were no individuals who required medical treatment for acute injury or internal radiation exposure.

Assessments of individual doses are more important in the early treatment of acute radiation syndrome and internal radiation exposure or for the screening of subjects who should undergo detailed dosimetry. In such cases, biodosimetry is likely to be an effective method of assessment. After the 9/11 terrorist attack in the United States in 2001, the development of a biodosimetry system for use in large-scale radiation disasters became a global issue, and as a result, the United States began the development of a high-throughput system that would allow biodosimetry assessments to be performed on tens of thousands of people (Grace et al., 2011, Wang et al., 2020).

Using the lessons learned from past accidents and disasters (including terrorist attacks) that have occurred both in Japan and overseas, efforts to develop a variety of technologies and improve systems related to dosimetry in Japan are currently in progress. However, efficient improvement and guarantees of effectiveness require cooperation between a wide range of organizations and individuals, including national and local governments, specialized organizations, experts/specialists, private industries, and medical facilities. The AREMSCs, which were designated by the Nuclear Regulation Authority in 2015, play important roles in establishing cooperation among various organizations and individuals by acting as a liaison with academic organizations. Thus, the Japanese Radiation Research Society conducted surveys both in Japan and overseas pertaining to

dosimetry methods during large-scale radiation-related disasters, surveyed all AREMSCs, and performed analyses of their current status (Japanese Radiation Research Society, 2021).

The *Radiation Protection Academia* reviewed the results of the surveys conducted by the Japanese Radiation Research Society. As a result, it was concluded that the biodosimetry systems in place in Japan (e.g., dicentric chromosome frequency, premature chromosome condensation [PCC], and cytokinesis-block micronucleus [CBMN] assay) are insufficient to assess the doses of 100–1,000 individuals for the purpose of triaging highly exposed patients or screening residents who may have been exposed to high doses; thus, it was determined that measures should be implemented as soon as possible. Thus, the *Radiation Protection Academia* decided that specific advisory opinions would be provided to the national government, local governments, and AREMSCs.

2) Current situation and problems

According to a survey conducted by the Japanese Radiation Research Society (2021), the state of preparedness of the AREMSCs for large-scale disasters is as follows:

Dose assessment methods for use during large-scale radiation-related disasters

AREMSCs are able to conduct physical dose assessments in Japan using methods whose implementation is based on technical standards that conform to global standards. These methods include dosimetry for measuring external exposure among exposed persons using individual dosimeters and remotely gathering information (such as data of environmental radiation monitoring/measurement, data of surface contamination surveys using GM survey meters, and data of internal exposure examination performed by thyroid dose monitoring using NaI survey meters and whole-body counters). Regarding thyroid dose monitoring, which was a problem during the Fukushima Nuclear Accident, the Nuclear Regulation Authority has taken the lead in designing a system that will link with the development of dedicated measuring devices and is cooperating with relevant organizations (Nuclear Regulation Authority, 2021). It plans to intensify these efforts in the near future.

Regarding biodosimetry, there has been a history of discussion focused on handling up to 10 patients considering high-dose exposure dosimetry. For this, the AREMSCs can conduct biodosimetry using the dicentric chromosome method (triage method). The disadvantage of dosimetry using chromosome analysis is that it is time-consuming to culture blood cells (up to 48 hours) and analyze chromosome aberrations. Thus, both in Japan and overseas, efforts are being made to automate the process and develop high-throughput analysis methods using artificial intelligence and other technologies. In Japan,

there is a tendency to focus on the development of methods that can be easily automated and made high-throughput and can consequently be applied to dosimetry. The cytokinesis-block micronucleus (CBMN) assay is a triage method that has been verified globally and for which efforts toward automating its analysis are being made extremely rapidly. Although the accuracy of the dose assessments made by CBMN is lower than that of those made using the dicentric chromosome method, its merit is the fact that it is possible to use it as a dosimetry method within several months. Considering that the changes in blood cell count vary greatly among individuals, methods using blood cell count are considered to be inferior in terms of their accuracy in dose estimation. However, it is now possible to conduct analysis on smaller amounts of blood than previously, and even if there is a shortage of physicians who are knowledgeable in the field of radiation emergency medicine, it is now possible to perform screening of those who require dose assessments in a short duration. As a result, more consideration can be paid to the usefulness of this technology as a triage method for between 100 and 1,000 individuals.

Looking back on the JCO accident¹¹ and Fukushima Nuclear Accident, we see that there is a need to standardize the chromosome imaging system and establish an image sharing system to ensure that dose assessments during large-scale radiation-related disasters can be performed through cooperation by all AREMSCs. However, at present, the necessary equipment will be provided by each AREMSC. No specific plans beyond this have been formulated.

Prior to the Fukushima Nuclear Accident in 2011, the National Institute of Radiological Sciences (currently known as the National Institutes for Quantum Science and Technology), a regional tertiary radiation emergency hospital, took the lead in establishing the Chromosome Network, which is composed of domestic experts in the field of chromosome analysis for biodosimetry. Currently, the AREMSCs are collaborating in activities such as personnel training via workshops and the establishment of dose effect standard curves. However, they do not fully function as a network that can perform dosimetry accurately and promptly during emergencies through cooperation with experts from around the country. Thus, the cooperative system needs to be improved.

Requesting dose assessments during large-scale radiation-related disasters

The AREMSCs assume that they will be asked to perform dose assessments under the following three circumstances: i) requests in parallel with medical procedures for saving life, ii) requests after lifesaving procedures have been completed, and iii) cases in which

¹¹ Chromosome analysis was performed on 43 individuals, including JCO employees and firefighters who were exposed to low doses of radiation during the JCO criticality accident in 1999 and residents who were found to have low lymphocyte counts in their blood after this accident.

lifesaving procedures are unnecessary but dose assessments are necessary.

In physical dosimetry, it is possible to provide dose assessment data for any of the abovementioned circumstances: i) through iii). However, the time taken until the data is provided and the accuracy of the data is largely dependent upon the information available at the time when dosimetry is requested.

