



Photo M. Abe

Index

高線量率環境に対応する線量測定方法の実用化開発 —Advanced Glass Dosimeter— ……………	山本 幸佳	1
深刻化する温暖化への対策として 高温にも耐える作物を開発する事が必要だ —放射線育種を活用しよう— ……………	町 末男	6
平成26年度 個人線量の実態 ……………		7
J-PARCで開かれた “第2回加速器施設安全シンポジウム” に出席して ……………	三村 功一・新原 佳弘・瀬川 佑也	16
[サービス部門からのお願い] ガラスバッジはご使用期間終了日を過ぎてからご返却願います！…		19

高線量率環境に対応する 線量測定方法の実用化開発

— Advanced Glass Dosimeter —



山本 幸佳*

1. はじめに

2011年3月11日に発生した福島原子力発電所の深刻な事故により、周辺のみならず遠方まで大量の放射性物質が飛散したため、福島県を始めとする周辺地域では、復旧のため広範囲にわたる居住区域の家屋や公共施設の屋根、樋、壁、庭、道路、溝、空き地、校庭などの除染作業が行われている。その際、除染作業前後の線量評価および除染効果の検証は重要で、放射線量(率)の空間分布を把握する必要がある。作業環境測定の観点において、福島県の屋外における気温は、低い時は約マイナス10[°C]となり、真夏のアスファルト上のような高温環境ではプラス60[°C]まで上昇する。このような、気温変動の幅が大きい環境でも安定して使用できる線量計が求められる。

また、多数の作業員が働いている原子力発電所敷地内の放射線レベルは、周辺の居住区域であった場所の値よりも当然高く、また原子炉建屋内のレベル、特に原子炉や冷却用配管などの周辺は極端に高いと想定されるが、今後長期間に亘り廃炉のためにそのような厳しい環境下で作業を継続する必要がある。高線量率(数百mSv/h～数Sv/h)、高温且つ高湿度の環境下で廃炉と除染のために働く作業員の被ばく低減と安全確保のため、作業手順や作業時間を最適化する必要がある。それに資する情報を得るために本研究ではそのような厳しい状況に耐えることが出来、且つ線量分布の可視化が可能な積算型線量計を従来のガラス線量計の進化型として開発した。

個人被ばく線量計に用いられている蛍光ガラス線量計素子は①積算型線量計であるためアクティブ型線量計で見られる電子回路の窒息現象が原理的にない、②線量率依存性がない、③高温環境下(～250[°C]まで)においても線量情報を維持できるといった特長を有している。本開発では、この特長を活かし、高線量率および高汚染エリアの復旧作業環境にも対応可能な新しい積算型の環境放射線量測定法の確立を目指し、現在普及しているガラス線量計の進化型として(1)ビーズ型ガラス線量計測システム、(2)シート型ガラス線量計測システム、(3)過酷環境対応型ガラス線量計測システムの3種類の線量計の開発を試みることにした。

そのために、科学技術振興機構(JST)公募の研究成果展開事業「先端計測分析技術・機器開発プログラム」平成24年度重点開発領域「放射線計測領域」実用化タイプ(中期開発型)に応募したところ幸いにも採択され、開発期間平成24年5月10日～平成27年3月31日までの3年計画で開発費総額97,970千円(JST76,670千円)が認められた。この計画は千代田テクノルが中心となり、大阪大学、金沢工業大学および井原電子研究の協力のもとに遂行され、さる3月末をもって完了し、JSTに成果報告書を提出したところである。本稿ではその成果の概要を紹介する。

尚、本プロジェクトで試作した新しいガラス線量計を、今後は千代田テクノルの責務でもある事業化により大量生産に進み、福島で活動している原子力関連企業、地方自治体それに各種NPOに供給する予定である。

* Takayoshi YAMAMOTO 弊社 研究顧問(JST申請時:大洗研究所長)

2. 進化型ガラス線量計

個人被ばく線量測定および環境放射線測定等に用いられている蛍光ガラス線量計素子は、放射線を受けると、ガラス内に発光中心が形成される。この発光中心は、プラス360[°C]以上の熱を加えない限り消失しない。この放射線の情報を記憶した蛍光ガラス線量計素子に紫外線を当てると、オレンジ色に発光する。この現象はRadiophotoluminescence (RPL)と呼ばれており、その発光量は放射線の量に比例して増加することから、精度良い積算型線量計として広く用いられている。本プロジェクトではこの特長をさらに進化させ、高線量率環境に対応したビーズ型およびシート型のガラス線量計と過酷環境対応型ガラス線量計を開発した。

2.1 ビーズ型ガラス線量計

蛍光ガラス線量計素子の放射線量に比例したRPLを視覚的に評価できる特長を損なうこと

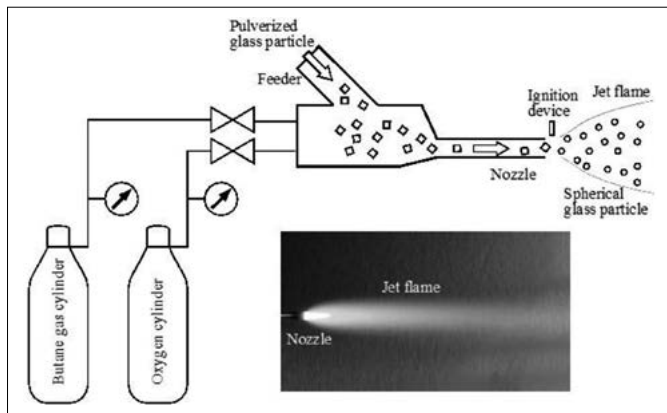
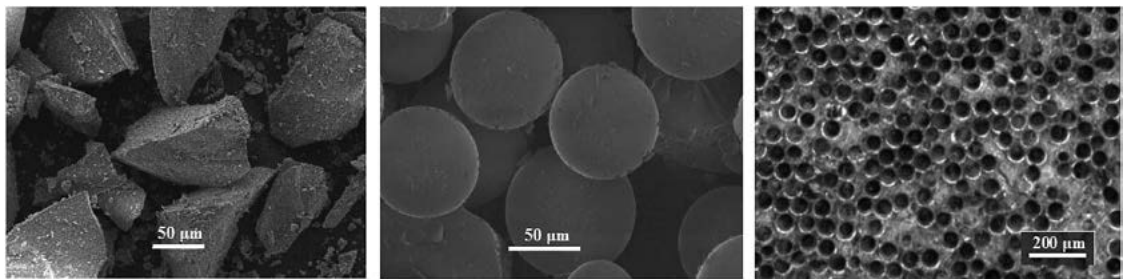


図1 ガスジェット法によるガラスビーズの製造。粉碎したガラスをノズルからジェットフレームと共に噴出させる。



(a) Pulverized glass particle (SEM)

(b) Spherical glass particle (SEM)

(c) Spherical glass particle (OM)

図2 (a) 粉碎されたガラスのSEM写真 (b) 製造された球状ガラスビーズのSEM写真 (c) 球状ガラスビーズの光学顕微鏡写真

なく、従来からある板状の蛍光ガラス素子 (Na-Al系) を粉碎、加熱、溶融し、直径100[μm]の球状 (ビーズと称す) に加工することができた。

さらに、離れた位置に設置したビーズ型ガラス線量計からのRPLを観測するため、ビーズを励起および測定できるライトスコープの開発を行った。

ガラスビーズはガスジェット法により製作し、直径45~100[μm]のビーズを製造することができ、その前後のサイズも球状になっていることが確認出来た。(図1、図2(a)、(b)、(c))

また、読取における線量測定範囲は1[Gy]~100[Gy]を目標とし、RPLをバックグラウンドから分離して測定することができた。RPLの読取方法は広範囲の観測ができる必要があり、紫外線ライト照射装置および高感度カメラの開発により、離れた場所からの目視または画像観測が可能となった。その用途としては舗装道路や壁等に散布・塗布し、紫外線ライト照射により高線量の箇所を可視化することや、様々な封入容器に入れたカプセル型ガラス線量計などを水路に浮かせることにより汚染水の観測も可能となった。

2.2 シート型ガラス線量計

シート型ガラス線量計は、ビーズ型ガラス線量計と、励起光である紫外線とRPLの読取を妨げない素材を用いてシート状に加工した。この線量計は柔軟なために切り貼り可能で、配管等の狭く観察しにくい場所や放射線業務従事者用の作業手袋や靴等

に貼り付けられるようにした。(図3 (a)、(b)、(c)、(d))

RPLの読取方法は、設置したまま観察できるタイプと、回収して二次元線量分布を読み

取れるイメージスキャナータイプを開発した。後者は、持ち運びができるほどの小型タイプとし、取扱いが容易で調整を不要とし、装置にシートを置くだけでブラックボックス状態

にて測定できるものを想定した。(図4、図5)

シート型ガラス線量計の開発目標は、熱処理温度を考慮して耐熱温度プラス100 [°C]以上、線量測定範囲1 [Gy]~100 [Gy] (ガンマ線)、空間分解能0.1 [mm]以下とした。シート材料の選定においては、励起光およびRPLの読取を極力妨げないアクリル系樹脂を用いて開発した。その結果、プラス100 [°C]以上の耐熱性を持ち、30 [mGy]~300 [Gy] (ガンマ線) までの吸収線量に対して測定が可能であることを確認した。シートの目標形状面積100 [cm²]程度に対して、A4サイズ (有効サイズ195 [mm] × 327 [mm]、面積637 [cm²]) が読取できる装置を開発し、空間分解能50 [μm]を達成した。

(図6 (a)、(b))

放射性物質が沈着し易い配管等の曲面や作業者が長時間立ち入れないエリアに貼り付けることで、高線量率エリアや高汚染エリアの汚染状況および位置の特定

を可能とする。これにより、除染方法や作業者の放射線防護対策の計画立案に寄与することが出来る。また、作業者の手袋、作業着等に貼り付けると、作業者の被ばく線量の測定や身体汚染の状況等を確認することができる。

