

Photo Chiaki Sawai

Index

「生活環境放射線（国民線量の算定）第3版」の紹介 ……米原 英典	1
研究用原子炉JRR-3の運転再開と 医療用RI製造への取組み ……新居 昌至	6
〔コラム〕 43th Column 【コロナに強い放射線治療】 ……中川 恵一	11
国際放射線防護委員会基本勧告改訂に関する課題について －放射線安全フォーラム 放射線安全検討会（2021年9月）での議論から－ ……小池 弘美	12
2022国際医用画像総合展 －The International Technical Exhibition of Medical Imaging2022－に出展して ……	17
ガラスリングのラベルシールの材質変更について ……	18
〔サービス部門からのお願い〕 2021年度「個人線量管理票」のお届けについて ……	19

「生活環境放射線(国民線量の算定) 第3版」の紹介



米原 英典*

1. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所事故(以下、1F事故という)が2011年3月に発生した直後から、福島県や周辺地域の多くの住民は、様々な被ばく経路での放射線被ばくに見舞われた。そのような住民が受けた被ばくが、日常生活環境や医療などから受ける被ばくと比べてどの程度なのかを説明するために「新版生活環境放射線(国民線量の算定)」(平成23年12月発行)の内容が、報告書や住民への説明など様々な場面で引用された。令和2年11月に「生活環境放射線(国民線量の算定)改訂第3版」(PDF版)が公益財団法人原子力安全研究協会より発行されたので、その改訂の内容について紹介する。

2. 今回の改訂のポイント

「生活環境放射線(国民線量の算定)」は、1992年に初版として発行され、その後の新しいデータを取り入れて内容を改訂し、2011(平成23)年に新版として発行された。発行した当時は、1F事故により汚染された地域では、まだ家屋周辺や道路の除染作業などの被ばく低減措置が進行中であり、汚染地域の住民の被ばく線量が大きく変動していた時期であったので、この事故の影響による線量評価については、この新版の内容に含めることを見送られた。

事故から数年以上経って、汚染地域での大規模な除染が一段落した段階で、1F事故の影響を含めた各分野の線量評価の専門家と構成する編集委員会を新たに立ち上げて、本書の改訂について検討を始めた。検討の結果、今回の改訂では1F事故による国民への被ばく線量を総合的に評価する

ために新たな章を追加することとなった。ただし、国民線量の算定としては、現在の時点での国民が受ける被ばくの現状を総合的に評価することであるとして、1F事故の影響については、事故後7、8年を経過した現状での事故による被ばく線量を評価することとした。その他の被ばく源についても変化があると考えられるので、可能な限り現時点(ほぼ2014年~2019年の5年間)での評価とすることにした。

1F事故により国民の放射線による被ばくに対する関心が高まり、生活環境から様々な放射線を受けているという認識は高まったが、依然どこまでが安全な線量なのかという疑問が放射線の不安を募らせていると考えられる。このような不安が生じた原因の一つとして、事故後に講じられた、避難、除染、食品・飲料水の制限など様々な対策についての線量基準が、どのような放射線防護の考え方により設定されたかの住民の理解が不足していることが挙げられる。そのため今回の改訂では、単に線量を評価するだけではなく、その線量が放射線防護の観点での尺度でどの程度であるかを把握してもらうために、第1章で放射線影響とその防護の考え方や防護基準について解説することにした。また、国民線量のまとめ方についても議論して、これまで職業被ばくのように通常的生活環境では受けられないような被ばくを含めてすべての被ばくについて国民一人当たりの平均線量を示していたが、このような評価では例えば非常に少人数の集団で比較的高い線量を受けるような場合でも、国民全体での平均をとると無視できる程度に小さい被ばく源であると評価されるという懸念について検討した。その結果今回の改訂では国民線量について二つのまとめ方で示すこととした。一つのまとめ方は、一般的な国民が通常的生活環

* Hidenori YONEHARA 公益財団法人原子力安全研究協会 主任研究員

境で受ける被ばくについて線源や被ばく経路ごとに平均的な線量を評価する。他方のまとめ方としては、職業被ばくや汚染地域での被ばくなどを含めてすべての被ばくについて国民一人当たりの平均値ではなく、被ばくしている集団の平均線量と集団の人数、それらを乗じた集団線量を示すこととした。このような評価により、被ばく集団ごとの平均線量と個人の線量を比較することにより、最適化の達成度を把握できるという放射線防護の観点からも意義があると考えられる。海外の国民線量についてもこのように国民一人当たりの線量ではなく、集団線量でのまとめ方を採用していることが多いことから、それらとの比較も可能である。

3. 公衆被ばく

自然放射線源による線量評価においては、大地放射線による外部被ばく線量は変化が少ないと考えられる。ただし、ラドンの吸入や食品等の摂取による内部被ばくなどは主に住居の構造や生活習慣などの変化による線量の変化があるものと考えられるが、10年程度の経過での変化は小さいので線量はほぼ同じ値であると評価された。環境中の¹⁴Cやトリチウム (³H) は、宇宙線により生成される自然放射線源であるが、核実験や原子力発電などに由来する人工放射性核種でもあり変化があると

考えられるので、平成23年版以降の変化について評価した。大気圏核実験により大量に大気圏に拡散された人工生成の¹⁴Cや³Hの濃度が1960年代においてかなり高いレベルに上昇した後、徐々に下降し、近年核実験を実施する前の自然由来の濃度レベルにまで低下した。今回の調査では、1F事故の後も食品中の濃度において事故の影響も見られずさらに下降傾向は続いていることが確かめられた。

4. 職業被ばく

職業被ばくについては、1F事故後の対応での作業員の被ばくや原子力施設や放射線利用施設での作業員の被ばくについて最新の情報で置き換えた。今回の改訂では自然起源放射性物質 (NORM) を含む産業用の原材料を利用する産業での作業員の被ばく線量を新たに評価した。原子力施設や放射線利用施設における放射線作業員の被ばく線量は図1に示すように1F事故後大きく変化した。事故後は再稼働している原子力発電所の割合が小さいために、福島第一原子力発電所 (1F) を除く原子力発電所における放射線作業員の平均年間線量 (図中■) は、事故以前のすべての原子力施設 (図中◆) と比べて大幅に減少している。職業被ばくについては、平成23年版では2009年の値を、今回の改訂3版では2015年の値で評価した。