On the other hand, requests for and acceptance of biodosimetry are dependent upon the determination of the exposure status of patients performed by physicians in charge of making data-related decisions on site and the ability to process the analyses performed by the laboratories of the AREMSCs. Nevertheless, at the moment, there is no system in place for specific requests and acceptance, such as who makes the request (the examining physician, a medical facility, or a workplace) and who receives it (laboratories, the AREMSCs, or other specialized organizations). Hence, all laboratories are independently accepting requests.

All AREMSCs individually examine requests for dose assessments, methods for the delivery of samples, and the format for dose assessment information. If multiple laboratories are to cooperate in analyzing and reporting the results obtained from samples sent from multiple patients, there is a need to establish common guidelines for all to follow regarding methods and formats. In addition, assessments of internal doses via analysis of human excrement or other samples, i.e., bioassays, involve the same problem; however, currently, as several days are required to quantify radioactivity using bioassays after the samples are obtained and chemical separation is performed, such assessments are not believed to be useful in triage and screening.

Involvement of dosimetry in nuclear disaster prevention drills

Each year, nuclear power-related facilities and nearly all the 24 prefectures in Japan within a 30 km radius (UPZ) of these facilities conduct nuclear accident prevention drills, assuming an accident with the same amount of RI release as the Fukushima Nuclear Accident. This drill includes i) training on emergency reporting for pertinent individuals, ii) training on evacuating residents within the UPZ, iii) on-site medical training for the treatment of multiple people suffering from contamination illness, and iv) other training such as environment monitoring and assembly training. However, this drill does not include little related to performing individual dose assessments.

To prepare systems that are designed to effectively assess radiation doses when large-scale nuclear disasters occur at Nuclear Emergency Core Hospitals and AREMSCs that accept patients exposed to radiation, there is a need to conduct training including dosimetry such as thyroid monitoring and dose assessments for local residents during future nuclear accident prevention drills. These initiatives would allow the establishment

of common guidelines for issues such as procedures for requesting dose assessments, methods of delivering samples, and dose assessment report formats, as mentioned above.

3) Advisory opinions

As indicated above, the Fukushima Nuclear Accident was an opportunity to review the importance of assessing the individual dose. There appeared to be no major technical problems involved in monitoring and triaging between 100 and 1,000 patients using physical dosimetry for external exposure. Regarding chromosome analysis for biodosimetry, it would be desirable for government agencies involved in the prevention of nuclear disasters to initially take the lead in the field of nuclear accident prevention to determine the categories of victims and workers who would be subjected to chromosome analysis during large-scale nuclear disasters, identify the speed and scale at which these should be performed, and improve the functions of the AREMSCs. In particular, in addition to the technical aspects of dosimetry methods, there is a need to strategically prepare soft and hard infrastructures for the purpose of collaboration among AREMSCs and information sharing and collaboration between the disaster site, medical facilities, and the analysis laboratories of AREMSCs.

Thus, the *Nuclear Protection Academia* provides the advisory opinions listed below for biodosimetry functions at AREMSCs and requests the cooperation of experts in all related fields in following these opinions.

1. The AREMSCs should strengthen existing systems to allow cooperation between different centers in the event that biodosimetry is to be performed on multiple injured individuals during large-scale disasters.
 - Standardize the dicentric chromosome analysis techniques through efforts such as the introduction of new equipment, personnel exchange, and technical training.
 - Prepare a system for sharing images that allow remote analysis
 - Determine the number of specimens that can be received by each laboratory and examine the division of roles (division of labor)
 - Establish common guidelines for tasks, such as requesting dose assessments, delivering samples, and formats used to report the results of dose assessment
2. If there is a shortage of equipment or personnel when implementing the abovementioned cooperation system in AREMSCs, human resource development and exchange should be enhanced. Other measures, such as entering into contracts with organizations other than AREMSCs and establishing processes for accepting organizational support in emergency situations (including cooperation with private industries), should also be implemented.

3. As dicentric chromosome analysis, a method that is able to provide an accurate dose assessment, requires both time and labor, AREMSCs should continually engage in discussions with each other regarding methods that are appropriate for triaging large numbers of victims. When gathering information regarding standardized methods, expert/specialist networks both in Japan and overseas¹² should be consulted.
4. It is necessary to be prepared to perform biodosimetry for various types of exposures, such as using the PCC method for exposures exceeding 5 Gy and using techniques to detect chromosomal translocations and CBMN for chronic exposures.
5. Networks that allow experts/specialists in chromosome analysis throughout Japan to cooperate in performing timely and accurate dose assessments during emergencies should be re-established.

Many experts/specialists in dosimetry are assigned under the assumption that they will work in laboratories. Thus, they are not considered personnel who can handle a triage (i.e., screening of patients who require dose assessments) of victims on site during disasters. Therefore, there is a need to examine the cooperation among on-site responders and experts/specialists in dosimetry who work in laboratories. The *Radiation Protection Academia* recommends that training in performing dose assessments is introduced in nuclear disaster prevention training programs that are implemented by national and local governments.

Additionally, as human-derived specimens are used in biodosimetry, there is a need to establish agreements to exchange personal information, obtain consent, and provide and share blood, specimens, and microscopic images when exchanging information between institutions and requesting testing. It is desirable that these agreements are conducted based on discussions held between each AREMSC and the local governments regarding support with biodosimetry provided by the AREMSCs. As AREMSCs are designated based on the Nuclear Emergency Response Guidelines, they will not be burdened with tasks requiring them to respond to incidents other than nuclear disasters, such as terrorist attacks, other types of accidents, or natural disasters. With regard to a framework for performing dose assessments during emergencies other than nuclear disasters, a decision on response guidelines for the national and local governments is still pending. However, as the number of facilities that are able to systematically perform dose assessments is

¹² The International Biodosimetry Network (BioDoseNet) operated by WHO is currently conducting the 3rd BioDoseNet Survey of the systems and state of preparation of biodosimetry laboratories worldwide. The results of this survey are scheduled to be announced at EPR-BioDose 2022 (Okayama University of Science). The current status of laboratories and experts in Japan is expected to be among the data announced.

limited, in any case of radiation-related accident, there is a high probability that organizations designated as AREMSCs will have to perform this task. Therefore, in addition to clarifying the roles of AREMSCs during emergencies other than nuclear disasters, there is also a need for regional or local governments to establish agreements with AREMSCs, as necessary, if responses are to be undertaken with different chains of command and radiation medicine systems than those at the location of the nuclear disaster.