現状では、シート型ガラス線量計の測定時間は、B5サイズで分解能0.5 [mm]において、1ピクセルあたり30 [msec]となり約95分間かかるため、測定時間の短縮化が今後の課題である。

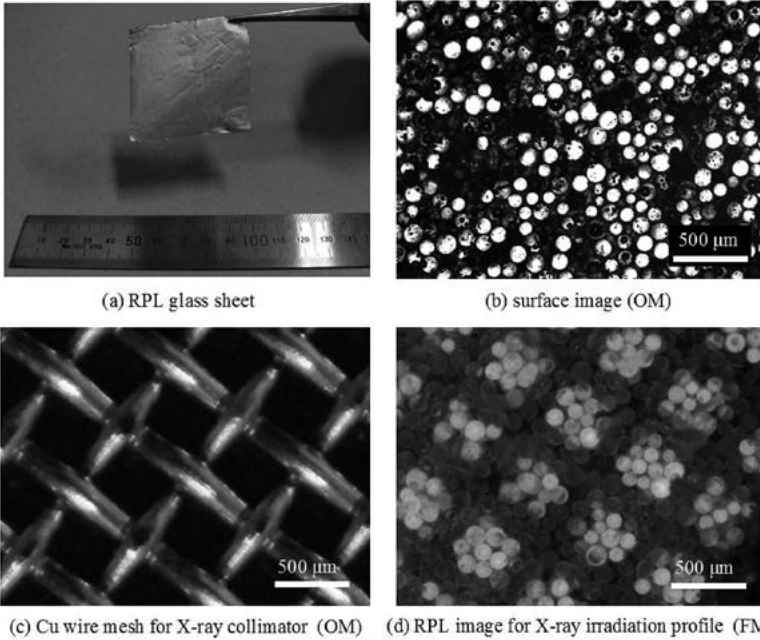


図3 (a)シート型ガラス線量計 (b)表面の光学顕微鏡写真
(c)X線コリメータ用銅メッシュ (d)X線照射後のRPLイメージ

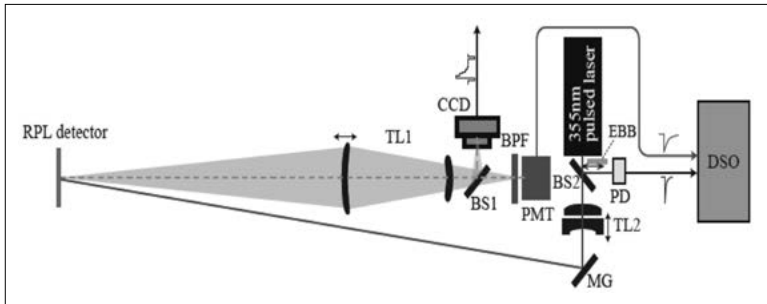


図4 現場で使用可能なRPL測定装置の概念図



図5 スキャナー型RPL測定装置

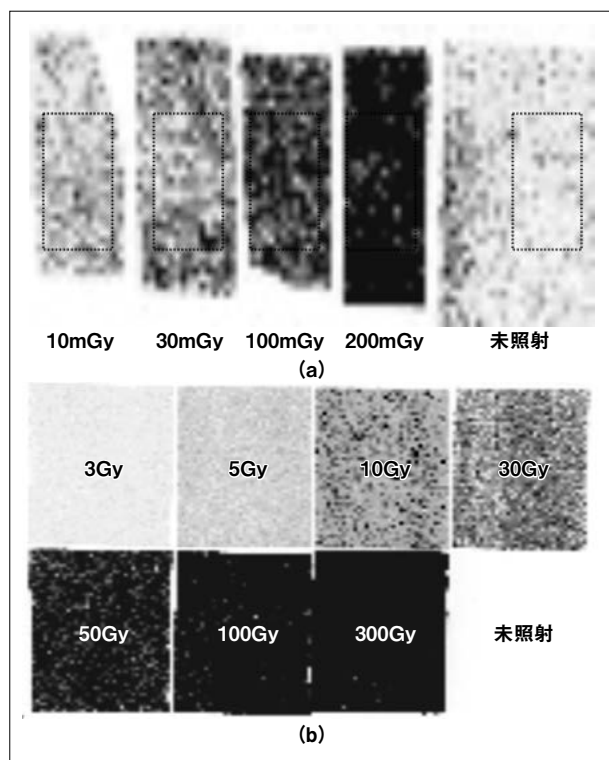


図6 シート型ガラス線量計のRPLイメージの線量依存性
(a)低線量・高感度の場合 (b)高線量・低感度の場合

2.3 過酷環境対応型ガラス線量計の開発

従来の個人被ばく線量測定用の蛍光ガラス線量計は、温度がマイナス10[°C]からプラス50[°C]まで、相対湿度が95[%RH]以下の環境での使用が可能である。しかし、屋外での復旧作業環境での使用を考慮すると、福島における最低気温は約マイナス10[°C]まで下がり、また真夏のアスファルト上ではプラス60[°C]まで上昇する。このため、高温高湿度な過酷環境に耐えて安定して使用できるガラス線量計素子の開発を行った。

過酷環境対応型ガラス線量計の開発目標は、耐高温性プラス250[°C]以上、フェーディング特性に優れ、温度プラス50[°C]、湿度90[%RH]の雰囲気下で3ヶ月保管した時のフェーディング率10[%]以内、RPL発光効率が蛍光ガラス線量計素子に比べて50[%]以上とした。また、線量測定範囲は1[mGy]～100[Gy]（ガンマ線）、ガンマ線1[Gy]照射時の変動係数は1[%]以内を目標とした。

開発した過酷環境対応型ガラス線量計（Na-Ca系のメタリン酸塩ガラス）は、RPL保持温度プラス250[°C]以上を達成した。また、プラス250[°C]の環境下でも、3[mGy]～10[Gy]の線量でRPL強度との比例性が十分に確保されていることを確認した。また、放射線照射後の吸収帯の形成を見ると、約15[Gy]までの直線性がみられた。屋外における高温多湿な環境でも長期的な積算線量測定を可能とする。

読取装置は、卓上サイズ程の大きさであり、また、面倒な調整が不要であることから、ガラス線量計素子をインハウスで測定することができ、広い用途に活用可能である。

3. まとめと今後の展望

本実用化開発により、①ビーズ型ガラス線量計測システム、②シート型ガラス線量計測システム、③過酷環境対応型ガラス線量計測システムを開発した。

①ビーズ型ガラス線量計測システムでは、ガラスビーズを溶剤に混ぜて壁や道路などに散布したり、水路に浮遊させるためにガラスビーズをカプセルに封入したりすることで住宅、道路、森林、田畑、河川など、設置環境に合わせた形状に加工し、放射性物質の汚染箇所をRPL発光により視覚的に検知できる。また、ネット状にすると、広範囲での設置・回収が容易にできる。手袋や作業服にガラスビーズを塗布することで、作業後の放射性物質の付着具合や線量率のレベルを検知することができる。

さらに、可視化システムを用いることで、設置したガラスビーズのRPLを取得し、汚染の有無をリアルタイムに知ることができる。また、ロボットと連動することで、高線量率エリアへの設置、および評価を可能とする。

ガラスビーズは取り扱いが容易且つ様々な形状に加工可能なため、汎用性が高く、対象となる市場は、福島県を中心とした自治体や除染事業者となる。

課題としてガラスビーズの歩留りが50[%]

と低いことが挙げられる。この問題を解決し、価格をより低くして商品化に結び付けたい。

②シート型ガラス線量計測システムでは、薄くて柔軟性のあるシート状とすることにより、平面だけでなく曲面に静置または粘着剤等で貼付することが可能である。また、開発した読取装置を用いて汚染の有無を2次元分布で知ることができる。汚染の可能性がある環境に設置し、指向性のあるUVライトにて視覚的に放射線の線量率のレベルを検知できる。また、高線量率環境場に一定期間設置し読取装置で読み取ることで、線量率のレベルを把握し、作業可能な時間を知るための参考とすることができる。対象となる市場は、福島県を中心とした自治体や除染事業者などばかりでなく、高速道路などのトンネル、橋桁などの非破壊検査や医療分野における医療診断、治療計画など、高レベルな線量環境が想定される場で利用することができる。さらに、シートを重ねることで放射線の飛跡などを3次元で評価できる。

また、繰り返し測定ができることが望まれており、プラス360[°C]のアニールが可能なシート型ガラス線量計が開発されれば、そのニーズがさらに高まることが考えられる。

③過酷環境対応型ガラス線量計測システムにより、屋外における高温多湿の環境および人が入れないような高線量率環境における線量の測定が可能となる。また、従来の蛍光ガラス線量計では測定前の熱処理が必要であったが、その処理を不要とし、卓上程度の大きさの読取装置を用い、面倒な調整のない形で、ガラス線量計素子のRPL応答をインハウスで測定できるようになった。対象となる市場は、福島県を中心とした自治体や除染事業者となる。

4. おわりに

本開発研究は科学技術振興機構 (JST) の基金を基に、福島復興活動の支援を目指して3年間に亘り遂行されたもので、初期の目標は基本的な部分ではほぼ達成されたと考えられる。JSTには心より感謝申し上げる次第である。本プロジェクトの実行グループは次の

4機関から成り、それぞれの機関に所属するスタッフの方々の努力にはグループリーダーとしてその労をねぎらい、以下に名前を挙げて謝意を表したいと思う。

大阪大学：飯田敏行教授、清水喜久雄准教授、佐藤文信助教、金沢工業大学：南戸秀仁教授、井原電子研究：井原陽平社長、(株)千代田テクノル：佐藤典仁副所長、柳田(宮本)由香、杉山誠、牧大介、長島祐香里、宇部道子の諸氏、特に、柳田(宮本)研究員にはJSTへの報告書の取りまとめ作業等に格別のご尽力を頂いたことを付記させていただきます。(注：所属・肩書きは申請時)