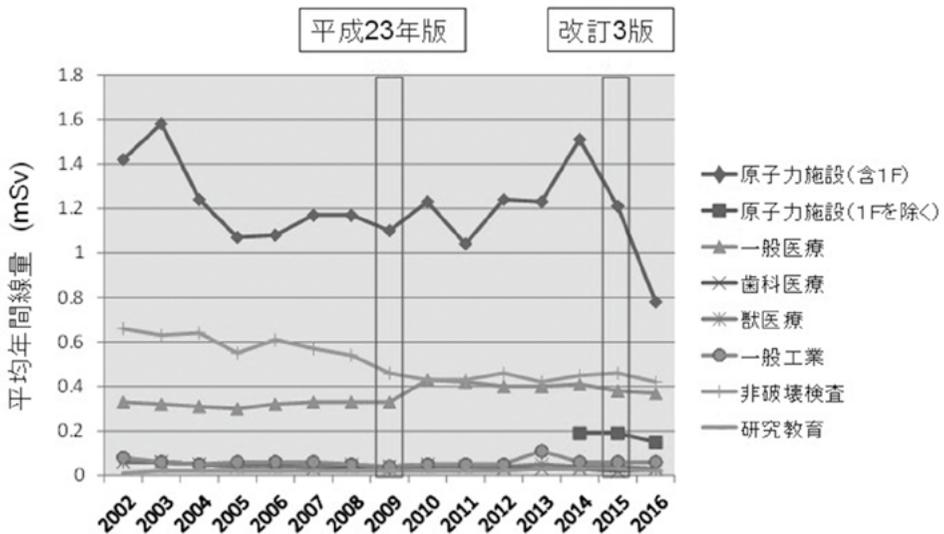


図1 原子力施設、放射線利用施設の放射線作業員の平均年間線量の推移

(本書の表の値をグラフにまとめた。データの出典：原子力施設(含1F)：中央登録センター (福島第一原子力発電所の通常作業員を含むが、緊急作業員は含まれない。)原子力施設(1Fを除く)：中央登録センター (福島第一原子力発電所の作業員を除く。)その他：個人線量測定機関協議会

5. 医療被ばく

患者の医療被ばくについては、医療における放射線の利用状況が数年で有意に変化することも考えられる。平成23年版で情報をまとめた時期においては、原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR)の2008年報告書において、医療レベルの高い国々と比較しても日本のCT検査の実施件数や、国民全体の平均線量は、世界で最も高いことが示されていた。その後欧米でのCT検査の実施の増加が考えられるが、医療被ばくに関する新たなUNSCEAR報告書(2020/2021報告書附属書A)の出版が予定より遅れていたため、今回の改訂では最新のUNSCEAR報告書のデータを引用することができなかった。そのため今回の医療被ばくの線量は暫定的な評価になっているが、UNSCEAR2020/2021報告書附属書Aが今年5月に公表されたので、それを参照して内容を改訂して追補版を発行することを予定している。また今後は、日本保健物理学会において日本の医療被ばくの国民線量を評価するための委員会が立ち上がり、より信頼性の高い評価方法で、推計することが予定されている。世界の平均値との比較についてもこれらの最新のデータで行うことが望ましいと考えられる。

6. 東京電力福島第一原子力発電所事故による被ばく

1F事故による被ばくについては、第5章に総

合的にまとめた。この章では、事故による放射性核種の環境への放出、拡散および沈着の状況と、土壌、大気中、食品、飲料水における汚染の状況やそれに伴う住民や作業者の被ばくの状況についての概要をまとめるとともに、現在の汚染状況における住民と作業者の被ばくについて評価した。福島県の住民の生活環境における線量評価のためのデータとして2,871か所のモニタリングポスト等で計測された福島県環境放射線モニタリング・メッシュ調査の結果が公表されている。この結果を分析すると、図2に示すように事故直後から、2017年頃までは、生活環境における高い空間線量率の地点の数が減少してきたことがわかる。2017年以降は変化が少なくなっているため、現状の被ばく線量評価として2018年現在の測定結果から福島県の住民の外部被ばくの平均線量を以下の方法で推定した。

- 2018年4月～7月の期間中に福島県内の59市町村の2,871地点で計測された空間線量率の結果から、全市町村の平均値は0.13 mSv/hとなった。(公表された測定値はmGy/h単位の値を換算係数1で、mSv/h単位の換算されている。この換算係数は、¹³⁷Csの土壌での沈降の状況、散乱線の割合や被ばくする人の年齢などの要因によって異なる。係数の値は乳児では平均的な状況で1に近いが、成人では0.7程度になる可能性があり、換算係数を1で換算すると全般として実際の値よりも高めの値となる。)
- 2018年現在での居住住民数(避難住民が少ない市

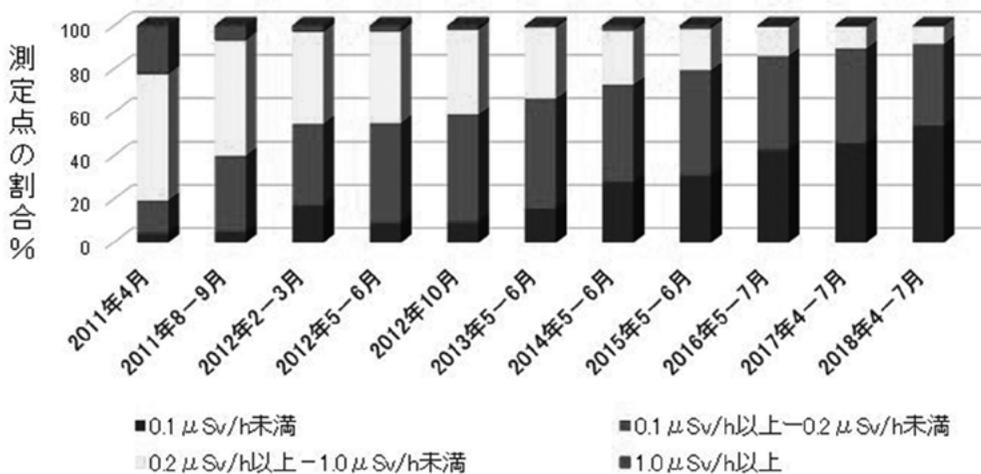


図2 福島県環境放射線モニタリング・メッシュ調査における空間線量率の測定点の割合
出典：福島県、ふくしま復興ステーション、環境放射線モニタリング・メッシュ調査結果情報

町村については人口)で加重平均して、空間線量率の平均値を求めると、0.111mSv/hとなった。

- 福島県の自然放射線のバックグラウンドを0.053 mGy/h (換算係数1でmSv/hに換算して)として減算すると、0.058mSv/hとなった。
- 「県民健康管理調査」の結果、福島県住民が屋内で過ごす時間の割合を90%とした。また事故由来のガンマ線による空間線量率の屋内/屋外の比を0.55とした。

この方法で評価した福島県住民の外部被ばく線量の平均値は、0.3mSv/年となった。また内部被ばくについても評価したが、外部被ばくに比べて無視できる程度に低いと評価された。1F事故後の復旧措置に関連する作業員の被ばくについては、2016年度の1Fにおける放射線作業員や汚染地域での除染作業員の被ばくについて分析した。1Fでの作業員の集団線量(人・Sv)は、2011年には250人・Svを超えていたが、2012年には80人・Sv程度に低下して、2014年以降は徐々に減少している。除染作業員の集団線量については、2011年に5人・Svであったがその後作業員の人数が上昇するとともに、集団線量は2015年には約24人・Svに達して、それ以降は減少している。

