

Photo Yasuhiro Kirano

Index

放射線治療の現場で使用する シンチレーション式線量分布測定器の開発と実用化……太田 岳史	1
〔コラム〕 64th Column 【筋トレのススメ】……………中川 恵一	9
労災疾病臨床研究における医療機関を対象とした 職業被ばく低減対策プログラムの開発……………藤淵 俊王	10
放射線安全技術講習会 第67回第2種放射線取扱主任者試験 受験対策セミナー・開催のお知らせ……………	15
「2024国際医用画像総合展出展」のご案内……………	16
放射線管理ご担当を引き継がれた方へ ガラスバッジWebサービスのご案内……………	17
〔サービス部門からのお願い〕 4月1日はガラスバッジ、ガラスリング、DOSIRISの交換日です。…	19

放射線治療の現場で使用する シンチレーション式線量分布測定器の 開発と実用化



太田 岳史*

はじめに

放射線治療は患者のがん細胞に放射線を照射して治療を行います。がん細胞と正常細胞の生物学的効果を利用し、がん細胞だけを選択的に死滅させることができます。放射線の種類にはX線、電子線、陽子線、重粒子線などがあります。照射方法は人体の外部や内部から、利用する放射線発生源も放射性同位元素であったり加速器であったりと多岐に及びます。最も一般的なものは線形加速器からのX線を利用した外部照射方法です。この方法が体感的に全体の8割～9割を占めていると思われます。

線形加速器からX線を患者病巣部に向けて照射する装置をリニアックといいます（病院によってはライナックとも表記されています）。リニアックの照射は病巣部分には集中的に照射する一方で、正常組織には極力線量が当たらないように避けて照射します。昔は数方向からの照射でしたが、理想の線量分布とは程遠いもので正常組織に障害が出ていました。今ではリニアックのガントリー回転角度、線量強度そして照射野の形状を同時に変化させることで

非常に複雑な照射が可能になっています。それによって総線量分布も非常に複雑な形となっています。

この複雑な照射方法は、照射中に機械的エラー、人為的エラーがあると計画通りの線量分布と異なってきます。そのため患者への照射前に線量測定機器によってビームの照射位置のチェックが行われます。この線量測定機器はリファレンスポイントの絶対線量を測定する線量計と、線量分布を計測する機器の二つに分けられます。この二つのチェックを通過してから患者に照射を行います。しかし線量分布測定に求められる理想的な要件は高く、 4π 方向からの照射に対応し、解像度が高く、測定精度1%程度以内であることが求められます。現在、購入可能な線量分布測定器で全

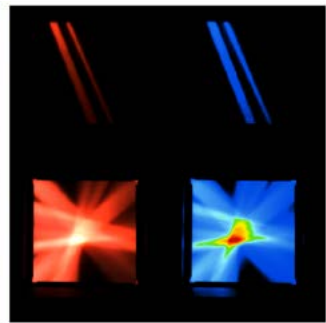
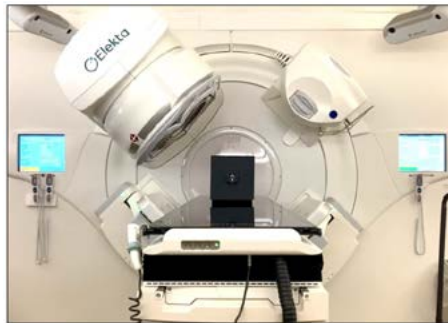


図1a 放射線治療器で照射される線量分布を確認している様子。

図1b 右上：リアルタイムカラー画像
右下：積算カラー画像
左上：リアルタイム赤波長疑似画像
左下：積算赤波長疑似画像

* Takeshi OHTA 東京大学医学部附属病院 放射線科 特任助教

てを満たすものではなく、複数の測定器で不足する情報を補い合うか、不確かさをある程度許容するのが実状になります。自施設でも測定装置が力不足のため、この状況は課題であると感じていました。また研究的側面からも疑問を抱いていました。“なぜシンチレーション式は実用化されていないのか? ”。実用化に際して実現不可能な障壁があるのか学術的興味が沸きました。

著者は課題解決と学術的興味の両方を目的として開発に着手しました。そして5年の歳月を経て、臨床の現場で使用できるところまで辿り着きました(図1)。本稿では装置の開発と実用化までについて紹介したいと思います。

放射線治療の現場

著者は東京大学医学部附属病院の放射線治療の現場で働いている医学物理士兼教員です。臨床と研究を病院の地下3階にある放射線治療部門で行なっています。リニアックは汎用リニアックとヘリカル式リニアックがあります。汎用リニアックというのは最も一般的に用いられる装置です。線形加速器が大電力ケーブルで繋がっているため回転は1周しかできませんが、大出力で2分程度の照射で1回の治療が終わります。もうひとつはヘリカル式リニアックです。CTのような照射方法によって体の広い範囲を照射可能です。リニアック以外にも遠隔操作密封小線源装置と



図2a 東京大学医学部附属病院の外観。東京大学と同じ本郷キャンパスにある



図2b リニアック室 2&3
Synergy, Elekta 2 台体制



図2c リニアック室 1
Tomotherapy, Accuray 1 台体制



図2d RALS室
Flexitron HDR, Elekta



図2e ガンマナイフ室
Leksell Gamma Knife Icon, Elekta

ガンマナイフというものがあります。遠隔操作密封小線源装置は患者の体内に線源を侵入させ内部から患部を治療します。ガンマナイフは頭部専用の装置で脳腫瘍や脳血管障害などを治療します。半球型のヘルメットに設置された192個の⁶⁰Co線源から出る細いガンマ線ビームを病巣に集中させ精密な治療が行えます。東京大学医学部附属病院ではこれらの機器を使い分け患者に適した治療を行なっています(図2)。

放射線治療装置について

リニアックのX線照射口にはJawとMLC(Multi Leaf Collimator)というものが搭載されています。Jawは照射野(X線が照射される領域)を整えるための部品で、2組の対向するブロックでX線をコリメートします。これらのブロックは独立して動かすことができ、照射野の大雑把な形状を決定します。細かな照射の形状は決められませんが、厚みのあるブロックなのでX線の遮蔽能力は高く、正常組織の被ばくを最低限に抑えます。MLCは数mm幅のタングステン板を集合させた構造で、それぞれが機械的に独立して駆動することによって病巣部分の形状に合ったX線を照射できます(図3)。放射線の遮蔽能力はJawより少し劣る程度であり、より病巣にあった形状に線量分布を形成することができます。

放射線治療の照射方法は大きく分けて照射方向とMLCを固定して行う固定多門照射と、照射方向とMLCを照射中に変化させる強度変調回転照射法、通称VMAT(Volumetric Modulated Arc Therapy)に大別できます。前者は単純な線量分布を形成するのに対し、後者は非常に複雑な線量分布を形成できます。病巣部分に守るべき正常組織がある場合や病巣部分により線量を集中させたいときは後者を利用します。固定多門照射とVMATを使用する割合は当院では半々といったところです。後者であるVMATは正確な照射を行うために照射装置の回転やMLCの動きを常にリアルタイムで制御しますが、その様は非常に高度な技術、高度な制御といえます。このように放射線治療装置は機器が複雑に構成されている装置ですから、品質保証(QA: Quality Assurance)と品質管理(QC: Quality Control)が重要になります。