尚、このプロジェクト遂行に当たり、千代田テクノルとしても相応の出資が必要であったが、快く応じて頂いた細田敏和会長、山口和彦社長および竹内宣博大洗研究所長に感謝の意を表します。

著者プロフィール

[生年月日・生誕地]

1939年9月17日、兵庫県西宮市甲子園

[学歴・職歴]

1962年 大阪大学工学部電気工学科卒業
 1968年 大阪大学大学院工学研究科博士課程
 原子力工学専攻修了
 博士号(工学)取得(大阪大学)
 同年 大阪大学産業科学研究所助手
 1981～ 欧州合同原子核研究機構(CERN)
 1982年 客員研究員
 1984年 大阪大学産業科学研究所助教授
 1989～ 核融合科学研究所助教授(兼任)
 1992年
 1995年 大阪大学ラジオアイソトープ総合センター教授
 大阪大学大学院理学研究科物理学専攻科協力講座教授
 大阪大学大学院工学研究科原子力工学専攻科教授(兼任)
 2003年 大阪大学定年退官
 同年 大阪大学名誉教授、近畿大学理工学部非常勤講師
 2006年 千代田テクノル顧問
 2007年 千代田テクノル大洗研究所長
 2012年～ 千代田テクノル研究顧問

[その他]

1994年 応用物理学会放射線分科会「放射線賞」
 2004年 原子力・放射線安全管理功労者表彰
 2005年 日本放射線安全管理学会功労賞
 2009年 応用物理学会フェロー
 2010年 日本保健物理学会フェロー
 2001～ 「固体線量計」国際組織委員会(ISSDO)委員
 2007年
 2006～ 「放射線モニタリング」に係る大洗国際ワークショップ組織委員会 委員長

[主たる研究分野]

核融合・プラズマ物理
 パルス放射線ドシメトリ
 ピコ秒パルス電子ライナックを利用した放射線応用物理
 陽電子ビーム生成と利用
 放射線防護計測
 固体線量計

深刻化する温暖化への対策として 高温にも耐える作物を開発する事が必要だ —放射線育種を活用しよう— 元・原子力委員 町 末 男



脅威増す異常気象

最近の異常気象は人類を脅かすものである。2013年11月巨大な台風がフィリッピンを襲い、7,000人の命を奪ったのは記憶に新しい。このような異常気象は大量に化石燃料を消費し多量の温室効果ガスを排出し続ける人類の活動に起因するものである。既に述べた事であるが、化石燃料に代わって炭酸ガスを発生しない原子力、水力、太陽光、風力、地熱などを増やす事が重要であるが、その速さは十分でない。特に人口大国の中国とインドの石炭火力の利用が多く、炭酸ガス排出量が増え続けている。



ベトナムで放射線育種法を利用して最近開発した耐病性に優れた稲の新品種(右)と親品種(左)、新品種は収穫が15%増加している

方法は放射線突然変異を利用した「放射線育種」である。

「放射線育種」は過去60年余り世界で利用され、高収量、耐病性、耐塩性、矮性、耐寒性(早生)を持つ新品種が様々な作物について3,000種以上開発され利用されている。

例えば、40年前ベトナムは主食の米の生産が不足しており、輸入していた。国産の米を増やすため肥沃なメコンデルタで稲の栽培を目指したが、土壌の塩分が高いため困難であった。そこで、放射線育種を利用し、耐塩性のある稲の新品種の開発に成功、メコンデルタでの栽培を可能にした。現在ベトナムは米の輸出国になっている。

この様に放射線育種法で作物に様々な特性を付与することが出来る。これらの技術を活用し気候変動に耐える作物を開発して、将来に向けて人類の食糧の安全保障を確保する事がきわめて重要である。

農業を気候変動から守るために 「放射線育種」技術を利用する

温暖化と異常気象の抑止は容易ではなく、従って、それに対する対策(Adaptation)を速やかに講じておく必要がある。

巨大台風、集中豪雨、洪水、熱波、熱中症などの対策に加えて重要なのが、食料を生産する農業に対する備えである。作物の多くは温度に敏感で、IPCC(気候変動国家間パネル)の最新の報告では2100年までに平均気温は4℃上昇し、それによって農作物の収穫は2%減少すると予測している。これは食糧安全保障の観点から大きな問題である。

高温に耐える作物を開発する最も効果的な

(2015年7月2日稿)

平成26年度

個人線量の実態

1. はじめに

本資料は、弊社の測定サービスに基づく、平成26年度の個人線量の実態の報告です。個人モニタで測定した、1cm線量当量、70 μ m線量当量から算定した実効線量と等価線量が集計してあります。

平成23年3月11日以降、福島第一原子力発電所事故による影響でバックグラウンドの値が高くなっている地域がありますが、業務上の被ばく線量をご報告させていただく観点から、これらの地域よりご返却されたモニタ等は、従来通りバックグラウンドを差し引いて個人線量を算定しております。

2. 用語の定義

(1) 年実効線量 1個人が、4月1日から翌年3月31日までに夫々のカテゴリー内で受けた実効線量の合計 (単位 mSv)

(2) 年等価線量 1個人が、4月1日から翌年3月31日までに夫々のカテゴリー内で受けた等価線量の合計 (単位 mSv)

(3) 集団線量 集団を構成する全員の年実効線量、或いは年等価線量の総和 (単位 manmSv)

(4) 平均年線量 集団線量を、集団を構成する人数で除した値 (単位 mSv)

(5) 等価線量の実効線量に対する比の平均
集団等価線量を集団実効線量で除した値

3. 実効線量・等価線量の求め方

測定した線量当量から実効線量・等価線量を算定する方法の概略を示します。

なお、記号の意味は、次のとおりです。

H_E : 実効線量

H_L : 水晶体の等価線量

H_S : 皮膚の等価線量

H_{*P} : *…深さ1cmまたは70 μ mの線量当量

P…下記の部位を表します

基 : 基本部位 (男性は胸部、女性は腹部)

頭 : 頭部

胸 : 胸部

腹 : 腹部

大 : 体幹部の中で最大値を示した部位

MAX (,) : (,) 内のいくつかの線量当量のうちの最大のもの

3.1 均等被ばくとしてモニタリングをしている場合

$$H_E = H_{1\text{cm基}}$$

$$H_L = \text{MAX} (H_{1\text{cm基}}, H_{70\mu\text{m基}})$$

$$H_S = H_{70\mu\text{m基}}$$

3.2 不均等被ばくとしてモニタリングをしている場合

$$H_E = 0.08H_{1\text{cm}}\text{頭} + 0.44H_{1\text{cm}}\text{胸} + 0.45H_{1\text{cm}}\text{腹} + 0.03H_{1\text{cm}}\text{大}$$

$$H_L = \text{MAX}(H_{1\text{cm}}\text{頭}, H_{70\mu\text{m}}\text{頭})$$

$$H_S = \text{MAX}(H_{70\mu\text{m}}\text{頭}, H_{70\mu\text{m}}\text{胸}, H_{70\mu\text{m}}\text{腹})$$

3.3 末端部被ばくのモニタリングをしている場合
皮膚の等価線量のみが、次のようにかわります。

$$H_S = \text{MAX}(H_{70\mu\text{m}}\text{頭}, H_{70\mu\text{m}}\text{胸}, H_{70\mu\text{m}}\text{腹}) + H_{70\mu\text{m}}\text{末端部}$$

4. 対象とするデータ

弊社のモニタリングサービスの申し込みをされており、平成26年4月1日から平成27年3月31日までの間で1回以上個人モニタを使用された人の年実効線量および年等価線量を、集計対象データとしております。

注1) 個人が受けた線量でないとして申し出のあったものは、除外しております。

注2) 個人が受けた線量でないにもかかわらずお申し出のないものは、含んでおります。

5. 集計方法

(1) 集計

各表の左欄に示すように1年間の実効線量の区分を設け、その区分に入る人数とその集団線量並びにそれぞれの百分率を表の同一の欄内に示しました。ただし、「X (検出限界未満)」は、線量ゼロとして処理しました。測定上限は、個人モニタによって変わりますが、例えば「100超」は、100mSvとして集計してあります。

(2) 業種・業態の区分

医療関係の業態区分は、施設の名称により判断し、区分しました。ただし、「歯科」には、歯科医院と、その旨連絡のあった総合病院の歯科が含まれています。

「診療所」には、一般開業医、診療所および養護施設などが含まれています。

工業関係では、社名から非破壊検査業務と判別できる事業所またはその旨連絡のあった事業所のみ「非破壊検査」に分類し、他の事業所は、「一般工業」としました。

1個人が複数の業種・業態に属している場合、それぞれの業種・業態毎に集計しています。

例えば、Aさんが、4月に大学医学部で0.1mSv、5月から翌年3月の間に病院で0.5mSvの実効線量を受けた場合には、「研究教育」で0.1mSv：1人、「医療」で0.5mSv：1人、かつ「全体」では0.6mSv：1人となっています。(Table 1 a)

同様に、Bさんが大学病院で0.2mSv、一般病

院で0.7mSvの実効線量を受けた場合には、「大学病院」で0.2mSv：1人、「一般病院」で0.7mSv：1人、かつ「医療」では0.9mSv：1人となっています。(Table 2 a, Table 1 a)

(3) 職種の区分

職種区分は、申込書に記載された職名等により区分しました。

6. 集計結果

集計結果は、それぞれ以下の表に示します。

a表は、個人の年実効線量の分布および各線量区分における集団実効線量を示し、b表は年実効線量の平均値、年等価線量の集団の合計値を示しています。

年実効線量が50mSvを超えた人は、1人でした。

Table 1 a, 1 b 業種別の個人年実効線量の分布と各線量区分における集団実効線量、等

Table 1 c, 1 d 業種別の個人年等価線量の分布と各線量区分における集団等価線量、等

Table 2 a, 2 b 医療関係の業態別の個人年実効線量の分布と各線量区分における集団実効線量、等

Table 3 a, 3 b 医療関係の職種別の個人年実効線量の分布と各線量区分における集団実効線量、等 (歯科を除く)