7. 国民線量のまとめ

国民線量として、上述のように以下の二つのまとめ方で示した。

- (1) 一般的な日本国民が通常的生活環境で受ける平均的な線量
- (2) 国民が受ける全ての被ばくについて、その線源ごとに被ばくの集団での平均線量と集団線量
一般的な国民が生活環境で受ける一人当たりの平均的な線量については、各線源の寄与を円グラフで表示した。その結果を平成23年版の結果と比較して図3に示す。平成23年版と比較すると、自然放射線源の寄与は、ほとんど変化がないが、医療被ばくの寄与は、低下している。ただし、医療被ばくについては現段階では暫定的な評価として考えていただきたい。

国民が受ける公衆被ばく、医療被ばくおよび職業被ばくについて、その線源や被ばく経路ごとに、被ばくの集団での平均線量と集団線量について、評価した結果をまとめた。それらの内、公衆被ばくと医療被ばくはまとめた値、職業被ばくについては各職業別の集団線量と国民全体の集団線量(国民線量)への寄与の割合について次頁表に示す。

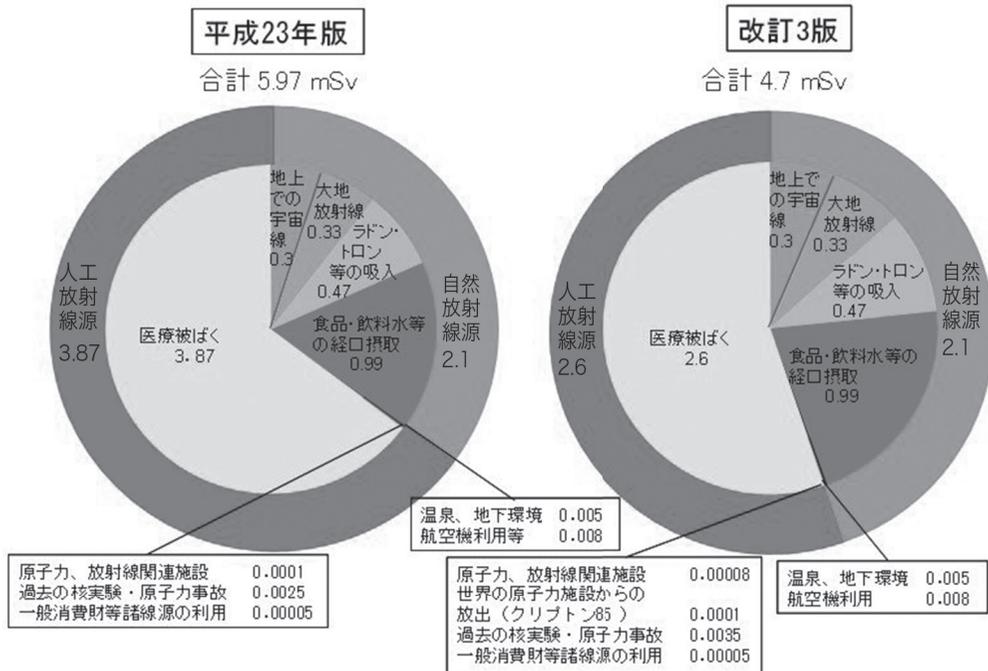


図3 一般的な国民が通常的生活環境で受ける一人当たりの年間実効線量 今回の改訂3版と平成23年版との比較

表 現在(2014年～2019年の期間)における公衆被ばく、医療被ばく、職業被ばくにおける被ばくした集団の平均線量と国民線量への寄与割合(人口は、2016年の統計を用いた)

被ばくのカテゴリー	被ばくの種類(線源、経路)	被ばくした集団の人数	被ばくした集団一人あたりの平均線量(mSv/年)	集団実効線量(人・Sv/年)	国民線量への寄与(%)	
公衆被ばく	自然放射線源による被ばく合計	126,706,000	2,239	283,695	(45.7%)	
	人工放射線源による被ばく	通常環境	126,706,000	0.00373	472	(0.076%)
		福島第一原子力発電所事故の環境汚染による福島県住民の被ばく	1,878,000	0.3	563	(0.091%)
		人工放射線源 小計			1,036	(0.167%)
	公衆被ばく 合計			284,731	(45.7%)	
医療被ばく	医療被ばく 合計			335,644	(54.1%)	
職業被ばく	原子力関連施設(福島第一原子力発電所の作業者を除く)の放射線作業員	55,091	0.15	8.26	(0.0013%)	
	福島第一原子力発電所の放射線作業員	20,730	5.04	104.5	(0.017%)	
	福島第一原子力発電所事故に関連する除染業務従事者	36,046	0.46	16.58	(0.003%)	
	一般医療施設放射線診療従事者	352,601	0.37	130.5	(0.021%)	
	歯科医療施設放射線診療従事者	23,505	0.03	0.705	(0.0001%)	
	獣医療施設放射線診療従事者	15,217	0.03	0.457	(0.0001%)	
	一般工業放射線作業員	68,218	0.06	4.09	(0.0007%)	
	非破壊検査放射線作業員	3,662	0.42	1.54	(0.0002%)	
	研究・教育施設放射線作業員	66,784	0.02	1.34	(0.0002%)	
	航空機乗務員(2007年の情報)	18,000	2.0	36	(0.006%)	
	NORM取扱作業員	268,600	0.022	5.91	(0.001%)	
職業被ばく 合計			309.8	(0.05%)		
国民全体の集団線量				620,685	(100%)	

注) 公衆被ばくと医療被ばくについて、本書では各線源、被ばく経路、医療の手技ごとの平均値を記載しているが、この表ではまとめた値を記載した。

8. 終わりに

国民線量の情報は、リスクコミュニケーションに用いる重要な資料であるが、この他にも現在規制の対象となっていない住居のラドンやNORMによる作業員の被ばくなどの情報は放射線防護関連の行政の観点からも重要性が高まっている。しかしながら、今回の改訂を検討するにあたって、現在の国民の被ばく状況を評価するためのデータが非常に不足していることを痛感した。その一例として、住居のラドン濃度の全国調査は20年以上実施されていない。この間に気候変動や建築工法など様々な要因でラドン濃度が変化している可能性があるが、これらの情報は大規模調査を実施しないと得られない。このように今後の環境放射線研究の全般的な進展が必要であると考えられる。