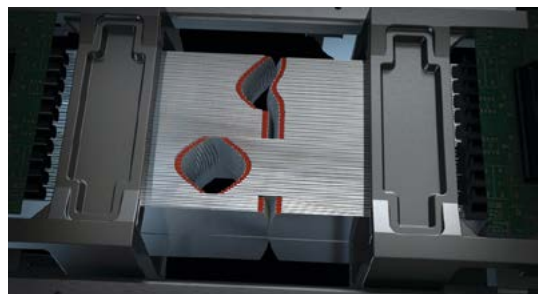


図3 MLCの構造。X線ビームは上から下へ照射される際にMLCで形を形成される
画像提供: エレクタ株式会社

装置自体のQA・QCも行いますが、VMATでは患者に照射する前に線量分布が事前シミュレーションと許容範囲内で一致していることを確認します。事前のシミュレーション線量分布は放射線治療分野の治療計画ソフトで作成します(図4)。治療計画ソフトではビームの照射デザインや線量の計算が行えます。

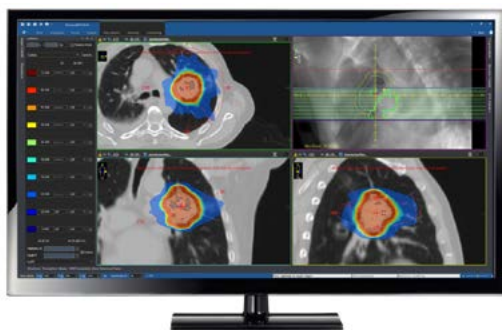


図4 治療計画ソフトの画面

放射線治療のQAとQC

放射線治療技術は患者により良い治療を提供できるよう、大きく進歩してきました。しかし進歩に伴い治療のプロセスも複雑化しました。特に2000年代前半、技術が高度化していった初期では日本国内で照射事故が頻発しました。以降放射線治療の分野ではQAとQCの体系が先達者たちにより何度も見直され組み上げられてきました。QA・QCは多項目にわたりますが、ビームや線量分布も測定され確認されます。しかし複雑な線量分布に対応できるだけの測定機器がなければQA・QCは

満足に行うことができません。

線量分布を計測する方法には、フィルム、電離箱、半導体検出器などがあります。フィルムは照射部位が線量に応じて黒化する特性を利用しており、スキャナーで黒化情報を読み取ります。高い解像度を誇るものの使用前の個体差や時間の経過による劣化が影響するため、正確な線量分布を得るまでには細心の注意と多大な時間が必要です。また、フィルムは使い捨てです。同じ測定結果を再現しようにも個体差があるため繰り返し測定での評価には適していません。一方、電離箱式と半導体式は、電気信号に変換して線量分布を測定し、繰り返し使用が可能です。しかし素子を高密度に配置できないため解像度が低く、素子が高原子番号の材料であるためシミュレーション結果とのずれが生じやすいです。一部の測定器では内部補正が行われ、測定値がより真値に近づくよう処理されています。

当院ではフィルム式と電離箱式を所有していますが、どちらもタイプは古くQAは十分とは言えない状況でした。研究や調査のため正確なビーム測定または線量分布測定を所望していましたが、測定の精度と信頼性が欠けるため行えない状況でした。そこで著者は自分の研究を実現できるような理想の線量分布測定器の開発を考えました。実現すれば臨床現場での課題解決にも繋がります。

目標は①フィルム式の解像度を有すること、②電離箱式、半導体式のように繰り返し使用可能なこと、③リニアック以外の様々な放射

表1 現在商用で販売されている線量分布測定装置と本装置の特徴

	電離箱式、半導体式	フィルム式	シンチレーション式
解像度	5~7mm ×	~0.33mm ○	0.33mm ○
再現性	○	×	○
繰り返し測定	○	×	○
時系列測定の可否	○	×	○
作業時間の短さ	○	×	○
導入コスト	×	○	○
ランニングコスト	○	×	○

線治療器への対応も可能なこと、④研究レベルでの測定にも耐えられること、⑤ユーザーで拡張パーツの追加及び製作が可能なこと、⑥ソフト面では研究に耐えられるよう測定結果に対して多様な情報にアクセス可能であること、そして最後に⑦現在の測定装置に対して価格面で数分の1に抑えることです。表1は目標としていた装置の特徴ですが、結果全ての目標を達成できました。

開発した装置の紹介 ～開発着手～

著者が医学物理士として東京大学医学部附属病院に着任したのは、2017年でした。当時考えていたのは、「なぜ線量分布測定装置にシンチレーション式が商用化されていないのか」という疑問でした。加速器を扱う専門家であれば、ZnSなどの無機シンチレータをビームプロファイル測定に使用した経験があるかもしれません。加速器のビームプロファイルが測定できるのであれば、商用化も可能だと考えるのは自然なことです。しかし、放射線治療では、フィルム式や電離箱式が用いられていました。無機シンチレータが使用されていないことに対して、考えられる理由は二つあります。一つ目は、線量分布を決定づける発光量の正確性に関わる問題です。無機シンチレータの塗布された表面は、厚みが均一でないため、発光量にばらつきが生じることがあります。その結果、測定精度を誤差1%以内に収めることが難しくなります。二つ目は、高原子番号の使用に関連する問題です。放射線治療では線量分布を事前に計算する必要がありますが、医療現場では高速な計算が求められます。商用計算ソフトウェアは、人体に含まれる軽元素の反応のみに焦点を置き、高原子番号については軽元素とみなし計算を簡略化し、速度を上げています。放射線に関する専門家なら、GEANT4やPHITSのようなシミュレーションソフトウェアを

知っているでしょう。しかし、放射線治療現場で使われる商用ソフトウェアは、これらよりも30~50倍速く動作しますが、それは軽元素の計算に特化しているためです。したがって、本装置では高原子番号を含まないプラスチックシンチレータを採用し、筐体も全て樹脂製にしました。カメラとレンズには金属が含まれていますが、X線がほとんど通過しないため問題ありません。

本装置は東京大学医学部附属病院内で開発されました。工作機械がない病院内での開発でしたから、筐体はデザインが確定するまではポリスチレンボードで製作しました。プラスチックシンチレータの厚みは2mmに設定し、これを厚さ2cmの透明アクリルで挟み込みました。図5はこの段階での装置の構造です。境界層での光学インピーダンスのマッチングや反射抑制、迷光処理の対策の苦労を経て、2018年には臨床使用に遜色ない良好な測定結果を得ていました。しかし、性能テストを繰り返す中で、中央部分の線量分布が凹んでいることに気づきました。これは、幾度もの照射によりアクリルが放射線ダメージを受け、その部分が黄変し光量が減衰しているためでした。これでは光量の低下が発生してきたところで交換する必要が出てきてしまいます。交換のみで解決すれば良いのですが測定器が徐々に擬似的な線量低下をおこす事象はQA・QCに適しません。実用できるレベルまで一旦は到達したものの、この問題により臨床投入の目標は一旦閉ざされました。また疑似線量低下が発生すると分かれば、測定結果も信頼できなくなり性能向上の試験テ