Table 4 a, 4 b 工業関係の業態別の個人年実効線量の分布と各線量区分における集団実効線量、等

Table 5 モニタリング区分別の年実効線量、過剰被ばく人数と年実効線量、等価線量の平均値並びに等価線量の実効線量に対する比の平均

Table 6 最近5年間の個人線量の年度推移

Fig. 1 過去5年間の平均年実効線量 (業種別)

Fig. 2 過去5年間の平均年実効線量 (医療関係)

Fig. 3 過去5年間の平均年実効線量 (医療関係の職種別)

Table 6の線量区分は、放射線同位元素等による放射線障害の防止に関する法律 (障防法)の「放射線管理状況報告書」と電離放射線障害防止規則 (電離則)の「電離放射線健康診断結果報告書」の線量分布の区分に合わせました。

Table 1 a
業種別の個人年実効線量の分布と各線量区分における集団実効線量

人数(人)	人数(%)
集団実効線量(manmSv)	線量(%)
(H.26.4.1~H.27.3.31)	

年実効線量(mSv)	医 療		工 業		研究教育		獣医療		全 体	
X	139,060 0.00	74.29	34,694 0.00	91.36	41,486 0.00	96.57	7,269 0.00	96.13	221,717 0.00	80.67
0.10以下	10,351 1,035.10	5.53 1.71	907 90.70	2.39 2.64	569 56.90	1.32 5.10	97 9.70	1.28 4.33	11,907 1,190.70	4.33 1.83
0.11~0.20	5,464 1,092.80	2.92 1.81	433 86.60	1.14 2.52	191 38.20	0.44 3.42	38 7.60	0.50 3.39	6,120 1,224.00	2.23 1.88
0.21~0.30	3,637 1,091.10	1.94 1.81	237 71.10	0.62 2.07	114 34.20	0.27 3.06	23 6.90	0.30 3.08	4,008 1,202.40	1.46 1.84
0.31~0.40	2,855 1,142.00	1.53 1.89	210 84.00	0.55 2.44	81 32.40	0.19 2.90	20 8.00	0.26 3.57	3,161 1,264.40	1.15 1.94
0.41~0.50	2,266 1,132.94	1.21 1.88	151 75.50	0.40 2.20	55 27.50	0.13 2.46	13 6.50	0.17 2.90	2,484 1,241.94	0.90 1.90
0.51~0.60	1,931 1,158.60	1.03 1.92	126 75.60	0.33 2.20	49 29.40	0.11 2.63	19 11.40	0.25 5.09	2,125 1,275.00	0.77 1.96
0.61~0.70	1,662 1,163.40	0.89 1.93	95 66.50	0.25 1.93	28 19.60	0.07 1.76	5 3.50	0.07 1.56	1,789 1,252.30	0.65 1.92
0.71~0.80	1,459 1,167.20	0.78 1.93	95 76.00	0.25 2.21	33 26.40	0.08 2.36	12 9.60	0.16 4.28	1,598 1,278.40	0.58 1.96
0.81~0.90	1,326 1,193.40	0.71 1.98	75 67.50	0.20 1.96	24 21.60	0.06 1.93	7 6.30	0.09 2.81	1,435 1,291.50	0.52 1.98
0.91~1.00	1,253 1,253.00	0.67 2.07	75 75.00	0.20 2.18	21 21.00	0.05 1.88	2 2.00	0.03 0.89	1,352 1,352.00	0.49 2.07
1.01~2.00	7,857 11,462.40	4.20 18.97	400 593.10	1.05 17.25	154 228.40	0.36 20.46	33 47.30	0.44 21.11	8,440 12,324.90	3.07 18.90
2.01~3.00	3,326 8,301.10	1.78 13.74	200 509.10	0.53 14.80	74 177.60	0.17 15.91	11 26.20	0.15 11.69	3,613 9,019.20	1.31 13.83
3.01~4.00	1,651 5,780.50	0.88 9.57	105 364.20	0.28 10.59	35 126.00	0.08 11.29	7 23.80	0.09 10.62	1,798 6,294.50	0.65 9.65
4.01~5.00	970 4,361.10	0.52 7.22	58 258.70	0.15 7.52	18 79.40	0.04 7.11	1 4.10	0.01 1.83	1,047 4,702.90	0.38 7.21
5.01~6.00	597 3,297.46	0.32 5.46	30 165.20	0.08 4.80	9 49.00	0.02 4.39	1 5.10	0.01 2.28	638 3,522.36	0.23 5.40
6.01~7.00	376 2,457.00	0.20 4.07	30 194.00	0.08 5.64	6 39.60	0.01 3.55	0 0.00	0.00 0.00	412 2,690.60	0.15 4.13
7.01~8.00	271 2,043.50	0.14 3.38	16 119.70	0.04 3.48	3 22.70	0.01 2.03	1 7.80	0.01 3.48	291 2,193.70	0.11 3.36
8.01~9.00	192 1,630.00	0.10 2.70	11 94.90	0.03 2.76	3 24.60	0.01 2.20	0 0.00	0.00 0.00	206 1,749.50	0.07 2.68
9.01~10.00	151 1,430.40	0.08 2.37	9 86.30	0.02 2.51	3 28.70	0.01 2.57	1 9.30	0.01 4.15	164 1,554.70	0.06 2.38
10.01~15.00	327 3,916.50	0.17 6.48	14 163.40	0.04 4.75	3 33.10	0.01 2.97	1 11.80	0.01 5.27	345 4,124.80	0.13 6.33
15.01~20.00	109 1,868.80	0.06 3.09	3 47.70	0.01 1.39	0 0.00	0.00 0.00	1 17.20	0.01 7.68	113 1,933.70	0.04 2.97
20.01~25.00	41 907.60	0.02 1.50	1 20.10	0.00 0.58	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	42 927.70	0.02 1.42
25.01~30.00	20 542.60	0.01 0.90	2 54.30	0.01 1.58	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	22 596.90	0.01 0.92
30.01~40.00	19 649.60	0.01 1.08	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	19 649.60	0.01 1.00
40.01~50.00	4 187.40	0.00 0.31	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	4 187.40	0.00 0.29
50.00超過	1 150.30	0.00 0.25	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	1 150.30	0.00 0.23
合 計	187,176 60,415.80	100.00 100.00	37,977 3,439.20	100.00 100.00	42,959 1,116.30	100.00 100.00	7,562 224.10	100.00 100.00	274,851 65,195.40	100.00 100.00

Table 1 b

	医 療	工 業	研究教育	獣医療	合 計	
平均年実効線量(mSv)	0.32	0.09	0.02	0.02	0.23	
水晶体	年集団等価線量(manmSv)	139,322.75	3,719.90	1,608.40	302.40	144,953.45
	平均年等価線量(mSv)	0.74	0.09	0.03	0.03	0.52
皮膚	年集団等価線量(manmSv)	159,947.80	7,085.30	3,664.40	342.00	171,039.50
	平均年等価線量(mSv)	0.85	0.18	0.08	0.04	0.62

Table 1 c

業種別の個人年等価線量(水晶体)の分布と各線量区分における集団等価線量(水晶体)

人数(人) 人数(%)
 集団等価線量(manmSv) 線量(%)
 (H.26.4.1~H.27.3.31)

年等価線量(mSv)	医 療		工 業		研究教育		獣医療		全 体	
X	133,040 0.00	71.08	34,631 0.00	91.19	41,398 0.00	96.37	7,191 0.00	95.09	215,470 0.00	78.40
0.10以下	9,941 994.10	5.31 0.71	914 91.40	2.41 2.46	571 57.10	1.33 3.55	114 11.40	1.51 3.77	11,521 1,152.10	4.19 0.79
0.11~1.00	21,622 10,435.90	11.55 7.49	1,514 688.50	3.99 18.51	616 262.90	1.43 16.35	182 78.40	2.41 25.93	23,920 11,461.80	8.70 7.91
1.01~5.00	16,201 37,504.09	8.66 26.92	787 1,803.40	2.07 48.48	321 714.80	0.75 44.44	68 132.90	0.90 43.95	17,377 40,159.29	6.32 27.70
5.01~10.00	3,420 24,175.46	1.83 17.35	104 717.70	0.27 19.29	37 248.30	0.09 15.44	3 21.70	0.04 7.18	3,564 25,164.26	1.30 17.36
10.01~20.00	1,824 25,410.60	0.97 18.24	21 263.80	0.06 7.09	12 158.90	0.03 9.88	3 35.90	0.04 11.87	1,860 25,869.80	0.68 17.85
20.01~30.00	578 14,009.80	0.31 10.66	5 124.10	0.01 3.34	2 42.30	0.00 2.63	1 22.10	0.01 7.31	586 14,198.30	0.21 9.80
30.01~50.00	377 14,304.00	0.20 10.27	1 31.00	0.00 0.83	1 35.40	0.00 2.20	0 0.00	0.00 0.00	379 14,370.40	0.14 9.91
50.01~100.00	156 10,327.10	0.08 7.41	0 0.00	0.00 0.00	1 88.70	0.00 5.51	0 0.00	0.00 0.00	157 10,415.80	0.06 7.19
100.01~150.00	15 1,855.50	0.01 1.33	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	15 1,855.50	0.01 1.28
150超	2 306.20	0.00 0.22	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	2 306.20	0.00 0.21
合 計	187,176 139,322.75	100.00 100.00	37,977 3,719.90	100.00 100.00	42,959 1,608.40	100.00 100.00	7,562 302.40	100.00 100.00	274,851 144,953.45	100.00 100.00

Table 1 d

業種別の個人年等価線量(皮膚)の分布と各線量区分における集団等価線量(皮膚)