著者プロフィール

1953年 奈良市生まれ
 主な職歴
 1977年 滋賀医科大学放射性同位元素研究センター 文部技官
 1984年 滋賀医科大学医学部放射線基礎医学講座 文部教官
 1996年 放射線医学総合研究所人間環境研究部 主任研究官
 2001年 文部科学省科学技術・学術政策局原子力安全課 放射線安全企画官
 2003年 放射線医学総合研究所放射線安全研究センターラドン研究グループ チームリーダー
 2007年 放射線医学総合研究所規制科学総合研究グループ グループリーダー
 2011年 放射線医学総合研究所規制科学研究プログラム プログラムリーダー
 2014年 国際原子力機関(IAEA) コンサルタント 「福島第一発電所事故報告書」作成に従事
 2015年 原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ 主任技術研究調査官
 2017年～現在に至る 原子力安全研究協会 主任研究員
 学位：博士(医学)
 著書(分担執筆)：放射線基礎医学(金芳堂)、「低線量放射線と健康影響」(医療科学社)

研究用原子炉JRR-3の運転再開と 医療用RI製造への取り組み



新居 昌至*

1. はじめに

2011年3月の東日本大震災、さらに東京電力福島第一原子力発電所の事故は、我が国の原子力を取り巻く環境に大きな影響を与えた。国内の全ての原子炉施設は、原子力規制委員会が定めた自然災害等への対応を強化した新しい基準「新規制基準」に適合するため、追加的な安全対策が必要になった。研究用原子炉（研究炉）も例外ではなく、日本原子力研究開発機構（原子力機構）は新規制基準への適合が困難であると判断したJMTRやJRR-4の再稼働を断念し、廃止措置に舵を切った。そうした中であって、茨城県東海村にある原子力機構原子力科学研究所に設置されているJRR-3（図1）が、適合性確認審査と耐震補強工事を経て、2021年2月に10年ぶりに運転を再開した。

JRR-3は、熱出力20MWの世界トップレベルの高性能研究用原子炉として、中性子ビーム

実験や中性子照射に利用されている。JRR-3に設置された利用設備を用いて、種々の中性子ビーム実験、原子力燃料・材料の照射試験、ラジオアイソトープ（RI）やシリコン半導体の製造などを行っている。2021年は7月から供用利用運転を開始し、11月までに4サイクル（1サイクル26日連続運転）の運転を行い、この期間、医療用密封小線源Au-198、Ir-192を製造し、がん治療用に供給された。東日本大震災後、国内で止まっていた原子炉照射によるRI製造が再開された。

2. 研究用原子炉における国内RI製造頒布の変遷

核医学診断や治療、非破壊検査、放射性トレーサーへの応用など、さまざまな分野で幅広く利用されているRIは、医療サービスや産業の品質管理において国家経済上重要な分野を支えている。これらのRIは、自然界に存在するものもあるが、主に

研究炉や加速器で人工的に製造される。原子炉でのRIの製造は、熱中性子の照射によるターゲット物質の中性子捕獲による放射化または核燃料物質の核分裂生成物から分離精製される。原子炉は照射量が多いこと、多量の試料を同時に照射できること、製造



図1 運転再開を果たしたJRR-3

* Masaji ARAI 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究炉加速器技術部 研究炉技術課 課長

コストが比較的安いこと、多種類のRIを製造できることなどの理由から、RIの全供給量の中で大きな割合を占めている。一方、加速器で製造されるRIは、全供給量に占める割合が比較的小さいが、原子炉では製造できないRIやユニークな性質を持つRIを製造するために使用される。

1962年、先進諸国からの情報が乏しい中で、日本初の原子炉であるJRR-1では、ナトリウム24、カリウム42、リン32等の製造技術をそれぞれ確立し国内頒布を開始した。その後、高出力の各研究炉、JRR-2、JRR-3、JRR-4及びJMTRの相次ぐ利用開始によって、RIの製造頒布は本格化された。これらの原子炉における高い中性子束の利用によって、RI製品の大幅な比放射能の向上や大量生産が可能となり、併せてターゲット物質の品質管理、照射容器の設計製作、照射後の化学処理、製品の検定など各工程の開発が進展した。ピーク時には30核種の精製RIと9種類の線源RIが国内で製造され、安定して供給されていた。

その後、RIの頒布事業については合理化を図る観点から経済性を考慮し、海外からの輸入可能な中長寿命RIは国内製造が中止され、安定、大量需要の工業用RI線源の頒布事業は民営化された。しかしながら、この合理化は国内のRI製造頒布事業の停滞と海外からの輸入依存を招いてしまった。加えて、多くの研究炉は、施設の高経年化、安全規制の強化又はその役割を終えたため廃止措置に移行し、現在RI製造に利用できる国内の研究炉はJRR-3の1基である。

3. JRR-3の照射利用設備

JRR-3は主として中性子科学、中性子実験技術応用による産業イノベーション、放射化分析等で先進的研究のツールとして活用されているが、医療用及び工業用RI製造、燃料・材料照射試験、シリコン半導体製造など多様な中性子照射にも活用できる高性能汎用研究

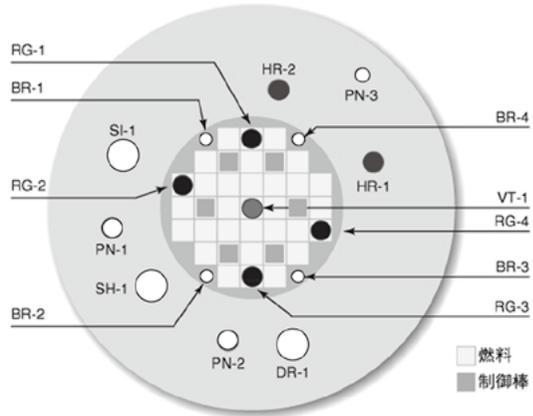


図2 JRR-3の照射設備

炉である。JRR-3には、試料をキャプセルに収納し、それを原子炉内の燃料領域、ベリリウム反射体領域及び重水反射体領域の中性子で照射するために、図2に示す6種類の照射設備が設置されている。この照射設備のうち、水力照射設備(HR-1、2)と垂直照射設備(VT、RG、BR)がRI製造に利用される。

水力照射設備の照射孔は、重水タンクに設置されており、熱中性子束は約 $1 \times 10^{14} \text{ n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sec})$ である。原子炉運転中に10分から最大1サイクルまでの任意の時間、試料を中性子照射するために照射孔へ挿入し、取り出しを行う設備であり2基設置されている。キャプセルの搬送は管内を流れる水によって行われ(水力ラビット)、照射済みのキャプセルは照射系と転送系の両方に接続している転送機を経由して、JRR-3原子炉建家に併設されている実験利用棟やラジオアイソトープ製造棟のホットセルに搬送され開封される。試料容器は、