3 Mid- and long-term advisory opinions for globalizing the Japanese radiation protection measures in Japan

(1) Measures for the adoption of new concepts regarding effective dose and operational quantity in Japan

1) Background of the advisory opinions

It is needless to say that dose estimation is important for radiation protection and establishment of radiation regulations. Nevertheless, the unit system of radiation dose used in radiation protection is not always easy to understand. In particular, when the media reports on accidents/incidents involving radiation exposure, academic communities must be aware of and provide information regarding the concept behind absorbed and effective doses used in emergencies and the relationship between the “Sievert” (Sv) and cancer risk so as to avoid misunderstandings among the public. As indicated above in the introduction section, in the new recommendations to be published by ICRP, the adoption of changes in effective dose and protection quantities proposed by ICRU in 2020 will be mentioned (Clement et al., 2021). These changes are expected to have a major impact on the radiation regulations worldwide.

Thus, as part of the fiscal year 2020 Umbrella Project commissioned by the Nuclear Regulatory Authority, a WG on the effective doses and operational quantities of radiation (Dose WG) was established under the direct control of the Representatives’ Council of the Japanese Umbrella-structured Platform for Radiation Protection. The Dose WG was entrusted with activities to promote the accurate understanding of radiation doses and examine proposals for linking specific future actions. Through planning and holding webinars related to the effective dose and operational quantities (total of five in a series), the Dose WG gathered a variety of information on several topics, including the history of the concept of doses, risk assessment, overseas trends, biological effects, and communications, and shared this information within the *Radiation Protection Academia*. The information was summarized into the three below-mentioned points to conduct an analysis of the current status:

- (1) Necessary investigations and preparations when a new concept of operational quantities is introduced in Japan
- (2) Responses to problems faced by sites that use the effective dose
- (3) Limitations of risk assessments using the effective dose

The proposals regarding (1) are consolidated for regulatory authorities, facilities involved in R&D, experts, and academic associations as well as those who perform radiation management; those regarding (2) are consolidated for academic societies/associations related to radiation protection and radiation-related ministries; and

those regarding (3) are consolidated for academic societies/associations related to radiation medicine and those performing medical procedures in medical care settings (Dose WG, 2022). The Representatives Council checks the validity of the contents of their proposals and the status of the analyses performed by the Dose WG and summarizes and lists the key points.

2) Current situation and problems

In Japan, the ICRP recommendations released in 2007 and the recommendation to lower the lens dose limits have already been introduced into domestic laws. However, workplaces have been preoccupied with following measures; thus, they are not completely accustomed to the new rules. However, worldwide, the next-phase ICRP recommendations are believed to include the adoption of changes to the effective dose and protection quantities (ICRU, 2020; ICRP, 2020).

After ICRP released its recommendations in 2007, it established Task Group 79 in 2010, which started working on solutions to the problems surrounding the issue of doses. One of the problems is that the operational quantities currently in use show significant overestimates of the protection quantities in cases of high-energy photons. Recently, in the fields of medicine, research, and commercial aviation, the types of radiation and energy range requiring protection have increased and these problems have become apparent. A summary of the new concepts jointly determined by ICRU and ICRP is presented below:

i) Change the definition of the effective dose of external exposure

The operational quantities for the estimation of the effective dose will be the measured quantities defined by reference human phantoms replaced with conventional ICRU spheres using the conversion coefficient for fluence that does not underestimate the protection quantities. These changes require the use of a human body phantom for both effective dose and operational quantity as well as some changes to be made to the equipment and methods used.

ii) Change the dose used to assess tissue reaction

The absorbed dose, rather than the equivalent dose, will be used to prevent tissue reactions, such as cataracts and acute skin damage. This means that the equivalent dose is an intermediate quantity in the effective dose calculation and will no longer be meaningful as a protection quantity. In addition, information about the absorbed dose and relative biological effectiveness (RBE) for tissue reactions, which depend on the type of radiation, are required.

International guidelines regarding these new concepts of doses and uses are being drawn up and will be standardized in the future by the IAEA and ISO.

As opposed to when the protection quantity unit and tissue weighting factor were previously changed, it is not appropriate that the introduction of new operational quantities is informed to only those involved in radiation protection and management or that only technical problems associated with this introduction are dealt. Therefore, there is a need to investigate the effect of changes in operational and protection quantities on society as a whole and respond to such changes in ways that minimize confusion.

The response to and problems associated with changes to the protection and operational quantities

The effects of changing the definition of the operational quantities and unit of the dose limit for the prevention of tissue reactions from the equivalent dose to the absorbed dose have already engendered much discussion. For instance, regarding measuring devices and calibration procedures, there seems to be a need to increase the detector response to photons of ≥ 3 MeV or neutrons of ≥ 50 MeV and develop detectors that can measure the lens dose more accurately.

The Nuclear Safety Research Association (2020) conducted a survey on the effect of introducing changes in the concept of operational quantities into domestic laws and regulations on the measurements and assessments of operational quantities using a radiation measurement device. The survey it made clear that such changes will result in alterations in the conversion factor for the radiation measurement device as well as the response to standardization by the ISO, the International Electrotechnical Commission (IEC), and the Japanese Industrial Standards (JIS). They will also lead to changes in the terms and symbols used in manuals. Their report summarized that it will be difficult for calibration laboratories, manufacturers of radiation measuring instruments, and radiation management operators to deal with the expected changes in the concept of operational quantities in the future by themselves and that it will be necessary to work in cooperation with each other.

Regarding individual doses, the design of personal dosimeters, the calculation of doses by personal dosimeter service organizations, and the management of radiation exposure by users will all have an impact. Among these changes, the change from equivalent dose (Sv) to absorbed dose (Gy) for the dose limit for the eye lens and skin will require additional calculations that take into account the RBE of neutrons in the neutron-photon mixed field.