人数(人) 人数(%)
 集団等価線量(manmSv) 線量(%)
 (H.26.4.1~H.27.3.31)

年等価線量(mSv)	医 療		工 業		研究教育		獣医療		全 体	
X	132,466 0.00	70.75	34,949 0.00	87.71	41,457 0.00	96.34	7,177 0.00	94.90	215,245 0.00	77.76
0.10以下	9,844 984.40	5.26 0.61	887 88.70	2.23 0.49	560 56.00	1.30 1.52	118 11.80	1.56 3.44	11,388 1,138.80	4.11 0.63
0.11~1.00	21,453 10,322.60	11.46 6.45	1,899 885.30	4.77 4.93	594 254.90	1.38 6.94	187 82.20	2.47 23.98	24,111 11,537.20	8.71 6.34
1.01~5.00	16,415 38,512.59	8.77 24.06	1,370 3,350.10	3.44 18.65	299 695.30	0.69 18.93	72 139.20	0.95 40.61	18,157 42,705.09	6.56 23.46
5.01~10.00	3,719 26,280.81	1.99 16.42	328 2,286.50	0.82 12.73	51 369.30	0.12 10.05	3 21.70	0.04 6.33	4,101 28,959.51	1.48 15.91
10.01~20.00	1,967 27,477.80	1.05 17.17	203 2,811.60	0.51 15.66	25 369.60	0.06 10.06	5 65.80	0.07 19.19	2,200 30,725.30	0.79 16.88
20.01~50.00	1,093 32,670.00	0.58 20.41	177 5,703.20	0.44 31.76	37 1,128.50	0.09 30.72	1 22.10	0.01 6.45	1,308 39,524.10	0.47 21.71
50.01~100.00	210 14,050.60	0.11 8.78	24 1,583.30	0.06 8.82	8 577.10	0.02 15.71	0 0.00	0.00 0.00	242 16,211.00	0.09 8.91
100.01~300.00	56 8,550.10	0.03 5.34	8 1,249.50	0.02 6.96	2 222.80	0.00 6.07	0 0.00	0.00 0.00	66 10,022.40	0.02 5.51
300.01~500.00	3 1,218.20	0.00 0.76	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	3 1,218.20	0.00 0.67
500超	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00
合 計	187,226 160,067.10	100.00 100.00	39,845 17,958.20	100.00 100.00	43,033 3,673.50	100.00 100.00	7,563 342.80	100.00 100.00	276,821 182,041.60	100.00 100.00

Table 2 a

医療関係の業態別の個人年実効線量の分布と各線量区分における集団実効線量

人数(人)	人数(%)
集団実効線量(manmSv)	線量(%)
(H.26.4.1~H.27.3.31)	

年実効線量(mSv)	大学病院		一般病院		保健所		歯科		診療所・その他	
	X									
X	26,188 0.00	79.02	64,767 0.00	66.52	473 0.00	94.22	16,088 0.00	96.26	33,488 0.00	80.53
0.10以下	1,711 171.10	5.16 2.48	6,658 665.80	6.84 1.55	8 0.80	1.59 5.56	183 18.30	1.09 3.76	1,870 187.00	4.50 1.87
0.11~0.20	865 173.00	2.61 2.51	3,610 722.00	3.71 1.68	5 1.00	1.00 6.94	71 14.20	0.42 2.92	945 189.00	2.27 1.89
0.21~0.30	542 162.60	1.64 2.36	2,453 735.90	2.52 1.71	3 0.90	0.60 6.25	55 16.50	0.33 3.39	608 182.40	1.46 1.82
0.31~0.40	433 173.20	1.31 2.51	1,926 770.40	1.98 1.79	1 0.40	0.20 2.78	50 20.00	0.30 4.11	459 183.60	1.10 1.83
0.41~0.50	355 177.50	1.07 2.57	1,528 763.94	1.57 1.78	4 2.00	0.80 13.89	36 18.00	0.22 3.70	350 175.00	0.84 1.75
0.51~0.60	269 161.40	0.81 2.34	1,340 804.00	1.38 1.87	2 1.20	0.40 8.33	27 16.20	0.16 3.33	301 180.60	0.72 1.80
0.61~0.70	261 182.70	0.79 2.65	1,124 786.80	1.15 1.83	0 0.00	0.00 0.00	26 18.20	0.16 3.74	259 181.30	0.62 1.81
0.71~0.80	222 177.60	0.67 2.58	993 794.40	1.02 1.85	0 0.00	0.00 0.00	16 12.80	0.10 2.63	234 187.20	0.56 1.87
0.81~0.90	185 166.50	0.56 2.42	911 819.90	0.94 1.91	0 0.00	0.00 0.00	18 16.20	0.11 3.33	214 192.60	0.51 1.92
0.91~1.00	176 176.00	0.53 2.55	858 858.00	0.88 2.00	1 1.00	0.20 6.94	14 14.00	0.08 2.88	208 208.00	0.50 2.08
1.01~2.00	1,131 1,656.90	3.41 24.03	5,330 7,804.70	5.47 18.15	5 7.10	1.00 49.31	82 107.70	0.49 22.13	1,316 1,896.40	3.16 18.93
2.01~3.00	387 962.30	1.17 13.96	2,369 5,906.90	2.43 13.74	0 0.00	0.00 0.00	18 44.90	0.11 9.23	547 1,376.80	1.32 13.75
3.01~4.00	154 542.50	0.46 7.87	1,213 4,240.50	1.25 9.86	0 0.00	0.00 0.00	11 37.10	0.07 7.62	268 941.20	0.64 9.40
4.01~5.00	88 394.90	0.27 5.73	715 3,213.80	0.73 7.47	0 0.00	0.00 0.00	6 26.20	0.04 5.38	161 725.10	0.39 7.24
5.01~6.00	53 289.90	0.16 4.21	437 2,413.36	0.45 5.61	0 0.00	0.00 0.00	4 22.10	0.02 4.54	100 553.80	0.24 5.53
6.01~7.00	31 203.80	0.09 2.96	281 1,834.90	0.29 4.27	0 0.00	0.00 0.00	3 19.70	0.02 4.05	63 411.30	0.15 4.11
7.01~8.00	22 166.70	0.07 2.42	197 1,488.00	0.20 3.46	0 0.00	0.00 0.00	1 7.20	0.01 1.48	50 374.40	0.12 3.74
8.01~9.00	12 101.60	0.04 1.47	146 1,241.80	0.15 2.89	0 0.00	0.00 0.00	1 8.50	0.01 1.75	32 269.60	0.08 2.69
9.01~10.00	4 38.90	0.01 0.56	117 1,107.00	0.12 2.57	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	29 274.90	0.07 2.74
10.01~15.00	32 385.50	0.10 5.59	245 2,928.90	0.25 6.81	0 0.00	0.00 0.00	2 26.10	0.01 5.36	48 575.40	0.12 5.74
15.01~20.00	6 105.00	0.02 1.52	80 1,361.90	0.08 3.17	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	23 401.90	0.06 4.01
20.01~25.00	5 105.40	0.02 1.53	31 690.50	0.03 1.61	0 0.00	0.00 0.00	1 22.70	0.01 4.67	4 89.00	0.01 0.89
25.01~30.00	4 108.90	0.01 1.58	13 352.40	0.01 0.82	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	3 81.30	0.01 0.81
30.01~40.00	2 61.70	0.01 0.89	12 409.20	0.01 0.95	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	5 178.70	0.01 1.78
40.01~50.00	1 48.30	0.00 0.70	3 139.10	0.00 0.32	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00
50.00超過	0 0.00	0.00 0.00	1 150.30	0.00 0.35	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00
合計	33,139 6,893.90	100.00 100.00	97,358 43,004.40	100.00 100.00	502 14.40	100.00 100.00	16,713 486.60	100.00 100.00	41,585 10,016.50	100.00 100.00

Table 2 b

	大学病院	一般病院	保健所	歯科	診療所・その他	
平均年実効線量(mSv)	0.20	0.44	0.02	0.02	0.24	
水晶体	年集団等価線量(manmSv)	18,032.60	101,593.15	23.70	647.10	19,026.20
	平均年等価線量(mSv)	0.54	1.04	0.04	0.03	0.45
皮膚	年集団等価線量(manmSv)	23,535.90	113,189.70	24.40	841.30	22,356.50
	平均年等価線量(mSv)	0.71	1.16	0.04	0.05	0.53

Table 3 a

医療関係の職種別の個人年実効線量の分布と各線量区分における集団実効線量(歯科除く)

人数(人)	人数(%)
集団実効線量(manmSv)	線量(%)
(H.26.4.1~H.27.3.31)	