図3に示すアルミニウム製のキャプセルを使用する。搬送時の衝撃吸収及びキャプセル開封後の取扱いのため、試料をア

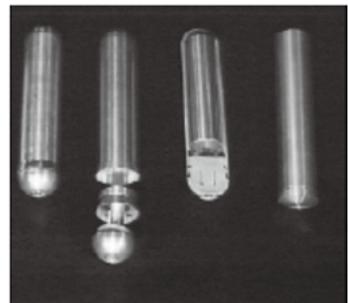


図3 水力照射用キャプセル

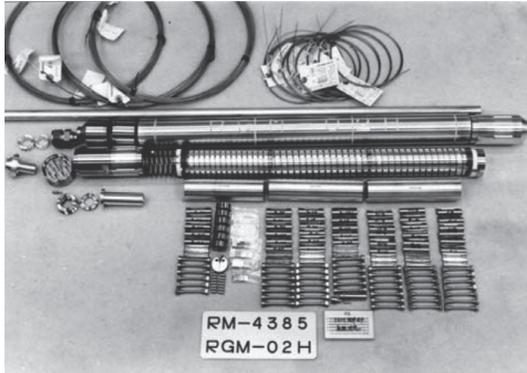


図4 垂直照射用バスケット

ルミニウム箔で包んでキャプセルに入れて照射する。キャプセルは、試料を内部に入れてから溶接方式、圧着方式、摩擦圧接方式、ネジ込み方式、またはこれらの組み合わせによって密封されている。水力照射設備は水力ラビット方式を採用することで、原子炉を停止することなく照射試料の出し入れが可能であり、作業効率があがるとともに照射精度が向上し、放射能の比較的小さく半減期の短い医療用RIの製造に適している。

垂直照射設備は、燃料領域中心のVT孔、燃料領域の周辺にRG-1からRG-4まで4孔あるRG孔、ベリリウム反射体領域にBR-1からBR-4まで4孔あるBR孔を利用してキャプセル照射を行う設備である。照射孔は燃料領域あるいはその周囲にあって熱中性子束及び高速中性子束が約 $2 \times 10^{14} \text{ n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sec})$ と高く、燃料・材料の照射試験、工業用RI線源の製造に用いられている。試料は、図4に示すバスケットまたは密封型キャプセルに入れて照射する他、熱電対、ヒータ、SPND (self-powered neutron detector) 等を付けて計測付き照射、温度制御照射を行うことができる。水力照射設備とは異なり、原子炉の運転中は試料の挿入、取出しができないため、照射時間を任意に選択することはできないが、大量あるいは大型の試料を照射することができる。

4. 密封小線源の製造再開

がん治療用の密封小線源には、ヨウ素シード (I-125)、金グレイン (Au-198)、イリジウム線源 (Ir-192) などがあり、JRR-3は金グレインとイリジウム線源の製造に利用されている。密封小線源治療は、小さなキャプセルやピン、管などに密封されたRIを腫瘍の近くに挿入し、線源から放出される放射線を患部に照射する治療方法であり、患部を切除することなく、根治後の生活の質QOL (Quality Of Life) の大幅な向上が望める。

金グレインは、図5に示すように0.5φ × 2.5mmの粒上の金を白金のシース管に密封したターゲットをアルミニウムのキャプセルに封入し、原子炉で照射し製造される。イリジウム線源は、白金・イリジウム合金線を白金の鞘で被覆し密封したターゲットを用いる。ターゲットの形状は、ヘアピン、シングルピン、シード、シンワイヤなど数種類があるが、RALS (遠隔操作密封小線源治療) の普及により、現在は図6に示すヘアピンとシングルピンの2種類が製造されている。

金グレインとイリジウム線源は、東日本大震災が起こるまで、JRR-3とJRR-4の2つの研究炉を相補的に利用することにより、年間



図5 金グレインを使用した密封小線源治療

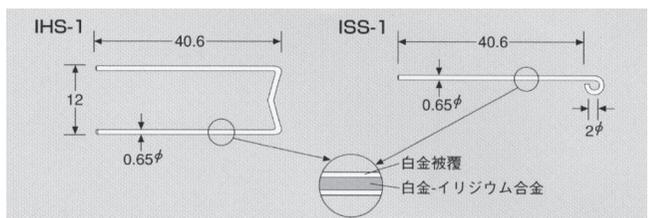


図6 密封小線源治療用イリジウム線源

を通してほぼ毎週製造・出荷が行われ、国内の医療機関に安定供給されていた。震災後、国内の研究炉が停止していた間は、代替品として海外で照射した線源が輸入された。しかしながら、輸送コストや製造コストが国内製造と比較し高く、海外からの輸入回数は年々減少し続けた。特にAu-198のような半減期が短いRIは輸入してストックしておくことができないため、輸入回数の減少は供給量の減少を招き、結果として国内需要は震災前の半分以下に落ち込んだ。

JRR-3の運転再開にともない、金グレインとイリジウム線源の国内製造も再開されている。JRR-3が4サイクルの供用運転を実施した2021年は、金グレインが6回、イリジウム線源が4回、照射製造されている。2022年からは年間7サイクルの供用運転が計画されていることから、今後密封小線源の製造も増えることが期待される。JRR-3だけでは以前のように国内製造で需要の全てを賄うことは難しいが、輸入との調和を図り国内安定供給に努め、利用促進に繋げたい。

5. モリブデン-99国内製造に向けた取組み

世界の核医学検査の80%は、モリブデン-99 (Mo-99) とその娘核種であるテクネシウム-99m (Tc-99m) の入手に依存しており、これらは現在研究炉でのみ生産されている。国内においては、加速器により製造されるRIを使用したPET (Positron Emission Tomography) 検査の件数が増加しているものの、未だTc-99mを使用したSPECT (Single Photon Emission Tomography) 検査が半数以上を占め、その全量を海外からの輸入に依存している。しかし、製造を担う海外の研究炉の老朽化によるトラブルに、最近ではコロナ禍での輸入遅延も加わり、供給が不安定な問題が生じている。このことから、Mo-99/Tc-99mは、早期国産化を望む声が多いRIの一つである。

研究炉を利用してMo-99を製造するには、濃縮ウランをターゲットとしU-235の核分裂生成物としてMo-99を得る「核分裂法」もしくは、Mo-98をターゲットとして (n, γ) 反応を利用しMo-99を得る「中性子放射化法」がある。前者は、比放射能が高く、無担体のMo-99が製造できることから、現在海外の研究炉では本方法が採用されている。ただし、核分裂法は多量に発生する高レベル放射性廃棄物の処理処分の課題を有し、さらに核不拡散の観点からターゲットとなる濃縮ウランの入手が困難であることから、我が国で本方法を採用するには現実性に欠ける。そのため原子力機構では、第4期中長期計画 (令和4年度～令和10年度) において、JRR-3の性能を有効に活用し、中性子放射化法によるMo-99の照射製造技術の確立を目指している。

2021年は水力照射設備を使用し、天然のモリブデン (Mo-98含有率24%) を一般的な焼結方法で製造した理論密度約60%のターゲット (図7) を照射した結果、比放射能0.5Ci/g以上のMo-99が製造できることがわかった。この結果は当初の試算値より2割大きく、計算では見積りが難しい熱外中性子の共鳴吸収の効果が考えられ、引き続き試験照射により実証データを蓄積する。なお、高濃縮・高密度モリブデンターゲットを使用することで、比放射能の向上が期待できる。また、2022年からは垂直照射設備を使用した試験照射のスケールアップを図る。JRR-3の運転が再開したことで、国内製造実現に向け着実に前進したと言える。