There are multiple tissues and organs that are subject to tissue reactions, and the responses vary widely, e.g., in the case of the skin, early transient erythema, main

erythema reaction, temporary epilation, and permanent epilation may occur, and depending on the type of radiation and amount of energy, the biological effects may differ (ICRP, 2012). Thus, examination of RBE, quality factor, and radiation weighting factor are global issues, and Japan's contribution, which is at the global forefront of particle beam therapy, is greatly anticipated.

Effective doses, their use, and problems associated with them by age group

Effective dose for radiation protection is based on the average dose to human organs and tissues (ICRP, 2007). Calculations of the equivalent dose to organs and tissues use adult male and female reference computational phantoms. Regarding external radiation exposure, in recent years, the ICRP has set irradiation conditions for whole-body radiation exposure and assessed the dose conversion coefficient. In ICRP publication 144, phantoms and the effective dose (rate) coefficients were provided based on age group (newborn, 1 year of age, 5 years of age, 10 years of age, 15 years of age, and adult; ICRP, 2020). It also provided dose coefficients based on age group for types of internal radiation exposure, such as due to the administration of radiopharmaceuticals. Thus, improvements are in the process of being made to the age-specific effective doses, but these will likely be ready for inclusion in the next recommendations.

In addition, the ways to use effective dose are also being reconsidered. For example, as nearly all medical radiation exposure is local exposure, the use of effective dose tends to be seen as inappropriate, but its use for comparing modalities or imaging technologies and for risk communication is approved (ICRP, 2021). Effective dose will generally be used at doses below 100 mSv, but its use at acute doses in the range up to approximately 1 Sv is reasonable.

Effective dose is the unit that is most widespread in society as it is an approximate indicator of the potential health risks. However, there are a large number of rules regarding its calculation and use. Documents related to radiation created by radiation-related government agencies for lay people include explanations of effective dose and the unit of Sv.¹³ However, as they are misused from time to time, it is important for the stakeholders to have a common view of the meaning of effective dose and its intended uses. In particular, it is necessary to prepare for the dissemination of information on

¹³ Examples of documents that are currently being created and revised by government authorities and agencies are as follows: Cabinet Office, Consumer Affairs Agency, Reconstruction Agency, Ministry of Foreign Affairs, Ministry of Education, Science, Sports, Culture and Technology, Ministry of Health, Labour and Welfare, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Ministry of Economy, Trade and Industry, Ministry of the Environment, Nuclear Regulation Authority: "Basic Information on the Risks of Radiation." Ministry of Education, Science, Sports, Culture and Technology: "Supplementary Reader on Radiation." Ministry of the Environment: "BOOKLET to Provide Basic Information Regarding Health Effects of Radiation." Consumer Affairs Agency: "Food & Radiation: Q&A."

effective doses by age group as it is likely to attract public attention in the process of being improved and completed.

Explanation of the risks of and problems associated with the use of effective dose

As for the relationship between effective dose and risk, the ICRP 2007 recommendation states that the nominal risk coefficient after detriment adjustment is about 5% per Sv. This implies that exposure to 100 mSv of radiation is assessed as increasing the risk of death due to cancer in the cohort by 0.5%. The calculation of this detriment-adjusted nominal risk coefficient is based on whole-body exposure to low-dose (rate) radiation because dose and dose-rate effectiveness factor (DDREF) and tissue weighting factor (w_T) are used. Therefore, this risk factor was used for risk communication with regard to the Fukushima Nuclear Accident, and it is widely used in Japan.

Previously, DDREF, w_T , and radiation weighting factor (w_R) used the same values regardless of sex or age group. However, more detailed phantoms such as those for fetuses and pregnant women became available, leading to the development of extremely detailed absorbed dose assessment based on age group. Hence, improvements in effective dose by age group are underway, as mentioned above.

On the other hand, looking at the situation in Japan, more than 10 years have passed since the Fukushima Nuclear Accident. Eventually, when the latency period for cancer has passed, the causal relationship between individual exposure dose and the induction of cancer will become an issue. Therefore, there is growing need to explain the contribution of radiation exposure from the Fukushima Nuclear Accident on cancer induction. In addition to risk communication during the response to an emergency, there is also a need to provide an explanation of the risk consistent with a variety of radiation exposures in day-to-day radiation care settings.

The ICRP released Publication 147 to elucidate the use of dose in relation to health risks (ICRP, 2021). Effective dose is used in medicine for a variety of reasons, including comparing doses from different medical procedures, informing judgments on justification, and establishing constraints for carers and volunteers in medical research. When explaining the risk of medical radiation exposure to patients and clinicians, there is a continued need to be careful to avoid creating misunderstandings such as that “the effective dose can be substitute for specific risk analysis for individuals.” Thus, the ICRP (2021) recommends the use of general terms such as “can be ignored,” “minimum,” and “extremely low” and phrases such as “the radiation risk to those aged between 0 and 9 years is approximately double that of those in their thirties.”

An effective dose of up to 1 Sv can be used exceptionally in cases of radiation

emergencies. However, in the case of the plutonium internal radiation exposure accident that took place in Japan in 2017, the committed effective dose was reported to be 12 Sv.¹⁴ It was confused with “the exposure of the whole body to 12 Sv of radiation” and led to the misunderstanding that it was similar to that in the case of the JCO criticality accident that occurred in 1999.

As effective dose values tend to be perceived as directly linked to risk in medical settings, those involved in medical care need to understand the meaning and limitations of effective dose and provide appropriate explanations regarding this information.