年実効線量(mSv)	医 師		技 師		看 護 師		そ の 他	
X	51,194 0.00	75.44	11,504 0.00	40.39	39,319 0.00	78.65	21,015 0.00	86.90
0.10以下	3,976 397.60	5.86 1.67	2,189 218.90	7.69 0.87	3,085 308.50	6.17 3.83	918 91.80	3.80 3.29
0.11~0.20	2,091 418.20	3.08 1.75	1,393 278.60	4.89 1.10	1,498 299.60	3.00 3.72	411 82.20	1.70 2.95
0.21~0.30	1,341 402.30	1.98 1.69	1,009 302.70	3.54 1.20	961 288.30	1.92 3.58	271 81.30	1.12 2.91
0.31~0.40	1,005 402.00	1.48 1.69	922 368.80	3.24 1.46	689 275.60	1.38 3.42	189 75.60	0.78 2.71
0.41~0.50	770 385.00	1.13 1.62	792 395.94	2.78 1.57	509 254.50	1.02 3.16	159 79.50	0.66 2.85
0.51~0.60	667 400.20	0.98 1.68	664 398.40	2.33 1.58	453 271.80	0.91 3.37	120 72.00	0.50 2.58
0.61~0.70	518 362.60	0.76 1.52	656 459.20	2.30 1.82	361 252.70	0.72 3.13	101 70.70	0.42 2.53
0.71~0.80	474 379.20	0.70 1.59	562 449.60	1.97 1.78	321 256.80	0.64 3.18	86 68.80	0.36 2.47
0.81~0.90	381 342.90	0.56 1.44	598 538.20	2.10 2.13	261 234.90	0.52 2.91	68 61.20	0.28 2.19
0.91~1.00	352 352.00	0.52 1.48	552 552.00	1.94 2.19	249 249.00	0.50 3.09	86 86.00	0.36 3.08
1.01~2.00	1,988 2,931.60	2.93 12.30	4,005 5,847.40	14.06 23.17	1,359 1,957.60	2.72 24.28	423 618.10	1.75 22.15
2.01~3.00	1,045 2,607.90	1.54 10.94	1,636 4,084.10	5.74 16.18	470 1,171.50	0.94 14.53	157 392.70	0.65 14.08
3.01~4.00	589 2,062.40	0.87 8.65	782 2,741.30	2.75 10.86	206 720.00	0.41 8.93	63 219.70	0.26 7.87
4.01~5.00	354 1,591.80	0.52 6.68	451 2,028.80	1.58 8.04	116 521.90	0.23 6.47	43 192.40	0.18 6.90
5.01~6.00	259 1,430.56	0.38 6.00	253 1,397.20	0.89 5.54	54 300.60	0.11 3.73	27 147.00	0.11 5.27
6.01~7.00	181 1,186.30	0.27 4.98	145 943.60	0.51 3.74	35 227.90	0.07 2.83	12 79.50	0.05 2.85
7.01~8.00	149 1,123.10	0.22 4.71	95 717.10	0.33 2.84	12 90.20	0.02 1.12	14 105.90	0.06 3.80
8.01~9.00	110 935.30	0.16 3.92	69 584.10	0.24 2.31	10 85.50	0.02 1.06	2 16.60	0.01 0.60
9.01~10.00	80 758.00	0.12 3.18	56 530.40	0.20 2.10	7 66.40	0.01 0.82	8 75.60	0.03 2.71
10.01~15.00	203 2,425.40	0.30 10.17	101 1,212.20	0.35 4.80	14 163.80	0.03 2.03	7 89.00	0.03 3.19
15.01~20.00	77 1,323.20	0.11 5.55	29 498.10	0.10 1.97	2 30.50	0.00 0.38	1 17.00	0.00 0.61
20.01~25.00	28 617.80	0.04 2.59	10 226.70	0.04 0.90	0 0.00	0.00 0.00	2 40.40	0.01 1.45
25.01~30.00	15 403.70	0.02 1.69	4 112.00	0.01 0.44	0 0.00	0.00 0.00	1 26.90	0.00 0.96
30.01~40.00	12 412.20	0.02 1.73	6 201.90	0.02 0.80	1 35.50	0.00 0.44	0 0.00	0.00 0.00
40.01~50.00	4 187.40	0.01 0.79	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00
50.00超過	0 0.00	0.00 0.00	1 150.30	0.00 0.60	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00
合 計	67,863 23,838.66	100.00 100.00	28,484 25,237.54	100.00 100.00	49,992 8,063.10	100.00 100.00	24,184 2,789.90	100.00 100.00

Table 3 b

	医 師	技 師	看 護 師	そ の 他	
平均年実効線量(mSv)	0.35	0.88	0.16	0.11	
水 晶 体	年集団等価線量(manmSv)	61,972.46	39,786.79	30,523.10	6,393.30
	平均年等価線量(mSv)	0.91	1.39	0.61	0.26
皮 膚	年集団等価線量(manmSv)	72,624.61	44,590.99	32,672.10	9,218.80
	平均年等価線量(mSv)	1.07	1.56	0.65	0.38

Table 4 a
工業関係の業態別の個人年実効線量の分布と各線量区分における集団実効線量

人数(人)	人数(%)
集団実効線量(manmSv)	線量(%)
(H.26.4.1~H.27.3.31)	

年実効線量(mSv)	一般工業用		非破壊検査	
	人数(人)	人数(%)	人数(人)	人数(%)
X	32,773 0.00	92.77	1,935 0.00	72.44
0.10以下	740 74.00	2.09 2.84	169 16.90	6.33 2.03
0.11~0.20	349 69.80	0.99 2.68	87 17.40	3.26 2.09
0.21~0.30	182 54.60	0.52 2.09	57 17.10	2.13 2.06
0.31~0.40	163 65.20	0.46 2.50	47 18.80	1.76 2.26
0.41~0.50	117 58.50	0.33 2.24	36 18.00	1.35 2.17
0.51~0.60	95 57.00	0.27 2.19	31 18.60	1.16 2.24
0.61~0.70	69 48.30	0.20 1.85	31 21.70	1.16 2.61
0.71~0.80	72 57.60	0.20 2.21	21 16.80	0.79 2.02
0.81~0.90	50 45.00	0.14 1.73	25 22.50	0.94 2.71
0.91~1.00	55 55.00	0.16 2.11	18 18.00	0.67 2.17
1.01~2.00	296 441.10	0.84 16.91	105 154.60	3.93 18.60
2.01~3.00	152 385.70	0.43 14.79	46 118.50	1.72 14.26
3.01~4.00	84 291.40	0.24 11.17	21 72.80	0.79 8.76
4.01~5.00	42 186.10	0.12 7.14	16 72.60	0.60 8.74
5.01~6.00	26 142.60	0.07 5.47	4 22.60	0.15 2.72
6.01~7.00	21 135.90	0.06 5.21	9 58.10	0.34 6.99
7.01~8.00	11 83.10	0.03 3.19	5 36.60	0.19 4.40
8.01~9.00	8 69.70	0.02 2.67	3 25.20	0.11 3.03
9.01~10.00	7 68.10	0.02 2.61	2 18.20	0.07 2.19
10.01~15.00	13 151.70	0.04 5.82	1 11.70	0.04 1.41
15.01~20.00	3 47.70	0.01 1.83	0 0.00	0.00 0.00
20.01~25.00	1 20.10	0.00 0.77	0 0.00	0.00 0.00
25.01~30.00	0 0.00	0.00 0.00	2 54.30	0.07 6.53
30.01~40.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00
40.01~50.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00
50.00超過	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00
合計	35,329 2,608.20	100.00 100.00	2,671 831.00	100.00 100.00

Table 4 b

		一般工業用	非破壊検査
平均年実効線量(mSv)		0.07	0.31
水 晶 体	年集団等価線量(manmSv)	2,883.30	836.60
	平均年等価線量(mSv)	0.08	0.31
皮 膚	年集団等価線量(manmSv)	6,287.00	798.30
	平均年等価線量(mSv)	0.17	0.29

Table 5 モニタリング区分別の年実効線量、過剰被ばく人数と年実効線量、等価線量の平均値並びに等価線量の実効線量に対する比の平均

	均 等	均等末端	不均 等	不均等末端	注)
人 数 比 率	86%	1%	13%	1%	均等： 体幹部均等被ばくとして個人モニタリングを行っている集団
実効線量で50mSvを超えた人数	0	0	1	0	均等・末端： 体幹部均等被ばくとしてモニタリングを行い、さらに末端部被ばくのモニタリングも併用している集団
平均年実効線量 (mSv)	0.13	0.77	0.59	0.81	不均等： 体幹部不均等被ばくとして個人モニタリングを行っている集団
水晶体 平均年等価線量 (mSv)	0.15	0.82	2.07	2.09	不均等・末端： 体幹部不均等被ばくとしてモニタリングを行い、さらに末端部被ばくのモニタリングも併用している集団
皮膚 実効線量に対する比の平均	1.15	1.06	3.51	2.58	
平均年等価線量 (mSv)	0.15	4.45	2.13	5.29	
実効線量に対する比の平均	1.15	5.78	3.61	6.53	

Table 6 最近5年間の個人線量の年度推移

年実効線量	平成22年度		平成23年度		平成24年度		平成25年度		平成26年度	
	人数(人)	人数(%)	人数(人)	人数(%)	人数(人)	人数(%)	人数(人)	人数(%)	人数(人)	人数(%)
X	200,411	80.88	208,721	80.82	214,320	81.15	219,529	80.72	221,717	80.67
0.10以下	11,517	4.65	11,756	4.55	11,884	4.50	13,662	5.02	11,907	4.33
0.11~0.20	5,619	2.27	5,802	2.25	6,079	2.30	6,094	2.24	6,120	2.23
0.21~0.30	3,858	1.56	3,919	1.52	3,958	1.50	3,961	1.46	4,008	1.46
0.31~0.40	2,757	1.11	2,963	1.15	2,959	1.12	2,911	1.07	3,161	1.15
0.41~0.50	2,212	0.89	2,324	0.90	2,363	0.89	2,351	0.86	2,484	0.90
0.51~0.60	1,784	0.72	1,946	0.75	1,967	0.74	1,929	0.71	2,125	0.77
0.61~0.70	1,597	0.64	1,662	0.64	1,586	0.60	1,716	0.63	1,789	0.65
0.71~0.80	1,311	0.53	1,469	0.57	1,521	0.58	1,470	0.54	1,598	0.58
0.81~0.90	1,234	0.50	1,332	0.52	1,328	0.50	1,349	0.50	1,435	0.52
0.91~1.00	1,121	0.45	1,185	0.46	1,212	0.46	1,253	0.46	1,352	0.49
1.01~2.00	7,126	2.88	7,590	2.94	7,493	2.84	7,673	2.82	8,440	3.07
2.01~3.00	2,972	1.20	3,140	1.22	3,068	1.16	3,285	1.21	3,613	1.31
3.01~4.00	1,557	0.63	1,608	0.62	1,587	0.60	1,672	0.61	1,798	0.65
4.01~5.00	872	0.35	919	0.36	891	0.34	949	0.35	1,047	0.38
5.01~6.00	528	0.21	546	0.21	566	0.21	560	0.21	638	0.23
6.01~7.00	353	0.14	366	0.14	361	0.14	405	0.15	412	0.15
7.01~8.00	233	0.09	241	0.09	238	0.09	273	0.10	291	0.11
8.01~9.00	166	0.07	177	0.07	176	0.07	213	0.08	206	0.07
9.01~10.00	134	0.05	127	0.05	115	0.04	149	0.05	164	0.06
10.01~15.00	272	0.11	281	0.11	285	0.11	335	0.12	345	0.13
15.01~20.00	87	0.04	116	0.04	78	0.03	104	0.04	113	0.04
20.01~25.00	34	0.01	35	0.01	37	0.01	43	0.02	42	0.02
25.01~30.00	16	0.01	19	0.01	10	0.00	31	0.01	22	0.01
30.01~40.00	7	0.00	15	0.01	15	0.01	28	0.01	19	0.01
40.01~50.00	2	0.00	7	0.00	5	0.00	5	0.00	4	0.00
50.00超過	6	0.00	3	0.00	0	0.00	2	0.00	1	0.00
合 計	247,786	100.00	258,269	100.00	264,102	100.00	271,952	100.00	274,851	100.00
集団線量 (manmSv)	55,175.05		58,125.45		56,383.77		61,852.84		65,195.40	
平均年線量 (mSv)	0.22		0.22		0.21		0.22		0.23	