しかし、中性子放射化法によるMo-99製造



図7 モリブデン-99製造用照射ターゲット

技術の社会実装には、海外からの輸入製品と同等の品質と価格を担保すること、安定して供給することなど、解決すべき課題も点在する。また、原子炉を運転できない定期事業者検査期間、中性子ビーム利用との両立等を踏まえると、国全体の需要の中でJRR-3が担える製造量には限りがある。さらに、人材育成と技術継承も欠かせない。RIの医療分野への活用は、高い経済効果が見込まれることから、諸外国において医療用RIの製造や利用のための研究を国策として強化する動きが見られる。我が国においても、2021年6月18日に閣議決定された「成長戦略フォローアップ」において、内閣府特命担当大臣と文部科学大臣を担当として、「試験研究炉等を使用したラジオアイソトープの製造に取り組む」旨記載された。これを受け、原子力委員会では「医療用等ラジオアイソトープ製造・利用専門部会」を設置し、医療用をはじめとするRIの製造・利用推進に係る必要な検討を行い、関係省庁協力の下、オールジャパン体制で医療用RI供給確保のためのアクションプランを取りまとめている。JRR-3がMo-99サプライチェーンの一端を担うためにも、本プランを踏まえ、産学官が連携し課題解決に取り組む必要がある。また、中性子放射化法によるMo-99の製造手法は、ルテチウム-177 (Lu-177) やレニウム-188 (Re-188) など、Mo-99以外の医療用RIの製造に応用でき、JRR-3が持つ潜在能力に期待したい。

6. おわりに

研究炉による医療用RIの安定供給は、SDGsの目標達成に向け、原子力が果しうる役割の一つである。オランダのPettenにある研究炉HFRは、冷却系のトラブルのため本年1月20日から3月17日まで計画していた運転を取りやめた。HFRで製造されるMo-99は、世界中で毎日30,000人以上の患者の診断に供給されてい

るが、幸いにもポーランドのMARIA、ベルギーのBR-2が運転日数を増やし不足分を補うことで世界的な供給不足は避けられた。このように、海外においても多くの研究炉が高経年化による問題を抱えており、今後10年後にはその多くが廃止の可能性が高くなっている。このような中、海外では、フランスのJHR、アルゼンチンのRA-10、韓国のKJRR、オランダのPallas等の新たな研究炉が建設中あるいは計画されている。一方、国内では「もんじゅ」の廃止措置移行に伴い、「もんじゅ」サイトに新たに研究炉を設置することが決定し、概念設計が開始された。この研究炉は中性子ビーム利用を主目的とした中出力炉ではあるが、RI製造への利用も期待されている。また、原子力機構ではJMTR後継炉検討委員会を設置し、新たな照射試験炉の検討がなされている。加えて、JRR-3後継炉の構想もある。今後、強靱なインフラを整備し、医療用RIの供給体制を充実することは、すべての人々の健康的な生活を確保し、福祉向上に貢献することである。

最後に、JRR-3は、本稿で紹介した医療用RI製造の他に、中性子散乱実験、中性子ラジオグラフィ、放射化分析など種々の中性子ビーム実験から燃料・材料の照射試験まで、幅広い中性子利用ニーズに応えることができる施設です。原子力機構内部の研究者だけでなく、「施設供用制度」のもと外部の多くの方々にご利用頂くため、ユーザーズオフィス (<https://jrr3uo.jaea.go.jp>) を設置し、適切な技術相談や利用受付、実験装置の利用支援、利用成果のまとめなどサポートしていますので、気軽にご相談ください。

著者プロフィール

茨城大学大学院環境機能科学専攻終了、平成15年理学博士取得後、日本原子力研究開発機構入社、原子力科学研究所JRR-3管理課で原子炉の運轉・保守、燃料管理、許認可業務を経験後、平成18年原子力安全委員会に出身、平成20年より研究炉技術課で冷中性子源装置の高性能化、利用技術の開発などに携わる。現在は、ラジオアイソトープ製造棟の施設管理者として、RIの管理、RI製造の技術開発及びもんじゅサイト試験研究炉の概念設計に従事。



中川 恵一

東京大学医学部附属病院

コロナに強い放射線治療

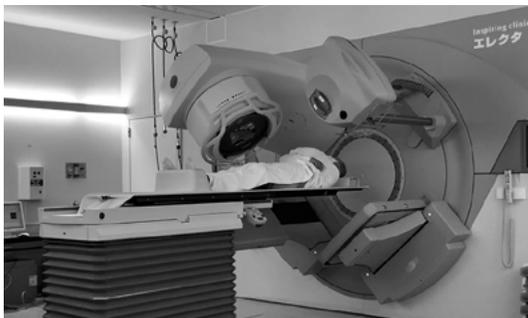
コロナで、がん検診が自粛された結果、早期がんを中心に、見かけ上、がんと診断される人の数が減っています。

今後、がんが進行して症状が出るようになって発見される患者が増えることは間違いありません。背筋が寒くなるような事態です。

がんと診断される患者が少なくなっていますから、手術も、大幅に減っています。とくに、胃がんの減少が目立ちますが、これは術者と被験者が近づく胃カメラが敬遠されたことが大きいと思います。

一方、放射線治療の件数はむしろ増えています。東大病院の場合、早期の肺がんは4回、前立腺がんでは早期から進行例まで5回の照射で治療が終わります。1回の治療時間は1～2分で、患部の温度は1/500度上昇するだけ。何も感じません。放射線治療は「コロナに強い」という評価が進んでいるように思います。

もちろん、放射線治療は原則、通院ですみますから、がん治療と仕事の両立を可能にします。治療にともなう収入の減少幅も、放射線治療の方が手術より軽微というデータも出ています。少子化が進むなか、単一民族の道



前立腺がんの定位放射線治療の様子

を選んだわが国では、高齢者が働く他、経済成長も社会保障制度の維持もままなりません。働くがん患者が増える「がん社会」にピッタリの治療と言えるでしょう。

東大病院の場合、2020年に初めて、前立腺がんの治療件数において、「放射線治療>手術」となりました。

ただ、治療を受ける側が、これまでのように、「がん治療=手術」と思っていれば、放射線治療にたどり着くことは困難です。日本は外科医が多く、かつ、生検も外科医が行いますので、どうしても手術が優先されることになります。

がんに限らず、日本人の「ヘルスリテラシー」は非常に低いことが分かっています。とくに、がんはわずかな知識や行動で運命が分かれる病気です。手術偏重のがん治療の他、遅れる受動喫煙対策、低い検診受診率、不十分な緩和ケアなど、がんに関する多くの問題点の根底にヘルスリテラシーの低さがあると思います。