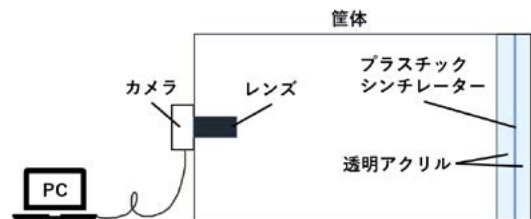


図5 開発初期の装置の構造

ストも実施する意味がなくなりました。結局この問題の解決には2年を費やしました。

開発した装置の紹介

～赤色シンチレータの開発～

解決法の話に移ります。図6は放射線ダメージを受けたアクリル黄変部分に裏から白色LEDをあて写真撮影したものです。これを青波長と赤波長のチャンネルに分けます。青波長では黄変部分における光量低下が敏感に観測されますが、赤波長では黄変部分による光量の低下が全く観測されていません。これはシンチレータを青色発光から赤色発光に変えれば解決できる可能性があります。当時赤色発光のシンチレータを世界で1社だけ販売していました。そして偶然にも初期研究の段階でそれを入手していました。早速赤色シンチレータでためしてみたものの青色シンチレータよりも濁りが多く拡散が強いためか正確な線量分布の測定ができませんでした。そうこうしている間にコロナが発生し、赤色シンチレータの入手は困難になり価格も大きく上が

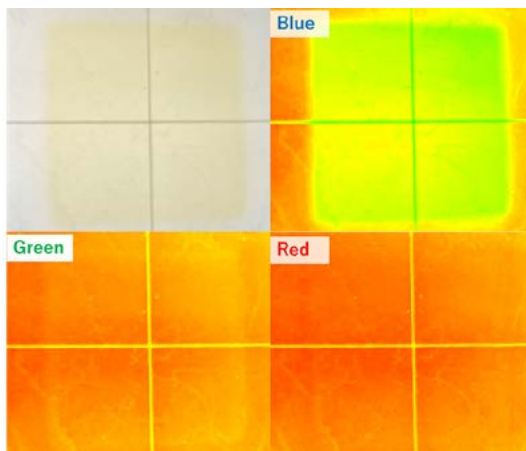


図6 左上：黄変したアクリルを撮影したもの
 右上：青波長チャンネル疑似カラー画像
 左下：緑波長チャンネル疑似カラー画像
 右下：赤波長チャンネル疑似カラー画像
 赤波長はアクリルの黄変に対して光量の低下が観測できない

りました。そこで自身で理想の赤色シンチレータを作るべく開発を行うことにしました。理想は拡散が発生せず入手性と価格面を実用化可能なところまで下げることです。赤色シンチレータの製造にはすぐに成功しました。しかし拡散性を下げることはできませんでした。試作と測定を繰り返し、添加剤を調整することでオリジナルの赤色シンチレータ板の製造に成功しました。入手性も価格面も自ら開発したものなので問題ありません。これで装置の肝となる検出器は完成しました。

開発した装置の紹介

～筐体の開発と仕組み～

次に筐体について説明します。図7は臨床実用化段階の設計図面を示しています。カメラユニットとシンチレータユニットは同様の形状にして、筐体に嵌め込む形にしました。設計図面でカメラユニットは右側に、シンチレータユニットは右下側に配置されています。これらのユニットを交換することで、様々な断面の測定が可能です。写真はそれぞれCoronal

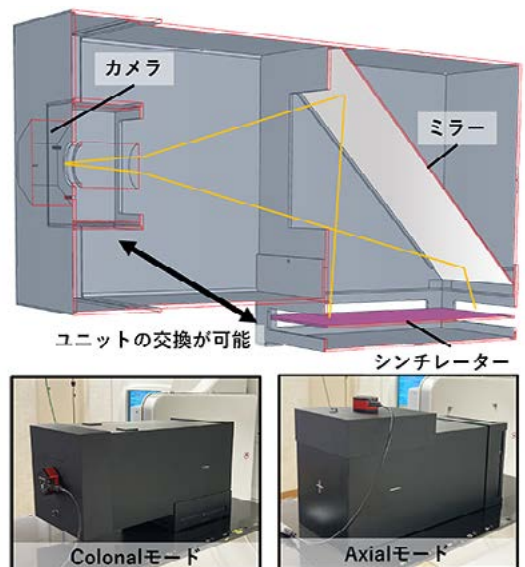
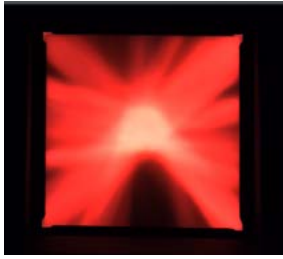
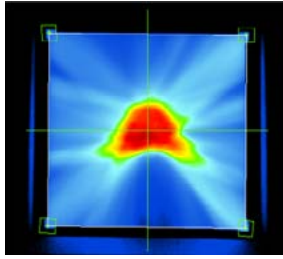


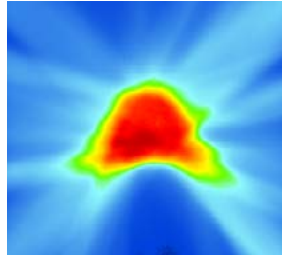
図7 実機の立体設計図面とCoronal面(水平面)、Axial面(縦軸面)での測定モード



放射線が照射されると、シンチレータユニットの四隅にあるマーカーが発光



四隅のマーカーによりシンチレーション面を検出



検出面の歪みを補正して自動抽出

図8 シンチレータ測定面の同定プロセス

面（水平面）、Axial面（縦軸面）に置いたときの写真です。他にSagittal面（矢状面）での測定も可能です。フィルム式では同様に望む断面での測定が可能ですが、電離箱式や半導体式では設置面によって回路部分にビームが直撃し、故障の原因になることがあります。したがって基本Coronal面での測定しかできません。またユニットが脱着可能ということはユーザーが望む形のユニットを嵌め込むことが可能であり、拡張性の点で優れています。

ユニットの脱着が可能となると心配になるのが光軸の調整です。この点は設計の初期段階から取り組んでいたシンチレータ測定面自動検知機能によって解決されています。シンチレータの四隅に放射線を照射すると発光するマーカーが組み込まれています。この発光マーカーはソフトウェアによって検出され、四隅の正確な位置が識別されます。このプロセスによってカメラとシンチレータの位置が互いにずれていてもシンチレータの測定面が自動的に特定されます（図8）。したがって、光軸の手動調整は必要ありません。

本装置はこれ以外にもハードウェアとソフトウェアの両方による工夫ある機能が搭載されており技術の集合体となっています。

開発した装置の紹介

～実機による線量分布測定～

次に測定能力の向上について紹介します。

これは、従来の商用測定器と比較しても特筆すべき点です。

まず、精度の向上についての例を挙げます。

図9は、電離箱式測定器と、シンチレーション

式である本装置で、同じビームをCoronal面（水平面）照射した結果です。高線量域はおおよそ2cm四方です。この2cm四方の範囲内では電離箱式が4～6ピクセル程度しかないのに対し、シンチレーション式では約3,000ピクセルが存在します。高線量域の詳細を把握するためには、本装置が十分に有効であること