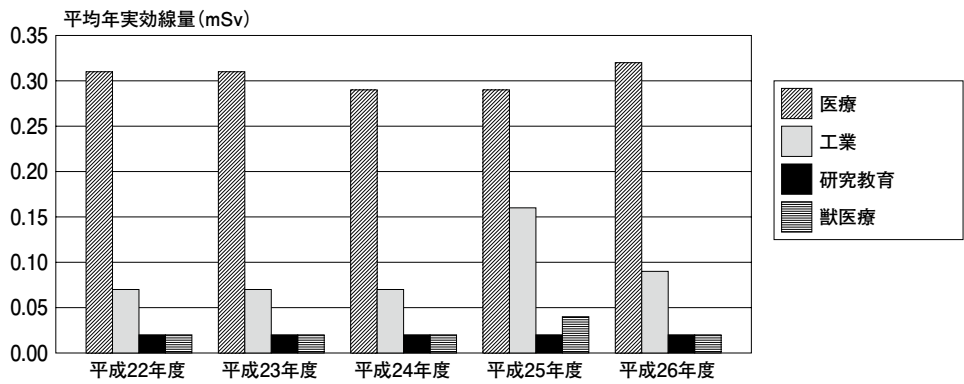


Fig. 1 過去5年間の平均年実効線量(業種別)

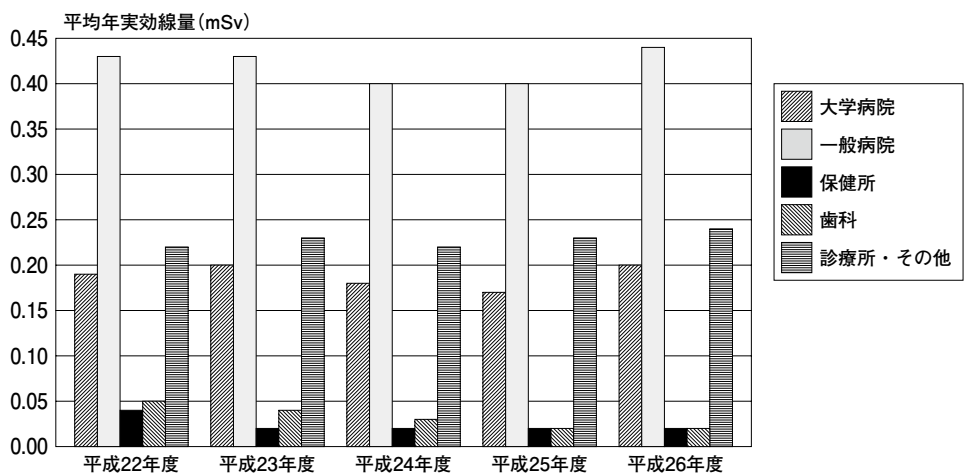


Fig. 2 過去5年間の平均年実効線量(医療関係)

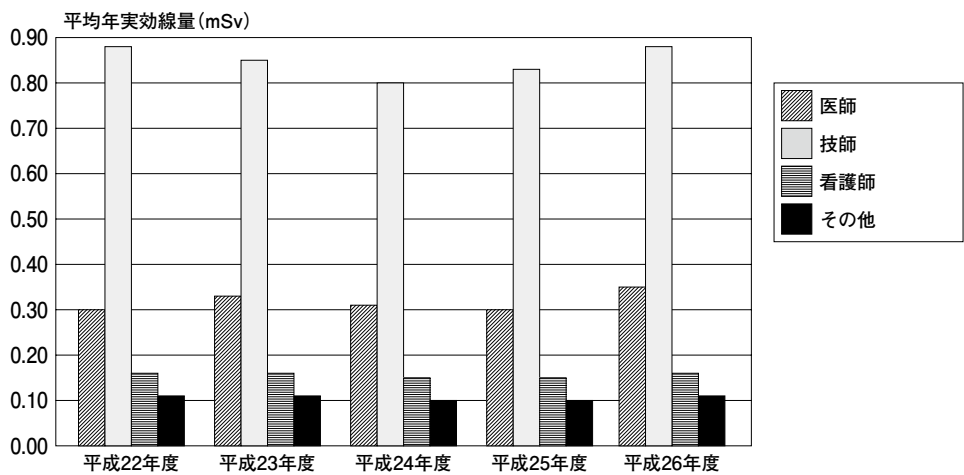


Fig. 3 過去5年間の平均年実効線量(医療関係の職種別)

J-PARCで開かれた “第2回加速器施設安全シンポジウム” に出席して

医療機器事業本部

三村 功一・新原 佳弘・瀬川 佑也

物質の究極の姿を研究するために開発が進められてきた加速器は、近年がん治療やPET検査薬のアイソトープ製造など医療分野でも不可欠のものとなっています。しかし、近年の高エネルギー加速器は大掛かりな装置であるため、大掛かりな事故が起こる可能性もゼロとは言えません。私たちは加速器の安全管理について学ぶため、3月6日に茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設（J-PRAC）で開催された“第2回加速器施設安全シンポジウム”に参加しました。

J-PARCは太平洋に近い田園風景ののどかな場所にあり、広大な敷地に大型のシンクロトロン加速器と複数の実験施設を持つ日本最大の研究施設です。加速器から得られる世界最高強度の陽子ビームを使って中性子、ミュオン、K中間子など様々な放射線を生成し、素粒子・原子核、物質・生命科学など幅広い分野の研究を行っています。2013年5月23日、この施設で放射性物質の漏えい事故が起きました。今回のシンポジウムは、事故後に実施された対策の報告と、世界の加速器施設における安全管理について情報交換を行い、加速器施設のさらなる安全強化を図ることを目的としたものでした。海外からを含め約100名の専門家が集まり、真剣な議論が交わされました。

1. シンポジウム

午前中のセッションはJ-PARCの事故とその後に取りられた対策についての報告でした。事故のあったハドロン実験施設では、シンクロトロンから取り出した陽子ビームを金ターゲットに照射させて色々な粒子を作っています。通常はシンクロトロンから2秒かけてゆっくり陽子ビームを取り出すところ、事故発生時は電磁石の誤作動により5ミリ秒という短い時間でビームが取り出され、瞬間的に通常より遥かに大きな強度で陽子が金ターゲットに照射されました（図1）。そのため、ターゲット内部の温度が急上昇して一部が溶解・蒸発し、

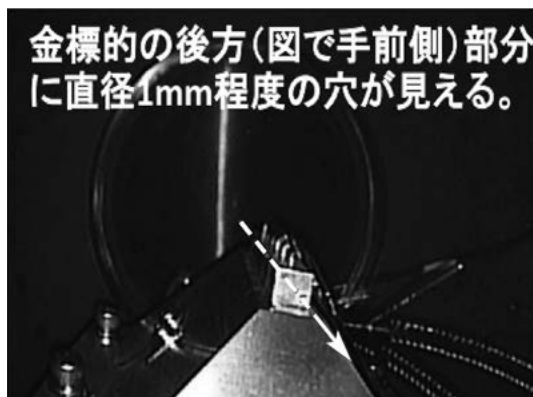


図1 銅の台座に乗った金ターゲット。瞬間的な大強度ビームによって開いた穴が見える。(齊藤直人先生のスライドから引用)

それが放射性物質として飛散しました。ターゲットを覆う容器やビームライン、ターゲット室が密閉構造ではなかったため、放射性物質は実験ホール内に拡散しました。その時実験ホール内にいた作業員が被曝をしてしまいました。また実験ホールの換気扇を不注意にも回した事により、放射性物質を屋外に放出してしまいました。関係者にとって想定外の事故だったため、後の対応および報告が遅れ、被害を拡大しました。

この事故を受けて、J-PARCは主に以下のような設備の改善を行いました。

- ・電磁石の誤作動に対する対策（回路の改良、インターロックシステムの追加・高速化・高感度化）
- ・ターゲットの改良（センサーの追加・高感度化、冷却配管の改良）
- ・ターゲット容器および照射室の改良（気密性の強化、ターゲット容器内のHeガス循環装置の付加）
- ・実験ホールの改良（線量の監視強化、排気設備の設置）

また、次のような運用体制の見直しも行いました。

- ・組織の改変および責任命令システムの明確化
- ・運転マニュアルの整備と見直し
- ・作業員や運転員の教育や訓練の充実

所内の安全審査など模範的に行われていたと聞きますが、やはり担当者個々の安全確保に対する意識の軽重が結果に関わってくるものです。事故は減多に無いと高を括らず、いざという時の備えが大事だと思いました。