しかし、日本でも、学校でのがん教育が始まっています。あまり知られていませんが、中学、高校の保健体育の学習指導要領にがん教育が明記されています。2021年4月から、中学の保健の教科書も一新され、生徒は、がん予防や早期発見など、必要な知識を学んでいます。今年4月には高校の教科書も変わり、放射線治療や緩和ケアの授業が始まっています。教科書を見ますと、ロボット手術や高精度放射線治療も紹介されるなど、充実した内容となっています。

彼らが大人になるころには、放射線治療を受ける患者も増えることでしょう。

コロナ禍はがん医療にも大きな影響を与えましたが、放射線治療がコロナに強いことを示すことにもなりました。

国際放射線防護委員会 基本勧告改訂に関する課題について

ー 放射線安全フォーラム 放射線安全検討会 (2021年9月)での議論から ー



小池 弘美*

1. はじめに

特定非営利活動法人放射線安全フォーラム(RSF)は「放射線の安全利用に関わりを持つ人たちに相互研鑽の場を提供し、放射線の利用や安全に関する有能な後継者を育成する」、「広く社会に放射線の利用や安全に関する知識の普及を図り、会員の豊富な経験に基づく政策提言などを通し、社会に貢献する」の2つを活動の目的にしている。このフォーラムの主催により、2021年9月10日(月)、第18回放射線安全検討会(アリーナ)「ICRPの基本勧告改訂に対する課題検討会」がオンライン形式にて開催された。

国際放射線防護委員会(ICRP)は、専門家の立場から人及び環境の放射線防護に関する勧告を行う非営利の国際学術組織である。「被ばくに関連する可能性のある人の望ましい活動を過度に制限することなく、放射線被ばくの有害な影響に対する人と環境の適切なレベルでの防護に貢献すること」を目的とした勧告を約20年に1度公表している¹⁾。最新のものは2007年勧告である。以下に、2007年勧告の主な目的を示す。(第1図)

ICRPは、この勧告の改訂作業を開始することをJournal of Radiological Protection誌の論文“Keeping the ICRP recommendations fit for purpose”で公表した²⁾。過去10年の教訓と科学的知識の進歩、社会的価値の進化、および放射線防護の実務における実施の進捗を考慮して、どの分野にさらなる注意が必要かを評価し、示すことを目的とし改訂が行われる。論点には、低線量・低線量率の放射線曝露に対する防護などがある。これを受けて上記フォーラムは、会員の所属組織や立場をいったん離れた個人の視点で、その内容についての会員同士による自由な意見交換をする場として本検討会を企画したとのことであった。

検討会はRSF理事の飯本武志氏によって進行、ファシリテート(議題に関し参加者からの意見を引き出し整理すること)され、はじめに同理事の多田順一郎氏より、ICRP基本勧告の改訂方針の概要について説明がなされた。それを受け、参加者からの様々な意見が共有された。現在大学院の博士(後期)課程で、放射線の利用や防護に関する研究をしている筆者の視点で、本検討会での意見をいくつか項目に分けて抜粋し、紹介したい。

* Hiromi KOIKE 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境システム学専攻

児のための基準ファントムの提供を予定している。

- ・職業人と一般公衆の被ばくによる不利益を、年齢グループと性別で平均し計算するのではなく、異なる年齢層と性別で別々に評価することが可能になる。

参加者より、以下の意見があった。

- ・年齢や性別に依存する実効線量を評価するためには、年齢や性別に依存したきめ細かな組織加重係数も必要となる。しかし、寿命調査 (LSS) などからそれを導いたとしても、結果的には現在の係数より信頼性の低いものになるだろう。
- ・全がんの誘発確率は年齢によって変化するため、実効線量と健康影響リスクとの関係が年齢によって異なることになる。したがって、結果的には異なった年齢間の実効線量の加算性が失われることになる。
- ・実効線量を年齢、性別ごとに評価するとすれば、線量限度もそれを踏まえたものになり、放射線管理の実務が煩雑になりすぎる。

6. RSFの今後の活動について

ICRPの論文とは直接には関係はないが、今後のRSFの活動への期待について、以下の意見があった。

- ・放射線安全・防護分野の若手のチャレンジ精神を鼓舞するような活動を推進してほしい。
- ・会員自らの研究成果や作成資料を共有し、意見交換する場を設けてほしい。
- ・原子放射線の影響に関する国連科学委員会 (UNSCEAR) の歴史や、2020レポートの概要に関する講演と意見交換の場を設

けてほしい。

- ・RSFの活動を積極的に外部へ発信してほしい。

7. まとめ

状況に応じた放射線との適切な距離感を図り、安全で有益な放射線利用を維持し、必要に応じてさらに発展させるには、放射線防護の理念を公衆を含む多くの方々にもご理解いただくことが重要だろう。これまでは、国による放射線教育の拡充や、本フォーラムのような専門家集団による様々な形態での、公衆リテラシーに資する活動があった。だが、社会状況はさらに大きく変わり、より広い視野での説明が必要になってきている。例えば、国や企業、若者を中心に社会全体として、持続可能な開発目標SDGsやESG (環境、社会、ガバナンスの略) の認知が進んでいる。(第2図) 投資の際に、約8割の人がその分野や企業が人権の尊重や環境保全に関し積極的な取り組みをしているかを考慮に入れているとの調査もある。このことから、ICRPの勧告改訂についても、同様の視点で社会的な評価がなされると考えられる。本検討会にて得られた意見の内、「人間として放射線感受性の観点で違いが無いにもかかわらず、公衆と職業人の線量限度に違いがあること」や「人以外の生物種の防護のための新しい被ばくの分類」が、特にこれらのキーワードと関係があり、次世代を担う若者の注目を浴びるだろう。このような状況を踏まえて、筆者としては、ICRPがこれからまとめていく放射線防護の新しい解の一例を期待すると同時に、専門家個人やその集団には今回の勧告改訂内容の理解だ

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



第2図 持続可能な開発目標SDGs 17の目標

けではなく、常に情報収集を怠らず時流を読むスキルが要求されているとも感じた。

本検討会に参加し、ICRPの基本勧告改訂に対する課題を様々な経歴、視点をお持ちの先生方から伺うことができた。経験の浅い私のような若手にとって、基本勧告の理解を深め、多角的な見方を養うだけではなく、課題の解決や放射線利用、防護に対し、自身の研究がどのような形で貢献ができるかを再度見直す機会にもなった。放射線安全分野の一員として、放射線防護の一助となるよう研究に邁進していきたい。このような貴重な経験をさせて頂いたことを、この場をお借りして御礼を申し上げたい。

謝 辞

本稿をまとめるあたり、RSFの山口一郎理

事（国立公衆衛生院）及び飯本武志理事（東京大学）の助言を受けた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) ICRP, 2007a. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Ann. ICRP 37 (2 - 4) (2007)
- 2) C Clement, W Rühm, J Harrison, K Applegate, et al., Keeping the ICRP recommendations fit for purpose, Journal of Radiological Protection, 41, 1390-1409 (2021)