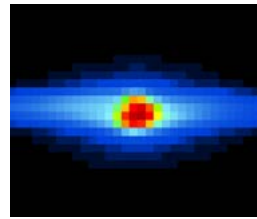


図9a 電離箱式で測定したもの

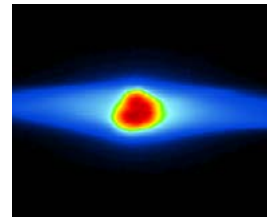


図9b 本装置で測定したもの

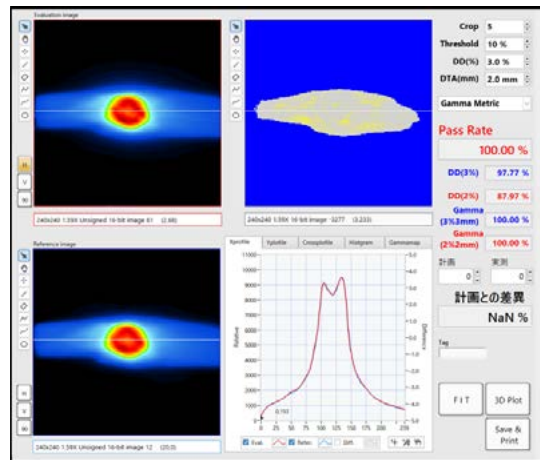


図10 肺の線量分布図。左上が実際に測定で得られた線量分布図。左下がシミュレーションで算出した線量分布図。二峰性のピークも含め高線量から低線量まで一致している

が分かります。

正確さの面でも、本装置は優れた性能を示しています。図10は、実際に測定した線量分布と、治療計画ソフトでシミュレーションした線量分布を比較したものです。シミュレーションでは二峰性のピークが表れていましたが、実際の測定でも同様に二峰性のピークを確認できました。これは、治療計画ソフトがいかにか正確であったか、そして本装置の測定がいかにか正確かを確認できたという、二重の驚きをもたらしました。

他分野への応用

本装置は現在X線と電子線、ガンマ線の測定で実用化しています。陽子線、重粒子線でも使用が可能だと考えています。しかしプラスチックシンチレータはLET（線エネルギー付与）に依存があります。LETの高い粒子（例えば重イオン）は、その経路上でより多くのエネルギーを放出し、それに伴ってプラスチックシンチレータでの発光強度も変化します。本装置を陽子線、重粒子線で使用する場合にはLET依存性を考慮する必要があり補正しなければなりません。とはいえシンチレータを理想的な形で発光させる光学技術、発光した光を正確に捉える光補足技術と画像処理技術は本装置で確立したと考えています。これらは最も要件レベルの高い放射線治療分野で実用化できました。よって放射線治療以外の分野への波及を期待しています。

最後に

高解像度・高精度であることに加え、望む断面での測定や連続画像の取得など、これまでの測定器では実現不可能だった機能を本装置一つで実現できたことは大きな進歩です。学術的な興味から始まった「なぜシンチレーション式は実用化されていないのか？」とい

う問いに対して、実用化が可能であるという答えが得られました。障壁はシンチレータの微弱光で誤差1%程度の測定精度及び正確さを実現するのがこれまで難しかったこと、シンチレータ発光面を光の散乱や迷光なく捉えるのが技術的に難しいこと、そしてそれらをクリアしたところに樹脂の黄変劣化による測定光量の低下という問題が存在しました。最後の障壁には、解決策が思い浮かばず心が折れそうになることもありましたが。

本装置は東京大学医学部附属病院に正式に購入され、すでにリニアックでのQA・QCで使用しています（図11）。他にヘリカル式照射装置や遠隔操作密封小線源治療でのQA・QCでも使用しています。本稿では紹介しきれませんでした。電子線の測定、MLCの位置誤差の測定、照射位置誤差の測定など用途の幅が広がっており、現在整備を進めているところです。



図11 臨床で使用している実機。東京大学医学部附属病院に導入された1号機

著者プロフィール

大阪大学理学研究科物理学専攻博士課程修了。大阪大学核物理研究センター、Spring-8での研究生活を経て、2017年より東京大学医学部附属病院 放射線科 特任助教着任。元の専門は原子核・素粒子物理学の実験分野。現在は医学物理や放射線技術。ハードウェアとソフトウェアの両方を得意とし、これまで様々な装置を開発してきた。



中川 恵一

東京大学医学部附属病院

筋トレのススメ

健康によいエクササイズといえば、ウォーキングやジョギングといった有酸素運動をイメージする人が多いと思います。しかし、腕立て伏せやスクワットなどの筋力トレーニングもがんを予防する有力な手段です。

30歳以上の8万人の英国人を対象にした調査では、週2回以上、筋トレを行っている人は、全死因による死亡リスクが23%低く、がんによる死亡リスクも31%も低いことが明らかになっています。筋肉から分泌されるマイオカインというホルモンががん予防効果があるという見方が有力になっています。

筋トレは、がんの予防だけでなく、がん患者にとってもプラスになります。

私も膀胱がんの経験者です。治療からまだ5年経っていないので、がん患者と言うべきかもしれません。しかし、ほぼ毎日、運動と筋トレは欠かしません。おかげで、63歳になりますが、体調は万全で、疲れ知らずです。

ただ、学校での授業などで、「私もがん患者です」と言うと、びっくりされます。がん患者のイメージと違っているからでしょう。

たしかに、がんになったら、「ベッドの上で安静にして、体力を温存する」のがプラスだと考える方も多いかもしれません。

しかし、現在のがん医療では、がんになっても、今まで通りの生活を続け、積極的に運動や筋トレを行うべきだとされています。従来の「療養型の闘病生活」は過去のものとなっているのです。

大腸がんの女性を対象とした調査でも、診断後の運動量が多いほど生存率が高く、再発も減ることが分かっています。最も運動量が多いグループの生存率は、最も少ないグルー

プより50%も改善していました。

がん経験者を対象とした別のアンケートの結果でも、週1回以上の筋トレを行っている人では、筋トレを行っていない患者に比べ、生存期間が延長し、がんを含めたすべての死因による死亡リスクが33%も減少していることが分かっています。

米国がん協会のがん経験者に向けたガイドラインでは、ウォーキングなどの有酸素運動と、筋力トレーニングを、1回30分間、週3回以上、合計週150分間行うことを推奨しています。

筋トレといっても、ジムにある専用マシンを使う必要はありません。

オススメは、1)腕立て伏せ、2)体幹トレーニング(フロントブリッジ)、3)スクワットの3つ。これで、上半身、体幹部、下半身の筋肉を鍛えることができます。

なお、早稲田大学の研究グループの分析では、筋トレによるがん予防の効果は週30分がもっとも高く、週130分を超えるとマイナスになることが分かっています。筋トレによる総死亡抑制効果についても週40分がベストで、週140分を超えると逆効果になりました。