3) Advisory opinions

As mentioned above, because the changes in the protection and operational quantities are so significant internationally, it is important to have a system for understanding international trends and discussing the status of domestic studies in a comprehensive and long-term manner. The *Radiation Protection Academia* proposes that regulatory authorities, R&D organizations, experts/specialists, and those involved in radiation management consider how to deal with issues such as how to best perform the calibration of measuring devices, confirm the validity of measurement methods, and standardize calibration (ISO, IEC, and JIS); how to handle situations in which validity cannot be guaranteed; and the effects of changes made to dose records. When doing this, it is desirable to promote communication between manufacturers, those involved in service tasks and regulations, and stakeholders so that they understand the background to any changes made and sufficiently discuss about the changes made. In addition, relevant academic societies/associations and those involved in radiation management are expected to collect and sort out the data on RBE and ascertain the effects on the various tasks they perform, whereas R&D organizations and experts are expected to provide information on scientific data regarding RBE and the predicted impact on tasks they perform to international organizations.

In addition, in the view of the social background, such as the increase in the use of radiation in medicine and social concern about radiation risks, it is necessary to correctly understand the use of effective doses and effective doses by age group, not only for those involved in radiation protection but also the general public. Therefore, it is recommended that academic societies/associations related to radiation protection work together to prepare a report that structurally organizes information that can act as the basis of providing such information to promote the understanding of such concepts. This can be

¹⁴ The Japan Atomic Energy Agency (JAEA) published “Contamination at Plutonium Fuel Research Facility of Oarai Research and Development Center (follow-up report)” (June 9) and stated in the table of measurement results of “Nasal smear and lung monitor measurements” that “Inhalation of 2.2×10^4 Bq of Pu-239 is equivalent to a committed effective dose of approximately 12 Sv.”

prepared in the form a glossary on the aspects of internal and external exposure, radiation management, and medical exposure, making it possible to establish a common understanding of the meaning of effective doses as defined by the ICRP and the implications of the use of effective doses by age group. To efficiently disseminate this common understanding within the Japanese society, it is proposed that radiation-related ministries reflect the various contents of the report prepared by the academic societies/associations in their own publications for the general public. When academic societies/associations prepare their reports and when government agencies update their publications, it is desirable for them to cooperate in conducting academic conferences, symposia, seminars, and workshops and solicit opinions online via websites so as to revise together with the involved stakeholders and disseminate information throughout society.

Furthermore, there are cases in which effective dose is used to explain the health risks while justifying the application of radiation diagnoses. Therefore, those involved in medical care should have a sufficient understanding of the meaning of effective dose and its limitations in medical use. As a result, the *Radiation Protection Academia* proposes that the academic societies related to radiology sort out the issues concerning the uses of effective dose in medical care settings and the meaning of the risks, inform those involved in medical care, and prepare standard publications that provide patients with appropriate explanations of these issues in cooperation with the academic societies/associations related to radiation protection. In addition, it is expected that academic societies related to radiology will assume the task to continuously update the methods of explanation to patients in accordance with feedback from practitioners in the medical field and advances in diagnostic radiology technology.

4 Conclusion

The basis for ensuring the safe and secure use of radiation is the prevention of unplanned radiation exposure. However, as it is impossible to completely eliminate human errors, and incidents such as the dispersion of unsealed RI during work-related tasks and exposure of operators to radiation during IVR tasks will continue to occur. Workers should wear dosimeters and PPEs during work to take appropriate measures to minimize exposure when such events occur. It is also important for business operators to review work processes, training contents, manuals, etc., when introducing new irradiation equipment or occurrences of near-miss cases, to implement the PDCA cycle, and to constantly share information so that the causes of accidents can be investigated and their effects can be verified. As for the incidents of contamination of sealed sources of tritium that occurred in Japan in 2013 and the loss of animal carcasses administered RI in 2017, the survey found that half of the radiation facilities in Japan still do not include the response to such incidents in their manuals for radiation hazard prevention regulations or emergency response. Therefore, the *Radiation Protection Academia* makes specific advices to business operators regarding accident prevention and the swift handling of the aftermath of accidents. In addition, regulatory authorities are expected to implement a PDCA that will promote the disclosure of information related to accidents and incidents by workplaces, thereby promoting their analysis and verification by specialized organizations, which will eventually provide feedback on the results of these efforts to all related workplaces.

In the events of a large-scale radiation/nuclear accident and nuclear terrorism, there is a possibility that large numbers of people will be exposed to radiation. The Fukushima Nuclear Accident provided an opportunity to reaffirm the importance of individual radiation dose assessment. Consequently, in the field of physical dosimetry, attempts to solve problems associated with the monitoring and triage of 100–1,000 patients are ongoing. As for biodosimetry, several methods are available, each with its own strengths and weaknesses. Thus, there is a need for specialized organizations to cooperate in resolving the weaknesses of the dicentric chromosome method while simultaneously developing dosimetry methods that are suitable for the triage of large numbers of patients. Therefore, the *Radiation Protection Academia* provides specific advices to AREMSCs on the development of infrastructure for cooperation among them and requests experts and specialist to cooperate. It has also proposed that the national and local governments, which plan and implement nuclear power disaster prevention drills, should incorporate training in dosimetry into their drills.

Changes in the effective dose and operational quantities and the adoption of these changes in Japan are issues that will continue to be discussed for several years. Although not urgently relevant to the two abovementioned recommendations, the *Radiation Protection Academia* provides advisory opinions that those involved in R&D and management of radiation cooperate with manufacturers and service organizations in standardizing radiation dose meters and calibration methods. In addition, in Japan, where social interest in radiation has been high since the Fukushima Nuclear Accident, the use of effective doses, especially the appropriate explanation of health risks using effective doses, is an ongoing issue. To ensure that effective doses by age group, which are still in the process of being improved, are not misunderstood as risk indicators for specific individuals, academic societies/associations involved in radiation protection and radiology should cooperate in establishing a common understanding of the meaning and limitations of effective doses. It is also hoped that this information will be shared throughout the society with the cooperation of radiation-related ministries.