午後のセッションは世界の巨大加速器研究所の安全管理の話でした。スイスとフランス

の国境をまたぐ巨大な円形加速器を備えた欧州原子核研究機構（CERN）は、“巨大さ”ゆえの問題を抱え苦勞していました。過去の事故について、概要と取られた対応と学んだ教訓、を共有するための報告書等資料のデータベース化、作業を管理するためのシステムの導入など、IT技術を使った統合的な管理システムの構築・運用が印象的でした。

国際技術安全フォーラム（ITSF）の報告では、世界の施設の様々な事故が紹介されました。これらはどの施設でも起きそうな事で、具体的で理解しやすいものでした。例を挙げると、高所で使用していた脚立ごとの落下、台車で移動していた装置の転倒、電気系統の火災、廃液の化学反応による容器の破損、ヒーターの絶縁不良による感電などがありました。また、液体窒素容器の安全弁を取って密閉してしまったことで内圧が上がり、爆発した話などもありました。

国内の研究所の報告で気になった話が、クライオスタットと呼ばれる冷却装置に関する2件の事故でした。両方とも液体ヘリウム温度で本来空気の入らないところに部品の損傷で空気が入り込んで内部が凍結し、メンテナンス時に常温に戻そうとしたときに内圧が上がって装置の一部が破裂して破損したというものでした。医療装置でも液体ヘリウムの超伝導電磁石を使っているものがあるため、気をつける必要があると思いました。

今回のシンポジウムを通じてキーワードのように言われていたのが、コミュニケーションの重要性でした。弊社も海外から技術者を呼んで作業を行うことがあるので、海外の技術スタッフとは言葉の違いという障壁を克服しての共通認識（コミュニケーション力）が欠かせないと感じました。加えて、国の内外を問わず外来者の安全確保は受け入れ者の仕事であり、責任を持つべきであると感じました。

2. 施設見学

昼の休憩時間にハドロン実験施設の見学が行われました。現地ですぐ目に留まったのが、実験ホールの壁から出ている大きな配管でした（図2）。これは事故後、新たに取り

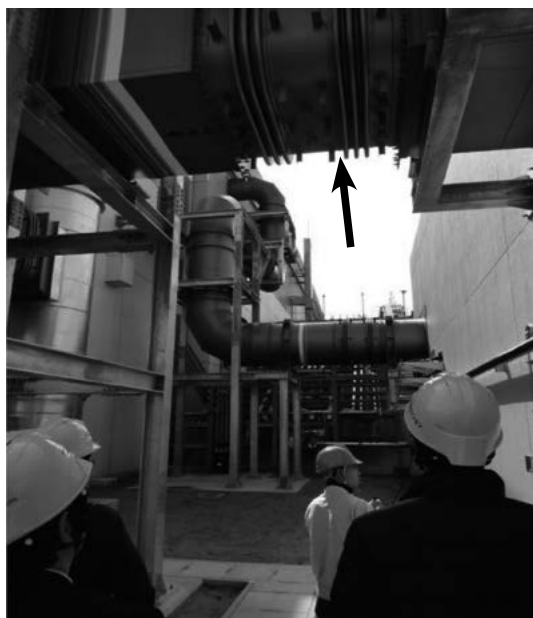


図2 ハドロン実験棟の新しい巨大な排気装置（矢印）

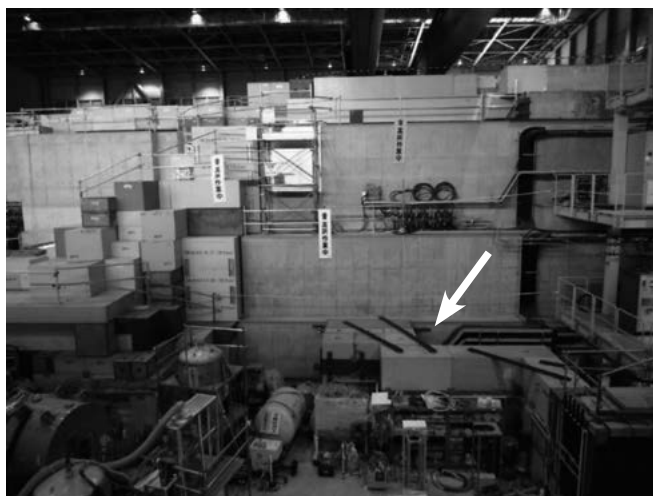


図3 ハドロン実験施設内のコンクリートシールド。この中に金ターゲットがある。（矢印）

付けた排気装置で、含有される放射性同位体を吸着・減量させるためのフィルターを設け、それを通した後の放射能濃度を常時監視しています。

実験ホールに入ると、巨大なコンクリートシールドが目に入ってきます。件の金ターゲットはこの中にあります（図3）。事故以前はコンクリートシールドのブロックの間やケーブルの取り出し口などには隙間があったのですが、今はすべて密閉され、また実験ホール上部にあった換気扇も取り外され、陰圧の密閉空間となっていました。

前述のようにこの施設では、非密封のRIの生成は、安全対策を講じる上で“想定外”とされていたということですが、事故を経験した現在では、非密封RI施設仕様に大規模な改修が行われ、放射線コントロール室で排気系統、室内の放射線場などを常時監視し、必要があればその場でビームを止められるよう、然るべき者に予め権限を与えるなど、安全対策を向上させていました。

3. 最後に

今回は大型加速器という大規模放射線施設を対象にした放射線安全対策の会議でしたが、参考になるものが多くありました。放射線に対する国民感情を考えれば大型施設での放射線事故は、たとえ小さな事故でも施設全体に大きな影響を及ぼすため、細心の注意が必要です。大型加速器などの大規模施設では、放射線事故に対する備えが、組織にとって、“危機管理への備え”に他ならないと改めて感じました。

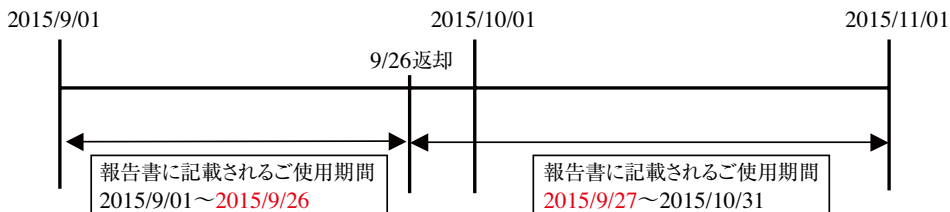
サービス部門からのお願い

ガラスバッジはご使用期間終了日を過ぎてからご返却願います！

平素より弊社のモニタリングサービスをご利用くださいまして、誠にありがとうございます。

モニタを測定依頼される際は、ご使用期間をご確認いただき、**ご使用期間の終了日を過ぎてからご返却**くださいますようお願いいたします。終了日前に返却されますと、終了日までの残日数が一週間以内のとき、返却モニタの受付日を「ご使用期間終了日」として報告書の作成をいたします。

例えば、「9/1～9/30」ご使用分のモニタを9/26に返却された場合、「9/1～9/26」として報告いたします。そのため、翌月「10/1～10/31」ご使用分のモニタは、ご使用期間の開始日を変更し、「9/27～10/31」としまして報告いたします。連続したご使用期間でご報告を行うこととしているため、自動的にご使用期間を変更させていただいております。



なお、お客様の事情によりご使用期間の終了日前にガラスバッジをご返却される時は、測定依頼票の通信欄にその旨コメントをご記入ください。

お客様のご理解とご協力をよろしくお願い申し上げます。

編集後記

●今年も暑い日が続いていますが、皆様いかがお過ごしでしょうか？こんな日は冷たいビールと刺身だな、いや、刺身にはご飯、ビールに冷奴だ！と刺さるような日差しは炎天下、酒のつまみについていつも考えてしまいます。最近、和からしにはまっており、冷奴に和からしを食べるとおいしいですよ！

●弊社の山本幸佳研究顧問に「高線量率環境に対応する線量測定方法の実用化開発－Advanced Glass Dosimeter－」と題し、弊社を中心に大阪大学、金沢工業大学および井原電子研究の協力のもと遂行されたガラス線量計の特長を進化させた線量計開発の成果について、概要を紹介いただきました。蛍光ガラス線量計の更なる可能性を感じました。

●例年通り統計データとして、平成26年度の個人線量の実態を掲載しております。平成26年度は、平均年実効線量が0.23 mSv、年線量限度の50mSvを超えた方が1名おられました。

●加速器施設の安全強化を図ることを目的とし開催された“第2回加速器施設安全シンポジウム”への参加について医療

機器事業本部の三村功一、新原佳弘、瀬川佑也より報告させていただきました。事故時の対応等について十分に検証され、適切な対策を講じられていることが判ります。放射線安全文化の更なる発展に弊社も関与できればと考えます。

●この編集後記を書いている隣で、小3の息子が夏休みの宿題をしています。彼は今年から初めて「自由研究」をするようで、おもいを乗せたり紙の種類を変えたりして、5種類の紙飛行機を作り「紙飛行機がどこまで飛ぶか？」という自由研究について楽しそうに私に話してくれます。近頃、各種イベントに参加していますが、放射線について学ぼうとする学生が怖がって減っていくのではと危惧されているようです。風評被害というのは食べ物だけでなく、学問も含むすべてにあるのかと感じて寂しくなりました。

子供が生き生きと話せる学べるものがある世界、放射線についても生き生きと学べる未来がありますように…。

ビールのつまみを嫁に相談しながら…2015年7月(山瀬)

FBNews No.465

発行日／平成27年9月1日

発行人／山口和彦

編集委員／畑崎成昭 佐藤典仁 中村尚司 金子正人 加藤和明 五十嵐仁 加藤毅彦
木名瀬一美 篠崎和佳子 長谷川香織 福田光道 安田豊 山瀬耕司

発行所／株式会社千代田テクノル 線量計測事業本部

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4階

電話／03-3816-5210 FAX／03-5803-4890

http://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371円)