ジョギングなどの有酸素運動でも同じですが、やり過ぎはマイナスになります。

さて、身長や体重と違って、筋力を数値化するのには簡単ではありませんが、一番分かりやすい指標は握力です。握力が筋力を代表すると考えてよいということです。

握力が低いと、子宮体がん、胆嚢がん、大腸がん、肝臓がん、乳がん、腎臓がんなど、多くのがんのリスクが上がる事が分かっています。握力が5キロ減るとがんの死亡リスクが17%も上がるという結果も出されています。

さあ、3つの筋トレを始めてみませんか？

労災疾病臨床研究における 医療機関を対象とした 職業被ばく低減対策プログラムの開発



藤淵 俊王*

1. 医療現場における職業被ばく低減への対策

1.1 医療分野の放射線を取り巻く状況

近年、放射線診断とIVR（Interventional Radiology）の件数は着実に増加しており、患者と医療スタッフの被ばくが高くなる手技も頻繁に実施されている。医療スタッフ（学生を含む）への放射線防護の原則に関する教育と訓練の必要性がこれまで以上に求められている。

国際放射線防護委員会からは113勧告として、「放射線診断およびIVRにおける放射線防護教育と訓練」を出版している¹⁾。本勧告では、規制当局、医療機関、産業界、大学等学術機関に必要な放射線防護教育と訓練に関する指針を提供している。ここで出てくる「教育」とは、受講者に対して、放射線による健康への影響、線量と単位、防護の諸原則、関連法規、患者と医療スタッフの線量に影響する医療行為の諸要因について理解させること、また「訓練」とは、医師その他の医療従事者が使用する各モダリティの放射線防護法について指導、提供することを示している。

1.2 医療従事者の放射線を利用する状況

医療現場での放射線を利用する状況は多岐にわたる。放射線診療には、医師、看護師、診療放射線技師、臨床工学技士、薬剤師他多くの職種が関わり、さらに医師の中でも様々な診療科（放射線科、循環器内科、整形外科、消化器内科、泌尿器科他）が使用する可能性がある。また、放射線を使用する装置や診療の種類も一般撮影、X線CT、X線透視、血管造影、核医学、放射線治療等様々で、種類によって放射線防護方法が異なる。

医療現場では、患者の安全を損なうことのないように医療事故の防止、感染対策といった「医療安全」の確保が求められ、毎年の様々な研修等が

法令で義務付けられている。令和2年には、放射線診療を受ける者の医療被ばくの防護を目的として、医療法体系において医療機関における診療用放射線に係る安全管理のための体制の確保に必要な措置を講じることが規定された。医療被ばくに関する医学的手法の正当化および放射線防護の最適化は、直接的、間接的に医療従事者の被ばく低減にも関わる。この中で、患者および医療従事者の被ばくをいかに少なく、良質な医療を提供できるか、放射線管理者はそのサポートができるかが課題となる。

1.3 労災疾病臨床研究補助金事業

厚生労働省労働基準局では労働者の福祉の増進に寄与することを目的として、多くの労働現場で発生している疾病や勤労者の新たな健康問題として社会問題化している疾病などに関し、早期の職場復帰の促進、労災認定の迅速・適正化等に寄与する研究等に対して、労災疾病臨床研究課題として募集している。

令和3年に電離放射線障害防止規則等の関係法令で水晶体等価線量限度が引き下げられたが、平成27年から職業被ばく低減対策に関する労災疾病臨床研究事業が多く実施されている。採択課題は毎年報告書として厚生労働省のホームページに公開され、被ばくの実態調査結果や被ばく低減対策の提言を含め、膨大な量の成果が報告されている²⁾。

1.4 医療現場における教育手法に関する課題と対策

医療現場における放射線防護教育手法の課題として、職種やモダリティ、理解度に応じた教育が必要であるが、教材が増えるほど、管理者としては対応が煩雑であり、その解決策が模索されている。表1に、筆者がまとめた放射線診療従事者、放射線管理者別の職業被ばく低減対策を示す。

* Toshihiko FUJIBUCHI 九州大学大学院医学研究院 保健学部門 医用量子線科学分野

表1 医療現場における職業被ばく低減対策

被ばく低減対策	放射線診療従事者	放射線管理者
1. 放射線防護教育	•防護法の理解	•教材の作成と実施
2. 防護器具による対策	a. 放射線防護具 (防護衣、眼鏡、手袋、防護板等)	•防護具の配備 •防護具の品質管理
3. 装置、手技による対策	a. 適切な装置の取扱 b. 適切な手技	•装置の品質管理 •適切な照射条件の設定
4. 線量モニタリング	a. 個人線量計の装着	•装着忘れの防止
	b. 被ばく量の把握	•自身の被ばく量の把握と振り返り
	c. 水晶体線量計	• (必要に応じて) 使用
	d. リアルタイム線量計	•高被ばく手技の認識
5. 放射線管理体制の構築	•規程等の遵守 •被ばく対策の習慣化	•委員会等の設置、規程・マニュアル等の作成 •スタッフ間の相談窓口 •被ばく対策状況の定期的な監視

2. デジタルトランスフォーメーション(digital transformation : DX) を活用した医療従事者の被ばく低減プログラムの開発と有効性の検証

2.1 職業被ばく低減プログラムの開発に関する研究概要

厚生労働省労災疾病臨床研究の一環で、九州大学では、産業医科大学、弘前大学と共同して「DXを活用した医療従事者の被ばく低減プログラムの開発と有効性の検証」を令和4年から実施している³⁾。

この事業では1. 医療従事者向け放射線防護教育ポータルサイト、2. 仮想現実(virtual reality : VR)や拡張現実(augmented reality : AR)を利用した3次元放射線可視化教材、3. リアルタイム被ばく低減システムを開発し、開発したプログラムに対してPDCA(plan-do-check-act)サイクルを回すことで持続的に教材の質を高め、職業被ばくの低減につなげることを目的とする。以下にその詳細を示す。

2.2 医療従事者の職業被ばく低減を目的とした放射線防護教育Webサイトの構築

医療従事者への放射線防護教育について、日常業務への支障を減らしつつ放射線防護の理解を深めるために、教科書のような説明文書だけでなく、防護対策に関する画像や動画、WebVR等の電子教材およびアクションチェックリストをまとめたWebサイト (<https://arp.kyushu-u.ac.jp/dxrpp/>)



を構築した。Webサイトのトップページを図1に示す。具体的な内容として、外部放射線防護の3原則やX線照射中の散乱線の広がり方という基礎的な事項に加え、IVRや透視、CT等、様々な状況に応じた被ばく低減の要点について、防護具の紹介や活用法、画像や動画を踏まえた資料を作成した。Webサイトの構成は、1. 放射線防護の重要性、2. 職業被ばくの線量限度と実態、3. 線量評価・モニタリング、4. 医療現場での放射線防護の原則、5. 部門別防護対策、6. アクションチェックリスト、7. 放射線防護教材とし、各項目で画像や動画を多用した説明資料を掲載している。

アクション(取り組み)をチェックリスト形式で確認し、取り組みへの気付きを促し、行動を起こすために開発された現場改善のための手法のことである。本事業においてアンケート調査による医療現場からの助言を取り入れ作成した職業被ば