5 References

1. Introduction

- Ministry of Health, Labour and Welfare, Chief of Occupational Health Division, Safety and Health Department, Labor Standards Bureau: Improving efforts to prevent exposure during the inspection of X-ray devices, June 1, 2021
<https://www.mhlw.go.jp/content/000787485.pdf>
- Clement, C., Rühm, W., Harrison, J. et al: Keeping the ICRP Recommendations Fit for Purpose, J. Radiol. Prot. doi: 10.1088/1361-6498/ac1611, 2021
- International Commission on Radiation Units & Measurements (ICRU): Operational quantities for external radiation exposure. J. ICRU. 20(1), 2020

2. Emergency recommendations for improving radiation protection measures in Japan

- Japanese Society of Radiation Safety Management: Survey of the progress of radiation protection measures and recommendations, created February 2021; revised September 2021 http://www.umbrella-rp.jp/R2JRSM_report.pdf
- Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA): Report to Parliament – Radiation exposure of a worker at ANSTO Health, Lucas Heights on 22 August 2017, Tabled in Parliament 26 February 2018
<https://www.arpansa.gov.au/about-us/corporate-publications/reports-parliament/report-parliament-radiation-exposure-worker-ansto>
- Kunugita, N.: Fact-finding survey of workers who are highly likely to receive radiation exposure to the lenses of the eyes even when sufficient protective gear is used (material used in the 5th Investigatory Committee on Re-evaluating the Limits to Radiation Exposure of the Lenses of the Eyes, No. 2), June 20, 2019
<https://www.mhlw.go.jp/content/11201000/000519683.pdf>
- Hosono, M. et al. : Survey study of the current status of radiation exposure in the medical radiology field and efforts to reduce radiation exposure (Occupational Accident and Disease Clinical Research Project Financial Assistance Study, Material for use by the Radiation Protection Research Group Joint Liaison Group), May 31, 2021
http://www.radher.jp/J-RIME/report/rousaijigyou_siryoku_20210531.pdf
- Ministry of Health, Labour and Welfare, Labour Standards Bureau, Safety and Health Department: Recruiting organizations (executive offices) under the auspices of Financial Assistance for the Renovation of Facilities to Reduced Radiation Exposure Doses (Indirect Financial Assistance) [recruitment outline], February 2020
<https://www.mhlw.go.jp/content/11300000/000599446.pdf>
- Nuclear Safety Technology Center: 2020 Description of assistance in adopting systems for the management of radiation exposure, outsourced project of the MHLW, recruitment outline, July 2020
<https://ms.nustec.org/wp-content/uploads/2020/07/boshuyoukou.pdf>
- International Atomic Energy Agency (IAEA): Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards No. GSR Part 3, 2014
- International Atomic Energy Agency (IAEA): Occupational Radiation Protection, IAEA Safety Standards Series No. GSG-7, 2018
- The Japanese Radiation Research Society: Survey and recommendations for the advancement of radiation protection measures in the field of radiation effects and hiring and training personnel in the field of radiation protection, created February

2021/revised September 2021 http://www.umbrella-rp.jp/R2JRR_report.pdf
Grace, M. B., Cliffer, K. D., Moyer, B. R. et al: The U.S. government's medical countermeasure portfolio management for nuclear and radiological emergencies: Synergy from interagency cooperation. *Health. Phys.* 101(3), 238-247, 2011
Wang, Q., Lee, Y., Shuryak, I. et al: Development of the FAST-DOSE assay system for high-throughput biodosimetry and radiation triage. *Scientific Reports* 10, 12716, 2020.
Nuclear Regulation Authority: Report from the “Team investigating thyroid radiation exposure monitoring during emergencies” (Fiscal 2021 34th Nuclear Regulation Committee Report No. 2), September 22, 2021
<https://www.nsr.go.jp/data/000365637.pdf>

3. Mid- and long-term recommendations for globalizing the Japanese radiation protection measures

Clement, C., Rühm, W., Harrison, J. et al: Keeping the ICRP Recommendations Fit for Purpose, *J. Radiol. Prot.* doi: 10.1088/1361-6498/ac1611, 2021
Effective Dose and Practical Dose WG: Summary and Recommendations for the Accurate Understanding of Dose as it relates to Radiation, March 2022
International Commission on Radiation Units & Measurements (ICRU): Operational Quantities for External Radiation Exposure, *Journal of the ICRU*, 20(1), 2020
International Commission on Radiological Protection (ICRP): Dose coefficients for external exposures to environmental sources. *ICRP Publication 144. Ann. ICRP.* 49(2), 2020
Nuclear Safety Research Association: Fiscal 2019 Radiation Measures Commissioned Project Report, Fact-Finding Survey on Measuring Practical Doses related to Radiation Management, March 2020 <https://www.nsr.go.jp/data/000319356.pdf>
International Commission on Radiological Protection (ICRP): ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. *ICRP Publication 118. Ann. ICRP* 41(1/2), 2012
International Commission on Radiological Protection: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *ICRP Publication 103. Ann. ICRP* 37 (2-4), 2007
International Commission on Radiological Protection (ICRP): Use of dose quantities in radiological protection. *ICRP Publication 147. Ann. ICRP* 50(1), 2021

6 Acknowledgments

The *Radiation Protection Academia* express their appreciation to the following individuals for their cooperation and advice:

Keiichi AKAHANE
Masaaki AKAHANE
Makoto AKASHI
Satoshi FURUSAWA
Shoji FUTATSUGAWA
Kanya HAMASAKI
Arifumi HASEGAWA
Makoto HASHIMOTO
Shogo HIGAKI
Shigekazu HIRAO
Nobuyuki HIROHASHI
Tomoko HIROI
Tomonori HOKAMA
Masahiro HOSODA
Yoshio HOSOI
Takeshi IIMOTO
Hiroyuki IIZUKA
Satoshi IWAI
Kazuki IWAOKA
Michiaki KAI
Reiko KANDA
Atsushi KASAI
Shinsuke KATO
Junya KOBAYASHI
Seiji KODAMA
Munehiko KOWATARI

Akira KUDO
Yuji KUGE
Osamu KURIHARA
Tadahiro KUROSAWA
Kazuhiko MAEKAWA
Naoki MATSUDA
Taichi MIURA
Tomisato MIURA
Takumaro MOMOSE
Kento NAGATA
Satoru NAKASHIMA
Keiji ODA
Yasuharu OKAMURA
Yasutaka OMORI
Makiko ORITA
Kimiaki SAITO
Kazuo SAKAI
Tetsuya SANADA
Michiya SASAKI
Takuya SAZE
Yoshiya SHIMADA
Yoichi SHIMIZU
Nobuyuki SUGIURA
Yumiko SUTO
Gen SUZUKI
Chie TAKADA