著者プロフィール

1996年東京都生まれ。国立大学法人 東京大学大学院新領域創成科学研究科環境システム学専攻博士後期課程に在学中。
 修士では、昆布や湯の華入浴剤など身近に存在する物質を用いた教育用自然放射線源の開発に取り組んでいた。
 現在は、自然起源の放射性物質から受ける被ばく評価と安全文化などを考慮した国際的に実現可能な管理・取扱い方法の策定に関する研究に取り組んでいる。

2022国際医用画像総合展 —The International Technical Exhibition of Medical Imaging2022—に出展して

線量計測事業本部 廣田 盛一・篠崎和佳子

一般社団法人日本ラジオロジー協会（JRC）主催のJRC2022の一環として国際医用画像総合展（ITEM；The International Technical Exhibition of Medical Imaging）が2022年4月15日（金）から3日間、パシフィコ横浜で開催されました。

併せて、今年もWebサイトで4月15日（金）から5月18日（水）まで公開され、参加企業にとりましても、ご参加の皆様と共に有意義な時間を共有できました。

弊社からは昨年同様、放射線治療関連機器、ガラス線量計システム、眼の水晶体用線量計DOSIRIS（ドジリス）、各種線量測定機器、感染症対策製品を出展いたしました。

パシフィコ横浜では会場内の感染リスクを最小化するために、展示会場入り口にて体温の確認があり、消毒スプレーが完備され、また入場者数が増加した際には入場制限も行われていました。弊社ブースにおきましても展示対応員数の調整、機器説明の際の来場（来訪）者の方との間隔維持、展示品を除菌シートで拭くなどの対策を行いました。

弊社出展製品で一番話題となったのは「眼の水晶体用線量計DOSIRIS」です。2021年4月の法令改正施行から1年が経過し、弊社ブースにお越しいただいた来場者様より、この1年間のご苦労話や他施設の対応状況に関心があることなどをお聞きしました。また、弊社ブース内にて、来場者様同士で、積極的に情報交換をされている姿が印象に残りました。



パシフィコ横浜



展示会場入り口



DOSIRISの展示

DOSIRISの展示を見つけると実際に手に取られてご覧になり、「思っていたよりも小さい」「防護メガネに装着できて、視界に入らないし、気にならない」などのご感想をいただきました。

同時開催の学会でも、被ばく線量低減に対する取り組み後に、現場で発生した問題と解決策や、今後の課題の抽出、提言など活発な質疑応答が交わされていました。被ばく線量低減に対する関心度の高さを実感すると共に、学びの多い時間となりました。

今年も展示会場弊社ブースに足をお運びいただきました皆様、誠にありがとうございました。皆様から貴重なご意見、ご要望、ご感想を頂戴することができました。この紙面をお借りして御礼申し上げます。

弊社は、2022年度も放射線安全管理に繋がる被ばく線量低減のご提案を提供してまいります。



弊社ブース前にて



ガラスリングのラベルシールの材質変更について

線量計測技術課

日頃は弊社ガラスバッジサービスをご利用いただき誠にありがとうございます。

2022年2月分よりガラスリングのラベルシールの材質を変更しておりました。しかし、変更後に一部のお客様から、ラベルシールがはがれやすくなったというご意見をいただきました。ついては、6月分から一旦以前の材質に戻し、再度粘着力の向上を目指すこととしました。

お客様には材質改善までの間、大変ご迷惑をお掛けいたしますが、引き続きご愛顧の程よろしく願いいたします。

サービス部門からのお願い

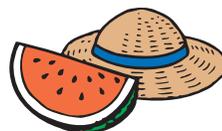
2021年度「個人線量管理票」のお届けについて

平素より弊社のガラスバッジサービスをご利用くださりまして誠にありがとうございます。
2021年度の「個人線量管理票」（個人線量算定値管理票・個人線量測定値管理票）は、第4・四半期を含む計画使用期間（2022年3月）のガラスバッジの報告書出力時点で作成し、個人線量報告書と共にお届けしております。

この度、2022年7月1日現在で「個人線量管理票」をお届けしていない方に対しては、返却されていない計画使用期間に「未返却」と表示させていただき、お届けする予定です。

お届けする時期は7月中旬以降を予定しております。

なお、使用期間の終了したガラスバッジがまだお手元にございましたら、早急にご返却くださいますようお願いいたします。



編集後記

- 社会的にSDGsに対する取組みが日々活発化してきているのを実感しており、私自身コロナ禍も相まってSDGsの取組みの一環として自炊を始めました。目標はキレイに魚を捌けるのですが、編集後記に書いたからには今年中に捌けるようになりたいです…
- 今月号の巻頭では「生活環境放射線（国民線量の算定）第3版」について原子力安全研究協会の米原英典様にご紹介いただきました。各分野での放射線量に対する線量については日頃意識しておりましたが、国民全体での被ばく線量という調査結果は興味の湧く内容でした。いかに自然、医療、原子力放射線と接して生活しているかということに改めて認識しました。
- 日本原子力研究開発機構 新居昌至様より国内研究用原子炉JRR-3運転再開と医療用RI製造への取組みについて執筆いただきました。研究用原子炉の再開が困難な中、2021年よりJRR-3が再稼働いたしました。JRR-3には工業用利用の他に、核医学診療などで使用される医療用RIの製造についても取組みが進められており、国

産医療用RIの製造及び新たな核種製造の期待が高まります。弊社としても大きな期待を寄せております。

- 東京大学医学部附属病院 中川恵一先生のコラムでは放射線治療の動向について執筆いただきました。昨今QOLが進んでいる中において放射線治療は長寿命化している生涯を楽しむために有用な選択肢と思われます。一概には有用とくれないかと思いますが、幅広い方々に放射線治療の有用性を深くご認識いただき、常に頭の中で治療における選択肢として選ばれるような診療になることを願います。
- 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 小池弘美様よりICRP 基本勧告の改訂に関する課題について執筆いただきました。放射線の防護に対して多角的な側面から検討を行われて発出されていることを初めて知りました。勧告されている内容がどのように議論され導き出されているのか、放射線管理の一端を担う会社としては理解を深めなければと痛感いたしました。何事でも理由や根本を知らなければ説得力がありませんよね… (F. M)

FBNews No.547

発行日/2022年7月1日

発行人/井上任

編集委員/新田浩 小口靖弘 中村尚司 金子正人 加藤和明 青山伸 藤森昭彦
篠崎和佳子 高橋英典 廣田盛一 前原風太 山口義樹

発行所/株式会社千代田テクノ

所在地/〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル

電話/03-3252-2390 FAX/03-5297-3887

<https://www.c-technol.co.jp/>

印刷/株式会社テクノサポートシステム

—禁無断転載— 定価400円(本体364円)