図1 構築したサイトのトップページ

表2 職業被ばく低減対策についてのアクションチェックリスト例

チェック項目	
放射線防護具 (遮蔽による防護)	1 放射線防護衣を着用している
	2 放射線防護メガネを着用している
	3 ネックガードを着用している
	4 (天吊り等の)放射線防護板を使用している
	5 放射線防護板を術者および患者に近接させ配置している
	6 放射線防護衝立を使用している
	7 放射線防護カーテンを使用している
	8 その他の放射線防護具(手袋やシリンジシールド等)を使用している
	9 放射線の種類に応じた適切な遮蔽材を使用している
	10 骨シンチ投与後の超音波検査等の実施について、医療従事者の被ばく低減対策をしている
照射時間 (時間による防護)	11 透視画面を見ない際は透視を切っている
	12 総透視時間を意識している
	13 RI使用時、線源および投与後の患者に近づく時間を必要最低限にしている
診療の位置 (距離による防護)	14 診療時の室内の放射線、散乱線分布を理解している
	15 X線管やRI線源に診療に支障のない範囲で可能な限り近づかないようにしている
	16 患者からの散乱線の広がりを意識し、診療に支障のない範囲で必要以上に近づかないようにしている
	17 撮影時の小児等の患者の保持に専用の固定具を使用している
照射・画像処理条件	18 PET薬剤投与の患者に対して遠隔で案内している
	19 装置の始業点検、定期点検、品質管理を実施している
	20 診断参考レベルを参考に、線量の最適化をしている
	21 被ばく低減(ノイズ低減)処理の入った画像処理アルゴリズムを使用する
	22 グリッドを外す、付加フィルタや線源-検出器間距離を変更する
	23 可能な範囲で照射野を絞っている
	24 患者と画像検出器をできるだけ近づけている
	25 透視のパルスレートを可能な範囲で小さくしている
	26 撮影枚数を可能な範囲で少なくしている
	27 照射野に手を入れない
個人線量計と 被ばく量の理解	28 患者に静止の必要性について説明し、協力してもらう
	29 医療スタッフ間でのコミュニケーションを取る
	30 体幹部(胸部または腹部)に線量計をつけている
	31 (防護衣を着用する場合) 体幹部用の線量計を防護衣の内側に着用している
	32 (防護衣を着用する場合) 頸部の防護具の外側に線量計をつけている
	33 (指先が照射野に近い場所で作業する場合) 指輪型の線量計をつけている
	34 電子式個人線量計をつけている
	35 自身の毎月の被ばく量を把握している
被ばくのリスクの 理解	36 法令で定められた線量限度を知っている
	37 被ばくによる発がんリスクがあることを知っている
	38 水晶体の被ばくによる白内障のリスクがあることを知っている
	39 被ばくによる皮膚障害のリスクがあることを知っている
40 被ばくによる循環器障害のリスクがあることを知っている	

表3 職業被ばく低減の放射線防護教育に関するアンケート結果

質問事項	回答
放射線防護教育をどの時期に受けたいか？	<ul style="list-style-type: none"> 放射線業務に携わることになったとき。学習しても実際に放射線部に関わる部署でなければ忘れてしまう。 Eラーニングや自己学習で学べる教材があるとよい。
放射線防護教育でどのような学習内容を知りたいか？	<ul style="list-style-type: none"> 基礎教育からしっかり学ぶ機会があるとよい。 放射線に関わることによるリスク、被ばくによる体の影響 正しい放射線防護方法 個人線量計の正しい装着位置や、どこから放射線が出ているのか、散乱線などのことも含め被ばくしやすい場所を教えてください。
被ばく低減対策について、不安なことは？	<ul style="list-style-type: none"> 知識が乏しいまま院内で規定された防護をしているだけなので、正しく行えているか分からない。 照射時間が長い検査で患者の近くにやむなく介助として付く場合、不安になることがある。 透視時にX線管付近で被ばくの少ないところを知りたい。従事しているとどうしても被ばくありと判定される月がある。ただ、具体的にどのような作業内容が該当するのかよく分からない場合も少なくない。この原因が分かれば日ごろの業務において職業被ばくを低減できる可能性はある。

く低減対策についてのアクションチェックリスト例を表2に示す。

アクションチェックリストの実施結果から、Yesの回答率の低いものを重点的に対策する必要があるが、部署によっては、元々所持していない、必要のない防護具の情報も含まれている。そのため100%になることを求めるわけではない。照射条件など、職種によっては直接関係のない情報も含まれている。現在解析中であるが、診療放射線技師は他の職種に比べYesの回答率が有意に高かった。今後診療科別や担当装置別の評価などの解析を進める。

また、アンケートで、放射線防護教育のタイミングや内容、被ばく低減対策についての不安なことについて調査した(表3)。結果からは放射線防護に関する基本的な知識を自由な時間に学習したいという要望が伺えた。また特殊な環境である放射線装置や防護器具など、実物を見ながら学習したいという声もあった。

2.3 三次元放射線可視化教材による教育例

放射線の「見える化」による放射線診療中の検査室内の散乱線の広がり認識し、放射線防護に関する理解度を向上させる。そのためにVR/AR-Learning教材として理解度が高いコンテンツで、タブレット端末等により場所を問わず容易に確認するシステムを作成している。

2.3.1 X線透視業務における放射線防護の最適化の理解

内視鏡的逆行性胆管膵管造影 (endoscopic retrograde cholangiopancreatography : ERCP) 等 X線透視での医療スタッフの防護の最適化を検証するiPadアプリケーションを紹介する。X線透視室内の散乱線分布のシミュレーション結果を基に、ERCP

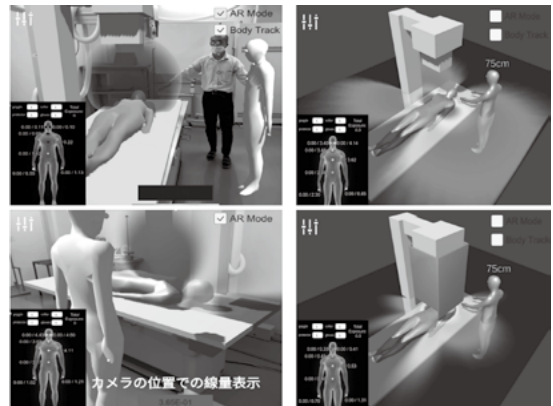


図2 X線透視での職業被ばくを推定、散乱線を可視化するアプリケーション

一回の診療当たりの医療スタッフの被ばく量を推定し、線量限度と自施設の診療予定回数の兼ね合いから、施設に応じた必要な防護具の配置等放射線防護の最適化を検討するiPadアプリケーションを開発した。実際の検査室で装置と重ね合わせて線量分布を表示できるモードと任意の視点から俯瞰的に線量分布を表示できるモードを切り替えることが可能である(図2)。本アプリケーションは、Apple storeから「X-SERVE VD」という名称で無償にて公開し、誰でも使用可能となっている。

アプリのデモ動画 (ARモード)
<https://youtu.be/pPT0RLVDzZA>
 (Point Cloudモード)
<https://youtu.be/vvnaXpHmelk>