Akihisa TAKAHASHI
Masaomi TAKAHASHI
Akira TAKEDA
Kotaro TANI
Hideo TATSUZAKI
Hiroaki TERATO
Shinji TOKONAMI
Takako TOMINAGA
Takakiyo TSUJIGUCHI
Yuichi TSUNOYAMA
Toshiyuki UMATA
WANG Bing
Takahiro YAMADA
Yutaka YAMADA
Ichiro YAMAGUCHI
Naoyuki YAMAMOTO
Hiroschi YASUDA
Sumi YOKOYAMA
Shunsuke YONAI
Hidenori YONEHARA
Hiroko YOSHIDA
Mitsuaki YOSHIDA
Yukari YOSHIDA
Hironori YOSHINO
Michio YOSHIZAWA

令和3年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
(放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークと
アンブレラ型統合プラットフォームの形成)事業

「緊急時放射線防護に関する検討」 成果報告書

令和4年2月

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
核燃料サイクル工学研究所

目次

1 事業目的	1
2 事業内容	1
3 事業報告	2
3.1 緊急時放射線防護ネットワークの活動	
3.1.1 緊急時放射線防護ネットワーク検討会	
3.1.2 ステークホルダー会合の開催	
3.2 放射線防護専門家向け手引き「原子力緊急事態対応ガイド」の作成	
3.2.1 「原子力緊急事態対応ガイド」の作成	
3.2.2 教育訓練の試験的实施	
3.2.3 グッドプラクティス把握	
3.3 ネットワーク構築のあり方についての提言検討	
4 まとめ	13
別添 1 緊急時放射線防護ネットワークの構築事業に係る第1回検討会議事メモ	15
別添 2 緊急時放射線防護ネットワークの構築事業に係る第2回検討会議事メモ	18
別添 3 緊急時放射線防護ネットワークの構築事業に係る第3回検討会議事メモ	22
別添 4 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 要旨	25
別添 5 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 企画セッションの報告	26
別添 6 第5回ネットワーク合同報告会の報告	33
別添 7 緊急時放射線防護に関する検討に係る意見聴取（結果報告）	39
別添 8 「緊急事態対応ガイド」の試行教育の実施と評価について	43
別添 9 電力事業者を対象とした原子力防災訓練に関するアンケート調査結果	53
別添 10 防災訓練の参加及び参加者へのヒアリングによるグッドプラクティス等の把握結果	57
別紙 「原子力緊急事態対応ガイド」 Ver.0	

1. 事業目的

原子力規制委員会(以下「委員会」という。)は原子力に対する確かな規制を通じて人と環境を守ることを使命としており、委員会が平成24年9月に設置されて以来、課題に応じた安全研究を実施し科学的知見を蓄積してきた。平成28年7月6日には「原子力規制委員会における安全研究の基本方針」を公表し、放射線源規制・放射線防護分野に対しても調査研究活動の推進をしているところである。

こうした状況を踏まえ、放射線源規制・放射線防護による安全確保のための調査研究を体系的かつ戦略的に実施するために放射線安全規制研究推進事業、放射線防護研究ネットワーク形成推進事業を実施している。

本事業では、原子力規制委員会、放射線審議会等が明らかにした技術的課題の解決につながるような研究を推進するとともに、研究活動を通じた放射線防護分野の研究基盤の強化を図り、得られた成果を最新の知見の国内制度への取入れや規制行政の改善につなげることで研究と行政施策が両輪となって、継続的かつ効率的・効果的に放射線源規制・放射線防護による安全確保を最新・最善のものにすることを目指す。

2. 事業内容

本事業の受託者である国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(以下「受託者」あるいは「JAEA」という。)は規制事業を支える放射線防護に関する調査研究を効果的に推進することへの寄与を目的とした関連機関・専門家によるネットワークのひとつとして、緊急時に活躍する放射線防護分野の専門家ネットワークを構築するため、下記(1)及び(2)を実施した。また、受託者は事業の実施結果について、原子力規制庁が開催する成果発表会で報告し、評価を受けた。研究の実施に当たっては原子力規制庁が指定するプロジェクトオフィサーの指示に従い、事業進捗に係るPDCAを実施した。

(1) 課題解決型ネットワークによるアウトプット創出:緊急時放射線防護に関する検討

①放射線防護専門家向け緊急事態対応手引きの作成

昨年度実施した緊急時環境モニタリング、避難退域時検査を支援する専門家が備えるべき力量(スキル)と学習素材に関する調査結果を踏まえて手引きを作成した。なお、この手引きについては、その内容により相応しいタイトルとして「原子力緊急事態対応ガイド」と呼称することとした。また実際の緊急時(訓練も含む)に派遣される可能性のある、若手の技術者・研究者を対象に教育の試験的实施を行った。この試行教育の結果、さらに防災訓練の参加、視察等により得られた知見を手引きに反映した。

②防災体制を支援する専門家ネットワークのあり方に関する提言

国が構築・主導する防災体制において適切な支援を行うための、放射線防護分野の専門家のネットワーク(以下、「ネットワーク」という。)について、昨年度提案した全体像に基づき、具体的な人材の育成・登録・認定・管理方法を検討し、将来に向けた提言を

作成した。

(2) ステークホルダー会合の開催

ネットワークのあり方について、国内の専門家及び関係者からの意見を収集し、実効性のある持続的な仕組みの検討を行った。

3. 事業報告

3.1 緊急時放射線防護ネットワークの活動

ネットワーク活動も5年目を迎え、これまでの検討会・ステークホルダー会合等での意見から、このネットワークの活動の位置付けを検討し、以下のように整理した。

- 日常の業務・研究活動等を通じて放射線に関して相応の知識を持った者が、万一の原子力緊急時に専門家としてその力を発揮するための平常時の活動を主眼とする。
- このため、将来にわたり有効性の高い活動を確実に継続することが必要である。

原子力災害医療においては、必要な要員や資機材の派遣・調整等の機能を持つ基幹高度被ばく医療支援センター、高度被ばく医療支援センターを中心とした体制整備が進んでおり、放射線防護分野にもこのような機能を持つネットワークが必要との意見は多くあった。しかし当分野の専門家の活動の場・形態は多岐にわたること、所属組織が指定公共機関（JAEA、QST、電力会社等）か否かによっても大きく異なると考えられることなどから、現段階では、実際に原子力緊急事態となった場合の支援活動は範囲外としてネットワークの構築を目指すこととした。

このように整理された「ネットワーク」として実施した活動の実績を以下に報告する。

3.1.1 緊急時放射線防護ネットワーク検討会

計3回の検討会を開催し、緊急時放射線防護ネットワークの活動に関する調査検討状況の報告、意見交換等を行った。今年度も新型コロナウイルス感染症の影響で全3回ともWebを利用したテレビ会議システムでの開催となった。各回の参加者及び実施内容の詳細は別添1～3にまとめる。

(1) 検討会参加者（順不同）

外部有識者：松田尚樹（長崎大）、渡部浩司（東北大）、床次眞司（弘前大）、立崎英夫（QST）、栗原治（QST）、宮澤晃（東電 HD）、佐藤将（原安協）、谷口和史（千代田テクノル；オブザーバー）、小野欽也（川崎市立病院；オブザーバー）
アンブレラ事業関係者：高橋知之（京大炉／PO）、神田玲子（QST／NW 形成事業代表者）、大町康（原子力規制庁）、野島久美恵（原子力規制庁・内閣府）

JAEA: 高田千恵(核サ研)、百瀬琢磨(福島)、宗像雅広(NEAT)、中野政尚(福島)、吉田忠義(核サ研)、渡邊裕貴(核サ研)、木内伸幸(原科研)、住谷秀一(核サ研)、清水勇(大洗)、石川敬二(敦賀)、石森有(敦賀)、中根佳弘(J-PARC)、山田純也(大洗)、前田英太(大洗)、横須賀美幸(原科研)、富岡哲史(核サ研)、渡辺文隆(NEAT)

(2) 開催実績及び主な議題

- ① 第1回検討会(令和3年9月3日)(別添1)
 - 1) 今年度の活動計画について
 - 2) 構成員向け教育の試行について
 - 3) 「ネットワークのあり方」について
- ② 第2回検討会(令和3年10月5日)(別添2)
 - 1) 「緊急事態対応ガイド」について(報告)
 - 2) 構成員向け教育の試行について
 - 3) グッドプラクティスの把握に係る活動について(報告)
 - 原子力事業者への教育実施状況のアンケート結果
 - 茨城県 EMC 訓練参加者へのアンケート結果
 - 4) 報告書作成について
 - 5) その他
 - ・ 「ネットワークのあり方」についてのコメント依頼
 - ・ 保健物理学会・安全管理学会合同大会での企画セッションのプログラム紹介
- ③ 第3回検討会(令和4年2月24日)(別添3)
 - 1) 「原子力緊急事態対応ガイド ver.0」について(報告)
 - 2) 構成員向け教育の試行について(報告)
 - 3) ステークホルダー会合について(報告)
 - ・ 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企画セッション
 - ・ ネットワーク合同報告会
 - 4) 専門家意見聴取について(報告)
 - 5) ネットワークの今後の活動について(意見交換)

3.1.2 ステークホルダー会合の開催

(1) ステークホルダー会合

多様なステークホルダーが参加する会合として以下の2回の機会において、ネットワークの活動の広報及び今後のあり方等に対する幅広い意見の聴取を行った。

- 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 企画セッション

放射線防護アンブレラと大学ネットワークによるジョイント企画セッション「我が国の放射線防護の課題を解決するためのネットワーク」の中で、当ネットワーク事業はシンポジウムを実施した。シンポジウムの概要を以下に、予稿集に掲載された要旨を別添4に、当日のプレゼンテーション概要、アンケートを含む意見交換の結果概要を別添5に示す。

- ・ 大会期間： 令和3年12月1日(水)～12月3日(金)
- ・ 会場： Web開催 (Zoomミーティング)
- ・ シンポジウム日時： 令和3年12月1日(水)13:05～14:15 (70分)
- ・ タイトル： 「緊急時に活躍する放射線防護専門家の確保と育成に向けて」
- ・ 座長： 飯本 武志(東京大学)

② 第5回ネットワーク合同報告会

「放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成」事業の一環として、原子力規制委員会と量子科学技術研究開発機構が主催したネットワーク合同報告会において、当ネットワークの活動報告及びアンブレラに関係するアカデミアとの意見交換を行った。当日のプレゼンテーション概要及び意見交換の結果概要を別添6に示す。

- ・ 日時： 令和4年1月25日(火)14:00～17:00
(当ネットワーク担当時間 14:45-15:30(45分))
- ・ 会場： Web開催 (Webex ウェビナー)
- ・ タイトル： アンブレラの活動報告Ⅱ～緊急時放射線防護ネットワークの活動～
- ・ 座長： 吉澤 道夫(JAEA)

(2) 専門家意見聴取

今年度も新型コロナウイルス感染症の影響でステークホルダー会合として位置付けた2回の大会・報告会がいずれもWeb開催となった。Web開催では移動にかかる時間・費用が節約できる等のメリットがあり、集合での開催より幅広い層が参加することができた可能性もあるが、対面式での開催に比べ全体の雰囲気やわからない、発言の細かいニュアンスが伝わりづらいなどのため十分な意見が聴取できなかった可能性も否定できない。

このため、平成29年度から実施してきたネットワーク検討活動において、協力を受けた実績のある外部有識者から6名を対象とし、後述する、原子力緊急事態対応ガイド、教育研修、ネットワーク構築等について、個別に意見を聴取した。

この意見聴取の実施状況及び受領した意見のまとめを別添7に示す。大勢を占めた意見をまとめると下表(表1)に集約できるが、個別の意見には今後のネットワーク活動のヒントとして有用と考えられるものが多くあったことを付記したい。