2.3.2 CTでの散乱線の広がり理解

CT検査において、CTガイド下生検や介助の必要な患者の診療時に医療従事者が照射時に入室せざるをえない場合がある。短時間の照

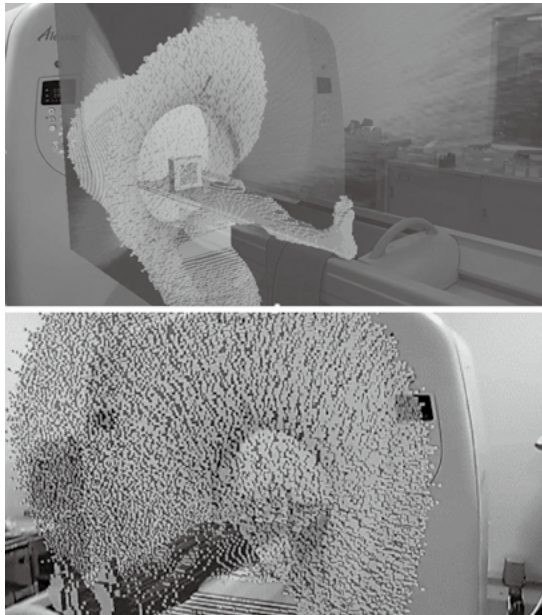


図3 CTでの散乱線分布のAR表示

射であっても線量率が非常に高く、職業被ばくの大きな要因となる⁴⁾。CT時の散乱線の広がりを理解することで被ばくの少ない適切な介助方法を検討することができる。図3にCT検査における散乱線分布をAR表示した画像を示す。

2.3.3 散乱線方向ベクトルの可視化による放射線防護板の適切な配置の理解

放射線防護板は血管造影や透視において有効な被ばく低減ツールである。天井吊り下げ式のものと、放射線診療の邪魔にならないよう準備され、

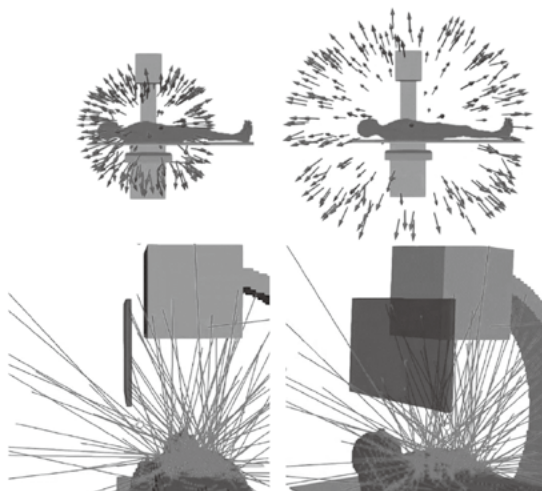


図4 X線透視における散乱線の方向ベクトルと飛跡の可視化

自由な位置に配置できるが、効果的な位置に配置して使用することが重要となる。適切な防護板の配置方法を理解するための視聴覚資料として、散乱線の方向ベクトルと飛跡の可視化を図4に示す⁵⁾。散乱線が患者から全体に広がり、特にX線管方向への後方散乱が多く発生していることを視覚的に確認できる。患者とスタッフの間に放射線防護板を配置した場合の方向ベクトル図を示すことで、防護板の後方の線量が下がり、方向ベクトルから散乱線源の位置が分かれば、散乱線量分布がどのように変化するかをイメージしやすくなる。

3. まとめ

放射線診療が普及する中、医療従事者への効果的な放射線防護教育教材の開発が進められている。多忙な業務の中で、職業被ばく低減のため放射線防護について基本的で効率よく効果的な学習機会の提供（WebサイトやEラーニング）、放射線診療は様々な部門で扱われているため、装置や場の状況、職種ごとの手技に応じた適切な防護対策の教材（現場の状況の把握）、放射線管理者の立場からは、関連する様々な職種との連携、コミュニケーションの促進が求められる。

紹介したWebサイトや教材に関するご意見やご要望、ご質問がございましたら、(fujibuchi.toshioh.294@m.kyushu-u.ac.jp) までご連絡下さい。

参考文献

- 1) ICRP Publication 113放射線診断およびIVRにおける放射線防護教育と訓練 (2010)
- 2) 厚生労働省 労災疾病臨床研究補助金事業ホームページ：
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/roudoukijun/rousai/hojokin.html
- 3) 厚生労働省 労災疾病臨床研究補助金事業, 令和4年度新規採択課題総括・分担研究報告書
<https://www.mhlw.go.jp/content/001123619.pdf>
- 4) 宮島 他, X線CT撮影の介助時における医療従事者被ばくの効果的な防護方法について, 日放技誌 (2018)
- 5) K. Hizukuri, et al, Directional Vector Visualization of Scattered Rays in Mobile C-arm Fluoroscopy, Radiological Physics and Technology, (2024)

著者プロフィール

2000年茨城県立医療大学保健医療学部卒業。2012年筑波大学大学院人間総合科学研究科疾患制御医学専攻修了。株式会社千代田テクノ、筑波大学附属病院、千葉大学医学部附属病院、茨城県立医療大学を経て、2013年9月より九州大学大学院医学研究院保健学部門講師、2019年4月より同教授。アイソトープ統合安全管理センター放射線教育部等併任。研究テーマは放射線診療に伴う患者や医療従事者の被ばく、放射線管理に関する研究。放射線安全フォーラム、日本放射線技術学会、日本保健物理学会等所属。

放射線安全技術講習会


— 受験対策の決定版! 優れた講師陣!! —

第67回第2種放射線取扱主任者試験 受験対策セミナー・開催のお知らせ

1. 期 日 2024年6月18日(火)～6月21日(金)の4日間
2. 会 場 東京都文京区湯島2-31-15 和光湯島ビル4階
公益社団法人日本保安用品協会
3. 受講対象者 第2種放射線取扱主任者の国家試験受験を予定している方

4. 定員及び
受講料

定 員	受講料 (消費税込)
30名	49,500円

5. 申込締め切り 定員になり次第締め切りとさせていただきます。
6. 講習会主催者 公益社団法人日本保安用品協会
及び問い合わせ先 放射線取扱主任者試験受験対策セミナー事務局
〒113-0034 東京都文京区湯島2-31-15 和光湯島ビル5階
TEL 03-5804-3125 FAX 03-5804-3126 担当: 澄川
e-mail: r-seminar@jsaa.or.jp URL: <https://www.jsaa.or.jp>
7. 申込方法 申込は主催者ホームページの申込画面より行なってください。
8. 受講料の
お支払い方法 受講料のお支払いは当協会の指定する銀行口座へのお振込みとなります。

「2024国際医用画像総合展出展」のご案内

画像診断学・放射線腫瘍学・核医学を問わず放射線医学の全ての分野における、国内最大級のイベント、日本放射線技術学会・日本医学物理学会・日本医学放射線学会の学術大会が横浜で開催されます。弊社は今年も併設する「国際医用画像総合展 (ITEM2024)」に出展いたします。

日頃ご愛顧を賜っているお客様にお会いできることをスタッフ一同、心待ちにしております。お客様のお役に立てる製品の展示をいたしますので、学会へお出かけの際はぜひお立ち寄りください。

* 展示予定商品一例 *

- ①高線量率密封小線源治療装置
「フレキシトロンHDR」「アプリケータ」
- ②放射線治療計画プログラム
「Oncentra Brachy」
- ③定位放射線治療用加速器システム
「ZAP-Xラジオサージェリーシステム」
- ④植込み型病変識別マーカー
「Gold Anchor マーカー」
- ⑤放射線治療装置用QA/QC製品
- ⑥PET校正用線源・機器校正用線源
- ⑦RI内用療法備品「蓄尿容器」
「バイアルシールド」「シリンジシールド」
- ⑧個人放射線被ばく線量測定サービス
「ガラスバッジ」「ガラスリング」
- ⑨眼の水晶体用線量計「DOSIRIS」
- ⑩放射線業務従事者個人管理システム
「ACEGEAR NEO」

展示品は変更する場合がございます。

* 開催日時 *

- 2024年4月12日(金) 10:00~17:00
2024年4月13日(土) 9:30~17:00
2024年4月14日(日) 9:30~15:00

* 会 場 *

パシフィコ横浜展示ホール：
ブースNo. B3-04

* 学術大会 *

会期：2024年4月11日(木)~14日(日)
第83回日本医学放射線学会総会
第80回日本放射線技術学会総会学術大会
第127回日本医学物理学会学術大会



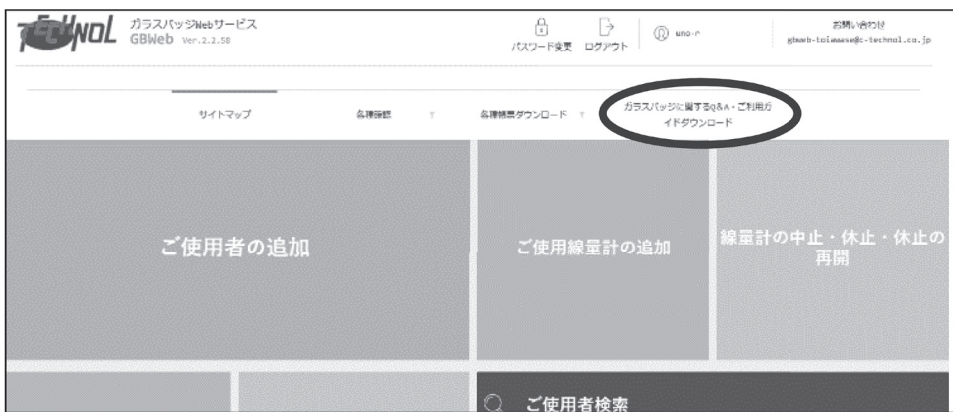
(担当：営業統括本部 小山 明子)

- ③パスワードがわからない場合は右下部の『パスワードを忘れた方はこちら』より、暫定パスワードの発行を実施してください。
メールアドレスがわからない場合は、画面右上部のメールアドレスまたは担当事務所にお問い合わせください。

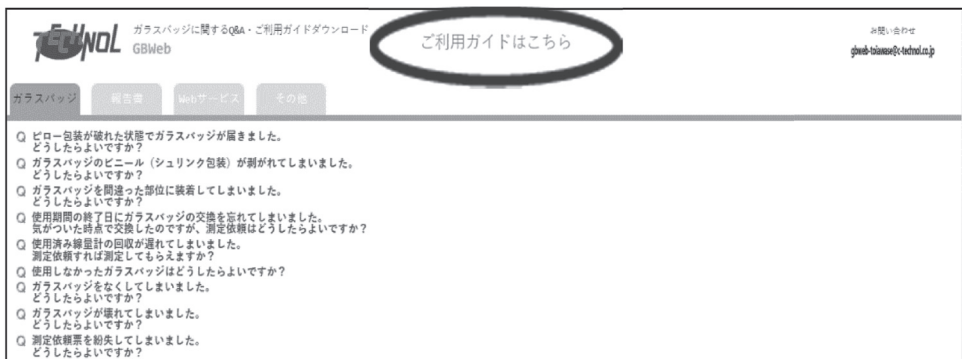


3. 『ガラスバッジWebサービスご利用ガイド』のダウンロード

- ①ログイン後、『ガラスバッジに関するQ&A・ご利用ガイドダウンロード』を押下してください。



- ②『ご利用ガイドはこちら』からご確認ください。



サービス部門からのお願い

4月1日はガラスバッジ、ガラスリング、DOSIRISの交換日です。

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。

4月1日はガラスバッジ、ガラスリング、DOSIRISの交換日です。

ご使用期間が3月31日までのガラスバッジ・ガラスリング・DOSIRISは、ご使用期間終了後、速やかに弊社測定センターまでご返送くださいますようお願いいたします。

2023年度の個人線量の集計は、2023年4月1日から2024年3月31日までのご使用分が対象です。ご使用になったガラスバッジ等をすべてご返却ください。

法定管理帳票として「個人線量算定値管理票」を出力いたします。関係法令で定められた線量限度を超えていないことをご確認ください。

編集後記

- 4月です。桜はまだ見ごろでしょうか。枝いっばいにこんもりと、こぼれおちそうに花が集う、重たそうな桜の木を見るのが大好きです。
- 今月号の巻頭は、東京大学医学部附属病院の太田岳史先生に、放射線治療の現場で使用するシンチレーション式線量分布測定器についてご寄稿いただいております。開発された装置の詳細とその性能をわかりやすく解説いただいております。線量分布の分解能・精度の高さと治療計画ソフトのシミュレーション結果との良い一致をみることができます。学生時代の実験で加速器のビームプロファイルにZnSシンチレータが使用されていたのを思い出し、医療現場で求められる測定精度の高さを改めて認識する機会となりました。
- さて、今月中川恵一先生のコラムは、「筋トレ」のがんに対する効果のお話です。ジョギングなど外での運動は、花粉、梅雨、猛暑などを理由にサボりがちですが、筋トレは室内でできるのでこのような言い訳はききませんね。頑張ろうと思います。
- 放射線安全フォーラム理事の藤淵俊王先生に、医療機関を対象とした職業被ばく低減対策プログラムについてご執筆いただきました。教育の視点から、医療現場における被ばく低減策についてまとめていただいております。三次元放射線可視化についても紹介されておりますが、この技術は、被ばくの理解と低減の実行に非常に有効です。放射線は見えないとよく言われてきましたが、もう、放射線はよく見えます！と言ってよいのではないのでしょうか。このため対策が立てやすく、むしろ厳しい管理が求められています。正しく管理されている限り安全であると思っています。
- 4月12日～14日に開催される「国際医用画像総合展(ITEM2024)」のご案内を掲載しています。弊社も出展致します。様々意見交換できれば幸いです。(W.S)

FBNews No.568

発行日/2024年4月1日

発行人/井上任

編集委員/小山重成 小口靖弘 中村尚司 野村貴美 古田悦子 青山伸 福田達也 藤森昭彦
篠崎和佳子 高橋英典 東元周平 廣田盛一 丸山百合子 山口義樹

発行所/株式会社千代田テクノル

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)